

(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2年度の成果の概要 :

令和2年度には、1) 文献に基づく調査地情報の入力、2) 調査地の位置精度を向上させる作業、3) 表示システムおよび検索システムの改善の各作業を実施した。文献に基づく調査地情報の入力については、文部科学省委託研究「平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」に基づき、2016年熊本地震以降の古地震調査の成果を入力した。調査地の位置精度を向上させる作業については、既にデータベースに収録されている布田川断層、日奈久断層、緑川断層(いずれも熊本県)の調査地点(約200地点)を、活断層DBの表示縮尺を5万分の1スケールに改善するため、調査地および断層の位置情報の再確認、修正したデータの登録方法の検討を開始した。表示システム改善については、気象庁リアルタイム震源機能を従来のpush型対応からpull型対応に変更する作業のほか、検索画面の範囲選択方法の改善、断層線の表示・非表示の切り替え、J-STAGE自動検索機能の追加に関する作業を実施した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
とくになし

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

令和3年度には、約200地点の調査地について位置精度を向上させる作業、約10断層の断層線について位置精度を向上させる作業を行うとともに、縮尺5万分の1スケールで断層線および調査地を表示させる表示システムの構築作業を進める。また、最新版の全国主要活断層活動確率地図を作成し、「活断層・古地震研究報告」に掲載して公表する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

吾妻 崇・宮下由香里・粟田泰夫・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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)

( 13 ) 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カ年で実施する。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：

2019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。

2020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。

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2年度の成果の概要：

令和元年度までに糸魚川－静岡構造線断層帯を対象として古地震調査を実施した結果、以下の知見を得た。逆断層で構成される北部区間の神城断層では、過去7回の地震時変位量を復元し、変位量の変化から連動/非連動を判別して連動履歴を推定した。その結果得られる連動間隔に基づき、今後30年間の連動確率をポアソン過程により算出することが可能となった。一方、横ずれ断層で構成される中北部区間、中南部区間では、複数地点で三次元トレンチ調査を実施し、最新活動に伴う変位量が復元されたものの、同一地点で複数回の地震時変位量を解明する調査手法には課題が残った。そこで、令和2年度以降は顕著な横ずれ断層帯である四国の中央構造線断層帯を対象として、複数回の地震時変位量を解明する調査手法をさらに改良することとした。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。

令和2年度は、中央構造線断層帯の讃岐山脈南縁区間を対象として古地震調査を実施し、下記の予察的な知見を得た。徳島県鳴門市に分布する鳴門南断層上に位置する阿波大谷地区において、三次元的トレンチ調査を実施した。調査地点は低平な沖積平野と支流性の扇状地が合流する末端付近に位置し、堤・後藤(2006)により最新活動に伴う地震時変位量が1.9~2.8mと推定されている。

本調査の結果、深さ約5000年前以降に連続的に堆積する湿地堆積物、断層走向に直交及び平行方向に分布する流路堆積物、後背地堆積物が露出した。明瞭な剪断を生じる断層はみられなかったものの、地表直下までの自然堆積層に北側が相対的に隆起する撓曲変形が累積的に認められた。さらに、複数の層準で雁行配列する微小な開口亀裂、顕著な液状化痕跡がみられた。これらの観察事実から、古地震イベントは不確かなものを含めて3回が検出された。現時点までの放射性炭素同位体年代と出土した考古遺物の年代推定の結果、最新イベントは12世紀ないし鎌倉時代以降に生じたと推定される。この結果は、堤・後藤(2006)により推定された横ずれ量、既往のトレンチ調査等による最新活動が16世紀以降とする推定と矛盾しない。

今後、さらに多数の年代測定等を実施して、より正確なイベント発生時期を特定する。また、周辺の考古遺跡では、南海トラフの海溝型地震に伴う液状化痕跡が複数認められており(例えば、寒川, 1992)、本調査により検出された古地震イベントとの関係を検討する。さらに、複数回の横ずれ量を復元する調査を実施する。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

文部科学省・国立研究開発法人産業技術総合研究所「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(印刷中)。

(10) 令和3年度実施計画の概要：

四国の中央構造線断層帯を対象として、引き続き、上記の補足調査や新たな調査地において複数回の横ずれ量を復元する古地震調査を実施する。その結果を基にイベント毎の連動/非連動を判別し、連動履歴に基づく連動確率の試算をおこなう。

(11) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

( 13 ) 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

(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 2 年度の成果の概要 :

将来噴火の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地質図作成を進め、恵山火山の地質図を印刷段階とした。噴火履歴解明のため、伊豆大島で海陸をつなぐための沿岸部水深 400m 程度までの範囲で精密海底地形地質調査を実施し、雌阿寒岳及び秋田焼山では火口周辺域を含むトレンチ調査を実施した。また御嶽山及び日光白根山では地表踏査による噴火履歴調査を継続した。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、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 年代データの比較研究を実施し、10 万年前より若い火山噴出物の年代測定を実施した。

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択捉島と富士山の完新世噴火イベントのデータ作成と公開を行うと共に、重要火山の火口図作成を開始した。また、東北・関東・中部・伊豆半島の火山について文献一覧を更新、公開した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Conway, C.E., Chamberlain, K.J., Harigane, Y., Morgan, D.J., Wilson, C.J.N. (2020) Rapid assembly of high-Mg andesites and dacites by magma mixing at a continental arc stratovolcano. *Geology*, 48(10) DOI: 10.1130/G47614.1

及川輝樹・谷健一郎 ( 2020 ) 伊豆諸島、利島火山の新时期活動の年代： $^{14}\text{C}$  年代値と地形判読を基に、火山, 65, 83-87.

山元孝広・中野俊・石塚吉浩・高田亮 (2020) 新时期富士火山降下火砕物の再記載と噴出量の見積もり。地質調査研究報告, 71, 517-580.

日本の火山データベース <https://gbank.gsj.jp/volcano/>

( 10 ) 令和 3 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、秋田焼山、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得るために、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、白山火山及び御嶽火山等の試料を対象とした K-Ar 及び Ar/Ar 年代データの比較研究を実施する。

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と重要火山の火口図作成を進めると共に、山陰及び九州第四紀火山の文献一覧の更新、掲載を行う。

( 11 ) 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、大阪府立大学など

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/iev/actvolcano-rg1/>

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 石塚吉浩

所属 : 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ



## 令和2年度年次報告

課題番号：AIST04

(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2年度の成果の概要：

津波浸水履歴情報の新たな整備形態について検討を行い、今後の整備計画を策定した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

津波浸水履歴情報は、地質情報等とそれに基づいた波源のモデルとをパッケージとして取りまとめることを想定し、まず日本海溝南部における波源モデルを検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/ievgroup/subducteq/index.html>

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 穴倉正展

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2年度の成果の概要：

本課題では，内陸断層の深部，脆性?塑性遷移付近の岩石変形の物理的性質の3次元構造モデルを地質調査から明らかにし，これにより地震の破壊開始と断層深部の塑性流動との関わりを明らかにする．令和2年度は，令和元年度に1 km<sup>2</sup> の範囲で確立した三次元モデルを構築の手法を，震発生モデルとしてより現実的にするために，調査範囲を断層の走向方向に7 km 程度に拡大し，この範囲の調査を開始した．一方，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で明らかにするための準備段階として斜長石の粒成長実験を実施した．まず，斜長石のNa端成分である曹長石の焼結体合成に成功し，この焼結体を用い融点(1100 )に比較的近い1065 ，1050 ，1030 において粒成長実験を実施し，粒成長の活性化エネルギーを含む基本パラメータを決定した．この結果，曹長石の粒成長は1050 という高温においても1 μ m から10 μ m に成長するのに1世紀かかるという非常に遅い粒成長カイネティクスが明らかになった．曹長石は地殻の幅広い条件で安定に存在する主要構成鉱物である．今回の実験結果は，曹長石の粒径依存クリープが地殻の幅広い条件で発現しうる地殻のレオロジーを考える上でも重要な変形機構であることを示唆する．

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度に調査を開始した範囲において、異なる条件で変形した断層岩ごとに、石英の変形構造に基づき歪量を判定し、断層深部の塑性歪の空間分布を明らかにする。今後、断層深部における破壊開始と塑性歪の空間的關係が問題になることから、石英の変形構造の解析と並行して破壊による構造についても注視する。また、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で明らかにする実験では、粗粒斜長石焼結体の合成方法を確立し、また産総研のガス圧式変形試験機における高温変形実験の手法を確立する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ

地質情報研究部門 地球物理研究グループ

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 部署等名 活断層・火山研究部門

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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、水蒸気爆発発生に關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2年度の成果の概要：

桜島火山における Multi-GAS を用いた火山ガス組成の連続観測、セスナ機による繰り返し観測の結果を解析し、火山ガス組成の特徴と活動推移に伴う火山ガス組成の変化について明らかにした。桜島の火山ガスの  $\text{CO}_2/\text{S}$  比はほぼ一定であるのに対し、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は 1-1000 と大きな変動を示しており、30

を超える比は火山灰の放出時のみ観測され、1-30 の間の変動は爆発回数と相関があることが見出された。気象庁との協力により口永良部島において Multi-GAS による火山ガス組成の繰り返し観測を実施した結果、噴火発生直後の SO<sub>2</sub> 放出率の高い時期には SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比が 10 前後と高く、SO<sub>2</sub> 放出率の低下とともに 1 前後にまで低下していることを明らかにした。

伊豆大島の自然電位観測網の一部は設置してから 15 年程度経過しているため劣化が認められる。そこで、一部の測線について、ケーブルおよび電極の取り換え作業を行った。引き続き、静穏期の自然電位データの蓄積を進めた。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Shinohara H., R. Kazahaya, T. Ohminato, T. Kaneko, U. Tsunogai and M. Morita, 2020, Variation of volcanic gas composition at a poorly accessible volcano: Sakurajima, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **407**, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107098.

- ( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

阿蘇、十勝岳などマグマ噴火・マグマ水蒸気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。火山ガス組成の繰り返し観測の頻度・精度を向上させるため、無人航空機を用いた火山噴煙観測システムを開発し、阿蘇、霧島硫黄山などで試験観測を実施する。桜島において、爆発的噴火の発生過程を明らかにするために、衛星やセスナ機、地上観測網による火山ガス放出率・組成観測を実施し、噴火発生過程のモデル化を進める。透水性が悪いため熱水系の流動を規制する変質帯の分布と役割に着目しながら、阿蘇、霧島、伊豆大島等の火山において自然電位調査、電磁探査法を用いた比抵抗調査、および熱水系の数値シミュレーションを並行して実施し、熱水系のモデル化を進める。

- ( 11 ) 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

東京大学地震研究所(大湊隆雄, 他数名),

京都大学防災研究所(井口正人, 他数名),

京都大学理学部(大倉敬宏, 他数名)

- ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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>

- ( 13 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：篠原宏志

所属：活断層・火山研究部門マグマ活動研究グループ

( 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：断層への応力載荷、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 2 年度の成果の概要：

昨年度に引き続き、中国地域の地殻内応力マップを作成するため、過去 12 年間にわたるマグニチュード 1.5 以上の地震の発震機構解を決定した。気象庁一元化カタログもコンパイルし、10 km メッシュの応力マップとして纏めた(今西ほか, 2020)。この応力マップをもとに、地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2016)が評価対象とした 30 の活断層の活動性評価を行ったところ、28 断層が現在の応力

場、一般的な摩擦係数のもとで再活動する条件を満たしていることがわかった。残りの2断層が再活動するためには、異常間隙水圧の発生や隣接する活断層の破壊に伴う応力変化でトリガーされるなどの外的要因が必要になると考えられる。また、島根県・鳥取県の日本海側になると応力方位が時計回りに約20°回転して西北西-東南東方向を示すようになる原因について、先行研究で提案されている下部地殻における非地震性変形のほか、地震発生層深部の高重力異常帯に引き起こされる応力擾乱にある可能性を示した。

また今年度は、地殻内応力マップ作成の全国展開とそのため地震波形処理の高速化に向けて、発震機構決定のボトルネックとなっているP波初動極性の検測に深層学習を導入した(Uchide, 2020)、畳み込み層と全結合層からなる比較的単純なニューラルネットワークモデルを構築し、気象庁(一元化処理検測値;主にM3以上)と産総研(主にM3未満)によるP波初動極性の読み取り結果を用いた2段階学習(ファインチューニング)を行った。学習済みモデルを用いて、2005~2019年に日本列島内陸部の20km以浅で発生した約11万個の微小地震を対象として、約230万本の地震波形のP波初動極性を読み取った。読み取ったP波初動極性から得られた発震機構解は今後、応力インバージョンに用いる予定であるが、発震機構解のP軸・T軸の空間分布からも、応力場の大局的な傾向と局所的な特徴を見て取ることができる。なお、自動読み取りの精度については、学習用とは別に用意したテストデータセットを用いた評価のほか、繰り返し地震の波形に対して概ね同様の読み取り結果を返すことを確認している。多くの地震に対して発震機構解が求まったということ自体も、自動読み取りの精度を一定程度保証するものである。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式の調査に関しては、2013年淡路島の地震(Mj6.3)の起震応力場とテクトニックな解釈について纏めた(Imanishi et al., 2020)。また、2枚の断層が連動破壊した2011年福島県浜通りの地震について、周辺地域の応力インバージョンを行い、その結果を考慮した動的破壊シミュレーションを実施し、連動メカニズムへの応力場の効果について予察的な解析を行った(課題番号UTS\_05と共同研究)。その他、内陸で発生している地震の発震機構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、内陸応力場の時空間変化を調べる方法を提案した(今西・野田, 日本地震学会2020年度秋季学術大会発表)。この手法は微弱な応力場変化の検出及びプレート間固着のモニタリングに非常に有効な方法になりうると考えられる。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
今西和俊・内出崇彦・椎名高裕・松下レイケン・中井未里(2020)中国地域の地殻内応力マップの作成. 地質調査研究報告, 受理

Imanishi, K., M. Ohtani, and T. Uchide (2020) Driving stress and seismotectonic implications of the 2013 Mw5.8 Awaji Island earthquake, southwestern Japan, based on earthquake focal mechanisms before and after the mainshock. *Earth Planets Space*, 72:158. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01292-1>

Uchide, T. (2020) Focal mechanisms of small earthquakes beneath the Japanese islands based on first-motion polarities picked using deep learning. *Geophysical Journal International*, 223(3), 1658-1671. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa401>

- (10) 令和3年度実施計画の概要:

全国応力マップの作成に向け、発震機構解の解析対象を沿岸海域まで拡張する。また、引き続き連動メカニズムへの応力場の効果について検討を進めるとともに、新たに開発した応力場の時空間変化推定法を東北地方に適用し、2011年東北地方太平洋沖地震の発生前後の内陸応力場の特徴を調査する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

今西和俊、内出崇彦、椎名高裕(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、大谷真紀子(東京大学)



( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門  
電話：  
e-mail：  
URL：

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

・千島-日本海溝

北海道東部において、17世紀千島の超巨大地震の再検討のため、無人航空機測量や地中レーダー探査により津波浸水計算の基礎となる古地形の復元を行った。

・相模トラフ

房総半島南部沿岸の海岸段丘について年代測定値の統計処理を行うことで、離水年代の検討を行った。

・南海トラフ

高知、愛媛、宮崎で津波堆積物調査、喜界島で隆起サンゴ調査をそれぞれ実施した。

・日本海沿岸

青森県西部沿岸で津波堆積物調査、島根県西部で1872年浜田地震に関する史料および地形・地質調査をそれぞれ実施した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Sawai, Y., 2020, Subduction zone paleoseismology along the Pacific coast of northeast Japan: -progress and remaining problems-, Earth-Sci. Rev., 208, 103261.

穴倉正展・行谷佑一・前空英明・越後智雄, 2020, 1872年浜田地震による石見豊ヶ浦の隆起 - 離水生物遺骸群集と地形データによる検証 -, 地震第2輯, 73, 159-177.

穴倉正展・越後智雄・行谷佑一, 2020, 能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性, 活断層研究, 53, 33-49.

( 10 ) 令和3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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：穴倉正展

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2年度の成果の概要 :

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。2019年11月~2020年10月の間に短期的SSEの断層モデルを41個決定した。

愛知県・紀伊半島~四国の16の観測井の各種孔井内測定データから、大局的には、透水性亀裂の向きは応力方位よりも全亀裂の走向に支配される傾向があり、また全亀裂の卓越方向は地質構造の特徴的な方向に近い傾向があることがわかった。どのような方向の透水亀裂が存在するかは、既存の地質構造に支配される媒質の割れやすさと応力状態の2つの要因があると考えられ、今回の結果は、既存の地質構造が支配的であることが示された。

2020年に大きな問題となった新型コロナウイルス感染症の流行によって、社会活動が大きく停滞した。これに伴いMeSO-netの1Hz以上の地震計ノイズレベルが大きく変動したことを観察した。携帯位置情報から推定された人の動きと地震計ノイズレベルの時間変化は整合しており、地震計が人間活動モニターとして利用できる可能性を提示した。

粘土鉱物の含有量は堆積物の摩擦・力学特性に影響を与えるため、その推定は付加体の形成過程の理解に重要である。基礎的な検層種目である電気比抵抗検層と自然ガンマ線検層のデータを用いて、経験的に南海トラフの粘土鉱物量比を推定する手法を開発した。本手法によって、コアの取得が難しい地層でも、検層データから詳細な粘土鉱物量比の深さ分布を推定することが可能となる。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

木口努・今西和俊・松本則夫, 2020, 岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(2019年11月~2020年4月), 地震予知連絡会報, 104, 272-273.

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5月~2020年10月), 地震予知連絡会報, 105, 印刷中.

木口努・桑原保人, 2021, 地下透水性亀裂の方向の支配要因: 産総研地下水等総合観測井(愛知県・紀伊半島~四国)の16地点の孔井内測定データからの考察, 活断層・古地震研究報告, 20, 印刷中.

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・矢部優, 2020, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2019年11月~2020年4月)(61), 地震予知連絡会会報, 104, 265-271.

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5月~2020年10月)(62), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努, 2020, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2019年11月~2020年4月), 地震予知連絡会会報, 104, 373-383.

北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努・矢部優, 2021, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2020年5月~2030年10月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

- Kitagawa, Y., N. Matsumoto and T. Kimura, 2020, Estimation of fault models for short-term slow slip events from groundwater pressure in soft sedimentary layers. *Earth Planets Space* 72, doi:10.1186/s40623-020-01218-x
- 北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優, 2020, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2019年11月~2020年4月)地震予知連絡会会報, 104, 384-387.
- 北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優, 2020, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2019年11月~2020年4月)地震予知連絡会会報, 104, 384-387.
- 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, 2020, 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(2019年11月~2020年4月), 地震予知連絡会会報, 104, 216-264.
- 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5月~2020年10月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.
- Yabe S., K. Imanishi and K. Nishida, 2020, Two-step seismic noise reduction caused by COVID-19 induced reduction in social activity in metropolitan Tokyo, Japan, *Earth, Planets, and Space*, 72, 167, doi: 10.1186/s40623-020-01298-9.
- Yabe, S., R. Fukuchi, Y. Hamada, and G. Kimura, 2020, A new method for the empirical conversion of logging data to clay mineral fraction in the Nankai accretionary prism, *Earth, Planets, and Space*, 72, 166, doi: 10.1186/s40623-020-01303-1.

(10) 令和3年度実施計画の概要:

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。和歌山県日高郡付近に新規地下水等総合観測施設を1点設置する。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。

(11) 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 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  
国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
気象庁 地震火山部

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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>

(13) 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

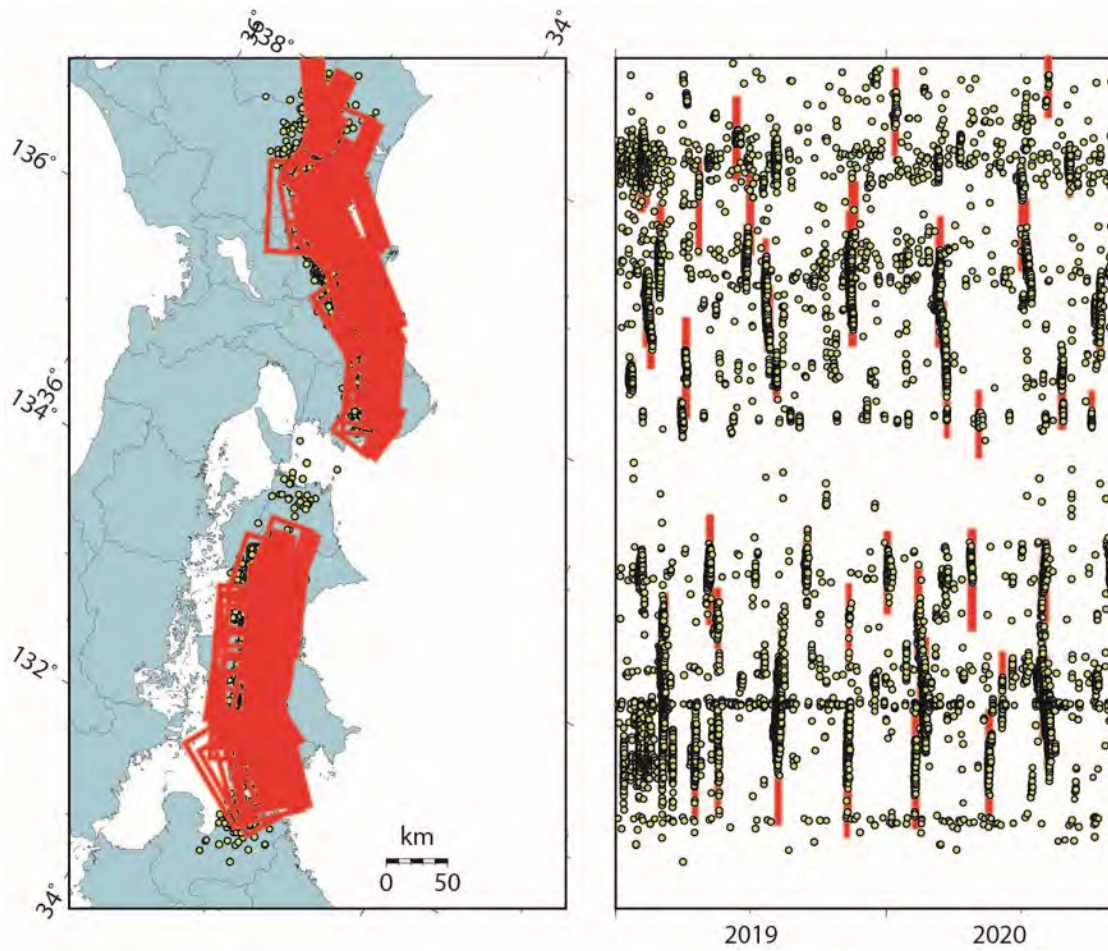


図 1

2019年1月～2020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41個: 矢部・他・2020, 2021)。黄色の丸は同期間の産総研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。



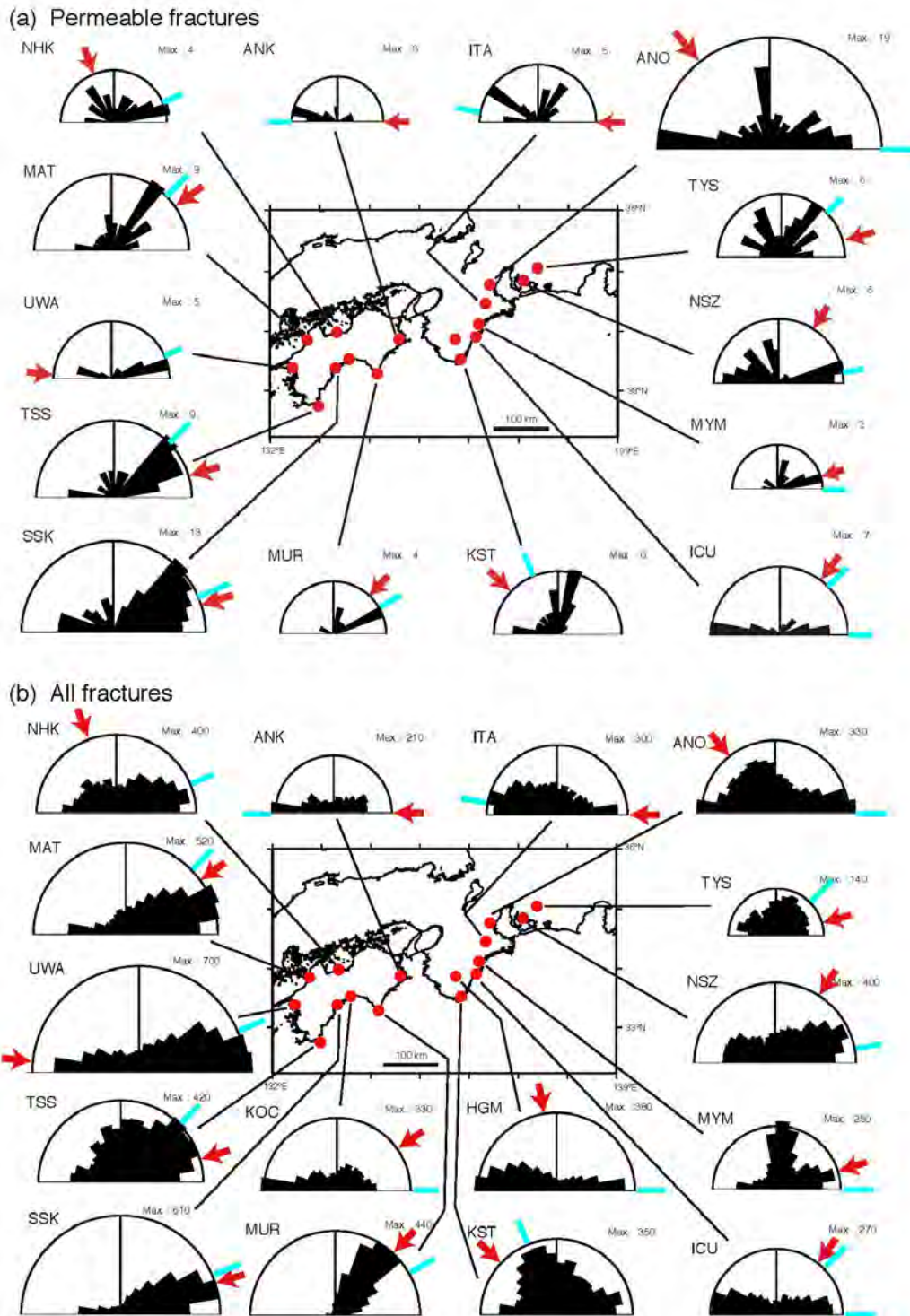


図 2

16 地点の観測井孔壁面に見られる亀裂の走向のローズダイアグラムの分布図。(a) 透水性亀裂。(b) 全亀裂。各観測点の応力方位 (赤矢印) と地質構造の特徴的な方向 (青実線) も示す。(a) と (b) のローズダイアグラムの大きさは、それぞれの図のローズダイアグラムの最大数の平方根に比例している。(木口・桑原, 2021)

E.SBCM ( 埼玉県川口市 )

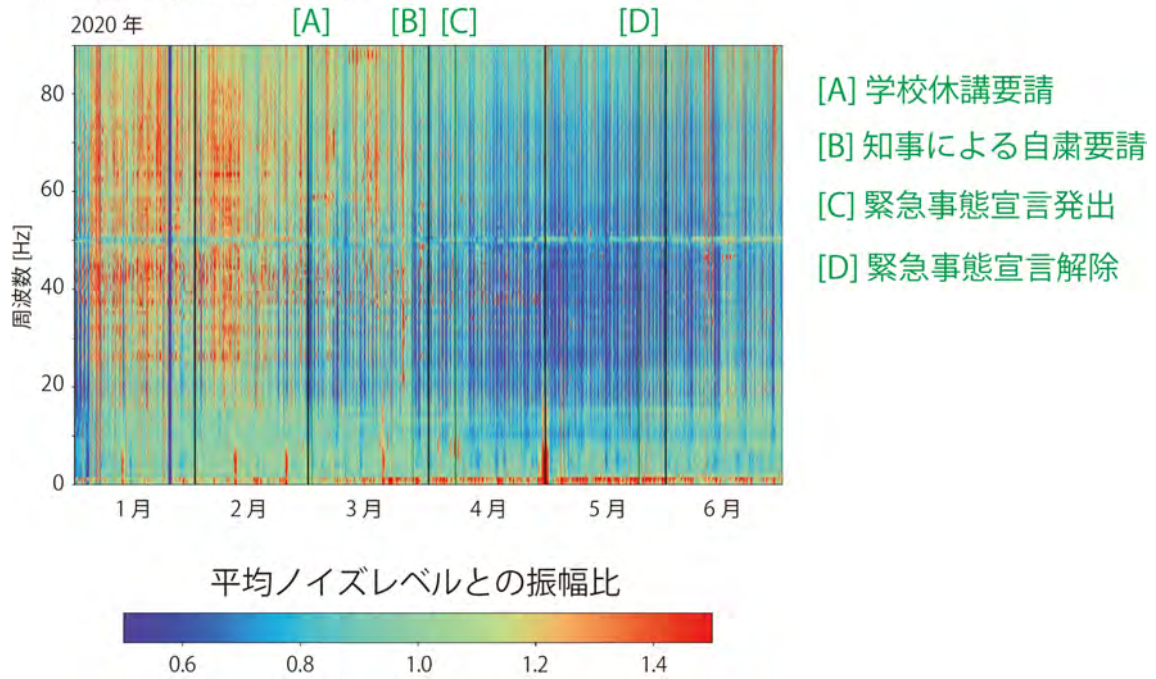


図 3

E.SBCM 観測点における 2020 年 1-6 月のノイズレベルのランニングスペクトル。新型コロナ流行以前のデータから定義された平均ノイズレベルに対する割合として表示している。緊急事態宣言などの社会に影響を与えた事象のタイミングでノイズレベルが変化している。( Yabe et al., 2020 )

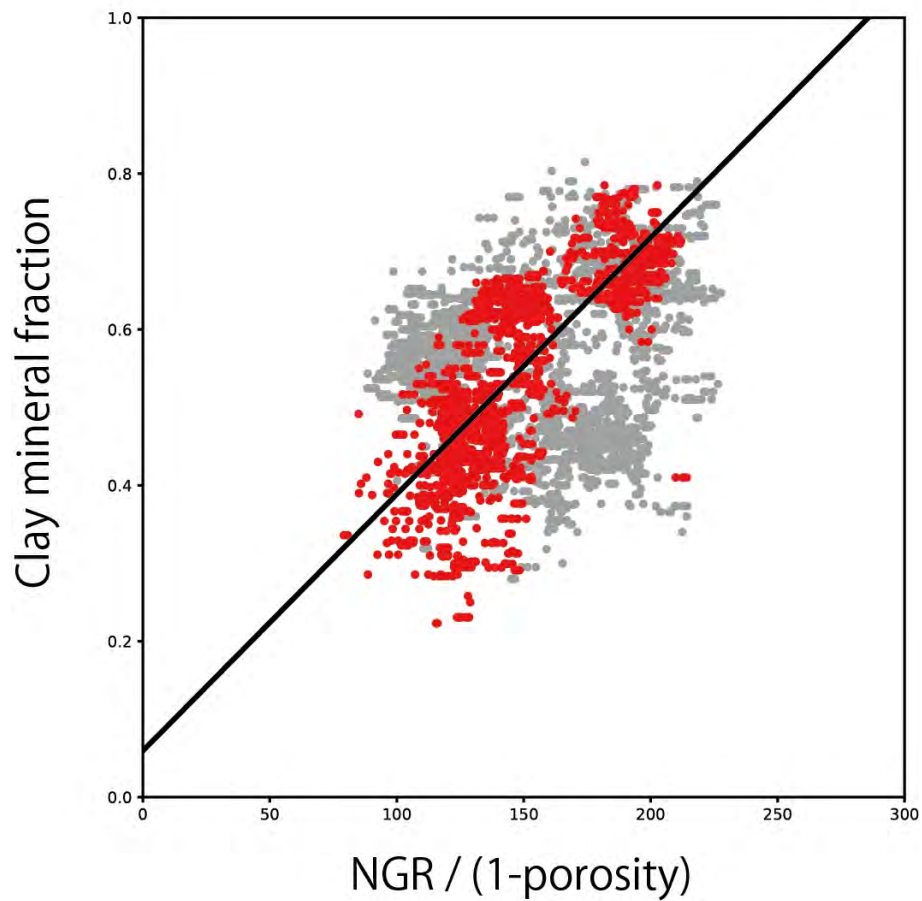


図 4

南海トラフにおける検層データとコア計測粘土鉱物量比のコンパイル結果。横軸は自然ガンマ線検層のデータを電気比抵抗検層のデータを用いて推定した空隙率を用いて規格化した値を示す。縦軸は取得したコアを用いて XRD によって計測された粘土鉱物量比。灰色の点は全てのデータをプロットしている。これらのうちから火山灰を多く含むなど傾向が異なると考えられる層を除いたデータ（赤点）は線形のトレンドを示しており、これを用いて経験式を構築した。（Yabe et al., 2020）

(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

工. 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・火砕流等地表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 2 年度の成果の概要 :

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実施した。日本及び近隣地域で発生した後期更新世以降の大規模噴火噴出物の地質学的解析から得られる噴火推移情報について昨年度から継続して情報収集を行い、本年度は鬼界アカホヤ、大山、白頭山など 6 噴火事例について情報収集しデータベースを作成した。また、世界各地の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について、本年度は 22 噴火事例を収集しデータベースに掲載した。霧島山 2018 年噴火、口永良部島 2018-2019 年噴火の噴出物の構成物解析を行い、噴火推移と対比して噴火推移および浅部マグマシステム・熱水系システムにおける噴火プロセスを復元した。さらに、巨大噴火の準備過程における噴火履歴および噴火推移過程の復元のため、阿蘇・屈斜路および始良カルデラ等において噴出物の層序および年代測定を実施した。さらに、得られた噴火推移に基づき噴出物の岩石学的解析を実施し、噴火準備過程におけ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実施した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Geshi, N., Yamada, I., Matsumoto, K., Nishihara, A., Miyagi, I. (2020) Accumulation of rhyolite magma and triggers for a caldera-forming eruption of the Aira Caldera, Japan. *Bulletin of Volcanology*, 82, 44. Takarada, S. and Joel Bandibas (2020) Volcanic hazards information and assessment systems, in *Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters*, ed. P. Papale, (Elsevier), 565-584. Takarada, S. and Hoshizumi, H. (2020) Distribution and eruptive volume of Aso-4 pyroclastic density current and tephra fall deposits, Japan: a M8 super-eruption. *Frontiers in Earth Science*, 8:170. doi: 10.3389/feart.2020.00170 金田泰明・後藤義瑛・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫(2020) 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移. 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 699, 産総研地質調査総合センター, p.1-75.

( 10 ) 令和 3 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を整備し、プロトタイプのパブリック公開を行う。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、日本国内外の後期更新世以降の代表的な噴火について、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。代表的な大規模噴火についての噴出物の分布についてのデータの取りまとめと公開を開始する。また噴出物の保存が良好な桜島・浅間山・霧島山などで、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、始良、阿蘇、鬼界カルデラなど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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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 2 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、支笏、洞爺、濁川、大山、十和田、阿蘇、鬼界、屈斜路火山における大規模噴火の前駆活動と噴火推移をとりまとめた。その成果の一部を GSI 研究資料集として公開した(金田ほか, 2020)。また、大規模噴火の前駆活動と噴火推移をとりまとめた大規模噴火データベースの構築を進めた(図 1)。さらに、第四紀の火山噴出物の詳細情報を WebGIS で閲覧できるようにした 20 万分の 1 日本火山図を作成し、一般公開を始めた(図 2; <https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/volcano20/volcano.html>)。火砕流堆積物や岩屑なだれ堆積物などの第四紀火山噴出物の情報が詳細にわかるシステムとなり、多くのユーザーに利用されている。国内外の十和田、屈斜路、洞爺、始良、オーガスティン、エルチヨン等 93 の主要降下テフラのデジタル化を進め、ハザード解析等に用いることが可能となった(図 3)。これらは来年度中の一般公開を目指している。フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS) などと協力し、新たにアジア太平洋地域地質ハザード情報システム (<https://ccop-gsi.org/gsi/geohazard/>) を作成し、アジア地域の地震、火山関連の大規模火砕流堆積物の分布、ハザードマップ等 80 以上のハザード情報を閲覧検索できるようになった(図 4)。

阿蘇 4 火砕流堆積物と降下テフラの分布と噴出量について、詳細に検討を行い、阿蘇 4 噴火の噴出量がこれまでの推定値 ( $>600 \text{ km}^3$ ) の 2 - 3 倍の  $930\text{-}1,860 \text{ km}^3$  であることを国際誌に掲載した (Takarada and Hoshizumi, 2020)。また、火山災害のハザード情報システムの内容を英文の教科書 "Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters, Paolo Papale ed. Elsevier) に掲載した (Takarada and Bandibas, 2020)。さらに、岩屑なだれの研究内容を、英文の教科書 "Volcanic Debris Avalanches, Springer) に掲載した (Bernard et al., 2020)。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Bernard, B., Takarada, S., Andrade, S.D. and Dufresne, A. (2020) Terminology and strategy to describe large volcanic landslides and debris avalanches, in Volcanic debris avalanches -from collapse to hazards-, eds. Matteo, R., Dufresne, A. and Procter, J., (Springer), 51-73.

金田泰明・後藤義瑛・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫 (2020) 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移。産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 699, 産総研地質調査総合センター, p.1-75.

宝田晋治・Bandibas, J. (2020) 東・東南アジア地域の大規模火砕流, 降下テフラ及びカルデラ. Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics, 2019-2, p.115-118.

Takarada, S. and Joel Bandibas (2020) Volcanic hazards information and assessment systems, in Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters, ed. P. Papale, (Elsevier), 565-584.

Takarada, S. and Hoshizumi, H. (2020) Distribution and eruptive volume of Aso-4 pyroclastic density current and tephra fall deposits, Japan: a M8 super-eruption. Frontiers in Earth Science, 8:170. doi: 10.3389/feart.2020.00170

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

平成 3 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。VEI5-6 クラスの国内外の大規模噴火の前駆活動や噴火推移を取りまとめるとともに、大規模噴火データベースの一般公開を目指す。20 万分の 1 日本火山図の更新を進め、GIS 化した降下テフラを一般公開する。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計画である。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :



産総研地質調査総合センター

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：産総研地質調査総合センター

電話：

e-mail：

URL：

(13) 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

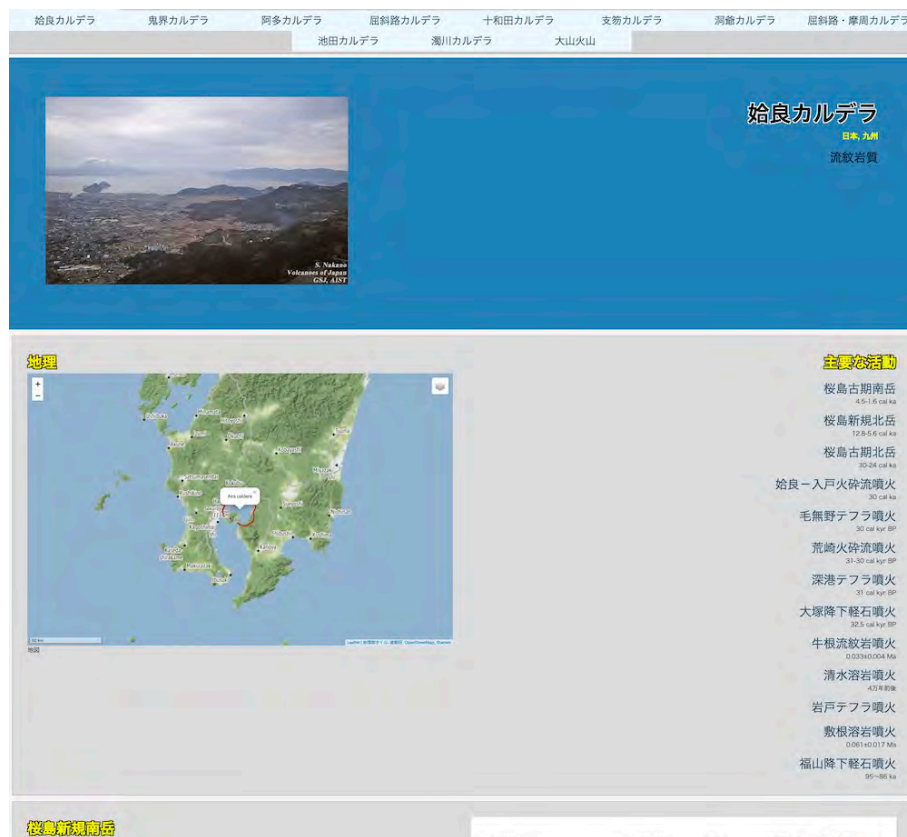


図1. 開発中の大規模噴火データベース。  
大規模噴火の前駆活動や噴火推移の閲覧が可能。

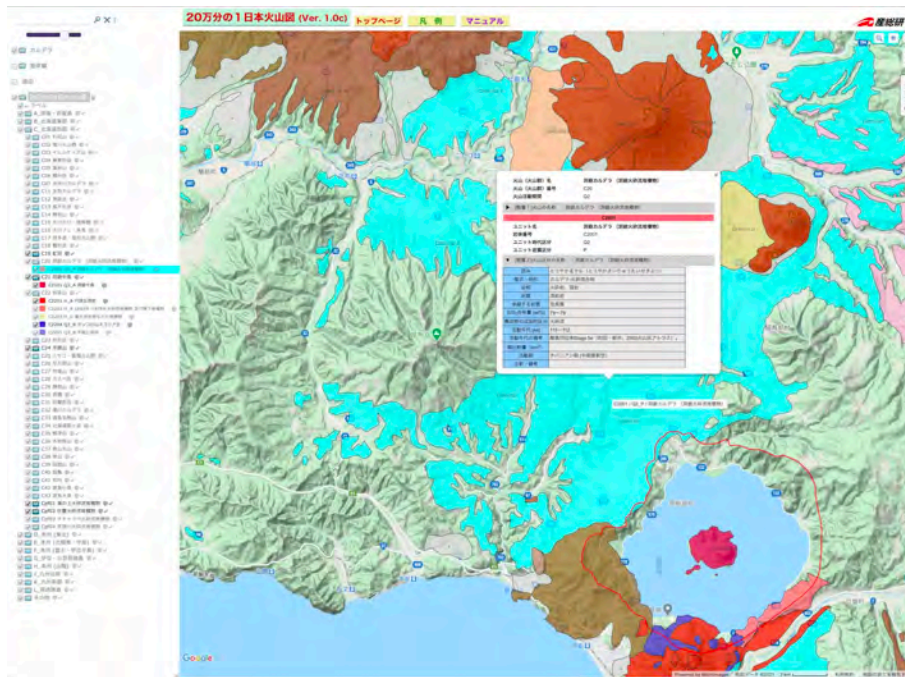


図2. 20万分の1日本火山図の閲覧検索サイト。  
 第四紀火山噴出物の分布や詳細情報を表示できる。

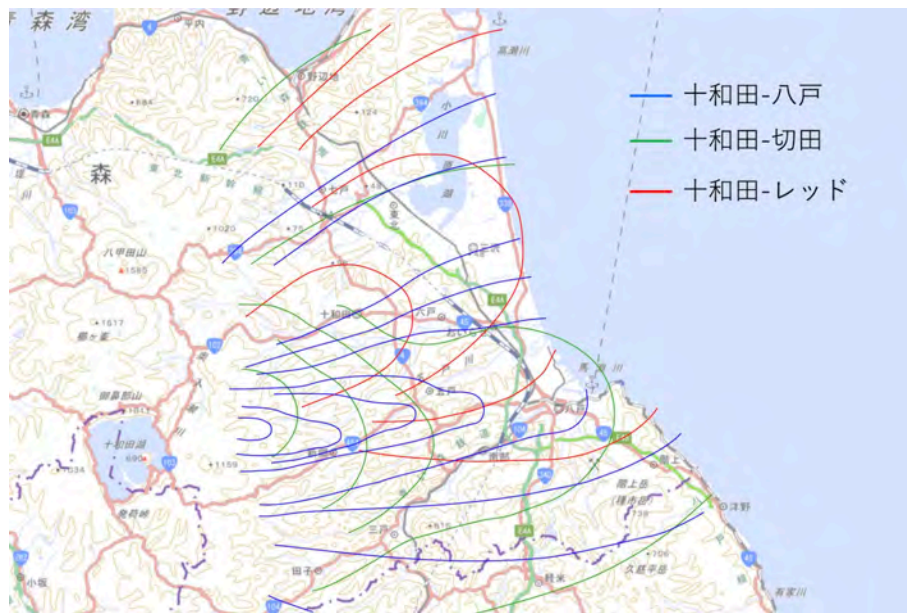


図3. GISによるデジタル化の事例。  
 十和田カルデラ起源の十和田八戸(青色)、十和田切田(緑色)、十和田レッド(赤色)降下テフラの等層厚線を示す。

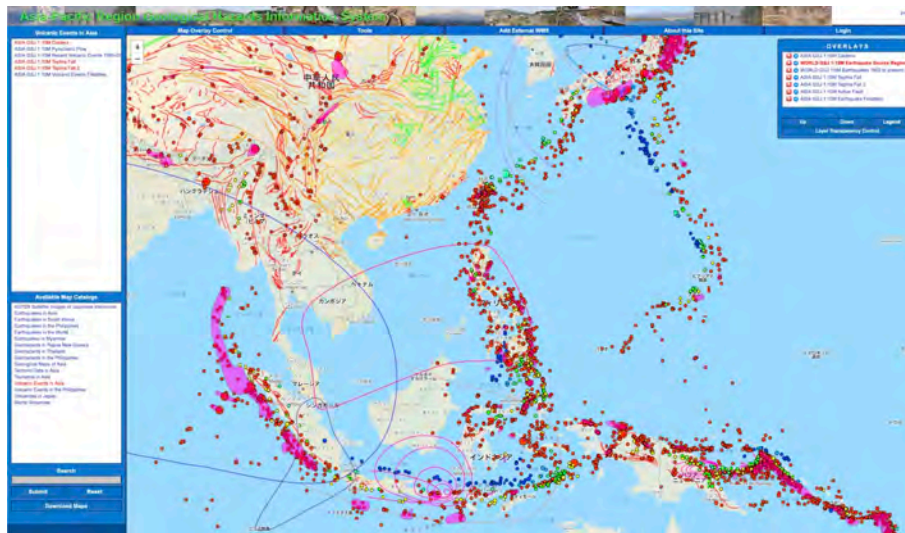


図 4 . CCOP 地質情報総合共有プロジェクトで構築したアジア太平洋地域地質ハザード情報システム。

(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) 大規模アウトライズ地震断層)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ターライズで高分解能 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、大規模アウターラ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ターライズで高分解能 Time-lapse MCS 調査を行い、大規模アウターラ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) 大規模アウターラ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。大規模アウターラ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、大規模アウターラ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 2 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。アウトサ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することによりホルスト・グラベン( 地壘・地溝 )構造が形成され、正断層型の地震( アウトサイズ地震 )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トサイズ地震は海溝型巨大地震の発生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、M 8.5 )の 37 年後に 1933 年昭和三陸地震( 大規模アウトサイズ地震、M 8.1 )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。一方、2011 年東北地方太平洋沖地震( M 9.0 )後には大規模アウトサ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。

2020 年 9 月、宮城沖日本海溝海側のアウトサイズでマルチチャンネル反射法地震探査( 「新青丸」KS-20-14 次航海 )を実施した。合計 2 測線でマルチチャンネル反射法地震探査( Multi-channel Seismic: MCS )データを取得した。MCS データを用いた重合前深度マイグレーション( Pre-stack Depth Migration )処理の結果、ホルスト・グラベン構造を形成する多数の海底活断層( アウトサイズ正断層 )の高解像度構造をイメージングした。2019 年と 2020 年の MCS 断面図でイメージングされたアウトサイズ正断層群の特徴( 例: fault offset, fault density, fault slope angle, fault type (recent or older) など )と堆積層を調べたところ、三陸沖( 図 1 )と宮城沖( 図 2 )のアウトサイズで正断層の発達様式が著しく異なることが明らかになった。fault offset の場合、三陸沖の方が宮城沖より大きい。三陸沖では recent fault( 海溝近くでプレートの折り曲げによる形成した新しい断層、海底面の offset は音響基盤の offset とほぼ同じ )が主に発達し、宮城沖では recent fault と older fault( 中央海嶺でプレートの形成に伴い形成し再活動を繰り返してきた断層、海底面の offset に比べて音響基盤の offset が著しく大きい )が混在する。また、宮城沖では海洋プレートの基本層序( 遠洋性堆積物、チャート層、玄武岩 )が維持されながら正断層が発達するが、三陸沖では海溝海側約 75 km 付近から海溝側へチャート層が不明瞭となり、層厚が著しく減少する。このように三陸沖と宮城沖のアウトサイズで正断層の発達様式が異なる要因はプチスポット火山活動の有無が考えられる。

なお、本課題の 5 か年計画では、令和 2 年度に南海トラフを対象とする調査研究を実施する計画であったが、「新青丸」を利用する共同利用の調査航海公募の都合で日本海溝調査の提案が令和 2 年度に採択されたため、令和 3 年度に実施する計画の調査研究を令和 2 年度に前倒して実施することになった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

Yuji Sano, Takanori Kagoshima, Naoto Takahata, Kotaro Shirai, Jin-Oh Park, Glen T. Snyder, Tomo Shibata, Junji Yamamoto, Yoshiro Nishio, Ai-Ti Chen, Sheng Xu, Dapeng Zhao, and Daniele L. Pinti, Groundwater Anomaly Related to CCS-CO<sub>2</sub> Injection and the 2018 Hokkaido Eastern Ibari Earthquake in Japan, *Front. Earth Sci.*, 8:611010, doi: 10.3389/feart.2020.611010, 2020.

Tomonaga, Y., K. Yagasaki, J.-O. Park, J. Ashi, S. Toyoda, N. Takahata, and Y. Sano, Fluid dynamics along the Nankai Trough: He isotopes reveal direct seafloor mantle-fluid emission in the Kumano Basin (southwest Japan), *ACS Earth and Space Chemistry*, 4 (11), 2105-2112, DOI: 10.1021/acsearthspacechem.0c00229,

2020.

Tsuru, T., J.-O. Park, K. Amakasu, T. No, K. Arai, T. Inoue, S. Furuyama, K. Uchida, and Y. Nakamura, Possible fluid discharge associated with faults observed by a high-resolution dense-2D seismic reflection survey in Uchiura Bay off Numazu, Japan, *Earth, Planets Space*, 72, 121, 2020.

Jih-Hsin Chang, Jin-Oh Park, Tzu-Ting Chen, Asuka Yamaguchi, Tetsuro Tsuru, Yuji Sano, Ho-Han Hsu, Kotaro Shirai, Takanori Kagoshima, Kentaro Tanaka, and Chiori Tamura, Structural-morphological and sedimentary features of forearc slope off Miyagi, NE Japan: implications for development of forearc basins and plumbing systems, *Geo-Marine Letters*, <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00636-w>, 2020.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 3 年度には、南海トラフ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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

朴進午、芦寿一郎、山口飛鳥、佐野有司、高畑直人、鹿児島涉悟  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:iarp@aori.u-tokyo.ac.jp)

URL : <http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/>

( 13 ) 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

## Kirchhoff Prestack Depth Migration (Line 1)

17

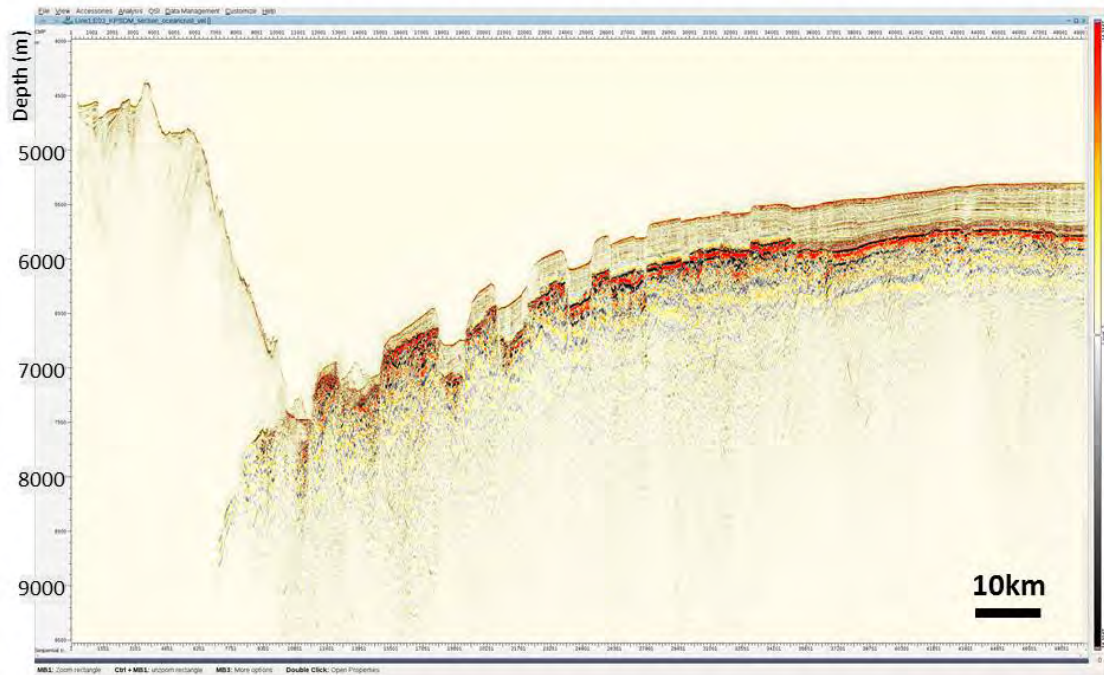


図 1。

三陸沖日本海溝海側のアウターライズ断層構造を示す重合前深度マイグレーション ( Pre-stack Depth Migration ) 処理結果。



## Kirchhoff Prestack Depth Migration (Line 5)

20

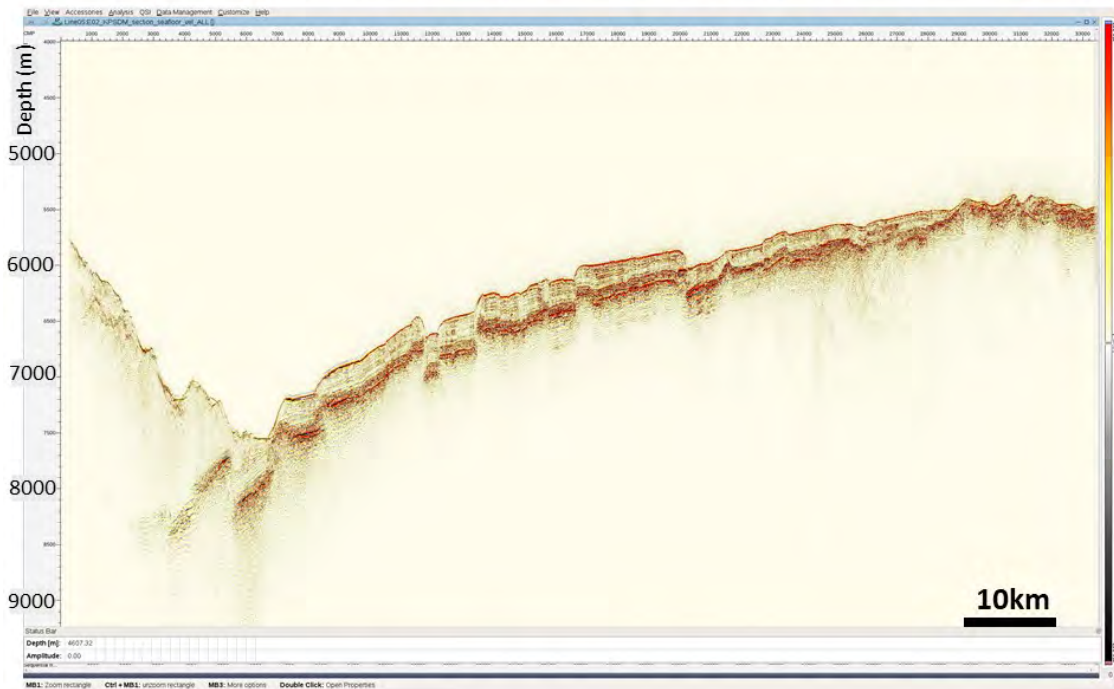


図 2。

宮城沖日本海溝海側のアウターライズ断層構造を示す重合前深度マイグレーション ( Pre-stack Depth Migration ) 処理結果。

(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ブ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 2 年度の成果の概要 :

昨年度に引き続き東北沖北太平洋アウターライズ海域を調査対象として、深層海水および海底堆積物を採取しヘリウムの観測を行なった。調査した海域にはプチスポットと呼ばれる海底火山が存在し、その成因や活動についてはよくわかっていない。さらにアウターライズ地震が起こるとされる海底巨大断層にも着目し、海底火山と同じく深部流体の存在を調査した。その結果、昨年度に堆積物中の間隙水からマントル由来と考えられるヘリウムが検出された場所では、今回の観測でも同様にマントルヘリウムが検出され、継続的にマントルからの物質の供給があることが示唆された。プチスポット火山だけでなく巨大断層における深部流体の挙動を調べる上でもヘリウムが有効であることを示している。同様の調査を紀伊半島沖の南海トラフでも行なっており、堆積物中間隙水のヘリウムの分析結果から、巨大断層を通してマントル由来の物質が供給されていることを明らかにした。さらに太平洋とインド洋を結ぶインドネシア通過流の出口であるインドネシア沖インド洋において深層海水のヘリウムの観測を行ない、インドネシア通過流の深層部分の流量を推定するとともに、インドネシア多島海域における海底火山活動について考察した。

一方で、陸上火山の調査としては、継続して調査している箱根火山においてヘリウムの観測を行なった。他には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。また、阿蘇山周辺における温泉水のヘリウムの観測結果をまとめ、カルデラ火山の地下構造が成層火山とは異なることを明らかにした。このようにヘリウムは陸上の火山活動の評価にも有効である。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

- Tomonaga, Y., K. Yagasaki, J.-O. Park, J. Ashi, S. Toyoda, N. Takahata and Y. Sano, 2020, Fluid Dynamics along the Nankai Trough: He Isotopes Reveal Direct Seafloor Mantle-Fluid Emission in the Kumano Basin (Southwest Japan). *ACS Earth Space Chem.*, 4, 2105-2112, doi:10.1021/acsearthspacechem.0c00229
- Escobar, M., N. Takahata, H. Obata and Y. Sano, 2021, Observation of the deep Indonesian throughflow using helium isotopes. *J. Oceanog.*, 77, 93-101, doi: 10.1007/s10872-020-00560-8
- Snyder, G.T., Y. Sano, N. Takahata, R. Matsumoto, Y. Kakizaki, H. Tomaru, 2020, Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea. *Chem. Geol.*, 535, 119462, doi:10.1016/j.chemgeo.2020.119462
- Chen A., Y. Sano, T.B. Byrne, N. Takahata, T.F. Yang, Y. Wang and C.-C. Shen, 2020, Helium isotopic signature of a plate boundary suture in an active arc-continent collision. *ACS Earth Space Chem.*, 4, 1237-1246, doi: 10.1021/acsearthspacechem.0c00038
- Sano Y., S. Onda, T. Kagoshima, T. Miyajima, N. Takahata, T. Shibata, C. Nakagawa, T. Onoue, N.K. Kim, H. Lee, M. Kusakabe and D.L. Pinti, 2020, Groundwater oxygen anomaly related to the 2016 Kumamoto

earthquake in Southwest Japan. Proc. Jpn. Acad., Ser. B, 96, doi:10.2183/pjab.96.024

Kim, H., H. Lee, J. Lee, H.A. Lee, N.C. Woo, Y.-S. Lee, T. Kagoshima, N. Takahata and Y. Sano, 2020, Mantle-derived helium emission near the Pohang EGS site, South Korea: Implications for active fault distribution. Geofluids, 2359740, doi: 10.1155/2020/2359740

( 10 ) 令和 3 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。また無人島を含む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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 佐野有司

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：

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(UHF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

- ・ UHF 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 大気圏 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  $R_n$  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 2 年度の成果の概要 :

[1] 観測

・ 地圏 大気圏 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昨年度末に完成予定だった茨城・美浦観測点の設置完了が 2020 年 9 月に、今年度新設予定の観測点は未設置である。美浦観測点では 2020 年 9 月より、ULF 帯電磁場観測、地中・大気ラドン濃度観測、大気電場観測、大気イオン濃度観測、気象観測を開始した。また、昨年度末に予定していた四国・九州の観測点保守作業 ( ロガー交換等 ) は 2020 年 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。一方、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。北海道えりも観測点の 3 成分磁力計の観測 2020 年 11 月より再開した。

[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

Hattori et al., 2013 ( Survey in Geophysics ) では 2000 年から 2010 年に房総半島 ( 清澄観測点 ) と伊豆 ( 清越観測点 ) で観測された磁場データについて調査し、観測点付近で発生したある程度の大きさ以上の地震と ULF 磁場異常の出現には有意相関があることを示した ( 図 1、2 参照 )。今年度は Hattori et al., 2013 と同じデータセットでこれらのデータの地震前兆性について Molchan 's Error Diagram 解析に基づき詳細に調査した結果を Entropy ( Han et al., 2020 ) で報告した。確率利得 ( PG ) と確率差 ( D ) を導入して、予測パフォーマンスを定量化し、2 か所の ULF 磁場観測点の最適な予測パラメータを調査した。その結果は、磁場異常に基づく地震予測がランダムな推測よりも大幅に優れていることを示しており、房総半島 ( 清澄観測点 ) と伊豆 ( 清越観測点 ) で観測された磁場データに潜在的に有用な前兆情報が含まれていることを示した。また、先行情報には、明確な震源距離 ( R ) とターゲット地震イベントのサイズ (  $E_s$  : 観測点が受信する地震エネルギー ) に依存することを示した。伊豆の清越観測点および房総の清澄観測点での最適な R および  $E_s$  パラメータは、それぞれ約 ( 100 km、 $10^{8.75}$  ) と ( 180 km、 $10^{8.75}$  ) であることがわかった ( 図 3、4 参照 )。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運用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。

B . 地中ラドン濃度解析

昨年度に引き続き、線量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 9 月より美浦観測点が新設された。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。これは、降雨による荷重増加と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と考えられ、適切に除去する方法の開発が望まれる。

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 年インドネシア・ロンボク地震 ( 事例 + 統計解析 ) 中国との共同研究

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・ロンボク島付近で発生した M6 クラスの4つの地震との関係を調査した。CSES-1の初期データのチェックを含めて解析を行った。今回は震源が浅い4つの連続する地震(2018年7月28日 M6.4、2018年8月5日、9日、19日 M6.8、5.9、6.9)に関連する地震前電離層効果の特性を調査した。具体的には、CSES-1に搭載されたラングミュアプローブ(LAP)によって検出された電離層電子密度( $N_e$ )の移動中央値を調査した。その結果、4つの地震のちょうど1、5、2、5日前の7月27日の軌道#2660-0、7月31日の軌道#2721-0と#2728-1、8月7日の軌道#2827-0と#2735-1、8月14日の軌道#2934-0で顕著な電子密度の増加を示した。また、電子数異常を検知した場所は、震源から2000km以内の北北東部であった。これらの軌道と時空間的に近接する軌道データおよび国際電離圏モデル2016(IRI-2016)の予測値とを比較検討したところ、CSES-1のデータは4つの地震に先行する電離圏電子数異常を検知した可能性が高いことを示した。これらの結果をより説得力のあるものにするために、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、時空間分布の両方で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M5.8、深さ50kmの地震に対して Superposed Epoch Analysis(SEA)法を実施したところ、この地域の震源地から2000km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として強く示唆された。(Song et al., J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2020)

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

GNSSネットワークで観測できる地震に伴う電離圏TEC変動の解説論文を発行した。地震の隆起/沈下は音波を励起し、周期が4~5分の成分が電離圏F層に伝播し、TEC振動を引き起こす。そして地震の約10分後に、速度(~1 km/s)で磁気赤道に向かって伝播する突然のTEC振動として出現する。非常に大きな地震の後には、何時間も続く共鳴大気振動が続くことがよくある。レイリー表面波も音波を発生させ、震源地から数千キロメートル離れた場所でTEC振動を引き起こす。大地震の直前に発生するTECの変化は、地震の10-80分前に始まり、破壊しそうな断層の上に正の電子密度異常を作る。18の地震Mw7.3-9.2の比較は、それらの主要な時間、TEC率の変化、および累積的な異常におけるMwとの正の相関を示した。電子密度異常の3次元構造は、電離圏を介した、おそらく表面電荷による電場の浸透によって引き起こされた $E \times B$ ドリフトによって形成されることを紹介した(WileyAGUbook)。また、インドネシアの2010年Merapi火山噴火や2020年8月4日のレバノンの大爆発に関連する電離圏電子密度の擾乱についても解析した(Cahyadi, et al., J. Volc. Geothe. Res., 2020; Kunduet al., Nature Scientific Rep., 2021)。2011年東北地方太平洋沖地震の直前・直後の電離圏トモグラフィもJGR(Musfiry and Heki, 2020)で報告した。

## (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) 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、レイリー波と津波の下でより顕著なTIDが誘発されることを発見した。地震波の水平速度は約2-3 km/s、津波の水平速度は2-300 m/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擾乱は明確に区別できる。2018年9月28日、インドネシア・スラウェシ島でMw7.8の地震が発生し、津波が発生した。5カ所の地上GNSS観測点を用いて、このスラウェシ津波によって誘発された15のTTIDを検出し、津波の発生源の場所を推定した(Liu et al., J. Earthquake and Tsunami, 2019)。

## (4) イオノゾンデ統計解析

本報告のULF磁場データの地震前兆性に関する統計解析を情報通信機構の国分寺イオノゾンデ観測データ(1958年1月1日-2019年9月30日)に実施した。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)について統計解析(Superposed Epoch Analysis)を行い調



査した。また、NmF2 異常が地震に対し最も前兆的となる条件を Molchan 's Error Diagram 解析を用いて調査した。その結果、NmF2 異常は地震との間に有意相関があり、かつ震央距離依存性、震源の深さ依存性、マグニチュード依存性があることがわかった。また、NmF2 異常はより震央距離が近い地震ほど、より震源の深さが浅い地震ほど、よりマグニチュードが大きい地震ほど前兆的となることがわかった。特に、震源の深さ 20 km 以浅、震央距離 200 km 以内、マグニチュード 6.4 以上の地震を対象とした場合、NmF2 異常の 10 日後に対象の地震の約 46% で予測に成功するという結果が得られた。これらの結果は電離圏電子数の異常変動には地震前兆の情報が含まれていることを示唆している。引き続き詳細な調査を実施中である(三石他、令和 3 年 1 月 8 日本大気電気学会研究発表会 online)。

#### (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

Philipps-Tihkonov 正則化法およびカルマンフィルターを用いた電離圏トモグラフィーの開発中である。

#### 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

近年、さまざまな種類の非地震学的パラメータの異常な変動と地震の発生との間の時空間関係が報告されることがよくある。ここでは大気パラメータの異常変動と地震発生との間の時空間関係を統計的に調査した。具体的には衛星熱異常 (SSTA) で、イタリアの Tramutoli のグループの手法について調査・解析を実施した。彼らの手法はロバスト衛星技術 (RST) データ分析手法と言われている。この手法を日本の気象衛星 MT-SAT1R、MT-SAT2 (ひまわり 6-7 号) データに応用した。SSTA 解析に使用したデータは、2005 年 6 月から 2015 年 12 月までの 11 年間の夜間衛星画像 (波長 10.8  $\mu$  m、00:30LT) である。解析の概要は (1) SSTA 検知には、RST アプローチと RETIRA インデックスを用いる (Tramutoli et al., 2005)、(2) SSTA と  $M_{JMA}$  6 の日本の地震との相関分析は、空間、時間、マグニチュードに関する適切な制約を適用して実行した。解析結果のハイライトは (a) 11 年間の観測期間中にわずか 29 の SSTA が発生、(b) 18 の SSTA (つまり、62%) は、地震との見かけの時空間関係で発生、(c) そのうち 13 個は地震の前に発生、したことである。また、Molchan 's Error Diagram 解析結果は、「RST ベースの衛星熱異常」と地震発生との偶然では説明できない相関関係があることがわかった。特に、 $M_{JMA}$  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がわかった (図 5 参照) (Genzano et al., JGR SE, 2021)。

#### 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

中国・四川省 雲南省の龍門山断層帯の南西端にある 6 つの YRY-4 孔内ひずみ計からのデータを分析して、構造ひずみの変化と 2013 年 8 月の Lushan 地震との関係を調査した。適応カルマンフィルターを用いて気圧、潮汐、水位の変化によるひずみ応答を除去して、非構造的擾乱を優先的に分離する状態空間モデルを開発した。既知の変動を除去した歪変動と近似ネグントロピー (ApNe) と b 値が導入され、局所的な地震活動と比較された。Lushan 地震に最寄りの観測点とさらに 2 つの観測点では、地震の 6~4 か月前にほぼ同時に短期間の ApNe 異常を記録した。またその領域の b 値も同時に低いことを示した。孔内歪計からうまく気圧、潮汐、水位の変化に対応する応答を除去できれば、地震前兆的な変動を検出できる可能性があることを示した。(Yu et al., IEEE access, 2021)

同上の中国・四川省 雲南省の龍門山断層帯の孔内歪計網の 2011-2014 年のデータを用いて、大地震に先行する認識可能な歪データの異常変動があるかどうかを調査した。本研究では 6 か所の孔内歪計データを調査した。各サイトが受信する地震エネルギー  $E_s$  を用いて、地震イベントを選択した。各歪計データの相関度を調査するために、マルチチャンネル特異スペクトル解析 (MSSA) を用いて、周期成分、地震に関連する成分、ノイズ成分等に分解し、各歪計データの相関度を決定した。ネットワーク結合度数を相関度の高い観測点の組み合わせ数と定義し、全観測期間中の歪データのネットワーク結合度数の変化を調査し、上位 20% を異常と定義し、地震との相関を調査した。その結果、ポアホール歪ネットワークの結合度異常と局所的な地震活動 ( $E_s > 10^5$ ) が相関していることを示した。特に、 $E_s > 10^7$  の 13 個の地震のうち 11 個でネットワーク結合度異常が増加していた。また、歪計ネットワーク結合度の強化が規模の大きい地震の前 30 日以内に出現する傾向が高いこともわかった。MSSA を用いた歪計ネットワークの結合度解析は、地震発生プロセスの理解に役立つ可能性がある。(Yu et al.,

Entropy, 2020 )

ひずみ異常のモニタリングと局地的な大地震との相関関係が確認されたので、ROC を用いて、歪データに地震前兆情報が含まれるかどうかを評価した。ここでは 2010 年から 2017 年の孔内歪計データを使用した。歪計ネットワークは歪計データの地震に関連する異常検知に関する先行研究の Entropy2020 や IEEEAccess2021 よりも少し広範囲になる。先行研究同様に歪データのネットワーク異常を調査し、異常を検知した観測点の数  $N_{ano}$  と地震に対する警告時間の長さ  $T_{alm}$  を用いた ROC 曲線によって評価した。その結果、最適な予測は 14 日以内に  $N_{ano} = 7$  とし、 $T_{alm}=1$  日の場合であることがわかった。また、規模が大きい地震ほど、予測結果がよいことがわかった。ROC 調査により、歪データに大地震に関連する先行情報が含まれていることを示した。( Yu et al., Remote Sensing, 2021 )

### [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らなかった。

a. JpGU における国際セッション Interdisciplinary studies on pre-earthquake processes ( 幕張メッセ、2020 年 7 月 16 日、Online 開催、講演数：口頭 5 件、ポスター 17 件 )

b. 7<sup>th</sup> Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process ( 千葉大学開催予定 ) は中止。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Song, R., K. Hattori, X. Zhang, and S. Saito, 2020, Indonesia detected by the China Seismo-Electromagnetic Satellite, *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.*, **205**, doi:10.1016/j.jastp.2020.105291.
- Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, C.-H. Chen, F. Febriani, H. Chen, C. Yoshino, and S. Yoshida, 2020, Assessing the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data recorded in Kanto, Japan during 2000 - 2010: distance and magnitude dependences, *Entropy*, **22**, 859, doi:10.3390/e22080859.
- Liu, J.-Y., C.-Y., Liu, Y.-I. Chen, T.-R. Wu, M.-J. Chung, T.-C. Liu, Y.-L. Tsai, L. C. Chang, C.-K. Chao, D. Ouzounov, and K. Hattori, 2020, The Source Detection of 28 September 2018 Sulawesi Tsunami by Using Ionospheric GNSS Total Electron Content Disturbance, *Geoscience Lett.*, **7**, 11, doi:10.1186/s40562-020-00160-w.
- Tsutsumi, R., K. Hattori, C. Yoshino, and N. Genzano, 2020, Detection of Thermal Changes Related to the 2011 Shinmoedake Volcano Activity, Japan: Spatiotemporal Variation of Singularity of MODIS Data After Discriminating False Changes Due to Cloud, *Remote Sensing*, **12**, 2637, doi:10.3390/rs12162637.
- Yu, Z., K. Hattori, K. Zhu, C. Chi, M. Fan, and X. He, 2020, Detecting earthquake-related anomalies of a borehole strain network based on multi-channel singular spectrum analysis, *Entropy*, **22**, 1086, doi:10.3390/e22101086.
- Huang, Q., P. Han, K. Hattori, and H. Ren, 2020, Electromagnetic Signals Associated With Earthquakes: A Review of Observations, Data Processing, and Mechanisms in China, *Seismoelectric Exploration: Theory, Experiments, and Applications*, edited by Grobde, N., Revil, A., Zhu, Z., Slob, E, Wiley, 415-436, doi:10.1002/9781119156949.ch26.
- 金子 柁・茂木 透・服部克巳, 2020, マルチチャンネル特異スペクトル解析 (MSSA) を用いた MT データのノイズ除去法の開発, *J. Atmospheric Electricity*, **39**(1), 37-41, doi:10.1541/jae.39.37.
- Chen, H., R. Wang, M. Miao, X. Liu, Y. Ma, K. Hattori, and P. Han, 2020, A Statistical Study of the Correlation between Geomagnetic Storms and  $M \geq 7.0$  Global Earthquakes during 1957-2020, *Entropy*, **22**(11), 1270, doi:10.3390/e22111270.
- 小島春奈・吉野千恵・根本和秀・服部克巳・小西敏春・古屋隆一, 2020, 千葉県旭観測点における地中ラドン濃度のマルチチャンネル特異スペクトル解析：地中ラドンフラックス変動の推定と地震活動との関係の序報, *J. Atmospheric Electricity*, **39**, 46-51, doi:10.1541/jae.39.46.
- Genzano, N., C. Filizzola, K. Hattori, N. Pergola, and V. Tramutoli, 2021, Statistical correlation analysis between thermal infrared anomalies observed from MTSATs and large earthquakes occurred in Japan (2005-2015), *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **126**(2), doi:10.1029/2020JB020108.

