

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

活断層データベースの整備

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
- ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
- 地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
- イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
- イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

活断層の長期評価に資するデータベースであるだけでなく、強震動評価や断層変位による被害の軽減に資する活断層情報を発信する。一方で、活断層研究者のみならず、地震防災に関わるあらゆる人が理解可能なデータ提供を試みる。また、古地震研究に関する他のデータベースとの統合を検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

活断層データベースのさらなる活用を目指し、下記の業務を行う。

2019年度には、断層活動イベントのページの改修、調査地の位置精度を向上させる作業、データ入力インターフェイスの作成等の作業を実施する。

2020-2021年度には、活動セグメント内の「セクション（断層線）」および「地点」に関する情報を追加し、各調査地がセクションごとに表示される改修作業を実施する。

2022-2023年度には、表示インターフェイスを改修し、起震断層・活動セグメント・調査地の情報を充実させる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2021年度における活断層データベースの整備として、新規データの入力のほか、入力インターフェースの改善、表示システムの改善、位置精度向上に関わるデータ更新および公開系の更新を実施した。

新規データの入力については、「活断層の高度化・効率化のための調査 令和元年度成果報告書」に含まれる74地点について、調査地情報（調査地の位置、調査方法、変位量、変位基準年代、平均変位速度等）を入力した。

入力インターフェースの改善については、活断層データベースのデータを管理しているAccessの最新バージョンを利用できるように、データベースのプログラムとデータファイル形式を更新した。

表示システムの改善については、活断層線の高精度化作業が完了した活動セグメントから順次、活断層データベースで詳細な活断層図を公開できるようにするため、指定された活動セグメントについてマップのズームレベルを変更できるように表示システムを改修したほか、断層運動のセンスに応じた活断層線の表示形式について検討した。また、活動セグメントの概要とパラメータ代表値の画面のマップに凡例を追加し、各種情報を重ねられるようにした。さらに、マップに表示させた調査地点をクリックしたときに現れる吹き出しについて、調査地点の属性にかかわるいくつかの項目を表示させるようにした。

位置精度向上に関わるデータ更新については、活断層データベースに登録されている調査地204地点について位置精度を確認し、必要に応じて位置情報を修正する作業を実施した。また、12セグメントについて、活断層データベースに収録されている活断層線の位置情報を縮尺2万5千分の1の地図上に図示できるように高精度化した。

公開系の更新については、2021年7月に、1) 検索画面における範囲選択方法をクリック&ドラッグで矩形を作成できるように変更、2) 検索画面の凡例のすべての項目について、表示/非表示を切り替えできるように変更、3) 文献検索結果にJ-STAGE内を自動検索するリンクを追加、4) 産総研による活断層・津波堆積物調査画面に、海陸シームレス地質図整備範囲を追加、5) 調査地データを約80地点、文献書誌データを約250件の追加をそれぞれ実施した。また、データベースのサーバーシステムを移行した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

2022年度における活断層データベースの整備として、表示システムの改善を中心に作業を進めるとともに、新規データの入力、位置精度向上に関わるデータ更新および公開系の更新を実施する。表示システムの改善については、活動セグメントに関するページの充実化及び地図検索ページの位置表示方法について検討を実施する。新規データの入力については、新たに10文献程度に関する調査地情報を入力するほか、地震調査研究推進本部が公開している「活断層の地域評価」に含まれている約10の活断層について活断層データベースに新規に登録する準備を行う。位置精度向上に関わるデータ更新については、調査地約400地点、活断層線約20断層について作業を実施する。公開系の更新については、活断層線の位置精度向上に関するデータ更新が完了した活動セグメントの公開準備を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吾妻崇（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、宮下由香里（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、粟田泰夫（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、宮本富士香（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門

電話：029-861-3691

e-mail：

URL：https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吾妻崇

所属：活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
イ. 内陸地震の長期予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

主要活断層帯において地質学的・古地震学な調査を実施し過去の地震に伴う複数セグメントの連動履歴を解明し、その発生頻度や地震規模を明らかにする。連動履歴解明のため、セグメント境界周辺において複数回の地震時変位量を復元するための野外調査を5か年で実施する。特に、過去の連動型イベントの判別には地震時変位量と地震断層長のスケーリング則を指標とするため、これまでに主に対象としてきた横ずれ断層だけでなく、逆断層等の断層長と断層幅の比率が異なる事例についても知見を集積する。その結果を基に、連動型古地震像復元手法についての普遍性を検討することを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

連動履歴を明らかにして連動／非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。
2021年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。
2022年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動／非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。
2023年度：セグメント境界周辺において地震時変位量を復元するための調査を実施する。セグメント境界毎の連動性評価を総合し、断層帯の連動履歴をもとに古地震シナリオを作成する。古地震シナリオを反映した規模予測および長期予測の高度化について検討する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和2年度に実施した中央構造線断層帯・讃岐山脈南縁区間における変位履歴調査の結果について、追加の年代測定とOxCal 4.4 (Ramsey, 2021) を用いた活動時期の再検討を実施した。徳島県鳴門市

の鳴門南断層上に位置する阿波大谷地区における3Dトレンチ調査では、顕著な液状化痕跡を含む過去3回の古地震イベントが識別された(図1)。トレンチ壁面には一部の不整合を除き連続的に堆積する湿地性堆積物と氾濫原堆積物、それらの撓曲変形や雁行亀裂、液状化痕跡などが露出した。今年度の追加年代測定結果を含め、合計28試料をもとに各イベントの発生時期は次のように推定した。

イベント1: 900±30 y.B.P. (740~900 CalBP) 以降、

イベント2: 3170±30~3280±30 y.B.P. (3370~3560 CalBP)、

イベント3: 3860±30~4020±30 y.B.P. (4180~4530 CalBP)

年代と層序は大局的には調和的な年代を示しているが、層準によっては矛盾した年代(リワーク及び新しい炭素を含む試料の混入)も含まれている(図1)。特に、イベント2発生後の腐植質シルト/粘土層(Vp-1層前後)では、イベント直後から上方に向かうに連れて年代値が古くなり、その後、また層序と調和的に上方へ向かうに連れて年代値が新しくなる傾向を示す。また、イベント3の後にもこのようなイベント後のリワーク年代がみられる。これらの年代試料を採取した位置はいずれも断層の低下側に位置しているため、イベント直後にみられる古い年代は、イベント後の断層低下側を埋積する過程で上盤側の古い炭素を含む有機物が浸食され再堆積したと考えられる。このような堆積・浸食過程と層序を考慮した場合、イベントの発生前後を示す試料を合理的に絞り込むことができ、結果としてイベント年代の推定幅を狭めることが可能である。

最新イベントの発生時期は900年前以降であり、徳島県に実施いただいた考古遺物の年代推定からも鎌倉時代以降と推定される。よって、少なくとも本地点を含む鳴門南断層は、従来から指摘されている1596年慶長(文禄)に生じた一連の大地震のいずれかであった可能性が高い。小野・他(2015)は1596年地震により鳴門南断層が0.5~1.0mの上下変位を生じた可能性を指摘している。少なくとも、各イベントの年代推定幅については、従来の長期評価等(地震調査研究推進本部地震調査委員会、2016)に比して精度を向上させることができた。

本調査によって推定した各イベントの発生年代から、イベント1~2の発生間隔は2500年以上、仮に1596年地震に対比した場合には3100~3300年、イベント2~3の発生間隔は600~1100年となる。一方、トレンチ壁面に露出した地層には1200~3200年前頃に顕著な堆積間隙がみられる。しかし、イベント1の上下変位は南側低下20cm程度、イベント2ではわずかに10cm程度しかみられず(イベント1と2の累積で30cm程度)、この間に見落とされたイベントが存在するとは現時点では考えにくい。よって、少なくとも最近3回の発生間隔は不規則であり、等時間間隔ではなかった可能性が高い。

一方、本地点から東へ数kmに位置する段関地点では、徳島県(1999、2000)及び森野・他(2001)によって3400年前以降に4回の活動が推定されている。両地点は同じ鳴門南断層上で近接しているため、それぞれの地点で異なる履歴を記録しているとは考えにくい。阿波大谷トレンチでみられる堆積間隙中に段関地点では2回のイベントが識別されている。これらは現時点では不調和であるが、阿波大谷地区の履歴が不完全であるか、両者が異なる履歴を示すのか、あるいは段関地点ではイベントを読み過ぎているのかを1200~3200年前頃の地層と断層の関係をもとに、さらに検討する必要がある。

阿波大谷地区では、堤・後藤(2006)により最新活動に伴うとみられる地震時変位量が1.9~2.8mと推定されている。本調査によるトレンチ壁面に露出した変形帯の幅、ドローンレーザー測量による0.1mDEMを用いた変位量の再計測を実施した結果、最良推定値として2.8mと判断した。1.9mの変位量は、推定断層位置の直近で計測されたものであるが、トレンチでみられる最新活動に伴い明瞭な剪断を伴う断層面は露出していない。最新活動では南側低下の幅広い撓曲変形が生じており、恐らく横ずれ成分を伴っている。よって、断層直交方向の変形帯の幅を考慮して、2.8mの水路の横ずれ量を最新活動に伴う地震時変位量と判断した。さらに古いイベントの地震時変位量は復元できていないが、堤・後藤(2006)では7m前後の累積変位量が報告されている。それらの変位基準は、段丘面と沖積面を境とする浸食崖である。正確な形成年代は現時点では不明であるものの、段丘面上には森崎貝塚が載る。貝塚は、古く見積もっても約6300年前以降のいわゆる縄文海進以降に形成されたと考えられるため、7m前後の横ずれ地形もそれ以降の累積変位と推定される。今後、さらに正確な段丘面の年代を明らかにし、イベント発生年代と比較することによって、変位履歴を間接的に復元できる可能性が高い。

今後、イベント毎の横ずれ量についても複数回復元し、より精緻な変位履歴を明らかにする必要がある。上下変位成分では現時点でわずかな累積しかみられないが、主成分である横ずれ変位はさらに大きいと期待される。この間に、上記の堆積間隙中に横ずれイベントが見落とされているかどうかは、横ずれ量の相違や累積性によっても検討できる可能性もある。引き続き、近傍で再掘削やGPR探査等

を実施し、複数回の横ずれ量復元を目指す。

なお、本研究は文部科学省委託事業「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」の一部として実施した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所,2020,主要活断層帯から生じる連動型地震の発生予測に向けた活断層調査研究,平成29～令和元年度成果報告書,333

文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所,2021,連動型地震の発生予測のための活断層調査研究,令和2年度成果報告書,91

・学会・シンポジウム等での発表

Kondo, H., H. Kurosawa, H. Kimura, H. Goto,2021,Preliminary results of 3D trench survey on the Naruto Minami fault, the Median Tectonic Line active fault system, southwest Japan,AGU Fall Meeting 2021,T45D-0257

Kimura,H., H. Kondo, M. Yamamoto, K. Koshika and H. Kurosawa,2021,Shallow subsurface structure of the Naruto fault, the Median Tectonic Line active fault system, southwest Japan, revealed by S-wave seismic reflection profiling,AGU Fall Meeting 2021,T45D-0259

奥村晃史・P. Prakash, 近藤久雄, 山中 蛍, S.N. Sapkota,2021,ネパール中部バグマティ川近傍でのヒマラヤ前縁断層活動履歴調査,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG40-05

竿本英貴, 近藤久雄,2021,有限要素解析による諏訪湖周辺断層面の傾斜角に関するパラメトリックスタディー,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS10-P07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、主に中央構造線断層帯を対象として地震時変位量を復元する調査、調査手法の改良を実施する。それらの地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動／非連動イベントを判別し、セグメント境界毎の連動性評価をおこなう。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

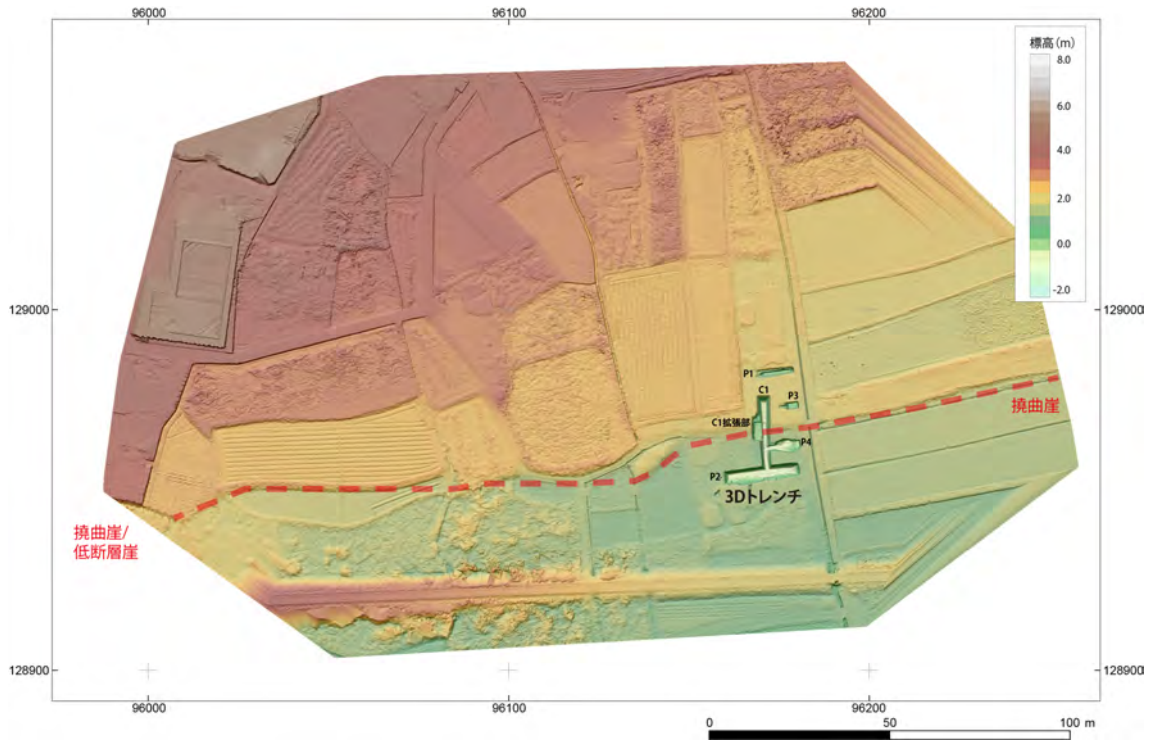
e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：近藤久雄

所属：産業技術総合研究所活断層・火山研究部門



中央構造線断層帯・鳴門南断層の阿波大谷地区における3Dトレンチ調査位置
 基図はドローンLiDARによる0.1mDEM. 南へ傾斜する扇状地性段丘面が東西に延びる鳴門南断層（赤破線）
 によって撓曲変形・切断されている.

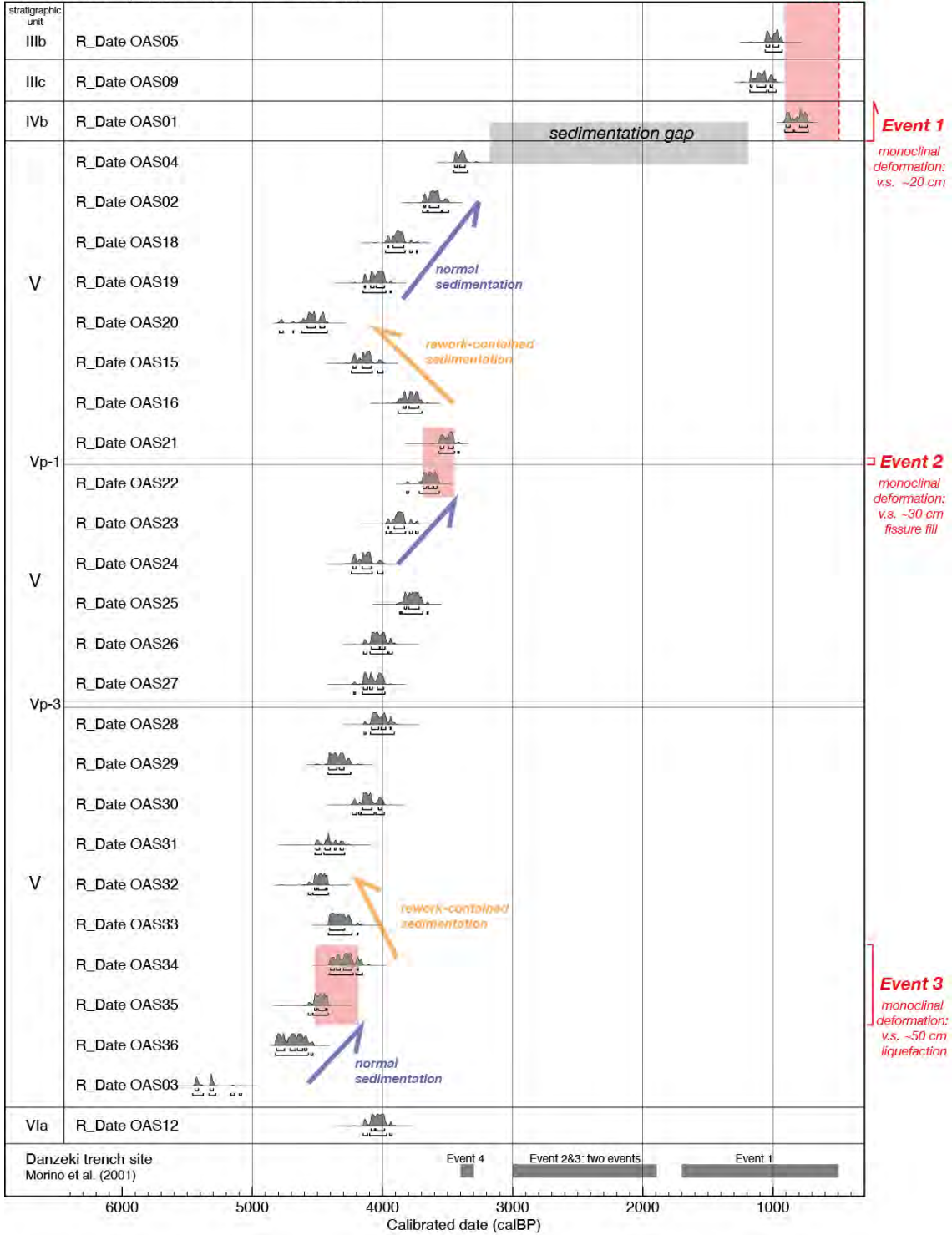


図2 阿波大谷地区における古地震イベント発生年代の再検討結果
 層序と堆積過程, OxCal 4.4 (Ramsey, 2021) を用いて再検討した結果, 過去3回のイベント発生時期がより正確に推定された。

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地質調査に基づく火山活動履歴の解明と年代測定手法の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
- ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
- ア. 火山噴火の長期活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
- オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動の評価と予測の基礎となるデータとして、日本列島の活動的火山の噴火履歴調査を実施し、形成史や噴火履歴を明らかにした火山地質図の整備を推進する。火山に関する基礎データの収集と整理を行い、日本の火山データベースとして維持更新する。また活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、効率的かつ高精度で若い火山噴出物の年代が測定できる手法を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

将来噴火の可能性の高い活火山の中長期評価と予測のため、火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な活火山（50火山）で重点的に火山の形成史・噴火履歴を明らかにした地質図の整備を行う。このうち恵山、御嶽山、日光白根山、雌阿寒岳、秋田焼山、伊豆大島などでは、噴火履歴調査に基づいて数万～数十万年に達する火山体の形成史を明らかにし、あわせて定量的な噴出物量、化学分析、年代測定等の基礎データを取得し、歴史記録を含めた火山全体の活動履歴を明示した火山地質図として整備する。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、10万年前より若い火山噴出物を効率的かつ高精度で測定できる年代測定手法の開発を行う。

日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理し、これらを日本の火山データベースとして引き続き整備し公開する。このうち20万分の1スケールでの全国火山図を作成し、火山の形成区分毎に噴出物範囲、噴火年代、噴出量、マグマ化学組成等の科学データを取り入れる。これらの整備により、国土の基礎情報として関係諸機関の利用に供すると共に、火山活動の噴火推移予測に貢献する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のため、火山の地質図作成を進め、恵山火山地質図を出版し、日光白根火山の地質図及び原稿をまとめた。伊豆大島では海陸をつなぐ沿岸部水深400m程度までの範囲で精密海底地形地質調査を実施した。雌阿寒岳、秋田焼山、御嶽山では地表踏査による噴火履歴調査を継続した。大規模火砕流分布図シリーズとして「始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図」をWeb公開した(図1)。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、白山火山及び御嶽火山の岩石試料を対象としたK-Ar及びAr/Ar年代測定を実施し、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした。

日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理するため、日本の火山データベースに桜島と富士山の完新世噴火イベントのデータを公開すると共に、20万分の1日本火山図を更新・拡充した。福岡ノ場からの漂流軽石及び阿蘇火山噴火の緊急調査を実施して、データベースへのアクセス数が100万ヒットを記録した(図2)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山の地質図作成にあたっては、有史時代の活動も含めた完新世の噴火活動史を重視しており、防災対策に資することで目的達成に貢献するものである。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Yamamoto T., Nakano S., Ishizuka Y., 2021, Temporal variations of eruption rate and magma composition at Fuji Volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 73, 169, doi:10.1186/s40623-021-01505-1

Minami Y., Matsumoto K., Geshi N., Shinohara H., 2022, Influence of hydrothermal recharge on the evolution of eruption styles and hazards during the 2018-2019 activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 74, 21, doi:10.1186/s40623-022-01580-y

Cole, R.P., White, J.D.L., Dürig, T., Büttner, R., Zimanowski, B., Bowman, M.H., Conway, C.E., Leonard, G.S., Pure, L.R., Townsend, D.B., 2021, Controls on andesitic glaciovolcanism at ice-capped volcanoes from field and experimental studies, *Geology*, 49, 1069-1073, doi:10.1130/G48735.1

南裕介, 中川光弘, 佐藤鋭一, 和田恵治, 石塚吉浩, 2021, 雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去1000年間の火山活動史, *火山*, 66, 211-227, doi:10.18940/kazan.66.3_211

草野有紀・及川輝樹・石塚吉浩, 2021, 日光白根火山1649年噴火の復元, *火山*, 66, 327-346, doi:10.18940/kazan.66.4.327

藤原寛・山崎誠子・永塚弘樹, 2021, SPTを用いた重液分離の一例：K-Ar年代測定のための火山岩石試料の分離, *地質学雑誌*, 127, 727-732, doi:10.5575/geosoc.2021.0032

宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫・川邊禎久・中野俊・星住英夫・石塚吉浩・工藤崇・及川輝樹・古川竜太, 2021, 産総研地質調査総合センターの火山データベース, *Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics (福岡大学)*, 2021-1, 97-103, ISSN:2189-5163

・学会・シンポジウム等での発表

三浦大助・古川竜太・荒井健一, 2021, 恵山火山地質図, 日本火山学会秋季大会, P1-13

及川輝樹, 2021, 海底火山噴火と漂流軽石による問題, 第14回 マリンハザード研究会

山崎誠子・及川輝樹・Miggins, D., Koppers, A., 2021, 新期御嶽火山溶岩の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定, 日本火山学会秋季大会, P2-14

Conway, C., Harigane Y., Geshi N., Saito G., 2021, Collection and integration of crystal orientation and composition data for diffusion chronometry studies, 日本火山学会秋季大会, P1-06

及川輝樹・柳澤宏彰・池上郁彦・石塚治・水落裕樹・東宮昭彦・森田雅明・中野俊・川口亮平・中村政道, 2021, 小笠原諸島、福岡ノ場における2021年8月の噴火, 日本火山学会秋季大会, P1-34

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地質：地質試料・岩石サンプリング：日本の火山データベース

概要：日本の第四紀火山の地質に関するデータをまとめたデータ群

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：日本全国

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://gbank.gsj.jp/volcano/index.htm>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

活火山の形成史・噴火履歴を明示した地質図整備では、日光白根山の火山地質図を出版する。秋田焼山火山の地質図をとりまとめる。伊豆大島火山で沿岸域を重点化した海陸両面での調査を実施する。雌阿寒岳、御嶽山の各火山で引き続き調査研究を実施する。活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、ガラス質火山噴出物についての Ar/Ar 年代測定手法の開発を進め、K-Ar 及び Ar/Ar 年代データの比較研究を実施する。大規模火砕流分布図の作成を継続する。

日本の火山データベースでは、完新世の噴火イベントに関するデータ更新を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所地質調査総合センター

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学,北海道教育大学,秋田大学,信州大学,大阪府立大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

電話：

e-mail：

URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/actvolcano-rg1/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：古川竜太

所属：活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

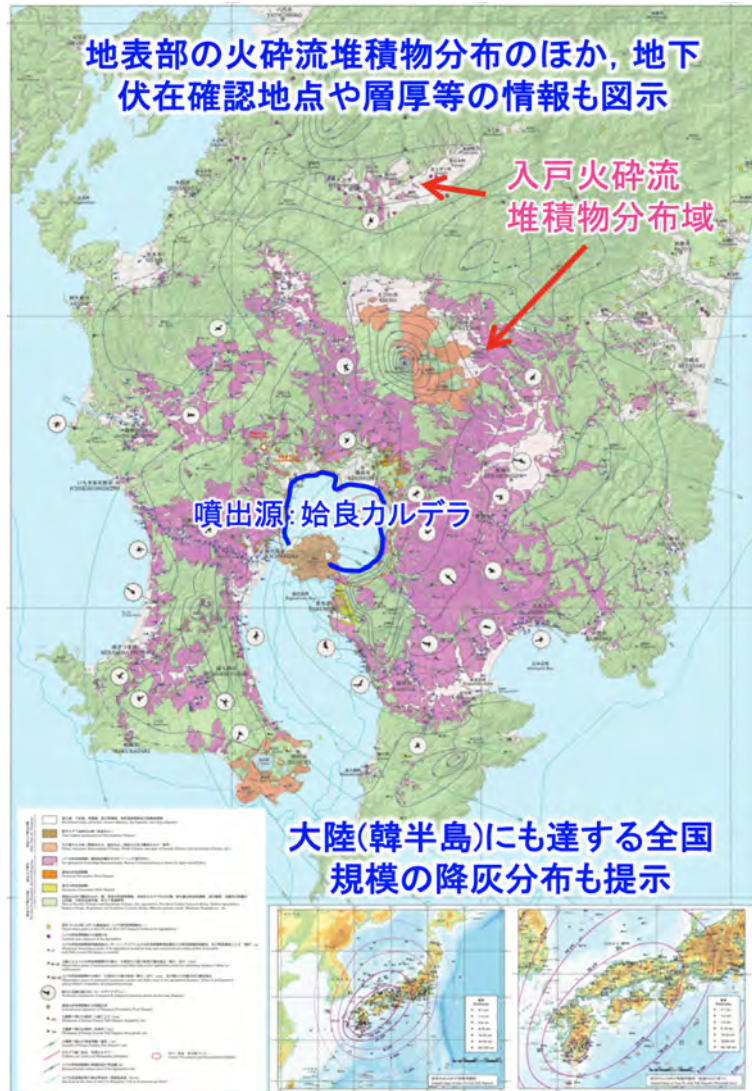


図1. 始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図（250,000分の1）
 大規模火砕流分布図シリーズ第1号としてWeb公開した。地下の火砕流堆積物及び付随する降下火砕堆積物についても情報をまとめている。

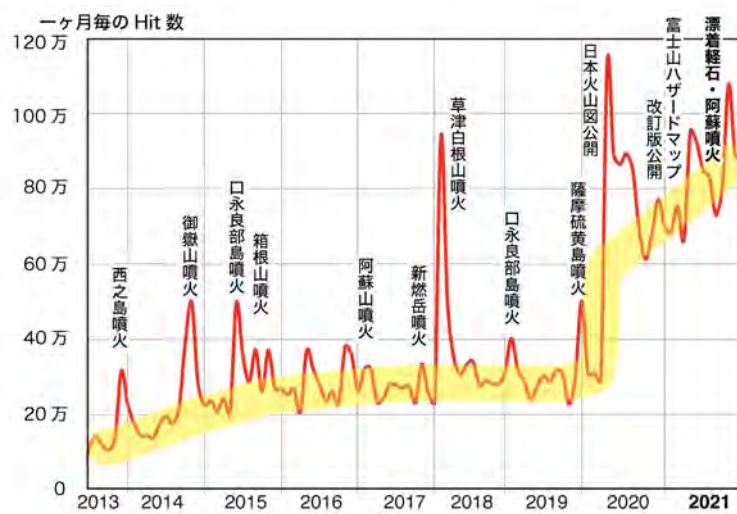


図2. 日本の火山データベースのヒット数（月毎）

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波浸水履歴情報の整備

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
- ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

産業技術総合研究所が実施した津波堆積物調査の地点および論文公表した地質柱状図のデータについて、最新の情報を迅速に公開できるよう整備する。また地質情報に基づいた津波浸水計算結果について、表示できる地域を増やしていく。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地質情報については、おもに調査が進められている南海トラフ沿いを中心に、論文公表したデータから随時公開していく。また津波浸水計算結果については、おもに千島-日本海溝沿いの沿岸低地について整備を進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

津波浸水履歴情報のコンテンツ整備のため、千島海溝沿いの波源に関連して、基礎データの収集を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

日本海溝南部の波源に関するコンテンツ整備と千島海溝沿いの波源に関する基礎データの収集を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門海溝型地震履歴研究グループ
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ
電話：029-861-3691
e-mail：
URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/index.html>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宍倉正展
所属：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ 電話

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動についての三次元モデルの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

内陸断層の深部，脆性-塑性遷移付近における，応力・歪といった変形の不均質を削剥断層（三重県中央構造線）の地質調査により，断層内部構造形成・発展・力学挙動の物理過程を岩石変形実験により明らかにする．両者の成果を統合し数値計算により，断層深部の変形不均質が断層挙動に及ぼす影響を明らかにする．またこれらの成果に基づき，断層深部に関わる各種観測情報が断層挙動に対し持つ意味を検討する．

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019-2021年度：(1) 断層の走向方向の，変形条件・変形機構，運動像の三次元分布の解明．三次元地質モデル構築．(2) 岩石変形実験による構造形成と発展（転位蓄積・動的再結晶・微小空洞形成）と粘弾性を考慮した力学挙動の解析．

2022-2023年度：地質調査結果，岩石変形実験の知見の統合と，それらに基づく数値計算の枠組み構築．

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

内陸断層の深部、断層深部における地震発生と塑性流動の関わりを明らかにするため、三重県中央構造線の地質調査、地質調査に対応した岩石変形の解明のための実験を行っている。令和元年度に断層走向沿い東西方向1 kmの範囲の調査により、塑性変形条件下での200 MPaを超える高差応力領域の空間分布を明らかにしたが、令和3年度はこの成果を公表した(Katori et al. 2021)。また、Katori et al. (2021)で明らかになった高差応力領域について、4 km西方までの広がりを明らかにした。さらに石英の動的再結晶微細構造に混合ガウスモデルに基づくクラスタリングを用いる歪量の尺度について実用の目途がついた。一方、岩石変形実験に向けた、Na端成分斜長石の焼結方法の確立と粒成長について、論文の準備を進めている。

上記計画に比べると、「三次元地質モデル構築」については若干の遅れが見られる一方、岩石変形については技術的難易度が高く、想定以上の時間を要している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Takuma Katori, Norio Shigematsu, Jun Kameda, Ayumu Miyakawa, Risa Matsumura, 2021, 3D fault-zone architecture across the brittle-plastic transition along the Median Tectonic Line, SW Japan: Fault-rock characterization, Journal of Structural Geology, Elsevier Ltd., 153, 104446, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104446>

・学会・シンポジウム等での発表

重松紀生, 木戸正紀・周游・日向秀樹・吉澤友一, 2021, 曹長石の極端に遅い粒成長, 日本地質学会 128 年学術大会, R12 P-5

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度までにKatori et al. (2021) を含む走向沿い4 kmの高差応力領域の空間分布を明らかにした。令和4年度はさらに5 km東に調査範囲を広げ、合計約9 kmの範囲の調査を完了させる。この際、石英の動的再結晶微細構造に混合ガウスモデルに基づくクラスターリングを用いる変形量の尺度を適用、調査範囲の応力、歪の不均質について検討を行う。また断層の運動方向、調査範囲内での標高差を考慮し、高差応力領域の空間的広がりについての検討を行う。一方、岩石変形実験については、産総研ガス圧式岩石変形装置の高温化対応、これまで成功しているNa端成分斜長石の焼結方法の粗粒化方法の確立を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門地震テクトニクス研究グループ, 産業技術総合研究所 地質情報研究部門地球物理研究グループ, 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門大規模噴火研究グループ

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：部署等名 活断層・火山研究部門

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：重松紀生

所属：活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

マグマ噴火を繰り返す火山において、噴火発生や活動推移に伴う火山ガス放出量・組成の特徴と時間変化を把握することにより、火山ガス供給過程の変化の視点からの噴火発生や活動推移のモデル化を行う。地殻へのマグマの貫入や火山ガスの供給による火山体浅部の熱水系の応答について、熱水系シミュレーションにより定量化する手法を、伊豆大島など活動的な火山に適用する。熱水系の卓越する火山において、熱水系の構造及び火山ガス供給系を明らかにし、水蒸気爆発発生に関与する熱水系の実体をモデル化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

桜島、阿蘇、諏訪之瀬島などマグマ噴火を繰り返す火山において、Multi-GASによる火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し、火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し、火山ガス供給過程のモデル化を行う。伊豆大島において、火山性流体の上昇過程を的確に捉えるため、地中温度の連続観測を開始し、自然電位の連続観測網を拡充する。透水性が悪いため熱水系の流動を規制する変質帯に着目し、その分布を明確にするため、阿蘇、霧島、伊豆大島等の火山において自然電位と電磁探査法を用いた比抵抗調査を行い熱水系のモデル化を進める。雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻山、箱根、弥陀ヶ原、霧島硫黄山などにおいて火山ガスの繰り返し観測を実施し、火山ガス組成変化を把握し、噴気活動変化の評価を行うとともに、その要因となる熱水系のモデル化を進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

阿蘇山においてMulti-GASを用いた火山ガス組成の連続観測を実施した。桜島でセスナ機を用いたMulti-GASの火山ガス組成繰り返し観測を実施した。福岡岡ノ場2021年噴火の二酸化硫黄放出率の時系列変化を衛星データにより明らかにした。二酸化硫黄放出率の定量技術について現在の知見を整理し、将来的な解析手法の高度化について議論と方向性の提唱を行った。

伊豆大島において自然電位の連続観測を継続し、静穏期における自然電位データの蓄積を進めた。

合わせて、伊豆大島において電磁探査法を用いた比抵抗調査を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火道内過程のモデル化に不可欠な地球化学的観測データを提供した。また、熱水系の構造の解明のために自然電位および比抵抗調査を実施した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

風早竜之介,2021,マグマの情報をもたらすSO₂放出量—火山ガス測定技術の現在とその課題—,火山,66,347-368

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

Multi-GASを用いた火山ガス組成連続観測におけるセンサーの感度変化を補正する方法を確立するため、草津白根山において、センサーの現地校正システムを用いた試験観測を実施する。火山ガス組成・放出率の繰り返し観測を実施し、火山ガス供給過程のモデル化を進める。

伊豆大島において自然電位の連続観測を継続するとともに、今年度取得した比抵抗調査データを解析し、自然電位発生に係る比抵抗構造の影響を評価する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無：有

大湊隆雄, 他数名（東京大学地震研究所）,井口正人, 他数名（京都大学防災研究所）,大倉敬宏, 他数名（京都大学理学部）,田中良, 他数名（北海道大学大学院理学研究院）,森俊哉, 他数名（東京大学大学院理学系研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門マグマ活動研究グループ

電話：

e-mail：

URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/group/magma/index.html>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森田雅明

所属：活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

将来発生する地震の最大規模や発生様式の評価を行うため、可能な限り小さな地震まで解析し、高い空間分解能を有する日本列島の地殻応力マップを整備する。様々なデータから地殻応力の不均一の成因を明らかにするとともに、応力場の地域性を考慮し、数値シミュレーションも併用した最大規模評価や活動性評価手法を提案する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度～平成32年度：Hi-netの整備以後蓄積されている定常観測網のデータ解析により、陸域においてはマグニチュード（M）1クラスまで、海域においてはM2クラスまでの地震の発震機構解を推定し、高分解能地殻応力マップを作成する。

平成33年度～平成35年度：断層への応力载荷、歪み場、3次元地殻構造、地質構造、絶対応力や断層強度の指標になり得るb値や応力降下量等を総合的に考察した上で、地殻応力の不均一の成因を明らかにする。その考察をもとに地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を明らかにし、数値シミュレーションを併用した最大規模評価や活動性評価手法を提案する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、大量の微小地震を用いて日本全国の地殻内応力マップを作成した。昨年度開発した、深層学習によるP波初動極性の自動検出システム(Uchide, 2020)と震源メカニズム解決定プログラムHASH (Hardebeck and Shearer, 2002)を用いて、日本全国の内陸部及び沿岸海域（海岸線から50km以内）の下で20 kmより浅い場所で発生した微小地震の震源メカニズム解を決定した。解析した66万件のうち21.6万件ほどの微小地震について、震源メカニズム解が良好に求まった。これらの震

源メカニズム解を用いて、応力インバージョンを実施した。手法は主にHardebeck and Michael (2006)に倣い、線形化したインバージョンを行った。空間スムージングの強度は、Akaike's Bayesian Information Criterion (ABIC) を最小化するように決定するように改めた。線形インバージョンの誤差に基づいて見積もった水平主圧縮軸方位の誤差が15度未満となる部分のみを結果として採用した。その結果、大局的な東西圧縮に加えて、地域的な応力場の傾向、局所的な応力方位の異常などを見ることが出来る応力マップが出来上がった。布田川断層・日奈久断層、四国地方の中央構造線、糸魚川静岡構造線の南端部、北上高地の西端など、地質境界を境に水平主圧縮軸方位が異なる様子が見られた。地震発生予測や日本のテクトニクス研究の基礎的な情報として活用されることが期待される成果である。

また、地下構造が地殻応力に与える影響を調べるため、中国地域をテストフィールドとして調査した。この地域の水平最大圧縮方位 (SHmax) は山陰地域で時計回りに約20度回転しており、先行研究では下部地殻における非地震性すべりによる応力変化で説明できることが報告されている

(Kawanishi et al., 2009)。山陰地域とその南部の山陽地域は形成年代の異なる花崗岩が分布していることが知られているが、地震波トモグラフィーの結果からも両地域は構造的に区分される傾向が確認できた。ブーゲー異常も両地域で異なっており、山陰地域には密度の高い岩体が分布していることが示唆される。塩田ほか (2002) による3次元密度構造の結果も参照すると、高密度の岩体は山陰地域の地震発生層下部に分布していると予想される。高密度岩体が存在することにより負の浮力が働き、結果として岩体上部に局所的な圧縮力が作り出される。この構造に起因する応力擾乱により、SHmaxの時計回りの回転が引き起こされることが、定性的に説明することができる (Sonder, 1990)。また、地殻変動観測からは、東経132.5度~135度に歪み集中が観測されているが (Nishimura and Takada, 2017)、その直下の下部地殻の地震波速度は特に遅いことがわかった。Kawanishi et al. (2009) が提案する深部すべりは、東経132.5度~135度に集中している可能性がある。実際にこの地域で発生している微小地震のメカニズム解を詳しく見ると、歪み集中域の方が横ずれ型が多く発生しており、この考えに調和的である。

メカニズム解を活用した活動性評価の試みとして、小地震のメカニズム解がプレート境界のすべり欠損により作られる応力場に調和的かどうかを判定し、応力状態の時空間変化を推定する手法を開発した (今西・野田, 日本地球惑星科学連合2021年大会)。この手法をスラブ内地震に適用し、東北地方太平洋沖における応力場の時空間変化を調べた。その結果、3.11前の大すべり域周辺のゆっくりすべりなど、先行研究において報告されている様々な地殻変動と調和的な結果が得られたほか、従来よりも高い時空間分解能で応力場の変化を捉えられることがわかった (今西・野田, 日本地震学会2021年度秋季大会)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
構造共通モデルの構築に関して、日本全国の地殻内応力マップを作成した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

今西和俊・野田朱美, 2021, 内陸応力場の時空間パターン: 発震機構解とプレート間固着を用いた新手法から明らかになった特徴とそのテクトニックな意味, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG50-13

今西和俊・野田朱美, 2021, オフフォルト地震と地殻変動データを用いた新手法による東北沖プレート間固着の詳細な時空間変動の推定, 日本地震学会2021年度秋季大会, S08-08

椎名高裕・内出崇彦・今西和俊, 2021, 中国地方における地震波速度構造の推定と地殻応力マップに対する解釈, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-P07

Uchide, T., & K. Imanishi, 2021, Crustal stress orientations in Japan Islands inferred from focal mechanism solutions of small and microearthquakes, Seismological Society of America Annual Meeting

内出崇彦・椎名高裕・今西和俊, 2021, 深層学習によるP波初動極性の自動検測に基づく発震機構解を用いた地殻応力場の推定, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG52-01

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

全国応力マップをオンラインで公開する。さらに、日本海溝沿いまで応力マップの範囲を拡大することを目指して、海底地震計のデータの処理に着手する。また、スラブ内地震と地殻変動データを用いた応力場の時空間変化推定法を南海トラフに適用し、固着状態の把握を行う。引き続き、系統的な自然地震と活断層を対象とした動的破壊シミュレーションと準動的な地震サイクルシミュレーションの手法の検証を行っていく（課題番号UTS_05との共同研究）。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

今西和俊（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、内出崇彦（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、椎名高裕（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）、浦田優美（産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門）

他機関との共同研究の有無：有

安藤亮輔（東京大学大学院理学系研究科）、大谷真紀子（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今西和俊

所属：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では日本列島の沿岸地域において地形、地質の調査を行い、史料の情報などと併せ、過去に海域で発生した地震の年代とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を明らかにする。得られたデータに基づいて震源・波源のメカニズムを解明する。各地域での目標は以下の通り。

・千島-日本海溝：2011年東北地方太平洋沖地震の破壊領域よりも北および南のプレート境界で発生する巨大地震および津波に関して、履歴を復元し、断層モデルを提案する。

・相模トラフ：房総半島や相模湾沿岸における地震・津波履歴と隆起パターンなどを復元し、関東地震の多様性を評価する。

・南海トラフ：南海トラフから南西諸島にかけての沿岸の各地域において過去に発生した地震の時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明し、地域間の対比から破壊領域を評価する。

・日本海沿岸：歴史地震・津波の記録のある沿岸域を中心に過去に海域で発生した地震の時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

・千島-日本海溝

北海道東部から東北地方にかけての太平洋沿岸において地質調査を実施し、地域ごとに津波浸水域と地殻変動の履歴を復元する。これらのデータに基づいて、17世紀千島のイベントをはじめとした過去の超巨大地震について断層モデルを検討する。

・相模トラフ

房総半島南部沿岸を中心に地形・地質調査を行い、海岸段丘の年代と分布を再評価することで過去

の地震に伴う多様な隆起パターンを復元する。そのデータに基づいて断層モデルを推定し、相模トラフ沿いの地震発生メカニズムを解明する。また史資料の調査から過去の関東地震とその特徴を解明し、履歴を再検討する。

- ・南海トラフ

南海トラフ沿いの東縁にあたる駿河湾沿岸から東海、紀伊半島、四国、さらに九州・南西諸島にかけての各沿岸において、津波堆積物調査、隆起・沈降痕跡調査、史資料調査を実施する。過去の地震の破壊域を評価するため、各地の調査で得られた試料を詳細に分析し、地域間の対比を試みる。

- ・日本海沿岸

おもに歴史地震で津波被害や地変の記録のある地域について、地形・地質学的な調査および史資料調査を実施し、過去の地震による津波浸水域や地殻変動の特徴を明らかにして震源・波源の検討を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

- ・千島-日本海溝

北海道東部の太平洋沿岸において地質調査を実施し、17世紀千島のイベントをはじめとした過去の超巨大地震による津波浸水時の地形復元に関するデータを取得した。

- ・相模トラフ

房総半島南部の海岸段丘の年代を再評価し、過去の関東地震の発生年代と再来間隔にすつて復元した。また伊豆半島東部における元禄地震の津波と地殻変動について検討を行った。

- ・南海トラフ

高知県南国市での津波浸水域復元のための地形・地質調査を実施した。また既存試料の分析を進め、おもに紀伊半島の津波履歴の再検討を行った。

- ・日本海沿岸

おもに青森県西岸の津波履歴および山形・新潟沿岸の隆起履歴の検討をそれぞれ行った。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・千島-日本海溝

北海道東部において、津波堆積物調査および歴史津波の史料調査を行い、17世紀千島の超巨大地震に関する断層モデルの再検討を行う。

- ・相模トラフ

房総半島南部沿岸を中心に地形・地質調査を行い、海岸段丘の年代と分布を再評価する。また元禄地震に関する史料調査を行う。

- ・南海トラフ

紀伊半島、四国、さらに九州・南西諸島にかけての各沿岸において、津波堆積物調査、隆起・沈降痕跡調査、史資料調査を実施する。

- ・日本海沿岸

おもに歴史地震で津波被害や地変の記録のある地域について、地形・地質学的な調査および史資料調査を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ
他機関との共同研究の有無：有
北海道大学,秋田大学,筑波大学,東京大学,法政大学,地域地盤環境研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ
電話：029-861-3691
e-mail：
URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/index.html>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宍倉正展
所属：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

紀伊半島～四国周辺に4点の新規地下水・地殻変動観測施設の整備。南海トラフ沿いの巨大地震想定震源域の深部周辺で発生する短期的ゆっくりすべりの詳細なマッピングの継続。安価かつ高精度な歪観測技術の開発と適用。深部すべりの客観的な検出手法の開発の継続。南海トラフ沿いの巨大地震想定震源域の固着の時間変化の推定。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地下水・地殻変動観測施設（4点）を新規に整備し、整備済みの16観測点と併せ合計20観測点とする。

産総研・防災科研・気象庁との共同研究により構築した観測システムにより、南海トラフの短期的ゆっくりすべりの高精度モニタリングを継続する。短期的ゆっくりすべりの客観的な検出システムの高度化を行う。

既存未利用井戸を活用した安価かつ高精度な歪観測を実現するために、小型・低廉な歪計の開発及び既存井戸への設置・実証観測を行なう。

水準測量データ・潮位データ等を用いて南海トラフ沿いの巨大地震の想定震源域周辺のプレート間固着の時間変化を推定する。

地下水・地殻変動観測による地震の予知・予測研究の日本における成果を台湾での震災軽減に生かすため、国立成功大学との共同研究を継続する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

和歌山県日高郡日高川町における新規地下水・地殻変動観測施設の整備に着手した。産総研と防災科研および気象庁との共同研究に基づき、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり(SSE)を解析するシステムの運用を継続した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

産総研と防災科研および気象庁との共同研究に基づき、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり(SSE)を解析するシステムの運用を継続した。2020年11月～2021年10月の間に短期的SSEの断層モデルを30個決定した。

ひずみデータの正確な原位置キャリブレーションのために、ひずみ計の設置深度を考慮したひずみ計に対する海洋潮汐の影響を計算するためのプログラム`gotic2_mod`を開発した。海岸からの距離と設置深度との比が20以下の場合にひずみ計の設置深度を考慮したグリーン関数が有効であることを示した。また、海洋潮汐による理論ひずみを産総研のポアホールひずみデータと比較し、同プログラムの有効性を示した。

産総研観測井の掘削時に孔内内の透水性を評価するため、電気伝導度検層を実施したが、多くの観測井で、孔壁崩壊の防止を優先したため、孔内水の置換や水頭の低下などの電気伝導度検層の標準的な測定手順が変更される制約があった。このような制約下における測定がデータの品質や解析へ与える影響について、孔内水と地層水の圧力差などの観点から取りまとめた。さらに、今後の測定への対応策や解析における注意点なども整理した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

木口努・今西和俊・松本則夫,2021,岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(2020年11月～2021年4月),地震予知連絡会報,106,330-331

木口努・今西和俊・松本則夫,2022,岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(2021年5月～2021年10月),地震予知連絡会報,107,印刷中

木口努・桑原保人,2021,産総研地下水等総合観測井における透水性評価のための孔内測定手法の適用事例：主に測定時の制約に対応するために,地質調査総合センター研究資料集,726,1-32

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・矢部優,2021,東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2020年11月～2021年4月)(63),地震予知連絡会報,106,323-329

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・矢部優,2022,東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2021年5月～2021年10月)(64),地震予知連絡会報,107,印刷中

北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努,2021,紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2020年11月～2021年4月),地震予知連絡会報,106,440-450

北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努,2022,紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2021年5月～2021年10月),地震予知連絡会報,107,印刷中

Kamigaichi, O., Matsumoto, N., and Hirose, F.,2021,Green's function at depth of borehole observation required for precise estimation of the effect of ocean tidal loading near

coasts,Geophysical Journal International,227,275-286,<https://doi.org/10.1093/gji/ggab216>

北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優,2021,近畿地域の地下水位・歪観測結果(2020年11月～2021年4月),地震予知連絡会報,106,451-454

北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優,2022,近畿地域の地下水位・歪観測結果(2021年5月～2021年10月),地震予知連絡会報,107,印刷中

矢部優・落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦,2021,東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2020年11月～2021年4月）,地震予知連絡会報,106,271-322

矢部優・落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦,2022,東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2021年5月～2021年10月）,地震予知連絡会報,107,印刷中

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

新規地下水・地殻変動観測施設を整備する。南海トラフ巨大地震の予測精度向上のために、既存の施設での高品質な地下水・地殻変動等の観測を継続するとともに、産総研・防災科研・気象庁との共同研究に基づく同地震周辺域での微動・短期的ゆっくりすべりの解析を継続する。歪データ等からの地殻変動シグナルの定量的検出手法の開発を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門
他機関との共同研究の有無：有
防災科学技術研究所,気象庁 地震火山部

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ
電話：029-861-3656
e-mail：tectono-h@aist.go.jp
URL：https://gbank.gsj.jp/wellweb/GSJ/index.shtml

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松本則夫
所属：活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ

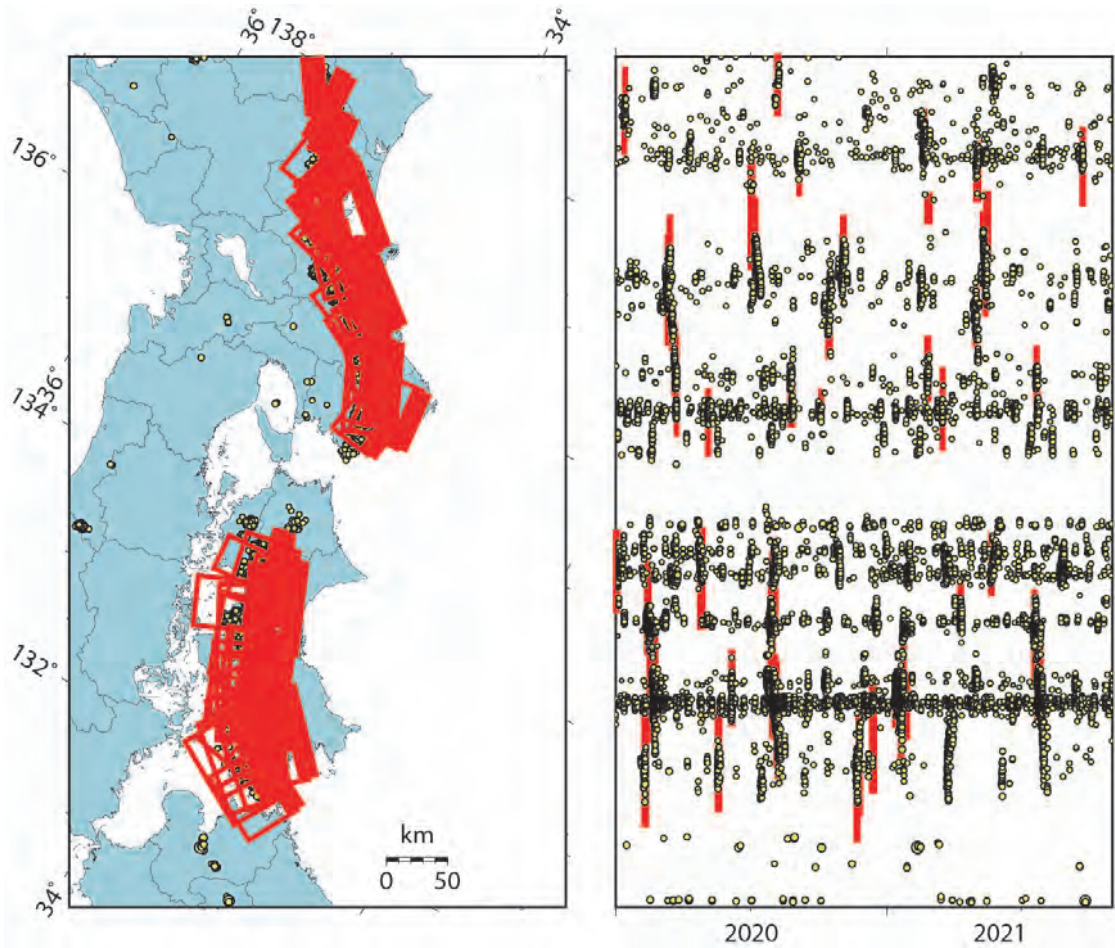


図1 2020年1月～2021年10月に産総研・防災科研・気象庁の歪・地下水・傾斜データにより決定した短期的ゆっくりすべりの断層モデルの位置および時空間分布(2019年11月～2020年10月は30個：矢部・他・2021, 2022)。黄色の丸は同期間の気象庁一元化震源カタログによる深部低周波地震（微動）の震源位置と時空間分布。

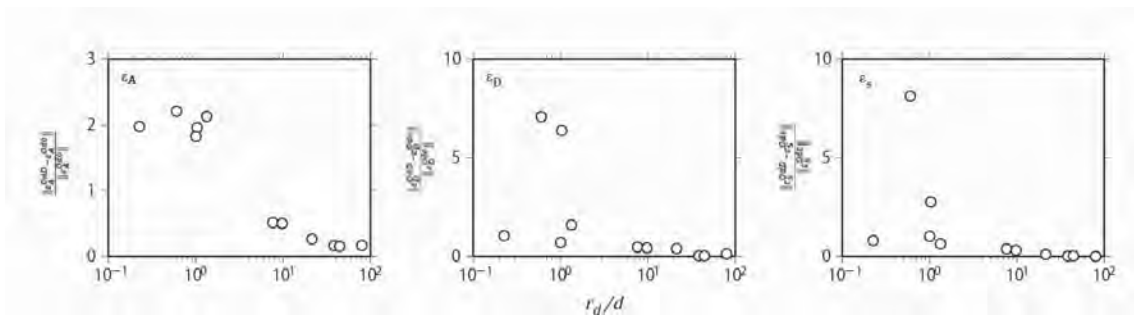


図2 産総研のひずみ計11地点において、面積ひずみ ϵ_A （左）、纯粹せん断ひずみ ϵ_D （中央）、工学せん断ひずみ ϵ_S （右）について、横軸に海岸からの距離と設置深度との比、縦軸に設置深度を考慮した時の海洋潮汐による理論ひずみとそれを考慮しない海洋潮汐による理論ひずみの差（以下、理論ひずみの差と呼ぶ）をノーマライズしたものを示した図。海岸からの距離と設置深度との比が20以下の時に理論ひずみの差が無視できないことを示す(Kamigaichi et al., 2021)。

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

噴出物の物質科学的解析に基づくマグマ供給系-火道システム発達と噴火推移過程のモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大規模火砕噴火の推移予測のため、歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースを整備する。大規模噴火の推移のパターン抽出とそのメカニズムを明らかにするため、大規模火砕噴火の噴出物の岩石学的及び地質学的解析を実施し、マグマ溜まりの物理化学的進化過程、マグマの上昇と火道の形成過程、および噴煙・火砕流等地上における噴出物の挙動に対する解析を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースを整備する。時間分解能の高い歴史記録の残る主に19世紀以降の世界各地の噴火事例を収集したデータベースの作成を実施するとともに、噴出物の地質学的解析から得られる噴火推移情報を収集したデータベースを作成する。また噴出物の保存が良好な桜島・浅間山などで、噴火記録と噴出物の対比・噴出物の岩石学的解析による噴火推移の復元を進める。マグマ溜まりにおけるマグマの蓄積と噴火準備過程の解析のため、噴出物の岩石学的解析によるマグマ溜まり内の温度圧力化学組成等の条件の時間変化の解析を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度に引き続き、歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコン

パイルした火山噴火推移データベースの整備作業を継続した。また噴出物の保存が良好な桜島・霧島山で、噴火記録と噴出物の対比・噴出物の岩石学的解析による噴火推移の復元を進めた。とくに、ブルカノ式噴火発生メカニズムの解明のために、霧島新燃岳における2011年噴火・2018年噴火の近傍堆積物の層序および組織の解析を行った。火山噴出物の顕微鏡画像等を噴火タイプごとに比較検討可能な「火山灰データベース」を作成し、1000件以上の火山灰試料のデータを収録し、年度末公開予定とした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Minami, Y., Matsumoto, K., Geshi, N. et al.,2022,Influence of hydrothermal recharge on the evolution of eruption styles and hazards during the 2018–2019 activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan.,Earth Planets Space,74,21,doi.org/10.1186/s40623-022-01580-y

Matsumoto, K., Geshi, N. Shallow crystallization of eruptive magma inferred from volcanic ash microtextures: a case study of the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan.,2021,Shallow crystallization of eruptive magma inferred from volcanic ash microtextures: a case study of the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan.,Bull Volcanol,83,31,doi.org/10.1007/s00445-021-01451-6

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースの整備を進める。時間分解能の高い歴史記録の残る主に19世紀以降の世界各地の噴火事例を収集したデータベースの作成を実施するとともに、噴出物の地質学的解析から得られる噴火推移情報を収集したデータベースを作成する。噴出物の構成粒子の画像データ等を収録した火山灰データベースの整備とデータの収集を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門
電話：
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：下司信夫
所属：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

アジア太平洋地域の地震火山ハザード情報整備、国際標準化、データ共有・相互利用、国際的な連携の推進を目的として、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山活動に関連する地質ハザード情報を取りまとめる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019-23年度は、インドネシア、フィリピン、パプアニューギニア、タイ、中国、韓国、シンガポール等のCCOP(東・東南アジア地球科学計画調整委員会)を始めとする、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山総合データベースとして、地震・活断層・津波・火山関連のデータの整備・更新を行う。また、CCOPで進めている地質情報総合共有プロジェクトとの連携を図り、各国の地震火山の地質情報の国際的な共有化を進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

産総研地質調査総合センターでは、CCOPを始めとするアジア太平洋地域の研究機関と協力し、地震火山災害の軽減を目指し、各種地震火山関連情報の整備を進めている。本年度は、大規模噴火の前駆

活動と噴火推移について、これまでに、新たに白頭山10世紀噴火、三瓶-木次、ウルルン-隠岐、箱根-東京、御嶽第1、阿蘇3の火山噴火を取りまとめた。また、屈斜路、三瓶、鬼界、十和田、鬱陵島、白頭山の大规模噴火の前駆活動と噴火推移の研究成果を地質調査総合センター研究資料集no.728として取りまとめた。また、大规模噴火データベースの閲覧検索システムの構築を進めた(図1)。大规模火砕流とそれに伴う降下火山灰の影響範囲を取りまとめた大规模火砕流分布図シリーズの作成を開始した(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220125_2/pr20220125_2.html)。今年、入戸火砕流堆積物と始良Tn火山灰の分布についてとりまとめ、噴出量が従来の推定値の1.5倍にあたる800~900 km³であったことが明らかとなった(図2)。20万分の1日本火山図(<https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/volcano20/volcano.html>)については、八丈島、八幡岳火山の更新を行うとともに、伊豆大島、男体山、皇海山、九州北部の火山の改訂を行った(図3)。1万年噴火イベントデータ集(<https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/>)については、新たに富士山の162噴火イベント、桜島の69噴火イベントデータを追加し、全国のすべての活火山データが掲載された(図4)。アジア太平洋地域地質ハザード情報システムについては、世界の震源域のデータやアジア地域の降下テフラデータを、世界の地質調査機関が共同で作成しているOneGeologyのポータルサイト(<http://portal.onegeology.org/>)上でも閲覧検索ができるようにした(図5)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

研究基盤の開発・整備の地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開において、地質調査総合センターの大规模噴火データベース、20万分の1日本火山図、1万年噴火イベント集等のデータベースの構築、公開を進めている。また、データの利活用のため、大规模火砕流分布図の整備、アジア太平洋地域地質ハザード情報システムの構築、国際的なOneGeologyプロジェクトへの貢献を行っている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

宝田晋治・西原 歩・星住英夫・山崎 雅・金田泰明・下司信夫,2022,始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図,大规模火砕流分布図,産総研地質調査総合センター,1,1-32

金田泰明・宝田晋治・下司信夫,2021,屈斜路・三瓶・鬼界・十和田・鬱陵島・白頭山火山の大规模噴火の前駆活動と噴火推移,地質調査総合センター研究資料集,728,1-100

宝田晋治・J. Bandibas,2021,東・東南アジアの地質情報総合データベースの構築-CCOP地質情報総合共有プロジェクト,号外地球,70,108-113

宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫,2021,大规模噴火・火山灰データベースの構築,Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics,2020-2,66-70

・学会・シンポジウム等での発表

宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・西野佑紀・下司信夫,2021,大规模噴火の噴火推移・前駆活動と大规模噴火データベースの構築,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC27-P08

宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫・川邊禎久・中野 俊・星住英夫・石塚吉浩・工藤 崇・及川輝樹・古川竜太,2021,産総研地質調査総合センターの火山データベース,日本第四紀学会遠隔シンポジウム,QRS3-01

宝田晋治・西原 歩・星住英夫・山崎 雅・金田泰明・下司信夫,2021,始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図,日本火山学会2021年度秋季大会,B2-07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

令和4年度も引き続きCCOPを始めとするアジア太平洋地域の研究機関と協力し、地震火山災害の軽減を目指し、各種地震火山関連情報の整備を進める計画である。VEI-5-6クラスの国内外の大规模噴火の前駆活動や噴火推移を取りまとめると共に、大规模噴火データベースの更新を進める。支笏火砕流堆積物及び阿蘇4火砕流堆積物、阿蘇3火砕流堆積物の分布図の作成を行う。20万分の1日本火山図の更新を進め、降下テフラやカルデラ地形のGIS化を進める。さらに、アジア太平洋地域地質ハザード情報

システムのデータ更新を進め、アジア太平洋地域の総合的なデータ閲覧検索システムを発展させる予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 地質調査総合センター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：産総研地質調査総合センター
電話：
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宝田晋治
所属：活断層火山研究部門

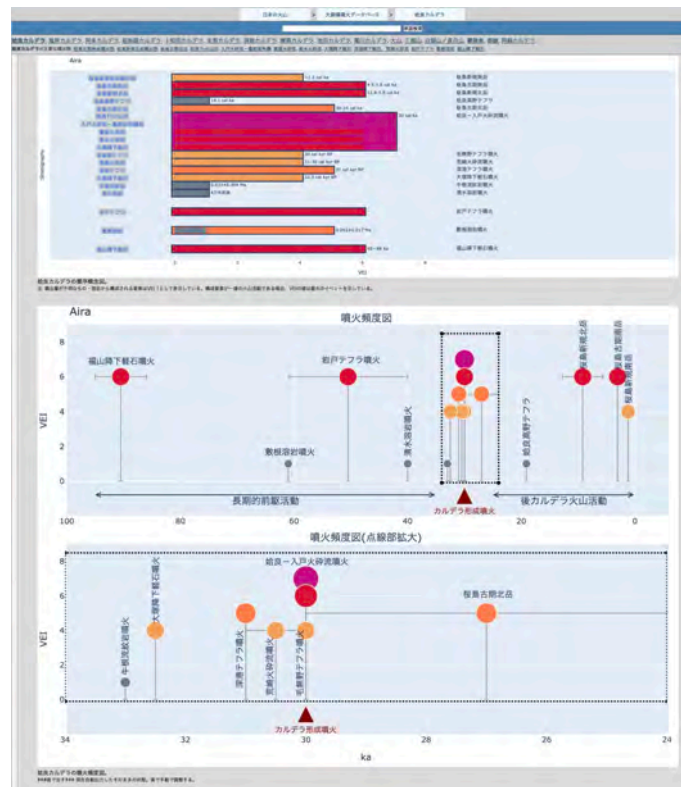


図1. 開発中の大規模噴火データベース

始良カルデラの例。層序概念図と噴火頻度図を示す。データベースでは、各噴火の大規模噴火の前駆活動や噴火推移の閲覧検索が可能。

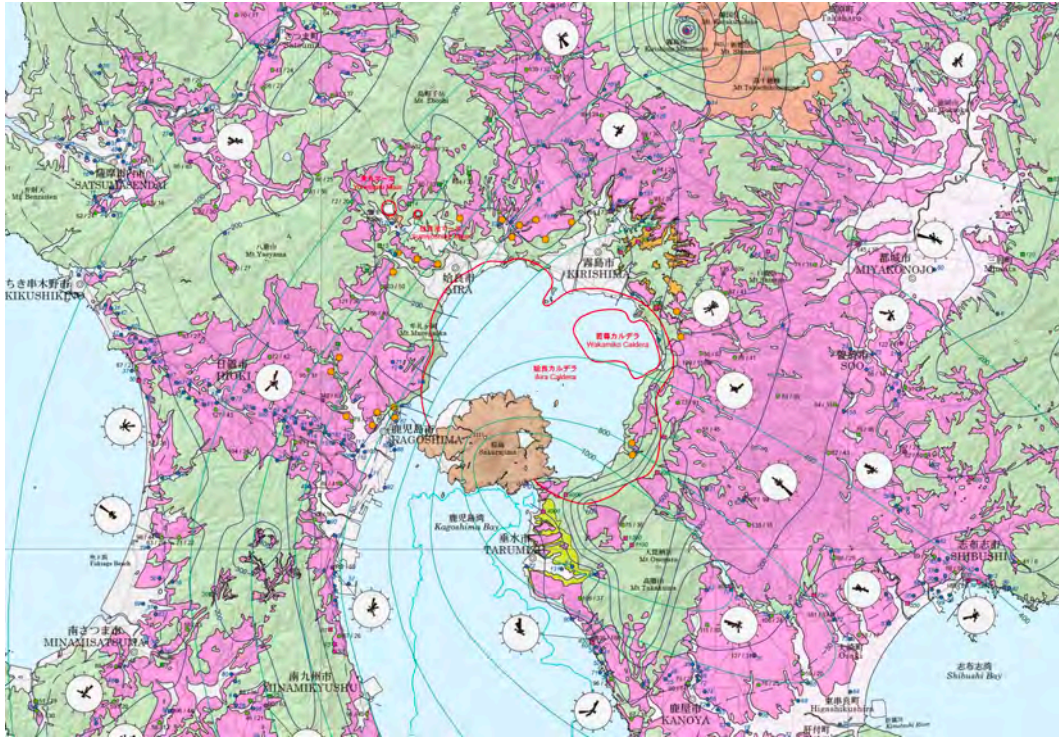


図2. 入戸火砕流分布図

2022年1月に出版した大規模火砕流分布図シリーズの入戸火砕流堆積物分布図の一部。

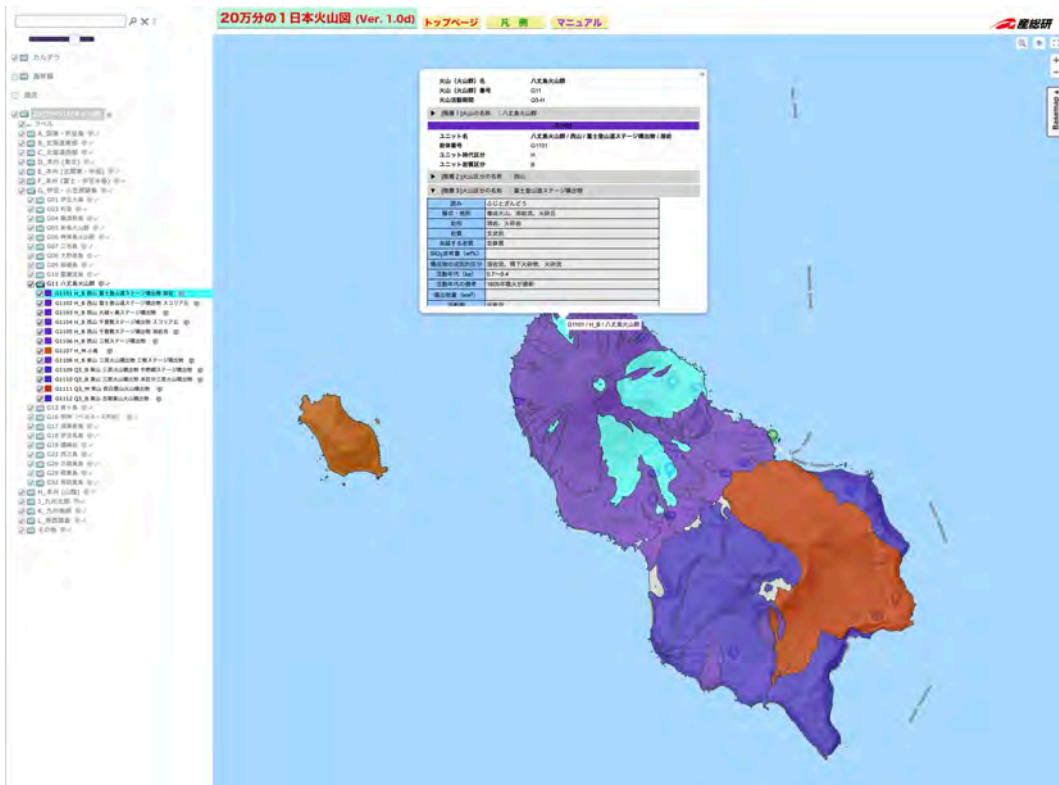


図3. 20万分の1日本火山図の閲覧検索サイト。

2021年5月に全面的に更新した八丈島火山、国内の第四紀火山噴出物の分布や詳細情報を表示検索できる。

日本の火山 > 富士山 > 1万年噴火イベントデータ集 > 富士山

噴火イベントの概要表示

富士山

火山名	富士山		ふじさん(Fujisan)	
火山ID	053			
地域名	関東・中部	都道府県名	山梨/静岡	
標高	3775 m (剣ヶ峰山頂)	緯度経度 (世界測地系)	35°21'39"N 138°43'39"E	
		緯度経度 (日本測地系)	35°21'27"N 138°43'50"E	
火山の型式	成層火山	主な岩石	玄武岩	
噴火イベント概要	本データ集では、最新の知見としてまとめられた歴史記録と噴火堆積物の研究を基に記述した。すなわち歴史記録は小山 (2007)、噴火堆積物のうち溶岩流と火砕流堆積物は富士山火山地質図 (第2版) (高田ほか、2016)、降下火砕堆積物は山元ほか (2020) に従った。小山 (2007) の9世以降の歴史記録と、地層として残る噴火堆積物の対比は十分とは言えないが、富士山火山地質図 (第2版) を中心とした最近の研究により噴火活動史の詳細が明らかになってきたと言えよう。ただし、堆積物が残されている噴火についてはほぼ網羅できていると考えられるが、小規模噴火や山体内に埋没している溶岩流のみの噴火については網羅できていない可能性が高い。なお、富士山は噴火イベント数が多く、古い時代ほど噴火イベントの認定が困難となるため、本データ集では最新の活動期である須走期 (高田ほか、2016) の7300年前以降の噴火イベントに絞って収録した。			

噴火イベントIDをクリックするとイベントの詳細が表示されます (ka=1000年前、西暦2000年を0kaとする)

噴火イベントID	噴火イベント名	年代 (ka)	年代 (西暦)	噴火様式	堆積物の種類	噴火MVE	
053-0010	宝永 (1707年) 噴火	0.293	1707	マグマ噴火	降下火砕物	5.26 5	
053-0029	1511年噴火	0.489	1511	?	?	? ?	
053-0030	1435 or 1436年噴火	0.565 or 0.564	1435 or 1436	?	?	? ?	
053-0040	御山御内御岩流噴火	0.565	0.854	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	1.82 -	
053-0050	1083年噴火	0.917	1083	?	?	? ?	
053-0060	1033年噴火	0.967	1033	マグマ噴火	溶岩流	? ?	
053-0070	須走口馬場7層噴出物噴火	1.011	0.881	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.4 3	
053-0080	999年噴火	1.001	999	?	?	? ?	
053-0090	三島山神社岩流噴火	1.004	0.978	マグマ噴火	溶岩流	2 -	
053-0100	龍丸尾第二層噴出物噴火	0.972	0.843	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.65 3	
053-0110	谷戸噴出物噴火	1.032	0.977	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	2.68 2	
053-0120	龍丸尾第一層噴出物噴火	0.949	0.972	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	4.3 3	
053-0130	不動次噴出物噴火	0.949	0.972	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.63 3	
053-0140	大淵尾噴出物噴火	1.12	1.064	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.48 3	
053-0150	龍丸尾直岩岩流噴火	1.196	0.881	マグマ噴火	溶岩流	3.63 -	
053-0160	須平 (937年) 噴火	1.063	937	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	4.11 3	
053-0170	須走口馬場の噴出物噴火	1.182	0.881	マグマ噴火	降下火砕物, 溶岩流	2.68 2	
053-0180	東白根南端噴出物噴火	1.162	1.118	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.18 2	
053-0190	貞観 (864-866年) 噴火	1.136	1.134	864 → 866	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	5.51 6
053-0200	青ガラン湧水ヶ原噴出物噴火	1.182	1.119	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.24 2	
053-0210	天神山伊勢駒山噴出物噴火	1.162	1.136	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.4 3	
053-0220	延暦 (800-802年) 噴火	1.2	1.106	800 → 802	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.3 3
053-0230	781年噴火	1.219	781	マグマ噴火	降下火砕物	? ?	
053-0240	大淵噴出物噴火	1.3	1.2	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	2.7 2	
053-0250	龍子山噴出物噴火	1.5	1.2	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.95 3	
053-0260	白大巻王水湯噴出物噴火	1.3	1.2	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	2.7 2	
053-0270	須走口1号岩流噴火	1.3	1.2	マグマ噴火	溶岩流	3.24 -	
053-0280	御山御内第二層噴出物噴火	1.3	1.2	マグマ噴火	溶岩流, 降下火砕物	3.9 3	

図4. 1万年噴火イベントデータ集.

富士山の162噴火イベントの一部を表示. 個々のイベントから, 堆積物の詳細情報を表示できる. 2021年5月に全国の活火山が掲載された.

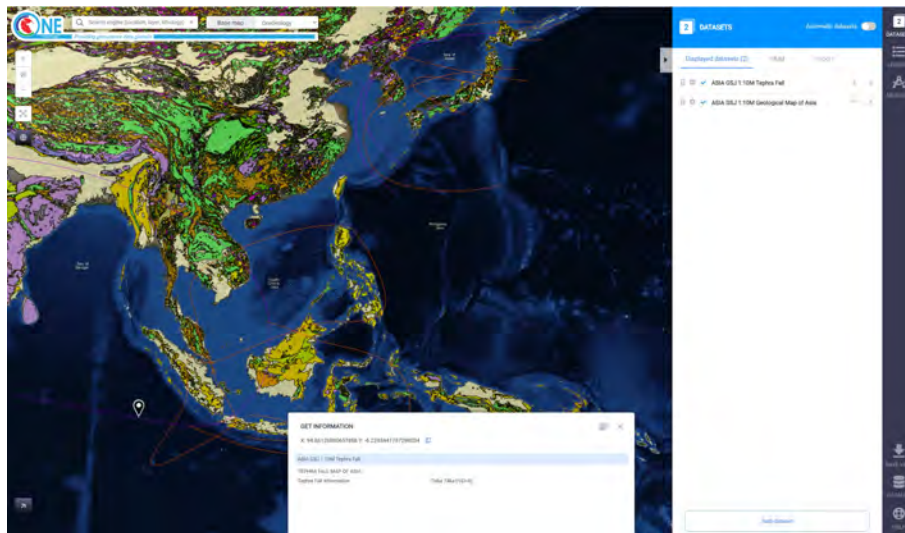


図5. OneGeologyポータルサイト

アジア地域の大規模降下テフラの分布図を表示.

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大津波を引き起こす震源断層の実態解明と流体変動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
イ. 地震断層滑りのモデル化

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフや日本海溝において既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査（Multi-channel Seismic：MCS）データおよび深海掘削（DSDP/ODP/IODP）データを用い、巨大津波を引き起こす震源断層（(1)巨大分岐断層、(2)デコルマ、(3)大規模アウターライズ地震断層）の構造、流体分布、摩擦特性、減衰特性、間隙水圧などを高精度で明らかにする。特に、沈み込みインプットは巨大分岐断層とデコルマの発達過程や間隙水圧変動に最も大きく影響するため、沈み込む直前の深海堆積物と海洋性地殻の3次元形状を明らかにする。巨大分岐断層やデコルマに沿った地震性滑りの将来挙動を予測する上で、断層の物性変動の長期モニタリングは極めて重要である。断層の間隙水圧異常が巨大分岐断層やデコルマに沿った地震発生・破壊エネルギーの伝播に重要な役割を果たすと考えられるため、断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法を新たに開発する。さらに、Time-lapse MCS調査（繰り返し観測により時間変化を捉える調査）により、反射係数（間隙水圧）変動のモニタリング手法を開発する。また、巨大分岐断層や大規模アウターライズ地震断層の海底付近堆積物と海水からヘリウム同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を定期的に測定し、断層に沿った流体変動をモニタリングする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

【平成31年度】

- (1)断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法の開発に着手する。これは新しいチャレンジである。
- (2)過去に日本海溝や南海トラフで実施されたMCS調査の仕様を検討し、Time-lapse MCS調査に最適な仕様を決定するため、事前調査モデリング（Pre-survey Modeling）を行う。
- (3)宮城沖日本海溝のアウトサイズで高分解能MCSデータを取得する。MCSデータの反射極性（正・負）分布をマッピングし、正断層に沿った流体分布を推定するとともに、正断層の反射係数（Warner, Tectonophysics, 1990）を求める。正断層の活動性や断層強度を評価するため、正断層付近の減衰特性（Tsuru et al., EPS, 2018）を推定する。また、大規模アウトサイズ地震断層の付近でマルチプルコアラーによる表層採泥およびCTD採水を行い、海底堆積物試料と海水試料を採取する。希ガス専用質量分析計を用いて海底堆積物・海水試料に含まれるHe（ヘリウム）を抽出し、He濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を測定する。

【平成32年度】

- (1)デコルマの強い固着（Yokota et al., Nature, 2016）を示す四国の足摺岬沖南海トラフに直交する測線上で、デコルマを対象とする新規MCSデータを取得する。また、南海トラフ隣接の四国海盆で沈み込みインプットを対象に、トラフに平行する測線上で新規MCSデータを取得する。
- (2)既存の四国海盆MCSデータを用いた堆積層の岩相層序解析を行い、デコルマ相当層準をマッピングする。また、四国海盆の海洋性地殻最上部の3次元形状を求め、デコルマの発達過程において沈み込む海洋性地殻の影響を解明する。
- (3)既存の四国海盆MCSデータと深海掘削データとの統合解析を行い、堆積層の間隙率と間隙水圧を求め、デコルマ相当層準の剪断強度を明らかにする。
- (4)海底地形データと既存MCS断面図を用い、南海トラフ付加体の傾斜角度とデコルマの傾斜角度を求めることで、Coulomb Wedge Theoryに基づくデコルマの摩擦係数を推定する。
- (5)巨大分岐断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を測定する。

【平成33年度】

- (1)宮城沖日本海溝のアウトサイズで高分解能Time-lapse MCS調査を行い、大規模アウトサイズ地震断層の反射係数を求めることで、間隙水圧の時間変動を推定する。
- (2)大規模アウトサイズ地震断層の付近でマルチプルコアラーによる表層採泥およびCTD採水を行い、海底堆積物試料と海水試料を採取する。希ガス専用質量分析計を用いて海底堆積物・海水試料に含まれるHe（ヘリウム）を抽出し、He濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を測定するとともに、平成31年度の測定値との比較を行う。大規模アウトサイズ地震断層に沿ったマントル起源流体のフラックスを推定し、大規模アウトサイズ地震断層の挙動について流体循環の影響を評価する。

【平成34年度】

- (1)デコルマの強い固着（Yokota et al., Nature, 2016）を示す四国の足摺岬沖南海トラフで高分解能Time-lapse MCS調査を行い、デコルマの反射係数を求める。平成32年度のMCSデータから求めた反射係数（間隙水圧）と比較し、デコルマに沿った間隙水圧の時間変動を推定する。
- (2)巨大分岐断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を測定する。平成32年度に測定したHe濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）と比較し、巨大分岐断層に沿った流体移動の時間変化を推定する。

【平成35年度】

- (1)宮城沖日本海溝のアウトサイズで高分解能Time-lapse MCS調査を行い、大規模アウトサイズ地震断層の反射係数を求める。平成31年度や33年度のMCSデータから求めた反射係数（間隙水圧）と比較し、大規模アウトサイズ地震断層に沿った間隙水圧の時間変動をモニタリングする。
- (2)大規模アウトサイズ地震断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）を測定する。平成31年度や33年度に測定したHe濃度および同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）と比較し、大規模アウトサイズ地震断層に沿った流体移動の時間変化をモニタリングする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海溝の海側には、アウトサイズ（海溝外縁隆起帯）と呼ばれる、海洋プレートの屈曲によって生

じる地形的高まりが一般的に認められる。アウターライズではプレートの沈み込みに伴う屈曲により海洋プレート浅部に伸張応力場が生じ、海洋性地殻を断ち切る正断層群が発達して、正断層型の地震（アウターライズ地震）が海洋プレート内部で発生する。巨大津波を引き起こす大規模なアウターライズ地震は海溝型巨大地震の後に連動して発生することが知られている。日本海溝では、1896年明治三陸地震（海溝型巨大地震、M8.5）の37年後に1933年昭和三陸地震（大規模アウターライズ地震、M8.1）が発生し、津波災害による約3000名の死者が報告されている（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 1997）。一方、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）後には大規模アウターライズ地震が未だに起こっておらず、その切迫度が増している状況にあると考えられる。しかしながら、大規模アウターライズ地震断層の実態に関する知見は極めて不足している。本研究課題では、日本海溝の海側（図1）に発達する大規模アウターライズ地震断層の実態（構造、物性、流体循環など）を解明するため、地球物理学データを地球化学データと組み合わせて、海溝海側の正断層を学際・総合的に調べた（Park et al., Scientific Reports, 2021）。

反射法探査データを解析し、宮城沖の海溝海側45 km付近で海底面からモホ面を貫きマントルまで発達する大規模な正断層（断層A）のイメージングに成功した。この断層Aは垂直変位約180 m、傾斜角約74°を示し、過去から最近まで繰り返し活動した活断層の可能性が高い。また、断層Aのモホ面付近の反射強度は周囲のモホ面に比べて異常に弱く、断層の繰り返し活動によって透水性の高い破碎帯（幅6 km）が形成され、流体移動が容易になっていることを示唆する。宮城沖の断層Aの破碎帯は、北方160 kmの岩手沖の断層Bや断層Cへほぼ連続する。

宮城沖の断層A（サイトPC9）や、岩手沖の断層B（サイトPC6）・断層C（サイトPC7）近傍の海底堆積物中の間隙流体から、ヘリウム同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）の異常を発見した。これら3つのサイトではヘリウム同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）が深部へ増加する傾向を示し、マントル由来のヘリウムを含む深部流体が断層A、B、Cに沿って上昇して来たことを示唆する。一方、岩手沖の断層D（サイトPC2）や断層E（サイトPC1）では、底層水と同程度のヘリウム同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）や $4\text{He}/20\text{Ne}$ 比が深部へ一定の値を示し、断層D、Eに沿った海水の浸透が示唆された。

反射法探査断面図上の正断層付近で得られた流体関与の証拠（ヘリウム同位体比（ $3\text{He}/4\text{He}$ ）異常と $4\text{He}/20\text{Ne}$ 比）に基づき、日本海溝アウターライズにおいてマントルと海洋を結ぶ大規模な流体循環モデルを構築した。流体循環は主に南北方向の同じ断層破碎帯に沿って起こるが、破碎帯がある程度厚い（例：断層A付近の幅6 km）場合、破碎帯に直交する東西方向での流体循環も示唆される。

今回明らかになった正断層付近でのヘリウム同位体比異常などは、断層に沿った流体（マントル由来の水と海水）移動の証拠となり、大規模な流体循環の可能性を示唆した。海溝に沈み込む前の海洋地殻を断ち切る大規模正断層に沿った流体移動を明らかにしたのは、本研究が初めてである。マントル由来の水は断層面の強度低下をもたらし、流体移動の通路となる南北全長160 km以上の断層破碎帯は大規模アウターライズ地震を引き起こす可能性がある。今後、断層に沿ったマントル流体変動の定期的なモニタリングを実施し、流体循環が大規模正断層の挙動に与える影響を解明することは、次のアウターライズ巨大地震・津波防災対策を推進する上で重要な課題となる。

なお、令和3年度の成果は本課題の5か年計画と概ね一致する。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

今年度の成果は、日本海溝海側の太平洋プレート内部で大規模アウターライズ地震を引き起こす断層の実態（構造、物性、流体循環など）を解明したことで、関連の深い建議項目「1(5)ア」の目的達成に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Park, J.-O., N. Takahata, E. Jamali Hondori, A. Yamaguchi, T. Kagoshima, T. Tsuru, G. Fujie, Y. Sun, J. Ashi, M. Yamano, and Y. Sano, 2021, Mantle-derived helium released through the Japan trench bend-faults, *Sci. Rep.*, 11, 12026, doi:10.1038/s41598-021-91523-6

Jamali Hondori, E., C. Guo, H. Mikada, and J.-O. Park, 2021, Full-waveform inversion for imaging faulted structures: A case study from the Japan Trench forearc slope, *Pure Appl. Geophys.*, 178, 1609-1630, doi:10.1007/s00024-021-02727-w

Park, J.-O., T. Tsuru, G. Fujie, E. Jamali Hondori, T. Kagoshima, N. Takahata, D. Zhao, and Y.

Sano, 2021, Seismic reflection images of possible mantle-fluid conduits and basal erosion in the

2011 Tohoku earthquake rupture area, Front. Earth
Sci., 9, 687382, doi:10.3389/feart.2021.687382

・学会・シンポジウム等での発表

Park, J.-O., N. Takahata, E. Jamali Hondori, A. Yamaguchi, T. Kagoshima, T. Tsuru, G. Fujie, Y. Sun, J. Ashi, M. Yamano, and Y. Sano, 2021, Mantle-derived helium released through the Japan Trench bend-faults, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG55-10

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度には、南海トラフや日本海溝のデコルマの発達過程と間隙水圧について、沈み込みインプットの影響を解明する研究を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

朴進午（東京大学大気海洋研究所）, 芦寿一郎（東京大学大気海洋研究所）, 山口飛鳥（東京大学大気海洋研究所）, 高畑直人（東京大学大気海洋研究所）

他機関との共同研究の有無：有

佐野有司（高知大学 海洋コア総合研究センター）, 鹿児島渉悟（富山大学理学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大気海洋研究所 国際・研究推進チーム

電話：04-7136-6009

e-mail：iarp@aori.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：朴進午

所属：東京大学大気海洋研究所

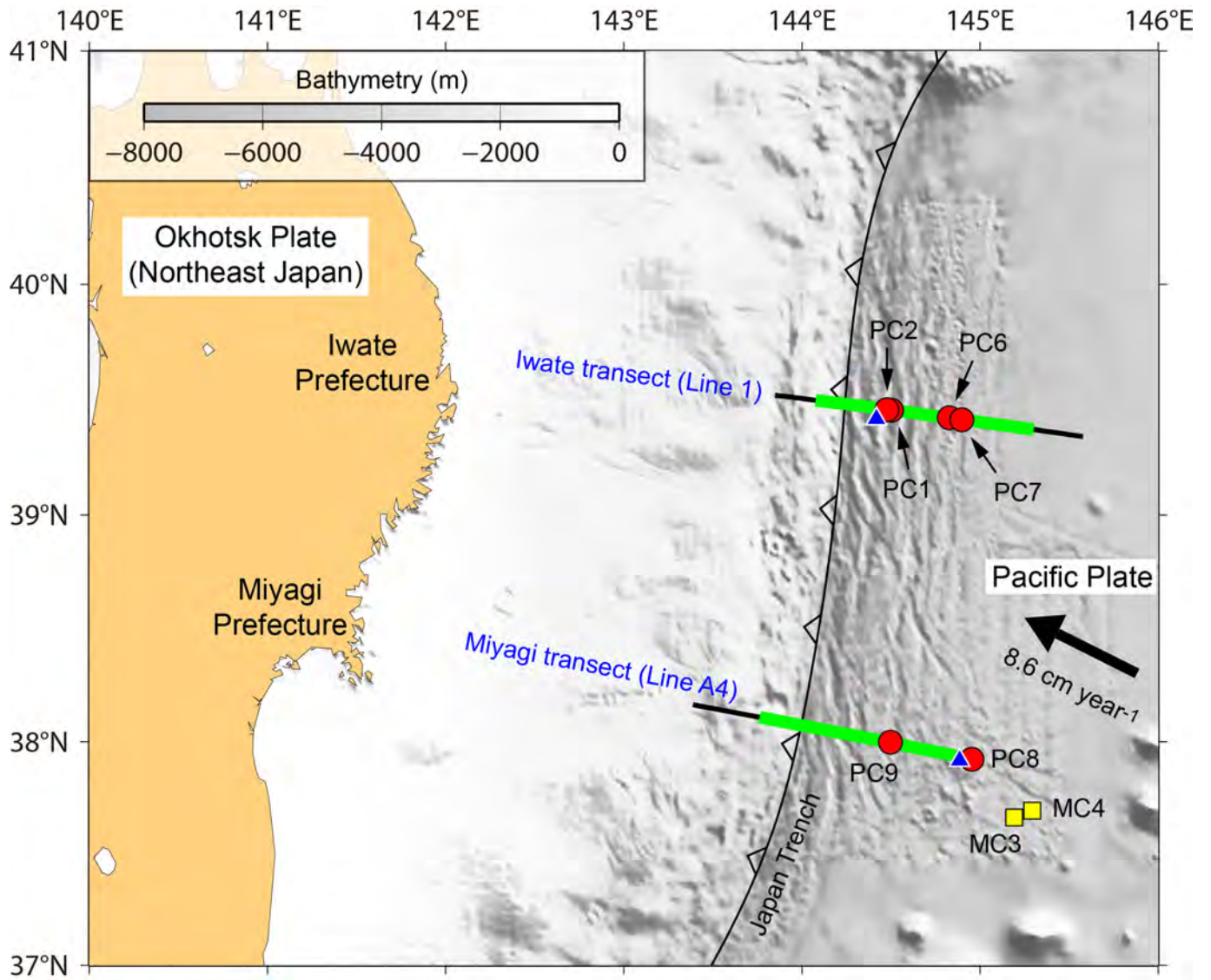


図1. 東北沖の反射法探査測線（緑線：宮城沖測線A4、岩手沖測線1）、海底堆積物の採泥サイト（赤丸：PC1～PC9）、底層水の採水サイト（黄色い四角：MC3、MC4）。

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地球物理・化学的探査による海底火山および海底熱水活動の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海底火山の活動や噴火の可能性を把握する事は、都市の近くに存在する場合や船舶航行における防災に必要不可欠である。とりわけ鹿児島湾から南西諸島海域においては海底火山と関連づけられる熱水活動が水深の浅い海域に多く見られ、過去には噴火による津波被害も報告されている。しかし陸上に比べ海底の火山はほとんど観測されていないのが現状である。

本課題の目的は、陸上の火山・熱水系に比べると観測例が少ない海底熱水活動を評価する新たな手法を開発し火山の活動度を評価することであり、火山性ガスの強力な指標となるヘリウム-3を観測することで、火山噴火予知の研究に海洋地球化学の面からアプローチする。この手法は陸上火山の観測で成果をあげており、海底の火山に応用することが可能である。観測対象として日本近海の鹿児島湾から南西諸島海域および沖縄トラフとその延長にある島弧-背弧海盆系地域において、海底および陸上の火山・熱水活動を調査し、火山活動度の変化や新たな熱水活動域を明らかにすることを目標とする。比較のためにその他の火山海域や非火山性海域、陸上火山でも観測を行なう。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

火山性ガスの強力な指標となるヘリウム-3を中心とした、マグマ・熱水由来の成分の海底火山近傍の海水中の分布とその時系列変化を明らかにし、その分布を詳細な海底地形と比較する事で、海底火山の場所や活動度を把握する事を目的として調査を進める。合わせて近傍の火山島の温泉水に含まれるヘリウム-3などのマグマ由来成分の組成や放出量から火山の特性を把握する。海水や温泉水中での保存性が異なる元素を比較する事で活動的な放出源を特定し、成分増減の経時変化から活動度の変化を検出する事で噴火兆候の長期の変動把握に役立てる。本課題では特に鹿児島湾から南西諸島にかけての海域と近傍島嶼の陸上温泉において、温泉・熱水活動を調査するとともに、中央海嶺など他の海域の海底火山も対象とし、その性質の違いを調べることにより、日本の海底火山のより深い理解を目

指す。

平成31年度については、継続的に調査している海域である南西諸島および鹿児島湾でこれまでに採取した海水試料の分析を進める。この調査を実施するために新青丸共同利用に応募済みである。平成32年度以降については、継続的に調査している海域において、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。公募による海洋調査船のシフトタイムが得られない場合には、陸上の調査を重点的に行う。最終的には平成35年度までに、ヘリウム-3を中心とする各種データを得て、火山活動が活発な海域の把握や活動度の経時変化把握に役立てるための一次情報を得る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

鹿児島湾および南西諸島海域を対象として、ヘリウム-3をトレーサーとして海底火山活動を調査した。海底火山は海面下にあるためあまり調査されておらず、場所や活動の変化はよくわかっていない。どの海域で火山活動が活発かを知ると共に、過去の観測データと比較することで、活動が活発化しているかどうかを評価した。鹿児島湾北部には活発な熱水活動が見られる若尊カルデラが存在し、継続的にカルデラ内海水のヘリウムをモニタリングしている。2015年に桜島で火山活動が活発化したが、桜島と同じマグマだまりを持つ海底火山の若尊カルデラでは活動度は変わっていないことをヘリウム-3を用いて明らかにし論文として発表した。そして2022年にも同海域で海水を採取し、モニタリングを継続している。一方、トカラ列島の周辺海域では12月に最大震度5強を観測する群発地震が続いており、その地震活動が周辺の海底火山活動を活発化させる恐れがある。この海域で過去に調査したところを中心に観測を行う。観測航海が年度末のため、採取した試料の分析は来年度に行う予定である。

一方で、今年度から陸上火山の調査にも力を入れることになった。長期継続して調査している御嶽山火山においてヘリウムを中心とした化学成分の観測を行なった。過去のモニタリング結果と比較することで、噴火後の火山活動について評価する。また昨年度に引き続き立山において火山ガスのヘリウムの調査を行い、立山地獄谷周辺の火山活動について考察した。このようにヘリウムは陸上火山活動の評価にも有効であり、その性質の違いを調べることにより日本の海底火山のより深い理解につながる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

鹿児島湾北部に存在する海底火山である若尊カルデラのマグマ源が陸上火山の桜島と共通であることを確認した。また炭素など揮発性元素の流量について定量的に評価し、桜島と比べると物質供給量は格段に少ないことがわかった。しかし桜島と若尊カルデラは同じ始良カルデラの中にあり、桜島の火山活動を理解する上で始良カルデラ全体の活動を知ることは重要である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Nakajima, M.E., N. Takahata, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, H. Obata and Y.

Sano, 2022, Monitoring the magmatic activity and volatile fluxes of an actively degassing submarine caldera in southern Japan., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 317, 106-117, 10.1016/j.gca.2021.10.023

Park, J., N. Takahata, E.J. Hondori, A. Yamaguchi, T. Kagoshima, T. Tsuru, G. Fujie, Y. Sun, J.

Ashi, M. Yamano and Y. Sano, 2021, Mantle-derived helium released through the Japan trench bend-faults., *Sci. Rep.*, 11, 12026, 10.1038/s41598-021-91523-6

Park, J., T. Tsuru, G. Fujie, E.J. Hondori, T. Kagoshima, N. Takahata, D. Zhao and Y.

Sano, 2021, Seismic reflection images of possible mantle-fluid conduits and basal erosion in the

2011 Tohoku Earthquake rupture area., *Front. Earth Sci.*, 9, 687382, 10.3389/feart.2021.687382

・学会・シンポジウム等での発表

Kagoshima, T., J.-O. Park, N. Takahata, M. Yamano, Y. Sano, 2021, High $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in pore fluids at the outer slope of the Japan Trench., *Goldschmidt Conference*

Chen, A.-T., Y. Sano, C.-H. Chen, N. Takahata, C.-H. Lo, T.F. Yang, T.-K. Liu, Y. Wang, 2021, Helium isotopic signature in the Ilan Plain, NE Taiwan: geochemical evidences of a magmatic

source.,Goldschmidt Conference

Escobar, T., N. Takahata, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, H. Obata, Y. Sano,2021,Monitoring the magmatic activity and volatile fluxes of Wakahiko Caldera in southern Japan.,Japan Geoscience Union Meeting

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：御嶽山火山において火山観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：長野県

調査・観測期間：2021/7/14-2021/7/16

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：立山火山において火山観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：富山県

調査・観測期間：2021/8/27-2021/10/1

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：鹿児島湾および南西諸島海域において海底火山観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県

調査・観測期間：2022/2/20-2022/3/3

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

海底火山海域において、海水中のヘリウムやメタン、二酸化炭素を調査し、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。また継続して観測している陸上火山の噴気や熱水の分析を行い、それらの火山の活動度を評価する。並行して、これまでの観測航海で得られた海水および海底堆積物試料のヘリウムの分析を進め、海底火山活動の様子を探る。また日本海溝や南海トラフなどの海底巨大断層も調査対象とし、深部流体の動きを探る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学大気海洋研究所

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大気海洋研究所国際・研究推進チーム

電話：04-7136-6009

e-mail：iarp@aori.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小畑元

所属：東京大学大気海洋研究所

(1) 実施機関名：

千葉大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

電磁気学的な地震先行現象の総合的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震に先行する様々な電磁気現象が報告され、そのうちのいくつかの観測パラメータについては統計的な有意性が示唆される論文が出版されるようになってきた。しかし、1つの観測パラメータの解析では、現実的な予測の観点から、予測成功率が十分であるとはいえない。そこで、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施し、前兆現象の発生や伝搬機構の理解を進める。

また、現在確認されている地震前兆現象として統計的な有意性を示す観測パラメータについて、他の観測点のデータ解析で検証するとともに、地震の規模や深さ、タイプ、時空間的な関係を調査する。前兆現象の物理機構を解明することに資する室内実験や観測研究を実施し、電磁気学的な先行現象発現メカニズムを定性的・定量的に検証する。また自前の観測データ以外に、既存のGNSS-TEC等の他機関データの活用や、中国、台湾、米国、イタリア、ロシア等の研究者とも協力し、国際的に短期地震予測研究を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本計画では、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施する。そのために、前期の課題2501を継続しつつ、次の事項を実施する。(i)地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する観測パラメータの調査と観測・データ蓄積、(ii)データ解析法（予測精度の高度化（信号弁別や時系列データ処理などの信号処理法や統計的評価法）の開発、電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価、(iii)室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生の物理機構解明、に資する研究を遂行する。(i) (ii)では研究期間全体を通して、衛星・地上マルチセ

ンサネットワークによるリアルタイム監視システムの構築に資する調査研究を実施する。観測パラメータの検討とその統合（SensorWEB、ビッグデータ収集）、予測精度の高度化のための観測や解析技術などを調査・研究する。地上や衛星に搭載されたセンサによって、巨大地震の準備段階で発生する前兆的な異常変動を検知し、海溝部や内陸で発生するM7クラス以上の地震に対して、確度の高い予測情報を出力するシステムの開発を国際共同研究として検討する。地震前兆的な現象を記録している観測パラメータ（ULF電磁場、VLF/VHF電磁場、電離層電子数(GNSS/TEC)、衛星温度異常、GPS地表変位、地震活動度、ラドン濃度等）の地震活動との統計的有意性および前兆性が示されるかどうかを調査検討し、その統合を目指す。また、その物理機構解明に資する調査研究も行う。観測項目は固定せず、研究開発の進展に応じて、追加や削除が可能なopenなシステムとする。いずれの観測項目でも、観測網を良好に維持し、ケーススタディを積み重ねる。また、必要に応じて観測点周辺の比抵抗構造を測定し、また室内実験等を行い、先行現象の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。前期の課題2501で作成を開始した第三者が評価可能な電磁気学的な先行現象データベースをさらに充実させる。これらのため、先行現象研究が行われているロシア、キルギス、フランス、中国、台湾、ギリシャ、米国、インド、イタリア等の研究者と連携し、各種既存のデータの発掘・再解析を実施する。

(1)観測

- ・ ULF帯、VLF帯、VHF帯電磁場観測を維持、短期予測に資するデータ収集（期間全体）。
- ・ 地圏一大気圏一電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発
地震に先行するTEC異常の発生原因の1つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能な装置を開発する。地中および地表付近のRn濃度や大気電場等を測定する。着手（初年度）、テスト観測（2-3年度）、定常観測（3-5年度）の予定。

(2)解析

- ・ VHF帯観測データについては、予測マップを作成し、統計的な評価を実施する。またリアルタイム解析システムを開発（1-3年度を予定）。
- ・ VLF帯観測データについては、波源を自動解析するシステムを構築する（1-2年度を予定）。
- ・ GNSS-TEC解析では、Hekiが指摘している直前変動の統計解析に着手（初年度）し、成果をまとめる（2-3年度）。またGNSS-TEC解析の数日前の日変化パターンについては、地磁気擾乱日を考慮した前兆性の評価に着手（初年度）し、Molchan Error Diagram等で評価する（2-3年度）。準リアルタイム解析システムを開発（3-4年度）。
- ・ イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査（1-3年度）
- ・ 電離圏トモグラフィによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測（1-5年度）
- ・ 新規観測パラメータの統計的有意性や前兆性評価の検証（随時）
- ・ 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価（随時）
- ・ 各種パラメータの組み合わせによる予測成功確率の変動の調査（2-5年度）。
- ・ 海外で報告されている衛星観測データ地震前兆現象の検証に着手する（衛星熱赤外データ（TIR：ひまわりやLEOデータなど）、In-situプラズマ計測データ/電磁場データSWARM衛星、中国張衡1号など：初年度）。統計的有意性や前兆性評価の検証（2年度～）
- ・ slowslipに関する電磁気データの検討開始（3-5年度）

(3)室内実験および計算機実験

- ・ 地殻電磁場発生モデルの構築と電離層電子密度変化のシミュレーションを実施し、地震前のTEC異常現象の物理の解明。コード開発（1-4年度）Heki-TEC異常モデル構築検討（5年度）。
- ・ 地殻温度条件下における応力誘起岩石分極実験の実施（1-3年度）。その結果を用いて、モデルの定量的検証（3-4年度）Heki-TEC異常モデル構築検討（5年度）。

(4)国際ワークショップの開催。

5年度の前半に本研究開発の成果と国際動向を調査するため日本で国際ワークショップを開催する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・ 今年度の成果の概要

[1] 観測

- ・ **地圏一大気圏一電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発**

新規観測点の設置と観測点保守に関しては、COVID-19感染症拡大の影響で、他人と干渉せずに大学から自動車で往復可能な観測点の保守作業は、緊急宣言時を除いて原則予定どおり行っている。四国・九州の観測点は感染症の防止措置が解除された11月に実施した。

その後COVID-19感染症再拡大のため、遠隔地の保守作業は停滞している。年度内に新規観測点用の臨時観測を房総半島大原で予定している。同観測点は比較的街中にあるが、房総slowslipの発生領域にあるため電磁環境が非常に悪くなければ、ULF帯電磁場観測、地中・大気ラドン濃度観測、大気電場観測、気象観測を設置する予定である。

ラドン観測装置に土中水分量・土中温度が観測できるセンサを追加する改良を開発メーカーと行い、旭観測点において試験観測を開始した。

VLF帯パルス電磁波観測においては、東海大学観測点において、センサ位置の変更を実施した。従来の観測場所が、新学部開設のため使用できなくなったので、別の校舎の屋上に移設した。それに伴い、ノイズフィルターの特性の現場試験を行い変更した。5観測点における観測は概ね順調に行われた。

[2] データ解析について

A. ULF 磁場データの地震前兆性に関する統計解析

昨年度に引き続き、統計的有意性、ROC的前兆性の評価を行っている。これらの結果は、地震電磁気現象を理解するのに役立つ、ULF 電磁アプローチに基づく予測モデルを改善することができる。この研究で提案された方法論は、予測方針を評価し、短期的な地震予測のために他の種類の測定を最適化するのにも役立つ可能性がある (Han et al., Entropy 2020)。また他の統計的有意性、ROC的前兆性が確認されたパラメータと合わせて、binary予測の精度向上や数理確率モデルの検討も開始した。

また、観測電磁場のノイズ除去法について時間領域で信号を特異スペクトル分解し、太陽起源のグローバル変動(MTのソース信号)とそれ以外の信号に分離するMSSA (Multi-channel Singular Spectrum Analyses) 法を開発中である。

B. 地中ラドン濃度解析

昨年度に引き続き、 α 線を計測する地中ラドン濃度観測データの解析を実施した。令和2年度マルチチャンネル特異スペクトル解析を用いて気圧および温度による変動を除去し、ラドンフラックスを求める手法を提案したが、2時間の降雨量が20mmを超える場合に有意なラドンフラックスの増加があることがわかった (小島ら Journal of Atmospheric Electricity, 2020)。これが降雨による雨水の浸透による地中ラドンフラックス増加が原因であることを観測的に確認し、そのモデルを検討した (根本ら Journal of Atmospheric Electricity, 2021)。降雨効果を観測するために複数の土中水分を測定できるように装置の改良を実施し、試験観測を開始した。

C. 電離圏電子数変動の解析

(1) 中国地震電磁気衛星 (CSES-1) データ解析 2018年トルコ地震とジャマイカ地震の事例解析 中国との共同研究

昨年度、2018年2月2日に打ち上げられた中国の地震電磁気衛星(CSES-1)のIn-situ電離圏電子数変動と2018年7-8月にインドネシアで発生したM6クラスの4つの地震との関係を調査し、地震に先行すると示唆される変動を観測した。さらにヨーロッパの軌道決定センター (CODE) が発表している全球電離圏マップ(GIMのグリッド全電子数 (TEC) データ (CODE-GIMTEC) を調査したところ、時空間分布にて同様の異常を示した。また、CODE-GIMTECを用いて、2007年から2017年にインドネシアで発生した35個のM \geq 5.8、深さ \leq 50kmの地震に対して統計解析を実施したところ、この地域の震源地から2000 km以内で、地震の1~7日前に電離圏電子数変動の有意な正の異常があったことを示した。CSESによって検出された正のプラズマ摂動は、地震前の地震電離層効果を強く示唆する結果である (Song et al., J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2020)。今年度はCSES1データについて、さらに(1)2020年10月30日のトルコの地震(M7.0)、(2)2020年1月28日のジャマイカ地震(M7.7)について調査したところ、(1)のトルコの地震については磁気嵐と重なっており、CSES1 In-situ電離圏電子関連データには地震に先行する明確な変動は確認できなかった。一方、(2)のジャマイカの地震に関して地震に先行する変動が確認され、GIM-CODEを用いた統計解析を実施中である。

(2) Coseismic / Preseismic (直前) 電離圏電子数変動

地震時電離圏擾乱に含まれる音波成分 (AW) と内部重力波成分 (IGW) の振幅を、2011年東北沖地震、2010年マウレ地震、2003年十勝沖地震、1994年北海道東方沖地震に加え、津波地震として知られる2010年メンタワイ地震の計5個の地震についてGNSS観測網のデータを解析して求めた。その

結果 (1)大きな地震ほど大きなIGW/AW比を示すこと、(2)津波地震はそれらのトレンドから大きくずれた大きなIGW/AW比を示すことが明らかになった。これは断層運動が長い時間かけて起こるほど、地殻上下変動もゆっくり進行し、その結果長い周期の大気波動をより効率的に励起することを示唆することがわかった (Heki&Takasaka2021EGU、日置、高坂JpGU2021)。また、GNSSデータを利用したTECデータから浅間山、新燃岳、桜島、口永良部島の2004~2015年の5回の爆発的な火山噴火に対する電離圏応答を比較したところ、電離層のF領域の音波速度で外側に伝播する周期が約80秒のN字型の擾乱を示すことがわかった。これらのTEC擾乱の振幅は、バックグラウンドのVTEC値の数%であることもわかり。火山爆発の強度の新しい指標となることを示した (Cahyadi et al., 2021 EPS)。

(3) 津波による電子数変動の解析 台湾との共同研究

大地震の地震波と津波は、震源地と津波発生地域の地表近くで移動性大気擾乱 (TAD) を誘発する可能性がある。これらのTADは、音速で大気から電離層に垂直に伝播し、移動性電離層擾乱 (TID) を形成し、同時に電離圏内で内部重力波を誘導する。Liu et al. (GPS solution, 2019) では、2011年のM9.0東北地方太平洋沖地震の際に震源地と津波源地域から離れた電離層電子密度プロファイルを調べ、レイリー波と津波波の下でより顕著なTIDを誘発できることを発見した。地震波の水平速度は約2-3km/s、津波の水平速度は2-300m/sで大きく異なるため、津波によるTEC擾乱と地震によるTEC擾乱を明確に区別できることを示した。項目(5)で開発した線形正則化電離圏トモグラフィーを用いて上述の2011年のM9.0東北地方太平洋沖地震に発震後の3次元構造を調査したところ、地震動に関しては水平方向に速度約2.3-3.3 km/s、津波に関しては水平方向に速度200-230 m/sで電離層中を伝搬する波動を検知できた。これは、昨年度の解析結果と調和的である。また、地震動に関しては垂直方向に450-600kmの波長があり、津波に関しては垂直方向に約200-250 kmの波長があることも初めてわかった。特に津波に関しては、推定される背景の中性大気が北方向に49.3 m/sで移動することが初めて観測的に推定することができた。これらの数値は大気重力波の条件 (分散式) を満足する合理的な値となっており、津波による電離層の擾乱が大気重力波で発生したことを強く示唆するものである。今後の津波による大気重力波発生理解に大きく貢献する結果を世界で初めて導出した (図1; 宋2022千葉大学大学院融合理工学府博士学位論文、論文投稿準備中)。また、2022年トンガ火山噴火に関する電離圏データの解析にも着手した。

(4) イオノゾンデ統計解析

昨年度に引き続き、情報通信機構(NICT)の国分寺イオノゾンデ観測データの解析を実施するとともに、GPSデータと同様に日々NICTにて公開されるデータを用いてリアルタイム解析が実施できるようにした。NmF2異常が有意に発生する地震の条件 (震源の深さ、マグニチュード、震央距離) について、海域で発生する地震と陸域で発生する地震に関する統計解析 (Superposed Epoch Analysis) を実施した。対象とした地震は1958年1月1日~2019年9月30日に発生した、国分寺観測点から震央距離350 km以内、マグニチュード $M \geq 6.0$ 、震源の深さ $D \leq 40$ kmの地震である。対象の地震の震央分布と地震発生日数は海域71日、陸域19日であった (全解析日数は22553日)。海域地震に関しては地震に6-15日先行して、陸域地震に関しては地震に1-20日先行してNmF2異常が有意に発生することがわかった。対象の地震発生日数が大きく違うため単純には比較できないが、震央が陸上に位置する地震の検知率は9/19で約47%、海上に位置する地震の検知率は19/71で約27%となり、海域地震より陸域地震の方がよりNmF2異常の発生率が高いと考えられることがわかった。また、従来得られていた有意相関や前兆的変動は、地震カタログをシャフルすると消失することを確認した。また、NICTのイオノゾンデデータは国分寺の他に北海道・稚内、鹿児島・山川、沖縄・大宜味にあり、これらのデータ解析にも着手した。

(5) 電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測

電離圏変動の理解には電離圏電子密度の3次元分布の把握が必要であるが、電離圏擾乱時にこの3次元密度分布を適切に再構成することが可能なトモグラフィー手法はまだ開発されていない。そこで、まず、電離圏電子密度の3次元分布について、従来のカルマンフィルタの計算要件を軽減するために、再帰的な更新プロセスを必要としない、時間に依存しない簡略化されたカルマンフィルタ (SKF) を採用したトモグラフィー手法を開発した。この手法は初期値依存性があり、電離圏電子分布が静穏な場合は、実際に近い電子密度分布を再構成することがわかったが、擾乱時には再構成精度にやや問題があることがわかった (Song et al., J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2021)。

次に従来の線形正則化法を改良した手法を考案した。従来の方法では、対象とする空間ボクセルに対して東西南北上下の6方向への変動に着目して拘束条件をかけているが、この方法では擾乱時には適切な結果が得られていない。本研究では、この拘束条件を上下の2方向に限ることにより、変動の大きい擾乱時の電離圏電子密度分布も再現可能な手法を開発した。この手法の再構成精度の評価を、国際標準電離圏モデル (IRI) による静穏時の電離圏電子密度や、これに人工的な局所電子密度擾乱を付加した場合において行い、その有効性を担保した (Song et al., JGR SP 2021)。次に、実際のデータを用いて、日本付近の典型的な電離圏電子密度擾乱である大規模・中規模伝搬性電離圏擾乱や、近年わかってきた台風や地震動・津波によって励起された電離圏擾乱を再構成し、これらの電子密度擾乱の3次元構造を解析・考察した。その結果、大規模・中規模伝搬性電離圏擾乱は電離圏不安定、地震動は音波、台風や津波は大気重力波によって電離圏擾乱が励起されていることを示した (図1;宋2022千葉大学大学院融合理工学府博士学位論文)。従来の手法では不可能であった電離圏密度擾乱の3次元構造について、観測に基づいて現実的な空間分布を再構成したことは意義深く、今後、地震や津波に関連する影響の理解や把握に大きく貢献すると期待される。具体的には、津波発生領域の海面変動の検知による新しい津波緊急地震速報の開発や、地震前兆的電離圏変動の理解や物理機構の解明・評価である。

D. 大気圏熱赤外異常解析 ひまわり6-7号データの統計解析 イタリアとの共同解析

昨年度himawari6-7号を衛星熱赤外温度異常と地震との統計的有意相関とROC解析を用いた前兆性の評価を実施し、地震発生との偶然では説明できない相関関係があり、 $M_{JMA} \geq 6.5$ の地震の場合、ランダムな推測に対して最大4.3の確率利得があることを報告した (Genzano et al., JGR SE, 2021)。Himawari8-9号についても同様な解析に着手した。

E. 中国の孔内歪計データの解析 中国・吉林大学との共同研究

引き続き、解析を実施している。

[3] 国際ワークショップ等の企画

COVID-19感染症の影響を受け、予定通りの開催とはなかった。

JpGUにおける国際セッションInterdisciplinary studies on pre-earthquake processes (2021年6月6日。Online開催。講演数：口頭15件、ポスター7件)

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

- ・論文・報告書等

Song, R., K. Hattori, X. Zhang, and C. Yoshino, 2021, The three-dimensional ionospheric electron density imaging in Japan using the approximate Kalman filter algorithm, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.*, 219, 105628, doi:10.1016/j.jastp.2021.105628

Song, R., K. Hattori, X. Zhang, J.-Y. Liu, and C. Yoshino, 2021, Detecting the ionospheric disturbances in Japan using the three-dimensional computerized tomography, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 126, e2020JA028561, doi:10.1029/2020JA028561

Chen, H., M. Miao, Y. Chang, Q. Wang, X.H. Shen, K. Hattori, and P. Han, 2021, Singular Spectrum Analysis of the Total Electron Content Changes Prior to $M \geq 6.0$ Earthquakes in the Chinese Mainland During 1998-2013, *Front. Earth Sci.*, 9, 677163, doi:10.3389/feart.2021.677163

Nagao, T., M. Kamogawa, J. Izutsu, T. Suzuki, A. Saito, A. Sugiura, and H.

Kondo, 2021, Development and Preliminary Analysis of a VLF-Band Electromagnetic-Wave Observation System for Short-Term Earthquake Precursory Monitoring, *Front. Earth Sci.*, 9, 658825, doi:10.3389/feart.2021.658825

Hamama, I. and M.-Y. Yamamoto, 2021, Infrasonic Earthquake Detectability Investigated in Southern Part of Japan, 2019, *Sensors*, 21(3), 894, doi:10.3390/s21030894

根本和秀・小島春奈・吉野千恵・金子柊・北出明嗣・服部克巳・茂木透・小西敏春, 2021, 地表面付近の地中ラドンフラックス変動について：強い降水の影響, *Journal of Atmospheric Electricity*, 40(1), 37-41, doi:10.1541/jae.40.37

Shiobara, H., A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, and T. Sato, 2021, Tilt Observations at the Seafloor by Mobile Ocean Bottom Seismometers, *Front. Earth Sci.*, 8, 599810, doi:10.3389/feart.2020.599810

Kobayashi, T., and T. Sato, 2021, Estimating effective normal stress during slow slip events from slip velocities and shear stress variations, *Geophys. Res. Lett.*, 48(20), e2021GL095690, doi:10.1029/2021GL095690

Kurashimo, E., T. Iwasaki, N. Tsumura, and T. Iidaka, 2021, The Role of Fluid-Related Heterogeneous Structures in Controlling the Fault Slip Behavior in the Slow-Earthquake Source Region Along the Nankai Subduction Zone, Southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 48(4), e2020GL089882, doi:10.1029/2020GL089882

Heki, K., 2021, Chapter 21: Ionospheric Disturbances Related to Earthquakes, *Ionospheric Dynamics and Applications*, *Geophys. Monograph*, 260, edited by C. Huang, G. Lu, Y. Zhang, and L. J. Paxton, Wiley/American Geophysical Union, 511-526, doi:10.1002/9781119815617.ch21

Cahyadi, M.N., E. Y. Handoko, R.W. Rahayu, and K. Heki, 2021, Comparison of volcanic explosions in Japan using impulsive ionospheric disturbances, *Earth Planets Space*, 73(228), doi:10.1186/s40623-021-01539-5

Heki, K., and T. Fujimoto, in press, Atmospheric modes excited by the 2021 August eruption of the Fukutoku-Okanoba volcano, Izu-Bonin Arc, observed as harmonic TEC oscillations by QZSS, *Earth Planets Space*

Gresse, M., M. Uyeshima, T. Koyama, H. Hase, K. Aizawa, Y. Yamaya, Y. Morita, D. Weller, T. Rung-Arunwan, T. Kaneko, Y. Sasai, J. Zlotnicki, T. Ishido, H. Ueda, and M. Hata, 2021, Hydrothermal and Magmatic System of a Volcanic Island Inferred From Magnetotellurics, Seismicity, Self-potential, and Thermal Image: An Example of Miyakejima (Japan), *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126(6), doi:10.1029/2021JB022034

Aizawa K., S. Takakura, H. Asaue, K. Koike, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Utsugi, H. Inoue, K. Tsukamoto, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Yoshinaga, N. Matsushima, K. Uchida, Y. Tsukashima, T. Matsushima, H. Ichihara, D. Muramatsu, Y. Teguri, A. Shito, S. Matsumoto, and H. Shimizu, 2021, Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kyushu Island, Japan, *Earth Planets Space*, 73:12, doi:10.1186/s40623-020-01340-w

Umeno K., R. Nakabayashi, T. Iwata, and M.G. Kao, 2021, Capability of TEC correlation Analysis and Deceleration at Propagation Velocities of Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances: Preseismic Anomalies before the Large Earthquakes, *Open Journal of Earthquake Research*, 10(4), 105-137, doi:10.4236/ojer.2021.104008

・学会・シンポジウム等での発表

Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, C.-H. Chen, F. Febriani, and H. Chen, 2021, Assessing the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data recorded in Kanto, Japan during 2000 - 2010: distance and magnitude dependences (invited), 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS08-05

Genzano, N., R. Colonna, C. Filizzola, K. Hattori, M. Lisi, N. Pergola, and V. Tramutoli, 2021, A focus on the capability of the RST-based satellite TIR anomalies for the short-term seismic hazard assessment in Japan (invited), 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS08-14

Heki, K., and Y. Takasaka, 2021, Slow earthquake signatures in the ratio between AW and IGW amplitudes in coseismic ionospheric disturbances (invited), EGU General Assembly 2021, doi:10.5194/egusphere-egu21-758

Heki, K., 2021, Ionospheric disturbances before and after large earthquakes: How can we utilize the information, Bringing Land, Ocean, Atmosphere and Ionosphere Data to the Community for Hazards Alerts (invited), virtual conference, May 28

Heki, K., and Y. Takasaka, 2021, Slow earthquake signatures in the ratio between acoustic and internal gravity wave amplitudes in coseismic ionospheric disturbances, JPGU (on-line), Jun. 5

Muafiry, I. N., and K. Heki, 2021, 3D tomography of the ionospheric anomalies before the 2010 Maule earthquake, Chile: Comparison with the 2011 Tohoku-oki and 2015 Illapel earthquakes, JGU (on-line), Jun. 6

小野里和樹・本島邦行, 2021, 見通し内VHF帯放送波における伝搬異常の発生要因解析, 日本地震予知学会学術講演会, 2021年12月25日, 21-02

竹澤直樹・本島邦行, 2021, MF帯放送波の日没時伝搬異常と地震発生の関連性解析, 日本地震予知学会学術講演会, 2021年12月25日, 21-03

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

(1) 観測

・ULF帯、VLF帯、VHF帯電磁場観測を維持、短期予測に資するデータ収集。

・地圏一大気圏一電離圏結合の観測学的研究のためのデータ収集。

地震に先行するTEC異常の発生原因の1つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能な装置を開発する。地中および地表付近のRn濃度や大気電場等を測定する。新規観測点設置。

(2) 解析

・VHF帯観測データについては、予測マップを作成し、統計的な評価を実施する。またリアルタイム解析システムを開発。

・VLF帯観測データについては、波源を自動解析するシステムを構築する。

・GNSS-TEC解析では、Hekiが指摘している直前変動の統計解析に着手し、成果をまとめる。またGNSS-TEC解析の数日前の日変化パターンについては、地磁気擾乱日を考慮した前兆性の評価に着手し、Molchan Error Diagram等で評価の継続。

・イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査の継続。

・電離圏トモグラフィによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測。

・新規観測パラメータの統計的有意性や前兆性評価の検証。

・電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価。

・各種パラメータの組み合わせによる予測成功率の変動の調査。

・海外で報告されている衛星観測データ地震前兆現象の検証に着手する（衛星熱赤外データ（TIR：ひまわりやLEOデータなど）、In-situプラズマ計測データ/電磁場データSWARM衛星、中国張衡1号など）。統計的有意性や前兆性評価の検証。

・slowslipに関する電磁気データの検討。

(3) 室内実験および計算機実験

・地殻電磁場発生モデルの構築と電離層電子密度変化のシミュレーションを実施し、地震前のTEC異常現象の物理の解明。コード開発の継続。

・地殻温度条件下における応力誘起岩石分極実験の実施。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

服部克巳（千葉大学大学院理学研究院）、佐藤利典（千葉大学大学院理学研究院）、津村紀子（千葉大学大学院理学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

橋本武志（北海道大学大学院理学研究院）、日置幸介（北海道大学大学院理学研究院）、中谷正生（東京大学地震研究所）、上島誠（東京大学地震研究所）、小河勉（東京大学地震研究所）、吉村令慧（京都大学防災研究所）、梅野健（京都大学大学院情報学研究科）、松島健（九州大学大学院理学研究院）、相澤広記（九州大学大学院理学研究院）、山中千博（大阪大学）、長尾年恭（東海大学海洋研究所）、織原義明（東京学芸大学）、鴨川仁（静岡県立大学）、本島邦行（群馬大学）、井筒潤（中部大学）、山本真行（高知工科大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：千葉大学大学院理学研究院

電話：043-290-2801

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：服部克巳

所属：千葉大学大学院理学研究院

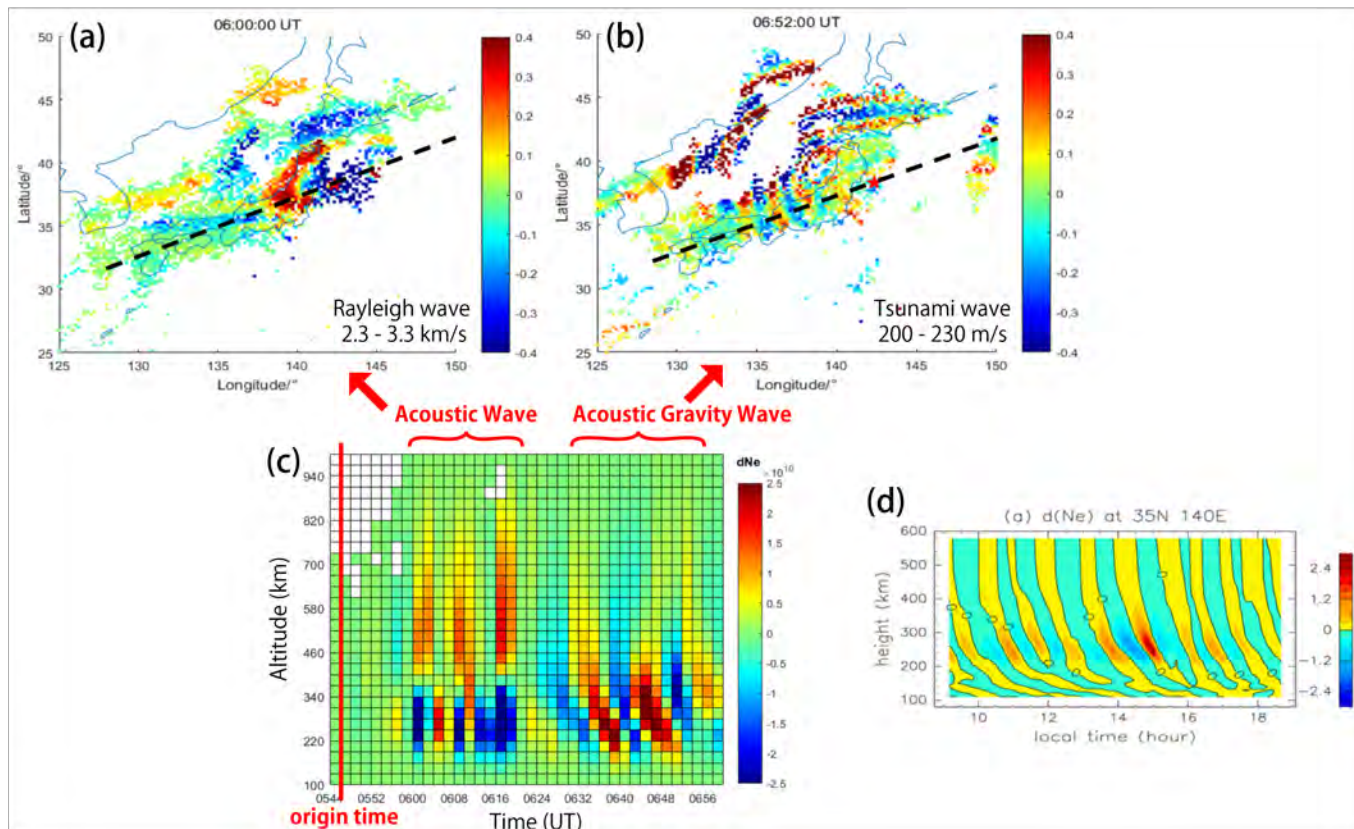


図1. 東北地震(2011031105h46mUT)に起因する電離圏電子変動の3次元構造（地震動と津波）

(a)Rayleigh波によって励起されたTEC変動2011年3月11日15時00分UTのスナップショット

(b)津波によって励起されたTEC変動 2011年3月11日15時52分のスナップショット

(c) 2011年東北地震発生後の北緯36度統計135度上空における電離圏擾乱の時間発展地点

(d)大気重力波によって励起された電離圏電子変動（北緯35度統計140度上空）（シミュレーション）(Miyoshi et al., 2017)

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

【提案の背景】標準的な地震リスク評価手法では、震源・波動伝播・地盤増幅・建物応答・直接的被害・社会的影響に関する研究分野からの知見を統合して、リスクが評価されるが、各研究分野に対応するそれぞれのモジュールに存在する複数モデルの組み合わせることでリスクカーブ群が得られることになる。すなわち、地震リスク評価には、モデルそのもののばらつきのみならず、モデルの相違によるばらつきが伴っている可能性がある。2020年度までにはこの点について検討するために、各研究分野に存在する多くのモデルをプラットフォームに組み込み、系統的に地震リスクを評価した。その結果、現在一般的に行われている地震リスク評価には非常に大きなばらつきを内包していることを示した。

【震源過程】プレート間巨大地震に伴う揺れの被害の予測のためには、断層すべりの全貌に着目するのではなく、強震動生成域の分布の推定に着目することが重要である。ただしこれはあくまで強震動とそれによる被害予測という観点に基づく物である。これまでの巨大地震において調査されてきた短周期地震動の滑り分布の特徴から、断層滑り域でも特にプレート間の深部延長部からエネルギーの輻射

が高いことが分かっている。一方で海溝軸に沿った水平方向の分布については深さ方向の分布ほどよく分かっていない。そこで巨大地震が発生するプレート間の物理量として、プレート間カップリングの状況や、スロースリップの分布、地震活動に関する統計学的モデルのパラメータ等に関する最新の知見を集めることで、強震動生成域の確率論的分布シナリオを推定する事を目指す。それらが得られれば、これまでに拠点間連携研究において作成してきた、強震動生成域に特化した地震動の距離減衰式を用いる事で、より不確実性を低減した強震動予測が可能となることが期待される。

【深部地盤・伝播経路】2次元的ではあるが主に海洋性モホ面より浅部を高い精度と解像度で求めることができる人工震源構造調査で得られるP波速度構造と、精度・解像度のある程度犠牲にしつつもPおよびS波速度構造を3次元的に求めることができるトモグラフィ解析の結果、さらにはプレート境界やモホ面などに代表される構造不均質境界面の形状を3次元で連続的に把握できるレシーバー関数解析に関して、新しい結果を含めてとりまとめ、統合的な3次元地殻構造の構築を行う。また最近になって、西南日本における3次元的な地震波の減衰構造も複数のモデルが提出されつつあり、これらを比較検討しつつ、震源を仮定した場合の地震波伝播過程における減衰量を見積もることも可能となる。このような地震波速度・減衰構造は、断層破壊伝播メカニズムおよび断層境界の形成要因の解明、さらに地震波伝播シミュレーション計算のインプットとして利用され、災害軽減を目的とした研究に貢献することを目的とする。

【強震動予測】南海トラフをはじめプレート境界で発生する巨大地震は、震源域で発生した地震動や津波が日本列島の広範囲に到達し非常に大きな被害につながる事が考えられる。そのため巨大地震のリスク評価においては、震源域による影響、波動の伝播による影響、観測点近傍の構造による影響等について調べる必要がある。

【浅部地盤構造】現状の土構造物の地震リスク評価において、解析モデルにおける上記のような地盤物性の不確実性の影響を考慮に入れて、検討がなされることは（特に設計実務において）稀である。つまり、不確実性を無視する地盤災害の予測法が、不確実性を考慮した場合と比べて危険側の評価となっている可能性も否定できない。このような問題点を解決するため、まず文献調査等を通じて地盤物性の不確実性の定量化を図る必要がある。次に、土構造物の地震リスクを評価する際に、数値解析手法において空間的な地盤物性の不確実性に関する情報を組み込むことで、リスク評価に及ぼす不確実性の影響について検討する。特に、巨大地震時には過剰間隙水圧の変動を含めた地盤材料の強非線形性や、ひずみレベルが十数パーセントを超える変形領域での幾何学的非線形性の影響が無視できない。このような条件下で地盤物性の不確実性の影響を定量的に評価しておくことは、今後の土構造物の地震対策を考える上で重要となる。

【構造物被害予測】応答値と被災度の推定値の精度は、構造物側をとってみると、その性能曲線の精度と非線形化による付加減衰の精度に大きく依存する。そこで本研究では、構造物の性能曲線を設定する上での不確実性の起因となる事項を整理する。特に影響が大きいと思われる降伏時剛性について、既往の実験データベース等を用いてその精度を検証する。さらに、不確実性の起因となる事項のばらつきが、建物の応答精度に与える影響を検討する。併せて、実被害地震発生時に精度検証のベンチマークとするため、実被害即時把握技術についても同時に検討する。

【リスク評価高度化】近年UAVを用いた空撮写真および空撮写真から生成された点群データを用いたインフラ管理技術が急速に進歩している。本研究では、拠点間連携共同研究（統括型）で開発・維持している地震リスク分析プラットフォームへ統合し、リスク分析の高度化に資することを念頭に、UAVの空撮写真から生成された市街地の高密度点群データをもとに作成されたエクスポージャーデータを地理情報システムへ実装する手順を構築する。

【プラットフォーム高度化】モジュールごとのモデルの数やばらつきが採用するモデルに依存することから、複数モデルを考慮したときのモジュール間のばらつきの違いを公平に評価する統一的な手法が確立されていない。また、より詳細な計算手法を考慮したプラットフォームとするためには、用いるモデルが詳細化するため、モデルごとのばらつきの比較がさらに困難となることが予想され、その手法について検討が必要となっている。さらに、震源モデルについては、津波によるリスク評価に用いられるものや地震サイクルシミュレーションに基づくものを取り込むために、それらの重みの想定などが課題である。そこで、モデルの違いによるモジュール間のばらつきの公平な比較についてさらに検討する。ばらつきの評価は、地震リスク評価に関する不確実性を示すには不可欠であり、地震リスク評価プラットフォームの高度化はそれに資する情報を提供することに貢献できることになる。

【コンピュータサイエンス】巨大地震リスク評価のための解析手法について、計算科学・計算機科学的な観点からの検討を行う。これまで高性能物理シミュレーションと人工知能の融合手法を開発して

きており、これらの検討では、最新の計算機のアーキテクチャーにあわせたアルゴリズムを計算科学・計算機科学的な観点から開発することで、従来を凌駕する規模の問題を高速に解くことを可能としている。本年度は、これらの手法を拡張し、その有効性を検討することを目的とする。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】これまで開発してきたシナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの改良を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【震源過程・強震動予測】本研究で提唱した個別の強震動生成域に対する地震動の距離減衰式を、地震毎の強震動生成域に対する距離減衰式と比較するために、線形混合効果モデルにより評価を行った。前者の方がintra-event variabilityの値が有意に小さく、距離に対する分布に偏りが見られないことが確認された(図1)。

【深部地盤・伝播経路】2020年に1946年昭和南海地震震源域西端にあたる豊後水道沖で、海底地震計およびハイドロホン・ストリーマーを用い、エアガンを人工震源とする屈折法・広角反射法地震波構造調査を実施した。取得された波形に対して波形インバージョンを適用し、九州パラオ海嶺の沈み込みを含む不均質構造の詳細について、解析を進めている。また、紀伊半島沖で実施している海底地震計を用いた地震観測データに対して、レシーバー関数、および表面波構造解析の適用による、海底下S波速度構造の把握を進めている。

【浅部地盤構造】液状化の可能性のある地盤上に構築された盛土構造物を対象に、有効応力法に基づく逐次非線形地盤応答解析を実施した。解析では、液状化層の地盤物性を均質と仮定した確定的なケースに加え、地盤物性の空間的な不確実性を考慮した検討も行った。その結果、不確実性を考慮した場合の盛土沈下量のばらつきは、確定的なケースで地盤物性を平均値±標準偏差とすることで包含できることがわかった。

【構造物被害予測】RC造建物を対象に、速度応答を指標とした地震応答解析に基づく被害率関数の構築手法に関する研究について議論を行った。研究では、被害率と重み付け速度応答積分値の関係について検討を行った。重み付け速度応答積分値とは、速度応答スペクトルのその周期帯の値である。また、重み付け速度応答積分値をPGV相当に戻して、既往の被害率関数と比較し、その有効性を確認した。また、地震被害発生後に、地震発生から建物の被害までを横断的にカバーする新しい重点研究の可能性についても議論を行った。

【リスク評価】リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャー情報の精密化が必要不可欠である。このために、UAV等で撮影された写真やその他のリモートセンシング情報を用いて、エクスポージャーに関するパラメータを位置情報とともに取得し、地理空間情報システム上に展開するフレームワークを構築した。本年度は特に、構築したフレームワーク上に展開する一次情報として、建物フットプリントと建物高さ、二次情報として建物固有周期を検討した。

【プラットフォーム構築】地震発生時の総合的なリスクに関する影響評価にむけて、南海トラフ沿いに発生する巨大地震の多くのバリエーションを考慮する方法について検討した。

【コンピュータサイエンス】Capability/capacity computingにより生成された大規模データセットを用いたサロゲートAI構築手法の開発を行った。液状化現象の大規模3次元シミュレーションを多数回実行可能なGPUを活用した高速3次元動的有限要素解析手法を開発し、これを活用することで生成された液状化の大規模データセットを学習してサロゲートAIを構築することで液状化推定のさらなる低コスト化の可能性を示した。液状化をはじめとした複雑な現象のUQや最適化への適用が期待される。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】様々な地震動想定を表示可能なシステムについて過大評価、過少評価等で推定結果を示すことが可能なシステムについて、新たな推定結果をシステムに取り組みするためのインターフェースの構築を行い、システムの改良を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

南海トラフ沿いの巨大地震が発生した際に予測される被害のばらつきを評価するために必要な、強震動の事前評価手法、津波の事前評価手法、地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法、地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究、などに関する様々な取り組みを行った。また、推進体制の整備のための拠点間連携共同研究を実施した。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

宮下卓也・倉田一輝・安田誠宏・森信人・志村智也,2021,確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価,土木学会論文集B2(海岸工学),77,1_181-1_186

・学会・シンポジウム等での発表

Ryota Kusakabe, Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Muneo Hori, Lalith Maddeggedara,2022,GPU-accelerated Multiphysics-based Seismic Wave Propagation Simulation and its Surrogate Model with Machine Learning,HPC Asia 2022: The International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region

齊藤隆志,2022,地震前後の地表変位から考えられる斜面崩壊・地すべりの発生メカニズム,京都大学防災研究所令和3年度研究発表講演会,D101

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加藤尚之（東京大学地震研究所）,市村強（東京大学地震研究所）,飯高隆（東京大学地震研究所）,望月公廣（東京大学地震研究所）,楠浩一（東京大学地震研究所）,藤田航平（東京大学地震研究所）,古村孝志（東京大学地震研究所）,三宅弘恵（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）,松島信一（京都大学防災研究所）,宮澤理稔（京都大学防災研究所）,上田恭平（京都大学防災研究所）,西嶋一欽（京都大学防災研究所）,倉田真宏（京都大学防災研究所）,森信人（京都大学防災研究所）,伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,関口春子（京都大学防災研究所）,田中宣多（京都大学防災研究所）,西上欽也（京都大学防災研究所）,澁谷拓郎（京都大学防災研究所）,浅野公之（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

前田匡樹（東北大学大学院工学研究科）,松岡昌志（東京工業大学大学院環境・社会理工学院）,中村友紀子（千葉大学大学院工学研究科）,中嶋唯貴（北海道大学大学院工学研究院）,友清衣利子（熊本大学）,毎田悠承（東京工業大学環境・社会理工学院）,佐伯琢磨（神戸学院大学）,神野達夫（九州大学大学院人間環境学研究院）,仲西理子（海洋研究発機構）,山本揚二郎（海洋研究発機構）,高橋努（海洋研究発機構）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4080

e-mail：matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島信一

所属：京都大学防災研究所

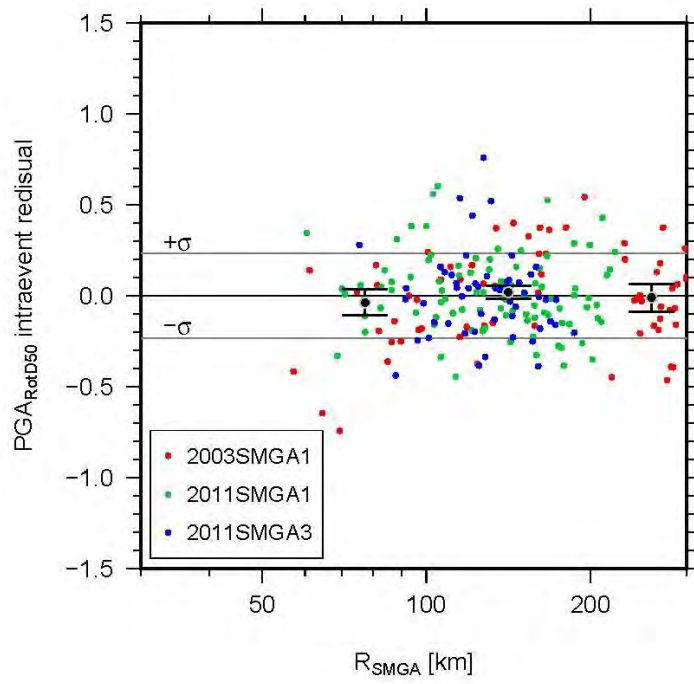


図1 線形混合効果モデルにより評価による予測地震動のintra-event variabilityの比較

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による被害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。そのためには、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結果を選択することが重要となる。昨年度開発したシナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの改良・対象地域の拡大を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究は新型コロナウイルス感染症の影響により、予算の繰り越しを行ったものであり、昨年度にほぼ終了したものである。これまで、シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの構築を行ってきたおり、高知県の地震動想定結果のばらつき表示を行ってきている。昨年度から、内閣府の地震動想定結果の検討を実施してきている。内閣府の想定では地表面での速度推定は行われておらず、公開されている震度データを童・山崎（1996）の方法

を用いて、簡易的に速度データに変換し、ばらつき表示の試行を行った。また、その結果もふまえより厳密に地表面での速度データを得るための方法論についての検討を行った。

童華南、山崎文雄(1996)：地震動強さと新しい気象庁震度との対応関係、生産研究、48、11、pp.547-550.

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

- ・学会・シンポジウム等での発表

N. Maki, T. Baba, K.Nishijima, T.Saeki, S.Shite,2021,How can we communicate with people about variety of hazard simulation outputs? shaking and tsunami of Nankai trough earthquake,17th World Conference on Earthquake Engineering,N°C001878

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

牧紀男（京都大学防災研究所）,松島信一（京都大学防災研究所）,西嶋一欽（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：有
加藤孝明（東京大学）,馬場俊孝（徳島大学）,佐伯琢磨（神戸学院大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4285

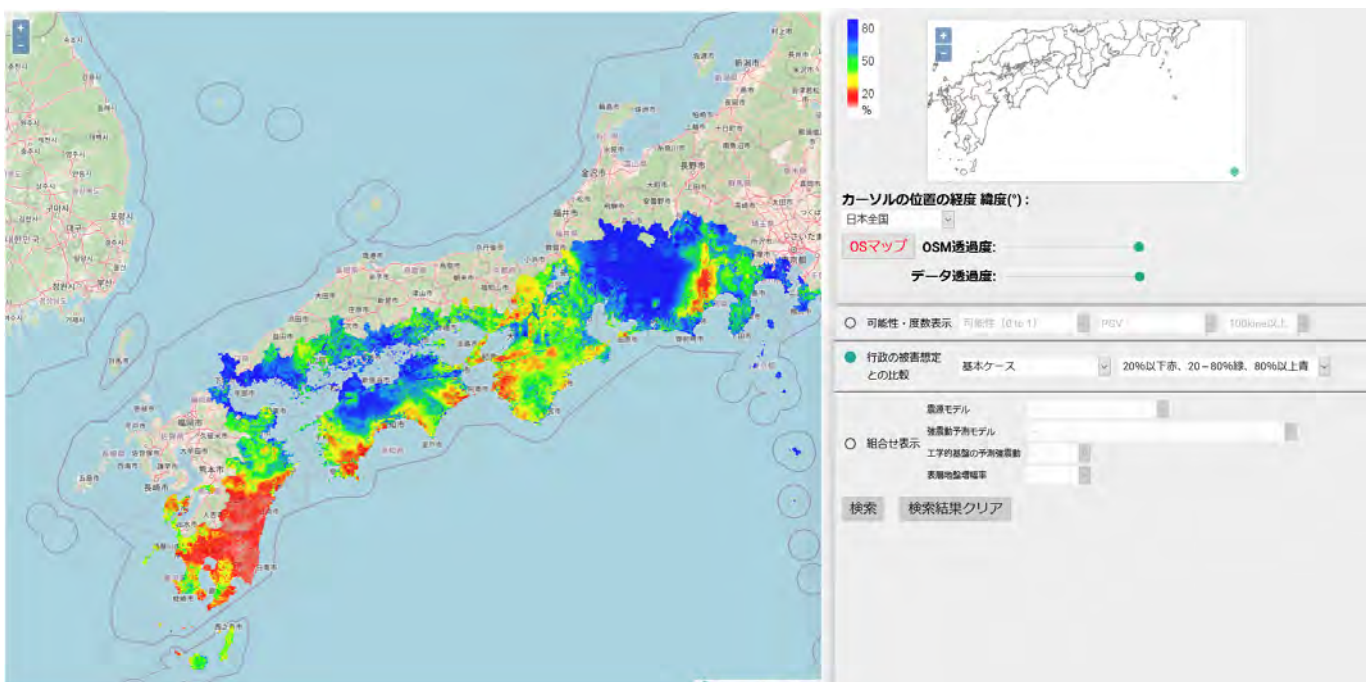
e-mail：maki.norio.8v@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：牧 紀男

所属：京都大学防災研究所



南海トラフ地震の地震動評価のばらつき評価の試行（基本ケース）

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

南海トラフ沿いでは、2010年以降、ケーブル式の地震・津波観測監視システム（DONET1および2）が整備され、海域における地震活動をリアルタイムで詳細に把握することが可能となった。その結果、紀伊半島南東沖の熊野灘海底下のプレート境界ではスロースリップや微動、超低周波地震などのスロー地震が南海トラフ軸近傍まで発生していることが確認されている。この南海トラフ周辺の海域下で発生する地震について、DONETの観測記録を用いることによって、海底下地震波速度構造を詳細に決定し、さらには震源の決定精度を上げるが可能となり、巨大地震発生震源域の検討や地震波伝播特性についても、詳しい議論が可能となる。一方で、熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、DONET1と2の間に若干の観測網でカバーできていない領域も存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって、速度構造や震源決定の精度を向上させることができる。2019年度には、この機動的観測のための海底地震計15台を設置して2年間の観測を続けてきた。2021年度6月に実施される航海で、この海底地震計を回収し、これに記録されている地震の震源決定やトモグラフィ解析を始める。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

沈み込み帯でのプレート間固着強度分布を把握するためには、海底地殻変動データに加え、通常の

地震からスロー地震まで、プレート境界周辺での断層すべり運動の性質を理解することが重要である。南海トラフ沿い巨大地震断層域に当たる紀伊半島沖では、ケーブル式地震・津波観測監視システムDONETによって、海域下の多様な地震活動をリアルタイムで観測している。ここで観測される地震活動を詳細に把握するためには、特に速度の遅い堆積層を含む海底下S波速度構造を考慮に入れ、精度の高い震源分布を求める必要がある。これまでに、DONETの観測記録を用いたレーザ関数解析によって、構造調査に匹敵する解像度でS波速度構造を推定できることを示している。

熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、紀伊半島南東沖のDONET1と紀伊半島南西沖のDONET2の間に若干の観測網でカバーできていない領域が存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって海底下速度構造および震源決定の精度を向上させることができる。この目的のために、2019年6月に紀伊半島沖南海トラフ沿いに15台の海底地震計を設置して観測を開始した。2021年6月に、この海底地震計を全台回収し、良好な観測記録が得られていることを確認した。本観測記録中の2020年12月から2021年1月にかけて、この観測網周辺にて活発な微動活動も発生しており、プレート境界の空間的特徴を把握するためには通常の地震と微動との判別をする必要が生じた。これには機械学習による手法の適用を念頭に手法の検討を進めており、海底地震計観測波形から代表的な地震は検出可能であることを確認した。さらに、微動と地震の検出判定に関して、その判別精度の確認を進めている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

望月公廣（東京大学地震研究所）、悪原 岳（東京大学地震研究所）、川瀬 博（京都大学防災研究所）、長嶋史明（京都大学防災研究所）、中島淳一（東京工業大学理学院）

他機関との共同研究の有無：有

仲野健一（安藤・間技術研究所）、仲西理子（海洋研究発機構）、山本揚二郎（海洋研究発機構）、高橋努（海洋研究発機構）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5715

e-mail：kimi@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：望月 公廣

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

イ. 津波の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

東大地震研の佐竹グループと京大防災研の森グループが定期的（年3回程度）にワークショップを開催し、確定論的な津波解析結果と確率論的な予測手法に関する情報を交換し、確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行う。

2020年度に引き続き、両グループ間で情報交換と共同研究を実施する

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2018年9月にインドネシア・スラウェシ島で発生した地震（ $M_w=7.5$ ）によって、パル湾南岸で浸水深約4mの津波が発生し、被害をもたらした。この地震についてまず遠地地震波形の解析を行い、震源から南へ延びる横ずれ断層上のパル湾周辺で大きなすべりがあったことを確認した。このモデルから計算した津波は、パル湾内で記録された津波波形と同程度の振幅を生じることから、この津波波形と合成開口レーダーデータを用いて、断層を3つのセグメントに分けて詳細なすべり分布を求めたところ、パル湾付近のセグメント上で大きなすべりが推定された。このすべりによって浸水深2m程度の津波は発生するが、パル湾南岸での津波を完全に再現するためには、地滑りなどの二次的な波源が必要であることもわかった。

南海トラフ巨大地震を想定した津波計算を行い、京大防災研グループが開発しているランダムにすべり分布を生成する確率津波モデルと、内閣府中央防災会議モデルの2種類の津波高の特性を比較した。確率津波モデルについては、中央防災会議のモデルと同じ $M_w9.1$ の津波シナリオを300ケース生成した。全シナリオ中のシナリオ平均的な津波高は、外洋に面した高知県沿岸などについては確率津波モデルの方が大きい。大阪湾湾奥部では中央防災会議モデルの津波高さが相対的に高い傾向にあった。この傾向の差異は、評価地点に対する支配的な断層領域の平均すべり量で説明できることがわかった。この結果は、断層すべりの深さ方向の多様性が津波高の不確実性の大きな要因となりうることを示し

ている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
断層面上の不均質なすべりが津波発生や確率論的な津波予測に与える影響を調べたことは、3（1）イ 津波の事前予測手法 に貢献した。また、東大地震研の理学研究者と京大防災研の工学研究者が情報交換をしながら研究をおこなったことは、5（4）関連研究分野との連携強化 などに貢献した。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ho, T.-C., K. Satake, S. Watada, M.-C. Hsieh, R.Y. Chuang, Y. Aoki, I. E. Mulia, A. R. Gusman, and C.-H. Lu, 2021, Tsunami induced by the strike-slip Fault of the 2018 Palu earthquake (Mw=7.5), Sulawesi Island, Indonesia, Earth Planets Space, 8, e2020EA001400, doi:10.1029/2020EA001400
宮下卓也, 倉田一輝, 安田誠宏, 森信人, 志村智也, 2021, 確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), 77, I_181-I_186, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_I_181

・学会・シンポジウム等での発表

Tung-Cheng Ho, 2021, What we learned from the 2011 Tohoku Tsunami that unveils the 1960 Chile Earthquake, The 30th International Tsunami Symposium, e90130
Takuya Miyashita, 2021, Estimation of tsunami response functions considering bathymetry in the Pacific coast of Japan, The 30th International Tsunami Symposium, e90039

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐竹健治（東京大学地震研）, Iyan Mulia（東京大学地震研）, 佐藤哲郎（東京大学地震研）, 王宇晨（東京大学地震研）, 森信人（京都大学防災研究所）, 何東政（京都大学防災研究所）, 志村智也（京都大学防災研究所）, 宮下卓也（京都大学防災研究所）, 福井信気（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学 地震研究所
電話：03-5481-0219
e-mail：satake@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐竹 健治
所属：東京大学 地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
イ. 首都直下地震
(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

2021年8月（同年3月から延期された）にオンライン形式で開催された第6回ESG国際シンポジウム（ESG6）では、熊本平野のテストサイトでの2016年熊本地震の未公開の強震動のブラインド予測が行われ、与えられた地盤や小地震のデータから、事前に知らされていない強震動を各参加者が予測することによって地震動予測技術の信頼性や精度を明らかにすることが試みられた。とくに、ESG6では、3ステップ-ブラインド予測と称して、BP1「地盤モデルの推定」から始めて、BP2「弱震時の地震動の推定」を経て、BP3「強震時の地震動の推定」を順次実施された。これによって、各段階での地震動予測のばらつきなどを定量的に評価された。

本研究は、上記のブラインド予測で用いる熊本市のテストサイトに対する浅部深部統合地盤の共用1次元モデルを構築することを目的としている。ここでは、ブラインド予測の参加者に提供する地盤モデルを共用地盤モデルということにする。2019および2020年度には、現地での観測データから、1次元地下構造モデルを暫定的に推定した。さらに、既存および新規の現地調査などの微動・地震データを検討し、共用地盤モデルの最終案を作成した。2021年度には、ブラインド予測サイトの周辺における臨時地震観測によって得られた強震記録を用いて、共用地盤モデルの1次元性の妥当性を確認する。これらの検討によって、共用地盤モデルの性能および問題点を抽出し、地盤モデルの精度の向上を図る。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度までの研究によって、ESGの熊本テストサイト周辺の20地点における臨時地震観測によって強震記録が得られている。図1に示すようにESG6のテストサイトは、熊本平野西部のJR貨物熊本駅付

近の強震観測点であり、その周辺の200m程度の狭い範囲の20地点に臨時に強震計が約半年間設置された。ESG6のブラインド予測の強震観測点は、臨時観測の観測点16の近傍にある。臨時観測点の多く（観測点1～11）は、北東—南西方向に並んでいる。観測点数はこの方向に少ないが、直交する方向にも観測点（観測点14～21）を配置した。また、ブラインド予測での岩盤サイトの観測点である金峰山のSEVO（九州大学地震火山観測研究センターの熊本地震観測点）地点でも臨時強震観測を行った。

得られた33地震の地震記録からテストサイト近傍の観測点16に対する各点の水平および上下成分のフーリエスペクトルの比を求めた。水平スペクトルの算出は、S波部分の水平2成分の相乗平均を用いた。また、上下成分は、P波部分を用いた。図3に示す水平スペクトル比は、周期0.5秒以上の帯域では、ほぼ1倍であり、この周期帯域の地震動特性は、テストサイト周辺でほぼ同様であると考えられる。一方、周期0.5秒以下では、スペクトル比の変動が大きくなり、各観測点は、テストサイトの地震動特性と異なる特性を持っている。とくに、周期0.3秒付近では1倍を下回る地点が多く、周期0.2秒付近では1倍を超える地点が多い。上下成分のスペクトル比は、より短周期の0.2秒までフラットな形状である。なお、両成分ともに、周期3秒程度以上では、スペクトル比に大きな違いが認められるが、これら小地震の記録を用いているために生じたノイズによるものと考えられる。図3には、水平成分のスペクトル比の空間的な分布が示されている。周期0.8-1.6秒の比は、空間変動が小さいが北側の地点ほど比率が小さくなっている。周期0.3秒付近のスペクトル比は、テストサイトの強震観測点から離れると、小さくなる。さらに、短周期の0.2秒付近のスペクトル比は、空間変動が大きく、テストサイトの南東側で大きくなる。

以上の観測結果から、テストサイト周辺200m程度の範囲においては、周期0.3秒以上の地震動の特性は、ほぼ同じであると考えられる。すなわち、周期0.3秒以上の地震動特性を評価する際に、1次元速度構造モデルの仮定が成り立ち、地下構造の不整形性の影響は小さいと考えられる。しかし、周期0.3秒以下に影響を与える極表層部については、地盤構造に空間的に変化がある可能性もあり、短周期地震動の評価に際しては注意が必要である。

各観測点では、地表付近のS波速度を知るために簡易な表面波探査を実施した。測線長は、7mであり、固有周波数4.5Hzの地震計を1m間隔に設置し、ハンマー加振による上下成分を計測した。得られた記録の周波数—波数スペクトル解析によって、図4に示すレイリー波の位相速度を得た。すべての地点で位相速度は、測線長が短いために、位相速度は周波数約15Hz以上に限定されるが、ほど一定値に収束している。これは、レイリー波の高周波数の位相速度の下限値を示しており、近似的に地表付近のS波速度とみなせると考えられる。そこで、各地点での20から40Hzの位相速度を平均して、図4右の平均位相速度を求めた。テストサイトの強震観測点近傍では、130m/s以下の平均位相速度が多く、離れると150m/s程度となっている。この空間分布は、周期0.3秒のスペクトル比の分布と類似しており、地表付近のS波速度の違いが周期0.3秒の地震動の空間的変化の原因であると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究の成果は、強震動予測手法の精度や信頼性の向上に寄与する。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Yamanaka, H., S. Tsuno, M. Shigefuji, T. Kanno, K. Chimoto, T. Matsushima, and S.

Matsushima, 2021, Temporary strong motion observation around kumamoto test site for blind prediction of strong ground motion, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, GS5-P36

Matsushima, S., H. Yamanaka, S. Tsuno, H. Sato, and Y. Inagaki, 2021, Results of borehole survey at the target site of ESG6 blind prediction exercise and laboratory tests, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, SS101

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中浩明（東京工業大学環境・社会理工学院）,松島信一（京都大学防災研究所）,岩田知孝（京都大学防災研究所）,浅野公之（京都大学防災研究所）,川瀬博（京都大学防災研究所）,瀧澤一起（東京大学地震研究所）,三宅弘恵（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
高井伸雄（北海道大学）,神野達夫（九州大学）,山田伸之（高知大学）,地元孝輔（香川大学）,佐藤浩章（電力中央研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京工業大学 環境・社会理工学院
電話：045-924-5513
e-mail：yamanaka.h.aa@m.titech.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中 浩明
所属：東京工業大学 環境・社会理工学院

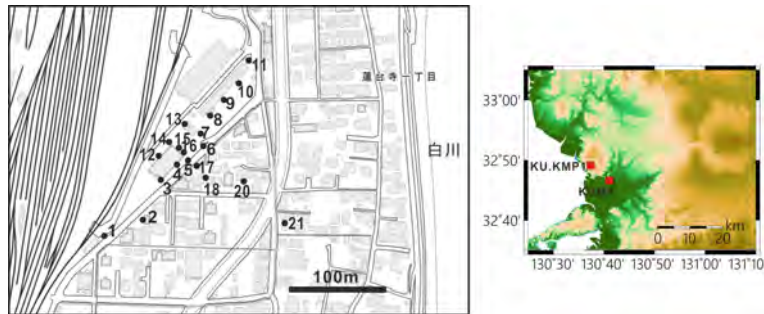


Fig.1 臨時観測点の位置（左）と観測された地震の震央（右）

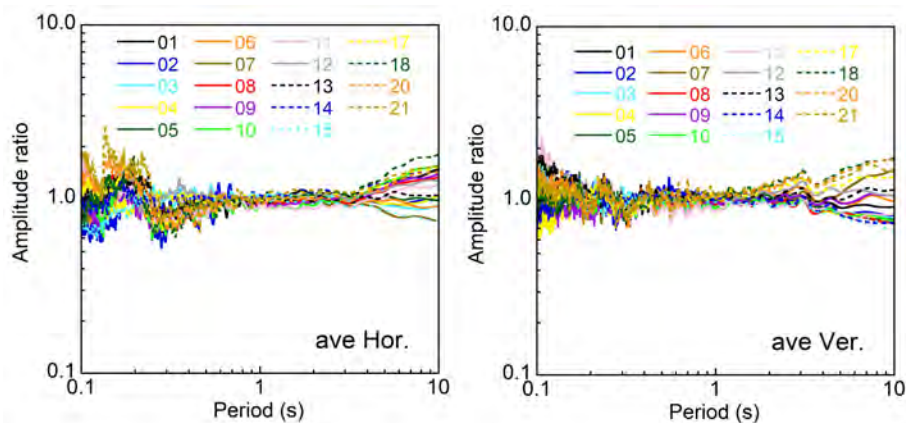


Fig.2 観測点16に対する水平（左）および上下（右）成分のスペクトル比

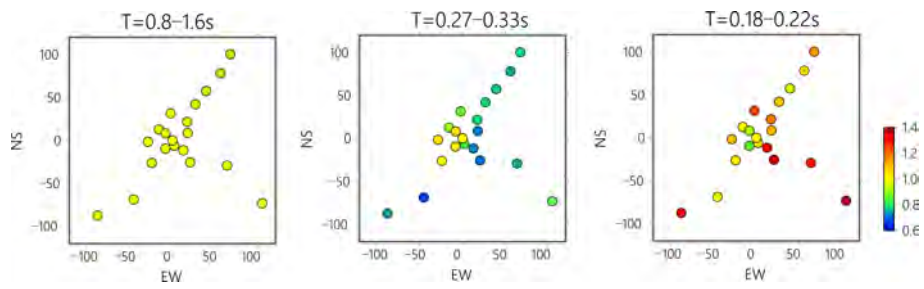


Fig.3 周期毎の水平成分のスペクトル比の分布

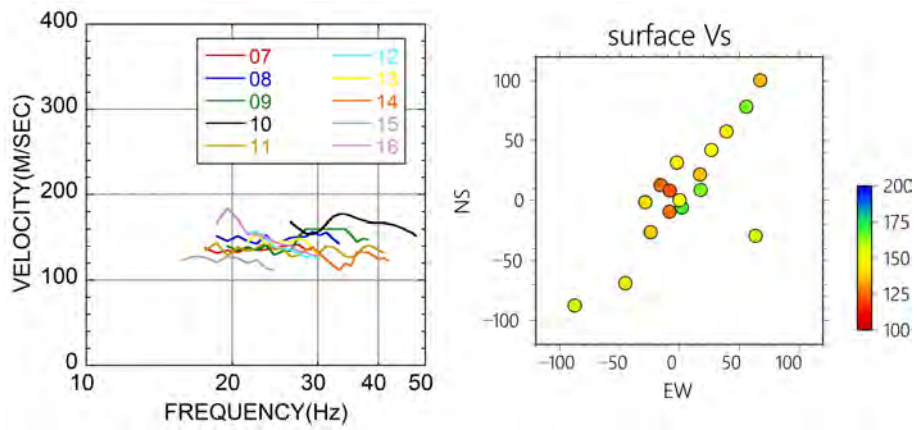


Fig.4 各観測点での表面波探査の結果

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

1) 研究目的と意義

地震による土砂災害の発生予測には、その発生位置と土砂の移動様式、その到達範囲を事前に把握することが求められる。これまで、熊本地震で発生した地すべりや斜面崩壊の土砂災害を地震の前後で測定された1m-LiDAR DEMを用いて比較することによって、その発生機構には、地震動の卓越方向と一致する方向の斜面上でその下部に支持する構造の欠如する部分が崩壊などの端緒となり、土砂移動が生じることを見出した。この発生機構を、東胆振地震で検証すると、ほぼ同様の機構で土砂移動が発生していることが認められた。また、地震前後の1m-LiDAR DEMを用いた比較に、PIV (Particle Image Velocimetry) を用いると、InSAR解析では検出されない地すべり性の土塊の検出が可能であった。さらに、Fujiwara et al.(2016)のsmall-displacement linear rupturesや、Fukushima and Ishimura(2020)のsecondary-raptured faultsとは成因の異なるsurficial rupturesを地すべり発生域の周辺で検出した。これらを、土塊の移動方向と変位の大きさで図1中に示す。本研究では、このPIV手法で検出された地すべり性の土塊、surficial ruptures を生じたが崩壊に至らなかった部位の地下構造や地質の特徴を明らかにして、崩壊・地すべりが予測される箇所周辺の地震に対する危険度を相対的

に評価する方法の研究をおこなう。この研究は、震源を想定し地震波の伝搬方向と1m-LiDAR DEM解析から崩壊位置予測をする手法に、その箇所の地質・地盤構造を評価することで危険度に順位を付して、予測の確実性を高める意義があると考ええる。

2) 研究計画

危険度の評価は、複数の長周期サーボ型速度計3成分（東京測振製）により微動および地震動観測を実施して、地下構造を明らかにする。崩壊の生じた箇所と隣接する崩壊の生じなかった箇所を比較する手法を用いる。実施対象地域は、熊本地方の阿蘇カルデラ周辺のPIV手法で検出された地すべり性の土塊、京都大学火山研究センター周辺の地すべり発生箇所周辺、および和歌山県日置川周辺での地震に対するハザードマップが作成された地域である。観測および研究は、2年を予定し、初年度は熊本阿蘇カルデラ周辺、次年度は和歌山県日置川周辺である。

（2021年度）熊本地震前後のPIV手法で検出された地すべり性の土塊などで観測を実施する（下）図

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2016年熊本地震により阿蘇カルデラ内に発生した地表（平坦地・尾根部・斜面など）の亀裂を抽出する方法を開発し、その手法を阿蘇カルデラの西半分に適用し、亀裂の位置・大きさを図化した。また、この手法を適用する際に、地表面の変位の方向と大きさを図化する方法を開発した。この手法を斜面崩壊の発生した箇所周辺に適用すると、地表の振動方向・地表の変位方向・崩壊土砂の移動方向の関係を明らかにすることが可能となった。Particle motionは、地殻変動、地表の地震動、そして構成する母材の力学的特性を含めた設置点の地震中の移動軌跡を示している。地表に出現する永久変位は亀裂を生じない程度の変位（破損以下）、亀裂を生じる弾性変形、塑性変形、さらに母材が二つ以上の物体に分離する破断（崩壊）の範囲を示すと考える。このうち、土砂災害を引き起こす斜面崩壊や地すべりは、仮にその土塊の上に地震計があったとすると、Particle motionの軌跡の途中で大きく変位し、記録として残らないであろう。ここでは、Kik-netの観測点阿蘇の記録をFujiwara et al.(2016)から引用し、地形を視覚的に理解しやすくする方法（以下、土砂災害基本図）を地震の前後の比較からの結果と変位量を比較すると、北北西に約1.4mとほぼ一致する。このことから、永久変位が小さい塑性変形までの範囲の場合は、土砂災害予測基本図を用いた手法は、永久変位を良く再現するとし、破断が生じた部分の周辺の地殻変動と地表の地震動による永久変位出現の効果はほぼ破断が生じた部分と一致すると仮定し、破断は構成する母材の物性の差によるとして、議論を進める。この母材の物性の効果には、地形および地質の影響が含まれると考える。また、尾根部での地震波の収斂などの効果は、考えていない。阿蘇カルデラのほぼすべての地域を解析対象として進めた。その中で、次の地域に特徴的な傾向が認められた。・傾斜の小さい田んぼなどに生じた亀裂。・傾斜の少し大きな斜面に生じた斜面崩壊（京都大学火山研究センター周辺）。・さらに傾斜の大きな斜面で生じた阿蘇大橋を破壊した斜面崩壊。・北上山断層として新たに認められた地表断層の近傍の大きな地すべり性変位。次に手法の比較を検討した。

二時期の土砂災害予測基本図を比較、差分、そしてPIV(Particle Image Velocimetry)を用いた結果の比較の3手法である。

比較は、二時期の土砂災害予測基本図をアニメーションのように表示することで、視覚的にどの部分に大きな変位が生じているか、直感的に把握しやすい。

土砂災害予測基本図の中の一情報である侵食量の傾斜は、地形的に特徴の縁境界を視覚的にとらえやすくする。この情報は、道路の両端、田んぼの畔、地表に生じた亀裂、尾根部に生じた亀裂を特徴的に表現可能である。同様の手法の赤色立体図では、尾根部に生じた亀裂を表示することはできない。

土砂災害予測基本図の侵食量の傾斜（値は0-90度）の二時期の差分(Diff=Slope of Erosional Volume(Post-event)- Slope of Erosional Volume(Pre-event))は、変位が生じていると地震前の位置は負の値で、変位先の値は正の値で示され、道路の両端や、田んぼの畔などが連続的に示される。この負の連続した値の線と正の連続した値の線を追跡することで水平的な変位量を得ることが可能である。また、注目する地点の地震前後の標高値の差分から鉛直方向の変位をえることができる。すなわち、粒子追跡が可能である。

同様に、PIV(Particle Image Velocimetry)を用いて変位の方向と大きさを求めた。地震前後の二時期の差分とほぼ同様の結果を得ることができた。しかし、PIVでは破断（崩壊）が発生した箇所は変位が大きすぎることと追跡する対象が消失していることから、その部分ではマスクを用いる必要があること、さらに前出の差分の方法よりも極端に大きい変位が表示される例があることが明らかになっ

た。この点は、注意を要する。

以上のことから、斜面崩壊・地すべりなどの初期過程は、地殻変動・断層運動をふくむ地表の振動方向、地表の傾斜量の大きさとその方向、最大傾斜方向の斜面下部にすぐ直上の部分を支持する構造が存在しない地形的特徴があること、母材を構成する物質の強度などが主に寄与していることが明らかになった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

齊藤隆志,2022,地震前後の地表変位から考えられる斜面崩壊・地すべりの発生メカニズム,京都大学防災研究所研究発表講演会,D101,<https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/hapyo/22/pdf/D101.pdf>

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤隆志（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

中屋志津男（白浜試錐）,古谷元（富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科）,新井場公德（消防庁消防大学校消防研究センター）,飯田智之（防災科学技術研究所）,筒井和男（和歌山県土砂災害啓発センター）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4102

e-mail：saitou.takashi.2z@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤 隆志

所属：京都大学 防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究は、桜島の大規模噴火によって生じる可能性がある市街地側への大量降灰災害に対して、大幅に被災影響を軽減できると考えられる市街地側住民による事前避難の実現を目指し、火山の予知・予測情報が適切な避難へと結びつくような情報の作成を、ワークショップ（WS）における専門家と住民との対話を通じて共創することを目的としている。その上で、大量降灰に関する効果的な情報作成の考え方及び情報の出し方を提案する計画である。上記計画は、令和2年度において実施する予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大のために、本研究計画の核となる活動であるWSを実施することができなかったために、令和3年度に繰り越されたものである。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究は、鹿児島市街地における桜島の大規模噴火に伴う大量軽石火山灰降下による被害軽減に資する事前広域避難の実現に向けて、住民自身がいざという時に、避難行動を実際に行い、円滑に避難が実現するための体制作りを専門家と避難主体である住民が協働して目指す実践的研究である。令和3年度前半も依然として新型コロナウイルス感染拡大によって、対面でのイベントが実施できない状況が続いていた。第1回のWSは2021年11月22日に、最大1mの降灰が予想されている鹿児島市八幡校区のコミュニティ協議会を実施主体として開催した。本研究では、「生命を守るのは自分自身である」という理念に基づき、「検討の場の主体は、あくまでも住民であり、専門家はサポート役である」という関係性と「長期的継続」という2点について、専門家と住民との間で共有して進めた。住民が避難動機を持つためには、まずは「大量軽石火山灰降下によって、何が起こるのか？」について明確に認

識する必要があるという問題意識から第1回は、50cmの軽石火山灰が降り積もった場合の状況をイメージしてもらい、「どのような懸念事項があるか」、そして「今後、どのようなことを考えていく必要があるか」についてグループに分かれて話し合ってもらった。その結果、主に、生き残れるかどうかという不安、避難、事前の備えの必要性、高齢者・身障者支援の必要性などの話題が中心となった。これらのテーマは専門家の間では当たり前のことであるが、住民自身からの語りでこれらのテーマが提起されたことに意義がある。これを受けて、専門家を交えず、住民自身が検討をしていく自主勉強会が立ち上がることとなった。また、住民の問題意識を受けて、専門家側からのフィードバックを行うことで、住民の関心に沿った情報をドラフトすることができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究は専門家が一方的に指南する、という形式ではなく、避難の主体である住民自身が考えることが必要不可欠という原則に基づき、実践的研究を行った。今、この時点で大規模噴火が生じた場合に、本研究を実施したおかげで避難行動に移ることができた住民の数はわずかであろうが、住民主体の自主勉強会の立ち上げ、専門家と住民の継続的な関係構築は、建議項目である4(2)「地震火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」、5(6)「社会との共通理解と災害教育」に関連して、明らかな貢献があると考えられる。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

大西正光,2021,大量軽石火山灰降下からの事前広域避難体制確立に向けた実践的研究,2021年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大西正光（京都大学防災研究所）,井口正人（京都大学防災研究所）,矢守克也（京都大学防災研究所）,中野元太（京都大学防災研究所）,前野深（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

山泰幸（関西学院大学）,竹之内健介（香川大学創造工学部）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4635

e-mail：onishi.masamitsu.7e@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大西 正光

所属：京都大学 防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生の切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

災害の事前評価手法の高度化のためには、既往の方法の精度検証が欠かせない。しかし災害規模の事前評価については、佐伯・他（2017）¹⁾による住家被害・人的被害に関する推定方法比較はあるものの、検証例は少ない。2018年胆振東部地震(以降、胆振東部地震と略称)は同地域において北海道危機対策課により想定地震ハザード（災害誘因予測）に基づく被害評価がなされていたことであり、当該地震は正にその検証に足るものである。本研究はこの想定被害と実際との乖離を解釈することで、将来的被害想定及び災害情報の在り方を再検討し、方法論を提案する。研究項目は大きく以下の3点からなる。

(1) 想定地震（石狩東縁断層帯南部地震）と実際（胆振東部地震）との乖離の解析

(2) 社会変化を考慮した被害モデル構築

(3) 対策の効果評価

引用文献：

1)佐伯・他 建物の構造的被害に注目した被害情報を用いた地震による死者数の推定に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 21241, 2017.

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究は令和元年度に始まり、今年度をもって3カ年の区切りとする。

地震に代表される被害想定の目的は、減災目標の設定と目標達成のための対策検討に資することであり、そのために想定ハザードに対する被害評価がマクロ的には国（中央防災会議、以下内閣府とも記載）が、また各地方においては地方公共団体（都道府県、市町村）が実施し、結果が公表されている。しかし、想定されている被害内容・公開情報は減災対策検討に十分なものであるだろうか。その検証は十分になされているとは言えない。たとえば南海トラフ巨大地震の被害想定第一次報告（平成24年8月29日、中央防災会議）には、被害想定 of 意義として以下要約するに「具体的な被害を算定し被害の全体像を明らかにすること、その上で各種の防災対策を立案する」とある。さらに続けて「防災対策を講ずることによる具体的な被害軽減効果を示すことで、防災対策を推進するための国民の理解を深める」とある。すなわち、被害想定と被害軽減効果は別途計算し、国民の対策への理解を求めることが被害想定 of 目的であり意義と謳われている。本研究はここに異議を唱え、本来あるべき被害想定 of 目的とそのための被害想定方法を提案し、それを胆振東部地震の被害実態と検証することで、中央防災会議が提唱する被害想定 of 標準方法が抱える問題点を明らかにしたことを、この3カ年の成果として以下にその概要を報告する。

(1) 災害誘因予測に基づく被害想定が災害軽減に貢献する情報足る条件

本来、具体的軽減対策はその対策実施による被害軽減量を被害想定手法により算定し、対策の有無による被害量の差をもってその効果評価とし、その基で対策の適否判断がなされるべきである。そのプロセスを省略し軽減効果として公表したとしても、真にそれだけの効果があるのかの検証が得られていない故に、国民の納得は得られないであろう。この理由から、被害想定手法は対策の効果評価が可能な形で考慮されていなければならないのは明らかである。すなわち、被害量を単に見積もるだけの相関モデルではなく、対策の手段が「陽」の形で検討可能な因果モデルで構成される必要があるが、標準の想定手法として中央防災会議が提示している手法はその条件を十分に満たしていると言えるのであろうか。加えて、モデルの基となる被害データ（公表値）は地域被害及びその後の対策（復旧）の実態を捕まえた量であるのは当然であるが、意外とその検討はされていないことに気づくべきである。

(2) 想定地震と2018年北海道胆振東部地震とのハザード比較

北海道は地震防災対策の基礎調査資料として、2011年に道内及び周辺に31地震193パターン of 地震動分布を、その6年後に平成28年度地震被害想定調査結果報告を公表している。胆振東部地震に震源位置が最も近似している想定地震は石狩低地東縁断層帯南部（モデル30_5）と称するものである

（図1）。震源諸元を比較すると両者の震源形状は大きく異なり当該地震は想定震源ではない。また道内で観測された計測震度を想定地震の自治体単位最大震度と比較すると（図1）、想定地震の方が大きな震度を与えている。よって、被害が広域に及び土木系被害の検証には十分とは言えないが、厚真・安平・むかわの被災3町については胆振東部地震とほぼ同じ震度が計算されており、地震動を1指標（震度あるいはPGV）で代表し被害計算するのが一般的な単独被害（木造住家被害や人的被害）の検証には3町の被害比較は問題なく、災害誘因予測 of 意義を災害対策と結びつける検証にもなろう。

(3) 木造住家の被害比較と対策に必要な情報について

当該地震の被災3町の木造住家についての公表被害実数と、想定地震を対象に内閣府の方法と北海道の方法による被害数比較を表1に示す。内閣府 of 想定手法は阪神・淡路大震災 of 被災地 of 住家築年代と被害率 of 関係を用いて計算する（図2）。一方、北海道の方法は当該地域 of 住家 of 耐震性能 of ばらつきを加味するため耐震診断値（耐震評点）を確率分布で与え、岡田・高井(2004)²⁾による損傷度関数（震度-耐震評点-損傷度 of 関係）を用い、より詳細なDamage Index(D-Index)またはDamage Level (D-Level)による損傷度評価を行っている（図2）。胆振東部地震 of 被害実数と of 比較は、地域性 of 考慮のない内閣府の方法に比べ、北海道は実態に近い被害評価を与えており、木造住家 of 被害想定には地域性（住家耐震評点 of 実分布） of 考慮 of 重要性が確認できる。

さらに、必要な住家被害情報について注目したいのは実被害 of 判定基準である。実被害 of 実態公表値となる災害対策本部発表 of 「全壊」 of 定義は、「居住 for ための基本的機能喪失が床面積 of 70%以上、または経済的被害 of 損害割合が50%以上」とされており、罹災証明 of 判定基準にほぼ等しい。それに対し被害想定は一般に建築構造的損傷度により判断するものであり、両者は乖離している（図2）。表1からは当該地震 of 公表被害実数で厚真町が他2町よりも大きい。3町で1981年以前 of 古い木造住家割合はそれぞれ55%・48%・61%であり、構造耐震性に然程 of 差は認めがたく、同表に併記した罹災

証明で認定された被害率からも、厚真町は構造損傷よりもむしろ復旧に関わる経済的損傷の観点から被害認定した可能性は否定できない。罹災証明による被害認定は、その後の復旧助成に大きく関わることから、地域復旧の遅速にも影響することが予想される。それが発端となり集落消滅など地域の将来的社会構造から都市再生マスタープランにまで影響する。実際、当該地域は他の地震（中越、九州地方）に比べ、全半壊住家共に「再建」の費用工面ができず、罹災証明による被害判定で応急修理助成が受けられる「補修」で対応する世帯が多かった事実が、その後の調査により判明している

（図3[岩崎・他(2020)³⁾]）。災害対策の観点からは、被害想定には構造的被害に加え復旧に関わる被害認定の指標も同時に検討する重要性を指摘しておきたい。なお、住家被害損傷度（D-Index）は罹災証明の判定区分とも相性が良い（図2）。

引用文献：

2)岡田・高井 木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用 ―地震動入力を確定的に扱う場合―, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会構造系論文集, 582, 2004.

3)岩崎・中嶋・岡田 2018年北海道胆振東部地震における住宅再建状況調査 ―安平町, 厚真町, むかわ町を対象として―, 日本地震工学会・大会, 2020.

（4）人的被害の比較と対策に必要な情報について

住家被害に伴う人的被害についての手法比較を図4に示す。内閣府の方法は近年発生の上地震に関する全壊建物棟数と死者数の相関関係から求めるものである。阪神・淡路大震災で判明したとおり、全壊といえども層崩壊しない建物（D-Level D4）では死者は殆ど発生しない。北海道が採用している建物損傷度D-Index（D-Level）に基づく棟死亡率関数による人的被害評価法〔田畑・岡田(2006)⁴⁾〕のほうがより精度が高い。死傷者の実数比較（表2）においても内閣府の方法では負傷者の全員が重傷者にカウントされており不自然であるが、北海道は実数と想定に乖離は認められない。

人的被害情報についても、これまで議論の中心とされてこなかった被害定義の問題を指摘しておく。災害対策本部が公表値として集計する死傷者の定義は、交通事故統計あるいは警察出動有無判断で用いる傷度3区分(死/重傷/軽傷)にほぼ近い。すなわち、当該災害が原因で死亡した者（または死亡したことが確実な者）を、災害発生時に滞在していた市町村の死者として扱い、負傷し1ヶ月以上の治療を要した者を重傷、1ヶ月未満を軽傷とする。しかし、この数値が防災対策に活用されていない実態に留意すべきである。本来災害時には医療態勢に関わる情報がより重要なはずであり、消防庁(災害救急)で用いる症度(重症/中等症/軽症)で判断すべきであろう。平常時においては入院加療を要する中等症であっても、大災害時には二次救急病院における重症患者措置を必要としない判断もある。症度情報は傷度情報と同様に人的被害情報として必要である。この情報は事前の医療防災対策の観点からも重要であり、想定被害情報としても有効なはずである。このことに配慮できる外傷重症度指標ISS(またはAIS)評価を推奨する。本研究では当面、内臓損傷($ISS \geq 12.5$ または $AIS \geq 4$)以上を重症とする。医療処置は必要だがより症度の軽い火傷・捻挫・脱臼・単数骨折程度($12.5 > ISS \geq 3$ または $4 > AIS \geq 2$)を中等症とする（図5）。

もう一つの問題は被害実数の信憑性である。重軽傷者の定義の曖昧さに加え、対策本部が把握し公表している負傷者数は災害対策本部基準によれば、災害時において救急医療チームが当該自治体の第二次救急病院に搬送した負傷者のみをカウントしているケースが多く、災害発生時に居留の市町村負傷者数から漏れてしまうこともあるということである。事実、当該地震において厚真町の公表重傷者はゼロであるが、足部骨折により他市の病院に救急搬送され入院加療1ヶ月以上を要した重傷者がいた。当研究グループが被災3町全世帯を対象に実施したアンケート調査による負傷者数を集計し表2中に示す。公表値に比べアンケートでは他市町村病院に入院した重傷患者をも捕捉しており、負傷率に不自然さはない。被害データ(公表値)は、種々の評価式構築のための基礎となる値であり、この値に信憑性がなくなると被害評価そのものの信頼性が失われ由々しき事態となる。公表値といえどもデータの収集法、また定性的データの場合はその尺度の定義を含め、細心の注意が必要である。

引用文献：

4)田畑・岡田 地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案, 日本建築学会構造系論文集, 605, 2006.

(5) シナリオ連鎖型被害評価法の提案

南海トラフ巨大地震被害想定報告書には「建物の現状の耐震化率（約8割）を約9割まで上げることによって、全壊棟数は約4割減少すると推計される」との記載がある。また「家具等の転倒・落下防止対策の実施率の現状は約26%であり、実施率を75%に強化した場合、それによる死者数は約半減すると推計される」とある。しかし内閣府の被害推定手法によりこの軽減効果を合理的に説明するのは不可能である。なぜなら、同手法では住家の建築年をパラメータとした被害推計であり、耐震化強化策による耐震性能向上を陽の形で検討はできないし、家具固定もその実施率強化が対策ではあるものの、推定式内での実施率とは何らかの固定対策を実施している世帯割合であり、世帯による固定家具数の違いについては何の配慮もなく、実質的家具固定率ではない。

人的被害は建物倒壊に伴う部材落下によるもの、それに加えて室内の家具配置密度（これは地域性や世帯年代、加えてライフスタイルが強く反映する）に大きく左右される室内散乱状態下における居住者の避難行動の適否（これは地震発生時間帯が大きく影響する）、家具等との接触状態など、種々の物理的条件とその時間展開の中で発生する。これらを被害推定式で因果関係として記載し、さらに先に提案の被害指標に従った被災状態推定により、始めて具体的軽減対策情報となり対策の効果評価も可能となる。内閣府と北海道の方法比較において胆振東部地震の被害検証を通して北海道の有意性を明らかにしたところではあるが、まだ不十分であることがこれからも明らかであろう。図6～8は住家と人的被害に関するそのための被害想定手法の提案である[岡田・中嶋(2018)⁵⁾]。

この被害想定手法で計算した結果は表2中の最右列である。ハザードは想定震度分布ではなく、胆振東部地震のQuiQuake分布を用いたため想定被害と直接比較はできない。また、負傷者数は多少多く推定されているが、その理由を提案式から検討した。推定に用いるパラメータは「揺れている最中の負傷非回避行動能力(1-B)=100%（回避行動は全くとれなかったとした）」と「家具配置密度に関わる家具転倒領域率R=15%（全国消費実態調査報告の北海道の平均値を採用）」としたが、実際には被災3町の寝室の家具転倒領域率がそれぞれでかなり小さかった(11.8%・7.2%・13.2%)ことが理由に挙げられ、このように室内状況の地域性も検討可能となる(図9)。

引用文献：

5)岡田・中嶋：建物倒壊及び室内散乱に伴う地域の地震時人的被害評価式の統一,日本建築学会大会学術講演梗概集(東北),21276,2018.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

小林純平・中嶋唯貴・岡田成幸,2021,夜間発生地震に対する人体損傷度関数の適合性並びに応用拡張性の検討,第48回地域安全学会研究発表会(春季),C-9

岡田成幸・中嶋唯貴・竹内慎一,2021,地震被害想定を検証 その2 ー対策に必要な人的被害情報とその評価法ー,日本建築学会大会学術講演梗概集(東海),21024

竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴・森松信雄・宮内淳一・長瀬拓也・齊藤隆典・戸松誠,2021,北海道胆振東部地震の被害を考慮した木造被害率関数の検討 ーその1 地震被害情報による被害率関数のベイズ更新ー,第94回日本建築学会北海道支部研究発表会,No.112

岡田成幸・中嶋唯貴・岩崎祥太郎・竹内慎一・松島信一・三宅弘恵,2022,北海道胆振東部地震からみえた地震被害想定情報の新たな課題,令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,B119

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田成幸(北海道大学広域複合災害研究センター),中嶋唯貴(北海道大学大学院工学研究院),松島信一(京都大学防災研究所),三宅弘恵(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学 広域複合災害研究センター
 電話：011-706-3882
 e-mail：okd@eng.hokudai.ac.jp
 URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田 成幸
 所属：北海道大学 広域複合災害研究センター

表1

被害種別	被害		想定地震		胆振東部地震		
	程度	対象地域	北海道	内閣府	公表被害実数	全世帯アンケート 住人判定	罹災証明
木造住家	全壊数 (全壊率)	厚真町	196棟 (10.40%)	1,014棟 (53.82%)	235棟 (12.47%)	(7.04%)	(10.26%)
		安平町	175棟 (5.90%)	1,219棟 (41.09%)	93棟 (3.13%)	(2.31%)	(2.53%)
		むかわ町	174棟 (5.19%)	1,405棟 (41.93%)	40棟 (1.19%)	(1.91%)	(0.64%)
	半壊数 (半壊率)	厚真町	284棟 (15.07%)	459棟 (24.36%)	335棟 (17.78%)	(4.90%)	(15.90%)
		安平町	333棟 (11.22%)	838棟 (28.24%)	366棟 (12.34%)	(2.93%)	(12.10%)
		むかわ町	398棟 (11.88%)	1,015棟 (30.29%)	186棟 (5.55%)	(2.80%)	(5.52%)

表2

被害種別	被害		想定地震		胆振東部地震		
	程度	対象地域	北海道	内閣府	公表被害実数	全世帯アンケート 換算値	提案手法 非回避行動 率1.0
住家被害に伴う人的被害	死者数 (死者率)	厚真町	5人 (0.11%)	10人 (0.21%)	0人 (0%)	0人 (0%)	5人 (0.11%)
		安平町	4人 (0.05%)	12人 (0.15%)	0人 (0%)	0人 (0%)	7人 (0.09%)
		むかわ町	4人 (0.05%)	13人 (0.16%)	0人 (0%)	0人 (0%)	3人 (0.04%)
	重傷者数 (重傷者率)	厚真町	4人 (0.09%)	32人 (0.69%)	0人 (0%)	0人 (0.00%)	20人 (0.43%)
		安平町	7人 (0.09%)	53人 (0.65%)	7人 (0.09%)	4.7人 (0.06%)	33人 (0.40%)
		むかわ町	8人 (0.10%)	67人 (0.80%)	27人 (0.32%)	4.3人 (0.05%)	14人 (0.17%)
	軽傷者数 (軽傷者率)	厚真町	64人 (1.37%)	0人 (0%)	61人 (1.31%)	19.9人 (0.43%)	241人 (5.17%)
		安平町	66人 (0.81)	0人 (0%)	10人 (0.12%)	32.6人 (0.40%)	463人 (5.66%)
		むかわ町	80人 (0.95%)	0人 (0%)	250人 (2.98%)	60.0人 (0.67%)	286人 (3.41%)

表1 木造住家に関する想定地震と胆振東部地震との比較 表2 人的被害に関する想定地震と胆振東部地震の比較

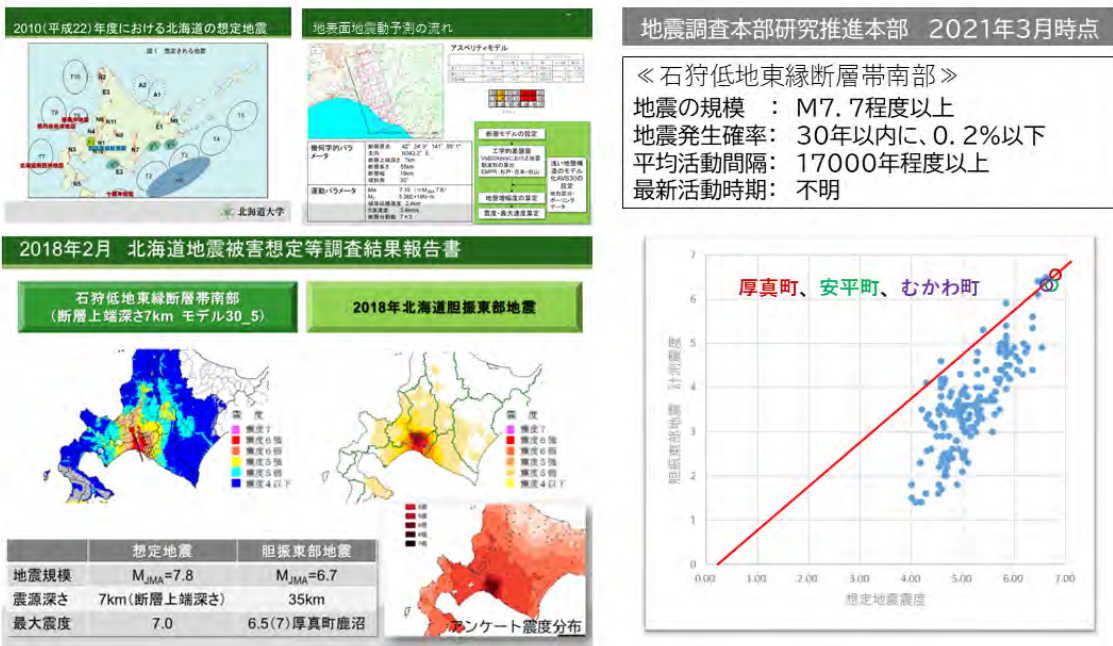


図1 北海道の想定地震と2018年北海道胆振東部地震の震源及び市町村震度比較

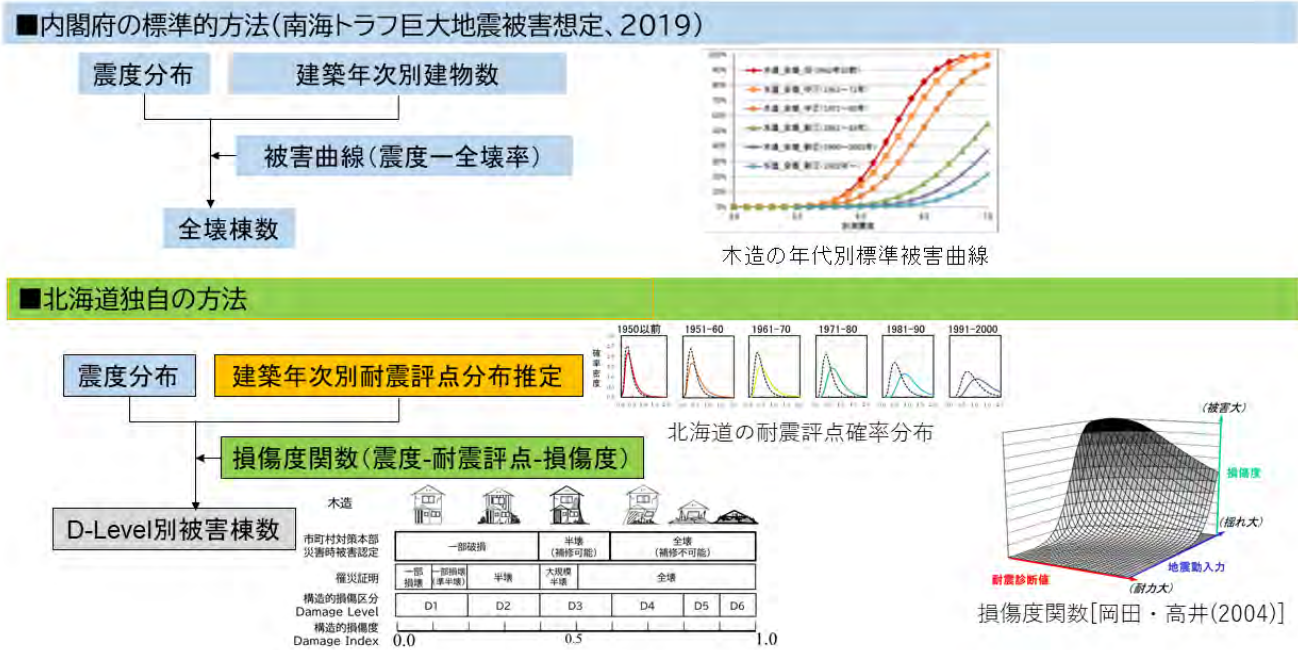
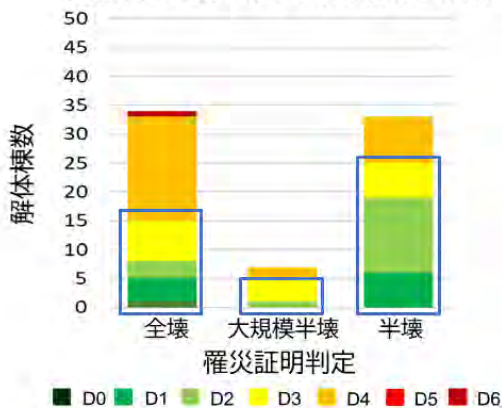


図2 木造住家被害想定手法の比較

胆振東部地震における解体撤去の状況



その後の再建(新築)状況の比較

調査地区	罹災証明	解体率	補修率	再建率
2004年 新潟県中越地震	全壊	72%	28%	23%
	半壊	93%	7%	83%
2007年 能登半島地震	全壊	86%	14%	67%
	半壊	20%	80%	67%
2016年 熊本地震	全壊	99%	1%	28%
	半壊	83%	12%	31%
2018年 北海道胆振東部地震	全壊	60%	34%	30%
	半壊	21%	77%	42%

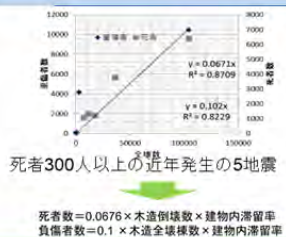
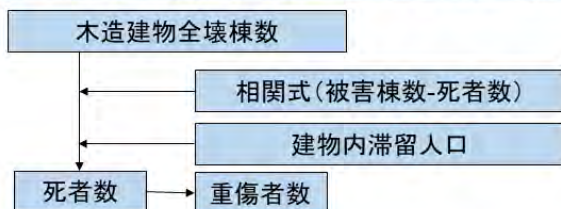
この地域の特徴

- 構造被害が小さくても(D0~D3)、全壊判定されるケースがある。
- 構造被害が小さくても、解体撤去するケースが多い。
- 撤去後の再建率が低く、その後町を離れるケースが多い。
- 全・半壊共に再建費用が工面できず、助成のある補修で対応する世帯が多い。

⇒世帯復旧には「罹災証明判定」が有用。対策に直接関与する被害認定基準の導入の必要性。

図3 復旧と罹災証明の実態：地震後1~2年後の調査から

■内閣府の標準的方法(南海トラフ巨大地震被害想定、2019)



■北海道独自の方法

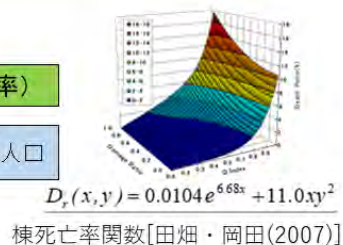
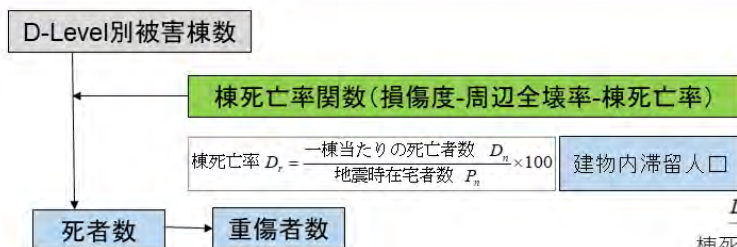
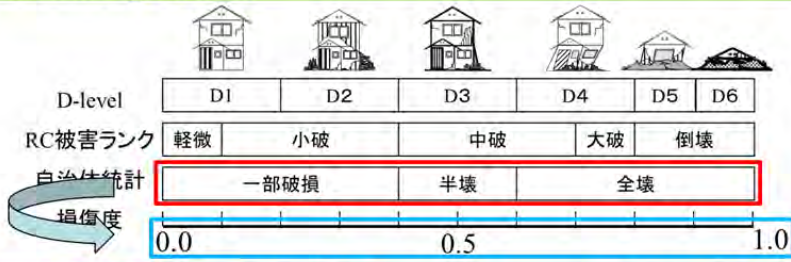
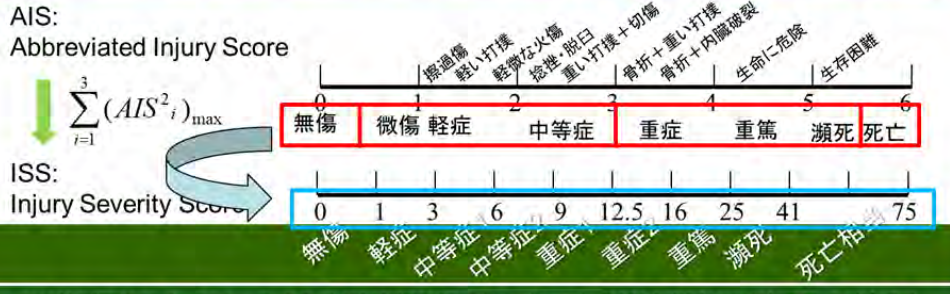


図4 人的被害想定手法の比較

■ 建物損傷度: Damage Index



■ 人体損傷度: 多発性外傷重症度指標 Injury Severity Score (ISS)



⇒この指標によるシナリオ連鎖型評価式で減災対策の適否を検討

図5 新たな被害指標の導入

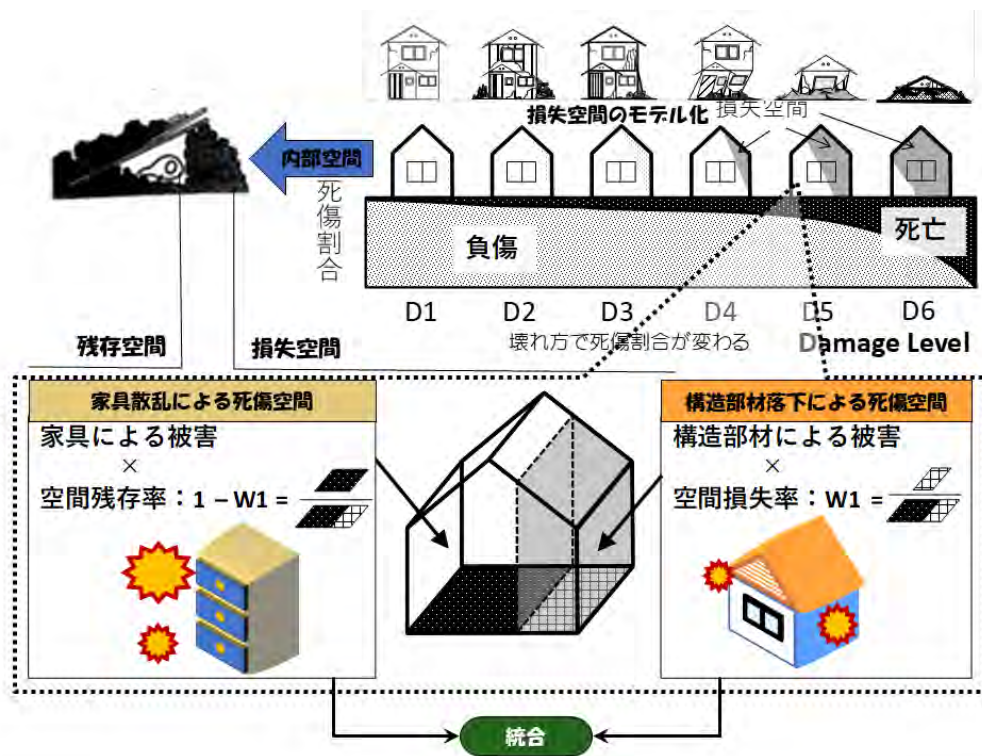


図6 人的被害に結びつくシナリオ連鎖型（構造被害+室内被害）統合式

建物損傷度別木造住宅内人的重症度分布(人)

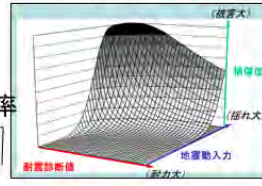
築年代分布・木造率でモデル化 ⇒ 地域内損傷度分布 ⇒ 地域内のISS値を確率分布

$$M_{ISS}(\theta) = \sum_{\Delta x=0.6}^{1.0} \sum_{I=0}^{7.4} M_f(I) \cdot P(I, \Delta x) \cdot W_{\Delta x} \cdot f''_{\Delta x}(\theta)$$

- $P(I, \Delta x)$: 岡田・中嶋の損傷度関数による損傷度 Δx の超過確率
- $M_f(I)$: 木造住宅内震度暴露人口
- $W_{\Delta x}$: 建物内部空間損失率(W値)
- $f''_{\Delta x}(\theta)$: 建物損傷度別ISS発生確率 (岡田・中嶋: 阪神淡路大震災のデータからベイズ更新)

〈計算時に参照するデータ〉

- 人口分布: 総務省国勢調査(2015)
- 震度分布: 各自治体想定(札幌市: 250m区画)
- 木造率: 総務省住宅土地統計(~1950, 1951, 1961, 1971, 1981, 1991~)
- 築年代分布(耐震評点分布): 総務省住宅土地統計(同上)



住家の損傷度関数 [岡田・高井(2004)]



耐震評点確率分布

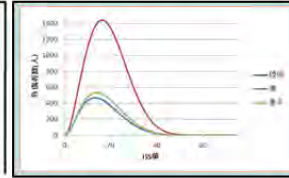
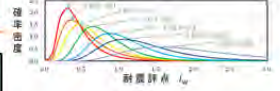


図7 建物損失空間における構造物落下による人的被害の評価

室内被害: 家具転倒による人的ISS分布(人)

■ 既往研究: 1世帯における家具転倒による人的ISS評価

(1) 家具転倒領域率による負傷確率(名知・岡田2007)



$$P_X(x = k) = {}_n C_k \cdot R_{tr}^k \cdot (1 - R_{tr})^{n-k}$$

(2) 家具転倒による人的ISS評価(岡田2011)

$$p(\vartheta|y) = k \cdot l(y|\vartheta) \cdot p(\vartheta) = Be(a_0 + r, b_0 + n - r)$$

地域に拡張

■ 提案式: 地域の家具転倒による人的ISS評価

地域の世帯人員別の保有家具種類・家具数の平均モデル化

$$F_{I,T,U}(\vartheta) = \sum_{n=1}^6 \{ P_{n,I}(\vartheta) \times U \times N_n(I) \times T \}$$

家具配置密度, 行動能力, 世帯人数, 地震時の在宅率

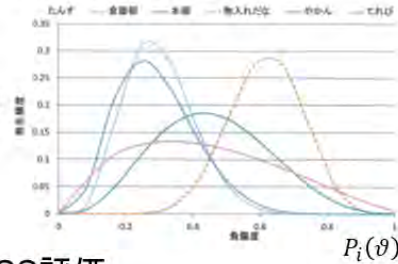


図8 建物残存空間における人的被害想定式の構築

家具転倒によるISS評価式:

$$F_{I,T,U}(\vartheta) = \sum_{n=1}^6 \{P_{n,I}(\vartheta) \times U\} \times N_n(J) \times T$$

負傷世帯発生率(I_{injury}):

居室人数 n に対して負傷者数 x が0より多く発生する確率として以下の式で表される。 R :家具転倒領域率、 $1-B$:非回避行動率

$$I_{injury} = P_x(x > 0) = \{1 - (1 - R)^n\} (1 - B)$$

家具転倒領域率の推定結果

	I_{injury} [%]	n [人/フロア]	$1-B$ [%]	R [%]
厚真町	18.8	1.661	100	11.8
安平町	12.4	1.775	100	7.2
むかわ町	23.3	1.876	100	13.2

北海道の二人世帯の転倒領域率平均値は 15%

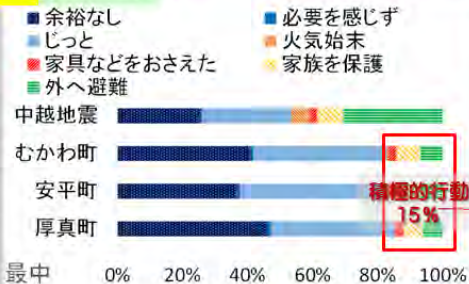


図9 室内家具転倒による負傷確率算定式から【夜間でも負傷者が少なかった理由を】推測する

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価手法の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

まず文献調査等を通じて既往の室内土質試験における不確実性の要因について分析を行う。また、砂質土を対象とした一連の室内土質試験（非排水繰返し中空ねじり試験）を新たに実施する。この際、供試体の密度や外力（せん断応力）の違いに加えて、同一の試験条件下で実験者が異なる複数ケースの実験を実施することで、より詳細に室内土質試験における不確実性の因子について考察を行う。さらに、得られた室内土質試験における不確実性を構成モデルのパラメータフィッティングに反映させることで、土の応力-ひずみ関係の不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価手法を確立することを目指す。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地盤地震工学の分野において液状化実験等で用いられることの多い豊浦標準砂を対象に、異なる3組の実験班による一連の室内土質試験を実施した。まず、地盤工学会基準に基づき物理試験（土粒子の密

度試験、粒度試験、砂の最小・最大密度試験)を実施することで、豊浦標準砂の物理特性を把握するとともに、結果に及ぼす不確実性の因子(実験者の違い等)について分析した。また、中空ねじりせん断試験装置を用いて液状化試験(非排水繰返しせん断試験)を実施することで、豊浦標準砂の液状化強度や繰返しせん断特性の評価を行った。この際、供試体の密度や外力(せん断応力)といった定量化しやすい違いに加えて、実験者の個体差が試験結果に及ぼす影響についても分析した。その結果、すべての実験者の平均的な傾向と実験者毎の個体差とを適切に考慮することで、試験結果に基づく液状化強度等の予測区間を従来よりも合理的に評価できることが示された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

今年度の成果は土質材料の室内試験結果の不確実性に関するものであり、あくまで砂の要素レベルでの挙動評価に留まっている。しかしながら、大地震時における液状化や地すべり等の地盤災害、また地盤・構造物系の動的挙動を数値解析的手法により高精度に評価するためには、土質材料のサンプリングと室内試験による物理・力学特性の把握が不可欠である。本成果では、不確実性の一因として実験者の個体差を考慮して室内土質試験を解釈する方法論およびその利点について考察がなされており、将来の地震時における地盤災害の予測精度向上に貢献するものであると考えられる。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Kyohei Ueda,2022,Hierarchical Bayesian Approach to Estimating Variability of Liquefaction Resistance of Sandy Soils Considering Individual Differences in Laboratory Tests,Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,148(2),04021188,doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002749

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

上田恭平(京都大学防災研究所),田中宣多(京都大学防災研究所)
他機関との共同研究の有無:無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:京都大学防災研究所
電話:0774-38-4092
e-mail:ueda.kyohei.2v@kyoto-u.ac.jp
URL:

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:上田 恭平
所属:京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

即時建物被害予測技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

巨大地震発生時に早期に災害対応を実施し、二次被害を軽減するためには、迅速な被害把握が不可欠である。今日では、依然として被害把握には「応急危険度判定」や「被災度区分判定」といった、技術者の目視に依る方法を用いている。これらの方法は、非常に時間がかかり、またそもそも仕上げなどにより構造体が見えな、超高層建物などで目視調査が現実的ではない、といった問題がある。

これらの問題を解決するため、今日では、①衛星画像を用いた超広域被害把握、②ドローンなどの飛行体を用いた広域被害把握、③構造物に設置したセンサーを用いた被害把握、等の方法が精力的に開発されつつある。

そこで本研究では、目視調査に代わる新たな方法として、上記①～③の手法に着目し、その概要と実現可能性について調査を行う。災害対応策として採用するためには、その精度評価が重要となるため、特に精度に関する情報の整理を行う。

③の方法の一つに、等価線形化法を応用したものがあある。これは、建物脚部での地震動記録から得られる加速度応答スペクトルを縦軸に、変位応答スペクトルを横軸に取った要求曲線と、構造物の非線形応答を等価な一自由度系に縮約した性能曲線と重ねることにより、構造物の地震時の応答値を推定する方法である。この方法を援用した地震発生前に構造物の被害予測方法についても検討を行う。こ

の手法により、従来の地表面最大加速度や地表面最大速度を用いたフラジリティ曲線による被害推定に比べて、その推定精度の向上が見込まれる。また、同手法を実際に用いるために必要な、地震入力側の情報についても整理を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地面での最大加速度や最大速度といった地震動の指標値を予測または計測し、経験的に求めたその指標値と被害率の関係を用いて被害程度を推定する方法はこれまでも広く用いられてきた。この指標値と被害率の関係は「フラジリティ曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度（PGA）や最大地動速度（PGV）の関係から経験則として求められてきた。最近でも2016年熊本地震や2011年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物のフラジリティ曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法でフラジリティ曲線をステイすることは困難となりつつある。

そこで本研究では、近年のフラジリティ曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用したフラジリティ曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討した。特に、鉄筋コンクリート造については、木造建物と比較すると地震被害を受けた建物棟数が少なく、その多くが甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震による被害であり、被害関数はこの被害に適合するように作成されていることがほとんどである。そこで、一質点系モデルの地震応答解析による被害関数の構築手法に関して検討をおこなった。RC建物モデルとしてTAKEDAモデルを用いた。建物モデルの弾性周期と降伏時ベースシア係数のばらつきは、建物階数別の棟数統計データ・既往文献をもとにそのばらつきを確率密度関数として仮定し、これらの分布に沿うような一質点系モデルを一万通り作成した。入力地震動としては観測点周りの建物被害率が求められている53か所の強震観測記録を、建物弾性周期の4倍の周期分布で重みづけした速度応答値で基準化して使用した。地震応答解析による最大応答値が閾値（ここでは塑性率4）を超えるものを大破と判定することとして、解析ケースの半数が大破となる時被害率50%であるとして被害関数を構築し、既往の被害率関数に概ね対応した結果が得られた。

衛星を用いた被害把握では、人工衛星搭載の合成開口レーダ（SAR）を用いて熊本地震の全壊判定の建物の詳細被害（層破壊、傾斜、壁・屋根被害）の検出可能性について検討を行い、地震前後の位相情報の干渉性から、ある程度被害程度を分離できる可能性があることを明らかにした。また、ドローンを用いた被害把握では、木造建物の振動台実験をドローンにより撮影することで、振動把握の可能性について検討した。建物の被災度は、現状では目視調査による被災度区分判定を実施して、建物の被災度を無被害・軽微・小破・中破・大破・倒壊に分類する手法を開発し、振動台実験によりその有効性を確認した。インフラ設備については、2016年熊本地震の熊本市および益城町、2011年東北地方太平洋沖地震の仙台市と福島県いわき市、2007年新潟県中越沖地震の新潟県柏崎市の上水道管路の被害データを用いて、現行の被害予測式との比較を行った。具体的には、上水道管路の被害率に対する様々な要因の影響度を明らかにするために、これらの上水道管路被害データを用いて、管路被害率を目的変数とした数量化理論I類による回帰分析を行った。その結果、PGVの影響度が最も大きく、次いで管種、液状化の影響度が大きいという結果になった。微地形、微地形境界条件の影響度はほぼ同程度で、あまり大きくないことが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

五月女和宏、中村友紀子,2022,建物周期分布を考慮した地震応答解析に基づくRC造建物の被害率関数の構築,2021年度日本建築学会関東支部研究報告集

五月女和宏、中村友紀子,2021,速度応答を指標とした地震応答解析に基づくRC造建物の被害率関数の構築手法に関する研究,日本建築学会学術講演梗概集、構造(Ⅱ),pp.37-38

毎田悠承、齊藤隆典、岸本航輝、宮内博之、楠浩一,2021,UAVを活用した振動台実験の光学的動変位計測,日本地震工学会大会2021梗概集,T2021-011

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

楠浩一（東京大学地震研究所）,西嶋一欽（京都大学防災研究所）,松島信一（京都大学防災研究所）,倉田真宏（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

前田匡樹（東北大学大学院工学研究科）,松岡昌志（東京工業大学環境・社会理工学院）,中村友紀子（千葉大学大学院工学研究院）,中嶋唯貴（北海道大学大学院工学研究院）,毎田悠承（東京工業大学環境・社会理工学院）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所

電話：03-5841-1760

e-mail：kusunoki@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：楠 浩一

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
イ. 津波の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
イ. 津波の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

南海トラフなどで将来発生する大地震による沿岸での津波高や浸水域の予測にあたっては、地震の規模や断層の位置・大きさ・すべり量の推定の不確実性に伴う津波高予測の不確実性について評価し、確率論的ハザード評価につなげることが重要である。津波高は断層面上のすべり量分布やそれによる初期水位分布の不均質性に依存することがわかっているが、これらを事前に確定論的に予測することは困難であるため、過去の巨大地震の解析結果に基づく統計的な性質を用いる、将来の地震のアスペリティ位置などを推定する等の確率論的な予測を行う必要がある。この際には、最新の確定論的な解析結果による統計量やスケール則を用いることが重要である。本提案では、東大地震研のグループと京大防災研のグループが連携して、最新の研究成果・開発手法を持ち寄り共同研究を行うことにより、沿岸における津波高の予測について、断層パラメータの不確実性の評価や断層面上のすべりの不均質性を考慮した確率論的な予測とこれをもとにした市街地での被害予測の関係を体系化することを目的とする。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

数値モデルによる浸水評価の不確実性については、和歌山県海南市の詳細な地形モデルを用いて、津波浸水に対する4つの非線形長波方程式を基礎とする数値モデルの性能を水槽実験の結果と相互に比較した。水槽実験は2018年に京大防災研グループによって行われたものである。また、比較する4つの数値モデルの中には、これまでに東大地震研グループと京大防災研グループがそれぞれ多く用いてきたJAGURSやTUNAMI-N2のモデルを含んでいる。モデル間比較によって次のような結果が得られた。(1)常に湿っている地域ではモデル間の変動は小さい。(2)wet-dry境界の伝播により浸水到達時間、最大水位、流速のモデル間変動が大きくなる。(3)浸水域と最大水位は、浸水先端部の速度や最大流速に比べてモデル間の変動が小さい。この原因は、wet-dry条件に関する詳細な実装の手法の差異と考えられる。これらの結果から、建物を対象としたシミュレーションによる浸水域と水位は比較的高い信頼

性を持つが、速度の予測値はいずれも誤差が大きく、シナリオアンサンブル計算を使用する場合のみ考慮すべきである。以上の成果は、Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineeringに掲載済である。

地形による津波の応答関数については、メキシコ太平洋沿岸と日本の駿河湾を対象に、確率津波モデルによる多数の津波計算結果から、スペクトル解析を用いて沿岸地点における周波数応答関数を推定した。さらに推定した地形による応答関数をもとに、沿岸域のスペクトルから津波波源の影響と地形による影響へ分離し、波源と地形のそれぞれが津波のエネルギーに寄与する割合を求めた。この寄与率を多数のシナリオおよび複数の地点で求め、その寄与率の範囲と空間特性の統計的特性について把握した。主要な結論は以下の通りである。沿岸地点の津波のスペクトルと波源のスペクトルの比から応答スペクトルを求め、さらに外洋・陸棚・湾と3つの異なる空間スケールの応答スペクトルの抽出を行った。求めた応答スペクトルの卓越周期は、観測データや湾の形状を考慮して概算した固有周期と概ね一致した。応答スペクトルより確率津波モデルは任意の地点での波の応答特性を求めることが可能であり、津波の地域特性評価に有用であることがわかった。この成果は国際会議International Tsunami Symposiumで口頭発表された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Fukui, N., Chida, Y., Zhang, Z., Yasuda, T., Ho, T.-C., Kennedy, A., & Mori, N., 2022, Variations in Building-Resolving Simulations of Tsunami Inundation in a Coastal Urban Area, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean

Engineering, 148(1), doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000690

Ho, T., Satake, K., Watada, S., Hsieh, M., Chuang, R. Y., Aoki, Y., Mulia, I. E., Gusman, A. R., & Lu, C., 2021, Tsunami Induced by the Strike-Slip Fault of the 2018 Palu Earthquake (Mw=7.5), Sulawesi Island, Indonesia, Earth and Space Science, 8(6), doi.org/10.1029/2020EA001400

宮下卓也, 倉田一輝, 安田誠宏, 森信人, 志村智也, 2021, 確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価, 土木学会論文集B2(海岸工学), 77(2), I_181-

I_186, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_I_181

福井信気, 森信人, 千田優, 安田誠宏, 2021, 都市地形を対象とした津波浸水時の陸域の流速場の比較検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), 77(2), I_211-I_216, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_I_2111

・学会・シンポジウム等での発表

Ho, T.-C., Satake, K., Watada, S., and Fujii, Y., 2021, What we learned from the 2011 Tohoku Tsunami that unveils the 1960 Chile Earthquake., The 30th International Tsunami Symposium.

Miyashita, T., Mori, N., and Ho, T.-C., 2021, Estimation of Tsunami Response Functions Considering Bathymetry in the Pacific Coast of Japan, The 30th International Tsunami Symposium.

菅沼亮輔, 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2022, 南海トラフ地震を対象とした津波および強振動被害の複合評価, 令和3年度防災研究所研究発表講演会

宮下卓也, 倉田一輝, 安田誠宏, 森信人, 志村智也, 2021, 確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価, 第68回海岸工学講演会

福井信気, 森信人, 千田優, 安田誠宏, 2021, 都市地形を対象とした津波浸水時の陸域の流速場の比較検討, 第68回海岸工学講演会

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

宮下卓也（京都大学防災研究所）, 森信人（京都大学防災研究所）, 志村智也（京都大学防災研究所）, 何東政（京都大学防災研究所）, 福井信気（京都大学防災研究所）, 佐竹健治（東京大学地震研究所）, 古村孝志（東京大学地震研究所）, 綿田辰吾（東京大学地震研究所）, 佐藤哲郎（東京大学地震研究所）, 王宇

晨（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所
電話：0774-38-4142
e-mail：miyashita.takuya.4w@kyoto-u.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮下 卓也
所属：京都大学 防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

リアルタイム地震情報配信手法の高度化に向けた地盤特性の影響度評価

(3) 関連の深い建議の項目：

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

R3年度は、建築研究所が観測する関東地域内の中高層建物、京都大学内の施設（京都大学医学部附属病院および時計台）、研究チームが京都市左京区内で構築を進める医療施設の観測網の対象建物（京都バプテスト病院、吉川病院など）、を対象に、ミニアレイ微動観測を実施し地盤特性を推定する。具体的には、地盤の微動観測記録に自己空間相関法（SPAC法）を適用し、表層地盤の速度構造を探查する。速度構造を考慮し、応答スペクトルの補正式と建物応答推定式を高度化する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

R3年度は京都市左京区内の医療施設地震時応答観測網の対象建物のうち、日本バプテスト病院、吉川病院において、ミニアレイ微動観測を実施し地盤特性を推定した。図1に、病院の位置関係と花折断層の破壊により生じる地震動（PGA）の推定マップ（京都府、2010年）を重ねる。地震動の予測では、鴨川に近い京大病院と吉川病院が同等で600-1000 cm/s^2 程度、山間に位置する日本バプテスト病院は400-600 cm/s^2 程度である。

図2左は吉川病院駐車場で実施した微動アレイ観測の様子である。地盤の微動観測記録に自己空間相関法（SPAC法）を適用し、表層地盤の速度構造を探查した。図2右に得られた位相曲線を示す。位相曲線から表層地盤（地表からおよそ30m程度の深さまで）の平均S波速度を推定すると300m/s程度と大きな値となり、吉川病院の建物応答推定においては、一般的な地盤における増幅を考慮するのみで良いと考えられる。ただし、建物の形状はL字型で特徴のある平面を有し、さらに屋上の塔屋はスレンダーな形状をしているため、建物応答が複雑である可能性が高いと判断された。そのため、無線式の小型微動計による多点常時微動計測を実施し、応答特性の分析を進めることとした。現在、観測データを分析中で詳細は割愛するが、塔屋が大きく揺れる振動モードが多く、またL字型平面に起因するねじれ振動モードも多く抽出されている。

日本バプテスト病院の敷地は斜面に位置しており、病院の入り口は1階だが、建物裏側に位置する駐車場への出入り口は3階になる。地盤の擁壁と建物の間にはスペースが設けられているが、擁壁の剛性を

確保するためか、建物との間に控え壁が配置されており、建物と地盤が完全に独立していない。控え壁上部と建物の接続部には、地震に起因するとみられる亀裂が見られた。このように建物には変土圧が作用している可能性があり、多点常時微動計測を同時に実施した。現在、データを分析中である。微動アレー観測を実施した位置と位相曲線を図3に示す。地盤は予想よりも良好で、特にサイト特性による地震動の増幅が大きくなる可能性は見いだせなかった。しかしながら、敷地内で盛土造成されたとみられる一部の地盤は比較的柔らかいことが、周辺ボーリングデータから確認できた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震時に災害対応の拠点となる大規模病院が受ける被害を迅速に把握する観測システムの高度化と拡張に努めた。大地震時の災害リスクの評価に貢献があると考えている。また、地震発生メカニズム、地盤特性、建築構造分野の専門家が共同で課題に取り組み分野間や研究拠点間の連携を推進するとともに、病院施設を管理する施設管理者や運営者である医師、と災害時対応の連携を深めている。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

福澤暁人, 池田芳樹, 倉田真宏, 2021, 建物の基部と上部および周辺地表の地震記録から同定した振動モード特性に基づく地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価, 構造工学論文集, 67B, 483-494
Yamada, M, 2021, Development of the Empirical Function to Estimate Shaking Amplitude and Duration in Buildings Based on Strong Motion Records, 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion

・学会・シンポジウム等での発表

池田芳樹, 倉田真宏, 福澤暁人, 2021, 3点の地震計測による地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価（その1）1次振動モード特性の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21133
福澤暁人, 倉田真宏, 池田芳樹, 2021, 3点の地震計測による地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価（その2）同定した1次振動モード特性と質量の情報に基づく地盤ばね 巻 号：2020, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21134

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

倉田真宏（京都大学防災研究所）, 池田芳樹（京都大学防災研究所）, 山田真澄（京都大学防災研究所）, 楠浩一（東京大学地震研究所）, 鶴岡弘（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

鹿嶋俊英（建築研究所）, 柏尚稔（国土技術政策総合研究所）, 溜淵功史（気象研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4084

e-mail：kurata.masahiro.5c@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：倉田 真宏

所属：京都大学 防災研究所

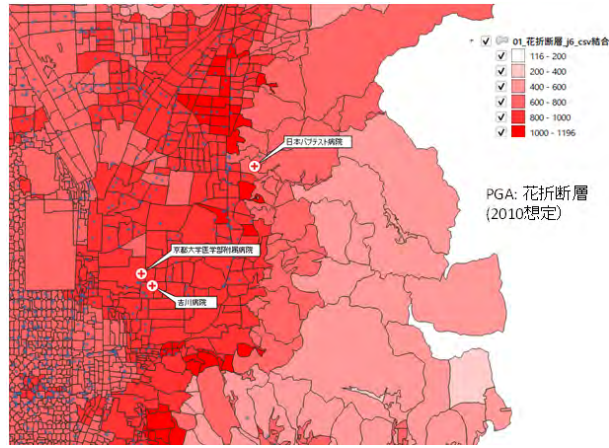


図1 観測中の医療施設

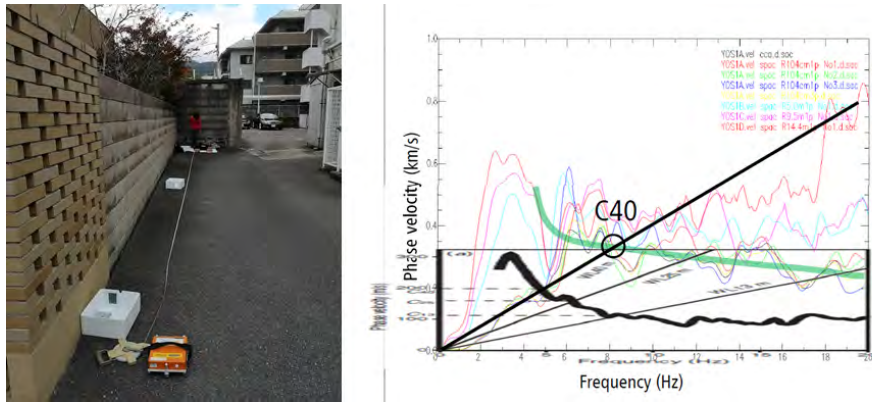


図2 吉川病院の微動観測と地盤位相曲線

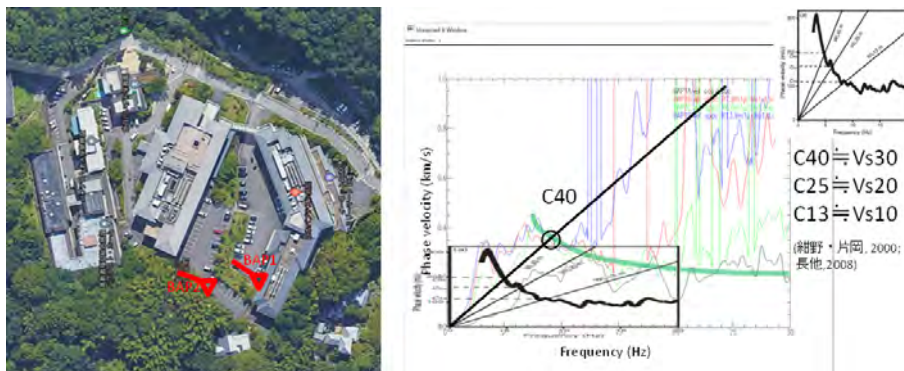


図3 日本バプテスト病院の微動観測と地盤位相曲線

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

強震動のブラインド予測結果に基づく強震動予測技術の精度と信頼性に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

本申請での研究は、ESG6が開催される2021年8月を境にして、2つに分けられる。ESG6開催前の2021年度前半には、熊本市のテストサイト（堆積層サイトと岩盤サイト）周辺で取得した地震観測および微動観測データの分析を行い、テストサイト周辺での地震動特性の空間的な変動に関する検討を行う。また、岩盤サイトの極表層部での地震動特性への影響を評価し、ESG6での岩盤サイトでの地震記録を用いる際に注意すべき点を明らかにする。これらの検討のために必要に応じて微動・地震観測などの現地調査も実施する。

2021年度後半には、ESG6で公表されるブラインド予測の結果を入手して、テストサイトの地盤モデル推定および地震動予測結果の精度について検討する。まず、地盤モデルの推定と地盤増幅評価の性能での問題点を抽出し、地震動予測のための地盤モデルの構築に関する考え方にまとめる。つぎに、地震動予測手法や震源・地盤モデルの設定に伴う地震動予測結果のばらつきや精度を明らかにする。さらに、ESG6で行われる議論を踏まえ、地盤のモデル化手法や地震動予測手法の特徴をまとめ、現時点での地震動予測技術の到達点と課題を明確化する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ESG6でのブラインド予測の結果と観測記録との一致の程度を定量的な指標によって評価した。ここでは、最大余震による強震動を予測するステップ2（BP2）に対して評価した結果を説明する。Fig.1には、Anderson(2004)の指標による各参加者の計算値と観測値との比較を示している。これらの指標は、継続時間（C1-2）、エネルギー（C3-4）、最大値（C5-7）、スペクトル特性（C8-9）、相互相関係数（C10）の10個である。さらに、これらを平均した総合指標S1も比較に用いた。相互相関係数（C10）は、全体的に低い値であり、S波走時などの不一致による低下であると考えられる。しかし、継続時間、最大値、スペクトル特性に関する指標は、高い値である。とくに、継続時間は、BP参加者間でのばらつきも小さく、安定した強震動予測が行われていると考えられる。一方、最大値は、ばら

つきが大きく、予測時の適切な仮定が必要であると考えられる。

ESG6のBPでは、減衰特性も含めて地下構造モデルのチューニングも行われている。熊本平野のテストサイトでは、PS検層の基づく詳細な地下構造モデルを事前に提供した。一方、岩盤サイトでは、特定の地下構造モデルを事前に与えていなかった。上記のBPの結果のばらつきの一因には、岩盤サイトの地下構造情報が少ないことが考えられる。そこで、本研究では、BPの岩盤サイトにおいて微動探査と表面波探査を実施し、地下構造情報を得ることを試みた。

Fig.2に示すように、表面波探査は3つの測線で行われた。各測線では、1もしくは2m毎に上下成分地震計を設置した。測線の両端および中心点で上下加振が行われ、その地動速度を24chの探鉱器で計測した。表面波探査のうち最も長い測線1の結果について説明する。測線1の北側での加振による上下成分の速度記録をFig.3に示す。分散性を持つ波動が顕著に認められる。距離12-40mの波形に対してビームフォーミング解析を適用し、Fig.4に示すように位相速度を得た。10~60Hzの周波数帯域では、周波数の増加に伴って位相速度は徐々に小さくなる。さらに、60~80Hzでは、位相速度が大きくなり、高次モードの影響の可能性が高いと考えられる。しかし、この周波数帯域でも基本モードに対応する振幅の大きい位相は認められる。

微動探査では、測線1付近で2つの異なるサイズのアレイで微動の上下成分の計測が行われた。それぞれのアレイは、半径が29mと12mの円形上の3点と中心点の4点で構成されている。微動のアレイ記録を81.92秒間のセグメントに分割し、SPAC法による解析から、Fig.3に示す位相速度を求めた。各セグメントの位相速度を平均して最終的な位相速度とした。図には、測線1での北西端の加振による記録による位相速度も示されている。微動探査による位相速度は、周波数7~14Hzの間で表面波探査による値とよく一致している。

熊本平野のテストサイトKUMAでの地表から地震基盤までの1次元S波速度構造モデルを参考にして、表層地盤1層と地震基盤を含めた深部地盤5層で構成される6層モデルを仮定した。Fig.4に逆解析結果を示す。S波速度3.2km/sの地震基盤までの深度は、約150mである。一方、S波速度430m/sの工学的基盤の深さは、3m程度と浅い。岩盤サイト近傍では、ボーリングによる土質調査が行われている。地表から2.8mまでは粘土化した凝灰岩風化層であり、さらに、深さ25mまでは角礫凝灰岩となっている。地表付近の風化層の厚さは、探査の結果と同様である。

得られた地下構造モデルを用いて地盤増幅特性の特徴を検討する。各地層の影響を理解するために、増幅特性を計算するモデルの最下層を順に浅くして、S波の1次元増幅特性を計算した。Q値は、S波速度(m/s)の1/10の一定値を仮定した。計算の結果をFig.5に示す。地震基盤まで含めたモデルでは、周波数3Hzでピークがみられる。最下層のS波速度を低下させると、この周波数の増幅倍率は徐々に小さくなる。この周波数の増幅特性には、深部地盤、とくに、1.1km/s以上のS波速度を持つ層の影響が大きいことがわかる。また、周波数8~12Hzのピークは、表層地盤のみのモデルの増幅特性でも同様に認められ、表層地盤の影響が支配的になっている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
本研究の成果は、強震動予測の精度や信頼性の向上に寄与する。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

山中浩明・津野靖士・地元孝輔,2021,熊本地震の強震動のブラインド予測,日本地震工学会誌,第43号

・学会・シンポジウム等での発表

Chimoto, K., H. Yamanaka, S. Tsuno, M. Shigefuji, T. Kanno, H. Sato, S. Higashi, D. Shinoyama, M. Yoshimi, T. Sugiyama, N. Takai, S. Matsushima, F. Nagashima, H. Kawase, T. Hayakawa, T. Uetake, S. Senna, Y. Inagaki, T. Hayashida, and S. Oji,2021,Results of blind prediction step 1: Subsurface velocity structure model of Kumamoto test site,The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion,SS102

Tsuno, S., H. Kawase, H. Yamanaka, S. Matsushima, T. Iwata, T. Hayakawa, T. Ikeura, S. Noguchi, and K. Kaneda,2021,Results of blind prediction step 2: Simulation of weak motions observed at the Kumamoto test site,The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion,SS103-BP2

Tsuno, S., H. Kawase, H. Yamanaka, S. Matsushima, T. Iwata, T. Hayakawa, T. Ikeura, S. Noguchi, and K. Kaneda, 2021, Results of blind prediction step 3: Simulation of strong motions observed at the Kumamoto test site, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, SS103-BP3

山中浩明, 津野靖士, 重藤迪子, 神野達夫, 高井伸雄, 松島 健, 2021, 2016年熊本地震の強震動ブラインド予測の岩盤サイトにおけるS波速度構造探査, 物理探査学会第145回 (2021年度秋季) 学術講演会, 63-65

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中浩明 (東京工業大学環境社会理工学院), 松島信一 (京都大学防災研究所), 岩田知孝 (京都大学防災研究所), 浅野公之 (京都大学防災研究所), 川瀬博 (京都大学防災研究所), 三宅弘恵 (東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

高井伸雄 (北海道大学), 神野達夫 (九州大学), 重藤迪子 (九州大学), 山田伸之 (高知大学), 地元孝輔 (東京工業大学), 佐藤浩章 (電力中央研究所)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 東京工業大学 環境・社会理工学院

電話 : 045-924-5513

e-mail : yamanaka.h.aa@m.titech.ac.jp

URL :

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 山中 浩明

所属 : 東京工業大学 環境・社会理工学院

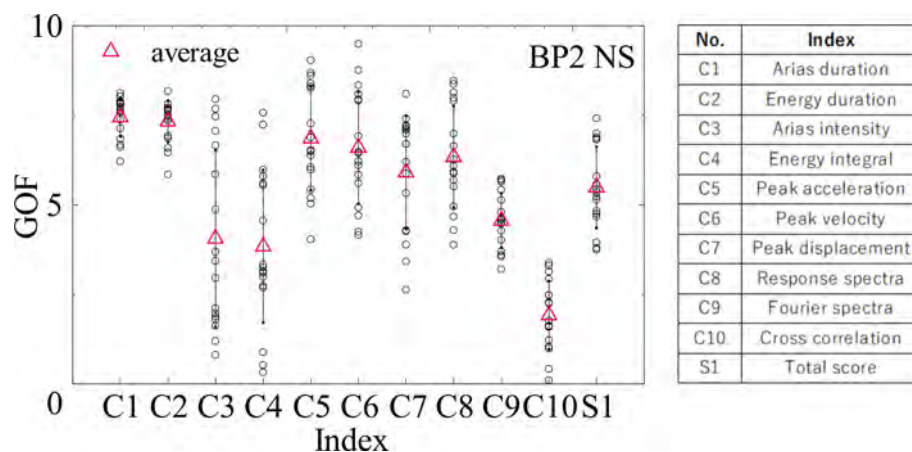


Fig.1 ESG6での強震動のブラインド予測 (BP2) の結果の定量的評価

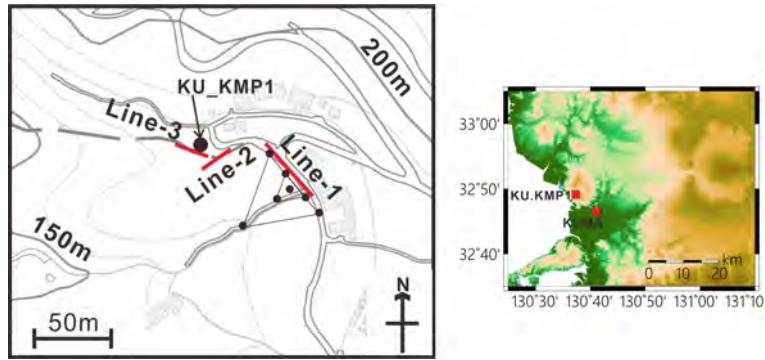


Fig.2 臨時観測点の位置（左）と観測された地震の震央（右）

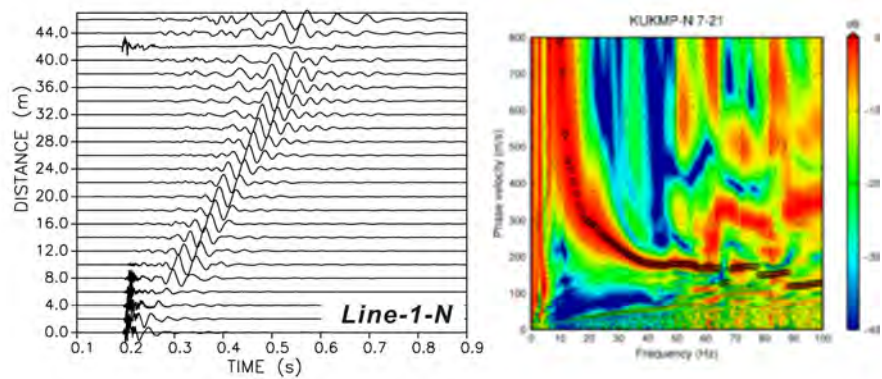


Fig.3 観測点16に対する水平（左）および上下（右）成分のスペクトル比

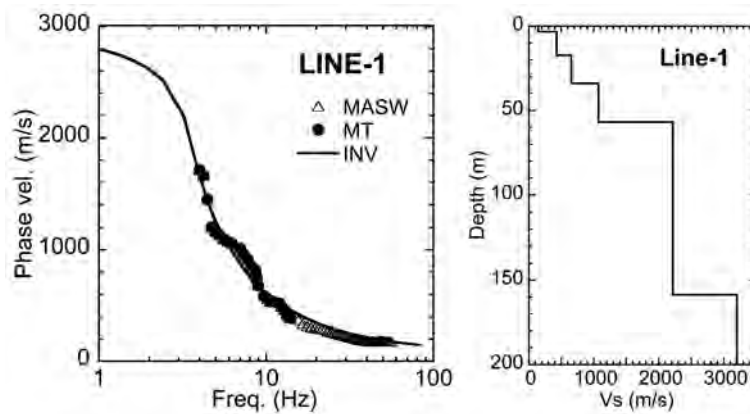


Fig.4 岩盤サイトでのレイリー波の位相速度（左）と逆解析されたS波速度構造モデル（右）

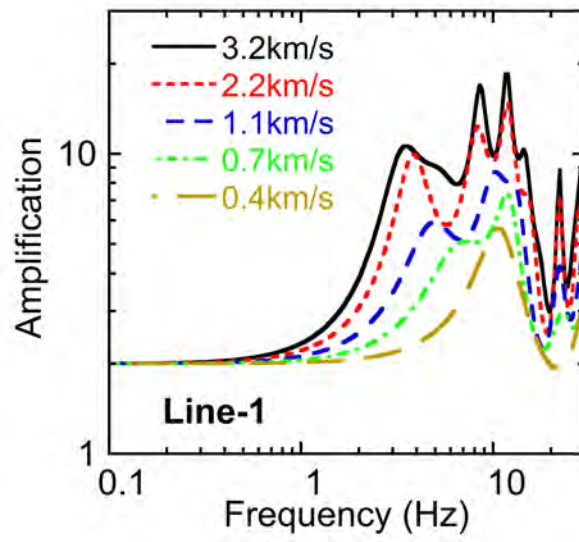


Fig.5 岩盤サイトの地下構造モデルの最下層を変えた場合の増幅特性

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震により被害を受けた事業継続建築物の火災リスク評価手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

地震により被害を受けた建築物の火災リスクの定量的評価手法を開発する。建築物の火災リスクを、複数の防火関連設備の奏功・不奏功の組み合わせから成る各火災シナリオの生起確率と各火災シナリオで生じる死傷者数の積の和、すなわち、日間（または年間）火災死傷者数の期待値と定義し、火災リスク評価に必要な①地震後の出火率、②防火関連設備の地震被害率、③防火関連設備の復旧率を予測する式を作成し統合する。さらに、地震後の事業継続性を評価するには、地震後の火災リスクを平常時のレベルに制御しながら建物を部分的に継続使用するという考え方が重要になると考え、火災リスクの観点から評価される使用可能床面積を指標とした地震レジリエンス評価手法を提案する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

建物の地震レジリエンス性能を火災リスクの観点から定量的に評価するための枠組みを構築した。ここでの地震レジリエンス性能とは、地震後の出火率や防火関連設備の地震脆弱性に基づいて評価される地震後の火災リスクが平常時のそれと同等になるような使用可能床面積を地震からの経過日数の関数として評価したものを言う。将来的にこうした観点を事業継続計画の中に盛り込むことを目指し、①建物が極めて稀に発生する地震動（震度6強程度）を受ける場合の評価が可能であること、②火災性状や避難行動の予測によらず簡易に評価が可能であること、③建物の地震対策が地震後の火災リスクや地震レジリエンス性能に与える効果を考慮できること、を重視した枠組みを整備した。

まず、建築物の火災リスクを、複数の防火関連設備の奏功・不奏功の組み合わせから成る各火災シナリオの生起確率と各火災シナリオで生じる死傷者数の積の和、すなわち、日間（または年間）火災死傷者数の期待値と定義し、①地震後の出火率、②防火関連設備の地震被害率、③防火関連設備の復旧率をパラメータとして火災リスクを地震からの経過日数の関数として定式化した上で、地震後の火災リスクが平常時のそれと同等になるような使用可能床面積の簡易算定式を誘導した。

評価に必要な地震後の出火率については、日本火災学会の2011年東北地方太平洋沖地震の出火記録や産総研の東北地方太平洋沖地震の推定地震動マップを活用し、出火率を地震動強さ指標で説明する回帰式を作成した。防火関連設備の地震被害率については、研究代表者らが熊本地震の影響を受

けた病院を対象に実施したアンケート調査データを活用し、被害件数の多かった火災感知器・スプリンクラーヘッド・防煙垂れ壁・防火戸について、それぞれの被害率を代表最大床応答加速度または代表最大層間変形角で説明する回帰式を作成した。防火関連設備の復旧率については、建築設備技術者協会による熊本地震の建築設備被災状況調査の結果を活用し、建築設備の被害事例381件の復旧日数別単純集計結果から、復旧率を地震からの経過日数の関数として近似した。

建物や揺れの条件等を仮定したケーススタディを行った。ここでは、6階建ての建物が計測震度6.2、最大地動速度0.8m/sの地震動を受ける場合を想定した。簡単のため、各階は一様な最大床応答加速度を受けるものとし、その値に日本建築構造技術者協会が提案する建物の耐震余裕度レベルに応じた限界値（10.0, 5.0, 2.5m/s²）を設定することで、建物応答を安全限界値以下に制御することが地震レジリエンス（使用可能床面積率）の向上にどの程度つながるのかを調べた。地震から1日間は、出火率が非常に高いため、使用可能床面積率は耐震余裕度が高くても約5%となり、火災リスクの観点からはほとんどの人を屋外に退避させる必要性が示唆される。その後、約一週間程度で出火率が平常時のレベルに戻るため、耐震余裕度がない場合で約47%、耐震余裕度が高い場合で約81%まで回復する。その後は長い日数をかけて設備の復旧が期待されるため、使用可能床面積率はゆっくりと増加していく。地震による建物応答を抑えるほど設備の地震被害率が低下するため、耐震余裕度を高めることで火災リスクの観点からも建物の継続使用性が向上することが分かる。ただし、ここでの結果はあくまで計算例であり、評価に用いる防火関連設備の復旧率関数などには改善の余地がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建物が強い地震動を受けると、スプリンクラーヘッドや配管、防火戸などの防火関連設備が損傷し、建物の防火機能が低下することが多い。このため、構造部材の被害が軽微であるからと言って、平常時と同じように建物を使用すると、建物で万が一火災が発生した時に大規模な人的被害が発生する可能性がある。しかし、災害医療や災害対応の拠点となる建物には事業継続性が求められるため、防火関連設備が完全に復旧するまで建物を全く使用しないという訳にもいかない。①防火関連設備が復旧するまでの間に火災が発生するとは限らないことや、②平常時であっても防火関連設備の信頼性（作動確率や奏功確率）は100%ではないことを考えると、使用可能床面積を制限することによって、建物の火災リスクを平常時のレベルに制御しながら、建物を部分的に継続使用することが重要になる。こうした観点を事業継続計画の中に盛り込むためには、地震後の建物の火災リスクを定量的に評価可能な手法が必要である。本研究の成果は、実用に向けて改善すべき点があるものの、現状の防災計画や事業継続計画に不足している観点を埋めるもので、それにより巨大地震による災害リスクの軽減に貢献するものである。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西野智研（京都大学防災研究所）, 楠浩一（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

鈴木淳一（国土技術政策総合研究所）, 高橋済（アイエヌジー株式会社）, 桑名秀明（鹿島建設技術研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所 社会防災研究部門 都市空間安全制御研究分野

電話：0774-38-4047

e-mail：nishino.tomoaki.3c@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西野 智研

所属：京都大学防災研究所

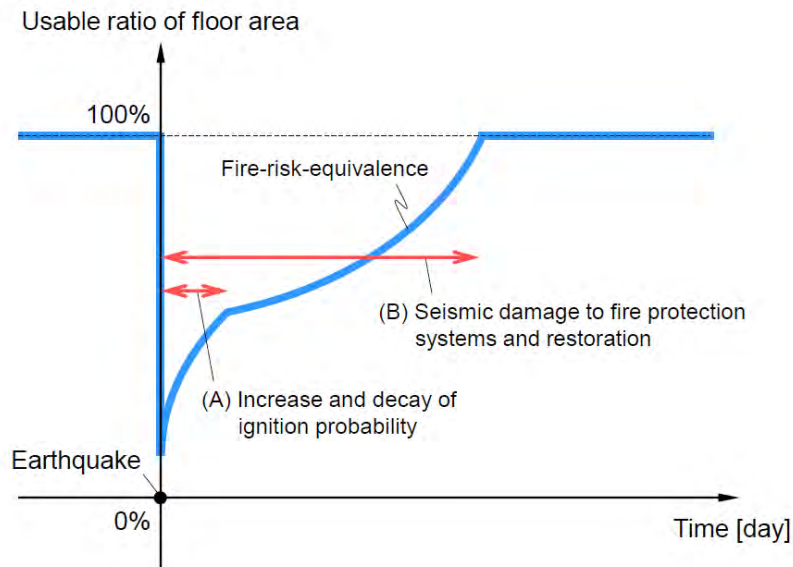


図1 火災リスクの観点からの地震レジリエンス評価の概念

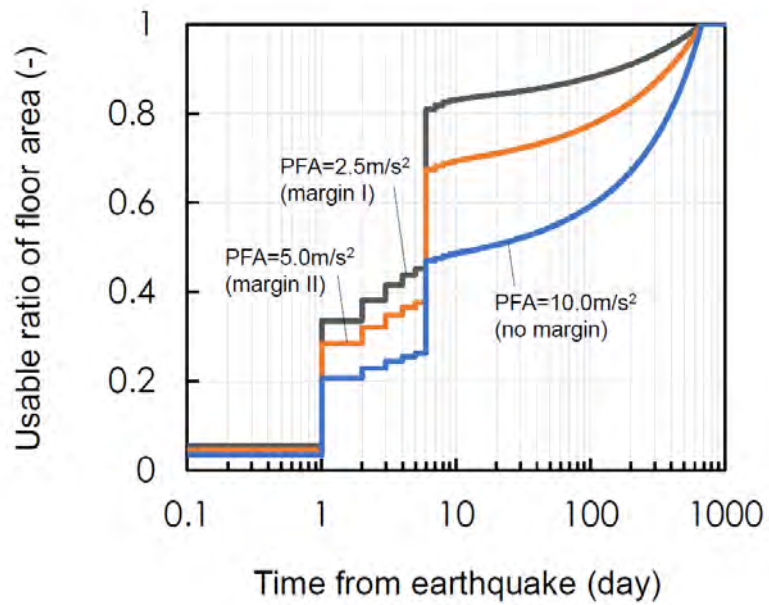


図2 計算例

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

1m-LiDAR DEMを用いて検出された地すべりなどの不安定土塊の微動及び地震動観測による相対的危険度評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

1) 研究目的と意義

地震による土砂災害の発生予測には、その発生位置と土砂の移動様式、その到達範囲を事前に把握することが求められる。これまで、熊本地震で発生した地すべりや斜面崩壊の土砂災害を地震の前後で測定された1m-LiDAR DEMを用いて比較することによって、その発生機構には、地震動の卓越方向と一致する方向の斜面上でその下部に支持する構造の欠如する部分が崩壊などの端緒となり、土砂移動が生じることを見出した。この発生機構を、東胆振地震で検証すると、ほぼ同様の機構で土砂移動が発生していることが認められた。また、地震前後の1m-LiDAR DEMを用いた比較に、PIV (Particle Image Velocimetry) を用いると、InSAR解析では検出されない地すべり性の土塊の検出が可能であった。さらに、Fujiwara et al.(2016)のsmall-displacement linear rupturesや、Fukushima and Ishimura(2020)のsecondary-raptured faultsとは成因の異なるsurficial rupturesを地すべり発生域の周辺で検出した。これらを、土塊の移動方向と変位の大きさを図1中に示す。本研究では、このPIV手法で検出された地すべり性の土塊、surficial ruptures を生じたが崩壊に至らなかった部位の地下構造や地質の特徴を明らかにして、崩壊・地すべりが予測される箇所周辺の地震に対する危険度を相対的に評価する方法の研究をおこなう。この研究は、震源を想定し地震波の伝搬方向と1m-LiDAR DEM解析から崩壊位置予測をする手法に、その箇所の地質・地盤構造を評価することで危険度に順位を付して、予測の確実性を高める意義があると考えられる。

2) 研究計画

危険度の評価は、複数の長周期サーボ型速度計3成分（東京測振製）により微動および地震動観測を実施して、地下構造を明らかにする。崩壊の生じた箇所と隣接する崩壊の生じなかった箇所を比較する手法を用いる。実施対象地域は、熊本地方の阿蘇カルデラ周辺のPIV手法で検出された地すべり性の土塊、京都大学火山研究センター周辺の地すべり発生箇所周辺、および和歌山県日置川周辺での地震に対するハザードマップが作成された地域である。観測および研究は、2年を予定し、初年度は熊本阿蘇カルデラ周辺、次年度は和歌山県日置川周辺である。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2016年熊本地震前後で得られた1m-LiDAR DEMに地形を視覚的に見やすく表現する手法を適用して抽出された立野地区の地すべり土塊の範囲を図化した。その地すべり土塊の周辺に発生し、確認された斜面上の地表亀裂を同図に示した。これらの結果から、地震計の設置位置を決定した。平行して地震計の現地設置のための準備を継続中である。

初年度の研究成果は、PIV手法で周辺よりも変位の大きいと考えられる地すべり土塊の範囲を抽出し、これに地震前後の標高変化も重ねて示すことにより、地すべり土塊は斜面上方では沈降しながら斜面下方に移動したこと、斜面下方では約8メートル斜面下方に移動し隆起していることが明らかになった。また、地すべり土塊の末端部では、谷状地形の部分に斜面崩壊が多発していることも現地での観察で明らかになった。これは、谷頭部では下に支持する構造が欠落していることに加えて斜面上方の土塊がこの不安定な土塊を斜面上方から押して崩壊の端緒となったと考えることができる。(図1：前頁) PIV手法による変位量分布と地震前後の標高差分。この二つの量から三次元的な粒子追跡が可能となる。この作業中に、対象とした地すべり土塊の範囲外に、北向山断層による地表の永久変位を確認することができた。図2中に示す。図2はPIV手法とは異なる変位量の検出方法で、たとえば図中の赤は地震前の特徴的な地物(例えば道路の両端や田んぼのあぜなど)の位置、青は地震後のもので、地震前後で建設された林道は、地震前の赤部がなく、青のみで示される。同様に、地震後に出現した地表断層も青のみで示される。このような斜面末端部の谷頭部、すべり土塊の中央部に近い部分また地すべり土塊の範囲外の地盤を選び、危険度の評価を実施するために、複数の長周期サーボ型速度計3成分(東京測振製)により微動および地震動観測を実施した。(図1の中に、微動観測を実施した点を▲で示す)。この斜面は、大津町の所有地であるが、立ち入りには建設省立野ダム工事所の許可が必要であった。立野ダム工事事務所指定の駐車場から斜面上方(標高差約150メートル)に観測機材を観測地点一点につき約50キロ(地震計10キロ、記録計10キロ、電源バッテリー20キロ、他物品10キロ)の物資輸送を研究分担者で実施した。当初この作業を委託する予定であったが、適当な受け手がなく、受け手を探すのに時間を要し、観測実施に遅れが生じた。この記録の一部を図に示す。詳細は、現在解析中であるが、斜面上の不安定と考えられる谷頭部や崖の縁辺と地すべり土塊の中央部、地すべり土塊の範囲外で異なる特性がとらえられている可能性があり、今年度の残りの期間に観測点を増設し計測を継続する。下左 図2. 本手法で検出された地表変位(北向山断層) 図3. 微動観測によって得られた波形の例

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

齊藤隆志,2022,地震前後の地表変位から考えられる斜面崩壊・地すべりの発生メカニズム,京都大学防災研究所研究発表講演会,D101,<https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/hapyo/22/pdf/D101.pdf>

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤隆志(京都大学防災研究所),佐藤比呂志(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無：有

古谷元(富山県立大学理工学部),中屋志津男((株)白浜鑿泉),筒井和男(和歌山県土砂災害啓発センター)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4102

e-mail : saitou.takashi.2z@kyoto-u.ac.jp

URL :

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤 隆志

所属：京都大学防災研究所

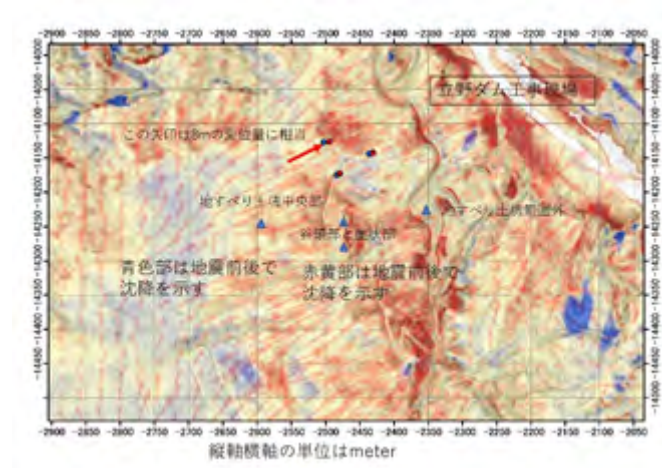


図1. 熊本立野地区の地震前後PIVによる地表変位および観測点など

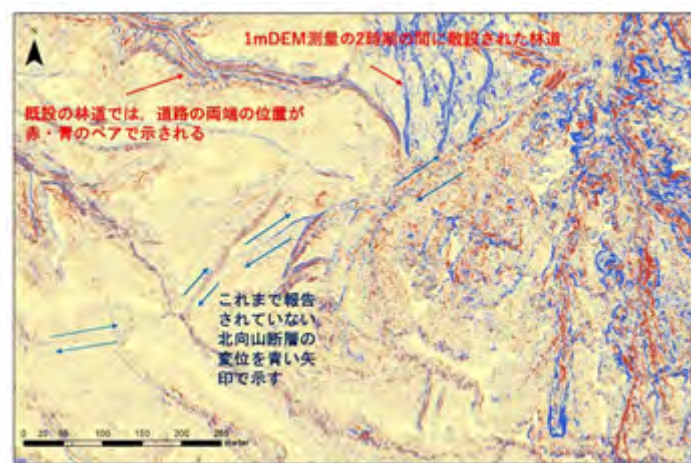


図2. 本手法で検出された地表変位（北向山断層）

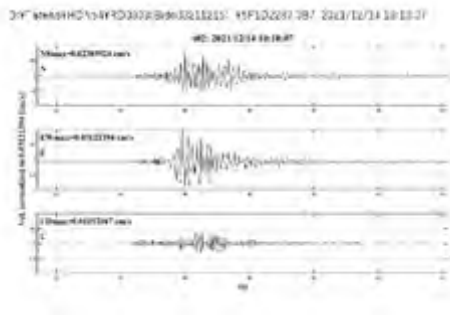


図3. 微動観測で得られた波形例

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

邑知潟平野の推定地盤速度構造の非線形地盤応答を考慮した強震動予測

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究では、まず、2020年度までの地盤構造調査で十分に把握出来なかった平野南東部の基盤構造を含む地盤構造を推定することを試みる。このため、年度の早い時期に長時間の微動観測または臨時地震観測を行う。併せて、表層地盤の詳細な推定の為、ボーリングデータの収集や極小の微動アレイ観測などを実施する。推定された地盤構造から、地震基盤から表層地盤までを含む三次元地盤構造モデルを作成する。一方、邑知潟断層帯で発生する地震の断層モデルについては、地震調査研究推進本部の長期評価および地震動予測のための断層モデルを参考に、推定した地盤構造と整合する断層モデルを構築する。

次に、推定した地盤構造と構築した断層モデルを組み合わせ、強震動予測を行う。その際、地震基盤から工学的基盤までは震源の断層モデルの不均質性を考慮した線形の三次元波動伝播解析を行い、さらに、工学的基盤から地表までは非線形の地盤応答解析を行うことで、非線形強震動予測を実施する。

新型コロナウイルス感染症対策のために府県をまたぐ移動が制限された期間が長かったため、地盤構造の推定のための微動観測を実施する時期が秋口までずれ込んでしまい、地盤構造モデルを確定する時期が予想以上にずれ込んでしまった。このため、本報告現時点では強震動予測は工学的基盤相当までにとどまり、工学的基盤から地表までの非線形地盤応答解析は未実施である。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

邑知潟平野の地盤構造を推定するため、図1に示す地点において常時微動観測を行い、3地点で常時微動アレイ観測を行った。アレイ半径はLLL：400m、LL：135m、L：45m、M：15m、S：5m、SS：1.5m、SSS：0.5mの7サイズとし、LL～Mは60分、S～SSSは30分の同時観測とした。また、盆地を横切る方向に測線O1～O7の7測線を、盆地に沿う方向に測線O8の1測線を設定し、計99地点で独立した30分の常時微動単点観測を行った。さらに、南東側の山中でも同様に14地点の単点観測を行った。

常時微動アレイ解析には微動解析プログラムBIDO (Tada et al., 2010) を用い、全アレイサイズ

のRayleigh波位相速度分散曲線を求めた。そして各アレイサイズに応じた周波数帯を接続したものを最終的なRayleigh波位相分散曲線とみなした。常時微動単点観測点での解析は以下の手順で行った。まず、観測によって得られた30分間分の加速度時刻歴データを50%オーバーラップさせ、40.96秒の小区間に切り出す。次に、切り出した各小区間でNS、EW、UD成分のフーリエスペクトルを計算し、NS/UD、EW/UDの微動フーリエスペクトル比（MHVR）を算出する。算出された小区間ごとのスペクトル比の平均を各地点のMHVRとした。ただし交通振動などのノイズの影響を取り除くため、ノイズの大きい区間を30~80%除外している。

防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET）4)のK-NET七尾（ISK007）とK-NET羽咋（ISK008）の土質データおよび地震ハザードステーション（J-SHIS）の深部地盤データを参考に全地点共通の層構造の物性値を定めた。次に、アレイ観測地点で観測されたMHVRと位相速度分散曲線に理論値が近づくように各層の層厚を合わせ、それを推定モデルとした。理論MHVRの計算には拡散波動場理論に基づき理論MHVRを計算し、理論位相速度分散曲線の計算には成層地盤におけるグリーン関数及び正規モード解を計算する公開プログラム（Hisada, 1995）を用いた。そして、アレイ地点での推定モデルを基準とし、単点微動観測点において理論MHVRが観測MHVRに近づくように層厚を決め、地盤構造を推定した。強震動シミュレーション用の地盤構造モデルは、推定した地盤構造における第4層~第10層の下面深さを補間することで、三次元地盤構造モデルを作成した。ただし、邑知瀉平野の南東側では盆地端部から約10kmの範囲を最表層が $V_s=1100\text{m/s}$ の山地部と想定し、平野と山地部以外の地域はJ-SHIS深部地盤構造をそのまま用いた。

微動観測により得られた推定地盤構造モデルをもとに、防災科学技術研究所公開の差分法プログラムGMSを用いて強震動シミュレーションを行った。計算の簡略化のため、推定地盤構造のうち層4~層10の7層をモデルとして計算に用い、各層の物性値はJ-SHIS深部地盤構造モデルv3.2と同一とした。強震動シミュレーションには、地震調査研究推進本部の公開する邑知瀉断層帯の想定地震ケース2を用いた。その結果、推定地盤構造モデルを用いたシミュレーションでは、J-SHISモデルに比べて、邑知瀉平野内でモデル最上面での最大速度（PGV）が大きくなる範囲が広くなり、特に邑知瀉平野の中部から南西部の盆地南東端に沿ってPGVが大きくなることが分かった。推定地盤構造モデルは邑知瀉平野の盆地境界部の構造についてより詳しい調査結果に基づいてモデル化したことで、J-SHISモデルと比べて盆地による地盤増幅特性がより確からしいものとなったと考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

邑知瀉平野の地盤構造を詳細に調査してモデル化することで、内陸地殻内地震が発生した際に平野内で生じる強震動について高精度化することが出来ることを示した。地震発生 of 物理の解明だけではなく、断層破壊過程、伝播経路、地盤増幅が地震動に与える影響に関する研究が重要であることが改めて示された。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

松島信一・吾妻崇・市村強・野澤貴・中山智貴・中嶋唯貴,2022,邑知瀉平野の推定地盤速度構造の非線形地盤応答を考慮した強震動予測,拠点間連携共同研究実施報告書（研究実績報告書）

・学会・シンポジウム等での発表

中山智貴・松島信一,2022,邑知瀉平野の地盤構造推定とそれを用いた強震動予測に関する研究,京都大学防災研究所令和3年度研究発表講演会,B118

中山智貴・松島信一,2021,常時微動を用いた邑知瀉平野の地盤構造推定,日本地震工学会・大会-2021,B-4-7

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地盤：微動探査・弾性波探査・速度検層

概要：微動観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：石川県中能登町石動山 36.96143 136.97474

調査・観測期間：2021/10/21-2021/10/24

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松島信一（京都大学防災研究所）,市村強（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
吾妻崇（産業技術総合研究所）,野澤貴（鹿島建設）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所
電話：0774-38-4080
e-mail：matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島 信一
所属：京都大学 防災研究所

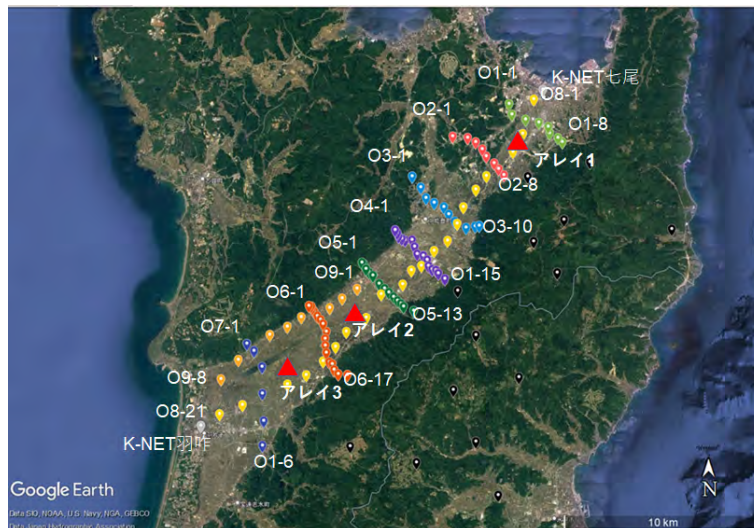


図1 微動観測点配置(Google Mapに加筆)

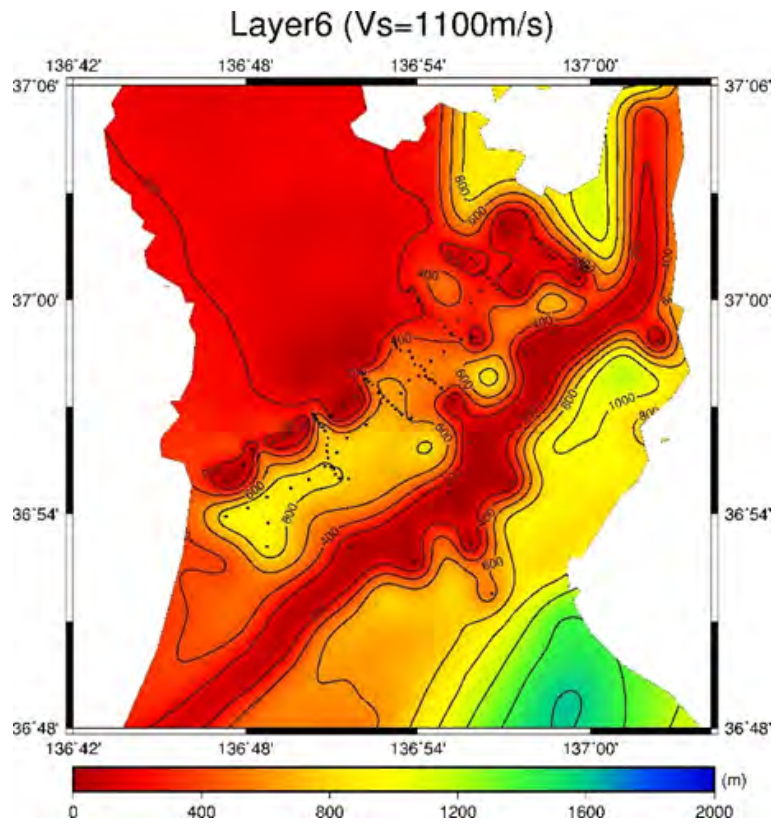


図2 推定地盤構造モデル (Vs=1100m/s上面深さ)

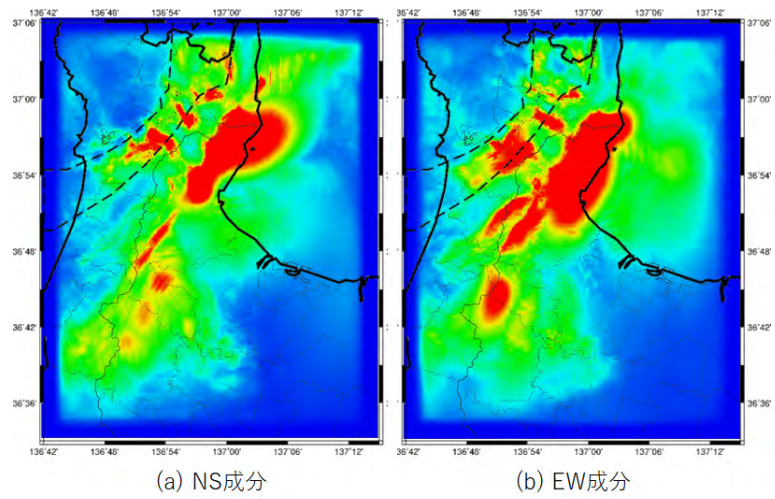


図3 邑知潟断層帯の想定地震ケース2によるモデル最上面最大速度分布

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

既存在来木造建物に大きな被害を引き起こす地震動の発生要因に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

南海トラフのようなプレート間の巨大地震とともに、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震のような直下地震の発生も危惧されている。直下地震で引き起こされる地震動は、震源、深部地盤構造、表層地盤の組み合わせによって、様々に変化する一方で、大きな被害を引き起こす1-2秒応答が大きい地震動が発生するのは、10回に1回程度であり、そのような地震動が発生する震源と地盤構造の組み合わせがわかれば、事前にどこで大きな被害が生じる可能性があるかわかることになり、地震防災にとって大きな意義があると考えられる。

そこで本研究では、震源や地盤構造を様々に変えた強震動シミュレーションを行うとともに、建物被害を評価するツールとして、大地震が発生したときに大きな被害が生じるとともに存在割合が最も多い既存在来木造建物を対象とした非線形建物群モデル、そして、実大木造建物の復元力特性を再現する実大1層4P試験体を用いて、どのような震源と地盤構造の組み合わせが既存木造建物に大きな被害を引き起こす地震動を生成するかについて検討する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、実大木造建物の復元力特性を再現する実大1層4P試験体の開発を行った。まず静的試験を行ってその結果を重ね合わせ、想定するベースシア係数になるように錘の重量を調整、二層から一層になることによる周期を地震動の時間刻みを補正することで振動実験を行い、実際の被害を再現できることを確認した。

将来発生する地震動が木造建物にどの程度の被害を引き起こすか、即ち、地震動の破壊力を測る方法として、実大在来木造建物（以下、木造建物）を使った振動実験が有効であるが、多大な費用と労力がかかる。様々な被害関数も提案されているが、過去の強震記録と被害データに基づいたものであり、将来これまでにない性質をもった地震動が発生すれば、被害予測を誤る可能性がある。地震応答解析によって求める方法も開発されているが、非構造部材の影響や復元力特性モデルにおける繰り返し特性など未だに不明な点も多い。

そこで、将来発生し得るこれまでにない性質をもった地震動の破壊力を測る手段として、実大木造建物の挙動を再現できる簡易試験体の開発を行った。

今回の試験体は、大地震で被害を受ける日本に存在する木造建物の中でも耐震性能が低い建物を想定し、木造建物の平均的な降伏ベースシア係数 C_y の分布における、累積確率の下位5%を目標と定めた結果、 $C_y=0.2$ とした。そこで、 $C_y=0.2$ となる試験体を作成するために、静的実験を行い、性能を把握した後、振動実験を行う際の付加重量を設定し、振動実験を行った。

試験体は幅4000mm、高さ2910mmの構面で、軸組のみが1体（試験体名：FR）、壁を2ヶ所に配置したものを2体（試験体名：WL、WL-BR作成し、配置した壁はWLがサイディングおよび石膏ボード、WL-BRがサイディング・石膏ボードおよび三ツ割筋かいとなっている。次に、振動実験の試験体の性能を把握するために、静的実験の結果を加算した。ここで、振動実験の試験体は全3構面のため、FRを2構面、WLもしくはWL-BRを1構面用いることとし、それぞれを加算した性能を比較した。ここでは、最低限の筋かいが入っている建物を想定し、振動実験の試験体はFRを2構面・WL-BRを1構面用いることとした。

振動実験の試験体は、加振方向4000mm、直交方向1925mmの1層の箱型試験体とし、外側に静的実験のFR、内側にWL-BRを配置した。試験体に付加する重量は、静的実験の荷重を加算（この際、P- Δ 効果を考慮した）し、総重量で割ったものが1/120rad時で $C_y=0.2$ となるよう、合計4tonの錘を天井に配置した。

入力地震動は、既存の建物は大地震を受ける前に中小地震を経験していると考え、2003年宮城県沖の地震のJMA大船渡を震度5強程度となるよう50%に縮小したものを入力した後、震度6強の大地震を入力した。具体的には周期0.5秒以下の極短周期が卓越した2003年十勝沖地震のK-NET広尾N50W方向と、建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒が卓越した1995年兵庫県南部地震のJR鷹取NS方向の2種類を用いた。なお、2層を1層に縮約しているため、1層と2層の周期の違いを補正するために、地震動の時間軸を0.91倍に縮小した。

K-NET広尾は震度6強であったが周辺に全壊といった大きな被害を受けた建物が見られていない一方、JR鷹取は木造全壊率59.4%と甚大な被害が生じている。なお、大地震入力前の損傷レベルを揃えるために、K-NET広尾入力後に壁の交換といった試験体の復旧を行い、ステップ加振を行って復旧できていることを確認した。

実験結果として、K-NET広尾では、最大変形角は0.01radであり、サイディングの割れといった軽微な被害に留まった。JR鷹取では、最大変形角は0.25radと非常に大きく、筋かいの座屈・折損が見られ、全壊程度の大きな被害となった。以上の結果は、実際の強震観測点周辺の被害状況と対応している。

静的実験と振動実験の性能を比較については、全体的に振動実験の方が大きく、振動実験の試験体のベースシア係数 C_y （1/120rad時）は0.26と静的実験に対して1.3倍程度となった。この要因としては、鉛直荷重・試験方法・載荷速度の違いが考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

境有紀（京都大学防災研究所）,松島信一（京都大学防災研究所）,五十田博（京都大学生存圏研究所）,
三宅 弘恵（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4045

e-mail：sakai.yuki.4s@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：境 有紀

所属：京都大学 防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

文化遺産の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化遺産災害情報マップの構築と活用

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (3) 研究基盤の開発・整備
- エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究では、国や自治体が指定する文化財や、民間所在の歴史資料の所在情報を可視化した文化遺産マップを構築するとともに、地震・火山をはじめとした災害リスク情報と重ね合わせて防災対策に活用するとともに、これらのデータを災害時の文化遺産レスキュー活動に活用することを目的とする。現段階では、市町村の指定文化財の情報収集作業を進めるとともに、神戸市を対象として指定文化財の位置情報とハザードマップ情報を重ね合わせた文化遺産マップを作成し、文化財に対する災害リスクの可視化作業をおこなった。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、北海道・東北地方の市町村が指定する文化財、総数約18000件の位置情報を収集し、文化遺産マップへの登録作業を進めた。市町村指定文化財については、自治体別に公開の有無、情報の詳細が異なり、位置情報の把握が困難なものも多く、位置情報が判明しないものについては、周辺情報や座標情報を収集し、これらを登録した。現段階で、国指定・都道府県指定の指定文化財35000件に、今年度収集した情報を加えた約5万件のデータベースを収集し、eコママップをプラットフォームとした文化遺産マップを構築した。また、神戸大学の資料ネットと連携し、神戸市域の指定文化財を登録した文化遺産マップを作成した。

災害時における文化遺産マップの活用については、令和4年1月22日に発生した日向沖地震について、気象庁の発表した推定震度分布をもとに、大分県・宮崎県の国・県の指定文化財に加え、震度5強を観測した自治体の指定文化財情報を収集し、現地の資料保全関係者に共有するとともに、1月26日に被災地の資料保全ネットワークや現地の博物館関係者などとオンラインによる会議を開催し、文化遺産マップを媒介として、被害状況の情報共有と今後の対応について協議した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究による成果により、自然災害による歴史資料への被害状況について、迅速に推定する手法を確立するとともに、これを媒介として被災地と被災地外との情報共有・対応協議の体制について、オンラインを活用して迅速に構築することが可能となった。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所）、加納靖之（東京大学地震研究所）、大邑潤三（東京大学地震研究所）、土井一生（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

西村慎太郎（国文学研究所）、鈴木比奈子（防災科学研究所）、岡田健（東京文化財研究所）、内田俊秀（京都造形芸術大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 災害科学国際研究所

電話：022-752-2146

e-mail：ebin@irides.tohoku.ac.jp

URL：

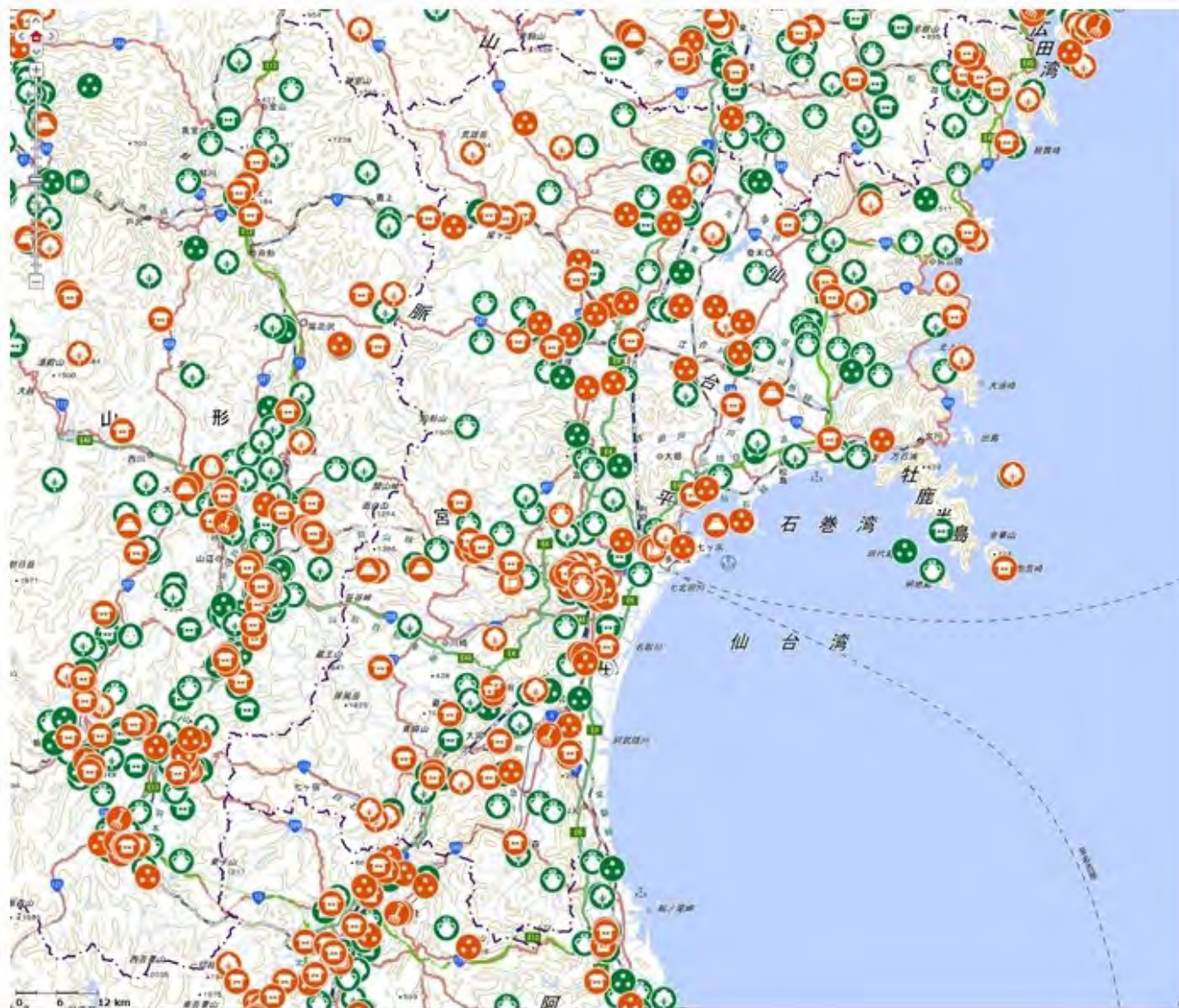
(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名 裕一

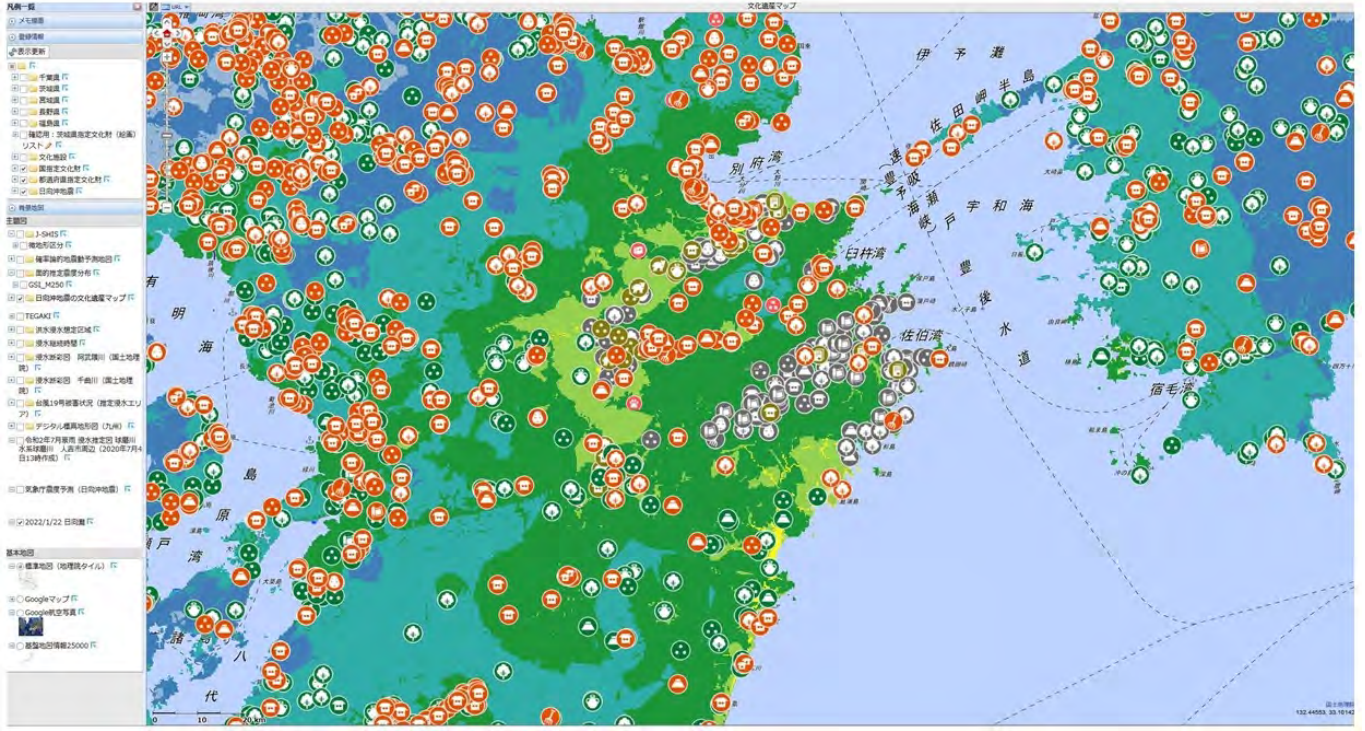
所属：東北大学 災害科学国際研究所



神戸市の文化遺産マップとハザード情報



東北地方の文化遺産マップ



令和4年1月22日日向沖地震に対応した文化遺産マップ

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

ばらつきを考慮したハザード想定結果の「受け取られ方」に関する評価研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化するため、防災対策を検討する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。ばらつきには、震源、伝播過程、シミュレーション手法等、様々な要因により発生する。さらにそのばらつきをどのように伝えるのか、さらに対策に反映していくのかということも求められ、地震学、工学、計画学、社会学といった様々な分野の専門家の共同が必要となる。

災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であるという問題意識にもとづき、昨年度まで重点推進研究（特定型）＜「シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害リスクの理解支援システムの開発・拡大」＞において、シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害ハザードシナリオを示すことが可能な仕組みの開発を行ってきたが、災害ハザードシミュレーションの実施・公開主体であり、さらに防災対策の実施主体である行政の職員に対して、1) 開発したシステムの評価、2) 結果の多様性もふくめてどのように防災対策を考えるのかということについての意見聴取を行っていない。また、様々な津波ハザードを対象にした様々なハザードシミュレーション結果を示すシステムとの比較も実施できていない。こういった背景をふまえ本研究では、行政職員に対してヒアリングを行い本システムの評価、津波ハザードとの比較、ならびに災害シナリオの多様性があることについての調査を行うことで、本システムの改良さらには、災害リスク評価のばらつきを反映したマルチハザードでの防災対策のあり方について検討を行うことを目的とする。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震ハザードシナリオに多様性、さらには多様な地震ハザードシミュレーションにおける自治体のシミュレーションの位置づけを示すことが可能なシステムについての自治体職員に対するヒアリング調

査を実施し、システム改良点ならびに、システムを用いた災害シナリオの多様性の理解についての調査を行い、調査結果をもとにシステムの改良を行うとともに、災害シナリオの多様性理解を深めるためのあり方についての検討を行う予定であった。しかし、新型コロナウイルスの影響でインタビュー調査を実施することが困難であったため、システムの改良の作業を行いとともに、ヒアリング時に利用する内閣府による地震動想定を表層でも速度シミュレーション結果についての見直しを実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

令和3年度は、インタビュー調査実施のための標本データ、システム改良のために必要となる内閣府の南海トラフ地震の地震動想定（地表面速度）の検討を行うための解析を行った。内閣府が公表している工学的基盤の地震波データから、一般的な被害想定に利用される表層地盤の速度データを詳細にもとめるための検討を行った。

検討の結果、最大のPGVは約1,100kineで、太平洋沿岸の広い地域で200kine程度のPGVが算出され、非常に大きな値となっていることから、補正をおこなったが最大のPGVは約680kineとなったが、全体的なPGVのレベル感や分布傾向に大きな変化は見られなかった。そのため来年度以降の課題として、工学的基盤の速度データにつ

また、今年度、様々な地震動想定を表示可能なシステムについて図に示すような形式（過大評価、過少評価等）で推定結果を示すことが可能なシステムについて、新たな推定結果をシステムに取り組みするためのインターフェースの構築を行い、システムの改良を行っている。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

なし

・学会・シンポジウム等での発表

なし

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

牧紀男（京都大学防災研究所）、松島信一（京都大学防災研究所）、西嶋一欽（京都大学防災研究所）、飯高隆（東京大学地震研/情報学環）、加藤孝明（東京大学生産技術研究所）、関谷直也（東京大学情報学環）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4285

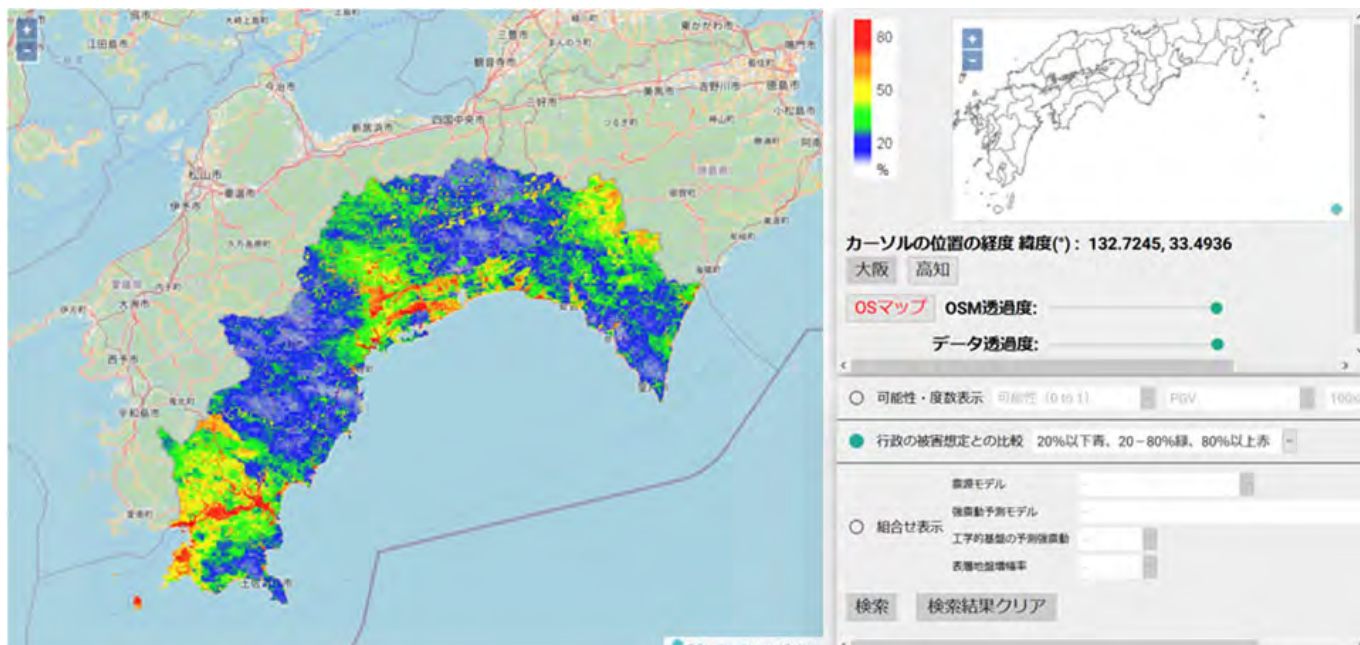
e-mail：maki.norio.8v@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：牧 紀男

所属：京都大学 防災研究所



地震動推定結果のばらつき表示

本表示は青が過小評価、赤が過大評価、赤が過小評価、青が過大評価という表示も可能

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波生成過程の理解に向けた浅部スロー地震の活動様式・発生場の解明とモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年、浅部スロー地震と津波波源域が一致するという観測事実がいくつかの地域で得られており、津波生成過程の理解のためには浅部スロー地震の理解が重要である。特に、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、50mを超える地震時すべり域が沈み込み帯浅部の海溝軸付近に分布し、またほぼ同じ領域で2011年1月末から本発生前までスロー地震が発生していた（図1）。この観測事実は、スロー地震の「ゆっくりとした小さな変位領域」と、通常地震時の「高速の大きな変位領域」がプレート境界面上で共存する可能性を強く示唆する（図2）。しかし、共存するメカニズムについては未だ不明である。特に浅部の大きな地震時すべりは、津波の発生に直接起因するものであり、もし浅部の地震時すべりのポテンシャルを事前に評価できれば津波災害軽減に向けて極めて重要な情報となりうる。

ここでは、浅部における地震時すべりとスロー地震の関係に特に着目し、繰り返し発生する浅部スロー地震の時空間的な特徴、（1）特にプレート境界での微動の詳細な深さ分布、（2）プレート境界でのすべり速度と微動活動を海底地震・測地観測から明らかにし、（4）これらの観測に則した室内せん断摩擦実験を実施することで、スロー地震によって誘発される巨大地震のメカニズム解明を目指す。調査観測の対象地域としては、西南日本で特に低周波微動活動が活発であることが知られている日向灘、および日向灘とは異なる沈み込みテクトニクスでスロー地震活動が確認されているメキシコゲレロ沖を対象とする。日向灘は、南海トラフ沿いの巨大地震想定域の西端に位置しており、この領域におけるプレート境界の挙動が南海トラフ巨大地震の発生にも関与している可能性が指摘されている。

また、約350年前に発生した大地震とそれに伴う大津波発生が、東北地方太平洋沖地震のように浅部スロー地震と関連している可能性が指摘されている。メキシコ沿岸は、過去に発生した巨大地震が海溝沿いに分布しており、南海トラフ同様に巨大地震と大津波の被害を受けてきた地域である。その中で、ゲレロ沖においては、「ゲレロ・ギャップ」と呼ばれる巨大地震空白域が存在しており、将来の巨大地震および大津波の発生が危惧されている領域である。南海トラフ同様に、スロー地震の発生も確認されており、スロー地震に関する多くの研究が進められている。

両領域とも過去数年にわたり長期連続海底地震観測が実施されており、本計画における観測期間を加えた約10年程度に渡る長期的な活動履歴から、浅部スロー地震の時空間的な活動特性を明らかにする。また、海陸の観測記録から、浅部スロー地震活動域である海溝・トラフ軸近傍の応力場や地下構造を調べる。さらに、先述の海底観測で得られる結果に基づき、海底掘削等から取得される物質を用いた室内摩擦実験によりプレート境界近傍の摩擦特性、特にすべりと速度に依存性する摩擦特性を明らかにする。

これらの結果に基づき、浅部スロー地震の詳細な活動様式を明らかにし、浅部スロー地震の発生を支配する場の解明とモデル化を目指すことで、沈み込み帯浅部で発生する津波生成地震および津波地震の発生ポテンシャルの評価に資する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本計画では日向灘で1年半～2年ごと、メキシコ・ゲレロ沖で1年ごとの海底地震・圧力観測を実施する。それぞれの領域で関係する科研費におけるプロジェクトと連携しながら観測を継続する。

2019年度においては、日向灘ですでに科研費で実施している海底観測を継続する。ゲレロ沖の短期型海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の回収作業を実施する。メキシコゲレロ沖およびニュージーランド北島東方沖で取得される地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。

2020年度においては、日向灘の海底地震計8台の設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。回収された記録を用いて、浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の解析に着手する。前年度に引き続き、メキシコゲレロ沖およびニュージーランド北島東方沖で取得される地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。

2021年度においては、日向灘の海底地震計8台の回収・再設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデル化を開始する。

2022年度においては、日向灘の海底地震観測を継続する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデル化をすすめる。

2023年度においては、設置した海底観測機器の回収作業を両地域で実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデルを構築する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

メキシコ・ゲレロ州沖合で2017年11月から実施している海底地震・測地観測網のデータを解析し、観測されたテクトニック微動の震源メカニズム解と放射エネルギーをそれぞれ推定した。結果として震源メカニズム解の多くが逆断層型として説明可能なこと、過去に大地震の発生した領域近くの微動の放射エネルギーが海溝近くの微動と比べて大きいことを指摘し、プレート間固着の空間的な変化に対応して微動の放射エネルギーが変化する可能性に言及した。

2017-2018年にかけてメキシコ中南部で発生した3つの大地震およびその周辺で発生したスロースリッ

プの同時観測に成功した。解析の結果、2017年から2019年にかけてメキシコで発生した3つの大地震と周囲のスロースリップとの関連性を明らかにした。

海底圧力計記録を用いたスロースリップの検出に向けて、ニュージーランドヒ克蘭ギ沈み込み帯に設置された海底圧力計記録を解析した。海底圧力計記録を用いた上下地殻変動の高精度検出に向けて、海底圧力計記録の解析手法の開発および震源断層の推定手法の開発を進めた。特に、昨年度までに明らかにした二地点間の観測記録の水深差の依存性を考慮した震源断層の推定手法の開発を行なった。さらに海底地震計記録に含まれる雑微動記録のH/Vスペクトルから浅部S波速度構造を推定する手法の開発を昨年度に引き続き実施した。

海底地震計アレイ記録から微動および微小地震を抽出し、震源を精度良く決定する手法の開発を行なった。まず、福島沖に設置された地震計アレイ記録に対して手法を適用し、テクトニック微動と微小地震の検出を行なった。次に、テクトニック微動の時空間分布を調べて海溝軸方向へのマイグレーションを指摘し、そのマイグレーションに同期する活発海溝付近の微小地震活動の活発化を確認した。つまり、スロー地震の海溝軸方向への伝播に伴い生じる応力擾乱によりプレート近傍またはスラブ内の微小地震活動が活発化した可能性を述べた。

陸上地震観測記録を用いたスロー地震発生域周辺の地震波速度構造の推定手法の高度化にも取り組んだ。太平洋スラブ内で発生する近地深発地震記録を用いた紀伊半島北東部のレシーバ関数解析を行った。結果として、従来よりも広帯域の波形記録を解析に含めることで沈み込むフィリピン海プレートの上面及びモホ面の明瞭なイメージングに成功した。その上で、紀伊半島北東部直下の間欠的なテクトニック微動の活動域の上盤側は大陸地殻と接しており、より深部の連続的な微動活動域の上盤側はウェッジマントルと接することを述べた。

日向灘では、2020年11月に設置した海底地震計アレイの回収を2021年8月に実施した。また、同じ場所に海底地震計を再設置してアレイ観測を継続した。文科省委託研究「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」と連携し、アレイ周辺に設置された海底地震計のデータも含めて、プレート境界のスロー地震と通常地震の発生場が隣接する領域における地殻活動を明らかにするための解析を開始した。2021年5月22日に中国で発生したM7.3の地震後、浅部スロー地震活動が1ヶ月程度、断続的に活発化したことを陸上観測網からのモニタリングより確認した。特に、6月上旬には通常地震活動が活発化しており、ETASで再現できる確率が10⁻⁵以下ととても小さく、5月以降継続しているスロー地震活動に関連した活動であることが示唆される。これらの活動は、海底に設置した海底地震観測網直下で発生しており、回収した海底地震計には地震に加え微動やVLFEが記録されている事が確認できている。今後、アレイ解析を中心に地震・スロー地震の詳細な解析を進め、スロー地震と通常地震の位置関係を明らかにする。

過去に実施した別プロジェクトによる海底地震観測のデータの解析を進めた。2014年～2017年に実施された海底地震観測のデータを解析し、既存の活動領域（西側活動域）よりも東側の活動域の詳細を明らかにした。東側活動域は、西側活動域から東にマイグレーションし、海溝軸近傍まで活動が確認された。マイグレーション速度は西側活動域は30-60km/dayに対し、東側活動域は2～20km/dayと遅い。このマイグレーション速度の違いは、プレート間固着の強さの違いを反映している可能性がある。東側活動域は四国沖の南海トラフ沿いの固着域により近いいため、シミュレーション研究から指摘されている固着の剥がれによる浅部スロー地震活動の変化が見られる可能性が考えられる。今後構築されるN-netによって、この地域の浅部スロー地震活動はリアルタイムでモニタリングが可能になるため、「異常な」活動を検知するために必要な「定常的な」活動を理解する点において、本研究は重要な基礎情報となる。また、リアルタイムモニタリングによる南海トラフ沿いの地震発生予測の高度化に寄与し、防災・減災に貢献できると考えている。また、同じデータを用いた浅部VLFE解析（Tonegawa et al., 2020）との比較から、規模の大きな浅部VLFEは浅部微動の活動域の端もしくは活動が集中していない領域に分布していることが示された。直上・直近観測による本研究の結果は、浅部VLFEと浅部微動のソースプロセスを理解する上で重要な結果であると言える。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

メキシコゲレロ沖、日向灘および日本海溝付近のテクトニック微動の活動を調べて、通常地震活動とスロー地震活動の分布等を明らかにした。また、プレート境界域周辺の地震活動の発生場のモデル化に向けて、レシーバ関数法やH/Vスペクトル比法の改良を進めた。さらに海域における地殻変動観測の推進に際して、特に海底圧力計を用いた地殻活動の現状把握に向けた手法の開発を行った。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Inoue, T., Y. Ito, L. M. Wallace, Y. Yoshikawa, D. Inazu, E. S. M. Garcia, T. Muramoto, S. C. Webb, K. Ohta, S. Suzuki, and R. Hino, 2021, Water depth dependence of long-range correlation in nontidal variations in seafloor pressure, *Geophys. Res. Lett.*, 48(8), e2020GL092173, doi:10.1029/2020GL092173

Nagano, A., Y. Yamashita, K. Ariyoshi, T. Hasegawa, H. Matsumoto, and M.