- Yu, Z., K. Zhu, K. Hattori, C. Chi, M. Fan, K. Li, X. He, and W. Xie, Investigation of pre-seismic borehole strain data associated with the 2013 Lushan earthquake, 2021, *IEEE Access*, **9**, 12167-12179, doi:10.1109/ACCESS.2021.3051614.
- Parrot, M., V. Tramutoli, Tiger J.Y. Liu, S. Pulinets, D. Ouzounov, N. Genzano, M. Lisi, K. Hattori, and A. Namgaladze, 2021, Atmospheric and ionospheric coupling phenomena associated with large earthquakes, *Eur. Phys. J. Special Topics*, **230**, 197-225, doi:10.1140/epjst/e2020-000251-3.
- Yu, Z., K. Hattori, K. Zhu, M. Fan, D. Marchetti, X. He, and C. Chi, 2021, Evaluation of pre-earthquake anomalies of borehole strain network by using Receiver Operating Characteristic Curve, *Remote Sensing*, **13**(3), 515, doi:10.3390/rs13030515.
- Hashima, A., H. Sato, and T. Sato, 2020, Stress loading and the occurrence of normal-type earthquakes under Boso Peninsula, Japan, *Earth Planets Space*, **72**:79, doi:10.1186/s40623-020-01201-6.
- Susukida, Y., K. Katsumata, M. Ichiyanagi, M. Ohzono, H. Aoyama, R. Tanaka, M. Takada, T. Yamaguchi, K. Okada, H. Takahashi, S. Sakai, S. Matsumoto, T. Okada, T. Matsuzawa, H. Miyamachi, S. Hirano, Y. Yamanaka, S. Horikawa, M. Kosuga, H. Katao, Y. Iio, A. Nagaoka, N. Tsumura, T. Ueno, and The Group for the Aftershock Observations of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, 2021, Focal mechanisms and the stress field in the aftershock area of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake (M-JMA=6.7), *Earth Planets Space*, **73**:1, doi:10.1186/s40623-020-01323-x.
- Matsushima, N., M. Utsugi, S. Takakura, T. Yamasaki, M. Hata, T. Hashimoto, and M. Uyeshima, 2020, Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, inferred from electrical resistivity structures, *Earth Planets Space*, **72**:57, doi:10.1186/s40623-020-01180-8.
- Enomoto, Y., K. Heki, T. Yamabe, S. Sugiura, and H. Kondo, 2020, A possible causal mechanism of geomagnetic variations as observed immediately before and after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Open J. Earthq. Res.*, **9**, 33-49, doi:10.4236/ojer.2020.92003.
- Heki, K., 2020 preprint, Chapter 5-3: Ionospheric disturbances related to earthquakes in *Advances in ionospheric research: Current understanding and challenges*, Wiley/AGU Book Space Physics and Aeronomy, Volume 3, edited by C. Huang and G. Lu, pp.320, ISBN:978-1-119-50755-0.
- Muafiry, I. N. and K. Heki, 2020, 3D tomography of the ionospheric anomalies immediately before and after the 2011 Tohoku-oki (Mw9.0) earthquake, *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, **125**, e2020JA027993, doi:10.1029/2020JA027993.
- Cahyadi, M. N., R. W. Rahayu, K. Heki, and Y. Nakashima, 2020, Harmonic ionospheric oscillation by the 2010 eruption of the Merapi volcano, Indonesia, and the relevance of its amplitude to the mass eruption rate, *J. Volcanol. Geothermal Res.*, **405**, 107047, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.107047.
- Kundu, B., B. Senapati, A. Matsushita, and K. Heki, 2021, Atmospheric wave energy of the 2020 August 4 explosion in Beirut, Lebanon, from ionospheric disturbances, *Sci. Rep.*, **11**, 2793, doi:10.1038/s41598-021-82355-5.
- Nakatani, M., 2020, Evaluation of Phenomena Preceding Earthquakes and Earthquake Predictability, *J. Disaster Res.*, **15**(2), 112-143, doi:10.20965/jdr.2020.p0112.
- Matsumoto, S., T. Okada, T. Terakawa, M. Uyeshima, and Y. Iio., 2020, The Advancement of Research on Inland Earthquake Generation 2014-2018, *J. Disaster Res.*, **15**(2), 96-105, doi:10.20965/jdr.2020.p0096.
- Abdallah, S., M. Utsugi, K. Aizawa, M. Uyeshima, W. Kanda, T. Koyama, and T. Shiotani, 2020, Three-dimensional electrical resistivity structure of the Kuju volcanic group, Central Kyushu, Japan revealed by magnetotelluric survey data, *J. Volcanol. Geothermal Res.*, **400**, 106898, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.106898.
- Ye, T., X. Chen, Q. Huang, L. Zhao, Y. Zhang, and M. Uyeshima, 2020, Bifurcated Crustal Channel Flow and Seismogenic Structures of Intraplate Earthquakes in Western Yunnan, China as Revealed by Three Dimensional Magnetotelluric Imaging, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **125**(9), e2019JB018991, doi:10.1029/2019JB018991.

- Yuan, Y., M. Uyeshima, Q. Huang, J. Tang, Q. Li, and Y. Teng, 2020, Continental-scale deep electrical resistivity structure beneath China, *Tectonophysics*, **790**, 228559, doi:10.1016/j.tecto.2020.228559.
- 長尾年恭・鴨川 仁, 2020, 地震・火山噴火予知研究と電磁気観測, 日本磁気学会『まぐね』, **15**(5), 264-271.
- Wada, Y., T. Enoto, Y. Nakamura, T. Morimoto, M. Sato, T. Ushio, K. Nakazawa, T. Yuasa, D. Yonetoku, T. Sawano, M. Kamogawa, H. Sakai, Y. Furuta, K. Makishima, and H. Tsuchiya, 2020, High Peak Current Lightning Discharges Associated With Downward Terrestrial Gamma Ray Flashes, *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, **125**(4), e2019JD031730, doi:10.1029/2019JD031730.

(10) 令和3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 大気圏 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(初年度)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関連の調査の継続。
- ・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確率の変動の調査。
- ・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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

千葉大学: 大学院理学研究院 服部克巳、佐藤利典、津村紀子

他機関との共同研究の有無: 有

北海道大学: 橋本武志、日置幸介

東京大学地震研究所: 中谷正生、上島誠、小河勉

京都大学防災研究所: 吉村令慧

京都大学大学院情報学研究科: 梅野健

九州大学: 松島健、相澤広記

大阪大学: 山中千博

東海大学: 長尾年恭

東京学芸大学: 織原義明

静岡県立大学：鴨川仁  
群馬大学：本島邦行  
中部大学：井筒潤  
高知工科大学：山本真行

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：千葉大学大学院理学研究院

電話：043-290-2801

e-mail：

URL：

(13) 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

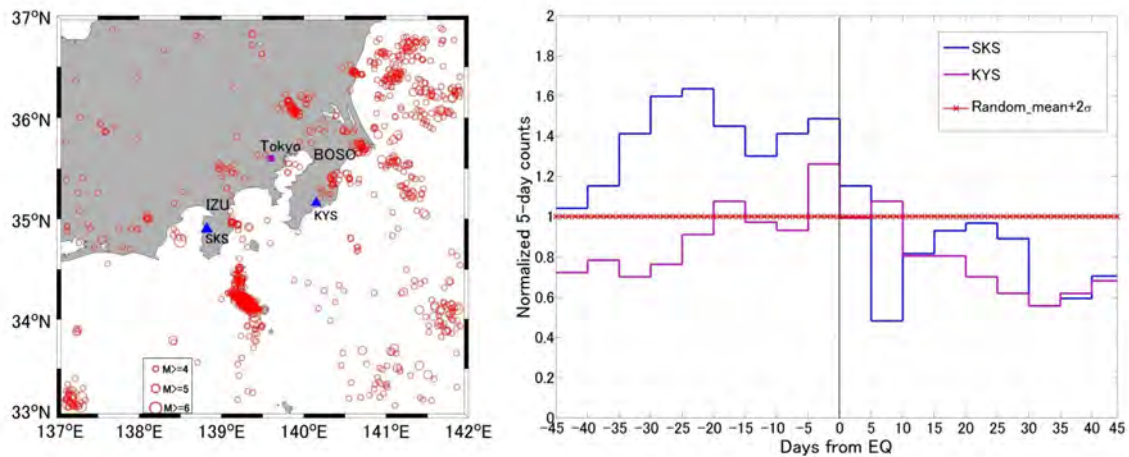


図 1.

(左) ULF 磁場観測点とその近傍の地震の空間分布。青い三角形は、伊豆半島と房総半島の磁場観測点を示す。赤い白丸は、2000 年から 2010 年の間に  $M \geq 4.0$  で深さが 60km 未満の地震の震央。

(右) 2000 年から 2010 年の伊豆と房総における SEA による ULF 磁気異常の統計結果。青と紫の線は、それぞれ清越 (SKS) と清澄 (KYS) の 5 日間のカウントの結果を示す。赤い線はランダム平均+2 $\sigma$  のしきい値。5 日間のカウント値は、各ステーションの対応するランダム平均+2 $\sigma$  によって正規化した。縦の黒い破線 (0 日) は、 $E_s$  パラメーターが  $10^8$  より大きい日を示す。(Hattori and Han, 2013 に加筆)

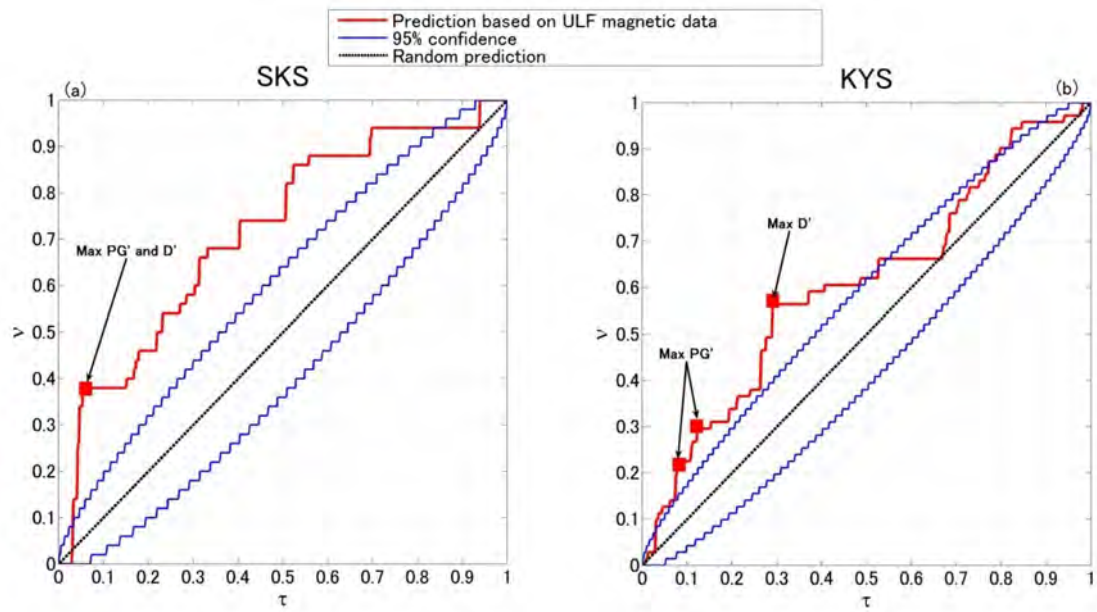


図 2.

SKS と KYS で観測された磁場異常の Molchan Error Diagram 解析図。警告期間  $L$  は 1 日、先行日数  $M$  は 5 日に設定。SKS の場合は  $R = 100\text{km}$  および  $E_s = 10^8$ 、KYS の場合は  $R = 150\text{km}$  および  $E_s = 10^8$ 。赤い実線は予測曲線を示す。黒線はランダム推定、青線はランダム予測の 95 % 信頼区間を示す。( Hattori and Han, 2013 に加筆 )

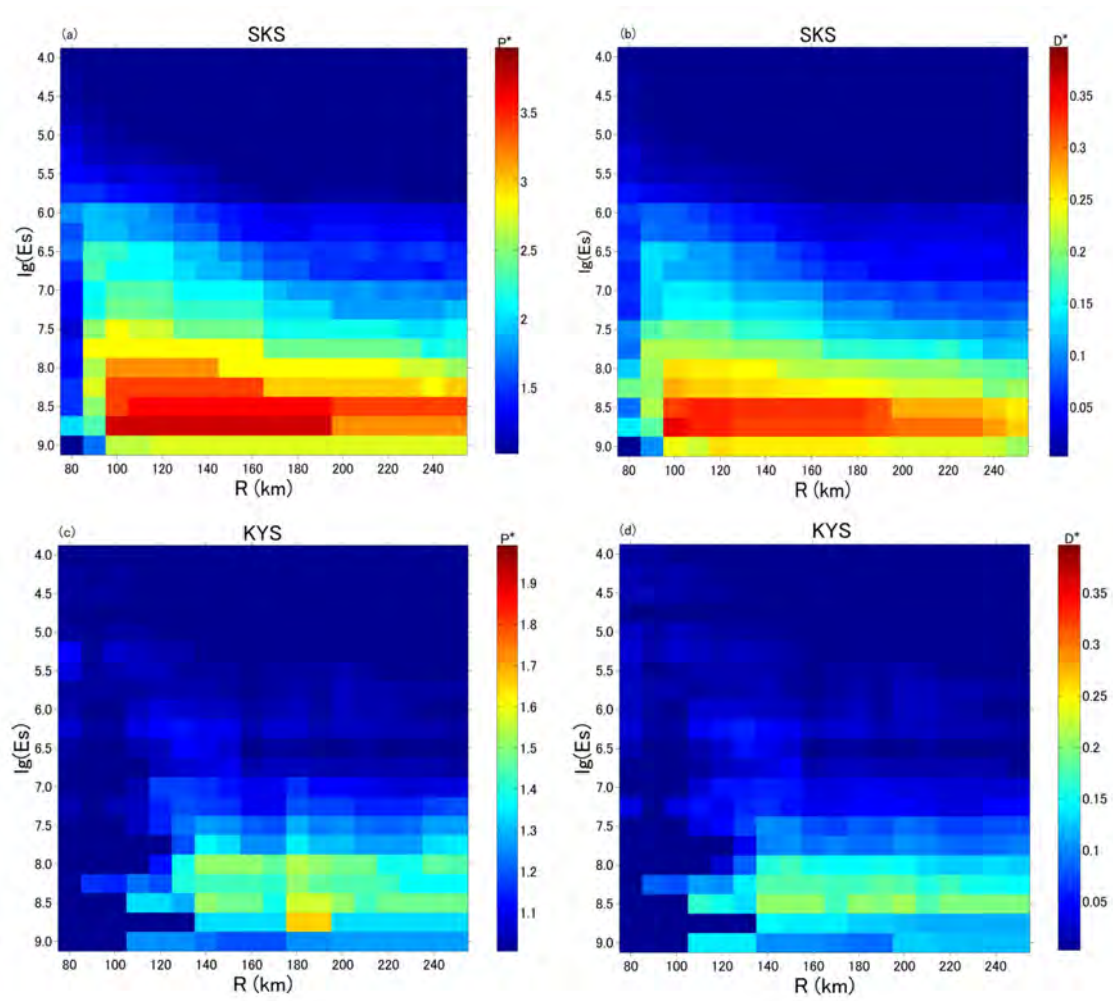


図 3.

予測効率の震源距離 R と地震パラメータ Es 依存性

( a ) 伊豆・清越観測点の確率利得  $PG^*$  ( b ) 伊豆・清越観測点観測点の確率差  $D^*$

( c ) 房総・清澄観測点の確率利得  $PG^*$  ( d ) 房総・清澄ステーションの確率差  $D^*$ 。

清越観測点の場合は  $R = 100\text{km}$  および  $Es = 10^{8.75}$ 、清澄観測点の場合は  $R = 180\text{km}$  および  $Es = 10^{8.75}$  で確率利得  $PG^*$  が最大になる。

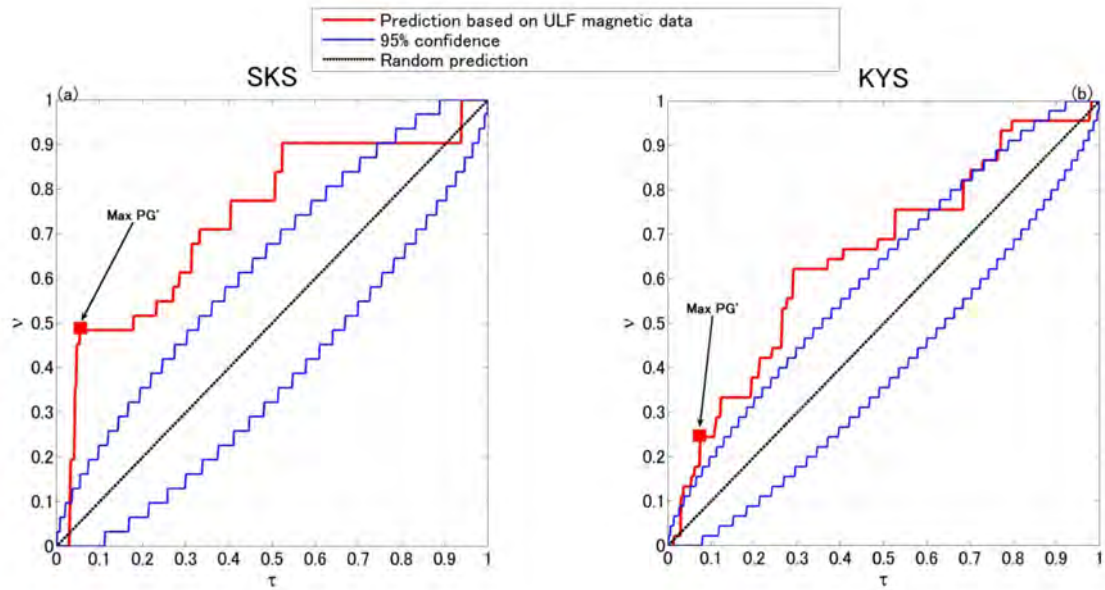


図 4.

図 3 の確率利得  $PG^*$  によって決定された最適な予測パラメータを用いた場合の伊豆・清越観測点および房総・清澄観測点での Molchan's Error Diagram。ここで、清越観測点の場合は  $R = 100\text{km}$  および  $Es = 10^{8.75}$ 、清澄観測点の場合は  $R = 180\text{km}$  および  $Es = 10^{8.75}$ 。

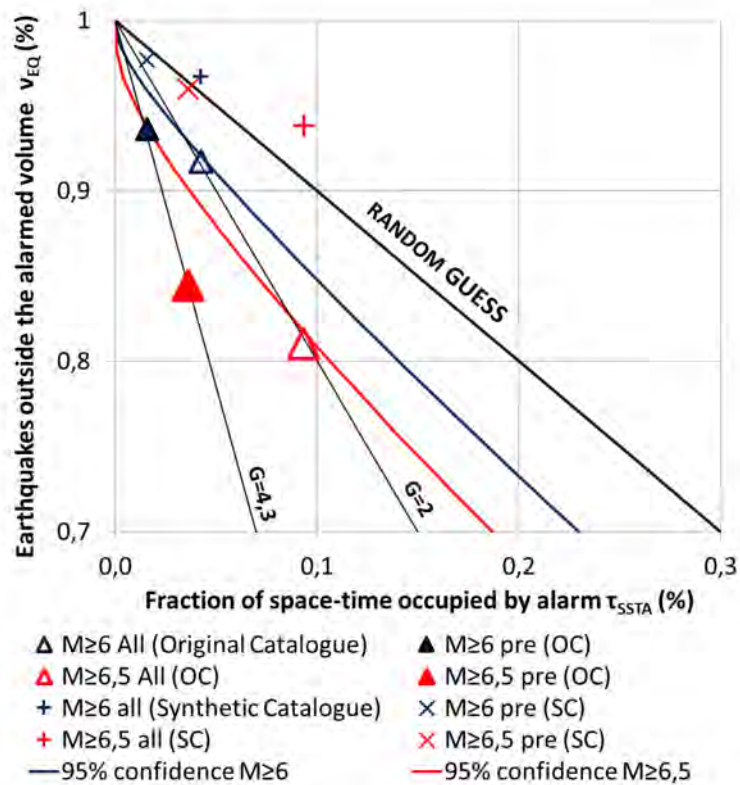


図 5.

MT-SAT1R、MT-SAT2 の Molchan's Error Diagram 解析結果  
黒線がランダム推定。



(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2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・波動伝搬・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。2019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。

【現状の問題点】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用い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る。

【震源過程・強震動予測】南海トラフにおいて発生が危惧される巨大地震の震源像を推定し、被害をもたらすような短周期の揺れの空間分布を把握しておくことは、同地震に伴う被害推定を行っていく上で必要不可欠な研究である。例えば、次の巨大地震における破壊領域の特徴をプレート境界面上に予め推定することができれば、シナリオ型震源モデルのアップデートに繋がる。また、その様な領域から出る波の距離減衰の特徴を調べれば、震源モデルに基づき被害をもたらす強震動の予測が可能となる。そのために、強震動生成域のための距離減衰式と巨大地震発生域のプレート境界面上での応力不均質性に取り組む。

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ことを考えられる。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。

【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・解像度をある程度犠牲にしつつもPおよびS波速度構造を3次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ーザ関数解析に関して、これまでに得られている結果をとりまとめ、統合的な3次元地殻構造の構築を行う。

【浅部地盤構造】文献調査や模型実験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、数値解析手法を用いて地盤災害リスクを評価する際に、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を検討する。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の影響が無視できないため、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、今後の地盤災害対策を考える上で重要となる。

【構造物被害予測】わが国にはすでに膨大な構造実験データ、振動台実験データ、構造物の実観測データ、目視や衛星イメージを用いた被害分類結果が存在する。それらの膨大なデータを有効に分析することにより、部材のモデル化の精度や被害状況判定精度の向上を図ることができる可能性が高い。そこで本課題では、ビッグデータを用いたデータサイエンスへの発展も視野に入れて、既存のデータベースの分析方法を議論するとともに、最新のフラジリティー曲線に関する情報収集、部材実験データベースを用いた損傷点の予測方法の検討、地震被害写真の収集、実震動データの収集を行う。

【プラットフォーム高度化】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】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。これらの手法を拡張することで、解析モデルの持つ曖昧さを考慮した解析手法や大規模系に対するパラメータ推定手法を構築し、その有効性を検討することを考えている。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】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 2 年度の成果の概要 :

【震源過程・強震動予測】プレートの沈み込み帯で発生するプレート間大地震・巨大地震に伴う強震動の距離減衰の特徴を調べるために、2003 年十勝沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の K-NET、KiK-net で観測された強震動を解析した。浅部地盤構造の影響を  $V_{s30}$  により補正したほか、地震ハザード評価の側面から震源に近い前弧側の記録のみを用いた。この様にして求めた PGA 及び PGV に対し、強震動生成域の  $M_w$  とそこからの距離とを用いて予測するモデル式を作製した。

距離減衰式の高度化に向けて、周期ごとの応答スペクトルを考慮した解析の必要性や最大変位や永久変位など問題となるテーマについて議論した。

【深部地盤・伝播経路】DONET 観測点 ( 黄六角形 ) 2 点以上で P/S 波検測値がある地震のうち、紀伊半島南東沖で実施された構造調査測線周囲 ( ピンク四角形内 ) の地震 635 個について、JMA による DONET の検測値のみを用いて、震源の再決定を行った。この時、それぞれの DONET 観測点における地震波速度構造は、南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築された P 波速度構造を参照した。さらに、堆積層による地震波到達時間の遅れについて各観測点での観測点補正値を求め、震源決定解析に適用した。解析結果として 611 個の地震について、震源が再決定された。これらの震源は、JMA カタログ震源よりも全体的に  $\sim 10$  km 程度浅く、特に  $M_{6.5}$  の地震はプレート境界付近にもとまった。

【浅部地盤構造】地盤物性の不確実性を考慮した地盤災害リスク評価のため、中空ねじりせん断試験機を用いて液状化特性に関するばらつきを検討を行った。土の相対密度やせん断応力比といった定量化が可能な指標の影響に加え、実験者の違いといった定量化が難しい指標の影響についても分析した。

【構造物被害予測】建物の被害状況早期把握のため、現行の応急危険度判定手法の制定の経緯について調査するとともに、衛星画像利用の有効性、加速度記録を用いた即時判定の有効性について確認を行った。また、これまでの鉄筋コンクリート部材の実験データベースを用いて、柱・梁・耐震壁について、損傷の生じ始める降伏点変形の推定方法とその精度について検討を行った。

【リスク評価】リスク分析および被害分析に必要なエクスポージャーに関する情報に対して、UAV 空撮を用いて高精度かつ半自動的に収集・整理する手法に関する基本的な検討を行なった。具体的には、広域 UAV 空撮画像から点群データを生成し、生成された点群データを処理することで、地域内の個々の建物に対して建物高さや平面などの基本的なパラメータを実用的な精度で推定可能であることを明らかにした。

1m-LiDAR DEM を用い特徴的な地物を認識可能な図を作成した。地震前後の二枚の図で特徴的な地物の追跡を行い、広い範囲で地表の移動方向と変位の大きさを示すことで、地震断層と考えられる地表変位と地震で変位した地すべり土塊の検出が可能となった。

【プラットフォーム構築】地震時の総合的な影響評価にむけて、過去の南海トラフ巨大地震での建物被害と現在の地震リスク評価手法により推定される建物被害を比較することで、震源域から山陰地方にかけての地域の減衰特性が過大評価されていることを示した。また、地震リスク評価の応用としてライフライン ( 水道管 ) のリスク評価を行う為の被害関数について、2016 年熊本地震における被害データをもとに検討した。

【コンピュータサイエンス】開発をすすめてきた低次有限要素を用いた解析コードを拡張し、また、GPU への実装を行うことで、従来よりもさらに高速な地盤増幅解析を実現した。また、本解析手法と最適化過程を学習する人工知能を組み合わせることで高速な地盤内部構造推定のための手法を開発した。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】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。大阪府、高知県において、震源モデルの違い、工学的基盤での地震動のばらつき、表層地盤における増幅特性のばらつき、を考慮した組み合わせによる計算を表示するシステムの開発を継続して行い、地方自治体のハザード評価結果との比較をおまえるようにした。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Gehl, Pierre, Shinichi Matsushima, Shunsuke Masuda : Investigation of damage to the water network of

Uki City from the 2016 Kumamoto earthquake: derivation of damage functions and construction of infrastructure loss scenarios, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 19, pp.685-711, 2020.11, 謝辞有  
Matsushima, Shinichi: Core-to-Core Collaborative Research between Earthquake Research Institute, University of Tokyo and Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University during FY2014 to FY2018, Journal of Disaster Research, 15(2), 187-201, 2020.3、謝辞有  
松島信一・Pierre GEHL：2016年熊本地震による宇城市での被害情報に基づく水道管ネットワークの被害関数の構築、令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会、A303、2021.2、謝辞有  
宮澤理稔・木内亮太・瀧藤一起：プレート間巨大地震の強震動生成域のための距離減衰式、日本地震学会2020年度秋季大会、S15-13  
齊藤隆志：粒子画像追跡法を用いた熊本地震前後の地表変動検出、令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会、A305、2021.2  
齊藤隆志：2016年熊本地震によってカルデラ周辺に生じた地表変動の分類と特徴、日本自然災害学会講演会予稿集、2021.3

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加藤尚之、飯高隆、望月公廣、楠浩一、瀧藤一起、藤田航平、古村孝志、悪原岳（東京大学地震研究所）、松島信一、宮澤理稔、上田恭平、牧紀男、畑山満則、西嶋一欽、倉田真宏、西村卓也、田中宣多、西上欽也、澁谷拓郎、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）、系井達哉（東京大学大学院工学研究科）、北野利一（名古屋工業大学社会工学専攻）、佐伯琢磨（神戸学院大学）、一井康二、飛田哲男（関西大学）、神野達夫（九州大学大学院人間環境学研究院）、仲西理子、山本揚二郎、高橋努（海洋研究開発機構）

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4080

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

URL：

(11) 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

(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2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2年度の成果の概要：

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った。図1に地震動推定のばらつきの推定の方法、図2に高知県での試行結果を示している。図2では行政の評価結果が、様々な地震動推定の中で大き目に評価している場合は赤系、小さ目に評価している場合は青系で示しているが、目的に応じて、逆(大き目が青、小さ目が赤)の表示も可能となっている。

- (8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：なし
- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：
  - 牧紀男、松島信一、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)
- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
  - 部署等名：京都大学防災研究所
  - 電話：0774-38-4285
  - e-mail：maki.norio.8v@kyoto-u.ac.jp
  - URL：
- (11) 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

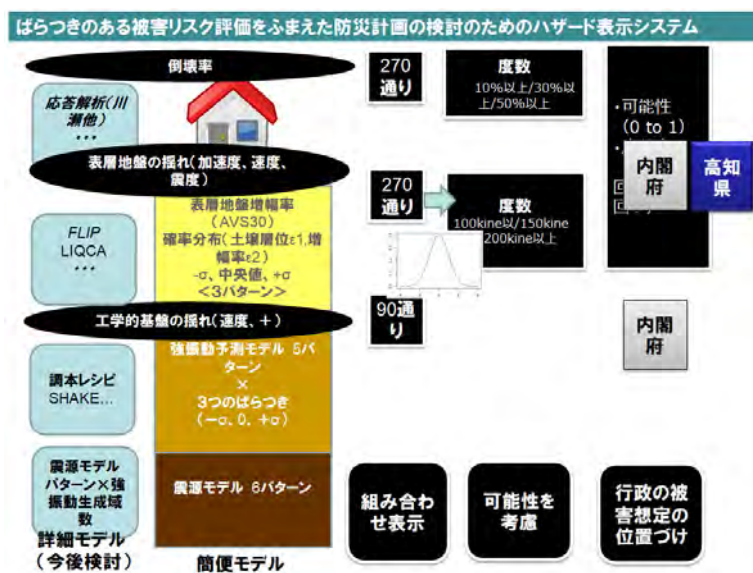


図1 ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討のためのハザード表示システム

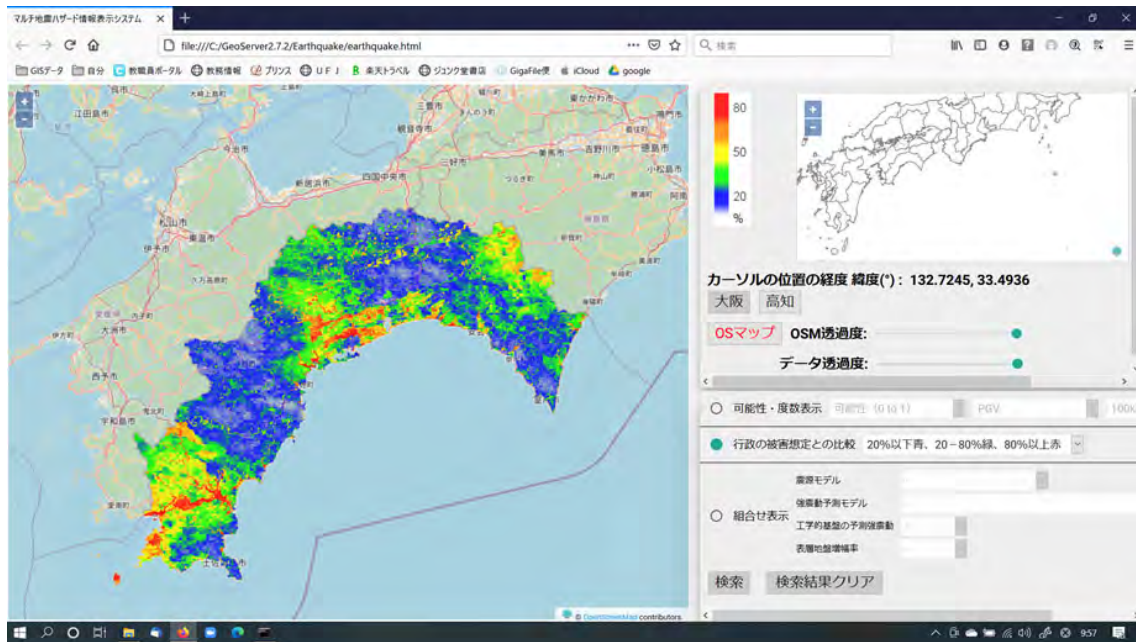


図2 南海トラフ地震の被害想定のはらつき

行政の地震動推定結果が、提案されている様々な地震動の中の位置づけを示している。20%以下(小さ目に評価)に位置する場合は青、80%以上(大き目に評価)に位置する場合は赤にしている。凡例としては逆、過小評価赤、過大評価青のものもある。

(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：

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2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。昨年度には、この機動観測のための海底地震計を設置し、現在も観測は継続中である。本年度は



南海トラフ沿いで得られている詳細な地震波速度構造 ( Nakanishi et al., 2018 ) を参照し , DONET 観測点の観測記録だけを用いて精度の良い震源決定を実施する .

( 7 ) 令和 2 年度の成果の概要 :

今年度は , 気象庁一元化震源カタログにある紀伊半島南島沖で実施された構造調査測線の周囲 , 140 km 四方で発生した地震のうち , DONET 観測点 2 点以上で P/S 波検測値がある地震を抽出し , DONET の検測値のみを用いて震源の再決定を行った . この時 , それぞれの DONET 観測点における地震波速度構造は , 南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築された P 波速度構造 ( Nakanishi et al., 2018 ) を参照して決定した . S 波速度構造は P 波速度を参照して決定するとともに , 堆積層中の極端に遅い S 波速度については , S 波到達時間に補正を施す観測点補正値を求め , 震源決定解析に適用することとした . 解析結果として 611 個の地震の震源を再決定した . これらの震源は JMA カタログ震源よりも全体的に ~ 10 km 程度浅くもとまっている . 例えば 2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南島沖の M6.5 の地震については , 他の詳しい解析から求められている深さ ( 例えば地震調査委員会資料 ) と整合的である . 一方で , DONET 観測点の検測値が 3 点以下の地震については , 再決定された地震の分布にもばらつきが認められるため , より限定した領域の地震についての解析が必要と考えられる .

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので , 令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

望月公廣、悪原 岳 ( 東京大学地震研究所 )、川瀬 博、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、山本 揚二郎、高橋努 ( 海洋研究発機構 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所

電話 : 03-5841-5715

e-mail : kimi@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

( 11 ) 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

(5) 国際共同研究・国際協力

(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

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：

(6) 令和2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。

2019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。

世界のM9クラスの超巨大地震についての研究成果に基づく確率論的な津波高の推定手法を南海トラフの地震に適用する。引き続き拠点間連携の重点推進研究に反映するための準備を行う。

日本海東縁部については、2019年度に検討した断層パラメーターの不確実性に加えて、断層面上のすべり量分布についても定量的に考慮して、確率論的な津波高の推定を行う。また、沿岸の津波高推定に支配的な断層パラメーターの特定やすべり量分布の抽出を行う。これらの検討をもとに、日本海沿岸における津波ハザードのホットスポットの推定と不確実性について明らかにする。

(7) 令和2年度の成果の概要：

令和2年度は9月24日にオンラインで、両グループの合同セミナーを行った。東大関係者、京大防災研関係者それぞれ4名ずつ、合計8名が研究内容を発表し、情報交換を行った。発表者と内容は以下の通り。

Tsunami kernels and their applications (Takenori Shimoazono, UTCivil)

Tsunami Resonance Characterization in Japan due to Transpacific sources: Response on the Bay and Continental Shelf (Yuchen Wang, ERI)

Tsunami Ray Tracing Method and Analyses of Bathymetry Effect off Honshu, Japan (Tungcheng Ho, DPRI)

Mechanism of unexpected tsunamis caused by peculiar volcanic earthquake at submarine calderas (Osamu Sandanbata, NIED)

Application of an Adaptive Mesh Refinement Method to tsunami simulations (Takuya Miyahsita, DPRI)

Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan (Iyan Mulia, ERI)

Physical and Numerical Modeling of Tsunami Inundation In Coastal Urban Area (Nobuki Fukui, DPRI)

Experimental study of debris motion using urban city model and its characteristics (Yu Chida, PARI)

昨年度に東大の佐竹グループから京大の森グループへ異動した何東政氏は、2018年インドネシア(スラウェシ)地震について、断層面上のすべりの不均質性や、そのモデルに基づくパル湾における津波の浸水についての論文を改訂・投稿した。また、津波の波線追跡の新手法を開発し、津波第1波や反射波の波線と海底地形との関係を明らかにした。その他、日本海における60断層について、断層面上のすべり分布の不均質性を考慮した7万通り以上のシナリオを想定し、日本海沿岸の約150の市町村ごとの確率論的な津波高さを計算した。

計算ステップごとに空間解像度や時間刻み幅が動的に変化する適合格子細分化法(AMR法)の数値モデルを用いて、南海トラフ沿いで発生する巨大地震を対象に津波計算を行い、その精度検証を進めた。AMR法の格子分割基準を変化させた感度分析を行い、精度を保ちつつ計算負荷を減少させる格子分割条件を求め、水深を閾値に格子解像度のレベルに上限を設けることで、計算に要する時間を有効に削減できることがわかった。

- (8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Ho, T.-C., S. Watada, and K. Satake, 2020, Minimum Travel-time Path for Tsunamis, American Geophysical Union, 2020 Fall meeting abstract, NH014-0025.
  - Ho, T.-C., S. Watada, K. Satake, and N. Mori, 2021, Tsunami Ray Tracing Method for Shortest Travel-Time Path: Application to Near- and Far-field Tsunami and Wave Reflection, AOGS 2021 meeting abstract.
  - Ho, T.-C., S. Watada, K. Satake, and N. Mori, 2021, The Shortest Travel-time Tsunami Ray Tracing Method and Application to Tsunamis near Japan, International Tsunami Symposium abstract.
  - 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, submitted to Earth Space Science.
  - Mulia, I.E., T. Ishibe, K. Satake, A.R. Gusman, and S. Murotani, 2020, Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan. Earth, Planets Space.72, 123.
  - Miyashita, T., N. Mori, K. Goda, 2020. Uncertainty of probabilistic tsunami hazard assessment of Zihuatanejo (Mexico) due to the representation of tsunami variability, Coastal Engineering Journal, 62 (3), 413-428.
  - Goda, K., T. Yasuda, N. Mori, A. Muhammad, R. De Risi, and F. De Luca, 2020. Uncertainty quantification of tsunami inundation in Kuroshio, Kochi Prefecture, Japan, using the Nankai?Tonankai megathrust rupture scenarios, Natural Hazards and Earth System Sciences, 20, 3039?3056.

宮下 卓也, GOMEZ-RAMOS Octavio, 森 信人, 2020. 適合格子細分化法を用いた南海トラフ沿いの巨大地震津波の数値計算, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76 (2), I.289-I.294.

千田 優, 福井 信気, 森 信人, 安田 誠宏, 山本 剛士, 2020. 漂流物と流れ場の時空間計測データを用いた複雑流れ場における津波漂流物挙動の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76 (2), I.313-I.318.

福井 信気, 森 信人, Che-Wei Chang, 千田 優, 安田 誠宏, 山本 剛士, 2020. 沿岸市街地模型を用いた津波・高潮浸水実験と解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 76 (2), I.373-I.378.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

佐竹健治、Iyan Mulia、佐藤哲郎、王宇晨( 東京大学地震研 )、森信人、何東政、志村智也、宮下卓也、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

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

( 11 ) 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：

強震観測点におけるサイト特性評価手法の開発に関する多国間共同研究 Multi-national joint-research on the development of the evaluation scheme for site characteristics at strong motion observation sites

(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

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

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和2年度の計画の概要：

2020年度は、フランス・イタリア・米国との共同研究を深化させ、手法の妥当性検証と相互比較を完成させるとともに、得られた知見の国際展開を図ることを計画する。フランスとの共同研究では2019年度中に査読論文1編を完成させ2020年度中には掲載に至る計画である。イタリアとの共同研究では2020年9月のESC会議の際に先方の研究者と進捗状況について打ち合わせ、技術的課題があればそれを解決して解析を加速させる。米国との共同研究では当面南カリフォルニア地域の強震観測点を対象に、EHVRを用いた逆算手法とMHVRを用いたEMR法を平行して適用し、地震基盤から地表に至るまでのS波速度構造を求め、既往調査情報と比較する。

発表および議論の場として2020年4月の米国地震学会SSA年会では3編の発表を予定しており、さらに2020年9月の欧州地震会議ESCでも12編の発表を予定する。同様に2020年9月の第17回世界地震工学会議においても3編の発表を予定している。さらに2021年3月15日～17日に京都で予定されているESG6国際シンポジウムには共同研究者4名(本研究経費では3名)を招へいし、日本側研究者と共同で本共同研究成果を発表するとともに、プレ・シンポジウムのイベントとして防災研究所において地盤構造同定に関するワークショップを開催し、相互理解を深める計画である。

(7) 令和2年度の成果の概要：

本研究では多国間の国際共同研究を計画していたが、コロナ禍により海外から共同研究者を招聘することも当方から先方に渡航することもかなわず、我が国で開催を予定していたESG6国際シンポジウ

ムも延期を余儀なくされたので、メールによる打ち合わせで共著論文を執筆し、またウェブ開催の国際会議に投稿・参加することで研究成果の公表を推進した。

フランスとの共同研究ではグルノーブル盆地に地震動の水平上下比 EHVR を用いた逆算手法と微動の水平上下比 MHVR を用いる EMR 法を適用してその地下構造を明らかにし、さらにそれが既存の方法で得られていた盆地の速度構造とどのような関係にあるかについて詳細な解析を加えた。その結果、得られた速度構造は、それまで推定されていたように、深さ数 100m から 1km 程度のところに存在する地質学的境界で直ちに地震基盤の S 波速度 ( $>3\text{km/s}$ ) になるのではなく、そこから速度が漸増し、地質境界の平均的に 2.5 倍の深さのところで地震基盤に達するという速度構造であることが明らかとなった。地質境界は S 波速度  $1.3\text{km/s}$  以上となる深さ Z1.3 に相当し、Z1.3 の空間分布が地質境界の深さ分布に対応することを明らかにした。

イタリアとの共同研究では、先方の研究者がコロナ禍により、地震計観測網のメンテナンス作業に専念する必要が生じ、共同研究に関するアマトリーチェ地域の速度構造同定の研究については大きな進展が得られなかった。

米国との共同研究では南カリフォルニアにおける強震観測点のデータ解析を進め、我が国と同様な方法により、地震基盤から上の速度構造が得られることを複数地点で確認することができた。特にインペリアルバレーの周期 8 秒に達する長周期域の水平上下スペクトル比に見られる顕著なピークはその地震基盤深さが 5km 以上であることを示しており、盆地全体の構造を明らかにするのに、強震観測点の長周期域の水平上下スペクトル比が極めて有効であることを示した。それに対して微動の長周期域の水平上下スペクトル比は地震動のそれとは振幅が一致しておらず、計測システムに課題がある可能性が指摘された。これについては我々が現地に行って我々の通常システムで計測する以外にその妥当性を確認するすべがなく、コロナ禍の落ち着くのを待って現地計測に再度チャレンジしたい。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Nagashima, Fumiaki, Mori, Yuta, Ito, Eri, and Kawase, Hiroshi: Velocity structure inversion based on diffuse field concept for earthquake, together with the earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method for microtremors, Annual Meeting of Seismological Society of Am., 2020.

Kawase, Hiroshi, Ito, Eri, Nakano, Kenichi, Empirical Horizontal Site Amplification Factor (HSAF) from Observed Earthquake Horizontal-to-Vertical Ratio (EHVR) and Vertical Amplification Correction Function (VACF), Annual Meeting of Seismological Society of Am., 2020.

Ito, E., H. Kawase, C. Cornou, and F. Nagashima, Inversion of Velocity Structures in The Grenoble Basin Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 Paper #C001205.

Kawase, H., E. Ito, and K. Nakano, Direct Estimation of S-Wave Site Amplification Factors From Horizontal-to-Vertical Ratios of Earthquakes, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 Paper #C000856.

Ito, Eri, Cecile Cornou, Fumiaki Nagashima, and Hiroshi Kawase: Estimation of velocity structures in the Grenoble Basin using pseudo earthquake horizontal-to-vertical spectral ratio from microtremors, Bull. Seismol. Soc. Am., XX, (TBD, online only at present), 1-27, 2021; doi: <https://doi.org/10.1785/0120200211>.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

川瀬博、長嶋史明、伊藤恵理 ( 京都大学防災研究所 )、市村強 ( 東京大学地震研 )

他機関との共同研究の有無 : 有

Alan Yong ( 米国地質調査所パサデナ事務所 )、Jaime Steidl ( UC サンタバーバラ校 )、Arben Pitarka ( ローレンス・リバモア国立研究所 )、Koichi Hayashi ( Geomatrix )、Giovanna Cultrera、Daniela Famiani ( 国立地震・火山研究所 )、Cecile Cornou、Emmanuel Chaljub ( グルノーブル・アルプ大・地球科学研究所 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：京都大学 防災研究所  
電話：0774-38-4052  
e-mail：kawase@sere.dpri.kyoto-u.ac.jp  
URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：川瀬 博  
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：

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：

(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2年度の計画の概要：

2021年8月(同年3月から変更)に京都で開催される第6回ESG国際シンポジウム(以下、ESG6)では、地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地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る予定である。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」を順次実施される。これは、各段階での地震動予測のばらつきなどを定量的に評価することを考えて計画されてものである。テストサイトは、2016年熊本地震で本震の記録が得られた熊本市北部の強震観測点であるが、このサイトでは、PS検層などがなく、地盤構造が十分に明らかにされていない。

本研究は、2019年度に実施した研究の2年目にあたり、ESG6の地震動のブラインド予測で用いる熊本市のテストサイトの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、共用地盤モデルは、ブラインド予測の参加者に提供する地盤モデルを意味している。2019年度には、現地観測データから、1次元地下構造モデルを暫定的に推定した。これらの検討の結果、上述のブラインド予測への参加者に提供する微動・表面波探査のデータの案を作成し、シンポジウム関係の委員会へ提案を行った。2020年度には、現地調査などの微動・地震データをさらに検討し、共用地盤モデルの最終案を作成する。また、テストサイトの周辺において臨時地震観測を実施し、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、共用地盤モデルの精度の向上を図る。また、ESG6の議論を通じて、地盤モデルの共用化のための研究者間の合意形成プロセスも検討する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

本研究では、ESG6の強震動のブラインド予測のために、既往の地下構造情報および現地調査の結果から、熊本テストサイトの1次元共用地盤モデルの最終案を作成した。地震動のブラインド予測のBP1の地盤モデルの推定の終了後に、この1次元共用地盤モデルがブラインド予測参加者に提供され、BP2および3で使用できることとなった。

また、熊本テストサイト周辺では、既存の強震観測点が少なく、テストサイトの地震動の空間的広がりなどを検討することが難しいことを考慮して、テストサイト周辺で臨時地震観測を行った。図1に示すように、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地点に強震計を設置した。ESG6のブラインド予測のテストサイトは、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地点(九州大学地震火山観測研究センターの熊本



地震観測点)でも臨時強震観測を行った。さらに、図2に示すテストサイト近傍の3階建てのRC造建物の各階にも地震計を設置した。観測は、2020年3月から9月までの約半年間、継続された。

臨時観測の記録のなかで最も震源距離が長い薩摩半島西方沖の地震(2020年5月3日20時54分、深さ10km、M6.2)の南北方向の加速度記録を図3に示す。左図は、広帯域(周期0.1~10秒)の加速度波形であり、岩盤サイトのSEVOを除いて、各地点の波形はよく類似している。周期5~10秒の長周期帯域では、位相まで含めて、各地点の波形はよく一致している。SEVOの波形も他の地点との差異が少なくなっている。一方、周期0.1~1秒の短周期成分では、波形は似ているが、振幅は地点ごとに異なっている。テストサイト近傍の観測点16に対する各点の水平成分のフーリエスペクトルの比を図4に示す。スペクトルの算出には、水平2成分の相乗平均を用い、スペクトル比は、33地震の記録を平均した値である。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。テストサイト周辺200m程度の範囲では、地震動の特性はほぼ同じであると考えられる。テストサイト周辺では、周期0.3秒以下に影響を与える極表層部を除いて地盤構造に大きな変化はなく、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が小さいことを示唆している。各観測点では、簡易な表面波探査も実施しており、今後、それらのデータも併せて各地点の極表層地盤の影響を評価する。

なお、コロナ禍のためにESG6の開催が2021年3月から同年8月に延期になり、ESG6での議論を通じて行う予定であった地盤モデルの共用化のための研究者間の合意形成に関する検討を実施することができなかった。

- (8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
山中浩明、津野靖士、重藤迪子、神野達夫、地元孝輔、松島 健、松島信一、強震動ブラインド予測の  
熊本テストサイト周辺での臨時強震観測、日本地震工学会第15回年次大会梗概集、B-5-2、2021
- (9) 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)、松島信一、岩田知孝、浅野公之、川瀬博 (京都大学防災研究所)、  
瀧澤一起、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 (東京  
工業大学)、佐藤浩章(電力中央研究所)
- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名: 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:
- (11) 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

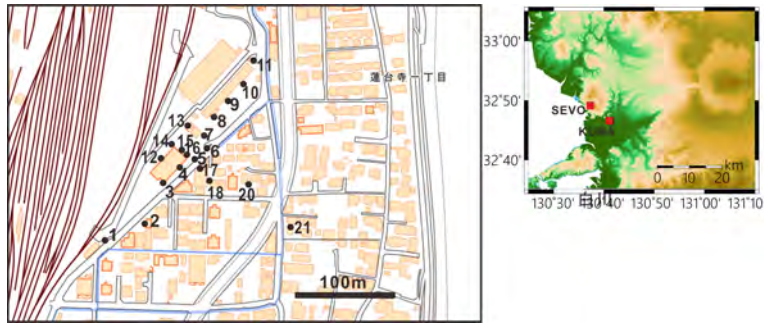


図1 臨時観測点の位置（左）とテストサイトの位置（右）



図2 テストサイトの位置と建物での臨時地震観測

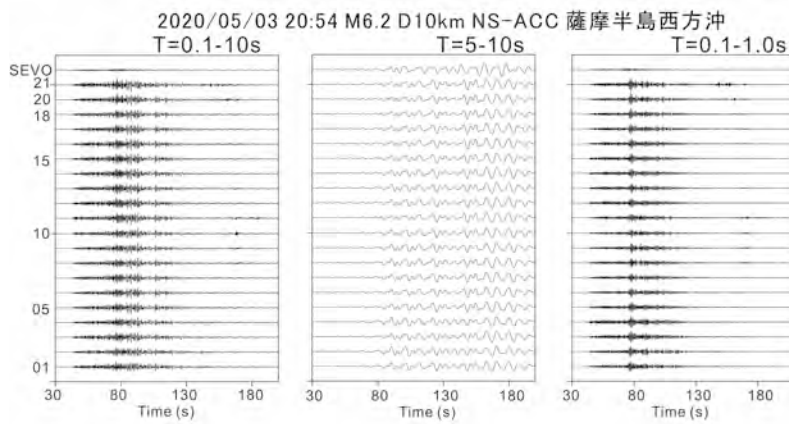


図3 薩摩半島西方沖の地震（2020年5月3日）の南北方向の加速度記録の例  
 左は周期0.1～10秒、中は周期5～10秒、右は周期0.1～1秒のフィルター処理をした加速度を示す。

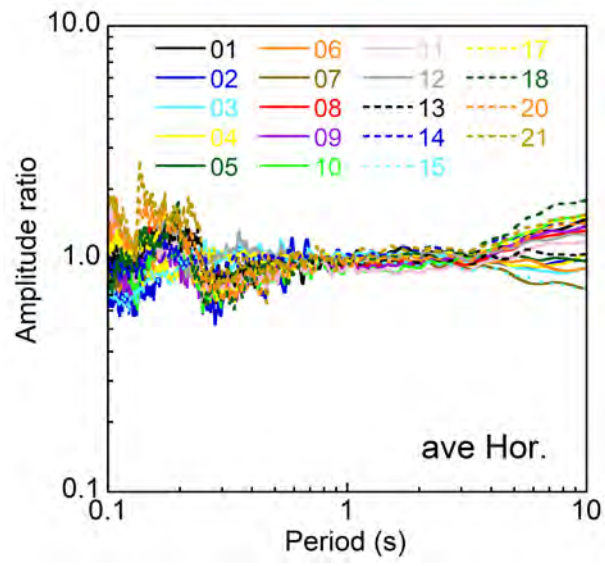


図4 得られた33地震の観測点16(テストサイト近傍)に対する水平成分のスペクトル比の平均値

(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：

火山砕屑物からなる斜面の崩壊に対する地震とその前後の降雨の影響評価

(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

Ⅰ. 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) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和2年度の計画の概要：

本研究では、高い保水性と流動性を有する火山性砕屑物から斜面について、地震とその前後の降雨の複合的影響を考慮して安定性評価手法の高度化を図る。火山性砕屑物およびマサ土からなる模型斜面を作成し事前降雨を与える。その後、加振を行い、斜面にクラックなどの変状が生じた状態で降雨を与えて、斜面の安定性を評価する。実験は、事前降雨量、加振力、加振後の降雨量などをパラメータとして複数回実施し、地震とその前後の降雨が斜面の安定性に与える影響を定量的に評価する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用い、年度当初の計画通り模型実験を行った。計画では火山性砕屑物を使用する予定であったが、入手が容易であったマサ土を利用した。加振の有無、降雨量を変化させた遠心模型実験の結果、以下のことが明らかとなった。斜面の密度や含水比を調整することで加振により斜面にクラックを発生させることができた。その後の降雨では、加振の有無によって斜面の変状形態が異なる結果となり、加振ありのケースでは加振で発生したクラックを起点とした破壊が進行した。この結果は、地震後の降雨といった複合外力に対する斜面の安定性評価手法の高度化に寄与するものであるが、定量的な評価には至っていない。今後、数値解析も併用して地震後の降雨がクリティカルとなる条件を明らかにする必要がある。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Xu J., Uzuoka R., Ueda K. (2021) Response of Slopes to Earthquakes and Rainfall. In: Tiwari B., Sassa K., Bobrowsky P.T., Takara K. (eds) Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7_30)

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

渦岡良介、Xu Jiawei (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：無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4090

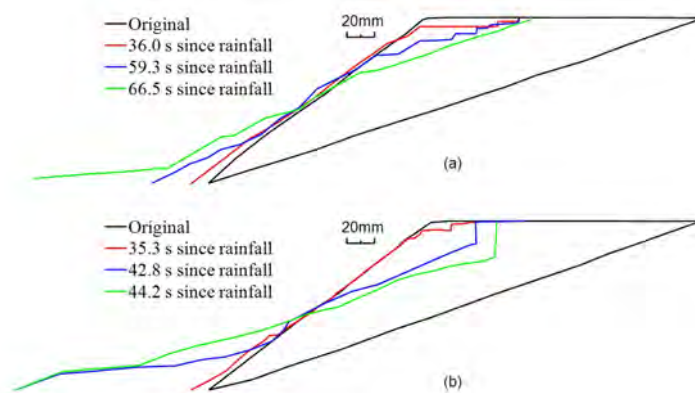
e-mail：uzuoka.ryosuke.6z@kyoto-u.ac.jp

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：渦岡良介

所属：京都大学 防災研究所



加振の有無による降雨時の変状の違い

(a) 加振なしでは降雨の蓄積とともに法肩の沈下やのり尻の水平変位が徐々に増加しているが、(b) 加振ありでは法肩で大きな段差がみられ変状が急激に進行した。

(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：

活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程から推定される盆地端部での基盤構造を考慮した地震動増幅特性に関する研究

(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

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：

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2年度の計画の概要：

本研究ではまず、既往の調査観測などから対象とすべき盆地を選定し、既往文献や微動観測などと活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程を考慮し、盆地端部での基盤構造の形状や深さなどについて把握する。選定した盆地における基盤構造の形状や深さに基づいて、簡易的に増幅的干渉が起きる可能性のある地域を推定する。次に、詳細な基盤構造モデルに基づいて、波動伝播解析を行い、簡易的手法による推定との対応を確認し、盆地端部における地震動増幅特性の推定方法について検討する。2019年度には、地震調査研究推進本部や地方自治体による重点調査観測などの地下構造調査の結果や既往の研究による地下構造の推定結果などを文献調査などに基づき、研究対象として邑知潟平野を選定した。検討対象とした盆地では、盆地境界における基盤構造の詳細に調査結果に基づき、その形状と深さを推定した。推定した基盤構造の形状や深さについて、その確からしさを確認するため、微動観測による現地調査を行った。

2020年度には、邑知潟平野の盆地端部において推定した基盤構造モデルを作成し、波動伝播解析を行い、詳細な地震動増幅特性を求める。求められる詳細な地震動増幅特性と簡易的に推定した増幅的干渉の起きる可能性のある地域との比較を行い、盆地端部の基盤構造による地震動増幅特性について、簡易的な方法の高度化とその適用方法について検討を行う。

(7) 令和2年度の成果の概要：

邑知潟平野南西部で 2019 年度に実施した研究に引き続き、北東部の深い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単点観測を行い、1 地点で常時微動アレイ観測を行った。アレイ半径は LL:135m、L:45m、M:15m、S:5m、SS:1.5m、SSS:0.5m の 6 サイズとし、LL、L は 60 分、M、S は 30 分、SS、SSS は 15 分の同時観測とした。また、盆地を横切る方向に測線 1、2、3 の 3 測線を、盆地に沿う方向に測線 4 の 1 測線を設定し、計 32 地点で常時微動単点観測を行った。各単点観測点で独立して 30 分の観測を行った。

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 のフーリエスペクトル比 (MHVR) を算出する。このようにして算出された小区間ごとのスペクトル比の平均を MHVR とした (図 2)。ただし、ノイズの影響を取り除くため、ノイズの大きい区間を 30%除外した。

各地点での MHVR の 1 次ピーク振動数を読み取り、その分布を調べた (図 3)。ただし、ピークが不明瞭な点については無理に読み取っていない。図 3(a)~(d) を見ると、1-3~1-4、2-2~2-3、3-2~3-3 で 1 次ピーク振動数が急激に変化しており、周辺に盆地と山の境界が存在すると予想される。また、1-4 から 1-10、2-4 から 2-8 に向かうにつれて 1 次ピーク振動数が徐々に小さくなり、測線 1、測線 2 は南東に向かうにつれて地下構造が深くなることが分かる。さらに、測線 4 では 4-6 にむかうにつれて 1 次ピーク振動数が徐々に小さくなり、北東に向かうほど地下構造が深くなると推測される。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :  
中山智貴・松島信一 : 常時微動を用いた邑知潟平野北東部における地盤構造推定、京都大学防災研究所令和 2 年度研究発表講演会、P119、2021.2、謝辞有

( 9 ) 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 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名 : 京都大学 防災研究所  
電話 : 0774-38-4080  
e-mail : matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp  
URL :

( 11 ) 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

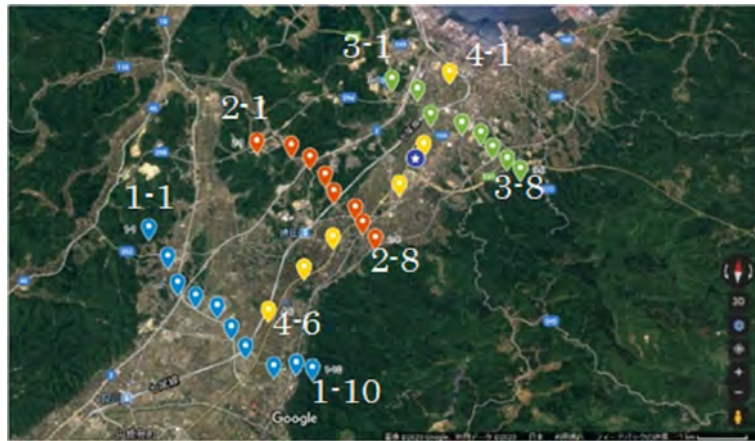
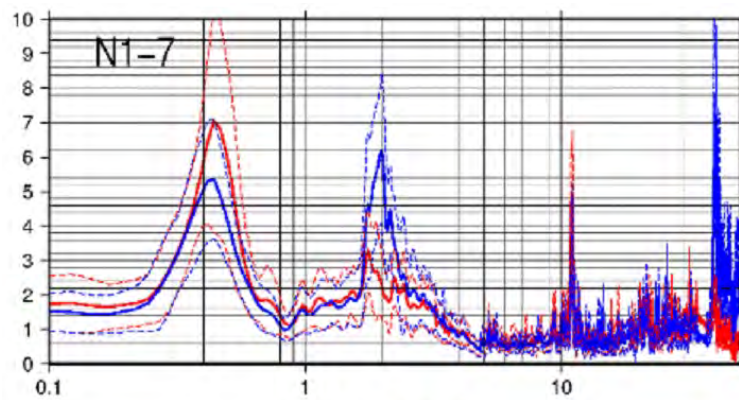
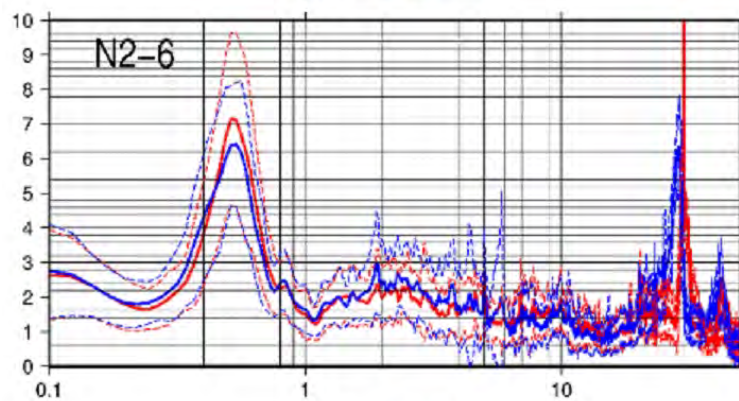


図1 微動観測点配置 (Google Map に加筆)



(a) 1-7 地点



(b) 2-6 地点

図2 観測微動水平上下スペクトル比の例  
(青：観測 NS/UD、赤：観測 EW/UD)



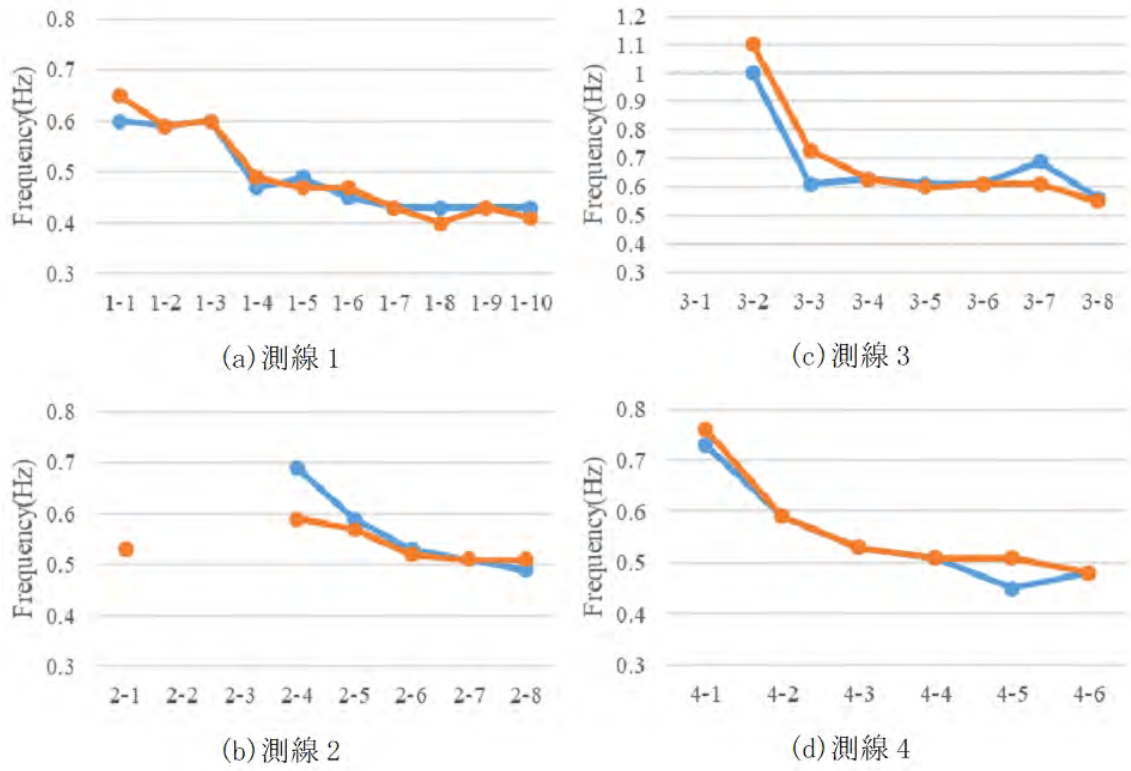


図3 測線1~4の観測水平上下スペクトル比の1次ピーク振動数

(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：

建物の応答を考慮した高精度地震情報配信手法の開発

(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

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：

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

(4) 関連研究分野との連携強化

(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

首都直下地震

(6) 令和2年度の計画の概要：

本課題では、震源特性と伝播経路特性、立地地盤の特性、建物の諸元、さらには建物内の上層階と下層階での被害差などを考慮した高精度地震情報配信手法の開発を命題に、建物の応答予測としてより確度の高い情報を提供するために、下記の2課題に取り組む。

A) 揺れ継続時間の予測：建物応答観測記録を用いた、震源特性・震源距離・地盤特性、をパラメータとした、敷地地盤の影響等を含む建物の振動特性を考慮した揺れ継続時間を分析(図1b)では、ばらつきはかなり大きいですが、マグニチュードが大きくなるにつれて揺れ継続時間の中央値は大きくなる。また、建物の上部階の方が、基礎よりも継続時間が長くなる傾向が見られる。建物の高さや地盤条件に対しても揺れ継続時間との相関性が一部確認されているが、理論的解釈が成立するかも含めて、詳細について検討する。さらに、建物や地表面の観測記録の多変量解析から、揺れ継続時間を予測する経験式を導出する。

B) 建物と地盤の動的相互作用のモード特性変動としての評価：建築研究所が建物内と周辺地盤で振動計測している建物20棟の記録を用いて、建物の地震応答に影響を与える建物-地盤系の動的相互作用

の効果を評価する。建物-地盤系の大規模な解析モデルを使わずに、できるだけ計測のみで相互作用を評価する簡易な方法を提案し、建物耐震性評価の高度化に貢献する。具体的には(1)地盤の計測もある建物の地震記録を整理・分析し、動的相互作用による入力低減効果を総合的に把握する(2)建物基部の計測を入力とする従来の同定だけでなく、周辺地盤の計測を入力とする同定も行う。入力の違いによる等価モード特性の変化(固有振動数の低下と減衰の増加)を調べることで、動的相互作用を評価する(3)地震時に建物と地盤の動特性が時間変化することを許容した評価法を新たに展開し、相互作用の振幅依存性を評価する。

(7) 令和2年度の成果の概要:

2020年度は、建築研究所から提供を受けた建物観測記録を用いて、地震時の建物応答の揺れ継続時間の定義を再検討し、予測式を構築した。また京都市内の病院施設への地震情報配信システムとして、データ通信専用のSIMカードを利用した方式を検討した。得られた知見は下記の通りである。

A) 動的相互作用に振幅依存性があり、東北地方太平洋沖地震の本震では固有振動数は低下し、減衰が増加する傾向にあった(図1)。連成系(SI2O)の固有振動数は建物系(SISO)よりも低く、モード減衰は連成系の方が高い傾向であった。ただし、その増減幅は建物によって異なっていた。本震では、地震動が大きくなると固有振動数が低下する現象が見られた。本震とその30分後の余震では、固有振動数が建物系と連成系でほぼ平行に推移しており、固有振動数の違いは時間に関係なく一定を保つ傾向があった。

B) 建物内の居住者に揺れ継続時間の情報を提供するための推定式を構築するべく、既往の提案式で用いられている95%のエネルギー継続時間ではなく、震度x以上の継続時間、という閾値を定義に利用した。建物基礎と自由地盤で観測された揺れ継続時間を比較した結果、大きな違いはなかったため、建物基礎の記録を自由地盤の記録と同等に取り扱った。建物頂部で観測された揺れ継続時間を予測する経験式(地震のマグニチュード、震源距離、震源深さ、地盤情報、建物階数の関数)を作成した。図2に、自由地盤(Yamada2021FF)と建物頂部(Yamada2021Top)の2種類の揺れ継続時間予測式を示す。建物頂部の揺れ継続時間予測式は、建物階数を考慮した方が相関は良くなる。ただし、単純な経験式では建物の個性を十分には表現しきれず、統一的な経験式の限界も明らかとなった。

C) 京都大学医学部附属病院で展開する地震観測網への高精度地震情報配信手法の適用を検討した。近隣地域の病院施設の情報配信や新たな観測点の設置方法について議論した結果、現地に記録収集サーバーを設けない形での観測方法を模索することとなった。具体的には、京都市左京区に位置する2病院から設置許可を得て、データ通信用SIMカードを用いて、Web上のレンタルサーバーに観測データを送信するシステムの構築を試みた。病院施設への立ち入りが制限されているため、今年度は防災研究所内で試運用するにとどめる。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

福澤暁人, 池田芳樹, 倉田真宏: 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, Vol. 67B, 2021.3(査読あり, 謝辞あり)

池田芳樹, 倉田真宏, 福澤暁人: 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(関東)学術講演梗概集, 構造II, pp. 265-266, 2020.9

福澤暁人, 倉田真宏, 池田芳樹: 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, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, 構造II, pp. 267-268, 2020.9

福澤暁人, 倉田真宏, 池田芳樹: 地震記録から同定した振動モード特性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, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第60号 構造系, 2020.6

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

倉田真宏、池田芳樹、山田真澄 ( 京都大学防災研究所 )、楠浩一、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 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学 防災研究所  
電話 : 0774-38-4084  
e-mail : kurata.masahiro.5c@kyoto-u.ac.jp  
URL : <http://www.steel.dpri.kyoto-u.ac.jp/wpsmpl/>

( 11 ) 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

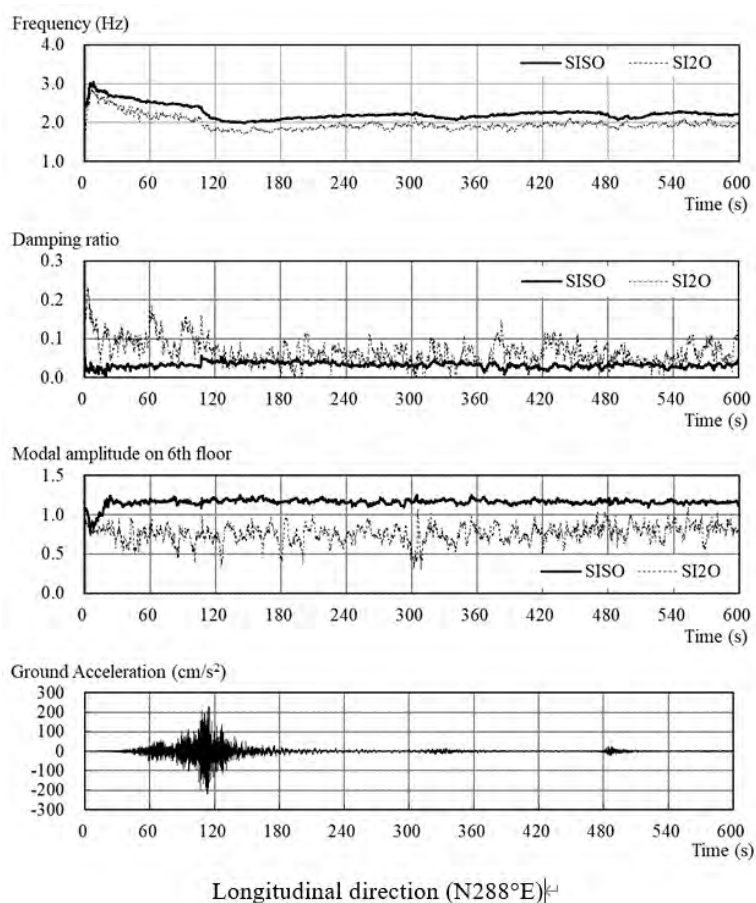


図 1. 動的相互作用の振幅依存性 ( 東北地方太平洋沖地震 )

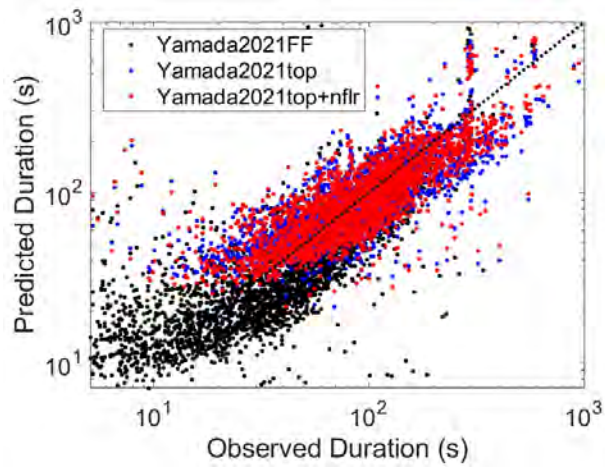


図 2. 構築した揺れ継続時間予測式と観測データの比較

- ( 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：  
訪日外国人旅行者に対する地震・火山に関する情報提供と風評被害対策に関する事例分析 - 2018年胆振東部地震、2018年大阪府北部地震、2018年草津白根噴火、2015年箱根山噴火を対象として -
- ( 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 ) 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2年度の計画の概要：  
令和元年度に新型コロナ禍のため実施できなかった宿泊施設へのアンケート調査を実施し、その結果をとりまとめて分析し、考察する予定である。
- ( 7 ) 令和2年度の成果の概要：  
令和二年度についても、引き続き新型コロナの影響が継続しており、宿泊施設へのアンケート調査の実施が予定通りに実施できず、調査の実施が令和三年3月にずれ込んでいる状況である。そのため、宿泊施設へのアンケート調査の結果については、報告書を登録する現時点では間に合わない状況である。
- ( 8 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
秦康範、2020，訪日外国人への災害情報提供の現状と課題，IATSS Review（国際交通安全学会誌），Vol.45，No.1，28-35．
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
秦康範、関谷直也、三宅弘恵、牧紀男  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：山梨大学 大学院総合研究部工学域  
電話：055-220-8533  
e-mail：yhada@yamanashi.ac.jp  
URL：https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/yhada/
- ( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：秦 康範

所属：山梨大学 大学院総合研究部工学域

(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

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2年度の計画の概要：

【提案の背景】地震による土砂災害リスクを評価するうえで、斜面に存在する不安定土塊の位置とその崩壊到達範囲を事前に把握することが重要である。不安定土塊の位置を検出する方法は、様々な方法が提案されているが、豪雨に対しての予測法や定性的な記述方法である場合が多く、実用に供するこ



とができていない。この特定型(その4)の代表者(齊藤)は、不安定土塊の存在位置を検出する方法として、詳細数値地図情報(1m LiDAR-DEM)を用い、地形を視覚的に理解しやすく示す方法を開発した。この手法を用い、既往の地震による土砂災害事例から、地震前と地震後の地形変化を比較し、不安定土塊として危険度の高い部分を抽出する方法を得た。それは、既往の侵食や崩壊が起っておらず、斜面の下部からの侵食や道路建設などの人工改変による切り取りで、その上部斜面を支持物質が存在していない部分であることが判明してきている。

【事前予測のために】前出の地形の視覚化手法を用い、2016年熊本地震と2018年北海道東胆振地震の前後比較を詳細に実施することによって、地震による崩壊発生の力学的モデルを提案する。火山灰、特にハロイサイトの存在が崩壊発生に寄与するという構成物質(地質)の差に起因するという見方もあるので、比較のために地質の異なる紀伊半島の四万十帯でも事例研究も実施する。

【本研究での到達点】崩壊現象発生の初期過程に注目し、不安定土塊の存在箇所を抽出する方法を示す。また、地震動の方向性との関係や崩壊がおよぶ範囲(崩壊土塊が到達する範囲の見積りに重要な崩壊範囲たとえば滑落崖の上端など)について力学的検討を行い、地質調査による情報をあわせて、斜面災害発生箇所を地図上に明確に示したハザードマップを作成する。

(7) 令和2年度の成果の概要:

2016年熊本地震の前後比較

京都大学火山研究センター周辺で発生したいくつかの斜面崩壊・地すべりを事例として、地震前後に得られた1m-LiDAR DEMを用いて、土砂移動発生箇所の地形的特徴と断層運動による地表の卓越振動方向の関係、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所と隣接する発生しなかった箇所の斜面縦断形状を現象の前後で比較した。

重要な結果として、地表の卓越方向と発生箇所の斜面方向は、北北西 南南東とほぼ一致していた。また、崩壊が発生した箇所、斜面には、斜面下方に崖・段差などの上部斜面を支持する構造がなく、斜面上方にはいわゆる潜在不安定土層が存在していた。

2019年東胆振地震の前後比較

熊本地震で得られた知見をもとに、東胆振地震の前(5mDEM)と後(1m-LiDAR DEM)の比較をおこなった。震央が深く、地表の卓越振動方向と崩壊が発生した箇所に明瞭な方向の卓越性は認められなかったが、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所には、熊本地震の結果で得られた地形的特徴が認められた。

これらの事例比較に用いた詳細数値地図情報(1m LiDAR-DEM)を用い、地形を視覚的に理解しやすく示す図(土砂災害予測基本図)は、潜在崩壊土層を検出することに有効であることも確認された。地震前後の図(土砂災害予測基本図)を用いて、PIV(Particle Image Velocimetry)を用いて、地表面に出現した地表変位を追跡する解析をおこなった。その結果、断層運動の周辺の地表の移動方向を2次元で、方向と大きさを図示することが可能となった。また、これまで認識されなかった地すべり性の移動土塊の検出が可能となった。

本研究の到達点であるハザードマップの作成は、研究2年目の2021年度、和歌山県で実施予定である。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

齊藤隆志(2021), 2016年熊本地震によってカルデラ周辺に生じた地表変動の分類と特徴, 日本自然災害学会講演会予稿集, 2021年3月19日。

齊藤隆志(2021), 粒子画像追跡法を用いた熊本地震前後の地表変動検出, 京都大学防災研究所年次発表講演会, 2021年2月24日。

(9) 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（総務省消防庁消防大学校消防研究センター技術研究部） 飯田智之（国立研究開発法人防災科学技術研究所）

（10）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4102

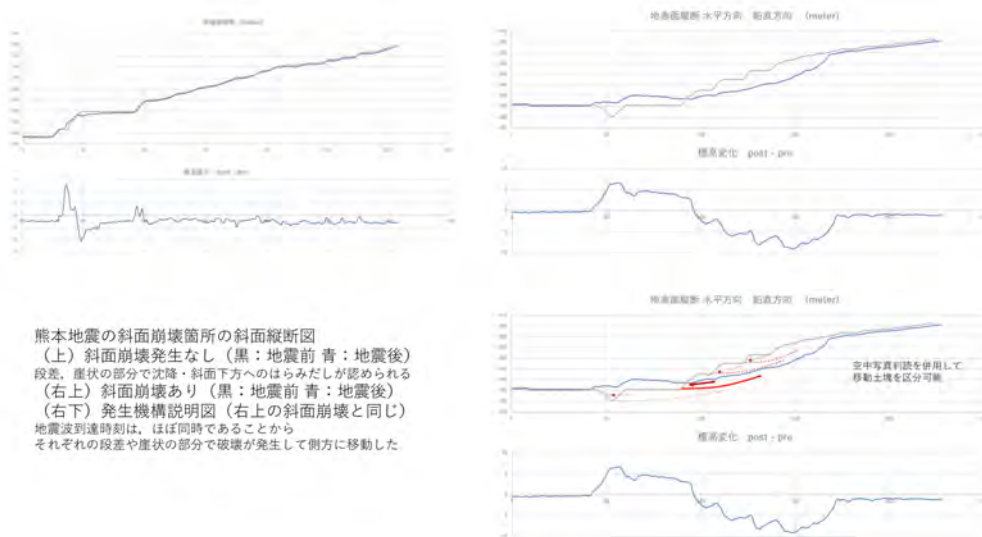
e-mail：saitou.takashi.2z@kyoto-u.ac.jp

URL：

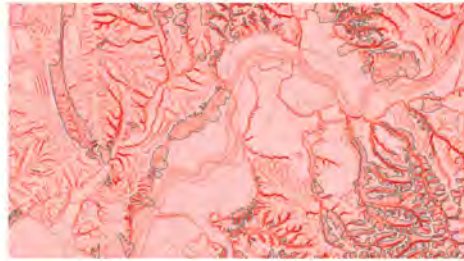
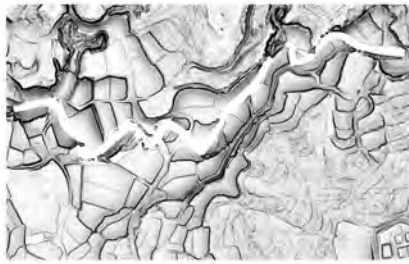
（11）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤 隆志

所属：京都大学 防災研究所



斜面崩壊の発生有無比較（斜面縦断面形状）と土砂移動状況の説明



熊本地震、京都大学火山研究センター付近の土砂災害予測基本図  
(上：地震前、下：地震後)

東胆振地震、厚真町吉野付近の土砂災害予測基本図  
(上：地震前 5m DEM, 下：地震後 1m-LiDAR DEM)

地震前後の土砂災害予測基本図比較 (左：2016 熊本地震 右：2019 東胆振地震)



2016年熊本地震立野地区の土砂災害予測基本図  
(左上：地震前 右上：地震後)

同地区で地震前後の土砂災害基本図を用いて、PIV (Particle Image Velocimetry)手法で地表変位を検出した結果 (左下)  
この図には、平坦な地域では断層運動による右横ずれと斜面部での複雑な変位が認められる。また、これまで認識されなかった地すべり性の移動土塊が検出された。

2016 熊本地震立野地区での地表変位の検出

(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：

テフラ堆積域における地震動に伴う斜面崩壊の発生場と規模の予測

(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

Ⅰ. 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

(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) 令和2年度の計画の概要：

地震によるテフラの崩壊は、その土塊の運動特性からして警戒・避難の時間的猶予がほぼ無く、深刻な人的被害につながりやすい。2016年の熊本地震や2019年の胆振東部地震により、九州中南部や北海道西部のような活火山の周辺地域において、そうしたリスクが高いことが顕在化した。地震に伴ってせん断破壊しうるテフラの層が、斜面のどこにどれほどの厚みで堆積しており、崩土がどこまで流下する可能性があるのか？斜面ハザードを予め定量的に評価し、崩壊源の分布と土砂の到達範囲を可視化することは、火山近傍地域における斜面減災の核心的ニーズであり、土砂災害レジリエンスの向上に直結している。それによってはじめてリスクが精緻に認識され、伝達可能になって、住民や行政体の各階層における意思決定者に共有され、自助・互助・共助・公助の連動が実現するからである。

テフラの崩壊は、地震・火山・斜面の複合災害であり、その予測には誘因(地震動)が作用する場の条件としての地盤がもつ素因の評価が必要不可欠といえる。本研究では、山地の斜面に成層構造をもって堆積した未固結の降下火砕物(以下、テフラという)が、強震動を誘因として崩壊する現象に着眼し、その発生場と崩土量を予測する手法を開発することを目的とする。地盤の成立過程を多面的アプローチによって深く理解し、モデル化することで汎用性を確保して、土砂災害に対する地域のレジリエンスを高める上での基礎情報を提供できるツールを開発する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

本年度は、社会状況の変化によりフィールド調査の実施における制約等が生じた。多人数が参加しての調査計画を見直し、少人数・少数機関・限定期間での調査に切り替え、分析やデータ解析・モデリングに重点を置いて進めることで、内容的にはおおむね計画通りに研究を前進させることができた。

テフラの給源火山の噴火史に基づき、山地の斜面におけるテフラの供給と再堆積のシミュレーションを行うプログラムを開発し、火山学的に復元されたアイソバックマップに基づくテフラの降下供給量の空間分布を入力として、地形に依存したテフラの二次移動を計算した。本年度は胆振東部地震で

の発災地を対象に、地形条件の異なる多数地点で鉛直試孔の断面記載により実際のテフラ堆積量を測定してモデルの精度と確度の検証を行った。気候条件や過去の気候変動の履歴がテフラの再移動に与えた影響も考察でき、適切なパラメータを付与するうえで有益な情報を得ることができた。

テフラのもつ水理・力学的な物性についても、降下堆積以降の風化作用による透水性の減少や保水性の増大、あるいはせん断強度の低下といった斜面災害に関連する特性の定量的なデータを充実させることができた。また、定置後数千年程度の長い時間スケールでの、元素の溶脱やガラス基質の水和と粘土鉱物の沈殿といった化学・鉱物組成の変化が、どのような機構によって進行するのかについて詳細な検討を行った。間隙水圧計と土壌水分計を用いた稠密水文観測および X 線蛍光分析と X 線回折分析による化学・鉱物分析によって、テフラ累層中での長期間にわたる間隙水の不均質な透過とそれに伴う風化変質を追跡した。また、降水浸透とともに供給され粘土鉱物に吸着蓄積する大気由来の宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$  の加速器質量分析を行うことで、テフラの強度低下をもたらす粘土化の進行過程を検討した。軽石を母材とするハロイサイトが、テフラ累層中に偏在することで、将来的にすべり面となりうる水理・力学的な不連続面を生じさせることが明らかとなってきた。

現在は、テフラの空間的な累積を再現するモデルと、累層中での不均質な風化過程および物性変化を定量化するモデルをカップリングさせ、地形効果による震動増幅を考慮しつつ、任意地点におけるテフラの厚みとせん断強度にもとづき、斜面の崩壊に要する下限の水平加速度あるいは累積変位量を、地理情報システム上で表示した革新的な地震時斜面崩壊感度地図 (Landslide susceptibility map) を提示すべく、モデリングを進めている。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
該当なし ( 論文投稿準備中 )

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

松四雄騎、王功輝、土井一生 ( 京都大学防災研究所 ) 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

鈴木毅彦 ( 首都大学東京都市環境学部 地理環境学科

火山災害研究センター ) 後藤聡 ( 山梨大学大学院総合研究部工学域土木環境工学系 ) 松崎浩之

( 東京大学総合研究博物館 ) 早川裕弐 ( 北海道大学 地球環境科学研究院 環境地理学分野 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学 防災研究所

電話 : 0774-38-4101

e-mail : matsushi@slope.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 松四 雄騎

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

工. 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2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の事前避難を実現を目指し、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。

(7) 令和2年度の成果の概要：

最も重要な構成要素は、ワークショップ(WS)の実施と結果の分析であり、WSの構成、日程まで確定し準備を進めていた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大に伴う1月からの京都府を含む非常事態宣言発出により、研究代表者及び分担者が市民と車座での話し合う形式を含むWSの実施が困難となった。ワークショップの前段階で、既に大量降灰に関する情報の見せ方に関するたたき台の案は、既に検討しているが、これらの情報が住民にどう受け取られるか、また一緒に情報を検討していく共創の過程は実現できておらず、来年度に繰り越して実施する予定である。

- ( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
特になし
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
大西正光、井口正人、矢守克也、竹之内健介、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 )
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：京都大学 防災研究所  
電話：0774-38-4635  
e-mail：onishi.masamitsu.7e@kyoto-u.ac.jp  
URL：
- ( 11 ) 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：

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和2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)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。本研究はこの想定地震に対し種々の被害推定手法で試算し実際の被害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検討する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

北海道防災会議が2011年3月に公表した「北海道の想定地震」のうち、胆振東部地震に最も近似したパラメータを持つものは「胆振東部地震断層帯南部(断層パラメータモデル30.5)」である。想定地震はM7.7(Mw7.2)であり、実際に起こった胆振東部地震はM6.7(Mw6.6)であり災害誘因として想定した1/30以下のエネルギー放出であったが、全道の震度分布(想定震度と計測震度比較)は相似性を有していた。震度値は想定地震が大きいものの、厚真・安平・むかわの被災3町についてはほぼ同等であったため、木造住家被害及び人的被害についてそれぞれの評価結果の比較を行った。さらに評価手法の精度に踏み込むため、胆振東部地震の計測震度を入力とした比較も行った。

比較したのは、想定手法の日本標準である内閣府の方法(南海トラフ巨大地震の被害推定方法)と北海道の住家耐震評点に配慮した北海道防災会議の方法、並びに人的被害については住家特性と室内散乱及び居住者の避難行動能力を考慮した岡田・他(2018)の3者である。

木造住家被害については、想定地震の入力が大きいためいずれも過大評価とはなっているが、内閣府の方法は全・半壊数共に被害実数の10倍以上の推定値を与えており、一方で北海道の住居特性を考



慮した道防災会議の方法は実態に近い結果を与えており、被害評価において住家の地域特性に配慮する重要性が確認された。

人的被害については、死・重傷・軽傷の分類で数値比較を行った。課題として浮上したのは負傷者の公表実数値の信頼性である。公表値は市町村が収集したデータを都道府県対策本部が集計したものであるが、市町村は負傷者については消防により救急搬送された患者数や当該地域の第3次救急病院等の患者数を集計するに止まることが多く、当該地域で発生した負傷者でも他市町村の病院で治療を受けた場合など見逃していることが多い。本調査では被災3町全世帯アンケート調査を実施しており、それによれば「重傷者無し」と公表している町の住民のなかにも、骨折で他市中央病院に入院したケースも数例確認している。負傷者に関しては公表値は全数捕捉したものではないことに注意する必要がある。被害想定に当たり、単に軽傷・重傷という分類で推計するのはあまり意味がない。救急病院搬送を必要とする重篤者（ISS 12.5あるいは16）を重傷とし、推計することに医療体制・防災を計画する上で有意な情報となる。この観点より、全世帯アンケートより胆振東部地震の被災町の負傷率をISSで推定し負傷程度を定義し直すことで、各種方法による推計値と比較した。その結果、従来からの建物被害との相関関係に重点を置いた人的被害評価法では、対策に十分な情報並びに精度が保証できないことを示し得た。

- (8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
篠田茜・岡田成幸・中嶋唯貴：繰り返し荷重を受ける木造建物の損傷度重畳問題の取り組み：耐震評点劣化の確率評価を用いた後続地震による2次被害シミュレーション、日本地震工学論文集，20，3，51-69，2020。  
松岡昌志・中嶋唯貴・岡田成幸：2018年北海道胆振東部地震の広域地震動分布の推定とアンケート震度との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），21007，2020.9。  
岡田成幸・中嶋唯貴・飯田彬斗・岩崎祥太郎・竹内慎一：地震被害想定を検証 - 2018年北海道胆振東部地震の被害実態との比較を通して - ，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），21008，2020.9。  
林響太・中嶋唯貴・岡田成幸・飯田彬斗：積雪寒冷期における地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），21009，2020.9。  
岩崎祥太郎・中嶋唯貴・岡田成幸：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，2020.12。
- (9) 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）、瀧澤一起（東京大学地震研究所）  
他機関との共同研究の有無：無
- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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：
- (11) 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

(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：

地震シナリオの不確実性を考慮した津波被害の確率論的評価

(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

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

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

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：

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

(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2年度の計画の概要：

マグニチュード9.0を記録し、我が国観測史上最大の巨大地震となった2011年東北地方太平洋沖地震を受け、国民の防災・減災に対する意識は急激に高まってきている。近年では、南海トラフ巨大地震とそれに伴う津波被害が危惧されており、激化する災害に関する被害予測は急務の課題となっているが、自然現象は多くの不確実性を有しているため単一あるいは少数の災害のシナリオから得られる被害予測結果の意味付け、解釈は困難である。こうした背景から、災害被害予測は決定論的評価から確率論的評価へと遷移してきている。しかしながら、確率論的な議論を行うためには、今日の災害予想に用いられる数値解析を10,000回程程度の試行回数に渡って繰り返すモンテカルロシミュレーションが求められるが、特に解析1回当たりの計算コストが高い、詳細かつ高精度な数値計算をそのまま適用することは現実的ではない。

そこで本研究では、大規模かつ詳細な数値解析を精度よく近似し代理表現するサロゲートモデルを導入した確率論的リスク評価法を開発した。

( 7 ) 令和 2 年度の成果の概要 :

本研究では、災害被害予測における不確実性の定量化への期待が高まってきている背景から、一般の自然災害による被害を低計算コストで確率論的に評価する枠組みを提案し、津波被害の確率評価に対して提案手法を適用することでその有用性を確認した。本研究で提示したサロゲートモデルを数値解析と組み合わせることで、計算資源を抑えながらも効率的に災害の確率論的評価が可能であることを示した。また、従来モデルにおいて問題視されてきた回帰式の選定などに関する問題をカーネルリッジ回帰 ( KRR ) を導入することで解決し、KRR を用いれば、より忠実度の高いサロゲートモデルの構築が可能であることを示した。

以上、研究計画の内容をほぼ遂行できた。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

数値解析のサロゲートモデリングによる確率論的災害リスク評価手法の開発出口翔大, 浅井光輝, 植木裕人, 竹内友紀, 川崎 浩司土木学会論文集 A2(応用力学) 2020 年 76 巻 2 号 p. I.565-I.576

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

浅井光輝 (九州大学大学院・工学研究院) 市村強 (東京大学地震研究所) 渦岡良介(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

堀高峰 (海洋研究発機構)

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 九州大学 大学院工学研究院

電話 : 092-802-3373

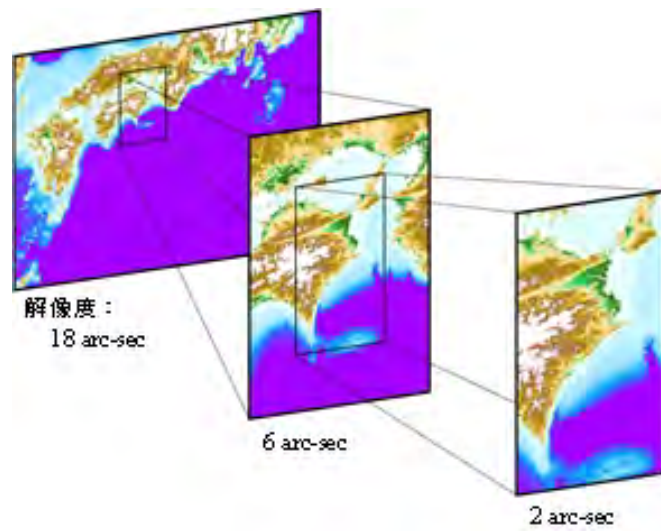
e-mail : asai@doc.kyushu-u.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

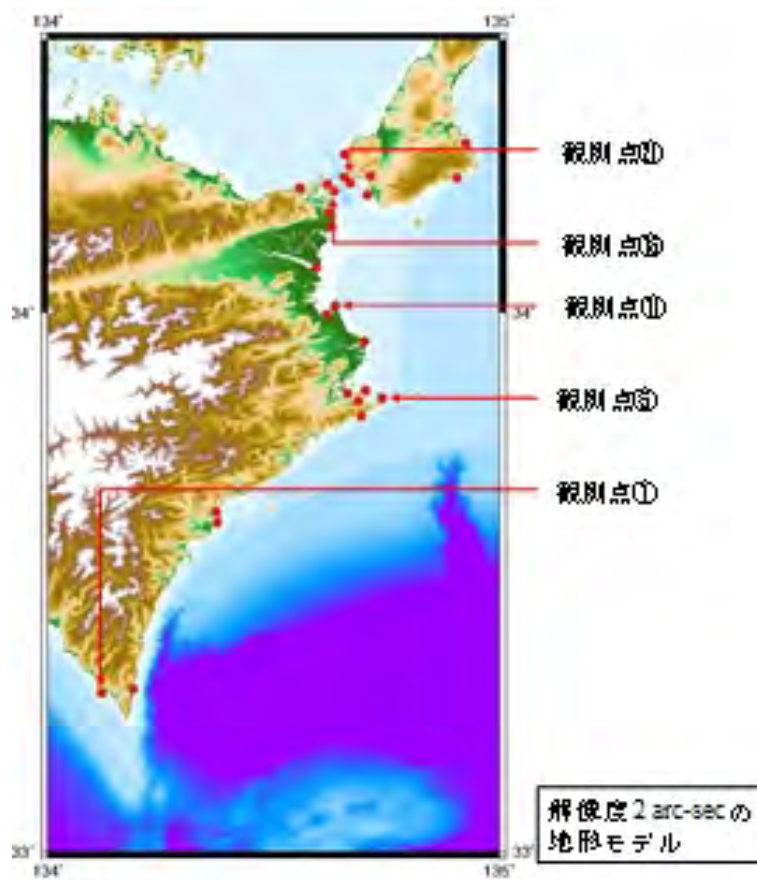
氏名 : 浅井 光輝

所属 : 九州大学 大学院工学研究院



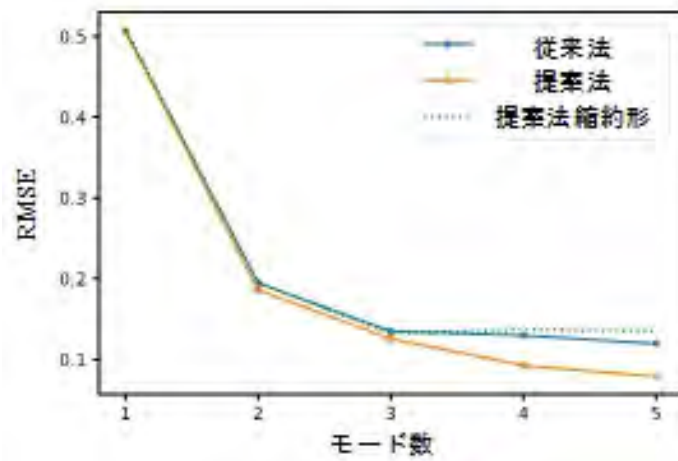
#### 解析対象

内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会の「断層パラメータ\_ケース 03」14) に対応する津波を対象とした。これは紀伊半島沖から四国にかけて大すべり域を想定したケースである。解析対象地域である四国地方・淡路島周辺での解像度を上昇させるようにネスティングを行った。



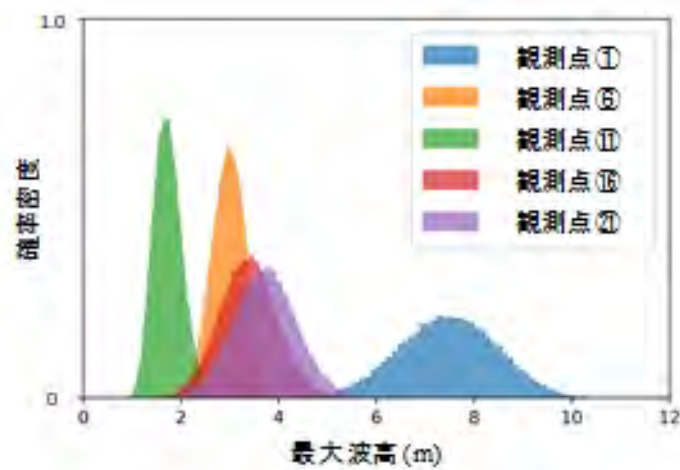
#### 津波観測点

5 点の観測点における最大波高を計測した。



### 従来法との比較

提案手法は特に高次モードに対する回帰式の精度を向上することで、高度化を図った。



### 最大波高の確率分布

5 点の観測点での最大波高を提案するサロゲートモデルで評価した。

(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：

文化財等の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化財等災害予測マップの構築と活用

(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

工. 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

(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2年度の計画の概要：

本研究は、全国の歴史的な建造物、美術品、古文書といった文化財やこれに類する歴史資料、歴史的建造物などの所在情報をデータベース化し、地震調査研究推進本部の公開する全国地震動予測地図、産業技術総合研究所の公開する活断層データベースのほか、各自治体で公開しているハザードマップと重ね合わせ、文化財等被害予測マップを構築する。また、災害発生時には国土地理院が公開する被災地の航空写真、防災科学研究所などで公開される震度推定マップや建物被害推定マップなどの情報を重ね合わせた文化財の被害予測マップを作成する。当年度の活動目標としては、都道府県指定文化財 15,000 件と、市町村指定文化財に指定されている 90,742 件の指定文化財の所在情報の収集を進め、あわせてそれぞれの自治体の博物館・資料館などの位置情報を収集する。

また、文化財所在マップを活用し、自治体や文化財・資料保全関係団体との連携の中で、文化財等被害予測マップに基づいた災害前の文化財等に対する防災対策の推進や災害時を想定した文化財等レスキューのシミュレーション、また災害発生時に展開される文化財等のレスキューや支援活動における情報提供など、効果的な連携体制やロジスティクスの立案への活用を目指す。

(7) 令和2年度の成果の概要：

令和2年度は、都道府県の指定文化財、登録文化財、指定外の文化財約 23000 件について位置情報を入力した文化遺産災害情報マップを作成した。同時に、これらの公開にむけてeコミマップ版も作成した。

加えて、令和3年2月13日に発生した福島沖を震源とする地震では、宮城県・福島県において震度6強を観測した事態をうけ、作成していた文化遺産災害情報マップに防災科学研究所クライシスレスポンスサイトで公開された推定震度分布や建物被害推定の情報を重ね合わせ、被災した文化遺産の可能性の高い場所を可視化した。この情報を、東北大学災害科学国際研究所やNPO法人宮城歴史資料保全ネットワーク、ふくしま歴史資料保存ネットワークの歴史研究者と共有し、震度の大きかった宮城

県山元町、蔵王町、福島県新地町、相馬市において文化遺産災害情報マップを活用した被災状況調査を実施した。一方、被害の大きかったと予想される福島県桑折町、国見町、郡山市などについて、文化遺産災害情報マップから被災の可能性のある文化遺産についてリストアップ作業を実施し、来たるべき被災地調査に向けて情報を整理している状況である。

( 8 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 9 ) 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、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)

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

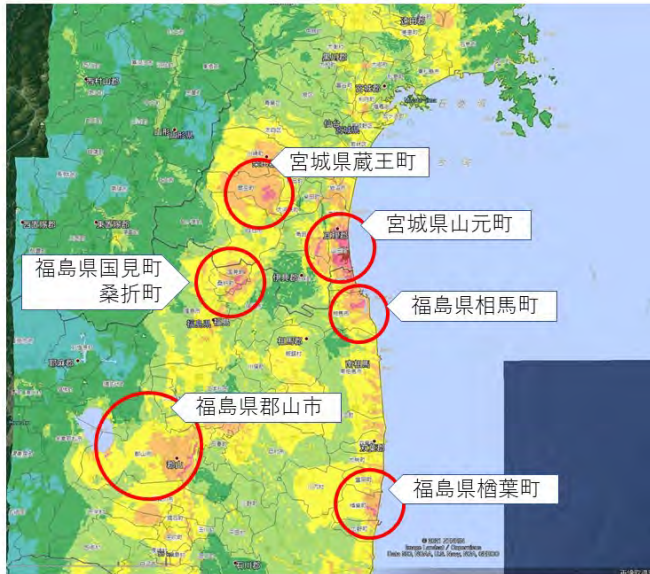
( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 蝦名 裕一

所属 : 東北大学 災害科学国際研究所



e コミマップ版文化遺産マップと 2.13 地震の推定震度



2021年2月13日  
福島・宮城沿岸地震の文化遺産マップと所見

2021.02.13 23:08 地震発生 M7.3

2月14日 防災科学研究所の  
クライシスレスポンスサイトに  
・推定震度分布  
・建造物被害予測  
が公開。  
⇒指定文化財の位置情報との重ねあわせ

震度6を超えた地域が宮城県南から  
福島県内に点在

<所見>  
特に福島県内陸部  
国見町・桑折町や郡山市での  
伝統建造物の被災が顕著な可能性

### 2.13 地震の推定震度と文化遺産の位置情報

2021年2月17日（水） 第1次現状確認調査  
文化遺産マップを手がかりに  
宮城県南部から福島県沿岸北部を調査



文化遺産マップを活用した被災状況調査



(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、通常の地震時の「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關係に特に着目し、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2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の回収作業、機器の回収・再設置作業に向けた準備を行った。日本・メキシコ両国間におけるコロナウィルス感染拡大の影響により2020年11月に予定していた現地調査は実施できなかったが、消耗品を含む機材の準備を日本国内で進めた。2020年度は、2017年から2019年までに取得された海底地震計記録および海底圧力計記録の解析を進めた。

2019年度までに回収された地震計記録を解析し、微小地震活動および低周波微動の分布を求め、海底地形（残差地形）と比較した。結果として、ゲレロ空白域内の浅部プレート境界の一部では、通常の地震や低周波微動のいずれも発生しない領域が存在し、これらの領域は残差地形の負の領域に対応することが分かった。残差地形の負の異常の要因の一つとしてプレート境界面状の窪みが考えられる。すなわち、この窪地に海洋性の堆積物が蓄積したまま沈み込むことが、ゲレロ地震空白域の要因となっている可能性が考えられる。

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、海底圧両記録の解析手法の開発を進めた。ここでは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に着目して、その定量的な評価法の開発を昨年度に引き続き進めた。

ニュージーランド北島東方沖で取得された地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験の実施に向けて、二軸摩擦試験機を用いた実験環境の準備を昨年度に引き続き実施した。これまでに構築したシステムでは、粘土鉱物からなるせん断試料面に縦波と横波を透過弾性波として入射することで、せん断面の透過波および反射波の収録が可能である。特に、せん断面で生じるPS変換波の検出をレシーバ関数解析とほぼ同様の手法で解析する手法の開発を昨年度に引き続き進めた。

日向灘では、今年度より浅部低周波微動震源域 down-dip 側と小繰り返し地震発生領域の up-dip 側の境界付近に観測網を構築し、スロー地震と通常の地震の境界領域における seismicity、特に震源の位置の関係や深さの議論を進めるための観測を実施する。2020年11月に長崎大学水産学部練習船・長崎丸第64次航海において、5台の海底地震計を設置した。設置した地震計は半径500mの円周上および中心1点の地震計アレイとなっており、来年度夏の長崎丸航海にて回収を予定している。また、文科省受託研究「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」(防災南海PJ)で実施される観測とも協力し、2021年3月に10台の海底地震計を設置予定であり、合計15台の海底地震計で観測を行う。スロー地震と通常の地震の境界領域における seismicity を調査する。また、昨年度暫定解析を行っていた新学術領域研究と文科省委託研究で得られたデータの解析を進めた。その結果、2017年～2018年にかけて発生した浅部微動活動の時空間発展が明らかとなった。日向灘では、2013年以降の海底地震観測によって、2013年と2015年にマイグレーションを伴う比較的規模の大きな活動が確認されているが、2017～2018年の活動はそれらに匹敵する活動であった。特に、南から北へのマイグレーションとRTRを伴っていること、さらに間を空けて複数回マイグレーションが発生していたことなど、2013年の活動と類似点が多い。震央位置も観測網が全く異なっているにもかかわらずほぼ同じ場所に決まっており、2017～2018年の活動は2013年活動の再来であったとも考えられる。繰り返し間隔を議論するにはまだ不十分であるが、日向灘の九州パラオ海嶺沈み込み以南の領域では、比較的規模の大きな活動はおおよそ4年程度で繰り返している可能性がある。さらに、文科省委託研究の観測網との統合解析から、これまで不明確であった日向灘の浅部微動震源域の南限が、種子島東方沖の北緯30.5°付近まで連続的に広がっていることが確認された。一方で、北緯31°付近は、浅部微動の migration 方向が北西方向に変化する場所であるが、やや活動度が低下する様に見えることから、こ

の場所も1つのセグメントとなっている可能性がある。これは、通常の地震活動が北緯31°以南と以北で変化することにも対応しているように見える。これらの要因については九州パラオ海嶺の沈み込みが大きな要因の1つであると考えられるが、今後得られるデータを含め議論を行う必要がある。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Farazi, A.H., E.S.M. Garcia and Y. Ito, (2020) Stability of ambient noise H/V spectra obtained from OBS near the Japan Trench, Events, European Geosciences Union General Assembly 2020, EGU2020-3999.
- Sawaki, Y, Y Ito, K. Ohta, T. Shibutani, and T. Iwata, 2020, A New Approach to Clarify Slow Earthquake Source Regions: Multi-band Receiver Function Analysis Including Local Deep-focus Events, European Geosciences Union General Assembly 2020, EGU2020-4921.
- Plata-Martinez R. O., S. Ide, M. Shinohara, E.S.M. Garcia S., N. Mizun, L.A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J.A. Real, V.M. Cruz-Atienza, A. Husker, and Y. Ito, 2020, First detection of shallow tremor at the Guerrero gap, Mexico. Japan Geoscience Union JpGU-AGU Joint Meeting 2020, S-CG58.
- Sawaki, Y., Y. Ito, K. Ohta, T. Shibutani, and T. Iwata, 2020, Multi-band Receiver Function Analysis Including Local Deep-focus Events in Northeastern Kii, Japan Geoscience Union Meeting 2020, SCG58-14.
- 佐脇泰典・植村美優・片山郁夫・伊藤喜宏, 2020, 室内摩擦実験におけるレシーバ関数法の適用, 日本地球惑星科学連合2020年大会, SSS15-P16.
- Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Sugioka and A. Ito, 2020, Shallow low-frequency tremor at Hyuga-nada (2017-2018), Slow Earthquakes Work Shop 2020 Virtual P-A01-16.
- 山下 裕亮・仲谷 幸浩・八木原 寛・平野 舟一郎・中尾 茂・宮町 宏樹・小林 励司・清水 洋・松島 健・内田 和也・中東 和夫・阿部 英二・山田 知朗・篠原 雅尚、喜界島東方海域における浅部低周波微動活動(その1), 2020, 日本地震学会2020年秋季大会、S22P-04.
- Plata-Martinez R. O., Y. Ito, and V.M.Cruz-Atienza, 2020, Explorando nuestro planeta para descifrar sus secretos: ejemplo de un proyecto multidisciplinario entre México y Japón. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, 2020, SE12-01.
- Garcia, E. S. M. and Y. Ito, 2020, Incoming Plate Faulting at the Outer Slope of the Middle America Trench offshore Mexico, Japan Geophysical Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2020, SCG62-P01
- Plata-Martinez R. O., S. Ide, M. Shinohara, E.S.M. Garcia S., N. Mizun, L.A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J.A. Real, V.M. Cruz-Atienza, A. Husker, and Y. Ito, 2020, Shallow slow earthquakes and mechanical properties at the Guerrero seismic Gap, Mexico, American Geophysical Union Fall Meeting 2020, S027-0013.
- Yamashita, Y. K. Mochizuki, M. K Savage, E. Warren-Smith and L. M Wallace, 2020, Ocean bottom seismological observation of slow earthquake activity in the northern part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand, American Geophysical Union Fall Meeting 2020, T017-0001.
- 佐脇泰典・澁谷拓郎・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, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P217.
- Farazi Atikul Haque・伊藤喜宏, (2021) Stability of HVSR spectra obtained from ocean bottom seismometers (OBS) near the Japan Trench. 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P36.

(10) 令和3年度実施計画の概要 :

メキシコ・グレロ州沖合に長期型海底圧力計1台、海底地震計7台の回収作業および海底地震計8台の設置作業を実施する。グレロ沖の海底圧力計1台の設置作業を実施する。2021年度に回収予定の海底地震記録の解析を行う。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)の解析を行う。非火山性微動、小繰り返し地震、微小地震の活動域とマルチビームソナー記録から

得られた海底地形図を比較し、浅部スロー地震発生の場の空間的特徴の抽出を行う。ニュージーランド北島東方沖で取得されたコア試料を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。特に二軸摩擦試験機と透過弾性波を組み合わせた試験を実施し、すべりに伴うガウジ層の時間変化の検出を目指す。メキシコ・ゲレロ州沖合に長期型海底圧力計1台、海底地震計7台の回収作業および海底地震計8台の設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台の設置作業を実施する。2021年度に回収予定の海底地震記録の解析を行う。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）の解析を行う。非火山性微動、小繰り返し地震、微小地震の活動域とマルチビームソナー記録から得られた海底地形図を比較し、浅部スロー地震発生の場の空間的特徴の抽出を行う。ニュージーランド北島東方沖で取得されたコア試料を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。特に二軸摩擦試験機と透過弾性波を組み合わせた試験を実施し、すべりに伴うガウジ層の時間変化の検出を目指す。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深さ分布について調べる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伊藤喜宏、山下裕亮

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(プレーメン大学)、Victor M. Cruz-Atienza(メキシコ国立自治大学)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4240

e-mail：ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp

URL：

(13) 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数値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数値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2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

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か所に地震臨時観測点を設置し、レシーバ関数解析やトモグラフィ解析のための観測を開始した。

四国南東部の徳島県海陽町から2000年鳥取県西部地震の震源域の北端付近に位置する米子市まで南東-北北西に延びる測線において、南東部で2014年～2017年に行われたリニアアレイ観測で得られたレシーバ関数と北西部で2002年～2004年の合同観測で得られたレシーバ関数(Ueno et al., 2006)

を用いて、レシーバ関数イメージを作成した(図1)。フィリピン海スラブ内の海洋モホ面(OM)とフィリピン海スラブの上面(ST)が明瞭にイメージされた。四国東部下に沈み込むフィリピン海プレートはとても緩やかな傾斜(約6度)で、少なくとも中国地方の中ほどまで存在していることがわかった。また、大陸モホ面(CM)は、測線の北端の深さ30kmから南端の深さ15kmまで南南東上がりにフィリピン海スラブの上方に位置していると考えられるが、測線の両端部以外では明瞭にイメージされなかった。

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おいても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。

#### ○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を引き続き行い、継続時間と断層モデルの両方を推定することができるようになった。また、南海トラフ沿いの東海地方から紀伊水道におけるGNSS観測を継続して行い、この地域における経年的なプレート沈み込みに伴う地殻変動の観測と陸上GNSSデータを用いた短期的SSEの検出を行った。

東海地方と関東地方に発生する短期的SSEについては、1994年以降の再解析GNSSデータを用いた25年分の短期的SSEの客観検出を行い、176個のSSEを検出した(図2)。日本海溝沿いに発生するSSEについては、過去の大地震の震源域の浅部と深部に位置し、浅部のSSEについては、微動の分布とは相補的であることがわかった。

#### ○過去の地殻変動観測記録の再解析

地殻変動観測のプロマイド記録について、デジタル画像を公開するためのデジタルアーカイブを公開した(<https://www.dheq.org/repo/s/bromide>)。紀州観測点および由良観測点の土地傾斜観測の記録を格納している。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
澁谷拓郎・中川潤・長岡愛理・三浦勉・山下裕亮・山?健一・小松信太郎、四国下に沈み込むフィリピン海プレートのレシーバ関数イメージング(3)、日本地震学会2020年秋季大会(オンライン)、S06-08, 2020年10月29日

Nishimura, T., Slow slip events in the Kanto and Tokai regions of central Japan detected using GNSS data during 1994-2020, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, doi:10.1029/2020GC009329, 2020.