Shinohara, 2021, Seafloor Pressure Change Excited at the Northwest Corner of the Shikoku Basin by the Formation of the Kuroshio Large-Meander in September 2017, *Front. Earth Sci.*, 8, 583481, doi:10.3389/feart.2020.583481

Cruz-Atienza, V. M., J. Tago, C. Villafuerte, M. Wei, R. Garza-Girón, L. A. Dominguez, V. Kostoglodov, T. Nishimura, S. I. Franco, J. Real, M. A. Santoyo, Y. Ito, and E.

Kazachkina, 2021, Short-term interaction between silent and devastating earthquakes in Mexico, *Nat. Commun.*, 12, doi:10.1038/s41467-021-22326-6

Tago, J., V. M. Cruz-Atienza, C. Villafuerte, T. Nishimura, V. Kostoglodov, J. Real, and Y. Ito, 2021, Adjoint Slip Inversion under a Constrained Optimization Framework: Revisiting the 2006 Guerrero Slow Slip Event, *Geophys. J. Int.*, 226(2), 1187–1205, doi:10.1093/gji/ggab165

Plata-Martinez, R., R. Ide, M. Shinohara, E. S. Garcia, N. Mizuno, L. A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J. Real, A. Husker, V. M. Cruz-Atienza, and Y. Ito, 2021, Shallow slow earthquakes to decipher future catastrophic earthquakes in the Guerrero seismic gap, *Nat. Commun.*, 12, doi:10.1038/s41467-021-24210-9

Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita, 2021, Development of a Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 3610–3625, doi:10.1785/0220210100

Sawaki, Y., Y. Ito, K. Ohta, T. Shibutani and T. Iwata, 2021, Seismological Structures on Bimodal

Distribution of Deep Tectonic Tremor, *Geophys. Res. Lett.*, 48(8), e2020GL092183, doi:10.1029/2020gl092183

Yamashita, Y., M. Shinohara and T. Yamada, 2021, Shallow tectonic tremor activities in Hyuga-

nada, Nankai subduction zone, based on long-term broadband ocean bottom seismic observations, *Earth, Planets and Space*, 73(1), 196, doi:10.1186/s40623-021-01533-x

Akuhara, T., K. Nakahigashi, M. Shinohara, T. Yamada, H. Shiobara, Y. Yamashita, K. Mochizuki, and K. Uehira, 2021, Lithosphere–asthenosphere boundary beneath the Sea of Japan from transdimensional inversion of S-receiver functions, *Earth Planets Space*, 73(1), 171, doi:10.1186/s40623-021-01501-5

Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, and T.

Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, *Earth Planets Space*, 74(5), doi:10.1186/s40623-021-01562-6

・学会・シンポジウム等での発表

Ito, Y., E. S. Garcia, R. Plata-Martinez, S. Ohyanagi, and T. Inoue, 2021, An Encouragement of Ocean Bottom Observational Seismology, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS02-10

Farazi, A. H., Y. Ito, E. S. M. Garcia, A. M. Lontsi, F. J. Sánchez-Sesma, S. Ohyanagi, R. Hino, and M. Shinohara, 2021, Investigation of the deeper structure below the ocean floor using ambient noise H/V analysis: application to OBS data at the Fukushima forearc region, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS02-05

Inoue, T., Y. Ito, L. Wallace, T. Nishimura, S. Webb, E. S. Garcia, T. Muramoto, S. Suzuki, and R. Hino, 2021, Detecting short-term slow slip events using six-year records of ocean bottom pressure in Hikurangi subduction zone offshore New Zealand, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG39-P22

Ohyanagi, S., K. Ohta, Y. Ito, R. Hino, Y. Ohta, R. Azuma, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Sato, and Y. Murai, 2021, Development of microseismicity catalog near the Japan Trench shallow slow

earthquake region using a deep learning module,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P29

Plata-Martinez, R. Y. Ito, K. Ohta, M. Shinohara, and S. Ide,2021,Focal mechanism and radiated energy from shallow tremors in the Guerrero seismic gap,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-22

Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Sugioka, A. Ito, T. Takahashi, and D. Suetsugu,2021,Shallow tremor activity in the Hyuga-nada revealed by the seafloor observation of “Science of Slow earthquakes” ,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P06

Baba, S., S. Takemura, K. Obara, A. Takeo, Y. Yamashita, and M. Shinohara,2021,Scaled energy of shallow slow earthquakes in Hyuga-nada, southwest Japan,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P10

Ito, A., H. Sugioka, M. Nakano, Y. Yamashita, M. Shinohara, T. Takahashi, D. Suetsugu, and T. Tonegawa,2021,Moment tensor inversion of shallow very low-frequency earthquakes in the northern Ryukyu subduction zone and the Hyuga-nada region,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P14

Mochizuki, K., Y. Yamashita, E. Warren-Smith, M. Savage, L. Wallace, and S. Henrys,2021,Seismic characteristics of the northern Hikurangi subduction zone revealed by offshore seismic observations,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-28

佐脇泰典・澁谷拓郎・阮一桓・伊藤喜宏,2021,近地深発地震を用いた紀伊半島直下の地震学的構造解析,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS07-P06

Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, and Y. Ito,2021,Ocean-depth dependence of correction precision for OBS misorientation, deployed at the Hyuga-nada region of the Nankai subduction zone,International Joint Workshop on Slow Earthquakes,P29

Plata-Martinez, R., Y. Ito, K. Ohta, and S. Ide,2021,Source properties at shallow tremors, in the Guerrero Seismic Gap,International Joint Workshop on Slow Earthquakes,O-06

Plata-Martinez, R., Y. Ito, K. Ohta, and S. Ide,2021,Source properties of shallow tremors in the Guerrero Seismic Gap,Reunión Anual de la Union Geofísica Mexicana (UGM),SIS-17

Ito, Y., Victor M. Cruz-Atienza, and SATREPS Members,2021,An interdisciplinary research project for the mitigation of megathrust-earthquake and tsunami disaster in Mexico:SATREPS 2016-2022,Reunión Anual de la Union Geofísica Mexicana (UGM),SE10-05

Plata-Martinez, R., Y. Ito, K. Ohta, M. Shinohara and S. Ide,2021,Source properties of shallow tremors in the Guerrero seismic gap,American Geophysical Union Fall Meeting,S44B-04

Inoue, T., Y. Ito, L. M. Wallace, T. Nishimura, S. C. Webb, E. S. Garcia, T. Muramoto, S. Suzuki and R. Hino,2021,Detecting short-term slow slip events using six-year records of ocean bottom pressure in the Hikurangi subduction zone offshore New Zealand,,American Geophysical Union Fall Meeting,T25C-0179

Muramoto, T., and Y. Ito,2021,Low speed shear experiment for solid-liquid two phase: Hysterisis of shear stress,American Geophysical Union Fall Meeting,T55B-0077

Ohyanagi, S. K. Ohta, Y. Ito, R. Hino, Y. Ohta, R. Azuma, K. Mochizuki, T. Sato, and Y. Murai,2021,Episodic burst of earthquakes near the Japan Trench following migration of shallow tectonic tremor,American Geophysical Union Fall Meeting,T25C-0194

Yamashita, Y., Y. Nakatani, H. Yakiwara, S. Hirano, H. Shimizu, T. Matsushima, K. Nakahigashi, T. Yamada, and M. Shinohara,2021,Ocean bottom seismological observation of shallow slow earthquakes off the east of Kikai Island, Nansei-Shoto (Ryukyu) Trench,International Joint Workshop on Slow Earthquakes,P-09

Warren-Smith, E., L. Wallace, K. Jacobs, M. Savage, K. Mochizuki, Y. Yamashita, Y. Ito, R. Hino, S. Suzuki,2021,The PULSE Network: Understanding SSE Episodicity on the Hikurangi Subduction Zone,International Joint Workshop on Slow Earthquakes,P-04

Mochizuki, K., Y. Yamashita, M. K Savage, E. Warren-Smith, H. Shaddox, S. Schwartz, L. Wallace, and R. Arai,2021,Distribution of slow and repeating earthquakes as revealed by ocean bottom seismological observations and its relationship to the subduction structure in the northern part of the Hikurangi subduction margin,International Joint Workshop on Slow Earthquakes,O-20

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

2021年度に引き続き、海底観測機器の設置・回収作業を行う。また2021年までに取得された海底地震・圧力記録の解析を進める。特に、浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の解析により、浅部スロー地震発生の際の空間的特徴の抽出に取り組む。ゲレロ沖及び日向灘に設置した海底地震計の回収作業を行うとともに、新たに地震地震計を設置し観測を継続する。また、回収した海底地震計データの解析を進め、プレート境界周辺での地震活動および浅部微動活動の詳細な位置関係、特に深さ分布について調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

篠原雅尚（東京大学地震研究所）,日野亮太（東北大学）,八木原寛（鹿児島大学）,清水洋（九州大学）, Matt J.Ikari（ブレイメン大学）,Victor M. Cruz-Atienza（メキシコ国立自治大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4240

e-mail：ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：伊藤喜宏

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域での総合的観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

○四国の新規2測線においてリニアアレイ観測を行う。四国と南九州における既存データも含めたレシーバ関数解析と地震波走時トモグラフィ解析により、フィリピン海スラブの形状モデルと3次元地震波速度構造モデルを更新する。紀伊半島から南九州に至る地域のプレート境界面の状態、およびスラブ起源流体の挙動と地震・火山活動との関係について明らかにする。

○陸上GNSS、地殻変動連続観測（歪計・傾斜計）、海底圧力計、GNSS音響測距結合方式海底地殻変動観測(GNSS-A)などの測地観測データを統合して、幅広い帯域でのプレート境界すべり現象をモニタリングする手法を高度化し、すべり量の小さい短期的SSEからすべり速度の小さい長期的SSEまでSSEの時空間分布を明らかにする。

○紀伊半島と南九州の地殻変動観測点において、これまで蓄積されている地殻変動連続観測のプロマイド記録をデジタル化し、再解析を行う。プロマイド記録のデジタル画像から数値化した上で、現在の観測結果をテンプレートとし、短期的SSEの検出を試みる。前回の南海地震後の短期的SSEの活動度を明らかにできる可能性がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

四国において、稠密リニアアレイ観測の新規の測線を2本追加し、前期の2測線と合わせて、レシーバ関数解析とトモグラフィ解析を行い、フィリピン海スラブの形状とその周辺の不均質構造を詳細に推定する。南九州においては、前期に取得したデータの再解析によりフィリピン海スラブの形状とその周辺の不均質構造を詳細に推定する。紀伊半島における同様の観測研究から得られた成果と合わせて検討することにより、紀伊半島から南九州までのスラブ形状やその周辺の速度構造を詳細に推定する。その結果から、プレート境界面付近の物性や状態を議論するとともに、強震動予測に寄与できるような速度構造モデルを構築する。

1年次：四国と南九州における既存データの解析。四国における新規測線の観測点の選点調査。

2年次：南九州における既存データの解析。四国における新規1本目の測線での観測開始、および既存データと新規取得データの解析。

3年次：四国における新規2本目の測線での観測開始、既存データと新規取得データの解析、および1本目の測線での観測終了。

4年次：四国における新規取得データの解析、および2本目の測線での観測終了。

5年次：紀伊半島から南九州までのスラブ形状やその周辺の速度構造の総合的な検討。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

GNSSデータや傾斜・歪の連続観測データや海底観測網（水圧計、GNSS-A）のデータを用いて、多様な測地データを解析してSSEを検出する手法の開発を行う。さらに、地域性や継続時間などを考慮してSSEと他のスロー地震（微動、低周波地震、超低周波地震）との関係を明らかにし、スロー地震を用いたモニタリング手法の高度化を行う。また、紀伊水道周辺域や東海地方などの南海トラフ沿岸域における京大防災研独自GNSS観測網の観測を継続する。

1年次：海底観測データを用いたSSE検出手法の開発。GNSS観測の継続及び新規観測点の調査。

2年次：多様な測地データを用いたSSE検出手法の改良。GNSS観測の継続及び新規観測点の設置。

3年次：改良したSSE検出手法の各地域データへの適用。GNSS観測の継続。

4年次：SSE検出手法の適用及びスロー地震間の相互作用に関する考察。GNSS観測の継続。

5年次：SSE検出手法の適用及びスロー地震間の相互作用に関する考察。GNSS観測の継続。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

1～5年次：プロマイド記録の撮影をすすめる（紀州観測点および他の観測点の1940年代からのプロマイド記録）。

1～2年次：これまでに撮影したプロマイド記録（紀州観測点、1960年～1974年）のデジタル化と短期的SSEの検出を試みる。またその手法の高度化をはかる。

3～5年次：プロマイド記録（1940年代～1974年）全体の分析と短期的SSEの検出を実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

徳島市から愛媛県西予市まで東北東－西南西に延びる測線について、未解析の波形データからレシーバ関数を追加して、レシーバ関数イメージを更新した。フィリピン海スラブの上面の深さは、東側で23 km、西側で34 kmである。測線の中央付近では、海洋地殻がやや厚くなっている（図1）。

四国南西部の土佐清水市から四万十市西土佐奥屋内まで南東－北西に延びる測線上の7か所に設置した地震臨時観測点の保守点検とデータ回収を行った。2020年5月から12月までのレシーバ関数を用いた暫定的なレシーバ関数イメージを作成した。スラブの傾きは、南側では約10°であるが、深部低周波地震の発生域付近より北側では約20°と大きくなる。四国東部の海陽－米子測線でのスラブの傾斜6°よりやや大きいことがわかった。

高知県須崎市から愛媛県今治市までの南南東－北北西に延びる測線沿いに7観測点を選点した。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

GNSSデータを用いた短期的SSEの検出解析手法の改良及び高度化を行い、テンプレートマッチングとプレート境界すべりを仮定した相関係数の重み付けによる手法を新たに開発した（図2）。新手法を西南日本のGNSSデータに適用し、23年間に280個のSSEの検出と断層モデル及び継続期間の推定に成功した。検出されたSSEのすべり量と継続期間から計算した平均すべり速度には地域性が存在し、四国西部での平均すべり速度は四国東部と比べ約2倍大きく、九州でのすべり速度は南海沈み込み帯のなかで最も小さいという結果が得られた。南海沈み込み帯におけるすべり速度の地域性は、沈み込む海

洋プレートの傾斜角に起因する可能性が考えられる。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

阿武山観測所に残る記録の整理を行った。紀伊半島における地殻変動観測のプロマイド記録のデジタルアーカイブの構築について、東京大学地震研究所技術研究報告において発表した。また、そのデータに機関リポジトリに登録しDOIを付与した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「日本周辺及びニュージーランドなどの海外の沈み込み帯において、プレート境界面の形状とプレート境界周辺の地下構造及び応力場，ならびに通常の地震活動とスロー地震活動の分布等を明らかにする」という目標に対して、レシーバ関数解析により四国下のフィリピン海プレート境界面の形状を推定すること、およびGNSSデータを用いて短期的SSEを検出解析する新手法により23年間に280個のSSEを検出し、その断層モデルと継続期間を推定することにより貢献した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

加納靖之,2021,紀伊半島における土地傾斜プロマイド記録のデジタルアーカイブ構築,東京大学地震研究所技術研究報告,26,16-19

Okada, Y., T. Nishimura, T. Tabei, T. Matsushima, and H. Hirose,2022,Development of a detection method for short-term slow slip events using GNSS data and its application to the Nankai subduction zone,Earth Planets Space,doi:10.1186/s40623-022-01576-8

・学会・シンポジウム等での発表

澁谷拓郎・中川潤・長岡愛理・三浦勉・山下裕亮・山崎健一・小松信太郎,2022,南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指した地震学的構造研究：四国地域（3）,京都大学防災研究所令和3年度研究発表講演会,B215

Yutaro Okada, Takuya Nishimura, Takao Tabei, Takeshi Matsushima, Hitoshi Hirose,2021,Development of the detection method for short-term slow slip events using GNSS data and its application to the Nankai subduction zone,日本地球惑星科学連合2021年連合大会,SCG39-13

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：紀伊半島における地殻変動観測のプロマイド記録のデジタルアーカイブ

既存データベースとの関係： doi:10.15083/0002002255

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：

項目：地震：地殻変動：GNSS観測

概要：主に東海地方のプレート間固着やSSEの推定の高度化のために、GNSS連続観測を行なっている。もともと東海稠密GPS観測網として設置されたもの。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：静岡県浜松市北区 34.8988 137.6553

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：レシーバ関数解析によるフィリピン海プレート形状推定のためのリニアアレイ観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県土佐清水市大岐 32.8126 132.9407

調査・観測期間：2020/4/21-2022/1/29

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

四国西部の土佐清水－八幡浜測線の未解析期間のレシーバ関数を追加して、レシーバ関数イメージを更新する。四国中西部の須崎－今治測線の7観測点において、地震臨時観測を行い、レシーバ関数解析およびトモグラフィ解析に資する波形データを蓄積する。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

引き続き南海トラフ沿いのGNSS観測を継続し、GNSSや海底データ、陸上のひずみ・傾斜データも用いた短期的SSEの観測解析手法の高度化と他のスロー地震との関係に関する考察を行う。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

阿武山観測所に所蔵されている過去の地殻変動記録を撮影する。これまで撮影した記録画像を用いたデジタル数値化と短期的SSEの検出を試みる。公開したデジタルアーカイブに順次記録を追加する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澁谷拓郎（京都大学防災研究所）、西村卓也（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加納靖之（東京大学地震研究）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4192

e-mail：shibutani.takuo.4r@kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澁谷拓郎

所属：京都大学防災研究所

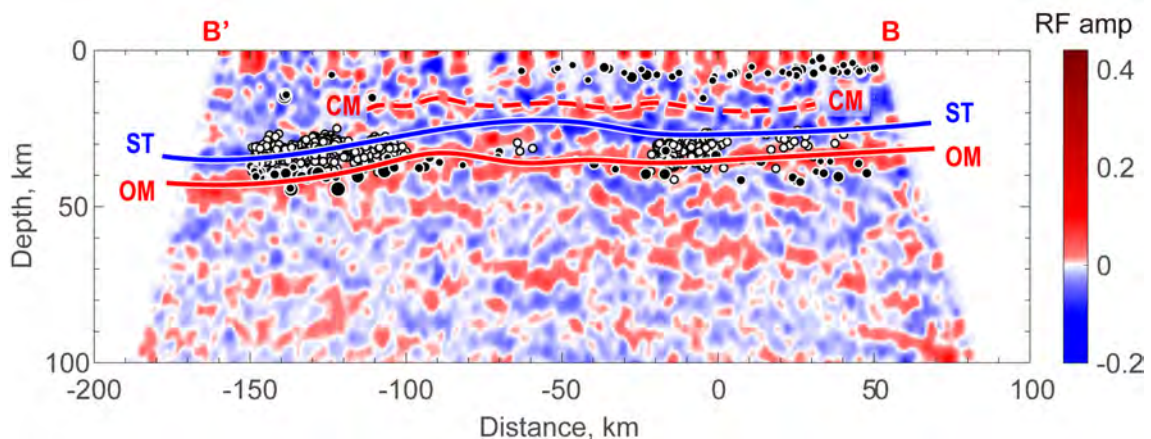


図1 徳島－西予測線でのレシーバ関数イメージ

Bが徳島市側、B'が愛媛県西予市側。STはスラブ上面、OMは海洋モホ、CMは大陸モホを示す。黒丸は通常の地震、白丸は深部低周波地震を示す。

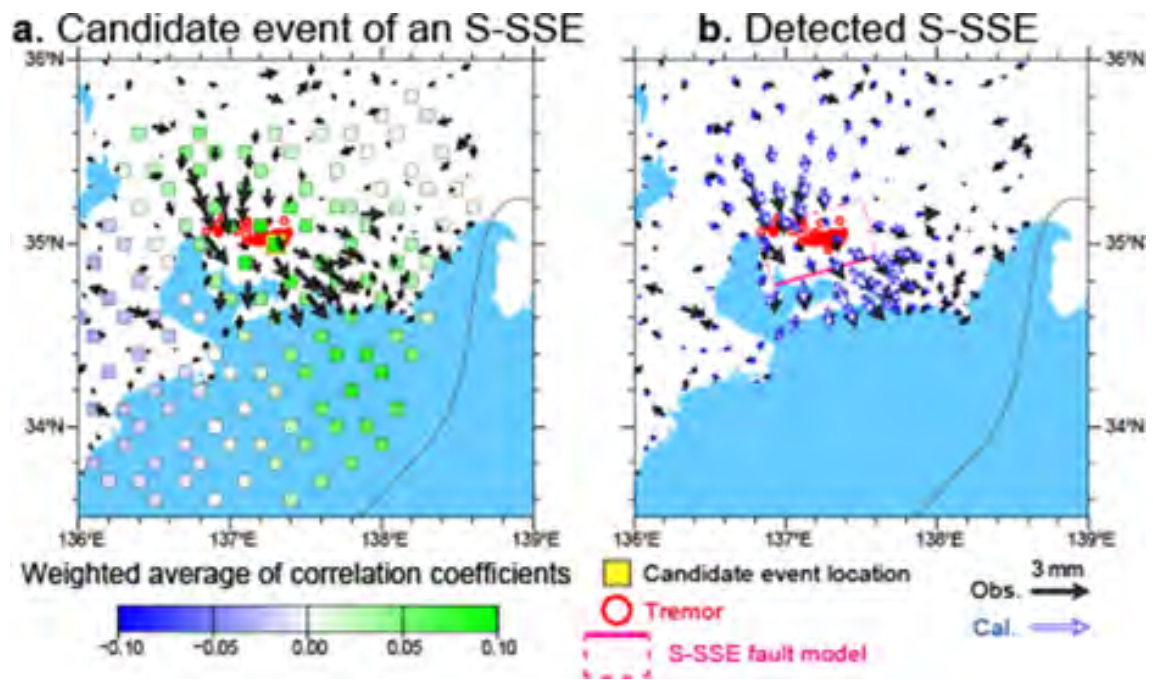


図2 西南日本のGNSSに対する新たに開発した短期的SSE検出手法の適用例 (Okada et al., 2022)
 (a)短期的SSE の断層中心位置の探索結果。(b)推定された短期的SSEの断層モデル。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

内陸地震の発生機構と発生場の解明とモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
 - イ. 地震断層滑りのモデル化

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - オ. 構造共通モデルの構築

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震の発生機構や発生場の解明のためには、断層近傍の応力場および断層の強度の解明が重要である。本研究の主な目的は、西南日本のひずみ集中帯などにおける内陸地震の断層への载荷過程および断層の強度低下過程の解明である。

断層への载荷過程においては、様々な手法を駆使して、内陸地震の断層周辺の不均質構造や変形場を捉えて、応力場の形成過程を解明する。より具体的には、歪集中帯の内部構造や詳細な変形様式の解明、地殻・マントル上部の比抵抗構造の不均質性の解明、内陸地震の断層周辺の3次元の不均質構造、低周波地震活動や応力場の解明等による非弾性変形と断層への応力集中過程の解明、西南日本のブロック断層モデルの高度化と数値シミュレーションによる内陸地震の発生過程の解明、地震活動変化の解明を主な目的とする。また、内陸活断層の数値モデルに応力擾乱を加える数値実験を行い、海溝型巨大地震サイクルに伴う準周期的な応力変動と内陸地震の関係（活動期）について理解する。現計画の期間には、満点方式の高密度地震観測網内において、2018年島根県西部と大阪北部の地震が発生した。鳥取県西部と中部の地震が地震発生域をほとんど断ち切るようなM7クラスの大地震だったのに対して、これらは一回り小さいM6クラスで、余震域は深さ5km以深に限定されているため、両端に加えて浅い側での大地震発生の可能性の評価も必要である。特に、大阪北部の地震は、都市域で発生し、しかも周辺に、上町断層帯や有馬高槻断層帯、宇治川断層など、大都市直下の大きな活断層が複数分布しており、それらへの影響が懸念されているため、山陰地方のひずみ集中帯で得られた知見等も活用して、

地震の発生過程と今後の推移の予測を試みる。

断層の強度低下過程の解明においては、間隙流体圧等の上昇に伴う断層強度の低下を解明する。従来は、断層面での剪断応力の蓄積が重要視されてきたが、2011年東北地方太平洋沖地震後に東日本内陸域の広い範囲で誘発地震が発生したことは、本震の引き起こした応力変化よりも、間隙流体圧等の急激な上昇に伴う断層強度の低下が地震の発生に重要な役割を果たしたことを強く示した (e.g., Terakawa et al. 2013a)。プレート境界から数100km離れた内陸域では、プレート運動による広域応力蓄積レートに比べて、間隙流体圧場の時間変化のスケールは有意に速いと考えられる。このことは、一般的な内陸地震の発生においても、断層強度の低下が重要な役割を果たす可能性があることを意味する。本研究においては、地震メカニズムトモグラフィー法 (FMT法) による三次元間隙流体圧場の時間発展解析 (Terakawa et al., 2013b; Terakawa, 2014) を軸とし、と間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場のモデリング手法 (Terakawa and Hauksson, 2018) 内陸地震の発生における間隙流体圧及び応力の役割を定量的に分析することを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

山陰地方、大阪府北部、跡津川断層系周辺の3つの横ずれ断層が支配的な地域を対象にGNSSとInSARによる稠密地殻変動観測を行い、断層周辺域における歪速度の詳細分布や時間変化の有無を明らかにして、断層帯深部の定常すべりの検出や変形様式の考察を行う。

H31:GNSS観測網の再構築と大阪府北部地域における新規観測点の設置、跡津川断層周辺のInSAR解析

H32:既存GNSSデータに基づくひずみ速度分布の解明、跡津川断層周辺のInSAR解析

H33:新規GNSS観測点のデータも含めた詳細ひずみ速度分布の解明と地殻変動の時間変化の検討、跡津川断層周辺のInSAR解析

H34:新規GNSS観測点のデータも含めた詳細ひずみ速度分布及び時間変化の解明、跡津川断層周辺のInSAR解析、地殻変動モデリング

H35:GNSSデータとInSARデータを統合し、観測された地殻変動に基づくモデリングと考察を行う。

・比抵抗観測とモデル化

中国・四国地方の基盤的比抵抗構造では緯度・経度方向に5分×7.5分の測点密度観測網を展開する。(a)鹿野・吉岡・岩坪断層を含む線状配列をなす地震活動帯、(b)中国地方東部域(地震活動帯から那岐山断層帯を越え吉備高原中北部の鳥取・岡山県境周辺域)ならびに中国地方中北部域(島根県東部地震空白域から鳥取県境付近)において広帯域MT観測を実施する。(c)四国地方では未測定エリアにおいて10分×10分基盤的測点データを取得すべく広帯域MT観測を展開する。以上、測点密度を向上させた3地域における広域的・基盤的比抵抗構造調査をもとに、主に、流体分布の観点から、地殻・マントル上部の空間的構造不均質性を明らかにし、地震・火山現象を支配する場の解明とモデル化に寄与する。

各年度の主な計画は次の通り。H31:中国中北部・東部及び四国地方のMT予備調査と選点完了地域における本観測ならびに既存データを用いた四国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施。H32:同じく中国・四国地方のMT予備調査と選点完了地域における本観測を実施。H33:四国地方のMT観測ならびに中国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施。H34:四国地方及び中国地方の基盤的比抵抗観測網の未測定エリアにおいて補観測を実施。H35:中国・四国地方の基盤的比抵抗観測の未測定エリアにおいて補観測を実施。中国地方中北部・東部域～四国地方の基盤的比抵抗構造統合モデルを構築し、地震・火山現象を支配する場の解明とモデル化に寄与する。

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

山陰地方の地震帯、近畿地方中北部や長野県西部地域など西南日本の横ずれ断層の活動域において高密度地震観測を行い、内陸地震の断層周辺の3次元の不均質構造、低周波地震活動や応力場の解明等を行う。特に、大阪北部の余震域とその周辺において高感度地震観測を強化して、有馬高槻断層帯などの断層周辺の3次元の不均質構造、応力場や断層の強度などを推定する。また、震源に極近い観測点の連続波形記録等から前震から本震に至る過程を調査する。また、余震観測等を含む高密度な地震観測網記録に地震波干渉法を適用することによって、都市部での断層構造や浅部地下構造推定の可能性を調べる。

H31: 高密度地震観測網の再構築、大阪北部の地震の詳細な余震分布および余震域とその周辺の応力場

の推定、大阪北部の地震の本震前の連続波形記録や測地学的記録の精査、

H32: 大阪北部の地震の余震域とその周辺の3次元不均質構造の推定、大阪北部の地震の本震に至るモデル化

H33: 大阪北部の地震の余震域周辺における低周波地震活動の解明、観測点ペアにおける地震波干渉法の適用

H34: 大阪北部の地震の発生過程と今後の地震活動の推移の予測、全波動場計算の結果と地震波干渉法により得られた疑似地震波形との比較による構造推定と解釈

H35: 統合モデル化、地震波干渉法の都市部地下構造探査への応用可能性の検討、高密度地震観測網の撤収。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

本研究では、プレート運動による応力蓄積率の遅い内陸地域を対象に、地震のメカニズム解から地殻内の絶対応力場、及び地震の発生における応力と流体の役割を定量的に評価することを目指す。このため、内陸域にありながら活発な地震活動が観測される御嶽山周辺域などを対象とする。研究の軸となるFMT法(Terakawa et al., 2010; Terakawa, 2014)と間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法(Terakawa and Hauksson, 2018)では、地震のメカニズム解をデータとして用いる。このため、研究期間全体を通じて、名古屋大学をはじめとする諸機関の定常地震観測によって得られた良質な地震データから、気象庁カタログには掲載されない微小地震も含めて震源とメカニズム解を推定し、データベースを構築する。

H31-32: FMT法は、応力場と地震メカニズム解の関係から、地殻内の間隙流体圧場を三次元的に推定する手法である。この手法では、応力場のパターンの推定誤差がインバージョン解析のモデル誤差となり、結果に偏りを生じる可能性があることがわかっている(Terakawa, 2017)。このため、応力場の推定誤差を取り入れた定式化を行うことを検討する。

また、これまでの成果により、御嶽山東麓の群発地震発生域に、静水圧を 15 ± 5 MPa程度上回る安定な高圧間隙流体圧場が形成されている可能性があることがわかった(Terakawa, 2017)。本研究では、改良したFMT法と微小地震から求めた局所応力場とその推定誤差(Terakawa et al., 2016)を用いて、この領域の間隙流体圧分布の時間発展解析を行い、活発な群発地震活動と間隙流体の関係を定量的に明らかにする。

H33-34: 間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法では、文字通り、(応力場の最適面に働く)間隙流体圧をパラメータに絶対応力場をモデル化し、大地震の引き起こす応力変化や弾性歪エネルギーの変化に基づいて適切な間隙流体圧レベルを推定し、これを通じて絶対応力場を求める(Terakawa and Hauksson, 2018)。この絶対応力場の推定解析を、本研究で推定した大量の地震のメカニズム解に適用し、2017年6月25日の長野県南部の地震(M 5.6)の発生直前の絶対応力場を推定することを試みる。一方、地震の発生した断層運動のタイプと応力場のパターンの関係を統計的に調べて、観測データから絶対応力場レベルを測る手法について検討することを試みる。地震は既存弱面を利用した応力解放過程であるため、一様な応力場の下においても、ばらついたメカニズム解が観測されることがある。このメカニズム解のばらつきは、経験的に、地震の規模が大きくなるにつれ観測されなくなる傾向があり、ばらつきが観測されなくなる最小マグニチュード(ここでは M_c と定義する)は地域毎に異なる(Terakawa et al., 2012, 2013b; Terakawa, 2014)。本研究では、大量のメカニズム解のデータから、 M_c の分布を場の情報として求めて、絶対応力レベルとの関係を調べる。また、御嶽山周辺域以外の内陸地域(2016年熊本地震、2009年ラクイラ地震、1992年ランダース地震の震源域など)について、同様な解析により絶対応力場や M_c の分布を推定し、テクトニクスによる絶対応力場の特徴の違いなどを分析することも視野に入れる。

H35: H33-34年度に推定した絶対応力場と間隙流体圧レベルを基に、まず、長野県南部の地震の引き起こす応力変化が原因で余震が活発化すると考えられる地域を調べて、実際の余震活動と比較する。次に、本震による応力変化で説明できない余震活動を特定し、FMT法の考え方を用いて、応力場とメカニズム解の関係から間隙流体圧の影響を定量的に調べることを試みる。

・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本において内陸域のひずみ集中帯を含む広域地殻変動場をブロック断層モデルを用いてモデル化し、南海トラフの巨大地震サイクルに伴う内陸地震の活動期・静穏期を ΔCFF (Coulomb's Failure Function)とブロック形状に基づくシミュレーションと個別の断層に着目した摩擦構成則を用いたシミュレーションによって再現して、そのメカニズムを明らかにする。

H31: GNSSデータ及びブロック構造に関連する知見の整理、個別の断層に与える長期的滑り速度や地

震発生層の厚さ等の境界条件の整理、シミュレーションプログラムのコーディング

H32: 粘弾性変形を考慮したブロック断層モデルの高度化と Δ CFF及び摩擦構成則を用いた個別断層のシミュレーションの構築、シミュレーションプログラムのコーディング

H33: シミュレーションと実際の地震活動及び地殻変動との比較によるシミュレーションのパラメータのチューニング

H34: シミュレーションと実際の地震活動及び地殻変動との比較によるシミュレーションのパラメータのチューニング、 Δ CFFと摩擦構成則を用いたシミュレーションの統合に関する検討

H35: 内陸地震の活動期のシミュレーションの統合化とまとめ

・地震活動変化

内陸大地震の発生前の地震活動変化はゆっくりすべりによる応力変化(Δ CFS)に起因するという説を、GNSS観測データの解析や地下構造や応力場のデータも含めて検証するとともに、地震活動の異常性を業務的に捉えられるようなモデルとそのソフトウェアを開発し、確率予測が可能になるような統計モデルの提案を目指す。

H31-32: 地震データの整理と予備的な解析。H33: 地震活動変化解析。H34-35: 統計モデル作成。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

大阪府北部においては、2019年夏～秋に設置した有馬-高槻断層帯を横断するGNSS連続観測点でのデータの蓄積に伴い、有馬-高槻断層帯周辺に集中する右横ずれ変形が明瞭に確認出来るようになった(図1)。断層に平行な速度成分に注目し、鉛直右横ずれの半無限弾性体の深部すべり(Savage and Burford, 1973)でモデル化すると、地表トレースの北側3.8kmの深さ12km以深において、断層が8.7mm/yrでクリープしていることが推定される(図2)。先行研究(Nishimura et al., 2018)の結果を用いて計算される南海トラフ沿いのプレート間固着に伴う変動速度は、図2の範囲において有馬-高槻断層帯に平行な成分で最大3mm/yr程度になる可能性があるが、南側になるほど大きいことが予想され、観測された変動パターンとは異なる。そのため、有馬-高槻断層帯における推定された深部すべり速度に対する南海トラフの影響は小さいと考えられる。推定された深部すべりの速度は広域のGNSS観測などから推定されている速度(例えば、Nishimura et al., 2018)とは調和的であるが、地質・地形学的な有馬-高槻断層帯の平均すべり速度と比較すると約5倍多きため、その解釈について検討が必要である。

・比抵抗観測とモデル化

令和3年度は中国・四国地方のMT観測予備調査と選点完了地域として中国地方東部(遠地での本観測実施見合わせのため)における本観測と構造解析を実施した。また、四国地方の基盤的比抵抗構造解析を継続した。本報告ではこの中国地方東部の広帯域MT法調査概要を報告する。

2021年11月初旬から12月上旬にかけて、鳥取東部域および鳥取・兵庫県境脊梁地域における測定空白域を中心に自然界に存在する電磁場変動を信号とする広帯域MT法観測を実施した(図3)。本年度の調査対象域のうち前者は、1943年鳥取地震の地震断層である鹿野・吉岡断層のまさに東端部にあたり、後者は雨滝・釜戸断層を横切る測線上に位置する。両地域において本調査結果を加えることで、それぞれの断層の周辺構造の特徴に関する新たな知見が期待される。

観測には、フェニックス社製広帯域MT法測定器MTU-5Aを使用し、原則として地磁気3成分電場2成分の組み合わせ測定を心がけたが、今回は鳥取都市部での測定ということもあり半数が電場2成分のみの測定地点となった(合計8地点)。観測により得られた見かけ比抵抗探索曲線ならびに位相差曲線を図4に示す。今回の観測では、地磁気擾乱現象に恵まれた測定期間もあり、民家につながる電灯線や電話線、また電柵などによる影響を受けた地点であっても、ノイズ混入の帯域を除けば広帯域にわたり探索曲線の形状が読み取れることがわかった。これは、都市部であっても電気鉄道からの漏洩電流の影響がほとんどない鳥取東部のような地域における、今後の自然電磁場観測計画につながる情報であるといえる。

見かけ比抵抗や位相などの探索曲線図から得られた特徴としては、今回の観測地域を大局的にみれば、曲線の形状は似ていることがわかった。見かけ比抵抗 xy 、 yx 成分はともに10秒にかけて上昇する。 xy 成分は、その後、数十秒にかけて一度減少するが、再び上昇に転ずる。 yx 成分は10秒以降、減少傾向がみられる。いずれの曲線も地殻は高比抵抗領域(少なくとも $k\Omega m$ オーダー)の存在を示唆するが、

深部には低比抵抗領域の存在が示唆される。また、位相差 y_x 成分値が数百秒あたりから90度を超える異常位相傾向も共通してみられた。

データ処理結果および既存データを統合して構造解析を行った。インピーダンスのPT解析から対象地域の比抵抗構造の走向を推定したところ、概ね付近の海岸線に直交する2次元構造であると解釈できた(走向を西測線で $N84^\circ E$ 、東測線ではEWとした)。その走向を固定し、Groom and Bailey (1989)分解を行い、電場の回転や歪みを固定して2次元構造性の抽出を試みた。得られたインピーダンスデータについてOgawa and Uchida(1996)のプログラムコードを用いた2次元構造解析を行った。その結果として鹿野・吉岡断層の東端部を含む構造断面を図5に、鳥取・兵庫県境脊梁地域の構造断面を図6示す。これらの構造断面には共通して、上部地殻深度は全般的に高比抵抗領域(数 $k\Omega$ 以上)であるという特徴が示された。ただし、前者では、鹿野・吉岡断層のまさに東端部にあたるHTR地点においては、周りと比べて1桁程度比抵抗が下がるという構造の不連続性が示された。その構造とのつながりは定かではないが、この断面では10数km以深は一様に $100\Omega m$ 程度となっている。一方、後者でも、雨滝-釜戸断層の直南地点であるTMTからHEDにかけての地域では、深部地殻の比抵抗値が、北側や南側と比べて半桁から一桁程度下がる構造がみられた。これらの両地域では内陸大地震が発生した記録がない場所ではあるが、比抵抗構造と地震活動との関連をみると、ここでもやはり、高比抵抗と低比抵抗の境界部もしくは高比抵抗領域側では地震活動がみられた。ただし、いずれの断面にもこれまで山陰地方のM6を超える内陸地震発生域下で指摘された $10\Omega m$ 以下の顕著な深部低比抵抗領域はみられない。このことは内陸地震発生規模と関連があるのかもしれない。

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

内陸地震の発生機構について、深さ方向に着目した2次元モデルを、水平方向も考慮した3次元モデルに拡張してきた。断層両端の特性は、断層への応力集中に関係するとともに、大きな地震が続発するかどうかを知るために極めて重要である。本計画においては、2つの内陸地震に関して重要な知見が得られつつある。大阪府北部の地震に関しては、新たに確認された有馬高槻断層帯の東部や微小地震の線状配列付近の地下構造等の解明のために、合同余震観測(第二次)を継続中である。

2018年大阪府北部の地震

大阪府北部の地震と活断層との関係が問題となっている。前年度に続いて、大阪府北部の地震の余震データを用いて、有馬高槻断層帯(ATL)の深部の位置の推定を行った。図3a,bに、京大防災研・九大・東大地震研・関大合同観測、満点計画および周辺の高感度定常観測点(NIED, Kyoto Univ., JMA, AIST)のデータによりメカニズム解が精度よく決定された余震の震源分布と付近の観測点の分布を示す。図3cに、代表的な3つの観測点における、水平成層構造を仮定した震源計算におけるP波到着時刻のO-C(観測値-計算値)と、ATLに直交する方向における余震の震源位置との関係を示す。ATLの北側に位置するABU観測点では、 $Y=2.4$ 付近より南の余震ほどO-Cが大きくなるが、ATLの南側に位置するOH40観測点では、反対に、 $Y=0.1$ 付近より北の余震ほどO-Cが大きくなる傾向が見られる。このことは、ATL付近に低速度域が存在することを示唆している。また、ATLのすぐ南のOH37観測点では、 $Y=2.5$ 付近より南の余震ほどO-Cが小さくなるが、 $Y=2.5$ 付近より北の余震ではO-Cはほぼ一定か減少傾向にある。

各観測点のfitの結果を観測点の位置に図示したものを図4左に示す。単純な直線よりもflat-rampでfitした方がAICが小さく、rampの傾斜 a_1 の95%信頼区間内でその符号が変わらず(傾斜方向が反転せず)、折れ曲がりの位置 a_2 の95%信頼区間が解析範囲を超えないという3つの条件を満たすデータのみが示されている。ATLの北側において、ABU観測点と同じく、左rampで南上がり(南の余震ほど走時が遅れる)の観測点が系統的に見られる。一方、ATLの南側においては左rampで南下がり(南の余震ほど走時が遅れる)と右rampで北上がりが混在している。

これらのデータから、ATL付近の低速度域の形状を推定した。図3bに示すように、低速度域の境界は、この付近のATLの一般的な走向である $N80^\circ E$ と同じ走向を持つ平面で、地表から余震域の底まで連続する単純なものと仮定した。また、低速度域の北端がATLの地表トレースと一致し、図3cのABUのデータから推定されるように、低速度域は、地表トレースから南方に広がっていると仮定した。また、ATLのすぐ南に位置するOH37のデータにおいて、南の余震ほど遅れが小さいことから、低速度域内において、北端に近いほど低速度異常が大きいことが推定される。このことは、ATLが、単に、北側の丹波帯と南側の領家帯の地質境界(物質境界)ではないことを示唆している。

低速度域が、上記のような単純な形状を示す場合、flat-rampの折れ曲がり、その境界の位置に関係する。特に、低速度域の外側の観測点においては、境界付近に震源を持つ余震の震源が低速度域内

にあるかどうかに対応して、推定された折れ曲がりの位置が、直接的に低速度域の境界を示していると考えられる。よって、ATLの北側の観測点で系統的に推定されたa2の位置が、余震域付近における低速度域の北端を示しており、図4右に示すように、 $Y=2.5\sim 5.0$ の範囲に推定されている。一方、逆のパターンとなる、右向きの赤三角で示したa2の位置は、低速度域の南端を示していることが期待されるが、データは大きくばらついている。図3cのOH40のデータに示されているように、余震域が南へあまり伸びていないため、南側においてflatになる長さが足りないために、折れ曲がり位置がうまく推定されていないのかもしれない。図4に左向きの青三角で示したパターンでは、a2の位置は低速度域の北端を直接的に示すものではなく、また南側にflatな部分は見えない。これらのデータからは、低速度域の南端は、青矢印で示されているようにデータの範囲よりさらに南に存在すると推定される。

これらのデータによるATL付近の低速度域の推定位置と、本震の断層モデルや余震分布の関係を図5に示した。茶色の塗りつぶしの領域が低速度域の北端の推定範囲であり、その位置は、浅野・他(2018)による推定断層の北側に位置していることが分かる。低速度域の南端については、右向きの赤三角のデータから推定された位置は大きくばらついているが、左向きの青三角からは、青点線の位置より南にあると推定された。上記のように、青点線の位置より南に境界がある可能性が高いと推定される。

得られた結果に関する現時点での解釈は以下のとおりである。大阪府北部の地震の震源断層は、ATL付近の低速度域の北端に、その北側を限られた可能性が高い。断層帯の南端の位置については、現時点でははっきりと推定することは出来ていないが、余震域よりさらに南にある可能性が高いことから、大阪府北部の地震は、ATLの付近の低速度域内で発生したものと推定される。震源断層が速度不均質によって限られていることが、断層破壊が不均質を超えて進展することが出来ず、最深部から始まったにも関わらず深さ10km程度以深に断層が限られたM6クラスの地震となった原因である可能性がある。

大阪北部の地震の発生した有馬高槻断層帯周辺では定常的な微小地震活動および低周波地震活動が続いている。満点観測網により得られた地震波形を用いて、機械学習の手法を用いて高度化されたS波の反射法解析により、低周波地震活動と下部地殻におけるS波の反射強度分布の関係が精度よく推定された。その結果、S波の反射強度は、低周波地震の活動域を下端とする薄い面状の領域で大きいことが明確になった。このことは、低周波地震の活動域から水が地殻内に上昇していることを強く示唆している。また、地震波干渉法を満点観測網のデータに適用して、有馬高槻断層帯および近畿地方中北部の活断層周辺の地殻浅部の深さ数kmまでの地殻構造を詳細に推定し、活断層が速度境界になっている場合が多いことを明らかにした(Bokani et al., 2022, 投稿中)。

2016年鳥取県中部地震

鳥取県中部地震は、山陰地方の地震帯で発生したMj6.7の地震である。約50km西で発生した2000年鳥取県西部地震(Mj7.3)の断層の南端付近で、本震のすべりによる応力変化に調和的なP軸の分布が見出されていたことから(Yukutake et al., 2007)、断層端の謎を解明することを主な目的として、京大九大東大地震研による合同余震観測を行った(Iio et al., 2020)。推定された余震分布や観測点の分布を図6に示す(Iio et al., 2021)。余震分布は、最深部においてはお椀型(Iio et al., 2009)を示しているように見えるが、両端部においてはほぼ鉛直な直線的な形状を示している。地震破壊は、震源から同心円状あるいは楕円状に拡がっていくと考えられるが、余震分布はそれに対応した形ではなく矩形を呈している。このことは、断層の両端に、何か特別なものが存在していることを示唆している。実際に、図6に示すように、WFの北端付近には第四紀火山が存在している。

深さ5km付近における余震のT軸、P軸、P軸の傾斜角の分布を図7に示す(Iio et al., 2021)。赤と白の線は、この深さにおける推定断層面であるが、後述するように、北部でWF,EFの二つに分岐していると推定されている。断層の両端付近において、P・T軸とも、推定断層を境に方位が急変していることが分かる。断層南端の東側においては正断層型の余震が卓越しているが(図7c)、本震すべりによる正断層型の地震に対する ΔCFS が正の領域と良く対応している(図7d)。ここでは深さ5kmの例を示したが、他の深さでも同様となっているところが多い。

推定断層を境にT軸の方位が急変していることを利用して、「真の」断層面の位置を推定した。断層に直交する方向におけるT軸の方位分布を階段関数で近似し、その段差の位置に断層があると見なして、それらの位置を平滑化して推定された断層面を図8に示す(Iio et al., 2021)。北部($Y>2\text{km}$)では2カ所に段差が推定されているように見えるので、東西の2領域に分けて、WF,EFの2つの断層面を推定した。この断層面を用いて、余震域の両端部において、正断層型の余震に対する ΔCFS が最も大きくなる断層端の位置を求めた。本震のすべり分布は、InSARやGNSSデータから推定された断層モデル(Meneses-

Gutierrez et al., 2019)を参考にして、矩形すべりの端からtaperをかける単純なものとし、GNSSによる本震の変位分布(Meneses-Gutierrez et al., 2019)を説明することも考慮した。その結果、断層南端の位置は200m程度の精度で推定することが出来たが、北端については、 $Y=6.1\sim 6.9\text{km}$ 程度と幅を持って推定された。

断層南端付近におけるP軸の傾斜角の分布と、正断層および本震と同じ横ずれ断層に対する ΔCFS の分布を比較したものを図9abに示した(Iio et al., 2021)。P軸の傾斜角が大きい正断層型の余震(赤系統の色)の分布が、正断層に対する ΔCFS の大きな領域とよく一致していることがわかる。一方、横ずれ断層に対する ΔCFS の大きな領域では、その大きさは正断層に対するものと同程度にも関わらず、横ずれ型の余震は全くと言ってよいほど起こっていない。ここで示した ΔCFS は本震すべりによる応力変化によるものであり、この地域全体は横ずれ型の応力場であることから(例えば、Kawanishi et al., 2009)、断層端では横ずれ型の余震が圧倒的に起こりやすいはずにも関わらず、そうはなっていない。ここでは最も顕著な深さ5kmの例を示したが、他の深さでも同様の傾向が見られる。

このことを説明する4つの可能性が考えられる。i) 断層端付近において、その規模に寄らず断層の強度が非常に大きい、ii) 地震前に、本震すべりの起こった領域のみに応力集中が発生していた、iii) 断層端において地震後に非弾性変形が起こった、iv) 地震前に断層端において応力緩和が起こっていた。i)の場合は、一般的には、断層端付近で余震活動が活発になる(例えば、Aki, 1979)。ii)として想定されるのは、地震前に本震断層の周辺で非地震性すべりが発生し、backslip的な応力集中が発生していた場合である(Savage et al., 1973)。しかしながら、非地震性すべりが発生していた場合、同じところで地震後に予効すべりが起こることが期待されるが、地殻変動の解析結果からはそのような変動は検知されていないし(Meneses-Gutierrez et al., 2019)、予効すべりに伴うことが期待される余震の震源移動も見られていない(Iio et al., 2020)。また、山陰の地震帯は歪集中帯となっており、地震帯直下の下部地殻において数mm/年の非地震性すべりが検知されているが(Nishimura and Takada, 2017)、それによる応力集中は幅広いものとなり、震源断層だけに応力集中を起こすことは出来ない。iii)についても、地殻変動の解析結果では検知されていない(Meneses-Gutierrez et al., 2019)。残されるのはiv)であり、断層端において、本震前に非常に長い時間スケールを持った非弾性変形が発生して応力緩和が生じていた可能性が考えられる。山陰の地震帯においては、満点観測網のデータを用いた地震波トモグラフィーにより、大きめの地震の余震域の両端に、系統的に低速度異常域が推定されている(岸本, 2012, 平成24年度成果報告(成果の概要))。この知見は、山陰の地震帯において、大きな地震の断層両端において、応力緩和が起こっている可能性を示唆している。

断層両端における応力状態をより直接的に推定するために、Iio et al.(2017)と同様の手法により、応力逆解析を行った(Iio et al., 2022, 投稿中)。解析領域の大きさは基本的には1kmの立方体であるが、断層への直交方向(X軸方向)においては、領域内の地震数が50以下になるように領域の幅を小さくしている。また、断層面を内部に含む領域が無いように、解析領域の端は推定された断層から50m離して設定されている。得られた結果を図10に示す。背景に示したものは、地震すべりによる応力変化に背景応力を加えて計算されたものである。この場合では、背景応力の最大主応力の方向は、余震データの平均的な方向である $N107^{\circ}E$ とし、応力比 $R=0.5$ 、差応力は20MPaと仮定した。逆解析により推定された主応力(以下、逆解析による推定を「観測」と呼ぶ)の方位は計算値と概ね良く一致しているが、詳しく見ると、深さ8km以深においては、最大主応力方向が、推定断層面により直交していることが分かる。このことは、深部においては、地震前の差応力が小さかったことを示唆している。

そこで、地震前の差応力を変化させて、観測データを最もよく説明する値を推定した。断層に直交する長さ6kmのプロファイルにおいて、観測された σ_3 と計算されたもの残差二乗和を最小とする差応力を求めた。図11aには、南端付近の深さ3,4,5kmの結果を示した。データのばらつきは大きい、いずれも断層端に近いほど差応力が小さくなっている。図11bには、深さ方向の差応力の変化を示した。図10に示されたように、深部ではデータ数が少ないため、南端付近の3km四方の領域の平均的な差応力状態を推定した。その結果、深さ8kmまでは深さとともに差応力が大きくなる傾向が見られるが、それ以深では、差応力は急に小さくなることが分かった。

図12に得られた結果を模式的に示した。応力逆解析において、断層の両端において、地震前に差応力が小さかったことが確認された。また、断層深部においても、差応力が小さかったことが見出された。図12には気象庁による本震の震源を示しているが、一元化震源と余震観測により決定された余震の震源を比較すると、一元化震源が1,2km深く南へずれる傾向があるので、実際の震源位置は少し異なっている可能性があるが、それが深部の低差応力の領域内にあることは確かである。

2018年鳥取県中部地震については、断層端において地震前に応力緩和が起こっていると推定される

ことから、本震後、その断層の延長部において同程度以上の地震が発生する可能性は極めて低いと考えられる。この解析結果については、Preliminaryな解析結果が出た時点で、観測に際して大変お世話になった地元の自治体にお伝えした。将来的にはリアルタイムに近い迅速な解析により、大地震の発生直後に、断層端における続発地震の発生可能性を物理的・決定論的な側面からも評価することが可能となると期待される。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明 御嶽山周辺域の地震活動モニタリング

御嶽山周辺域の地震活動を理解するために、名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた連続地震波形データ（2021年1月～2021年12月）に対し、WINシステムのイベント自動検出機能を利用した手動波形読み取り処理を行い、4686個の地震の震源を決定した（図13）。この中には、2014年の御嶽山噴火以降に継続して発生している火山性地震の震源102個（図14の赤い点線で示した範囲内の地震）が含まれている。火山性地震は、2014年9月の噴火以降減少傾向にあるが、未だに噴火前の平常時には戻っていない様子が捉えられた。また、2019年1月～2021年5月までに発生した火山性地震について、地震波形のP波初動の押し引き分布とS/P振幅比のデータから、90個のメカニズム解を推定した。これらのメカニズム解と広域応力場を比較すると、2019年4月、2019年11月～2020年5月、2020年8月中旬～9月初旬、2020年12月下旬～2021年1月下旬に、広域応力場で説明できないメカニズム解を持つ火山性地震が多く発生したことがわかった。

直接的先験情報を考慮した長期間地震データによるテクトニック応力場の推定法の開発

長期間の地震データから安定的にテクトニック応力場のパターンとその時間変化を評価することを目指し、従来のCMTデータインバージョン法（Terakawa & Matsu'ura, 2008）に「過去のデータの解析結果を直接的先験情報として取り入れる機能」を追加した（Terakawa & Matsu'ura, submitted）。改良法では、観測データに対する応力場の滑らかさ（間接的先験情報）と過去のデータの解析結果（直接的先験情報）の重みを支配する2つの超パラメータを定式化に取り入れ、Matsu'ura et al. (2007) の統合逆化公式に沿い、直接的先験情報と間接的先験情報を統一的に取り扱うことができたようにした。この改良法では、2つの超パラメータの最適値をABICに基づいて求め、観測データから合理的に応力場のパターンを推定することが可能となる。

ここで、直接的先験情報に関する超パラメータは、観測データの不確かさと直接的先験情報の不確かさの比で表され、直接的先験情報の不確かさが小さいほど、直接的先験情報の重みが大きくなるようになっている。直接的先験情報の不確かさは、応力場のパターンの時間変化がなければ、過去のデータ解析の解の不確かさと一致するはずである。しかし、応力場のパターンの時間変化があった場合には、直接的先験情報の不確かさは過去のデータ解析の解の不確かさよりも大きくなるはずである。したがって、直接的先験情報に関する超パラメータの最適値から、過去のデータ解析の解の不確かさに対する直接的先験情報の不確かさの比（ ε^2 ）を調べると、この値は応力場のパターンの時間変化の指標となる。具体的には、この値が1を大きく超えると、応力場のパターンの時間変化があった可能性を示す。つまり、改良したCMTデータインバージョン法では、ABICを用いて応力場のパターンの時間変化を客観的に測ることが可能となった。改良法の性能については、模擬データを用いた解析を通じて確認した。

次に、改良法を東北地方における24年分（1997年1月～2020年12月）のF-netモーメントテンソルカタログのデータに適用し、応力場のパターン及びその時間変化を調べた。対象地域では、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）が発生したため、対象期間を3つの期間（期間1: 1997年1月～2007年1月、期間2: 2007年2月～2011年2月、期間3: 2011年3月～2020年12月）に分け、まず、期間1のデータを（直接的先験情報を考慮しない）従来法で解析した（解析1）。次に、解析1の結果を直接的先験情報とし、期間2のデータを改良法で解析した（解析2）。また、比較のため、同じデータを従来法でも解析した（解析20）。解析2のABICの最小値は-4031、解析20では-3356となった。このことは、直接的先験情報を考慮した解析2の方が、解析20に比べて合理的な結果であることを意味する。解析1と解析2の応力場のパターンの結果を比較すると、両者はよく一致する（図15）。解析2における ε^2 の値は1.4となり、この値は応力場のパターンの時間変化がないことを意味する1に近い。このことから、東北沖地震前の14年間は、東北地方の応力場は安定的していたと考えられる。

更に、解析2の結果を直接的先験情報とし、期間3のデータを改良法（解析3）及び従来法（解析30）で解析した。ABICの最小値は解析3で-9542、解析30では-8852となり、直接的先験情報を考慮した

解析3の方が合理的な結果となった。解析2と解析3の応力場のパターンの結果を比較すると、4か所（A1: 福島県・茨城県沿岸～沖合、A2: 福島県・茨城県沖の海溝付近、A3: 秋田県中央部、A4: 岩手県沿岸～沖合）で応力場のパターンに違いがみられた（図16）。これらの違いについて、解析2と3の推定誤差や、東北沖地震前後の地震活動度の変化などを考え合わせると、A1の東部においては、解析2、解析3とも推定誤差が小さく、応力場の時間変化があった可能性があることがわかった。それ以外の地域の応力場の違いは、見かけの応力変化であると考えられる。

- ・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

測地データに基づく南海トラフ沿いの固着分布や内陸域での相対運動速度を用いることにより、現在の地殻変動分布や粘弾性緩和を考慮して Δ CFSの計算に基づく海溝型地震サイクルにおける内陸地震活動を再現したシミュレーションモデルを構築し、地域や断層タイプ毎の特徴を調べた。実際の過去の地震活動に見られる内陸地震の活動期を再現する（図17）ためには、内陸断層固有の応力载荷速度がブロック間相対運動の10%程度と小さく、アセノスフェアの粘性率が 1×10^{19} Pas程度であり、内陸断層の見かけの摩擦係数が小さいことが示された。本モデルでは、次の南海トラフ地震の数十年前から四国、山陰、近畿地方などで内陸地震が増加し、特に規模が大きな地震が発生しやすくなる傾向が予測される。

- ・地震活動変化

地震検出率を組み込んだHIST-ETASモデルの高度化による全国の標準時空間予測の実装を目指して、内陸部の短期・長期の時空間確率予測とその可視化動画像の実装を行った。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

有馬-高槻断層帯周辺や西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリングや鳥取県中部地震の断層周辺の応力場の解析は、1(5)イの内陸地震の断層への応力载荷過程の解明に貢献するものである。直接的先験情報を考慮したテクトニック応力場の推定法の開発と東北地方におけるF-netデータへの適用は、1(3)アの東北地方太平洋沖地震発生後のプレート間の固着状態と、周辺の応力場の時空間変化の解明に貢献するものである。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Iio, Y., Matsumoto, S., Yamashita, Y. et al., 2021, Stress relaxation arrested the mainshock rupture of the 2016 Central Tottori earthquake, *Commun Earth Environ*, 2, <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00231-6>

- ・学会・シンポジウム等での発表

水戸川司・西村卓也, 2021, 西南日本のメガスラスト地震サイクルにおける内陸断層のクローン応力変化に基づく地震活動シミュレーション, 日本地球惑星科学連合2021年連合大会, SCG50-P03

寺川寿子, 2021, 直接的先験情報を取り入れた長期間地震データによる3次元テクトニック応力場の推定, 日本地球惑星科学連合2021年連合大会, SSS08-05

寺川寿子・松浦充宏, 2021, 直接的先験情報を取り入れた長期間地震データによる3次元テクトニック応力場の推定, 日本地震学会2021年秋季大会, S09P-16

飯尾 能久・松本 聡・京大防災研九大東大地震研関大 大阪府北部の地震合同余震観測班, 2021, 稠密余震観測から推定される大阪府北部の地震と有馬高槻断層帯との関係, 日本地球惑星科学連合2021年連合大会, SCG50-09

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリングおよび西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

大阪府北部及び跡津川断層帯でのGNSS観測を継続し、地殻変動速度の精度を向上させる。有馬一高

槻断層帯の断層形状をより現実的にしたモデリングや深部すべり速度が時間変化している可能性について考察を行う。跡津川断層周辺においては、Wang and Wright (2012)に従いGNSS変位場とInSARデータから速度場を導き、内部力源の分布を推定するための土台を築く予定。

・比抵抗観測とモデル化

当初の実施計画に基づき、次年度(令和4年度)は、本観測を見合わせた中国・四国地方におけるMT予備調査を行い、選点完了地域において本観測を実施するとともに、中国・四国地方の基盤的比抵抗構造解析に着手する予定である。

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

山陰地方の地震帯、近畿地方中北部や長野県西部地域など西南日本の横ずれ断層の活動域において高密度地震観測を行い、内陸地震の断層周辺の3次元の不均質構造や応力場の解明等を行う。大阪府北部の地震発生域では、地震活動に関する新たなパラメータに基づき大阪北部の地震の発生過程を調査し今後の地震活動の推移予測を試みるほか、高密度観測で得られた地震波動場の特徴に基づく地下構造の解釈を行う。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

R3年度に改良したCMTデータインバージョン法 (Terakawa & Matsu'ura, submitted) により、名古屋大学をはじめとする諸機関の定常地震観測で得られた御嶽山周辺域の地震のメカニズム・CMTデータを解析し、応力場のパターンとその時間変化を調べる。この地域では、2014年御嶽山噴火や2017年長野県南部の地震(M 5.6)が発生している。これらのイベントが応力場のパターンや地震活動度の変化に与える影響を調べる。また、この手法を日本列島全域で観測された長期間地震データにも適用し、日本列島全域の応力場のパターンを推定する。この解析結果に基づき、大地震の発生に伴う応力場の時間変化を調べる予定である。また、間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法 (Terakawa and Hauksson, 2018) により、2016年熊本地震震源域の絶対応力場を推定する予定である。

・地震活動変化

地震検出率を組み込んだHIST-ETASモデルの高度化によって全国の標準時空間予測を実装する。HIST-ETASモデルのパラメータの時間変化を探索するモデルの作成を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所

他機関との共同研究の有無：有

名古屋大学大学院環境学研究科,鳥取大学大学院工学研究科,北海道大学大学院理学研究院,九州大学大学院理学研究院,東京大学地震研究所,林能成(関西大学社会安全学部),尾形良彦(統計数理研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所

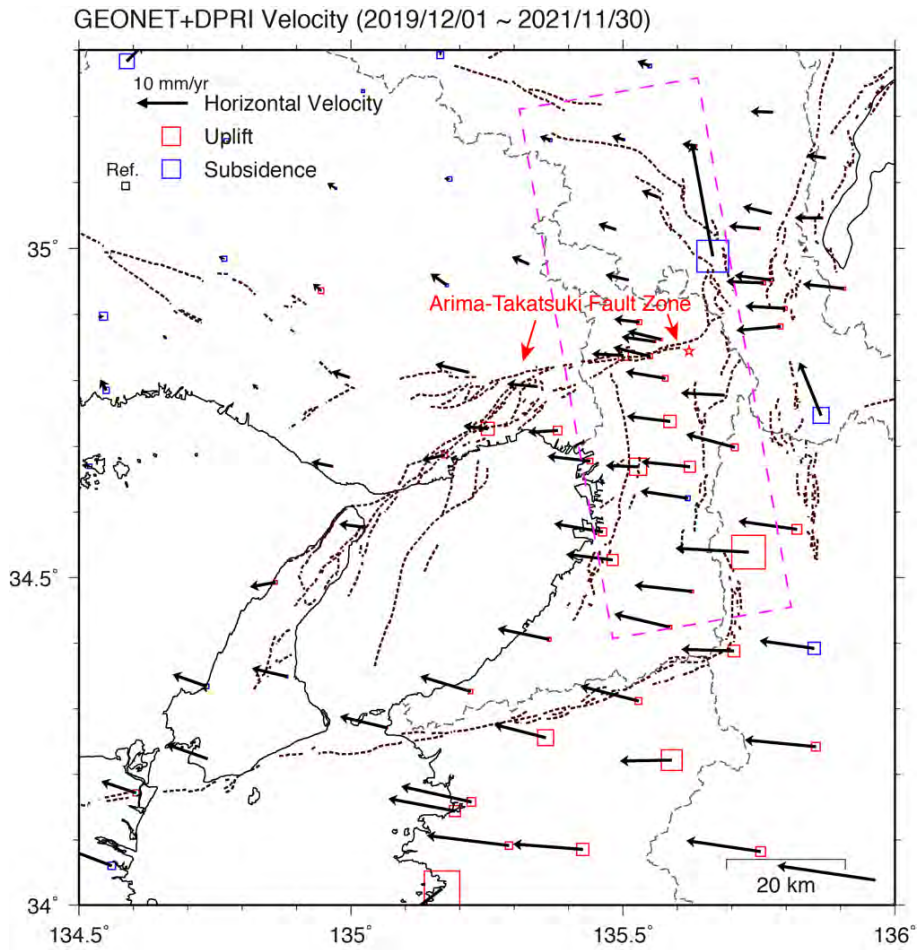


図1 大阪北部周辺のGNSS観測点における地殻変動速度。
 速度の推定期間は2019年12月から2021年11月まで。ピンクの破線は、図2に示した観測点の範囲。

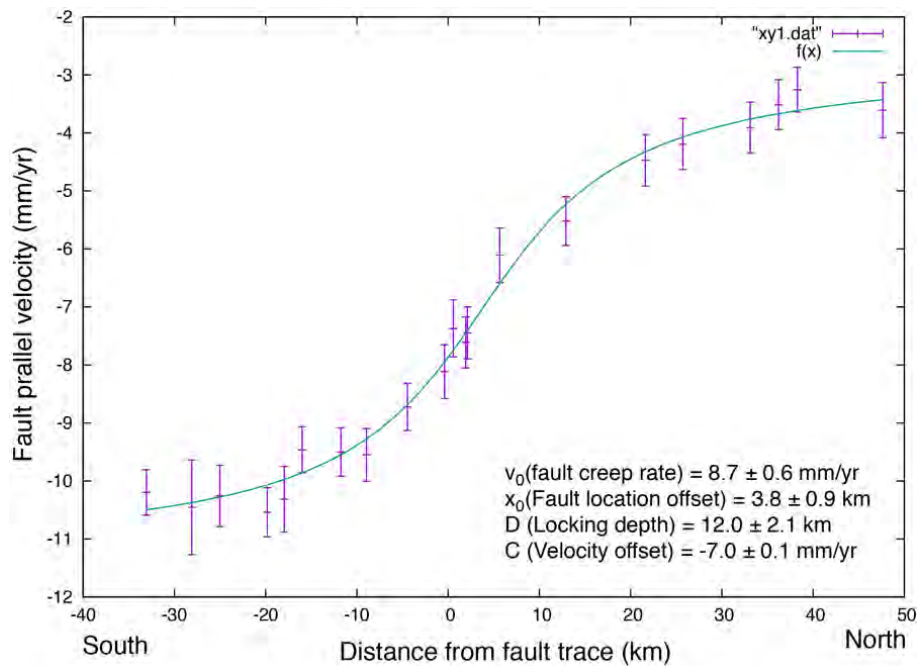


図2 GNSS観測点における有馬-高槻断層帯に平行な成分の観測変位速度と鉛直右横ずれ断層の深部滑りモデルに基づく計算値。

用いた観測点は、図1を参照。図中に推定された断層パラメータを示す。

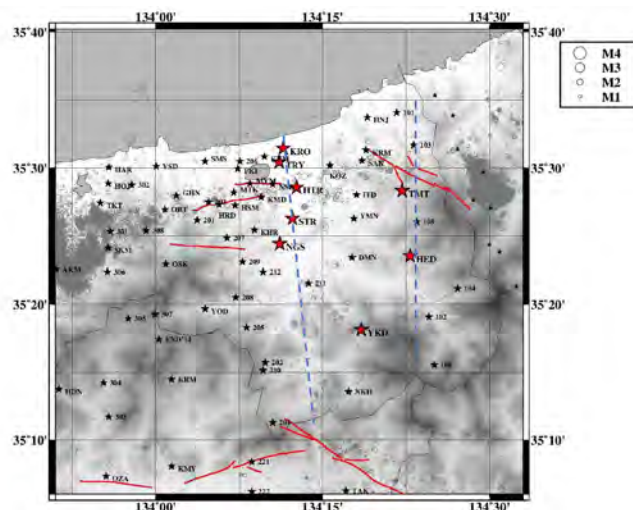


図3 2021年度の広帯域MT法観測地点分布図

広帯域MT観測地点を赤色の★印で示す。活構造は活断層データベースによる。青色破線西側は図3で、青色破線東側は図4で示される2次元構造断面図の測線位置を示す。図には気象庁ホームページ「地震月報」より2000/1/1～2019/12/31の期間に深度20kmより以浅で発生した地震の震央データを入力・描画した。図版作成にはGMT (Generic Mapping Tool)を使用した。

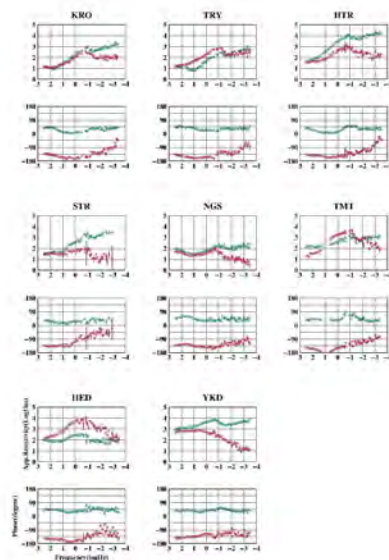


図4 得られた見かけ比抵抗(上)ならびに位相差探索曲線(下)

南北方向電場と東西方向磁場変動から推定された見かけ比抵抗を緑丸、東西方向電場と南北方向磁場変動の組み合わせで推定されたそれを赤丸で示す。縦軸は見かけ比抵抗 (Ωm)、横軸は周波数 (Hz) を対数目盛りで表現する。位相差曲線について縦軸は位相差 (度) を表す。観測点は北からの順で左から右、上から下へ配置した。

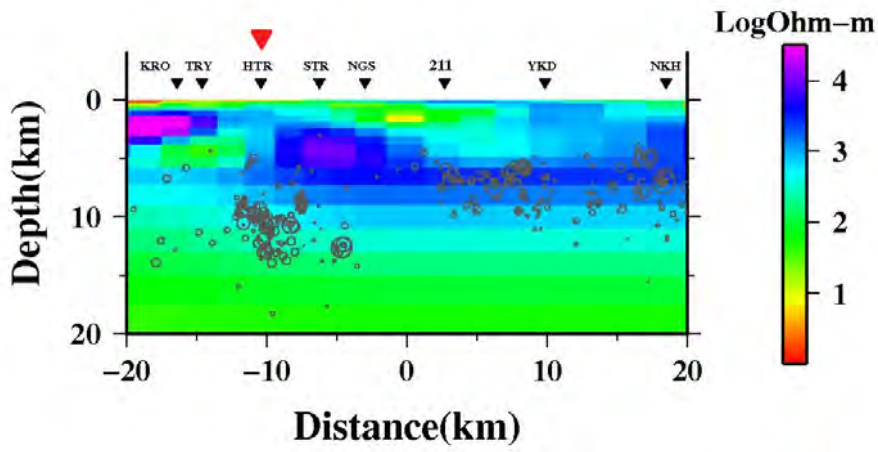


図5 2次元比抵抗構造断面図(2021_西測線)

測線を中心として幅±5kmの範囲に含まれる震源データを描画し、鹿野-吉岡断層東端部を赤▼印で示した。

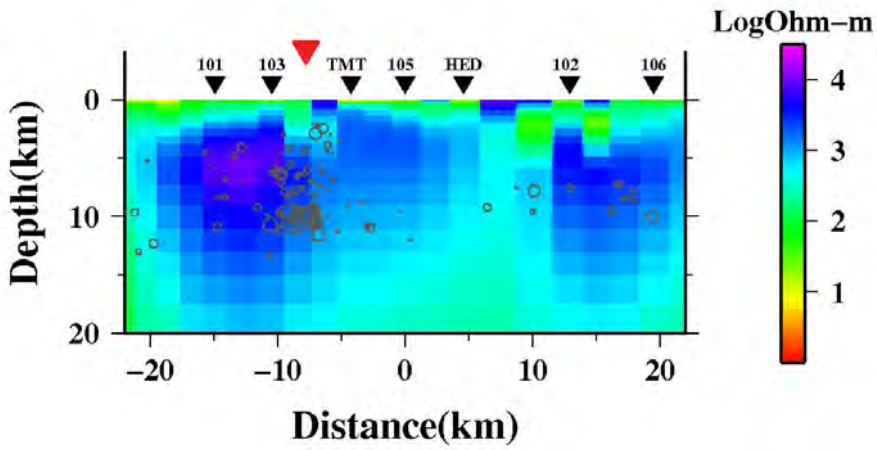


図6 2次元比抵抗構造断面図(2021_東測線)

測線を中心として幅±5kmの範囲に含まれる震源データを描画し、雨滝-釜戸断層位置を赤▼印で示した。

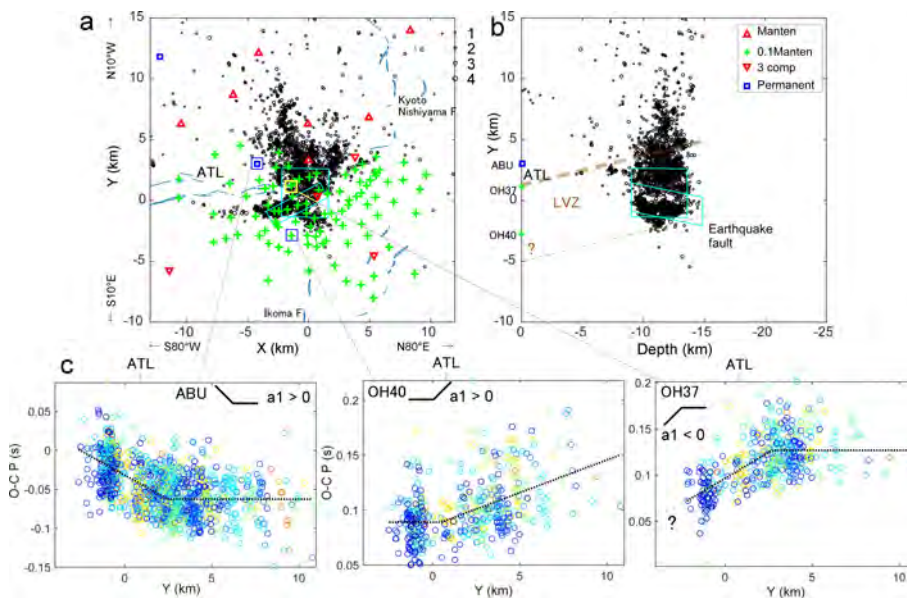


図7 大阪府北部の地震の余震の震源と観測点の分布およびP波到着時刻のO-Cの分布

a) 平面図。水色の四角は浅野・他(2018)による本震断層モデル。b) ATLに沿う方向に投影した断面図。ATL付近の低速度域の形状が示されている。c) a)に示した3つの観測点における、P波到着時刻のO-C(観測値-計算値)とATLに直交する方向における余震の震源位置との関係。P波到着時刻のO-Cをflat-ramp(平坦-傾斜)関数でbest fitした関係が点線で示されている。a1はramp部分の傾斜。丸の色が赤いほど震源が浅い。

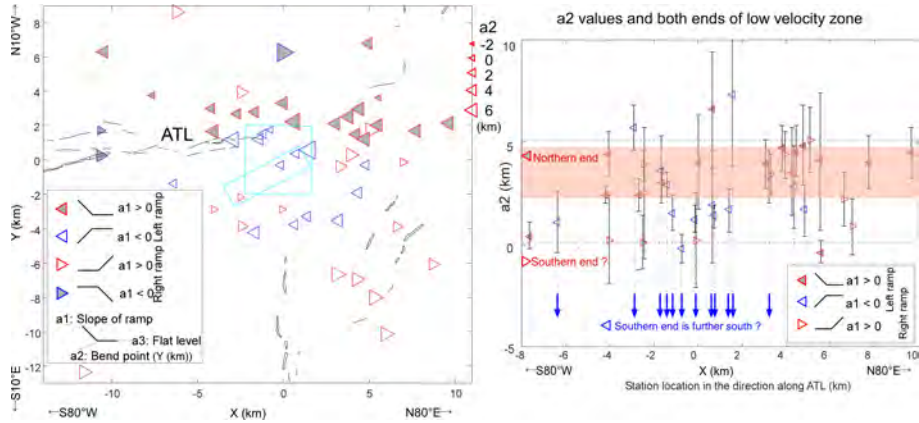


図8 各観測点において推定されたflat-ramp関数の折れ曲がりの位置(a2)の分布

左) 各観測点におけるfitの結果を観測点の位置に示したものを。挿入図のように、Rampが右か左か、rampの向きが上か下かを、4通りの三角のシンボルで表示し、三角の大きさに折れ曲がりの位置a2を示している。右) ATL付近の左図の緑点線内の観測点において推定されたa2の値をATLに沿う方向の位置に示した。エラーバーは95%信頼区間。左向きの青三角で示した折れ曲がりの位置a2からは南端の位置は推定できないため、青矢印により、それは用いたデータの範囲外であることを示した。

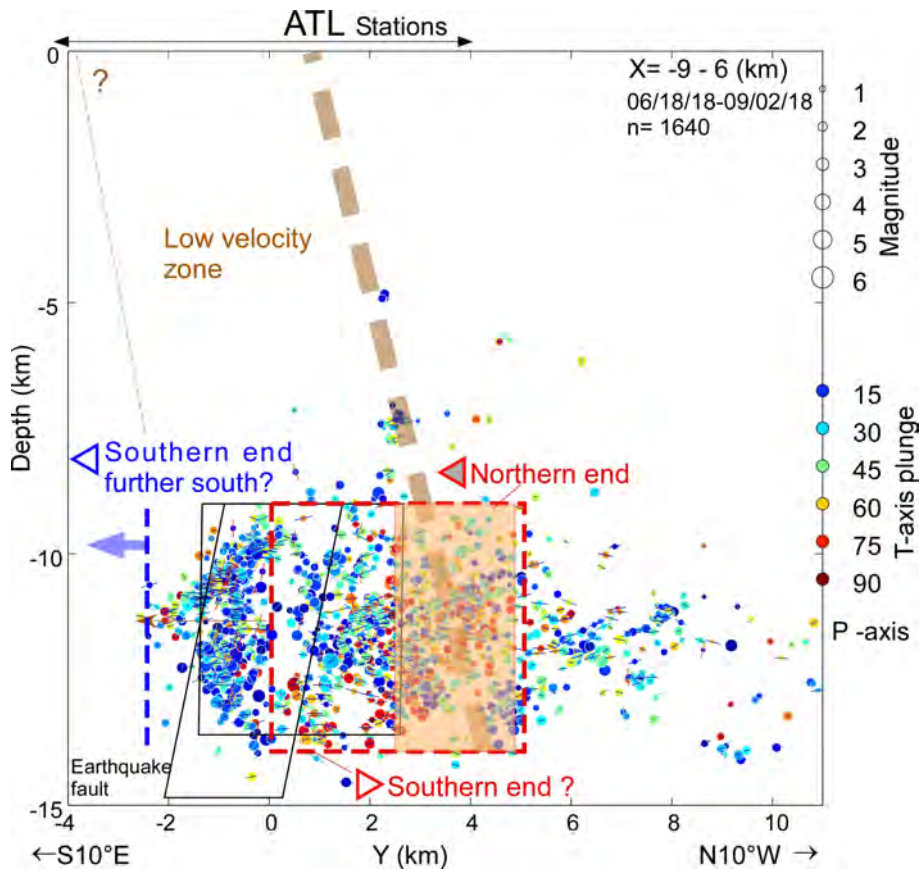


図9 有馬-高槻断層帯付近の低速度域と余震分布の関係

低速度域の北端は余震域において $Y=2.5\sim 5.0$ の範囲にあると推定されたので、堤・飯尾(2019)による余震域付近のATLの地表トレース(真上断層の東方延長)と単純に結んだ(茶色の太い点線)。南端の位置は青点線より南にあると推定。丸の色はT軸の傾斜角を示す(赤系統が逆断層)。黒実線は浅野・他(2018)による推定断層。

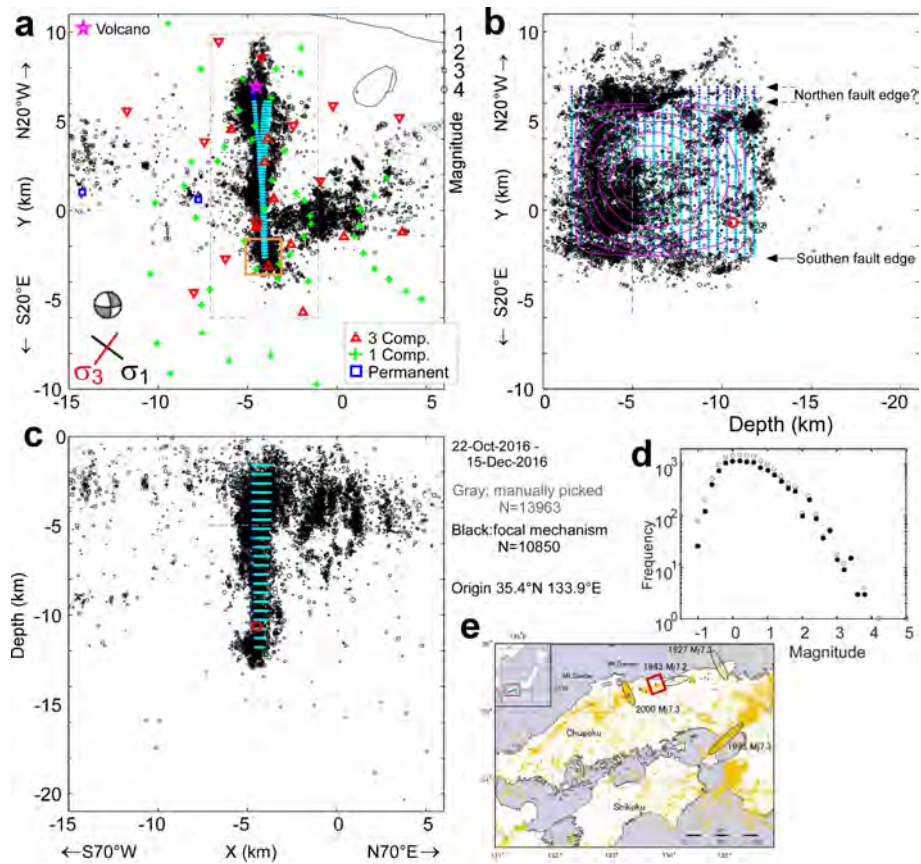


図10 鳥取県中部地震の余震と観測点の分布

a) 平面図。黒丸:発震機構が決定された2016年10月22日から12月15日までに発生した余震、灰色:手動読み取りされた余震。 \triangle :満点地震計(3成分)、 ∇ :GSX(3成分)、 $+$:0.1満点地震計(1成分)、 \square :定常観測点。シアンの点:推定された本震の推定断層面、WFの北端の位置は青い点により $Y = 6.1$ から 6.9km までの幅に推定されている。オレンジ色の星:第四紀火山(産総研第四紀火山データベースより)。赤丸:JMAによる本震の震源、メカニズム解(下半球)も示されている。赤橙で囲った範囲が図9の領域に対応。b) 断層走向に垂直な断面図。紫色コンター:EFとWFを足し合わせたすべり分布(0.2 m 刻み)(WFの北端が $Y = 6.1$ の場合)。c) 断層走向に沿った断面図。d) 余震の規模別頻度分布。

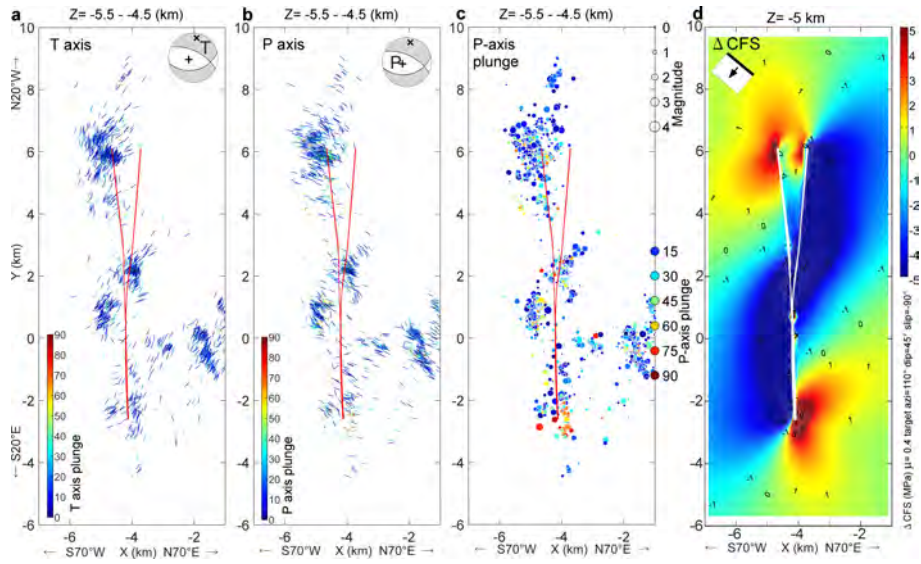


図11 地震メカニズム解と ΔCFS の分布

水平面に投影された深さ 5 ± 0.5 kmに起こった余震のT軸(a)、P軸(P軸)、およびP軸の傾斜角の分布。d) 走向 $N110^\circ E$ 、傾斜角 45° 、すべり方向 90° の正断層に対する ΔCFS 。赤と白の線は、この深さにおける推定断層面。この図では、WFの北端は $Y = 6.1$ kmに設定。

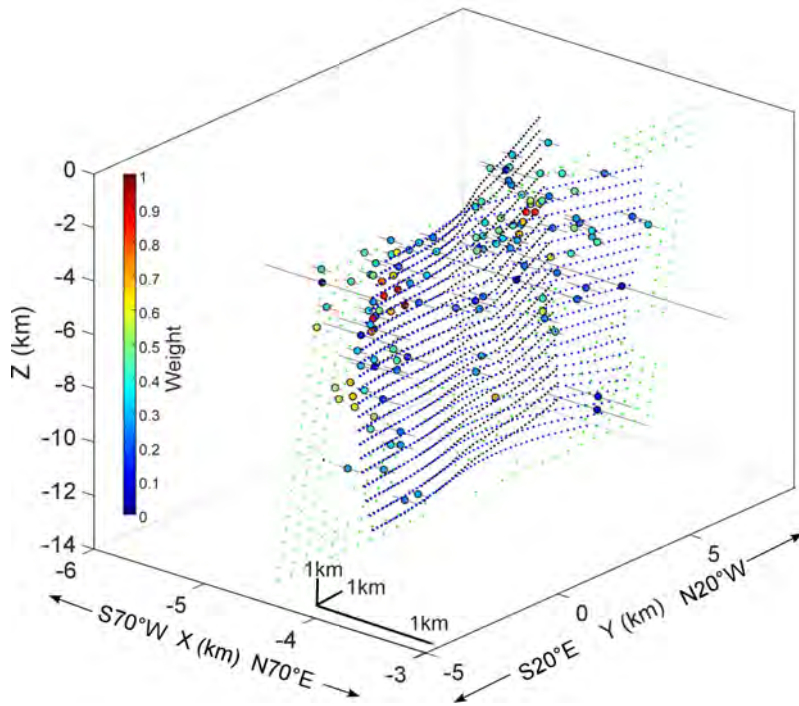


図12 鳥取県中部地震の推定断層面

WFとEFの推定本震断層面をX方向に約3倍の倍率で表示。メカニズム解のT軸の空間変化から推定された各グリッドにおける断層面の位置が、95%信頼区間とともに色付きの丸で示されている。塗りつぶしの色は断層面の位置95%信頼区間に反比例しており、平滑化における局所線形近似で用いられた重みを表す。緑の点は、均一すべりモデルによる推定断層面(国土地理院, 2016)。

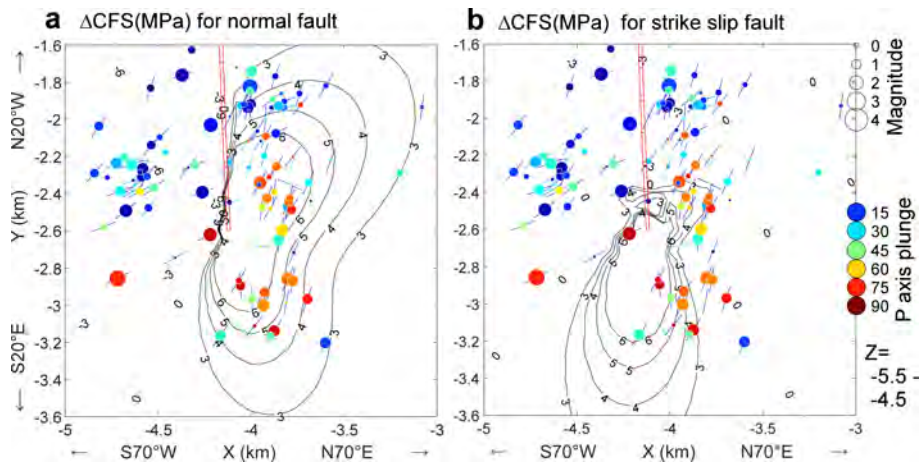


図13 断層南端付近におけるP軸の傾斜角の分布と ΔCFS

a) 深さ 5 ± 0.5 kmにおけるP軸の傾斜角、T軸と ΔCFS の分布。赤系等の色で示されるP軸の傾斜角が大きいものが正断層の余震。赤線は、この深さにおける推定断層面。 ΔCFS は、走向 $N110^\circ E$ 、傾斜角 45° 、すべり方向 90° の正断層に対するもので、3,4,5,6 MPaの黒のコンターと0,-3,-6 MPaの灰色のコンターを表示。b) 余震データはa)と同じだが、 ΔCFS は本震と同じ横ずれ断層についてのもの。

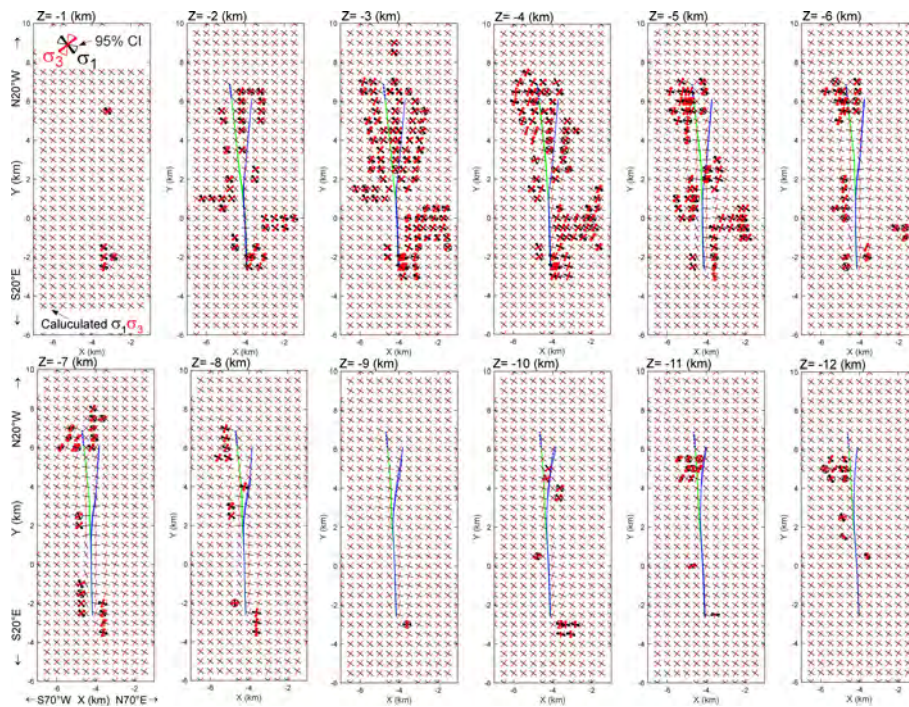


図14 応力逆解析結果

深さ1km毎の平面図。背景は地震すべりによる応力変化に差応力20MPaの様な背景応力を加えて計算されたもの。WFとEFは緑と青の実線で、WFの北端の可能な位置は青い点により示されている。

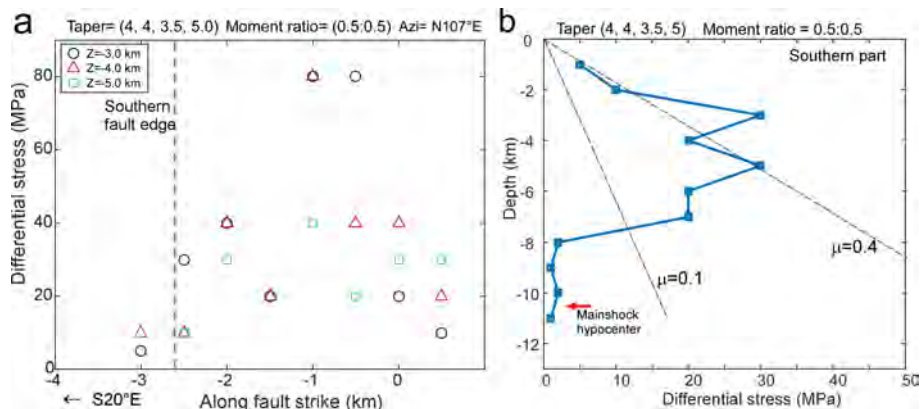


図15 地震前の差応力の大きさのプロファイル

a)南端付近における断層に沿う方向の差応力の空間変化。b)南端付近における深さ方向の差応力の空間変化。一元化震源による本震の深さが示されている。 $\mu = 0.1, 0.4$ の点線は、それぞれの摩擦係数に対応する最もすべりやすい断層に加わる差応力の計算値。

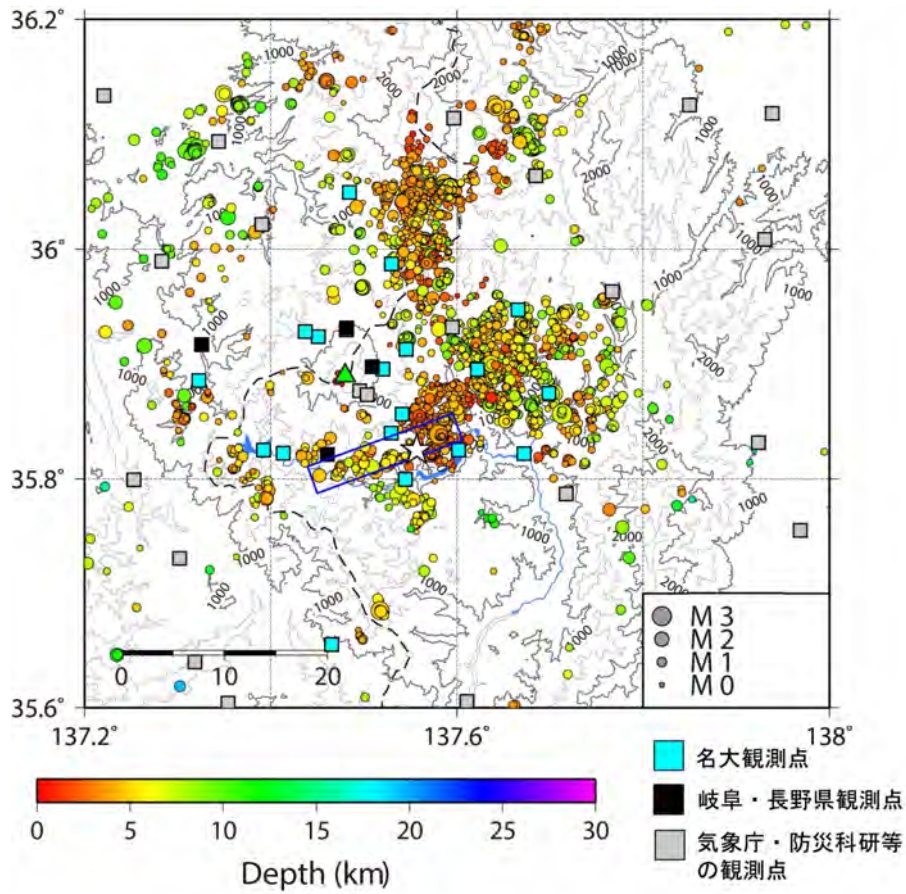


図17 御嶽山周辺域の地震活動（2021.1-2021.12）と観測点分布。
 △は御嶽山、☆と青線の矩形は1984年長野県西部地震の震源と震源断層。

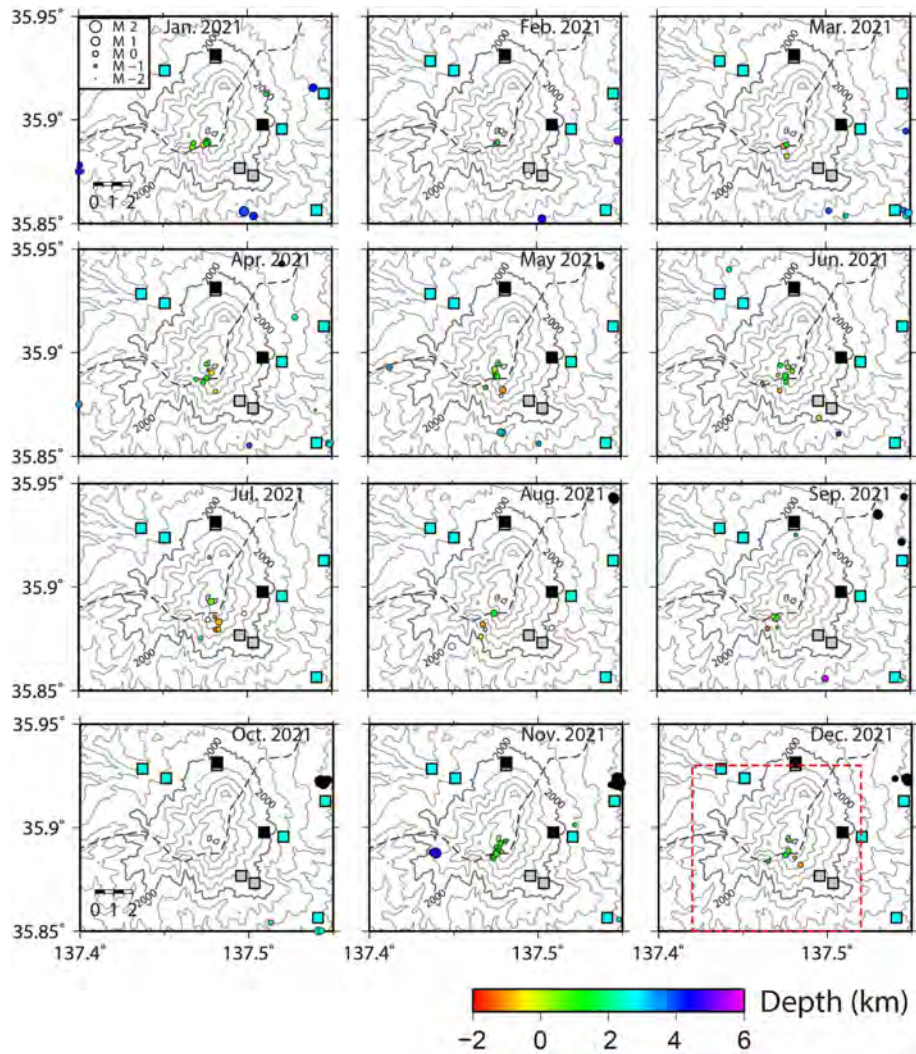


図18 御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布（2021年1月～12月）。観測点の記号は図1と同様。

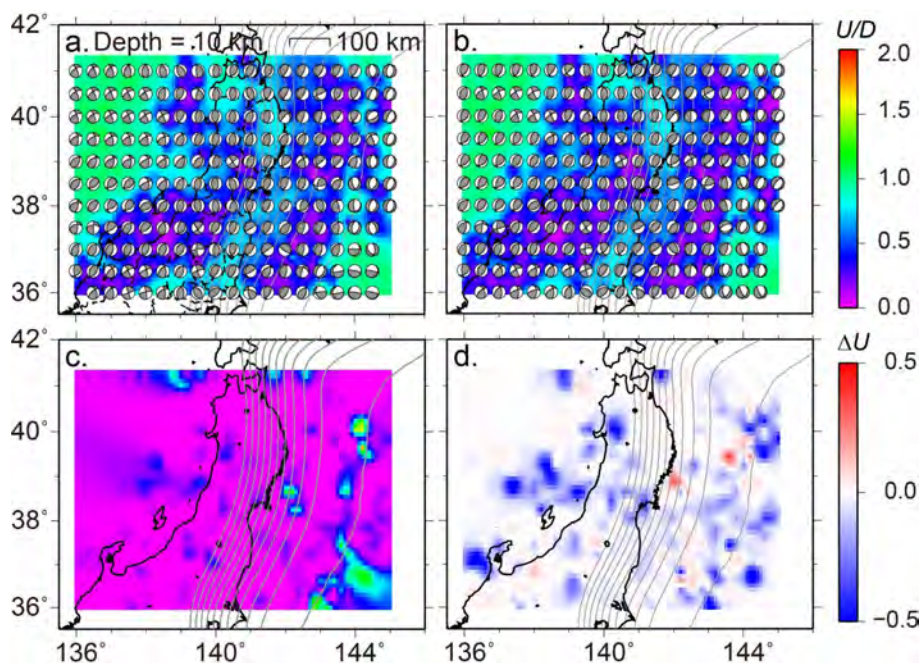


図19 東北沖地震前の応力場。

a. 解析1の応力場のパターンと推定誤差 U （データ：期間1，直接的先験情報なし）。 b. 解析2の応力場のパターンと推定誤差 U （データ：期間2，解析1の結果を直接的先験情報とした）。 c. 解析1と解析2の応力場のパターンの違い D （1-偏差応力テンソルの内積の平均値）。 d. 解析2の推定誤差-解析1の推定誤差（ $\boxtimes U$ ）。（Terakawa and Matsu'ura, submitted）。 a-dの灰色のコンターは、太平洋プレート上面の等深度線を表す。

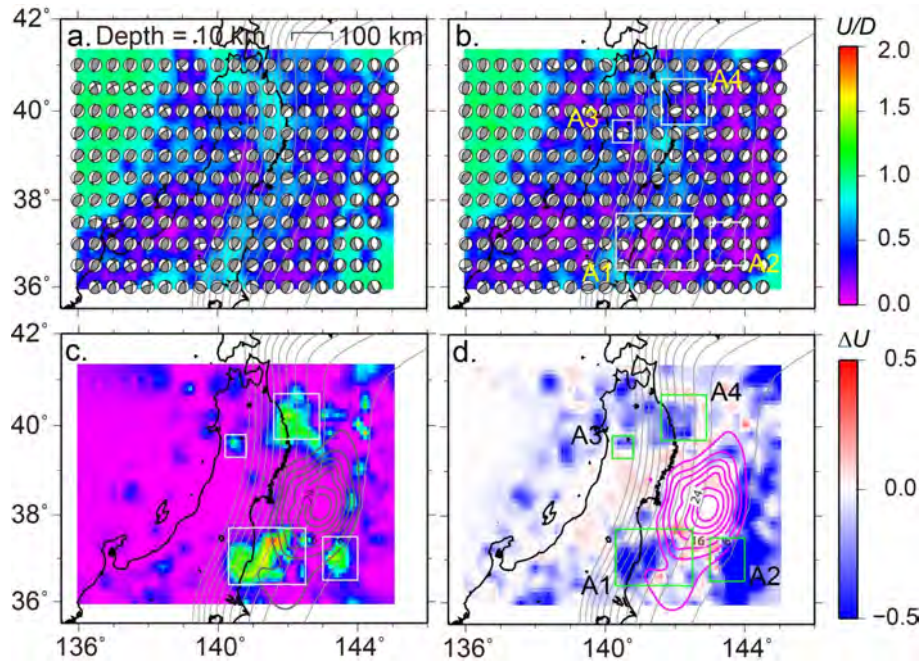


図20 東北沖地震前後の応力場の変化。

a. 解析2の応力場のパターンと推定誤差 U （データ：期間2，解析1の結果を直接的先験情報とした）。 b. 解析3の応力場のパターンと推定誤差 U （データ：期間3，解析2の結果を直接的先験情報とした）。 c. 解析2と解析3の応力場のパターンの違い D （1-偏差応力テンソルの内積の平均値）。 d. 解析3の推定誤差-解析2の推定誤差（ $\boxtimes U$ ）（Terakawa and Matsu'ura, submitted）。 a-dの灰色のコンターは、太平洋プレート上面の等深度線を表す。 cの濃い灰色、dのピンクのコンターは、東北沖地震時の滑り分布を表す。

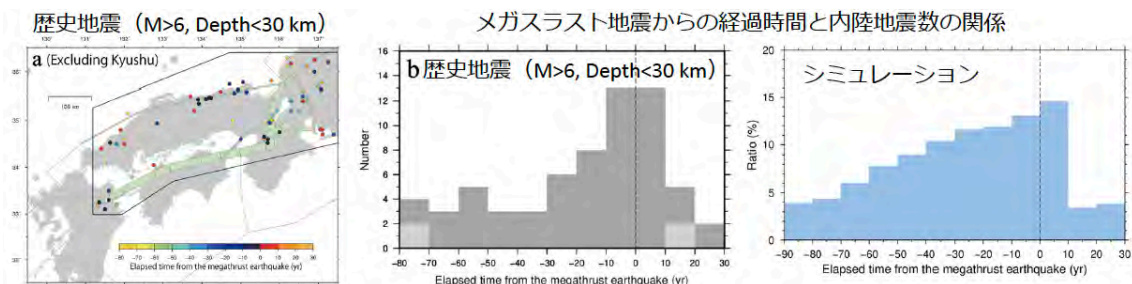


図21 西南日本の内陸地震活動のシミュレーションモデルにおける南海トラフ地震サイクル中の内陸地震の発生頻度。

(左)シミュレーションに用いた断層ジオメトリと西南日本の礫地震。（中）南海トラフ地震サイクル中の歴史地震の発生頻度。横軸の0年が南海トラフ地震の発生時。（右）シミュレーションモデルにおける内陸地震の発生頻度。120年間と仮定した地震サイクルの後半に内陸地震の発生頻度が増える傾向が再現できている。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本列島の地震－火山噴火の基本場解明：地殻とマントルにおける応力、流体-マグマ、温度・流動－変形場

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
オ. 構造共通モデルの構築

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
イ. 内陸地震
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火
オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震
千島海溝沿いの巨大地震
桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本列島は、地球最大のプレートである太平洋プレートと、それに接するフィリピン海、オホーツク、および巨大な大陸プレートであるユーラシアの合計4つのプレートがせめぎ合う世界最大の変動帯である。日本列島における地震・火山噴火として現れる変動現象を正確に把握して予測につなげるには、これらのプレート間の物質・力学相互作用を含めて、日本列島全体を俯瞰する広域的な場の理解が必要である。このために、地質学・地球物理学・地球化学の手法を統合し、地殻・マントルにおける

*応力場

*岩相-水-マグマの分布と物性

*温度・流動－変形場

を列島規模の大構造および重要地域での詳細研究により、定量化することを大きな目的とする。

基本場とその性質の理解に基づいてこそ、初めて異常が定義・検出でき、またなぜ異常が発生するのか

(例えば破壊、流体やマグマの発生-上昇-噴火といった時空間での局所的突発現象が発生するのか)、その機構に定量的制約が課せられる。「場の不均質」が現れやすい島弧-島弧会合部・遷移部は注目対象領域の一つである。またマグマの生成・移動を取り入れたシミュレーションにより、島弧スケールの基本場と個々の火山がどのように結びつくか(例えば、なぜカルデラ火山のような熱や物質の集中が起こるか)などの研究に道を拓こうとするものである。

上記の多様な場は、従来異なる手法によって研究が進められてきたが、島弧変動現象を物理化学過程としてみた場合、一連の必須要素である。このために、機関の枠を越えた多様な分野から最適なメンバーでそれぞれの場の理解を深化させる:地震メカニズム解と応力場解析(行竹、飯尾)、異なるスケールの空隙・クラックが存在する岩石-流体の V_p - V_s -電気伝導度測定(渡辺)、岩石・流体試料の組成分析・多変量解析に基づく地殻内流体・マグマの分布と循環把握(中村、岩森)、粘弾性体あるいは固液2相流体の理論・数値シミュレーションによる温度場と流動-変形場推定(深畑、岩森)を行う。同時に、それらを比較・統合することで、地震発生場と流体-マグマ発生・噴火場を統一的に理解することを目的とする。これらの基本場の理解に立脚して、温度場、流体-マグマ分布、流動変形を介した地震発生と火山活動の相互作用の理解を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

下記3項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場(地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動-変形)の解明を目指す。

* 応力場:地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

近年応力逆解析法を用いて地震メカニズム解データから地殻応力場の推定が行われ、震源断層近傍の詳細な応力場の空間変化や(例えば、Yukutake et al., 2006; Yoshida et al., 2014)、列島規模での広域応力場の分布(例えば、Terakawa and Matsu'ura, 2010; Yukutake et al., 2015)が得られてきた。一方、応力場の推定においては、通常、(1)地震は断層面上の最大せん断応力方向に滑る、(2)解析領域内では応力場は均質であるという2つの仮定を置く必要がある。しかし、(2)の仮定について実際の地殻内は断層強度と応力場の双方が不均質であるという結果が報告されている

(Rivera and Kanamori, 2002)ほか、応力場が非常に不均質であった場合応力逆解析法の結果にバイアスがかかる可能性も指摘されている(Smith and Dieterich, 2010)。この課題では、仮定した応力場に対する各メカニズム解のMisfit角に着目し、実際に観測された地震メカニズム解データが均質な応力場でどの程度説明可能かどうかMisfit角を基に定量的に評価し、応力場の不均質性についての制約を試みる。メカニズム解の決定誤差が重要になってくるため、2000年鳥取県西部地震震源域で行われた多点稠密地震観測のデータを用いて高精度にメカニズム解を推定し、その結果に基づいて解析を行う予定である。本研究で地震後の震源断層周辺の応力場の不均質性が明らかになれば、応力の絶対値への議論も可能であり、また応力逆解析法の妥当性の評価にもつながる。さらに地震発生及び火山現象と地殻内流体との関係の理解を目指し、火山地熱域及びその周辺で発生する群発地震活動や深部低周波地震について高精度な震源分布や発生域の応力場を明らかにし、その時間空間特性及び周辺地殻構造やテクトニクスとの関係を明らかにする。

* 岩相-水-マグマの分布と物性

地殻やマントルに存在する流体(水を主成分とする)は、地震活動・火山活動において重要な役割を果たしている。その根は、沈み込むプレート(スラブ)にある。従来、沈み込むスラブと、それに由来する流体、流体の移動とマントル・地殻岩石との反応によって生じるマグマの分布は、スラブが均質であることを仮定して解析が進められてきた。しかし近年、沈み込むスラブ物質の不均質(たとえば、海山、断裂帯など)の存在が、沈み込まれる側の地震や火山活動に大きな影響を及ぼしうることが分かってきた(e.g., Nishizawa et al., 2017)。沈み込むスラブの不均質と沈み込まれる側(島弧側)での流体、マグマ活動の関係性を解明するため、火山岩および深部由来流体の採取・分析と、得られたデータのインバージョン解析(機械学習的手法の導入)により、溶融度、スラブ由来流体量、スラブ由来流体の起源物質組成を定量的に求め、日本列島に供給される流体やマグマ生成の基本場解明を目指す。特に、沈み込むスラブ不均質の指標となりうる元素や同位体、および隣り合う火山の違い

(例えば、箱根カルデラ火山と富士成層火山)、構造線・火山周辺の地下水、および島弧-島弧遷移帯(例えば、中部日本弧-東北日本弧; Nakamura et al., 2017)に注目しつつ、研究対象地域を1か所選定し、流体-マグマ研究を進める。並行して、物性実験と地球物理学的観測から流体やマグマの分布・性質特定を目指す。地震波速度、電気伝導度をもとに、地殻やマントルにおける流体の分布を推定するのが、本研究項目の目的である。流体を含む岩石の弾性波速度や電気伝導度に関するモデルは、こ

れまでも多数提案されてきている。しかし、高圧下で実際にどのような空隙が存在しているのかについての理解が不足していた。本研究では、岩石試料として、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、ハンレイ岩、カンラン岩等を使用し、弾性波速度・電気伝導度測定から、圧力増加に伴う空隙の閉鎖、連結度の変化を調べる。また、X線CT観察により、どのような空隙がどのような割合で存在しているか、空隙の全体像を調べるとともに、イオンリングで表面研磨した岩石試料のSEM観察により、高圧でも閉じないアスペクト比の大きな空隙の実体、および異なるスケールの空隙・クラックの物性に及ぼす効果を明らかにする。高圧実験と空隙構造観察を組み合わせることにより、高圧下での空隙構造を理解し、流体を含む岩石の弾性波速度・電気伝導度に関する統一的なモデルを構築する。このモデルを観測データに応用することにより、地殻・マンツルの流体分布を推定する。

* 温度・流動－変形場

島弧スケールの温度場は、マグマ生成を含む化学反応や、岩石物性（特に密度と粘性率）を規定する最重要要素といえる。温度場は、プレート沈み込みとそれに伴うマンツルウエッジ対流、およびマグマや流体の移動の相互作用によって生み出される。本研究項目では、対流－流体発生と移動の数値モデル（e.g., Horiuchi and Iwamori, 2016; Nakao et al., 2016）を発展させ、マグマ生成・移動も再現するより現実的なモデル構築とそれに基づく観測の解釈、および予測を目指す。このモデル化が進めば、将来的には、沈み込むプレートから火山噴火に至るまでの一連のプロセスとその連動の様子を定量的に把握することにつながり、個々の火山と沈み込み帯場の関係性の理解が、飛躍的に進むと期待される。これらの温度場・流動場の理解に根差し、島弧の変形場の理解を目指す。島弧変形場の最も基本的な力学源は、海洋プレートの沈み込みに伴う海陸プレート間の力学的相互作用（プレート境界面に変位の食い違いを与えることによって表現できる）である。最近になって、なぜ島弧－海溝－外縁隆起帯という地形的な凹凸が世界中の沈み込み帯で普遍的に形成されるのか、このモデルに基づきその根本的な物理メカニズムが明らかとなった（Fukahata & Matsu'ura, 2016）。しかし、沈み込むスラブの形状が島弧の走向方向に変化していることから明らかなように、現実の現象をより正確に理解するためには、島弧の縦断方向だけでなくその走向方向の変化も無視できない。さらには、津軽海峡や豊後水道などいわゆる島弧－島弧会合部では、顕著な負の重力異常が島弧側に大きく入り込むといった現象が世界中で一般的に見られる。そこで、本研究では、島弧の走向方向の変化や島弧－島弧会合部に焦点を当てて、2次元モデルから3次元モデルへと物理的な理解を深化させることを目指す。加えて、日本列島のテクトニクスを理解するためには、他の島弧と比較することが重要である。そこで、いわゆる比較沈み込み学についても、地形や重力異常分布、応力状態、火山分布などとの比較を基に研究を進める。

年次計画

平成31年度：2000年鳥取県西部域において実施された多点稠密地震観測データのとりまとめ、メカニズム解の決定を実施。センチメートルスケールのクラック（以降 cm-crack）を含む岩石試料（花崗岩、直径26mm、長さ30mm）および含まない岩石試料（花崗岩、花崗閃緑岩、カンラン岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。深部流体の分布が期待される大きな構造線沿い、特にISTL－MTL沿いの湧水組成既存データを精査し、分布の概要を調べる。沈み込んだ海山の影響が明らかなカムチャッカ火山の試料を用い、特徴的成分やその検出方法を探る。島弧粘弾性変形場の3次元モデル構築のため、まず2次元モデルにおいて歪みの振る舞いについて理解を深める。マンツル対流モデルに溶融・メルト組成再現を行うための定式化を行う。

平成32年度：引き続き鳥取県西部域におけるメカニズム解の整備を進めるとともに、Misfit角を用いた断層周辺の応力場不均質に関する解析を進める。前年度に引き続き、cm-crackを含む岩石試料（花崗岩）および含まない岩石試料（花崗岩、花崗閃緑岩、カンラン岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。前年の解析に基づき、ISTL－MTL沿い深部流体のサンプリングを行う。沈み込んだ海山が島弧火山岩に及ぼす影響を、特徴的成分に注目しながら化学インバージョンする方法を構築する。同時に、日本の火山で特徴的成分がみられるか、既存データから抽出を試みる。プレート境界形状が海溝の走向方向に変化する場合について計算を実行し、理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いがどう変化するかも調べる。他の沈み込み帯についても研究を進める。マンツル対流モデルに溶融・メルト組成再現の定式化を組み込む。水に加え、CO₂を組み込むための定式化を進める。

平成33年度：鳥取県西部域において断層周辺の応力場不均質性を定量的に推定するとともに、本震前の応力場の情報、特にその絶対値についての制約を試みる。cm-crackをやや多く含む岩石試料（花崗岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。ISTL-MTL沿い深部流体のサンプリングを継続するとともに、主要・微量・同位体分析を開始する。海山の影響が推定される日本の火山岩のサンプリングを進める。島弧-島弧会合部のように、プレート境界の走向が変化する場合に、海洋プレートの沈み込みによる島弧の変形場がどのようになるのか理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いがどう変化するかも調べる。比較沈み込み学についても引き続き研究を進める。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成34年度：鳥取県西部域で実施した解析をほかの内陸域の地震活動に適用し、応力場不均質性に関する普遍性を調べる。cm-crackを多く含む岩石試料（花崗岩）について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを検討する。深部流体の調査・組成分析を進め、予察的な統計解析により、深部流体のソース・過程の抽出を試みる。海山の影響を抽出するため、火山岩組成の分析（主要・微量・同位体）を進める。並行して組成インバージョンを開始する。地形や重力異常分布、応力状態、火山分布の普遍的特徴と特殊性を、観測データを基に明らかにし、その結果をまとめる。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成35年度：これまでの結果に基づいて地殻応力場の不均質性と強度及び絶対応力値に関する議論を進める。前年度に引き続き、cm-crackを多く含む岩石試料（花崗岩）について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを構築する。深部流体の調査・組成分析を進め、深部流体、海山からの影響を定量的に結び、流体・マグマ循環を統合する。日本列島を含むいくつかの島弧について、3次元の変形理論モデルを適用し、地形および重力異常などの原因を考察する。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルの結果をまとめ、沈み込み帯の流体・物質循環を統合する。5年間の応力、物性、流体・マグマ生成、数値モデルの結果・知見を総合し、日本列島の基本場を明らかにする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題は、下記3項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場（地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動-変形）の解明を目指すものである。

* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

* 岩相-水-マグマの分布と物性把握

* 温度・流動-変形場の再現と検証

各サブ課題について、下記を実施し、いずれも概ね計画通りに進展した。

* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

今年度は、箱根火山下における地殻構造の推定を進め、地震波速度構造を通して火山下のマグマ溜まりや、深部低周波地震発生域からマグマ溜まりへの供給経路を示唆する低速度域の存在を明らかにした。火山の深さ6kmより深部で顕著な低速度域が推定され（図1）、これらの低速度域において、深さ9km付近にはマグマ溜まりを示唆する高Vp/Vs域、またその上部深さ6km付近にはマグマ由来の熱水やガスの存在を示唆する低Vp/Vs域の存在が認められた。群発地震活動は低速度域より上部深さ6km以浅で発生し、またGNSS観測により推定された圧力源は低速度域上部の深さ6km付近に位置する（図1）。さらに、深さ20km付近に発生する深部低周波地震発生域にかけて、低速度域が分布している描像も推定された。深部低周波地震は、先行研究により浅部の群発地震活動や地殻変動と時間的に連動していることが報告されており（Yukutake et al., 2019）、ここでは深部低周波地震がやや先行して活発化し、その後深さ6km付近を圧力源とする膨張性地殻変動やより浅部での群発地震活動が開始することが示されている。これらの結果をもとに考察すると、深部からのマグマ供給に伴い深さ20km付近で深部低周波地震が活発化し、その影響がより浅部の深さ9km付近のマグマ溜まりに伝播し、マグマ溜まりからの脱水脱ガスの促進にともない群発地震や地殻変動などを引き起こしている可能性が示唆される。（図2）。

* 岩相-水-マグマの分布と物性：地殻流体の分布・循環

上部および中部地殻には、粒界（mmスケール）から断層（kmスケール）まで、様々なスケールのクラックが存在している。観測された電気伝導度構造から地殻の流体分布を推定するためには、様々なスケールのクラックが、それぞれ高圧下でどのような伝導経路として機能するかを理解することが必要である。粒界クラックについては、圧力下で閉鎖する際、アスペクト比の大きなセグメントが開き残り、それが連結して伝導経路として機能している。また、アスペクト比の大きなセグメントは、粒界の剪断変位によって増加する傾向があることが、加熱試料を用いた実験から示唆されている。cmスケールのクラックについても、亀裂に沿った剪断変位によって開き残るセグメントが増加するか否かを明らかにするため、亀裂の入った岩石試料（庵治花崗岩、直径26 mm、長さ30 mm）を作製し、剪断変位（0.5 mm）を加えて含水状態の弾性波速度、電気伝導度を封圧下で測定した。亀裂は円柱試料の端面にほぼ垂直に存在している。試料アセンブリを図3に示す。従来使用していた室温硬化型シリコンゴムの代わりに、シリコンゴムの熱収縮チューブをジャケットとして用いている。ジャケットの変更に伴い、新たなステンレス・エンドピースを製作した。弾性波速度測定を実施するため、熱収縮チューブに窓を開けて試料表面に圧電素子を接着し、室温硬化型シリコンゴムにより窓をシールしている。また、亀裂に沿った剪断変位を与えるため、ステンレスのスペーサーを使用している（厚さ0.5、1.0 mmのものがある）。

P波速度を封圧の関数として図4(a)に示す。P波速度は亀裂と直交する方向で測定した。また、乾燥状態および含水状態のintact試料の速度を比較のために示している。剪断変位がない試料は、低圧ではintact試料よりも遅い速度を示したが、封圧増加とともにその差は小さくなり、封圧40MPa以上ではintact試料とほぼ等しい速度となった。一方、剪断変位0.5 mmの試料は、剪断変位がない試料よりも有意に遅い速度を示し、封圧が増加してもその差はほとんど縮まらなかった。このことは、亀裂に沿った剪断変位を与えることによって、高圧での開き残りが増加することを示している。

含水試料の電気伝導度を封圧の関数として図4(b)に示す、電気伝導度は試料の軸方向で測定した。剪断変位のない亀裂入り試料は、intact試料に比べて1桁高い電気伝導度を示している。P波速度はintact試料とほぼ同じ値を示しているが、これは亀裂のはめ合いのよい部分を捉えたものと考えられる。電気伝導度からは、剪断変位がなくとも開き残りが存在することが分かる。剪断変位0.5 mmを与えると電気伝導度は増加し、亀裂に沿った剪断変位により高圧での開き残りが増加することを支持している。

現在、剪断変位1.0 mmを与えた実験が進行中である。また、試料のX線CTイメージは取得済であるので、今後これを基に高圧下でのクラック閉鎖について有限要素法を援用して考察する予定である。

地殻流体の分布・循環については、以下の研究を行った。深部流体および火山体内部での流体循環の実態を明らかにするため、阿蘇カルデラを含む九州中部のおよそ120 km（東西）×80 km（南北）の領域に分布する地下水について、溶存元素組成データ（高橋ほか（2018、地質調査総合センター研究資料集、no. 653）および未公表データ）を統計解析し、また過去の研究成果を統合して解釈することにより、組成的特徴とその空間分布の成因あるいは生成機構を推定した。統計解析の方法は、白色化されたデータに基づくクラスタ解析（Iwamori et al., 2017; 2020）を用いた。一般に、地下水（温泉水、鉱泉水、湧水など）の組成変化を生み出す独立な要素を抽出するためには、組成に関する多変量統計解析が有効である（例えば、Iwamori et al., 2020）。主成分分析（Principal Component Analysis、PCA）は、代表的な手法の一つであるが、データ分布が正確に多変量正規分布（joint Gaussian distribution）に従う時以外は、独立な要素を抽出することができず、独立成分分析（Independent Component Analysis、ICA）あるいは白色化されたデータに基づくクラスタ分析（whitened data-based K-means Cluster Analysis、whitened KCA）を用いる必要がある（Iwamori et al., 2017）。今回対象とした地下水の組成データは、昨年度の報告書に示したように正規分布から大きくはずれるため、ICAおよびKCAにより、地下水組成に記録されている独立な要素（流体ソースおよび移動・循環中のプロセスなどに対応）の検出と、その解析結果に基づく成因あるいは生成機構の推定が必要である。ここでは、Iwamori et al. (2020)と同じ手順・手法（対数・白色化したデータのKCA）により統計解析を行った。その結果、既存研究では見いだせなかったカルデラ

内および外における天水循環と火山性成分の循環を、初めてクリアに捉えることに成功した。同時に、天水と阿蘇火山に由来する成分以外の流体が複数種類存在することが分かった。

また、前年度に引き続き、岩相-水-マグマの地殻および上部マントル条件での地震波速度および電気伝導度を再現するフォワードモデルを作成し、テストデータについてインバージョンテストを行ったところ、最適解が適切に回復できることが分かった (Iwamori et al., 2021)。フォワードモデルの適用範囲は、表層から深さ60km程度、温度は0~最大2000度、水溶液 (塩濃度0~10 wt.%)、メルト (玄武岩質~流紋岩質、含水量0~10 wt.%)、および多様な岩質 (表層付近の堆積岩から、珪長質~超苦鉄質の火成岩、変成岩など、78種類の岩石) に対応し、最適な固液相組み合わせと、それらの量比および液相の分布形態にかかわるパラメーターにより記述され、Vp、Vs、電気伝導度を与える。このフォワードモデルを用いて、温度、圧力、液相の化学組成を与えると、観測されるVp、Vs、電気伝導度から、最適な固液の相組み合わせやその量比および分布形態にかかわるパラメーターがインバージョンにより推定可能である (図5)。今後、このモデルを用いて、実際のデータ解析を行う予定である。

* 温度・流動-変形場の再現と検証

流動-変形場について、GNSS (GPS) などの空間的に離散的な測地データから、空間的に連続な歪み速度場をどのように求めるかは古くからの重要な課題である。Shen et al. (1996)が提案した方法がこれまで日本の研究 (新潟神戸歪み集中帯の存在を指摘したSagiya et al. (2000)など) では広く使われてきたが、Shen et al. (1996)の方法を仔細に検討すると、推定される歪み速度場と変位速度場の関係が不整合 (速度場を微分しても歪み速度場とならない)、場の相関距離を決める適切な指標がない、誤差の推定が不正確、といった問題があることが分かった。そこで、新たな歪み速度場の推定法として、Fukahata et al. (1996)の方法を応用したABICを用いた基底関数展開に基づく方法を開発した。この方法により、上で述べた3つの問題が全て解決されることに加えて、より滑らかで且つfitting誤差が少ない変位速度場を得ることに成功した (Okazaki et al., 2021; 図6)。この解析結果により、新潟神戸歪み集中帯や奥羽脊梁歪み集中帯、さらには茨城県北部から北関東を経て愛知県北部に至る前弧域の低歪み帯などがこれまでの解析よりもより明確に得られることとなった。後者の低歪み帯については、常陸-三河前弧低歪み帯と名付けた。本研究は、当初計画では想定していなかった成果である。

海洋プレートの沈み込みによる島弧の変形について、3次元的な効果を明らかにする研究を昨年度に引き続いて行った。海洋プレートが尾根状に沈み込むと、尾根の直上では沈降が尾根の両脇では隆起が生じることが分かった (Mori & Fukahata, in prep.; 図7)。この結果についても昨年度の単純屈曲の場合と同様に、沈み込むスラブの質量の過不足により物理的に理解できる。昨年度に得られた単純屈曲の場合に屈曲部周辺に沈降域が生じる知見と併せることで、日高舟状海盆、関東平野、伊勢湾-敦賀湾沈降帯と紀伊山地・三河高原、豊後水道など、日本列島前弧域の大地形の基本的な成因を明らかとする極めて重要な成果である。本研究は当初の想定に沿って行った研究である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

箱根火山において詳細な地震波速度構造が推定され、さらに構造性地震・深部低周波地震分布や地殻変動源との比較により、火山の熱水系及びマグマ供給系を含む火山体浅部からやや深部までの構造が明らかになった。

観測される地震波速度と電気伝導度に基づき、地殻流体 (水溶液、マグマを含む) の分布や量を定量マッピングする方法が構築され、今後実際のデータに基づく各地域での地殻流体分布が明らかになると期待される。

GNSSデータからのより高精度な日本列島の歪み速度場の推定、日本列島前弧域の大地形の成因の解明、の両者共に地震発生及び火山活動を支配する場の解明に基本的に資する成果である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

- Yukutake, Y., Y. Abe, R. Honda, and S. Sakai, 2021, Magma reservoir and magmatic feeding system beneath Hakone volcano, central Japan, revealed by highly resolved velocity structure, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB021236, doi:10.1029/2020JB021236
- 行竹洋平・萬年一剛, 2021, 水蒸気噴火の発生場と噴火過程の観測—最近の進展と今後の展望—, *地学雑誌*, 130, 731-753, doi:10.5026/jgeography.130.731
- Sugiyama D, Tsuboi S, Yukutake Y, 2021, Application of deep learning-based neural networks using theoretical seismograms as training data for locating earthquakes in the Hakone volcanic region, Japan, *Earth, Planets and Space*, 73:135, doi:10.1186/s40623-021-01461-w
- Kundu S, Opris A, Yukutake Y, Hatano T, 2021, Extracting Correlations in Earthquake Time Series Using Visibility Graph Analysis, *Frontiers in Physics*, 9, doi:10.3389/fphy.2021.656310
- Mannen, K., Abe, Y., Daita, Y., Doke, R., Harada, M., Kikugawa, G., Honma, N., Miyashita, Y., Yukutake, Y., 2021, Volcanic Unrest at Hakone Volcano after the 2015 phreatic eruption — Reactivation of a Ruptured Hydrothermal System?, *Earth, Planets and Space*, 73, 80, doi:10.1186/s40623-021-01387-3.
- Nakamura, H., H. Iwamori, N. Morikawa, N. Kharitonova, G. Chelnokov, I. Bragin, and Q. Chang, 2021, Upwelling of deep-seated fluid in the Sikhote-Alin region, Far East of the Eurasian Plate, *Aquatic Geochemistry*, 27, 269-282, <https://doi.org/10.1007/s10498-021-09398-y>
- Iwamori, H., K. Ueki, T. Hoshide, H. Sakuma, M. Ichiki, T. Watanabe, M. Nakamura, H. Nakamura, T. Nishizawa, A. Nakao, Y. Ogawa, T. Kuwatani, K. Nagata, T. Okada, E. Takahashi, 2021, Simultaneous Analysis of Seismic Velocity and Electrical Conductivity in the Crust and the Uppermost Mantle: A forward Model and Inversion Test Based on Grid Search, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH*, 126, 10.1029/2021JB022307
- Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Iwamori, H., ...Nche, L.A., Ohba, T., 2021, High- μ signature in lavas of Mt. Oku: Implications for lithospheric and asthenospheric contributions to the magmatism of the Cameroon Volcanic Line (West Africa), *Lithos*, 400-401, DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106416
- Lucía Villar-Muñoz, Masataka Kinoshita, Joaquim P. Bento, Ivan Vargas-Cordero, Eduardo Contreras-Reyes, Umberta Tinivella, Michela Giustiniani, Natsue Abe, Ryo Anma, Yuji Orihashi, Hikaru Iwamori, Tomoaki Nishikawa, Eugenio Andres Veloso & Satoru Haraguchi, 2021, A cold seep triggered by a hot ridge subduction, *Scientific Reports*, 11, 10.1038/s41598-021-00414-3
- Nakanishi, N., Yokoyama, T., Okabayashi, S., Iwamori, H., Hirata, T., 2021, Geochemical constraints on the formation of chondrules: Implication from Os and Fe isotopes and HSE abundances in metals from CR chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 319, 254-270, 10.1016/j.gca.2021.11.009
- Asobo Nkengmatia Elvis Asaah, Tetsuya Yokoyama, Hikaru Iwamori, Festus Tongwa Aka, Jules Tamen, Takeshi Kuritani, Tomohiro Usui, Takeshi Hasegawa, Eric Martial Fozing, 2022, Geochemical composition of dykes along the Cameroon Line (CL): Petrogenesis and similarities with the Central Atlantic Magmatic Province, *Geochemistry*, in press, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125865>
- Erika Tanaka, Kazutaka Yasukawa, Kentaro Nakamura, Junichiro Ohta, Takashi Miyazaki, Bogdan Stefanov Vaglarov, Shiki Machida, Koichiro Fujinaga, Hikaru Iwamori, Yasuhiro Kato, 2022, Secular Variations in Provenance of Sedimentary Components in the Western North Pacific Ocean Constrained by Sr Isotopic Features of Deep-Sea Sediments, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23, <https://doi.org/10.1029/2021GC009729>
- Okazaki, T., Fukahata, Y. & Nishimura, T., 2021, Consistent estimation of strain-rate fields from GNSS velocity data using basis function expansion with ABIC, *Earth Planets Space*, 73:153, <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01474-5>.
- Yamashita, S., Yagi, Y., Okuwaki, R., Shimizu, K., Agata, R. & Fukahata, Y., 2021, Consecutive ruptures on a complex conjugate fault system during the 2018 Gulf of Alaska earthquake, *Scientific Reports*, 11:5979, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85522-w>

・学会・シンポジウム等での発表

- Kazuyoshi Nanjo, Yohei Yukutake,2021,A preliminary study on low-frequency earthquakes at Mt. Fuji, Japan, using the matched filter method,AGU Fall meeting 2021,V25D-0142
- Seiji Tsuboi, Daisuke Sugiyama, Yohei Yukutake,2021,, Application of deep learning-based neural networks using theoretical seismograms as training data for locating earthquakes in the Hakone volcanic region, Japan,AGU Fall meeting 2021,S35C-0226
- 行竹洋平・鶴川元雄・栗田 敬・小菅正裕・前田拓人,2021,箱根火山深部ハーモニック微動に対する数値モデリング,日本火山学会2021年秋季大会,P1-21
- 楠城 一嘉、行竹 洋平,2021,富士山直下で起きる低周波地震の研究の序報：Matched Filter法を用いた地震カタログの作成とカタログの性能評価,日本地震学会2021年秋季大会,S09P-09
- 金 亜伊、中村 勇士、畠山 海、上松 大輝、行竹 洋平、安倍 祐希,2021,箱根火山における機械学習を用いた地震波検測の性能評価,日本地震学会2021年秋季大会,S22P-01
- 本多 亮、安部 祐希、石瀬 素子、酒井 慎一、行竹 洋平、道家 涼介,2021,伊豆衝突帯とその周辺におけるフィリピン海プレートおよびスラブの地殻の厚さ,日本地震学会2021年秋季大会,S06-07
- 行竹 洋平、吉田 圭佑、本多 亮,2021,Aseismic process driving the earthquake swarm, revealed by the dense seismic observation,地球惑星科学連合2021年大会,SSS06-01
- 行竹 洋平、安部 祐希、本多 亮、酒井 慎一,2021,地震波速度構造から明らかになった箱根火山のマグマ溜まりとマグマ供給系,地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-P03
- 楠城 一嘉、行竹 洋平、野田 洋一,2021,Matched Filter法を用いて富士山の低周波地震を検知する研究：序報,地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-P02
- 萬年 一剛、安部 祐希、道家 涼介、行竹 洋平,2021,箱根火山における2015年噴火後に発生した異常の特徴と熱水系,地球惑星科学連合2021年大会,SVC29-04
- 渡辺了, 富岡愛梨奈,2021,高圧での伝導経路としての亀裂,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG50-10
- Tohru Watanabe & Hayato Hitotsumatsu,2021,Competition between grain boundaries and a fracture in electrical conduction,American Geophysical Union 2021 Fall Meeting,MR55A-0002
- 中村仁美, 森川徳敏, 岩森光, 坂田周平, 常青,2021,阿蘇火山周辺における地下水の希土類元素組成が示す多様性,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC29-01
- 石田美月, 稗田裕樹, 荒木修平, 藤永公一郎, 清水 徹, 谷水雅治, 中村 仁美, 岩森光, 町田嗣樹, 米田成一, 中村謙太郎, 加藤泰浩,2021,Sr-Nd-Pb同位体比に基づく北海道豊羽鉱床の多金属鉱化作用の要因の制約,日本地質学会第128年学術大会,R24-P-1
- 岩森光, 中村仁美, 森川徳敏, 高橋正明, 稲村明彦, 原口悟, 西澤達治, 坂田周,2021,阿蘇カルデラ周辺の地下水組成：多変量解析による独立変量と空間変化の検出,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC29-P01
- 西澤達治, 三ツ出唯利, 中村仁美, Tatiana Churikova, Boris Gordeychik, 石川晃, 岩森光,2021,高-Mg安山岩及び玄武岩中の強親鉄性元素の特徴とカムチャッカ前弧域における第四紀島弧火成活動の成因,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGC33-06
- 三ツ出唯利, 西澤達治, 中村仁美, Tatiana Churikova, Boris Gordeychik, 石川晃, 岩森光,2021,強親鉄性元素及びRe-Os同位体系から探るSredinny Range北部（カムチャッカ）のマグマ生成プロセス,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGC33-05
- 上木賢太、原口悟、岩森光,2021,メルト主要元素組成を用いたマントル部分溶融度計算モデルの構築,日本地球惑星科学連合2021年大会,MGI33-P01
- 小澤 恭弘、石川 晃、羽生 毅、清水 健二、牛久保 孝行、浜田 盛久、岩森 光,2021,Hydrogen isotope of the mantle source in Pitcairn Island,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGC32-P07
- Hikaru IWAMORI, Satoru HARAGUCHI, Kenta UEKI,2021,Compositional and Statistical Characteristics of the Crust Along the Japan Arc,AOGS2021 Asia Oceania Geosciences Society,IG06-A005
- 深畑幸俊・岡崎智久,2021,日本列島の変形運動を理解するための枠組み：島弧間変動と島弧内変動,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG50-03
- 森祐太郎・深畑幸俊,2021,プレート定常沈み込みによる島弧変形の3次元数値シミュレーション：海溝軸の屈曲の効果,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG50-01
- Fukahata, Y. and Mori, Y.,2021,3-D Numerical Simulation of Island Arc Deformation Due to

Steady Plate Subduction Based on Elastic/Viscoelastic Dislocation Theory, American Geophysical Union 2021 Fall Meeting, T24B-07

一松駿斗, 渡辺 了, 高橋美紀, 2021, 熱クラックが含水岩石の弾性波速度と電気伝導度に与える影響, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS08-P20

岡崎智久・深畑幸俊・西村卓也, 2021, GNSSデータの解析による日本列島の歪み速度場の推定: Shenの方法と基底関数展開との比較, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS05-02

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

応力場: 前年度に引き続き火山深部への流体供給過程について焦点をあて、深部低周波地震と地殻流体との関係を明らかにする。そのため火山深部で発生する深部低周波地震や微動を対象にし、その観測波形の特徴や波動励起メカニズムに関する研究を進めることとする。

岩相-水-マグマの分布と物性: 令和3年度に引き続き、cmスケールのクラックを含む岩石試料(庵治花崗岩)について、含水状態での弾性波速度、電気伝導度を封圧下で測定し、クラックの閉鎖にもなう物性の変化を調べる。弾性波速度測定のためジャケットである熱収縮チューブに窓を開けていたが、やはりこの部分が弱く、高圧で圧媒体であるシリコンオイルにシール(室温硬化型シリコンゴム)を破られることがあった。弾性波速度で捉えられるのは亀裂の一部分だけなので、今後は亀裂全体を反映する電気伝導度測定に重点を置き、熱収縮チューブに窓を開けずに使用する予定である。X線CT観察により得られているクラックの3次元画像を基に、クラック閉鎖について有限要素法による数値実験を行い、高圧でのクラックの開口状態を調べる。とくに、クラックに沿った剪断変位により、どのように高圧での開き残りが変化するかに着目する。これをもとに電気伝導度を計算して実験データとの比較を行い、クラックの高圧下における伝導経路としての役割を理解する。地下水・深部流体の組成データに基づく統計解析を、阿蘇を含む火山地域や構造線沿いの地域において進め、地殻流体の循環をさらに制約する。また、観測される地震波速度と電気伝導度に基づく地殻流体マッピングを予察的に行う。

温度・流動-変形場の再現と検証: GNSSデータの解析期間を広げることで、時間変化も含めた現在進行中の日本列島の変形場をより詳細に明らかにする。百万年スケールで進行する日本列島などの沈み込み帯における大地形形成過程についても引き続き研究を進める。この研究はプレート沈み込みによる変位の食い違いモデルに依拠している。グローバルな観測データを基に、そのモデルの妥当性について改めて検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

深畑幸俊(京都大学防災研究所), 飯尾能久(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無: 無

行竹洋平(東京大学地震研究所), 渡辺了(富山大学都市デザイン学部), 岩森光(東京大学地震研究 東京工業大学), 中村仁美(産業技術総合研究所 東京工業大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 京都大学防災研究所

電話: 0774-38-4226

e-mail: fukahata@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL: <http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~fukahata/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 深畑幸俊

所属: 京都大学防災研究所

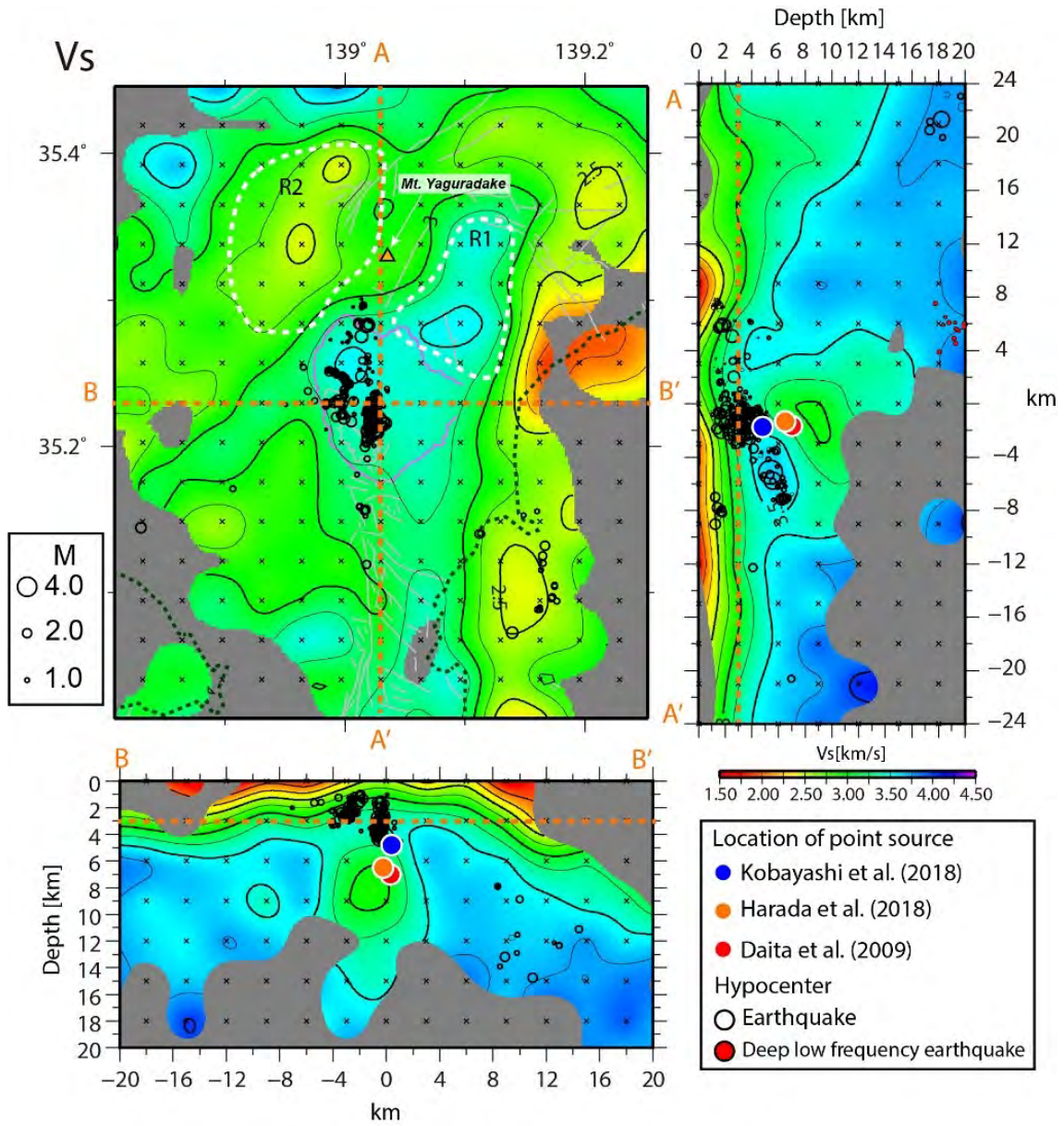


図1

箱根火山及び周辺域のS波速度構造。中央図は深さ3kmにおける速度構造を、右及び下図は中央火口丘を南北及び東西に通る断面上に投影した速度構造を示す。黒丸は構造的な地震の震源位置を、青丸・オレンジ丸・赤丸はGNSSデータにより推定された圧力源の位置を示す。(Yukutake et al., 2021)

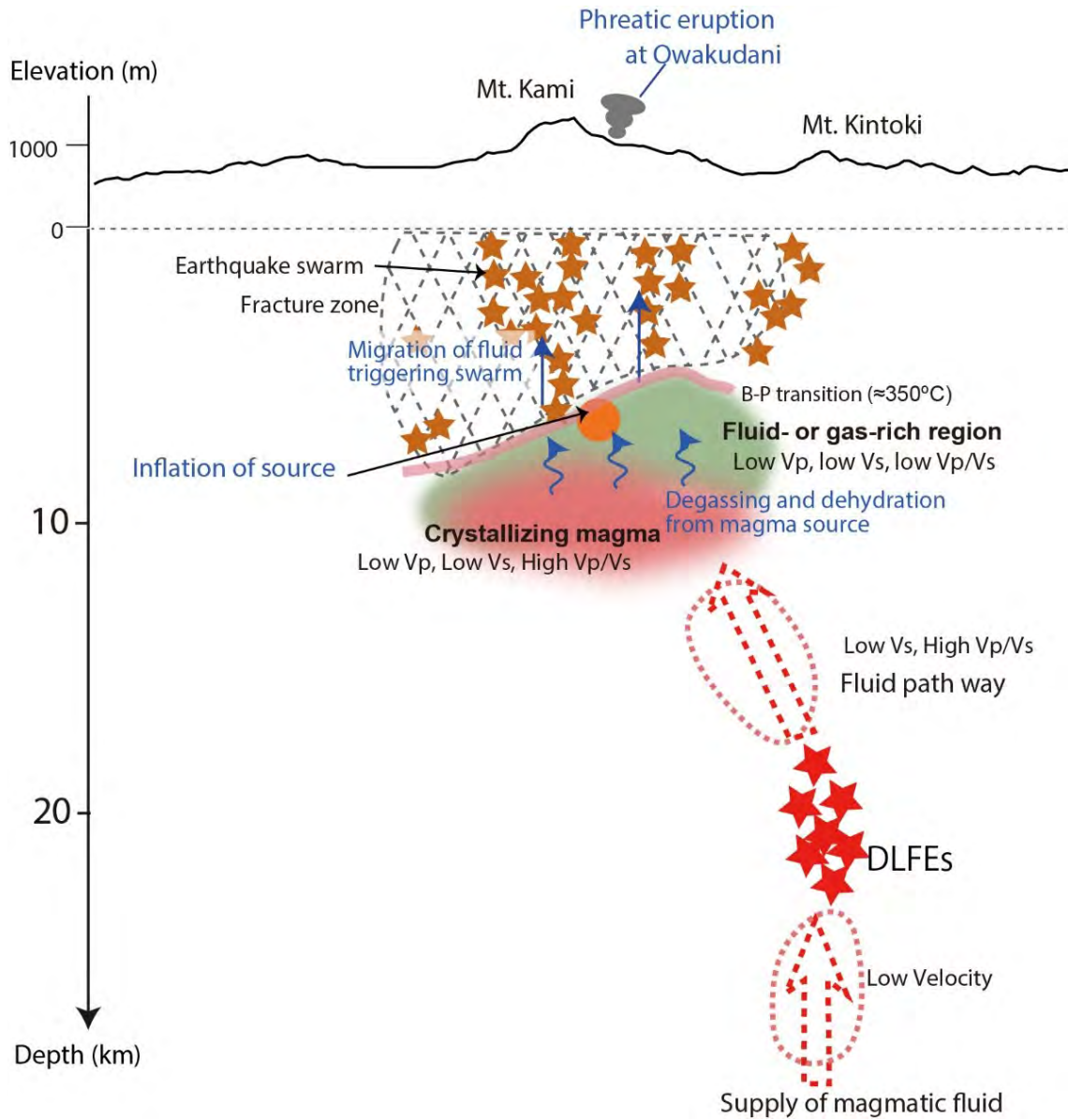


図2

地殻構造、構造的な地震や深部低周波地震の活動、地殻変動の分布から推察された、箱根火山下でのマグマ供給過程を示す模式図。(Yukutake et al., 2021)

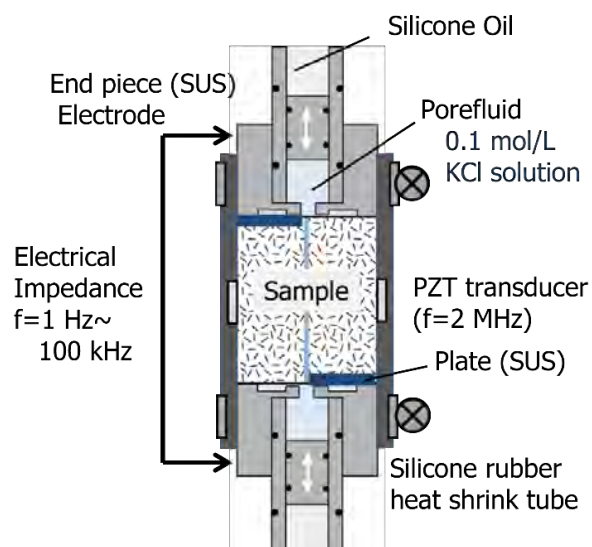


図3
亀裂入り試料のための新たな試料アセンブリ

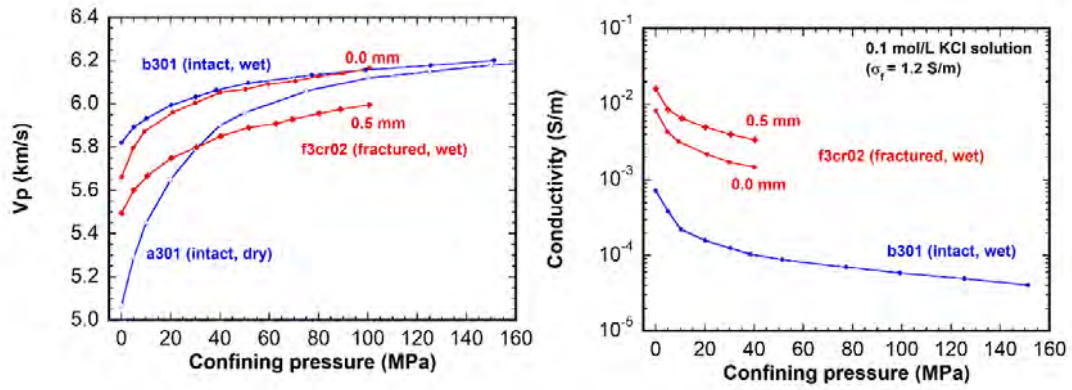


図4
(a) 亀裂入り試料のP波速度、および(b) 亀裂入り試料の電気伝導度

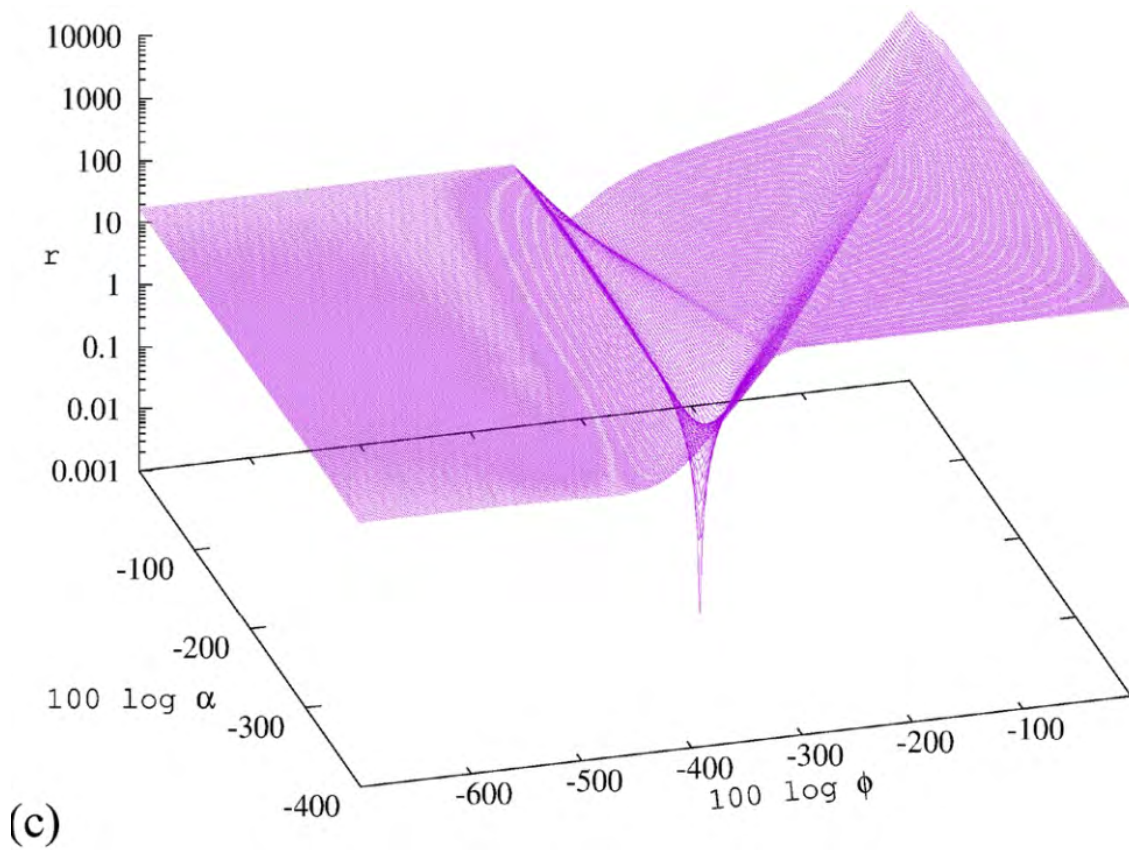


図5
地殻流体インバージョンモデル（本文およびIwamori et al. (2021)参照）に基づくミスフィット分布の例。花崗閃緑岩と水溶液の混相について、液量（ ϕ ）とその分布にかかわる等価アスペクト比（ α ）の関数として、ミスフィット（ r ）がマッピングされている。最適解周辺でのミスフィットの減少が明瞭である。

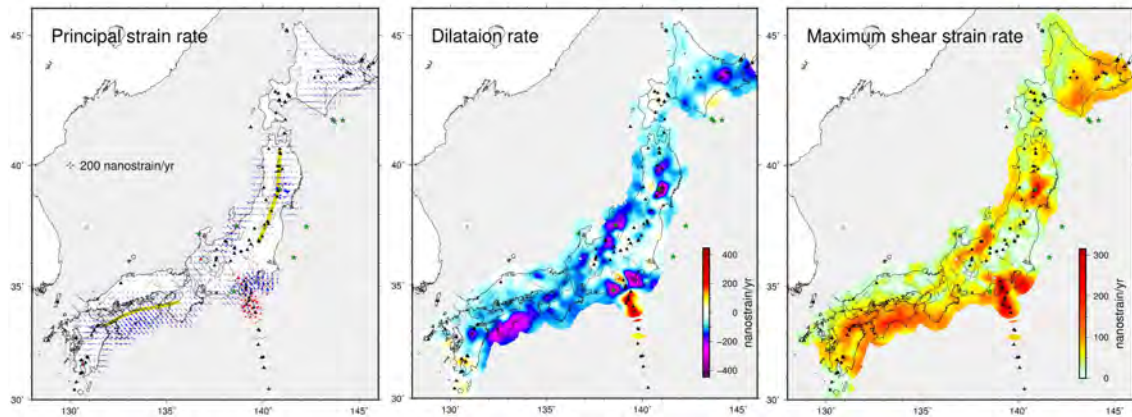
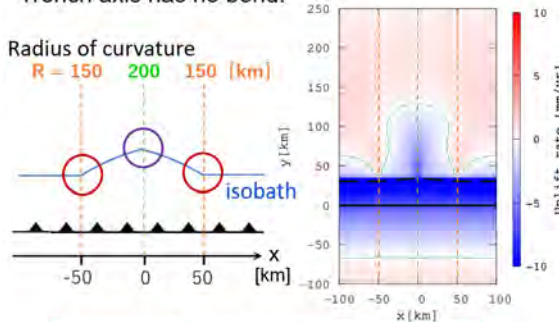


図6

ABICを用いた基底関数展開法によってGNSSデータから推定された日本列島の歪み速度場（Okazaki et al., 2021）。GNSSデータは2006年1月からの4年間を使用した。左から歪み速度主軸の大きさと方向、面積歪み速度（青が収縮、赤が膨張）、最大剪断歪み速度。これまでよく用いられてきたShen et al. (1996)の方法と比べ、超パラメタが客観的に決定できることに加え、場が滑らか且つデータとの適合度も高いなどの特長がある。

① No bend but with a ridge:

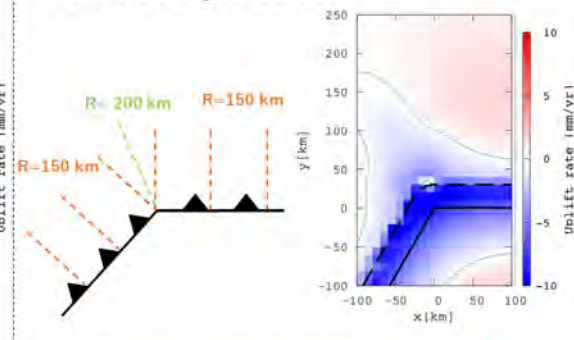
Slab subducts with a ridge at $x = 0$;
Trench axis has no bend.



Mixture of positive ($x=0$) and negative ($x=\pm 50$) bends
⇒ Subsidence/Uplift in the arc

② With a bend and a ridge

Slab has a ridge at the bend.



Superposition of subsidence due to a bend and a ridge

図7

変位の食い違いモデルによる海洋プレートの定常沈み込みに対する垂直変位速度の計算結果（Mori & Fukahata, in prep.）。青色が沈降、赤色が隆起を表す。（左）直線的な海溝軸（黒実線）に沿った尾根を持つスラブの沈み込み。尾根の形状は左図の” isobath” で示されている。尾根の直上では沈降が、尾根の両脇では隆起が生じる。（右）屈曲した海溝軸に沿うプレートの沈み込み。スラブは屈曲部に尾根を持つ。屈曲部の奥まで沈降域が伸びる。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

測地観測データに基づく内陸地震長期評価手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

- ・ GNSS等の測地学的観測データに基づく内陸地震の長期予測手法の開発を行い、日本列島を対象とした地震発生確率の試算を行う。
- ・ 地震活動データに基づき、内陸部の任意の場所について内陸大地震発生の定常確率（永年確率）を求めるとともに、近傍活断層系に基づく時間依存の大地震の長期確率を求める。短期・中期の異常地震活動が認められた場合に、これらを合わせた多重確率予測が準リアルタイムで計算可能になるようにデータベースを作成・準備する。確率予測のばらつきが見えるように複数の予測を目指す。
- ・ 断層への载荷応力変化に応じた地震発生確率変化を定量的に評価するための手法を提案する。
- ・ InSARやGNSS繰り返し観測等から得られるデータを用いて測地学的ひずみ速度推定手法の高度化と観測点密度がひずみ速度推定に与える影響を検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題においては、内陸地震の長期予測手法の開発に関して、以下の3つのサブテーマを設け、サブテーマ毎の研究概要を示す。最終的には各サブテーマから得られた成果を総合して、長期予測手法の高度化を目指す。

1. GNSSデータを用いた地震活動の長期予測

・ 応力蓄積速度が一定と考えられるようなバックグラウンドの変形場を、日本列島の過去のGNSSデータから推定し、変位速度場からひずみ速度場を計算する手法の比較検討、標準的解析手法の提案を行う。得られたひずみ速度データに基づき、既往の長期予測手法・モデルを参考にして、予測手法の比較検討を行い、内陸大地震発生の定常確率の計算を行う。日本列島の過去の地震活動を用いて、地震

発生予測モデルの検証とパラメータの最適以下を行う。

- ・測地データに基づいて、これまでに提案されているひずみ速度や地震カタログを用いた内陸地震発生確率推定手法の調査を行う。観測されたひずみ速度や、歴史地震を含む地震カタログを用いて、地震発生確率推定を試行し、地震本部の長期評価や実際の地震活動との比較等を行う。

- ・ブロック断層モデルを用いて、背景地震及びブロック境界沿いの固有地震の長期評価を行う手法を開発する。まず、西南日本のGNSS データを精査し、ブロック運動モデルの再考を実施する。次に、ブロック内の歪み速度をGNSSデータから推定し、西南日本をテストケースとしてブロック内の歪み速度と地震活動に基づく地震の長期評価の手法の構築・検証を行った後、日本列島規模でのブロック運動モデルを構築し、日本列島規模でのブロック内の歪み速度と地震活動について長期評価の手法を構築・検証を行う。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

- ・検出率を踏まえた「常時地震活動度」を位置に依存するパラメータを持つ時空間ETAS モデルの高度化によって求め、Gutenberg-Richter 式のb 値モデルを併用することによって、各所の大地震の永年発生確率を求める。

- ・大地震の長期評価において繰り返し間隔のばらつきを表すのに用いられるBPT 分布の変動係数 α 値などを地域別あるいは断層の空間的特性に基づいて求め、ベイズモデルを用いたロバストな長期確率評価を試作する。

- ・1995 年兵庫県南部地震以降に発生した $M \geq 6.8$ の地殻内地震に対して、各地震後に実施された活断層調査データ・地殻変動データをとりまとめて、断層の活動間隔、地殻歪速度、周辺応力変化への応答などから、破壊直前の活断層の状態と地震活動の特徴を抽出する。特に、破壊開始点（震源）と活断層・震源断層の位置関係などに注目する。同様の検討を国外の地殻内大地震に対しても実施する。

3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

- ・衛星SAR の干渉解析手法に基づき、主に、跡津川断層、有馬高槻断層帯、中央構造線の周辺において、地震間詳細地殻変動分布を推定する。まず、ALOS-2 等のアーカイブ画像を用いたInSAR 解析を試行し、GNSSデータとの比較を行い、時系列解析手法やノイズ軽減手法について検討する。次に、有限要素法を用いたすべり速度推定を行って、測地データに基づくすべり速度推定結果と活断層評価（長期評価）におけるすべり速度比較をするとともに、過去の測地測量データとの整合性等との検証を行う。

- ・顕著なひずみ集中や地震火山の相互作用から複雑な地殻変動が観測されている新潟県南部や三宅島などを対象として大学院生を主とする全国の関係機関が参加する稠密GNSS 繰り返し観測を行い、観測誤差を考慮した詳細な変形場の解明と既存GNSS 連続観測点のデータとの比較を行って、長期予測への利用可能性を検討する。また、観測を通じた次世代研究者・技術者の養成を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. GNSS データを用いた地震活動の長期予測

測地データから内陸（地殻内）地震の発生ポテンシャルを評価するために、前年度までに構築した西日本の確率予測モデルの再検討及び再評価を行なった。用いたGNSSデータは令和元年度と同じものであるが、ひずみ速度の推定において空間平滑化をABICで最適化する手法（Okazaki et al., 2021）を用い、地震発生層の厚さと剛性率については、Omuralieva et al.(2012)のD90（90%の浅発地震が発生する深さ）とJ-SHIS深部地盤構造モデル（<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>）を用いるものと一律に12km、30GPaとするもの2種類のモデルを試作（図1）し、用いるひずみ速度の成分についても先行研究により提案されている3種類を用いて、どのモデルが過去の地震活動（図2）と最も整合的であるかを確率利得とMolchan図の統計量を用いて評価した。ひずみ速度成分については、水平方向の主ひずみ速度(2成分)と面積歪み速度のそれぞれ絶対値のうち最大のものを用いるモデルが、過去の地震活動をもっとも説明するが、地震発生層の厚さと剛性率については一様なモデルと可変のモデルで大きな差は見られないことがわかった。

地震発生確率評価に inputs する測地観測に基づくひずみ速度データのノイズ低減を図るため、クリギング法を用いた空間フィルタを導入し、GEONETで観測された速度場のデータを用いて中国地方のひずみ場の推定を試行した。また、クリギング法で推定されたひずみ速度と地震活動パラメータを用いて地域別30年間地震発生確率の試算を実施した。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

階層型時空間ETAS(HIST-ETAS)モデルの背景強度と関連する時空間ポアソン過程モデルを使って、1885年から現在までの一世紀以上にわたる震源データ (Utsu, 1985; 気象庁震源カタログ) および歴史的被害地震 (Utsu, 1990) に基づいて日本の内陸地震の長期時空間確率予測と、その結果を対数尤度比スコア (情報利得) で評価した。

3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

長波長ノイズと変位時系列を分離し、かつ、基準点の仮定が不要なInSAR時系列解析手法を開発した。さらにその手法を有馬高槻断層周辺において四方向から得られたSARデータセットに適用し、相互に調和的な結果を得た。また、同地域のGNSS変位データと比較した。電離層ノイズ除去についても試行し、ノイズ軽減効果を確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

測地データおよび常時地震活動データを用いた新たな内陸地震の長期予測について、その手法に関する方向性が定まったところであり、さまざまにデータ・条件を変えた試算を行なってモデル・手法の最適化をおこなっている段階であり、順調に目的達成に向けた成果が挙がっている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Ogata, Y., 2021, Visualizing heterogeneities of earthquake hypocenter catalogs: modeling, analysis, and compensation, Progress in Earth and Planetary Science, 8, 8, 10.1186/s40645-020-00401-8

Ogata Y., K. Katsura, M. Tanemura, D. Harte and J. Zhuang, 2021, Hierarchical Space-Time Point-Process Models (HIST-PPM), Computer Science Monographs, The Institute of Statistical Mathematics, No. 35

尾形良彦, 2021, 階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測 — 自動予測の開発に向けて —, 地震予知連絡会会報, 105, 493-499

・学会・シンポジウム等での発表

Nomura, S., 2021, Modeling and Prediction of Recurrent Earthquakes, International Actuarial Association (IAA) ASTIN 2021 Online Colloquium

尾形良彦, 2021, 階層的時空間 ETAS モデルなどによる短期・中期・長期の地震確率予測と検証評価, 第233回地震予知連絡会、重点検討課題

尾形良彦・桂 康一, 2021, 時空間的な非一様性を有する広域の地震カタログに対する HIST-ETAS モデルの修正推定, 日本地震学会2021年度秋季大会, S14-03

Ogata, Y., and K. Katsura, 2021, Modified estimation and forecasting of the hierarchical space-time ETAS (HIST-ETAS) model for earthquake catalogs in a wide area possessing long- and short-term incompleteness, 2021 SCEC Annual Meeting, Poster#253

尾形良彦・桂 康一, 2021, 気象庁地震カタログの時空間的検出率の長期的変遷と大地震直後の欠測率の推定, 2021年度統計関連学会連合大会, 2FPM1-05

尾形良彦・桂 康一, 2021, 地震カタログの時空間的非均質性のモデルと適用, 日本地球惑星科学連合2021年大会, STT37-06

Fukushima, Y., 2021, Automatic error-term estimation approach for improving the accuracy of InSAR time series analysis-Example on the Arima-Takatsuki Fault Zone, Japan., 日本地球惑星科学連合2021年大会, STT36-01

Fukushima, Y., 2021, Automatic error-term separation approach in InSAR time-series analysis and application to Arima-Takatsuki fault zone, western Japan, AGU fall meeting 2021, G42A-02

Nishimura, T., 2021, Preliminary forecast model of crustal earthquakes in southwest Japan based on GNSS data, IAG General Assembly 2021, 494

西村卓也, 2021, GNSSデータを用いた内陸地震長期発生確率の試算, 日本地震学会2021年秋季大会, S14-02

Nishimura, T., 2021, Probabilistic forecast model of crustal earthquakes in southwest Japan using GNSS data, AGU fall meeting 2021, G21A-07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1. GNSS データを用いた地震活動の長期予測

地殻内地震の地震発生確率の試算を東日本においても行い、日本全国の地殻内地震発生確率を算出する。地殻ひずみ速度のロバストな推定方法の検討と、地震活動から得られる応力速度などの情報を地震発生確率評価に取り入れるスキームの検討を継続する。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

HIST-ETASモデルの連鎖効果を含むオンライン中長期確率予測を実装し、予測性能を確認する。

3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

中央構造線、跡津川断層、台湾南西部、北アナトリア断層等でも新規に解析を行い、活断層周囲の変形検出に適したInSAR時系列解析手法の高度化を図る。電離層ノイズの自動補正のためのアルゴリズムを確立する。GNSSによる変位データと融合させた面的三次元変動場推定を試行する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村卓也（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）、高田陽一郎（北海道大学大学院理学研究院）、遠田晋次（東北大学災害科学国際研究所）、福島洋（東北大学災害科学国際研究所）、三浦哲（東北大学大学院理学研究科）、青木陽介（東京大学地震研究所）、伊藤武男（名古屋大学大学院環境学研究科）、宮崎真一（京都大学大学院理学研究科）、松島健（九州大学大学院理学研究院）、尾形良彦（統計数理研究所）、野村俊一（早稲田大学大学院会計研究科）、矢来博司（国土地理院）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所地震予知研究センター

電話：

e-mail：

URL：<http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村卓也

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

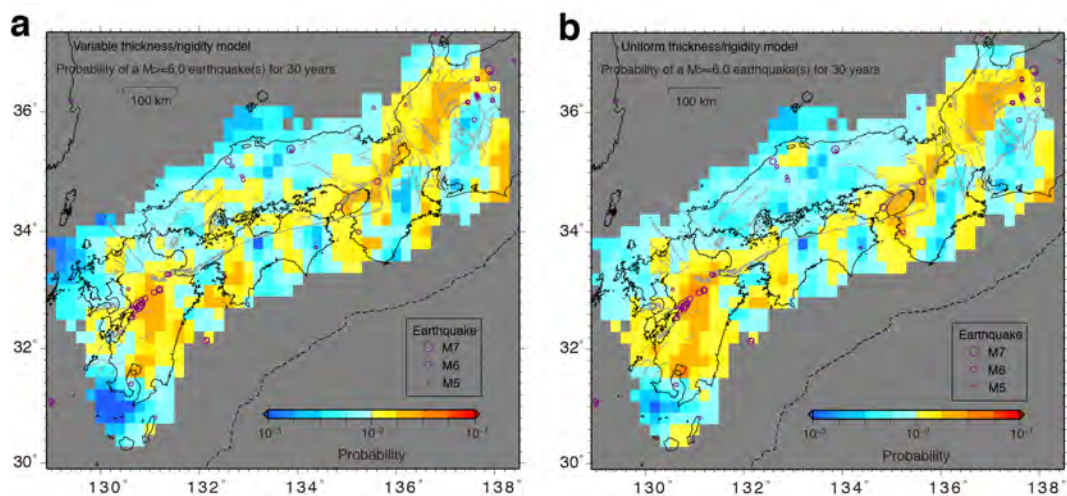


図1 GNSSデータに基づく30年間にM6.0以上の地殻内地震が発生する確率。カラスケールは0.2°毎のグリッドにおける発生確率を表す。紫丸は2010-2020年に発生したM5.0以上の地

殻内地震。(a)地震発生層厚さと剛性率をグリッド毎に変えたモデル。(b)地震発生層厚さと剛性率を一様としたモデル。

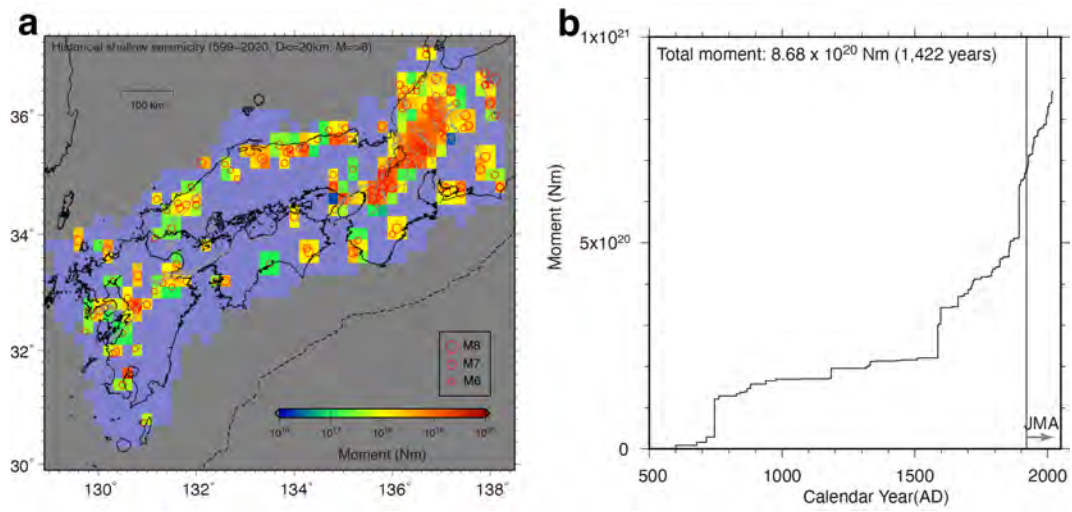


図2 過去に発生した地殻内地震の分布

(a)M6以上の地殻内地震の震央（赤丸）と0.2°グリッド毎の地震モーメント分布。(b)地殻内地震の累積地震モーメント。

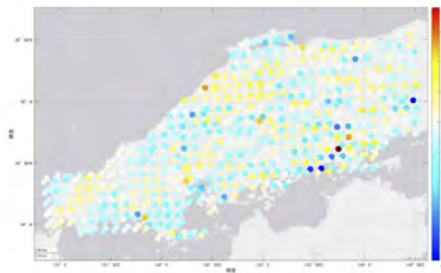


図3 クリギング法で空間補間した中国地方の面積ひずみ速度場の試算結果

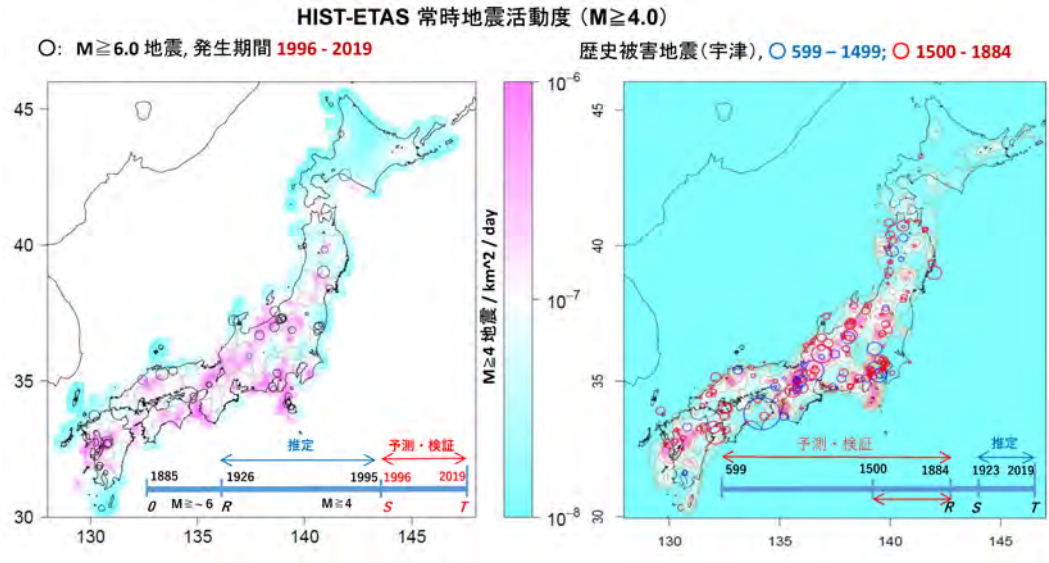


図4 HIST-ETASモデルによって推定された常時地震活動度と大地震の分布の比較
 カラースケールは常時地震活動度を表す。常時地震活動度の推定に用いた期間と表示した大地震のの期間を
 図中に示す。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

インドネシアの活動的火山における火山活動推移モデルの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

北スマトラのシナブン火山、ジャワ島のグントール、ガルングン、メラピ、ケルート、スメル火山、バリ島のアグン火山、スンバワ島付近のサンゲアン・アピ火山を研究対象とし、それぞれの火山における火山活動推移をまとめたうえで、共通項と抽出した火山活動推移の標準モデルを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

京都大学防災研究所とインドネシア地質庁との学術交流協定に基づく過去25年の研究交流実績と、2009年～2011年度と2014年～2018年度に実施の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）にて培われた研究実績とインドネシア側の人材と供与観測機材を活用して研究を遂行する。

当面、北スマトラのシナブン火山、ジャワ島のグントール、メラピ、ケルート、スメル火山、バリ島のアグン火山、スンバワ島付近のサンゲアン・アピ火山を研究対象とするが、それ以外の火山におい

て顕著な噴火が発生した場合、機動的な観測を実施するものとする。

年次計画は以下の通りである。

平成31年度

噴火活動中のシナブン火山、スメル火山、アグン火山について、火山活動推移モデルを作成する。

平成32年度

シナブン火山とメラピ火山を対象に水蒸気噴火からマグマ性噴火に至るまでの活動推移をまとめる。

平成33年度

火山性地震の発生頻度が高いが噴火に至らない火山としてグントール火山、サンゲアン・アピ火山の2013年噴火以前の地震活動を中心に火山活動推移をまとめる。

平成34年度

VEI4の規模に達した2014年ケルト火山噴火と2010年メラピ火山噴火に至る地震活動、地盤変動、火山ガス等のデータを再検討し、火山活動推移モデルを構築する。

平成35年度

それぞれの火山における火山活動推移をまとめたうえで、共通項を抽出した火山活動推移の標準モデルを構築する

火山活動推移モデルを定量的に表現するために以下のパラメータを評価する。

(1)噴火直前の火口近傍における傾斜変化量、火山性地震のエネルギー

(2)定常地震およびGNSS観測から得られる、数ヶ月から数年の時間スケールにおけるマグマ蓄積量・率

(3)降灰の現地調査、レーダー観測、噴火地震・微動のエネルギー、傾斜変化量等から推定される噴出物量（噴火の規模評価）

(4)火山ガス放出量

(5)非噴火時の噴煙高度（白煙）から推定される熱エネルギー放出率

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

グントール火山において発生した過去の火山性地震データに基づいて地震エネルギー放出率を評価した。グントール火山は、インドネシア・ジャワ島西部にある活火山で、19世紀中ごろ頻繁に噴火活動を繰り返した。1843年には山頂域南東部の火口から溶岩を流出した。1847年の噴火を最後に170年間噴火は発生していないが、火山性地震は頻繁に発生している。1989年に火口から1.3kmの距離に地震計が設置され、1994年と2009年には京都大学防災研究所により、火山性地震観測網が強化された。1990年から2020年までの30年間の月別の地震回数と地震エネルギーを図1に示す。最も発生回数が多かったのは2013年9月で349回の地震が記録されている。2019年10月も活動的であり、209回の地震がカウントされた。これを地震エネルギーで見ると最も活動的なのは1999年5月で、2.8GJに達した。1999年5月6日にマグニチュードが3に近い有感地震が2回発生し、1日に60回の地震が記録された。1990年から2021年のエネルギーの積算値を図2に示す。1999年、2013年、2019年に地震エネルギーの増加が認められるが、それ以外はおおむね1.3GJ/年の割合で地震エネルギーが放出されている。1847年から現在までの約170年間の噴火活動休止期における地震活動が最近30年間の地震活動と同様であるとすれば、170年間のエネルギーの積算値は220GJ程度となる。Iguchi et al. (2019)の経験式に基づけば噴出物量の上限は 10^8m^3 オーダーが予想されるので、今後発生しうる噴火は最大でもVEI4と評価される。2014年から2019年に実施されたSATREPSでの地質調査では、グントール火山において発生した噴火はVEI3であり、VEI4は上限値であることから、起こりうる噴火はVEI3程度とするのが現実的であろう。

2021年12月4日午後スメル火山で火砕流が発生し、南東方向に約16km流下し、50名以上が犠牲となった。本研究計画においては平成31年度に火山活動推移モデルを構築したが、16km流下した火砕流の発生を受けて火山活動推移モデルを再検討した。スメル火山では山頂から南東方向に開いたJonggring Seloko火口において小規模な噴火を1日60回程度繰り返していた。2021年12月4日に発生した火砕流に前駆する火山構造性地震の発生はなく、また、2021年1月と2月の火砕流以降、Rockfallも発生しておらず（図3）、マグマの急速な貫入による溶岩ドーム崩壊による火砕流とは考えにくい。スメル火山では、2009年8月以降、溶岩ドームが10年以上にわたって成長し続けてきた。2017年の時点で溶岩ドームの体積は約1700万 m^3 と見積もられている（中田私信、SATREPS）。2021年12

月4日の火砕流による崩壊量は、崩壊量は約600万 m^3 （CVGHM私信）とされているので、約1/3の溶岩ドームが崩壊したことになる。2017年に一時的な火山構造的な地震とRock-fallの増加があるものの、2009年から2021年までの火山性地震活動及び噴火活動（図4）には大きな変化はないため、小規模噴火を伴いながら定常的に溶岩を噴出し続けたものと思われる。2017年の時点での溶岩ドームの体積を考慮すると、溶岩ドームの成長率は約0.6万 m^3 /日と見積もられる。小規模噴火による火山灰放出量はマグマ換算で、1.2万 m^3 /日（噴煙高度が1km未満の噴火なので、桜島の例を参考に、1回の噴火で500トンの火山灰放出とした）程度となるので、マグマ供給率は1.8万 m^3 /日となる。この値をマグマ供給率が30万 m^3 ～300万 m^3 /日に達するメラピ火山（Aisyah, et al., 2018）や20万 m^3 /日～50万 m^3 /日（Nakada et al., 2019）のシナブン火山に比べると1桁以上小さく、2018年8月に始まったメラピ火山の溶岩ドーム形成（0.6万 m^3 /日）に近い。一方、このマグマ供給は定常的に少なくとも1967年以降続いており、年間の供給量に換算すると700万 m^3 となり、同様に長期間の噴火活動を続ける桜島のマグマ供給率に近い。

マグマ供給の定常性を鑑み、過去の火砕流発生事例をData Dasar Gunung Api Indonesiaを参照して調べてみた。1967年以降では、火口から10km以上流下した火砕流は1977年、1981年、1994年、2002年と4回発生している。火砕流の堆積量は620万 m^3 ～680万 m^3 であり、2021年の火砕流とほぼ同程度である。このことは、不安定な溶岩ドームが崩壊に至る閾値があることを指摘できる。特に、1967年に始まり、1977年の火砕流まで続いた溶岩ドームの成長は顕著であり、溶岩ドームは火口から200m以上の高さに達したことが推定される。低速度の溶岩ドームの成長に注目する必要がある。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

VEI4の規模に達した2014年ケルウト火山噴火と2010年メラピ火山噴火に至る地震活動、地盤変動、火山ガス等のデータを再検討し、火山活動推移モデルを構築する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所火山活動研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター
電話：099-293-2058
e-mail：iguchi.masato.8m@kyoto-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井口正人
所属：京都大学防災研究所

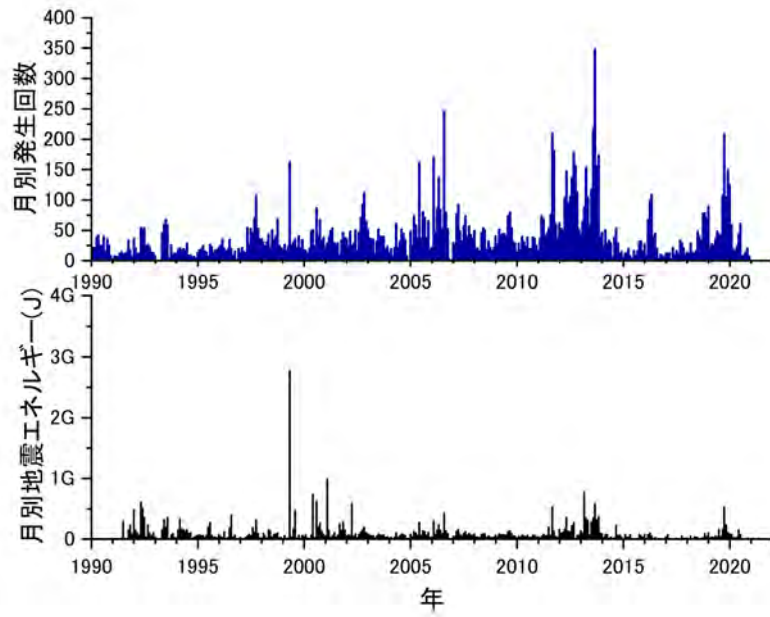


図1 グントール火山において発生する火山性地震の月別発生回数及びエネルギー放出量

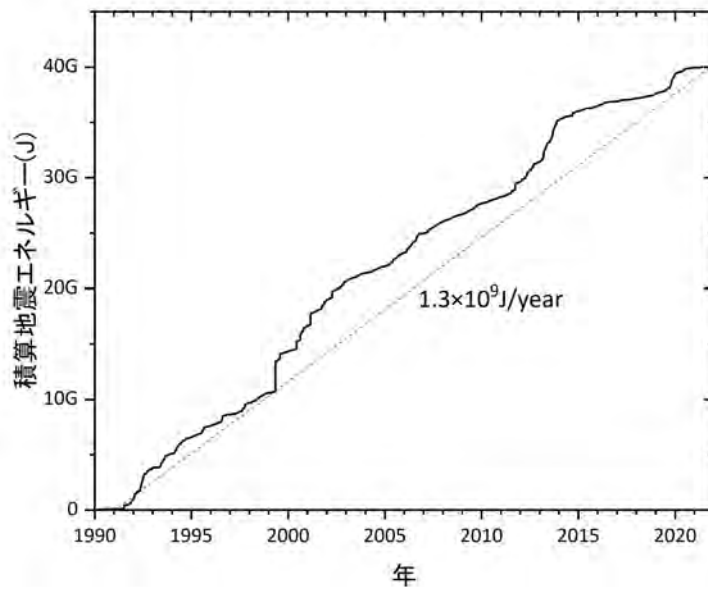


図2 グントール火山の火山性地震のエネルギー積算量

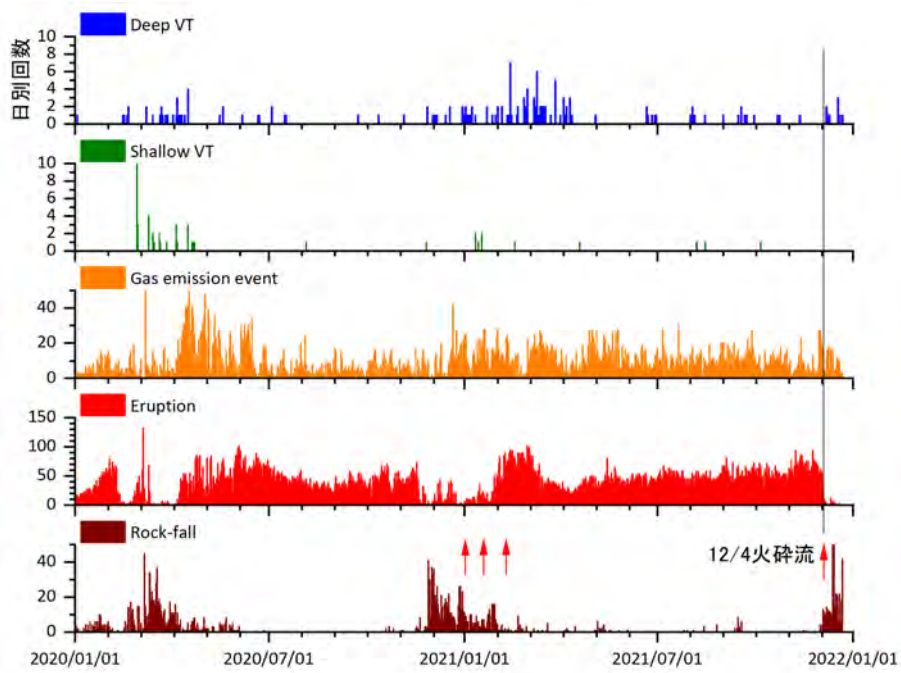


図3 スメル火山の火山性地震の日別発生回数と噴火回数（2020年～2021年）

1段目：深い火山構造的な地震、2段目：浅い火山構造的な地震、3段目：ガス放出イベント、4段目：噴火、5段目：崩落、赤矢印は火砕流の発生を示す。

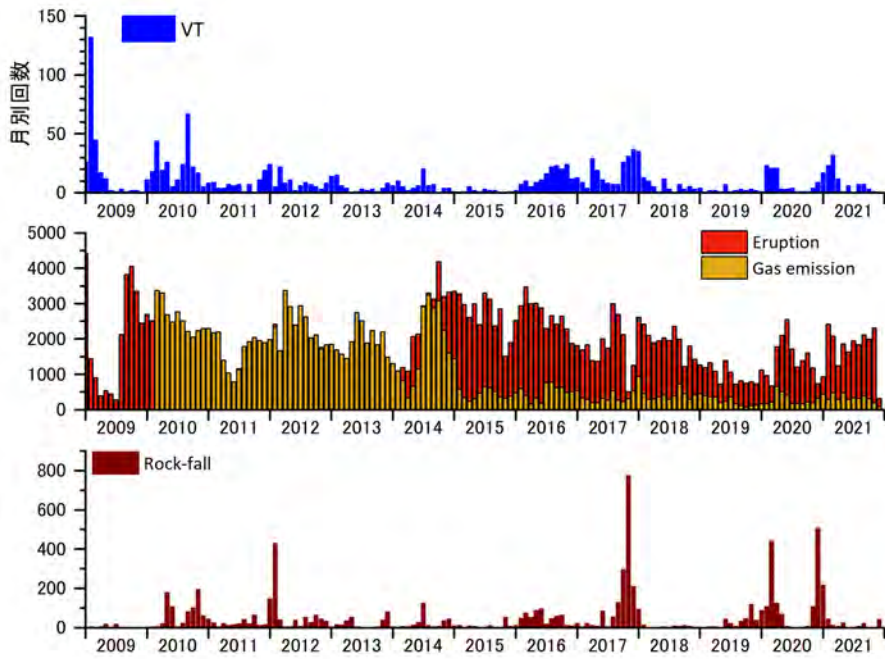


図4 スメル火山の月別火山性地震及び噴火の発生回数

1段目：火山構造的な地震、2段目：ガス放出イベントおよび噴火、3段目：崩落回数

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島火山における火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測のための総合的観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山性流体の貫入・噴出の量やその時間変化率などに着目し、噴火先行現象、噴火発生、噴火規模・様式の変化など、先行現象から噴火終息までの一連の活動推移をモデル化する。現在のデータや試料だけでなく、過去のデータや資料・試料を解析・分析することで、大正噴火クラスの大規模噴火の事象分岐条件も含めた火山活動推移モデルの構築を進め、火山噴火予測手法の高度化をする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

桜島の火山活動推移モデルを構築し、事象分岐条件に各観測および調査から得られるパラメータを付与し、そして予測につなげるために、前計画研究課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」実施の観測の継続をする。5か年通じて以下の連続観測および調査を実施する。

- ・ 桜島および南九州における稠密連続地震観測
- ・ 桜島および南九州における稠密連続GNSS観測
- ・ 桜島における地殻変動連続観測

- ・MT連続観測
- ・絶対重力計もしくは超伝導重力計による重力連続観測
- ・光学式ディストロメータを用いた火山灰連続観測
- ・温泉ガス連続観測
- ・土壌二酸化炭素放出率観測
- ・火山灰の現地サンプリング調査と岩石組成および付着ガス成分分析
- ・二酸化硫黄放出率観測

また、5か年通じて以下の繰り返し観測を実施する。

- ・重力測定（毎年10月実施）
- ・水準測量（毎年11月実施）
- ・稠密GNSS観測（毎年11月実施）

そのほか、年度毎に以下の観測を実施する。

- ・令和元年（2019年）度においては、人工地震探査を12月第一週に実施する。桜島北部において2014年と2016年実施と同じ測線（爆破6カ所）にて、南側において2013年実施と同じ測線（爆破4カ所）にて探査を実施する。
- ・令和2年（2020年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。
- ・令和3年（2021年）度においては、これまで継続してきた絶対重力連続観測から超伝導重力連続観測へ移行する。また、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。
- ・令和4年（2022年）度においては、2019年度実施の人工地震探査と同じ測線と爆破点に人工地震探査を行い、時間変化の検出を試みる。新しく開発する小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の設置を行う。
- ・令和5年（2023年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。拡散放出二酸化炭素率観測を実施する。

上記は観測実施項目であるが、1980年代からの過去データおよび、大正噴火および昭和噴火の当時の資料・試料を活用して、桜島の火山活動推移モデルを構築と事象分岐条件へのパラメータを付与に役立てる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2017年11月から桜島南岳の噴火活動が活発化している。2017年11月以降の噴火活動は20日以上休止期間によって6つのEpisodeに分けられる。そのうち、2019年9月から2020年6月まで続いたEpisode5は最も噴火回数と火山灰放出量が多い。伸縮計の記録から膨張—収縮イベントの検出を行った。2017年11月以降の、膨張—収縮イベントは4180回であり、そのうち、1230回が噴煙の放出、爆発地震、空気振動から噴火と識別される事象に対応する。残りの2950回は、従来の噴火リストに挙げられていないものであるが、明瞭な膨張—収縮を伴い、火口上には白煙が目視できることから、火山ガスの放出に関連したイベントと考えられる。これを、噴火活動に伴わない膨張—収縮イベントを非噴火地盤変動イベントとして、発生頻度と地盤変動を引き起こす圧力源の体積変化量を検討したところ、Episodeの前半ではgas-richなマグマの貫入と放出が卓越するが、Episodeの進行とともに脱ガスが進行し、ash-richなマグマの貫入が卓越することが分かった（図1）。このことはEpisode前半にSO₂放出率が高く、後半には低下することと整合的である。

観測量による放出火山灰量の推定を目的に、南岳火口での噴火に伴う空気振動エネルギー（ E_1 ）と地盤変動量、放出火山灰量の関係を検証した。瞬間的なガス放出の後に火山灰が噴出する爆発イベント（ブルカノ式噴火）では、ガス放出の影響を避けるために初動到達時から5秒以降の時間窓で E_1 を計算した。各イベントの E_1 と地盤変動量の相関係数は0.73と求まり、 E_1 が観測坑道で得られる地盤変動量に概ね対応する観測量であると評価した。また、月別の全イベントの E_1 の総和と月別降下火山灰量の相関係数は0.75であり、線形回帰によって推定される変換係数（ton/J）は 2.3×10^{-5} となった（図2）。変換係数と E_1 により月別放出火山灰量を推定すると、概ね良好な結果が得られた（図2）。

2017年11月13日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化から、個々の噴火に伴う地殻変動が南岳下の変動源のみならず北岳下の変動源にまで及んでいることが示された（Hotta and Iguchi, 2021）

11月に水準測量を実施し、前回測量からの1年間の地盤上下変動量を見積もった。得られた結果か

ら、桜島中央部付近において、最大約7mmの地盤沈降が生じていることが確認された(図3)。この期間、南岳直下のマグマ溜りにおいては減圧傾向であったと考えられる。また、桜島北部において地盤沈降が認められ、始良カルデラのマグマ溜まりにおける増圧が顕著ではないことを示唆する。10月に相対重力観測を実施した。この重力観測データを1998年~2021年3月の重力観測データと統合して解析したところ、桜島中央部では最大4.3 microGal/yrの経年的な重力増加が継続していることが分かった(図4)。このような重力増加は1970年代~1990年代前半の南岳噴火活発期にも確認されており、この当時の重力増加は桜島中央部直下における脱ガスマグマの密度増加によって説明されている。したがって、南岳噴火活発期のような桜島直下の質量増加が現在も継続していることを示唆している。また、10月に有村観測坑道において28日間連続にて絶対重力観測を実施した。そして、2017年以降において4.5microGal/yrの有意な重力増加が検出され(図5)、相対重力にて見られた桜島中央部の重力増加と同等である。

2018年に観測した上空二酸化硫黄観測網のスペクトルの再解析をおこない桜島の二酸化硫黄放出率を求めたところ、閉塞に伴って減少するパターンだけでなく、爆発前に顕著な増減を示さないパターンや上昇してから爆発するパターンなどを検出した。

複数の観測点で記録された地震波連続記録データの相関関数にて、桜島で観測されたB型地震と連続微動を自動検出し、震源決定を行った。その結果、両者とも山頂火口下の深さ4kmまでに、また水平方向の分布は深部へ貫入したと推定されているダイクの走行に沿っていることが明らかとなった(図6)。始良カルデラ(錦江湾)において繰り返し海底地震観測を2014年度から実施しており、2020年12月8日に投入したOBSを2021年6月22日に回収し、同日再設置を行った(図7)。

以上により、始良カルデラから桜島へのマグマ移動は顕著ではないが継続しており、gas-richな噴火などにより、脱ガスが継続しているため、その分桜島直下における質量増加が進んでいると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

2017年以降の南岳活動期において、始良カルデラから桜島へのマグマ移動は顕著ではないが継続しており、gas-richな噴火などにより、脱ガスが継続しているため、その分桜島直下における質量増加が進んでいると解釈することにより、桜島火山の火山活動推移モデル構築に貢献した。また、2017年以降の南岳活動期では火山灰量の生産が、2016年までの昭和火口活動期に比べて少ないことから、土石流ポテンシャルの低下を指摘することで、課題DPRI12を通じて総合的研究への貢献をした。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Hotta, K. and M. Iguchi, 2021, Tilt and strain change during the explosion at Minami-dake, Sakurajima, on November 13, 2017, Earth Planets Space, 73, 70, doi:10.1186/s40623-021-01392-6

Permana, T., T. Nishimura, H. Nakahara and N. Shapiro, 2021, Classification of volcanic tremors and earthquakes based on seismic correlation: application at Sakurajima volcano, Japan, Geophys. J. Int., 229, 1077-1097, doi:10.1093/gji/ggab517

風間卓仁・山本圭吾・大柳諒・岡田和見・大島弘光・竹中悠亮・若林環・井口正人, 2021, 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2020年10月および2021年3月), 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2020年10月および2021年3月), 64B, 73-85

・学会・シンポジウム等での発表

井口正人, 2021, 非噴火地盤変動による桜島火山の活動評価, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-04

中道治久, 2021, 2015年8月15日桜島群発火山構造的な地震の発生過程, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-13

常松佳恵・猿田周朔・山田大志・井口正人, 2021, 桜島火山における放出岩塊のハイスピード映像観測と数値モデル, 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS13-04

村松弾・相澤広記・横尾亮彦・井口正人, 2021, 桜島昭和火口のブルカノ式噴火に先行する火映変動現象の解析, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC31-07

風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光, 2021, 可搬型相対重力計の感度および器械ドリフ

トの個体差に関する考察,2021年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会,5
風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光・井口正人,2022,桜島火山における相対重力繰り返し測定(2021年度),令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,B110
山本圭吾・松島健・吉川慎・井上寛之・園田忠臣・竹中悠亮・名田彩乃・岡田和見・及川純・大柳諒・南野一樹・井上温史・西下聡一郎・工藤直樹・大倉敬宏,2022,精密水準測量による桜島火山の地盤上下変動(2020年11月~2021年11月),令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,P32

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目:火山:地殻変動:水準測量

概要:11月に桜島島内において水準測量を実施した。参加機関は京都大学・九州大学・北海道大学・東京大学・気象庁である。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:鹿児島県鹿児島市桜島 31.593650 130.633882

調査・観測期間:昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況:公開留保中(協議のうえ共同研究として提供可)

項目:火山:地殻変動:重力測定

概要:桜島火山周辺の重力点でキャンペーン相対重力測定を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:鹿児島県鹿児島市桜島 31.58963 130.60137

調査・観測期間:昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況:公開中(論文・データジャーナル・報告書等)

<https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no64/ronbunB/a64b0p07.pdf>

項目:火山:地殻変動:重力測定

概要:桜島火山の有村および黒神にて、相対重力連続観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:鹿児島県鹿児島市桜島 31.56016 130.67215

調査・観測期間:昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況:公開留保中(協議のうえ共同研究として提供可)

(11) 令和4年度実施計画の概要:

地震、GNSS、伸縮、傾斜、ガス等の連続観測を行う。そして、地盤変動・地震・空振の観測量による火山灰放出様式の定量的記載をする。爆発的噴火前後の二酸化硫黄放出率変動と地球物理学的観測との比較検討を行う。10月に相対重力測定と絶対重力測定を実施し、3月に相対重力測定を実施する。そして、桜島火山における重力の長期的な時空間変化を把握し、火山内部のマグマ質量蓄積プロセスを明らかにする。また、超伝導重力計観測実施のための調査を行う。11月に水準測量と稠密GNSS観測を実施する。鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施し、始良カルデラ周辺の地震活動を把握する。12月上旬に人工地震探査を行い、地下構造の時間変化の検出を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中道治久(京都大学防災研究所),井口正人(京都大学防災研究所),為栗健(京都大学防災研究所),山本圭吾(京都大学防災研究所),大見士朗(京都大学防災研究所),山田大志(京都大学防災研究所)
他機関との共同研究の有無:有
青山裕(北海道大学大学院理学研究院),中川光弘(北海道大学大学院理学研究院),西村太志(東北大学大学院理学研究科),山本希(東北大学大学院理学研究科),太田雄策(東北大学大学院理学研究科),森俊哉(東京大学大学院理学系研究科),今西祐一(東京大学地震研究所),大湊隆雄(東京大学地震研究所),野上健治(東京工業大学理学院),神田径(東京工業大学理学院),堀田耕平(富山大学都市デザイン学部),前田裕太(名古屋大学大学院環境学研究科),大倉敬宏(京都大学大学院理学研究科),横尾亮彦(京都大学大学院理学研究科),風間卓仁(京都大学大学院理学研究科),松島健(九州大学大学院理学研究院),相澤広記(九州大学大学院理学研究院),中尾茂(鹿児島大学地震火山地域防災セン

ター),八木原寛(鹿児島大学地震火山地域防災センター)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 火山活動研究センター

電話: 099-293-2058

e-mail: nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL: <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 中道治久

所属: 京都大学防災研究所火山活動研究センター

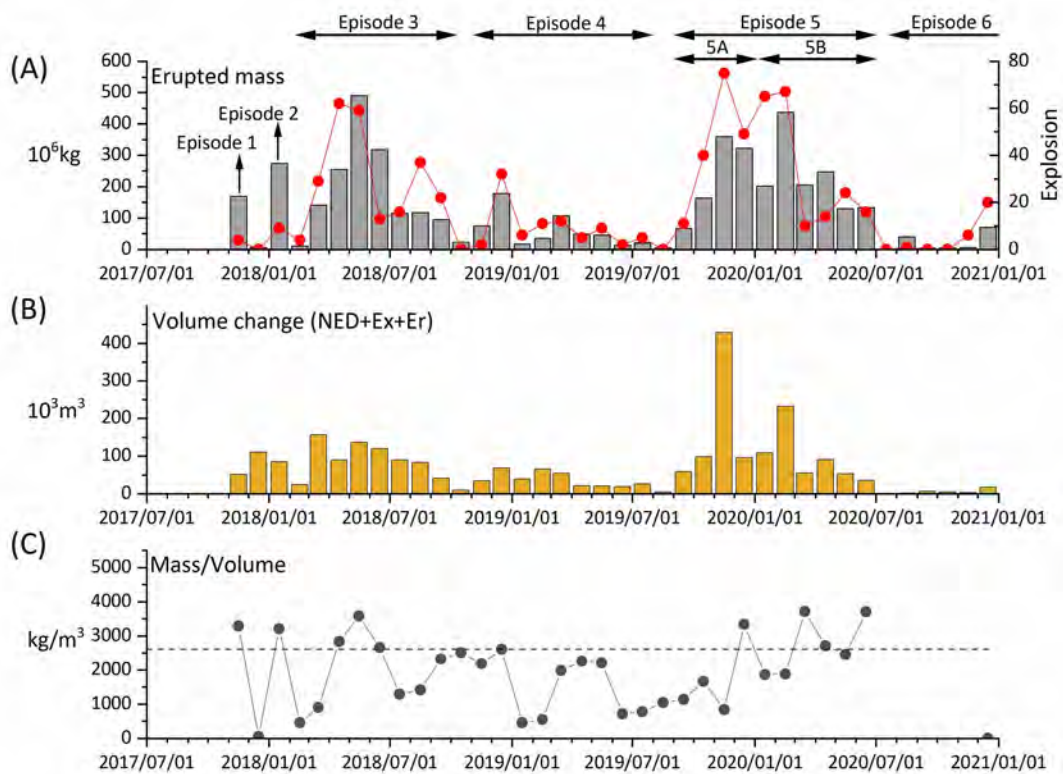


図 1

圧力源の体積変化と火山灰質量との比較。(A) 月毎の火山灰質量(灰色バー)と月毎の爆発回数(赤点)。(B) 噴火と非噴火地盤変動イベントによる圧力源の体積変化の月積算値。(C) 月毎の圧力源の体積変化に対する火山灰質量の比。

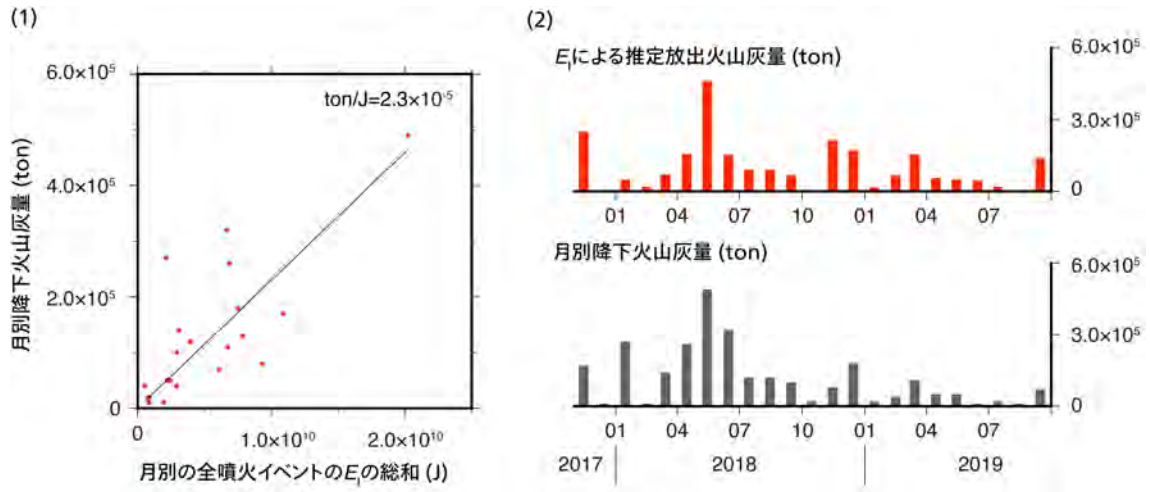


図 2

(1) 月別の全噴火イベントの空気振動エネルギー (E_1) の総和と月別降下火山灰量の比較。(2) 月別降下火山灰量推定の時系列。

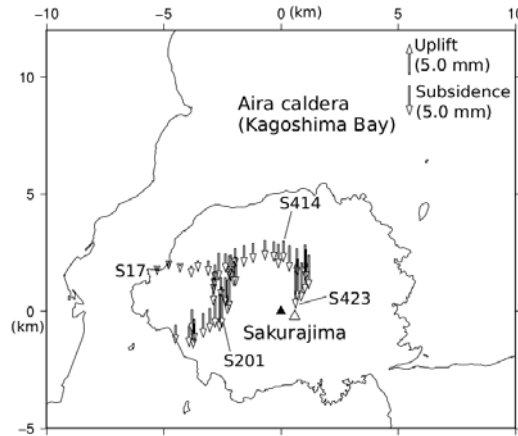


図 3

桜島西岸のS.17を基準点とした、2020年11月～2021年11月の期間の各水準点における地盤上下変動量。黒三角および白三角は、それぞれ南岳火口および昭和火口の位置を示す。

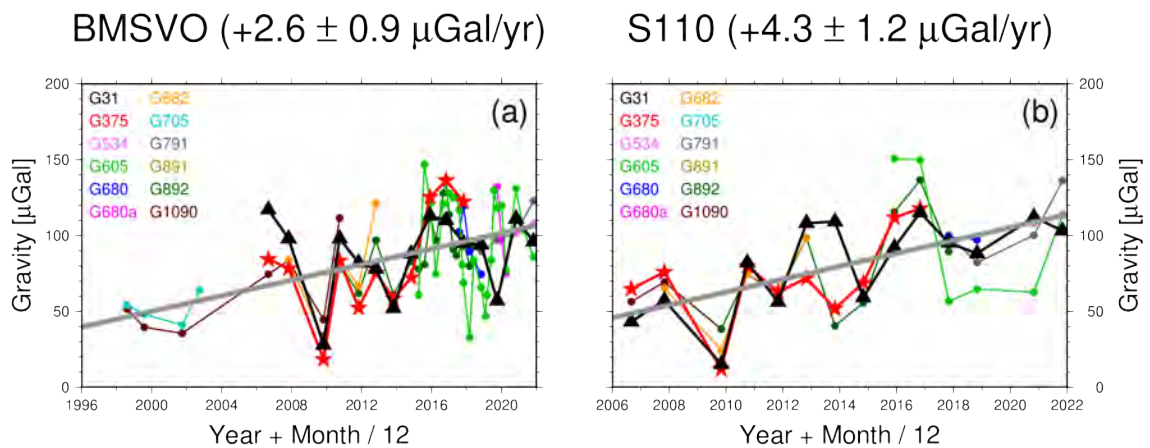


図4

(a) ハルタ山の重力点BMSVOにおける1998年～2021年の重力変化。(b) 大正噴火火口至近の重力点S110における2006年～2021年の重力変化。

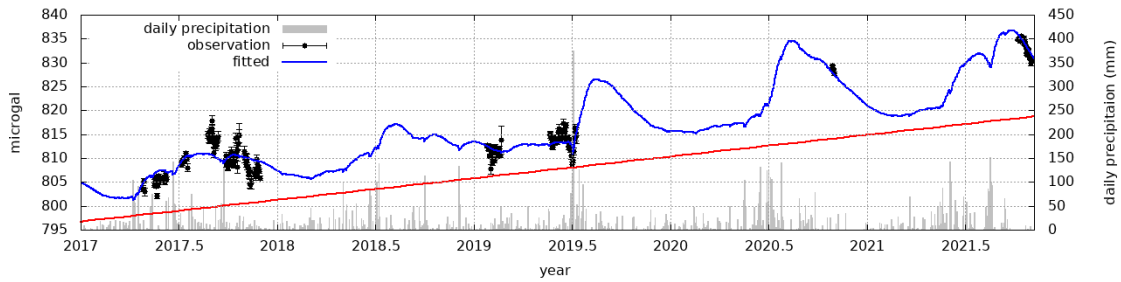


図5

黒丸は絶対重力値（単位：マイクロガル）。赤線は回帰分析によって推定された重力増加傾向、青線は雨水による引力効果を加味したモデルを表す。

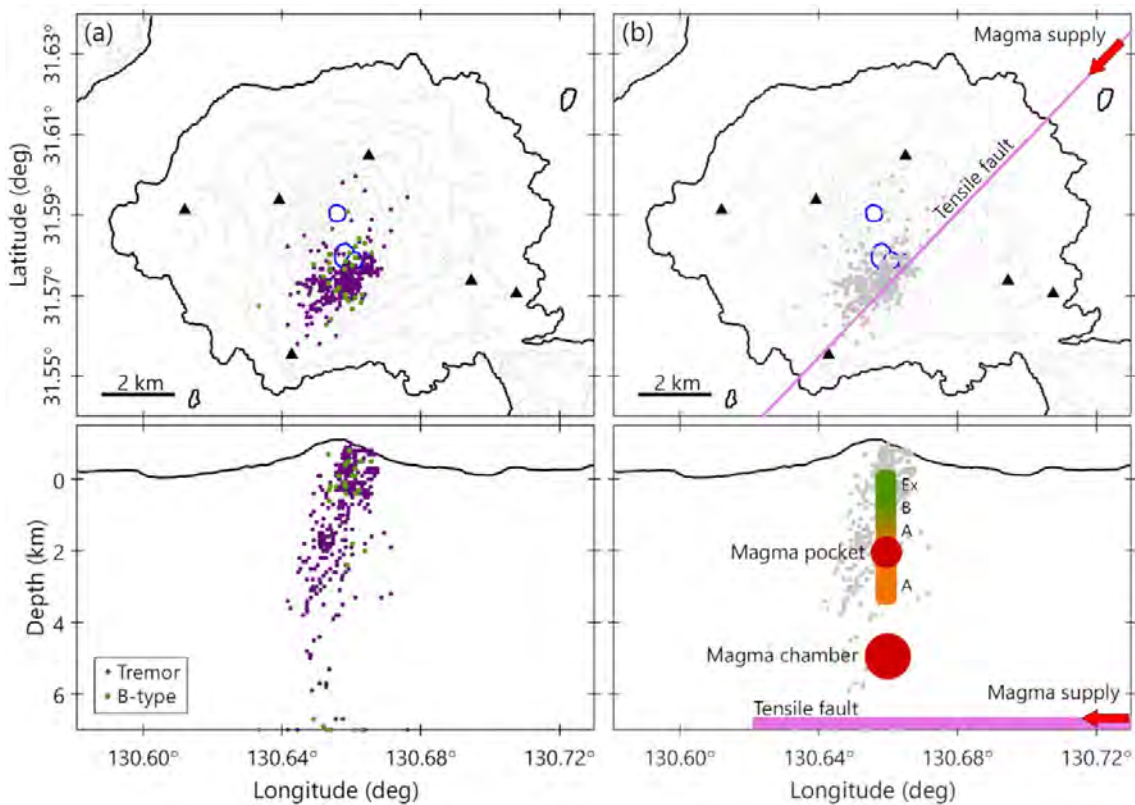


図6

(a)地震波の相互相関関数を利用したCCF-based-SSA法をもとに火山性微動とB型地震の震源決定結果

(Permana et al., 2021)。 (b)震源分布と過去の研究から得られた震源および地盤変動源との比較。

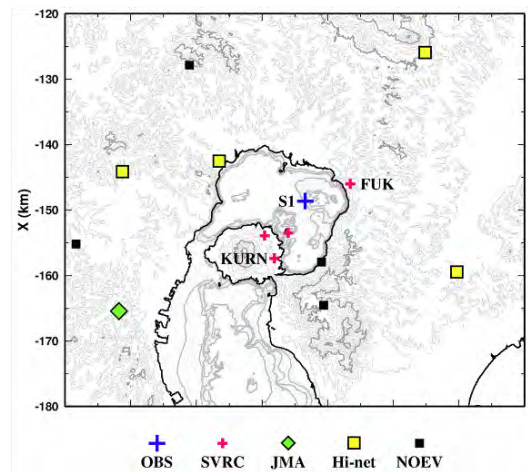


図7

始良カルデラ（錦江湾）における海底地震観測。図中の青+印（S1）が海底地震計（OBS）の設置場所である。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

広帯域強震動予測の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究においては、前計画において開始し進めてきた広帯域強震動予測手法の高精度化を継続する。震源モデルの高度化としては、広帯域地震波放射特性の再現を目標に、前計画で提案したプレート境界広帯域震源のプロトタイプモデルを実地震記録に適用してモデルの検証と改良を進める。また、同様の震源モデル化手法を内陸地殻内地震にも適用して、モデルの検証と改良を行う。地下構造モデルについては、周波数1Hzの地震動の再現を目標に、既往モデルに対して、中～大規模地震の実地震記録を対象とした地震動シミュレーションによる構造モデルの検証と改良を継続する。特に波形記録を用いたモデルの改良方法の確立を目指す。これらの実施により、より信頼度の高い強震動予測を実現することができる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度：プレート境界地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの実地震記録評価への適用と問題点の整理。大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成32年度：広帯域震源モデル・プロトタイプの改良、大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成33年度：プレート境界地震と内陸地殻内地震の震源スケーリング則や不均質性等の違いを考慮した、プレート境界地震の広帯域震源モデルを基礎とした内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの開発。大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の継続。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成34年度：内陸地殻内地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの構築と実地震記録への適用による

問題点の整理（新規提案課題「断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究」で得られた震源モデルに関する知見があればそれも考慮する）。大阪盆地、奈良盆地等での地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施を踏まえた地盤構造モデル改良。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成35年度：プレート境界地震及び内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの提案。大阪盆地、奈良盆地等の改良モデルの提案。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

（大阪堆積盆地3次元地盤構造モデルの高度化）

大阪堆積盆地3次元地盤構造モデルの高度化の一環として、3次元的に不均質な速度分布を設定する際に用いられる堆積年代および深さとP波速度の経験式について、新たなデータにより経験式の空間変化を調べた。既往モデル作成時に、反射法地震探査で得られたP波の区間速度情報と鍵層深度から、堆積年代および深さとP波速度の間の経験式の係数を求めている。今回は、その後実施された湾岸域の反射法地震探査のP波区間速度データを用いて経験式の係数を求めた。大津川反射測線については、上町断層帯久米田池断層の上盤側と下盤側で明らかに異なる形の経験式が得られた。

（近江盆地南部の地盤構造モデルの高度化）

令和2年度に滋賀県近江盆地南部の14地点で実施した微動アレイ探査データの解析を継続した。各地点で得られた位相速度分散曲線から、MCMC法を用いてS波速度構造を推定した。守山市から近江八幡市安土町にかけての湖岸に近い平野部で基盤深度が相対的に深いのに対し、栗東市や野洲市など丘陵部に近い地域では基盤深度が浅い傾向があり、湖東地域では、盆地の基盤が琵琶湖に向かって深くなる方向に傾斜している特徴が得られた。滋賀道路地震防災検討委員会（2006）によるP波反射法地震探査測線のうち真野川測線及び草津測線について、測線近傍の微動アレイによるS波速度構造モデルと比較したところ、本業務の微動アレイ探査で推定した基盤深度とP波反射法探査による基盤深度がよく対応していることを確認した。また、別途収集した温泉及び深井戸ボーリングによる着岩深度の情報も加え、近江盆地南部における基盤形状の空間的特徴を把握した。そのほか、微動アレイ探査では、各地点での堆積層内の速度層分布の特徴を詳細に把握した。これにより、既存のJ-SHIS V2モデルでは、対象地域全域に亘って比較的平坦な速度層境界が与えられていたが、実際は、従来考えられていたよりも、堆積層内の速度層境界も起伏に富んでいることを把握することができ、本地域の堆積層の速度構造モデルを高度化するための情報を、既存調査よりも多数の地点で得ることができた。

（函館平野の3次元深部地盤構造モデルを用いた強震動シミュレーション）

日本海地震津波調査プロジェクトで新たに作成した、北海道の函館平野の3次元深部地盤モデルを利用して、函館平野の長周期地震動（周期 >1 s）増幅特性の空間分布について、差分法を用いた数値シミュレーションによって検討した。平野全体の堆積層厚が東に向かって厚くなる特徴を反映し、周期3～5秒の地震動については、函館平野西縁断層帯に沿った函館平野西部や湾岸部周辺において増幅率が相対的に大きくなる特徴が見られた。周期1～2秒の地震動の増幅率は空間的に複雑な分布が得られたが、これらの周期帯域の地震動については、今回モデル化されていない浅部の低速度層の寄与にも留意する必要がある。

（強震観測点サイト増幅特性を用いた地下構造モデルの高度化に関する研究）

強震動評価のために全国版の地下構造モデルJ-SHISv2や長周期地震動評価を目的とした全国一次地下構造モデルがある。これらは様々な地球物理学的方法による探査結果を統合して、特に地震動評価に重要な地震基盤上面から工学的基盤面相当程度までの深部地盤構造に注力したモデルである。最近では関東地域や東海地域において、工学的基盤上面から地表面までの浅部地盤構造モデルを構築して浅部・深部統合地下構造モデルも作成されてきている。これらのモデルは探査結果を活用していることから、探査が疎な地域のモデル信頼度は高くない。ここでの地下構造モデルは地震動増幅特性の再現を目指したモデルであることから、地震波形データが得られている地点においては、観測サイト増幅特性と既往の速度構造モデルから推定される理論的な増幅特性の比較によるモデルの信頼性確認や、観測サイト増幅特性から地下構造モデルを推定するといった解析を行うことができる。

今回、2004年から2021年に発生した北陸地方周辺で発生した201地震（MJMA: 3.1–5.5）を、福

井, 石川, 富山, 岐阜県北部のK-NET, KiK-net, F-net, 気象庁震度計, 自治体震度計, 計185地点の波形データを用いてスペクトルインバージョンを実施し, 分離された観測サイト増幅特性が, サイト直下の地震基盤上面より上の地盤構造モデルの1次元S波重複反射理論の増幅特性と対応すると仮定して, サイト直下の地盤構造モデルを推定した. 速度構造モデルは, 観測点直下のJ-SHIS深部地盤モデルV2 (J-SHISモデル: 藤原・他, 2012) (V_s : 600–3400 m/s) を深部層として, 浅部に11の速度層 (V_s : 50–550 m/sで50m/sおき) を追加したものを初期モデルとしておいた. 初期モデルの深部から浅部までの各層層厚を未知パラメータとして, モデルに鉛直入射を仮定して求められるS波の理論増幅率が観測サイト増幅特性に最も一致するパラメータを遺伝的アルゴリズム (GA)

(Charbonneau, 1995) を用いて決定した. 最適解は, 観測サイト増幅特性全帯域 (0.2~10 Hz) を適切に再現した. 深部地盤モデルの層厚も修正するのがよい解も得られた地点もある. 高周波数側のサイト増幅は, 浅部層の寄与が大きかった. また, PS検層情報のある地点では, 推定した浅部層がPS検層のS波速度構造結果と良く一致していることを確認した.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

強震動の事前評価に使用されている既往の地下構造モデルに対し, 強震動記録, 微動観測記録及び反射法探査記録を用いて妥当性の評価や改良を行った. また, 既往の地下構造モデルを用いた地震動シミュレーションにより, 地域の地盤増幅特性を明らかにした. このような研究を通じて, 強震動の事前評価の高度化に貢献した.

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので, 令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Sekiguchi, H., K. Asano and T. Iwata, 2020, Strong ground motion simulation in Osaka basin, Japan, for the 2018 northern Osaka prefecture earthquake, Proc. 17th World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. C001162

Fukutome, S., K. Asano, T. Iwata, and H. Sekiguchi, 2021, Estimation of Basin Basement Depth Using Autocorrelations of Strong Motion Waveform Data in the Osaka and Kyoto Basins, Japan, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS2-P11

Shimazu, H., T. Iwata, K. Asano, K. Somei, and S. Senna, 2021, Estimation of Site Effects at Strong Motion Sites in Shizuoka, Prefecture, Japan, Using the Spectral Inversion Method, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS5-P34

染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰 研, 2021, 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定, 京都大学防災研究所2021年度研究発表講演会, B120

浅野公之・岩田知孝・関口春子・杉山長志, 2021, 近江盆地南部における微動アレイ探査, 京都大学防災研究所年報, 64B, 9-20

浅野公之・岩田知孝・吉田邦一・井上直人・染井一寛・宮腰研・大堀道広, 2022, 函館平野三次元速度構造モデルによる長周期地震動増幅特性, 日本地震学会秋季大会, S15-14

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

プレート境界地震と内陸地殻内地震の震源スケーリング則や不均質性等の違いを考慮した, プレート境界地震の広帯域震源モデルを基礎とした内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの開発. 内陸地殻内地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの構築と実地震記録への適用による問題点の整理 (DPRI09「断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究」で得られた震源モデルに関する知見も考慮する)。大阪盆地, 奈良盆地等での地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施を踏まえた地盤構造モデル改良. 強震観測 (中川低地, 京都市内) の継続.

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

関口春子（京都大学防災研究所）,岩田知孝（京都大学防災研究所）,浅野公之（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：sekiguchi.haruko.6u@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：関口春子

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ア. 地震動の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地表地震断層を伴う地震とそうでない地震の震源近傍強震動の特性が異なることが明確になっていることから、地表地震断層の有無による違いを踏まえ、国内外の大～巨大地震の震源域強震動特性と震源過程におけるその生成原因の関係を整理分析を継続し、将来発生する地震時の強震動予測のための震源モデル高度化に寄与する知見を得ることを目的とする。期間内に生じた大～巨大地震の強震記録を用いた震源インバージョンによる震源モデル推定や広帯域強震動シミュレーションによる強震動生成域モデルを構築し、既往震源スケーリング等と比較して、将来予測の震源断層モデルの高度化に資する。

（場合によっては）期間内に生じた地震による極大地震動特性解明のためのサイト特性推定を実施。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：既往震源近傍強震記録と震源断層モデルの収集。観測点情報の収集。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2020年度：既往震源近傍強震記録の震源項の分離。観測点情報の収集継続。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2021年度：既往震源近傍強震記録の震源項の分離継続。地表地震断層を生じた地震と生じていない地震の震源近傍強震動記録の特性比較。運動学モデルシミュレーション。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2022年度：震源断層モデルに基づく運動学モデリングの検証。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2023年度：震源近傍強震動特性モデルの既往データによるモデルの検証と改良。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

強震時の地盤の非線形応答特性に関する事例研究

2021年2月13日福島県沖の地震（MJ7.3）では、KiK-net山元町(MYGH10)地表で最大加速度1432cm/s/s（3成分合成），計測震度相当値6.4を記録した．強震（本震）及び弱震（福島県沖の地震の余震）の地表／地中振幅スペクトル比をとると，弱震時は7-8Hzのピーク周波数を持っていたのに対して，強震時は3-5Hzにピークが移動していることがわかった．このことは，2011年東北地方太平洋沖地震前後の本観測点の同様の比較から，野口・他(2016)が強震時前後の地表／地中振幅スペクトル比について指摘しているが，このことが再現されたと考えることができる．KiK-netで公開されている地質柱状図や速度構造から，この地点の表層にある，数mの厚さのS波速度の遅い粘土層が強震時に剛性率が低下していることが起きている可能性が指摘できる．なお，剛性率は強震を受けた後に比較的短時間でほぼもとに戻っているに見える．弱震時と強震時での地盤震動特性の変化は，特に揺れの大きい堆積地盤，S波速度の遅い地盤で発生していることから，極大地震動の分析において，1つのコントロールファクターと考える必要がある．

スペクトルインバージョン法によって得られた震源特性

令和元年度に静岡県下の強震観測データを用いたスペクトルインバージョンで，深さ120kmまでのイベントの応力降下量に深いイベントほど応力降下量が多い深さ依存性が存在することを報告している．今回，2004年から2021年に発生した北陸地方周辺で発生した201地震（MJMA: 3.1-5.5）を，福井，石川，富山，岐阜県北部のK-NET，KiK-net，F-net，気象庁震度計，自治体震度計，計185地点の波形データを用いてスペクトルインバージョンを実施した．地震一観測点ペア総数は4,299である．本解析の地震は地殻内のものに限られていて，深さ約18kmまでのイベントであったが，求められた応力降下量の深さ分布には，同様の深くなるほど大きい応力降下量を持つことがわかった．本解析のデータセットには，浅い震源のイベントは岐阜一長野北部県境付近のものが多いため，地域性を見ている可能性も否定できないが，こういった系統的な応力降下量の深さ分布特性は，大地震の強震動生成領域の応力降下量分布にも見られることから，将来の強震動予測時のモデル設定にどのように利用できるかを検討する．

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

広帯域強震動予測の高度化を目的として，表層地盤の強震時の非線形応答による地震動特性の変化について強震観測データを用いて検討した．また，強震動評価を目的とした震源断層モデルパラメータのひとつとして，応力降下量の深さ依存性についての解析結果を増やして検討を継続している．

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので，令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Asano, K. and T. Iwata, 2021, Revisiting the source rupture process of the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake and implications for the generation of near-fault ground motions and forward-directivity pulse, Bull. Seismol. Soc. Am., 111, 2426-2440, doi:10.1785/0120210047

Asano, K., T. Iwata, and M. Yoshimi, 2021, Ground Motion Simulation of the Mainshock in the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, Japan, Using a Newly Developed 3D Velocity Model, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS4-P03

Iwata, T., 2021, Source and Site Effects of the 2016 Kumamoto, Japan, Mainshock, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS1-I01

・学会・シンポジウム等での発表

岩田知孝, 2021, 2021年2月13日福島県沖の地震時のKiK-net MYGH10（山元）の強震動特性, 日本地球惑星科学連合2021年大会, S-SS11-18

染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰 研, 2022, 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定, 京都大学防災研究所2021年度研究発表講演会, B120

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

期間内に生じた大地震の強震記録を用いた震源断層破壊過程を求める。極大地震動生成に関する解析を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岩田知孝（京都大学防災研究所）, 浅野公之（京都大学防災研究所）, 関口春子（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野

電話：

e-mail：

URL：<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岩田知孝

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山地域を含む地震地すべり発生場の評価と斜面における強震動及び不安定化の事前予測手法の展開

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法のさらなる高度化を進めるため、次の5ヶ年においては、以下の事柄を明らかにする。本研究では、地域的多様性を考慮した災害素因に関する研究（サブテーマ1）、観測による災害誘因メカニズムの検討（サブテーマ2）、阿蘇地域に特化した研究（サブテーマ3）の3つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 重力変形斜面において、地震によって崩壊しうる斜面に特徴的な地形と地質構造を現地踏査によって明らかにする。また、既往災害を例とした複数のモデル化を行い、それらを標本として「危険な斜面」をあらためて再定義し、危険箇所の抽出を行う。特に南海トラフ巨大地震時の事例を対象とする。

2) すべり面となりうる降下火砕物の特徴をもとに、地震時に崩壊する危険性の高い降下火砕物の空間分布を、噴火史や給源の位置から推定する。

3) すべり面と想定される層準や移動土塊から試料を採取し、物理特性や動的なせん断挙動を計測する。さらに、崩土の移動特性を把握するため、流動特性をリングせん断試験機によって調べる。

4) 斜面における地震観測について、多点稠密な地震観測・微動観測へと拡張し、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施することで、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを

評価するとともに、揺れの特徴や大きさと、地下水の変動量、斜面の永久変形量の関係を明らかにする。

5) 過去の多数の災害事例についてまとめた啓蒙書を出版する。災害が発生していない（未災の）段階で、住民に読んでもらい、将来被りうる災害について身近に考える具体的な材料とすることで、大都市域の盛土斜面をフィールドとして、社会学的な見地から住民が自らのリスクを認識する手法を開発する。

6) 特に、阿蘇地域において、熊本地震時の未崩壊斜面においてボーリング調査、ボーリング試料の土質試験、ボーリング坑内での物理観測を実施して、強震動による地すべり現象発生のポテンシャルを評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度（令和1年度）においては、南海トラフ巨大地震をターゲットとし、主に四国山地および沿岸部の急峻斜面において、過去に発生した地震時の重力変形斜面での崩壊事例を収集し、周辺の非崩壊斜面と対比しつつ、崩壊した斜面の地質構造の特徴を抽出する。大規模崩壊の痕跡、重力変形斜面、堰止め湖などの痕跡をGIS上で抽出し、地質・地形調査を行うとともに重点調査箇所を決定を行う。

降下火砕物が厚く覆う東北地方や関東地方を広く調査対象地域として、下記の検討を進める。現地踏査や既存のボーリングデータの解析により、すべり面となる層準を探る。

重力変形斜面や海岸地すべり、盛土斜面などいくつかのタイプの斜面における地震観測網を拡充し、多点稠密な地震観測を展開する（令和5年度まで）。

火山研究センター斜面（高野尾羽溶岩ドーム）のボアホールにおいて傾斜計を設置し観測を開始する。また、GPS観測を継続する。また、高野台地すべりにおけるすべり面近傍のテフラや風化軽石層をサンプリングし、リングせん断実験をおこなうことにより、地震時のせん断挙動を明らかにする。

令和2年度においては、前年までに抽出した斜面について地質構造データを取得すると共にこれらの崩壊について前兆となる地形が存在していたかどうかを議論する。さらに崩壊が繰り返し発生している地域の岩盤劣化プロセスを、必要に応じて実施する地質調査、微地形調査、物理探査、掘削調査などから得られる試料の分析からモデル化し、予想される劣化プロセスとその周辺地形から崩壊危険場および危険範囲の分析を行う（令和4年度まで）。また、降下火砕物の空間分布を推定する方法を模索する。

適宜、地質調査結果に基づいて土質試験を実施し、すべり面の物理特性や動的なせん断挙動、流動特性を調べる（令和4年度まで）。

引き続き多点稠密な地震観測を展開する。また、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施する。さらに、観測記録を解析し、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する（令和4年度まで）。

住民との協働イベントの準備を開始する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。また、京都大学火山研究センター斜面、烏帽子岳や長野地区周辺における、2016年熊本地震時に崩壊しなかった斜面でボーリング候補地を選定する。

令和3年度においては、重力変形斜面で地質調査を継続する。また、降下火砕物の層準の空間分布を推定する方法を模索し、噴火史や給源の位置からその分布が推定可能か議論する。適宜、土質試験を実施する。

引き続き地震等の観測と解析をおこない、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する。

住民との協働イベントを実施する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。ボーリング掘削を実施し、地質層序を明らかにするとともに、ボーリング坑内での地震動や水圧などの連続観測を実施する。ここで採取されるコアに対しても土質試験を行う。

令和4年度においては、重力変形斜面で地質調査、降下火砕物の分布推定、土質試験を継続する。

地震等の観測を継続する。地下水の変動や斜面の永久変形を引き起こしたイベントについて、その時の地震動記録とともに整理する。

必要に応じて、住民との協働イベントを再度実施する。

火山研究センター斜面では、ボーリング坑内での地震動や水圧、傾斜の観測、および、GPS観測を継続する。また、コアに対して土質試験を行う。

令和5年度においては、四国地域の調査においては、これまでに得られたデータの統合を行い、より有用なハザードマップの作成を行う。火山地域においては、降下火砕物の層準の空間分布から地震動によって崩壊しうる斜面のマッピングが可能か議論する。その際、土質試験の結果を解釈にフィードバックする。

変形と地震動を比較することで、斜面変状にどのような地震動が影響を与えるかの評価をおこない、どのような地盤／斜面がどのような揺れでどの程度塑性化するか、斜面が不安定化した際にどの程度の永久的な変形が残るかを、観測から明らかにした斜面内の地震動のばらつきを参照しながら検討する。

協働イベントの結果を検討する。

火山研究センター斜面では、土質試験結果や、ボアホール坑内観測結果に基づき、すべり面の地震動応答特性（間隙水圧変化や斜面の変形）を明らかにする。そして、南海トラフ巨大地震により誘発される地すべりのポテンシャルを評価する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1mDEMの解析で四国山地の地震時に不安定な斜面地形の分析を進め、高知県北部地域の分析がほぼ終了した。さらに、既往地震斜面崩壊地の地質調査も高知県および徳島県地域において終了した。前者ではこれまでに知られていない、多数の線状凹地などが発見された。付加体中の斜面不安定性をもたらす岩盤内構造の分析と、地震の重力変形斜面への関与の分析のために、電気探査と音響探査を活用できるかどうかを確認する試験を行った。砂岩中において、斜面岩盤に不安定さをもたらす断層破碎帯の比抵抗構造のイメージングに成功した。また音響探査では、山上湖中の堆積物に急変形した痕跡があることを発見した。重力斜面変形が発生している斜面から堆積物を採取することに成功し、一部、年代値を得た。

1854年安政南海地震で崩壊したと伝えられ、岩盤に亀裂が生じ、今後の地震でも崩壊が予想されるトウジ山斜面において、複数の地震計、傾斜計などによる観測を継続した。平時のデータが蓄積され、これまでは降雨や地震に対応して傾斜の変化がないことが確認され、また、微小地震による地震波形記録の解析から観測点ごとの増幅特性が明らかとなった。さらに、他の複数の四国の大規模地すべりにおける長期高密度地震動観測も継続して、数多くの中小地震によるデータの蓄積ができた。また、波浪を原因とした浸食により不安定化が促進している北海道東部の海岸地すべり土塊において、観測された地震動記録と地すべり土塊の変位量から、地すべり土塊の抵抗力に比例する臨界加速度を推定したところ、浸食が進むにつれて抵抗力が下がっていくことが分かった。また、これまで観測をおこなっていた地すべりにおいては土砂が流亡し観測が困難となったため、北海道釧路町の海岸地すべりにおいて新たな地震、地すべりの総合観測網を構築した。また、横浜市内の谷埋め盛土における地震動、間隙水圧の同時観測データを解析した。過剰間隙水圧の発生が認められた7地震に対して間隙水圧の特徴と地震動との関係について調べたところ、間隙水圧の上昇時間が目黒区内の谷埋め盛土（前計画より観測・解析を実施、Doi and Kamai, 2020）よりも10倍程度長く、同程度のPGVに対して間隙水圧の上昇量が大きくなることが分かった。盛土の材質や大きさ・形状の違いが反映されていることが示唆された。

火山研斜面にて異なる火山灰土層における含水量変化に関する計測を継続した。風化したテフラ層がずっと高い含水量を有することが分かった。ボーリング掘削を実施し、2016年熊本地震の斜面崩壊においてすべり面となった草千里ヶ浜軽石層が見られた深さに間隙水圧計を、移動体中央部に傾斜計を、土壌水分計を移動体およびすべり面付近に合計3台設置し連続観測を開始し、2022年1月22日に発生した日向灘の地震（Mj 6.6）に伴う傾斜の状態を観測した。データ解析をおこなったところ、地震に伴う傾斜変化は認められず、分解能（ 0.001° ）以下であり、震度4（火山研の位置する南阿蘇村の震度）では斜面が安定であることが示された。さらに、西南日本における地震時地すべりが発生する可能性の高いテフラの分布について、基礎となるテフラのデータの収集およびデジタル化を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震に伴う斜面崩壊の地質的な素因について、特に南海トラフ巨大地震に関連した研究が進んだ。また、地震や斜面変動の観測から、南海トラフ巨大地震や首都直下地震、千島海溝巨大地震の影響を受ける斜面も含めて、誘因である地震動の特徴や地震動に対する斜面の変形や間隙水圧の応答特性についてのデータが集められつつある。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Shenghua Cui, Xiangjun Pei, Yao Jiang, Gonghui Wang, Xuanmei Fan, Qingwen Yang, Runqiu Huang, 2021, Liquefaction within Bedding Fault: New Understanding of the Initiation and Movement of the Daguangbao Landslide Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake (Ms = 8.0), Engineering Geology, 295, 10.1016/j.enggeo.2021.106455

Gonghui Wang, Fanyu Zhang, Gen Furuya, Koichi Hayashi, Wei Hu, Mauri McSaveney, Runqiu Huang, 2021, The debris avalanche in Donghekou area triggered by the 2008 Wenchuan (M8.0) earthquake: features and possible transportation mechanisms, Engineering Geology, 280, 10.1016/j.enggeo.2020.105922

・学会・シンポジウム等での発表

渡邊達也・三浦竜・山崎新太郎・松浦純生, 2021, 同時多点GNSS観測で捉えた海岸地すべりの複雑な挙動, 令和2年度日本地すべり学会北海道支部・北海道地すべり学会特別講演および発表会予稿集, 3-8

王功輝・松島信一・古谷元・李孝波・常承睿・黄超, 2021 (投稿中), 振動台実験による地震時テフラ斜面の安定性評価：2018年北海道胆振東部地震時に生じた一地すべりを例として, 地すべり学会第60回（2021年度）研究発表会および現地見学会

土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一, 2021 (投稿中), 不安定化が促進した海岸地すべりに関する地すべり土塊の変形特性, 地すべり学会第60回（2021年度）研究発表会および現地見学会

王功輝, 2021, 頻発化・激甚化・多様化する斜面災害の脅威に備えて, 京都大学防災研究所2021年度公開講座

王功輝, 2021, 降下火砕物斜面における地震時地すべりの発生・運動機構について：日本で近年発生した土砂災害を例として, 2021年度土砂災害予測に関する研究集会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：大規模地すべり地における長期地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県那賀町阿津江 33°50' 47" 134°17' 53"

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：：地質調査

概要：歴史地震斜面災害発生場と今後の危険箇所の抽出を目的とした地質調査

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県仁淀川町，土佐町，大豊町，いの町

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

項目：：地質調査

概要：危険斜面抽出のための物理探査・地質調査

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県宇和島市

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

項目：：地質調査

概要：地震による山の変形プロセスの解明

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県、香川県那賀町，つるぎ町，高松市

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：歴史地震崩壊地における長期地震・斜面観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県大豊町岩原トウジ山 33°49' 30" 133°48' 10"

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：深層崩壊未崩壊斜面における地震・斜面観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県五條市赤谷 34.1239 135.7292

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測

概要：重力変形斜面における地震・斜面観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県天川村栃尾 34.2058 135.8220

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：大規模受け盤斜面における地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県久万高原町川下 33.5304 133.0298

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：盛土斜面における地震・斜面観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：神奈川県神奈川区三ツ沢下町 35.4774 139.6159

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測

概要：海岸地すべりににおける地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道厚岸町沖万別 43.0186 144.7411

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：海岸地すべりににおける地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道浜中町後静 43.1350 145.1281

調査・観測期間：-2021/7/25

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測

概要：海岸地すべりににおける地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室市長節 43.2348 145.5521

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測
概要：海岸地すべりにおける地震・斜面観測
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：北海道釧路町仙鳳趾 42.9999 144.7288
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：：ボーリング調査と傾斜・間隙水圧・土壌水分の埋設
概要：火山研斜面において地質調査および傾斜計・間隙水圧計・土壌水分計埋設のためのボーリング掘削をおこなった。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：熊本県南阿蘇村河陽 32.8850 131.0056
調査・観測期間：2021/12/1-2021/12/7
公開状況：

項目：：傾斜・間隙水圧・土壌水分の観測
概要：火山研斜面において埋設した傾斜計・間隙水圧計・土壌水分計の観測を開始した。
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：熊本県南阿蘇村河陽 32.8850 131.0056
調査・観測期間：2021/12/18-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

四国内の主要国道沿いの危険斜面の調査および抽出作業を進め、危険性を分析する。電気探査など簡便な斜面内部構造調査を試験し、特に付加体斜面での危険斜面抽出に利用可能か検討を進める。山地のゆるみ発生過程を調査し、周期的な地震と山の変形との関係を調査する。また、西南日本における地震時地すべりが発生する可能性の高いテフラの分布のマッピングについて完成させる。

四国、紀伊山地、北海道、首都圏、火山研斜面で稼働中の地震や斜面の観測を継続し、斜面の地震動特性を調査するとともに、おおむね震度4以上の地震に対して斜面の変形および間隙水圧についてデータを蓄積する。阿津江地すべり地において、複数台の地震計を新規に設置し、より密度の高い連続観測をおこなう。また、高密度電気探査を実施し、地すべり土塊の内部構造を調べる。地震に伴う傾斜変化や間隙水圧の挙動を明らかにする。さらに、観測データの解析を進め、崩壊斜面内部における地震動の多様性について明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

釜井俊孝（京都大学防災研究所）,王功輝（京都大学防災研究所）,山崎新太郎（京都大学防災研究所）,
松四雄騎（京都大学防災研究所）,土井一生（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：有
千木良雅弘（深田地質研究所）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,西山賢一（徳島大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所
電話：0774-38-4110
e-mail：kamai.toshitaka.3z@kyoto-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：釜井俊孝

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火砕流の発生と流下予測

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火に先行する地盤変動，地震活動，火山ガス放出量などのうち，火砕流発生の予測を可能とするパラメータを抽出する。また，過去の火砕流を伴った噴火の再解析を行い，流下距離からシミュレーションにより火砕流の体積を逆算し，噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより火砕流配分比を決定する。最終的には，配分比に基づき火砕流が流下する流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成し，地盤変動のリアルタイム処理結果と結合することにより，オンラインハザードマップのプロトタイプを試作する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては，過去の火砕流を伴った噴火に前駆する地震，地盤変動，火山ガス放出量などについて再解析を行い，火砕流が発生するときの条件を抽出する。過去の火砕流について流下距離からシミュレーション・フォワードモデリングにより火砕流の量を推定する。降下火山灰の量の把握を含め，火砕流の堆積量を把握するための観測体制を強化する。

2020年度においては，前年度の計画を引き続き実施し，過去の噴火と新たに観測された多くの事例について噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより総噴出物量に占める火砕流への配分比を決定する。降下火山灰量を非火砕流により上方へ噴出した噴出物量とし，降下火山灰量を差し引くことにより，火砕流配分比を決定することも試みる。

2021年度においては，火砕流配分比に基づき，桜島の流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成する。火砕流ハザードマップのセミナーを実施する。

2022年度においては，実際に発生した火砕流の流下範囲と火砕流ハザードマップを比較することに

より、シミュレーション結果を検討し、必要に応じてシミュレーションパラメータのチューニングを行う。火砕流ハザードマップのセミナーを実施する。

2023年度においては、先行する地盤膨張量はオンラインで出力されるデータであり、このデータを入力条件としたオンラインハザードマップを試作する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

火砕流の発生予測に関して、地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測データを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータ解明についてまとめを行なった。火砕流を伴う噴火の約1時間前から山頂近傍の浅部において微小地震が群発することが多く、地盤変動で見られる噴火前の膨張の時間は30分以上継続することが多い。さらに、噴火直前には膨張が停止する。また、火砕流を伴う噴火は噴出物量が多い（噴火後の収縮量が多い）ことも分かった。これら地球物理学的観測結果は火砕流を伴う噴火のリアルタイムの火砕流発生予測・ハザードマップ作成に使用可能である。

火砕流の流下パターンや堆積量を知るために、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトと共同で桜島島内の黒神と桜島火山観測所において小型船舶レーダーを用いたレーダー観測を行っている。昨年度から観測を行っているが、現在まで火砕流の発生がなかった。噴出物の火砕流配分比については観測量が得られない可能性が高く、配分比については比率を何種類か仮定して流下シミュレーションを行なう。火砕流ハザードマップ作成のためのシミュレーションは噴出物量を仮定し、南岳山頂火口や昭和火口からの流下距離の計算を行なっている。流下方向については全方位を仮定して計算を行なっている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

桜島大規模火山噴火総合研究グループにおいて、本課題は「噴火発生前の規模の予測と、噴火発生直後の噴出物の把握を即時的に行うことで災害予測研究を進める」部分に貢献している。桜島で想定されている大規模噴火においても、本課題で行なっているリアルタイム火砕流発生予測と流下距離シミュレーションを使用して災害予測を行える。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

為栗健,2021,火砕流の発生と流下予測,2021年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度においては、過去に発生した火砕流について地球物理学的観測データから見られる前兆現象から推定される噴出物量と火砕流シミュレーション結果について、実際の火砕流流下範囲を参照してシミュレーションパラメータのチューニングを行う。また、山頂火口だけではなく、大規模噴火の際には山腹からの噴火も想定されるため、噴火地点と噴出物量に応じたシミュレーションを行い、データベースの作成を行なう。また、地域自治体向けの火砕流ハザードマップのセミナーを実施する予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

為栗健（京都大学防災研究所）,井口正人（京都大学防災研究所）,中道治久（京都大学防災研究所）,山本圭吾（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）,眞木雅之（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：tameguri.takeshi.2u@kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：為栗健

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

噴火後の土石流および泥流の発生に関する観測と予測手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山防災上重要な2つの現象、すなわち火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生および噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して、その危険度や規模を予測する手法の確立を目的として、桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行う。噴火後の土石流・泥流の発生の危険度や規模の予測については、火山灰堆積分布および堆積物の物性の時間変化による発生ポテンシャルの変化を解明することが重要である。また、融雪型火山泥流については、火砕流の規模、温度、積雪の量と物性、地盤条件が重要な要因であり、これらを考慮した泥流のシミュレーションモデルの開発が必要である。本研究では以上の点の解明に重点を置き、対象火山について、時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や発生規模を予測する手法を検討するとともに、焼岳については、融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させる。さらに、これらのモデルを使って、噴火後の土石流・泥流の発生基準雨量や融雪型火山泥流に関する火山防災情報が提供できるようにすることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、対象火山である桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山の最近の火山噴火活動と火山灰の堆積、噴火後の土石流や泥流、洪水の発生状況について調査し、そのデータを整理する。また、噴火後の土石流や泥流の予測モデルの構築に向けて、土石流や泥流の発生ポテンシャルと関係する流域の諸量を明らかにし、そのデータの取得を行う。

2020年度においても2019年度のデータの収集を継続して行うとともに、入手ができないデータに

についてはその推定方法について検討する。また、流域の火山灰の堆積分布を与条件として土石流や泥流の発生や規模を計算する手法、火砕流の規模や降雪量分布を与条件として融雪型火山泥流を計算する手法について既存の手法を整理し、それらの計算精度の向上も図る。

2021年度においては、これまでの調査結果やデータを使って、噴火後の土石流や泥流の発生ポテンシャルの時間変化のモデルを進める。このポテンシャルは土石流や泥流の発生に伴い軽減すると考えられるので、このモデルには土石流や泥流の発生モデルも組み込む必要がある。融雪型火山泥流については、焼岳火山を対象にしたモデルの構築を進める。

2022年度においては、2021年度に検討を開始した土石流や泥流の発生ポテンシャルのモデルの完成を目指し、土石流や泥流のモデルへの接続を図る。融雪型火山泥流については、焼岳流域に適用し、モデルの問題点を検討する。

2023年度においては、噴火後の火山灰の量とその後の降雨量を入力条件として、土石流や泥流の発生や規模を予測するモデルの完成を目指し、桜島火山等を対象にして、噴火後の土石流や泥流の発生基準雨量について検討する。融雪型火山泥流についても、火砕流の規模や方向、積雪量分布などを入力条件にした泥流の予測モデルの完成を目指し、焼岳火山に適用する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 噴火後短期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの変化 —火山灰堆積土層表面のクラストが降雨流出・土砂流出に及ぼす影響に関する実験とシミュレーション—

火山噴火後、斜面では新規の火山灰堆積土層表面にクラストが形成され、その後破壊される。この過程が斜面からの土砂流出や流域の降雨流出に強く影響を与えるので、噴火後短期的な土石流や泥流の発生ポテンシャルの時間変化のモデル化においてこの点を明確にする必要がある。そこで、令和2年度、クラストを模擬した表層を持つ斜面に対して人工降雨実験と数値実験を実施し、クラストの形成及び破壊が斜面からの土砂流出特性や降雨流出に与える影響について予備検討した。その結果、クラストの存在が表面流量を増加させること、斜面の侵食強度の弱い個所、または降雨強度が大きい個所で侵食が始まり、そこから侵食が発達すること、数値シミュレーションにより流路の形成、侵食過程などがある程度再現できることが分かった。

令和3年度は、以上の研究をさらに進めるために、表1のCase 1と2のような条件で水路実験を行った。実験では砂を敷き詰めた一様な勾配の水路に、降雨装置を用いて装置設置床から約5mの高さから雨を降らせた。斜面表面はクラストの形成を模擬するために薄いセメントの層で覆い、透水係数を減少させ侵食強度を増加させた。クラストがないケース（Case 1）とあるケース（Case 2）の実験結果を比較することで、クラストの形成・破壊が降雨時における斜面からの土砂流出特性に与える影響について検討した。実験斜面は流下方向210cm、横断方向125cm、砂層の厚さ9cmの直方体斜面で斜面勾配は13°である。なお降雨供給時間はCase 1が30分、Case 2が120分である。

図1は実験終了後の斜面高さの変化量を示す。クラストのないCase 1では、斜面に水みちが複数形成され斜面が広く侵食され、その結果侵食流路が形成されていることがわかる。土砂流出も降雨初期から徐々に増加する傾向があった。一方、クラストのあるCase 2では、降雨強度の強い場所でクラストが破壊されることで洗掘孔が形成され、クラスト破壊領域の上流側の境界で土砂が崩落してクラストが破壊されることによってガリが発達する様子が観察された。また、クラストが破壊されるまでの土砂流出は小さいが、洗掘孔が形成される急に土砂流出量が大きくなる傾向がみられた。これは、噴火後大規模な土石流が発生しやすくなる原因の一つではないかと思われる。

クラストの形成・破壊を考慮した斜面侵食数値解析では、竹林の開発した平面二次元河床変動解析の基礎方程式を用いた。数値解析では、クラストと裸地の境界における局所斜面勾配が急になったときに、土砂の崩落とともにクラストが破壊されることを考慮した。計算条件は表1に示すCase B-1、B-2およびB-3で、初期斜面はクラストで覆われ、一部の領域でクラストが破壊されている条件とした。クラストの初期破壊形状は複数想定し、クラストの初期破壊形状の違いがガリが発達及び斜面土砂流出へ与える影響を検討した。

図2は各条件での初期クラスト破壊領域と解析終了後の斜面高さの変化量の計算値である。Case B-1では解析開始から120分後の時点での左岸と右岸のガリの大きさに大きな違いがあることがわかる。これは、斜面方向に二つのクラスト破壊領域を設定した左岸側のガリでは、時間とともに洗掘孔が拡大し、2つの洗掘孔が連結するとガリが発達速度が急激に速くなったためであり、洗掘孔の連結によって流出土砂量が急増していた。同様の現象は水路実験でも見られた。Case B-2ではクラストの初期破壊

領域が斜面方向に長い右岸のガリが、破壊領域が斜面横断方向に長い左岸のガリよりも規模が大きくなった。これは、クラストの破壊領域が斜面方向に長いほど表面流が洗掘孔に集中するためと考えられる。Case B-3は降雨強度をCase B-1やCase B-2の2倍にしたものである。図より、降雨強度が強くなるとガリの発達が進むことがわかる。

2. 噴火後中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの変化 — 焼岳における長期観測による解析 —

1962年（昭和37年）の焼岳の噴火以後20年くらいは足洗谷流域で土石流が頻発したが、最近ほとんど発生していなかった。そうした中で、2019年に約20年ぶりに発生した。このような現象の背景には、噴火による土石流発生ポテンシャルの急激な増加、土石流の頻発による減少、さらには生産土砂の蓄積によるポテンシャルの回復という変化過程と豪雨の発生場所と降雨特性があると考えられる。そこで、火山噴火後の中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルのモデル化にあたり、噴火後土石流が頻発することで一旦下がったポテンシャルが回復する過程について、凍結融解作用による土砂生産に着目して検討した。

土石流発生ポテンシャルに関係する素因としては、斜面の降雨浸透能と溪床堆積土砂量が考えられる。前者は噴火後の火山灰の堆積物のクラスト化により一旦減少するが、経時的に徐々に回復するものと考えられる。後者は崩壊や溪岸侵食などの土砂生産現象により増加し、土石流が発生すると減少する。焼岳では、1962年の噴火後の足洗谷流域では土石流が頻発したが、40年程度経過すると土石流の発生頻度は急激に減少した。溪床堆積土砂量が減少し、土石流の発生ポテンシャルが下がったためと思われる。しかし、2019年、10分間雨量強度が60mm/hに達する大雨が流域の源頭部にもたらされ、また、溪床土砂堆積物の回復もあり土石流が発生した。図3はこのような過程を考えた土石流発生モデルのフレームワークを示したもので、著者らはこのモデルの構築を目指している。焼岳地域では土砂生産の主要な要因は凍結融解作用であるので、凍結融解作用による土砂生産によるポテンシャルの回復について検討した。

従来の調査研究成果によると、足洗谷流域の凍結融解作用による年間の生産土砂量はおよそ

$7.2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ で、凍結融解モデルによると $6.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ である。そこで、図4のピンク色で示す裸地及びガリー壁面の存在する斜面に $6.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$ を一様に分配して、融雪出水期に溪床に堆積するものとする。さらに、土砂動態モデルにより、この堆積土砂の流出過程を土砂動態モデルで計算することで、溪床堆積土砂量の経年変化を解析した。計算には、国土地理院が整備している基盤地図情報数値標高データ(10mメッシュ)、川幅にはレジーム則、斜面土層厚、透水係数、斜面部のマンシングの粗度係数、河道部のマンシングの粗度係数などの降雨流出解析と土砂流出解析に用いるパラメータは、洪水のピーク流量が概ね一致するように定めた。初期河床材料は足洗谷のアーマールコート部で測定された粒度分布を用い、生産土砂の粒度分布も現地調査による値を設定した。降雨データはこの流域から最も近い栃尾の2003年から2019年のアメダス観測値を用いた。

図5は年間の凍結融解による生産土砂量と最下流河道からの流出土砂量の差、すなわち足洗谷流域の年間の貯留土砂量とその累積値を示したものである。降雨量の大小により、年間の貯留土砂量は -2000 m^3 から $+5000 \text{ m}^3$ の範囲に分布している。土石流の発生がなかった17年間では、足洗谷全域における貯留土砂が 10^4 m^3 のオーダーに及ぶことも示されている。図3には、特に堆積量の増加が多かった2007年における河床変動量を示したもので、土石流発生場である上流域の年間の堆積土砂量は25cmから35cmとなっている。このような計算の妥当性については今後の現地データとの比較が必要であるが、土石流発生ポテンシャルの増加をこのような方法で評価できることが示された。

3. 融雪型火山泥流の予測モデルの構築

本年度は、融雪型火山泥流発生メカニズムの中の積雪層の融雪過程について、実験と解析を行った。これまで、積雪層の上に高温の石礫が堆積した時の融雪過程とそのシミュレーション方法を実験と解析により行った。しかし、実際には、積雪層と石礫は混合すると考えられ、本年度は、積雪層の中に高温の石礫を挟む形態で、融雪過程の実験を行った。その結果、図6に示すように、混合した場合、融雪が促進されること、また、細かな粒径の場合、融雪速度が速いことが分かった。この過程は、円筒座標系を使った熱伝導モデルによって解析され、その妥当性が実験値との比較から検証された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中里友輔・市田兎太郎・堤大三・宮田秀介,2021,融雪型火山泥流の発生に及ぼす火山噴出物と雪の混合及び火砕流サージの影響,令和3年度（公社）砂防学会研究発表会概要集,121-122
今野光康・権田豊,2021,桜島・有村川流域におけるKinematic wave法を用いた土石流流出解析モデルのパラメータの経年変化の研究,令和3年度（公社）砂防学会研究発表会概要集,303-304
小林正直・藤田正治・竹林洋史・宮田秀介・山野井一輝・坂井紀之,2021,焼岳噴火後の足洗谷における土石流発生の長期的変化,令和3年度（公社）砂防学会研究発表会概要集,637-638

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

2022年度においては、桜島を対象とした噴火後の短期的土石流や泥流の発生ポテンシャルのモデルについて検討する。とくに、降雨の流出率や斜面侵食に及ぼす火山灰の堆積の影響を明らかにしながら、発生ポテンシャルの変化をモデル化する。また、焼岳を対象として、噴火後中長期的な土石流発生ポテンシャルのモデルについても検討する。次の噴火までの間の土石流の発生ポテンシャルについて、凍結融解による土砂生産による溪床堆積土砂量の経年変化、その動態解析を行う。さらに、土石流や融雪型火山泥流のメカニズムに関する検討も行う。土石流については、その流動過程に大きな影響を与える間隙水の土砂濃度の現地観測、融雪型火山泥流については、いくつかの異なる融雪過程を考慮した泥流シミュレーションについて検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

藤田正治（京都大学防災研究所）,竹林洋史（京都大学防災研究所）,宮田秀介（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：有
地頭蘭隆（鹿児島大学地震火山地域防災センター）,堤大三（三重大学）,権田豊（新潟大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所
電話：075-611-5263
e-mail：fujita.masaharu.5x@kyoto-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤田正治
所属：京都大学防災研究所

表1 水理実験, 数値解析の条件

Case	降雨強度 空間分布	斜面表面 の状態	降雨強度	初期クラスト破壊領域
Case1	分布あり	裸地	60mm/h	なし
Case2	分布あり	クラスト 1mm	60mm/h	なし
CaseB-1	分布なし	クラスト 1mm	60mm/h	左岸縦断方向に2か所 右岸に1か所
CaseB-2	分布なし	クラスト 1mm	60mm/h	横長の領域が左岸に1か所 縦長の領域が右岸に1か所
CaseB-3	分布なし	クラスト 1mm	120mm/h	横長の領域が左岸に1か所 縦長の領域が右岸に1か所

(a) Case1 (b) Case2

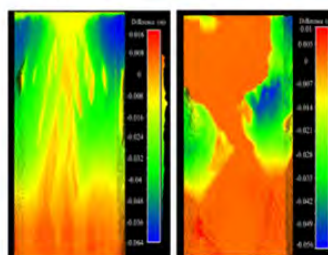


図1 水理実験終了後の斜面高さの
変化量(単位: m)

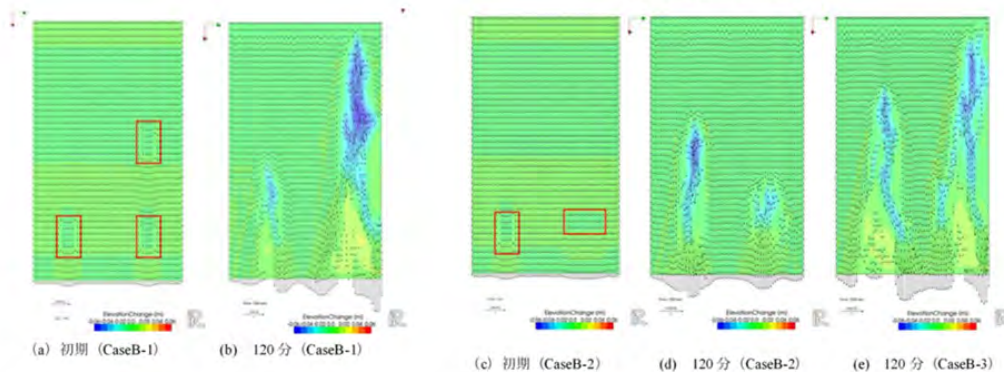


図2 初期クラスト破壊領域(赤枠)と120分後の斜面変動量及び水深平均流速(数値解析, 単位: m)

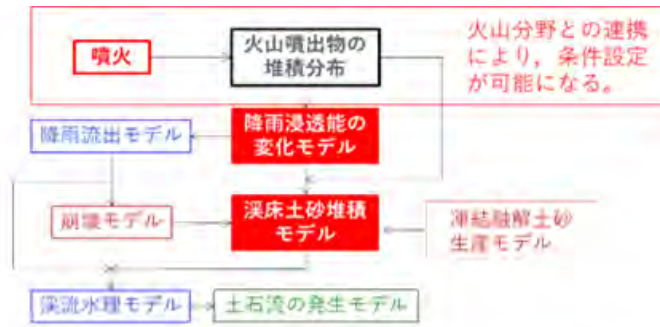


図3 土石流発生モデルのフレームワーク

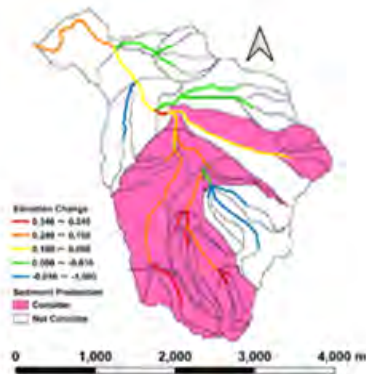


図4 凍結融解土砂を与える場所と土砂生産を考慮した2007年の河床変動の計算結果

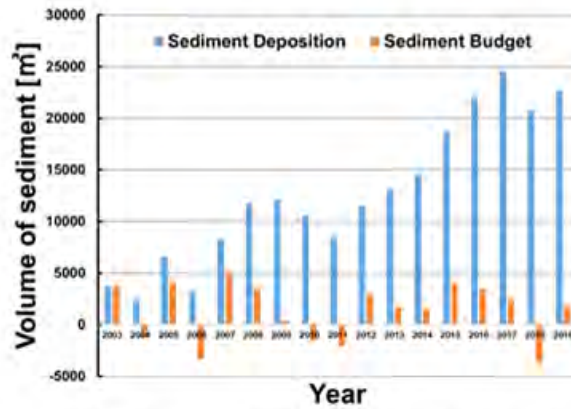


図5 足洗谷流域における年間の貯留土砂量と累積貯留土砂量

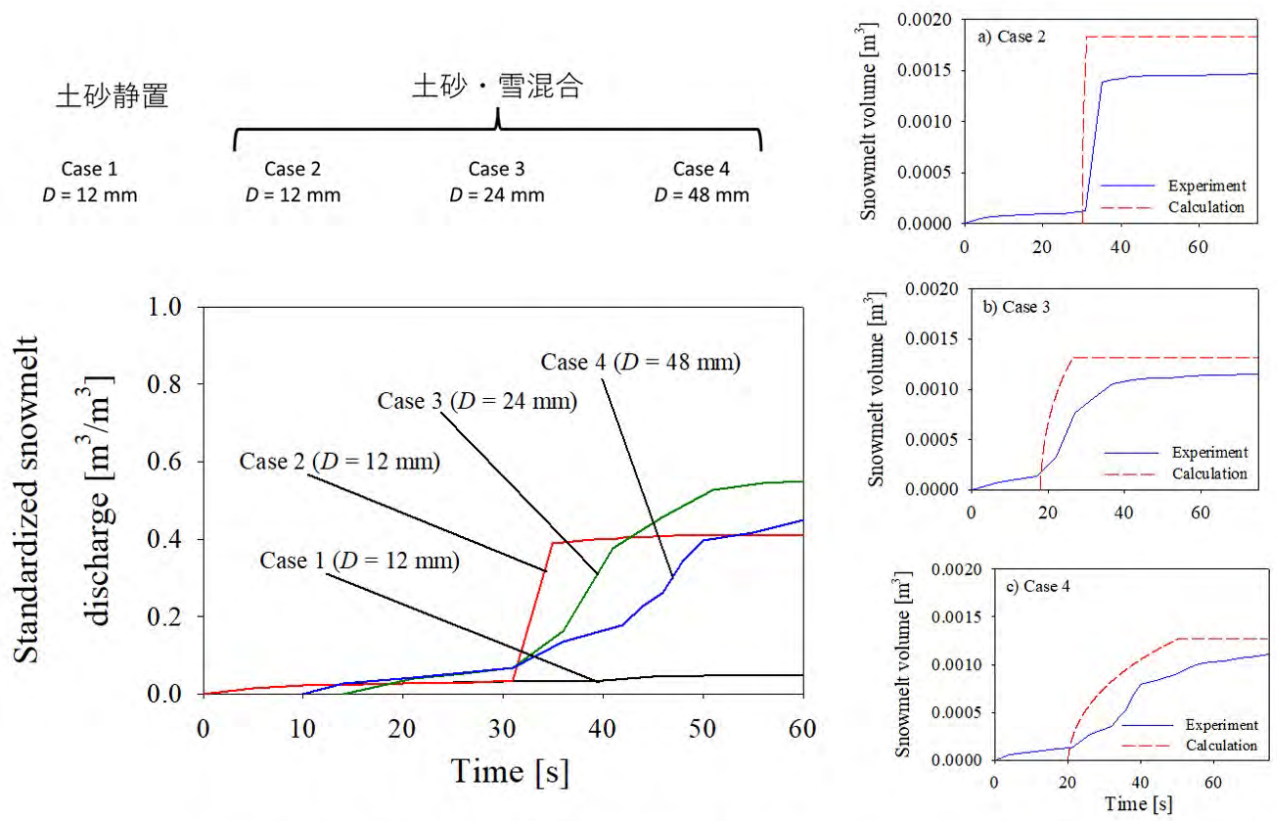


図6 融雪量の時間変化に関する実験結果とシミュレーションとの比較

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島火山における地域との連携による火山災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

桜島火山では、現在噴火警戒レベルを事実上3以上で運用しており、火山活動が高まれば住民の避難を伴うレベル4と5と選択肢が狭いのが現状である。噴火警戒レベルが存在する法的・行政的制約のもとに、大規模噴火危機時の対応や事前準備における課題を明らかにする。地域の行政機関やステークホルダーと連携して火山研究の知見を整理し、社会に適切に発信する手法を見出す。懸念されている桜島大規模噴火について、住民や行政に対して防災リテラシーの実態とニーズを明らかにする。住民、報道従事者、行政等の防災担当者などを対象とした公開講座やセミナーなどを通じて火山研究の現状や火山現象の基礎的な理解を進める。大規模噴火に対応するために、地域防災計画の更新や災害対応や復旧・復興の実施において火山研究成果の反映をさせる。そのために、想定噴火による被災予測および復旧・復興への影響予測を高精度化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

セミナーと講習会を実施し、火山研究成果や火山データを地域防災対策等に反映させることについて検討する。検討項目は以下の通りである。

(1) 避難計画における火山研究成果の活用

(2) 様々な噴火シナリオに基づく避難計画の多様化の研究。具体的には、火山活動推移モデル（事象系統図）にリストアップされる噴火規模・様式について、前駆活動及び噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。

(3) 現状の避難計画の問題点と火山研究による解決の可否の検討による火山研究ニーズの探索。火山研究から想定される今後の噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と火山研究によってその問題

が解決可能であるかどうかを検討する。さらに、どのような事前情報が必要であることを明らかにしていき、研究課題としての解決策を探る。

(4) 火山観測データの見方について講習するとともに、受講者のニーズをつかみ属性に応じたデータ表示の最適化とデータの見方の理解を進め、火山観測データ解析結果の住民や観光客への伝え方の研究をする。そして、研修プログラム構築に反映させる。

令和元年（2019年）度においては、火山研究成果をレビューするセミナーを開催し、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討する。火山観測データの見方についての講習をする。

令和2年（2020年）度においては、火山活動推移モデルにある噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。引き続き、火山観測データの見方についての講習をする。

令和3年（2021年）度においては、想定される噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と火山研究によってその問題が解決可能であるかどうかを検討する。そして、どのような火山情報が必要であることを調べ、火山研究の課題としての解決策を探る。また、観測データの解析結果の一般への伝え方を検討する。

令和4年（2022年）度においては、観測データの解析結果の一般への伝え方の検討結果を反映したデータ表示システムの作成をする。

令和5年（2023年）度においては、データ表示システムのビクターセンターへの導入と実証実験を行う。以上の検討を踏まえ、火山研究からみた地域防災計画や支援策などへの提言を取りまとめる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度実施した桜島の住民アンケートの結果を鹿児島市防災・災害対策委員会（セーフコミュニティ）ならびに桜島火山防災連絡会にて報告した。前者の委員会は住民アンケート調査に協力いただいた各町内会の校区単位の代表者が含まれており、後者の連絡会は法定の火山防災協議会の下部組織で実務責任者と学術経験者との連絡会である。噴石の到達距離に警戒すべき範囲が変更され、そのため規制区域の変更が伴い、距離によっては住民の避難を伴うことから噴石の到達距離と警戒すべき範囲は噴火警戒レベルとの関係についての住民への周知はなされていないことがアンケートから判明しているため、住民への事前周知が必要であることを指摘した。

桜島の大規模噴火を想定した広域避難を対象としたリアルタイム意思決定支援システムの検討を行った。火山灰の移流拡散の数値計算コード（PUFF）を用いて、2008年から2020年までの気象場（GPVモデル）にて計算し、季節毎に想定される火山灰堆積量を見積り、建物にダメージが及ぶ閾値や、安全域および避難域の設定の基準の想定をおこなった。そして、台風や前線停滞、冬季の高気圧停滞など特徴的な気象条件では、安全域が設定されてもゼロミスにならないことが分かった。

火山防災に対するリテラシーを高めるための、火山観測における取り組みに対する理解の促進や、火山観測の歴史の学習の方法として、桜島火山観測所ミュージアム構想を立案に着手した。そのため、の現地調査を2021年12月に実施した。ミュージアム構想においては、桜島を知ること、桜島の現在をリアルタイムで知ること、火山観測の歴史を知ること、観測研究に関わる人たちを知ることが構成要素である。桜島火山観測所にはこれらのコンテンツの全てがあるが、それを広く伝えるにはいくつかの課題があることが現地調査にて明らかになった。

また、住まいの百科事典と自然災害科学・防災の百科事典にて火山災害についての項目を執筆し掲載された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

実際に起こった噴火災害について住民アンケート調査を行って、防災リテラシーの実態の調査を行った。桜島火山観測所ミュージアム構想における調査から、必要な知識要素の特定を進めた。また、桜島大規模火山噴火を想定した広域避難について意思決定支援システムの検討を進め、噴石落下を受けての火山情報のアンケート調査結果から課題の検討を進めた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

中道治久,2021,第12章災害と住まい 火山,日本家政学会(編)「住まいの百科事典」,丸善出版,482-483

阪本真由美・中道治久・高橋若菜・荒島千鶴・荒木田勝,2021,欧州の越境火山災害をめぐるガバナンスの萌芽—2010年アイスランド火山噴火を契機として—,自然災害科学,40,1,51-66

井口正人,2022,2章 自然災害の科学 火山噴火の科学,日本自然災害学会(編)「自然災害科学・防災の百科事典」,丸善出版,84-85

中道治久,2022,4章 火山災害 噴火のメカニズム,日本自然災害学会(編)「自然災害科学・防災の百科事典」,丸善出版,154-155

中道治久,2022,4章 火山災害 地殻変動,日本自然災害学会(編)「自然災害科学・防災の百科事典」,丸善出版,166-167

・学会・シンポジウム等での発表

中道治久・阪本真由美,2022,2020年6月噴石落下を受けて実施した桜島の噴火情報にする住民アンケート結果,令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,E209

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

桜島の大規模噴火を想定した広域避難を対象としたリアルタイム意思決定支援システムの試作版を高度化する。令和3年度に判明した課題を検討していくことで、桜島火山観測所ミュージアム構想の具体化を進めていく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中道治久(京都大学防災研究所),井口正人(京都大学防災研究所),多々納裕一(京都大学防災研究所),大西正光(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無:有
兵庫県立大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:火山活動研究センター

電話:099-293-2058

e-mail:nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL:http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:中道治久

所属:京都大学防災研究所火山活動研究センター



桜島火山観測所における火山観測装置の変遷

1970年から現在において桜島火山観測所のテレメータ室に設置されてきた機材の写真。左上の白黒写真の装置以外は、現在において設置されている機材である。そのうち、左下の煤書き記録装置は現在も稼働しており、研究に使用されている。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

災害リテラシーの育成のためのオープンサイエンス手法の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ア. 史料の収集とデータベース化
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

「オープンサイエンス」の手法による地震、火山、津波災害データベースの構築・共有を通じた災害リテラシーの育成に向けて研究を実施する。防災リテラシーの向上という課題について、単なる知識提供ではなく、一般市民と地震、火山研究者とが共同して観測研究や災害軽減の取り組みをすすめる「オープンサイエンス」や「オープンデータ」の思想に基づく新しい次世代型地震研究の可能性について検証することを到達目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

以下の3つの研究を行う。(1)地震・津波避難訓練への「オープンサイエンス」導入による防災リテラシー向上、(2)「オープンサイエンス」による自然災害史料の解説と活用、(3)市民参加による内陸地震観測の「オープンサイエンス」化。以上の(1)-(3)の研究の相互の情報交換により、「オープンサイエンス」の観点から、災害リテラシーを育成するための新しい手法を探る。年度ごとの計画は以下の通り。

平成31年度：オープンサイエンス型サイエンスミュージアムの企画、運営。運営、地震・津波避難訓練時の個人行動記録の分析、「みんなで翻刻」の改良、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証を実施する。

平成32年度：オープンサイエンスの手法による災害リテラシー育成方法を、サイエンスミュージアム、「満点計画」、改良版「みんなで翻刻」などを通して実施する。

平成33年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエンス的な活用を実施し、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証、「満点計画」、「0.1満点計画」の

検証を実施する。

平成34年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエンシ的な活用と検証を実施する。

平成35年度：オープンサイエンス型手法による災害リテラシーの向上方策について総括的な検討を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

上に示した3つの研究について、以下の4つの具体的な研究（アクションリサーチ）を通じて、防災リテラシーの育成（特に、Learn scienceからDo & Learn scienceへの転換）のために、タイプの異なる複数の【プラットフォーム】を構成する成果が得られた。研究(a)ではサイエンスミュージアム化した地震観測所をベースとしたNPOの形をとった【組織のプラットフォーム】、研究(b)では避難訓練における行動ビッグデータの分析システムという【データ&解析のプラットフォーム】、研究(c)では「みんなで翻刻」という名の【資料&分析のプラットフォーム】、研究(d)では地震学の基盤を支える基盤的活動でもある地震観測活動を促進するための【活動のプラットフォーム】の構築を実現し、当初計画の通りに研究を進捗させている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

特に関連の深い項目は、「4地震・火山噴火に対する防災リテラシーの向上のための研究」であり、その中の「(2)地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」である。本研究は、オープンサイエンス（市民参加型科学）の手法を地震・火山災害研究に適用することを通して、この目的にダイレクトに貢献するものであり、市民の各種観測活動への参加、関連古文書の解読作業、地震サイエンスミュージアムの運営などを通して、目標達成に大いに貢献していると考えている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

岡田夏美・中野元太・原夕紀子・舟橋宗毅・矢守克也,2021,学校閉校後も持続する学校-地域協働型防災活動フレームワーク：防災ミュージアムの設立と期待される効果,地区防災計画学会誌,21,75-87

矢守克也・飯尾能久・城下英行,2021,地震学のオープンサイエンスー地震観測所のサイエンスミュージアム・プロジェクトをめぐるー,実験社会心理学研究,69,82-89

中野元太・矢守克也・クラウ, L.,印刷中,防災ナッジの概念整理～Nudge or Judge? それが問題だ～,自然災害科学

・学会・シンポジウム等での発表

岡田夏美・中野元太・原夕紀子・舟橋宗毅・矢守克也,2021,防災推進学校の閉校に伴う地域防災活動への影響に関する研究（1）ー防災ミュージアムの設立に向けてー,地区防災計画学会第7回大会予稿集,51-52

中野元太・岡田夏美・原夕紀子・舟橋宗毅・矢守克也,2021,防災推進学校の閉校に伴う地域防災活動への影響に関する研究（2）ー防災ミュージアムの展望ー,地区防災計画学会第7回大会予稿集,53-54

Yamori, K., Iio, Y., and Shiroshita, H.,2021,Open Science in Seismology: The Role of Citizen Science in the Transition from Seismic Observatory to Science Museum,The 2021 Annual Confernece of Internatinoal Assocaition of Integrated RIsk Management,S5-2-3

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度も、令和3年度までに実施した4つの具体的な研究をさらに継続・発展させ、オープンサイエンス（シチズンサイエンス）の手法を地震火山研究のアウトリーチに結びつけるための【プラットフォーム】の構築とその効果に関する実証的検証と理論的研究を継続する。研究(a)では、サイエンスミュージアム化した地震観測所をベースとしたNPOの形をとった【組織のプラットフォーム】を活用

して、市民参加によるアウトリーチ活動の有効性の検証を継続する。研究(b)では、避難訓練における行動ビッグデータの分析システムとしての【データ&解析のプラットフォーム】を利用して、避難行動の有効性を専門家と非専門家が一体となって検証する活動をプロモートする。研究(c)では、「みんなで翻刻」という名の【資料&分析のプラットフォーム】をさらに多くの参加者を得て拡充する。研究(d)では、地震学の基盤を支える基盤的活動でもある地震観測活動を促進するための【活動のプラットフォーム】を用いて、内陸型地震の余震観測活動の精度向上とアウトリーチの両立を図る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

矢守 克也（京都大学防災研究所）,飯尾能久（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松浦律子（地震予知総合研究振興会）,加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災研究所

電話：0774-38-4024

e-mail：yamori@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢守 克也

所属：防災研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

歴史地震史料を活用した地震学的解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震
火山

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
イ. 地震断層滑りのモデル化

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

歴史地震史料からは、これまでも過去の地震に関する多くの情報が抽出されてきた。たとえば、いつどこでどの程度の大きさの地震が発生したか（地震の年表）、震源の広がりほどの程度だったか（たとえば南海トラフの巨大地震）、強震動や津波による被害はどの程度であったか、などである。

歴史地震史料には、当時の人々が体験した現象を見たまに記録したと想定できる記述が多数ある。震動の強さや継続時間、地殻変動（地盤や海岸の昇降）、地下水の以上（井戸や温泉）、液状化被害などである。これらの一部は既に活用され、地震学的な解析がなされているが、まだまだ解析されないまま放置されている記述も多い。歴史地震史料の精度（限界）を考慮しつつ、現在の標準的な地震学の手法を用いて解析することにより、過去に発生した地震についてより深く分析をおこなうことを目的とする。上記の諸現象に関する調査のほか、大地震発生後に続発する余震に関する系統的な分析や、本震と大きな余震の分離などもこれまで十分に行なわれておらず重要な課題である。そのためには、地震の専門家でなくとも容易に使うことができる解析ツールの開発や史料の記述を分析できる地震研究者の育成も必要である。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

(a) 解析（計算）ツールの整備：歴史地震史料にあらわれるのは、体感あるいは目視で確認できるような現象である。震動の強さや継続時間、液状化の発生などであれば断層や地盤構造を仮定した全波形の再現、地殻変動や地下水の異常であれば、地殻変動の計算などをより簡単におこない、その結果と史料の記述を対照できるようなツールの整備をおこなう。地震学と歴史学等の双方の専門家が対話しながらツールの整備をすすめるために「古地震研究検討会（仮）」を年1回程度（10月頃）開催し、議論と実装をおこなう。具体的な史料の記述に解析ツールを適用するため、これまでの史料調査を補う調査を実施する。