加納靖之, 2020, 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, 印刷中

地殻変動プロマイド記録, <https://www.dheq.org/repo/s/bromide>

- (10) 令和3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-八幡浜測線のレシーバ関数解析を行う。四国西部の高知県須崎市から愛媛県松山市まで南東-北西に延びる測線上で地震臨時観測点の選点を行う。

#### ○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。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澁谷拓郎・西村卓也

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 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

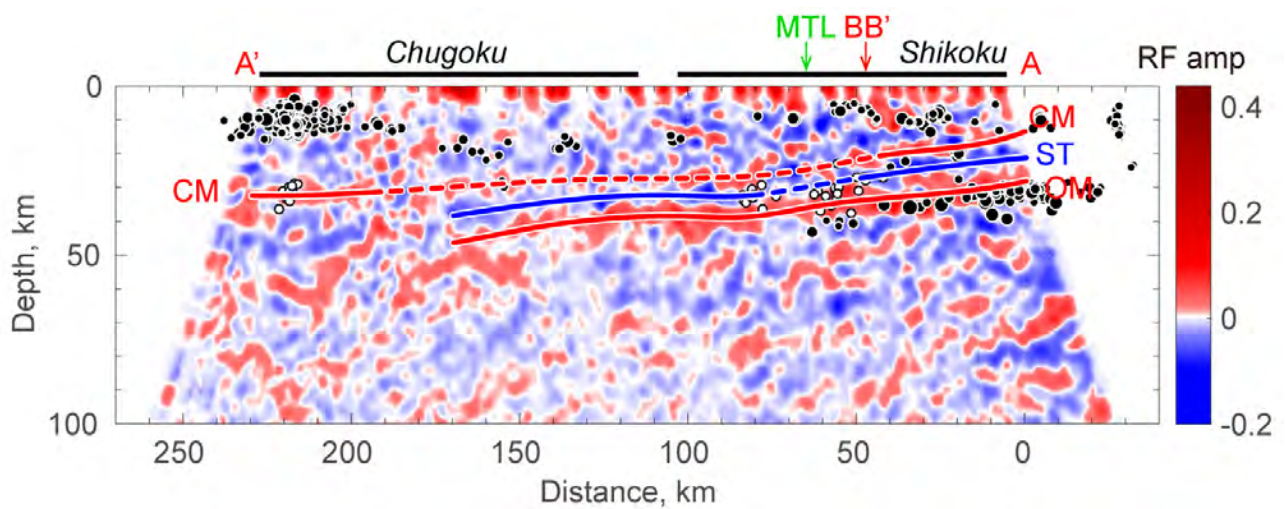


図1 海陽 - 米子測線でのレーパ関数イメージ

OMは海洋モホ面、STはスラブ上面、CMは大陸モホ面を示す。白丸は深部低周波地震、黒丸は通常の地震を示す。MTLは中央構造線、BB'は徳島 - 西予測線の位置を示す。

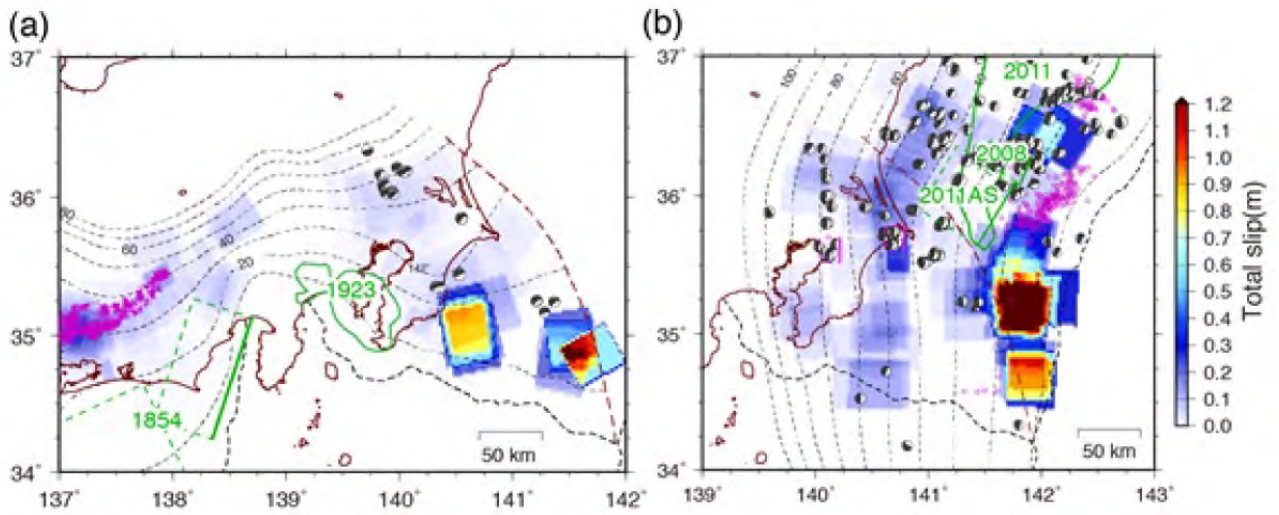


図 2 1994 年 7 月から 2019 年 11 月までに発生した短期的 SSE の累積すべり量

緑線は過去の大地震の震源域を表す。震源球は 1997 年から 2019 年の M4.8 以上のプレート境界型地震の発震機構を表す。(a) 相模トラフと駿河トラフ沿い(フィリピン海プレート上面)の SSE。(b) 日本海溝沿い(太平洋プレート上面)の SSE。

(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載荷過程および断層の強度低下過程の解明である。

断層への載荷過程においては、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 $15 \pm 5$  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法の考え方をういて、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 CFF (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 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、 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（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2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

山陰地域においては鳥取県中部での GNSS 観測を継続し、大阪府北部においては有馬-高槻断層帯を横断する GNSS 連続観測点の観測を継続している。大阪府北部では、2019年に新設した観測点のデータの蓄積に伴い、有馬-高槻断層帯周辺での右横ずれ変形が確認出来るようになったが、詳細なモデル化に耐えうる精度に達するまでには、まだ1年程度観測の継続が必要である。なお、GNSS 座標値計算ソフトウェアとして、新たに GipsyX を導入し、過去のデータの再計算を行った結果、多くの観測点で日座標値の再現性が 5%程度向上し、より高い精度での地殻変動の議論が可能となった。

跡津川断層近傍において GNSS 連続観測を行い、順調にデータを蓄積した。東北沖地震後の GNSS データの中から各 SAR 画像撮像日を中心とする2年間を切り出し、その期間の時系列を時間の2次関数と年周・半年周変動の和でモデル化し、これによって抽出した地殻変動ベクトルを用いて InSAR 画像の補正を行った。

#### ・比抵抗観測とモデル化

令和2年度は中国・四国地方のMT観測予備調査ならびに四国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施した。

MT観測予備調査として、中国地方中北部域(島根県東部地震空白域から西側地域)において、電磁環境・道路状況、地形や土地利用状況などを考慮して観測候補として40地点を調査した(図1を参照。広帯域MT法観測予備調査エリアを赤枠で囲む)。加えて、予備調査の一環として、候補地点を絞り込むための情報を得るために、この地域における数少ない既存の2測線データ(例えば、三瓶山周辺域では1989年に測定された広帯域MT観測データ(塩崎、1993)、島根県東部地震空白域では2003年島根県東部比抵抗研究グループ(2005)が取得したデータなど)を活用することとした。特に、三瓶山周辺域では過去の観測で得られたデータの再評価と従来の解析では取り入れていなかったCaldwell et al.(2004)のインピーダンス位相テンソル(PH)解析を導入し、構造の3次元性評価に使用される値や主軸などを計算した。それらと島根県東部地震空白域について実施された同様の再解析結果を比較し、中国地方中北部域の既存データの評価と空間的な電磁気応答を調べた(図2-1,2-2)。

三瓶山周辺域ならびに島根県東部データをみると値は全周期帯では数度以内に収まる値が多い。特に、後者では10秒以下、前者では0.1秒以下の周期帯では値は概ね5度以内に収まるが、それ以上の長周期帯ではそれを超える値もみられた。特に、三瓶山周辺では、北側の3地点(44,45,43)では1000秒、三瓶山南側の4地点(41,42,46,47)では10秒程度まで連続した探査曲線が得られているが、上述の値やインダクションベクトル、再北部44地点では1秒前後で異常位相がみられること、火山地域周辺であることなども考慮するとこの地域では3次元構造解析の必要性が指摘される。ただし、現時点ではこの測線のみデータしか存在しないため、試みとして後に示すように再解析されたデータを用いた2次元構造解析を行い、その結果を震源分布や島根東部の構造と比較、得られた知見を令和3年度以降の本観測へつなげることとした。

三瓶山周辺の構造解析には、地殻地震が発生する領域に關与する可能性が高い10-0.1秒前後の周期帯について、PT解析とインダクションベクトルの方向から構造の走行(概ね付近の海岸線に直交する2次元構造と調和的)を推定し、N50Eの2次元走向を仮定することとした。その走向を固定して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、得られたインピーダンスデータについてOgawa and Uchida(1996)のコードを用いた2次元構造解析を行った。

その結果、新たに三瓶山周辺域で得られた2次元構造断面図を図3に示す。三瓶山周辺域では全般的に地殻は高比抵抗領域として推定された。北部日本海側地点ならびに、三瓶火山直南地点の地殻浅部以外には低比抵抗領域はみられない。これらの構造は、北部の地殻浅部低比抵抗領域の位置などを除けば塩崎(1993)の研究結果と調和的である。

浅野他(1986)が指摘した中野原から三川を通り北西-南東方向に伸びる地震帯とこれに直交するように三瓶山から海岸線に平行して西南方向に伸びる二つの地震帯の交差するあたりで、2018年島根県西部地震(M6.1)が発生したが、今回推定された北部の高/低比抵抗境界は、この地震の震源と關連するものかもしれないが、これまで山陰地方で指摘された10 m以下の地殻深部低比抵抗領域がみられないなどの相違点がある。また、三瓶山周辺から南東方向に伸びる地震活動は高比抵抗領域に対応している。島根県東部地域は山陰地方の地震活動の帯の中であって無地震域を形成している場所であり、既存研究からこの地域では一様な、三瓶山周辺域と比べ低比抵抗な地殻構造が示されている(例えば、Shiozaki et al,2006)。二つの地域の地震活動にみられる違いと比抵抗構造の違いがどのように關連するのか、水平方向の連続性を明らかにする本観測を実施することは、同地域の地震活動や応力の集中・緩和を考える上で重要である。島弧の軸方向の面的な基盤的比抵抗構造研究の必要性が示される。

四国地方では既存データを用いた3次元基盤的比抵抗構造解析を進めた。まず、これまでに地震予知研究計画に始まり、地震火山噴火予知研究計画や災害の軽減のための観測研究計画などにより取得してきた既存の基盤的広帯域MT観測データを、上嶋(2016)が開発した広帯域MT法において小スケール表層不均質の影響を受けない位相テンソルと鉛直-水平磁場間変換数を同時に扱う3次元構造解析インウ?ァーシ?ョンコート?の入力データとして扱えるよう処理した。その際には、これまでの複数の観測機器やファームウェアに關連する測定周波数の違いや、観測座標系の違い、解析処理ソフトウェアの

相違や測点ごとの S/N 比の違いによる解析可能な周波数帯域の問題など、上述の解析プログラムコードにデータを一括して入力・モデル解析するために解決すべき課題を逐次処理した。3次元モデル解析のための初期モデルの構築を行った(図4)。初期モデルの概要は次の通りである。モデルの中心を緯度 33.704、経度 133.510 と設定し、南北を X、東西を Y、鉛直下向き深さ方向を Z として、3059km × 3059km × 1084? の領域をモデル空間とした。要素の総数は 80 × 80 × 43 (大気層は除く) である。水平方向の格子間隔は X、Y ともに中心から遠方に向かって大きくなっており、最小 5?、最大 443.5? である。深さ方向の格子間隔については深くなるほど増加し (1km 以浅では 1.3 倍、以深では 1.5 倍ずつ)、表層で 10m、最下層で 264.862? である。初期モデルの比抵抗値については、NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) が公開している ETOPO1 Ice Surface データを用いて水平方向のメッシュ内の平均標高を計算し、海水部分には 0.25 m、それ以外の大地には 100 m を与えた。ただし、400? 以深にはマントル遷移層・下部マントルの比抵抗値として 1 m を与えた。現時点では最終的な解析結果を得ていない。

最後に、予震線に起因するノイズや観測時の地磁気状況が影響して、高品質の広帯域 MT 法データが 1 秒以上の周期帯で得られていない地域が中央構造線周辺域に存在する。このため、第一段階の 3 次元比抵抗構造解析の入力データとして 1 秒以下の周期帯のみを取り扱った。高品質の広帯域 MT 法データを得るための補充観測が必要不可欠であることを付記しておく。

#### ・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

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5に、京大防災研・九大・東大地震研・関大合同観測班、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観測点の分布を示す。ATLに沿う方向をX軸にとっている。ATLの北側の北摂山地は大阪平野に対して隆起しているため、前年度の解析により推定された応力場の下では、ATLは北下がり断層帯であると考えられる。今回はATLの深部と余震域の相対的な位置関係の推定を試みた。このことは、大阪府北部の地震がどの活断層に関係した地震であるのかという未解決の問題や、今後の地震活動の推移を考える上で、重要な基礎的な知見を提供するものである。

各観測点において、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調べた。図5に示した2点、ABUとOH40の例を図6に示す。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が大きくなる傾向が見られる。この関係を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。a2がflat-ramp(平坦-傾斜)関数の折れ曲がり位置を示す。一方、ATLの南側に位置するOH40観測点では、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。

これらのデータを解釈した模式図を図7に示した。ATLをある幅を持った周囲より低速度の断層帯と仮定している。ATLの北側に位置する観測点では、断層帯の北側の余震は断層帯の低速度域を通過してこないため、地震波の遅れ(成層構造を仮定した場合にO-Cが大きくなる)が見られないが、断層帯内およびその南側に地震では遅れが見られる。一方、南側の観測点ではその反対のパターンとなる。南側の観測点において、断層帯の北側の余震については、断層帯内の余震に比べて、断層帯内を通過する距離が短くなると考えられるが、地震波の遅れはより大きいため、断層帯では、北ほど、また浅いほど速度異常が大きいことが推定される。このことは、余震域付近の地震波速度異常が、北側の丹波帯と南側の領家帯の地質境界(物質境界)に起因するものではないことを示唆していると考えられる。

ATLの北のブランチから4km以内(Y=-4~4)の観測点において、図6に示したように観測データをfitし、ABUのように、南上がりのrampの傾きが正でありかつ、a2の信頼範囲の南限がデータの南限を超えないという有意なfitを示した19点の観測点のデータから、極端な値を示す4点のデータを除くと、a2(折れ曲がり位置)はY=2.5~5.0の範囲に分布した。これらの推定結果が、ATLの断層帯の北端を示していると考えられる。

図8に、ATLに直交する断面に投影した余震の震源分布と推定されたATLの深部の位置を図示した。茶色の塗りつぶしの領域が、上記の15点における余震のO-Cから推定された断層帯の北端の位



置の範囲を示したものである。推定された ATL の断層帯の北端の位置は、浅野 (2018) による推定断層の北側に位置していることが分かる。断層帯の南端については、図 6 の OH40 に示された a2 がその推定位置となる可能性があるが、推定断層の南側には余震は遠くまで発生しておらず、flat な部分があったとしても、その長さが短いため、現時点では flat-ramp(平坦-傾斜) 関数の fit の結果は、北側で flat-南側で南下がりのパターンも含めてばらついているため、さらなる注意深い解析が必要である。

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 の断層帯の北端に、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、そもそも明瞭な端があるのかどうかも含めて今後の課題であるが、大阪府北部の震源断層は、ATL の断層帯の内部で発生した可能性が示唆される。特に、震源断層の北限が ATL によって限られていることは、この地震が、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浅部に破壊が進展しなかった M6 クラスの地震となったことと関係しているものと考えられる。

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った。2016 年鳥取県中部の地震の京大・九大・東大地震研合同余震観測データを用いた地震波トモグラフィーにより、余震域の中央部の最も推定の信頼性が高い領域において、余震活動が低い領域と低速度異常域が良く対応していることが分かった。近畿地方中北部や長野県西部地域において、地震のメカニズム解をさらに多数決定して、詳細な応力場を推定した。長野県西部においては、2017 年 6 月 25 日の M5.6 の地震の震源域において、500m~1km の空間分解能で応力場を推定することが出来た。

・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(2020 年 1 月~2020 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、5932 個の地震の震源を決定した(図 9)。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 137 個が含まれてる(図 10)。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。

#### 2016 年熊本地震発生前後の地震活動度の変化における応力と間隙流体圧の影響

地震メカニズムトモグラフィー法(FMT 法, Terakawa et al., 2010)による間隙流体圧場の推定と地震時応力変化による??CFS の計算を通じて、2016 年熊本地震前後の地震活動度の変化における応力と間隙流体圧場の影響を定量的に調べた(Nakagomi, Terakawa et al., 2021)。間隙流体圧場の推定と??CFS の評価は、どちらも地震前の背景応力場のパターンに強く依存する。そこで、まず、熊本地震発生前の約 20 年間に発生した地震のメカニズム解 2516 個(Matsumoto et al., 2018; F-net モーメントテンソルデータ)から九州地方の(本震前の)広域応力場のパターンを推定誤差と共に推定した。この結果から、応力場のパターンが精度良く推定されている九州中央部(経度: 130.2 °E-131.6 °E, 緯度: 32.0 °N-33.4 °N, 深さ: 0-20km)を地震活動度の変化を定量的に調べる対象領域とし、2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震とその 2 日前に発生した最大前震の地震時応力変化による??CFS 及び熊本地震発生前の間隙流体圧場と地震活動度の変化の関係を調べた。地震活動度の変化の評価には、気象庁の一元化カタログのデータを用いた。具体的には、熊本地震前 3 年間(2013 年 4 月 14 日~2016 年 4 月 13 日)の地震数(Rb)に対する地震後 3 年間(2016 年 4 月 14 日~2019 年 4 月 13 日)の地震数(Ra)の比で表現した。これらの定量的な分析は、対象領域内の深さ 5, 10, 15 km の水平面内に 5 km 毎の評価点を設定し、評価点から 5km 以内の地震数を用いて計算した。

図 11 は、地震時応力変化による??CFS 及び熊本地震発生前の間隙流体圧係数 C と地震活動度の変化の関係を表している。ここで、間隙流体圧係数 C は、間隙流体圧の静水圧からのずれを静岩圧と静水圧の差で規格化した無次元量である。図 12 は、地震活動度の顕著な変化(10 倍以上の増減)があった領域を??CFS の分布上に表示したものである。これらの結果から、大きな特徴として、CFS > 0 の領域では地震活動度が増加し、CFS < 0 の領域では地震活動度が減少する傾向が捉えられた。この

ことは、観測された地震活動度の変化は概ね地震時応力変化で説明できることを意味する。一方、本震前の C 値が高い地域ほど、本震後に地震活動度が増加する傾向があることがわかる(図 11)。図 13 は、地震活動度の増加があった領域を間隙流体圧分布上に表示したものである。とくに、熊本地震の震源断層の南側のセグメント付近の高圧間隙流体圧域では、熊本地震後に地震活動度が大きく増加する傾向があった。これは、CFS だけでなく、本震前の間隙流体圧場も地震活動度の変化に影響を与えていることを示している。

CFS < 0 にも拘わらず熊本地震後に地震活動度が増加した地域で発生した地震は、全体の約 14 ~ 39 % (評価点から 3 km 及び 5 km 以内で発生した地震の割合) を占めた。このような CFS からの予想に反して地震活動度が増加する傾向は、CFS の負の影響が小さいほど、C 値が高いほど顕著になる(図 11)。これらの地域のうち、本震前後の両期間で十分なメカニズム解(Matsumoto et al., 2018; Mitsuoka et al, 2020; F-net)のある 11 個の評価点において、本震後の間隙流体圧の上昇量を簡易的に見積もった。8 つの評価点において、平均間隙流体圧が有意に上昇(3.1 ~ 39 MPa)した(図 14a?b)。ここで見積もられた間隙流体圧の上昇量は、非排水条件下での地震時応力変化による間隙流体圧上昇量(0.07 ~ 1.4 MPa)に比べて有意に大きい。このことは、大地震の破壊に伴い、地下深部に存在する間隙流体が移動することにより、震源周辺域の断層強度の低下を引き起こし、多くの地震活動を誘発した可能性を示唆する。同様の解析を CFS からの予想通りに地震活動度が増加した 62 個の評価点においても実施したところ、39 個の評価点で間隙流体圧が上昇したこともわかった。これらの結果は、応力変化で説明できる余震活動の中に、間隙流体圧の上昇による断層強度の影響を受けて発生したのもあることを示唆する。

#### 2017 年韓国・浦項地震の発生メカニズムの考察

浦項(ポハン)地震は、2017 年 11 月 15 日に韓国南東部の浦項市にある地熱発電所内で発生した中規模地震(Mw5.5)である。韓国政府により地震後直ちに組織された国際調査団は、詳細な調査・研究を基に、2019 年 3 月、この地震は地熱開発による注水(最大坑口圧: PX1: 27.2 MPa, PX2: 89.2 MPa)が原因で発生したものであると結論付けた(Korean Government Commission, 2019; Ellsworth et al., 2019)。本研究では、地震のメカニズム解から応力場と間隙流体圧場を推定する 2 つの逆解析を通じて、2017 年韓国・浦項地震の発生メカニズムを考察した(Terakawa et al., 2020)。

まず、Kim et al. (2020) による 91 個の地震のメカニズム解(データ期間: 2017 年 11 月 15 日 ~ 2018 年 3 月 18 日, 前震 2 個, 本震, 余震 88 個)をデータに、CMT データインバージョン法(Terakawa and Matsu 'ura, 2008)により、震源域周辺域(東西: 14 km, 南北: 11 km, 深さ: 7 km)の応力場のパターンを推定した。対象地域の応力場は東西圧縮の横ずれ断層型と推定され、これは浦項地震発生前のより長い期間(6 ~ 20 年間)のデータを用いた応力インバージョンの結果(Chang et al., 2010; Soh et al., 2018)とよく一致する。

次に、この応力場と対象領域での応力直接測定により推定された摩擦係数の値(0.4)(Hofmann et al., 2019)を基に、同じデータセットから地震メカニズムトモグラフィー法(e.g., Terakawa et al., 2010)により対象領域の平均的な間隙流体圧場を推定した(図 15)。震源の近傍には、注水井の開口部付近にピークを持つ間隙流体圧の高まりがあり、最大間隙流体圧(の静水圧からの超過圧力)は  $8 \pm 3$  MPa であった。これは注水による最大坑口圧の 1/10 程度に相当する。

浦項地震本震のメカニズム解は、走向 227 度、傾斜 75 度、すべり角 143 度の逆断層成分を含む右横ずれ断層タイプであった。この断層は、震源域の応力場の最大剪断面に近い向きであった。最大剪断面は、十分な剪断応力を蓄積しながら、法線応力が高いために滑りにくい断層である。簡易的に震源域での間隙流体圧の時間発展を調べたところ、前震の発生から本震の発生まで間隙流体圧レベルが増加する傾向が見られ、その後急速に減少し、本震発生から 8 時間程度で静水圧に戻ることがわかった(図 16)。本震の断層強度の低下量は約 7 MPa と見積もられた。注水で弱くなった最大剪断面に近い断層面で地震すべりが始まれば、周辺域の応力は効率よく解放され、これにより浦項地震は注水量に比べて規模の大きな地震へと成長した可能性がある。

・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本を模した単純な2次元の斜め沈み込み帯と現実的な3次元の沈み込み帯形状を用いてGNSSデータから推定された固着分布を用い、海溝型地震断層での固着と100-120年周期の大地震による内陸域でのクーロン応力変化(CFS)について、粘弾性を考慮して計算した。CFSが過去最大値を更新する期間のみに内陸地震が発生するとしてこの期間を活動期と定義すると、海溝型地震時にCFSが増える断層では地震後、CFSが減る断層では地震前が活動期となるのはどちらのモデルでも共通する(図17)。また、内陸断層の見かけの摩擦係数が大きいと、歴史地震にはほとんど見られない海溝型地震と同時に発生する内陸地震が多いことから、過去の地震活動を説明するためには見かけの摩擦係数が小さい方が良かった。

・地震活動変化

(1) 地域性を考慮した階層時空間ETAS(HIST-ETAS)モデルで、リアルタイム予測とシミュレーションを可能にし、西南日本、関東、日本内陸部やカルフォルニアの地震活動を動画で示した。(2) そのHIST-ETASモデルの推定・予測・シミュレーションのためのソフトウェアを開発し、公開した。(3) 気象庁(日本)、ISC、20世紀の世界の大地震などの地震カタログのデータの不均質性を検討するベイズ的方法を与え実例を示し議論した。(4) 閾値マグニチュードを下げてでも長期間地震活動の非均質データから偏りのない推定や予測をできるモデルを目指すため地震検出率の時空間モデルを考案し推定した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Iio, Y., Matsumoto, S., Yamashita, Y. et al. Stationarity of aftershock activities of the 2016 Central Tottori Prefecture earthquake revealed by dense seismic observation. *Earth Planets Space* 72, 42 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01161-x>

Kumazawa, T., Ogata, Y., and Toda, S. (2020). Wide-area seismicity anomalies before the 2011 Tohoku?Oki earthquake, *Geophysical Journal International*, Vol.223, Issue2, pp.1304-1312, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa356>.

熊澤貴雄, 尾形良彦 (2020). 群発地震活動の非定常ETASモデルによる検出と測地学データに基づく予測可能性について, *地震予知連絡会会報*, 第103巻(12-12), pp.378-384, 2020年3月, <https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN>

Mitogawa, T. and T. Nishimura, Coulomb stress change on inland faults during megathrust earthquake cycle in southwest Japan, *Earth Planets Space*, 72:60, doi:10.1186/s40623-020-01174-6, 2020

Nakagomi, K., T. Terakawa, S. Matsumoto, and S. Horikawa, Stress and pore-fluid pressure control of seismicity rate changes following the 2016 Kumamoto earthquake, Japan, *Earth Planets and Space*, doi: 10.1186/s40623-020-01329-5, 2021.

野村俊一, 尾形良彦 (2020). 多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価, *地震予知連絡会会報*, 第103巻(12-8), 361-366, [https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12\\_08.pdf](https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12_08.pdf)

Ogata, Y., Katsura, K., Tanemura, M., Harte D., and Zhuang J. (2021) Bayesian Seismicity Analysis based on Delaunay Triangle Nets: Hierarchical Space-Time Point Process Models (HIST-PPM; including HIST-ETAS model) *Computer Science Monograph No. 35*, Institute of Statistical Mathematics. <https://www.ism.ac.jp/editors>

Ogata, Y. (2021) Visualizing heterogeneities of earthquake hypocenter catalogs: modeling, analysis, and compensation, *Progress in Earth and Planetary Science* 8, Article No.8, <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00401-8>.

Ogata, Y. and Omi, T. (2020). Statistical Monitoring and Early Forecasting of the Earthquake Sequence: Case Studies after the 2019 M 6.4 Searles Valley Earthquake, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110 (4), 1781-1798, <https://doi.org/10.1785/0120200023>

尾形良彦 (2020). 階層的時空間ETASモデルによる短期・中期予測, *地震予知連絡会会報*, 第103巻(12-13), 385-387, [https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12\\_13.pdf](https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12_13.pdf)

Terakawa, T., W. Seo, K.H. Kim, and J.H. Ree, 3D pore-fluid pressures in source region of 2017 Pohang earthquake inferred from earthquake focal mechanisms, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2019GL085964, 2020.

- 寺川寿子・中込広大・松本聡・堀川信一郎・2016年熊本地震合同地震観測グループ, 2016年熊本地震の余震発生における間隙流体圧の影響, 日本地球惑星連合大会, オンライン, 2020.7.
- 寺川寿子・Wooseok Seo・Kwang-Hee Kim・Jin-Han Ree, 2017年韓国浦項地震の発生メカニズム, 日本地震学会2020年秋季大会, オンライン, 2020.10.30.
- Ueda, T., Kato, A., Ogata, Y. and Yamaya, L. (2021). Spatial Variations in Seismicity Characteristics in and Around the Source Region of the 2019 Yamagata-Oki Earthquake, Japan, Earth, Planets and Space, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01325-9>
- Yukutake, Y., Iwata, T., & Iio, Y. (2020). Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms. *Tectonophysics*, 228553.

(10) 令和3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

大阪府北部については、GNSS観測を継続しひずみ速度分布の推定とそのモデル化に着手する。山陰地方においては、別予算で設置した新規GNSS観測点のデータも利用してひずみ集中帯西端付近での詳細地殻変動の解明とそのモデル化に着手する。跡津川断層周辺域においては、東北沖地震後のGNSS時系列について、数値モデルをさらに実態と整合的なものとするこゝで、GNSSによるInSAR画像補正効果を高める。

・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3年度)は、中国・四国地方の選点完了地域におけるMT本観測を実施するとともに、四国地方の基盤的比抵抗構造解析を遂行し、中国地方の構造解析に着手する。

・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次元の不均質構造や応力場の解明等を行う。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、余震域とその周辺の3次元不均質構造の推定や、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などを行う。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

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主な研究対象地域とし、これまで本研究で開発してきたFMT法(Terakawa et al., 2010; Terakawa, 2014)、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)、弾性歪エネルギーに基づく地震破壊規準(Terakawa et al., 2020)を研究の軸とし、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、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。

・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本を模した内陸地震の活動期のモデルにおいて、破壊強度と内陸間断層の相互作用も考慮した3次元シミュレーションモデルを構築し、アセノスフェアの粘性率や見かけの摩擦係数などの主要なパラメータに関するパラメータスタディを行う。また、地震サイクルシミュレーションを用い、深部に延性剪断帯を持つ断層の応力擾乱に対する応答性を評価する。

・地震活動変化

検出率を踏まえたHIST-ETASモデルの高度化によって求め、改訂Gutenberg-Richter式を併用することによって、各所の短期発生予測を実施する。HIST-ETASモデルのパラメータを時間的にも変化を探索するモデルを作成する。

(11) 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(統計数理研究所名誉教授)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：

URL：

(13) 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

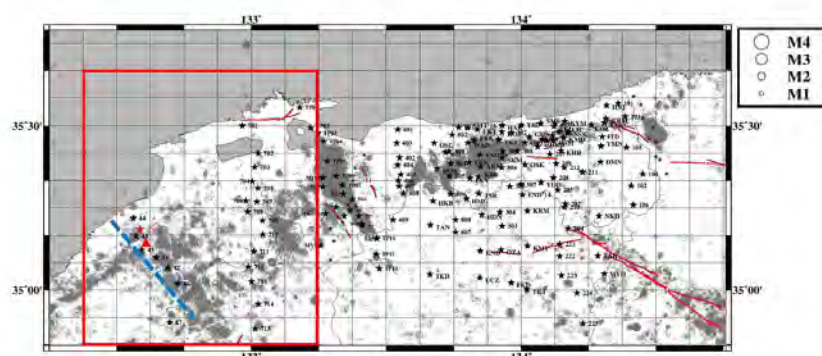


図1. 山陰地方の広帯域 MT 法観測地点分布図

広帯域 MT 観測地点を黒星印で示す。また、2018年島根県西部の地震の震央を赤星印、三瓶山を赤三角印で示す。活構造は活断層データベースによる。青色破線は図3で示される2次元構造断面の投影方向を示す。気象庁ホームページ「地震月報」より2000年1月1日～2018年12月31日の期間に深度20kmより浅で発生した地震の震央データを描画した。図版作成には GMT (Generic Mapping Tool) を使用した。

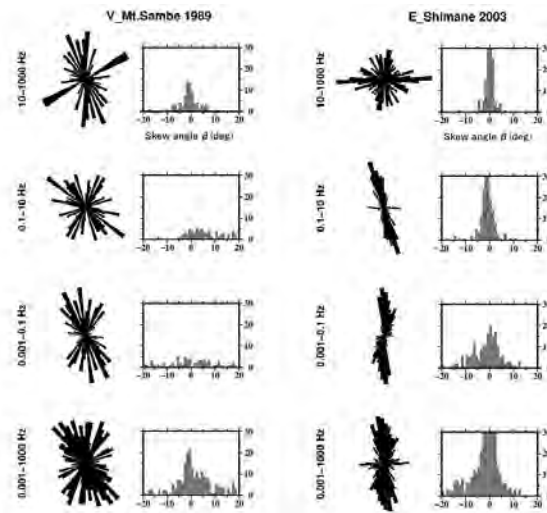


図 2-1. 三瓶火山周辺域測線および島根県東部測線のインピーダンス位相テンソル楕円の主軸方位の値(左図)と skew 角 (右図)

左上から 10 秒以下、0.1 秒～10 秒、10 秒以上と全周期帯域における位相テンソル楕円の主軸方位をローズダイヤグラムで示し、その右側に各周期帯毎の skew 角 の出現頻度をヒストグラムで示している。この地域の特徴を掴むため島根県東部測線データも併記されている。島根県東部測線では、楕円の主軸は全周期帯域にわたり、南北～N10W 方向を示すが、三瓶山周辺域ではこのような範囲では収まらない。値については、島根県東部では 10 秒以下、三瓶山周辺域では 0.1 秒以下の周期帯では概ね  $\pm 5$  度以内に収まるが、それ以上の長周期帯ではそれを超える値もみられる。

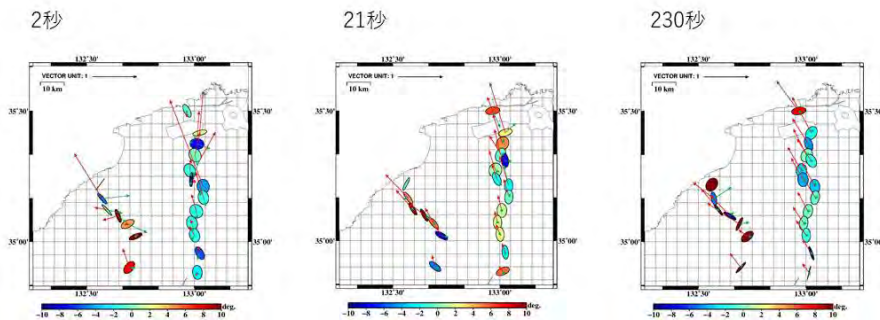


図 2 - 2. インダクションベクトルと位相テンソル楕円

インダクションベクトルは実部が赤矢印、虚部が緑矢印で描かれ、位相テンソル楕円では skew angle がカラーで表現されている。インダクションベクトル(実部)は一般的には横方向の良導体の方向を指し示す。2 秒のインダクションベクトル(実部)の方向に統一性がないが、周期 21 秒では海岸線に直交し、230 秒ではベクトルの方向は両地域で調和的である。角は島根県東部ではほとんどが水色～黄色で描かれ、数度以下であることがわかる一方、三瓶山周辺域では、橙色～茶色で描かれているところが多く、楕円の形状や軸方位にも違いがみられる。

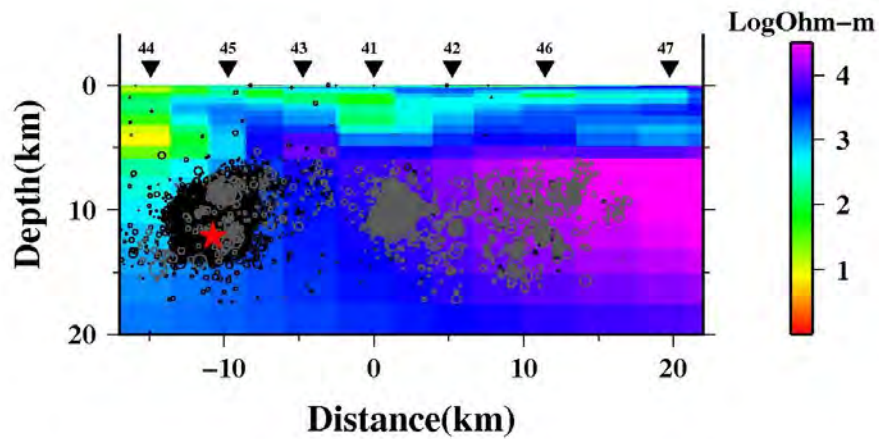


図 3. 三瓶山周辺域の 2 次元比抵抗構造断面図

測線を中心として幅  $\pm 5$ km の範囲に含まれる震源データ(灰色:2000 年 1 月 1 日~2018 年 3 月 31 日、黒色:2018 年 4 月 1 日~2018 年 12 月 31 日)を気象庁ホームページ「地震月報」よりダウンロードして描画した。2018 年島根県西部地震の震源を赤星印でプロットした。

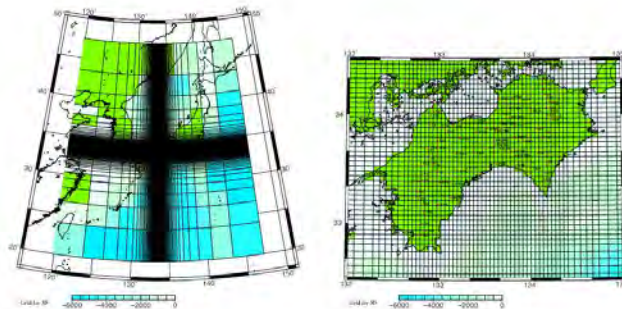


図 4. 3 次元モデル解析のために構築された初期モデル

モデルの中心を緯度 33.704、経度 133.510 と設定し、南北を X、東西を Y、鉛直下向き深さ方向を Z として、3059km  $\times$  3059km  $\times$  1084? の領域をモデル空間とした。要素の総数は 80  $\times$  80  $\times$  43 (大気層を除く)である。

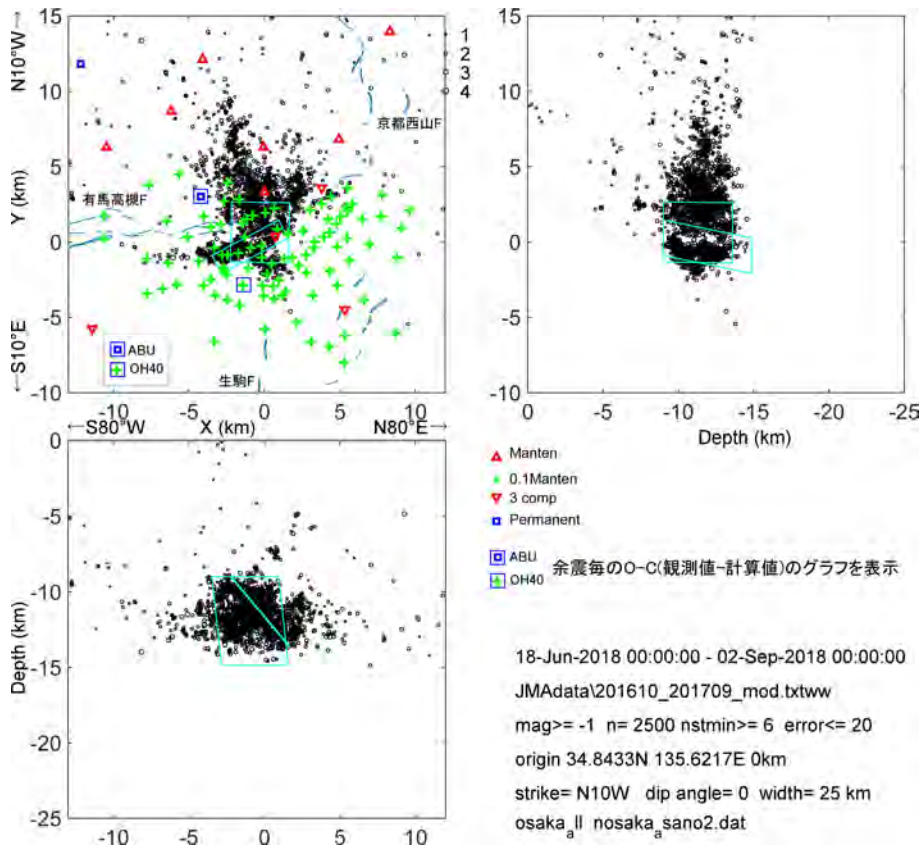


図5 大阪府北部の地震の余震分布と地震観測点の分布

京大防災研・九大・東大地震研・関大合同観測班、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推定された 2500 個の余震分布 (2018 年 6 月 18 日~9 月 2 日)。○: 定常観測点、●: 満点計画の観測点、+ : 余震観測点 (0.1 満点観測)、○: 余震観測点 (オンライン)。灰色の線で囲んだ ABU および OH40 において震源計算における O-C (観測値-計算値) を次の図に表示した。水色の実線は、京都大学防災研究所地震災害研究分野 (浅野公之) による南側の高角の断層面 (N52 °E, 77 °南傾斜) と北側の東傾斜の断層面 (N351 °E, 50 °東傾斜) を各面に投影したもの。青線は活断層の位置 (活断層詳細デジタルマップ (中田・今泉, 2002) による)。X 軸は有馬高槻断層帯 (ATL) に沿う方向、Y 軸はそれと直交方向。

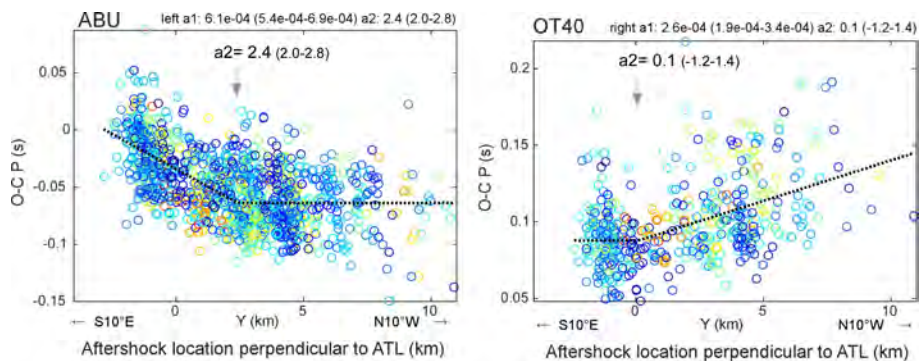


図6 余震の震源位置と各観測点での震源計算における O-C (観測値-計算値) の関係

ABU と OH40 観測点での例。横軸は、有馬高槻断層帯 (ATL) に直交する方向における余震の震源位置。縦軸は、震源計算における P 波到着時刻の O-C (観測値-計算値)。色は余震の震源の深さを表す (赤いほど深い)。黒点線は、flat-ramp (平坦-傾斜) 関数で best fit した関係。a2 が flat-ramp (平坦-傾斜) 関数の折れ曲がり位置を示す。



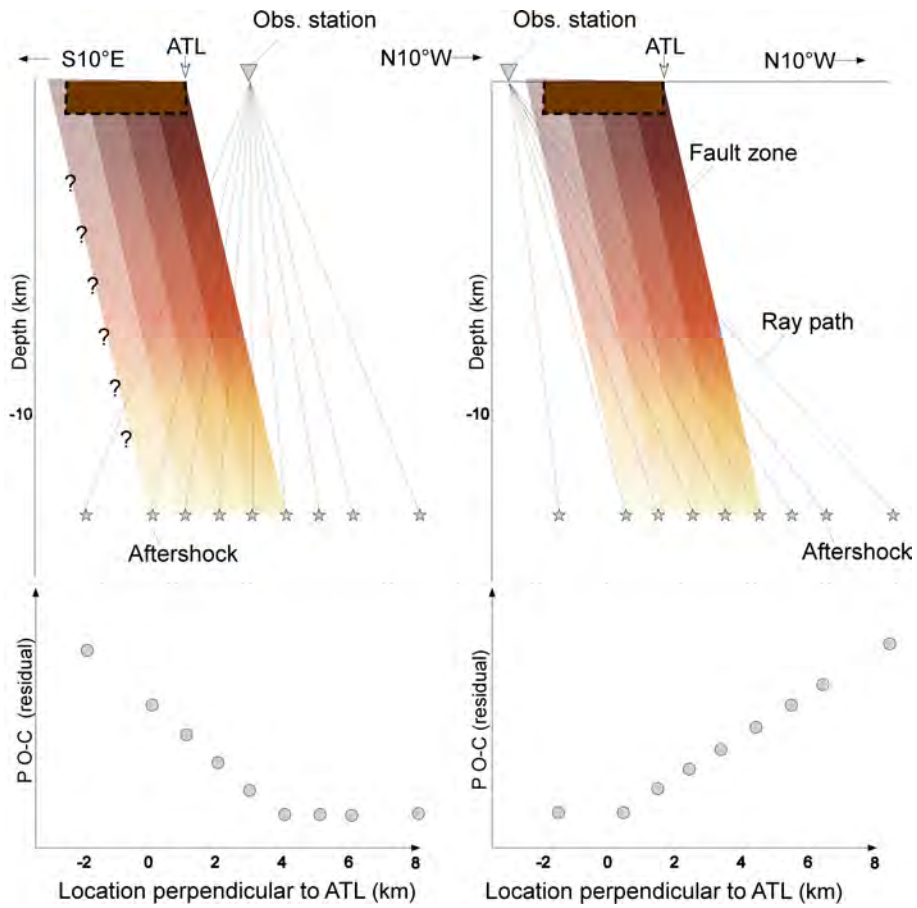


図7 余震の震源位置と各観測点での O-C(観測値-計算値) の関係を解釈するための模式図

左：ATL の北側の観測点、右：ATL の南の観測点に対するもの。上：ATL に直交する断面に断層帯を模式的に表示した。ATL の矢印は ATL の北側のブランチのおおよその位置。余震の震源は深さ 12.5km として、観測点までの波線を簡単のために直線で表示している。断層帯は濃い色ほど地震波速度が遅いと仮定した。下：前の図の余震の震源位置と各観測点での O-C(観測値-計算値) の関係を模式的に示したもの。

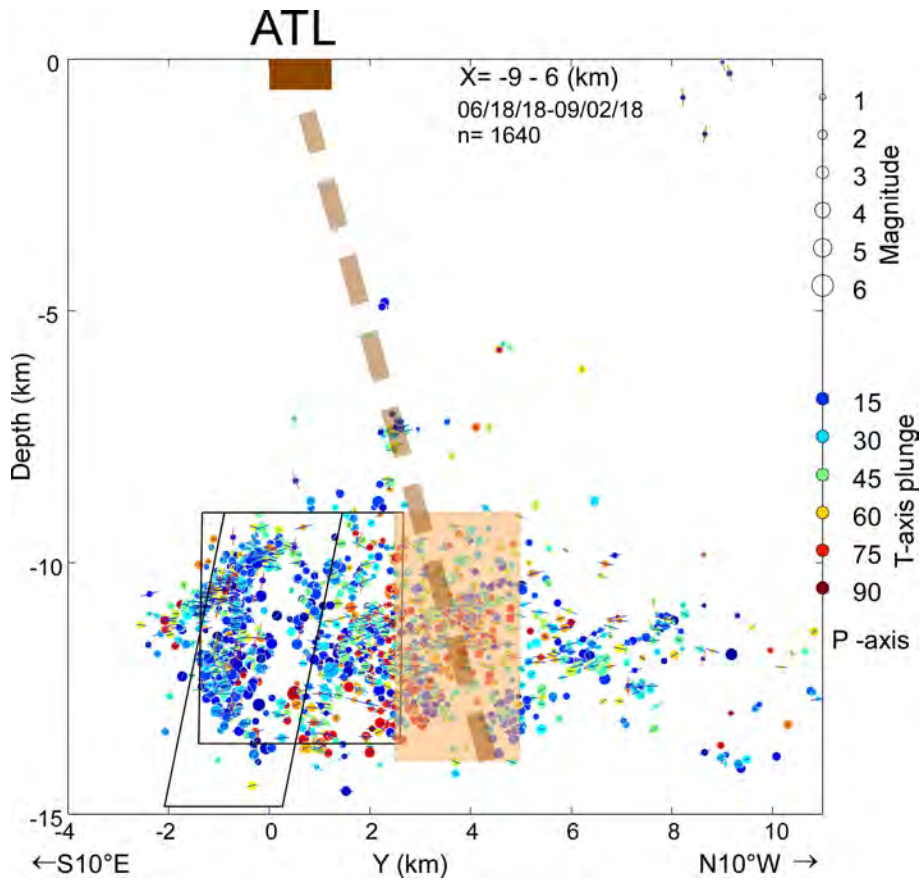


図8 余震の震源分布と ATL の位置の関係

ATLに直交する断面に投影した余震の震源分布と推定された ATL の深部の位置。茶色の塗りつぶしの領域が、各観測点における余震の O-C から推定された断層帯の北端の位置の存在範囲を表示したもの。太い茶色の点線はそれと ATL の地表位置とむすんだもの。黒実線は、浅野公之による推定断層を投影したもの。余震の震源を示す○と付随する線分は、この断面に投影した、地震のメカニズム解の T 軸の傾斜角と P 軸の方位。○の塗りつぶしの色が赤系統の余震は T 軸が鉛直に近い逆断層型。

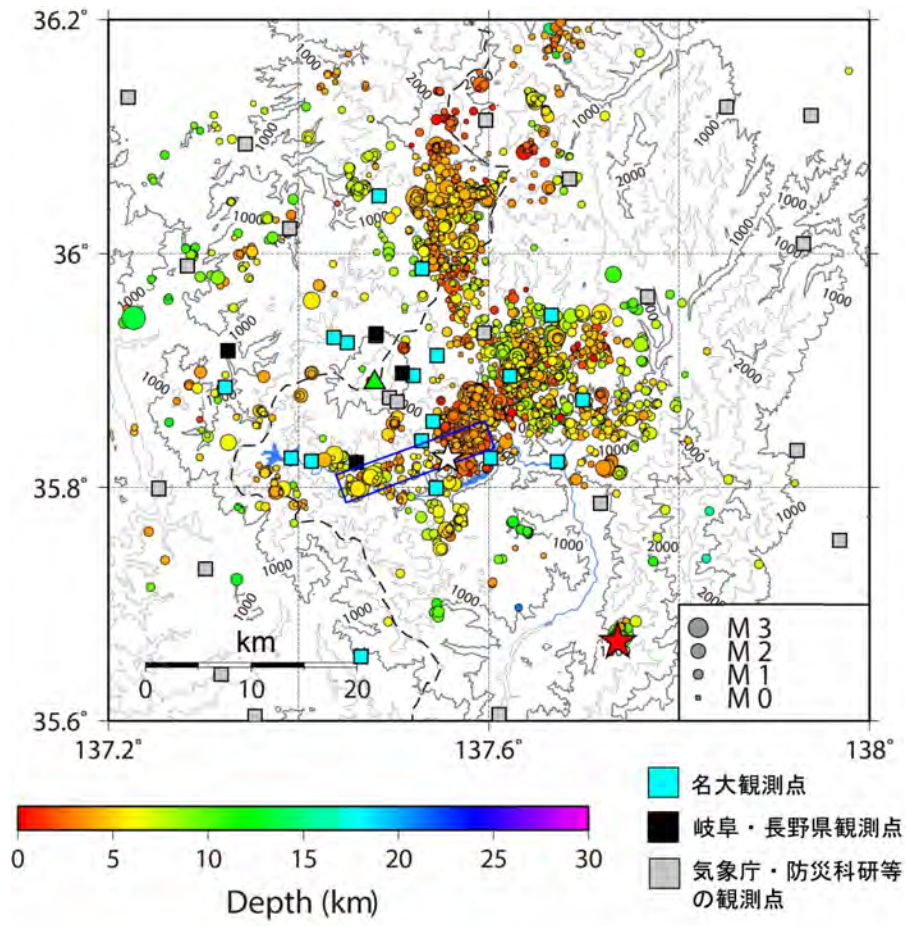


図9 御嶽山周辺域の地震活動(2020.1-2020.12)と観測点分布  
 は御嶽山, と青線の矩形は1984年長野県西部地震の震源と震源断層.

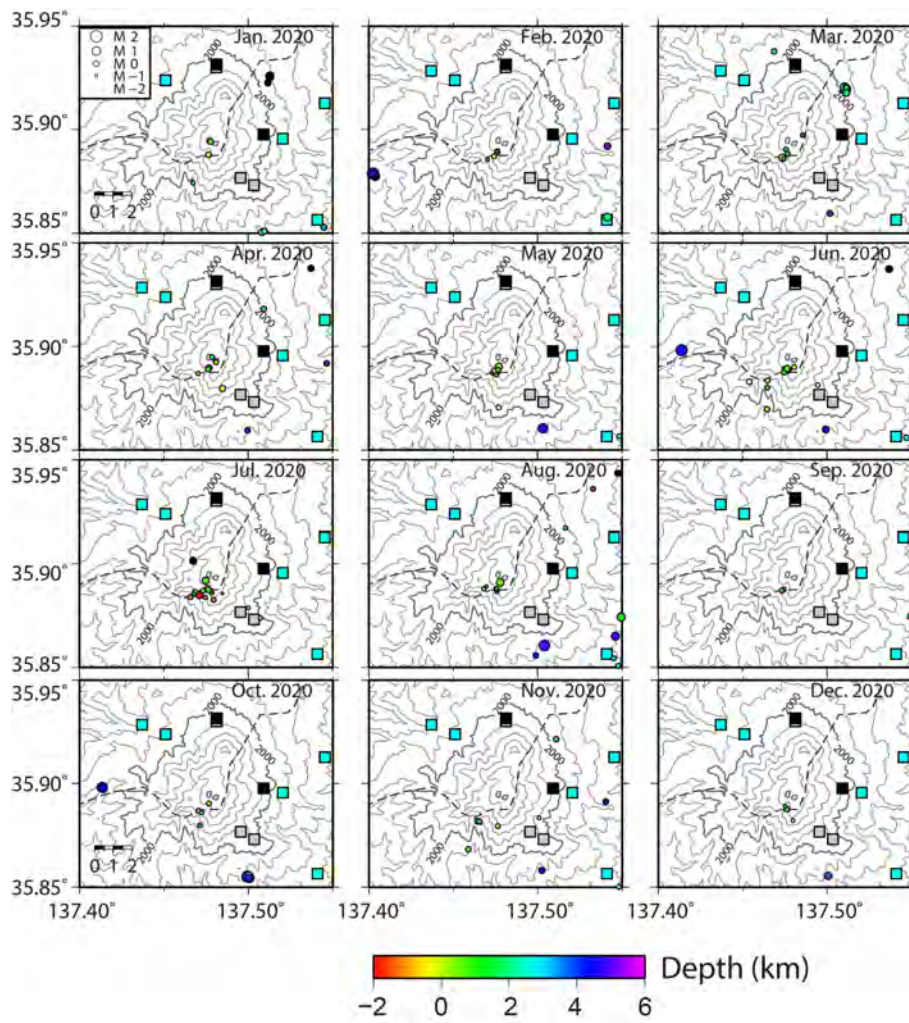


図 10 御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布 (2020 年 1 月 ~ 12 月)  
観測点の記号は図 9 と同様 .

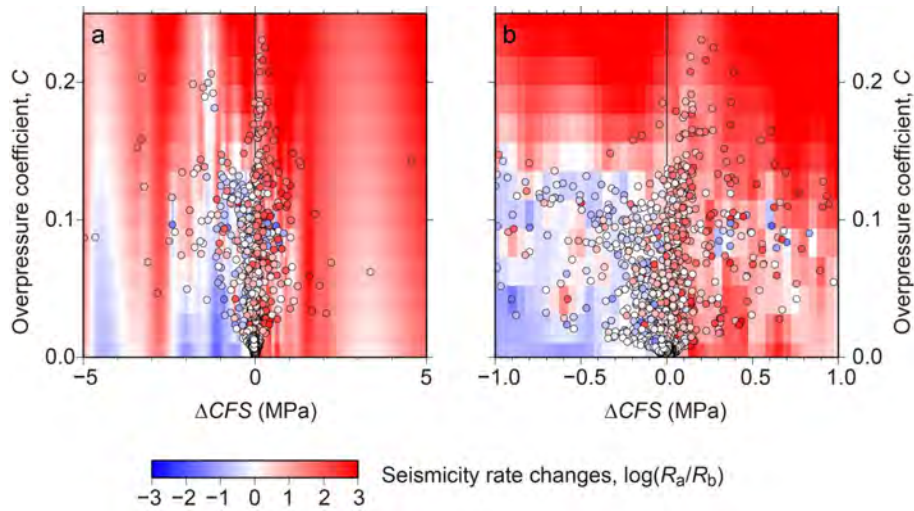


図 11 2016 年熊本地震による CFS 及び地震前の間隙流体圧と地震活動度の変化の関係

a. -5 MPa ? CFS ? 5 MPa, b. -1 MPa ? CFS ? 1 MPa. 間隙流体圧係数  $C$  は,  $C = (P_f - P_H) / (P_L - P_H)$  で定義される無次元数である ( $P_f$ : 間隙流体圧,  $P_H$ : 静水圧,  $P_L$ : 静岩圧). 地震活動度の変化は, 地震前 3 年間 (2013 年 4 月 14 日 ~ 2016 年 4 月 13 日) の地震数 ( $R_b$ ) に対する地震後 3 年間 (2016 年 4 月 14 日 ~ 2019 年 4 月 13 日) の地震数 ( $R_a$ ) の比で表現した (Nakagomi, Terakawa et al., 2021).  $\circ$  は各評価点での結果で,  $\circ$  のカラーは地震活動度の変化を示す. 背景のカラーは, これらの結果を補間したものである.

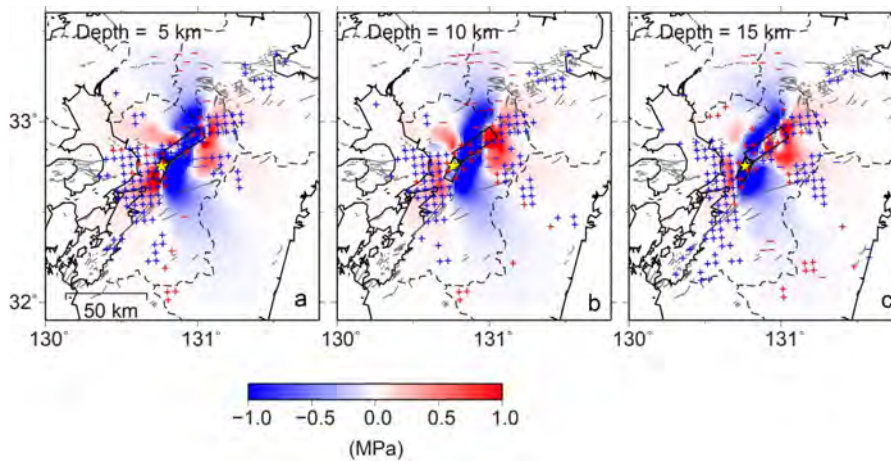


図 12 CFS と地震活動度の変化の関係

a?c は, それぞれ, 深さ 5 km, 10 km, 15 km の結果を示す. 青と赤の + は,  $CFS > 0$  及び  $CFS < 0$  の領域で, 熊本地震後に地震活動が 10 倍以上に増加した領域である. 青と赤の - は,  $CFS > 0$  及び  $CFS < 0$  の領域で, 熊本地震後に地震活動が 1/10 以下に減少した領域である.  $CFS$  の値は, -1 MPa ~ 1 MPa までの範囲内で打ち切って表示している.  $\bullet$  は 2016 年熊本地震の震源, 矩形は熊本地震震源断層の北部及び南部セグメント (Asano and Iwata, 2016), 点線は県境, グレーの線は活断層を表す.

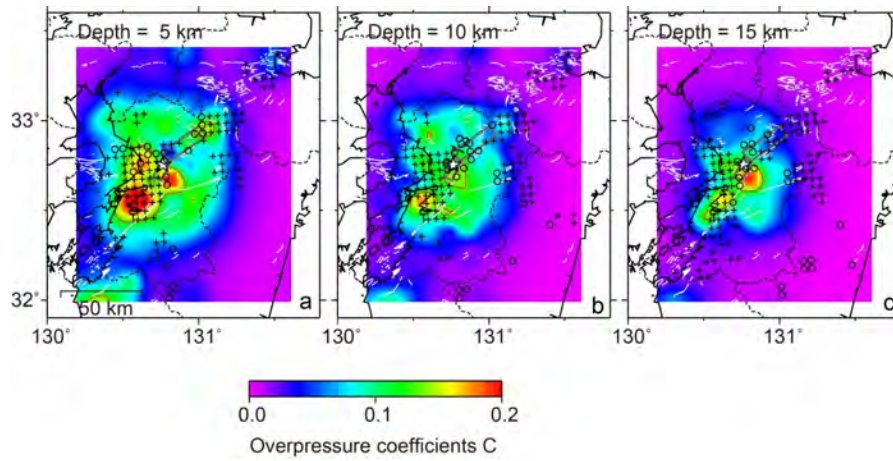


図 13 間隙流体圧係数と地震活動度の増加の関係

a?c は、それぞれ、深さ 5 km, 10 km, 15 km の結果を示す。+ 及び○は、 $CFS > 0$  及び  $CFS < 0$  の領域で、熊本地震後に地震活動が増加した領域を示す。カラーは間隙流体圧係数  $C$  の値を示す。赤い線は、 $C = 0.13$  のコンター線を示す。、矩形、点線は図 12 と同様である。白い線は活断層を表す。

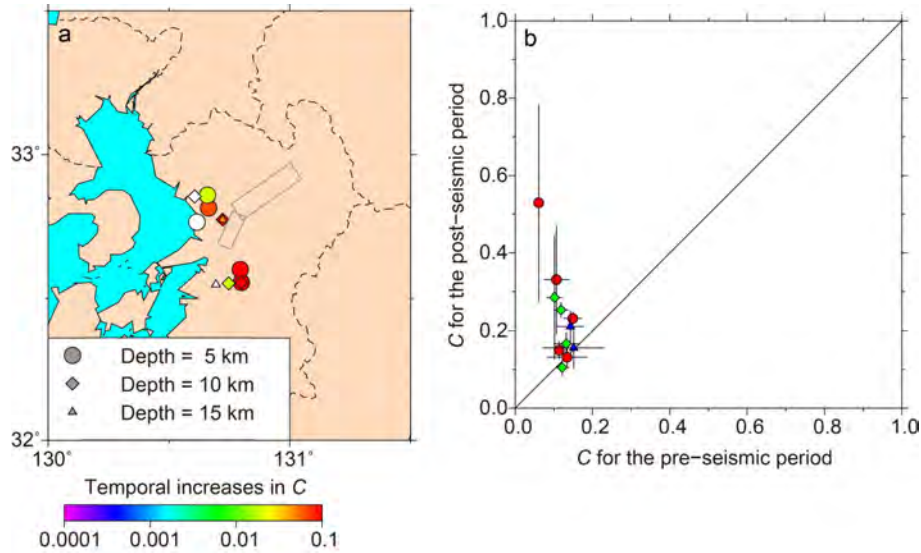


図 14 2016 年熊本地震前後の間隙流体圧の時間変化

a. 調査対象地域 (11 地域), b. 間隙流体圧係数  $C$  の時間変化。図中の○, , は、それぞれ深さ 5 km, 10 km, 15 km の結果であることを表す。a の図中の記号のカラーは、熊本地震後の  $C$  の増加量を表す。 $C$  の有意な時間変化が得られなかった場合は白で示す。b の図中の黒線は標準誤差を示す。a の図中の黒点線と矩形は図 12 と同様である。

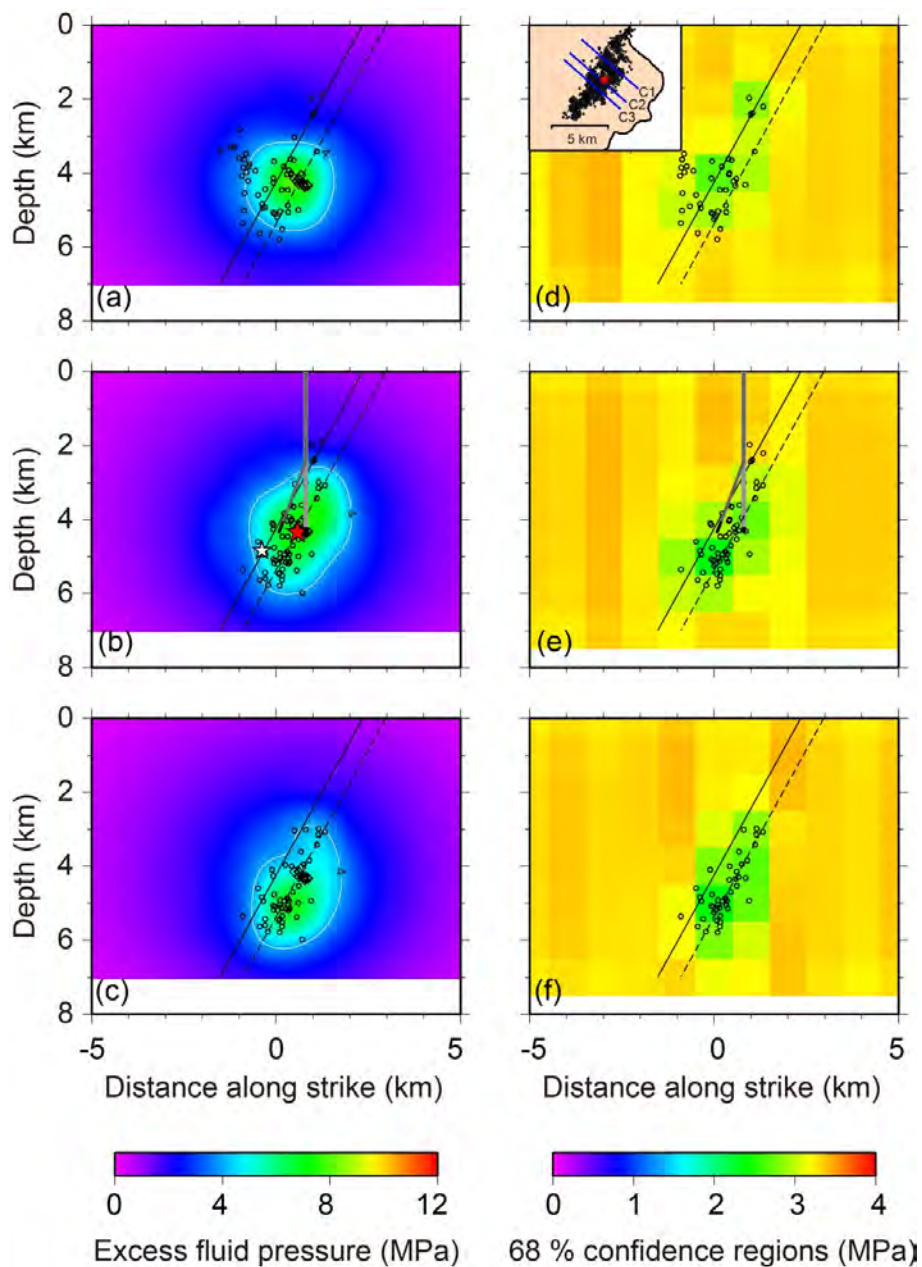


図 15 浦項地震震源域の間隙流体圧分布

a?c は、d 内の小地図に示した測線 C1?C3 に沿う断面の間隙流体圧分布であり、値は間隙流体圧から静水圧を差し引いたものである。d?f は、a?c の結果の推定誤差である。黒線は Song and Lee (2019) による In SAR データから推定した本震断層、黒点線はこの断層面を Kim et al. (2020) の本震震源を通るように平行移動した面を示す。a?c の○と○は、それぞれ、本震発生前 10 時間以内の地震活動及び余震活動 (2017 年 11 月 15 日 ~ 2018 年 3 月 20 日) を表す (Kim et al., 2020)。これらのデータの大半は、本研究の解析とは独立なものである。d?f の○は本研究で使用したデータを表す。

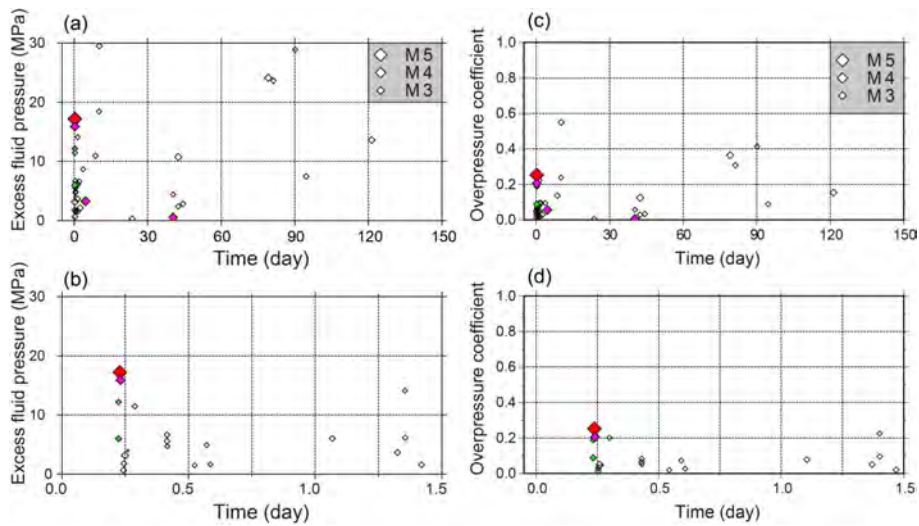


図 16 震源周辺域での地震活動を駆動した間隙流体圧の時間発展

a と b は間隙流体圧の静水圧からのずれ, c と d は間隙流体圧係数  $C$  の値である. a と c はデータ期間全体での結果, b と d は 2017 年 11 月 15 日 ~ 16 日 12:00 まで (本震発生の約 6 時間前から 30 時間以内) の結果.

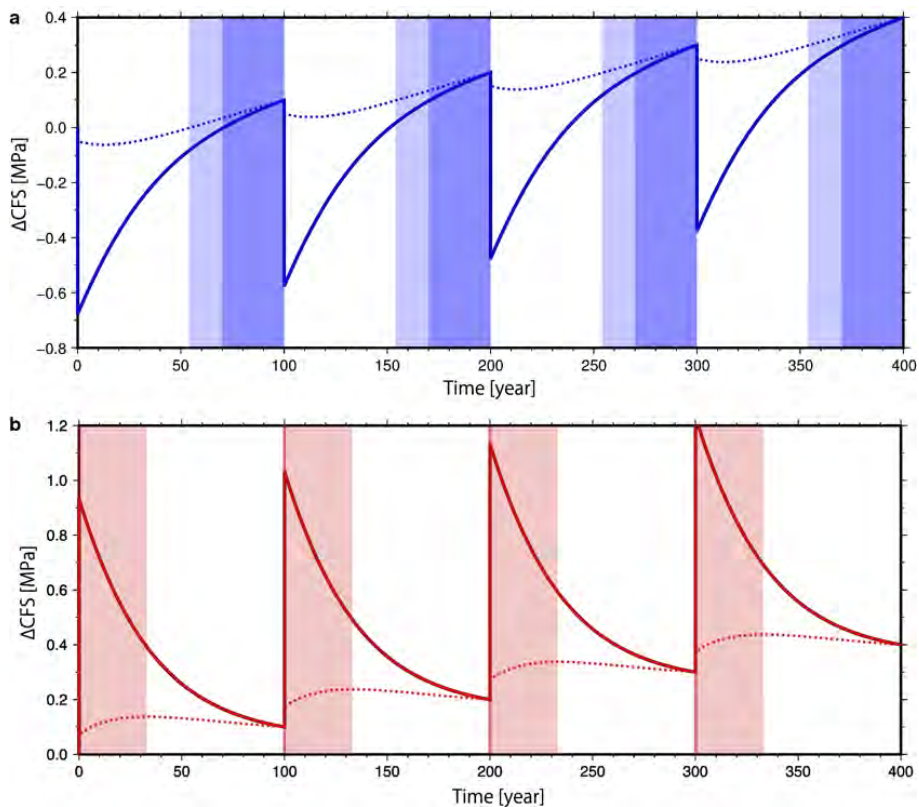


図 17 単純な 2 次元断層形状を仮定した沈み込み帯の海溝型地震サイクルに伴う内陸断層での応力変化 (CFS) の例 (Mitogawa and Nishimura, 2020)

海溝型地震は 100 年周期で発生し、粘弾性緩和を考慮した応力の時間変化の例を示す。内陸地震が発生可能な期間を網掛けで示す。(a) 海溝型地震時に CFS が負となる断層の例。実線及び点線は、海溝型地震断層の上端から 150km と 300km 離れた場所に位置する内陸断層での応力変化を示す。(b) 海溝型地震時に CFS が正となる断層の例。



(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、熔融度、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、イオンミ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・マント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トルウエッジ対流、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との関係性の理解が、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。マント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。マント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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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 2 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、令和元年度には下記を実施した。

\* 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

ベイズ統計手法を用いた地震メカニズム解推定手法を開発し、観測データをもとにその有用性の検証を行った。さらに、この手法を 2000 年鳥取県西部地震の余震メカニズム解推定に適用した。得られたメカニズム解をもとに、広域応力場をリファレンス応力とし各余震の Misfit 角 ( 節面上的最大せん断方向とすべり方向とのなす角 ) を推定し、本震発生後の断層周辺の応力場の空間不均質性に関する評価を行った ( 図 1 )。その結果、本震後の応力場は短い空間スケールで不均質であり、またその変動はメカニズム解の誤差を考慮しても有意であることが明らかになった。本震時の断層滑りによる応力擾乱を考慮すると、本震前の応力場が空間的に均質であったという条件の下では、差応力が断層の静摩擦係数 0.1 程度のレベル ( 数 MPa ~ 数 10MPa、すなわち本震応力降下量と同程度 ) で、本震後の応力場不均質性が再現できることが明らかになった ( 図 1 )。本震前の応力場が均質であるという仮定のもとではあるが、応力場の空間不均質という指標から差応力の絶対レベルの制約を行った。

応力場を推定する上では、観測された P 波の初動極性 ( 押し引き ) を決定することが必要である。従来は、人間の専門家が読み取り手動で決定してきたが、近年観測データ量の増加は著しく、精度の良い自動処理アルゴリズムの開発の重要性が高まってきている。これまでも、波形の特徴に注目した自動処理アルゴリズムが提案され利用されてきたが、専門家の能力には及ばず、最終的に人間のチェックを必要としていた。この問題に、P 波の検出・到達時刻決定・初動極性決定を行う 3 つの畳み込みニューラルネットワーク (CNN) モデルを作成し、地震波の連続記録データに順次適用することで、専門家と同等以上の精度で自動的に P 波の到達時刻と初動極性を決定することに成功した ( 図 2 )。これらの CNN モデルの作成により、今後読み取りの手間が劇的に減ることが予想され、地震学的研究の推進に弾みが付くと考えられる。

\* 岩相 水 マグマの分布と物性把握

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た。78 の岩質および組成の異なる水溶液 ( 塩水 ) およびケイ酸塩メルト ( 玄武岩質 ~ 流紋岩質 ) について、データベースを構築し、それらを再現する経験的あるいは理論的モデルに基づくパラメータ化を行った。このモデルに基づき、岩石-水溶液あるいは岩石-メルトの混相物性が再現され ( 例えば、図 3 )、実際の観測データをインバージョンする準備が整った。深部流体の実態を明らかにするため、既存の湧水組成既存データを精査し、潜在的構造線として深部流体の分布が期待される「石狩平野東縁断層を含む北海道中央部を南北に走る構造線」沿いの塩水調査・サンプリングを行い、主溶存元素及び微量元素同位体の分析を行なった。また、カムチャッカ半島北部溶岩の Os 同位体分析を進め、沈み込んだ海山由来流体がマグマ生成に寄与している可能性を議論した。

物性については、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。粒界スケールのクラックについて理解するため、封圧下での含水岩石 ( 庵治花崗岩 ) の弾性波速度・電気伝導度測定を行ってきた。開いた粒界においては、粒界の開口の大き

な部分が高圧下でも開いた状態を維持すること，それが連結して伝導経路として機能していることが分かった (Watanabe et al., 2019)。次の段階として，cm スケールのクラックをもつ岩石試料 (庵治花崗岩，直径 26 mm，長さ 30 mm，図 4) を作製し，含水状態の弾性波速度，電気伝導度測定を封圧下で行っている (図 5)。

\* 温度・流動 - 変形場の再現と検証

流動 - 変形場について，Fukahata and Matsu'ura (2016) は，2 次元モデルを用いて島弧-海溝系形成の基本的な物理メカニズムを明らかにしたが，3 次元的なプレート境界面の効果については未解明の問題として残されていた。このほど，次段落で説明するように，弾性・粘弾性体の変位の食い違い理論に基づく数値計算と沈み込む海洋プレートに対するテーブルクロスのアナロジーとから，海溝軸が屈曲している場合について沈み込みに伴う島弧変形の物理的メカニズムを明らかにすること成功した。

島弧側に凸に屈曲した海溝軸に対して海洋プレートが沈み込めば，テーブルクロスのアナロジーから，沈み込んでいく海洋プレート (スラブ) の質量が過剰となる。海洋プレートの上面と島弧側プレートの下面は変位の食い違い (合力と合トルクがゼロの力であることに注意) を通してちょうど逆方向に運動するため，島弧側プレートでは必然的に質量が不足し，その結果沈降が生じるのである (図 6)。海溝軸の屈曲が海洋側に凸の場合，全く同様の考えに基づき，島弧側プレートで質量が過剰となり隆起が生じる。また，海溝軸の屈曲角を  $\theta$  としたとき，海洋プレート上面の過剰となる面積が  $\sin \theta$  に比例することも解析的に導出した。この結果は，沈降量および沈降の空間スケールが，海溝軸の屈曲が大きい場合ほど大きく，海溝軸の屈曲が小さい場合ほど屈曲角の変化に対し敏感であるという計算結果と調和的である。例えば，下北半島沖で千島海溝と日本海溝は島弧側に凸に屈曲して接続し，島弧側に大きな負のフリーエア重力異常が観測されているが，本研究によりその成因が物理的に理解できるようになった。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので，令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Yukutake, Y., Iwata, T., Iio, Y. (2020) Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2020.228553.
- Kashiwagi H, Nakajima J, Yukutake Y, Honda R, Abe Y, Sakai S (2020) Seismic Constraint on the Fluid-Bearing Systems Feeding Hakone Volcano, Central Japan *J Geophys Res*, 125:e2020JB020341, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JB020341>
- Seki, K., Kanda, W., Mannen, K., Takakura, S., Koyama, T., Noguchi, R., Yukutake Y., Ishikawa M., Fukai M., Harada M., Abe Y. (2021). Imaging the source region of the 2015 phreatic eruption at Owakudani, Hakone Volcano, Japan, using high density audio frequency magnetotellurics. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091568. <https://doi.org/10.1029/2020GL091568>
- 行竹洋平 (2020)、箱根火山の深部低周波地震、*地震ジャーナル*、69、31-41。
- Fukahata, Y., Meneses-Gutierrez, A. & Sagiya, T. 2020. Detection of Plastic Strain Using GNSS Data of Pre- and Post-seismic Deformation of the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Earth Planets Space*, 72:18. 査読有り
- Shimizu, K., Yagi, Y., Okuwaki, R. & Fukahata, Y. 2020. Development of an inversion method to extract information on fault geometry from teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, 220, 1055-1065, doi: 10.1093/gji/ggz496. 査読有り
- Shimizu, K., Yagi, Y., Okuwaki, R. & Fukahata, Y. 2021. Construction of fault geometry by finite-fault inversion of teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, 224, 1003-1014, doi: 10.1093/gji/ggaa501. 査読有り
- Fukahata, Y., Oohashi, K., Takada, Y. & Tanaka, A., 2020. Overview of the special issue "Crustal dynamics (Part I): Toward the integration of geology and Geophysics", *J. Geography (Chigaku Zasshi)*, 129, 443-445. 査読なし
- 深畑幸俊，大橋聖和，高田陽一郎，田中明子，2020. 特集号「地殻ダイナミクス (Part II) ?地質学と地球物理学の融合に向けて?」巻頭言，*地学雑誌*，129，447-450. 査読なし 原将太，深畑幸俊，飯尾

能久, 2020. 深層学習による P 波検出・到達時刻・初動極性決定, 京大防災研年報, 63B, 69-92. 査読なし

- Assah, ANE, T Yokoyama, FT Aka, H Iwamori, T Kuritani, T Usui, M Gountie Dedzo, J Tamen, T Hasegawa, EM Fozing, MJ Wirmvem, AL Nche, Major/trace elements and Sr - Nd - Pb isotope systematics of lavas from lakes Barombi Mbo and Barombi Koto in the Kumba graben, Cameroon volcanic line: Constraints on petrogenesis, *Journal of African Earth Sciences*, 161, n10.1016/j.jafrearsci.2019.103675
- Ueki, Kenta, Tatsu Kuwatani, Atsushi Okamoto, Shotaro Akaho, Hikaru Iwamori (2020) Thermodynamic modeling of hydrous-melt?olivine equilibrium using exhaustive variable selection. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 300, <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106430>.
- Iwamori, H., Nakamura, H., Chang, Q., Morikawa, N., Haraguchi, S. (2020) Multivariate statistical analyses of rare earth element compositions of spring waters from the Arima and Kii areas, Southwest Japan. *Geochem. J.*, 54, doi:10.2343/geochemj.2.0583.
- Hamada, M., Iwamori, H., Brandl, P.A., Ushikubo, T., Shimizu, K., Ito, M., Li, H., Savov, I.P. (2020) Temporal evolution of proto-Izu-Bonin-Mariana arc volcanism over 10 Ma: Constraints from statistical analysis of melt inclusion compositions. *J. Petrol.*, <https://doi.org/10.1093/petrology/egaa022>.
- Nakamura, H., Sano, A., Kagami, S., Yokoyama, T., Ishikawa, A., Komiya, T., Iwamori, H. (2020) Compositional heterogeneity of Archean mantle estimated from Sr and Nd isotopic systematics of basaltic rocks from North Pole, Australia, and the Isua supracrustal belt, Greenland, *Precambrian Res.*, 347, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105803>.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

- \* 応力場 : 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の地殻構造の推定及び同現象の発震機構解の推定を試みる。
- \* 岩相 水 マグマの分布と物性把握 : 前年度に引き続き、岩石-流体-メルトの物性解析を進め、観測データの解釈を試みる。スラブ由来流体を含む深部流体の分布と性質の把握を進める。また沈み込んだ海山の影響を受けた可能性のある火山岩のサンプリングを実施する。物性については、前年度に引き続き、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および電気伝導度を封圧下で測定し、クラックの閉鎖にともなう物性の変化を調べる。その際、試料のジャケットについての改良が必要がある。また、X 線 CT 観察により得られるクラックの 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。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したい。
- \* 温度・流動 - 変形場の再現と検証 : フィリピン海スラブに見られるように、海溝軸は直線的でもスラブの等深度線は海溝と平行でなく、尾根などの起伏を持つ場合がある。例えば、伊勢湾から濃尾平野では顕著な負の重力異常が観測されているが、フィリピン海プレートの起伏と密接な関係があることが予想される。3 次元的なプレート境界面形状を持つ場合の研究をもう一段進めることにより、この関係を明らかにすることを目指す。マントル対流により形成される水 - メルト分布、温度構造を、最新の物性を考慮しながら地震波速度構造と対比し、検証を進める。

( 11 ) 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 )、飯尾能久( 京都大学 )、行竹洋平( 神奈川県温泉地学研究所 )、渡辺了( 富山大学 )、岩森光( 東京大学、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 )  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/

( 13 ) 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



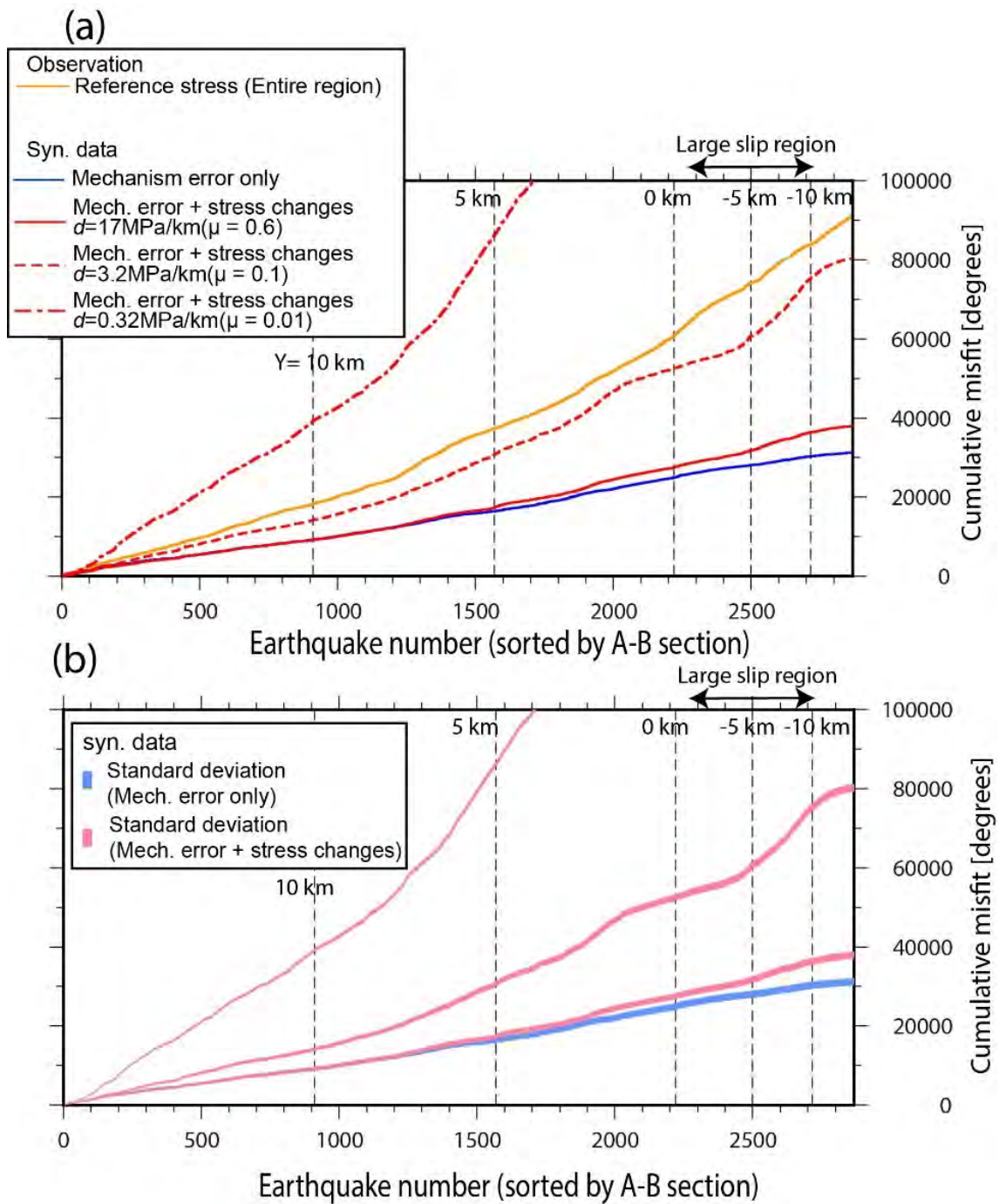


図 1

本震断層走向に沿った余震の Misfit 角の積算曲線 (Yukutake et al. (2020) の Fig.5 を一部改変)。(a) 観測されたメカニズム解のリファレンス応力に対する Misfit 角の積算曲線 (オレンジ線) 及び各差応力レベルにおける理論的な Misfit 角の積算曲線 (赤線・青線)。(b) メカニズム解誤差を考慮したときの理論的な Misfit 角の積算曲線。観測された Misfit 角の積算曲線 (a) のオレンジ線) は、本震前の差応力レベルが断層静摩擦係数 0.1 程度であるとき (応力降下量と同程度) その傾向を説明することができる ((a) の赤色点線)。また積算曲線の傾きはメカニズム解の誤差を考慮しても有意である (b)。

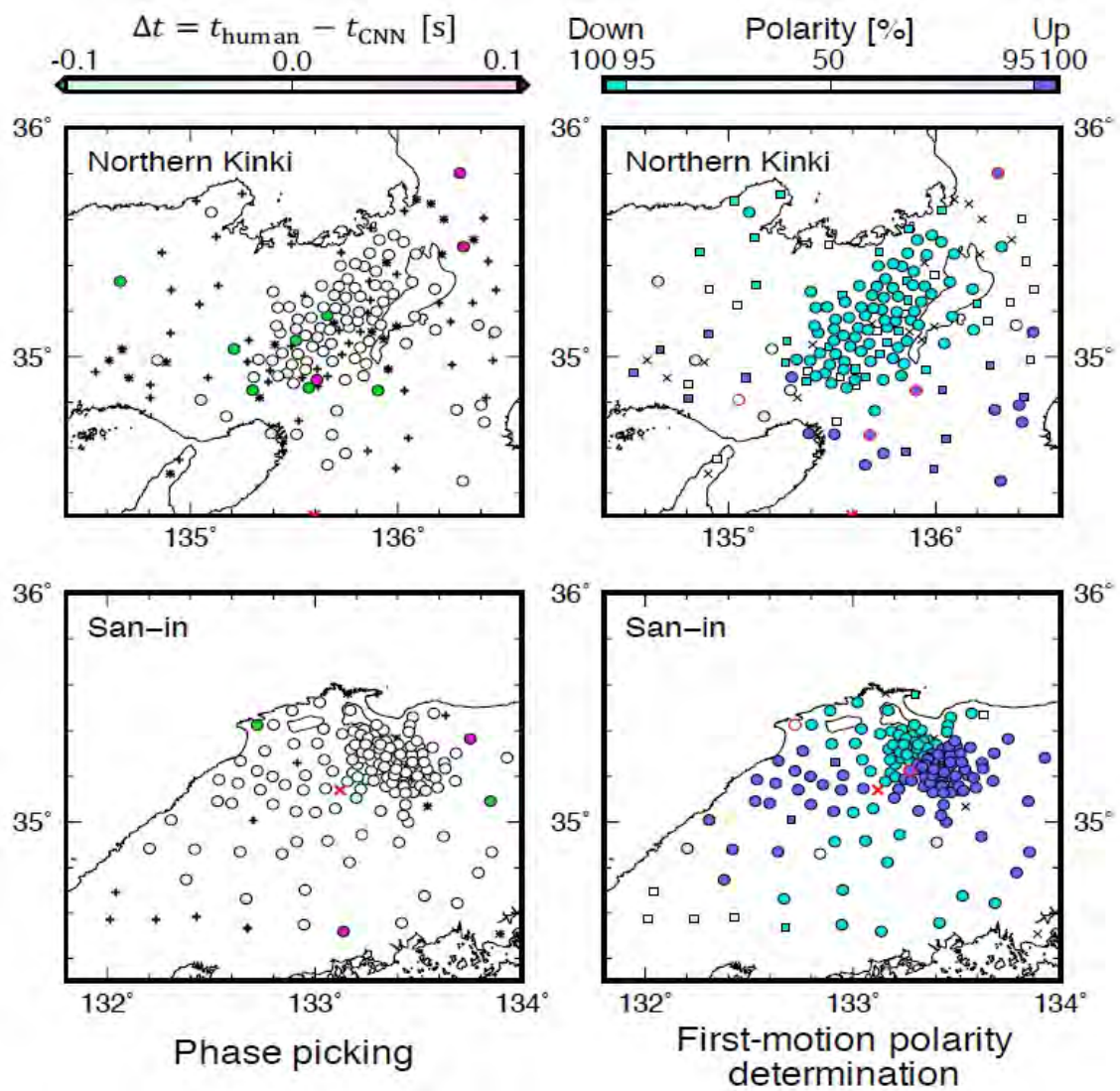


図 2

CNN モデルによる到達時刻及び初動極性の決定の例。赤 x 印は震央を表す。黒 x 印は P 波検出 CNN モデルによる検出確率が 50 % 未満の観測点を意味する。(左) 専門家の検出した到達時刻との差。黒 + 印は専門家の検出がなかった観測点を表す。(右) 初動極性 (青: Up; 水色: Down)。色は、出力確率 95 % を境に大きく変えてある。赤い縁の○印は、専門家の検出と食い違った観測点を示す。専門家の検出がなかった観測点 (左図で黒 + 印) を表す。原ほか (2020) より。

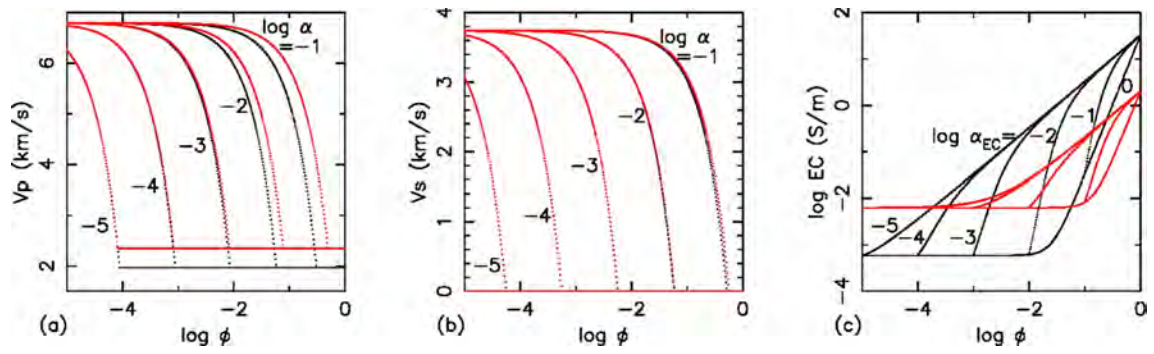


図 3

Seismic velocities ((a)  $V_p$ , (b)  $V_s$ ) and electrical conductivity (c) EC of a mixture of rock (gabbro) and saline aqueous fluid of 5 wt.% NaCl at  $P=1.0$  GPa,  $T=1000$  K (black lines), and a mixture of the same rock and basaltic melt at  $P=1.0$  GPa,  $T=1473$  K (red lines) (Iwamori et al., in prep.).

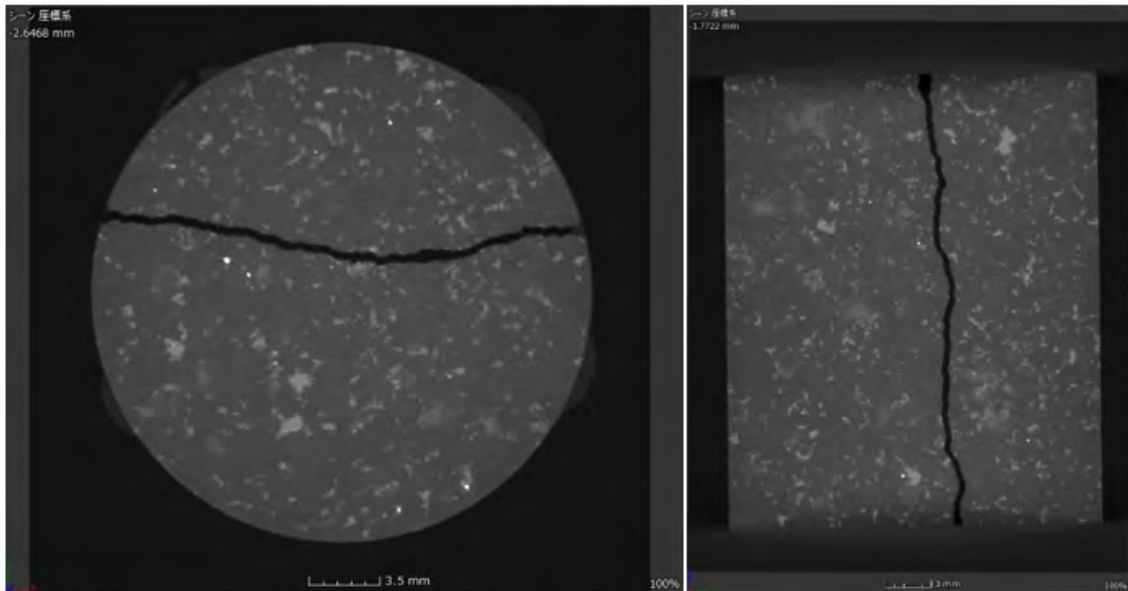


図 4

クラックをもつ岩石試料 (b3cr03) の X 線 CT 画像。

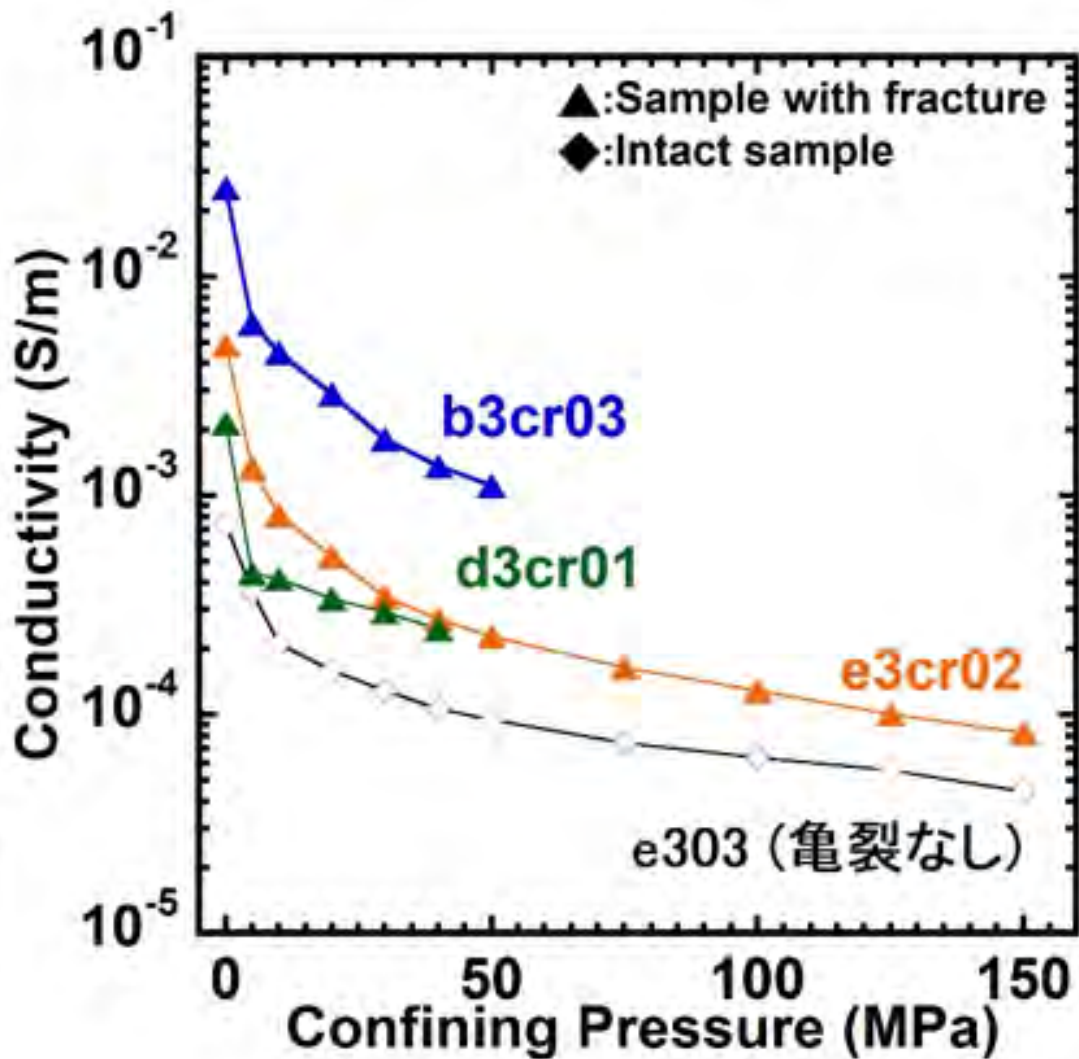


図 5

クラックをもつ試料 ( b3cr03, d3cr01, e3cr02 ) およびクラックがない試料 ( e303 ) の電気伝導度。クラックを含む試料の電気伝導度は、含まない試料と同様、20 MPa 以下で比較的大きな低下を示し、より高圧では緩やかに低下した。常圧での電気伝導度の値は、クラックを含まない試料に比べて約 0.5 ~ 2 桁高い。この電気伝導度の幅は、常圧でのクラックの開口の違いを反映している。封圧 150 MPa では、クラックのある試料とないものとの電気伝導度の違いは 1/3 桁程度であった。これは、試料スケールのクラックも封圧により閉鎖すること、ただし開き残りの部分が連結して存在していること、その電気伝導度への寄与が粒界に比べてそれほど大きくないことを示している。ただし、150MPa まで測定できた試料はまだひとつしかない。クラックの形状により、開き残り部分の形状は大きく異なり、全体の電気伝導度への寄与も異なってくると考えている。今後は、常圧でのクラック形状と高圧での電気伝導度およびそれを支配する構造の関係を理解する必要がある。そのため、X 線 CT イメージを基に高圧下でのクラック閉鎖を有限要素法により考察する予定である。

これまでの実験では、圧力媒体であるシリコンオイルの侵入を防ぐために、試料をシリコンゴムで覆っている。しかし、開口の大きなクラックを含む試料であるため、高圧下でジャケットが破損しやすい。そのため、封圧を十分に上げられた測定が少ない。この実験手法の改良が喫緊の課題となっている。

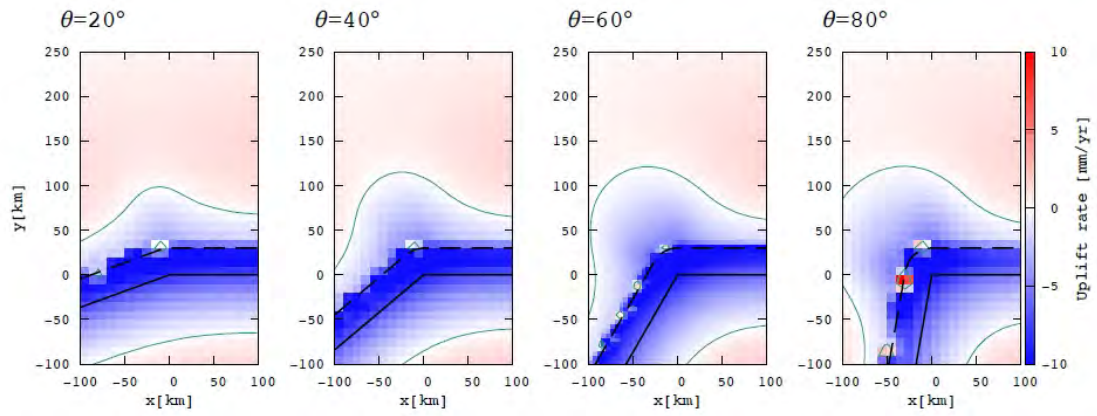


図 6

開溝軸の屈曲角が  $20^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $80^\circ$  の場合の深さ 3 km の鉛直変位速度場。プレート収束速度は 50 mm/yr。実線と破線はそれぞれ海溝軸の位置と深さ 3 km におけるプレート境界面を表す。緑色の線は鉛直変位速度が 0 のコンターを表す。海溝軸の屈曲部周辺で島弧側に顕著な沈降が現れること、屈曲角が大きいほどその沈降が大きくなること分かる。

(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。
- ・ 断層への載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 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 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2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、昨年度と同様、Savage and Simpson(1997)の手法を用いて測地ひずみ速度をモーメント速度に換算して東日本における内陸地震の発生確率の試算を行った。まず、東日本において地震等に伴うステップを補正して、2005年5月

から 2008 年 4 月までの GNSS 観測点の変位速度を計算した。次に得られた変位速度から日本海溝、駿河トラフ、相模トラフ沿いのプレート間カップリングによる弾性変形を除去して、Shen et al.(1996) の手法で 0.2 度グリッド毎のひずみ速度を計算した。得られた測地ひずみ速度をモーメント速度に変換して、ポアソン過程を仮定した場合の 30 年間に M6.8 以上の内陸地震が発生する確率を図 1 に示す。地震発生層の厚さ、剛性率、切断ゲーテンベルグ・リヒター則の  $b$  値及び最大マグニチュード、ひずみ速度を求める際の Shen et al.(1996) の距離減衰定数、測地観測ひずみ速度に対する弾性ひずみ速度の割合は、それぞれ、12km、30GPa、0.9、M7.5、25km、0.16 とした。その結果、日本海東縁～新潟神戸ひずみ集中帯、南関東・伊豆地方、奥羽脊梁山地沿いで発生確率が高くなった。

GNSS で観測される地殻ひずみと地震活動パラメータを基本データとし、応力速度・活断層平均変位速度・地震地体構造・活断層の長さ頻度分布等の情報を取り入れるスキームを仮想的な領域を設定して検討した。また、地震動予測の観点から重要となる、発生頻度が高い中規模地震が潜在断層地震となって強い短周期地震波を放射する可能性を評価に取り入れるための検討を行った。

## 2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

地域性を考慮した階層時空間 ETAS ( HIST - ETAS ) モデルの推定・予測・シミュレーションのためのソフトウェアを開発し、公開した。また、閾値マグニチュードを下げても長期間地震活動の非均質データから偏りのない推定や予測をできるモデルを目指すため地震検出率の時空間モデルを考案し推定した。

地震調査研究推進本部の長期評価において適用されている BPT 分布更新過程について、養老 桑名四日市断層帯における不確定な活動回数に基づく BPT 分布更新過程の尤度評価式を提案した。西暦 13 世紀以降 16 世紀以前の最新活動、西暦 7 世紀以降 11 世紀以前の一つ前の活動のみを考慮した場合の尤度関数 ( 図 2 a ) に対して、断層の変位量から 1 万年前以降に 6~7 回の活動があったという不確定な情報を反映させた尤度関数 ( 図 2 b ) では、平均活動間隔  $\mu$  ならびに変動係数 のモードの位置が大きく異なる結果となった。

地震等のイベントが発生した際に周辺の地震活動度が変化した事例は多く、右横ずれ剪断変形の集中する布田川 日奈久断層帯で 2016 年に Mw6.5 と Mw7.0 地震が 24 時間差で続発した ( 熊本地震 ) ことや、米国東カリフォルニア剪断帯の 2019 年リッジレスト地震はその一例である。同地震では、Mw 6.4 の 34 時間後にパキシトンランチ断層帯が活動し Mw 7.1 の本震となった。今年度は、速度および状態依存型クーロンモデルを改良し ( 図 3 )、リッジレスト地震に適用した。その結果、同地震の推移と周辺の地震活動を適確に説明することができた ( 図 4、Toda and Stein, 2020 )。特に、近傍の主要活断層帯であるガーロック断層やサンアンドレアス断層モハベ区間で、地質学的長期評価と組み合わせることにより、より現実的な確率予測と確率利得を提示した。

## 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

跡津川断層と有馬高槻断層帯を含む地域を解析対象地域に設定し、令和元年度に明らかとした干渉性調査を踏まえ、両地域で InSAR 時系列解析を実施した。跡津川断層帯域に関しては、植生に強い ALOS-2 データを用い、さらに高密度に設置されている GNSS 観測点の活用の観点から GNSS 変位を融合させた解析を実施した。有馬高槻断層帯域については、Sentinel-1 衛星と ALOS-2 衛星を用いた解析を独立に実施し、大局的に調和的な結果を得た。いずれの結果においても、年間 1~2 ミリ程度の変動が検出された。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Kumazawa, T., Ogata, Y. and Toda, S., 2020, Wide-area seismicity anomalies before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Journal International*, **223**, 1304-1312, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa356>.
  - 熊澤貴雄・尾形良彦, 2020, 群発地震活動の非定常 ETAS モデルによる検出と測地学データに基づく予測可能性について, *地震予知連絡会会報*, **103**, 378-384, <https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/index103.html>.
  - Ogata, Y., Katsura, K., Tanemura, M., Harte D., and Zhuang J., 2021, Bayesian Seismicity Analysis based on Delaunay Triangle Nets: Hierarchical Space-Time Point Process Models ( HIST-PPM; including HIST-



ETAS model ) Computer Science Monograph No. 35. <https://www.ism.ac.jp/editsec/csm/index.html> または [https://www.ism.ac.jp/ogata/Ssg/ssg\\_software.html](https://www.ism.ac.jp/ogata/Ssg/ssg_software.html).

- Ogata, Y. and Omi, T., 2020, Statistical Monitoring and Early Forecasting of the Earthquake Sequence: Case Studies after the 2019 M 6.4 Searles Valley Earthquake, California, Bulletin of the Seismological Society of America, **110** (4), 1781-1798, <https://doi.org/10.1785/0120200023>.
- 尾形良彦, 2020, 階層的時空間 ETAS モデルによる短期・中期予測, 地震予知連絡会会報, **103**, 385-387, [https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12\\_13.pdf](https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou103/12_13.pdf).
- 岩田貴樹・尾形良彦, 2020, Gutenberg-Richter 則における a 値の最尤推定, 地震, 第 2 輯, **73**, 93-96, <https://doi.org/10.4294/zisin.2020-1>.
- 高橋浩晃, 2020, 北海道胆振東部地震などの地表に痕跡を残さない地震の特徴, 地震予知連絡会会報, **104**, 12-2, [https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou104/12\\_02.pdf](https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou104/12_02.pdf).
- 高橋直也・内田嗣人・池田倫治・遠田晋次, 2020, 2019 年カリフォルニア州リッジクレスト地震の概要と最近の地震断層調査の動向, 活断層研究, **53**, 51-65.
- Takahashi, N., Toda, S., 2021, Evaluating variability in coseismic slips of paleoearthquakes from an incomplete slip history: an example from displaced terrace flights across the Kamishiro fault, central Japan, Progress in Earth Planetary Science, **8**, 15, <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00407-w>.
- Toda, S. and Stein, R. S., 2020, Long- and Short-term stress interaction of the 2019 Ridgecrest sequence and Coulomb-based earthquake forecasts, Bulletin of the Seismological Society of America, **110**, 1765-1780, <https://doi.org/10.1785/0120200169>.
- Ueda, T., Kato, A., Ogata, Y. and Yamaya, L., 2021, Spatial Variations in Seismicity Characteristics in and Around the Source Region of the 2019 Yamagata-Oki Earthquake, Japan, Earth, Planets and Space, **73**, 40, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01325-9>.
- Wallis, S. R., Maeno, F. and Toda, S., 2020, Encyclopedia of Geology 2nd Edition Tectonics and Structural Geology: Japan and Korean Peninsula, 526-543, ISBN:978-0-08-102909-1, Academic Press Elsevier Ltd.

( 10 ) 令和 3 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

- ・できるだけ長期間の GNSS データを用いて平均的なひずみ速度場を計算し、日本全国の内陸地震発生確率の試算を行うとともに、他の長期予測手法の結果と統合する手法について検討を行う。
- ・地殻ひずみをはじめとする各種観測や場の情報を取り入れた発生評価スキームの検討を継続するとともに、実領域を設定した評価試験に着手する。

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、改訂 Gutenberg-Richter 式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。
- ・不確定な活動回数を踏まえた尤度関数を用いた BPT 分布更新過程を空間ベイズモデルへと拡張し、変動係数 の内陸活断層における空間分布を推定する。
- ・気象庁一元化震源データを用いて、活断層周辺の地震活動の定量化および時空間変動を調べ、GNSS、干渉 SAR、ブロックモデルから推定される地殻歪速度との関係をとりとめる。また、今年度改良した応力変化 地震応答モデルを用いて、近傍大地震による活断層沿いの地震活動の応答、特に鋭敏性・時間依存性を調べ、それぞれの活断層の地震サイクルステージとの対応を検討する。

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、GNSS データと InSAR 解析の融合の試行が可能な台湾南西部、断層歪蓄積の検出が期待できる北アナトリア断層において新規に解析を行うとともに、新たな電離層ノイズ除去手法の実装も行い、活断層周囲の変形検出に適した InSAR 時系列解析手法の確立を図る。跡津川断層と有馬高槻

断層帯を含む地域での解析については、ノイズ除去とデータ追加により詳細な変動を捉えた上で、活断層への歪蓄積に直接関係する変動が得られているか検討する。さらに、有限要素法を用いた断層周囲の変形のモデル化に着手する。

・GNSS 繰り返し観測については、感染症の状況を踏まえて長野県西部・御嶽山周辺での観測が可能な場合については、本研究からの支援を行う。

( 11 ) 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 西村卓也  
他機関との共同研究の有無 : 有  
北海道大学大学院理学研究院 高橋浩晃、高田陽一郎  
東北大学災害科学国際研究所 遠田晋次、福島 洋  
東北大学大学院理学研究科 三浦 哲  
東京大学地震研究所 青木陽介  
名古屋大学大学院環境学研究科 伊藤武男  
京都大学大学院理学研究科 宮崎真一  
九州大学大学院理学研究院 松島 健  
統計数理研究所 尾形良彦、野村俊一  
国土地理院 矢来博司

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

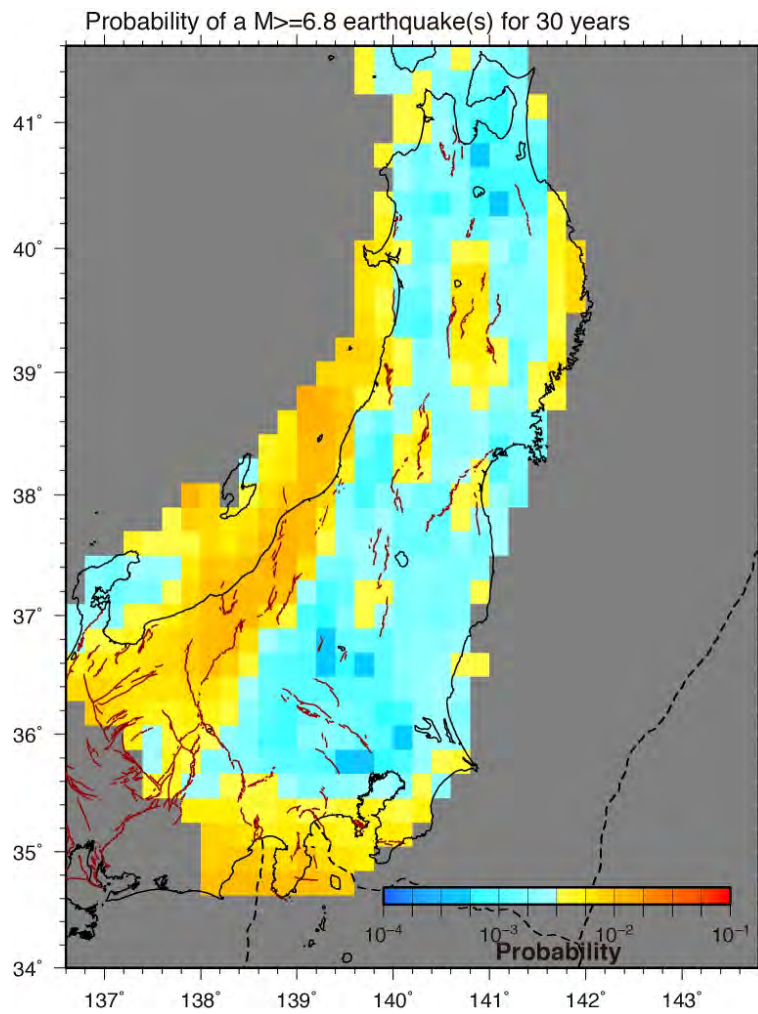


図1 2005年5月-2008年4月のGNSSデータに基づく30年間にM6.8以上の内陸地震が発生する確率の試算例  
カラスケールは、0.2°毎のグリッドにおける発生確率を表す。

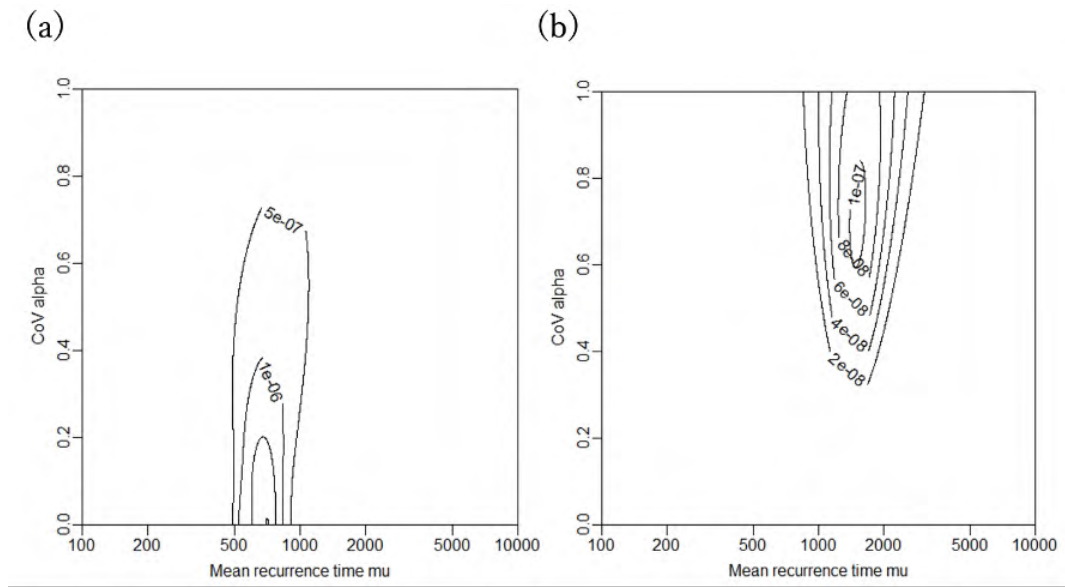


図2 養老 桑名 四日市断層帯の BPT 分布更新過程における尤度関数

横軸は平均活動間隔  $\mu$  で縦軸がそのばらつきを表す。(a) 最新活動と一つ前の活動のみに基づく尤度関数。(b) 1 万年前以降の活動回数 (6~7 回) も踏まえた尤度関数。

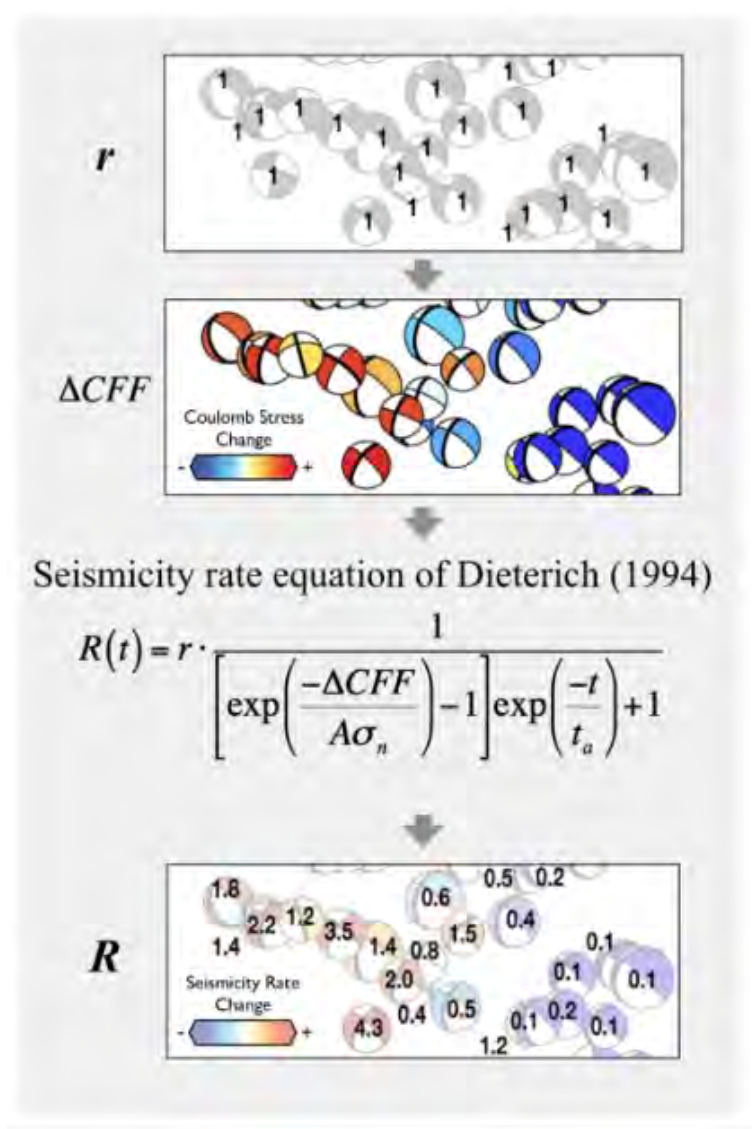


図3 応力変化 地震応答予測手法の概念図 ( Toda and Stein, 2020 )

常時活動時の個々の地震をレート 1 とする ( 1 段目の  $r$  )。それぞれのメカニズム解節面へのクーロン応力変化を計算し ( 2 段目 ) Dieterich(1994) の速度および状態依存則から個々に直接レート変化 ( $R$ ) を求め、空間スムージングによって地震活動変化をマッピングする。

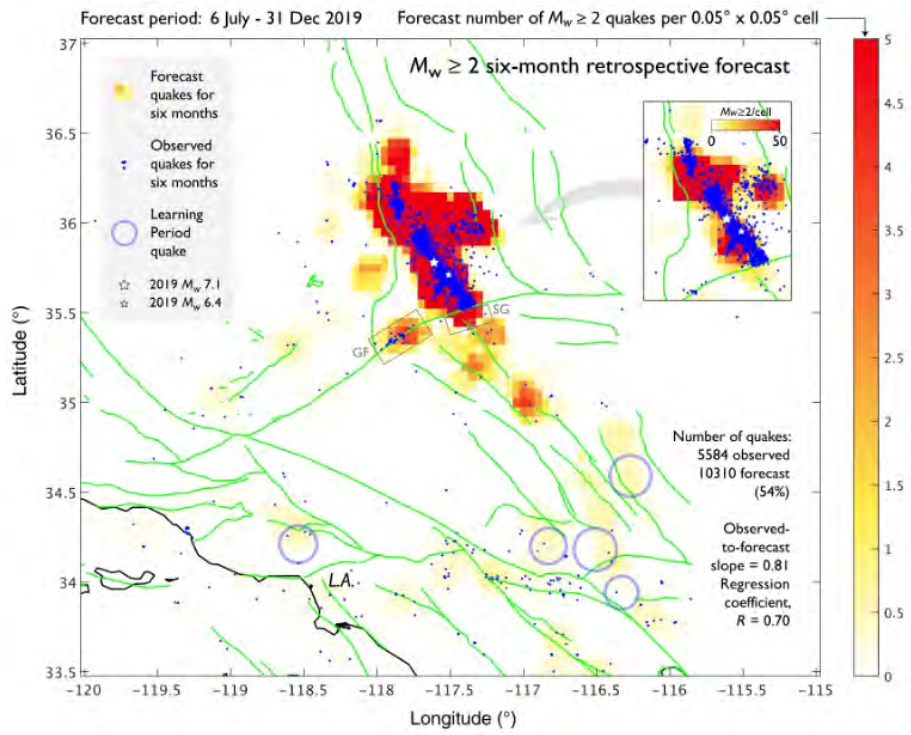


図4 リッジレスト地震後6ヵ月間のレトロスペクティブ予測(暖色系)と観測された地震(青点)(Toda and Stein, 2020)

予測と観測された地震の分布は概ね整合する。GFはガーロック断層帯のうち、地震活動が活発化した区間。

(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、スンパ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 年ケルート火山噴火と 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 2 年度の成果の概要 :

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。

シナブン火山とメラピ火山はいずれも 2020 年度に噴火が発生した。

シナブン火山

シナブン火山はインドネシアのスマトラ島北部、トバ湖の北にある成層火山であり、過去に溶岩流出や溶岩ドームの形成・崩壊によるブロック・アンド・アッシュフローを中心とした噴火活動を繰り返してきた。インドネシアで有史以降とされる 1600 年以降の噴火の記録はなかったが、2010 年 8 月に水蒸気噴火が発生した後、2013 年 12 月に山頂に溶岩ドームを形成し、2014 年からは溶岩を流出させ、溶岩ドームの形成と崩壊による火砕流を頻発させた。このような噴火活動は 2017 年まで続いたが、2018 年 2 月に 2010 年以降の活動において最大規模の噴火( VEI2 )が発生した後、しばらく静穏化した。2020 年 8 月 8 日になり、噴火活動が再開し、時々、火砕流が発生している。図 1 に 2010 年から 2020 年までの日別のタイプごとの火山性地震と噴火の発生回数を、図 2 に GNSS により検出された地盤変動を示し、噴火活動と火山性地震活動および地盤変動との関係について述べる。

( 1 ) 水蒸気噴火( 2010 年 8 月、2013 年 9 月 ) に至る過程

2010 年 8 月 28 日～9 月 7 日まで 7 回の水蒸気噴火が発生したが、それ以前に観測網がなかったため、この水蒸気噴火の前駆現象についてはよくわからない。その後、噴火は発生しなかったが、2013 年 9 月 15 日以降、再度水蒸気噴火が発生するようになった。2 回目の水蒸気噴火活動に前駆現象として地



盤の膨張と深部火山構造性地震の増加があげられる。2013年6月ごろから地盤の膨張が始まり、それに引き続き、2013年1月～7月3日までは発生頻度が平均4回/日であった深部火山構造性地震は、7月4日には32回、6日、7日には129回、127回と急激に増加した。注目すべきは2010年噴火後の浅部火山構造性地震及びガス放出イベントの対比である。2010年噴火後、浅部火山構造性地震及びガス放出イベントの発生頻度は急激に低下したが、深部火山構造性地震は高い発生頻度を維持していた。このことは、2010年噴火後もマグマは継続的に火山体深部に勧誘続けていたことを示唆する。また、2013年9月15日の水蒸気噴火から2013年9月17日の水蒸気噴火まで火山性微動が連続的に発生したことは、ガス噴出イベントも7月ごろから発生し始めたことから火山ガスが増加したことが推定できる。したがって、7月～9月までの時期はそれまで火山体深部へ貫入を続けていたマグマの供給量が増加し、脱ガスした火山ガスが火口まで上昇し、噴出を始めたと解釈できる。

#### (2) 溶岩ドーム出現(2013年12月)に至る過程

2013年7月以降は、水蒸気噴火の発生を経ても深部火山構造性地震の発生頻度の高い状態が続いた(17回/日)。2013年9月の噴火後、噴火が繰り返され、11月ごろから火山灰に新鮮なマグマ物質が認められるようになった(Nakada et al., 2019, JVGR)。12月には山頂に溶岩ドームが出現し、2014年1月からは溶岩流と溶岩ドームの崩落による火砕流が頻発するようになった。溶岩ドームの出現に至るまでの現象は、7月から増加した深部火山構造性地震が高い発生頻度のレベルを保ったことに加え、浅部火山構造性地震及びガス放出イベントの発生頻度が増加したことである。このことから深部へ貫入したマグマが浅部へ移動したプロセスが推定できる。このことは膨張圧力源の浅部への移動(Hotta et al., 2019, JVGR)と解釈されるGNSS連続観測により観測された基線長の伸長の加速にも表れている。そして、溶岩ドームが2013年12月に山頂に出現し、溶岩ドームが成長した。この時期には低周波地震及びハイブリッド地震が頻発した。ハイブリッド地震は低周波地震に高周波成分が重乗したものであり、基本となる波形は低周波が卓越する。溶岩ドーム出現期の振動には低周波成分が卓越することが指摘できる。

#### (3) 溶岩ドームと火砕流

2014年1月～2018年1月まで溶岩の噴出とその崩落による火砕流が頻発した。2014年前半は溶岩の流出が顕著であり、溶岩流が形成された(Nakada et al., 2019, JVGR)。この噴出量の増加により、2013年12月まで続いた膨張は収縮へと反転した。注目されるのは火山構造性地震活動の顕著な低下である。2013年12月に溶岩ドームが出現したところから浅部火山構造性地震はほとんど発生しなくなった。その後も一時的に群発することはあっても長期間に渡って発生頻度が増加することはなくなった。また、深部火山構造性地震の発生頻度も2014年2月から顕著な低下を示した。2013年7月4日～2014年2月3日までの発生頻度は平均25回/日であったが、2月4日以降は3回/日に低下した。火山構造性地震はテクトニックな地震と同様に応力集中による岩石のせん断破壊によると考えられるので、その発生頻度の低下は火山体内部の応力低下を示唆し、深部構造性地震の発生頻度の低下の遅延は応力低下が浅部から深部へ波及するのに時間を要したことが考えられる。応力低下の原因は溶岩の噴出であり、それは地盤の収縮と整合的である。収縮地盤変動の時空間推移からも収縮圧力源の浅部から深部への移動が示されている(Hotta et al., 2019, JVGR)。2015年中ごろから火砕流を伴わず噴煙が上昇するだけの噴火が発生するようになり、2016年以降は、このタイプが火砕流よりも多い。2014年以降、指数関数的に収縮が続いた基線長の短縮は2015年中ごろから短縮率が低下している。深部圧力源の収縮率が火口底へのマグマの上昇率を表すとすれば、収縮率の低下はマグマの上昇率の低下を意味し、溶岩ドームが崩壊する前に火山灰として噴出することが多くなったのかもしれない。2017年中ごろには地盤の収縮はほぼ停止した。

#### (4) 2018年2月19日噴火

2018年2月19日8:53に発生した噴火では噴煙高度が火口上5000m以上に上昇し、全方向に最大5kmに達する噴煙柱崩壊型の火砕流も発生した。2010年以降では最大規模の噴火であった(VEI2)。この噴火に前駆して2018年1月までは1日に数回程度発生していた噴火があまり発生しなくなった(2月1日～18日の発生回数は20回)。2月上旬からGNSS観測で山体の膨張が検知され、噴火発生前日の

2月18日には49回の深部火山構造性地震が発生した。このことから火道が閉塞することにより、火道を含めたマグマ供給系の内部圧力が上昇し、その後、圧力に耐えきれなくなった火山体の一部がせん断破壊を起こしたものと推定できる。その後も2月27日～3月15日にかけて火山構造性地震の発生回数が多い状態が続き、3月20日から25日までは火山ガス放出イベントの発生頻度の高い状態が続いて4月15日に27回の噴火が発生した。

#### (5) 2020年の噴火活動

その後、シナブン火山の噴火活動は静穏化した。2020年8月8日から噴火が再び繰り返されるようになった。8日1:58の噴火の噴煙高度は2000mであったが、10日10:16に発生した噴火の噴煙高度は5000mに達した。噴火活動に前駆して7日に21回の深部火山構造性地震が発生し、9日に39回、10日に49回と増加した。また、ほぼ同時にガス放出イベントも増加した。2020年の中ごろから再び地盤の膨張が顕著となってきており、今後の活動が注目されるが、火山構造性地震の発生は多くないので、応力の増加は顕著ではない。

#### メラピ火山

メラピ火山はジャワ島中部にある成層火山であり、山頂域に溶岩ドームを形成し、それが崩壊することによって発生する火砕流によって特徴づけられる。20世紀に発生した噴火活動の多くでは溶岩ドーム崩壊型の火砕流が発生し、噴火規模はVEI2とされる。2006年4月～6月にも同様の噴火が発生した。一方、2010年10月下旬から2010年11月にかけて発生した噴火はプリニー式噴火であり、噴煙高度は10km以上に達し、火砕流は南南東の山麓のGendol川に沿って17km流下し、300名以上の犠牲者を伴う災害が発生した。その後、噴火活動は静穏化した。2018年5月11日から6月2日にかけて12回の水蒸気噴火が発生し、8月以降は2010年噴火で形成された火口内に溶岩を噴出し、ドームを形成した。2019年に入ると溶岩ドームの一部が崩壊を始め火砕流が発生するようになった。2021年1月4日には1997年噴火で形成された溶岩流の噴出口付近に火映が見られるようになり、1月6日には溶岩が流出し始め、その後、火砕流が発生するようになっている。

#### (1) 2006年以前の噴火活動

1990年から2006年まで、代表的な溶岩ドームの形成とその崩壊による火砕流の発生は1994年11月、1997年1月、1998年7月、2001年2月、2006年6月に発生している。このうち最大規模の火砕流は2006年6月14日に発生し、南南東山麓のGendol川に沿って8km流下した。1994年11月の噴火を除き、その発生に前駆して、深部火山構造性地震、浅部火山構造性地震、MP型地震の増加がみられる(図3)。MP型地震は地表ないし、溶岩ドーム内に震源を持ち、VLP成分を含む極浅部火山性地震であり、マグマの貫入により深部から極浅部までの火道系の圧力が増加したものと考えられる。2006年噴火では光波測量により山頂付近の地盤変動も検出されており、溶岩ドーム出現の2か月前から3mにおよぶ辺長変化が観測されており(Aisyah et al., 2018, JVGR)、山頂付近の大きい地盤変動も重要な前駆過程に位置付けられる。

#### (2) 2010年噴火

2010年噴火は10月26日17:02に発生した爆発で始まった。この爆発で火砕流が約8kmの距離まで到達した。11月に入って噴火活動が激化し、特に11月3日～5日にかけてプリニー式噴火が続き、火砕流は南南東方向に17km流下した。噴火規模はVEI4と推定され、1872年以降およそ140年ぶりの大規模噴火とされる。2010年噴火では前駆的地盤膨張が約17か月前から検出されている。噴火発生の2か月前の2010年9月から深部火山構造性地震、浅部火山構造性地震、MP型地震の増加し、10月中旬には、特に、浅部火山構造性地震とMP型地震が急増した。噴火に前駆する火山性地震エネルギーは噴出物量と相関があるとされ(Iguchi et al., 2019, JDR)、2010年噴火に前駆する地震エネルギーは1011Jに達した。2009年4月～2010年8月は火山性地震活動が低調だが、地盤変動が着実に進行する過程、2010年9月から10月26日の噴火までは、活発な地震活動と急速な地盤変動を伴う期間であることから、最初の期間はマグマの深部への蓄積による火山体の弾性変形過程、噴火直前の2か月前は、急速なマグマ貫入に伴う応力集中による火山体内部の破壊過程と破壊を伴う火山体の急激な変形過程と位置付けられる。

( 3 ) 2018 年 5 月・6 月の水蒸気噴火

2013 年に小規模な噴火活動はあったものの、2010 年噴火後から 2018 年 4 月までは静穏であった。2018 年に入り、5 月 11 日から 6 月 1 日まで 12 回の水蒸気噴火が発生した。この水蒸気噴火活動に前駆して 2017 年から深部火山構造性地震の発生が見られる。発生回数は少ないが、メラピ火山の静穏期では深部火山構造性地震は発生しないので、地震活動のレベルが上がった状態に位置付けられる。また、この前駆過程においては MP 地震も多発している( 図 4 )ことから、深部にマグマが貫入したことにより、揮発性成分は上昇している過程と考えられる。

( 4 ) 2018 年 8 月以降の溶岩ドームの形成

水蒸気噴火活動後、8 月 22 日に 2010 年噴火により形成された火口内に溶岩ドームが出現した。水蒸気噴火からマグマ噴火に移行する活動推移が見られる。溶岩ドームの形状変化から噴出率は約 3~4 千  $m^3$ /日と見積もられており、過去の溶岩ドームの成長速度( 2006 年噴火では約 10 万  $m^3$ /日 )よりも 1 桁以上小さい。注目すべきは、水蒸気噴火を挟んで火山性地震活動が深部火山構造性地震から浅部火山構造性地震に切り替わったことである。マグマ性噴火ではマグマ本体が浅部へ上昇する必要があることを反映しているものと考えられる。また、溶岩ドームの形成期には MP 地震と低周波地震の活動も活発化した。2010 年噴火で形成された火口は南側に開いて、溶岩ドームを形成する火口底の面積が小さいため、崩落が頻繁に発生し、2019 年に入ると火砕流も発生するようになった。

( 5 ) 2021 年噴火

2021 年 1 月 4 日には 1997 年噴火で形成された溶岩流の噴出口付近に火映が見られるようになり、1 月 6 日には溶岩が流下し始めた。その後、火砕流が繰り返し発生し、現在に至っている。この噴火活動は進行中で、今後の推移が注目されるが、この噴火活動に先行して 2019 年後半から 2020 年 1 月までの深部火山構造性地震の増加、2020 年 10 月以降の浅部火山構造性地震と MP 地震の急激な活発化が見られる( 図 4 )。2020 年 7 月以降、深部火山構造性地震はほとんど発生しておらず、ここでも深部火山構造性地震から浅部火山構造性地震への切り替わりが見られる。すなわち、2019 年後半から 2020 年 1 月までは深部へマグマが蓄積されていたが、2020 年 10 月以降、浅部へマグマが上昇して応力集中の位置が浅い場所へ移ったものと解釈される。このことは光波測量による地盤変動とも整合的であり、2020 年 10 月以降、6m におよぶ基線長の短縮が観測されている。

( 6 ) マグマの貫入速度と噴火規模・様式との関係

桜島では地盤変動観測に基づいてマグマの貫入速度と噴火規模・様式の関係を整理した( 井口・他、2019 )。メラピ火山でもマグマの貫入速度と噴火・規模様式を整理してみると以下ようになる。

- 1) 貫入速度検出限界以下 … 水蒸気噴火( 2018 年 5 月・6 月 )
- 2) 3~4 千  $m^3$ /日 … Effusive な噴火( 2018 年 8 月以降の溶岩ドーム形成 )
- 3) 38 万  $m^3$ /日 … 通常の溶岩ドーム形成( 2006 年噴火, Aisyah et al., 2018 )
- 4) 316 万  $m^3$ /日 … プリニー式噴火( 2010 年噴火, Aisyah et al., 2018 )

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

火山性地震の発生頻度が高いが、噴火の発生に至らない火山としてジャワ島のグントール火山の地震活動の推移について火山性地震の発生頻度と地震エネルギー、b 値などのパラメータに注目して取りまとめる。火山性地震については 1990 年以降についてデータベースがある。また、2009 年以降、GNSS などの地盤変動観測も継続しており、地震活動の活発化と地盤変動との関係についても考察する。なお、当初計画に予定していたサンゲアン・アピ火山の地震活動については、現地におけるデータ収集が困難となってきたので見合わせる。