(b) 史料を解読できる研究者の育成：前観測研究計画では、年2回（おおむね9月と3月、各2泊3日）の合宿形式の勉強会を本課題でも継続する。

5年間を通じて、実際の史料にもとづいて具体的にツールの開発や史料の解読をすすめる。上記の検討会や勉強会を定期的で開催し、ツールの開発と研究者の育成に努める。解析ツールについては、平成33年度を目処に、開発したツールを公開し、試用を受けて改良する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

古文書解読のための定期的な勉強会（週1回、京都とつくばの2か所、オンラインまたはハイブリッド）を継続的に開催している。また、合宿形式の勉強会（2021年8月26日～28日、2022年3月17日～19日、いずれもオンライン）を開催した。参加者の解読技術の向上をはかるとともに、これまで歴史地震研究に関わっていなかった研究者や学生、あるいは市民の方々に研究を普及する機会となった。「古地震研究検討会」は開催しなかった。

歴史地震のカタログや震度分布を活用したツールの開発とデジタルアーカイブを活用するためのWebアプリの改良を行い、関係者でテストした。気象庁の地震月報(カタログ編)の震度データを検索できるようなWebアプリを公開した。歴史地震に付与するIDについて検討した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

データベースやツールの開発や教育を通じて、史料の収集とデータベース化およびその解析に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

加納靖之・橋本雄太,2021,古文書解読の現在地：最新技術と共同作業が拓く未来,茶道雑誌,85,78-87

・学会・シンポジウム等での発表

加納靖之・大邑潤三,2021,歴史地震と気象庁カタログの連続性を考慮した震度データ点カタログ,日本地球惑星科学連合2021年大会,MIS27-08

加納靖之,2021,クラウドソーシングによるデータ構築から古地震研究へ,日本学術会議公開シンポジウム「総合知創出に向けた人文・社会科学のデジタル研究基盤構築の現在」

加納靖之,2022,前近代と近代以降の地震カタログの統合検索ツールの開発,第128回人文科学とコンピュータ研究会発表会,10

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（作図等解析支援）

概要：「気象庁地震月報震度データ検索」気象庁の地震月報(カタログ編)の震度データを検索、表示できるようにした。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：2021/10/-次年度も継続予定

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web） <https://idps.utkozisin.org/>

項目：ソフトウェア開発（その他）

概要：みんなで翻刻に歴史資料を登録した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web） <https://honkoku.org/>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

「古地震研究検討会」と合宿形式の古文書解読のための勉強会、および定期的な勉強会を開催する。実際の史料にもとづいて具体的にツールの開発や史料の解読をすすめる。特に歴史地震のカタログや震度分布を活用したツールの開発とデジタルアーカイブを活用するためのツールの改良を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加納靖之（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

中西一郎（京都大学大学院理学研究科）,小林昭夫（気象研究所）,弘瀬冬樹（気象研究所）,田中昌之（気象研究所）,堀川晴央（産業技術総合研究所）,橋本雄太（国立歴史民俗博物館）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL： <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：加納靖之

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マグマ溜まりの時間発展と噴火様式との関連性

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価
(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

マグマの状態と噴火様式について見られた関連性についてより詳しく調べるために、爆発的噴火と非爆発的噴火（溶岩流噴火）を数多く起こしている富士火山に焦点を絞って、噴出物の解析を進める。富士火山では、爆発的噴火が卓越する時期と溶岩流噴火が卓越する時期があるが、両者が混在する時期もある。そこで、様々な時期、様々な様式の噴火による噴出物を網羅的に解析することにより、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を目指す。加えて「中長期の火山活動の評価」と「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」をつないで、将来の噴火の様式・規模を検討するためには、マグマの状態の時間発展に関するデータが必須であることから、時間発展が追えるようなある程度連続した期間についての噴出物解析も実施する。

火山噴出物の分析を通じて集めるデータは、マグマの温度、圧力、含水量、組成についてであり、加えて、それらの噴出物をもたらした噴火の様式や規模についての情報を文献から収集する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

5か年の研究期間で、富士火山（新富士火山）の活動期のうち次の4つの時期について試料の分析を行う。（1）溶岩流が卓越する富士宮期、（2）溶岩流が卓越するが爆発的噴火もある須走b期、（3）山頂及び山腹での爆発的噴火が卓越する須走c期（Cal BC 1500年頃～ Cal BC 300年頃）、（4）山腹での割れ目噴火が卓越し溶岩流噴火と小規模な爆発的噴火が頻発している須走d期（Cal BC 300年頃以降）。

2019年度と2020年度には、富士宮期、須走b期、須走c期から幾つかの噴火を取り上げ、噴火様式とマグマの状態についての関係を明確化するための検討を行う。富士火山においては、深部と浅部の2つのマグマ溜まりの存在が示唆されているが、斑晶組成から判断してできるだけ浅部のマグマの影響を受けずに噴火した試料の分析を優先し、深部マグマの状態が噴火様式にどの程度影響するかを評

価する。

2021年度と2022年度には、主に須走d期の試料分析を行う。この時期は最も新しい活動期であるため噴出物の保存状態が良く、ある程度連続した噴火の噴出物採取が可能である。そのような適切な試料を用いることで、噴出物からマグマの状態の時間発展を捉えることが可能か否かの検討を行う。この須走d期は全体としては小規模な噴火が多いが、貞観噴火（溶岩主体）と宝永噴火（爆発的）という新富士火山の活動としては最大規模の様式が異なる噴火を含んでいる。そこで、上述の研究に加えて、貞観噴火と宝永噴火に先立つ数回の噴火の噴出物を分析して、大規模噴火に向けてマグマの状態が変化しているかどうかについても調べる。

2023年は、それまで4年間の研究をとりまとめて、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を行う。集められたマグマの温度、圧力、含水量、組成についてのデータは、浅部マグマ溜まりの影響を評価するために噴火口位置についての情報も加えて、時間空間的に整理する。また、連続する噴火の噴出物について、マグマの状態の時間発展が確認された場合には、それが次の噴火の様式や規模の予想につながるかどうかの検討を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

マグマの状態と噴火様式に関連性を調べるために、R1,2年度に行なった富士火山の爆発的噴火試料の解析の続きとして、どのようなマグマ供給系を考えるのが適当か考察した。分析した試料は富士火山東側の籠坂峠で採取されたS-8以降の33層である。

およそ2900年前に発生した御殿場山体崩壊の直後からしばらくの期間にわたって、斜長石マイクロライトに乏しくガラス質石基組織をもった小規模噴火が継続することを報告し（R1年度報告）、山体崩壊による微妙な荷重の変化が噴火時のマグマ上昇を容易にしたというマグマ供給系モデルを提示した（R2年度報告書）。このモデルについてより詳しく検討するため、この期間の全岩化学組成の変化について調べたところ、前後の時期とは明瞭に異なる組成変化の分布が観察された。特に、 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 図や $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 図で他の時代の組成分布とは異なる特徴を示す（図1）。そこで、全岩化学組成の噴出物が実現する条件をRhyolite-Melts (ver 1.2.0, Gualda et. al., 2012)を用いて検討した。

特徴的な組成分布をする試料の中で最も TiO_2 に乏しい組成を結晶分化させて、他の噴出物組成が再現される圧力、含水量、酸素雰囲気条件を調べたところ、QMFあるいはQMF-1の酸素雰囲気下で含水量に乏しい（0.5~1.5wt%）場合に、組成分布範囲がおおむね再現できることがわかった。さらに、酸化物組成として $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{FeO}, \text{MgO}, \text{CaO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ の8つに着目し、計算組成と観察組成の総合的に一致度が高い条件だけに絞り込むと、一定圧力下の結晶分化の場合には、QMFもしくはQMF-1, 含水量 0.5-0.75 wt%, 分化圧力は 300-400 MPaという条件になる（図2）。しかしながら、結晶量が系全体の30%を超えており、このようなマグマを300-400MPa相当の深度から斑晶をほとんど伴わずに上昇して噴火するのは困難であろう。

そこで、今度は一定の温度降下率で減圧させながら、結晶分化する場合の計算を行なった。これは、マグマが岩脈を作りながら上昇し、経路の壁部分での冷却によって結晶が取り去られることを模している。計算の結果、マグマの初期含水量が低い（~0.5 wt%）場合に、温度降下率を $0.1^\circ\text{C}/\text{MPa}$ もしくは $0.05^\circ\text{C}/\text{MPa}$ で数十気圧の地表近くまでマグマが上昇した場合に、噴出物組成が再現できることがわかった（図3）。この場合は、浅部にまでマグマが上昇しているので、揮発性成分の発泡によってスコリア噴火に到ることが可能である。

定圧での結晶分化にせよ、減圧しながらの結晶分化にせよ、組成変化の傾向を再現するためには、マグマ中の初期含水量は低いことが要請される。これは深部マグマ溜まりからのマグマの上昇開始の原因を考える上で非常に重要である。図4に結晶分化に伴うマグマ全体やマグマの液部分の密度変化を計算した結果を示す。マグマの温度が低下するにつれて、系全体の密度は増加する。一方 1100°C 以下になると結晶分化の影響があらわれはじめて、液部分の密度は低下しはじめる。しかしながら、マグマ溜まりの存在する場の圧力が高いため、水が飽和して気体として分離することは起こらず密度低下量は小さい。また、マグマ溜まりの系全体の密度は低下しない。メルト部分のマグマと周辺岩石との間の密度コントラストが小さいため、マグマ溜まりの破壊強度を超えるような浮力を得るためには、厚さ数kmに相当する膨大な分化したメルトが必要となる。一方、実際に噴火しているマグマの量ははるかに小さく、マグマ溜まりでの結晶分化がマグマの上昇のトリガーとはなっていないことを示している。つまり、深部マグマたまりからのマグマの上昇開始は、さらに深部からマグマの注入による過

剰圧の獲得が必要ということになる。

時代を問わず富士火山のマグマに予想される含水量の範囲で考えると、「深部マグマ溜まりからマグマ上昇開始するためには、より深部からのマグマの注入による過剰圧の獲得が必要である」という要請は、かなり一般的に成立すると思われる。今後は、こうした視点からマグマ供給系の挙動を整理していく必要がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

およそ3500年前から現在にいたる富士山の爆発的な噴火の試料の6割程度は分析を終えており、マグマ溜まりの連続性に関する知見が得られた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

安田敦・田島靖久,2021,御殿場山体崩壊がもたらした富士山深部マグマたまりの観察窓,火山学会2021秋季大会,P1-22

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

深部マグマたまりと浅部マグマたまりの噴火における役割を整理し、マグマの状態と噴火様式の間をさらに検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

安田敦（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：安田敦

所属：東京大学地震研究所

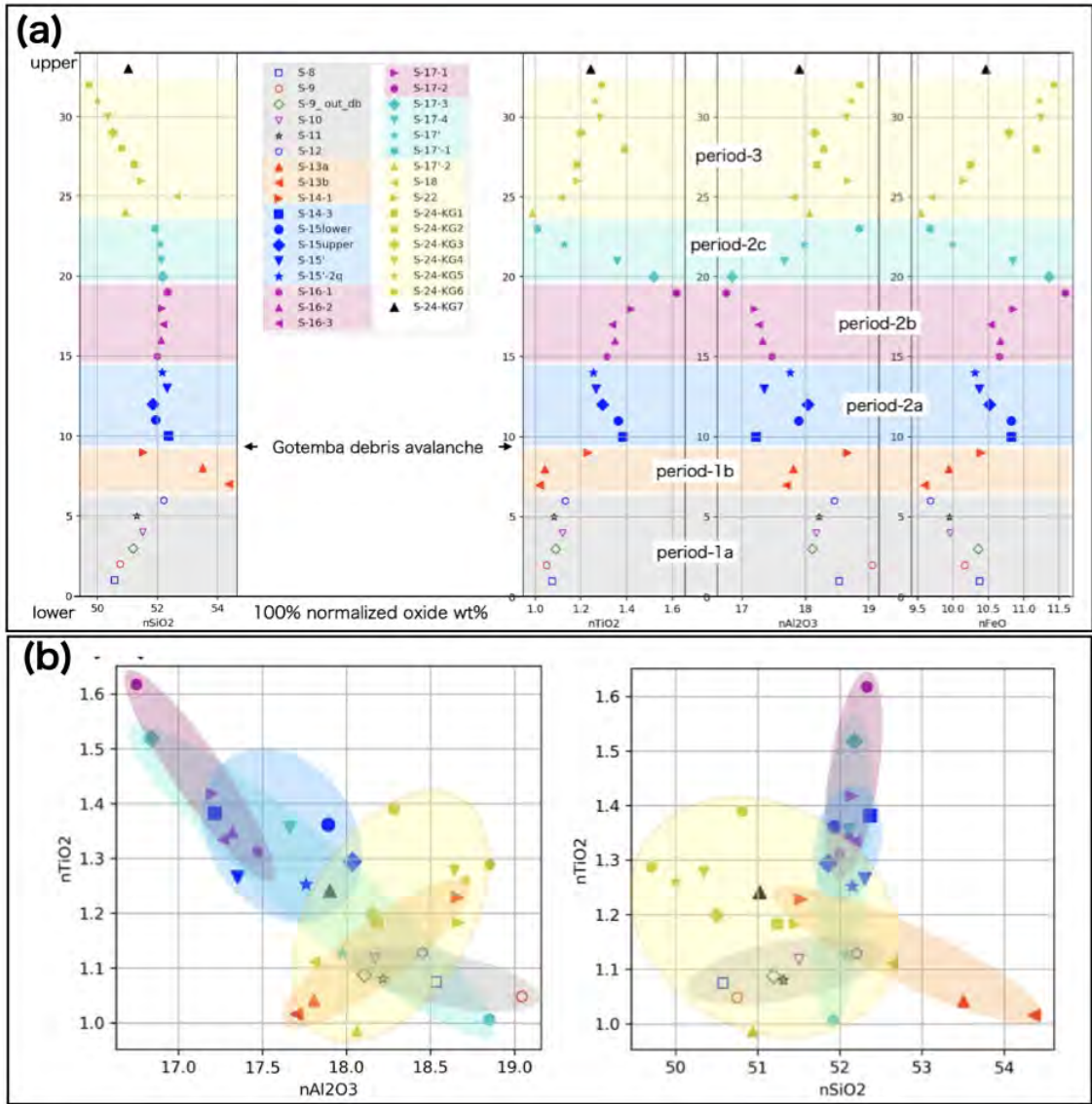


図1. 全岩組成の時代変化

(a) 組成の時間変化の特徴から、period-1a, -1b, -2a, -2b, -2c, -3の6つの時期に分割した。

(b) Al_2O_3 - TiO_2 , SiO_2 - TiO_2 図。御殿場岩層なだれの発生後のperiod-2a, -2b, -2cは特徴的な組成分布範囲を示す。

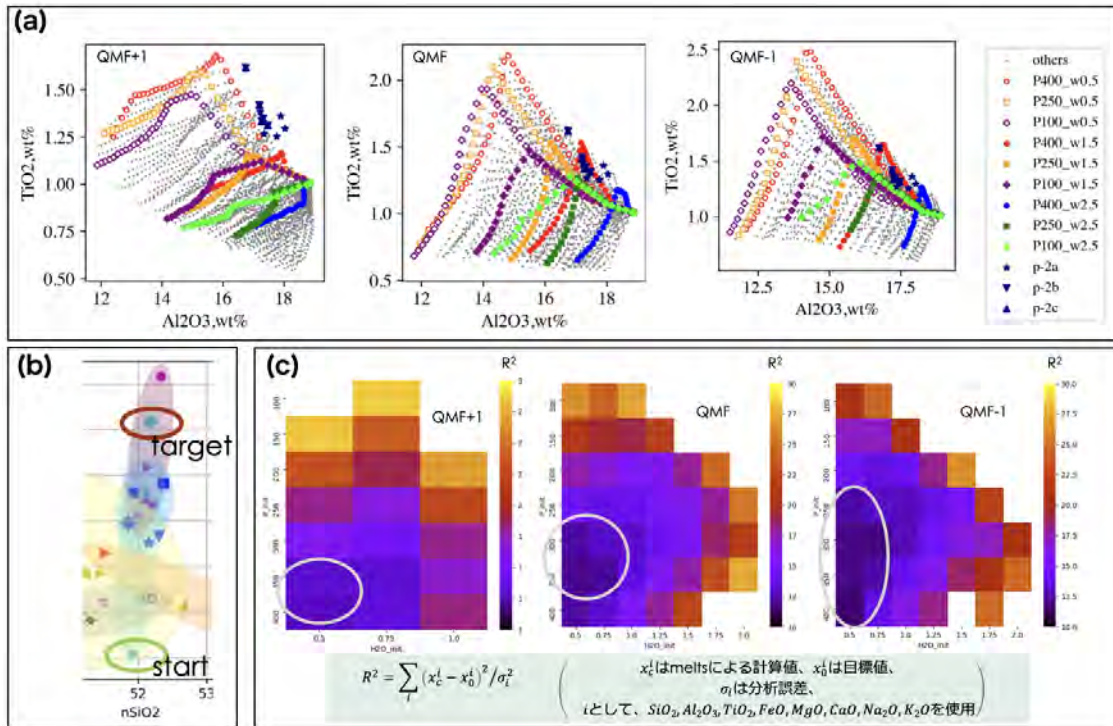


図2. MELTSによる組成の再現計算の結果 (定圧)

(a) Al_2O_3 - TiO_2 図上への投影例。初期圧力(400,250,100 MPa)と初期含水量(0.5、1.5、2.5 wt%)の組み合わせの分化トレンドのみを色付きで表示し、他の計算条件での結果は灰色の点で示している。比較のため、period-2a、-2b、-2cの試料の分析値を p-2a、p-2b、p-2cとして同じ図上に示している。

(b) 一致度計算の際の出発物質組成と目標組成

(c) 目標組成との一致度評価結果 R^2 が小さいほど一致が良い。酸素雰囲気はQMF+1、QMF、QMF-1の3通りで、初期温度と分化圧力を変化させて計算し、 R^2 が小さくなる圧力と含水量の組み合わせを探した。

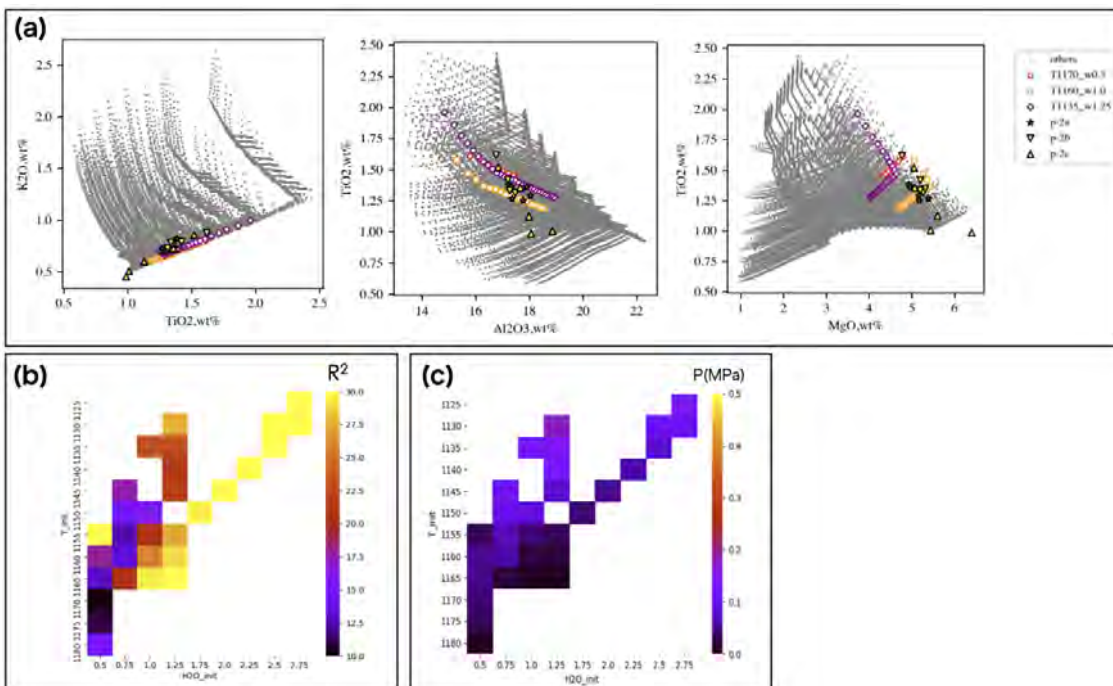


図3. MELTSによる組成の再現計算の結果 (減圧)

(a) TiO_2 - K_2O 、 Al_2O_3 - TiO_2 、 MgO - TiO_2 図への計算結果の投影。酸素雰囲気 QMF、 $0.05^\circ\text{C}/\text{MPa}$ の冷却率で

の計算結果。含水量が0.5-3.0 wt%、初期温度が1100-1200度の範囲で、様々な含水量と初期温度の組み合わせで計算したが、図では、初期温度1170℃初期含水量0.5wt%、初期温度1160℃初期含水量1.0wt%、初期温度1135℃初期含水量1.25wt%の結果を色付きで示し、他の条件での結果は一括して灰色で示している。(b)一致度評価結果。一致度が許容範囲に入る初期温度と含水量の組み合わせのみを表示している。(c) (b)の組み合わせの際に一致度が最小となる圧力(MPa)。

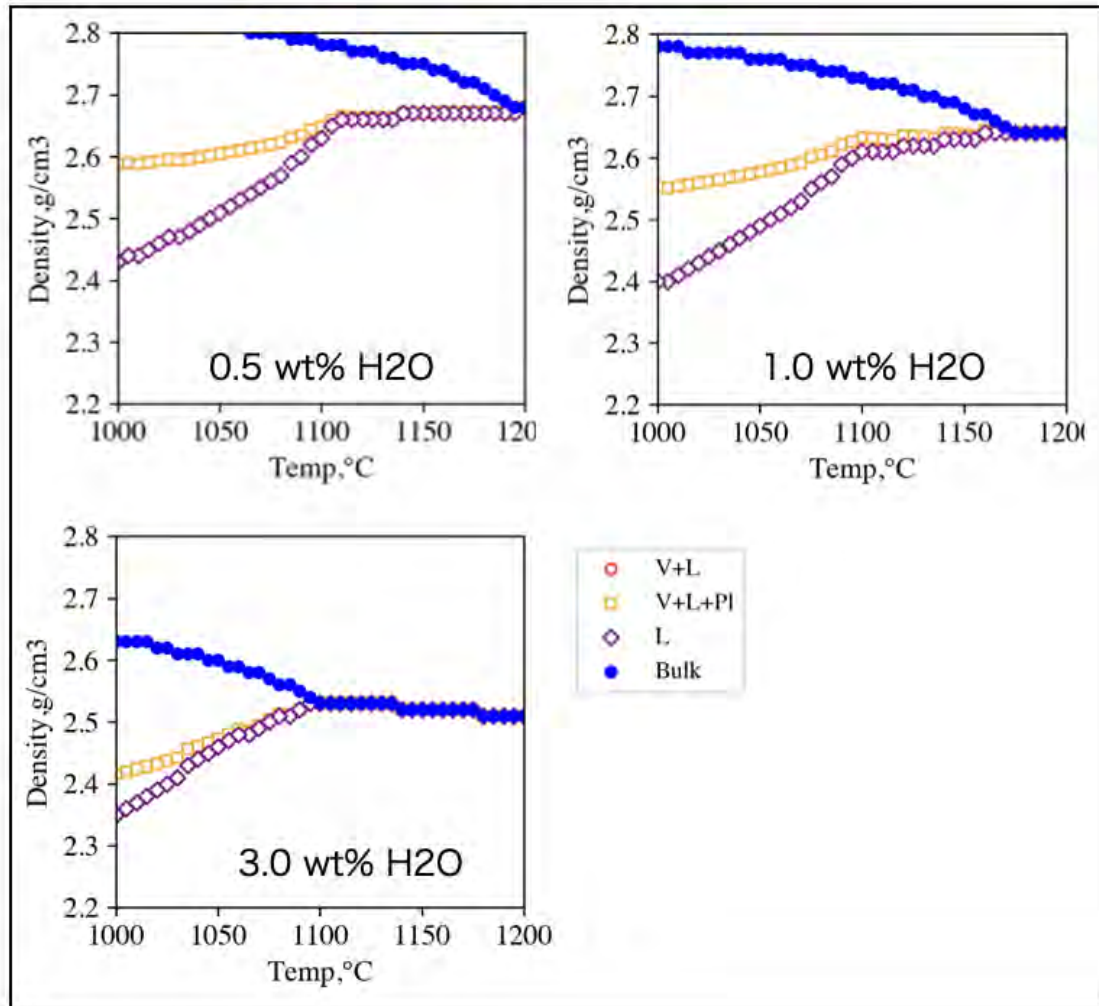


図4. 深部マグマたまりにおける結晶分化によるマグマの密度変化

マグマの含水量が 0.5、1.0、3.0 wt%の 3 通りを計算した。気泡形成が行われなため、メルトのみの密度 (L) とメルト+気泡(V+L) の密度は重なって表示されている。Bulkは分化した結晶も含んだ閉鎖系としてのマグマ溜まりの密度。斜長石がメルトから分離しない場合を想定し、メルト+気泡+斜長石(V+L+Pl) の密度も合わせて示す。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

大規模噴火に伴う諸現象とそれを駆動するマグマ溜り一火道システムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (4) 中長期的な火山活動の評価
 - ア. 火山噴火の長期活動の評価
 - (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題で扱う大規模噴火は、プリニー式・サブプリニー式噴火である。プリニー式噴火に代表される大規模かつ爆発的な火山噴火は、噴出物を広範囲に飛散させるため、多様かつ深刻な災害を広域で引き起こす可能性がある。しかし近代的火山観測網によるVEI4クラス以上の大規模噴火の観測事例は国内にはなく、現象や物理パラメータの時間発展の解明や、想定される災害の種類や規模の評価は不十分である。噴火に伴う諸現象（前駆的現象を含む）の解明とそれらの時空間解像度の向上、災害現象の把握には、噴出物の詳細な解析に加えて、史料データの活用や海外の事例をもとにした比較研究も同時に進める必要がある。本課題ではとくに下記 (a)、(b) の問題点や背景を踏まえ、大規模噴火の実績がある火山を対象に地質調査や物質科学的解析、史料データ等をもとにした噴火推移の再構築、噴出量や噴出率の推定、マグマ溜り一火道系の物理化学状態の推定、またこれらの中長期における変遷を解明することを目的とする。さらに地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇に関する時間的情報の抽出も試みる。大規模噴火における事象分岐の要因について考察し、事象系統樹へ反映させることも目指す。

(a) プリニー式噴火は爆発的かつ定期的なマグマ噴出による噴煙柱形成で特徴付けられるが、同時に一連の活動で火砕流や溶岩流・ドームを伴うなど噴火推移は単純でないことが多い。また珪長質マグ

マに限らず、安山岩質から玄武岩質までの幅広いマグマ組成で起こり得る。前駆的現象を含めた噴火推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、時間スケールの理解が重要である。近代以降については観測記録、歴史時代については古記録も併用した現象及び推移の解明が必要である。

(b) 噴火物理パラメータ（噴出量・噴出率）推定手法は次第に進歩しており、既存手法とともに新たな手法にもとづく再解析により噴出量や噴出率の推定値が大きく変わる可能性がある。これらのデータに基づく噴火規模や強度と物質科学的特徴の変化は、火山の中長期的活動とそれを駆動するマグマ溜り一火道系の進化を理解する上で重要である。またVEI 4以上の噴火は国内での発生頻度は低いですが海外では数年に1回程度発生しており、様々な大規模噴火の共通点や相違点を明らかにする上で重要な情報源になると考えられる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、伊豆大島で安永噴火をはじめとする大規模噴火を対象に地表踏査や試料採取を行い、地質・物質科学的解析に着手する。噴出物の年代学的解析、古記録の収集・検討を開始する。堆積物・噴出物解析に基づく噴火推移や物理化学パラメータの推定方法を検討する。国内の他の火山（浅間山、霧島山など）についても調査を進めるとともに、従来の研究をもとに大規模噴火の推移やマグマ供給系の特徴について情報を収集する。近現代に海外で発生した大規模噴火を選定し、地質データや観測記録等の収集をはじめめる。

2020年度においては、伊豆大島では地質・物質科学的解析を継続する。代表的な大規模噴火について噴火推移を推定するとともに、テフラデータと物理モデルを用いた解析を行い、噴出量・噴出率およびそれらの変化を明らかにする。岩石微細組織や鉱物化学組成データを基にしたマグマ溜りの温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り一火道系とその変遷の解明を目指す。浅間火山、霧島火山においても地質調査を進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火については必要であれば現地調査を行い、試料採取、地質・物質科学的解析を行う。また海外の新しい事例については地球物理学的観測データとの比較を進める。

2021年度においては、伊豆大島、浅間山、霧島火山の調査を継続し、地質・物質科学的解析を進める。噴出物の年代学的解析、古記録の調査を継続して進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火に関する研究も継続し、噴火推移や物理化学パラメータの解明を目指す。

2022年度においては、霧島火山における大規模噴火の地質・物質科学的解析を継続する。地質データに基づく噴火推移の推定、噴出量、噴出率等の解析を行う。岩石組織や鉱物化学組成データを基にしたマグマの温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り一火道系とその変遷の解明を目指す。また、伊豆大島、浅間山、霧島火山では、地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇の時間スケール、火砕流等の付随現象の時期、噴火の継続時間についても考察する。国内の他の火山、海外の大規模噴火に関する研究も継続する。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察する。

2023年度においては、これまでの研究を総括し、前駆的現象を含めた大規模噴火の物理化学パラメータとその推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、それを駆動するマグマ溜り一火道システムの状態と（中長期的）時間変化をまとめる。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察を進め、事象系統樹へ反映させることを目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

伊豆大島では歴史時代のYシリーズ大規模噴火の噴出物を中心に調査分析を進めるとともに、20世紀の中小規模噴火の特徴について整理を進めている。その結果、Y1やY4など一回の大規模噴火の推移で見られる斜長石斑晶量の増加（Pl-poorからPl-richへのマグマの時間変化）と同様に、中規模噴火から小規模噴火へと推移していく中で、斜長石斑晶量が次第に増加（Pl-poorからPl-richへと時間変化）していることがわかった。このことは、1回の大規模噴火や中小規模噴火の周期で、しだいに斜長石に富むマグマが加わっていることを示唆する。また、大規模噴火は短時間でマグマが上昇し、爆発的であるのに対し、中規模から小規模噴火への推移は、マグマの上昇が遅く、時間をかけて進行し、脱ガスが進むために規模が小さくなっていることが考えられる。さらに、Y1（Unit A, B, C）、Y2、Y4、Y6および1986年噴出物の岩石組織や粒子物性を比較したところ、噴火強度が大きいほど石基結晶量が少ない、気泡数密度が高い、粒子みかけ密度が大きいなど、噴火強度と噴出物の微

細構造・組織に相関があることがわかった。この結果は、伊豆大島のマグマ上昇過程を理解する上で重要な基礎データとなる。

西之島における近年の噴出物の岩石学的特徴の時系列変化を整理し、マグマ供給系について考察した。2019-2020年噴火における噴火様式や化学組成の劇的変化は、より深部に由来する苦鉄質マグマの上昇に起因していることがわかった (Maeno et al., 2021)。伊豆大島と西之島の大規模噴火の推移における共通点として、年単位の断続 (継続) 的かつ弱い活動の後に、それまでとは異なるマグマによる高噴出率の爆発的活動が続くことが挙げられる。このような噴火様式の急変の原因の一つとして、苦鉄質マグマに特徴的な芽づる式のマグマ供給系の構造 (化学的性質の異なる岩脈や岩床の集合) が関係している可能性がある。

浅間山については18世紀天明噴火の推移に注目した噴出物の化学組成分析および岩石組織の解析を進めている。噴煙柱および火砕流由来の噴出物について、発泡組織の詳細な解析を行った結果、火砕流由来の堆積物で気泡数密度が顕著に大きな値を示すことがわかった。この減圧速度の増加と噴火様式変化との関係について考察を進めている。

霧島山については歴史時代の大規模噴火の推移や小規模噴火を含む中長期履歴のレビューを進めるとともに、代表的噴火の堆積物の露頭調査を行い、火砕堆積物の分布や層区分について検討している。13世紀御鉢噴火について、噴火推移の詳細を知るために、粒子物性 (密度、粒径、粒子形状、連結空隙率) および岩石組織の定量解析を進め、噴火推移に応じた系統的变化があることがわかった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

伊豆大島、西之島、霧島御鉢など苦鉄質マグマによる大規模噴火の推移において、断続 (継続) 的な活動の後に、それまでとは性質が異なるマグマによる活動が続くという類似の特徴が明らかになりつつある。このような活動は国外の例を含め他の玄武岩質火山でもみられるが、その原因の一つとして、苦鉄質マグマに特徴的な芽づる式のマグマ供給系の構造が関係している可能性がある。この成果は苦鉄質マグマによる大規模噴火の推移パターンとそのマグマシステムとの関係の理解を進めることにつながり、課題1 (2) だけでなく課題2 (5) など火山活動のモデル化を目標とした課題にも貢献する。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M. and Nakada, S., 2021, Intermittent growth of a newly-born volcanic island and its feeding system revealed by geological and geochemical monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan, *Frontiers in Earth Science*, 9, 773819, doi:10.3389/feart.2021.773819

・学会・シンポジウム等での発表

水野樹・前野深・安田敦, 2021, 噴出物組織から推定される浅間火山1783年噴火の噴火様式変化の要因, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC31-02

池永有弥・前野深・安田敦, 2021, 伊豆大島火山山頂噴火の噴出物組織, SVC31-P07, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC31-P07

正畑沙耶香・前野深・外西奈津美・安田敦, 2021, 霧島御鉢1235年噴火の様式と推移一火砕物の分布・形状・組織からの制約一, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC31-P05

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

伊豆大島については、引き続きYシリーズ噴出物の粒子物性・岩石鉱物化学組成・微細組織の解析と地質調査を進め、大規模噴火に共通の性質、噴火推移やマグマ溜り一火道系の特徴を明らかにする。海外の類似事例との比較研究も進める。また、小・中規模噴火の特徴を整理し、大規模噴火との類似性等、関係性について検討する。浅間火山については、噴煙柱一火砕流推移の原因についてデータを充実させ、理解を進める。霧島火山においても、大規模噴火を中心に噴出物調査を行い、粒子物性や空隙構造等の組織、岩石鉱物化学組成を明らかにし、噴火推移やマグマ蓄積、上昇過程の理解を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前野深（東京大学地震研究所）,安田敦（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
鈴木由希（早稲田大学）,安井真也（日本大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前野深
所属：東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

非線形動力学・計算材料科学との学際連携に基づく地震現象の多様性の統一的理解

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では非線形動力学・計算材料科学的アプローチに基づいた地震研究を行う。具体的には、以下3項目について研究を展開し、従来の実験的摩擦研究や地球物理学的モデルとは異なる観点からの理解を提出し、自然現象としての地震に関する理解を深める。

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 地震は断層・プレート境界の力学的不安定性の結果であり、その本質を理解するためには摩擦法則の理解が必須である。いくつかの仮定を置くと、摩擦の力学的不安定性には定常状態摩擦力が負の滑り速度依存性を持たねばならないことがわかる。ゆえに、定常状態摩擦力が負の速度依存性を示すための微視的物理条件を定量的に詰めることが本質的に重要である。負の速度依存性の本質は、真接触面積の時間依存性（エイジング）にあるとこれまで思われてきた。しかし近年の分子論的スケールの実験によれば、真接触面積ではなく応力そのものがエイジングを示し、真接触部位の局所的な強さも時間とともに増大しうることを意味する。この物理的原因は分子論的な構造緩和と予想される。実際に、結晶構造が乱れたアモルファス系ではこのようなエイジングによる強度回復が知られている。本課題では、分子論的構造緩和を時間依存過程として取り入れた連続体モデルを構築し、摩擦の速度依存性の正負を決める微視的パラメタを同定する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 断層どうしの相互作用は地震活動の複雑性を決める重要な要因であり、例えば余震の性質（大森則のp値、c値）やGR則のb値にも影響を与えると考えられている。他方、断層多体系の作る地質学的構造（ひずみ集中帯など）とその形成過程は重要な学際的課題だが、そのような長時間スケールの挙動には断層間相互作用のみならず断層強度回復の時間依存性も大きく効くため、計算負荷が非常に高くなる。そのため、定量的なシミュレータ開発がこれまで困難であった。この問題を解決すべく、本課題では点震源多体系を対象を絞ることで効率的なシミュレータ開発を行う。より具体的には、時間発展にkinetic Monte Carlo法を採用し、波数空間で応力再分配を計算することで、計算負荷を大幅に低減する。イベントに伴う弱化と回復過程は考える状況によって変わりうるため、その設定は自由に変えられるよう、汎用性を高めたシミュレータを開発する。開発したコードを用いて、GR則の成立を確認し、b値の時空変動特性について応力の

絶対値や空間不均一性への依存性をノイズ（擾乱）の影響などを定量的に確立する。最終的には媒質の不均一性（特に弾性率の不均一性）を取り扱えるようなアルゴリズムも実装し、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 現状、摩擦不安定性の理解は速度状態依存摩擦則に基づき分岐現象（Hopf分岐）として理解されているが、実際にはその描像とは矛盾する観測事実が知られるようになってきた。分岐理論においては、不均一性やノイズが分岐の性質を定性的に変えることが知られているが、沈み込み帯においても潮汐やプレート沈み込み速度の変動など、ノイズや摂動としてみなせる要因が多く存在する。ゆえに、このような擾乱を考慮した摩擦不安定性の理論を作り、観測事実を解釈し直す必要がある。本課題では、沈み込み速度の振動や変化が摩擦不安定性に与える影響について、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データと比較する。可能であれば安定性の変化を分岐理論的に理解する。とくに、スロー地震は潮汐などの応力摂動に鋭敏であることが知られているため、分岐点におけるノイズの影響を定式化しその現象論を確立することで、スロー地震への理解を深める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 2019～2020年度においては、アモルファス系の微視的な変形イベントを熱活性化過程としてモデル化した上で、空間自由度を考えない平均場モデルに基づき、摩擦力の速度依存性を計算する理論的な枠組みを構築する。平均第一到達時間を計算することで巨視的な摩擦ダイナミクスの特徴的時間スケールを評価することで摩擦力を計算する。構造緩和に関わる微視的パラメタが摩擦の速度依存性に及ぼす影響を定量化し、負の速度依存性が実現されるための一般的条件を確立する。2021年度からは空間自由度を考慮した計算を行い、2022～2023年度にかけて負の速度依存性が実現されるためのより一般的な条件を確立する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 2019年度においては、プロトタイプとして固体アモルファス材料の粗視化モデルに対するkMCシミュレータを構築する。2020年度においてはシミュレーションを実行して、アモルファス固体における塑性現象の臨界的な挙動を調べ、時間的な挙動（特に余震統計と待ち時間分布）および空間的な特性（stress shadow 的な塑性イベントの発生など）、ノイズ（擾乱）の影響などを調べる。2021～2022年度にかけては、前年度までに開発したシミュレータを拡張し、断層多体系や亀裂多体系を取り扱えるよう、イベント頻度と時間依存回復過程をマクロスケールで非熱的にモデル化し、kMCシミュレータへ実装する。2023年度においては、弾性率の不均一性を取り扱えるようにkMCシミュレーションを拡張し、亀裂進展ダイナミクスが本シミュレータで取り扱えるようにする。開発したシミュレータを用いて、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 2019年度においては、偏微分方程式を系統的に簡略化する非線形動力学分野の手法（縮約理論）を用いて、不均一なプレート境界を速度状態変数摩擦法則でモデル化した偏微分方程式系を、分岐点近傍に注目してより簡素な方程式系へ帰着する。2020年度においては、初年度で導出した偏微分方程式系について、その分岐構造を明らかにする。2021～2023年度においては、分岐点近傍にある系について、ノイズが滑りの安定性に及ぼす効果に関して、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データを比較する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

岩石摩擦実験による歴史的な知見は、摩擦力が滑り速度に対数的に単調に依存するというものであり、それは速度状態依存摩擦法則としてまとめられている通りである。しかし、より複雑な物質、特にコア試料などを用いた摩擦実験では、必ずしも単調な対数依存性を示すわけではないことも近年になって知られてきた。このように非単調な速度依存性は、従来の熱的活性化過程と時間依存する回復過程による解釈だけでは理解し難い。同時に、これまで知られている発展法則では、radiation dampingを入れない限りリミットサイクル的挙動を再現できず、解が発散してしまうことが知られている。このことは、速度状態依存摩擦法則自体、未だ本質的な改良の余地があることを示している。地震波を放出しない程度の非定常滑り挙動、例えばSSEなどを説明することができないからである。

2021年度においてはこの問題に取り組んだ。まず、従来知られている発展法則ではリミットサイク

ルが存在しないことを、数学的な定理を利用して厳密な形で示すことに成功した。いくつかの代表的な発展法則についてこの作業を行い、radiation dampingなしでは解が発散してしまい周期解が存在しないことを示した。

その上で、radiation dampingなしで周期解を実現できる発展法則を複数発見した。これらの発展法則はaging lawの拡張とも見なすことができるが、速度ステップ変化後の緩和過程ではaging lawよりも対称性がよい。さらに、1自由度モデルにおいて実際にradiation dampingなしでリミットサイクルを安定に実現することを示した(図1)。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発

令和3年度においてはコードの汎用化と高速化に取り組んだ。gnuプロジェクトの一環であるフリー数値計算ソフトoctave上でシミュレーションが実施できるようコード開発を行い、ベンチマークテストをいくつか行った。一様状態からせん断集中帯が形成される過程とともに、その際のモーメント解放量がGR則に従うことを確認した。

この作業と並行して、地震活動データの解析に新手法を導入し、地震活動の新しい見方を開発することも試みた。これは時系列データを数学的なグラフ(ネットワーク)にマップし、生成されたグラフを複雑ネットワーク分野の理論を用いて解析する方法である(図2)。時系列の特性がグラフの特性に写されるので、グラフ解析という従来と全く異なる観点から時系列を解析することが可能になる。令和3年度においては、微動まで含めた様々な地震活動のマグニチュード時系列を例にとり、それをvisibility graphと呼ばれる手法でグラフにマップした上で、生成されたグラフの性質を解析した。その際、地震活動の特性が「ノード次数分布」と呼ばれる性質によく反映され、マグニチュード時系列がGR則に従ってランダムに生成された場合にはある特定の分布関数に従うことを確かめた。実際の地震時系列に関してもよく似た分布が生成され、一見、「マグニチュードはランダムに決まる」というETAS的な仮説と整合するかに見えるが、Kolmogorov-Smirnov検定を行うと実際のカタログとランダム生成された時系列とは有意に異なる分布を示すことが明らかになった。これは微妙な差異とはいえ、マグニチュード時系列が統計的に相関を持った時系列であることを示す有力な結果である。

C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

2021年度においては、断層面上に速度状態依存摩擦法則を仮定したモデルにおける潮汐応答性を調べている。静的グリーン関数とradiation dampingを仮定した準静的シミュレーションによって不安定滑りの核生成過程に対する応力摂動を直接計算し、地震発生時刻(滑りが高速化する時刻)と応力摂動の位相と振幅に対する関係を定量化した。断層の法線方向応力の摂動についてはLinker-Dieterichによる発展法則を採用し、この効果が応力摂動の位相に対して逆位相で効くことが分かった。指数関数的に特徴的な応力定数の値はDieterich理論と概ね同じであった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

断層の摩擦特性の物理的理解は、スロー地震まで含めた地震現象の包括理解のための部品を与えるので、本質的に重要である。ここでは、従来スタンダードな地位を占めていた速度状態依存法則に潜む本質的な不安定性を数学的に厳密に証明し、その限界を明らかにした点で、地震現象の理解の基礎的側面に資するものである。

地震活動の研究は災害軽減において重要な役割を果たしている。その際にETASなど統計モデルは主要な役割を果たしているが、マグニチュード時系列における相関の有無は統計モデルの基礎を考える際に本質的に重要である。ここでは、グラフ理論という全く異分野における手法を用いて、マグニチュード相関を初めて示したという点で画期的である。ただしここで示された相関の具体形を明らかにすることは今後の課題として残されている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Kundu, S., A. Opris, Y. Yukutake, and T. Hatano, 2021, Extracting Correlations in Earthquake Time Series Using Visibility Graph Analysis, *Front. Phys.*, 9, 656310, 10.3389/fphy.2021.656310
Victor Levy dit Vehel, Takahiro Hatano, Loïc Vanel, Knut Jørgen Måløy, Osvanny Ramos, 2021, Dilation as a precursor in a continuous granular fault, *EPJ Web of Conferences*, 249, 15006, 10.1051/epjconf/202124915006

Ryo Mizushima, Takahiro Hatano, 2021, Slow periodic oscillation without radiation damping: new evolution laws for rate and state friction, Geophysical Journal International, 229, 274, 10.1093/gji/ggab471
Kota Fukuda, Takahiro Hatano, Kimihiro Mochizuki, 2022, Model for tectonic tremors: Enduring events, moment rate spectrum, and moment-duration scaling, Physical Review E, 105, 014124, 10.1103/physreve.105.014124

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

スロー地震発生域のプレート境界では延性的なマトリックス中に脆性的なブロック体が混在し、特異なレオロジーを示すことが示唆されている。通常時はブロック体どうしは接触せずに延性的なマトリックスがスムーズに流れるが、ブロック体どうしが時折接触して応力を支えることで半脆性的な挙動が実現されるのではと考えられている。この系は非球状の粒子（ブロック体）がマトリックスに浮かんだサスペンション系とみなすことができ、非球状粒子系のジャミングレオロジーの研究に帰着される。同様に、粘土鉱物を多く含むガウジにおいても、粘土鉱物粒子特有の平たい形状が摩擦特性に大きく寄与することが示唆されているが、その微視的機構は検証されていない。このように、非球状の鉱物粒子が示すレオロジーを微視的観点から解明することは重要な課題になっている。しかし、非球状な粒子を扱うシミュレーションは技術的困難が多く、これまで地球科学分野ではほとんど行われていなかった。そこで本研究では非球状粒子のレオロジーの微視的メカニズムに資するための数値計算コードを開発する。2022年度においては一般楕円体を対象として、間隙流体の寄与は背景からの単純な粘性抵抗として扱う。単純剪断の境界条件でのシミュレーションを行い、球形からわずかにずれた時のレオロジー特性の変化をベンチマークテストも兼ねて実施する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発

断層多体系の挙動に関しては極めて単純な平均場モデルがこれまで知られており、比較的よく調べられてきた。このモデルはランダムな強度を持つ離散要素から構成され、ある空間セルでのモーメント解放が他の全てのセルに並列に受け渡される（応力の空間緩和に関する平均場近似）。簡素ではあるが、大森則やGR則に類似した挙動を示すので、現象の本質をある程度捉えたモデルとみなされている。しかし平均場近似の妥当性はこれまで定量的には検討されていなかった。これは断層多体系での応力緩和過程を効率的に計算できるフルモデルが存在しなかったことによる。ここでは2021年度に作成したコードを用いて、モーメント解放イベントが弾性場を介して相互作用する系のレオロジーを計算し、結果を平均場モデルと比較する。この作業によって、平均場モデルの妥当性と限界を明らかにする。

C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

動的トリガリングの微視的過程を解明するため、断層ガウジを模した粉体層に動的な応力摂動を与えた際の応答について、離散要素シミュレーションを用いて調べる。2022年度においては動的応力摂動の周波数を固定した上で、振幅依存性を調べる。先行研究の実験では、動的摂動の影響が長期的に（スティックスリップのサイクル複数回に）及ぶことが確認されている。そのような長期的記憶が粉体層のどのような物理量の変化として保持されるのか、空隙率などマクロな量のみならず粒子間接触状態などミクロな量の緩和状況をシミュレーションを用いて調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所, 数理系研究部門, 東京大学大学院理学系研究科
他機関との共同研究の有無：有
波多野恭弘（大阪大学理学研究科）, 新山友暁（金沢大学自然科学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻理論物質学講座

電話：

e-mail：

URL：<http://thmat8.ess.sci.osaka-u.ac.jp>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：亀伸樹

所属：東京大学地震研究所

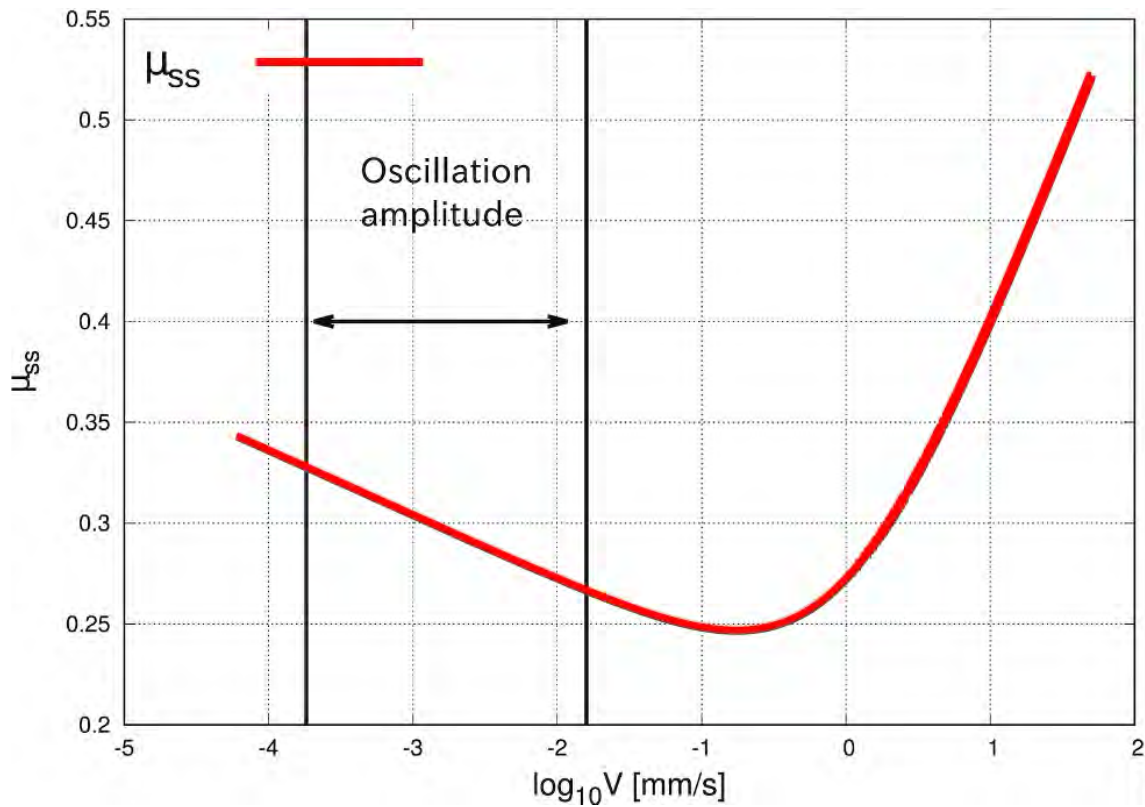


図1

ここで提唱された摩擦法則の定常状態での値と、実現されるリミットサイクルでの速度範囲。radiation dampingなしで安定なリミットサイクルが実現されるが、それは速度強化領域に達しておらず、速度強化が安定化に効いているわけではないことが分かる。

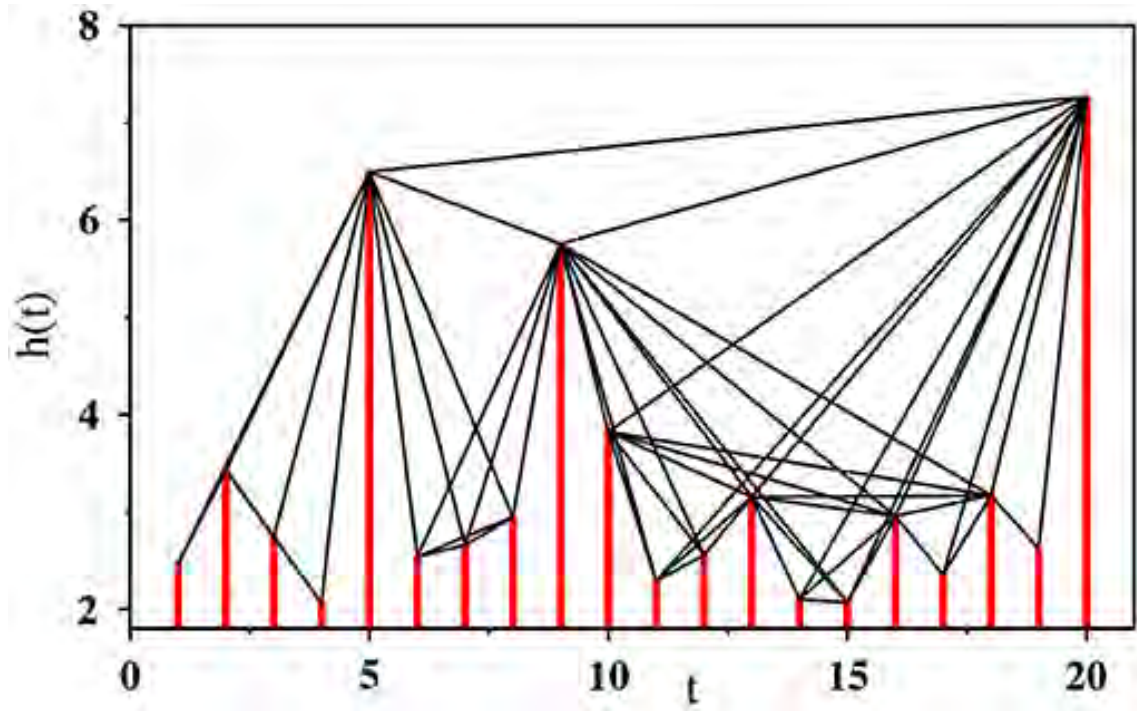


図2
 マグニチュード時系列を数学的なグラフに直す概念図。これで時系列がグラフにマップされる。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

千島海溝・日本海溝における複合海底地震測地観測によるプレート境界の挙動解明とそのモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本海溝，房総半島沖相模トラフの沈み込み型プレート境界における多様なすべり現象の時空間分布を長期海底観測により明らかにする．余効すべりがほとんど起こっていない東北沖地震の本震時すべりが大きかった領域において，プレート内地震活動に着目して，そこでの応力状態を推定することを通して，間接的にプレート境界の力学状態の時空間分布の推定を試みる．また，本震破壊域内においてプレート境界型地震の活動が回復する過程を追跡することで，そこでの巨大地震発生後のプレート境界の固着・すべり状態を把握する．また，東北沖地震後に余効すべりが卓越している領域では，それを背景として発生している多様な低周波微動・（超）低周波地震・周期的スロースリップなどに注目して，プレート間すべり速度の時空間発展や，それらすべり現象の相互作用を明らかにする．

日本海溝と対比的に，近い将来に巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖ではGPS/A観測点や海底間音響測距からなる海底測地観測によりプレート間固着の実態，特に固着域の上端の位置を明

らかにする。これに加えて、海底圧力観測の高度化によって鉛直変動場の把握を図り、プレート境界浅部での固着・すべり状態の連続的な変化の理解を試みる。海底測地観測網と陸域GNSS観測網を併合利用することで海域から陸域にかけて長大測地測線を構築し、千島弧のレオロジー構造を考慮することで、より正確なプレート間固着の下端の位置の推定精度を向上させ、来るべき巨大地震の震源域の幅を制約する。

実験・モデル研究では、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界の状態を再現した摩擦実験により、摩擦構成則パラメータの温度・変位速度・間隙水圧・物質（粘土鉱物含有量など）依存性を明らかにし、それらを反映した数値モデリングによって浅部から深部までのプレート境界のすべり挙動を再現する。さらに、観測により得られた知見と併せて、日本海溝や相模トラフにおけるプレート境界断層の多様なすべりの空間分布、相互作用や時間発展を明らかにするモデルの高度化を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：

- ・千島海溝根室沖において、GNSS/A装置及び海底間音響測距装置による海底地殻変動観測を開始する。また根室沖におけるプレート間固着の定量把握のために当該地域のレオロジー構造の検討を開始する。
- ・日本海溝北部東北沖地震震源域外側領域における日本海溝北部におけるGNSS/A観測を実施する。また宮城沖において、長期観測型自己浮上式海底地震計による海底地震観測を実施する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を行う。
- ・深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2020年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続するとともに、ドリフト自己校正機能付海底圧力観測を実施する。広域地殻変動モデリングのためのレオロジー構造のプロトタイプモデルを構築する。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続・実施する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を実施する。
- ・初年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2021年度

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続し、初期的な水平変位場の検出を試みる。得られた地殻変動場を説明するプレート間固着の予察的モデルを得る。2020年度に設置したドリフト自己校正機能付海底圧力計を回収し、その精度検証を実施する。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・スロー地震現象の探索およびプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。

引き続き深海掘削やコアリングにより得られた資料を用いたプレート境界状況再現実験を継続する。

2022年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続する。機能を改良したドリフト自己校正機能付海底圧力計を海底ケーブル式観測点のごく近傍に投入し、その精度検証を行う。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、地震活動の回復の時空間分布を把握する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を継続する。
- ・前年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続しつつ、観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明する予察的なモデルの構築を行う。

2023年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を終了して、成果のとりまとめを行う。また地殻変動場

を説明するプレート間固着モデルを構築する。前年度投入したドリフト自己校正機能付き海底圧力計を用いた観測との比較から、海底ケーブル式観測点の水圧計の長期ドリフト特性の抽出を行う。

- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続し、変位速度ゆらぎの有無について検証を行う。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、東北沖地震以降の地震活動の回復の時空間分布を明らかにする。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における海底上下地殻変動観測の結果をとりまとめ、プレート間滑りを推定する。
- ・過去4年間に実施したプレート境界状況を再現した摩擦実験の結果と、観測により得られた観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明するモデルを提示する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

海域観測研究

近い将来に巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖において、GNSS/A (GPS/A) 観測を新青丸KS-21-05次航海とこの航海で投入した無人機（ウェーブグライダー）で行った。これが、令和元年度に開始して以来3回目の観測で、過去2回の測位結果と整合する測位結果が得られており、海中音速の時空間不均質の補正などによる詳細解析を通して、この海域におけるプレート境界浅部における固着状態を明らかにすることができるかと期待できる。

日本海溝沿いでこれまでに実施してきたGNSS/A観測で得られたデータの再解析を行うことで、上下変動を含む東北沖地震後の広域な海底地殻変動場の詳細が明らかとなってきた。特に、上下変動の空間分布は本震後の粘弾性緩和のモデルについて新たな拘束を与えるものであり、粘弾性緩和による変動成分を従来より適切にモデル化することを通して、プレート境界面上での固着・すべりの分布の推定精度の向上が期待される。さらに、スロースリップに起因するような非定常変動の検知を目的とした高頻度観測を、上記の根室沖の観測でも活用したウェーブグライダーをもちいて、5月と10月の2回実施した。

日本海溝から千島海溝の海域における低周波微動の活動について、過去の実施された自己浮上式海底地震計を用いた稠密地震観測のデータをもとに解析を進めた。微動活動が活発化する前後で、微動活動域の近傍でも通常地震活動が活発化する事例を複数確認することができた(図1)。日本海溝北部で観測にされた活発化イベントの一つを精査したところ、微動活発化に引き続いて小繰り返し地震を含む通常地震の活動が、微動発生域に隣接した場所で活発化したことが確認され、微動と通常地震の活発化の背景に共通する非地震性すべりの存在が示唆される。日本海溝—千島海溝会合部では、S-netで観測されている現在の微動発生域において類似の時空間クラスタ構造を呈する微動活動エピソードが2003年十勝沖地震(M8.0)の発生直後と3年後にも見られたが、現在の活動と比べてエピソードの活動継続時間が現在より長い、あるいは、エピソードの発生間隔が短かいといった違いが認められた。一方で、2008年茨城県沖の地震(M7.0)の直後には、現在の微動活動が活発ではない領域で、微動が発生していたことが明らかとなった。こうした結果は、プレート境界型大地震後の余効すべりが微動活動に及ぼす影響を示す重要な事例である。

日本海溝南部では、2011年東北沖地震時の大規模なプレート境界浅部でのすべりは発生せず、地震後に顕著な余効すべりが進行している原因を、すべり様式の境界が重力異常分布の境界と一致していることに注目し、海山の沈み込みに起因するプレート境界沿いの低速度・低密度の薄い層の存在を考慮した地震サイクルシミュレーションを行った(図2)。これにより、深海底タービダイトの分布から明らかにされたM9級巨大地震の発生サイクルをモデル化することに成功した。

日本海溝中部で地震発生サイクルシミュレーションを行い、東北沖地震後の宮城県沖地震の準備過程について検討するとともに、宮城県沖地震の余効すべりに着目して結果を分析した。これにより、M9地震発生サイクルの後半に発生する宮城県沖地震の余効すべりはupdip側への伝播が顕著であるのに対し、M9地震後に発生する宮城県沖地震の余効すべりはupdip側へはあまり広がらないという違いがみられた。また、シミュレーションでは、M9地震後の宮城県沖地震の破壊は震源域のdowndip側で始まったが、この特徴は、2021年3月と5月に宮城県沖で発生したM6.9とM6.8の地震について報告されている破壊過程と調和的であった。

2014年に発生した房総沖スロースリップの海底圧力計データの解析を行った。2台の圧力計データとその場所に対応した海洋モデルデータに対してマルチチャンネル特異スペクトル解析を用いて成分に分け、圧力計データと海洋モデルの相関がよい成分のみを海洋変動として除去した。その結果、単純に圧力計データから海洋モデルを差し引く(標準偏差は約1.6hPa)より、よりよいデータ(標準偏

差は約1.0hPa) が得られた (図3)。

周期的スロースリップを繰り返す三陸沖北部の海溝近傍において、低周波微動・超低周波地震の活動を把握するために、海底地震計群列(OBS-array)を2カ所に設置して、Array of Array (AoA)を形成し、周辺に長期観測型海底地震計を2020年10月に設置した。一つのOBS-arrayは固有周期1秒の地震計を搭載した長期観測型海底地震計から構成され、周辺に、Nanometrics社Trillium Compact (固有周期120秒) 地震計をセンサーとする広帯域海底地震計を設置した。広域観測網を構築する広帯域海底地震計には、直径65cmの耐圧容器を用いて、消費電力の大きい広帯域地震計においても、2年間の観測期間を確保したことが特徴である。これらの海底地震観測網は、2022年2月に回収された。宮城県はるか沖の日本海溝周辺に固有周期1秒の地震計を搭載した長期観測型海底地震計を2019年8月に設置し、長期海底地震観測を行っていたが、2022年2月に回収作業を行った。2020年11月に青森県東方沖で発生した地震の震源域周辺において、2021年2月から2022年2月まで、固有周期120秒の地震計センサーを搭載した小型広帯域海底地震計を設置して、モニタリング観測を行った。房総半島沖において、8月に自己浮上式海底圧力計4台の設置、2台の回収を、新青丸を用いて行った (KS21-19次航海)。現在は、既存の2台と合わせて6台での観測を行っている。

実験・モデリング研究

沈み込み帯プレート境界断層の摩擦挙動に対する層状珪酸塩鉱物の影響を明らかにするべく、石英・滑石混合ガウジを用いて、室温、有効法線応力10 MPaの条件下で摩擦実験を行った。その結果、滑石含有量の増加 (0~20 wt%) に伴って、ガウジの摩擦挙動は固着すべり ($a - b < 0$) からゆっくりとした固着すべり ($a - b \approx 0$) を経て安定すべり ($a - b > 0$) へと遷移した (図4)。このことは、プレート境界断層帯内の層状珪酸塩鉱物の存在がスロースリップの発生に必要な速度中性条件をもたらしている可能性を示唆している。

日本海溝に沈み込む太平洋プレートの被覆層チャートの主成分であるオパールについて、日本海溝沈み込み帯浅部の温度 (25~150°C) ・封圧 (150 MPa) ・間隙水圧 (50 MPa) 条件下で変位速度急変摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化とその要因について検討した。実験の結果、温度上昇に伴って摩擦強度が増大し、100°C以上の温度で変位速度上昇に伴って摩擦強度が低下する速度弱化的挙動となり、150°Cで地震性断層運動に対応する固着すべりが起こることが明らかとなった (図5a)。変位速度・状態依存摩擦構成則による摩擦データのフィッティングの結果、定常摩擦係数は温度上昇または変位速度低下に伴って増大し (図5b)、一方、 $a - b$ 値は温度上昇または変位速度低下に伴って減少し、100°C以上の温度で負となり、高温・低変位速度ほど負の大きな値になった (図5c)。以上の実験結果は、オパールの摩擦特性が温度だけでなく変位速度によっても変化することを示しており、熱活性プロセスの関与を示唆している。100°C以上の温度の実験後試料にはガウジ粒子の癒着が認められることから、観察された摩擦特性の温度・変位速度による変化は圧力溶解の作用に起因している可能性がある。

海山由来の玄武岩試料について、沈み込み帯浅部の温度 (25~150°C) ・封圧 (150 MPa) ・間隙水圧 (50~125 MPa) 条件下で変位速度急変摩擦実験を行い、沈み込んだ海山がアスペリティとしてふるまう性質を持つ可能性について検討した。その結果、 $a - b$ 値は温度上昇に伴って正から負へと変化すること (図6a)、温度50°Cの沈み込み帯浅部の温度条件下では有効圧に関わらず $a - b$ 値が正となること (図6b) が明らかとなった。これは、沈み込み帯浅部では海山がプレート境界型地震やスロー地震の震源となる可能性は低いものの、沈み込む深度が深くなり温度が上昇していくと不安定な挙動を示すアスペリティとしてふるまう可能性を示唆している。

1896年明治三陸津波地震の破壊過程を解明するために、速度構造探査から明らかにされている低剛性率の付加体を考慮した、すべり依存則に基づく動的破壊のモデルを構築した (図7a)。破壊速度は付加体のS波速度に規定され、1.5 km/sと遅くなることがわかった。さらに付加体内にエネルギーがトラップされ、付加体内では大きな地震動が生じるが、陸域などその外側では地震動が弱くなることがわかった (図7b)。世界の各地域の沈み込み帯でも低速度域がある場所で津波地震が発生しており、同様のメカニズムで発生している可能性がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

千島海溝および日本海溝沿いでGNSS-A海底地殻変動観測を継続して実施してきたことにより、これらの海域におけるプレート間の固着状態が明らかになりつつある。海底地震観測により、低周波微動と通常地震の連動した活動の実態が明らかとなりつつあり、これはスロー地震と通常地震の発生メカ

ニズムの関連性の解明に寄与するものである。プレート境界を構成する複数種類の物質についての摩擦特性の温度・圧力依存性に関する室内実験や、海溝近傍の低剛性を考慮した津波地震発生モデル構築は、すべりの多様性を生み出す断層面の摩擦特性の理解につながるものである。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Nakata, R., T. Hori, S. Miura, and R. Hino, 2021, Presence of interplate channel layer controls of slip during and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake through the frictional characteristics, *Sci. Rep.*, 11, 6480, 1-11, doi:10.1038/s41598-021-86020-9

Murakami S., T. Ichimura, K. Fujita, T. Hori, and Y. Ohta, 2021, Sensitivity analysis for seafloor geodetic constraints on coseismic slip and interseismic slip-deficit distributions, *Front. Earth Sci.*, 9, 600946, doi:10.3389/feart.2021.614088

Shinohara, M., T. Yamada, K. Uehira, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, 2021, Development and operation of an Ocean Bottom Cable Seismic and Tsunami observation system (OBCST) in the source region of the Tohoku-oki earthquake, *Earth Space Sci.*, doi:10.1029/2020EA001359, 2021

Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita, 2021, Development of a Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 3610-3625, <https://doi.org/10.1785/0220210100>

Hirauchi, K., Nagata, Y., Kataoka, K., Oyanagi, R., Okamoto, A., and Michibayashi, K., 2021, Cataclastic and crystal-plastic deformation in shallow mantle-wedge serpentinite controlled by cyclic changes in pore fluid pressures, *Earth and Planetary Science Letters*, 572, 117232, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117232>

Hirauchi, K., Segawa, I., Kouketsu, Y., Harigane, Y., Ohara, Y., Snow, J., Sen, A., Fujii, M., and Okino, K., 2021, Alteration processes recorded by back-arc mantle peridotites from oceanic core complexes, Shikoku Basin, Philippine Sea, *Island Arc*, 90, e12419, <https://doi.org/10.1111/iar.12419>

篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・酒井慎一, 2021, 分散型音響センシング計測と三陸沖海底光ケーブル観測システムによる地震観測, *月刊地球*, 44, 37-43

・学会・シンポジウム等での発表

本莊千枝・木戸元之・富田史章・日野亮太, 2021, 2011年東北地方太平洋沖地震後の海底上下動分布と三陸沖海溝軸近傍の隆起傾向, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P03

中田令子・堀高峰・三浦誠一・日野亮太, 2021, 日本海溝における地震発生サイクルの数値シミュレーション, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P06

後藤博文・日野亮太, 2021, 2011年東北地方太平洋沖地震震源周辺の本震前微小地震活動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P08

高橋秀暢・日野亮太・内田直希・東龍介・川久保晋・太田和晃・篠原雅尚, 2021, 2011年東北沖地方太平洋沖地震発生以前の日本海溝低周波微動の活動様式, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P09

川久保晋・東龍介・日野亮太・高橋秀暢・太田和晃・篠原雅尚, 2021, 波形情報に基づく微動判定により見えた2006~2007年の北海道襟裳沖における低周波微動・通常地震活動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG39-P21

東龍介・川久保晋・高橋秀暢・日野亮太・太田雄策・高木涼太・鈴木秀市・佐藤真樹子・田中伸一・篠原雅尚, 2021, 広帯域海底地震観測で捉えた北海道襟裳沖に沈み込んだ海山周辺の地震活動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG39-23

東龍介・小平秀一・日野亮太・藤江剛・尾鼻浩一郎・富田史章・太田雄策, 2021, OBS/MCS探査が明らかにした北海道下に沈み込む太平洋プレートの構造変化とその解釈 (招待講演), 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG55-07

木戸元之・本莊千枝・木村友季保, 2021, 様々な観測形態によるGNSS-音響方式での上下動検出について, 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS19-P04

木戸元之・福田達也・太田雄策・富田史章・本莊千枝・飯沼卓史, 2021, ウェーブライダーによるGNSS-A観測データの準リアルタイム伝送, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG45-16

大塚英人・太田雄策・日野亮太・久保田達矢・稲津大祐,2021,DONET海底水圧計データに記録される水圧の水深依存性および年周変化の特性,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG45-14
太田雄策・木戸元之・本莊千枝・木村友季保・佐藤真樹子・鈴木秀市・東龍介・大園真子・青田裕樹・高橋浩晃・富田史章・飯沼卓史・篠原雅尚・日野亮太,2021,GNSS-A観測に基づく千島海溝根室沖における海底地殻変動の予備的結果,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS05-08
清水健太・佐藤利典・村田耕一・碓氷典久・塩原肇・山田知朗・篠原雅尚,2021,マルチチャンネル特異スペクトル解析を用いた海底圧力計データからの海洋変動成分の除去,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG45-P17
金川久一・嵯峨野紗弓・林拓真・藤森純矢・澤井みち代,2021,日本海溝に沈み込む堆積物・岩石の沈み込み帯浅部条件における摩擦特性,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG54-09
澤井みち代・山内勇人・早坂康隆・金川久一,2021,緑色岩の摩擦特性：海山の沈み込みと地震発生への示唆,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS08-11
芝崎文一郎・篠島僚平,2021,Modeling stress field and deformation associated with the Tohoku-Oki earthquake: Understanding the dynamics of the northeastern Japan islands arc-trench system (招待講演),日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG54-02
金木俊也・野田博之,2021,ビトリナイト反射率から最高被熱温度を推定するEASY%Roモデルの近似式について,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG50-P13
富田史章・飯沼卓史・木戸元之・本莊千枝・太田雄策・福田達也,2021,ウェーブライダーを用いたGNSS-A海底地殻変動観測と近年の東北沖での海底地殻変動の傾向,日本地震学会2021年度秋季大会,S03-09
川久保晋・東龍介・日野亮太・高橋秀暢・太田和晃・篠原雅尚,2021,海底余震観測記録の再解析による2003年十勝沖地震(M8.0)直後の低周波微動活動,日本地震学会2021年度秋季大会,S09-24
中田令子・日野亮太,2021,2011年東北地方太平洋沖地震後の宮城県沖地震の準備過程,日本地震学会2021年度秋季大会,S08P-07
太田雄策,本莊千枝,佐藤真樹子,鈴木秀市,東龍介,日野亮太,木戸元之,富田史章,大園真子,高橋浩晃,飯沼卓史,篠原雅尚,2021,千島海溝根室沖における複合海底測地観測,海と地球のシンポジウム2021
Linuma, T., M. Kido, T. Fukuda, F. Tomita, Y. Ohta, C. Honsho and R. Hino,2021,Wave Glider to detect the seafloor crustal deformation off the Pacific coast of Northeastern Japan,American Geophysical Union Fall Meeting 2021,,G25B-0351
清水健太・佐藤利典・村田耕一・碓氷典久・塩原肇・山田知朗・篠原雅尚,2021,マルチチャンネル特異スペクトル解析を用いた海底圧力計データからの海洋変動成分の除去,JPGU Meeting 2021,SCG45-P17
金川久一・石井智大・舟木智也・藤森純矢・澤井みち代,2021,南海トラフ付加体泥質ガウジの摩擦特性の深度変化,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG51-03
金川久一・小川拓馬・奥野雄介・藤森純矢・澤井みち代,2021,Depth-dependent static frictional properties of mud gouge in the Nankai Trough accretionary prism,日本地質学会第128年学術大会,T1-O-4
Tsuda, K., and Shibasaki, B,2021,Investigation of the tsunami earthquake mechanism based on dynamic rupture simulations,AGU Fall Meeting 2019,S52C-05

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

海域観測研究

千島海溝根室沖および日本海溝沿いにおける海底地殻変動観測を継続する。ドリフト自己校正機能付き海底圧力観測システムで得られたデータをS-netやDONETで得られたデータと比較することにより性能評価を実施する。海陸にわたる広域地殻変動モデリングのために必要となるレオロジー構造について検討を継続して進める。また、えりも沖ならびに三陸沖北部における広帯域海底地震観測を継続して実施し、低周波微動や超低周波地震の震源位置の推定精度向上をめざす。宮城県沖における自己浮上式海底地震観測を継続する。日本海溝北部における海底地殻変動観測とスロー地震活動把握のための海底地震計アレイ観測を継続する。スロースリップイベント観測のために房総半島沖で継続してい

る精密海底水圧計を用いた海底上下地殻変動観測について、精密海底水圧計の回収及び再設置を行う。海底観測で得られたデータ処理を実施して、地殻活動の把握を行う。

実験・モデリング研究

- ・西南日本沈み込み帯におけるepisodic tremor and slip (ETS) は、蛇紋岩化した前弧マントルウェッジの基底部で発生する。従って、ETS発生機構の解明には高間隙流体圧における蛇紋岩のすべり様式の理解が不可欠である。令和4年度ではETS発生域に相当する温度圧力条件下において蛇紋岩の高圧変形実験を行い、蛇紋岩の変形様式に対する間隙流体圧の影響について明らかにする。
- ・日本海溝へ沈み込む海洋プレートの基盤岩・被覆層堆積物試料について沈み込み帯震源域上限付近の温度・圧力条件下で三軸摩擦実験を継続し、摩擦特性に対する間隙水圧の影響を検討する。
- ・海山を構成する物質について不安定な挙動を示す可能性のある温度・圧力条件下で三軸摩擦実験を行い、その摩擦特性に対する間隙水圧の影響を検討する。
- ・根室沖、十勝沖、さらに三陸はるか沖を対象に、過去のアスペリティ、浅部摩擦特性、さらに、スロースリップの発生域を考慮した準動的地震発生サイクルモデルを構築する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）、塩原肇（東京大学地震研究所）、望月公廣（東京大学地震研究所）、山田知朗（東京大学地震研究所）、一瀬建日（東京大学地震研究所）、悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

日野亮太（東北大学）、木戸元之（東北大学）、太田雄策（東北大学）、東龍介（東北大学）、高橋浩晃（北海道大学）、村井芳夫（北海道大学）、大園真子（北海道大学）、佐藤利典（千葉大学）、伊藤喜宏（京都大学防災研究所）、山下裕亮（京都大学防災研究所）、八木原寛（鹿児島大学）、仲谷幸浩（鹿児島大学）、気象庁、金川久一（千葉大学）、澤井みち代（千葉大学）、平内健一（静岡大学）、廣瀬丈洋（海洋研究開発機構）、谷川亘（海洋研究開発機構）、芝崎文一郎（建築研究所）、野田博之（京都大学）、安藤亮輔（東京大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

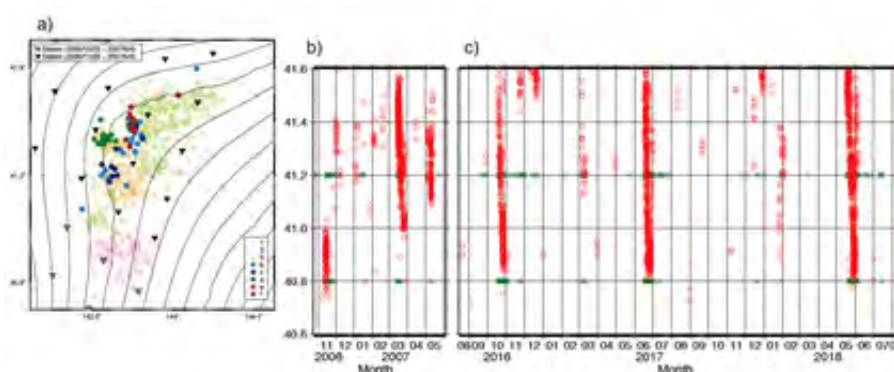


図1

日本海溝一千島海溝会合部におけるテクトニック微動活動。(a)2006~2007年の観測で検知された微動の震

央分布。3期の顕著な活動エピソード（1～3）と高頻度小規模活動（b~f）が認められた。(b) 2006~2007年の微動活動の時空間分布。緑×はBaba et al. (2020)によるVLFE。(c)2016~2018年の微動活動(Nishikawa et al., 2019)の時空間分布。

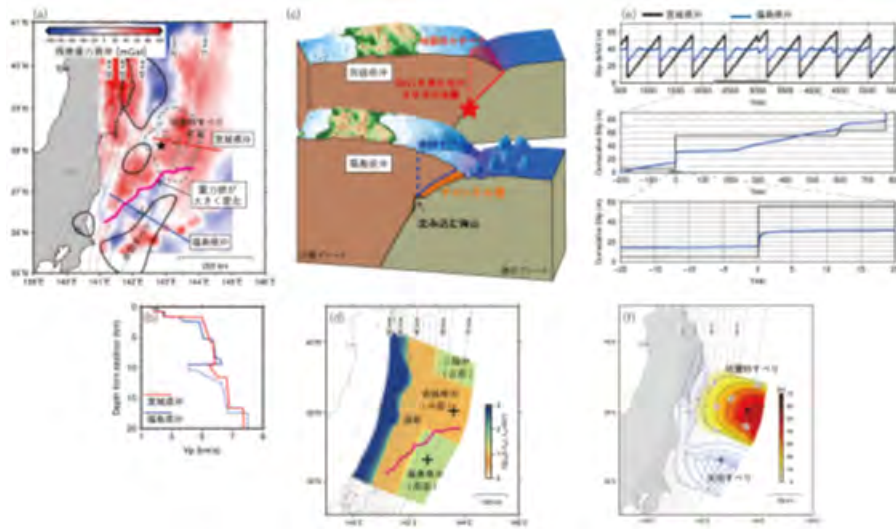


図2

(a) 残差重力異常の分布 [modified from Bassett et al., 2016]。ピンク色の線を境に、残差重力値が正から負に大きく変化している。灰色点線は、東北沖地震時の大すべり域 [Inuma et al., 2012]。黒線は余効すべり域 [Inuma et al., 2016]。赤線（宮城県沖）と青線（福島県沖）は図cのおおよその位置を示す。(b)宮城県沖（赤線）と福島県沖（青線）で推定された地震波速度構造。(c)日本海溝中部（上）と南部（下）の地形の鳥瞰図と、断面図。中部は東北沖地震時の大すべり域であり、赤星印は震源を示す。余効すべりが発生している南部のプレート境界には、沈み込む海山によって形成されたチャンネル層（オレンジの部分）が存在する。この模式図では高さ方向を強調している。(d) チャンネル層を考慮した摩擦分布モデル。(e)地震発生サイクルシミュレーションで得られた中部（黒線）と南部（青線）でのすべり欠損や累積すべり量の時間変化。(f) 数値シミュレーションで得られたM9クラス地震時のすべり（暖色）と余効すべり（青線）の空間分布。

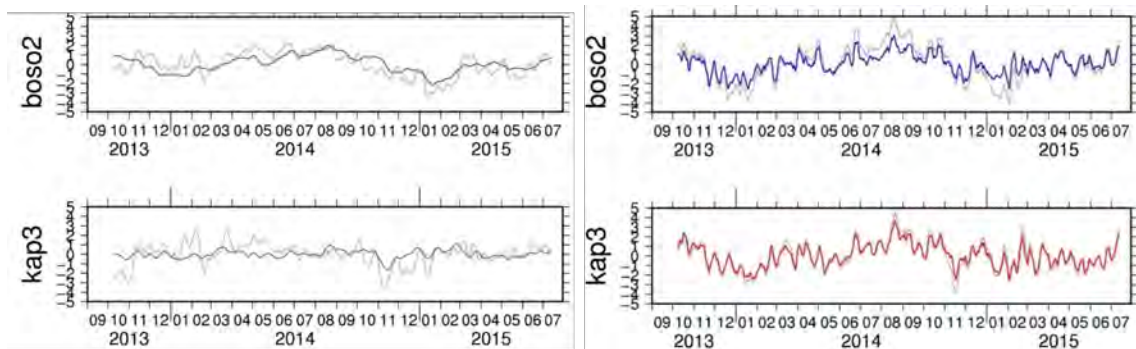


図3

（左図）再構成海洋モデルデータ。縦軸は圧力変化[hPa]。横軸は年月。色付線：再構成海洋モデル、灰線：元の海洋モデル。（右図）再構成海洋モデル除去結果。

色付線：OBPデータから再構成海洋モデルを除去したもの、灰線：元のOBPデータ

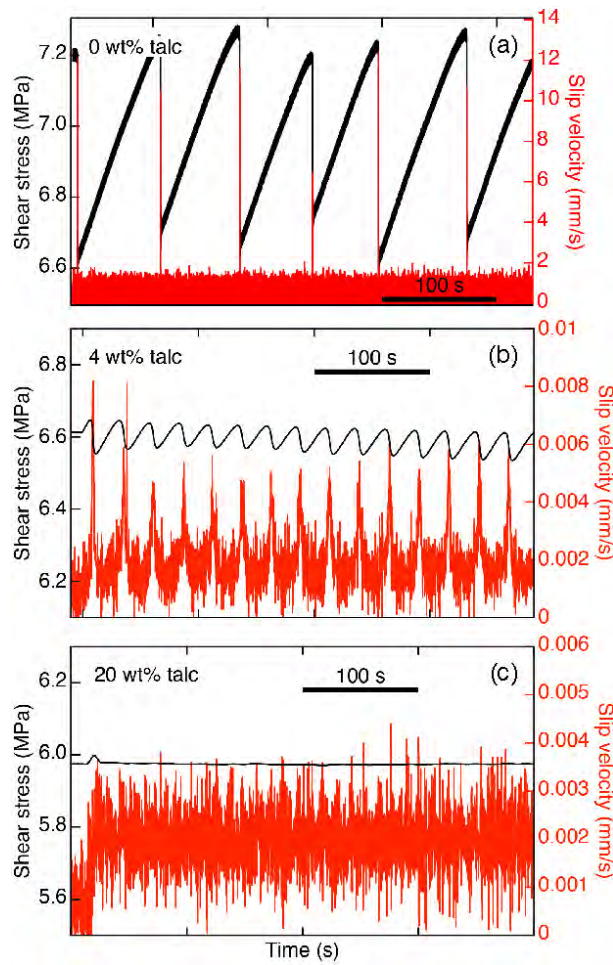


図4 石英・滑石ガウジの剪断応力（黒曲線；左側縦軸）と変位速度（赤曲線；右側縦軸）の時間変化．(a) 滑石含有量0 wt%の場合．(b) 滑石含有量4 wt%の場合．(c) 滑石含有量20 wt%の場合．不安定すべり時の最大変位速度は、滑石含有量が0 wt% (a) と4 wt% (b) の間で約4桁の違いがある．

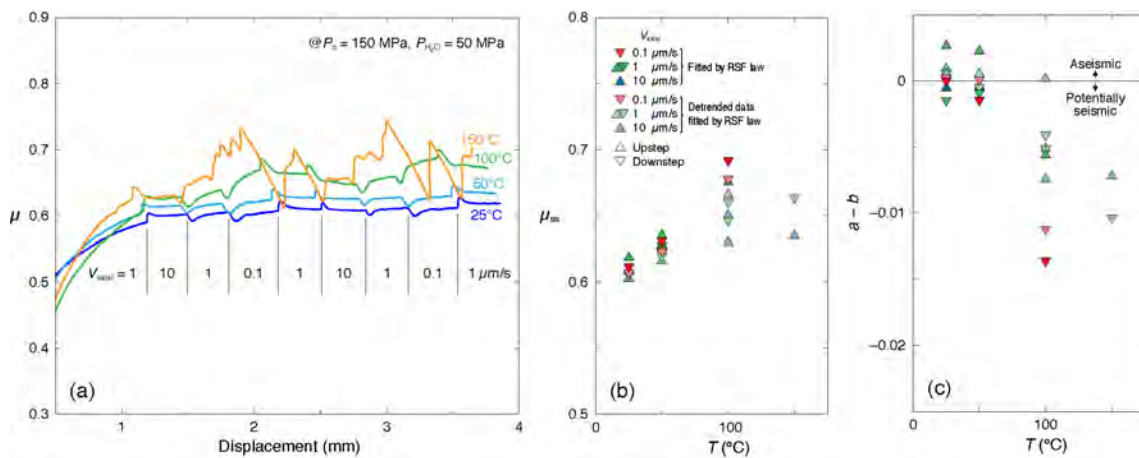


図5 (a) オパールガウジの変位速度急変摩擦実験結果．(b) 定常摩擦係数の温度変化．(c) $a - b$ 値の温度変化． μ ：

摩擦係数, μ_{ss} : 定常摩擦係数, T : 温度, V_{axial} : 軸方向変位速度, P_c : 封圧, P_{H_2O} : 間隙水圧, RSF law: 変位速度・状態依存摩擦構成則.

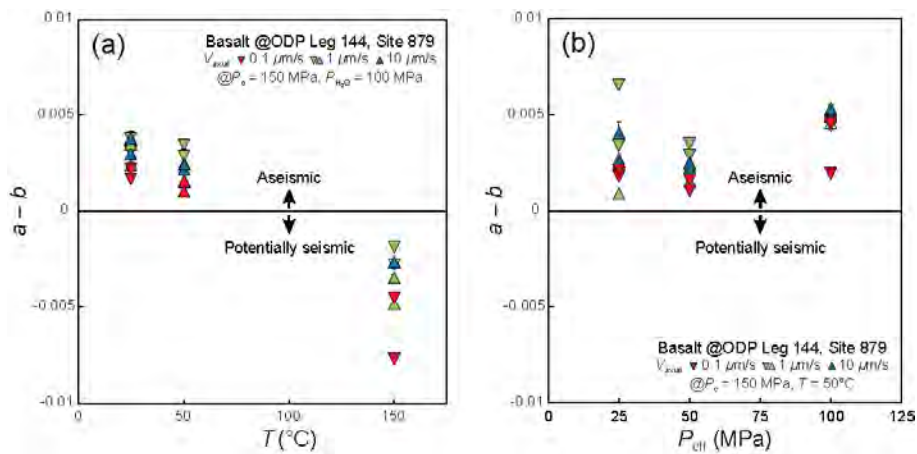


図6

玄武岩の変位速度急変摩擦実験から得られた $a - b$ 値の温度依存性 (a) および有効圧依存性 (b). V_{axial} : 軸方向変位速度, T : 温度, P_c : 封圧, P_{H_2O} : 間隙水圧, P_{eff} : 有効圧.

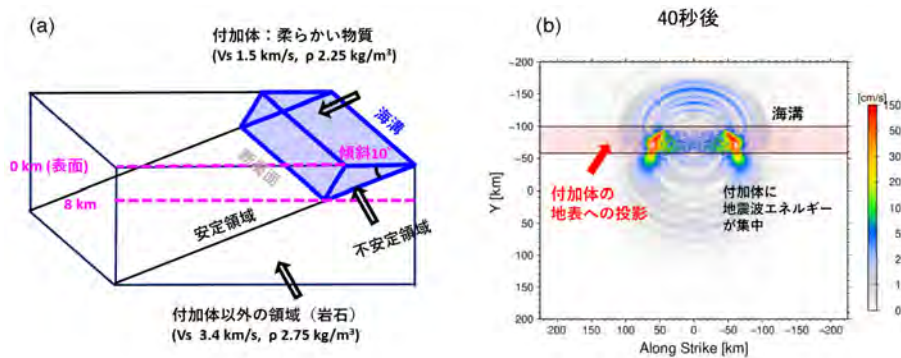


図7

(a) モデルに用いた媒質構造. 付加体で低剛性率を考慮したモデル化を実施. (b) 破壊過程のモデル化で得られた地表での地震動. 付加体にエネルギーがトラップされ, その外側では振幅が小さくなっている.

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

より現実的な断層面ダイナミクス

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
 - ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

様々な滑りイベントが大地震を誘発する可能性が観測から示唆されているが、大地震を対象に経験の蓄積によって誘発確率を推定するには非常に長い時間がかかる。地域によっては、リアルタイムでゆっくり滑りの発展をモニタできる場合があり、予想される推移とそれが地震発生につながる可能性について緊急に評価を迫られる状況が起きうる状況である。断層ダイナミクスにもとづく演繹的なモデルによって、確率的な推移予測を行うには、低速から高速までの変形に対する現実的な断層物性の巨視的な分布と、観測から伺い知れない小規模の不均質が推移にどれくらい影響するかを知ることが必要である。これまでの計画で高度化してきた室内実験、数値実験、理論的考察によって、以下の点を明らかにする。断層深部においては、岩石のバルク流動の実験データを充実させ、理論モデルを用いて外挿する。摩擦実験においては、SSEの有力なメカニズムである、ヒーリングメカニズムのカットオフ現象を解明する。また、動的破壊時の高速滑りに関して最も一般的なメカニズムと期待されるフラッシュヒーティングによる発熱分布をその場観察によって解明する。様々な非線形な摩擦に支配される断層の滑りモードを俯瞰的に理解する数理理論を構築する。一方で、プレート境界にひきずり込まれた堆積物の状態を推察するために、熱水下での粉体の固結の進行に伴う機械・水理物性を実験によって解明するとともに、不均質な材料中での破壊シミュレーションにおいては、計算効率を評価し、その向上を目指す。また、摩擦物性の不均質によって、SSEや余効滑り、粘性緩和、他の地震による応力擾乱などの非定常な载荷への応答にどのようなバリエーションが現われるかを解明する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

室内実験、理論研究、数値シミュレーションは、連携を保ちつつ独立に進める。

A. フラッシュヒーティング、摩擦実験、粉体固結、超低速流動実験を安定して行うため、平成31-32年度に試料アセンブリや温度分布、計測・制御システム等の改良・調整を行い、平成33年度からデータ取得を開始、最終年度には現象論的、もしくは物理ベースの定式化を行う。

B. 数値シミュレーションでは、平成31-32年度に摩擦特性の不均質、非定常的な载荷履歴、粘弾性の効果を調査するためのモデルを作成し、平成33年度からシミュレーション結果の解釈を行う。

C. 不均質媒質中の破壊伝播では、徐々にモデルのスケールを徐々に拡大しながら計算コードの実証を行ない、効率的な実装を目指す。また、断層面での破壊モードの解析的研究においては、より一般的な摩擦則の場合および物性に不均質がある場合への拡張を進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震やSSEなど、連続体中の断層の破壊モードを統一的に理解する枠組をつくるために、連続体基板上に置いた無限に長い粘弾性ブロックを端から押すというモデルの解析を進めている。摩擦抵抗が滑り速度のみに依存する場合においては、昨年度までに、定常状態の滑り端の伝播速度の下限を得ることに成功しているが、本年度は、摩擦が滑り速度だけでなく滑り変位にも依存する、より現実的な場合への拡張を進めている(e.g., Suzuki, 2021a, JpGU)。昨年度より、摩擦応力が滑り・滑り速度に対して線形依存性(滑り弱化学率 C_1 , 速度強化学率 C_2 ; 両パラメータとも正負どちらの値も許す)をもつ場合の破壊伝播のふるまいを、伝播端の形状がintrudingタイプとextrudingタイプである場合の線形臨界安定性解析により統一的に分類することを始め、今年度、ふるまいをわける領域の境界および、それぞれの領域での伝播速度を摩擦則パラメータ(C_1, C_2)の解析式として求めることに成功した(図1)。その結果、物理的に意味のある音響モードでの伝播解はintrudingタイプ、extrudingタイプそれぞれに一つずつであり、前者の伝播速度は後者のそれより速いことがわかった。前者が高速地震、後者がゆっくり地震に対応する可能性がある(e.g., Suzuki, 2021c, AGU)。

現在、弾性体中にある平面断層での地震発生の完全動的なシミュレーションを行うには、FFTの高速を利用したスペクトル境界積分方程式法(SBIEM)が最も効率的であり、様々な研究で使われている。しかし、この手法では波数空間の離散化によって周期境界条件が要請され、目的断層の外側に周期的なレプリカがあるという状況での挙動を解いていた。よって、実際には存在しない人工的なレプリカでの滑りによる影響を抑制するために、目的断層の延長部に十分長いバッファ断層を付加して計算する必要があり、必要メモリも大きかった。本年度、周期境界条件が必要ない新たなSBIEM法の定式化に成功し、計算機に実装した。このことによって、人工的なレプリカの影響のない、物理的に完全に正しい解を得ることができ(図2)、また、必要メモリ数・計算速度が大きく改善した(Noda, 2021b)。さらに、SBIEM法に多孔質弾性反発(PoroElasticity, PE)を組み込むことに成功した(野田, 2021, SSJ)。実装においては、PEのグリーン関数の時間依存性を多数の指数減衰の足し合わせで近似して、多数のメモリ変数に関する常微分方程式を構成し、それを数値積分することで、時間畳み込みを避け、数値コストをほとんど増加させずに計算できた。PEによる本震後の間隙流体圧変化は、定性的には本震断層上での余効滑りを助長する効果があるはずなので、PEを組み込んだ動的地震サイクルシミュレーションを行ったが、ヒーリングの効果に負けてしまい、有意な余効滑りは起きなかった。

現実的な不均質構造中でのサイクルシミュレーションを行う技術開発を進めている。今年度は、付加帯構造という沈み込み帯に特徴的な構造不均質が地震発生の応力载荷過程に持つ効果を調べることを目的として、構造を単純化した「三角付加帯モデル」を考え、弾性変形を計算するための数値計算コードを拡張型境界積分方程式法(XBIEM)を用いて開発した(大竹, 2022)。固着域においてバックスリップを与え、上盤の付加帯と下盤のプレートの剛性率コントラストを系統的に変化させて、上盤・下盤におけるバックスリップの分配、海底地殻変動の大きさ、およびプレート境界応力载荷量の定量的変化を数値解析で調べた。同一バックスリップ量に対して、上盤の剛性率が小さくなるにつれ、上盤変位への分配量が増し、海底地殻変動は大きくなる方向に変化する、既往研究と調和的な結果を得た。これに応答して応力場は、空間分布はそのままに剪断応力の絶対値が小さくなった。これは、地震サイクルにおいて、低剛性率の付加帯構造があると応力载荷レートが下がることを意味する。

沈み込み帯のデコルマ断層に限らず、大地震のおこる天然の成熟した断層には、母岩の摩擦で生じた粉体層が介在することが一般的である。昨年度、粉体層のslide-hold-slide摩擦実験において共起す

る粒子間コンタクト強化による対数型エイジングと、剪断応力除荷で生じる圧密強化(応力鎖等の骨組構造の変化によると考えられる(Nakatani, 1998; Karner and Marone, 2001))のそれぞれに対応する音波透過率の変化を報告した(永田ら, 2020, SSJ)。さらに、エイジングの効果はHold後の最載荷の途中におこるわずかな滑りでほとんどが失われることが観察され、圧密強化がある程度以上大きい場合には、ピーク応力に続いて圧密強化の解消に伴う緩慢な滑り弱体化だけが起きてエイジング効果の解消に対応する急激な滑り弱体化が見えない(Nakatani, 1998)理由が理解された。しかし、一方で、ピーク応力後数ミクロンの間は、エイジング効果の解消に対応すると思われる急激な滑り弱体化が明瞭に観察される場合(hold時の剪断除荷が小さく、hold時間が長い場合)ですら、音波透過率の急激な低下は応力ピークまでに完了してしまうという、直感的には理解しがたい挙動(the puzzle)が繰り返し観察された。昨年度は、音波透過率には、断層の巨視的な強度を支配する主滑り面以外でのエイジング状態の影響を強く受けているという定性的・直感的な解釈を提案した。今年度は、気象研究所と協力して、この解釈の定量的なモデリングを試みた。主滑り面以外のバルクガウジでの状態変化を定式化するために速度・状態依存摩擦(RSF)の枠組みが使えるよう、便宜的にバルクガウジでの状態変化や非弾性変形は、バルクガウジ内に多数あると仮定した副次的剪断面でおきる(図3)とモデル化した。エイジング効果は、主、及び副滑り面ともDieterichのエイジング発展則を採用し、一方、圧密強化による強度変化をRSFの新たな状態変数として組込めるよう、Nakatani(1998)の圧密強化ルールを満たす新たな発展則を作って用いた。従来のRSFでは、巨視的な強度は種々のメカニズムで変化する強度(状態変数)の和としていた(e.g., Ruina, 19983)が、圧密強化ルールから期待される強度とエイジング効果から期待される強度の大きい方が巨視的な強度として観察されるという観察から、エイジング状態変数と圧密状態変数の大きい方が摩擦構成則の強度パラメタになるとした。これは、コンタクトが滑れないうちは、圧密度変化に必要な粒子配置の変更が不可能だろうことを思い起こせば物理的に妥当である。さらに、全ての滑り面には同じ剪断応力がかかり、巨視的な滑りは、各面の滑りの和であると考えた。一方、音波透過率は各滑り面でのエイジングによる剛性の増加と、圧密効果によるガウジ層全体での剛性増加の並列バネに支配されると考えた(図3)。各面における本モデルによる数値シミュレーションは、the puzzleを含めた挙動を、実験条件全域で定量的に再現できた。シミュレーション結果での各状態変数と主・副滑り面での速度(図4)を見ると、the puzzleの理由は、巨視的な強度は主断層のエイジングが大きいと、(巨視的な強度に対して支配的である)主滑り面のエイジング効果の解消過程は、応力ピークを過ぎてさらに数ミクロンの滑りを要するのに対して、音波透過に対して支配的な要因である(バルクガウジの状態変化を模した)多数の副滑り面での状態変化は、その滑り速度(の対数の)増加が、主滑り面の速度の圧倒的な増加によって応力ピークまでで落ち着いてしまうからであることが理解できる。今回提案したこのモデルは恣意的で、多くのパラメタを含むものではあるが、実験条件全域を説明しようとする、モデルパラメタの値は、従前の知識から妥当な値に絞られ、実際の物理メカニズムを言い当てている可能性が高い。

沈み込み帯深部のような熱水条件で期待される脆性-延性遷移領域では、岩石強度に対する有効封圧則の適用について、真実接触面積の割合が大きいと、間隙圧による機械的拘束の減少が中途半端にしか働かなくなるという説(Hirth and Beeler, 2015)と、脆性域と同様に間隙圧の効果がフルに適用できる(e.g., Noda and Takahashi, 2016)という説がある。後者は、アルゴンガスを間隙流体に用いた岩塩ガウジ層の摩擦実験によっているが、本年度は、メリーランド大学と協力して軟らかい多孔性堆積岩であるSolnhofen石灰岩(間隙率5%)のインタクト試料を用い、これまでに実験データのない、高封圧(360MPa)・高間隙圧(340-360MPa)での高温(400-500°C)変形試験を地震研の三軸試験機で行った(図5)。载荷歪み速度と、有効封圧(=封圧-間隙圧)に応じて、巨視的な脆性破断を伴う変形から、延性変形(応力指数 $n=4-12$ 程度)までが系統的に生じることを観察できた。間隙流体は水を用いた。まだ定量的な解析が十分でないが、深部スロー地震ゾーンで期待されているような、高封圧かつそれに近い高間隙圧が働いている環境で、数日間シールを保って実験できたことは大きな意義がある。なお、間隙圧=封圧の実験は、銅ジャケットに予めスリットを入れて行った。

地震震源情報を早期に得る新たな観測窓として注目されるP波前地震重力変化について、2011年東北沖地震に対してZhang et al.(2020)の理論モデルを用いてP波前地震重力変化の全成分波形と観測記録とのミスフィットから傾斜角とマグニチュードが妥当に推定できることが世界で初めて示された(Kimura, 2021, 本年度出版であるが昨年度に成果報告済)が、このP波前信号の特性は、従来の信号励起の理論的枠組みでは説明困難なままである。そこで、理論モデルの波形間のミスフィットにおいて、この特性が観察されるかどうか数値実験を行った(河合・亀2021)。P波前信号は弾性変位加速度から重力加速度変化の差をとって合成される。弾性加速度と重力加速度の波形は、それぞれ単独では特性を

示さないが、差を取って初めて特性が表れる結果となった。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Noda, H.,2021a,Shear strength of a shear zone in the brittle-plastic transition based on tensorial strain partitioning,J. Struct. Geol.,146,104313,doi:10.1016/j.jsg.2021.104313

Noda, H.,2021b,Dynamic earthquake sequence simulation with a SBIEM without periodic boundaries,Earth Planets Space,73,137,doi:10.1186/s40623-021-01465-6

Kimura, M., N. Kame, S. Watada, A. Araya, T. Kunugi, and R. Wang,2021,Determination of the source parameters of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from three-component pre-P gravity signals recorded by dense arrays in Japan,Earth Planets Space,73,223,doi:10.1186/s40623-021-01553-7

大竹和機,2022,沈み込み帯の付加体構造を考慮した静的弾性応力場の計算—XBIEMを用いて—,東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文

- ・学会・シンポジウム等での発表

Suzuki, T.,2021a,Systematic understanding of the slip-front-propagation velocity in terms of Linear Marginal Stability Hypothesis,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-07

野田博之,2021,線形多孔質弾性体中の地震サイクルシミュレーション,日本地震学会2021年度秋季大会,S08-P09

Suzuki, T.,2021b,Systematic treatment for the slip-front-propagation velocity with general friction laws and its implications for ordinary and slow earthquakes,Int. Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021,O-35

Suzuki, T.,2021c,Conditions for ordinary and slow earthquakes in terms of the analytical forms of the intruding and extruding slip-front-propagation velocities,AGU Fall Meeting 2021,S55E-0188

鈴木岳人,2021a,1次元モデルでの2種類の滑り分布における滑り端伝播速度の存在条件,日本物理学会2021年秋季大会,20pL4-12

鈴木岳人,2021b,2種類の滑り伝播端形状に対する伝播速度の存在条件とその物理的解釈,日本地震学会2021年度秋季大会,S08-17

鈴木岳人,2021c,1次元モデルにおける滑り伝播端の2つの形状と多様な伝播速度,日本物理学会第76回年次大会,14aL1-10

遠藤峻平・西尾 泉・鈴木岳人・松川 宏,2021,回転型実験装置による粉体の摩擦実験,日本物理学会第76回年次大会,14aL1-9

鈴木岳人,2021d,多孔質媒質中におけるk-epsilonモデルに現れる初期条件鋭敏性とその数理的応用,日本応用数理学会第17回研究部会連合発表会

Kame, N., M. Kimura, S. Watada, A. Araya, T. Kunugi, and R. Wang,2021,Determination of the source parameters of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from three-component pre-P gravity signals recorded by dense arrays in Japan,日本地球惑星科学連合2021年大会

河合 貫太郎・亀 伸樹,2021,P波前地震重力信号に現れる地震波形と異なる見かけの震源励起依存性,2021年日本地震学会秋季大会,S08-22

奥出桜子・清水 以知子,2021,スラブマントル条件下におけるアンチゴライト蛇紋岩の脱水変形実験,日本地球惑星科学連合大会,SCG46-07

奥出桜子・清水 以知子・緒方夢顕,2021,スラブマントル条件下におけるアンチゴライト蛇紋岩の変形促進脱水反応,日本地質学会名古屋大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

断層の破壊モードを統一的に理解する試みについては、伝播端速度の解析的値は得られたが、その

導出で用いた線形化の仮定が有効であるか否か、数値的確認として、実際に非線形な摩擦則を仮定して伝播速度を求める。特にextruding frontはSuzuki and Matsukawa (2019)でも見られたようにゆっくり地震の伝播速度の理解において重要になる可能性があり、これを具体的な摩擦則の下で再現することを試みる。

不均質中での破壊計算手法の開発については、沈み込み帯の付加帯構造を模した「三角付加帯モデル」での地震発生サイクルシミュレーションの計算コードの開発に進む。本年度に抽出された構造不均質の断層応力載荷への有意な効果が地震発生サイクルにどのような影響を及ぼすかを調べる。また、孔質弾性反発を考慮したサイクルシミュレーションを論文化する。

ガウジの摩擦特性については、音波透過による状態モニタの結果を論文化し、また、回転摩擦試験機により水に飽和した条件での大変位摩擦実験を行って、極低速滑りにおける模擬断層ガウジの摩擦特性を調べる。また、三軸試験機により、熱水化での固結試験を行う。さらに、実験で剪断した粘土鉱物の変質を調べる。

P波前地震重力信号の研究については、2011年東北沖地震のP波前信号波形の観測記録と理論波形を用いてCMT解析を行い、既に推定に成功した震源メカニズムとマグニチュードに加えて、これまで既知量として解析に用いてきた震源位置を同時に決定することを試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中谷正生（東京大学地震研究所）、亀伸樹（東京大学地震研究所）、吉田真吾（東京大学地震研究所）、大谷真紀子（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

清水以知子（京都大学大学院理学研究科）、野田博之（京都大学防災研究所）、鈴木岳人（青山学院大学）、桑野修（海洋研究開発機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中谷正生

所属：東京大学地震研究所

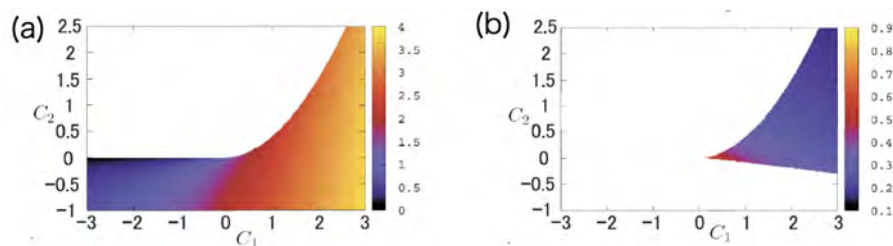


図1. 滑りと速度に依存する摩擦のもとで生じる音響モードの破壊伝播速度(カラスケール) (鈴木, 私信より改変)

(a)intrudingタイプの破壊端の場合。(b)extrudingタイプの破壊端の場合。 C_1 は摩擦の滑り弱化的程度(負値は滑り強化)、 C_2 は速度強化レート(負値は滑り弱化的)。全て無次元化した物理量で表示。

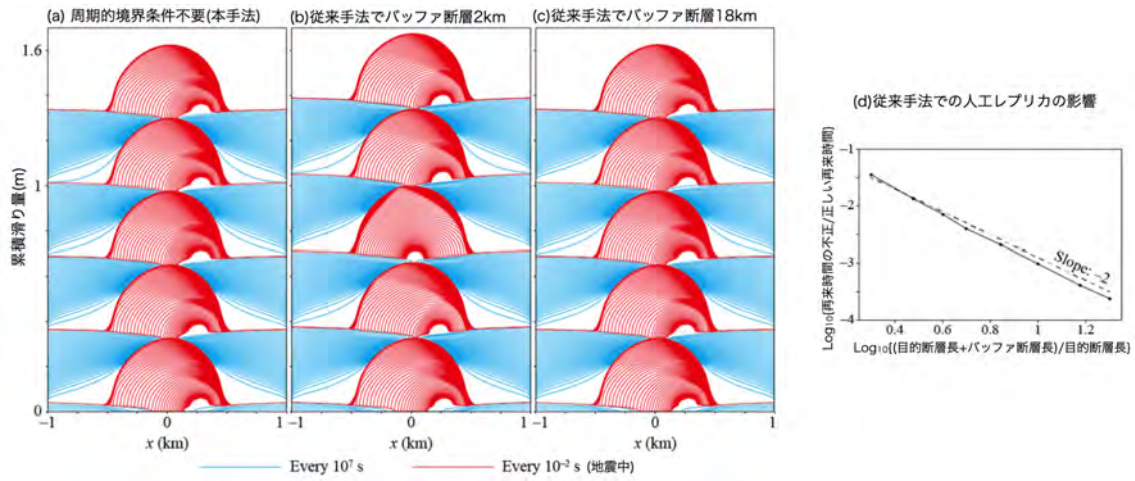


図2. 新旧のSBIEM法による地震シーケンスシミュレーション結果の比較 ((Noda, 2021b)より改変)
 (a-c)地震5回分の滑りの時間発展。目的断層の全長(2km)にわたるプロファイルを示した。青線は地震間のクリープ。
 (c)は正解(a)にほぼ近い。(d)従来手法による4回目地震から5回目地震までの時間間隔の不正を、
 バッファ断層の長さに対して示した。バッファ断層が長くなるにつれ、新しいSBIEMでの結果(=正解)に近
 づく。

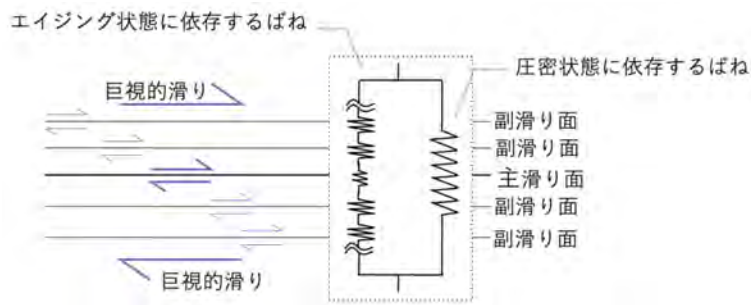


図3. 主滑り面、及び多数の副滑り面での摩擦滑りとインターフェイス剛性を、巨視的な摩擦滑りとインター
 フェイス剛性の定量的な関係を表わすモデルの概念図 (永田ら、私信)

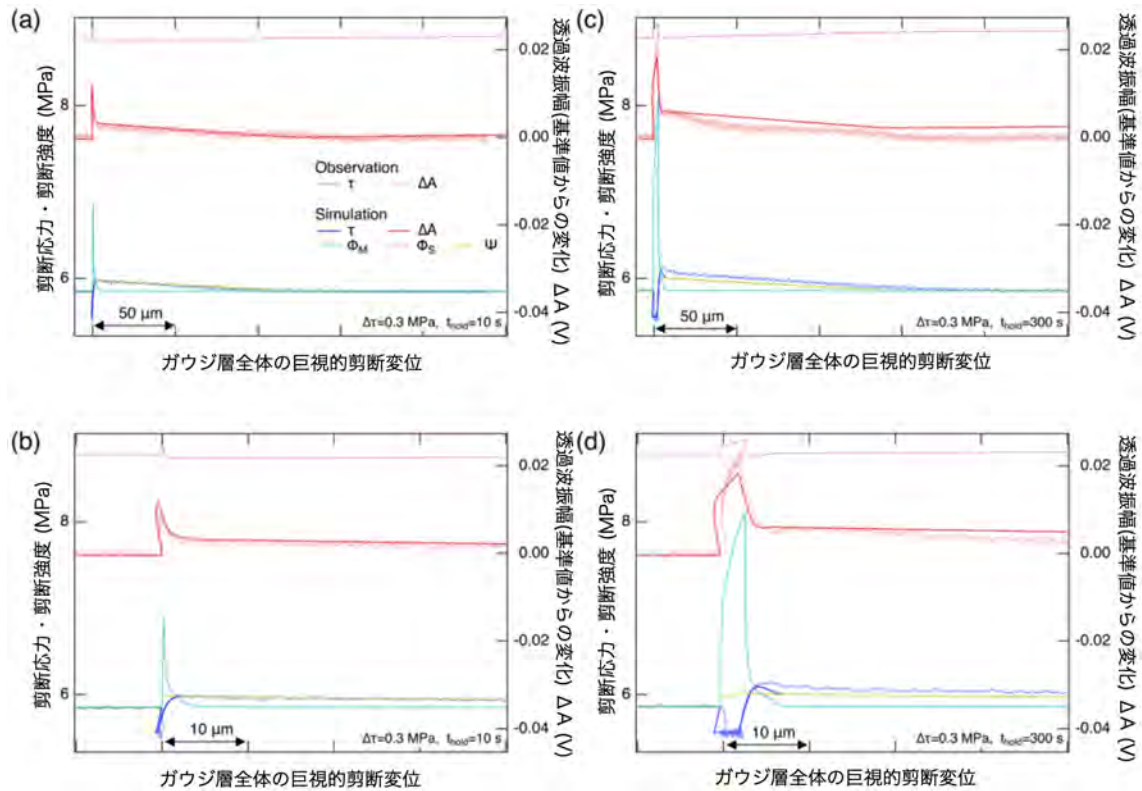


図4. 初期層厚1mmの実験におけるSlide-hold-slide試験の結果と再現シミュレーション結果の比較例(永田ら、私信)

実験で観察された剪断応力 τ 、透過振幅変化 ΔA と、シミュレーションによる τ 、 ΔA に加え、シミュレーションによるエイジングによる主断層及び副断層の強度 Φ_M 、 Φ_S 、圧密効果による強度 ψ を示す。横軸はガウジ層全体の巨視的相対変位。Hold后再載荷開始時の変位を揃えている。(a)エイジング効果によると思われる剪断応力ピークが現れない例。(b) (a)中のhold前後の拡大。(c)エイジング効果によると思われる剪断応力ピークが現れる例。(d)(c)中のhold前後の拡大。

実験サマリー (封圧は全て360MPa)

ラン	温度 °C	Log(歪み速度) /s	間隙圧 MPa	封圧-間隙圧 MPa	差応力 @10%歪 MPa	差応力 @ピーク MPa	最終歪 %	巨視的 脆性破断
M1	400	-5.0	360	0	(261)	261	5.0	有
M2	400	-5.0	340	20	280	282	11.8	有
M4	500	-5.0	360	0	152	152	12.4	有
M8	500	-5.0	350	10	160	235	31.1	無
M3	500	-5.0	340	20	187	215	17.6	無
M6	500	-5.5	360	0	136	146	20.7	有
M11	500	-5.5	360	0	135	175	31.1	有
M7	500	-5.5	350	10	149	178	33.9	無
M5	500	-6.0	360	0	101	101	14.2	無
M12	500	-6.0	0	360	(117)	-	2.2	無

M4ラン後試料 M8ラン後試料



図5. 実験条件のサマリーと、変形後試料の写真 (Kanaya et al., personal communication)
試料岩石は銅ジャケットでシールされている。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

多項目観測データの比較研究に基づく噴火過程の理解とモデル構築

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (4) 中長期的な火山活動の評価
 - イ. モニタリングによる火山活動の評価
 - (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火
 - オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの観測研究計画を通じて火山周辺の多項目観測網が徐々に充実し、火山活動に関するデータの蓄積が進んできた。近年では、阿蘇山、霧島新燃岳、浅間山、口永良部島などの噴火時に火口近傍の観測点による重要なデータが得られ、噴火現象の理解が大きく進んだ。しかしながら、個々の火山に関する理解はある程度進んだものの、火山現象の根底にある物理メカニズムの理解はまだ十分とは言えず、火山活動の予測は未だに経験に頼る部分が多い。多くの火山で得られたデータを比較して共通点・相違点を詳細に検討するとともに、実験や理論的考察とも比較することにより、物理メカニズムの理解が進むことで初めて、物理的理解と観測に基づく火山活動の予測が可能となる。

観測点が整備されており火山現象の観測データが豊富である浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島および、最近顕著な活動があった諏訪之瀬島・西之島などを主たる観測研究の対象火山とし、全国連携で多項目観測の継続・拡充を図ると共に、得られたデータの解析を進め比較研究を行う。多項目観測データに基づき、マグマ蓄積およびマグマ上昇等の噴火準備過程、噴火中の火道内プロセス、噴火が終息に向かう噴火過程のそれぞれの段階について、物理過程のモデル化を進める。得られたそれぞれの過程に関するモデル間の関係を把握し、それらを有機的に結合することにより、火山活動推移全体を記述する火山活動推移モデルの構築に資する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本計画は、「火口近傍での多項目観測」、「比較研究」、「衛星データの活用」、「新たな観測手法の開発」、「モデル実験」の5つの柱からなる。その狙いと実施内容は以下の通り。

1. 火口近傍での多項目観測

数年程度の比較的短かい間隔で噴火を繰り返す火山は噴火の全過程にわたるデータが得やすい。また、現在活動中の火山もデータを得る貴重な機会を提供してくれる。これらを踏まえ、本研究では、浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島・西之島などを主たる対象とする。対象とする火山において、地震・GNSS・傾斜・重力・電磁気・空振・ガス等の多項目の観測を実施する。また、実施期間中に新たな顕著な火山活動があった場合は観測資源を投入し貴重なデータの獲得を目指す。

2. 比較研究

観測データを蓄積し、国内外の火山における観測・解析事例との比較研究を進めることにより、マグマの蓄積・上昇等の噴火の準備過程から噴火そのものの物理機構、噴火が終息する条件の理解など、噴火準備段階から終息までを含む火山活動全体像の各段階を記述する物理モデルの構築を目指す。例えば、地震・地殻変動・重力・電磁気・火山ガス観測等を統合的に解析することにより、マグマの蓄積位置、蓄積量、マグマ溜まりから地表へのマグマ上昇経路、マグマ流量を把握し、マグマ供給系のモデル化を進める。また、噴火時の地震・地殻変動・空振データの解析に基づき、噴火時の火道プロセスのモデル化を進める。空中磁気データからはマグマの上昇・下降に伴う山体の温度変化の検出や噴火後のマグマの冷却過程の理解を進める。その際、異なる火山のデータ同士の比較や、文献調査による、国内外の火山活動との比較も進める。

3. 衛星データの活用

解析およびモデル化にあたっては、InSARや赤外面像などの衛星データの活用が有効である。次世代SAR衛星の打ち上げに伴うデータ量の加速度的増大に備え、SARデータ解析を自動的に行うシステムを開発する。また、SARで面的に得られる地殻変動場は複雑であり、モデルパラメータの自由度の少ない茂木モデルやダイクモデルでは十分に表現できないことから、地形・複雑な地下構造・複雑な力源の形状などを考慮し、有限要素法などの数値的手法を用いたモデルを開発し、適用する。

衛星赤外面像による東アジア活火山リアルタイム観測・情報発信システムの運用と、噴火データの収集・解析を進め、次世代衛星データへの対応などの高度化を進めるとともに、衛星データを用いた噴火推移の多様性の把握および類型化や火山防災に資する情報発信手法の開発を進める。

4. 新たな観測手法の開発

火口近傍はSNが高く良質なデータが得られるが、観測の実施は容易ではない。火口近傍観測に適した観測装置の開発や、飛行体の活用など観測に必要な様々な技術開発も進める必要がある。近傍観測手法としてドローンなどの飛行体を用いた火山観測手法の開発を進める。具体的には、マルチコプターやペイロードの大きい無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量、赤外面像撮影、火山ガスサンプリング、GNSSや地震計モジュールの火口近傍設置手法等の開発を進める。

また、観測が困難な火山を対象とする観測技術開発も必要である。そのために、機動型観測装置として、地震計・空振計・ハイドロフォン・カメラなどのセンサーを任意に選択でき、衛星通信により定期的なモニタリングやデータダウンロードも可能とする可搬性の高いパッケージを開発する。陸上観測のみならず海上観測も想定し、機器開発を進める。

5. モデル実験

噴火がさらに成長するのか、あるいは減衰して終わるのかは、噴火中のある瞬間に噴出するマグマ（噴出マグマ）とその後に続いて噴出するマグマ（駆動マグマ）それぞれの性質や、2つのマグマの関係等によって決まると考えられる。従って、マグマ模擬物質を用いた室内実験やモデリングを行い、噴火開始前のマグマ状態の空間分布が駆動マグマと噴出マグマの挙動や噴火推移に与える影響を明らかにする。さらに、噴出物からマグマ挙動の履歴を読み解くためのモデル構築を行う。そして、噴火開始前のマグマ状態の空間分布を推定するための効果的な観測方法の検討や、噴出推移事例の背後にある共通プロセスの理解につなげる。

以下に、各年度ごとの実施内容をまとめる。

令和元年（2019年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・浅間についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータの自動解析システム開発の開始
- ・衛星赤外面像火山観測システムの機能拡張（新衛星への対応）

- ・無人飛行体による空中磁気観測
- ・無人飛行体用観測モジュール開発
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

令和2年（2020年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・霧島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータの自動解析システム開発の継続
- ・衛星赤外面像火山観測システムの機能拡張（観測域の拡大）
- ・無人飛行体による空中磁気観測、機器設置実験
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

令和3年（2021年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・阿蘇についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・高飛行高度・高ペイロード型無人ヘリに向けた観測モジュールの開発と改良
- ・難地域観測用観測機器の現場テスト
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和4年（2022年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・伊豆大島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・無人飛行体による空中磁気観測結果の解析
- ・難地域観測用観測機器の改良
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和5年（2023年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・諏訪之瀬島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムにWebベースのシミュレーションシステムを追加
- ・無人飛行体用観測モジュールの設置実験
- ・難地域観測用観測機器の改良と現場テスト
- ・噴火推移事例データの収集調査

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 火口近傍での多項目観測

浅間山、霧島山、伊豆大島において火口周辺の多項目観測網を用いた観測を継続している。今年度は伊豆大島、三宅島、霧島山においてドローンや無人ヘリによる空中磁気測量の実施及びデータ解析を行った。

三宅島においては2021年3月に火口周辺域を対象として電動ドローンによる空中磁気測量を実施した。三宅島では2014年に無人ヘリコプターによる空中磁気測量を実施しているが、今回は電動ドローンでも内燃式エンジンを持つ無人ヘリと同じ範囲の観測を実施できることを示すことができた。観測の自由度を増す重要な成果と考えている。2021年のデータについて磁化強度分布を推定したところ、カルデラリム下は強い磁性を示す一方、カルデラ内は弱いというコントラストが見られた。この分布から、2000年噴火でのカルデラ崩落によりカルデラ内の磁性が弱化した、あるいは、磁化方向がばらばらにランダムになったことが示唆される（図1）。

2014年と同じ範囲を対象として無人ヘリによる空中磁気測量が行われている。2014年と2021年の解析結果を比較したところ、浅部では磁化強度が強まっており、冷却により磁化を獲得していること

が示唆される一方で、深部ではカルデラやスオウ穴火口下の磁化が弱まっていた。これは、Gresse et al. (2021)で示唆されている、発達した火口直下熱水対流系からの熱・熱水供給が、不透水層の亀裂に沿って選択的に伝わってきたことを示している可能性がある。

阿蘇火山においては、2021年10月13日に噴火警戒レベルが2に引き上げられ、10月14日にごく小規模な水蒸気噴火が発生した。10月20にも小規模な水蒸気噴火が発生し、噴火警戒レベルが3に引き上げられた。図2は、2013年9月から2022年1月31日までの各種観測量の時間変化である。上述の噴火にいたる過程で、2021年9月ころから、マグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じ、同時期に、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化が観測された。そして、長周期の火山性地震（LPT）の発生回数が急増するとともに火山ガス放出量が増大し、噴火直前には火山性微動の振幅が急増したことが捉えられている。

諏訪之瀬島では2021年1月から3月に空振観測点を増設し、そのデータ解析を進めた。2021年3月6日から2021年12月31日までに火口南側のSWA点において振幅10Pa以上の空振を18,935個検出した。JMAの定義する「爆発」に相当する振幅100Pa以上の空振は1,663個であった。イベント数Nと振幅Aの関係として $N=kA^{-2.2}$ が得られた（図3）。

空振振幅と噴煙高度の関係を調べたところ、空振振幅と噴煙高度は逆相関の関係にあることが分かった。空振が大きく噴煙高度が低い噴火は、火山灰量が少なく火山ガス放出が卓越していると考えられる。一方、空振が小さく噴煙高度が高い噴火は、火山灰量が多く火山ガス放出が少ないと考えられる。空振振幅が大きく噴煙高度が低い（火山ガスの関与の程度が高い）爆発的な噴火が続いた後、空振振幅が小さく噴煙高度が高い（火山ガスの関与の程度が低い）火山灰放出が卓越する噴火に移行する現象が複数回観測された（図4）。

2. 比較研究

火山の比較研究に活用することを目的として新たな観測手法の開発を進めている。今年度は観測点間の地震波の相関計算をもとにした、火山性地震の分類法の開発と火山性微動の震源決定を行った。解析対象は桜島の火山性微動・B型地震であり、微動・地震毎のSpectral Widthを利用するSeydoux et al.(2016)手法を用いた。解析において、1) 地震波は多数の震源から輻射される波で構成されると仮定。2) 周波数毎に観測点間の地震波の分散共分散行列を計算する。3) 大きな固有値は微動シグナル、小さい固有値はノイズと考えられることから、大きい固有値の幅をSpectral Widthと定義し、Spectral Widthが小さい場合は微動シグナルあり、大きい場合はノイズ信号と判断した。4) 最後に、タイプ毎にSpectral Widthを特徴づけた。気象庁6観測点から取り出した2観測点の地震波の共分散行列を10分毎に計算し、周波数毎のSpectral Widthの値の類似性をもとに、地震タイプを判定したところ（図5eのL値）、気象庁の分類（図5a）とよい一致が得られた。これにより、複雑な火山性地震の分類を自動処理する方法を提案することができた。

3. 衛星データの活用

本年度は、西之島4期（2019-2020年）の活動を対象に、昨年度開発した赤外面像（ひまわり8号1.6- μ m画像）による方法及び高分解能画像による地形的方法により、噴出率・噴出量の推定を行うと共に、噴出状況の詳しい解析を行った。さらに、これらの解析結果に基づいて4期の活動モデルを提唱した。

2019年12月、西之島で新たな活動が始まった。これは2013年に始まった一連の活動の4期目の活動期に当たる。4期の約9カ月に及ぶ活動では、活動当初から約7箇月に渡って1期～3期と同様の噴出的活動が続いたが、終盤において火砕丘の急成長を伴う激しい噴泉活動、さらには遠方まで拡散する火山灰放出活動など、当初の活動とは全く異なる噴火様式へと移行した。

我々は、高い時間分解能をもつひまわり8号の赤外面像による熱異常観測と、全天候観測が可能で高い空間分解能をもつALOS-2のSAR画像による地形観測を相補的に用いることにより噴火推移の解析を進めた。また、熱異常および地形変化に基づいて噴出量・噴出率の推定を行った（図6(ア)）。

4期の活動は、中心的な噴火様式の違いに基づいて、3つのステージに分けられる（図6(ア)a）。図6(イ)にALOS-2画像から判読した噴火状況の推移を示す。ステージ1は噴出的活動が主体でほとんどの溶岩が火砕丘北東麓にある北東火口から噴出し、山体の北側半分の領域を広く覆った。噴出率は $0.5-0.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ 程度であった。ステージ2では、高い噴出率に伴って活発な噴泉活動が発生し、火砕丘が急速に成長した。ステージ2では活発な噴泉活動に伴ってクラスト溶岩と思われる赤色の溶岩、火砕丘崩壊に伴うスコリアラフトを載せた溶岩が生じた。これらは山体の南側半領域に分布して

いる。噴出率は一時的には4期平均値の5倍 ($2.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$) 以上に達していたと推定され、この時、同時に全噴出物に占める火砕岩の割合が5~8割と非常に高くなっていた。ステージ3では、マグマ水蒸気爆発に伴う火山灰の放出のみで、火砕丘の成長はほとんど見られなかった。4期活動の総噴出量は $132 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、期間を通じた平均噴出率は $0.58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ であった。

4期の活動の特徴づける高い平均噴出率、ドラスティックな活動変化、集中的噴泉活動に伴う急激な噴出率の高まりは、ステージ2において、ガス成分に富むマグマが火道浅部に達するようになったため、活発な噴泉活動が起き、同時に蓄えられていたマグマが連鎖的に発泡して噴泉として短期間で大量に放出されたとするモデルで説明することができる(図6(ウ)最下段)。

衛星搭載の紫外-可視センサー画像の観測から、ステージ2の活発な噴泉活動に対応してSO₂放出量が急増したことが示され、これはガスに富むマグマが噴出し始めたことを裏付ける(図6(ア)e)。また、ステージ2に採取された火山灰は1-3期の溶岩に比べはるかに未分化な組成を持ち、これがガス成分に富むマグマの実態であった可能性がある。ステージ2に入ってから付近の広い海域で変色海域が発生するようになった(図6(ウ)最下段)。これは、ガス成分に富むマグマが上昇してきたために、海面下の山体表面から熱水が海中に噴出し、海水と混合することで発生した可能性がある。

4. 新たな観測手法の開発

本課題では、高飛行高度・高ペイロード型UAVや電動ドローンなどの活用に向けた観測モジュール開発や、設置実験、観測実験を進めている。伊豆大島において2021年8月4日と10月16日~23日に電動ドローンによる空中磁気測量を実施した。カルデラ内を対地高度50m、測線間隔50mで実施した。電動式ドローンによる測量は昨年度末に、三宅島山頂域で実施しており、それにより得られたノウハウを活用した。来年度に解析を進め、過去の無人ヘリによる空中磁気測量結果と比較し、時間変化の検出を目指す。

霧島山においては、人工衛星経由で遠隔操作された無人ヘリコプターによる空中磁気測量を実施した。従来は、無人ヘリの離発着点に置かれた基地局から無線で遠隔操作しており、基地局からの見通しが効く範囲でしか測定ができなかったが、今回は人工衛星経由で操作できるシステムを用いることにより、基地局からの見通しが無い新燃岳東斜面の測定に成功した。データ解析は来年度実施予定である。

空振計を用いた噴火観測手法開発も進めている。空振発生機構は様々なものがあり、空振と噴出率の関係も多様である。それらを特定する上でカギとなる情報の一つが、音源の高さである。イタリア・ストロンボリ火山において極小規模アレイ観測を行い、噴火に伴う空振波動場の局所的情報を計測した。アレイ解析によって求めた見かけ音源高さは周波数によって異なっていた。数値計算により、周波数依存性は地形効果によるものであることを示した。その効果を含めて詳細に検討し、火口から60m以内に音源があることを突き止めた(図7)。

極小規模空振アレイを用いた信号分離手法の開発も行った。二つの噴気帯が活動する霧島硫黄山において、噴気音を分離する観測実験を行った。3要素極小規模空振アレイと単独空振計による観測データの統合解析により音源分解に成功し、両者の振幅比が15:1であると決めることができた(図8)。強度に差のある空振場で微弱な音源を把握することは容易ではなく、音源分解のための有効な観測点配置や解析方法に対する新たな知見が得られた。本研究は、噴気地帯や複数の活動的火山口の監視や観測に役立つものと考えられる。

空振記録の解析手法開発とその応用として、福徳岡ノ場で発生した噴火に伴う空振を解析した。小笠原火山弧に属する福徳岡ノ場海底火山において、2021年8月13日に大規模噴火が発生し、噴煙高度は16 kmに達した(気象庁)。その噴火に伴う空振が、北に約330 km離れた父島の空振計によって明瞭にとらえられた。空振計記録と気象庁地震観測点の記録を合わせてイベント検出を行い、衛星赤外映像と比較した(図9)。300 kmという距離は、熱圏かそれ近く(高度約100 km)まで上がった空振が地表に戻ってくる距離であり、風向きに依らず信号が届く。今回の噴火点と空振観測点は理想的な距離にあり、火山近傍でも捉えられない爆発源の情報を含んでいる可能性がある。本手法が、離島火山や浅海火山の観測に新たな可能性を拓くことを期待している。

5. モデル実験

マグマなど火山性流体の物性に関するモデル実験を進めているが、今年度はその一環として2018年4月に水蒸気噴火を発生した霧島硫黄山の噴火口周辺から採取した火山泥のレオロジーを計測した(図10)。試料の固体/流体遷移特性は降伏強度で特徴づけられ、緩和時間で特徴づけられる粘弾性

挙動は確認されなかった。また、降伏強度や降伏前後の粘性率は、火山泥の水分量の増加とともに低下した。本計測結果は噴火中に観測された空振波形の推移の解釈に役立てられた(Muramatsu et al., 2022)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kaneko, T., Maeno, F., Ichihara, M., Yasuda, A., Ohminato, T., Nogami, K., Nakada, S., Honda, Y., Murakami, H., 2022, Episode 4 (2019–2020) Nishinoshima activity: Abrupt transitions in the eruptive style observed by image datasets from multiple satellites, Earth, Planets and Space, DOI : 10.1186/s40623-022-01578-6

Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov and Y. Honda, 2021, Aeromagnetic survey in Kusatsu Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, Earth, Planets and Space, doi:10.1186/s40623-021-01466-5

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・柳澤孝寿・本多嘉明, 2021, 自律型無人ヘリコプターを用いた火山空中磁気測量, 物理探査, 74, 115-122, doi:10.3124/segj.74.115

Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov and Y. Honda, 2022, Aeromagnetic survey in Kusatsu Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, Conductivity Anomaly研究会論文集, in press

東京大学地震研究所, 2021, 伊豆大島全磁力, 第147回火山噴火予知連絡会資料

東京大学地震研究所, 2021, 伊豆大島三原山の見掛け比抵抗変化, 第147回火山噴火予知連絡会資料

気象庁地磁気観測所, 気象庁地震火山部, 東京大学地震研究所, 2021, 伊豆大島における地磁気全磁力変化, 第148回火山噴火予知連絡会資料

Theodorus Permana, Takeshi Nishimura, Hisashi Nakahara, Nikolai Shapiro, 2021, Classification of volcanic tremors and earthquakes based on seismic correlation: application at Sakurajima volcano, Japan, Geophysical Journal International, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab517>

・学会・シンポジウム等での発表

小山崇夫, 神田 径, 宇津木 充, 金子隆之, 大湊隆雄, 渡邊篤志, 辻 浩, 西本太郎, 本多嘉明, 2021, 無人ヘリコプターによる草津白根山空中磁気測量, JpGU2021

Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov and Y. Honda, 2022, Aeromagnetic survey in Kusatsu Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, Conductivity Anomaly研究会 2022.1.5

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1. 火口近傍での多項目観測

- ・浅間山、霧島山、伊豆大島、諏訪之瀬島において火口近傍の多項目観測を継続する。
- ・霧島火山新燃岳付近で地震背景ノイズに埋もれた連続微動が検出された。この成長や停止は新燃岳の噴火やその前駆的な深部膨張と連動しており、噴火発生や活動終息の判定に役立てられる可能性がある。この振動の実体を明らかにするため、さらに解析を進めるとともに、臨時観測を実施する。
- ・次世代火山研究推進事業で実施しているXバンドMPレーダーおよび光学式ディストロメーターによる観測結果と統合し、R03年度に見出された空振と噴煙高度の逆相関係数の理解を進める。
- ・2022年1月現在、マグマだまりをはさむ基線長の伸びは継続しており、今後マグマ噴火に移行する可能性がある。それに至る過程で発生する事象をとらえるための多項目観測を継続する。

2. 比較研究

- ・伊豆大島と三宅島の電磁氣的構造の比較研究を進める。
- ・地震波干渉の応用、新燃岳の連続微動解析など、比較観測に向けた観測手法、解析手法の開発。

・近年相次いで発生している離島火山における噴火の比較研究を進める。

3. 衛星データの活用

衛星画像を用いた噴火推移解析に取り組む。ひまわり8号の観測結果に、ALOS-2、WorldView、OMPS・TROPOMI等の複数の衛星画像を効果的に組合せて解析を進める。主要な対象は、2018年新燃岳噴火とするが、他に重要な噴火が発生した場合は機動的に対象を変更する。

4. 新たな観測手法の開発

・R3年度の研究では、空振観測を300 km程度の距離で行うことが風向きに依存したシャドーゾーンを回避して良質な空振シグナルを記録できること、離島等のアクセス困難な火山の噴火観測に有用である可能性が示された。他の火山に対しても300 kmの観測窓の活用を検討する。

5. モデル実験

福徳岡の場合2021年のデータ解析を進め、室内モデル実験と組み合わせて、浅海爆発過程を明らかにする。トンガ2022年噴火の大気波動場形成過程についても検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大湊隆雄（東京大学地震研究所）,金子隆之（東京大学地震研究所）,市原美恵（東京大学地震研究所）,
小山崇夫（東京大学地震研究所）,青木陽介（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

寅丸敦志（九州大学）,杉岡裕子（神戸大学）,中道治久（京都大学防災研究所）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,西村太志（東北大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大湊隆雄

所属：東京大学地震研究所

三宅島磁化強度分布推定

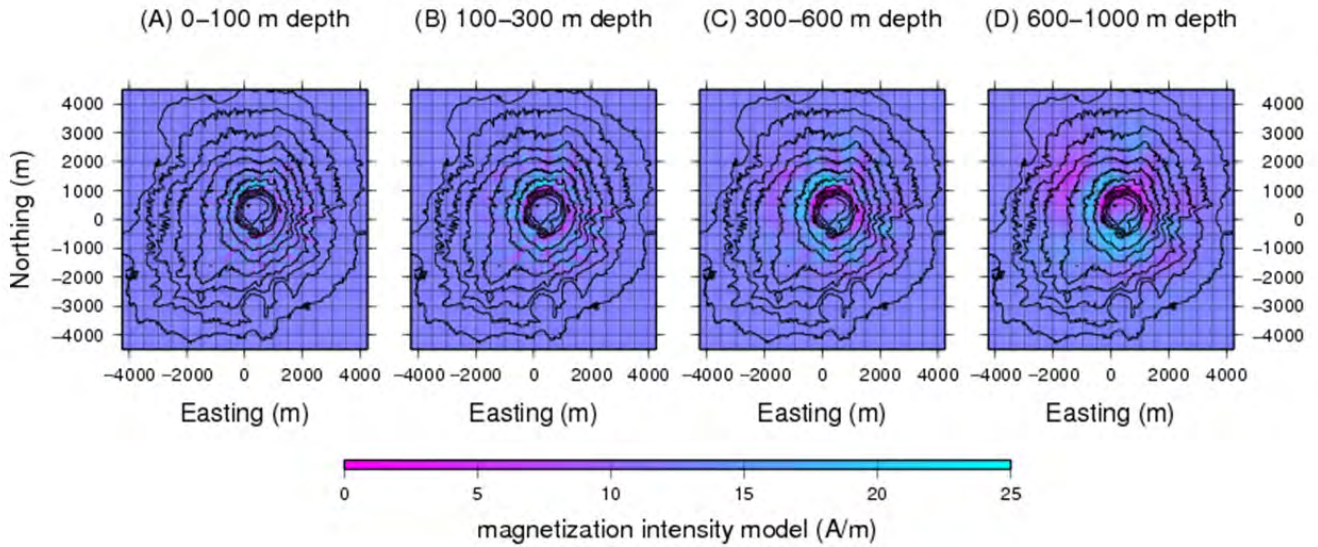


図1 三宅島の磁化強度分布

カルデラリム下は強い磁性を示す一方、カルデラ内は弱いというコントラストが見られる。

2000年噴火でのカルデラ崩落により、カルデラ内の磁性が弱化した、あるいは、磁化方向がばらばらにランダムになったことが示唆される。

阿蘇山の火山活動推移 (2013.09.01-2022.01.31)

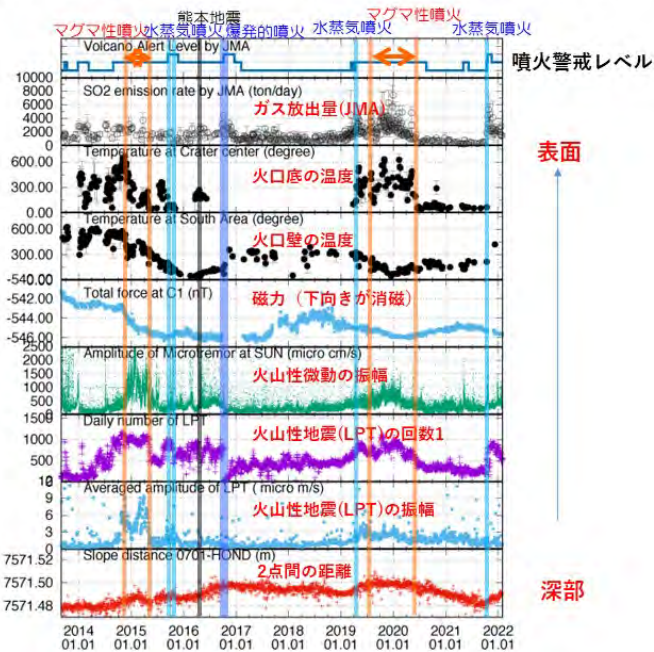


図2 阿蘇火山における多項目観測量の時間変化

阿蘇火山周辺多項目観測による、2013年9月から2022年1月31日までの各種観測の時間変化。2021年10月14日と20日の噴火にいたる過程で、2021年9月ころから、マグマだまりをはさむ基線長の伸び、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化、LPTの発生回数の急増、火山ガス放出量の増加が捉えられ、噴火直前には火山性微動の振幅が急増した。

諏訪之瀬島における空振観測

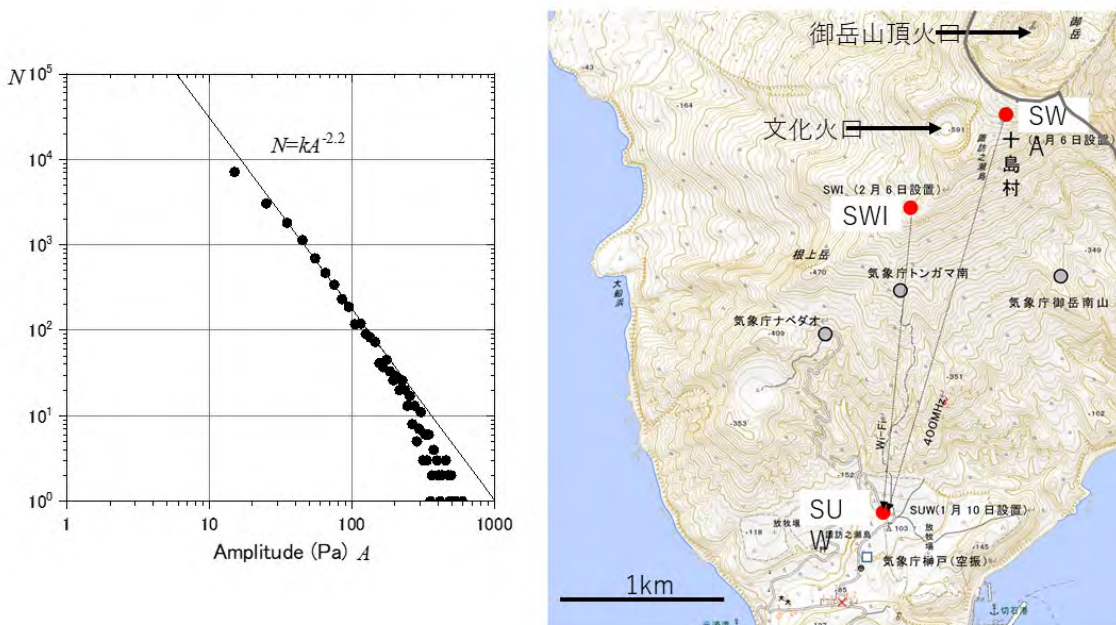


図3 諏訪之瀬島における空振観測
 (右) 諏訪之瀬島に新たに設置した3ヶ所の空振観測点 (SWA, SWI, SUW)。 (左) SWAにおける空振振幅と発生頻度の関係。べき乗則が成り立っている。

諏訪之瀬島における空振振幅と噴煙高度の関係

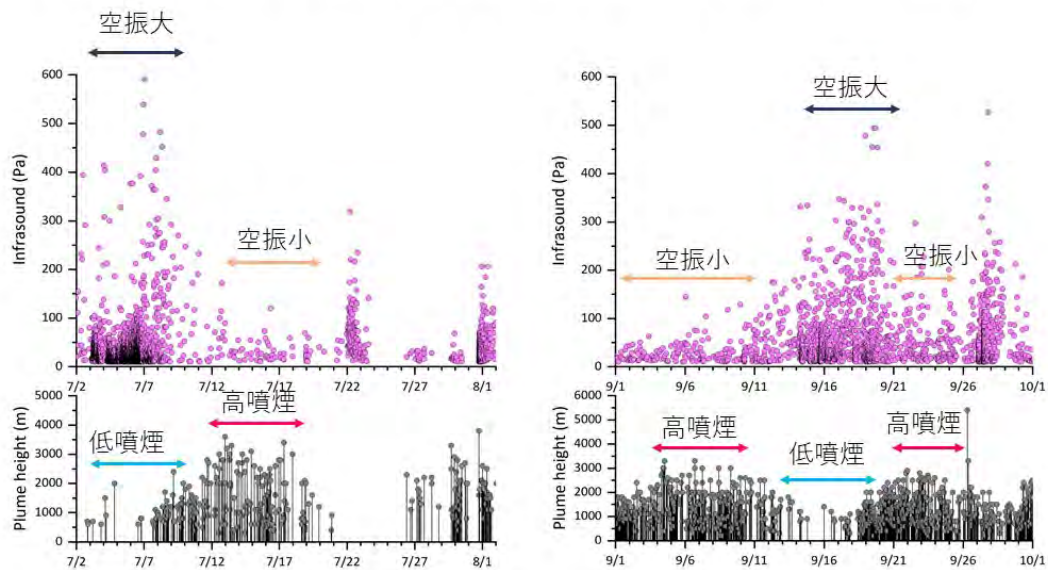


図4 諏訪之瀬島における空振振幅と噴煙高度の関係

空振振幅と噴煙高度は逆相関の関係にあり、空振が大きいときは噴煙高度が低く、空振が小さいときに噴煙高度が高い。前者は、火山灰量が少なく火山ガス放出が卓越する噴火、後者は火山灰量が多く、火山ガス放出量が少ない噴火と解釈することができる。

地震波相関に基づく火山性地震・微動の分類と震源決定

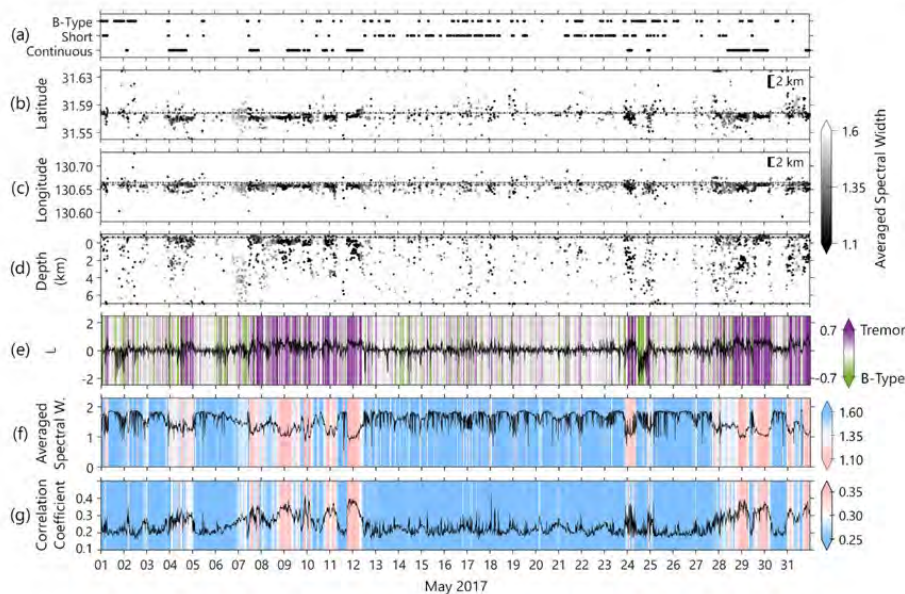


図5 地震波相関に基づく火山性微動・地震の分類と震源決定

(a)気象庁カタログによる、火山性地震の分類、(b)震源の緯度、(c)震源の経度、(d)震源の深さ、(e)Spectral

Widthに基づく波形分類。紫に近いほど微動に近く、緑に近いほどB型地震に近い(f)SpectralWidthの平均値、(g)波形の相関係数

衛星赤外画像による火山の観測

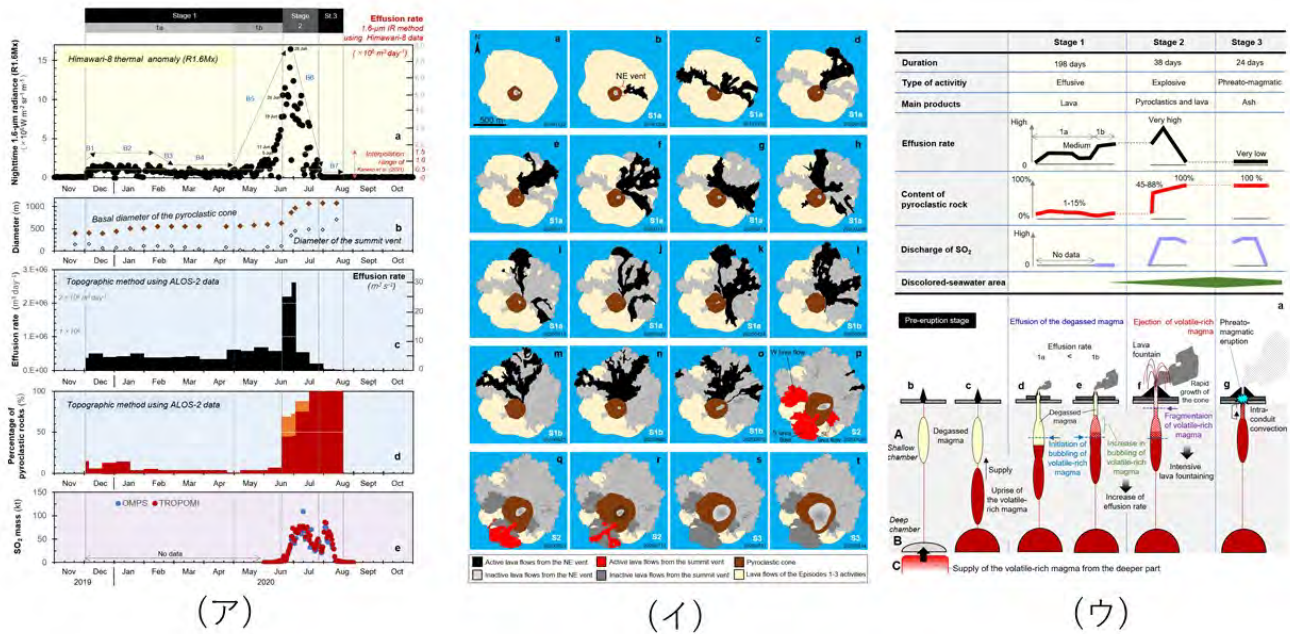


図6 衛星赤外画像による西之島の観測

(ア) 各種観測量の時間変化。a ひまわり8号の1.6- μ mバンドの輝度 (R1.6Mx)。右側に熱異常に基づいて推定した噴出率を示す。b ALOS-2画像による火砕丘の基底径と火口径。c 同画像を用いて地形的手法により推定した噴出率。d 噴出率に占める火砕岩の割合。e 紫外-可視センサーによって観測したSO₂放出量 (OMPS and TROPOMI、NASA Goddard Space Flight Centerによる)。(イ) ALOS-2画像から判読した噴火状況の推移。(ウ) a 噴火推移のまとめ。b-g 4期の高い噴出率と噴火推移における突然の噴火様式変化を説明するモデル。

極小規模空振アレイと数値計算による音源高さへの制約

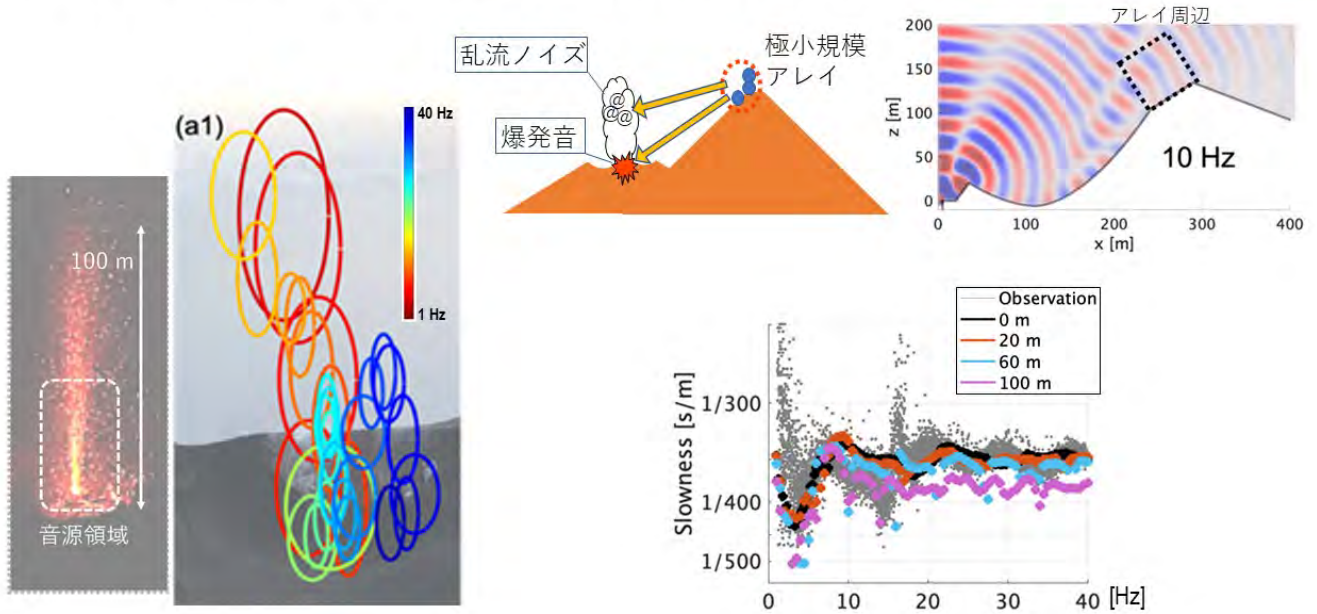


図7 極小規模空振アレイによる空振の音源高推定

(左) ストロンボリ火山SW火口からの多数の噴火空振を用いて求めた周波数ごとの音源位置（色が周波数、楕円の大きさは周波数ごとの分布の1σを表す）。左の写真SW火口からの噴火イベントの映像をスケールを合わせて示している。（真中上）空振の発生源、地形、空振アレイの模式図。（右上）COMSOL Multiphysics®による波動場数値計算例。音源を火口に置いた場合。（右下）異なる音源高さを仮定した数値計算による見かけSlownessの周波数依存性とアレイ解析結果の比較。高さ60m以下で計算値と観測値がよく一致する。

極小規模空振アレイを利用した2つの噴気口からの信号分離

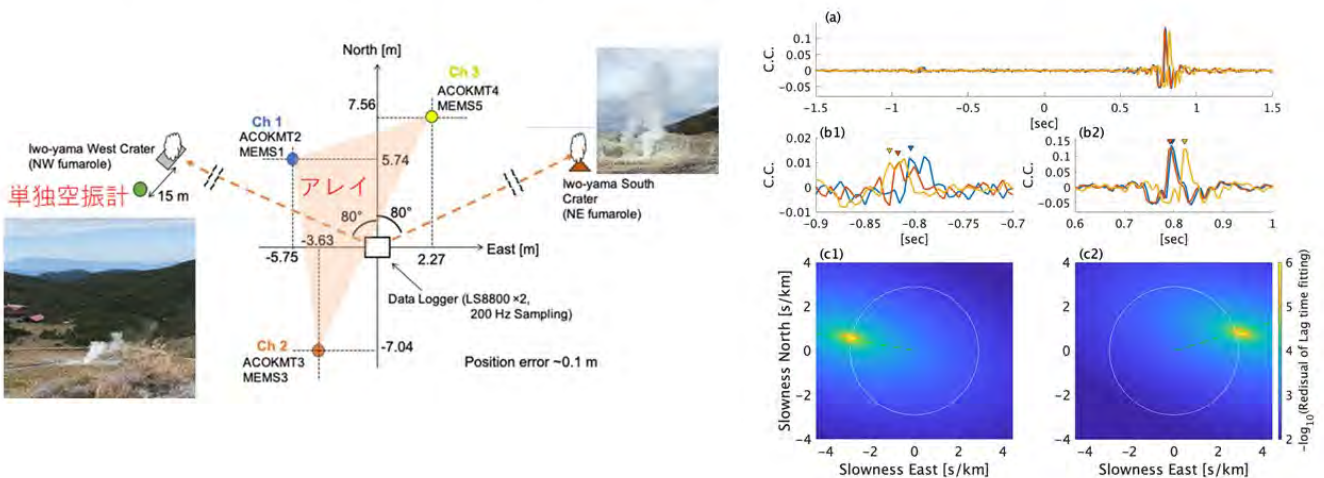


図8 極小規模空振アレイによる複数ソースからの信号分離

(左) 霧島硫黄山の噴気空振観測。開口20mの3要素空振アレイを二つの噴気帯の間に設置した。また、微弱な一方の噴気口近傍に別の空振計を単独で設置した。(右) アレイ各要素と単独空振計の間の相互相関関数において、各噴気口からの信号に対応するピークが検出された(a)。それぞれのピーク付近の相関波形(b1、b2)に対してアレイ解析を行い、信号到来方向が噴気口方向に対応することを確認した(c1、c2)。また、相関関数のピーク高さから信号振幅比を決定した。

福德岡ノ場2021年8月噴火に伴う浅海爆発

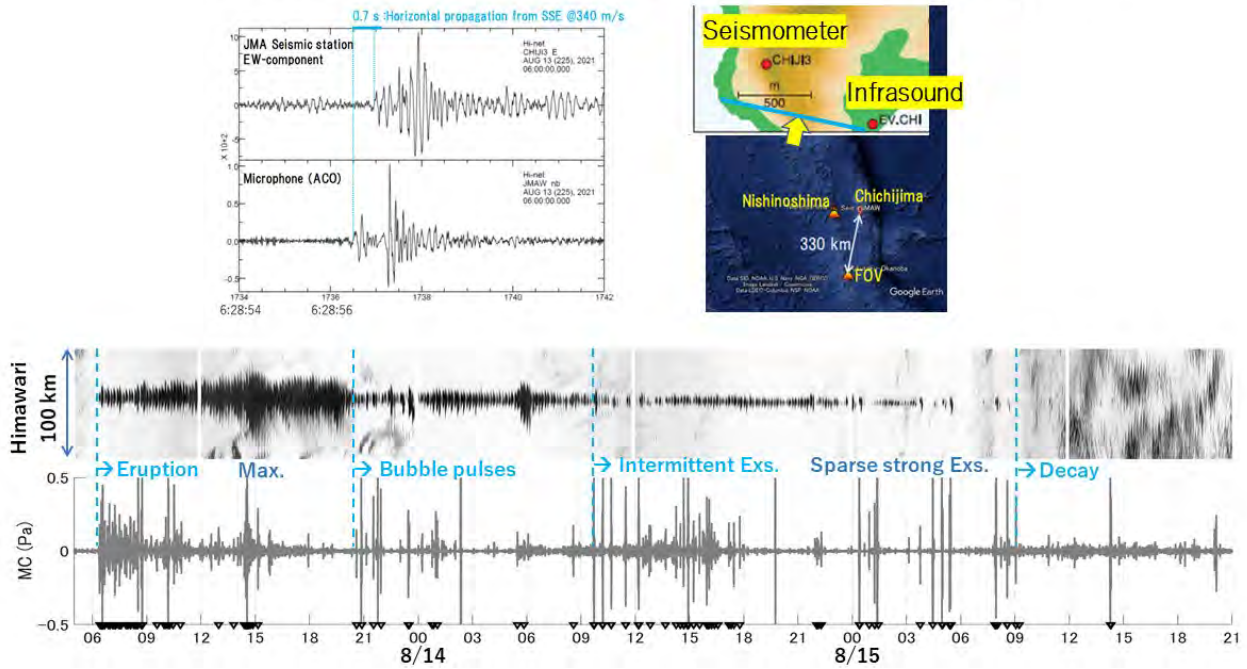


図9 空振記録から推定した福德岡ノ場2021年8月噴火に伴う浅海爆発

(上右) 父島における地震波形と空振波形の比較。(上右) 父島と福德岡ノ場の位置図および父島における地震計と空振計の位置。(下) ひまわりの赤外画像と父島での空振記録の比較。

水蒸気噴火噴出物質のレオロジー計測

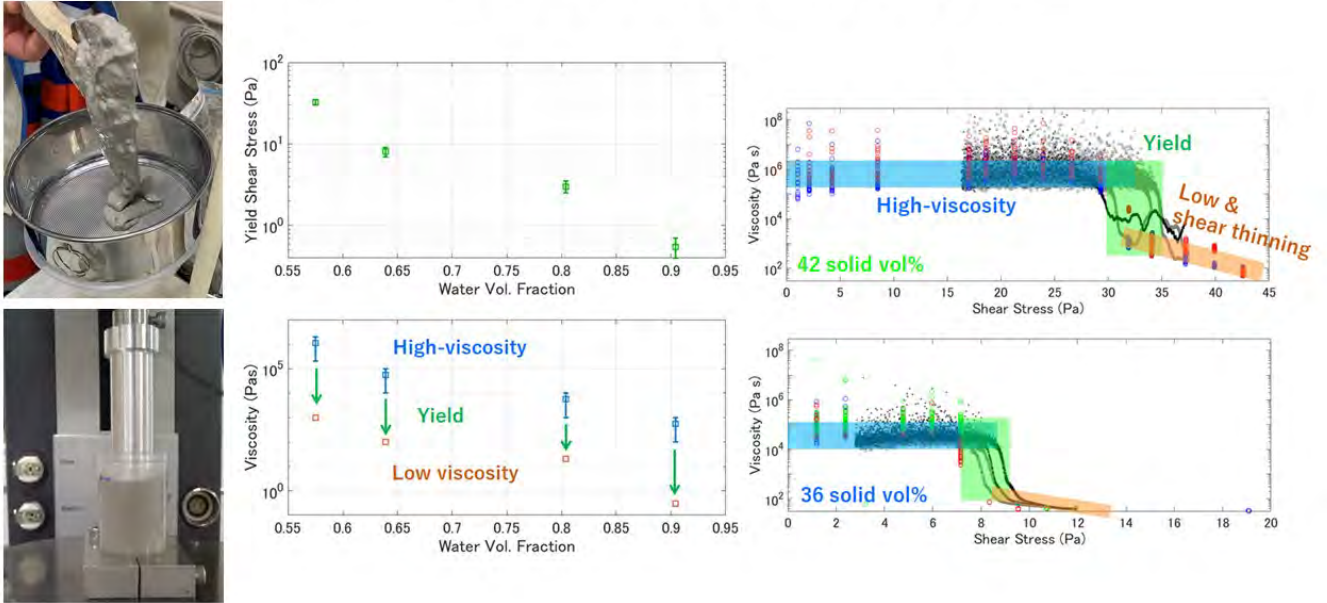


図10 水蒸気噴火噴出物質のレオロジー計測

霧島硫黄山の火口周辺から採取した火山泥のレオロジーを計測した。(左) 測定した火山泥と測定の様子。
 (中上) 含水量と降伏強度の関係。(中下) 含水量と粘性率の関係、(右) 異なる固液分率における、応力と粘性率の関係粘弾性挙動は確認されない。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本・NZ国際協力によるヒ克蘭ギ沈み込み帯における多様な地震活動と、その発生環境との関係の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本観測研究では北島北東部ギズボーン沖合で日・NZ・米国際共同による海域地震・地殻変動観測を行い、陸域の観測記録とともに2018年に設置された海底掘削孔内ひずみ・温度観測記録とあわせて、多様な断層すべり運動を詳細に把握する。また当海域で2017・2018年に行われた大規模海域構造調査の結果と比較して、その活動とプレート境界の構造的特徴およびその変化との関係について解明する。さらに、2021年頃に発生が予想されている、固着強度遷移域までに及ぶ大規模なスロースリップの直上観測を目的として、遷移域周辺にて国際共同による海域地震・地殻変動観測を実施する。一方陸域においては、スロースリップに伴うプレート境界周辺の構造的特徴の変化を捉えることを目的として、NZでは初めてとなる電話回線を用いたネットワークMT法による電磁気連続観測の計画を策定し、実施に向けた準備を行う。可能であれば、本計画期間中に観測を開始する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：

2018年3月終わりから4月前半にかけて、ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部において比較的大規模なSSEが発生した。本海域では2018年10月に海底地震計および海底圧力計を設置し、観測を継続しているところ

である。2019年11月に予定しているNZの調査船Tangaroaを用いた航海にて、これらの海底観測機器を回収し、データ解析を始める。この航海では新たに海底地震計などを設置の予定である。これまでの陸域GNSS観測データから把握される海域におけるスロースリップの繰り返し発生現象から、ヒクランギ沈み込み帯中部に位置するプレート間固着強度遷移域周辺において、2021年度前後に大規模なスロースリップが発生すると予想されている。上記海底観測機器観測場所については、沈み込み帯北部、あるいは中部に位置するプレート間固着強度遷移域のいずれかを予定しているが、それまでの陸域GNSS観測データから把握されるスロー地震イベントの発生状況を考慮して、国際共同研究参加グループと協議の上、決定する。

NZでの共同研究機関であるGNS Scienceとともに、ヒクランギ沈み込み帯北部での陸域における電話回線を用いたネットワークMT法による電磁気連続観測の計画の策定を行う。

2020～2023年度：

引き続き海底地震計などを用いた海域観測を継続する。2021年度前後に発生が予想されるプレート間固着強度遷移域周辺で発生する大規模スロースリップを海域で観測した後は、とスロースリップの発生状況を考慮に入れて協議の上、観測網をヒクランギ沈み込み帯北部に戻すことも検討する。

2017年度に実施した海域での大規模人工震源地震波構造調査など、これまでに実施してきた調査・観測の結果、さらには2018年度からヒクランギ沈み込み帯北部で稼働している掘削孔内観測データなどを参照しつつ、通常の地震活動からスロースリップまで、多様な断層すべり運動の発生メカニズムについて考察を進める。

ネットワークMT法による電磁気連続観測について、引き続き計画の策定を行う。まずはヒクランギ沈み込み帯北部での3箇所での観測を念頭に準備を進め、可能であれば観測を開始する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2018年10月にヒクランギ沈み込み帯北部のギズボーン沖に設置し、2019年10月に回収された5台の海底地震計で取得したデータの解析を進めている。この観測期間中の2019年3月から4月にかけて、観測網直下で大規模なスロースリップ（SSE）が発生し、これに伴って活発な微動も観測された。本海域では、2014年9月から10月にかけても大規模なSSEおよびそれに伴う微動が発生したが、日本-NZ-米の国際共同観測（Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip：HOBITSS）によって観測網直下での観測に成功し、それらの活動の詳細が明らかになっていた。太平洋プレートの沈み込みが浅く、スロー地震活動の発生深度も浅いため、プレート境界周辺の構造もよく把握されており、活動との対比に関して詳細を調べている。その結果、2014年SSEのすべりは沈み込む太平洋プレート上の海山を避けるように分布しており、またそれに伴う微動がその海山上で活動していることがわかってきた。さらに、微動と同時に繰り返し地震も同様の活動・分布をしており、これらの活動の詳細な位置関係の調査を進めている。その上で、2019年3月にも大規模なSSEが国際協力による海底地震・地殻変動観測網の直下で発生しており、その解析を進めている。このSSEに伴う微動活動は、2014年の微動活動と同様、SSEのすべりが終息する時期に活動が活発化したことがわかった。2014年と2019年のSSEに伴う微動活動を詳細に比較するために、同じ手法を適用して活動解析を進めている。

2020年11月にはNZの調査観測船Tangaroaを用いて、ヒクランギ沈み込み帯中部に位置する固着強度遷移域周辺に、海底地震計10台、海底圧力計4台、さらにNZの海底圧力計10台による海底観測網を設置した。本海域では、約6年に一度の周期でSSEが発生しており、前回の発生が2016年だったことから、2021年から2023年頃に次のSSEの発生が見込まれており、このSSEの直接観測を目指して海域観測網を展開した。コロナ禍で海外渡航が大幅に制限される中、NZの共同研究機関であるGNS Scienceから日本人研究者の入国許可が申請され、渡航人数を最小限の3人に絞った上、入国時にNZが指定する隔離施設に2週間滞在することを条件として入国が許可された。隔離期間があけてのち、GNS Scienceにおいて海底地震計、海底圧力計の整備を実施し、その後の航海で投入した。2021年5月には実際にSSEが観測網直下で発生し、これの直接観測に成功した。2021年10月の航海で海底観測機器全台を回収し、解析にあたっている。初期的解析結果では、SSE発生以前から微動活動が始まり一度終息するものの、さらにSSEと同期して微動が活動しているようにみえる。

2021年10月に回収した機材はGNS Scienceにて整備したのち、2018—19年の観測海域であるヒクランギ沈み込み帯北部のギズボーン沖に設置し、1年間の予定で観測を行なっている。この観測網は2022年9月に回収予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Mochizuki, K., S. Henrys, D. Haijima, E. Warren-Smith, and B. Fry, 2021, Seismicity and velocity structure in the vicinity of repeating slow slip earthquakes, northern Hikurangi subduction zone, New Zealand, Earth Planet. Sci. Lett., 563, doi:10.1016/j.epsl.2021.116887

Yarce, J., A. Sheehan, S. Roecker, and K. Mochizuki, 2021, Seismic Velocity Heterogeneity of the Hikurangi Subduction Margin, New Zealand: Elevated Pore Pressures in a Region with Repeating Slow Slip Events, J. Geophys. Res.: Solid Earth, doi:10.1029/2020JB021605

・学会・シンポジウム等での発表

Mochizuki, K., Y. Yamashita, E. Warren-Smith, M.K. Savage, L.M. Wallace and S.

Henrys, 2021, Seismic characteristics of the northern Hikurangi subduction zone revealed by offshore seismic observations, JpGU, SCG39-28

Mochizuki, K., 2021, Distribution of slow and repeating earthquakes as revealed by ocean bottom seismological observations and its relationship to the subduction structure in the northern part of the Hikurangi subduction margin, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, O-20

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

ヒクラング沈み込み帯北部のギズボーン沖では、国際共同も含め、2012年から断続的に海域地震観測を実施してきた。2017年には同海域を含んだ大規模構造調査が行われるなど、これまでの地震波反射断面測線もあわせ、多様な地震活動と沈み込むプレート境界周辺の構造との詳細な比較研究が可能となってきた。これまでに海域地震観測で取得してきたデータを用いて、SSEや微動などの地震活動とプレート境界周辺の構造・物性との比較をし、その発生メカニズムの研究を進める。

2021年10月には、NZの調査観測船Tangaroaを用いて、2020年11月にプレート間固着強度遷移域に設置した海底地震計・海底圧力計の回収した。またここで回収された観測機器については、さらに電池などの消耗品を換装してヒクラング沈み込み帯北部のギズボーン沖に再設置を行い、1年間の観測を行う。2022年9月から10月にかけて実施する航海にて、この観測機器を回収する予定である。

2020年11月から2021年10月までの観測では、2021年5月に発生したスロースリップイベント、およびそれに付随する地震活動の観測に成功しており、この活動の解析を進める。

コロナ禍の状況を見つつ、可能であればGNS Scienceにおいて陸域電磁気観測網設置に関する打ち合わせを実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

望月公廣（東京大学地震研究所）、篠原雅尚（東京大学地震研究所）、上嶋誠（東京大学地震研究所）、山田知朗（東京大学地震研究所）、悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

伊藤喜宏（京都大学防災研究所）、山下裕亮（京都大学防災研究所）、木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

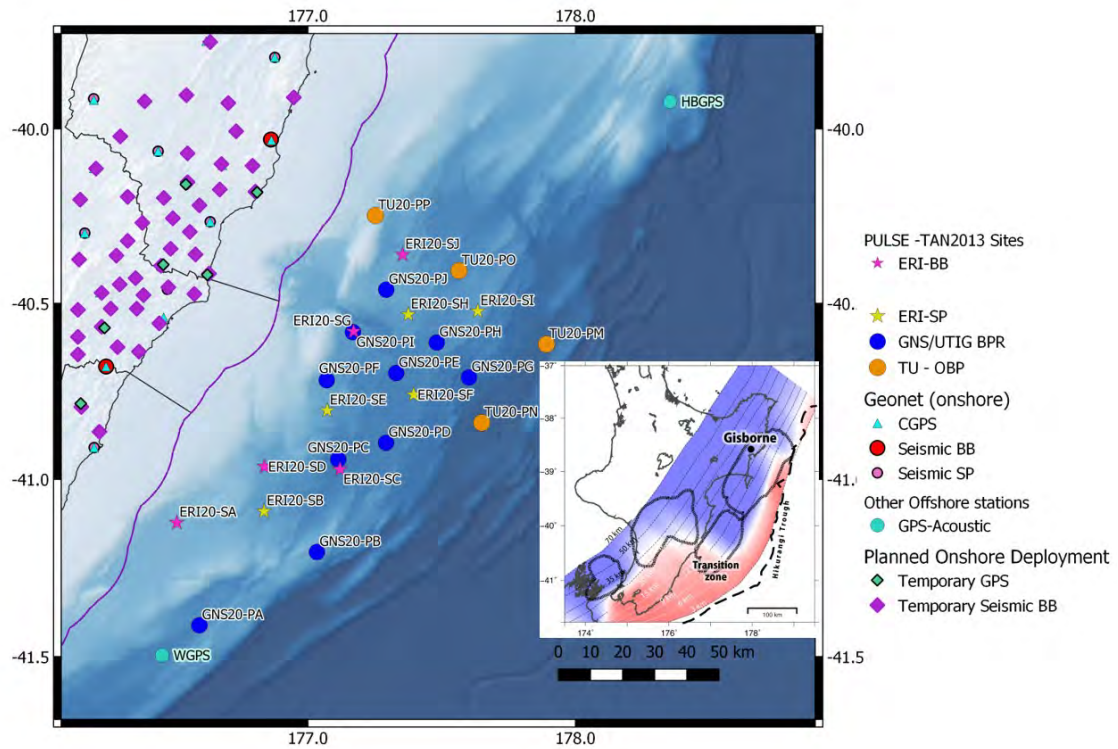
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

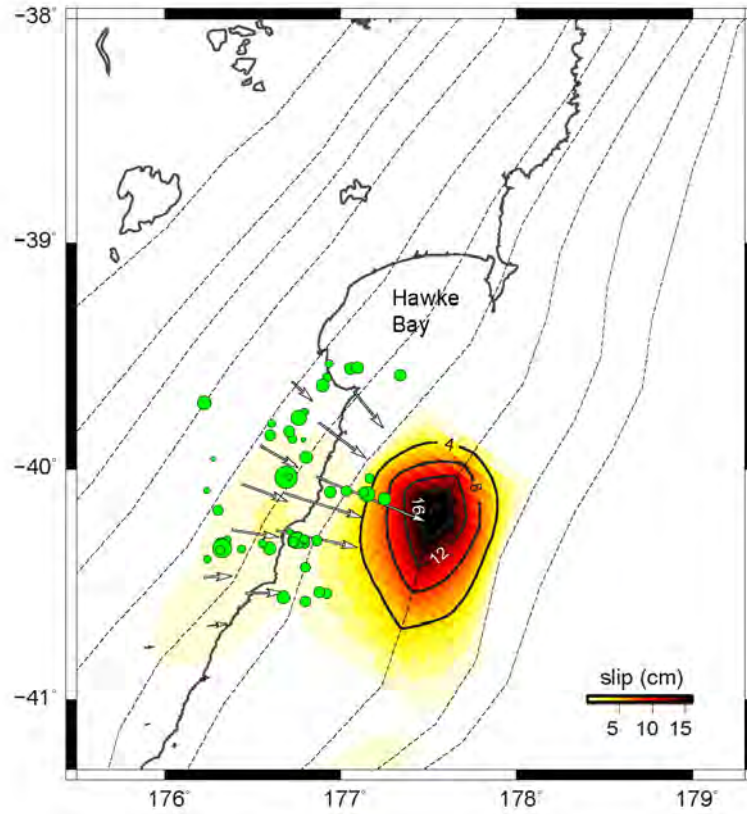
氏名：望月公廣

所属：



プレート間固着強度遷移域周辺の海陸統合地震・地殻変動観測網

2020年11月に固着強度遷移域周辺に設置し、2021年10月に回収した海域地震・地殻変動観測網と陸域観測点



2021年5月にプレート間固着強度遷移域周辺で発生したスロースリップイベントのすべり分布（暫定解）と付随して発生した地震活動

深さ12 kmより浅いプレート境界で発生したスロースリップイベントのすべり分布。緑円は付随して発生した地震活動。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

内陸地震発生ポテンシャルの予測を目指した島弧の地殻応答と断層における地殻内流体の影響の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解
オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
イ. 内陸地震の長期予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

この計画では、東北地方太平洋沖地震発生後、M7の福島県浜通りの内陸地震が発生し飛躍的に地震活動の増加した阿武隈山地より南側の、地震活動の増加が見られなかった北関東から2004年新潟県中越地震の震源域を通る島弧を横断する測線を調査対象とする。この測線において臨時地震観測とMT観測をおこなう。この観測研究により、地殻、マンツルの速度構造、減衰構造、比抵抗構造を明らかにする。また、モホ面やプレート境界面等の形状を明瞭にし、この地域の3次元的な構造を明らかにする。この構造は、基本構造モデルのデータとなるとともに、地殻活動のシミュレーションと連携して研究する際の基本データとなる。この測線上には、東北地方太平洋沖地震が発生する以前に発生した中越地震、また、地震後発生した長野県北部の地震が位置し、内陸地震とプレート境界地震の関係を調べることができる。さらに、長野県北部地震の領域は、火山地域であるため、地殻応答の観点から地震と火山の相互作用という視点からも重要な地域である。また、この測線は地殻内流体の存在によって活発になったと考えられるいわき地域の南側に位置し、地震活動の増加が見られなかった地域であるため、地震活動が活発化した地域と活発化しなかった地域との比較から、地殻内流体の影響について明らかにすることができる。この測線で得られたモデルをもとに、地震前後の東北日本弧の地殻活動の変化の再現を調査する。それにより、構造モデルの精緻化が期待できる。このように、地殻内流体と地震発生との関係を調査し、地震発生ポテンシャル評価にむけた研究を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

島弧の地殻・上部マンツルの高精度な不均質構造（3次元地震波速度・減衰・散乱構造、不連続面分布、断層面形状、比抵抗構造など）の推定をおこない島弧横断の地殻・マンツルの不均質構造モデル

の構築を目指す。その構造をもとに、地殻活動のシミュレーションの研究グループと連携し、地震発生ポテンシャルの解明に向けた研究を行う。各年度に下記の観測研究を実施する。

平成31年度には、島弧の地殻・上部マントルの高精度な不均質構造モデル（3次元地震波速度・減衰・散乱構造、不連続面分布、断層面形状など）を構築するためにいわきの地震活動域の南側から中越地域へ抜ける測線において、Hi-net等既存の観測点をもとに空白域を埋めるよう5点程度の地震観測点を展開し、自然地震観測を開始する。

平成32年度には、地震観測を継続するとともに、地震観測が行われている測線において10点のMT観測を実施し、地震学的研究だけでなく電磁気学的研究もおこない、総合的な理解を目指す。

平成33年度には、地震観測を継続するとともに、Hi-net等定常観測点と臨時観測点とのデータを合わせて解析を進め、測線上での地震学的研究による構造の解明を行う。

平成34年度には、地震観測を継続するとともに、電磁気観測では平成32年度に展開した測線での観測を補充する10点でのMT観測を実施する。これにより、島弧断面について2次元的でなく3次元的構造の理解を目指す。

平成35年度には、平成34年度に実施した測線に対して、地震学的研究と電磁気学的研究をもとにした総合モデルを作成する。さらに、それらの結果をもとに地殻内流体と地震の関係を調べる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

内陸地震発生メカニズムを解明することは、災害を軽減するために非常に重要な課題である。内陸地震のメカニズムを理解するためには、断層への応力集中とひずみの蓄積について理解することが重要である。また、内陸地震発生には地殻内流体の存在が大きく関係していることがわかってきている。そのような地殻内流体が、島弧のシステムの中でどのように生成され、移動し断層近傍に存在するかについて理解することは重要な研究課題である。2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、プレート境界での滑りや余効変動による滑りによって、島弧はひじょうに大きな影響を受けた。地震活動が活発になった地域もあれば、活動が抑えられた地域もあり、東北地方太平洋沖地震による地殻応答の解明は重要な課題となっている。この課題では東北地方太平洋沖地震の発生以降大きな地震活動の変化がみられたいわき周辺より、島弧を横断するように地震観測点を設置し地震学的構造を明らかにすること、また、同じ測線において地球電磁気学的観測を行い、電磁気学的構造を明らかにし、島弧の地震学的構造や電磁気学的構造をもとに地殻流体の存在を明らかにし、総括的に横断構造を明らかにすることを目的としている。そして地殻内流体と断層との関係を明らかにし、内陸地震発生のポテンシャル解明を行うことを目的としている。

今年度はいわきの地震活動域から新潟に延びる測線において電磁気学的構造を明らかにする研究をおこなった（図1）。測線上において上部地殻からマントルにかけて3つの領域で低比抵抗域が検出できた。ひとつは火山フロント中心部の低比抵抗域であり、マントルから地殻中部まで見られた（C1）。2つ目は火山フロントの前面部に位置し地殻中部に存在する低比抵抗域である（C2）。3つ目は、測線の西端での上部地殻に存在する低比抵抗域である。この測線近傍では、以前にこの災害軽減研究計画のもと地震観測が行われている。それらの成果で得られた、レシーバ関数解析の断面図に今回得られた3つの低比抵抗域のうち2つの比抵抗域を示したのが図2である。得られた結果の明瞭な相関は見られなかったが、低比抵抗域C1は明らかにマントルから地殻下部に延びており、深部のマントル中から延びて上部地殻に入り込んでいることがよくわかる。また、C2は火山フロントの前弧側に位置し、地殻内に存在している。その成因については今後の調査が必要であるが、その直上には顕著な地震活動が認められ、この低比抵抗域との関連性が指摘される。C3は測線が日本海に接する西端で得られ、東向きの傾斜角をもっており、この地域での構造探査による活断層の構造と調和的であることが分かった。さらに、C2の低比抵抗域内部には、深部低周波地震も発生しており、それらの地震活動との関係も、今後の重要な課題である。

また、水戸から中越地震域に至る25点の観測点でMT観測を実施し、予察的な2次元構造を推定した。まだ予察的な段階ではあるが、太平洋に接する地域には、前年度の成果報告で報告したいわき誘発地震帯に対応する低比抵抗域は認められず、おしなべて高い比抵抗構造が得られている。これは、従来論じられてきたように、いわきの誘発地震が、その直下に存在する流体の作用によって引き起こされたとする仮説を指示するように思える。さらに、庄内平野周辺域で取得していた既存MT観測データのコンパイルと3次元構造解析も実施し、月山や鳥海山への深部マグマ供給系を示唆する低比抵抗域が推定されたほか、地震発生帯が高比抵抗を示し、その直下にやや低い比抵抗帯が広がっているとい

う描像を得た。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建議の1(5)においては、「プレート境界域や海洋プレート内部及び内陸を含む地殻・マントル内の地震発生域及び火山地域において、地震波速度・減衰構造、地震活動、応力場、変形場、比抵抗構造、レオロジー構造等を明らかにすることで、地震や火山活動が発生する場のモデル化を進める」とあり、まさしく、内陸域の地殻・マントル内の地震発生域の地震波構造、比抵抗構造を明らかにした研究であり、建議の記載の目標達成への貢献をしている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Usui, Y., M. Uyeshima, T. Ogawa, R. Yoshimura, N. Oshiman, S. Yamaguchi, H. Toh, H. Murakami, K. Aizawa, T. Tanbo, Y. Ogawa, T. Nishitani, S. Sakanaka, M. Mishina, H. Satoh, T. Goto, T. Ksaya, T. Mogi, Y. Yamaya, I. Shiozaki, and Y. Honkura, 2021, Electrical resistivity structure around the Atotsugawa fault, central Japan, revealed by a new 2-D inversion method combining Wideband-MT and Network-MT datasets, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, doi:10.1029/2020JB020904
Aizawa, K., Takakura, S., Asaue, H., Koike, K., Yoshimura, R., Yamazaki, K., Komatsu, S., Utsugi, M., Inoue, H., Tsukamoto, K., Uyeshima, M., Koyama, T., Kanda, W., Yoshinaga, T., Matsushima, N., Uchida, K., Tsukashima, Y., Matsushima, T., Ichihara, H., Muramatsu, D., Teguri, Y., Shito, A., Matsumoto, S. and Shimizu, H., 2021, Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kyushu Island, Japan, *Earth, Planets and Space*, 73-12, doi.org/10.1186/s40623-020-01340-w

・学会・シンポジウム等での発表

Diba Dieno, 上嶋 誠, 市来 雅啓, 坂中 伸也, 田村 慎, 山谷 祐介, 白井 嘉哉, 2021, Characteristic features of the response functions estimated from a wide-band magnetotelluric (MT) data in the southern Tohoku area, *JpGU 2021*

Dieno Diba, Makoto Uyeshima, Masahiro Ichiki, Shin'ya Sakanaka, Makoto Tamura, Yoshiya Usui, 2021, Electrical resistivity structure beneath the southern part of Tohoku, Japan revealed by magnetotelluric (MT) method, *SGEPSS 2021*

Yoshiya Usui, Makoto Uyeshima, Hideaki Hase, Hiroshi Ichihara, Koki Aizawa, Takao Koyama, Shin'ya Sakanaka, Tsutomu Ogawa, Yusuke Yamaya, Tadashi Nishitani, Yasuo Ogawa, Ryohei Yoshimura, Shinichi Takakura, Masaaki Mishina, Yuichi Morita, 2021, Three-dimensional electrical resistivity structure beneath the back-arc side of the southern Tohoku region, *SGEPSS 2021*

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

地震観測研究においては、茨城県ひたちなか市から新潟県柏崎市にかけての測線における地震観測を継続するとともに、レシーバ関数の解析を進める。地球電磁気学観測研究においては、3年度に実施したデータ解析を進めて構造を決定する一方、同じ測線で測定する自然地震観測データの解析結果をあわせて、地域の地震活動と地殻流体との関連性を調べる。また、前弧側にあたる水戸からいわき誘発地震発生帯南部周辺域での広帯域MT観測を実施し、誘発地震発生帯と発生しなかった地域の構造的違いの検出につとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）, 酒井慎一（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）, 上嶋誠（東京大学地震研究所）, 白井嘉哉（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

市來雅啓（東北大学）,坂中伸也（秋田大学）,山谷祐介（産業技術総合研究所）,小川康雄（東京工業大学）,津村紀子（千葉大学）,他、これまでに行ってきた内陸地震研究の合同観測の後継の研究運営方式をとり、全国の大学に呼びかけ参加者を募って実施する。

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：飯高隆

所属：東京大学地震研究所・東京大学大学院情報学環

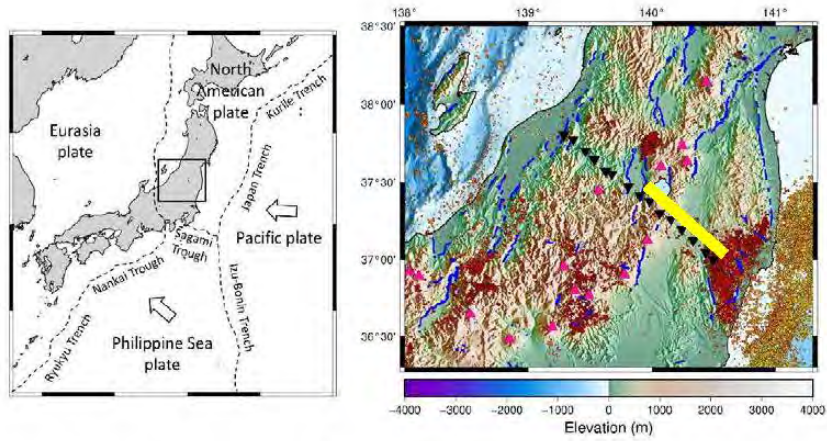


図1 解析対象域と電磁気観測点(黒▼)。黄色の測線は、図2に示す断面図の範囲。

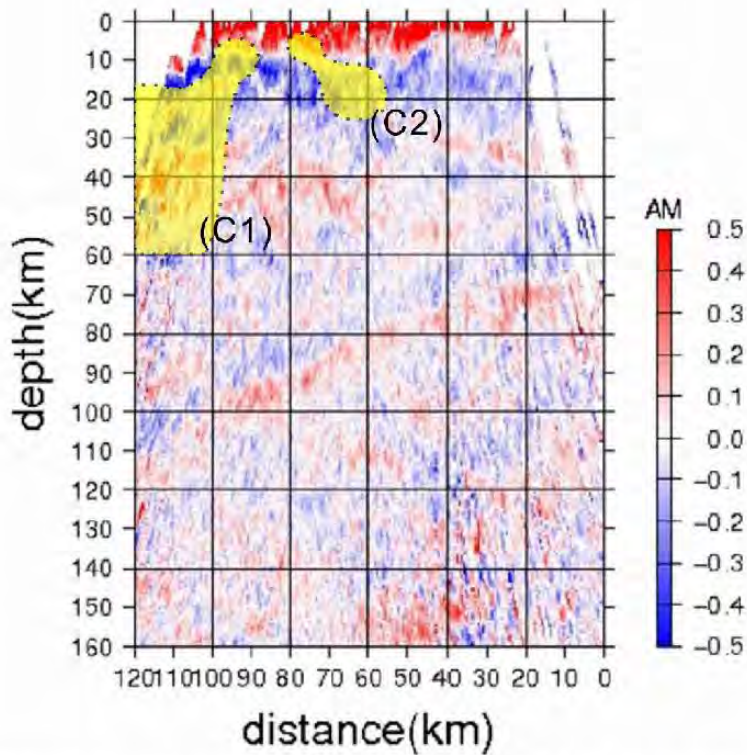


図2 レシーバ関数解析による構造と低比抵抗域[黄色のハッチ:(C1),(C2)]を比較した断面図

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

東日本における長期的重力変化の観測とモデリング

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2011年東北地方太平洋沖地震（M9）のあと、東日本を中心とした広い範囲で大きな地殻変動が起きているが、それと同時に大きな重力変化も起きている。この影響は、震源から比較的離れた場所と考えられる松代（長野県）と神岡（岐阜県）の超伝導重力計の記録にも表れており、どちらの地点においても、年間約10マイクロガル（註：地表の重力加速度は約980ガル）という驚くべきレートで重力が小さくなり続けている。地球における重力の源は万有引力（および自転による遠心力）であり、重力加速度の時間変化を精密に観測するという事は、地球を構成する物質の密度分布の変化をとらえるということである。上述の変化は地面の上下変動では説明できず、密度変化をとともなう何らかの現象が日本列島の地下で大規模に進行していることを示している。本研究では、超伝導重力計による重力連続観測を行い、それをベースとした相対重力測定と組み合わせることにより、東日本における重力の時空間変化をかつてない精度で明らかにする。そして、最近新たに開発された、粘弾性地球に対する地震重力変化の理論を観測データに適用することにより、長期的な重力変化を起こしている要因を特定し、地下で進行している物質移動／密度変化の物理過程を解明することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究では、本州に4ヶ所ある観測点（北から順に、水沢（岩手県）、蔵王（宮城県）、松代（長野県）、神岡（岐阜県）；ただし神岡は現在休止中）における超伝導重力計観測を継続・維持することを基本とする。超伝導重力計は、それ単独では重力加速度の絶対値がわからず、またわずかながら機械的なドリフトがあるので、それらを検定するために絶対重力計による測定を行う。各年度における絶対重力測定の計画は次のようである。

平成31年度 松代、神岡（旧／新）、水沢

平成32年度 松代、神岡（新）、蔵王

平成33年度 松代、神岡（新）、水沢

平成34年度 松代、神岡（新）、蔵王

平成35年度 松代、神岡（新）、水沢

このうち神岡では、2016年まで使用していた重力基準点に加え、重力波望遠鏡KAGRAのために掘削

された坑道内に新たな重力基準点を設定し、初年度に新旧の基準点を接続する。
また、各年度ごとに、絶対重力測定を実施する観測点をベースとし、また超伝導重力計観測点どうしをむすぶような形で、スーパー・ハイブリッド重力測定を実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

長野県松代における超伝導重力計iGrav（28号機）による重力連続観測はひきつづき順調であり、高品質のデータが取得されている。松代においては2016年から2018年にかけて従来型の超伝導重力計との並行観測を行ったが、今回そのデータの詳細な解析を行った。その結果、ノイズレベル、ドリフト特性（図1）などの点で、2台の重力計のデータの品質はほぼ同等であることが確認された。簡易型の超伝導重力計と見なされることもあるiGravであるが、長期的安定性の点において、従来型の超伝導重力計と遜色がないことがわかったことは重要である。測定技術に関連して、超伝導重力計のドリフトを検定する目的での絶対重力測定は、通常よりも高い精度と確度を要求される。そこで、地震研究所が所有する2台の絶対重力計の器差を精密に検定する実験を、山梨県富士山科学研究所（山梨県）において行なった（図2）。その結果、1マイクロガルオーダーの精度での検定を行うことができた。超伝導重力計観測点における絶対重力測定に関しては、北海道大学弟子屈観測所（北海道）における3回目の測定を実施した。前年と比較して、ほぼ重力変化がないという結果となった。国立天文台水沢VLBI観測所（岩手県）において、毎年実施している重力測定の7回目を行なった。これまでのすべての絶対重力測定結果を統一的に処理し、水沢の超伝導重力計のドリフトの検定を行った（図3）。水沢における長期的な重力変化のトレンドは、衛星重力観測GRACEから求められるものとは異なる特徴が見られ、その原因などについて現在検討を進めている。このほか、蔵王（宮城県）の超伝導重力計観測点において1回目の絶対重力測定を実施した。前項で述べた計画と異なる点は、神岡（岐阜県）のKAGRAトンネル内における測定を断念したかわりに弟子屈（北海道）における測定を毎年実施していること、水沢と蔵王の測定スケジュールを変更したこと、および観測点間を結ぶ相対重力測定を中止したことである。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

今西祐一・西山竜一・本多亮・田村良明,印刷中,絶対重力計FG5 #109と#241の器差の検定について—東京および富士山における相互比較—,測地学会誌,67

・学会・シンポジウム等での発表

今西祐一・池田博,2021,松代における超伝導重力計TT70 #011とiGrav #028の並行観測（2016-2018年）,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGD01-06

今西祐一・西山竜一・名和一成,2021,弟子屈における絶対重力測定（2019年および2020年）,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGD01-07

今西祐一・名和一成・田村良明・池田博,2021,石垣島の超伝導重力計CT #036の感度に関する再検討,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGD01-P05

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

石垣島（沖縄県）において稼働してきた超伝導重力計（CT型36号機）が、令和3年度末に松代（長野県）へ移設される予定である。令和4年度は、松代において、CT型36号機の調整作業から開始する。iGrav 28号機との比較による性能評価、ならびにドリフト検定の基礎となる絶対重力測定を行う。この際、観測室の様態変化にともない、絶対重力基準点を移動することが必要であり、このために2台の絶対重力計による同時測定を実施する。また、超伝導重力計のデータ収録システムを一新する。絶対重力測定は、松代のほか、弟子屈（北海道）、蔵王（宮城県）、富士山（山梨県）において実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

今西祐一（東京大学地震研究所）, 西山竜一（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
三浦哲（東北大学）, 田村良明（国立天文台）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今西祐一
所属：東京大学地震研究所

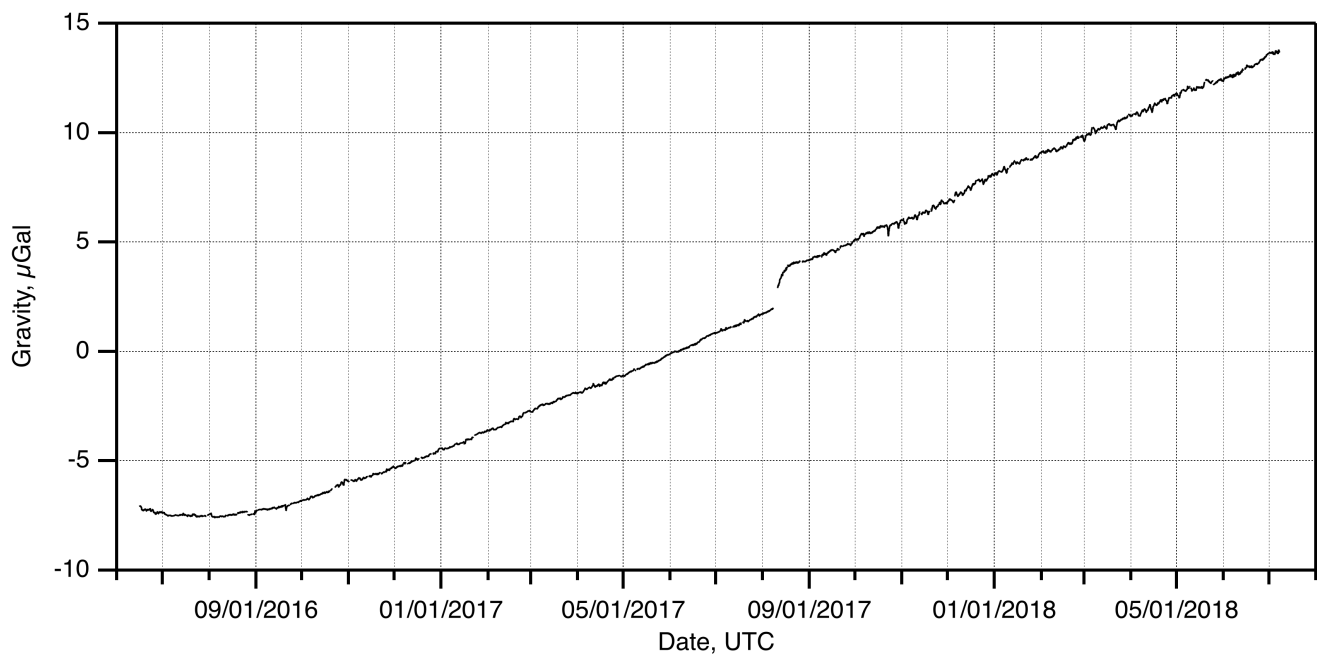


図 1

松代における 2 台の超伝導重力計（TT70 11号機およびiGrav 28号機）による並行観測の結果。長期的な重力変化の差（TT70 - iGrav）を示す。

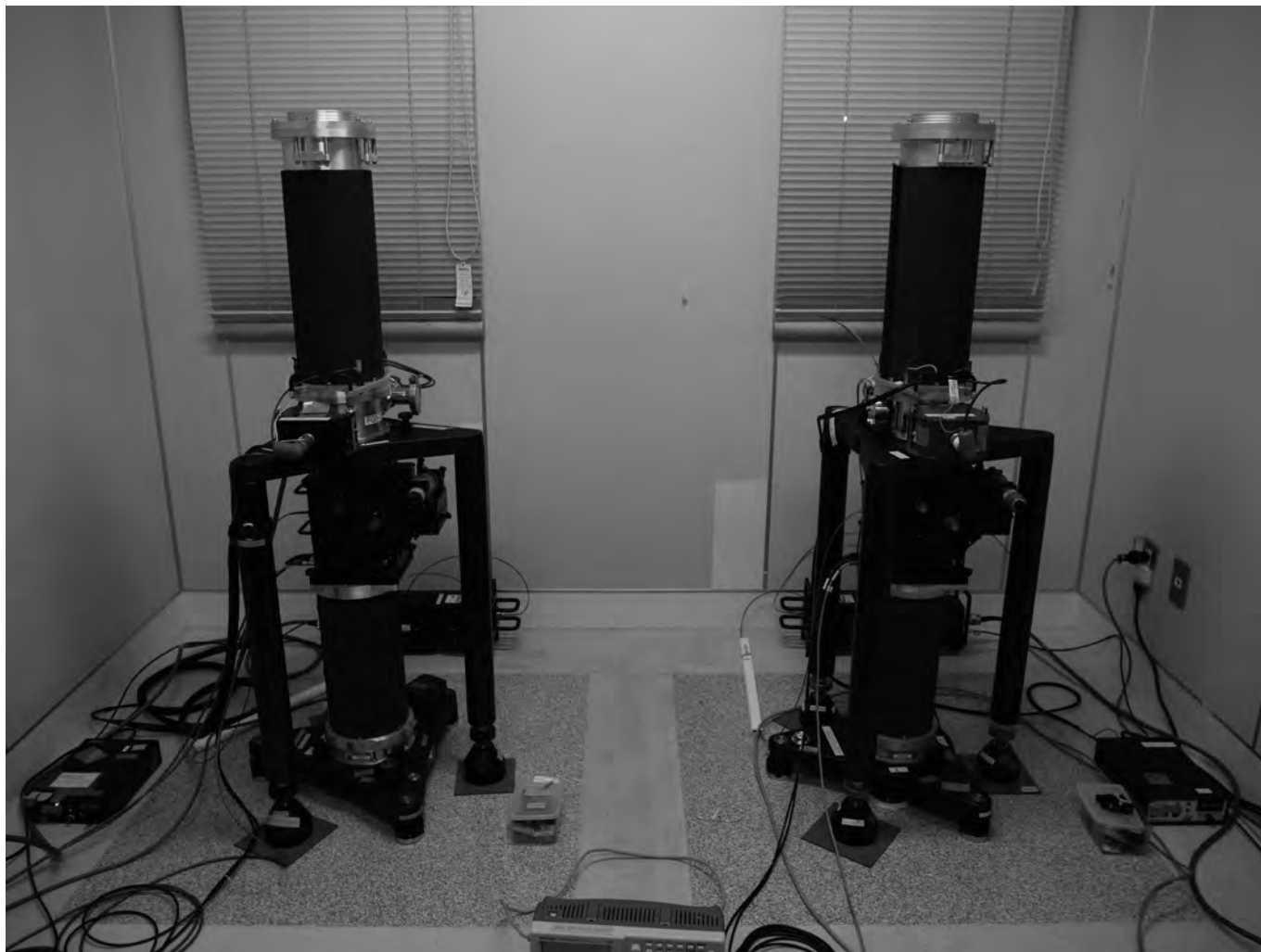


図2
山梨県富士山科学研究所における、絶対重力計（109号機および241号機）の器差を検定するための実験の様子。

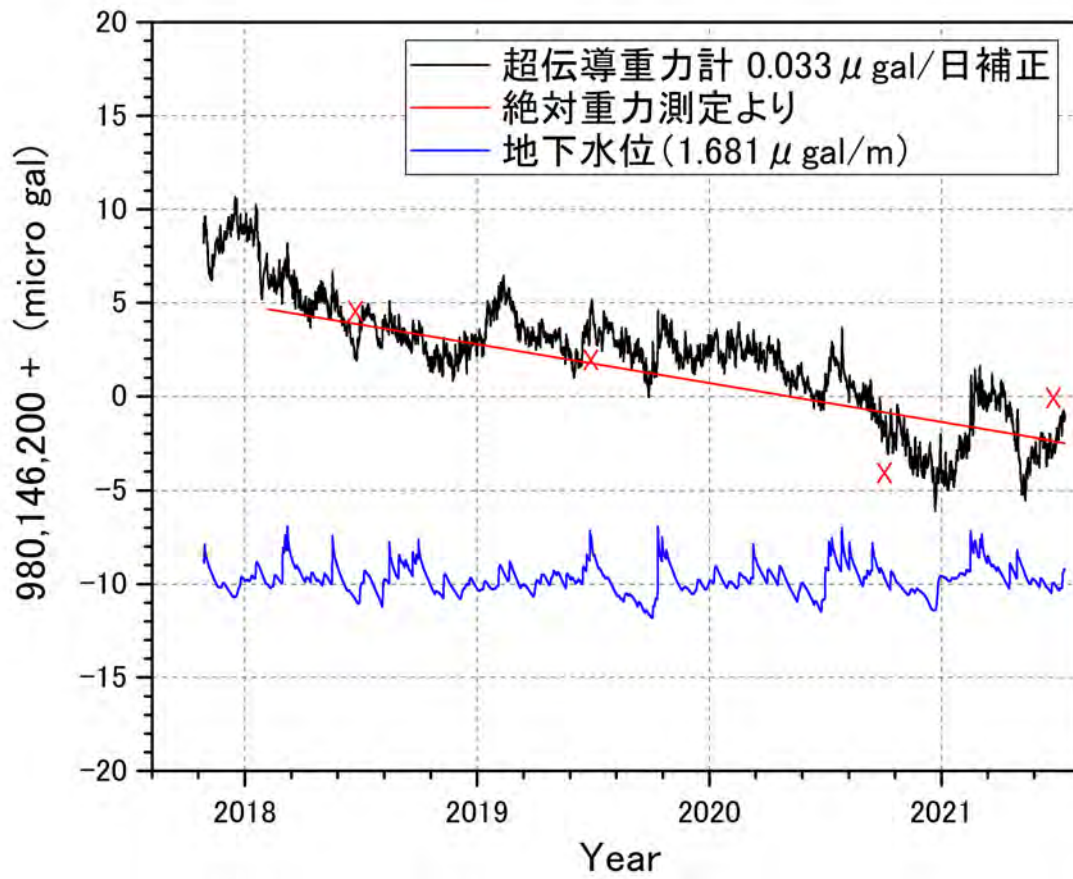


図3
水沢における、絶対重力測定による超伝導重力計のドリフトの検定。2018年以降のみを示す。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生予測のための島弧-海溝システムの観測-モデリング統合研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生 of 新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生 of 新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- (4) 中長期的な火山活動の評価
 - ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は、観測と日本列島基本構造モデルの構築・更新と地殻活動予測を統合的に実行し、地殻活動予測、巨大地震発生予測、火山噴火予測を含む多様な地殻活動についての定量的な理解を深めることを目的としており、数値計算、海陸地震観測、日本列島基本構造モデル、長期間地殻変動の4つの研究を実施する。

数値計算：前計画までの成果を踏まえ、日本列島を含む広範な領域（千島弧、東北日本弧、西南日本弧、伊豆小笠原弧、琉球弧、および朝鮮半島、ロシア沿海州、中国沿岸部）を対象として三次元有限要素モデルを構築する。稠密な地殻変動データを用いて、各プレート境界領域で進行するすべり状態と地下の粘性構造を推定する。地殻変動データとしては、国土地理院のGNSSデータに加えて、アメリカのネバダ大学が公開している全世界の地殻変動データが利用可能である。特に、大陸部のデータは深部の粘性構造を推定する上で重要である。推定した粘性構造とすべり速度欠損分布を用いて内部応力状態を求め、地震活動データと比較検討しながら、観測された地殻変動・応力状態と調和的なモデルを求める。このモデルの中に震源断層を置き、それぞれの断層面上に作用するクーロン応力変化を求め、上盤プレート内の地震発生の長期予測を行う。上記で用いた地下構造モデル、震源断層モデルは観測の進展・データの集積に応じて適宜更新し、長期予測も随時更新していく。

海陸地震観測：日本海から日本列島を横切り日本海溝または南海トラフに抜ける長大な測線を設定する。海域部の測線上に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施する。また、陸上に

は地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析・表面波解析を実施して、深部までの構造を求める。この測線上で大容量エアガンレイ、ハイドロフォンストリーマ、海底地震計による地震波速度構造探査実験を行い、深部構造の解析に必要な測線下の構造の情報を得ることも目標である。

日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルを基礎として、本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。これに加えて、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定、Hi-netの震源再決定の結果を用いた広域の地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新など、データの集積に応じたモデルの更新を行う。また、同時に進行するプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

長期間地殻変動：断層深部形状を考慮し、第四紀後期の西南日本・東北地方の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31(令和1)(2019)年度

- ・数値計算：日本列島域の三次元有限要素モデルを構築する。千島海溝の固着の進行にともなう北海道地域の震源断層の応力蓄積速度を求める。

- ・海陸地震観測：他プロジェクトにより、東北日本日本海側を主な対象域とした構造探査実験が計画されており、この構造探査と連携する形で、東北日本太平洋側の地震地殻上部マントル構造をもとめる実験を実施する。

- ・日本列島基本構造モデル：同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、東北日本・日本海側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和2年(2020)度

- ・数値計算：南海トラフー琉球海溝におけるプレート境界プロセスによる西南日本域の震源断層面上のクーロン応力変化を検討する。

- ・海陸地震観測：想定する測線上の海域部に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施す。また、陸上には地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。

- ・日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルに本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、東北日本太平洋側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和3(2021)年度

- ・数値計算：東北地方太平洋沖地震後10年間の粘性緩和にともなう上盤プレート内の震源断層の応力変化を評価する。

- ・海陸地震観測：前年度に設置した長期海底地震計および陸上の地震観測点を回収する。

- ・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新を行う。また、同時に進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和4(2022)年度

- ・数値計算：関東地方および伊豆小笠原弧の応力状態について、東北沖地震、相模トラフ、伊豆小笠原海溝のプレート境界プロセスの影響を検討する。

・海陸地震観測：前年度までに得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析・表面波解析などを実施して、深部までの構造を求める。

・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新を行う。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和5(2023)年度

・数値計算：4年目までに検討したプレート境界プロセス間の相互作用を検討し、今後数十年スケールの応力変化についてまとめを行う。

・海陸地震観測：数値モデルによる地震発生ポテンシャルの検討に向けて、これまでの解析結果をとりまとめて、日本列島の基本構造の構築・更新を行う。

・日本列島基本構造モデル：大規模構造探査の観測結果や海底ケーブル観測網による海域の震源再決定を反映させたプレートモデルと、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形的研究、Hi-netの震源再決定結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層・レオロジーモデルの更新についてまとめを行う。

・長期間地殻変動：西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動と、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートのとりまとめを行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

数値計算：2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）後10年間の粘性緩和にともなう上盤プレート内の震源断層の応力変化の評価に向け、東北沖地震の地震時・余効すべり分布に千島海溝の固着など広域のプレート境界過程を含めたモデル計算を行なった。この条件のもと、日本列島域の応力速度場を計算し、さらに東北地方陸域および日本海沿岸域の震源断層にかかる応力を計算した

(図1)。東北沖地震の影響は東北地方から、新潟、北陸地方にかけて、数十年程度残ることを示した。この地域の多くの震源断層においては、東北沖地震により震源断層の活動は抑制されるが、特に東北地方北部では千島海溝の固着の効果が無視できない。なお、福島県の沿岸の断層については、周囲の断層と異なる挙動を示すという結果になった。これらの断層については、すべり角も含め、より詳細な推定が必要である。より精度の高い応力計算のためには、各震源断層の形状や断層物性の把握が必要である。

参考文献

橋間昭徳, 佐藤比呂志, 石山達也, Andrew M. Freed, Thorsten W. Becker, 2021. 東北日本弧、西南日本弧のプレート境界プロセスによる日本海海域の震源断層への応力蓄積, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-02.

海陸地震観測：日本海地震・津波調査プロジェクトの一環として2019年に実施した地震探査の陸域部（図2）について、Iwasaki et al. (2021) に引き続いて屈折・広角反射法データ処理・速度構造モデル構築を行った。本年度は、まず、前年度使用した初動・後続波の読み取りデータに対する入念なチェックと修正を行い、波線追跡法によって、前年度提出した速度構造モデルを再検討するとともに、後続波の走時から深部構造を推定した。これらの解析では、当該測線屈曲の影響を抑える目的で、波線追跡において距離補正を行っている。また、深部構造推定には原波形データだけでなく、後続波同定の信頼性を高めるためにstacking処理を行った波形データも用いた。

地殻浅部（深さ<0.5-5.0 km）の構造は、1.6-2.0, 1.8-3.5, 3.5-4.5及び4.5-5.5 km/sのP-波速度を持つ4層から構成される（図3）。各々の層厚は水平方向に著しく変化し、その形状はSato et al. (2020 a,b) による反射法断面解釈に基づく断層及びカルデラの位置とよく対応する。基盤最上面の速度は測線西部・中部では5.8 km/sである。しかし、測線最東部（北上山地下）では、深さ8 kmまでの平均的

基盤速度が測線西部に比べて0.10-0.15 km/s速い。

図4は、shot 60001（図2）に、後続波と理論走時を示した。震央距離50-60 km以遠の走時データから、深さ8-15 kmに速度が6.4-6.5 km/sの中部地殻の存在が明らかとなった。また、Moho面の深さは、30-31 kmと推定された。下部地殻（深さ15-30~31 km）の速度は6.6-7.1 km/sであるが、深さ19-21 及び24-26 kmに2枚の速度不連続面がある。更に、モホ面の下、深さ38及び46 kmにも不連続面が存在する。下部地殻及びマントル最上部は、総じて反射的である。図5に、地殻・マントル最上部の速度構造モデルを示した。測線東部の深部構造は、本測線及びその太平洋側延長部の地震探査データに対するtomography解析（Kurashimo et al., 2021）と極めて調和的である。

この測線下における地震活動は、ほぼ中部地殻以浅で発生しているが、測線西端部（モデル座標で0-40 km）では、発生域が20 km以深にまで及んでいる。また、出羽丘陵と新庄盆地境界部（モデル座標で40-45 km）下で低周波地震群が認められる。その下限は、今回推定した深さ38 kmの上部マントル内不連続面に対応していることは興味深い。

参考文献

Iwasaki, T. et al., 2021. The upper crustal structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling, JpGU Meeting, SCG49-05.

Kurashimo, E. et al., 2021. Seismic structure from the forearc region off Miyagi to the central part of Northern Honshu arc, Japan, revealed by onshore-offshore seismic experiment. submitted to 2021 JpGU Meeting, SCG49-04.

Sato, H. et al., 2020a. Seismic transect across the central part of Northern Honshu, Japan, 2020 JpGU-AGU Joint Meeting, MIS03-P05.

Sato, H. et al., 2020b. Deep seismic reflection profiling across the Shonai and Shinjo basins, northern Honshu, Japan, 2020 Spring Meeting of JAPT, 016.

日本列島基本構造モデル: 日本海地震・津波調査プロジェクトの一環として2020年度に実施された津軽半島横断地殻構造探査の結果（佐藤ほか, 2021）などにに基づき、東北日本弧とその沿岸海域の上盤プレート内地震の力学的な発生予測や、被害予測の基礎となる震源断層の矩形モデルを作成した

（図6）。震源断層の位置については、活断層図や地質図、重力異常図などを参考にし、形状については深部反射法地震探査の結果から推定している。日本海と沿岸については、日本海地震・津波調査プロジェクトの成果（佐藤ほか, 2020b; 2021）に基づき、内陸については既存の調査結果をもとに作成した。日本列島では、しばしば活断層の分布が知られていない領域で、地殻内の被害地震が発生する（佐藤ほか, 2020a）。震源断層としては伏在する断層を考慮して、地質構造に着目して断層を抽出した。このため活断層として記載されていない場合でも、震源断層を想定している。地震発生層の深さは基本的には、Hi-netの観測データによるD90を参考にした。すべり角は、断層すべりは断層面にかかる最大剪断応力の方向に起こると仮定し、Terakawa and Matsu'ura (2010)の広域応力場を用いて求めた。

東北日本は現在、水平圧縮応力場にあるが、ほとんどの震源断層は地質時代に形成された断層の再活動である。正断層として形成された断層が多く、中角度の傾斜角を示す。日本海沿岸に分布する背弧リフト帯では、厚い新第三系の堆積岩が分布し、断層関連褶曲が卓越する。リフト下の下部地殻は苦鉄質岩の侵入が多く、地震発生層が厚くなる他、縁辺には岩相境界を反映して、低角度の逆断層が形成されている（佐藤, 2013）。こうした断層は堆積層中で楔型を示すことが多く、震源断層としては下側の断層面を選択している。

参考文献

佐藤 比呂志, 石山達也, 橋間昭徳, 加藤直子, 野 徹雄, 石川正弘, 松原 誠, 越谷 信, 豊島剛志, 小林健太, 小菅正裕, 2021. 断層モデルの構築, 令和2年「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 275-303.

佐藤比呂志, 石山達也, 橋間昭徳, 2020a, 震源断層の長期評価に向けて, 地震予知連絡会会報, 104, 476-479.

佐藤 比呂志, 石山 達也, 野 徹夫, 小平 秀一, 加藤 直子, Claringbould Johan, 松原 誠, 橋間 昭徳, 石川 正弘, 佐藤 壯, 2020b. 日本海と沿岸の震源断層モデル, 日本地震学会講演予稿集秋季大会, S06-04.

Terakawa, T., Matsu'ura, M., 2010, The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, 29, TC6009,
佐藤比呂志, 最新の陸域構造調査, 地震予知連絡会会報, 90, 516-520, 2013.

長期間地殻変動：東北日本・日本海側の長期間地殻変動を推定する目的で、葡萄山地南西端に分布する海成段丘面の宇宙線核種による露出年代の推定を花崗岩類を基盤とする更新世の海成中位段丘および完新世海成段丘（離水ベンチ群およびノッチ）において試料を採取した（図7）。また、比較検討を目的として、テフクロロジーに基づき最終間氷期に形成されたとされる青森県深浦の海成段丘（宮内, 1988; 小池・町田（編）, 2001）にて試料を採取した。採取した試料のうち、最終間氷期に採取した試料について、弘前大学において年代測定に向けた試料精製を実施した。なお、本年度は新型コロナウイルスの感染状況に十分配慮して調査研究を行った。

参考文献

宮内崇裕, 1988, 東北日本北部における後期更新世海成面の対比と編年. *地理学評論 Ser. A*, 61, 404-422.

小池一之・町田 洋（編）, 2001, 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 105 p.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

内陸地震の長期予測にむけて、震源断層モデルの整備を進めるとともに、構造探査等による上盤側プレート構造の解明・更新を着実に進めつつある。また、構造探査・変動地形学的なアプローチに加えて新たな年代推定を進めることで、伏在活断層の推定や島弧の非弾性変形による長期間地殻変動についても理解を深めつつある。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也・Freed Andrew・Becker Thorsten, 2021, 東北日本弧、西南日本弧のプレート境界プロセスによる日本海海域の震源断層への応力蓄積, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-02

石川正弘, 2021, 本州弧地殻の温度構造：地震波トモグラフィーからの推定, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-12

石山達也・佐藤比呂志・加藤直子, 2021, 日本海のfailed rift systemの再活動による北陸地域のアクティブ・テクトニクス, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-P04

岩崎貴哉・佐藤比呂志・蔵下英司・石毛宏和・清水英彦・石山達也・飯高隆・篠原雅尚・川崎慎治・阿部進・平田直, 2021, The upper crustal structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-05

蔵下英司・佐藤比呂志・岩崎貴哉・飯高 隆・石山達也・篠原雅尚・石毛宏和・清水英彦・川崎慎治・阿部進・平田直, 2021, Seismic structure from the forearc region off Miyagi to the central part of Northern Honshu arc, Japan, revealed by onshore-offshore seismic experiment, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-04

佐藤比呂志, 2021, Structure and deformation in the overlying plates of Japanese arcs, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-08

佐藤比呂志・石山達也・齋藤秀雄・中田守・加藤直子・阿部進, 2021, 津軽半島横断地殻構造探査, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS07-02

佐藤比呂志・石山達也・齋藤秀雄・中田守・加藤直子・阿部進, 2021, 津軽半島横断地殻構造探査, 令和3年度石油技術協会春季講演会, 017

篠原雅尚・酒井慎一・悪原岳・望月公廣・佐藤比呂志・日野亮太・山下裕亮, 2021, Precise aftershock distribution of the 2019 off-Yamagata earthquake using anchored-buoy type ocean bottom seismometers, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG49-P02

石山達也, 2021, 北陸の活断層の特徴とその背景, 日本活断層学会2021年秋季学術大会シンポジウム「北

陸の活断層と地震防災」,S-1

Shinohara, M. et al.,2021,Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations,Earth, Planets and Space,2022 74: 5

若狭 幸・石山達也・廣内大助・松多信尚・藤田奈津子・越後智雄,2021,三陸海岸における宇宙線生成核種濃度測定による海成段丘面の露出年代値の推定,日本地球惑星科学連合2021年大会,HGM03-P01

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・数値計算：関東地方および伊豆小笠原弧の応力状態について、東北沖地震、相模トラフ、伊豆小笠原海溝のプレート境界プロセスの影響を検討する。
- ・海陸地震観測：前年度までに得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レーザー関数解析・表面波解析などを実施して、深部までの構造を求める。
- ・日本列島基本構造モデル：同時進行のプロジェクトによる地殻構造、反射法探査、活断層・変動地形学的研究、地震発生層厚さなどの成果に基づき震源断層モデル等の更新を行う。
- ・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた断層について、深部断層形状を考慮した第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）,望月公廣（東京大学地震研究所）,山田知朗（東京大学地震研究所）,石山達也（東京大学地震研究所）,橋間昭徳（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）,佐藤比呂志（東京大学地震研究所）,飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

東北大学,北海道大学,千葉大学,京都大学防災研究所,鹿児島大学,横浜国立大学,弘前大学,岩手大学,富山大学,岡山大学,広島大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

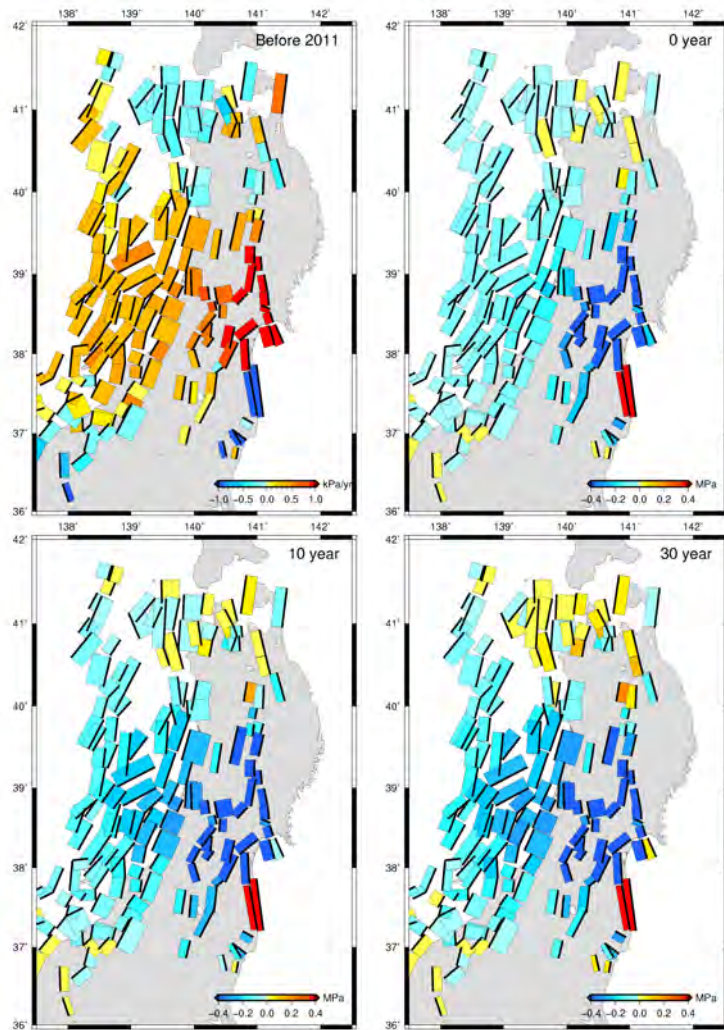


図1 2011年東北沖地震前、地震直後、地震から10年後、30年後の東北地方陸域および日本海沿岸域の震源断層におけるクーロン応力変化
 地震から10年後、30年後の東北地方陸域および日本海沿岸域の震源断層におけるクーロン応力変化。黄色～赤の断層では地震が起きやすく、水色～青の断層では地震が起きにくい。

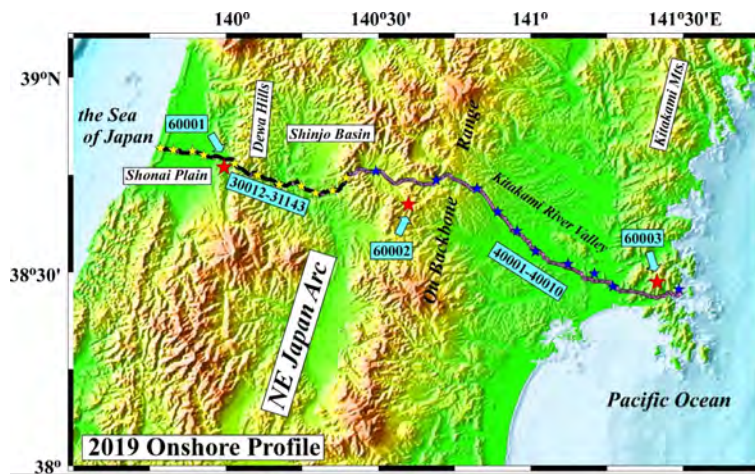


図2 2019年陸域測線図
 ダイナマイト発震点と震源車による多重発震点を、それぞれ赤と黄・青の星印で示した。発震点及び受振点

総数は、24及び1,667点である。

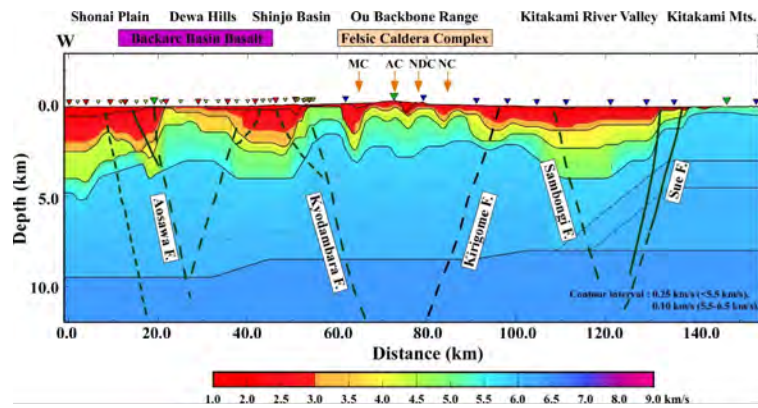


図3 波線追跡法で求めた測線下の浅部構造

図上部の逆三角印は、発震点位置を示す。緑：ダイナマイト発震点。赤及び青：震源車多重発震。Sato et al. (2020a, b) の反射断面解釈に基づく断層位置、カルデラの位置も示した。

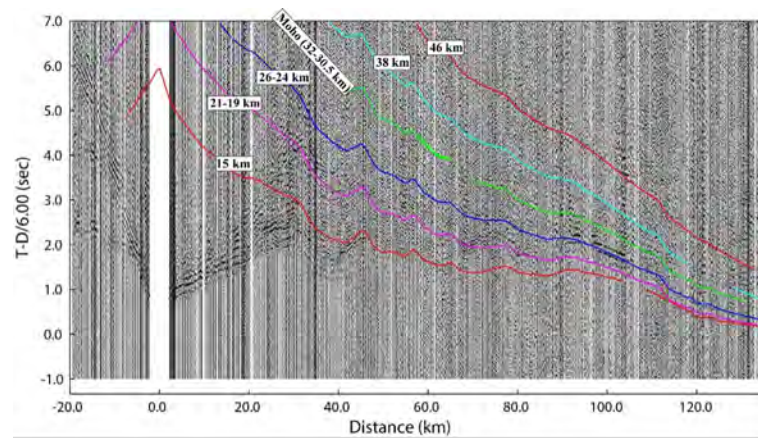


図4 ダイナマイト発震点（60001）のrecord sectionと後続波の解釈図
図2及び5を参照。

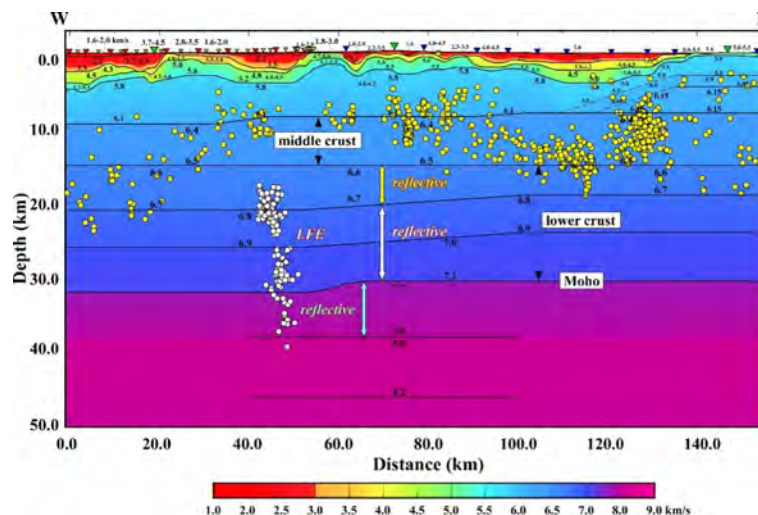


図5 地殻・最上部マントルの速度構造。

黄丸及び白丸は、気象庁一元化震源（2010-2019）に基づく地殻内地震と低周波地震である。

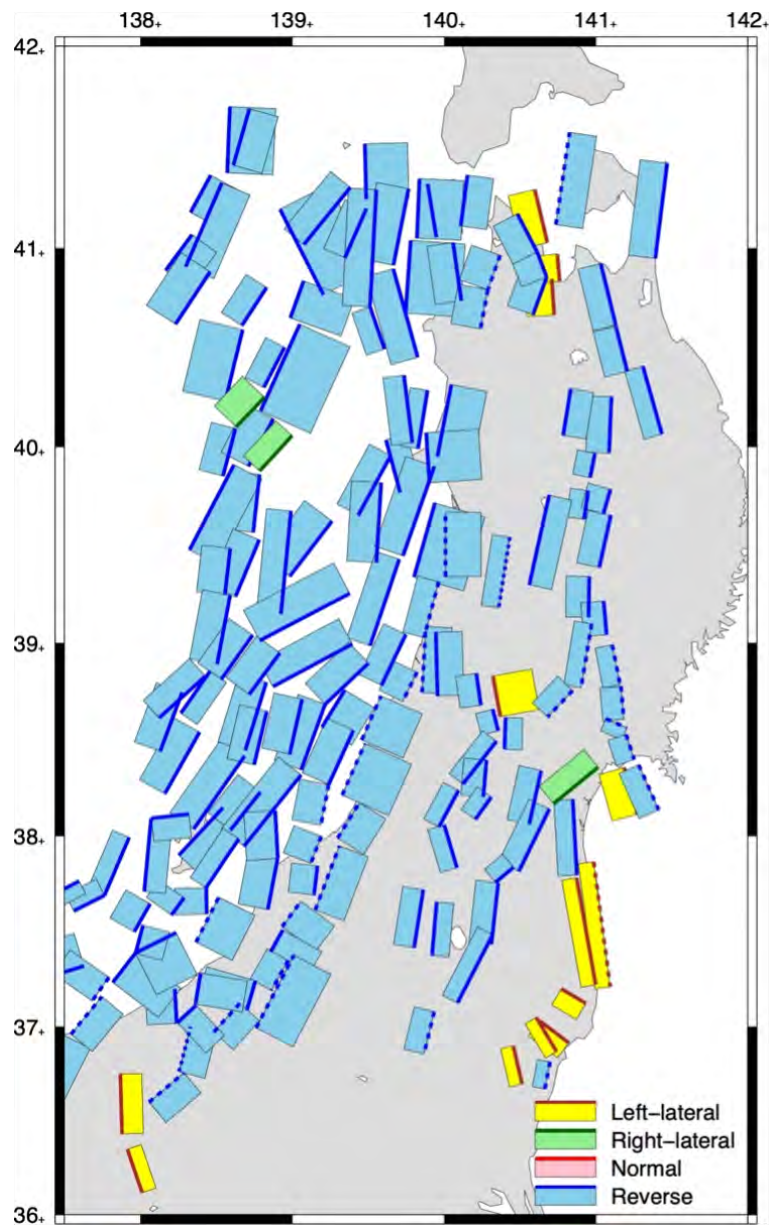


図6 東北日本と日本海東縁の震源断層の矩形モデル

矩形は震源断層、太線は断層の上端、破線は断層面の先端の伏在を示す。断層のタイプ（すべり角）は、広域応力場（Terakawa and Matsu'ura, 2010）から求めた

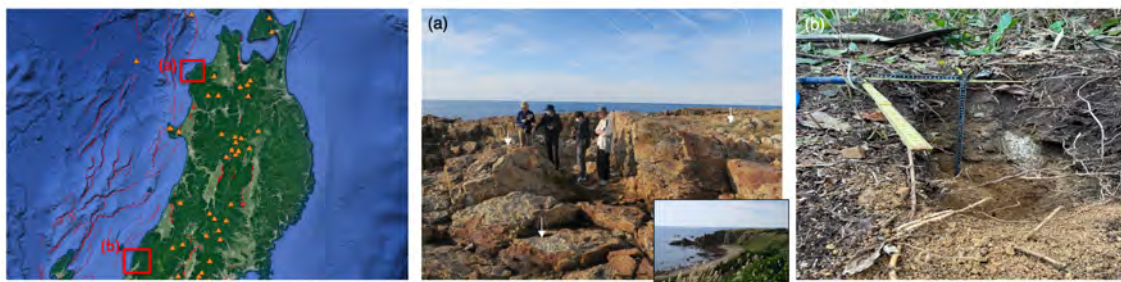


図7 宇宙線核種による海成段丘面の露出年代推定の調査地点
(a)青森県深浦町, (b)新潟県村上市におけるサンプル採取

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

スロー地震モニタリングに基づく南海トラフ域の地震発生可能性評価手法に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフ域を中心とし、沈み込みプレート境界で発生する多様な滑り現象をモニタリングすることで、それらの時空間変化を高精度に把握し、スロー地震間の相互作用、スロー地震と地震発生との関係、これらの現象の発生環境としての地下構造異常・流体挙動との関係の解明を通じて、プレート境界すべり特性やプレート境界現象間の相互作用の理解を深める。これら新たに得られる知見に基づき、スロー地震が隣接する巨大地震領域に与える影響、すなわち、スロー地震と同じプレート境界で発生する大地震発生可能性の相対的な変化を評価する手法の開発に貢献する。

サブテーマ毎の到達目標を以下に記す。

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費から引き継いでスロー地震データベースを更に拡充し、本地震火山観測研究計画内での利用に留まらず、国内外のスロー地震研究基盤としてその存在価値を高め、地震研究分野におけるわが国の国際的リーダーシップの強化に貢献する。また、これらのカタログを活用しスロー地震の活動特性を正確に把握することで、シミュレーションによる現象再現性の精度向上を通じ、長期的及び中短期的な大地震発生可能性の評価に貢献する。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

これまでの本地震火山観測研究計画や科研費等で展開した四国西部・九州東部の広帯域地震観測データ等を用いて、南海トラフ域に発生する超低周波地震のモニタリングを行ない、その活動様式を解明すると共に、他のスロー地震との相互作用などを明らかにする。得られた超低周波地震カタログはスロー地震データベースに登録し、国際的スロー地震研究の推進に貢献する。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

スロー地震は、短い長さスケールほど滑りの継続時間が短くなる拡散現象としての性質を有しており、既知のものより高速且つ短い伝播距離で特徴づけられる新たな高速移動現象が存在することが予想される。この新たなモードは、ゆっくり滑りから通常の地震による速い滑りへの遷移的な挙動を知る上で重要である。特に、中短期的な時間スケールにおいて、ゆっくり滑りと地震発生との関連性を考える上で根本的な理解の促進に貢献すると期待される。これまでの機動観測によって取得された地震波形データを用いて、深部低周波地震の高速移動現象の新たなモード検出を目指し、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域において、これまでに構築してきたGNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせて解析することで、長期的SSEをはじめとする、より長期的なプレート間すべりの動態を把握しスロー地震間の相互作用について理解を深める。同時に、この領域でのすべり特性・プレート間相対運動による歪蓄積と解放の収支を推定し、その発生様式の理解を通じて巨大地震発生様式の解明を目指すことで、地震の長期的予測の高度化に資することを目的とする。

5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

準リアルタイム解析による長期的SSEモニタリング手法の開発をするとともに、フィリピン海プレート上面における長期的SSE活動様式の全容を解明する。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

プレート境界面上の巨大地震震源域周辺に分布するスロー地震域におけるすべり特性の理解をすすめる。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

南海トラフ等のスロースリップ域において重力・地磁気観測を実施し、間隙流体の時間変動を捉えることを目指す。プレート境界の応力状態を変化させる間隙流体の移動を明らかにすることは、他のスロー地震及び巨大地震発生域とスロースリップ発生域とがどのように相互作用しているのか解明することに貢献し、中短期予測につながる。

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

スロー地震の活動様式に違いがある四国中部から東部にかけての地域で稠密地震観測を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震発生域における構造を明らかにする。豊後水道のほぼ中央に位置する水ノ子島に構築した観測点を維持し、取得データの解析から、豊後水道下のプレート形状を明らかにする。これら、明らかになったプレート境界面の形状や境界面近傍の構造不均質と、モニタリングされるスロー地震活動と対応させることで、滑り特性を規定する地下構造異常の特徴を把握する。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動を解明する。特に、浅部スロー地震の地域性（発生域 vs. 非発生域）を規定する要因を明らかにするとともに、デコルマやOut-of-sequence-thrust(OOST)断層の構造と流体が浅部スロー地震にどのように影響するかを解明する。また、デコルマやOOST断層の固着（強・弱）と挙動における沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体の役割を明らかにする。

10. スロー地震と地震発生との関連性

スロー地震の時空間発展を詳細に調べることで、その周辺域への応力载荷の状況を把握し、地震の発生可能性の相対的变化を推定することを試みる。例えば、房総沖のスロースリップに伴う有感群発地震に関して、地震活動の詳細な時空間発展を把握し、滑りが引き起こす応力変化と比較することで、地震発生を引き起こす条件を探索する。また、大地震の発生に先行する前震活動の解析を行い、スロースリップとの関連性について検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

2019年度は、2021年度に科研費から本計画にデータベースを移行するための準備を進め、2020年度は移行作業を実施する。2021から2023年度は、データベースの維持・拡充を継続するとともに、多様なスロー地震カタログを活用してそれぞれの時空間変化や相互作用などを明らかにする。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021から2023年度は、科研費で展開された広帯域地震観測点の維持、データ収集、解析を行ない、既存の広帯域地震観測網のデータも活用して、超低周波地震の活動特性や他のスロー地震との相互作用を明らかにする。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021年度は、高密度な機動観測によって取得された地震波形記録に対して、アレイ解析手法等を適用することで、深部低周波地震の詳細な時空間発展を明らかにする。2022から2023年度は、深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

2019年度においては、前計画・科研費等で構築してきた機動的GNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせてモニタリングを行う。このためのGNSS基線解析環境を構築するとともに、過去の長期間のデータも活用しSSEの把握を進める。2020年度においては、前年度の研究を継続する。2021年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、プレート境界面付近における歪収支について検討を進める。2022年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、SSE同士の相互作用について検討を進める。2023年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、成果の取りまとめをおこなう。

5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

2019年度においては、これまで開発した手法を準リアルタイム解析へ拡張することを検討する。また、関東地方などを中心にSSEの系統的検出を行う。2020年度は、引き続き手法の拡張とSSEの系統的検出を行う。2021年度は、開発した手法に基づく準リアルタイムモニタリングの実施を目指す。2022年度は、モニタリングを継続するとともに、相模トラフから琉球海溝までの領域における長期的SSEのセグメント化や移動などの活動様式を明らかにする。2023年度は、SSE活動様式をさらに検討し、地震活動および微動活動との時空間的な関係性を検討する。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

西南日本および南西諸島における繰り返し地震活動をモニタリングし、SSEや比較的大きな地震の活動状況との関係を調べる。またスロースリップの周期性に関する研究も行う。これらによりプレート境界での地震とスロースリップの関わりの仕方が明らかになれば、中短期予測の精度向上に寄与できる可能性がある。

2019年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本でのスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2020年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本での周期的なスロースリップについて解析を行う。2021年度は、南西諸島における繰り返し地震を抽出および東北日本との比較を行う。2022年度は、南西諸島におけるスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2023年度は、スロー地震と中・大規模地震の関係についてモデル化を行う。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

重力観測は西南日本のスロースリップ域で2-3年間に1回を行うことを標準とするが、スロースリップの発生に応じて観測頻度を地域間で調整する。

(2019～2022年度)絶対・相対重力観測(東海、四国、宮崎、八重山)、地磁気観測(八重山)、ネットワー

クMT観測（四国）、データ解析、ノイズ補正手法及び既存モデルの改良を行う。（2023年度）同上、成果とりまとめ

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

2019から2023年度において、水ノ子島観測点の保守・データ回収作業を実施し、水ノ子島観測点と周辺観測点のデータを用いた解析を実施することで、豊後水道下のプレート構造を把握する。紀伊半島等で取得されている稠密地震観測データの再解析を実施し、スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにする。2021年度は、2022年度から四国で実施する地震観測の現地踏査を実施する。2022から2023年度にかけて、稠密地震観測を実施する。取得した稠密地震観測データの解析を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常を抽出する。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

2019年度と2021年度においては、既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査（Multi-channel Seismic : MCS）データと深海掘削(ODP/IODP) データを統合し、デコルマ・Out-of-sequence-thrust(OOST)断層や沈み込む四国海盆堆積物の構造的特徴、流体分布、摩擦係数を推定すると共に、海底地殻変動観測(Yokota et al., 2016)から求めたデコルマの固着分布(強・弱)と比較する。2020年度と2022年度においては、既存MCSデータが十分でない浅部スロー地震の発生域と非発生域でTime-lapse MCS調査を行い、デコルマやOOST断層の反射係数を比較することで、間隙水圧の時間変化を推定すると共に、その間の浅部スロー地震発生と比較する。2023年度は、デコルマやOOST断層の構造的特徴と間隙水圧の時間変動に着目し、浅部スロー地震の活動様式との関連性を求め、浅部スロー地震発生に対する断層の地殻構造と流体挙動の影響を解明する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

2019から2021年度は、房総沖スロースリップに伴う群発地震活動の震源再決定、Matched filter法による地震活動の再検出を行う。また、小繰り返し地震のモニタリングに関する課題とも連携し、非地震性滑りの時間発展について調べる。2022から2023年度は、房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目して検討する。5か年の実施期間中に大地震が発生した場合は、先行した前震活動や地殻変動に関する解析を実施し、大地震発生に至る直前過程に関する知見を蓄積する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

年次計画に基づいた機動的調査観測を実施するとともに、南海トラフ沿いにおけるスロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行なった。また、スロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データ解析手法の開発を進め、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式、スロー地震発生域の構造・流体挙動の把握、巨大地震の発生過程に関する研究を進めた。

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築したスロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データベースへのカタログ登録を継続的に呼びかけ、現在では約70のカタログが登録されている。また、様々なスロー地震カタログに基づいたスロー地震活動様式に関する研究を継続的に実施し、微動のクラスタリング解析に基づいて中間帯域におけるスロー地震のエネルギー、継続時間、破壊面積等のスケーリング特性を明らかにした（Aiken and Obara, 2021）。また、四国においてBackTrackBB法による微動の新たなカタログを構築し、その時空間的分布や挙動が非常に複雑でかつ不均質であり、沈み込むプレートの構造や応力集中、流体分布の複雑さを反映する可能性のあることを示した（Poiata et al., 2021）。一方、日本周辺以外で浅部超低周波地震の存在が確認されているコスタリカにおいて実施された機動的広帯域地震観測データを解析し、海溝付近における浅部超低周波地震活動の検出に成功した（Baba et al., 2021）。この活動域は大地震震源域のアップディップ側で、過去に発生したスロースリップイベントのすべり域と調和的である。また、超低周波地震に伴う微動シグナルを検出し、両者の比であるスケールドエネルギーを評価したところ、南海の浅部スロー地震とほぼ同様であった。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において展開された機動的広帯域地震観測点（四国西部

6点、紀伊半島4点、東海4点)と準定常観測点(四国西部5点、九州1点)のうち機材調整などの都合で四国西部の機動的観測点3点を撤収した。残り17点を維持するため現地作業を行なったとともに、深部超低周波地震の検出手法の改良を継続的に実施している。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

南海トラフ沈み込み帯の深部低周波地震(LFE)の移動現象を解明するために、四国西部に展開された稠密な短周期地震計アレイにより取得された連続波形記録の解析を進めた。LFEの大規模活動が生じた2020年2月下旬の波形データを用いて、センブルンス値に基づいてLFE震源の時空間発展を推定した。その結果、LFEの震央分布は、現在のフィリピン海プレートの収束方向と平行な西北西-東南東の走向に加えて、過去の収束方向に平行な北西-南東走向の2つの構造で特徴づけられることが明確に示された。同様な構造は、Ide(2010)でも広域スケールにおいて指摘されているが、今回は数kmスケールでも類似の構造が存在することが明らかになった。スロー地震発生域のマルチスケール構造を示唆する意義深い結果である。また、LFEの大規模活動は、先行研究(Ide, 2010; Kato and Nakagawa, 2020)で報告されているように、深部から浅部へ移動後にプレート走向方向へと向きを変え、低速且つ拡散的な様式で移動することが示された。低速移動中には、約10分間という短い時間内に距離約3 kmを高速に移動する現象を複数見出した。移動速度は30 km/hr程度であり、プレートの傾斜方向と走向方向の両方への移動が見られ、順方向・逆方向の移動が頻繁に生じていることが分かった。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

前計画・科研費等で構築してきた、豊後水道周辺地域におけるGNSS連続観測および座標値解析を継続して実施した。新型コロナウイルス感染症拡大の影響で遅れていた一部観測点の保守作業を順次実施した。GNSS時系列データから短期的スロースリップイベント(SSE)を自動的に検出する手法を新たに開発し、これらのGNSS観測データに適用した結果、東海~九州地域で1997年から2020年の期間に発生した284イベントを検出した(図1)。特に、九州沖合での超低周波地震や繰り返し地震活動に同期したSSEなど、これまで見出されていなかった活動が初めて検出された。また例えば、SSEの平均すべり速度が、四国西部では、四国東部や九州に比べ、おおよそ倍程度大きいといった、地域ごとの活動の特長も見出した(Okada et al., 2022)。

5. 相模トラフ~南海トラフ~琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

地震波干渉法による常時微動表面波トモグラフィーの高度化のための手法開発を行い、S-netデータを用いて日本海溝沈み込み帯前弧海域における、スロー地震分布と対応する表面波位相速度の空間変化を明らかにした。海水層および堆積層の影響で海域を伝播する常時微動表面波はマルチモードで構成される。また、沈み込み帯では海水層を含む構造の水平方向への変化が大きいため、表面波伝播が複雑である。本研究では、多成分常時微動クロススペクトルの非線形フィッティングによりマルチモード分散曲線をロバストに推定する手法を開発した。また、水平方向に不均質な背景位相速度に対する有限周波数効果を取り入れた表面波トモグラフィー手法の開発を行った。マルチモードかつ有限周波数効果を取り入れたトモグラフィーによって深さ方向・水平方向ともに高分解能なS波構造推定が可能になると考えられる。得られた表面波位相速度を図2に示す。微動に代表されるスロー地震は低速度異常域内に位置するのに対し、2011年東北沖地震や根室沖の巨大地震発生が予想される領域は高速度異常域に対応することが明らかになった。なお、本課題の5か年計画とは一致しないが、スロー地震の発生様式と発生場の対応関係の解明につながり、本課題の目的であるスロー地震発生場の理解に資する成果である。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

巨大地震とスロー地震の関係の整理に関係して、巨大地震の1つである東北沖地震の意味やその後約10年の研究の進展についてレビューをし、論文にまとめた(Uchida and Burgmann, 2021, 図3)。また、南西諸島領域を含む世界の繰り返し地震の分布について研究を進め、地域ごとの特徴の精査に着手した。なお、今年度の成果は本課題の5か年計画と一致している。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

当初の計画通りスロースリップに伴う流体移動の検出を目的とした重力及び電磁気観測を実施中である。絶対・相対重力観測を4月に御前崎1点で実施した。宮崎1点、東海2点（菊川・豊橋）及び豊後水道（足摺岬）1点の観測は2月中旬から3月中旬に行う予定である。これまで得られた成果として、図4に東海地方の観測結果を示す。2回の長期的SSE発生時期を比べると重力異常が明らかに増加していることが分かる。菊川（KKG）・豊橋（TYH）では2回の長期的SSE後に重力異常が増加しているが、御前崎（OMZ）では2回目の長期的SSE後は減少しており、原因を調査中である。

石垣島地方気象台において、気象研究所との共同研究として、相対重力計による連続重力観測データを蓄積し、解析を進めている。今年度は、重力観測における地下水等のノイズの評価に着手した。

能登半島の群発地震の原因として、流体またはスロースリップが関わっていることが指摘されている。この原因を明らかにするため、当初計画にはなかった絶対・相対重力観測の実施を検討している。

スロースリップ域の流体が微動の潮汐による誘発に及ぼす影響を物理的にモデル化し、スロースリップ域の断層特性を観測とモデルとの比較から制約できることを示し、論文を投稿した。

東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を継続し、データを蓄積中である。地磁気変化の異常場をデータから同定するために、地磁気変化の全国規模の標準場モデルの構築を進めた。また、四国西部域においてNetwork-MT観測を継続し、そのデータから得られた3次元比抵抗構造に基づいて構造変化検知可能性の検討を行った。さらにスロースリップ域の空間的特性を明らかにするため、四国地方全域にわたる従来の広帯域MT法観測データをコンパイルし、そのデータに基づいた3次元比抵抗構造推定のための準備を継続している。

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

四国東部地域においてスロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出を目的とした稠密地震観測を実施する為に、既存地殻構造探査で得られた結果や定常的な地震活動度、西南日本の他のスロー地震発生域で取得した稠密地震観測データによる最新の解析結果を参考にしながら観測点配置の検討を行った。検討結果を基に現地踏査を実施して確定した設置場所で、令和3年12月13日より観測を開始した。観測点配置を図5に示す。本観測では、徳島県阿波市から海陽町に至る「阿波-海陽測線」

（測線長：約70km）上の70か所（観測点間隔：約1km）、三好市から神山町に至る「三好-神山測線」（測線長：約60km）上の30か所（観測点間隔：約2km）に臨時地震観測点を設置した。各観測点では、固有周波数4.5Hzの地震計によって上下動及び水平動の3成分観測を実施している。

令和元年に科研費・新学術領域研究「スロー地震学」によって四国西部で取得した制御震源地殻構造探査データと、それ以前に取得されていた制御震源地殻構造探査データとを統合したデータに対して2次元波線追跡法、反射法解析を適応することで、島弧地殻や沈み込むフィリピン海プレートの形状を得た(Kurashimo et al., 2021)。四国西部下の島弧モホ面は25km~30kmの深さに位置し、北傾斜の沈み込むフィリピン海プレート上面は、深さ25-33km付近に位置している。深部低周波微動発生域の南端は、島弧下のマントルウエッジが確認できる南端と良い一致を示している。

豊後水道下のプレート形状を明らかにする目的で、平成28年12月から豊後水道の中心部に位置する水ノ子島において現地収録型のレコーダを使用した臨時地震観測を行っていたが、令和元年8月に台風による高波により観測点が流失した。今年度は、観測の再開に向け地震計などを高波による浸水などを防ぐ筐体の検討を行ったが、新型コロナウイルス感染症の影響もあり現地での観測点再構築作業は行うことが出来なかった。今後、新型コロナウイルス感染症の感染状況を考慮しながら再構築の日程を決定する予定である。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

南海トラフの浅部スロー地震（浅部超低周波地震）はクラスター分布を示し（Obara and Kato, 2016）、浅部スロー地震発生の地域性（発生域 vs. 非発生域）が見受けられるが、その要因は十分に解明されていない。プレート境界断層（デコルマ）付近の浅部スロー地震には高間隙水圧が関与しているとされているが、浅部スロー地震発生の地域性を規定する間隙水圧分布のデータは十分に得られていない。デコルマの間隙水圧に影響する主な要因として、沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体が考えられる。先行研究では、四国の室戸岬沖南海トラフの浅部デコルマが高間隙水圧の状態であると示唆され（Tobin and Saffer, 2009）、その近傍では浅部スロー地震のクラスターが報告されている。室戸岬沖南海トラフでは半遠洋性の泥岩層が沈み込み、透水性の低い泥岩層がデコルマの高間隙水圧をもたらしたと考えられている。

今年度の研究では、室戸岬沖南海トラフの浅部スロー地震に影響する高間隙水圧と比較するため、

これまで浅部スロー地震が殆ど報告されていない紀伊半島の潮岬沖南海トラフに着目し、浅部デコルマ付近の間隙水圧を推定した。本研究のため、JAMSTECが2011年に潮岬沖南海トラフで取得したマルチチャンネル反射法地震探査（MCS）データ（測線KI01）を用いた重合前深度マイグレーション（Pre-stack Depth Migration：以下、PSDM）処理を行い、P波速度構造を求めた。経験式に基づきP波速度を間隙率に変換し、有効応力を求める手法（Tobin and Saffer, 2009; Li et al., 2018）を駆使して、鉛直有効応力（Vertical effective stress）と過剰間隙水圧比（Overpressure ratio = [pore pressure - hydrostatic pressure] / [lithostatic pressure - hydrostatic pressure]）を推定した（図6）。これら物性の最終的な推定誤差は最大20%となった。

以下、解析結果を考察する。

（1）デコルマの物性や付加体の層厚変化に基づき、潮岬沖南海トラフ（測線KI01）のデコルマ発達域は2つの領域に区分できる（図6A）：Zone 1（海溝軸（0 km）から陸側距離13 kmまで）とZone 2（海溝軸の陸側距離13 kmから30 kmまで）。

（2）潮岬沖南海トラフのZone 1の過剰間隙水圧比（図6A）は室戸岬沖南海トラフより低く、潮岬沖南海トラフのデコルマに沿って沈み込んでいる、透水性の高い砂岩層を含むタービダイトに起因することが考えられる。また、Zone 2において過剰間隙水圧比が上昇し続けることは、沈み込んでいるタービダイトの排水機能が弱まっているか、または粘土鉱物の脱水反応による流体供給を示唆する。

（3）潮岬沖南海トラフの鉛直有効応力（図6B）は室戸岬沖南海トラフより高く、潮岬沖南海トラフのデコルマがより強く固着していることを示唆する。この結果は、先行研究の南海トラフのすべり欠損分布（Noda et al., 2018）や浅部超低周波地震発生（Takemura et al., 2019）とも調和的である。なお、令和3年度の成果は本課題の5か年計画と概ね一致する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

最近の観測・理論・実験的研究の成果をもとに、大地震の発生過程に関する統合的なモデルを提案した（Kato and Ben-Zion, 2021）。移動を伴う前震活動やスロー地震が同時に発生することで、断層面近傍に変形の集中（局在）化が進み、大地震の発生を促進した複数の事例を概観した。このプロセスは時間とともに段階的に進むため、大地震の精度の高い直前予測が困難な点についても言及した。さらに、不均一性の強い構造をもつ断層面を用いた近年の室内実験や理論研究にもとづいて、大地震発生に至るプロセスの多様性・複雑性について議論を展開した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究課題では、スロー地震のモニタリングを実施し、データの蓄積や解析手法の開発・改良を実施しながら、スロー地震の時空間変化を高精度に把握し、スロー地震間の相互作用、スロー地震と地震発生との関係、これらの現象の発生環境としての地下構造異常・流体挙動との関係を示した。これらは、建議2(2)アにおいて示している「日本各地で発生する様々なスロー地震活動を観測し、それらの時空間変化を明らかにすることで、滑り現象の多様性と相互作用の理解を深める。さらに、繰り返し地震・微小地震の検出や海底地殻変動観測などプレート境界滑り現象の時空間変化をモニタリングする手法を高度化し、滑り速度が異なる現象間の相互作用を明らかにする。」で示していることであり、建議の記載の目標達成への貢献をしている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Aiken, C. and K. Obara, 2021, Data-driven clustering reveals more than 900 small magnitude slow earthquakes and their characteristics, *Geophys. Res. Lett.*, 48, doi:10.1029/2020GL091764

Atoltz, M., G. Stoltz, K. Obara, T. Wang, and D. Bryant, 2021, Acceleration of hidden Markov model fitting using graphical processing units, with application to low-frequency tremor classification, *Computers and Geosciences*, 156, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104902>

Baba, S., K. Obara, S. Takemura, A. Takeo, and G. A. Abers, 2021, Shallow Slow Earthquake Episodes Near the Trench Axis Off Costa Rica, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 126, e2021JB021706, <https://doi.org/10.1029/2021JB021706>

Jamali Hondori, E. C. Guo, H. Mikada, and J.-O. Park, 2021, Full-waveform inversion for imaging faulted structures: A case study from the Japan Trench forearc slope, *Pure and Applied Geophysics*, <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02727-w>

Kato, A. and Y. Ben-Zion,2021,The generation of large earthquakes,Nature Reviews Earth & Environment,2,26–39,https://doi.org/10.1038/s43017-020-00108-w

Kurihara, R. and K. Obara,2021,Spatiotemporal characteristics of relocated deep low-frequency earthquakes beneath 52 volcanic regions in Japan over an analysis period of 14 years and 9 months,Journal of Geophysical Research-Solid Earth,126,https://doi.org/10.1029/2021JB022173

Okada, Y., Nishimura, T., Tabei, T., Matsushima, T., Hirose, H,2022,Development of a detection method for short-term slow slip events using GNSS data and its application to the Nankai subduction zone,Earth Planets Space,74,18,https://doi.org/10.1186/s40623-022-01576-8

Park, J.-O., N. Takahata, E. J. Hondori, A. Yamaguchi, T. Kagoshima, T. Tsuru, G. Fujie, Y. Sun, J. Ashi, M. Yamano, and Y. Sano,2021,Mantle-derived helium released through the Japan trench bend-faults,Scientific Reports,11,1,2026,https://doi.org/10.1038/s41598-021-91523-6

Park, J.-O., T. Tsuru, G. Fujie, E. Jamali Hondori, T. Kagoshima, N. Takahata, D. Zhao, and Y. Sano,2021,Seismic reflection images of possible mantle-fluid conduits and basal erosion in the 2011 Tohoku earthquake rupture area,Front. Earth Sci,9,687382,doi:10.3389/feart.2021.687382

Poiata, N., J. P. Vilotte, N. M. Shapiro, M. Supino, K. Obara,2021,Complexity of Deep Low-Frequency Earthquake Activity in Shikoku (Japan) Imaged From the Analysis of Continuous Seismic Data,Journal of Geophysical Research-Solid Earth,126,e2021JB022138,https://doi.org/10.1029/2021JB022138

副島庸平・廣瀬仁,2021,紀伊半島北部における短期的スロースリップイベントのすべり領域の傾斜データによる制約-すべり領域と微動発生領域の空間的比較-,神戸大学都市安全研究センター研究報告,25,9-21

Uchida, N., R. Bürgmann,2021,A Decade of Lessons Learned from the 2011 Tohoku-oki Earthquake,Review of Geophysics,59,2,doi:10.1029/2020RG0007132021

Uchida, N., and R. Bürgmann,2021,Learning from a disastrous megathrust earthquake,EOS,102,doi:10.1029/2021EO159741

・学会・シンポジウム等での発表

浅井ゆう子・島伸和・羽入朋子・松野哲男・廣瀬仁・南拓人・杉岡裕子,2021,鬼界海底カルデラ付近で得られた海底圧力観測の初期的な結果,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG45-13

馬場 慧・小原一成・武村俊介・竹尾明子・栗原亮,2021,日本周辺の超低周波地震活動における時間変化の特徴の定量化,日本地震学会2021年度秋季大会,S09-26

Baba, S., S.Takemura and K.Obara, A.Takeo, Y.Yamashita, M.Shinohara,2021,Scaled energy of shallow slow earthquakes in Hyuga-nada, southwest Japan,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P10

Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura,2021,The moment release rate of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula based on NIED Hi-net tilt data (2002-2020),International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021,O-09

Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura,2021,The moment release rate of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula from 2002 to 2015 based on NIED Hi-net tilt data,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-17

Hiramatsu, Y., Y. Tanaka and A. Kobayashi,2021,Gravity data analysis to extract temporal gravity anomalies associated with slow slip events in the Ryukyu trench,AGU Fall Meeting 2021,G006-854520

Hiramatsu, Y., Y. Tanaka and A. Kobayashi,2021,Gravity data analysis to extract temporal gravity anomalies associated with slow slip events in the Ryukyu Trench,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P26

Hirose, H., T. Matsushima, T. Tabei, T. Nishimura,2021,Slow slip events in the Bungo Channel and Hyuganada areas from 2018 to 2019 detected by a GNSS observation network,International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021,P-19

Hirose, H., T. Matsushima, T. Tabei, T. Nishimura,2021,Slow slip events in the Bungo Channel

and Hyuganada areas from May 2018 to June 2019 detected by a GNSS observation network,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P15
加藤愛太郎・竹尾明子・小原一成,2021,短周期地震計アレイ観測による深部低周波微動の高速移動現象,日本地震学会2021年度秋季大会,S09-19
Kurashimo, E., K. Mochizuki, T. Iidaka, T. Takeda, K. Shiomi, S. Kodaira and K. Obara,2021,Detailed seismic structure of the slow-earthquake source region beneath the western part of Shikoku, SW Japan, revealed by active seismic experiments,International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021,P-28
栗原 亮・小原一成,2021,雌阿寒岳・日光・焼岳での周期的に発生する火山性深部低周波地震活動,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-04
前田拓也・小原一成・竹尾明子、松澤孝紀、田中優作,2021,深部低周波微動から検出された2次的スリップフロントの特徴,日本地震学会2021年度秋季大会,S09-21
Maeda, T., K. Obara and A. Takeo, T. Matsuzawa,2021,Comprehensive detection of tremor migration using multiple time windows beneath Kii Peninsula,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-21
小原一成,2021,スロー地震の活動様式とその地質学的背景,日本地質学会第128年学術大会,T3-O-1(招待)
Obara, K,2021,Systematics and heterogeneity of deep and shallow slow earthquakes,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-19
Okada, Y., T. Nishimura, T. Tabei, T. Matsushima, H. Hirose,2021,Development of the detection method for short-term slow slip events using GNSS data and its application to the Nankai subduction zone,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-13
Takagi R. and K. Nishida,2021,Ambient noise tomography in the offshore forearc region along the Japan trench using S-net dat,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS02-04 (Invited talk)
Takemura, S., K. Obara, K. Shiomi, A. Takeo, S. Baba,2021,Migration characteristics of shallow very low frequency earthquake episodes southeast off the Kii Peninsula,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P01
竹尾 明子・小原一成,2021,SEEDフォーマット地震記録のリアルタイム伝送システム構築とGPS故障点の時刻補正,日本地球惑星科学連合2021年大会,STT35-P04
Teshiba, S., H. Hirose,2021,A comparison of the source areas in Hyuganada among afterslip of two interplate earthquakes in 1996 and successive slow slip events,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P28
Yu, F., E. Jamali Hondori, and J.-O. Park,2021,Pre-stack depth imaging and pore-fluid pressure estimation along the Nankai Trough subduction zone off the Kii Peninsula,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG45-06

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震；地震：広帯域地震観測

概要：四国西部、紀伊半島、東海の14点の機動的広帯域地震観測点で観測を実施した。スロー地震データベースを整備した。

既存データベースとの関係：スロー地震データベース

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sloweq/>

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：

項目：地震；地殻変動：GNSS観測

概要：四国、九州の独自GNSS観測点約30点での連続観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：四国、九州

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：地震：地殻変動：重力測定

概要：宮崎、菊川、豊橋、御前崎、足摺岬で重力測定を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮崎、東海、足摺岬

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東海地方、石垣島、西表島

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：MT・AMT観測

概要：四国西部域においてNetwork-MT観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：四国西部

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：四国東部で100点の稠密地震観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県

調査・観測期間：2021/12/13-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築されたスロー地震データベースの運用維持、カタログ追加登録等の事業を学術変革領域研究「Slow-to-Fast地震学」と協力して継続的に発展させるとともに、様々な種類のスロー地震の活動特性の解明を進める。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において設置した機動的広帯域地震観測点の維持、データ収集を行い、深部超低周波地震の検出、活動特性や他のスロー地震との相互作用の解明を進める。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域においてこれまでに構築してきた機動的GNSS連続観測点での地殻変動観測および座標値解析を継続して実施する。観測が停止している拠点での早期再開を目指す。それと並行して、過去の長期間のデータを活用してSSEの活動様式を明らかにし、微動など他の活動との関連性についても調査を進める。

5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

開発したトモグラフィ手法をS-netデータに適用し、高分解能な構造推定をもとに、東北沖におけるスロー地震発生環境を明らかにする。また、南海トラフにおいては、引き続きGNSSデータに基づくスロースリップ検出手法の拡張及びSSEの系統的検出を行う。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

世界の繰り返し地震の抽出を進める。また大地震とスロースリップの関係について、日本および世界の沈み込み帯の繰り返し地震を用いて調べる。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

5か年計画に基づき、御前崎、菊川、豊橋、足摺岬、宮崎における絶対・相対重力観測を継続するとともに、地下水等のノイズを低減する手法を開発する。四国西部域におけるNetwork-MT観測を継続するとともに、引き続き比抵抗構造変化検知可能性を探る。また、四国全域にわたる3次元比抵抗構造推定を試みる。東海地方、石垣島、西表島における地磁気観測を継続するとともに、地磁気変化の標準場モデルの精度の向上と更新を進める。

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

四国東部での稠密地震観測を継続して実施するとともに、新型コロナウイルス感染症の状況を考慮しながら可能な限り早い時期に水の子島観測点の再構築作業を行う。また、スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにするために、四国等で取得された稠密地震観測データの解析を引き続き実施する。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

紀伊半島の熊野沖や四国の足摺岬沖南海トラフのMCSデータを用いたPSDM処理を行うことで、P波速度構造モデルを求め、浅部デコルマ付近の間隙水圧を定量的に推定する。これらの間隙水圧分布を浅部スロー地震発生と比較し、浅部スロー地震発生の地域性を規定する、沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体分布について考察する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目して検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蔵下英司（東京大学地震研究所）、小原一成（東京大学地震研究所）、竹尾明子（東京大学地震研究所）、加藤愛太郎（東京大学地震研究所）、上嶋誠（東京大学地震研究所）、小河勉（東京大学地震研究所）、飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加納将行（東北大学）、内田直希（東北大学）、高木涼太（東北大学）、井出哲（東京大学大学院理学系研究科）、田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）、朴進午（東京大学大気海洋研究所）、中東和夫（東京海洋大学）、津村紀子（千葉大学）、麻生尚文（東京工業大学）、廣瀬仁（神戸大学）、松島健（九州大学）、田部井隆雄（高知大学）、西村卓也（京都大学防災研究所）、松澤孝紀（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蔵下英司

所属：東京大学地震研究所

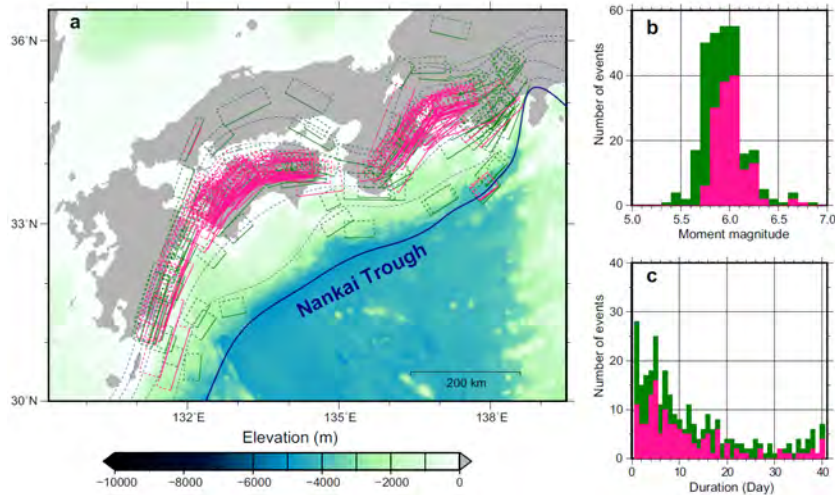


図1: (a) 本手法で検出された短期的SSEの分布。ピンクはクラス1（より信頼性が高いもの）のSSE断層モデル、緑はクラス2（信頼性がやや劣るもの）の断層モデル。(b) 推定されたSSEの地震モーメントの頻度分布。(c) 同じく継続時間の頻度分布。

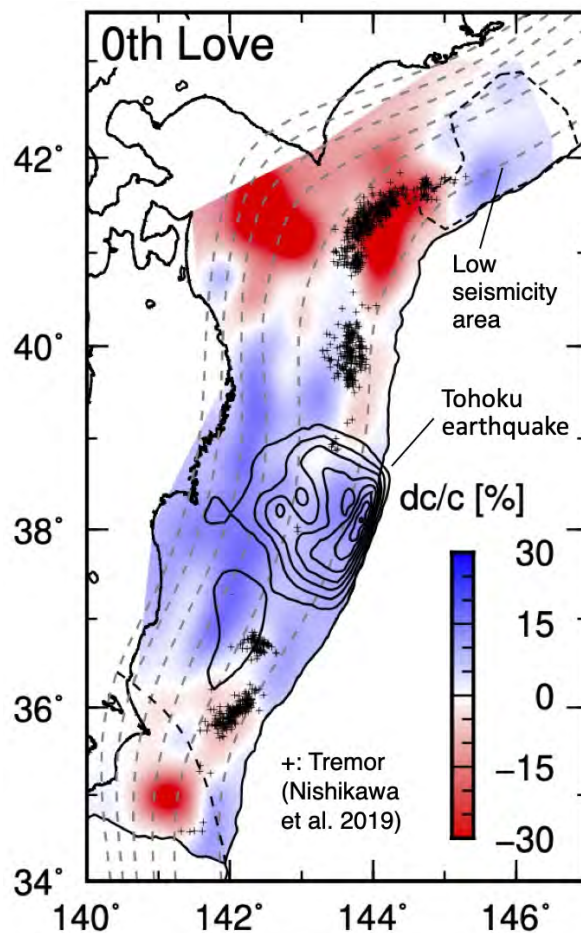


図2: 周期14秒のラブ波基本モードの位相速度マップ。2011年東北沖地震すべり域はInuma et al. (2012)、根室沖の微小地震空白域はTakahashi and Kasahara (2007)、微動はNishikawa et al. (2019)による。

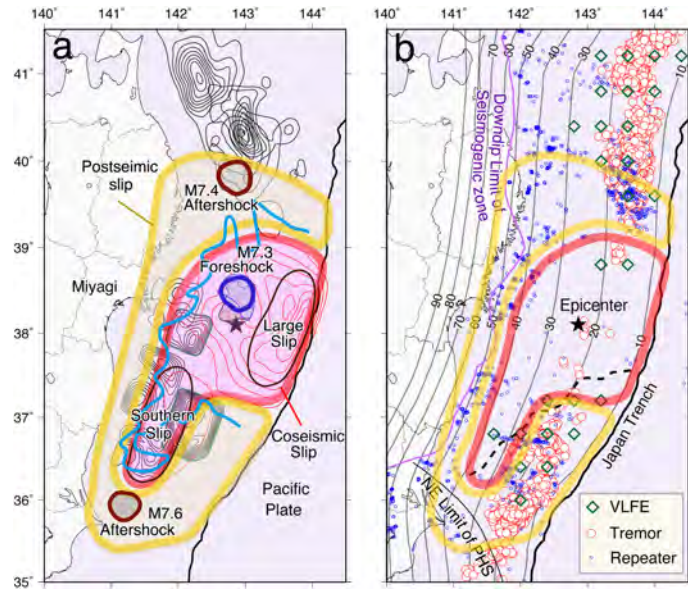


図3: 東北沖地震の滑り域とその周囲で発生した諸現象のまとめ (Uchida and Burgmann, 2021)。

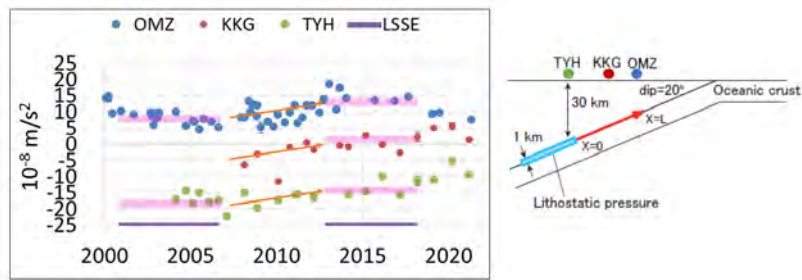


図4: 東海地方で観測された重力異常。
 長期的SSE中に重力は一定もしくは減少傾向が見られる。流体が浅部へ移動したとするとこの変化を説明できる (Tanaka et al., 2018)。

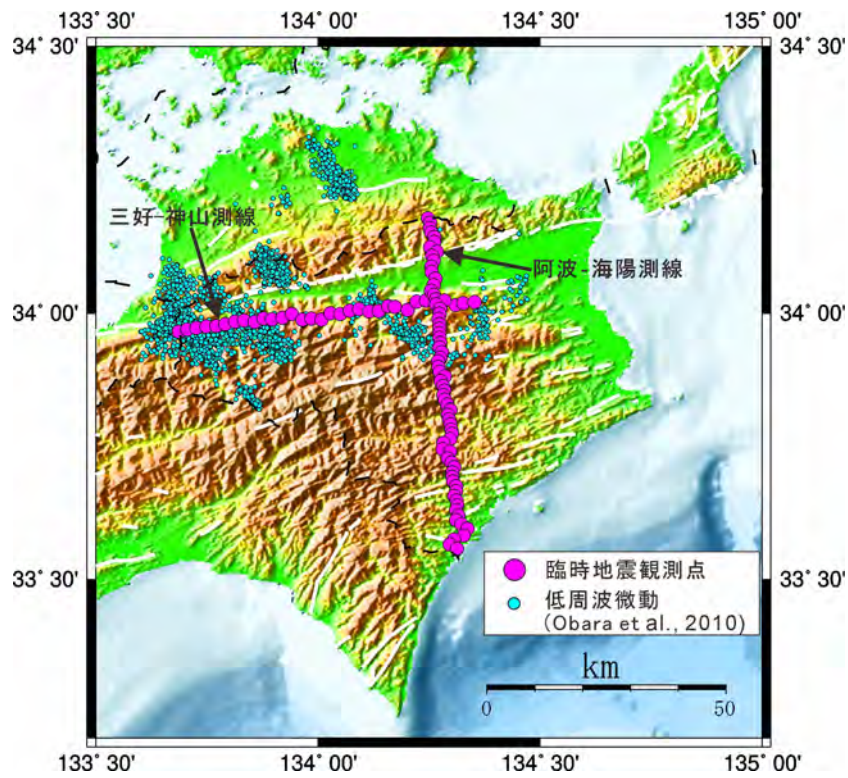


図5: 四国東部における観測点配置と低周波微動分布図。

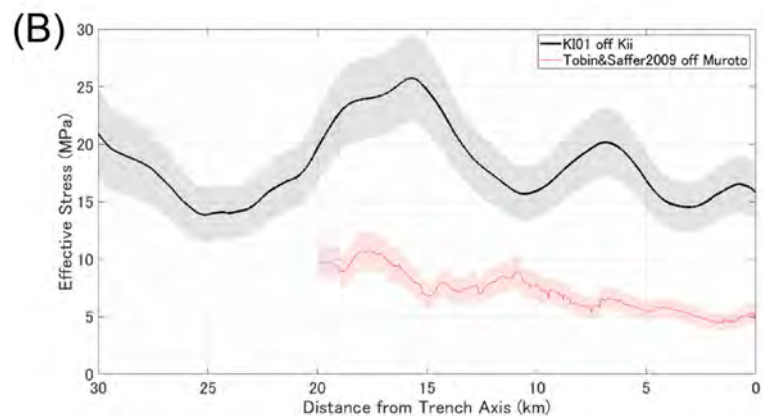
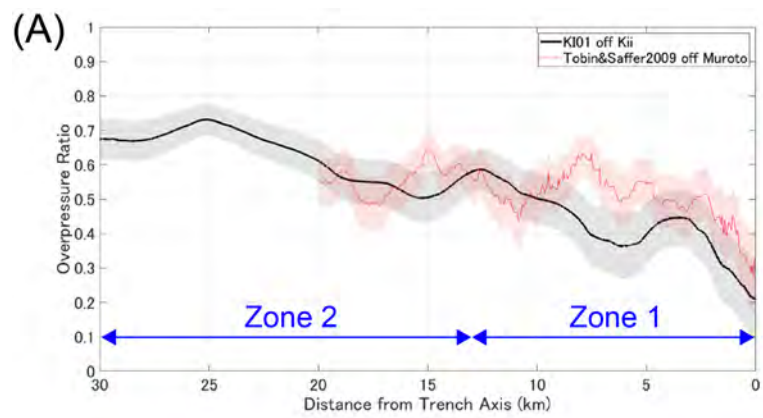


図6: 南海トラフ沈み込み帯のMCSデータを用いたデコルマの物性。
黒線は紀伊半島の潮岬沖の値（本研究、測線KI01）であり、赤線は四国の室戸沖の値（Tobin and Saffer, Geology, 2009）である。

- (A) 過剰間隙水圧比（静水圧で規格化された間隙水圧比）を推定誤差とともに示す。
- (B) 鉛直有効応力を推定誤差とともに示す。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

経験的アプローチによる大地震の確率予測のパフォーマンス調査

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

真にプロスペクティブな予測実験であるCSEPへの参加を継続するとともに、既存手法の改良・新規手法の提案を目指して、地震活動に関するものをはじめ様々な先行現象のレトロスペクティブな性能評価を独自に押し進める。同程度の先行期間をもつ現象については、それらの発現が関連していないかを調べる。先行性が有意であることが分かっている前震については、現象と地震発生がどのように関連しているのかを仮説し検証する。また、将来的な実用化を意識して、時々刻々更新されるデータに対して、確率予測を柔軟に準リアルタイムで取得するシステムを試作する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

A. CSEPに基く地震活動予測検証実験は、毎年度継続的に実施する。また、CSEPに新たなモデルとして提出可能なアルゴリズムをもつ地震活動の予測手法の同定を平成31年度に行い、平成32年度にモデルコードのプロトタイプを書き、平成33年度にレトロスペクティブな成績評価を行って、平成34-35年度のCSEP実験に提出する。

B. 更新データを用いた準リアルタイム予測システムについては、平成31年度にシステムの全体設計を行い、平成32年度に、最も簡単な予測アルゴリズムによる予測結果のデータベースを準リアルタイムに自動更新するシステムを開発する。平成33年度に、データベースから用途に応じて様々なタイプの予報を柔軟に取り出すシステムを作成する。平成34-35年においては、作成された予報について実用的観点から検討する。

C. 前震の事前識別法に関しては、平成31年度から既存の前震に基く予測手法について、ETAS的クラ

スタリングによる寄与がどの程度であるかの評価を開始し、平成33年度までにまとめる。また、手法の改良・新たな手法については、5年間を通じて手法ごとに、アルゴリズムの作成と成績評価を繰り返す。また、ETAS的クラスタリングについては、5年間を通じて、統計モデルの改良とともに物理的モデルとの整合性を検討する。

D. 年スケールの先行現象であるといわれている地震活動の変化については、b値変化・静穏化・イータ値についての有意性の評価を平成32年度までに完了し、平成33年からは、対象とする地震のM、地域を広げつつ、それらの活動変化指標の相関を評価する。また、M8法、既存の手法との相関も評価する。また、5年間を通じて、様々な活動指標を総合的に評価する手法に対して機械学習等での最適化を試みる。また、RTM等、先行性の検証がなされていないものについて評価を行う。

E. 潮汐・地震波等の過渡入力に対する応答性については、平成33年度までに網羅的検出のアルゴリズムを作成し、平成34-35年度に、地震発生に対する先行性を評価する。

F. 地震活動以外で統計的に有意な先行性が示されている、週スケールの先行時間をULF磁気異常と、GNSS記録の変動について、平成31-32年に両者の相関を調べ、また、5年間を通じて個々の異常を精査する。さらに、他の課題から提案された先行現象候補については、連携して成績評価を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本計画で開発し、中日本の5点で観測しているVLF帯電磁波観測に関して、100MHzの収録波形にARモデルとAICを適用して、パルス波の到来時刻を精密同定し(図1b)、到着時間差によって波源を求めた。データはGPS時計によって3ns以内で同期されている。2017年5月の5点運用体制の開始以降、ネットワーク域内でおきた最も顕著な内陸浅発地震である、2017年6月25日のM5.6に先立つ5日間の記録に関してパルス波源を標定し、地震の2日前にだけ、震源の付近で7発の電磁パルスが発生していた(図1a)。この時間帯に中日本地域で雷はなく、地震の前兆であった蓋然性が高い(Nagao et al., 2021)。

本震が発生する直前数分以内の地震活動は、本震の発生と物理的に関係していた蓋然性が高い。Tape et al.(2018)は、アラスカのM3.7地震の直前の前震活動を詳細に解析し、本震をひきおこしたゆっくり滑りに伴う活動だと指摘している。一方、M7.6のIzumit地震の直前44分前から0.14秒前まで数十個おきた微小な前震はリピーターであり、やはりゆっくり滑りによるnucleationと解釈された(Bouchon et al., 2011)が、最近の震源再決定によって、前震の位置は重なっておらず、カスケード的におきた前震の滑りそのものがnucleationを担ったという解釈も出ている(Ellsworth and Bulut, 2018)。そこで、2003-2019年の気象庁カタログのM4以上の浅い(15km以内)地震のうちHIST-ETASモデルにより余震でないと判断された地震2029個を精査し、27個が直前60秒以内に前震をもつことを見い出した。このうち直前10分以内に四つ以上の前震をもつものが三個あり、震源決定精度の良い茨城県北部と山形県置賜地方の二例を調べた。いずれも前震は本震の破壊開始点近傍に集中していたが、その破壊域は互いにあまり重ならず、また本震の破壊域との重なりも小さかったので、カスケード前震説を支持する(山名, 2021)。

前震と本震の物理的な関係については、上述のように、近年の良質なデータをもとに注目が集まっている(e.g., Gomberg, 2018)。2011年のM9東北沖地震の13時間後に長野県北部でおきたM6.2の地震について、歪み集中帯プロジェクトによって同地域に展開されていた稠密地震観測網の連続波形データをマッチトフィルタ法で解析したところ、M9地震の30分後からM6.2地震の発生までの間に、M2.2以下の285個の微小地震が見い出された。M6.2地震断層の上盤内では拡散係数 $D=50\text{m}^2/\text{s}$ 程度での間隙流体の拡散によると思われる活動域の拡がりを示す群発地震活動であり、東北沖地震の大きな余震たちからの表面波通過時に活発化した。一方、M6.2地震がおきる断層面に沿う活動(図2)はM6.2の破壊開始点から2km以内であり、間欠的に三度活動し、それぞれで1-2km/hourでM6.2の破壊開始点へ向かう移動がみられた。三度目の活動はM6.2の破壊開始点から2、3百mの位置で始まり本震直前まで続いている。これは過去に他地域で報告されているゆっくり滑りによる地震活動に似ている。また、一度目と三度目の活発化は、東北沖地震の大きな余震たちからの表面波通過と呼応しており、また震源の移動速度から見ても、流体の移動が関与していたと思われる。総合的にみて、大きな表面波によって誘起された間隙流体の移動によってゆっくり滑りが始まり、それがM6.2地震の震源核となったというシナリオが考えられる(Shimojo et al., 2021)。

前震現象を含めた地震活動の物理を理解するために、より高品質なカタログの生成に取り組んでいる。本年度は、南アフリカ共和国の2つの大深度金鉱山における稠密微小破壊(AE)観測で取得した500kHzサンプリングのデータの管理を、従来のHDD(8TB x 23台、バックアップ除く)の定期的な

マイグレーションから、ODAシステムに移行した。また、このような観測で使われる圧電素子を用いたAEセンサの特性が複雑であることが、震源メカニズムの解明の障害となっているため、本年度は、レーザードップラー速度計や各実験直前に実施した音波透過試験データを利用して、室内水圧破碎実験で得られたAE (Tanaka et al. 2021)のモーメントテンソル・地震モーメント・コーナー周波数の推定を行った(直井ら, 2021a, 2021b, SSJ)。P波初動振幅の読み取りに深層学習の技術を用いることで、12個の供試体の実験データから合計46,857個のイベントのモーメント・テンソル解を得ることに成功した。得られた解の中には、剪断・開口・閉合型という多様なタイプが存在しており、顕著な時間変化も観察された。測定帯域が狭いことや、AEの震源メカニズム・規模の時間変化に起因するバイアスがかかるために、結果の解釈に注意が必要であることも判明したが、得られた $-9.1 \leq M_w \leq -6.3$ のAEに対して、せん断型破壊に対して繰り返し報告されている応力降下量一定則と調和的な地震モーメントとコーナー周波数を持つものは半分程度存在しており、残りはより低周波成分が卓越していたことがわかった。流体圧入による高い間隙流体圧の存在が、低周波成分の卓越に寄与している可能性がある。

高い間隙水圧の下で起きていると推察されてる深部低周波微動は、通常の地震と規模分布が異なる。南海トラフの深部低周波微動の規模(地震モーメント)分布に対し、従来から用いられているベキ分布や指数分布を混合することで適合度がある程度改善されることを示した(岩田・平松, 2021, SSJ)。

前震活動はb値が低い傾向があるという指摘は昔からある。最近ではGulia and Wiemer (2019)が、最近の世界の内陸M6級大地震に続く活動をレビューして、大地震後のb値が平時のb値(大地震前のb値)より有意に大きければ、それは余震のb値であり大地震の続発の可能性が低い(青信号)、逆に有意に小さければ、それは前震のb値であり、大地震がもう一度起きる可能性が高い(赤信号)、平時の値と有意差がなければ黄信号とする交通信号型の警報を提案した。2016年の熊本地震系列についてGulia and Wiemer (2019)は、先発した先発のM6.5地震と後発のM7.3地震の間のb値は増加しつつも、平時より大きくはならなかったため黄信号のケースとしているが、昨年度まで様々な観点から解析(Nanjo et al., 2016; Nanjo and Yoshida, 2017; Nanjo et al., 2019)を続けていた熊本地震前後の地震活動を整理し、先発のM6.5地震後のb値を南北で分けて解析した結果、南側は黄信号であるものの北側のb値は明らかに平時より高くなっており、b値の観点からは青信号と判定されるべき状況であったことを見出した(Nanjo et al., 2021, 図3)。その後実際にM7.3地震が起きたのは「青信号」とされた北側なので、これは偽陰性のケースである。

一方、2021年3月20日、5月/1日に隣接して起きたM6.9、M6.8の宮城県沖のプレート境界地震に関して、2012年以降の同地域のb値の時空間分布を調べ、地震前の数年間に両地震の破壊域のb値が0.6-0.4という非常に低い値にまで低下していたことを見出した(Nanjo and Yoshida, 2022)。

現象的な相関としては前震活動の存在は疑うべくもないが、物理的な役割については、前震活動はその余震のうちの一つが偶々大きくなって本震と見做された)だけであって、本震の物理的準備過程が存在することを示すものではないという考えも根強い。本年度Zhuang(2021)において、ETASモデルにおいて大きな余震が発生する確率を解析的に導いた一連の理論をまとめ、さらに、これまでに出版された「ETAS効果では説明できない本震」の存在を主張する主要な論文についての批判的見解をまとめた。本物の前震が存在する可能性を完全に否定することはできないが、ETAS効果だけによっても大きな地震の短期的な予測を相当な確率ゲインをもって行うことができるのは確かであり、地震研では地震の発生確率を準リアルタイムで計算し地形図や任意の期間・深さ・規模の震央、活断層の地表トレースなど様々な情報と組みあわせて二次元の地図上に表示して対話的に図の拡大・縮小や表示した各要素の詳細情報へのアクセスができるGISによるマッピングツールの試作を行なっている。今年度は、日々更新される地震発生確率値及び震央データを自動的に取得し、ArcGISonline上の本マッピングツールに毎日定時に自動的に展開する機能を追加した。この機能追加により地震発生確率マップと震源分布等の情報が自動的に更新されるため、大地震後の余震活動や群発地震時における活動の推移を予測する上で本マッピングツールを利用して重要な知見が得られることが期待される。

上述のZhuang(2021)でも指摘されているようにETASモデルのパラメタ推定はデリケートであり、これを改善することは非常に重要である。特に大地震直後の欠測の影響は大きい。地震のマグニチュード分布は時間的に不変であるということだけを仮定して、欠測を補う方法を前計画で提案(Zhuang, 2017, 2020)した。今年度は、この手法を日本の内陸で最近おきた、5つのM6.7-7.0の地震に適用した(Zheng et al., 2021)。いずれのケースでも、補完によって大森-宇津則のc値は非常に小さくなり、また、p値はいずれも1.1程度にせまい誤差範囲で決まった。今回は、解析すべき空間領域を客観決定する方法を取り入れたこともあって、ロバストな余震活動の予測をリアルタイムで行うことが十分可

能である。また、マッチトフィルタによる検測結果と比較し、マッチトフィルタ法では初期の小さい地震が拾いきれず、本手法の方が早く信頼できる余震活動パラメタを得られることが示された。

また、従来のトリガ源を点震源として扱うことによるETASモデルの性能限界を、大きな地震の震源域形状を取り込み、また、前計画から深さ分布も考慮する有限三次元ETASモデル(Guo et al., 2015, 2017, 2018, 2019)の開発を報告してきたが、今年度は、これを南加の1980-2019のカタログに適用した(Guo et al., 2021)。この期間にあった4つの大地震(Mw6.7-7.3)は有限断層震源として扱い、モデルのフィットが向上したことを確かめた。ETASモデルでは、トリガの連鎖で定義した地震の家系図を作ることができ、複雑な余震活動の特徴を解きほぐすことができた。その結果、本震震源域の余震のうち2-4割が本震によって直接トリガされたものであり、さらに活動域は移動していくこと、大滑り域には余震が少いという傾向は明白であること、大き目の余震は、小さな余震が群れている領域のエッジに起きる傾向があること、を認識することができた(ただし、Ridgecrestは多くの点で例外)。さらに、余震活動の予測においては、最初の数日において有限ETASモデルの有意性が顕著であることもわかった。

ETASモデルは、現象論的モデルとしては非常に優秀であり、上述のようにさらに性能を上げてきているが、物理的根拠は不明である。今年度は、摩擦構成則に基づく地震活動モデル(Dieterichモデル)に余効変動のような非定常な応力変化を組み入れ、ETASモデルのように「全ての地震が余震を引き起こす」ようにした場合、どのような地震活動が表現されるかについて、実データへの適用から示した。また、この取り組みについてHawkes過程の視点からレビューを行った(岩田, 2021)。

上述の長野県北部の例でも見られるように、遠地地震の地震波動による動的トリガリングは、いまや明白な事実である。地震波動は、破壊が伝播する向きに強く放射されるため、そちら側に多くの余震をもたらす可能性が考えられる。そこで、地殻内の地震活動が活発で且つ稠密地震観測網が展開されている北茨城-いわき地域に着目し、経験的グリーン関数法により推定した各観測点における見かけの震源時間関数を用いて二次モーメント推定を行い、99個の地震のうち58個の地震が明確に破壊伝播の指向性を示すことを見出した。破壊伝播方向は様々であり、非常に近接した地震同士の破壊伝播の向きが逆であることも珍しくない(図4a)。地殻内の断層形状や応力状態の短波長不均質を反映したものと考えられる。これらの58イベントについて、その近傍で発生した余震数を気象庁地震カタログに基づいて、破壊フロントが向かう側と遠ざかる側に分けて数えてみると、破壊フロントが向かう側で2倍近く多くの余震がおきていた(図4b)。これは、動的トリガメカニズムから期待されるセンスである(横谷, 2021)。

沈み込み帯において10年程度の長期間M5以上の地震がおきない長期静穏化が巨大地震の中期的先行現象として提案されている(Katsumata, 2011, 2017)。先行傾向を統計的に評価する目的で、千島から小笠原にかけて、客観的・網羅的な静穏化の検出をおこない、9-12年程度以上続く静穏化があればそこから50-70km程度の範囲に4-8年程度有効な警報を出すという試行予測による警報マップ(図5aに例)と、1988年からおきたM7.5以上8.5未満の地震8個とを比較した結果、確率ゲインが2程度、p値が5%をきることを確認した(図5b)。しかし、学習に使ったデータと評価に使ったデータが同じなので、過学習による好成績である可能性がある。そこで、実験期間を前半・後半にわけて、片方で最適化したパラメタで他方の予測を行うクロスバリデーションを行った(図5c,d)。この場合、評価は4個の地震に対して行うので低いp値は得られなかったが、後半データで学習した予測モデルは、前半の地震の予測に対しても確率ゲインが2程度の予測ができ、また、最適化された予測モデルは全期間のデータで学習したモデルと同様であった。一方、前半データで学習した場合は、この期間におきた地震前の静穏化に継続期間の特に長いものが複数あったため、異常検出の閾値が厳しすぎるモデルが選好されてしまい、学習期間では確率ゲインが4を超えるが評価期間では1程度となる(予測できていない)典型的な過学習となった。いずれにしろ、8個の地震に対して学習したモデルはロバストに見えるので、評価に使える地震数を2倍にすれば、クロスバリデーションに合格できるかもしれない(Katsumata and Nakatani, 2021)。

既存の静穏化の検出手法は、静穏化を定義するときに見る空間範囲を恣意的に設定するものであったが、偶然ではもっとも起りにくい静穏化が見えるように自動的にアジャストする新しい検出手法(PMAP法)を開発した。ZMAP法(Wiemer and Wyss, 1994)では静穏化が検出できなかった2006年のM8.3の千島の地震を含めて、1964-2006千島地方のM7.5以上の地震の多くに先立つ静穏化が検出できることを確認した(図6, Katsumata and Zhuang, 2020)。

また、別の中期的先行現象として、景背景地震活動が地球潮汐に相関するようになる例が指摘されている。Tanaka et al. (2002)が指摘した例にはトンガ・ケルマディック海溝の例がある。この地域は、

Mw7を超える地震の頻度が高く、統計的な検証に適しているため、トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型地震（1977～2020年、Mw 5.5以上、深さ70 km以浅、729個）を対象にMolchanダイアグラムを用いて検証した(図7, Hiroe et al., 2022)。予測対象をMw 6.5以上(34個ある)として、直近1080日間での潮汐相関の変化に基づいて予測期間を30日とした場合が最も成績がよく、99%有意を軽く超えたが、それでも確率ゲインは1.7倍に過ぎない。

外部からの準静的な応力による地震活動の変調としては、地表付近の水の荷重による季節性の活動変化の可能性も指摘されている。昨々年度に山陰地方と新潟地方の例を示した(Ueda and Kato, 2019)が、今年度は、台湾において、地下水位、GNSS鉛直変位と、地震活動の相関を、季節性の観点から調査した(Hsu et al., 2021)。台湾西部の活動は明らかに地表水荷重から期待される変調がみられ、また、歴史地震にもそのような傾向が伺えたが、台湾東部の18km以浅の地震は、むしろ、期待と逆センスの季節性がみられた。

さらに別の中期的な先行現象の候補として、2017年8月8日にチベット高原の東縁でおきたMs7のJiuzhaigou地震の前数年にわたって見られた大きな重力変化を見出した(Yang et al., 2021)。同地域で2014-2017年にされた稠密な繰り返し精密観測から得られた変化は、浅部地下水の影響や、測定点の隆起沈降、機器ドリフトなどでは説明できない大きなもので地殻深部で大きな広域的物質移動があったことは確実と考えられる(図8)。

昨年度、山形地域について背景地震活動度とひずみ速度には正の相関を報告(Ueda et al., 2019)したが、今年度は、日本の内陸に位置する5地域のひずみ集中帯において、同様の相関が確認できた(上田, 2022)。さらに活火山近傍では、同じひずみ速度の地域と比較して背景地震活動度が高くなる傾向が見られた。活火山近傍では、火山性流体により断層強度が低下するため、同じひずみ速度の地域と比較して地震活動度が高くなると解釈される。

さらに、二層のドロネー分割を用いてGNSSの測地データから連続的な歪み速度場を推定する方法を開発し、これを中国全土の歪み場を求め、テクトニクスとよく対応する空間分布を得た(Xiong et al., 2021)。ROC解析(図9)によって1997-2017の観測から得られた歪み場と同期間の背景地震活動(M3以上)と比較すると、最大剪断歪みの大きい場所で地震活動が高い傾向がみられ、さらに、2017-2019の地震活動とも同様の相関を示したことから、歪み速度情報がETASなどによる長期的な地震活動度の予測のさらなる向上に資すると考えられる。また、耐震政策等に必要な長期的な危険度のゾーニングにETASモデルを用いるメリットを工学者向けに解説する論文を出版した(Pei et al., 2021)。

おおむね(7)に沿って進捗した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Katsumata, K. and J. Zhuang, 2020, A New Method for Imaging Seismic Quiescence and Its Application to the Mw=8.3 Kurile Islands Earthquake on 15 November 2006, *Pure Appl. Geophys.*, 177, 3619-3630, doi:10.1007/s00024-020-02498-w

Katsumata, K. and M. Nakatani, 2021, Testing the seismic quiescence hypothesis through retrospective trials of alarm-based earthquake prediction in the Kurile-Japan subduction zone, *Earth Planets Space*, 73, 100, doi:10.1186/s40623-021-01418-z

Nagao, T., M. Kamogawa, J. Izutsu, T. Suzuki, A. Saito, A. Sugiura and H.