( 11 ) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：

(13) 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

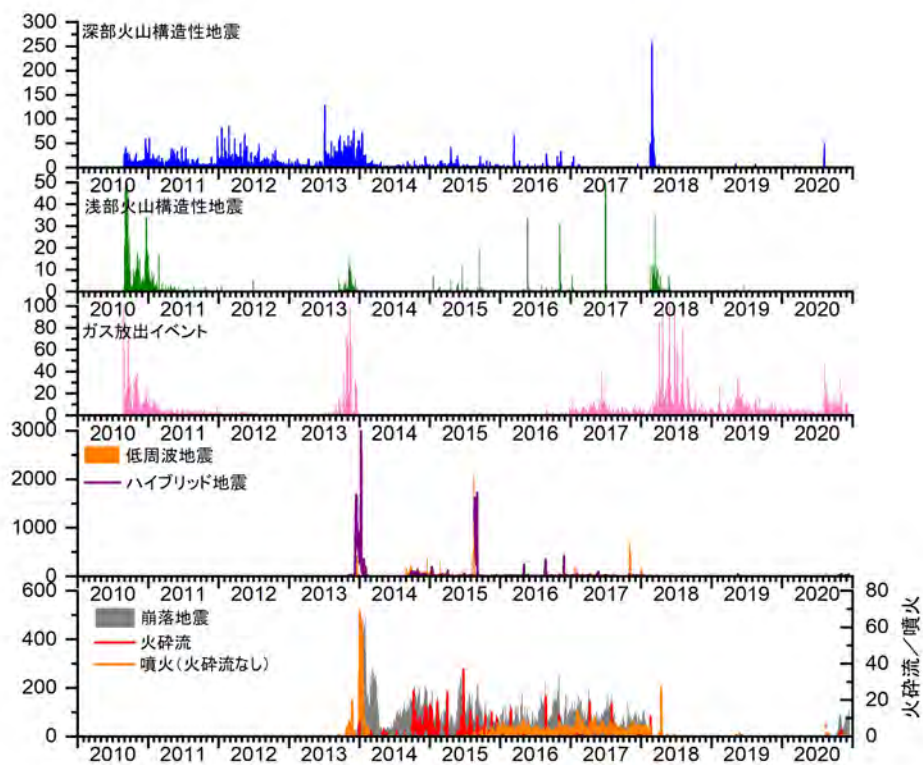


図1 シナブン火山における地盤変動および地震活動と噴火活動との関係

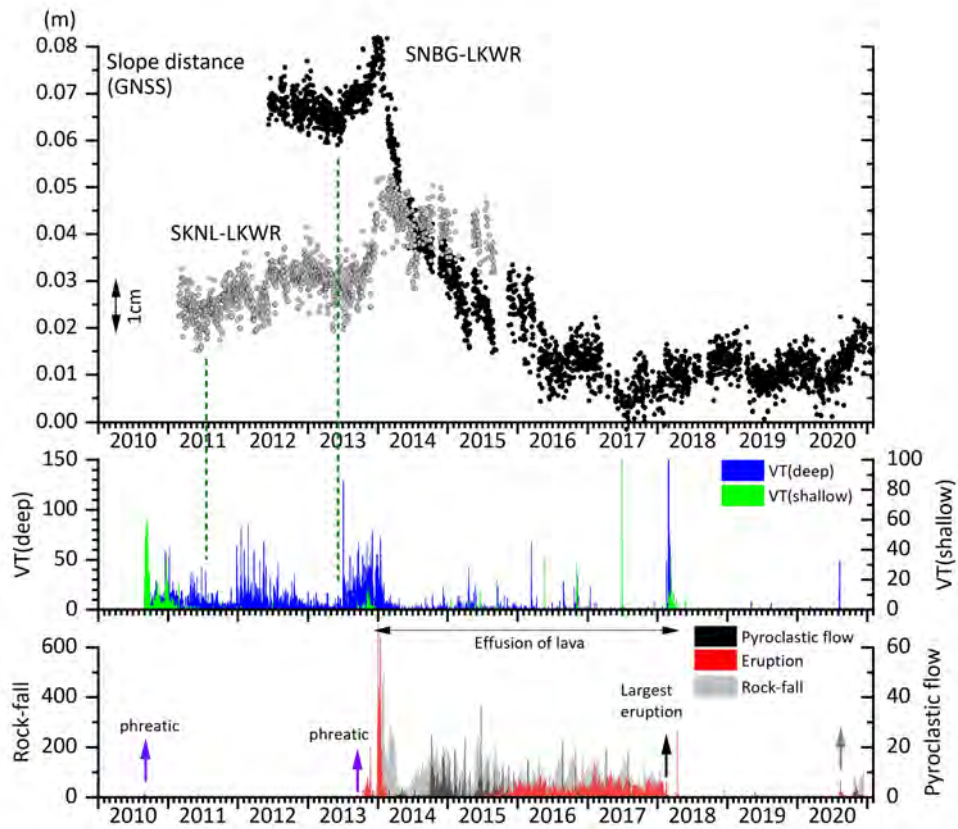


図2 シナブン火山における地盤変動と地震活動・噴火活動の関係

上段：GNSS観測により検出された基線長変化。SNBG-LKWRは山頂を挟んで南東-北西方向の基線である。

中段：深部および浅部火山構造成地震の日別発生頻度

下段：噴火活動の推移。火砕流（黒）、火砕流を伴わない噴火（赤）、Rock-fall（灰色）の日別発生回数

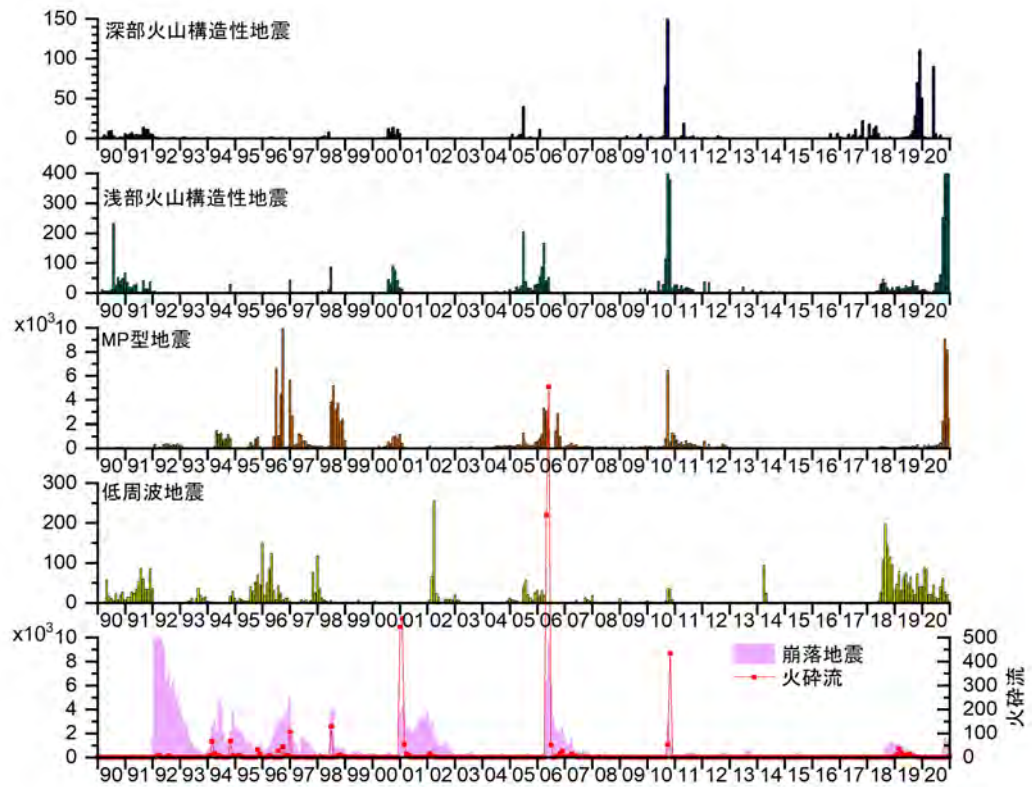


図3 メラピ火山における地震活動と噴火活動の推移  
月別発生回数(1990年~2020年)

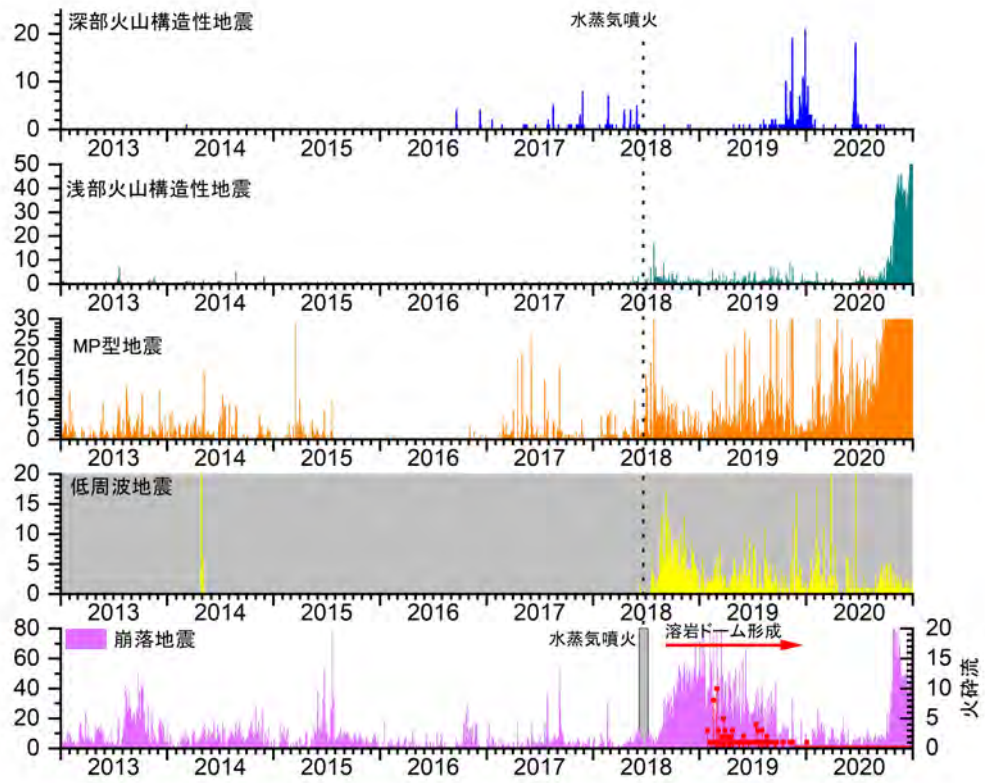


図4 メラピ火山における地震活動と噴火活動の推移  
 日別発生回数(2013年~2020年)

(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 2 年度の成果の概要 :

1 . 桜島および始良カルデラの起震応力場

既存の地震観測網データと海底地震観測データを併合処理することで若尊カルデラ、桜島東方域、鹿児島湾北岸域の微小地震の検知能力が向上し、各領域におけるクラスタの微小地震活動の特徴が見えた。若尊カルデラ域はバックグラウンドの極微小地震活動にバースト活動が重畳する特徴をもつ。これに比較して、桜島東方域及び鹿児島湾北岸域では数は少ないものの VT 地震が時折発生するといった相違が認められる。若尊カルデラ域における初動メカニズム解 ( 図 1 ) において正断層型が卓越し、P 軸はほぼ上下方向を向き、T 軸は水平に近い解が多い。この特徴は、広域応力場に加え、下方に圧力源が存在することで説明可能である。

2015 年 8 月 15 日に発生した群発 VT 地震の震源とメカニズムの時空間変化から、地殻の岩石強度が温度および封圧の関数にて浅部から深部へ増大することを考慮してダイクの膨張過程と地震発生メカニズムの関係を議論した ( Koike and Nakamichi, 2021 )。これによりダイクの膨張の初期段階では地

震は浅部で発生し、メカニズムは広域応力場と調和的であるが、ダイクの膨張が加速し次第に終息する過程において、浅部だけでなく深部において地震が発生し、広域応力場と調和的な地震だけでなく、広域応力場と調和的な P 軸や T 軸の方向と直交する P 軸や T 軸を持つ地震が発生することを解釈できた ( 図 2 , Koike and Nakamichi, 2021 )

## 2 . 火山性微動の新しい震源決定法

2 観測点の地震波形の相互相関のラグタイムを利用した震源決定方法を開発し、桜島の火山性微動に適用した。その結果、南岳および昭和火口の直下から深さ 6 km に微動の震源が分布することが明らかとなった。さらに、単一観測点の成分間の相互相関関数解析やネットワーク共分散行列解析を適用し、連続地震動記録から火山性地震や微動の検知を試みた。この検知結果と震源決定方法を併用し、微動の位置を求めた結果、爆発地震等の震源位置とほぼ一致することがわかった。

## 3 . 噴火に伴う地盤変動から推定した体積変化量

2017 年 11 月 13 日 22:07 に発生した南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化について、前年度は南岳下の変動源に加えて、桜島を南北に横切るダイクの閉口を示唆した。しかしながら、変動源の大きさを十分に拘束できていなかったことから、今年度はこれまで考慮に入れていなかったひずみの斜辺方向成分も加えて再解析を実施した。その結果、南岳下の変動源 ( 深さ 0.1 km · 3.3 km ) に加えて北岳下の変動源の収縮を考慮した方が適当であることが示された ( 図 3 , Hotta and Iguchi, 2021 )

## 4 . 火山灰放出量推定のための噴火に伴う空振とひずみの比較検討

桜島南岳火口の 2017 年以降の噴火について空振と地盤変動の関係を調べた。空振の観測点への到達時刻差から、噴火火口を A 火口もしくは B 火口のいずれかに分類した。噴火火口毎に空振積算振幅と観測坑道のひずみ記録から推定される収縮量の関係を調べたが、明瞭な関係は見られなかった ( 図 4 )

## 5 . 桜島浅部における質量増加

2020 年 10 月に桜島火山およびその周辺で相対重力の集中観測を実施した。図 5 は桜島中央部における重力値の時間変化を示す。2006 年以降、桜島中央部における重力値は陸水変動の影響で 100 microGal P-P の範囲内で数年周期で変動している。長期的なトレンドに注目すると、ハルタ山の重力点 ( BMSVO および HARG ) では長期的な増減は確認できないものの、S110 重力点ではこの 15 年で約 80 microGal の重力増加が確認できる。これは桜島中央部浅部における質量増加を反映していると考えられる。

## 6 . 絶対重力測定精度

相対重力の集中観測と同時期の 10 月 27 日から 29 日に有村観測坑道局舎において絶対重力測定を行った。使用した絶対重力計は FG5 ( 241 号機 ) である。気象条件などが良好であったために各ドロップごとのばらつきを示す標準偏差が約 10 microGal と小さく、3 日間の測定により重力値を精密に決定することができた。地上 130cm における重力加速度 ( 平均値 ) は 979437828.9 microGal , 平均値の標準誤差は 0.1 microGal であった ( 図 6 )

## 7 . 水準測量から推定した桜島北岸の隆起

2020 年 11 月に桜島の水準測量 2 路線において一等水準測量を実施した。そして、2019 年 11 月 ~ 2020 年 11 月の期間における地盤上下変動量を求めた。そして、桜島北岸に近い北岳路線の水準点において、地盤隆起 ( 桜島西岸の S.17 を基準として約 4.5 mm ) が生じていることが確認された ( 図 7 )。この期間、桜島北部あるいは始良カルデラ地下のマグマ溜まりにおいてマグマの貯留が進行していることを示していると考えられる。一方で、桜島中央部に比較的近い水準点においては、ほとんど地盤隆起がないことが確認された。南岳直下のマグマ溜りにおいては、この期間、増減圧がかなり小さいあるいはやや減圧傾向となっているのではないかと考えられる。

## 8 . 噴出物の化学組成からの玄武岩マグマ注入と上昇マグマ停滞の示唆

2019 年 11 月上旬 2019 年 12 月 20 日および 2020 年 6 月 4 日噴火の噴出物について解析を行った。斑晶鉱物組み合わせは、単斜輝石・直方輝石・斜長石・磁鉄鉱であり、ごく少量のかんらん石を含む。2019 年 11 月上旬のスコリアには反応緑の薄いかんらん石斑晶が含まれるが、それ以外のかんらん石は、多くが分厚い輝石の反応緑を持つ。また、2020 年 6 月 4 日噴出物中には、約 1 cm サイズの集斑晶 ( 単斜輝石・直方輝石・斜長石・磁鉄鉱 ) が特徴的に認められる。これらの噴出物の全岩化学組成

SiO<sub>2</sub>量は58.9-59.7wt.%であり、21世紀の活動の噴出物の組成トレンド上にプロットされることから、同様のマグマシステムが継続していると考えられる(図8a)。全岩化学組成から推定される玄武岩質マグマ供給量は2015年の活動期に比べると少なく、2009~2010年・2012-2013年と同程度である(図8b)。これらの特徴から、2019年11月以前に少量の玄武岩質マグマの注入があり、2020年6月までの一連の活動に繋がったと推測されるが、かんらん石斑晶の厚い輝石リムおよび2020年6月4日噴出物中に認められる集斑晶の存在は、上昇マグマの停滞と冷却・結晶化を示唆している。

#### 9. 参照スペクトル不要な手法による上空二酸化硫黄量解析

桜島火山の二酸化硫黄観測網データについて参照スペクトル不要な解析手法(Esse et al., 2020)を適用し、2018年1月1日から2020年12月31日までのすべての観測点のスペクトルから上空二酸化硫黄量を求めた。これにより、既往手法による解析にみられた太陽高度が低い時間帯における過小評価の問題を解決した(図9)。

#### 10. 繰り返し人工地震探査データを用いた地震波速度変化の検出

桜島火山の南部の有村にて2013年、2016年、2019年に実施した発破による東西測線における地震波形のクロススペクトル解析から地震波速度変化率を求めた。東西測線を東経130.68度にて東西に領域分割をして2013年と2016年の間と2016年と2019年の間の速度変化率の平均値を求めたところ、2013年と2016年の間は西側にて+0.5%、東側にて+0.2%であった(図10)。一方、2016年と2019年の間の速度変化率平均値は東西の領域ともに-0.3%であった(図10)。2013年と2016年の間の速度変化率の東西における差は2015年8月15日のダイク開口による応力変化に起因する速度変化にて説明できる。

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Brown, J. R., R. N. Taylor, and M. Iguchi, 2020, Using high-resolution Pb isotopes to unravel the petrogenesis of Sakurajima volcano, Japan, *Bull. Volcanol.* 82, 36, doi:10.1007/s00445-020-1371-0.

平野舟一郎・八木原寛・仲谷幸浩・後藤和彦, 2020, 2017年の臨時地震観測による鹿児島湾・喜入沖の震源分布と発震機構 鹿児島地溝形成に伴う断層に沿った顕著な地震活動, 鹿児島大学理学部紀要, 53, 32-44, <http://hdl.handle.net/10232/00031553>.

Hotta, K. and M. Iguchi, 2021, Tilt and strain change during the explosion at Minami-dake, Sakurajima, on November 13, 2017, *Earth, Planets and Space* 73, 70, doi:10.1186/s40623-021-01392-6.

井口正人・山田大志, 2020, 1955年以降の桜島南岳爆発による火山岩塊について, 日本火山学会2020年度秋季大会, O2-17.

Iguchi, M., H. Nakamichi, and T. Tameguri, 2020, Integrated study on forecasting volcanic hazards of Sakurajima volcano, Japan, *J. Disaster Res.* 15, 174-186, doi:10.20965/jdr.2020.p0174.

Ishii, K., A. Yokoo, M. Iguchi, and E. Fujita, 2020, Utilizing the solution of sound diffraction by a thin screen to evaluate infrasound waves attenuated around volcano topography, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 402, 106983, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.106983.

川辺智士・中道治久・桜島反復地震探査グループ, 2020, 人工地震探査データを用いた桜島火山の地震波速度変化の抽出, 日本火山学会2020年度秋季大会, O2-13.

風間卓仁・山本圭吾・大柳諒・岡田和見・大島弘光・井口正人, 2020, 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2019年5月~2020年3月), 京都大学防災研究所年報, 63B, 108-117, <http://hdl.handle.net/2433/260813>.

Koike, M. and H. Nakamichi, 2021, Dike inflation process beneath Sakurajima volcano, Japan, during the earthquake swarm of August 15, 2015, *Front. Earth Sci.* 8, 600223, doi:10.3389/feart.2020.600223.

Le, H.V., T. Murata, and M. Iguchi, 2020, Can Eruptions Be Predicted? Short-Term Prediction of Volcanic Eruptions via Attention-Based Long Short-Term Memory, *AAAI-20/IAAI-20 Technical Tracks*, 08, 34, 13320-13325, doi:10.1609/aaai.v34i08.7043.

Maher, S. P., R. S. Matoza, C. D. de Groot-Hedlin, K. L. Gee, D. Fee, and A. Yokoo, 2020, Investigating spectral distortion of local volcano infrasound by nonlinear propagation at Sakurajima Volcano, Japan,

J. Geophys. Res. Solid Earth 125, e2019JB018284, doi:10.1029/2019JB018284.

三浦哲・森下遊・太田雄策・出町知嗣, 2020, 干渉 SAR 時系列解析による桜島の地盤変動, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, O2-15.

中道治久・桜島反復地震探査グループ, 2020, 桜島における反復地震探査 (2019 年観測), 日本火山学会 2020 年度秋季大会, O2-12.

中道治久・山本圭吾・山田大志・為栗健・高橋幸祐・青山裕・山本希・野上健治・及川純・前田裕太・大倉敬宏・松島健・八木原寛・菅原道智・塚本果織・岸本博志・工藤直樹・山村卓也・平原聡・八木健夫・堀川信一郎・吉川慎・園田忠臣・仲谷幸浩・平野舟一郎・宮町宏樹・田中佑樹・吉田英臣・西川空良・甲斐建・高橋龍平・田ノ上和志・川辺智士・若林環・村松弾・橋本匡・大須賀啓士, 2020, 2019 年桜島火山人工地震探査の概要と過去の探査との比較, 京都大学防災研究所年報, 63B, 100-107, <http://hdl.handle.net/2433/260812>.

大久保修平・山本圭吾・井口正人 (2020) 丸い島における地下水潮汐の理論 - 桜島などの火山島における高精度な重力解析を目指して, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 オンライン大会, SGD02-03.

大柳諒・風間卓仁・山本圭吾・井口正人, 2020, 桜島火山における長期的重力増加: 1975 年~1999 年, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, O2-14.

Permana Theodorus・西村太志・中原恒・Shapiro Nikolai, 2020, Source location of volcanic tremors at Sakurajima volcano using seismic correlation-based methods, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, P39.

嶋野岳人・安田敦・井口正人・上木賢太・桑谷立, 2020, 主成分分析に基づくバルク火山灰測色値変化の考察 桜島昭和火口 2009-2015 年活動について, 日本火山学会 2020 年度秋季大会, P38.

Shinohara, H., R. Kazahaya, T. Ohminato, T. Kaneko, U. Tsunogai, and M. Morita, 2020, Variation of volcanic gas composition at a poorly accessible volcano: Sakurajima, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res. 407, 107098, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.107098.

山田大志・井口正人・藤田英輔 (2020) 桜島火山での噴煙成長過程定量化の試み, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 オンライン大会, SVC42-P09.

Yamasaki, T., F. Sigmundsson, and M. Iguchi, 2020, Viscoelastic crustal response to magma supply and discharge in the upper crust: Implications for the uplift of the Aira caldera before and after the 1914 eruption of the Sakurajima volcano, Earth and Planetary Science Letters 531, 115981, doi:10.1016/j.epsl.2019.115981.

(10) 令和3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・空振の観測による火山灰放出様式の定量的記載をする。また、噴火に伴う傾斜ひずみ変化についての検討を行う。さらに、ガス観測データから高時間分解能のフラックス解析を行い、人工衛星による測定結果との比較を行う。適時、火山灰のサンプリング調査を行い岩石組成および付着ガス成分分析を行う。そして、岩石組成から組成累帯構造に基づいたマグマプロセスと時間スケールを明らかにする。10月に相対重力測定と絶対重力測定を実施する。そして、桜島内部の質量時空間変動をモデル化し、火山活動との対応を調べる。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。過去の噴火については、最大規模の噴火であった 1987 年 11 月 17 日の噴火に伴う傾斜ひずみ変化から体積変化量を求める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中道治久、井口正人、為栗健、山本圭吾、大見士朗、山田大志

他機関との共同研究の有無: 有

北海道大学大学院理学研究院 (青山裕、中川光弘)

東北大学大学院理学研究科 (西村太志、山本希、太田雄策)

東京大学大学院理学系研究科 (森俊哉)

東京大学地震研究所（今西祐一、大湊隆雄）  
東京工業大学理学院（野上健治、神田径）  
富山大学都市デザイン学部（堀田耕平）  
名古屋大学大学院環境学研究科（前田裕太）  
京都大学大学院理学研究科（大倉敬宏、横尾亮彦、風間卓仁）  
九州大学大学院理学研究院（松島健、相澤広記）  
鹿児島大学大学院理工学研究科（中尾茂、八木原寛）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

（13）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

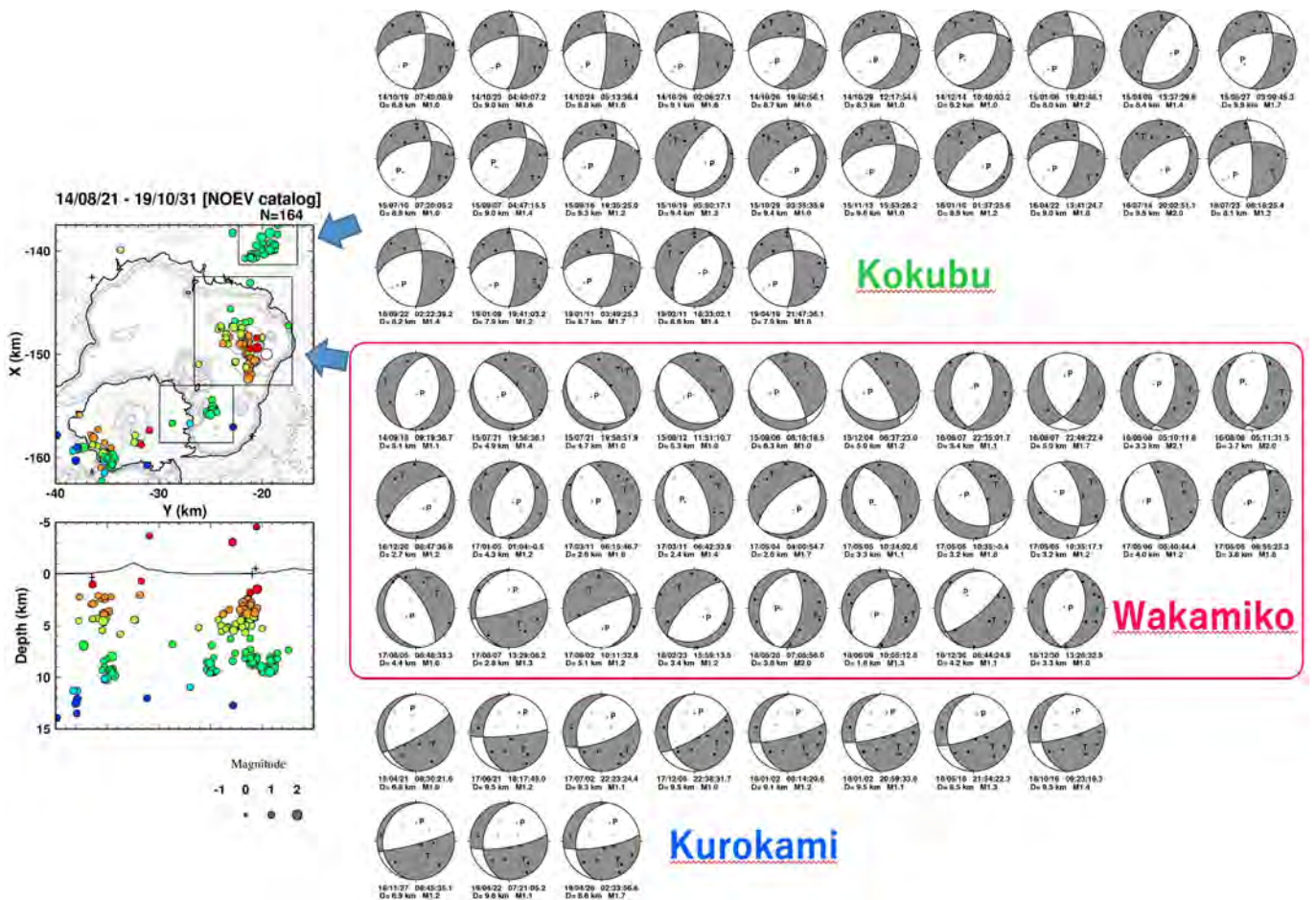


図1 各地震活動域における初動メカニズム解

各活動域について地震の発生時間順にてメカニズム解が配列されている。若尊カルデラ域では正断層が卓越している。

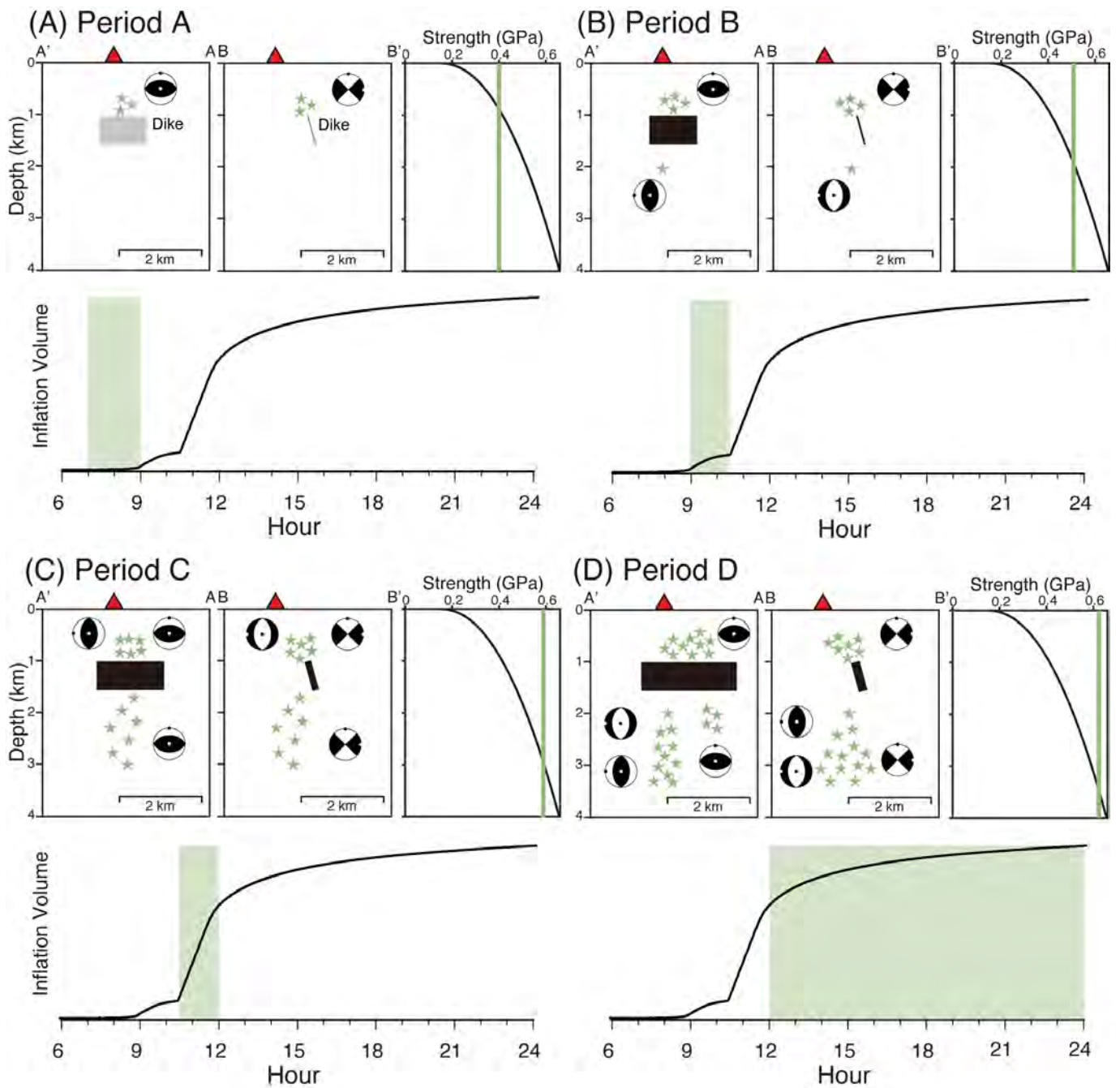


図2 2015年8月15日のダイク膨張による桜島の群発地震発生概念図  
 (A)7:00-9:00 (B)9:00-10:30 (C)10:30-12:00 (D) 12:00-24:00。

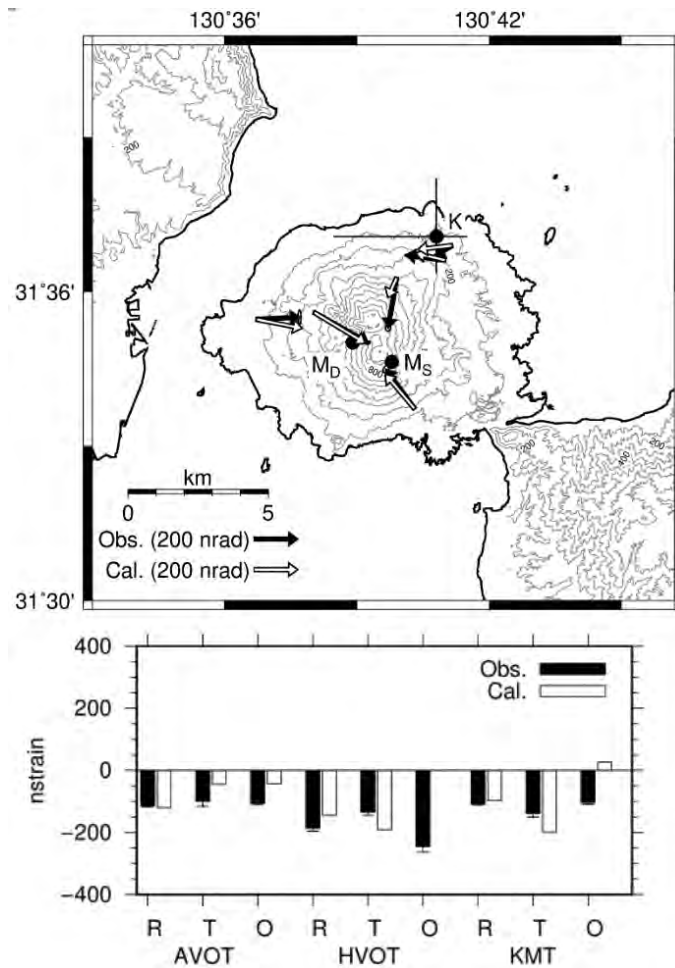


図3 南岳爆発に伴う地盤変動モデリング結果

(上) 2017年11月13日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化(22:10~24:00)に対して得られた南岳下深さ0.1 km bsl (MS) 及び3.3 km bsl (MD) と北岳下深さ3.2 km bsl (K) の変動源。MS、MD、Kの体積変化はそれぞれ+2,800 m<sup>3</sup>、-62,400 m<sup>3</sup>、-26,500 m<sup>3</sup>であった。ベクトルは黒が傾斜(沈降方向)の観測値、白が計算値を示す。(下) ひずみの観測値(黒)と計算値(白)の比較。



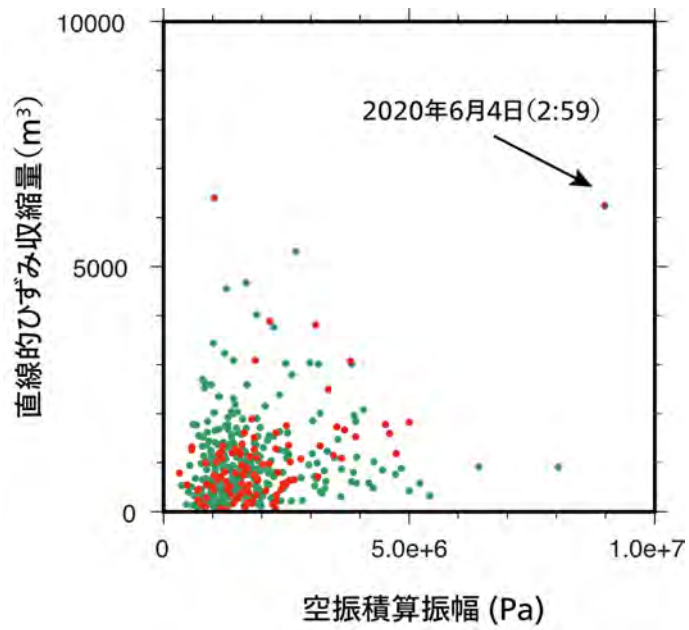


図4 空振積算振幅と有村観測坑道のひずみ記録から推定される収縮量の関係  
色は A 火口 ( 赤 ) と B 火口 ( 緑 ) にそれぞれ対応。

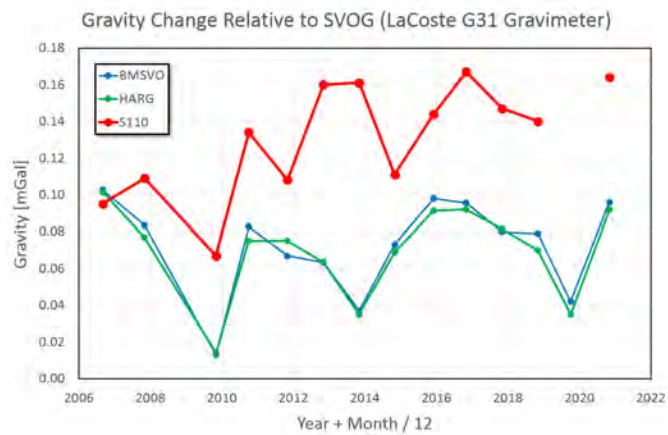


図5 桜島中央部の重力時間変化  
桜島火山観測所 ( SVOG ) を基準として LaCoste G31 重力計で測定された。

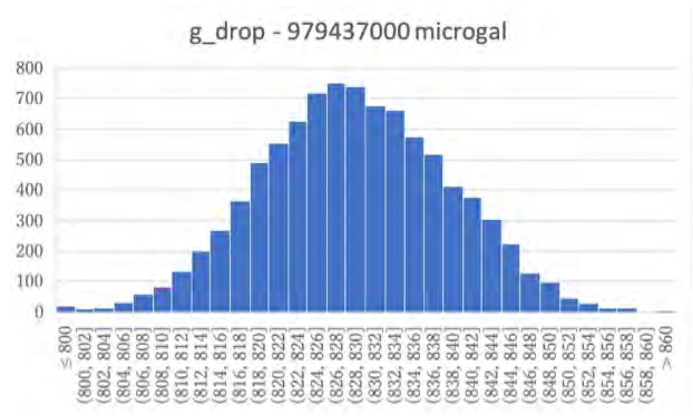


図6 絶対重力測定の結果(ヒストグラム)  
 令和2年10月27~29日に有村観測坑道局舎において行なった。

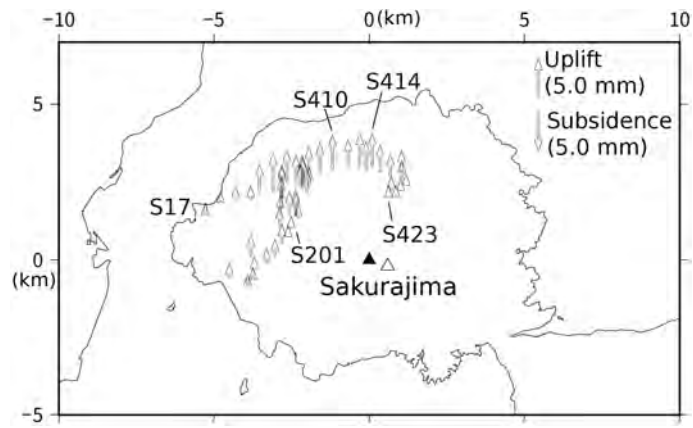


図7 各水準点における地盤上下変動量  
 桜島西岸の S.17 を基準点とした、2019年11月~2020年11月の期間の変動量。黒三角および白三角は、それぞれ南岳火口および昭和火口の位置を示す。

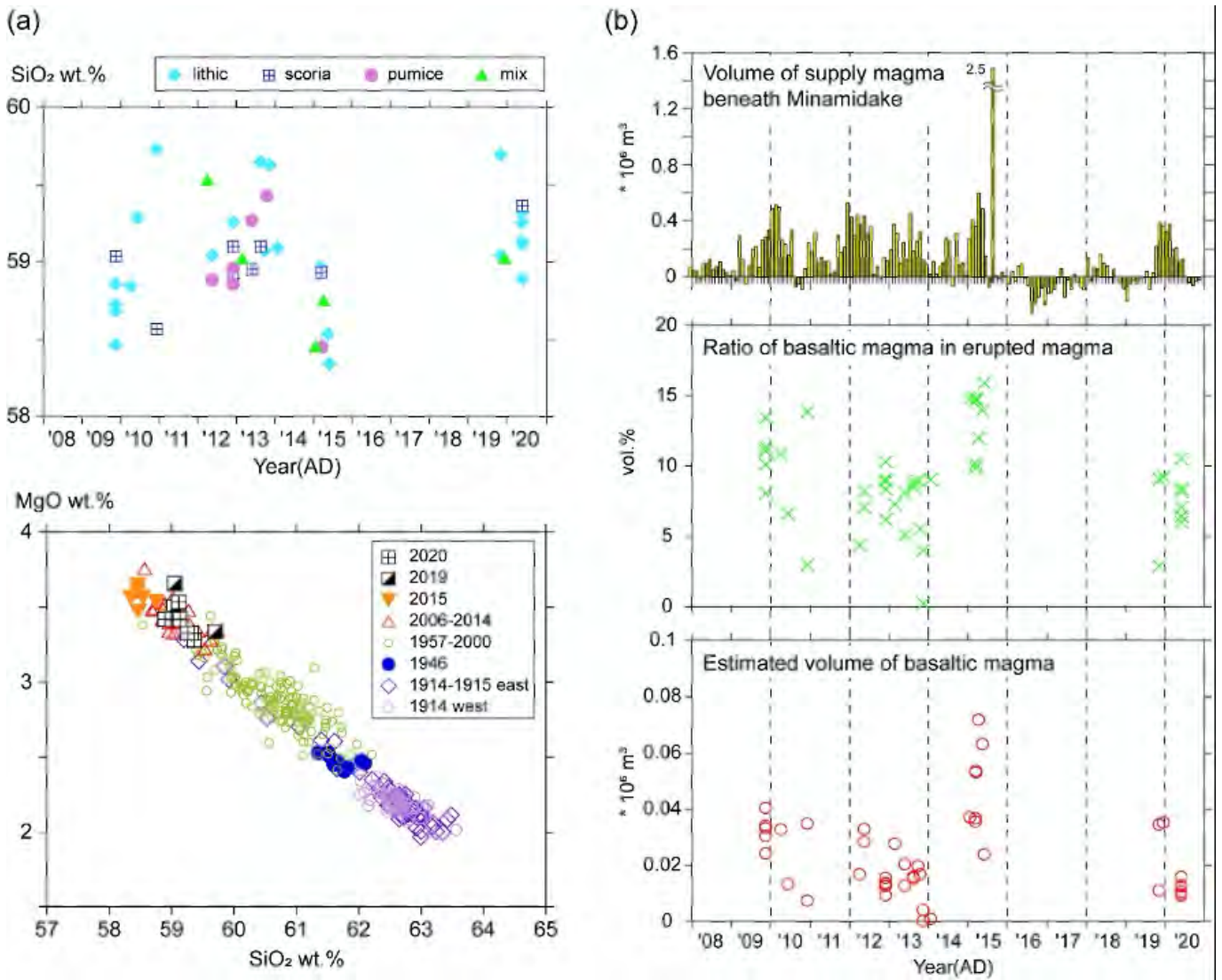


図8 全岩化学組成と玄武岩質マグマ供給量

(a) 全岩化学組成 SiO<sub>2</sub> 量時間変化図および SiO<sub>2</sub>-MgO 図。(b) 全岩化学組成から推定される玄武岩質マグマ供給量 (マグマ供給量は第147回予知連資料より引用)

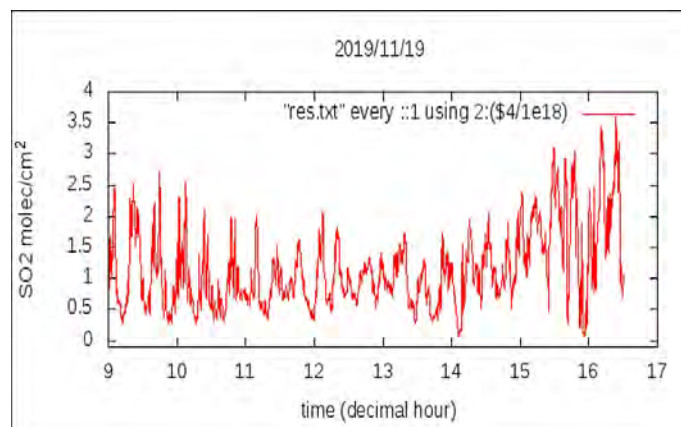


図9 二酸化硫黄放出量

2019年11月19日 st04 観測点の解析結果。

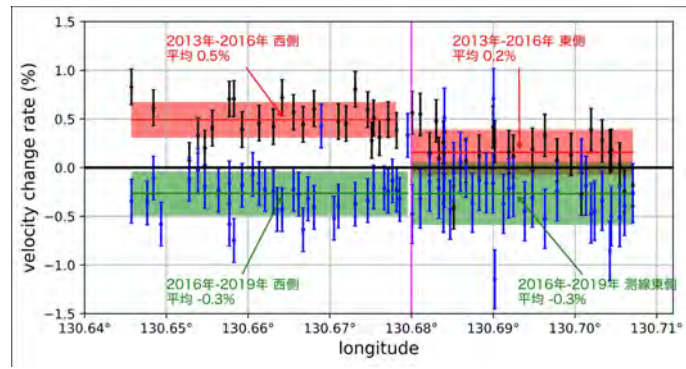


図 1 0 地震波速度変化率

東西測線の各地震計についての地震波速度変化率の経度方向分布。東経 130.68 °にて東西に分割し、平均（色付横線）と標準偏差（色付ハッチ）を求めた。2013 年と 2016 年の間と 2016 年と 2019 年の間の地震波速度変化率の平均と標準偏差をそれぞれ赤色と緑色で示す。

(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：

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 2 年度の成果の概要：

大地震が発生した場合に甚大な被害が起きる可能性が高い関西都市圏である大阪、京都、奈良堆積盆地を中心とした地域で、前年度に引き続き、2018 年大阪府北部の地震の観測波形データの再現シミュレーションを通じて、堆積層 Q 値の検討を行った。大阪平野中心部の Q 値は、0.1 ~ 0.5Hz で  $Q=0.45VS$ 、0.5 ~ 1.0Hz で  $Q=0.26VS$ 、1.0 ~ 2.0Hz で  $Q=0.15VS$  とモデル化された（Sekiguchi et al., 2020）。既往地下構造モデルの大阪平野～大阪湾地域に関し、データの内外挿方法などモデル構築作業の改善を行い、モデルの改良を進めた。

大阪・京都堆積盆地内の強震観測点の観測波形の S 波部分の自己相関関数を用いて堆積盆地基盤面からの S 波の多重反射波の検出を試みるとともに、既存の堆積盆地構造モデルとの比較を行い、モデルの妥当性検証や改良につなげることを目的として解析を行った（福留・他、2021）。大阪・京都堆積盆地内の計 79 の強震観測点を対象に自己相関関数解析を行い、得られた反射波応答の時間と既存モデルを用いて計算した反射波の 2way time とを比較したところ、多くの観測点では反射波を検出でき、その走時は多くの地点で既存モデルとよく対応した。しかし、大阪堆積盆地縁辺部のいくつかの地点で、観測と既存モデルの走時に顕著な差が見られ、既存モデルに改訂の余地があることが分かった。

滋賀県の近江盆地南部における浅部から深部までの S 波速度構造に関する情報を充実させるため、近江盆地南部の 14 地点において、小半径から大半径までの微動アレイ探査を実施した（浅野・他、2021）。各地点において、概ね沖積層から地震基盤までの速度構造を推定することができると考えられる位相速度範囲までの分散曲線を得ることができた。SPAC 法によって得られた位相速度を Rayleigh 波基本モードでモデル化することにより、各地点の S 波速度構造を推定した。

（ 9 ）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

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、令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、A117。

福留脩太・浅野公之・岩田知孝、2021、強震波形記録の自己相関関数解析による京都盆地、大阪平野での基盤面深度の推定、令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会、A116。

Sekiguchi, H., Asano, K., Iwata, T., 2020, Ground motion simulation of an Mw 5.5 earthquake in the Osaka basin, Japan, Fall Meeting of American Geophysical Union, S060-0008.

（ 10 ）令和 3 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。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、地下構造情報の少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。

（ 11 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

関口春子、岩田知孝、浅野公之  
他機関との共同研究の有無：無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：sekiguchi.haruko.6u@kyoto-u.ac.jp

URL：

( 13 ) 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 2 年度の成果の概要 :

極大地震動生成メカニズム解明のため、強震動記録を用いた震源断層不均質すべりモデルおよび広帯域強震動シミュレーションによる震源モデルの特性抽出を行った。前者に対しては、不均質すべり震源モデルを求める時には、サブ断層におけるすべり方向には応力場や震源メカニズム解から想定される範囲を拘束してモデル化をしている。そのため、サブ断層のすべり方向やマルチタイムのすべり時間関数の各々は、すべり方向が一定ではなく、拘束範囲の中でバラついている。これらの各サブ断層でのすべり方向のバラツキの統計的特徴を求めた。このバラツキは、将来の地震動予測時の地震シナリオを策定する時に役立つ。

後者は、強震動シミュレーションによって得られている震源モデルのパラメータのうち、強震動生成域の応力降下量の深さ依存性を整理した。我々の研究グループや、既往の研究成果に基づき、地殻内地震のみならずスラブ内地震のモデルを利用した。強震動生成域の深さ依存性が見られることがわかった。この解析結果も、将来の強震動予測の震源モデルパラメータ設定に使うことができる。

2016 年熊本地震本震の震源過程の再解析と、震源近傍、特に破壊伝播方向にあたる、阿蘇カルデラ内等の強震記録との関係を議論した。我々は既に Asano and Iwata(2016) で周期 2 ~ 20 秒の強震速度波形を用いた震源インバージョンを行い、布田川断層帯布田川区間に対応する震源断層面で大きなすべりを持っていることや、破壊が北東方向、浅い方向へ伝播したことを報告しているが、この時には地表地震断層近傍の益城町益城や西原村小森の長周期パルス及び永久変位を十分に再現(これらの地点はインバージョンに利用していない)していないことを指摘していた。このモデル化の困難さは、結果が仮定する震源断層面と観測点の位置関係やサブ断層の置き方に依存することがわかってきたことから、これまで取り組んでいなかった。サブ断層を細かくすることで後者は解決できる可能性がある一方、モデルパラメータが多くなることで、安定かつ信頼性の高い結果が得られない可能性があることも考えられることから、観測点近傍のサブ断層サイズを小さくすることは妥当でないと判断した。前者については、詳細な地震活動分布が示された(例えば Mitsuoka et al., 2020) ことから、適切な震源断層面を設定することが出来るようになったこと、そして、サブ断層の取り扱いについては、サブ断層サイズは小さくするものの、各サブ断層のモデルパラメータはコントロールポイントで与えて、サブ断層毎にモデルパラメータは与えず、内挿によって解を得る方法を提案した。加えて、本地域の地震動特性を把握するために微動アレイ探査等の結果により、より信頼性の高い地盤速度構造モデルが構築されたことから(例えば Senna et al., 2018; Asano et al., 2019)、これらの構造モデルを用いて、周期 1 ~ 20 秒までの帯域での震源インバージョンを実施した。

得られた結果は、Asano and Iwata(2016) と似ていて、布田川区間に対応する震源断層面で地中に大きなすべりが求められた一方、そのすべりの浅部地表近くにもすべりが得られた。サブ断層のすべりの特徴を見ると、深さ 3km 以深のすべり速度関数は、Kostrov 型の形状をしているのに対し、3km より浅いところのそれは、台形型あるいは二等辺三角形の形をしていて、すべり時間も長いことがわかった。またこの震源断層モデルに基づいた合成波形を、震源域北東の阿蘇カルデラ内の観測地震動速度や変位と比較すると、主要動がはじまって最大速度発生時まではよく再現されているものの、それ以降は観測と合成波形に乖離がみられた。当該地域では、表層(数十mと考えられる)が強震動をうけて移動した、という研究報告がなされているが、破壊伝播による forward directivity 波がこの地域を襲って、北西方向への大速度が起きた時に、表層が移動しはじめたと考えると、観測と合成波の違いが定性的には説明出来ることがわかった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

強震動生成メカニズム把握のため、強震記録を用いた震源インバージョンを継続する。モデルパラメータの強震動への影響を検討する。強震記録が得られているサイトの地盤構造モデルの検討を継続する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岩田知孝・浅野公之・関口春子

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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か年においては、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、斜面の永久変形量と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パ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の決定を行う。

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2年度の成果の概要:

ごく最近入手可能になってきた0.5mグリッドレベルの超高密度DEMから不安定斜面を分析した。特に過去に地震で崩壊が発生した例として挙げられる斜面の特徴から、突起状地形や急崖地形端部など地形効果の影響を受けやすい斜面と、長期的な重力変形の影響を受けている斜面、過去の崩壊痕跡を四国の主要国道沿いで抽出した。また、このような斜面の現地調査を開始した(図1)。さらに、安政南海地震(1854年)で崩壊したと伝えられる崩壊地であるトウジ山は、岩盤に亀裂が生じており、今後の地震でも崩壊が予想される。この斜面において、地震計、傾斜計などを複数設置し、観測網が完成した。

前年度より進めている各地での地震観測を継続した。特に、水域に接続した地すべりのモデルとして地震活動が活発な北海道東部で多項目観測を進めている海岸地すべりにおいては、波浪を原因とした浸食により不安定化が促進し活動中の地すべりが、自然の地すべりでこれまでに報告された事例よりも弱い地震動に伴って地震時の変位を記録したことを観測から明らかにした。また、同一地すべりにおいて不安定化の過程で地震時の変位を生じさせる加速度が低下していくことが分かった(図2)。

2016年熊本地震において多数の表層崩壊が発生した阿蘇地域、および、2018年北海道胆振東部地震における厚真町において、地震時の水文環境を明らかにするため、降雨に対する地盤の応答を調べる土壌水分計による観測を開始した。厚真町の崩壊斜面から採取したテフラ試料を用いて、振動台実験を実施し、強い地震時に不飽和状態におけるテフラ斜面の不安定化過程および崩壊土砂の運動機構について検討をおこなった。また、火山研斜面に掘削したボーリング孔内においてサーボ型速度計を設置した。

計画はおおむね順調に推移している。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
 Doi, I., S. Matsuura, H. Osawa, T. Shibasaki, and S. Tosa (2020): Effects of Coastal Erosion on Landslide Activity Revealed by Multi-sensor Observations, *Earth Surface Processes and Landforms*, 45, 10, 2291-2299, <https://doi.org/10.1002/esp.4880>.  
 土井一生・釜井俊孝・東良慶・王功輝(2021): 平成 30 年大阪府北部の地震における高槻市内および枚方市内の斜面災害調査、*らんどすらいど*、36, 23-32.  
 土井一生・松浦純生・大澤光・柴崎達也・土佐信一(2020): 平坦な地形面をなす地すべりの地震動の震動特性 - 近接して設置した地震計による地震波形記録の解析 -、*日本地すべり学会研究発表会山梨大会*、17.  
 土井一生・東良慶・前中裕貴・釜井俊孝(2020): 北海道厚真町の造成地における 2018 年北海道胆振東部地震時の変状と地下構造との関係、*JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, HDS09-P04.  
 X. LI, J. BO, I. DOI, G. WANG, T. KAMAI (2020): Microtremor Survey and Spectrum Analysis of a Coseismic Landslide: a Case Study in Subao Village, Ningxia, China, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, HDS09-P06.  
 荒井紀之・千木良雅弘・土井一生(2020): 重力変形斜面の降雨・地震時挙動の観測、*JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, HDS09-07.  
 王功輝・馬寧・土井一生・古谷元・渡部直喜・石丸聡・小安浩理(2020): Seismic site response of tephra slope: a case study for the landslides triggered by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, HDS09-P05.  
 荒井紀之・山崎新太郎・土井一生(2021): 山地斜面の降雨・地震時挙動の観測、*令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会*、P120.  
 王功輝・松島信一・古谷元・李孝波・常承睿・黄超(2021): 振動台実験による地震時テフラ斜面の安定性評価、*令和 2 年度京都大学防災研究所研究発表講演会*、D310.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

南海トラフ地震における過去の崩壊地および周辺部における地質調査について事例を増やす。特に、埋積された直立板状の構造が存在しうる斜面や岩塔状(香川県五剣山の例)の斜面があるかを、四国南北横断の重要道路(R32, R33, R194)周辺を中心に調査する。

斜面における多項目観測について継続する。地震動と地すべり内の変位や変形、過剰間隙水圧の大きさと比較し、それらの関係性を明らかにする。また、関係性から斜面の不安定化のメカニズムを考察する。

事前降雨が斜面不安定化へ寄与するかを明らかにするため、土壌水分観測を継続し、四次元電気探査を火山研斜面において実施する。また、火山研斜面にてボーリング掘削を実施し、傾斜などの各種観測機器を埋設する。加えてサーボ型速度計を火山研復旧後に地表に設置予定である。さらに、地震時地すべりの発生する可能性の高いテフラ分布の西南日本版の作成を試みる。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

- 釜井俊孝 : 総括、サブテーマ 2
- 千木良雅弘 : サブテーマ 1 (主査)
- 松浦純生 : サブテーマ 2
- 王功輝 : サブテーマ 1、サブテーマ 3、サブテーマ 2
- 山崎新太郎 : サブテーマ 1
- 松四雄騎 : サブテーマ 1
- 土井一生 : サブテーマ 2 (主査)、サブテーマ 3

他機関との共同研究の有無：有

大倉敬宏(京都大学理学研究科): サブテーマ 3 (主査)

西山賢一(徳島大学): サブテーマ1

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 京都大学防災研究所

電話: 0774-38-4110

e-mail: kamai.toshitaka.3z@kyoto-u.ac.jp

URL:

(13) 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



図1: 長期的な重力変形の影響を受けていると判断された四国の主要国道沿いの斜面における斜面上方の段差亀裂のようす。

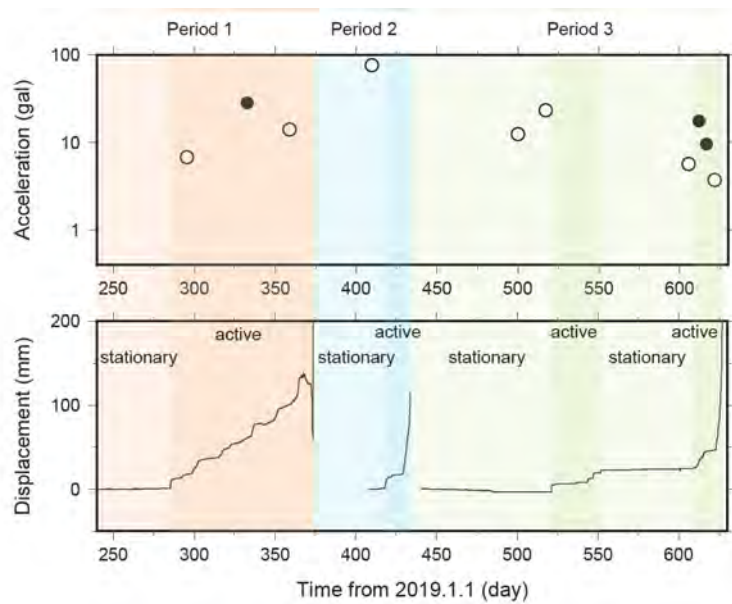


図 2 : 末端侵食を受け不安定化が促進されている海岸地すべりにおいて経験した最大加速度（斜面傾斜方向）の大きさ（上）と斜面の変位の履歴（下）。

黒丸は地震に伴う地すべりの変位が認められた地震、白丸は変位が認められなかった地震を示す。



(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：

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2年度の成果の概要：

桜島においては噴火とともに小規模ながら火砕流が発生することがあり、火砕流の発生メカニズムの解明や発生予測は防災上非常に重要である。発生メカニズムを解明する上で重要な情報は爆発時の火道内の物理状況である。爆発前に発生する前駆地震や微動、山体膨張、爆発的噴火に伴う爆発地震、火口底のガス溜まりにおける圧力蓄積などに火道内の物理状況を知る情報が含まれていると考えられる。地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測によって爆発的噴火および火砕流のデータを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータを明らかにする研究を行ってきた。

爆発前には山体膨張を示す地盤変動が観測される。膨張は噴火の30分～3時間ほど前から開始するものがほとんどであるが、火砕流を伴う噴火の膨張は中でも比較的長い時間をかけているものが多い。また、噴火直前の数10分程度は膨張が停止する時間があることが多い。爆発前に前駆地震を伴う事象が観測されることがあり、前駆地震は時間とともに発生頻度が上がり、振幅が大きくなる傾向がある。火砕流を伴う噴火の前に発生する前駆地震は、発生頻度は多いものの、振幅はさほど大きくならず噴火に至る傾向がある。噴火直前の地盤変動で見られる膨張停止や前駆地震の発生は火道内からガスが抜けているために発生している可能性がある。

2009年以降の火砕流の特徴について、地盤変動観測から見た噴出物量では火砕流を伴う噴火は通常の噴火と比較して噴出物量が多い噴火の際に発生していることが分かった。また、桜島においては長期的に見てマグマの貫入時期は小規模な噴火が多発しながら地盤が膨張し、貫入したマグマの放出期には比較的規模の大きな噴火が発生しながら地盤が収縮する。火砕流の多くはこの地盤収縮期に発生しており、新鮮なマグマが放出し終わり脱ガスが進んだマグマが噴火により放出される際に火砕流が発生しやすいことが分かった。

火砕流の流下パターンや堆積量を知るために桜島島内の黒神観測点において小型船舶レーダーを用いた観測を開始した。レーダー設置後に火砕流を伴う噴火が発生していないため、来年度も臨時的にレーダー観測を行う予定である。レーダーによる火砕流の表面現象が観測されていないため降下火山灰量と火砕流の配分比が決定できていない。来年度のシミュレーションには配分比を仮定した場合での計算を行なう予定である。

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

#### (10) 令和3年度実施計画の概要：

2020年度に噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と降灰量観測とを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し、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、噴出物の火砕流配分比を決定することを試みる予定であったが、火砕流を伴う噴火が発生していない状況である。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。噴出物の降下火山灰量と火砕流となった噴出物の配分比の見積については、2019

年の観測開始以降、火砕流を伴う噴火が発生しないため観測を求められていない。そのため流下距離を推定するシミュレーションについては配分比を変えながらそれぞれについて計算を行なう予定である。なお、レーダー観測を臨時的に継続し、火砕流を検知可能か実証を行い、火山灰の上方への移動量と火砕流となって山腹を下降する量を検出可能か調べる。

また、過去の火砕流を伴う噴火の地震・地盤変動・空気振動など地球物理学的観測データを基に火砕流の物理学的特徴をより詳細にする。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
為栗健、井口正人、中道治久、山本圭吾  
他機関との共同研究の有無：有  
東北大学大学院理学研究科（太田雄策）  
鹿児島大学地震火山地域防災センター（眞木雅之）
- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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/
- (13) 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

工. 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2年度の成果の概要 :

火山灰堆積後の土石流発生の予測モデル構築のため、降灰によるクラストが斜面表面を覆った条件に対する降雨流出・土砂流出に関する室内実験を行い、この流出過程に及ぼすクラストの影響について検討した。クラストの存在で浸透過程が異なるため、クラストの存在が表面流量を増加させることが分かった。また、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が分かった。これに関する数値シミュレーションもを行い、流路の形成、侵食過程などがある程度再現できた。

焼岳を対象として、噴火後60年間の土石流発生ポテンシャルの変化について検討し、噴火直後土石流が多発して発生ポテンシャルが下がっている状況で発生した土石流の誘因として、源頭部に集中した強度の大きい降雨が重要であることを明らかにした。また、通常の土砂生産と土砂流出により発生ポテンシャル( 溪床での堆積土砂量 )が増加する過程について、土砂動態モデルを用いて検討した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

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：昭和37年焼岳噴火後の足洗谷における土石流の発生、令和2年度砂防学会研究発表会概要集、167

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

これまでの調査や実験、シミュレーションによる検討結果を使って、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化を進める。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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

鹿児島大学・地頭蘭隆、三重大学・堤大三、新潟大学・権田豊

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：075-611-5263

e-mail：fujita.masaharu.5x@kyoto-u.ac.jp

URL：

( 13 ) 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

(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

(2) 総合的研究

工. 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ジ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 2 年度の成果の概要：

2020 年 6 月 4 日の未明に桜島火山で発生した噴火には顕著な空気振動があり、噴出物の落下音を聞いた桜島の住民がいた。当該噴火は悪天候下に発生したため監視カメラによる噴煙到達高度の測定は困難であった。一方、明朝の住民からの通報により鹿児島市および気象庁が調査し桜島東部の路上などにおいて最大 5 cm 径の火山レキが複数発見された。そのため、顕著な噴火であったことが把握できていたが、噴火規模については当日時点では不明であった。ところが、数日後に居住地域への噴石の落下が住民によって情報提供されたのを受け、鹿児島市、気象台、京都大学は 6 月 8 日午後噴石落下地点の現地調査を行った。噴石の居住地域への落下は噴火警戒レベル 5 の事象であるが、当該噴火から経過時間が大きいことと、火山観測データに特段の変化は見られなかったことから噴火警戒レベル 3 で維持された。

噴石の居住地域への落下は人的被害に繋がるおそれがある。そのため、地元自治体である鹿児島市は事態を重く見て、6 月 4 日噴火についてと桜島火山の観測情報について桜島の住民を対象とした火山防災勉強会( 以下、勉強会 ) を企画した。そして、京都大学防災研究所( 以下、防災研 ) は勉強会の講師として参画し、噴石飛散による噴火警戒レベルのレベル上げについての認識調査するための住民アンケートを実施した。勉強会は桜島島内の 4 校区にて 8 月下旬から 10 月上旬にかけて行われた。勉強会の対象者は各校区の町内会長と民生委員などであった。防災研講師から噴火についての観測事実の解説と住民アンケート説明がなされた。鹿児島市からは噴火に伴う被害の情報提供の依頼があった。

以下に住民アンケートの結果について述べる。勉強会において町内会長に各町内会分の部数のアンケートを渡した。そして、町内会単位でアンケートを回収した。回答者数は 340 名であった。噴火警戒レベルについてと桜島の現在の噴火警戒レベルの認知度と、大きな噴石が一定距離を超えて飛散し



たことが判明した場合に噴火警戒レベルが上がることで警戒に必要な範囲が変更されることについての認知度を分析した。噴火警戒レベルの認知度は9割強と非常に高く、8割の方がアンケート時点での桜島火山の噴火警戒レベルを正しく認識していたことが分かった(図1)。噴石の飛散距離によって噴火警戒レベルが上がることについては8割の方が認知していることが分かった(図2)。さらに、噴石の時間あたりの飛散回数や飛散距離により、噴火警戒レベル3が維持されるが警戒が必要な範囲が拡大される場合、噴火警戒レベル4になる場合、噴火警戒レベル5に場合についての認知度を分析したところ、噴石の飛散距離と噴火警戒レベルや警戒を要する範囲との対応についての認知度が1割程度とかなり低いことが分かった(図3)。噴石の飛散距離や時間あたりの回数は火山観測から得られる情報としては一般に最も理解されやすいものであるが、それらによって噴火警戒レベルや警戒を要する範囲が設定されていることについて具体的な数値については認知度を上げる必要性はあると考える。なぜならば、噴火警戒レベルや警戒を要する範囲の変更は住民の生活・経済活動と生命と財産の保全に大きく影響を及ぼすからである。

大規模噴火の発生が予想される桜島のこれまでの火山学的知見のまとめ、現在進行中の大規模に対する避難などの対策、大規模噴火が及ぼす交通インフラへの影響、大規模噴火についての社会の共通理解醸成の方策について、Elsevier社の書籍 *Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters* と Springer社の書籍 *Disaster Risk Reduction and Resilience* にそれぞれ1章分担執筆して出版した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Iguchi, M., 2020, Chapter 3 Resilience to Volcano- and Landslide-Related Hazards, in “ *Disaster Risk Reduction and Resilience* ”, ed. by M. Yokomatsu and S. Hochrainer-Stigler, *Disaster and Risk Research: GADRI Book Series*, Springer, 25-44, doi:10.1007/978-981-15-4320-3\_3.

Iguchi, M., 2021, Chapter 18 Volcano emergency planning at Sakurajima volcano, in “ *Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters Volume 2* ”, ed. by P. Papale, *Hazards and Disasters Series*, Elsevier, 635-668, doi:10.1016/B978-0-12-818082-2.00018-4.

(10) 令和3年度実施計画の概要 :

鹿児島市は桜島火山の大規模噴火を想定した大量軽石火山灰対応計画を立案している。この計画は鹿児島市街地の避難計画であり、桜島火山の大規模噴火において桜島住民以外の鹿児島市民が避難する可能性があることの周知度は低い。そこで周知度を向上させるために、桜島火山の研究成果および大規模噴火が起こった場合の影響についてのセミナーを一般向けに行う。その上で、防災リテラシーの実態調査の一環として、セミナー参加者などを対象に火山情報に関する意識調査を行い、噴火警戒レベルについての理解度や火山観測情報の取得について明らかにする。アンケート調査結果から、噴火災害を軽減する対策を考えるために必要な知識体系を構築するための要素抽出を行う。また、住まいや自然災害に関する百科事典を分担執筆することで、火山災害についての必要知識をまとめる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

中道治久、井口正人、多々納裕一、大西正光

他機関との共同研究の有無 : 有

兵庫県立大学

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

(13) 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

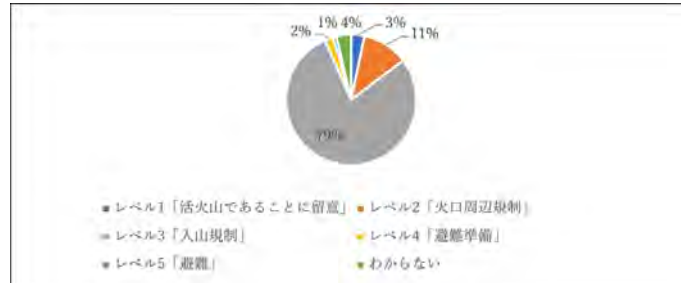


図1 桜島の噴火警戒レベルの認知度

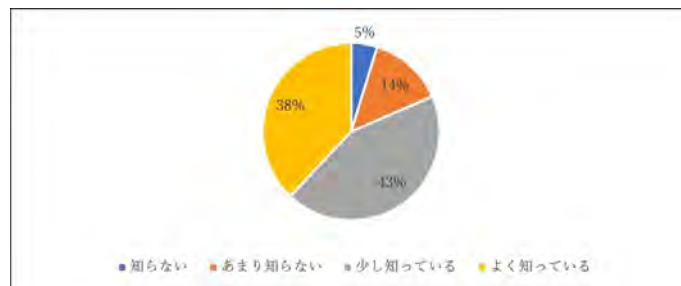


図2 噴石の飛散距離によって噴火警戒レベルが上がることの認知度

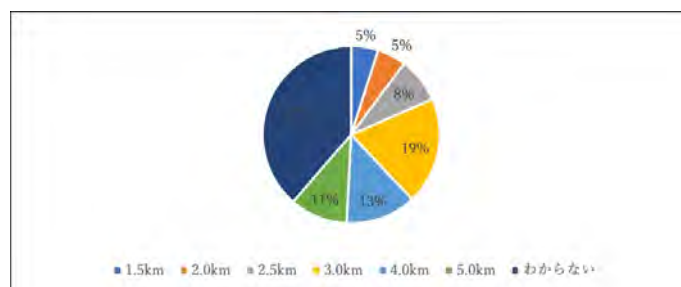


図3 噴火警戒レベル5になる時の噴石の飛散距離の認知度

(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読と活用、(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ス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 2 年度の成果の概要：

令和 2 年度は、当初の計画に従って、(1) 地震・津波避難訓練への「オープンサイエンス」の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読と活用、(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 3 つの研究を推進した。具体的には、(1) については、南海トラフ地震の臨時情報発表時の事前避難を念頭に、津波避難訓練支援ソフト「逃ゲトレ」を改変し、避難訓練に参加した一般市民の行動データを事前避難の要不要の診断に活用するためのシステムのパイロット版を制作した。同時に、USGS の DYFI プロジェクトとの共同により、地震の体感データを広く市民から収集し、地震の被害状況の即時把握等につなげるシステムをオープンサイエンスとリンクさせるための研究も継続実施し、学術論文として成果を公表した。(2) については、「みんなで翻刻」プロジェクトを継続推進した。(3) については、阿武山地震観測所において「満点計画」から得られた地震データの解析業務に一般市民（ボランティアスタッフ）が参画するプロジェクトを実施し、これまでの成果をシチズンサイエンスの観点からとりまとめて学術論文として公表した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
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 - 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って - 実験社会心理学研究（オンライン先行公開中）

Yamori, K. & Sugiyama, T. (2020). Development and social implementation of smartphone app Nige-Tore for improving tsunami evacuation drills: Synergistic effects between commitment and contingency. *International Journal of Disaster Risk Science*. DOI 10.1007/s13753-020-00319-1

Goltz, J., Nakano, G., Park, H. and Yamori, K. (2020). Earthquake ground motion and human behavior: Using DYFI data to assess behavioral response to earthquakes. *Earthquake Spectra*.

[<https://doi.org/10.1177/8755293019899958>]

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

本研究は、「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を目標に掲げ、それを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している。令和 3 年度の実施内容は、令和 2 年度までに実施した 3 つの研究をさらに継続・発展させることを基本とする。サイエンスミュージアムとして再編中の阿武山観測所におけるプロジェクトについては、シチズンサイエンスとしての地震学の母体となる市民組織に関するアクションリサーチを新たに開始するとともに、地震データの解析、サイエンスミュージアムのマネジメント（展示品、展示手法、案内業務への関与）への市民参画について進める。また、「逃ゲトレ」、「みんなで翻刻」を活用したオープンサイエンスプロジェクトはそのまま継続して推進し、その成果と課題をオープンサイエンスの観点から考察する。

( 11 ) 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 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災研究所  
電話 : 0774-38-4024  
e-mail : yamori@dps.dpri.kyoto-u.ac.jp  
URL : <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

( 13 ) 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に開催し、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2年度の成果の概要：

合宿形式の古文書解読のための勉強会（9月と3月の2回、各3日間、オンライン）および定期的な勉強会を開催した。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。

近江八幡の商家当主の日記「市田家日記」にある地震の有感地点を日記原本の調査に基づいて特定した〔服部・他(2020)〕1925年北但馬地震の際の海軍史料などの分析から、震央付近の人的被害と救援活動について明らかにした〔大邑(2020)〕歴史地震研究におけるデジタルアーカイブの活用や人文情報学的手法の導入について検討した。欧州の歴史地震データベース（AHEAD, the European Archive of Historical Earthquake Data 1000-1899）で用いられているツールを活用して、歴史地震の震度データベースを試作した。市民参加型の歴史資料解読プロジェクト「みんなで翻刻」に、国立国会図書館等が所蔵する地震史料を追加した。

おおよそ計画どおりの進捗であった。地震学会秋季大会がオンライン開催となったため「古地震研究検討会」は開催しなかった。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

服部健太郎・中西一郎・大邑潤三，2020，日記の筆者が地震動を感じた地点の時間変化：近江八幡「市田家日記」の場合，地震2，73，65-68，doi: 10.4294/zisin.2019-10．

山村紀香・加納靖之，2020，1586年天正地震の震源断層推定の試み??液状化履歴地点における液状化可能性の検討から??，地震2，73，97-110，doi: 10.4294/zisin.2019-7．

大邑潤三，2020，1925年北但馬地震における震央付近の人的被害と救援活動 海軍史料の分析を中心に，歴史地震，35，177-186．

(10) 令和3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。

( 11 ) 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 加納靖之  
他機関との共同研究の有無 : 有  
京都大学大学院理学研究科 中西一郎  
気象研究所 小林昭夫・弘瀬冬樹・田中昌之  
産業技術総合研究所 堀川晴央  
国立歴史民俗博物館 橋本雄太

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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 2 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 年度に行なった富士火山の爆発的噴火試料の石基組織の解析の続きとして、各層の全岩化学組成や鉱物化学組成と石基組織との関係について調べた。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。

R1 年度報告に記載したように、御殿場岩屑なだれの時期前後で顕著な石基組織の変化が観察されている ( 図 1 ( a ) , stage-1 から stage-2 ) . 山体崩壊前後を比較すると、石基の斜長石量が急減しガラス量が急増しており、火道浅部での急速な冷却もしくは減圧が示唆される。ただしこの特徴を持つ層の数と連続性から、この変化は一時的なものではなく数百年は継続している。そこで、こうした特徴がどのようなマグマ供給系で実現しうるかを、全岩化学組成と鉱物化学組成の分析結果を加えて検討した。

全岩組成と斑晶鉱物組成の時間変化を図 1 ( b,c ) に示す。全岩化学組成で見ると、stage-1 と stage-3 に比べて stage-2 の時代は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  が高止まりしているように見え、富士山としてはやや分化した化学組成を呈している。次に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{MgO}$  も加えて、全岩組成の variation diagram を見てみよう ( 図 2 ( a ) ) . 比較のため、今回の分析値以外の富士宮期 ( 主として溶岩、津屋の新富士旧期溶岩に相当 )、須走 b 期 ( テフラ、溶岩の両方 )、須走 c,d 期 ( テフラ、溶岩の両方 ) の分析データ ( 地震研究所、未公表 ) も併せて示す。Stage-2 ( 青丸 ) は、他の時期の噴出物と比較して別の分布トレンドを描いており、とりわけ、 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  の図で顕著である。全岩組成の分布での stage-2 分布トレンドは、浅所での珪長質マグマの活動である砂沢噴火の組成 (  $Z_s$  ) 方向には伸長していない。 $\text{SiO}_2$  が増加に伴い  $\text{TiO}_2$  が増加する組成分布は、富士山の深部マグマ溜まりでの結晶分化に典型的な磁鉄鉱の晶出が抑制されたものと考えられる。また、 $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{TiO}_2$  の組成変化が富士山の他の噴出物と同じ線上なので、深部マグマつまりで次第にマグマが結晶分化した様子が見て取れる。つまり、stage-2 で  $\text{SiO}_2$  が高いのは浅所マグマの関与ではなく、stage-1 から stage-2 にかけては深部での結晶分化が継続して進行していたと考えられる。Stage-2 に特徴的な  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  図での分布のずれについては、斜長石分別のコントロールラインに沿っており、深部からマグマが上昇する際に、マグマの温度がやや低く斜長石の結晶分化がおきていたとすれば実現可能である。

次に斑晶について見てみよう。斑晶は主にかんらん石と斜長石からなる。一部の層で単斜輝石や直方輝石を含むが、それらの量はごく僅かである。斜長石の An 値はいずれの層もバイモーダルのもの

が多い。例外は S-10,11 の Yufune-I の噴火、S-22 の Yufune-II の噴火で、比較的低 An や低 Mg# の斑晶が少なく、深部のマグマの寄与が大きいように見える。Stage-2 では、An 値が低い部分に組成頻度のピークを持つ傾向がある。また、stage-1 と stage-3 に比べると stage-2 のかんらん石の組成範囲もやや高 Mg# 側が低くなっている。しかしながら、この時期は全体的に斑晶に乏しい時期で、斑晶の全体量は多くても 10 % 以下、大部分は数 % 程度（宮地，1988）であり、浅部マグマとの混合の影響を強く受けているとは考えにくい。単に深部マグマが上昇中に浅部の分化マグマの残滓を引っ掛けてきたのではないだろうか。かんらん石の Mg# が stage-1 から stage-2 に向かって若干低下、その後 stage-3 でやや高くなっているように見えるのは、stage-2 までは深部マグマの温度は低下し続け、stage-3 になるタイミングで深部のマグマ溜まりに高温のマグマの注入があったと解釈できる。

以上、stage-2 で見られたような様々な特徴は、(1) 深部マグマ溜まりからマグマが上昇し、あまり浅部の分化マグマの混合を受けず、速い上昇速度を維持したまま噴火に至った。(2) Stage-2 では深部マグマで結晶分化が進行し少量のマグマでも噴出しやすい環境が実現していた、と考えることで説明できる。では、御殿場岩屑なだれとの関係はどのように考えたらよいのだろうか。

富士山のマグマ供給系については、深部と浅部の 2 箇所潜在的な浮力中立点が存在し、それらに対応して、2 箇所にマグマ溜まりが形成されやすいと考えられている。ただし、浅所のマグマ溜まりは、他の火山に比べて発達していない。このような場において岩屑なだれによって表層部の荷重が減少すると、深部から上昇するマグマは浅部層でトラップされにくくなるとともに、上昇の加速度は大きくなる（図 2 (b)）。このためマグマの上昇速度が速い状態が実現することが期待できる。御殿場岩屑なだれの崩壊量はたかだか 1 ~ 2 km<sup>3</sup> 程度で深部マグマへの影響はほとんどないと思われるが、浅所の火道に対しては強く継続的な影響を与えることが今回の検討からは示唆される。したがって、将来の噴火推移予測においては、火道浅部の状態の連続性は十分に考慮する必要がある。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
安田敦・田島靖久富士火山の連続テフラ層で観察された石基組織の急変事象について、火山学会 2020 秋季大会、2020

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

R2 年度に引き続き、爆発的噴火の試料について斑晶組成の分析と石基組織の特徴を調べる。特に、Stage-2 以降の御殿場山体崩壊からの回復期にマグマシステムがどのように変化していったかを検討する。加えて、溶岩流については無斑晶質の試料について斑晶化学組成の分析をすすめ、R1 年度の続きとしてマグマの温度と含水量と噴火様式との関係の把握に努める。

( 11 ) 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 安田 敦  
他機関との共同研究の有無：無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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

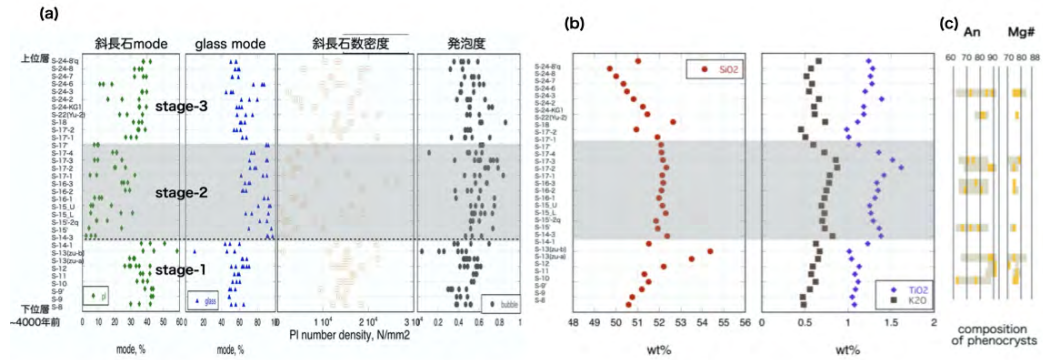


図1．石基組織，全岩化学組成，斑晶組成特徴量の時代変化

(a) 石基組織: 破線は御殿場岩屑なだれの発生時期．その直後からの石基のガラス量が増加した時期を stage-2 とした．  
 (b) 全岩化学組成 (  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ). (c) 斑晶組成: 灰色が組成レンジ．黄色が組成頻度のピーク位置．An, Mg# とともに 2 刻み．

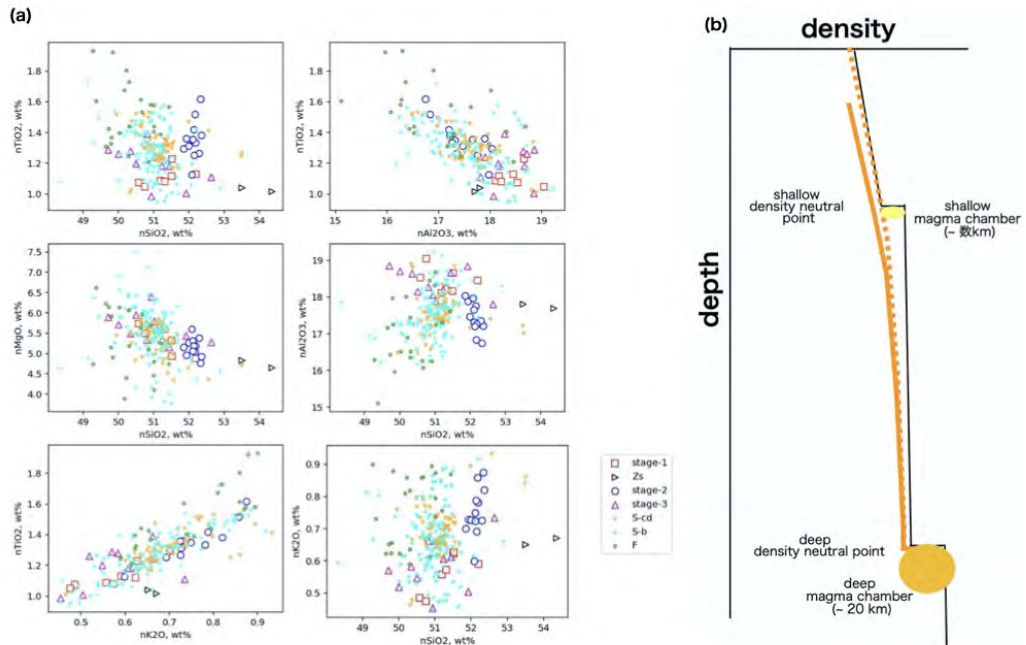


図2．全岩化学組成と密度成層から見たマグマ供給系の模式図

(a) 全岩化学組成: Stage-1 のうち，砂沢噴火 ( S-13 a,b ) のみは Zs として別に示している．F: 富士宮期，S-b: 須走 b 期，S-cd: 須走 c および 須走 d 期，stage-2 ( 青丸 ) . (b) 密度成層から見たマグマ供給系の模式図: 黒細線は地殻と山体構成物の密度，オレンジ色の破線は，深部マグマから上昇するマグマの密度変化を示す．マグマは上昇するにつれて特に揮発性成分の影響を受けて密度低下をする．表層の荷重が減少すると，オレンジ色破線からオレンジ色実線のように上昇するマグマの密度は変化する．

(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：

大規模噴火に伴う諸現象とそれを駆動するマグマ溜り 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 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常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 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まりの温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り 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も進める。

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 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 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 2 年度の成果の概要 :

伊豆大島では前年度から引き続き歴史時代の Y シリーズ大規模噴火 ( Y1、Y2、Y4、Y6 ) の噴出物を中心に調査分析を進めた。各堆積物について詳細なユニット区分を行なった上で、層序毎の特徴、岩石鉱物化学組成・組織の変化を明らかにし、それらの噴火様式や推移との関係を調べた。Y1 や Y4 では噴火後半に斑晶量が増加することや、噴出率・噴火様式と対応した石基組織の変化、密度など粒子物性の変化があることをすでに見出していたが、これらのデータ量を増やしその変化をより明確にした。この結果は、マグマ溜り-火道系の状態解明に向けた新たな制約となる可能性がある。

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野外調査、化学組成分析および岩石組織の解析を進めた。噴煙柱および火砕流 ( 吾妻火砕流 ) 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。気泡数密度減圧速度計を適用すると、火砕流発生時に 1 桁以上減圧速度が増加した可能性があることがわかった。この減圧速度の増加や噴火様式の変化の原因について考察を進めた。また、20 世紀の中小規模噴火の推移や噴出物の特徴についてレビューを行った。

霧島山については歴史時代の大型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分布や層区分について検討した。18 世紀新燃岳享保噴火については噴出物の解析を進め、全岩化学組成や温度・組成バリエーションなど、基礎的な岩石学的情報の収集を進めた。また、石基組織の基本的特徴を確認し、2011 年噴火と比較するための準備を進めた。13 世紀御鉢噴火については、堆積物を新たに区分し直すとともに、新データを加味して噴出量を推定し直した。その結果、総噴出量は従来の 1.5 ~ 2 倍まで増え、13 世紀噴火は従来の推定よりも大規模な噴火の可能性があることがわかった。また、噴火推移の詳細を知るために、粒子物性 ( 密度、粒径等 ) および岩石組織の定量解析も進めた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

池永有弥・前野 深・安田 敦, 2020, 伊豆大島火山山頂火口噴出物の発泡組織と斑晶量変化 - 安永噴火と 1986 年噴火の比較 -, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会, オンライン, SVC45-P18 .

Mizuno, T., Maeno, F. and Yasuda, A., 2020, Factors affecting the sequence of Plinian eruption inferred from rock texture and physical properties - an example of the 1783 eruption, Asama volcano, Japan. Japan Geoscience Union Meeting 2020, online, SVC42-P12.

Ohashi, M., Ichihara, M., Maeno, F., Kennedy, B. and Gravley, D., 2020, Quantitative measurement of bubble textures in pumice clasts using a digital stereo microscope with low-angled ring illumination. Earth, Planets and Space, 72, 185.

Wallis, S.R., Maeno, F. and Toda, S. (2021) Japan and the Korean Peninsula. In: Encyclopedia of Geology (Second Edition), edited by D. Alderton and S.A. Elias. Academic Press, UK, vol. 4, pp. 526-543.

( 10 ) 令和 3 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 火道系の特徴を明らかにする。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 火砕流推移の原因についてデータを充実させ、定量的理解を進める。霧島火山においては、新燃岳及び御鉢の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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

前野 深, 安田 敦 ( 東大地震研 )

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 ( 日大 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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に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。イベントに伴う弱体化と回復過程は考える状況によって変わりうるため、その設定は自由に換えられるよう、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熟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ー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2年度の成果の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

摩擦界面の原子論的詳細に関する一つの有力なモデルは、二つの固体結晶が摩擦面で重なりあって粒界を構成しているというものである。いくつかの特別な場合を除き、粒界では格子構造が著しく乱されアモルファス系によく似た構造をとると考えられている。それに加えて、アスペリティでの応力集中による塑性変形も摩擦面の格子構造を大きく乱す要因として挙げられる。従って、微小なアモルファス系の剪断に伴う構造緩和が摩擦の原子論的過程であると考えてよい。そのような背景と動機から、アモルファス系のレオロジーとその微視的素過程に関する研究を行っている。

2020年度においては、以下二つの成果を得た。i) アモルファス系の剪断変形においては特有の遅い構造緩和過程が存在し、その遅い緩和がレオロジーを決めている。このような遅い緩和に関する一種の粗視化モデルを構築した。原子論的な構造緩和の時間依存性がある特定の関数形を持つときに、速度弱化型摩擦が出現することを発見した。従来知られていた速度弱化メカニズムは接触面積の拡大だったが、ここでのメカニズムによれば、接触面積が一定の場合でも速度弱化が発生する。ii) アモルファス系の簡単なモデルに関する分子動力学シミュレーションを実行し、構造緩和の時系列特性を幅広い密度領域で確認し、臨界密度においては応力の緩和挙動がベキ的になることを確かめた。その遅い緩和を担う実体が孤立した遅いモードであることを確認し、その固有周波数を密度の関数として計算した。これらとはやや独立性が高いが、摩擦に関する同様のテーマとして、より微視的なアプローチによる研究も並行して実施した。一般に摩擦現象は滑り界面での複雑な機械化学的プロセスを伴うが、界面に水が存在する場合は化学的効果に起因すると考えられる異常な摩擦特性が得られることが多い。例えばシリカを多く含む鉱物では超低摩擦が実現することが以前より知られているが、そのメカニズムはまだ謎に包まれている。ここでは、第一原理分子動力学シミュレーションと実験を併用して、シリカと水の低摩擦実現の分子論的メカニズムを研究した。シリカ界面に水が存在する状況においては、摩擦界面に二重層が形成されることを確認した。外側の摩擦層はコロイダルシリカであり、摩擦界面から浮遊しやすい。内側の摩擦層は親水性水和物であり、これは固体と強く結合していることが明らかになった。外側のコロイド状シリカ層が潤滑剤として機能し、摩擦を低減することが確かめられた。滑り界面において、水とコロイド状シリカ層は水和物層の親水性によって保持され、耐荷重能力も高い。表面摩擦層による摩擦の減少と、2番目の摩擦層に関連する耐荷重能力の増加が協働的に超低摩擦を実現しているというシナリオをここでは提案した。

#### 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

ここでは断層破壊の物理過程から出発して、必要最小限な仮定のみを設定して、複雑な地震活動が創発的に現れる仕組みについてのミニマルモデルを与えることを第一の目的としている。そして、構築したミニマルモデルを解析して、実際の地震活動の複雑さに対する原理的な理解を深めることが第二の目的である。具体的には、空間的に広がった系を考え、地震は点震源として扱い、発生したモーメントテンソルによる応力場の変化を直接計算することで、断層多体系の大域的かつ長時間のダイナミクスを効率的に解析できる。

2020年度においては、前年度に開発した試行的シミュレータを用いて、地震活動の概略を調べた。モデルでは明示的には仮定されていないグーテンベルク・リヒター則が創発的に出現することを確認した。これは、弾性理論に基づいた応力緩和を正確に扱っている点において、(短距離相互作用しかモデル化していない)いわゆる自己組織化臨界モデルとは本質的に異なる。同時に、グーテンベルク・リヒター則が成立するために重要となるパラメタを複数同定した。特に、 $b$ 値はイベント後の応力回復過程にも依存することが明らかになった。

#### C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

時間的に変動する応力に対して地震発生率が変動する現象はいくつかの地域で知られている。潮汐については応力変動幅がかなりの程度定量的に評価できるので、特に微動の場合は応力変化量と微動発生率が観測によって定量的に結び付けられている。そこでの結果は Dieterich 理論を支持しているように見えるが、その一方で実効法線応力がたかだか数 kPa であると解釈しなくては理論と整合しないという深刻な問題をはらんでいる。このような状況は、滑り核形成過程に代表される地震の準備過程を今一度根底から疑ってみる必要があることを示唆していると思われる。

そこで本研究では、応力摂動に対する（スロー地震まで含めた）地震発生率の変化の新しい側面からの理論的説明と定式化を目指している。前年度に行った岩石破壊実験の結果を踏まえて、2020年度においては地震活動に関する自己組織化臨界的なセルモデルについて、周期的応力摂動（正弦波）を加えた際の地震活動の変化を調べた。ここで応力摂動と地震発生率の位相ずれは応力摂動の周期に依存し、短周期においては地震発生率と整合するのは応力の絶対値ではなく時間変化率であることを確認した。応力摂動がより長周期になると位相差は系統的にずれていくが、同時に応力摂動への応答にマグニチュード依存性が見られることを発見した。

（9）令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Y. Ootani, J. Xu, N. Takahashi, K. Akagami, S. Sakaki, Y. Wang, N. Ozawa, T. Hatano, K. Adachi, and M. Kubo, Self-Formed Double Tribolayers Play Collaborative Roles in Achieving Super-Low Friction in Aqueous Environment. *Journal of Physical Chemistry C* 124, 15, 8295-8303 (2020). K. Saitoh, T. Hatano, A. Ikeda, and B. P. Tighe, Stress Relaxation above and below the Jamming Transition. *Phys. Rev. Lett.* 124, 118001 (2020). Y. Yamaguchi, S. Biswas, T. Hatano, and L. Goehring, Failure processes of cemented granular materials. *Phys. Rev. E* 102, 052903 (2020). Y. Sato, S. Shinzato, T. Ohmura, T. Hatano, and S. Ogata, Unique universal scaling in nanoindentation pop-ins. *Nature Communications* 11, 4177 (2020). S. Roy and T. Hatano, Creep failure in a threshold activated dynamics: Role of temperature during a sub-critical loading. *Phys. Rev. Res.* 2, 023104 (2020).

（10）令和3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

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、近年のより複雑な物質、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弱化を示すわけではないことも知られてきた。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む。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、数学的により明確な形で示すことを試みる。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す。

その上で、radiation damping なしで周期解を実現できる発展法則を発見法的に探す。その際のヒントは、高速での滑りを実質的に抑制するような機構を考えることである。例えば、摩擦力がある特徴的な滑り速度で定性的挙動を変えるような物質科学的機構を考えればよい。摩擦物生成もその候補の一つである。

#### 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

2020年度においては、試作的なコードを用いてグーテンベルク・リヒター則と大森則などの地震活動が再現されることを確認したが、その一方でコードがやや非効率で実行速度が遅く、大規模な計算に適さないことも明らかになった。2021年度においてはコードの改良を行い、より機動的かつ大規模な計算が現実的なスケジュールで行えるよう試みる。ただしコロナなどの影響で作業人員が限定されているため、このテーマの優先順位は低く設定してある。

#### C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

前年度においては、自己組織化臨界を示す簡単なモデルについて、周期的な応力摂動の影響を調べた。ただしこのモデルは断層面上における滑りが最近接相互作用しかしないという点で単純化されすぎており、実際の地震への意義は限定的に止まるのも事実である。

そこで 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を行い、「弾性論的に正しい」断層モデルにおける潮汐応答性を調べる。このモデルでは滑りの核生成過程があるので、核生成過程への応力摂動の影響を調べるのが主眼となる。核形成過程を追うことで地震発生時刻（滑りが高速化する時刻）と、応力摂動の関係を定量化する。Dieterich 理論の予言する指数関数依存性を検証し、特徴的な応力定数の値を同定する。この特徴的な応力定数は観測でも同定されており、数 kPa 程度の異常に低い値が知られているが、この解釈についても批判的に検討を加えたい。

( 11 ) 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

大阪大学理学研究科 波多野恭弘

金沢大学自然科学研究科 新山友暁

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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>

( 13 ) 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

( 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た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 2 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) 観測を実施した。海溝軸より海側の 1 点 (G23) と海溝陸側斜面の 2 点 (G21, G22) において、平成元年度につづいて 2 回目の観測を 10 月に新青丸 KS-20-16 次航海で行った。2 回の測距の結果を比較すると、いずれの観測点においても 9cm/a 以上の速度で北西向きの変位していることを示す結果となった ( 図 1 )。観測データがもつ誤差を考慮すると、2 回の観測で変位速度を求め、それからプレート間固着状態を議論することは適切ではないが、今後同様の観測を継続することで、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。

この地殻変動観測を実施した海域において実施した地殻構造探査で得られたデータを用いた走時トモグラフィを実施した。海溝軸周辺に OBS を展開することにより、先行研究より陸側プレート最前縁部の構造モデルの分解能が改善され、低  $V_p$  の堆積物ウェッジが存在することが明らかとなった。このウェッジの幅・厚さが 'slip to the trench' を起こした日本海溝北部に類似する。このウェッジの分布範囲は、17 世紀地震の津波堆積物分布の再現するためのモデルに設定された海溝沿いの断層の位置と概ね対応する。

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、東北沖地震後の海底地殻上下変動場の詳細が議論できるようになりつつある。全般的には沈降が卓越するが、北緯 39° 付近の観測点では顕著な隆起傾向がみられる。こうした隆起がみられる観測点では、2015 年に発生したスロースリップに伴う水平変位の加速が見られており、こうしたスリップイベントの発生と関係する可能性がある。この海域でのスロースリップは 5 年程度の周期で繰り返す可能性があるため、次のスリップイベントによる地殻変動をとらえるために、地殻変動観測点を増設するとともにウェーブライダーを用いた高頻度観測を開始した。さらに、青森県東方沖で 2020 年 11 月 6 日から



7日にかけて続発した M5 クラスの地震は、M8 級以上の大地震の前震活動であることが懸念されたことから、ゆっくりすべりを含んだ地殻変動の推移を把握することを目的として、海底地殻変動観測点 (G25) を新設するとともに、ウェーブグライダーによる緊急観測を実施した (図 2)。

日本海溝から千島海溝の海域において低周波微動が発生していることが、S-net で得られた地震波形記録から見出されている。低周波微動の東北沖地震発生以前の活動状況を明らかにするために、2006~2008 年に実施された自己浮上式海底地震計の波形データから低周波微動の検知を試みた。その結果、S-net により見いだされた微動の発生域とほぼ共通する領域で微動が発生していたことがわかった (図 3)。いずれも空間的に密集した分布を示すとともに、短期間に集中して発生する、という時空間的に密集する特徴を示し、これもまた現在観測されている低周波微動の活動と共通する。北部宮城県沖の微動発生域は東北沖地震の破壊域内部に位置し、2016 年以降の活動度はあまり高くないが、2007 年には活発な活動があった。東北沖地震前の固着の剥がれにともなう非地震性すべりの発生を示唆するものかもしれない。

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、海底地震観測を 2020 年から開始した。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設置した。一つの OBS-array は長期観測型海底地震計群から構成され、中心には、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、周辺に固有周期 1 秒の長期観測型海底地震計を配置した。中心の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、2020 年 10 月に設置され、観測を開始した (図 4)。

房総半島沖において、2020 年 10 月に自己浮上式海底圧力計をさらに 2 台設置した。既存の 4 台と合わせて 6 台での観測を行っている。2018 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。全 4 台の圧力計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、海洋変動と思われる成分を除去し、残りの成分にパラメトリックモデルを当てはめてスロースリップによる変動の抽出を試みた。その結果、全 4 地点で 1 - 2cm の隆起が見られた (図 5)。

#### 実験・モデリング研究

北米フランシスカン帯に分布する沈み込み帯断層を構成する泥質岩と蛇紋岩、およびそれらの交代岩であるトレモライト片岩と滑石片岩を用いて、地震発生帯深度に相当する温度圧力条件 (温度 20~400 °C、有効法線応力 80~180 MPa) で熱水摩擦実験を行い、摩擦強度と定常摩擦係数の変位速度依存性 ( $a-b$  値) を求めた。実験結果から、Si や Ca に富む水流体には断層の強度低下および安定すべりをもたらす働きがあることが明らかになった (図 6)。

日本海溝に沈み込む海洋プレートの基盤岩・被覆層堆積物 (玄武岩・チャート・遠洋性粘土・半遠洋性粘土) 試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度 (50, 150 °C)・封圧 (100 MPa)・間隙水圧 (50 MPa) 条件下で三軸摩擦実験を行い、同一試料について昨年度行った 25, 100, 200 °C の実験結果と統合して、摩擦特性の温度変化について再検討した。実験の結果、定常摩擦係数  $\mu_{ss}$  は粘土鉱物含有量の増加に伴い系統的に低下し、また温度上昇に伴い増加する傾向が認められた。一方、 $a-b$  値は温度上昇に伴い減少し、チャート試料は 50~100 °C、玄武岩試料は約 100 °C、半遠洋性粘土試料は 100~150 °C、遠洋性粘土試料は 150~200 °C でそれぞれ正から負へと変化し、負になる温度は粘土鉱物含有量が多いほど高くなった (図 7)。以上の実験結果は、同一温度 (深度) でも断層帯構成物質 (粘土鉱物含有量) の相違によって非地震性~地震性の多様な断層運動が起こることを意味しており、日本海溝沈み込み帯で観察される南北方向の地震活動の不均質が断層帯構成物質 (粘土鉱物含有量) の不均質を反映していることを示唆している。

大地震につながる海溝型地震はアスペリティの破壊によって起きると指摘されており、そのアスペリティの形成要因の一つとして考えられているのが海山の沈み込みである。そこで、山口県秋吉台で採取した海山由来の緑色岩を用いて、封圧 150 MPa、間隙水圧 100 MPa、温度 25~200 °C の条件で三軸摩擦実験を行い、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のかについて検討した。

その結果、 $a$ - $b$ 値は温度の上昇に伴って正から負へと変化することが明らかとなった(図8)。これは、海山が温度の上昇とともに、つまり沈み込む深度が深くなるほど不安定な挙動を示し、アスペリティとしてふるまう可能性を示唆すると考えられる。

ビトリナイト反射率 $R_o$ は、岩体の温度履歴や過去の最高被熱温度 $T_{max}$ の推定に用いられる指標であり、断層物質の過去の摩擦発熱、ひいては地震性すべりの検出に用いられる。 $R_o$ と温度履歴の関係のモデルとして常微分方程式のEASY% $R_o$ がよく引用され用いられているが、実際にはそのモデルの近似式である $R_o$ と最高被熱温度 $T_{max}$ の関係式が使われている。しかし、その導出や近似の適用可能範囲に関する明確な記述は見つからなかった。そこで本来のEASY% $R_o$ とこれらの関係式の比較を行った結果、よく使用される関係式に関して20~30にもなる大きな誤差があることを見出した。その上で、誤差が1程度となる新たな近似式を提案した。

千島海溝における、十勝沖、根室沖、浅部アスペリティと動的弱화를考慮した試験数値モデルにより、およそ400年間隔で発生する超巨大地震発生を再現し、固着域の変化を調べた結果、超巨大地震の発生前に浅部アスペリティで固着域が狭まる様子が再現された(図9)。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Azuma, R., S. Kodaira, R. Hino, G. Fujie, K. Obana, F. Tomita, and Y. Ohta, 2020, Crustal structure of the incoming Pacific Plate off Hokkaido, the southern Kuril Trench subduction zone, by an active-source seismic survey using dense linear OBS array, *American Geophysical Union 2020 Fall Meeting*, T018-0004.

Hirauchi, K., Yoshida, Y., Yabe, Y., and Muto, J. (2020) Slow stick-slip failure in halite gouge caused by brittle-plastic fault heterogeneity. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **21**, e2020GC009165.

Hirauchi, K., Katayama, I., and Kouketsu, Y. (2020) Semi-brittle deformation of antigorite serpentinite under forearc mantle wedge conditions. *Journal of Structural Geology*, **140**, 104151.

Honsho, C., M. Kido, T. Ichikawa, T. Ohashi, T. Kawakami, and H. Fujimoto, 2021, Application of Phase-Only Correlation to Travel-Time Determination in GNSS-Acoustic Positioning, *Front. Earth Sci.*, **9**:600732. doi:10.3389/feart.2021.600732

本莊千枝, 木戸元之, 富田史章, 太田雄策, 市川俊人, 大橋徹, 川上太一, GNSS-Acoustic 測位精度向上にむけた解析手法の改良 - 位相相関を用いた走時決定と地球潮汐の影響評価 -, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*

Kanagawa, K., Murayama, H., Sugita, A., Takahashi, M., Sawai, M., Furukawa, N., and Hirose, T. (2020) Weakening of quartz rocks at subseismic slip rates due to frictional heating, but not to lubrication by wear materials of hydrated amorphous silica or silica gel. *Tectonophysics*, **784**, doi:10.1016/j.tecto.2020.228429.

Kanagawa, K., Sagano, S., Nakanishi, T., Fujimori, J., and Sawai, M. (2020) Frictional properties of incoming sediments and rocks at shallow conditions of the Japan Trench subduction zone. *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG61-03.

金川久一・杉田明日郁・高橋美紀・澤井みち代 (2020) 準地震性変位速度における石英質岩石の摩擦発熱による弱化. *JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual*, SSS15-12.

Kaneki, S., and H. Noda (2020) On approximations of EASY% $R_o$  solutions to estimate maximum temperature from vitrinite reflectance. *地質学雑誌*, **126**, 655-661.

Kawakubo, S., R. Azuma, R. Hino, H. Takahashi, K. Ohta, and M. Shinohara, 2020, Shallow low-frequency tremor activity off Erimo, Hokkaido from 2006 to 2007 revealed from pop-up type ocean bottom seismometers, *Slow Earthquakes Work Shop 2020 Virtual*, P-A01-04.

木戸元之, 移動観測・海上多点観測を含むGNSS-音響観測の観測条件について, *日本測地学会第134回講演会*, 10月21日, オンライン開催.

木村友季保, 木戸元之, 太田雄策, 本莊千枝, 富田史章, 根室沖の水平・鉛直地殻変動検出のための中心海底局を加えたアレイを用いたGNSS-音響観測, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*.

村田耕一、佐藤利典、塩原肇、篠原雅尚、山田知朗、マルチチャンネル特異スペクトル解析とパラメトリック関数のフィッティングを併用した海底圧力計データの解析、*JpGU-AGU Joint Meeting 2020*、On Line 開催、7月12 - 16日、SSS14-P15、2020。

Nakata, R., T. Hori, and R. Hino Modelling of spontaneous and periodic slow slip in the northern part of the Japan Trench, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG61-P04, Virtual, 2020.7

中田令子・内田直希・日野亮太, 日本海溝北部におけるスロースリップおよび津波地震のモデル化、*日本地震学会秋季大会*, オンライン, S08P-12.

大橋聖和・竹下徹・平内健一 (2020) 断層帯と断層レオロジーの進化. *地学雑誌*, **129**, 473-489.

Sawai, M., Fukami, J., Takahashi, M., Hayasaka, Y., and Kanagawa, K. (2020) Frictional properties of greenstone: Effects of the seamount subduction on faulting at the subduction zone. *JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual*, SCG57-P03.

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

Takahashi, H., R. Hino, N. Uchida, K. Ohta, and M. Shinohara, Low-frequency tremor activity along northern Japan Trench before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *American Geophysical Union 2020 Fall Meeting*, T003-0013.

(10) 令和3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の改良を進めるとともに、S-net や DONET との同時観測による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を継続するとともに、スロー地震活動把握のための海底地震計アレイ観測に着手する。宮城県沖における自己浮上式海底地震観測を継続する。

・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

- ・断層ガウジ中の粘土鉱物量を系統的に変化させて摩擦すべり実験を行い、 $a$ - $b$ 値およびすべり様式(固着すべりや安定すべりなど)がどのように変化するのかを明らかにする。
- ・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。
- ・沈み込む海山と地震発生に及ぼす間隙水圧の影響を探るため、海山が存在する領域の温度圧力条件下で三軸摩擦実験をおこない、その摩擦特性を検討する。
- ・示唆走査熱量測定によりガウジに吸収・蓄積されたエネルギーを評価し、摩擦時のエネルギー収支を実測する。
- ・千島海溝における海底測地観測により得られたプレート境界の挙動を参考にして、モデルを検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日・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

海域観測班：日野亮太・木戸元之・太田雄策・東龍介(東北大学)・高橋浩晃・村井芳夫・大園真子(北海道大学)・佐藤利典(千葉大学)伊藤喜宏・山下裕亮(京都大学防災研究所)・八木原寛・仲谷

幸浩 ( 鹿児島大学 ) ・ 気象庁

実験・モデリング班：金川久一・澤井みち代 ( 千葉大学 ) ・ 平内健一 ( 静岡大学 ) ・ 廣瀬丈洋・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 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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

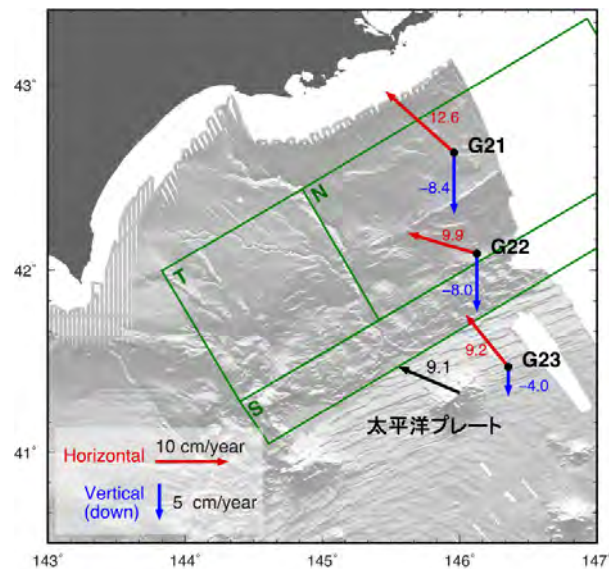


図 1

2019 と 2020 年に千島海溝根室沖で実施した GNSS/A 海底地殻変動観測による , G21, G22, G3 における変位速度。

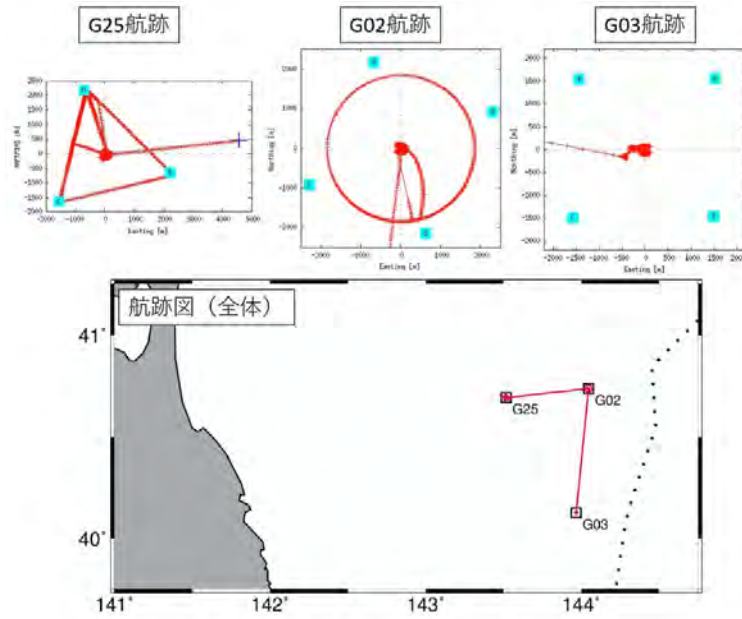


図 2

緊急観測におけるウェーブグライダーの航跡．赤線がウェーブグライダーの航跡、四角が海底地殻変動観測点位置、点線が海溝を示す。

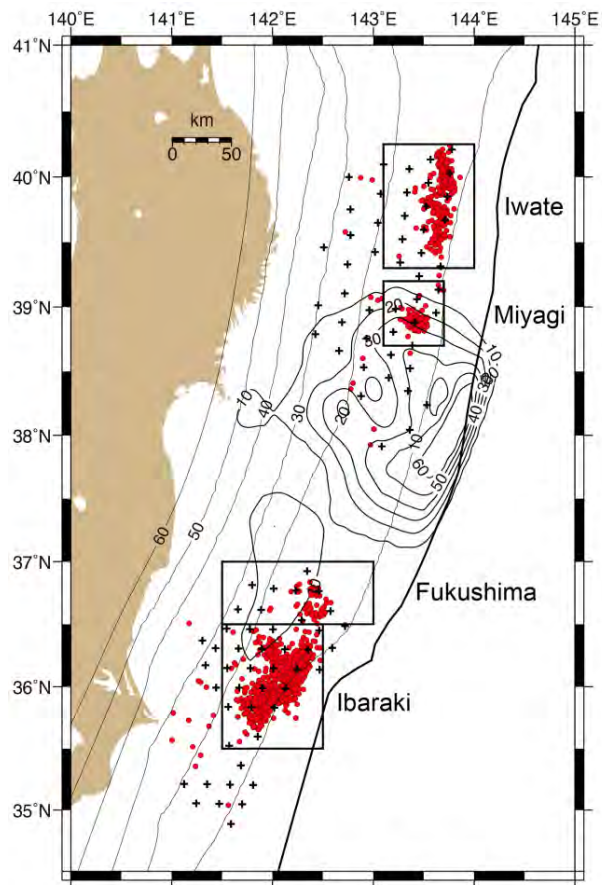


図 3

2017～2018年に実施した自己浮上式OBS観測によって検知された、東北沖地震以前の低周波微動の震央分布。

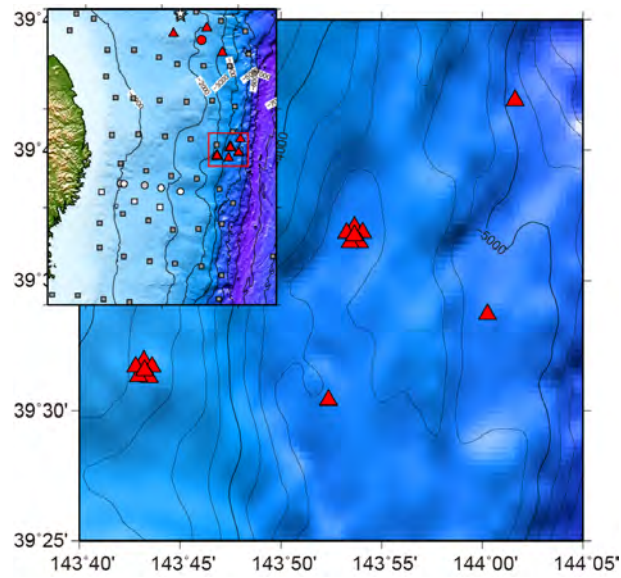


図 4  
岩手県沖における観測点分布。三角は自己浮上式海底地震計の位置を示す。

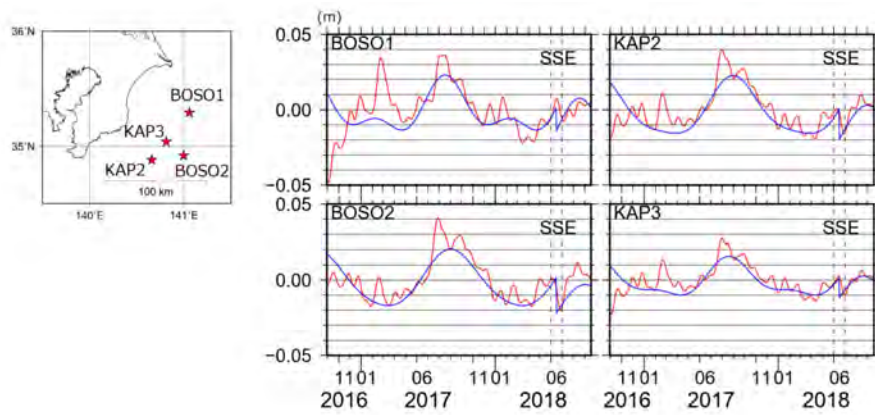


図 5  
海底圧力計データからの 2018 年房総沖スローリップによる変動の抽出

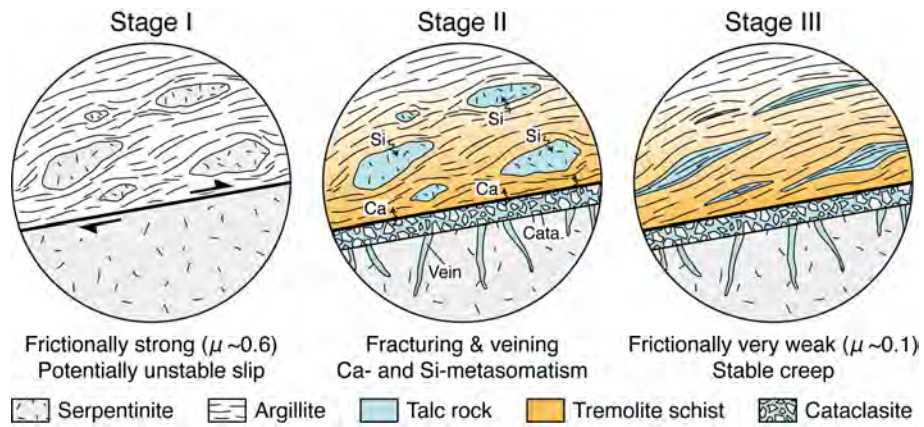


図 6

摩擦実験結果に基づく、沈み込み帯断層（蛇紋岩・泥質岩境界）の模式断面図。Si・Ca 流体による交代作用の結果、断層の摩擦強度は下がり、かつすべりは安定化する。

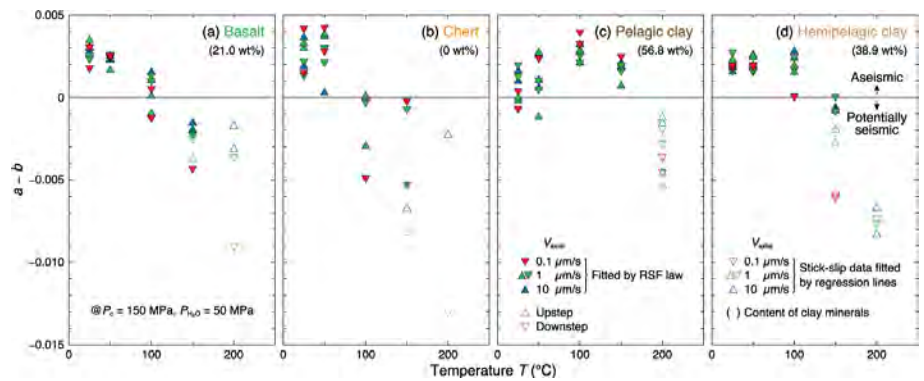


図 7

玄武岩試料 (a)、チャート試料 (b)、遠洋性粘土試料 (c) および半遠洋性粘土試料 (d) の  $a - b$  値の温度変化。( ) 内の数値は各試料の粘土鉱物含有量。

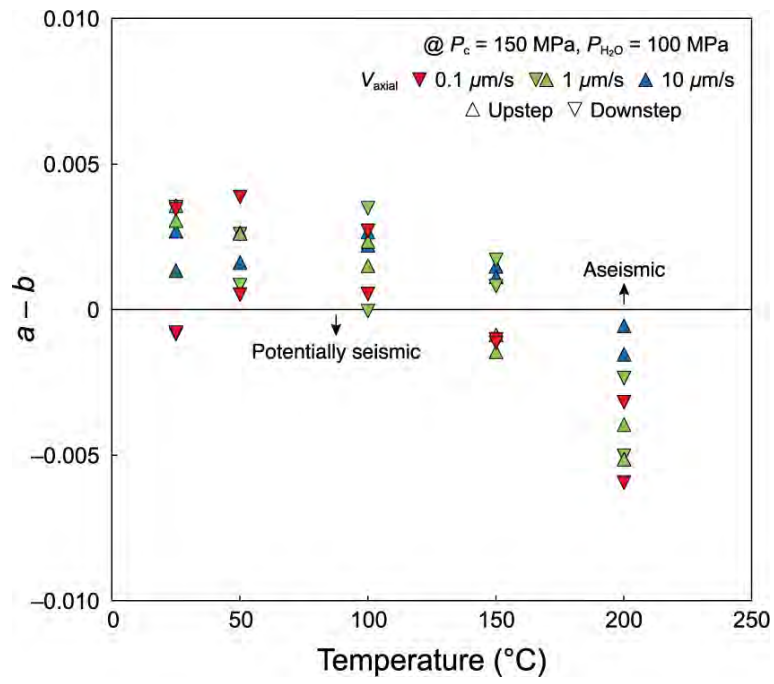


図 8  
緑色岩の  $a-b$  値の温度変化。

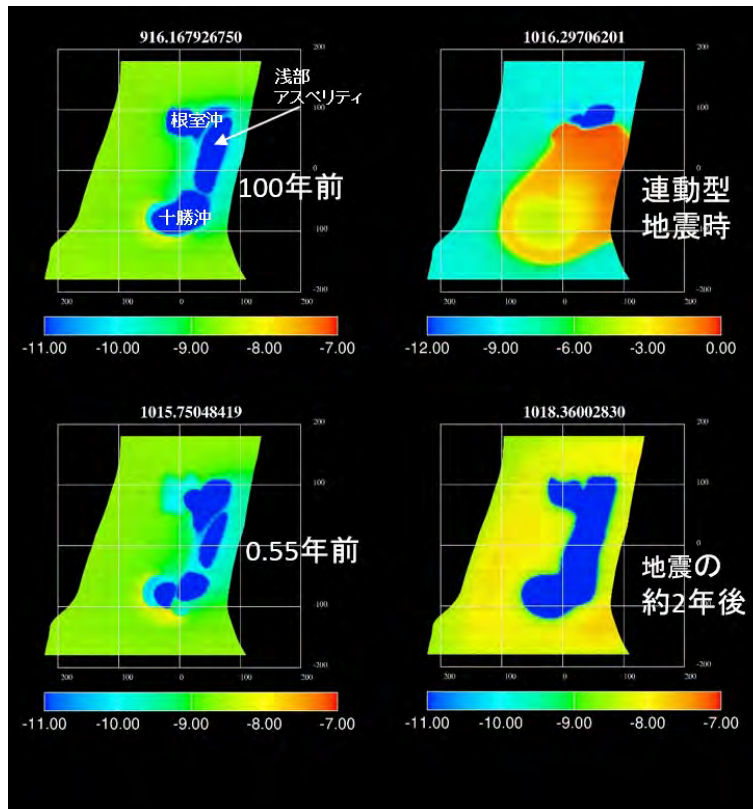


図 9  
千島海溝における、十勝沖、根室沖、浅部アスペリティを考慮した数値モデルにより得られたすべり速度分布 (地震発生 100 年前、0.55 年前、連動型地震時、約 2 年後のすべり速度の分布)。



(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2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(Suzuki and Matsukawa, 2019; Suzuki and Matsukawa, 2020a, Slow Earthquakes WS; Suzuki and Matsukawa, 2020b, JpGU-AGU)。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始めた(Suzuki, 2020, AGU; 鈴木, 2020, 地震学会)。支配方程式系を伝播端の近傍で線形化する線形臨界安定性解析を用いると、線形化された摩擦則の滑り弱化レート  $C1$  と速度強化レート  $C2$  の2つのパラメタで解の基本的な性質が決まることになる。滑り変位が先端部で複素周波数  $\omega$ 、複素波数  $k$  の平面波として一定速度で伝播する非振動的な定常解を考えると、複素周波数の虚部  $\text{Im}(\omega)$  の満たすべき三次方程式の係数は  $C1$  と  $C2$  および  $k_i$  (複素波数の虚部) で表わされ、 $C1$  と  $C2$  の値によって  $\text{Im}(\omega)$  の正負の実数解の個数が図1のように場合分けされることを見出した。

また、前計画までに得られた、摩擦すべりと間隙水圧の相互作用を考慮した断層破壊モードの理論を、掘削試料から物性値が得られている沈み込み帯の浅部デコルマに応用する解析を行った(Yabe and Suzuki, 2020, AGU; 矢部・鈴木, 2020, JpGU-AGU)。

現実的な不均質構造中での自発的な破壊伝播や、断層滑りサイクルのシミュレーションの計算で必要になる、二次元静的亀裂問題における弾性すべり応答関数の解析表現の導出を行い、解析解のある2層境界媒質中の亀裂の静的変形場が正しく求められることを確認した(大竹ら, 2020)。

また、摩擦法則に基いて断層の滑りの時空間発展を慣性項を含めて完全動的に計算するシミュレーションで広く用いられている、空間ドメインでの境界積分法について、従来手法(Cochard and Madariaga, 1994)に比べて圧倒的に広い条件で数値的に安定(図2c)な時間発展手法(図2b)を見つけた(Noda et al., 2020)。このことにより計算メッシュが柔軟に設定できるので断層の不均質をとりこんだ動的シミュレーションが容易になり、また、破壊モードが混在していても安定に計算できるので非平面な断層を扱うにも有利だと考えられる。予測子-修正子法により数値精度が1次から概ね2次に改善したのでタイムステップを大きくとることができて計算速度も改善する。また、これまで使われていた時空間的に区分の一様の滑り速度に対する積分核をそのまま用いるので、コードのアップグレードもごく容易

であり、必要な計算機資源の増加もない。

スロースリップイベント (SSE) による周囲への载荷で大地震がトリガされる可能性がある。たとえば 1946 年昭和南海地震の直前に震源域の深部延長で滑り量 1-2m の巨大 SSE があったと推定されている (Linde and Sacks, 2002)。南海地震を意識して地震の 1 サイクル (約 100 年) 中に巨大 SSE が数回発生するよう調整した、二次元弾性体中の摩擦断層のサイクルシミュレーションでは、地震は直近の SSE から 3 日以内に発生する確率が 80% であった (Ohtani et al., 2019a)。応力の擾乱から地震までに時間遅れがあるのは、レート・ステート摩擦 (RSF) のもつ遅れ破壊的な性質のせいである。しかし、今年度、より単純な問題として、摩擦床におかれた剛体ブロックをバネを介して定常的に引っ張る (テクトニック载荷に相当) 一自由度モデルに、SSE の影響を模したステップ载荷を与え、SSE から地震発生までの時間  $t_f$  の確率分布を調べたところ、(純粋に RSF の遅れ破壊性だけを反映する) 一自由度モデルでは上述の連続体モデルにべて  $t_f$  が数百倍長いことが分った (Ohtani et al., 2021)。このことは、連続体中で進行する現実の大地震サイクルにおいては、誘発イベントである SSE の発生以前に断層面上に形成されている応力集中の空間構造によって、震源域の応力擾乱に対する感受性が大きく高められていることを意味する。

この問題に限らず、脆性域全体を破壊するような大地震サイクルの把握には、脆性-塑性のレオロジー遷移域で発達する応力集中の情報が必要である。この領域の断層帯の剪断によって形成される岩石であるマイロナイトには、バルクの塑性変形によるフォリエーションである S 面と、断層帯に斜交した最適滑り面 (粉体層内のリーデル R1 摩擦滑り面に相当) である C' 面が、特徴的な組織として確認されることが多い (e.g., Shimamoto, 1989; Passchier and Trouw, 2005)。これまで、脆性滑りと塑性流動が共起する断層帯の物理モデルとしては、両メカニズムを Maxwell モデルで結合したもの (Reinen et al., 1992) があったが、これは滑り面が断層帯の巨視的トレンドに対して斜交しているという事実を無視している。そこで、この点を愚直に考慮し、その上で、断層帯の全変形は単純剪断であるという運動学的拘束を満たすように摩擦滑り (最適角を向いた面上の RSF) とバルク塑性 (偏差応力によるべき乗則クリーブ) に変形を分配する新たな物理モデル (図 3a) を考案した (Noda and Okazaki, 2020, JpGU-AGU; Noda, accepted)。このモデルでは斜交した面上の滑りによって生じる断層帯に平行な伸長を塑性変形による短縮で打ち消す (図 3b) ために、断層帯に平行な圧縮応力が生じる (図 4a)。これまで考慮されていなかったこの圧縮応力は、条件によっては剪断帯への垂直応力に匹敵するほど大きい。このため、滑り面の斜交角 (C' 面の方向) は、摩擦係数だけでなく剪断速度や塑性則の指数にも依存する (図 4b,c)。高速で滑り面が断層帯にほぼ平行になることは、脆性域における粉体層の Y 面の卓越というよく知られた観察事実と整合的である。また、バルク塑性変形による最大伸長方向 (S 面の方向) も理論的に予想される (図 5)。したがって、原理的には、マイロナイトの岩石組織情報と剪断帯の力学状態を関係づける理論が得られたことになる。

このモデルから帰結される定常状態での断層帯の剪断速度と剪断抵抗の関係は Reinen et al. (1992) のモデルによるものと似ている (図 6) が、ミクロな定常摩擦が速度弱化的な場合でも、その摩擦係数が現実的な値である 0.5 程度以上 (Byerlee, 1978) であれば、遷移域の強度が塑性、摩擦のどちらのメカニズムのそれよりも小さくなるという点が異なっている (図 6b)。これは、滑り面が断層帯に斜交していることからの当然の帰結だが、実験結果 (Kawamoto and Shimamoto, 1997) との整合性が改善されたといえる。

現実の断層帯では強度の弱い板状含水鉱物が生じていることが多い。純粋な緑泥石の粉体層は、0.1-100  $\mu\text{m/s}$  で室温から 600 度まで、0.2-0.4 という低い摩擦係数を示した (Okamoto et al., 2019)。本年度は、中央構造線沿いで採取した深部カタクレーサイトで緑泥石に富む (14wt%) ものを粉碎した試料の摩擦試験を、脆性-塑性遷移域にあたる中部地殻の条件 (温度 300 °C、有効法線応力 150MPa、間隙水圧 150MPa) で行なった (清水ら, 2020, JpGU-AGU)。剪断にともなって弱鉱物の葉構造が発達して強度が下がる可能性を考え、約 50mm まで剪断したが、結果は、摩擦係数 0.6-0.7 程度と母岩程度に強く、累積変位にともなって弱化する様子もなかった。滑り速度 1 $\mu\text{m/s}$  と 300 $\mu\text{m/s}$  で 1 ランずつ行い、1 $\mu\text{m/s}$  の実験後試料には剪断組織が発達、300 $\mu\text{m/s}$  の実験後試料は無組織という違いは見られたが、摩擦-変

位曲線はほぼ同じだった(図7)。弱鉱物が少々あっても、中部地殻の成熟した断層は高い差応力を支えられると考えられる。

粉体層においては、脆性摩擦だけを考えても、標準的なRSFで内部状態として取り入れられている固体粒子間の真実接触面積の時間依存性(エイジング)だけでなく、粒子配置の変化による、粒子サイズをこえた骨組み構造の変化の影響を受ける(Nakatani, 1998)。本年度は、角ばった石英粒子(74 $\mu\text{m}$ 以下)からなる層(初期厚味が0.5mmと1mm)の二軸剪断実験(法線応力10MPa)で計測した音波透過率(中心周波数1MHz)と強度変化の関係を詳細に調べた(図8、永田ら, 2020, 地震学会)。Hold開始時に行った速やかな剪断応力の除荷  $A_{CS}$  に応じた透過率の上昇分(  $A_{CS}$  )は、その後のslide時の非常にゆっくりとした線形な滑り弱体化(P2)時にもなって解消(  $A_{LSW}$  )されており、除荷で引きおこされた、基本的には時間に依存しない骨組み構造の変化を反映した圧密強化(Consolidation Strengthening, Nakatani, 1998)とその解消(P2)に相当すると考えられる。一方、剪断応力を一定にして時間を過ごすHold中にみられる、時間の対数で進む透過率の上昇(  $A_{age}$  )は真実接触部のエイジングによるものと考えられ、同じ量が再載荷の初めの非常に短い変位(10 $\mu\text{m}$  オーダー)のうちに解消される(  $A_{SSW}$  )。今回の高分解能の観察からは、  $A_{SSW}$  の大部分は応力がピークに達する以前に起きることがわかる。粉体層をはさまない断層での静摩擦 動摩擦の差にくらべて、P1が非常に小さい(Nakatani, 1998)のはこのせいだと考えられる。とくに、CSが大きくエイジングが小さい条件では、  $A_{age}$  は応力ピーク以前に  $A_{SSW}$  で完全に消えてしまい、P1は観察されずにP2だけが観察される(Nakatani, 1998)。これらの観察から、粉体層の巨視的な強度は、CSとエイジングの状態のうちの強い方によって決定されていると推察できる。さらに、P1が観察できる場合でも、音波透過率の短距離低下(  $A_{SSW}$  )は応力ピークまでに完了してしまい、力学強度の短距離弱体化(P1)がおきている段階では音波透過率の顕著な短距離変化が見られないという非直感的なケースが多く見つかった(図9)。巨視的な強度は、弱面である主滑り面の状態だけを反映するが、巨視的な音波透過率は、粉体層厚全体にわたって存在する粒子接触全体の状態変化に強く影響されるため、観察される剪断強度と音波透過率の挙動が必ずしも一致しないのだと解釈できる。

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、昨年度全国のF-net広帯域地震計の垂直成分のスタックから2011年東北沖地震による明瞭な信号を確認した(Kimura et al., 2019)。この地震に対して、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を計算すると、国内観測網の信号水平成分に放射パターンが見えることが期待される(図10)。本年度は、全国のHi-net傾斜計記録中の水平加速度信号を加えて、各観測点でのP波前重力波形の3成分と理論波形の残差の和が最小になるよう震源パラメタの逆解析を行った。結果、傾斜角とマグニチュードがP波前信号から妥当に推定できることが世界で初めて示された(図11、Kimura, 2021)。また、P波前重力信号の理論と観測をレビューし、重力変化そのものの観測は、重力変化による計測サイトの加速度運動により始めはほぼキャンセルされ、その後、地表面効果でP波到着の少し前によく顕著な信号が見え始めるのに対し、重力勾配はサイトの加速度運動に影響されずP波到着のずっと前から計測可能であり、地震の早期検出に対してより効果的な観測量であることを注意喚起した(亀, 2020; Kame, 2021)。

おおむね(7)と一致した。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
亀 伸樹 (2020) 地震発生を重力でとらえる P波到着前の地震シグナル検知 , 地震ジャーナル, 69, 55-58.