Kondo, 2021, Development and Preliminary Analysis of a VLF-Band Electromagnetic-Wave Observation System for Short-Term Earthquake Precursory Monitoring, *Front. Earth Sci.*, 9, 658825, doi:10.3389/feart.2021.658825

中谷正生, 2021, 階層的アスペリティを前提とした短期前兆のメカニズムについて, *地震予知連絡会会報*, 105, 500-504

楠城一嘉, 2021, b値にもとづく大地震発生予測のモデルのレビュー, *地震予知連絡会会報*, 105, 489-492

Shimojo, K., B. Enescu, Y. Yagi, and T. Takeda, 2021, Nucleation process of the 2011 Northern Nagano earthquake from nearby seismic observations, *Sci. Rep.*, 11, 8143, doi:10.1038/s41598-021-86837-4

山名祐輝, 2021, 本震直前の地震活動, *東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻・修士論文*

横谷直人, 2021, 二次モーメントによる小中規模地震の震源過程の推定, *東京大学大学院理学系研究科地*

球惑星科学専攻・修士論文

- Yang, J., S. Chen, B. Zhang, J. Zhuang, L. Wang, and H. Lu, 2021, Gravity Observations and Apparent Density Changes before the 2017 Jiuzhaigou Ms7.0 Earthquake and Their Precursory Significance, *Entropy*, 23, 1687, doi:10.3390/e23121687
- Zheng, Y., B. Enescu, J. Zhuang, and C. Yu, 2021, Data replenishment of five moderate earthquake sequences in Japan, with semi-automatic cluster selection, *Earthquake Science*, 34, 310-322, doi:10.29382/eqs-2021-0030
- Pei, W., S. Zhou, J. Zhuang, Z. Xiong, and J. Piao, 2021, Application and discussion of statistical seismology in probability seismic hazard assessment studies., *Science China Earth Sciences*, 65, 257-268, doi:10.1007/s11430-021-9824-0
- Xiong, Z., J. Zhuang, S. Zhou, M. Matsu'ura, M. Hao, and Q. Wang, 2021, Crustal strain-rate fields estimated from GNSS data with a Bayesian approach and its correlation to seismic activity in Mainland China, *Tectonophysics*, 815, 229003, doi:10.1016/j.tecto.2021.229003
- Guo, Y., J. Zhuang and H. Zhang, 2021, Heterogeneity of aftershock productivity along the mainshock ruptures and its advantage in improving short-term aftershock forecast, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2021JB020494, doi:10.1029/2021JB020494
- Hsu Y.-J., H. Kao, R. Burgmann, Y.-T. Lee, H.-H. Huang, Y.-F. Hsu, Y.-M. Wu, and J. Zhuang, 2021, Synchronized and Asynchronous Modulation of Seismicity by Hydrological Loading: A Case Study in Taiwan, *Science Advances*, 7, eabf7282, doi:10.1126/sciadv.abf7282
- Zhuang, J., 2021, Chapter 4. Explaining foreshock and the Bath law using a generic earthquake clustering model. In *Statistical Methods and modelling of seismogenesis*, (eds. Limnios, E. Papadimitriou, and G. Tsaklidis), ISTE Ltd., 105-130, ISBN:9781789450378
- 上田 拓, 2022, Seismicity analysis based on statistical modeling: Connection with stress change, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻・博士論文
- Hirose, F., K. Tamaribuchi, and K. Maeda, 2021, Characteristics of foreshocks revealed by an earthquake forecasting method based on precursory swarm activity, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB021673, doi:10.1029/2021JB021673
- Hirose, F., K. Maeda, and O. Kamigaichi, 2022, Efficiency of earthquake forecast models based on earth tidal correlation with background seismicity along the Tonga-Kermadec trench, *Earth, Planets and Space*, 74, 10, doi:10.1186/s40623-021-01564-4
- 岩田貴樹, 2021, 地震学における非線形Hawkes過程：摩擦構成則に基づく地震活動モデル, *統計数理*, 69, 209-222
- Nanjo, K.Z. and A. Yoshida, 2021, Changes in the b value in and around the focal areas of the M6.9 and M6.8 earthquakes off the coast of Miyagi prefecture, Japan, in 2021, *Earth Planets Space*, 73, 176, doi.org/10.1186/s40623-021-01511-3
- Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, and M. Kamogawa, 2022, Changes in seismicity pattern due to the 2016 Kumamoto earthquake sequence and implications for improving the foreshock traffic-light system, *Tectonophysics*, 822, 229175, doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229175
- 野村俊一・田中昌之, in press, 余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の予測, *統計数理*
- Liu, Y., J. Zhuang, and C. Jiang, 2021, Background Seismicity before and after the 1976 Ms 7.8 Tangshan Earthquake: Is Its Aftershock Sequence Still Continuing?, *Seismological Research Letters*, 92, 877-885, doi:10.1785/0220200179
- Tanaka, R., M. Naoi, Y. Chen, K. Yamamoto, K. Imakita, N. Tsutsumi, A. Shimoda, D. Hiramatsu, H. Kawakata, T. Ishida, E. Fukuyama, H. Tanaka, Y. Arima, S. Kitamura, and D. Hyodo, 2021, Preparatory AE activity of hydraulic fracture in granite with various viscous fluids revealed by deep learning technique, *Geophys. J. Int.*, 226, 493-510, doi:10.1093/gji/ggab096

・学会・シンポジウム等での発表

- Enescu, B., Y., Takeda, and M. Miyazawa, 2021a, Dynamic triggering of earthquakes in volcanic and geothermal areas before and after the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake, *AGU Fall Meeting 2021*, S41A-02
- Enescu, B., I.-A. Moldovan, and C. Ionescu, 2021b, Analysis and forecasting of Romanian

seismicity (AFROS) project: aim and preliminary results,AGU Fall Meeting 2021,NH25A-0542
Ishiyama, R., E. Fukuyama, and B. Enescu,2021,Estimation of Time-Variable Friction Parameters
Using Machine Learning, AGU Fall Meeting 2021,AGU Fall Meeting 2021,MR33A-07
弘瀬冬樹・前田憲二・上垣内 修,2021,背景地震活動の地球潮汐相関情報に基づく地震予測モデルの効
率：トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型大地震に対して,日本地震学会2021年秋季大会,
S14P-01
岩田貴樹・平松良浩,2021,混合分布による南海トラフ深部低周波微動の規模分布,日本地震学会2021年
度秋季大会,S09-09
直井 誠・今北啓一・陳 友晴・山本和畝・田中 壘・川方裕則・石田 毅・福山英一・有馬 雄太
郎,2021a,室内水圧破碎実験によって誘発された微小破壊の地震モーメント・コーナー周波数推定,日本
地震学会2021年度秋季大会,S08-20
直井 誠・陳 友晴・田中 壘・有馬 雄太郎,2021b,室内水圧破碎実験で誘発された微小破壊のモーメント
テンソル解析を目的とした深層学習によるP波初動振幅読み取り,日本地震学会2021年度秋季大会,S22-
P02

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

VLF電磁パルスについては、統計的評価のために、網羅的なイベントの検出、震源決定をに行う。b
値先行性の検証については、検証のためのプログラムの高速化を行いグローバルカタログを用いた評
価を行う。静穏化については、検証の対照を全世界に拡げるとともに、SSEとの関係を調べる。また、
地震活動についての新たな経験則の発見を目指して、機械学習的手法を含め、地震活動の新たな特徴
量を開発する。前震については、ETAS効果と物理的前震の両面から、モデルのさらなる改良・理論的
考察を進める。また、火山地域での動的トリガリングのメカニズムを検討する。予測確率のマッピ
ングツールについては、まとまった量の実データをいれて、過去の予測事例のアーカイブを作り、ど
のような状況がどのような頻度で現われるのかを検討する。稠密微小地震観測からの精密カタログの作
成については、今年度開発したAEセンサによるモーメントテンソル推定手法を論文化するとともに、
鉱山や自然地震データへの応用を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中谷正生（東京大学地震研究所）,鶴岡弘（東京大学地震研究所）,加藤愛太郎（東京大学地震研究所）,
福田淳一（東京大学地震研究所）,中川茂樹（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
勝俣啓（北海道大学）,片尾浩（京都大学防災研究所）,直井誠（京都大学防災研究所）,Enescu
Bogdan（京都大学大学院理学研究科）,長尾年恭（東海大学）,織原義明（東京学芸大学）,楠城一嘉
（静岡県立大学）,岩田貴樹（県立広島大学）,井筒潤（中部大学）,弘瀬冬樹（気象研究所）, Zhuang
Jianchang（統計数理研究所）,野村俊一（早稲田大学）,石辺岳男（地震予知総合研究振興会）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中谷正生
所属：東京大学地震研究所

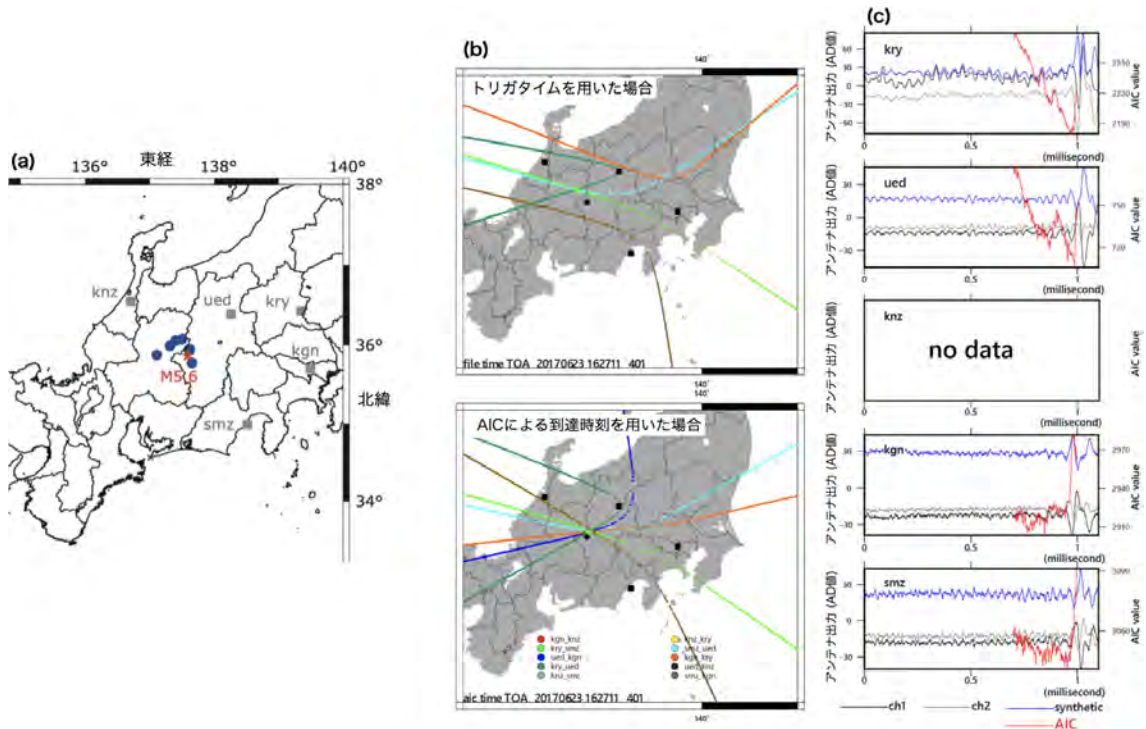


図1. 地震前兆の可能性のあるVLF帯電磁波パルスの観測例(Nagao et al., 2021を改変)
 (a)2017年6月23日に観測された電磁波パルスの波源位置(青丸)。星印は、2017年6月25日7時2分のM5.6地震。灰色四角はVLF帯電磁波観測点(b)到着時間差による電磁パルス波源標定の例。到着時刻をAICで決めた場合のほうが明らかにうまくいっている。(c)各観測点での観測波形(水平二成分, 灰、黒)を合成した波形(青)をARフィッティングし、そのAIC(赤)が最小になったところを到着時刻と判断した。時間軸の値は、各観測点でのトリガが1msに来るようにした。

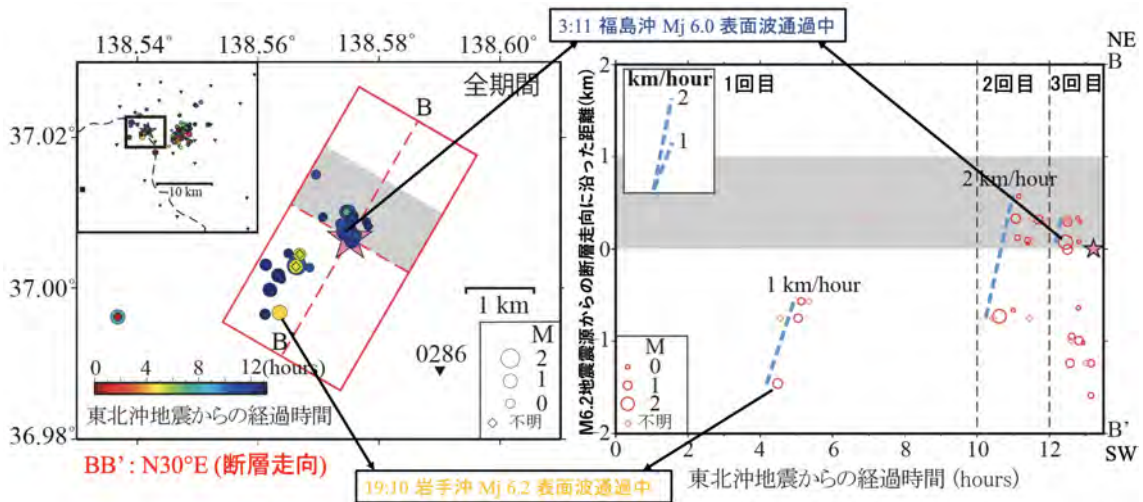


図2. 2011年M9東北沖地震の13時間後に長野県北部でおきたM6.2の地震断層におきた微小な地震活動の詳細(Shimojo et al., 2021を改変)
 (左図)震源分布。星印は、M6.2地震の破壊開始点。赤い長方形は、その震源断層。(右図) M6.2の地震断層の走向にそって、活動の時空間分布を示した。

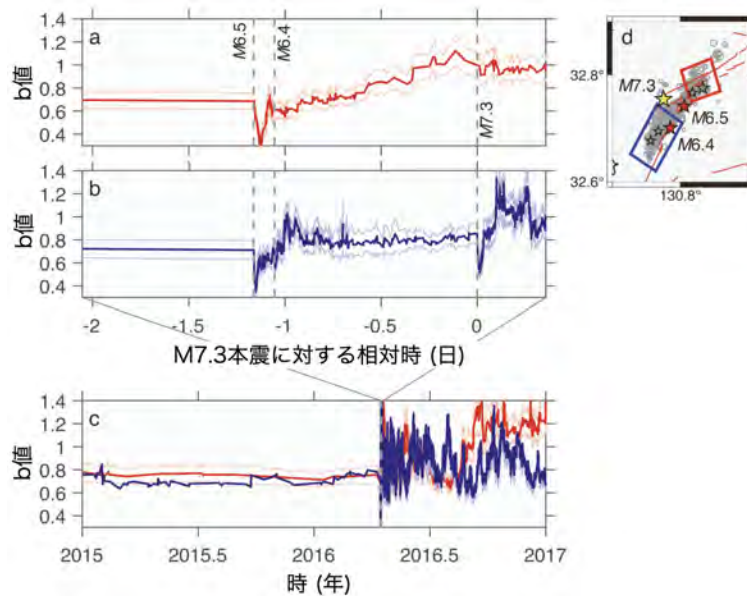


図3. 熊本地震系列におけるb値の時間変化(Nanjo et al., 2022より改変)
 (a,b,c)北側(dの赤四角領域)の活動のb値を赤線、南側(dの青四角領域)の活動のb値を青線で示した。薄い色の線は推定範囲。

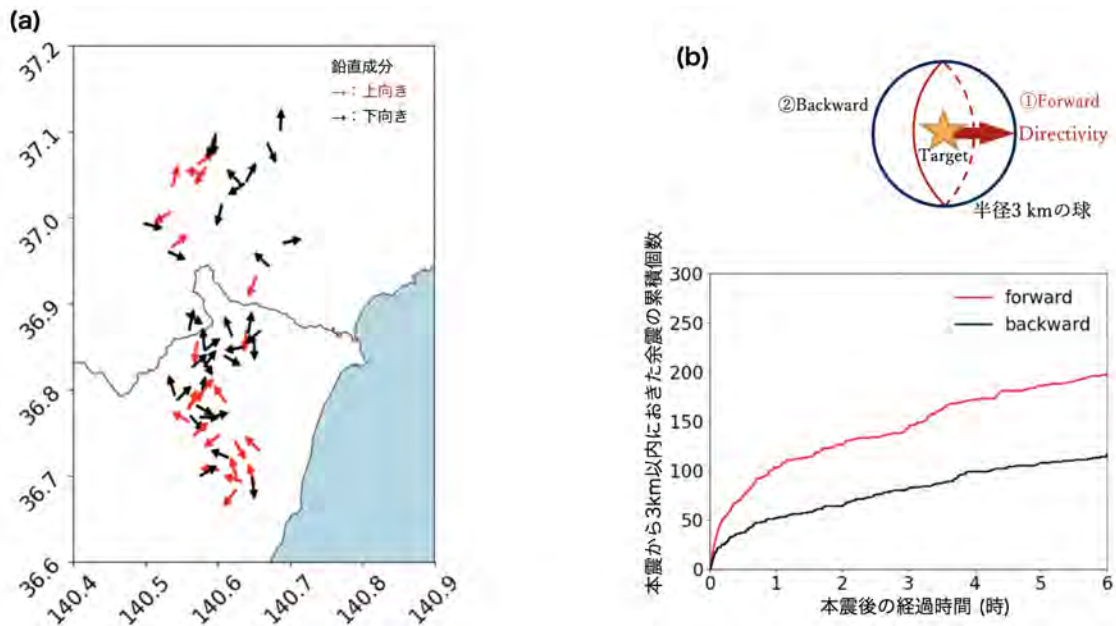


図4. 小地震の破壊伝播の指向性が余震活動に及ぼす影響(横谷, 2021を改変)
 (a)明瞭な指向性をもった地震の破壊伝播方向。(b)本震の破壊フロントが向う側と遠ざかる側に分けてカウントした余震個数(気象庁地震カタログに基づく)。

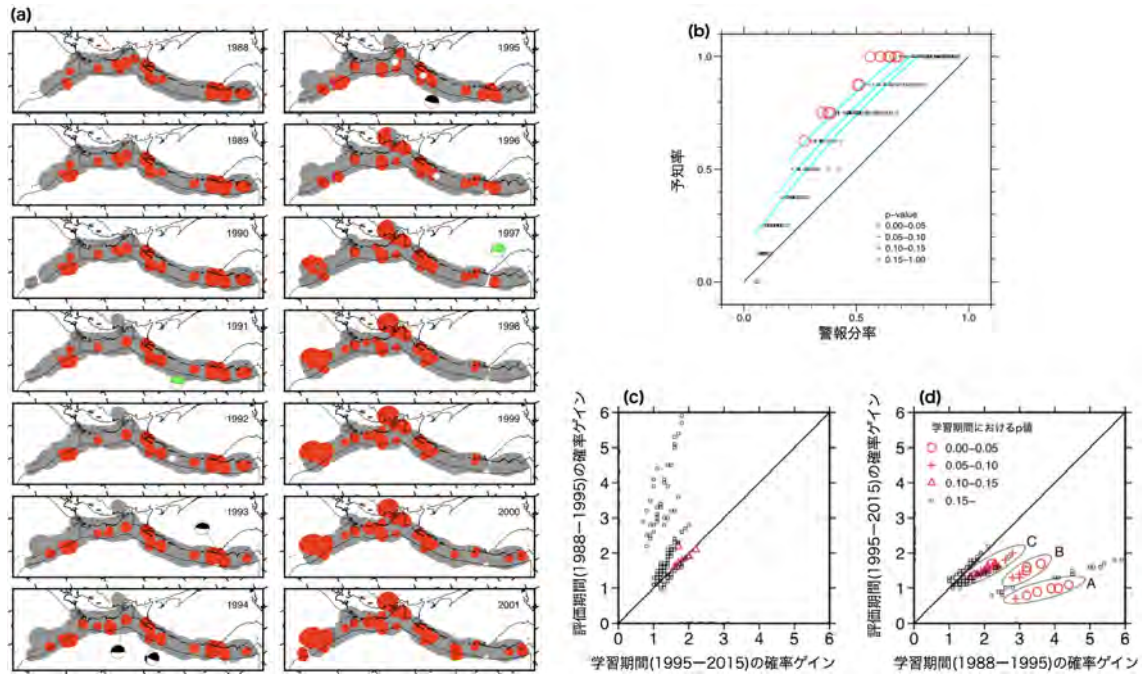


図5. 長期静穏化が大地震に先行する傾向が認められるかの検証(Katsumata and Nakatani, 2021より改変)
 (a) 試行予測による警報マップの例。右上に表示された西暦の1月1日にアップデートされたもの。この例では、過去7年間に60km以内で一度でも11年を超える静穏化があれば警報ON(赤)、一度もなければ警報OFF(灰)、平生から活動度が低い等で静穏化の判定ができないことが過去7年間に60km以内で一度でもあった場所は警報判定不能(白)。M7.5以上の地震の余震時空間は評価対象外(白)。黒白のビーチボールは警報ONの時空間におきた予測対象地震。緑白のビーチボールは警報OFFの時空間におきた予測対象地震(見逃し)。この例の予測モデルは警報分率35%で予知率6/8を達成しており、確率ゲインは2.1、p値は2.5%である。(b) 予測作成におけるパラメタを様々に変えて作った警報マップの、全期間(予測対象地震8個)に対する成績。水色の線は、p値が5%, 10%, 15%に対応。(c, d) クロスバリデーションテストにおける、成績(確率ゲイン)の変化。A, B, Cの楕円は過学習メカニズムの内実に対応。

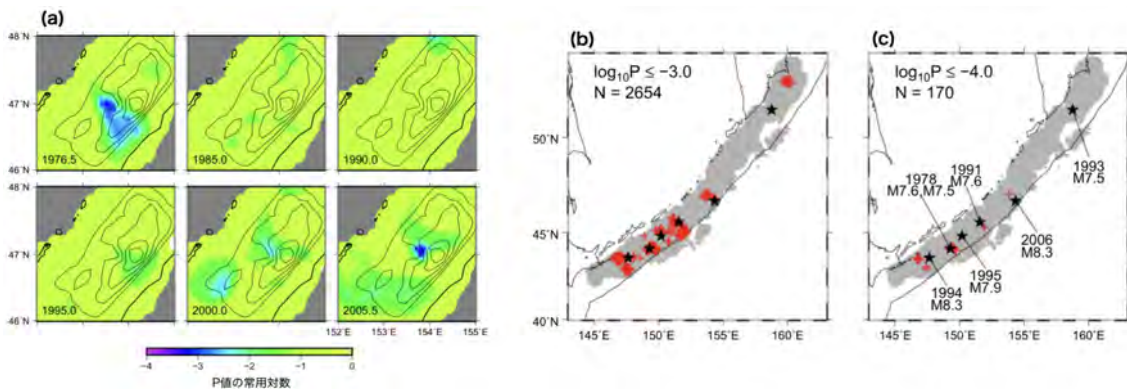


図6. 千島地域でのPMAP法による静穏化検出(Katsumata and Zhuang, 2020より改変)
 (a) 2006年11月15日のM8.3地震の震源域でのP値分布のスナップショット。コンターは2006年11月15日のM8.3地震の滑り量1,4,7,10,13m(Lay et al., 2009)。(b) P値が0.1%以下である静穏化が検出された位置を赤十字で示す。星印は、研究期間におきたM7.5以上の地震。(c) P値が0.01%以下である周辺の静穏化が検出されたグリッドの位置を赤十字で示す。星印は、研究期間におきたM7.5以上の地震。

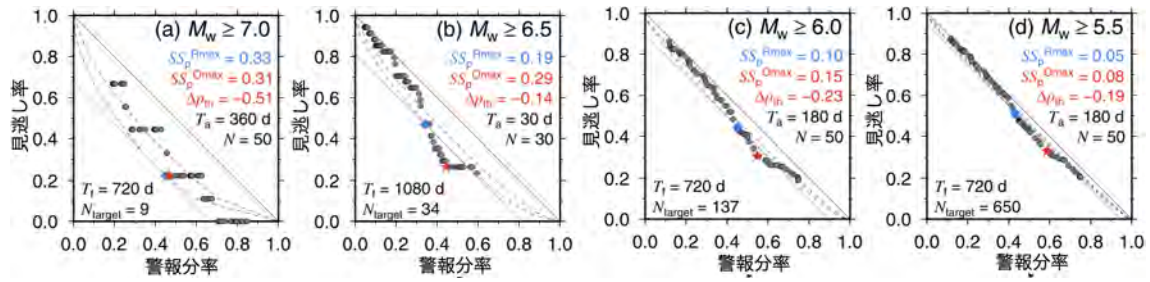


図7. トンガ・ケルマディック地域の地震活動の潮汐同期に基づいて出した試行予測実験のモルチャン成績図(Hirose et al., 2022より改変)

各パネルの右上に予測ターゲットとする地震の下限マグニチュードを示した。左下に示した N_{target} はターゲット地震の数。破線はランダム予測の99%および95%区間。赤い星はピアスのスキルスコア SS_p が最大になるよう最適化した予測モデルの結果で、そのモデルのパラメタ(T_f (潮汐同期の変化をみる期間)、 $\Delta\rho_{th}$ (同期が強くなったと判断するシユスター値変化の閾値)、 T_a (警報の持続期間)、 N (シユスター値計算に使うイベント数))の値を各図に示した。青い菱形はランダム予測による最大 SS_p 、青い細線はその SS_p 値のコンター。

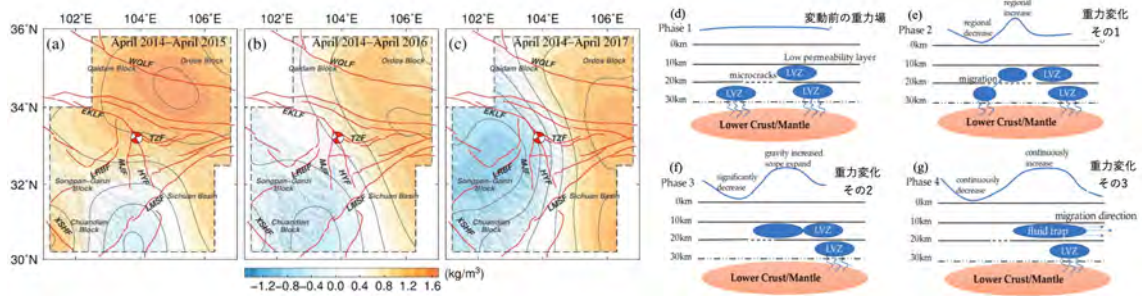


図8. 2017年8月8日にチベット高原の東縁でおきた M_s7 のJiuzhaigou地震の前数年にわたって見られた大きな広域重力変化から推定した地殻深部での質量移動(Yang et al., 2021より改変)

2014年4月を基準に(a)2015年4月(b)2016年4月(c)2017年4月までに観測された重力変化を地下15km・厚さ1kmの層の密度変化に焼きなおした。(d)-(g)は、この時期の重力変化に調和する流体の移動がJiuzhaigou地震の発生に関係するように考えたシナリオ。

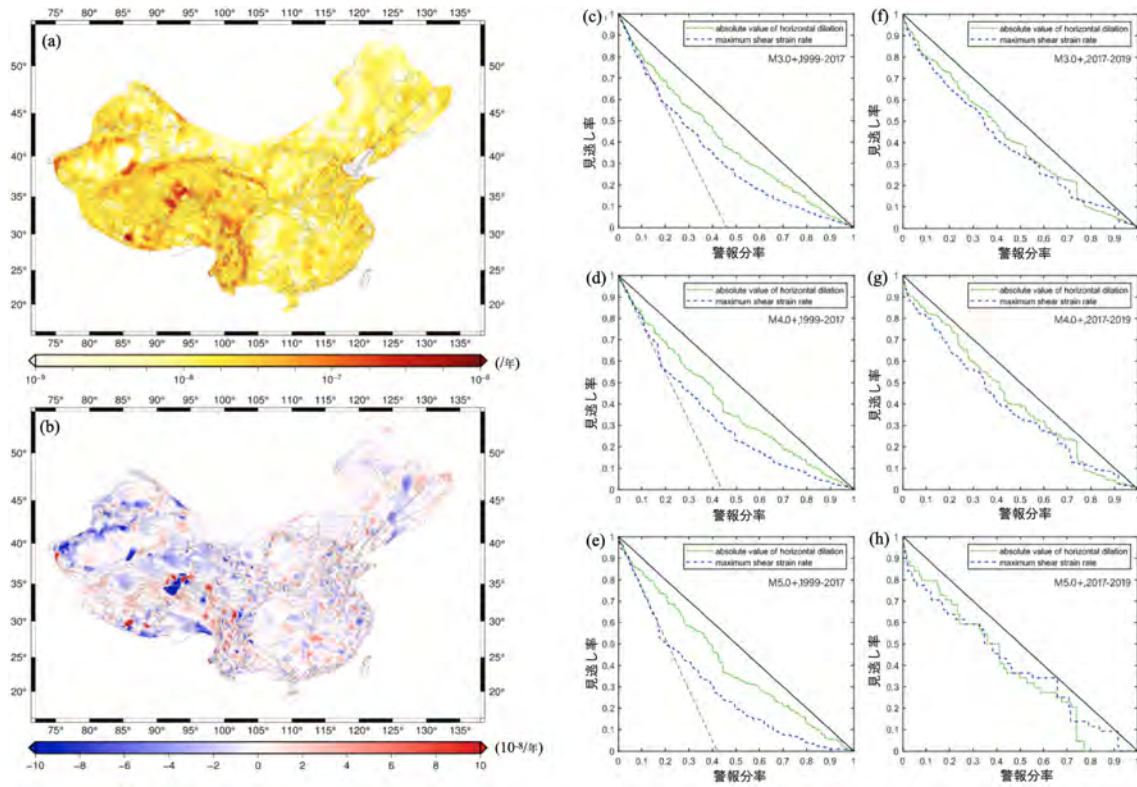


図9. GNSS観測(1997-2017)から求めた中国の歪み速度場、および地震活動との相関(Xiong et al., 2021より改変)

(a)最大剪断歪み速度 (b)水平膨張歪み速度 (c-f)最大剪断歪み速度(青破線)および水平膨張歪み速度(緑破線)と地震活動の相関を示すROCダイアグラム。対照地震の下限マグニチュードと発生時期は各パネルに記載。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

大規模数値シミュレーションに基づく広帯域強震動災害の事前・即時予測

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
 - イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - イ. 首都直下地震
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
- (3) 研究基盤の開発・整備
 - イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大地震による強い揺れの事前予測と災害の軽減に向け、高性能計算機を用いた大規模数値シミュレーションに基づく広帯域（短周期～長周期）強震動の事前評価、及び地震発生時の即時評価の手法開発を進める。2016年熊本地震や2013年パキスタン地震など、近年の強震動研究から明らかにされた、断層ごく近傍長周期地震動（長周期パルス）や、P波直後に到来する長周期P波（PL波）など、強震動被害の原因となる波動現象の最新の知見を取り入れ、首都直下地震等の内陸地震、そして南海トラフ

地震等の海溝型地震で想定される、広帯域強震動の事前予測により超高層ビル等の共振被害や、大加速度かつ長時間の揺れによる斜面崩壊等の災害発生を予測し災害軽減へと繋げる。また、日本列島に展開されている強震観測網と、将来の海域観測の充実を見据え、リアルタイム強震観測データ同化に基づく、長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究を進める。

5カ年の重点課題として、(1)関東平野直下のM7級プレート境界・内地震による長周期地震動の生成可能性と構造物・地盤災害への影響評価、(2)近年の高性能パソコンに適合した広帯域強震動シミュレーションコードと高分解能地下構造モデルの開発、(3)南海・相模トラフ沿い、千島・日本海溝沿いの巨大地震による広帯域強震動の予測とその不確定性の定量化、(4)海・陸リアルタイム強震観測データ同化に基づく強震動（長周期地震動）の即時予測実験に取り組む。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 広帯域地震動評価に向けた強震動成因物理メカニズムの解明【H31～35年】

地表断層により生成する断層ごく近傍長周期パルス（Near-field項）の生成要件（震源の深さ、規模、断層すべり角）と断層滑り速度と強震動帯域の関係を、1999台湾集集地震や1999年トルコイズミット地震、2016年熊本地震等の強震観測データを再精査により明確化し、警固断層や上町断層などを対象とした断層ごく近傍強震動の予測を行う。そして、首都圏直下地震として心配される、M7級のフィリピン海プレート境界・内部の地震の発生に伴う、関東平野での長周期（広帯域）地震動の特性（応答スペクトル強度、震動継続時間等）を評価するために、2013年パキスタンの地震(M7.7)や2018年メキシコオアハカ地震(M7.2)など、関東と地震環境が類似する地震波形データの解析と、1923年関東地震の余震記録の再解析を進める。そして海溝型M8級巨大地震と、大規模平野直下のM7大地震の強震動の特性と構造物被害への影響を検証する。さらに、南海トラフ地震の長周期地震動の増幅や継続時間の予測の高度化に向け、表面波の増幅と導波に強く影響する、海域の付加体の内部構造（ V_s 速度勾配、 Q_s 値等）を既往の反射・屈折法研究の精査と、微動及び自然地震のインターフェロメトリーに基づく構造研究（新規計画における京大防災研究所の研究課題）の成果を統合してモデル化し、2004年紀伊半島南東沖地震や2016年三重県沖地震の強震動シミュレーションにより検証する。

2. 広帯域強震動シミュレーションコードの整備・公開【H31～35年】

強震動災害誘因の事前評価に資する高度なコード開発を進め、オープンコードとして研究者コミュニティに公開することで、観測・シミュレーション統合研究や、データ駆動型研究の強化に貢献する。現行の公開コード（OpenSWPC;Maeda et al., 2017）の改良を進め、海溝型巨大地震の強震動評価に不可欠な海底地形と海水／固体境界条件の組み込み、広域強震動・地殻変動評価のための球殻座標（または準球殻座標）への拡張、巨大地震の長時間継続地震動の評価に不可欠な、長時間ステップ安定計算のための単精度／倍精度混合演算の実現、短波長不均質構造による強い散乱下で安定に機能する、高性能PML吸収境界条件と広帯域の減衰（ Q ）モデルの導入、等を進める。そして、リアルタイム地震観測データ同化の実現に向けた、高速ネットワーク（SINET）接続リアルタイム高速計算機（東大情報基盤センターBDEC等）への適合をはかる。

3. 長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究【H31～34年】

長周期地震動による災害軽減に向けて、将来の強震観測網のリアルタイムデータ配信と、今後の海域観測網の充実を見据え、観測データ同化にもとづく、大規模平野での長周期地震動の即時予測の実現に向けた基礎開発を進める。K-net, KiK-net等の陸域強震観測データに加え、DONET, S-net及び今後展開が期待される海域強震観測データ同化に基づく、海溝型巨大地震（南海トラフ地震、日本海溝の地震）の長周期地震動の即時予測を目指すとともに、海域強震観測の必要性・有効性を検討する。即時予測の防災への活用を図るために、耐震工学及び社会心理学の研究者と協働により、予測が必要な物理量（加速度値、応答スペクトル、強震動継続時間など）のとその予測誤差、不確定性を含む防災情報の発信、構造物の応急対応等について、関連分野の研究者との協働による総合的研究を進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

計算—観測データ同化に基づく長周期地震動のリアルタイム予測実験

令和2年度までに開発した、強震観測と地震波伝播シミュレーションのデータ同化に基づく長周期地震動リアルタイム予測手法（Furumura, Maeda & Oba, 2020; Oba, Furumura & Maeda, 2021）の

実用化に向け、全国地震観測データ流通ネットワーク（JDXnet）と東大情報基盤センターWisteria/BDEC-01スパコンを結合した、長周期地震動即時予測プロトタイプシステムを開発し、リアルタイム予測実験を行った（中島・古村・鶴岡・他、2021）。実験では、図1に示す領域を3次元差分法による波動伝播シミュレーションの対象領域とし、地震動の入力データとして2007年中越沖地震（Mw6.8）のF-net強震計データ18点と、特性補正フィルタ（Maeda et al., 2011）を施して長周期化した349点のHi-net地震計データを用いた。ネットワークを流れる地震波形データは、Wisteria/BDEC-01スパコンのデータ・学習ノード群（Aquarias）に入力され、リアルタイムにFIRフィルタ処理等を行った後に、1秒毎にシミュレーションノード群（Odyssey）に転送され、計算結果とのデータ同化を行った。そして、現時刻のデータ同化済みの波動場を初期条件として、未来の波動場を高速計算により予測した。Odysseyの2048 CPUを用いた並列計算により、240秒後の長周期地震動の予測が28秒で実行可能であることを確認した。予測の精度と長周期地震動の到来までの猶予時間にはトレードオフの関係があるため、データ同化の進展とともに、高速計算により短い間隔で予測の修正を繰り返すことの有効性も確認された。

データ同化地震波逆伝播計算（DA-TRI）による大地震の断層すべり即時推定

長周期地震動と津波の即時予測に向けて、K-NET, KiK-net強震観測データの時間反転逆伝播計算（DA-TRI）による、震源モデルの即時推定手法の開発を令和2年度に継続して進めた。観測波形データと地震波伝播シミュレーションを同化しながら、発震時に時間を遡って地震波逆伝播計算を進めることで、陸域の観測網から離れた海溝型地震や、深い地震であっても高い解像度での震源イメージングを確認した。時・空間的に広がる大地震の断層すべり分布の推定に向けて、P波とS波エネルギーの相関に基づく震源イメージングの高分解能化を進めた。KiK-net強震観測記録を用いて、2008年及び2011年の茨城県沖の地震の断層すべり分布の即時推定実験を行い、100秒間の強震波形記録の地震波逆伝播計算により、太平洋プレート上面の断層すべり分布を推定することができた。得られた結果は、近地強震記録と遠地波形を用いた既往の震源インバージョン結果と良く対応した。また、陸域のKiK-net観測に加えて、S-net海域観測網による地震観測データの有効性を数値実験により確認した。

Reverse-time migrationによる海洋スラブ形状のイメージング

大地震の震源断層すべりモデルの推定と、強震動の生成メカニズムの評価に向け、海洋スラブの形状と物性の探査が重要である。本研究では、日本列島の高密度強震観測データの逆伝播計算に基づき、海洋スラブ形状を推定（イメージング）するReverse-time migration（RTM）の実用性を数値実験から検証した。RTMでは、プレート境界面で生成したSP変換波に着目し、これを観測点から変換点に戻すことで、変換点すなわちプレート境界をイメージングする。数値実験では、東北地方の東-西断面において、不均質地殻・マントル構造を用いて遠地地震による平面波入射を仮定した疑似観測波形を用意した。次に、RTMでは水平均一（1次元）地下構造モデルを用いて、2次元差分法による地震波伝播計算により疑似観測波形を観測点から地中に逆伝播させた。逆伝播計算により求められる、各時刻の波動場に対して発散（div.）と回転（rot.）を計算してP波とS波の波動場に分解し、二つの波動場の相関をとることで、P波とS波が同時刻に重なる場所、すなわちSP変換が発生した境界をイメージングした。異なるS波入射角（-20~20度）を持つ地震の疑似観測波形を用いたイメージング結果をスタックすることで、現行のHi-net観測点の配置と間隔で太平洋スラブの上面、下面、及び海洋性地殻、地殻の形状が推定可能であることを確認した。

大規模並列地震波伝播シミュレーションコードの整備

本観測研究計画及び国内外の研究者コミュニティからのフィードバックを受けて、地震波伝播シミュレーションのオープンコード（Open SWPC; Maeda et al., 2017）の改修と機能拡張を進めた。今年度の主な機能拡張として、1) 日本列島全域~グローバル領域での地震波伝播計算において、地球の球殻効果を取り込むEarth flat法の導入、2) 2次元（線震源）計算結果から3次元（点震源）波動場への振幅変換、3) 海水層のSOFARチャネルの導入、4) R3年度から運用を開始した東京大学情報基盤センターの最新スパコンWisteria/BDEC-01、及び海洋研究開発機構の地球シミュレータ第4世代（SX-Aurora TSUBASA）へのコード移植と性能チューニングがあげられる。バージョンアップを図った最新コード（Ver 5.2; 2021年8月27日更新）は、gitHub（<https://github.com/tktmyd/OpenSWPC>）を通じて公開中である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Furumura, T. and BLN Kennett, 2021, Azimuthal Variation of Lithospheric Heterogeneity in the Northwest Pacific Inferred From Po/So Propagation Characteristics and Anomalous Large Ground Motion of Deep In-Slab Earthquakes, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 126, 5, doi:10.1029/2021JB021717

Furumura, T. and T. Maeda, 2021, High-resolution source imaging based on time-reversal wave propagation simulations using assimilated dense seismic records, Geophys. J. Int., 225, 1, doi:10.1093/gji/ggaa586

Makinoshima, F., Y. Oishi, T. Yamazaki, T. Furumura, and F. Imamura, 2021, Early forecasting of tsunami inundation from tsunami and geodetic observation data with convolutional neural networks, Nat. Commun., 12, doi:10.1038/s41467-021-22348

中島研吾・古村孝志・鶴岡弘・松葉浩也・坂口吉生・住元真司・笠井良浩・池田輝彦・八代尚・荒川隆・埜敏博, 2021, 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測へ向けた試み, 情報処理学会研究報告ハイパーフォーマンスコンピューティング, 8, 1-11

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

南海トラフや日本海溝沿いの大地震による長周期地震動の即時予測に向け、陸域及び海域の強震観測データに基づく震源断層すべりの即時推定と、長周期地震動の即時予測の実用化研究を令和3年度に継続して進める。長周期地震動の即時予測に関する5年間の研究成果を取り纏め、当初計画に対する到達点と実用化に向けた研究開発課題を示す。また、令和3年に引き続き海・陸リアルタイム・連続地震観測と、地震データ流通網に直結したリアルタイムスパコン（東京大学情報基盤センターWisteria/BDEC-01）を用いて長周期地震動即時予測のプロトタイプシステムの実証実験を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

古村孝志（東京大学地震研究所）, 三宅弘恵（東京大学地震研究所）, 武村俊介（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
田中淳（東京大学大学院情報学環）, 関谷直也（東京大学大学院情報学環）, 竹中博士（岡山大学）, 前田拓人（弘前大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

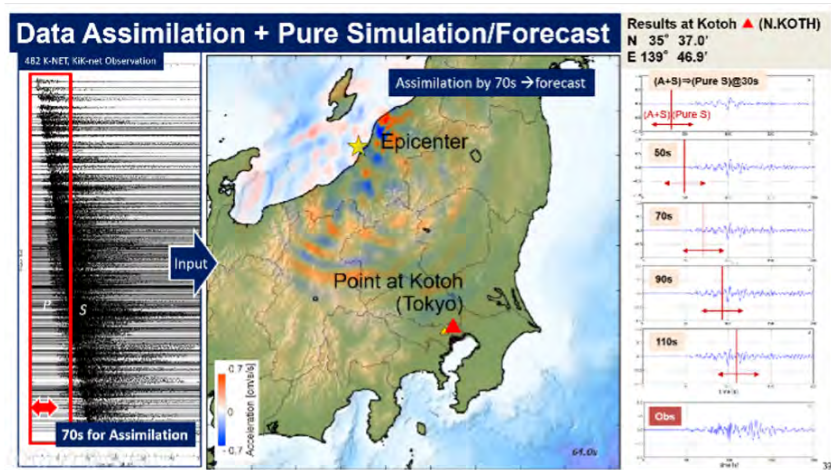
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

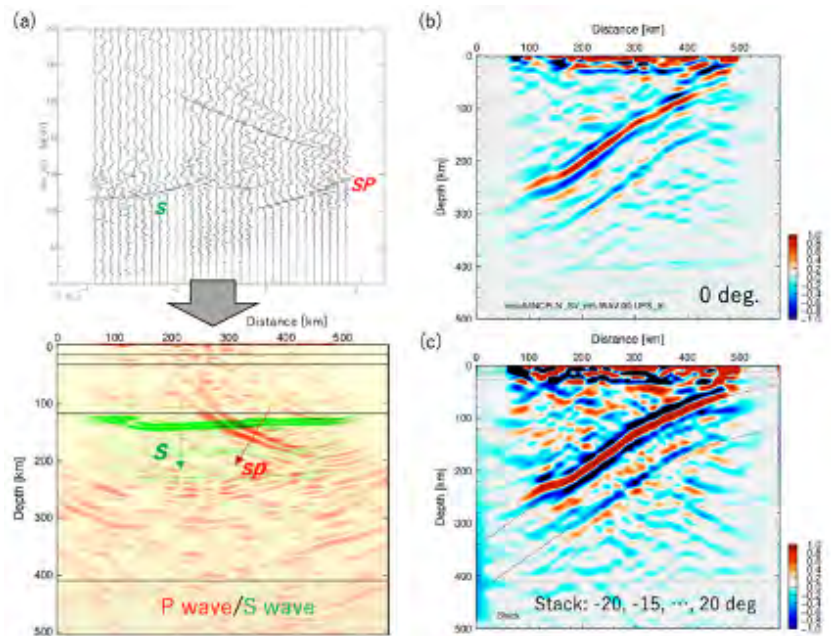
(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：古村孝志

所属：東京大学地震研究所



JDXnet地震データ流通網とWisteria/BDECスパコンを用いた長周期地震動の即時予測実験
 2007年新潟県中越沖地震の際にJDXnetに流れたF-netとHi-netリアルタイム地震観測データと地震波伝播シミュレーションをデータ同化し、高速計算により未来の波動場（長周期地震動）を予測。



Reverse-time migrationによる海洋スラブ形状のイメージング数値実験
 (a)観測波形の時間反転逆伝播計算（P波動場を赤、S波波動場を緑で表示）。(b) S入射角0度（鉛直入射）の観測波形を使用したRTM、(c) 入射角-20, -15, …, 20度の地震波形を用いたRTM結果の重ね合わせ。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

首都圏の地震被害分布と地震像の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

- イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

- イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大地震による建物の被害は、必ずしも一様ではなく、不均質が見られるが、その原因は、建物の強度の違いだけでなく、揺れの細かな不均質によるところも考えられる。首都圏には稠密に建物があるため、建物被害の軽減を考える際には、揺れの不均質に応じた的確な対策が必要である。そこで、稠密な観測により稠密な揺れの違いを示し、地形や地下構造のどんなこと関係するのかを明らかにする。近年、首都圏では、被害を伴うような地震が発生していないため、歴史地震の被害分布と対比させ、様々なことが考えられる首都直下地震の地震像に対して、いくつかの候補に絞る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度においては、根津周辺における稠密観測の準備を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和2年度においては、根津周辺に稠密な観測点を設置し、地形と揺れの関係を明らかにする観測を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。首都直下地震の地震像を明らかにする研究に関する意見交換会を開く。

令和3年度においては、安政江戸地震時に被害の記載されている根津周辺のお寺等における観測の準備を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和4年度においては、安政江戸地震時に被害の記載されている根津周辺のお寺等における観測を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和5年度においては、根津周辺のお寺等における観測データから、現在の揺れの分布と過去の被害との関係を明らかにする。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。首都直下地震の地震像を明らかにする研究に関する意見交換会を開く。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震の震度を検証および定量化したいと考え、2020年9月から根津周辺における稠密観測を継続している。安政江戸地震の揺れの検証を目的のひとつとし、観測点は同地震の被害史料の分析から被害場所が特定できた地点とその近隣地点にした。観測点を徐々に追加していき、20地点にまで増やしたが、2022年2月時点では17点で観測をしている。これまでに文京区本郷で震度1以上を記録した地震は51回あり、それらのデータを用いた暫定的な結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できている（例えば図1）。

MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行った。

2021年1月11日に、首都直下地震総合研究グループ（参加者6名）で、オンラインの意見交換会を開いた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

現時点では、観測を継続している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

石瀬素子・中村亮一・村岸純・酒井慎一,2021,「現代」の地震観測による「過去」の揺れの検証と「未来」の地震動の予測：谷根千界限,日本惑星地球科学連合2021年大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、安政江戸地震時に被害の記載されている根津周辺の寺社等における観測を行う。地震規模、震源位置と観測点の立地との関連性を明らかにし、史料の被害記述との検証を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

酒井慎一（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：酒井慎一

所属：東京大学地震研究所・東京大学大学院情報学環

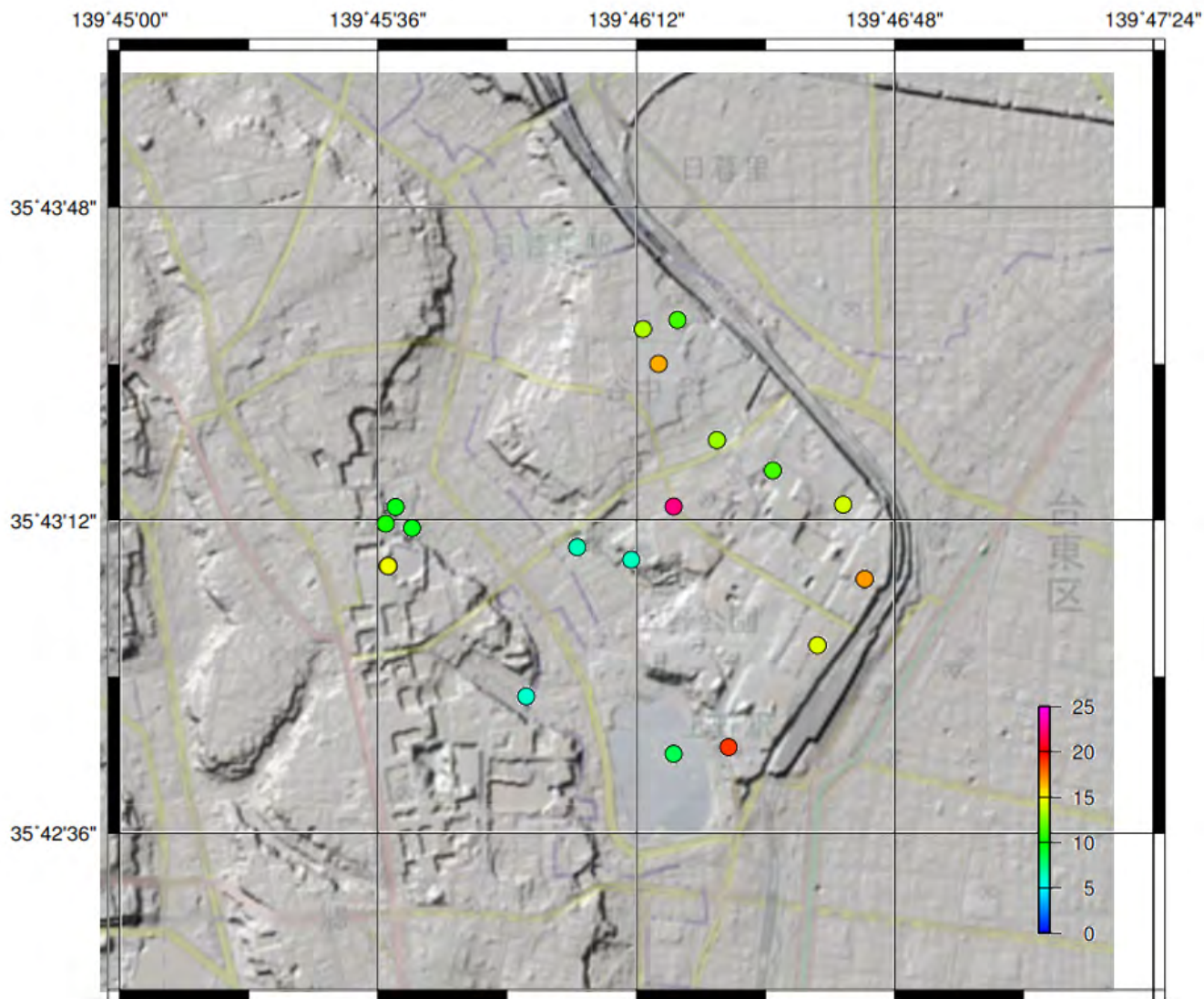


图1 谷根千振幅2103160456

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - イ. 首都直下地震
- (5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大地震による災害リスク評価手法に資するべく、地震災害に関する災害発生機構を重点的に解明する。強震動が増幅する堆積平野・堆積盆地は、災害リスク評価における脆弱性と捉えることができ、特に、増幅率という形で災害誘因の定量化が可能である。本研究では、人口密度が高い堆積平野・堆積盆地における観測、強震観測のデータベース化と解析を行い、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

研究期間前半3年間は、強震動による地震災害誘因の分析のため、定常観測に加え臨時観測を含めた堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースを増強し、堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性を定量化する。また、トリガー観測と連続観測が混在した場合の、適切な強震記録データベースの提示方法を理工学の観点から研究する。さらに、これまでに構築した地下構造モデル暫定版を、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資するべく新たなモデル化手法を開発する。

研究期間後半2年間は、大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害の脆弱性の研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和三年度は、強震動による地震災害誘因の分析のため、堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強を引き続き行った。また、2021年10月7日に発生した千葉県北西部の地震（Mw5.9）の首都圏で観測された強震記録を限定公開した。この地震は、2005年7月23日に発生した千葉県北西部の地震（Mw5.9）との類似性が指摘されているため、観測記録の相関係数を計算し、2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとする大振幅地震動による地盤増幅変化の影響があるかどうか見積もった。また、国内外の地震に対する強震動評価や強震動予測を進めると共に、広帯域地震動プラットフォームの構築に関する国際共同研究に参画した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震の災害誘因の事前評価手法の高度化に関する研究を予定通り実施した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Miyake, H., K. Irikura, H. Fujiwara, N. Morikawa, T. Maeda, A. Iwaki, and A. Pitarka, 2021, Recipe for strong ground motion prediction: Current and future, The 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, GS4-I01

Octantyo, A., H. Miyake, and T. Yokoi, 2021, Strong ground motion simulation of the 2019 Java earthquake using empirical Green's function method, Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering, 1d-0138

・学会・シンポジウム等での発表

Miyake, H., 2021, Characterization of extreme ground motions, JpGU Meeting 2021, SCG40-P05

Koketsu, K., H. Miyake, and K. Okumura, 2021, A future scenario earthquake for seismic hazard analysis in Kathmandu, Nepal, JpGU Meeting 2021, SCG40-P02

Miyake, H., T. Taira, L.-W. Chen, 2021, Near-surface velocity reduction and anisotropy for early aftershocks revealed by coda interferometry, 2021 AGU Fall Meeting, S35F-0276

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和四年度は、堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性の定量化を進め、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の推進について（建議）における

○大学は、人口密度が高く災害リスク評価において脆弱と捉えられている堆積平野・堆積盆地などを対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を軽減するための要件を明らかにする。

に資する研究を推進する。具体的には、大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害の脆弱性の研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

三宅弘恵（東京大学地震研究所）、古村孝志（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学大学院情報学環、北海道大学、東京工業大、信州大学、福井大学、広島大学、高知大学、九州大学、国立研究開発法人建築研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL : <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名 : 三宅弘恵
所属 : 東京大学地震研究所

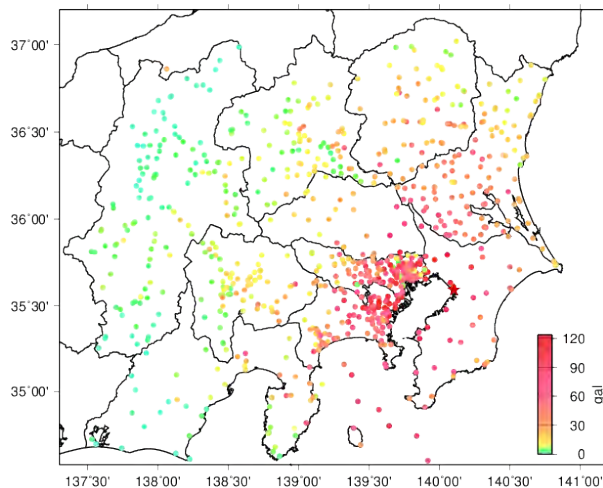


図1. 2021年10月7日に発生した千葉県北西部の地震の首都圏の最大加速度分布（首都圏強震動総合ネットワークSK-net）.

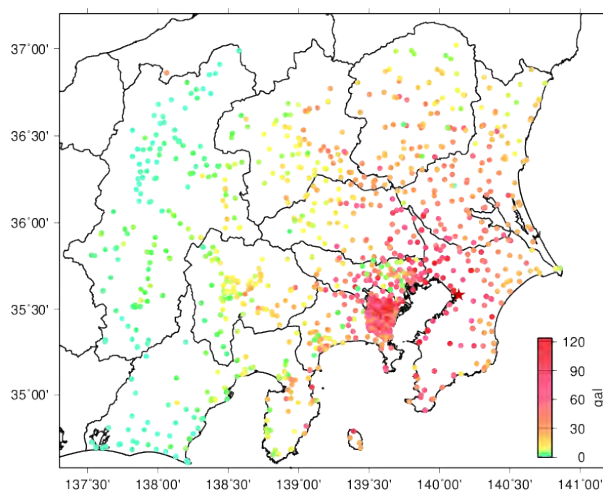


図2. 2005年7月23日に発生した千葉県北西部の地震の首都圏の最大加速度分布（首都圏強震動総合ネットワークSK-net）.

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

堆積物に基づく噴火物理化学パラメータ推定手法の高度化と事象分岐判断への活用

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
- 火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

- ア. 火山現象の定量化と解明
- イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
- ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
- エ. 桜島大規模火山噴火
- オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1回の噴火の噴出量は噴火の規模を決定するために必要な物理量であり、地表面現象や災害の性質にも密接に関係する。噴出率や噴出物組成とそれらの時間変化は、噴火様式や推移の理解において重要であり、進行中の噴火では推移予測のための基礎データとなる。これらの物理化学パラメータは事象分岐の判断においても重要な要素になる。そのため、活動的火山においては過去の噴火におけるこれらのパラメータを解明することに加えて、噴火開始後には迅速にそれらを明らかにし、事象系統樹における分岐判断に取り入れていくことが重要になる。ただし現状の事象系統樹の試作及び活用において、この点は十分に克服できていない。本課題ではとくに下記(a)~(c)の問題点を踏まえ、活動的火山における将来の噴火を念頭に、噴火時の地表面現象を迅速に把握し、堆積物及び噴出物データをもとに噴火の物理化学パラメータ（噴出量・噴出率など）を推定するための既存手法を見直し、より高度かつ実用的なものへと発展させることを目指す。

(a) 噴火発生時には即時的な現象観察と地質調査を行い、堆積物データをもとに物理化学パラメータとその変化を迅速に決定する必要がある。その際に地震学的・測地学的データなど地球物理学観測と

の照合も行われるべきである。しかし現状、堆積物及び噴出物にもとづくパラメータ推定手法や他の観測データの活用方法は十分に確立されているわけではない。噴出率や噴出量推定にはいくつかの経験則や理論モデルが用いられるが、推定値が定まらない場合が多く、誤差の定量的評価も不十分である。近年の新燃岳噴火などではこの問題が顕在化している。

(b) 事象分岐を判断する上で上記パラメータが重要な役割を担うと考えられるが、具体的に事象系統樹に組み込むためには、分岐の重みについて定量的基準が必要である。

(c) 実際の噴火に際しては、堆積物データをもとに事象分岐の判断を試行し、調査観測研究の成果を迅速に取り入れつつ、噴火事象系統樹を更新していくことも必要である。そのために、噴火発生時には調査観測を全国連携で機動的に実施するとともに、関連機関とも密接に連携する必要がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

火山噴火直後に得られる堆積物の地質学的情報（層厚・粒径分布等）を用いて、物理モデルや経験則と組み合わせる噴火物理パラメータ（噴出量・噴出率など）を推定するための既存手法をレビューし、その評価及び改良を行う。近年の霧島山、桜島、浅間山等での噴火や、海外の噴火を対象に堆積物データの再解析を行うとともに、地球物理観測データ等から推定される物理量との照合を行い推定手法の最適化を試みる。また推定値の信頼度評価手法についても検討する。一方物理パラメータに加えて、噴火直後の地表面現象や発生場の把握と、化学組成等物質科学的データについても、その即時把握と活用方法について、事象分岐判断への導入を念頭において検討する。上記火山や他の活動的火山での噴火を想定し、堆積物及び噴出物データの迅速な取得のための機動的観測方法や体制の整備、データ共有方法の検討も同時に進める。とくに上述の(a)~(c)に着目して研究を進める。

2019年度においては、(a)については、噴火堆積物をもとに噴火の物理化学パラメータを見積もるための手法や理論及び経験モデルを整理し、それらの精度と適用性について実際の噴火事例をもとに検討する。また地球物理学的観測データの活用方法について検討し、地質・物質科学的情報と地球物理学的観測から得られる物理量との差異やその原因について、実例をもとに考察する。即時的現象把握に関しては、遠隔観測やドローンの活用方法についても検討する。(c)については、将来の噴火を想定し、噴火の物理量を迅速に把握し、事象系統樹の評価改良を速やかに行うための、機動的かつ効率的な火山噴出物調査手法の提案を目指す。そのための議論を、研究集会などの場を設けて行う。これは2023年度まで年1回を目安に実施する。

2020年度においては、前年度からの(a)に関する研究を継続する。また(b)に対応して、既存研究や海外の事例などをもとに、噴火現象の分岐に関係する地質学、物質科学および地球物理観測にもとづく基準（噴出率変化等）を整理し、事象分岐の重みの論理的、数値的評価方法を探る。

2021年度においては、前年度からの(a)、(b)に対応する研究を継続する。またそれらを踏まえて、霧島山、伊豆大島、浅間山など活動度の高い火山について事象分岐判断基準の評価、改良を進める。

2022年度においては、これまでの研究を総括しつつ、噴火時の地質及び物質科学的データの迅速な収集と現象の即時的把握、噴火物理化学パラメータの解析、事象系統樹や分岐判断への活用方法についてまとめる。また、噴火が想定される火山や噴火中の火山の調査観測を全国連携で機動的に実施する枠組みや、関連機関との連携方法について整理し、噴火の際には実践する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

堆積物解析手法の高度化については、噴出物の迅速なマッピング、噴出量・噴出率の高精度推定を目指した研究を、噴出物時系列解析・分析手法の高度化については、化学組成、組織、色等の情報取得とその活用を目指した研究を複数の火山で実施している。霧島、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名等の火山においては噴出物の構成物、組成、組織の時系列変化を明らかにする研究を進めている。

2021年10月阿蘇中岳噴火の際の降灰調査においては、火山データ共有システムJVVDNを活用した複数機関による連携調査をはじめ実施し、降灰分布や噴出量の迅速な推定を行うとともに、その有用性と問題点の洗い出しも行った。草津白根火山2018年水蒸気噴火における噴出物分布と複数手法により検討した噴出量に関する論文を出版した。

西之島における2019-2020年噴火および2021年噴火の噴出物の調査および試料採取、地形データの取得を、環境省と協力して実施した。採取試料の化学組成分析により、2020年噴火の際の安山岩から玄武岩質安山岩への劇的な化学組成変化のタイミングに制約を与えることができたほか、2021年も

玄武岩質安山岩による活動が継続していることなどを明らかにした。アクセス困難な地域の試料採取や地形調査の迅速な実施におけるドローンの活用方法や、他の火山で実施する際の注意点や改善点を整理した。

課題参加者による研究集会を実施し、本課題の今後の進め方や最近の研究成果等について情報交換を行った。噴出物モニタリングや噴出量・構成物の迅速解析における課題について問題意識を共有し、手法を高度化させていくこと、そして噴火対応時にいかに実行し、噴火事象の分岐判断に活用していくかについて議論を行った。今後の噴火では関係機関で協力して効率的かつ機動的な噴出物調査を実践すること、JVDN等のデータ共有の枠組みを積極的に活用していくことなどを確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山噴火時の即時的現象把握や、噴出量等の噴火パラメータ推定のための調査協力およびデータ共有体制の構築は、課題3(2)ウの大きなテーマであるが、今年度、阿蘇噴火においてこれらを実践できたことはこの課題の目的達成に向けての大きな前進である。また、アクセス困難な状況における調査体制の構築においても西之島で実践が進んでおり、この課題に貢献するものである。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tada, N., Ichihara, H., Nakano, M., Utsugi, M., Koyama, T., Kuwatani, T., Baba, K., Maeno, F., Takagi, A. and Takeo, M., 2021, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 419, 107349, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107349

Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M. and Takarada, S., 2021, Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan, *Earth Planets Space*, 73, 141, doi:10.1186/s40623-021-01468-3

Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M. and Nakada, S., 2021, Intermittent growth of a newly-born volcanic island and its feeding system revealed by geological and geochemical monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan, *Frontiers in Earth Science*, 9, 773819, doi:10.3389/feart.2021.773819

・学会・シンポジウム等での発表

前野深・金子隆之・外西奈津美・安田敦・田村芳彦, 2021, 2019-2020年西之島噴火における噴火様式の劇的な変化, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-P12

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

噴火堆積物をもとに噴火の物理化学パラメータを見積もるための手法や理論及び経験モデルを整理し、それらの精度と適用性について実際の噴火事例をもとに検討する研究を進める。また地球物理学的観測データの活用方法について検討し、地質・物質科学的情報と地球物理学的観測から得られる物理量との差異やその原因について、霧島新燃岳の実例などをもとに考察する。即時的現象把握に関しては、遠隔観測やドローンの活用方法についても検討する。また、既存研究や海外の事例などをもとに、噴火現象の分岐に関係する地質学、物質科学および地球物理観測にもとづく基準（噴出率変化等）を整理し、事象分岐の判断基準や評価方法を探る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前野深（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

宮縁育夫（熊本大学）、嶋野岳人（常葉大学）、鈴木由希（早稲田大学）、吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）、石塚吉浩（産業技術総合研究所）、三輪学央（防災科学技術研究所）、長井雅史（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前野深

所属：東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

観測研究データへの永続的識別子付与

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究データに永続的な識別子を付与し、観測研究計画で得られたデータの効率的な公開と利用の促進をはかる。

近年、「オープンデータ」をキーワードに、研究データにもDOI (Digital Object Identifier: 論文等の永続的識別子としてよく知られる) などの永続的な識別子をつけるという運動が広まりつつある。データに識別子を付与することにより、データを適切に利用(引用)することができ、また、論文の被引用件数と同様に、利用された履歴を機械的に追跡できるようになるためデータ提供者の評価にもつながる。本計画では、観測研究で得られたデータについて、識別子をつけて公開するための課題を検討し、実際に公開をすすめる。現計画だけでなく過去の計画で取得したデータの公開についても検討する。

専門家だけでなく非専門家も含む幅広い人々がデータを使えるようになれば、これまでにない新しい発想での解析等が実施される可能性がある。また、データに立脚して地震学への理解を広めることができるようになる。そのためには、データを公開するという意思と、公開したデータを管理、追跡する手法とが必要である。すでに多くのデータが公開されているが、すべてのデータに誰でも容易にアクセスできるという状況には至っておらず、改善の余地がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題の実施にあたっては、課題番号ERI27「研究成果共有データベースの構築」や、観測実施機関の関連する課題との連携を密にする。

関係者間でデータへのDOI等永続的識別子付与についての情報交換をおこなう。また、5年間の研究期間中に実際のデータのうち、条件の整ったものを対象に永続的識別子を付与して試行的に公開する。DOIの付与には、自ら登録機関に登録する、データジャーナルを出版し、そこにデータペーパーの投稿を受け付ける、既存のデータジャーナルに投稿する、などの手法が考えられる。それぞれの手法の長所・短所などを検討する。また、データの種類やその生産者(観測、実験、数値計算等)によって最適な手法は異なるとも考えられるため、観測研究計画関係者から広く情報提供を求める。

平成31-32年度においては、DOI等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理する。永続的識別子付与について先行する防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、極地研究所、海上保安庁の事例も参考にする。

平成33-34年度においては、前年度までの検討にもとづき、識別子としてDOIを想定し、公開に必要なシステムの要件を検討し、システム開発を開始する。開発したシステムによりDOI付与および公開を実施する。観測研究計画の各担当者から得たデータ公開に関する情報を分析する。

平成35年度においては、前年度までに実施したDOI付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データのDOI付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡ってDOI付与・公開するための課題を検討する。

平成35年度においては、前年度までに実施したDOI付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データのDOI付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡ってDOI付与・公開するための課題を検討する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度末に本計画に関連するデータ公開の状況や今後の予定について尋ねるアンケートを実施した。回答内容の詳細について回答者に確認しつつ、アンケートの分析を進めた。回答者に事例を紹介してもらうセミナーを企画し情報交換を進める予定である。また、機関リポジトリでデータを公開する際の課題について、学内の担当者と情報交換を行なった。東京大学では機関リポジトリ（UTokyo Repository）に外部で公開しているデータベース等のメタデータを登録できることがわかり、いくつかのデータを登録し、DOI付与も実現した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

データへの永続的識別子付与の検討を通して研究基盤の整備に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

前年度に引き続きDOI等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理する。永続的識別子付与について先行する国内外の事例を収集する。研究データへのDOI付与および公開を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加納 靖之（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

汐見勝彦（防災科学技術研究所）、高橋浩晃（北海道大学）、内田直希（東北大学）、澁谷拓郎（京都大学防災研究所）、松島健（九州大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：加納 靖之

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

データ流通網の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の陸域、海域および火山周辺に設置された地震・地殻変動などの各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムを運用・高度化し、全国の観測研究のデータ流通基盤を整備する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題で取り扱うデータ流通網は、基本的に実施機関および共同研究機関の運営費交付金によって運用・維持されるものである。5カ年を通して、高速広域ネットワークを利用したデータ流通網JDXnetの安定的な運用とその機能の高度化を行う。

- (1) 災害時に強いデータ収集・中継システムの維持とその拡張
- (2) データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発
- (3) 過去の観測データを含むデータ提供システムの開発
- (4) 接続機関の拡大
- (5) データ流通ワークショップの開催

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、TDXの移転対応を実施した(令和3年12月)。また、SINET5からSINET6への移行を実施予定である(令和4年3月)。柏にて接続された東京大学情報基盤センターの大規模並列計算機を利用したリアルタイム地震データ解析の開発を継続した。令和4年3月28日にデータ流通ワークショップを開催予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

観測データ流通網JDXnetへの接続ポイントを拡大するとともに、引き続きJDXnetの安定的な運用を継続する。データ流通ワークショップを開催する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡弘（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学,弘前大学,東北大学,東京大学,東京工業大学,名古屋大学,京都大学,高知大学,九州大学,鹿児島大学,防災科学研究所,気象庁,海洋研究開発機構,産業技術総合研究所,国土地理院,地震予知総合研究振興会,国立天文台,北海道,青森県,東京都,神奈川県,静岡県

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鶴岡弘

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

光技術を用いた地下深部・火山近傍における地震・地殻変動計測技術の確立

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

断層すべりや応力場など地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部や断層近傍における観測手法の確立が不可欠である。また、火山観測においては、インフラの乏しい火山体近傍における観測でマグマ移動等に伴う地下深部の質量変動などの監視が必要である。

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での次世代の光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。小規模のシステムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

光ベースの小規模の地震・重力の計測システムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。計画前半では、光通信分野の研究機関やメーカーと連携し、長距離伝送試験や複数のセンサに光源を同時配信する光センサ・ネットワーク実験を行い、高温の地下深部あるいは火山活動時にアクセス困難となる火口近傍での地震・地殻変動の観測手法を確立させる。計画後半に同システムを用いた観測を実施する。

2019年度においては、地震計・小型絶対重力計などのセンサに関して、長距離の光ファイバ伝送試験を実施する。

2020年度は、複数のセンサを同一ファイバに接続しそれらの信号を分離する多重化試験を実施する。

2021～2023年度には、野外における予備的な試験観測の実施後、地熱地帯や火山近傍での試験観測とその結果の総括を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部における観測手法の確立が不可欠である。また、火山観測においては、インフラの乏しい火山体近傍において、地下深部の質量変動などの監視が必要である。

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。

当初計画では野外における予備的な試験観測を実施する予定であり、継続して実施している多重化試験（複数のセンサを同一ファイバに接続しそれらの信号を分離する）、および絶対重力計の光源を長距離伝送や多重化が可能な通信波長帯に置き換えるために昨年度製作した小型光学ユニットを用いた実験を進めている。

野外観測のための装置の小型化として、地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分を7割程度のサイズに小型化し、野外観測の温度変動により絶対重力計のレーザーの照射方向が影響されないように、基台の部分を熱膨張係数が極めて小さいスーパーインバー合金で製作した。また、野外環境で絶対重力計の落下装置や光軸の状態がモニタできるように、電子式のオートコリメーターを用いた検出器を導入した。これらの技術が絶対重力計で使用された例は無く、今年度の野外試験観測によって所期の性能が得られているか評価を行なった。

野外環境としては、露岩で過去に重力値の測定データがある南極ラングホブデ雪鳥沢の重力基準点で、絶対重力計の本体を基準点に配置し、光源や収録部分を35m程度離れた小屋の中に配置し、光ファイバで接続した状態で重力計測を行なった。観測場所は火山帯では無いが、寒冷な露岩上であり、火山帯の野外環境と類似した部分がある。今回の観測は、レーザーが起動しないような低温の環境において光源および検出器を光ファイバ接続した状態で正常に観測できるか検証するとともに、観測結果の野外環境から受ける影響を評価した。

図1に観測機器の配置を示す。基準点上のテント内に絶対重力計を配置し、35m離れた小屋の中にレーザーと収録装置が配置され、50mの光ファイバで接続されている。測定期間、本体は1~8℃の低温環境にあり、レーザーと収録装置を配置した小屋の室温は20℃前後に保持されている。

図2は基準点上のテント内の絶対重力計本体である。上部は落下装置、下部は小型化した地面振動補正用の組み込み加速度計とスーパーインバー合金製のレーザーの照射基台である。電子式のオートコリメーターを用いた検出器で測定前後のレーザー光の鉛直度を評価した結果、初期の精度で保持されていることが確認された。これらの技術が絶対重力計に導入されたのは本研究が初めてである。

観測結果を図3に示す。赤線は過去の同じ場所での測定値を前提とした重力の予想値を示す。青点が2分ごとの重力値である。なお、温度変化が小さい現地時間の夜間に測定を行なったため、昼の時間帯のデータは欠測している。2022.1.13の記録は予想値とおおむね整合している。一方、2022.1.14の記録はばらつきが大きい。この日は風が強く、テントが揺れて地面振動が大きくなったためと推定され、別の場所での同様の測定でも風速とデータのばらつきに相関がみられている。

このように概ね当初計画に沿って、絶対重力計本体と光源・収録部を光ファイバで接続した状態で寒冷な野外で測定ができることを示した。一方、テントを設置した場合、風による影響を受けるため、今後対策が必要である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山帯の野外環境に近い状況で、長い光ファイバで光源と接続した状態で正常に計測できることを示した。火山帯における長期の野外重力観測を計画する上で必要となる基礎データを取得した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

これまで行なってきた火山帯の観測所での絶対重力観測を継続する。また、令和3年度に実施する野外における予備的な試験観測の結果を基に、地熱地帯や火山近傍での試験観測を行なう計画である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新谷昌人（東京大学地震研究所）,高森昭光（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

葛西恵介、他2名（東北大学）,福田洋一、他1名（京都大学）,荒木英一郎（海洋研究開発機構）,田村良明（国立天文台）,土井浩一郎、他2名（極地研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新谷昌人

所属：地震研究所



図1 観測機器の配置

基準点上のテント内に絶対重力計を配置し、35m離れた小屋の中にレーザーと収録装置が配置され、50mの光ファイバで接続されている

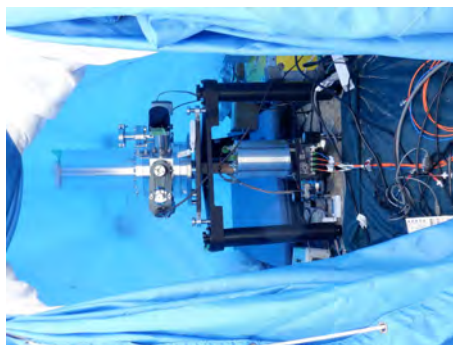


図2 基準点上のテント内の絶対重力計本体

上部は落下装置、下部は小型化した地面振動補正用の組み込み加速度計とスーパーインバー合金製のレーザーの照射基台

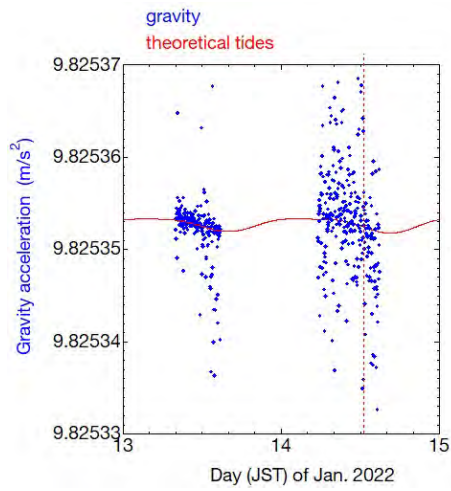


図3 重力の観測結果

赤線は過去の同じ場所での測定値を前提とした重力の予想値を示す。青点が2分ごとの重力値である。なお、温度変化が小さい現地時間の夜間に測定を行なったため、昼の時間帯のデータは欠測している。2022.1.14の記録はばらつきが大きく、強風でテントが揺れて地面振動が大きくなったためと推定される

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

高精細ミュオグラフィ画像自動診断による火山活動状況の推移との関連評価

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2019年度までの研究によって得られるようになった透過像は1枚の画像を得るのに半年かかっている。一方で、2018年度終了時までの技術開発によりミュオグラフィの口径が6㎡に拡張されることで画像取得速度は10倍向上した。したがって、①2019年度以降は1か月に1枚画像が得られる予定である。本研究計画ではこの技術的な到達をもとに、機械学習等による火山活動状況の推移との関連を評価するシステムを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：1か月に1枚、高精細画像を出力するシステムを整備する。医用画像用コンピューター自動検出/診断の適用可能性の検討。観測装置の口径を6㎡から10㎡へ拡張する。

2020年度：2019年度に得られた12枚の画像と他の観測で得られた情報を多次元空間上で比較、Deep learningによる特徴量抽出。2020年には24枚の画像が得られるので、それも併せて機械学習する。観測装置の口径をさらに拡大する。

2021年度：2020年度までに得られる36枚の画像の学習結果から画像から噴火の実況を予測する。学習する画像枚数を60枚へと増やす。観測装置の口径をさらに拡大する。

2022年度：100枚を超える透視画像を用いて予測精度の向上を行う。

2023年度：成果を取りまとめる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

桜島では、2017年まで続いた昭和火口における噴火が突如として、止まり、隣の南岳火口から噴火が始まった。この噴火の推移に伴い、昭和火口の火道がマグマでプラグされた様子が透視画像に映し出された。この成果をベースとして、ミュオグラフィ画像を学習して、噴火判定を行う技術Mu-

NETを東大病院と共同開発した。2020年度には、Mu-NETを用いて、2016年から2017年の間に記録されたミュオグラフィ画像を学習して、噴火判定を行った結果、この間に記録された画像と昭和火口からの噴火との間には密接な関係があることが見出され（南岳火口：AUC=0.678、昭和火口：AUC=0.726）、過去一週間の画像を元に翌日の噴火を7割の確率で当てることに成功した。2021年度は日毎のミュオグラフィ画像データ（高解像度画像）を機械学習（CNN）することで噴火判定を導出する技術（MuNET-2）を開発した。昭和火口から南岳火口に噴火活動が移った2019年以降のミュオグラフィ画像にMuNET-2を適用した結果、この間に記録された画像と南岳火口からの噴火との間に密接な関係があることが見出され（南岳火口：AUC=0.761、昭和火口 AUC=0.704）（図1）、さらに正答率が向上した。正答率が向上した理由として、2018年から2019年にかけてミュオグラフィ画像の画素数が大きく向上したことが挙げられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
研究基盤の開発・整備の一環として、活動的火山の観測・解析技術の開発を推進している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

100枚を超える透視画像を用いて予測精度の向上を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中宏幸（東京大学地震研究所）、林直人（東京大学医学部附属病院）

他機関との共同研究の有無：有

根本充貴（近畿大学）、増谷佳孝（広島市立大学）、Dezso Varga（ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中宏幸

所属：地震研究所

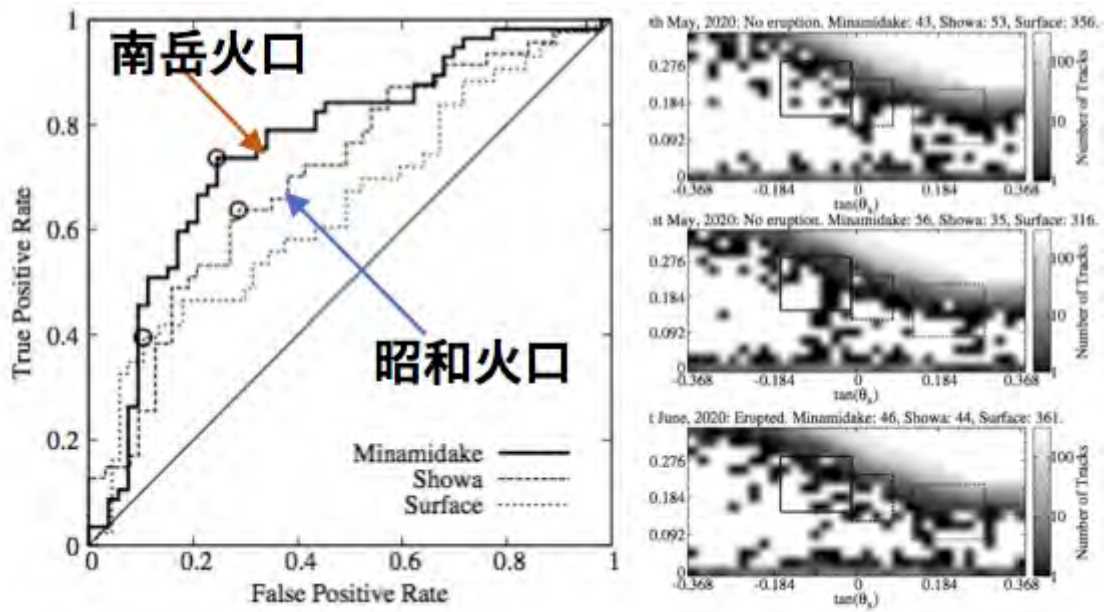


図1. 桜島の各種入力データに対するROC曲線(Receiver Operating Characteristic curve). 南岳火口、昭和火口、その他の領域において判定した結果が示されている。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底ケーブルを用いる地震・地殻変動・津波リアムタイム観測技術開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震火山噴火発生予測において、海域となっている海洋プレートの沈み込み帯直上における地震・地殻変動・津波観測は本質的な情報を与える。データがリアルタイムで得られる定常的海底観測は、地震火山噴火発生予測のための海洋プレート沈み込みに関する研究に寄与するだけでなく、緊急地震速報の高度化や緊急津波情報の発信など、防災上不可欠の情報を得ることができる。これらの目的のためには、できるだけ高密度で高品質のデータを取得する必要がある。そこで、本研究計画では、定常的な海域観測網のさらなる高度化に取り組む。特に海底ケーブルを用いるリアルタイム観測について、さらに高度化なシステムの開発をめざす。また、海域に観測網を構築するにあたって、コストの問題も考慮する必要がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないのので、可能な開発項目を順次進めて行く。現在は、南海トラフ高知県沖から宮崎県沖の領域に、海底ケーブル観測システムの設置が計画されており、このシステムに貢献することを目標として、下記の開発項目を優先的に実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化可能なシステム
- ・GNSS/Aや海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発

を実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが期待される。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

定常的な海域観測網の高度化については、2014年に復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した新規開発した海底光ケーブル式地震津波観測システム

(OBCSTシステム)の両方を用いた併行観測を継続している(図1)。また、システムの保守および改良も実施している。同システムでは、2017年に、波浪の影響を受けやすい汀部から沖側約30mまでの区間のケーブルの保護対策と、アース電極の沖合への設置作業を実施した。沖合数十mにアース電極を設置し、これまで利用していた汀線部アースと並列に接続した。その結果、給電電圧の変動はほぼ無くなり、安定した運用ができるようになった。2018年は、9月に汀線部から沖合100m程度までの状況の監視調査を行ったが、大きな問題は発見されず、前年に実施した保護対策が有効であることが確認された。また、同月に1996年に設置したケーブル観測システム(既設システム)について、システムの監視と観測データの冗長性向上を図るために、陸上局舎内に既設システム監視用サーバを新規に追加した。これにより、既設システムについても、より詳細なシステムの状況をモニタリングすることが可能となった。2019年10月に、同年台風19号の影響により、02:32(日本時間)頃から、釜石陸上局への給電が停止し、発動発電機によるシステムへの給電が行われた。同日17:30頃に復電し、通常観測に復帰した。しかし、道路の被害や局舎付近への土砂流入などが発生し、2021年3月に復旧作業を完了した。また、2019年11月11日18:20頃、落雷により陸上局舎内の新システム給電装置に不具合が発生し、観測不能となった。その後、給電装置の復旧を行い、同年12月2日15時頃に、観測システムを再起動させ、観測を再開した。なお、再起動以降は、連続的に観測を行っている。2020年9月には、陸上局システムの整備としてサーバ機の各種部品交換などを行い、また、汀線部付近におけるケーブル敷設状況調査を実施した。2022年1月には、旧システムのGPS受信器の交換を行った。また、2021年度はOBCSTシステムの地震計と水圧計の記録を、webシステムを通じて、公開するシステムの構築を行った(図1)。

光ファイバセンシング技術の一つであり、振動を計測する分散型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing、以下DAS)は、近年様々な分野で応用され始めている。地震関係分野では、資源探査のための構造調査に多く利用されており、地震観測にも適用され始めている。この計測は、光ファイバー末端からレーザー光のパルスを送出し、光ファイバー内の不均質から散乱光を計測し、その変化から、振動を検出する方法である。光ファイバーに沿って、時空間的に密な観測を実施できることが特長である。地震研究所が1996年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムは、伝送路である海底ケーブルに予備の光ファイバーを持っている。この予備光ファイバーに、DAS計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測を実施できる。2019年は2月、6月、11月の計3回計測を実施した。2019年2月の計測では、測定全長100 kmとして、チャンネル間隔5 mとして、合計2日間実施した。その結果、計測装置を設置した陸上局から70 km程度まで、連続して地震波が記録されることを確認した。また、2019年6月の計測では、空間的高密度計測として、測定全長5 km、チャンネル間隔1mとした。観測期間は約3日である。観測記録には多数の地震が記録されていた。2019年11月の計測では、長期観測を念頭において、2週間弱の連続観測を行った。測定全長は70 km、チャンネル間隔は5 mである。2020年11月にはエアガンとDAS計測による構造調査を実施した。エアガンの発震は、海洋研究開発機構学術調査船白鳳丸KH20-11研究航海にて実施した。白鳳丸はエアガンを曳航しながら、海底ケーブル敷設ルート上を航行し、この間陸上局においてDAS計測を行った。発震は、大型エアガン(Bolt社1500LLエアガン容量1500cubic inches)4基、またはGIガン(容量355cubic inches)2基により行った。DAS計測は、測定全長100 kmまたは80km、チャンネル間隔5 mとして、エアガン発震時間帯を含む5日間の連続観測を行った。2021年3月には新しく開発された計測装置の試験観測を約3日間行った。新型DAS計測器では、自己ノイズが軽減され、観測可能距離100kmまで地震波形を観測できることを確認した。DAS計測は単位時間に大量のデータを生成する

ために、長期にわたって定常観測を行うためには改良が必要であり、DAS計測の常時観測可能なシステムを開発することとした。DAS計測技術を用いた常時地震観測システムの構築にあたってのハードウェア、ソフトウェアを検討した。ハードウェアについては、DAS計測器の内蔵ディスクでは容量が足りないために、大容量の外部ディスク装置を増設し、各種処理を行うための観測サーバを追加する。ソフトウェアについては、1. DAS測定器から生成される計測データを取得する機能（以下、取得機能）、2. 大量の計測データの中から重要と思われる情報だけを抽出し保管する機能（以下、抽出・保管機能）、3. 計測データを表示（可視化）する機能（以下、表示機能）の3機能を実装することとした。今回、抽出・保管機能では畳み込みニューラルネットワーク（CNN）によるモデリングを用いて、得られたデータのFK空間図から地震とノイズを判別して、抽出精度を高めることとした(図2)。2021年11月11日から15日にかけて、DASデータの連続取得を行うと共に、試作したシステムによる地震検出の実験を行った。その結果、約7割の割合で、地震を検出することがわかった。今後、DASの時空間的に高密度な観測の特長を活かして、検出精度の向上を図る予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建議では、海域での地震・地殻変動観測の高度化のため、超深海を含む海域で、定常的な海域観測網の高度化等を目的としている。地震研究所で開発・設置し、本研究課題で改良・運用を行っている三陸沖光海底ケーブル式地震津波観測システムは、ICTを用いたインライン型観測ノードとPoE技術によるプラグイン式観測ノードを持つシステムであり、これまであまり例がないハイブリット式システムの改良運用を行うことは、定常的な海域観測網の高度化に寄与する。一方、本研究課題で開発を行っている海底ケーブルに含まれている光ファイバーを用いた分散型音響センシング手法による地震観測は、海底において、空間的に大量なデータ取得を可能とするものであり、これも定常的な海域観測網の高度化に合致している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Shinohara, M., T. Yamada, K. Uehira, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, 2021, Development and operation of an Ocean Bottom Cable Seismic and Tsunami observation system (OBCST) in the source region of the Tohoku-oki earthquake, *Earth Space Sci.*, doi:10.1029/2020EA001359
Spica, Z. J., J. C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara and T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, <https://doi.org/10.1029/2021GL09528>, 2021, Continuous monitoring system for safe managements of CO2 storage and geothermal reservoirs, *Sci. Rep.*, 11, 19120, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97881-5>
篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・酒井慎一, 2022, 分散型音響センシング計測と三陸沖海底光ケーブル観測システムによる地震観測, *月刊地球*, 44, 37-43

・学会・シンポジウム等での発表

Shinohara, M., R. Azuma, H. Takano, R. Plata-Martinez, Y. Sawaki, P. Mukherjee, K. Tateiwa, Y. Ito, Y. Yamashita, R. Nakata, and K. Mochizuki, 2021, Seismic velocity structure survey off Sanriku using marine controlled sources and distributed acoustic sensing technology on seafloor optical fiber cable, 日本地球惑星科学連合2021年大会
篠原雅尚, 2021, 防災に資する海域ネットワーク展開に基づく地震津波観測研究, 第16回東京大学の海研究のシンポジウム
篠原雅尚, 2021, 光ファイバー地震計が拓く新たな海底地震・津波観測の新展開, サイエンスアゴラ2021

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置

の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないので、可能な開発項目を順次進めて行く。具体的には、下記の開発項目を可能なものから実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化が可能なシステム
- ・GNSS/A や海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発
- を引き続き実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが可能である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）,塩原肇（東京大学地震研究所）,望月公廣（東京大学地震研究所）,一瀬建日（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

防災科学技術研究所,海洋研究開発機構

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

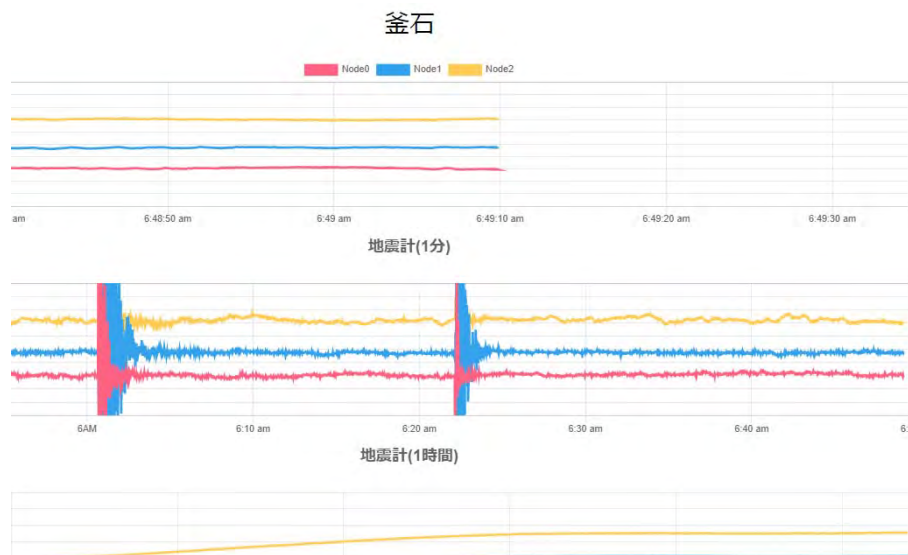


図1

2015年に設置したシステムのデータを表示するwebシステム試作品による観測波形の例。リアルタイムで、3台の地震計と水圧計のデータを即時表示する。完成後、公開の予定である

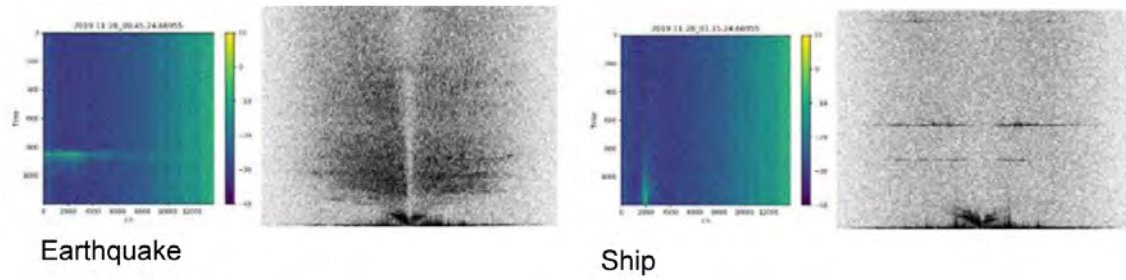


図2

DAS計測により得られた地震（左）と航行する船舶（右）の周波数帯抽出データと波数周波数データ(FK空間図)の例。DAS計測が空間および時間的に密なデータを取得可能なことを利用して、FK空間図の畳み込みニューラルネットワーク（CNN）によるモデリングにより、地震検出を行う。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底での地震・地殻変動観測に向けた機動的観測技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震予知の基礎的観測研究を行う上で、海洋プレートの沈み込み帯でのプレート境界地震及びスロースリップイベントが繰り返し発生している場の直上である海底での、地震・地殻変動観測は重要である。陸域と同等な観測をこの海底で実現させるという基本的観点から、これまで長期高密度な機動的な地震観測、機動的強震観測、機動的かつ長期の広帯域地震観測、などをこの十数年の間に実現させてきた。海域での地震・地殻変動観測をより高度化させるため、陸上と同等な広帯域地震観測を海域で機動的に行う技術開発、超深海域での機動的な地震観測の実用化、海底面での機動的な水圧(上下変動)観測と傾斜観測の面的展開技術の実用化、などを今後の技術開発の課題として引き続き取り組む。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題では、明確な年度計画は設定せず、後述の開発項目のうち予算的裏付けと試験観測が可能となったものを順次進めて行く。その理由として、これらの機器開発の予算はその大部分を科学研究費や運営費交付金(地震研内のセンター経費・所長裁量経費など)で賄っていること、及び試験観測には研究船利用(潜水艇も含む)が必要であり、その実施には近年は特に不確定要素が多いためである。

主たる開発項目は引き続き、

1. 次世代型広帯域海底地震・傾斜計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化、
2. 超深海域で長期(広帯域)地震観測の実用化、
3. 面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化、
4. 長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発、

とする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本開発の一つとして、海底面設置型の広帯域地震・傾斜観測システムの開発と高度化を進めているが、現段階での成果を2021年3月に出版した。これに関連した試験観測として、房総沖で長期海底傾斜観測を2015年7月に開始したままであったBBOBST-NXを、5年ぶりに2020年10月に「しんかい6500」を用いて回収した。設置時から2年以上のデータが、水温計も含め欠測無く得られた。これまで観測事例が少なく確定できなかった、傾斜データの温度特性が存在しており、温度変化が0.1度以上あると傾斜変動を見るのに問題となることが明確になった。そこで、その要因となる広帯域地震センサー部の内部で高精度な温度変化記録を得るための準備を開始した。また、2021年1月、2年前にチリ沖に設置したBBOBSを7台（および1Hz長期観測型海底地震計を5台）回収した。その内5台はCMG-3Tのマスポジションも連続記録しており、初の機動的な海底傾斜アレイ観測となることが期待される。現在、データに関係者に分配し、解析を進めている。微小地震の震源決定は2年分を一通り完了し、2000個以上の地震を検出・震源決定した。

2020年度に実施出来なかった、次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）を自律展開設置・自己浮上回収方式にしたNX-2Gの比較試験観測を2021年6月の観測航海で実施する予定であったが、今回も海況が悪く何も実施出来なかった。来年度は研究船利用が不採択で、2023年度での実施を検討する。

超深海域での長期広帯域地震観測を実現させるために有力な候補となる加速度センサー（Silicon Audio社、203-60）について、引き続き実験室での検証試験を引き続き進めた。2個の同一形式センサーを用いて、それらの内部雑音が無相関であると仮定すると、その平均的雑音レベルが簡単な計算から得られる、という手法により、やや環境雑音レベルが高い実験室内でも計測が実施可能で、解析区間を吟味すると評価可能な結果が得られる（図1）。周期100秒でもNHNM以下と、長周期側での内部ノイズレベルも優秀であることが確認できた。現在、製造会社と、低消費電力化・粗傾斜記録出力・低ノイズ化・広帯域化について改修を進めており、最初の2点は見込みがたっている。

海底において空間的に高密度なやや広帯域地震観測の実施をめざして、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発を行い、観測に用いている。2018年以降、台数の確保に努め2021年には25台規模で観測に用いることができるようになった。自由落下自己浮上式海底地震計は、どのような傾きで海底に着底しても、地震計の鉛直・水平を保持する必要があり、低消費電力で小型の広帯域地震計センサー向けのレベリング装置を開発して、小型広帯域海底地震計に用いている。2021年は、このレベリング装置の機能強化を行った（図2）。設計段階では、レベリング動作の時刻記録、および、定時間間隔での自動再レベリング動作の2点について検討を行ったが、これまでの観測では設置後に海底地震計の傾斜が変化した例が少ないことから、後者については引き続き検討課題とし、動作時刻記録機能を付加することとした。レベリング動作の時刻記録のために時刻モジュール（RTC）を搭載した新しい制御部を開発した。別途開発したGPSモジュールを制御部に接続することにより、RTCに時刻データが入力される。この際、GPSモジュールにより制御部のRTC時刻を確認する。制御部は時刻データ入力時およびレベリング操作時のRTC時刻を制御部の個体番号やセンサーの傾斜とともにSDカードに記録する。制御部に組みこまれたRTCは別途電池を持っており、制御部が起動していないときも刻時を継続する。この改良開発により、海底におけるレベリング動作確認をより把握することができるようになった。また、海底における精密水圧観測の高度化を進めるために、新しい精密水圧計について海底観測を含む評価試験を開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, and T. Sato, 2021, Tilt observations at the seafloor by mobile ocean bottom seismometers, *Front. Earth Sci.*, 8, 599810, doi:10.3389/feart.2020.599810

Kubota, T., Saito, T., Fukao, Y., Sugioka, H., Ito, A., Tonegawa, T., Shiobara, H., and Yamashita, M., 2021, Earthquake rupture and tsunami generation of the 2015 Mw 5.9 Bonin event revealed

by in situ pressure gauge array observations and integrated seismic and tsunami wave simulation, Geophysical Research Letters, 48, e2021GL095915, doi:10.1029/2021GL095915
Fukao, Y., Kubota, T., Sugioka, H., Ito, A., Tonegawa, T., Shiobara, H., Yamashita, M., & Saito, T., 2021, Detection of “rapid” aseismic slip at the Izu-Bonin Trench, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 126, e2021JB022132, doi:10.1029/2021JB022132
Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita, 2021, Development of a Compact Broadband Ocean-Bottom Seismometer, Seismol. Res. Lett., 92, 3610–3625, doi:10.1785/0220210100

塩原肇・太田豊宣, 2021, 一高機能海底地震計開発試験に向けた一深海用加速度データロガーの開発, 東京大学地震研究所技術研究報告, 27

・学会・シンポジウム等での発表

塩原肇・佐藤利典・金慧貞・川野由貴・永井はるか・伊藤亜妃・篠原雅尚・杉岡裕子, 2021, 海底面での機動的傾斜観測実現に向けた房総半島沖での長期試験観測2, 日本地震学会2021年度秋季大会, S02-02

塩原肇・佐藤利典・金慧貞・川野由貴・永井はるか・伊藤亜妃・篠原雅尚・杉岡裕子, 2021, 海底面での機動的傾斜観測実現に向けた房総半島沖での長期試験観測, 海と地球のシンポジウム2021, C000006

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

機動的傾斜変動観測での開発に関しては、2020年度に回収したBBOBST-NXおよびBBOBSアレイの傾斜データの処理と解析を更に進める。また、2023年にNX-2Gの比較試験観測を、BBOBSおよび海底流速計を併用して1年間実施すべく準備を開始する。評価を開始した加速度センサーについても、改修版を用いてより詳細な検討を進める。これを使う超深海域用の長期広帯域地震計についても、具体的な仕様設計を行う。これらについては、申請中の科研費と密接に関連しており、その結果次第で進展具合が変わる。

小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計は、現在観測に用いており、海底での記録が得られている。今回行ったレベリング装置制御部の高度化により、観測状況のより詳細な把握が可能となったので、これら複数の海域での記録を評価することにより、現在の性能をより詳細に確認する。また、新型水圧計の評価を継続して、実用化へ向けた検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

塩原肇（東京大学地震研究所）, 篠原雅尚（東京大学地震研究所）, 望月公廣（東京大学地震研究所）, 山田知朗（東京大学地震研究所）, 一瀬建日（東京大学地震研究所）, 悪原岳（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：塩原 肇

所属：東京大学地震研究所 海半球観測研究センター

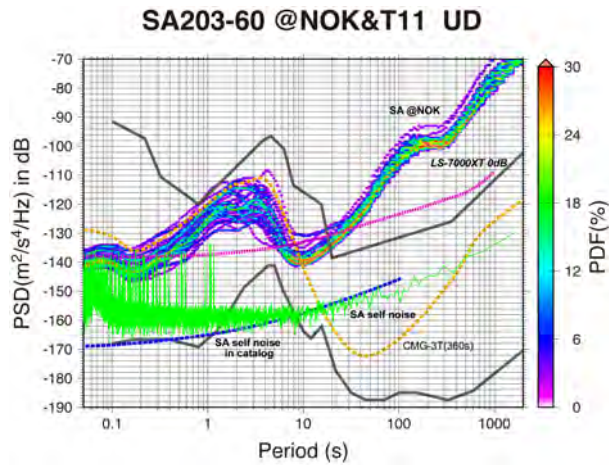


図1 新方式加速度センサーの内部ノイズレベル試験

本センサー（Silicon Audio社、203-60）は小型・軽量・低消費電力であるにもかかわらずノイズレベルが加速度センサーとしては低いところに優位性がある。地震研究所の実験室内で、2個の上下動センサーによる内部ノイズレベル推定を行った。センサーのメーカーカタログでの自己ノイズ(青太破線)は周期10秒で-150 dB、100秒で-140 dB程と読めるが、実験室内での計測結果(“SA int. noise”、青)でも同レベル以下であることが確認できた。なお、データ記録に用いたロガー(LS-9200)の換算自己ノイズ(ピンク)では上記カタログ値以上となってしまう原理的に計測出来ないのも、計測OPアンプ(AD621、10倍設定)を前置している(その場合の換算自己ノイズが緑)。また、解析に用いた区間での平均化したノイズノイズレベルを赤で示した。

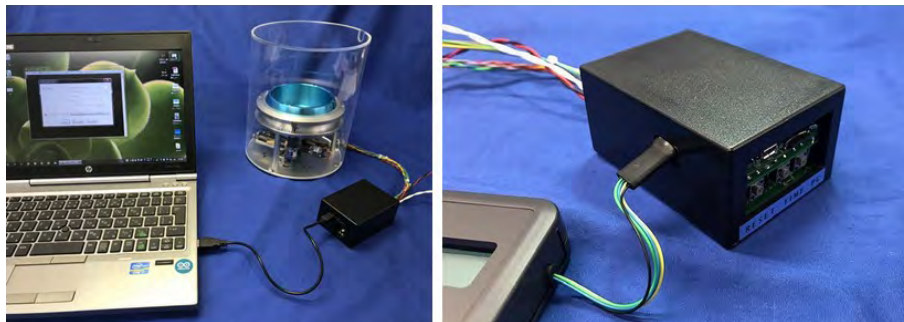


図2 改良開発を行った小型広帯域海底地震計用レベリング装置

左：レベリング装置の制御部に電池駆動の時刻モジュールを組み込んだ。制御部のサイズや重量はほとんど変わらない。右：GPSモジュールに接続された制御部。制御部の時刻同期は接続することで自動的に行われる。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マルチプラットフォーム次世代WINシステムの開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

WIN形式データのリアルタイム伝送が機関の枠を超えた全国規模のデータ流通の基盤となっていること、WINシステムが大学等のデータ処理システムで現在広く使われていること等を踏まえつつ、防災科研や気象庁、海外の関係機関等のデータ伝送システムや対話検測処理システムを参考にしながら、現在のWINシステムに代わるマルチプラットフォームのソフトウェア群（次世代WIN）の検討と試作を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、現WINシステムにおける課題と次世代システムへの要望の集約を行う。平成32年度においては、伝送系システムまたは対話検測処理系システムの検討と試作を開始し、平成33年度に試作品を提供して試用を開始する。平成34年度においては、残りのシステムの試作を開始する。平成35年度には試作プログラムを公開する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、前年度に引き続き、次世代の対話検測処理系システムについて試作を進めた。前年度は、複数のプラットフォーム上で動作し波形表示と手動検測の最小限の機能を備えた対話検測ソフトウェアのベース部分を作成した（図1）。今年度は、昨年度試作したソフトウェアを本課題の担当者及び関係者で試用するとともに、震源決定プログラムや地図表示機能（図2）を実装した。また、伝送系システムの仕様について検討を開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中川茂樹・青山裕・高橋浩晃・前田拓人・内田直希・山本希・大竹和生・鶴岡弘・青木陽介・前田裕太・大見士朗・中道治久・大久保慎人・松島健・八木原寛・汐見勝彦・植平賢司・上田英樹・宮岡一樹・溜瀨功史・本多亮・関根秀太郎,2021,マルチプラットフォーム次世代WINシステムの開発(1),日本地震学会秋季大会,S02-04

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目:ソフトウェア開発(解析)

概要:対話検測ソフトウェアを試作した

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:

調査・観測期間:

公開状況:公開留保中(協議のうえ共同研究として提供可) 製作中のため共同研究者のみに公開して不具合修正や機能拡張への協力を求めている。ある程度落ち着いた時点で公開する予定。

(11) 令和4年度実施計画の概要:

令和4年度は,前年度に引き続き対話検測処理系システムの試作品を本課題の担当者及び関係者で試用し,改善点をまとめる。また,伝送系システムについて試作を開始する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中川茂樹(東京大学地震研究所),鶴岡弘(東京大学地震研究所),青木陽介(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無:有

青山裕(北海道大学),高橋浩晃(北海道大学),前田拓人(弘前大学),内田直希(東北大学),山本希(東北大学),前田裕太(名古屋大学),大見士朗(京都大学),中道治久(京都大学),大久保慎人(高知大学),松島健(九州大学),八木原寛(鹿児島大学),大竹和生(東京大学大学院工学系研究科),汐見勝彦(防災科学技術研究所),植平賢司(防災科学技術研究所),上田英樹(防災科学技術研究所),宮岡一樹(気象庁),溜瀨功史(気象研究所),本多亮(神奈川県温泉地学研究所),関根秀太郎(地震予知総合研究振興会)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話:03-5841-5787

e-mail:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL:<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:中川茂樹

所属:東京大学地震研究所

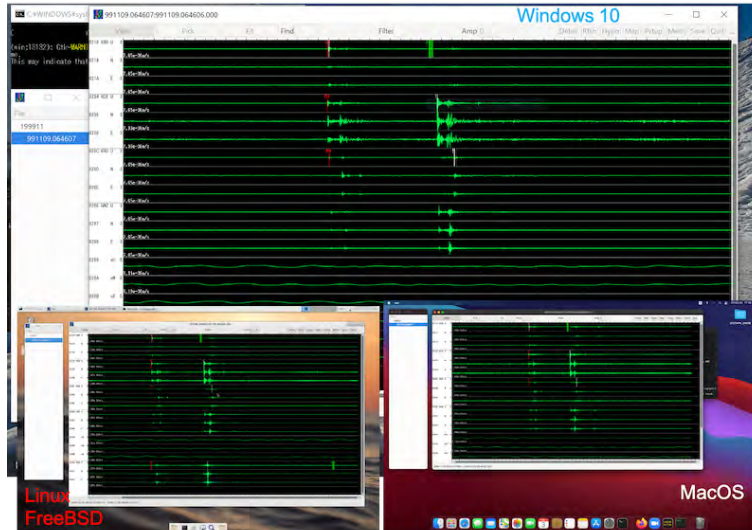


図1 対話検測ソフトウェアの試作品

作成した対話検測ソフトウェアの試作品。Windows, MacOS, Linux, FreeBSDの各OSで動作している。

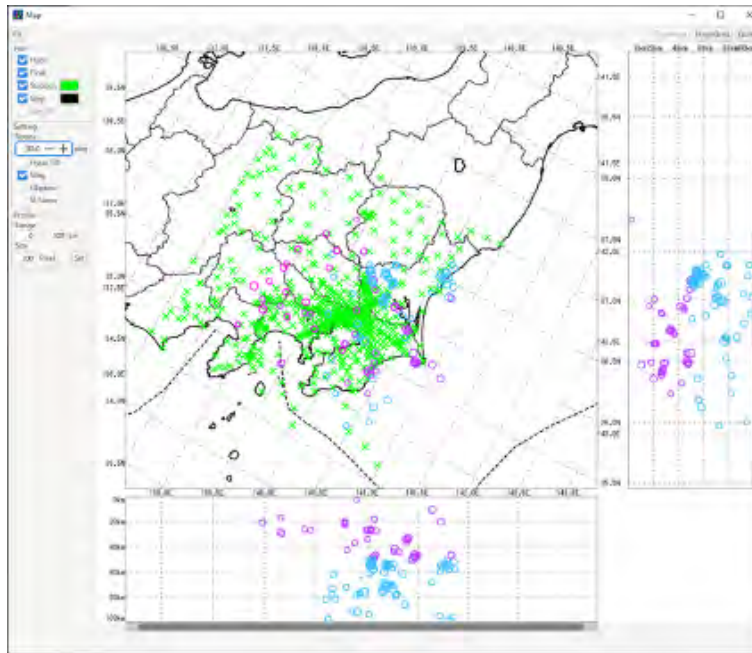


図2 対話検測ソフトウェアの地図表示画面

作成した対話検測ソフトウェアの地図表示画面。震源と観測点が地図上に表示されている。地図は回転することが可能である。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

研究成果共有データベースの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法
 - イ. 津波の事前評価手法
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
 - エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法
 - オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法
 - (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法
 - イ. 津波の即時予測手法
 - ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (1) 推進体制の整備
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - ア. 観測基盤の整備
 - イ. 観測・解析技術の開発
 - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
 - (4) 関連研究分野との連携強化
 - (5) 国際共同研究・国際協力
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
 - (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究計画で得られる成果やデータ、メタデータ情報などを共有し活用するために必要となる制度的・技術的な課題を各部会や関係機関と整理検討し、持続可能なデータベースに向けたポリシーを作成する。策定されたポリシーに基づき、必要とされる場合にはデータアーカイブ作業を運用する体制の整備や、データサーバの製作などを実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31～33年度においては、部会や関係機関と成果共有データベースの方向性についての意見交換を実施し、運用体制の持続可能性に十分に配慮したうえで、ポリシーを決定する。データへのdoi付与等についても連携して検討を実施する。

平成33～35年度においては、策定されたポリシーに基づき、研究成果データベースの持続的な運用に必要な制度設計などの作業を実施する。具体的な内容はポリシーに依存するが、例えば、データの取り扱いを支援する専門員の業務仕様の策定や、データサーバの開発などが想定される。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

研究成果共有システムの運用方法と目標について検討を実施し、以下のポリシーで運用を行うこととした。運用責任は戦略室とし、戦略室が中心となってポリシーの検討、コンテンツの調整、課題や部会への関係情報収集や依頼、周知広報を実施する。システム運用は企画部の学術支援職員と戦略室教員及び課題担当者で実施する。収集する情報は、課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携で必要となるメタ情報を中心とし、課題間連携や部会間・総合研究グループ間連携で活用可能な関係情

報の所在を示すハブ的な役割を目指す。本システム独自のデジタル識別子情報（doi）は付与しないが、既存のデータリポジトリやデータベース、データジャーナルのdoi情報を提供する。収集する具体的な情報として、建議で整備されたデータベースへのリンクやdoi情報、建議で開発されたソフトウェアやdoi、建議で実施された臨時観測や構造探査のオリジナルデータ、成果管理システムにある論文情報等である。

建議では多くの調査観測が実施されているが、これまで情報の集約が行われていなかった。成果共有システムにおいて、調査観測のメタ情報を集約し、課題間や部会間・総合研究グループ間連携をより推進するため、建議で実施されている社会調査・ソフトウェア開発・観測・地質調査等を一元的に収集することとした。収集する項目について、国内外の固体地球科学関係の各種データリポジトリ・データベース・データジャーナルを参照して、情報共有に必要な十分なメタ情報項目の調査を実施するとともに、部会長への照会を含めた整理を行った。情報収集には成果管理システムを利用することとし、新たな入力項目「調査・観測・ソフトウェアのメタ情報更新」を作成することとした。入力方法について検討し、必要十分な情報を短時間で入力できるよう、プルタブ選択やdoiを活用して簡潔に情報入力を行えるようにした。また、調査結果やデータを広く利活用することを目指して、それらの公開状況についても情報を収集することとした。メタ情報の収集が実施されることで、各課題で実施されている調査観測項目の情報の一元化が実現した。また、部会内や部会間・総合研究グループ間連携を促進するため、共有オンラインストレージ（Nextcloud）を新たに整備した。成果共有システムには新たに「地震史料集テキストデータベース」がリンクされたほか、オリジナルデータとして伊豆大島及び周辺部の地震波速度構造2009年構造探査実験、1995年兵庫県南部地震（M7.3）臨時GPS観測データが公開された。

これら関係情報を集約するシステムの拡充を図ったことで、調査情報や観測データの共有や利活用を含め、課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携の一層の促進が期待される。また、データベースの周知と潜在コンテンツ発掘に向けたアンケート調査を実施した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

データベースサーバを安定的に運用するとともに、新たに格納可能なデータコンテンツについての調査を継続的に実施する。新たに収集を開始したメタ情報の登録状況や、共有方法について検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡弘（東京大学地震研究所）、地震・火山噴火予知研究協議会企画部研究戦略室（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

建議に参加するすべての機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鶴岡弘

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

中長期的な地震発生予測の精度向上に資するため、測地学的手法による内陸地震発生域における震源断層モデル推定手法の高度化及び余効変動の時間変化とそのメカニズムの解明を通して、内陸地震発生域の地殻活動を詳細に理解する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

東北地方太平洋沖地震発生後の新潟県周辺のひずみ集中帯における地殻変動を明らかにするため新潟県佐渡市から五泉市に設置されたGNSS観測点において、最後のキャンペーン観測を実施したのち、観測終了に伴う撤収作業を実施する。また、過去に発生したマグニチュード6～7クラスの地震について、GNSS連続観測データやSAR干渉解析結果を用い、均質構造を仮定した上でのモデル化を行ったのち、有限要素法による数値シミュレーション結果から地下の不均質構造やレオロジーを考慮した震源断層や余効変動源のモデル化を行う。さらに、時間分解能の高いGNSS時系列データを用いて、摩擦則に基づいた余効すべりの時間発展についてモデル化を行うとともに、有限要素法等の数値シミュレーション解析に組み込み、内陸地震発生域の現実的な地下構造を考慮した地震時変動及び余効変動の発生メカニズムについてモデル化を行う。併せて、内陸地震発生域における東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響についても評価を行う。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

熊本地震の余効変動のモデルを構築し、これを補正した上でマグマだまりの体積変化の抽出を試みた。熊本地震の余効変動のうち、粘性緩和の寄与分については、表層が弾性層、基板層がMaxwell粘弾性体の半無限2層構造を仮定して補正した。計算にはRELAX(Barbot and Fialko, 2010a, 2010b)を用いた。また、地震断層モデルとしては矢来・他(2016)を使用し、構造パラメータ（粘弾性層の厚さ、基板層の粘性）については、地殻変動データからグリッドサーチにより推定した。余効すべりについては、地震断層モデルを含む拡大面を小断層で離散化し、それぞれの小断層でのすべりを地殻変動データから推定した。マグマだまりの位置としては、先行研究(e.g. Nobile et al., 2017)に従い、草千里が浜の北部、深さ約4 kmに設定した。

予察的な結果では、本震の大すべり域の周辺に余効すべりが分布するほか、阿蘇カルデラ深部の断

層延長上に正断層的なすべりが見られる。また、推定されたマグマだまりの体積は、地震直後に大きく増加したあと、減少傾向を示す。地震直後の増加は、おそらく地震による応力変化を反映したものだと考えられる(Ozawa and Fujita, 2016)。2019年、2021年の火山活動が活発化した時期には体積の減少がゆるやか、あるいは停滞している。

今年度の研究は上記計画通りに実施された。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

熊本地震の余効変動モデルについて、Power-law viscosityの寄与に関する評価を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の広域的な把握

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本を構成するマイクロプレートの動き、海底地殻変動データを解析に取り入れ、広域的な地殻変動データから、日本の主要な領域のプレート間の固着・滑りの推定を行う解析手法を改良し、プレート間の固着・滑りの推定結果の精度を高める。開発された手法を用いて日本のプレート境界の広域的な固着・滑りの時空間変化、ブロック運動の変化の可能性を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年においては、時間依存のブロック断層解析プログラムの改良を行うと共に、Loveless & Meadのブロック断層形状を用いて、各種パラメータの最適化を試みる。令和2-3年においては、時間依存のブロック断層解析プログラムの改良を引き続き行うと共に、ブロック形状の最適化を試みる。令和4-5年においては、ブロック運動が時間的に変化してもよいという条件での解析を行い、ブロック運動の変化の可能性も探る。また定常的な解析・可視化を行えるようにする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

時間依存のブロック断層モデリングを継続し、2014年以降の日本列島のプレート境界の固着状況の変化を調べた。ブロック境界はLoveless & Mead (2010)によった。また、九州南部域でフォワードスリップが出ないような拘束をかけた。その結果、2018年頃から発生した豊後水道のSSE等の固着状況の変化を検出できた(図1)。またSuito(2017)、水藤(2017)の成果に基づいて、東北地震、熊本地震の余効変動を補正し、Takagi et al. (2019)の領域分けを参考にして定常変動を地殻変動データから差し引き、南海トラフ域のスロー地震(SSE)を調べた。その結果、2019年初めころの豊後水道、四国中部、紀伊水道のSSEの時空間変化を推定できた。2020年半ば頃からは、日向灘南部のSSEが検出されている(図2)。また明瞭ではないが、2020年半ばころから日向灘北部でSSEが発生している可能性がある(図2)。2019年種子島地震(M6.4)のアフタースリップも推定された(図2)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

2014年以降の西南日本のプレート境界の固着状況の推定により、長期的なSSEの発生を検出できた。定常変動からのずれを用いたより詳細なプレート境界滑りの時空間変化を2018年以降推定できた。これらの結果により、応力変化や、発生間隔に基づき、今後の長期的SSE等の発生予測への貢献が期待

される。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小沢慎三郎、宗包浩志,2022,広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりの時間変化に関する研究,国土地理院調査研究年報（令和3年度）

・学会・シンポジウム等での発表

小沢慎三郎、川畑亮二、宗包浩志,2021,GEONETで検出された南海トラフ沿いの長期的SSE,地球惑星科学連合大会

小沢慎三郎、水藤尚、宗包浩志,2021,2018年以降GEONETで検出された南海トラフ沿いの長期的SSE,地震学会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度は、ブロック断層プログラムの改良を引き続き行うとともに、令和4年度のデータを使用して解析を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

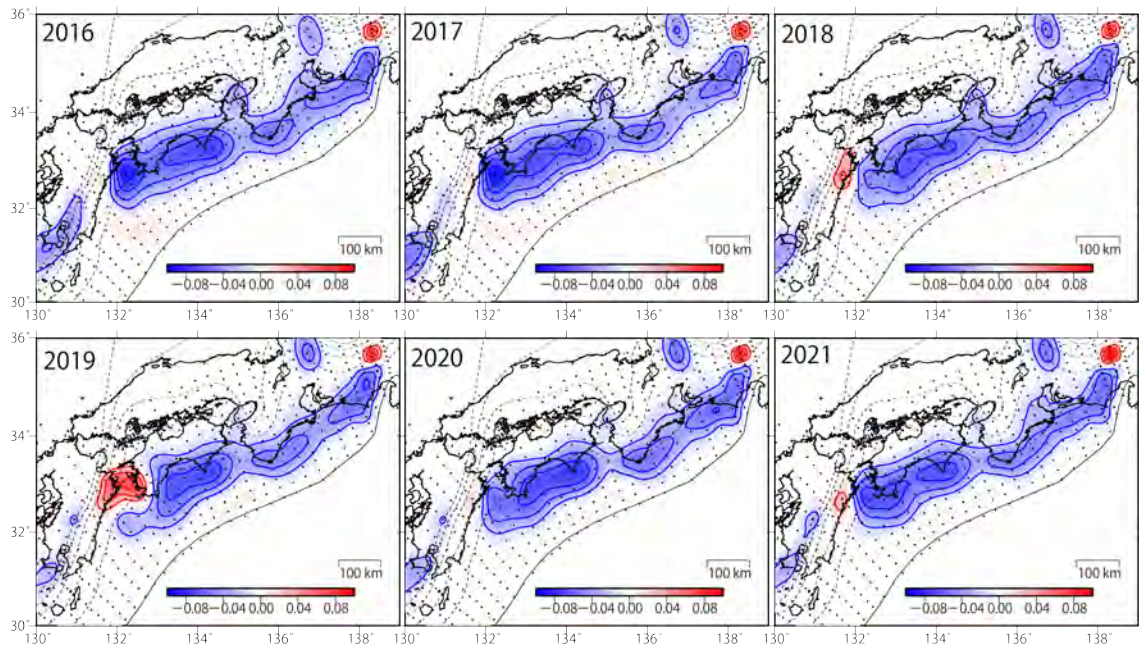


図1 プレート境界の固着と滑り

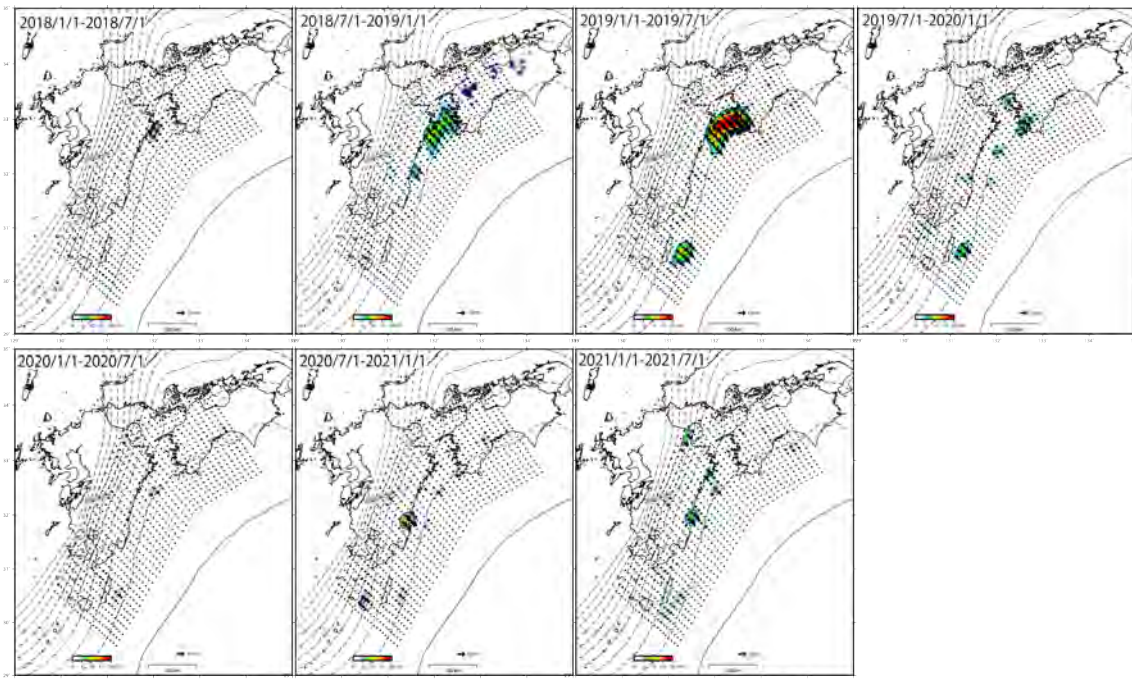


図2 プレート境界滑り

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山地域のマグマ供給系のモデリング

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山地域のモデルにシル、ダイク、テクトニックな変形を取り入れ、マグマ溜りの膨張・収縮及びマグマの移動まで含めた解析を行えるようにし、開発された手法を用いて特定の火山地域を半自動で解析・監視できるシステムを構築する。構築されたシステムを適用して、マグマ供給系の時間変化に関する知見を得る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度においては、線形の時間依存のインバージョンを用いて伊豆大島、桜島のモデルを構築する。また非線形の時間依存のインバージョン及び粒子フィルターを用いた時間依存のインバージョンを用いて、マグマ溜りの位置変化の推定を試みる。

令和2-3年度においては、伊豆大島、桜島以外の火山地域のモデル化を試みる。

令和4-5年度においては、時間依存のインバージョンにより様々な火山地域のモデリング及び結果の可視化を半自動で行えるシステムの構築を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

時間依存のインバージョンを伊豆大島、桜島、霧島、草津白根山などに適用し、解析を継続した。その結果伊豆大島では、膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続したが、2016年頃から長期的な膨張が停滞しているように見えることが推定された（図1）。桜島と霧島の統合解析では、広域地殻変動を座標の2次までの関数として考慮し解析中で取り除いている。その結果桜島では膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していることを確かめた（図2）。また、霧島山のマグマ溜りの体積変化は、2019年頃から停滞していることが推定された（図2）。草津白根山では、2017年後半から体積膨脹が見られていたが、2021年に入って停滞していることが推定された。

上記は計画通りに実施された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

モニタリングによる火山活動の評価として、桜島ではマグマの集積が進んでいることが明らかにされ、霧島では長期的な体積変化に加え、2011年、2018年の噴火時の収縮とその前後の特徴的な膨張が検出されており、噴火予測に貢献する成果が得られている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小沢慎三郎、宗包浩志,2022,地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究,国土地理院調査研究年報（令和3年度）

Munekane, H.,2022,Modeling long-term volcanic deformation at Kusatsu-Shirane and Asama volcanoes, Japan, using the GNSS coordinate time series,Earth Planets Space,73,192,<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01512-2>

・学会・シンポジウム等での発表

小沢慎三郎、藤原智、宗包浩志,2021,Time dependent modeling of the magma chambers in Aira caldera and Kirishima volcanoes, Japan.,American Geophysical Union Fall meeting

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度のデータを用いて、火山解析を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

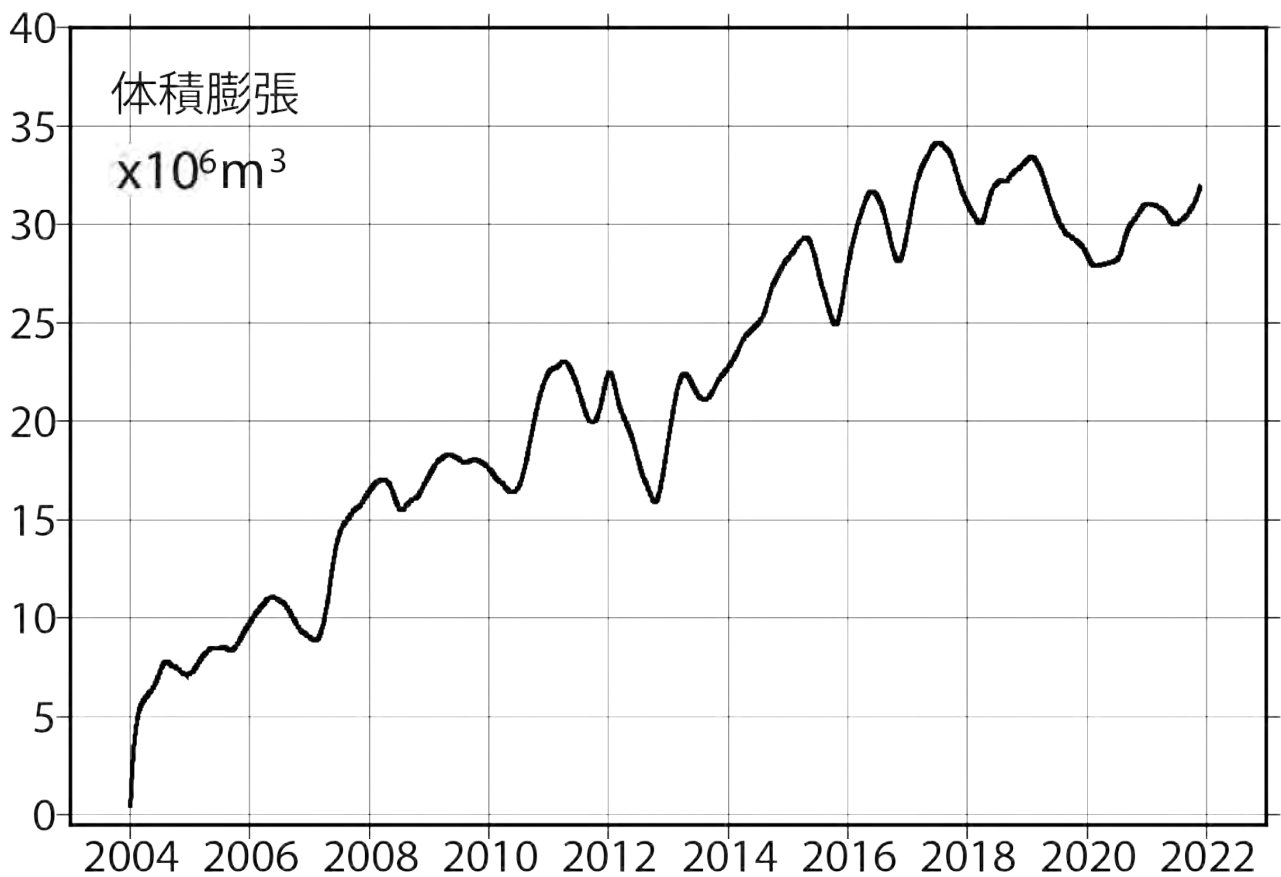
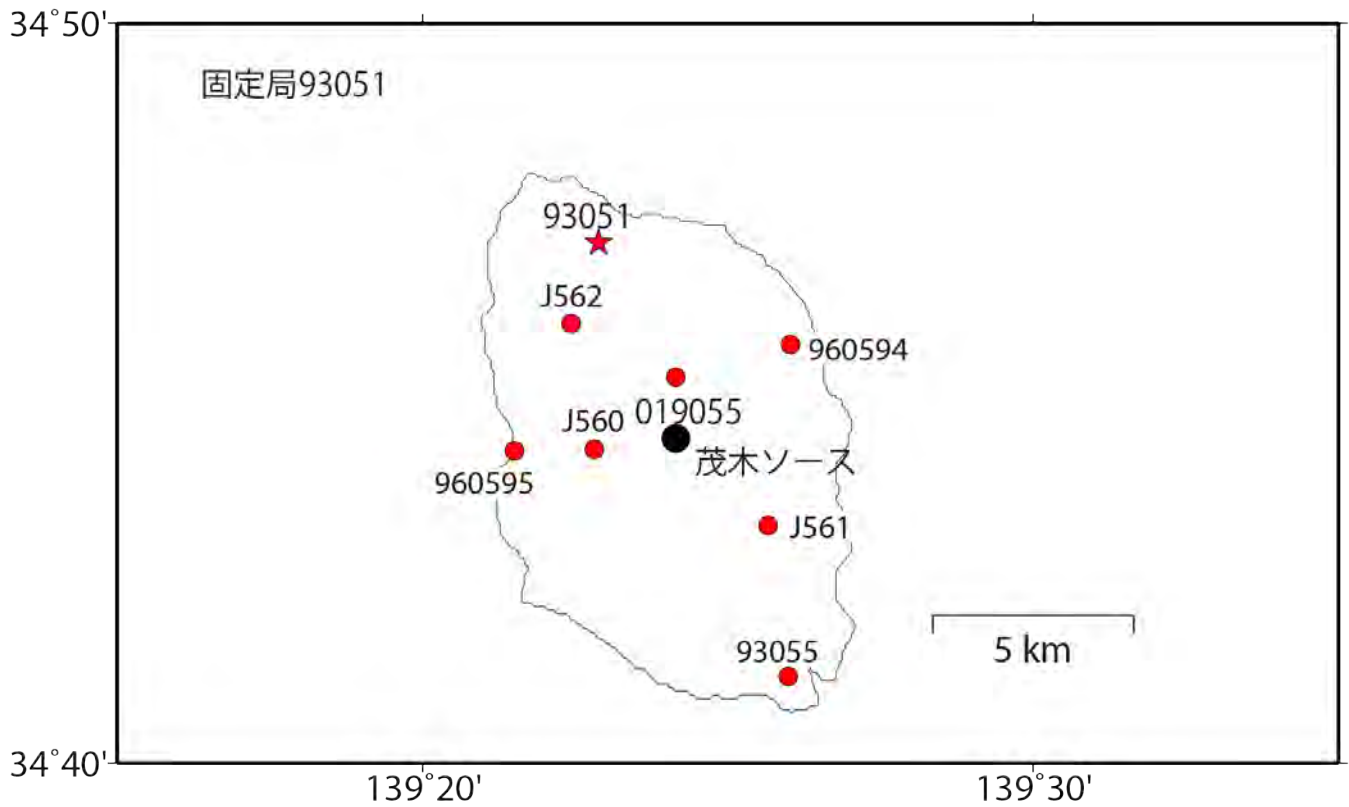


図1 伊豆大島の体積変化

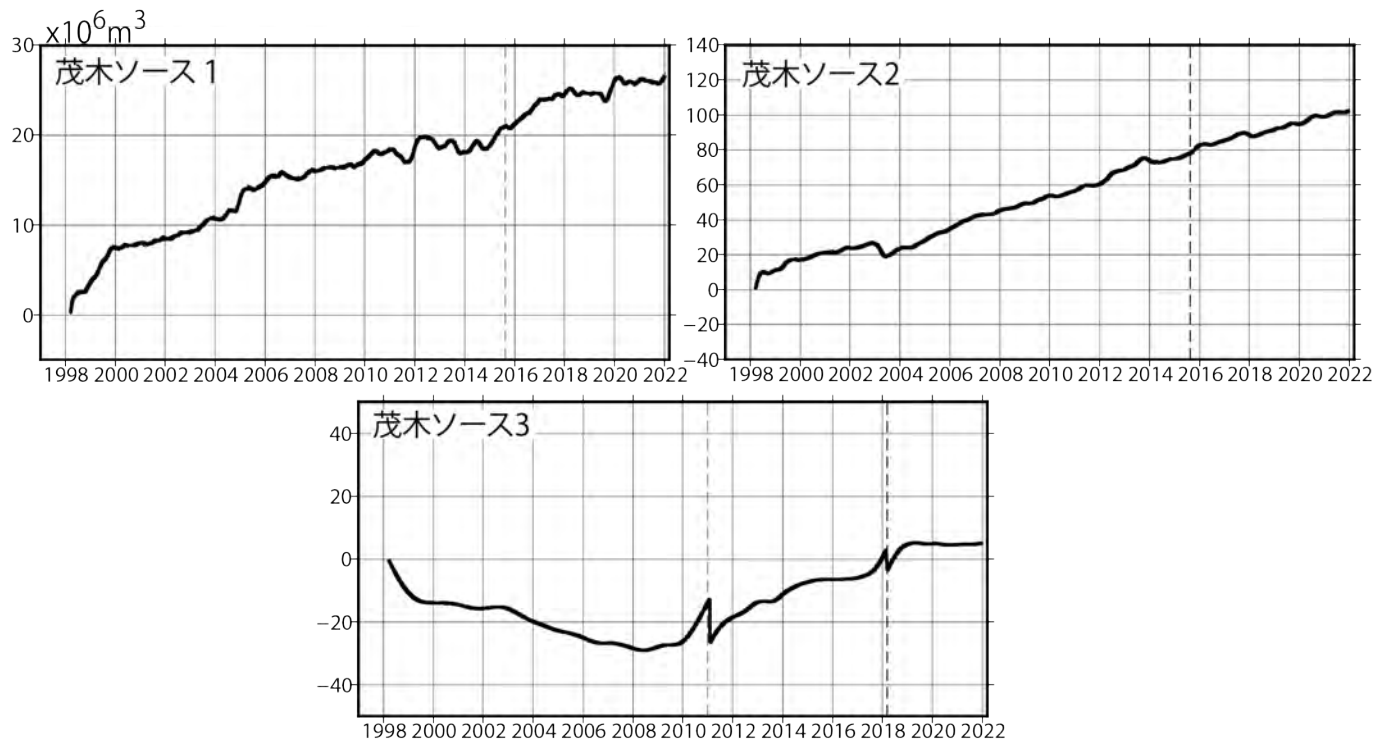
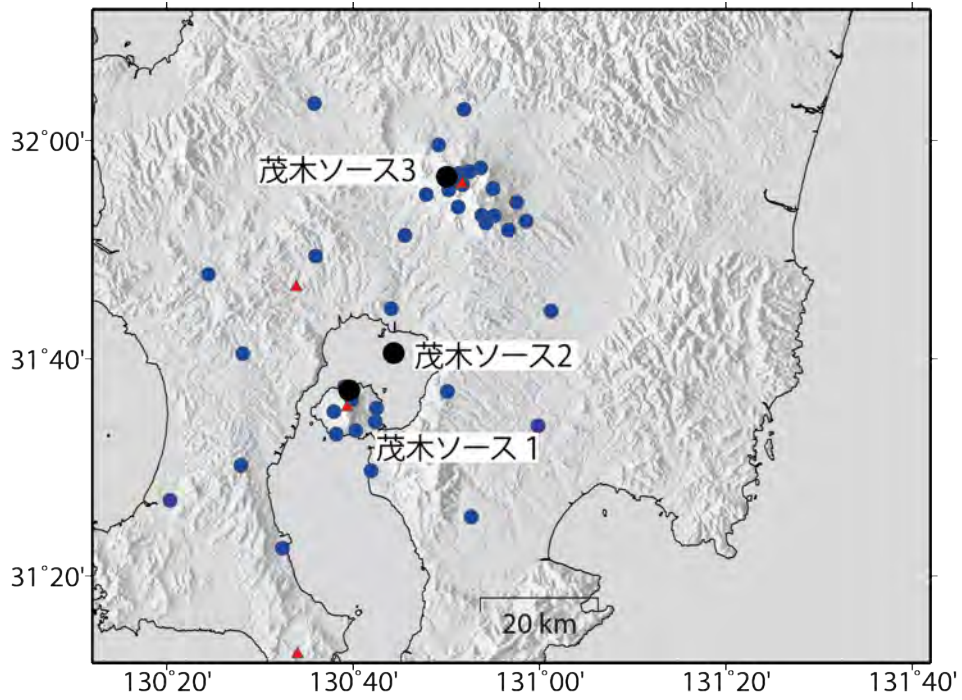


図2 霧島・桜島域の解析

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GNSS連続観測（GEONET）

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GEONETによる地殻変動連続観測を着実に継続し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングシステムの高度化をさらに推進することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

全国において、GNSS連続観測点を平均20キロメートル間隔の配置として維持するとともに、観測を継続する。必要に応じて、重点的な観測地域において観測点密度を考慮した観測体制の充実を目指す。また、GNSSの発展・最新のITRF座標系の実現等に伴いGEONETの解析手法の高度化を図る。

加えて、GNSS連続観測（GEONET）による日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを定常的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、国際GNSS事業（IGS）へ参加し、観測データの提供を行った。加えて、最新のGPS衛星およびITRFに対応したGNSS連続観測（GEONET）の新しい解析ストラテジの運用を開始するとともに精度評価を実施した。地殻変動の監視においても、新しい解析ストラテジによる座標値に基づき行われ、従来手法に比べ、僅かながら季節変動を抑えられるようになった。

また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施し、5月1

日に宮城県沖で発生した地震に伴う地殻変動を検出した。さらに、2019年春頃から四国中部、2020年夏頃から紀伊半島西部・四国東部や九州南部で発生したプレート間ゆっくりすべり（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動、硫黄島や桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動等を検出など、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与している。これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

日本列島の地殻変動, <https://www.gsi.go.jp/kanshi/index.html>

村松弘規・高松直史・阿部聡・古屋智秋・加藤知瑛・大野圭太郎・畑中雄樹・攪上泰亮・大橋和幸,2021,新しいGEONET解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値（F5解・R5解）の公開,国土地理院時報,134

・学会・シンポジウム等での発表

TAKAMATSU Naofumi, MURAMATSU Hiroki, TADA Naohiro, OHNO Keitaro, ABE Satoshi, KAWAMOTO Satoshi,2021,A New Daily Coordinates of GNSS CORS in Japan Based on the GEONET 5th Analysis Strategy,Scientific Assembly of the International Association of Geodesy
川元智司・高松直史,2021,RINEXデータ前処理ソフトウェアRINGOの開発,日本測地学会第136回講演会

佐藤明日花・藤田健一・大脇温子・中浴広樹・三浦優司・仲井博之,2021,GEONET解析ストラテジ更新に伴うオフセットの再補正,日本測地学会第136回講演会

高松直史・村松弘規・加藤知瑛・大野圭太郎・阿部聡・古屋智秋・檜山洋平,2021,新たなGEONET新解析ストラテジによる「電子基準点日々の座標値」の開発,日本地球惑星科学連合2021年大会

村松弘規・高松直史・阿部聡・古屋智秋・川元智司,2021,「電子基準点日々の座標値（F5解）」の運用開始,測位航法学会2021年度研究発表会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

全国において電子基準点を維持し、高い可用性を保持しながら観測を継続する。また、国際GNSS事業（IGS）へ参画し、観測データの提供を行う。新しい解析ストラテジに基づく解析結果を適切に運用する。

また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを定常的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地観測センター電子基準点課・地殻監視課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地形地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本列島全域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化に寄与するため、潮位連続観測データを継続的に取得すると共に、観測システムの更新やデータの共有化を進める。（地殻監視課）

基本測量に関する長期計画の施策を基本に、大規模地震対策特別措置法に基づく「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域を対象として、定期的に水準測量を実施し信頼性のある高精度の地殻上下変動量データを取得する。

火山周辺地域においてREGMOS等による連続観測を継続するとともに、観測システムの更新など観測設備の安定的・継続的な運用を行う。

航空機SARを利用して、活動的な火山における火口等を観測し、噴火前後の変化情報を蓄積する。（測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室）

(7) 本課題の5か年計画の概要：

全国25箇潮場での潮位連続観測を引き続き実施するとともに、日本周辺の海面変動トレンドの定量的な評価を行う。また、潮位データ等を公開するなどデータの共有化を進め、津波等の発生時における予測や終息等の防災情報の発信への活用を図る。（地殻監視課）

「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域の水準路線を対象に、平成31年（令和元年）度においては1,309kmの水準測量を実施し、令和2年度以降においては対象となる水準路線を中心に定常的な観測を実施する。

活動的な火山において電子基準点を補完して詳細な地殻変動を捉えるためREGMOS等による地殻変動連続観測を実施する。

全国の活動的な火山について航空機SARによって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、噴火前後の変化情報を明らかにする。

（測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室）

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全国25箇潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施し、これらの潮位観測データを引き続きホームページで公開するとともに、気象庁、国土交通省の防災情報提供

センターに潮位データを提供し、潮位データを共有化した。また、潮位連続観測による地殻変動及び海面変動トレンドの把握を行った。

機動観測として、自動測距測角装置による連続観測を1火山（伊豆大島）で実施し、得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告した。（地殻監視課）

周辺地域においてGNSS火山変動リモート観測装置（REGMOS）等による連続観測を9火山で実施した。また、GNSSによる機動連続観測を8か所で行った。（電子基準点課・地殻監視課）

令和3年度は、南海トラフ地震防災対策推進地域、南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域等において、地殻変動の動向を把握するために一等水準測量1,195km（相模、駿河、御前崎、遠州、紀伊南、室戸及び足摺地区）を実施した。（測地基準課）

全国の活動的な火山について、航空機SARによる観測を10火山で実施し、噴火前の地形情報を取得した。（地図情報技術開発室）

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

国土地理院,2021,伊豆地方の地殻変動,地震予知連絡会会報,106,210-225

国土地理院,2021,東海地方の地殻変動,地震予知連絡会会報,106,226-255

国土地理院,2021,中国・四国地方の地殻変動,地震予知連絡会会報,106,468-483

- ・学会・シンポジウム等での発表

三浦優司,小川拓真,森下,仲井博之,2021,駿潮場のGNSS連続観測データを用いた海面変動トレンドの推定,日本測地学会第136回講演会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

全国25験潮場での潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守及び監視を実施するとともに、これらの潮位データを引き続きホームページで公開する。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行う。機動観測では、自動測距測角装置による連続観測を1火山（伊豆大島）で実施し得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告する。（地殻監視課）

火山周辺地域においてREGMOS等による連続観測を引き続き実施するとともに、観測システムの更新等により観測設備を安定的・継続的に運用する。（電子基準点課・地殻監視課）

南海トラフ地震防災対策推進地域、南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域等において、地殻変動の動向を把握するために一等水準測量952km（駿河、御前崎、東伊豆、紀伊南、室戸及び足摺地区）を実施する。（測地基準課）

全国の活動的な火山について航空機SARによって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、噴火前後の変化情報を明らかにする。（地図情報技術開発室）

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地観測センター 地殻監視課,測地観測センター 電子基準課,測地部 測地基準課,基本
図情報部 地図情報技術開発室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

物理測地観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

航空重力測量により全国の高品質な重力データを収集し、全国を網羅する標高基準（ジオイド・モデル）の精度を向上することにより、GNSS測位によって容易に信頼できる標高が得られる環境を整備する。また、地上における重力値の繰り返し観測及び地磁気の連続観測を行い、地震や火山活動の監視、現象の理解等に必要となる基礎資料として提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

航空重力計を航空機に搭載し、山間部や沿岸海域を含む全国を網羅した稠密な重力データの測定を令和元年度から4年間かけて順次実施する。得られた重力データを利用し、令和5年度には高精度な精密重力ジオイドの計算を実施する。

また、地震や火山現象の理解とその予測研究に必要な基礎的資料を整備するため、南海トラフ巨大地震の想定震源域における繰り返し絶対重力観測による重力変化の把握を引き続き行うとともに、地磁気の連続観測及び富士山中腹における全磁力連続観測による地磁気変化の監視を継続する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

重力測量については、航空重力測量に必要な飛行場重力点の設置を、女満別、那覇の各飛行場にて実施した。また、主に北海道、東北、近畿、九州地方において、航空重力測量を実施し、上空の重力データを取得した。

地磁気測量については、測地観測所等（鹿野山測地観測所、水沢測地観測所及び全国10か所に設置している地球電磁気連続観測装置）において地磁気連続観測データを取得するとともに、地磁気絶対観測等を実施した。また、これらの結果をもとに全国の地磁気の地理的分布を示した磁気図2020.0年

値を作成し公表した。さらに、富士山において全磁力連続観測を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地上及び船上等の既存の重力データのみと、これまでに得られた航空重力データを含めた重力データより、精密重力ジオイド・モデルをそれぞれ試作し比較した結果、鹿島灘や瀬戸内海などの沿岸域で大きな差が見られた。これらの地域では、既存の重力データでは捉えられなかった重力場の情報を航空重力測量によって高精度に観測することができたと考えられることから、観測基盤としてのジオイド・モデルの精度向上に貢献すると考えられる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中島 正寛, 飯尾 研人, 飯塚 康裕, 栗原 忍, 越智 久巳一, 大森 秀一, 兒玉 篤郎, 畔柳 将人, 半田 優実, 松尾 功二, 2021, 精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量の取組, 日本地球惑星科学連合2021大会

畔柳将人, 半田優実, 兒玉篤郎, 栗原忍, 越智久巳一, 山本宏章, 大森秀一, 飯尾研人, 中島正寛, 飯塚康祐, 2021, 量子型絶対重力計AQGの導入, 日本地球惑星科学連合2021大会

Masahiro Nakashima, Kento Iio, Yasuhiro Iitsuka, Shinobu Kurihara, Kumikazu Ochi, Shuichi Omori, Tokuro Kodama, Masato Kuroyanagi, Masami Handa, Hiroaki Yamamoto, Takashi Toyofuku, Chiaki Kato, Koji Matsuo, 2021, The Airborne Gravity Measurement for Development of a New Precise Gravimetric Geoid Model in Japan, IAG 2021

Masahiro Nakashima, Shuntaro Fukaya, Yasuhiro Iitsuka, Takashi Toyofuku, Kumikazu Ochi, Hiroaki Yamamoto, Shuichi Omori, Chiaki Kato, Masato Kuroyanagi, Masami Handa, Koji Matsuo, 2021, Quality control of airborne gravity survey in Japan, AGU Fall Meeting 2021

中島 正寛, 深谷 俊太郎, 飯塚 康裕, 豊福 隆史, 越智 久巳一, 山本 宏章, 大森 秀一, 加藤 知瑛, 畔柳 将人, 半田 優実, 松尾 功二, 2021, 精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量の品質評価, 日本測地学会第136回講演会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、北海道、九州、沖縄地方等において、航空重力測量を実施する。このほか、地上における絶対重力観測、測地観測所及び基準磁気点等における地磁気の連続観測を実施する。さらに全国の地磁気連続観測装置の更新を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地部物理測地課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

宇宙測地技術による地殻変動監視

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地殻変動分布の把握による地震像・火山活動の詳細な解明及び火山活動箇所の正確な把握による災害軽減に活用する。また、今後起こりうる地震や火山噴火の長期予測のため、海外の地殻変動観測事例をできる限り解析する。

日本列島とその周辺海域に展開される地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持するとともに、中長期的視野に立った観測基盤の整備や更新を行っていく。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸域観測技術衛星2号（ALOS-2）等のSARデータを使用して日本全国のSAR干渉解析を定常的に実施し、日本国内における火山、地盤沈下等による地殻・地盤変動を検出する。また、国内外で地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には、緊急時の現況把握を目的として緊急解析を実施する。さらに、2020年度に打ち上げ予定の先進レーダ衛星（ALOS-4）に対応するため、解析手法やシステム構成の検討を進め、切れ目なく地殻・地盤変動の監視を継続する。

ITRFの構築に貢献し、我が国の測量の基準となる座標系を維持し、また、巨大地震を引き起こすとされているプレート運動を監視するため、IVSと連携してVLBI測量を実施する。具体的には、石岡VLBI観測施設において、IVSの年間計画に基づき国際VLBI観測を実施する。また、IVSが推進する次世代VLBI観測システム（VGOS）による広帯域観測を実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ALOS-2のSARデータを使用して北方四島を含む国土全域を対象に定常的にSAR干渉解析を行ったほか、ALOS-2の打ち上げより蓄積された観測データを用いた干渉SAR時系列解析を国内の火山を対象として行った。これまでに38火山について解析を行い、21火山で地殻変動を検出した。このうち、口永良部島では、従来のSAR干渉解析では検出困難な微小な変動を検出した。さらにこの結果を用いて圧力源を推定し、その位置と体積の時間推移を明らかにした（図1）。これらの結果は火山噴火予知連絡会に提出され、火山活動評価に活用された。

このほか緊急解析により、国内外で発生した地震や火山活動に伴う地殻変動を検出した。国内では、2021年8月の福徳岡ノ場の火山活動により生じた新島について、島の形成から縮小の様子を捉えた(図2)。2021年5月21日(UTC)に発生した中国青海省の地震では、東南東-西北西方向の帯状に分布する顕著な地殻変動を検出した。2021年5月22日(UTC)に発生した、コンゴ民主共和国の北キブ州、州都ゴマの北約15kmにあるニーラゴンゴ火山の噴火では、ニーラゴンゴ火山の南側からゴマ周辺にかけて顕著な地殻変動を検出した(図3)。さらに、強度画像を利用した加色混合法(RGB合成画像)による解析により、ニーラゴンゴ火山の南側山腹から溶岩が流出したことを示唆する結果が得られた。ニーラゴンゴ火山に伴う地殻変動については、現地機関に情報提供した。2021年8月14日(UTC)に発生したハイチ共和国の地震では、ハイチ共和国の南部を東西に走るEnriquillo-Plantain Garden断層帯に沿った顕著な地殻変動を検出した(図4)。

2021年の国際VLBI事業(IVS)の観測計画に基づき、石岡VLBI観測施設においてVLBI国際共同観測を140回実施した。これらのデータを1980年以降世界中で観測されたVLBIデータとともに全地球的に解析し、観測局位置とその変化を求めた。約6年の観測データから、水平2成分は約0.5mm、鉛直成分は約1.7mmの位置決定精度(標準偏差)で局位置が求められた。また、石岡局の水平速度は約22.1mm/年(方位角134°方向)であった(図5)。これは、通常のプレート運動の成分に東北地方太平洋沖地震の余効変動を含んでいるものと考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

ALOS-2のSARデータを使用した全国定常解析、地震発生や火山活動活発化時の緊急解析の実施など、地殻変動の観測基盤の維持に貢献している。また、干渉SAR時系列解析の火山監視への活用や、ALOS-2の後継機であるALOS-4に向けたシステムの構築など、観測技術の高度化や観測基盤の整備を進めている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

三木原香乃、犬飼孝明、石倉信広、島崎久実、石本正芳、小林知勝,2021,干渉SAR時系列解析による国内火山の長期的な地殻変動について,日本地球惑星科学連合2021年大会

Ichimura, M., K. Mikiyama, N. Ishikura, K. Shimazaki, M. Ishimoto, Y. Sato, T. Kobayashi and H. Munekane,2021,Monitoring Active Volcanoes in Japan Using InSAR Time Series Analysis System with ALOS-2 Data,AGU Fall Meeting 2021,G25A-0344

Takagi,Y., H. Ueshiba, T. Nakakuki, S. Matsumoto, K. Hayashi, T. Yutsudo, K. Mori, T.

Kobayashi,2021,VLBI-GNSS co-location survey at the Ishioka Geodetic Observing Station in 2018 and 2020,EGU General Assembly 2021,EGU21-810

上芝晴香、高木悠、中久喜智一、松本紗歩、林京之介、湯通堂亨、森克浩、小林知勝,2021,石岡VLBI観測施設の取り組み状況,日本地球惑星科学連合2021年大会

Matsumoto, S., H. Ueshiba, T. Nakakuki, Y. Takagi, K. Hayashi, K. Mori, T. Yutsudo, T. Kobayashi, Y. Sato,2021,VLBI-GNSS co-location at the Ishioka Geodetic Observing Station,IAG Scientific Assembly 2021

林京之介、高木悠、湯通堂亨、佐藤雄大,2021,2種類のソフトウェアによるVLBIデータの相関処理結果の比較,日本測地学会第136回講演会,P12

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

衛星SARデータを使用して日本全国のSAR干渉解析を定常的に実施し、日本国内の火山における地殻変動を監視する。国内外で地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には緊急解析を実施する。

VLBIは、引き続きIVSの観測計画に基づき、石岡局で国際共同観測を実施する。また、観測データを解析し、観測局位置とその速度を算出する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地部 宇宙測地課,地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

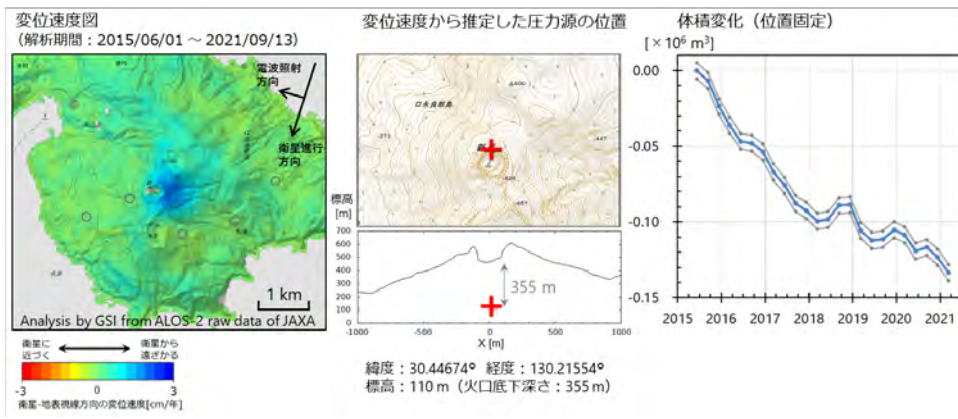


図1 「だいち2号」観測データを用いた干渉SAR時系列解析による口永良部島の地殻変動
左図は山頂部の変位速度分布、中図は変位速度から推定した圧力源の位置、右図は圧力源の体積変化

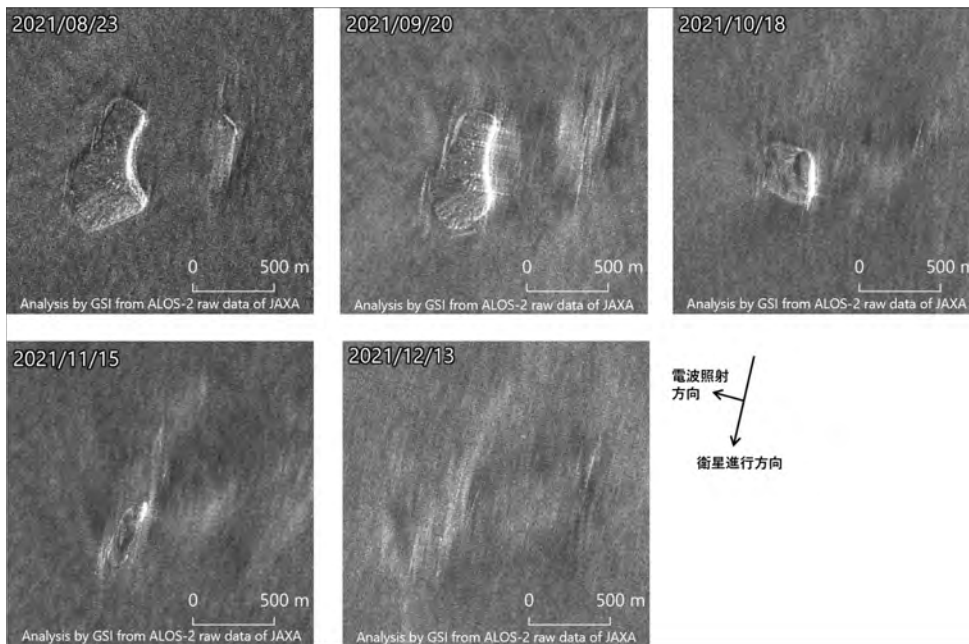


図2 「だいち2号」SAR強度画像による福徳岡ノ場の新島の形状の時間推移

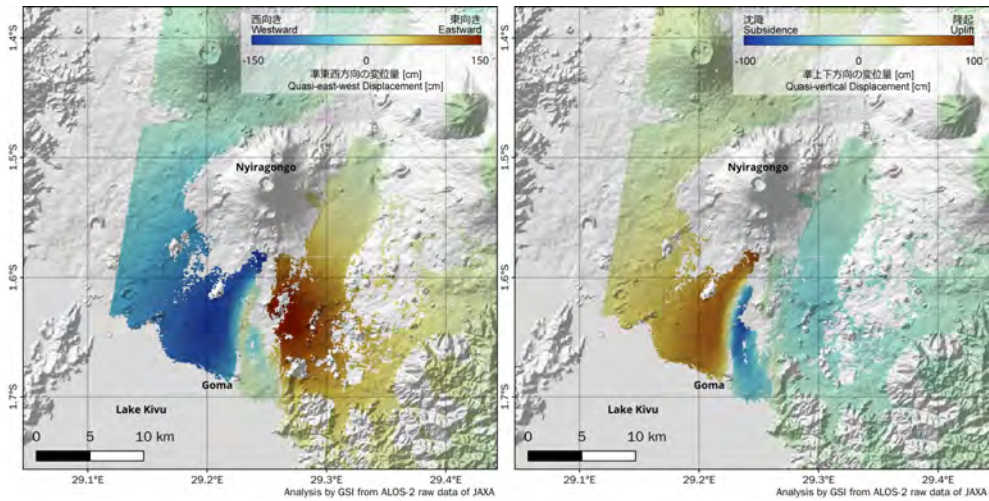


図3 「だいち2号」 SAR干渉画像の2.5次元解析結果による、ニーラゴンゴ火山の噴火に伴う地殻変動
 左図は準東西成分、右図は準上下成分の変動量を示す。変動域の中心では最大約80cmの沈降、変動域の西側では最大1.5mの西向きの変動かつ最大約80cmの隆起、変動域の東側では最大約1.5mの東向きの変動が観測された。

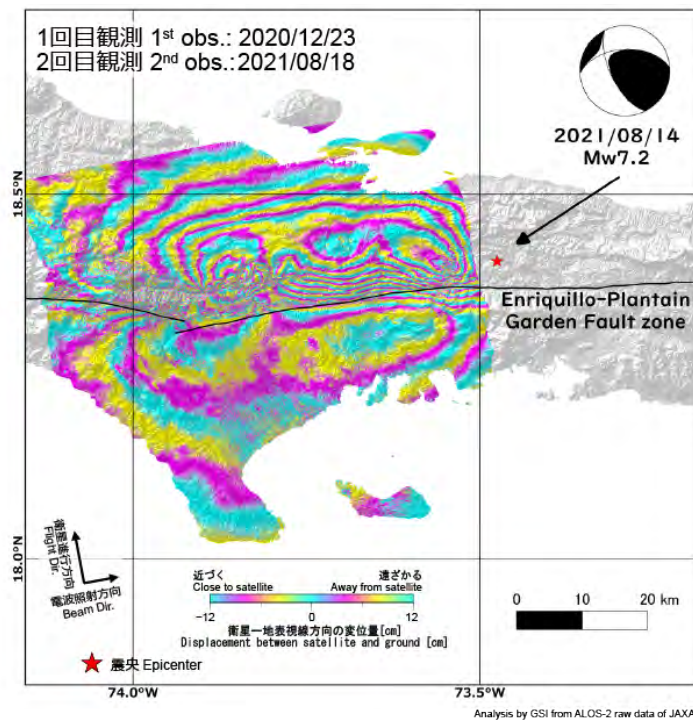


図4 「だいち2号」 SAR干渉画像によるハイチ共和国の地震に伴う地殻変動
 干渉縞が密な領域は大きな変動があったことを示す。顕著な変動域は大きく西側と東側で分かれており、断層帯の北側で変動量が大きくなっている。断層線はStyron et al. (2020)より。

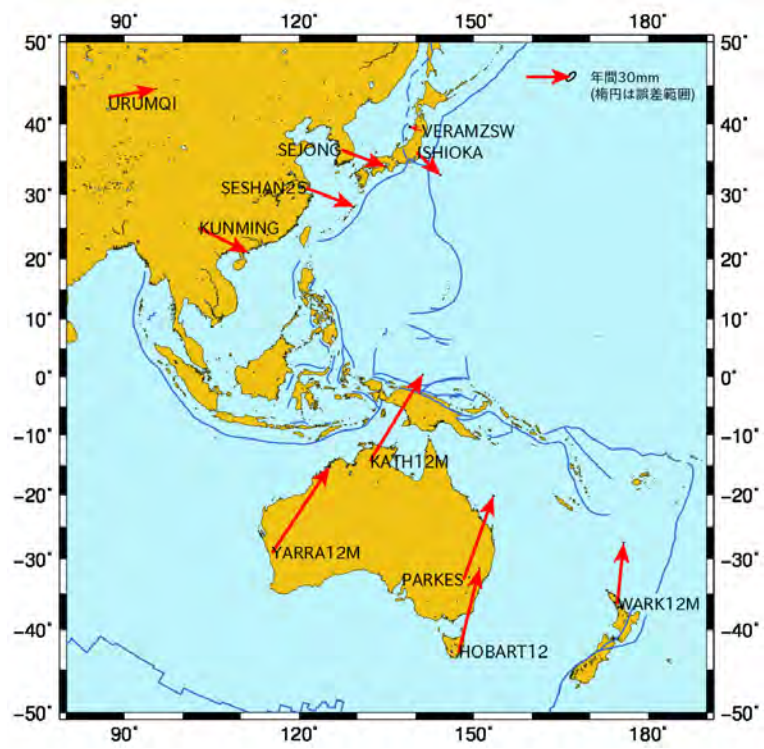


図5 VLBI観測データの解析により得られたアジア・オセアニア地域のVLBI観測局の水平速度

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GNSS観測・解析技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

災害関連情報の迅速な発表に貢献するために、地殻変動を迅速に高い時間分解能で観測し解析するシステムを構築・高度化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- ・前期に引き続き、地殻変動を即時的・高時間分解能で把握可能な、電子基準点リアルタイム解析システムの高度化を行う。
- ・地殻変動を迅速に高時間分解能で把握するための電子基準点キネマティック解析システムについて、解析結果の信頼性及び精度を向上させるためにマルチGNSSに対応させるなどの技術開発を行う。
- ・様々な汎用的な機器を用いた民間等のGNSS観測点のデータも取り込み活用することができる地殻変動観測システムの開発を行う。
- ・より信頼性の高い災害関連情報の発信を図るために、得られた地殻変動解析結果の品質評価や異常値を判定する仕組みを構築する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・全国の電子基準点を対象とした電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) を引き続き運用した。令和3年5月1日に発生した宮城県沖を震源とする地震において、地殻変動をリアルタイムに検知した。また、矩形断層モデルの推定に際し、MCMC法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を使用するアルゴリズムを試験的に導入し、システムの高度化を進めた。さらに、断層推定の入力値となるリアルタイム地殻変動情報の品質（妥当性）を点検し、REGARDの推定結果に付与するアルゴリズムを開発した。
- ・地殻変動を迅速に高時間分解能で把握するための電子基準点キネマティック解析システムについて、ディスクIOを改善して処理時間をより短くするため、分散ファイルシステムを導入した。

・令和2年度に開発し、房総半島に10点設置した廉価版のGNSS 機器を用いた小型GNSS 連続観測装置について、約1年間の観測データを用いて、F5準拠の日々の座標値を算出した結果、月平均の標準偏差が東西・南北3mm以内、上下8mm以内となり、cmレベルの地殻変動を把握できる精度があることを確認した。また、アンテナ機種に起因する精度の違いも確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
・電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) はリアルタイムで地殻変動を観測し、巨大地震後数分での断層推定を目指したシステムである。令和3年度に行ったMCMC法を用いた矩形断層モデルの推定に関する技術開発は、REGARDの高度化に資するものである。
・廉価版のGNSS 機器を用いた小型GNSS 連続観測装置を用いることで、変動域においてこれまでよりも稠密な地殻変動観測が可能になることが期待される。令和3年度は、実際の観測結果に基づいて地殻変動監視への適用可能性を評価したものであり、今後の本装置を用いた稠密な地殻変動観測の実用化の可能性を示すものである。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

村松弘規・太田雄策,2021,リアルタイム GNSS 解析による地震像の即時把握,地震予知連絡会会報,106,580-582

・学会・シンポジウム等での発表

阿部 聡・大野圭太郎・高松直史・村松弘規・古屋智秋・檜山洋平,2021,みちびきを使用した電子基準点リアルタイム解析の試み,日本地球惑星科学連合2021年大会

大野圭太郎・高松直史・村松弘規・阿部 聡・川元智司,2021,REGARD推定結果へのデータ品質評価の導入,日本測地学会第136回講演会

多田直洋・阿部 聡・大野圭太郎・高松直史・村松弘規・川元智司,2021,リアルタイムPPP測位を用いた断層推定の評価,日本測地学会第136回講演会

村松弘規・高松直史・阿部 聡・大野圭太郎・多田直洋・川元智司,2021,電子基準点リアルタイム解析システムによる震源断層推定,GNSS/GPSシンポジウム2021

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

・引き続き、地殻変動を即時的・高時間分解能で把握可能なREGARDの運用及び高度化を行う。また、PPP（精密単独測位）技術を活用したより頑強なシステム構築に向けた検討を行う。

・電子基準点キネマティック解析システムについて、引き続き試験解析を行う。

・千葉県に設置した、廉価版のGNSS 機器を用いたGNSS 連続観測装置を引き続き運用し、長期間データ取得及び解析を実施するとともに、当該地域での地盤沈下やスロースリップ等の地殻変動の把握への活用可能性について評価する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室,国土地理院 測地観測センター電子基準点課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国活断層帯情報整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の主要な活断層について、位置・地形等のデータベースの充実を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費により主要な活断層について、断層の詳細な位置、関連する地形の分布等の情報を整備・提供するものである。

令和元年度においては、庄川断層帯、長良川上流断層帯、長岡平野西縁断層帯、石狩低地東縁断層帯、糸魚川－静岡構造線断層帯（改訂）、上町断層帯（改訂）の6断層帯を1:25,000活断層図として整備。

令和2～5年においては、26断層帯を調査する予定。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和2年度に整備を実施した、橿形山脈断層帯とその周辺「中条」（図1）、吉野屋断層とその周辺「加茂」（図2）、頓宮断層とその周辺「平松」（図3）、木津川断層帯とその周辺「上野」（図4）、大原湖断層及び地福断層とその周辺「長門峡」（図5）、大原湖断層、小郡断層及び地福断層とその周辺「山口」（図6）、小郡断層とその周辺「宇部東部」（図7）、糸魚川－静岡構造線断層帯及び境峠・神谷断層帯とその周辺「諏訪 改訂版」（図8）8面の1:25,000活断層図を公開した。

また、六日町断層帯、十日町断層帯、高田平野断層帯、阿寺断層帯、佐賀平野北縁断層帯、糸魚川－静岡構造線断層帯の整備を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震本部が調査対象としている主要活断層帯のうち、陸域の活断層帯とその周辺について、活断層の詳細な位置や関連する地形の分布等を表示した「1:25,000活断層図」を整備し、地震本部の調査研究の推進に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

岡田真介,2021,1:25,000活断層図 橿形山脈断層帯とその周辺「中条」解説書,国土地理院技術資

料D1-No.1043,10

石山達也・岡田篤正・立石 良・宮内崇裕,2021,1:25,000活断層図 吉野屋断層とその周辺「加茂」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1044,9

杉戸信彦,2021,1:25,000活断層図 頓宮断層とその周辺「平松」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1045,12

堤 浩之,2021,1:25,000活断層図 木津川断層帯とその周辺「上野」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1046,8

安江健一,2021,1:25,000活断層図 大原湖断層及び地福断層とその周辺「長門峡」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1047,12

楮原京子,2021,1:25,000活断層図 大原湖断層、小郡断層及び地福断層とその周辺「山口」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1048,13

後藤秀昭,2021,1:25,000活断層図 小郡断層とその周辺「宇部東部」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1049,15

松多信尚,2021,1:25,000活断層図 糸魚川-静岡構造線断層帯及び境峠・神谷断層帯とその周辺「諏訪改訂版」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1050,22

・学会・シンポジウム等での発表

星野賢史・小野康・岡本勝浩・稲澤容代・前島正吉・山中崇希,2021,令和3（2021）年度 1:25,000活断層図の公開,日本活断層学会2021年度秋季学術大会,P-16

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度においては、長町-利府線断層帯、会津盆地西縁・東縁断層帯、長野盆地西縁断層帯、伊那谷断層帯、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯、弥栄断層、糸魚川-静岡構造線断層帯（改訂）の7断層帯を1:25,000活断層図として整備。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 応用地理部地理情報処理課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

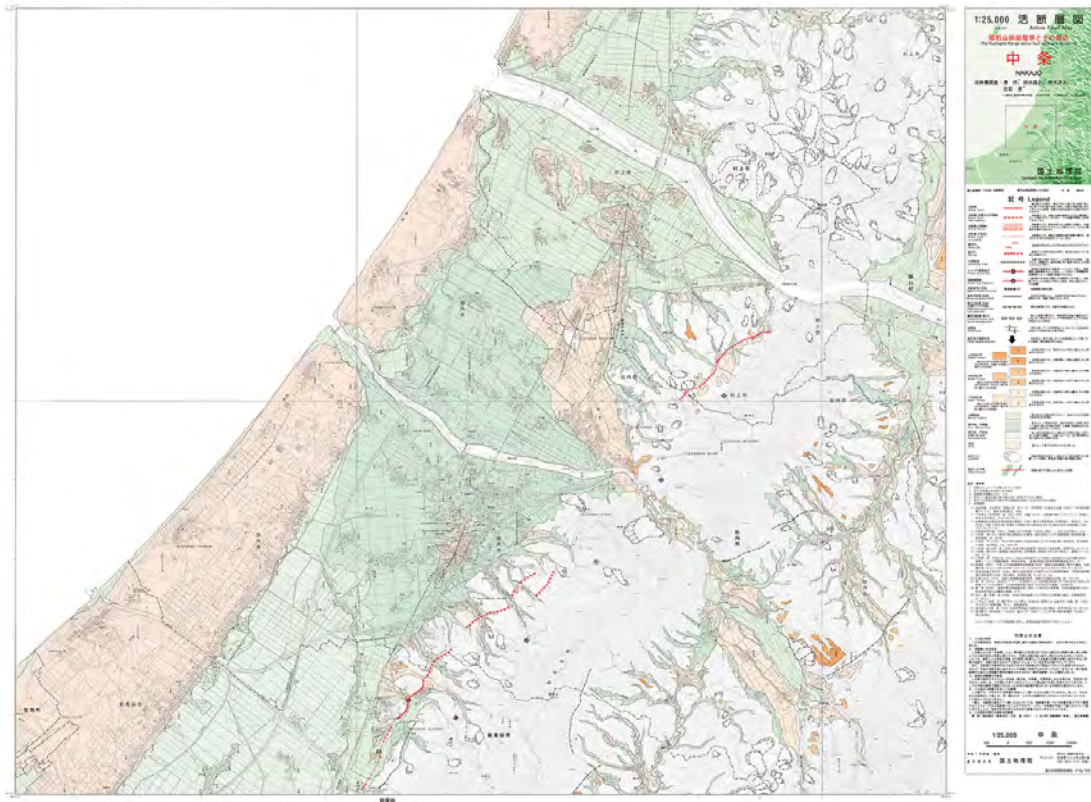


図1 1:25,000活断層図 楯形山脈断層帯とその周辺「中条」

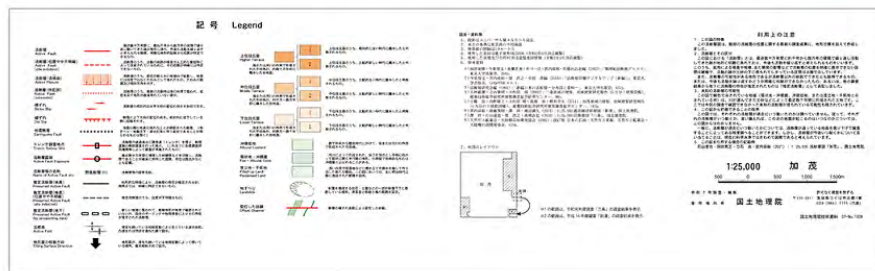
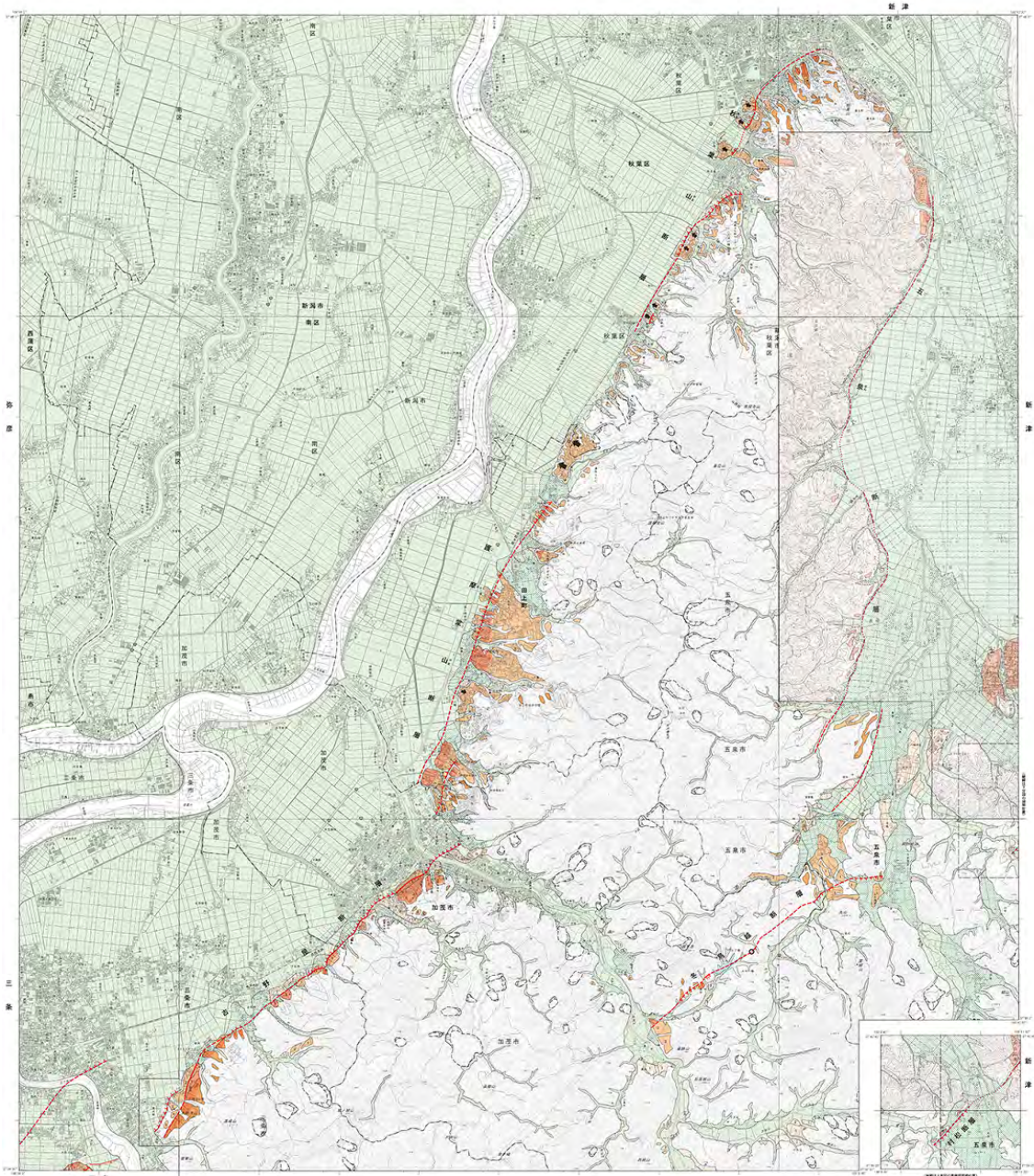


図2 1:25,000活断層図 吉野屋断層とその周辺「加茂」

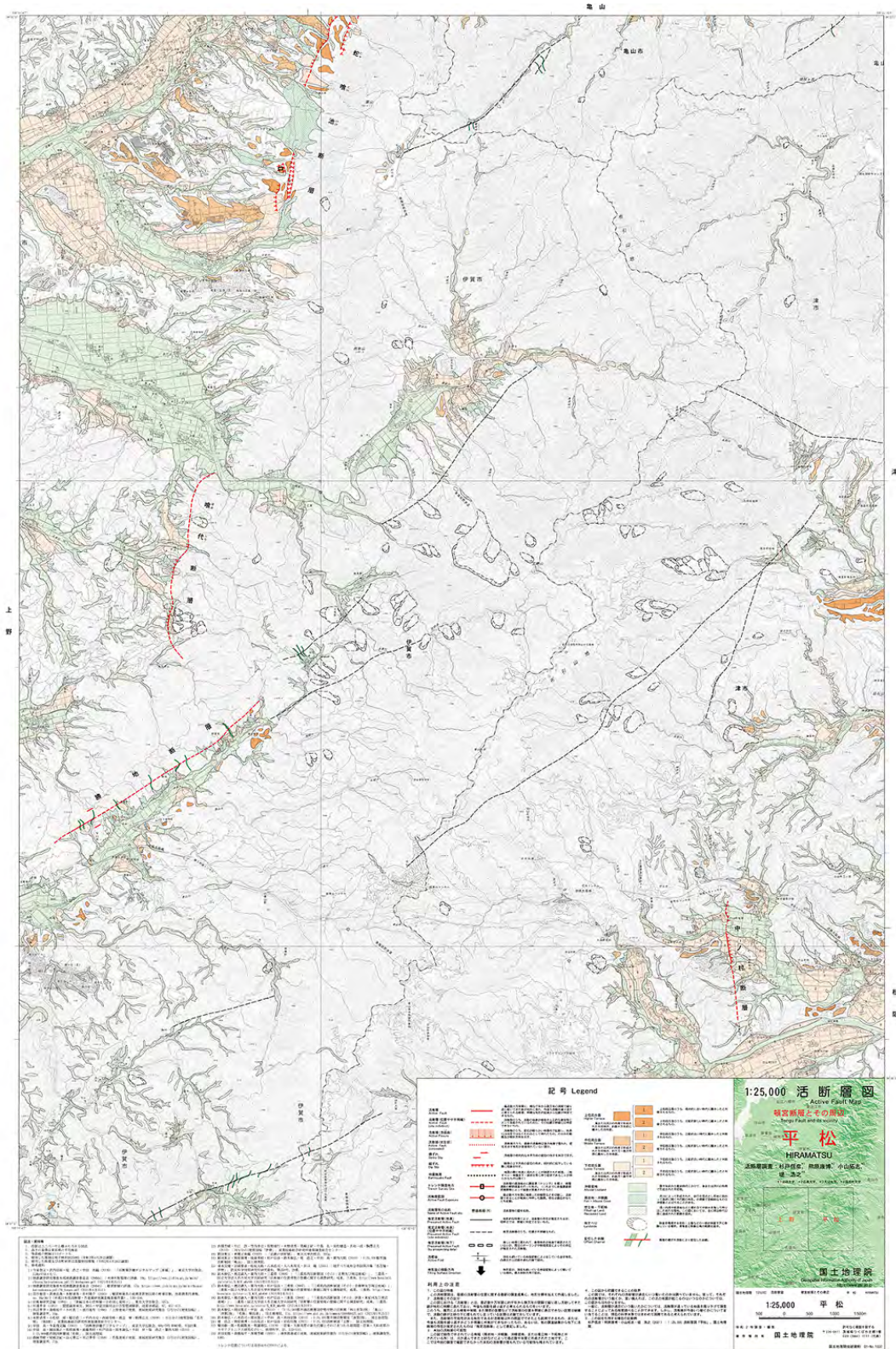


図3 1:25,000活断層図 頓宮断層とその周辺「平松」

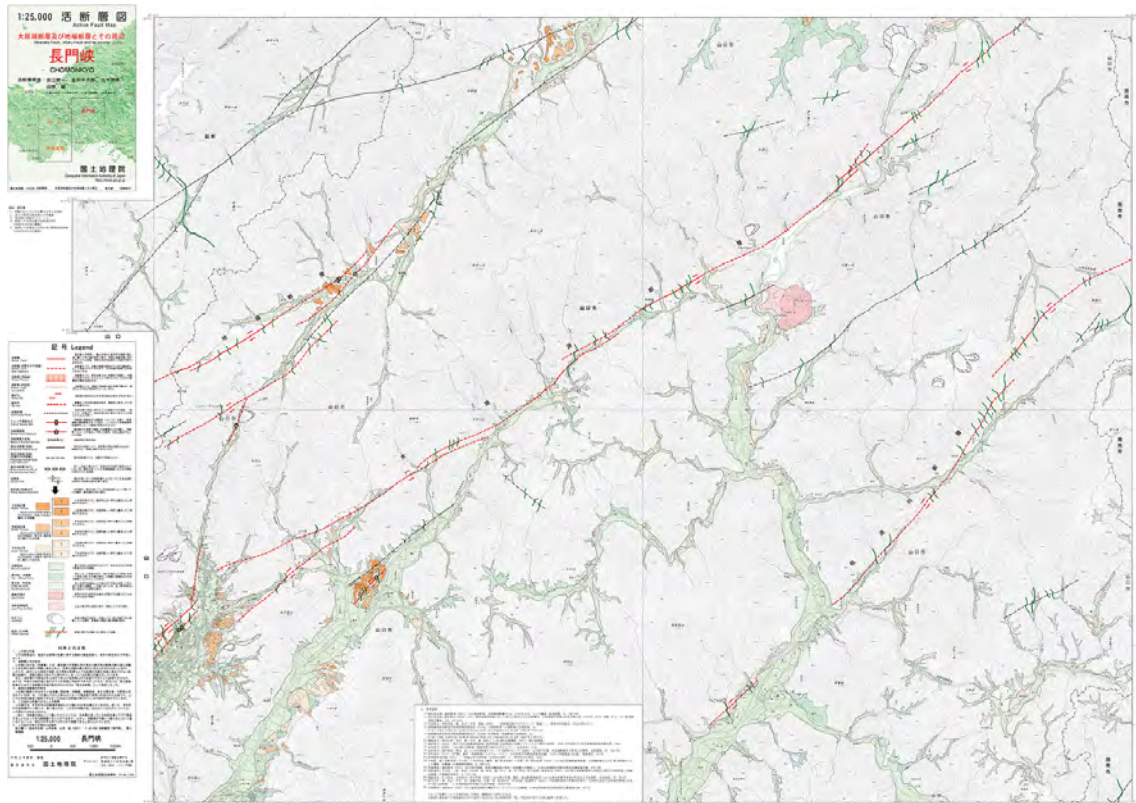


図5 1:25,000活断層図 大原湖断層及び地福断層とその周辺「長門峡」

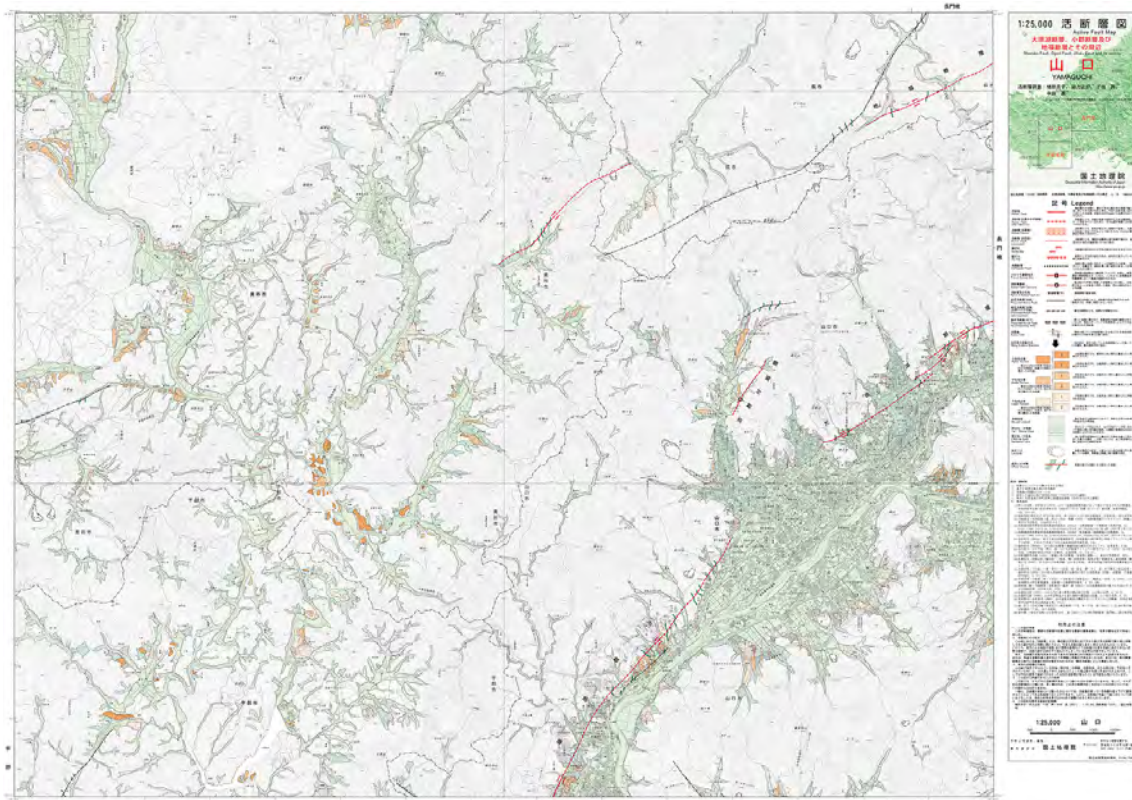


図6 1:25,000活断層図 大原湖断層、小郡断層及び地福断層とその周辺「山口」

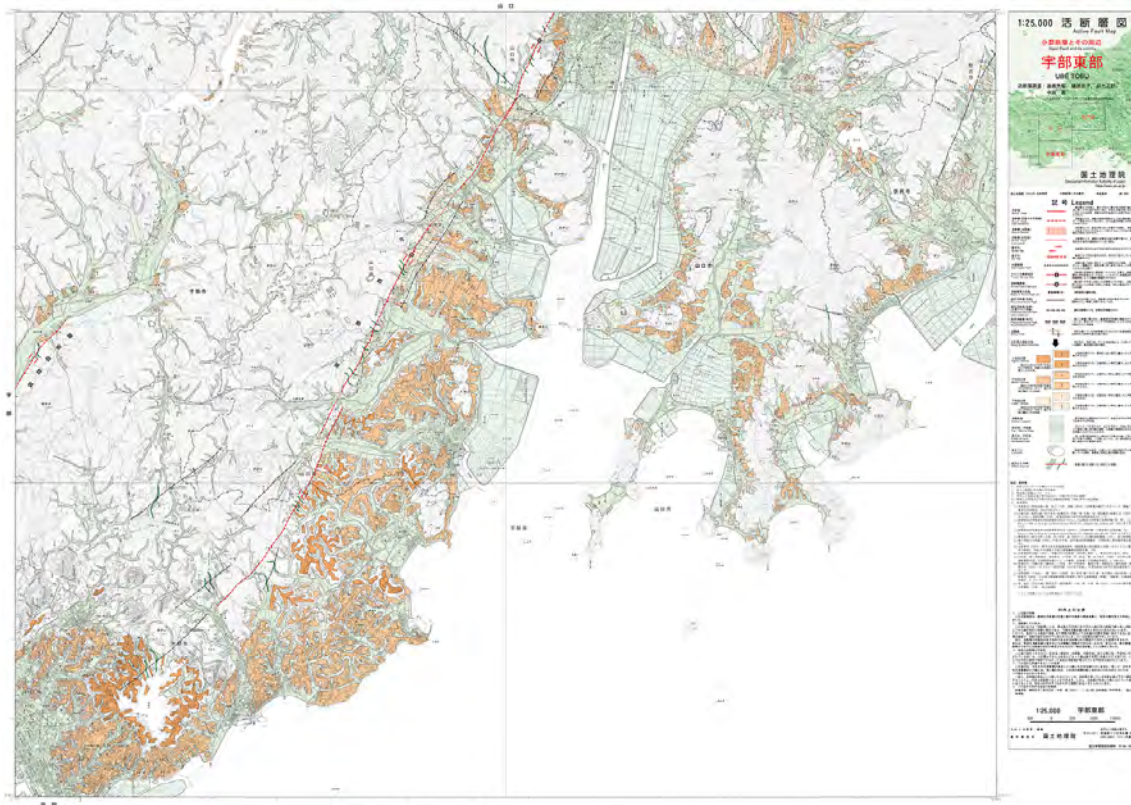


図7 1:25,000活断層図 小郡断層とその周辺「宇部東部」

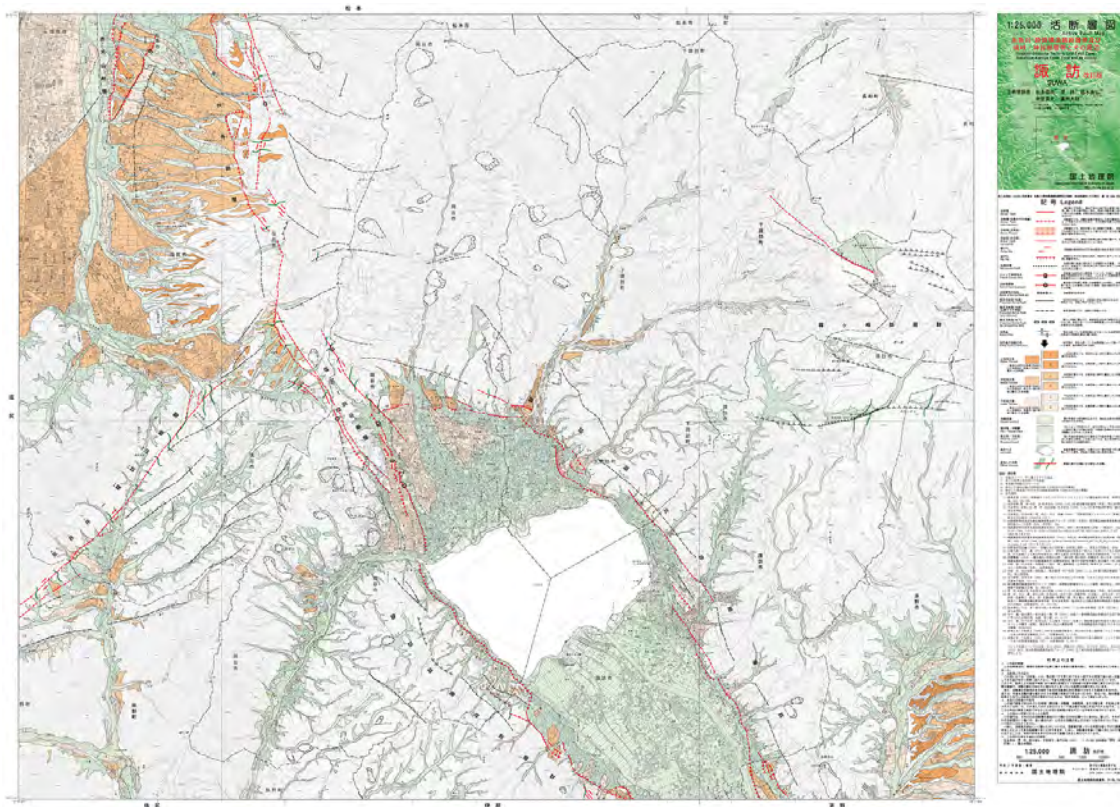


図8 1:25,000活断層図 糸魚川-静岡構造線断層帯及び境峠・神谷断層帯とその周辺「諏訪 改訂版」

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山基本図・火山土地条件図整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある50火山について、火山基本図及び火山土地条件図を作成するとともに、それらの数値データ化を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費及び地理空間情報整備・活用等推進費により火山防災地形データとして整備・提供するものである。

令和元年度においては、「箱根山」の火山土地条件調査を実施し、「岩手山」「秋田駒ヶ岳」「日光白根山」の火山基本図整備を実施する。

令和2年度～5年度においては、毎年度1火山程度の火山土地条件調査、毎年3～4火山程度の火山基本図整備を実施し、それらの数値データを整備・提供予定。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和2年度に調査を行った「浅間山」の火山土地条件図及び数値データ並びに令和2年度に作成した「十勝岳」「雌阿寒岳」「浅間山」「伊豆大島」の火山基本図及び数値データを公開した。

令和3年度においては、「諏訪之瀬島」の火山土地条件調査及び「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図整備を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山防災に資する基礎的な地理空間情報として、火山土地条件図及び数値データ、並びに火山基本図及び数値データを整備した。

これらの成果について関係機関に対し情報提供を行い、併せて地理院地図等のWebページにおいて公開を進めた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度に調査を行った「諏訪之瀬島」の火山土地条件図及び数値データ並びに令和3年度に作成した「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図及び数値データを公開する。

また、「蔵王山」の火山土地条件調査及び「北海道駒ヶ岳」「白山」「鶴見岳・伽藍岳」「九重山」の火山基本図整備を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 応用地理部地理調査課

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻活動データベース整備・更新

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

国土地理院が管理する地殻活動データベースについて、整備および時点更新を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- ・ 国土地理院が公開するGNSSデータクリアリングハウスの整備を行う。
- ・ 海岸昇降検知センター事務局として潮位データの収集を行う。
- ・ 地殻活動総合解析システムの整備を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・ 今年度の成果の概要
- ・ 国土地理院が公開するGNSSデータクリアリングハウスの整備を継続してすすめている。
- ・ 海岸昇降検知センターに登録されている験潮場について、毎月の平均潮位をとりまとめてホームページから順次公開するとともに、令和2年度の潮位観測データを潮位年報として取りまとめた。
(<https://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html>)
- ・ 地殻活動総合解析システムの整備を継続してすすめている。

上記は計画通りに実施された。

- ・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
- ・ 国土地理院が公開するGNSSデータクリアリングハウスの整備を継続して実施した。
- ・ 海岸昇降検知センターに登録されている験潮場について、毎月の平均潮位及び令和2年度の潮位データをホームページから公開した。また、加藤・津村（1979）の方法により験潮場の上下変動を求め、地震予知連絡会に報告した。
- ・ 地殻活動総合解析システムの整備を継続して実施した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・引き続きGNSSデータをウェブ上で検索するためのシステムを整備する。
- ・海岸昇降検知センターに登録されている験潮場について、毎月の平均潮位をとりまとめてホームページから順次公開するとともに、令和3年度の潮位観測データを潮位年報として取りまとめる。
- ・引き続き地殻活動総合解析システムの整備をすすめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室,研究管理課,測地観測センター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波堆積物情報の高度化と実践的活用に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
- (5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題の目的は、(a)津波堆積物の認定、(b)年代決定、(c)津波規模の推定、(d)地点間対比、(e)津波堆積物の保存／消失過程の評価について、それぞれ高度化を実現するための手法を確立し、信頼性の高い地質情報を得ることにある。5ヶ年計画では、総合的研究の項目にある千島海溝沿いの巨大地震を主な対象として(a)-(d)の調査を進め、複数の地点で地震の規模まで含めた発生履歴を明らかにする。特に17世紀と12世紀のイベントについては北海道全体で津波の波高分布を明らかにした上で年代による対比を行い、地殻変動の量も推定する。これにより、最終年度までに波源モデルの構築と信頼性の高く一貫性のある長期評価を実現可能とする。(e)については東北地方の太平洋岸と日本海岸などで地域を厳選し調査を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

前述の(a)-(d)の手法の確立は、国内で実施する津波堆積物調査と分析を通じて行う。(a)は、すでに提唱されている手法と海外の研究者が進めている新しい地球化学的、生物学的手法による認定手順2011年や1983年の津波堆積物など既知の津波堆積物に应用することで検証する。(b)は、現計画の中の拠点間連携課題で現在進められた「津波堆積物の高精度年代決定」の成果を踏まえ、時代や環境が異なる津波堆積物に应用して有効性を検討して効率化を目指す。(c)は、残存する津波堆積物の微細構造から流速と波高を推定する手法の開発、古津波については遡上限界に焦点を当てた丹念な追跡調査、同時期の地殻変動の検出などを通じて評価する手順を検討する。(d)は、年代決定結果と津波と土砂移動の数値計算結果、時代によっては歴史記録との整合性を評価して対比させる手法を検討する。(e)は、過去30年以内に国内外で起きた地震で津波を伴い、その堆積物の一部が残存している事例に

ついて追跡調査を実施する。

平成31-33年度においては、総合的研究の項目にある千島海溝沿いの巨大地震を主な対象に(a)-(d)の調査を進め、平成34-35年度においては、日本海溝沿い、日本海沿岸で調査を実施する。(e)については平成31年度から計画的に調査を実施し、平成32-34年度に海外ではインドネシア、トンガ、ソロモン諸島などで調査を行う。千島海溝沿いの巨大地震については、平成34年度までに複数の地点で地震の規模まで含めた発生履歴を明らかにする。また、北海道の胆振・日高地方や北方領土のデータも詳細に検討し、17世紀と12世紀のイベントについては北海道全体で津波の波高分布を明らかにし、平成35年度までに波源モデルの構築と信頼性の高く一貫性のある長期評価を実現可能とする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

前年度までに北海道大樹町の当縁川河口域において珪藻分析をもとに10世紀から18世紀までの地殻変動史を構築し、この地域では14-15世紀頃にこの地域で隆起から沈降に転じたこと、変動量は17世紀のイベント前後の方が12世紀と比べて2倍程度大きかったことがわかった。そこで今年度は、湿原の中央部でも同様の傾向が確認できるかどうか調べた。その結果、標高3m以下の湿地では、17世紀にてフラが降下した時期以前には水域であったこと、離水したのは1739年のテフラと1856年のテフラの間の時期であることが確認できた。すなわち、17世紀の地震に伴う隆起は余効変動として200年以上続いたことになる。大樹町では、低地から続く標高10m以上の段丘上でも津波堆積物が分布していることが知られている。そこで、新たに低地から段丘に続く斜面に測線を設定して低地の津波堆積物と段丘上の津波堆積物の連続性を調べ、さらに段丘上でも数100m内陸まで痕跡が追跡できることを確認した。低地－斜面－段丘の津波堆積物の特性を連続的に示すことができた。

既知の津波堆積物の調査は、計画通り、青森県三沢市沿岸と青森県能代市～八峰町で実施できた。三沢市における2011年の津波堆積物は10年経過して土壌に覆われており、2016年の調査時とほぼ同じ範囲で識別可能であった。また、詳細な化学分析から、津波堆積物には津波の遡上経路の情報がよく保存されていることも確認できた。秋田県における1983年の津波堆積物も保存状態はよく、粒度特性と微化石の特徴から津波前にあった砂丘や津波後の飛砂との区別も可能であることがわかった。こうした結果は、未知の津波堆積物の識別条件の検証に役立つことが期待される。

北海道胆振地域では、新たにむかわ町と厚真町で予備調査を実施し、2022年度の本調査の準備を進めた。近接する苫小牧市でも調査を続けているが、この地域には1611年の慶長奥州地震津波の痕跡があるものの過去3000年間では他に大津波の痕跡はない。1611年という年代がむかわ町や厚真町の津波堆積物でも確認できるかどうか、また他の年代を示す痕跡はないのかどうか、2022年度は年代測定を高密度で行いながら調べる予定である。

えりも町の海岸でも新たに調査を開始した。予備調査の結果として、沿岸部には近年の津波の痕跡が残されている可能性があること、鍵となる火山灰がいくつかいくつか同定可能であること、地殻変動を検出できるような低地の湿原があることがわかった。2022年度に本格的な調査を開始する予定である。

本計画で予定していた海外の津波堆積物の調査は、今年度もコロナの影響でできなかった。状況が変われば、2022年度はトンガのニウアトプタブ島（2008年の津波痕跡の再調査）、ソロモン諸島（2007年の津波痕跡の再調査）で計画したい。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

北海道十勝地方太平洋岸では、低地では津波の浸水域と発生頻度、さらに巨大地震間の地殻変動歴が明らかになりつつある。17世紀から現在までの地殻変動パターンは、自然環境下にある泥炭中の17-19世紀の火山灰の同定と珪藻群衆の変化からわかり、計器観測に基づく近年の動きとも繋げられそうである。さらに、17世紀の津波堆積物は斜面から段丘上まで連続的に分布することも確かめられた。段丘上では津波の高さも制約できることから、この地域の調査結果は、津波堆積物の情報を最大限に活用して古津波・古地震の発生様式を理解する好例となる。

データの収集という意味では、えりも町や厚真町で調査を開始した。両地域とも、日本海溝北部を震源とする巨大地震津波の波源や繰り返し性を理解するために重要な地点である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chiba, T., Nishimura, Y., Yanagisawa, Y., 2021, Distinguishing reworked diatoms derived from Neogene marine strata in modern coastal assemblages for understanding taphonomic processes and reconstructing Holocene paleoenvironments in the Tokachi coastal area, Hokkaido, Japan, *Marine Micropaleontology*, 164, 101970, <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2021.101970>
Bellanova, P., Frenken, M., Nishimura, Y., Schwarzbauer, J., Reicherter, K., 2021, Tracing woody-organic tsunami deposits of the 2011 Tohoku-oki event in Misawa (Japan), *Scientific Report*, 11, 8947, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88199-3>

・学会・シンポジウム等での発表

Nishimura, Y., Chiba, T., Shinozaki, T., 2021, Verification of identification criteria for tsunami deposit using historical tsunami deposits with known features, *International Tsunami Symposium*, e90178
Bellanova, P., Nishimura, Y., Frenken, M., Schwarzbauer, J., Reicherter, K., 2021, Tohoku-oki's hidden tsunami deposits, *International Tsunami Symposium*, e90083
Chiba, T., Nishimura, Y., 2021, Tsunami deposit associated with the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake tsunami in coastal protection forests of Akita coastal region, Japan, *International Tsunami Symposium*, e90143
西村裕一・千葉 崇, 2021, 胆振東部地震（2018年9月6日）に伴う噴砂丘と砂脈の形成と保存, 第38回歴史地震研究会, P-09
清水康博・西村裕一・岩城昂平・千葉 崇, 2021, 勇払低地の17世紀津波堆積物の特徴, 第38回歴史地震研究会, P-08
清水康博・西村裕一・岩城昂平・千葉 崇・石澤堯史, 2021, 胆振東部太平洋岸における過去3000年の津波履歴, 第38回歴史地震研究会, O-08
千葉 崇・西村裕一, 2021, 北海道十勝沿岸域における過去1000年間の地殻変動の推定, 第38回歴史地震研究会, P-07
千葉 崇・西村裕一, 2021, 秋田県沿岸の砂防林において認められた1983年日本海中部地震津波による津波堆積物, 第38回歴史地震研究会, O-26

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

十勝地方太平洋岸においては、12-19世紀の地殻変動歴を詳細な火山灰分析と密な年代測定により構築する。特に、12-17世紀に地殻変動パターンが隆起から沈降に変化した時期の決定と、地鎮時から近年までの余効変動速度を明らかにしたい。

厚真町、えりも町で新たに掘削調査を実施し、津波履歴と地殻変動歴を解明する。特に、厚真町では17世紀の津波堆積物の詳細な年代決定、および過去3000年間の準連続年代決定を実施する。

三沢市の津波堆積物については、2011年の堆積直後から2021年までに何度か繰り返し得られた地質試料を系統的に分析・再分析し、堆積後の性状変化と今後の風化予測を検討する。

津波堆積物の堆積後の変化の追跡については、三沢市の他には秋田県で実施する。さらに状況によっては海外の調査もできると思うので準備をしておく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村裕一（北海道大学大学院理学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

千葉 崇（酪農学園大学）、清水康博（新潟大学人文社会・教育科学系）、菅原大助（東北大学）、石澤堯史（東北大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話 : 011-706-3591

e-mail : isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名 : 西村裕一

所属 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

大規模噴火に関わるマグマプロセスの時間スケールの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

カルデラ噴火のような大規模な噴火において、マグマはどのような速さでマグマ溜まりに蓄積されるのか、マグマはどのくらいの期間マグマ溜まりに停留するのか、そして噴火を引き起こす準備プロセスはいつから始まるのか、といった時間スケールを明らかにすることは、噴火予測において極めて重要であるが、日本のカルデラ火山においては、このような定量的な情報がほとんど蓄積されていない。そこで本課題では、国内の代表的なカルデラ火山を対象に、ウラン系列放射非平衡を用いた物質科学的研究を実施し、カルデラ噴火を引き起こすような大量のマグマがどのような時間スケールで準備されるのかを明らかにすることを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究で利用するU-Th放射非平衡法では、現在から遡って約1万年前～30万年前の期間に起きたマグマプロセスに対応できることから、この期間内に活動した洞爺、阿蘇、阿多を解析対象とし、さらに余裕があれば屈斜路、阿寒、始良についても解析を進める。U-Th放射非平衡法を適用するにあたっては、マグマ供給系を含めたマグマプロセスについての事前的検討が不可欠であるため、先行研究を十分に吟味した上で、必要に応じて試料の採取、岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの蓄積プロセスや分化プロセスを詳細に明らかにし、U-Th放射非平衡を測定する試料を選定する。

- 1年目： 阿蘇・洞爺を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 2年目： 阿蘇・阿多を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 3年目： 阿蘇・洞爺におけるマグマプロセスの解析
- 4年目： 阿蘇・阿多におけるマグマプロセスの解析
- 5年目： 各火山の代表的な試料のU-Th放射非平衡の測定・時間スケールの抽出

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は当初、阿蘇・洞爺カルデラにおけるマグマプロセスの解析を行う予定であったが、昨年度か

らのコロナ禍により野外調査や実験室工事の予定が大きく変わってしまった。それを受けて、今年度は(1)基礎分析を終えていた支笏カルデラ試料のU-Th放射非平衡の解析、(2)阿寒カルデラの後カルデラ活動についての解析、(3)始良カルデラ噴出物の試料採取、を行った。(1)については、支笏カルデラの主な珪長質噴出物は二成分マグマ混合によって生成されたことが明らかにされていたが、そのうち一方の端成分マグマの生成率は15 km³/万年程度であると推定できた。(2)については阿寒富士を対象に物質科学的解析を行い、マグマ供給系やマグマ生成条件を解明し、カルデラ噴火のマグマ供給系と比較するための検討材料を準備することができた。本成果についてはJVGR誌に印刷されるに至った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「地震・火山現象の解明のための研究」における項目「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」に関して、支笏カルデラ噴火に関わった一部の珪長質マグマについて、具体的なマグマ生成率(約15 km³/万年)を推定することができた。後カルデラ活動のマグマ噴出率(約20 km³/万年)と比較してマグマ生成率は高くないことから、少なくとも支笏火山におけるカルデラ噴火の特異性は、珪長質マグマの生成率が高かったことではなく、長期間にわたってあまり活発な噴火活動が起きずにマグマの蓄積が継続したことにある、といえる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Kuritani, T., E. Sato, K. Wada, A. Matsumoto, M. Nakagawa, D. Zhao, K. Shimizu, and T. Ushikubo, 2021, Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 417, 107323, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107323

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

来年度は、今年度の後半に採取した始良カルデラおよび先行噴火の噴出物の基礎分析とU-Th放射非平衡分析・解析、基礎分析をほぼ終えている洞爺カルデラ噴出物を対象としたU-Th放射非平衡分析・解析、そして新たに阿蘇カルデラおよび先行噴火の噴出物を対象に、試料採取と基礎分析を行う予定である。今年度に解析を行った支笏カルデラ噴出物については、さらなる細部の詰めを行った上で、論文化を進める予定である。また始良カルデラおよび先行噴火の噴出物についても、珪長質マグマの生成に要した時間スケールを推定した上で、来年度末までには論文化を図りたいと考えている。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

栗谷豪(北海道大学大学院理学研究院), 中川光弘(北海道大学大学院理学研究院), 吉村俊平(北海道大学大学院理学研究院), 松本亜希子(北海道大学大学院理学研究院)

他機関との共同研究の有無 : 有

横山哲也(東京工業大学), 柵山徹也(大阪市立大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 北海道大学大学院理学研究院

電話 : 0117062729

e-mail : kuritani@sci.hokudai.ac.jp

URL :

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 栗谷豪

所属 : 北海道大学大学院理学研究院

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マグマ脱ガス実験と火山噴出物の揮発性成分解析に基づく噴火分岐メカニズムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火事象の分岐は、火道上昇中のマグマの発泡・脱ガス現象の起こり方の違いに起因すると考えられている。すなわち、発泡が卓越しマグマ浮力が高まれば爆発的噴火となり、開放系脱ガスが卓越しガスが失われると非爆発的噴火に至ると考えられている。しかし、火道内の各深度で発泡・脱ガスがどのように起きているかは不明であり、噴火分岐の根本的要因は未解明である。そこで本課題では、火山噴出物の揮発性成分の解析と実験室でのマグマ脱ガスシミュレーションを組み合わせることで、噴火分岐の要因を明らかにすることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

まず、対象火山として、観測データが揃っており、将来の噴火が危惧され、爆発性の高い安山岩～流紋岩質マグマを噴出する桜島火山・浅間火山・有珠火山などを選定し、噴火様式ごとに火山噴出物を採取し揮発性成分組成の特徴を明らかにする。次に、室内実験でマグマの発泡・脱ガス・圧密を再現し、試料の揮発性成分の特徴を明らかにする。そして、天然と実験を比較し、火道内でどのような脱ガス過程が起きたかを解読する。読みだされた脱ガス過程と噴火様式の関係を検討し、噴火分岐の仕組みを実証的に明らかにする。

令和元年においては、桜島・浅間・有珠を対象とした岩石の採取、および揮発性成分の分析を行う。

令和2年においては、高温高圧実験によりマグマ発泡を再現し、揮発性成分の濃度変化を解析する。

令和3年においては、高温高圧実験によりマグマの開放系脱ガスを再現し、揮発性成分の濃度変化を解析する。

令和4年においては、天然と実験を比較し、天然の脱ガス過程を解読する。

令和5年においては、脱ガス過程と噴火様式の対応関係を構築し、分岐要因を解明する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度は、マグマが火道を上昇する際に起こる現象（発泡、開放系脱ガス、気泡の再溶解、破碎粒子の溶結）の再現実験を行った。そして、これらの過程が起こることで、マグマ中の揮発性成分（特に塩素）の濃度分布のパターンがどのように変化するかを明らかにした。さらに、天然の溶岩（鳴子火山・鳥谷ガ森溶岩）を対象として塩素濃度分析を行い、それを実験結果と比較することで、溶岩の内部でどのような脱ガス現象が起きているかを明らかにした。研究は計画（上記（7））の通りに概ね進行している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yoshimura, S. and M. Nakagawa, 2021, Chlorine heterogeneity in volcanic glass as a faithful record of silicic magma degassing, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB021195, 1-24, doi:10.1029/2020JB021195

吉村俊平, 2021, 火山ガラス中のH₂O・CO₂の赤外分光分析, *火山*, 66, 375-384, doi:10.18940/kazan.66.4.375

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地質：地質試料・岩石サンプリング

概要：鳴子火山・鳥谷ガ森溶岩の採取を行った。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮城県大崎市鳴子火山 38°43'58 140°43'04

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度は、火山噴出物中の塩素濃度分布の調査をさらに継続し、マグマ中でどのような脱ガス現象が起きているかを明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉村俊平（北海道大学）, 栗谷豪（北海道大学）, 松本亜希子（北海道大学）, 中川光弘（北海道大学）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院

電話：

e-mail：shumpyos@sci.hokudai.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吉村俊平

所属：

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国では数10年の休止期を挟んで小規模な噴火を繰り返す火山が多いが、こうした火山の噴火予知は、現状では噴火直前の前兆的地震活動の検知に頼るところが大きく、非噴火期において次の噴火の切迫度を評価する方法は確立されていない。これは、噴火準備過程・噴火・終息過程を通じた火山活動サイクルのモデル化があまり進んでいないためであるが、その根本的な原因として、地震や地盤変動以外の観測項目では、非噴火時を含めた長期間にわたるモニタリングデータが不足しており、火山相互の比較や類型化が十分に行われていないことが背景にある。

本課題では、前建議計画の熱水系卓越型火山の課題等で取り組んだ電磁気・熱・ガスのモニタリング観測を進展させるとともに、新たなチャレンジとして、ドローンを利用した火口近傍の空中磁気反復測量と、遠望カメラ画像の自動解析による噴気放熱率の連続的推定手法の開発を進める。非噴火期を含めた火山活動推移モデルの構築を目指すとともに、研究対象とする火山については順次活動評価を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題と同様にモニタリング観測による火山活動の評価に取り組む地震・地盤変動モニタリング課題（KUS02）とは相互補完の関係にあるため、合同研究集会を開くなど連携しながら研究を進める。

令和1年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化のスキーム開発。九重山でのドローン空中磁気観測。研究会合。十勝岳の火山活動評価。

令和2年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化ツールの試作。御嶽山でのドローン空中磁気観測。阿蘇山の火山活動評価。

令和3年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理のテスト運用。蔵王

山でのドローン空中磁気観測。研究会合。吾妻山の火山活動評価。

令和4年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。草津白根山の火山活動評価。

令和5年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。研究会合。雌阿寒岳の火山活動評価。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 各火山でのモニタリング観測・解析

【雌阿寒岳】ナカマチネシリ火口周辺域で地磁気全磁力繰り返し観測を実施し、明瞭な消磁傾向を捉えた（北大）。

【十勝岳】地磁気全磁力連続観測を継続した（北大）。温泉水自動サンプリング・化学分析を継続した（東大理・道総研）。二酸化硫黄放出率観測（地上トラバースおよびドローン観測）を行った（東大理・北大）。

【吾妻山】ドローンを利用した空中磁気測量を実施した（当初計画の蔵王山から変更）。今後、山体浅部の磁化構造解析を進める予定（東北大・北大）。

【蔵王山】仙台管区气象台と連携して地磁気全磁力観測（繰り返し・連続）を継続した。火山活動は静穏で顕著な変化はなかった（東北大）。

【草津白根山】湯釜火口を対象とした地磁気全磁力連続観測、火山ガスおよび湖水の化学組成・温度モニタリングを継続した。2014年および2018年の活発化以降、数か月程度のスケールで消長しつつ、長期的には活動低下を示唆する変動を示した（東工大）。

【伊豆大島】地磁気観測（全磁力及び3成分）、ACTIVE比抵抗モニタリングを継続した。カルデラ内でドローン空中磁気測量を実施した（東大震研）。

【西之島】ひまわり8号の赤外面像データを主とする各種人工衛星データを解析し、第5期（2021年8～11月）における微弱な火山活動（水蒸気噴火～マグマ水蒸気噴火）を捉えた（東大震研）。

【御嶽山】徒歩による登山道沿いの磁気異常マッピングを行った（名大）。

【焼岳】地磁気全磁力連続観測を継続した。中尾峠観測点の記録には火山活動に伴う変動が含まれている可能性があるが、年周変化が卓越しているため、今後適切な処理によってこれを除去することが必要である（京大防）。

【九重山】地磁気全磁力連続観測を継続した。初年度に実施したドローン空中磁気測量データを用いた解析を行った（京大理）。

【阿蘇山】地磁気全磁力連続観測を継続した。2021年10月の噴火で連続観測点3カ所がすべて被災したが、11月には2カ所を復旧させた。熱赤外線カメラによる撮影データ解析方法の改良に取り組んだ。撮影対象のより正しい表面温度を抽出する撮影位置・姿勢情報を用いた補正方法を明らかにし、ドローンによる上空からの撮影画像に適用することで、中岳第一火口の三次元地表面温度分布を取得することに成功した。赤外面像を用いてGaudin et al. (2016) の方法で噴気放熱率を推定したところ、2020年9月から2021年3月にかけて放熱率の低下傾向が捉えられた（京大理）。

2. 合同研究集会

5月に熊本県南阿蘇村（京大理火山研究センター）でKUS_02と合同の研究集会（オンライン併用のハイブリッド形式）を開催し、両課題の成果と今後の見通しについて情報共有を行った。

3. モニタリングデータに基づく火山活動評価

今年度は吾妻山のVUIワークシート試作に取り組んだ。5月にKUS02と合同で、ワーキンググループを立ち上げ、オンラインにてワークシートの作成方針について議論した。その後、気象庁からデータの提供を受けワークシート（VUIスコア判定基準）を試作した。年度末までにはその基準に基づきVUIを算出する予定。

4. 研究の連携

関連の深い公募研究（2020-KOBO11：東海大）と研究成果を情報共有した（霧島硫黄山・箱根山・草津白根山の火山ガス組成）。また、信州大とも研究成果の情報共有を行った（焼岳の火山ガス組成、電磁気観測）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本課題では、毎年度1火山についてVUI（火山活発化指数）の試験的導入に取り組んできた。これまでに、十勝岳・阿蘇山につづき、今年度の吾妻山で3火山についてのVUIワークシートが試作できた。適切にVUIスコア基準を設定するためには、できるだけ長期間にわたって継続的に取得された観測データが必要であるが、この点については火山ごとに事情が異なるため、ワークシートにどの観測項目を取り入れるかについては熟慮が必要である。その一方、他の火山と同じ観測項目については、スコア基準の設定にほぼ共通の考え方が使えることも分かってきた。観測データだけに基づく定量的な火山活動評価方法のひとつとして、残りの2火山にも順次VUIを導入し、試行と検証の場を広げていく予定である。

空中磁気測量の繰り返しによる火山性磁場変動の検出については、前々建議計画から粘り強く取り組んできたが、近年になりドローン搭載が可能な小型軽量の高精度全磁力計が市販されたことや、ドローンによる磁気測量オペレーション業務を提供する業者が現れたことで技術的実務的な難易度が下がり、研究は一気に進展した。本課題での実証観測を通じて、現場での安全確保やデータ処理方法も含め、モニタリングによる火山活動の評価に資する実用的な技術としてほぼ確立できたと考えている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

橋本武志,2022,火山の活動不安定評価における熱消磁現象の活用と噴火予測の可能性,地学雑誌,130,771,<https://doi.org/10.5026/jgeography.130.771>

Ichiki, M., Kaida, T., Nakayama, T., Miura, S., Yamamoto, M., and Morita, Y.,2021,Magma reservoir beneath Azumayama Volcano , NE Japan , as inferred from a three - dimensional electrical resistivity model explored by means of magnetotelluric method,Earth, Planets, and Space,73,150,<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01451-y>

Terada A., Yaguchi M., and Ohba T.,2022,Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry,Front. Earth Sci.,9,740617,<https://doi.org/10.3389/feart.2021.740671>

Yaguchi, M., T. Ohba, A. Terada,2021,Groundwater interacting at depth with hot plastic magma triggers phreatic rruptions at Yugama crater lake of Kusatsu-Shirane Volcano (Japan),Front. Earth Sci.,9,741742,<https://doi.org/10.3389/feart.2021.741742>

Terada A., Kanda W., Ogawa Y., Yamada T., Yamamoto M., Ohkura T., Aoyama H., Tsutsui T., Onizawa, S.,2021,The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: Eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network,Earth, Planets, and Space,73,157,<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01475-4>

亀谷伸子・石崎泰男・勝岡菜々子・吉本充宏・寺田暁彦,2021,草津白根火山、白根火砕丘群南麓の白根南火口列と弓池マールの噴火様式と活動年代,火山,66,1-20,https://doi.org/10.18940/kazan.66.1_1

Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M., Takarada, S.,2021,Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan,Earth, Planets, and Space,73,141,<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01468-3>

Koyama, T., Kanda, W., Utsugi, M., Kaneko, T., Ohminato, T., Watanabe, A., Tsuji, H., Nishimoto, T., Kuvshinov, A. Honda Y.,2021,Aeromagnetic survey in Kusatsu-Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter,Earth, Planets, and Space,73,139,<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01466-5>

東京工業大学,2021,草津白根山（湖水Cl濃度の時間変動予測モデル）,第148回火山噴火予知連絡会資料（2021年6月）,その1の1,21-22

東京工業大学,2021,草津白根山（草津白根火山・湯釜火口湖の水温変動）,第149回火山噴火予知連絡会資料（2021年12月）,その3の3の1,39

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・柳澤孝寿・本多嘉明,2021,自律型無人ヘリコプターを用いた火山 空中磁気測量,物理探査,74,115-122,<https://doi.org/10.3124/segj.74.115>

東京大学地震研究所,2021,第148回火山噴火予知連絡会資料,その3の4,13-14

横尾亮彦・石井杏佳,2021,熱赤外線カメラで撮影された JPEG ファイルの解析方法,火

山,66,229-240,https://doi.org/10.18940/kazan.66.3.229

Tanaka, R., Yamaya, Y., Tamura, M. et al.,2021,Three-dimensional inversion of audio-magnetotelluric data acquired from the crater area of Mt. Tokachidake, Japan,Earth, Planets, and Space,73,172,https://doi.org/10.1186/s40623-021-01502-4

北海道大学,2021,雌阿寒岳（ナカマチネシリ周辺の全磁力変化）,第149回火山噴火予知連絡会資料（2021年12月）,その3の1,17

北海道大学,2021,十勝岳（地磁気全磁力）,第149回火山噴火予知連絡会資料（2021年12月）,その3の1,35

北海道大学,2021,十勝岳（二酸化硫黄放出率）,第148回火山噴火予知連絡会資料（2021年6月）,その2の8,7

北海道大学,2021,十勝岳（地磁気全磁力）,第148回火山噴火予知連絡会資料（2021年6月）,その2の8,8

東京工業大学,2021,草津白根山（草津白根山周辺の地磁気変化）,第148回火山噴火予知連絡会資料（2021年6月）,その1の1,23-24

東京工業大学,2021,草津白根山（湖水 Cl 濃度の時系列解析）,第149回火山噴火予知連絡会資料（2021年12月）,その3の3の1,40

東京工業大学,2021,草津白根山（草津白根山周辺の地磁気変化）,第149回火山噴火予知連絡会資料（2021年12月）,その3の3の1,41

・学会・シンポジウム等での発表

市來雅啓・海田俊輝・山本 希・三浦 哲・神田 径・潮田雅司・関 香織・森田裕一・上嶋 誠,2021,噴火ポテンシャル評価に向けたAMT法による蔵王山の比抵抗構造探査,日本火山学会2021年秋季大会,P1-14

田中 良・橋本武志・成田翔平,2021,熱水流動数値計算とポストプロセッサーを用いた非噴火期における多項目観測モデリン,日本地球惑星科学連合,SVC29-12

Permana, T. and Aoyama, H.,2021,Volcanic tremor source location at Tokachidake volcano from cross-correlation analysis of 2018-2020 seismic data,Japan Geoscience Union,SVC28-P02

石橋 桜・宇津木充・南 拓人・井上寛之,2021,阿蘇 2014 年マグマ噴火前後における地下比抵抗分布の推移,日本火山学会2021年秋季大会,A2-11

石橋 桜・宇津木充・南 拓人・井上寛之,2021,阿蘇 2014 年マグマ噴火前後における地下比抵抗分布の推移,地球電磁気・地球惑星圏学会2021年秋季大会,R003-10

宇津木充・橋本武志・多田訓子・太田豊宣・吉川 慎・井上寛之,2021,ドローンを用いた九重火山における繰り返し空中磁気観測により見積もられた磁場時間変化について,地球電磁気・地球惑星圏学会2021年秋季大会,R003-01

小山崇夫・神田 径・宇津木充・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・辻 浩・西本太郎・本多嘉明,2021,無人ヘリコプターによる草津白根山空中磁気測量,Japan Geoscience Union,STT34-03

成田翔平・大倉敬宏・吉川 慎・横尾亮彦・井上寛之,2021,阿蘇中岳第一火口の放熱率推定(2020-2021年),日本火山学会2021年秋季大会,P2-25

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：十勝岳の地磁気全磁力連続観測（プロトン磁力計）。毎15分計測。2カ所。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道上富良野町十勝岳 43.423251 142.675409

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：雌阿寒岳ナカマチネシリ火口周辺の地磁気全磁力繰り返し観測（多点・臨時・不定期）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道足寄町雌阿寒岳 43.391752 144.016804

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：DOAS・COMPUSS・COSPEC

概要：二酸化硫黄放出率観測（ドローン搭載DOAS，地上トラバース，人工衛星データ解析）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道上富良野町十勝岳 43.423214 142.675431

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：ベンガラ温泉の自動サンプリング

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道上富良野町十勝岳 43.431575 142.641678

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：ドローンによる空中磁気測量（全磁力）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：福島県猪苗代町吾妻山 37.733101 140.239191

調査・観測期間：2021/9/-2021/9/

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：地磁気全磁力（連続・繰り返し）観測を行った。仙台管区气象台と共同実施

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮城県蔵王町蔵王山 38.136565

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：湯釜火口周辺の全磁力連続観測（4地点・プロトン磁力計）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643166 138.535538

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：噴気ガス化学組成の分析（不定期）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643166 138.535538

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：湯釜火口湖水の化学分析・温度観測（不定期）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643166 138.535538

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：地磁気全磁力および3成分の連続観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都大島町伊豆大島 34.727003 139.394789

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：その他：ACTIVE電磁探査

概要：三原山火口周辺域で人工電流を用いた電磁探査（ACTIVE）を行った。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都大島町伊豆大島 34.727003 139.394789

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：登山道沿いの徒歩による地磁気全磁力サーベイ（オーバーハウザー磁力計）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：長野県王滝村御嶽山 35.891240 137.481108

調査・観測期間：2020/10/-2021/10/

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：地磁気全磁力連続観測（プロトン磁力計）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：大分県久住町九重山 33.093321 131.237912

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：ドローンによる空中磁気測量（全磁力）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：大分県久住町九重山 33.093321 131.237912

調査・観測期間：2019/10/12-2019/10/18

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：地磁気全磁力連続観測（プロトン磁力計・4カ所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：岐阜県高山市焼岳 36.228714 137.589512

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：地磁気全磁力連続観測（プロトン磁力計・3カ所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県阿蘇市阿蘇山 32.884714 131.085155

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：その他：ACTIVE電磁法比抵抗モニタリング

概要：ACTIVE電磁探査による比抵抗モニタリング（不定期）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県阿蘇市阿蘇山 32.884714 131.085155

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

各火山（十勝岳，吾妻山，伊豆大島，草津白根，焼岳，九重山，阿蘇山等）での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測を継続する。噴気放熱率推定自動処理開発を進める。草津白根山の火山活動評価（VUIワークシート試作）を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本武志（北海道大学），青山裕（北海道大学），田中良（北海道大学）

他機関との共同研究の有無：有

市來雅啓（東北大学），小山崇夫（東京大学地震研究所），金子隆之（東京大学地震研究所），森俊哉（東京大学大学院理学系研究科），神田徑（東京工業大学），寺田暁彦（東京工業大学），市原寛（名古屋大学大学院環境学研究科），宇津木充（京都大学大学院理学研究科），大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科），横尾亮彦（京都大学大学院理学研究科），吉村令慧（京都大学防災研究所），相澤広記（九州大学大学院理学研究院），大場武（東海大学），齋藤武士（信州大学），高木朗充（気象庁），高橋良（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の事前評価・即時予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
イ. 津波の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
イ. 津波の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海底地すべり（斜面崩壊）による津波について精密な数値計算によるモデル化を行い、深海での海底地すべりから津波励起・伝搬・遡上まで再現できる手法を開発する。さらに、開発した数値計算手法を用いて、過去の海底地すべり津波による近地津波の再現を行い数値計算手法の改良と津波再現性の向上を図る。さらに、南海トラフ沿い及び日本海溝・千島海溝沿いの海底地すべり地形から、地すべり津波の沿岸での津波災害ポテンシャルを評価する。また、そのような地すべり津波が津波観測網（S-NET・DONET）でどのように観測されるかを計算し、津波即時予測への影響を評価するとともに、数値計算結果を津波即時予測に取り込む手法の開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- 平成31年度においては、深海での海底地すべりによる津波数値計算手法の開発を実施。
- 平成32年度においては、開発された津波数値計算手法を用いて、過去の海底地すべりによる津波の再現数値実験を実施するとともに、津波数値計算手法の改良を実施する。
- 平成33年度においては、他の海底地すべりによる津波の再現数値計算実験を実施するとともに、津波数値計算手法のさらなる高度化を実施する。また、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形を評価する。
- 平成34年度においては、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形から津波数値計算を実施し、津波災害ポテンシャルを評価する。
- 平成35年度においては、それまでの海底地すべり津波が発生した場合の津波即時予測手法の開発を

行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の数値計算手法開発を継続し、1946年アリューシャン津波地震の海底地すべりによる沿岸波高の再現数値実験を行った。1946年アリューシャン地震は現在知られている最も異常な津波地震（Ms7.4, Mt9.3）で、ハワイやアメリカ西海岸で大きな津波が観測されている（Tanioka and Seno, 2001）。さらにアリューシャン列島沿岸で最大40m近くの津波高が調査されている（Okal et al, 2003）。また、沿岸で25mを超える津波が調査されている場所は比較的局所的で海底地すべりにより津波がより大きくなったことが示唆されている。そこで前年度までに開発された海底地すべりによる津波計算モデルによる数値計算を実施し、暫定的な調査地点近傍での最大津波波高比較を行った（図1）。全体的にまだ調査最大波高を過小評価しているが、今後、地震断層運動による津波を加え、さらなる海底地すべり津波計算モデルの改良により改善が期待される。

さらに、2022年1月15日（今年度中）にトンガで大規模噴火が発生した。噴火による気圧パルスの伝搬により津波が励起され、日本沿岸に津波注意報・警報が発令された。またこの津波は日本海溝沿いに設置された海底ケーブル式地震・海底圧力観測網（S-net）で観測された。このような地震以外の現象が原因の津波に対する即時予測に関する研究は重要であると考え、本研究課題内で追加的に研究を実施した（図2）（Tanioka et al, EPS, submitted）。日本での気圧観測データをもとに、最大2hPaで半波長300kmを持つ線状気圧パルスが南東方向から北西方向に走向44°を持って、速度312m/sで伝搬したと仮定し、大気・海洋結合数値計算実施したところ、S-netで観測された波形を比較的良く説明できる事が分かった（図2）。また、気圧パルスの伝搬速度と津波の伝搬速度が近づくことにより生じるProudman共鳴現象等の津波の挙動が明らかになった。さらに、このような津波を即時予測するためには気圧パルスの観測が重要であることが示された。

参考論文

Tanioka, Y., T. Seno, 2001, Detailed analysis of tsunami waveforms generated by the 1946 Aleutian tsunami earthquake, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 1, 171-175, <https://doi.org/10.5194/nhess-1-171-2001>

Okal, E.A, G. Plafker, C.E. Synolakis, and J.C. Borrero, 2003, Near-field survey of the 1946 Aleutian tsunami on Unimak and Sanak Islands, Bulletin of the Seismological Society of America, 93, 1226-1234, <https://doi.org/10.1785/0120020198>

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震に伴い発生する海底地すべりによる津波の事前予測を行う手法が開発されてきており、貢献度は高い。

さらに火山大噴火で励起される気圧パルスのより発生する津波の即時予測に貢献する成果が得られている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tanioka, Y., Y. Yamanaka, and T. Nakagaki, Characteristics of Tsunamis Observed in Japan due to the Air Wave from the 2022 Tonga Eruption, EPS, submitted, 10.21203/rs.3.rs-1320093/v1

・学会・シンポジウム等での発表

中垣達也・谷岡勇市郎, 2021, 1929年Grandbanks海底地すべり津波の波形解析, 日本地球惑星科学連合2021年大会

Tanioka, Y., 2021, Tsunami modeling by marine landslides and reduction of disasters (Invited), Geohazard Symposium, Science Council of Japan, 26 May

Nakagaki, T. and Y. Tanioka, 2021,

Numerical Simulation of the 1929 Grand Banks Submarine Landslide Tsunami, 30th International Tsunami Symposium, Sendai

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1946年アリューシャン津波地震による地震津波と海底地すべり津波の再現実験をまとめる。さらに海底地すべり発生による津波励起が知られている1998年バプアニューギニア地震津波への適用を試みる。また、日本での海底地すべり津波の解析を開始する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学地震火山研究観測センター
他機関との共同研究の有無：有
柳澤英明（東北学院大学）,3名（海洋研究開発機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山研究観測センター
電話：011-706-3591
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp
URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：谷岡勇市郎
所属：北海道大学

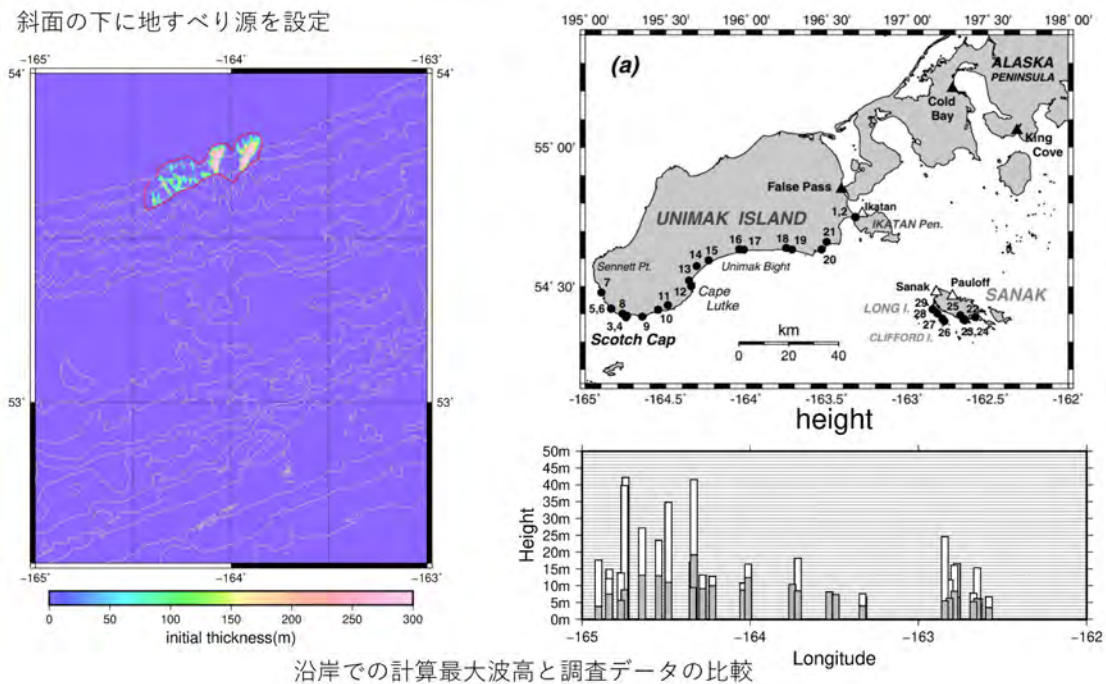


図1

左) 1946年アリューシャン津波地震の海底地すべりモデルに使用した地すべりの発生した場所と層厚。右) 計算津波高（灰色）とOkal et al. (2003)により調査された津波高（白）

との比較。

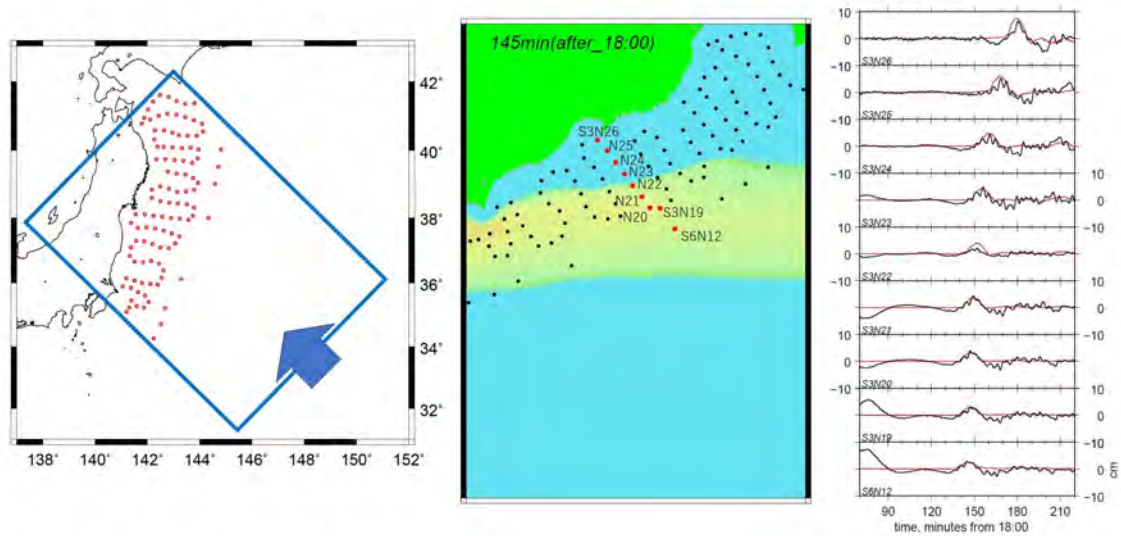


図 2

2022年トンガ噴火により発生した気圧パルスにより励起された津波。左) S-net観測点分布 (赤) と津波計算範囲 (青四角)。中) 18時から145分後の津波波高分布と観測点分布。右) 計算波形 (赤) と観測波形 (黒) の比較。(Tanioka at al. EPS submitted より)

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動即時解析表示システムの開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山噴火が切迫した段階または噴火中には、火山性地震や微動が頻発したり、大きな地盤変動が急激に進行したりする場合がある。このようなケースでは、研究者や現業者が手動で地震波形や地盤変動データを読み取って震源や力源を推定することは多くの場合困難であり、精度を多少犠牲にしてもほぼリアルタイムで自動的に震源や力源が推定できるシステムの方が有用性は高い。そのため、本研究課題では、5年間でこうした自動処理システムを試作するとともに、前建議計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムの追加表示コンテンツとして組み込む。将来的には、こうしたシステムを、現業機関や、地元自治体火山防災協議会メンバーの火山専門家に利用してもらうことで、火山噴火の災害誘因予測を、迅速かつ的確な状況把握と災害対応の支援につなげることを目指す。本計画ではこのための実験的展開も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤変動源を表示するシステムを試作する。試作したシステムは、前計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムのコンテンツの一部としても活用し、地元自治体火山防災協議会のメンバーとなる専門家がアドバイスを行うにあたっての支援ツールとしての利用を念頭に置く。これに加えて、自治体の防災担当者にこの情報表示システムを平常時から活用してもらえるよう、火山以外の観測・防災情報（例えば気象情報や地震活動など）についても、ユーザの要望を取り入れながら改良を進める。R1年度とR2年度は、代表機関と東北大を中心にシステム設計を進め、R3年度以降は九州地方への展開も行う。

令和1年度：地殻変動源自動推定ツール・振幅震源自動推定ツールの設計。前計画で設置したシステムの入替え（北海道・東北）。

令和2年度：システム開発。前計画設置システムの入替え（北海道・東北）。

令和3年度：九州地方へのシステム展開。前計画で設置したシステムの入替え。

令和4年度：システム改修。前計画で設置したシステムの入替え。

令和5年度：九州地方へのシステム展開。5カ年の総括。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

以下のことを実施した。

1. 北海道大学の有珠観測所に設置していた現行システムの基幹サーバーを、北大札幌キャンパスに複製移設するとともに、今後の開発・配布を容易にするためのGitサーバ機能を組み込んだ。
2. これまでに試作した振幅震源推定コンテンツを表示システムに取り込む作業を行った。
3. 表示システムの改修。本課題の表示システムは、提供元のデータフォーマットが変わるとそれに合わせた修正が必要となる。最近気象庁のHP仕様が大きく変更されたためその対応を進めた。また、前建議の課題で作成したシステムは、全ての表示機能を1つに統合したソフトウェアであったが、将来の対応作業の簡便化のために、機能ごとに分割したソフトウェアへの変更作業を始めた。
4. 地殻変動源推定コンテンツの開発。THK_12の課題で開発したRUNE (Ohno et al., 2021) を改変して活用している。動作確認のために、球状圧力源+ダイクによる疑似データを生成し、マルコフ連鎖モンテカルロ法で逆推定した。両者ともに、ソースパラメータの事後確率分布は概ね妥当な中央値を示した一方で、ダイクについては幅と深さにトレードオフ関係が見られることもわかった。
5. その他、各機関へ配付する表示サーバーの準備を年度内に完了すべく作業中である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

令和3年3月に有珠山で発生した群発地震イベントのように噴火の切迫が疑われるような場面において、まさに本課題で取り組んでいるようなリアルタイム表示システムが必要とされることが、改めて認識された。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、表示コンテンツの改修・開発とシステムの入替えを行う。開発部分の具体的な実施内容としては以下に取り組む予定である。

1. 次世代火山研究推進事業で展開しつつある有珠山GNSS観測網との連携（リアルタイム測位表示や、実際の観測網配置に基づくMCMC力源推定の精度検証）
2. 実際の観測データを含めた、より現実的な事象への適用による精度評価への着手（有珠山2000年噴火時のデータ等への適用）

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本武志*課題連絡担当者（北海道大学）、青山裕（北海道大学）、高橋浩晃（北海道大学）、谷岡勇市郎（北海道大学）、大園真子（北海道大学）、田中良（北海道大学）

他機関との共同研究の有無：有

山本希（東北大学）、太田雄策（東北大学）、大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）、松島健（九州大学）、石峯康浩（山梨県富士山科学研究所）、菅野智之（気象庁）、藤田英輔（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL :

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - イ. 津波の事前評価手法
 - (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - イ. 津波の即時予測手法
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
地震
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2007年に地理空間情報活用推進基本法が制定され、それを受けて翌年には地理空間情報活用推進基本計画（一次）が閣議決定された。これらにより日本では法的根拠を持って国家的な地理空間情報の整備や更新が行われるようになった。さらに、東日本大震災の経験により、防災を中心とした地理空間情報の整備や活用が望まれるようになった。そこで、前期の「災害の軽減に貢献するための地震・火山噴火観測研究計画」では、地理空間情報（G空間情報）、GIS（地理情報システム）、衛星測位（GPS、準天頂測位システムなど）を統合活用し、防災・減災に活用するための基礎的システムを開発し、それによって高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システム構築

などを目指し、成果をあげた。

今期の計画において本研究は、地理空間情報、GIS、衛星測位に現代的ICT技術、AI、IoTなどを統合し、避難行動に関するマイクロジオデータ等を収集して、防災・減災に関して社会的有効性の高い統合的な情報活用システムを開発する。

本研究では開発したシステムを援用し、都市的な地域開発と災害誘因となる自然現象とで人的被害や経済的被害を分析することで災害リスクの解明を行い、その結果から「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」について、人文社会科学と自然科学の両方の立場から議論を行う。特に、ここでは地方レベル、市町村レベル、町内会レベルというように空間スケールごとに分析を行ない、各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。

上記の分析結果を受けて、防災・減災の対策を情報流通の面から検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国、地方自治体、住民組織、住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか明らかにし、それによって「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」克服のための可能性を探る。

特に本研究は、地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波を想定し、北海道東部太平洋沿岸（釧路市、厚岸町など）の積雪寒冷地を主なフィールドとして研究を進める。これらのフィールドは、道路の凍結や、堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素が増加する。このような状況を想定し、本研究は積雪寒冷地の防災・減災に向けた情報システムの開発と活用についても研究を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行う。準天頂衛星システムは平成29年度に衛星4機体制となったため、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。当年度には準天頂衛星システムを用いた活用方法の開発と実証実験を行い、さらに従来空間分析手法の改良などを行う。なお、当年度では平成27年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し、これまでに収集したデータと融合させて、分析に用いる時空間データベースの作成を行う。

平成32年度においては、地方レベル・市町村レベル・町内会レベルでの人口や土地利用などの地理空間情報を用いた津波浸水による津波被害に関する分析、避難施設と避難困難地域（津波到達までに避難場所に到達できない地域）に関する分析、住民の避難行動に関する分析などを行う。当年度には、積雪寒冷地である北海道全域を対象に、現在、北海道総務部危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて、マクロな視点による津波被害分析を行う。その際には人口や土地利用のデータを時系列的に収集し、GISに取り込んで空間データベースを構築した後に、都市の変化と災害リスクとの関係について分析する。

平成33年度においては、積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し、人口、土地利用、津波浸水想定だけではなく、避難施設と避難困難地域に関するデータの収集と分析を行う。事例市町村としては、地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波の浸水想定域が広範囲に及ぶ東部太平洋沿岸の釧路市や厚岸町などとする。道路の凍結や堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素を加え、避難施設や避難ルートなど住民避難に関する地理空間情報を用いて空間データベースを構築する。この分析により、生活レベルのミクロな視点で、各自治体のもつ「災害に対する社会的脆弱性」に関する分析を行う。

平成34年度においては、ここまでの結果を受けて、当年度には事例市町村の津波浸水想定域における町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。その際には、準天頂生成に対応した津波避難支援ナビゲーションシステムを用い、何が避難の障害になり、何が避難をサポートするのか、ミクロレベルでの地物に関する分析を行う。また、集団での避難実験の移動ログを収集し、個人レベルとは異なる避難の障害を抽出する。最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにし、「自助・共助を最適化する公助」について考察を行う。

平成35年度においては、上記の分析を継続しつつ、当年度には自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行う。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国・地方自治体・住民組織・住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへ

の聞き取りから明らかにする。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行う。この研究では、自宅から避難場所までの住民行動を総合的に扱い、避難開始や避難場所選定などに関する住民の意思決定についてはファジーAHPなどの手法で分析する。また、避難移動に関しては現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して分析する。

最終年度である平成36年度には以上の分析成果を統合し、津波災害時の住民避難の課題を抽出し、地域開発と災害に対する関係性を考慮して、災害に関する社会的脆弱性を明らかにする。なお、災害の危険生が高い地域で積雪寒冷地の地域性を考慮した研究を行うために、積雪のある冬季と、積雪のない夏季の2時期での検討に重点を置く。

また、全ての年度を通じて、地域防災のための公開講座や講演会の開催や、自治体防災担当者への講義や防災GISハンズオンセミナーなどを実施する。北海道総務部危機対策課の防災アドバイザー制度を利用して自治体への防災GISの普及を試みるほか、北海道大学と自治体との相互協定等を利用して防災教育活動・地域貢献を実施し、効果的な研究成果の普及手法を探る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 目的

本研究の成果は、小樽商科大学の深田秀実教授との共同研究である。

本研究では、まず津波浸水想定の更新後における津波避難場所の分布と避難圏の変化を分析し、避難場所と夜間人口との関係について検討する。また、主要な津波避難ビルの概要についても確認する。次に、津波避難ビルへ徒歩で向かい、ビル内の階段を上って最上階へ避難するまでの行動をMASにより分析する。そのために初期設定、道路や津波避難ビル内階段のモデリング、住民の行動ルールなどを決定する。さらに、対象地区全体と街区ごとの2種類のシミュレーションを行い、避難開始から津波避難ビルに到着した割合（到達率）、ビル内階段の上昇を開始した割合（上昇開始率）、5階を通過した割合（5階通過率）、最上階に到着した割合（避難完了率）を時系列的に分析する。最後に、これらの結果を統合し、大津波が予想される臨海部の市街地において、津波避難ビルの有効性と課題を明らかにする。

本研究の対象である釧路市の中心市街地は港湾を中心に発展した地区であり、南側は海に接している。また、中心市街地の東西には釧路川と新釧路川の2本の河川が流れており、釧路川には3本、新釧路川には1本の橋しか通行できない。さらに、北側にはJR根室本線の高架ではない鉄道があり、鉄道を越えるためには2本の高架道路を通る必要がある。このように中心市街地は一方が海、残りを川と鉄道に囲まれており、津波発生時には橋や高架道路に多くの避難者が集中し、移動が困難になる可能性が高い。そのため、中心市街地での避難においては津波避難ビルが重要となる。

2. 釧路市中心市街地における津波避難場所の変化

(1) 避難場所の分布変化

まず、釧路市の中心市街地で、津波避難場所の変化をみる。2012年6月に北海道が公表した最大クラスの津波（L2）の浸水想定によると、釧路市の中心市街地には5.0m以上の津波が襲来し、釧路川沿岸では8.0m以上、西部の海岸付近には10.0m以上の津波が予想されている。

釧路市の旧想定では海岸付近と釧路川沿いのみの狭い範囲が浸水想定域とされていたが、新しい想定で浸水範囲が拡大すると、釧路市は12カ所の津波避難場所を指定した。その中で釧路市は駅前のホテルなどを津波避難ビルに指定して津波避難の対策を考えたが、当時は中心市街地の西部に適当なビルがなかったため、地域住民は避難場所への到達が困難であった。

2020年時点では、釧路市によって指定される避難場所は14カ所となった。ここで注目されるのは、市街地東部に道営住宅であえーる幸団地（12階）および釧路市役所防災庁舎（6階）という2つの津波避難拠点に加わったことである。道営住宅であえーる幸団地は2015年に釧路駅付近で建設され、災害時には4階以上の共用廊下も含め約1,000人の避難が可能である。

釧路市役所防災庁舎も2015年に完成し、災害時には約640人が避難できる。津波避難場所については、指定避難場所のように明確な定員が示されていないが、このように多くの避難者を受け入れることができる耐震構造を持った避難施設が完成したことで、釧路市中心部の津波避難準備は大きく改善されたと考えられる。しかし、消防本部（3階）が避難場所から除外されたため、釧路川河口付近の避難場所の密度は低下している。

当該地域への津波第1波は地震発生後、約30分と予想されている。国土交通省や消防庁は避難時間を15分とし、500m以内の移動で避難場所に到達できる環境を推奨している。また、釧路市は独自に避難場所への到達距離を1,000mとして対策を行っている。ここで、各避難場所からの道路距離による500m圏と1,000m圏を示すために、避難場所を中心とするGISで道路ネットワーク空間上の等距離圏（ネットワークバッファー）を描画する。2012年における避難圏をみると、中心市街地の東部は、ほぼ全域が500m圏に入る（図1）。しかし、寿町から西側は1,000m圏となり、宝町より西側は避難のため1,000m以上の避難が必要となる。

（2）避難場所と人口密度の対応

ここで避難場所と夜間人口の分布の関係を見るため、2015年国勢調査（小地域）の人口密度と、2020年時点での大津波避難場所を重ねる。人口密度は、釧路駅と弊舞橋とを結ぶ北大通沿線の中心地区で低く、中心市街地東部の旭町地区や西部の寿地区で高い。なお、大津波避難場所は、人口密度が高い地区と低い地区の境界付近に分布している。

東部の旭町地区では、浸水想定の更新後、釧路川沿岸の旭改良住宅（9階）が新たに避難場所に指定され、自治区内での避難が可能になっている。しかし、西部の寿地区には、大津波の発生時に釧路市が避難先として推奨する4階以上の建物が存在しない。釧路市津波避難計画によれば、寿地区の避難場所は中央小学校である。しかし、この校舎は3階建てで、屋上に避難することができないため、津波浸水想定が10.0mに達するこの地区では十分な高さがあるとは言えない。このような状況において、寿地区に近い場所で新たな避難場所として、道営住宅であえーる幸団地が建てられたため、津波避難の拠点となることが期待されている。

（3）道営住宅であえーる幸団地の概要

北海道建設部住宅局によりJR釧路駅付近において津波避難機能を備えた道営住宅の整備が進められ、2015年に道営住宅であえーる幸団地が完成した。釧路市は、この建物を津波緊急避難施設（津波避難ビル）として指定した。当該津波避難ビルは海岸から約1,000mに位置し、鉄筋コンクリート造の12階建てである。津波避難ビルとしての収容可能な人数は1,000人で、最上階の集会室や共用廊下を避難スペースとしている。

ここへの避難における課題で深刻なものは、屋内の階段を上り安全な階までの移動に時間を要することである。国や釧路市による避難圏は、あくまでも道路などを移動する水平移動に限ったものであり、津波避難ビルの場合には階段などを上って垂直移動を行う必要がある。なお、このビルの入り口は狭いため、多くの避難者が入るためには待ち時間が必要となる。また、ビル内の階段を避難者は1列もしくは2列になって移動するが、階段の幅が狭いため追い抜くことは難しい。

このような状況が考えられるため、であえーる幸団地の津波避難ビルとしての有効性や課題を検討するためには、居住地からの水平移動だけでなく、ビル内における階段での垂直移動についても考慮する必要がある。そこで本研究は、中心市街地西部の寿地区を事例とし、住民が居住地から徒歩でビルの最上階に避難するまでの行動を、道路や階段をモデル化したシミュレーションを行うことで、津波避難の課題を検討する。なお、2018年北海道胆振東部地震のように地震発生後に停電の起きる可能性があるため、ビル内の避難は徒歩のみとし、エレベータを使用しないこととする。

3. シミュレーションモデルの構築

（1）シミュレーションの手法と対象地域

本研究は、道路や団地の階段をモデル化した上で、寿地区の住民が居住地から徒歩で、であえーる幸団地の最上階に避難するまでの行動をMASでシミュレーションすることにより津波避難の課題を検討する。本研究では、寿地区に居住する住民をエージェントとしてモデル化し、その住民エージェントに行動ルールを与え、津波避難行動をシミュレーションする。MASにおける各々のエージェントは、内部に行動ルールを持ち、環境や他エージェントとの相互作用により行動を決定するため、避難住民が津波避難ビル内の階段を上昇していく避難行動の状況をシミュレートすることが期待できる。

シミュレーションでは、中心市街地西部の寿地区を対象とする（図2）。この地区の2015年国勢調査における年齢別人口は、年齢不明の人口を除外すると1,005人である。なお、この地区は2020年国勢調査では4つの統計区に分かれているため、これらをA～D地区とし、それぞれの地区に関してシミュレーションを行うことで、津波避難ビルからの距離などによる避難傾向の違いについて検討する。

本研究のシミュレーションでは、であえーる幸団地の最上階を終点とする。この避難ビルの場合、5階まで上れば高さ15.0m以上に到達するが、避難者が中層階で避難行動を止め廊下や階段に滞留すると、多くの者が玄関や下層階から階段を上れないという状況になる。そこで、本シミュレーションでは、より多くの避難者を津波避難ビルに収容することを考え、最上階を終点とする。

本シミュレーションの当該地区における道路のモデリングは、道路網の交差点をノード、道路をリンクとした。また、避難ビル内の階段部分に関するモデリングは、実際の階段の状況を2017年7月に現地で確認し、避難ビル内の階段における実測寸法をもとに、12階の高さを等分割した3Dモデルとしている。

(2) エージェントの初期設定

本研究で行うMASでは住民1人を1エージェントとしてシミュレーションを行う。住民エージェントの初期位置は、現住民の詳細な居住位置が不明であるため、本研究対象地区であるA地区～D地区の各中央地点付近を中心とした円状の範囲に、住民エージェントをランダムに発生させ、当該津波避難ビルへ向かって最短経路で歩行移動する設定とする。住民エージェントの発生数は、本対象地区における2015年国勢調査の人口と一致するように、A地区518、B地区189、C地区227、D地区71の合計1,005エージェントとする。であえーる幸団地の収容人員は1,000人であるため、ほぼすべてのエージェントを収容することができる。

本研究では、住民エージェントの避難開始を一斉避難ではなく、時間経過とともに開始することとし、大畑ほか(2007)をもとに、表1に示す頻度分布で避難する設定とする。これは、大地震が発生した場合、過去に経験したことがない大きな揺れのため、直ちに避難を開始する住民もいれば、人間の心理的特性や過去の経験が逆に作用して、避難開始が遅れる場合もあることを考慮したためである。

住民エージェントの歩行速度は、先行研究(大畑ほか, 2007; 岩永ほか, 2014)をもとに、平地で1.50m/sを基本速度とする。また、津波避難ビル内の階段の移動速度は、森山ほか(2006)を参考に0.68m/sを基本速度として年齢層ごとに設定する(表2)。さらに、個人差を考慮し、各年齢層で±30%のばらつきをランダムに与える(深田ほか, 2017)。

(3) エージェントの行動ルール

住民エージェントの行動フローを図3に示す。住民エージェントは、シミュレーション開始直後、寿地区内でランダムに発生させた初期位置から津波避難ビルの最上階へ向けて、最短経路で避難行動を開始する。その際、住民エージェントは年齢層別に設定された道路移動速度で道路網上を移動する。津波避難ビルへ徒歩で向かう平地の道路移動はダイクストラ法を用いて最短経路を選択する。なお、住民エージェントが道路を移動する場合には、前方の住民エージェントを追い抜くことができるように設定している。

住民エージェントが津波避難ビルに到着した後は、北側玄関1カ所から内部に入る。ここで、入口を1カ所とした理由は、津波避難において避難者が最短距離でビル内部に移動することを前提としたためである。なお、入り口から階段までには先着の避難者を追い越せない設定となっている。そのため前方に住民エージェントが階段下で滞留していた場合には、後着の住民エージェントは先着のエージェントを追い越さないで待機し、滞留が解消すると再び階段に向かって移動する。

住民エージェントが津波避難ビルに入った後は、2カ所の階段に分かれて進み、それぞれの階段を横2列で上る。実際の避難ビル内階段の状況を鑑み、前方の住民エージェントと常に60 cmの間隔を空け、2列に並んで上ることとし、追い越しができない設定とする。そのため前方に住民エージェントが詰まって場合には、住民エージェントは前方のエージェントを追従し、階段を上っていく。そして、住民エージェントが最上階に到着した時点で避難完了とする。なお、本シミュレーションでは、シミュレータの計算1 stepを1秒として時間換算している。

4. 避難行動シミュレーションの結果と考察

(1) 対象地区全体のシミュレーション結果

本研究では、前述した住民エージェントの行動ルールに基づいた避難シミュレーションを100回実行し、その結果を平均して避難行動に要した時間として算出する。着目する項目は、避難開始から当該津波避難ビルに到着した割合(避難ビル到達率)、避難ビル内階段移動を開始した割合(階段移動開始率)、避難ビル5階を通過した割合(5階通過率)、最上階に到着した割合(避難完了率)の4項目で

ある。

ここでは、避難開始後15分と30分の結果に注目する。15分時点の結果は、地震発生から15分を避難準備などに費やして避難移動を行う場合のものである。また、30分時点の結果は、地震発生から津波の到来までの時間をすべて避難移動に費やした場合のものである。

まず、シミュレーション結果による全住民エージェントの避難行動と経過時間（全体平均）の関係をみる（図4）。まず、避難ビル到達率をみると、避難開始から15分時点では住民エージェント全体の33.4%、30分時点では96.8%である。次に、階段移動開始率は、避難開始から15分時点で23.4%が、30分時点では66.7%である。この結果は、津波が到来する30分時点で、ほとんどの住民エージェントは避難ビルに到達しているが、その一部しか階段を上っておらず、残りは階段の下で滞留した状態であることを示す。

避難ビル内で安全圏に入ったことを示す5階通過率をみると、避難開始から15分時点で3.7%、30分時点で34.8%である。住民エージェントが最上階に到着した避難完了率をみると、15分時点では0.2%、30分時点で7.3%であり、全住民エージェントの避難完了までに要した時間は84分である。この避難ビルの収容能力としては、ほぼすべての住民エージェントが避難可能であるが、シミュレーション結果では大部分が津波到達までに安全な上層階へ到達できなかった。

（2）地区ごとのシミュレーション結果

地区ごとに算出した避難ビル到達率をみると（図5-a）、避難ビルに最も近いA地区の住民エージェントは、避難開始から15分時点で全体の45.4%、30分時点で99.7%が避難ビルに到達している。A地区に次いで避難ビルに近いB地区の住民エージェントは避難開始から15分時点で37.7%、30分時点で99.4%が到達している。避難ビルから遠いC地区の住民エージェントは、避難開始から15分時点で9.4%、30分時点で89.3%が、D地区の住民エージェントは15分時点で10.5%、30分時点で92.5%が到達という結果になる。

階段移動開始率をみると（図5-b）、A地区の住民エージェントは避難開始から15分時点で32.7%、30分時点で81.7%が階段の上昇を開始している。また、B地区では15分時点で26.4%、30分時点で75.1%が上昇を開始している。一方、C地区では避難開始から15分時点で5.0%、30分時点で34.7%、D地区では15分時点で5.6%、30分時点で37.9%と階段の上昇開始が遅い。

5階通過率をみると（図5-c）、A地区では避難開始から15分時点で5.8%、30分時点で47.0%が5階を通過している。B地区では15分時点で3.8%、30分時点で39.6%が5階を通過している。C地区では15分時点で0.1%、30分時点で約10.4%、D地区では15分時点で0.1%、30分時点で11.6%という低い数値となっている。

地区別避難完了率をみると（図5-d）、A地区では避難開始から15分時点で0.3%、30分時点では10.9%が最上階に到達している。B地区では15分時点で0.1%、30分時点で7.8%である。C地区では15分時点で0.0%、30分時点で0.7%、D地区では15分時点で0.0%、30分時点で0.7%という結果となっている。

5. 考察

釧路市は、東日本大震災の後、中心市街地において津波避難ビルを増やし、津波災害時における収容人数の増加や、近接性の上昇といった対策を講じてきた。その中で、道営住宅を津波避難の拠点として建設したのは画期的な試みであった。特に、津波避難場所の少ない中心市街地西部にとって、収容能力の大きな津波避難ビルは大きな防災効果を持つと思われる。その有効性と課題を、本研究はシミュレーションを用いて検証した。

釧路市津波避難計画によれば、大津波の中心市街地への到達予想時間は約30分とされるため、それまでに当該津波避難ビルの上層階に避難する必要がある。今回のシミュレーションにおける住民エージェント全体の避難ビル5階の通過率は、避難開始から30分時点で34.8%であった。特に、避難ビルに近いA地区では47.0%、B地区では39.6%が5階以上に避難できているため、津波来襲時の避難先として、ある程度の有効性が認められる。しかし、住民エージェントの半分以上は階段の混雑などにより4階以下にとどまっており、被災する可能性があることがわかった。

次に、避難ビルから離れているC地区とD地区のシミュレーション結果をみると、避難後30分時点で5階に到達できない住民エージェントは約90%であった。そのため、これら地区の住民にとって、このビルではなく、別の避難先を考える必要が感じられる。このように同じ地区においても津波避難ビ

ルからの距離によって津波避難ビルの効果には大きな違いが生じることが明らかになった。

さらに、シミュレーション結果で、避難ビルへの到達割合と階段上昇開始割合の差をみると、避難開始30分の時点で、住民エージェント全体のうち96.8%が避難ビルに到達しているにも関わらず、階段上昇開始率は約66.7%となっていた。これは、住民エージェント全体の約30%が避難ビル内の階段を上れずに立ち止まっている状況を示す。この滞留が生じる要因としては、住民エージェントの移動速度の変化が挙げられる。平地の歩行速度と避難ビル内の階段上昇速度に差異があり、その差異が生じる地点が避難ビルの入口であるため、ここで滞留が発生するものと推察される。このように避難ビルに関しては、従来の防災計画のように500mや1,000mといった水平移動の距離だけではなく、垂直移動や階段付近における滞留の時間も考慮に入れる必要がある。

なお、シミュレーションは、避難者全員がきわめて理想的な行動を取った結果を示している。実際には、階段上昇による体力が低下で速度が落ちることや、階段の途中で多くの者が休止して移動の妨げになることなどが考えられる。今回のように理想的な行動でも、一部の避難者しか津波到来までに上層階へ移動できないため、この津波避難ビルへの避難だけでなく、他の避難方法もあわせて検討すべきである。

以上のように、東日本大震災後に津波浸水想定が更新されてから、釧路市は中心市街地における津波避難対策として、収容人数の多い津波避難ビルを整備してきた。住民の水平移動を中心に考えると、津波避難ビルの効果は大きく、特に中心市街地西部の避難環境は改善された。しかし、安全性の高い高層津波避難ビルでは階段移動に時間がかかり、収容人数に余裕があるにもかかわらず、多数の者が津波の到来までに上層階に移動できない可能性のあることがわかった。津波避難ビルの収容能力が大きいことは大切であるが、その有効性については定員数だけから判断するのではなく、水平移動や垂直移動も考慮して、住民にとっての近接性の高さから判断することが、津波対策において重要と思われる。

文献

岩永佐織・藤井亜弥・松浦義則（2014）：呉市の津波避難シミュレーション．海上保安大学校研究報告，57（1-2），15-24．

大畑大志郎・高井伸雄・鏡味洋史（2007）：釧路市中心市街地における津波避難施設配置の評価－マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション その2－．日本建築学会計画系論文集，612，87-91．

深田秀実・橋本雄一・沖 観行（2017）：津波避難ビルの階段上昇を含む避難行動シミュレーション－釧路市橋北地区を対象とした基礎的検討－．地理情報システム学会講演論文集，26，B-4-2．

森山修治・長田悠平・土屋伸一・小川純子・浜 暁也・神忠 久・渡邊大地・長谷見雄二（2006）：津波避難ビルにおける階段歩行特性に関する実験研究－その2 階段上昇時の群集歩行特性－．日本建築学会学術講演梗概集，E-1，907-908．

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

塩崎大輔・橋本雄一,2021,ニセコひらふ地区におけるリゾート開発と土砂災害リスク,地理学論集,96(1),1-6

橋本雄一,2021,北海道太平洋沿岸における津波浸水想定域の空間分析,北海道大学文学研究院紀要,165,129-166

川村 壮・橋本雄一,2021,港湾都市の土地利用の空間パターンの変化と津波災害リスク,地理情報システム学会講演論文集,30,B30-3-6

三好 達也・橋本 雄一,2021,BIM/CIM・GIS連携と北海道におけるGISコミュニティの活動,地理情報システム学会講演論文集,30,C31-3-5

三井 和・橋本 雄一,2021,苫小牧市における保育施設の災害時避難の課題,地理情報システム学会講演論文集,30,B31-2-5

塩崎大輔・橋本雄一,2021,観光地におけるVR疑似避難訓練システムを用いた避難行動分析,地理情報システム学会講演論文集,30,B31-2-3

小野塚仁海・橋本雄一,2021,携帯電話人口統計を用いた災害時における都市内の分布変化関す研究－

平成 30 年北海道胆振東部地震の事例－,地理情報システム学会講演論文集,30,B31-2-2
工藤由佳・橋本雄一,2021,北海道日本海沿岸における津波避難の空間分析,地理情報システム学会講演論文集,30,B31-2
奥野祐介・橋本雄一,2021,歩行速度に着目した疑似的津波集団避難行動分析,地理情報システム学会講演論文集,30,B30-3-3
深田 秀実・橋本 雄一,2021,エージェントモデルを用いた津波避難シミュレーション手法の開発-釧路市における津波避難ビルの垂直避難を対象として-,地理情報システム学会講演論文集,30,B30-3-1
深田 秀実・橋本 雄一,2021,マルチ・エージェント・シミュレーションによる 津波避難ビルへの避難行動分析-北海道釧路市中心市街地を事例として-,地理学論集,96(2),7-187-18
橋本 雄一,2021,国土数値情報を利用したハザードマップ作成,地理空間情報を活かす授業のためのGIS教材 改訂版 (古今書院),89-9489-94

・学会・シンポジウム等での発表

川村 壮・橋本雄一,2021,港湾都市の土地利用の空間パターンの変化と津波災害リスク,地理情報システム学会,B30-3-6
三好 達也・橋本 雄一,2021,BIM/CIM・GIS連携と北海道におけるGISコミュニティの活動,地理情報システム学会,C31-3-5
三井 和・橋本 雄一,2021,苫小牧市における保育施設の災害時避難の課題,地理情報システム学会,B31-2-5
塩崎大輔・橋本雄一,2021,観光地におけるVR疑似避難訓練システムを用いた避難行動分析,地理情報システム学会,B31-2-3
小野塚仁海・橋本雄一,2021,携帯電話人口統計を用いた災害時における都市内の分布変化関す研究－平成 30 年北海道胆振東部地震の事例－,地理情報システム学会,B31-2-2
工藤由佳・橋本雄一,2021,北海道日本海沿岸における津波避難の空間分析,地理情報システム学会,B31-2
奥野祐介・橋本雄一,2021,歩行速度に着目した疑似的津波集団避難行動分析,地理情報システム学会,B30-3-3
深田 秀実・橋本 雄一,2021,エージェントモデルを用いた津波避難シミュレーション手法の開発-釧路市における津波避難ビルの垂直避難を対象として-,地理情報システム学会,B30-3-1

(10) 令和 3 年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和 4 年度実施計画の概要：

令和4年度においては、事例市町村の津波浸水想定域における町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。その際には、準天頂生成に対応した津波避難支援ナビゲーションシステムを用い、何が避難の障害になり、何が避難をサポートするのか、マイクロレベルでの地物に関する分析を行う。また、集団での避難実験の移動ログを収集し、個人レベルとは異なる避難の障害を抽出する。最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにし、「自助・共助を最適化する公助」について考察を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本雄一（北海道大学文学研究院）,谷岡勇市郎（北海道大学理学研究院）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院文学研究院
電話：
e-mail：you@let.hokudai.ac.jp
URL：https://www.let.hokudai.ac.jp/staff/4-4-02/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本雄一

所属：北海道大学大学院文学研究院

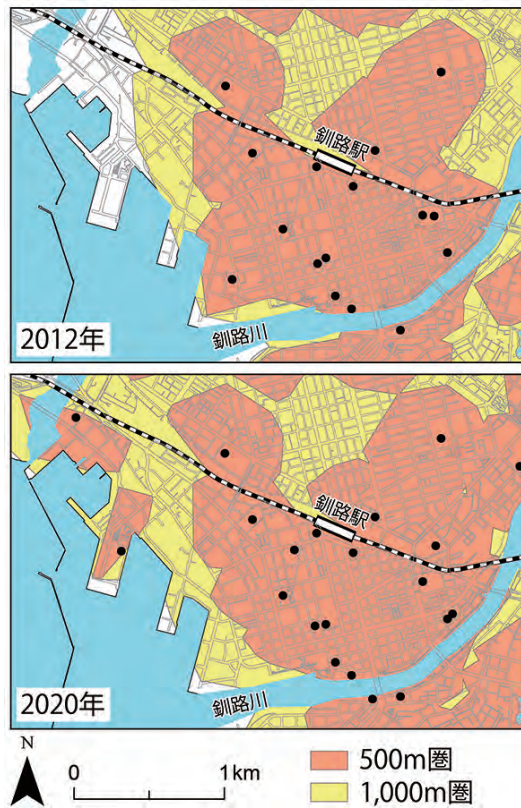


図1 釧路市中心部の津波避難圏の変化
2020年は大津波避難場所のみの避難圏。

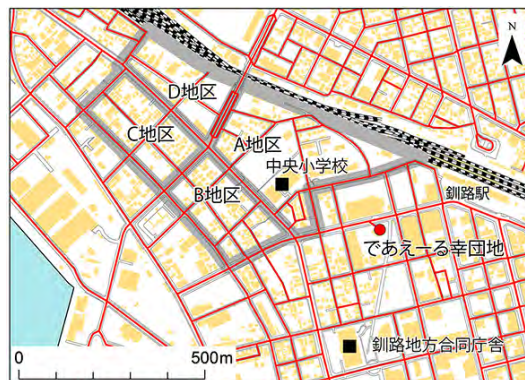


図2 シミュレーションの対象地区と道路モデル

避難開始時刻 (分)	頻度 (%)
0.0 ~ 2.5	10.0
2.5 ~ 5.0	15.0
5.0 ~ 7.5	20.0
7.5 ~ 10.0	30.0
10.0 ~ 12.5	15.0
12.5 ~ 15.0	10.0

表1 避難開始時刻の頻度分布
大畑ほか（2007）より引用。

年齢層	歩行速度 (m/s)		階段上昇速度 (m/s)	
	男性	女性	男性	女性
10歳未満	1.21	1.21	0.60	0.60
10~19歳	1.32	1.27	0.65	0.63
20~29歳	1.43	1.25	0.71	0.62
30~39歳	1.50	1.18	0.74	0.58
40~49歳	1.38	1.24	0.68	0.61
50~59歳	1.26	1.11	0.62	0.55
60~69歳	1.13	1.00	0.56	0.49
70歳以上	0.69	0.87	0.34	0.43

表2 住民エージェントの移動速度設定
森山ほか（2006）により作成。

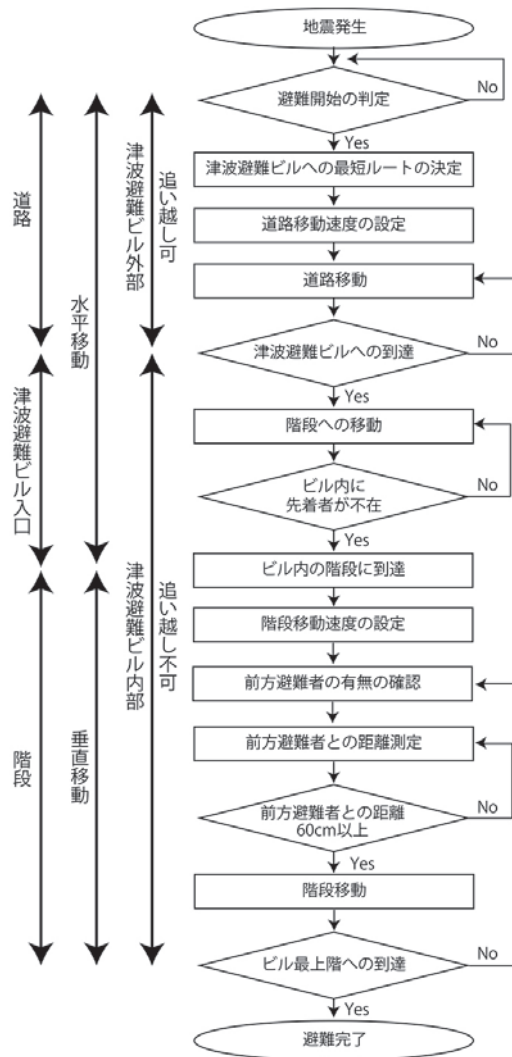


図3 住民エージェントの行動フロー

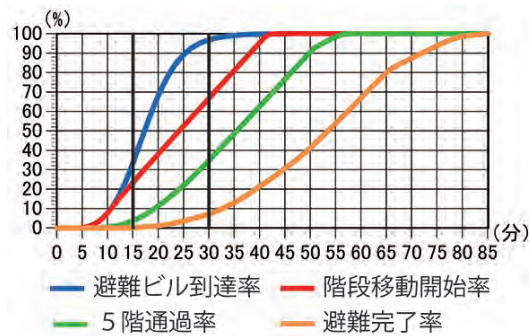


図4 地区全体の津波避難ビルへの避難率

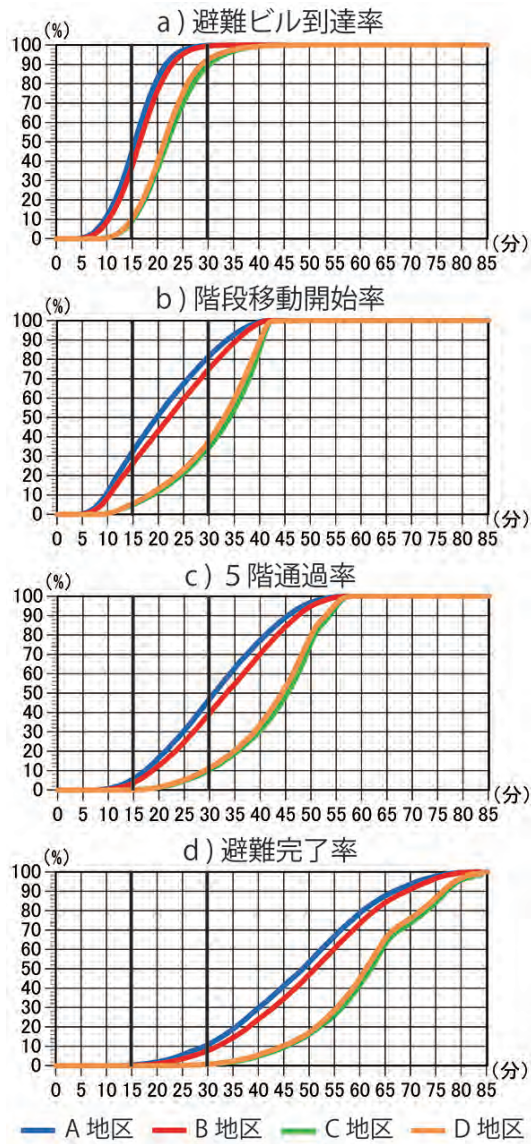


図5 津波避難ビルへの地区別避難率

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻変動等多項目データの全国流通一元化公開解析システムの高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地殻変動連続観測やGNSSなど、地殻変動等の多項目観測データを全国に流通させるシステムを運用・高度化して研究基盤として観測研究を支える。地殻変動研究の基盤となるデータの収集や共有・公開を進めるとともに、新たな観測項目や機能の追加、既存機能の高度化・安定化、新たな接続機関の拡大を目指す。サーバやデータ流通経路を分散化し災害に強いシステムを構築する。技術研修を実施し、地殻変動観測技術の伝承を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地殻変動連続観測、および、GNSSデータサーバの運用を継続し、地殻変動等多項目データ流通一元化・蓄積・公開を継続して行う。データサーバの安定運用と高度化を図り、新たな観測項目や関係機関からのデータの受け入れを行うためのプロトコルを整備する。データの長期保存を図るため、バックアップ作業を実施する。災害に強いシステムとするため、サーバの分散化やデータ流通経路の多重化を検討する。地殻変動観測技術の伝承を目的とした研修会を実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地殻変動連続観測データ、および、GNSSデータサーバの運用し、地殻変動等多項目データの一元的な流通とデータの蓄積などを継続的に行った。地殻変動データサーバのセキュリティ機能を維持するために必要なシステムのアップデートについて情報収集と手法の検討を行った。GNSSデータサーバに格納した1995年兵庫県南部地震の臨時観測データについて、利用しやすいようにパッケージ化し、企画部戦略室が運用する研究成果共有データベースからの公開を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地震・火山現象に関するデータの一元化流通と蓄積が着実に実施された。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き地殻変動連続観測とGNSSデータサーバの着実な運用を実施し、データの流通・一元化・蓄積・公開を行う

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）、大園真子（北海道大学大学院理学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

岡崎紀俊（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）、田村良明（国立天文台水沢V L B I 観測所）、三浦哲（東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター）、太田雄策（東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター）、名和一成（産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門）、小林昭夫（気象庁気象研究所）、露木貴裕（気象庁気象研究所）、宮岡一樹（気象庁地震火山部）、新谷昌人（東京大学地震研究所）、板寺一洋（神奈川県温泉地学研究所）、本多亮（神奈川県温泉地学研究所）、原田昌武（神奈川県温泉地学研究所）、道家涼介（神奈川県温泉地学研究所）、浅井康広（地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所）、鷺谷威（名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター）、伊藤武男（名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター）、山崎健一（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）、山下裕亮（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）、西村卓也（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）、柴田智郎（京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設）、田部井隆雄（高知大学自然科学系理学部門）、大久保慎人（高知大学自然科学系理学部門）、松島健（九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター）、中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

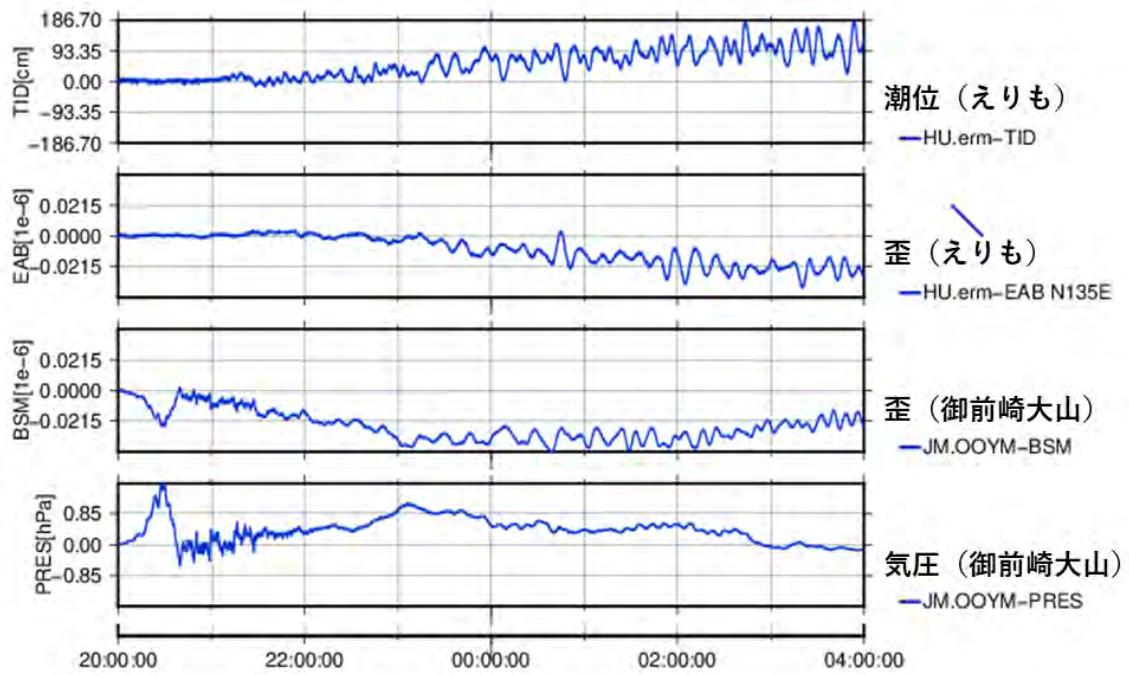
URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

2022/1/15 20:00 – 2022/1/16 04:00



地殻変動データベースによる2022年フンガトンガフンガハアパイ火山による潮位・歪・気圧変化

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

千島海溝沿いの巨大地震津波災害軽減に向けた総合研究

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震調査研究推進本部は、千島海溝沿いでM8.8程度以上の超巨大地震の発生が切迫していると評価している。千島海溝沿いで超巨大地震が発生すれば、北海道を中心に津波や地震動による広域的な複合災害となる。本研究では、津波堆積物やプレート間固着状況、地震活動などの調査観測から地殻活動の現況把握に必要なデータの取得を目指すとともに、津波・地震動等の事前・即時予測手法の高度化等の防災対策を下支えする研究を実施し、超巨大地震現象の解明に基づく地震津波災害の軽減を目指した基礎的な研究を総合的に実施する。

北海道東部を中心に津波堆積物調査を継続し、千島海溝南部の古地震や古津波履歴の高度化を図る。千島海溝南部の海底地殻変動観測と連携し、北海道陸域を含む広域的な地殻変動場のデータからプレート間固着状況の推定を行う。中長期的な地殻活動の時空間変化を震源カタログや海底地震観測等から調査する。津波の事前・即時予測手法の高度化を実施する。広帯域強震動予測に向けて震源特性や地盤特性を検討するとともに、古地震による液状化履歴の特性を検討する。地殻活動の現況や研究成果を関係機関や社会と共有する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

津波堆積物調査：千島海溝南部沿岸から東北地方太平洋沿岸北部にかけて広域的な津波堆積物調査を継続する。堆積物の堆積構造や層厚などの広域比較から、イベントごとの特徴を抽出し、古津波の多様性と共通性を検討する。

地殻変動観測：千島海溝南部のプレート沈み込み形状や陸上GNSS観測点分布から、効果的にプレート間固着の検出が可能な海底地殻変動観測基準局の配置を検討する。海底地殻変動観測から得られる地殻変動データと、北海道陸域からアジア北東部にかけての広域的な地殻変動データを統合し、十勝根室沖のプレート間固着率の推定を行う。

地殻活動評価：地震カタログ等を用いて、大地震前後や中長期的な地震活動の特徴を定量的に検討する。十勝根室沖で海底地震観測等を実施し、地震活動の空間的な特徴やプレート間固着率との比較を行う。過去の地殻活動を系統的に表現する手法の検討を行う。

津波の事前・即時予測手法の高度化：S-netを用いた津波即時予測手法の高度化を継続する。地震活動や地殻変動観測から得られるプレート間固着率の情報などを用いて、複数の津波事前予測シナリオを作成する。津波避難シミュレーションに、津波事前予測から見積もられる誤差を含めた浸水予測情報を提供する。

強震動予測：千島海溝南部で発生する地震の多様な震源特性を検討する。強震動観測波形や、地盤構造探査から、伝播経路特性や地域ごとの地盤特性を明らかにし、強震動予測の高精度化・広帯域化を試みる。過去の液状化情報を収集し古地震との関係を検討する。

現況データや成果の社会との共有：関係機関等と地殻活動の情報共有を行うとともに、自治体などの防災計画立案を支援し、さらに公開シンポジウム等を通じて地域防災力の向上を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

十勝地方当縁川河口付近の段丘に直行する斜面に沿った津波堆積物調査を実施し、堆積物層厚の高度変化から地盤の隆起沈降の時間変更を検出する手法を検討した。えりも町百人浜で津波堆積物調査を実施し、標高8m悲恋沼では津波堆積物は検出されず、これまでに津波が到達したイベントがない可能性が示された。

千島海溝南部に設置した3か所の海底地殻変動基準局において船舶及びウエーブライダーを用いた3回目の測定を実施し、2019年及び2020年の観測で得られた太平洋プレートとの固着の存在を示す地殻変動と調和的な結果が得られた。また、応力条件を拘束することで地殻変動データからプレート境界面のすべり欠損を推定する手法を試行し、陸域のみのデータでも海溝軸に近い部分まで検知能

力が向上する可能性が示された。

1988年から2014年にカムチャツカ半島から千島列島、北海道、東北沖にかけて発生したM7.5以上の地震8個について、長期静穏化を用いた予測実験を実施した。9年以上の静穏化があった時に半径数10 km以内を数年間警報onにするモデルが最適であることが明らかになった。また、根室沖での地殻活動や地下構造の時間変化を検出するため、2019年に行った海底地震観測点と同じ場所で再度地震観測を実施した。

津波による低体温症者数を予測するため、低体温症ポテンシャルを有する都市を世界中から抽出した結果、そのほとんどが北日本に集中していることが明らかになった。内閣府の被害想定では、冬季の低体温症対策が課題となっており、災害時医療の事前準備やおオペレーションを検討する上で重要な基礎データである。津波の都市部への浸水を観測された津波特性から高精度に予測するため、テレビ映像のピクセルを追跡することで潮位変化を抽出する手法の開発を開始した。

根室半島沖で発生した地震の強震特性を把握するため、スペクトルインバージョンにより震源とパスとサイトの特性を分離した結果、プレート内部地震については地震のモーメントに対して短周期成分の励起が強いことが確認された。根室から日高管内の遺跡から噴砂や地すべりを抽出し、最大で8回のイベントがあった可能性が示された。また、石狩から胆振管内の遺跡での地震イベントの整理を実施した。

Earth Planets Space誌で千島海溝に関する特集号を企画した。北海道庁が実施した北海道太平洋沿岸の津波浸水想定において専門的な助言を行った。太平洋沿岸都市町村を対象とした復旧復興までを見据えた情報交換会を主催したほか、一般住民向けの公開講座及び千島海溝の超巨大地震に関するシンポジウムを3月下旬に実施する予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

千島海溝沿いの巨大地震に関する中核課題として、津波堆積物調査・古地震調査・海底地殻変動観測・地震活動解析・海底地震観測・地域防災力対策が、関連課題との連携を含め着実に実施された

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Katsumata, K. and M. Nakatani, 2021, Testing the seismic quiescence hypothesis through retrospective trials of alarm-based earthquake prediction in the Kurile-Japan subduction zone, Earth Planets Space, 73, 100

Tanioka, Y., N. Uchida, A.R., Gusman, M. Shishikura, and T. Nishimura, 2021, Special issue, Kurile arc subduction zone: View of great earthquake generation and disaster mitigation of related phenomena, Earth Planets Space, 73, 122

Oshiro, K.; Tanioka, Y.; Schweizer, J.; Zafren, K.; Brugger, H.; Paal, P., 2022, Prevention of Hypothermia in the Aftermath of Natural Disasters in Areas at Risk of Avalanches, Earthquakes, Tsunamis and Floods, International Journal of Environmental Research and Public Health, 19, 1098, 10.3390/ijerph19031098

・学会・シンポジウム等での発表

太田雄策・木戸元之・本莊千枝・木村友季保・佐藤真樹子・鈴木秀市・東龍介・大園真子・青田裕樹・高橋浩晃・富田史章・飯沼卓史・篠原雅尚・日野亮太, 2021, GNSS-A観測に基づく千島海溝根室沖における海底地殻変動の予備的結果, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS05-08

Takahashi H, Y. Ishida, M. Ohzono, G. Meng, W. Wu, N. Shestakov, 2021, Crustal deformation in the northwestern Pacific region over the recent quarter century by regional GNSS data, Geodynamical processes and natural hazards, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Nechaev G., Ni. Shestakov, H, Takahashi, E. Lialishko, 2021, Estimation of postseismic effects of 2013 Okhotsk Sea Mw8.3 deep-focus earthquake, JpGU, SIT19-P19

石田優香, 高橋浩晃, 大園真子, 2021, 北西太平洋地域のプレート運動安定性の検討, 日本測地学会講演会
谷岡勇市郎, 2021, 東北地方太平洋沖地震後に設置されたS-netを利用した新しい津波即時予測手法の開発, JpGU

Tanioka, Y., 2021, Development of near-field tsunami forecasting method using ocean-bottom pressure sensor network (S-net), 30th International Tsunami Symposium, Sendai

Tanioka, Y., K. Ooshiro, 2021, Evaluation of risks for hypothermia due to large tsunamis around the world, AGU fall meeting

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要：根室沖のGNSS/A海底基準局3点において船舶及びウエーブグライダーによる海底地殻変動観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室沖 42.089 146.126

調査・観測期間：2021/4/2-2021/4/9

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地質：津波堆積物調査（露頭断面）

概要：津波堆積物調査を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道大樹町当縁川河口域 42.506 143.459

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：海底地震観測

概要：海底地震観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室沖 42.5 145.3

調査・観測期間：2021/4/6-2021/6/1

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

津波堆積物の多角的調査と堆積物の空間分布と柱状を用いた地殻上下変動の時系列抽出手法の開発を継続する。海底地殻変動観測を実施し観測誤差を含めた地殻変動の現況把握を行う。データ同化手法を発展させ津波即時予測の高精度化を図る。十勝根室沖で発生した地震のサンプルを増やし地震動特性の把握を進める。遺跡発掘報告書から古地震痕跡の抽出を継続する。地域防災力の向上を目指した取り組みを行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）、谷岡勇市郎（北海道大学大学院理学研究院）、西村裕一（北海道大学大学院理学研究院）、勝俣啓（北海道大学大学院理学研究院）、村井芳夫（北海道大学大学院理学研究院）、大園真子（北海道大学大学院理学研究院）、高井伸雄（北海道大学大学院工学研究院）、橋本雄一（北海道大学大学院文学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）、日野亮太（東北大学大学院理学研究科）、木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）、東龍介（東北大学大学院理学研究科）、石丸聡（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）、大津直（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）、ロシア科学アカデミー極東支部、ロシア科学アカデミー地球物理学調査所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

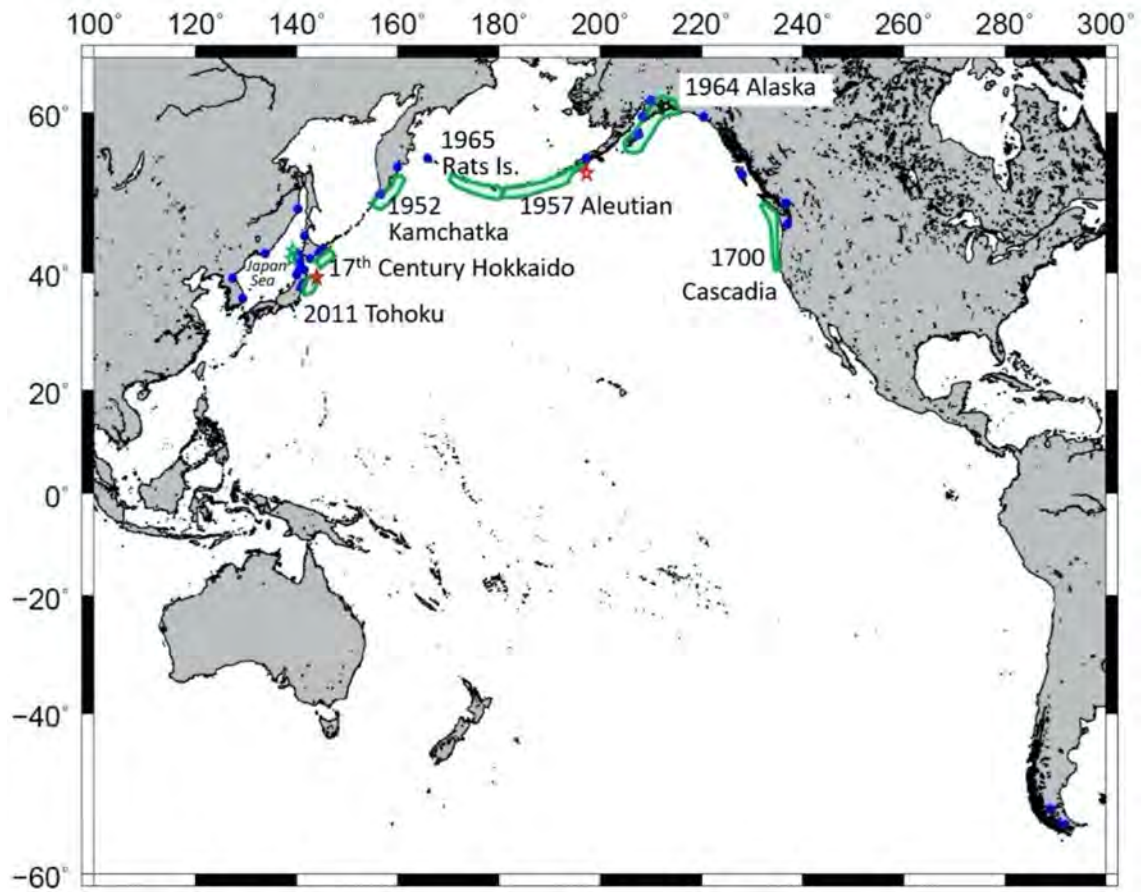
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター



津波後に被害者が低体温症になりやすい地域

Oshiro et al., *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3, 1098, 2022.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19031098>

(1) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震火山関連史資料に基づく低頻度大規模地震火山災害の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
 - 地震
 - 火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ア. 史料の収集とデータベース化
 - イ. 考古データの収集・集成と分析
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開
 - (4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題の目的は、史料データ・考古データなどを用いて、過去に発生した地震・津波や火山噴火の実態を分析し、近代以降の機器観測による観測データとの比較・検討を通じて、低頻度ではあるが大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を解明することである。

平成26年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった人文学系の分野の研究者も組織的に参加して、連携した研究が実施されている。このような連携研究を主体的に実施しているのが本研究課題であり、史料や考古資料を主軸に据えた研究を基盤として、地震学・火山学や関連諸分野との連携強化を指向した、取りまとめ課題としての役割も有している。

本研究課題では、別の研究課題においてデータ化が進行中の史料データに基づいて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の様相を明らかにしていく。史料のデータ化及び史料記述の分析に際しては、東京大学史料編纂所と連携して実施していき、既刊地震史料集に所収されている歴史的に信頼できる史料に加え、新たに調査・収集された史料も活用して、低頻度で大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を検討する。また、別の研究課題においてデータベース化が進行中の考古データなどを援用して、それらの実態解明を深化させていく。この際に重要になってくるのが史料データと考古データとの統合である。

史料データは被害発生の時期は明確であるが場所は必ずしも明確ではなく、考古データは被害発生の時期に幅があるものの場所は明確である。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」におけるこれまでの研究では、このような特徴を持った双方のデータについて、被害発生の時期と場所とを結合して連続したデータを作成し、時代・時間情報と位置情報の両方から検索可能なデータベースの構築に向けて、史料・考古の統合データベースの試作版を作成してきた。そこで本研究課題においても、既刊地震史料集を中心とした文献史料に基づく史料データベースと、考古資料に基づく災害痕跡データベースとの統合データベースのシステム構築を目指していく。具体的には、史料記述にある被害発生場所を位置情報（緯度・経度）に変換し、史料データと考古データとの統合分析が可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。これによって、位置情報という共通の要素を導入部として、双方のデータベースに収められた様々なデータを統合的に利活用できるようにする。

以上のように、本研究課題では今後の5か年の間に、上記の史料・考古データの統合データベースを構築・改良しつつ、機器観測以前の長期間にわたる地震火山活動の検討に資するための基礎データを作成していき、近代以前の日本列島における低頻度で大規模な地震・津波や火山現象とそれらによる災害の実態を明らかにしていく。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31・32年度]

別の研究課題において作成された史料データや考古データなどを用いて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害について、統合的に分析可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。また、史料データ・考古データなどから、近代以前の日本列島における地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

[平成33・34年度]

別の研究課題で作成された史料データや考古データなどを用いて、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を継続して実施する。また、これらのデータに基づいて、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明し、特に、南海トラフ沿いで発生した巨大地震・津波や西南日本の内陸部で発生した大地震を対象とする。

[平成35年度]

別の研究課題で作成された史料・考古データなどを活用して、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を実施し、公開に向けた整備を行う。また、これらのデータから、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震史料集テキストデータベース

史料データや考古データなどを統合的に分析可能なデータベースの構築に向けて、既刊地震史料集のテキストデータベースのAPIを改良した。

地震火山史料のGISデータ化と分析

1596年に畿内で発生した地震に関して、地震史料のGISデータ化を試みた。89件の史料群のうち登場する地名や場所について現代の位置を特定し、397件について緯度経度情報および震度判定結果を付して公開した。このデータ化により地震史料中に登場する歴史的な地名をGISデータ化する際の課題を明らかにした。判明した課題は、既刊史料集のデータベース化計画における「史料中に現れる地名に位置情報を与え、史料を地図表示できるように」することに寄与するものである。

また本GISデータを用い1596年に畿内で発生した地震について、先行研究の震度判定結果の再検討

および余震活動の推移の分析を行った。震度判定の再検討については、史料の多い京都一奈良地域が震源であるとの強い先入観に基づき、大阪や兵庫方面の被害については、地盤やがけ崩れを理由に震度を低く判定している事、史料の文言解釈に問題がある可能性を指摘した。また史料解釈などで容易に結果が変化する歴史地震研究において、結果の再現性を確保し他者による再検討や再利用を可能にするためには、地理座標付きのデータ(史料テキスト)を震度判定の根拠などと共にオープンデータ化することが有効であることを示した(投稿中)。

1707年富士山宝永噴火に関して、復興途上の様子を描いた村絵図の分析を行った。GISによるジオリファレンス機能を用いて分析することにより、火山灰の除去が遅れた土地の面積や地形との関係が明らかになった。本研究は予察的なものであり今後も研究を進める予定である。

新史料の収集

既刊の地震史料集に収録されていない地震・火山関連史料の収集として、1847年善光寺地震の被害を記した地方文書、1854年安政東海地震における甲府の被害家屋数を記した史料、1854年安政南海地震における高知の被害や余震数を記した史料などを購入した。また18世紀の東北地方の地震活動を記した日記史料について、東北大学附属図書館においてマイクロフィルムを閲覧し調査を行った。

以上のように本研究課題は計画通り実施されている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

1854年安政東海地震について、従来明らかになっていなかった、甲府盆地東部の建物被害が判明する史料を購入し分析中である。先行研究において盆地西部に震度7の地域が集中するとの見解が出されていたが、新史料の発見により盆地東部においても同様に建物倒壊の規模が大きかったことが判明した。また盆地西部における震度7の根拠になった史料について検討したところ、一部信頼性の低い史料が用いられており再検討が必要であることが判明した。また1854年安政南海地震における高知の被害を記した新史料については、津波後の様子や余震数を記録しており、今後解説を進める予定である。

これらの史料の収集と分析は、(2)低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明における「南海トラフ沿いの巨大地震・津波や西南日本内陸部など、過去に繰り返し大規模な地震が発生している地域について、海外所在の史料も含め新資料の発掘に努める。」ことに貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

大邑潤三,2021,GISのジオリファレンス機能を用いた近世村絵図の分析 一富士山宝永噴火からの復興を事例として一,西洋史学,271,73-76

・学会・シンポジウム等での発表

大邑潤三・濱野未来・橋本雄太・加納靖之,2021,歴史地震史料のGISデータ化の試みと課題,日本地球惑星科学連合2021年大会,MIS27-P01

Reiko Sugimori・Kazuko Ariizumi・Kenji Satake,2021,Origin Time of the 1854 Tokai Earthquake Recorded on Logbook of Russian Frigate Diana,Joint Scientific Assembly IAGA-IASPEI 2021

Yasuyuki Kano・Junzo Ohmura・Kiyomi Iwahashi,2021,Evaluation of Damage Descriptions Around Mt. Hiei During the 1830 Kyoto Earthquake,Joint Scientific Assembly IAGA-IASPEI 2021

Junzo Ohmura・Miki Hamano,2021,Aftershock Activity of the 1596 Earthquake in Kinki Region of Japan Revealed by Diaries,Joint Scientific Assembly IAGA-IASPEI 2021

大邑潤三・益野行輝・加納靖之,2021,新たな史料で判明した1854年安政東海地震における甲府盆地の被害と震度,第38回歴史地震研究会,O-27

漆原惇・加納靖之・大邑潤三,2021,「高野家記録」を用いた18世紀の宮城県南部の地震活動の分析,日本地震学会2021年度秋季大会,S10-06

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

項目:ソフトウェア開発(データベース)

概要：既刊地震史料集の電子テキスト化を行い様々な検索を可能にした。他のデータベースとの連携のためのAPIを実装している。

既存データベースとの関係：UTokyo Repository doi:10.15083/0002002833

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：1596年に畿内で発生した地震の史料について史料中の地名を元に緯度経度を付しGISデータにしたもの。被害種別等で分類し、震度判定を行った。元となったテキストは[古代・中世]地震・噴火史料データベース（β版）である。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

https://github.com/ohmurajunzo/1596_Fushimi 試験公開中

項目：地震：歴史史料収集

概要：善光寺地震の被害等を記した史料を購入

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：歴史史料収集

概要：安政東海地震における甲府の被害を記録した史料を購入

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：歴史史料収集

概要：安政南海地震における高知の被害・余震回数を記録した史料を購入

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：歴史史料収集

概要：18世紀の仙台地域における地震活動を記録した日記史料についてマイクロフィルムを閲覧

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮城県仙台市青葉区東北大学附属図書館 38.2585 140.8520

調査・観測期間：2021/12/15-2021/12/17

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

別の研究課題で作成された史料データや考古データなどを用いて、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を継続して実施する。また、これらのデータに基づいて、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明し、特に、南海トラフ沿いで発生した巨大地震・津波や西南日本の内陸部で発生した大地震を対象とする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大邑潤三（東京大学地震火山史料連携研究機構）、佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

他機関との共同研究の有無：有

榎原雅治（東京大学史料編纂所）, 杉森玲子（東京大学史料編纂所）, 荒木裕行（東京大学史料編纂所）,
林 晃弘（東京大学史料編纂所）, 山田太造（東京大学史料編纂所）, 鶴岡 弘（東京大学地震研究所）,
加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大邑潤三

所属：東京大学地震火山史料連携研究機構

(1) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震関連史料に基づく近代以前の地震活動の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題の目的は、日記史料に記されている数百年間に及ぶ有感地震の記録を活用して、近代以前の日本列島において巨大地震・大地震の前後に発生した中・小規模の地震や地震活動の実態などを解明することである。

本研究課題では、別件の研究課題において実施される、近代以前に発生した低頻度の巨大地震・大地震や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する研究とは異なり、規模は小さいが高頻度で発生する中・小規模の地震や地震活動などについて、近代以前における有感地震の記録の収集と分析に基づいて実態の解明を試みる。本研究課題は、東京大学のデジタルアーカイブズ構築事業において、平成29年度から東京大学地震火山史料連携研究機構が実施している研究「歴史地震火山活動データベース構築・分析」を基盤としており、史料に基づく研究成果を地震学において活用していくための研究

として位置付けられる。本研究課題を実施する上で基盤となる日記史料に基づく有感地震のデータベース構築については、上記の研究プロジェクトにおいて先行して実施されている。そのため本研究課題では、構築・公開中の日記史料有感地震データベースに基づいて、機器観測以前の長期間にわたる地震活動の時空間分布を明らかにし、近代以前の地震活動のデータと近代的な機器観測によるデータとの比較・検討を実施していく。そして、近代以前における中・小規模の地震の発生状況や地震活動などについて解明することで、長期的な地震活動の全体像把握に貢献することを目指す。特に、今後の5か年の間に、19世紀中頃に発生した南海トラフ沿いでの巨大地震に関して、その前後に発生した中・小規模の地震を含む地震活動の実態を解明したいと考えている。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31・32年度]

現存する膨大な史料の中から、十数年分の有感地震が記されている日記史料を調査・収集し、日記史料有感地震データベースを構築する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットを作成する。

[平成33・34年度]

日記史料の調査・収集に基づいて、日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討を行い、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットの作成と改良を実施する。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討に基づいて、前近代に南海トラフ沿いで発生した巨大地震や西南日本で発生した大地震と、中・小規模の地震との関係について実態の解明を試みる。

[平成35年度]

日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施し、データベースに基づく有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模地震の実態の解明を試みる。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動を比較・検討するためのデータセットを用いて、19世紀中頃に西南日本で発生した中・小規模の地震のカタログ化を試みる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 日記史料の調査・収集と分析

日記史料有感地震データベース (<http://www.eric.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>) の改良を継続している。おもに近世後半の日本各地の有感記録と、1900年代以降の震度観測データとを比較することにより、長期にわたる地震活動の時間変化の特徴について検討している。

2) 広範囲の日記を調査することによって、震央近くで目立った被害が記録されていなくても、広い範囲で震動の感知された地震をみつけることができる。本年度は1800年から安政東海・南海地震に至るまでの期間の西日本において最も広い範囲で震動が記録されている1835年5月18日（天保6年4月21日）の地震について検討した。この地震では目立った被害記事がなく、『被害地震総覧』にも掲載されていないが、既刊史料集掲載史料のほか今回の調査で新たに見つけた史料によって、鹿児島と高知で「大地震」と記録されているほか、佐賀、山陰、近江、岐阜でも揺れが感知されていたことが分かった。これと類似した地震を気象庁の震度データベースで検索すると、1968年4月1日の日向灘を震源とする地震（深さ22km, M7.5）が近いと考えられる。

3) 水戸の日記史料の分析から嘉永5年～明治元年には震度1を若干含む平均約30.9回/年の有感地震があったことや、周辺地域に比べて有感地震数が多く、水戸周辺の狭い範囲で定期的・集中的に発生しているが、被害地震は少ないことがわかった。

4) 日記史料を含む複数の史料の検討により、安政江戸地震の余震活動の詳細を分析し、いくつかの余震について規模の推定を行った。

日本各地の日記史料の分析から、実在性に疑問があるいくつかの地震について検討した。

5) 16世紀以前の地震記録を調査する手がかりとなるのは「年代記」と呼ばれる一群の史料である。

その史料的信頼性を検証するために、南九州に残る各種の年代記の比較検討を行った。

6) 同和火災コレクションの調査と展示

同和火災海上保険創業者の廣瀬鉦太郎氏が収集した同和火災コレクション（18世紀から20世紀初頭に全国各地で発生した地震、火災、台風、落雷、津波、噴火、伝染病などに関する史料）を一般公開した展示会「伝える－災害の記憶展」の監修と事前の史料調査を行った。コレクションの意義については、歴史地震研究の手法を例に紹介した。また近年のオープンサイエンスやAIを用いた史料解読について触れ、その有効性や発展性について述べた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

1855年の南海トラフの地震に先行する50年間における西南日本地域の有感地震の発生状況を調査し、1835年5月に西日本から中部日本にかけての広い範囲で感知された地震が存在すること、これが1968年4月の日向灘地震の震度状況と似ていることを示し、建議2(1)アの海溝型巨大地震の長期予測の研究の一助とした。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

加納靖之,2021,地震の歴史をまなび伝える－同和火災コレクションと歴史地震研究の交流－,京都文化博物館(編)「伝える－災害の記憶あいおいニッセイ同和損保所蔵災害資料」,NHK サービスセンター,22-130

大邑潤三,2021,同和火災コレクション成立の背景とその来歴,京都文化博物館(編)「伝える－災害の記憶あいおいニッセイ同和損保所蔵災害資料」,NHK サービスセンター,132-141

・学会・シンポジウム等での発表

水野嶺・榎原雅治・吉岡誠也,2021,天保期に西日本の広範囲で感知された地震について,第38回歴史地震研究会,O-21

水野嶺,2021,年代記にみる中世後期における南九州の地震,第38回歴史地震研究会,P-03

吉岡誠也,2021,安政江戸地震前後の水戸の地震活動,第38回歴史地震研究会,O-12

原田智也・西山昭仁・片桐昭彦・水野嶺・吉岡誠也,2021,日記史料を用いた江戸末期の疑わしい被害地震の検証(1),日本地震学会2021年度秋季大会,S10P-03

馬場道人・加納靖之,2021,関東甲信越の史料を用いた安政江戸地震の余震活動の分析,日本地球惑星科学連合2021年大会,MIS27-06

馬場道人・加納靖之,2021,関東甲信越の史料を用いた安政江戸地震の余震活動の分析,日本地震学会2021年度秋季大会,S10-07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1) 19世紀の日記史料を調査して、日記史料有感地震データベースに搭載する。本データベース活用して安政の南海トラフの地震前後に全国各地で感知された中小の有感地震の時空間分布を調査する。またこれと近代の機器観測による震度データとの比較する。

2) 歴史学界でも史料的価値の評価が定まっていない「年代記」史料の史料学的な検討を行い、これらを16世紀以前の地震調査に活用できる方法を提案する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

榎原雅治（東京大学地震火山史料連携研究機構）,佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

他機関との共同研究の有無：有

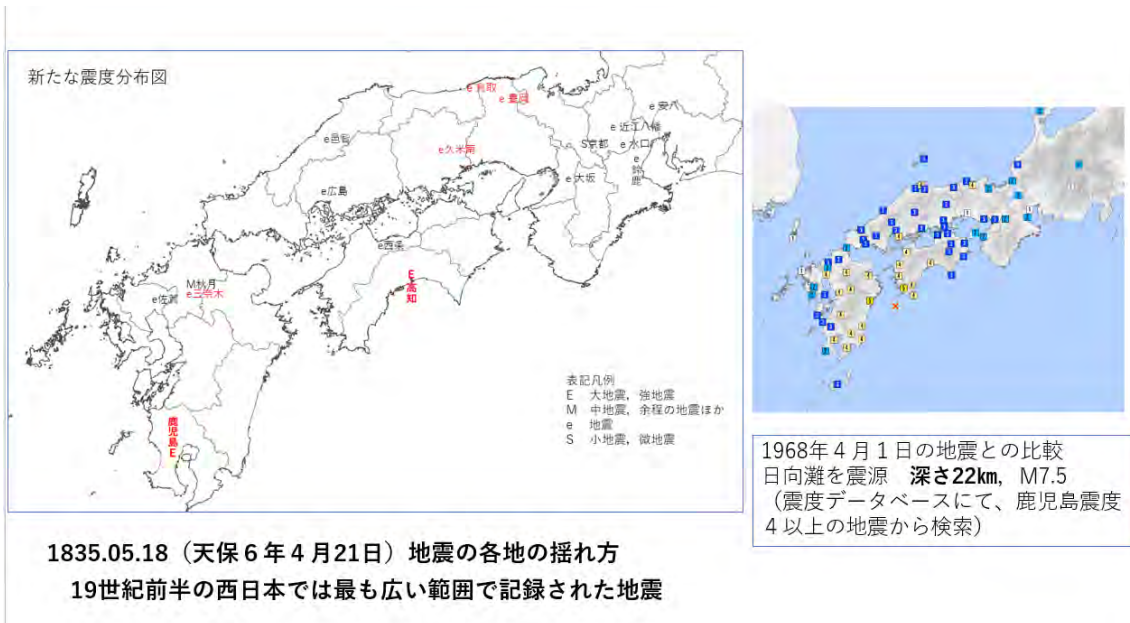
榎原雅治（東京大学史料編纂所）,杉森玲子（東京大学史料編纂所）,荒木裕行（東京大学史料編纂所）,林晃弘（東京大学史料編纂所）,山田太造（東京大学史料編纂所）,加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：
電話：
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：榎原雅治
所属：東京大学地震火山史料連携研究機構



1835年5月地震の震度分布

1835年5月に西日本で広く感知された地震の震度分布と類似した事例を気象庁震度データベースで検索すると、1968年4月の日向灘地震と類似している

(1) 実施機関名：

北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

北海道内の活火山の地球物理学的・地球化学的モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

北海道における火山噴火災害を軽減するため、特に活動的な火山を対象として継続的な地球物理学的・地球化学的モニタリングを行い、火山活動の現況を把握し、噴火の先行現象やそれに続く火山現象を捉える。また、熱水系の発達している火山（倶多楽など）においては、熱水系の構造や熱水の化学成分の変化などを検討し、観測されている地殻変動や地震活動との関係を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、噴火の先行現象などの火山活動の変化を捉えるために、地殻変動や、地温、温泉水・噴気の化学成分・同位体比等の各種モニタリングを継続的に行う。

倶多楽や十勝岳など熱水系の発達している火山については、これまで蓄積したモニタリングデータの再検討を行うとともに、熱水変質調査や電磁探査など多項目の調査・観測を必要に応じて行い、火山体の内部構造や熱水系の構造などを検討する。それによって得られた知見を基に、各火山における適切な観測体制の構築を随時行う。

得られたモニタリングデータなどは気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

当初の計画通り、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続して行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った。また、倶多楽（登別地域）と北海道駒ヶ岳については、熱水系の検討を行った。得られたデータについては、気象庁や大学、地元自治体と随時情報共有を行っている。

(1) 雌阿寒岳

噴気・温泉水の地球化学的観測、GNSS連続観測及び地下水位連続観測を行った。雌阿寒温泉では2017年頃から温度やCl濃度の上昇が続いている。一方、湯の滝やオンネトーではClやSO₄濃度が2020年と比較して低下した。特に湯の滝では、2019年頃から低下傾向が続いている。中マチネシリ火口の噴気の温度（約200℃）や化学成分には大きな変化はなかった。噴気凝縮水の酸素・水素同位体比は、2018年以降はそれ以前と比較してやや重い値を示しており、2021年もその傾向が続いた。

（2）十勝岳

噴気・温泉水の地球化学的観測、火口域での地温連続観測、GNSS連続観測及び地下水位連続観測を行った。温泉水の化学成分や温度はここ数年ほぼ横ばいで推移しており、2021年も大きな変化は認められなかった。大正火口の噴気の温度（約300℃）や凝縮水の酸素同位体比には大きな変化はないが、凝縮水の水素同位体比は2013年以降徐々に軽くなる傾向がある。振子沢噴気孔群は450℃以上の高温状態が続いており、その噴気の凝縮水の酸素・水素同位体比はこれまでと同様に島弧のマグマ水と類似した値を示した。62-1火口の地温は、2020年は50℃程度で推移したが、2021年は2016～2018年頃と同様に90℃程度まで上昇した。

（3）樽前山

噴気・温泉水の地球化学的観測と火口域での地温連続観測を行った。A火口とB噴気孔群の噴気温度はそれぞれ約400℃および約250℃で、徐々に低下する傾向が続いている。A火口とB噴気孔群の噴気は2008年から2012年まで硫黄化合物の濃度低下が認められたが、それ以降は横ばいで推移している。一方、どちらの噴気域でも凝縮水の酸素・水素同位体比は2012年以降、徐々に重くなる傾向が続いているが、2019年頃からはこの傾向が鈍化してきた。山麓の温泉水の化学成分は1998年の観測開始以降、濃度低下が続いていたが、2011年頃から横ばいとなり、2021年もその傾向が続いた。

（4）倶多楽

温泉水と噴気の地球化学的観測を行った。大正地獄や大湯沼、奥の湯などでの観測のほか、地獄谷の主要泉源でも観測を行った。日和山では検知管を用いた噴気成分の観測と、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比の観測を行った。いずれの観測でも、火山活動に関する顕著な変化は認められなかった。また、観測で得られたデータに加えて、熱水変質鉱物の検討を行うとともに、既存研究での電磁探査結果をふまえて、登別地域の熱水系について検討した。

（5）有珠山

噴気観測と地下水位連続観測を行った。山頂のI火口の噴気温度（約400℃）と噴気凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化は認められなかった。また、山麓の地下水位は洞爺湖の水位と連動して変化しており、2021年3月に一時的に火山性地震が増加した際も大きな変化はなかった。

（6）北海道駒ヶ岳

温泉水の地球化学的観測と火口域での噴気温度観測、山麓域での地下水位連続観測を行った。山麓の温泉水の温度・化学成分や、噴気温度に大きな変化はなかった。山麓の地下水位に火山活動に関連した変化は認められなかった。また、温泉観測で得られたデータに加えて、噴出物中の熱水変質鉱物の検討を行い、火山体内部の熱水系について検討した。

（7）その他の火山

アトサヌプリで噴気観測を、恵山で噴気・温泉観測を行った。噴気凝縮水の酸素・水素同位体比や、温泉水の温度や化学成分に大きな変化は認められなかった。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

（9）令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Tanaka, R., Y. Yamaya, M. Tamura, T. Hashimoto, N. Okazaki, R. Takahashi, and T. Mogi, 2021, Three-dimensional inversion of audio-magnetotelluric data acquired from the crater area of Mt. Tokachidake, Japan., Earth, Planets and

Space,73,doi.org/10.1186/s40623-021-01502-4

Takahashi, R.,2022,Mineralogical and geochemical investigations for subvolcanic hydrothermal alteration environments at an active volcano: An example of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan,J. Volcanol. Geotherm. Res.,423,doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107497

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：噴気を採取し、化学成分や同位体比を測定した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道雌阿寒岳、アトサヌプリ、十勝岳、樽前山、日和山、有珠山、恵山

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：温泉水を採取し、化学成分や同位体比を測定した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、北海道駒ヶ岳

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山および北海道駒ヶ岳において、温泉水や噴気の地球化学的観測や、地下水位観測、地温観測、地盤変動観測などを継続する。十勝岳や倶多楽など熱水系の発達している火山については、これまで蓄積したモニタリングデータの再検討を行うとともに、熱水変質調査などを加えて、熱水系の構造などを検討する。得られたモニタリングデータなどは気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

エネルギー・環境・地質研究所地域地質部地質防災グループ

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所

電話：011-747-2454

e-mail：takahashi-ryo@hro.or.jp

URL：http://www.hro.or.jp/eeg.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋良

所属：地域地質部 地質防災グループ

(1) 実施機関名：

北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

巨大地震津波の想定において、地震の影響を考慮した避難経路の使用可能性や、積雪寒冷・夜間などの悪条件下での避難速度を明らかにするとともに、屋外での低温環境が避難者に及ぼす影響などを総合的に評価し、津波災害による最大リスクを評価する手法を開発する。更に、地域社会における人口構成、市街地の再編や海岸保全施設等の整備などの経年変化を考慮し、長期的に変動してゆく防災対策の効果を評価する。また本研究では、想定される最大リスクを軽減するための複数の防災対策案について、モデル地域の住民や自治体と共に対策コストや効果、利便性、地域産業への影響などの条件から定量的に評価して優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画に反映させる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題は北海道立総合研究機構の重点研究として実施しているもので、平成29年度に開始し今年度は最終年度である。これまでに3町において避難経路・避難所の発災時における使用可能性の評価データ、および冬季避難訓練に基づく避難速度の実測データなどを取得している。平成31年度 津波災害に関わるハード・ソフト対策による被害軽減効果を評価し、モデル地域の住民や自治体と共にコスト、利便性、地域産業への影響などの条件を踏まえて定量的に再評価して対策の優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画へ反映する。平成32年度以降は研究計画未定

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究課題は北海道立総合研究機構の重点研究として取り組んでいるもので、主たる研究期間は令和元年で終了している。今年度はこれまでの成果を補完・拡充する、強振動予測のための基盤情報整備および住民避難行動に関する実証的研究を実施した。

・津波避難経路の使用可能性の検証精度をさら高めることを目的として、強震動および地盤液状化の面的予測のベースデータとなる広域的な3次元地盤モデルを、地盤ボーリングデータに基づき新たに構築した。

・津波避難のリスク評価結果を避難行動に反映させるために、市町村と共同で防災教育を実践し、避難準備、避難目標までの経路、要配慮者の介助など時系列の行動に応じた訓練方法を提案した。防災情報伝達では、避難情報の認知の訓練を提案すると共に、自治体を対象に実測調査や数値解析を実施し、伝達状況を改善する技術的課題や解決方法を整理した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震」を対象として、太平洋沿岸の都市部において、避難者の属性や分布に応じて自動車と徒歩を組み合わせた避難モデルを構築し、避難シミュレーションを行うことで、津波避難手段の違いによる避難行動の成否を判定し、避難手段の多様化による効果を評価する。また、多様な避難手段の実現に向けた課題を整理する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

エネルギー・環境・地質研究所地域地質部地質防災グループ,北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ,林業試験場森林環境部環境グループ

他機関との共同研究の有無：有

田中規夫（埼玉大学大学院・理工学研究科環境科学・社会基盤部門）,橋本雄一（北海道大学大学院・文学研究科人間システム科学専攻）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所

電話：011-747-2447

e-mail：nishina-kenji@hro.or.jp

URL：http://www.hro.or.jp/eeg.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：仁科健二

所属：地質防災グループ

(1) 実施機関名：

弘前大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

東北日本弧・千島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

千島海溝沿いの巨大地震は地震本部によって高い切迫性が指摘されていて、災害科学的にも重要である。本課題は、東北日本弧・千島弧における地震発生を支配する場の解明を目的に、島弧会合部とその周辺におけるプレート構造、震源分布、応力場、流体分布の推定を、主として陸上の地震観測データを用い、波動伝播シミュレーションを活用した手法開発も含めて行う。目標は、島弧会合部における応力場の把握、及び地殻流体と内陸地震発生との関係の解明である。また、日本海沿岸では太平洋側に比べて砂丘列が発達するため、津波は主に河川遡上して氾濫、または河口部から内陸への氾濫となることが多い。これらの津波堆積物を認定するための新たな手法の開発を試みる。さらに、地震災害誘因の事前評価手法の高度化に資することを目的に、歴史地震発生域を含む領域における堆積層構造の推定を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

S-net観測網や、3次元波動伝播シミュレーション技術を活用して、青森県東方沖から千島海溝沿いでの震源とメカニズム解の決定精度を向上させるとともに、地震波形を説明できるプレート構造の推

定を行う〔2019～2020年度〕。これらにより、東北地方北部から日高山脈にかけての海域を含んだ領域での地震発生を規定する応力場について基本的理解を得るとともに、時間発展の枠組みの中での現状認識を行う〔2020～2023〕。また、誘発地震発生域など内陸地震活動が活発な領域では、震源のマイグレーションの解析、S波偏向異方性の時間変化の高精度推定、地殻浅部低周波地震活動の解明、深部低周波地震の波形モデリングを通して、流体と内陸地震発生の関係をこれまで以上に明らかにする〔2019～2021〕。

2. 津波堆積物等の地質学的調査

島弧会合部にあたる北東北の日本海沿岸や下北半島などにおいて津波の履歴や浸水範囲の解析を行い、津波の史料が乏しい江戸中期以前の津波波源の推定に必要な基礎資料を得る。具体的には、地質調査・試料分析・年代測定などを通じて、日本海側の津波堆積物を認定するための新たな調査手法を構築する〔2019～2023〕。2019～2021年度は青森県・秋田県・山形県の日本海沿岸を、2022～2023年度は下北半島の津波堆積物の調査を実施する。

3. 堆積層構造調査

歴史的な地震発生域の津軽平野南部などにおいて、地震波干渉法による構造推定と波動伝播シミュレーションによる検証を行う〔2019～2021〕。また、地震動と微動探査を用いた表層地盤構造推定を行って干渉法による構造と比較検討し、強震動評価の高度化に資する〔2019～2023〕。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

1.1. 広帯域地震波動現象の解析

海域で発生した地震からのsP波、pP波、地殻内トラップ波等の複雑な出現状況を把握するため、Hi-netの低周波(0.05-0.5 Hz)成分の抽出に基づく検討をおこなった。これまでの検討から、Auto Gain Control (AGC) とWiggle表示を活用することにより、多様な変換波が効率的に可視化されている。さらにその記録をスラントスタックすることにより、レコードセクションを代表する波形の抽出を行った。

こうして得られた特徴的な地震波形を地震間の相互相関によりグルーピングしたところ、各グループは主にプレート境界の地震から構成され、おおむね発生深度(プレート境界の深さ)によってグループが分かれていることが確認された。それぞれの特徴的な波動の成因は今後調査する必要があるが、波形からどのグループの地震かが識別でき、プレート境界付近の地震発生機構の解明につながる可能性がある。

1.2. 地球内部構造時間変化の地球潮汐歪応答

2010年から2011年に観測された常時微動の自己相関関数解析を行い、日本全域において地震波速度変化の地球潮汐歪応答を推定した。拡張カルマンフィルタと最尤法を利用することで、地球潮汐歪のみによる地震波速度変化を抽出することができた。得られた速度変化の潮汐歪感度の空間分布より、東北地方では背弧側で速度変化の歪感度が系統的に大きくなることが明らかになった。速度変化の歪感度の大きさは地殻内部の流体やクラックの形状に依存するため、本研究成果は地殻内部構造の議論に利用することができると期待される。

1.3. 群発地震の継続時間

2011年東北地方太平洋沖地震でトリガーされた東北地方各地の群発地震について、その継続時間と群発地震開始位置からの拡散的時空間発展を系統的な方法で調査し、群発地震の震源位置の拡散係数と群発地震の継続時間との間に負の相関があることを発見した。

2. 津波堆積物等の地質学的調査

昨年度に引き続き、秋田県にかほ市象潟において1804年の象潟地震の津波堆積物の調査を実施した。海岸線に直交する約500mの測線を設定し、ハンディジオスライサーを用いて40～50m間隔で深度2mのコア試料を採取した。試料は層相観察、碎屑粒子の顕微鏡観察、粒度分析、EPMAによる主成分元素分析を行った。調査の結果、この測線においては、海岸から内陸に向かって堆積物の層厚が薄くなること、碎屑粒子は細粒化する傾向が認められた。この原因としては、津波の流れが減速するに

従って粒子が順次堆積することにより堆積物の供給が内陸ほど少なくなることが考えられる。2004年インド洋大津波、2011年東北沖津波による堆積物の調査でも、今回と同様な傾向が報告されている。また、堆積物中の火山ガラスの主成分元素組成は、鳥海火山起源のものと類似することから、1800年から始まった鳥海火山の噴火に伴う降灰の一部が津波堆積物に含まれていた可能性がある。

3. 堆積層構造調査

3.1. サイト増幅特性の地震波記録に基づく推定

昨年度に引き続き、地震波のコーダ波部分を用いた特徴抽出により、東北地方北部における地盤増幅率の推定を行った。今年度はK-NETとKiK-net地表観測点に加え、下北半島を中心に2015年度以降観測を継続しているAS-net（地表から約20m深度のボアホール観測）ならびにKiK-netの地中観測点まで統合的に扱い、それら各点における増幅特性を逆問題により一元的に推定した。このことにより、より稠密な地表面における増幅特性のみならず、地中観測における増幅率の空間分布、ならびに水平位置が同一なKiK-net観測点の鉛直増幅特性といった諸量についての周波数依存性が推定された。

3.2. 平均S波速度とJ-SHISならびに計測震度の関係

表層30mの平均S波速度（AVS30）は地表付近の増幅倍率を決める指標としてよく知られており、防災科学技術研究所J-SHISでは標高や斜面勾配などを用いた経験式に基づく推定値が公開されている。これらの経験式に基づくデータに対し、青森県内の検層ならびに微動計測に基づいてより直接的に計測されたデータと比較を行った。比較の結果、八戸～三沢においてはJ-SHISのほうが大きく、津軽平野では直接測定のほうが大きいなど、地域ごとに特徴的な系統性が見られた。また、AVS30と計測震度との比較からはAVS30が大きいほど震度が小さくなるという、定性的には既往の経験式を支持する結果が得られた。ただし、計測震度のAVS30に対する傾きは、ばらつきが大きいものの既往経験式よりも小さなもののほうが適切であるということが判明した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

内陸地震に強く関連すると考えられている地殻流体は、また群発地震にも大きく寄与していると考えられている。本年度の成果1.3はその群発地震の継続時間に関する特徴を初めて明らかにしたもので、群発地震のみならず内陸地震発生と流体の関係について理解する上で大きな貢献になりうるものである。また、成果1.2は今年度よりあらたに始められたものであるが、内陸浅部構造に対してこれまでとは異なる時間変化に関する視点を与えるものであり、今後地震発生との関係の議論が深まることが期待される。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

松野有希・小菅正裕・前田拓人,2021,北海道雌阿寒岳における深部・浅部低周波地震活動,東北地域災害科学研究,57,109-114

Amezawa, Y., Maeda, T., and Kosuga, M.,2021,Migration diffusivity as a controlling factor in the duration of earthquake swarms,Earth, Planets and Space,73,148,10.1186/s40623-021-01480-7

片岡俊一,2022,青森県階上町道仏震度観測点の特異性確認のための町内各地の地盤震動特性調査,東北地域災害科学研究,58,印刷中

長尾優樹・岡田里奈・梅田浩司・鎌滝孝信,2022,1804年象潟地震による津波堆積物の堆積構造,東北地域災害科学研究,58,印刷中

Okada, R., Umeda, K., Kamataki, T., Sawai, Y., Matsumoto, D., Shimada, Y. and Ioki, K.,2022,Geological record of 18th and 19th century tsunamis along the Japan Sea coast of Tsugaru Peninsula, northwestern Japan,Marine Geology,submitted

・学会・シンポジウム等での発表

小菅正裕,2021,広帯域レコルト `セクションに現れる変換波の網羅的探索,東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球の多様な波動現象へのアプローチ: 多量データ解析と大規模計算を両輪に」

片岡俊一,2021,青森県東南部の台地上における地震動増幅倍率に関する検討,令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会,CS10-12

片岡俊一,2021,青森県東南部における表層の平均S波速度,第56回地盤工学研究発表会,13-9-3-07
高野智也・西田究,2021,日本列島の地殻浅部における地震波速度変化の地球潮汐応答,日本地震学会2021年秋季大会,S01-07
Takano, T., and K. Nishida,2021,Tidal response of seismic velocity variations throughout Japan,AGU Fall Meeting,S35F-02080

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1. 島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

レコードセクションの記録を踏まえ、数値シミュレーションも加味して波動生成原因の推定法の開発に着手する。既知の特徴的波動が見られたイベントについて、あらたに震源直上のS-net波形も利用し、構造と特徴的波動成因との関係についてさらに調査する。

2. 津波堆積物等の地質学的調査

これまで採取したイベント堆積物について珪藻分析を実施する。調査地域における追加の調査または場所を変えての調査を行う。

3. 堆積層構造調査

微動や強震動を用いて、主要な強震観測点における地震基盤までの地下構造を推定する。また、地下構造の推定に寄与するために、津軽平野を伝播する表面波の伝播性状を分析する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前田拓人（弘前大学理工学研究科）,高野智也（弘前大学理工学研究科）,渡辺和俊（弘前大学理工学研究科）,片岡俊一（弘前大学理工学研究科）,梅田浩司（弘前大学理工学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

坂中伸也（秋田大学国際資源学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：弘前大学理工学研究科

電話：0172-39-3608

e-mail：tktmyd@hirosaki-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前田拓人

所属：弘前大学理工学研究科

(1) 実施機関名：

弘前大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

データ同化に基づく津波現況把握と即時予測の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2011年東北地方太平洋沖地震とそれによる東日本大震災を受けて急ピッチで海底における地震・津波観測網の構築が進み、陸・海を統合した地震と津波のモニタリング体制が確立しつつある。これを受けて、特に海域における地震津波等の記録の即時的な利用に基づく地震・津波の即時予測技術の高度化には多大なる期待が寄せられている。日本列島周辺には世界中他に類を見ないような高密度海底・海上津波観測網が敷かれつつあることから、高密度観測に基づく津波即時予測手法の開発および検証研究がきわめて活発に行われている。

これまで開発されてきた多くの津波即時予測技術が災害誘引である地震発生やそれによる地殻変動などの逆推定に基づくものであるのに対し、本課題の申請者らは、それらの災害誘引の地震学的描像に直接立脚せずに高密度観測記録から津波波動場そのものの現況把握を行う「データ同化」に基づく津波即時予測手法を提唱し、その開発を行ってきた。この方法は、複雑な地震断層運動の推定の不確実性に依存せず、また地震情報に依存しないことから海底の斜面崩壊等の非地震性の津波にもそのまま適用可能であると期待されるなど、さまざまな状況下での安定した津波即時予測に適した側面があると考えられる。しかし、この手法は提案されてからまだ日が浅く、真に実用的な津波予測手法に育て上げるためには、まだ多くの積み残しがある。本研究課題では、津波の波動伝播の実況把握から予測を行う時間発展型予測手法としてのデータ同化に基づく津波即時予測手法のさらなる高度化を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画の津波データ同化技術は、大別してデータ同化に基づく津波の現況把握と、それをを用いた即時予測の部分からなる。解析手法の高度化を行うのはもちろんのことであるが、低頻度巨大災害である津波は実記録に基づく手法の妥当性の検証がそもそも困難であり、津波の数値シミュレーション

に基づく数値実験が決定的に重要である。そこで、地震・津波数値計算技法の開発や、それらの数値シミュレーションに基づく津波即時予測技法の検証も本研究でカバーする。

現況把握においては、海底津波記録がその観測機器の置かれている場所における地殻変動のオフセットの影響を受けること、より即時性を高めようとするほど地震直後の大振幅地震波信号が推定を難しくするという問題が認知されるようになった。前者についてはその対処法の一部はすでにその研究に着手してきたところであり、本研究計画の初期段階において、集中的に検討を行う。また、後者の問題については、これまで我々が開発してきた地震・津波統合シミュレーションのほか、地震動と津波の両方の記録を合成する手法が複数提案されている。大規模かつ現実的な地震・津波の統合的シミュレーション技術の活用によって、よりリアルな津波疑似記録の作成とそれをを用いた津波即時予測実験を本計画で実施し、津波予測手法の即時性の限界点を明らかにする。

後者の即時予測については、これまで現況把握された津波波動場を初期条件とする津波シミュレーション (Maeda et al., 2015; Gusman, et al., 2016) と、その部分にGreen関数の考え方を導入して特定地域の予測を高速に行う方法 (Wang et al., 2017) がある。いずれも広域における津波現況把握から予測を行うため、その場でのシミュレーションあるいは事前のGreen関数の準備に比較的大規模な計算が必要となってしまう。そこで、沖合での同化結果を踏まえて海岸付近の津波増幅の問題を独立に取扱い、データ同化による現況把握・予測とシームレスに接続することにより、本手法に基づく津波即時予測の高精度化にも道筋をつける。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

これまで開発してきたデータ同化による津波波動場の現況把握ならびにそれに基づく津波即時予測の実データへの適用として、S-net 記録を用いた 2016 年福島県沖の地震 (M7.4) への適用を試みた

(Wang and Satake, 2021)。その結果、地震発生から津波の来襲より前の 35 分の時点で、三陸海岸における津波潮位計の記録を適切に予測できることが示された。また、従来型の潮汐除去とローパスフィルタによるデータ処理よりも、Wang et al. (2020) による EEMD 法 (経験的モード分解法) による津波検知のほうが、同時刻においてより高い津波予測スコアを示した。このことから、EEMD 法による検知 (Wang et al., 2020)、データ同化法による現況把握 (Maeda et al., 2015)、そしてグリーン関数を用いたデータ同化に基づく津波予測 (GFTDA; Wang et al., 2017) の 3 種の組み合わせで効果的な津波即時予測が実現できると期待される。また、これまでの手法開発およびその応用についての総まとめとなるレビュー論文 (Wang et al., 2021) を出版した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建議の該当項目には『大学は、震源過程など地震学的描像を必要としないデータ同化手法に基づく津波伝播の状況把握から、地震やそれ以外の災害誘因による津波を、可能な限り即時的かつ高精度に推定する手法の開発を行う。』とあり、まさにこの内容に沿ったデータ同化手法法に基づく津波即時予測について今年度も着実な進展があった。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Wang, Y. and K. Satake, 2021, Real-time tsunami data assimilation of S-net pressure gauge records during the 2016 Fukushima earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 2145-2155, doi:10.1785/0220200447

Wang, Y., h. Tsushima, K. Satake, and P. Navarrete, 2021, Review on recent progress in near-field tsunami forecasting using offshore tsunami measurements: Source inversion and data assimilation, *Pure and Applied Geophysics*, 178, 5109-5128, doi:10.1007/s00024-021-02910-z

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

また、これまでの手法の進展を踏まえ、巨大地震がもし発生した場合にはデータ同化法の適用によりその予測能力の評価やさらなるブラッシュアップをはかる。また、震源直上における大きな海底地殻変動が発生した場合の圧力計記録のデータ同化の取り扱いについて、初期水位を推定する逆問題手法を援用して安定な津波予測の実現を行うことの可能性を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前田拓人（弘前大学理工学研究科）
他機関との共同研究の有無：有
佐竹健治（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：弘前大学大学院理工学研究科
電話：0172-39-3505
e-mail：
URL：<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前田拓人
所属：弘前大学大学院理工学研究科

(1) 実施機関名：

兵庫県立大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山観測データを活用した減災・復興モデルの構築とリスクコミュニケーションに資する事例収集

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、過去に発生した災害において、地震・火山観測情報がどのように災害対応・復興に活用されてきたのか、災害対応における意思決定と災害を契機とした被災地の移転再建や生活再建における観測情報の利活用を事例検証を通して明らかにすることを目的とする。また、その社会的知見(災害の教訓)と地震・火山に関する科学的知見(メカニズム)を、市民の防災リテラシー向上と、減災・復興施策(災害対応・事前移住・事前復興計画技術など)に資する災害事例の収集を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

過去の災害事例において、地震・火山観測情報が災害対応・復旧・復興にどのように活用されたのかを、文献調査、現地調査、通時調査を通して検証する。研究実施過程においては、セミナーなどを通して研究成果を社会的に発信するとともに、減災・復興政策に活かすという目的のもとリテラシー向上を図るための人材育成に取り組む。具体的な、検討事項は以下のとおり。

- (1) 地震・噴火発生時の災害対応に活用される観測情報の体系化
- (2) 被災したエリアにおける、生活環境の移転・土地利用規制と生活再建の検討
- (3) 地震・噴火による社会的被害の解明と、その社会的知見(災害の教訓)と地震や火山に関する科学的知見(メカニズム)を生かした、事前復興計画の策定と市民の防災リテラシー向上。

2019年度は、過去に発生した災害（南海地震、阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、伊豆大島、御嶽山噴火、口永良部島噴火など）の災害対応・復旧復興過程において、観測情報がどのように活用されたのかを事例検証を通し明らかにする。

2020年度、21年度は、観測情報に基づく、警戒区域や危険区域の指定などの土地利用規制が、そこに住む住民の暮らしや生活再建にどのような影響を及ぼしたのか、地域住民への調査に基づき検証する。災害復興過程において、警戒区域や危険区域の指定により被災エリアへの立ち入りや再建が規制されたエリア（東日本大震災、有珠山・雲仙岳・伊豆大島・口永良部島など）に着もくし事例検証を行う。2022年度は、被災経験やその後の観測情報提供の仕組みの見直しが、被災地域住民の防災意識や地域の防災計画にどのような影響を及ぼしたのか、阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、御嶽山、口永良部島などの被災地における事例調査から検討する。

2023年度は、これまでの地震や火山噴火による被害状況とその要因の相関関係を考察し、その知見(災害の教訓)と地震や火山に関する科学的知見(メカニズム)を、事前復興や市民の防災リテラシー向上に活用するための方策を検討・実践する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

過去の被災経験や、それに伴う制度の見直しが、被災地の防災対策にどのような影響をもたらしているのかを検討した。2022年度は特に火山噴火後の警戒区域の設定という土地利用規制に着目し、警戒区域の解除がどのように行われたのかという政策決定プロセスについて、桜島（大正噴火）、雲仙普賢岳、口永良部島という過去の噴火災害を事例に検討した。

桜島大正噴火については、噴火とそれに伴う溶岩の流出により土地を喪失した住民が多数あり、鹿児島県と国との調整により被災した住民の移住政策がとられた。帰還のための判断基準が設けられていたわけではなく、住民の自主的な判断により帰還が行われていた。ただし、農業等の被害が深刻であったことから、帰還に際しては被災した農地回復のための補助金を提供する等の政策が行われていた。

1991年の雲仙普賢岳の噴火は、住民居住地域に警戒区域を設定した初めての事例であった。警戒区域は火山の活動状況を見ながらきめ細かく検討された。また、警戒区域解除については、国・市町・消防・警察・自衛隊・測候所・大学等をメンバーとする「警戒区域検討会議」において議論された。これに対し、2015年の口永良部島噴火では、県・町・消防・警察・自衛隊・気象庁・研究者等の実務者により構成される火山防災連絡会議が開催され、火山をめぐる情報共有が関係機関により行われた。ただし、帰還の判断は会議での議論を踏まえ町が独自に行っていた。

日本の防災行政においては、災害に伴う避難のための立退を指示するのは市町村長の役割とされる。しかしながら、火山噴火は発生頻度が低く、過去に大規模噴火を経験したことがない市町村だけで避難をめぐる政策判断を行うことは困難である。また、噴火時の避難は、地震や火山性微動が増える、実際に噴火が発生する等の現象が顕著であるため政策を決定しやすいが、警戒区域の解除については、地震が収束しつつも、完全になくなるわけではない場合もあり判断は容易ではない。さらに、警戒区域については、警戒区域に設定された地域の人々の生業保証や、警戒区域解除後の地域の生活基盤の整備も求められ、火山の活動状況のみでなく、社会政策的な側面も加味して政策を判断しなければならない。従って、過去の噴火対応から得られる知見を、生かした市町村の政策判断をサポートする仕組みが求められる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

4 地震・火山噴火に対応する防災リテラシー向上のための研究（1）地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明のうち、過去に起きた地震・火山災害事例を対象に、人々の災害対応や復旧・復興プロセスを明らかにする点に関連する研究である。特に、噴火からの帰還については、これまで十分な議論がなされていない課題である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Honda, R., Katsuyama, S., Yoshioka, M., Ohtani, H., Sakamoto, M. and Nagano, Y., 2021, Prediction of Building Damage at the District Level due to the Nankai Earthquake, 17 WCEE

Sakamoto, M.,2021,Disaster Memories in Museums and Disaster Recovery,17 WCEE

・学会・シンポジウム等での発表

Sakamoto, M.,2021,Disaster Memories in Museums and Disaster Recovery,17th World Conference on Earthquake Engineering,10a-0009

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

2023年度は、これまでの研究から得られる災害対応や被災地の復旧復興等の政策決定に、地震火山観測情報がどのように活用されていたのかを概観するとともに、政策決定の根拠となる観測情報とはどのようなものなのか、またそのリテラシーを高めるにはどのような方策が有効なのか、オープンサイエンス的な手法をも含め検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

阪本真由美（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、室崎益輝（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、森永速男（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、加藤恵正（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、富永良喜（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、紅谷昇平（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、青田良介（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、浦川豪（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）

他機関との共同研究の有無：有

永野康行（兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

電話：078-891-7376

e-mail：

URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：阪本真由美

所属：兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

(1) 実施機関名：

兵庫県立大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震観測研究の成果を活用した土地利用に係る事例収集に基づく枠組みの提案

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - イ. 首都直下地震
 - エ. 桜島大規模火山噴火
 - オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震
桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまで、ニュージーランドやトルコ、台湾などにおいて、活断層の近傍における建築制限を含む土地利用規制が進められてきた。日本においては、現在中央構造線近傍における特定建築物の建築制限を徳島県が主体となって実施している。

とはいえ、一部私権を制限することや、その断層が地表面に明確に現れていないことなどから、土地利用規制や建築制限をしても実態としての建物移転はなかなか進まない現状にある。観測技術の進展によって災害誘因の予測が精緻化されてきた現在、それを被害軽減を図る土地利用規制、建築規制にきちんと展開することが可能となっているが、これまでの状況を踏まえると、社会実装時に十分活用できない可能性がある。

そこで、海外事例、さらには徳島での取り組みによる関係機関、当事者の認識等を細かく整理することで、将来に向けた防災・減災の視点を含めた情報共有、対策実施のあり方を検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度～33年度までは、特に海外での建築制限の運用実態を把握するための調査を進める。

具体的にはニュージーランド、トルコ、台湾を想定している。規制を進める当局だけでなく、住民や事業者、不動産関連業者への調査を進める。

平成34年度以降は、国内での土地利用規制の運用実態を把握し、災害誘因予測が精緻化された状況下での運用のあり方を検討する。また、東日本大震災被災地における土地利用規制（災害危険区域）の現状把握にもつとめ、時間経過に伴う実態変化を把握する。

平成35年度にはそれらの成果を関連分野に提供・共有し、我が国における観測技術の土地利用規制への活用方策を検討する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

兵庫県内在住の男女1000名に対してWebアンケートを実施

- ・居住地のリスク認知
- ・居住地選択時の災害リスクの影響
- ・自然災害リスクを回避するための移転意向等についての回答を得た。

結果に関しては現在精査中であり、その成果については論文としてまとめるものとする。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

これまでに延期となっている海外での自然災害リスクに対応する土地利用規制の運用実態の把握調査を進める。

- 1) ニュージーランドにおける活断層周辺での土地利用規制の運用実態
- 2) トルコにおける震災被害を受けた地域での建物高さおよび用途規制の現在状況把握

それに加え、南海トラフ地震での被害が想定される自治体に対する質問紙調査、およびヒアリングを実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澤田雅浩（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、馬場美智子（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、紅谷昇平（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、青田亮介（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）、室崎益輝（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）

他機関との共同研究の有無：有

照本清峰（関西学院大学総合政策学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：減災復興政策研究科

電話：078-891-7376

e-mail：

URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澤田雅浩

所属：減災復興政策研究科

(1) 実施機関名：

東京大学情報学環

(2) 研究課題（または観測項目）名：

ニーズ・アセスメントに基づく地震・火山災害に関する発生確率、被害想定、災害情報のコミュニケーション戦略の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、南海トラフ地震や首都直下地震、大規模噴火災害等の想定災害において、多様なステークホルダーを対象に、災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）をどのように理解・掌握して活用しているかなど情報の理解の現状と課題を明らかにすることを目標とする。これらより一層の活用を図るために地震学・火山学に求められる情報内容や表現、活用条件について考察する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査を実施する。

平成32年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査の解析を行う。

平成33年度においては、1年目、2年目の成果を元に、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査を実施する。

平成34年度においては、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査の詳細解析を行う。

平成35年度においては、地震学・火山学のアウトプットに対するニーズや活用実態災害、情報と

しての活用を抑制している要因および課題の明確化する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度の成果の概要

令和3年度は、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査を実施、分析するものである。下記は、地震・火山災害の発生確率に関する調査に基づく分析について報告する。

課題設定

本研究は、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法を開発することを目的として、地震動予測地図において、これを分析するものである。

地震動予測地図で代表的な「今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布」を示した地図について、「30年以内」は、「個々人の将来設計を考える時に一つの目安になる」こと、「ある人が生まれて成人し結婚して家庭を営むようになる期間、中高年世代が老後の人生設計を考える期間等はほぼ30年以内」と考えられることが基になっている（地震本部）。一方、地図を有効活用するための改善点として、「確率を計算する期間（30年）が長すぎる」と約3割の人たちが回答している側面もある（地震本部、2011）。そこで、地図における表現を変え、より短い期間に換算して伝達することの有効性も考えられ、既存の「30年確率」をより短く、あるいはより長い期間で示した場合を想定して換算し示した場合、見る人の意識はどう変わるのか、調査から明らかにし、最も「対策の必要性」の意識が高まる表現方法を捉えることとした。

調査の概要

本調査は、全国47都道府県に住む20代～60代の男女（性年代均等割付）を対象に、各地域200名ずつ、合計9,400名に向けて実施した。調査実施機関は「楽天インサイト」を通し、ネットモニターを対象として行った。調査においては、当時最新であった2018年度版の確率論的地震動予測地図を呈示しつつ設問を設け、回答を得た。

調査内容

設問においては「地震の発生確率について、次のような表現で示された場合、どの程度『対策の必要性』を感じますか。それぞれあてはまるものを1つだけお選び下さい。」と聞き、「非常に対策の必要性を感じる」（6点）、「対策の必要性を感じる」（5点）、「どちらかといえば対策の必要性を感じる」（4点）、「どちらかといえば対策の必要性を感じない」（3点）、「対策の必要性を感じない」（2点）、「全く対策の必要性を感じない」（1点）の6件法で回答を得た。地震の発生確率については、地震動予測地図において「30年以内に3%以上」が「高い」とされていること、また26%以上になると最も濃い赤で示されるようになることから、「30年に3%」及び「30年に26%」の2種類を軸とした。それぞれ1年確率から最大1000年確率まで（「30年に26%」軸は700年換算で99.9%に至るため700年確率まで）換算して尋ね、回答を得た。回答を平均化し、それぞれ“対策の必要性認識（点数）”が最も高まる場所（年確率）を捉えた。

調査結果

結果は全体的に見ると、震度によらずピークは一致し、「30年3%」軸については、「10年確率（10年以内に1.0%の確率で発生する）」で、最も「対策の必要性」の意識が高まっていた。また「30年26%」軸については、「20年確率（20年に18.2%の確率で発生する）」において、最も「対策の必要性」意識が高まった。震度別に見ると、震度5強と震度6弱以上（6弱・6強・7の3つ）の間に、開きが見られた。

30年確率をより長い年数（例えば40年、50年、100年…といったように）に換算すると、示される確率の数値は高まるが、それに応じて対策の必要性意識が高まるわけではなく、より短い年確率（10～20年確率）で示した場合の方が、対策意識が高まることがわかった。ただし「1年確率」や「5年確率」といったように、さらに短くした場合よりも、「10年～20年確率」で示した場合に、最も意識が高まっていた。

次に、代表して「震度6弱」を採用し、年代別に分析した結果と、地域別（ここでは、「太平洋沿岸

在住者」＝地震発生確率が26.0%以上ある地域が多く含まれる茨城・千葉・東京・神奈川・静岡・愛知・三重・和歌山・徳島・高知の10都県と「日本海沿岸在住者」＝地震発生確率が6%未満の地域が多く含まれる秋田・山形・新潟・富山・石川・福井・京都・鳥取・島根の9府県）に分けて分析した結果はどうか。

まず年代別に見ると、大きな特徴として、より年代の高い50代～60代においては、「10年確率」でピークに達している一方、20代～30代においては「30年確率」がピークとなることがわかった。平均余命がより長いほど、対策の必要性を高く認識する傾向があると考えられた。

地域別に見ると、ピークは変わらず「10～20年確率」のところであるが、全体的にみると、太平洋沿岸在住者と比較して、日本海沿岸在住者において、対策の必要性の意識がより低いことがわかった。

まとめ

以上の結果から、「30年確率」で示されていた地震発生確率の表現について、全体的に見ると「10～20年確率」で示した場合に、より「対策の必要性」意識を高めることがわかった。また年齢が高いほど、この「対策の必要性」の意識を高める年確率は短くなるこよがわかった。すなわち20代～40代は「30年確率」で示された場合、50～60年代は「10年確率」で示された際に、最も「対策の必要性」意識が高まるということがわかった。また居住地（日本海沿岸か太平洋沿岸か）によっても意識は変わり、地震発生確率が相対的に低い日本海沿岸地域の住民において、「対策の必要性」意識が低かった。

地震動予測地図に示される地震の発生確率について、「対策の必要性」を示す相手の属性（年代や居住地）を考慮した表現を用いることで、より効果的に意識を高められる可能性があると考えられる。

総括すれば、地震動予測地図における確率評価について、その表現方法によって人の受け止められ方が大きく異なることが明確となった。2016年以降、我々の研究では、地震の発生確率情報など災害に関する科学的知見の表現方法によって、人の受け止められ方が大きく変化することが、繰り返し、確認されており、この結果は頑強である。

地震の発生確率情報など災害に関する科学的知見の成果を公表する際には、科学的表現の正確性のみならず、受け手の受け止め方を考慮し、最大の効果を発揮するような情報デザインが、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法として、求められることがわかった。

引き続き、被害想定、関連するなどを含めて、人々が災害情報をどのような理解・掌握して活用しているかなど、情報の理解に関する課題を明らかにしていく。

引用文献・ウェブサイト

地震調査研究推進本部, 「『確率論的地震動予測地図』の見方」, https://www.jishin.go.jp/resource/column/2008_0806_03/ (参照 2021-6-27)

地震調査研究推進本部, 2011, 「平成23年度調査結果」

(<https://www.static.jishin.go.jp/resource/questionnaire/questionnaire2011.pdf>) (参照 2021-6-27)

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究は地震・火山災害の軽減に資するという観点から、3(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究への貢献として、地震動予測地図における確率評価に対して、住民が対策の必要性を認識する情報体系の一端が明らかとなった。結果、地震学の成果について、より有効な情報発信の一助となる知見が得られた。また、これは住民の地震情報に対するニーズという観点からも、4(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成に向けた成果である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

関谷直也, 2021, 『災害情報——東日本大震災から次の大規模災害への教訓』, 東京大学出版会

Sayaka Saito, Shinya Yasumoto, Naoya Sekiya, 2021, Earthquake Probability in National Seismic

Hazard Maps for Japan and People's Risk Perceptions: The Search for More Effective Expression.,Earth, Planet and Space(Special Issue on “Structure Earthquakes and Tsunami Hazards in the Sea of Japan”).

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也,2022,首都直下地震に関する映像による認知の変化-パネル調査を用いたドラマ「パラレル東京」の効果分析-,災害情報,20(1),印刷中

安本真也・関谷直也,2022,火山噴火に対する意識：「登山者」と首都圏住民へのアンケート調査をもとに,東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編,38,印刷中

・学会・シンポジウム等での発表

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也,2021,防災啓発番組の視聴は地震の備え行動につながるのか：ドラマ「パラレル東京」の効果検証,日本災害情報学会第23回学会大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

地震災害に関する住民調査を前提に、地震災害・火山災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）などの住民の受け止め方に関する詳細な解析を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

関谷直也（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,田中淳（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,片田敏孝（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,宇田川真之（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

秦康範（山梨大学）,齋藤さやか（琉球大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：総合防災情報研究センター

電話：03-5841-5924

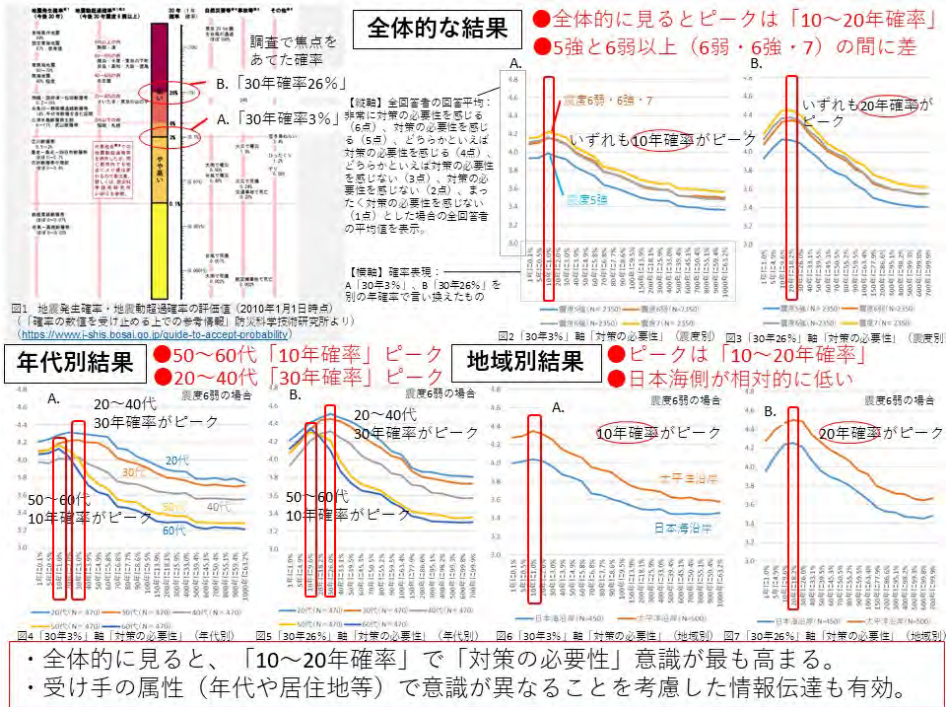
e-mail：cidir@iii.u-tokyo.ac.jp

URL：http://cidir.iii.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：関谷直也

所属：東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター



調査結果のまとめ

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史資料の所在調査とデータ収集

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、東北地方をフィールドとして『新収日本地震史料』や既存の自治体史に部分的に掲載されている災害関係史料の原本の所在を調査し、それらの所蔵機関・所蔵者を訪問して原本全体をデジタルカメラで撮影し、データを収集する。その際、災害史料単体ではなく、それらの史料が含まれる史料群に着目し、従来の災害研究では着目されなかった絵図・地図類や地域の開発や社会変遷が伺える記録類の情報も収集することにする。

新出史料の調査については、2011年の東日本大震災を受けて各地で被災史料の保全活動を実施している自治体や史料保全ネットワークなどと連携し、各地で展開している史料の保全活動と連携しながら、近年の調査で所在が判明した史料群における災害関連資料の有無を確認し、所在が確認された場合にはデータ撮影を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題の実施計画は、5年間の中で東北6県を全て網羅することとし、宮城県における史料所在調査および撮影は随時実施することとし、それ以外の5県については、各1年間をかけて集中的に調査を実施することにする。特に東日本大震災の被災地である地域を優先し、平成31年度においては岩手県、平成32年度においては福島県、平成33年度においては青森県、平成34年度においては山形県、平成35年度においては秋田県という順番で実施することを想定している。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

新型コロナウイルス流行により、歴史資料調査の予定地域を変更し、令和3年度は秋田県地域の資料調査を重点的に展開する。

文化元年(1804)象潟地震について、由利郡関村（現在のにかほ市象潟町関地区）に伝来する古文書・古地図を解説し、詳細な被害状況について調査した。象潟地震における関村の家屋被害について記した『当六月四日之夜大地震ニ付潰家死人馬書上帳控』では、当初は「潰家」「大痛」と判定されていた

ものが、後に「潰家」「大痛」「中痛」と評価が細分化されて判定されており、これらを含めて計算すると関村の家屋被害率は80%を超えることが確認された。また、古絵図から当時の関村の家屋配置、歴史地形を復元し、関地区では地震動による家屋倒壊や耕作地の被害が大きいことが確認された。また、1611年に発生した慶長奥州地震津波について、従来の1933年の昭和三陸地震津波と同程度の地震規模とされていた評価を大幅に見直した。歴史資料の再検討から、現在の東北地方から東京（江戸）に及ぶ地震と、北海道から東北地方沿岸部に人的被害をもたらした津波について明らかにするとともに、1454年の享徳津波よりも規模が大きかった可能性を指摘した。令和3年12月4日にはシンポジウム「歴史が導く災害科学の新展開Ⅴ—文理融合による1611年慶長奥州地震津波の研究—」を開催し、歴史学・考古学・地質学・津波工学の研究者らとともに慶長奥州地震津波についての研究報告をおこない、判別の難しかった14～17Cの津波堆積物が慶長奥州地震津波の可能性が高いことや、その地震規模についてMw8.8±0.1となる可能性を指摘した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

1804年象潟地震について、歴史資料から被害に関する詳細な情報とともに、調査主体によって変化する被害評価についての情報を得ることができた。

1611年慶長奥州地震津波については、従来の評価を大幅に見直し、歴史資料からその全体像を描くとともに、近年議論されている1454年享徳津波との対比や、シンポジウムの開催により文理融合による総合的な視点から分析することで、その実像を明らかにすると同時に、17世紀における日本海溝および千島海溝で発生した巨大地震を考えるうえでの根幹となる情報を得ることができた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

蝦名裕一・今井健太郎,2021,由利郡関村の歴史資料にみる文化元年（1804）象潟地震の被害状況,『歴史地震』,36,191-203

・学会・シンポジウム等での発表

蝦名裕一,2021,1454年享徳地震津波と1611年慶長奥州地震津波の比較分析,第38回歴史地震研究会苦小牧大会

蝦名裕一,2021,象潟地震における家屋倒壊率について—由利郡関村を事例に—,第9回歴史地震史料研究会

蝦名裕一,2021,歴史資料にみる慶長奥州地震津波,歴史が導く災害科学の新展開Ⅴ—文理融合による1611年慶長奥州地震津波の研究—

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度の研究成果をもとに、日本海沿岸部については象潟地震の山形県域での被害状況を継続的に調査する。また、東北地方太平洋沿岸については、1611年の慶長奥州地震津波の研究成果をもとに、17世紀前後の日本海溝・千島海溝における歴史地震を再検討し、この地域における地震活動の詳細な発生状況について研究分析を展開する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所 人間・社会対応研究部門）

他機関との共同研究の有無：有

熊谷誠（岩手大学地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害文化アーカイブ研究分野

電話：022-752-2146

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一

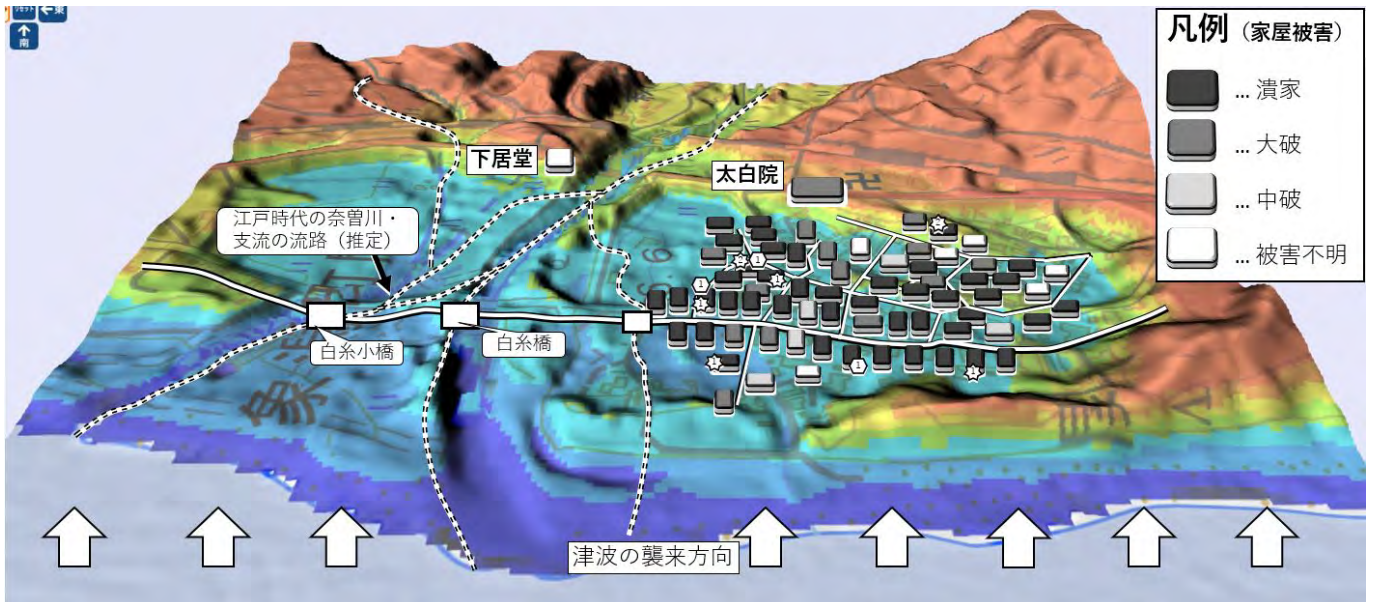
所属：東北大学災害科学国際研究所



「大痛」を「中」に修正

「大痛」を「潰家」に修正

『当六月四日之夜大地震ニ付潰家死人馬書上帳控』の被害表現



象潟地震発生時における関村の歴史景観

「文化元年 当六月四日之夜大地震ニ付潰家死人馬書上帳面控」

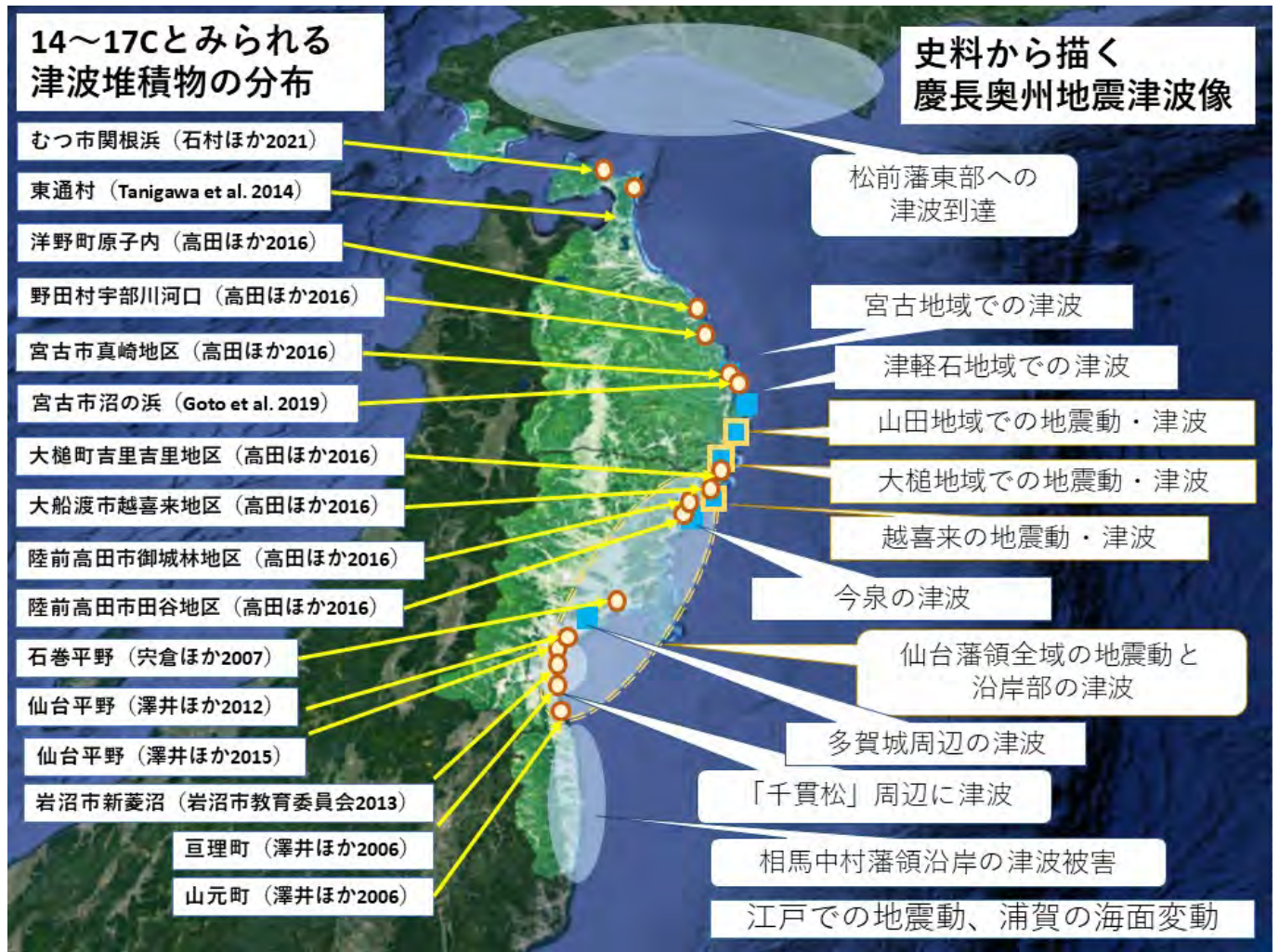


	人名		死者	馬	人名		死者	馬	人名		死者	馬
1	源左衛門	潰れ			26 弥平	潰れ			51 太郎左衛門			
2	勘兵衛	潰れ			27 三郎左衛門	大痛			52 寿正院			
3	権右衛門	大痛			28 与治右衛門				53 織右衛門	潰れ		
4	兵左衛門	潰れ	女		29 善左衛門	潰れ			54 太平	潰れ		
5	三助	中痛			30 長助	潰れ			55 孫左衛門	潰れ		
6					31 八兵衛	潰れ			56 間右衛門	潰れ		
7	太郎兵衛	大痛			32 三之丞	中痛			57 兵四郎	中痛		
8					33 五郎七				58 惣右衛門	大痛		
9	徳兵衛	大痛			34 鍛冶屋敷				59 与助	潰れ		
10	四郎左衛門				35 三右衛門	潰れ			60 惣左衛門	潰れ		
11	弥助	潰れ			36 勘三郎	潰れ			61 孫右衛門	潰れ		
12	与三郎				37 源右衛門	潰れ			62 弥左衛門	大痛		
13	弥市右衛門	潰れ			38				63 善右衛門			
14	小右衛門	潰れ			39 重左衛門	大痛			64 長五郎	潰れ	女2	
15	与平	潰れ			40 六右衛門	大痛			65 三吉	大痛		
16	与惣右衛門				41 源兵衛	潰れ			66			
17	三郎兵衛	潰れ	男		42 弥治右衛門	潰れ			67 与五郎	大痛		
18	藤右衛門	潰れ			43 弥五右衛門	潰れ	2人	1	68 佐藤左衛門	潰れ		
19	嘉右衛門	潰れ			44 作右衛門	潰れ			69 *茂平	潰れ		
20	久治郎	潰れ			45 与惣兵衛	潰れ			70 *藤治郎	潰れ		
21	民右衛門	潰れ	女		46 佐左衛門	潰れ			71 *儀右衛門	潰れ		
22	三四郎	潰れ			47 五右衛門	潰れ			72 *治右衛門	潰れ		
23	三左衛門	潰れ			48 仁右衛門				73 *半右衛門	潰れ		
24	弥十郎	潰れ			49 佐治右衛門	潰れ		1	74 *太白院	大痛		
25	助右衛門	中痛			50 惣五郎	大痛						

*文化元年にのみ名前が見える場所

死者・死馬があった家の被害は全て「潰れ」
= 屋根や梁などの落下が原因か。

象潟地震における地震被害の様相



1611年慶長奥州地震津波における史料から描く被害状況と堆積物の分布



令和3年12月4日シンポジウムの報告概要

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GPS-A観測による効率的な上下変動検出技術の開発と根室沖観測への適用

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
(3) 研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでGPS-A観測は、海域での地殻変動を直上で捉えられる有効な手段として普及してきたが、上下動の計測には移動観測が必要でかつ検出精度も低かったことから、水平変動の検出に重点が置かれてきた。しかし、海底設置トランスポンダを適切なレイアウトで配置して定点観測を実施することで、これまで原理的に上下変動が解けないとされてきた定点観測方式でも上下変動の検出が可能であることがわかってきた。今後のGPS-A観測網の広域展開時に期待される海上自律プラットフォームでの自動観測は、長期観測時の燃料の制限から、推進性能上定点観測に限定される可能性があり、定点観測で水平動と合わせて上下動も計測する方法の開発が望まれている。

一方、千島海溝でのM8.8以上の超巨大地震の今後30年の発生確率が最大で40%に達すとの政府の見解が有り、同海域を対象とした研究計画が同じ項目から申請されている。地震間の地殻変動としては水平変動が卓越しているが、地震時変位や地震後の余効変動では上下動も無視できない存在であることが、2011年の東北沖地震に関する研究で明らかになっている。新たな観測網を構築する千島海溝で、巨大地震に備え上下動検出可能な体制を作っておくことは重要である。

本研究では、コスト効率の高い最適なGPS-A海底局設置レイアウトを精査し、新規観測が予定されている根室沖および現在余効変動による顕著な上下動が見られている東北沖の特定の点で実測データを得ることで、上下変動が検出可能なことを理論と観測の双方から5年以内の実証し、今後の新しいGPS-A観測のモデルケースとして提案することを目標とする。また、5年間の実証データを利用し、千島海溝および日本海溝沿いの海底地殻変動場を把握するのに有用なデータを提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

水平方向の地殻変動成分の検出に特化してきた既存の海底局アレイの中央に、海底局を1台追加して配置することにより、通常行われる定点観測で上下動検出が可能なことを実証し、得られるデータは地震の長期評価に利用する。

2019年度は、課題HKD_09およびERI_05と連携し、根室沖に設置予定の3ヶ所のGPS-A観測点の

海底局アレイの中心に、本課題で整備する海底局を追加設置し、アレイ全体の形状決定のための観測をおこなったうえで、上下動検出を可能にするアレイ中心での定点観測を開始する。1キャンペーン観測内のアレイ位置の時系列から、上下変位検出精度の暫定的に検討する。

2020年度と2021年度は、根室沖での繰り返し観測を実施し、初回の上下も含めたアレイ変位を求め、想定される観測精度と照らし合わせ解釈を行うとともに、上下変位推定における観測時の海上プラットフォームの違いの影響を吟味する。また、根室沖での初期観測結果を参考にしつつ、日本海溝沿いに展開している東北大所有のGPS-A観測点の中から適当な1~2点を選定し、別途回収予定の海底局の電池を整備し直し、選定した観測点に追加設置することで、根室沖と同様の上下動検出が可能な状態にし、それらのサイトでも観測を開始する。

2022年度および2023年度は年1回の頻度で観測を継続しデータを集積させる。さらに、既存観測点から上下変動検出が可能な6局等の特別なレイアウトのものを抽出し、近年考案された上下変動を組み込んだ解析アルゴリズムで既存の観測データを再解析し、現状のレイアウトでの上下変動検出精度、誤差要因を把握するとともに、誤差伝搬理論に基づいた最適な観測機器配置レイアウトを提案する。

各年度の観測では、誤差要因について考察できるよう、CTD/XCTD等による海中音速場についても同時計測を実施する。観測で使用する調査船は、別課題で申請した備船によるものの他、海洋研究開発機構の共同利用の機会も併せて利用する予定である。得られた水平・上下変動推定値を、観測を実施した研究課題に還元し、プレート固着状態の推定に役立てるとともに、誤差要因について精査した後に、新しいタイプのGPS-A観測レイアウトとして提案し、他のGPS-A観測を実施している研究機関が利用できるようにする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2021年度は、4月に根室沖でGNSS-A計測を含めた調査航海をする機会が得られた(図1のmagentaの四角)。中心海底局が未設置であったG23観測点についても2020年度中に追加設置を済ませていたため、根室沖のG21, G22, G23とも目的である中心海底局込みでの中心定点観測を、それぞれ14時間、10時間、9時間実施することができ、さらに定点観測での上下変位検出精度の検証のための比較データとして移動観測もそれぞれ必要時間実施でき、トータルで3回目のキャンペーンデータが得られた。図2にG22での観測航跡・簡易測距値を観測例として示した。根室沖以外の日本海溝沿いの観測点での中心海底局追加配置については、その試験機を年度末に調達予定で、次年度の観測予定である。そのため、既存の6局の観測点での観測により定点での上下変位検出を行っている。

4月に得られた根室沖のデータについて解析を行った結果、水平変位については音速場の水平空間不均質の影響を強く受け、その補正方法により推定変位の不確定性が大きく、固着を議論するにはまだデータが足りないと言えるが、上下変位については3キャンペーンで若干沈降のトレンドに乗っており、音速場の影響を受けにくいことがわかってきた。

さらに4月の観測時に、G22点においてウェーブライダーとの同時観測の機会を得た(図3)。今後複数海上局のデータ解析アルゴリズムを開発し、上下動検出の精度や海中音速場の推定の妥当性のクロスチェックに利用する予定である。

このように、ウェーブライダーによる自動観測が実用化され観測の機会が増えつつあり、さらにウェーブライダーで開発した自動観測の技術により、根室沖方面に向かう調査航海に観測依頼をすることも可能となり、複数の海上プラットフォームで同一観測点を計測する体制を整えた。これによりハード的な理由でプラットフォーム依存が出やすい上下変位推定について実データに基づいて検証が可能となった。

一方、秋の予定していた観測は、海峡が悪く船舶による計測はできず、さらなるデータの積み重ねは次年度以降に持ち越しとなった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「1.(5)ア」の項目に関し、上下変動検出の技術検証を根室沖のサイトで実施することで、固着度合いの推定に資するデータを蓄積することができ、これまでの観測の空白域を埋めている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

木戸元之・本荘千枝・木村友季保,2021,様々な観測形態によるGNSS-音響方式での上下動検出について,日本地球惑星科学連合2021年大会

本荘千枝・木戸元之・富田史章・日野亮太,2021,2011年東北地方太平洋沖地震後の海底上下動分布と三陸沖海溝軸近傍の隆起傾向,日本地球惑星科学連合2021年大会

木戸元之・福田達也・太田雄策・富田史章・本荘千枝・飯沼卓史,2021,ウェーブライダーによるGNSS-A観測データの準リアルタイム伝送,日本地球惑星科学連合2021年大会

太田雄策・木戸元之・本荘千枝・木村友季保・佐藤真樹子・鈴木秀市・東龍介・大園真子・青田裕樹・高橋浩晃・富田史章・飯沼卓史・篠原雅尚・日野亮太,2021,GNSS-A観測に基づく千島海溝根室沖における海底地殻変動の予備的結果,日本地球惑星科学連合2021年大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

2022年度は、新青丸などの共同利用船による観測機会が得られない予定である。しかし限定的ではあるが、傭船による根室沖の観測を実施を検討しており観測の継続は見込まれている。また、自動観測システムを活かした別の航海への依頼観測による計測機会も検討している。

一方、今年度末に調達予定の新型海底局を日本海溝沿いの既存観測点のアレイ中心に試験的に加えた観測を実施し、根室沖の観測点と合わせて上下変位推定の精度検証に加える。ウェーブライダーなどの他の観測機会も有効に活用し、海上プラットフォームによる上下変位推定への影響を検証するとともに、キャンペーン観測データを累積して根室沖の上下・水平変位レートの推定精度を向上させ、固着状態についてある程度の定量評価を試みる。数値シミュレーションにより最適な観測位置・航跡を検討し、実観測に反映させる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）、日野亮太（東北大学大学院理学研究科）、太田雄策（東北大学大学院理学研究科）、東龍介（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）、大園真子（北海道大学大学院理学研究院）、飯沼卓史（海洋研究開発機構）、富田史章（海洋研究開発機構）、堀高峰（海洋研究開発機構）、尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）、篠原雅尚（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：木戸元之

所属：東北大学災害科学国際研究所

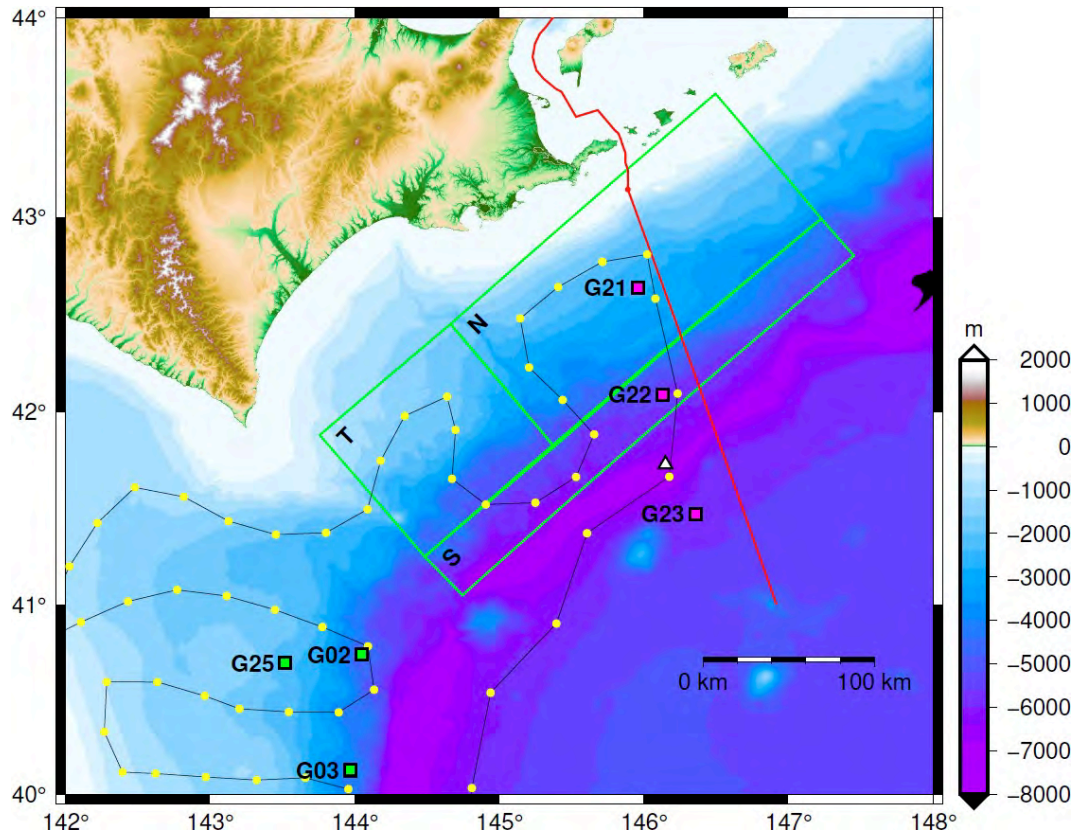


図1
根室沖のGNSS-A観測点配置およびS-Netの配置。矩形は想定される根室沖超巨大地震の震源断層。

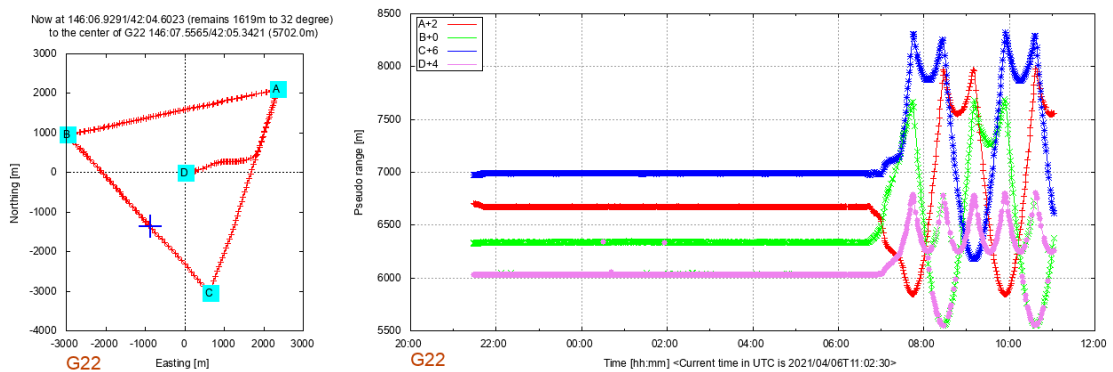


図2
G22の2021年4月の船舶による観測実績。左は測距中の海底局に対する船舶の位置の航跡。右は4海底局に対する簡易測距結果の時系列。値が一定の範囲が中心定点観測。後半の移動観測時にウェーブライダー（中心定点観測）と同時計測を行った。

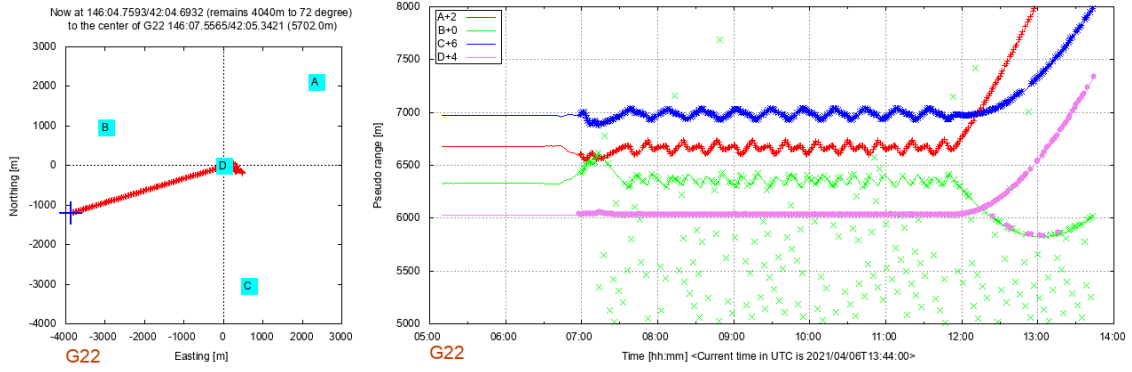


図 3

G22の2021年4月のウェーブライダーによる観測実績。移動観測は船舶で行ったため、中心の定点観測のみを実施した。

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)による地表面変位計測の高精度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GB-SAR干渉計測では、レーダ電波の地表面の往復時間・位相を計測し、繰り返し計測における位相の変化を計測し、地表面変位を推定している。電波は空中の伝搬速度が、大気に含まれる水蒸気量によって変化する。電波の伝搬速度が変化するとレーダで計測する対象物が変化しなくとも、計測される位相が変化するため、あたかも地表面が変位するような誤差を与える。我々が荒砥沢、南阿蘇で計測したデータにおいて、水蒸気量による誤差は、日変化においても無視できないほどの量であり、そのための大気補正手法を開発してきた。これにより、大気状態が比較的安定している場合、正確な地表面変位の計測が行えることを確認したが、強雨時など補正が十分でない事例も確認している。本研究では、こうした問題を解決することで、GB-SAR干渉計測の精度を向上させ、地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法に資することを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31-33年度は現在宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している2台のGB-SARの連続計測を継続し、GB-SARデータの取得を行う。合わせて、気象観測ステーションを設置するなどして、局所的な大気情報計測を行う。

広域のGB-SAR計測では、大気補正を計測したレーダデータを用いて行うことが実用上重要であり、本研究ではこれまで計測地域の大気を単純化したモデルで表現し補正に利用してきたが、モデルを高精度化し、時間・空間的にアダプティブな補正手法を開発する。そのために、局所的かつ詳細な大気情報を利用し、手法を検証する。

研究グループが所有するGB-SAR装置は世界的にも数少ないフルポーラリメトリ計測を行える。特に偏波情報を利用した大気補正は世界的に他のグループが実践的なデータを利用して行うことができず、我々は世界に先駆けた研究を行う体制を整えている。

平成34,35年度は発生する火山噴火予兆や地滑り予兆なども考慮しつつ、計測対象を変えて開発した

手法の検証を継続する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

熊本県南阿蘇市に設置したGB-SARモニタリングは現場復旧が終了したので、モニタリングを終了した。現在2011年11月に開始した宮城県栗原市でのモニタリングのみ継続している。栗原市と協議した結果、現在行っている荒砥沢の地滑りモニタリングを栗原市が運営する栗駒山麓ジオパークビジターセンター (<https://www.kuriharacity.jp/geopark/060/index.html>) にリアルタイムで表示することとし、2022年10月より公開を開始した。

MIMO型GB-SARについて、校正手法の検討を進めてきた。既に17GHz帯でのMIMOレーダ装置は実験を進めてきた本年度は79GHz帯での実験を進めた。実験に利用した試作システムは送信アンテナ12個、受信アンテナ16個のMIMOレーダであり、無線実験局免許を取得した。基本的なイメージングが可能な事を確認し、100m程度までのSAR画像を再構成できること、1秒間に20回程度の計測が可能な事から100m x 100m程度の大きさのSAR画像の中から任意の地点について数Hz程度までの深度をリアルタイムで計測できる。干渉SAR画像を作成する時間間隔が25ms程度であるため、その時間内で半波長1.9mm以内の変位であれば、フェーズラッピングの問題は発生せず、単純に計測ごとの位相差の累積から変位の絶対量を計測することが可能である。

本年度は20m程度範囲で石垣に小石などを置いて人工的な変位を作った場合、検知できることを実証した。更に、鉄道橋梁を計測し、列車の通過に伴う振動計測が可能な事を示した。今後、ある程度の大きな範囲の地滑り計測へ進めていく。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Izumi, Y., G. Nico, and M.Sato,2021,Time-Series Clustering Methodology for Estimating Atmospheric Phase Screen in Ground-Based In SAR Data,IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,doi:10.1109/TGRS.2021.3072037

井ノ口拓郎, 中谷匡志, 山本浩之, 佐藤源之,2021,GB-SAR を用いたトンネル切羽計測システムの現場実証実験,日本応用地質学会研究発表会

Izumi, Y., O. Frey, S. Baffelli, I. Hajnsek, and M. Sato,2021,Time Series of Terrestrial Radar Interferometry Data Applied to Measure Glacier Velocity,IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Early Access April 2021

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

79GHzMIMOレーダを利用したより広域な計測をめざしたシステム設計と実験実証を進める。併せて17GHzMIMOレーダによる従来型GB-SARの置換を行うための実験を進める。両周波数共に、大気補正の手法検討を継続する。栗原市荒砥沢の長期モニタリングは継続するが、それ以外で緊急の計測が必要な事象が発生した場合はモニタリングに機材を派遣する体制を維持する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐藤源之（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）,森口周二（東北大学災害科学国際研究所）,Anwer Sayed（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）,菊田和孝（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

長谷中利明（熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター）,栗原市,国交省九州復興事務所,熊谷組,安藤・ハザマ

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北アジア研究センター

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://magnet.cneas.tohoku.ac.jp/satolab/satolab-j.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐藤源之

所属：東北大学 災害科学国際研究所（東北アジア研究センター）



2021年10月から栗駒山麓ジオパークビジターセンター（栗原市栗駒松倉東貴船5番地：旧栗駒小学校）の展示室で関連するパネルと共にリアルタイムの画像展示を開始



栗駒山麓ジオパークビジターセンターでの展示

荒砥沢GB-SARのリアルタイムモニタリング画像と説明パネルを一般訪問者へ公開

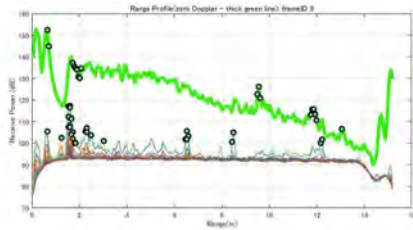
落石検出模擬試験

模擬落石として、直径 5 ～ 15 cm程度の石を石垣の表面に配置してMIMOレーダ計測を実施。

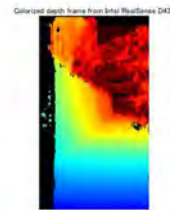
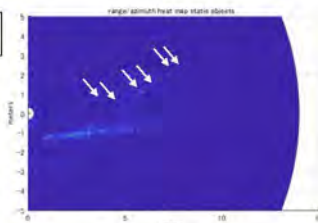


0 1 2 3 4 5 6 7 8 m

落石検出模擬試験
(落石前後ヒートマップ差分)



レンジ-アジマス
ヒートマップ差分

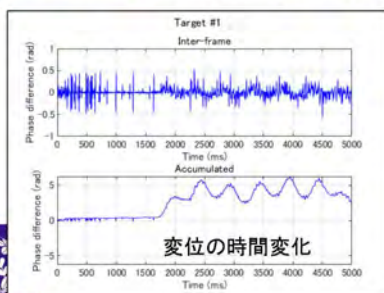


地表付近の差分信号の強度が高い → 地表付近の植物の葉の向きが風によって変化し、計測に影響した可能性あり

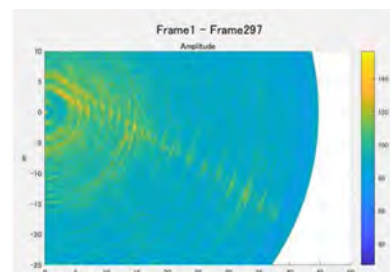
ToDo: 植物による影響がない切羽面での計測

79GHz MIMOレーダで計測した石垣表面の変位
礫を設置する前後で計測したデータから構成した干渉SAR画像。変位量が大きいため変位量の計測はできないが変化のあった位置の特定は行えている。

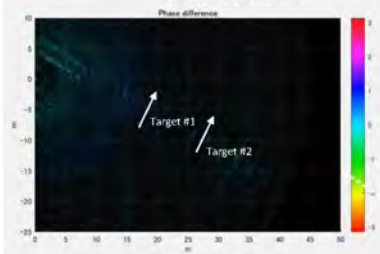
東北線橋梁の振動



変位の時間変化



反射強度表示



変位表示

列車が通過すると、変位の色が変化します

橋梁の振動計測

79GHzMIMOレーダで計測した鉄橋の振動計測。列車通過に伴う数Hzの振動を捉えている。フェーズラッピングの問題は生じないことがわかる。

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震の事前情報を起点とするハザード事象系統樹の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
地震

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフ沿いの巨大地震について、その震源域周辺で非定常な現象が発生し、発生確率が相対的に高まったと評価された際（「臨時情報」が発表された際）、その後に発生しうる自然現象の推移シナリオやそれらの発生確率およびその幅が把握できるような「ハザード事象系統樹」を作成する。また、当事象系統樹をベースに、臨時情報に対応した防災計画作成の必要がある組織の担当者が、様々な自然現象の推移を理解し計画作成に活用できるツールを開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

計画前半においては、南海トラフ沿いで東海側（紀伊半島沖より東側）あるいは南海側（紀伊半島沖より西側）のいずれかを破壊するようなマグニチュード8クラスの巨大地震が発生した場合（「片割れ」ケース）、一段階規模が小さいマグニチュード7クラスの地震が南海トラフ巨大地震想定震源域周辺で発生した場合（「一部割れケース」）、普段観測されないようなゆっくりすべりが発生した場合（「ゆっくりすべりケース」）について、過去の事例研究の整理やグローバル地震カタログの調査などを行いつつ、事象系統樹のプロトタイプを完成させる。

計画後半においては、事象系統樹の末枝で想定される各シナリオ地震による津波浸水の予測・被害推定等の結果を事象系統樹と融合させ、臨時情報に対応した防災計画作成の必要がある組織の担当者が、様々な自然現象の推移を理解し計画作成に活用できるツールを開発する。本ツールの開発においては、想定ユーザーに含まれる地方自治体等の意見を聞き、その概形・表現方法・付加する情報等に反映させる。また、今後の技術発展を見越した事象系統樹の将来進化を検討し、臨時情報に基づく社会対応にとって有用な観測網の提案も行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和2年度に実施した M8 クラス以上（半割れ）および M7 クラス（一部割れ）の地震発生後に後発する地震の発生確率計算結果に関して、南海トラフにおける地震発生様式の固有性を融合させる方法について検討した。具体的には、南海トラフの過去のケースでは後発地震の発生事例数がグローバル地震カタログから推定される確率よりも大きいことを考慮し、確率の減衰曲線はグローバル地震カタログ解析結果を用いつつ、確率の絶対値は南海トラフの発生履歴と整合的になるよう上方補正することとした。

また、計画後半で実施するとしていた、半割れ地震発生後の後発地震による津波リスクマップの開発にも予定通り着手した。具体的には、高知市周辺をテキストフィールドとし、シナリオ断層約660通りについて浸水計算を行ったうえ、想定先発地震震源域ごとに後発地震の相対的発生確率を空間分布モデルを用いて与え、津波浸水・建物被害等のリスクを試算した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

災害発生時の切迫性を社会に的確に伝える方法の確立を目指し、科学的な知見を重視しつつも起こりうる現象や結果(被害)を相場観的に示すために、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）が発表されるケースでの津波リスクにフォーカスして取り組んできた。概ね、科学的な裏付けの解析や津波浸水計算などが完了しつつある段階であり、今後、想定利用者との意見交換なども通じて社会への的確な伝え方を検討していく。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

M8クラスの地震発生後に後発する地震による津波リスクマップの開発を進める。想定ユーザーに含まれる地方自治体等の意見を聞き、後発地震の発生確率評価や津波リスクマップの表現方法の改善を検討する。ゆっくりすべり後にM8クラスの地震が発生する確率評価に着手する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

福島洋（東北大学災害科学国際研究所災害理学研究部門）、木戸元之（東北大学災害科学国際研究所災害理学研究部門）、越村俊一（東北大学災害科学国際研究所災害リスク研究部門）、日野亮太（東北大学大学院理学研究科）、太田雄策（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害評価・低減研究部門

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：福島 洋

所属：東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

歴史地形の復元・可視化手法の確立と災害発生要因の分析

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化
5 研究を推進するための体制の整備
(2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究においては、明治時代の地籍図や江戸時代の国絵図・村絵図類をもとに、近現代の開発による改変以前の古地形や集落の広がりを復元・可視化することを目的とする。この復元した歴史地形をベースに、特に東日本大震災の被災地となった東北地方太平洋沿岸において発生した地震・津波・洪水といった歴史的な災害を比較し、災害発生時の地形と被害の関連性を明らかにする。加えて、南海トラフ巨大地震の被災地となる東海・紀伊半島・四国地方を例に、歴史的な地形変遷から将来発生が懸念される災害について予測し、災害の予防や防災意識の啓発といった被害軽減への活用をはかる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、前半で東北地方を中心とする地形復元を実施し、ここで得られた地形復元の手法を応用して南海トラフ巨大地震の被害範囲とされる地域の地形復元を実施する。平成31年度においては、国土地理院の前身である陸軍陸地測量部によって作成された輯製図・帝国図をベースとして、高度経済成長による大規模開発以前の東北地方沿岸の歴史地形を復元する。これに基づいて、平成32年度は東北地方太平洋沿岸、平成33年度は東北地方日本海沿岸を中心に、各地の古絵図・古地図の情報を収集し、近世期の地形を復元する。ここで確立した歴史地形復元の手法をもとに、平成34年度は東海地方、平成35年度は紀伊半島・四国沿岸の地形復元を実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、陸地測量部作成の旧版地形図をもとに、東北地方太平洋沿岸における明治期の歴史地形の復元作業を実施している。現段階では、岩手県野田村、山田町、大槌町、釜石市、宮城県気仙沼市、石巻市、松島市、多賀城市、仙台市、岩沼市、亶理町、山元町、福島県相馬市沿岸の地形復元作業を実施し、現代の大規模開発以前の沿岸部の地形や河川流路などの歴史的景観を復元した。

また、歴史地形の復元に基づいた歴史地震・津波の研究として、宮城県多賀城市における1611年慶長奥州地震津波を事例に研究を実施した。現在、多賀城市では仙台港の建設により海岸地形が大きく変更されているが、同地域の旧版地形絵図に加えて、土地条件図、1961年の航空写真などの情報をもとにした歴史地形の復元を試みた。また、仙台藩の地誌『安永風土記』に記される多賀城市域における津波到達伝承や、考古学調査によって発見されたイベント堆積層などの情報をもとに、復元した歴史地形をもとに同地域における慶長奥州地震津波の浸水域の広がりや津波の高さについてシミュレーションを実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

東北地方太平洋沿岸における歴史地形を復元することで、2011年に発生した東日本大震災の津波被害状況と歴史地形、過去の河川の流路や人工地形における被害発生との因果関係を分析する上での基礎データを構築した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

菅原大助,2021,仙台湾および三陸海岸における慶長奥州地震の津波堆積物の数値シミュレーションによる検討,歴史が導く災害科学の新展開V—文理融合による1611年慶長奥州地震津波の研究—

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度においては、令和3年までに東北地方太平洋沿岸で歴史地形の復元作業をしていない地域や、東北地方の別地域について、地形復元作業を実施する。あわせて、東日本大震災や、歴史地震との被害状況について復元地形を基盤とした数値シミュレーションを実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所 人間・社会対応研究部門）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害文化アーカイブ研究分野

電話：022-752-2146

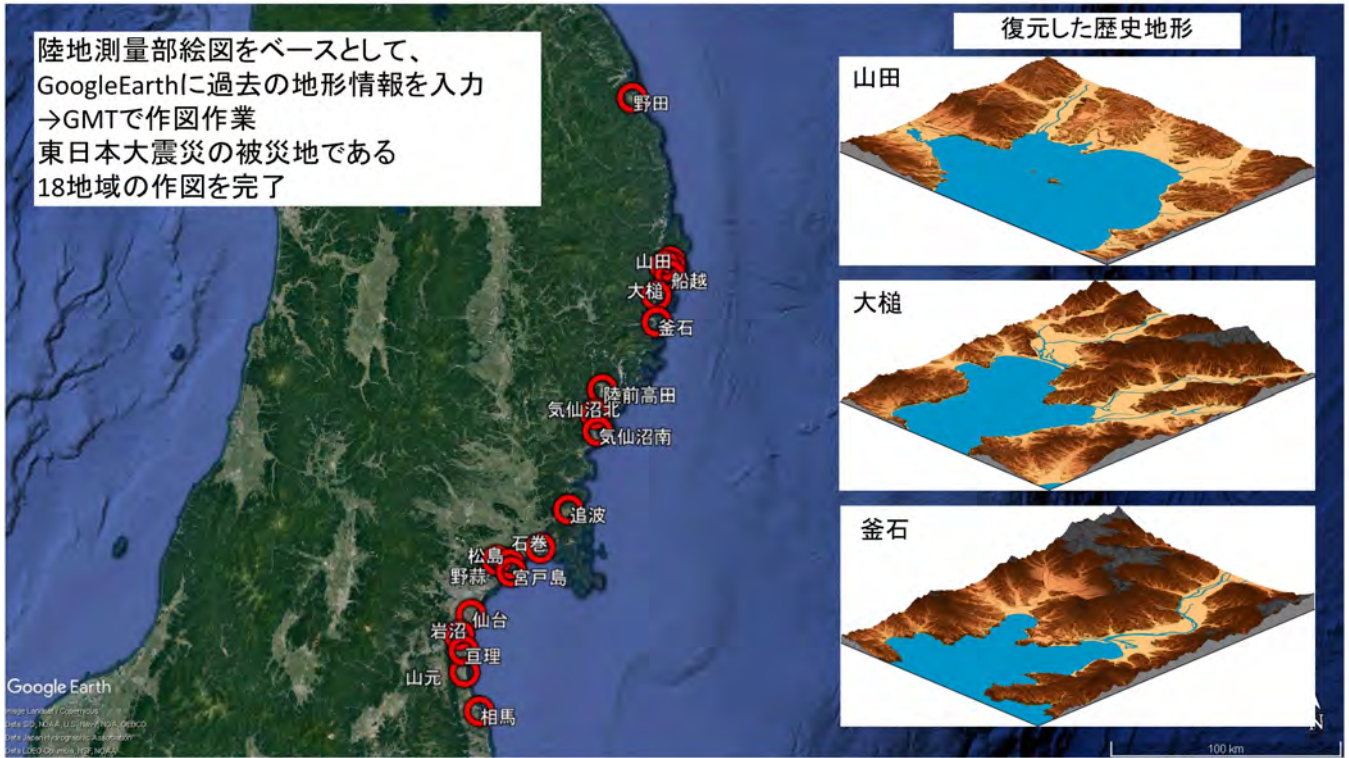
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一

所属：東北大学災害科学国際研究所



東北地方太平洋沿岸における歴史地形の復元作業

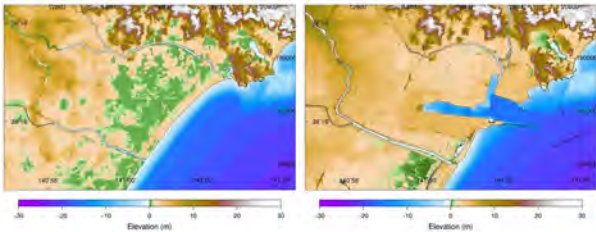
宮城県多賀城市
 →七北田川の付け替え、仙台港建設で大規模な地形改変



菅原大助氏(災害研)
 旧版地形図に加え、土地条件図の痕跡
 をもとに過去の地形を復元

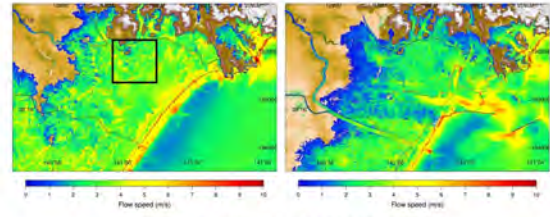
宮城県多賀城地域の歴史的地形の復元

津波土砂移動数値解析の条件（概略）



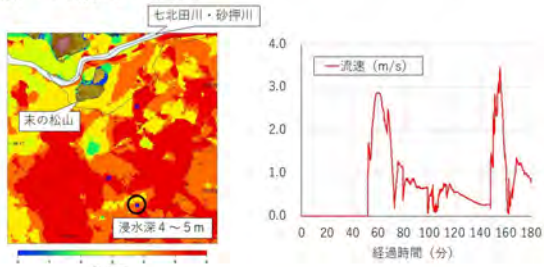
(復元地形と現況地形による解析結果の違いを比較)

氾濫解析結果（浸水高・浸水深・流速）

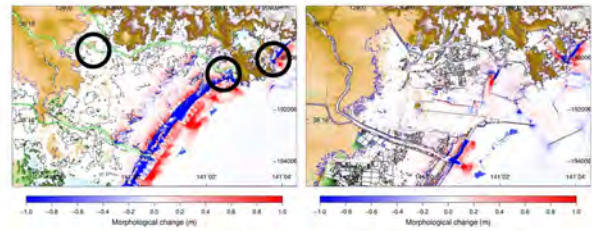


(多賀城市周辺においては、震災の津波よりも1 km内陸まで到達)

寺院・門前町の流出



土砂移動解析結果（地形変化量）



(地形変化量は津波規模のわりに小さいかもしれない。周期・波形に關係する?)

復元地形と津波伝承を重ね合わせて、1611年慶長奥州地震津波の具体像（浸水範囲や流速計算）の解明へ

多賀城市域における1611年慶長奥州地震津波の被害推定

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

災害に関わる個人の心理・行動特性とその評価・活用・調整に関わる研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 5 研究を推進するための体制の整備
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我々は東日本大震災の被災者に取材して、災害の危機を回避し困難を克服する個人の心理・行動特性として「災害を生きる力」の8因子（リーダーシップ・問題対応・愛他性・頑固さ・エチケット・感情抑制・自己超越・能動的健康）を明らかにしてきた(Sugiura et al., 2015)。地震・火山等の自然現象や社会の仕組みに関する知識、また災害予測情報等を、災害対応に活用できるか否かは個人差が大きく、この個人差をよく理解して活用することで、より効果的な防災対策が可能になると期待される。本研究では「災害を生きる力」のうち、災害情報活用に関わる因子に着目し、認知・脳メカニズムレベルでその理解を深め、災害対応チームの構成や研修プログラム開発、一般向けの防災教育やアウトリーチ活動に活用可能な新しい枠組みを提案・検証する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、災害情報を活用する態度・能力・考え方と関係する「災害を生きる力」因子を整理する調査を設計し、平成32年度にこの調査を実施、得られたデータを分析して災害情報活用の社会・心理学的枠組み（いつ誰がどんな文脈で）と、それに貢献する「災害を生きる力」因子を明らかにする。平成33年度に、これらの因子が災害被害の発生抑止・軽減に資する過程について認知仮説を立て実験検証を行い、平成34年度にこれを脳メカニズムレベルで検証する認知課題を設計し、健常大学生を対象に機能的MRIを用いた脳活動計測実験を行う。平成35年度にこのデータを解析し、因子の得点と判断課題時の脳活動との関係を明らかにする。これら一連の知見を統合して、災害情報を活用する「災害を生きる力」因子の認知・脳科学的実体と、これを防災に活用するための考え方のモデルなどを体系化する。なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
令和3年度は、災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程とその個人差（「災害を生きる力」因子ほか）について認知仮説を立て、令和4年度に行う実験デザインの確立と刺激の準備を行なった。5か年計画に沿った進捗である。

＜実験デザイン＞

令和元年度に社会調査を実施、災害情報活用の社会・心理学的枠組み（いつ誰がどんな文脈で）の構築を目指し、令和2年度には扱う災害情報とその文脈をメディア情報と緊急時避難意思決定に絞り込んだ。今年度これについて文献的調査を進めたところ、災害情報が緊急時避難意思決定に結びつく心理過程について、認知・脳仮説について体系的な研究が行われていないことがわかった。一方で、健康教育（喫煙・反薬物）の分野では、（問題の）自己関連性と（向健康行動の）自己効力感が向健康行動意思に結びつくという2経路モデル(Chang et al., 2016)が提唱されており、これを災害情報活用の文脈に援用可能と考えた。また、健康教育動画の説得効果（視聴後の向健康行動の実施率）が動画視聴中の特定の脳領域（腹内側前頭前野）の活動で予想されることが繰り返し示されており

（例：Wang et al., 2013）、これも災害情報活用の文脈に応用可能と考えた。

＜準備実験＞

(1) 2経路モデルへの挑戦：Youtube上で視聴可能な津波防災教育動画について調査したところ、大きく津波のメカニズムを伝える動画と、津波からの避難行動を推奨する動画にカテゴライズされることがわかった。我々は、前者が津波被災の自己関連性に、後者が避難行動の自己効力感に特異的に影響し、両者の統合で津波避難意思が促進されるという仮説を立てた（図1A）。これらに関する公開動画をYoutube上で収集、必要に応じて加工し（複数の内容を含むものを切り分ける等）、津波メカニズムに関する動画教材8本、避難行動を推奨する動画教材11本、対照条件となる動画24本を準備した。20代男女（動画を3セットに分け各120名）を対象としたweb調査を行い、各動画について自己関連性（「この動画を見て、地震後の津波避難をわがことと感じる」）、自己効力感（「この動画を見て、地震後に自分から津波避難行動がとれると感じる」）、避難意思（「この動画を見て、地震後にすぐに避難しようと思う」）の3項目について「全く感じない（1）～非常に感じる（4）」の4段階で評価させた。

(2) 避難意思決定課題の作成：津波防災動画教材の説得効果として、視聴後に発生した津波からの避難率を実測して評価できれば理想的だが、現実的ではない。その代替として、主観的な津波発生リスクの程度が異なる架空の地震遭遇シナリオを数多く用意し、実験的に避難意思決定課題（避難する／しない）を行わせ、その避難率変化を評価することにした（図1B）。地震遭遇シナリオでは全て参加者は旅行中の設定とし、海からの距離や土地の高さを操作した。発生する地震について、携帯端末等で震度や震源・マグニチュードなどの客観的情報が得られるシナリオ（定量シナリオ）と、停電および通信障害で携帯端末が使えず、地震の揺れや家屋・家具などの動きなど周囲の環境的な知覚情報しか得られないシナリオ（定性シナリオ）の2種類をそれぞれ約60本ずつ、計120本準備した。20代男女（シナリオを3セットに分け各120名）を対象としたweb調査を行い、各シナリオについて避難意思決定課題を課した。

＜結果・考察＞

(1) 動画教材：評価（図2A）は、自己関連性、自己効力感、避難意思とも、カテゴリ（メカニズム、避難行動、対照）の効果が有意($p < .05$; 分散分析)であり、下位検定の結果、いずれの評価においてもメカニズムおよび避難行動カテゴリで、対照カテゴリに比べて有意($p < .05$)に高かった。しかし、期待したメカニズムと避難行動でカテゴリ間の差は有意でなかった。動画教材の主観的教育効果は実証されたが、メカニズムと避難行動カテゴリの動画教材がそれぞれ自己関連性と自己効力感に特異的な効果を持つという仮説は支持されなかった。両カテゴリを混ぜて提示し、評価も全て同時に行なったことにより、効果が相乗的に生じてしまい、動画ごとに区別されなかった可能性がある。

(2) 避難意思決定課題の作成：定量シナリオ、定性シナリオを区別し、避難率（避難すると回答した人の割合）と解釈安定性（避難すると回答した群と避難しないと回答した群の回答者避難率の平均の差について二標本検定の要領でt値を計算）の分布・関係を分析した。両シナリオタイプで避難率分布に多少の違いがあったが、解釈安定性に大きな差は見られなかった（図2B）。本課題用に、避難率分布が全範囲で極力均等になるように配慮しつつ、解釈安定性の高さを基準に20シナリオずつ各タイプから選択した（計40シナリオ）。回答者についても男女を区別し、避難率（避難すると回答したシナリオの割合）と回答一貫性（避難すると回答したシナリオと避難しないと回答したシナリオの全体避難率の平均の差について二標本検定の要領でt値を計算）の分布・関係を分析した。統計的には女性(.60 ± .18)の方が男性(.54 ± .20)より平均避難率が有意($p = .005$; 二標本t検定)に高かったが、全体の個人差から見ればごくわずかであった。回答一貫性の極めて低い回答者 ($p > .05$) も一定数いることにも注意が必要である（図2C）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究-(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」と「5 研究を推進するための体制の整備-(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育、(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成」へ貢献する「災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程とその個人差」の実証実験に向け、準備が整った

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Sugiura, M., R. Ishibashi, T. Abe, R. Nouchi, A. Honda, S. Sato, T. Muramoto, and F.

Imamura, 2021, Self-help and mutual assistance in the aftermath of a tsunami: How individual factors contribute to resolving difficulties, PLoS

ONE, 16(10), e0258325, doi:10.1371/journal.pone.0258325

Sato, S., R. Ishibashi, and M. Sugiura, 2021, Two Major Elements of Life Recovery After a Disaster: Their Impacts Dependent on Housing Damage and the Contributions of Psycho-Behavioral

Factors, Journal of Disaster Research, 16(7), 1107-1120, doi:10.20965/jdr.2021.p1107

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度に開発した実験課題（実験デザイン・動画教材刺激・避難意思決定課題）を用い、防災動画教材の説得効果の実証（web行動実験）とその脳メカニズム解明（機能的MRIを用いた脳活動計測実験）を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉浦元亮（東北大学災害科学国際研究所）、佐藤翔輔（東北大学災害科学国際研究所）、保田真理（東北大学災害科学国際研究所）、水谷大二郎（東北大学災害科学国際研究所）、大場健太郎（東北大学加齢医学研究所）、石橋遼（東北大学スマート・エイジング学際重点研究センター）

他機関との共同研究の有無：無

浅野竜一（一般社団法人Project72）、本多明生（静岡理科大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：認知科学研究分野（加齢医学研究所・人間脳科学研究分野）

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://www.hubs.idac.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：杉浦元亮

所属：東北大学加齢医学研究所／災害科学国際研究所

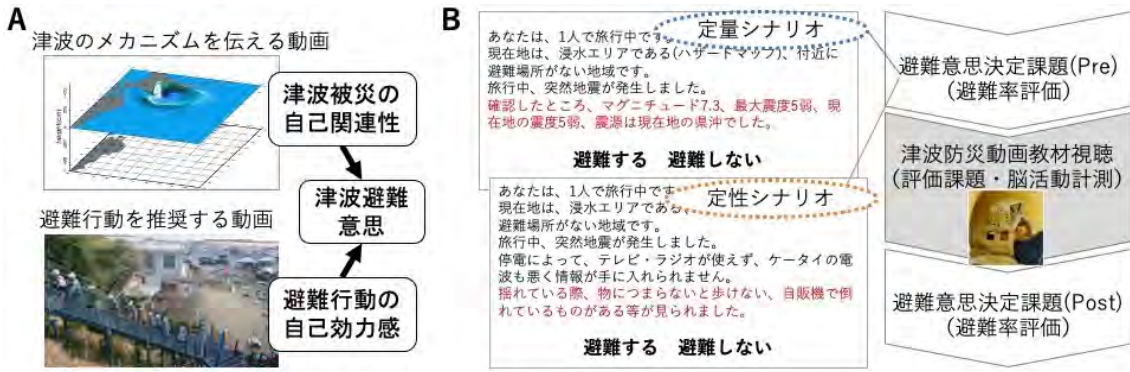


図1 災害情報が緊急時避難意思決定に結びつく心理過程の仮説と実験デザイン

A：津波防災教育動画の説得効果2経路モデル. B：避難意思決定課題案（2タイプのシナリオ）と津波防災動画教材の説得効果検証実験デザイン

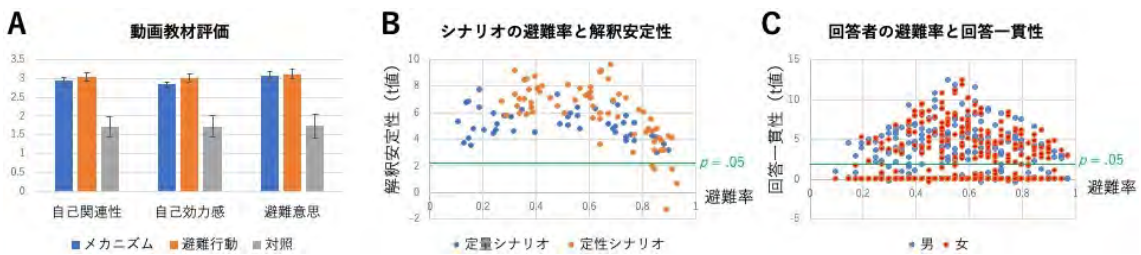


図2 準備実験web調査の結果

A：動画教材評価平均値（error barはSD）. B：各シナリオの避難率（横軸）と解釈安定性（縦軸t値：避難すると回答した群と避難しないと回答した群の回答者避難率の平均の差）. C：各回答者の避難率（横軸）と回答一貫性（縦軸t値：避難すると回答したシナリオと避難しないと回答したシナリオの全体避難率の平均の差）. 緑線は $p = .5$ に相当するt値.

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生帯モデリング研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

（国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋）

III 1. (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測

データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

地震発生帯の現状把握・長期評価へ貢献するために、地震発生帯の調査観測から得られた最新の観測データに基づき、地震発生メカニズムの理解やプレート固着の現状把握と推移予測に資する知見を蓄積する。そのためには、まず、海域観測で取得した各種データと既存データ等を統合してこれまでに機構で開発された地震発生帯モデルを高精度化し、それらモデルを用いた地震発生帯変動の計算結果と観測データの解析による現状把握及び推移予測の手法を確立する。同時に、これまでに構築してきた即時津波被害予測システムの高度化を進める。得られた知見は、国等の地震・津波被害想定や現状評価のための情報として提供するとともに、情報創生の研究部門とも連携して社会へ情報発信する。具体的には(1)新たな観測システム、調査・観測、実験によって得られたデータを用いた三次元地震発生帯地下構造モデルの構築(2)地震発生帯における地殻活動の変動状況の把握と予測のためのデータ同化手法の高精度化(3)海底地すべり等、地震以外の津波発生源を考慮した、即時津波被害予測システムの高度化等をおこなう。

さらに、これらの進捗状況を踏まえ、(1)高度化された三次元地震発生帯地下構造モデルでの地震の発生、地震波の伝播、津波の発生等の各過程に関するシミュレーションや、地殻活動のデータ解析の実施(2)掘削による実断層サンプルを用いた力学実験結果に基づく、断層運動の力学過程のモデル化(3)データ同化手法を用いたプレート固着状態の推移予測の試行に取り組む。これらにより、地震・津波の発生過程の理解とその予測を進め、得られた知見及びデータを国、関係機関等へ提供する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ベースとなる地下構造モデルの構築において、マルチパラメータ (V_s や密度) の導入を行うとともに、最近の構造探査の成果を導入したモデルの構築に着手した。また、現状把握&推移予測の解析手法の確立においては、モデルの不確かさと観測データの不確かさを考慮した固着・すべりの解析手法の高度化を進めるとともに、南海トラフでの半割れ後の推移予測のための粘弾性構造モデル構築に着手した。実データを用いた現状把握においては、2020-2021年にかけての南海トラフ浅部SSEについて、海底地殻変動連続観測データの解析を行う(飯沼・他, 2021)とともに、それに伴うDONET広帯域地震計でのVLFの解析を行って、プレート境界でのすべりであることを確認するとともに、時空間変化の詳細を明らかにした(Yamamoto et al., 2022)。さらに、浅部SSEの解析精度を高めるとともにSSEの発生時期と黒潮による応力変化との関係を見出した(Ariyoshi et al., 2021)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測」に向けた現状把握の曖昧さの定量化手法を進めるとともに、推移予測で必要となる南海トラフでの粘弾性モデル構築にも着手した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Yojiro Yamamoto, Keisuke Ariyoshi, Shuichiro Yada, Masaru Nakano and Takane Hori, 2022, Spatio-temporal distribution of shallow very-low-frequency earthquakes between

December 2020 and January 2021 in Kumano-nada, Nankai subduction zone, detected by a permanent seafloor seismic network, EPS, 74, 14, 10.1186/s40623-022-01573-x
Ariyoshi K, Kimura T, Miyazawa Y, Varlamov S, Iinuma T, Nagano A, Gomberg J, Araki E, Miyama T, Sueki K, Yada S, Hori T, Takahashi N and Kodaira S, 2021, Precise Monitoring of Pore Pressure at Boreholes Around Nankai Trough Toward Early Detecting Crustal Deformation, Front. Earth Sci., 9, 717696, 10.3389/feart.2021.717696

・学会・シンポジウム等での発表

飯沼卓史、荒木英一郎、縣亮一郎、山本揚二郎、木村俊則、町田祐弥、有吉慶介、市村強、堀高峰、小平秀一、2021、2020年12月から2021年1月にかけて発生した熊野灘におけるスロースリップイベントの時空間発展、日本地震学会2021年度秋季大会、S03-06

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

地震発生帯の現状把握・長期評価へ貢献するために、地震発生帯の調査観測から得られた最新の観測データに基づき、地震発生メカニズムの理解やプレート固着の現状把握と推移予測に資する知見を蓄積する。そのためには、まず、海域観測で取得した各種データと既存データ等を統合してこれまでに機構で開発された地震発生帯モデルを高精度化し、それらモデルを用いた地震発生帯変動の計算結果と観測データの解析による現状把握及び推移予測の手法を確立する。同時に、これまでに構築してきた即時津波被害予測システムの高度化を進める。得られた知見は、国等の地震・津波被害想定や現状評価のための情報として提供するとともに、情報創生の研究部門とも連携して社会へ情報発信する。具体的には(1)新たな観測システム、調査・観測、実験によって得られたデータを用いた三次元地震発生帯地下構造モデルの構築(2)地震発生帯における地殻活動の変動状況の把握と予測のためのデータ同化手法の高精度化(3)海底地すべり等、地震以外の津波発生源を考慮した、即時津波被害予測システムの高度化等をおこなう。

さらに、これらの進捗状況を踏まえ、(1)高度化された三次元地震発生帯地下構造モデルでの地震の発生、地震波の伝播、津波の発生等の各過程に関するシミュレーションや、地殻活動のデータ解析の実施(2)掘削による実断層サンプルを用いた力学実験結果に基づく、断層運動の力学過程のモデル化(3)データ同化手法を用いたプレート固着状態の推移予測の試行に取り組む。これらにより、地震・津波の発生過程の理解とその予測を進め、得られた知見及びデータを国、関係機関等へ提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター、地震発生帯研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所、東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門
電話：
e-mail：
URL：<http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：堀 高峰
所属：海域地震火山部門地震津波予測研究開発センター

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底広域変動観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
 - 地震
 - (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
 - イ. 地震断層滑りのモデル化
 - (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - オ. 構造共通モデルの構築
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

（国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋）

III 1. (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地

震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。海底下で発生する地震は、陸域と比較して未だ実態の把握が大幅に遅れている。そこで、地震活動の現状把握と実態解明のために、広域かつ精緻な観測データをリアルタイムで取得する海底地殻変動・地震活動観測技術システムを開発し、展開する。特に、巨大地震・津波の発生源として緊急性や重要性が高い海域を中心に三次元地殻構造や地殻活動、断層物性、地震活動履歴等に係る調査を実施する。また、これら観測システム及び調査によって得られた各種データセットは、地震調査研究推進本部等、我が国の関係機関で地震発生帯の現状評価等に活用されるように広く情報提供する。さらに、これら日本周辺での知見に加えて、アジア太平洋地域の地震・津波の実態解明と防災研究推進のための広域的な共同研究体制を構築する。

具体的には(1)海底地殻変動観測の高度化を目的とした、地震・津波観測監視システム(DONET)設置海域における海域実証試験(2)光ファイバーセンシング等の新たな海底地殻変動・地震活動観測技術や、より広域的な観測を効率的に行うための無人自動観測技術の開発(3)南海トラフ等の重要海域における複雑な断層形状や断層付近の各種物性を三次元的に捉えるための構造探査及び海底地震観測(4)海底堆積物の採取及び解析による地震発生履歴の調査等に取り組む。また、以上の調査・観測から得られたデータを詳細に解析し、地震発生帯の実態把握に係る知見として、国、地方公共団体、関係機関へ提供する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海洋研究開発機構第4期中期計画に基づいて実施し下記のような成果が得られた。

・沖縄トラフ南部では背弧リフトに伴う火山・熱水活動に加えて、群発的な地震活動がしばしば発生する。こうした地震活動の発生要因を理解するため、過去20年間の地震活動の分布と統計的な性質(b値)を調べ、その空間分布を反射法探査に基づく地下構造と比較した。その結果、M5以上の比較的大きな地震は八重山地溝帯等のリフト中軸部の近くで発生しており、そこでは周囲より低いb値(<0.8)を示すことがわかった。対照的に、石垣海丘や鳩間海丘周辺では大きなb値(>1.2)を示し、そこでは火山フロントが形成されていることが示唆された。(Arai et.al, 2021)

・自然地震の観測記録を利用して地殻構造を調査するため、リバースタイムマイグレーション(reverse time migration, RTM)に基づいて、震源情報を必要としない新しい反射波イメージングの方法を提案した。本研究では、広域的な地殻構造モデルを用いた数値シミュレーションを実施し、理想的な稠密観測において提案手法の妥当性を実証するとともに、現実的な疎な観測条件における制約についても確認した。また、P波とS波の混在する弾性波の合成記録では、音響波RTMを適用した場合に生じる偽像を、弾性波RTMによって抑制できることを確認した。(Shiraishi and Watanabe, 2021)

・日本海で実施したOBS間隔8~17kmの疎らなOBS構造探査データにRTM(Reverse Time Migration)を適用することで、深度20~30km付近のモホ面を明瞭にイメージングすることに成功した。通常のMCS反射断面ではまったくイメージングできていない深度の構造境界面を捉えられており、OBS探査とRTMの組み合わせの有用性を明瞭に示している。(Shiraishi et.al., in press)

・南西諸島南部において、地震波の散乱に着目した解析によりランダム速度不均質構造を推定した。

限られたデータから構造をより詳細に推定するため、Reversible jump MCMC法を用いて、構造の平滑化条件を課さない解析法を構築した。また尤度関数の共分散行列を非対角とし、散乱の周波数依存性をランダム不均質のスケール依存性と関連づけて解釈できるようにした。解析の結果、パワースペクトル密度の高波数域における勾配がやや緩やかな領域が沖縄トラフ内の浅部（深さ0-20km）に帯状に分布し、構造探査によってマグマの貫入などが指摘された場所と概ね対応していることがわかった。(Takahashi et.al.,2021)

・地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削のさいにOBSを6台設置し、「ちきゅう」の船舶ノイズによるP波が、海底下の巨大分岐断層やその下の別の断層から反射してくるPs反射波を観測するとともに、反射波の振幅が潮汐によって時間変化していることを明らかにした。これは、断層面上の性質が潮汐による応力変化によって変化していることを示している。また、これらの断層面は弱面となっており、これまでこの地域で検出されたスロー地震はこれらの弱面で発生していた可能性がある。(Tonegawa et.al.,2021)

・巨大地震の発生が歴史的にも知られておらず、非地震性滑りによるプレート沈み込みが起きていると考えられている伊豆小笠原海溝で、海底圧力計のアーレー観測を実施したところ、観測点近傍で発生したMw6.0の地震による地震時変位や津波とともに、立ち上がり時間が1時間程度の「速い非地震性滑り」が2回観測された。2つの非地震性滑りのモーメントはMw6.0の地震の17倍を超えている。この「速い非地震性滑り」は普通の地震と定常滑りの二つの滑りモード間に位置する遷移的なイベントであり、このような非地震性滑りが伊豆小笠原沈み込み帯のような場所において支配的な可能性がある。(Fukao et.al.,2021)

・超深海の地震タービダイトに適応可能な年代法を開発し、日本海溝における大水深の地震性タービダイトの時空間マッピングをこれまでにない詳細さで4,000年前まで実施した。その結果、AD2011, AD1453, AD869以外に2300年前のタービダイトが広く分布することを確認した。(Kanamatsu et.al.,2022)

・2011年の東北沖地震前後に行われた海底地形調査の比較から、数m以下の上下変動と20m以下の水平変動が北部日本海溝の海溝陸側斜面の中部斜面平坦面から下部斜面にかけて推定された。この変動量は、海底地形調査による変動量推定の不確かさと同等であるが、隣接する3測線で相似する海底地形の上下方向の相対変動が得られており、測線に沿った変位は議論可能である。(Fujiwara,2021)

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
海洋プレート境界および周辺域の微細構造・不均質構造等の解析手法の開発と海域での調査観測データを中心とした解析の事例の蓄積

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Arai, R.,2021,Characteristics of seismicity in the southern Okinawa Trough and their relation to back-arc rifting processes,Earth Planets and Space,73,160,10.1186/s40623-021-01491-4

Shiraishi, K. & Watanabe, T.,2021,Passive seismic reflection imaging based on acoustic and elastic reverse time migration without source information: theory and numerical simulations,EXPLORATION GEOPHYSICS,1,doi:10.1080/08123985.2021.1917293

Shiraishi, K., No, T., & Fujie, G.,in press,Seismic reflection imaging of deep crustal structures via reverse time migration using offshore wide-angle seismic data on the eastern margin of the Sea of Japan,Earth Planets and Space

Takahashi, T., Kaiho, Y., Ishihara, Y., Obana, K., Miura, S., Kodaira, S. & Kaneda, Y.,2021,Trans-dimensional imaging of the random inhomogeneity structure in the southern Ryukyu arc, Japan,Geophys J Int,ggab518,10.1093/gji/ggab518

Tonegawa, T., Kimura, T., Shiraishi, K., Yabe, S., Fukao, Y., Araki, E., Kinoshita, M., Sanada, Y., Miura, S., Nakamura, Y. & Kodaira, S.,2021,Weak faults at megathrust plate boundary respond to tidal stress,Earth, Planets and Space,73,89,10.1186/s40623-021-01414-3

Fukao, Y., Kubota, T., Sugioka, H., Ito, A., Tonegawa, T., Shiobara, H., Yamashita, M. & Saito, T., 2021, Detection of “rapid” aseismic slip at the Izu-Bonin Trench, J Geophys Res Solid Earth, e2021JB022132, 10.1029/2021JB022132

Kanamatsu, T., Ikehara, K. & Hsiung, K.-H., 2022, Stratigraphy of deep-sea marine sediment using paleomagnetic secular variation: Refined dating of turbidite relating to giant earthquake in Japan Trench, Marine Geology, 443, 106669, 10.1016/j.margeo.2021.106669

Fujiwara, T., 2021, Seafloor Geodesy From Repeated Multibeam Bathymetric Surveys: Application to Seafloor Displacement Caused by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, Frontiers in Earth Science, 9, 371, 10.3389/feart.2021.667666

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地震：地震観測による地殻構造探査

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：南海トラフ

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：地震観測による地殻構造探査

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：日本・千島海溝

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底で発生する地震は、陸域と比較して未だ実態の把握が大幅に遅れている。そこで、地震活動の現状把握と実態解明のために、広域かつ精緻な観測データをリアルタイムで取得する海底地殻変動・地震活動観測技術システムを開発し、展開する。特に、巨大地震・津波の発生源として緊急性や重要性が高い海域を中心に三次元地殻構造や地殻活動、断層物性、地震活動履歴等に係る調査を実施する。また、これら観測システム及び調査によって得られた各種データセットは、地震調査研究推進本部等、我が国の関係機関で地震発生帯の現状評価等に活用されるように広く情報提供する。さらに、これら日本周辺での知見に加えて、アジア太平洋地域の地震・津波の実態解明と防災研究推進のための広域的な共同研究体制を構築する。

具体的には(1)海底地殻変動観測の高度化を目的とした、地震・津波観測監視システム（DONET）設置海域における海域実証試験 (2)光ファイバーセンシング等の新たな海底地殻変動・地震活動観測技術や、より広域な観測を効率的に行うための無人自動観測技術の開発 (3)南海トラフ等の重要海域における複雑な断層形状や断層付近の各種物性を三次元的に捉えるための構造探査及び海底地震観測 (4)海底堆積物の採取及び解析による地震発生履歴の調査等に取り組む。また、以上の調査・観測から得られたデータを詳細に解析し、地震発生帯の実態把握に係る知見として、国、地方公共団体、関係機関へ提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門地震発生帯研究センター

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所, 東京大学大気海洋研究所, 東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門

電話：

e-mail：

URL：<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石原 靖

所属：海域地震火山部門

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底火山観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

（国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋）

III 1. (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底火山の噴火は、突発的かつ大規模な災害をもたらす、また地球環境への影響が非常に大きい。これら火山災害の発生予測や地球環境への影響評価を行うためには、その原因となる熱、マグマ、流体の発生と輸送現象、噴火履歴や噴火推移、更にそれらの準備過程に当たる地球内部活動を理解することが重要である。そこで、本課題では、国際深海科学掘削計画（IODP）の下で地球深部探査船「ちきゅう」等を用いた海洋掘削を推進し、海底火山活動の観測、調査、地質試料の採取分析によって活動履歴、過去の噴火様式等の現状を把握する。また、得られたデータや知見を用いて地球内部構造や物質

の収支等を推定し、火山活動を支配する地球内部 流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組み等を、単体の火山からグローバルな規模まで解明する。

具体的には(1)無人自動観測システムと海底観測機器を組み合わせた海域火山観測システムの開発(2)我が国大規模のカルデラ等を対象とした構造探査、火山体の海底調査、岩石試料の採取(3)火山活動の現状把握とマグマや流体の生成から噴火に至る過程及び様式の理解に基づいて得られる海底火山活動の予測に資するデータ及び知見の国及び大学等研究機関への提供等をおこなう。

これらの進捗状況を踏まえ(1)伊豆・小笠原弧等の海底火山における海域火山観測システムを用いた火山活動の現状把握(2)継続的な各種調査・観測の実施、試料の採取及び分析により蓄積された知見を活用した、国内外の火山の中長期活動や噴火過程の比較検証(3)「ちきゅう」等を用いた火山体深部や海洋地殻の実態と形成過程の解明を目指した海洋掘削を可能とするためのデータ及び研究成果の創出等に取り組む。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

第4期中期計画に基づき令和3年度の主な実施内容、成果は以下の通りである。

(項目1) 海域火山観測システムの開発・システム評価

・ウェーブライダーと衛星通信を用いた観測システムの性能テストを行った昨年の試験結果を受けて、長期運用に向けたシステム改良を行った。

(項目2) 海域火山の構造探査立案・海底火山調査立案・岩石資料採取

・鬼界カルデラにおいて、「かいめい」での構造探査を実施し、BMSによる岩石採取を行うとともに、海底光ケーブルを利用したDAS観測の試験を行った。

・伊豆大島と西之島をターゲットとした「かいいい」による研究航海の準備を進めた。

(項目3) 海洋掘削プロジェクトの推進：プロポーザル作成

・ハードロック掘削推進に向けた特集号を学術雑誌で出版した。

(項目4) 単体の火山からグローバルな規模で火山活動の現状把握と噴火過程・様式の理解に資する研究の推進

・島弧火山に関する岩石地球化学データ解析および比較研究を進め、ケルマディク島弧における火山発達史を明らかにした。

(項目5) グローバルな規模での地球内部構造・物質収支の推定、地球内部物質・エネルギーの循環機構やマグマ供給機構の解明：データ取得、データ解析・試料分析

・高度地球化学分析技術の開発を進めた。

・オントンジャワ海台をはじめとしたLIPS等で採取された試料の分析解析を行った。

・数値シミュレーションや室内実験により、地球内部でのマグマ挙動や大陸分裂のメカニズムの解明を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Isse, T., D. Suetsugu, A. Ishikawa, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, Y. Kawano, K. Yoshizawa, Y. Ishihara, S. Tanaka, M. Obayashi, T. Tonegawa, and J. Yoshimitsu, 2021, Seismic evidence for a thermochemical mantle plume underplating the lithosphere of the Ontong Java Plateau, *Commun Earth Environ*, 2, 98

Noriko Tada, Hiroshi Ichihara, Masaru Nakano, Mitsuru Utsugi, Takao Koyama, Tatsu Kuwatani, Kiyoshi Baba, Fukashi Maeno, Akimichi Takagi, Minoru Takeo, 2021, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, *JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH*, 419, 107349, 10.1016/j.jvolgeores.2021.107349

・学会・シンポジウム等での発表

中野優、杉岡裕子、荒木英一郎、中島倫也、伊藤亜妃、松本浩幸、横引貴史、利根川貴志、山本揚二郎、木村俊則、藤江剛、田中聡, 2021, DASによる鬼界カルデラの地震動・エアガン観測, 日本火山学

会2021年度秋季大会

浜田盛久・羽生 毅・宮崎 隆・Maria L. G. Tejada・上木賢太・Bogdan S. Vaglarov・Iona McIntosh・常 青・鈴木桂子・金子克哉・清杉孝司・中岡礼奈,2021,鬼界海底カルデラ火山の地質岩石学的研究の進捗状況—溶岩ドーム流紋岩質マグマの温度・圧力の推定を中心として—,海と地球のシンポジウム2021

Takeshi Hanyu and Li-Hui Chen,2021,Geochemical Diversity in the Mantle,Mantle Convection and Surface Expressions, AGU book,10.1002/9781119528609.ch5

Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Junko Yoshimitsu,2021,Two-year seismic observation by hydrophone floats,Japan Geoscience Union Meeting 2021

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地質：地質試料・岩石サンプリング

概要：福徳岡ノ場から噴出した軽石を採取し、分析を行った。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都小笠原村福徳岡ノ場

調査・観測期間：2020/8/-2020/10/

公開状況：公開中（論文・データジャーナル・報告書等） <https://doi.org/10.31223/X5V33B>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

第4期中長期計画に基づき令和4年度の主な計画は以下の通りである。

(項目1) 無人自動観測システムと海底観測機器を組合せた海域火山活動観測システムの実海域での試験を行う

(項目2) 伊豆大島、西之島、福徳岡ノ場などを対象とした地球物理学的観測や物質科学調査を行う。

(項目3) 火山体深部や海洋地殻の実体解明を目指した海洋掘削プロジェクトを推進する。

(項目4) 単体の火山からよりグローバルな規模で、火山活動の現状把握とマグマや流体生成から噴火に至る噴火過程・様式の理解を通じて、海底火山の今後の活動予測に資するデータと知見を得る。国、大学等研究機関に提供する。

(項目5) グローバルな規模での地球内部構造や物質の収支などを推定し、火山活動を支配する地球内部流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組みを解明する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所,神戸大学,北海道大学工学部,海上保安庁,気象庁・気象研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門

電話：

e-mail：

URL：<http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小野重明

所属：海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海洋測地の推進

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

SLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動を把握するためのデータを提供し精度向上に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得した。また、令和2年度に実施したローカルタイ測量の成果をInternational Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) に報告した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Watanabe, S., Y. Nakamura, Y. Yokota, A. Suzuki, H. Ueshiba, and N. Seo, 2021, Local tie survey of the SLR and GNSS stations at the Shimosato Hydrographic Observatory, EGU General Assembly 2021, EGU21-4544, doi:10.5194/egusphere-egu21-4544

中村優斗・渡邊俊一・瀬尾徳常・横田裕輔・鈴木啓・上芝晴香, 2021, 下里水路観測所におけるSLR・GNSS観測およびコロケーション測量, 日本地球惑星科学連合2021年大会, S-GD01-22

Nakamura, Y., S. Watanabe, Y. Yokota, A. Suzuki, H. Ueshiba, and N. Seo, 2021, Shimosato co-location of the SLR and GNSS stations, IAG Scientific Assembly 2021, S1-007

渡邊俊一・中村優斗・橋本友寿・横田裕輔,2021,下里水路観測所における人工衛星レーザー測距を用いた測地観測の紹介,第65回宇宙科学技術連合講演会,2D09

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：：グローバル測地

概要：人工衛星レーザー測距（SLR）観測の実施

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：和歌山県東牟婁郡那智勝浦町下里 33.578 135.937

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

https://ilrs.gsfc.nasa.gov/data_and_products/data_centers/index.html

(11) 令和4年度実施計画の概要：

下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

電話：03-3595-3632

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：渡邊俊一

所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

(1)実施機関名：

海上保安庁

(2)研究課題（または観測項目）名：

験潮

(3)関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

・ 観測基盤の整備

(4)その他関連する建議の項目：

(5)総合的研究との関連：

(6)本課題の5か年の到達目標：

海上保安庁が所管する常設験潮所において、継続的に験潮データを収集し、地殻変動把握のための基礎データとする。

(7)本課題の5か年計画の概要：

全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開する。

海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

(8)令和3年度の成果の概要：

・ 今年度の成果の概要

全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開した。また観測結果から月表の作成、潮汐調和定数の算出を行った。

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9)令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・ 論文・報告書等

・ 学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開する。また観

測結果から月表を作成し公開する。

海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁 海洋情報部沿岸調査課

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課

電話：03-3595-3636

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：林王弘道

所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界の固着状態の把握のため、GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続する。観測点の増設によって空間分解能の向上を図るとともに、測位精度および時間分解能の向上を目指した技術開発を行い、固着状態の時間変化の把握に努める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の花溝型巨大地震の震源域となる海域において、海底地殻変動観測を継続するとともに、観測の高度化のための技術開発を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海溝型地震震源域海底において、GNSS-音響測距結合方式（GNSS-A）による地殻変動観測を継続して実施した。日本海溝沿いにおける観測から、東北地方太平洋沖地震の余効変動が続いていることを観測している(図1)。南海トラフ沿いにおける観測から、プレート境界固着の影響による地殻変動を観測している(図2)。

東北沖地震後10年にわたる海底地殻変動観測データから、余効変動を詳細に調査した結果、福島県沖の海溝軸付近に大きな地震時すべりが生じていたことを示唆する結果が得られた。このすべりは、津波から推定されていた結果と整合的であり、津波インバージョンの結果を測地データによって裏付ける結果となった。また、地震時の大すべり域の南北縁において発生した余効すべりは、地震後概ね2-3年程度で急激に減衰したことも示された(図3)。(Watanabe et al., 2021)

現状のGNSS-A海底地殻変動観測の観測限界を把握するため、(1)プレートの沈み込みにともなう定常的な地殻変動、(2)一時的な時間変化イベント(地震やSSE)、(3)これらの組み合わせ、について統計的に検証を行った。(Yokota et al., 2021)

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
海域における地殻変動観測を安定的・継続的に実施するとともに、観測データや解析ソフトウェアを公開することで、本計画による研究の推進に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Nakamura and Y. Yokota, 2021, Co- and postseismic slip behaviors extracted from decadal seafloor geodesy after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Earth, Planets and Space*, 73, 162, 10.1186/s40623-021-01487-0

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe and Y. Nakamura, 2021, Crustal deformation detection capability of the GNSS-A seafloor geodetic observation array (SGO-A), provided by Japan Coast Guard, *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, 63, 10.1186/s40645-021-00453-4

藤田雅之, 松本良浩, 佐藤まりこ, 石川直史, 渡邊俊一, 横田裕輔, 2021, 定常的なGNSS-A海底地殻変動観測の確立と地震学への貢献, *地震*, 74, 55-65, 10.4294/zisin.2020-18

渡邊俊一, 2021, 海洋情報部における2011年から2020年にかけてのGNSS-A海底地殻変動観測の発展と成果, *海洋情報部研究報告*, 59, 95-114

海上保安庁, 2021, 日本海溝沿いの海底地殻変動観測結果, *地震予知連絡会会報*, 106, 104-109

海上保安庁, 2021, 南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果, *地震予知連絡会会報*, 106, 428-432

・学会・シンポジウム等での発表

石川直史, 渡邊俊一, 中村優斗, 横田裕輔, 2021, GNSS-A海底地殻変動による南海トラフ地震想定震源域の固着状態のモニタリング, *JpGU2021, SSS05-09*

渡邊俊一, 石川直史, 中村優斗, 横田裕輔, 2021, GNSS-A観測によって得られた東北地方太平洋沖地震後10年間の海底地殻変動の推移, *JpGU2021, SCG54-03*

渡邊俊一, 石川直史, 中村優斗, 横田裕輔, 2021, GNSS-A海底地殻変動観測アレイ「SGO-A」で捉えた東北地方太平洋沖地震後10年間の地震後海底地殻変動, *日本地震学会2021年度秋季大会, S03P-06*

石川直史, 渡邊俊一, 中村優斗, 横田裕輔, 2021, GNSS-A海底地殻変動観測アレイSGO-Aによる南海トラフプレート境界のすべり欠損レートの変動モニタリング, *日本地震学会2021年度秋季大会, S03P-07*

中村優斗, 横田裕輔, 石川直史, 渡邊俊一, 2021, 数値シミュレーションを用いたGNSS-A海底地殻変動観測における海中音速場の影響評価, *日本地震学会2021年度秋季大会, S03P-08*

中村優斗, 横田裕輔, 石川直史, 渡邊俊一, 2021, 数値シミュレーションを用いたGNSS-A海底地殻変動観測における単層の海中音速水平傾斜場による影響の検証, *日本測地学会第136回講演会, P04*

石川直史, 横田裕輔, 渡邊俊一, 中村優斗, 2021, GNSS-A海底地殻変動の地殻変動現象の検出能力, *日本測地学会第136回講演会, P11*

Shun-ichi Watanabe, Tadashi Ishikawa, Yuto Nakamura, Yusuke Yokota, 2021, Overview of the GNSS-A Seafloor Geodetic Observation Array (SGO-A) in the subduction zones around Japan, operated by the Japan Coast Guard, *IAG Scientific Assembly 2021*

Shun-ichi Watanabe, Tadashi Ishikawa, Yuto Nakamura and Yusuke Yokota, 2021, Co- and postseismic slip behaviors of the 2011 Tohoku-oki earthquake extracted from decadal seafloor geodesy with the GNSS-A Seafloor Geodetic Observation Array (SGO-A) operated by the Japan Coast Guard, *AGU Fall Meeting 2021, G25C-0383*

Yuto Nakamura, Tadashi Ishikawa, Shun-ichi Watanabe and Yusuke Yokota, 2021, GNSS-A observation along the Nankai Trough by Japan Coast Guard's Seafloor Geodetic Observation Array (SGO-A), AGU Fall Meeting 2021, G25B-0361

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要：日本海溝及び南海トラフで実施しているGNSS音響結合方式による海底地殻変動観測の観測データ、解析ソフトウェア、解析結果

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOHO/chikaku/kaitei/sgs/datalist.html>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の花溝型巨大地震が発生した海域ならびに発生が想定される海域において、観測を継続するとともに、観測の高精度化・高効率化のための研究開発を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁 海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無：有

東北大学災害科学国際研究所,名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター,東京大学生産技術研究所,海洋研究開発機構

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

電話：03-3595-3632

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石川直史

所属：海上保安庁海洋情報部技術・国際課

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr) (deg)		Period	Data	Update
(1) KAMN	38.89	143.36	4.3	282.3	08/19/2017 - 08/21/2021	10	*
(2) KAMS	38.64	143.26	5.9	291.1	08/19/2017 - 08/22/2021	12	*
(3) MYGI	38.08	142.92	5.7	278.0	08/19/2017 - 08/22/2021	15	*
(4) MYGW	38.15	142.43	0.6	217.1	08/18/2017 - 08/21/2021	16	*
(5) FUKU	37.17	142.08	1.8	147.7	08/18/2017 - 08/20/2021	16	*
(6) CHOS	35.50	141.67	1.2	268.1	08/23/2017 - 08/23/2021	13	*
(7) BOSN	34.75	140.50	1.3	323.4	08/02/2017 - 08/19/2021	14	*
(8) SAGA	34.96	139.26	4.0	5.1	08/02/2017 - 06/19/2021	16	*
GEONET					08/23/2017 - 08/23/2021		

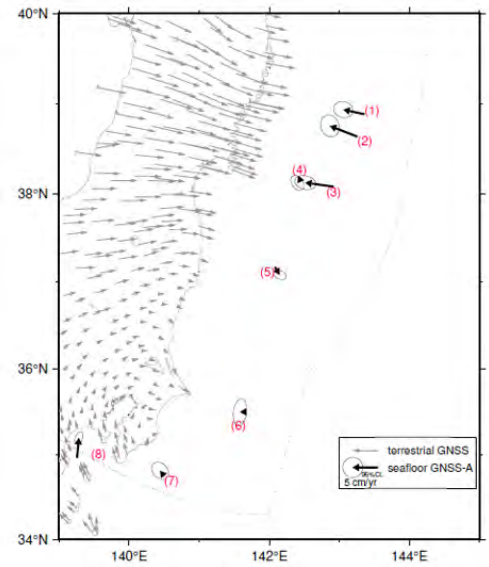


図1 日本海溝沿いの直近約4年間の水平移動速度。北米プレート固定。

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr) (deg)		Period	Data	Update
(9) TOK1	34.08	138.13	1.9	290.5	11/19/2017 - 10/11/2021	19	*
(10) TOK2	33.88	137.60	3.5	299.6	11/19/2017 - 11/17/2021	19	*
(11) TOK3	34.18	137.39	4.7	297.8	11/18/2017 - 07/05/2021	16	*
(12) ZENW	33.09	137.55	-	-	02/20/2020 - 07/06/2021	6	
(13) KUM1	33.67	137.00	4.0	291.8	11/18/2017 - 11/16/2021	21	*
(14) KUM2	33.43	136.67	3.1	316.9	11/17/2017 - 10/12/2021	22	*
(15) KUM3	33.33	136.36	3.7	295.0	11/17/2017 - 09/13/2021	22	*
(16) KUM4	33.08	136.64	-	-	02/21/2020 - 09/13/2021	8	
(17) SLOW	33.16	135.57	3.4	309.3	11/17/2017 - 09/14/2021	21	*
(18) SIO2	32.98	135.99	-	-	03/18/2020 - 09/14/2021	8	
(19) MRT1	33.35	134.94	4.9	300.4	07/31/2017 - 07/03/2021	21	*
(20) MRT2	32.87	134.81	3.3	289.0	11/16/2017 - 11/16/2021	26	*
(21) MRT3	32.80	135.35	-	-	08/10/2019 - 09/15/2021	10	
(22) TOS1	32.82	133.67	5.0	307.6	11/15/2017 - 11/15/2021	19	*
(23) TOS2	32.43	134.03	5.9	299.3	11/13/2017 - 11/15/2021	19	*
(24) ASZ1	32.37	133.22	5.8	307.5	11/14/2017 - 09/16/2021	19	*
(25) ASZ2	31.93	133.58	4.5	303.1	06/19/2017 - 06/27/2021	18	*
(26) HYG1	32.38	132.42	3.0	290.2	11/15/2017 - 11/14/2021	19	*
(27) HYG2	31.97	132.49	2.4	299.1	11/14/2017 - 11/14/2021	21	*
GEONET					11/17/2017 - 11/17/2021		

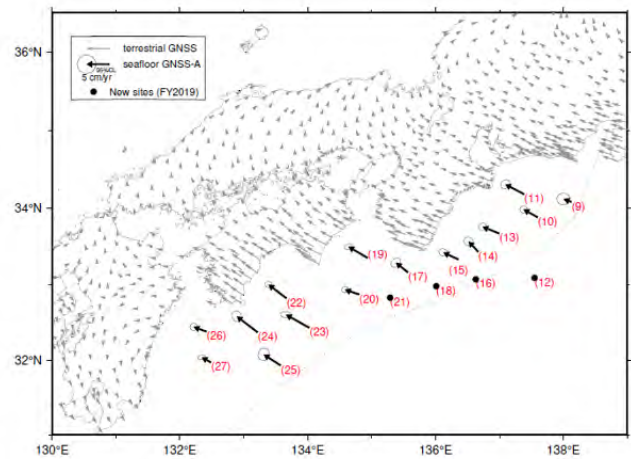


図2 南海トラフ沿いの直近約4年間の水平移動速度。アムールプレート固定。

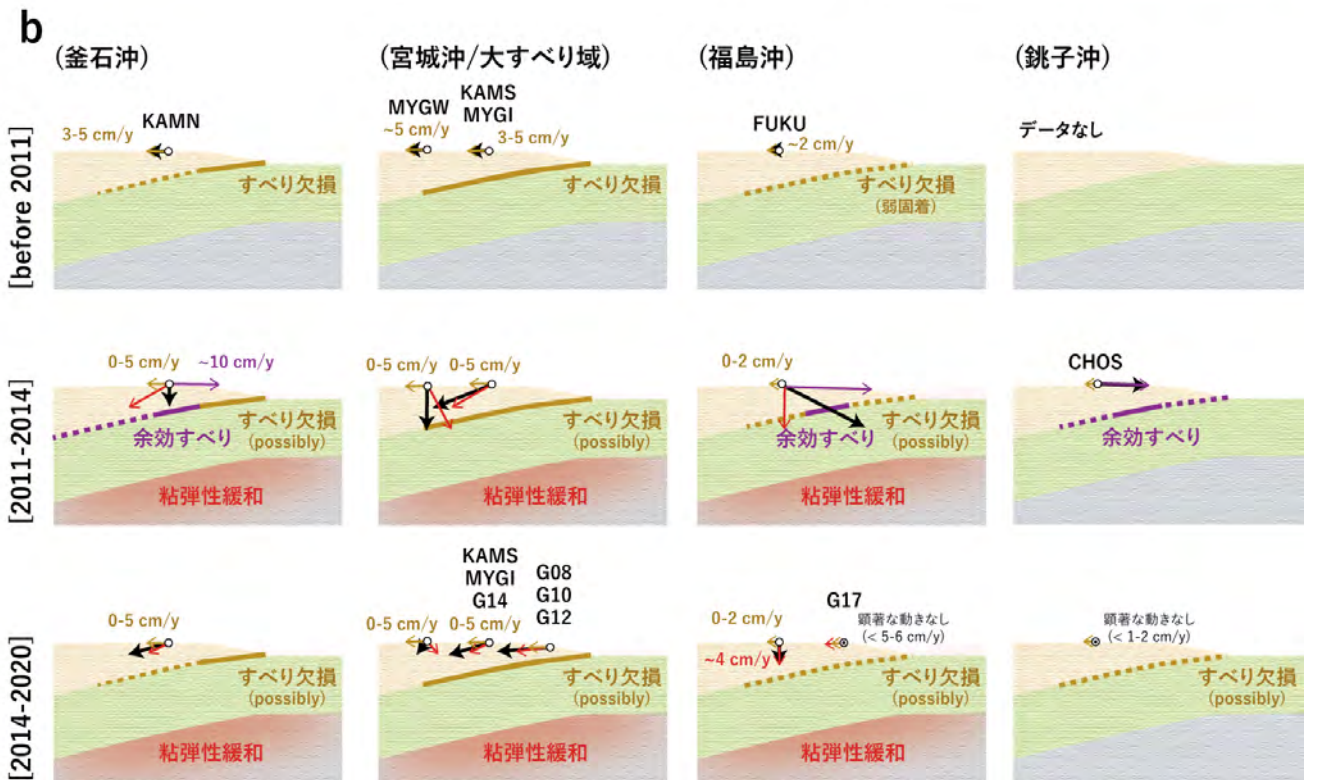
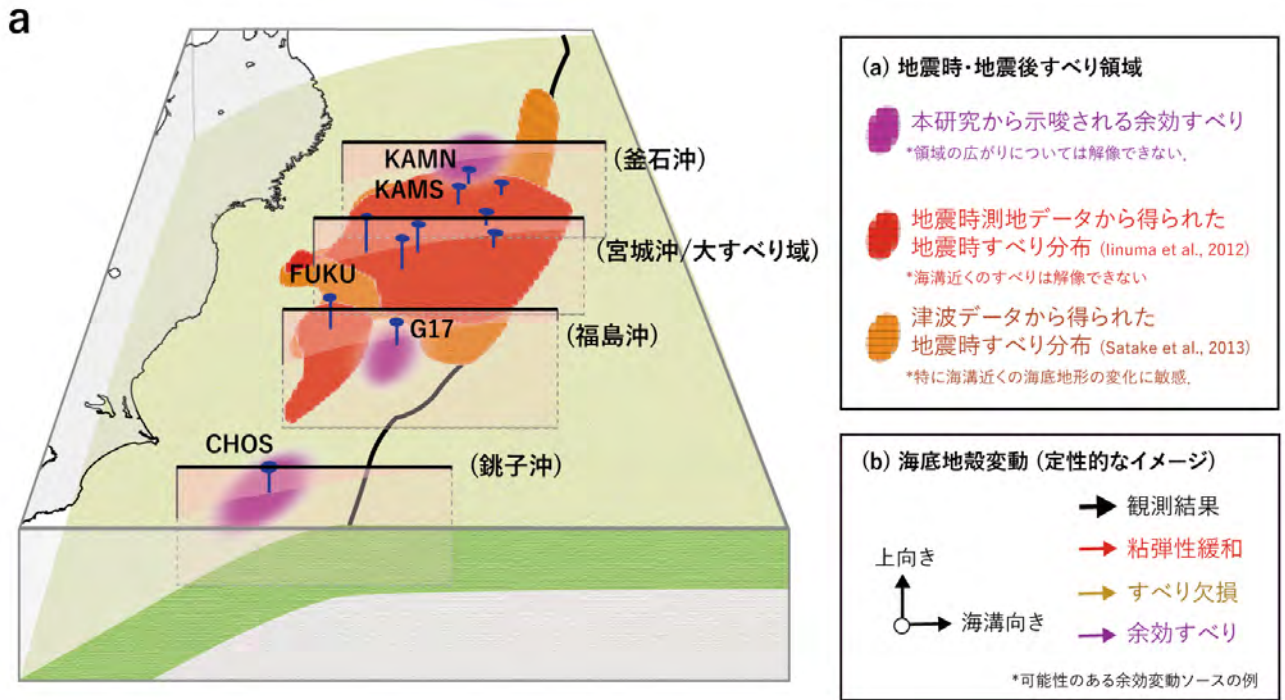


図3 海底下にある地殻変動ソースの模式図。(a) プレート境界でのすべり領域のイメージ、(b) 各地殻変動ソースが各GNSS-A観測点に与える影響として考えられるもの。凡例は図中を参照のこと。

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海域火山観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

航空機による南方諸島及び南西諸島における海域火山の定期巡回監視観測を実施している。

なお、福德岡ノ場及び西之島については、監視体制を強化し、毎月1回程度の監視観測を継続して実施している。

また、測量船により、硫黄島の海域火山基礎情報調査を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

これらの調査結果は火山噴火予知連絡会に報告するとともに、海域火山データベースに掲載し公表している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

海上保安庁,2021,海域火山の最近の活動,第148回火山噴火予知連絡会資料

海上保安庁,2021,海域火山の最近の活動,第149回火山噴火予知連絡会資料

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

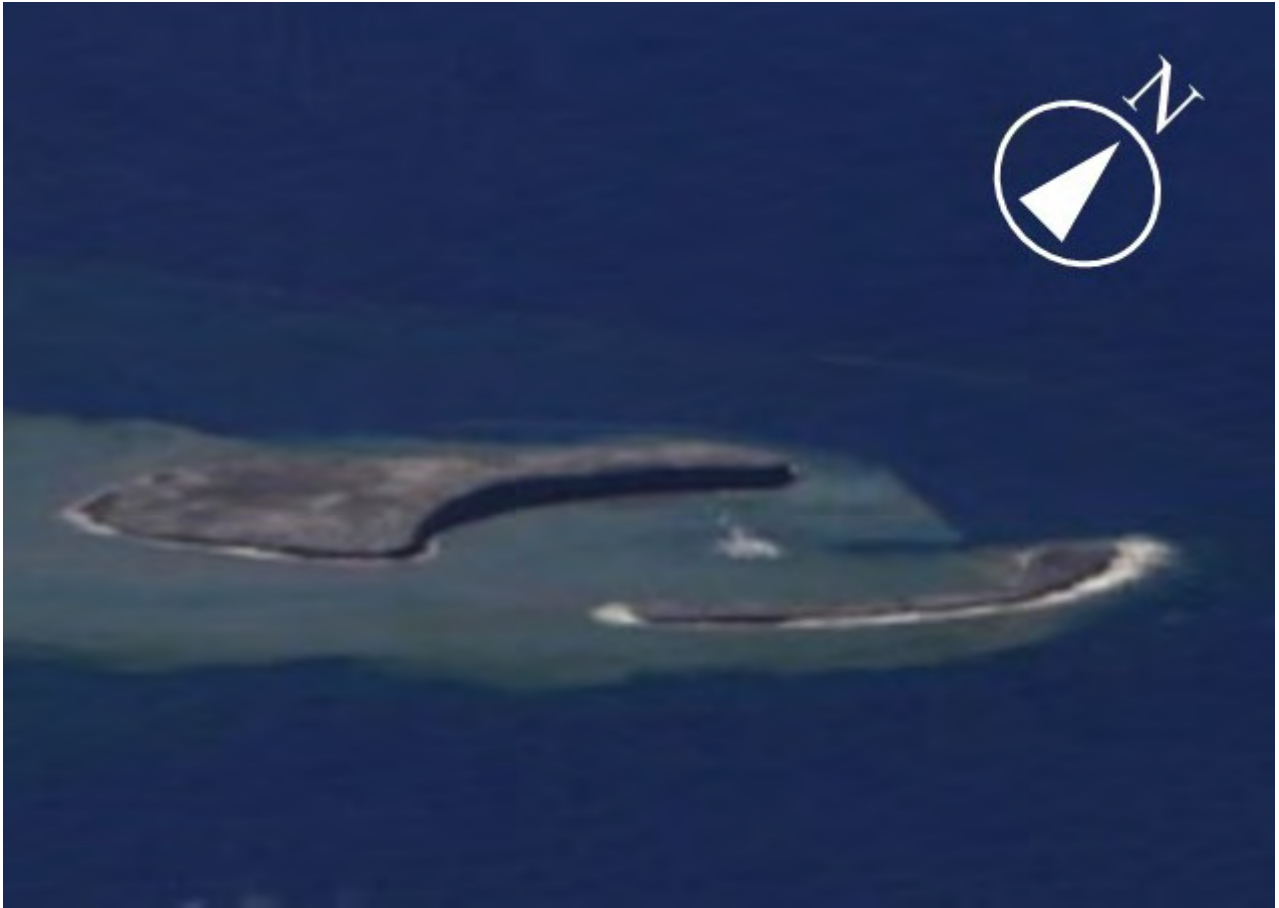
部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
電話：03-3595-3607
e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。
URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤原琢磨
所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室



第1図 福德岡ノ場の噴火（2021年8月13日）



第2図 福德岡ノ場の噴火後に確認された陸地（2021年8月16日）



第3図 西之島（2021年10月12日）



第4図 諏訪之瀬島（2021年10月29日）



第5図 口之島（2021年10月29日）

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界の固着状態変化を検出するための手法、地殻活動状態の変化を監視する手法を高度化する。また、地震発生シミュレーションにより地震活動履歴の再現と、発生した状態変化の物理的背景の理解を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

南海トラフ沿いで発生しているスロースリップについて、すべりの時空間分布を推定するための手法の改良を行う。地殻活動状態の変化を表す地震活動の様々な指標の特徴を調査し、それらを組み合わせた統合的指標を構築する。地震発生シミュレーションにより、千島海溝域について地震活動履歴の再現を行う。また、プレート境界の固着状態変化、地殻活動状況変化の物理的背景について考察する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・すべり遅れモデルを用いて、プレート境界大地震の発生シナリオをエネルギーの観点から構築した。新たな指標「残差エネルギー」は、断層すべりにより解放される歪みエネルギーと断層すべりにより散逸するエネルギーの差分として定義され、正の残差エネルギーが地震発生のための必要条件となる。

・S-netを含む日本全国の観測網を用いて自動震源カタログを作成した。自動震源にはノイズ等の誤検知が5%程度含まれるため、機械学習の一種であるアンサンブル学習（ランダムフォレストとAdaBoost）による地震ノイズ識別手法を開発した。その結果、自動震源中のノイズの頻度を約1/5

(全体の1%に相当)に低減できた。ノイズ除去後の2020年1月~8月の自動震源から、日本海溝沿いの微小地震はプレート等深線の深さ20~50 kmに集中しており、等深線10~20 kmのスロー地震とは相補的な分布をしていることを確認した。

・日本の様々なテクトニック環境下の地震活動に対して、前震活動を効率よく識別する「前田法」を適用した場合の予測効率と捉えられた前震活動の特徴を調査した。定常時空間ETASモデルによる予測と比較した結果、前田法の予測効率の方が概ね高く、いずれの地域もターゲット地震前にかけて地震数が加速的に増加する様子を確認した。定常時空間ETASモデルでも(見かけの)前震活動をある程度再現できるが、それだけでは説明ができない何らかの物理現象一例えば、前駆的すべりのような震源核形成過程一を反映した前震活動の特徴を前田法では個数ベースで簡単に抽出することにより、予測効率を高めているといえる。

・背景地震活動の地球潮汐関連情報に基づいた地震予測モデルの有効性について、トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型地震(1977~2020年、Mw 5.5以上、深さ70 km以浅、729個)を対象にMolchanダイアグラムを用いて検証した。その結果、ターゲット規模によっては無作為な予測よりも成績が良くなるケースはあったものの、最大でも確率利得は1.7であり、この地域について潮汐関連情報に基づいた予測モデル単独での実用性は乏しいといえる。言い換えると、ターゲット地震前に必ずしも広域の背景地震活動の潮汐相関が高くなるとはいえないことを示唆する。

・日向灘沿いについて、GNSSを用いた長期的スロースリップの客観検知処理を開発した。

・すべり分布推定に、ひずみ計データと傾斜データによるジョイントインバージョンを使えるよう改良した。

・DONETを用いた最大振幅とエンベロープ相関のハイブリッド法による浅部低周波微動検出プログラムを開発した。

・マグニチュード頻度分布に関するb値等のパラメータや、潮汐と地震発生の相関を表すパラメータを指標として、地震活動の異常度を定量的に評価する手法について検討を行った。

・東海大学と共同で駿河湾において海底地震観測を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Noda, A., T. Saito, E. Fukuyama, and Y. Urata, 2021, Energy-based scenarios for great thrust-type earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, using an interseismic slip-deficit model, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB020417

Tamaribuchi, K., F. Hirose, A. Noda, Y. Iwasaki, K. Iwakiri, and H. Ueno, 2021, Noise classification for the unified earthquake catalog using ensemble learning: the enhanced image of seismic activity along the Japan Trench by the S-net seafloor network, *Earth Planets Space*, 73, 91

気象研究所, 2021, 全国GNSS観測点のプレート沈み込み方向の位置変化, *地震予知連絡会会報*, 105, 37-41

気象研究所, 2021, 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知, *地震予知連絡会会報*, 105, 373-377

気象研究所, 2021, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, *地震予知連絡会会報*, 105, 378-381

Hirose, F., K. Tamaribuchi, and K. Maeda, 2021, Characteristics of Foreshocks Revealed by an Earthquake Forecasting Method Based on Precursory Swarm Activity, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2021JB021673, 10.1029/2021JB021673

Hirose, F., K. Maeda, and O. Kamigaichi, 2022, Efficiency of earthquake forecast models based on earth tidal correlation with background seismicity along the Tonga-Kermadec trench, *Earth Planets Space*, 74, 10, 10.1186/s40623-021-01564-4

・学会・シンポジウム等での発表

Noda, A., and T. Saito, 2021, Energy-based method to generate rupture scenarios for megathrust earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan: A necessary condition for earthquake generation, *AGU Fall Meeting 2021*

Noda, A., and T. Saito, 2021, Energy-based scenarios for megathrust earthquakes in the Nankai

trough subduction zone, southwest Japan, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021

Tamaribuchi, K. and M. Ogiso, 2021, Shallow low frequency earthquake monitoring system based on envelope cross-correlation and amplitude, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021

Tanaka, M., 2021, Relationship Between the Moderate Repeating Earthquakes and the Larger-scale Earthquakes on the Trench Side, AOGS2021 VIRTUAL 18th Annual Meeting

溜瀧功史, 小木曾仁, 野田朱美, 2022, 浅部低周波地震モニタリングシステムの構築, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

小木曾仁, 溜瀧功史, 2021, 地震波振幅の空間分布から推定した紀伊半島南東沖で発生する浅部低周波微動の時空間分布: 2020年12月から2021年1月, 日本地震学会2021年度秋季大会

松原誠, 汐見勝彦, 馬場久紀, 佐藤比呂志, 西宮隆仁, 2021, 駿河トラフから東海地域に沈み込むフィリピン海プレート形状, 日本地震学会2021年度秋季大会

溜瀧功史, 小木曾仁, 2021, エンベロープ相関と振幅に基づく浅部低周波地震モニタリングシステム, 日本地震学会2021年度秋季大会

野田朱美, 齊藤竜彦, 2021, 測地データと地震データを併用した非弾性変形の解析: 新潟神戸変形集中帯への適用, 日本地震学会2021年度秋季大会

弘瀬冬樹, 前田憲二, 2021, 背景地震活動の地球潮汐相関情報に基づく地震予測モデルの効率: トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型大地震に対して, 日本地震学会2021年度秋季大会

永田広平, 溜瀧功史, 弘瀬冬樹, 野田朱美, 2021, 日本海溝沿いの地震活動の規模別頻度分布に関する指標値の地域特性とプレート間のすべり現象との比較, 日本地震学会2021年度秋季大会

田中昌之, 2021, 中規模繰り返し相似地震と周辺の規模の大きな地震との態様について, 日本地球惑星科学連合2021年大会

露木貴裕, 2021, 天竜船明レーザーひずみ計による地殻変動観測, 日本地球惑星科学連合2021年大会

永田広平, 溜瀧功史, 弘瀬冬樹, 野田朱美, 2021, 統合的な地殻活動指標の構築に向けて — “ふつう”の地震活動の特徴抽出—, 日本地球惑星科学連合2021年大会

永田広平, 野田朱美, 溜瀧功史, 弘瀬冬樹, 2021, せん断ひずみエネルギー変化はb値を変化させるか—熊本地震及び西南日本のプレート間固着を例に—, 日本地球惑星科学連合2021年大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 地震: 地殻変動: ひずみ計観測

概要: 石井式三成分ひずみ計の常時観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 福井県敦賀市山泉 35.6178 136.0700

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中 (データベース・データリポジトリ・Web)

<https://crust-db.sci.hokudai.ac.jp/db/login.php>

項目: 地震: 地殻変動: ひずみ計観測

概要: 石井式三成分ひずみ計の常時観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 滋賀県高島市今津 35.4217 136.0144

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中 (データベース・データリポジトリ・Web)

<https://crust-db.sci.hokudai.ac.jp/db/login.php>

項目: 地震: 地震: 海底地震観測

概要: 駿河湾において自己浮上式海底地震観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 静岡県 34.6923 138.5584

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (協議のうえ共同研究として提供可)

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・海底地震観測網を活用した浅部低周波微動の検出手法の改良を行う。
- ・大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を開発する。
- ・地震発生シミュレーションについてメッシュ細分化、計算速度高速化を行う。
- ・東海大学と共同で海域の地震観測を行う。
- ・地震活動に関する指標を重ね合わせ、統合的な指標として地殻活動を評価する手法を構築する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無：有

東京大学,富山大学,東海大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

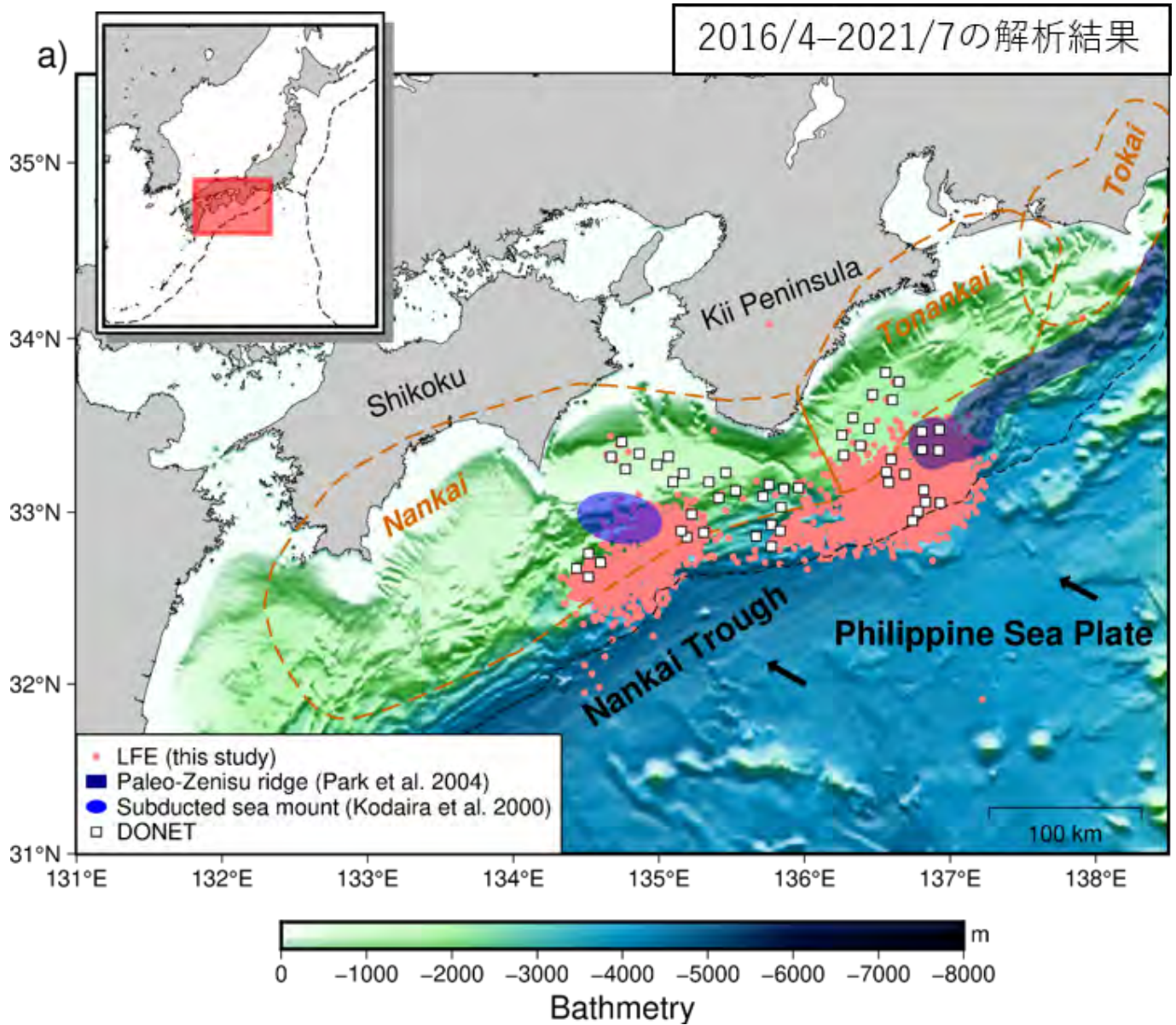
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小林昭夫

所属：気象研究所地震津波研究部



浅部低周波地震分布（2016年4月から2021年7月）

赤点は本手法による浅部低周波地震。

薄い青色はそれぞれ沈み込んだ海山や海嶺。

四角はDONETの観測点配置。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻変動観測等に基づく火山活動評価の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山内部の状態把握をよりの確に行えるよう地殻変動データなどの解析手法の開発・改善を進め、噴火に至るプロセス等の解明を行うことにより、火山活動評価手法の改善を図る。

〔テーマ1〕伊豆大島で地殻変動源解析によりマグマ蓄積量を迅速に把握し、多項目観測を統合したプロダクトと精密に補正した重力観測データを用いて、マグマ上昇の検出・モニタリングを行う。地表面熱・水収支、およびマグマ・揮発性成分収支のモデルを構築し、火山活動評価への活用を図る。他の活動的火山でも活動評価に資する地殻変動等の解析を行う。

〔テーマ2〕衛星SAR解析における大気遅延補正を気象モデルを用いて高精度化し、GNSS解析にも気象モデルを導入して、火山における地殻変動検知能力を向上させる。また、火山活動の理解を深めるために、地殻変動から地下の変動源の時空間変化を推定する手法、及び地下のマグマ挙動に伴う地殻変動のシミュレーション手法を開発し、それらの事例解析の比較により解析手法と物理モデルを改良する。

〔テーマ3〕火山内部の状態監視や活動の異常検出を目指して、伊豆大島の震動観測データに地震波干渉法を適用し、地下の速度構造の時間変化を検出する手法を開発する。また検出された変化の要因、火山活動との関連を評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

〔テーマ1〕

伊豆大島における各種地殻変動データの取得・収集を継続し、地下のマグマの蓄積量（噴火ポテンシャル）を把握するための解析手法を迅速化する。マグマ上昇検出とモニタリングを目的とした、多項目観測、重力繰返し観測を実施する。そのために重力データ補正技術の向上を図る。

噴火が近づく時期の地下浅部における熱的活動を詳細に把握するために、山頂付近の空中からの熱赤外線繰返し観測、地表での熱収支観測を実施し、熱および水収支のモデルを構築して地表面からの熱・

水の総放出量を定量化する。

他の活動的火山においても火山活動の活発化がみられるような場合に地殻変動等の解析を行う。

[テーマ2]

衛星SARの干渉解析について、気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムを開発する。補正精度の評価にあたり各種気象モデルによる補正結果を比較検証する。GNSS観測データの解析に、気象モデルによる大気遅延補正を導入するためのプログラムを開発し、パラメータ・プログラムを調整してその有効性を検証する。

地下のマグマの挙動を説明する物理モデルに基づいた地殻変動のシミュレーションプログラム、および観測データの解析による地殻変動源の時空間変化推定プログラムを開発し、両者を事例に適用し比較することにより、解析手法や地下のマグマの物理モデルなどを改良する。

[テーマ3]

伊豆大島の震動観測データに、地震学の分野で知見が深まっている地震計記録の背景雑音 (ambient noise) を用いた解析手法を適用し、火山周辺における地震波速度の時間変化を検出する手法を開発する。また、その要因を評価する中で、実際の火山活動に伴う地震波速度変化の検出を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[テーマ1] 火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

- ・伊豆大島において地殻変動、重力、熱の多項目観測を継続するとともに、データ処理技術の開発を進めた。
- ・多成分ひずみ計データについて、GNSS観測から推定される周期的収縮・膨張の検出能力の評価を行い、膨張量の変化をせん断ひずみによってモニタリング可能であることを確かめた。
- ・自動光波測距では気象庁数値気象モデルを用いた気象補正を導入し自動処理を開始した。
- ・夜間に実施した空中熱赤外観測データを用い、地表面温度のオルソモザイク画像を生成した。

[テーマ2] 火山活動の解析・評価のための手法開発

- ・干渉SARおよびGNSSの対流圏遅延補正について、メソ解析GPVから大気の屈折率を計算し、それを任意の方位角・仰角方向に積分することで視線方向遅延量を計算するプログラムを開発した。GNSSについては、天頂方向遅延量と仰角10度における遅延量から先験的な遅延量モデルを構築し、それを座標値推定に用いることで、既存の対流圏遅延補正モデルとほぼ同等の補正結果を実現した。
- ・地殻変動から地下の変動源の時間変化を求める手法の開発に着手した。今年度はダイク貫入に伴い観測される地殻変動の時間変化を富士山の宝永噴火シナリオに計算し、観測点ごとの時間変化の特徴の違いを調べた。

[テーマ3] 監視観測データの活用的高度化

- ・伊豆大島において、脈動記録を用いた地震波干渉法解析を行い、地震波速度の時間変化を検出した。
- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Terada, A., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Yamada, M. Yamamoto, T. Ohkura, H. Aoyama, T. Tsutsui, and S. Onizawa, 2021, The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network, *Earth, Planets and Space*, 73, 157, 0.1186/s40623-021-01475-4

関晋, 丹原裕, 山村卓也, 佐々木康気, 松浦茂郎, 越谷英樹, 近江克也, 近澤心, 若生勝, 岡田純, 碓井勇二, 2021, 2018年から2019年にかけての吾妻山の火山活動, 験震時報 (論文), 85, 1-35

D' Araujo, J., igmundsson, T. Ferreira, J. Okada, M. Lorenzo and R. Silva, 2022, Plate Boundary Deformation and Volcano Unrest at the Azores Triple Junction Determined From Continuous GPS Measurements, 2002-2017, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 127, 10.1029/2021JB023007

丹原裕, 若生勝, 堀内慎太郎, 関晋, 大石雅之, 宮川祐司, 近澤心, 岡田純, 碓井勇二, 2022, 気象庁観測データによる吾妻山の火山活動のレビュー (1965年~2019年), 験震時報 (論文)

Chikita K.A., A. Goto, J. Okada, T. Yamaguchi, S. Miura, and M. Yamamoto, 2022, Hydrological and chemical budgets of Okama Crater Lake in active Zao Volcano, Japan, Hydrology

・学会・シンポジウム等での発表

Chikita, K.A., A. Goto, J. Okada, S. Miura, and M. Yamamoto, 2021, Groundwater flow system inferred by estimates of hydrological, thermal and chemical budgets in Okama Crater Lake, Zao Volcano, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, AHW22-16

岡田純, 丹原裕, 宮川祐司, 関晋, 山村卓也, 近澤心, 2021, Existence of deep pressure sources and its behaviors during recent volcanic activity at Azumayama, NE Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, SVC28-P04

安藤忍, 奥山哲, 2021, 干渉SAR時系列解析を用いた西之島における噴火間の地殻変動, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, SVC28-P11

奥山哲, 安藤忍, 2021, 干渉SAR時系列解析により検出された十勝岳における局所的な地殻変動, JpGU-AGU Joint Meeting 2021: Virtual, SVC28-P01

川口亮平, 2021, 境界要素法による火山周辺の地殻変動計算システムの開発(2), 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-P22

鬼澤真也, 松島喜雄, 2021, 伊豆大島火山における地表面熱収支観測, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC29-P08

不破智志, 宮村淳一, 奥山哲, 青山裕, 2021, 2021年3月有珠山直下やや深部の地震増加イベント, 日本火山学会2021年度秋季大会, P1-11

後藤章夫, 山崎新太郎, 知北和久, 岡田純, 土屋範芳, 2021, 蔵王山火口湖・御釜の水中ドローン調査(速報), 日本火山学会2021年度秋季大会, P1-15

小久保一哉, 2021, 伊豆大島のボアホール式ひずみ計による地殻変動源のモニタリング, 日本火山学会2021年度秋季大会, P1-28

島村哲也, 安藤忍, 鬼澤真也, 奥山哲, 入山宙, 2021, GNSSとSAR解析による伊豆大島カルデラ地域の地殻変動, 日本火山学会2021年度秋季大会, P1-29

川口亮平, 2021, マグマ上昇に伴う地殻変動の時間変化のシミュレーション, 日本火山学会2021年度秋季大会, P2-01

奥山哲, 安藤忍, 新堀敏基, 鬼澤真也, 2021, 気象研究所におけるGNSS対流圏遅延補正プログラムの開発(序報), 日本測地学会第136回講演会, P01

安藤忍, 奥山哲, 島村哲也, 鬼澤真也, 2021, InSAR時系列解析を用いた伊豆大島の地殻変動, 日本測地学会第136回講演会, P03

知北和久, 後藤章夫, 岡田純, 三浦哲, 山本希, 山口高志, 2021, 活火山火口湖における水・化学物質・熱収支評価による地下熱水系の推定: 蔵王・御釜について, 第42回陸水物理学全国大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

[テーマ1] 火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

- ・伊豆大島等におけるマグマ蓄積・上昇過程の解明
 - －伊豆大島の地殻変動、重力観測を継続し、地殻変動(源)解析の迅速化・自動化、重力データの補正技術の開発を進める。
 - －空中熱赤外観測及び地表面熱収支観測を継続し、得られた地表面温度データの補正法及び放熱量の定量化のための技術開発に取り組む。
 - －地下概念モデルの構築とそれを反映した活動評価方法の検討を進める。
 - －他の活動的火山についても地殻変動等の解析を行う。

[テーマ2] 火山活動の解析・評価のための手法開発

- ・SARの対流圏遅延補正高精度化
 - －気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムの開発を引き続き行い、補正の精度評価を進める。
- ・GNSS解析手法の高度化
 - －気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムの遅延量計算アルゴリズムにレイトレーシングを

導入し、更なる精度向上を図る。

- ・ マグマの状態・活動を地殻変動などから推定するための手法開発
 - －地殻変動データから山体地形を考慮して変動源の変化を推定する手法の開発に引き続き取り組むとともに、観測データとの比較を進める。
- [テーマ3] 監視観測データの活用的高度化
 - ・地震波形の観測点間の相互相関解析による地震波速度変化のモニタリング
 - －地震波干渉法による地震波速度時間変化の検出に取り組むとともに、時間変化の要因の評価やノイズ除去等の検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉田 康弘 *研究代表者(気象庁 地震火山研究部), 鬼澤真也(気象庁 地震火山研究部), 安藤忍(気象庁 地震火山研究部), 森健彦(気象庁 地震火山研究部), 奥山哲(気象庁 地震火山研究部), 岡田純(気象庁 地震火山研究部), 川口亮平(気象庁 地震火山研究部), 島村哲也(気象庁 地震火山研究部), 菅井明(気象庁 地震火山監視課), 山本哲也(気象庁 地震火山監視課), 長岡優(気象庁 地震火山監視課), 小久保一哉(気象庁 地震火山技術・調査課), 山田晋也(気象庁 地震火山技術・調査課), 小林昭夫(気象庁 地震津波研究部)
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室
電話：029-853-8535
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL：http://www.mri-jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鬼澤 真也
所属：気象研究所火山研究部第一研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動監視・評価の高度化に資するため、全国の火山の地殻変動観測およびデータについて、監視項目の評価と適正化の検討、地殻変動検出のためのノイズ低減に向けた検討を進めるとともに、地殻変動検出時の変動源推定等の解析と結果の噴火予知連絡会等への報告を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁では常時監視火山をはじめとする活火山において傾斜計やGNSS等の地殻変動観測装置を整備しデータを取得するとともに、関係協力機関から提供を受けたデータを用いて全国の火山活動の監視を行っている。これら監視データにより地殻変動の検出を試みるとともに、活動の活発化に伴い地殻変動が検出された際には、これらのデータを使用し、適宜、変動源推定等の解析を行い、火山噴火予知連絡会等に報告する。また、観測データをより有効に活用し、監視・評価手法を改善していくために以下の検討、技術の高度化を進める。

・ GNSS等の異常検知力調査およびこれに則った監視項目の評価、適正化の検討

・ 傾斜データ等のノイズ低減によるデータ高品位化のための検討

・ H30年度に打ち上げ予定のALOS-4に対応したSARデータ解析環境の構築と地殻変動検出

(8) 令和3年度の成果の概要：

・ 今年度の成果の概要

今期間、火山活動が活発化した阿蘇山について、山麓のGNSSや火口付近の傾斜計で観測された地殻変動データを用いてそれぞれの変動源を推定した。また、変動源推定までは行っていないものの、火山活動の高まりに伴い地殻変動が検出された浅間山や諏訪之瀬島についても、地殻変動データの推移を詳細に監視することで火山活動を評価した。

この他、国内の活火山を対象に、火山活動を把握する目的で気象研究所とともにだいち2号(ALOS-2)のSAR解析を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

1) 地殻変動観測による監視・評価

常時監視火山等の活火山において、傾斜計、GNSS等の地殻変動観測データにより変動の検出を行い、火山活動の監視、評価を行う。顕著な変動を検出した際には、変動源推定等も含めた解析を行い、他観測データと併せて活動評価に利用できるようにする。

2) 技術的検討

地殻変動観測データについて、ノイズ低減によるデータ高品位化のため、データ整理、検討を進める。

3) 成果の公表

得られた成果は、火山噴火予知連絡会における火山活動評価、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、適宜、学会等において発表を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁地震火山部火山監視課,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台,火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無 : 有

国土地理院,宇宙航空研究開発機構,大学, 研究機関, 自治体等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話 : 03-6758-3900(内線 : 5114)

e-mail : jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 菅井明

所属 : 気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

雌阿寒岳、草津白根山など熱水活動の活発な火山において全磁力連続観測および繰返し観測を継続的に実施し、火山活動との対応を調査する。また、火山性磁場変動の抽出の高精度化を図る。これにより、全磁力による火山の熱水系の活動状況をモニタリングする技術を高度化し、水蒸気噴火の前兆的現象を捉えることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

雌阿寒岳や草津白根山、伊豆大島などの熱水系の卓越する火山において、全磁力の連続観測および繰返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。全磁力の観測結果を解析し、全磁力変化をもたらす熱源位置の推定を行う。また、地殻変動や地震活動、比抵抗構造と熱源の対応を調べ火山内部で発生している物理過程の解明を目指す。平成27年度～30年度に気象庁が水蒸気噴火の予測を目的として整備した樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山、安達太良山における全磁力観測データの解析を行い、熱活動の状況を分析する。また、これら火山の山麓参照点に設置された三成分磁力計データを外部磁場擾乱補正に適用し、火山性磁場変化の抽出の精度向上を図る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

雌阿寒岳、草津白根山、及び伊豆大島で全磁力の繰返し観測を実施し、火山地下の熱的活動を推定すると共に、火山活動との対応を調査した。雌阿寒岳及び伊豆大島では、DI補正係数を直接求めるため、全磁力連続観測点においてトランシットコンパスを用いた偏角及び伏角の測定を実施した。またDI補正係数を決定し、全磁力観測データのDI補正を試行するなどのノイズリダクション手法の検討を進めた。雌阿寒岳及び草津白根山では徒歩による磁気測量を実施し、磁気異常の面的な分布が得られた。その他、東京大学地震研究所と共同で伊豆大島のOSM観測点において地磁気絶対観測および真方位観測を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

笹岡雅宏・増子徳道・下川淳・浅利晴紀・藤原善明,2022,草津白根山において実施した徒歩による磁気測量,Conductivity Anomaly研究会シンポジウム

浅利晴紀・増子徳道,2022,DI補正法の実践的な適用に関する考察,Conductivity Anomaly研究会シンポジウム

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

雌阿寒岳や草津白根山、伊豆大島などの熱水系の卓越する火山において、全磁力の連続観測、繰返し観測、及び徒歩による磁気測量を継続し、火山活動との対応関係を調査する。全磁力の観測結果を解析し、全磁力変化をもたらす熱消磁あるいは帯磁ソースの時空間的推移の推定を行う。また、地殻変動や地震活動、比抵抗構造と熱源の対応を調べ火山内部で発生している物理過程の解明を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：瀧沢倫明

所属：気象庁地磁気観測所技術課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

化学的手法に基づく火山活動監視・予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

直接採取した火山ガスや熱水の化学組成及び安定同位体比、並びに火山灰に付着した火山ガス由来成分等の分析を通じて火山ガス活動の理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発するとともに、火山ガス活動への理解を踏まえ、地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

吾妻山、箱根山、草津白根山及び霧島山等の活動的火山において採取した火山ガスや熱水の化学組成及び水素・酸素安定同位体比、あるいは火山灰から抽出した水溶性の化学成分を、重量分析や容量分析などの手分析のほかにガスクロマトグラフやイオンクロマトグラフ、分光分析といった機器分析を組み合わせて分析し、火山ガス活動やその起源に関する理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスをセンサー等で測定し火山ガス活動をモニタリングするための研究を行う。具体的には、気象庁が4火山に設置した、多成分火山ガス連続観測装置によるガス成分比のモニタリング技術の向上、気象モデルを用いた二酸化硫黄放出率のモニタリング技術の改善、二酸化炭素等土壌ガスの連続観測あるいは機動観測による噴火ポテンシャル評価等を、吾妻山、草津白根山、伊豆大島、桜島等で行う。また、それらのデータと、地震や地殻変動等の既存の物理観測データを組み合わせた統合解析手法を検討する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

成果の概要は以下のとおりで、研究計画とは概ね一致している。

テーマ1 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

・東海大学との共同研究で実施している箱根山では2021年に顕著な地震活動は認められなかったが、火山ガスの観測では同年7月から11月頃にかけて浅部熱水系に対するマグマ性成分量の変化に対応するHe/CH₄比, CO₂/H₂S比などの変動が起きたことを捉えることができた。また, He/CH₄比の上昇速度などから2021年活動は近年の活動(2015、2017、2019年)よりも規模が小さいことを推定し、これらの結果を火山噴火予知連絡会に提供した。

・草津白根山では東海大学、東京工業大学との共同研究により継続的に湯釜火口湖の湖水採取・分析を実施し、当該火口湖での1982年以降の全ての噴火の前後で上昇した湖水のMg/Cl比が2019年以降に僅かに上昇して増減を繰り返していることを捉えた。この状況は火山噴火予知連絡会に報告するとともに、当該火口湖の化学成分の変動を説明するマグマ-熱水系モデルを考案し、国際誌に掲載された。

・霧島山硫黄山では東海大学、東京大学などと共同で2018年4月噴火口周辺の熱水などの観測を実施し、2018年4月の噴火前後で増加して2019年以降に低下した熱水のCl/SO₄比が2021年以降もわずかに増減を繰り返していることを捉え、火山噴火予知連絡会に報告した。

・長野地方気象台から提供された焼岳1962年噴火火山灰について化学・鉱物・顕微鏡分析などを実施し、当該火山灰が熱水変質帯に由来することを認めるとともに、既往研究では明らかにされていなかった黄鉄鉱や石膏などの鉱物種及び多量の水溶性成分の存在を明らかにした。これらの情報は火山灰をもたらした噴火の場所やメカニズム、火山灰層の特定などに有益であるため国際誌に投稿し、受理された。

・東海大学と共同研究しているフィリピンTaal火山については、2020年1月噴火の前後で採取された火口湖水の分析結果を解析した結果、噴火後の湖水からは火山活動に伴う記録的なpHの低下や化学成分濃度・安定同位体比の増加などが読み取れることが分かり、フィリピン火山地震研究所に情報提供した。

テーマ2 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

・可搬型マルチガス観測装置により吾妻山、草津白根山及び九重山において本庁整備の連続マルチガス観測装置周辺で観測を行う等、連続マルチガスデータの解析・補正手法について引き続き本庁と共同で検討を行った。

・吾妻山・草津白根山・御嶽山・九重山に設置されている連続観測マルチガスの観測精度向上のため、火山ガスの曝露によるセンサーの電圧感度変化挙動を明らかにするための室内実験を着手し、感度変化の原因のひとつに水蒸気濃度が寄与している可能性について提示した。

・二酸化硫黄(SO₂)放出率計測の自動化へ向け、先行開発した測定試験機で測定上の問題を洗い出した。その問題点の解決を図ると共に、連続観測の設置環境を考慮した連続観測システムの設計を進めた。連続観測システムは、令和3年度中に阿蘇山において運用する見込みである。

・気象モデルを用いたSO₂放出率への換算手法の検討を進めた結果、モデルに与える水平拡散係数を最適化することで、SO₂プルームの再現性が向上することが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Yaguchi, M., T. Ohba, and A. Terada, 2021, Groundwater interacting at depth with hot plastic magma triggers phreatic eruptions at Yugama Crater Lake of Kusatsu-Shirane volcano (Japan), *Frontiers in Earth Science*, 9, 741742, 10.3389/feart.2021.741742

Yaguchi, M., T. Ohba, Y. Hirayama, and N. Numanami, 2022, Volcanic ash from the June 17, 1962 eruption of Yakedake volcano: stereomicroscopic, XRD, and water-soluble components analyses, *Journal of Disaster Research*, 17, 257, 10.20965/jdr.2022.p0257

・学会・シンポジウム等での発表

谷口 無我, 大場 武, 寺田 暁彦, 2021, 湖水の化学組成からみた草津白根山湯釜火口直下のマグマ-熱水活動, 日本火山学会2021年度秋季大会, B2-01

谷口無我, 平山康夫, 大場武, 沼波望, 2021, 焼岳1962年6月17日噴火火山灰(顕微鏡像, XRD, 水溶性成

分),2021年度日本地球化学会第68回年会,G08

谷口無我, 平山康夫, 大場武, 沼波望,2021,焼岳1962年6月17日噴火火山灰とその水溶性成分, JpGU-AGU Joint Meeting 2021,SVC29-P05

高木朗充, 森健彦, 橋本明弘,2021,大気環境測定局の二酸化硫黄濃度による火山活動評価への活用,日本火山学会2021年度秋季大会,A2-10

橋本明弘, 森健彦, 新堀敏樹,2021,気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その3,日本火山学会2021年度秋季大会,P2-07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

テーマ1 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

・吾妻山・箱根山・草津白根山・霧島山等の活動的火山の火山ガスや熱水等を採取し、火山ガス成分及び安定同位体比の分析を進め、個々の火山における火山ガス活動やその起源についての理解を深める。

テーマ2 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

・二酸化硫黄放出率連続観測手法の開発研究のため、前年度に阿蘇山で整備した装置による試験観測を継続し、火口から放出される噴煙中の二酸化硫黄カラム濃度の観測データを蓄積する。また、蓄積されたデータから、気象モデル等を用いた二酸化硫黄放出率への換算手法の検討を進める。

・吾妻山・草津白根山・御嶽山・九重山に設置されている連続観測マルチガスの観測精度向上のため、可搬型装置による比較観測を行い効率的な校正手法の開発を進めるとともに、火山ガスの曝露によるセンサーの電圧感度変化挙動を明らかにするための室内実験を進める。また、吾妻山・伊豆大島等における土壌ガス観測データによる二酸化炭素成分の活動と、地球物理データを含む他の観測データによる統合的な活動解釈について考察する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象研究所火山研究部第三研究室

他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 気象研究所企画室

電話: 029-853-8535

e-mail: ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL: <http://www.mri-jma.go.jp>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 高木朗充

所属: 気象研究所

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震動・津波即時予測の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震動即時予測について観測震度に対して予測震度が概ね震度差1以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やマグニチュードが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上を目指す。さらに、長周期(おおよそ周期10秒程度まで)の様々な揺れの予測にも対応できるように拡張・強化する。

津波伝播計算における沿岸域での境界条件等を最適化する。それにより、津波伝播計算による日本の沿岸域における第1波到達から後続波、減衰に至るまでの津波全過程予測の精度向上を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

これまで構築してきた揺れから揺れを予測する技術をさらに発展させ、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を目指す。これにより、(震度だけではなく)長周期地震動を含めた波形での予測が可能となる。また、海域や陸上の観測網の環境の変化に対応するとともに、波動の同定(P波かS波か)の手法、伝播経路特性や地盤増幅特性の改良を行うことで、緊急地震速報や長周期地震動予測情報の精度向上・迅速化・堅牢化に向けた技術開発を行う。さらには、これらの予測手法は、現場への応用を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるようにする。

沖合津波観測データを用いることにより、沿岸津波観測データからよりも正確に津波波源を推定する。推定された津波波源から得られる津波伝播計算結果と観測データとの比較により、沿岸域の地形データや摩擦パラメータ等、津波伝播計算における境界条件を評価し、その最適化を行う。それにより、沿岸域に捕捉され長時間継続する津波の後続波の伝播や減衰過程の予測精度向上を図る。また、これらの成果を活用するなどして、データ同化を含む沖合津波観測データを用いた津波の面的把握技術と津波即時予測技術の改良を進めるとともに、地震波周期の特徴から津波地震の規模を推定する手法の開発、地すべりによる津波発生ポテンシャルの評価、及び新たな津波監視技術の活用可能性に関する調査を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 周期10秒程度までの長周期領域での地盤増幅特性を、限られた時間(6~20秒程度)の波形から精度よく推定する手法を検討するため、自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価を行い、高速フーリエ変換 (FFT) を使用したものと比較した。その結果、周波数特性評価には長周期領域であってもFFTを使用する方が適当であることが分かった。

2. 震源近傍の観測値が得られないような場合においても面的な地震動分布を早期に把握することを目的として、逆伝播を用いた地震動の面的分布推定手法を試作し、その問題点を示した。

3. 緊急地震速報といったリアルタイム処理で用いる観測機器の品質管理を目的として、教師なし学習による連続波形記録の自動分類手法の開発を進め、階層的クラスタリングの導入により、あらかじめクラスタ数を与えることなく、より柔軟な形で波形分類を行う手法を提案した。

4. 2016年の福島県沖の地震津波の波源について事例解析をした。地震の規模にあわせて要素波源の大きさを即時予測で用いているものよりも細かくして、日本海溝沿いの沖合水圧計観測網の観測データから初期水位分布を推定した。その分布を初期値として津波伝播計算をしたところ、沿岸で観測された津波波形を再現できた。

5. 2016年の福島県沖の地震の震源断層モデルを用いたケーススタディから、この場所を震源とする地震による津波が福島県から宮城県沿岸で高くなる条件には、震源断層の走向が強く関係していることを示した。

6. 遡上を伴う津波伝播計算において、水がある状態とない状態との境界の流束を取り扱う際に、従来の方法では計算が不安定になる場合があることが知られており、その原因を検討した。この場合に全水深の取り扱いを工夫することによって、計算安定性を高められる可能性があることを確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

上記1. ~ 3. により3(2)ア. 地震動の即時予測手法、また、4. ~ 6. により3(2)イ. 津波の即時予測手法の高度化に資する研究成果を得た。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, 2021, Extracting near-field seismograms from ocean-bottom pressure gauge inside the focal area: application to the 2011 Mw 9.1 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091664, doi:10.1029/2020GL091664

Kodera, Y., N. Hayashimoto, K. Tamaribuchi, K. Noguchi, K. Moriwaki, R. Takahashi, M.

Morimoto, K. Okamoto, and M. Hoshiba, 2021, Developments of the nationwide earthquake early warning system in Japan after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Front. Earth Sci.*, 9, 726045, doi: 10.3389/feart.2021.726045

Cochran, E. S., J. K. Saunders, S. E. Minson, J. Bunn, A. Baltay, D. Kilb, C. O' Rourke, M. Hoshiba, and Y. Kodera, 2022, Alert Optimization of the PLUM Earthquake Early Warning Algorithm for the Western United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, doi: 10.1785/0120210259

石丸 聡・小木曾 仁・伊藤陽司・榎納智裕, 投稿中, 凍結・融雪期の大雨により生じた土石流—雌阿寒岳2008年5月の大雨による事例—, 日本地すべり学会誌

小木曾 仁・石丸 聡, 投稿中, 2008年5月20日に雌阿寒岳で発生した土石流に伴う地震波の記録, 日本地すべり学会誌

Hayashi, Y., 2021, The Oldest Report of a 1537 Mexico Tsunami Based on Japanese Literature Is Erroneous, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 3452-3459, doi: 10.1785/0220200453

Yasuda, T., K. Imai, Y. Shigihara, T. Arikawa, T. Baba, N. Chikasada, Y. Eguchi, M. Kamiya, M. Minami, T. Miyauchi, K. Nojima, K. Pakoksung, A. Suppasri, and Y. Tominaga, 2021, Numerical simulation on detailed urban inundation processes and their hydraulic quantities — Tsunami analysis hackathon theme 1, *J. Disaster Res.*, 16, 978-993, doi: 10.20965/jdr.2021.p0978

Kubota, T., H. Kubo, K. Yoshida, N. Y. Chikasada, W. Suzuki, T. Nakamura, and H. Tsushima, 2021, Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and

dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022223, doi: 10.1029/2021JB022223

林豊, 2021, 断層モデルパラメータに対する津波高の感度測定: 2016年福島県沖の地震を基準としたケーススタディ, *土木学会論文集*, B2-77(2), I_187-I_192, doi: 10.2208/kaigan.77.2_I_187

Wang, Y., H. Tsushima, K. Satake, and P. Navarrete, 2021, Review on recent progress in near-field tsunami forecasting using offshore tsunami measurements: source estimation and data assimilation, *Pure Appl. Geophys.*, 178, 5109-5128, doi: 10.1007/s00024-021-02910-z

・学会・シンポジウム等での発表

小木曾 仁, 2021, 地震波振幅を用いた震源分布の準リアルタイム把握, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG53-06

溜瀧功史・小木曾 仁, 2021, エンベロープ相関と振幅に基づく浅部低周波地震モニタリングシステム, 日本地震学会2021年度秋季大会, S09P-14

鎌谷紀子・小木曾 仁, 2021, 自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価の試行, 日本地震学会2021年度秋季大会, S21P-01

小木曾 仁・溜瀧功史, 2021, 地震波振幅の空間分布から推定した紀伊半島南東沖で発生する浅部低周波微動の時空間分布: 2020年12月から2021年1月, 日本地震学会2021年度秋季大会, S09-20

小木曾 仁, 2021, 地震波振幅を用いた震源域のリアルタイム把握に向けた検討, 日本地震工学会2021年大会, T2021-020

小木曾 仁, 2022, 地震動の逆伝播を用いた面的震度分布の早期推定に向けた検討, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

鎌谷紀子・小木曾 仁, 2022, 自己回帰モデルによるスペクトル解析は地盤増幅率の周波数特性評価に有効か?, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

溜瀧功史・小木曾 仁・野田朱美, 2022, 浅部低周波地震モニタリングシステムの構築, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

Tamaribuchi, K. and M. Ogiso, 2021, Shallow low frequency earthquake monitoring system based on envelope cross-correlation and amplitude, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, P-02

小寺祐貴・酒井慎一, 2021, 階層的クラスタリングによる地震波形データの教師なし自動分類, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG52-P03

野口恵司・林元直樹・溜瀧功史・小寺裕貴, 2022, Hi-net活用のためのIPF法の高度化, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

干場充之・対馬弘晃, 2021, 地震動と津波の即時予測: 最近10年の研究の進展, 日本地球惑星科学連合2021年大会, U02-07

南雅晃, 2021, 非線形長波方程式の有限差分法による津波計算における計算不安定の原因とその対処, 日本地球惑星科学連合2021年大会, HDS09-04

対馬弘晃・近貞直孝, 2021, 沖合津波波形の常時解析に基づく津波の自動検知手法の検討, 日本地球惑星科学連合2021年大会, HDS09-06

林豊, 2021, 日本の文献が根拠とされる1537年メキシコの津波は誤り, 日本地球惑星科学連合2021年大会, S-SS10

久保田達矢・齊藤竜彦・対馬弘晃・日野亮太・太田雄策・鈴木秀市・稲津大祐, 2021, 海底動的圧力変動成分記録から抽出した2011年東北沖地震の震源域内部の大振幅地震動波形, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P01

Hayashi, Y., 2021, Two false tsunamis of the 16th century based on Japanese literature: the 1537 Mexico and 1586 Peru earthquakes, International Tsunami Symposium 2021, e90185

Tsushima, H. and T. Yamamoto, 2021, Operational use of tsunami source inversion in near-field tsunami warning by JMA, International Tsunami Symposium 2021, e90133

林豊, 2021, 1780年ウルップ島地震による日本への津波の影響, 第38回歴史地震研究会, O-01

南雅晃, 2021, 津波浸水計算におけるwet/dry境界の新しい計算法, 日本地震学会2021年度秋季大会, S17-02

対馬弘晃・山本剛靖, 2021, 1952年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波, 日本地震学会2021年

度秋季大会,S17P-06

林豊,2021,1780年ウルフ島地震による北海道への津波の影響,日本地震学会2021年度秋季大会,S10-04

林豊,2021,断層モデルパラメータに対する津波高の感度測定:2016年福島県沖の地震を基準としたケーススタディ,第68回海岸工学講演会,3-R2-3-43

Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu,2021,Extracting near-field in-situ ground motion waveforms with large displacements of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from ocean bottom pressure change inside the focal area,AGU Fall Meeting 2021,S53B-04

Tsushima, H., Y. Hayashi, and T. Yamamoto,2021,Evaluation of tsunami source and propagation modeling using dense offshore tsunami measurements: case study of 2016 Mw 6.9 off Fukushima earthquake, Japan,AGU Fall Meeting 2021,NH25B-0576

対馬弘晃・山本剛靖,2021,1952年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波,第11回巨大津波災害に関する合同研究集会,第1セッション-3

南雅晃,2021,津波浸水計算におけるwet/dry境界の新しい計算法,第11回巨大津波災害に関する合同研究集会,第2セッション-4

久保田達矢・久保久彦・吉田圭佑・近貞直孝・鈴木亘・中村武史・対馬弘晃,2021,2016年11月22日福島県沖の地震におけるS-net津波観測記録:広域・稠密観測データによる高精度震源断層モデル推定,第11回巨大津波災害に関する合同研究集会,第5セッション-1

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

長周期地震動を含めた地震動の即時予測について、データ同化手法や波動伝播シミュレーションの効率的な計算手法等を検討し、地震動波形の予測モデルの構築を進める。

津波後続波の観測事例を再現する津波波源の推定、及び長時間津波伝播計算による後続波と減衰過程を再現に基づき、沿岸域地形データ等の計算条件設定を改良してその再現精度の向上を図る。それらの結果に基づき、津波事前・即時予測手法、及び津波継続時間予測手法の改良を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無:無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:気象研究所企画室

電話:029-853-8535

e-mail:ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL:http://www.mri-jma.go.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:鎌谷紀子

所属:地震津波研究部

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。

浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

活動的な火山である桜島を主対象として、二重偏波レーダーや高速スキャンレーダーなどの先進的な気象レーダーによる噴煙のエコー強度やマルチパラメータを解析することにより、噴火検知技術の開発や噴出する火山灰・礫の量や挙動を定量的に推定するための技術開発を行う。また気象衛星で観測される火山灰から、噴火検知や噴火規模の即時的な推定の研究を行うとともに、噴火発生直後の監視カメラによる爆発映像等を利用し、気象レーダー等による解析結果の検証、火砕流や火山岩塊等の防災上重要な火山現象の解析を行う。

領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した新しい移流拡散モデルを、堅牢性、速報性、柔軟性および開発管理の観点から設計して開発する。そして供給源および新しい移流拡散モデルとこれまでが開発した火山灰データ同化システム（プロトタイプ）を組み合わせ、火山噴出物に対する観測データの解析から予測までを一貫して実行できる火山灰データ同化・予測システムの構築を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・気象研究所XバンドMPレーダー（MRI-XMP）と二次元ビデオディストロメータ（2DVD）による噴煙・降灰の観測・事例解析を行い、噴煙に含まれる火山灰等を定量的に推定する手法の開発に着手した。
- ・火山噴火予知連絡会において、改良した噴煙高度の確率的推定手法（MPE法、Sato, 2021）を用い

た資料の提出（2021年阿蘇山・諏訪之瀬島噴火事例）を開始した。

- ・MRI-XMPによる噴煙観測と2DVDによる降灰観測を継続している。
- ・気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）に入力する全球モデルの地上風予報値と再飛散の火山灰情報発表状況を比較調査した。
- ・火山灰データ同化・予測システムにおいて、噴火直後のJMA-ATMの初期値を作成するための噴煙モデルに関して、各種保存則や大気との相互作用を考慮した新たな噴煙モデル（NIKS-1D）の作成と実事例実験による検証に着手した。
- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Sato, E.,2021,Kusatsu-Shirane volcano eruption on January 23, 2018, observed using JMA operational weather radars,Earth Planets Space,73,117,10.1186/s40623-021-01445-w

・学会・シンポジウム等での発表

石井憲介・西條 祥・小屋口剛博,2021,気象庁の火山灰予測業務で用いる一次元噴煙モデルの開発,日本火山学会,A3-11

佐藤英一・瀧下恒星・井口正人,2021,非球形粒子の抵抗係数に関する理論の二次元ビデオディストロメーターによる降灰観測への応用について,日本火山学会,B2-10

新堀敏基・石井憲介・甲斐玲子・長谷川嘉臣・林 洋介・林 勇太,2021,火山灰移流拡散モデルの更新,日本火山学会,P2-08

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- ・二重偏波気象レーダー等による噴煙の観測結果から、噴煙に含まれる火山灰等の分布を定量的に推定する手法の開発を継続する。
- ・新たに開発した移流拡散モデルへ導入する凝集、再飛散過程等の物理過程を検証して改良する。
- ・火山灰データ同化・予測システムについて、定量的な濃度予測のための火山灰プロダクトの利用に関する評価を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象研究所火山研究部

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所,鹿児島大学,防災科学技術研究所,東京大学地震研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新堀敏基

所属：気象研究所火山研究部第二研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動の総合判断

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

防災関係機関の防災活動に資するため、引き続き全国の火山活動の状況について総合的な判断を実施する。特に噴火が近づいた火山や噴火中の火山について、最新の研究成果に基づき現在の状態から火山噴火や噴火終息に至るまでの過程についての噴火推移の予測を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

火山噴火予知連絡会（定例会、臨時会）、あるいは、規模の大きな噴火発生時等の社会的影響が大きい場合に特定の火山を対象に設置した部会において、噴火発生の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、その結果を火山噴火予知連絡会統一見解等に取りまとめて報道発表や気象庁の火山情報で公表する等により社会に分かりやすく発信するとともに、各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災活動を支援する。

また、研究成果・観測結果の情報交換、火山観測データの流通・共有の促進、活発化した火山における臨時観測に係る総合的な調整、研究成果の社会への発信などを通じて、火山噴火予知研究の推進に寄与する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、第148回（令和3年6月30日）及び第149回（令和3年12月27日）の火山噴火予知連絡会本会議を開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。検討結果は本会議終了後に報道発表し、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で公表するとともに、気象庁ホームページでもお知らせした。

また、本会議とは別に火山活動の検討が必要とされた火山では、部会を設置して集中検討体制を確保している。第3回、第4回口永良部島部会をそれぞれ6月24日、12月13日に、第5回霧島山部会を6月25日に、第6回草津白根山部会を6月22日に開催し、各火山活動の検討を行った。

部会の積極的活用のほか、メーリングリストやオンライン会議等を活用し、火山噴火予知連絡会の火山活動の評価の議論の充実及び情報発信の強化を進めている。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

火山噴火予知連絡会本会議及び特定の火山を対象に設置した部会において全国の火山活動の総合評価を実施するほか、噴火発生等の火山異常時に開催する連絡会本会議あるいは部会において、噴火発生の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、検討結果等に取りまとめて報道発表や気象庁の火山情報で公表する等、社会に分かりやすく発信し、各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災に資する。

研究成果・観測結果の情報交換、火山観測データの流通・共有の促進、活発化した火山における臨時観測に係る総合的な調整、研究成果の社会への発信などを通じて、火山噴火予知研究の推進に寄与する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部火山監視課,気象庁地震火山部,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台火山監視,警報センター

他機関との共同研究の有無：有

火山噴火予知連絡会に参画する関係機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900(内線：5114)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：http://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村政道

所属：気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震観測、地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を継続する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計、東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに、文部科学省と協力して、大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し、その結果を大学、関係機関に提供することにより、研究の推進に資する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持し、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を行った。顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。

震源データを日々、更新するとともに、2020年3月までの精査後の震源データ（確定値）を公開した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部,気象庁大阪管区気象台地震火山課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮岡一樹
所属：気象庁地震火山部管理課

(1)実施機関名：

気象庁

(2)研究課題（または観測項目）名：

潮位観測

(3)関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

・ 観測基盤の整備

(4)その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

・ 南海トラフ沿いの巨大地震

・ 首都直下地震

(5)総合的研究との関連：

(6)本課題の5か年の到達目標：

潮位の連続観測を継続して実施する。

(7)本課題の5か年計画の概要：

潮位データの伝送を高度化して、障害による欠測を減少させる。

(8)令和3年度の成果の概要：

・ 今年度の成果の概要

令和2年度に光回線化ができなかった箇所について、光回線化を進めた。

経年利用していた潮位データ集約サーバーを更新し、経年劣化による欠測のリスクを減らした。

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9)令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・ 論文・報告書等

・ 学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度に光回線化ができなかった箇所について、光回線化を進める。

潮位データ集約サーバーが安定して稼働できるよう、システムの保守を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁大気海洋部環境・海洋気象課,地震火山部
他機関との共同研究の有無：有

国土交通省（水管理・国土保全局、港湾局）,国土地理院,海上保安庁と連携した潮位データの一元化

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900（内線：5114）

e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木博樹

所属：気象庁大気海洋部環境・海洋気象課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地磁気精密観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地球電磁気学的観測による地殻活動及び火山活動の研究に資するため、精密な地磁気観測データを継続して提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の4観測点において、数十年～100年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。

あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

柿岡、女満別、鹿屋及び父島での地磁気4成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。

火山活動起源のシグナルを抽出するために用いられる「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法に加え、地域によって変化の大きさ、傾向が異なることに対処する上で必要となる地域毎の基準値の観測精度を維持するため、地磁気観測点への車両や建築物等による人工的な磁気擾乱の監視観測を維持し、異常値の検出・補正処理を施した。

地磁気活動の月別概況、K指数、地磁気現象、及び確定値等の観測資料を地磁気観測所ホームページ上で毎月公表している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

データの引用・追跡を容易にするため、令和3年度から地磁気観測所のデータに、DOI (Digital Object Identifier) が付与された。以下に、柿岡のデータについて記す。

Geomagnetic data at Kakioka (1-year)	doi:10.48682/186bd.05000
Geomagnetic data at Kakioka (1-hour)	doi:10.48682/186bd.2b000
Geomagnetic data at Kakioka (1-minute)	doi:10.48682/186bd.3f000
Geomagnetic data at Kakioka (1-second)	doi:10.48682/186bd.58000

Geomagnetic data at Kakioka (0.1-second) doi:10.48682/186bd.ed000
Kakioka geomagnetic storm catalog doi:10.48682/386bd.007b0
Kakioka sudden impulse and storm sudden commencement catalog
doi:10.48682/386bd.003d0
Kakioka bay disturbance catalog doi:10.48682/386bd.00da0
Kakioka solar flare effect catalog doi:10.48682/386bd.00410
Kakioka Pi pulsation Catalog doi:10.48682/386bd.00360
Kakioka Pc pulsation Catalog doi:10.48682/386bd.00a70
Kakioka K-index doi:10.48682/386bd.00250

同様に、他の観測点のデータのDOIについても、以下の地磁気観測所ホームページで確認することができる。

[URL] https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の4観測点において、数十年～100年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。

あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：仰木淳平

所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国における火山観測の強化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下、火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた50火山の連続的な監視観測を継続する。また、火山活動が活発化した場合には、必要に応じ観測体制を強化する。

これらの観測成果は、噴火警報等の防災情報の発表や火山解説資料の作成に利用するとともに、地震火山月報（カタログ編）や火山年報に取りまとめて公表する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1) 連続的な監視観測

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等により、連続的な監視観測を行う。

火山観測施設の更新計画（5か年）に基づき、平成23年度から実施している観測施設の更新を継続する。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、地震観測・GNSS繰り返し観測、熱観測等の計画的な機動観測を実施する。また、阿蘇山、桜島、口永良部島等、火口からの二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急的な機動観測を実施し、火山活動の詳細を把握する。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山解説資料等の防災目的の資料等に

利用する他、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等により公表する。

4) 観測データの共有

気象庁及び関係機関による新規観測点のデータのうち、火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 連続的な火山観測

全国の50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。また、阿蘇山、桜島、口永良部島等の二酸化硫黄ガス放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施したほか、噴火発生や火山活動に変化があった火山では、関係機関の協力を得て上空からの観測を繰り返し実施した。また、ドローンによる可視・熱赤外観測を浅間山、阿蘇山、薩摩硫黄島、口永良部島（予定）で実施し、火山活動評価に活用する。

3) 観測成果の公表

各種監視観測で得られた成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災目的の情報や資料として公表した他、地震火山月報（防災編）等に取りまとめて公表した。また、気象庁のホームページで常時観測火山（50火山）の観測データを掲載。防災科学技術研究所のホームページ及びJVVDNに気象庁の地震計等のデータを公開している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

地震火山月報（防災編）2021年3月号～2022年2月号（予定）

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1) 監視観測の継続

火山噴火予知連絡会で監視・観測体制の充実等が必要とされた50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等により、常時観測を継続する。

2) 機動観測の実施

全国の火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測、ドローンによる可視・熱赤外観測等の調査観測を計画的に実施するとともに、火山活動に異常が認められた場合には、緊急観測を実施して火山活動の詳細を把握する。

3) 観測データの共有

関係機関による新規観測点のデータのうち火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。また、防災科学研究所のJVVDNに観測データを共有する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有
大学・防災科学研究所等の研究機関,自治体・地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課 地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900（内線：5114）
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大賀昌一
所属：地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地磁気観測成果のデータベース化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地殻活動・火山活動を的確に検出するため、地磁気基準観測および全磁力精密観測の成果を継続してデータベース化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島の4地点（定常観測点）と祓川（調査観測点）の5観測点における地磁気4成分連続観測データを、継続して地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供する。

印画紙に記録された柿岡、女満別、鹿屋の地磁気アナログデータを高時間分解能のデジタルデータへの変換を継続して実施し、過去に遡ってのデータ解析を可能とする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

計画に基づき、定常観測点の4地点（柿岡、女満別、鹿屋、父島）に、調査観測点の祓川を加えた5観測点における地磁気4成分連続観測データを、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した。

また、今年度の地磁気アナログ記録のデジタルデータ化は、女満別(1965年)、鹿屋（1965～1966年）の地磁気アナログ記録をデジタル画像化したほか、女満別・鹿屋（1969～1970年）のデジタル画像を高時間分解能のデジタルデータへ変換した。これらのデータについて、年度内にデータベースに登録・公開予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

データの引用・追跡を容易にするため、令和3年度から地磁気観測所のデータに、DOI（Digital Object Identifier）が付与された。以下に、地磁気毎秒・毎分値について記す。

Geomagnetic data at Kakioka (1-minute) doi:10.48682/186bd.3f000

Geomagnetic data at Kakioka (1-second) doi:10.48682/186bd.58000

Geomagnetic data at Memambetsu (1-minute) doi:10.48682/186d7.3f000

Geomagnetic data at Memambetsu (1-second) doi:10.48682/186d7.58000

Geomagnetic data at Kanoya (1-minute) doi:10.48682/186fd.3f000

Geomagnetic data at Kanoya (1-second)	doi:10.48682/186fd.58000
Geomagnetic data at Chichijima (1-minute)	doi:10.48682/1860b.3f000
Geomagnetic data at Chichijima (1-second)	doi:10.48682/1860b.58000
Geomagnetic data at Haraigawa (1-minute)	doi:10.48682/1863d.3f000
Geomagnetic data at Haraigawa (1-second)	doi:10.48682/1863d.58000

同様に、他の観測データのDOIについても、以下の地磁気観測所ホームページで確認することができる。

[URL] https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

これまで進めてきた計画を継続し、柿岡、女満別、鹿屋、父島、祓川の5観測点における地磁気4成分連続観測データを統一的な形式に整理し、地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供する。

紙媒体による地磁気アナログ記録の画像データ化、デジタルデータ化も継続して実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所
他機関との共同研究の有無：有
名古屋大学,京都大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課
電話：0299-43-1151
e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp
URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：有田真
所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国地震カタログの作成

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国地震カタログを作成する。また、定常的な発震機構解析（初動発震機構解、CMT解）及び大地震時の震源過程解析を実施し、それら成果の関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

海域観測網の地震波形データを一元化処理へ取り込み、地震波形の分析や震源決定等の改善を進める。

大学等の検測値を取り込んで過去にさかのぼった震源決定を行い、全国地震カタログに反映させて総合的な地震カタログを作成する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

各年度において、地震カタログ（震源、発震機構）の作成及び震源過程解析を実施し、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

一元化処理へのS-netやDONET2等の海底地震計データ活用のルーチン業務開始に向けた準備を行い、平成31年度に運用を開始する。

過去震源の改訂に関しては、5か年計画の前半に1919～1921年の再解析を行うとともに、1976～1997年の期間について大学等の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを適宜作成する。再解析が終了した期間から公開する。

その他、適宜、地震カタログに係る解析・処理の改善を図る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

引き続き、地震カタログの作成及び震源過程解析を実施し、関係機関へのデータ提供、一般への公開を実施する。地震月報（カタログ編）2020年1月～2020年8月を公開した。

海域観測網の観測データを用いて自動震源を決定する際に、ノイズとなるエアガン起源のシグナルの除去ロジックを2021年7月に一元化処理システムに適用した。以降、海域観測網の設置海域における自動震源決定の際にエアガン起源のシグナルの除去に成功している。

震源過程解析については、2021年5月1日の宮城県沖の地震や海外で発生した地震について、近地強震波形または遠地実体波を用いて断層すべり分布を推定し、その結果を公開した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

地震月報（カタログ編）2020年1月～2020年8月

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、地震カタログの作成および震源過程解析を実施し、関係機関へのデータ提供、一般公開を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部地震火山技術・調査課

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900（内線：5114）

e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森脇健

所属：地震火山部地震火山技術・調査課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山現象に関する基礎データの蓄積と活用

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の活火山のうち、気象庁の常時観測火山（50火山）については観測データの収集を行い、それ以外の活火山も含めた火山機動観測班が計画的あるいは緊急的に実施する機動観測による観測データを収集し、火山現象のデータベースとしてその蓄積を図る。

これらの成果は、噴火警報等の防災情報発表や火山活動解説資料等の作成に利用するとともに、火山月報（カタログ編）や火山年報に取りまとめて公表する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁が常時観測を行っている50火山については、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、傾斜計、監視カメラ等の常時観測データの収集、解析を行い、蓄積する。

全国の活火山については、4センターの火山機動観測班が行う地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測等の計画的な機動観測により得られたデータを解析し、蓄積する。また、火山活動に異常が認められた場合には、火山機動観測班が出動して行う緊急的な機動観測により収集したデータを解析し、蓄積する。

これらの観測データの蓄積にあたっては、今後の活火山総覧改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報や火山活動解説資料等の防災資料の作成に利用するほか、火山月報（カタログ編）や火山年報、火山活動の概況（英文）に取りまとめて気象庁HPにより公表する。

地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を

進める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

常時観測火山に選定された全国の50活火山について、東京の火山監視・警報センター、札幌、仙台、福岡の地域火山監視・警報センター、及び鹿児島地方気象台において、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集するとともにデータの解析を行い、それらの成果の蓄積を進めた。

また、全国の活火山について、計画に沿って地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を行い、得られた観測データを解析し、蓄積した。

令和3年度については、西之島、硫黄島、福岡ノ場、阿蘇山、桜島及び諏訪之瀬島で噴火が発生したほか、浅間山、口永良部島等において火山活動の高まりがみられた。

これらのデータの蓄積にあたっては、気象庁HPで公開している火山観測データの自動更新や今後の活火山総覧の改訂などに活用できるように引き続きデータベース化を行った。

各種監視・観測で得られた成果は、火山活動評価に活用するとともに、気象庁HPでの速報的な公開や、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に随時利用した。定期的な資料としては、月毎の火山活動解説資料（定期）として各火山の活動状況を取りまとめ、いずれも気象庁HPで公表した。

また、引き続き、各火山の火山防災協議会と観測データや火山活動解説コメントの共有を、WEBを通じて行った。

データの収集、蓄積、公表など、いずれも計画に沿って進捗している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

気象庁、地震・火山月報（防災編）2021年3月号～2022年2月号

気象庁、令和3年（2021年）の火山活動（各火山）

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

全国の50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積する。

全国の火山について、地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積する。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種監視・観測で得られた成果は、HPで速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報（カタログ編）や年報等によりHPにより公表する。また、火山活動の概況を英文で取りまとめてHPにより公表する。地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部、札幌管区気象台、仙台管区気象台、福岡管区気象台火山監視、警報センター
他機関との共同研究の有無：有

大学、防災科学研究所等の研究機関、自治体、地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900(内線：5114)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本 哲也

所属：気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報などの防災情報の改善のための検討で得られた知見や成果を共有する。これにより、関連の研究の推進に資する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を、広く大学等関係機関、防災関係機関に気象防災情報として、また、各種情報の検討部会や火山噴火予知連絡会等を通じ、広く共有する。アンケートを実施するなどして、社会の受けとめかたを調査し、その結果を基にして情報内容の改善を図る。また、火山防災協議会などを通じ情報の普及・啓発を図る。

国際共同研究・国際協力については国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて、また、航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて、国際的な研究活動の進展に寄与する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

関係機関と連携し、気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を共有した。主な実施内容や情報内容の改善は以下のとおり。

・地震防災、津波防災の普及啓発のための気象庁ホームページの改善

・緊急地震速報の技術的な改善

- ・国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換
- ・国際的な津波情報（北西太平洋津波情報）の提供
- ・各省庁の作成する「やさしい日本語」の防災情報部分への協力
- ・津波警報等の新たな視覚的伝達手段として「津波フラッグ」を定め導入推進。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

これまでの取り組みの成果や経験を活かし、引き続き継続的或いは発展的に取り組む。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁及び全国気象官署職員
他機関との共同研究の有無：有
様々な関係機関、専門家等と連携

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：福満修一郎
所属：地震火山部地震津波監視課地震津波防災推進室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

防災・減災に関する知識の普及啓発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

一般の防災リテラシー向上のため地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に戦略的に取り組む。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁では、引き続き国や地方自治体等の防災関係機関、教育機関、大学等研究機関と連携しながら、地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報（津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報など）に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に、全庁を挙げて戦略的に取り組む。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組んだ。主な実施内容は以下のとおり。

- ・地方自治体等と連携した防災訓練への助言・協力、HP等での相互協力
- ・教育機関と連携した学校防災教育へ助言・協力
- ・防災関係機関、民間団体等と連携した出前講座・防災講演会等の実施
- ・報道機関と連携した防災番組への協力
- ・わかりやすい防災行動を説明した動画作成・SNSでの普及啓発
- ・南海トラフ地震を解説する小冊子作成配布（内閣府・消防庁と協力）

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

- (9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ・論文・報告書等
 - ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

これまでの取り組みの成果や経験を活かし、全国の気象官署において引き続き継続的或いは発展的に取り組む。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁及び全国気象官署職員
他機関との共同研究の有無：有
様々な関係機関、専門家等と連携

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：福満修一郎
所属：地震火山部地震津波監視課地震津波防災推進室

(1) 実施機関名：

鹿児島大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南西諸島北部域におけるプレート間すべりの特性に関する地震・地殻変動観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

平成30年度までの研究成果を踏まえ、地震の検知能力・分解能の向上に特化した小スパン観測網を年度ごとに少しずつ移動させる機動的な海底地震観測を実施する。これを4か年に渡り実施することで、特に1911年喜界島近海地震の想定震源域及びその周辺域を重点的にカバーし、スロー地震活動及び通常地震活動の観測データを取得する。並行して島嶼域においては、平成30年度まで実施してきたGNSS観測を継続・強化する。

得られた観測データを解析し、1911年喜界島近海地震の想定震源域周辺におけるスロー地震活動（特に低周波微動活動）について、その震源域の広がりや想定震源域との位置関係を明らかにする。また、通常地震活動との比較を行い、両者間の時空間的な関係について考察する。さらに、日向灘など他地域との比較を行い、類似点・相違点について検討する。

一方、1911年喜界島近海地震の想定震源域およびその周辺域における、島嶼域地震観測のみでは検出できない未知の小規模な相似地震活動について、想定震源域内外での活動分布を明らかにする。また、スロー地震活動（特に低周波微動）の震源分布と比較し、両者の空間的境界を検討する。

併せて島嶼域GNSS観測では、沖縄トラフの拡大とブロック運動をさらに精度を向上させて求め、3次元有限要素解析により南西諸島北部域のプレート間の固着域、固着率を推定する。

以上の地震・地殻変動観測研究の結果を総括し、スロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域と固着率を基に現在の北部南西諸島域のプレート間すべ

りの特性について考察する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測の実施

1年目の概ね上四半期の期間中に1911年喜界島近海地震の推定震源域付近にLOBSを投入し、小スパン海底地震観測網による観測を開始する（LOBSの第1期観測の開始）。続く2年目においては、概ね上四半期の期間中に第1期観測のLOBSを回収し、新規位置にLOBSを投入しての観測を開始する（LOBSの第2期観測の開始）。以後同様に、3～4年目はLOBSの回収と新規位置にLOBSを投入しての観測開始を繰り返す。5年目に第4期観測のLOBSを回収し、機動的な海底地震観測を終了する。なお、当該観測航海を大学院生等の海域観測実習の場として利活用する。

GNSS観測については、平成30年度までに実施してきた島嶼域観測網を継続するとともに、1年目中に下甕島にGNSS観測点を設置して観測網を強化し、5か年計画の末まで継続する。

スロー地震活動（特に、浅部低周波微動）と通常の地震活動の解析

1年目は、機動的な海底地震観測のデータが未取得のため、喜界島東方沖で過去に実施された別プロジェクトの海底地震観測および平成30年度までの準定常海底地震観測で取得されたデータの再解析を行う。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータを用い、低周波微動や通常の地震の震源決定を年次的に実施する。5年目は、5か年分の結果を総括し、低周波微動の震源域、小繰り返し地震を含む通常の地震との時空間的な関係を明らかにし、1911年喜界島沖の地震の想定震源域との関係を議論する。また、スロー地震活動の特徴について、日向灘など他地域との比較を行う。

相似地震の解析

1年目は、平成30年度までの準定常海底地震観測で得られたデータを利用し、島嶼域の地震観測網では検出できない規模の小さいものも含めた相似地震の解析を試行する。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータから、相似地震を検出し、震源決定を行う。5年目は、5か年のうちに得られた震源分布から、1911年喜界島近海地震の想定震源域との空間的な関係を明らかにする。また、上記のスロー地震（特に浅部低周波微動）の震源分布と比較検討することで、当該領域におけるプレート境界のすべり特性を議論する。

島嶼域GNSSデータの解析

2年目は、高度化された種子島から奄美大島までのプレート境界を3次元有限要素モデルに組み込む。当該地域のプレート運動を再推定し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う内部変形を求める。3年目は、新規に追加設置した観測点を含めた測線の解析で得られた沖縄トラフの拡大率を求める。沖縄トラフの拡大率、フィリピン海プレートの沈み込み速度を境界条件とし、前年度に求めた当該地域の内部変形を説明できるように固着域、固着率を求める。4年目は、GNSS連続観測データを使ってスロースリップの検出を行い、検出できたスロースリップの断層モデルを求める。5年目は、固着域、固着率とスロースリップ発生域、繰り返し地震から求めたプレート間の固着の情報を精査する。

観測研究の総括

5年目において、計画期間中のスロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常の地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域・固着率の解析結果に基づき、現在の南西諸島北部域のプレート間すべりの特性について考察する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[1] 機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測

令和3年度は、4月中旬に海底地震観測を実施した。昨年度に続く新型コロナウイルス感染症拡大の影響による制限は受けたが、当初日程通りに航海を実現し、5か年の観測計画を維持した。海底地震計の回収・投入作業は、長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸の教育関係共同利用に基づき実施し、海域観測実習の場として大学院生1名が乗船した。

長崎丸第67次航海（令和3年（2021年）4月15日～21日）において、2020年7月末に喜界島北東海域に投入した8台の海底地震計から成る小スパン海底地震観測網の回収（第2期終了）および新規投入（第3期開始）を実施した。回収した第2期の8台は、すべて固有周期1秒の長期収録型自己浮上式海底地震計（LOBS：Long-term Ocean Bottom Seismometer）である。投入した第3期の8台は、6台がLOBS、2台がそれぞれ固有周期120秒と20秒の小型広帯域海底地震計（CBOBS：Compact

Broadband OBS) で構成されている。CBOBSを加えることで、スロー地震の観測帯域をよりカバーする目的がある。回収直後・投入直前の時刻較正はそれぞれ正常に完了した。第3期LOBS+CBOBSの着底座標は、音響通信装置を用いた測量により決定する予定であったが、海況悪化に伴い断念した。第3期観測網は投入から約1年後の2022年4月に回収し、新規位置へ入れ替え(第4期)を予定している。図1に、令和3年度に回収した第2期(青×)・投入した第3期(緑+)を含む本観測計画の観測点配置を示す。

展開している小スパン海底地震観測網の観測点間隔は約20 kmと稠密であり、沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界面上で発生する浅部低周波微動や、島嶼域地震観測点のみでは捉えることのできない地震の検出および震源決定精度の向上に貢献する。観測領域は1911年喜界島地震(M8.0)の推定震央[後藤, 2013](図1: ☆)および震源域周辺にあたり、令和5年度(2023年度)に回収する第4期まで海底地震計を機動的に展開することで、地震とスロー地震の空間的な棲み分けや時間的対応を議論する。

島嶼域GNSS観測に関しては、平成30年度までに構築してきた観測網において継続的な観測を実施している。女島観測点(長崎県五島市)は、令和2年台風10号通過に伴う壊滅的な被害により、2020年11月から仮復旧の状態であったため、前述の長崎丸第67次航海(2021年4月)により渡島し、太陽光発電等の電源周りを強化して本復旧を実現した。また、横当島観測点(鹿児島県十島村)には2021年11月にアクセスし、GNSS受信機機体の交換作業を実施した。その他の観測状況は、気象海況や新型コロナウイルス感染症拡大の影響による入島・出張制限等により、渡島およびデータ回収にやや遅れが生じている。令和3年度内に、宇治島観測点(鹿児島県南さつま市)・横当島観測点に各1回の渡島を計画している。

[2] 浅部低周波微動

今年度は令和2年度に設置した20 kmスパンの海底地震計アレイデータを用いて、期間中に発生した浅部低周波微動(以降、浅部微動)の暫定的な解析を実施した。まず、浅部微動の波形を波形記録から目視で確認したところ、浅部微動の主な活動は観測網内及び周辺において以下の期間に見られた: 2020年8月上旬~中旬、2021年1月中旬~下旬、2021年2月~3月、2021年3月~4月(それぞれの期間において、陸上に展開している臨時観測点でも微動の波群を確認できている)。

エンベロープ相関法による震源決定の結果を図2に示す。観測期間中に複数回の浅部微動エピソードが確認され、そのうち最も活発な活動は2021年3月から4月にかけて発生した。震源決定誤差が10 km程度のイベントは、喜界島東方にある通常の地震の震源分布空白域に位置しており、比較的精度の良い震源(主に観測網およびその周辺)の分布は昨年度の結果(2019-2020観測: 第1期観測)を北に延長した形で分布している。Nishimura (2014)による短期的SSEの断層との比較では、浅部微動は主に短期的SSE領域と重複もしくはdown-dip側に位置しているように見える(図2)。

マイグレーションを伴う活動も複数回確認され、昨年度の結果同様にマイグレーション方向は南北両方向に存在している(図3)。マイグレーションの特徴から、活動域が観測網内で2つに分かれているようにも見える。このうち、2021年3月から4月の活動は、2つの活動域を縦断するように南から北にマイグレーションした。

微動活動域には明瞭な低活動領域が存在している(図3)。2020-2021観測(第2期観測)網の内部に位置しており、微動が発生していれば検知できていること、および震源決定誤差を考慮すると、低活動領域では実際にはほとんど微動が発生していないことが示唆される。微動の低活動領域のスケールは20 km程度である。過去の構造探査の結果から、周辺では海山の沈み込みが明らかになっており[Arai et al. (2017)]、海山のスケールは一致しているが位置はずれていることが分かっている。その一方で、地磁気異常のデータを見ると、空白域およびその周辺に海山の沈み込みを示唆する分布が見られる。今後、重力等、他の地球物理学データとの対比が必要であるが、この空白域には海山が沈み込んでいる可能性が高いと考えられる。2021年3月~4月の活動はこの沈み込んだ海山を避けるように、浅部微動がマイグレーションしている(図2および図3)。一方、他の活動期間において、沈み込んだ海山前面の領域は、微動活動域を南北に分断するセグメントとなっている(図2)。海山前面の応力集中[Mochizuki et al. (2008)]により、比較的規模の大きな浅部微動活動でなければ乗り越えられず、その結果セグメントが形成されていることが示唆される。

現時点の暫定解析においては、浅部微動カタログに微動ではないイベントが多数含まれていると考えられるため、今後精査を進め、構造との対比、および第1期観測データの結果と比較して議論を進める。

[3] 第2期データを用いた微小地震の震源決定および観測点補正

2021年4月に回収した第2期観測データを用いて、微小地震の震源決定および観測点補正を行った。解析期間は2020年7月30日～2021年4月16日である。トリガ判定されたイベントのうち、観測網の中心観測点におけるS-P時間が10秒未満のイベントを、地震波検測および震源決定の対象とした。震源の求まった地震は172イベントであった。第2期は、1911年M8.0喜界島地震の推定震央〔後藤,2013〕をカバーする観測網であるが(図1)、通常地震活動は低調であることが直上観測により明らかになった。この初期震源に対し、海底の未固結堆積層による走時遅れを補正するため、直達P波と堆積層基盤で生じるPS変換波の到達時刻差を利用して観測点補正値を計算した。堆積層内のP波速度(V_p)と V_p/V_s の最適な組合せ(暫定結果)は $V_p = 2.0$ km/s、 $V_p/V_s = 3.0$ と推定され、このとき走時残差の二乗平均平方根が最小となった。図4に観測点補正後の震源分布を示す。補正前は深さ50-60 kmに決まっていた地震の多くが20 km程度浅く再決定された。フィリピン海プレートの沈み込み方向に沿った断面図(図4下)から、多くは深さ20-40 kmのスラブ内地震であることが明らかになり、プレート境界面上での地震活動はごく一部であった(図4:ピンク○)。この結果は、[2]で前述した浅部低周波微動の顕著な活動が観測されていることと相補的である。通常地震と浅部低周波微動の震央分布を比較すると、両者が棲み分けて発生しているようにも見てとれるが、今後Double-Difference法による高精度相対震源決定を導入するなどした上で検証する必要がある。

[4] 日向灘中部一南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化

本課題では、バースト的な活動を除いたプレート境界域での小繰り返し地震(相似地震)を用い、日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に準静的すべり速度を求め、時間変化について調べてきた。この解析においては、陸域の地震観測点の中長期データを用い、前述の海域地震観測のデータは含まれていない。今年度は、小繰り返し地震の解析方法の見直しを行った。見直しの主な内容は、観測点数の増加(24→26)、島嶼観測点のうち(障害発生時の即時対応が困難なために)専用回線とフレッツ回線の2系統を併設している観測点のデータ(合計6成分)の取扱い、及び領域毎の準静的すべり速度の時間推移の推定方法である。時間推移の推定方法においては、2019年の種子島近海の地震(M6.0)と日向灘の地震(M6.3)の余震の中に多くの相似地震が含まれていたことにより、余震活動の影響が強調されて見かけ上の変化が現れていた点を考慮した。また領域分けについては、準静的すべり速度の時間変化を求める領域分けを、最近の結果を参考にし、相似地震活動が低調な「日向灘北部域」を削除し、トカラ列島東方沖は3領域から4領域に変更した。

見直しの結果、2019年のM6.3(領域B)の余震に含まれる相似地震による見かけ上の顕著な変化は取り除かれた(図5)。ただし見直し後も、領域Dでは2019年のM6.0以降は準静的すべり速度が増加した状態が継続している。また各領域の準静的すべり速度の平均値は、領域E(種子島南東沖)と領域K(トカラ列島南東沖)を除き、1.0~1.5 cm/yr.であった(図5)。領域E(種子島南東沖)では2.1 cm/yr., 領域K(トカラ列島南東沖)では2.0 cm/yr.と有意に大きい。また累積すべり量の時間変化に着目すると、領域D(種子島東方)、E(種子島南東沖)、F(種子島南方)、及びM(奄美大島北東沖)で2015~2019年にかけて、それ以前の期間よりも準静的すべり速度の有意な増加が認められる。一方、領域K(奄美大島北東)を除く11領域では、遅くとも2016年以降は準静的すべり速度が明瞭に増加している(ただし領域Kでは、2010年頃以降に準すべり速度がやや低下しているが周囲の領域よりも準静的すべり速度が大きい)。また、ほとんどの領域で、それ以前の数年~15年間は準静的すべり速度の変化が小さい。

1993~2021年の約28年間の中長期のデータを用い、 $0.15^\circ \times 0.15^\circ$ の小領域毎に求めた平均的な準静的すべり速度とカップリング率の分布を図6に示す。いずれの小領域においてもカップリング率が概ね50%以上であり、日向灘中部から奄美大島にかけての領域は全般的にカップリングが弱いことが改めて示された。このうち、種子島南東沖とトカラ列島東方にカップリング率がより大きい領域が認められる。また、前述した海底地震観測の領域付近には準静的すべり速度は求められておらず、陸上観測点で検出可能な規模の小繰り返し地震活動は無いことが示唆される。なお、その周囲領域のカップリング率は約70%である(領域L)。

[5] 沖縄トラフ北部の地震活動と背弧リフティング

南西諸島北部域のテクトニクスを理解する上で、背弧側の地殻活動を把握することは重要である。2015年11月に薩摩半島西方沖でM7.1の地震(以下、本震)が発生した。沖縄トラフ北部における観測史上最大級の当該地震の発生を受け、2016年4月~2017年4月にLOBSを用いた海底余震観測

が実施された(図7)。本研究では、LOBS(5点)および陸上(7点)の観測データを用いて地震活動解析をおこなった。はじめに、気象庁一元化震源リストから抽出したM2.0以上(一部M2.5以上)の余震に対し、各観測点における地震波到達時を検出し、初期震源453イベントを求めた。観測点補正值は、堆積層基盤で生じるPS変換波を利用して決定し、これを適用して震源再計算した。最後にDouble-Difference法による高精度相対震源決定を行い、最終震源420イベントを得た(図7)。初動発震機構解は、観測点のP波初動の押し引き分布から、2枚の節面の走向・傾斜角を推定し決定した。

震源再決定の結果、余震活動は、本震の北側に南北約60 km並ぶ地震列A、その北端付近で東西に直交する地震列B、地震列Aの東側にほぼ平行して並ぶ地震列Cの3本の明瞭な線状分布を呈することがわかった(図7)。地震列A・Bは深さ約5-10 km、地震列Cは深さ約0-15 kmで発生しており、主に上部地殻以浅での活動であった。地震列A・Cは正断層型、地震列Bは左横ずれ断層型が卓越しており、いずれもNW-SE方向に張力軸をもつ。地震列A・Cは背弧リフティングによる上部地殻の伸張、地震列Bは構造線(断層帯)の存在とトラフ北端部における構造運動にそれぞれ起因すると考えられ、沖縄トラフ北部における新たな構造運動モデルを提案した[柳田・他, 2022, 査読中]。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本課題は、南西諸島北部域における既往の巨大地震の推定震源域にフォーカスし、海底地震計をその付近に投入することで、その場での観測を主体として地震発生を支配する場の解明をめざしている。機動観測を年次的に進めており、「関連の深い建議の項目」の目的達成に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Nagano, A., Y. Yamashita, K. Ariyoshi, T. Hasegawa, H. Matsumoto, and M.

Shinohara, 2021, Seafloor Pressure Change Excited at the Northwest Corner of the Shikoku Basin by the Formation of the Kuroshio Large-Meander in September 2017, *Frontiers in Earth Science*, 8, 583481, *Front. Earth Sci.*, 8, 583481, doi:10.3389/feart.2020.583481

Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita, 2021, Development of a Compact Broadband Ocean Bottom Seismometer, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 3610-3625, doi:10.3389/feart.2020.583481

Yamashita, Y., M. Shinohara and T. Yamada, 2021, Shallow tectonic tremor activities in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, based on long-term broadband ocean bottom seismic observations, *Earth, Planets and Space*, 73, 196, doi:10.1186/s40623-021-01533-x

柳田浩嗣・仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・山下裕亮・松島健・清水洋・内田和也・馬越孝道・八木光晴・森井康宏・中東和夫・篠原雅尚, 2022, 2015年11月に沖縄トラフ北部で発生した地震(M7.1)の余震活動と背弧リフティング, 地震2, 査読中

・学会・シンポジウム等での発表

Ito, A., H. Sugioka, M. Nakano, Y. Yamashita, M. Shinohara, T. Takahashi, D. Suetsugu, and T. Tonegawa, 2021, Moment tensor inversion of shallow very low-frequency earthquakes in the northern Ryukyu subduction zone and the Hyuga-nada region, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG39-P14

仲谷幸浩・八木原寛・山下裕亮・平野舟一郎・中尾茂, 2021, 2021年4月トカラ列島近海の群発地震に伴う緊急海底地震観測, 日本地震学会2021年度秋季大会, S09P-07

Yamashita, Y., Y. Nakatani, H. Yakiwara, S. Hirano, H. Shimizu, T. Matsushima, K. Nakahigashi, T. Yamada, and M. Shinohara, 2021, Ocean bottom seismological observation of shallow slow earthquakes off the east of Kikai Island, Nansei-Shoto (Ryukyu) Trench, International Joint Workshop on Slow Earthquakes, P-09

柳田浩嗣・仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・山下裕亮・松島健・清水洋・馬越孝道・篠原雅尚, 2021, 2015年11月に沖縄トラフ北部で発生した地震の余震活動と背弧リフティング, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS06-P03

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要：

喜界島北東海域に展開した第3期LOBS+CBBOBSを2022年4月中旬に全8台回収し、同航海において新規配置へ8台投入する（第4期観測の開始）。8観測点のうち、1～2点では固有周期120秒または20秒のCBBOBSを再び投入予定である。この広帯域海底地震観測を実施できた場合は、周辺部の構造との比較を進める。

第1期～第3期観測データを用いて、1911年M8.0喜界島地震の推定震源域周辺における地震および相似地震を検出する。また、令和3年度に設置した20kmスパンの海底地震計アレイデータを用いて、期間中に発生した浅部微動の震源決定を実施する。また、令和3年度の観測結果の精査を進め、令和4年度に回収予定のデータの解析結果と共に、浅部微動分布のマッピングを行う。

地殻変動の研究においては、GNSS観測を継続し、北部南西諸島の有限要素モデル化を推進し、北部南西諸島域におけるプレートの固着領域についてGNSSデータを用いて明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

八木原寛（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、仲谷幸浩（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

他機関との共同研究の有無：有

山下裕亮（京都大学防災研究所）、中東和夫（東京海洋大学）、山田知朗（東京大学地震研究所）、篠原雅尚（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：南西島弧地震火山観測所

電話：099-244-7411

e-mail：yakiwara@km.kagoshima-u.ac.jp

URL：http://bousai.kagoshima-u.ac.jp/nansei-toko/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：八木原 寛

所属：南西島弧地震火山観測所

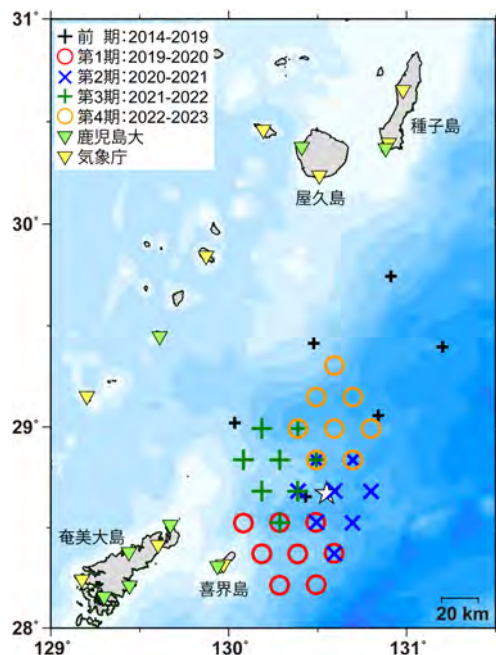


図1：南西諸島北部域における海底および島嶼域の地震観測点配置
青×は2021年度に回収した第2期、緑+は新規投入した第3期の観測点をそれぞれ示す。橙○は2022年度に

観測開始予定の第4期、赤○は第1期、黒+は前期計画の観測点である。白☆は1911年M8.0喜界島地震の想定震源〔後藤, 2013〕を示す。その他は南西諸島北部域における定常地震観測点である。

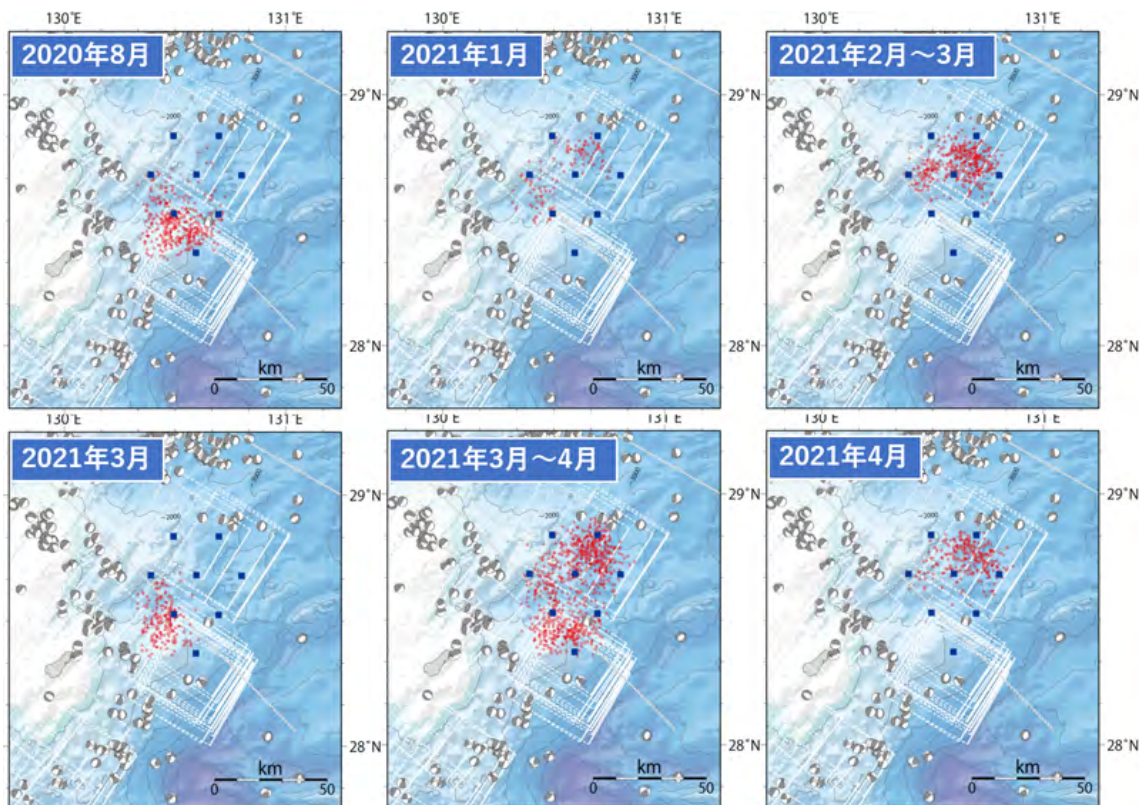


図2: 第2期観測で得られた浅部微動のエピソード毎の震央分布

赤○は震源決定された浅部の震央分布、□は第2期観測のLOBS観測点である。バックグラウンドの白線・白点線で囲まれた矩形はNishimura (2014) の短期的SSEの矩形断層を示す。

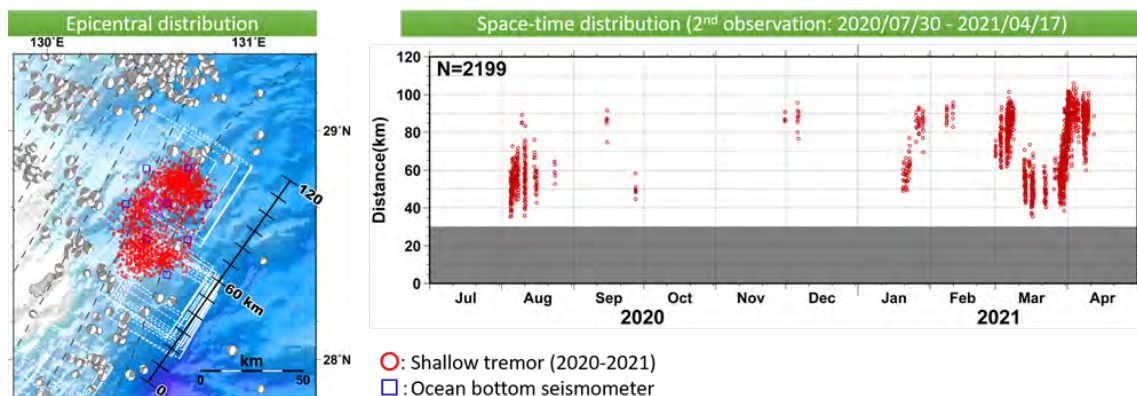


図3: 浅部微動の震央分布と時空間分布

震源決定された浅部微動を赤○で示す。震央分布図の□は第2期観測のLOBS観測点である。またF-netのMT解を重ねて示した。

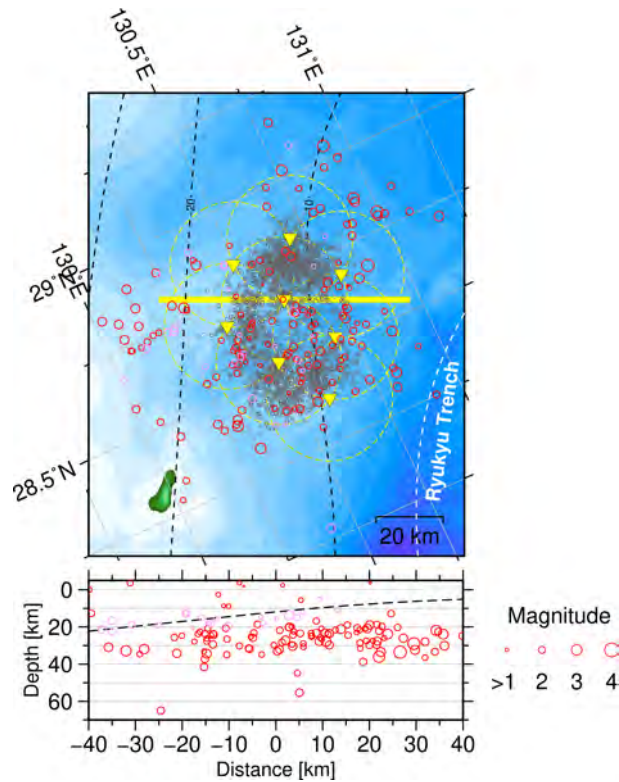


図4：第2期観測で得られた震源分布

(上) 観測点補正後の震央分布 (赤○およびピンク○)。このうちピンク○はプレート境界深度 [黒破線、Iwasaki et al. (2015)] から±5 kmの範囲の地震である。灰○は第2期に観測された浅部低周波微動、黄▽は第2期LOBSを示す。黄破線は各LOBSを中心とした半径20 kmの円で、この範囲の震源決定精度は十分であるといえる。黄太線は図2下の深さ断面図における基準面 (±40 km幅の地震を投影) である。

(下) フィリピン海プレートの沈み込み方向に沿った震源の深さ断面図。図2上の黄太線から±40 kmの幅にある震源が投影されている。シンボルは図2上と同様である。

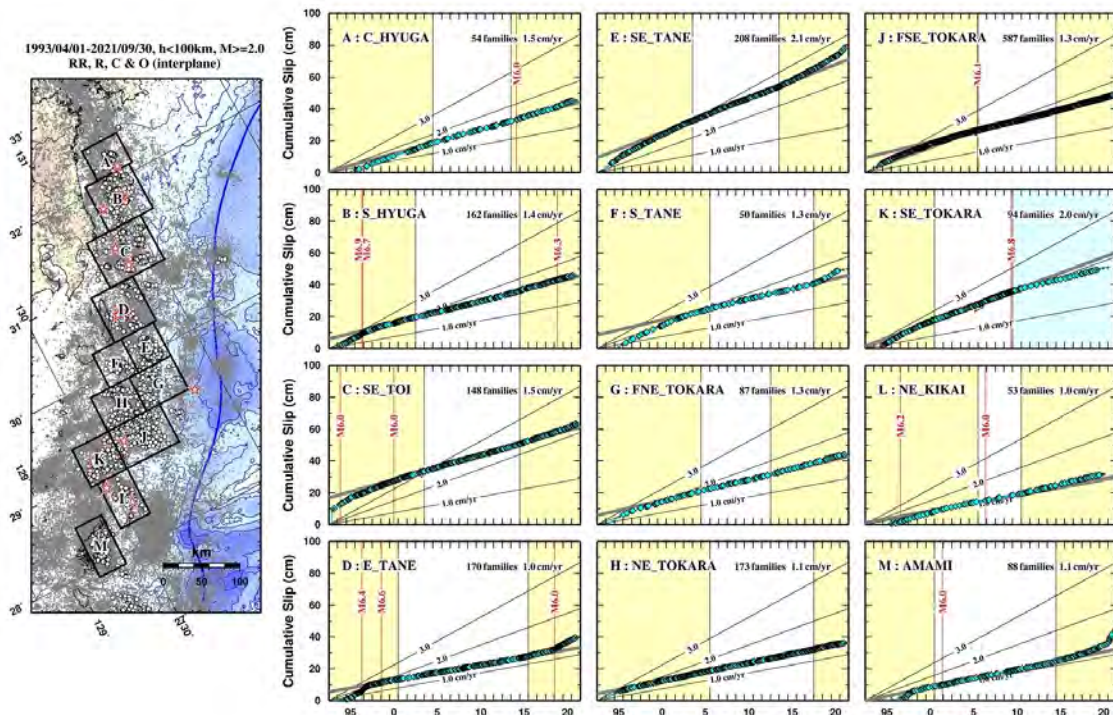


図5：小繰り返し地震の解析による日向灘から奄美大島近海に至る12領域毎の累積すべり量の時間変化
 淡黄色と薄青色はそれぞれ、準静的すべり速度が平均よりも大、小の期間であることを示す。各図の右上には、領域毎の準静的すべり速度の平均値とそれを求めるために用いた小繰り返し地震群数を記した。縦赤線は、1993年以降に発生したM6.0以上のプレート境界地震の発生時を示す。

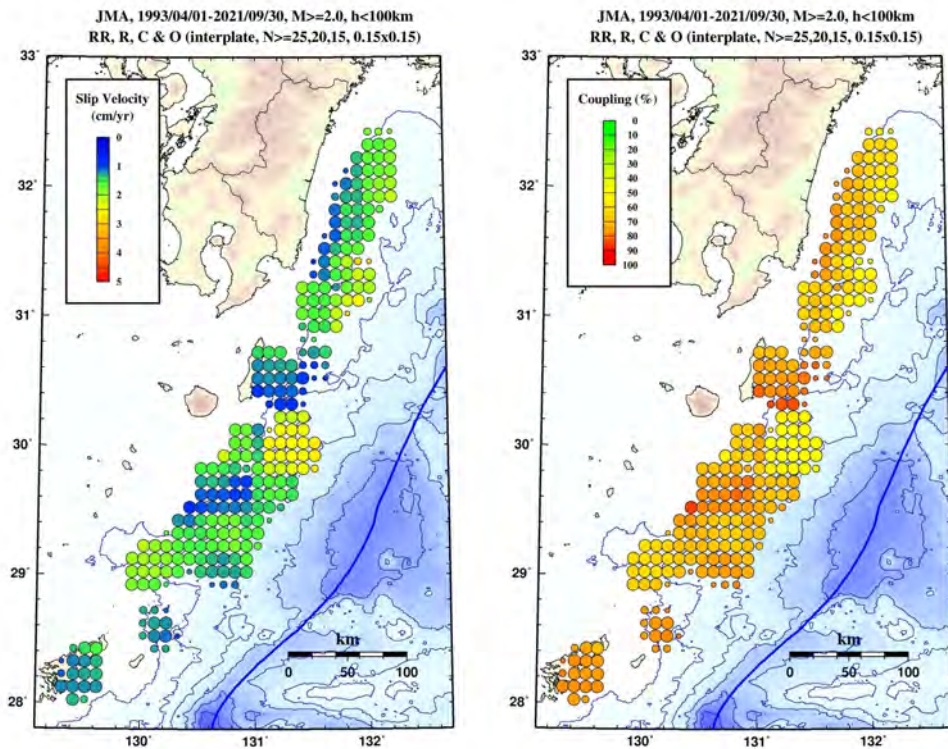


図6：日向灘から奄美近海に至る領域における平均的な準静的すべり速度
 1993～2021年の中長期のデータから得られた準静的すべり速度の分布（左）、及びカップリング率の分布（右）を示す。

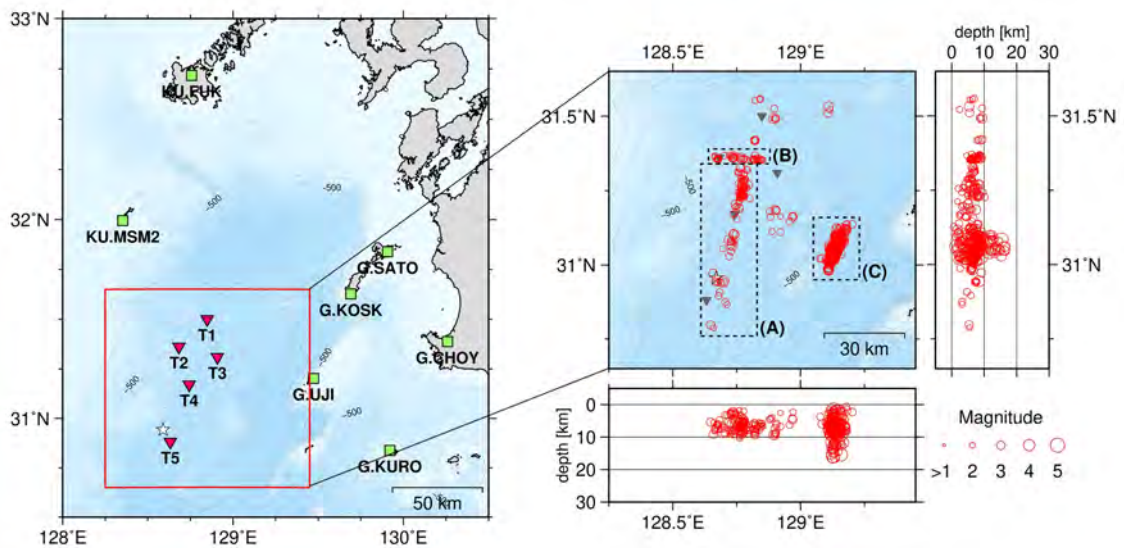


図7：沖縄トラフ北部における2015年M7.1地震の余震観測および余震活動
 （左）本研究で用いた地震観測点配置。▽がLOBS、□が陸上観測点である。☆は2015年11月に発生し

たM7.1地震の震央（鹿児島大学南西島弧地震火山観測所による）を示す。

（右）震源再決定による最終震源分布（2016年4月12日～2017年4月16日）。A・B・Cは特徴的な地震列を示す。その他は図3左と同様である。

(1) 実施機関名：

神戸大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

鬼界海底カルデラにおけるマグマ供給系の構造・進化の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

40km³以上のマグマを噴出する「巨大カルデラ噴火」は今後100年で約1%の確率で発生し、その危険値（＝想定犠牲者数×発生確率）は海溝型巨大地震・首都直下地震と同程度の、典型的な低頻度大規模火山現象である。従って、この噴火を引き起こすマグマ供給系の構造と進化並びに活動度の理解と把握は我が国にとって喫緊の課題である。しかしながら、日本列島で地質記録が比較的揃っている過去12万年間に巨大カルデラ噴火を起こした7座の火山で、現在巨大カルデラ噴火につながる可能性のあるマグマ溜りの存在（位置と形状）すら確認できていない。その最大の原因の1つは、陸域火山ではマグマ溜りの確認に有効な大規模稠密構造探査が困難なことにある。

そこで神戸大学では2016年から、附属練習船「深江丸」を用いて海洋研究開発機構などと連携して我が国で唯一海域に存在し、最も直近（7300年前）に巨大カルデラ噴火を起こした「鬼界海底カルデラ」の地球物理学的観測・探査を開始し、カルデラ形成後に巨大溶岩ドームが形成され、それは現在も活動的であることを確認した。

一方で、巨大噴火とカルデラ形成を繰り返す巨大カルデラ火山におけるマグマの進化過程は、岩石学に残された未解決問題の1つであるとともに、その解明は巨大カルデラ火山の活動予測を行う上でも重要な束縛要件を与える。これまでの研究で、巨大カルデラ噴火を起こす中間組成～フェルシクなマグマには、マントルのみならず、下部・上部地殻の物質が関与することが示されている。従って、そのマグマの進化過程の詳細を理解するには、微小域同位体比・微量元素分析法を用いて斑晶鉱物に記録されたマグマ組成の時間変化を読み解き、地球物理学的に得られたマグマ供給系の構造と合わせた包括的な進化モデルの提案が必要不可欠である。

以上の背景、研究の重要性を鑑みて、神戸大学では「鬼界海底カルデラ」に焦点を当てて、以下の点を5年間で明らかにすることを計画している：

a) 海底電位差磁力計などを用いた鬼界カルデラ下のマグマ供給系のイメージング

b) 稠密反射法地震探査、陸上地質調査、ピストンコアリングによる、少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火のマグマ噴出量の推定

c) ドレッジ、簡易ドリリングなどによる海底岩石及び陸上試料の物質科学的解析による、マグマ供給系進化の解明

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題の目標を達成するために、神戸大学の附属練習船「深江丸」による探査航海を毎年実施し、稠密反射法地震探査と海底電位差磁力計の設置・回収を行う。一方、ピストンコアリング、ドレッジや簡易ドリリングによる試料採取は、海洋研究開発機構の調査船を用いて行う予定である。得られた試料の物質科学的解析は、陸上地質調査により得られた試料を含めて毎年継続的に行う。

海底電位差磁力計（OBEM）による電磁気トモグラフィでは、比抵抗構造の推定により、巨大カルデラ火山のマグマ溜り等の溶融体を含む構造を正確に把握することに重点を置く。具体的には、4台のOBEMの設置・回収を毎年繰り返すことにより、巨大カルデラ火山を横切る2次元測線と山体を覆う面的な観測点での長期海底地磁気観測を実施する。このデータ解析により、巨大カルデラ火山全体の大局的な2次元比抵抗構造と、山体下の上部マントルまでの3次元比抵抗構造を推定する。これにより、マントルダイアピルの規模を把握するだけでなく、深部の部分融解ゾーンやマグマ溜りを把握する。

反射法地震探査を稠密な測線で毎年実施することにより、1) 貫入岩体と、2) 少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火の噴出物と考えられる堆積層の、空間分布や総量の把握を行う。

1) では、二重のカルデラ縁に沿って複数の脈状貫入岩体が存在することを確認しており、この空間分布をより正確に理解する。さらに、これらの岩石試料の採取を、ドレッジや簡易ドリリングにより実施する。得られた岩石については主成分・微量成分・同位体比分析を行い、これらの組成をこれまでに我々が明らかとした鬼界カルデラ地域の岩石の化学的特徴と比較することでカルデラ形成前後のマグマとの成因関係を明らかにする。

2) では反射法地震探査で見いだされた各堆積物層を認定し、その連続性を使って各層の空間分布を把握する。このうち、主に鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積物を対象にピストンコアリングを実施する。得られた堆積物については火山ガラス組成の分析を行い、 SiO_2 量の異なる2種類の火山ガラスを含むことが特徴的な鬼界アカホヤ噴火噴出物との対比を行い、鬼界アカホヤ噴火の噴出物であることを確認する。この同定対比結果と反射法地震探査で明らかにする堆積物層の平面的な広がりや層厚から、海底に堆積した鬼界アカホヤ噴火噴出物の量を推定する。この海底堆積物量と既知の陸上の堆積物量を基に、鬼界アカホヤ噴火の総噴出量を推定することにより、世界で初めて巨大カルデラ噴火に伴う総噴出物量の精密推定を行う。鬼界アカホヤ噴火より古い噴火の噴出物と考えられる堆積層についても、可能な限り試料採取を試みてその分析も行い、鬼界アカホヤ噴火と同様の解析を試みる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

九州の南の海域に位置する鬼界海底カルデラを対象にした研究航海により、長期海底観測機器の回収・設置と、航走観測、試料採取を行った。また、鬼界海底カルデラ周辺の島においても地質調査を行った。一方、これまでの研究航海により取得した地球物理学的観測データの解析と、堆積物・岩石試料の物質科学的解析を進めた。

海洋研究開発機構の研究船「かいめい」によるKM21-05航海（7月19日～8月1日）により、海底磁力計(OBM)7台の回収と、海底電位差磁力計(OBEM)8台の設置を行い、この新たに設置したOBEMにより海底電磁気観測を行っている（図1）。これらのOBEMは、令和2年度10月に海洋研究開発機構の研究船「かいらい」KR20-11航海で設置し、同3月に神戸大学の練習船「深江丸」航海で回収した機器である。また、回収したOBMはKR20-11航海で設置したものである。さらに、本年度10月に薩摩硫黄島と竹島に、12月に黒島の陸上にそれぞれ磁力計を設置し磁場観測を行っている。

研究船「かいめい」によるKM22-01航海（1月6日～1月19日）では、航走観測と、海底設置型掘削装置（BMS）を用いた海底掘削、無人探査機（ROV）を用いた海底観察及び地質試料採取を行った。航走観測では、カルデラ北から西にかけてサブボトムプロファイラーのデータを取得した。一方、海底掘削は2地点において実施した（図1）。1地点目は外側カルデラ壁の北東部で、反射法地震探査によって貫入岩体ではないかと考えられる岩体が地下に存在すると推定された地点である。2地点目は種子島の西方沖約21kmの地点で、鬼界アカホヤ噴火で発生した大規模火砕流堆積物分布の南東方向末端部であることが反射法地震探査によって確認されている。ROVによる海底観察は外側カルデラ内南東のBMS掘削候補地点とカルデラ南西にある台地地形で実施した。海底観察では適宜、マニピュレーターとプッシュコアを用いた岩石と未固結堆積物の試料採取を行った。

鬼界海底カルデラ周辺の黒島、薩摩硫黄島、竹島において地質調査を行った。黒島では鬼界葛原噴

火については長瀬火砕流に相当する堆積物が確認できたが、鬼界アカホヤ噴火については幸屋火砕流に相当する堆積物は確認できず、アカホヤ火山灰のみが確認できた。薩摩硫黄島では鬼界葛原噴火と鬼界アカホヤ噴火の間の時代の堆積物（籠港降下テフラ）を採取した。竹島においては海岸に露出する堆積物層序の対比を行い、長瀬火砕流堆積物および幸屋火砕流堆積物を採取した。

取得した地球物理学的観測データの解析を進めた。反射法地震探査およびサブボトムプロファイラーのデータによって長瀬火砕流に相当する堆積物の分布を把握するため、「ちきゅう」CK20-S01 Leg2航海の掘削で得られた結果と層序を対比して解釈を進めた。また、幸屋火砕流に相当する堆積物の層厚変化や内部構造に着目して運搬堆積様式を検討した。さらに、回収した長期海底観測機器により観測された電磁場データの解析を進め、カルデラ下の地殻・マントル比抵抗構造の推定を引き続き行っている。

堆積物・岩石試料の物質科学的解析は、神戸大学と海洋研究開発機構で進めた。「新青丸」KS-19-17航海と「かいいい」KR20-11航海で採取したピストンコア試料とドレッジ試料、「ちきゅう」CK20-S01 Leg2航海で採取した掘削試料について、全岩化学組成分析および火山ガラスの化学組成測定を進めた。全岩化学組成分析では、これまでの噴出物試料の組成データに新たにコアとドレッジによる試料のデータが加わり、鬼界火山全体のマグマの多様性および噴火活動ステージにおける特徴が明らかになった。3つの大規模噴火のマグマの化学的特徴が明瞭に異なり、また、それ以外の小規模噴火のマグマも大規模噴火のマグマと化学的特徴が異なっている。「ちきゅう」で採取した掘削試料においては、その中に含まれる長瀬火砕流堆積物と幸屋火砕流堆積物に相当する堆積物を対象に粒度分析を行い、竹島で採取したこれらの火砕流堆積物の粒度分布との比較を行った。その結果、掘削地点が比較的給源近傍（カルデラ縁から約5.5km）であるにも関わらず、海底に堆積した堆積物が強い級化（淘汰度と中央粒径の低下）を受けたことが明確になった。また掘削試料およびピストンコア試料に含まれる火山ガラスの化学組成分析を行い、陸上の火砕流堆積物との対比や、カルデラからの距離に伴う特徴の変化などを調べ、海域で発生した大規模火砕流の運搬堆積様式を検討した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

カルデラ噴火を引き起こした火山のマグマ供給系を明らかにするために、複数の海底において長期電磁気観測を実施してその観測データを取得することができた。これらのデータ解析を進め、カルデラ下の地殻・マントル比抵抗構造の推定を進めている。また、九州の他のカルデラ火山（阿蘇、始良）の岩石学的・地球化学的研究との対比を行い、鬼界カルデラにも共通する性質として、多様な組成のマグマが基本的に同一の起源物質より生成されることを明らかにした。さらに、カルデラ火山のマグマ過程の普遍性を明らかにする研究を進めている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

清水 賢・島 伸和・中岡 礼奈・鈴木 桂子・清杉 孝司・金子 克哉・松野 哲男・巽 好幸,2021,鬼界カルデラ・アカホヤ噴火による水中火砕堆積物の堆積様式,日本地球惑星科学連合2021年度大会予稿集,SVC28-20

中岡 礼奈・鈴木 桂子・清水 賢・金子 克哉・島 伸和・清杉 孝司・羽生 毅・巽 好幸・CK20-S01 Leg2乗船研究者一同・KS19-17 乗船研究者一同・KR20-11 乗船研究者一同,2021,鬼界アカホヤ噴火噴出物の陸上及び海底堆積物の対比,日本地球惑星科学連合2021年度大会予稿集,SVC28-21

金子 克哉・羽生 毅・中岡 礼奈・清杉 孝司・島 伸和・松野 哲男・山本 揚二郎・羽入 朋子,2021,Drilling of Kikai caldera volcano for elucidation of magma plumbing system and flow-

deposition processes of large ignimbrite,日本地球惑星科学連合2021年度大会予稿集,MIS18-13

浅井 ゆう子・島 伸和・羽入 朋子・松野 哲男・廣瀬 仁・南 拓人・杉岡 裕子,2021,鬼界海底カルデラ付近で得られた海底圧力観測の初期的な結果,日本地球惑星科学連合2021年度大会予稿集,SCG45-13

羽入 朋子・清水 賢・山口 寛登・森田 結子・島 伸和,2021,重力異常から推定される鬼界カルデラ周辺の地殻構造,日本地球惑星科学連合2021年度大会予稿集,SVC28-06

清杉 孝司・巽 好幸・鈴木 桂子・金子 克哉・中岡 礼奈・山本 由弦・清水 賢・島伸和・松野 哲男・菊池 瞭平・山口 寛登・羽生 毅,2021,鬼界海底カルデラにおける物質科学的研究の現状,海と地球のシンポジウム2021,1-1

中岡 礼奈・鈴木 桂子・清水 賢・金子 克哉・島 伸和・清杉 孝司・松野 哲男・巽 好幸・羽生 毅・宮崎 隆・Maria Luisa G. Tejada・上木 賢太,2021,海底の鬼界アカホヤ噴火堆積物の特徴,海と地球のシンポジウム2021,1-4

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

研究航海により、令和3年度に設置したOBEM、OBM、および、令和2年度に設置したOBMを、令和4年度2月までに回収予定である。そして、既に得られている、および、回収予定の機器に記録されている電磁気データの解析を進め、巨大カルデラ火山下の地殻・マントル比抵抗構造の推定を行う。

研究航海における掘削とピストンコアで得られた堆積物試料、ドレッジおよび陸上で採取された岩石試料による岩石試料の物質科学的解析を進め、鬼界火山において活動したマグマの成因、マグマの化学的变化のメカニズム、マグマ供給系の進化過程について考察を行う。また、特に2回の大規模噴火の噴出物と考えられる堆積物については、掘削とピストンコアにより得られた試料と陸上で採取した試料の堆積構造や構成物の記載、化学組成分析、粒度分析、古地磁気測定による定置温度の推定などを進め、これらの特徴やその分布などから運搬堆積様式についての検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉岡裕子（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、島伸和（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、巽好幸（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、松野哲男（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、中東和夫（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門/東京海洋大学）、清水賢（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、佐野守（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、井和丸光（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、鈴木桂子（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、金子克哉（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、清杉孝司（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、中岡玲奈（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、木村純一（神戸大学海洋底探査センター火山学部門/海洋研究開発機構）

他機関との共同研究の有無：有

小平秀一 他9名（海洋研究開発機構海域地震火山部門）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海洋底探査センター

電話：078-431-4620

e-mail：kobec-office@research.kobe-u.ac.jp

URL：http://www.k-obec.kobe-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：島 伸和

所属：理学研究科惑星学専攻 / 海洋底探査センター

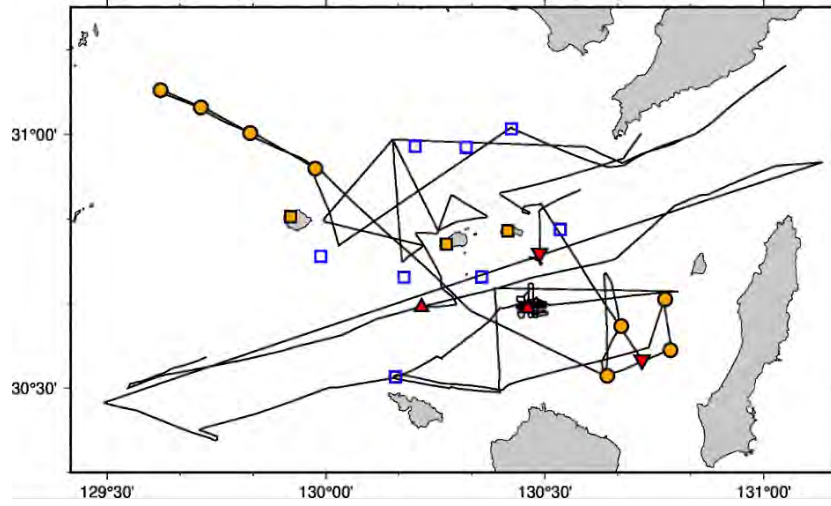


図 1

赤下三角はBMS掘削点、赤上三角はROV調査域、黒線は「かいめい」KM21-05、KM22-01航海でのサブボトムプロファイラーの調査測線、オレンジ丸印は設置中のOBEM、オレンジ四角は陸上に設置中の磁力計、青四角は回収したOBMを示す。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

有感地震記述ならびに震度の距離減衰式に基づく地震活動解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

有感地震記述ならびに震度の距離減衰式に基づく地震活動解析には、(ア) 距離減衰式(等)の震度再現手法の構築と検証、(イ) 日記等に記述されている有感地震記録の品質(均質性や完全性)の調査ならびに(ウ) 近年の震度データを用いた地震活動変化の分析・調査が重要である。そこで、それぞれの項目に対する研究計画について以下に述べる。

(ア) 距離減衰式(等)による震度再現性の検証

Matsu'ura et al. (2020, BSSA) によって構築された震度の距離減衰式は、田中・他(2017)からパラメータが変更されている。そこで更新されたパラメータを用いて、震度ならびに有感地震回数の再現性の再検証を実施する。震度計算には、防災科学技術研究所による地震ハザードステーション(J-SHIS)における表層30mにおける平均S波速度(AVS30)を用いる。近年、AVS30の推定に用いられる微地形区分が更新されており、AVS30が更新された場合には、同様に最新のものを使用する。太平洋プレート、フィリピン海プレート上面の地震、スラブ内地震ならびに地殻内地震に対して上記の計測震度の多次元距離減衰式は構築されている。そこで、近年に発生した中規模以上の地震(且つ距離減衰式の構築には用いられていない地震)を対象に、それぞれの地震タイプに対して構築された距離減衰式と観測された震度分布の残差分布について統計的解析を実施しその特徴を整理することで、震度分布に基づく地震の類型化に向けた基礎的研究を継続する。また、実際の歴史地震に対する震度分布に適用し、その類型化を試みる。

(イ) 日記等に記述されている有感地震記録の品質(均質性や完全性)の調査

令和2年度には、『津軽藩御日記』、『榊原藩日記』ならびに気象庁震度データベース等を用いて過去400年間にわたる江戸・東京の有感地震回数の変遷について論じ、二つの日記史料と気象庁震度データベースの震度2以上をあわせて推定した有感地震数は、得られる全てのデータを活用した宇佐美(1980)に比べて時間的な変化が少なくより均質なデータであることを示した(Satake and Ishibe, 2020, SRL)。『津軽藩御日記』や『榊原藩日記』には天気の記述があり、これが均質性あるいは完全性を議論する上での基礎データとなったが、引き続き日記史料等における有感地震記録の均質性あるいは完全性に関する調査・検討を実施する。

(ウ) 近年の震度データを用いた地震活動変化の分析・調査

令和元~2年度には、気象庁震度データベースを用い、既往研究によって報告されている様々な地震活動変化(大地震の発生、地震活動の活発化(群発的地震活動を含む)・静穏化、グーテンベルク・リヒター則のb値変化等)が有感地震数の時空間的特徴に及ぼす影響について、調査した(石辺・他, 2020, 歴史地震研究会)。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震後に東北地方内陸で活発化

した群発的活動では、近傍の観測点で有感地震数の増加が認められる一方で、その周辺の観測点では増加程度が小さい傾向が見られた。また、2011年東北地方太平洋沖地震前の地震活動の静穏化と対比される有感地震数の顕著な低下が宮古市鉾ヶ崎等の観測点で見出された。さらに、群発的活動を伴う房総沖スロースリップイベント（SSE）の発生域に近い勝浦市墨名では、GNSS観測から既に発生が報告されているSSE以前の履歴を示唆する有感地震数の顕著なピークが見られることを示した（石辺・他，2018，日本地震学会秋季大会）。これらの調査を継続し、史料中の有感記録への適用可能性を引き続き検討する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

Matsu'ura et al. (2020, BSSA) によって構築された震度の距離減衰式は、田中・他（2017）からパラメータが変更されたため、更新されたパラメータを用いて、震度ならびに有感地震回数の再現性の再検証を実施し、震度ならびに有感地震回数が精度良く再現できることを確認した。なお、震度の再現性に関する計算には、防災科学技術研究所による地震ハザードステーション（J-SHIS）における表層30 mにおける平均S波速度（AVS30）を用いた。太平洋プレート、フィリピン海プレート上面の地震、スラブ内地震ならびに地殻内地震に対して上記の計測震度の多次元距離減衰式は構築されている。そこで、近年に発生した中規模以上の地震（且つ距離減衰式の構築には用いられていない地震）を対象に、それぞれの地震タイプに対して構築された距離減衰式と観測された震度分布の残差分布について統計的解析を実施しその特徴を整理することで、震度分布に基づく地震の類型化に向けた基礎的研究を継続した。気象庁震度データベースを用いた予察的検討結果について、歴史地震に出版した（石辺・他，2021）。令和2年度に『津軽藩御日記』、『榊原藩日記』ならびに気象庁震度データベースを用いて纏められた江戸・東京の有感地震回数と、江戸時代の限られた期間に記された日記史料中に記述された有感記録との比較に着手した。近年の震度データを用いた地震活動変化の分析・調査を継続し、史料中の有感記録への適用可能性を引き続き検討するとともに、有感地震記録を用いた歴史時代の地震活動解析に向けた今後の課題等について整理した（石辺・佐竹，2021）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

石辺岳男・松浦律子・古村美津子・赤塚真弓・岩佐幸治・田力正好・佐竹健治・榎原雅治,2021,有感記録ならびに震度の距離減衰式に基づく地震活動解析に向けて－気象庁震度データベースを用いた予察的検討－,歴史地震,31,111-125

石辺岳男・佐竹健治,2021,江戸・東京における有感地震回数の変遷－歴史時代の地震活動解析へ向け－,地震ジャーナル,72,1-13

・学会・シンポジウム等での発表

松浦律子・石辺岳男・岩佐幸治,2021,東北地方東方沖の大粒地震がプレート間かプレート内かを見分ける簡単な方法,Japan Geoscience Union Meeting 2021,SSS06-04

石辺岳男・五島朋子・中村亮一・片桐昭彦・室谷智子・佐竹健治,2021,気象災害であった可能性が高い1092年（寛治六年八月三日）の越後の大波,第38回歴史地震研究会（オンライン苦小牧大会）,O-25

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

石辺岳男（地震予知総合研究振興会）,松浦律子（地震予知総合研究振興会）,古村美津子（地震予知総合研究振興会）,赤塚真弓（地震予知総合研究振興会）,田力正好（地震予知総合研究振興会）,岩佐幸治（地震予知総合研究振興会）

他機関との共同研究の有無：有

榎原雅治（東京大学史料編纂所）,佐竹健治（東京大学地震研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震予知総合研究振興会 地震調査研究センター

電話：03-3295-1502

e-mail：ishibe@erc.adeq.or.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石辺 岳男

所属：地震予知総合研究振興会 地震調査研究センター

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

古地磁気学を用いた火山活動推移の検討とマグマ供給系の変遷モデルの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

火山地質学における火山噴火予測や火山防災・減災への貢献として、過去の噴火堆積物に注目して、それらの層序から噴火推移を明らかにすること、さらに噴出物の堆積状況から噴火様式・堆積過程を解明することがあげられる。また、岩石学では、噴火推移に対応したマグマ供給系の変遷を解明することが可能である。

申請者は、これまでの地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究において、北海道中央部の大雪山と北海道東部の雌阿寒岳の噴火活動に注目して、火山地質学・岩石学的な検討から噴火推移やマグマ供給系の変遷を明らかにする研究を行っている。その成果の一つとして、大雪山の中央部にある御鉢平火山の噴火活動の推移が明らかとなった（Yasuda and Suzuki-Kamata, 2018; Yasuda et al., 2020）。また、雌阿寒岳についても噴火活動の概要が明らかになりつつある（佐藤・他, 2019, 2020）。しかし、御鉢平火山については、噴火活動に対応したマグマ供給系の変遷、雌阿寒岳については噴火活動の詳細において未だに明らかにできていない点がある。

したがって、本研究においては、これまでの研究を継続して行うとともに、大雪山御鉢平火山については、岩石学的な検討から噴火活動推移に対応したマグマ供給系の変遷を明らかにすること、雌阿寒岳については、古地磁気学を用いて噴火様式・堆積過程、そして火山活動推移モデルの構築を目指す。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

大雪山御鉢平火山については、現地調査を行い噴火推移の再検討を行った。さらに、採取した噴出物の岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行った。今後、鉱物化学組成分析を行い、噴火推移に対応したマグマ供給系の変遷を明らかにする予定である。また、今年度の成果として噴出物中に炭化木片を発見し、 ^{14}C 年代測定を行った。年代値は暦年校正年代で35000年前となり、これによって御鉢平カルデラの形成年代を明らかにすることができた。

雌阿寒岳については、14000年前に流出した火砕流堆積物について山頂部と山麓の噴出物を古地磁気方位によって対比する調査を実施した。今回、山頂部1地点、山麓3地点で試料採取を行った。露頭での噴出物の観察では、山頂部と山麓では見た目が大きく異なる。しかし、山麓の2地点は山頂部と同じ古地磁気方位を示し、これらは同時期の噴出物であることが明らかとなった。また、山麓の1地点は、山頂部および他の山麓の2地点とは異なる古地磁気方位を示した。したがって、山麓の1地点は、山頂部および他の山麓の2地点とは異なる時期の噴出物である。これらの結果から、14000年前に火砕流を流出した活動は複数回あったことが明らかとなった。今後、岩石学的な検討を用いて雌阿寒岳についてもマグマ供給系の解明を進める予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本研究では、古地磁気方位を用いて、火山噴出物の対比を試みた。その結果、雌阿寒岳では、山頂部と山麓で露頭での噴出物の見た目は異なるが、同時期に噴出したものと判断することができた。また、これまで岩石学的な特徴が同じであるため、同時期に噴出したと考えられていた噴出物についても、古地磁気方位を明らかにすることで、実は異なる時期に噴出したことが明らかとなった。古地磁気方位を用いて火山噴出物を対比することは、火山噴火推移を明らかにする上で重要な手法であり、噴火推移モデルを確立するという目的に貢献できるものである。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

安田裕紀,2021,長期間(>1000年)にわたって複数回の噴火で形成された間宮岳テフラリング：古地磁気学的検討,地球惑星科学連合(JpGU)2021年大会,SVC30-01

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐藤鋭一（北海道教育大学 旭川校）

他機関との共同研究の有無：有

安田裕紀（北海道大学大学院理学研究院）,中岡礼奈（神戸大学海洋底探査センター）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道教育大学 旭川校

電話：0166-59-1315

e-mail：sato.eiichi@a.hokkyodai.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐藤 鋭一

所属：北海道教育大学 旭川校

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震先行VLF帯電磁波強度減少研究のための超小型衛星のエンジニアリングモデル及びフライトモデルの製作

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

将来の地震先行現象観測研究を低コストで実現するための超小型衛星の宇宙実証を目的とした地震先行現象検証超小型衛星Prelude (Precursory electric field observation CubeSat demonstrator)の地上試験モデル（エンジニアリングモデル）及び宇宙実証モデル（フライトモデル）の開発研究を実施する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ミッションデザインおよび概念設計に基づき、実現性を確認するためのエンジニアリングモデル(EM)の製作を行ない、目的を達成するには6Uサイズ(10×20×30cm)のCubeSatで実現可能とわかった。DEMETER(130kg)で得られた成果を超えるミッションを、6U(10kg程度)のCubeSatで実現できることが確認できた。現時点で衛星のBBM(新規技術要素を有する開発において、設計の実現性を確認するために高価な宇宙用の部品ではなく、地上の一般用部品や材料を使用して製作・試験されるモデル)の設計・製作は完成まで70%の段階にあるが、コロナウイルスの影響で、衛星製作作業はほとんど進展せず、一部部品の購入を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

飯田智之,2021,航行用VLF電波の軌道上データを用いた地震先行現象検知検証衛星のミッション設計の提案,日本大学理工学部航空宇宙工学科卒業論文

・学会・シンポジウム等での発表

山崎政彦,2021,地震先行電離圏変動現象検知のためのCubeSatのエンジニアリング・モデル製作：衛星バス・サブシステムの統合,第十一回気象文化大賞

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

児玉哲哉（宇宙航空研究開発機構）

他機関との共同研究の有無：有

山崎政彦（日本大学 * 大学院生）, 柳原大輔（日本大学 * 大学院生）, 佐藤匠（日本大学 * 大学院生）,
飯田智之（日本大学 * 大学院生）, 神田浩佑（日本大学 * 大学院生）, 山田啓侃（日本大学 * 大学院生）,
鴨川 仁（静岡県立大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット

電話：050-3362-7257

e-mail：kodama.tetsuya@jaxa.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：児玉 哲哉

所属：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

行政等が所有する宏観異常現象に関わるデータを用いた地震発生の確率予測

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

宮城県所有の漁海況調査データについては、デジタル化が終了した定点観測3地点の海水温データについて、前年度に1978年宮城県沖地震前の顕著な異常変化の有無を生データにより検討した。本年度は、引き続き紙ベースのデータのデジタル化作業を進める。

鯨類マス・ストランディングについては、改訂された新たなカタログを用いて地震との対応を調べる。

前年度は、コロナ禍のために実施を見送った新潟県村上市での湧水水質調査の過去データ入手および現地聞き取り調査を行う予定である。

2011年東北地方太平洋沖地震前の漁獲異常については、月単位のデータのため本震直前の変化まではわかっていない。そこで、2011年3月の日毎データの入手を試みる。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2021年3月26日に「みやぎ水産NAVI」のホームページが改修され、漁海況調査データの一部がホームページから直接ダウンロードできるようになった。このサービスを利用して、1978年から2011年までの定置水温のデータを入手した。そして、2011年東北地方太平洋沖地震（マグニチュード：M9.0）前の顕著な水温データ異常の有無を調べた。Fig.1 は2004年4月1日から2011年3月11日の2011年東北地方太平洋沖地震までに発生したM7.0以上の地震と定地水温の観測点を示している。また、Figs.2-5 は各観測点の午前と午後の水温データと午前と午後の水温データの差を示している。水温は午前10時と午後3時に計測されている。これら水温データの右端の M7.3 M9.0 が2011年東北地方太平洋沖地震になるが、いずれの水温データにも顕著な先行異常は見られなかった。

漁獲については、「みやぎ水産NAVI」のホームページに2017年からの水揚日報（日別の漁獲量）が掲載されていた。残念ながら2011年まで遡ることは、ここではできなかった。

2021年4月26日に、NEWSポストセブンが民間会社によるゴールデンウィーク中の地震予測情報（MEGA地震予測）を発信した

(https://www.news-postseven.com/archives/20210426_1654811.html?DETAIL)。これは、年に数回発信されるものなので例年通りのことではあるが、今年は2021年5月1日10時27分ごろ宮城県

沖でマグニチュード6.8（暫定値）の地震が発生した。最大震度5強の地震だったため、「予測的中」とするコメントがこの予測情報を掲載したヤフーニュースのコメント欄に散見された。本研究では「社会との共通理解の醸成と災害教育」に関連して、このコメントから投稿した人たちの地震予測情報に対する意識を探ることとした。

収集したデータ（ヤフーコメント）を5月1日地震前と地震後に分けて、MEGA地震予測に好意的、批判的、どちらか不明の3つに分類した。なお、分類作業は本研究代表者一人による手作業で行われた。その際、時間をおいて二度実施することで恣意的判断の軽減に努めた。5月11日までに投稿された全コメント（リプライコメントも含む）は512あり、地震前は460（好意的: 15%, 批判的: 51%, 不明: 34%）、地震後は52（好意的: 31%, 批判的: 44%, 不明: 25%）であった。地震後に好意的コメントの割合が増えたのは、予測的中を主張したい人が増えたからではないかと考えられる。

Figs.6,7 は好意的および批判的コメントの内容を大別し、その割合を示したものである。地震前の好意的コメントからMEGA地震予測肯定派の多くは「予測内容を信用」と「注意喚起として容認」といった理由で、MEGA地震予測を信用しているとの結果になった。一方、批判的コメントから否定派は予測エリアが広すぎるなどの理由から「当たって当然」と考えている人が多いことがわかった。

日本が地震国であることや東北地方は地震が起こりやすいことなど、地震に関する知識があれば広範囲に予測を出すことにより、単純に考えれば、当たる確率は高くなる。織原・長尾(2015)は、MEGA地震予測は予測を乱発している可能性があるとしている。言い換えるなら「下手な鉄砲数打ち当たる」である。そのようなことから否定派が「当たって当然」と考えるのは妥当であろう。一方、肯定派では「予測内容を信用」のコメントが最も多かったが、予測のもととなる観測データについて、川崎・加藤(2016)は、MEGA地震予測は様々な誤差を無視してGPSの観測点位置情報を地面の動きそのものと見なしていると指摘している。このように、観測データの解釈に誤りがあるにも関わらず「予測内容を信用」してしまうのは、こうした指摘を知らないだけでなく、地震や統計に関するリテラシーに問題がある（リテラシーが低い）からではないかと考えられる。

今回の予測は東北エリアをはじめ5つのエリアが警戒エリアになっていた。5つのうち1つが当たりになるが4つははずしている。また、東北エリアは5段階ある危険度のうち3で、より危険度が高かったエリアでは地震はなかった。NEWSポストセブンには過去のMEGA地震予測の記事が残っており、過去3年分計12回の記事を調べたところ、東北エリアは常に警戒エリアになっていた。つまり、地震があれば絶対に当たることになっていただけに過ぎない。こうしたカラクリを知れば「予測内容を信用」する人も減るであろう。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

横山(2020)によれば、MEGA地震予測の有料会員は5万人もいるとのことである。そのなかに、本調査で「予測内容を信用」とコメントした人も含まれているかもしれない。有料会員になってしまう人たちは、地震や統計に関するリテラシーが低い可能性があるが、かつて有料会員だった否定派は「日本中がほぼ一年中警戒エリアだった」とコメントしていた。確度の高い地震予測（地震予知）はできないことを世間に周知することも大切だが、いかがわしい地震予測のカラクリを見抜くための地震や統計の簡単な知識を社会に広めることも必要である、といったことが本研究で確認された。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

織原義明,2021,ヤフーコメントから探る民間の地震予測を信じる理由,日本地震学会2021年秋季大会予稿集,S18-03

織原義明,2021,これからの地震予知研究に関する一考察,日本地震予知学会第8回学術講演会アブストラクト集,21-14

・学会・シンポジウム等での発表

織原義明,2021,ヤフーコメントから探る民間の地震予測を信じる理由,日本地震学会2021年秋季大会,S18-03

織原義明,2021,これからの地震予知研究に関する一考察,日本地震予知学会第8回学術講演会,21-14

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

織原義明（東京学芸大学教育学部）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京学芸大学教育学部
電話：042-329-7489
e-mail：orihara@u-gakugei.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：織原 義明
所属：東京学芸大学教育学部

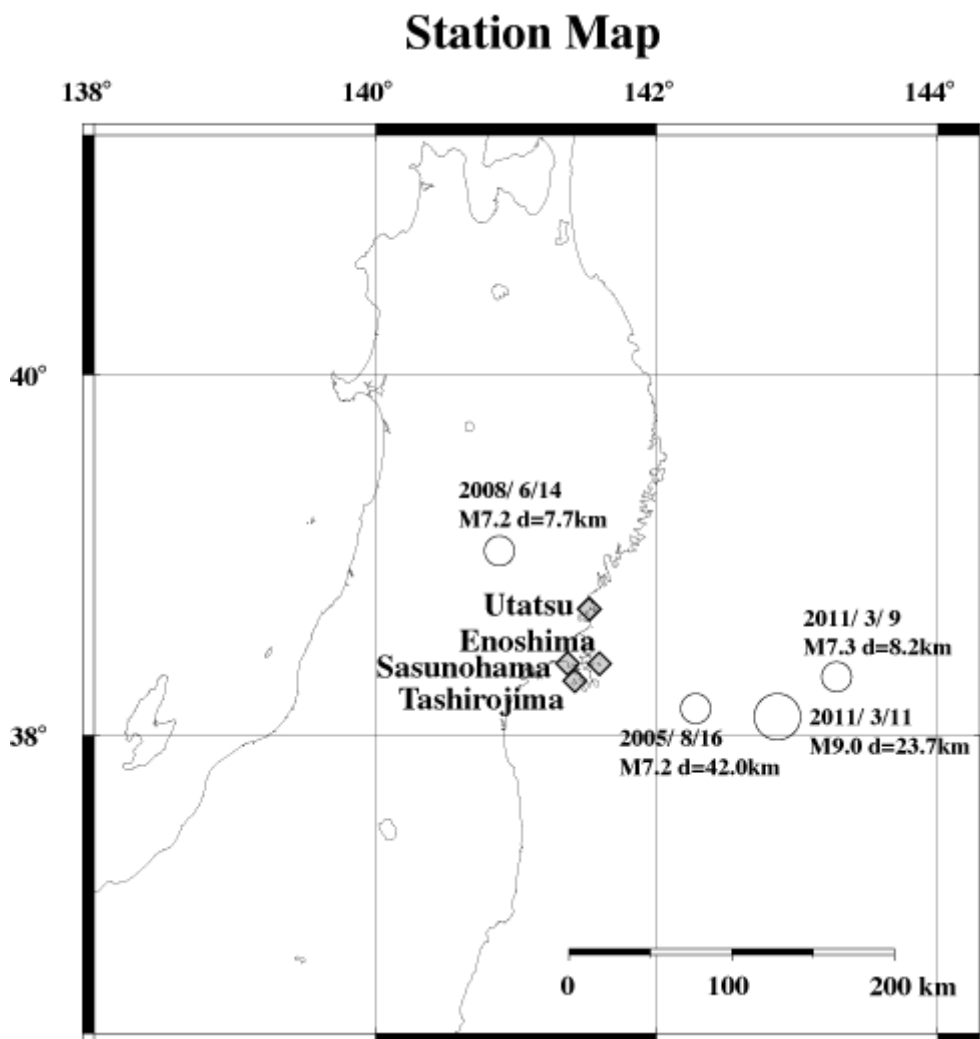


Fig.1 観測点とM7以上の地震

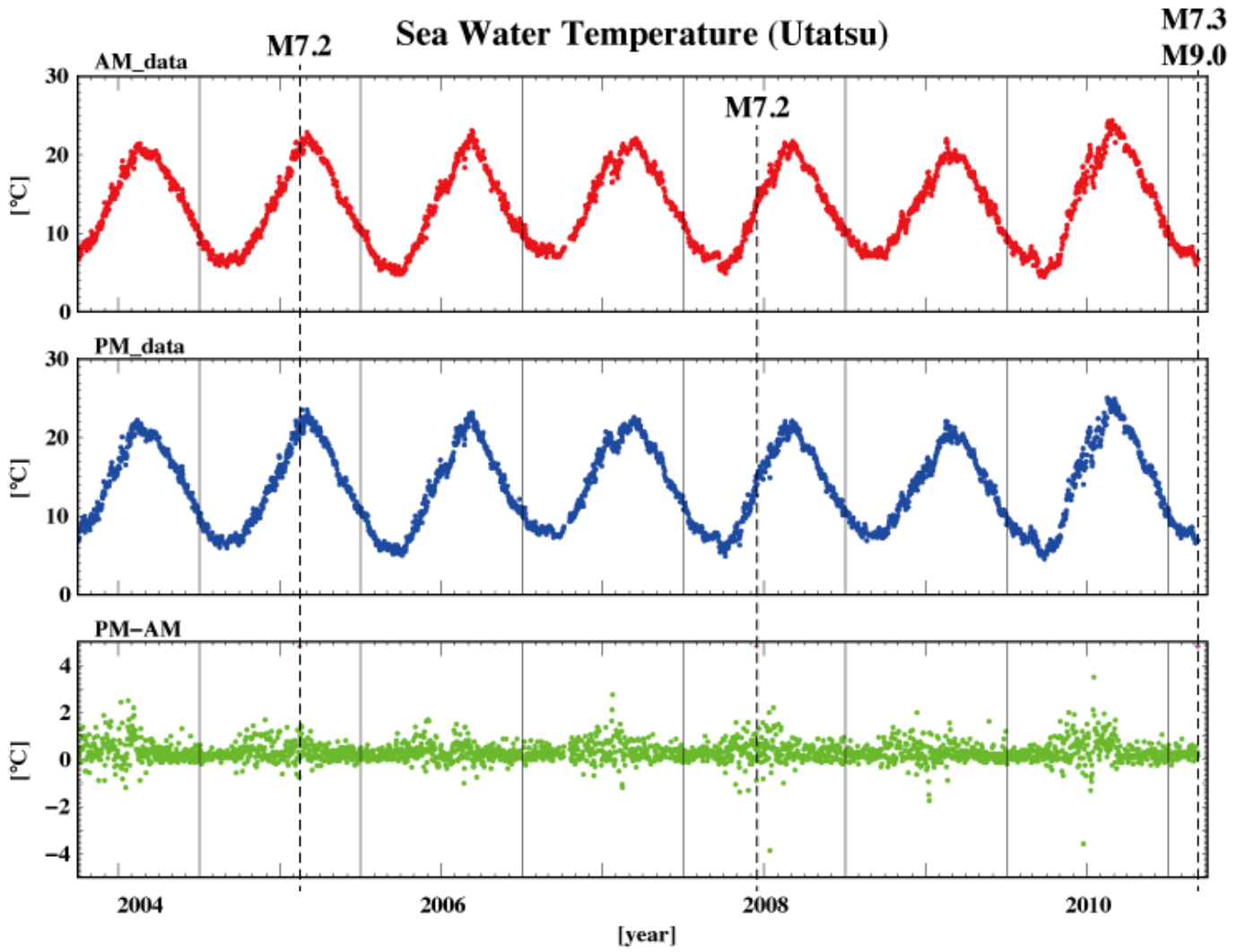


Fig.2 水温データ (歌津)

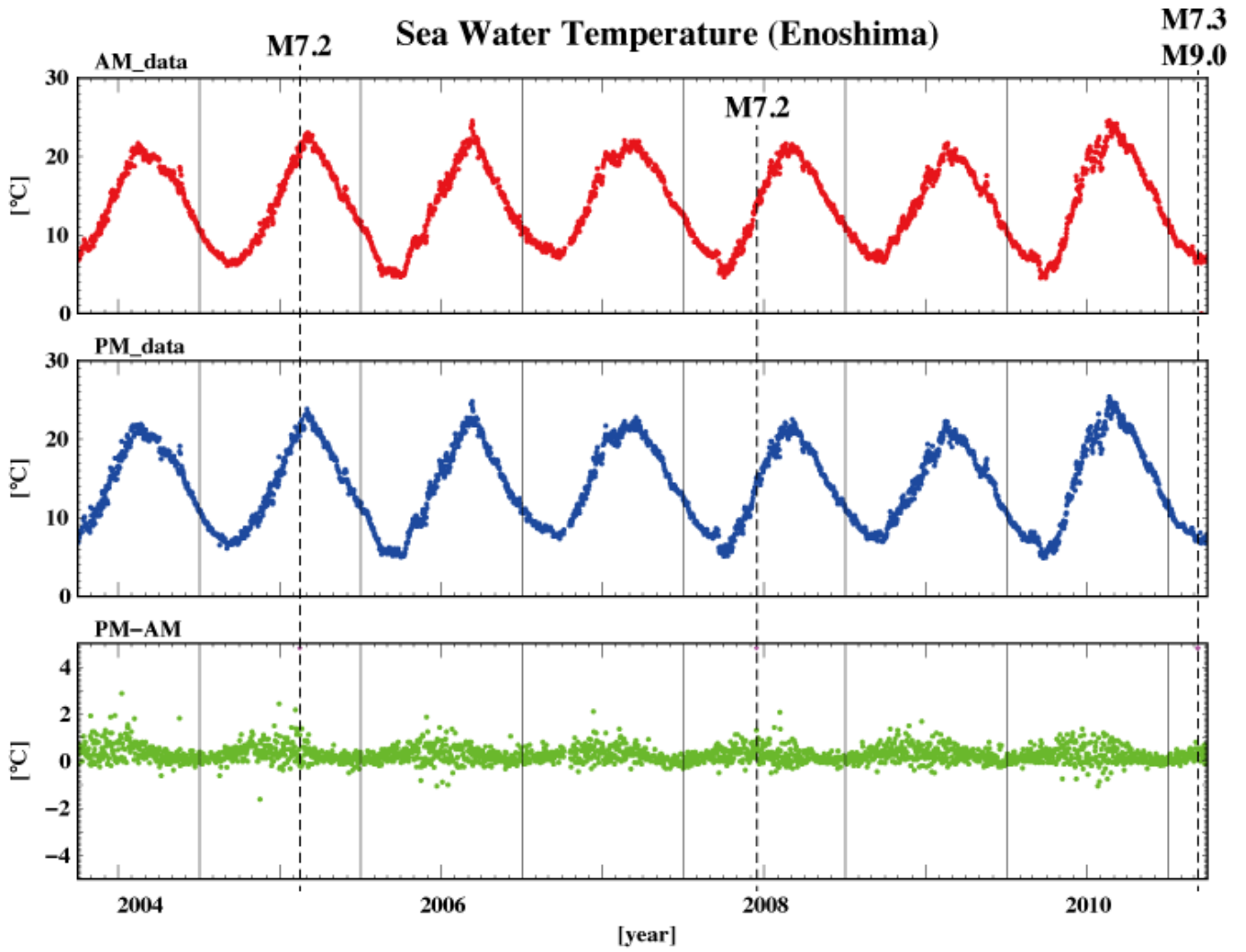


Fig.3 水温データ (江島)

Sea Water Temperature (Sasunohama)

M7.3

M9.0

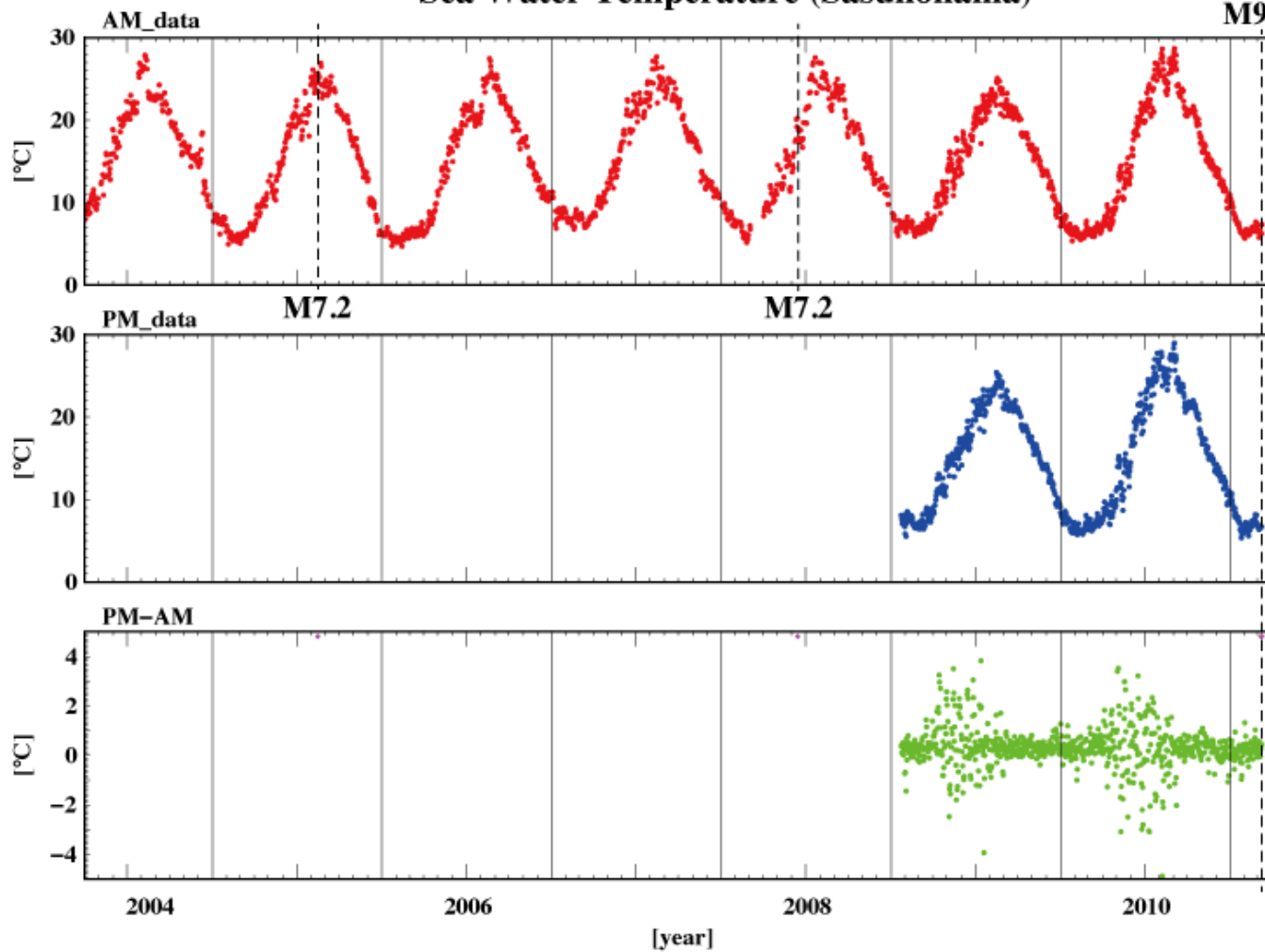


Fig.4 水温データ (佐須浜)

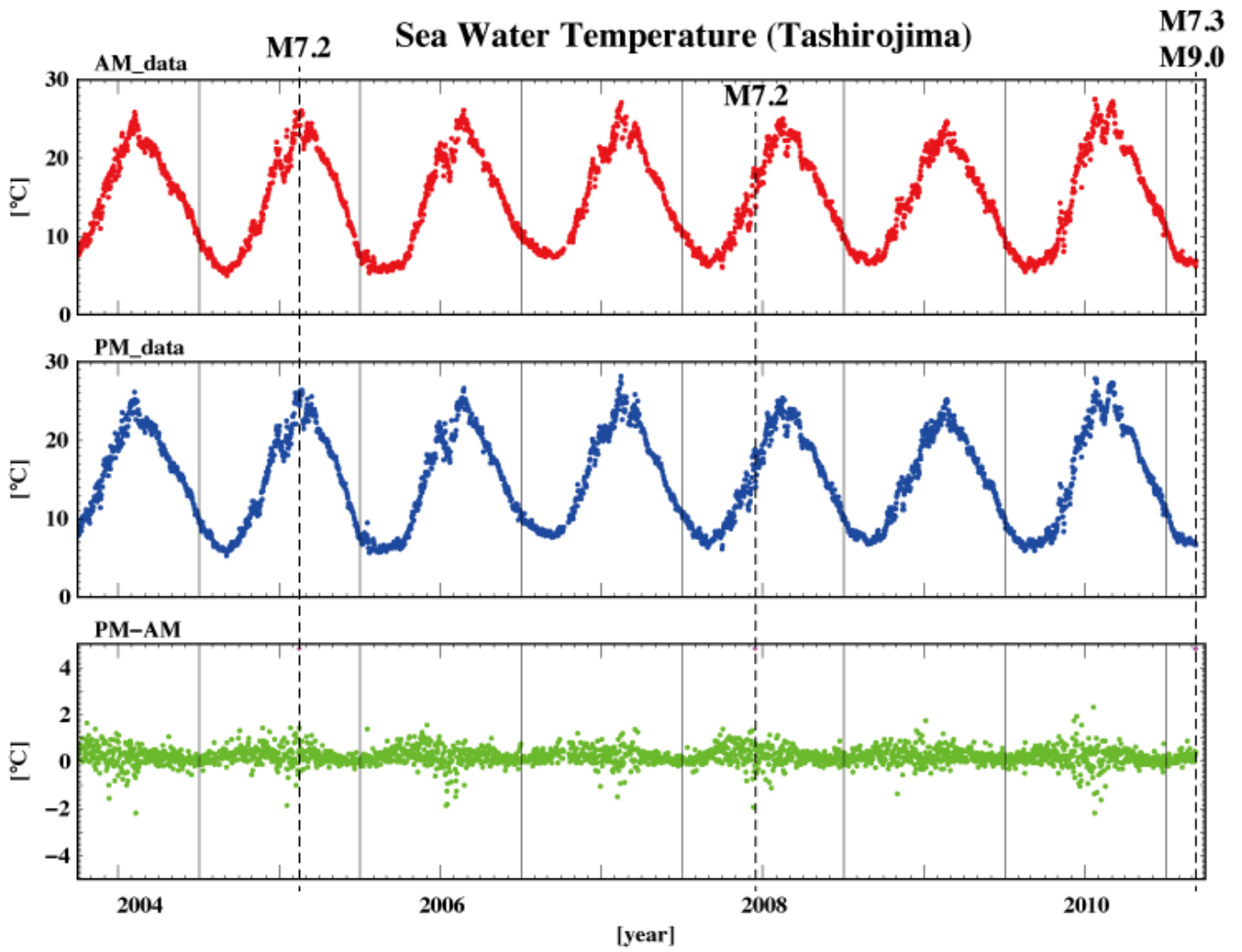


Fig.5 水温データ（田代島）

2021年5月1日宮城県沖の地震（暫定M6.8）前のコメント分類

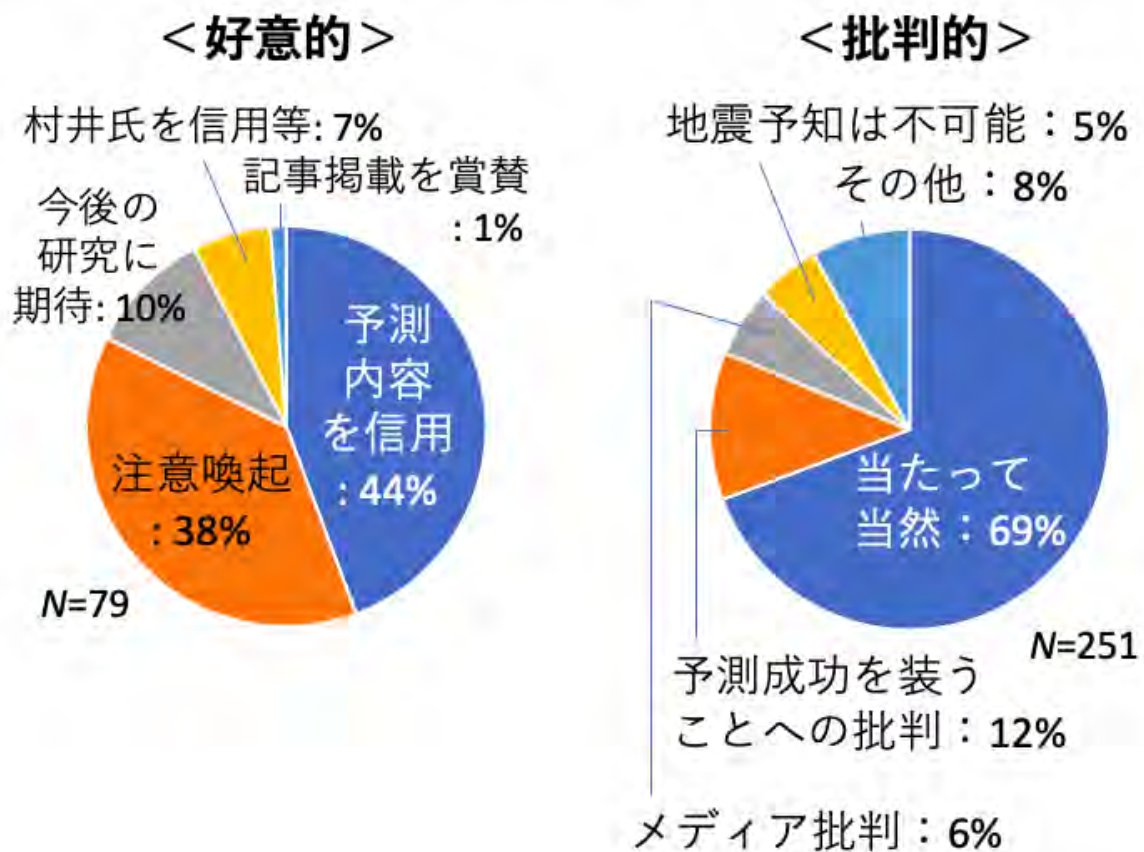


Fig.6 コメント分類（地震前）

2021年5月1日宮城県沖の地震（暫定M6.8）後のコメント分類

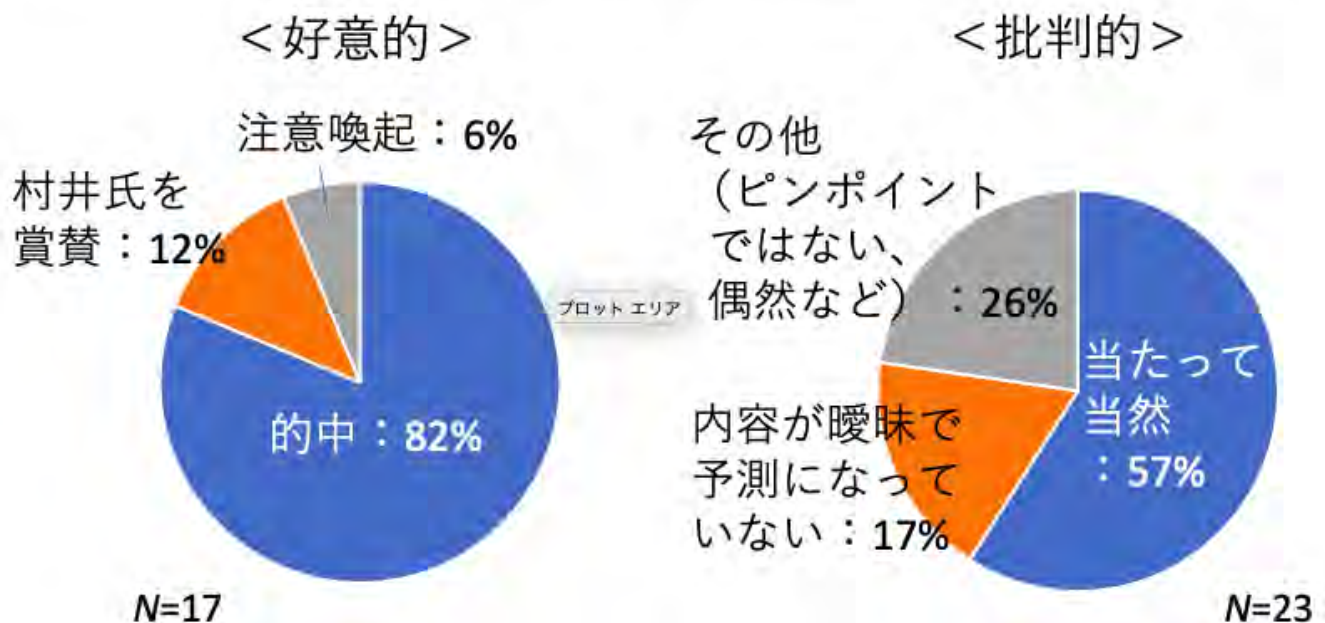


Fig.7 コメント分類（地震後）

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震先行VLF帯電磁波強度減少の多角的解析による評価と発生メカニズムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

1) 本研究の出発点となっている「地震発生4時間前の強度減少現象」の統計処理が妥当であるか、投稿をする前に固める必要がある。Nemecらの計算では事例数の確保のために思い切った統計的な仮定をしており、一方我々の追計算では、Nemecらの点を改善し仮定はないものの結果の空間情報が僅かだが失われている。いずれの結果も概ね同じと見なせる結果であるが、違いもあるためその違いについて立ち戻って理解をする必要がある。

2) 「本現象のモニターをするには電離圏を断続的に変化させる雷ではなくVLF航行用電波ではできないか？」という問題に取り組む。

雷自身も下部電離圏を擾乱させるという問題に対し、定常的に電波が送信されているVLF帯航行用（潜水艦用）電波であれば、解析できる地域は限られるが、下部電離圏が擾乱することなしで、本現象が雷電離圏擾乱のみの起源か否かの判断ができる。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) Nemecらの計算と我々の計算結果の比較を行った。その結果、いずれの結果も地震発生4時間前の強度減少は震央距離330 km以内には明瞭に見られたことから同一の結果が得られたと言ってもよい。我々の計算手法は空間的情報が若干失われるが、Nemecらのような特別な仮定を用いて統計解析を行っていないため、本研究の結果から、Nemecらの結果は統計的ゆらぎではないことはわかった。一方、データ使用期間を変えると計算結果が1%未満であるが変わるのでその点は注意が必要である。

2) VLFの電波としてオーストラリアのNWC (19.8 kHz)と欧州3カ国の電波 (16.4, 18.3, 19.6 kHz)を解析対象とした。地震については、夜間かつ震源の深さ40 km以内、震央から500 km以内地震発生4時間前のM5以上の地震を解析対象とし、これらの条件を満たす衛星軌道を32軌道取り出した。参照軌道は、地震に関係する軌道と緯度経度が±10度以内、Kp指数が同一のグループに属すものを選んでいく。参照軌道と地震軌道を比較したとき地震軌道の電場強度が参照軌道から得られた強度の-σを下回るものは25軌道あった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

飯田智之, 山崎政彦, 鴨川仁, 2022, 地震発生前直前の人工電波と雷電波の衛星軌道上電磁波強度減少について, 第100回日本大気電気学会研究発表会, PB1-4

本山真, 山崎政彦, 鴨川仁, 2022, 地震発生前の大気電場変動モデルの検討, 第100回日本大気電気学会研究発表会, PB2-6

Tomoyuki IIDA, Ryo FUTAMATA, Masahiko YAMAZAKI, Masashi KAMOGAWA, 2021, Design and Development of Prelude, Satellite for Seismic Precedence Detection and Verification Using VLF Radio Waves for Navigation Obtained in Orbit, The 35th Annual Small Satellite Conference, 262

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

鴨川仁 (静岡県立大学グローバル地域センター)

他機関との共同研究の有無: 有

児玉哲哉 (宇宙航空研究開発機構研究開発部門), 金井龍一 (ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドン数理科学物理科学部)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 静岡県立大学グローバル地域センター

電話: 052-245-5600

e-mail: kamogawa@u-shizuoka-ken.ac.jp

URL:

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名: 鴨川 仁

所属: 静岡県立大学グローバル地域センター

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

水蒸気噴火が懸念される火山におけるマグマ起源流体の挙動解明と火山活動評価

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

草津白根山，吾妻山，箱根山，霧島硫黄山，那須岳など，将来水蒸気噴火が起こり得る火山で，繰り返し火山ガス，火口湖水，温泉水などマグマ起源物質を含む試料を採取・分析することで，火山体内における火山性流体の挙動を解明し，火山活動を評価する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

箱根山

箱根山の大涌谷地熱地帯において，ほぼ毎月火山ガスを三か所の噴気孔（n，s，c）で採取・分析した。噴気のHe/CH₄比に着目すると，2015，2017，2019，2021年に火山活動の極小期が出現したと考えられる。各極小期後に活動期が開始したと考え，活動期におけるHe/CH₄比の上昇速度を比較すると，2021<2017<2019<2015年の順序で高く，2021年の活動は2017年の活動と同程度か，より規模が小さいと考えられる。

2021年7月から8月にかけて，cのHe/CH₄比は急激に増加したが，その傾向は継続せず，12月にかけて増減を繰り返している。nのHe/CH₄比は，2021年8月から11月にかけて緩やかに上昇し，12月に減少した。sのHe/CH₄比は，2021年8月から12月にかけて緩やかに上昇した。2021年7月から8月にかけて，cのCO₂/H₂S比は急激に上昇し，その後は10月まで緩やか上昇したが，10月から12月にかけて低下した。nのCO₂/H₂S比は10月から12月にかけて緩やかに上昇した。sのCO₂/H₂S比は10月から11月にかけて明瞭に上昇したが，12月に低下した。sの噴気は火山活動とは関わりなく上昇する場合がある。CO₂とH₂Sを比較すると，H₂SはCO₂よりも水に対する溶解度が大きく，火山ガスが地下で地下水と接触することによりH₂Sが選択的に地下水に溶解し取り去られ，2021年11月のCO₂/H₂S比が上昇した可能性が考えられる。2021年7月から10月にかけて，cのSO₂/H₂S比に明瞭な上昇が観測されたがその傾向は継続せず，11月には減少に転じた。nとsでSO₂/H₂S比は2021年12月まで低い値が維持された。2013年から現在までの期間で，4回の極小が以下の時期に観測されている：2015年2月，2017年4月，2019年2月，2021年5月。噴気nについて，それぞれの極小期を始点としたHe/CH₄比の上昇速度を検討した。極小期に続く活動期におけるHe/CH₄比の上昇速度は，

以下の順で高かった：2021<2017<2019<2015年。 2015, 2017, 2019年の極小期後の半月当たりの気象庁観測による地震回数の最高値は、それぞれ、1303, 8, 142回であった。2015, 2017, 2019年における極小期後の活動期における地震回数最大値の順序は、He/CH₄比上昇速度の順序と一致しており、2021年の活動期における今後の地震回数の最大値は、2017年の活動期と同程度か少ないと予測される。2021年12月1日から15日にかけて発生した火山性地震の回数は19回であり、2021年の活動期における予測される地震回数に近い可能性がある。

霧島硫黄山

2021年6月と12月に霧島硫黄山で噴気の採取・分析を実施した。霧島硫黄山は2018年4月の水蒸気噴火以降、火山活動は穏やかになり、全体的には噴気に含まれるマグマ起源成分であるSO₂の濃度は最盛期より低下した。しかし一部の噴気のSO₂/H₂S比やH₂Oの酸素同位体比は、2020年11月から2021年12月にかけて上昇しており、今後、火山活動が活発化する可能性は否定できない。

草津白根山

2021年4, 8, 10月に、草津白根山で繰り返し噴気を採取・分析した。白根山山頂北側の地熱地帯で採取された2つの噴気では、2021年8月から10月にかけてドライガス中のH₂S濃度が上昇した。これらの噴気では、2021年8月から10月にかけてHe/H₂S比およびCO₂/H₂S比は低下した。このことから、湯釜直下に存在する熱水溜り供給されるマグマ成分の流量は、2021年8月から10月にかけて低下傾向にあると推定される。殺生河原噴気のHe/H₂S比は、2018年から2021年8月までほぼ一定であったが、2021年8月から10月にかけて顕著に上昇した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

大場武, 谷口無我, 沼波望, 豊島誠也, 2021, 箱根火山噴気化学組成の時間変化, 日本火山学会秋季大会, B2-06

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大場武（東海大学）, 沼波望（東海大学 * 博士課程）, 豊島誠也学（東海大学 * 博士課程）

他機関との共同研究の有無：有

谷口無我（気象研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東海大学・理学部

電話：0463-58-1211

e-mail：takeshi_ohba@tokai-u.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大場 武

所属：東海大学・理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山ガス観測による焼岳火山の活動評価とガス輸送システムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

1963年噴火以降静穏な状況が継続している焼岳は、活発な噴気活動の続く噴火の可能性の高い活火山である。本研究では噴気の物理・化学的観測を行い、現在の活動について評価するとともに、マグマ溜まりから地表までのガス輸送システムについて考察することで、山体内部のマグマ-熱水系を推定する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、山頂南噴気孔、1962-63火口噴気の研究を継続するとともに、これまで噴気の勢いが弱く噴気採取を行っていなかった山頂ドーム東の醇ヶ池火口の噴気から試料採取を行い、また山頂南西の岩坪谷噴気の観測も行い、より広域の噴気を研究対象とした。さらに1962-63噴気の凝縮水が同位体分別効果を被っていることから、山頂北側斜面で湧出する温泉水の採取を行い、地球化学的検討を加えた。自然電位観測では、昨年の測線を南北に延長し、南北約6kmの電位観測結果を得た。

北峰南噴気の温度は令和2年度の観測で約95度と、それ以前の値と比較して約20度の温度低下が認められていたが、今年度の観測では再び100度を超える値が得られ、噴気の勢いにも回復が認められた。化学組成に大きな変動は認められなかったものの、過去6年の観測データが蓄積された結果、2017年と2019年の空振を伴う火山性地震のイベントの前後で若干の組成変化が見られる可能性が明らかとなった。

しかし、これらの組成変化がマグマ活動と関係があるかについては、今後さらにデータを蓄積することで検討を加えていく必要がある。今回新たに採取した噴気の化学組成から、噴気孔の違いによる組成のバリエーションが示された。山頂付近の半径500m以内程度の範囲でも、火山体浅部の構造の違いを受けて、噴気の地球化学的特徴が異なっている可能性が考えられる。山頂北側斜面で採取した温泉の水の同位体組成は、地域天水の値とほぼ同じ値を示し、1962-63噴気と同位体分別を被った重い温泉水の影響を確認することはできなかった。

電位観測の結果から、山体の北側と南側で大きく異なる電位分布を有することが明らかとなった。南側はV字の電位プロファイルを示し、地形効果の影響と、山頂下への熱水上昇の影響を示していると考えられる。一方、北側は高い電位の状態が継続し、大きな電位の下降が見られなかった。北側に位置する割谷山噴出物やその周囲に分布する花崗岩類や付加体堆積物などの地質構造の影響を被っている可能性がある。また北側斜面の1962-63下降付近を中心とした正の電位異常が認められた。1962-63火口下への熱水上昇を示していると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齋藤武士（信州大学学術研究院理学系）、羽田野天誠（信州大学大学院総合理工学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

大見士朗（京都大学防災研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：信州大学 学術研究院理学系

電話：0263-37-2484

e-mail：saito@shinshu-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齋藤 武士

所属：信州大学 学術研究院理学系

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

北海道摩周周辺における火山活動の時間変化に関する地球化学的調査

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

摩周付近での野外調査を行うことで、温泉の遊離ガスやアトサヌプリの噴気を採取し、化学組成やヘリウム・アルゴン・炭素・窒素等の揮発性元素の同位体組成を分析する。そして令和元年度公募研究課題「北海道摩周周辺における火山熱水活動の地球化学的調査」（代表者：鹿児島渉悟）と令和2年度公募研究課題「北海道摩周周辺における火山熱水活動の変動に関する地球化学的調査」（代表者：鹿児島渉悟）で得られた遊離ガス・噴気のデータや、摩周湖の観測結果（Igarashi et al., 1992, EPSL）などとの比較を行うことで、現在の摩周周辺における火山活動度の時間変化について推定を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究および、令和元年度公募研究課題「北海道摩周周辺における火山熱水活動の地球化学的調査」（代表者：鹿児島渉悟）と令和2年度公募研究課題「北海道摩周周辺における火山熱水活動の変動に関する地球化学的調査」（代表者：鹿児島渉悟）を通じて、アトサヌプリ・和琴温泉で2017年から2021年にかけて採取された試料に含まれる大気成分を補正したヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)は2020年11月を除きほぼ等しく、2017年に摩周湖の底層で観測された火山性成分を含むと考えられる流体（Kagoshima et al., 2019, Goldschmidt Abstracts）や、Rouilleau et al. (2015, Chemical Geology) が報告した十勝岳や雌阿寒岳における噴気に近い値を持つことが確認された。2020年11月時点のアトサヌプリの噴気に含まれる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は他の時期と比較して低い値を持ち、一時的な熱水系状態の変動を検出した可能性がある。また令和元年度・2年度の研究課題では、ガスの化学組成や炭素、窒素、硫黄の同位体比変動についても観測が実施された。本研究で採取した試料についても同様の項目を測定するための準備を進めており、今後は、これらのデータとヘリウム同位体の観測データを組み合わせることにより、摩周周辺における熱水系状態・火山活動度の時間変化についてより精密に制約を行う計画である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

北海道・摩周では、火山湖である摩周湖の底部において火山性物質を含むと考えられる流体の放出が確認されているほか、周辺の火山では活発な活動が観測されており、モニタリングによる中長期的な火山状態の把握および噴火活動のポテンシャル評価が重要な地域である。本研究の成果は、当該地域の火山や温泉で放出されるガスに含まれる、マントル起源物質の敏感なトレーサーであるヘリウム同位体などを測定し、熱水系の状態を推定するために有用なデータセットを提供するものである。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Park, J.-O., N. Takahata, E. J. Hondori, A. Yamaguchi, T. Kagoshima, T. Tsuru, G. Fujie, Y. Sun, J. Ashi, M. Yamano, and Y. Sano, 2021, Mantle-derived helium released through the Japan trench bend-faults, *Sci. Rep.*, 11, 12026

Nakajima, M.E., N. Takahata, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, H. Obata and Y. Sano, 2022, Monitoring the magmatic activity and volatile fluxes of an actively degassing submarine caldera in southern Japan, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 317, 106-117, 10.1016/j.gca.2021.10.023

・学会・シンポジウム等での発表

Kagoshima, T., J.-O. Park, N. Takahata, M. Yamano, Y. Sano, 2021, High $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in pore fluids at the outer slope of the Japan Trench, *Goldschmidt Conference*

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：ガス試料の採取を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道弟子屈町摩周周辺 43.62 144.44

調査・観測期間：2021/7/8-2021/7/9

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鹿兒島 渉悟（富山大学 理学部）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：富山大学 理学部

電話：07-6445-6577

e-mail：kagos@sci.u-toyama.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鹿兒島 渉悟

所属：富山大学 理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

蔵王山、過去約800年間の活動の噴火推移の類型化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究は平成31年度より3年間の計画で進めており、令和3年度はその最終年になる。本研究では、蔵王山の過去約800年間の7つの噴火フェーズ（Za-Ok1～7）によるテフラ層を対象に、露頭での詳細観察、採取した試料の物質科学的分析、古土壌試料の¹⁴C年代測定、古記録情報との比較を行うことによって、各噴火フェーズの噴火の推移や継続期間を明らかにし、それらを類型化して各タイプの発生頻度を検討する。平成31年度と令和2年度には、主に現地観察によって7つの噴火フェーズの各テフラ層内の単層の種類の変化を解明し、また各単層の代表試料について粒度分析と構成物解析を行い、各単層をもたらした噴火様式の検討を開始した。令和3年度は、各フェーズ内での単層の種類の変化を見直し、また各単層の噴火様式の推定をさらに進める。その後、得られた結果をまとめ、各フェーズ内での噴火様式の推移を解明する。また噴火推移の類型化を行い、各タイプの発生頻度も検討する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

蔵王山の過去約800年間の7つの噴火フェーズを構成する単層の分類、及び各フェーズ内での単層の種類の変化については、平成31年度と令和2年度にその大枠を解明したが、令和3年度には補足調査を行い、得られている結果を改善した。また、各単層をもたらした噴火様式の解明のために、令和2年度には各単層の代表的試料について粒度分析・構成物解析を開始したが、令和3年度はそれをさらに進めた。なお、令和3年度には各単層の代表的な試料中のスコリアについて、含まれる斜長石マイクロライトのサイズ分布測定および石基ガラスの化学組成分析を行い、各単層の特徴の明確化を図った。その結果を基に、各フェーズの単層の種類の変化を噴火推移に読み替えた。噴火推移の発生頻度も検討した。

＜単層の種類＞：主に野外での観察結果により、単層を(1)黒色火山灰層、(2)青灰色火山灰層、(3)灰色火山灰層、(4)褐色スコリア質火山灰層、(5)白色変質火山灰層の5つに分類した。

＜単層の種類の変化＞：単層の種類の変化は次の4パターンに分類される。A1：最下位に白色変質火山灰層が認められ、その上位に黒色火山灰層、青灰色火山灰層及び褐色スコリア質火山灰層

が累重なるパターンである。黒色火山灰層と褐色スコリア質火山灰層は中位に産する。Za-Ok1,2,3がこれに相当する。A2：最下位に白色変質火山灰層が認められ、その上位に青灰色火山灰層や灰色火山灰層が累重するパターン。黒色火山灰層が中位に見られる場合があるが褐色スコリア質火山灰層は見られない。Za-Ok5,6がこれに相当する。B1：黒色火山灰層が複数枚累重するパターン。Za-Ok4がこれに相当する。B2：白色変質火山灰層のみからなるパターン。Za-Ok7がこれに相当する。

＜各単層の粒度分析結果＞：火口湖である御釜から約1.5km西南西地点で各層の代表的な試料を採取し粒度分析及び構成物解析を行った。粒度分析の結果、褐色スコリア質火山灰層は $1\sim 0\phi$ 、黒色火山灰層は $1\sim 2$ あるいは $2\sim 3\phi$ に、青灰色火山灰層と灰色火山灰層は $2\sim 3$ あるいは $3\sim 4\phi$ に、白色変質火山灰層は $3\sim 4\phi$ にピークが見られた。

＜各単層の構成物解析結果＞：構成物は、赤色スコリア、ベージュスコリア、黒色スコリア、黒色石質岩片、白色変質石質岩片、結晶片から主に成り、黒曜岩もまれに見られた。結晶片はどの試料にも $30\sim 40\%$ 含まれていた。褐色スコリア質火山灰層では、赤色スコリアが特徴的であるが、それとほぼ同量のベージュスコリア、黒色スコリア、黒色石質岩片が認められた。黒色火山灰層では黒色スコリア及び黒色石質岩片が多く、ベージュスコリアも 10% 程度含まれていた。青灰色火山灰層及び灰色火山灰層は黒色火山灰層に比べて黒色石質岩片の割合がやや多い傾向にあった。また、青灰色火山灰層は灰色火山灰層よりも黒色スコリアの割合がやや多い。白色変質火山灰層は白色変質石質岩片が 30% 程度を占める。しかし、ベージュスコリアを約 20% も含むという特徴がある。

＜スコリア中の石基斜長石のサイズ分布とガラスの化学組成＞：黒色火山灰層、青灰色火山灰層、白色変質火山灰層の代表的な層中の黒色スコリアとベージュスコリア粒子について、斜長石マイクロライトのサイズ分布を測定した。その結果、黒色スコリアはおよそ $10\mu\text{m}$ 以下の細粒の粒子が多い一方でベージュスコリアはそれらが少ないという傾向が認められた。また、ベージュスコリア同士を比べた場合、黒色火山灰層、青灰色火山灰層、白色変質火山灰層の順に、およそ $10\sim 20\mu\text{m}$ の結晶数は少なくなり、一方でより伸長した結晶を含むようになり、結果として結晶サイズ分布図において傾斜がやや緩くなるという結果が得られた。黒色スコリアの場合も、およそ $10\sim 20\mu\text{m}$ の結晶数は、黒色火山灰層中のものの方が白色変質火山灰層中のものより多い傾向が認められた。

ベージュスコリアは $10\mu\text{m}$ 以下の細粒の粒子が少ないため、 $10\mu\text{m}$ 程度四方の領域のガラスが存在し石基ガラスの化学組成を分析することが可能であった。分析の結果、黒色火山灰層、青灰色火山灰層、白色変質火山灰層に含まれる順に、 SiO_2 量が低くなる傾向が認められ

た。 K_2O 、 Na_2O 、 FeO 、 TiO_2 、 P_2O_5 量は SiO_2 量と同様の傾向で、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 MnO 量は逆の傾向を示した。

＜各単層の噴火様式の推定＞：粒度分析の結果から、噴火の大きさは褐色スコリア質火山灰層、黒色火山灰層、青灰色火山灰層と灰色火山灰層、白色変質火山灰層をもたらしした各々の噴火の順であった可能性が高い。構成物解析の結果から、白色変質火山灰層以外はマグマ噴火によるものと推定される。

白色変質火山灰層は白色変質岩片の割合が最も多く、熱水系が噴火に関与した噴火であると考えられる。一方でスコリアもかなり含まれることから、マグマも関与したと考えられる。ここでは、熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火であったと考える。

マグマ噴火による層については、その規模を基にするとそれらをもたらしした可能性がある噴火様式としてはストロンボリ式、ブルカノ式、小規模マグマ水蒸気（熱水系の関与のない）、灰噴火が挙げられる。褐色スコリア質火山灰層はスコリアを多く含むことからストロンボリ式噴火によるものの可能性が高い。なお、テフラ層の分布範囲が比較的広いことから、ストロンボリ式噴火にしては規模が大きかったと考えられる。その他の層は何れも黒色石質岩片を 30% 以上含み、ストロンボリ式噴火とは考え難い。黒色火山灰層、青灰色火山灰層、灰色火山灰層について、黒色スコリア、ベージュスコリア、黒色石質岩片（本質のもののみ）の割合を、ルアペフ山の小規模マグマ水蒸気噴火によるテフラ層及び桜島のブルカノ式噴火によるテフラ層と比較したところ、黒色火山灰層は前者の範囲内であるが、青灰色火山灰層、灰色火山灰層は前者に近いがやや黒色石質岩片が多い傾向がみられた。よって黒色火山灰層は小規模マグマ水蒸気噴火、また、青灰色火山灰層と灰色火山灰層は黒色石質岩片割合が比較的多い小規模マグマ水蒸気噴火によるものの可能性が高い。黒色火山灰層の方が青灰色火山灰層及び灰色火山灰層よりも黒色スコリアの割合が多いことは、前者の方が高発泡度本質物が多いと読み替えることができる。なお、灰噴火による火山灰中の低発泡度石質岩片の割合は比較的多いとされているため、青灰色火山灰層と灰色火山灰層をもたらしした噴火様式として、灰噴火の可能性も残る。

ベージュスコリアにおいて石基の $10\mu\text{m}$ 以下の細粒の粒子が少ないことは、ベージュスコリアをもたらししたマグマが上昇したマグマのより中心部分からもたらされたものであり、初期の過冷却度が比

較的弱かったということを示している可能性がある。また、白色変質火山灰層中の黒色、ベージュスコリア中の斜長石マイクロライトが黒色火山灰層中のそれらよりも大きく成長し、また結晶サイズ分布図において緩やかな傾斜を示すことは、前者の方が後者よりも結晶化開始以降も比較的徐冷されて結晶化が進行したことを示しているのかもしれない。これは前者の場合はマグマが熱水系に貫入したことに対応しているのかもしれない。

＜各フェーズの活動期間＞：古記録の情報との比較及び¹⁴C年代測定結果を基に活動期間について検討を進めた結果、Za-Ok1,5,6について、各々50年間以上、約100年間、約70年間であったと考えられる。Za-Ok2,3については、層の上位下位の古土壌層の状態が良好ではないなどの理由から推定するのが困難である。また、Za-Ok7については、噴火活動期間は既存研究によって1～2年間と推定されている。

＜各フェーズの噴火推移とそれらの発生頻度＞：上述のように、各フェーズを単層の種類の変遷からA1、A2、B1、Bの4パターンに分類した。それらを噴火推移に読み替えると以下ようになる。

・A1 (Za-Ok1,2,3)：熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火から、マグマ噴火に移行した。マグマ噴火は低発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火あるいは灰噴火から高発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火、さらにストロンボリ式噴火へと移行した。その後、一部のフェーズ (Za-Ok3) では高発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火を経て、他の場合は直接、低発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火あるいは灰噴火へと戻り、終息に至った。

・A2 (Za-Ok5,6)：熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火から、マグマ噴火に移行した。マグマ噴火は低発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火あるいは灰噴火を繰り返した。Za-Ok5では、途中で高発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火も発生した。

・B1 (Za-Ok4) では、水蒸気噴火を経ずに高発泡度本質物の多い小規模マグマ水蒸気噴火を繰り返した。

・B2 (Za-O7) では、熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火のみ発生した。

各パターンの発生割合は、A1が43%、A2が29%、B1とB2が各々14%である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

蔵王山、過去約800年間の噴火について、噴火推移の類型化を行い、その発生頻度の推定も行った。これによる成果は、「地震火山災害軽減研究」の「Ⅲ.計画の実施内容」の研究項目の2. (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測に記載されている目的、すなわち、起こりうる火山活動や噴火現象を網羅的にまとめその時系列を整理した噴火事象系統樹をさらに発展させ、火山噴火に先行する現象、噴火発生、噴火規模や様式の時間変化、終息までを一連の現象として捉えた火山活動推移モデルを構築することに関して、蔵王山の過去約800年の活動実績に基づいた事例を提示したことで大きな貢献になると考えられる。蔵王火山は近代的観測網が整備されてからの噴火はないため、最近の噴火事例のある火山に比べて噴火予測が難しい。しかし過去に遡って中長期的に見れば噴火が多発してきた火山であり、過去の実績を基にすれば噴火推移をある程度詳しく行うことができるという事例を示すことができたと考えられる。同様の火山は多数存在するため、それらの噴火推移研究に参考になる。

今後の噴火が危ぶまれている蔵王火山の火山防災の観点からは、過去の噴火推移パターンとその発生頻度が得られたので、避難計画などの防災対策を一步前進させることが可能になると考えられる。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Takebe, M., M. Ban, M. Sato, and Y. Nishi, 2021, The Temporal Variation of Magma Plumbing System of the Kattadake Pyroclastics in the Zao Volcano, Northeastern Japan. *Minerals*, 11, 430
杉下七海、常松佳恵、伴雅雄、佐々木寿, 2022, 蔵王火山1895年噴火における投出岩塊の噴出条件の推定. , 火山, 印刷中

・学会・シンポジウム等での発表

久次米晃輔、伴雅雄、林信太郎、大場司、佐藤初洋, 2021, 鳥海山、西鳥海カルデラ内噴出物をもたらしたマグマ供給系. , 日本地球惑星連合大会2021, リモート, SCG49-P01
佐藤初洋、伴雅雄, 2021, 蔵王山最新期の活動における斜長石滞留時間の推定. , 日本地球惑星連合大会2021, リモート, SVC30-02
伴雅雄, 2021, 安山岩～デイサイト質火山のマグマ供給系の解明について：岩石学的事例研究. , 日本地

質学会2021名古屋大会, リモート,R3-O-3

菅野舜、伴雅雄、佐藤初洋,2021,東北日本, 吾妻火山, 大穴ユニットの岩石学的特徴. ,日本火山学会2021年度秋季大会, リモート,P1-16

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

伴雅雄 (山形大学理学部)

他機関との共同研究の有無 : 無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 山形大学・理学部

電話 : 023-628-4642

e-mail : ban@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

URL :

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 伴 雅雄

所属 : 山形大学・理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

富士山頂における全磁力通年観測

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

2021年度の当初計画では、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」の富士山頂観測点に磁力計を設置する予定であったが、やはりコロナの状況が改善せず、特に山頂の観測点は厳しい気象条件に耐えるため、極めて気密性の良い建物となっている事から、山頂での作業が大幅に制限される状況となった。そのため、R2年度に開設した太郎坊地磁気観測点周辺の環境調査と、地磁気データ表示のためのポータルサイト開設や、主成分解析(PCA)および独立成分解析(ICA)を組み込んだ地磁気データ解析システムを構築した。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全磁力異常を解析する時に、近年重要視されているのが観測点近傍の全磁力環境（全磁力空間分布）である。真の異常なのか、あるいは観測システムが物理的に位置が変化した（高さやセンサーポールが不可抗力のために傾く等）等による人工的な変動なのかを判断するためにも、極力観測点周辺は磁気勾配が小さい事が望ましい。しかし太郎坊は玄武岩質の溶岩に周囲を囲まれており、富士山における地磁気観測では、どこに観測点を設置しても、この問題から逃げる事は出来ない。

この困難を少しでも回避するため、令和3年度は、太郎坊観測点近傍の全磁力環境調査を実施した。図1は2021年10月31日に実施した、太郎坊観測点センサー近傍の全磁力分布である。今後、太郎坊で何らかの異常が観測された場合の基礎データとなりうるものである。

また火山監視では、ポータルサイトでのリアルタイムのデータ公開およびそのデータを見方を一般市民に判りやすく解説する事が、火山噴火に対する基礎知識の底上げにも、啓発活動としても重要である。令和3年度にはその第一歩として、太郎坊観測点のデータを以下のURLで公開した。

https://www.fujimonitor.org/total_magnetic_list

図2は2021年10月28日の全磁力データで、ポータルサイトから取得したデータである。

今回開発した地磁気データ表示システムは、LPWA(Low Power Wide Area)通信を用いてデータ転送されたものである。本研究のLPWA通信では（株）ソニー独自の低消費電力広域通信規格であるELTRESを用いた。ELTRESは、長距離安定通信、高速移動体通信、低消費電力という特長を持つ、（株）ソニー独自の低消費電力広域通信規格である。今回の地磁気データはサンプリングレートを1

分で実施しているが、単1電池2本程度で1年間通信を維持できる。火山監視等では、極めて有用な通信システムと考えている。

磁気データ解析システムについては、プラットフォームをPythonとして、開発を行った。組み込んだアルゴリズムは主成分解析(PCA)および独立成分解析(ICA)である。

解析には太郎坊(tarobo)の他、東大地震研(FJ1, today),国土地理院(富士吉田, gsi_fujiyoshida)および気象庁・柿岡地磁気観測所の全磁力データを用いた。ここでは事例解析として、2021年1月のPCAおよびICAの予察的な解析結果を報告する。

図3および図4はPCAおよびICAの結果である。PCAでは、第1主成分は当然の事ながら地磁気日変化となる。しかし第2主成分にも日変化成分が残っているのがわかる。ICAでは、固有ベクトルが斜交するので、PCAのような単純な結果となっていない。2021年1月では、第4主成分に磁気嵐の数日単位の変動が残っている事が見て取れる。

PCAもICAも欠測が解析に大きな影響を与えるので、今後このような解析を定常的に実施するには、東大地震研や国土地理院とも緊密に連携して、観測点メンテナンスを含めてまずは研究者レベルで富士山地磁気観測に関する共同研究を行っていく事が肝要と考える。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

長尾年恭, 鴨川 仁, 2022, 太郎坊における全磁力測定とそのデータ評価, 認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」第15回成果報告会講演予稿集

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

佐柳敬造(東海大学海洋研究所), 長尾年恭(東海大学海洋研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

鴨川仁(静岡県立大学グローバル地域センター)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 東海大学 海洋研究所

電話 : 054-334-0411

e-mail : sayanagi@scc.u-tokai.ac.jp

URL :

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 佐柳 敬造

所属 : 東海大学 海洋研究所

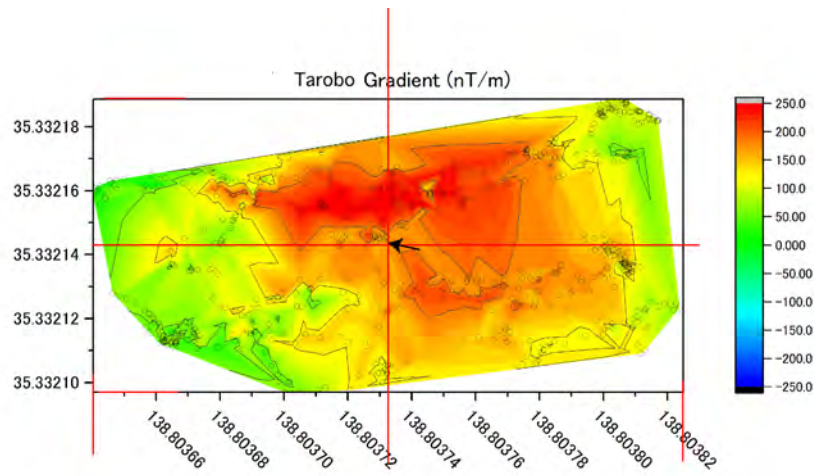


図1 観測点周辺の全磁力分布図

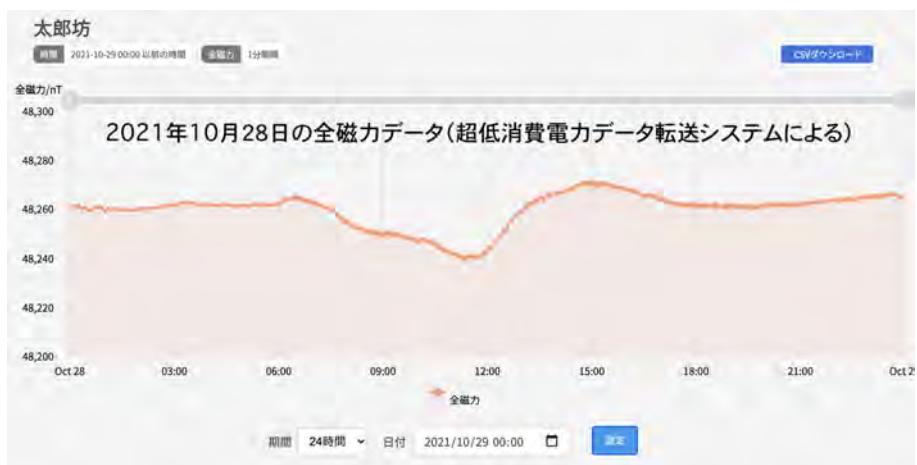


図2 ELTRESで収録された地磁気観測データ

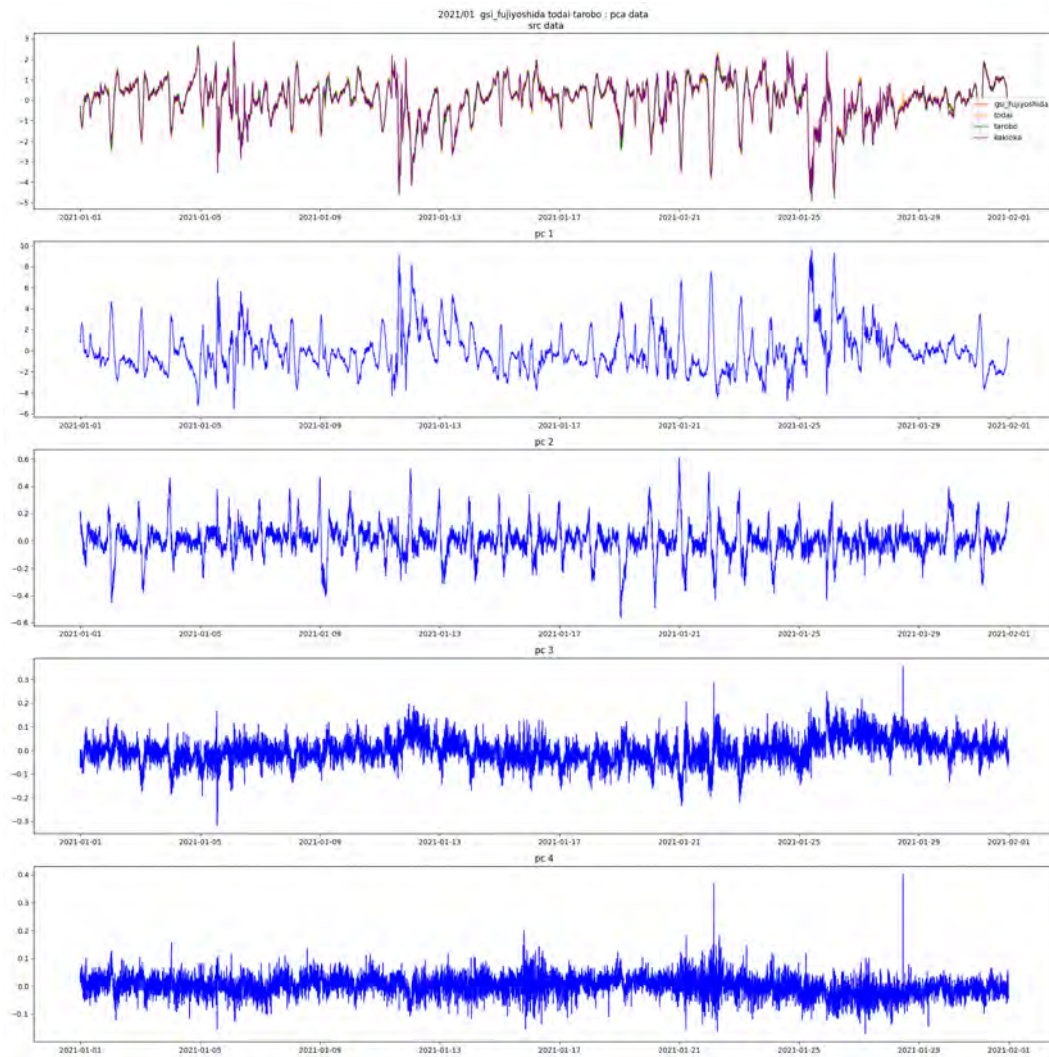


図3 PCAを適用した例

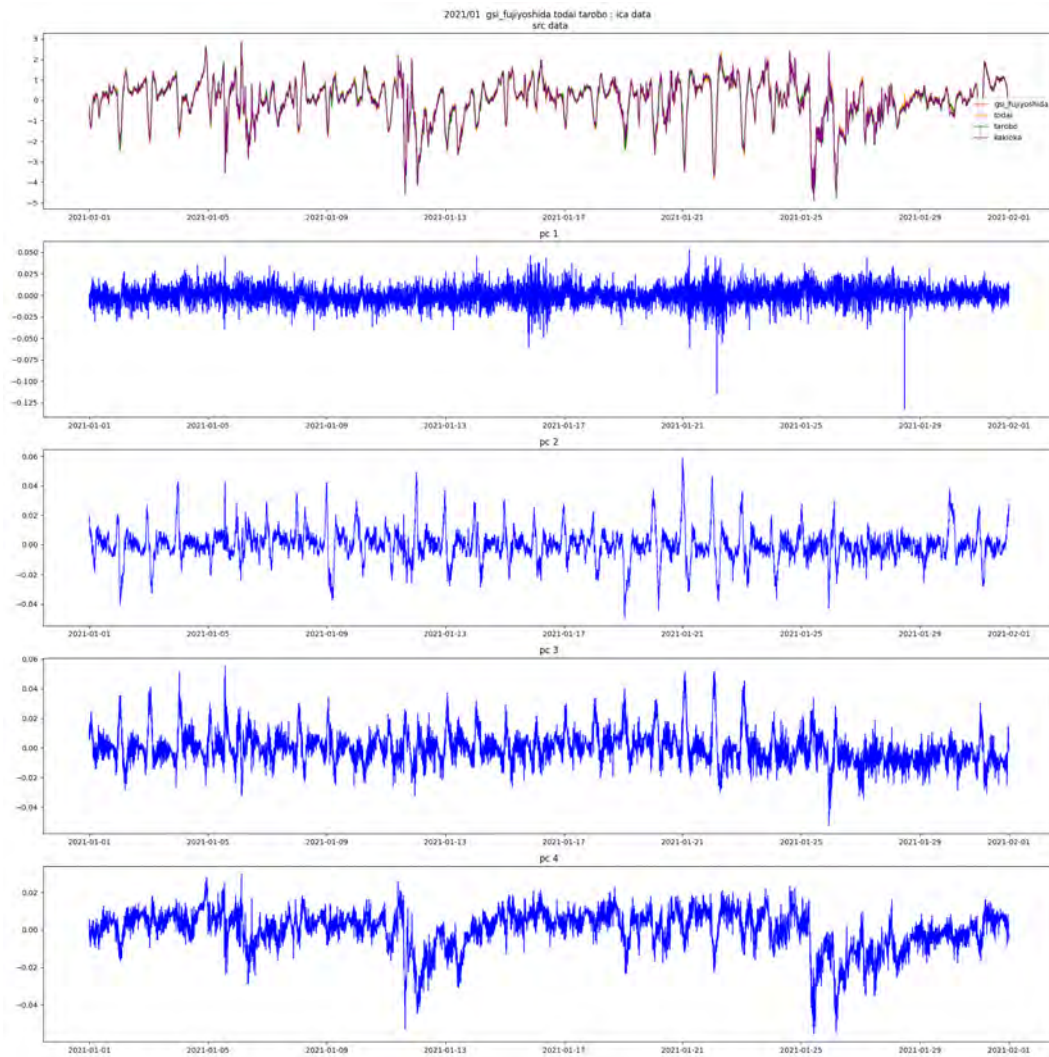


図4 ICAを適用した例

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

東京海洋大学練習船での海底地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

東京海洋大学が建造している新練習船に装備される海底地殻変動観測システムの精度評価を行い、練習船を用いた海底地殻変動観測の有効性を確認する。この新船は海底地殻変動観測用の音響トランスデューサーを船底に装備し、音響装置のコントローラーを操舵室に常設する予定になっている。それら観測装置の動作確認を造船所にて行い、その後の習熟航海や実習航海において、既設の海底基準点を使用し、新船の海底地殻変動観測システムの精度評価を行うとともに、地殻変動データの取得を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2021年10月に竣工したGNSS-音響結合(GNSS-A)方式海底地殻変動観測用の船底トランスデューサーを装備した練習船「汐路丸」を用いて、茨城沖において海底地殻変動観測を行った。観測は2022年1月13日0時23分から14時10分の計13時間57分実施した。観測では海底局アレイ中心での定点観測を2回、移動観測を1回実施した。1回目の定点観測は8時間実施し、定点保持は手動操船により行った。引き続き、海底局アレイを結ぶ円周上を3回周回する移動観測を行った。その後、2回目の定点観測を2時間実施した。その際、定点保持にはDynamic Positioning Systemを使用した。また、音響観測の間、5回のXCTD観測と1回のXBT観測を実施した。この観測により汐路丸による海底地殻変動観測において良好な音響波形データを取得することを確認することが出来た。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要：東京海洋大学で新たに建造された練習船「汐路丸」を用いた海底地殻変動観測を行った。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：茨城沖 36.15 142.08

調査・観測期間：2022/1/13-2022/1/13

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中東和夫（東京海洋大学）,清水良弥（東京海洋大学）,永井智明（東京海洋大学）,森本尚里（東京海洋大学）

他機関との共同研究の有無：有

木戸元之（東北大学）,西村健（東北大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京海洋大学・学術研究院

電話：03-5463-0742

e-mail：knakah0@kaiyodai.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中東 和夫

所属：東京海洋大学・学術研究院

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底電磁気観測による伊豆大島火山マグマ供給系の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

伊豆大島近海で海底電磁気観測を実施し、伊豆大島火山の深部マグマ供給系の検出・解明を行うことが本研究の目的である。令和3年度は、伊豆大島近海に最大20台の海底電位磁力計（OBEM）を設置し、およそ1年間、電場水平2成分および磁場3成分の連続観測を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2021年9月22日から10月9日まで実施された海洋研究開発機構の研究調査船「かいらい」KR21-16航海で、合計10台のOBEMを設置した（図1）。OBEMのデータ取得開始日は、2021年11月16日に設定した。このタイミングに合わせて、11月上旬から12月中旬まで、伊豆大島島内に磁場3成分を測定するための磁力計を臨時に設置した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tada, N., H. Ichihara, M. Nakano, M. Utsugi, T. Koyama, T. Kuwatani, K. Baba, F. Maeno, A. Takagi, and M. Takeo, 2021, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 419, 107349, 10.1016/j.jvolgeores.2021.107349

Tada, N. H. Nishikawa, H. Ichihara, H. K. Watanabe, and T. Kuwatani, 2021, Drift of an ocean bottom electromagnetometer from the Bonin to Ryukyu Islands: estimation of the path and travel time by numerical tracking experiments, *Earth, Planets and Space*, 73, 224, 10.1186/s40623-021-01552-8

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

多田訓子（海洋研究開発機構）

他機関との共同研究の有無：有

馬場聖至（東京大学地震研究所）, 上嶋誠（東京大学地震研究所）, 白井嘉哉（東京大学地震研究所）, 小山崇夫（東京大学地震研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海洋研究開発機構・海域地震火山部門

電話：046-867-9341

e-mail：norikot@jamstec.go.jp

URL：http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：多田 訓子

所属：海洋研究開発機構・海域地震火山部門

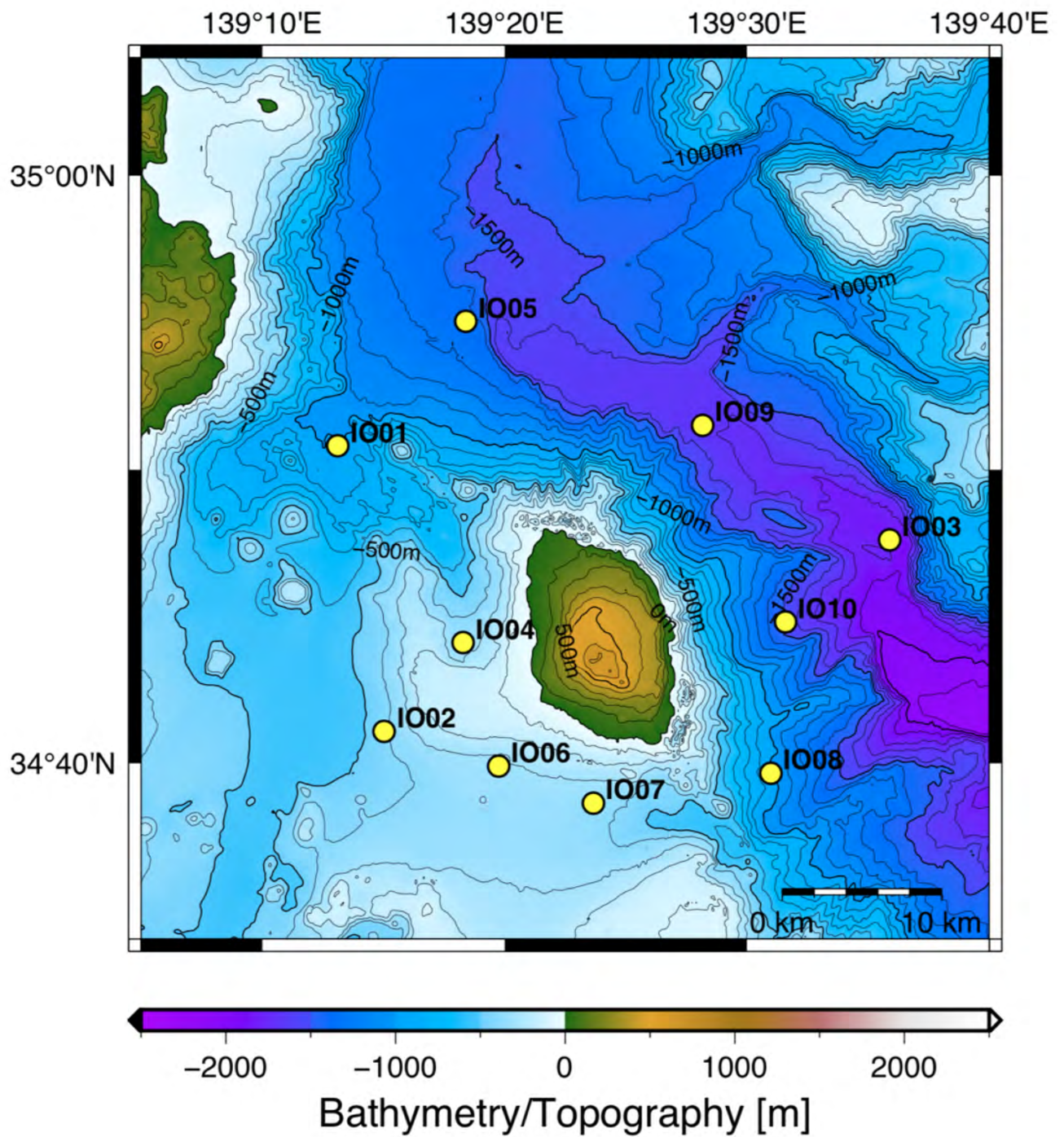


図1. OBEM (黄色丸) の設置地点

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

石基組織から読み解く北海道摩周火山の噴火推移過程

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (4) 火山現象の解明とモデル化
ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

6月 研究打ち合わせの実施

8月 地質調査・岩石試料の採取

摩周火山14000年噴火（Ma-l）から1000年前噴火（Ma-b）に至るまでの噴出物の地質調査を実施する。地質調査では噴出物の下部から上部にかけて連続的に岩石を採取し、分析用の試料とする。

9月～12月 分析試料の作成・EPMA分析

分析のための薄片試料を作成し、分析を実施する。得られた鉱物組成データをもとにRhyolite-MELTSプログラム（Gualda et al., 2012 Jour. Petrol.）を用いてマグマ相平衡条件を計算し、マグマの温度、圧力、斜長石・直方輝石・普通輝石・鉄チタン酸化物結晶が晶出する際の含水量条件を推定する。

1月～2月 組織解析

分析時に得られる電子顕微鏡画像を用いて結晶・気泡組織の解析を行う。組織解析で得られる気泡・結晶数密度やサイズ分布のデータと、鉱物晶出の含水量条件に基づき、摩周火山14000年噴火（Ma-l）から1000年前噴火（Ma-b）に至るまでの噴火イベントのマグマの上昇速度・噴出率を推定する。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地質調査・岩石試料の採取

2021年6月にオンラインにて研究および調査日程の打ち合わせを行った。その後、2021年8月1日～8月7日の日程で摩周火山噴出物の地質調査を行った。今年度は約7500年前の摩周カルデラ形成期の降下火砕物（Ma-gからMa-g層）を対象に調査を行った。4地点の露頭で観察を行い、先行研究で報告されている噴出物との対応関係を整理した後、Ma-g, h, i, jの噴出物について、構成粒子の種類、色調、サイズに基づき、Ma-gを2層、Ma-hを2層、Ma-iを14層、Ma-jを14層に細分化して柱状図を作成

し、試料を採取した。

分析試料の作成・EPMA分析

採取した試料をビーカーにとって超音波洗浄にかけ洗浄し、110℃の恒温機で乾燥させ、-4φから2φまでを1φ間隔でふるいにかけた。そのうち2φ以上大きさの軽石を抽出し、光硬化性樹脂にてマウントした後に岩石カッターで切断、研磨して岩石薄片を作成し、鏡面研磨後に炭素蒸着した試料をEPMAに用いた。分析に使用した装置は兵庫県立大学金属新素材研究センター所有のFE-EPMA分析装置（日本電子製JXA-8530FPlus）である。加速電圧15kV、電流値10 nAの条件で観察および分析を実施した。

EPMAによって得られた電子顕微鏡画像をPCに取り込み、PC上で気泡をトレースし、その画像を画像解析ソフトFijiを使用して気泡組織の解析を行った。解析に用いた電子顕微鏡画像の倍率は40倍から1300倍の範囲である。解析の結果、軽石の発泡度は60%から90%の範囲にあり、単位面積あたりの気泡数（気泡数密度）は 2.8×10 から 1.4×10^4 [no./ mm²]の範囲を示した。また、噴火後半にかけて発泡度が増大し、気泡数密度が低下していく傾向が確認された。

今後は、Rhyolite-MELTSプログラム（Gualda et al., 2012 Jour.Petrol.）を用いてマグマの相平衡条件を計算したデータ、EPMA分析によって得られるガラスおよび鉱物の化学組成のデータを蓄積し、摩周火山におけるカルデラ形成期のマグマ上昇過程を定量的に考察していく予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

佐野恭平,2022,石基組織から読み解く北海道摩周火山の噴火推移過程,「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」令和3年度成果報告シンポジウム

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐野恭平（兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科

電話：0796-34-6079

e-mail：sano@rrm.u-hyogo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐野 恭平

所属：兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

活火山火口湖の水・熱・化学物質収支の長期評価と火山活動変動との関係について：蔵王山と御釜

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究の目的は、蔵王・御釜の水・熱・化学物質収支を長期的に評価し、蔵王火山の活動変動との関係を探ることである。初年度の令和3年度は、特に蔵王・御釜の熱・化学物質収支を長期的に評価することを目的として、同湖の湖畔に気象ステーションを設置し、船上観測による御釜の熱的・化学的三次元構造や水温・溶存物質濃度のモニタリングを実施予定である。観測の実施は、5月、7月、9月、10月の4回を予定している。10月末～翌4月の冬季は、積雪により御釜へのアクセス道路が閉鎖される。このため、冬季の熱・化学物質収支を評価すべく、今年10月の観測では湖内に水位・水温・電導度ロガーを継続設置し、東北大・地震・噴火予知研究観測センターの大黒天観測施設に気温・湿度・気圧ロガーを設置して、夏季における熱・化学物質収支との違いを明らかにする予定である。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、5月17-18日、7月5日、8月4-5日、9月28-29日の計4回、御釜の調査を行った。5

月17-18日、湖畔に気象ステーションを設置し、湖上で船上作業を行った。これにより、次回の観測でのデータ収集から、御釜の熱・化学物質収支評価が可能となった。また、東北大・地震・噴火予知研究観測センターの大黒天観測施設には、令和元年10月より気温・湿度ロガーと気圧ロガーを設置しており、通年で御釜に設置した水圧・水温・電導度ロガーのデータから、現地アクセスが困難な冬季の御釜の化学的・熱的条件を知り、その収支評価が可能となった。これについては、令和3年7月の観測でデータ回収し、御釜における地殻熱流量を評価し、同時に流入地下水水温の算定を行った。なお、図1に蔵王・御釜の位置、図2に御釜の水・熱・化学物質収支の評価方法についての模式図を示す。まず、水収支と化学物質収支の評価により、御釜における地下水流入量と地下水流出量が求められ、化学物質収支によりこれらの化学物質負荷量が求められる。令和2年度の観測結果から、地下水流入量 $0.007\sim 0.016\text{ m}^3/\text{s}$ 、地下水流出量は $0.035\sim 0.047\text{ m}^3/\text{s}$ と求められた。これに関する成果は、令和3年度地惑連合(JpGU)大会において米国地球物理学連合(AGU)との共同セッションで口頭発表し、11月20-21日での陸水物理学会名古屋大会で口頭発表している。図3は、御釜と周辺河川の試水に対する化学分析から得られたスティフ・ダイアグラムを示す。湖水・河川水ともカルシウムイオンと硫酸イオンの存在が卓越している。ここでは、硫酸イオンを御釜の化学物質収支評価に利用した。図4は御釜の最深点に設置した複数の水温ロガーによるほぼ2年間の水温変動を示す。毎年12月～5月の結氷期に湖底～15m高の区間で水温上昇が認められる。この上昇率から熱流量を求めると2019～2020年平均で $2.5\text{ W}/\text{m}^2$ 、2020～2021年平均で $2.9\text{ W}/\text{m}^2$ が得られた。図5は、図4の水温上昇率から得られた日平均と10日移動平均の熱流量変化を示す。なお、これまでの成果は、令和4年2月8日に国際誌Hydrologyに掲載された論文にまとめられている。この中で、御釜における年平均気温が算定され、これにより御釜への流入地下水は有意な熱量を持つ地下水であることが判明した。今後も、御釜と河川の水質に関する季節変化をとらえ、熱・熱・化学物質収支評価を通して、地下水流動系の実体を探る予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chikita, K. A., A. Goto, J. Okada, T. Yamaguchi, S. Miura, and M. Yamamoto, 2022, Hydrological and Chemical Budgets of Okama Crater Lake in active Zao Volcano, Japan, Hydrology, MDPI, Switzerland, 9, 28, <https://doi.org/10.3390/hydrology9020028>

・学会・シンポジウム等での発表

Chikita, K. A., A. Goto, J. Okada, S. Miura, and M. Yamamoto, 2021, Groundwater flow system inferred by estimates of hydrological, thermal and chemical budgets in Okama Crater Lake, Zao Volcano, Japan, 日本地球惑星科学連合2021年大会, AHW22-16

知北和久・後藤章夫・岡田純・三浦哲・山本希・山本高志, 2021, 活火山火口湖における水・化学物質・熱収支評価による地下熱水系の推定：蔵王・御釜について, 陸水物理学会第42回名古屋大会, 07

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

知北和久（北海道大学北極域研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

後藤章夫（東北大学・東北アジア研究センター）、岡田純（気象庁気象研究所火山研究部）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学 北極域研究センター

電話：011-706-9074

e-mail：chikita@sci.hokudai.ac.jp

URL：https://researchmap.jp/read0167130

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：知北 和久

所属：北海道大学 北極域研究センター

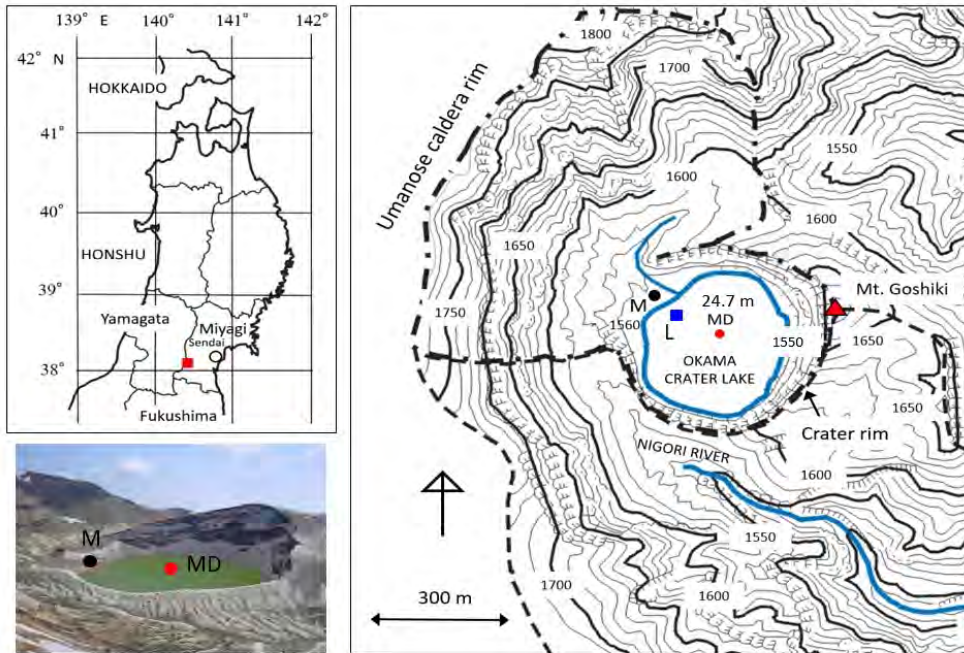


図1. 蔵王山と御釜の位置，および御釜内外の観測点の位置。
 M: 気象観測点 L: 水位観測点 MD(最深点): 水温・電導度モニタリング点

図1
 蔵王・御釜と観測点の位置。

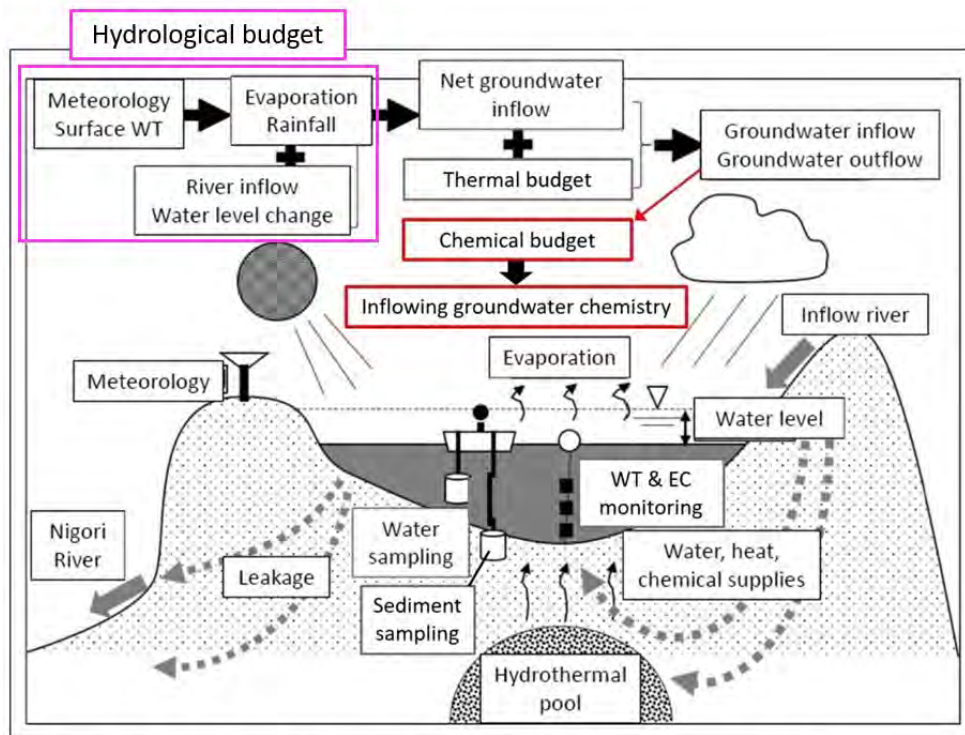


図2. 閉塞湖・御釜の水・熱・化学物質収支の評価方法に関する模式図。

図2

閉塞湖における水・熱・化学物質の収支評価に関する観測手法.

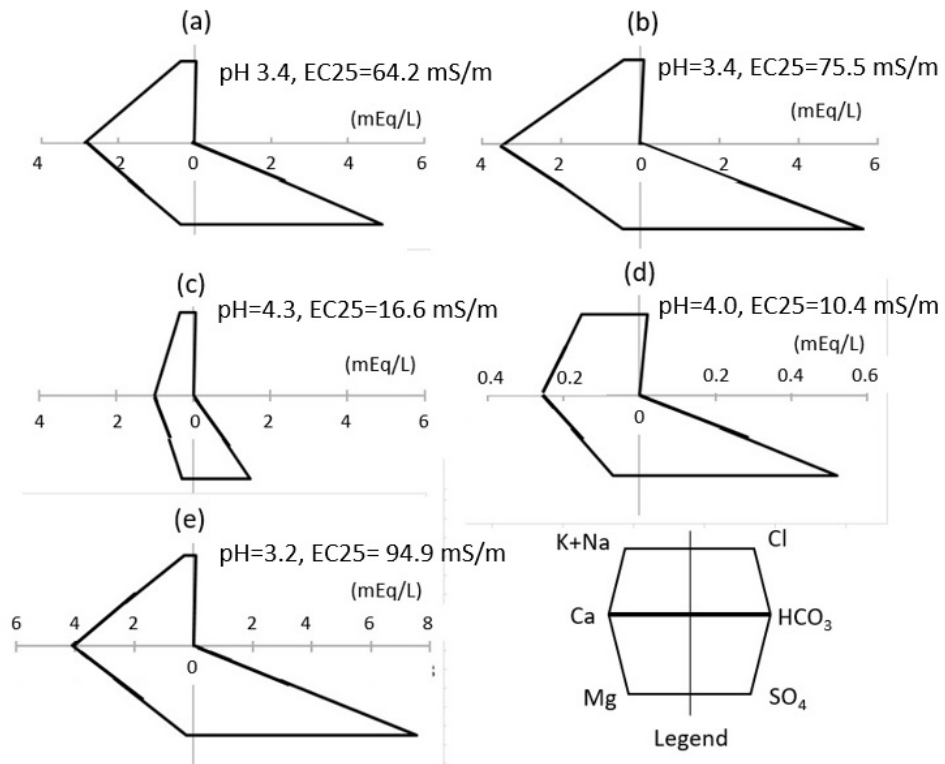


図3.

御釜と流入河川水の化学成分を示すスティフ・ダイアグラム. Ca²⁺とSO₄²⁻が卓越している.

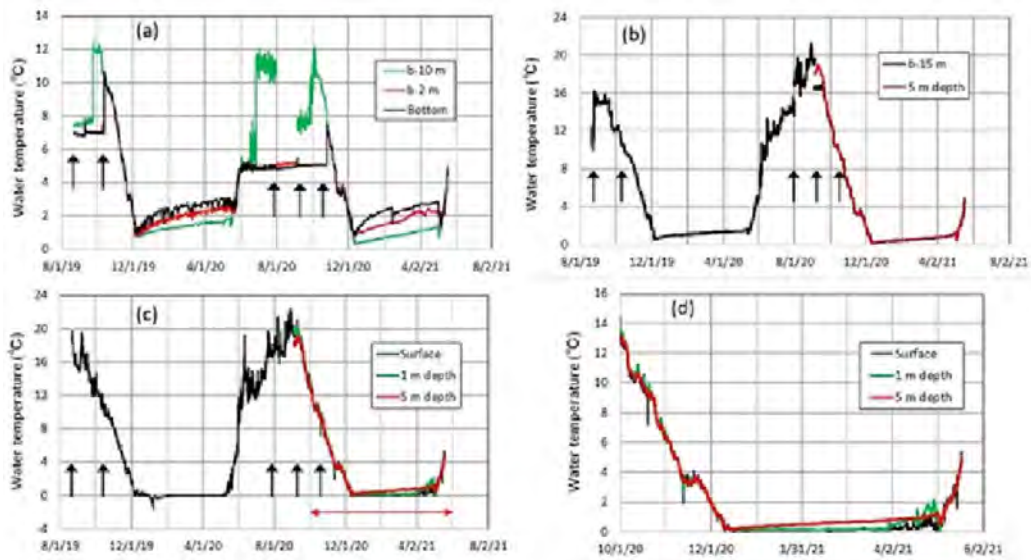


図4.

2019年8月～2021年5月での御釜・最深点MDにおける水温変動(1時間データ). 結氷期(12月～5月)に湖底～15m高の区間で水温上昇が確認され、これより湖底からの熱流量が算定された(図5).

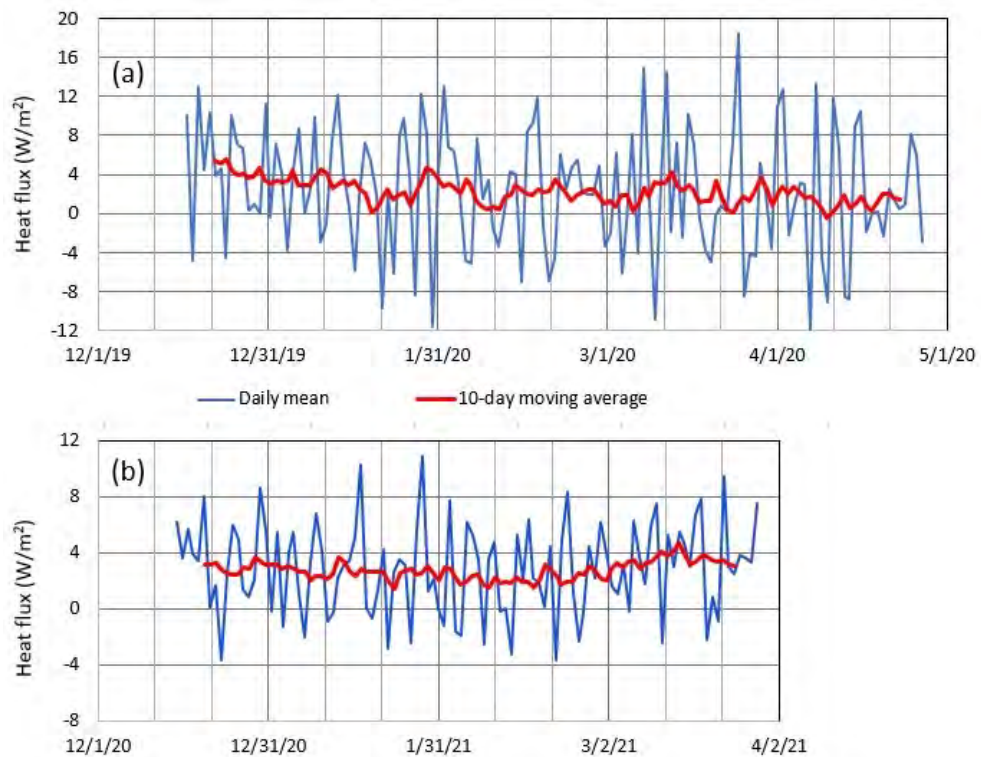


図5.

結氷期の水温上昇から計算された地殻熱流量の変化。太い線は10日移動平均。(a) 2019～2020年、および(b) 2020～2021年の完全結氷期。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

阿蘇中岳火山灰の岩石磁氣的性質の時系列変化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究は、2019年7月からマグマ噴火を開始した阿蘇中岳の火山灰について詳細な岩石磁気測定を行うことで火山灰中の磁性鉱物の噴火の進行に対する時系列的な変化の有無を確認する。この一連の灰噴火は、2020年6月に活動を停止しており、噴火の開始から停止に至る噴火プロセスにおける磁性鉱物の変遷を確認できる。また合わせて2014年のストロンボリ式噴火の際の火山灰についても解析を行い、各噴火段階での磁性鉱物の性質を捉える。磁性鉱物は、晶出時から噴出し冷却される過程の履歴を反映していることが期待される。

火山灰試料は、京都大学火山研究センターの大倉敬宏教授から提供していただいた。採取地点は、同研究センターの複数観測点（KAF, SAK, HONDなど）から時系列で採取されたものである。採取試料は、一部を洗浄し、実体顕微鏡観察用と偏光顕微鏡観察用、磁気特性分析用の3分割にした。磁気特性分析用試料は、未洗浄のものも準備し、洗浄による磁性の変化の有無を確認する。

具体的な岩石磁気測定内容は、含有磁性鉱物の磁区構造を把握するためのヒステリシス測定、及びFirst Order Reversal Curve(FORC)測定、キュリー温度を推定するための熱磁気分析、保磁力による磁性鉱物同定のためのIRM+熱消磁分析および帯磁率測定を予定している。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2019年火山灰について、熱磁気分析およびFORC測定、IRM+熱消磁分析を行った。熱磁気分析の結果から、キュリー温度を求め、時系列に沿って考察を行った。中岳の火山灰は、一連の噴火を通してキュリー温度300℃程度のチタノマグネタイトが卓越しているが、いくつかの時期にキュリー温度が200℃程度のよりチタンに富むチタノマグネタイトに変化する。この変化が起こる時期は、火映現象が確認されている時期と一致することが見出された。火映現象は、火口内の温度が高く活動が活発な時期に観測される傾向がある。このことは、火山活動が活発な時期にチタン含有量の高いチタノマグネタイトが形成されることを示唆する。また、FORC測定により、活発な活動時期のチタノマグネタイトは保磁力および飽和残留磁化が高くなる傾向があることが示された。IRM+熱消磁分析の結果もこのことを支持する。これらの測定結果に基くならば、活発な活動時期に、単磁区チタノマグネタイトの量が増加している傾向が示された。すなわち、細粒のチタノマグネタイト粒子の総量が増加している。Mujin et al. (2017)はブルカノ式噴火の噴出物から20-30 nmと500 nm程度の鉄チタン酸化物（チタ

ノマグネタイト)を報告している。本申請課題の岩石磁気測定で見出された火山灰の岩石磁気特性の変化(チタノマグネタイトのチタン含有量の変化や細粒チタノマグネタイト粒子量の変化)は、マグマだまりの温度や滞留時間に関連する可能性もある。また、活発な活動期の噴出物には保磁力が1Tを超える磁性粒子が含まれるという特徴が明らかとなった。キュリー温度は300°C程度であることから、この磁性鉱物はチタノマグヘマイトまたは ϵ -Fe₂O₃である可能性が高い。磁性鉱物種を特定すれば、その晶出条件から火口内部の温度や酸素濃度などのより詳細な情報を得られる可能性が高まる。また時系列に沿った帯磁率測定を行なった結果、帯磁率は活動が活発になるほど低くなる傾向が確認できた。磁性鉱物の高保磁力化に伴い、活動が活発になるほど帯磁率も上昇することが想定されたが、逆の結果となったことは今後そのメカニズムについて検討する必要がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山現象の定量化と解明を達成するための本研究課題の貢献は、火山灰の磁性鉱物に関する詳細な岩石磁気的挙動を時系列で把握したことにある。基本的な情報である活動状況(全磁力の結果や火山ガスの量、火映などの火山活動に伴う現象など)に対応した磁気的性質の変化を捉えたことは、火山現象の定量化を進めるための一助となると考えられる。また、より保磁力や磁性鉱物種の変動から火口内部の温度情報や滞留時間を推定することへの足掛かりを捉えたことは、火山現象の解明に大きく寄与することが期待される。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

穴井千里 宮縁育夫 宇津木充 吉川慎 望月伸竜 渋谷秀敏 大倉敬宏,2021,古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討,火山,66,171-186,https://doi.org/10.18940/kazan.66.3_171

・学会・シンポジウム等での発表

穴井千里 宮縁育夫 宇津木充 吉川慎 望月伸竜 渋谷秀敏 大倉敬宏,2021,古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC30-10

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

望月伸竜(熊本大学)

他機関との共同研究の有無 : 有

穴井千里(京都大学)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 熊本大学・大学院先端科学研究部

電話 : 096-342-3420

e-mail : mochizuki@kumamoto-u.ac.jp

URL :

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 望月 伸竜

所属 : 熊本大学・大学院先端科学研究部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

有珠山を事例とした住民自治組織の火山防災の基礎情報収集調査－火山防災制度及び火山活動推移の理解度の解明－

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和3年度の計画の概要：

本研究は、有珠山を事例として、火山防災に関する共通理解醸成のためのベースラインデータの取得を目的とする。特に、町内会や自主防災組織といった住民自治組織が、噴火警戒レベルなどの制度や火山活動の推移についてどの程度の理解をもち、そのうえで対策を行っているのかに着目し、アンケート調査により実証的に明らかにする。

2000年3月の有珠山噴火は、噴火現象に先立ち住民避難が完了したことで著名な事例である。この噴火後には社会科学的な調査研究（廣井ほか（2004）など）が、住民の避難行動や火山活動の知識についての考察を行ってきた。こうした研究知見を総合的に勘案すると、有珠山の次の噴火において、住民避難を促進する素地のようなものと推察される。その一方で、火山活動の推移に対する理解は多様であり、住民間に共通理解といえるほどの統一的な見解は醸成されていないように思われる。これらの研究成果が発表されてから10年以上が経過したため、次の噴火に備えたベースラインのデータを更新する必要がある。

近年の避難行動の研究事例を見ると、個人レベルの心理的側面に加えて、避難を促進する組織の役割が検討されている。2015年の口永良部島噴火の事例では、避難を取りまとめる消防団の役割が注目されている。日本の事例ではないが、申請者が参加した2018年のインドネシア・アグン山噴火の調査研究では、地域に根差した村落自治組織（行政主導の村とは区別される）が住民の避難誘導に大きな役割を果たしたことがわかってきた（Matsumoto et al., 2018）。

2000年噴火以降、火山防災の制度が大きく変わり、噴火警戒レベルが導入され「法定」の火山防災協議会が設置された。2000年噴火当時は「臨時火山情報」や「緊急火山情報」が使用されていたが、気象庁の出す情報体系が大きく変わった。観測体制も、大学から気象庁に主軸を移して強化されてきた。また、火山防災協議会が法定となり、有珠山の場合は有珠山火山防災会議協議会が有珠山火山防災計画を策定している。同計画では、地域住民は自治会ごとに避難訓練を実施するものとしており、住民自治組織を活動主体として位置付けられ、それに伴い、結果的に組織として噴火警戒レベルを理解する必要性が生じた。

こうした社会制度上の変化に加えて、自然科学としての火山学の観測研究が進展してきた。多項目観測が実施されるようになり、火山活動推移について研究者が考える重要な事象の分岐についての知見が蓄積されている。例えば、有珠山の観測では、ある程度の空間密度で連続GNSS観測点を設置でき

れば、時間的なマグマ貫入位置の把握が可能とも言われており、2000年噴火当時に比べてより精細な推移を描くことが期待されている。

以上の動向を踏まえ、本研究は

- ・分析対象として住民自治組織に着目し、
 - ・組織単位として火山防災の制度や最新の火山活動の推移についてどのような理解を持っているのか、
 - ・彼らの理解は最新の火山研究の知見とどの程度類似または相違するのか、
 - ・住民自治組織の理解は、訓練やルール作成といった対策に結び付いているのか、
- を検証することを目的とする。

(引用文献)

・廣井脩ほか, 2000年有珠山噴火における災害情報の伝達と住民の対応, 東京大学社会情報研究所調査研究紀要, Vol.18, pp.1-193, 2004年.

・Matsumoto, M. et.al, Statistical Analysis of the Relationship Between Social Capital and Evacuation: The Case of the 2017 Mt. Agung Eruption. Journal of Disaster Research, 13(6), pp.1096-1112, 2018.

(7) 令和3年度の成果の概要 :

・今年度の成果の概要

ここでは、住民自治組織として壮瞥町、洞爺湖町、伊達市の連合町内会の会長への予備的なヒアリング調査の概要を報告する。新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、本報告作成時点ではアンケート調査実施には至っていない。

連合町内会とは、町内会（これを「単位町内会」と呼ぶ）の集合体である。自治体により名称に違いがあるが（壮瞥町は連合自治会、洞爺湖町は自治会連合会、伊達市は連合自治会協議会）、本報告では連合町内会という表現を使用する。なお、有珠山火山防災協議会には上述の3自治体に加えて、豊浦町も参加している。しかし、豊浦町役場でのヒアリング調査の結果、火山防災について連合町内会と単位町内会ともに活動に目立った動きがなく、どちらかと言えば町主導で対策を実施していることが判明した。そのため、豊浦町では連合町内会長へのヒアリングは実施しなかった。

主要な成果として、3つの連合町内会長ヒアリングで共通して観察された「地域性」、「噴火の前駆的現象としての有感地震」、「観測手法」の3点について、暫定的に報告する。

1つ目の「地域性」とは、同じ市町内であっても、単位町内会によって火山防災への取組や噴火経験が異なるということの意味する。3市町ともに有珠山に近い単位町内会の避難が最重要課題であり、単位町内会ごとの避難方法（集合場所の選定や集合時の点呼方法など）や避難先の選定が進んでいる。逆に言えば、有珠山から離れた単位町内会では、噴火による避難自体をしたことがなかったり、降灰による被害を経験していなかったり、経験自体が相対的に希薄である。また、自治体にとっても、優先的に避難に取り組むべき地区を選定し、避難受け入れの場所、資器材の手配、情報共有の仕組みなどを進める必要があり、結果的に火山防災の取り組み具合に地域ごとに濃淡が出てくる。また、3市町とも、自然災害対策として火山防災だけを考慮すればよいわけではなく、土砂災害や、海に面する洞爺湖町と伊達市の場合には津波災害にも力を入れる必要がある。共通理解醸成を検討する際に、同じ市町内であっても地域性があることに留意することが必要になる可能性が示唆される。

2つ目の「噴火の前駆的現象としての有感地震」については、噴火の前には有感地震があるという理解と、噴火前の地震の感じ方はそれ以外の地震とは全く異なるのですぐにわかる、という2点を確認した。あるヒアリングで「噴火前には必ず地震がある。火山はどこもそうですよね。」という発言があり、噴火前の有感地震の存在は当然視されていることを端的に物語っている。ヒアリング対象者は、1977年噴火と2000年噴火の記憶が鮮明であり、その2回の噴火で噴火前に有感地震があったことから、「地震があつて噴火」という理解をしているようである。ただし、有感地震の大きさについては3市町ごとに違いがある。テレビが落ちたり、家具が倒れたりするくらいの揺れを感じる地域があれば、そこまでの大きさでもない地域がある。また、経験者にしか感じ得ないことであるが、噴火前の地震の揺れは、その他の地震とは全く異なる体感であるそうである。このような特徴的な有感地震が噴火に先立って発生するというかなり確固たる理解が醸成されているように観察された。

3つ目の「観測手法」とは、有感地震以外の観測手法に対する理解が限定されていることを意味する。有珠山の場合、地面の変動（盛り上がりたり、陥没したりすること）を観測することが噴火活動を理解するための有力な手段である、と考えられている。しかし、居住地域で隆起を経験したことがなかったり、道路で段差ができたのが有珠山に近い地点であったりしたことから、有感地震と比べて、地面

の変動が火山活動に密接に結びついているという理解を得ることは容易ではないことが示唆された。

いずれも予備的なヒアリング調査結果をまとめた暫定的な内容であるので、今後のさらなる精査が必要である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建議の項目「2 地震・火山噴火の予測のための研究（5）火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」に関連し、有珠山の噴火警戒レベル運用に関する住民自治組織の認識について報告する。有珠山における噴火警戒レベルの運用は、最新の火山研究の成果を踏まえて、火山活動が高まっていく段階では、「1→2→3→4→5」の順番ではなく、「1→2→4→5（3を飛ばす）」という方法をとることになっている。この運用について、自治体の防災担当者は十分に理解していることをヒアリングにより確認することができた。一方、住民自治組織の理解としては、そもそも噴火警戒レベルの仕組み自体がよくわからないということ、有珠山の噴火警戒レベルで説明が付されている「レベル3はレベル5から下がる段階で運用します」が意味すること、各レベルに防災行動が対応づけられていることの理解が十分ではない可能性が示唆された。関連の深い建議の目的達成への貢献としては、火山活動推移モデルの構築という火山学の取組みに対して、住民の視点からの理解の程度を示すことができたという意味での情報提供が考えられる。

建議の項目「4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究（1）地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明」に関連し、「身体で感じる地震が増え始めてから、どれくらいの時間で噴火が始まるかは、最新の研究をもってしても判断が難しいのが現状である」ことについて、住民自治組織としてどのような考えをもつかを確認した。あくまでも予備的な結果にとどまるが、有感地震を経て噴火発生に至るということはわかっているが、「いつ噴火するかは最新の研究をもってしても判断が難しい」という研究者側の実態を理解しているとはいえないことが示唆された。そのため、「判断が難しいので、早期の避難をしてほしい」と研究者側が考えていること自体を理解することにつながる可能性があるのではないだろうか。関連の深い建議の目的達成への貢献としては、火山地域における災害軽減策を検討するうえでの課題を明らかにしたことであると考える。「有感地震の後に噴火が発生する」という一種の防災リテラシーが確立しつつあることまでは確認できた。その反面、まだ研究で明らかにできていないこと、その状況が容易に打破し得なそうであるという点について、そのようなことを住民が知ったり考えたりする機会が少ないか、知ってもらうための方法に課題があることを示唆しているように思われる。

建議の項目「4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究（2）地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」に関連し、「2021年3月に発生した有珠山のやや深いところでの群発地震」をめぐるやり取りを例として、予備的に共通理解醸成について検討した。この例とは、「有珠山では、9日から火山性地震が増加していましたが、10日20時以降は少ない状態で経過しています。現時点では火山活動が活発化する様子は認められません。」という現象が起きて、気象庁の解説情報が出されたことを指す（札幌管区気象台による「火山の状況に関する解説情報 第5号 令和3年3月12日16時15分」）。この事象は、室蘭新報などの地元報道機関に取り上げられ、有珠山近傍の住民が知りうることであった。また、地元自治体に対しては室蘭地方気象台から連絡が入り、活動推移などについて解説が行われた。住民自治組織のなかでは、知っていた場合と知らなかった場合にわかれた。ある場合には、自治体には気象台から連絡が入り、避難所の整備や物品の点検に着手していたものの、住民自治組織にまではそのことを伝えていなかったケースがあった。反対に、地方気象台とやり取りを進めて、群発地震発生直後に住民説明会を開催した場合もあった。このような現象発生時の対応は自治体ごとに統一化されているわけではなく、どの対応を取ることが正解というわけではないだろう。有珠山の場合は、協議会の開催や、2022年10月15日に実施された「有珠山火山噴火総合防災訓練」などの訓練とその準備過程で、多様なステークホルダー間で考え方の共通化や、対応行動の標準化が進められている。しかし、様々な様相を見せる自然現象を相手に、事細かに対応行動を一本化することは容易ではないことが推察される。関連の深い建議の目的達成への貢献としては、共通理解醸成の1つの機会となりえた事象を検討し、主体間で知識や情報を共有するための手法や経路について検討する重要性を提起したことであると考えられる。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地引泰人（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学・大学院理学研究科

電話：

e-mail：

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：地引 泰人

所属：東北大学・大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GNSS-A海底測地観測データの高精度化に向けた精度評価システムの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和3年度の計画の概要：

GNSS-A観測の誤差を評価するために、GNSS誤差と海中音速度場依存の誤差、最終解析で生じる誤差、それぞれの評価を行う。GNSS誤差については、アンテナを使用した実験による定量的な評価を行う。その他の誤差については、GARPOS解析システムを利用した解析的評価を行う。

(7) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

GARPOS解析システムの分析を進め、各パラメータ間の相関関係を評価した。とくに、GNSS-A観測結果に影響を与える海洋擾乱の表現方法の基礎が確立され、状態の表現方法、時間変化の表現方法が開発された。その中で、測位結果と海洋状態の間にいくつかの関係性が見出されているが、海中音速度場の推定の誤りが外れ値の大きな要因である可能性が示唆された。妥当な海洋状態を仮定した拘束条件、或いは他の観測エポックとの関係性に依存した拘束条件によって、補正しうる可能性が示唆された。

また、GNSS誤差による影響の大きさの評価も実施し、誤差を考慮した観測可能な地殻変動の大きさや種類、誤差を考慮した解析手法の検討、誰でも上記の解析を行えるようなデータフォーマットや解析手法の開発・公開などを進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

2-(1)-ア. 海溝型巨大地震の長期予測

GNSS-A観測精度の向上や誤差の定量的な評価を通して、海溝型巨大地震の長期予測精度の向上、妥当

性の向上に貢献するものと考えられる。

5-(3)-イ. 観測・解析技術の開発

海中擾乱をより正しく考慮したGNSS-Aデータの解析技術の開発によって、海底測地データの解析技術の開発に貢献するものと考えられる。

5-(3)-エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

誤差解析や高精度測位推定のためのGNSS-Aデータフォーマットの構築と一部の公開、解析手法の公開によって、この分野のデータベースの構築と利活用・公開に貢献するものと考えられる。

(8) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

横田裕輔,受理済み,GNSS-A海底地殻変動観測による南海トラフ海底下のプレート間固着の検出およびその高感度化に基づく浅部スロースリップイベントの発見,測地学会誌

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, Y. Nakamura,2021,Crustal deformation detection capability of the GNSS-A seafloor geodetic observation array (SGO-A), provided by Japan Coast Guard,Progress in Earth and Planetary Science,8,63,<https://doi.org/10.1186/s40645-021-00453-4>

・学会・シンポジウム等での発表

横田裕輔・久保田達矢・中村武史・中村優斗・石川直史・渡邊俊一,2021,DONET精密温度計とGNSS-Aの推定平均音速度から見る海洋温度の時間変化と内部波の関係,海洋音響学会2021年度研究発表会講演論文集,21-22

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, Y. Nakamura,2021,Geoscientific contributions of the GNSS-A Seafloor Geodetic Observation array (SGO-A) in the subduction zones around Japan, operated by the Japan Coast Guard,IAG Scientific Assembly 2021,S6-032

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, Y. Nakamura,2021,GNSS-A seafloor geodetic observation capability in 2021 and its applicability to global geodesy,EGU General Assembly 2021,EGU21-4527

横田裕輔・石川直史・渡邊俊一・中村優斗,2021,Relationship between observation ability of GNSS-A and its detection ability for coupling condition and SSE,JpGU meeting 2021,SSS05-10

横田裕輔・渡邊俊一・石川直史・中村優斗,2021,GNSS-A海底地殻変動観測に影響を与える傾斜場の時間安定性と観測精度,日本地震学会2021年度秋季大会,S03-10

(9) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：単純傾斜場を考慮した拘束条件を導入したGARPOSの修正版とその解析結果

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5802560>

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

横田裕輔（東京大学・生産技術研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学・生産技術研究所

電話：03-5452-6187

e-mail：yyokota@iis.u-tokyo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：横田 裕輔

所属：東京大学・生産技術研究所

(1) 実施機関名：

高知大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震動観測点観測環境の時間変化把握に向けた、解析手法の検討・開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震・火山噴火の予測および災害の軽減のために利用される基礎データである地震動観測点における観測状況の健全性を、時間変化を追って把握できる手法の開発を行う。本課題によって観測状況の把握が可能となれば、① 観測点における観測の維持・管理に携わる人的資産の効率的な運用、② 周辺における工事や構造物の建築等によりやむなく観測点の休止・廃止が必要となった場合に同等の観測状況を持つ候補地選定、といった観測点および観測網、付随する施設を維持するために必要な判断基準作成が可能となる。

観測状況把握の重要性が増す一方、観測に携わる人的資産の確保は、多くの機関において大きな負担となっている。これに伴い、観測点の大半が無人となっていることから、観測の質を担保するための観測点における観測状態の監視・把握を遠隔から可能とするシステム開発と導入は必要不可欠である。観測点における観測状態の変化には、主に観測機器の故障や不調と、観測機器の設置状況の変化が含まれる。観測機器が同時に不調となるとは考えづらいため、複数の異なる手法で観測状況を監視できれば、状況の切り分けが可能となる。また、ごく浅層地盤における速度構造変化に注目することで観測機器の設置状況の変化の把握が可能となると考えられる。高知県を含む四国南部では、降り始めからの積算雨量が1000mmを越すことも珍しくない。あわせて大量の降雨は、急傾斜地が多く存在する地域では土砂災害にも繋がる。このことから雨水がごく浅層地盤からより深部へ浸透することによって、周辺地盤に影響を与えていると考えられる。したがって、観測機器の設置状況の変化を地震動観測点下の地震波速度構造の時間変化として抽出できれば、観測状況を把握することが可能となる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、ごく浅層地盤における地震波速度構造変化抽出のための常時微動アレイを観測点のごく近傍に連続稼働させると共に、観測記録の自己相関関数の時間変化と共に比較することで、対象深度の異なる観測状態の変化を抽出する観測・解析手法の開発を目指す。

平成31年（令和元年）度：

雨水浸透に伴うごく浅層地盤速度構造の変化抽出のため、微動アレイ観測を常時実施するシステムの

設置を行う。

平成32年（令和2年）度：

四国内に設置してある地震動観測点における過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を行う。あわせて常時微動アレイの記録を準リアルタイムで解析し、ごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法の開発を行う。

平成33年（令和3年）度：

四国内に設置した地震動観測点の過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を継続する。あわせて常時微動アレイの記録にごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法を適用する。

平成34年（令和4年）度：

常時微動アレイの運用と変動抽出の解析を継続する。

平成35年（令和5年）度：

課題の取りまとめと実運用可能なシステムへの実装を提言する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

常時微動アレイ観測点での観測と準リアルタイムの地震波速度構造解析を継続した。昨年度までは上下動1成分3点による速度構造推定であったが、既存3成分地震計の記録を併せて利用し3成分1点+1成分3点の同時解析を行うようにした。これにより、4点の上下動成分によるアレイ解析による平均S波速度推定とH/Vスペクトル比法による境界層推定が行えるようになった。この解析を定期的に実施することで、観測点周辺のごく浅層地盤の速度構造の時間変化抽出を行っている。

このような複数地震計を用いて時間連続的に複合的な解析を行うことで、それぞれの観測機器・観測状況の健全性の評価が可能となる。観測機器の障害、観測環境の急変は、解析結果の時間変動誤差の増大としてあらわれる。

本課題で追加した上下動1成分のジオフォンは、国内で調達した場合で数万円/個、安価な製造メーカーからの直接調達（個人輸入相当）で数千円/個であり、観測成分の余裕があれば、安価な観測環境変動の検出手法として利用が可能である。

昨年度成果の予備的な結果として、観測点近傍の表層は多孔質であるという目視確認と速くないS波速度が得られている。多孔質である事実から雨水等の浸透が速いことが予想された。今年度も観測期間中に少くない降雨もあったが、雨水の浸透・流入等による浅層地盤速度構造への影響はみられておらず、雨水の浸透は予想通り速いのもかもしれない。

今年度追加した層境界解析も継続すること、速度構造解析を進めつつ、今後も観測・解析を継続していく予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

令和3年度の現状で地震動観測点における、観測状況の健全性を把握するために観測点ごく近傍の地盤構造を把握することが可能となった。また機器故障についても得られた地盤構造指標の時間変化をモニタリングすることによって、観測状況の把握が可能である。今後は時間変化の指標（定常的にありうる速度、層境界位置の変化幅の把握）をめざし、健全性把握の自動化に努める。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

常時微動アレイの運用と気象擾乱等による変動抽出の解析を継続する。

現有の観測記録との対比を進め、過去の波形記録に同様の変動がないかについても継続して精査する。定常的にありうる速度、層境界位置の変化幅の把握し、時間変化の指標の確立を行い健全性把握のためのシステム化を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学工学部附属 高知地震観測所,大久保慎人 (高知大学工学部附属 高知地震観測所)

他機関との共同研究の有無：有

産業技術総合研究所,防災科学技術研究所,など5名程度

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保慎人

所属：工学部附属 高知地震観測所

(1) 実施機関名：

高知大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震波形データ流通のための、新WIN伝送プロトコルの検討・開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

現在、日本（特に大学間）では、地震波形記録を含む各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるためにWINシステムの伝送プロトコルを利用している。WINシステムは1990年代のコンピュータ（サーバ、ワークステーションも含む）の処理速度が速くなく、データ伝送のための回線容量も大きくなく、データ伝送速度も高速ではない時代に、ある程度のデータ量の圧縮を行い、多項目の観測データの流通を準リアルタイムで可能とする仕組みとして確立した。そのため、WIN自体のデータフォーマットはごくわずかな時刻情報のみを付与した簡便な形式で、拡張性は乏しいものである。このような設計は、1990年代のワークステーションの数千倍の処理能力と精細な動画をリアルタイム再生可能な通信速度を誰もがスマートフォンとして持ち得る、現在の通信事情にはそぐわない。加えて、WINシステムは、かつての日本独自規格であった「ケータイ」と同様に日本国内のみで使われる仕様・システムとなってしまっており、グローバルスタンダードとなり得ていない。しかしながら、観測点から自律的に多種多様なデータを準リアルタイムで伝送可能な仕組みは、他の波形記録フォーマットSEED (miniSEED) などを用いる仕組みには無い特徴である。自律的なデータ伝送機器として、現在IoT (Internet of Things) が取り上げられており、観測機器がこれに当たると考えれば、データ伝送のためのプロトコル（手順）のみが時代遅れとなっていると言える。したがって、新たなデータ伝送プロトコルの開発は急務である。本課題では、WIN伝送プロトコルが現状抱えている問題点を洗い出し、グローバルスタンダードとなりうる伝送プロトコルへの発展を視野に入れ、次世代仕様のWIN伝送プロトコルの策定・実装を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、5-(3)-アにある、各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムの運用に必要な、大容量かつ多項目の観測データを確実に、かつ効率的に流通させるための通信方式の検討・開発を行う。通信方式の中核をなす、伝送プロトコルを策定し、実装するために必要な検討・開発を担う。

平成31年（令和元年）度：

現状のWINシステムおよびWIN伝送プロトコルに関する問題点の洗い出しを行う。
問題点の洗い出しと開発に向け、通信実験テストベッドとなる小規模通信網を構築する。

平成32年（令和2年）度：

新たなWIN伝送プロトコルの策定に向けプロトタイプの作成と仮実装を試みる。

平成33年（令和3年）度：

通信実験テストベッドと多チャンネル・時間分解能が高いデータを用いた実証実験を実施する。

平成34年（令和4年）度：

時期、時間帯を限定し、SINET、JGN等の大規模通信網を用いた実証実験を実施する。

平成35年（令和5年）度：

課題の取りまとめと新プロトコルを実運用可能なシステムへの実装を提言する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

次世代WINプロトコル策定のため、現状のWINシステムで行われている常時データ伝送（方式、プログラム）について精査を行った。その結果、現状のWINシステム中の送受信のためのプログラム群はかなり肥大していることが明らかとなった。

WINシステムが地震動観測に利用されるようになって約30年、これまでに様々なメーカーによりWINシステムに即した観測機器が製作されている。メーカによっては幾世代もの機器開発・更新が行われている。また、運用を行なっている研究者側では同一メーカーであったとしても様々な世代の観測機器を同時に運用していることが多い。さらには、低速サンプリング対応や狭帯域伝送路対応など研究者が求めるさまざまな環境において観測が行われているため、独自拡張された仕様もある。このような様々なメーカー、世代の観測機器が観測したデータを最終的にWINシステムで統合的に運用するデータセットとするため、WINシステムの送受信プログラム群は肥大しているのだと考えられる。

今後とも研究者が用いる観測機器が新たなプロトコルに対応する機器にすぐに更新されることはなく、利用用途や通信環境が激変することもないため、本課題で考えるべき次世代WINプロトコルでも現状システムとの互換性を担保する必要がある。

そこで現時点の開発方針として、次のような次世代WINプロトコルを提案する。

まず（1）後方互換を担保するため、受信時にデータセンターやサーバにおいて動作させる recvt 等の必要なソフトウェアを統合的・一元的に動作させるラッパー（wrapper）ソフトウェアとしての機能を受信側ソフトウェアに含める。

これにより現在複数のソフトウェアを複雑な設定により運用している受信サーバでの設定が容易・簡便になる。当然、今後拡張されるであろうWINシステムのプログラム群もこのラッパーソフトウェアから起動させることができる。

また、（2）送信側からの問い合わせ要求に対して、受信側のソフトウェアが必要なソフトウェアの起動を随時行うような機能も持たせる。

これにより、臨時観測などで意図するしないにかかわらず、古い通信形式でデータ送信を行なった場合でも、受信サーバ設定の更新を行うことなく、運用が継続できる。

（3）データ送信側では現状の送信側のプロトコルでは無手順でUDP WINパケットを送信しているが、次世代WINプロトコルでは、送信データ形式に関して問い合わせを行うことを求める。

送信側はこれから送信しようとしているデータ伝送形式に受信側ソフトウェアが対応するかの問い合わせを行い、相互に送受信するデータ形式を確定させる、やりとりをおこなう機能（プロトコル）を持たせる。無手順の送信形式しか行えないような機器については、上記（2）の受信サーバ側プログラムで対応する。

（2）、（3）のように送信側-受信側でデータ形式を一致させる機能をもたせること、今後開発されるであろう、より高度なデータフォーマット、通信形態でのデータ伝送も可能となる。

また、上述のような送受信のためのプロトコル（手順）を用いることで、実際に伝送するデータがどのような形式かに関係なく、管理者として一元的にWINデータの送受信が管理できることになる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

現状試案中の次世代WINプロトコルでは大枠としてはあるが、様々な観測機器、様々な観測形態、多様な通信形態を包括的に扱うための大やりとりの手順を考案できた。このプロトコルは現状のWINシステムの、観測拠点とデータセンターという狭帯域回線でのプロトコルを統合し、それを基礎としてデータセンター間のような広帯域・大容量伝送が可能な相互の拠点でデータ補完を可能とする。この原案を基に実現可能な実装を模索することで、次世代WINプロトコルとして最低限の機能は担保可能である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度試案した次世代WINプロトコルでは大枠の問題点を関係各所と協議しつつ、実装可能なプロトコルとして確立していく。またデータセンター間のような広帯域・大容量伝送が可能な相互の拠点でデータ補完を可能とするデータフォーマットや通信プロトコルについて検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学工学部附属 高知地震観測所,大久保慎人（高知大学工学部附属 高知地震観測所）
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所,北海道大学,気象庁気象大学校,地震予知総合研究振興会,など5名程度

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：工学部附属 高知地震観測所
電話：
e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保慎人
所属：工学部附属 高知地震観測所

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻活動データの同化による沈み込みプレート境界面すべり予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大地震の発生予測へとつながる地震サイクルシミュレーションを行うにあたっては、摩擦構成則に現れる摩擦パラメータやシミュレーションの変数をどのように設定するかが重要である。本課題では、主にスロースリップイベント（SSE）を対象として、摩擦パラメータやシミュレーション変数を推定するためのデータ同化手法を開発し、測地データに適用する。さらに、この結果を基にSSEの発生予測を試行する。また、地震活動・地殻変動データの統合的同化手法、機械学習とデータ同化を組み合わせた手法等のより高度な手法の開発や地震のような「硬い」系へのデータ同化の適用可能性についての検討を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

既に開発されているEnKFやアジョイント法などのデータ同化手法を豊後水道や八重山等のSSEに適用し、推定された摩擦パラメータとシミュレーション変数の初期値に基づく予測実験を実施する。地震活動・地殻変動データの統合的同化手法を開発する。EnKFとアジョイント法を融合したハイブリッ

ドデータ同化法や機械学習とデータ同化を組み合わせた手法等のより高度な手法の開発を行い、SSEに適用する。データ同化手法を地震のような「硬い」系に適用する上での問題点についての検討を行う。データ同化で観測データとして用いるために、八重山における大学独自のGNSS観測を継続する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. アジョイント法によるデータ同化実験

Kato(2003)のモデルに基づき、全無限媒質中に平面断層を設定し、安定滑り領域の中に地震発生領域とスロースリップ発生領域が存在するモデルを用いた。このモデル領域に対し、準動的な運動方程式と速度・状態依存摩擦構成則に基づいて、地震とスロースリップを発生させた。そして、インバージョン結果をデータ同化の観測量として用いることを念頭に置き、地震間に発生するスロースリップのすべり速度が各グリッド上で直接観測されたとした。ただし状態変数の発展速はaginglawを用いた。そして、(1) スロースリップ発生域の摩擦パラメータ b に異なる値を与え、アジョイント法により、この b の値を推定する双子実験、および、(2) スロースリップ発生域の状態変数の初期値 θ に異なる値を与え、アジョイント法により θ の初期値を推定する双子実験を行った。他のパラメータおよびシミュレーション変数の初期値は真の値に固定した。いずれの実験でも真の値に近い推定値が得られた。また、推定した摩擦パラメータの値や状態変数の初期値を用いて、同化期間より先の地震発生時刻まで予測計算を行った。結果は、探索初期値を用いた計算結果と比較して真の地震発生時刻に有意に近づき、真の地震発生時刻の差は(1)で5~8日、(2)で50日となった。今後は、複数のパラメータや変数の初期値との同時推定の可能性を評価する予定である。

2. 地殻変動データからアジョイント法により直接摩擦パラメータを推定する手法の2003年十勝沖地震の余効すべりへの適用

昨年度までに開発した地表面で観測されたGNSSによる地殻変動データから、アジョイント法により直接プレート境界面の摩擦特性を推定する手法し、2003年十勝沖地震の余効すべり時に得られたGNSSデータに適用した(Kano et al. 2020)。これまではGNSSの日座標値をデータ同化に用いていたが、より正確な余効変動の現状把握と推移予測に向けて、地震発生直後の高時間分解能な地殻変動データが重要であることから、今年度は高サンプリングなGNSSデータの解析・同化手法の開発に着手した。2003年十勝沖地震直後5日分の座標値をItoh et al. (2021, preprint, <https://doi.org/10.31223/X5J91V>)に基づき30秒サンプリングで推定した。また、高サンプリングGNSSデータの同化に向けてアジョイント法の改良を行い、数値実験によりその性能を検証した。なおデータ解析は共同研究者の伊東優治氏と共に実施した。

3. 八重山地方の解析

琉球海溝南西部八重山諸島では国土地理院によるGNSS観測に加え、2010年ごろから京都大学・九州大学によるGNSS観測が行われている。これまでの10年間のGNSS時系列を基に定常変位速度を推定し(図1)、バックスリップモデルを用いてすべり欠損の空間分布を求めた。その結果、八重山諸島の南側のプレート境界においてすべり欠損が17-47 mm/yrであることが分かった(図2)。この領域はスロースリップイベント発生域の浅部に相補的に位置し、プレート境界の摩擦特性などの物理的性質が深さ変化していることを示唆している。同地域では1771年に津波被害をもたらす地震が発生しているが、以降250年間同様のすべり欠損レートで歪を蓄積していると仮定するとMw 7.5に相当するエネルギーが蓄積されている。一方Nakamura (2009)で1771年の津波の波源域とされているプレート境界浅部のすべり欠損は陸域のGNSS観測からでは解明できないため、巨大地震発生ポテンシャルのより正確な評価には今後の海域観測の継続的な実施と観測点の充実が期待される。

4. 応力場推定手法の開発

(東北大学理学研究科 吉田圭祐氏との共同研究)

地震発生予測や地震の物理を理解するためには滑りの時(空)間発展がどのようになっているかを知ることが必要不可欠である。滑りの時空間分布を調べるには、主に地殻変動データを用いるが、データは地表近傍でしか得られないため、推定精度および分解能には限界がある。これに対する方策として、地殻変動以外の他のデータ、例えば応力場情報を用いることが考えられる。

以前、P波初動極性(押し引き)から応力場の空間パターンを推定する手法を開発した(Iwata, 2018,

JGR)。手法の特徴は解析対象領域を分割せず応力場推定を行う点にある。解析には主応力軸の向きの空間変化が滑らかに変化する（空間平滑化）制約を課し、その制約の強さも合わせて推定する階層ベイズモデルを用いている。また、主応力軸の向きの空間変動を推定する際、応力比は空間変動がない（一定）としていたが、手法の高度化として応力比の空間変動も推定する拡張を試みた。

試みとして拡張手法を東北地方において観測されたP波初動極性データに適用した。読み取りは東北大学 地震・噴火予知研究観測センターによるものである。東北地方においてはYoshida et al. (2015, Tectonophysics)により、地域を先験的に分割した解析により応力比の空間変動が得られている。

解析手法のアルゴリズムにはマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC）を用いており、適用した結果、解析領域全体の応力比が1に近い値に張り付いてしまい、MCMCによるサンプルが実質上動かなくなってしまうということになった。理由としては、応力比が1（または0）に近いときは σ_2 軸と σ_3 軸（あるいは σ_1 軸と σ_2 軸）が入れ替わり得る（ある地点での σ_2 軸の方向がそのすぐ近傍では σ_3 軸の方向に、 σ_3 軸の方向が σ_2 軸の方向になる）状況であるためと考えられる。本手法では応力場の向きを3つの角度の組（オイラー角）で表しており、これらが空間的に滑らかに変動するものとしている。しかし、上記のような状況ではオイラー角が空間的に不連続な変化をすることとなり、これに手法が対応出来ていないことにより推定に問題が生じている。なお、応力比に空間変動を許さない場合は0.5前後の値を取ることから、一部の地域において応力比が1に近く、これに手法が対応出来ていないことと相まって解析領域全体の応力場推定をおかしなものにしてしまっていると考えられる。今後、こういったケースに対応出来るような工夫が必要である。

5. 事後確率分布推定に基づくデータ同化手法の構築

観測データからシミュレーションのパラメータの最適値のみならず、その不確実性を明らかにするためには、逆問題を確率論的に定式化し、パラメータの事後確率分布を推定する必要がある。昨年度までに、パラメータ空間が比較的次元の場合に適用可能な事後確率分布推定手法の構築を行ったが、この手法はパラメータ空間が高次元の場合、多数回のフォワード計算を行うことが必要になり、計算コストが大きくなるという欠点がある。今年度は、より少ない回数でのフォワード計算に基づき事後確率分布を推定することができる手法の構築に向け、アンサンブルデータ同化手法の一部であるensemble smoother (ES)とiterative ensemble smoother (IES)の事後確率分布推定能力を検討した。モデルが線形で事後確率分布がガウス分布の場合、これらの手法から同一の結果が得られ、それらは真の事後確率分布に一致した。一方、モデルが非線形の場合、ESから得られる結果は真の事後確率分布に一致せず、非線形性が強くなるほど真の分布からの乖離が大きくなる。IESを用いることによりESよりも良い推定結果が得られるが、非線形性が強くなるほど真の分布に近い推定結果を得るためには多数回の反復が必要であることが分かった。以上の結果から、非線形性の強いモデルに対する事後確率分布推定にはIESがより適していると考えられるが、IESでは反復毎にフォワード計算が必要となるため、現実的な計算コストで推定を行うためには、反復回数を減らすための手法の改良が必要である。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Fukuda, J., and K. M. Johnson, 2021, Bayesian inversion for a stress-driven model of afterslip and viscoelastic relaxation: Method and application to postseismic deformation following the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2020JB021620, 10.1029/2020JB021620

Kano, M., A. Ikeuchi, T. Nishimura, S. Miyazaki, and T. Matsushima, 2021, Potential of megathrust earthquakes along the southern Ryukyu Trench inferred from GNSS data, *Earth Planets, Space*, 73, 199, 10.1186/s40623-021-01531-z

岩田貴樹, 2021, 地震学における非線形Hawkes過程：摩擦構成則に基づく地震活動モデル, *統計数理*, 69, 209-222

- ・学会・シンポジウム等での発表

福田淳一, K. M. Johnson, 2021, ベイズ統計学による測地データの非線形逆解析（招待講演）, 日本地

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

以下のような研究を実施する。(1)今年度実施したアジョイント法によるデータ同化実験を拡張し、複数のパラメータや変数の初期値との同時推定の可能性、観測ノイズの影響を評価する。(2)アジョイント法に基づく地震後の地殻変動データのより正確な現状把握と推移予測に向けた、高サンプリングGNSSデータ同化手法の開発を継続する。(3) Iwata[2018, JGR]の応力場推定手法の高度化（応力比推定・広域応力場への適用への拡張）を行う。(4) パラメータ空間が高次元の場合に適用可能な事後確率分布推定手法の構築を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

宮崎真一（京都大学理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

福田淳一（東京大学地震研究所）,岩田貴樹（広島県立広島大学）,加納将行（東北大学大学院理学研究科）,平原和朗（理化学研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学理学研究科

電話：075-753-3911

e-mail：miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮崎真一

所属：京都大学理学研究科

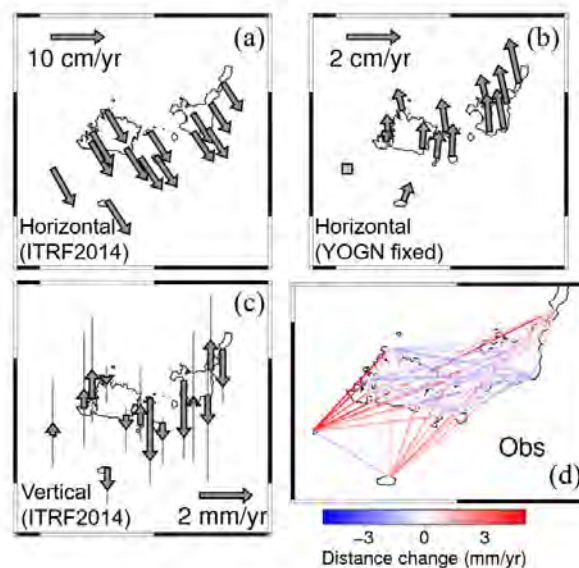


図1

(a) ITRF2014に準拠した水平定常速度ベクトル。(b) (a)をYOGN観測点（四角で示した図中の最西端の観測

点) 固定に変換した水平ベクトル。(c) ITRF2014に準拠した上下定常速度ベクトル。1 σ の推定誤差を示しているが、水平速度ベクトルでは視認できないくらい小さい。(d) 水平定常速度ベクトルから計算した各観測点間の基線長変化。

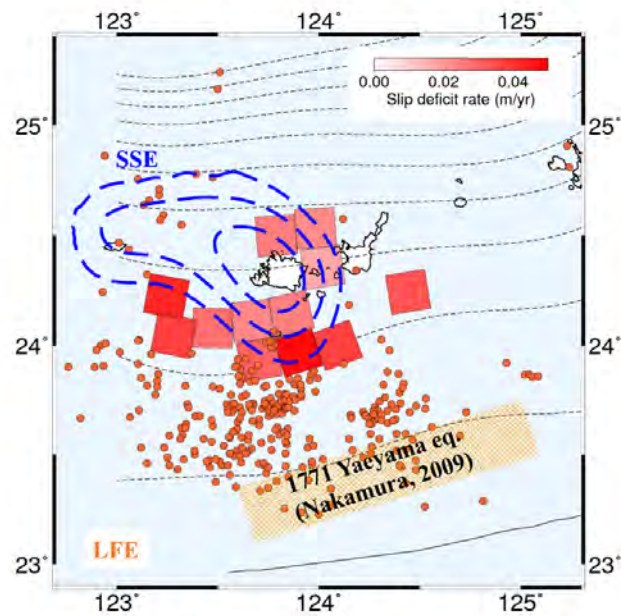


図2

すべり欠損分布。推定誤差1 σ 以上の領域を示している。青破線は2010-2013年に発生した5回のSSEのすべり速度分布を表す (Kano et al. 2018)。このときすべり量を解析期間で割り、40 mm/yrの間隔で表示している。オレンジの丸は低周波地震 (LFE) の震源分布 (Arai et al. 2016; Nakamura 2017)。またオレンジの領域はNakamura (2009)で推定されて1771年八重山地震の断層モデルを表している。

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・地殻変動モニタリングによる中期的な火山活動の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国には数十年以上の休止期を挟んで噴火を繰り返す火山が多い。しかし、その活動サイクルを通して観測研究が行われている火山はごくわずかである。したがって、その他多くの火山を対象として活動評価をおこなうためには、阿蘇や口永良部島などの火山において、長年にわたる近代的観測により蓄積されてきた多項目観測データの分析を進めて、火山活動推移モデルを構築することが不可欠である。一方、その他の火山においては、それぞれの火山活動サイクルの中でさまざまな段階にあると考えられる複数の火山で、同一の項目でモニタリングを実施し、他火山との比較研究を通して、個々の火山の状態を把握することが必要になる。

そこで、本研究課題では、長期間にわたるデータの存在する観測項目である、火山性地震、地殻変動、重力、応力場などのモニタリングを複数の火山で実施し、それらの比較研究をおこなう。そして、近代的観測研究により蓄積されつつある知見を最大限に活用し、「中長期的な火山活動の評価」を実施する。

全体の到達目標は、予測精度向上や推移モデルの高度化のために、観測データによる噴火推移の支配要因の理解を深め、さらなる観測事例の蓄積により火山活動推移モデルの構築および事象分岐条件の設定をすることである。

本課題の対象火山は、駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒・吾妻・伊豆大島・三宅島・焼岳・御嶽・阿蘇・九重・口永良部島であり、以下に重点的な観測を実施する火山などの到達目標を記す。

有珠：総合観測と集中的な地震観測を実施し、次期噴火にいたる過程で生じる現象をとらえる。

十勝：総合観測を継続し、unrestイベントを含む火山活動推移（特に噴火準備過程）の類型化を行う。

吾妻：火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動を明らかにし、他の研究対象火山における

現象との比較を通じて、中長期的な火山活動の評価を行う。

伊豆大島・三宅島：精密な重力変化の分析により次期噴火にいたる過程で生じる地下のマグマの移動を明らかにする。

焼岳：総合的な観測を継続し、1914年噴火から100年以上が経過した同火山が活動再開に至るまでの推移を把握する。

御嶽：2014年噴火以降に長期にわたり継続している山頂域の地震活動と収縮の発生プロセスを明らかにすること、次の噴火に向けた活動変化を捉える。

阿蘇：噴火サイクルが10~20年と比較的短い阿蘇火山では、そのサイクルを規定する物理量の抽出を目指した多項目モニタリングを実施し、他火山の活動評価の指標を提示する。

口永良部：数ヶ月から数年の時間スケールにおける、マグマ蓄積過程とマグマ蓄積量・率を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題と同様に「モニタリングによる火山活動の評価」に取り組む北大代表の課題「電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築」とは相互補完の関係にある。そのため、研究集会を開き密接に連携しながら研究を進め、合同で火山活動評価をおこなう。

本課題では、各火山において、地震観測と地殻変動の連続観測（GNSS and/or 傾斜計）と後述の臨時観測などを実施する。さらに、地震波干渉法による速度構造の時間変化検出や、御嶽山で見られた火山活動にともなう地震活動のメカニズム解の変化検出など、共通の解析手法を適宜各火山のデータに適用することを目的に、各火山担当者の情報交換をすすめる。

また、富山大課題の「富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング」と連携して研究を遂行する。

各年度に実施する観測の内容は以下の通りである。

令和1年度：

御嶽山：In-SAR解析+水収支モデリング、GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

三宅島：火山PJと共同で臨時地震観測

阿蘇火山：地震・空振・傾斜計アレイなど多項目観測。年3回の相対重力測定。

口永良部：レーダ観測をふくむ多項目観測の継続、水準測量

令和2年度：

有珠山：次期噴火の準備をとらえるための臨時観測点設置

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：多項目観測の継続。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和3年度

有珠山：火山PJと歩調を合わせ臨時地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和4年度：

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、山頂地震観測。

阿蘇火山：水準測量。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和5年度：

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。火山PJと共同で臨時地震観測

御嶽山：山頂地震観測

阿蘇火山：年4回の重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

対象火山において地震や地殻変動観測によるモニタリングを継続している。また、電磁気・熱・ガスのモニタリング課題(HKD_04)と連携し、5月に研究集会を実施した。この集会では、対象火山におけるこれまでの観測研究成果を担当者間で共有し、「火山活動推移モデルの構築による予測」への道筋や火山活発化指数(Volcanic Unrest Index : VUI)への活用などについて議論を行った。また、HKD_04と共同で、阿蘇火山・吾妻山でのVUI策定作業をおこない、吾妻山での作業が完了した。

コロナウイルスの影響は小さくないが、各火山における観測は以下に示すようにおおむね順調に進展している。

【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

道内主要5火山における地震・地殻変動観測を継続し、データの収集とunrestイベントの抽出を進めた。

十勝岳においては、作成済みのVUI評価項目と気象庁の警戒レベル判定基準の比較を行った。山体深部の膨張、磁場変化、SO₂放出率、温泉水の組成がVUIの判定に使用されている一方で、噴火警戒レベル判定基準には反映されていない。今後のVUIの時間変化と実際の火山活動を比較して行くことで、噴火警戒レベル設定の高度化に貢献することが期待できる。

有珠山においては、16ヶ所にGNSS観測点を新設し、各点において2週間の観測を実施した。また、山頂火口原および南山腹で2ヶ月間の小規模地震計アレイ観測を実施した。

【吾妻】

吾妻山に既設の機動観測点における観測を維持・継続し、2020年春以降見られた活動活発化に伴う地震・傾斜変動等を高精度に捉えた。また、吾妻山周辺のGNSS観測網を用いて、吾妻山近傍及び広域の面積歪の時空間変化の推定を行った。そして、吾妻山のVUIの策定に向けて、気象庁で蓄積した1965年以降の観測データの提供を受け、そのインデックス化を行った。

【伊豆大島】

伊豆大島において、絶対重力測定と絶対点を起点とした島内30点での相対重力測定を2021年11月に実施した。また、重力値の時間変動に対して、マグマの蓄積による効果と降雨による引力効果を弁別する解析手法(モデル)を適用し、重力の減少量と上下変位の割合(重力勾配)の推定を行った。その結果、半無限媒体モデルを仮定すると、伊豆大島直下の膨張源へ流入する物質の密度が1~2 g/cm₃程度であることが明らかになった。

【御嶽】

御嶽山山頂での通年地震テレメータを目的とした試験観測(10地点)を継続し、火山性地震の震源決定(2021/1-12; 102個)、メカニズム解の推定(2019/1-2021/5; 90個)を実施した。また、Matched Filter法を用いて2006年~2020年の山頂付近の地震活動を調べた結果、深さ3km以内の地震が数日間続いたのは2007年と2014年の噴火前のみであることが明らかになった。

2021年5月から6月に水準測量を実施した。その結果、山頂に近い測線では2016年以降に継続していた沈降が2019年~2021年にかけて隆起に転じていることが明らかになった。

一方、継続実施されているGNSS観測で捉えられた2016年から2019年にかけての地殻変動とInSAR時系列解析結果を比較した結果、両者はほぼ整合的であることが確認された。

【焼岳】

他項目観測の継続とそのデータ解析を実施した。火山活動に伴うような地震や地殻変動は観測されていない。

【阿蘇・九重】

地震・空振の到来時間差および空振卓越周波数を用いて、より正確なマグマヘッド深さを推定する手法を考案し、阿蘇の2014-2015年活動期におけるマグマヘッド深さ、空間形状の変遷を明らかにした。

阿蘇において、2021年4月と10月に相対重力測定を実施した。春季の相対重力値は、2018~2021年

の期間を通してほぼ変化がない一方で、秋季の相対重力値は、2019年のみ20~30マイクロガル小さく、これは2019年の噴火活動中に火口直下の陸水質量が減少していたことを示唆している。また、2020年12月から継続している本堂観測室(第一火口より約1 km)でのラコスト型相対重力計による重力値の連続観測では、2021年10月20日 11時43分に発生した水蒸気噴火に重力値のステップ的な減少が捉えられた。

2021年10月の噴火後に、「火山機動観測実証研究事業」の協力のもと、ドローンによる噴出物分布調査を実施した。

九重においてはGNSSデータおよびInSARデータを用いた地殻変動の抽出をおこなった。

【口永良部島】

2021年5月と12月に水準測量を実施した結果、2020年は路線南部に向かって地盤隆起傾向にあったが、2021年5月と12月の測量結果から、2020年の隆起はほぼ解消されたと言える。

前年にみられた路線南部に向かって地盤が隆起をとらえた水準測量の結果やGNSS観測で捉えられた地殻変動からマグマだまりの体積変化量を推定した。一方、Xバンド偏波レーダーで観測された噴煙高度から、噴火によるマグマの放出を計算した、放出量/体積変化量を噴火による放出効率とし、その時間変化を調べたところ、2015年は0.3程度であったが、2020年は0.1未満に減少していること、すなわち噴火を起しにくくなっていることが明らかになった。このことは2014年からの一連の噴火活動が終息に向かっていることを示しており、火山活動の中期予測という観点から重要な結果が得られた。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

穴井千里・宮縁育夫・宇津木充・吉川慎・望月伸竜・渋谷秀敏・大倉敬宏,2021,古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討,火山,66-3,171-186
宮縁育夫・飯塚義之・遠入楓大・大倉敬宏,2021,阿蘇火山中岳第1火口における2019~2020年マグマ噴火の先駆活動-2019年5月3日~5日噴火を含む火山活動の特徴-,火山,66-3,157-169
大見士朗,2021,飛騨山脈の地震活動,地震ジャーナル,71,50-55
若林環・風間卓仁,2021,京都大学~比叡山頂間の高頻度キャンペーン重力データから推定された可搬型相対重力計の相対スケールファクター,北海道大学地球物理学研究報告,84,11-20,doi:10.14943/gbhu.84.11
横尾亮彦・石井杏佳,2021,熱赤外線カメラで撮影されたJPEGファイルの解析方法,火山,66-3,229-240
大見士朗,2021,飛騨山脈2020年群発地震,京都大学防災研究所年報,64B,40-47

・学会・シンポジウム等での発表

田中 良・橋本武志・成田翔平,2021,熱水流動数値計算とポストプロセッサーを用いた非噴火期における多項目観測モデリング,JPGU,SVC29-12
T. Permana・H. Aoyama,2021,Volcanic tremor source location at Tokachidake volcano from cross-correlation analysis of 2018-2020 seismic data.,JPGU,SVC28-P02
成田翔平・大倉敬宏,2021,PALSAR-2による九重火山群の地盤変動,JPGU

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

地震・地殻変動観測を継続し、データの収集を進める。

有珠山における第2回目のGNSS測量を実施し、1年間の変位ベクトルの評価を行う。また、新設したGNSS観測点の連続観測点化を順次実施する。

十勝岳のVUI評価を最新のデータまでアップデートして2020年-2021年度に発生した活動変化との対応を検討し、評価項目や基準の再確認、活動推移のモデル化へ向けた現象の整理等を進める。

【吾妻】

既設の観測点における地震・地殻変動の連続観測を継続し、火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動の解明を明らかにする。また、試作した吾妻山のVUIに観測網強化によって得られた最近の知見を取り入れるための検討を進める。

伊豆大島

モデルの更なる高精度化、準備期から噴火への移行の兆候を検知するためにも、定期的（1～2年に一度）の絶対重力測定と、島内での相対重力測定を続ける。

三宅島

島内での絶対重力測定と相対重力測定を行う。

【御嶽】

地震、GNSSの観測を年次計画通り実施する

【焼岳】

引き続き、多項目観測とそのデータ解析を実施する

【阿蘇・九重】

阿蘇では4年ぶりの水準測量を実施する。また阿蘇カルデラ内における相対重力キャンペーン測定を3回実施する。九重ではGNSSやInSARデータを用いた地殻変動解析を継続する。

【口永良部】

口永良部島において地震観測、GNSS観測、水準測量、レーダー観測を実施する

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）、横尾亮彦（京都大学大学院理学研究科）、風間卓人（京都大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）、橋本武志（北海道大学）、村上亮（北海道大学）、山本希（東北大学大学院理学研究科）、三浦哲（東北大学大学院理学研究科）、今西祐一（東京大学地震研究所）、大湊隆雄（東京大学地震研究所）、寺田暁彦（東京工業大学）、前田裕太（名古屋大学）、山中佳子（名古屋大学）、寺川寿子（名古屋大学）、伊藤武男（名古屋大学）、大見士朗（京都大学防災研究所）、中道治久（京都大学防災研究所）、山本圭吾（京都大学防災研究所）、村瀬雅之（研究協力者）（日本大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山研究センター

電話：0967-67-0022

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大倉敬宏

所属：火山研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

阿蘇で学ぶ地震・火山災害への備え

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日奈久・布田川断層帯での30年地震発生確率が全国の活断層のうちでは比較的高い部類に属するとされていたにもかかわらず、この情報が地元自治体では共有されていなかった。地震や火山に関する情報を適切な防災行動や防災対応につなげるためには、情報の受け手（一般市民）も地震や火山及びそれらに起因する災害について正しく理解することが必要となる。正しい理解のためには、学習する機会を提供し、理解しやすくする仕組みが必要である。そこで、その機会や仕組みを地震・火山の準リアルタイムデータ表示や震災・火山噴火体験を交えたガイドプログラムの中に実装する。そしてまず第一に、阿蘇にて活動するガイドの防災リテラシーを向上する。次にガイドを仲介媒体として、阿蘇地域を訪れる観光客や他地域の自治体職員の地震や火山にかかる正しい知識を醸成する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震・火山の準リアルタイムデータ表示として、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成25～30年度）において北海道大学の島氏が開発した準リアルタイム火山情報表示システムを改良して使用する（以下、表示システムと略）。

阿蘇地域では、火山博物館ガイドセンターやジオパークガイド協会に所属するガイドらが地震災害の語り部などとして活躍している。また彼らは「熊本地震の経験や教訓を伝える修学旅行生向けの学習プログラム」や「震災遺構を巡る観光ツアー」、「2016年10月に爆発的噴火を起した阿蘇火山の案内」などの震災体験を交えたガイドプログラムを既に実行している。本研究課題では、ガイドの情報発信力を高めるため、2～3ヶ月に一回程度、阿蘇火山博物館などにおいてサイエンスカフェを開催する。また、年に1～2回、専門家（地震、火山、災害対応など）による講習会を実施する。また、ガイドと

ともに、阿蘇火山博物館での中高生への教育プログラムを改良し、修学旅行生に自地域でのハザードを認識させるようにする。

なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

年次計画は以下の通りである。

R1年度：

○表示システムを熊本県庁と阿蘇地域振興局に設置し、地方自治体関係者の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

○阿蘇火山博物館に観光客向けの表示システムを設置し、観光客の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

○阿蘇火山博物館を過去に修学旅行で利用した中高の上位5都府県をターゲットに、ハザードマップなどを収集し、その府県向けの学習プログラムを作成し（阿蘇ガイドと協力し情報共有する）、随時実施する。

○阿蘇ガイドを対象とする地震学セミナーを開催する。

R2年度：

○環境省・南阿蘇ビジターセンターに観光客向けの表示システムを設置する。

○阿蘇火山博物館を修学旅行で利用した中高の6~15位の都府県をターゲットに学習プログラムを作成し、随時実施する。

○阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。また、ガイド講習会の実施する。

R3-5年度：

○阿蘇火山博物館で全都道府県をターゲットに学習プログラムを作成する。

○阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。

○ガイド講習会を実施する。そのなかで、阪神・淡路大震災等の過去災害における語り部活動の事例を調査し、比較検討することにより、ガイドプログラムの向上をはかる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2016年の熊本地震本震時、東海大学のキャンパスには地表断層が現れ、建物も大きく被災した。この敷地の一部が熊本県の熊本地震震災ミュージアムとして活用されている。今年度はこのミュージアムで活動しているガイドを対象にした勉強会を開始した。

一方、火山災害に対する備えという観点から以下の活動をおこなった。

阿蘇山ではおおむね25年に一度の頻度で火口周辺に大きな影響がもたらされる中規模の水蒸気噴火が発生している。このような噴火により、1953年、1979年には観光客が亡くなった。また、1958年の噴火での死者は一般住民ではない。火口このような噴火は突発的に発生することが多く、（火山近傍の居住者とは異なる）不特定多数の観光客への情報伝達が重要である。そこで、火山活動に関する正確な知識をガイド経由で観光客に伝達するうえでの課題を検討するため、観光客の火山防災に関する意識調査を東北大学と共同で実施した。

対象は、阿蘇山の「火口周辺（概ね1km範囲内）」への観光客であり、「2020年9月～2020年12月頃」または「2018年4月～2019年3月」に中岳火口を訪問した（と記憶している）人だけを回答者として選抜し、性別と4つの年齢層（20歳代・30歳代・40歳代・50歳以上）の組合せ（8通り）に対してインターネットを用いたアンケート調査を行い、各50人計400人から回答をえた（実施期間は2021年2月26日～3月2日）。

集計の結果、観光客や登山客へ火山の情報提供および火口周辺の防災対策を実施する上で参考とすべき知見が以下に述べるように得られた。

阿蘇山が活火山であることをはっきりと知っていた人は70%にとどまった。また、2014年御嶽山の噴火災害のことをはっきりと記憶している人は約40%であった。この数字は、阿蘇火山博物館や国立公園のビジターセンターなどを通じた火山や火山災害に関する情報発信、啓発活動の必要性を認識させるものであった。

まえもって阿蘇火山火口規制情報（ホームページ）を確認していた人は27.5%、入山ゲートで配布

されるパンフレットのことを覚えていた人は25%、火口周辺の注意喚起の看板や放送の内容を覚えていた人は約44%であった。観光客の情報入手手段としては、現地での注意喚起の看板や放送がもっとも効果的であった。

前述の御嶽山噴火と同規模の噴火が、阿蘇火山では2016年10月に発生した。この噴火による人的被害は無かったが、火口近くの駐車場や歩道には当時の噴石により開いた穴の跡が保存されている。この跡に気付いた人は全体の36%だけであったが、気付いた人の多くは見学エリアに待避壕が存在していることを認識しており、そのうちの半数が実際に待避壕の中に入っていた（緊急時の避難先の確認を行っていた）。このことは、噴火の影響を判りやすくしておくことが、緊急時の避難先の確認という防災行動につながっていることを示唆している。

また、観光や登山などをする前に、噴火警戒レベルを確認したことがある人は36%にすぎなかったという結果は、阿蘇火山防災会議協議会による入山規制の方法を検討する際にも活用された（噴火警戒レベル2の状態では気象庁から「火山状況に関する解説情報（臨時）」が発表された場合に道路を夜間に封鎖）。

さらに、スマートフォンで防災に関係するアプリを活用している人は全体の27%であったことから、噴火速報など緊急時の情報伝達には、エリアメール（緊急時一斉配信）のほうが有効であることが示唆された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

阿蘇を訪れる観光客に地震災害に関して多くを学んでもらうためには、まず熊本地震震災ミュージアムやジオパークで活動するガイドの防災リテラシーを向上することが不可欠であるとの認識のもと、ガイドのリテラシー向上の手法を検討することで「地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」に貢献することを目指している。ただ、今般のコロナウィルスの影響により活動が制限されているため、修学旅行生向けの学習プログラムの作成などの進捗がやや遅れている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- 阿蘇火山博物館で全都道府県からの修学旅行生をターゲットに学習プログラムを作成する。
- 阿蘇ガイドを対象とした講習会を定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。
- 環境省の阿蘇ビジターセンターでの活火山に関する情報発信を強化するため、火山活動状況表示システムを設置する。
- 登山客への火山活動に関する情報提供方法を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

池辺伸一郎（阿蘇ジオパーク事務局）、豊村克則（阿蘇火山博物館）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山研究センター

電話：0967-67-0022

e-mail：bonkura@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大倉敬宏

所属：火山研究センター

(1) 実施機関名：

九州大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震火山相互作用下の内陸地震空間ポテンシャル評価

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- (4) 火山現象の解明とモデル化
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - イ. 内陸地震
 - ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
 - オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測
- (4) 中長期的な火山活動の評価
 - イ. モニタリングによる火山活動の評価

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (1) 推進体制の整備
- (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
- (3) 研究基盤の開発・整備
 - ア. 観測基盤の整備
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつける。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

熊本ー阿蘇火山と、北海道の屈斜路ー阿寒カルデラ周辺を観測重点地域として内陸地震空間ポテンシャル評価の研究を行う。地震発生は、対象地域に働く応力場、断層周辺の力学的応答、地震を発生させる断層面の形状、断層の強度、破壊の開始や停止に対する流体の効果、流体の上昇の効果、という要素に規定されていると考え、以下のような手法に基づきそれぞれの要素の評価を行う。

応力場：地震活動がある領域についてはモーメントテンソルを用いて推定する。地震の起こっていない領域については周辺の応力状態、変形状態から推定し、応力場モデルの構築を行う。機動地震観測により地震活動が活発な地域では水平深さ方向とも5km程度の分解能で推定する。さらに構造情報を入れて、数値計算により不均質な応力場の再現を試みる。応力場が不均質であることが示唆されている天草周辺の非地震帯、警固断層周辺で臨時GNSS観測、地震観測を強化し、不均質な応力場が形成されるメカニズムを推定する。

断層周辺の力学的応答：地震学的、電磁気学的構造、測地学的運動から周辺の地域の弾性的・非弾性的応答を推定し、数値計算により断層に載荷される応力(応力再配分)を推定する。一方、地震による非弾性変形やGNSS観測による地表変位速度データをもとにして、定常変形や大規模地震による応答を求める。

地震を発生させる断層面：主に観測重点地域を対象に地表の活断層の分布、稠密地震活動から見出される震源の面上配列、広帯域MT調査による厚みをもった破碎帯(低比抵抗帯)の形状から推定する。

断層の強度：周辺の地震活動から見積もられる間隙流体圧、応力場と断層面との関係、低比抵抗ー低速度域、断層直上の温泉ガス分析から推定される空隙率、等を用い推定する。流体供給源の位置と化学観測からの流体経路を参考にして、断層の強度低下の可能性を検討する。

流体分布と、流体が地震の開始や停止に及ぼす影響：比抵抗構造、速度構造、減衰構造の3者を推定することにより地下の流体の蓄積場所と、水かガスかマグマかの判別、温度、粘性係数、さらには流体を蓄える亀裂の大きさを推定する。観測重点地域は5~10 km程度の解像度で応力場モデルと組み合わせ、歴史地震の発生した場所の地震ポテンシャルを検討する。さらに、断層端と流体分布の位置関係から、破壊が流体によって停止する可能性を検討する。流体周辺域とその他の地域に分け、初期破壊過程と最終的な地震の規模との関連を統計的に評価する。

流体移動の効果：火山周辺ではマグマの蓄積や粘性緩和によって周辺の応力場が変化し、地震発生につながる事が考えられる。屈斜路ー阿寒カルデラにおいてはGNSS観測などから歪の不均質場を明らかにするとともに、地震活動や火山活動との関連性について検討する。マグマが冷却結晶化する過程で析出した水を含む揮発性成分や、断層地下にもともと蓄積されている流体も移動することにより地震を誘発する可能性がある。熊本ー阿蘇地域の温泉を対象にH₂, 4He, CH₄, N₂, O₂, 36Ar, 40Ar, CO₂, 222Rnのモニタリング連続観測を行い、玄武岩質マグマ起源流体、安山岩質マグマ起源流体、大気の混合比を求め、その時間変化と地震活動との相関を検討する。さらに水の酸素水素同位体比・全炭酸・3He/4He/20Ne比・陰陽イオン・主要ガス・222Rnのサンプリングも定期的に行い、流体の起源を推定し流体供給路を推定する。また、起源の異なる流体が相互に混入することがあるかどうかを調べる。これによって、火山活動との相互作用や地震活動の活動様式について知見を得る。また、断層等でガスサンプリングを実施する。また、流体の起源についての別のアプローチとして、野外の露頭調査からは深成岩体(過去のマグマ溜り)周辺の含水鉱物の分布や、分析による化学組成、さらには冷却結晶化の室内実験において結晶化の進行と発生するガスの挙動を調べ、流体の振る舞いや、流体が深成岩体周辺に100万年単位で蓄積される可能性を検討する。

以上の手法により、過去に大きな地震が起きた地域をモデルケースとして、各要素を推定し、支配的な要素や、要素間の関係性を調べる。これにより内陸地震の空間ポテンシャル評価手法の開発を試みる。

平成31年度は以下の観測調査を行い、既存データと併せて解析を進める。

地震観測：熊本地震震源域、その南部延長部、天草非地震帯および阿蘇を含む領域で稠密地震観測を実施し、地震後応力場推定の精度を向上させるとともに、地震活動様式を詳細に把握することでこれらの時空間変化をとらえるためのデータ取得を開始する。また、既存データの処理解析を進め、布田川ー日奈久断層帯の断層面形状、地震後応力場推定を進める。

測地観測：GNSSによる熊本地震の余効変動観測を継続する。屈斜路ー阿寒カルデラ周辺において連続GNSS観測のデータを収集、解析する。

化学観測：熊本ー阿蘇地域の温泉(3地点)を対象にH₂, 4He, CH₄, N₂, O₂, 36Ar, 40Ar, CO₂, 222Rnのモニタリング連続観測を開始する。

電磁気観測：鶴見岳周辺で10点規模の広帯域MT観測を実施する。

室内実験：アナログ物質を用いて冷却速度が、気泡形成の振る舞いに及ぼす影響を調べるための実験装置のデザインを行う。

重力観測：北海道屈斜路カルデラ・阿寒カルデラ周辺において、これまでの重力観測のデータを整理する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつけることを目標としている。令和3年度の成果は以下のとおりである。

応力場 ー下部地殻の非弾性変形の影響ー

地震発生ポテンシャルを評価するうえで重要なものの一つは下部地殻から地震発生層への応力荷が挙げられる。下部地殻内の粘性不均質に起因する局所的な非弾性変形は地震や歪み集中帯の成因に対して重要な役割を果たしている可能性があるが、その影響を評価するためには、下部地殻の変形を検出する必要がある。本年度はGNSSの日々の座標値から推定される定常的な変位速度を用いて下部地殻の非弾性歪み速度およびプレート間の固着分布の推定を行った。下部地殻の非弾性変形のモデル化はBarbot (2020)に、プレート間の固着分布のモデル化はYabuki & Matsu'ura (1992)の方法に則った。推定の結果、プレート間の固着分布はこれまでの先行研究（例えば、Yokota et al., 2016; Noda et al., 2018）に類似した分布が得られた一方で、下部地殻の非弾性歪み速度の分布は周辺のテクトニクスを反映したと思われる特徴的な分布を示した。九州中央部の非弾性歪み速度は九重、阿蘇などの火山周辺に沿って高く、Iio et al. (2002)やHasegawa et al. (2005)らが指摘する、“深部由来の流体によって弱化された下部地殻における非弾性変形の集中”と同様のメカニズムが九州中央部に存在していることが示唆される。また、この九州中央部に見られる高い非弾性歪み速度領域は島原半島や天草灘などの別府島原地溝帯（BSG）西部には伸びていかず、BSGは沖縄トラフの陸上部分であるとすするTada (1984)の指摘とは異なる。九州南部では、Wallace et al. (2009)が指摘する左横ずれのせん断帯に相当する高非弾性歪み速度領域と、阿蘇一霧島間の火山ギャップの位置（九州山地周辺）に相当する低非弾性歪み速度領域が見出された。地殻構造等との比較から、これらの分布は沈み込むKyushu Palau Ridge (KPR) やフィリピン海プレートのロールバックの影響によるものである可能性が示唆される。推定された地殻下部の非弾性変形とプレート間カップリングを用いて計算された応力変化は、九州の内陸地震が地殻下部の非弾性変形の影響を強く受けていることを示している。最後に、上部地殻の偏差応力場との比較から、BSGの南側に多くの弱断層からなるshear zoneが存在することが示唆された。

2003年から連続化した北海道大学のGNSS連続観測点5点と周辺のGEONETのデータ、また、2012年以降のキャンペーン観測点約12点について、更新された解析ソフトウェアによる再解析を行った。連続観測点ではこれまでよりもばらつきの小さい座標時系列を得るとともに、キャンペーン観測点では2015年以降のデータが解析されたことにより、概ねどの観測点でも概ねこの10年間線形的な変動が続いていることを確認した。連続点から屈斜路湖南部の北向きの局所変動が捉えられていたが、周辺のキャンペーン観測点の結果もそれをサポートし、ひずみ分布としてカルデラの中心部で1ppm/yrオーダーの大きい短縮変形の存在を裏付ける。これらの地殻変動場がカルデラ下の不均質構造に起因すると仮定し、カルデラ下に低粘性媒質を設定した有限要素モデルを構築し解析を始めた(図1)。現在、入力に対する応答の確認を行っており、今後パラメータスタディを行って、観測値の説明を試みるとともに、応力・ひずみの分布について考察を進める。

応力場 ー余震活動・余効変動のモデリングー

大地震後、地震・地殻変動観測を続けると、余震活動・余効変動を捉えることができる。これらの現象は、大地震の発生によって地震断層周囲に荷重された応力に対して、地殻が応答しているものと考えられている。そのような大地震後の地殻の応力緩和過程を考えるために、2016年熊本地震の震源域（布田川・日奈久断層帯）を対象領域に設定して余効変動のモデリングを行った。

応力の緩和過程の一例として、余震活動は、大地震によって生じた地殻内の応力変化を非弾性的に緩和・解消していくものととらえることができる。一般に、大地震後、断層周辺では、余震によって生

じる非弾性歪み速度は時間の冪乗に従って減少していくことが知られており、時間経過と共に非弾性歪みが収束していく。対象領域で地震観測データを用いて非弾性歪み速度の時間発展を調べると、地震時断層周辺では非弾性歪みが時間経過に従って収束していく様子が確認された。一方で、地震時断層の南西部では、時間が経っても非弾性歪みが収束していかない領域があることを見出した。また、本震後の地殻変動観測データを用いて地表面での変位を推定すると、定常的な運動とは異なる変位は、熊本地震の震源域で数cmから10 cmほどの大きさで、布田川・日奈久断層の運動方向である右横ずれの傾向を示していた。

以上のようにGNSSデータから求めた地表変位と、余震活動による非弾性変形の地域性は、どちらも地震時の応力変化の解消だけでは説明できず、地震発生後の非地震性変動の存在を示唆していた。そのためアフタースリップモデルを構築した。地表面でGNSS観測により得られた変位をデータとし、布田川・日奈久断層の2枚の断層面形状を設定してベイズインバージョンを行い、その断層上のすべり分布を推定した。このとき、余震活動による非弾性歪みは、背景応力とアフタースリップによって生じた応力変化の和に従って生じていると考えられるため、余震活動による非弾性歪みはアフタースリップによる応力変化の方向に生じる傾向を持つという拘束条件を与えた。そうすることで、地殻内の歪み場も説明可能なモデルが得られた。

地震時断層の端では、アフタースリップのすべりが大きいことが推定され、このような地震時断層端では、地震時応力変化の影響が非常に大きく、そのことから非地震性すべりが生じていることが考えられる。また、低粘性を示唆する低比抵抗を示す阿蘇山地下や、熊本平野の深さ20 km付近の領域ですべり量が大きく、これらの領域は低粘性構造が非地震性すべりを起きやすくしている可能性がある。また、推定されたアフタースリップがすべることによって生じる応力変化は、余震活動を促進しており、観測事実と調和的であった。

応力場 —b値の観点から—

Chiba (2021)では2005年福岡県西方沖地震余震域において、気象庁一元化震源カタログを用いたb値の解析、F-netモーメントテンソル解を用いた応力場解析を行い、当領域の現在における応力状態の検討を行った。その結果、大局的には2005年本震震源より浅部で高b値、深部で低b値となるが、本震震源の直下深部では比較的b値が高い。本震震源直下で顕著な低速度層が存在することから (Wang and Zhao, 2006)、震源直下の局所的な高b値域は間隙水圧上昇に伴う有効法線応力の低下によるものと推測される。また本震直後の応力場解析から震源直下では余効滑りが発生している可能性が示唆されている (Matsumoto et al., 2012) こととも整合的である。一方、浅部において本震の前後でb値の時間変化 (b値の上昇) がみられた。

地震学的構造

マグマ供給系の実体をとらえるために雲仙火山において自然地震を用いた速度構造トモグラフィーを行った (Miyano et al. 2021)。雲仙火山では1990-1995年の噴火活動を引き起こしたマグマは島原半島の西部、橘湾の地下10~15km付近から雲仙山頂に向かい斜めに上昇してきたことがGNSS+水準測量の観測 (Khono et al., 2008)、および震源の移動 (Umakoshi et al., 2001) により明らかになっている。インバージョン結果は雲仙火山を頂点とした円錐状の形状の低 V_p 領域 (深さ3-16 km) を示し、マグマの上昇経路はその上面付近に対応する。S波速度、 V_p/V_s も考慮して、この定 V_p 領域はメルトの存在量が大きく見積もって5%以下の、高度に結晶化したマグマだまりであると推定された。マッシュ状のマグマだまりの内部をマグマが鉛直に上昇するという考え (e.g., Cashman et al. 2017) とは異なり、ほぼ固結しつつあるマグマだまりの上面をなぞるようにマグマが上昇していくという、新しいマグマ供給系のイメージが得られた (図2)。

比抵抗構造

地殻内の低比抵抗体の実体については、火山地域の比抵抗構造から示唆が得られた。島原半島全域で2017-2021年にかけて得た70点の広帯域MT観測データの解析から、雲仙1990-1995年噴火のマグマの移動経路は、深さ5 kmより深部に存在する100-3000 Ωm 程度の高比抵抗体、およびその上部に位置する1-10 Ωm 程度の低比抵抗体、いずれとも一致せず、両者の境界付近と一致することが分かった。高比抵抗体は前述の地震波速度構造の低 V_p 領域 (Miyano et al. 2021)とよく対応し、また岩石学的研究から推定したメルトの比抵抗値と流体連結度モデルの計算もあわせてメルトの存在量が5%以下と低いため低速度-高比抵抗となっていると解釈された (Triahadini et al., 2021)。また、その上部を

覆うように存在する低比抵抗体もマグマの上昇経路と一致しないことから、マグマだまりではなく低浸透率領域と解釈される。これらの結果は、高比抵抗体、低比抵抗体、いずれも流体が移動しやすい場所ではなく、その構造境界に流体が多く存在し、その移動が様々な地殻活動を発生させるという、本課題から示唆されてきた描像と良く一致した。九重火山での稠密広帯域MT観測からは火口や地熱地帯は深さ3~5 kmの低比抵抗体の上部に一致するという発見があり構造境界での流体の存在を裏付けた(図3, Aizawa et al. 2022)。別府温泉周辺で発生した2007年の群発地震では、深さ12 km付近から深さ5 km付近へ、北北東→南南西の震源の移動が生じたが、それは深部の低比抵抗体の縁にそって生じていることが推定された。また、地表の温泉の位置は深さ4 km付近の低比抵抗体の端部に位置しているということが明らかになった。大崩山周辺ではバソリスが高比抵抗領域としてイメージされ、その西端部の高千穂町付近において地震活動が活発であるという結果が得られた。この地震活動域は東北太平洋沖地震にともない動的誘発されたため流体の存在が示唆される。

本年度も構造境界と地殻活動との関連という視点を持って屈斜路-阿寒の内陸地震発生場および福岡-佐賀の警固断層帯周辺においてそれぞれ25点程度の広帯域MT観測を行った。

地震開始時の開口クラックの寄与

通常の断層運動(ダブルカップル型地震: DC地震)では説明できない地震を非ダブルカップル型(NDC)地震と呼ぶ。NDC地震は、これまで主に火山地域や地熱地帯で報告されており、NDC成分は、断層の破壊の複雑さや流体の存在などを示すものとして考えられている。2000年鳥取県西部地震震源域では、2017年3月から2018年4月まで1000点の地震計を設置する観測が行われた(0.1満点地震観測)。Hayashida et al. (2020)は節面やヌル軸付近にDC地震では説明できない極性分布があることから内陸地震発生場でNDC地震の発生を示した。また、せん断(shear)+開口クラック(tensile)で表されるtensile-shear (TS)モデル、もしくは断層が滑りながら開くshear-tensile (ST)モデルが最適であることを見出した。本年度は、同地域でさらに多くの地震を詳細に調べることで、地震の発生場所やマグニチュードに依らず平均的に10-20%のNDC成分をもつことを明らかにした。NDC成分の寄与がマグニチュードに依らないという結果は、断層運動に伴い小さい開口クラックが多数発生する、もしくは断層サイズが大きくなるにつれクラックサイズが大きくなることを示唆している。今後は両者のどちらが支配的か検討する。

化学観測

地震学、電磁気学的観測から間隙流体が地震発生に重要であることが示唆されつつある。活動的な火山だけでなく、熊本地震の前震および本震の震源もおおよそ15万年前に2 km³の溶岩を噴出した地点と一致することからマグマ起源の流体が地震活動に大きな影響を与えている可能性がある。2021年3月に熊本および阿蘇観測点で温泉ガスの化学連続観測を開始した。両者の溶存ガスのヘリウム同位体比の大気規格値(Ra)は3.3、4.0とであり、窒素/ヘリウム比と、窒素/アルゴン比によって、安山岩質マグマ起源(A成分)・玄武岩質マグマ起源(B成分)・天水起源(M成分)の三つの端成分の混合として分類できる条件(Giggenbach,1992)をみたしている。Giggenbach(1992)で示された3つの端成分(安山岩マグマ起源、玄武岩コンタミ成分、天水)の混合により測定値が説明できると仮定し、各端成分の寄与率の時間変化を推定した。データ取得開始から半年程度しか経過していないが、阿蘇観測点において2021年10月から安山岩マグマ起源成分の寄与が増えている。観測結果は随時 <https://bit.ly/3zKJ2fk> に公開している。

室内実験

マグマだまりが地下深部で冷却結晶化することで、マグマだまり内部に揮発性成分が濃集し、噴火をトリガーする過剰圧が発生する。冷却結晶化に伴い揮発成分の濃集と気泡形成がどのように進行するかを理解するために、昨年度に引き続き、H₂Oと共融系を作るいくつかの「物質」を用いて、溶解しているCO₂の濃集・気泡形成過程について室内実験を行った。今年度は、「物質」として、これまでのKClに加えてNH₄Clとショ糖を用いた。実験装置を改良し、圧力変化について、再現性のある実験結果が得られようになった。その結果、温度・圧力・冷却結晶化の進行・気泡の形成について次のことがわかった。1)カインティックな理由で結晶化の進行速度が決まり、気泡発生を左右する。2)結晶量が少ないと気泡は発生しない。3)対流の発生の有無は、液の組成の不均一性の大きさを左右する。4)結晶に共生して形成した気泡は離脱しない可能性がある。以上のことから、カルデラ形成噴火でしばしば観察されるcrystal ashやcrystal clotは、マッシュ状マグマだまりの結晶の隙間にトラップ

されている気泡が膨張することにより形成される可能性がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

熊本地震の震源近傍に低比抵抗、高減衰域が存在することや、30万年前に2km³の溶岩流を噴出する火山活動があったことから、火山性の構造が熊本地震の発生と関係があることが示唆された。稠密観測により火山性と思われる構造境界をイメージングすることで、地震や地殻変動と構造境界の関連が深いことが示唆された。下部地殻の非弾性変形は火山性の構造に局在する可能性を示唆した。地表付近の温泉ガスと地下深部の地殻活動との時間的關係を議論できる観測体制を構築した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chiba, K., 2021, Stress State Inferred from b Value and Focal Mechanism Distributions in the Aftershock Area of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake, *Pure Appl. Geophys.*, 178, 1165-1179, doi:10.1007/s00024-021-02691-5

Aizawa, K., Ustugi, M., Kitamura, K., Koyama, T., Uyeshima, M., Matsuhima, N., Takakura, S., Inagaki, H., Saito, H., & Fujimitsu, Y., 2022, Magmatic fluid pathways in the upper crust: Insights from dense magnetotelluric observations around the Kuju Volcanoes, Japan, *Geophysical Journal International*, 228, 755-772, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab368>

Miyano K., Aizawa K., Matsushima T., Shito A., and Shimizu H., 2021, Seismic velocity structure of Unzen Volcano, Japan, and relationship to the magma ascent route during eruptions in 1990-1995, *Scientific Reports*, 11, 22407, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00481-6>

山本有人・相澤広記・村松弾・安仁屋智・田辺暖終・若林翌馬・藤田詩織・志藤あずさ・小山崇夫, 2021, 別府地熱地帯の比抵抗構造から推定する流体の移動経路, *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 36-37, http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/CA/2021/Yamamoto_et_al_CA2021.pdf

Suhendro, I., Toramaru, A., Miyamoto, T., Miyabuchi, Y., & Yamamoto, T., 2021, Magma chamber stratification of the 1815 Tambora caldera-forming eruption, *Bulletin of Volcanology*, 83, 1-20, <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01484-x>

・学会・シンポジウム等での発表

Triahadini A., K. Aizawa, T. Hashimoto, K. Uchida, Y. Yamamoto, K. Chiba, D. Muramatsu, K. Miyano, Y. Kawamura, and S. Aniya, 2021, Understanding Magmatic System of Unzen Volcano (Nagasaki, Southwest Japan) Inferred from Broad-band Magnetotelluric Observation, EGU General Assembly 2021, EGU21-1866

井上智裕・橋本武志・田中良・山谷祐介・市原寛, 2021, 広帯域MT法3次元比抵抗解析による雌阿寒岳のマグマ供給系

, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SEM14-01

山本有人・相澤広記・村松弾・安仁屋智・田辺暖終・若林翌馬・藤田詩織・志藤あずさ・小山崇夫, 2021, 別府地熱地帯の比抵抗構造から推定する流体の移動経路

http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/CA/2021/Yamamoto_et_al_CA2021.pdf, 2021年 Conductivity Anomaly 研究会論文集, 36-37

大久保歩夢・相澤広記・松島健・Agnis Triahadini・山本有人・田辺暖終・宇津木充・山崎健一・吉村令慧・小松信太郎・荒上夏奈・波岸彩子・手操佳子・塚本果織・村松弾・林田祐人・武石貢佑・緒方美季・渡部陽奈・藤森佳奈・原田直人, 2021, マグマ供給系の化石のイメージング：大崩山花崗岩体の電気比抵抗構造, 2021年火山学会秋季大会

名和一成・山崎雅・宮川歩夢・高橋浩晃・大園真子・青山裕・岡田和見・山口照寛・岡大輔・岡崎紀俊・今西祐一・西山竜一・本多亮・池田博・白川龍生・大井拓磨, 2021, 道東屈斜路カルデラ地域における精密重力モニタリング（2020年～2021年）, 日本測地学会第136回講演会, P13

大園真子・高橋浩晃, 2021, 稠密GNSS観測から見える北海道東部屈斜路カルデラ周辺の地殻ひずみ速度場（2003-2020年）, 日本測地学会第136回講演会, P16

光岡郁穂・松本聡・湯浅雄平, 2021, Spatiotemporal change in the inelastic strain and displacement fields due to aftershock activity of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, in central Kyushu, Japan, 日本地震学会2021年度秋季大会

本越拓実、松本聡、飯尾能久、酒井慎一、加藤愛太郎、0.1満点地震観測グループ,2021,スペクトル比を用いた2000年鳥取県西部地震震源域におけるダブルカップル地震と非ダブルカップル地震の震源特徴の推定,日本地震学会2021年度秋季大会

藤村志穂・寅丸敦志,2021,炭酸水とアナログ物質を用いたマグマ冷却結晶化発泡の実験ーアナログ物質と実験条件の探索ー,2021年火山学会秋季大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

熊本地震震源域にて稠密地震観測の継続
 ヘリウム・窒素・アルゴンの三成分連続観測の継続
 熊本地震震源域にて余効変動観測の継続
 福岡ー佐賀での広帯域MT観測
 屈斜路-阿寒カルデラ周辺において連続GNSS観測継続
 大崩山周辺での野外調査

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

相澤広記（九州大学）,松本聡（九州大学）,松島健（九州大学）,清水洋（九州大学）,寅丸敦志（九州大学）

他機関との共同研究の有無：有

大園真子（北海道大学）,高橋浩晃（北海道大学）,橋本武志（北海道大学）,角森史昭（東京大学）,中尾茂（鹿児島大学）,小泉尚嗣（滋賀県立大学）,市原寛（名古屋大学）,柴田智郎（京都大学大学院理学研究科）,岡大輔（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）,名和一成（産業技術総合研究所）,森川徳敏（産業技術総合研究所）,志藤あずさ（岡山理科大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：九州大学地震火山観測研究センター

電話：092-802-4347

e-mail：aizawa@sevo.kyushu-u.ac.jp

URL：http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：相澤広記

所属：九州大学地震火山観測研究センター

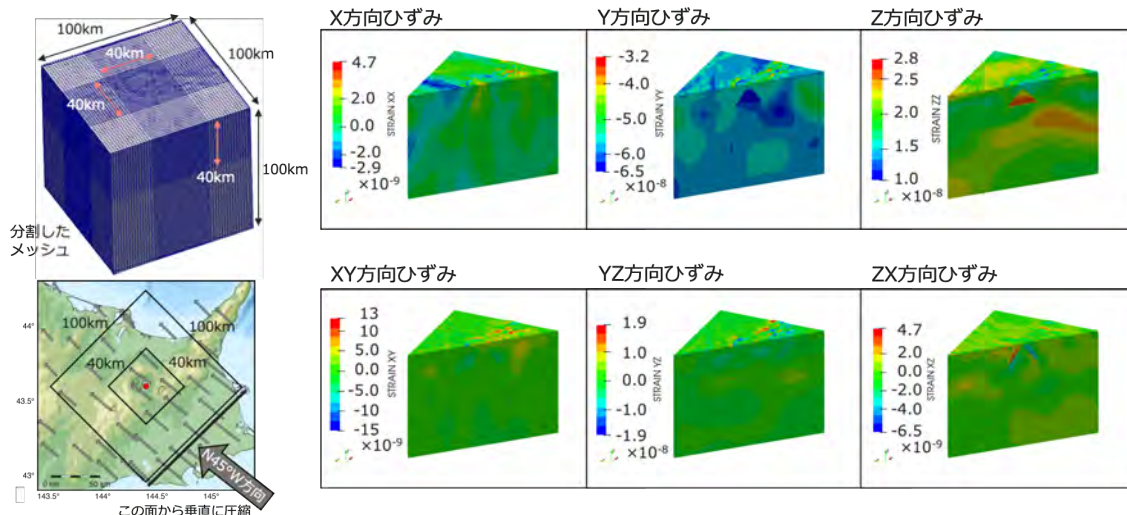


図 1

有限要素モデルの試算結果例。カルデラ下に粘弾性媒質（Maxwell粘弾性体， $\eta = 1017 \text{ Pa s}$ ）を設定，周囲は弾性体とし，南東から一様に強制変位を与えたときの約20日間の累積ひずみの分布。

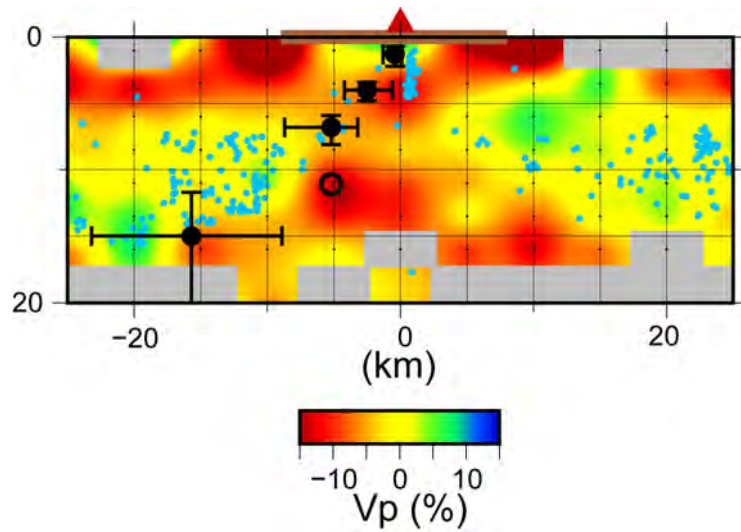


図 2

雲仙火山の地震波速度構造 (Vp) 東西断面 (Miyano et al., 2021より抜粋)。黒丸は水準測量とGNSS観測による1990-1995年噴火時の圧力源 (Kohno et al., 2004)。白丸はGNSS観測による圧力源 (Nishi et al., 1999)。

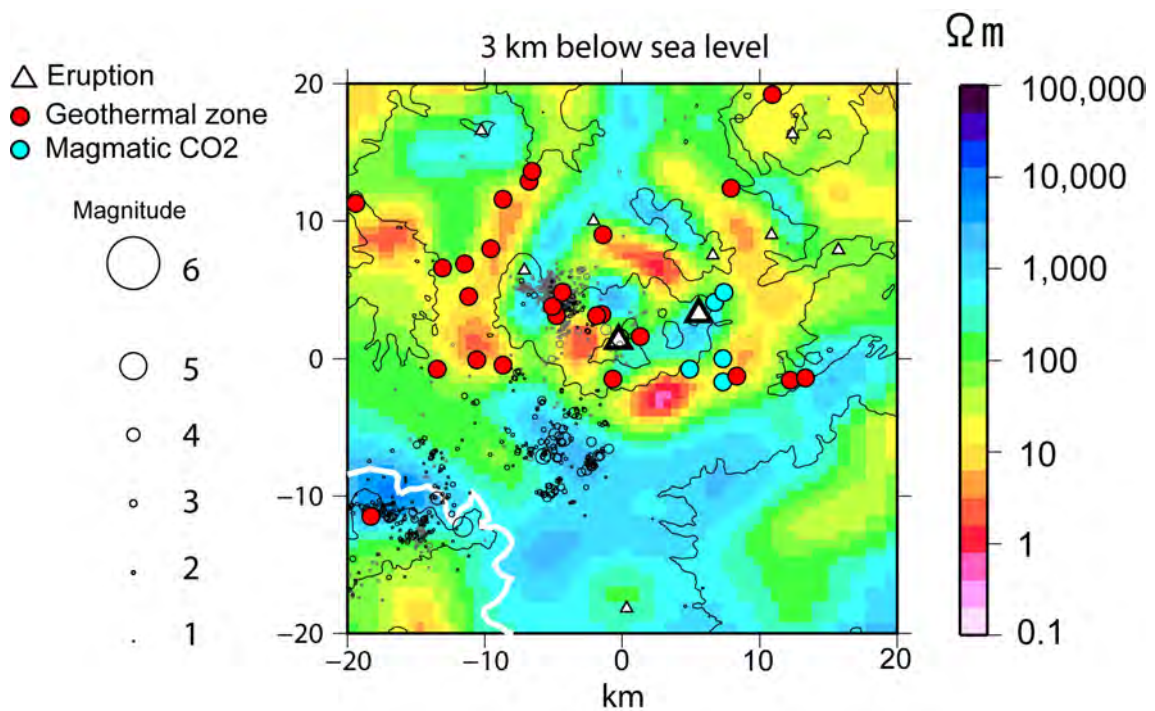


図 3

九重火山の海拔下3 kmの比抵抗断面 (Aizawa et al. 2022より抜粋)。火口、地熱地帯、炭酸水は低比抵抗領域の中心ではなく端部に分布している。

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

富士山の事象系統樹を精緻化するための噴火履歴の研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

富士山におけるテフラ層序や年代未詳の噴出物の年代を決定させることにより、噴火履歴を高精度化し、その結果をもとに噴火事象系統樹を精緻化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

富士山の噴火事象系統樹を精緻化するために、詳細な噴火履歴と噴火推移が必要である。そのため、地質調査およびトレンチ調査を実施し、富士火山東麓におけるテフラ層序の再検討を行う。また、堆積物中の有機分子を使った年代推定手法の検討や古地磁気の永年変化を用いた溶岩の年代決定法を検討し、年代未詳の溶岩やテフラの年代決定を行う。さらに、富士山噴出物の既存研究のデータを集約し、調査研究で得られたデータと共に富士山噴出物データベースを構築し、これらのデータを基に噴火履歴の高精度化、噴火事象系統樹の精緻化に取り組む。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

高精度なテフラ対比をおこなうため、東京大学地震研究所安田敦准教授とともに、テフラの気泡組織および鉱物組織の解析環境の整備と解析作業を開始した。これら岩石組織のデータを、これまでに取得したテフラの化学組成・粒子形状データと組み合わせることで、テフラのキャラクタリゼーションをおこなっている。山中湖のコアを用いて湖沼堆積物のC14年代測定を実施し、年代-深度モデルの

構築を進めた。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

吉本充宏,2021,富士山の噴火への課題—将来の噴火に備えて—,建設工業調査会ベース設計資料,189,21-25

Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M. and Nakada, S.,2021,Intermittent Growth of a Newly-Born Volcanic Island and Its Feeding System Revealed by Geological and Geochemical Monitoring 2013-2020,

Nishinoshima, Ogasawara, Japan.,Front. Earth Sci.,9,https://doi.org/10.3389/feart.2021.773819

Yamada, H., Tateyama, K., Naruke, S., Sasaki, S., Torigata, S., Honda, R., Kubo, T., Yoshimoto, M., Fujii T.,2021,Impact resistance of steel materials to ballistic ejecta and shelter development using steel deck plates,Journal of Applied

Volcanology,10,https://doi.org/10.1186/s13617-021-00105-8

Yamamoto, S., Nishizawa, F., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Suga, H., & Ohkouchi, N.,2021,Dating Lake Sediments Using Compound-Specific ¹⁴C Analysis of C16 Fatty Acid: A Case Study From the Mount Fuji Volcanic Region, Japan.,Geochemistry, Geophysics, Geosystems,22,e2020GC009544,https://doi.org/10.1029/2020GC009544

Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M., Takarada, S.,2021>Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan.,Earth, Planets and Space,73,https://doi.org/10.1186/s40623-021-01468-3

石塚吉浩, 山元孝広, 中野 俊, 吉本 充宏,2021,富士火山、須走期噴出物の噴出量見積もり,地質調査総合センター研究資料集,715,6

今野 裕三, 高島 帆風, 小檜山 雅之, 吉本 充宏, 久保 智弘,2021,火山災害対応における認知バイアスを克服するための訓練ツール,地域安全学会論文集,39,233-243

Ota, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Yamamoto, S., Miyajima, T.,2021,Lake water dissolved inorganic carbon dynamics revealed from monthly measurements of radiocarbon in the Fuji Five Lakes, Japan,Elementa: Science of the Anthropocene,9,https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00149.

Yamamoto, S., Nishizawa, F., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Suga, H., Ohkouchi, N.,2021,Dating lake sediments using compound-specific ¹⁴C analysis of C16 fatty acid: A case study from the Mount Fuji volcanic region, Japan,Geochemistry, Geophysics, Geosystems,22,e2020GC009544

・学会・シンポジウム等での発表

山本真也・西澤文勝・吉本充宏・太田耕輔・宮入陽介・横山祐典・菅寿美・大河内直彦,2021,富士五湖の湖底堆積物を用いた富士山の噴火履歴の高精度化,日本地質学会第128年学術大会,T7-P-1

遠藤公喜・石崎泰男・吉本充宏,2021,岩石学的にみた富士火山大室噴火のマグマ供給系,日本火山学会2021年度秋季大会,P1-25

亀谷伸子・吉本充宏,2021,富士火山北東麓のテフラ識別手法の検討(2),日本火山学会2021年度秋季大会,P1-26

久保智弘・吉本充宏 本多亮・宮城洋介・田中義朗,2021,富士山チャレンジデータを活用した登山者動態 データ分析—勾配と登山及び下山にかかる時間の検討—,日本火山学会2021年度秋季大会,B3-01

吉本充宏・久保智弘・本多亮・西澤達治・立山耕平・木村 陸・山田浩之,2021,投出岩塊衝突に対する被覆人工軽石の衝撃吸収効果に関する検討,日本火山学会2021年度秋季大会,B3-04

久保智弘・吉本充宏・宮城洋介,2021,試作版周知啓発用コンテンツのアンケート調査について,日本火山学会2021年度秋季大会,P2-11

石峯康浩,2021,高精度DEMを利用した富士山のスコリア丘の地形解析,日本火山学会2021年度秋季大会,P1-24

久保智弘・吉本充宏・宮城洋介・本多亮・石峯康浩,2021,試作版周知啓発用コンテンツの改良,JpGU2021オンライン,SVC27-05
立山耕平・山田浩之・本多亮・久保智弘・吉本充宏,2021,木造建築物屋根の噴石衝突安全に関する実験的検討,JpGU2021オンライン,SVC27-03
新堀賢志・佐藤明夫・金野慎・吉本充宏,2021,地方公共団体職員が火山防災対応力を身につけるための火山防災研修プログラムの構築に向けた予察的報告,JpGU2021オンライン,SVC27-P06
宮城洋介・吉本充宏・石峯康浩・本多亮・久保智弘,2021,那須岳における登山者動向把握実験,JpGU2021オンライン,SVC27-P07
吉本充宏・久保智弘・本多亮・石峯康浩・新堀賢・金野慎,2021,富士山における火山防災担当者研修,JpGU2021オンライン,SVC27-06
石峯康浩,2021,溶岩流2次元シミュレーションのOpenACCによる高速化の試み,JpGU2021オンライン,SVC27-P04
桜田泰志・逸見良道・石峯康浩・宮本英昭,2021,富士山における落石現象の運動解析による岩塊崩落地点の推定,JpGU2021オンライン,SVC27-04
久保智弘・吉本充宏,2021,火山岩塊による山小屋への影響に関する研究,日本建築学会大会,27-28
大塚清敏・野畑有秀・諏訪仁・久保智弘・宮城洋介・宮村正光,2021,エアフィルタに関する降灰実験,日本建築学会大会,29-30

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

詳細なテフラ層序構築のため、陸上露頭と山中湖で採取されたコアとの対比を行う。また露頭が少ない山中湖～籠坂峠の周辺1地点で本年度実施できなかった重機を用いた掘削調査を予定している（掘削地点については現在検討中）。富士山の岩石学データのコンパイルを行い、データベースを作成する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター,吉本充宏（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,馬場章（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,山本真也（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,亀谷伸子（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,内山高（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,本多亮（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,石峯康浩（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）
他機関との共同研究の有無：有
安田敦（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：山梨県富士山科学研究所
電話：0555-72-6211
e-mail：www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吉本充宏
所属：山梨県富士山科学研究所

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山モニタリングと地下水流動把握のための多点連続重力観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題ではこれまで同様、井戸や湧水等での水位観測・水質観測によって富士山麓の水の流れを追うとともに、重力観測を行うことで広域的に水の動きを追うことを試みる。水位観測については可能であれば観測点数の増強を行い、重力連続観測点についても複数点展開する。これまでに明らかになった水理地質構造に基づき地下水流動による重力効果のシミュレーションを行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度～32年度においては重力観測点の整備を行い観測データの即時的流通を図るとともに、水質調査による水理地質構造の解明をすすめる。また、研究所内井戸の水位観測を実施しデータの流通を図る。平成35年度までには、重力観測データ蓄積により季節変動成分が議論できる状態になり、水位観測データを参照することで既知の水理地質構造中での地下水流動による理論重力値を観測値と比較できる状態を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、富士山科学研究所基準点でのgPhone重力計による連続観測を継続するとともに、比較的通年でアクセス可能なスバルライン4合目重力点を設置。現在、防災科学技術研究所より借用中のCG3重力計による連続観測をおこなっている。ただし、現時点でオフライン観測となっているた

め今後速やかにネットワークへの接続を完了させる。スバルライン5合目との間には令和元年度より往復観測用の観測点を設けており、今年度もそれを利用したキャンペーン観測を、東京大学地震研究所や産業技術総合研究所等と合同で実施した。5合目点における絶対重力測定は、機器の都合がつかず次年度以降に持ち越した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

本多亮,2021,富士火山における重力観測体制構築状況,IpGU2021オンライン,SGD01-P09

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

大きな降雨イベントを利用して、富士山研究所点およびスバルライン4合目点による標高差を活かした2セットの連続観測データから、富士山周辺の地下水流動のシミュレーションを試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター

他機関との共同研究の有無：有

名和一成（産業技術総合研究所）,今西祐一（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：本多亮

所属：山梨県富士山科学研究所

(1) 実施機関名：

奈良文化財研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
イ. 考古データの収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

- ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火

- (3) 研究基盤の開発・整備

- エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

主に以下の6点の目標を中心に取り組み、データベースの拡充を進める。

目標1) 考古発掘調査から地震、火山噴火現象を示す痕跡を明確に識別する方法の開発と、それらの発生時期特定に関わる調査・記録法の普及・啓発。

目標2) 過去の低頻度巨大地震の発生時期の検証と被災分布や具体的な被災像の追跡。

目標3) 海溝型地震と内陸型地震発生の関係。

目標4) 史料による近世地震・火山噴火記録と発掘調査から検証される災害・被災実像の対比から、先史・古代・中世の地震・火山噴火像についてより具体的な現象像の解明。

目標5) 日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡。

目標6) 埋蔵文化財情報についての地域発信（発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演など）を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化を目指す。

本研究課題は、2-1(1)「地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析」、2-1(2)「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」、2-2(1)「地震発生の新たな長期予測」、2-2(4)「中長期的な火山活動の評価」、2-4(1)「地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明」に根本的に関わる内容である。その上で目標2)～5)の中でおこなっていくデータベースの拡充は、地震・火山噴火災害についての長期的データの収集と解析を基盤とした、a) 長期間での地

震・火山噴火現象への理解、b)「地震発生の新たな長期予測」や「中長期的な火山活動の評価」に結びつく長期間での地震・火山噴火発生履歴への理解、さらにその履歴からc)長期間での災害および被災履歴の解明に結びつくと考えられる。このような取り組みから、地震・火山噴火発生の時期性や地域性としての実態も見えてくる可能性は高い。またデータ収集をおこなって行く中で、時間・空間スケールの大きく異なる史料、考古、地質学的アプローチやデータについて、共有性や連携強化を進め、災害実像解明に資するデータ基盤作成の強化を図る。

目標1)、5)とした「発掘調査における災害痕跡の調査・記録方法の開発と普及・啓発」と「埋蔵文化財情報についての地域発信を通じた災害履歴情報の共有化と災害知識の定着化」を目指した取り組みは、2-5「研究を推進するための体制の整備」に関わり、データベースの公開によるアウトリーチ活動の活性化を図るだけでなく、2-5(2)「分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制」、2-5(3)「研究基盤の開発・整備」、2-5(4)「関連分野との連携強化」を支える基盤情報整備として活動を目指し、さらに文化庁や地方公共団体との連携強化を進めることで、2-5(6)「社会との共通理解の醸成と災害教育」への取り組みを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

この5か年計画では、(7)の項で示した6つの研究目標について進めていく。このうち、目標1)については科研費(平成30年度科学研究費助成事業(挑戦的研究(開拓)))での採択課題「歴史災害の実像解明への考古・歴史・地質学的複合解析による災害履歴検索地図の開発」としてもすでに着手を始めている。目標2)~5)については、5か年計画で進める研究目標としてデータベースを拡充していく内容であり、目標遂行は当然のことである。目標6)については今後の新しい取り組みの一つとなるが、基幹省庁である文化庁との調整を続けていることと、データベースの運用において最も大きな課題となる基盤情報の取得を、地方公共団体を取り込むことで解決する必要があることから、この目標の遂行は是が非でも進める必要がある。資金等において課題があるが、目標の重要性から行政的な任務遂行に向けた挑戦を進めたい。

目標2)~5)の基盤となる全国の発掘調査成果に基づく災害痕跡データの集成とデータ入力については、年度を区切らず継続的に進め、これまでの実績から今後5年間で10万地点程度のデータ精査を進め、4万点程度の災害痕跡を抽出できる見込みである。その上で、以下の通り次の5か年計画で進める概要工程を示す。またデータ集成組織の更新に向けた基幹省庁との調整は、適宜進める。

【平成31(令和元)年度】

- ・奈良県全体の地震痕跡を中心に地震発生時期の特定と検証をおこなう(目標2、3)。
- ・上記の地震痕跡をもとに近畿エリア(主に兵庫県、大阪府、京都府、和歌山県)の地震痕跡を整理し、被災分布や具体的な被災像の追跡や海溝型地震と内陸型地震発生の関係の検討を進める(目標2、3)。
- ・九州エリア、中国エリア、関東エリアにおける火山噴火災害痕跡を整理し、発掘調査において検証されうる災害の網羅をおこなう(目標4)。
- ・災害痕跡情報の集成や調査研究を通し蓄積される情報を取りまとめ、調査・研究、災害痕跡の記録方法等について検討する(目標1)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。

【令和2(平成32)年度】

- ・1年目で修正した災害痕跡データを基幹に、東海、四国、九州沿岸の考古災害痕跡データを整理することで、南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を進める(目標2、3)。
- ・近畿エリア、九州エリア、中国エリア、関東エリアを中心に、近世地震・火山噴火記録と発掘調査資料とを細かく対比し、その実像解明に向けた調査研究を進める(目標4)。
- ・上記の調査研究を基幹に、近畿エリアを中心に史料に残されていない、発掘調査から発見される過去の地震・火山噴火像、記録のない地域や時期における実態解明を進める(目標4)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。

【令和3(平成33)年度】

- ・南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を継続して進める(目標2、3)。
- ・日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡を進める(目標5)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。
- ・埋蔵文化財情報についての地域発信(発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演

など)を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化のための試験的作業を進める(目標6)。

【令和4(平成34)年度】

・1~3年目までの作業を進め、データベースやアウトリーチ化を進めると共に、研究内容、東大史料編纂所等との連携データベースの統括を進める。

【令和5(平成35)年度】

・研究内容の総括

(8) 令和3年度の成果の概要:

・今年度の成果の概要

「(5)本課題の5か年の到達目標」に向け、「(6)本課題の5か年の計画の概要」に従い調査・研究をおこない、災害痕跡データベースの構築と公開に向けて事業を進めている。

とくに令和2年度から、近畿エリア、九州エリア、中国エリア、関東エリアの発掘調査成果資料(発掘調査報告書、概要報告書、年次報告書、学術論文など)を中心に、発掘調査にともなって明らかとなる表層地質情報と、そこに含まれる地震、火山噴火、水害、副次的災害(火災や建造物の倒壊など自然災害にともなって人の活動や活動域が被災するもの)の痕跡データの整理を継続し、過去の低頻度巨大地震の発生時期の検証と被災分布や具体的な被災像を追跡している。

その結果、具体的な進捗としては下記の成果があがってきた。

A) 地震痕跡

- 1) 複数の断層帯付近において、断層をトレースするように地震痕跡が集中して検出され、断層帯から遠ざかると痕跡が検出されなくなる傾向がみられた。
- 2) 断層帯付近の山地・丘陵部、台地、さらに段丘上には地すべりや墳墓等の倒壊・崩落痕跡が、山地・丘陵や台地の裾部、段丘下部や沖積平野には液状化の痕跡が集中して分布している。
- 3) これらの地震痕跡の大半は、形成時期から断層の活動によるものではないが、いずれも震度5弱以上で発生するものとして認識されており、断層の活動とは関わらない地震動も、断層帯付近においては振動が大きくなり、表層地質に構造変形を付加することを示唆した。
- 4) 断層帯から離れた地域では、地形要素の境界にあたる遷急点や遷急線付近に集中して液状化痕跡が検出された。これは堆積層の変わり目や地下水面-地表間距離が短いなど、地質構造的なギャップが存在し、液状化の誘因となっていることが推定された。
- 5) 軟弱地盤によって構成される沖積平野において、現況では地形の変化がみられない地域でも液状化が集中して分布する地域が確認された。これは偶発的な分布ではなく、4)で推定された地質構造的なギャップが埋没している可能性が考えられる。
- 6) 地震痕跡の形成時期について検討すると、広域かつ同時期に被災したものと断層帯周辺に被災地が集中している2つのパターンがみられ、震源が海溝型地震と内陸型地震に依拠している可能性がある。
- 7) 上記の成果において、近世以降の史料に残らない規模の大きな地震の存在が示唆されてきており、引き続き地震発生時期の検証と、史料との突合検証を進めていく。
- 8) 上記の成果は、南海トラフ起源の地震とされる災害痕跡と、それ以外の地震痕跡を識別する必要性を強く示すものであり、調査研究の深化が必要である。
- 9) 以上の成果は、本災害痕跡データベースが地震災害における被災想定域、想定被災レベルを検討する上で重要な基盤情報を提供可能であることを示している。

B) 火山噴火痕跡

- 10) 鹿児島湾を中心に遺跡の分布とそれぞれの成立時期について情報をまとめ、さらに史料に残る近世以降の桜島噴火情報と、発掘調査で検出される降下火山灰、火山弾等の火山噴火に伴う被災痕跡を集成して過去の火山噴火災害についてデータベース化を進めている。
- 11) 近世以降の桜島噴火のなかで、これまで被災がなかったと考えられてきた鹿児島湾西側(現・鹿児島市)沿岸域に降下火山灰がみられることがわかってきた。
- 12) 上記の成果は、火山噴火シナリオの更新や噴火シミュレーションの想定範囲の更新を促すものと考えられ、今後の調査研究の深化に関わってくると評価できる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

現在、データベースを「歴史災害痕跡データベース」として構築している。すでに奈良文化財研究所内に設置したサーバー内で本データベースは稼働しているが、2021年度中にクラウドサーバーへ移行

し、アルファ版としてテスト運用を開始する。

現在、国立文化財機構の定めるセキュリティ基準に従い、サーバー運用を業者委託し整備を進めている。

上記内容は、「関連の深い建議の項目」および「その他関連する建議の項目」における災害痕跡検索システムとして、各種の調査研究の基盤情報として貢献することができる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

村田泰輔,2021,災害痕跡データベースの構築・公開に向けて～考古学の新たな挑戦,地域防災,36,4-9

村田泰輔,2021,藤原宮下層運河SD1901Aの層序,奈文研論叢,2,151-159

村田泰輔,2021,歴史災害痕跡データベースの構築とその有効性,考古学研究,68-3,16-19

・学会・シンポジウム等での発表

村田泰輔,2021,発掘調査でわかる平城宮周辺の地質と過去の災害☒ ☒ 災害痕跡データベースの構築と☒ 災害の軽減に向けた考古学の新たな挑戦,佐保川歴史教室第8幕第5回講義

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度まで進めてきた、発掘調査現場から検出される地震、火山噴火を中心とした災害痕跡情報の集成とデータベース化を継続するとともに、データベースのアウトリーチ化を進める。具体的には地理的範囲、公開対象者を限定するものの、Web上でのデータベース公開を目指す。

さらに東大史料編纂所等との連携データベースの統括を進めるとともに、そこから検証されうる災害発生メカニズムや被災履歴に対する研究や検証方法の深化を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

村田泰輔（奈良文化財研究所埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室）

他機関との共同研究の有無：有

佐竹健治 他3名（東京大学地震研究所）,榎原雅治 他2名（東京大学史料編纂所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：奈良文化財研究所研究支援推進部総務課総務係

電話：0742-30-6733

e-mail：webinfo@nabunken.go.jp

URL：https://www.nabunken.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：村田泰輔

所属：奈良文化財研究所埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室

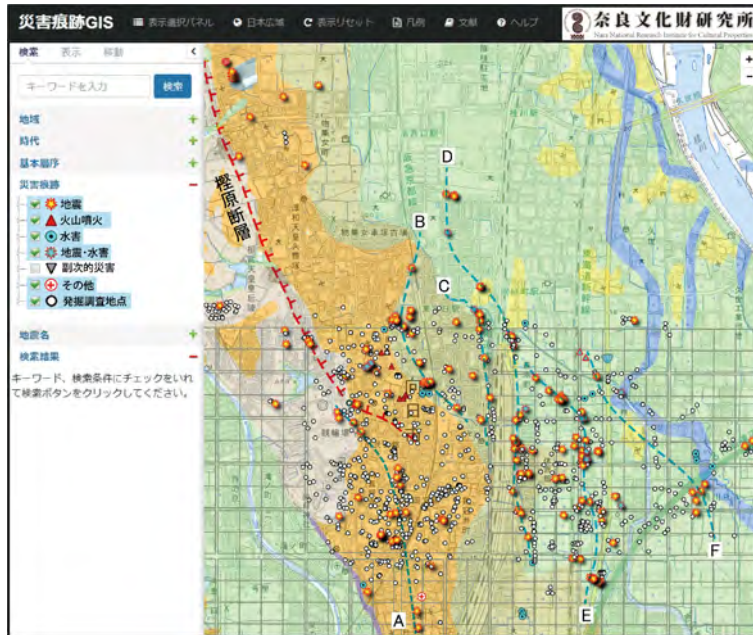


図1 長岡宮・京および周辺遺跡の調査地とそこから検出された災害痕跡群

図中のマークは全て発掘調査地点を示す。

表示地図は本文中に掲載。表示凡例は、檜原断層については都市圏活断層図、地形分類についてはベクトル「地形分類」（どちらも国土地理院）に従う。

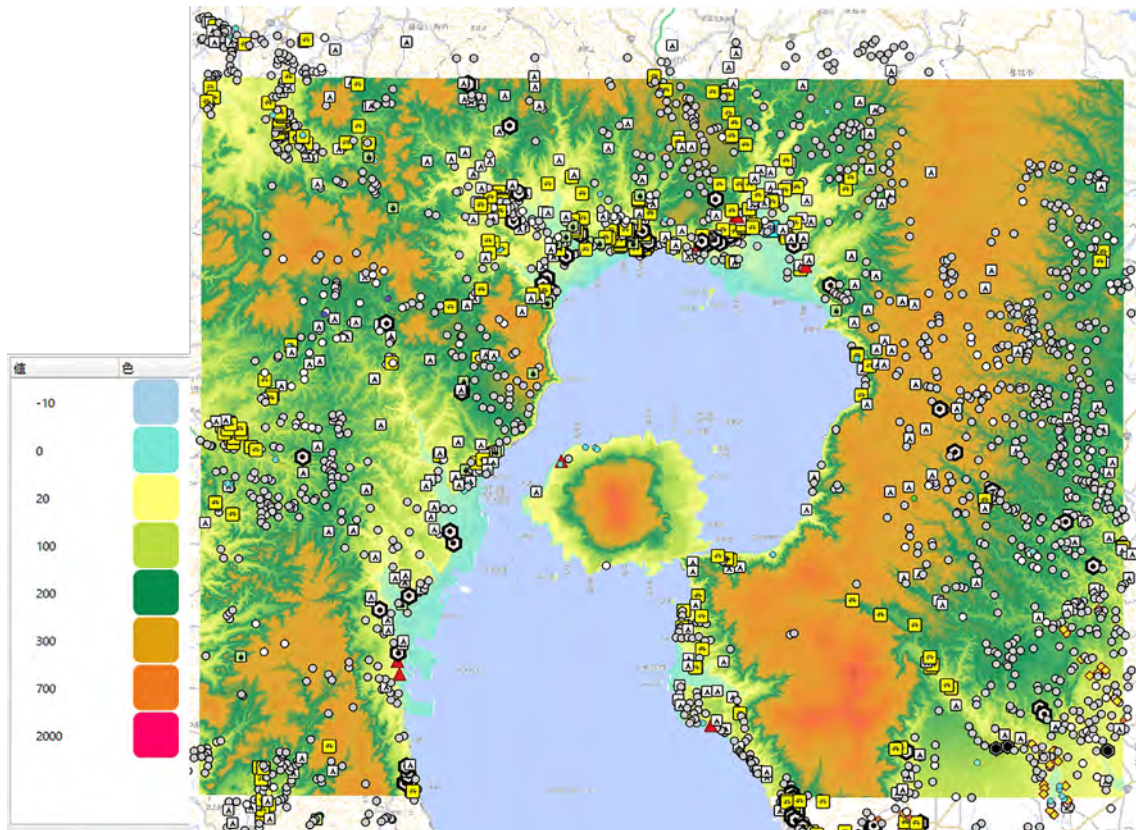


図2 桜島周辺の遺跡分布と火山噴火痕跡検出地点

図は災害痕跡データベースのデータをQGISで表示したもの。

黄色で塗りつぶした地点が火山噴火痕跡の検出地点を示す。

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史料収集と解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究は研究計画のうち、1. (1) ア.史料の収集とデータベース化と4. (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害事例による災害発生機構の解明を中心に取り組む。既刊の地震・火山活動関連史料集掲載のうち重要な史料については、改めて原本により校訂し直す。また、日本海側を中心に既刊の史料集に掲載されていない史料を発見することに務める。さらに、各地の地震・火山現象に関連する言語表現の内容を明確にする。半潰等がいかなる被害状況を示しているものかについて明らかにする。その上で、震度推定のための家屋倒壊率の適切な活用方法を提言する。このことによって、近代以降の震度とそれ以前の震度との連続性を確かなものにして行く。家屋倒壊率と地形の関連についても、地積図等の地図を分析して明らかにしていく。

明治・近世の史料をもとに古地形を復元・可視化し、過去の当該地域の地震・火山噴火被害との関連を明らかにする。そのことによって、同地域において次に起きる被害がどのような被害なのかについて予測し、災害予防と防災意識の啓発等への活用を図り、災害の軽減に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている日本海沿岸を中心とした地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者が参加する研究会を開催する。

平成32-34年度は、前年度に引き続き地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。収集した史料のうち、総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する。歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究するとともに、研究会を開催する。

平成35年度は、収集した皆潰・半潰・大破等の家屋被害等級を示すと思われる語句が記載された史料

に記された意味を明らかにし、確実な家屋倒壊率とはどのように導き出すのかを明確にする。さらに、一軒当たり死亡者数の原因を明らかにするため、史料・地形等の検討を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者等が共同で行ってきた研究成果を吟味することにより、異なる学問分野の研究者等の連携研究の方法を明確にする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、新型コロナウイルス感染拡大のため新潟県外への史資料調査が困難な状況が続いており、昨年度以前に調査した史資料の検討・分析が中心となったが、主な成果は以下のとおりである。

1. 日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象を解明するために、各地の史料保存機関に所蔵される史資料の調査や、既刊の地震・火山噴火史料集に所収される史料の原本調査に基づく校訂作業を実施した。これらの調査・作業に基づく史料の解析から次のような成果が得られた。

(1) 享徳3年(1454)11月23日陸奥の津波、上野の地震の史料の検討

近世後期に成立した陸奥(宮城県石巻市)の『加納家年代記』、上野(群馬県前橋市)の『赤城神社年代記』の出典について検討した結果、①享徳3年11月23日(1454年12月12日)の地震・津波の記事の出典は、それぞれ系統が異なるものであること、②当該地震・津波記事の典拠となる史料は、少なくとも『加納家年代記』、『赤城神社年代記』、および既知の甲斐(山梨県)の『王代記』の三つの系統があったこと、③当該地震は陸奥国沿岸(あるいはその一部)に津波をひきおこす地震であるとともに、群馬県や山梨県でも年代記に特筆するような大地震が発生したと考えらえることを提示した。

(2) 明応2年(1493)6月の越後・会津の地震史料の検討

福島県会津坂下町の『塔寺八幡宮長帳』裏書に記される明応2年6月26日の地震記事と、近世の地誌『越後名寄』に記される同年月18日に新潟県長岡市寺泊の西生寺が地震により破壊されたという記事は、従来いずれも知られていない。両地震の関連の有無などについて、その出典を含め今後検討する必要性を提示した。

(3) 1611年会津地震で形成された山崎新湖についての国絵図による研究

1611年会津地震により形成された山崎新湖の規模について、1645年の山崎新湖消滅以前に作成された国絵図系統の絵図の描かれ方を網羅的に検討した。その結果、最も詳細かつ地震に近い1618~1619年の作製と推定できる東京大学総合図書館南葵文庫所蔵「奥州図」に描かれた山崎新湖の形状、湖周辺の村の位置から山崎新湖の広がりや復原したところ、寒川の復原図(1987)よりも小さく、『新編会津風土記』『家世実紀』の記載にある東西35町余・南北20町余に近いことが明らかになった。これは地震発生直後に蒲生氏が排水工事を完了した後の状態を示すものであり、寒川の復原図は地震直後の山崎新湖の最大範囲を示すと考えるのが妥当であるとした。

(4) 1847年善光寺地震の救済関連史料による地震被害状況の検討

善光寺地震の被害について、真田家文書の『変災付日記』『大地震一件』を素材に、災害後の松代藩における村への救済、村から藩への献上の状況を精査することにより、地震被害をどの程度復元できるか検討した。その結果、地震とその後の洪水それぞれの被害状況の違いを区別して把握できることを確認した。

(5) 1891年濃尾地震における一軒当たり死亡者数の検討

1891年10月28日の濃尾地震を対象に、一軒当たり死亡者数と壊滅的な被害を受けた地域との関係を検討した。その結果、一軒当たり死亡者数が0.20人以上の市町村は12カ所あり、そのうち長島・金原・神所・中・長嶺・市場・門脇・越卒・天神堂9カ村は震源域内の根尾谷断層付近の村、洞田も震源域内の梅原断層付近の村であることがわかり、一軒当たり死亡者数が0.20人以上の村の分布により震源域の範囲を明らかにできることを明確にした。なお残る宇佐・今嶺は輪中の村(加納輪中)であり、地盤の弱さのため一軒当たり死亡者数が多くなったと考えられる。

(6) 20世紀前期新潟地方測候所の地震観測に関する検討

1923年関東地震時に新潟県でも観測された地震について、発生翌日の新聞で新潟地方測候所の佐々木鶴蔵所長が震源を信濃川沖とする所見を述べ、その根拠を1917年以来の測候所の地震観測にあるとしていたことに注目し、1915年3月から刊行が始まった『新潟県気象報告』『新潟県意匠年報』の地震観測に関する所見記事を整理し、1910年代以来の新潟地方測候所における信濃川流域を震源とする地震への注目を確認した。また、同測候所の所見に影響を与えた佐々木所長の地震学説を検討し、それが同時代の日下部四郎太の物理学的地震研究を基礎とするものであることを確認した。

(7) 令和2年度の研究成果の発表

上記の成果のほか、次のとおり昨年度の成果を論文などで公表した（論文名、掲載誌などは後掲の成果物を参照のこと）。①『三国一覧合運図』の写本3点の史料学的検討（片桐2021）、②文政11年（1828）11月越後三条地震の新出史料の検討（原2021）、③1847年善光寺地震・越後高田地震等の一連地震の被害分布・状況の検討（原田2021）、④1854年南海地震の津波被害を描いた絵図資料の分析（堀2021）。

2. 考古学および地形・地質の調査

(1) 高精度の土器編年により先史時代津波の実態を解明する研究

東北日本の三陸海岸の津波を事例に、これまで先史時代の津波は津波堆積物を元に考えられているが、4000年以上前になると、イベントの炭素年代値にブレが出始め、異なる地点で検出されたイベントの対応関係を把握しにくくなっているため、綿密な編年研究にもとづく考古データを使い、縄文集落の一斉壊滅などを根拠として、津波の発生の頻度と年代を絞り込む手立てを提案した（齋藤2021、第30回国際津波シンポジウム）。

(2) 縄文時代中期の三陸地震津波についての考古学的研究

縄文時代中期（4490-3220 calBP）に発生した三陸地震津波の発生後に焦点をあて、縄文集落の分析から津波冠水範囲の特定と復興経過の復原を行い、本年度明らかにしたことは、①すでに岩手県の宮古湾岸・山田湾岸・大槌湾岸などで確認していた大木8-9式期の異変は、仙台湾岸の仙台市上野遺跡でも確認でき、縄文時代中期の津波が東日本太平洋岸を広く襲った大規模な地震津波であること、②この津波により、標高10m未満の海岸部低平地では集落が断絶し高台への移転し、一方、海岸からやや離れた低位段丘面では断絶なくそのまま集落が継続したことを明瞭に確認できたこと、③仙台市上野遺跡で地震津波発生直後の大木9式期から、集落域の大規模な整地や、大きな溝への過去の家屋の遺品などの投棄が観察され、大規模な復興に着手している様子が確認できたこと、④宮古市上村貝塚では、この時期他に例のない特異な人骨集積埋葬がみられ、何らかの原因による複数の被災者とみられ注目されることである。

3. 歴史学・考古学・地理学研究者が参加する研究会の開催

(1) 第9回歴史地震史料研究会

2021年11月14日に第9回歴史地震史料研究会をオンラインにて開催し、本課題研究者メンバーを中心とした歴史学者10人・考古学者1人・地理学者2人による研究発表・討議を行った（参加者41人）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

今年度も新型コロナウイルス感染拡大のため、史資料の調査が困難な状況が続いた。しかし、可能なかぎり調査を実施し、昨年度以前に調査した史資料も含めて検討することにより、縄文時代中期の東北地方太平洋津波、1454年亨徳地震、1611年会津地震、1847年善光寺地震、1891年濃尾地震などについて、重要な史料や絵図・考古資料を解析し、新たな事実や論点を提示することができた。史料の収集とデータベース化に十分寄与できるものと言える。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

片桐昭彦,2021,史料にみる中世の鎌倉の津波被害,季刊考古学,154,43-46

片桐昭彦,2021,中世の災害記録としての『三国一覧合運図』写本一東山文庫本・龍谷大学本、および『大唐日本王代年代記』の史料学的検討一,災害・復興と資料,13,1-7

原直史,2021,文政十一年災害史料の流布をめぐって一シーボルト台風と三条地震を中心に一,災害・復興と資料,13,8-13

原直史,2021,文政十一年大地震にて破損村々取調帳控,佐渡・越後文化交流史研究,21,25-29

原田和彦,2021,『大地震一件』からみた一八四七年善光寺地震の被害分布,災害・復興と資料,13,14-26

堀健彦,2021,「津波之由来」所載絵図にみる1854年南海地震津波被害の空間的表現,災害・復興と資料,13,30-40

片桐昭彦,2021,近世成立の年代記に記される古代・中世の地震記事の出典,2021年歴史地震史料研究会講演要旨集,14-18

齋藤瑞穂・鈴木正博,2021,縄文三陸地震津波研究(4)一被災した縄文集落のその後一,2021年歴史地震史料研究会講演要旨集,1-5

中村元,2021,20世紀前期新潟測候所の地震観測について,2021年歴史地震史料研究会講演要旨

集,38-40

原田和彦,2021,松代藩における善光寺地震後の復興策—勘定所元々『変災日記』の分析—,2021年歴史地震史料研究会講演要旨集,29-31

堀 健彦,2021,1611年会津地震による山崎新湖の形成とその消滅—絵図に注目して—,2021年歴史地震史料研究会講演要旨集,21-24

矢田俊文,2021,一軒当りの死亡者数と災害—1742年寛保台風と1891年濃尾地震—,2021年歴史地震史料研究会講演要旨集,36-37

・学会・シンポジウム等での発表

片桐昭彦,2021,近世成立の年代記に記される古代・中世の地震記事の出典,第9回歴史地震史料研究会,5
齋藤瑞穂・鈴木正博,2021,縄文三陸地震津波研究(4)—被災した縄文集落のその後—,第9回歴史地震史料研究会,1

齋藤瑞穂,2021,A fine-tuned pottery typochronology for detailing prehistoric tsunamis: From Sanriku Coast of NE Japan as an example.,The 30th International Tsunami symposium,e90034

中村 元,2021,20世紀前期新潟測候所の地震観測について,第9回歴史地震史料研究会,13

原田和彦,2021,松代藩における善光寺地震後の復興策—勘定所元々『変災日記』の分析—,第9回歴史地震史料研究会,10

堀 健彦,2021,1611年会津地震による山崎新湖の形成とその消滅—絵図に注目して—,第9回歴史地震史料研究会,7

矢田俊文,2021,一軒当りの死亡者数と災害—1742年寛保台風と1891年濃尾地震—,第9回歴史地震史料研究会,12

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

前年度に引き続き地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。収集した史料のうち、総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する。歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究するとともに研究会を開催する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

片桐昭彦(新潟大学災害・復興科学研究所),北村繁(新潟大学災害・復興科学研究所),清水香(新潟大学災害・復興科学研究所),中村元(新潟大学災害・復興科学研究所),原直史(新潟大学災害・復興科学研究所),堀健彦(新潟大学災害・復興科学研究所),矢田俊文(新潟大学災害・復興科学研究所)

他機関との共同研究の有無：有

齋藤瑞穂(九州大学埋蔵文化財調査室),小野映介(駒澤大学文学部),原田和彦(長野市立博物館)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：新潟大学災害・復興科学研究所

電話：025-262-6542

e-mail：katagiri@human.niigata-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：片桐昭彦

所属：新潟大学災害・復興科学研究所

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山噴火災害における被害軽減のために利活用可能な要素・知識体系の整理・検証

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震・火山災害の研究成果を活用し、災害軽減に効果的に生かすためには、研究成果を理解するための枠組みを国民1人1人が持つことが理想である。ところが、熊本地震調査において「断層があることは知っていたが、その断層が地震を引き起こすことを知らなかった」と答えた回答者が相当数のにほり、この理想を現実とすることが、被害軽減の大きな課題である。では、理学研究が基本となる地震・火山災害の研究内容を理解するためにどのような理解枠組みを持つべきか、その知識体系はこれまで整理されてこなかった。

本研究では、平時より防災・災害対策にかかわる行政や関係機関の職員を対象に、必要な要素や枠組みを検証しながら、理解枠組みの検討を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

初年度においては、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」、職員が「理解したいこと（疑問に思っていること）」を明らかにし、要素の洗い出しを実施する。

2年目においては、要素に基づき、知識体系の範囲と枠組みを仮説化する。

3年目においては、仮説化された枠組みをもとに、研修プログラムを構築する。

4年目においては、研修プログラムを実装することで、効果検証を実施する。

5年目においては、研修プログラムを標準化し、プログラムの展開を図る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

初年度に構築・収集した研修プログラムの素材を活用し、昨年度には仮説化した知識体系の範囲と枠

組みに基づき、研修プログラムの暫定版を構築し、自治体職員等に試験的に実施をした。この結果に基づき検証をフィードバックしながら、3年目においては、自治体職員向けに、研修プログラムを構築する。本年度は、要素化した「地震・火山研究者が理解してほしいこと」を、自治体職員のニーズを元に再構成する（実施中）。さらに再構成した要素に基づき、研修プログラムを引き続き構築し、自治体職員に対して試験的に実施する（予定）。（6月末に記載）

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

研修プログラムを実装することで、効果検証を実施する

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田村圭子（新潟大学危機管理本部危機管理室/災害・復興科学研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加藤尚之（東京大学地震研究所）、森田裕一（東京大学地震研究所）、木村玲欧（兵庫県立大学環境人間学部）、井ノ口宗成（富山大学都市デザイン学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：新潟大学危機管理室（総務部総務課）

電話：025-262-6022

e-mail：rmo-jimu@adm.niigata-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田村圭子

所属：新潟大学 危機管理本部危機管理室／災害・復興科学研究所（兼務）

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明 ～歴史地震情報の可視化システムの構築とその活用～

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

史料収集をしてみると、揺れの細かい情報、余震の情報、津波が到来した時刻や到来方向など様々な情報が書き残されていることがわかった。本研究ではこれまでに収集された史料から得られた南海トラフ巨大歴史地震の地震活動、地殻変動、津波、人的・建物的被害状況などの情報をGISを用いて面的に整理、可視化し、現在得られている地震・地殻変動・地盤情報や過去の地形など様々な地図情報と併せて検討できる仕組みを構築することを目的とする。将来的にはこれを用いて南海トラフ巨大地震の震源過程の解明を試みる。

歴史地震史料はこれまでも宇佐美らによって多くの史料が集められている。またこれらの信憑性も検討しより精度のよい史料DBが史料編纂所によって現計画で構築されつつある。ただし史料は膨大で、これらを使いこなし地震学的解明を行うにはよっぽどこれらの史料を読み尽くした人でないと難しく、現時点では震度分布や津波高分布を求めたり、個々の史料の信憑性を追求する研究が多い。この原因の1つに、様々な時代に様々な地点で史料が書かれているため、それらの地理的關係を頭で整理することが難しいと言う点が挙げられる。そこでこれまでに得られた史料を地図情報として整理してみようというのが今回の課題である。本研究ではe-コミマップを活用する。今回の可視化はとりあえず南海

トラフ巨大地震をターゲットとして高知県，和歌山県，三重県，愛知県，静岡県について構築を行い，地震毎に同じ地域での被害の違い等を比較することで南海トラフ巨大地震の震源過程の特徴を検討する。また南海トラフ巨大地震に関連する内陸での被害地震についても合わせて検討する。

また，各地にはまだ翻刻されていない史料もたくさんあることから南海トラフ巨大地震に関する古文書調査，翻刻も並行して行う。またどの史料にどの地震の情報があるのか，すでに出版された史料集を元に検索ができるシステムを現計画で構築したが，その後収集された史料についても追加し検索できるようDBの更新も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- ・史料調査および検索システム開発：今後も新たな史料の調査は重要である。各地の図書館や史料館などで収集されている史料だけでなく個人所蔵の史料なども可能であれば収集する。収集された史料についてはDB化を行い，検索システムで検索できるようにし研究者間での情報共有を図る。また検索システムについてもより活用がしやすいよう改良を加える。

- ・歴史地震史料の可視化：すでに調査された地震情報をe-コミマップを用いて面的に整理し，現在わかっている様々な情報と併せて検討できる仕組みを構築する。構築に当っては情報をさまざまな角度で比較検討ができるよう工夫する。また地図やその他資料でデジタル化されていないものについてはデジタル化をし，e-コミマップで使えるようにする。史料がどの地点の情報であるかを特定することは難しいが，現在地方史を中心に集めた史料があり，まずは地域単位で地図上に整理する。その上で現地調査や資料調査などを行い，わかった情報からさらに特定の場所に整理する。このように可視化された史料からそれぞれの地震の相違点を明確化し，南海トラフ巨大歴史地震の地震像解明を目指す。また史料調査では南海トラフ巨大地震だけでなく同時代に発生した内陸被害地震に関する情報も得られることが多いことから，これらについても併せ可視化を行う。初年度はe-コミマップ上での表現方法の検討を行う。

各年度の主な計画は、

H31: 史料収集，検索システムの改良，歴史地震史料の可視化手法の検討

H32: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化手法の改良

H33: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化

H34: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化

H35: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化，南海トラフ巨大歴史地震の比較検討。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

- ◎史料収集，検索システムDB更新：

安政東海・南海地震、安政江戸地震について書かれている大沢家文書の翻刻を行った。また防災専門図書館所蔵のかわら版の翻刻を行い、これらの翻刻集を冊子にまとめた。かわら版すごろく解説書も作成した。

- ◎歴史地震史料の可視化

- ・三河地震(1945)における三河地方の寺院被害状況の整理:

歴史地震の震度は、様々な被害状況から研究者が総合的判断をして推定している。一方近代以降地震観測網が整備されるまでは住家被害率を指標として震度が評価されてきており、これらを統一的に評価するためには、歴史を通じて地震の揺れの強さを示す指標を得る事は重要な意味を持つと考えられる。そこで近世以降現代に至るまで、江戸時代の寺請制度から続く檀家制度により日本全国の各集落に広く分布して来た寺院の建物被害に着目した。一般に、寺院建築は平面的に大きな広がりを持ち多スパンの軸組で構成されることが多いため住家に比べ耐震性能が高いと考えられ、揺れの強さを評価できるレンジが広いと考えられる。地震外力と寺院建築の変形性能の関係、および、文献記録からの寺院被害推定の便宜を踏まえ、寺院被害程度を以下の4段階のレベルに分けた。「倒壊」：再建が必要で記録に残る。「大破」：大きな残留変形が残り使用不可・大規模改修または建替えが必要で記録に残る可能性大。「中破」：補修後使用可能・土壁に大きなひび割れが入るなどの被害はあるもののその後も相当期間継続使用可能で記録にのこる可能性は小さい。「無被害小破」：地震の大きさにもよるが多数の寺院が無被害小破であり記録されない場合がほとんど。

本研究では三河地震の寺院被害を調査し、地震の揺れの強さや地盤状況と寺院被害程度の関係を調

べた。図1は中井・武村(2015)による市町村別震度分布と寺院被害を示したものである。これらから寺院被害と集落別住宅被害率との関係を見ると、全半壊率で見た揺れの強さと寺院被害状況がより整合しており、今回設定した寺院被害程度の評価方法が地域の揺れの強さを示す指標として有効であることを示している。また、地盤増幅率と住家全壊率および寺院被害との関係を調べてみると、概ね地盤増幅率と住家全壊率・寺院被害程度の大ききの傾向は一致していた。地盤増幅率1.4以上の地域について寺院被害大破以上と住家全壊率10%以上を対応させて見ると、住家被害率に比べ寺院被害程度はさらに小さい傾向にあり、住家に比べ寺院の強度・変形性能は大きいことが推察された。

・ e-コミマップを使った南海トラフ巨大地震史料の見える化:

これまでさまざまな歴史地震史料検索システムを構築してきたが、例えば安政東海・南海地震であれば日本全国の2700件もの史料があり、ある特定の地域について詳細に検討しようとしても史料がどここの情報を含んでいるかは読まないとわからないため、結局史料をすべて読む必要があり、現状のまま史料を理学的解釈に活用することは至難の業である。そこで、既刊の史料をフリーのGISソフトであるe-コミマップを使って面的に整理することを考えた。e-コミマップはメンバー参加型で作成することができ、グループ内や外との情報共有が行えるWEBマッピングシステムである。今回三重県を例にe-コミマップでの整理を開始した。併せて、紙媒体の明治期旧版地形図のデジタル化、カラーによる地形陰影図、南海トラフアスペリティ分布のデジタル化を行い、e-コミマップで見られるようにした。

図2にe-コミマップで整理した一例を示す。整理方法は地震毎にシンボルの色を、揺れ、津波、地殻変動、その他と項目毎にシンボルの形を変えて、史料に書かれた情報の市町村にプロットしていく。シンボルをクリックすると図2のようにポップアップウィンドウが表示され、史料の本文およびそれに関する情報や解釈など現在得られている情報が見られるようになっている。必要な図があればこれらも載せることができる。揺れと津波については被害の程度により色の濃さを3段階に変えた。またこれまでの研究で様々な研究者が判断した震度や津波高がわかればそれらも合わせて載せている。なお、今回は震源過程を考えることを最終目的としているため、史料中救済に関する情報は載せていない。このように整理してみると、市町村単位で史料同士を比較検討することができるので、震度や津波高の検証や他の地震との比較などが容易にできるだけでなく、新規史料が発見されたときにはこれまでの史料との比較も容易にでき、地形や地盤特性などを史料と併せて検討することが可能になるため状況の理解もしやすい。

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本課題では新しい史料の収集を行うとともに、今後の理学的活用をめざして史料を地図上に可視化に挑戦している。また寺院の被害状況から震度推定を行う方法を提案するなど建議1(1)アの目標達成に貢献をしている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・ 論文・報告書等

石川寛・平井敬,2021,すごろくで学ぶ安政の大地震,風媒社,131

・ 学会・シンポジウム等での発表

都築充雄,2021,三河地震(1945)における三河地方の寺院被害状況の整理,歴史地震研究会,O-33

山中佳子・宇佐美龍夫,2021,歴史地震総表のWEB検索システムの構築,歴史地震研究会,O-10

平井敬,2021,大沢家本願寺関係文書に記された安政東海・南海地震,歴史地震研究会,P-04

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

・ 史料調査および検索システム開発：現在翻刻中の大沢家文書の翻刻を進めるとともに新しい史料調査も行う。また現在運用している検索システムについては、まだ登録していない史料の追加などより活用がしやすいよう改良を加える。さらに各地の収集状況（地震に関する情報がなかった史料を含む）が把握できる 仕組みを考える。

・ 歴史地震史料の可視化：e-コミマップを用いた史料情報の可視化作業を進めるとともに、三重県を例に指標の取り方などを表示方法を検討する。またこれらを用いて宝永地震、安政地震の震源過程につ

いて検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）,平井敬（名古屋大学大学院環境学研究科）,石川寛（名古屋大学文学部）,武村雅之（名古屋大学減災連携研究センター）,都築充雄（名古屋大学減災連携研究センター）,倉田和己（名古屋大学減災連携研究センター）,蛭川理紗（名古屋大学減災連携研究センター）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター
電話：052-789-3046
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子
所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

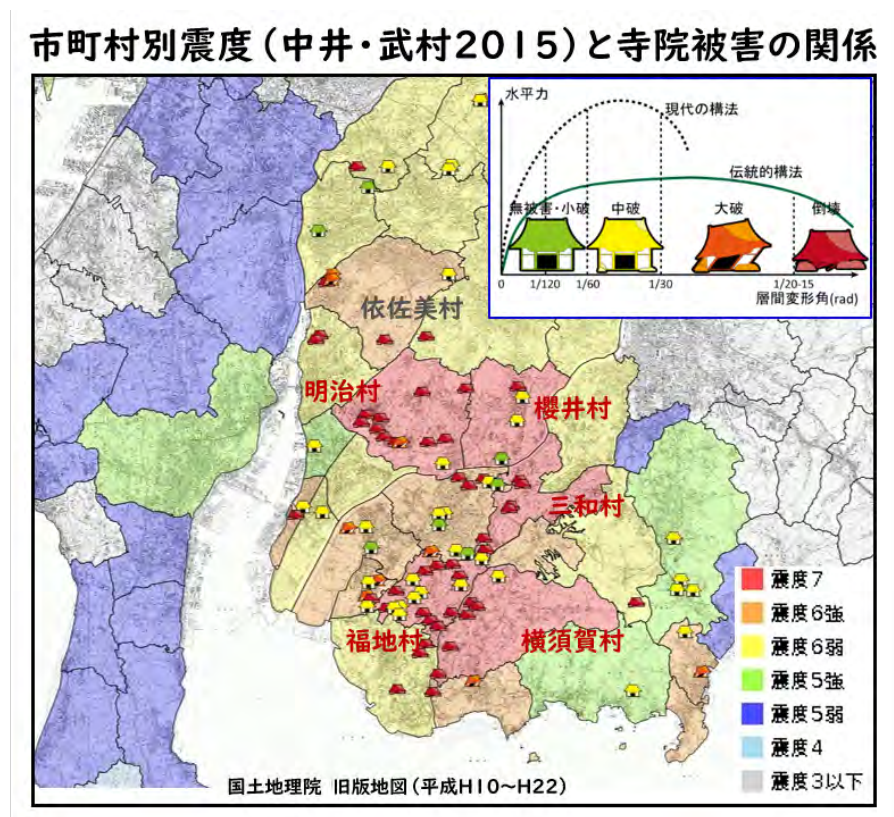


図1. 三河地震の市町村別震度（中井・武村、2015）と寺院被害の関係

e-コミマップ例:宝永地震(青)と安政東海地震(赤)の史料
三重県 国府

ここに史料情報(史料名、内容、掲載論文など)がリストアップされる。

表示順 中心からの距離 ↓

- 次へ> (1-10 / 38件)
- 宝永津波 : 419m
- 史料名: 井村義幸氏 遠祖の手記(井村家蔵)
- 連波フラグ: 被害あり
- 出典: 海と人間16 P9
- 阿児町史H12 P153
- 内容: 宝永4亥年10月4日9ツ刻、大地震動し潮乃干事きひ敷、油瀬も陸乃如く潮心し、又鈴々乃井戸水ひやがり、地(わ)れて壽々(すず)水乃様な水か出て、ア一是れ何事かと驚きしに、老人乃云ふ事を聞きしに、是則ち津波にて高潮上るも乃なり、是を四海波と申なり、申遠高千所へ送る様と申、村内男女小僧老人、牛馬等不残山へ振り沖を見れ、八、夥敷き大波折り来り、下八道城橋より野田に向けて波入込、大八上八層合より御茶子(おちゃご)乃畑を波越て、野田へ打込、野田ハ一面二込入、瀬田川で両方乃波打合、下村八濱家文蔵・瀬蔵・五郎助・与惣外三軒、7軒八波二打崩され、文蔵屋敷八測々となり、家八野田に流れ、瀬田庄右衛門乃西あり、森右衛門八自分馬を岩田橋迄をよき、山手二取付き、又こいと云女八桶を持って波二打たれて西乃森により、村中夕飯乃米取り村へ帰る先達する者もなし、儀右衛門八、子息儀八郎瀬田橋近く故家に帰て見れ、家乃板敷より1尺5・6寸斗り潮高く、たゝみ八皆うき、屋敷八諸魚潮によひたる様見へ居候、4・5日目二屋敷へ来りシ二朝を屋敷にて取り、料理して喰て見れ、一向味なく不食に候。又西瀬方面乃新田乃致少所波荒被害多く、又東海道其他地乃荒多くなり、備考: 大揺れのち海水の異常な退潮現象のあったことに気がついてい

図2. e-コミマップを使った歴史史料の整理例

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南西諸島海溝におけるプレート間固着状態の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南西諸島海溝の中南部では、1791年と1771年にそれぞれ沖縄本島南東沖と先島諸島南方沖で津波を伴うM8クラスの花溝型巨大地震が発生したとして海溝軸近傍に津波の波源域が求められている。特に1771年の地震は八重山地震として知られている。したがって、南海トラフの延長である南西諸島海溝も、低頻度であっても海溝型地震の発生ポテンシャルを有していると考えられる。しかし、地球物理学的観測による現在のプレート間固着状態や固着域の広がりには明らかになっていない。そのため、地震本部による海溝型地震の長期評価も手つかずの状態である。よって、プレート間固着状態の現状把握が急がれる。

そこで、GNSS—音響方式による海底地殻変動観測（以下、単に「海底地殻変動観測」という）によって実測したすべり欠損レートをもとに、沖縄本島から先島諸島にかけての海域における大まかなプレート間の固着域の広がりや固着率（固着の有無を含む）を5ヶ年で明らかにする。さらに、低周波地震・超低周波地震の分布・活動度等もふまえて、当該海域のプレート間固着状態を統一的に解釈し、同海域における海溝型地震の発生ポテンシャルの評価に生かす。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

○海底地殻変動観測と固着状態の把握

南西諸島海溝沿いに既に設置されている3ヶ所の観測点（沖縄本島—宮古島間2ヶ所；西表島沖1ヶ所）において海底地殻変動観測を実施する。沖縄本島—宮古島間では初年度から4年目まで年1回、西表島では2年目から4年目まで年1回の観測を行う。特に、沖縄本島—宮古島間は島嶼が存在せず、

地殻変動観測の空白域となっている海域であり、これらの点での観測を本研究で新たに開始する。

5ヶ年の観測で得たデータをもとに各観測点での平均的な変位速度を求める。得られた海域の変位速度場とGEONETによる陸域の変位速度場をもとにバックスリップモデルを適用し、プレート境界面上のすべり欠損レートを推定する。その際、フィリピン海プレートの運動はMORVELによるモデルを採用する。以上により、対象海域におけるプレート間固着の状態と分布を明らかにする。

○プレート間固着の統一的解釈

プレート間の固着度合いは、低周波地震等のひずみ解放現象の活動度と相補的であると考えられる。また、超低周波地震の潮汐荷重応答の地域性からプレート境界面の滑りやすさ（固着度合い）に違いがあるとの報告がある（Nakamura and Kakazu, 2017）。そこで、海底地殻変動観測を実施する約5年間について、低周波地震（気象庁の短周期地震計記録を利用）および超低周波地震（F-net等の広帯域地震計記録を利用）の系統的な解析を行い、それらの活動域と活動度を把握するとともに、超低周波地震の潮汐荷重応答の詳細な地域性を明らかにし、海底地殻変動観測結果とあわせてプレート間固着状態を統一的に解釈する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○海底地殻変動観測

沖縄本島から宮古島間の海溝軸付近のプレート深度10km弱の海底に2ヶ所の観測点RKCとRKDを2016年9月に設置し、海底地殻変動観測を開始した。両観測点の位置と深さ（楕円体高）は次のとおりである：

RKC : 24.9309°N, 127.4813°E, -3844m

RKD : 24.4619°N, 126.9906°E, -4090m

これまでに、RKCでは2016/09/29-30, 2019/09/24, 2021/09/20-21の3回、RKDでは2016/09/29と2021/09/21の2回の観測を実施した。精度の高い変位速度を得るためには観測回数が極めて少ないが、それでも3回の観測を2～3年間隔で実施したRKC観測点では直線的な海底局位置座標の時系列が得られている（図1）。これまでの観測で得られた海底局位置座標の時系列を直線フィッティングして得られる変位速度ベクトル（暫定値）は、沖縄本島-宮古島間を固定した場合、RKCではN172°W方向に21mm/y、RKDではN136°E方向に41mm/yであった（図2）。ともに変位速度ベクトルはプレートの沈み込み方向を向いておらず、現時点では当該海域においてプレート間固着を示す積極的な証拠は得られていない。

○超低周波地震の震央分布

観測点密度が極めて低いために検知能力が低かった沖縄本島-宮古島間における超低周波地震の震央決定を行った。解析期間は2015年6月～2019年12月であり、防災科学技術研究所のF-net観測点、および地震予知総合研究振興会による沖永良部島、久米島、宮古島、多良間島波照間島に設置した臨時観測点で収録された上下動波形に0.05～0.1Hzのバンドパスフィルタをかけた後にテンプレートマッチング法 [Asano et al., 2015] を適用した。

その結果、宮古海峡では深さ10～15kmの範囲に超低周波地震がスポット的に発生していることが明らかになった。一方、沖縄本島南東海域では、Nishimura [2014]によるスロースリップの発生域とTadokoro et al. [2018]によるプレート間固着域の隙間に沿って深さ12～15kmの範囲に帯状に発生していることが明らかになった（図3）。両海域ともに超低周波地震の発生域と低角逆断層型地震の発生域は相補的であった。このようなすべり現象の棲み分けは、南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の摩擦状態の不均質を示していると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

南西諸島周辺については、地震発生の特性を明らかにするための十分な知見が得られていないことや、長大な設定領域において発生する場所を特定できないこと等により、地震調査研究推進本部では、長期予測が行われていない。海溝型巨大地震の長期予測のためには、まず、対象地域におけるプレート間固着状態の把握が重要である。ところが、本研究課題で対象としている沖縄本島-宮古島間には島嶼が存在しないため、陸上のGNSS観測網の空白域となっており、当該海域におけるプレート間の固着状態を把握するためには海底地殻変動のモニタリングが不可欠である。暫定的ではあるが、対象海域でのプレート間固着の可能性が低いことが明らかになってきており、このことは、南西諸島周辺の

長期評価の推進に資する成果である。

また、固着分布に加えて低周波地震、超低周波地震等のひずみ解放現象の空間分布も明らかになり、南西諸島海溝沿いにおける地震ハザード評価の基礎データが得られ始めた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

古堅宏武・中村衛,2021,中部琉球海溝における超低周波地震の分布

,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P20

長屋 暁大、生田 領野、中村 衛、安藤 雅孝,2021,琉球海溝における海底地殻変動観測2014年～2020

年,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG45-10

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

○海底地殻変動観測

南西諸島海溝沿いに既に設置されている2ヶ所の観測点（沖縄本島一宮古島間RKDと西表・波照間島沖）において海底地殻変動観測を1回実施し、より信頼性の高い変位速度ベクトルを得る。沖縄本島一宮古島間RKDでは6月頃、西表・波照間島沖では年度の前半の実施予定である。

○超低周波地震

超低周波地震のモニタリングを引き続き行い、南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の摩擦状態の不均質性をさらに明らかにするため、通常地震と超低周波地震の発生域の関係を把握する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

中村 衛（琉球大学）,生田領野（静岡大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田所敬一

所属：名古屋大学環境学研究科

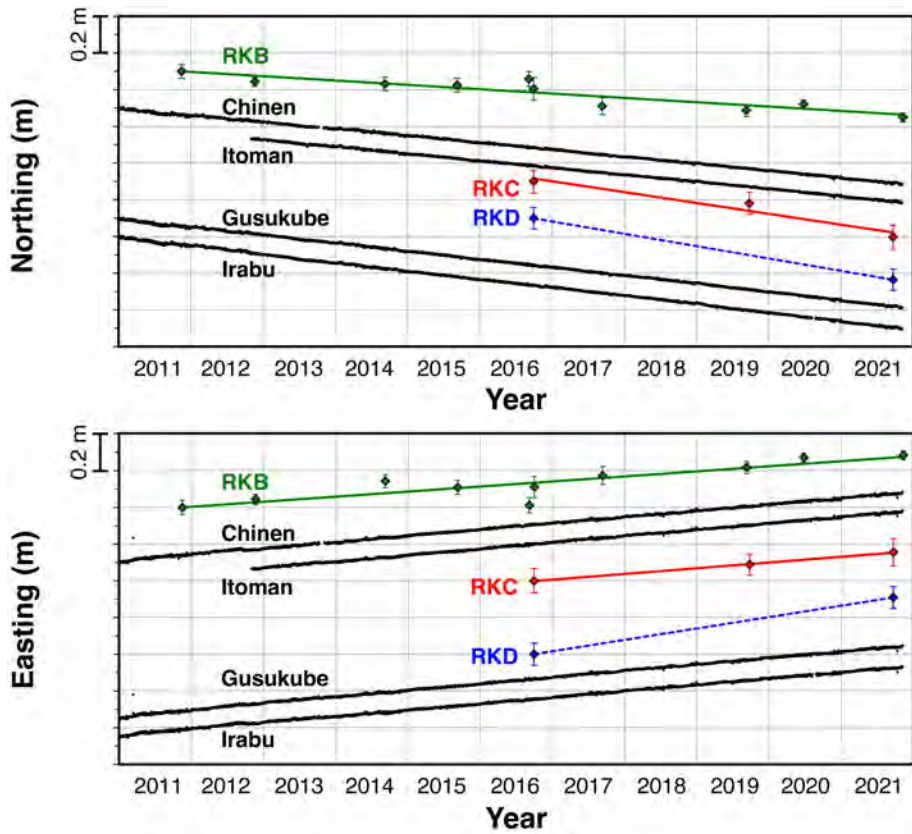


図1：沖縄本島南東方（RKB）および沖縄本島一宮古島間（RKC，RKD）における海底地殻変動観測結果の時系列。
 ITRF2014準拠。周辺のGEONET観測点（知念，糸満，城辺，伊良部）の時系列も併せて示す。GEONET観測点の時系列には国土地理院によるF5解を用いた。

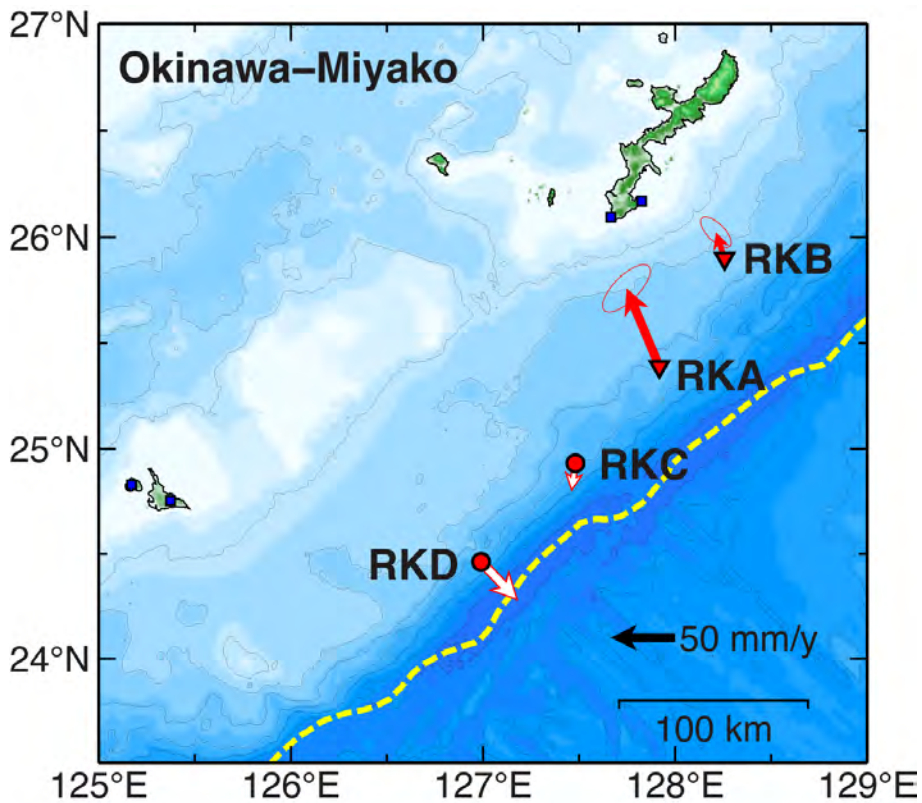


図2：海底地殻変動観測点における変位速度（暫定）。

沖縄本島一宮古島間固定。図1に時系列を示したGEONET観測点（青四角）における変位速度の平均を各海底地殻変動観測点での変位速度から差し引いた。Tadokoro et al. [2018]によるRKA観測点での変位速度も併せて示す。

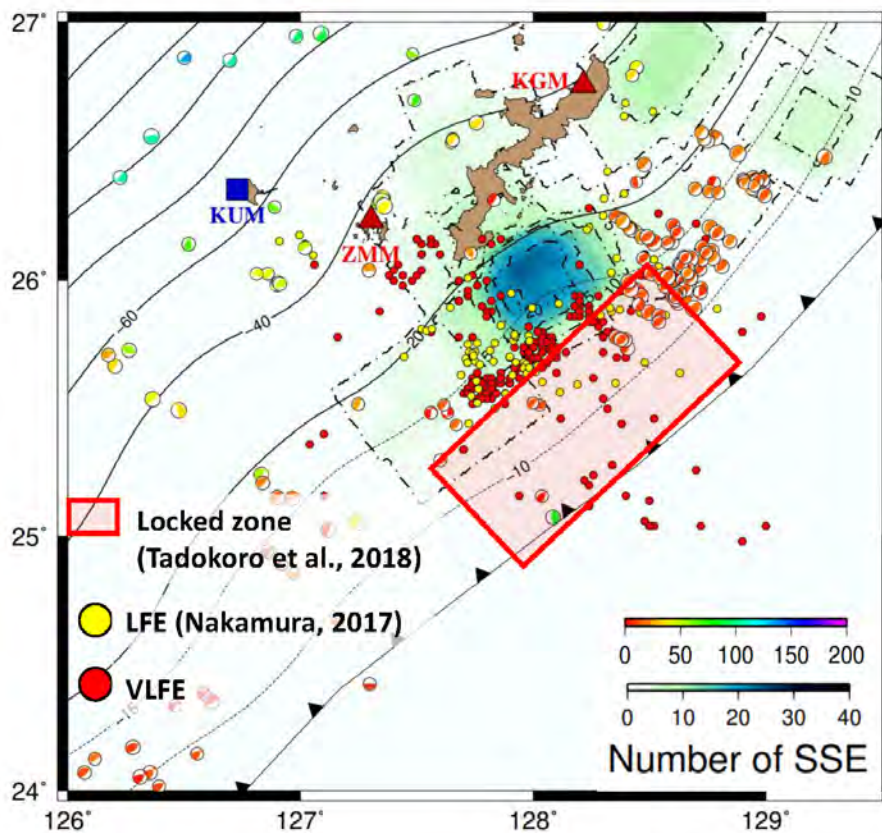


図3：沖縄本島南東海域における超低周波地震の震央分布（赤丸）。

スロースリップ発生域 [Nishimura, 2014]，プレート間固着域 [Tadokoro et al., 2018] との関係。Nakamura [2017]による低周波地震（黄丸；2004～2015年）の震央と2002～2019年に発生した通常の地震のCMT解も併せて示す。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

変動地形学的手法による内陸地震発生モデルと活断層長期評価手法の再検討

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震調査研究推進本部において20年以上にわたり、主要活断層の長期評価が行われてきた。この成果は防災上重要な活断層が認知されたことにある。しかし近年発生した内陸直下地震の中には、実際に破壊した活断層区間が評価結果と整合しない例や、一見整合的でも実際は十分な予測精度を有していなかった例が多々ある。こうした問題の背景には、活断層の長さや規模を最大に見積もった固有地震の単純な繰返しを仮定していたこと、ひとまわり小さなM6級地震で出現する地表地震断層の地形形成への寄与を評価できていないこと、断層ごとの構造的な特徴を重視した評価手法ではなかったこと、解釈に任意性もある活断層の活動履歴データに過度に依存したこと、活断層分布の知られていない場所で変位が生じたことなどがある。本研究は、これらの課題解決をめざして以下の点を検討し、活断層長期評価に資する新たな活動モデルの構築をめざす。基本的には近年地表地震断層を出現させた地震について、地震規模や断層長、断層位置、変位量が従来の予測とどう異なり、何が評価できていなかったのかを明確にする。その上で、地震時の地表地震断層トレースおよび変位量分布、変動地形による断層分布と累積変位量・平均変位速度分布とそのパターンを比較して、断層分布と累積変位量や平均変位速度の分布パターンから予測される断層活動を検証する。加えて断層線の分岐形状なども参考に地震ごとの破壊範囲の多様性や断層構造の複雑性を考慮した地震発生モデルの構築を目指す。当研究グループはこれまで10年以上にわたって、活動履歴データを活用しつつも、活断層線の形状や平均変位速度の走向方向の分布を重視した活動予測に取り組んできた。その成果を、活断層の長期評価手法の改良という形に集約する。断層変位地形を詳細に観察すると、近年出現した地表地震断層近傍に、地震時には活動しなかった活断層が見つかる。また地表地震断層の変位量分布が変動地形からわかる累積変位量分布・平均変位速度分布と一致しない事例もある。こうした活断層を含む活動履歴

や変位量分布パターンを説明できる震源断層モデルが必要である。そのためには断層最大長に拘らない過去複数回における地震時活動区間の特定と、各々の地震時に発生した地表地震断層の変位量分布を明らかにして、累積的な変位量分布を説明できる適切な震源断層モデルが重要であり、2014年長野県北部の地震や2004年新潟県中越地震のような一回り小さな活動も考慮に入れる必要がある。地表変位の証拠が残らない活動については、地震観測データからの検討も必要である。こうした情報を総合して、活断層のセグメンテーション・グルーピングに焦点を当て、本課題によって、蓄積された活断層情報と実際に発生した物理現象との関連性を考えることで、新たな活断層長期評価手法を再検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

近年発生した内陸地震（2016年熊本地震、2014年長野県北部の地震など）を対象に、変動地形学・第四紀地質学・古地震学的な調査研究に基づき、地表地震断層の幾何学的形状や地震時変位量分布などのパラメーターを、活動しなかった断層を含む断層系全体の累積変位量分布・活動履歴と過去複数回の一回変位量・浅層部の地下構造・地質構造などと総合的に解釈する。調査結果と観測事実に基づき、地表地震断層トレースの諸特徴と震源断層や地震時すべり量、断層破壊過程との関連性を、海外の事例も含めて詳細に検討し、地震毎の地震の規模・破壊領域・地表変位のばらつきなどを説明する活断層の地震発生・震源断層モデルを構築し、内陸地震の長期予測の高度化を図る。なお、研究期間中に地表地震断層を伴う内陸地震が発生した場合は、その地震も同様に重点的な調査研究を行う。

平成31(令和1)年度においては、2016年熊本地震や2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層などを対象に変動地形調査・トレンチ掘削による古地震調査を実施し、内陸地震に伴う地表地震断層の諸特徴（過去の地震発生時期・地震時変位量）を推定する。これらのデータと地表地震断層と地震時の断層破壊過程の関係を考察するとともに、既往研究のレビューを行い、断層活動の多様性を考慮した活断層における地震発生モデルを立てる。令和2年度においては、上記のモデルをトレンチ掘削調査などから検証し、活断層で発生する地震の多様性を明らかにする。令和3年度においては、地表地震断層と活断層・変動地形との関係を明らかにするための戦略的古地震調査を実施する。令和4年度においては、地表地震断層と活断層・変動地形との関係を明らかにするための浅層反射法地震探査を実施し、地表地震断層・変動地形の震源断層モデルの再構築を試みる。令和5年度においては、補足的な調査を行い震源断層とリンクした断層活動の多様性を考慮した活断層における地震発生モデルの高度化を実現する

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、地表地震断層を参照し活断層で発生する地震の多様性を明確にするための戦略的な地形地質調査を行う目的で、糸静線北部の白馬地区の既存トレンチデータの再検討を行い、活動の多様性を明確にするために新たな試料の年代測定を実施した。また、糸静線南部の白州地区、阿寺断層中部地区において活断層から発生する地震の多様性を明確にするためのピット調査および露頭観察、年代測定を実施した。

2014年長野県北部の地震で出現した地表地震断層の北部延長部にあたる白馬村森上地区と、南部延長にあたる青木湖地区・木崎湖地区で実施されたトレンチ・ピット調査（廣内ほか, 2017; 2018; 2020; 水谷ほか, 2019）などで得られた試料の年代測定を行い、活動履歴を再検討した。森上地区

（2014年地震時は活動せず）において断層上盤側で行ったピット調査では、壁面最上部に分布する黒色土の連続サンプルの年代測定結果から、断層変位を受けた地形面の年代が130~204 cal AD

（Calib 8.2で暦年補正）であることが明らかになった（図1）。また、森上地区の低断層崖を横断するトレンチでは、約5000年前以降に堆積した砂礫層を切断する東傾斜の逆断層が確認され、最新活動は554-601 cal AD（Calib 8.2で暦年補正）以降と推定された。以上より、森上地区では2014年の地震に際して地表変位はなかったが、昨年までの調査と同様に、2014年および1714年信濃小谷地震以前に、これらよりも大きな断層変位を伴う地震があったことが認められた。青木湖地区・木崎湖

（2014年地震時は活動せず）については、変動地形の再検討から、従来から指摘されてきた逆断層だけでなく横ずれ変位を主体とする断層変位地形があることが明らかとなり（廣内ほか, 2018）、トレンチ調査が実施された。木崎湖のトレンチ壁面から認識できる活動は約7000年前以降3回、青木湖のトレンチ壁面から認識できる最新イベントは433-537 cal AD（Calib 8.2で暦年補正）以降であり、

北部同様に2つ前の地震との対応が示唆された。

糸静線南部の白州断層では昨年度のトレンチ調査の結果、最新活動は1,648 - 2,108 cal BP、1回前は2,993 - 4,273 cal BPという2回の変位イベントを検出した。また、最新活動では1回前の活動より2倍程度大きな上下変位が生じた可能性があることが示唆された。本年度はこれを確かめるためトレンチ近傍の2ヶ所でピット掘削を行った。その結果、上下変位量は変形ゾーン全体で最新活動では1m、1回前の活動では0.5 mと推定された(図2)。このような上下変位量の違いは活動区間の違いに対応している可能性が考えられる。すなわち、上下変位量1 mと大きな変位を示す最新活動は、白州断層の南に位置する鳳凰山断層と下円井断層の最新活動時期と重なっており、糸静線南部のほぼ全体が活動した可能性がある。一方、0.5 mの小さな上下変位のあった1回前の活動では、白州断層が単独もしくは中南部の下葛木断層と同時に活動した可能性があると考えられた。また、この付近の変位速度を推定するために、白州断層によって4~5 m上下変位している尾白川右岸のL1面構成層の露頭から得られた木炭試料の年代測定を行った。その結果、L1面は約9,000年前に形成された段丘面と推定され、上下変位速度は0.4~0.6 mm / yrと推定された。最新活動や1回前の活動と同等の変位が繰り返したとした場合、9,000年間に4回以上の活動が生じた可能性が示唆される。白州断層では多様な変位量の生じる変位が繰り返され、活動間隔は従来推定されてきた約5,000年より短い可能性が高いことが示された。

阿寺断層帯の中部は連続性がよい南東部と比べると、分岐する断層や並走する断層が顕著である。そのため、毎回同じトレースが変位すると考えられる南東部と比べて、中部は異なる地震のタイプによって活動トレースを選択している可能性がある。このような古地震像を明らかにするには、各トレースで高精度・高確度のイベント決定が重要となる。しかし、C-14年代測定に有効な葉や実などの試料が断層周辺の地層中になく、土壌を測定試料にする場合がある。土壌は、フミン酸やヒューミンなどの腐植物質を含む。フミン酸は、アルカリ性に可溶で酸性に不要であり、土壌の発達に伴って増加する成分であることが報告されている。ヒューミンは、フミン酸より粒子サイズが大きく、アルカリ性、酸性ともに不溶であり、再堆積などの混入物によって古くなる可能性が考えられる。従来の測定の多くはそれらを分離せずにバルク試料として年代が測られてきた。しかし、土壌中のフミン酸とヒューミンも測定試料に加え、土壌の発達環境やテフラなどのデータを踏まえた検討により高精度・高確度のイベント決定に貢献できると考えられる。そこで本年度は、すでに報告されている地質露頭でテフラデータを踏まえて土壌の形成年代をヒューミンとフミン酸とに分けて検討し、イベント時期の再検討を試みた。本年度の成果として、調査露頭のように再堆積などの古い混入物が少ないと思われる土壌では、ヒューミンのみの年代測定がより高精度・高確度な値を得られると考えられる(図3)。

参考文献

廣内大助, 松多信尚, 石山達也, 安江健一, 杉戸信彦, 竹下欣宏, 藤田奈津子, 澤祥, 水谷光太郎, 谷口薫, 2020, トレンチ掘削調査に基づく糸魚川-静岡構造線神城断層の活動時期, 日本地球惑星科学連合2020年大会. SSS16-P04.

廣内大助, 松多信尚, 石山達也, 杉戸信彦, 竹下欣宏, 水谷光太郎, 安江健一, 藤田奈津子, 澤祥, 道家涼介, 佐藤善輝, 堤浩之, 越後智雄, 池田一貴, 鈴木康弘, 2018, 糸魚川-静岡構造線活断層帯神城断層中北部における断層活動, 2018年度日本地理学会春季学術大会, P227.

廣内大助, 松多信尚, 安江健一, 竹下欣宏, 道家涼介, 佐藤善輝, 石村大輔, 石山達也, 杉戸信彦, 塩野敏昭, 谷口薫, 澤祥, 渡辺満久, 鈴木康弘, 2017, 糸魚川-静岡構造線活断層帯神城断層北部における断層活動, 2017年度日本地理学会春季学術大会, P021.

廣内大助・澤祥・杉戸信彦・鈴木康弘・松多信尚, 2018, 1:25,000活断層図糸魚川-静岡構造線断層帯とその周辺「大町改訂版」, 国土地理院.

水谷光太郎, 廣内大助, 松多信尚, 石山達也, 杉戸信彦, 安江健一, 竹下欣宏, 藤田奈津子, 澤祥, 道家涼介, 丸山陽央, 池田一貴, 2019, 糸魚川-静岡構造線断層帯神城断層南部における活動履歴調査, 日本地球惑星科学連合2019年大会. SSS15-P08.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

内陸活断層調査から推定される地震予測に向けて、その多様性が明らかになった。来年度以降、多様な地震間の関係性解明に取り組む。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

山中蛭・後藤秀昭・岩佐佳哉・清原寿樹,2021,糸魚川-静岡構造線活断層系の白州断層の活動履歴－尾白川右岸におけるトレンチ査結果－,2021年度地理科学学会春季学術大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度は、地表地震断層と活断層が一致しない等、複雑な断層分布をする活断層を対象として、地表地震断層と活断層・変動地形との関係を明らかにすることを目的として、浅層反射法地震探査・地形地質調査などを中心とした戦略的重点調査を実施し、地震時地表変位の多様性を考慮した地震像の解明を視野に入れた地表地震断層・変動地形の震源断層モデルの再構築を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

石山達也（東京大学地震研究所）,杉戸信彦（法政大学）,後藤秀昭（広島大学）,熊原康博（広島大学）,中田高（広島大学）,金田平太郎（中央大学）,松多信尚（岡山大学）,廣内大助（信州大学）,石村大輔（都立大）,岡田真介（岩手大学）,楮原京子（山口大学）,渡辺満久（東洋大学）,澤祥（国立鶴岡工業高等専門学校）,等

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学減災連携研究センター

電話：052-789-3468

e-mail：

URL：<http://www.gensai.nagoya-u.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学減災連携研究センター

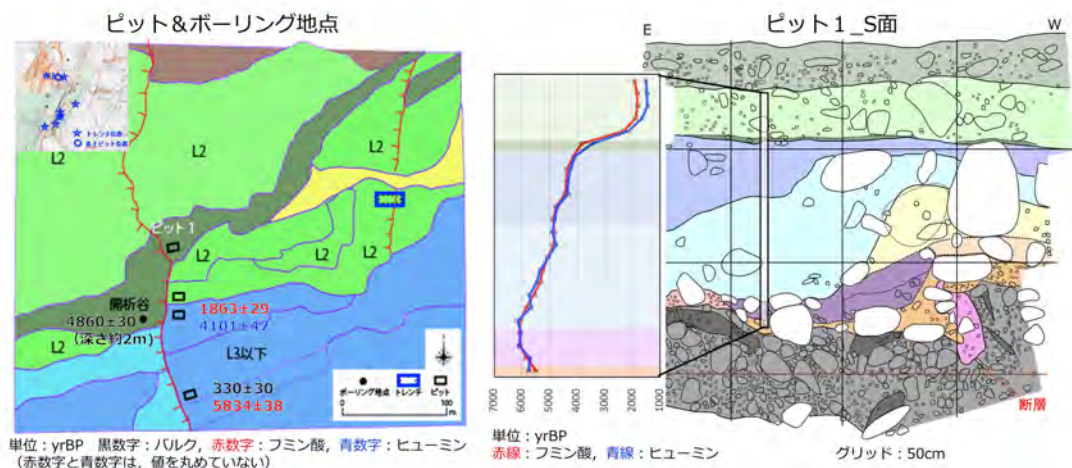


図1 糸魚川静岡構造線 森上地区のピット調査地形分類図（左図）、壁面スケッチ（右図）、年代測定結果（中図）

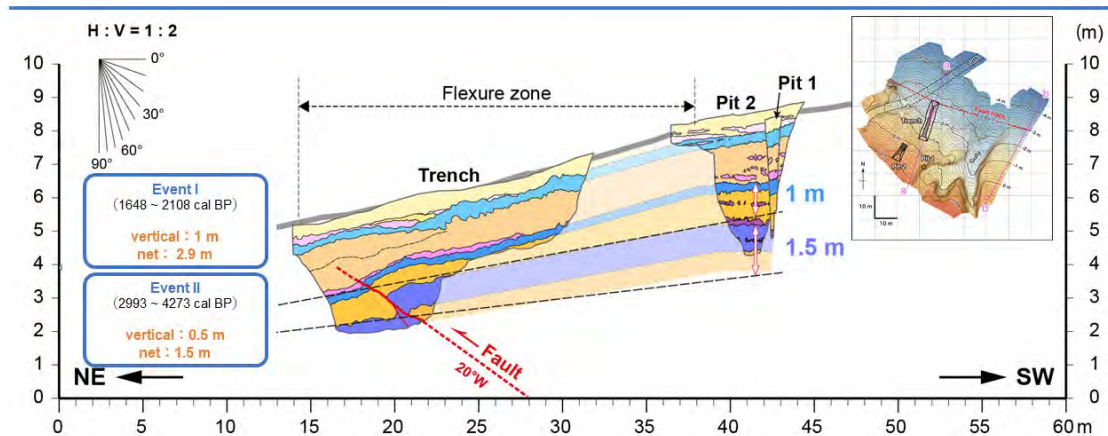


図2 糸魚川静岡構造線 白州地区トレンチ、ピット調査 壁面解釈図

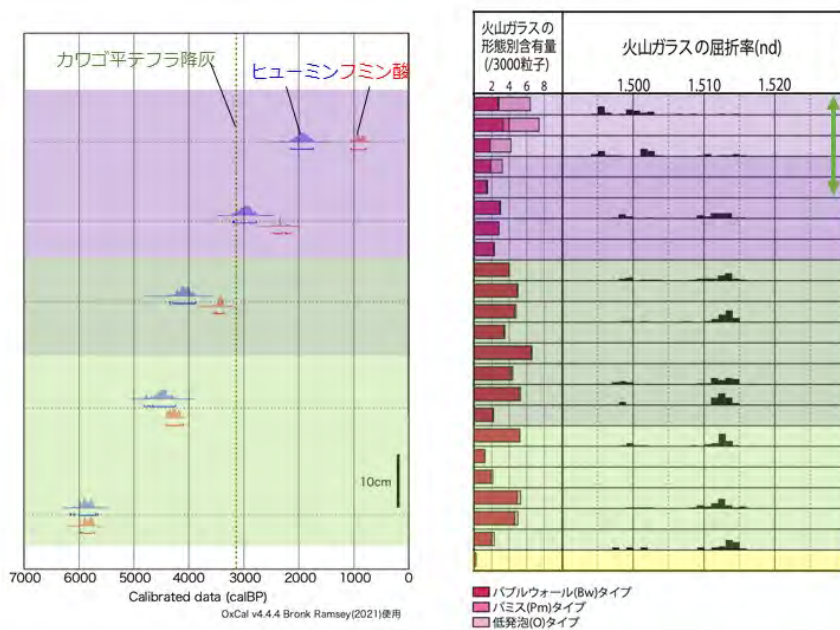


図3 阿寺断層 活断層露頭での連続炭素年代測定結果

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南海トラフ域におけるプレート間固着・滑りの時空間変化の把握

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海溝型巨大地震発生の予測のためには、プレート間の固着による定常的なすべり欠損の蓄積と、地震間の間欠的なすべり欠損の解消をもたらすゆっくり滑り等の地殻活動の把握の両方が欠かせない。特に、現行計画で得られた南海トラフ域におけるすべり欠損分布の解釈には、沈み込む側のプレート、特に伊豆マイクロプレートの境界と運動の把握が決定的に重要であることが明らかになった。また、海底地殻変動観測による変位速度の空間的不均質性の解釈には、プレート境界面上でのすべり欠損以外にも陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等の可能性も考慮する必要があることが示唆された。

そこで、本研究では、海域での測地学的観測に加え、現行の地殻変動観測網の制約を克服するために変動地形の分布や変位様式の把握といった変動地形学的調査も併せて行い、伊豆マイクロプレートの境界（特に西端部）と運動の把握を行う。さらに、変動地形学的調査から陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積過程も推定する。これらの全てをふまえて、海陸における地殻変動観測結果からより現実的なプレート間固着状態の把握を行う。これと並行して、5年間にわたる連続的な陸上GNSSおよびアクロスによるモニタリングによって、測地学的アプローチと弾性波動学的アプローチの両面から地殻活動の現状を把握する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

南海トラフ域東部を対象として、以下に詳しく述べる1) 変動地形学的、2) 測地学的、3) 弾性波動学的アプローチから各種観測・調査を行う。海域地殻変動観測結果と変動地形学的調査をもとに、ブロック運動モデルによって南海トラフ沿いのすべり欠損の空間分布の把握を行う。また、陸上GNSSとアクロスを用いた連続モニタリングから、定常時やゆっくり滑り時におけるプレート境界領域の物性変化を捉える。

1) 変動地形学的アプローチ

海底地形調査：

銭洲海嶺西端付近、ならびに志摩海脚において、海底地形詳細調査、ならびに浅層地質構造探査を行う。銭洲海嶺西端付近では、変動地形の連続性から伊豆マイクロプレートの西端部の境界を明らかにするとともに、変動地形の位置・形状から伊豆マイクロプレートの挙動の推定を試みる。陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等が海底地殻変動観測による変位速度の不均質性に与える影響を探るため、志摩海脚でも調査を行う。

陸域地形調査：

陸棚外縁撓曲の活動度等を明らかにするため、紀伊半島等の沿岸部で活構造等の地形と地質を調査する。

2) 測地学的アプローチ

海域地殻変動観測：

南海トラフ地震震源域の浅部におけるすべり欠損の空間分布の把握のために、海上保安庁の観測点が設置されていないトラフ軸近傍の1ヵ所で海底地殻変動観測を2年に1回行う。また、伊豆マイクロプレートの西側境界の大まかな位置を推定するとともに沈み込むプレートの運動を実測するため、南海トラフの海側（沈み込むプレート側）の1ヵ所において2年に1回の頻度で海底地殻変動観測を行う。

伊豆マイクロプレートの動きを把握するため、銭洲岩礁にて2年に1回の頻度でキャンペーンGNSS観測を行う。

得られた観測結果をもとに、変動地形学的知見もふまえて、ブロック運動モデルにより南海トラフ域のプレート間固着状態を把握する。

陸上GNSS観測：

南海トラフ地震震源域の深部におけるスロースリップ等による変動の把握のため、三重県、愛知県、和歌山県内の12ヵ所でGEONETの観測点の間を埋める形でGNSS連続観測を実施する。

3) 弾性波動学的アプローチ

アクロス：

プレート境界面における固着やすべり現象に伴う定常・非定常な物性変化を地震波速度変化等から捉えるため、東海地方の2ヵ所でアクロスの連続運転を行い、定常地震観測点で捉えられた信号記録の解析を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○変動地形学的見地による伊豆マイクロプレートの西端部の境界

昨年度の成果として、マルチビームによる地形調査の結果により、銭洲海嶺・檜野崎海丘間の西南部の海域に、檜野崎海丘の南東縁基部から北東方向に延びる、北西側隆起を示す撓曲崖が確認され、西側測線上での上下変位量は累積で約30~35mと見積もられることを報告した。今年度は、サブボトムプロファイラ（SBP）による浅層地層構造調査の詳細解析の結果も併せて伊豆マイクロプレートの境界について検討した（図1）。

SBPの記録によると、上記の撓曲崖の直下には逆断層運動を示す構造が見られないため、断層本体は探査深度よりもさらに深部に存在するものと考えられる。また、この撓曲崖のほかには海底面まで変位させる明瞭な変位地形が周辺には見られないため、この撓曲崖を形成した断層が伊豆マイクロプレートとフィリピン海プレートとの境界である可能性が極めて高く、その境界は檜野崎海丘の南東縁

基部に位置する活断層（徳山ほか，2001）へと続いていると考えられる。また，調査海域において横ずれを示す地形的な証拠は検出できないため，両プレートの境界の西端部での横ずれ成分は，あるとしても極めて小さいと考えられる。

SBPの記録によると，この撓曲崖の北西側と南東側にも構造の小規模な不連続が数多く見られる。しかし，これらは変位量の累積が小さいため，伊豆マイクロプレート内および沈み込む直前のフィリピン海プレートの内部変形によるものであると考えられる。

○変動地形学的見地による陸棚外縁撓曲の活動度

志摩海脚付近において海底地形調査・浅層地質構造探査を実施した。志摩海脚付近は，遠州灘から西南西へと延びる活断層と，熊野灘から東北東へと延びる活断層とが接合する位置にあたる。得られるデータは，遠州灘～熊野灘に分布する活断層の変位様式と連続性や，海底地殻変動観測による変位速度の不均質性に関する検討に資するものである。

上記の調査・探査は，海洋エンジニアリング株式会社の第二開洋丸（842トン）によって2021年11月25日～27日に実施された。対象海域は，志摩海脚付近の長辺約40 km，短辺約33.5 kmの範囲（一部を除く）であり，水深は800～2000 m程度である。海底地形調査はマルチビーム測深機EM304を用いて実施し，長辺方向（北東方向）に30～40 km程度の測線を設け，3～4 km程度の測線間隔で計10測線の測深を行った。浅層地質構造探査はサブトムプロファイラTOPASPS18を用いて実施し，北西方向の1測線（長さ約19 km）においてデータを取得した。詳細解析は現在実施中であり，年度末までに結果が出る予定である。

○海底地殻変動観測

昨年度末の2021年2月に実施した観測で得たデータまで含めて解析を行い，南海トラフ軸近傍の陸側の観測点2点（TOAとTCB）と沈み込むプレート側の観測点1点の計3地点におけるアムールプレートに対する変位速度ベクトルを求めた（図2・図3）。変位速度の方向と大きさは，

TOA:N70+/-30°W, 50+/-29 mm/yr

TCA:N59+/-18°W, 38+/-33 mm/yr

TCB:N45+/-26°W, 70+/-61 mm/yr

である。

TOA観測点は上述の伊豆マイクロプレート（IZM）とフィリピン海プレート（PH）との境界のやや南東側に設置されているため，TOA観測点における海底地殻変動観測結果は，主として沈み込んでくるフィリピン海プレートの運動を反映していると言える。TOA観測点の変位速度ベクトル

は，MORVEL [DeMets et al., 2010; 2011] から推定される理論的な変位速度ベクトルと概ね一致している。ただし，上述の通り，この海域直下にはフィリピン海プレートの内部変形を示唆する複数の構造の不連続が見られる。そのため，TOA観測点の変位速度にはフィリピン海プレートの内部変形も含まれていると考えられる。TCA観測点における変位速度ベクトルの大きさは，現段階までの観測結果によると，MORVELによるアムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動

（57mm/yr）の2/3程度である。TCBも含めた何れの観測点も変位速度ベクトルの誤差が大きいため，より精度の高い地殻変動の検出のためには継続して観測する必要がある。

○銭洲岩礁GNSSキャンペーン観測

2021年7月30日に銭洲岩礁におけるGNSSキャンペーン観測を実施した。観測時間は約5時間であった。1996年以降，高知大学とともに25年間に計13回のキャンペーン観測を実施しており，これらすべてのデータを再解析した。銭洲岩礁周辺のGEONET 8カ所のRINEXデータを用いて座標値をF5解に強く拘束するように解析した。2000年三宅島噴火に伴い，ステップ状の基線長変化が観測されたため，2000年以降の約20年間の基線長変化に着目した。その結果，銭洲岩礁と南伊豆2は基線長変化が無く，両観測点は同じブロックに属していると考えられる。一方，銭洲岩礁一新島間には有意な基線長変化が観測されており，両観測点は異なるブロックに属していると思われる。新島と神津島はやや異なる動きをしており，新島－神津島間にブロック境界が存在するものと考えられる。また，八丈および御蔵島のGEONET観測点と銭洲岩礁との間には有意な基線長変化が見られない。

○アクロスの連続運転による物性変化のモニタリング

岐阜県土岐市のACROSS震源装置を10年間にわたって連続稼働し，主としてHi-net八百津（震央距

離11km)で記録された信号に対してTsuji et al. [2022]の手法を用いて解析を行った。まず、機器の交換などによる人為的ステップを除去するため、Nishimura et al. [2013]の手法(AICを用いてステップを含むモデルと含まないモデルの優劣を判断する方法)を用いてステップの検出をした。ただし、明らかに地震と一致するタイミングは補正しなかった。八百津では2011年東北地方太平洋沖地震による明瞭な走時変化が確認された(図4)。

愛知県豊橋市にある名古屋大学三河観測所では、P波を効率的に発震できる新型の震源装置を1年間あまり連続稼働し、主として名大三河(震央距離200m)で記録された信号を用いてP波速度(V_p)とS波速度(V_s)の変化の同時測定を行った。 V_p と V_s の変化をO'Connell & Budiansky [1974]の結果を用いてクラック密度と飽和度で解釈したところ、乾燥時のクラック密度と飽和度の減少、降雨時のクラック密度と飽和度の上昇がACROSS信号の解析からモニターできることが明らかになった(図5) [Suzuki et al., 2021]。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

海溝型巨大地震の発生ポテンシャルの把握のために地殻変動観測データから固着率の推定が行われるが、その際には地殻変動の観測結果とプレート(ブロック)境界の情報が必要となる。本研究課題では、南海トラフ地震の想定震源域直上における海底での地殻変動を実測するとともに、詳細な地形調査等から沈む込むプレートである伊豆マイクロプレートの境界を明らかにした。また、アクロスの連続稼働によって得られたデータから物性の時間変化を得るための解析手法を確立し、実際に物性の時間変化が捉えられた。このことは、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測への道を拓く成果である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Suzuki, Yamaoka, Tsuji, and Watanabe, 2021, Ground water-induced changes in velocities of P and S waves (V_p and V_s) measured using an accurately controlled seismic source, Earth, Planets and Space, 10.1186/s40623-021-01484-3

Tsuji, Yamaoka, and Ikuta, 2022, Temporal change in seismic wave attenuation using highly-stable vibration sources, Earth, Planets and Space, Accepted

・学会・シンポジウム等での発表

辻 修平、山岡 耕春、生田 領野, 2021, 地震動に伴う減衰変化と減衰異方性変化, 日本地球惑星科学連合大会, SSS09-04

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

1) 変動地形学的アプローチ

令和3年度に実施した志摩海脚における海底地形および浅層地層調査の詳細解析にもとづき、陸棚外縁撓曲の活動度等を明らかにする。

2) 測地学的アプローチ

南海トラフ軸近傍の2カ所(TCA, TOA)で海底地殻変動観測を各1回行い、過去のデータも含めて再解析し、より高精度な変位速度ベクトルを得る。観測時期は7月を予定している。

銭洲岩礁にてキャンペーンGNSS観測を行い、伊豆マイクロプレート中部における変位速度を明らかにする。観測時期は7月を予定している。

3) 弾性波動学的アプローチ

東海地方に設置されたアクロス震源の連続運転を継続し、定常地震観測点で捉えられた信号記録の解析を行い、物性変化の検知に関するさらなる知見を得る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一（名古屋大学）,伊藤武男（名古屋大学）,山岡耕春（名古屋大学）,渡辺俊樹（名古屋大学）,
國友孝洋（名古屋大学）,鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

田部井隆雄（高知大学）,生田領野（静岡大学）,杉戸信彦（法政大学）,松多信尚（岡山大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田所敬一

所属：名古屋大学環境学研究科

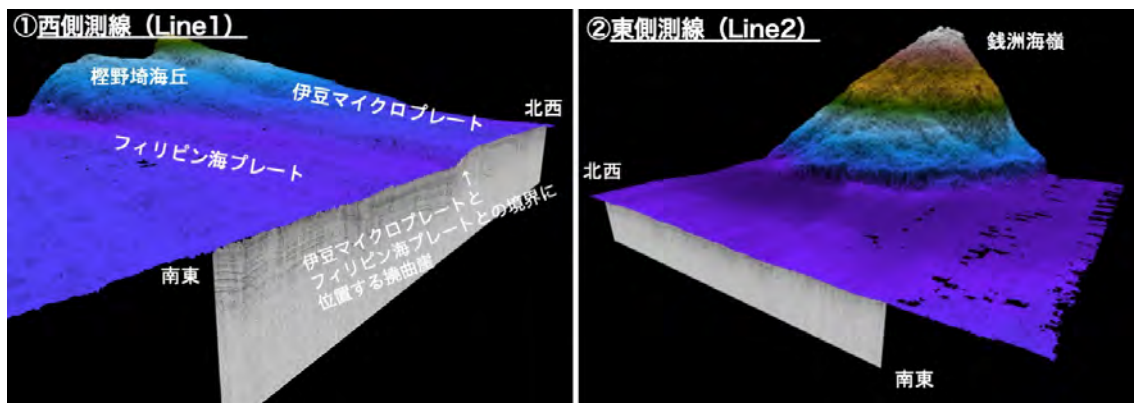


図1:海底地形調査と浅層地質構造調査の詳細解析の結果

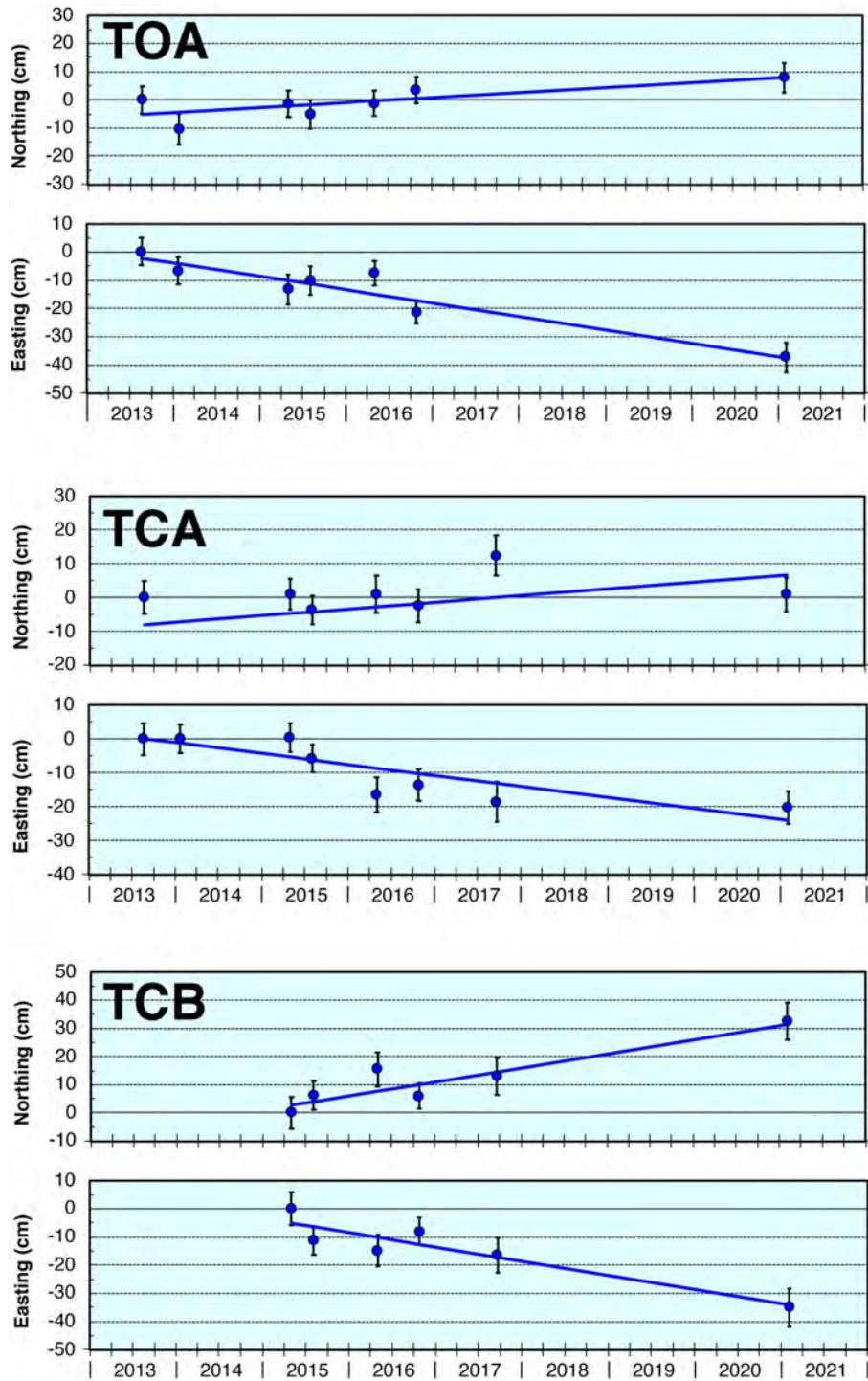


図2：海底地殻変動観測結果
アムールプレートに対する南北・東西変位の時系列を示す。

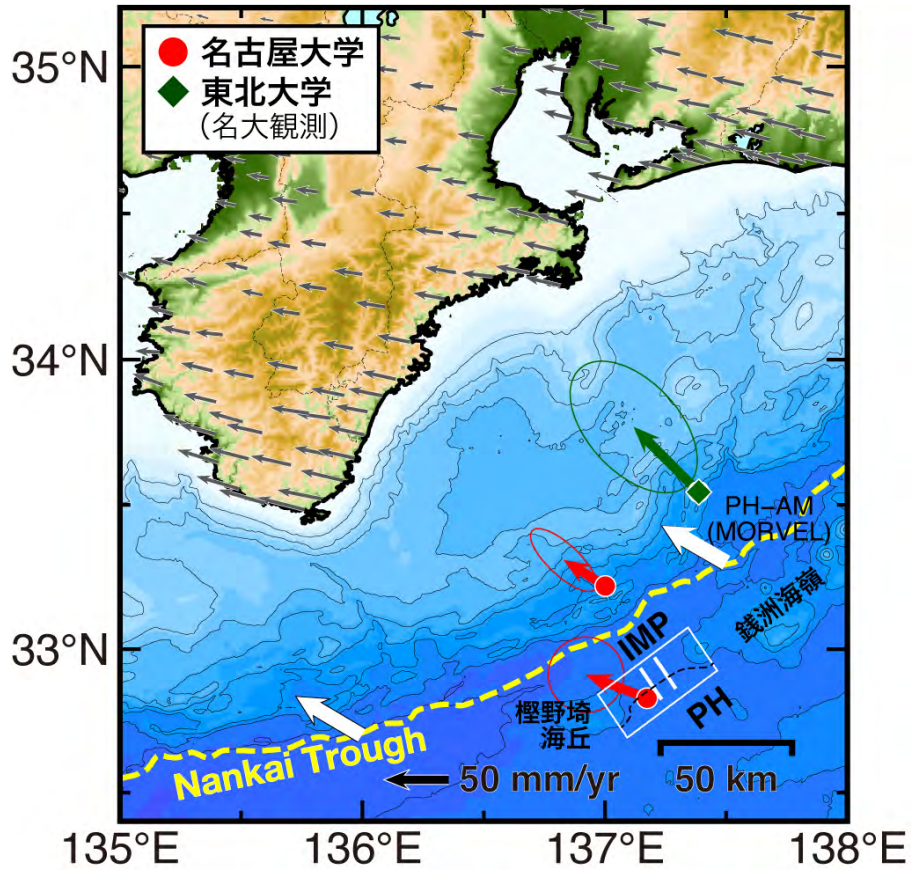


図3：図2に示した期間のアムールプレートに対する平均変位速度ベクトル
 変動地形学的見地から明らかとなった伊豆マイクロプレートとフィリピン海プレートとの境界を白色の点線
 で示す。白の長方形および白線は、それぞれ令和2年度に実施した地形調査の範囲と浅層地質構造調査の測
 線を示す。白矢印はMORVELによるアムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動。

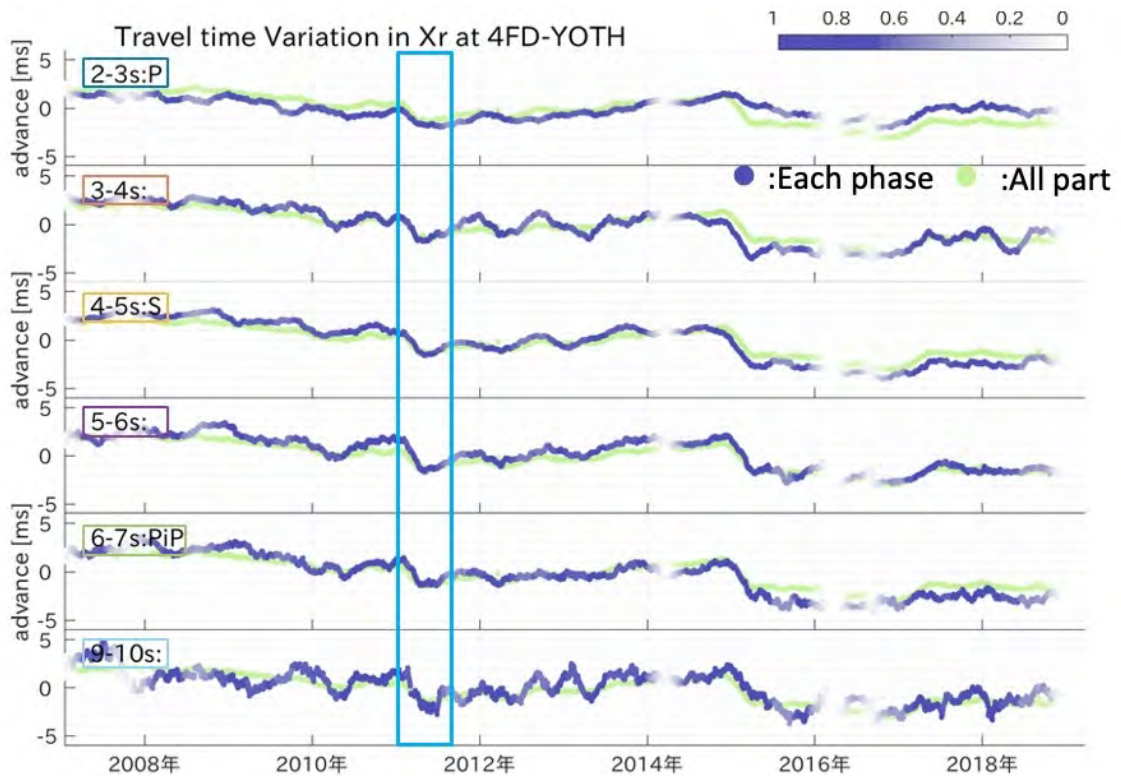


図4：Hi-net八百津で捉えた土岐ACROSS震源から発震された信号の走時変化。
 Tsuji et al. [2022]による。東北地方太平洋沖地震による走時変化が捉えられた期間を水色枠で示す。

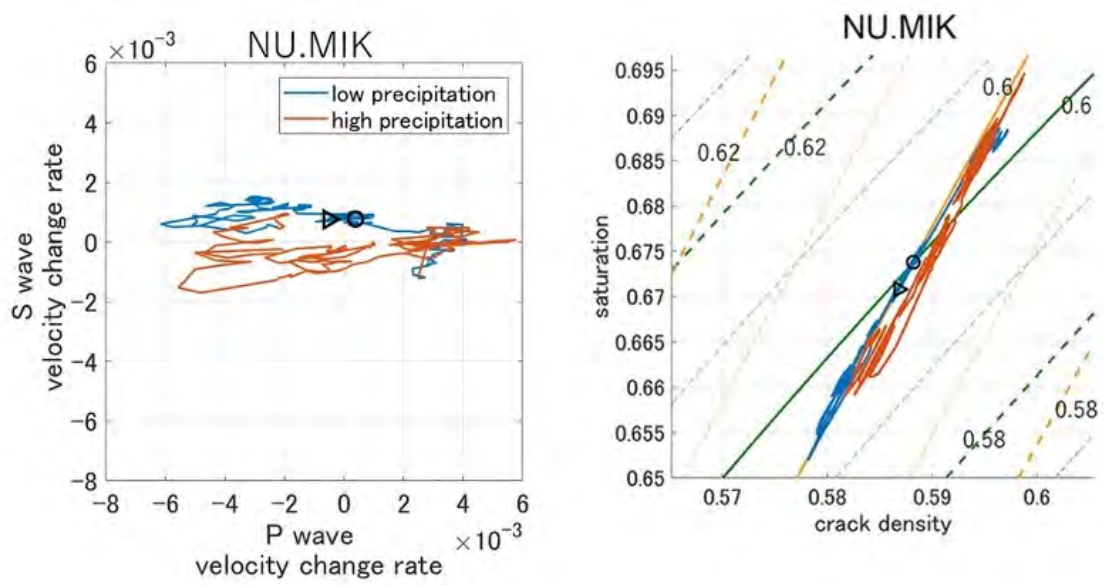


図5：三河ACROSS震源一名大三河観測点間の（左）P波及びS波速度変化，（右）O' Connell & Budiansky [1974]に基づくクラック密度と飽和度の変化の解釈。
 Suzuki et al. [2021]による。橙線は降雨時，青線は乾燥時の変化を示す。P波及びS波速度の初期値はintact medium に対して0.6とした。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地表地震断層の特性を重視した断層近傍の強震動ハザード評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ウ. 大地震による災害リスク評価手法
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ア. 地震動の即時予測手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究においては、地表地震断層の詳細な特性を考慮して、断層近傍の強震記録を再現できる強震動シミュレーション手法を開発する。地表地震断層のごく近傍の詳細な建物被害分析結果に注目した強震動シミュレーションは新たな取り組みである。活断層から発生する地震予測に関する従来のパラメータステディは約1秒以上の長周期成分を対象としたものが多く、建物被害に大きな影響を及ぼす1秒以下の短周期成分を考慮した研究例は少なかった。これらの周期帯をあわせて広帯域地震動を評価するためには、地震基盤以浅の地表地震断層近傍域における詳細な地盤構造モデルを構築する必要がある。

従来の地表地震断層の研究は、変位量の記載や個々のセグメントの特徴の把握にとどまっていた。強震動との関係を議論するためには、起震断層帯全体の中で相互に関連する地震断層形状の正確な把握や、変位量の空間的変化を高解像度で把握し直すことが求められる。本研究では熊本地震の地震断層の再検討を行うが、いわゆる活断層としての活動性に関する情報は別プロジェクトで得られる成果を用い、強震動予測に適したデータベース化を行う。

最終的に、熊本地震等の事例について新たな強震動評価手法を用いた強震動分布を再現し、建物被害との整合性を確認する。その上で、海外の事例を含めた他地域への適用を試行する。他地域への適用に当たっては、従来からの変動地形学的活断層調査結果を参考にする。なお、期間内に新たな地震断層が出現した場合は、これを検討対象に加える。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は、「熊本地震の益城町と南阿蘇村を事例とした基礎データ収集・感度解析」として以下の項目を実施する。

- 1) 強震動計算モデルへ組み込むため、地表地震断層の詳細な形態的特徴を精査し、破壊開始点、変位

量分布のデータベースを作成する。

2) 航空写真と現地調査結果を総合して、地震断層近傍全域における全壊家屋分布図を作成する。建築構造情報を考慮したデータベース作成。

3) 地震動記録の再検討。全壊家屋分布を説明できる強震動計算モデルを構築する。

平成32～33年度は、「熊本地震の地震断層周辺全域への適用・モデル改良」として以下の項目を実施する。

1) 熊本地震の地震断層近傍の全域について強震動モデルによる計算を適用する

2) 強震動の出現に著しい地域差があることに注目して、地震断層・活断層の特徴との相関を分析する

3) 強震動の地域差を表現できる強震動モデルを検討し、モデルの高度化を目指す。

平成34～35年度は、「他地域・他の活断層へ試行」として以下の項目を実施する。

1) 新たな強震動評価手法を他の活断層へ適用し、強震動予測地図を作成する。

2) 活断層データとしては、他の課題（「変動地形学的手法による内陸地震発生モデルと活断層長期評価手法の再検討」(2. (1) イ. 内陸地震の長期予測)の成果を活用する。

3) 活断層の強震動評価手法として一般化させ、地震本部において活用可能な形を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、昨年度に引き続いて野外調査による詳細な地表地震断層をモデル化して強震動計算に反映させ、断層近傍地震動の強震動ハザード評価の高度化に資するための検討を行った。主な実施項目として、以下の二点：(1)熊本地震の地震断層近傍とその周辺について、地表地震断層の分布と変位の詳細情報を考慮した断層モデルを用いた3次元差分法による強震動計算の実施、(2)地表地震断層の分布と建物の被害分布の関係の考察を行った。

(1)熊本地震の地震断層近傍とその周辺における、地表地震断層の分布と変位の詳細情報を考慮した断層モデルによる強震動計算については、次の検討を行った。まず、任意の地表地震断層トレース形状を強震動計算のための震源断層モデルに組み込むツールを作成した。このツールはシェープファイル形式や、csv等のテキスト形式で表される任意の地表断層トレースファイルを入力データとして、地表断層トレースを任意の長さの線分で近似した上で、通常矩形で表される地震発生層内の断層モデルと接続することで、地表に達する震源断層モデルを作成するものである。地表断層トレースは、場所によってはトレースを表す節点の間隔が極めて細かく複雑な形状をしているが、これを差分法による強震動計算において必要な精度や計算条件に応じて適切な間隔（例えば50m, 100m, 数百mなど）に節点を取り直し、強震動計算に容易に組み込めるようにした。

地表断層トレースと地中斷層モデルの接合・収斂については、昨年度に変動地形分野の研究者と地震・強震動分野の研究者で議論し検討した結果に基づき、地表地震断層トレースから地震発生層内の矩形断層モデルの上端辺まで連続させるように収斂する考え方をまずは採用した。この方法では地表トレースと地中の矩形断層との連続性を重視するため、地表付近の断層傾斜角についてはトレンチ調査結果や変動地形の判読により推定されたデータとは整合しないセグメントも存在することになるが、断層面中に不連続や断裂を回避して地震動計算の安定性を優先した。一方、トレンチ調査結果や変動地形の判読結果をもとに地表下浅部の断層面の傾斜角度を重視し、それは浅部構造と考えて震源断層モデルとは収斂しないモデルも別途準備した。このモデルの妥当性については両分野の研究者間で検討を継続している。

作成したツールを熊本地震発生直後から行っている野外調査データによる地表地震断層トレースデータに適用し、地表断層と地中斷層モデルを組み合わせた断層モデルを用いて断層周辺域の地震動を計算し、地表断層に沿った変位分布の精度が向上することを確認した。観測された離散的な変位量を内挿して連続量に変換し地表付近の断層すべり量として組んだモデルによる地震動計算も試みたが、断層から数km以内の強震観測点における観測地震動波形の再現性は必ずしも高くはなかった。断層ごく近傍の強震動評価という観点から見ると、地表付近の断層すべりの空間的特徴のみならず時間変化をどのようにモデル化するかによっても地震動は大きく変化するため、起きた事象の再現と将来の予測の両方の観点からさらなる研究が必要である。

(2)地表地震断層分布と建物被害の分布の関係性については、現地調査や航空写真判別調査等により地表断層出現位置から100m程度以内に建物被害が集中し、断層から離れると急激に建物被害率が低下

することが示された。このような局所的な建物被害分布の主たる原因を断層近傍に集中する地震動と仮定した際に既往の強震動予測手法で説明可能かどうかを検討するため、数値実験を行った。熊本地震の断層面を模した傾斜角とすべり角の断層面を設定し、地震発生層内（深さ2km以深）の強震動生成域(SMGA)とSMGAに接するが地震発生層より浅い領域（断層浅部）におけるすべりを組み合わせて断層近傍地震動の計算を行った。計算された地震動は、地表断層から2kmより近い領域では断層浅部の影響を受けるが、強い地震動が生じている領域はSMGAや断層浅部のすべりの空間的広がりに応じて数百m～数kmの広がりを持ち、また断層距離がゼロに近づくと地震動は小さくなる。従来の枠組みの震源断層モデルでは断層距離ゼロ付近で極大となる地震動は再現されないことを示した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

岩城麻子・森川信之・前田宜浩・藤原広行,2021,強震動予測レシピに基づく2016年熊本地震(Mj7.3)の強震動シミュレーション,日本地球惑星科学連合,SSS11-P18

岩城麻子・藤原広行,2021,2016年熊本地震の地表断層ごく近傍の強震動について,日本地震学会秋季大会,S15P-04

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度は今年度までの成果や検討結果を受けて以下の項目を計画している。

1) インバージョンモデル（再現）や特性化震源モデル（予測）と、地表で複雑な分布を見せる地表地震断層（再現）・活断層分布（予測）との接合に関する分野間の議論とモデル化。

2) 2016年熊本地震の特定地点における現象の要因の考察と地震動の計算（再現と予測）

・益城町宮園や西原村における地表地震断層の直上

・堂園地区（顕著な横ずれ断層）

・清正公道における極めて局所的な被害が生じた地域（東屋被害等）

3) 活断層研究分野と強震動研究分野間で地表地震断層調査の解釈や強震波形の解釈等の相互理解のための意見交換を引き続き行い、分野間の意思疎通を図る。

4) 上記をもとに、変動地形の分野で、特に強震動予測に貢献できると考えられるデータ項目の整理。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

隈元崇（岡山大学）,中田高（広島大学）,渡辺満久（東洋大学）,藤原広行（防災科学技術研究所）,森川信之（防災科学技術研究所）,中村洋光（防災科学技術研究所）,先名重樹（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<https://www.seis.nagoya-u.ac.jp/center/index.html>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

被害の地域的な発現過程とコミュニティの社会・空間構造に着目した地震・津波災害発生機構に関する文理融合的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの人文社会科学的な災害研究では、情報伝達や避難行動といった「どのように（how）対応したのか」を問題とするものが多く、「なぜ（why）災害が発生したのか」を、災害前や復興後における被災地の社会構造に遡及して解明するものはほとんどない。防災リテラシーの向上のためには、自然災害が社会的構築物であるという基本的な認識の上で、いわゆる緊急対応のみならず、長期間にわたる自然ハザードと地域社会との関係という統合的観点からハザードが災害に転換する構造的脈絡を明らかにする必要がある。

それゆえ、本研究では、同一のハザード（地震、津波、火山噴火など）の外力がかかっても地域ごとに被害や対応の現れ方が異なる過程に着目し、そこにどのような社会的要因が介在しているのかを脆弱性概念に基づいて分析する。脆弱性は土地利用、社会的凝集性、災害文化、災害対策の4側面から捉えられ、工業化や都市化といった構造的要因によって長期的に変化する。本研究では、自然的・社会的特性の異なる地域社会を取り上げ、それぞれについて脆弱性各側面の具体的項目を定量的・定性的に調べるとともに、ハザード外力の地域差と重ね合わせ、災害発生メカニズムやその規定因を明らかにする。それによって、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを明確にする。

具体的には、（1）東日本大震災などの過去の災害を事例に、以上のような地域的差異に着目する視点からハザード外力と脆弱性との相互既定関係を検証し、また、復興後の社会変動によって生じた地域社会における脆弱性の再編様式を明らかにする。（2）東海地域に焦点を置き、地形や集落立地、経済・人口規模や都市システム、災害履歴などを指標に地域的な類型化を行い、ハザードの将来予測と重ね合わせながら、地域類型ごとの脆弱性の内容について比較検討する。（3）コミュニティ防災の全国的な先進事例も参照しながら、以上の結果をもとに、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを地域単位で検討し、地域特性に応じたコミュニティ防災の条件や課題について提言を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：東日本大震災被災地のコミュニティ組織を対象に、他のプロジェクトと連携して2018年度に実施した質問紙調査の分析結果と、その回答者に対する、復興後の災害対応の変化などに関する追跡調査（インタビュー調査）をもとに、これまで行ってきた東日本大震災研究の総括を行うとともに、ハザード外力と脆弱性との相互既定関係について理論化を図る。なお、各年次、コミュニティ防災の取り組み担当者を招聘し、全国的な先進事例に関する定例研究会を開催する。

2020年度：東海地域（愛知・三重・静岡県）、とりわけ南海トラフ地震で津波被害が想定される自治体において予備調査を行うとともに、各種統計などをもとに、ハザードなどの自然的特性と、都市規模や都市システムといった社会的特性から、大都市地域、地方中都市、小都市・農村部、沿岸漁村部といった地域構造に基づく地域類型マップを作成し、予備調査の結果と合わせ、詳細分析の対象地域社会を選定する。

2021年度：地域類型の異なる複数の地域社会（自治体およびコミュニティ）において、（1）地域の自然特性と社会特性、および近年の社会・経済変動を調査し、データベースを作成するとともに、（2）少なくとも第2次世界大戦後の災害履歴を、ハザードの特徴や被害状況のみならず、防災対応や復興プロセスも考慮して整理し、災害発生メカニズムにかかる政策的・地域的要因に関する考察を行い、（3）地域類型間（自治体およびコミュニティのレベル）の比較検討と、地域差をもたらす社会的要因を解明する。インタビュー調査を中心とした現地調査を基本とするが、必要に応じてサーベイ調査も実施する。

2022年度：前年度の活動を複数の地域社会において実施し、調査結果を蓄積するとともに、とりわけ東日本大震災後の法改正や住民の意識変化等に伴う自治体の防災対策の改変やそのコミュニティに対する影響に関して知見を得る。

2023年度：それまでの活動を継続し、蓄積された調査結果の理論的集約を進める。なお、各年次における研究成果は、国内外の学術会議で発表するとともに、学術論文として公表するほか、公開研究会の開催などを通じて地元還元を努める。最終的には、可能な限り、報告書や図書（専門書や一般書）の刊行を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

われわれの研究の目的は、ハザードが災害に転化する社会的文脈を解明し、それを地域類型的に把握することである。今年度は、地域類型にかかわる基礎的作業として、南海トラフ地震想定地域を含む東海圏（岐阜県、愛知県、三重県）における地域的人口分布・動態の量的把握を試みた。

同じハザードであっても、災害としての現れ方は地域の微地形やコミュニティの地域特性によって異なってくる。わが国では、脆弱性やレジリエンスの検討に必要なにもかかわらず、コミュニティ単位の統一的な人口統計がなく、広範な地域において客観的・数量的な分析を行うことが難しい現状にある。そこで、GISを用いて、国勢調査のメッシュ統計を集落単位に組み替えるという工夫を独自に行い、東海圏の9,492集落を農村地域、準都市地域、都市地域という3つの地域類型に区分し、過去40年間（1975-2015年）における経時的な空間パターンの変化を明らかにした。

東海圏の地域的人口分布のこうした全体的把握を踏まえて、下半期から三重県の幾つかの自治体で現地調査に入る予定であったが、新型コロナウイルス感染症の影響で実施が困難になったため、同年実施した東日本大震災後の復興に関するサーベイ調査のデータ分析を行い、被災地（宮城県南三陸町、女川町、山元町）における震災後の世帯構成や家族生活の変化、コミュニティの住民構成や社会関係の変化、生活インフラの整備水準、防災活動や災害リスク認知等に関する知見を整理して報告書にまとめた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

高橋誠,2021,東海地方の都市と農村をめぐる地域的人口分布とその変動(試論),砺波散村地域研究書研究紀要,37,1-10

高橋誠,2021,災害の地理学に求められること,地理,66(9),54-60

田中重好,2021,コロナ禍への社会学からの問い,東北社会学会『社会学研究』,106,57-80

室井研二,2022,地域と事業所の防災協力はいかに可能か,NETT・ほくとう総研,115,22-25
Kenji Muroi,2022,Post-disaster reconstruction in the rural-urban fringe following the Great East Japan Earthquake,E3S Web of Conferences 340,,open access,1-9

・学会・シンポジウム等での発表

室井研二,2021,大規模災害からの復興の地域的最適解に関する総合的研究2021実証篇(6)―アーバンフリンジにおける土地利用の変化―宮城県亘理町、山元町の事例―,日本社会学会第93回大会
Kenji Muroi,2021,Post-Disaster Reconstruction in the Rural-Urban Fringe following the Great East Japan Earthquake,The 13th Aceh International Workshop and Expo on Sustainable Tsunami-Disaster Recovery 2021 (オンライン)
Kenji Muroi,2021,Changes of Communities and Agriculture in Rural-urban Fringe Following the Great East Japan Earthquake,International Forum on Sustainable Rural Development in East Asia、吉林大学(招待、オンライン)
田中重好,2021,大規模災害からの復興の地域的最適解に関する総合的研究 理論編(5) 津波被災地復興における重層的主体の集積的選択過程,日本社会学会第93回大会
Makoto Takahashi,2021,Landscape of the post-tsunami recovery: paradox of "build better back",International Conference on Environmental Resource Management (ICERM 2021), Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Indonesia (招待、オンライン)
黒田由彦,2021,大規模災害からの復興の地域的最適解に関する総合的研究2021理論篇(2)―復興評価の視点に関する理論的考察,日本社会学会第93回大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

東海圏の脆弱性についてこれまで伊勢湾沿岸部の大都市(工業都市)コミュニティを対象に調査を行ってきたが、その比較対象地として三重県南部沿岸地域を対象とした調査を実施する。具体的な調査対象地域は、南伊勢町、大紀町、紀北町、尾鷲市、熊野市、御浜町、紀宝町の2市5町である。

研究の狙いは、ハザードと脆弱性の空間分布の対応関係(重複とズレ)を解明し、より実効的な地域防災の示唆を得ることである。ハザードに関しては自治体のハザードマップ等を参考に、地震、津波、土砂災害などのリスク分布を確認し、GISを用いて独自に地図化する。

脆弱性に関しては、上記2市5町のコミュニティ・リーダー(町内会長、行政区長)を対象としたサーベイ調査を実施する。調査票には防災活動の内容や頻度だけでなく、年齢、職業、居住歴等の住民属性、生活インフラの整備状況、過去の災害経験やローカルな災害文化、地域の土地利用等に関する項目も取り入れ、脆弱性や対応力の多面的把握を心がける。

4月~6月に2市5町の行政機関を訪問し、防災政策やコミュニティ防災の現状についてヒアリングを行うとともに、サーベイ調査への協力を依頼する。夏季休暇期間中には調査票の作成および現地視察を行う。サーベイは10月~11月に郵送法で実施する予定である。回収した調査票のデータはPCに入力し、統計ソフトを用いて分析する。1月中までに基本的な分析を終わらせ、脆弱性の空間分布とハザードマップの対応関係について検討を行う。年度末には分析結果を報告書にまとめ、刊行する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

室井研二(名古屋大学環境学研究科)、高橋誠(名古屋大学環境学研究科)、山岡耕春(名古屋大学環境学研究科)

他機関との共同研究の有無：有

堀和明(東北大学)、黒田由彦(椋山女学園大学)、田中重好(尚絅学院大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL :

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：室井研二

所属：環境学研究科

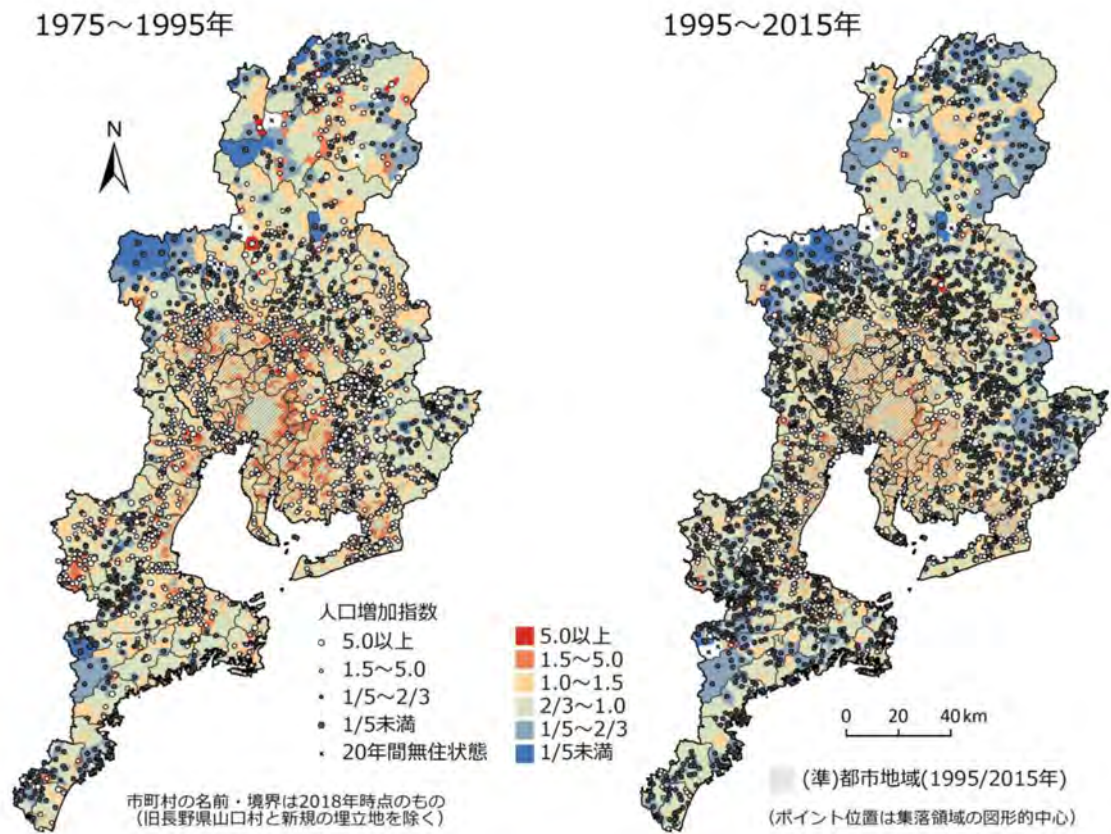


図1 集落人口変動の空間的パターンの変化

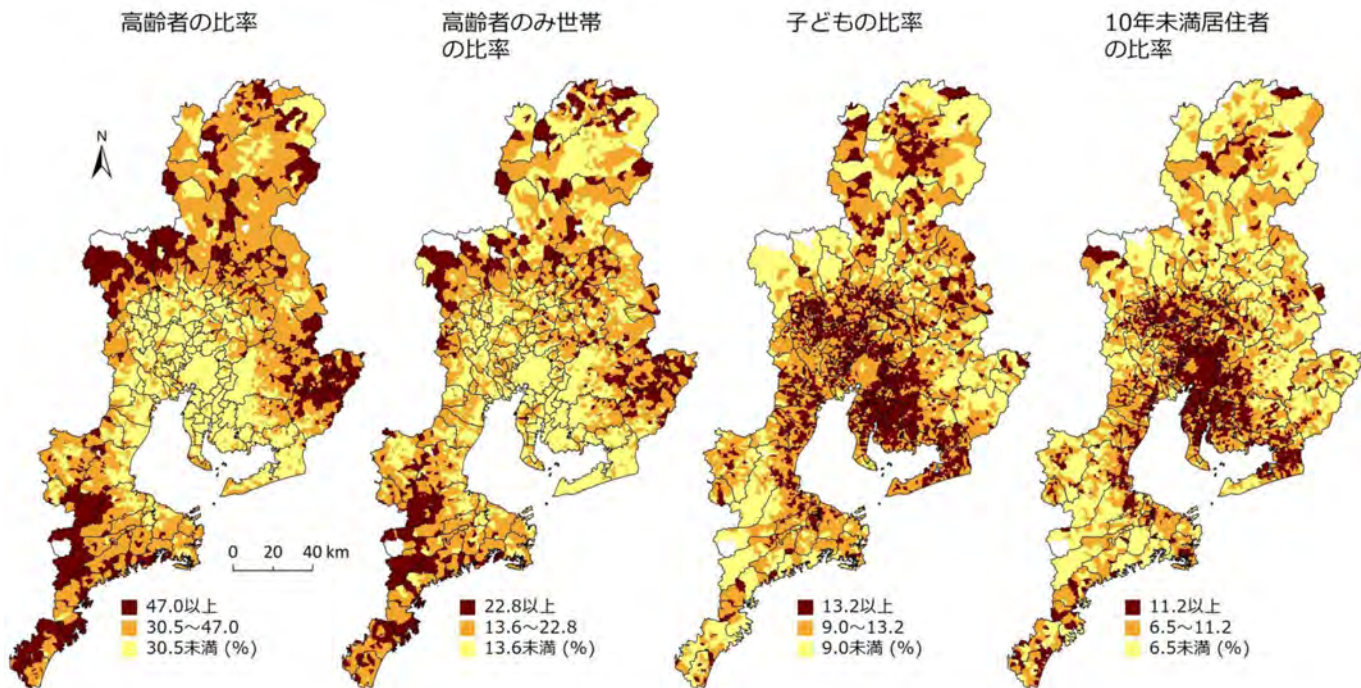


図2 集落の人口変動と人口構成の関係

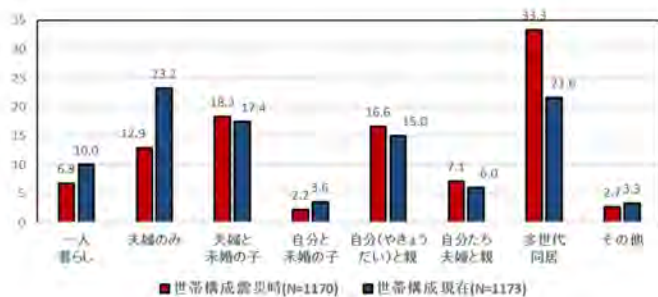


図3 世帯構成の変化 (宮城)

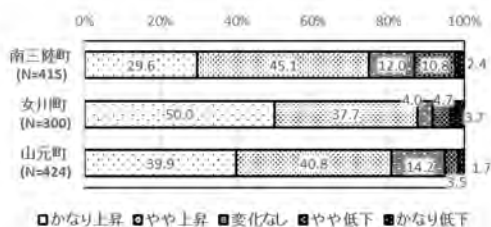


図4 地区の高齢者比率の変化 (宮城)

表1 地区住民に占める親族の割合 (アチエ)

		Less than 10%	10-25%	25-50%	50-75%	Almost all
Banda Aceh (N=27)	Before EQ	14.8	7.4	22.2	25.9	29.6
	2016	25.9	22.2	14.8	22.2	14.8
Aceh Besar (N=55)	Before EQ	3.6	10.9	16.4	36.4	32.7
	2016	7.3	16.4	3.6	34.5	38.2
Aceh Jaya (N=41)	Before EQ	2.4	2.4	12.2	22.0	61.0
	2016	7.3	4.9	9.8	24.4	53.7
Aceh Barat (N=37)	Before EQ	0	8.1	10.8	16.2	64.9
	2016	0	5.4	24.3	13.5	56.8

表2 地区の高齢者比率の変化 (アチエ)

		Less than 5%	5-10%	10-25%	25-50%	More than 50%
Banda Aceh (N=27)	Before EQ	7.4	18.5	51.9	22.0	0
	2016	37.0	18.5	29.6	14.8	0
Aceh Besar (N=55)	Before EQ	7.3	29.1	27.3	34.5	1.8
	2016	61.8	20.0	9.1	9.1	0
Aceh Jaya (N=41)	Before EQ	17.1	24.4	43.9	14.6	0
	2016	56.1	29.3	12.2	2.4	0
Aceh Barat (N=37)	Before EQ	18.9	24.3	35.1	18.9	2.7
	2016	43.2	21.6	29.7	5.4	0

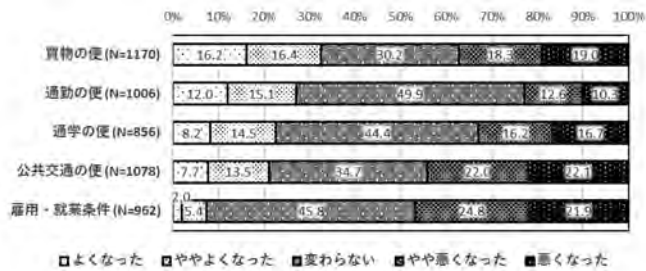


図5 地区の生活条件の変化

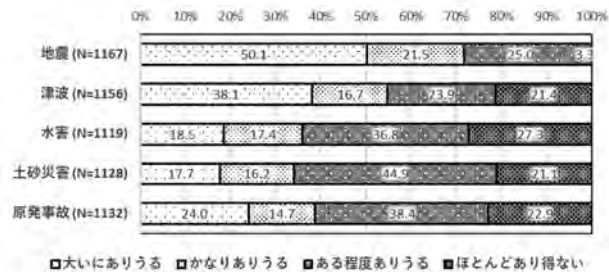


図7 今後地域で想定される大規模災害

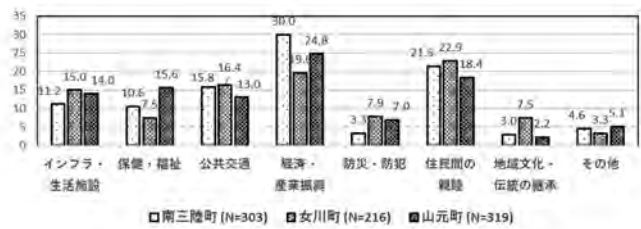


図6 もっとも重要な地域課題

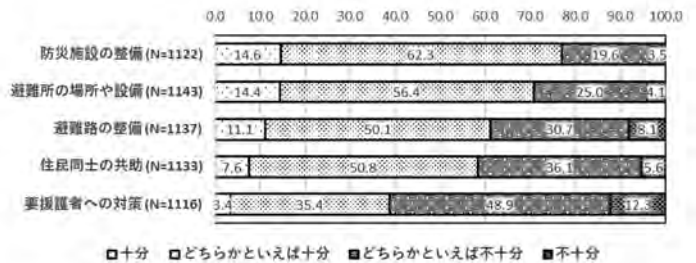


図8 地区の防災の現状評価

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

御嶽山地域の防災力向上の総合的推進に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2014年御嶽山噴火後の御嶽山地域において、地元ステークホルダーを主体とした総合的防災力推進に研究機関として貢献する方法論の確立のため、そのプロセスに関する記録を残すとともに有効性を検証する。ステークホルダーの代表として、御嶽山火山マイスターを対象として、名古屋大学御嶽山火山研究施設と連携した活動に焦点を絞る。不確実性が高い情報を受けた際に、専門家からどのような情報を提供するのか、地元ステークホルダーはどのような対応をとり得るかに着目する。研究期間の前半3年間は長野県からの寄附による名古屋大学御嶽山火山研究施設が運営されており、その期間に地元と名大との顔の見える関係を構築し長期的に継続できるものにするとし、その成果としての後半2年間を検証する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

名古屋大学環境学研究科地震火山研究センターに御嶽山火山防災寄附分野が設置されている3年の間は、御嶽山火山研究施設に専門家（名古屋大学特任准教授）と長野県からの出向職員（名古屋大学研究協力員）が御嶽山地域に常駐するので、その期間に地元との顔の見える関係（火山マイスター制度を通じた火山リテラシーの向上）を図るとともに、名古屋に常駐する研究者と火山マイスターや地元防災担当者との良好な連携体制を築く。後半の2年間では、その関係を維持・発展させるための取り組みを行う。5年間を通じたプロセスの記録と課題の抽出を行い、パイロットケースの成果として残す。活動を記録する作業は、専門家の指導のもとで主に外部に委託し、研究者の負担軽減を図る。また部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する。

初年度から3年間は、御嶽山火山研究施設の常駐専門家が中心となり、長野県や地元防災担当者の協力を得ながら、御嶽山火山マイスター等の火山リテラシー向上に貢献する。具体的には火山の基礎知識、御嶽山や御嶽山地域の自然に関する知識、噴火予知連絡会の資料の読み解き等を通じた火山活動やハザードの理解、御嶽山火山防災協議会や御嶽山緊急砂防計画検討会との交流を企画する。火山マイスターは長野県のみならず今後は岐阜県側からの参加も想定されているため、御嶽山地域全域へ

の火山リテラシー向上の足がかりになる。また年に1-2回、名古屋大学の研究者との交流の機会を作り、寄附分野終了後につなげる。

4~5年度は、火山マイスターや地元の防災担当者と協力しながら、年3-4回程度の交流を進める。また年3回開催される噴火予知連絡会本会議資料の読み解きなどを通じ、定期的に顔を合わせる関係を構築する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○令和3年度は、前年度までの実施された、御嶽山火山マイスターの活動に関する記録を作成するために、開催された会合や活動の取材を行った。コロナ禍における活動に制限があることからマイスターの活動も少なく、5月24日に開催されたマイスター総会および認証式の記録を作成するに留まっている。なお、研究者との人的交流については令和2年度以降、制限された状況が継続している。

○令和3年度は、御嶽山火山マイスターの火山防災・火山リテラシー向上の取り組みにおける位置づけを明らかにするために、複数の火山における取り組みとの比較研究を計画している。本内容は当初の予定にはないが、部会での議論を受けて実施することとした。桜島、阿蘇山、雲仙、磐梯山など主にジオパークや博物館による活動が行われている地域について、文献調査および現地調査によって比較研究を行う。新型コロナワクチンの接種状況から令和3年度後半の調査を想定し、比較項目について検討を行い、以下の様に選定した。上記の火山を訪問し、これらの項目に関する比較を行い、それぞれの地域の火山防災の特徴の抽出と御嶽山火山マイスターの現状を評価する。

1. 役割

- 1-1. 地元から期待されている役割
- 1-2. 噴火時（災害発生時）の役割
- 1-3. 防災における役割
- 1-4. 観光・地域振興における役割
- 1-5. その他

2. 人的交流について

- 2-1. 火山研究者との交流の状況
 - 2-2. 火山以外の研究者との交流の状況
 - 2-3. 地元住民との交流の状況
 - 2-4. 地元行政との交流の状況
 - 2-5. 地元事業者との交流の状況
 - 2-6. 地元以外の事業者との交流状況
 - 2-7. 観光客・登山者との交流の状況
 - 2-8. 子供たち（小中高）との交流の状況
- #### 3. 施設について（博物館・ビジターセンター等の施設がどのように活用されているか）

- 3-1. 施設の概要
- 3-2. 施設の活用方法
- 3-3. ジオガイド等にどのように活用されているか。
- 3-4. 防災および観光における役割や効果
- 3-5. 施設・展示の更新状況

4. 野外見学地

- 4-1. 野外見学地点の概要
- 4-2. 野外見学地点の活用状況
- 4-3. ジオガイド等にどのように活用されているか。

5. 広報（活動を知ってもらう取り組みについて）

- 5-1. SNSの利用
- 5-2. SNS以外の利用、マスメディアとの関係
- 5-3. 学会などの活動

6. 課題と今後について

- 5-1. 人的ひろがり・連携について
- 5-2. 予算について
- 5-3. 施設の発展について

6. 地域の背景

6-1. 地元人たちの火山に対する意識とその変遷

6-2. 火山に関する地域の実情と関係者の対応

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

長野県の御嶽山地域では、平成29年度より御嶽山火山マイスター制度をはじめ、地元木曾町に設置された名古屋大学の御嶽山火山研究施設と連携して活動している。(図1)

令和3年度は、当該年度の御嶽山火山マイスターの活動記録をまとめるとともに、御嶽山地域との比較対象のため、3地域を訪問した。新型コロナウイルス感染症が下火になっていた、9月から12月の期間に、磐梯山地域、雲仙地域、桜島地域を訪問し、御嶽山火山マイスターや計画中のビジターセンターの取り組みとの比較を行うための調査を実施した。阿蘇山については10月20日にレベル3に引き上げられたことからこの時期の調査を延期し、その後のコロナ感染症の再拡大により次年度に延期をして実施することとした。

磐梯山地域は、博物館・ビジターセンター機能としての比較をするため、磐梯山噴火記念館を訪問して館長にインタビューを行った。また、ジオパーク活動と火山マイスターの活動の比較のため、雲仙地域は、雲仙岳災害記念館がまだすドームを訪問し館長にインタビューを行い、桜島地域は、桜島ミュージアム理事長にインタビューを行った。

現在、調査項目に従った分類作業を進めている。その中で、御嶽山地域と比較した共通点・相違点、また前火山に共通する点を表1にまとめた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

令和4年度は、前年度に訪問した火山に加え、阿蘇山地域および伊豆大島地域を訪問し、御嶽山地域と比較するための調査を行う。また当該年度における御嶽山火山マイスターの活動記録をまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山岡耕春(名古屋大学環境学研究科), 國友孝洋(名古屋大学環境学研究科), 田ノ上和志(名古屋大学環境学研究科)

他機関との共同研究の有無 : 有

竹下欣宏(信州大学教育学部), 秦康範(山梨大学総合研究部), 阪本真由美(兵庫県立大学減災復興政策研究科)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

電話 : 052-789-3046

e-mail :

URL : www.seis.nagoya-u.ac.jp

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 山岡耕春

所属 : 名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

御嶽山火山マイスター制度の概要 (長野県危機管理部資料に基づく)

長野県火山防災のあり方検討会にてマイスター制度を検討

再興のための
2つのポイント

- ①噴火災害を風化させず、火山防災の普及啓発が進んだ地域になること
- ②御嶽山との共生が創り出した**魅力を地域内外に発信できる地域になること**

人材を活用した
普及啓発制度を
H29に具体化!

御嶽山地域に**御嶽山火山マイスター制度を導入し**、①、②の実現を目指す



平成29年度に御嶽山地域に適合した「御嶽山火山マイスター制度」を設立、
これまでに**16人の御嶽山火山マイスター**を認定

御嶽山火山マイスターを取り巻く環境

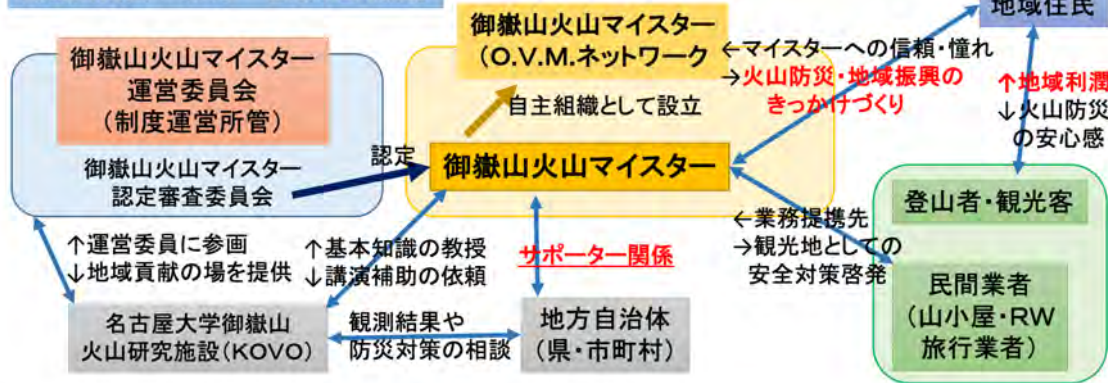


図1 御嶽山火山マイスター制度の概要

	磐梯山	雲仙	桜島
御嶽山地域との共通点	・地元住民が火山噴火の被害を直接受けることをあまり意識していないこと	・最近の噴火における、人的被害が大きかった	・観測所のデータをリアルタイム表示している。 ・観測施設との密接な関係がある ・ビジターセンターが地方自治体による設置
御嶽山地域との相違点	1888年以降、近年の噴火がなく、地元住民の防災意識は低い	・噴火の規模が大きかった。 ・地元住民が直接被害を受けたこと。また今後も被害を受ける可能性を意識していること。 ・火砕流による人的被害があった。	・噴火活動中の火山 ・頻繁に爆発的噴火をしている。 ・地元住民が直接的な被害を受ける可能性を意識している。
特色	・1888年の被害の調査が東麓で精力的に行われており、ジオパークの活動や地域の伝承等に活かされている。 ・噴火記念館やジオパークを中心に地元の学校向けの出前授業や他県からの修学旅行向けの授業や野外研修が精力的に行われている。	・1990年からの噴火による火砕流、土石流で地元で甚大な人的被害、経済的被害がもたらされたが、噴火から30年たち、直接、噴火を知らない世代も増えてきてきた。 ・被害の伝承や遺構の保存などに住民が協力的。災害当時の全国からの支援への感謝の気持ちもある。 ・1990年の噴火の開始当時は、住民の防災意識は低かった。たまたま登山者への被害はなかった。	・噴火活動中の火山で、暮らしが火山と共にある。降灰が日常的にある。避難訓練も定期的に行われている。 ・住民が普段の噴火に慣れてしまっており、変わったことが起きた場合には戸惑う人もいる。 ・ビジターセンターの委託を受けている桜島ミュージアムは、防災より、地域振興が主目的で、物品販売、飲食店なども行い、経営が成り立つようになっている。
3火山の共通点	・噴火頻度が低くても火山地域は土石流や山体崩壊の危険性が高く、砂防が重要。砂防という面で防災意識を高められないかという意識がある。 ・火山地域は観光が主な収入源である。啓発、教育はあまり防災を前面に出さないで火山の恵みから伝える方向で取り組まれている。 ・子供に対する火山の授業を行うことで、継承にもなり、また、子供から大人にも伝わると考えている。 ・ガイドはボランティアではなく、有償で責任をもって質を保証してほしい。 ・コロナで観光収入が激減したが、近隣の学校の修学旅行特需があった。		

表1：磐梯山・雲仙・桜島の各地域における火山リテラシー向上に関わる取り組みの特色及び御嶽山地域と

の共通点と相違点

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山の直近や大地震後の余震活動が活発な地域での地震テレメータ観測では、迅速なデータ取得開始はもちろん、作業者の安全を確保するためにも高い機動性が求められる。近年では携帯網を利用する機動テレメータ観測が主力となりつつあるが、汎用の携帯端末（ルータ）の利用が一般的であり消費電力が高く、中長期の観測では商用電源が確保されることが設置条件となる。特に電源の確保の難しい非常時や火口近傍での観測では、オフライン観測となることが多く、即時性が必要な研究や防災情報の発信に生かすことができない。このような問題を解決するため、携帯網を利用した機動地震観測に求められる小型化・軽量化・小電力化・使いやすさ（汎用性、現場作業の簡略化）を追求した地震テレメータ観測装置が必要である。

現在プロトタイプ of 地震テレメータ観測装置を用いて御嶽山山頂でテスト観測を行っている。その中で色々と改良すべき点が見つかっている。そこでテスト観測をしながら問題点を改良し、安定的に確実に観測できる小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

名古屋大学が開発を行ってきた小型軽量地震テレメータ装置は現在御嶽山山頂で試験運用中であるが、すでになんらかの既知の課題がでてきている。例えば、ファームウェアでは、小電力化のひとつの方法として間欠送信による準リアルタイムテレメータを行う仕様となっているが、未送信の古いデータから送信を開始するため電波環境の不安定な場所では送信が大幅に遅れ、リアルタイム性が失われる。ほかにも弱電波地域の通信、蓄電量が減った時の通信、設定変更のリモート操作などが検討課題である。ハードウェアでは通信速度の向上、さらには次世代通信規格への対応、より高度な電源管理など

が課題となっている。これらの課題を解決するため、ファームウェア改良、ハードウェア改良を行う。また、データを受けるサーバ側でも運用状況の情報管理システムを改良する。さらに現在行っている試験運用状況を検証し、より使いやすい安定したシステムへの改良を試みる。

各年度の主な計画は、

H31: 現試験運用機の検証、開発の基本構想・方針決定、部品選定

H32: 試作機ハードウェア組み上げ、ファームウェア作成、試作機用サーバ作成

H33: 長期での評価試験、中間評価、ハードウェア再構成・再構築、サーバ改良

H34: ファームウェア刷新、筐体作成、サーバ改良

H35: 試作機のテスト運用、評価

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・御嶽山山頂試験観測では概ね8割以上の試験地で連続観測が継続されている。-20度程度の低温化で内部通信の不具合から再起動がかかるトラブルが発生（個体差あり）。現用機での対応が難しいが後継機の開発時には反映させる予定である。

・昨年度改良（ファームウェア：記録優先モード，ハードウェア：コンパクト化，非接触スイッチなど）を加えたロガー5機を山頂試験観測点に設置（置き換え）した。年末を挟んだ積雪により発電条件が悪くなった地点に対して，追加機能である記録優先モードに切り替え，機能の有効性を確認することができた。記録優先モードでは電力を要するデータ間欠送信を停止し（ステータス情報のみの送信），データ記録に電力を集中させ，発電条件が回復したのちにデータを遡って送信させる。現在は発電能力が復帰して通常モードに移行している。

・置き換えにより回収した5機に対して同様の改良を施した。

・2026年3月の3Gサービス完全終了の問題に対応するため，本年度中に製品化される予定のアドイコ社製QR001をベース（4G，マルチキャリア対応）とした後継機の開発に着手。現用機と同等以上の機能を持つロガーとして期待できる。本年度はそのために必要な充放電モジュールの設計に着手した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本課題で開発を行っている軽量装置は、被害地震直後の余震観測や火口域での観測など危険が伴うような場所でのすばやい観測に適した装置であり、建議の目標に書かれた「連続多点地震観測手法の高度化」に適した装置である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

山中佳子,2021,噴火や群発活動の誘因かもしれない御嶽山山頂周辺のやや深い地震活動 その1,日本地震学会,S09-17

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

・R3年度までに改良を施してきた現用機（3G通信）を使用した試験観測を継続する。

・R3度におこなった充放電モジュールの設計に基づき，後継機（4G通信）に搭載するモジュールを試作する。

・後継機における，間欠送信のファームウェア作成，間欠送信での消費電力，通信速度などの仕様評価を目指す。

・後継機を防水筐体に収納する際のインターフェイスなどのレイアウト設計（現用機との置換方法）の検討をおこなう。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）,前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究科）,寺川寿子（名古屋大学大学院環境学研究科）,堀川信一郎（名古屋大学大学院環境学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター
電話：052-789-3046
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子
所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

(1) 実施機関名：

情報通信研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

先端リモートセンシングによる地震及び火山の被害状況把握技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

航空機SARを用いた地震及び火山による災害状況を把握する技術の発展的な開発を行うとともに、これまで収集した航空機SARデータの公開を推進する。災害時等には航空機SARの積極的な運用を行う。

また、航空機SAR以外のリモートセンサを活用する技術を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

NICTは、世界最高レベルの機能・性能を有するPi-SAR X3を令和2年度に開発した。令和3年度は、Pi-SAR X3の初期機能・性能確認試験を実施して、試験観測を行える体制を構築する。令和4年度からは、Pi-SAR X3の試験観測を開始し、土地利用、森林破壊、海洋油汚染、海洋波浪等、地球環境に関するメカニズムを解明するための研究や地震、津波、火山噴火、洪水等の自然災害における被災状況把握のための研究等を実施予定。

また、地震や火山等の自然災害発生時には、その被災状況把握のための観測法や観測データの解析法について研究開発を行なっていく予定。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

Pi-SAR X3の初期機能・性能確認試験を実施して、15cm分解能での地表面画像取得に成功した（図：田んぼのわだちの観測例）。観測データの解析手法の高度化に関する研究開発を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

Pi-SAR X3の初観測が成功したことで、新しい観測基盤ができたと考える。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

牛腸 正則,2021,アンテナパターンと距離減衰を考慮した合成開口レーダの波数領域,電子情報通信学会

技術研究報告,Vol.121, No.127,p.1-6

牛腸 正則,2021,Deconvolution ISTAを用いたSARのスパーズ再構成と高分解能化,電子情報通信学会
技術研究報告,Vol.121, No.191,p.116-121

牛腸 正則,2021,Deconvolution ISTAを用いたSARのスパーズ再構成と高分解能化 -実効分解能の評価-
,電子情報通信学会技術研究報告書,Vol.121, No.305,p.7-12

・学会・シンポジウム等での発表

牛腸 正則,2021,ISTAの多次元畳み込み問題への最適化と実験的検証,電子情報通信学会 ソサイエティ
大会

上本 純平,2021,DTMを用いたクロストラック干渉SARパラメータ自動推定手法の検証,日本写真測量学
会 令和3年度秋季学術講演会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

Pi-SAR X3の試験観測を実施する他、観測データの解析手法の高度化に関する研究開発を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

情報通信研究機構 電磁波研究所
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：情報通信研究機構広報部

電話：042-327-5322

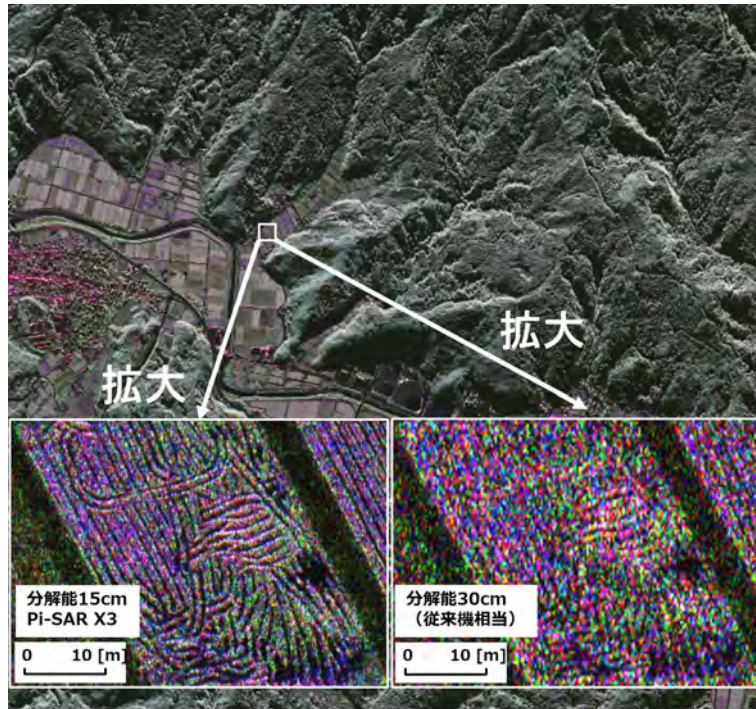
e-mail：publicity@nict.go.jp

URL：http://www.nict.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：川村 誠治

所属：情報通信研究機構 電磁波研究所



図：Pi-SAR X3による観測結果例

拡大右図は従来機相当の30cm分解能、拡大左図はPi-SAR X3の15cm分解能による観測結果。15cm分解能の図では、田んぼのわだちがきれいに観測されている。

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

多角的火山活動評価に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究
づけ研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

基盤的火山観測網・リモートセンシング技術等による多項目の火山観測データの活用、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発、火山災害による被害の軽減につなげるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施し、火山災害軽減のための技術開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、防災科学技術研究所の第4期中長期計画（H28-H34）に基づいたものである。基盤的火山観測網、火山ガス・地殻変動・温度の把握を目的としたリモートセンシング技術等による多項目の火山観測データを活用し、多様な火山現象のメカニズムの解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進める。

また、事象系統樹は、地域住民、地方公共団体や政府が、噴火災害の恐れのある噴火活動に対して、その火山活動や噴火現象の推移の全体像を把握し、適切な判断をする基本となるもので、社会的に重要である。この事象系統樹による推移予測技術の開発、実験的・数値的手法による多様な火山現象を再現する物理モデルの構築などにより、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発を実施する。さらに、水蒸気噴火の先行現象の研究等に資するため、火口付近を含む火山体周辺において火山観測網を補完する機動的な調査観測を行うほか、噴火様式の変化を早期に捉えるため、遠隔で火山ガスや火山灰等の分析を行うモニタリング技術を開発する。

災害リスク情報に関する研究と連携し、火山活動と火山災害に関する空間的・時間的情報を一元化し、火山防災に関わる住民・国・地方公共団体・研究機関が迅速に共有・利活用できるシステムを開発する。また、火山専門家の知見を社会に効果的に伝える手法の開発等、火山災害による被害の軽減につながるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施する。国内の火山研究の活性化と成果の社会実装を推進するため、大学・研究機関・火山防災協議会等との連携を強化し、研究実施体制の強化・充実を図る。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

①多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究

・基盤的火山観測網（V-net）等のJVVDNシステムに集約されたデータを活用し、噴火時に発生する微動と気圧変化から、噴火の発生や強度、継続時間をリアルタイムで把握する手法を開発した。

・地震波ノイズの相互相関関数を用いて連続的に測定した地震波速度変化量と波形相関の低下量の異常度を定量的に評価する手法を開発した。この手法を2016年10月8日の阿蘇山の爆発的噴火に適用し、噴火前の異常度の増大を明らかにした。

・国内の主要な活火山について、火山活動の推移や火山データをわかりやすく表現する状態遷移図を作成した。情報プロダクトと組み合わせることで状態遷移図を提供することにより、現在の状態や今後の遷移に関する認識を共有できるようになった。

・基盤的火山観測網（V-net）等のリアルタイムデータを活用し、地震計振幅を用いた震源決定法（ASL法）、地震波干渉法、長周期モニタリングの自動解析結果をJVVDNシステム（火山観測データ一元化共有システム）に組み込んだ。

・観測データの品質を保つため、地震波干渉法により観測点の時計のずれ量を推定する手法を開発し国内50火山に適用した。

・火山活動の推移や火山データをわかりやすく表現する状態遷移図を使った火山の比較研究から14の一般的な状態と推移予測手法を提案した。

②火山リモートセンシング技術の開発研究

・稼働率98%以上で地上設置型レーダー干渉計による連続観測を実施した。

・実開口型地上設置型レーダー干渉計によるプロファイル計測手法のテスト観測を実施し、大気遅延によると考えられる疑似的な距離変化を秒単位の時間分解能で検出できることを確認した。

・2015年に開発したARTS-SEに技術実証用の新規センサとして搭載したARTS-SEカメラ型センサ（STIC）のデータ処理手法を開発（SfM/MVS処理により地形図（UTM座標）に重畳可能なオルソ補正画像の作成手法、多角度連続観測による火山地帯の熱源の計測高精度化を実現）した。

・STICのセンサ技術を応用したポータブルな画像分光装置（G-STIC）を開発（赤外域）した。G-STICの開発では、多眼カメラで構成されるマルチバンド型の赤外カメラの開発を行い、非冷却型赤外カメラによるSO₂ガスの可視化を実現するマルチバンドカメラのセンサ部とこれらを利用した3台のマルチバンドカメラの同期観測システムを構築し、約0.5ppmvの精度でSO₂ガスを可視化するシステムを実現した。

・稼働率98%以上で地上設置型レーダー干渉計による連続観測を実施した。

・地上設置型レーダー干渉計解析結果の公開方法について検討した。R4年度にJVVDNでの公開予定。

- ・数値気象モデルから大気遅延を軽減するアルゴリズムを完成させた。
- ・衛星SARデータを解析するソフトウェアに、大規模変動を検出するアルゴリズムを追加。
- ・STICを改造した手持装置：STIC-P（R2年度開発）による火山試験観測（ヘリ観測：箱根，那須）を実施し，斜め観測データのSfM/MVS処理，DSM導出，オルソ補正手法を開発した。開発した手法を活用し，ヘリ試験観測結果（箱根，那須の輝度温度分布）を噴火予知連絡会に報告した。
- ・画像分光装置(G-STIC)：マルチバンド赤外カメラ，STIC-Pで火山試験観測（地上観測：阿蘇）を実施した。G-STICの噴煙観測結果によりSO₂ガスの可視化の可能性が示唆された。STIC-Pの地上観測では，可視，赤外による噴煙動画の観測を実現した。

③噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

- ・火山灰自動採取・可搬型分析装置開発(VOLCAT), 自動火山灰分類システムを開発・改良した。阿蘇山2014年および2016年に発生した噴火の際の火山灰を採集し，ディープラーニングにより本質物・類質異質岩片・斜長石の5種類の構成物の割合を自動的に把握し，マグマ性・非マグマ性を即時に判定する技術の有効性を確認した。また，霧島山・桜島において試験観測を行った。
- ・阿蘇山2014-2016年噴火粗粒火砕物の分析を実施した。2016年10月8日噴火では，少なくとも粗粒なマグマ片が放出された証拠は得られていない。2015年秋以降，大きな噴火におけるマグマの関与の程度は次第に減少しているように見えることが分かった
- ・伊豆大島1986年B1溶岩についてマグマの粘性試験を実施した。非定常状態の粘性変化を明らかにした
- ・溶岩流シミュレーションの高速化を行い，富士山溶岩流の河口湖・山中湖流下による水冷効果の定量化を行った
- ・歪速度一定条件下での泥流レオロジー実験の結果を流動モデルに組み込み評価を行った
- ・VOLCAT2号機について桜島でのテスト観測を行い，1号機の改良も合わせて行った
- ・減圧結晶化作用と噴火分岐の関係を整理し，マグマ過程進化過程シミュレーション開発に着手した
- ・硫黄島の水蒸気噴火を対象に火山灰構成物解析とスケーリング解析を行い，その特徴を明らかにした
- ・霧島山新燃岳2018年噴火を対象に物質科学解析を行い，その噴火過程を推定した
- ・岩脈成長シミュレーションに熱過程を導入する検討を行った
- ・地震・火山噴火連動について中米の火山に適用し評価を行った
- ・高粘性流体の発泡現象シミュレーションを行った
- ・溶岩レオロジーのマイクロ構造を把握するため，CT撮影およびその解析を行った
- ・水蒸気噴火を駆動した熱水量の見積もり方法を構築し，水蒸気噴火のリスクの定量化を進めた

④火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究

- ・那須岳火山防災協議会における防災訓練及び座学研修を実施した。
- ・那須岳における登山者動向把握実験を実施した。
- ・那須町と連携し中学生向けのアウトリーチ活動を実施した。
- ・過去の噴火災害発生時のTwitterの利用状況を調査し，Twitterによる防災科研火山防災研究部門からの情報発信と情報収集に関する検討を行った。
- ・GISを利用した噴火ハザードによる曝露評価を行った。
- ・那須岳噴火発生時の那須岳火山防災協議会コアグループ会議参加機関による防災対応（関係機関間の情報共有や連携）について、「噴火時対応タイムライン」を作成し，実効性を検証するための防災訓練を実施した。
- ・過去3年の実績に基づき，噴火を想定した「防災訓練実施マニュアル」を作成した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので，令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

①多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究

・JVNDシステムに集約された多項目観測データを活用し、噴火に関連する火山性微動や地殻変動等のメカニズムの解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進め、JVNDシステムに実装して統合し、情報プロダクツとして提供を開始する。

・火山体直下の微細な地下構造を把握・モニタリングすることを目的として、自然地震のS波および雑微動の相互相関関数中に卓越する表面波を用いて地震波異方性強度の空間分布およびその時間変化を自動的に推定するシステムを開発する。

②火山リモートセンシング技術の開発研究

・ARTS-SEのデータの処理手法の開発（ARTS-SEカメラ型センサ派生STIC-Pによる火山試験観測、斜め観測データの処理技術開発、火成岩の赤外分光放射率計測。）

・望遠分光装置（G-STIC, STIC-P）による火山試験観測、データ処理技術開発

また、重点火山として阿蘇山・霧島山を対象に研究を進める。阿蘇山における地上設置レーザー干渉計試験観測の設計、G-STIC, STIC-Pによる阿蘇等での試験観測を行う。また、霧島山での観測計画を検討する。

③噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

・伊豆大島を対象として、物質科学分析・実験から噴火過程をモデル化する

・対象火山での火山泥流の評価手法を開発する

・水蒸気爆発シミュレーション素過程のシミュレーションを実施する。

・気泡を含むマグマの粘性流動シミュレーションを行い、特性を把握する。

また、重点火山として阿蘇山・霧島山を対象に研究を進める。阿蘇山において火山灰自動採取・可搬型分析装置（VOLCAT）やパーシベルによる試験観測を実施する。また、地震・火山噴火連動評価、溶岩流、火山泥流、火砕流シミュレーション、物質科学的解析を阿蘇山・霧島山対象に実施する。

④火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究

・那須岳火山防災協議会における噴火を想定した防災訓練及び火山に関する研修を実施する。訓練の結果を避難計画及び地域防災計画にフィードバックする。また、噴火時対応タイムラインを作成し、訓練・研修に活用する。自治体が主体的に訓練を実施するための防災訓練実施マニュアルを改訂する。

・自治体間の連携支援を行う。

・災害過程部門と連携し、火山災害のベントツリーの構築、火山噴火時の安全確保坑道フローの構築を進めるとともに、シミュレーションを活用したリスク情報プロダクツの開発を行う。

・全国火山周辺登山道データのシェープファイル作成を行う。

また、重点火山として阿蘇山・霧島山を対象に研究を進める。阿蘇山・霧島山周辺自治体と連携し、防災計画の策定指針・災害評価シミュレーション・アウトリーチ活動を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国立研究開発法人 防災科学技術研究所火山防災研究部門

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課

電話：029-851-7611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤田英輔

所属：火山防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・津波予測技術の戦略的高度化研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

防災科研陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS) 観測データに加えて、GEONET等様々な機関のデータや機動的な調査観測のデータを最大限活用した研究開発を実施することにより、地震および津波にかかる防災・減災に貢献しうる情報ならびにそれを提供するための手法を開発することを目指す。特に、陸海統合地震津波火山観測網より得られるデータのモニタリング研究により、多様な情報からなる地震カタログの作成を進めるとともに、地震発生の長期評価の発展につながる地震発生モデル構築を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網MOWLAS や必要に応じて実施する臨時観測、その他国内外の機関より

公表される観測データから、通常の地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解、断層モデル等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を行い、その活動状況を逐次的にモニタリングすることで、多様な情報からなる地震カタログを作成する。得られたカタログについて、防災科学技術研究所による別課題「巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究」と協力し、モニタリング成果を活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション研究を行う。本課題に得られた成果を国民に対してわかりやすく情報発信出来るような工夫を進める。また、地震調査委員会等の政府委員会に随時提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

MOWLAS等の観測データを用いた地殻活動モニタリングを継続するとともに、その高度化に努めた。

東北地方太平洋沖ではS-netデータを用いた高精度震源決定技術の開発を行った。S-net観測点に対し、構造探査により推定した堆積層厚から求めた観測点補正値を適用するとともに簡易的な三次元速度構造を用いた震源決定を行ったところ、従来の震源カタログで見られた震源のばらつきが低下し、太平洋プレートの沈み込みや起震断層の分布が明確化した。また、AQUAシステムにS-netデータを取り込んだところ、規模や発震機構の推定結果に大きな変化は無かったものの、セントロイド深さはより正確に求まることが明らかになった。東北地方太平洋沖でR2年度末から発生した主なイベントのすべり分布推定を実施し、過去に発生した宮城県沖の地震との対比を行った。南海トラフ域においては、三次元地下構造に基づくCMT解析手法の自動処理システムを開発するとともに、試験運用を通じてシステムの改修を行った。本システムにより、南海トラフ域で発生した中規模以上の地震の発生層特定の精度が向上した。

海域の地震の震源域直上に設置された海底水圧計は、津波・永久変位に加えて、地震動に起因する成分も記録する。この水圧記録から地震動成分のみ分離する手法を考案し、2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）の震源域直上の地震動記録の抽出に成功した。さらに、流体力学の理論に基づいて静水圧変動を、弾性体力学の理論に基づいて地震動による圧力変化を計算したのち、両者を足し合わせることで震源直上の海底水圧変動を合成する手法を考案した。この手法を応用し、2015年に伊豆・小笠原海溝において発生したM6の地震の震源直上に設置された水圧計アレイの記録に適用することで、断層面上のすべり分布の詳細把握に成功した。2016年11月22日に発生した福島県沖の地震による津波に対し、S-netの広域かつ稠密な観測点で得られた観測記録を震源域近傍の観測データとして解析することにより、震源断層すべりの様子を高精度かつ高信頼度で推定することに成功した。この解析により、2016年福島県沖の地震時に解消されたひずみは東北沖地震により増加したひずみより大きいこと、すなわち、東北沖地震以前からひずみが蓄積していた領域に東北沖地震が作用することで発生した地震であったことを明らかにした。これらの研究は、水圧計の地震動成分の活用可能性を示した点でも有用である。

MOWLASや臨時観測等のデータを総合的に解析し、駿河湾以西のフィリピン海プレート形状モデルを新たに構築した。この解析により、駿河トラフから深さ20 km程度までの領域で、実際のフィリピン海プレートは従来のモデルよりも有意に浅いことが分かった。この更新されたモデルはインターネットを介して一般に公開した。

大地震直後の余震による地震波形記録に極値統計解析を施し、解析観測点における最大振幅の将来予測を行う手法を開発した。2008年岩手・宮城内陸地震にこの手法を適用した結果、本震後3時間以内の波形記録を用いた予測により、4日後までの余震による最大振幅を高い精度で推定することができた。この手法には、データの質が地震波の重なり合いの影響を受けにくい、マグニチュードではなく揺れの予測を行える等、地震カタログを用いた従来法にはないメリットがあり、余震活動の早期予測に向けて重要な進展をもたらすと考えられる。

S-netで観測された強震動記録の最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルについて、距離減衰の特徴を調べた結果、短周期成分は陸域観測点と類似した特徴を有するのに対し、長周期成分は明らかにS-netの方が大きくなることを示した。この特徴は緊急地震速報の高度化に不可欠な情報である。

計算機上において、巨大地震震源域の深部側で繰り返し発生するスロースリップイベント（SSE）に加え、日向灘北部・南部を震源域とする長期的SSEおよび日向灘から足摺沖で発生するSSEの再来間隔の地域的違いの再現に成功した。このシミュレーションの更なるパラメタチューニングを実施する

ため、紙記録として保存されている古い観測波形をデジタル化し、過去のスロー地震発生状況を検出する技術の開発を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
地震発生 の 長期予測における想定震源域の推定に向け、基本となる震源カタログや既往の地震のすべり分布、地下構造情報の信頼性・分解能の向上という形で貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Dhakal, Y. P., T. Kunugi, W. Suzuki, T. Kimura, N. Morikawa, and S. Aoi, 2021, Strong motions on land and ocean bottom: Comparison of horizontal PGA, PGV, and 5% damped acceleration response spectra in Northeast Japan and the Japan Trench area, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 111, 3237–3260, doi:10.1785/0120200368

Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, 2021, Extracting near-field seismograms from ocean-bottom pressure gauge inside the focal area: application to the 2011 Mw 9.1 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091664, doi:10.1029/2020GL091664

Sawazaki, K., 2021, Early forecast of maximum amplitude due to aftershocks by applying extreme value statistics to a single continuous seismogram, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 111, 2825–2845, doi:10.1785/0120200365

Fukao, Y., T. Kubota, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, M. Yamashita, and T. Saito, 2021, Detection of "rapid" aseismic slip at the Izu-Bonin Trench, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022132, doi:10.1029/2021JB022132

Kubota, T., H. Kubo, K. Yoshida, N. Y. Chikasada, W. Suzuki, T. Nakamura, and H. Tsushima, 2021, Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022223, doi:10.1029/2021JB022223

Kubota, T., T. Saito, Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, and M. Yamashita, 2021, Earthquake rupture and tsunami generation of the 2015 Mw 5.9 Bonin event revealed by in situ pressure gauge array observations and integrated seismic and tsunami wave simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2021GL095915, doi:10.1029/2021GL095915

Matsubara, M., K. Shiomi, K. Baba, H. Sato, and T. Nishimiya, 2021, Improved geometry of the subducting Philippine Sea plate beneath the Suruga Trough, *Glob. Planet. Change*, 204, 103562, doi:10.1016/j.gloplacha.2021.103562

西澤あずさ・植平賢司・望月将志, 2022, マルチチャンネル反射法地震探査から推定されたS-net観測点下の堆積層分布及び堆積層補正を用いた震源決定例, 防災科学技術研究所研究資料, 471, 1-18

・学会・シンポジウム等での発表

Sawazaki, K., 2021, Extreme value statistics of interval maximum amplitudes due to aftershocks and its application for early forecast, *The EGU General Assembly 2021*, EGU21-1019

久保田達矢・久保久彦・近貞直孝・吉田圭佑・鈴木亘・中村武史, 2021, S-net広域・稠密津波観測網が可能にした2016年福島県沖の正断層型地震の高精度断層モデリング：上盤プレート内応力場への示唆, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS02-P01

久保田達矢・齊藤竜彦・対馬弘晃・日野亮太・太田雄策・鈴木秀市・稲津大祐, 2021, 海底動的圧力変動成分記録から抽出した2011年東北沖地震の震源域内部の大振幅地震動波形, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P01

松澤孝紀・武田哲也, 2021, 関東東海地殻活動観測網アナログ地震計記録の微動解析に向けた自動デジタル化の試み, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG39-P14

浅野陽一, 2021, 測点補正値を考慮した震源決定による東北地方太平洋沖の地震活動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS06-05

木村尚紀・浅野陽一, 2021, 即時震源パラメータ解析システム(AQUA)における簡易的な震源時間関数の

検討,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG53-P03
澤崎郁,2021,極値統計理論に基づく余震による最大振幅の早期予測手法の開発,2021年度統計関連学会連合大会,4BAM-01
澤崎郁,2021,連続地震計記録の極値統計解析に基づく大地震後の平常時に対する揺れやすさの予測,日本地震学会2021年秋季大会,S23-10
関口渉次,2021,最短経路法を走時計算に適用した3次元速度構造での震源決定,日本地震学会2021年秋季大会,S02P-01
久保久彦・久保田達矢・齊藤竜彦,2021,震源域直上の海底水圧計記録に基づく2011年東北地震の地震波放射過程に関する考察,日本地震学会2021年秋季大会,S08P-05
松原誠・汐見勝彦・馬場久紀・佐藤比呂志・西宮隆仁,2021,駿河トラフから東海地域に沈み込むフィリピン海プレート形状,日本地震学会2021年秋季大会,S06-06
松澤孝紀・武田哲也,2021,微動解析に向けた関東東海地殻活動観測網アナログ地震計記録の自動デジタル化とスペクトル解析の試み,日本地震学会2021年秋季大会,S09P-05
木村尚紀・浅野陽一,2021,S-netを用いたセントロイドモーメントテンソル解析の検討,日本地震学会2021年秋季大会,S02P-02
Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu,2021,Extracting near-field in-situ ground motion waveforms with large displacements of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake from ocean bottom pressure change inside the focal area,AGU Fall Meeting 2021,S53B-04
Matsubara, M., K. Shiomi, H. Baba, H. Sato, and T. Nishimiya,2021,Improved geometry of the subducting Philippine Sea plate from Suruga Trough beneath the Tokai region, central Japan,AGU Fall Meeting 2021,T25C-0189
Matsuzawa, T. and T. Takeda,2021,A trial automatic digitization of analog seismograms for the analysis of tectonic tremor in the Tokai region, Japan,AGU Fall Meeting 2021,S45E-0338

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網MOWLAS等の観測データから、通常の地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を継続して実施する。本課題で得られたカタログを活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション技術の開発を行うとともに、地震調査委員会等の政府委員会に随時資料提供を行う。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課
電話：029-856-1611
e-mail：toiawase@bosai.go.jp
URL：http://www.bosai.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：汐見勝彦
所属：防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第4期中長期計画期間が終了する平成34年度末までの到達目標を記述する。

今後発生が懸念される首都直下地震をはじめとする内陸部を震源とする地震、南海トラフや日本海溝等における海溝型巨大地震およびそれにともなう津波による被害の軽減に向けた研究開発に取り組む。具体的には、室内実験および大規模シミュレーション等の成果に基づき、地震発生長期評価の高度化に資する地震発生モデルを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第4期中長期計画期間前半の平成31年度末までの計画概要を記述する。室内実験によって明らかにした破壊法則や観測から得られた地震発生場等の知見を大規模シミュレーションに組み込み、南海トラフにおける海溝型巨大地震、及び内陸大地震の発生多様性を検討し、大地震発生シナリオ作成の高度化を実現する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

南海トラフの海溝型巨大地震を引き起こす応力蓄積の状況を明らかにするために作成した応力分布モデルをもとに、今後起こりうる大地震発生シナリオを作成した。さらに、作成した破壊シナリオの中から実現性の高いシナリオを選択することを目的に、経験的摩擦則とエネルギーバランスを利用する基本手法を開発した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
応力蓄積量の定量化と摩擦法則の解明に基づく地震発生の長期予測手法の開発に対して貢献する。実用化に向けて更なる研究開発を進める。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Noda, A., T. Saito, E. Fukuyama and Y. Urata, 2021, Energy-based scenarios for great thrust-type earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, using an interseismic slip-deficit model, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB020417, doi:10.1029/2020JB020417
Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, H. Kawakata, K. Mizoguchi, and S. Takizawa, 2021, Two end-member earthquake preparations illuminated by foreshock activity on a meter-scale laboratory fault, *Nature Communications*, 12 (1), 4302, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24625-4>

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

南海トラフ応力蓄積モデルを用いたエネルギー収支に基づく大地震発生シナリオの構築手法の高度化を図る。さらに、超大型岩石摩擦試験機の製作を進めるとともに、岩石摩擦実験の実施及び実験データ解析により、断層の破壊法則についての検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国立研究開発法人 防災科学技術研究所地震津波防災研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課
電話：029-851-7611
e-mail：toiawase@bosai.go.jp
URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤竜彦
所属：防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

自然災害ハザード・リスク評価と情報の利活用に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

平時から発災時、復旧・復興時の幅広いタイムスケールの中で、各セクターの適切な対応を支援できるよう次の目標を達成する。全国地震動予測地図及び全国を対象とした津波ハザード評価の高度化とともに、全国概観版及び地域の詳細な情報提供を目的とした地域詳細版の地震及び津波のリスク評価研究を実施し、各セクターによるリスクマネジメントを支援可能にする。風水害や土砂災害等の各種自然災害のハザード・リスク評価を統合したマルチハザード・リスク評価手法を開発する。災害情報収集技術や実被害情報と推定情報の融合技術によるリアルタイム被害推定・状況把握システムを開発し、情報提供可能にする。ハザード・リスク評価やリアルタイムシステムの開発基盤として、防災シミュレーションプラットフォームを開発する。研究成果の地域での防災対策や国際的な枠組みでの活用を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

<2019年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、地域への展開を支援・促進するためモデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手

法の開発に着手する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を行う。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めつつ、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験公開を行う。モデル地域を対象とした津波ハザード評価手法の開発に着手する。

<2020年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を進める。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の試験提供を行う。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード評価手法を高度化し、リスク評価手法の開発に着手する。

<2021年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域の拡大を図り、地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の本格的な提供を検討する。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の本格的な提供を検討する。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を進める。

<2022年度>

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震ハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。全国を対象とした津波ハザード・リスク評価を実施するとともに、モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。これらの検討を踏まえた津波のハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。

<2023年度>

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震及び津波のハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震及び津波のハザード・リスク情報ステーションを構築する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震ハザード評価のための情報基盤として強震動統一データベースの試作を行うとともに、それらデータベースを活用した地震動予測モデル（GMM）の研究開発を実施した。地震本部より公表された全国地震動予測地図2020年版の地震活動モデルを踏まえ、起点を2021年とした地震動予測地図データを作成し、地震ハザードステーション（J-SHIS）よりNIED作成版として公開した。地震本部の「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」に基づく日本海溝沿いの地震を対象とした津波ハザード評価を実施した。近年に発生した被害データに基づいた木造建物の被害関数を改良するとともに、非木造建物の耐力指標を考慮した被害関数を構築し、一部地域で地震リスクの試算をした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震ハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。全国を対象とした津波ハザード・リスク評価を実施するとともに、モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。これらの検討を踏まえた津波のハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：マルチハザードリスク評価研究部門
電話：
e-mail：
URL：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤原広行
所属：防災科研

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

基盤的観測網の運用

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）及び首都圏地震観測網（MeSO-net）を安定的に運用するとともに、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）である、陸域の基盤的地震観測網(高感度地震観測網(Hi-net)、強震観測網(K-NET)・基盤強震観測網(KiK-net)・広帯域地震観測網(F-net))・基盤的火山観測網(V-net)、海域の基盤的観測網(日本海溝海底地震津波観測網(S-net)・地震・津波観測監視システム(DONET))および首都圏地震観測網（MeSO-net）について安定的な運用を継続するとともに、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。さらに、南海トラフの想定震源域のうちDONETではカバーされていない海域（高知県沖～日向灘）に、南海トラフ海底地震津波観測網(N-net)を構築する。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の運用を行いつつ、これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデー

タとの共有化を引き続き進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献する。

MOWLAS等によって得られたデータを定常的に蓄積し、波形データベースを構築する。また、「日本列島標準モデル」に組み込む各種構造の推定・多機能地震カタログの整備を進める。

MOWLASデータを用いた解析結果等については、発災時を含め地震調査委員会等の関係機関へ速やかに提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金により実施される。また、防災科学技術研究所の中長期計画は2022年度末までなので、それ以降の計画については見直す可能性がある。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）及び首都圏地震観測網（MeSO-net）を安定して運用することにより、地震・低周波地震・超低周波地震・スロースリップイベントについてイベント検出、震源位置・震源メカニズム解・断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った。さらに、その活動状況のモニタリング結果を国民に対してわかりやすく情報発信を行うとともに、地震調査委員会・地震予知連絡会等に随時提供した。また、令和3年6月には、2017年3月以前のMeSO-net波形データの公開も開始した。

2021年2月13日23時7分頃、福島県沖の深さ55 km付近を震源とする $M_j7.3$ （Hi-net震源の深さ57 km、Hi-netマグニチュード $M_{Hi}7.6$ ）の地震に関して、観測点補正値を用いた震源再決定を行なった結果、 $M_j7.3$ の地震とその余震は、北東-南西方向に約30 km、北西-南東方向に約20 kmの拡がりを持ち、深さ方向には約40-60 kmに分布することがわかった。また、Hi-netとS-netの手動検出震源を初期震源とし三次元地震波速度構造を用いた震源再決定の結果は、この地震活動が沈み込む太平洋プレート内の低速度域で発生したことを示した。さらに、同地震発生後の地震活動について連続地震波形エンベロープ解析から得られた4-20 Hz帯域のエネルギー放射量推定結果は、本震発生から10日後までの余震による積算エネルギー放射量は本震の高周波エネルギー放射量の0.57%であり、この割合は同じく太平洋プレート内の地震である2003年宮城県沖の地震（ $M_{Hi}7.5$ 、0.85%）や、2011年宮城県沖の地震（ $M_{Hi}7.6$ 、0.87%）と同程度であることがわかった。

2021年3月20日18時9分頃、宮城県沖の深さ60 km付近を震源とする $M_j6.9$ （Hi-net震源の深さ65 km、 $M_{Hi}7.0$ ）の地震について、観測点補正値を用いた震源再決定を行なった結果は、 $M_j6.9$ の地震以降に発生した地震の多くは西北西傾斜の面に沿って分布し、主に海陸プレート境界に沿って発生したプレート間地震であることを示した。また、海域観測網を含めた三次元地震波速度構造により再決定した2021年3月20日および5月1日の宮城県沖の地震 $M_j6.8$ の震源分布から、3月20日の地震は1978年宮城県沖地震の地震時すべり域の西端に、5月1日の地震は1978年宮城県沖地震の地震時すべり域の南半分かつ2005年の宮城県沖の地震の地震時すべり域の西端に位置することがわかった。連続地震波形エンベロープ解析から得られた4-20 Hz帯域のエネルギー放射量推定結果は、本震発生から10日後までの余震による積算エネルギー放射量は、本震（プレート境界型地震）の高周波エネルギー放射量の0.27%であることを示した。この割合はスラブ内地震である2003年宮城県沖の地震（ $M_{Hi}7.5$ 、0.85%）や、2021年福島県沖の地震（ $M_{Hi}7.6$ 、0.57%）よりやや小さい。

2021年7月29日15時15分（JST）にアラスカ沖で発生した $M_w8.0$ の地震からおよそ5.5-7時間後にS-netとDONETの水圧観測点で津波を捉えた。多数の観測点における水圧記録をCMT解に基づくフォワード計算波形と比較することにより津波の判別が可能となり、水深の浅い観測点で振幅が大きくなる傾向があること、地震発生後16-24時間後に最大1cm程度の振幅となったことがわかった。

2021年10月7日22時41分に発生した千葉県北西部で $M_j5.9$ の地震は太平洋プレート上面付近で発生した逆断層型の地震であり、以前からの地震活動域で2005年7月23日（ $M_j6.0$ ）の地震近傍で発生したことを示した。余震は水平方向10km×10km程度の範囲で発生しており、低角ではない逆断層型や正断層型のイベントが含まれることがわかった。

2022年1月15日13時（JST）ごろ、トンガ諸島付近のフンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山で大規模噴火が発生し、同日20時過ぎから、S-netとDONETの全観測点で潮位変化を観測した。S-netとDONETの観測点での潮位変化は最大10数cm程度（片振幅）で、初動部分よりも後続部分で大きく、初動は潮位の上昇であったことを示し、また継続する水圧変動のモニター記録をWeb上で公開した。

2022年1月22日01時08分の日向灘の地震 ($M_j 6.6$, $M_{Hi} 6.7$) について、三次元地震波速度構造や観測点補正値を用いた震源再決定の結果、地震活動域は沈み込むフィリピン海プレート内であり、本震はプレート内のやや低速度域内で発生したことがわかった。またHi-netの3成分連続地震波形エンベロープ解析から得られた4-20 Hz帯域のエネルギー輻射量推定結果は、本震発生から10日後までの余震による積算エネルギー輻射量が本震の積算エネルギー輻射量の0.95%であることを示した。

N-netにおいては、海底観測機器に組み入れる新規津波計などの開発を行うとともに、海底観測機器の試作機を製作し、性能確認の試験を実施している。宮崎県串間市の新設陸上局では、海底ケーブルを引き上げる際に通す水平孔の掘削工事が完了し、局舎建設工事を進めている。高知県室戸市の陸上局では、既存のDONET2の局舎を共用し、周辺整備工事を実施している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

浅野陽一,2021,日本周辺における浅部超低周波地震活動(2020年11月~2021年4月),地震予知連絡会会報,106,5-7

浅野陽一,2021,2021年2月13日福島県沖の地震 観測点補正値による震源再決定,地震予知連絡会会報,106,158-161

浅野陽一,2021,2021年3月20日,5月1日宮城県沖の地震 観測点補正値による震源再決定,地震予知連絡会会報,106,178-180

木村武志,2021,西南日本における短期的スロースリップイベント(2020年11月~2021年4月),地震予知連絡会会報,106,484-487

松原誠,2021,海域観測網を含めた三次元地震波速度構造により再決定した2021年2月13日福島県沖の地震の震源分布,地震予知連絡会会報,106,171-173

松原誠,2021,海域観測網を含めた三次元地震波速度構造により再決定した2021年3月20日および5月1日の宮城県沖の地震の震源分布,地震予知連絡会会報,106,171-173

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成,2021,西南日本における深部低周波微動活動(2020年11月~2021年4月),地震予知連絡会会報,106,463-467

太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦,2021,紀伊半島南東沖の微動活動(2020年12月~2021年1月),地震予知連絡会会報,106,460-462

澤崎郁,2021,2021年2月13日福島県沖の地震による高周波エネルギー輻射量,地震予知連絡会会報,106,165-168

澤崎郁,2021,2021年3月20日宮城県沖の地震による高周波エネルギー輻射量,地震予知連絡会会報,106,174-177

関口渉次,2021,南海トラフ周辺における最近の傾斜変動(2020年11月~2021年4月),地震予知連絡会会報,106,411-427

汐見勝彦,2021,東北地方太平洋沖における最近の地震活動,地震予知連絡会会報,106,543-547

植平賢司・西澤あずさ・浅野陽一,2021,S-netデータにより求めた青森県東方沖の震源分布,地震予知連絡会会報,106,155-157

浅野陽一,印刷中,日本周辺における浅部超低周波地震活動(2021年5月~10月),地震予知連絡会会報,107

木村武志,印刷中,西南日本における短期的スロースリップイベント(2021年5月~2021年10月),地震予知連絡会会報,107

久保田達矢・近貞直孝・鈴木亘・中村武史,印刷中,2021年7月29日アラスカ沖で発生した地震による津波の観測記録,地震予知連絡会会報,107

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成,印刷中,西南日本における深部低周波微動活動(2021年5月~2021年10月),地震予知連絡会会報,107

松澤孝紀,印刷中,南海トラフ周辺におけるスロースリップイベントと地震発生準備過程の数値モデリング:近年の観測研究を踏まえて,地震予知連絡会会報,107

西澤あずさ,印刷中,2021年8月茨城県沖の震源分布,地震予知連絡会会報,107

澤崎郁,印刷中,2021年10月7日千葉県北西部の地震による高周波エネルギー輻射量,地震予知連絡会会報,107

関口渉次,印刷中,南海トラフ周辺における最近の傾斜変動(2021年5月~2021年10月),地震予知連絡会会報,107

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

引き続きMOWLAS及びMeSO-netを安定的に運用することにより、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、関係機関における研究・技術開発、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター
他機関との共同研究の有無:無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:防災科学技術研究所 企画部広報課
電話:029-863-7672
e-mail:toiawase@bosai.go.jp
URL:http://bosai.go.jp

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:青井真
所属:地震津波火山ネットワークセンター

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南アフリカ大深度金鉱山からの地震発生場における応力と物質の直接調査

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの5年間で成功した、上述の、世界初の地震発生深度での直接総合調査を、次の5年間でさらに推し進める。それによって、地震発生場の地質と構造、絶対応力の空間変化、摩擦特性や、地震発生場の破壊と地殻流体との物理化学的関係の理解を深める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

次の5年間では、ICDP DSeis計画(2016-2019)で地震発生場から掘削回収できたコアの岩石力学・地質学・化学的解析を進める。孔内物理検層や、地震波反射法探査、地震観測のデータとの比較も進める。これらには他予算や高知コアセンターとの共同利用も活用する。他予算がさらに獲得できれば、追加の掘削や孔内物理検層、孔内観測を行ったりする。これらを進めるために、本計画では南アフリカなどでの渉外活動や、アメリカとドイツが主導する水とガスの観測との協力・連携も続ける。

平成31/令和元年度は、現有コアとデータの解析を進める。採択されている高知コアセンター共同利用によってコアの解析を進める。採択されている別予算で国際ワークショップを開催し、成果をまとめ、追加掘削計画を固める。

令和2年度以降は、地震発生場の直接調査範囲を拡大するための新たな他予算の獲得を目指す。獲得がなかった場合は掘削や検層を加え、孔内稠密地震観測網の構築を始める。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

以下は、建議1(3)、1(5)、5(5)に資する成果である。

自然大地震の発生場は、これまでに掘削到達例がない。一方、南アフリカ（以下南ア）の金鉱山は、採掘域から掘削調査が可能な範囲に地震が発生し、研究条件が良い。採掘レベルの珪長質岩盤と、採掘レベルよりも下の超苦鉄質変質ダイクとその周囲が研究対象である。これまでにCooke 4鉱山とMoab Khotsong鉱山から試料を掘削回収できている。

Moab Khotsong金鉱山（地下3kmまで金を採掘）の採掘レベル（珪質変成堆積岩）で発生する典型的な鉱山誘発地震（ $M>3$ ）は、北東-南西走向の正断層型である。ところが、2014年のM5.5地震は左横ずれ型で、余震活動（地下3~7 km）がほぼ鉛直で北北西-南南東走向の面状に分布し、筋状分布も見られた。余震発生帯の上端に向け、地下2.9 kmから817、700、96 mの長さの掘削を3本行い、このうちの2本をこの余震発生帯の上縁部付近と交差させることに成功した。2019年度には、回収コアと孔内検層結果から、余震発生帯は変質した超苦鉄質のダイクであり、ダイクが貫入した母岩は、密度と弾性波速度が上部地殻並みに大きいことや、817 m孔の湧水が非天水で塩分が非常に高いことなどがわかり始めていた。数百カ所の応力測定では、最大主応力の向きが、採掘レベルの鉛直とは異なり、応力集中域も見つかった。

ところが、この地震発生場での直接調査や、高知コアセンターに輸入済みであった余震発生帯近傍の連続柱状試料（百数十m長）の追加分析が、2019年度第4四半期以降、2021年11月まで、コロナ禍のために滞っていた。しかし、2021年11月24日から10日間の日程で、同センターにおける追加分析（産業用X線CT、XRFスキャン、EPMA、P波速度、FTIR、コア応力測定）ができた。また2022年1月4日から22日にかけて、金鉱山地下2.9 kmからM5.5地震の余震発生帯上縁部に到達する孔において追加検層と水の採取を行うことができた。これらに加え、現有の応力測定データや地震反射法探査データの分析も進み、以下に挙げる6つの重要な成果(a-1~a-2およびb-1~b-4)が得られた。後者の4つは2022年2月10日現在、2つの立命館大学修士論文（鈴木および美間）と4つの卒業研究（大場・小川・藤田・脇本）としてまとめられつつある。

(a) 密度と弾性波速度が上部地殻岩盤並みの珪岩層（採掘レベル）の地震発生場

(a-1) 坑内ルーチン採掘掘削コアからの地震発生場応力の拘束（小笠原・他、2022）

Cooke 4金鉱山の地下1kmの直径400m前後の高応力残柱において、異なる方向に掘削された14本の孔から得られた35個のコア試料に対して、コア変形法（Diametrical Core Deformation Analysis; 以下DCDA; Funato and Ito, 2017）による応力測定の実績があった（石田、2017年度立命大修士論文）。これに東（2020年度立命大修士論文）の統合解析法を適用し、外れ値や一部欠損データの扱いも改善し、100mスケールの領域の平均的な3次元偏差応力の絶対値と向きを拘束できること、そして、それを基準にすると、地質断層付近の数MPaの応力抜けや応力集中を描出できる可能性を示すことができた。このコア試料は、残柱採掘前に得られたもので、最大剪断応力（最大主応力と最小主応力の差）は約50MPaであった。この残柱の採掘進行後に応力解放法が実施され、最大剪断応力が90MPaを超え、その後にM2.7の地震も発生した。コストと労力と時間が、応力解放法には必要であるが、DCDA法では必要ない。坑内ルーチン地質探掘掘削コアは多数利用できるからである。測定装置は可搬性に優れ、地表の事務机一つ分のスペースで測定ができる。増える岩盤応力情報が、地震発生場の理解と、岩盤ハザード評価の高度化が促進すると期待される。

(a-2) 同鉱山の、薄板状金鉱脈の母岩である珪岩の層（厚さ数百m）の上の、太古代Ventersdorp巨大火成岩岩区の変質した玄武岩溶岩の層（厚さ数百m）の試料の摩擦実験が東北大学で行われ、摩擦特性が速度強化的であることがわかった（図1）。南アフリカの他の金鉱山では、通常、薄板状採掘の前方に成長する破壊面が、薄板状採掘跡に対して上下対称に成長することが知られている。しかし、同鉱山ではそうっておらず、その理由を摩擦物性的に検討されたこともこれまではなかった。今年度の新しい結果は、昨年度に出版されたMngadi et al. (2021 Int. J. Rock Mech. Min Sci.)の結果と総合することによって、応力集中による薄板状の採掘前線の前方に成長する地震発生場のレオロジー特性を実証できる可能性が見えてきた。

(b) 密度と地震波速度が上部地殻並みの母岩中の変質超苦鉄質ダイクとM5.5地震

(b-1) 地表から地下約3kmまで、1990年代に掘削された17本の地質探査孔の層序情報を入手した。孔口は余震の震央の帯状分布から3 km以内である。これによって、P波速度の3次元構造を今までで最

もよく拘束することができ、3D反射法探査データの深度変換精度が数十m以内に改善された。2つの反射面が坑道や我々の3本の掘削孔と交差するシルと一致し、筋状余震分布が、反射面や、反射面を乱す鉛直な構造とよく対応することわかるようになった。拘束されたP波速度は、最も地表に近いドロマイト層（厚さ数百m）で6.5 km/sと大幅に速くなった。この速度は日本の常識と大きく異なるが南ア金鉱山地帯の広域地震探査で広く認められているものとほぼ一致する。これによって、ドロマイト層よりも下の反射面の深度が数百m大きくなった。また、地震データ解析上の問題として、坑内の余震発生帯に近い地震計で決定した震源と、地表の強震計で決定した震源が大きく異なるという問題が残っていたが、これの解決の道筋も見えた。

(b-2) M5.5地震の余震発生帯と一致する変質した超苦鉄質ダイク（厚さ数m以内）、および、ほぼ平行なもう一つのダイク（厚さ1~2m）からの掘削回収物に対し、産業用X線CT、XRFスキャン、EPMA、P波速度、FTIRが行われ、既存のMSCLや医療用X線CTの結果（阪口・他2021）と統合解析が進んだ。密度(MSCL)や化学組成(XRFスキャン)はダイク全体で変化が大きくなり、超苦鉄質鉱物が原岩であることが示唆された。しかし、変成度・変質度はダイク内で異なり、磁化率・ V_p ・CT値・FTIR特性に違いが見られた。ダイクが接触する母岩が、珪岩か、ドレライトシルか、強く変質した安山岩質玄武岩であるかによって違いが見られた。

(b-3) DCDAコア応力測定を追加し、500を超えるコアの測定結果の統合解析から、応力集中と物質との関係をより詳細に議論できる様になった。余震発生帯の上方延長部の最大剪断応力は、上記の(a)の採掘前の測定値並みであり、採掘レベルの地震発生場との強度の違いを議論できる可能性が示唆された。

(b-4) 余震発生帯上縁部と交差する700m掘削孔内で、水の温度と電気伝導度、磁化率、音響テレビューワー、ボアホール・レーダーと水の採取が2022年1月に行われた。2018年の掘削直後は余震発生帯直近のみで10mS/cmの伝導度が観測されたが、今回は300mS/cmを超える水の電気伝導度が、約300m深の超苦鉄質ダイク交差部より上方で観測された。孔口から100m以浅のシルやシルト岩よりも浅部では電気伝導度と水温が低下する様子が観測された。米国微生物学チームによって地表付近のドロマイト層（地下1200m）の地下水が天水起源であることが確認されている。それとは異なる深部起源の水と超苦鉄質の岩石の相互作用が、M5.5の余震発生帯と関係していることを再確認できた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小笠原宏・美間良大・石田亮壮・S. MNGADI・東 充也・矢部康男・船戸明雄・伊藤高敏・中谷正生・R. DURRHEIM, 2022, 大深度高応力鉱山でのルーチン的な採掘ハザード定量化に資する岩盤コア絶対差応力 DCDA 測定法の試評価, 材料・日本材料学会, 受理

・学会・シンポジウム等での発表

Ogasawara, H. and the ICDP DSeis team, 2021, ICDP DSeis project: an overview of the 2020 research activity (招待講演), 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS18-12

Ogasawara, H., S. Yoshida, M. Higashi, K. Sakaguchi, Y. Yokoyama, Y. Yabe., T. Hirono, D. Ligaraba, N. Masondo, Y. Yamamoto, and The ICDP DSeis team, 2021, ICDP DSeis project: compilation of borehole logging and recovered core information at the seismogenic zone of the M5.5 Orkney earthquake with lower crustal intrusives, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG41-08

Ogasawara, H., and ICDP DSeis team, 2021, ICDP DSeis Project, DEEP 2021 - the 2021 International Symposium on Deep Earth Exploration and Practice, Session 8-1

Ogasawara, H., 2021, South African gold mines as invaluable laboratory deep underground for geoscience, 15th AfricaArray Scientific Meeting, Witwatersrand University, South Africa, Keynote lecture

阪口賢祐・吉田峻輔・東 充也・横山友暉・鈴木皓一郎・矢部康男・D. Ligaraba・N. Masondo・廣野哲朗・山本裕二・松崎琢也・小笠原宏・大場誠也・脇本雅也, 2021, M5.5地震発生場と母岩から回収したコア試料の物理特性, 日本地震学会秋季大会, S08P-22

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度末から翌年度にかけてまとまる予定の成果を学会・論文発表などで発信する。コロナ禍で滞っている活動を活発化させる。特に、高知コアセンターでの超苦鉄質ダイクの追加分析は重点的に進めたい。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

小笠原宏（立命館大学）

他機関との共同研究の有無：有

矢部康男（東北大学）, 森谷祐一（東北大学）, 坂口清敏（東北大学）, 伊藤高敏（東北大学）, 船戸明雄（深田地質研究所）, 廣野哲朗（大阪大学）, 石井紘（地震予知総合研究振興会）, 中尾茂（鹿児島大学）, 大久保慎人（高知大学）, 山本裕二（高知大学）, 小村健太郎（防災科学技術研究所）, 松原誠（防災科学技術研究所）, 今西和俊（産業技術総合研究所）, 三宅弘恵（東京大学地震研究所）, 加藤愛太郎（東京大学）, Jim Mori（京都大学）, 直井誠（京都大学）, 参加他国 南アフリカ, アメリカ, ドイツ, スイス, インド, イスラエル, オーストラリア

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：立命館大学 研究部 リサーチオフィス(BKC) P J 管理担当

電話：077-561-2802

e-mail：ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp

URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci eng/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小笠原宏

所属：理工学部

低速ロータリー試験機を用いた、AE活動域上縁のlavaの摩擦特性計測

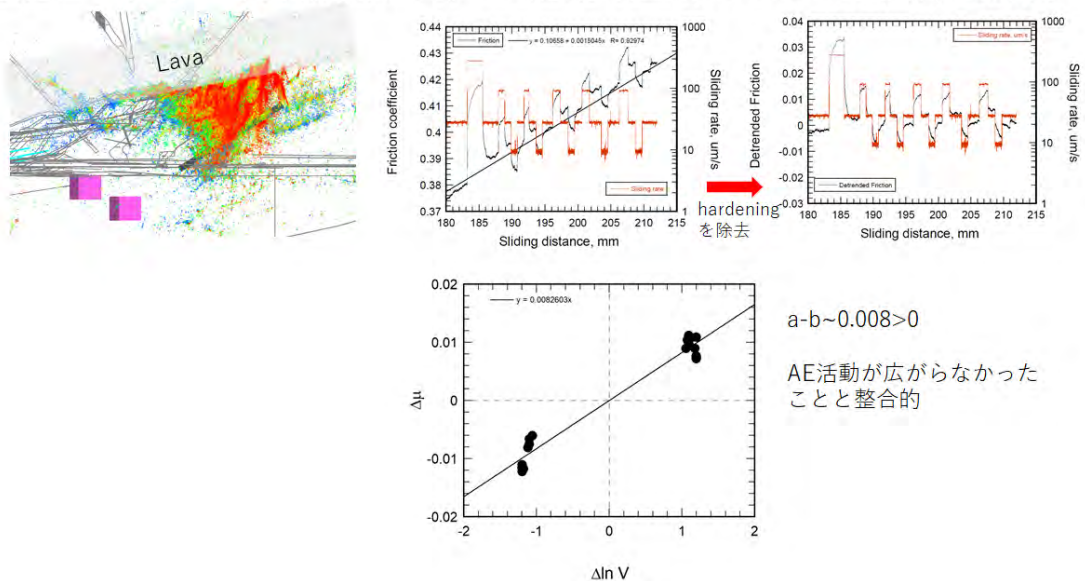


図1 低速ロータリー試験機を用いた、AE活動域上縁のlavaの摩擦特性計測。

左：地下約1kmの直径約4mの水平坑道（水平の何本かの細線），lava（今回摩擦実験した試料の入手場所；変質した玄武岩；太古代のVentersdorp巨大火成岩岩石区）とその下の金鉱脈を胚胎する珪岩層，薄板状採掘跡（右斜め上に伸びるやや複雑な細線）の前方の微小破壊（様々な色のドット），ICDP DSeis計画

の60m長の掘削孔（紺色の右肩上がり太線；回収試料をMngadi et al., 2021が摩擦実験）の3次元的な位置関係。中央と右：Lava試料の摩擦実験の滑り速度（茶）と摩擦係数（黒）。

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震に先行する極微小な前震活動の異常度評価と発生環境の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

自然地震における前震活動の存在は、地震計によるリモート・センシングが可能な現象であり、地震発生予測の確度を上げるための鍵となる。防災科研Hi-netに代表される高感度連続地震観測のおかげで、日本においては極微小な前震の検出も可能であり、現行計画において極微小な繰り返し前震の検出アルゴリズムも提案できた。また2011年に長野県中部で発生したある地震（Mj5.4）の繰り返し前震について、本震に先行する2年程度においては直前においてのみ検出されることが示された。これは、2007年能登半島地震や2008年岩手・宮城内陸地震において、数週間の解析ながら確認された現象と同様である。

しかしながらテンプレートとなる地震波形は、現時点では本震発生後に前震として認められたものを用いたある種の「事後予測」にあたる。そこで、本課題では、2つのアプローチでこの問題の解決を図る。一つ目の目標は、日常的に発生する微小地震記録をテンプレートとして用いた場合に、極微小な繰り返し前震活動が異常活動として認識されるか否か、すなわち「本震」の発生という情報を持たない状況で「本震」の発生をどの程度の確率で予測できるか、を明らかにすることである。二つ目の目標は、テンプレートを必要としない繰り返し地震活動を抽出する手法を確立し、それを適用することで微小繰り返し前震活動の検出を目指すことである。

また、実験室で実施される破壊試験や固着すべり試験時に観測される微小な繰り返し破壊を活用して、繰り返し前震の発生様式、発生機構を明らかにすることも本課題の目的とする。

これらの取り組みを通じて、繰り返し前震活動について、その活動およびイベント自身の異常さを利用して、大地震の発生確率評価にどの程度利用できるかを明らかにすることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

研究目的の達成のために、以下のような年度計画で課題を遂行する。なお、成果の取りまとめは随

時実施する。

【令和1年度】近年に大規模地震が発生した地域、定常地震活動度の高い地域、定常地震活動度の低い地域、大地震の切迫度が高いと評価されている地域等から、研究対象領域を抽出し、気象庁一元化震源カタログよりテンプレートとして使用する微小地震を設定する。現行計画で開発したアルゴリズムに従い、繰り返し活動の抽出をおこなう。データ量が多いため、高速化のためのアルゴリズムの改良も進める。また、二軸せん断試験で得られた波形の解析を高度化するために、実験時に貼り付けられていた弾性波トランスデューサの計器特性を精査するための検定試験を実施する。

【令和2年度】令和1年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。また、抽出された繰り返し活動の特徴を調べ、極微小な繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。テンプレートを必要としない繰り返し地震活動抽出のためのアルゴリズムの検討、解析コードの開発をおこなう。また、前年度に得られた計器特性を利用して二軸せん断試験で得られた波形解析を進める。

【令和3年度】令和1, 2年度までに開発された手法に基づき、引き続き繰り返し活動の抽出をおこない、抽出された繰り返し活動の特徴から、繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。また、二軸せん断試験時の前震的微小破壊について、载荷や破壊面形成と微小繰り返し破壊の時空間的な関係を調べる。

【令和4年度】令和1, 2, 3年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。繰り返し活動の出現に対する大地震の付随確率を求め、大地震の発生確率評価をおこなう。

【令和5年度】大地震に先行して発生する繰り返し前震活動について、実験室で得られた知見と照らし合わせ、繰り返し前震活動の物理的な位置づけを考察するとともに、この活動の特異性について評価する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【類似波形をもつごく微小前震の検出能力の評価】 類似音声信号の探知を動機とする研究に端を発し、地震波形への適用が5年ほど前から試みられている波形検出手法[例えば、Yoon *et al.* (2015)]について検討をさらに進めている。令和元年度に、短時間波形の特徴を抽出するための関数であるLocality Sensitive Hashing(LSH)として新たなものを2通り提案した[駒形・他(2020)]。LSHとは、2つのデータ系列が似ているほど、出力されるハッシュ値が同じ値を取る確率が高くなるハッシュ関数のことであり、提案した新たなハッシュ関数は、短時間時系列(移動タイムウィンドウ毎)の平均値と標準偏差を活用した3値化指標(2bit aHash)と短時間時系列の絶対値の上位指定の割合を適用する3値化指標(kHash)である。これら2つのLSHとYoon *et al.* (2015)によるLSHであるFinger Printingについて、相互相関関数と比較し、類似波形の検出能力を比較した。ハッシュ関数以外の検出手続きはYoon *et al.* (2015)と同様とした。すなわち、連続波形中の各時刻から切り出した短時間波形群に2bit aHash/kHash/Finger Printingのいずれかを作用させた後、Min hash という LSH で更に縮約し、その結果に応じて用意された「バケツ」に格納していく。一つの波形が複数のバケツに格納されることもあるが、Min hash の一致度は確率的に源信号の Jaccard 係数(0~1の間の値を取り、値が大きいほど類似しており、1の場合は同一のハッシュ値を持つ)を近似するため、同じ「バケツ」に入っている波形群が類似波形ペアの構成要素の候補となる。次に、2つの波形ともに閾値以上の「バケツ」に同時に格納されている波形ペアを最終の類似波形ペアの候補としてそのJaccard係数を算出し、相互相関関数と比較した。

対象とした波形は、我々がこれまで取り扱ってきた2011年長野県中部の地震(M5.4)に先行する期間のHi-net松本和田観測点の3成分連続波形記録とした。なおこの期間の波形には、気象庁一元化震源カタログ記載済みの33イベント波形、豊本(2016)の相互相関によるテンプレート・マッチングで検出済みの26波形が含まれており、類似波形ペアを必ずしも持つとは限らないもののこれら59波形に注目した。

上下動成分の結果を図1に示す通り、2bit aHash、kHash共に、Finger Printingよりも検知された類似波形同士の最大相互相関係数との相関が概して高いことが明らかにされた。Yoon *et al.* (2015)は、候補となるペアをできるだけめれなく検出することを念頭に手法を開発しており、検出後に目視にて類似した「地震波形」ペアであるか否かをチェックしてノイズ波形を除去している。確かに、Finger Printingにおいて、上記の59波形のうち39波形が検出されているものの、波形ペアの総数が他の2つに比して圧倒的に多く、それらの多くは地震性のシグナルではないことが分かった。なお、候補となる波形ペアが多いことはJaccard係数の算出コストが高くなることにつながるため、効率的な検出が望ま

しいといえる。2bit aHashは、25波形の検出とやや低かったものの、kHashでは37波形を検出し、高効率で相互相関係数との高相関を維持しつつも高い検出率であった。なお、検出数そのものは設定する閾値に依存するため、誤検出増を許容して検出率を上げることはもちろん可能であり、適切な閾値設定は今後の課題といえる。

令和2年度に報告したとおり、事前の「バケツ」による分類をおこなわずに総当たりで2bit aHash、kHashを用いてJaccard係数を計算した場合には、Jaccard係数と相互相関係数のそれぞれの順位相関が必ずしも高くない、すなわち用いる関数、手法ごとに「類似の程度」の高低が同じペアであっても異なる場合があることが判明したため、「バケツ」による分類などの事前のスクリーニングが必要となる。

【波形類似度と震源類似度の比較評価】 これまで類似した波形を抽出することで相似イベントの検出を試みてきたが、「波形の類似度」は相互相関係数、2bit aHash、kHashなど用いる指標によって異なることが明らかになった。また、近接した位置で似た震源メカニズム解をもつ繰り返し地震を検出するためには、この「震源の類似度」と「波形の類似度」の関係を明らかにする必要がある。そこで、当初の計画ではイベント検出を進めることとしていたが、本計画の意図である繰り返し微小前震の検出を目指すために、計画を変更し、両類似度の関係を調べることにした。

微小前震活動では、震源位置と震源メカニズム解の双方が推定されている地震群がないため、2018年大阪北部の地震の余震活動を対象とした。震源位置は気象庁一元化震源カタログに記載されたもの、震源メカニズム解はUchide(2020)によって推定された発震機構解のランクがB以上のものを用いることとした。波形記録としては、Hi-netの交野、久御山の2観測点の3成分速度波形記録に5-30 Hzのバンドパスフィルターをかけたものを使用し、明瞭に信号が確認できる64地震を対象とした。波形の類似度は相互相関係数、2bit aHash、kHashの3つを用いて評価し、震源の類似度は、イベントペアの震源間距離とP軸およびT軸それぞれの方向ベクトルの内積の線形結合で指標を与えて評価した。

交野観測点で得られた3成分の類似度指標の合計と震源の類似度の関係を図2に示す。いずれも波形と震源の類似度に正の相関はみられたが、線形的な関係はみられず、分散が小さくなかったため、波形は類似していると評価されるが震源は似ていない「空振り」、波形は類似していないと評価されるが震源は似ている「見逃し」が発生することがわかった。また値のばらつきは相互相関係数が最も大きくみられる結果となった。「空振り」「見逃し」の原因としては、震源過程の複雑さ、地震の統発、地下の不均質構造の影響などが考えられるため、今後さらに精査を進める。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

大規模地震に先行する繰り返し微小地震活動を適切に評価することは、先行現象に基づく地震発生の予測につながる。本課題では、単に波形が似ている地震を検出する、というフェーズから、繰り返し地震をどの程度検出する能力を持つ指標で検出を試みるかを明らかにするという形に進化させ、なお研究遂行中である。大規模地震発生前に見られる繰り返し前震活動の特異性を調べるうえで重要な貢献を果たすことが期待される。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

高山 裕紀・平野 史朗・川方 裕則,2021,ハッシュ法を用いた類似波形検出手法の性能比較,日本地震学会2021年度秋季大会,S09P-12

川方 裕則・大内 智博,2021,4 MHz程度まで感度を有する広帯域超音波トランスデューサの較正,日本地震学会2021年度秋季大会,S12P-02

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和1, 2, 3年度に引き続き、繰り返し活動の抽出のための指標の評価をおこなう。繰り返し活動の検出の過誤の可能性を定量的に評価する。既知の地震波形（テンプレート）を必要としない相互相関係数の総当たり計算の高速化に取り組む。また令和2年度に引き続き、二軸せん断試験時の前震的微小破

壊について、载荷や破壊面形成と微小繰り返し破壊の時空間的な関係を調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

川方裕則（立命館大学理工学部）,平野史朗（立命館大学理工学部）
他機関との共同研究の有無：有
土井一生（京都大学防災研究所）,吉光奈奈（京都大学大学院工学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：立命館大学研究部BKCリサーチオフィス
電話：077-561-2802
e-mail：ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp
URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：川方裕則
所属：立命館大学理工学部

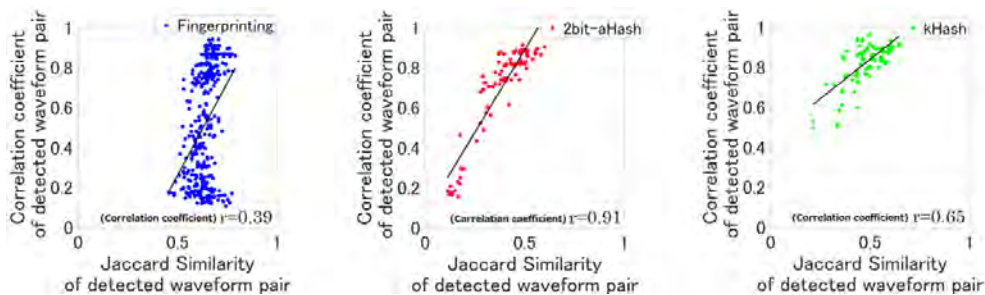


図1. Jaccard係数と最大相互相関係数との関係の例。

Hi-net松本和田(MWDH)観測点上下動成分において、3つのLSH（左. Finger Printing、中. 2bit-aHash、右. kHash）が閾値以上で検出した波形ペアのJaccard係数と最大相互相関係数との関係。

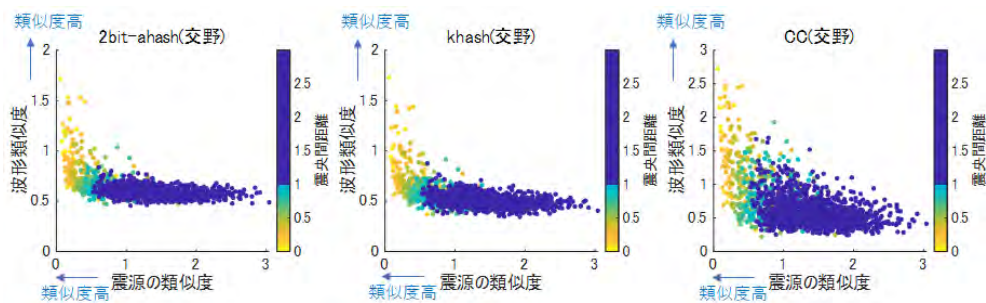


図2. 波形類似度と震源の類似度の関係の例。

交野観測点の3成分の類似度の合計と震源の類似度の関係が示されており、左から2bit aHash、kHash、相互相関係数の結果。なお、震源類似度は左ほど類似度が高い。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

国際共同研究によるニュージーランドにおける地震発生機構の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本と同様に沈み込み帯に位置するニュージーランドにおいて地震観測を実施し、地震発生過程の理解を普遍化する。ニュージーランドでは、南島北部において、2010年・2011年クライストチャーチ地震や2016年カイコウラ地震が発生し、甚大な被害を生じた。カイコウラ地震・クライストチャーチ地震は、地震時あるいは地震後に複数の断層が連動して破壊した地震であると考えられており、2016年熊本地震において指摘されたような複雑な断層系の相互作用や断層端の特性の理解の上で最適な対象である。研究担当者がカイコウラ地震発生前から実施中の南島北部での臨時地震観測を継続し、複数の断層が様々な時定数で連動破壊した原因を明らかにする。特に、非弾性変形や応力・流体との関わりを明らかにする。また、内陸断層とプレート境界との連動の検討を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

カイコウラ地震・クライストチャーチ地震両震源域を含む領域でこれまで行ってきた臨時観測データの解析を進めるとともに、両地震の地震後過程のモニタリングやより詳細な構造を求めるため、臨時観測を継続する。

研究担当者らは、これまでの研究から、日本の内陸地震について、下部地殻の構造、特に流体の分布が内陸地震の発生規模や活動範囲を規定する可能性を示してきた（業績1～3）。本課題の対象領域においても同様の下部地殻の不均質構造は、研究担当者らの予備的な研究結果からも見えてくる。そのような知見を踏まえ、複数断層の連動破壊・遅れ破壊に地殻下部の構造や流体の存在が関わる可能性を検討する。そのために、以下の観測解析を、データの蓄積状況・一次処理状況に応じて、順次実施する。

高精度震源決定により、地震発生下限深度分布を正確に推定する。また、地震断層とされた断層群との対応関係から各断層の位置や形状を正確に推定する。多数のメカニズム解を正確に推定し、応力テンソルインバージョンやS波スプリッティングにより、偏差応力の向きや大きさ、強度や間隙流体圧を

求める。地震波トモグラフィや地震波反射面の分布により流体を含む領域を求め、強度と水との関わりを明らかにする。地震波形・地震波干渉法による地下構造の時空間変化の推定を行い、応力場や流体挙動の時間変化を把握する。

地震観測結果と地質学・地形学的知見を総合化し、ニュージーランド南島北部のテクトニクス下における、複雑な断層の分布およびその原因を把握する。地震発生下限深度分布や地震観測で得られた構造・応力場等の比較から地殻内の非弾性変形域を抽出する。非弾性変形域の広がり詳細に把握した断層の形状や応力-強度状態に基づき、カイコウラ地震・クライストチャーチ地震の連動破壊や遅れ破壊を説明可能なモデルの構築を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ニュージーランド南島北部に展開している臨時観測点および定常観測点のデータを用いて以下の研究を行なった。

・統合観測網データのコンパイルと震源決定（河村・他、2021）

本震発生前より震源域に展開している稠密観測によって得たデータを、高精度震源決定法 (HYPODD) に適用し余震分布を求め、断層の詳細形状やプレートの境界面について考察した。

・カイコウラ地震震源域の応力場（松野・他、2021；Matsuno et al., 2021）

カイコウラ地震前後の複数の時空間領域において、震源域を含む南島北部に設置した稠密観測網のデータを用いてメカニズム解を推定し、Kagan 角を用いて抽出した断層面外で起きた地震のメカニズム解を用いて、応力テンソルインバージョンを行い、震源域の3つの領域の応力場を求めた。カイコウラ地震前の応力場の結果は、おおむねこれまでに先行研究で得られているような、横ずれ断層型の応力場であり、最大水平圧縮方向が西北西-東南東の方向である応力場が得られた。震源域を3つに分けて解析を行ったが、地域内で概ね一様な応力場であった。カイコウラ地震前後において、最大水平圧縮応力の方向は変化していなかったことから、カイコウラ地震前の差応力は地震時の応力降下量の大きさと比べて大きいと考えられる。Slip Tendencyを用いて地震で滑ったとされる断層の地震前の滑りやすさを評価したところ、滑りの開始点、接合部、滑りの大きかった領域において大きい値を示した。それらの断層は滑りやすい条件下であったために、複数の断層が連動し、広い領域が滑った地震が発生したと考えられる。また、北東部においては低いSlipTendencyの値を示し、滑りにくい条件下にあったと考えられる。このことは北東部において滑りの伝播が停止したと調和的である。

・カイコウラ地震震源域の地震波速度トモグラフィ（Okada et al., 2021）

地震波速度トモグラフィの結果、カイコウラ地震の震源域、地殻内断層の深部やプレート境界に沿った地震時・地震後すべり域付近に地震波速度低速度・高Vp/Vsの領域を見出した。この地震波速度低速度・高Vp/Vsの領域は高い間隙流体圧の領域を示しており、断層活動や地震活動と流体との関連、特に流体による連動破壊や地震後すべり発生への寄与、が示唆される。

・微動検出とマッピング: (Romanet et al., 2021a, b)

多様なテクトニック環境下でのスロー地震発生メカニズムを理解するために、カイコウラ地震震源域を含むマルボロ断層系において、微動活動の検出と震源決定を行った。カイコウラ地震発生に関係した微動活動の変化が見られた。

・2013年クック海峡地震-2016年カイコウラ地震に関する地震波速度構造の時間変化（Kortink et al., 2021）

定常・臨時地震観測データを用いて、常時微動（帯域0.1-0.9Hz）の地震波干渉法により、2013年クック海峡地震-2016年カイコウラ地震に関する地震波速度構造の時間変化を推定した。2016年カイコウラ地震直後に0.2%の地震波速度の低下が見られ、地震後1.5年間にかけて0.1%の速度の増加が見られた。このような地震波速度の変化は深さ5kmより浅い領域の変化を見ていると考えられる。原因として、強振動による地盤のダメージや地震滑りによる断層帯のダメージの影響が考えられる。

・北島・ヒ克蘭ギ沈み込み帯の繰り返し地震の研究：Tateiwa et al. (2021)、立岩・他（2021）

カイコウラ地震後にスロースリップの活動が見られた北島・ヒ克蘭ギ沈み込み帯の繰り返し地震の発生間隔とマグニチュードの関係について検討を行なった。発生領域によって違いが見られ、間隙流体圧などの違いを反映している可能性が考えられる。

・成果のまとめ

カイコウラ地震を事例として、複数の断層系の連動破壊の理解のために必要な、断層の構造や応力場の知見を得た。また震源域近傍での微動の活動から流体の挙動や断層のゆっくりとしたすべりに関する知見が得られると期待される。これらを基礎的な知見として活用し連動破壊の理解を深められることが期待される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

これまで、2016年カイコウラ地震を主な対象とした成果を得ることができ、同地震の発生機構、特に連動破壊（地殻内断層およびプレート境界）の理解を進めることができた。また、計画当初にはなかった、微動や北島の繰り返し地震などの新たな視点・成果を加えることができた。日本・ニュージーランドの往来ができていないにも関わらず順調に成果を生んでいることは、日本・ニュージーランド双方の研究者同士の意思疎通ができてきている証であり、今後も引き続き成果を加えていくことができると期待される。

引き続き、2010-2011年クライストチャーチ地震から2013年クック海峡群発地震を経て2016年カイコウラ地震に至る過程および2016年カイコウラ地震後の過程を周辺の活断層・地震活動を含めて理解していく必要がある。2016年カイコウラ地震の周囲には複数の活断層が分布しており、今後それらの断層での地震の発生が危惧されることから、引き続きカイコウラ地震震源域周辺のモニタリングを継続していく必要がある。

ニュージーランドの理解に留まらず、日本を含む他地域の研究への貢献を念頭に置いて研究を進める必要がある。このことは本研究で用いた手法や結果の解釈の普遍性（有効性）の評価の上でも重要である。例えば、THK_07で実施中の東北地方の活断層群（例：長町・利府ー福島西縁ー双葉）や、日本海溝～千島海溝や南海トラフなどでの上盤側地震とプレート境界地震の関係との比較が挙げられる。また、本課題は災害軽減研究において国際的に活躍できる人材育成に貢献する。ニュージーランドの共同研究機関であるビクトリア大学ウェリントンは東北大学と「国際共同大学院」を運営しており、本課題の実施により、引き続き強力に推進できる見込みがある。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Matsuno, M., A. Tagami, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Bannister, J. Ristau, M. K. Savage, C. H. Thurber, and R. H. Sibson, submitted, Spatial and temporal stress field changes in the focal area of the 2016 Kaikōura earthquake, New Zealand: A multi-fault process interpretation, *Tectonophysics*

Okada, T., M. Matsuno, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, A. Tagami, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Bannister, J. Ristau, M. K. Savage, C. H. Thurber, and R. H.

Sibson, submitted, Complexity of the 2016 M 7.8 Kaikōura, New Zealand, earthquake from seismic observation: inferences of overpressured fluid involvement, *Tectonophysics*

Kortink, M., A. Yates, M. Savage, W. Wang, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Iio, K. Jacobs, 2021, Velocity changes around the Kaikōura earthquake ruptures from ambient noise cross-correlations, *Geophysical Journal International*, doi: 10.1093/gji/ggab514

・学会・シンポジウム等での発表

河村優太・松本聡・岡田知己・松野弥愛・飯尾能久・佐藤将・Bannister Stephen・Ristau John・Savage Martha・Sibson Richard, 2021, 高精度余震分布より推定される2016年ニュージーランドカイコウラ地震の断層形状とプレート境界面, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG50-P07
松野弥愛・田上綾香・岡田知己・松本聡・河村優太・飯尾能久・佐藤将・中山貴史・平原聡・Bannister Stephen・Ristau John・Savage Martha・Thurber Clifford・Sibson Richard, 2021, 2016年ニュージーランド・カイコウラ地震震源域における応力場の時空間変化(2),

日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS08-06

Romanet, P., F. Aden-Antoniow, R. Ando, S.C. Bannister, C.J. Chamberlain, Y. Iio, S. Matsumoto, T. Okada, R.H. Sibson, A. Toh, and S. Ide,2021b,Increase of tremor-rate in Marlborough region (New Zealand) after the 2016 Mw 7.8 Kaikōura earthquake,

,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG39-P08

Tateiwa, K., C. J. Chamberlain, L. Hughes, M. K. Savage, and T. Okada,2021,The relationship between recurrence interval and magnitude of repeating earthquakes occurring in and around the Raukumara Peninsula in the North Island, New Zealand,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS08-P11

立岩 和也・C. Chamberlain・M. Savage・岡田 知己,2021,ニュージーランド北島ラウクマラ半島周辺で発生するプレート境界地震の震源パラメータの特徴,日本地震学会2021年大会,S08P-03

Romanet, P., Aden-Antoniow, F., Ando, R., Bannister, S., Chamberlain, C., Iio, Y., Matsumoto, S., Okada, T., Sibson, R. H., Toh, A., and Ide, S,2021a,Detection of tremors in the Marlborough region and its relationship with the 2016 Mw 7.9 Kaikoura (New Zealand) earthquake,EGU General Assembly 2021,EGU21-637,doi: 10.5194/egusphere-egu21-637

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

国際共同研究として、Victoria University of Wellington、GNS Science などと協力しながら現在の解析を進めて地震発生層、余震活動、地殻内不均質構造と大地震発生の関係性を議論していく。臨時観測の実施・データの整理を進め、震源分布・微動分布・地震波反射面分布・地震波速度トモグラフィ・地震波干渉法解析や応力場推定の精緻化を行なう。特に時空間変化の検討を行う。カイクウラ地震後に SSE が誘発された北島にかけて、震源分布や震源パラメータなどの地震活動の調査を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己（東北大学大学院理学研究科）,高木涼太（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

飯尾能久（京都大学）,松本聡（九州大学）,Richard H Sibson（オタゴ大学）,Stephen Bannister（GNS Science）,Martha K Savage（ビクトリア大学ウェリントン）,Calum Chamberlain（ビクトリア大学ウェリントン）,Jarg Pettinga（カンタバリー大学）,Clifford H Thurber（ウィスコンシン大学マディソン校）,安藤亮輔（東京大学大学院理学系研究科）,井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己

所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

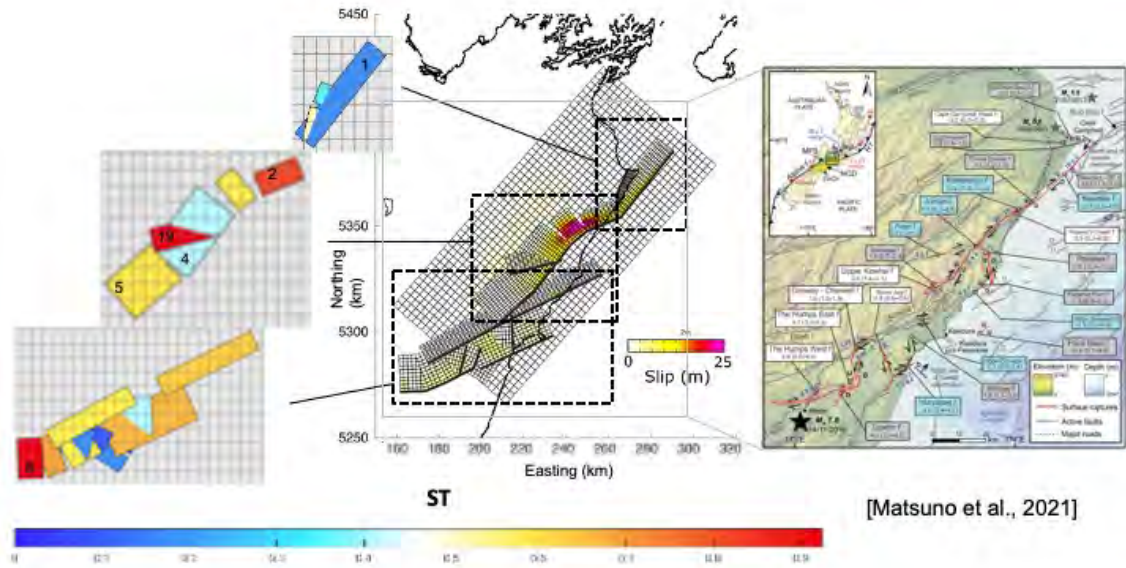


図1. 2016年カイコウラ地震の震源断層のSlip Tendency値。
真ん中の図は地震時すべり分布 (Hamling et al., 2017)。右の図は地震時地表断層分布図 (Litchfield et al., 2018)。

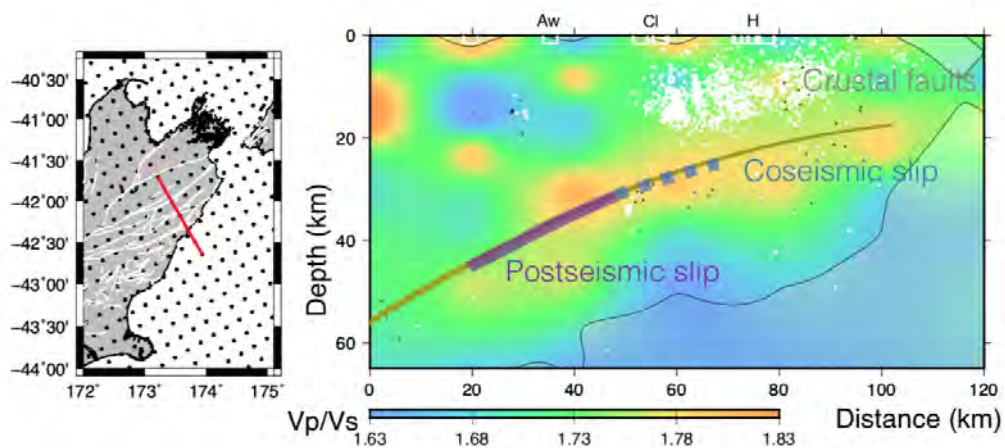


図2. 2016年カイコウラ地震震源域の V_p/V_s 分布。
北西-南東方向の鉛直断面図で示す。黒点・白点はカイコウラ地震前と後の地震を示す。青太点線と紫太線はそれぞれ、2016年カイコウラ地震震源域のプレート境界での地震時すべり域 (Hamling et al., 2017)と余

効すべり域 (Wallace et al., 2018) を示す。

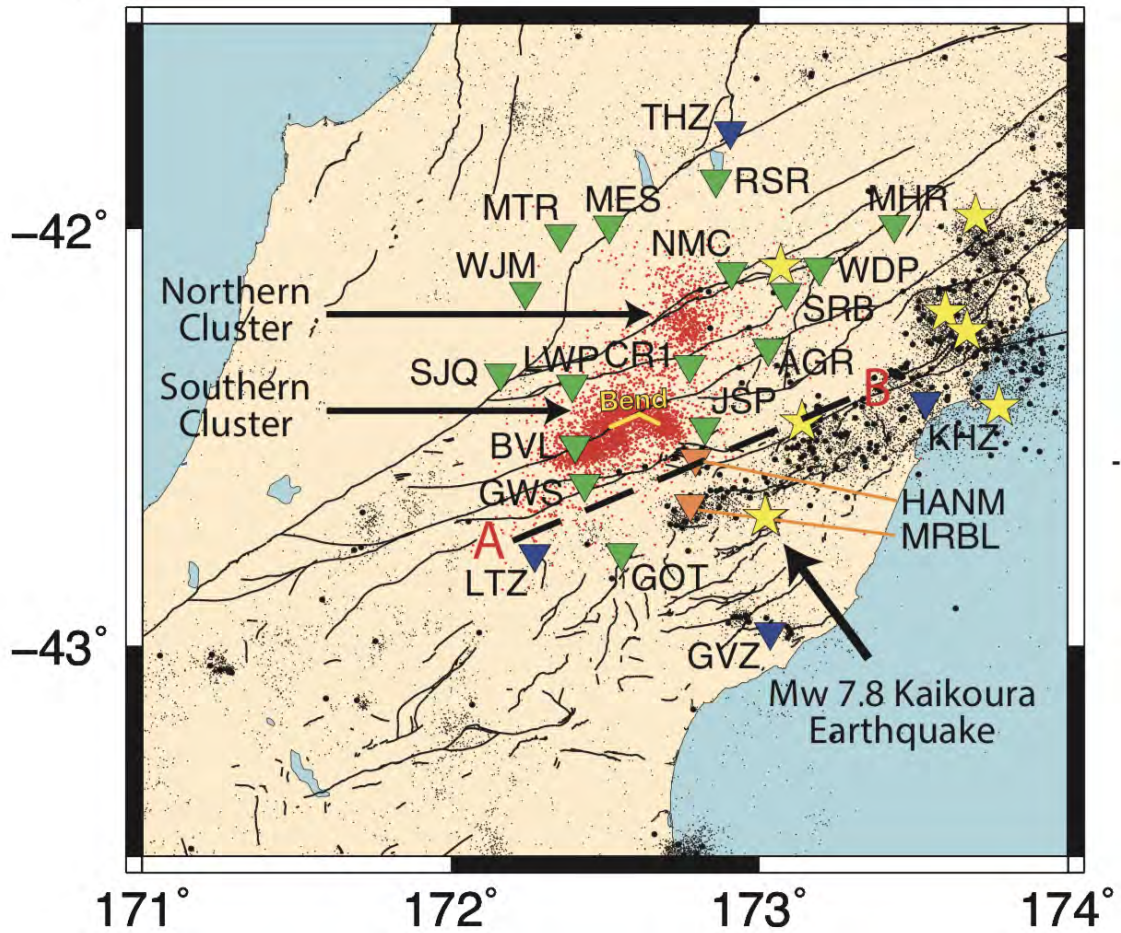


図3. ニュージーランド南島北中部における微動分布 (2013年~2019年)

赤点が微動を示す。黄色星・黒点・灰色点はそれぞれMw6以上、4以上、4以下の通常の地震を示す。赤・青・緑の逆三角はそれぞれ、GNSSの定常観測点、地震の定常観測点、地震の臨時観測点を示す。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

流体の寄与に注目した地震断層すべり物理モデルの高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

流体が深部に局所的に豊富に存在していると、そこで歪速度が上昇しやすくなり、その浅部に応力・歪が集中しやすくなると考えられる。また、断層中に流体があれば、間隙圧が上昇して強度が低下すると考えられる。このように流体は地震発生に大きくかかわっていると考えられていたが、多くは定性的な理解にとどまり、定量的な理解が進んだのはごく最近のことである。このような定量的な検討から、地震発生域では差応力が小さく、断層の強度がこれまで考えられていた値の1/10程度と極めて低いことが次第に明らかになって来ており、その原因としてはやはり断層の中の流体の可能性が一番高いと考えられている。しかし、その流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態はまだ必ずしもよくわかっていない。このような問題意識のもと、下記のサブテーマを実施し、これらを統合することにより、特に流体の寄与に注目して地震断層すべり物理モデルの高度化を目指す。

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

地震断層すべりの理解の上で応力と強度を正しく把握することが重要である。応力については主応力の方向と応力比の情報に加えて、大地震やかぶり圧の影響を正しく評価することにより、差応力の大きさについても情報が得られつつある。今後、高精度・多量の震源分布と発震機構解を利用し、小規模な地形や中規模地震が応力場に与える影響から、差応力の大きさの分布を高精度で推定することを目指す。さらに地震の振幅情報も用いて、発震機構解と応力場と観測点補正值を同時に推定する新しい手法を開発する。また、大地震による構造の時空間変化を推定し、それと地震活動や応力の時空間変化と比較することにより、地震活動に対する流体の寄与についてより詳細に明らかにする。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

速度・状態依存摩擦則の微視的過程は真実接触点における圧力溶解クリープであり、その振る舞いは雰囲気中の水蒸気量に依存することが最近の実験で示されている。一方、摩擦すべりに伴って局所的な脆性破壊（AE）が発生することや、脆性破壊強度が雰囲気中の水蒸気量に依存することは知られているが、これらが複合して摩擦の振る舞いにどのような影響を与えているのかは調べられていない。本サブテーマでは水蒸気量を制御した雰囲気中で摩擦実験を行い、摩擦の振る舞いとAE活動の関係を調べることで、脆性破壊の水蒸気量依存性が摩擦強度の環境依存性に及ぼす影響を明らかにする。こ

の成果は微小地震活動モニタリングに基づくプレート境界の摩擦特性の推定や固着状態の評価にも貢献し得る。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

地殻流体が地震の発生に強く関与していることが指摘されているが、地震に関与する地殻流体の物理化学的性質および動的挙動についての知識は希薄である。特に地震発生帯やその直下での温度・圧力条件での地殻流体の基本的性質についての理解が進んでおらず、状態方程式、化学反応性、流体分子構造、輸送現象の解析などが未整備の状態である。本サブテーマでは、地殻流体の熱物理、化学反応、分子構造、輸送現象、破壊現象間の関わりについて先端設備を用いた室内実験や数値シミュレーションにより明らかにするとともに、地上に露出した化石地震発生帯の野外観察との情報を融合させて、地震発生における地殻流体の役割と振る舞いについての検討を進める。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

地球物理学的に観測される地震波速度と電気伝導度から、岩石の粒間に存在する地殻流体の存在量・組成・存在形態を見積るには変数が過剰であり、岩石相など何らかの仮定を置く必要がある。もし流体の化学組成と間隙流体の存在形態・電気比抵抗との間の関係式を新たに与えることができれば、制約条件が増え、流体量などのより正確な推定が可能となる。地殻流体は、有馬型熱水に代表されるようにCO₂とNaClの濃度が高いと考えられているが、この両成分は、流体の二面角に対して相反する効果を与え、両者が共存した場合の二面角がどのような挙動を示すかについては殆ど知られていない。そこで、H₂O、CO₂、NaCl三成分系の流体と鉱物間の二面角を高温高压実験によって決定する。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

地震波トモグラフィや電磁気探査から断層深部延長の下部地殻に流体（水や部分溶融体）の存在が示唆され、流体の存在による歪局所化が断層深部への局所的ローディングを引き起こす可能性が指摘されている。つまり、流体の存在は、断層の強度を低下させるのみならず、断層のローディング機構にも深くかかわっている可能性がある。そこで、下部地殻条件における流体の効果を明らかにするために、実験室において下部地殻の温度圧力を発生することのできる試験機を用いて、下部地殻岩石のレオロジーに及ぼす流体の効果を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

● 1年目（令和元年度）

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

2011年東北地方太平洋沖地震後の応力場の時空間変化を追跡し、歪速度場の時空間変化と比較することにより、応力の時空間変化の原因を探る。中規模地震の破壊過程を詳細に調べることにより、強度の不均質性と破壊の不均質性の関係を検討する。ニュージーランド等、海外の応力場と日本の応力場の違いと共通性を検討する。応力場を推定する新たな手法の開発に着手する。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

試料室を外気と隔離できるようにしたロータリー式低速せん断試験機（最大すべり速度は約0.8 mm/s、法線応力は15MPaまで）で摩擦すべり実験を行い、水蒸気量が摩擦強度や摩擦のパラメータ、AE活動に及ぼす影響を調べる。現状では、試料室の雰囲気制御は乾燥状態（湿度がほぼ0%）、飽和状態（湿度がほぼ100%）、室内状態の3通りに限られている。初年度は実験を行いつつ、雰囲気制御範囲を広げるよう試験機の改良を行う。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

超臨界地殻流体の300-500℃、50-1000 MPaでの状態方程式と、その条件での岩石と流体の反応についての状態方程式や熱力学データが全く不足している。特に、地殻流体の平衡計算をする上で重要となる電荷のある溶存種について熱力学データについて、既存のデータには存在しない超臨界、気相領域まで経験的に外挿することを試み、実験によって検証する。

鉱物界面での純水の構造化を調べた実験装置と技術を用いて、H₂O-NaCl-CO₂の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を調べる。さらに、既に開発している超臨界条件における真三軸応力発生ならびに水圧破碎装置を用いて、300-500℃、50-150 MPa条件での岩石内の3次元き裂の優先流路の形成の時間発展ならびに地殻流体透水性に関する流体流動実験に着手する。また、三波川変成帯、東北地方の花崗岩類と接触変成岩における流体通路（鉱物充填脈）の分布、特性を評価し、沈み込み帯と地殻における流体の物理化学的特性とその動的挙動を調べる。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

鉱物の界面エネルギー異方性が比較的小さく、いわゆる組織平衡の状態を想定しやすい、最上部マントルを構成する主要鉱物である橄欖石の、 H_2O 、 CO_2 、 $NaCl$ 三成分系流体との二面角を、ピストンシリンダー装置を用いて1-4 GPa, 900-1200 °Cの条件で実験を行う（高圧側では $MgCO_3$ が共存する条件となる）。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

下部地殻を構成する鉱物粉末を焼結し人工多結晶体を焼結する。さらに細粒変成岩試料を出発試料として、下部地殻の温度・圧力を発生することのできる変形試験機を用いてこれらの多結晶体の変形実験を行い、下部地殻の変形における流体の効果調べる。

●2-4年目（令和2-4年度）

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

応力場の推定手法の開発を継続し、実施しやすい地域から随時応力場の推定を行っていく。合わせて誤差の評価も行うことにより、差応力の推定範囲を正しく見積もる。顕著な応力変化が見られた地域において地震波干渉法等により構造の時空間変化を推定し、地殻流体と地震発生の関係を明らかにする。また、海外も含めた様々な地域での応力推定結果を比較し、地殻流体の観点から、応力場や強度の地域性の解釈を行う。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

改良された試験機を用いて、より多様な雰囲気中で摩擦の振る舞いとAE活動の関係を調べることにより、脆性破壊の水蒸気量依存性が摩擦強度の環境依存性に及ぼす影響を明らかにする。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

H31年度に開発された計算コードを用いて、既存の H_2O - $NaCl$ - CO_2 系流体中の石英の溶解実験データから、同系流体の誘電率を見積もる。鉱物界面での流体の状態・挙動の実験を継続し、 H_2O - $NaCl$ - CO_2 の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を明らかにする。流体流動実験を継続し、岩石内の3次元き裂の優先流路の形成の時間発展と地殻流体透水性を明らかにする。さらに、領家変成帯や三波川変成帯における流体通路の調査を継続し、母岩の温度構造と流体の物理化学的特性との関係を明らかにする。

4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

2年目は橄欖石の実験を継続する。二面角は、鉱物表面の分極度と、流体の分子スケール構造によって決定され、後者の方が前者に比べて、温度圧力条件によって大きく変化すると考えられるため、橄欖石の実験結果を解析することで、他の鉱物と三成分系流体との間の二面角についても、流体組成による変化傾向が推定できる。そこで3年目は石英・輝石など地殻を構成する主要構成鉱物と三成分系地殻流体との二面角についての見積りを行う。地殻流体の電気比抵抗と化学組成の関係については、近年、市来らによるモデル化が進んでいるので、以上によって求めた地殻流体組成と流体形状の関係式と併せることで、宮城県北部地域など地震波トモグラフィやMT法の同時観測が行われている地域について、地殻流体量の再見積りを4年目に行う。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

人工および天然の変成岩類多結晶体の変形実験を継続し、下部地殻の変形における流体の効果明らかにする。特に岩石の組成や流体量、実験の温度・圧力・ひずみ速度を制御することで、岩石の強度に対する反応（含水反応）などの効果を定量的に評価し、下部地殻レオロジーに及ぼす流体（水・メルト）の効果定量的に評価する。

●5年目（令和5年度）

各サブテーマにおいて最終的な解析を行い、それらを取りまとめて、流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態を明らかにすることにより、流体の寄与を考慮した新たな地震断層すべり物理モデルを提案する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

(a) 地球内部の地震波速度と電気伝導度を統合解析することにより、岩石と液体の種類、量比、分布形状を推定する手法を開発した。

(b) 東北沖地震後に深部から浅部への流体移動で発生したと推定される群発地震の発生シミュレーションを行い、観測された震源移動や破壊伝播方向の特徴を説明することができた（図1）。2017年に鹿

児島湾で発生した M5地震の前震活動・余震活動を詳細に調べることにより、それらの活動が複数の面構造の中をmigrationしていたことが明らかとなった。

(c) 箱根火山内において2019年5月に発生した群発地震活動期間中に観測された傾斜変動記録は、観測された傾斜変動に対して、東西走向での断層面上で開口成分とせん断成分の両方を考えたshear tensile modelで最もよく説明できることが分かった(図2)。このうち、せん断変形は3mmと推定され、これは相似地震から求めた非地震性すべり量と一致した。これらのことから一連の地震活動は非地震性すべりを伴い、その拡大が群発地震震源の移動様式に影響を与えた可能性が示唆された。

(d) 地震波干渉法による常時微動表面波トモグラフィーの高度化のため、多成分常時微動クロススペクトルの非線形フィッティングによりマルチモード分散曲線をロバストに推定する手法を開発した。また、水平方向に不均質な背景位相速度に対する有限周波数効果を取り入れた表面波トモグラフィー手法の開発を行った。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

ロータリー試験機を用いて、

(1) 準乾燥状態(湿度約5%)の大島花崗岩(すべり面を#60のカーボランダムで研磨)

(2) 金属製載荷ブロックで挟んだ準乾燥状態の石英ガウジ(粒径108 μ m以下、質量1g、ガウジ層厚~1.7mm)

(3) 湿潤状態の石英ガウジ((2)のガウジに精製水0.5mlを滴下)

の3種類の試料の速度ステップ摩擦実験を行った(図3)。いずれも、法線応力は5MPa、すべり速度は1-100 μ m/s、最大累積すべり量は120-150mmである。同時に、上下の花崗岩試料あるいは金属製載荷ブロックに取り付けたAEセンサーで微小破壊(AE)活動の計測も行った。

いずれの実験でも、実験開始直後は、摩擦係数のすべり速度依存性を表すパラメタである(a-b)値は正であった。(1)と(2)では、累積すべり量(D)の増加と共に(a-b)値は漸減し、Dが数mmで負に転じる。その後も(a-b)値の減少は続き、Dが数十mmで一定値(-0.005~-0.01)に落ち着く。一方、(3)では、(a-b)値は急減し、D~10mm以降はほぼ一定の負の値(-0.005~-0.01)をとる。

単位すべり量当たりのAEの発生数(N)のすべり速度(V)に対する依存性($\alpha=(dN/N)/d\ln V$)は、(1)と(2)では、Dが数mm以下では負であるが、それ以降は正($\alpha\sim 0.1-0.2$)となる。(3)でも、Dが大きくなるほど $\alpha\sim 0.1$ であった。ただし、実験開始直後はばらつきが大きかったため、Dに対する依存性は不明である。さらに、(2)では、 α 自体がすべり速度に対して正の依存性を示す傾向が見られた。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

マントル起源の蛇紋岩体に炭酸塩脈が発達していることを発見し、反応と破壊、せん断変形を繰り返しながら複数の炭酸塩鉱物が析出していることを見出した。さらに、この蛇紋岩の炭酸塩化は、固体体積が収縮しながら脱水する反応で、間隙水圧の上昇が起こるために、き裂形成・物質移動・反応が自己促進的に進行することをつきとめた(図4)。

また、MgOを模擬物質とした高温高压下での反応透水実験により、体積膨張を伴う岩石-流体反応によって岩石に破壊が生じ、それによって流体の流れを加速させることを世界で初めて実験的に示した。さらに、破壊や流体流れの加速が生じるためには、反応の速度が流体流れの速度に比べて十分に大きい必要があることを突きとめた。

花崗岩および周囲の接触変成岩の解析から、マグマ溜まりから放出された流体と長石の反応により、地殻中に大量のマイクロ空隙が生成されていることを発見した。空隙の量は~1%にも達し、反応により形成される空隙が、深部地熱地帯での主要な流体存在形態となりうるということが分かった。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

(a) MT法による電気伝導度観測から地下深部に存在する水の量を推定するためには、流量と電気伝導度の関係を定量的に理解する必要がある。今回、前弧マントルに相当する高温高压条件下で、水を粒間を含むカンラン・石多結晶体の電気伝導度測定に初めて測定に成功した。その結果、Modified Archie's law ($m=1.9$)でフィッティングできることを実証した。前弧マントルの高い(0.01 S/m)電気伝導度には、塩濃度を5wt%と仮定した場合 >1.0 vol.%の塩水の存在が必要である。

(b) 沈み込み境界におけるアスペリティの形成やスロー地震には流体からのシリカ鉱物の析出が重要な役割を果たしていると考えられている。流体へのシリカの溶解度は、シリカのフラックスを決定する

最も基本的なパラメタである。近年、玄武岩質の地殻や泥質堆積物に伴う流体はアルカリ性であるという報告が出されており、シリカ溶解度のpH依存性が注目されている。本研究では、750°Cおよび1.5GPaまでの0.5および1.5m [mol / kg H₂O] Na₂CO₃およびNaOH溶液への石英の溶解度を水熱DAC実験により決定し、純水の場合に比べ同じ温度圧力条件で溶解度は2~10倍増加することがわかった(図5)。なおラマン分光法による化学種の測定により、アルカリ性流体に溶解したシリカの大幅な増加は、中性および脱プロトン化されたモノマーの形成とそれに続くオリゴマー化によって説明できる。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

本研究では下部地殻のレオロジーに対する水や粒径の効果を明らかにするために、粒径や含水量等を制御した長石多結晶体の作成を行った。出発試料として、マダガスカル産のラブラドライト(曹灰長石)単結晶を粉砕し、平均径0.29 μ mの細粒粉末を作成し、固体圧変形試験機で焼結することで多結晶体の合成を行った。斜長石と水が安定な1GPa, 900-1000°Cにおいて、最長240時間焼結することで、粒成長を調べた。回収組織の電子顕微鏡観察から、240時間後の試料は、平均粒径が2.8 \pm 1.2 μ mで格子定向配列をもたず空隙率が5%以下の緻密な多結晶体を合成することができた(図6)。一方、粒成長は遅く、約5時間の焼結では粒径の変化は小さいことが明らかになり、約173.5時間の焼結試料では、試料上部は粒成長と緻密化が進んだ。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

(a) 岩石と液体の種類、量比、分布形状を推定する手法を開発したことにより、地殻とマントル最上部の構造イメージングによる流体分布の理解が大きく進み、地震・火山活動の理解に資すると期待される。

(b) 観測とシミュレーションから得られた破壊伝播の特徴により、特に流体による有効法線応力に時空間変化がある場合についての情報が得られた。これは、建議項目「地震断層滑りのモデル化」と直接的に関係する内容である。鹿児島湾の地震の前震の本震断層面上での migration, 余震活動にみられる深部から浅部への migration から、深部起源の流体が浅部へ移動していく過程で、一連の前震-本震-余震系列が発生していたことが示唆された。

(c) 群発地震の発生において間隙流体圧の増加に加えて、それに伴い非地震性のすべりが励起され地震発生に重要な役割を果たしている可能性が示唆され、群発地震の発生モデル化のための重要な知見が得られた。

(d) マルチモードかつ有限周波数効果を取り入れたトモグラフィーによって、深さ方向・水平方向ともに高分解能なS波構造推定が可能になると考えられ、東北沖における構造不均質や流体分布と地震・スロー地震の理解に貢献できると期待される。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

実験では、AEの活動度の指標として単位すべり量当たりの発生数(N)を用いたが、一般に地震活動度として評価できるのは単位時間当たりの発生数(Nt)であり、 $Nt=N \cdot V$ と表すことができる。実験結果が単純に適用できるとすると、プレート境界のように十分に成熟した断層では、 $\alpha \sim 0.1-0.2$ と予想されるので、Ntは断層のすべり速度の1.1-1.2乗に比例することになる。つまり、地震活動の増減は、断層すべりの加速・減速を敏感に反映すると予想される。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

H₂O-CO₂流体と岩石の反応が破壊を伴いながら自己加速的に進むことを野外調査および室内実験から明らかにしており、地球内部の水・二酸化炭素循環とプレート境界の流体化学、地震活動を結びつける新しい研究を開拓しつつある。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

(a) 地震発生場における岩石粒間水の存在量やその供給経路の理解は、地震発生過程の解明とモデル化にとって本質的に重要と考えられる。本研究は、前弧下部地殻に連続する高電気伝導度領域での水の存在量や楔形マントルでの水の循環の解明に貢献する。

(b) 地震発生過程に重要な役割を果たしていると考えられるシリカの溶解析出のフラックスは、流体へ

のシリカの溶解度に左右される。本実験により、この溶解度が流体のアルカリ度が高いと2~10倍増加することがわかった。これは岩石の化学的性質がシリカの溶解析出にも関係することを示す。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

「地震断層滑りのモデル化」において、下部地殻のレオロジーは上部地殻への応力・歪集中に密接にかかわるため、その解明は必要不可欠である。そのレオロジーにおける流体の効果を明らかにするためには粒径の時間変化や粒径とレオロジーの関係を明らかにする必要がある、そのための基礎研究を本年度は進めた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

- Dandar, O., A. Okamoto, M. Uno, and N. Tsuchiya, 2021, Redistribution of magnetite during multi-stage serpentinization: Evidence from the Taishir Massif, Khantaishir ophiolite, western Mongolia, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 116, 176-181, doi:10.2465/jmps.201130a
- Hirauchi, K., Y. Nagata, K. Kataoka, R. Oyanagi, A. Okamoto, and K. Michibayashi, 2021, Cataclastic and crystal-plastic deformation in shallow mantle-wedge serpentinite controlled by cyclic changes in pore fluid pressures, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 576, 117232, doi:10.1016/j.epsl.2021.117232
- Huang, Y., H. Guo, T. Nakatani, K. Uesugi, M. Nakamura, and H. Keppler, 2021, Electrical conductivity in texturally equilibrated fluid-bearing forsterite aggregates at 800°C and 1 GPa: Implications for the high electrical conductivity anomalies in mantle wedges, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2020JB021343, doi:10.1029/2020JB021343
- Iwamori, H., K. Ueki, T. Hoshida, H. Sakuma, M. Ichiki, T. Watanabe, M. Nakamura, H. Nakamura, T. Nishizawa, A. Nakao, Y. Ogawa, T. Kuwatani, K. Nagata, T. Okada, and E. Takahashi, 2021, Simultaneous analysis of seismic velocity and electrical conductivity in the crust and the uppermost mantle: A forward model and inversion test based on grid search, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2021JB022307, doi:10.1029/2021JB022307
- Kameda, J., and A. Okamoto, 2021, Generation of oxidising fluids by comminution of fault rocks, *Geochem. Perspect. Lett.*, 19, 32-35, doi:10.7185/geochemlet.2131
- Kundu, S., A. Opris, Y. Yukutake, and T. Hatano, 2021, Extracting correlations in earthquake time series using visibility graph analysis, *Front. Phys.*, 9, 656310, doi:10.3389/fphy.2021.656310
- Mannen, K., Y. Abe, Y. Daita, R. Doke, M. Harada, G. Kikugawa, N. Honma, Y. Miyashita, and Y. Yukutake, 2021, Volcanic unrest at Hakone Volcano after the 2015 phreatic eruption — Reactivation of a ruptured hydrothermal system?, *Earth Planets Space*, 73, 80, doi:10.1186/s40623-021-01387-3
- Matsumoto, Y., K. Yoshida, T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, 2021, Fault-valve behavior estimated from intensive foreshocks and aftershocks of the 2017 M 5.3 Kagoshima Bay earthquake sequence, Kyushu, southern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2020JB020278, doi:10.1029/2020jb020278
- Matsuno, S., M. Uno, A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2022, Machine-learning techniques for quantifying the protolith composition and mass transfer history of metabasalt, *Sci. Rep.*, 12, 1385, doi:10.1038/s41598-022-05109-x
- Nomuulin, A., N. Tsuchiya, O. Dandar, A. Okamoto, M. Uno, U. Batsaikhan, and J. Wang, 2021, Multi-stage serpentinization of ultramafic rocks in the Manlay Ophiolite, southern Mongolia, *Mong. Geosci.*, 26, 1-17, doi:10.5564/mgs.v26i53.1787
- Nurdiana, A., A. Okamoto, K. Yoshida, M. Uno, T. Nagaya, N. Tsuchiya, 2021, Multi-stage infiltration of Na- and K-rich fluids from pegmatites at mid-crustal depths as revealed by feldspar replacement textures, *Lithos*, 388-389, 106096, doi:10.1016/j.lithos.2021.106096
- Okamoto, A., H. Ishii, R. Oyanagi, and N. Tsuchiya, 2021a, Albite-K-feldspar-quartz equilibria in hydrothermal fluids at 400, 420°C and 20–35 MPa: Experimental measurements and thermodynamic calculations, *Geothermics*, 94, 102109, doi:10.1016/j.geothermics.2021.102109
- Okamoto, A., R. Oyanagi, K. Yoshida, M. Uno, H. Shimizu, and M. Satish-Kumar, 2021b, Rupture of

wet mantle wedge by self-promoting carbonation, *Commun. Earth Environ.*, 2, 151, doi:10.1038/s43247-021-00224-5

Oyanagi, R., A. Okamoto, M. Satish-Kumar, M. Minami, Y. Harigane, and K. Michibayashi, 2021, Hadal aragonite records venting of stagnant paleoseawater in the hydrated forearc mantle, *Commun. Earth Environ.*, 2, 243, doi:10.1038/s43247-021-00317-1

Sugiyama, D., S. Tsuboi, and Y. Yukutake, 2021, Application of deep learning-based neural networks using theoretical seismograms as training data for locating earthquakes in the Hakone volcanic region, Japan, *Earth Planets Space*, 73, 135, doi:10.1186/s40623-021-01461-w

Takahashi, N., T. Tsujimori, S. Kamada, and M. Nakamura, 2022, In-situ Raman spectroscopic analysis of dissolved silica structures in Na_2CO_3 and NaOH solutions at high pressure and temperature, *Contrib. Mineral. Petrol.*, accepted

Uno, M., K. Koyanagawa, H. Kasahara, A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2022, Volatile-consuming reactions fracture rocks and self-accelerate fluid flow in the lithosphere, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 119, e2110776118, doi:10.1073/pnas.2110776118

Wang, Q.-Y., M. Campillo, F. Brenguier, A. Lecointre, T. Takeda, and K. Yoshida, 2021, Seismic evidence of fluid migration in northeastern Japan after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 563, 116894, doi:10.1016/j.epsl.2021.116894

吉田圭佑, 2021, 地殻深部から上昇する流体が地震の発生に及ぼす影響の研究 —2011年東北地方太平洋沖地震に誘発された地震活動による拘束—, *地震*, 74, 95-116, doi:10.4294/zisin.2020-20

Yoshida, K., H. Noda, M. Nakatani, and B. Shibazaki, 2021, Backward earthquake ruptures far ahead of fluid invasion: Insights from dynamic earthquake-sequence simulations, *Tectonophys.*, 816, 229038, doi:10.1016/j.tecto.2021.229038

行竹洋平・萬年一剛, 2021, 水蒸気噴火の発生場と噴火過程の観測—最近の進展と今後の展望—, *地学雑誌*, 130, 731-753, doi:10.5026/jgeography.130.731

Yukutake, Y., Y. Abe, R. Honda, and S. Sakai, 2021, Magma reservoir and magmatic feeding system beneath Hakone volcano, central Japan, revealed by highly resolved velocity structure, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2020JB021236, doi:10.1029/2020JB021236

・学会・シンポジウム等での発表

Eberhard, L., P. Eichheimer, M. Thielmann, M. Nakamura, G. Golabek, and D. Frost, 2021, Permeability determination from multi-anvil experiments: Implications for the fluid flux in subduction zones, *JpGU Meeting 2021*

藤田和果奈・中村美千彦・上杉健太郎, 2021, Fluid segregation and chemical compaction through efficient solute transport along wet grain boundaries, *JpGU Meeting 2021*

本多亮・安部祐希・石瀬素子・酒井慎一・行竹洋平・道家涼介, 2021, 伊豆衝突帯とその周辺におけるフィリピン海プレートおよびスラブの地殻の厚さ, *日本地震学会2021年秋季大会*, S06-07

Huang, Y., H. Guo, T. Nakatani, K. Uesugi, M. Nakamura, and H. Keppler, 2021, Electrical conductivity in texturally equilibrated fluid-bearing forsterite aggregates at 800°C and 1 GPa: implications for the high electrical conductivity anomalies in mantle wedges, *JpGU Meeting 2021*

池田里奈・吉田圭佑・高橋諒・松澤暢・長谷川昭, 2021, 2011年東北沖地震後から福島-茨城県境周辺で活発化した地震活動に見られる内陸の繰り返し地震, *日本地球惑星科学連合2021年大会*

金亜伊・中村勇士・畠山海・上松大輝・行竹洋平・安倍祐希, 2021, 箱根火山における機械学習を用いた地震波検測の性能評価, *日本地震学会2021年秋季大会*, S22P-01

萬年一剛・安部祐希・道家涼介・行竹洋平, 2021, 箱根火山における2015年噴火後に発生した異常の特徴と熱水系, *地球惑星科学連合2021年大会*, SVC29-04

棕平祐輔・宇野正起・吉田圭佑, 2021, Inverse analysis of seismic swarm induced by slab-derived fluids, *日本地球惑星科学連合2021年大会*

Nanjo, K., and Y. Yukutake, 2021, A preliminary study on low-frequency earthquakes at Mt. Fuji, Japan, using the matched filter method, *AGU Fall meeting 2021*, V25D-0142

楠城一嘉・行竹洋平, 2021, 富士山直下で起きる低周波地震の研究の序報: Matched Filter法を用いた地震カタログの作成とカタログの性能評価, *日本地震学会2021年秋季大会*, S09P-09

楠城一嘉・行竹洋平・野田洋一, 2021, Matched Filter法を用いて富士山の低周波地震を検知する研究:

序報,地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-P02

織茂雅希・吉田圭佑・平貴昭・松澤暢・長谷川昭・江本賢太郎,2021,日本列島内陸域の通常地震と低周波地震の震源スペクトルの形状の推定,日本地震学会2021年度秋季大会

Takagi, R., and K. Nishida,2021,Ambient noise tomography in the offshore forearc region along the Japan trench using S-net data,JpGU Meeting 2021,invited

高橋菜緒子・辻森樹・鎌田誠司・中村美千彦,2021,HDAC experiments on silica solubility and speciation in Na₂CO₃-H₂O fluids at high pressure and temperature,JpGU Meeting 2021

Tsuboi, S. D. Sugiyama, and Y. Yukutake,2021,Application of deep learning-based neural networks using theoretical seismograms as training data for locating earthquakes in the Hakone volcanic region, Japan,AGU Fall meeting 2021,S35C-0226

Yoshida, K., A. Hasegawa, S. Noguchi, and K. Kasahara,2021,Low-frequency earthquakes in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan,JpGU Meeting 2021,invited

行竹洋平・安部祐希・本多亮・酒井慎一,2021,地震波速度構造から明らかになった箱根火山のマグマ溜まりとマグマ供給系,地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-P03

行竹洋平・吉田圭佑・本多亮,2021,Aseismic process driving the earthquake swarm, revealed by the dense seismic observation,地球惑星科学連合2021年大会,SSS06-01

行竹洋平・鶴川元雄・栗田敬・小菅正裕・前田拓人,2021,箱根火山深部ハーモニック微動に対する数値モデリング,日本火山学会2021年秋季大会,P1-21

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：その他：地質：野外地質調査

概要：市野川鉱山において断層運動と熱水活動に関する野外調査を行った。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県西条市市ノ川 33.8890 133.2143

調査・観測期間：2021/6/1-2021/6/4

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

・定常・臨時地震観測網のデータを用いて、地震波速度構造・メカニズム解/応力場などから、流体に関する情報を抽出し、地殻流体と地震との関わりについて検討を進める。

・地震の放射エネルギー、破壊の複雑性と流体との関係を調べる。特に前震や群発地震系列について、震源移動や流体起因の震源近傍の Vp/Vs・Q構造異常を系統的に調べる。

・群発地震の震源移動現象について、観測された地殻変動及び地震活動をもとに、その要因や高圧流体との関係について検証をさらに進める。

・S-netや海陸の稠密観測網のデータへの適用し、高分解能な構造推定をもとに、地震・スロー地震活動等との比較を行う。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

・実験の事例数を増やして結果の再現性を検証するとともに、異なる法線応力下でも実験を行い、AE活動の法線応力依存性についても検討する。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

・近年開発してきたき裂-反応帯系における微量元素反応輸送モデルにより、天然変成岩の反応帯から数時間～年程度の地質学的超短時間の流体活動を制約するとともに、き裂の走向傾斜を大規模に取得することで応力インバージョンをおこない、短時間流体活動と地殻破壊に伴う応力状態の変遷を物質科学的に捉える。

・機械学習をもちいた地化学解析により、変質した変成岩から元のシリカ濃度を推定する原岩組成推定モデルを開発する。これにより、島弧地殻におけるシリカ輸送量を天然岩石から解析する。

・流通式水熱反応実験をおこない、シリカ等によるき裂の反応・閉塞過程を明らかにする。・三波川

変成帯，東北地方の花崗岩類と接触変成岩におけるき裂の組織と化学組成を調査し，島弧地殻におけるき裂の特性と分布を調べる。

4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

- ・地震発生メカニズムに重要な役割を果たす粒間流体の存在量や存在形態を地震波速度や電気伝導度の観測データから見積もるため，これまで，カンラン石と多成分系流体との二面角を系統的に測定してきた。カンラン石をはじめとするケイ酸塩鉱物は界面エネルギーの異方性を持つため，その流体連結度に対する効果が以前から注目されてきた。R4年度は，これまでの豊富な実験産物の結晶方位解析により，二面角や流体の連結性に対する異方性の効果を詳しく調べ，結晶方位の定向配列が予測されるマントル対流場での流体連結度に制約を与える。
- ・地震発生場でのシリカの溶解析出は，高溶解度場から低溶解度場へのシリカの運搬が必要となる。この溶解度の変化をもたらす要因の一つとして，岩石のporoelasticityに起因する間隙水圧勾配に着目し，その効果を考察する。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

- ・今年度の試料で見られた試料中の黒鉛の存在に起因する粒成長阻害の影響を改良することで，均質な多結晶体を合成する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中村美千彦（東北大学大学院理学研究科），武藤潤（東北大学大学院理学研究科），矢部康男（東北大学大学院理学研究科），岡田知己（東北大学大学院理学研究科），吉田圭佑（東北大学大学院理学研究科），高木涼太（東北大学大学院理学研究科），松澤 暢（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

土屋範芳（東北大学環境科学研究科先進社会環境学専攻），岡本敦（東北大学環境科学研究科），行竹洋平（神奈川県温泉地学研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松澤 暢
所属：東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

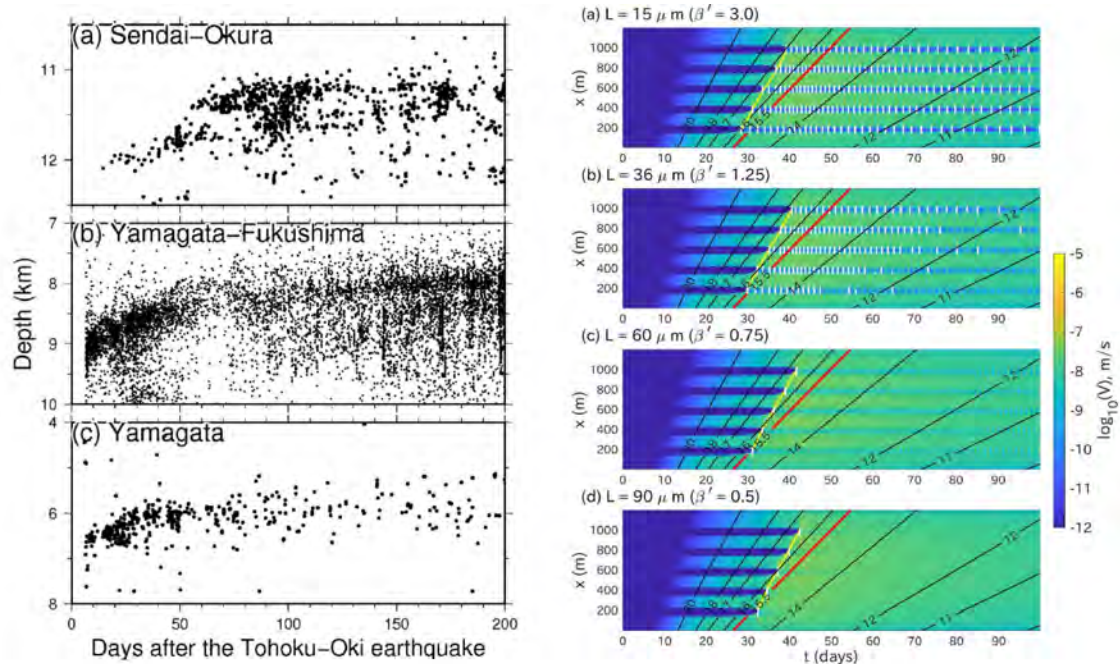


図1 2011年東北地方太平洋沖地震後に東北日本内陸域で発生した群発地震活動の発生シミュレーション (Yoshida et al., 2021)。

左図：(a) 仙台市大倉，(b) 山形-福島県境，(c) 山形県で生じた群発地震活動の深さの時間変化。右図：速度強化域の中に複数の速度弱化域があった場合に深部から高間隙圧水が上昇してきたときの地震活動のシミュレーション。滑り速度を色で示す。Lと β' はそれぞれ特徴的滑り量Lと最初に地震が生じた時のbrittleness（速度弱化域サイズと臨界断層長の比）。黒線は有効法線応力（MPa）のコンター，黄色線は地震活動の始まりを表す。間隙圧の上昇とともにクリープが次第に深部から浅部に上昇するとき，地震活動の始まり（黄色線）は，15.5MPaの有効法線応力のコンター（赤線）の傾きよりも早く上昇していることがわかる。

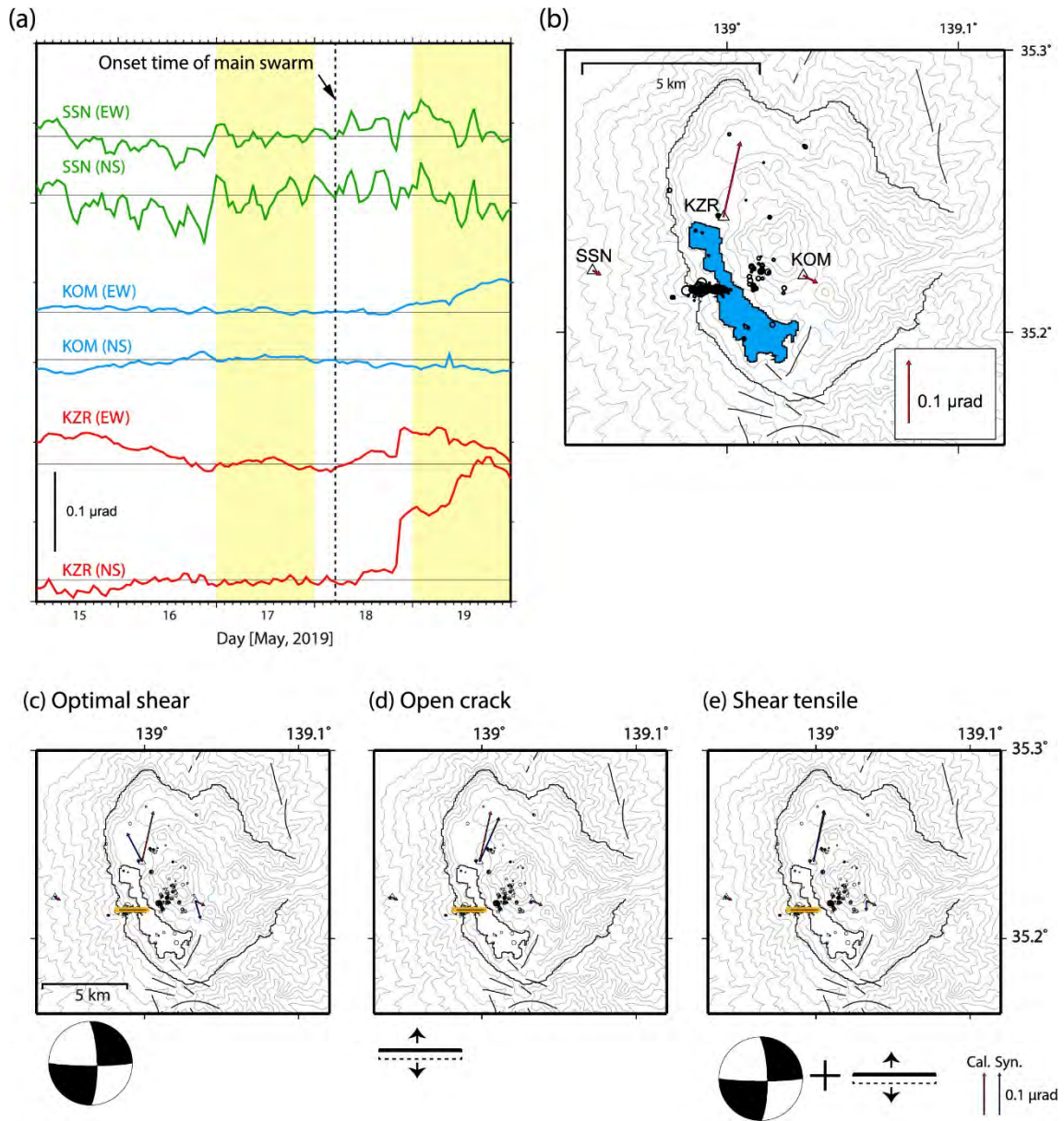


図2 2019年5月箱根カルデラ内での群発地震期間中に観測された傾斜変動と断層モデル。
 (a)傾斜計時系列, (b)観測された傾斜変動ベクトル, (c)せん断成分, (d)開口成分, (e)開口+せん断成分を仮定したときの理論傾斜ベクトルと観測ベクトルとの比較。(e)のモデルがAIC最小となる。

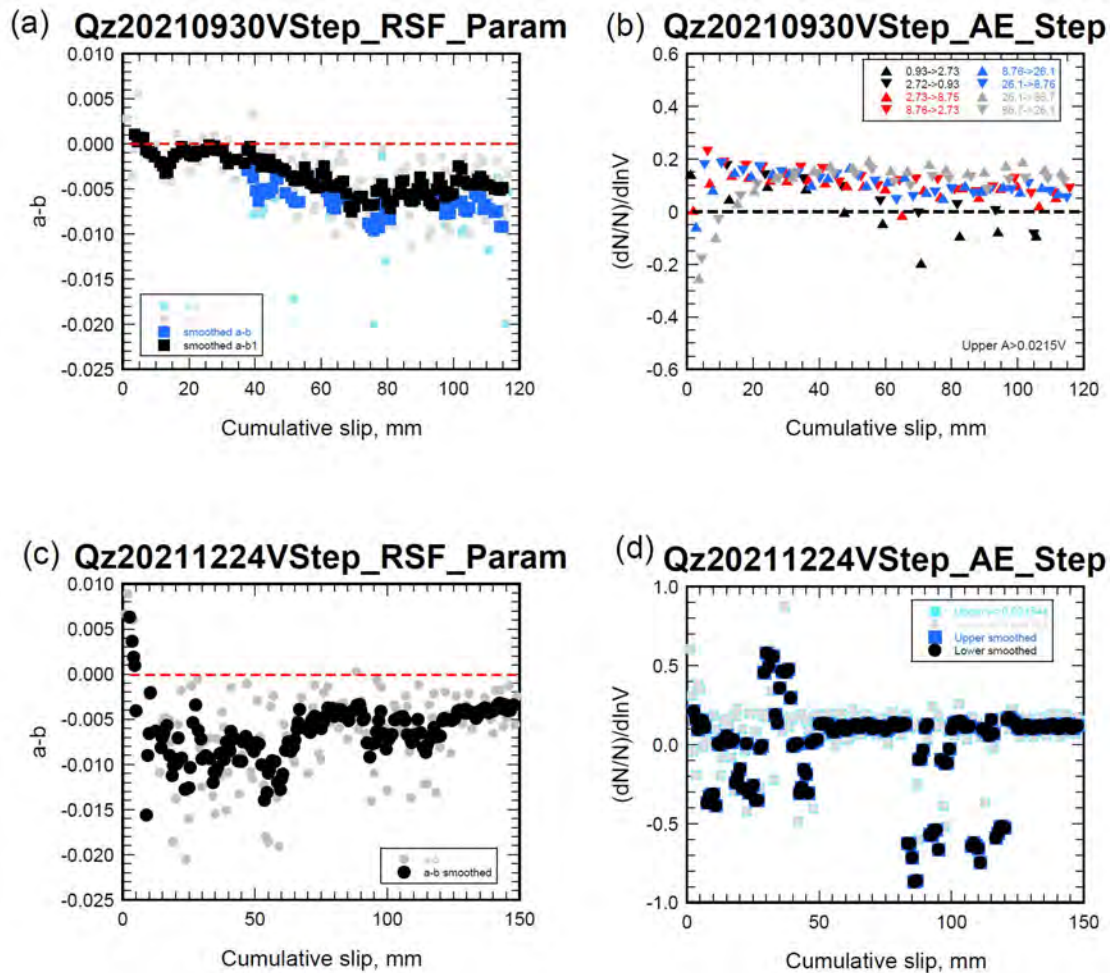


図3 準乾燥状態 (a, b) および湿潤状態 (c, d) で行った石英ガウジの速度ステップ摩擦実験結果。横軸は累積すべり量を示す。(a, c) : 速度ステップに対する応答にslip-lawを適用して求めた(a-b) 値。(a) では、必要に応じて2つの状態変数を用いている。2つの状態変数のうち、dcの小さなものをb1, 大きなものをb2とし、黒四角は(a-b1)を、青四角は(a-b1-b2)を示している。(c)では、状態変数は1つしか用いていない。いずれの図においても、薄い色のシンボルは生の値、濃い色のシンボルは5点の移動平均である。(b, d) : 単位すべり量当たりのAE発生数(N)のすべり速度(V)に対する依存性。(b)では、上側の载荷ブロックに取り付けたAEセンサーで計測したAE活動から求めた α をすべり速度のレンジごとに異なる色で示している。上向きの三角は速度増加のステップ、下向きの三角は速度減少のステップで求めた値である。移動平均はとっていない。(d)の青四角は上側の载荷ブロックに、黒丸は下側の载荷ブロックに取り付けたAEセンサーで計測したAE活動から求めた値。薄い色のシンボルは生の値を、濃い色のシンボルは5点の移動平均を示す。

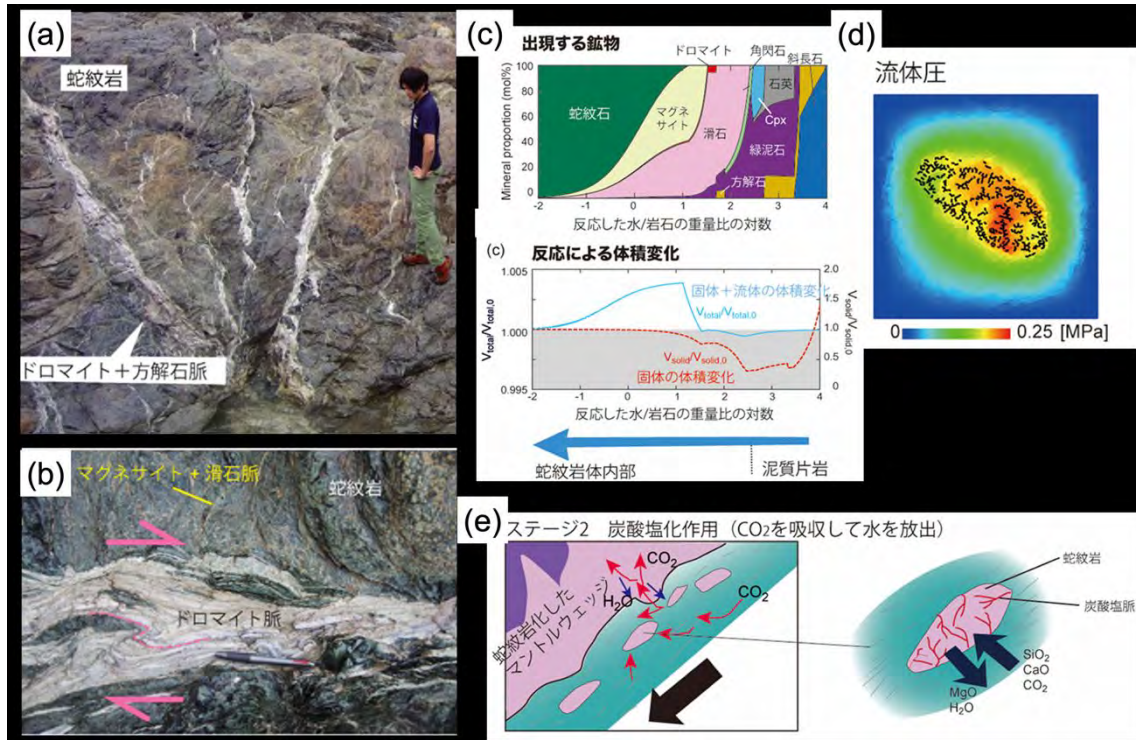


図4 マントルウェッジ蛇紋岩の炭酸塩化（三波川変成帯; Okamoto et al., 2021b）。

(a, b) 蛇紋岩体中の炭酸塩脈の産状。(a) 蛇紋岩を切って発達する炭酸塩脈のネットワーク（ドロマイト： $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ，方解石： CaCO_3 ）。(b) 炭酸塩脈の構造は脈形成後にせん断変形を受けている。(c) 岩石-流体平衡計算の結果。炭酸塩（マグネサイト MgCO_3 ）の生成に伴い、流体が発生し、固体+流体の体積が増加していることがわかる。(d) 離散要素法を用いた模式的な炭酸塩化反応によるき裂形成と流体圧の変化。(e) マントルウェッジでの炭酸塩化作用の模式図。蛇紋岩化したマントルウェッジは CO_2 流体が流入すると脱水しながら、局所的に炭酸塩化反応が進行する。この反応はき裂を作りながら自己促進的に進行する。マントルウェッジの一部は変成岩の中に取り込まれ、本岩体のように変成帯の一部として上昇する。

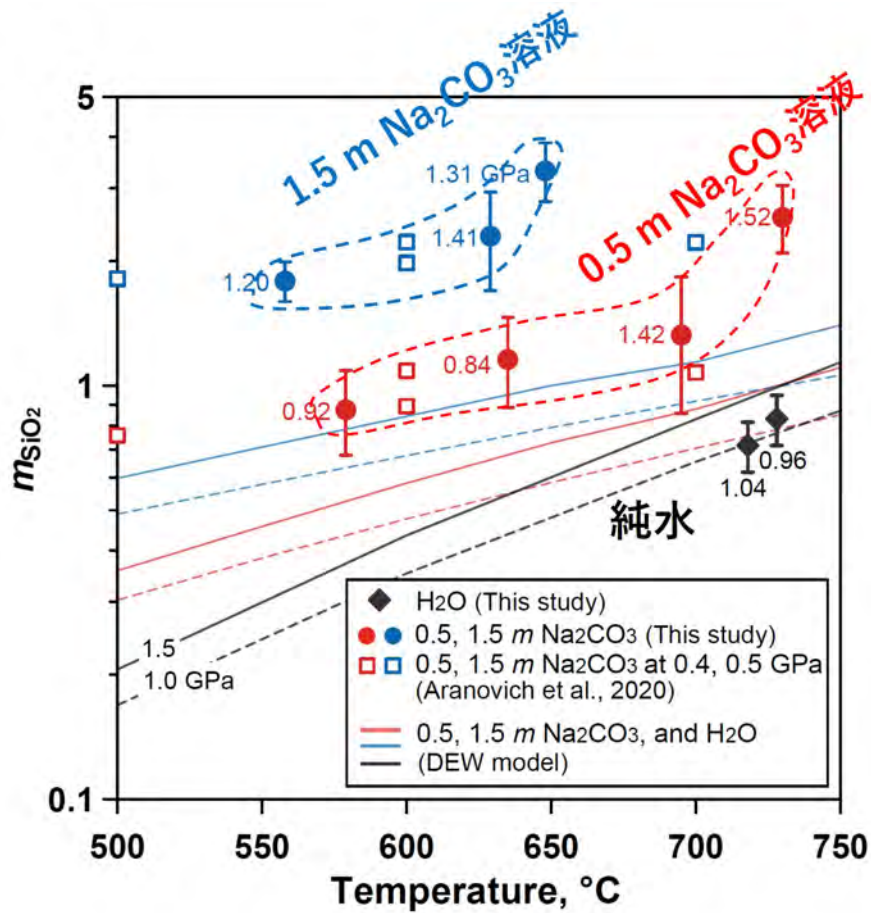


図5 高温高压下におけるアルカリ性流体 (Na_2CO_3 溶液) への石英の溶解度測定結果。純水の場合に比べ同じ温度圧力条件で溶解度は2~10倍増加している。

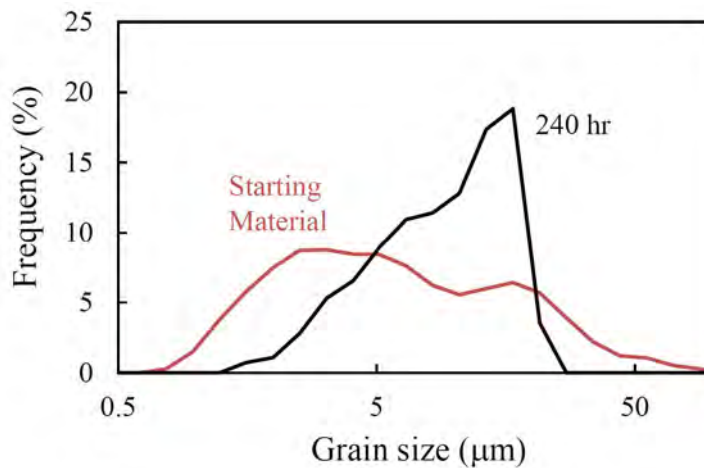


図6 多結晶体の合成における粒径分布の変化。

マダガスカル産のラブラドライト（曹灰長石）単結晶を粉碎してできた細粒粉末を，斜長石と水が安定な1GPa，900-1000°Cにおいて固体圧変形試験機で焼結することで多結晶体の合成を行った。赤線が出発試料，黒線が240時間後の粒径分布。粒径が大きい方へシフトし，揃ってきていることがわかる。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

噴火発生時刻の即時把握と噴火ダイナミクスの研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (4) 火山現象の解明とモデル化
- ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (4) 火山現象の解明とモデル化
- イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (2) 総合的研究
- オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火の発生時刻は、山体変形現象や火道内マグマ上昇、爆発過程の理解をする上で最も基本的な情報である。従来、空振観測や映像観測等を用いて発生時刻が測定されていたが、風や雲の影響を受け、必ずしも安定した観測ができていたわけではない。本研究は、電荷した噴出物が大気中に放出されたことにより擾乱を受ける空中電位を測定することにより、噴火の発生時刻の測定を行う。また、空振計小アレー観測も行い、到来方向等の情報を抽出することにより、噴火発生を検知率をあげる。噴火に伴う山体変形や地震波形の解析も合わせて行い、噴火のダイナミクスの解明が進める。また、噴火発生時の即時把握法の開発も試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1980年代に空中電位の観測例がある桜島や諏訪之瀬島など噴火が繰り返し発生している火山を第一のターゲットとする(1-2年目)。また、近い内に噴火発生が予想される浅間山、草津白根山、十勝岳などにも計測器を展開する(3-5年目)。噴火起源の擾乱であるか判断できるよう、火口近傍、山麓、やや離れた遠方に、空中電位計を設置し、常時観測を行う。また、火道内現象との因果関係を知るため、内1点には地震計や空振計も合わせて設置する。噴火に伴い現れる空中電位波形の把握やノイズの特性把握を進める。また、定常観測網のデータも利用しながら、噴火直前の地震発生源や空振発生源の位置や発生時間と噴出物が火口から放出される時間を比較することにより、火道内のダイナミクスの理解を進める。

令和1年度(平成31年度)は爆発的噴火が発生する桜島において、空中電位信号を効果的に記録できるよう、火口からの距離をいくつか変えて観測を行い、観測点場所を選択する。また、空振計アレー

を設置し、到来方向や微弱な噴火信号の検知アルゴリズムを構築する。その知見をもとに、令和2年度は諏訪之瀬島、令和3年度は浅間山、令和4年度は草津白根山、令和5年度は十勝岳に設置する。

観測を開始した火山においては、空中電位信号や空振波の発現時刻と火口映像記録を比較するとともに、噴火発生検知のアルゴリズムを開発し、噴火発生の自動検知システムの構築を進める。また、噴火規模や様式と空中電位の発現や波形の特徴を調べる。また、空中電位の発現時刻を火口底からの噴出開始時刻とし、爆発地震の発震時や震源深度、発生メカニズム、山体変形を及ぼす圧力源の時空間分布との関係性を調べる。これらの観測量と火道およびマグマ溜まり内の火山性流体モデルの比較を行い、噴火発生機構を明らかにする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2020年11月に阿蘇山の本堂観測点（京大）に設置し、空中電界変動の観測を開始していたが、2021年10月14日および20日に、水蒸気噴火に伴うと考えられる空中電界変動を記録することに成功した。桜島や諏訪之瀬島のブルカノ式噴火に限らず、水蒸気噴火といった異なるタイプの噴火様式においても、空中電界変動が引き起こされることが明らかとなった。

2021年11月初旬に、浅間山火山観測点（東大）において空中電界変動観測を開始した。ポールアンテナによる観測の安定性を検証するため、また、ノイズ低減に生かすため、2つのポールアンテナを約40m離して設置して観測を開始した。また、短周期地震計と空振計も併設した。設置時には、ミル式アンテナを臨時に設置し、機器による違いの確認も行った。

2019年11月から2020年6月まで観測を行った桜島の空中電界変動データを引き続き解析した。気象庁では地震波や空振波、目視から爆発・噴火事象を識別しているが、桜島では地盤変動記録をもとにした検知法も提案されている（井口、2021）。地震波や空振波には顕著な記録がないものの、地盤変動や空中電界変動のデータには噴火発生と識別される記録が取られる事象があることを確認した。このことは、簡便に設置できる空中電界変動の定常観測を行うことにより、多様な噴火現象をできるだけ漏らさず、より正確に噴火を検知・記録することができることを示す。

桜島で発生する爆発的噴火に伴う地震（爆発地震）の震源決定と空振波の解析を行った。南岳山頂火口及び昭和火口で発生する爆発地震は、地表で見られる火口と同じように、水平方向に離れて分布していることから、それぞれの爆発的噴火は異なる火道内で励起されていることが明らかとなった。また、空振波の着信時との解析も行い、励起源の深さについて考察した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山現象の中でも重要な噴煙挙動について、ブルカノ式噴火だけでなく水蒸気噴火についても、噴煙のもつ電荷から定量化できることから、を確認することができた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中島悠貴・西村太志・青山 裕・井口正人・神田 径・大湊隆雄,2021,2020年に桜島・春田山で観測された噴火に伴う大気電場擾乱,日本火山学会2021年秋季大会,P2-39

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：その他：空中電界変動

概要：荷電した噴煙をポールアンテナで観測する

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：長野県朝熊山 36.4045 138.5693

調査・観測期間：2021/11/4-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（計画終了後5年以内に公開予定）

項目：火山：その他：空中電界変動

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県阿蘇山（京都大学本堂観測点） 32.8795 131.0757

調査・観測期間：2020/11/14-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（計画終了後5年以内に公開予定）

項目：火山：その他：空中電界変動

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県桜島（京都大学ハルタ山観測点） 31.5934 130.6338

調査・観測期間：2019/11/28-2020/6/22

公開状況：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和1-2年度に取得した桜島のデータの解析結果をまとめる。爆発地震の震源決定、空振波解析をさらに進め、ブルカノ式噴火の発生機構を調べる。また、阿蘇山と浅間山の空中電界変動観測を継続するとともに、火山噴火の発生が見込まれる火山に、空中電位計や空振計、地震計を設置し観測を開始する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志（東北大学）,小園誠史（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）,大湊隆雄（東京大学）,神田径（東京工業大学）,井口正人（京都大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村太志

所属：東北大学大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

浅部貫入マグマの結晶化速度と噴火挙動の推定手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1. 半深成岩が形成されるような低圧高温条件で一定以上の時間が経過すると、マグマの結晶量が増加し、結晶のネットワークが形成されてほぼ流動できない状態となる。そこでマグマの結晶化実験を系統的に進め、火山浅部に貫入したマグマが流動性を失うまでの時間を明らかにする。これにより、新たな貫入が認められなくなってからどれくらいの時間が経過すれば、マグマ噴火の危険性が低下するかを定量的に把握し、噴火警戒レベル引き下げの科学的判断基準の向上にも貢献できるようにする。

2. 火山灰や軽石などの火砕物の帯磁率に基づき、マグマの活動度推移を即時把握する手法を開発する。帯磁率は少量の試料粉末により1分以内で測定することができるため、火山活動推移の即時把握に利用できると考えられる。多様な化学組成、噴出形態の火砕物の帯磁率を測定して全体的傾向を掴むとともに、一連の噴火活動事例における帯磁率の経時変化を調べる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 半深成岩形成実験：貫入マグマの低圧高温の条件は、主に外熱式ガス圧装置を用いて再現する。出発物質には、安山岩質軽石を用いる。平成31年度は温度・圧力・時間などの基本的な条件を系統的に変えた実験を実施し、実験産物の鉱物学的な解析を行って、反応の素過程を考察する。平成32年度は、ハロゲン元素などの反応速度に対する効果や、実験産物の空隙率などを評価したうえで、結果を論文として投稿する。また、天然の溶岩ドームにおいて類似の組織を持つ岩石サンプルを観察し、実験結果との比較を行って、溶岩ドーム形成におけるマグマの結晶化と自爆性との関係を考察し、論文として投稿する。

2. 火砕岩帯磁率の火山活動評価への応用：帯磁率は、試料に含まれる磁鉄鉱の量と磁区サイズに依存するので、たとえば長時間、地下に滞留して析出ラメラが形成された磁鉄鉱を含むマグマや、地下浅

部で磁鉄鈹ナノライトの結晶作用が進行したマグマでは、上昇すると考えられる。また、熱水変質により磁鉄鈹が硫化物に変質すると帯磁率はほぼ0となる。すなわち、火山灰の構成粒子の種類や割合、本質マグマの性質などが変化すると、帯磁率も変化することが予想される。これを実用化するため、平成31年度は、霧島火山新燃岳2017～2018年活動時の噴出物について、帯磁率の火山活動評価への有効性を示す論文を投稿する。令和2年度以降は、噴出物の全岩化学組成や斑晶量などについて幅広いサンプルの帯磁率データを収集し、応用可能性を上げた論文を作成する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

研究1.について、新鮮な溶岩ドーム内部が露出している十和田火山・御蔵山溶岩ドーム（後カルデラ期・約7600年前）試料の岩石記載と浸透率測定実験を行った。本溶岩ドームは、部分的にディクティタキシティック組織と呼ばれる多孔質な石基組織を示すことで知られる。試料は、同ドームの南南東～西北西縁にかけて形成されている急崖部の南南西東部、比高約50mの露頭から採取した。露頭および試料は見た目に明灰色～暗灰色、赤褐色の不均質性を呈し、約15×10cmの試料断面から厚さ約1cmのスラブを切り出し、約9mm角の隣接した5領域を切り出した。SEM-EDS分析によれば、同溶岩の石基部には短冊状斜長石の骨格の隙間に10～100μm程度の空隙が存在し、また石基には多量のシリカ鈹物が存在する。シリカ鈹物の表面には、ステップ間隔が均等で同心円状の渦巻成長が稀に見られる場合があり、気相成長したことを示す。試料の空隙率は15～33%、浸透率は $4.6 \times 10^{-8} \sim 2.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ の範囲に入る。この空隙率に対する浸透率（図1）の値は、溶岩ドームの脱ガス経路としての役割を担うとされているTuffisiteよりも2～4桁程度高く、溶岩ドームの爆発性を支配する重要な要素となっていることを示す。このような組織は溶岩ドーム内部の温度・圧力条件において、結晶化末期ステージのマグマの蒸発-沈殿過程で形成されることが実験で確認されている（櫻井、中村ほか2019 連合大会）。溶岩ドーム表面では、Tuffisiteをはじめとするマグマの脆性破壊による亀裂が、内部の塑性領域では蒸発沈殿作用によるディクティタキシティック組織の形成が、溶岩ドームの脱ガスを担っていると考えられる。桜島など活火山の火山灰にはクリストバライト（火山ガスから気相成長するシリカ鈹物の一種）が含まれることが知られており、このような作用は定常的に活動する火山におけるマグマの脱ガスにも寄与している可能性がある。

研究2.について、本質マグマ物質（急冷したJuvenileな火山砕屑物）の磁氣的性質から磁性鈹物の種類・産状を解析し、マグマ上昇過程の情報を得る試みとして、桜島火山大正噴火軽石およびそれを出発物質としたナノライト・ウルトラナノライトの結晶化実験産物のSQUID磁束計を用いた低温磁気測定を、東大・佐藤雅彦氏とともに実施した。バルク軽石試料、斑晶鈹物と石基とに分離した試料、実験産物について、10Kから300Kまでの等温残留磁化の段階着磁および磁気ヒステリシスの測定実験を行った。その結果、以下の3つの主要成分が存在することが明らかとなった。（A）バルク軽石に含まれ単離した斜長石斑晶・石基ガラスにはほぼ含まれない、保磁力が小さく（<0.01T）、加熱実験でもあまり低下しない成分、（B）単離した斜長石斑晶中にバルク軽石のほぼ全量が存在し、保持力は50～100Kで急減する成分、（C）加熱実験で増大し保持力の大きい（1T前後）成分である。これらの産状および磁氣的性質、これまでの詳細な岩石学的研究結果から、成分（A）は、チタン磁鉄鈹の斑晶・微斑晶（多磁区サイズ）、成分（B）は、斜長石斑晶に含まれるウルボスピネル成分<0.4のチタン磁鉄鈹、成分（C）はスピネル成分に富むTi-Mt ナノライトまたは噴火時の高温酸化によって生成したスピネル成分に富むチタノマグヘマイトが候補として考えられる。この結果を考慮すると、上昇過程を反映するナノライト・ウルトラナノライト成分が検出できる公算は高い。但し成分（A）（B）において観察された磁気相転移には、チタン磁鉄鈹のウルトラナノライト・細粒ナノライト（<80nm）の強磁性⇔超常磁性転移が含まれている可能性もあり、またReferenceとすべき（ウルトラ）ナノライトサイズのFe-Ti 酸化物の低温での磁氣的性質が十分に解明されていない部分もあるため、今後のより詳細な検討が必要である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

溶岩ドーム内での蒸発凝縮作用における溶岩の高浸透率の上昇は、火道最上部における脱ガス過程のモデル化に寄与できる。また火山噴出物の岩石磁気学的性質は、火道内のマグマ上昇過程を反映する鉄チタン酸化物の結晶作用を岩石学的手法よりも敏感・迅速に測定でき、噴火事例での測定と併せて火道内プロセスのモデル化に貢献できる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

多田峻真・無盡真弓・中村美千彦・安井真也,2021,マグマ混合によるマイクロライト結晶化抑制と爆発的噴火：浅間天明噴火での証拠,日本火山学会秋季大会,B3-14

高階悠貴・中村美千彦,2021,結晶の累帯構造に対する火道内対流の効果,日本火山学会秋季大会,B3-19

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

研究1. について、マグマ混合において低温端成分マグマの量比が大きくマグマ全体の粘性を支配する場合、高温端成分マグマとの混合による温度上昇が、含水マグマの火道上昇・減圧にともなうリキダス上昇分を補い、火道内での減圧結晶作用を妨げる可能性があることを、浅間火山天明噴火の例において見出したので、その詳細な解析を進める。

研究2. について、単離した石基ガラスや鉱物粒ごとの低温磁気測定を進め、メルト包有物からの結晶化や鉱物の析出ラメラ等の可能性も含めた鉄チタン酸化物の晶出状況から、火道内プロセスを読み解く新たな手法の開発を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中村美千彦（東北大学大学院理学研究科）,無盡真弓（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村美千彦

所属：東北大学理学研究科



図1 十和田火山御倉山溶岩ドームの地形図・サンプル採取地点・露頭および測定サンプル写真

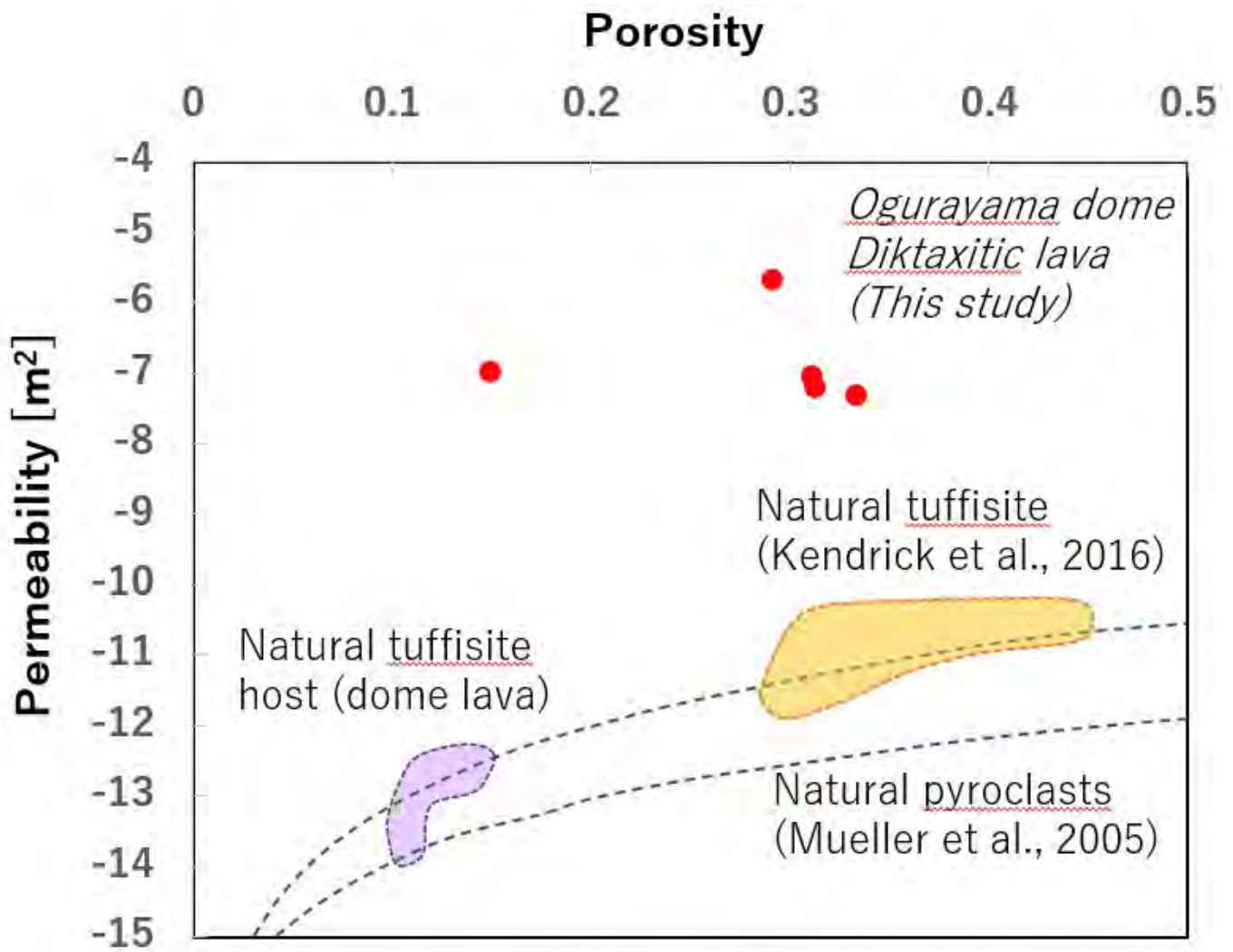


図2 御倉山ドーム溶岩のディクタキシティック組織部分の浸透率と空隙率の関係

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

世界各地の大地震発生域との比較研究に基づく地震・火山現象の理解

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
 - オ. 構造共通モデルの構築
- 5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

- ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
- イ. 首都直下地震
- ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
- エ. 桜島大規模火山噴火
- オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

世界各地のプレート沈み込み帯における地震波トモグラフィー解析の結果を比較することで、プレート沈み込みに伴う地震発生メカニズムの共通点・多様性を明らかにし、大規模な地震・火山噴火発生場に対する理解を深める。これにより低頻度災害の発生メカニズムに関する知見を効率よく増やすことができ、また国際貢献にも繋がると期待される。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、フィリピン沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2020年度においては、アラスカ沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2021年度においては、アメリカとカナダの西部にあるCascadia沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2022年度においては、アジア大陸東部の3次元地震波速度構造を求め、大陸内部の地震発生機構とプレート内部火山の起源を調べる。

2023年度においては、中国大陸西部の3次元地震波速度構造を求め、インドプレートの沈み込みに伴う地震発生メカニズムを調べる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 近地地震と遠地地震の走時データの同時インバージョンで M9.0 以上の巨大地震が起った6つの沈み込み帯地域の詳細な3次元P波速度構造を調べた結果、以下のことがわかった (Fan & Zhao, 2021, Nature Geoscience): (1) 沈み込んだ海洋スラブ下のマントルに顕著な低速度異常体 (subslab low-velocity anomaly, SLVA) が存在する。これは、熱いマントル上昇流を反映すると思われる; (2) 巨大地震の震源はSLVAの端部や複数のSLVAの間 (SLVAギャップ) の真上に位置する; (3) 巨大地震の地震時すべりは主にSLVAギャップの真上に分布する; (4) SLVAとSLVAギャップの浮力の違いが巨大地震発生の一因となる; (5) 巨大地震の発生には、スラブ上面付近や上盤プレートの構造と応力場だけでなく、スラブ下の不均質構造も影響を及ぼすと推定できる。本研究成果は、巨大地震発生メカニズムの解明およびその震源位置と破壊範囲の予測への重要な手がかりとなると思われる。

2. 近地地震と遠地地震のP波走時データの同時インバージョンを行い、アメリカとカナダの西部にあるCascadia沈み込み帯の3次元P波速度構造と異方性分布を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムおよびマントルの対流パターンを調べた。海洋プレートの沈み込みはマントルの対流パターンを規制することがわかった (Zhao & Hua, 2021, PEPI).

3. 中国の定常地震観測網と多くの臨時地震観測点で記録された大量の遠地地震の走時データに最新の地震波異方性トモグラフィ法を応用した結果、中国大陸中東部下の深さ800kmまでの3次元P波速度構造および方位異方性と鉛直異方性の分布を調べた (Jiang et al., 2021, JGR). その結果、太平洋プレートの深い沈み込みとそのマントル遷移層における停滞は中国大陸東部の上部マントルに対流を起こし、地殻とマントルの不均質構造と地震・火山活動に大きく影響を及ぼしたことがわかった。

4. S-netとHi-netで記録された大量の近地地震走時データを用いて東北日本前弧域のP波異方性トモグラフィ解析を行った結果、P波異方性のFast Velocity Planeが、海溝軸の走向と平行に、且つスラブ表面に対して高角に分布することがわかった。これらのfast-velocity planesが、スラブ上面付近の断層を反映し、その破壊で2011年と2021年福島沖地震(M7.1)のようなスラブ内地震が起こるとと思われる (Wang & Zhao +, 2022, GRL).

上記計画通りに実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

日本列島のみでなく、世界多くの地域下の地殻・上部マントルの3次元地震波速度と異方性構造の研究によって、地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化およびプレート境界地震と海洋プレート内部の地震の発生メカニズムの解明に新しい情報を提供した。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Fan, J., D. Zhao, 2021, Subslab heterogeneity and giant megathrust earthquakes, Nat. Geosci., 14, 349-353

Zhao, D., Y. Hua, 2021, Anisotropic tomography of the Cascadia subduction zone, Phys. Earth Planet. Inter., 318, 106767

Jiang, G., G. Zhang, D. Zhao, Q. Lu, D. Shi, H. Li, and X. Li, 2021, Mantle flow and dynamics beneath central-east China: New insights from P-wave anisotropic tomography, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 126, e2020JB020070

Kuritani, T., E. Sato, K. Wada, A. Matsumoto, M. Nakagawa, D. Zhao, K. Shimizu, and T.

Ushikubo, 2021, Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 417, 107323

Park, J., T. Tsuru, G. Fujie, E. Hondori, T. Kagoshima, N. Takahata, D. Zhao, and Y. Sano, 2021, Seismic reflection images of possible mantle-fluid conduits and basal erosion in the 2011 Tohoku earthquake rupture area, *Front. Earth Sci.*, 9, 687382, doi:10.3389/feart.2021.687382
Wang, Z.W., D. Zhao, X. Chen, 2022, Seismic anisotropy and intraslab hydrated faults beneath the NE Japan forearc, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL097266
Toyokuni, G., D. Zhao, 2021, P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy beneath Greenland and surrounding regions, *Earth Space Science*, 8, e2021EA001800
Toyokuni, G., D. Zhao, K. Chen, 2021, Structural control on the 2018 and 2019 Hualien earthquakes in Taiwan, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 312, 106673
Fan, J., D. Zhao, 2021, P wave tomography and azimuthal anisotropy of the Manila-Taiwan-southern Ryukyu region, *Tectonics*, 40, e2020TC006262

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

世界最先端の地震波異方性トモグラフィ法を用いて、アジア大陸東部の3次元地震波速度構造と異方性構造を推定し、大陸marginとその内部の地震発生機構、プレート内部火山の起源およびマントルダイナミクスを調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

趙大鵬（東北大学大学院理学研究科）、豊国源知（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：有
中国南京大学,中国科学院,中国地震局,吉林大学,中山大学,西北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zhao@tohoku.ac.jp
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：趙 大鵬
所属：東北大学 大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

スラブ内地震の発生メカニズムに関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
イ. 地震断層滑りのモデル化

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は海陸の地震観測と室内実験によって、スラブ内地震の発生する場所、条件、様式、それらのスラブごとの差異といった、スラブ内地震の基本的枠組みの包括的な理解を目指す。海域観測では、日本海溝海側での海底地震観測網で観測された東北地方下の地震を解析することで、沈み込む海洋プレート内に存在しうる断層の広がりや把握を目指す。また、東北地方の二重深発地震面の下面に沿う地震波速度・減衰構造やスラブ内地震の応力降下量、地震波エネルギー放射効率といった断層運動に関する物理量を精査し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにする。さらに、室内実験では、スラブ構成岩石を主として相転移断層形成・脱水脆化・塑性不安定性に伴う断層形成機構を実験的に検証し、温度・圧力・岩石種ごとの主要断層形成機構を把握する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海域地震観測：アウターライズ正断層地震の断層下端深さの把握を目的とし、1933年昭和三陸地震および2011年宮城県沖地震の震源域直上での海底地震観測網で観測された稍深発地震の解析を行う。解析で用いる稍深発地震震源－観測点間波線経路は、余震活動を用いた地震波トモグラフィでは推定が難しい大地震断層の深部側を通るため、仮に破碎や含水化が断層の深部に及んでいれば、それに関連した低速度異常の検知が期待される。平成31、32年度では、1933年地震震源域の海底自然地震観測記録から稍深発地震波の見かけ速度の変化を調べ、波線追跡法を用いて1933年地震断層にかかわる走時異常の下端深さの把握を試みる。平成33、34年度は、2011年地震震源域での地震観測記録について

て同様の手順を踏んだ解析を行う。ここでの観測点分布は1933年震源域とほぼ同じだが、断層サイズが異なるので検出される走時異常の分布の広がりも異なることが予想される。平成34年度以降は、三陸沖と宮城県沖で得られた結果と既往の地震波速度研究とを総合して比較し、大断層形成にかかわる構造改変の様子を明らかにする。2011、1933年地震震源域での海底観測記録は海洋研究開発機構から提供を受ける。

陸域地震観測：平成31、32年度は、日本列島で発生するスラブ内地震の波形解析により、静的応力降下量や地震波エネルギー放射効率を推定し、震源パラメータに地域変化や深さ変化、規模依存があるかを確認する。また、深発地震の掃除地震活動の抽出も行う。平成33、34年度には、太平洋スラブの下面地震発生場の理解を深めることを目的として、北海道・東北地方で得られた稍深発～深発地震波形を解析する。その際、スラブの違法性を考慮した速度構造、およびS波減衰構造の推定を行うことで、スラブ内不均質構造を明らかにする。平成34年度以降は、一連の解析で得られた結果を総合的に解釈し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにするとともに、スラブ内地震の発生モデルを高度化する。

室内実験：含水鉱物（蛇紋石、緑泥石、ローソナイトなど）の脱水反応やオリビーンスピネル相転移に伴う断層形成機構の把握を目的として、稍深発～深発地震発生域の温度・圧力条件が発生可能な岩石変形試験機（固体圧変形試験装置およびD-DIA型変形試験装置）を用いて高温高圧実験を行う。鉱物種ごとに異なる温度・圧力条件化での摩擦不安定性や降伏強度および不安定すべり時の応力降下量の変化、変形特性を調べる。先の研究成果によりローソナイトは脱水を伴わずとも破壊が生じることが明らかとなり、鉱物種によって異なる変形・破壊特性を示すことが予想された。そこで、平成31年度では、ローソナイトや他の含水鉱物でも同様の実験を行い、脱水前後、どのタイミングで不安定すべりを引き起こすかの検証を行う。平成32～34年度では、間隙水圧を制御したセル（金属ジャケット使用）を開発し、脱水脆性化の有無を調べる。こちらも鉱物種による違いを検討する。平成35年度では、スラブ内に存在する岩石を作成し、多相系での脱水脆性化について検証を行う。また、オリビーンスピネル相転移についても、実際のマントルに存在するオリビンを出発物質として用いた相転移を伴う変形実験を行い、断層形成が起こるか検討をする。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海域地震観測

詳細な震源分布や震源メカニズムからアウターライズ域における潜在断層の位置、走向、傾斜等に関する情報の把握するため、東北沖地震の主破壊域の南側に位置する日本海溝南部の福島、茨城沖で海底地震計を用いた地震観測記録を解析した (Obana et al., 2021)。アウターライズ域では海溝軸に並行または斜交する、長さ100 kmほどの地震の帯が複数分布することがわかった。これらは海底地形に見られるホルスト・グララーベン構造とよく一致し、ホルスト・グララーベンを形成する正断層がアウターライズにおける地震活動と深く関係していると考えられる (図1左)。また、地震波トモグラフィ解析により、アウターライズ域の地震活動が低地震波速度の海洋マントル内に及んでいることが明らかとなった (図1右)。こうした観測事実は、正断層が海洋マントルに達していることを示唆する。

北海道下に沈み込む太平洋プレートの構造不均質を調べるため、根室沖で実施された屈折法・反射法地震探査データから地殻構造モデルを構築した。その結果、測線上の海溝海側斜面にある海山下において、海洋地殻に低速度域が局在するのに対し、モホ面下では海山から陸側斜面に至る約40kmの範囲で通常のマントルより20%ほど低速であった。こうした低速度異常の空間範囲が、一様に速度低下するプレート曲がり由来異常よりも、襟裳海山など白亜紀年代のオフリッジ火山の構造に類似している。プレート拡大軸周辺の構造研究によって、モホ遷移帯に形成されるマグマ溜まりがオフリッジ火山活動の起源となることが提唱されており、それが本測線下で低Vp異常として認知された可能性がある。こうしたサイズの小さい海山は北西太平洋に点在しており、太平洋プレートが非常に強い構造不均質を持って沈み込んでいることを示唆する。

前弧域下におけるアウターライズ断層の含水状態はよくわかっていない。Wang et al. (2021) により行われたS-netとHi-netで記録された大量の近地震掃除データを用い東北日本前弧域のP波異方性トモグラフィ解析結果から、太平洋スラブ内のP波速度異方性のFast Velocity Planes (FVPs、図2中黄色のバー) が、海溝軸の走向と平行に、かつ、スラブ表面に対して高角に分布することがわかった。これらFVPsが、スラブ上面付近のアウターライズ断層を反映し、その破壊で2011年と2021年福島沖地震 (M7.1) のようなスラブ内地震が起こると思われる。

陸域地震観測

スラブから脱水した水と地震活動の関わりを調べるため、茨城県南西部下で発生するスラブ内の地震クラスターとその直上で活動するプレート境界地震、上盤プレート内クラスター周辺のP波減衰の時間変化の抽出を試みた。直上のMeSONet観測点の地震波形をスペクトル比法で解析した結果、スラブ内減衰が1~1.5年間隔で増加する傾向が見られた。さらに、それより0.2~0.3年の位相遅れでプレート境界地震活動の活発化、上盤プレート内減衰の増加も認められた。これら3つの現象に時間的な相関があることから、約1年周期で活発化するプレート境界のクラスター活動の背景には、数ヶ月先行して満水期を迎えたスラブ内流体のプレート境界への排出が起こっている可能性がある。

室内実験

歪集中帯は周囲の岩石と空隙率や透水率が異なるため、岩盤へのCO₂貯留や地下水浸透を理解する上で重要である。歪集中帯は天然や実験において、脆性塑性遷移領域に相当する圧力で変形した空隙率の高い砂岩によく見られる。しかしながら、非常に細粒な実験試料で歪集中帯が観察された例はなかった。そこで、数ミクロンサイズという細粒なゲルマニウムかんらん石を用いて実験を行ったところ、数百ナノサイズの粒子で充填された数多くの歪集中帯が見られた。透過電子顕微鏡で歪集中帯を観察した結果、変形によって生じた転位（結晶の面欠陥）に沿って粒子が破壊し、歪集中帯が形成されたことが明らかになった。この結果は、歪集中帯の形成には粒径は特に関係がなく、岩石の空隙率と変形圧力が重要であることを示唆する。

冷たい沈み込み帯におけるやや深発地震の原因の1つは、主要な含水鉱物であるローソン石の脱水である可能性が提案されているが、実験的研究は限られており、ローソン石の脱水を伴う変形メカニズムは不明である。Shiraishi et al. (2022) では温度上昇、加熱と同時に変形を行った変形実験を実施し（図3）、ローソナイトの安定領域（500~550℃）内で、断層形成と応力降下を伴うすべりのイベントが観察された。一方、脱水を伴うすべりイベントは試験機の剛性から想定される応力降下速度よりゆっくりであることから、脱水を伴うすべりイベントではスロー地震的な挙動を示すことが推定される。電子顕微鏡による断層分析（図3右上）では、流動したような組織が観察された。ラマン分光ではピーク位置の変更や新たなピークの出現ではなく、後方散乱も高い（図3右下）ことから、散乱を引き起こすような極細粒物質の存在が示唆される。

沈み込み帯のやや深発地震の原因の一つとして考えられている蛇紋岩（アンチゴライト）の脱水脆化が提案されているが、沈み込む海洋プレート深部まで含水反応が起こるのか、未だ明らかではない。そこで、限られた水量でもアンチゴライトが形成できるかどうかを調べるために、シリケートオリビンのアナログであるゲルマニウムオリビンを使用し、変形実験を行い、力学特性と蛇紋岩の形成について調べた。昨年度に引き続き、FTIR測定と透過電子顕微鏡観察から蛇紋岩の分布や形態を調べた。低温の2つの試料（500℃、600℃）では、蛇紋岩に起因するOHの伸縮振動が試料中の様々な場所で観察された（図3左）。一方、高温試料（800℃）では、一部が高圧相のゲルマニウムスピネルに変化していることが確認された。TEMによるアンチゴライトとオリビンの観察から、カンラン石と蛇紋石が平行な回折スポットをなしていることから、母晶であるカンラン石結晶の結晶方位を引き継いで蛇紋石が晶出している事がわかる。さらに、TEMではカンラン石の間に蛇紋岩がみえる程度だったが、FTIRによるランダムな計測では低温試料ではどこをとっても蛇紋岩のピークが見え、試料中には比較的広範に蛇紋岩が存在していると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

海域観測によって、海洋プレート構造にはプレート曲がり由来だけでなく規模の小さな海山であっても大きな不均質が生じることがわかった。さらに、海溝海側斜面の地震活動から長さ100kmに及ぶ長大断層が潜在することが明らかとなり、アウターライズ域に発生が想定される浅部大地震の理解に貢献できる成果が挙げられている。陸域観測では、スラブ内地震発生場では脱水に伴う引張場の形成が極めて局所的であること、共通断層面上の深発相似地震であっても破壊の進展過程が異なること、スラブの脱水がプレート境界や上盤のクラスター地震活動に深く関わることを示した。室内実験から、脱水による断層すべりには断層変形に伴って形成される極細粒物質が重要な役割を果たすこと、沈み込み前の海洋プレート含水化の観点では従来の想定より深い深度でもマントル物質の含水化が起こることが明らかとなり、スラブ内地震の発生機構の理解に資する成果が得られている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Obana, K, G. Fujie, Y. Yamamoto, Y. Kaiho, Y. Nakamura, S. Miura, and S. Kodaira, 2021, Seismicity around the trench axis and outer-rise region of the southern Japan Trench, south of the main rupture area of the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. J. Int.*, 226, 131-145, doi:10.1093/gji/ggab093

Tsuchiyama A. and J. Nakajima, 2021, Diversity of deep earthquakes with waveform similarity, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 314, 106695, doi:10.1016/j.pepi.2021.106695

Nakajima, J. and A. Hasegawa, 2021, Prevalence of shallow low-frequency earthquakes in the continental crust, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB021391, doi:10.1029/2020JB021391

Sawa, S., J. Muto, N. Miyajima, R. Shiraishi, M. Kido, and H. Nagahama, 2021, Strain localization bands in fine-grained aggregates of germanate olivine and pyroxene deformed by a Griggs type apparatus, *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sci.*, 104812, doi:10.1016/j.ijrmms.2021.104812

Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, 2021, Strain-induced partial serpentinization of germanate olivine with a small amount of water, *American Mineralogist*, 106, 11, doi:10.2138/am-2021-7735

Shiraishi, R., J. Muto, A. Tsunoda, S. Sawa, and A. Suzuki, 2022, Localized Deformation of Lawsonite during Cold Subduction, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2021JB022134

Wang, Z. W., D. Zhao, and X. Chen
Wang, Z. W., D. Zhao, and X. Chen, 2022, Seismic anisotropy and intraslab hydrated faults beneath the NE Japan forearc, *Geophysical Research Letters*, 49, e2021, doi:10.1029/2021GL097266

・学会・シンポジウム等での発表

Azuma, R., S. Kodaira, R. Hino, G. Fujie, K. Obana, F. Tomita, and Y. Ohta, 2021, Interpretation for variation in the incoming Pacific Plate structure around the Kuril Trench axial region by an OBS/MCS seismic survey, 日本地球惑星科学連合2021年大会

Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, 2021, Strain-induced partial serpentinization of germanate olivine under unsaturated, limited amount of water, the 61th High Pressure Conference of Japan

Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, 2021, Microstructure evolution of olivine-spinel phase transformation under differential stress for deep-focus earthquakes by phase field method, ICOTOM 19

Shiraishi, R., J. Muto, A. Tsunoda, S. Sawa, and A. Suzuki, 2021, Semi-brittle behavior of lawsonite in high pressure deformation experiments, Japan Geoscience Union Meeting 2021

白石令, 武藤潤, 久保友明, 森悠一郎, 本田陸人, 肥後祐司, 丹下慶範, 2021, 高温高圧下におけるローソナイトの変形挙動, 第61回高圧討論会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

海域地震観測

アウターライズおよび沈み込み帯浅部で発生したスラブ内大地震の震源域周辺の海底地震観測記録を解析し、震源断層形成にかかわる構造異常の研究をすすめる。

陸域地震観測

二重深発地震面下面を含むスラブマントルで発生する地震の解析を行い、これまでに得られているスラブ内地震との震源特性の違いを精査する。

室内実験

アコースティック・エミッションを用いた相転移断層形成および脱水脆性化の実験的研究をすすめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東龍介（東北大学）, 松澤暢（東北大学）, 日野亮太（東北大学）, 内田直希（東北大学）, 矢部康夫（東北大学）, 鈴木昭夫（東北大学）, 武藤潤（東北大学）, 白石（益戸）令（東北大学）, 趙大鵬（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

中島淳一（東京工業大学）,麻生尚文（東京工業大学）,小平秀一（海洋研究開発機構）,尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）,藤江剛（海洋研究開発機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：東龍介

所属：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

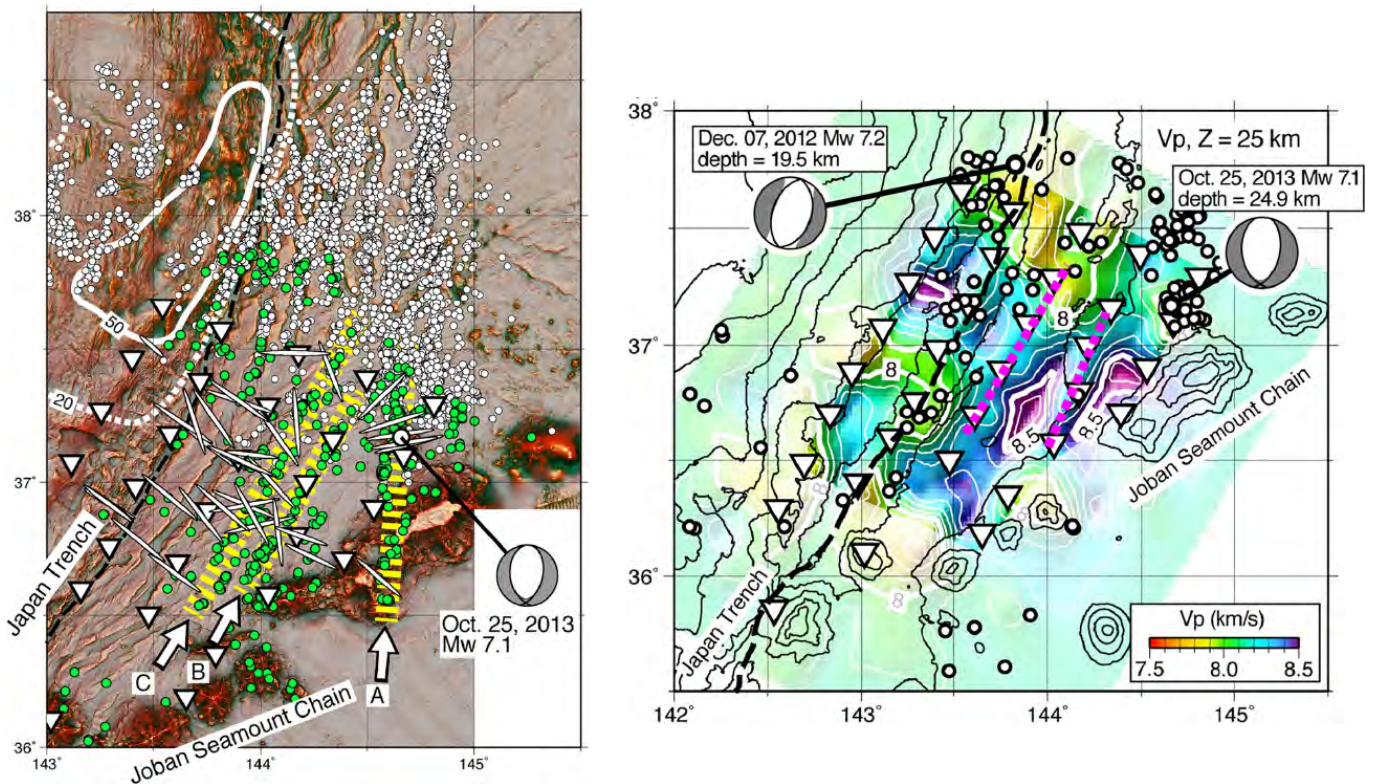


図1. (左) 宮城県沖アウターライズ域の地震震央分布。緑丸と白丸はそれぞれObana et al. (2021)とObana et al. (2019)による深さ14 km以浅の地震の震央。白矢印と黄色の帯は。主要な地震列。(右) 深さ25 kmでの海洋マントル内P波速度分布 (Obana et al., 2021)。マゼンタは地震活動の低調かつ低P波速度の領域。白丸は深さ20~30 kmの地震の震央。

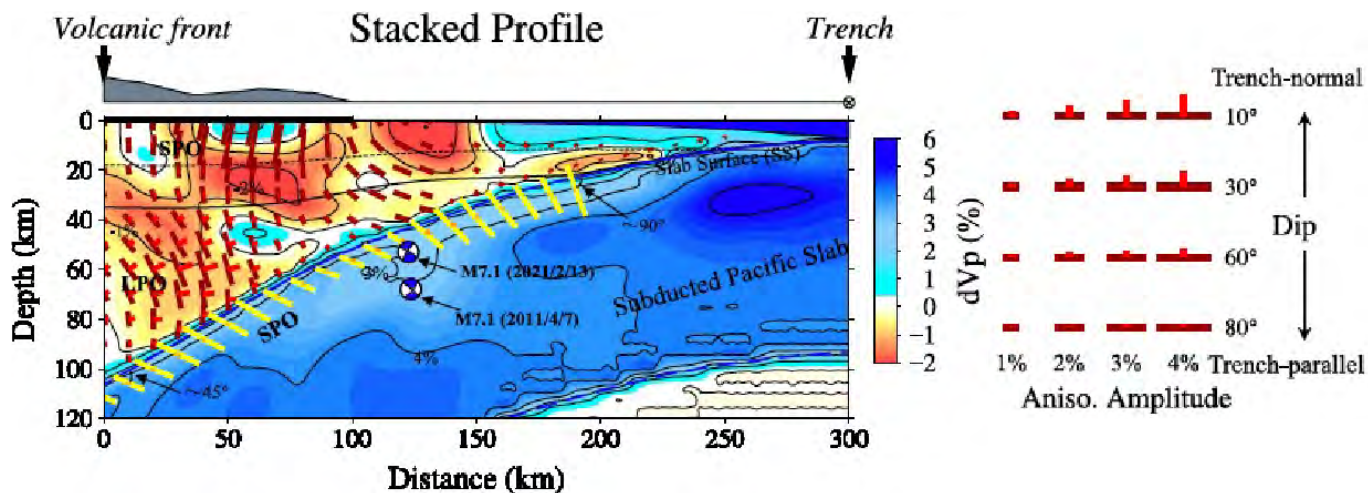


図2. 宮城県～福島県沖のP波速度異常と地震波速度異方性の分布 (Wang et al., 2021)。カラスケールは等方速度異常(%)、黄色と紫のバーはP波異方性のFVP面を示す。右は異方性の凡例。

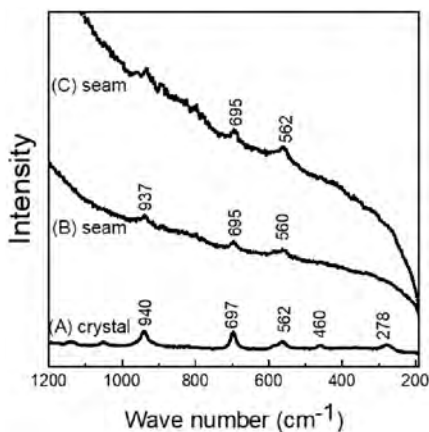
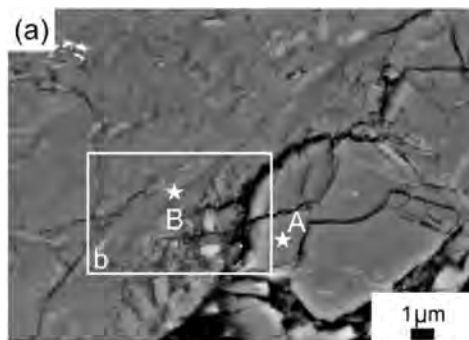
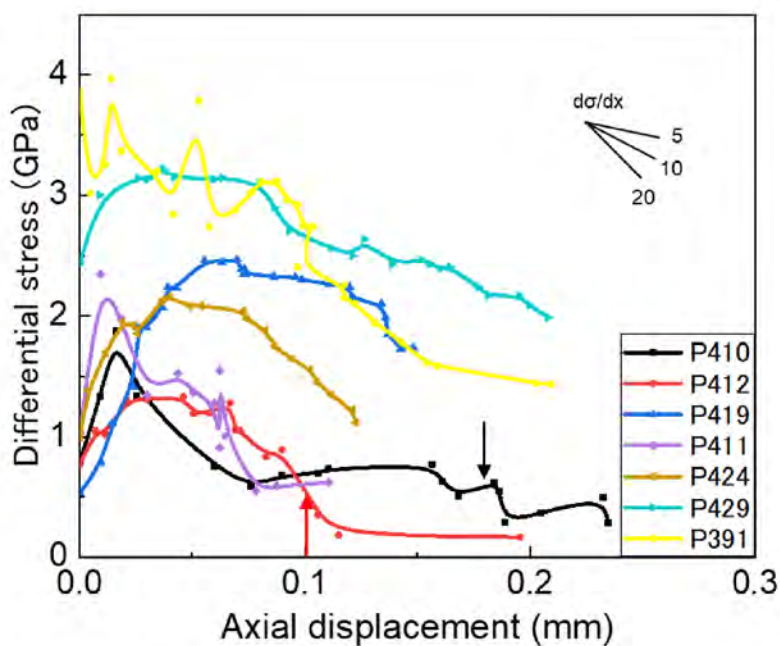


図3. ローソン石の変形実験におけるすべりイベントの応力降下速度の比較 (左)、断層の電子顕微鏡画像 (右上) と断層外部A、内部Bにおける散乱強度 (右下) (Shiraishi et al., 2022)。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻応答による断層への応力載荷過程と断層間相互作用の解明と予測

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

東北地方、特に東北地方太平洋沖地震が発生した後に地震活動の変化が見られた秋田県を中心とする東北地方中北部領域などの領域で、東北沖地震後のひずみ場、地震活動や応力場・地殻流体の挙動に伴う強度の時間変化をモニタリングし、東北地方の陸域地殻の東北沖地震後約12年間の応答（余効変動）について知見を得る。また、活断層が複雑に分布する宮城県中部～山形県南部～福島県北部における地震活動の理解を深め、複雑な断層系における応力・ひずみ蓄積過程や断層間の相互作用の理解に貢献する。

また余効変動のような遷移的な変形挙動を予測する岩石力学的データは乏しく、余効変動の盛衰を占う余効すべりと粘弾性緩和の定量的な区分は未だ困難である。そこで本研究では、広範な上部マントル温度条件下でのカンラン石試料の応力緩和実験も行い、東北沖地震の余効変動を予測する遷移流動挙動のレオロジー解明を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目：長期にわたって継続するための測地観測網・地震観測網の整備を行う。

前計画の課題：1203や科研費・新学術領域「地殻ダイナミクス」で設置した臨時観測点を再編し、またこれまでオフラインで行ってきた観測をオンライン化する等、長期観測に対応する。さらに、これまで観測・理解が手薄だった領域の強化として、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測網を整備する。それぞれの観測点間隔は、地震発生層の厚さ（約10-20km）を考慮し、約15km程度とし、また既存観測点の配置を考慮し、計約30点の地震観測点を整備する。比抵抗構造探査については、前年度までに整理・統合したデータを利用し、新潟県村上市～福島県相馬市の二次元測線の解析を進める。実験については、既設の実験機材の整備を行う。領域内の断層浅部・深部構造探査等の結果について既往研究の成果・データ等の収集およびコンパイルを行うとともに、機材調整および測線設定と下見を進める。

2年目以降：測地観測網・地震観測網の整備および比抵抗観測を進める。各項目において整備した

観測網や実験装置を利用し、過去に設置した観測点のデータと合わせて、各解析・実験を順次進める。

ひずみ分布やメカニズム解・応力場・地殻流体および強度分布・震源分布・地震活動を精度良く推定しそれらの時空間変化を捉える。

さらに、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測データを活用し、震源分布・応力場・地震波速度構造を精度良く推定する。Matched Filter法などを用いて、気象庁の一元化处理など定常観測網では検出できない地震活動を抽出する。宮城県・福島県沖のS-netのデータを併用し、沿岸域の地震活動や地殻構造の推定を行う。既往の断層浅部・深部構造探査結果を踏まえ、領域内の断層構造探査を行う。飯豊山や朝日岳周辺で得られているMTデータもコンパイルし、宮城県中部～山形県南部～福島県北部の3次元地殻比抵抗構造を高解像度で推定する。得られた地震学的構造と比抵抗構造などとの比較を行うとともに、地震活動・ひずみ場や応力場の時空間分布との関係を明らかにする。長町-利府線断層帯と仙台平野南部の伏在活断層を含む双葉断層帯の関係について、それぞれの断層帯の接合部付近（福島県新地町～宮城県山元町）において重力探査を実施する。それぞれの断層帯の端部において断層と直交する方向に複数本の測線を設定する。またそれぞれの断層帯間においても断層の走向と直交する測線を設定し、測定を行うことにより、地下構造の連続性を明らかにする。また、既往反射法地震探査データ等と比較を行う。

得られた観測結果を基に以下の検討を行う。長町-利府線断層帯と福島盆地西縁断層帯の連続性について、検討を行う。長町-利府断層帯と双葉断層帯の関係（連続性の有無）について、検討を行う。福島盆地西縁断層帯と会津盆地東縁・西縁断層帯の関係について、東北中部（岩手山～横手盆地東縁断層帯・北上低地西縁断層帯～栗駒山）で得られている東北脊梁部の構造モデル（いわゆる長谷川モデル）との比較を行う。吾妻山や蔵王山などこの領域に分布する火山の構造と各断層帯との関係について検討を行う。

上記の地震観測による応力やGNSSによるひずみの時空間分布について数値モデルによる余効変動・地殻応答の再現を行う。その際に使用するレオロジー構造モデルを、比抵抗構造や地震波速度構造を考慮し作成する。特に、微細組織を制御した人工カンラン岩試料（多結晶および単結晶）を用いて、地震による応力変化を模したクリープ試験、応力ステップ試験を行い、遷移流動挙動の力学特性を測定する。微細組織観察と力学データの解析と既存のカンラン岩のレオロジーデータを組み合わせ、遷移流動挙動を表現するレオロジーモデルの探求を行い、遷移挙動の素過程解明を行う。

東北沖地震からの時間が経過するにつれて、余効変動はより広域に生じるものと考えられる。東北地方のみならず、より広域の構造モデルも作成し、モデル化を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・東北地方中南部における臨時地震観測：岡田・他(2022)

観測網の設置が概ね完了し、自動処理の改良も完了した、2020年8月～2021年7月までの期間について、震源決定結果などの確認を行なった。

震源分布：

本研究で実施した臨時観測および自動処理により同定されたイベントを確認し、気象庁一元化震源カタログに記載されていない地震を確認した。それらは、双葉断層付近や長町-利府線断層帯～福島盆地西縁断層帯のおよそ西側（上盤側）の他、それらの間の領域（宮城県南部、丸森町付近）にも見られる。

地震波速度構造：

対象領域において、地震波速度トモグラフィを行った。本研究で実施した臨時観測のデータを用いることで対象領域の解像度が上がることが確認できた。

・2011年東北沖地震後に東北日本内陸域で発生した群発地震活動の発生シミュレーション：Yoshida et al. (2021)：図1

数値シミュレーションにより、深部から浅部への migration の再現を試みた。観測された破壊の伝播方向（深部から浅部）も説明できることも確認した。

・2017年鹿児島湾での M5.3 の地震の解析：Matsumoto et al. (2021)；図2

2017年鹿児島湾での M5.3 の地震の前震-本震-余震系列の高精度震源決定を行なった。前震活動・余震

活動の発生場所が徐々に移動したことが分かった。このことから前震-本震-余震系列の発生に深部から浅部への流体移動が関与していた可能性が考えられる。

・東北内陸地域の応力場と地震活動: 田上・他 (2021a, b)

東北日本ではかつて日本海ができた時に生じた古い断層と現在の応力場で生じた断層が混在している。東北内陸地域で発生した最近の大規模地震は概ねかつて日本海ができた時に生じた古い断層であり、現在の応力場ではすべりにくい面で発生したことを確認した。

・S波スプリッティング解析: 水田・他 (2021a, b)

地震波速度の異方性は地殻内部の応力や変形を知るための重要な情報である。地殻中の異方性媒質を地震波が通る時にS波が速いS波と遅いS波に分裂する現象であるS波スプリッティングを用いて、高密度臨時観測を含むデータについて、東北地方の地殻内S波偏向異方性の検討を行った。その結果、東北地方内陸部では異方性は概ね応力によって生じていることを確認するとともに、一方、変動の大きな日本海側においては局所的な断層等の構造的異方性も確認されることを示した。

・地震波干渉法による常時微動表面波トモグラフィーの高度化 (Takagi and Nishida, 2022 ; 図3, 4)

地震波干渉法による常時微動表面波トモグラフィーの高度化のための手法開発を行った。トモグラフィーの鉛直分解能の向上のため、多成分常時微動クロススペクトルの非線形フィッティングによりマルチモード分散曲線をロバストに推定する手法を開発した。また、水平分解能の向上を目指し、有限波長効果を取り入れたトモグラフィー手法の開発を行った。

・比抵抗構造による東北地方の地殻応答、地殻構造

今年度も引き続き東北地方全体や島弧横断をターゲットとした広域データコンパイル・地殻構造解析とローカルな地殻構造(例えば背弧域やより浅部の地熱・火山域)の解析を実施した。後者においては比抵抗構造とNaCl-H₂O系の熱力学相平衡図や地震波速度構造を同時に解釈しながら、地殻応答の重要な情報となる地殻流体の体積比の推定結果が始めている。

本課題の目的の一つであるMTデータの広域コンパイルでは、これまでに東北地方の広帯域MT観測データを605観測点分までコンパイルできた(増田他, 2022)。コンパイルしたデータで電流の方向を見ると、東北地方は概して東西方向の電流が卓越し脊梁下の島弧並行に高伝導帯があるという傾向を再確認した。また、これまで解釈されなかった地磁気の虚部インダクションベクトルに着目し、津軽海峡(海水)の影響とされた東北北部の北向きの電流が、津軽海峡下から北海道西部下の地球内部の伝導異常に起因する可能性も再検討も始めた(市来 他, 2021)。全データを逆問題で一気に扱って比抵抗構造を推定するのは困難なので、島弧横断測線のうち最近注目されている東北地方南端に位置する福島県鮫川村から新潟県阿賀野市に至る比抵抗構造の再解析を行った(Diba et al., 2021a,b)。以下、ローカルな構造解析結果も併せて背弧と前弧に着目して成果を述べる。

背弧域については、昨年度の秋田県内陸内部の比抵抗構造に続き、今年度はその南隣である庄内平野周辺での比抵抗構造解析を行った(Usui et al., 2021)。従来のMTデータに加えて、あまり用いられてこなかった観測点間の水平磁場変換関数も用いて3次元比抵抗構造を求めた結果、この地域では高比抵抗域で地震が発生する明瞭な相関関係が得られた。また、鳥海や月山に向かって伸びる低比抵抗体が認められ、背弧における地殻深部マグマ供給系の描像を得ることができた。その南に上記の鮫川-阿賀野測線が位置し、阿賀野市付近には顕著な低比抵抗体が認められ、東落ちの逆断層である月岡断層系と有意な相関を示している(Diba et al., 2021a,b)。

前弧域については、令和元年度に岩手県南部から宮城県北部下において、中部地殻に火山フロントから東側に低比抵抗体があることと、マントルから供給されている流体が一部は火山フロントを超えて東側へ供給されている可能性を指摘した。鮫川-阿賀野測線での構造でも火山フロントのすぐ前弧側の領域に顕著な低比抵抗域が推定された。その成因を含め、さらなる検討が必要である。

比抵抗モデルによって得られた表層付近の比抵抗値を物質モデリングで解釈する方法についても研究を進めた。葛根田や湯沢の地熱地域では低比抵抗体が海拔下約2 km以深に存在しており、低比抵抗体の内部は微小地震が発生していないので、脆性-延性境界の延性域にあり、石英脈にシールされた超臨界地熱貯留層であると解釈される。上部が石英脈にシールされ石英溶解度曲線を考慮すると、低比抵抗体内は380~400°C以上であることやNaCl-H₂O系で考えると二相卓越形または单相型の超臨界水を含む地熱貯留層であることが示唆されている(Ishizu et al., 2022, 2021a,b,c; Yamaya et al., 2022)。

また地震波速度構造と同時に解釈することにより、塩濃度に依存するが湯沢地熱地域での流体の体積分率は0.1~4.2%であることが推定されている(Ishizu et al., 2022,2021a,b,c)。同じく比抵抗と地震波速度を同時に解釈して吾妻山のマグマだまりでもマグマ+熱水の体積分率が6%以下であること、マグマ単独では解釈が難しく、比抵抗の低い熱水が卓越していることなどが明らかになりつつある(Ichiki et al., 2021; 図5)。

・ 仙台平野南部における伏在断層の浅部構造探査 (岡田・他、2021, 安保・他、2021; 図6)
仙台平野南部は、長町-利府線断層帯と双葉断層帯に挟まれた地域であり、宮城県名取市(愛島丘陵付近)から宮城県亘理町付近までには、伏在活断層が存在することが明らかにされている(岡田ほか, 2017)。本研究では、宮城県名取市から亘理町を経て南部へ連続すると考えられる伏在活断層と双葉断層帯との関係を明らかにするために、仙台平野南部の宮城県山元町周辺において、重力探査を実施し、伏在活断層の連続性を明らかにすることを試みた。2020年には仙台平野を東西方向に横切るように4測線(測線X~Z)の探査測線を設定し、標準250 m間隔で合計74点の相対重力測定を行った。その結果、調査測線の北側2本では、伏在活断層に関連する重力変化を捉えたが、南側の2本の測線では、その延長部分に有意な重力変化はなかった。このことから、愛島丘陵から南方へ連続する伏在活断層は、宮城県亘理郡山元町付近で南端となっていると判断した。2021年度は、阿武隈川河口付近で実施された既存の反射法地震探査と対比を行うために、亘理町南部から山元町において、3測線(測線T~V)、合計70点で相対重力測定を行った。その結果、全体としては西に向かって傾き下がる広域なブーゲー重力変化に2つの重力変化が確認できる。既存反射法地震探査(岡田ほか, 2017)と対比した結果、西側の重力変化が伏在活断層の先端と解釈できる。東側の重力変化は、現在活動している証拠のない断層による先新第三系の基盤の変位によるものである。2020, 2021年度の調査の結果と既存反射法地震探査とを合わせて考察し、仙台平野南部の伏在活断層の南端が明らかになった。伏在活断層は、名取市から亘理郡山元町高瀬付近にわたって連続する伏在活断層であると考えられる。

・ 3次元余効変動解析に基づく、2011-2016年までの余効変動解析 (図7; Dhar et al., 2022)
GEONETと東北大学の持つ宮城-山形、福島-新潟の2つの稠密観測から地下のレオロジー構造の不均質性を調べた。昨年報告した福島側線直下での前弧の高粘性領域(コールドノーズ)のサイズと余効すべり量との効果を比較するために、福島側線において、高粘性領域の西端位置(Cold nose edge = CNE)と余効すべり量をグリッドサーチにより評価した。それによると、福島の高粘性領域の西端(CNE)は、宮城のそれより50km西側に位置することが明らかになった。

・ 応力依存モデルによる時系列フィッティングの提案
これまで余効変動解析では、余効すべりを表す対数関数やマクスウェル粘弾性を表す指数関数などの複数の関数の組み合わせでGNSS時系列をフィット・将来予測を行ってきた(Tobita, 2016EPS)。しかし、近年の応力依存の余効変動モデルは、非線形レオロジーの重要性を指摘していることから、べき乗流動や応力依存の速度強化摩擦則の時定数を用いて、GNSS時系列の再現を試みた。Muto et al. (2019Sci. Adv.)で得られた、速度強化摩擦特性(速度依存性 $a\sigma$)およびべき乗応力指数($n=3$)を用いて、それぞれの時間依存性を含んだ関数近似を行った。これによると、Tobita (2016)による従来のモデルよりも、より詳細にGNSS時系列を再現できる様になった。

・ 成果のまとめ

本年度成果で示された仙台平野南部の伏在活断層の存在はこの領域における長町・利府断層や双葉断層などの活断層の分布と活動評価のために重要な情報となる。今後、伏在活断層の形態を詳細に推定し、地震観測や測地観測による応力場やひずみ場と合わせてこの領域(東北地方前弧地域)の活断層・伏在活断層の理解を深める必要がある。また、地震活動・地震波速度構造や比抵抗(電気伝導度)構造から推定される地殻流体の分布は地震発生過程の上で重要であり、レオロジー構造による数値シミュレーションと合わせて、東北沖地震後の地殻変動・地震活動のより一層理解を深める。

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

今期前半はこれまでの研究資源を十分に活用することで、全体として順調に研究成果を得ることができた。2019年山形県沖地震(Shinohara et al., 2022など)は計画時点では当然ながら想定できなかった事象であるが、その理解は東北沖地震後の東北地方やそれ以外の地域の内陸地震の理解を進めていく上で重要な基盤となると期待される。今後は整備された臨時観測網や構造調査の実施およびそれら

に基づく研究を着実に実施する予定である。

本課題内で実施する地球物理学的情報（地震波速度や比抵抗など）を総合化した解釈（Ichiki et al., 2021; Iwamori et al., 2021など）が必要となる。特に、流体の定量化（量・圧力・形態）が重要な課題となる。また、地震発生の要因として、応力と流体（強度）の切り分けも引き続き検討する必要がある。それらの試みも順調になされており、今後の展開が期待される。

「長期評価」への貢献として、多領域の研究により分岐（伏在）断層を含めた断層の形状に関する検討を行う。地形・構造・地質・震源分布などを総合的に評価する。特に断層の端の評価を十分に検討するとともに複数断層の連続性の評価を行う。また断層の滑りやすさの評価として応力場との関係を整理していく。

「中期評価」として、これまで実施されている東北沖地震後の地殻変動のモデリングを地震活動の予測に繋げていく必要がある。例えば、モデルによって活断層への応力変化を評価することなどが挙げられる。また、東北沖地震後の変動を理解するため、海陸境界域などの応力場・構造やそこで発生する地震の震源過程の把握を進めていく。

大地震発生前の切迫度評価（「短期評価」）として、これまで実施されたような「地震」を用いる研究は有効であり引き続き推進する。一方、非地震性の異常を抽出するために、地震波干渉法などの「ノイズ」などを用いる手法について手法開発と事例研究を進化させていく予定である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ichiki, M., T. Kaida, T. Nakayama, S. Miura, M. Yamamoto, Y. Morita, and M.

Uyeshima, 2021, Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan, as inferred from a three-dimensional electrical resistivity model explored by means of magnetotelluric method, *Earth Planets Space*, doi: 10.1186/s40623-021-01451-y

Matsumoto, Y., K. Yoshida, T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, 2021, Fault-valve behavior estimated from intensive foreshocks and aftershocks of the 2017 M 5.3 Kagoshima Bay earthquake sequence, Kyushu, southern Japan, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB020278, doi:10.1029/2020JB020278

吉田圭佑, 2021, 地殻深部から上昇する流体が地震の発生に及ぼす影響の研究 -2011年東北地方太平洋沖地震に誘発された地震活動による拘束-, *地震*, doi:10.4294/zisin.2020-20

Yoshida, K., H. Noda, M. Nakatani, and B. Shibazaki, submitted, Backward earthquake ruptures far ahead of fluid invasion: Insights from dynamic earthquake-sequence simulations, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2021.229038

Yoshida, K., N. Uchida, H. Kubo, R. Takagi, and S. Xu, submitted, Prevalence of updip rupture propagation in interplate earthquakes along the Japan Trench, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 578, 117306

Wang, Q.-Y., M. Campillo, F. Brenguier, A. Lecointre, T. Takeda, and K. Yoshida, 2021, Seismic evidence of fluid migration in northeastern Japan after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 563, 116894 - 116894, doi:10.1016/j.epsl.2021.116894

岡田 知己・中山 貴史・平原 聡・立岩和也・堀内 茂木・勝俣 啓・大園 真子・小菅 正裕・前田 拓人・山中 佳子・片尾 浩・松島 健・八木原寛・2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ, 2022, 東北地方中南部における臨時地震観測, *東北地域自然災害研究*, 58, 19-24

Takagi, R., and Nishida, K., submitted, Multi-mode dispersion measurement of surface waves extracted by multi-component ambient noise cross-correlation functions, *Geophysical Journal International*

Yamaya, Y., Y. Suzuki, Y. Murata, K. Okamoto, N. Watanabe, H. Asanuma, H. Hase, Y. Ogawa, T. Mogi, K. Ishizu, T. Uchida, submitted, 3-D resistivity imaging of the supercritical geothermal system in Sengan geothermal region, NE Japan, *Earth and Space Science Open Archive*, doi:10.1002/essoar.10509292.1

Ishizu, K., Y. Ogawa, K. Nunohara, N. Tsuchiya, M. Ichiki, H. Hase, W. Kanda, S. Sakanaka, Y. Honkura, Y. Hino, K. Seki, H. T. Kuo, Y. Yamaya, T. Mogi, 2022, Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 127, doi:

10.1029/2021JB022911

Kubota, T. et al.,2021,Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate,J. Geophys. Res. Solid Earth,10.1029/2021jb022223

Iwamori, H., K. Ueki, T. Hoshide, H. Sakuma, M. Ichiki, T. Watanabe, M. Nakamura, H. Nakamura, T. Nishizawa, A. Nakao, Y. Ogawa, T. Kuwatani, K. Nagata, T. Okada, E.

Takahashi,2021,Simultaneous Analysis of Seismic Velocity and Electrical Conductivity in the Crust and the Uppermost Mantle: A Forward Model and Inversion Test Based on Grid Search,J. Geophys. Res. Solid Earth,10.1029/2021JB022307

Dhar, S., J. Muto, Y. Ito, S. Miura, J. D. P. Moore, Y. Ohta, T. Iinuma,2022,Along-Arc Heterogeneous Rheology Inferred from Postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki Earthquake,Geophys. J. Int.,doi: 10.1093/gji/ggac063

Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, T.

Akuhara,2022,Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations.,Earth, Planets Sp.,74,10.1186/s40623-021-01562-6

・学会・シンポジウム等での発表

市來雅啓・海田俊輝・中山貴史・三浦哲・山本希・森田裕一・上嶋誠,2021,吾妻山の3次元地下比抵抗構造モデル,日本地球惑星科学連合2021年大会,SCG48-03

池田里奈・吉田圭佑・高橋諒・松澤暢・長谷川昭,2021,2011年東北沖地震後から福島-茨城県境周辺で活発化した地震活動に見られる内陸の繰り返し地震,日本地球惑星科学連合2021年大会

久保田達矢・久保久彦・近貞直孝・吉田圭佑・鈴木亘・中村武史,2021,S-net広域・稠密津波観測網が可能にした2016年福島県沖の正断層型地震の高精度断層モデリング：上盤プレート内応力場への示唆,日本地球惑星科学連合2021年大会

水田達也・岡田知己・Savage Martha・高木涼太・吉田圭佑・酒井慎一・大園真子・小菅正裕・山中佳子・片尾浩・松島健・八木原寛・中山貴史・平原聡・河野俊夫・松澤暢,2021,2011年東北地方太平洋沖地震 緊急観測グループ, 2021, S波スプリッティング解析による東北地方の地震波速度異方性測定 (3),日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS07-P04

椋平祐輔・宇野正起・吉田圭佑,2021,Inverse analysis of seismic swarm induced by slab-derived fluids,日本地球惑星科学連合2021年大会

織茂雅希・吉田圭佑・平貴昭・松澤暢・長谷川昭,2021,岐阜-長野県境周辺で発生した通常地震と深部低周波地震の震源スペクトル形状の比較解析,日本地球惑星科学連合2021年大会

田上綾香・松野弥愛・岡田知己・酒井慎一・大園真子・勝俣啓・小菅正裕・山中佳子・片尾浩・松島健・八木原寛・中山貴史・平原聡・河野俊夫・堀修一郎・松澤暢,2021,2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ, 2021, 東北地方の応力場と発生した地震の断層面との関係,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS08-P01

吉田圭佑,2021,東日本沖合で発生した小中地震の破壊伝播指向性と断層構造：陸上観測データに基づく 2003-2021年の期間の推定,日本地球惑星科学連合2021年大会

Yoshida, K., A. Hasegawa, S. Noguchi, and K. Kasahara,2021,Low-frequency earthquakes in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan,日本地球惑星科学連合2021年大会

吉田圭佑・内田直希・久保久彦・高木涼太・Xu Shiqin,2021,Prevailing updip ruptures in small interplate earthquakes along the Japan Trench revealed from land-based and offshore observations,日本地球惑星科学連合2021年大会

行竹洋平・吉田圭佑・本多亮,2021,Aseismic process driving the earthquake swarm, revealed by the dense seismic observation,日本地球惑星科学連合2021年大会

岡田 知己・中山 貴史・平原 聡・堀内 茂木・勝俣 啓・大園 真子・小菅 正裕・前田 拓人・山中 佳子・片尾 浩・松島 健・八木原寛・2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ,,2021,東北地方中南部における地震活動（序報）,日本地震学会2021年度秋季大会,S02P-04

水田 達也・岡田 知己・M. Savage・高木 涼太・吉田 圭佑・酒井 慎一・勝俣 啓・大園 真子・小菅 正裕・前田 拓人・山中 佳子・片尾 浩・松島 健・八木原 寛・中山 貴史・平原 聡・河野 俊夫・松澤 暢・2011年東北地方太平洋沖地震 緊急観測グループ,2021,S波スプリッティング解析による東北地方の地震波速度異方性測定(4),日本地震学会2021年度秋季大会,S06P-02

田上 綾香・松野 愛弥・岡田 知己・酒井 慎一・大園 真子・勝俣 啓・小菅 正裕・山中 佳子・片尾 浩・松島 健・八木原 寛・中山 貴史・平原 聡・河野 俊夫・堀 修一郎・松澤 暢・2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ,2021,東北地方の応力場と発生した地震の断層面との関係(3),日本地震学会2021年度秋季大会,S09P-11

岡田真介・安保亮汰・岡田知己,2021,ブーゲー重力異常を用いた仙台平野南部の伏在活断層の南方への連続性,物理探査学会第145回学術講演会

安保亮汰・岡田真介・岡田知己,2021,重力探査による仙台平野南部の伏在活断層の南方延長の推定,日本活断層学会2021年度秋季学術大会

Diba, D., M. Uyeshima, M. Ichiki, M., S. Sakanaka, M. Tamura, Y. Yamaya, Y. Usui,2021a,Characteristic features of the response functions estimated from a wide-band magnetotelluric (MT) data in the southern Tohoku area,日本地球惑星科学連合2021年大会

Diba, D., M. Uyeshima, M. Ichiki, S. Sakanaka, M. Tamura, Y. Usui,2021b,Electrical resistivity structure beneath the southern part of Tohoku, Japan revealed by magnetotelluric (MT) method,SGEPSS秋季大会

市來雅啓・海田俊輝・小川康雄,2021,東北地方のインダクションベクトルと虚部のインダクションベクトルについて,SGEPSS秋季大会

Ishizu, K., Y. Ogawa, K. Nunohara, N. Tsuchiya, M. Ichiki, H. Hase, W. Kanda, S. Sakanaka, Y. Honkura, Y. Hino, K. Seki, H. T. Kuo, Y. Yamaya, T. Mogi,2021c,Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan,AGU Fall Meeting

石須慶一・小川康雄・布原 啓史・土屋 範芳・市來 雅啓・長谷 英彰・神田 径・坂中伸也・本藏義守・日野裕太・関香織・Kuo Hsuan Tseng・山谷祐介・茂木透,2021a,MTデータによる超臨界地熱貯留層の空間分布と流体割合の推定: 東北湯沢地熱域での例,物理探査学会第145回学術講演会

石須慶一・小川康雄・布原 啓史・土屋 範芳・市來 雅啓・長谷 英彰・神田 径・坂中伸也・本藏義守・日野裕太・関香織・Kuo Hsuan Tseng・山谷祐介・茂木透,2021b,MTデータを用いた超臨界地熱貯留層の空間分布と流体割合の推定: 湯沢地熱域における ケーススタディ,日本地熱学会令和3年度学術講演会

増田章吾・小川康雄・市來雅啓,2022,東北地方中央部の広帯域MTデータコンパイル,Conductivity Anomaly 研究会

Usui, Y., M. Uyeshima, H. Hase, H. Ichihara, K. Aizawa, T. Koyama, S. Sakanaka, T. Ogawa, Y. Yamaya, T. Nishitani, Y. Ogawa, R. Yoshimura, S. Takakura, M. Mishina, Y. Morita,2021,Three-dimensional electrical resistivity structure beneath the back-arc side of the southern Tohoku region,SGEPSS秋季大会

織茂雅希・吉田 圭佑・平 貴昭・松澤 暢・長谷川 昭・江本 賢太郎,2021,日本列島内陸域の通常地震と低周波地震の震源スペクトルの形状の推定,日本地震学会2021年度秋季大会

吉田 圭佑・金森 博雄,2021,Radiated energy and source complexity of small earthquakes estimated from a large source time function data base in Japan,日本地震学会2021年度秋季大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和4年度実施計画の概要:

これまでに実施した臨時地震観測や構造探査について、引き続き解析を進める。地震活動・地下(地殻)構造・応力場の推定を行う

S-netを利用し、東北沖合上盤側で発生している地震活動の断層構造・応力状態を調べる。そのために震源再決定、CMT解推定の数値テストと適用を行う。福島-茨城県境周辺で発生している地震活動の繰り返し発生の可能性について詳細に調べる。日本列島の地震観測点のサイト特性について系統的に調べる。2008年岩手宮城内陸地震の余震、周辺の低周波地震の震源特性の特徴について詳細に調べる陸

域で発生した地震の破壊伝播方向，放射エネルギー，複雑性の特徴について系統的に調べる。波形相関の距離減衰の特徴を系統的に調べる。

地震波干渉法による常時微動表面波トモグラフィー手法をS-netや海陸の稠密観測網のデータへ適用し、高分解能な構造推定をもとに、地震活動等との比較を行う。

比抵抗構造による東北地方の地殻応答、地殻構造については、引きつづきコンパイルしたデータを解析し、構造モデルを提出することで地殻応答計算の入力として貢献する。

3次元の余効変動のモデル化を引き続きすすめるとともに、東北日本全域の粘性率不均質性を明らかにしていくことを目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己（東北大学大学院理学研究科），松澤暢（東北大学大学院理学研究科），高木涼太（東北大学大学院理学研究科），吉田圭佑（東北大学大学院理学研究科），内田直希（東北大学大学院理学研究科），市來雅啓（東北大学大学院理学研究科），三浦哲（東北大学大学院理学研究科），武藤潤（東北大学大学院理学研究科），矢部康男（東北大学大学院理学研究科），山本希（東北大学大学院理学研究科），太田雄策（東北大学大学院理学研究科），日野亮太（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

芝崎文一郎（建築研究所），岡田真介（岩手大学），福島洋（東北大学災害科学国際研究所），勝俣啓（北海道大学），高橋浩晃（北海道大学），前田拓人（弘前大学），山中佳子（名古屋大学），片尾浩（京都大学防災研究所），松島健（九州大学），八木原寛（鹿児島大学），坂中伸也（秋田大学），上嶋誠（東京大学地震研究所），大園真子（東京大学地震研究所），小川康雄（東京工業大学），山谷祐介（産業技術総合研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

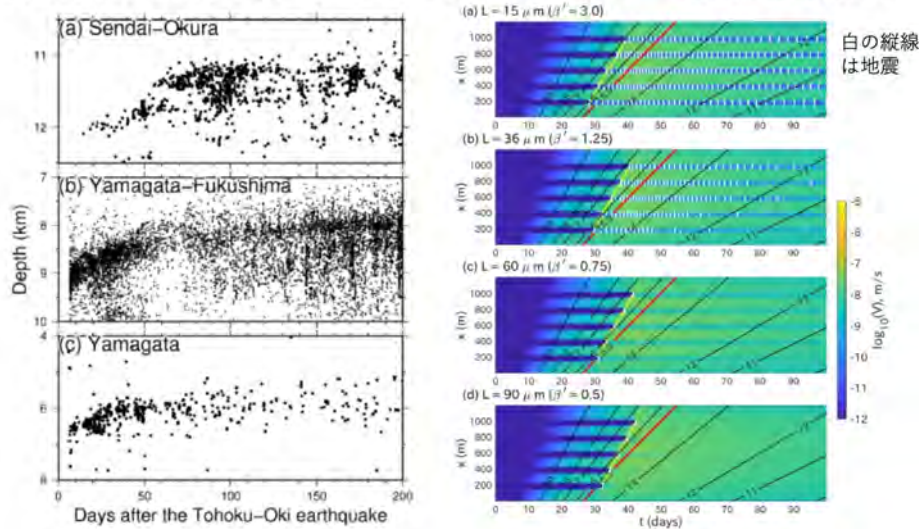
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己

所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

2011年東北沖地震後に東北日本内陸域で発生した群発地震活動の発生シミュレーション Yoshida et al. (2021)

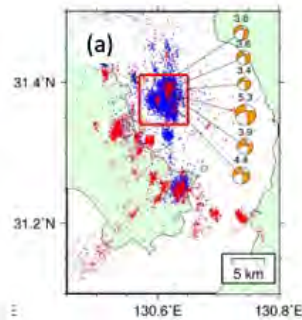


深部から浅部への migration を再現. Brittleness β が小さい場合に, 観測された破壊の伝播方向 (深部から浅部) も説明.

図1. 2011年東北沖地震後に東北日本内陸域で発生した群発地震活動の発生シミュレーション
左は観測事例を示す。右はシミュレーション結果を示す。R_c = Critical nucleation length と R_in = Length of velocity-weakening patch の比 = Brittleness (R_in / R_c; Beta) による結果の違いを示す。

2017年鹿児島湾での M5.3 の前震-本震-余震系列の発生に深部から浅部への流体移動が関与していた可能性

前震活動・余震活動の発生場所が徐々に移動した



[Matsumoto et al., 2021]

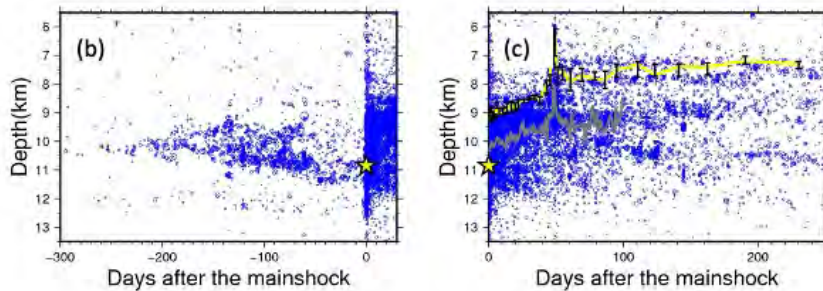


図2. 2017年鹿児島湾の地震の震源分布
(a) 2017年鹿児島湾の地震の震源分布 (2003.1.1-2018.8.8)。赤・青はそれぞれ前震・余震を示す。赤の四角は震源域を示す。発震機構解 (数字はマグニチュード) を合わせて示す。(b) 震源の時間-深さ分布。星

は本震を示す。(c) 余震の時間-深さ分布。黄色の線は400地震毎に浅いほうから10%の地震の深さを示す。黒のエラーバーは95%信頼区間を示す。灰色の線は100日間1日毎のすべての余震の平均の深さを示す。

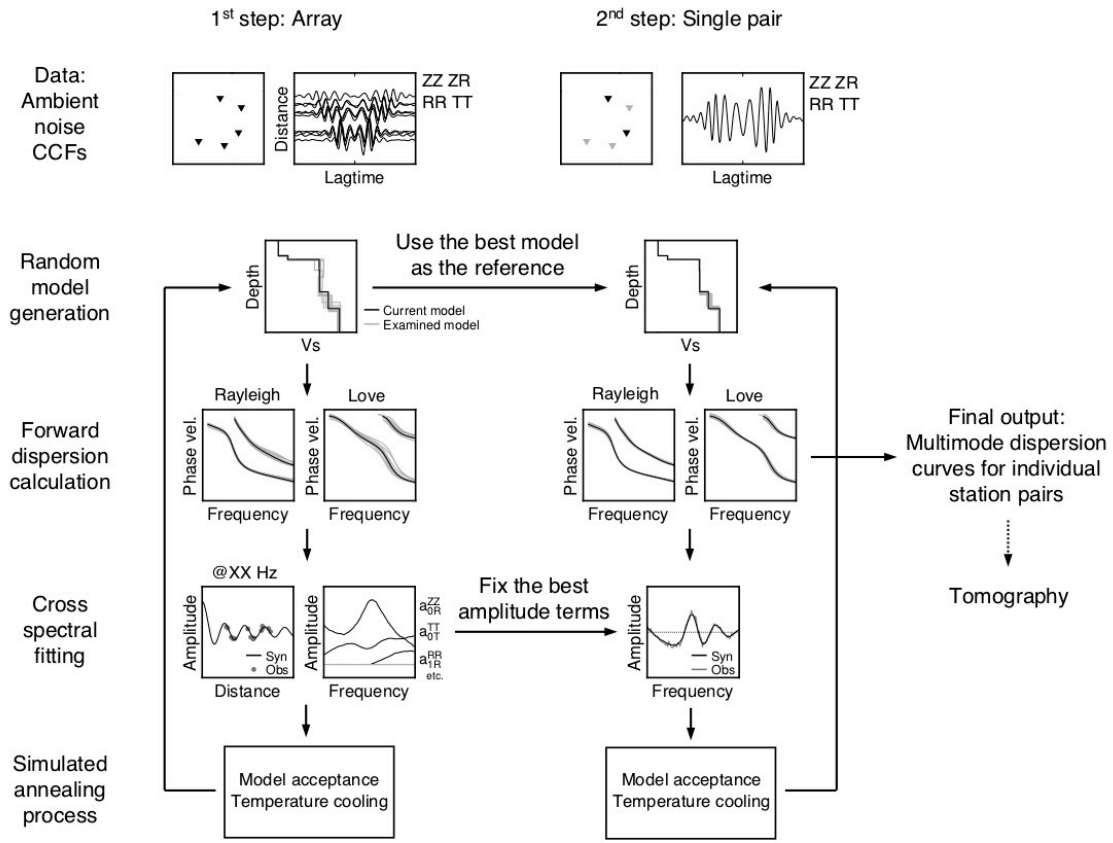


図3. マルチモード分散曲線推定の概念図。

アレーと1観測点ペアのクロススペクトルに対して2段階のフィッティングにより、分散曲線を推定する。

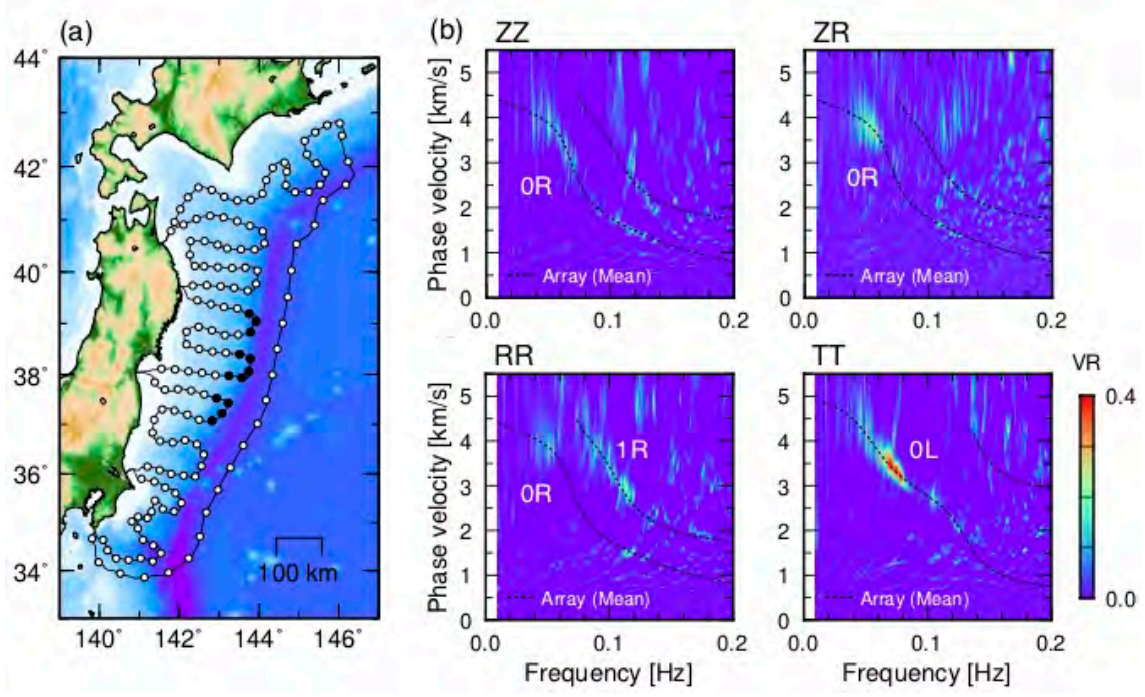


図4. 開発した手法をS-netに適用した例。

(a) 白丸はS-net全点、黒丸は使用した観測点を示す。(b) 上下動成分同士(ZZ)・上下-動径成分(ZR)・動径成分同士(RR)・横成分同士(TT)に対する簡便的なクロススペクトルフィッティング(Nishida et al. 2008)による分散曲線推定結果をカラーコンターで表す。黒点線は本手法により推定したアレイ平均の分散曲線。0R、1R、0Lはそれぞれレイリー波基本モード、レイリー波1次高次モード、ラブ波基本モードを表す。

吾妻山における比抵抗構造とS波速度構造との比較 (Ichiki et al., 2021)

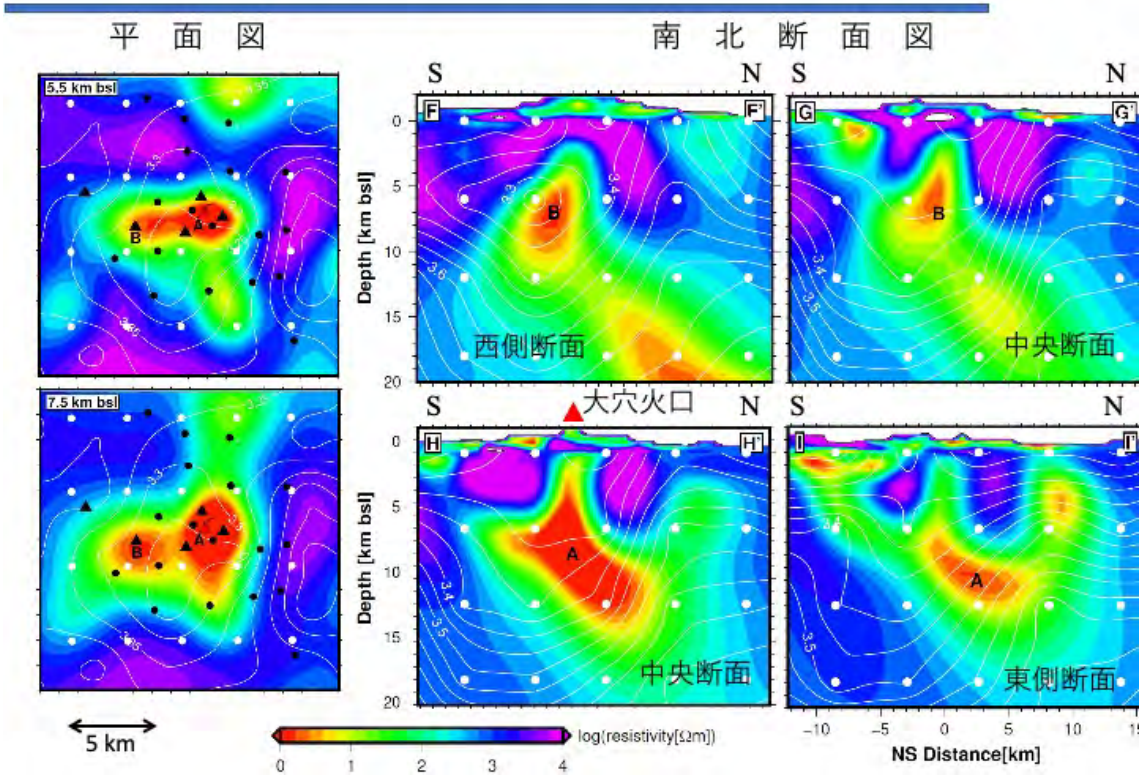


図5. 吾妻山付近の三次元比抵抗構造。

左は深さ5.50km, 7.50kmにおける平面図。▲は火口など、●は測定点を示す。右は大穴火口を通る南北断面図。白線はOkada et al. (2015)によるS波速度構造。白丸はS波速度構造推定の際に用いたグリッドの位置を示す。

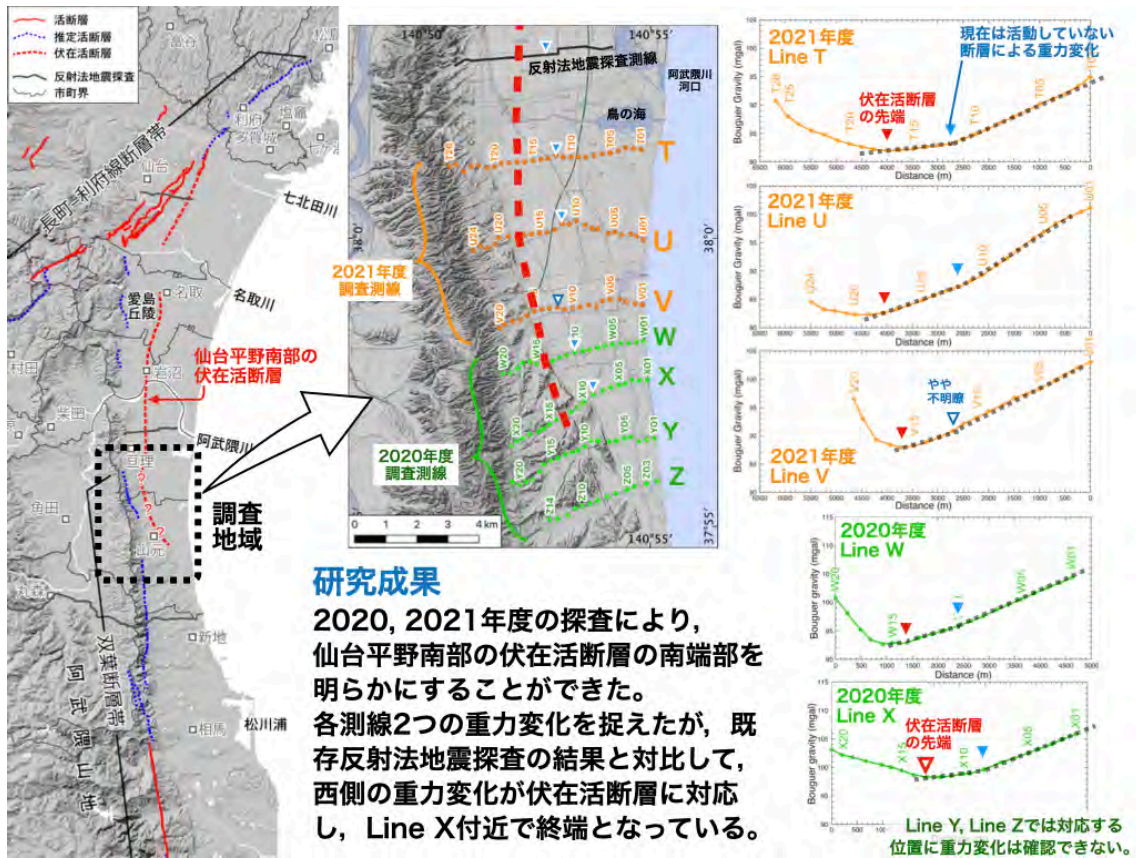


図6. 仙台平野南部における伏在断層の浅部構造探査

2020, 2021年度において、東西方向に7測線を設定し、合計144点において相対重力測定を実施した。その結果、伏在活断層は宮城県名取市から亘理郡山元町高瀬付近（調査測線X）までの約25 kmにわたって連続することが明らかになった。全体として西に傾き下がるブーゲー重力異常に、2つの重力変化が確認でき、既存反射法地震探査と対比した結果、西側の重力変化が伏在活断層の浅部先端に対応したものであると解釈できる。

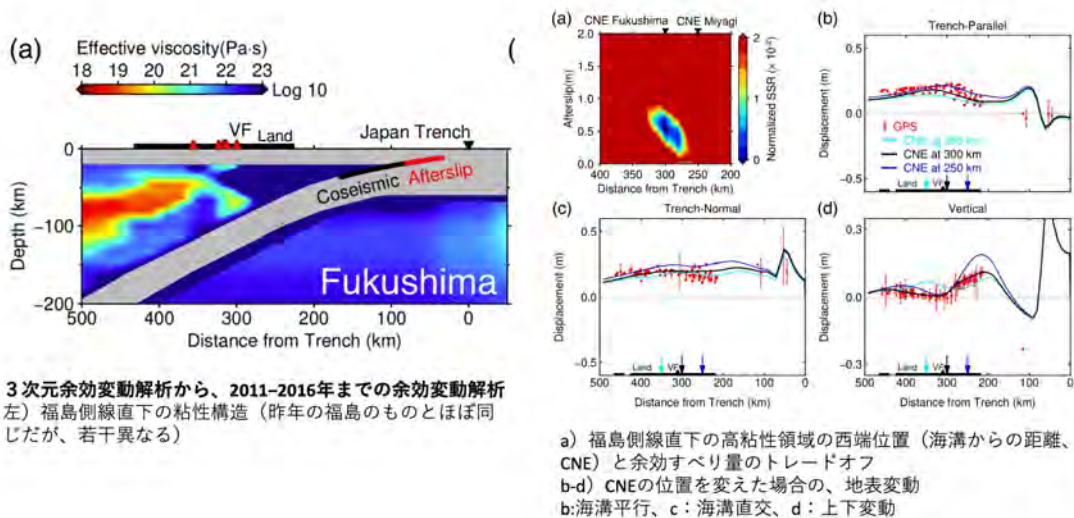


図7. 2011-2016年までの余効変動解析

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

集中地震観測による火山体構造・火山現象発生場の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年、高精度の多項目火山観測の拡充により、噴火に先行する中長期的なマグマだまりの変動や、噴火直前の火山体浅部における諸火山現象が検出・解明されつつある。このような一連の火山現象を支配するやや深部から浅部までのマグマ供給系・熱水系を含む火山体構造を明らかにすることは、現象の理解・噴火活動の推移予測（噴火事象系統樹の分岐過程）の基礎情報となるとともに、噴火事象系統樹・噴火活動推移モデルにおける時間発展の把握・理解にとって不可欠である。

これまでの噴火予知計画や地震火山観測研究計画においては、人工地震を用いた火山体構造探査が全国の活火山で継続的に行われ、その結果、火山浅部の詳細な地震波速度構造が明らかになり、火山現象の理解の進展に貢献してきた。しかしながら、浅部に低速度構造をもつ火山体構造故に、マグマだまりが存在するやや深部（～地下10 km弱）の構造の理解は十分とは言い難い。一方で、近年の地震波干渉法等の地震波伝播理論・解析手法の発展により、やや深部の地震波速度構造、さらには構造異方性を推定できる可能性が示されつつある。

そこで本研究課題では、マグマだまり及び浅部の両者において火山活動に伴う変動が見られている蔵王山及び箱根山をテストフィールドとして、それぞれ約2年間の集中地震観測を全国連携で実施し、やや深部から浅部にかけての地震波速度構造を推定することで、火山性流体の分布・供給路を明らかにし、噴火活動推移のモデル化に資する基礎情報を得ることを目指す。具体的には、地震波干渉法に

よる表面波解析により速度構造及び異方性の推定を行うとともに、既存データも併用して自然地震トモグラフィの分解能向上を図り、火山体やや深部構造の推定方法の確立を目指す。また、想定火口域近傍に観光客等が訪れる両火山において観測研究を進めることにより、防災対策に必要なとなる中長期的な噴火ポテンシャルや切迫度の評価のための科学的情報を取得し、火山災害軽減に資することを旨とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

やや深部（～約10 km）から浅部までの火山体構造推定のために、蔵王山及び箱根山の周辺約30 km四方に臨時地震観測点20～30点を展開する。それぞれの火山において約2年間の連続観測を実施し、地震波干渉法解析・自然地震トモグラフィに必要なデータを取得し、既設地震観測点のデータも用いて火山体構造推定を行う。箱根山における観測は、神奈川県温泉地学研究所の支援を受けつつ実施する。

両火山においては、地震学的・電磁気学的な広域構造等についての既往研究結果があるため、これらの結果と本研究課題で得られた構造との統合的な解釈を進め、火山性流体の分布を明らかにする。また、各手法によって推定した構造の比較を行い、火山体構造推定の高度化に向けた検討を進める。各年度では、以下のように研究を実施する。

2019年度：既存データ・既往研究結果をもとにした予備解析を進めるとともに、観測・解析の事前シミュレーションを行い、観測点配置等の検討を行う。

2020年度：蔵王山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。得られたデータをもとに構造解析に着手し、観測データの質のチェック・予備解析を行う。

2021年度：蔵王山における観測を積雪期前まで継続し、解析データの蓄積を行う。年度後半に箱根山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。

2022年度：蔵王山で得られたデータを用いて構造解析を進めるとともに、得られた構造を用いた震源再決定等を行い、火山現象とその発生場の関連を検討する。また、観測期間中の構造時間変化の抽出を行う。また、箱根山における保守作業において回収したデータを用いた構造解析に着手する。

2023年度：箱根山における観測を継続するとともに、箱根山の構造解析を進める。両火山で得られた構造をもとに、火山性流体の分布形態・供給路の推定を行い、火山活動評価に資する情報の抽出を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題では、令和2年度から全国大学関係者と連携して蔵王山周辺において臨時地震観測網を展開し、マグマだまりの想定深度（地下約5 km）を中心とするやや深部の火山体構造の推定に着手する予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染症が拡大をうけ、地震観測網の展開は令和3年度に延期することとした。令和3年度には観測網の設置を順次進め、観測を開始した。令和元年度に実施した予備的解析によると、地震波干渉法によるやや深部の地下構造推定にあたっては季節変動成分などの影響軽減のために半年以上のデータ蓄積が望ましい。そのため蔵王山における観測は令和4年度まで継続し、令和3年度末から開始する箱根山における臨時地震観測と一部並行して観測を実施することで本課題の5か年の目標に影響がでないよう計画を進めることとした。箱根山における観測については、令和3年度に観測候補地点の選点作業・許認可手続きを進め、観測網の設置作業に着手した。これらの設置作業の一部を役務外注とすることで、観測の効率化、新型コロナウイルス感染症対策の影響を軽減を図った。

令和3年度には、火山噴火予知計画において実施された人工地震火山体構造探査のデータを活用した地震波散乱係数の系統的な推定を引き続き実施し、2015年度に実施された蔵王山人工地震探査記録の解析結果など解析事例を増やし、火山地帯における地震波干渉法解析の基礎的知見の蓄積を進めた。各火山における人工地震探査記録に多重等方散乱モデルを仮定した手法を適用して全散乱係数を系統的に推定した結果を図1に示す。これらの結果は、短波長不均質性の強い火山地帯においてはP波・S波の変換散乱（モード変換）が卓越し、短時間でエネルギー等分配の状態に遷移することを示唆し、地震波干渉法解析や自己相関関数・疑似反射断面解析の有効性を裏付けると言える。令和2年度に本課題で実施した磐梯山1997年自然地震観測の自己相関関数解析による反射面推定や前田・渡辺(2021)による御嶽山山頂域での同様の解析などは、このような基礎的知見のもとで解釈が進められる

ものと期待される。これらの解析結果等を踏まえ、令和4年1月には課題研究集会を実施し、火山活動推移モデルへの貢献や火山体構造推定の方向性などについて議論を行った。

また、H/V比（水平動・上下動振幅比）やサイト増幅特性を用いて、火山地帯における地震波動場の特性の検討も進めた。その結果、人工地震構造探査の稠密地震観測網の各観測点においてコーダ波と雑微動それぞれから推定した相対的サイト増幅係数は良い一致を示すことが明らかになった（図2）。この結果は、火山地帯においてはコーダ波と雑微動は類似した波動構成であることを表し、強い短波長不均質性によって短時間でエネルギー等分配に遷移することと調和的である。これは、火山地帯におけるF-P時間を用いたマグニチュード推定やASL法による震源決定などの適用可能性の一つの背景となっていると考えられる。

さらに、本課題で研究対象とする火山やや深部（～地下約10 km）における火山現象を支配する火山深部から浅部への熱・物質の移動を明らかにするために、モホ面付近で発生する深部低周波地震の発生様式と浅部火山活動との関係についての調査もあわせて進めた。この結果、2011年東北地方太平洋沖地震以後に深部低周波地震の活動活発化がみられた蔵王山においては、モホ面直上のクラスタの活発化のあと、やや浅い側の深部低周波地震クラスターが活発化し、その約1年後に深さ約6 kmでのマグマだまりの膨張や浅部（～2 km）での地震活動や熱活動の変化が起きるなど、火山深部から浅部にかけての一連の火山現象の時空間的推移を明らかにすることができた（Ikegaya and Yamamoto, 2021）。このような火山深部と浅部の火山活動の対応は、箱根山（Yukutake et al, 2019）や御嶽山（名古屋大学, 2021）などでも示されており、多様な火山現象の発生場を理解するために火山直下やや深部の構造推定が重要であることを示唆する。また、機械学習（CNN, Convolutional Neural Network）を用いた火山性地震のタイプ分類手法の検討を進め、火山活動の推移に伴った地震活動の変化を系統的・客観的に把握するための手法の開発も進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

関連の深い建議の項目の目的である「火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明」に資するよう集中観測の実施及び既存データの解析・解析手法の開発を進めている。一方で、新型コロナウイルス感染症拡大等の影響により集中観測の実施にやや遅れが生じている。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ikegaya, T. and M. Yamamoto, 2021, Spatio-temporal characteristics and focal mechanisms of deep low-frequency earthquakes beneath the Zao volcano, northeastern Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 417, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107321

・学会・シンポジウム等での発表

山本希, 2021, 火山浅部短波長不均質性による地震波散乱係数の推定, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-P23

前田裕太・渡辺俊樹, 2021, 自己相関関数の誤差評価－反射断面推定の信頼性向上に向けて, 日本地震学会2021年度秋季大会, S01-03

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

蔵王山及び箱根山における集中地震観測を継続し、それらのデータを用いた構造解析を進める。また、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトにおいて蔵王山で実施したAMT観測による比抵抗構造推定の結果や機動地震観測のデータを用いて火山性流体の分布・供給路の推定を進め、火山現象とその発生場の関連を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山本 希（東北大学大学院理学研究科）、岡田知己（東北大学大学院理学研究科）、高木涼太（東北大学大学院理学研究科）、西村太志（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学大学院理学研究院）,大湊隆雄（東京大学地震研究所）,寺田暁彦（東京工業大学理学院）,前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究科）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松島健（九州大学大学院理学研究院）,中道治久（京都大学防災研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
 電話：022-225-1950
 e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
 URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本 希
 所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

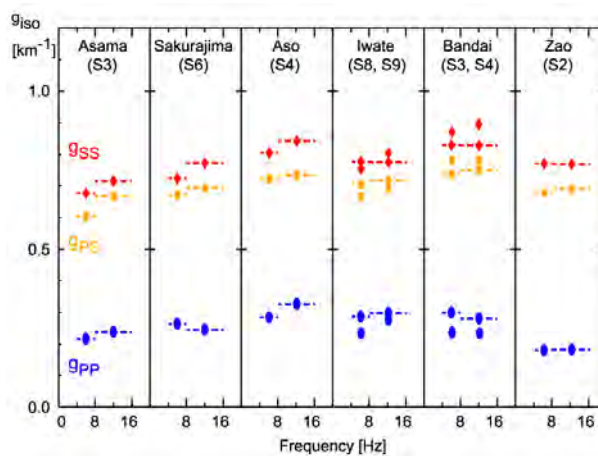


図 1. 人工地震火山体構造探査の記録を用いて推定した火山浅部不均質構造（全散乱係数）

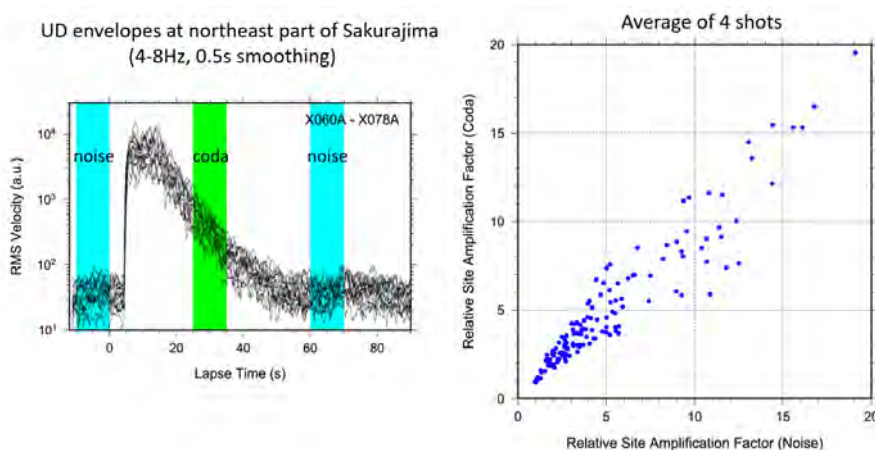


図 2. コーダ波・雑微動を用いて推定した相対的サイト増幅特性の関係

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

繰り返し地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

繰り返し地震を用いて断層面の固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化し、地殻活動の理解を進め、地震発生予測の高度化に資する。そのため、プレート境界および内陸地域で発生する繰り返し地震のカタログを整備する。さらに、繰り返し地震の再来特性を理解し、大地震の発生モデルの構築に寄与することで、将来発生する大地震の地震像およびその変動範囲の推定に役立てることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 繰り返し地震カタログの更新

前計画で作成した日本の小～中規模の繰り返し地震カタログをアップデートし繰り返し地震活動のモニタリングを行う(2019-2023)。地震の震源再決定、発震機構解の推定および地震波速度構造の時間変化の推定を行い、同一場所での地震の再来を検証する(2020-2023)。また、日本のHi-net以前の大学観測データやS-netやDONET等の新規データの活用も検討し、より長期間および小規模の繰り返し地震の活動を把握する(2020-2023)。また、世界の繰り返し地震活動についても調べ、テクトニクスの違いによる繰り返し地震の特徴の共通点・相違点についての知見を新たに得る(2020-2022)。

2. 断層面固着状態の推定

沈み込むプレート境界および内陸活断層における固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化する。特に、すべりレートの推定に用いるスケーリング則の検討を行う(2019-2023)。震源過程解析や地震波形のシミュレーション、繰り返し地震以外の地震等を用い、すべり推定手法の検討を行う(2019-2023)。さらに、繰り返し地震と通常地震やスロー地震の関係を調査する(2019-2020)。

また、南アフリカ大深度金鉱山において見つかっている、破壊サイズ数十mmという超微小繰り返し地震についても解析を行う(2019-2023)。同観測では14ヶ月の期間に最大50回もの繰り返しを確認されており、活動パターンや震源特性の時間変化を短い時間で検出できると期待される。

3. 地震再来特性の解明

繰り返し地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの特徴や原因を、地震の震源過程解析、統計解析および数値シミュレーションにより明らかにする(2019-2023)。また、中小の繰り返し地震の特性を解明することが大地震の地震像の推定に役立つかどうか調べるために、規模の異なる繰り返し地震の性質を比較検討する(2022-2023)。

4. 重点地域における地震観測

島嶼部地震観測空白域での地震カタログの構築および沿岸・内陸地域において小規模繰り返し地震群発生の特徴を詳細に調べるため、小笠原諸島伊豆鳥島・房総半島・釜石地域など重要な既存の臨時観測点を維持するとともに内陸の地震活動をターゲットとした調査観測も行う(2019-2023)。伊豆鳥島の観測では、この地域の繰り返し地震は、数年程度という比較的長い発生間隔を持つと期待されるため、今期の観測の継続・定期的な保守によりこの地域の繰り返し地震の有無が調査できる。釜石地域においては、計画期間中にM5程度の地震の発生が予測される。この地震の近傍に構築したオフライン観測の継続により、微小地震活動を通じM5程度繰り返し地震の1サイクルにおける準備過程を調べる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[繰り返し地震カタログの更新]

・日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、日本列島周辺及び世界で発生した繰り返し地震活動の検出を行った。また、世界の地震観測点で観測された地震波形データの解析についてもプログラム開発に着手した。

・過去に蓄積した稠密観測データの中から小繰り返し地震の探索を行うための準備として、深層学習を利用した新たな地震カタログ作成手法の検討を行った。深層学習は有効な特徴量を大量の学習データから自動で発見する仕組みであるため、学習データが十分に用意できる範囲においては、連続波形データから地震カタログを作成するまでをいくつかのプロセスに分割するよりも、End-to-endでの処理を行うほうが良い結果が得られると考えられる。地震カタログ作成の例では、連続波形データから直接震源を推定するネットワークを作成することに対応し、実際、先行研究においては1観測点のデータのみからでも、その波形の特徴を用いてある程度震源を決められることが指摘されている。その一方、観測波形を用いて波形から直接震源決定を行う場合には、過去に地震が起こっていない場所の地震は震源を推定できなくなるという問題が生じる。これを解決するために、理論波形を用いる手法も提案されているが、モデリングの難しい高周波成分を効果的に使うことが困難で、自動化による恩恵が大きい、大量の小さな地震を処理する能力の向上が難しいと考えられる。そこで本年度は、連続波形から地震カタログを作成するプロセスを、1) 観測波形から走時の確率トレースを計算するプロセスと、2) 多数の観測点の走時確率トレースから震源座標と発震時刻を推定する2つに分解し、これ

らを2つの深層学習ネットワークで処理することを試みた。1)ではすでに検測処理されている波形を、2)では、仮想的に与えた震源の理論走時をもとにデータを作成し、ネットワークの学習に用いる。本年度は、室内水圧破碎実験で得られたAEデータを対象として過去の研究で得られた波形記録と、数値的に作成した震源の確率トレースをもとにネットワークの学習を行い、誤差を与えて作成した確率トレースに対してある程度の精度で震源決定ができることを確認した(直井, 2022)。

[断層面固着状態の推定]

プレート境界地震に関しては、測地データから得られる地殻変動情報との比較を行い、短期から長期にわたるすべり速度変化の推定可能性について検討を行った。世界の沈み込み帯における非地震性すべりの空間分布・時間変化の特徴を調べた結果、プレート境界型巨大地震発生サイクルにおいてプレート間すべり速度が長期的に変化する傾向を明らかにすることができた。(図1, Igarashi and Kato, 2021)。すべり速度は地震発生直後に急激に増加し、その後10年程度かけて徐々に減少する一方、地震発生から30年以上経過すると、すべり速度は徐々に増加していく傾向が見られる。これらは余効すべりの発生及び応力レベルの上昇と関連していると示唆される(Igarashi and Kato, 2021)。さらに、東北日本地域において、巨大地震発生から10年経過した後のすべり状況変化について調査を進め、2021年に発生したM6クラスの地震発生後に生じた余効すべりはいずれも比較的小規模に収まったことを確認した。

一方、内陸の繰り返し地震に関しては、2016年熊本地震震源域周辺で発生した地震(Mj1.5~4.5)を対象に2016年4月14日から約2年間の期間において4つ以上の相似地震候補をもつ地震群に対して再検測およびdouble-difference法による震源再決定を行い、11組の相似地震を検出した(図2, 森・平松, 2021)。これらの相似地震の組は全て2つの地震から構成されている。相似地震は日奈久断層帯の震源域とその南西延長部の余震域に分布するが、布田川断層帯の震源域では相似地震は検出されなかった。日奈久断層帯の震源域の相似地震はAsano and Iwata (2016)によるすべり量の小さな領域に位置しており、先行研究と同様にアスペリティの位置とは相補的な関係が見られた。余震域での相似地震からSomerville et al. (1999)のスケリーング則を用いて推定されたすべり速度はHashimoto (2020)で測地的に観測されたすべり速度と調和的であった。一方、Nadeau and Johnson (1998)のスケリーング則は過大な滑り速度が推定された(森・平松, 2021)。

さらに繰り返し地震以外のデータも用いた、固着状況の推定に関連して、長期孔内観測装置の間隙水圧記録とDONETの海底水圧記録を活用することで、孔内の体積歪を精度向上を図った。これにより従来と比較して潮汐によるノイズを1/4~1/2以下に軽減させることに成功し、2020年3月に発生したスロースリップイベントにより生じた体積歪の収縮蓄積過程を、断層から離れた南海トラフ近傍でも直接捉えることに成功した(図3、4, Ariyoshi et al., 2021)。さらに、最新の海中天気予報(JCOPE-T DA)を活用して、気象・海象擾乱による海底圧力変化を解析することにより、南海トラフ沿いで繰り返し発生している浅部スロースリップイベントの終息時期について、黒潮蛇行に伴う海洋擾乱の影響を受けている可能性を示した(Ariyoshi et al., 2021)。

[地震再来特性の解明]

大地震後の余震誘発により発生間隔が急激に変化する中小規模の繰り返し地震に対する非定常更新過程を提案した(野村・田中, 2021)。提案モデルでは、上に述べた非定常更新過程の相対的な蓄積率の推移を、定数と大地震後の余震誘発効果の和で表現しており、将来の蓄積率の推移を予測することで、大地震後の余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の将来予測が可能となる。提案手法を東北地方太平洋沖に存在する中規模の繰り返し地震群の2019年までの発生データへと適用し、2011年東北地方太平洋沖地震以降の余震発生頻度の時間推移を大森・宇津の法則に従って推定および予測した上で、将来の繰り返し地震の発生確率の評価を与えた(図5)。

また、繰り返し地震活動も活発な、深さ30-60kmのプレート境界地震の分布域の深部の地震について、その破壊過程の特徴を調べた。この研究では、海域のS-netを活用し、広い方位角での見かけ震源時間関数を小地震の波形を経験的グリーン関数として用い推定し、破壊伝播指向性を系統的に調べた。見かけ震源時間関数にモデルの当てはめをした結果、80%以上の地震が破壊の指向性を持ち、破壊が深部側に浅部側に伝播する地震が多いことを明らかにした(図6, Yoshida et al., 2022)。この結果は、プレート境界深部からの定常的なローディングあるいは、深部から浅部への流体の移動が関係していると考えられる。このような、プレート境界地震分布域深部での、浅部へ向けたすべりは、より浅部の大地震の主要なすべり域の応力を増加させるので、非常に重要な現象と考えられる(Yoshida et al.,

2022)。

[重点地域における地震観測]

・釜石市周辺および伊豆鳥島での地震観測を継続した。
・鳥島においては、衛星携帯電話を使ったオンデマンド型テレメータ装置が稼働している（図7）。また連続データに関しては、山階鳥研職員に依頼してCFカードを2021年11月に回収した。2022年3月にも回収予定。電源としているソーラーパネルの枠の腐食が激しく、近い将来本格的な補修が必要になる可能性がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

繰り返し地震は、プレート境界等断層の滑りの時空間変化の把握に用いることができる。本研究では、繰り返し地震のモニタリング（繰り返し地震カタログの更新）に加え、断層面固着状態の推定や、地震再来特性の解明、重点地域における地震観測を進めており、「関連の深い建議の項目」の目的達成へ大きく貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Igarashi, T. and A. Kato, 2021, Evolution of aseismic slip rate along plate boundary faults before and after megathrust earthquakes, *Commun. Earth Environ.*, 2, 1, 1-7, doi:10.1038/s43247-021-00127-5

Uchida, N. and R. Burgmann, 2021, A decade of lessons learned from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Rev. Geophys.*, 59, e2020RG000713, doi:10.1029/2020RG00071

Tanioka Y., N. Uchida, A. R. Gusman, M. Shishikura, and T. Nishimura, 2021, Special issue, “Kurile arc subduction zone: View of great earthquake generation and disaster mitigation of related phenomena”, *Earth Planets Space*, 63, 1-2, doi:10.1186/s40623-021-01439-8

Matsumoto, Y., Yoshida, K., Matsuzawa, T. & Hasegawa, A., 2021, Fault-valve behavior estimated from intensive foreshocks and aftershocks of the 2017 M 5.3 Kagoshima Bay earthquake sequence, Kyushu, southern Japan, *J. Geophys. Res.*, 126, e2020JB020278, 10.1029/2020jb020278

松澤暢・吉田圭祐・内田直希, 2021, 2021年3月（M6.9）と5月（M6.8）の宮城県沖の地震について, 地震予知連絡会会報, 106

野村俊一・田中昌之, 2021, 余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の予測, 統計数理, 第69巻, 第2号

Ariyoshi, K., T. Kimura, Y. Miyazawa, S. Varlamov, T. Iinuma, A. Nagano, J. Gombert, E. Araki, T. Miyama, K. Sueki, S. Yada, T. Hori, N. Takahashi, S. Kodaira, 2021, Precise Monitoring of Pore Pressure at Boreholes Around Nankai Trough Toward Early Detecting Crustal Deformation, *Frontier Earth Science*, 9, 717696, 10.3389/feart.2021.717696

Yoshida, K., Noda, H., Nakatani, M. & Shibazaki, B., 2021, Backward earthquake ruptures far ahead of fluid invasion: Insights from dynamic earthquake-sequence simulations, *Tectonophysics*, 229038, 10.1016/j.tecto.2021.229038

Yoshida, K., Uchida, N., Kubo, H., Takagi, R. & Xu, S., 2022, Prevalence of updip rupture propagation in interplate earthquakes along the Japan trench, *Earth Planet Sc Lett*, 578, 117306, 10.1016/j.epsl.2021.117306

・学会・シンポジウム等での発表

直井誠, 2022, 走時の確率トレースを利用した深層学習による震源決定, 防災研究所研究発表講演会

森 絵万、平松良浩, 2021, 2016年熊本地震の相似地震, 日本地震学会2021年度秋季大会, S08P-01

吉田 圭祐, 松澤 暢, 内田 直希, 2021, Initiation of the M[~]9 earthquake cycle: the 2021 Miyagi-Oki Mw7.0 earthquake at the deep seismic/aseismic transition, 日本地震学会2021年秋季大会

吉田 圭祐, 金森 博雄, 2021, Radiated energy and source complexity of small earthquakes estimated from a large source time function data base in Japa, 日本地震学会2021年秋季大会

Keisuke Yoshida, Akira Hasegawa, Shinako Noguchi, Keiji Kasahara, 2021, Low-frequency earthquakes in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate,

Hokkaido, northern Japan,日本地球惑星科学連合2021年大会

池田 里奈, 吉田 圭佑, 高橋 諒, 松澤 暢, 長谷川 昭,2021,2011年東北沖地震後から福島-茨城県境周辺で活発化した地震活動に見られる内陸の繰り返し地震,日本地球惑星科学連合2021年大会

行竹 洋平, 吉田 圭佑, 本多 亮,2021,Aseismic process driving the earthquake swarm, revealed by the dense seismic observation,日本地球惑星科学連合2021年大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、日本および世界での繰り返し地震活動のモニタリングを行う。また、世界の繰り返し地震活動についても調べ、テクトニクスの違いによる繰り返し地震の特徴の共通点・相違点について調査する。

新たな繰り返し地震検出システムの構築に向けて、抽出に使用するデータ作成法及び比較方法のテストを行う。測地データから得られる地殻変動情報との比較を行い、すべり速度の時空間変化の推定を行う。

繰り返し地震データを用いた固着状態の時間・空間的变化をモニタリングや、統計解析・シミュレーション解析もすすめ、繰り返し地震の活動特性の研究をすすめる。また、宮城県沖のM⁻⁷の繰り返し地震系列について、震源域周辺の小繰り返し地震の発生状況から応力蓄積率の推移を推定および予測して、次の地震の発生確率を評価する。重点地域における地震観測も引き続き行う。

これまでに開発した小～中規模の繰り返し地震活動に対する非定常更新過程モデルに基づき、時間域と空間域で異なる種類のスプライン関数のテンソル積表現を用いて、プレート準性的滑りの将来の時空間推移を短期的に予測するモデルを開発する。

深層学習を利用した新たな地震カタログ作成に関して、本年度作成したネットワークの実データへの適用を行いつつ、ネットワークの改善を進め、その後南アフリカ金鉱山や日本で実施した稠密観測データ等への適用を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

内田直希（東北大学）,松澤暢（東北大学）,吉田圭佑（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

五十嵐俊博（東京大学地震研究所）,加藤愛太郎（東京大学地震研究所）,加藤尚之（東京大学地震研究所）,前田拓人（弘前大学）,直井誠（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）,松島健（九州大学）,木村尚紀（防災科学技術研究所）,松原誠（防災科学技術研究所）,有吉慶介（海洋研究開発機構）,鹿児島大学,金沢大学,横浜市立大学,首都大学東京,統計数理研究所,気象研究所,UC Berkeley,早稲田大学の研究者とも連携して実施

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：内田直希

所属：東北大学理学研究科

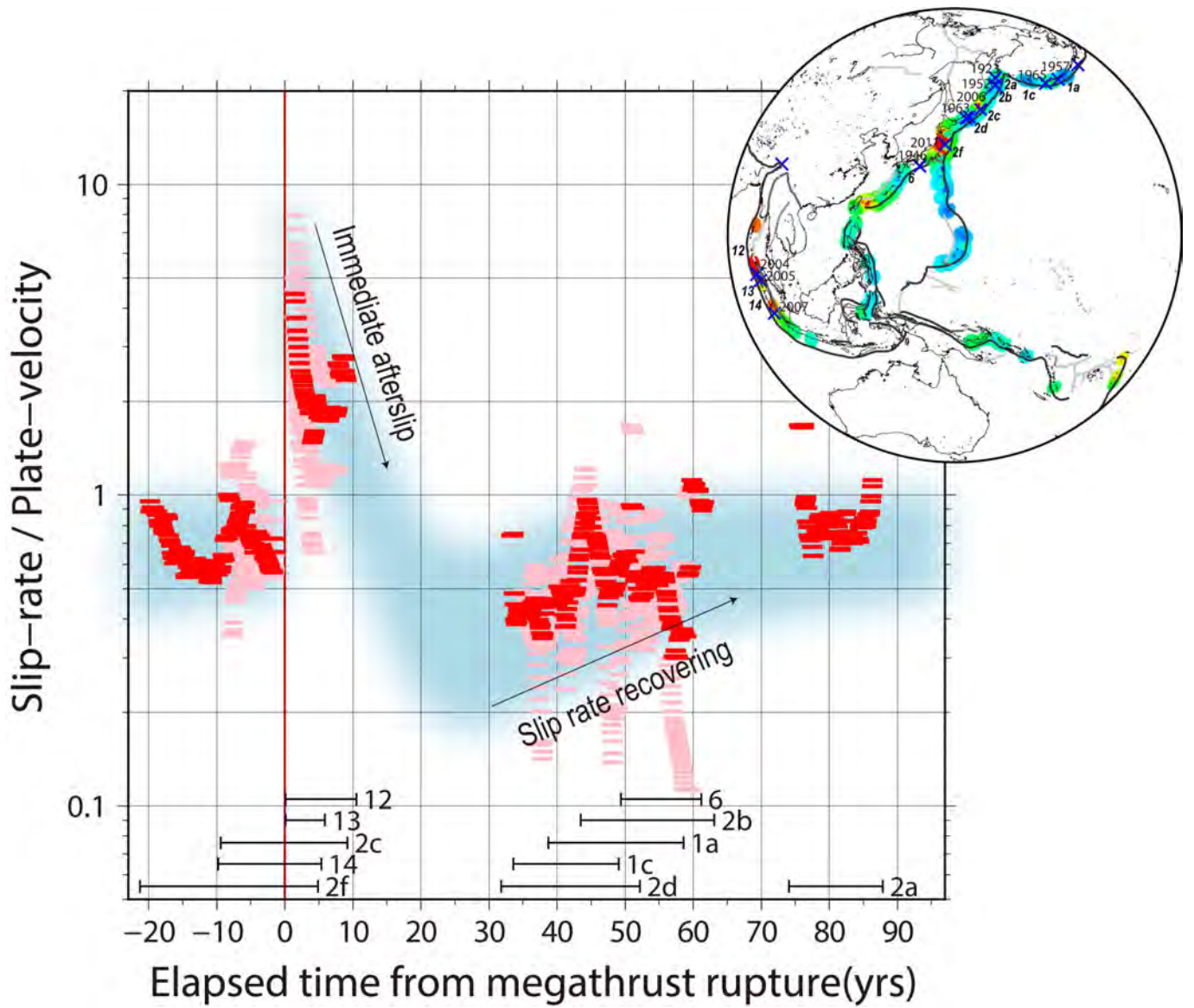


図1
巨大地震発生前後のすべり速度と経過時間の関係。

プレート間巨大地震（ $M_w \geq 8.3$, 1923年以降）発生域におけるすべり速度が、

各地域のプレート収束速度で規格化して重ねられている。

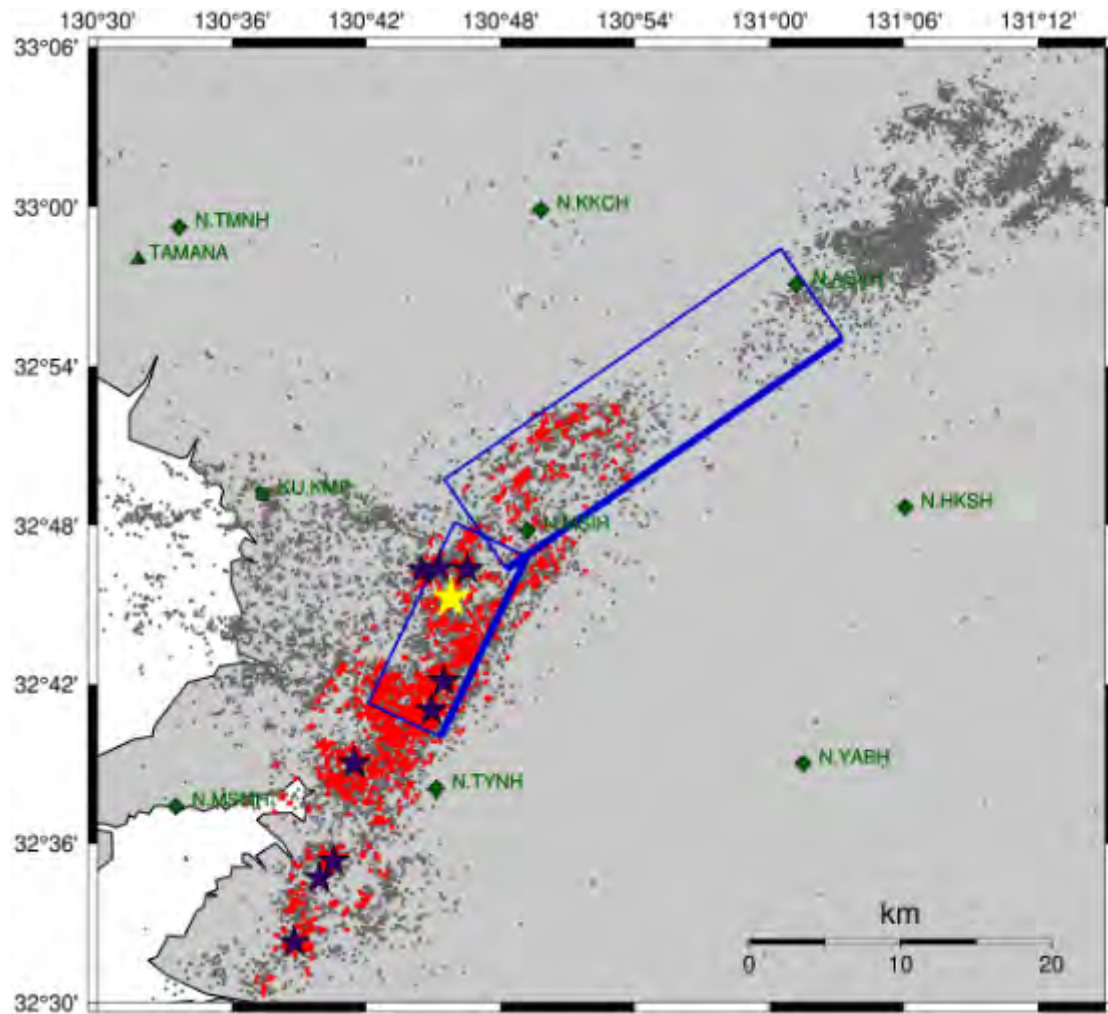


図 2

2016年熊本地震震源域周辺の地震（丸）および観測点（菱形）の分布。赤丸は解析対象とした地震、黒星は相似地震、黄星はMj6.5の地震を示す。青矩形はAsano and Iwata (2016) による断層面を示す。謝辞：本研究には防災科学技術研究所Hi-netや九州大学、気象庁の観測点で記録された地震波形を使用しました。記して感謝いたします。

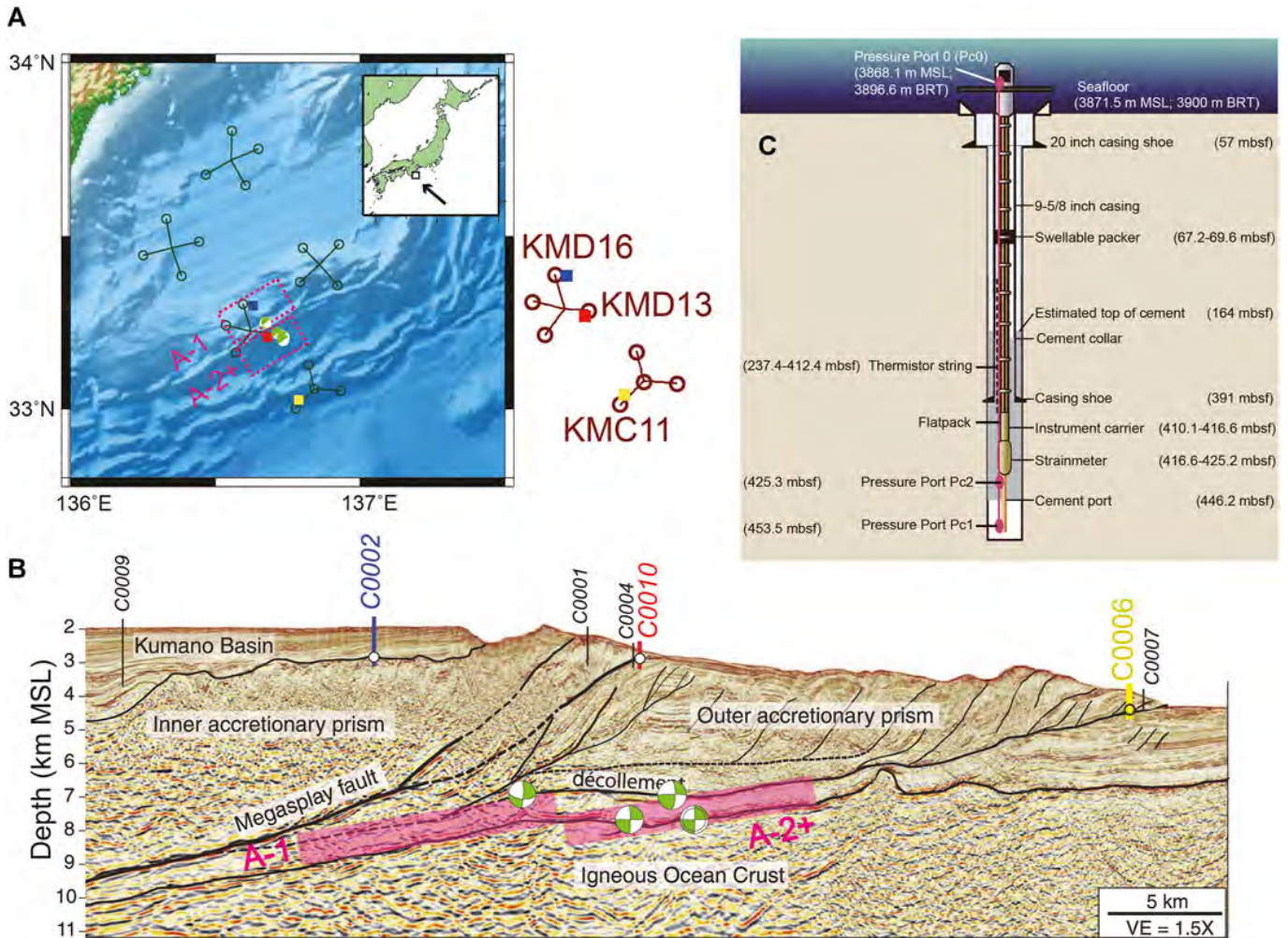


図 3

(a) (b) 2020年3月に発生したスロースリップイベントの発生域をピンク色 (A-1、A-2+) で示す。

(青:C0002、赤:C0010、黄:C0006) は、長期孔内観測装置の設置・観測点、緑色のビーチボールは超低周波地震の断層メカニズム解を示す。(c) 南海トラフに最も近い孔内観測点 (C0006) の概要図。KMC11、KMD13、KMD16は、孔内観測に近いDONET観測点として本研究で適用した。

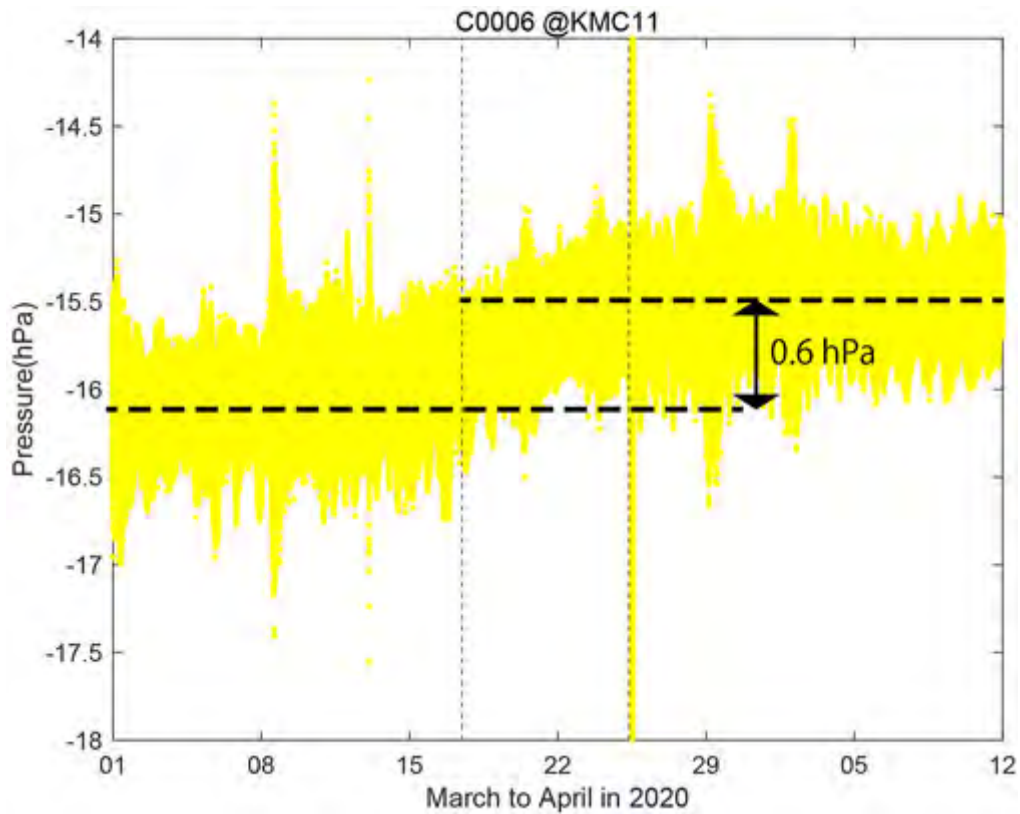


図4

C0006観測点における間隙水圧の拡大図。0.6hPaは、約10ナノストレイン（1/1000000000の体積変化）に相当する。

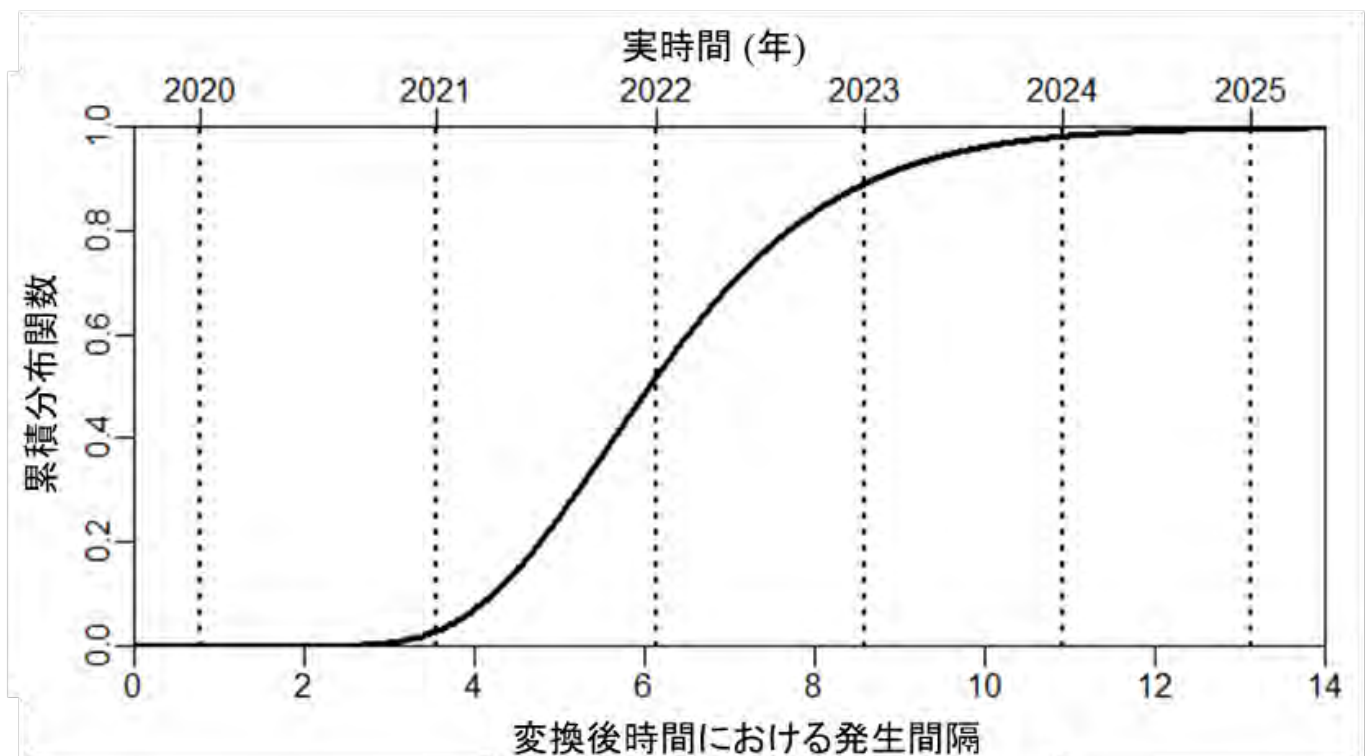


図5

釜石沖の直近の繰り返し地震（2019/9/25）から将来の次の地震までの発生間隔に対する累積分布関数。下

横軸は余震誘発効果を考慮した変換後時間における発生間隔（平均発生間隔6.3），上横軸と縦点線は実時間（年）を示している。

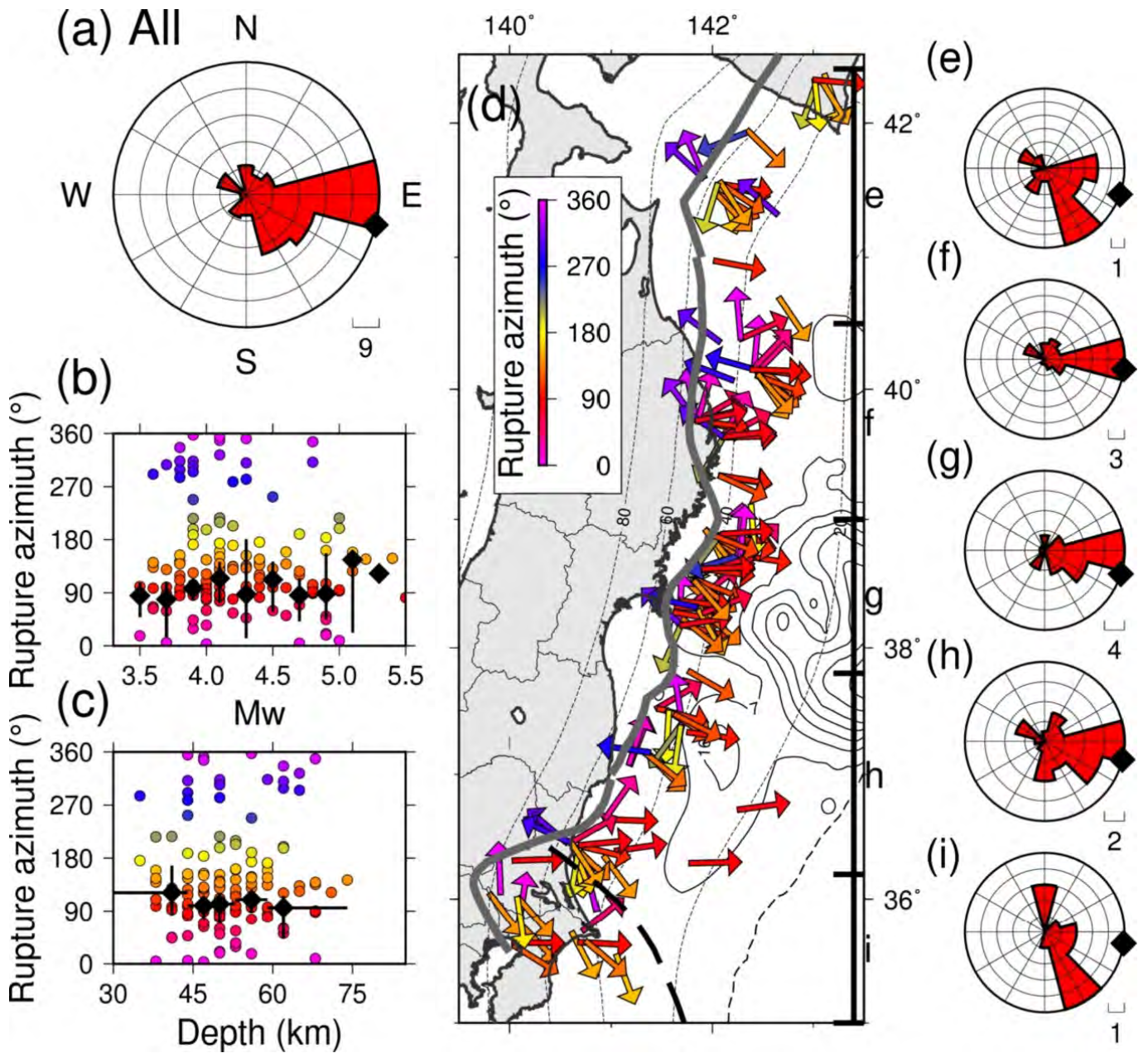


図6

プレート境界地震の破壊方向の方位依存性の推定結果。(a):破壊の進行方向の頻度分布。黒いひし形はメカニズム解データに基づく updip 方向。(b) と (c): 破壊の進行方向とモーメントマグニチュード、セントロイド深さとの関係。(d): 破壊の進行方向。破線は、フィリピン海プレートの北東限 (Uchida et al., 2009)、灰色線は、プレート境界地震の下限 (Igarashi et al., 2001; Uchida et al., 2009; Kita et al., 2010). 黒い線は東北沖地震のすべり分布 (Iinuma et al., 2012). (e)-(i): (d) で示した各領域の頻度分布。

伊豆鳥島における衛星携帯電話を使った オンデマンド型テレメータ装置（2015～）

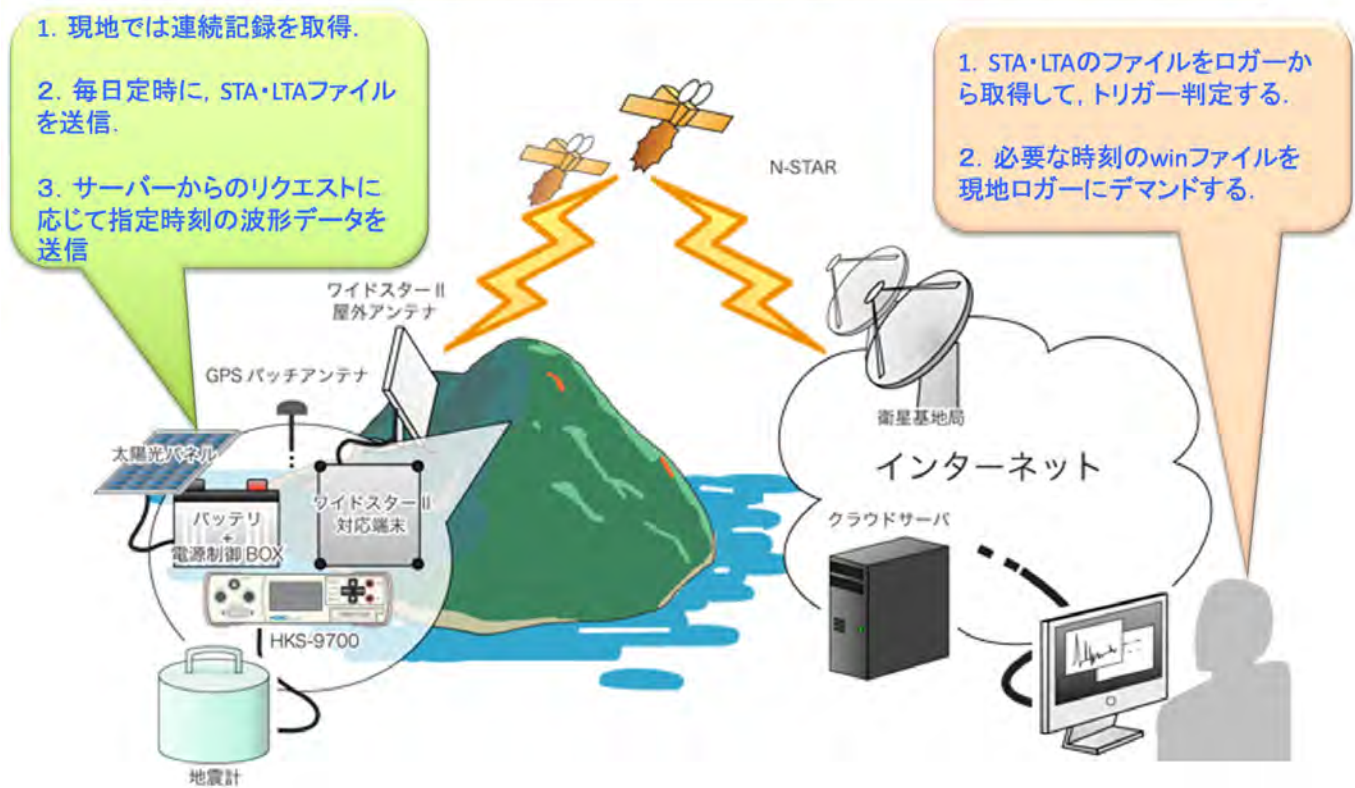


図7

2021年度も順調に動作中の伊豆鳥島における衛星携帯電話を使った☒ オンデマンド型テレメータ装置

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻変動に伴う大気中ラドン濃度変動

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、地殻変動や地震・火山活動のデータに限らず、地球潮汐データ、電磁気学的データ（たとえば、大気電位データ）、地下水データなどと大気中ラドン濃度との関連を求め先行現象の発現メカニズムを解明し、中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価に着手することを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度(平成31年度)は、地殻変動モニタリングに使用できる放射線施設に協力を求め、全国をくまなくカバーすることのできる全国放射線管理施設ネットワークの拡大を進める。大学及び研究機関の各放射線管理施設から得られた排気データを用いて、広域な大気中ラドン濃度変動解析を進める。大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明すると共に、機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

令和2年度以降においても、地殻変動モニタリングに使用できる放射線施設に協力を求め、全国をくまなくカバーすることのできる全国放射線管理施設ネットワークの拡大を進めつつ、広域な大気中ラドン濃度変動解析を行う。各年度において大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明と機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

各年度において、得られた研究成果を研究成果報告会、国際会議や国際学術雑誌や出版物に公表するほか、学内のHPでの掲載やプレスリリース等を通じ報道機関などへも公表する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 全国規模での放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や測定データの解析

令和3年度までに25施設の全国医薬系放射線管理施設が参画しており、今年度は、福島県立医科大学（福島県）から2017年1月以降のデータを、久留米医科大学（福岡県）から2017年1月以降のデータを、鳥取大学医学部（鳥取県）から2017年3月以降のデータを、弘前大学遺伝子実験施設（青森県）から2017年8月以降のデータを入手した。

さらに、これまでに得られている他の放射線管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進めた。学会や論文等で解析データの公表が可能になった際に、協力事業所名を公表する。また全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を新たに探し、ネットワーク拡大を進めている。

2) 大阪北部地震発生前後に観測された大気中ラドン濃度変動

令和元年度年次報告で一部成果を報告していたが、2018年6月18日に発生した大阪北部地震発生前後に大阪医科薬科大学で観測された大気中ラドン濃度データを詳細に解析した結果をMuto et al. (2021)で公表した。

2014年から観測されていた大気中ラドン濃度は、地震の約1年前から減少し、本震後2020年6月まで低かったことを明らかにした。一方、観測点周辺での地震活動は地震前に比べて減少していた。さらに、本震後の地震活動も余震域を除く近畿地方全域で低下しており、このことが地震後もラドン濃度が増加しなかった原因として考えられる。

3) 宮城県牡鹿半島において観測された地震に関連する大気中ラドン濃度変化

牡鹿半島における大地ガンマ線の分布については、昨年度年次報告書で概要を報告し、今年度その成果をTamakuma et al. (2021)で公表した。

今年度は牡鹿半島において2005年から東北地方太平洋沖地震発生までの間、宮城県原子力センター（当時）が小型電離箱を用いておこなった大気中ラドン濃度のモニタリングのデータを解析した。日最小値の月平均値を解析した結果、2008年岩手宮城内陸地震発生後に、大気中ラドン濃度が増加し始め、2008年12月に減少に転じて東北地方太平洋沖地震発生まで減少し続けた。後者は、Yasuoka et al. (Radiat. Environ. Med., 2018)が報告した仙台市と栃木県壬生町における大気中ラドン濃度変化に対比され、減少幅が1 Bq/m³程度であることも一致する。これは、広域的な地殻変形に起因すると考えられる。前者については、類似する変動が仙台市では観測されておらず、岩手宮城内陸地震による牡鹿半島の局所的な地殻変形に関係する可能性がある。従来地震に関連したラドン濃度変動の報告では放射線管理施設の据置型大容量電離箱が用いられていたが、本結果により可搬型小容量電離箱もモニタリングに有用であることが示唆された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Muto, J., Y. Yasuoka, N. Miura, D. Iwata, H. Nagahama, M. Hirano, Y. Ohmomo, and T.

Mukai, 2021, Preseismic atmospheric radon anomaly associated with 2018 Northern Osaka earthquake, Sci. Rep., 11, 7451, doi:10.1038/s41598-021-86777-z

Tamakuma, Y., Hosoda, M., Omori, Y., Nagahama, H., Ishikawa, T., Shimo, M. and Tokonami, S., 2021, Car-borne survey for a black shale area and influence of snowfall on absorbed dose rate in air of a coastal area, Radiat. Environ. Med., 10, 96-101

・学会・シンポジウム等での発表

Omori, Y., Nagahama, H., Muto, J. and Yasuoka, Y., 2021, Atmospheric radon monitoring for earthquake studies -insights from 25-y experiences, Seminar on Earthquake Early Warning System Through Real Time Radon Gas Monitoring, 09-12 November 2021, University of Pannonia, Veszprem, Hungary

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

本課題では、地殻変動や地震・火山活動のデータに限らず、地球潮汐データ、電磁気学的データ、地下水データなどと大気中ラドン濃度との関連を求め先行現象の発現メカニズムを解明し、中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価に着手することを目的とする。各年度大学及び研究機関の各放射線管理施設の排気データの読み取りから、広域な大気中ラドン濃度変動解析を進める。大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明すると共に、機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

長濱裕幸（東北大学大学院理学研究科）、武藤潤（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：長濱裕幸
所属：東北大学大学院理学研究科地学専攻

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

多項目観測データに基づく火山活動のモデル化と活動分岐判断指標の作成

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の主要な火山について、これまでに得られている地球物理学的、物質科学的データをもとに、火山活動や噴火活動について分岐指標を整理し、分岐判定に対する論理的評価方法を開発する。また、山体構造や周辺テクトニクスを考慮に入れた火山活動をモデル化する。火山活動の活発化や噴火発生時の現象理解や事象分岐の予測に役立てるために、時系列上に、起こりうる火山現象と期待される地球物理学的観測量や噴出物特性をまとめる。加えて、観測量や噴出物特性を説明する物理化学的解釈やモデルを提示する。噴火を繰り返している国内の火山については、個別に火山活動および噴火活動のモデルを提示し、噴火事例の少ない火山については、他火山の事象との比較検討などを通して、特徴的な分岐現象や定常時の活動に着目したモデルを提示することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

これまでの地球物理学的観測研究、地質・岩石学的研究の成果に加え、次期研究計画等で実施される研究課題の成果を取り入れ、樽前山、岩手山、吾妻山、蔵王山、草津白根山、箱根山、伊豆大島、三宅島、浅間山、雲仙岳、阿蘇山、霧島山などを候補として、火山活動のモデル化を行う。

令和1年度（平成31年度）は、噴火事例の有無、観測データの充実度等を指標に、研究対象とする火山を選定し、分類方法やモデル化の方法を検討する。近代的な観測が始まって以降に噴火事例が複数

ある火山、一例しかない火山、あるいは、全くない火山があるので、近代観測以降の噴火発生数、静穏期の長さ、観測項目数等を考慮し、対象する火山や特徴的な分岐指標等を決定する。

令和2年度目および3年度目は、過去のデータ等をもとに各火山等でモデル化を進める。令和4年度目は、各火山等のモデルを比較検討し、共通点や相違点を洗い出し、平均的な描像や特異性を視点に加え、モデルをできるだけ一般化する。令和5年度目は、全体のモデルを俯瞰し、よりわかりやすい表現等を取り入れたモデルの提示方法を検討する。

年に数回、各大学や国の機関に所属する担当者とともに研究集会を実施し、各火山の活動モデル化を進める。また、最終年度を目処に、成果報告書などにまとめる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成や、分岐判断に重要な事象の解析を進めた。

火山活動の出発点である深部マグマ活動を調べるため、蔵王山における深部低周波地震を系統的に多数検出した。その結果、2011年からの深部低周波地震の活動は、深部 (>28km) のクラスタでの活動が先行し、やや浅い側 (<28km) の活動に移行したことがわかった。また、震源深さにより発震機構が異なることがわかった。また、地表付近の活動時期との比較から、火山性流体の上昇の拡散率は $100\text{m}^2/\text{s}$ オーダーと推定された。

浅部熱水活動に起因すると考えられる地盤変動や超長周期地震の発生機構を探るため、十勝岳の観測事例についてデータの整理と地盤変動のテスト計算および2020年に発生した超長周期地震の波形インバージョン解析を行った。超長周期地震の発生位置は、最も活発な表面活動が認められる62火口直下ではなく、やや西側の地表面下200m-300m付近と推定された。

火山で観測される熱消磁・帯磁、地盤変動について、浅部熱水流動現象をもとに理解するため、樽前山の数十年程度の活動の整理と数値計算技術の開発を進めた。

桜島の火山性地震の活動を迅速に、客観的に評価するため、機械学習を用いて、A型地震、BH型地震、BL型地震（噴火あり）、BL型地震（噴火なし）、爆発地震を分類する方法を構築した。また、これらを分類する特徴量を抽出した。

大地震の発生による噴火の誘発について、調べられた。大地震の発生により、0.5micro strain 以上の膨張という条件を満たす領域の火山の噴火発生数（VEIが2以上）が数年間、2-3倍程度高まる。世界の地震活動や火山噴火活動をもとに考えると、1年当たり世界で数火山がこの条件を満たし、そのうち15-25%が噴火に至る。VEIが1以上の噴火を考えると噴火する火山数は多いと推察されることが明らかとなった。

諏訪之瀬島では2020年12月以降、噴火活動が活発化している。空振観測により、火山岩塊を1km程度飛散させる空振振幅の大きい爆発に先行して、100Pa以下の小振幅の空振パルスが頻発する（ストロンボリ式噴火からブルカノ式噴火への移行）ことがわかった。分オーダーで繰り返し1~4日間発生する空振活動や、秒オーダーで繰り返し1~数時間継続する空振活動、爆発的な（火山ガスが強く関与する空振の強い）噴火活動から火山灰放出（空振が弱い）が卓越する噴火への移行する現象が観測された。

噴火や非噴火時の傾斜変動の時間関数の形状に着目して、複数の火山のデータを比較した。その結果、時間関数は火山や噴火・非噴火などの事例によって多様であること、簡便な時間関数の特徴抽出では類型化は容易でないことがわかった。

阿蘇火山では水蒸気噴火の前に連続微動の振幅が増大することが知られている。水蒸気噴火のモデル化のためには、これらの発生様式を明らかにすることが重要である。そこで、阿蘇火山において、三次元アレイを含む複数の地震計アレイデータの解析により、微動の震源推定を行なった。その結果、中岳第一火口下の深さ約200m~500mに分布する低比抵抗領域で微動が発生していることが明らかになった。また、この深さより浅い領域や深い領域でBH型の地震が発生していることも明らかになった。過去の噴火活動に伴う観測事例をもとに、マグマ内への上部岩塊の沈降を伴いながらマグマが上昇する、マグマストーピングを提唱した。顕著な地震活動や地殻変動を伴わないマグマ上昇など、事象分岐を解釈するために利用できることを提案した。

火口湖成分濃度変動を火山活動モニタリングのための定量的指標とするため、草津白根山を対象に、濃度変動機構を調べる数値モデルを構築した。それによると湖水農道から火山活動の活発化/静穏化を評価するには約10年が必要であるが、湖水濃度変化率から固定噴気濃度を逆解析することにより、2-3ヶ月程度で活動盛衰を評価できることがわかった。

噴火推移をコントロールする地下のマグマ供給系の活動についてモデル化を行うため、異なる火山における複数の噴火を統一した基準で比較を可能とするデータベースの整備を進めた。大規模噴火前後の噴火事象・火山現象について統一的な基準で文献調査を行った。その結果、噴火初期に最も激しい事象が発生し、その後減衰する「減衰型」、次第に活動が活発化しクライマックスに至る「エスカレート型」、および複数の活動ピークを持つ「多峰型」に区分され、地下のマグマ蓄積や上昇パターン、火道形成プロセスに関連していると推察した。

2010年以降の桜島噴出物の薄片を観察し、かんらん石斑晶の組織、特に輝石反応縁の有無と化学組成を測定した結果、かんらん石斑晶の組成・輝石反応縁の有無と、噴火の規模とは相関していることが明らかとなった。

伊豆大島安永噴火と西之島最新噴火（M4クラス）の噴火推移と噴出物化学組成の時系列変化を地質・物質科学的手法により調べた。噴火推移は、ほかの玄武岩質火山と同様に、年単位の断続（継続）かつ弱い活動のあとに、それまでとは異なるマグマによる高噴出率の爆発的活動が続くという共通点が見られた。また、噴火様式の変化は、苦鉄質マグマに特徴的な芋づる式のマグマ供給系構造（化学的性質の異なる岩脈や岩床）が関係していると解釈した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山噴火活動の、ある特定の分岐事象や火山活動の推移パターンについて、地球物理学的・物質科学的分析に基づく判断基準や指標、活動予測の方法を提案している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M. and Nakada, S.,2021,Intermittent growth of a newly-born volcanic island and its feeding system revealed by geological and geochemical monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan,Frontiers in Earth Science,9,773819,doi:10.3389/feart.2021.773819
Tanaka, R., Yamaya,Y., Tamura, M., Hashimoto, T., Okazaki, N., Takahashi, R. and Mogi, T.,2021,Three-dimensional inversion of audio-magnetotelluric data acquired from the crater area of Mt. Tokachidake, Japan,Earth, Planets and Space,73,172,doi:10.1186/s40623-021-01502-4
Terada A, Kanda W, Ogawa Y, Yamada T, Yamamoto M, Ohkura T, Aoyama H, Tsutsui T, Onizawa, S.,2021,The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: Eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network,Earth, Planets and Space,73,157,https://doi.org/10.1186/s40623-021-01475-4
Yaguchi M, Ohba T, Terada A.,2021,Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry.,Frontiers in Earth Science,9,741742,https://doi.org/10.3389/feart.2021.741742
Nishimura, T.,2021,Volcanic eruptions are triggered in static dilatational strain fields generated by large earthquakes,Scientific Reports,11,17325,https://doi.org/10.1038/s41598-021-96756-z
Terada A, Yaguchi M, Ohba T.,2021,Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry,Frontier in Earth Science,9,740617,https://doi.org/10.3389/feart.2021.740671

・学会・シンポジウム等での発表

永江航也・中道治久,2021,機械学習を用いた桜島における火山性地震の分類,日本火山学会2021年度秋季大会,A1-05

田中裕隆・大倉敬宏・井上寛之・吉川慎,2021,阿蘇における高周波微動のアレイ解析による震源の推定,Japan Geoscience Union Meeting 2021,SVC28-P14

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和4年度目は、参加者により分岐判断や推移予測に関する研究を進めるとともに、これまでに提案さ

れてきた各火山等のモデルを比較検討する。共通点や相違点を洗い出し、平均的な描像や特異性を視点に加え、モデルをできるだけ一般化することを試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志（東北大学）,山本希（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

橋本武志（北海道大学）,中川光弘（北海道大学）,青山裕（北海道大学）,大湊隆雄（東京大学）,前野深（東京大学）,神田径（東京工業大学）,寺田暁彦（東京工業大学）,前田裕太（名古屋大学）,井口正人（京都大学）,大倉敬宏（京都大学）,中道治久（京都大学）,高木朗充（気象庁）,藤田英輔（防災科学技術研究所）,三輪学央（防災科学技術研究所）,下司信夫（産業技術総合研究所）,篠原宏志（産業技術総合研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村太志

所属：東北大学大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海陸測地データを活用したプレート境界面すべり即時把握能力の向上とそれにもとづく津波即時推定手法の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GNSSデータや海底水圧計など、海陸の測地データを活用したプレート境界面におけるすべりの即時的な把握能力向上を目指した技術開発およびそれにもとづく津波即時推定手法の高度化を行う。

プレート境界すべりの時空間把握（地震間、地震時、地震後）を即時的に行い、その推移予測を行うことは、地震発生予測を行う上で基盤となる技術である。特に陸上GNSSに代表される測地観測データや、繰り返し地震等の地震学的データによる日～月～年単位でのプレート間カップリング状態の把握はこれまでに数多くの成果を挙げている。しかしそれらの結果を推移予測に活用していくためには、推定精度および時間分解能の向上が必須である。特に高い時間分解能を持つGNSSでは、主として対流圏遅延等の影響によって数十分～1日程度の時間帯域における精度劣化が大きく、こうした時間帯域の地殻変動把握の障害となっている(例えば、Hirata and Ohta, EPS, 2016)。また海底における圧力観測は上下地殻変動場を連続的に把握できるという点で大きな利点を持つが、センサー固有のドリフトが大きく、特に数ヶ月以上の時定数を持つような地殻変動場、例えば地震間のひずみ蓄積や地震後の余効変動等の把握に困難性が存在する。

一方、より短い時間帯域の現象である地震時の断層すべりの即時推定に関しては、国土地理院と東北大学が開発を進めているリアルタイムGNSSを用いた地震時断層即時推定システム（REGARD, Kawamoto et al., JGR, 2017）の運用がすでに開始されており、実際の地震規模推定等に活用されている。しかしREGARDでは陸上GNSSによって得られた永久変位データのみを用いていることから震源域から遠く離れた海溝軸近傍での断層すべりを高い精度で推定することが難しく、推定誤差の定量的な把握が難しいという問題点がある。

こうした背景を受けて、本研究課題では様々な時間帯域(年, 月, 日, 分)におけるプレート間カップリングを、海陸測地データ(GNSSおよび海底圧力計)観測・解析の高度化にもとづいてシームレスに把握する能力の向上を目指す。また、そうした精度向上と並行して、リアルタイムGNSSによって推定されるプレート境界型地震および海域で発生する地震の断層モデルが持つ不確実性を定量的に明らかにする手法を確立する。同手法については、国土地理院と東北大学が共同開発しているREGARDへの実装を目指す。さらに、S-netやDONET等の沖合津波観測で実際に観測される津波記録を用いて、陸上GNSSから即時的に推定される断層モデルが持つ不確実性を低減させる統合インバージョン手法(例えばtFISH/RAPiD, Tsushima et al., GRL, 2014)の高度化を併せて行う。申請者らは、スーパーコンピュータを利用したリアルタイム津波浸水被害予測技術の高度化に取り組んでおり、即時的に得られる断層モデルのリアルタイム浸水予測の精度向上における優位性を実証するとともに、それら断層モデル等の不確実性が沿岸津波波高および津波浸水予測に与える影響を併せて検討し、それら不確実な情報をどのように災害情報に結びつけるべきかについて検討を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度：キネマティックGNSSの感度が大きく低下する時間帯域における対流圏遅延と地殻変動場の高い精度の分離を目指し、搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の精度検証を行う。また海底水圧計の長期ドリフトの室内実験での把握実験を行う。また実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を開始する。さらにリアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量把握をマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)で行うための技術開発を行う。

平成32, 33, 34年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の向上のために、対流圏遅延推定のためのハイパーパラメータ等の最適化を行う。室内実験での海底水圧計の長期ドリフトの把握結果を基に、実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を継続し、実海域での試験観測を行う。実海域での試験観測は主としては、根室沖のS-net観測点近傍で行う(根室沖における海底測地観測に関する研究課題と密接に連携)。MCMC法で与えられた断層モデルの不確実性を沖合津波観測データで更新していく手法の高度化のための開発を行い、数値実験や既往地震等によってその性能を定量的に評価する。さらにこれら不確実な情報の災害情報への活用について特に津波浸水被害に着目して検討を行う。

平成35年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による地震現象モニタリング能力の定量評価を行う。海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材による既設海底水圧計等のドリフト推定を試みる。断層モデルの不確実性の災害情報へ活用する方策を特に津波浸水被害に注力してまとめる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)で行うための技術開発および同技術の国土地理院リアルタイム地殻変動監視システム(REGARD)への技術移転を進めた。これまで本課題の枠組みにおいて、リアルタイムGNSSデータを用いた断層モデル推定における推定不確実性を得るための手法として、実装および実行速度が高速なメトロポリスヘイスティング(M-H)法を活用した技術開発を進めてきた。このうち、1枚矩形断層を推定するアルゴリズムとして”Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)”を開発(Ohno, Ohta et al., EPS, 2021)し、同技術の国土地理院REGARDシステムへの技術移転を実施している。現在、同手法は実際のREGARDシステム中で実際のリアルタイムGNSSデータを入力とした試験運用を行っており、その中でいくつかの中規模地震(2021年2月13日福島沖地震の地震(Mj7.3)、2021年3月20日宮城県沖の地震(Mj6.9)、2021年5月1日宮城県沖の地震(Mj6.8))において実際の推定結果が得られた。このうち、2021年2月13日福島沖地震の地震(Mj7.3)の結果については、R2年度報告で既に報告した。ここでは2021年3月20日に発生した宮城県沖の地震(Mj6.9)に対してRUNEを適用した結果を図1に示す。結果として変位場がきわめて小さい(1-2cm)にも関わらず、比較的高いVRで断層モデルを推定することに成功した。この結果は、現行のREGARD内部における矩形断層モデル推定アルゴリズムを、MCMCを活用したRUNEによって将来的に置換できる可能性を示唆する重要な成果である。

国土地理院REGARDシステムに技術移転を実施したRUNEでは、一般的なM-H法を用いている。一方M-H法では、未知パラメータに対して微量の摂動を与えるというアルゴリズム上の制約等から、十分な事後確率分布(PDF)を得るまでに非常に長いマルコフ連鎖を必要とする。これらM-H法に対して、ハミルトニアンモンテカルロ法(HMC法)は短いマルコフ連鎖で十分な精度のPDFを得られることが指摘されていた。しかし、HMCを断層推定に適用した事例は存在しない。そのため、R3年度はHMCによる1枚矩形断層推定アルゴリズムの開発を実施した。HMC法を2016年熊本地震時のリアルタイムGNSSデータに適用し、M-H法で得られたPDFと比較した結果を図2に示す。同図によって、HMC法の結果とM-H法の結果はほぼ完全に一致し、HMC法で断層推定が可能であることが明らかになった。また、収束までに必要としたマルコフ連鎖の数を比較したところ、M-H法と比較して数%程度の連鎖数で必要なPDFが得られることが明らかになった。

海底水圧計に含まれる長期ドリフトをゼロ点(圧力の印加がない状態での出力)でのドリフト実測値より把握するA-0-A方式による海底水圧観測システムの開発を進めた。開発した試験機と既存のケーブル式水圧計との比較を行うことを目的とし、2020年9月6日にDONET 2C-10ノードのごく近傍に同観測システムを自由落下で設置し、2021年8月17日に音響通信による錘切離によって回収した。その結果、ゼロ点を測定する頻度を徐々に減少させる機構を含め、必要なデータを全て取得することに成功した。図3にA-0-A方式によるドリフト補正を含めた圧力時系列の結果を示す。A-0-A適用後の水圧時系列を見ると、長期的ドリフトを減少させることに成功した。

GNSS搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法(Phase to Slip, PTS)の高度化に関する研究を継続した。GNSSによる測位では、観測点周辺の環境に応じたマルチパスによってGNSS衛星の周回周期で繰り返されるノイズが生じる。同ノイズは、PTSによる断層すべり時系列においても表出する可能性が考えられるため、1日前の同時帯のPTSによる断層すべり時系列を用いるSidereal Filterと呼ばれる手法の適用を行った。その結果、最大で30-40%程度ノイズレベルを低減できることが明らかになった。

近年の位置情報サービスの高度化にともない、携帯電話事業者による独自のGNSS観測網の展開が急速に進んでいる。このうち、ソフトバンク株式会社は、2020年9月以降、3300点を超える独自のGNSS観測網を日本全国に展開している。一方で、同観測網を用いた地殻変動場の把握はこれまでに行われていない。こうした観点から、当初予定には無かったが、同観測網データの地殻変動解析への応用可能性を検証するための評価を実施した。検証対象の一つとして2021年2月13日に福島沖で発生したM7.3の地震による地震時地殻変動場の計算を行った。図4に地震時水平変位場を示す。GEONETおよびソフトバンクによるGNSS観測網の変位場は基本的に整合的であり、民間GNSS観測点によって地殻変動場の議論が可能であることを示唆する結果となった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

本課題で開発を行ったリアルタイムGNSSによる1枚矩形断層推定アルゴリズム(“Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)”, Ohno, Ohta et al., EPS, 2021)は現在、国土地理院のREGARDシステムへの組み込みを念頭においた実データによる試験が実施されている。REGARDは、GNSSデータを用いて巨大地震発生時の地震規模や断層面の広がりや即時的に推定するシステムであり、気象庁が実施する津波予測の支援を念頭に置いている。そうした観点からも、本課題で開発したRUNEが国土地理院REGARDシステムで試験運用されていることは、開発した技術の速やかな社会実装という観点からもその貢献度は大きいと考えられる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Ohno, K., Y. Ohta, S. Kawamoto, S. Abe, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, and H.

Kobayashi, 2021, Real-time automatic uncertainty estimation of coseismic single rectangular fault model using GNSS data, Earth Planets Space, 73, 127, doi:10.1186/s40623-021-01425-0

Ohta, Y. and M. Ohzono, 2022, Potential for crustal deformation monitoring using a dense cell phone carrier global navigation satellite system network, Earth Planets Space, in press

Ohno K., Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, T. Abe, H. Kobayashi, 2022, Rapid and quantitative uncertainty estimation of coseismic slip distribution for large interplate earthquakes using real-time GNSS data and its application to tsunami inundation prediction, Earth Planets

・学会・シンポジウム等での発表

山田大介, 太田雄策,2021,単一矩形断層推定に関するハミルトニアンモンテカルロ法の適用可能性,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS05-05

田中 優介, 太田 雄策, 宮崎 真一,2021,GNSS搬送波位相変化から直接断層すべりを推定する手法で得られた, 2011年東北地方太平洋沖地震の初期余効すべり,日本地球惑星科学連合2021年大会,SGD01-11

山田大介, 太田雄策, 大野圭太郎,2021,ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較,日本地震学会2021年度秋季学術大会,S23-03

田中 優介, 太田 雄策, 宮崎 真一,2021,PTS解析による地震時の動的な破壊過程から初期余効すべりまでの連続的な推定 ~2011年東北地方太平洋沖地震の事例~,日本地震学会2021年度秋季学術大会,S03P-01

太田雄策, 日野亮太, 佐藤真樹子, 鈴木秀市, 大塚英人, 梶川宏明, 小島時彦,2021,非定常地殻変動の把握を目指したA-0-A方式による深海対応海底水圧計ドリフト補正システムの開発 (第4報),日本測地学会第136回講演会,06

山田太介, 太田雄策,2021,ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較,日本測地学会第136回講演会,16

太田雄策, 大園真子,2021,民間GNSS観測網を用いた地殻変動モニタリングの可能性,日本測地学会第136回講演会,28

Taisuke Yamada, Yusaku Ohta,2021,Efficient estimation of the fault model using the GNSS data based on the Hamiltonian Monte Carlo approach,AGU Fall Meeting 2021,NG15B-0430

Yusaku Ohta,2022,Development of the low-cost GNSS receiver and data logger system for the geodetic purpose,AGU Fall Meeting 2021,G32B-07D

太田雄策, 大園真子,2022,民間GNSS観測点を用いた地殻変動即時把握の可能性,令和3年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」

Yusaku Ohta,2022,Application of GNSS for real-time prediction of geohazards and its transformation to disaster information,Geospatial Capacity Development Conference on GNSS applications and DRR

Ohta Y., R. Hino, M. Sato, S. Suzuki, H. Otsuka, H. Kajikawa, T. Kobata,2022,Development of long-term drift elimination system of OBP for deep-sea observation by "A-0-A" approach,Ocean Science Meeting 2022

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：迅速に断層モデルの推定不確実性を含めて推定するリアルタイムMCMC解析コード (RUNE) を開発した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定） 国土地理院へはコード提供済み。HKD_06の課題へも成果を活用すべくコード開発を継続中。

(11) 令和4年度実施計画の概要：

ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC法)を用いた震源断層推定手法をすべり分布推定に拡張するとともに、推定時のすべりの平滑化を制御するパラメータも同時推定する手法の開発を進める。PTSを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の初期余効すべりの時空間発展から断層面における摩擦パラメータの抽出を試みる。令和3年度に開始した民間GNSS観測点の活用による地殻変動把握とその精度評価について継続して実施し、その有効性を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）,日野亮太（東北大学大学院理学研究科）,越村俊一（東北大学

災害科学国際研究所)

他機関との共同研究の有無：有

国土交通省国土地理院測地観測センター,産業技術総合研究所計量標準総合センター

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：太田雄策

所属：東北大学大学院理学研究科

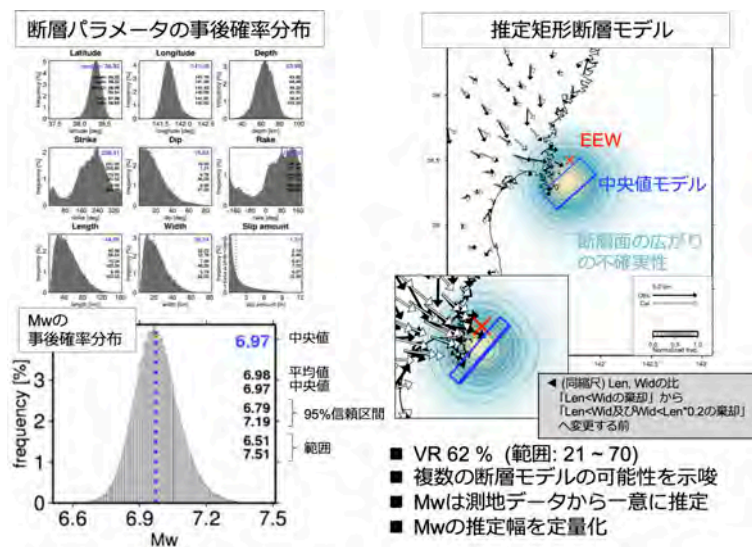


図1

2021年3月20日宮城県沖の地震(Mj6.9)に対してリアルタイムMCMC手法であるRUNEを適用した結果。

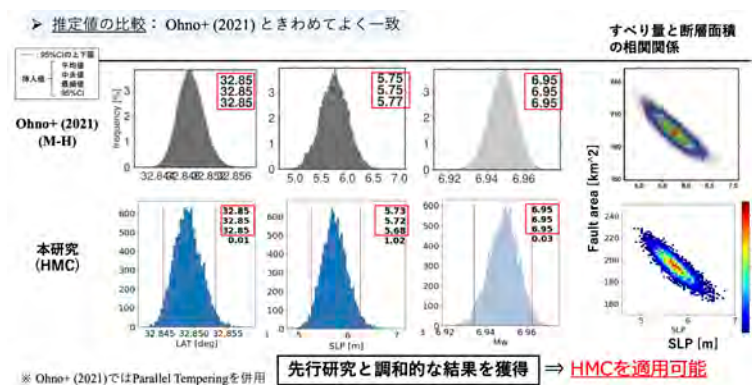


図2

2016年熊本地震時のGNSSデータにハミルトニアンモンテカルロ法(HMC)を適用した結果をメトロポリス・ヘイスティングス(M-H)法と比較した結果。

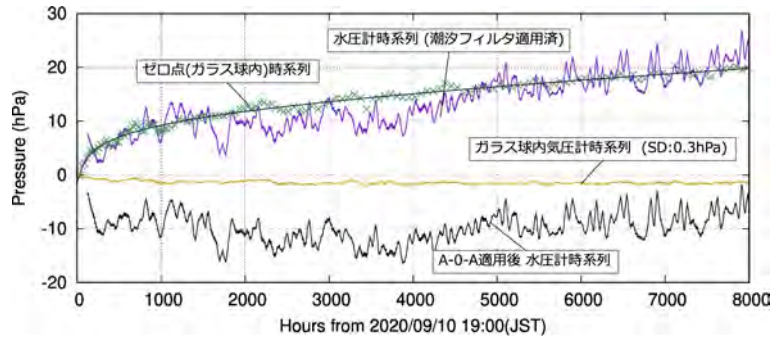


図3

南海トラフ2C-10ノード近傍水深約1800m地点におけるA-0-A海底水圧観測システムによって得られた圧力時系列。圧力変化の相対成分のみに着目して表示している。潮汐フィルタを適用した水圧計時系列、ゼロ点であるガラス球内(おおむね大気圧)の計測時系列、同時系列に対して指数と線形を重ね合わせた関数を当てはめた結果、ガラス球内の気圧計時系列、およびA-0-A方式を適用した後の水圧計時系列をそれぞれ示す。

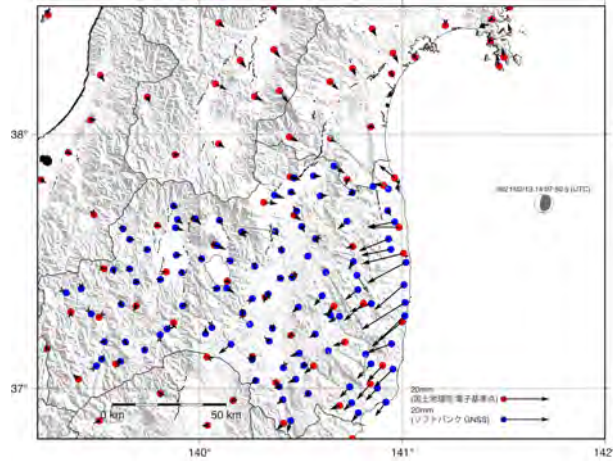


図4

民間GNSS観測網とGEONETで捉えられた2021年2月13日の福島沖地震による水平地殻変動。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山データの無線伝送技術の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、地震や火山のオンライン観測のための無線データ伝送技術を開発し、地震や火山現象の把握および解明に資する。

短期間に多数の観測点の設置が必要な余震観測は、電源や通信を短期間に確保することが一般的に難しいため、そのほとんどがオフラインで運用されている。リアルタイム観測が可能になれば、余震活動状況の詳細のより早い把握ができる。火山観測においては、火口近傍等商用の回線・携帯網での接続が難しい場所が多く、このような場所での多項目オンライン観測が可能になれば、火山活動の推移の把握に大変有効である。

最近の無線通信の制度面の動向として、2012年の電波法の改正に伴って920MHz帯が新たに無線通信用に割り当てられたことで、帯域幅および出力がおおよそ2倍となり、多くの通信モジュールが提供されるようになった。また、本建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測用に割り当てられている400MHz帯について、九州総合通信局のもとでこの帯域の有効利用に関する調査検討が行わ

れ、近い将来に通信の高速化が可能になる制度改正が見込まれる。さらに技術面の動向として、近年の社会的ニーズにより、いわゆるLPWA（Low Power Wide Area）などの長距離・低消費電力の無線伝送技術が発展し、“モノがインターネットにつながる”社会に近づきつつある。LPWAの中には、プライベートLoRaのような基地局不要の通信規格もあり、自営センサーネットワークなどへの応用が急速に広まっている。

そこで本研究では、このような制度的・技術的發展を地震・火山観測に取り込み、地理的な制約や既存インフラにあまり依存しない機動性や自由度の高い地震・火山観測の実現を目指して、観測センサーを自営網によりインターネットにつなげるための無線伝送システムの技術開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

自営無線伝送技術の長所の1つとして、既存のインフラに頼ることなく、必要な場所で使用できるということがある。そのため、地方部や火山近傍など電源・通信インフラが整っていない場所での連続観測のほか、大地震の発生や噴火の兆候・発生といった緊急に観測システムの構築が必要な場面において役立てられると考えられる。本研究では、地震計や傾斜計・GNSS・画像など多項目の観測データについて、気象条件・設置条件の異なる国内の様々なフィールドにおいて伝送試験を行い、地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てるための技術開発を行う。

多様な観測データの伝送に対応するため、情報通信機構の持つ多様な無線技術を応用し、観測項目にあった無線伝送方法・伝送方式を検討する。低速だが長距離・低消費電力を特徴とするLPWAについては、ガスの検針や気象データ等のデータ量の少ない通信での活用例はあるものの、高サンプリングレートが要求される地震波はデータ量が格段に大きく伝送容量が不足する可能性がある。そこで様々な通信規格を比較検討するほか、通信速度に応じたシステムを開発する。速度が不足する場合には観測点側に配置したコンピュータによるエッジコンピューティングにより、地震波の位相読み取りや波形相関による位相差データ作成等を行ったり、観測データのランニングスペクトル画像を作成したりし、一次処理済みの情報を伝送するなどの工夫をして、自営システムとして地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てられるものを目指す。

一方、規格改正による新たな利用形態が期待される400MHz帯の利用については、免許帯であり、地震・火山観測用に最適化できる可能性がある。現在、920MHz帯ですすめているLPWA等の新たな技術を活用し、400MHz帯での新たな無線観測システムの開発にあたる。これについては、H33頃の規格改正を見据え地震観測機器のメーカーとの共同開発を行う。

他課題との連携については、桜島大規模火山噴火・蔵王の火山での観測、内陸地震の発生機構の解明に関する課題と連携していく。また、火山プロジェクトでの緊急観測への活用も視野に入れる。これにより内陸の新たな余震観測のプロトタイプの完成および活発な火山での長距離無線伝送に道を拓く。各年度の計画は以下の通りである。

2019年度

内陸地震および火山近傍における無線伝送のためのシステム要件の検討およびシステム開発を行う。吾妻山における傾斜計データの無線伝送を試みる。約2年後の法改正を見越して400MHz帯長距離無線機材の開発に着手する。

2020年度

システム開発を継続するとともに、920MHz帯において実際の内陸地震火山観測現場でのフェージビリティスタディを行う。内陸地震は中規模地震の余震活動をターゲットとし、課題の洗い出しを行う。火山では吾妻山等の観測現場での、課題の洗い出しを行う。

2021年度

前年度得られた課題の解決を行うとともに、実際の大規模内陸余震観測への無線システム組み込みに関する検討を行う。また、エッジ処理による地震波検知の試行を行う。法改正後に400MHz帯を利用した試験機をテストする。

2022年度

GNSS等地震波以外のデータ伝送に関してのシステム開発に着手する。また、省電力性・可搬性・観測点展開の容易性などの向上に務める。さらに、エッジ処理による精密震源決定の試行を行う。データ流通網への接続試験を行う。稠密地震観測・定常観測点データのバックアップ等他のアプリケーションの検討も行う。

2023年度

観測の現場での長期安定性の検証のほか、データ流通網への即時接続・エッジ部分とセンター側での処理の最適化などトータルのシステムとしての完成度の向上をはかる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・既存の920MHz帯機器の活用については、東北大学にて、低速サンプリングデータの伝送試験を続けた。また、無線システムと接続を行う携帯系の通信の検討のため、情報通信研究機構のIoTゲートウェイと学術情報ネットワーク（Sinet）の広域データ収集基盤のプロジェクトに引き続き参加し、データ流通網への接続等の動作確認を行った。また、低速のRoLa通信の活用のためのエッジ処理の活用に向けて、機械学習による1観測点の連続波形からのP波S波の同定プログラムであるPhaseNetの性能評価を行った。その結果、東北地方のデータを学習に用いることで性能が向上することがわかった（鈴木、2022）。

- ・400MHz帯の機器開発においては、大手の観測機関や地震以外のユーザーの携帯回線の利用が進んでいることもあり、需要が当初の想定よりも少ない可能性があることがわかった。地震観測機器のメーカーとの共同開発も現在のところ残念ながら進んでいない。本建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測用に割り当てられている400MHz帯の有効利用に関連した法改正については、総務省では具体的な動きがいまのところない状態であり、前に進めるためには具体的な働きかけが必要と考えられる。

- ・既存の400MHz帯機器の活用については、京都大学防災研究所は400MHz帯無線を用いて口永良部島の東側2箇所地震観測点からのデータを屋久島中継局に伝送し、中継局から地上回線にてデータ送信している。京都大学防災研究所は新たに口永良部島の西側に地震観測点の設置を計画しており、1月中旬に設置予定であったが、天候不良などの影響で中止した。設置予定の観測機材は、400MHz帯移動局無線機（送信機RM320T、受信機RM320R）、AD変換器（LT-7700）、シリアルIP変換器（SC-DA205）、短周期地震計（SSV-003）、ソーラーパネル（94W×4枚）、リチウムイオンバッテリー（RBT100LFP12S-JP×2台）、チャージコントローラ（RNG-CTRL-RVR40-JP）である。新設地震観測点からのデータは無線にて口永良部島の集落内にある京都大学の拠点（プレハブ）にデータ伝送し、京都大学の拠点と隣接する福岡管区気象台の施設との間のネットワークケーブルにて中継し、EarthLANにて福岡管区気象台に伝送される予定である。そして、福岡管区気象台と京都大学防災研究所の間のネットワークにてデータが伝送される。なお、口永良部島の西側の地震観測点の新設は2022年3月上旬に行われる予定である。

- ・さらに既存の400MHz帯機器の活用について、北海道内の火山（樽前山・雌阿寒岳）において、新スプリアス規制に対応した400MHz帯の無線機を2台導入（旧機種からの更新）し、観測での運用を開始した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況
関連の深い建議の項目の目的に沿った開発を進めることにより、一定の貢献はしているが、一部研究計画に遅れがある。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

鈴木琳太郎,2023,Snetと深層学習を用いた東北日本太平洋沖の微小地震の検出,東北大学修士論文

- ・学会・シンポジウム等での発表

鈴木琳太郎・内田直希・Zhu Weiqiang・中山 貴史・豊国源知・高木涼太・東龍介・Beroza

Gregory,2021,深層学習による初動到達時刻を用いた地震検出の試み: S-netへの適用,日本地球惑星科学連合2021年大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

地震波以外のデータ伝送に関するシステム開発に着手する。また、無線システムの省電力性・可搬性・観測点展開の容易性などの向上に務める。さらに、エッジ処理による精密震源決定の試行を行う。データ流通網への接続試験についても引き続き検討する。稠密地震観測・定常観測点データのバックアップ等他のアプリケーションの検討も行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

内田直希（東北大学理学研究科）、岡田知己（東北大学理学研究科）、山本希（東北大学理学研究科）、太田雄策（東北大学理学研究科）、吉田圭佑（東北大学理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）、中道治久（京都大学）、松島健（九州大学）、佐藤剛至（情報通信研究機構）、天間克宏（情報通信研究機構）、大和田泰伯（情報通信研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：内田直希

所属：東北大学理学研究科

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海域火山活動に伴う熱水活動の実験的研究と観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海域火山活動時に発現する変色海水について、熱水の組成変化を実験的に明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は、変色海水の採取・分析法について、検討を行う。

平成32～34年度は、変色海水の原因である熱水について、その組成変化に関する実験的研究を行う。

平成35年度は、5年間のとりまとめを行う。

海域火山活動の観測研究については、5年間を通じて実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海域火山から放出される熱水の組成の特徴について、岩石-酸性溶液反応実験を行い、その解析を進めた。

酸性化海水との反応によって岩石からの溶脱のしやすさが従来の酸性溶液-岩石反応系とは、全く異なり、Alの溶脱が著しく阻害されることが昨年度の実験結果で明らかになったが、今年度実施した岩石-酸性溶液反応実験で、Fe, Al, Siの3成分のうちAlのみ溶脱が顕著に抑制されるのはNaが原因であることがわかった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

海域火山の活動時に発生する変色海水は、海底火山から湧出する酸性熱水と海水との中和反応によって生成する、非晶質のSi-Al-Fe-H₂O系の沈殿物である。生成する沈殿の組成は、熱水の組成を反映することが示されており、変色海水の組成変化は活動度に対応した熱水の組成変化が起きていることを意味する。昨年度、岩石-酸性化海水反応実験によりこれまで考えられてきた岩石-希塩酸反応機構とは異なる未知の反応機構が存在することが明らかになった。今年度はその反応について、詳細に検討するための岩石-酸性溶液反応実験を行った。

岩石試料は西之島で2016年に採取した安山岩質溶岩を用いた。これをロックハンマーで粗く粉碎した

後に、インパクトクラッシャーで少しずつ粉碎し、篩にかけて数種類の粒子サイズに揃えた。これらをアセトンで洗浄し、微細粉末をできるだけ除去したものを岩石試料として用いた。酸性溶液として、表1に示す。海水や海水と同濃度のNa, K, Ca, Mgの各塩化物溶液に希塩酸(0.48 mol L⁻¹)を加えてHCl濃度として0.24 mol L⁻¹にしたものを用いた。

実験はバッチ法で行った。岩石の粉末試料0.20 gをポリ瓶に計りとり、表1に示した溶液を加えて密封したのちに75°Cに設定したオーブンで18時間反応させた。メンブランフィルターで濾過した試料溶液を適宜希釈してFe, Al, Siの3成分についてICPで定量した。

実験結果とまとめ

Si, Fe, Alの3成分の濃度をイオン強度に対してプロットしたものを図1に示す。Feの濃度はKCl溶液を使ったときには若干高いがそれ以外の溶液の場合にはほとんど差が認められず、塩の影響を受けていない。Alの濃度は、海水とNaCl溶液を使ったときにはイオン強度の上昇に伴って半分以下まで低下している。MgCl₂溶液の場合は若干低下が認められるが、KCl溶液やCaCl₂溶液の場合にはほとんど差が認められない。SiはAlと同様に海水とNaCl溶液を使ったときにはイオン強度の上昇に伴って半分以下まで低下しているが、MgCl₂溶液の場合は上昇している。KClおよびCaCl₂溶液の場合にはほとんど差が認められない。酸性化した海水と岩石の反応でAlの溶脱が抑制されるのは、海水の主成分であるNaClによって引き起こされていることが解った。また、Siの溶脱もNaClで抑制されており、両者には明らかに関係性が認められる。これらの実験結果から、岩石-酸性溶液反応においてはFe, Al, Siの3成分のうちAlのみ溶脱が顕著に抑制されるのはNaが原因であることを示している。

昨年度からの今年度の実験結果から、海底火山において岩石-酸性化海水反応が起きた場合、海水中のNaイオンの影響でAlの溶脱が抑制され、その結果Feの割合が非常に高い熱水が生成する。このような熱水が海水と中和反応を起こすことによって、茶褐色系の変色海水が生成することが示された。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

火山活動に応じた組成変化を模して酸性度を変化させた岩石-酸性海水溶液反応実験を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

野上健治（東京工業大学）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京工業大学理学院火山流体研究センター
電話：0279-88-7715
e-mail：knogami@ksvo.titech.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：野上健治
所属：東京工業大学理学院火山流体研究センター

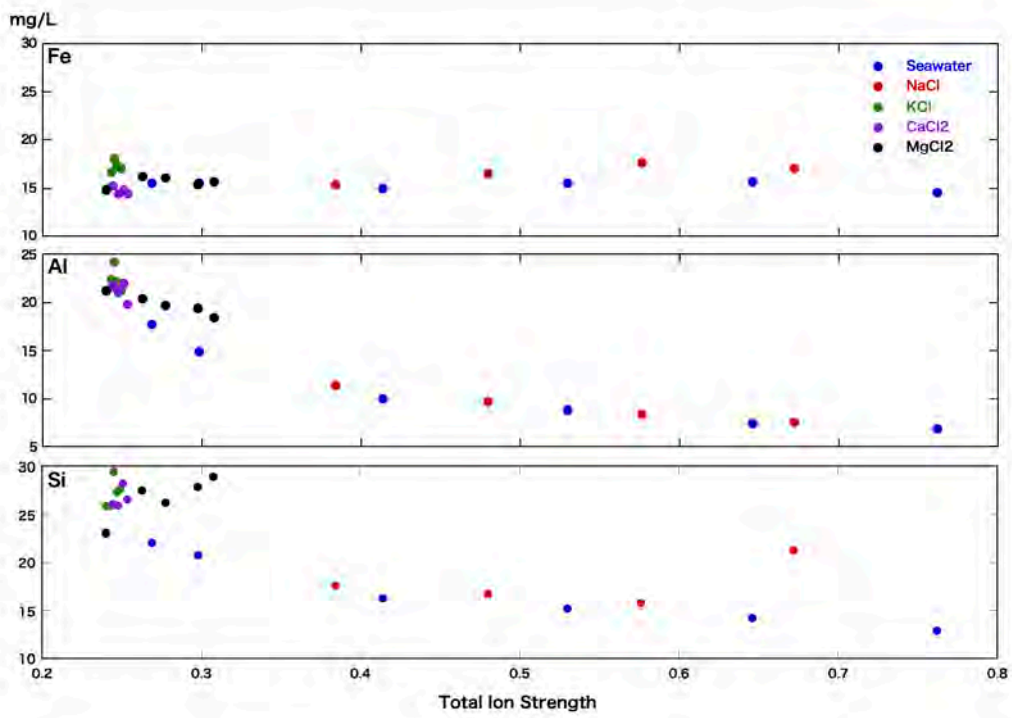


図1 Fe, Al, Siの濃度変化

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動にともなって放出されるマグマ起源の二酸化炭素を面的に捉えるための測定装置を開発する

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は、装置の基本的な設計を行う。

平成32～33年度は、装置の試作を行う。

平成34年度は、試作した装置を使い、桜島などの火山での観測を行う。

平成35年度はこれらの成果のとりまとめを行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究では、安価で汎用品であるFigaro社製のCO₂センサーCDM7160を使用していたが、センサー保護膜が、fluxが高くなると低濃度であってもセンサー部への拡散を妨げることがfield testで明らかになった。Figaro社がこのセンサーの生産を止め廃盤となったため、測定方式の異なる新たなセンサーに交換し、その実証試験を行った。

その結果、これまでに作成した自律式CO₂測定装置のセンサーをCDM7160からSenseair社製K-30に置き換えることで、WEST社製CO₂ flux meterと同等の性能が期待できることが示された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

火山体から拡散放出されている二酸化炭素の放出率測定装置について、フィールドで性能試験を行った。その結果と以下に示した理由からセンサーの交換・試験を再度行った。

1) 草津白根山殺生河原におけるフィールドテスト

試作したCO₂ flux meter（以下、TIT meter）とWEST社製のCO₂ flux meter（以下、WEST meter）との比較を殺生河原の噴気地帯で行った。その結果、fluxの低い場合にはTIT meter による測定結果はWEST meterのそれと一致しているが、fluxの高い場合にはWEST meterよりもTIT meterの方がfluxが低く測定されることがわかった。室内実験では濃度の高いCO₂でもfluxの低い場合には問題にはならなかったが、field testの結果、低い濃度であってもfluxの高い場合には一致しないことがわかった。TIT meterで使っているセンサーは、センサー保護膜がありそれで光路の妨げになる粒子等をフィルターしているが、fluxの高い場合にはそれによってCO₂の拡散が律速され、センサーへの拡散を妨げられたことによると考えられる。

2) 有珠火山におけるField test

次世代人材育成事業の野外実習の機会に有珠火山の山頂火口原内で面的観測を実施し、同時にWEST meterとの比較を行った。その結果、殺生河原での結果と同様に、fluxの高い場合にはTIT meterはWEST meterによりも過小評価することがわかった。さらに、長時間の連続観測は電力不足が発生し、途中で動作が停止していた。この結果をうけて、電源システムを大容量のLi ionバッテリーに変更する改造を行なっている。

3) センサーの交換と設計変更

本研究では、安価で汎用品であるFigaro社製のCO₂センサーCDM7160を使用していたが、ガス濃度が高くてfluxの低い時には問題にならなかったセンサー保護膜が、fluxが高くなると低濃度であってもセンサー部への拡散を妨げることが殺生河原でのfield testで明らかになった。さらに、このセンサーのキーパーツである受光素子を製造している半導体メーカーの工場が大規模火災に見舞われ、生産復旧に1年以上の期間を要することが判明した。この結果、受光素子の代替部品が存在しないため、Figaro社がこのセンサーの生産を止め廃盤となった。センサー故障や劣化の場合には交換部品が存在しないため、測定方式の異なる新たなセンサーを用いた実験を行うこととした。

3-1 新たなセンサーと測定方式

CO₂センサーCDM7160の代替センサーとして、SenseAir社製K30（~10000 ppm）を用いた（以下SenseAir meter）。このセンサーは測定気体を強制的にセンサー部に吹き込むタイプで、2秒間隔で濃度測定ができ、プレヒートが1分以内と非常に短いのが特徴である。これまでに試作している自律式チャンバー内の大気をこのセンサーに吹き込み、測定後の気体を再びチャンバーに戻すためのポンプシステムを接続した（図1）。これに加えて、チャンバーにWEST meterも接続し、同時に3つの測定方式によってCO₂の測定を実施した。

3-2 比較実験結果

これらの3つのセンサーによる同時測定の結果の一部を図2に示す。1000ppmCO₂標準ガスを使った場合、SenseairmeterとWEST meterで求めた放出率は一致したが、TIT meterで求めた放出率はこれらに比べて低く求められた。1000ppmCO₂標準ガスに100%CO₂を混入させた場合も同様で、濃度ではなく、fluxの高い場合にはCDM7160ではセンサー保護膜の拡散が律速となることが示された。以上の結果から、これまでに作成した自律式CO₂測定装置のセンサーをCDM7160からSenseair社製K-30に置き換えることで、WEST社製CO₂ flux meterと同等の性能が期待できる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・ 論文・報告書等
- ・ 学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

新たなセンサーを搭載した複数台の装置を製作し、これらを使って土壌からの拡散放出量を面的に測定する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

野上健治（東京工業大学）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京工業大学理学院火山流体研究センター

電話：0279-88-7715

e-mail：knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：野上健治

所属：東京工業大学理学院火山流体研究センター

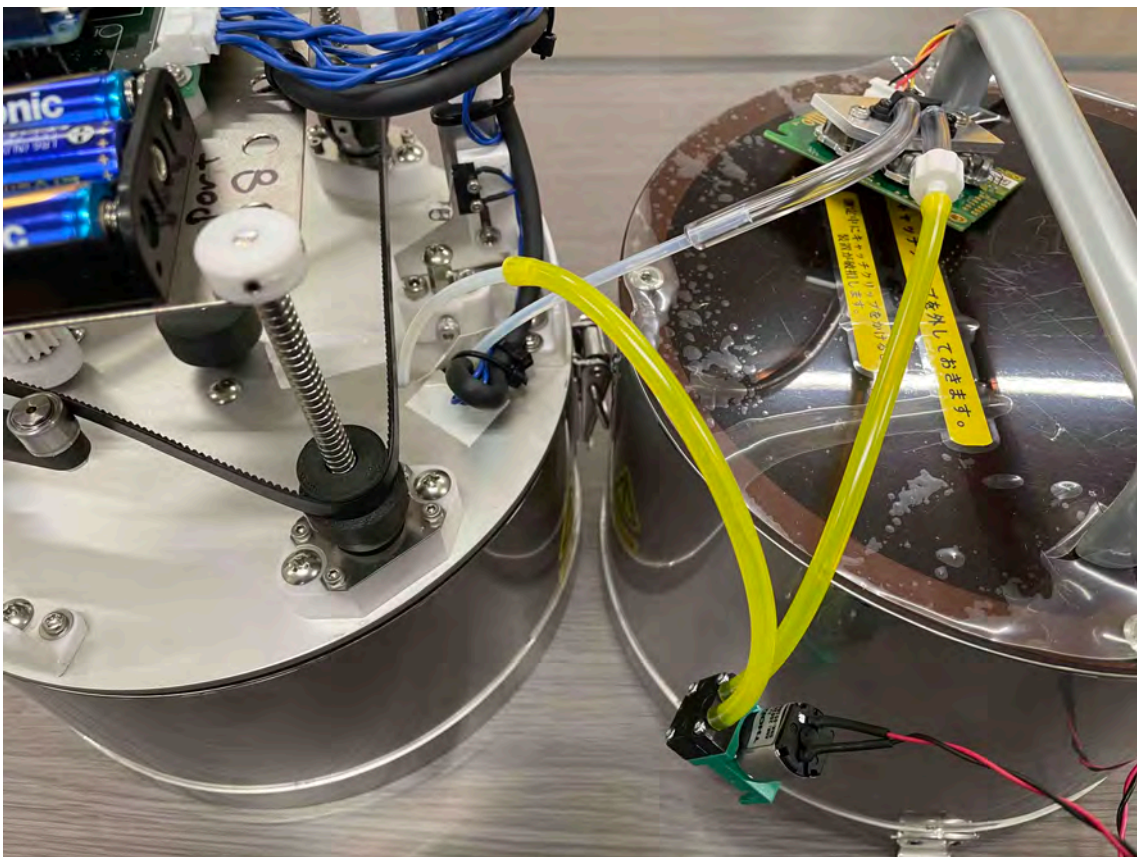


図1 新たなセンサーとポンプシステム

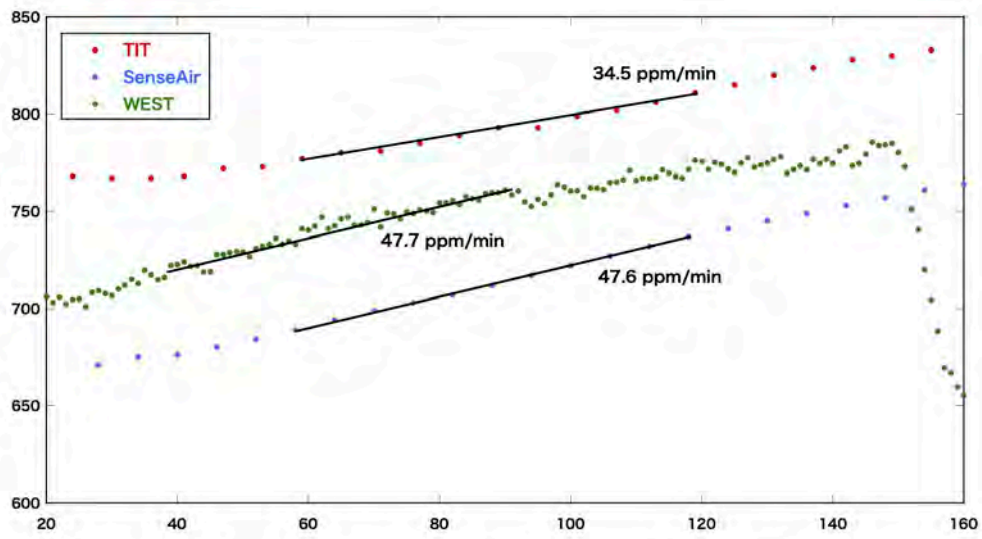


図2 3種類のセンサーの応答試験結果

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

水蒸気噴火の準備過程を捉えるための火山熱水系構造モデルの精緻化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、浅部熱水系への流体供給源であるマグマだまりや、Brittle-Plastic境界（地表下2-3 km 付近）以深に貯留されている高温・高圧の熱水の挙動を観測から伺い知るために、これまで判明している領域よりもやや深い場所の地下構造と、その周辺の熱水流動との関係を明らかにすることを目標とする。そのために、草津白根、御嶽および伊豆大島火山の3火山において電磁気学的な構造探査を基軸とした観測研究を実施する。本課題では、得られた地下比抵抗構造の特徴を、地球物理・地球化学的な観測成果と比較することで解釈する。すなわち、山体スケールで地震・地殻変動等の観測とデータ解析を進めるほか、火口周辺に加えて、やや広域を対象として噴気ガスや温泉等の試料採取する、あるいは既存データを収集する。このように得られた諸成果を整理することで、地下数~10 km 程度までのやや深い領域までの構造と流体輸送との関係を研究する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目：草津白根、伊豆大島および御嶽火山（以下、対象3火山と呼ぶ）においてMT観測等の電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測（地震・地殻変動、全磁力および温度観測）、

および地球化学的調査（広域での温泉水採取、および火口周辺での繰り返しサンプリング）を実施
2年目：対象3火山において電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続
3年目：対象3火山において比抵抗構造解析を進めるほか、必要に応じて補充観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続
4年目：対象3火山において比抵抗構造を求める。伊豆大島ではCSEM連続観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続
5年目：対象3火山において得られた比抵抗構造を、地球物理および地球化学的調査結果に基づき解釈する。伊豆大島ではCSEM連続観測を継続。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要 (草津白根火山)

2018年の本白根山噴火直後に実施した無人ヘリコプターによる空中磁気測量データを解析し、地質構造に対応すると考えられる逆帯磁の磁化分布を明らかにした (Koyama et al., 2021)。また、2018年本白根山噴火の火口周辺で実施したAMT法比抵抗構造調査結果について地形を含めた3次元インバージョンを行い、噴火地点下部において過去の噴火に対応した低比抵抗部分の欠損を見出した (Honda et al., 2021a; 2021b)。さらに、草津白根山周辺の半径10 kmの領域で広帯域MT調査を実施し、3次元インバージョンにより深さ4-5 km以深までの極低比抵抗な領域を検出した。この領域は深部膨張源に対応しており、マグマ溜りとその上部に形成される高塩濃度の熱水の領域と解釈した (Matsunaga et al., submitted)。

湯釜北方の噴気域 (Obase et al., 2021; 角野・他, 2021) や、土壌 (若松・他, 2021) から火山ガスを定期採取し、その化学組成のほか、安定同位体を分析することで、マグマ起源流体の関与の強弱や浅部地下構造について議論した。また、湯釜火口湖水の溶存成分の時間変動を予測するモデルを構築した (Terada et al., 2022)。この結果、数年程度のタイムスケールでゆっくりと変化する湯釜湖水濃度の変化を、4カ月程度で評価することを可能とした (鈴木・他, 2021)。月1-2回の頻度で採取した湖水試料の化学成分を分析し、本モデルを適用して実測値との比較を進めた (東京工業大学, 2021a)。

草津白根火山2018年噴火に伴う傾斜記録の初動付近に着目して詳細な解析を行った結果、Terada et al., (2021) が推定した開口割れ目の下端部に、新たに増圧源を見出した。更に、広帯域地震記録とGNSS観測による変位記録を解析した結果、開口割れ目よりもさらに浅い領域に大きな体積増加が推定され、これは噴火を駆動した流体の極浅部への貫入と解釈した (山田・他, 2021)。

(伊豆大島火山)

昨年度実施予定で延期となっていた広帯域MT観測を2021年11月15日～12月23日に実施した。コロナ禍の状況のため、東京大学地震研究所のみ参加し、最小限のグループで実施した。電磁場5成分（水平電場2成分、磁場3成分）観測点を島内の5か所に、また、水平電場2成分のみの観測点を島内の6か所に設置した。無事データ取得・回収できたため、来年度データ解析を実施する。

伊豆大島カルデラ内でドローンを用いた空中磁気測量を実施した。磁力計操作は東京大学地震研究所が、ドローン操縦は㈱ヘキサメディアが担当した。測線間隔50 m、対地高度50 mをおよそキープしてフライト測定を行い、無事予定の領域の測量を完了した。来年度データ解析を実施する。

伊豆大島三原山にて比抵抗および全磁力の連続モニタリングを継続した (東京大学地震研究所, 2021a; 2021b)。2018年以降DC比抵抗測定による見かけ比抵抗値の低下が確認されていたが、2021年7月頃に急速に回復する変化があった。原因は究明中であるが、自然電位には大きな変化が見られないため、送信機周辺の局所的な比抵抗変化による可能性がある。そのほかの電磁気連続観測ではこれまでのように年周変化は見られるものの、火山活動に起因する変化は認められないことが分かった。

(御嶽火山)

R1-2年度に実施した観測では、御嶽山の比抵抗構造解明に障害となるノイズの存在が認識され、その解決には長期観測が必須であることが確認された。そのため本年度はKYU01課題観測と協力して北海道東部において試験観測を行い、長期観測を行う方法を確立させた。次に、本手法の有効性を検討するために、御嶽山の八合目付近の2地点において長期観測テストを実施した。なお、新型コロナウイルス

ルス感染症の影響で御嶽山の山頂施設利用に制限がかかったことから、同山頂域における長期観測は電場のみで実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

【1 地震・火山現象の解明のための研究－(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析－ウ. 地質データ等の収集・集成と分析；(4) 火山現象の解明とモデル化－ア. 火山現象の定量化と解明，イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化】

各火山において、火口周辺における多項目高密度観測が継続されている（例えば、東京工業大学，2021a; 2021a, 東京大学地震研究所，2021a; 2021b）。この結果，例えば草津白根火山においては、本白根火砕丘で発生した2018年噴火発生過程の検討が進められた（Terada et al., 2021; 山田・他，2021）。白根火砕丘については、地球化学的データと比較することで（角野・他，2021；Obase et al., 2021; 鈴木・他，2021）2014年から続く unrest の背景が理解されつつある。

【2 地震・火山噴火の予測のための研究－(4) 中長期的な火山活動の評価－ア. 火山噴火の長期活動の評価，イ. モニタリングによる火山活動の評価】

対象3火山において比抵抗構造調査が進められた。草津白根火山においては、近年活動した火口浅部（Honda et al., 2021a; 2021b）に加えて、広範囲に関する地下構造の詳細が明らかとなりつつある（Matsunaga et al., submitted）。このように得られた構造に、震源（山田・他，2021），地殻変動源（Terada et al., 2021），および熱消磁源（東京工業大学，2021b）との位置的な関係，さらに火山ガス（Obase et al., 2021; 角野・他，2021）や火口湖水（鈴木・他，2021；Terada et al., 2022）などの地球化学的なモニタリングデータを併せて検討することで、マグマ上昇から噴火発生までの流体輸送過程が描像されつつある。伊豆大島火山においても、より詳細な比抵抗構造のほか、その時間変動をモニタリングすることで、マグマ起源流体の上昇を検知する試みが継続されている（東京大学地震研究所，2021a; 2021b, 東京大学地震研究所・他，2021）。

【5 研究を推進するための体制の整備－(2) 総合的研究－オ. 高リスク小規模火山噴火】

草津白根山では、過去に側噴火が発生しているが、現在は地熱活動が存在しない領域については観光等の土地利用が進められている。このような高リスク域における将来の噴火リスクを評価するため、地球化学手法に基づく地中ガス調査を進めた（若松・他，2021）。また、旧火口列の熱活動をリアルタイムで把握するために、埋設光ケーブル(DTS)を用いた地温観測実験が行われた。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Terada, A., M. Yaguchi, T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry, *Front. Earth Sci.*, 9, 740617, doi:10.3389/feart.2021.740671

Yaguchi, M., T. Ohba, A. Terada, 2021, Groundwater interacting at depth with hot plastic magma triggers phreatic eruptions at Yugama crater lake of Kusatsu-Shirane Volcano (Japan), *Front. Earth Sci.*, 9, 741742, doi:10.3389/feart.2021.741742

Terada A., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Yamada, M. Yamamoto, T. Ohkura, H. Aoyama, T. Tsutsui, S. Onizawa, 2021, The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: Eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network, *Earth Planets Space*, 73, 157, doi:10.1186/s40623-021-01475-4

亀谷伸子・石崎泰男・勝岡菜々子・吉本充宏・寺田暁彦, 2021, 草津白根火山，白根火砕丘群南麓の白根南火口列と弓池マールの噴火様式と活動年代, *火山*, 66, 1-20, doi:10.18940/kazan.66.1_1

Kametani, N., Y. Ishizaki, M. Yoshimoto, F. Maeno, A. Terada, R. Furukawa, R. Honda, Y.

Ishizuka, J. Komori, M. Nagai, S. Takarada, 2021, Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan, *Earth Planets Space*, 73, 141, doi:10.1186/s40623-021-01468-3

Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov, and Y. Honda, 2021, Aeromagnetic survey in Kusatsu-Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, *Earth Planets Space*, 73, 139, doi:10.1186/s40623-021-01466-5

Iwamori, H, K. Ueki, T. Hoshide, H. Sakuma, M. Ichiki, T. Watanabe, M. Nakamura, H. Nakamura, T. Nishizawa, A. Nakao, Y. Ogawa, T. Kuwatani, K. Nagata, T. Okada, and E. Takahashi, 2022, Simultaneous analysis of seismic velocity and electrical conductivity in the crust and the uppermost mantle: A forward model and inversion based on grid search, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2021JB022307, doi:10.1029/2021JB022307

Ishizu, K., Y. Ogawa, K. Nunohara, N. Tsuchiya, M. Ichiki, H. Hase, W. Kanda, S. Sakanaka, Y. Honkura, Y. Hino, K. Seki, K.H. Tseng, Y. Yamaya, T. Mogi, Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, in press

Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov, Y. Honda, Summary: Aeromagnetic survey in Kusatsu-Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, in press

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・柳澤孝寿・本多嘉明, 2021a, 自律型無人ヘリコプターを用いた火山空中磁気測量, *物理探査*, 74, 115-122, doi:10.3124/segj.74.115

東京工業大学, 2021a, 湖水 Cl 濃度の時系列解析, 火山噴火予知連絡会資料, 第149回

東京大学地震研究所, 2021a, 伊豆大島全磁力, 火山噴火予知連絡会資料, 第148回

東京大学地震研究所, 2021b, 伊豆大島三原山の見掛け比抵抗変化, 火山噴火予知連絡会資料, 第148回

気象庁地磁気観測所・気象庁地震火山部・東京大学地震研究所, 2021, 伊豆大島における地磁気全磁力変化, 火山噴火予知連絡会資料, 第148回

Matsunaga, Y., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura, T. Nishizawa, Large-scale magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, revealed by broadband magnetotellurics, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, under review

東京工業大学, 2021b, ハヶ岳に対する草津白根山周辺の地磁気変化 (2011年5月~2021年10月), 火山噴火予知連絡会資料, 第149回

Ishizu, K., Y. Ogawa, T. Mogi, Y. Yamaya and T. Uchida, 2021, Ability of the magnetotelluric method to image a deep conductor: Exploration of a supercritical geothermal system, *Geothermics*, 96, 102205, doi:10.1016/j.geothermics.2021.102205

・学会・シンポジウム等での発表

小山崇夫・神田径・宇津木充・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・辻浩・西本太郎・本多嘉明, 2021b, 無人ヘリコプターによる草津白根山空中磁気測量, 日本地球惑星科学連合2021年大会, STT34-03

松永康生・神田径, 2021, Behavior of magmatic hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano inferred from numerical simulations, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC29-P09

本田明紗海・神田径・小山崇夫・高倉伸一・松永康生・西澤達治・池澤賢志, 2021, AMT法調査から推定される本白根山の比抵抗構造, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-18

角野浩史・滝口孝寛・小長谷智哉・外山浩太郎・寺田暁彦, 2021, ヘリウム・炭素同位体比からみた草津白根火山周辺における地下深部流体の供給系, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC29-02

小長谷智哉・角野浩史・外山浩太郎・大場武・谷口無我・寺田暁彦, 2021, 草津白根火山噴気ガス中のヘリウム・炭素同位体組成の時間変動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC29-P03

Honda, A., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura, Y. Matsunaga, T. Nishizawa, S. Ikezawa, 2021a, An Audio-frequency Magnetotelluric investigation of the shallow hydrothermal system at Mt. Motoshirane, central Japan, IAGA-IASPEI 2021

Obase, T, H., H. Sumino, K. Toyama, T. Ohba, M. Yaguchi, A. Terada, 2021, Temporal variations in helium and argon isotopic compositions of fumarolic gases at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *Goldschmidt 2021*

Honda, A., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura, Y. Matsunaga, T. Nishizawa, S. Ikezawa, 2021b, An Audio-frequency Magnetotelluric Survey Around the Craters of the 2018 Eruption at Mt. Motoshirane, Japan, AOGS2021, SE12-A002

山田大志・寺田暁彦・神田 径・上田英樹・青山 裕・大倉敬宏・小川康雄・棚田俊收, 2021, 傾斜計過渡応答を用いた草津白根火山2018年噴火の地盤変動解析, 日本火山学会2021年秋季大会, P1-20

鈴木レオナ・寺田暁彦・谷口無我・大場 武, 2021, 草津白根火山・湯釜火口湖へ供給される熱水の化学的特徴-湖水濃度時系列解析-, 日本火山学会2021年秋季大会, B2-2

若松 海・寺田暁彦・角野浩史・小長谷智哉・谷口無我・大場 武,2021,草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌ガス中のヘリウム同位体比分布-潜在破碎帯検出の試み-,日本火山学会2021年秋季大会,B2-03

小川康雄・石須慶一・芹田創平・南拓人・市原寛・國友孝洋・TG Caldwell,2021,EM-ACROSSデータの現状と今後の展望,2021年度 Conductivity Anomaly 研究会

若江秀樹・小川康雄,2021,草津白根山のMT連続観測データ,2021年度 Conductivity Anomaly 研究会
Keiichi Ishizu, Yasuo Ogawa, Keishi Nunohara, Noriyoshi Tsuchiya, Masahiro Ichiki, Hideaki Hase, Wataru Kanda, Shinya Sakanaka, Yoshimori Honkura, Yuta Hino, Kaori Seki, Kuo Hsuan Tseng, Yusuke Yamaya and Toru Mogi,2021,Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan,AGU Fall Meeting 2021

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 火山: 地温測定 (現地・DTS)

概要: DTS試験観測 (側線長1.2km)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 短周期地震観測

概要: 定常・臨時観測 (14点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 広帯域地震観測

概要: 定常観測 (3点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 空振観測

概要: 定常観測 (1点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 地震: 地殻変動: 傾斜計観測

概要: 定常観測 (ボアホール3点, 地表付近3点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 地震: 地殻変動: GNSS観測

概要: 連続・繰り返し観測 (14点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：その他

概要：定常観測（湖面水位1点・水温2点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動；地下水位観測

概要：定常観測（1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測

概要：電磁ACROSS

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：定常観測（4点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：噴気（定期採取5か所），土壌ガス（臨時採取，多点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：湯釜火口湖（定期採取，1か所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：遠望観測（カメラ）

概要：湯釜火口内（1か所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：熱映像・噴気温度

概要：夜間空中観測（年1回），30m深地下水温度（定常1点），80m坑井内水晶温度計観測（定常1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県吾妻郡草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測

概要：電磁場5成分（5か所），水平磁場2成分（6か所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都大島町元町伊豆大島 32.724694 139.394583

調査・観測期間：2021/11/15-2021/12/23

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：電気探査・磁気探査・重力探査

概要：ドローン空中磁気測量

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都大島町元町伊豆大島 32.724694 139.394583

調査・観測期間：2021/4/1-2022/3/31

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：比抵抗・全磁力モニタリング

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：東京都大島町元町伊豆大島 32.724694 139.394583

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測

概要：試験観測（3か所）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：長野県王滝村御嶽山 35.893094 137.480644

調査・観測期間：2021/4/1-2022/3/31

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和4年度実施計画の概要：

（草津）

地震地殻変動に関する定常観測点による連続観測を継続する。R3年度に構築した定常的な広域震源決定作業（湯釜・本白根周辺，志賀火山周辺，および長野県高山村周辺）を進めて，その詳細を検討する。また，地中ガス採取，ドローンを用いた採水と火山ガス組成比などの地球化学的な観測研究を実施し，地下構造と併せて草津白根火山の統合的な理解を進める。比抵抗構造については，特に志賀火山周辺で追加観測を行い，同地域の構造の詳細を検討する。ヘリウム観測については，火口周辺噴気や土壌ガス試料の定期観測を継続する。また，引き続き電磁アクロス計測を繰り返すほか，送信源を湯釜火口から1km程度の地点にも設置し，湯釜直下の高比抵抗を示すと期待される蒸気層の探査を行う。

（伊豆大島）

本研究課題では，岩石学的研究などから深部およそ10 kmに想定される伊豆大島深部マグマだまりの存在を検出するために，R3年度は全島に電磁気観測点を設置し広帯域MT観測を実施し，データ取得を完了した。また，それに並行して公募課題により伊豆大島周辺にOBEMを設置，現在測定中である。来年度はそれらのデータを統合解析し，伊豆大島火山のマグマ供給系の検出を実施する予定である。

（御嶽山）

これまでの試験観測により得られた経験に基づき，R4年度はソーラーパネルを用いたMT(電場・磁

場), および電場のみの長期観測を合計4地点にて実施する予定である.

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

寺田暁彦 (東京工業大学), 神田 径 (東京工業大学), 小川康雄 (東京工業大学), 野上健治 (東京工業大学)

他機関との共同研究の有無 : 有

青山 裕 (北海道大学), 山本 希 (東北大学), 小山崇夫 (東京大学地震研), 市原 寛 (名古屋大学), 前田裕太 (名古屋大学), 渡辺俊樹 (名古屋大学), 大倉敬宏 (京都大学), 角野浩史※研究協力者 (東京大学大学院総合文化研究科), 鬼澤真也※研究協力者 (気象庁気象研究所), 山田大志※研究協力者 (防災科学技術研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 理学院火山流体研究センター

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.ksvo.titech.ac.jp/jpn/>

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 寺田暁彦

所属 : 理学院火山流体研究センター

(1) 実施機関名：

鳥取大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地方自治体の地震被害想定，災害リスク評価を高度化するための基盤整備

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

鳥取大学が立地する鳥取県は山陰ひずみ集中帯に含まれ，1943年鳥取地震をはじめ複数の被害地震が発生している。大学と県は防災顧問の制度を活用して連携し，地震被害想定の方策などに先進的な概念を導入して来た経緯がある。その実施に際して，大学が積極的に情報提供をおこなっているものの，地下構造モデル策定に必要なデータは都市圏に比べて乏しい。

そこで，地震被害想定における不確実性を低減することを目的として，地下構造モデル構築に必要な探査をより充実し，次期被害想定に用いることができるデータベースを充実する。特に，広域の地震動想定でおおざなりにされがちな山間部での地下構造モデル作成の高度化を図る。また構造物被害の評価では，地域固有の条件を考慮した上で総合的なリスク評価の高度化を進め，新たな条件設定で現状の予測の再評価をおこなう。また，その結果を県民に伝えるために有効な手段について，対象自治体と連携して策定する。同時に，鳥取県震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度予測を自治体の地震防災体制に積極的に活用するための方法を模索して実装する。

本観測研究計画では，災害誘因毎にパイロット地域を設けて，防災実務者と連携を図ることが重要と考えている。本提案は主として鳥取県を対象に実施する計画としているが，地震動評価，災害リスク評価に直接的に必要な研究に留まらず，得られた成果を災害実務に役立てることを目的として地域に還元する方法論の検討を指向する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年・令和元年度には，鳥取県内で地下構造情報の乏しい領域で，主に微動探査・重力探査を用いた現地観測を実施する。加えて，鳥取県震度計ネットワークを用いた地震動即時予測について，自治体ので実務に活用できるシステムを模索した開発をおこなう。

令和2年度には、鳥取県内での現地観測に基づく地下構造モデルの構築を継続実施する。また、鳥取県に固有の建物条件、人口構成、産業条件などを取り入れた、地域に固有の災害リスク評価手法の検討を始める。

令和3年度には、自治体の意見を参考にしつつ、鳥取県内の地震災害リスクを県民に分かり易く伝えるためのHPの構築を始める。また、現地観測に基づく地下構造モデルの構築を継続する。

令和4年度には、新たな情報および条件に基づく災害リスク評価の試算を始める。また、地下構造モデルの更新を目的とした現地観測と地震災害リスクを県民に分かり易く伝えるためのHPの構築を継続する。

令和5年度には、得られた情報および条件に基づく災害リスク評価を実施し、その結果を県民に分かり易く伝えるためのHPを鳥取県と連携して実装する。また、地下構造モデルの更新を目的とした現地観測を継続実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度の実施内容と成果は以下の3項目である。

(1) 地盤震動特性および地下構造モデルが把握されていない山間部において、微動を用いた面的な調査を計画し、鳥取市街の丘陵部造成地、郊外の地すべり地形部で現地調査を実施した。具体的には、1970年代以降に大規模な宅地造成がおこなわれた鳥取県東部鳥取市内の北園地区および若葉台地区、および鳥取市南部佐治町内における地すべり地形分布域である。これらの地域は山間部であっても堆積層による影響が見られ、堆積層と基盤層のコントラストによる卓越周期の分布と、アレイ観測によって把握した表層地震波速度を用いた層厚モデルを得ることができた。また、1943年鳥取地震の際に地表地震断層(吉岡断層)が出現した鳥取市大塚地区での稠密微動探査、また鳥取大をはじめ3点で実施している連続地震観測データの常時微動部を解析し、加速度型地震計を用いて低周波数帯域の地盤震動を調査・検討する場合の課題について検討した。得られた結果は(2)で述べるWEB-GISシステムに取り込んでおり、地震被害想定的高度化に寄与することが期待される。

(2)鳥取県内では堆積平野を中心として、これまでに数多くの微動探査(単点3成分およびアレイ観測)を実施している。これらの総合的な利活用を目指してデータベースを構築し、GISを用いた表示システムを作成している(図-2)。登録した全観測点における微動卓越周期をカラースケールで一覧でき、観測点毎にH/Vスペクトルと読み取った卓越周期、アレイ観測による位相分散曲線とそれにフィットさせて求めた地下構造モデルを閲覧できるようにしている(図-3, 4)。令和3年度には、このシステムに重力探査、ボーリング、出版物からの表層地質断面図の取り込みを始めている。また、システムの利便性について県内のコンサルタントおよび県庁で地盤防災に係わる職員にアンケート調査を実施し(図-5、有効回答14件)、さらなる拡充のヒントとした。

(3) 前期5ヶ年の観測研究計画において、鳥取県内34計測震度観測点から1秒パケットでリアルタイム震度と最大加速度値(水平、鉛直)を送信するように改良した。また、鳥取大学でそれらを受信し、緊急地震速報で用いられているPLUM法に震度の距離減衰と全予測点を2次震源とする改良を加え、P波振幅による震度予測を加えて県内1kmメッシュの震度分布を把握するシステムを開発した。これを元に250mメッシュのリアルタイム震度をWebベースで配信できるシステムを令和2年度に開発し、令和3年度にはこれを鳥取県庁とも共有できるようにした(図-6)。また、運用に当たってより利便性を向上するため、システムの改善を実施している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Nishimura, I., T. Noguchi, and T. Kagawa, 2021, Estimation of Subsurface Structures and Ground Motion Characteristics in the area damaged in the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake in Japan, International Journal of GEOMATE, Vol. 20, No. 82, 15-21

Kagawa, T.,2021,Application of Modified PLUM Method to Dense Seismic Intensity Network of a Local Government in Japan - Case Study on Tottori Prefecture -,Frontiers in Earth Science, section Solid Earth Geophysics, The New Frontiers of Earthquake Early Warning Systems,<https://doi.org/10.3389/feart.2021.672613>

・学会・シンポジウム等での発表

香川敬生・西垣壮真・野口竜也,2021,鳥取大学常設観測点における常時微動の長期変動,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS11-02

野口竜也・小林和生・蘆田龍・西村武・香川敬生,2021,鹿野・吉岡断層近傍における微動特性および地下構造,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS11-P09

野口竜也・山室雅輝・西村武・香川敬生,2021,鳥取県中部域における3次元地盤構造モデルの推定,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS11-P10

西村武・島田敦史・野口竜也・香川敬生,2020,地すべり地帯における微動探査を用いた地盤震動特性の把握 -鳥取市国府町楠城・雨滝の事例-,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS11-P11

小林和生・蘆田龍・西村武・野口竜也・香川敬生,2021,吉岡・鹿野断層近傍における地盤震動特性の変化とその要因の検討,第73回 2021年度（令和3年）土木学会中国支部部研究発表会

Kagawa, T., Noguchi, T.,2021,A Study on Ground Motion Characteristics Close to Surface Earthquake Faults,The 17th World Conference on Earthquake Engineering

Noguchi, T., Nishimura, I., Kagawa, T.,2021,Subsurface Structure Based on Microtremor and Seismic Observation in The Ohda Area, Shimane Prefecture, Japan,The 17th World Conference on Earthquake Engineering

Kagawa, T., Nishimura, I., Noguchi, T.,2021,Effect of Nonlinear Soil Response on Ground Motions at Nearby Sites,6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion

Noguchi, T., Kagawa, T., Kobayashi, K., Nishimura, I.,2021,Subsurface Structure and Ground Motion Characteristics Near Active Fault, The Case Study on The Shikano and Yoshioka Faults, Japan,6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion

野口竜也・蘆田龍・小林和生・西村武・吉川菜緒・香川敬生,2021,1943年鳥取地震による地震断層近傍における微動探査-鳥取市宮谷・大塚地区-,日本地震学会2021年度秋季大会,S16P-03

西村武・西村菜沙・香川敬生,2021,大規模盛土造成地における微動探査を用いた地盤震動特性の把握 -鳥取市北園の事例-,日本地震学会2021年度秋季大会,S16P-08

野口竜也・島田敦史・西村武・香川敬生,2021,微動探査に基づく鳥取県内の地すべり地域における地盤震動特性および地盤構造,令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会,CS10-08

野口竜也・島田敦史・中桐圭右・西村武・香川敬生,2021,微動探査による鳥取県北栄町北条地域の地盤構造推定,令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会,CS10-09

Noguchi, T., Nishimura, I., Kagawa, T.,2021,Estimation of Subsurface Structure of Landslide Area Based on Microtremor Observation in the Hojojima, Nawashiro and Amedaki Area, Tottori, Japan,The 11th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials & Environment,gxi279

西村武・吉川菜緒・野口竜也・香川敬生,2021,微動観測に基づく吉岡断層ごく近傍の地盤構造推定及び地盤震動特性の把握,日本地震工学会・大会2021,T2021-065

野口竜也・西村武・佐々木梨乃・香川敬生,2021,地すべり地域 -鳥取市佐治地区- における微動および地震観測に基づく地盤構造推定,日本地震工学会・大会2021,T2021-074

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

鳥取県内の地震動予測高度化のため、地盤震動特性および地下構造の把握、およびGISデータベースの拡充を継続的に実施する。鳥取県震度計ネットワークを用いたWEBベースのリアルタイム震度表示システムおよびWEB-GISシステムについて、自治体での利活用を促すとともに、利用に関する意見を継続収集する。これらのツールを総合的に活用し、県民を対象として鳥取県内の地震災害リスクを分かり

易く伝えるためのコンテンツの試作をおこなう。また、鳥取県の環境特性を考慮した災害リスク評価のための分析，方法論の構築を始める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

香川敬生（鳥取大学大学院工学研究科）,野口竜也（鳥取大学大学院工学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
電話：0857-31-5641
e-mail：kagawa@tottori-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：香川敬生
所属：鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

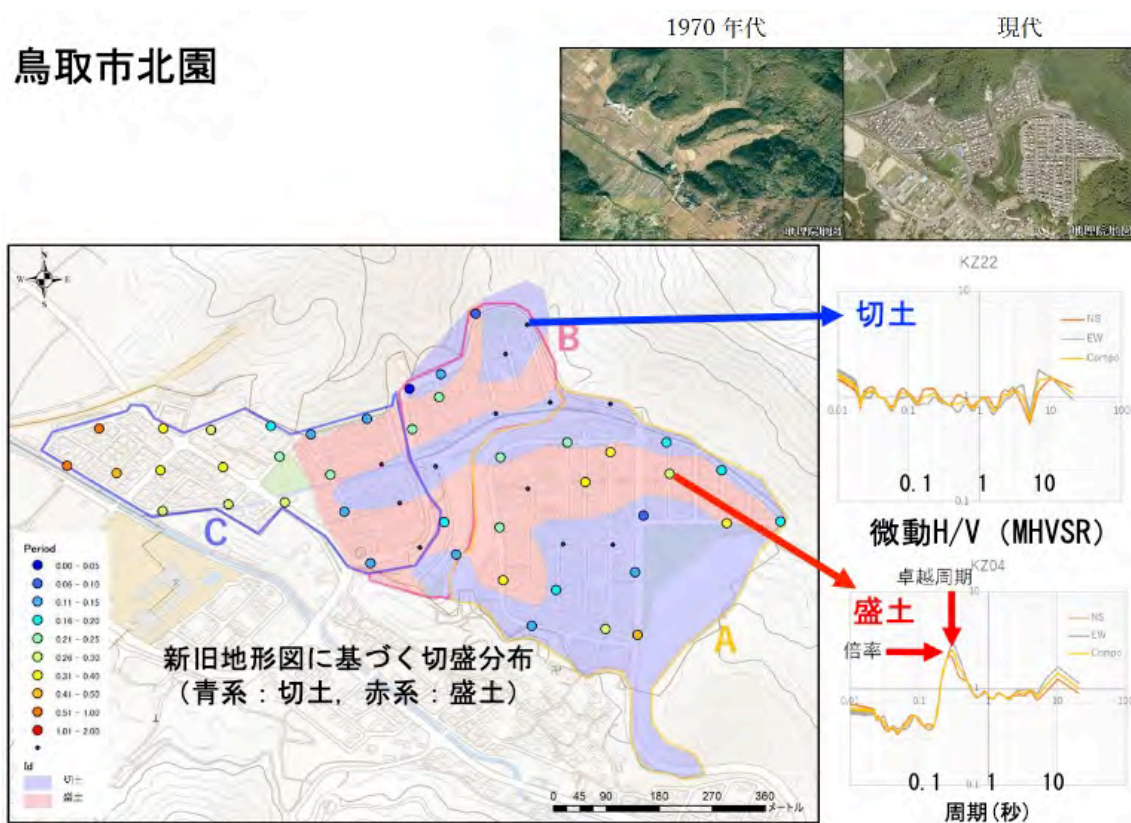
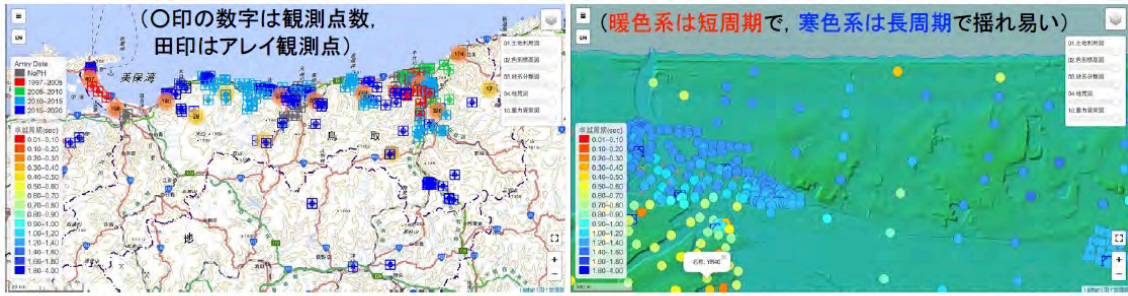


図-1 鳥取市北園地区の微動卓越周期分布と造成時の切盛想定



これまでの調査結果を入力したGISの広域表示

県中部の拡大表示例(背景は色別標高図)

図-2 鳥取県内の微動観測結果のWEB-GISシステム

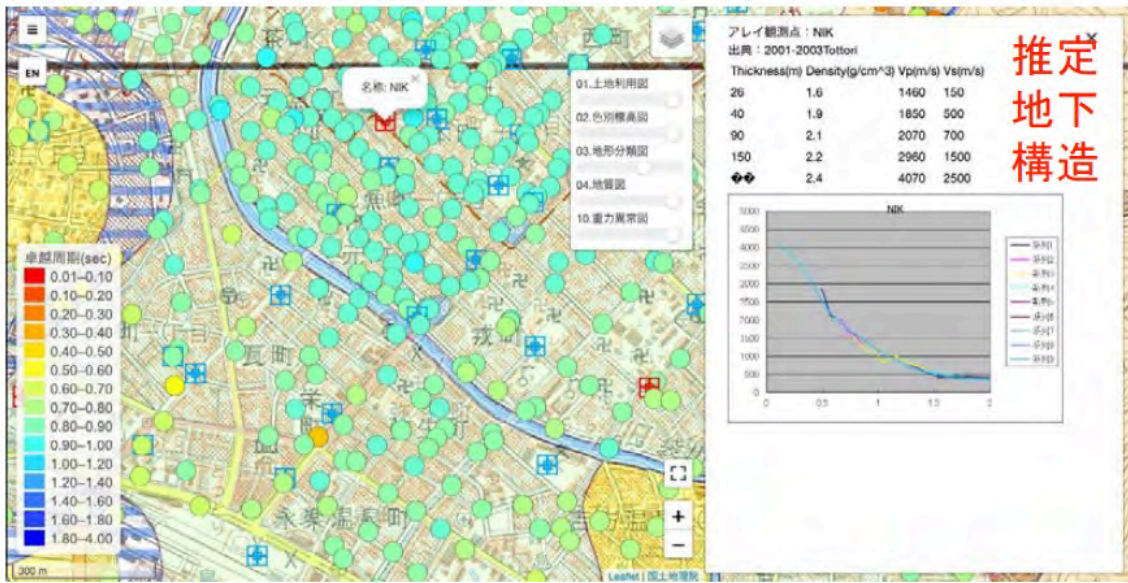


図-4 図-2のWEB-GISシステムでのアレイ観測の位相速度分散曲線と推定地下構造モデル表示例 (鳥取市街、背景は地形分類図の透過表示)

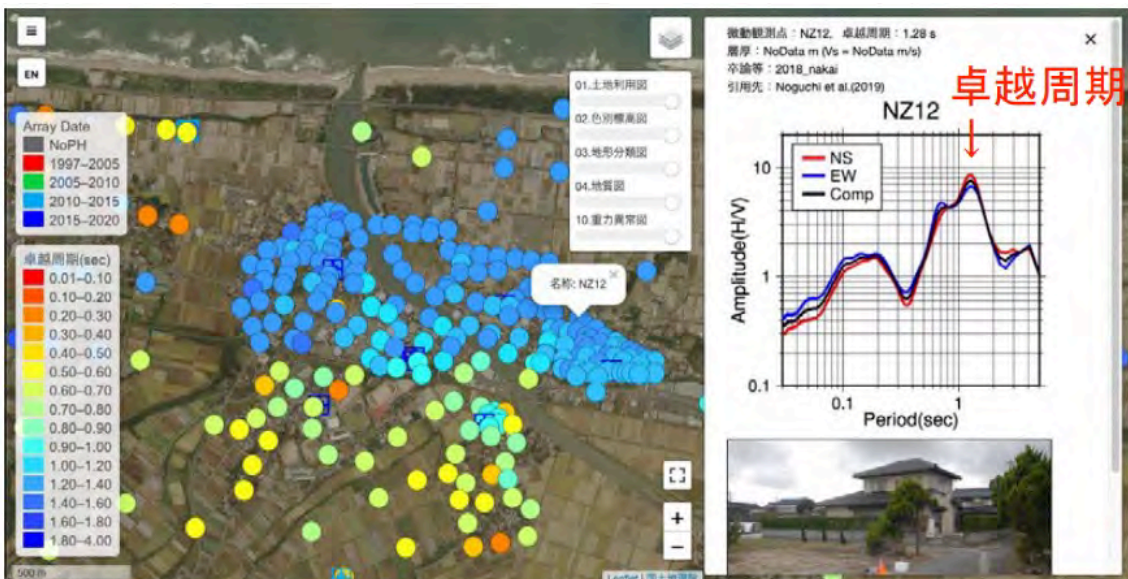


図-3 図-2のWEB-GISシステムでの3成分単点観測のH/Vスペクトル表示例
 (北栄町由良・西園地区, 背景は航空写)

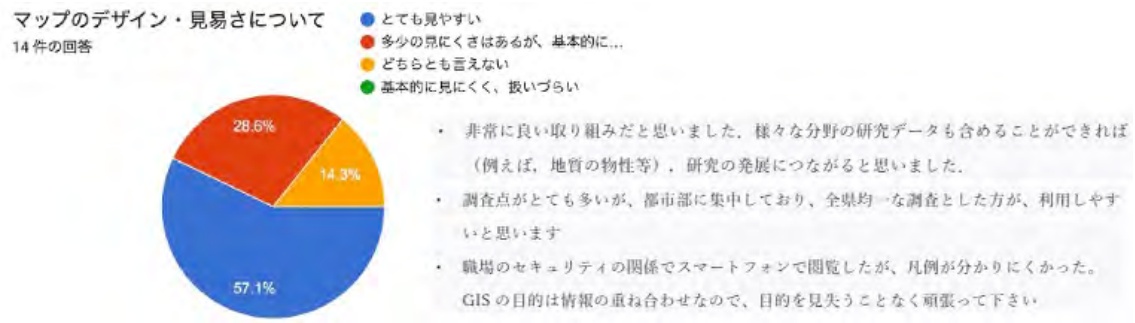


図-5 図-2のWEB-GISシステムの利便性アンケート結果の一部



図-6 リアルタイム震度表示システムの稼働例

(2022年1月22日日向灘の地震(M6.6)による鳥取県内のリアルタイム震度表示(震度0～3)。一部欠測点がある旨のエラーが表示されている。)

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

極小規模噴火を含めた草津白根火山の噴火履歴の解明と噴火ポテンシャル評価

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
オ. 高リスク小規模火山噴火
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

- (1) 地表調査及びトレンチ調査と放射性炭素年代測定により、極小規模～小規模噴火も含めた、草津白根火山山頂部での噴火履歴（噴火の様式・推移・規模・年代及び発生地点）の全容を解明する。
(2) 噴出物の物質科学的解析により、草津白根火山のマグマ溜りと熱水系の深度、温度、化学的状態、規模（空間的広がり）とその時間変遷を解明する。
(3) 上記（1）と（2）を総合し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャルを評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度には、白根火砕丘群の噴火履歴解明のため、湯釜・湊釜・水釜の火口壁沿いで噴出物層序調査を行う。白根火砕丘群東斜面では大・小のトレンチ調査を実施し、極小規模～小規模噴火のテフラの洗い出しを行う。テフラ中の材やテフラ層間の黒土の放射性炭素年代測定を行い、各テフラの年代を決定する。火山岩塊の定方位試料については岩石磁気解析を行い、定置年代・温度を決定し、温度データを基に噴火様式を特定する。火山灰試料については物質科学的解析を行い、各噴火時のマグマ溜り（マグマ噴火の場合）・熱水変質帯（水蒸気噴火の場合）の物理化学的状態を推定する。また、草津白根火山東麓の青葉山付近で地表調査とトレンチ調査を行い、同火山のテフラの層序の骨格を確立する。採取したテフラ試料については物質科学的解析を行い、熱水変質帯の物理化学的状態の

時間的変遷（熱水による酸化・還元状態の変化や熱水変質による再帯磁現象の有無の検証を含む）を検討する。

平成32年度には、白根火砕丘群での噴出物層序調査と東麓でのテフラ層序調査を継続することに加え、本白根及び白根火砕丘群の間に点在する小火口群について、火口近傍での地表調査とトレンチ調査を行い、火口の形成年代、火口を形成した噴火の様式・規模・推移を明らかにする。採取試料については前年度と同様の分析を行い、各噴火時のマグマ溜り・熱水変質帯の物理化学的状態のデータを蓄積する。

平成33年度には、本白根火砕丘群の山頂域に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を行い、噴火履歴を明らかにする。採取試料については、平成31・32年度と同様の分析を行う。

平成34年度には、本白根火砕丘群の山頂域に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を継続する。採取試料については、前年度までと同様の分析を行う。

平成35年度には、前年度までの研究成果を総括し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャル評価を行う。また、成果報告会を草津町で開催する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

水蒸気噴火の発生場として国内外に有名な白根火砕丘群ではあるが、その形成史はよくわかっていなかった。そこで令和2年度から、白根火砕丘群の形成史の解明のため、火砕丘本体を構成する噴出物の層序・分布調査を開始し、白根火砕丘群が、2枚のやや規模が大きな溶岩流（噴出順に平兵衛池溶岩、香草溶岩）を基底とし、それらを覆って分布する複数の火砕丘（現時点では形成順に白根北火砕丘と湯釜火砕丘から構成されると推測されるが、今後修正される可能性もある）、火砕丘の上位に位置すると推測される1枚の小規模な溶岩流（白根東溶岩）と1つの溶岩ドーム（水釜溶岩ドーム）から構成されることがわかってきた（第1図）。令和3年度には、白根火砕丘群の各噴出物の層序・分布調査を継続しつつ、薄片記載と全岩化学組成分析等の物質科学的解析を行った。これらの解析により、白根火砕丘群の溶岩と火砕丘構成物（火砕堆積物）が、それぞれ固有の組成範囲と組成変化傾向をもっていることが明らかになりつつある（第2図）。そのため、各噴出物の組成を比較することにより、活動時期の同一性を明らかにできる可能性がある。また、白根火砕丘群噴出物のうち噴出年代が不明な香草溶岩、殺生溶岩、水釜溶岩について定方位試料を採取し、古地磁気年代を測定中である（3月中には測定が完了する予定）。また、湯釜北東観測井のボーリングコアに記載されている香草溶岩直下に産する風化土壌を採取し、放射性炭素年代を測定中である（3月中には測定が完了する予定）。

白根火砕丘群と本白根火砕丘群には、火砕丘山頂部の大火口のほかに、大火口内や火砕丘斜面に多数の小火口が見られる。これらのうち、本白根火砕丘群に見られる小火口の活動履歴調査を令和2年度から実施しており、現在までに計4個の火口の活動年代（2700年前、1700年前、700年前、400年）が明らかになった（第3図）。なおこれらの年代は、小火口近傍に限定的に堆積しているテフラ層の直下の土壌の放射性炭素年代から推定したものである。噴出物中に本質物が見られないため、いずれの火口も水蒸気噴火により形成されたと推測される。これらの火山灰層のXRD分析(定方位法)により、パイロフィライト、カオリン鉱物、スメクタイト、ミョウバン石、石英が同定され、いずれも酸性熱水変質帯に由来するテフラ層であることが推測された。また、これらの小火口が本白根2018年噴火

(VEI 1)の火口と同規模であることから、本白根火砕丘群の山頂域では火砕丘群本体の形成後もVEI 1程度の水蒸気噴火が頻発していたと推測される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

「1 (5) ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明」に関連した貢献としては、草津白根火山の最近1万年間の活動場である本白根火砕丘群及び白根火砕丘群のマグマ供給系についての知見、すなわち、それぞれの火砕丘群の地下に単一のデイサイト質マグマが存在し、そこに多様な組成の苦鉄質マグマが注入することでマグマ噴火が発生することを明らかにした点、水蒸気噴火のテフラが白根火砕丘群起源のものと本白根火砕丘群起源のもので熱水変質鉱物の構成比（特に石英/クリストバライト比）が異なり、地下の熱水系の物理化学的状態が火砕丘群ごとに異なっていることが明らかになった点が挙げられる。

「2 (4) ア. 火山噴火の長期活動の評価」に関連した貢献としては、最近1万年間の草津白根火山の爆発的噴火の履歴がテフラ層序学的研究によりほぼ解明されたことが挙げられる。これにより、本白根火砕丘群及び白根火砕丘群で発生した爆発的噴火の年代・頻度・噴火規模・噴火様式についての基礎

データがほぼ揃い、草津白根火山の長期活動評価が可能となりつつある。

「5 (2)オ. 高リスク小規模火山噴火」に関連した貢献としては、これまで噴火履歴がよくわかっていなかった小火口や火口列の活動履歴（噴火規模は2018年噴火と同規模と推測される）が解明されつつあることが挙げられる。この成果は、草津白根火山のような観光地化した高リスク火山における将来の噴火リスク評価のために重要な基礎データになる。また、「5 (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育」については、本計画最終年度に草津町で成果報告会を開催することを検討している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kametani, N., Y. Ishizaki, Y. Yoshimoto, F. Maeno, A. Terada, R. Furukawa, R. Honda, Y. Ishizuka, J. Komori, M. Nagai, and S. Takarada, in press, Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan
, Earth Planets Space

・学会・シンポジウム等での発表

沼田和佳子・石崎泰男, 2021, 草津白根火山, 白根火砕丘群の形成史, 日本火山学会 2021 年度秋季大会, P1-17

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

白根火砕丘群を構成する各噴出物の噴出年代を明確にするため、令和3年度に引き続き、平兵衛池溶岩、香草溶岩、白根東溶岩、水釜溶岩ドームの定方位試料を用いて、古地磁気年代測定を行う。この活動年代及び噴出物の物質科学的解析をもとに、白根火砕丘群のマグマ系・熱水系の進化過程を検討する。また、本白根火砕丘群の山頂域に見られる小火口のいくつかについては現時点まで未調査であるため、令和4年度はこれらの小火口で現調査を行い、テフラ層直下の土壌の放射年代測定による活動年代の特定及びテフラ層の物質科学的解析による熱水系の物理化学的条件の推測を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

石崎泰男（富山大学都市デザイン学部）, 川崎一雄（富山大学都市デザイン学部）

他機関との共同研究の有無：有

吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）, 亀谷伸子（山梨県富士山科学研究所）, 寺田暁彦（東京工業大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）

電話：076-445-6656

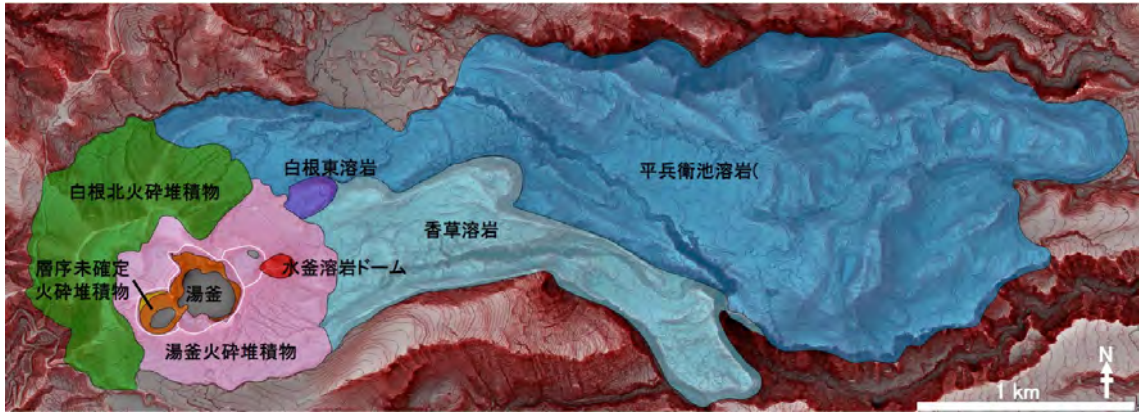
e-mail：ishizaki@sus.u-toyama.ac.jp

URL：

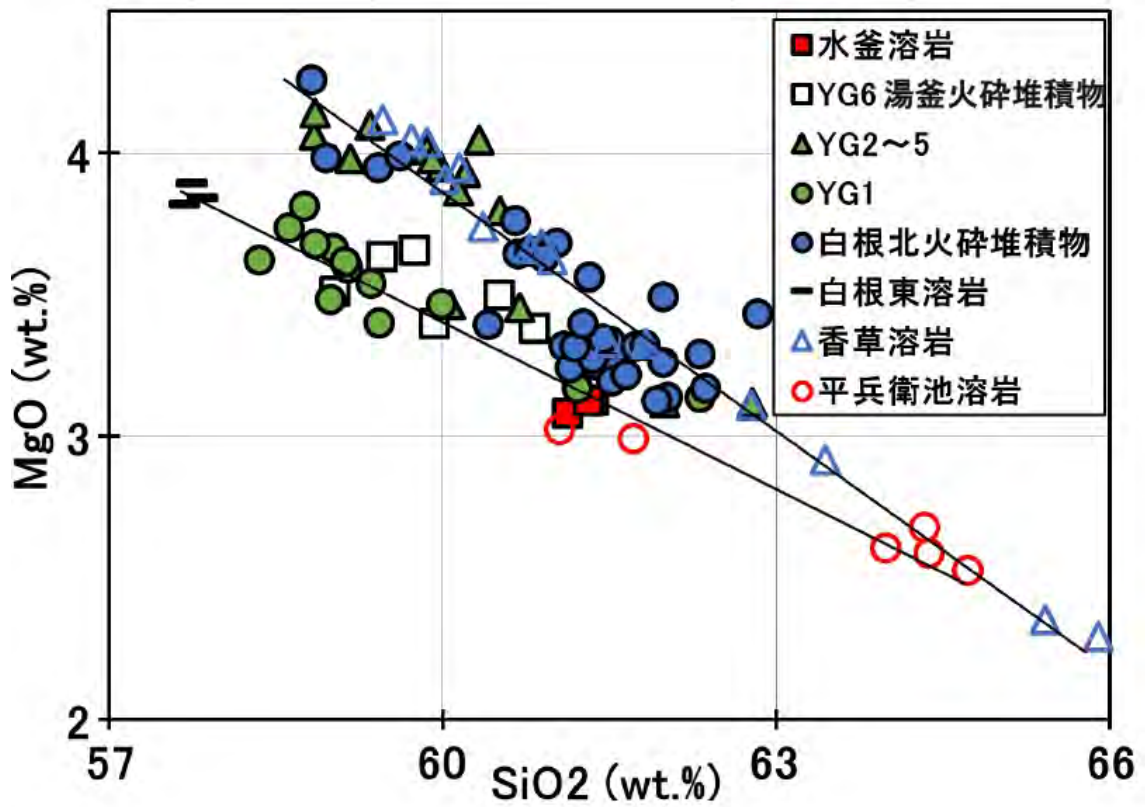
(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石崎泰男

所属：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）

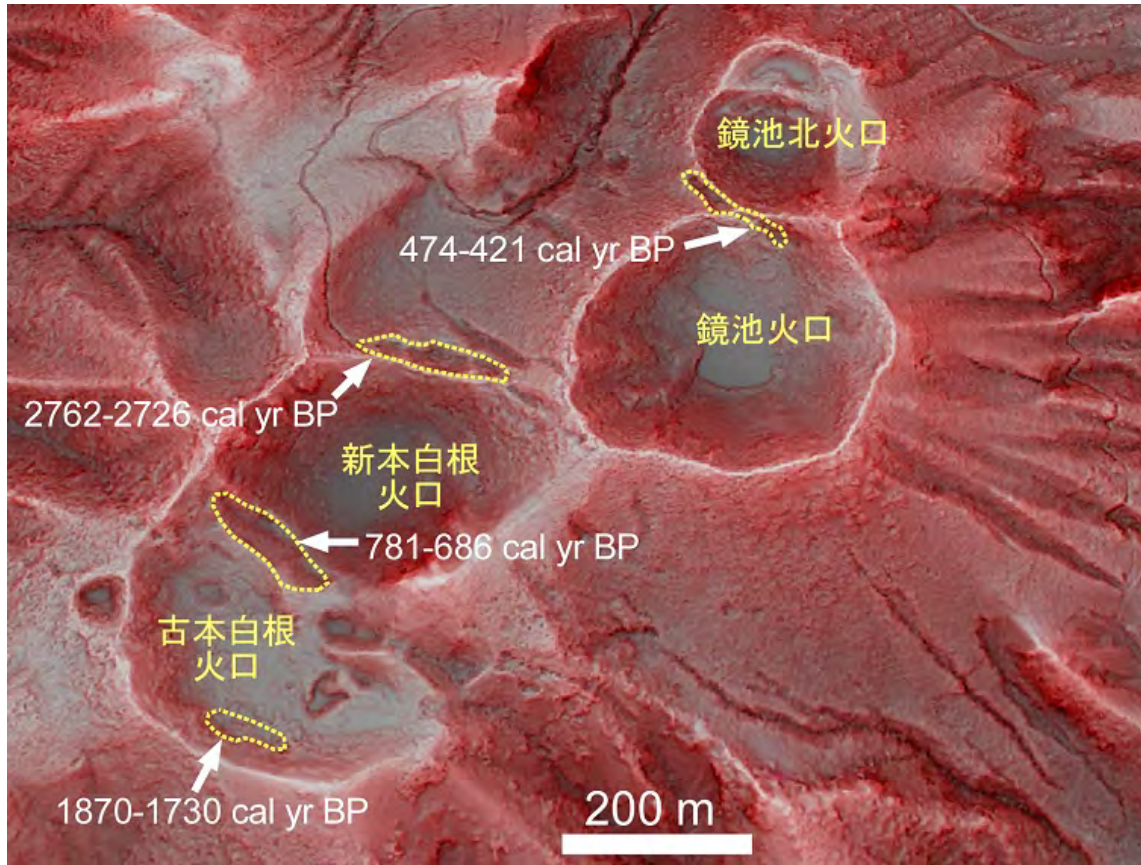


第1図 白根火砕丘群の地質図



第2図 白根火砕丘群噴出物の全岩化学組成 (SiO₂-MgO図)

YG1及びYG2～5は湯釜火口内に見られる火砕堆積物であり、現時点では層序的な位置づけは不明である。



第3図 本白根火砕丘群の山頂域に見られる小火口とその放射性炭素年代

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1. 地殻変動観測

富山大学により2015年から行われている精密水準測量の水準点は地獄谷の南東部に偏っており、かつ上下変動のみしか検出できないため、変動源の形状を一意に特定することは難しい。また、地獄谷内は大部分が砂地であり、水準点を面的に拡張することも困難である。そこで、本研究では精密水準測量と合わせてGPS測量を実施する。現在、弥陀ヶ原火山周辺には、地獄谷から数km離れた位置にGEONET観測点と富山大学浄土山観測点の2点のGPS観測点がある。一方で、水蒸気爆発に関連しそうな熱水だまりは浅部にあると考えられており、その膨張に伴う地殻変動の検出可能領域は極めて狭い範囲に限られることが予想される。地獄谷周辺におけるGPS観測網をより強化することで、熱水だまりの活動とその形態を明らかにしていくことが出来ると期待される。地下深部にあると考えられるマグマだまりの形態を明らかにするために、現状の観測点を含む広域の観測網も合わせて拡充していく。

2. 地震観測

弥陀ヶ原火山で最近活発化している噴気活動に伴う振動を長期的にモニタリングすることで、噴気活動を定量化できることが期待される。また、深部低周波地震を長期的にモニタリングし精査することで、マグマの供給・蓄積の様子を把握することができる可能性がある。一方、マグマや熱水が急激に貫入するなど、地下で何かしらのイベントが発生した場合、火山構造性地震といった低周波地震とは異なるタイプの火山性地震が発生すると考えられる。長期にわたって地震観測を実施し、記録を蓄積

することで、平時の弥陀ヶ原火山の状況や活動に伴う変化、水蒸気噴火やマグマ噴火の前兆現象を捉えることができると期待される。

3. 熱活動観測

これまでの富山大の調査により、地獄谷内の噴気帯が拡大していることが確認できた。地表調査のみでは、地獄谷内全域の噴気帯の盛衰や地表の温度状況とその変化を正確に把握することは困難なため、赤外線サーモグラフィカメラを搭載したドローンシステム（UAV）を観測に導入し、上空から地獄谷全域の熱活動のモニタリングを行う。上記1・2の観測データと総合することにより、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係が解明できると期待される。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

水蒸気噴火やマグマ噴火が発生する可能性のある弥陀ヶ原火山の火山過程を明らかにするために、地獄谷の地球物理学的観測を行う。観測を通して、熱水だまりやマグマだまりの形態、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係の解明を図る。

平成31年度においては、地獄谷周辺にGPS観測点や地震観測点の選定・設置を行い、観測・データの蓄積を開始する。精密水準測量は秋に引き続き行う。UAVによる熱活動観測は秋に実施する。

平成32年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程の解明を図る。また、観測点のメンテナンスも随時行う。

平成33年度においては、前年度までの研究で不足している観測点分布を検討し、必要に応じて地殻変動・地震観測網の拡充を図る。地殻変動観測、地震観測および熱活動観測は引き続き継続する。

平成34年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化の解明を図る。

平成35年度においては、引き続き地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化のさらに詳細な解明を図る。さらに、ここまで蓄積されたデータの整理、とりまとめを行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 地殻変動観測

地獄谷の遊歩道沿いに実施している水準測量から、2016～2020年にかけて最大6 cm近くの沈降が検出された。Okada (1992) の開口割れ目モデルを適用したところ、近年活発な噴気活動が継続している紺屋地獄・新噴気帯付近の深さ50 mに長さ650 m、幅425 m、傾斜角67°の割れ目が59 cm閉口したことが見出された（図1）。この割れ目の1年ごとの開口量を推定したところ、2016～2017年に開口が停止したのち、2017～2018年に開口から閉口、すなわち膨張から収縮に転じたことが分かった

（図2）。割れ目が閉口に（すなわち収縮に）転じた2017～2018年には八幡地獄（図1の橙色の破線丸）に新たな噴出孔が形成されたことも報告されている。以上の成果をEarth, Planets and Spaceに投稿し、受理された。一方、2020～2021年の1年間では地獄谷の沈降が隆起に転じた。隆起は最大で0.8 cmであり、Mogi (1958) モデルを適用したところ、紺屋地獄・新噴気帯の南側の深さ75 mに膨張源が推定された。体積増加量は2100 m³であった。一方で、昨年度から実施している地獄谷内のGPS観測について、今年度から一部の点で夏季連続観測を実施している。新噴気帯でのGPS観測に基づくと、この隆起は2021年9月ごろには停止したことが示唆される。

2. 地震観測

京都大学の協力を得て昨年度は立山カルデラに2点、今年度は馬場島と浄土山に臨時地震観測点をそれぞれ設置し、WINシステムの解析環境も整備した。2020年9月23日～2021年2月28日の期間の自動解析による震源決定結果を図3に示す。なお、周辺のV-netや気象庁、京都大学や東京大学のデータも用いた。検出された地震の多くは飛騨山脈下で発生しているが、その分布は地獄谷のすぐ南側まで伸びており、M～3の地震が発生していた。地獄谷より北には地震の空白域があるが、それを挟んで剣岳付近でもM～3の地震が発生していた。そのほか、跡津川断層の活動に起因すると思われる地震も検出された。

一方、昨年度に引き続き、噴気活動の定量的評価を目的として、百姓地獄南東部の噴気孔近傍において噴気に伴う音の観測を行った。昨年度は地震計を使用して噴気に伴う地動を観測したが、周波数

帯域が可聴域であることから、今年度は低周波マイク（ACO、7146NL/4162）、デジタルオシロスコープ（GW Instek、GDS-207）を使用した。ほぼ白色ノイズとみなせるような、特徴的な周波数成分をもたないスペクトルであり、図4はスペクトルの時間変化を示している。180 Hz付近の比較的大きな振幅は、ほぼ一定していることがわかる。白色ノイズ的なスペクトルであることから、噴気音は噴気孔からのジェット（乱流）による空力音と考えられる。噴気孔付近での共鳴は認められない。噴気音の連続観測から噴出量を定量的に評価するためには、振幅の大きい周波数200 Hz以下で観測すべきであることがわかる。

3. 熱活動観測

2020年10月に実施したUAVを用いた熱観測について赤外線像解析を行った。タイムラプスカメラ観測の可視像解析と組み合わせて各噴気帯ごとに明らかになったことの概要は以下の通り。

（1）新噴気帯：2019年に確認された地熱帯は、2020年にはその範囲が若干拡大した（図5、B）。また、噴気孔の東西性の分布が2020年の熱観測で明確になった（図5、D・E）。これは水準測量で得られたダイクの走向とも整合的である。一方、遊歩道沿いに見られた噴気孔・熱水孔の活動は2019年までは非常に活動的であったが、2020年には活動が低調化した（図5・C）。

（2）紺屋地獄：2018年まで見られた泥火山が消失し、その箇所に熱水孔が形成された。紺屋地獄の湯だまりは熱水の色調が黒灰色から青白色に変化した。

（3）八幡地獄・百姓地獄・鍛冶屋地獄：観測期間中噴気孔と熱水孔の状況に大きな変化は見られなかった。

（4）新大安地獄：2019年と同様に、新大安地獄の火口壁の崩落と火口底の埋積が進行していることが確認できた。新大安地獄西方の地熱帯の活動は2019年から低調化している。

また、2020年8月からNTT西日本と共同で地獄谷における地中温度のリアルタイム観測を行った。地獄谷内の7点で深さ10cmと50cmに熱電対を設置し、30分間隔で温度データを送信した。図6には8月から9月にかけての観測例を示している（赤：50 cm、青：10 cm）。地中温度の低い観測点

（UT01）では地表温度の日変化の影響が深さ50 cmの温度にも顕著にみられる。一方、地中温度の高い観測点（UT06）では、深さ50 cmの温度に日変化の影響はほとんど見られない。2つの深さの温度の差から地表付近の熱伝導率を $1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ と仮定して表面熱流量を求めた（図7（単位： W/m^2 ））。噴気活動の活発な鍛冶屋地獄周辺で $60\text{-}70 \text{ W/m}^2$ と大きな値を示している。また、小さな距離で大きく変化しており、数百m規模よりも小さな熱源（たとえば熱水供給系）の存在を反映していることを示している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地獄谷における水準測量によって明らかになった上下変動に開口割れ目モデルを適用することにより、2015～2020年の5年間で深さ50～460 mにかけて存在する割れ目が開口と閉口を繰り返していることが分かった。なお、この変動源はKobayashi (2018) によって報告された2007～2010年のシル状の変動源とは異なり、当時とは異なる場所が変動を引き起こしていることが示唆される。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

石崎泰男,2021,令和2年度富山県受託研究「弥陀ヶ原火山地獄谷での長期モニタリング」報告書,富山県
Hotta, K., Kusumoto, S., Takahashi, H., Hayakawa, Y.S.,2022,Deformation source revealed from leveling survey in Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan,Earth, Planets and Space

・学会・シンポジウム等での発表

堀田耕平・楠本成寿・高橋秀徳・早川裕弐,2021,立山火山地獄谷における水準測量により明らかにした変動源,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC28-05

Watanabe, T.,2021,Monitoring of underground temperature in Jigokudani, Midagahara volcano using LPWA devices,日本地球惑星科学連合2021年大会,SVC28-P06

堀田耕平・高橋秀徳・本田裕也・剣持拓未,2021,水準測量から明らかになった立山火山地獄谷の再隆起—2020年9月～2021年9月—,日本火山学会2021年度秋季大会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

1. 地殻変動観測

引き続き地獄谷における水準測量・GPS観測による地殻変動のモニタリングを継続する。

2. 地震観測

自動解析で得られた震源分布から、火山性地震の抽出・手動解析を行う。噴気活動の定量化についてはオンライン観測が可能なIoTシステムを検討し、その振幅と噴出速度の対応を明らかにする。

3. 熱活動観測

引き続き実温度が計測できる赤外線サーモカメラ（Flir Vue Pro R）を搭載したドローンを用いた熱観測を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

渡邊了（富山大学都市デザイン学部）、石崎泰男（富山大学都市デザイン学部）、堀田耕平（富山大学都市デザイン学部）

他機関との共同研究の有無：有

京都大学課題（KUS02）と連携を行う

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：富山大学理工学研究部（都市デザイン）

電話：076-445-6555

e-mail：hotta@sus.u-toyama.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：堀田耕平

所属：富山大学理工学研究部（都市デザイン）

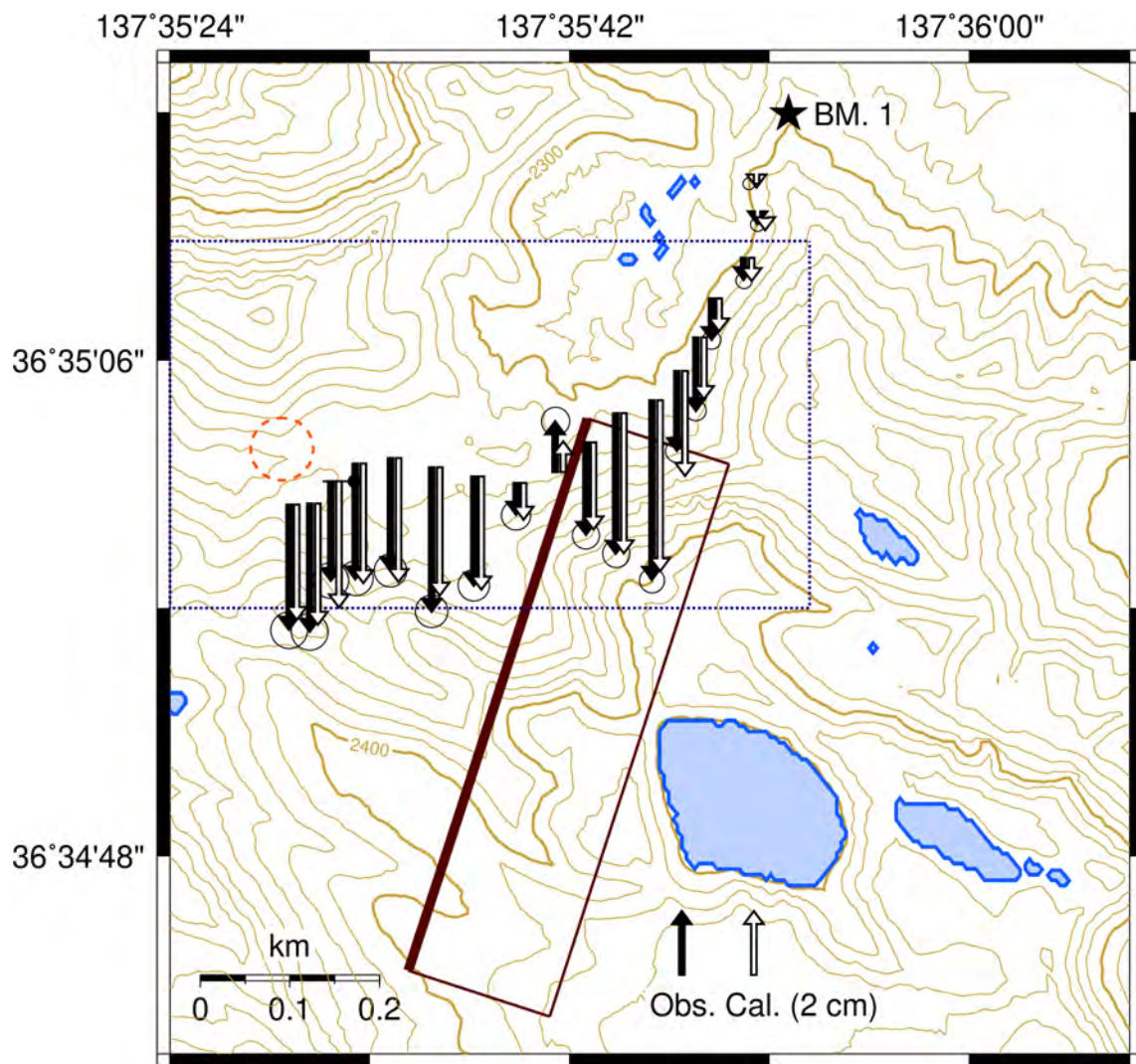


図1：2016～2020年のBM.1（★）に対する上下変動（黒は観測値、白は計算値）と得られた割れ目（茶色の長方形、上端は太線）。

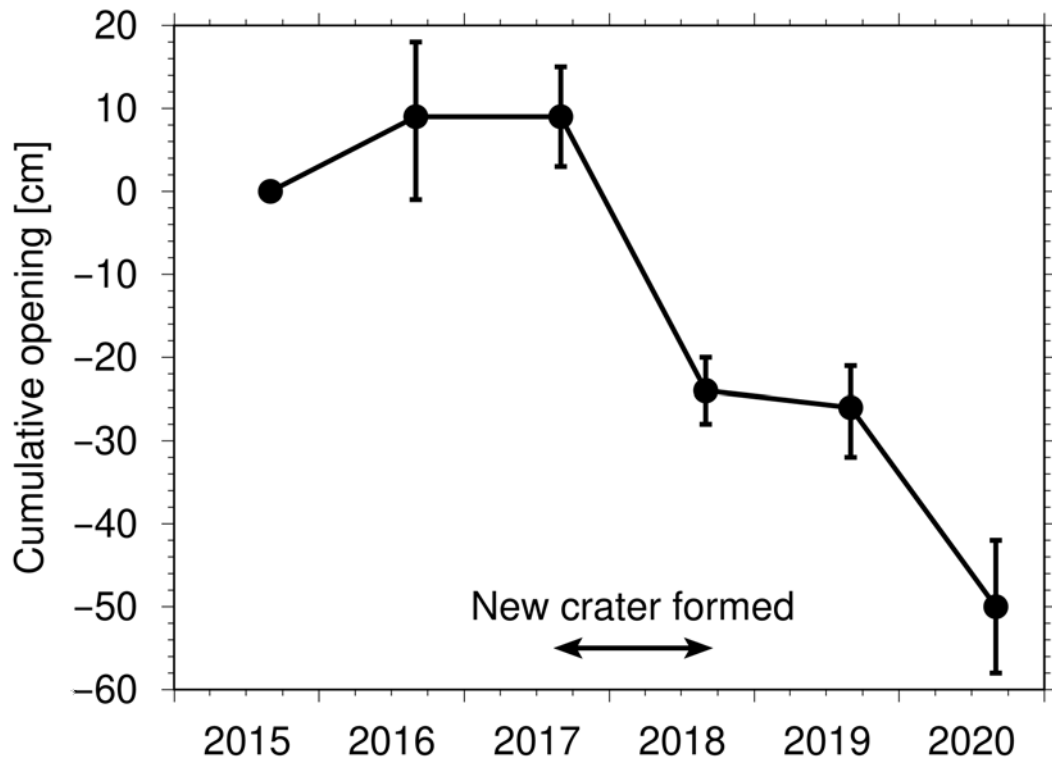


図2：割れ目の開口量の時系列変化。

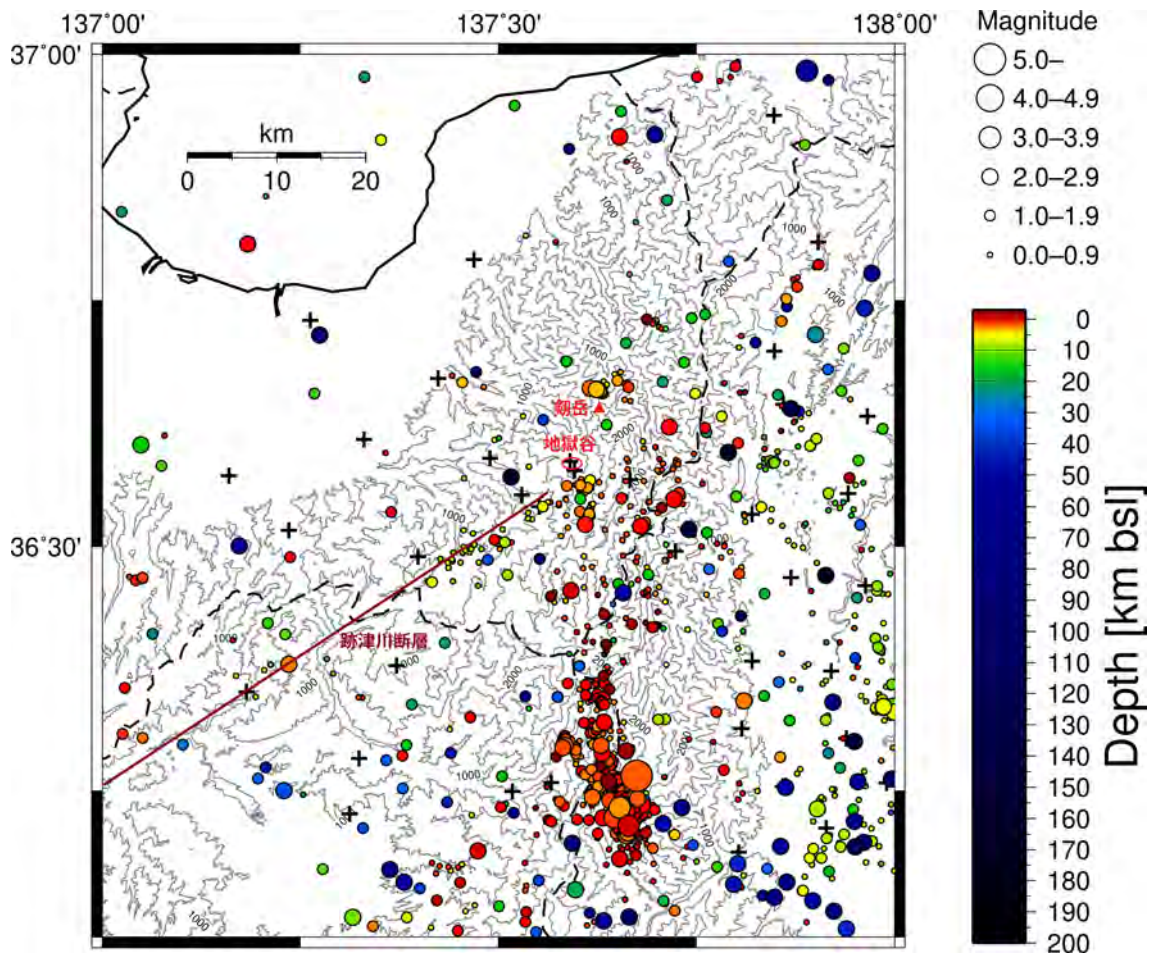


図3：2020年9月23日～2021年2月28日の期間の自動解析による震源決定結果。

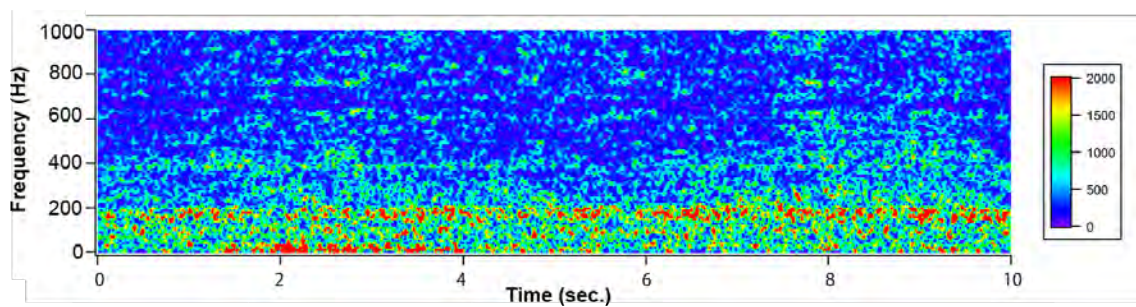


図4：噴気音スペクトルの時間変化。

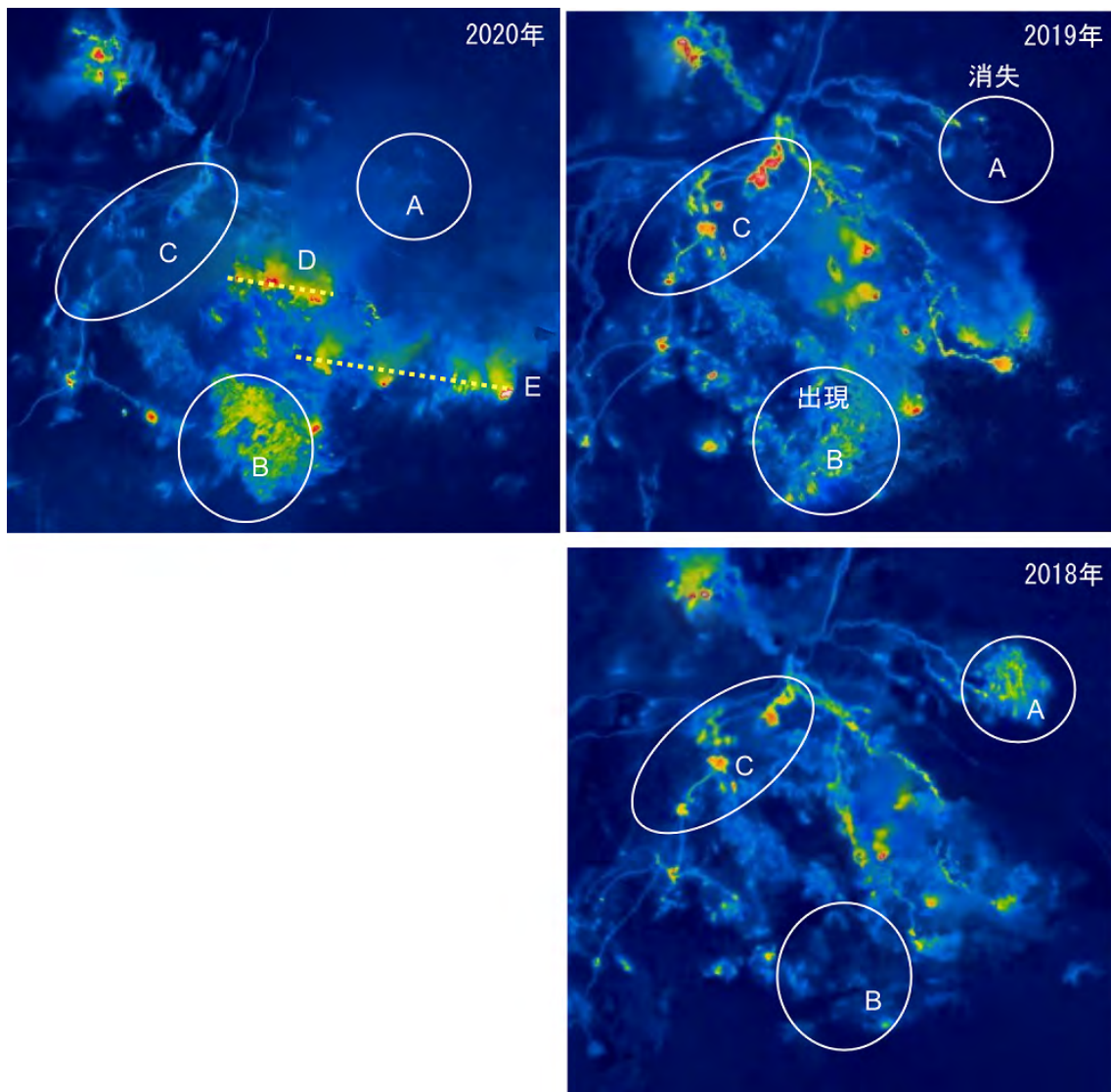


図5：新噴気帯の赤外線像。

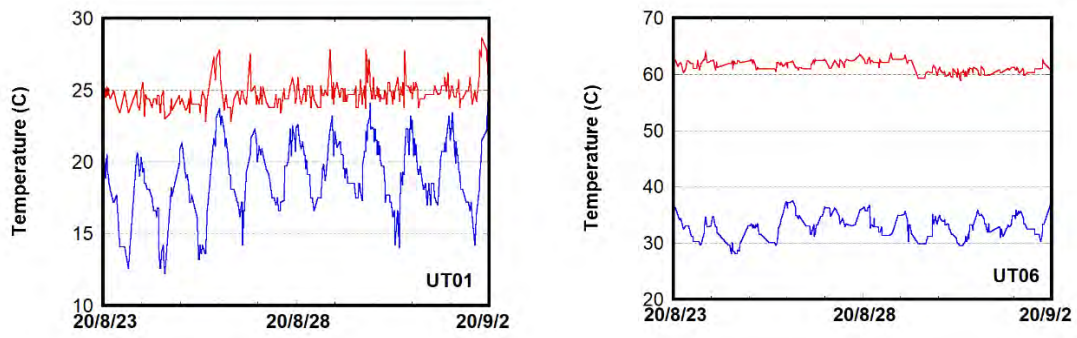


図6：8月から9月にかけての地中温度観測例。

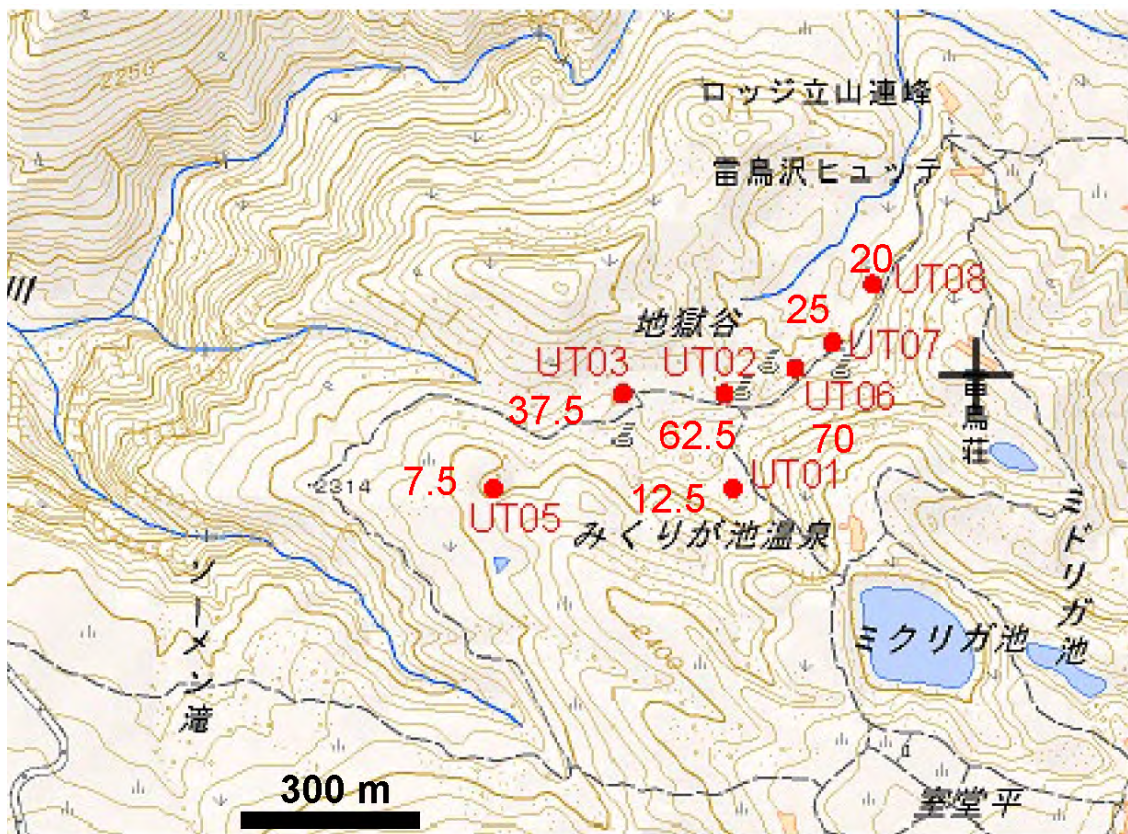


図7：表面熱流量（数字）。

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震学・火山学の知見に基づくコンパクトシティをデザインする情報科学からの被災生活シミュレーション

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
 - (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年、人口減少・少子高齢化による人口減少が進む中、地方創生を目指し、コンパクトシティのあり方について議論がされている。富山市では、ライトレールを中心に対策を講じ、「世界先進モデル都市」に選ばれ、我が国でもコンパクトシティの成功事例として扱われている。富山県を広く見れば、黒部・立山方面においては、観光が盛んであり、まちの維持を支える大きな柱となっている。しかしながら、弥陀ヶ原の火山噴火のリスクを保有しており、ひとたび噴火災害が発生すると、観光事業に大きな打撃を与える。また、それら地域からの避難者の受け入れや対応において、地域間連携が求められ、直接的な被害を受けない富山市において、その災害への対応策（避難者受け入れ・応援体制等）の検討が求められる。一般的な「まちづくり」の観点の主眼は、平時の生活・都市計画となっており、かならずしも、地震や火山の発生を中心とはしていない。その地域で暮らす住民に視点を移せば、そのまちの人の暮らし方を大きく変えることが想定され、命を守る安全確保行動に加え、被災者生活としてのあり方や他地域住民との連携など、視野を広げなければならない。そこで、本研究では、平時の利便性を維持しながらも、個人や地域属性に応じて、地震・火山の知見を活用した事業継続性の高い「まちづくり」と「災害時の行動計画」を、「都市計画」と「行動情報学」の観点から追求する。本研究を推進するにあたり、平時の生活の質を確保しながらも、環境への配慮を行うとともに、災害に強いまちづくりが求められる。本学の強みを活かし、デザイン学（ユニバーサルデザイン）の観点から、誰もがその時々状況（次の変動）を、実感を伴って確実に理解できる（伝わる）ことを前提とした情報発信の方策を検討する。また、まちを構成する社会資産を単純に実装するのではなく、持続可能なSDGsの視点から、グリーンインフラを通じた社会の強化と、個人・地域の防災リテラシーの向上をめざし、「にぎわいのあるまちづくり」と「災害を乗り越える力を持つ地域づくり」を融合させた、新しい社会の形成と、それを支える情報コミュニケーションに必要な知識体系、基盤構築を推

進する。

とくに、まちの中で暮らす人の行動をICTツールや社会サービス利用等から把握し、個人防災力と「まち」が持つ地震・火山への対抗力の効果的な融合の形を解明する。研究成果をとりまとめ、個人・地域属性に応じた災害時行動計画とまちを融合した新しい都市の形をデザインし、全国の地方都市・中核都市への展開を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

H31年度においては、「個人・地域特性の計測方法・評価軸の設計、地震・火山の災害が生活にあたる影響把握生活モデルの設計」を目指す。富山をフィールドとして、地震・火山のリスクを評価するとともに、地域に対して与える影響範囲を解明する。この影響を個人や地域単位で把握するためには、それらにかかる情報を取得するための仕組みが必要となる。個人や地域特性に対して、それらの活動を通して社会とインタラクションを行う中で情報を取得するものとし、計測方法を設計する。また、個人や地域の行動・活動と災害リスクとの関係性を解明しつつ、行動・活動変化を定量的に分析するための評価軸を検討する。この個人・地域の生活にかかる計測・評価に基づき、リスクと向き合う中で変化を継続的に把握するための生活モデルを検討する。

H32年度においては、「IoTをベースとした社会サービスとのインタラクションを可能とするまちづくりのデザイン」を目指す。初年度で設計された生活モデルにもとづき、個人・地域の行動・活動変化の継続的な把握を実現するための「まちづくりデザイン」を推進する。近年のICTの進展にともない、IoT (Internet of Things) が着目を浴びている。本研究においても、IoTの活用を視野に入れ、どのような社会的な計測が可能となるかを検討する。また、個人や地域が活動を続ける中で発生する社会サービスとのインタラクションから、その行動・活動変化を捉える方策を検討する。平常時の生活まで視野を広げ、まちづくりの知見を活かしながら、リスクや影響の把握に展開可能な仕組みとするべく、どのようにまちをデザインすべきかについてのモデル構築を検討する。

H33年度においては、「IoTを活用した地震・火山の科学的知見に基づく地域の強さ・弱さの計測実施、分析手法の確立」を目指す。IoTを例としたICTツールを通して計測される各種の情報をもとに、地震・火山のリスクや社会に与える影響と照らし合わせ、個人・地域の強さ・弱さを計測・分析する。例として、地震や火山の発生確率や、影響規模、範囲を特定し、その地域に居住する個人・地域、さらには、その地域への流入・流出する観光資源を対象として、影響度を分析する。ここで扱う個人や観光資源は、流動的に変化することから、時系列的な特徴をとらえ、強さ・弱さを継続的に計測しながら、その分析手法を確立する。これは、まちづくりのデザイン過程において、ハード・ソフトの両面にフィードバックするものであり、デザインに必要な要素とかけあわせ、分析結果の効果的な利活用を視野に入れた手法確立を推進する。

H34年度においては、「地域の強さ・弱さの具体的な評価実施、まちづくりへの反映方策モデルの構築」を目指し、まちづくりデザインの具体的な方策を追求する。地域を構成する要素として、ハードの観点から、地域が保有する資源の脆弱性評価を行うとともに、地震や火山災害が発生した際の影響度を、地域の各資源に対して分析を行う。これにより、災害発生時に利活用を期待できる資源が明確化され、それらを社会から得られる1つのサービスとして位置づけ、ソフト面との連携をはかる。ソフトの観点からは、個人や地域の災害に対する強さ・弱さを分析し、命の安全確保行動の期待値の明確化、その後の被災生活における適応可能性や被災生活で必要となるサービスの具体化を進める。これらの高度化を実現するために、「まち」として事前整備および事後の災害対応を通して実装可能な事項を解明し、その運用モデルを確立する。これを基盤として、リスクを想定した個人・地域の被災生活シミュレーションのモデルに反映し、一元的な仕組みとしての確立を目指す。

H35年度においては、『富山を事例とした人や地域属性に応じた事業継続性の高い「まちづくり」と「災害時の行動計画」のクラウドを介した社会発信、全国からの学びを可能とする環境整備』を目指す。4年次までで構築したモデルを中心として、モデル運用にかかる入力・出力を、クラウド上で扱い、シミュレーションを実現できる仕組み・基盤の整備と社会発信を推進する。富山というフィールドを通して、直下型地震や火山噴火による直接的な被害からの被災生活シミュレーション、避難者や仮住まい生活者の受け入れによる「まち」変化にともなう個人・地域の被災生活シミュレーション、観光資源の変化にともなう被災生活シミュレーション等を総合的に試行できる仕組みを実現する。これらをクラウド上で展開することで、富山内の各個人・地域が自由に利用できるだけでなく、他地域からの利用も可能とする。クラウド上で運用する中で、利用実態をさらに分析することにより、利用頻度

から見た社会への貢献度を評価するだけでなく、利用目的の展開可能性や他の仕組みとの連携可能性についても把握する。これらは、本研究で実装する仕組みに対してのユーザーインタラクションの結果を活用する。また、他地域のリスクや生活実態にかかるデータ群を入力値として受け付けた上でシミュレーション可能な仕組みとする。これにより、全国からの学びを可能とする1つの環境として整備されるとともに、学びの結果を継続的に把握・分析することにより、本仕組みの発展が期待できると考える。

なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度は、地域の防災リテラシーの向上を目的とした地震学および地質学の「視覚的な理解」の推進、地域の防災リテラシーの実情を把握することを目的とした「災害未経験地域の防災行動への意識」に関する調査、生活再建を視野に入れた復興過程の実情を把握することを目的とした「北海道胆振東部地震における地域の復興状況」の空間的分析による地域差比較を実施した。

(1) 地震学および地質学の「視覚的な理解」の推進

活断層は、内陸直下型地震を引き起こして災害をもたらす一方で、我々の周辺の地形を形成して恩恵ももたらしている。この活断層とその周辺の地形・地質について知ることは、地震の際の災害状況を具体的にイメージすることに役立つとともに、我々の生活を豊かにするためにも役立つ。そのため、日頃から足もとの地形・地質を見ながら、身近な自然について学び、その学びを深めて、伝えていくことが大切である。以下では、令和3年度に実施した地形・地質を伝える活動を紹介する。

(a) 活断層の運動を示す地層を保全して伝える

富山県の中央には、北東-南西方向に延びる呉羽山断層という活断層が分布している。この呉羽山断層の西側には丘陵が形成されており、丘陵の中で傾いた地層を観察することができる(図1)。この傾いた地層は、図1の右上空へ続いていくように見えるが地層はない。これは、呉羽山断層の運動によって、地層が大きく曲げられ、曲げられた地層の一部が神通川の侵食によって削り取られたことを示している。この地層は、2020~2021年の法面保護工事の際には、砂と泥が交互に堆積していることや地層が傾いていることを広く観察することができた。今では多くの部分が植物とセメントで覆われているが、その一部は保全されている。この地層の保全においては、富山市と富山大学の学生、これまで一緒にこの地層を見学した方々が協力した(図2)。具体的には、地層の表面を綺麗にした後で、土の強化保存剤を用いて地層が見える部分をくずれないように強化した。この取り組みにより、今でも活断層の運動を示す地層の傾きを観察することができる。今年度は、日本活断層学会の巡検で見学し

(図3)、その後NHKブラタモリにて紹介された。ただ、この地層の分布は、活断層の運動と河川の侵食という複数の自然現象が関わっていることから専門家の解説がないと理解することが難しい。そこで、この地域の地形と地質を実習で学んだ学生と一緒に解説する図案を考えて、地層を説明する看板を制作した。

(b) まちなかジオツアーで歩いて伝える

街の中には、わずかな地形の凹凸によって、河川が氾濫した際に想定される浸水の深さが異なる。そのため、実際の地形を見て歩き、どのような特徴があるかを把握しておくことが大切である。富山市を流れる神通川は、かつて大きく流路を変えて蛇行しており、その付近で何度も氾濫していた。現在は、人為的に流路を変えたり、街の中を流れる川の水量を調整する水門をつくったりして、氾濫しないように対応している。このような街の中の地形や状況を伝える取り組みとして、まちなかで会話を楽しみながらブラブラ歩くジオツアーを企画・実施している。このジオツアーは、2019年からNPO法人まちづくりスポット、立山黒部ジオパーク協会と協力して取り組んでおり、年に5回程実施している。一般市民に加えて学生も参加しており(図4)、参加者の中には、翌年に案内側で活躍する人もおり、持続可能な取り組みになりつつある。

(c) 活断層オンラインツアーで伝える

学生が、魚津市に分布する魚津断層と富山市に分布する呉羽山断層を対象にして、活断層の位置や活動性に関する地形・地質調査を行なった。その成果を地域住民に知っていただき、防災意識を高めていただくための活断層見学ツアーをオンラインで開催した(図5)。さらに、ツアー参加者によるワークショップを行い、地域住民の防災意識向上のために何をすれば良いかについて意見を交換した

(図6)。その結果、身近なところに活断層が存在していることを知っていただき、断層が周囲の地形

形成に関係していることに興味を持っていただいた。

(2) 災害未経験地域の防災行動への意識に関する調査

富山県はこれまで大規模な災害の経験がない。県内では、小規模な土砂災害や水害は発生しているものの、多くの住民は地震災害の経験を有していない。2007年能登半島地震の際でも、富山県内で5弱を観測するも、大きな被害発生につながっていない。県内の氷見市では、背を山にして海に開けたわずかな平野にまちを広げ、地震の直接的な被害だけでなく、津波による被災も想定される。災害への危機意識はあるものの経験値が十分でない氷見市において、どのような情報を頼りに避難行動を意識しているか、避難時にどれほど迅速な行動を想定しているかを調査することを目的として、2021年9月に一部の地区を対象に質問紙の全戸配布による調査を実施した。

(a) 氷見市宇波地区による質問紙調査の概要

2021年8月24日に、宇波地区の地区会長へ本調査の趣旨説明ならびに調査協力依頼を実施した。その後、8月26日より質問紙を宇波地区内の全戸に対して戸別配布を実施し、9月5日を期限として郵送により回答を収集した。配布対象は507世帯であり、238世帯(46.9%)から回答を得た。

回答者の基本属性を分析すると、年齢については30歳代以下が1.7%、40歳代が5.2%、50歳代が12.6%、60歳代が24.2%、70歳代が42.0%、80歳代が11.7%、90歳代以上が1.7%、未回答が0.9%であった(図7)。幅広い年代からの回答は得られているものの、70歳代以上が過半数を占めた。性別に関しては、男性が62.3%、女性が37.2%、未回答が0.4%であった(図8)。

(b) 避難行動に対する意識

まず、回答者には地震災害を想定してもらい、避難の必要性があるかについて尋ねた。全体の53.7%が避難の必要性があると考えており、過半数を超えていた。一方で、22.5%が必要性はないと考え、どちらでもないと回答した住民は16.5%であった(図9)。地震時には、家屋倒壊や道路寸断などの被害が想定されることから、必ずしも避難への意識が高いとはいえない結果であった。

次に、避難の結果について複数選択式で尋ねた。最も回答数が多かったきっかけは「揺れを体感(67件)」することであった。一方で、緊急地震速報によって避難を考える住民(50件)よりも、行政からの呼びかけによって避難を考える住民(64件)が多いことが明らかとなった。近所の人からの声かけて避難を考える住民は(33件)と、その他・未回答を除けば最も少なかった(図10)。この結果から、地域性も影響することが想定されるものの、外部からの情報としては行政からの公的な発信情報に高い期待が寄せられていると考えられる。

地震時の避難に対する備えの意識として、上記のきっかけを得てから何分後に避難を開始できると想定しているかについて尋ねた。この結果として5分~10分で避難開始と考えている住民は全体の47.6%であり、多くの住民が短時間で避難を開始できると考えていた。一方で、避難開始までに30分を超えると想定している住民はわずか0.9%であった(図11)。地区として大規模な災害を経験していないものの、近年の災害の頻発化の影響からか、備えへの一定の意識は確認された。各住民の想定と実態に乖離はあると考えられるため、今後、詳細な調査が必要である。

本調査は、大規模な災害の経験を有していない地域を対象とした、地震災害に対する避難行動の意識を調査した。この結果は、今後の様々な災害発生地域での意識調査に対して基準として扱うことができると考えている。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和4年度実施計画の概要 :

「地域の強さ・弱さの具体的な評価実施、まちづくりへの反映方策モデルの構築」を目指し、まちづくりデザインの具体的な方策を追求する。地域を構成する要素として、ハードの観点から、地域が保

有する資源の脆弱性評価を行うとともに、地震や火山災害が発生した際の影響度を、地域の各資源に対して分析を行う。これにより、災害発生時に利活用を期待できる資源が明確化され、それらを社会から得られる1つのサービスとして位置づけ、ソフト面との連携をはかる。ソフトの観点からは、個人や地域の災害に対する強さ・弱さを分析し、命の安全確保行動の期待値の明確化、その後の被災生活における適応可能性や被災生活で必要となるサービスの具体化を進める。これらの高度化を実現するために、「まち」として事前整備および事後の災害対応を通して実装可能な事項を解明し、その運用モデルを確立する。これを基盤として、リスクを想定した個人・地域の被災生活シミュレーションのモデルに反映し、一元的な仕組みとしての確立を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井ノ口宗成（富山大学）、渡邊了（富山大学）、久保田善明（富山大学）、中川大（富山大学）、原隆史（富山大学）、堀田裕弘（富山大学）、矢口忠憲（富山大学）、安江健一（富山大学）、立石良（富山大学）、阿久井康平（富山大学）

他機関との共同研究の有無：有

森嶋厚行（筑波大学）、北原格（筑波大学）、元谷豊（(株)サイエンスクラフト）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理工系事務部理工系総務課（都市デザイン学部担当）

電話：076-445-6918

e-mail：

URL：<https://www.sus.u-toyama.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井ノ口宗成

所属：都市デザイン学部



図1 向かって左側へ傾く地層



図2 学生による保全作業（整形）



図3 活断層学会における巡検



図4 神通川の堤防から呉羽山丘陵を眺める

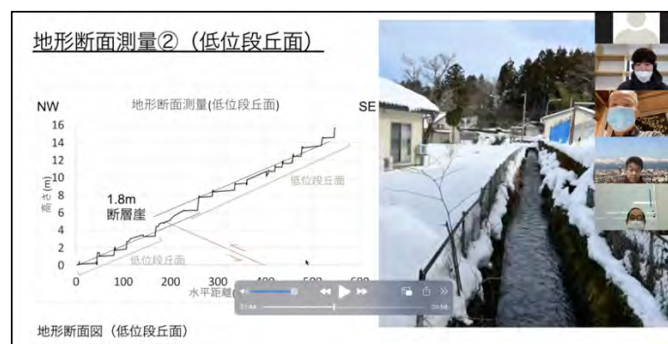


図5 調査地点と調査結果をオンラインツアーで紹介



図6 ワークショップの参加者との集合写真

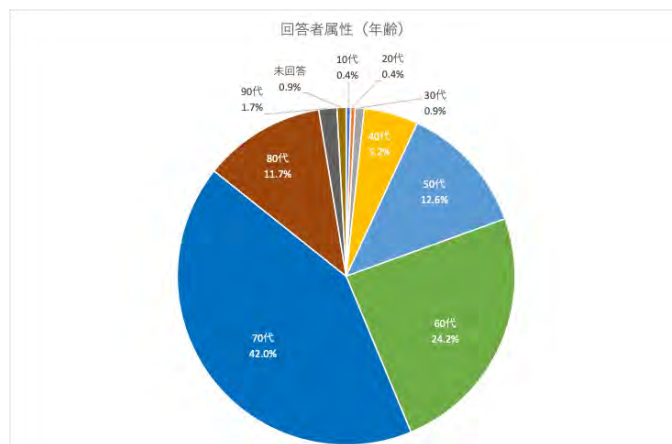


図7 回答者の属性 (年齢)



図8 回答者の属性 (性別)

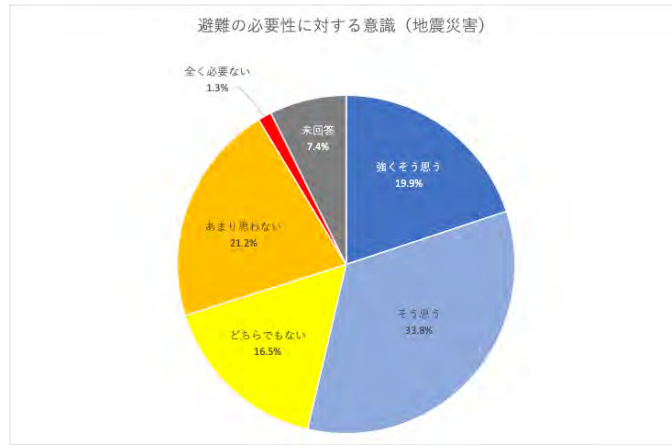


図9 避難の必要性に対する意識（地震災害）

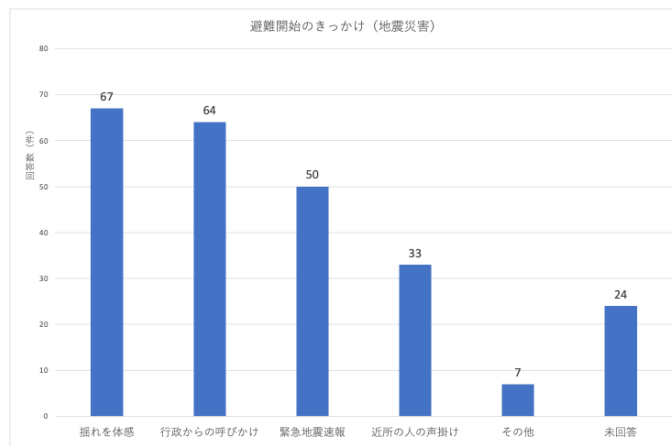


図10 避難開始のきっかけ（地震災害）

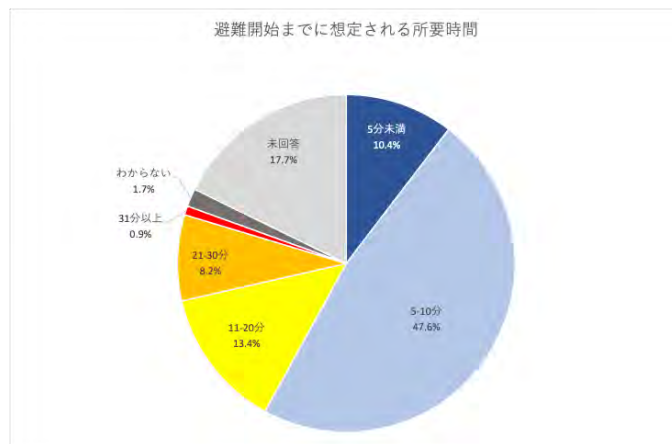


図11 避難開始までに想定される所要時間（地震災害）

(1) 実施機関名：

東京大学史料編纂所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
イ. 考古データの収集・集成と分析
(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
ア. 海溝型巨大地震の長期予測
イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (3) 研究基盤の開発・整備
エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開
(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題の目的は、地震火山関連史料の収集と分析に基づいてデータベースを構築し、史料記述の検討に基づいて、地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態解明に資する近代以前の史料データを作成するとともに、関連する諸研究における利便性の向上に努めることである。

平成26年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、史料の取り扱いに慣れた歴史学の研究者も組織的に参加して、連携した研究が実施されている。このような連携研究を歴史学側から主体的に実施しているのが本研究課題であり、地震火山関連史料データベースの構築・公開を主軸に据えた研究を基盤とし、このデータベースを通じて地震学・火山学や関連諸分野との連携強化を指向している。

本研究課題では、既刊地震史料集に所収されている史料を中心として、地震火山関連史料データベースの構築を実施する。既刊地震史料集には、近代以前の地震・火山噴火について研究する上で貴重な史料が所収されているが、紙幅が限定された編集の都合上、省略されてしまった部分が多く存在して

いる。また、原典とした史料の刊本が不適当な場合や、史料集には相応しくない書籍や報告書からの引用文が所収されている場合があり、そのままの状態では地震学や火山学の研究に利用するには問題がある。そのため、既刊地震史料集に所収されている個々の史料の記述内容については、原典史料を用いた確認と修正・補筆を行う校訂作業が必要となる。

これまで、既刊地震史料集の校訂作業では紙媒体を用いて紙面上で作業を行っており、必ずしも効率的な手法ではなかった。そこで今後、本研究課題では、史料の校訂作業における新たな手法の開発に着手し、実用化していく計画である。これによって、既刊地震史料集の校訂作業を、従来よりも進捗させることができると考える。また、これまでの地震火山関連史料データベースの構築作業についても、新たに全文デジタルデータ化を基盤とした構築方法を導入し、従来の紙媒体上での編集から史料データを用いた編集作業へと手法を転換して、作業全体の効率化・迅速化を目指していく。これらの新たな手法の開発・導入によって、本研究課題では今後の5か年の間に、既刊地震史料集の全文デジタルデータ化を完了させ、史料本文の校訂作業を大幅に進捗させて、構築中の地震火山関連史料データベースを公開する計画である。

さらに、日本全国の主要な史資料保管機関で収集・所蔵されている史料を調査し、地震・津波や火山噴火の現象とその災害に関連する近代以前の史料を収集して翻刻を行う。これらの新史料についても、デジタルデータ化を実施して地震火山関連史料データベースに組み込んでいく。

本研究課題で構築する地震火山関連史料データベースでは、史料本文を単にデジタルデータ化するだけでなく、史料本文を分析してそこに記されている被害発生場所に現在の緯度・経度の情報を付与し、地理情報システム上で表示できるようにする。このような史料分析と位置情報への変換については、東京大学地震火山史料連携研究機構と協力して進めていく。このような取り組みは、別の研究課題において実施される、地震火山関連史料データベースと考古資料災害痕跡データベースとの統合データベースの構築に、大いに寄与できると考える。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31年度]

史料の校訂作業における新たな手法を開発・実用化し、既刊地震史料集に所収の史料について校訂作業を実施していく。また、地震火山関連史料データベースの構築作業について、新たに全文デジタルデータ化を基盤とした構築方法を導入し、従来の紙媒体上での編集から史料データを用いた編集作業へと手法を転換する。これらによって、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築していく。さらに、現存する膨大な史料の中から、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料を調査・収集する。

[平成32・33・34年度]

既刊地震史料集に所収の史料について、新たな手法による校訂作業を実施していき、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築・改良していく。また、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料の調査・収集を実施する。

[平成35年度]

既刊地震史料集に所収の史料について、新たな手法による校訂作業を実施し、また、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料を調査・収集して、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築・改良する。この史料データベースの公開に向けて、内容の最終的な確認作業を行う。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 既刊地震史料集全33冊の全文デジタル化計画のうち、前年度までに未了となっていた3冊分についてのデジタル化を実施した。これによって予定していた全冊のデジタル化を完了させることができた。デジタル化した地震史料データベースを活用しやすいものにするために、用語・年月日による基本検索のほか、①年月ごとの地震史料数の一覧表から検索方法、②史料の所在地名か検索する方法、③理科年表掲載の歴史地震名から検索する方法を整備し、Webによる公開を開始した。

2) デジタル化した史料中に記された地名を地図上に表示させるシステムを構築するために、情報学の研究者と連携して、史料中の地名を自動的に読み取る技術の開発に着手した。

3) 地震の揺れの程度を表す史料上の記述は「地震」「大地震」「余程の地震」など多様であり、そ

れが現在の震度階のいずれにあたるかは繰り返し検証される必要がある。本年度は茨城県内に残る幕末の日記史料に見える地震表現の出現頻度と気象庁の震度データベースを比較し、「大地震」が震度3、「地震」が震度2程度に相当すると考えられることを確認した。

4) 広範囲の日記を調査することによって、震央近くで目だった被害が記録されていなくても、広い範囲で震動の感知された地震を見つけることができる。本年度は1800年から安政東海・南海地震に至るまでの期間の西日本において最も広い範囲で震動が記録されている1835年5月18日(天保6年4月21日)の地震について検討した。この地震では目立った被害記事がなく、『被害地震総覧』にも掲載されていないが、既刊史料集掲載史料のほかに今回の調査で新たに見つけた史料によって、鹿児島と高知で「大地震」と記録されているほか、佐賀、山陰、近江、岐阜でも揺れが感知されていたことが分かった。これと類似した地震を気象庁の震度データベースで検索すると、1968年4月1日の日向灘を震源とする地震(深さ22km, M7.5)が近いと考えられる。

5) 16世紀以前の地震記録を調査する手がかりとなるのは「年代記」と呼ばれる一群の史料である。その史料的信頼性を検証するために、南九州に残る各種の年代記の比較検討を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

既刊地震史料集の電子化を完了し、地震史料集テキストデータベースを公開したことによって、建議の計画の概要2-1(1)に「長期間における地震・火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するために、史料・考古データ、地質データ等を収集して調査・分析を行うことで、データベースを整備・拡充する」、(2)に「低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の発生履歴、規模、場所を解明するために、史料・考古データ、地質データ等の分析を行う」とある計画の基盤を構築することができた。これは、計画の実施内容1-1アに「大学は、既刊の地震・火山関連史料集のデータベースを構築する」とある計画に該当する。

今後はテキストの修正・補充、地名への位置情報付与とその地図表示の実現、史料の活用による地震・噴火の研究が課題となる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

水野嶺,年代記にみる中世南九州の災害-災害研究における年代記試論-,國學院雑誌,122

・学会・シンポジウム等での発表

榎原雅治,2021,日本の地震災害と地震史料研究の現在,2021日本史学会夏期ワークショップ「日本史を通じて見る災害と国家

吉岡誠也,2021,安政東海地震における佐賀藩江戸上屋敷の被害と修復,2021年歴史地震史料研究会

水野嶺,2021,薩摩藩記録にみる文明桜島噴火,2021年歴史地震史料研究会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

項目 : 地震 : 歴史史料収集

概要 : 歴史地震の記録の調査のため、下記の機関で日記史料の調査を実施した。東京都 国文学研究資料館 岡山県 倉敷市歴史博物館準備室 和歌山県 湯浅町教育委員会

既存データベースとの関係 : 日記史料有感地震データベース

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>

調査・観測地域 :

調査・観測期間 :

公開状況 : 公開中 (データベース・データリポジトリ・Web)

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>

項目 : ソフトウェア開発 (データベース)

概要 :

既存データベースとの関係 : 地震史料テキストデータベース <https://materials.utkozisin.org/>

調査・観測地域 :

調査・観測期間 :

公開状況 : 公開中 (データベース・データリポジトリ・Web) <https://materials.utkozisin.org/>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

- 1) 公開を開始した地震史料テキストデータベースの本文について原史料による校訂を進め、誤りを修正するとともに、収録されていない記事を補充する。
- 2) 地震史料テキストデータに含まれる地名を自動抽出し、位置情報を付与するための研究を進める。また位置情報を与えて地名を地図上に表示するための方法を検討する。
- 3) データベースを活用して17～19世紀の地震・噴火の事象についての具体的な事例研究を行う。
- 4) 16世紀以前の地震・噴火について記録した「年代記」群の史料学的な検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

榎原雅治（東京大学史料編纂所）, 杉森玲子（東京大学史料編纂所）, 荒木裕行（東京大学史料編纂所）, 林晃弘（東京大学史料編纂所）, 山田太造（東京大学史料編纂所）
 他機関との共同研究の有無：有
 佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：
 電話：
 e-mail：
 URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：榎原雅治
 所属：東京大学史料編纂所

「大高氏日記」にみる地震表現

- ・「小地震」70回, 「地震」368回, 「大地震」以上の震動が30回
- ・「古今稀なる大地震」（①-1回）や「珍敷大地震」「余程強き地震」（7回）「近頃稀なる地震」「稀成大地震」「余程の大地震」「余程大きな地震」（②-12回）, 「大地震」（17回）など震度の強弱を細かく区別
- ・水戸の安政江戸地震の震度 震度5弱程度と推定[中村・松浦（2011）] **表現①**
- ・「大地震」以上の記録で他に被害記述なし **表現② > 大地震**

気象庁震度データベース（1919～2010）との比較

- ・数値の近似性から①と②の区別に違和感なし
- ・「大地震」は震度3, 「地震」は震度2～3, 「小地震」は震度1に概ね相当するのではないかと

	I	II	III	IV	V-
気象庁	54.5	18.05	5.23	0.88	0.08
大高氏日記	4.38	23	1.06	0.75	0.06
	小	地	大	②	①

表 震度・震度表現別年平均回数

大高氏日記に見る地震表現

水戸の「大高氏日記」の地震の揺れ方を表す各種表現の頻度と気象庁震度データベースの比較により、各種の表現は震度1～5の震度階に相当していると考えられる

(1) 実施機関名：

東京大学史料編纂所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

近代以前の地震・火山災害に関する多角的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題では、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害時における人々の行動や対応、復旧・復興過程などの事例を集積し、時代的・地域的な特性を導き出して、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する事例の提示を目指している。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31・32・33・34年度]

現存する膨大な史料の中から、近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料を調査・収集・翻刻する。既存の史料に新たな史料を加えて、近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などについて検討し、災害事例を集積する。

[平成35年度]

近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料を調査・収集・翻刻する。近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などについて検討し、災害事例を集積する。このような検討に基づいて、自然災害における地震・火山災害の特徴を解明し、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する事例の提示を目指す。

なお最終年度には、部会全体としての研修プログラム構築に際して、近代以前の地震・火山災害への対応の事例に基づいた知見を提供する予定である。

(8) 令和3年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・1640年北海道駒ヶ岳噴火関係史料の調査・研究

北海道駒ヶ岳では、1640年7月31日（寛永17年6月13日）の噴火に伴って山体崩壊が発生し、岩屑なだれが内浦湾に流入して津波を生じた。津波の到達範囲や波高については、岩屑なだれ堆積物の体積の推計とそれをふまえた数値計算、津波堆積物の調査により検討が進められている。また、内浦湾を挟んで駒ヶ岳の対岸に位置する有珠善光寺では如来堂の後山に海水が達したと記す史料があり、その記述から求めた津波高も、近隣の地点の津波堆積物から推定される最低遡上高と極めて近いとして注目されてきた。

ただし、近世初期の蝦夷地に関係する史料は限られ、噴火に関する史料も後に編纂されたものが少なくない。このため、同時代に作成され伝来の経緯が確かなくつかの史料群を精査した結果、この噴火に関して火山学では従来参照されてこなかった複数の記述を見出すことができた。松前藩主が江戸幕府に報告した内容や、交流のあった人物に書き送った内容を復元すると、そこには、内浦湾の対岸への津波の到達のほか、出来潤崎の形成を示唆する記述など、火山活動に伴って生じた諸現象と整合的な内容が含まれていることが判明した。こうした史料の記述は、噴火の推移を解明し災害への対応を想定するうえで重要である。

- ・同和火災コレクションの調査と展示

同和火災コレクションは大正後期から戦前期にかけ、同和火災海上保険の初代社長である廣瀬鉞太郎氏が収集した、災害および交通、保険に関する1400点あまりの史料群である。18世紀から20世紀初頭に全国各地で発生した地震、火災、台風、落雷、津波、噴火、伝染病などに関する史料について広く収集されている。本コレクションが「伝える一災害の記憶展」（京都文化博物館〈2021年3月20日～5月16日〉ほか）と題して、初めて本格的に一般公開されるにあたり、コレクションの調査と展示の監修を行った。廣瀬氏が史料の収集に至った経緯や動機として、明治初期の火災保険業界の置かれた状況や1923年関東大震災における火災保険金支払い問題が背景にあること、コレクションが会社に寄贈された後の経過から、歴史資料の保存と活用の難しさがうかがわれること、などを明らかにするとともに、災害史料を伝えてそれを解説する方法を歴史地震研究の手法を例に紹介した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

- ・1640年北海道駒ヶ岳噴火関係史料の調査・研究

今年度の調査で見出した1640年北海道駒ヶ岳噴火に関する史料は、概ね噴火当年に記されたものである。これまで火山学等で参照されてきた史料は後年に編纂されたものであったが、今回見出した史料はそれに先行し、そこには見られなかった内容も含んでいる。こうした史料の調査・研究を通じて得られる知見は、災害の発生過程の解明に資する可能性をもつ。

- ・同和火災コレクションの調査と展示

同和火災コレクションの展示は、災害後に出回ったかわら版等の調査・展示・解説を通して、近世期に発生した種々の災害現象と当時の社会情勢について明らかにする事につながった。またこれらの研究成果を展示することにより、来場者に過去の災害事例および将来発生しうる災害について理解を深めてもらう良い機会となった。災害研究の成果を社会へ適切に発信する方法を検討するという課題に対して、地域の博物館施設と連携したこのような展示は有効な方法のひとつといえる。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

京都文化博物館（編）、2021、『伝える一災害の記憶あいおいニッセイ同和損保所蔵災害資料』、NHKサービスセンター、183p.

- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料の調査・収集・翻刻を可能な限り行う。あわせて、

既存の史料の読み直しや、翻刻史料の原史料による確認などにも留意し、近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などを検討しながら、災害事例を集積する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉森玲子（東京大学史料編纂所）,榎原雅治（東京大学史料編纂所）,及川 亘（東京大学史料編纂所）,
荒木裕行（東京大学史料編纂所）,林 晃弘（東京大学史料編纂所）,山田太造（東京大学史料編纂所）
他機関との共同研究の有無：有
大邑潤三（東京大学地震火山史料連携研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：杉森玲子

所属：東京大学史料編纂所

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

沿岸巨礫を用いた古津波評価法の検討：南海トラフ～琉球海溝の連動可能性評価に向けて

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国の沿岸部では、日本海溝沿いや琉球海溝沿いを中心として津波（津波石）や台風の高波で打ち上げられた巨礫群が沿岸部に堆積している。これらは、現在から数千年前に発生した津波あるいは高波で打ち上げられ、その後も移動を繰り返して現在のサイズ・空間分布を形成していることから、この間の津波・高波の履歴と規模の情報を保持していると考えられる。そのため、巨礫のサイズ・空間分布、打ち上げ年代から、過去数千年にわたる時間スケールでの津波と高波の履歴と規模（既往最大クラスを含む）を時空間的に復元できる可能性がある。しかしながら、既往研究は認定と規模推定の定量的評価に課題が残り、津波規模などの実態は十分解明されていない。そこで本研究では、現地調査、試料分析、数値計算により、沿岸巨礫を用いた古津波評価法の検討を行う。さらに、特に琉球列島北部に分布する巨礫群を活用することにより、南海トラフ～琉球海溝の連動可能性評価を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画は、(1) 現地調査、(2) 年代測定及び統計処理、(3) 数値計算、で構成され、以下を5年計画で実施する。

現地調査：本研究では、津波・高波履歴と規模復元に有効な地域を全国の中から厳選して、主に平成31～34年度にかけて調査を実施する。また、琉球列島においては、津波・高波の規模推定のために台湾の沿岸巨礫分布の情報が重要であるため、台湾も対象地域とする。津波石は、特に巨大津波の規模と履歴に注目するため、高い標高または供給源からの移動距離が長い巨礫群を調査する。また、津波発生日代の理解には砂礫質津波堆積物の情報も重要であり、同時に現地調査を実施する。一方、台風の高波で打ち上げられた巨礫群は沖縄・奄美諸島に広く分布しており、近年の台風で移動した巨礫を空中写真で確認し、サイズ・空間分布を調査する。

年代測定：琉球列島においては津波石を用いた津波発生年代に関する研究が行われてきた。しかしながら、推定津波年代にばらつきがあり、統一的な理解が得られていない。これは、測定試料選定、暦年較正、年代値の解釈の違いによる。そこで、既往研究のうちハマサンゴ巨礫等の信頼性の高い巨礫年代を測定したデータを厳選するとともに、調査で採取する資料を用いて追加の放射性炭素あるいはウラン・トリウム年代測定を平成32～35年度にかけて行う。そして、バイズ理論に基づき年代結果を統計処理し、津波履歴を高精度で復元する。

数値計算：＜津波規模評価＞巨大津波に特化した解析を行うため、特に高い標高に堆積する津波石の打ち上げ計算を行う。数値計算による検討は平成31～35年度の各年度に、現地データや地形データが収集できた地域から順次実施する。具体的には、巨礫移動の水理実験により精度検証を行った上で、鉛直方向の流速、加速度等を考慮した津波計算を実施し、崖上の巨礫打ち上げを説明できる入射波条件を推定する。その結果を制約条件とし、津波波源モデルを推定する。一方、台風の高波での打ち上げが確認できる巨礫群は、津波規模の上限値を推定するために活用することができる。まず、数値計算により推定される台風の高波の波浪強度を推定する。そのうえで、現在の巨礫のサイズ・空間分布を維持できる規模の津波を繰り返し計算により推定し、過去数千年程度の間に発生した可能性のある地震・津波規模を評価する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

琉球列島中部及び北部を対象として、沿岸巨礫を用いた津波・地震規模制約の高度化に取り組んだ。具体的には、台風起源と考えられるサンゴ礁上の巨礫群を制約条件として活用することにより、これらの巨礫をより内陸に運搬する規模の津波はサンゴ礁形成後に発生していないとの仮定のもとで最大津波規模を数値計算により推定し、それを説明できる地震規模を推定した。この成果のうち、琉球海溝中部での成果を取りまとめ、国際学術誌に査読付き論文が掲載された。また、琉球列島南部を対象として、砂礫質津波堆積物の内部のサンゴ片試料を用いて多点数の年代測定を実施し、1771年明和大津波により形成された津波堆積物を見出すと同時に、多点年代測定が亜熱帯地域の古津波発生時期推定に有効であることがわかった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Minamidate, K., Goto, K., Kan, H., 2022, Numerical estimation of maximum possible sizes of paleo-earthquakes and tsunamis from storm-derived boulders, Earth and Planetary Science Letters, 579, 117354, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117354>

・学会・シンポジウム等での発表

Minamidate, K., Goto, K., Kan, H., 2021, Storm-derived boulder deposits as a constraint of the maximum magnitudes of paleo-earthquake and tsunami, The 30th International Tsunami Symposium

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

琉球列島南部において、津波石および砂質津波堆積物を用いた多点年代測定を行い、古津波履歴の推定精度の向上を行う。また、多点年代測定は手法としては確立できつつあるものの、得られたデータの統計解析法に改善の余地があるため、この問題に取り組む。琉球列島北部と南部においては、高解像度地形データを用いて隆起地形の形成プロセスを解明するとともに、台風の高波起源の巨礫を制約とした津波巨礫移動計算に取り組み、古津波の最大規模推定を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

後藤和久（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

森信人（京都大学防災研究所）,横山祐典（東京大学大気海洋研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：後藤和久

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震に伴う粘弾性余効変動の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(4) その他関連する建議の項目：

- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
- (1) 地震発生の新たな長期予測
- ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- イ. 内陸地震の長期予測
- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
- ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (2) 総合的研究
- ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海底地殻変動観測によって、東北地方太平洋沖地震後から継続している地殻変動のメカニズムとして、粘弾性変形が重要であることが判明した。本課題は、海陸の地殻変動データに加え、今後のデータ取得が進む衛星重力データの利用まで視野に入れた、広域粘弾性変形モデルを開発することで、地震サイクルの各段階における列島規模の地殻変動の理解を深めることを目的とする。5か年の間に、プレート沈み込み境界の形状、密度・弾性・粘性の不均質構造、自己重力を考慮した球体地球モデルにおける粘弾性変形の計算手法を確立し、日本列島で発生した過去の巨大地震へ適用するとともに、既存手法との差を明らかにすることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31・32年度に、既存モデルと提案モデルとの比較による、曲率や自己重力の影響の評価を行う。平成33・34年度において、提案モデルへ水平不均質構造を取り込み、平成35年度にプレート境界形状等を考慮した、巨大地震による余効変動のシミュレーションを実施する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2019, 2020年度の内容と2021, 2022年度の内容をそれぞれ進めている。

昨年度に引き続き、地震時地殻変動に対する曲率や自己重力の影響を評価した。M9地震を想定した現

実的なプレート境界形状を考慮して測地インバージョンを行った。それらの影響を考慮することで、すべり量の最大値が減少し、やや深い側にすべりのピークが分布することが分かり、すべり分布の正確な議論には、こうした影響によるちがいを考慮する必要があることが明らかになった。また、密度の水平不均質が地震時地殻変動に与える影響を理論的に見積もった。その結果、密度の変化は長波長の変動を増減させることが分かった。本研究で用いている手法に関連して、荷重変形に対して3次元計算を行う手法の開発に貢献した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Huang et al.,2021,Anelasticity and lateral heterogeneities in Earth's upper mantle: impact on surface displacement, self-attraction and loading and ocean dynamics,JGR,10.1029/2021JB022332

・学会・シンポジウム等での発表

田中愛幸,2021,地震時変形に対する曲率や弾性定数の水平不均質の影響,日本地球惑星科学連合2021年大会,SSS05-04

Tanaka, Klemann and Martinec,2021,Estimating the Effects of Laterally Heterogeneous Density Structures on Coseismic Deformation -a Rotationally Symmetric Case-,AGI Fall Meeting,G15C-07

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

地震時地殻変動において、曲率や重力を考慮することで海溝付近のすべりの寄与がどう変化するか明らかにする。また、地震後地殻変動が、それらの考慮によりどう変化するか明らかにする。

これまでに明らかにした弾性、密度の不均質が地震時地殻変動に与える影響を2次元から3次元へn拡張するための定式化、および短波長の変動の寄与を効率的に見積もる素y法を開発する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中愛幸

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生場のテクトニクスとマルチスケール地震現象の予測可能性

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震発生場の不均質性をどのように定量化するか、という問題は震源物理学の主要な問題の一つである。1980年代に「アスペリティ」や「バリア」として認識された2元的な不均質性は、繰り返し発生する特徴的な地震の振る舞いを説明するものの、微小スケールから巨大地震までのマルチスケールな地震現象の振る舞いを説明するには単純すぎた。それに代わるものとして2005年以来、本研究代表者らが提案している階層パッチモデルは、地震現象のマルチスケールな側面の多くを説明する。特に2011年東北沖地震が政府の想定を超えた規模の超巨大地震として発生して以来、階層性の理解が地震の予測可能性にとって重要であることが明らかになってきた。また階層性に影響を及ぼす要因として、プレートの相対速度や熱的構造など、地域的なテクトニクスの違いがあることが全世界規模の研

究により明らかになってきた。

次期計画では、現行計画で得られた知見を元に、データ解析と数値モデリングを組み合わせ、様々なテクトニクス環境条件と階層性の定量化を進め、マルチスケール地震現象の予測可能性を検討する。具体的には様々な地域で地域ごとに異なる階層構造を特徴づける地震活動パラメタの推定を行うとともに、地域を絞って大きさの異なる地震の破壊過程の高精度イメージングによって地域的な階層構造の定量化およびスケールリングを行う。世界各地の沈み込み帯を比較することで、テクトニクス環境条件とスケールリングや階層性パラメタの関連性を調べる。一方で数値モデリングにより階層性パラメタが予測可能性に及ぼす影響を明らかにする。

計画遂行にあたっては、先端的なデータ解析研究と数値モデリング研究を遂行する一方で、これらの研究に用いる手法の簡便化、標準化を通じて、次世代研究者養成のための教育ツールの開発も行う。実際の研究の一部に学生を参加させることで研究者養成も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

小規模から超巨大地震まで、個々の破壊プロセスが含む階層性と、複雑系の相互作用として出現する地震活動の階層性をデータ分析によって定量化し、数値モデリングで予測可能性を検討する。既存の高精度階層性イメージング手法を新しいデータに適用するとともに、先端計算科学の知見を取り入れて新たな階層性分析手法を開発する。これらの分析結果と数値モデリングによって階層性が予測可能性に及ぼす影響を評価する。日本周辺の沈み込み帯での地域研究を基盤として、世界各地の沈み込み帯を対象とすることで、異なるテクトニクスの影響を検討する。そのためにチリ、メキシコ、台湾など世界各地の研究機関と国際協力を進める。データ解析、モデリングの手法を標準化し、次世代研究者養成のための教育ツールを開発する。年度ごとの研究計画は以下の通り。

初年度：日本周辺における高精度階層性イメージング、階層性モデリング手法開発
階層性抽出のための新技術開発、地域研究のための予備解析

2年度目：高精度階層性イメージングの他地域への適用準備、階層性モデリング適用
新技術の適用、既存データ解析・モデリング手法の標準化

3～4年度目：多数の地域での各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、
標準化した手法を用いた研究教育実施

5年度目：各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、研究の取りまとめ
標準化した手法を用いた研究教育実施

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、前年度から開発してきたプレート境界の階層的構造を解明するための、破壊開始点とセントロイドを同時推定する手法について、東北地方の沈み込み帯のうち、那珂沖、釧路沖、つくばで実施し、手法の詳細とともに解析結果をまとめてJournal of Geophysical Research Solid Earth誌に出版した(Chang and Ide, 2021)。さらにこの論文で開発したコードをgithubに公開した。解析対象に含まれる繰り返し地震はほぼ同じ地域を破壊することは知られていたが、その破壊開始時点にもある程度の規則性がわかることがわかった。それぞれの破壊開始点から様々な大きさの地震が発生する。つまり個々の地域で階層的なパッチが相互作用しながら破壊を繰り返すという震源の性質が明らかになった。また西南日本の沈み込み帯のプレート構造解明のために、テクトニック微動の複雑な地震波形からインパルス応答を抽出する新たな統計的手法を開発し、Journal of Geophysical Research Solid Earth誌に出版した(Ide, 2021)。これまでに低周波地震がみつからない場所で合成低周波地震を作成できることで、個々の現象の発生位置を高精度で推定し、マッチドフィルター法の適用によって検知能力を拡大することができる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

プレート境界に特徴的な階層構造が比較的長期に存在し続け、相互作用しつつ、一定の規則性を保ちながら様々な規模の地震を発生させるということを明らかにした。これは地震発生の理解にとって重要な貢献である。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chang, T. and Ide, S.,2020,Hypocenter Hotspots Illuminated Using a New Cross-Correlation-Based Hypocenter and Centroid Relocation Method,Journal of Geophysical Research Solid Earth,126,e2021JB021991,10.1029/2021JB021991

Ide, S.,2021,Empirical Low-Frequency Earthquakes Synthesized From Tectonic Tremor Records,Journal of Geophysical Research Solid

Earth,126,e2021JB022498,10.1029/2021JB022498

・学会・シンポジウム等での発表

井出哲,2020,テクトニック微動から低周波地震を抽出する,日本地震学会

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：破壊開始点とセントロイドの同時推定法 NccPy

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://github.com/twchangsci/NccPy>

(11) 令和4年度実施計画の概要：

Chang and Ide (2021) によって明らかになった階層的構造が引き起こす地震についての、確率論的予測手法の開発に取り組む。まず既存の更新過程による地震予測手法に、外部の擾乱の効果を取り入れるための手法開発を行う。階層的構造による繰り返し地震だけでなく、地震および、西南日本のテクトニック微動活動などにも適用する。テクトニック微動から合成低周波地震を抽出する手法について、他地域での適用を試行する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

Hideo Aochi（フランスBRGM）,Victor Manuel Cruz Atienza（メキシコ国立自治大学）,Sergio Ruiz（チリ大学）,Kate Huihsuan Chen（台湾国立師範大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井出哲

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻流体の化学的観測による地震火山活動評価システムの高度化と応用

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測
(4) 中長期的な火山活動の評価
イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
イ. 首都直下地震
(3) 研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでに開発してきた四重極質量分析計での観測を本宮観測点などにおいて実施し、周囲の地震火山活動とHe,N₂,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、本宮観測点などにおいて地下水・噴気観測を実施する。採取した地下水や噴気のガス成分の組成を、四重極質量分析計によって連続的に計測する。

毎年2回の地下水・噴気サンプリングを行い、³He/⁴Heをはじめ測定可能な全ての化学分析を実施する。³He/⁴Heの分析と酸素水素同位体比の測定は産総研で実施する。

これらの分析結果を集約するとともに、それぞれの地域での地殻変動や火山活動の情報を収集し、周囲の地震火山活動とHe,N₂,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。また、データが蓄積された段階で「先行現象に基づく地震発生の確率予測」を主課題としているグループとデータを共有し、データを評価する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【観測】

本宮地域の地熱帯において電源開発の目的でNEDOが多数掘削した調査孔の一つ（NEDO井）を観測のために借用し、深部起源ガスを検出して変化を観測する試みを行った。掘削深度1000mのNEDO井で温度・電導度検層を行うと、500m付近に明らかに外部からの水の浸入が確認されたため、この深さまで錘を付けたナイロンチューブを下ろし、直接500m深度に浸入する地下水を採取できるようにした。この井戸の水頭は-10mであるので、地表部に置いたポンプでは地下水を揚水できない。そこで、CFC分析を目的に開発された、圧縮空気駆動のベネットポンプを使用することにした。このポンプは地表部から送った圧縮空気によってピストンを駆動し、これに直結された揚水ピストンが水を地表部へと押し上げる。圧縮空気側のピストンと揚水ピストンの間をつなぐシャフトは二重Oリングによってシールされている。

NEDO井に加えて、自噴の温泉が湧出する川湯温泉（Kawayu井）でも観測を行った。Kawayu井は、河床から30m深さまで打ち込んだ揚水管からモーターで揚水し、温泉宿に温泉水を供給している。揚水管直上での温度は70度であるが、装置の温泉水分取ポイントでは温度は50度に下がっている。途中で殺菌塔などではなく、揚水された温泉水は直接供給されているので、常に新鮮な温泉水を採取・分析することが可能となっている。

【装置】

測定装置は、地下水から溶存ガスを分離するための分離筒（S）、抽出した溶存ガスを一時的に貯留してガス量を記録するためのリザーバ、抽出ガスのガス組成を分析する四重極質量分析計（QMS）、の三つで構成されている（図1）。コンピュータの制御によって開閉する電磁バルブなどを制御し、試料水から溶存ガスを抽出して分析する。分離筒・リザーバ・QMSのそれぞれの内部のガス圧と分離筒内の水温は、組成分析時は1秒ごと、待機時は10秒ごとに記録した。温泉水溶存ガスの分析は、6時間毎に実施した。計測データは1日に1回大学に転送して蓄積した。

【解析と議論】

ヘリウム同位体比が高いガスについては、窒素/ヘリウム比と窒素/アルゴン比によって、安山岩質マグマ起源(A成分)・玄武岩質マグマ起源(B成分)・天水起源(M成分)の三つの端成分の混合として分類できることが、Giggenbach (1992) によって示された。NEDO井とKawayu井それぞれの溶存ガスのヘリウム同位体比の大気規格値 (Ra) を分析すると、NEDO井のガスがRa=4.5、Kawayu井のガスがRa~2.0であった。どちらも、ヘリウム同位体比が高いので、Giggenbachの解析条件を満たしている。

試料中への大気の混入を完全に無くすことは不可能なので、Giggenbachの方法に従って、本研究でも分析結果中の大気の混入を見積もり差し引く方法をとった。測定試料の質量スペクトルからブランクの質量スペクトルを差し引き、酸素濃度を調べる。酸素濃度を指標に、混入したであろう大気のヘリウム・窒素・アルゴン・二酸化炭素などの主成分量を見積もる。見積もられた大気混入量を差スペクトルからさらに差し引くことで、水中に含まれる深部起源ガスの組成とした。深部起源ガスの組成値から、窒素/ヘリウム比と窒素/アルゴン比を計算した。そして、深部起源ガスの混合比を計算するとき、Giggenbachにならない本研究でも、A成分としてAT、B成分としてBC、M成分として天水 (Meteoric Water : ME) を採用した。

NEDO井のデータとKawayu井のデータをGiggenbach図にプロットすると、データ点はどちらも大気端成分の上に集中した（図2）。このことは、どちらの井戸でも深部起源ガスを検知できていないことを意味する。測定されたスペクトルをよく見ると、どちらの観測井でも、測定された溶存ガスの組成はヘリウムが比較的少なく二酸化炭素が比較的多い組成を示している。このため、ブランク補正したスペクトルを大気補正しても、計算される組成が大気になってしまう。そこで、観測システムに大気がリークしている可能性について点検を行った。

NEDO井におけるベネットポンプ使用での大前提は、圧縮空気が地下水側の流路に漏れ出さないことである。ところが、圧縮空気に純粋アルゴンガスを加えることによって、測定スペクトルの形状がどうなるかを調べると、シールが保たれず圧縮空気が地下水流路に漏れていることが分かった。500mまで下ろしているナイロンチューブはベネットポンプの取水口に直結されている。ポンプ修理のため

には時間と費用が多く必要と判断し、NEDO井での観測を断念した。

本宮地域において深部起源ガスを含んでいる可能性がある地下水は、この地域に湧出する温泉である。NEDO井に代わる観測場所として、川湯温泉・湯峯温泉・渡瀬温泉が候補に挙がる。湯峯温泉は硫黄分を多く含み分析装置を腐食する可能性があるため選択肢から外した。装置の設置が渡瀬温泉よりも容易な、硫黄分が痕跡量の川湯温泉で観測を行うことにした。

Kawayu井では、掛け流しの温泉配管を分岐して温泉水を採取した。この方法は、われわれが熊本・阿蘇地域で採用して観測が成功している方法なので、装置周りでの大気の混入はないことが確かめられている。ところが、観測されたスペクトルを見ると、溶存ガスは大気そのものであることを示している。改めて、大気のリークを調べたがリークは確認できなかったことから、溶存ガスは大気であることが確定した。したがって、ヘリウム同位体比の取得のような希ガス分析では深部起源ガスを検知できるが、圧倒的に簡便なGiggenbachの方法では検知できなかった。阿蘇山で行っている観測では、温泉は同程度の深さから温泉水を揚水しているが、深部起源ガスを検知できている。つまり、Giggenbachの方法で深部起源ガスを検出するためには、ヘリウム同位体比が大気よりも有意に高いことだけでなく、採水位置が可能な限り深いか、火山のように深部起源ガスの強力な供給源が近くになければならないと考えられる。渡瀬温泉はRa=4.6でしかも500mの深さから採水しているので、できるだけ早く渡瀬温泉に観測装置を移設し、深部起源ガスの検出を試みたい。

【結論】

NEDOの井戸と川湯温泉で溶存ガスの組成を記録し、深部起源ガスの検知を試みた。NEDO井の観測では、大気リークを解決できず観測を断念した。川湯温泉では大気のリークなく観測ができたが、溶存ガスは大気そのもので、深部起源ガスを検知することができなかった。そこで、Ra=4.6で500m深度から採水している渡瀬温泉に観測場所を変えて、深部起源ガスの検知を試みたい。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

Ra=4.6で500m深度から採水している渡瀬温泉に観測場所を変えて、深部起源ガスの検知を試みる。ここで深部期限流体が観測できて、熊本阿蘇地域で得られているような結果が出はじめたら、紀伊半島直下の深部低周波地震の発生との関連を調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

角森史昭（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

小泉尚嗣（滋賀県立大学）,森川徳敏（産業技術総合研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：角森史昭

所属：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

Monitoring System

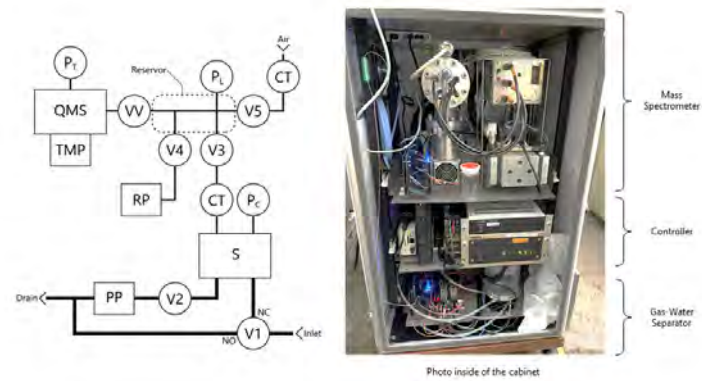


図1.観測装置

観測に使用した、溶存ガス抽出と組成分析を自動で行う装置の構成と写真。

Giggenbach's Diagram of NEDO & Kawayu

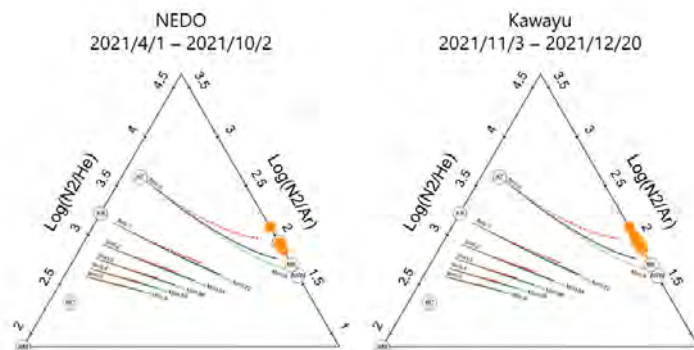


図2.NEDO井とKawayu井の観測結果

NEDO井のデータもKawayu井のデータも、大気端成分に集中していることがわかる。

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

物理モデルと地形・地質学およびテクトニックな観測データを統合した地震発生の長期予測手法の開発と検証

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
 - イ. 地震断層滑りのモデル化
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
 - イ. 内陸地震
 - オ. 構造共通モデルの構築

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
- (5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、地震発生の長期予測を、物理的客観性と定量性の向上を目的とし、地震発生シミュレーション手法の高度化と検証、定量的な変動地形解析手法の開発を行う。それぞれの課題について、5か年での到達目標を以下の様に設定する。シミュレーション研究においては、国内外のいくつかの内陸大地震を対象に、観測データとシミュレーション結果を比較することにより、予測手法の系統的な検証を順次行う。物理モデル構築に当たっては、共同研究により、応力場や断層形状等の地震発生場のモデルを構築し、古地震データから応力蓄積率を推定する。大規模並列計算により順問題を多数回解くことで、動的破壊過程（地震の位置、規模、時期を含む）とそのばらつきを定量化し、観測データと比較することで、その再現性や予測性能を検証する。また、古地震による地殻変動量とその時期といった地形・地質データの高精度化のために、数値的な地形解析手法の開発と検証を行う。そのため

に、ドローンを用いた高空間分解能な数値標高データの取得と精度検証、段丘堆積物等の年代測定を、合わせて行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震発生予測手法の開発と検証については、年次ごとに、既往の顕著な地震イベントから一つを選んで、検証を実施していく。初年度においては、2016年熊本地震を対象とする。モデルの構築にあたっては、産業技術総合研究所と共同研究を行い、応力場と断層形状モデルの構築、ならびに古地震データの収集・解析を行う。シミュレーション結果を地震時の強震動とSAR等の地殻変動データと比較し、再現性等を評価する。2年目から5年目においては、同様の検証を2000年鳥取県西部地震、2004年中越地震、2011年福島県浜通の地震、2014年長野県北部の地震、2016年ニュージーランド（カイコウラ）地震、2018年北海道胆振東部地震などを対象として、順次実施する。ニュージーランドの事例については、現地の研究者と共同する。

定量的な古地殻変動解析手法の開発については、以下の通り行う。初年度においては、地形解析アルゴリズムを整備した上で、房総半島南部に適用し、海岸段丘の自動検出を行う。段丘の形成年代を推定するため掘削による段丘堆積物の取得と年代測定を行う。

2年目においては、海岸段丘を対象としたドローン測量による数値標高モデルの取得（DEM）と精度を検証する。解析ソフトを用いて房総半島南部での地殻変動量の推定を行い、引き続き、未調査地点において段丘堆積物の取得と年代測定を実施する。3～5年目においては、対象を南海トラフの海溝型地震として、同様に海岸段丘の検出と年代測定を行う。調査地点は、富士川河口地域などを想定する。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

物理モデルと観測データの統合による地震規模を含む動的破壊過程予測手法および地震繰り返し過程（サイクル）予測手法の開発と検証のために、計算手法開発とモデルの検証を行った。

動的破壊シミュレーションの検証のため、前年度から引き続き、断層形状の複雑性が詳細に観測されている2016年カイコウラ（ニュージーランド）地震を対象とした。今年度は、連動破壊の条件を検証するために、応力蓄積履歴の効果、断層形状の小スケールでの非平面性の効果を検証した。検証に用いる観測は、2016年に連動破壊しなかった本地域の主要活断層であるHope断層の挙動である。断層形状として、研究協力者のHawell氏（Canterbury University / GNS）などにより最近構築された断層形状モデルを考慮した。本断層モデルは地形・地質学や構造探査、地震活動の最近のデータを統合したものであり、従来の断層モデルは、概ね10kmスケールでの平面断層の組み合わせにより、全体の断層系を表現したものであったが、新モデルは約1kmスケールでの地表トレースと断層傾斜を考慮したモデルとなっている。応力蓄積履歴の効果を見るために応力蓄積率パラメタを導入し、Hope断層の応力状態を広域応力場で与えられるものから一様に減じて与えた。また広域応力場が従来のモデルと異なる場合についても、パラメタスタディーにより破壊過程に与える効果も併せて調べた。これは、Matsumoto et al. (2019)により推定された応力比が従来参照したTownend et al. (2012)の0.66より大きいという結果を踏まえてのものである。計算の結果、Hope断層の割れやすさは応力比 ν が大きくなるほどより高まる傾向にあることが分かった（図1）。一方で、Hope断層が連動しなかった原因となった可能性が指摘されていたより深部に存在する低角逆断層（Point Kean断層）は、応力比の増加によってより抑制される傾向となることが分かった（図1）。シミュレーションの結果、応力比の大小にかかわらず、応力蓄積率が約70%以下の場合、Hope断層が連動破壊しないことが分かった。また低角逆断層の効果で、Hope断層の破壊が抑制されるシナリオは再現されなかった。

古地震学的調査のカイコウラ地震以降の最新の成果（Hartem et al., 2019など）を踏まえて、当地域での地震発生履歴を力学的観点から整理した。その結果、当該地域のHope断層は、2016年時点で前回のイベントから堆積年代マーカーに起因する観測誤差込みで176-285年経過しており、応力蓄積率を決める地震後時間経過率は57-160%と見積もられることが分かった。当該地域の古地震履歴研究による地震後経過率は誤差が大きい、応力蓄積率の低さがHope断層の連動しなかった要因となったシナリオも、その誤差範囲内に含まれると理解される。

2011年および2016年茨城県北部の地震について、地震活動を用いた逆解析により広域応力場推定を実施し、SAR観測を基にした運動学的インバージョン解析から示唆された断層屈曲形状を考慮した

断層モデルを用いて、3次元動的破壊シミュレーションによる予察的解析を行った（課題番号AIST07と共同研究）。

地震繰り返し過程（サイクル）シミュレーション手法の高度化として、準動的境界要素法の畳み込み計算に用いるアルゴリズムに格子H行列法を実装することで、超大規模並列計算に対応させた。これにより、100万要素程度のモデルを約1万MPI並列で実行することが可能となった。本計算手法を用いて、屈曲断層が地震繰り返しのセグメンテーションに果たす役割を調べるとともに、中央構造線断層帯の数万年間の運動のモデル化を行った。中央構造線モデルにおいては、応力載荷速度を、GNSS観測で得られた最大歪速度からプレート境界固着の効果を除いたもの（Nishimura, 2017）を用いて応力速度に換算するという、観測を基にした新たなモデル化手法を取り入れた。与えた応力速度は3.2-12.8MPa/kyrである。また、広域応力場のインバージョン解析データに基づき、絶対応力場を考慮するモデル化手法も検討した（課題番号AIST07と共同研究）。シミュレーションにより平均変位速度と平均繰り返し間隔を調べたところ、古地震調査で得られている値の数m/千年、千年と概ね整合的な値を再現できることが分かった。より定量的な再現は次年度の課題である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

長期評価手法に物理モデルによる拘束と地球物理学的観測データを反映させるための手法高度化を行った。動的破壊シミュレーションおよび準動的地震サイクルシミュレーションを自然地震および実際の断層系に適用し観測と比較検討し、物理モデルの再現性を実証的に検証している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

小澤創、伊田明弘、星野哲也、安藤亮輔,2021, Large-scale earthquake sequence simulations on 3D geometrically complex faults with lattice H matrices, 日本地震学会秋季大会, s08-p12

安藤亮輔, 金子善宏, Andy Howell, Andy Nicol, Robert Langridge, Ian Hamling, 2021, Why the Hope fault bypassed during the 2016 Kaikoura earthquake?, 日本地震学会秋季大会, s08-04

村松和紀, 小澤創, 安藤亮輔, 2021, 準動的地震シーケンスシミュレーションを用いた中央構造線断層帯の連動破壊過程の解明, 日本地震学会秋季大会, s08-05

So Ozawa, Ryosuke Ando, Eric M. Dunham, 2021, Strength of Geometrical Barriers in Simulated Earthquake Sequences, Earthquakes (3rd edition)

伊田明弘, 安藤亮輔, 佐藤大祐, 小澤創, 星野哲也, 2021, 格子H行列とFDP法による3D弾性波動伝播の高速計算, SWoPP, MEPA-1

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

引き続き、動的破壊シミュレーションと準動的地震シーケンスシミュレーションの手法開発と自然地震への適用と検証を系統的に行っていく。動的破壊シミュレーションについては、2016年熊本地震の最近の断層形状モデルの発展を反映させたモデル化を行う。中央構造線活断層帯の準動的シミュレーションにおいては、断層形状のより詳細な再現と、応力場および歪速度テンソル場の空間変化を考慮したモデルの拡張を行う。また、最新の古地震調査の結果との比較検討を進め、観測値を再現するように、摩擦パラメタや断層形状のチューニングを実施する。シミュレーション手法の高度化のために、準動的および動的破壊シミュレーションコードのWisteria-Oと地球シミュレータ4という最新のスーパーコンピュータ環境での最適化を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

安藤亮輔（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

宍倉正展（産業技術総合研究所）, 宮下由香里（産業技術総合研究所）, 今西和俊（産業技術総合研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科

電話：

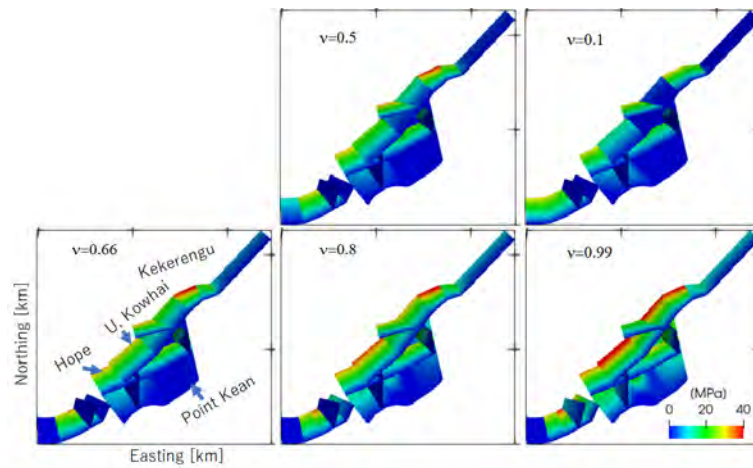
e-mail：

URL：<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~ando>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：安藤亮輔

所属：東京大学大学院理学系研究科



2016年カイコウラ地震の断層形状と応力状態のモデル

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

遠隔地火山、特に離島火山における火山ガスモニタリングの高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

前期計画で開発した山ガス放出率観測のための簡易型トラバース測定装置を定期フェリーに搭載することで口永良部島の二酸化硫黄放出率の繰返し測定が確立され、公共交通など定期運行されている移動体を使用した二酸化硫黄放出率測定が、離島や遠隔地の火山で有効な手法であることを示した。本課題では、二酸化硫黄放出率の観測頻度が非常に低い他の離島火山や遠隔地火山に、さらに高度化した簡易型トラバース装置を展開することで、これまでより頻繁に二酸化硫黄放出率が測定できるようにする。また、これまで火山ガス放出量のみでの測定であったが、火山ガスの質にあたるガス組成（ $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比）の測定にまで観測項目を広げることにより、モニタリング技術をさらに高度化し、火山噴火の中期予測に貢献するような火山ガスデータの提供を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度および2年度においては、測定装置の開発・高度化と測定基盤の確立を行う。簡易型二酸化硫黄装置をさらに改良し高度化するとともに、火山ガス組成用の小型装置の開発を行う。また、装置の設置ための交渉や、各火山における測定条件に対応した装置やシステムのチューニングを行う。口永良部島の観測の継続及び、測定開始できた火山の観測を継続する。

令和3年度から5年度においては、観測が開始できた火山の観測の維持し継続する。質の良い測定データがとれるようになったら、気象庁やその他の機関に測定で得られたデータを提供することで、火山活動評価に貢献する。最終年度に向けて、開発・確立した装置、および測定手法の技術移転を目指す。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

これまでに開始した離島火山（口永良部島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島）での二酸化硫黄放出率観測を継続した。口永良部島の観測では、昨年度末に新造フェリーへの入れ替えに伴い観測装置の入れ替えを行ったが、今年度初めには、入れ替えた装置の調整や動作確認などのシステム移行に関わる作業をオンラインで実施した。薩摩硫黄島と諏訪之瀬島用の観測装置のメンテナンスや測定プログラムの調整を行った。

口永良部島の二酸化硫黄放出率は、2020年5月ごろより指数関数的に減少し、2021年からは100 ton/dayを切り、現在は数10ton/dayまたは検出できないレベルまで低下している。このような放出率の低下は観測が開始した2014年11月以降初めてであり、口永良部島の活動の低下を示しているものと考えられる。諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率は100 ton/dayから2000 ton/dayを超える高い値も見られていて、活動状況によって大きく変化しているようである。薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率はこれまで同様に1000±500 ton/dayで推移していて、時折1500 ton/dayを超えるが、安定したガス放出を続けている。これらの3つの離島火山の測定データは、これまで同様気象庁に共有されており、それぞれの火山の活動評価に役立っている（気象庁の各火山の火山活動解説資料を参照）。

これまでドローン搭載用に使用していた、簡易型トラバース装置の改造と観測ソフトの改良を行った。また、火山ガス組成（SO₂/H₂S比）モニタリング用の装置の設計・作成を開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

離島及び遠隔地火山である口永良部島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島の3火山の火山ガスの放出率のモニタリングを確立し継続することで、これらの火山の活動の評価に貢献している。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和4年度実施計画の概要：

令和3年度同様に、引き続き離島三火山での二酸化硫黄放出率測定を継続し、そのためのメンテナンスや測定方法の高度化を行う。これらの観測により得られたデータは、気象庁やその他の機関と共有することで、火山活動評価の高度化に貢献していく。また、火山ガスのSO₂/H₂S比測定用装置を完成し観測を離島火山や遠隔地火山で実施していく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

森 俊哉（東京大学大学院理学系研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科
電話：03-5841-4649
e-mail：mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森 俊哉
所属：東京大学大学院理学系研究科