Kame, N. (2021) Pre-p gravity signals from dynamic earthquake rupture: modelling and observations, *Phil. Trans. A*, 379, 1-13, doi:10.1098/rsta.20200136.

Kimura, M. (2021) Detection and quantification of pre-P gravity signals from the 2011 Tohoku-Oki earthquake? Proposal of pre-P gravity seismology through observation and theoretical modeling?, Doctoral Dissertation, University of Tokyo, Japan.

- 永田広平・中谷正生・吉田真吾 (2020) 透過弾性波を用いたガウジ層内を含む断層内部状態の観察, 日本地震学会秋季大会, S12-P04, 10月29-31日, オンライン.
- Noda, H., D. SK Sato, and Y. Kurihara (2020) Comparison of two time-marching schemes for dynamic rupture simulation with a space-domain BIEM, *Earth, Planets, and Space*, 72:76, doi:10.1186/s40623-020-01202-5.
- Noda, H. and K. Okazaki (2020) A fault constitutive law in a brittle-plastic transitional regime accounting for geometry of deformation in a shear zone, *JpGU-AGU Joint Meeting*, SSS15-08, 12-15 July, online.
- Noda, H. (accepted) Shear strength of a shear zone in the brittle-plastic transition based on tensorial strain partitioning, *J. Structural Geology*, in press.
- 大竹和機・亀伸樹・大谷真紀子 (2020) 構造不均質中の2次元地震サイクルシミュレーションで必要となる静的XBIEM核関数の全導出, 日本地震学会秋季大会, S08P-11, 2020年10月31日, オンライン.
- Ohtani, M., M. Nakatani, and N. Kame (2021) Time to seismic failure induced by repeating SSEs in a single-degree-of-freedom spring-slider model, *Geophysical Journal International*, 224(2), 1242-1255, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa489>.
- 清水以知子, 岡本あゆみ, A. Niemeijer, 中谷正生, 荒井駿, C. Spiers, 竹下徹, and 上田匡将 (2020) 中央構造線の断層強度と脆性-延性遷移, *JpGU-AGU Joint Meeting*, SCG63-12, 12-15 July, オンライン.
- Suzuki, T. (2020) Introducing linear marginal stability hypothesis for obtaining slip-front-propagation velocity with the slip- and slip-velocity-dependent friction law, *AGU Fall Meeting*, S31-0012, 1-17 December, online.
- Suzuki, T. and H. Matsukawa (2020a) Systematic understanding of slip-front-propagation velocity with the slip-velocity-dependent friction law, *Slow Earthquakes WS*, 16-17 September, online.
- Suzuki, T. and H. Matsukawa (2020b) Slip-front-propagation velocity with non-vanishing friction stress at infinitely large slip velocity, *JpGU-AGU Joint Meeting*, SCG58-31, 12-15 July, online.
- 鈴木岳人 (2020) 2種類の滑り端伝播と線形臨界定性解析によるその伝播速度の解析, 日本地震学会秋季大会, S08-16, 2020年10月29-31日, オンライン.
- Suzuki, T. (2021) Characteristic sensitivity of turbulent flow within a porous medium under initial conditions, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 90, 024401, doi:10.7566/JPSJ.90.024401.
- Yabe, S., Y. Hamada, and T. Suzuki (2020) Competing thermal pressurization and dilatancy hardening realizes coexistence of fast and slow slip on the shallow plate boundary fault, *AGU Fall Meeting*, S31-0004, 1-17 December, online.
- 矢部優・鈴木岳人 (2020) スロー地震と巨大地震が共存する浅部デコルマの断層破壊メカニズム: 掘削試料を用いた断層破壊数値計算による検討 (招待講演), *JpGU-AGU Joint Meeting*, SSS15-18, 12-15 July, online.

(10) 令和3年度実施計画の概要:

連続体中の巨視的すべりモードの理論については、滑りと滑り速度に依存する摩擦の下での解析を完成する。SSEと地震の相互作用については、同期現象(Ohtani et al., 2019b)がおきる条件を検討する。脆性-塑性遷移域のレオロジーについては、まだ足りていない条件の組合せでの実験を行う。粉体層の摩擦については、主剪断面の状態変化とバルクの状態変化を定量的にモデリングして、実験で観察された強度の発展と音波透過率の発展を説明することを試みる。地震サイクルのシミュレーションにおいては、計算手法のさらなる高度化を進めるとともに、沈み込み帯不均質構造の二次元モデルを作成する。

(11) 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 中谷正生、亀伸樹、吉田真吾、大谷真紀子

他機関との共同研究の有無：有  
 京都大学大学院理学研究科 清水以知子  
 京都大学防災研究所 野田博之  
 青山学院大学 鈴木岳人  
 海洋研究開発機構 桑野 修

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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

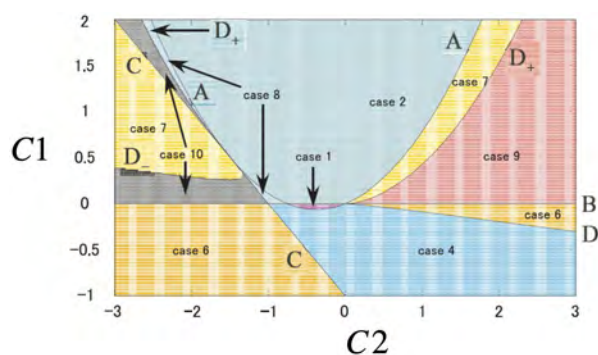


図 1. 滑り弱化レート  $C_1$  と速度強化レート  $C_2$  による滑りモードの場合分け (Suzuki, 2020, AGU より改変)

$i$  について case1,3,4 は正の解一つ、case 2,7,8 は負の解一つ、case5 は正の解三つ、case6 は正の解一つ・負の解二つ、case9 は正の解二つ・負の解一つ、case10 は負の解三つ。case3 と 5 は現れない。case は、 $i$  の解の個数が同じでも  $k_i$  の解の個数によるさらなる場合分けを見こして設定した。A,B,C,D+,D-は領域境界の呼称。

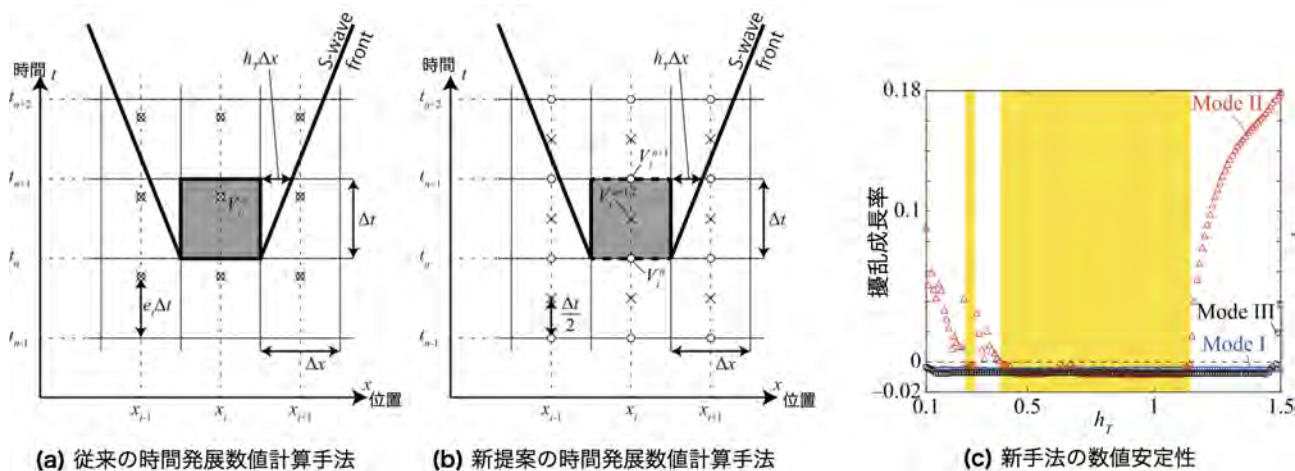


図 2. 空間ドメイン境界積分法の新しい時間発展手法 (Noda et al., 2020 より改変)

(a) 従来の手法 (Cochard and Madariaga, 1994). (b) 新提案の手法。白丸は、応力・速度を解く選点。バツ印での速度は数値積分に用いる。灰色は区分一定な基底関数。(b)における太破線は選点が基底関数の台の外にあることを示す。(c) 新手法の安定性。擾乱成長率が負なら安定。どの破壊モードに対しても安定な領域を黄色く塗った。手法のパラメタ (無次元タイムステップ  $h_T$ ) が 0.40 から 1.14 の範囲では、どの破壊モードに対しても安定。

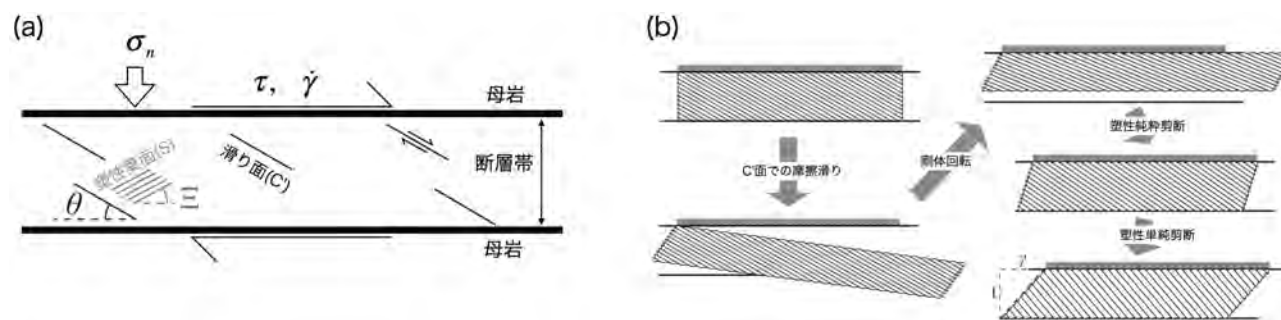


図 3. 断層帯に斜交した滑り面での摩擦とバルク塑性変形が共起するときの運動学的つじつまを考慮した物理モデル (Noda, accepted より改変)

(a) モデルのジオメトリ。(b) 共起している変形の要素分解。

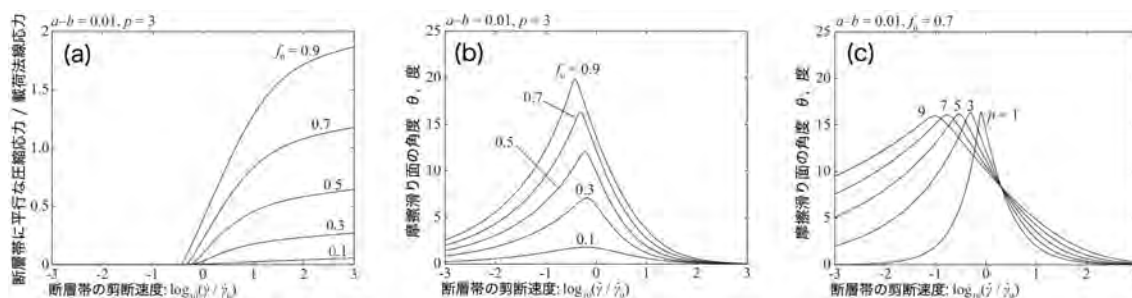


図 4. 図 3 の物理モデルから帰結される定常状態での断層帯の内部状態 (Noda, accepted より改変)

(a) 断層帯内に生じる断層帯に平行な圧縮応力。(b,c) 摩擦滑り面の角度。  $f_0$ : ベースレベル摩擦係数。 a-b: 定常 RSF 滑りの対数速度依存性。 p: べき乗則クリープのべき数。  $\dot{\gamma}_0$  の時間微分: 塑性強度と摩擦強度がクロスオーバーする変形速度。

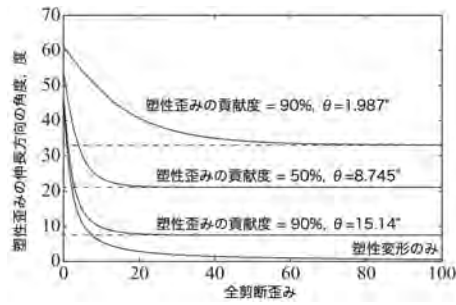


図 5. 図 3 の物理モデルから予想される塑性歪みの伸長方向 (Noda, accepted より改変)

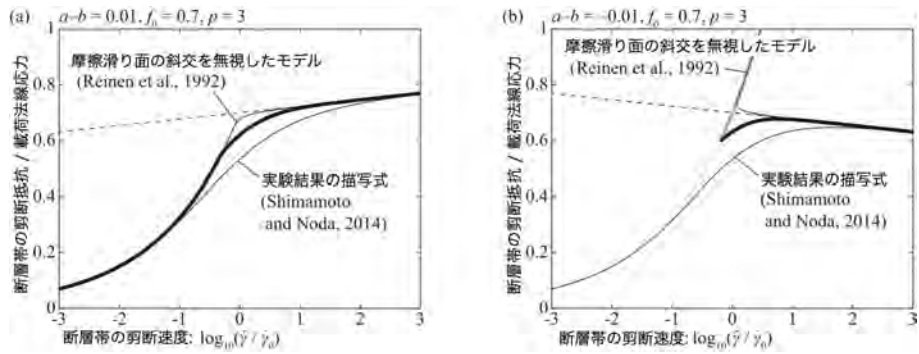


図 6. 脆性 塑性遷移域における定常状態の断層帯の構成則 (Noda, accepted より改変)

図 3 の物理モデルから予想されるものは太線。破線の直線は定常摩擦則。点線は塑性流動則。(a) 速度強化の定常摩擦を仮定した場合。(b) 速度弱化的定常摩擦を仮定した場合。(b) の場合、塑性が卓越する低速領域では定常摩擦が達成しないが、実質的には摩擦滑りは完全にフリーズして、塑性変形のみと考えてよい。また、この場合クロスオーバー域あたりでは定常解が二つあるが、アッパーブランチ (太灰線) はメタステーブルである。

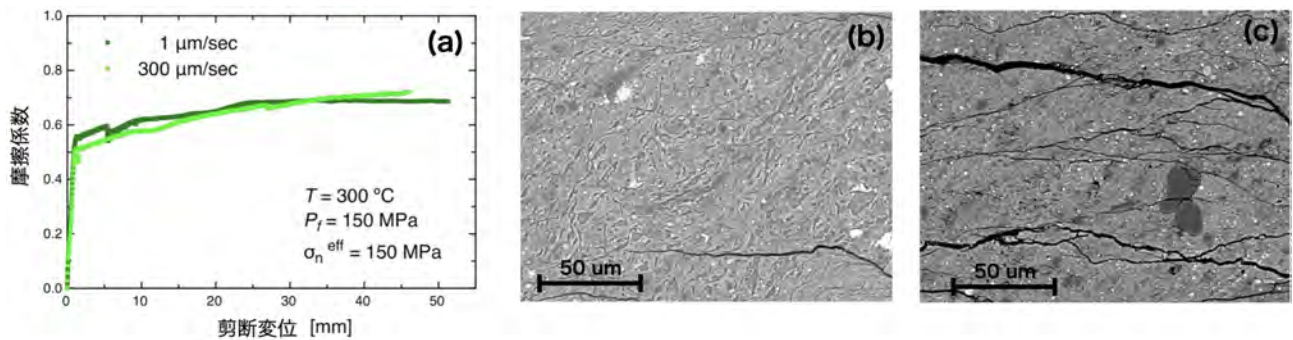


図 7. 緑泥石を 14 重量パーセント含む中央構造線深部カタクレーサイトを粉砕したものの摩擦試験結果 (清水ら, 2020, JpGU-AGU より改変)

(a) 摩擦-変位曲線 (b) 1μm/s での実験後試料 (c) 300μm/s での実験後試料



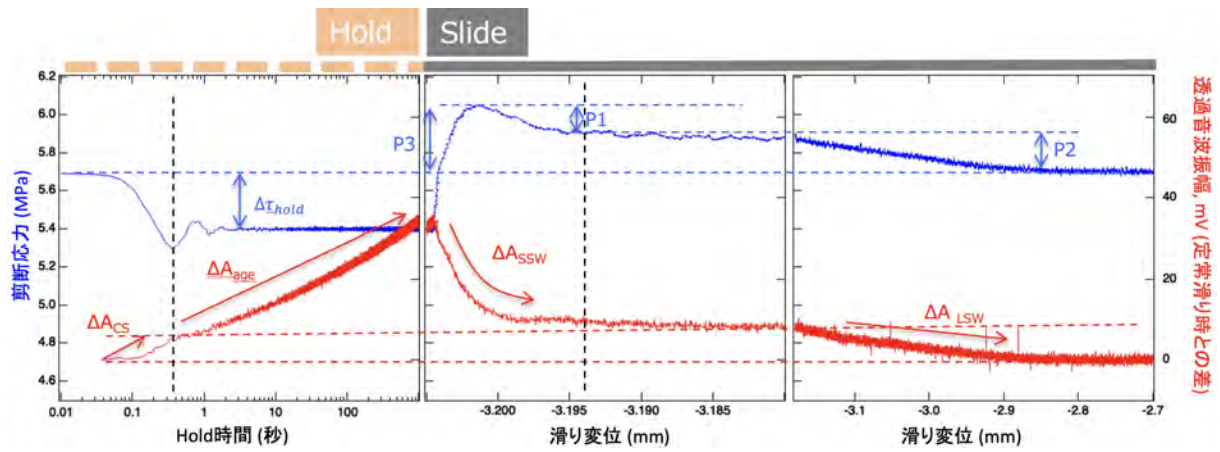


図 8. 粉体層における Slide-Hold-Slide 摩擦試験で観察された音波透過率の変化 (永田ら, 2020, 地震学会より改変) 計測された透過音波振幅は粉体層の音波透過率に線形。本文参照のこと。

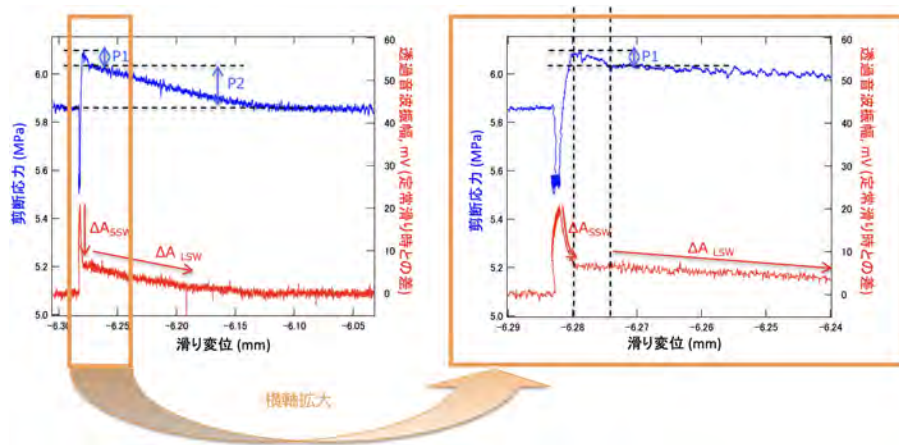


図 9. 粉体層の Slide-Hold-Slide における再載荷時応力ピーク付近の挙動の例 (永田ら, 2020, 地震学会より改変)

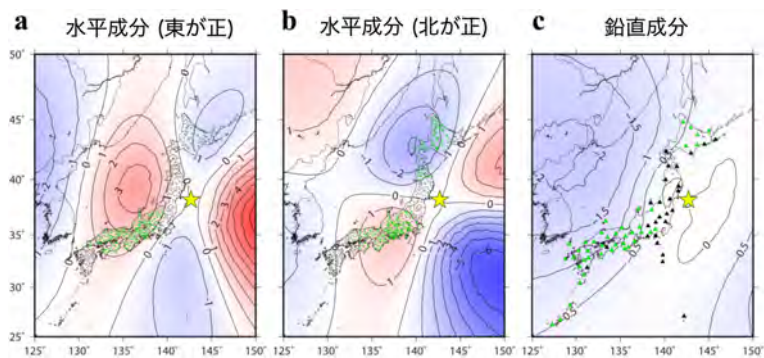


図 10. 2011 年東北沖地震 (黄星) の GCMT 解に基づいて計算された P 波前重力信号 (Kimura, 2021 より改変) コンターの単位は  $\text{nm/s}^2$ 。

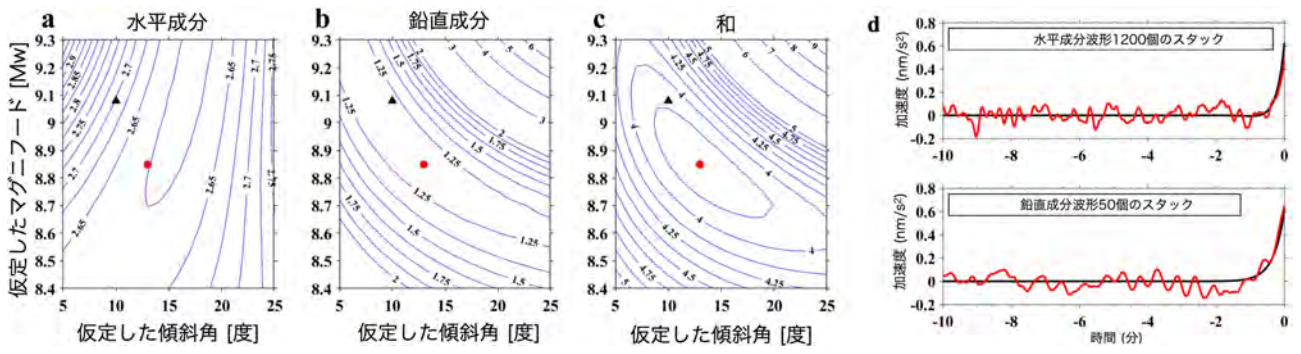


図 11. P 波前重力信号を用いた震源メカニズムのインバージョン (Kimura, 2021 より改変)

(a,b,c) マグニチュードと傾斜角のグリッドサーチ。ミスフィットの値をコンターで示した。赤丸は本インバージョンによる最適解。黒三角は地震波にもとづく GCMT 解。(d) インバージョンに用いた P 波前重力信号のスタック。赤線は観測波形、黒線は理論波形。観測点に P 波が到達する時刻を 0 として右端にそろえた。負の信号が期待される観測点の波形はひっくり返してからスタックした

(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

工. 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大きい。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や赤外画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。

衛星赤外画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、赤外画像撮影、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
- ・浅間山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
- ・衛星赤外画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
- ・衛星赤外画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
- ・衛星赤外画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
- ・衛星赤外画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

- ・衛星赤外画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 2 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る観測を継続している。また 2019 年から噴火活動が続いている西之島において衛星テレメータによる観測を実施した。西之島では 2019 年 12 月に噴火が再開し 7 月～8 月に活動のピークを迎えた後、8 月末には急速に活動が低下した。この活動の開始からピーク直前の 6 月下旬までの推移を 2019 年 9 月に設置した広帯域地震計と空振計からなる観測装置により捉えることができた。ランニングスペクトルによると、活動の推移とともに卓越周波数が低周波側にシフトした。また、0.5Hz～1.5Hz の周期帯の粒子軌道が、活動初期には島中央の火口方向を指していたが、次第に南北方向に変化した。これらの変化はマグマ供給系の変化や圧力源の移動に対応していると考えられる( 図 1 )。

・阿蘇火山においては、2019 年 4 月 14 日に噴火警戒レベルが 2 に引き上げられ、4 月 16 日にごく小規模な水蒸気噴火が発生した。この噴火は 2019 年 7 月 26 日ころからマグマ噴火に転じ、その後は 2020 年 6 月中旬まで断続的な灰放出が発生していた。この阿蘇火山においては、前期計画から引き続き、地殻変動、火口温度、放熱量、地震などの多項目観測が実施されている。図 2 は、2013 年 9 月から 2020 年 10 月 20 日までの各種観測量の時間変化である。2018 年 12 月ころから、マグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じ、その後、長周期地震活動や微動の振幅増大、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化、火口底の露出と温度上昇が観測され、噴火にいたったことがわかる。また、基線長が短縮に、地磁気変化が火口浅部の温度低下に転じた後に灰噴火が停止したことも捉えられている。前述の地磁気変化は、( 特に 2016 年熊本地震以前や 2018 年以降は ) 火口壁の温度変化と良い相関を示している。これは火口浅部の温度上昇が火口壁の温度低下と関連していることを示唆する。

・諏訪之瀬島では 2020 年 12 月 28 日に爆発的噴火が発生し、諏訪之瀬島では初めて噴火警戒レベルが 3 に引き上げられた。2021 年 1 月～2 月に GNSS 受信機や中継点の保守、地震計や空振計の追加など観測体制の整備および火山灰の採取を行った。

### 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。光ファイバーケーブルと DAS を利用した観測手法はその一つである。吾妻山の麓から浄土平まで敷設された光ファイバーケーブルを用い、DAS ( 分散型音響計測システム ) による得られたデータを用いて火山性地震の震源決定と浅部地盤構造の推定を行った。光ファイバーケーブルで得られた信号の着信時差と振幅分布を用いて 6 個の火山性地震の震源決定を行ったところ、P、S 波の着信時を用いて従来の手法で決定した震源位置と良い一致を示し、手法の有効性が確認できた( 図 3 )。また、コーダ波規格化法を用いて地盤増幅特性を推定したところ、数 100 m 程度のスケールの溶岩流や火山地形の分布とよく一致した。本手法は光ケーブルが敷設してあれば適用でき、噴火中でも火口近傍データの取得が可能であり、雷被害の心配もない。今後は、浅間山など、光ケーブルが敷設された他の火山への適用と結果の比較を目指し、開発を継続する。

### 3 . 衛星データの活用

#### ・衛星画像によるリアルタイム火山観測システムの開発

噴出的噴火において衛星 1.6- $\mu$  m 赤外画像の熱異常は噴出率変化をよく反映しており、両者の間の相関から回帰式を求めることにより、衛星による熱異常観測から噴出率を推定できる。低粘性溶岩の噴出的噴火である 2017 年西之島噴火を対象にひまわり 8 号の 1.6- $\mu$  m 画像での熱異常と噴出率の関係を検討し、両者が高い相関関係にあり (  $r^2=0.99$  ) 回帰式が  $Y=0.47X$  (  $Y$  : 噴出率  $10^6$   $m^3/day$ 、 $X$  : 輝度値  $10^6$   $W m^{-2} sr^{-1} m^{-1}$  ) と求められることを示した。さらに、西之島と同じ低粘性溶岩の噴出的

噴火である 2015 年ラウン噴火のデータは西之島で得られた回帰直線の延長上に載ることが分かった。このことから溶岩の粘性、温度、斜面勾配等の噴出条件が近い場合、この回帰式は  $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  レベルまで適用可能であることが示唆された。

この方法を用いて、2019 年 12 月に始まった西之島 4 期噴火最初期の噴出率を推定したところ、2013 - 2015 年西之島噴火の平均噴出率の 2~3 倍に相当する  $0.50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  と推定された。ALOS-2 画像を利用した地形的方法により噴出率を推定したところ  $0.48 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  という値が得られ、ひまわりの熱異常による噴出率 ( $0.50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ ) と良く一致した。

さらに、観測データに基づく噴出率推定値の重要性を確認するため、溶岩流のシミュレーションプログラムを用いて検討を行った。本方法で得られた  $0.47 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  の噴出率を用いた場合は ALOS-2 画像に見られる実際の溶岩流分布に近くなったが、2013-2015 年噴火での平均値である  $0.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  を用いたケースでは、実際と懸け離れた狭い分布となった(図 4)。この結果から、災害予測シミュレーションを実施するにあたっては、過去の実績で得られた値ではなく現場でのリアルタイム観測に基づく値を入力値として用いることが重要であることが明らかになった。リアルタイム観測・リアルタイムシミュレーションシステムに、本手法による噴出率の推定を組み入れることにより、実効性のある被害域予測が可能となることが期待される。

#### 4. 新たな観測手法の開発

##### ・ドローンを用いた観測手法の高度化

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。2020 年度は、三宅島雄山において電動式ドローンを用いた空中磁気測定の試験を実施した。三宅島ではこれまでガソリンエンジンを搭載した産業用無人ヘリコプターによる空中磁気測量を繰り返し実施してきたが、機動性の向上や経費の削減が求められていた。そのため今回は、必要なオペレーターの人数が少なく機材が小型軽量であるため、機動性が高く経費も低廉な電動式ドローンによる空中磁気測定を試みた。測定期間中、雄山山体付近では平均で 10m/s、最大で 15m/s の強風が吹いたため、雄山の南斜面および北側の一部側線での実施に留まり、当初予定の 1 割程度しか実施できなかった。今回の飛行テスト前には無風の場合に 1 フライト当たりの飛行時間を 17 分と予測していたが、強風下では電池の消耗が激しく 11 分程度しか飛行できないことがわかり、飛行計画を立てる上で重要な知見が得られた。今年度中に再度観測を試みる予定である。

・空振計を用いた噴火観測手法の一環として、3 次元立体アレイの性能評価を進めている。今年度はイタリアストロンボリ火山で実施した 3 次元立体小アレイ観測のデータ解析を進めている。詳細な解析の結果、3 次元アレイを構成する 4 要素の内の 1 要素を 2m 上げただけで信号の到来する仰角の推定精度が改善され、複数火口からの信号を識別できるだけでなく、周波数毎の波線ベクトルの違いを議論できることがわかった(図 5)。

・積雪に覆われた火山では、噴火発生時に雪崩れが発生することが予想され、雪崩の観測手法開発が求められている。手法開発の一環として、富士山において空振計アレイによる観測を実施した。得られたデータから雪崩由来の空振の音源推定を行うことにより、1 つのアレイでカバーできる範囲を推定するなど、空振アレイ観測のデザインに必要な情報が得られた。

#### 5. モデル実験

マグマ模擬物質による室内実験及びモデリングの準備を進めている。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
大湊隆雄・渡邊篤志, 2019 年 西之島における地震・空振観測, Ogasawara Research(小笠原研究), 46, 53-68, 2020

Takeshi Nishimura, Kentaro Emoto, Hisashi Nakahara, Satoshi Miura, Mare Yamamoto, Shunsuke Sugimura, Ayumu Ishikawa, Tsunehisa Kimura (2021) Source location of volcanic earthquakes and subsurface characterization using fiber-optic cable and distributed acoustic sensing system, Scientific Reports (in press)

Kaneko, T., Yasuda, A., Takasaki, K., Nakano, S., Fujii, T., Honda, Y., Kajiwara, K. and Murakami, H.(2020): A new infrared volcano monitoring using GCOM-C (SHIKISAI) satellite: applications to the Asia-Pacific region. Earth Planets Space. 72:115. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01246-7>

( 10 ) 令和 3 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、伊豆大島において火口近傍の多項目観測点のメンテナンスを行い、観測を続ける。  
・ 西之島における地震・空振観測点は溶岩流により失われた。再設置のための機材準備を進める。  
・ 阿蘇中岳第一火口では、2021 年 2 月の時点で火口湯だまりは復活しておらず、この火口湖をふくむ火口浅部熱水系の挙動をとらえるために、多項目観測を継続する。

2 . 比較研究

2017-2018 年の霧島山噴火に伴う地震データの解析を進める。2019 年 12 月に始まった西之島の活動に伴う地震・空振データの解析を進める。

3 . 衛星データの活用

衛星赤外画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に取り組む。対象とする噴火として 2019-2020 年西之島噴火を想定しており、ひまわり 8 号や「しさきい」の観測結果に ALOS-2 画像、WorldView 画像等複数の衛星画像を効果的に組合せて検討を進める予定である。

4 . 新たな観測手法の開発

・ 三宅島において電動ドローンによる繰り返し空中磁気測量を実施するとともに、系統的な空間変化が得られるように解析を進める。  
・ 3 次元空振小アレイ観測については、実用化に向けた観測・解析手法の改善を図る。  
・ 空振計アレイによる雪崩観測手法に関しては、前年までに得られた知見に基づき新たな機器構成による観測を実施中である。次年度にデータ回収と解析を実施し、噴火発生時の機動観測デザインへの活用を図る。

5 . モデル実験

マグマ模擬物質による室内実験及びモデリングの実施に向けた準備を継続する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大湊隆雄、金子隆之、市原美恵、小山崇夫、青木陽介

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 (京大防災研)

大倉敬宏 (京大理) 、西村太志 (東北大学)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp)

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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



西之島2019-2020噴火時の、粒子軌道・卓越周波数の時間変化

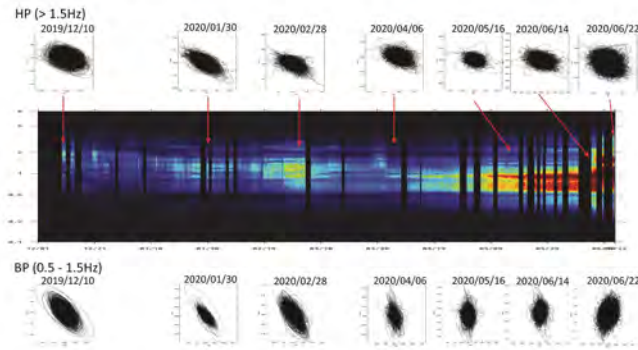


図1 西之島の地震計で得られたランニングスペクトルと粒子軌道  
卓越周波数が2Hz付近から1Hz以下に徐々にシフトしている。また、粒子軌道は、1.5Hzより高周波側では一貫して、活動中心である中央火口丘の方向を指しているが、0.5~1.5Hzのやや低周波では、活動の初期は火口丘を指していたが、徐々に南北方向を指すようになり振動源の移動を示唆している。

火山活動推移@阿蘇 (2013.09.01-2020.10.20)

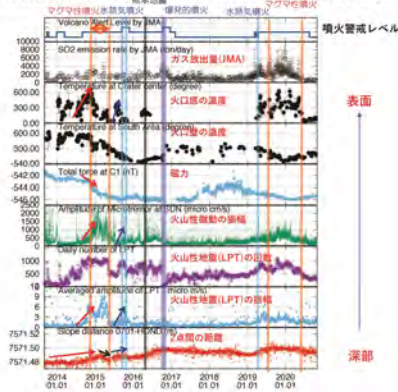


図2 阿蘇火山における観測量の時間変化  
阿蘇火山周辺多項目観測による、2013年9月から2020年10月20日までの各種観測量の時間変化。2018年12月ころからマグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じている。その後、長周期地震活動や微動の振幅増大、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化、火口底の露出と温度上昇が観測され、噴火に至っている。

光ファイバーケーブルとDAS(分散型音響計測システム)による  
火山性地震の震源決定

光ファイバーケーブルに沿った近接測定点の着信時差と振幅分布を用いて吾妻山の火山性地震6個の震源決定を行った。  
P波、S波の着信時により決められている震源とよい一致を示す。

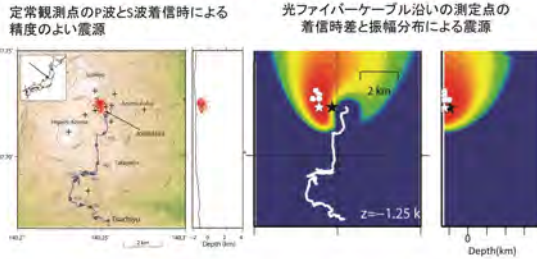


図3 光ファイバーと DAS による火山性地震の震源決定

(左) P波、S波の読み取り値を用いた従来手法で得られた震源(赤点)、(右)光ファイバーケーブルのデータによる震源。両者は良い一致を示す。

ひまわり赤外画像による噴出率の推定と、溶岩流シミュレーションへの応用

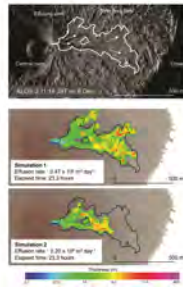


図4 溶岩流シミュレーションの噴出率依存性

(a)ALOS-2で得られた西之島の溶岩流。西之島の中央火口丘から東方に流れている。(b)ひまわりの赤外画像から推定された噴出率を用いたシミュレーション結果。実際の溶岩流の分布と良く一致する。(c)過去の噴火時に推定された噴出率を用いたシミュレーション結果。噴出率が小さいため、実際の溶岩分布よりも狭い。

3次元立体小アレイによるストロンボリ火山の空振波動場の推定

4要素アレイの1要素を2m上げただけで、到来仰角の推定精度が改善された。  
各火口からの信号を識別できただけでなく、周波数ごとの波線ベクトルの違いが明らかになった。  
低消費電力空振計の性能も確認され、今後、空振小アレイ観測の実用化を図る。

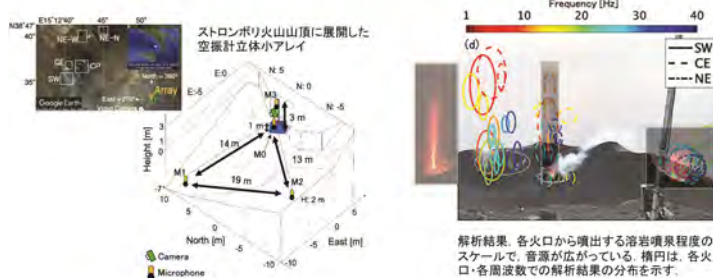


図5 空振計立体小アレイ

イタリア ストロンボリ火山山頂に展開した空振計立体小アレイと音源の推定結果

(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国際協力によるヒクラン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、ヒクラン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2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震度も浅いため、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。その活動規模は2014年の活動を遥かに凌ぐものではあるが、活動分布は2014年と同様に沈み込む海山上で発生していることが明らかとなった。これに繰り返し地震の活動も加え、さらに詳細について研究を進めている。

2020年11月にはNZの調査観測船 Tangaroa を用いて、ヒクラング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。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。これらの観測機材は2021年10月に回収の予定である。

陸上に展開する電磁気観測網について、GNS Science の共同研究者と打ち合わせを行った。コロナ禍の状況下ではNZへの渡航が困難なために、計画の進行が大幅に制限されている。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Arai, R., S. Kodaira, S. Henrys, N. Bangs, K. Obana, G. Fujie, S. Miura, D. Barker, D. Basset2, R. Bell, K. Mochizuki, R. Kellett, V. Stucker, B. Fry and NZ3D Team, 2020, Three-dimensional P-wave velocity structure of the northern Hikurangi margin from the NZ3D experiment: Evidence for fault-bound anisotropy, *J. Geophys. Res.*, Doi: 10.1029/2020JB020433-NA. Henrys, S, D. Eberhart-Phillips, D. Basset, R. Sutherland, D. Okaya, M. Savage, D. Evanzia, T. Stern, H. Sato, K. Mochizuki, T. Iwasaki, E. Kurashimo, A. Sewarc and A. Wech, 2020, Upper Plate Heterogeneity Along the Southern Hikurangi Margin, New Zealand, *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1029/2019GL085511.

(10) 令和3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・海底圧力計の回収を予定している。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再設置を行い、継続した1年間の観測を行う予定である。

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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

望月公廣・篠原雅尚・上嶋誠・山田知朗・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・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)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(13) 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 :

(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

工. 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・上部マント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・マント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2年度の成果の概要：

令和2年度は、現在地震観測が行われているいわき地域の南から新潟県にかけての測線において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予定であった。この計画では、北茨城 いわき地域のように、東北地方太平洋沖地震発生後地震活動が大きく変化し、活動が活発になり、福島県浜通り地震(Mj7.0)のように大きな被害をもたらすような内陸地震が発生した地域と、その南側にあたる地震があまり発生しない地域とにおいて比較検討を行い、被害地震につながるような内陸地震についての発生ポテンシャルの解明を目指し、地震発生ポテンシャルが高くなる理由を明らかにすることが目的であった。しかし、コロナ禍のため南側の測線での電磁気観測ができなかったため、北茨城 いわき地域の地震が多発した地域において、地震学的データと電磁気学的データを比較検討し、地震発生につながる原因を探った。

北茨城 いわき地域は、前計画で地震の多発域の下15 kmから25 kmにおいて顕著な反射面の存在が示された。この反射面からの反射波の振幅等から、この反射面は地殻内流体を含む層であることが示された。地殻内流体が存在するのであれば、低比抵抗領域となっている可能性があるため、この反射面が存在する領域の比抵抗構造を調べた。

北茨城 いわき地域では、福島県浜通り地震(Mj7.0)の震源域を含めて広範囲に地殻内反射面が存在している。この地域の反射面の分布と比抵抗構造を比べると、深さ14 km~16 kmでの深さの比抵抗構造は、反射面の中心部分で低いことが分かった。また、この領域は2011年福島県浜通り地震の震源域の直下にあたる。また、比抵抗構造は深さが浅くなるにつれて構造が変化し、地震の多発域では筋状の低比抵抗構造が見られるようになり、活発化した地震の活動はその筋状の低比抵抗域に沿って発生していることを示した。

さらに、これらの領域において水の体積分率の推定を行った。その計算における仮定として、完全連結とし、塩分濃度3.6%として計算を行った。福島県浜通り地震(Mj7.0)の震源域の直下の反射面が存在する14 km~16 kmの深さでは、水の体積分率が1%から数%の、ひじょうに大きな値を示すことが分かった。一方、福島県浜通り地震(Mj7.0)の震源域の深さ6?周辺での水の体積分率は、0.001%か

ら 0.01%とひじょうに小さな値を示した。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
S. Matsumoto, T. Okada, T. Terakawa, M. Uyeshima and Y. Iio, 2020, The Advancement of Research on Inland Earthquake Generation 2014-2018 JOURNAL OF DISASTER RESEARCH, 15, 96-105, DOI: 10.20965/jdr.2020.p0096  
S. Abdallah, M. Utsugi, K. Aizawa, M. Uyeshima, W. Kanda, T. Koyama and T. Shiotani, 2020, Three-dimensional electrical resistivity structure of the Kuju volcanic group, Central Kyushu, Japan revealed by magnetotelluric survey data J. Volcanol. Geothermal Res, 400, 106898 DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2020.106898  
N. Matsushima, M. Utsugi, S. Takakura, T. Yamasaki, M. Hata, T. Hashimoto and M. Uyeshima, 2020, Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, from electrical resistivity structures Earth, Planets and Space 72:57 DOI: 10.1186/s40623-020-01180-8  
T. Ye, X. Chen, Q. Huang, L. Zhao, Y. Zhang and M. Uyeshima, 2020 Bifurcated Crustal Channel Flow and Seismogenic Structures of Intraplate Earthquakes in Western Yunnan, China as Revealed by Three Dimensional Magnetotelluric Imaging J. Geophys. Res., 125, e2019JB018991 DOI: 10.1029/2019JB018991

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

令和 2 年度にコロナ禍のため実施できなかった、測線上で 10 点の MT 観測を実施する。また、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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯高 隆，酒井慎一（東大地震研・情報学環），上嶋誠（東大・地震研）

市來雅啓（東北大学）・坂中伸也（秋田大学）・山谷祐介（産総研）・小川康雄（東工大）・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。

他機関との共同研究の有無：有

津村紀子（千葉大）

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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



(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 2 年度の成果の概要 :

令和 2 年度は、長野県松代における超伝導重力計 iGrav ( 28 号機 ) の観測を維持するとともに、各地で稼働している超伝導重力計の観測点において、以下のように絶対重力測定を実施した ( 当初計画からは、観測点を変更した ) 。北海道大学弟子屈観測所 ( 北海道 ) において、2 回目の絶対重力測定を行い、前年と比較して 1.85 マイクロガルの重力減少という結果を得た ( 図 1 ) 。これは、同一のシリアルナンバーの重力計を使用し、気圧補正および潮汐補正に高精度の方法を使用し、さらに原子時計のずれまで考慮に入れて得られたものであり、絶対重力計 FG5 の公称精度 ( 2 マイクロガル ) を超えて有意なものであると考えている。この結果に基づき、弟子屈の超伝導重力計 ( iGrav、17 号機 ) の機械的ドリフトが検定された ( 山佳・名和、投稿中 ) 。国立天文台水沢 VLBI 観測所 ( 岩手県 ) において、2015 年以来繰り返している重力測定の 6 回目を行なった。結果は、ここ数年続いている重力減少の傾向が引き続き見られた。気象庁松代地震観測所 ( 長野県 ) において、2019 年以来となる測定を行なった。2019 年までの重力減少の傾向と反して、重力増加を示す結果が得られた。以上で使用した絶対重力計 FG5 ( 241 号機 ) はまもなくオーバーホールに出す予定であり、地震研究所が所有するもう 1 台の絶対重力計 FG5 ( 109 号機 ) にスイッチする必要がある。絶対重力計といえども数マイクロガル程度におよぶ器差が存在することが知られており、しかもオーバーホール前後で器差はリセットされてしまう。そこで、これら 2 台の絶対重力計の器差を検定する実験を、地震研究所において行なった ( 図 2 ) 。その結果、109 号機は 241 号機と比較して 1.1 マイクロガルだけ大きい値が出るということがわかった。しかし、これでは検定の精度が不十分であり (  $1.1 \pm 1.6$  ) その原因は個々の測定のばらつきを示す標準偏差が大きすぎることである。そこで、より精密な検定のために、3 月に山梨県富士山科学研究所 ( 山梨県 ) において再度の検定実験を行う予定である。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

今西祐一・西山竜一、弟子屈における絶対重力測定 ( 2019 年および 2020 年 ) , 東京大学地震研究所 彙報, 第 95 巻, 1-4 号, 9-13, 2020 .

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 3 年度は、令和 2 年度にひきつづき、東日本各地における絶対重力測定を実施する。測定地点としては、超伝導重力計観測の最終年度にあたっている水沢 ( 岩手県 ) および超伝導重力計のドリフト検定の必要性の高い弟子屈 ( 北海道 ) を優先し、そのほかに蔵王 ( 宮城県 ) 松代 ( 長野県 ) 富士山 ( 山梨県 ) などを巡回する。また、新型コロナウイルスなどの状況が許せば、神岡 ( 岐阜県 ) および石垣島 ( 沖縄県 ) での測定を実施する。このうち石垣島については、超伝導重力計の観測が令和 3 年度中に終了となるので、東日本のどこか ( 未定 ) へ移設するための準備として絶対重力測定によるドリフト検定を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

今西祐一、西山竜一

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学 ( 三浦哲 )

国立天文台 ( 田村良明 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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

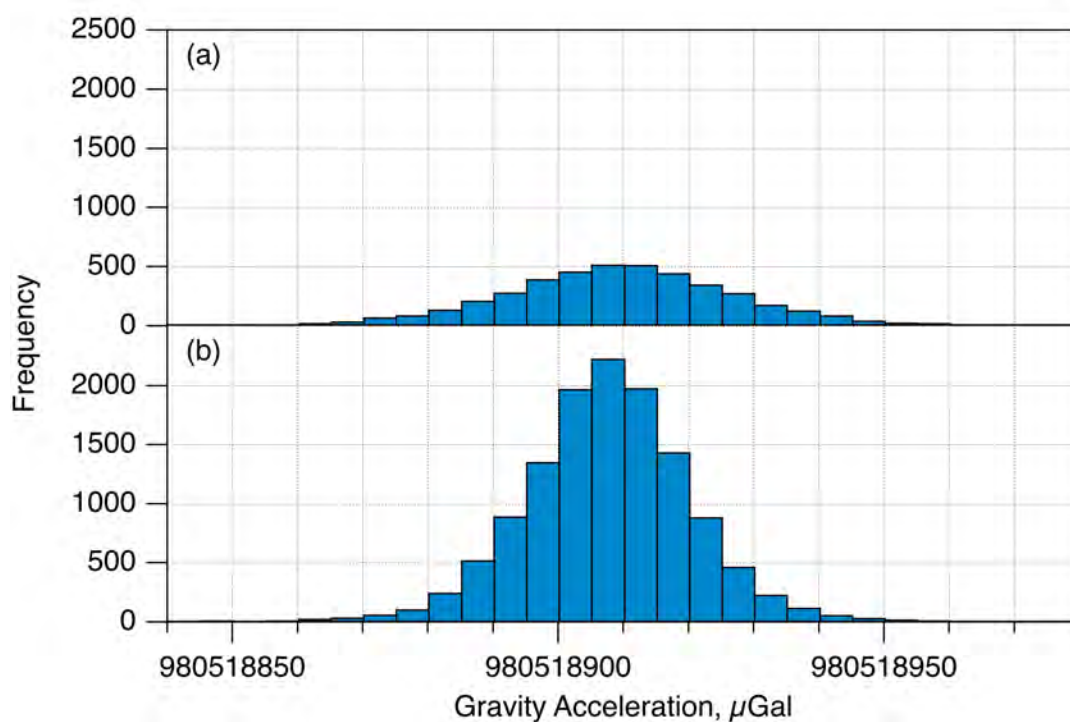


図1 弟子屈における (a)2019年および (b)2020年の絶対重力測定結果の比較。



図2 地震研究所における、2台の絶対重力計の器差を検定するための実験の様子。

(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アレイ、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・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。
- ・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、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・変動地形学的研究、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2年度の成果の概要：

数値計算：南海トラフ下で進行しているプレート間固着とプレート内部の地震活動の関連性を明らかにするために、日本列島域の粘弾性を考慮した有限要素モデルを作成し、以下のようにプレート内の震源断層にかかるクーロン破壊関数(CFF)を求めた。

1. 上記有限要素モデルによるすべり応答関数を用い、地殻変動データからインバージョンにより、琉球海溝-南海トラフ下のすべり速度欠損/余剰分布を求めた(図1)。南海トラフ下ではすべり速度欠損、琉球海溝下ではすべり速度余剰が見られる。このような対照的なすべり速度欠損/余剰分布は遷移領域である九州の変動にとり重要である。
2. 上記のすべり速度欠損/余剰分布を用い、有限要素モデルにより九州-西南日本の震源断層におけるCFFを求めた(図2)。九州ではCFFが正の震源断層が多い。これらの断層では、プレート境界過程により破壊を促進する方向に応力がかかっていることを意味している。特筆すべきは、九州で起きた3つのM7級地震の震源断層でCFFが正であることである。

海陸地震観測：日本列島のような沈み込み帯上盤プレート内の地震発生・地殻変動を定量的に解明していくためには、観測にもとづいた構造の理解が重要である。令和元年には、文部科学省の日本海地震・津波調査プロジェクトで実施された東北日本中部の新庄から大和碓に至る構造探査とともに、本計画と地震研所内経費を用いて太平洋側から日本海溝までの構造探査を行った。日本海域の調査は、海洋研究開発機構が庄内平野沖から大和碓にかけて 39 台の海底地震計、地震研究所が庄内-新庄最上まで 1167 点、最上から女川まで 500 点の受振器を設置した。また、三陸沖については、日本海溝海側アウターライズと海溝軸付近に近い日本海溝陸側斜面に計 5 台の長期観測型海底地震計を設置した。これらの測線に対して、日本海域では海洋研究開発機構が大容量エアガン発震を行い、庄内から出羽丘陵-新庄盆地-最上まではパイロサイズ 4 台による稠密発震を行い通常の深部反射断面を得た他、陸域の全測線について約 10 km おきに集中発震を行い、低重合反射断面を得た。更に陸上 3 箇所 200 kg の発破を行った。太平洋側の 300km の区間では、地震研究所の 6000~3000 cu.inch エアガンで発震を行い、陸上の他、海底ケーブルを含めた海域の受振システムでデータを収集した。

令和 2 年度は、2019 年に実施した地震探査の陸域部について、波線追跡法を用いてモデル構築を行った(図 3)。陸域測線ではダイナマイト発震が 3 点、震源車を用いた多重発震震源が 21 点設けられた。これらの震源の初動読み取り値を用い、当該測線の浅部構造に焦点を当て、波線追跡法により解析を行った。これまでに得られた暫定的速度構造モデルを図 4 に示す。また、図 5-8 は、発震点での計算走時と波線図をそれぞれの観測走時とともに示した。上部地殻基盤層(所謂 6 km/s 層)の上は 4 層構造の堆積層でモデル化された。各々の速度は、1.6-2.0、1.8-3.5、3.5-4.5 及び 4.5-5.5km/s と推定される。その全体の厚さは、測線東端部を除いて 3.5-5 km で、著しい変形を示す(図 5-6)。測線東端部では、5.0-5.5 km 層が地表に露出している(図 7)。その厚さは約 0.3 km である。上部地殻 6 km/s 層上面の速度は、測線全体にわたって 5.8 km/s である。また、ダイナマイト発震記録の offset が 40-50 km 以遠の走時データは、深さ 8 km 前後以深に速度 6.3 km/s 程度の層が存在することを示唆する(図 8)。

日本列島基本構造モデル: 東北日本弧(青森平野・庄内平野・新庄盆地等)、富士川河口断層帯、中央構造線活断層系、琵琶湖西岸断層帯などで近年取得された反射法地震探査断面について、地質構造解釈・変動地形との整合性の考察を行い、断層モデルを推定した(図 9)。また、日本海とその沿岸海域について、反射法地震探査などの資料をとりまとめて震源断層モデルを作成した(図 10)。

長期間地殻変動：上記の庄内-新庄測線沿いの活褶曲や伏在断層による地殻変動を含む長期間地殻変動を明らかにするために、測線周辺の精密数値標高モデルや既存の層序データに基づき、庄内平野・新庄平野の伏在活断層の平均変位速度・長期間地殻変動を推定した(図 11)。また、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を推定するための予備調査を行った。東北日本・太平洋側についてはこれまでに得た宇宙線核種による露出年代と精密数値標高モデルを統合して長期間地殻変動の推定を開始した。なお、本年度は新型コロナウイルスの流行を考慮して、限定的な調査研究を行った。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Hashima, A., Sato, H., T. Ishiyama, A. Freed, T. Becker, T., 2020, Structure and deformation in the overlying plate due to subduction and related feedbacks, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MIS-03-06. Hashima, A., Sato, H., and Sato, T., 2020, Stress loading and the occurrence of normal?type earthquakes under Boso Peninsula, Japan, Earth, Planets and Space, 10.1186/s40623-020-01201-6. Ishiyama, T., Sato, H., Kato, N. and Koshiya, S., 2020, Quaternary back-arc strain localization of Northeast Japan accommodated by fault related folding, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MIS-03-10. 石山達也・佐藤比呂志・加藤直子・阿部 進・横井 悟・清水英彦・奥田真央, 2020, 高分解能反射法地震探査による庄内平野の伏在活断層の構造的特徴, 令和 2 年度(2020 年)石油技術協会学術大会, 017. Matsubara, M, Yano, T. E., Sato, H., 2020, Lower limit of seismogenic zone beneath Japan based on hypocenter catalog determined with 3D seismic velocity structure, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MIS03-02. Sato, H., T. Ishiyama, H. Ishige, N. Kato, M. Shinohara, T. Iwasaki, E. Kurashimo, H. Shimizu, S. Kawasaki, S.



Abe, M. Matsubara, S. Koshiya, T. No, S. Kodaira, N. Hirata, 2020. Seismic transect across the central part of Northern Honshu, Japan, JpGU-AGU Joint meeting 2020, MIS03-P05. Sato, H, Ishiyama, T., No, T., Matsubara, M., Kodaira, S., 2020, Origin of seismogenic source faults in the backarc of Honshu, Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MIS03-05. 佐藤比呂志・石山達也・清水英彦・石毛宏和・加藤直子・越谷 信・篠原雅尚・岩崎貴哉・川崎慎治・阿部 進・松原 誠・平田 直, 2020, 庄内 - 新庄測線における深部反射法地震探査, 令和 2 年度 ( 2020 年 ) 石油技術協会学術大会, 016. 佐藤比呂志・石山達也・野 徹夫・小平秀一・加藤直子・Claringbould, J., 松原 誠、橋間昭徳・石川正弘・佐藤 壯, 2020, 日本海と沿岸の震源断層モデル, 日本地震学会 2020 年度秋季大会, S06-04.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

- ・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 : 令和元年度に設置した長期観測型海底地震計を回収する。また、観測データに基づく構造解析を引き続き継続する。
- ・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 ~ 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や既存研究により明らかにする。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・石山達也・橋間昭徳・悪原岳・佐藤比呂志 ( 東京大学地震研究所 )  
飯高隆 ( 東京大学地震研究所・東京大学大学院情報学環 )  
他機関との共同研究の有無 : 有  
海域地震観測 : 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  
震源断層モデルの更新および長期間地殻変動 : 防災科学技術研究所・横浜国立大学・弘前大学・岩手大学・信州大学・富山大学・岡山大学・広島大学ほか

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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

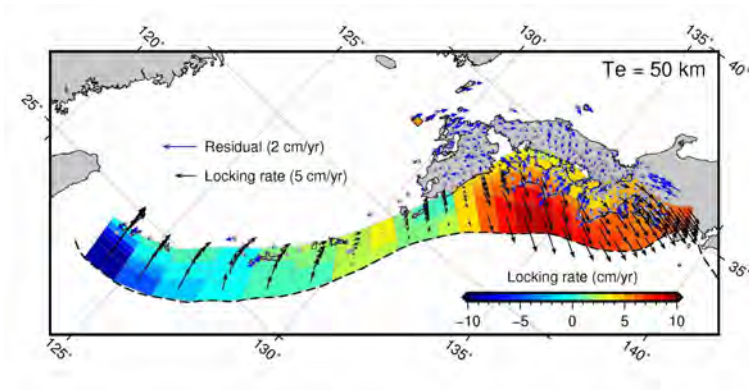


図1 地殻変動データのインバージョンにより求めた琉球海溝 - 南海トラフのすべり速度欠損 / 余剰分布。正值 (すべり速度欠損) はプレート間固着、負値は海溝後退を表す。地殻変動データの観測期間は 1998 年 - 2010 年の 13 年間。黒矢印はすべり速度欠損 / 余剰ベクトル。青矢印は観測データと計算データの残差。

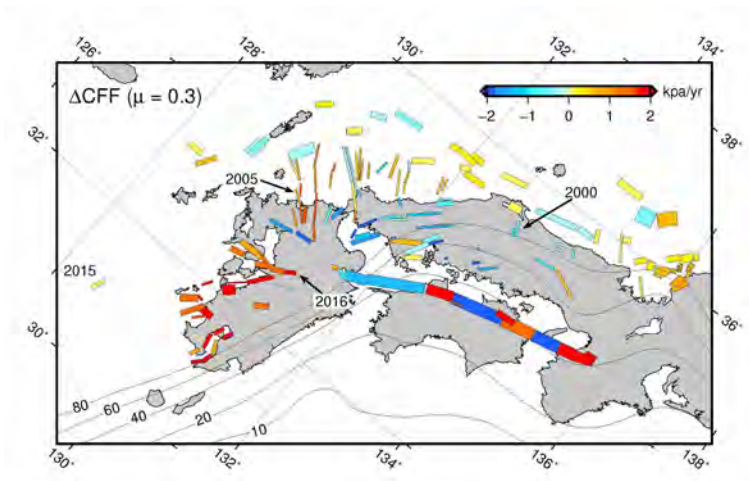


図1のすべり速度欠損 / 余剰分布により計算した、震源断層面上のクーロン破壊関数 ( CFF )。2000 年以降 4 つの M7 地震 ( 2000 年鳥取県西部地震、2005 年福岡西方沖地震、2015 年薩摩西方沖地震、2016 年熊本地震 ) の位置を表示。

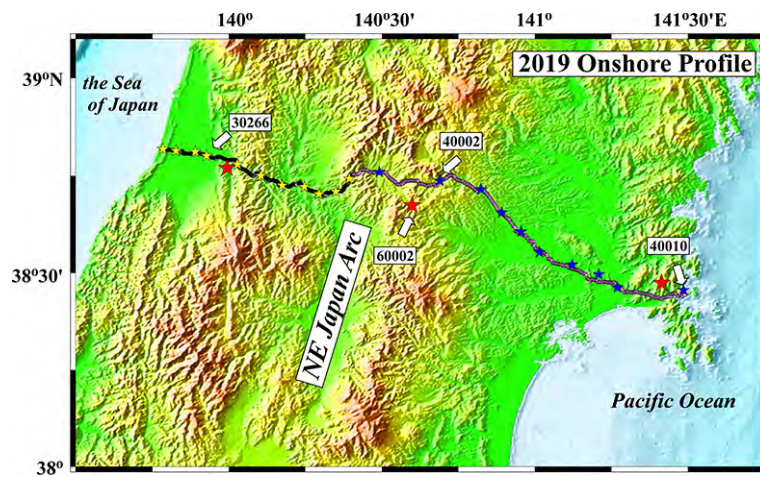


図3 2019年陸域測線図

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。矢印と番号は図3-6の発震点位置である。

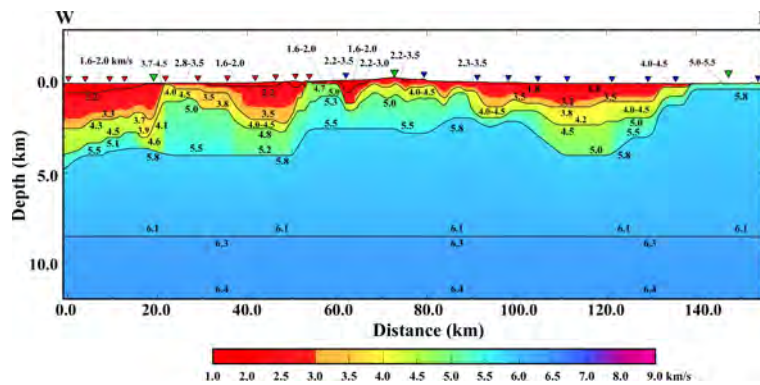


図4 波線追跡法で求めた測線下の地殻浅部暫定モデル

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。

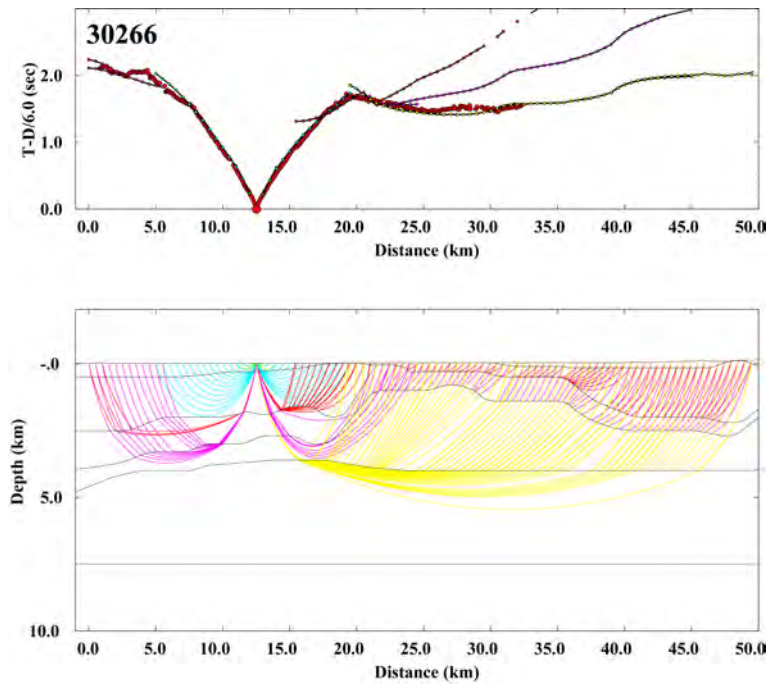


図5 多重発震点 30266 における観測走時・理論走時と波線図。赤丸が観測走時。

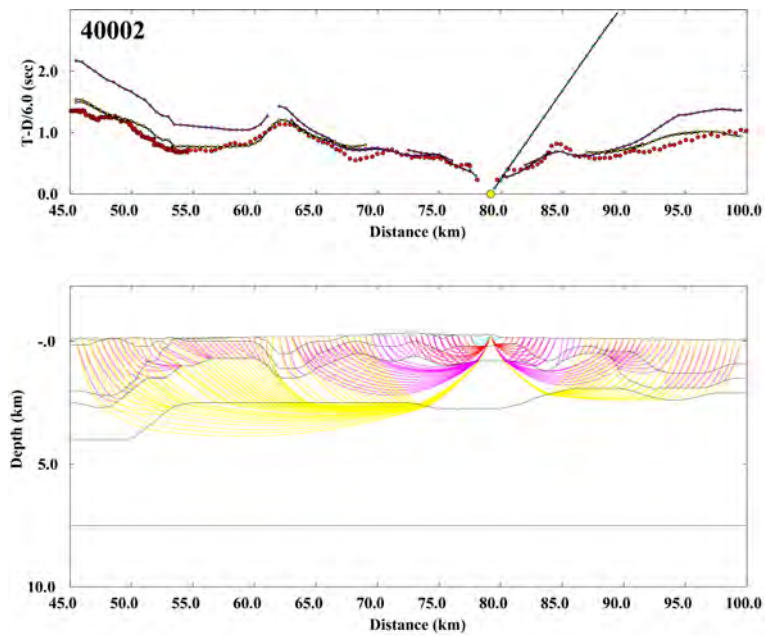


図6 多重発震点 40002 における観測走時・理論走時と波線図。赤丸が観測走時。

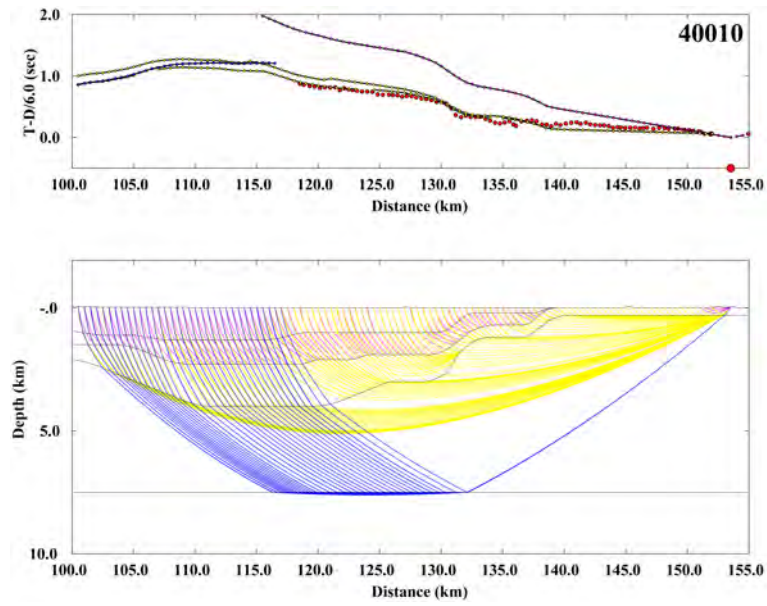


図 7. 多重発震点 40010 における観測走時・理論走時と波線図。赤丸が観測走時。

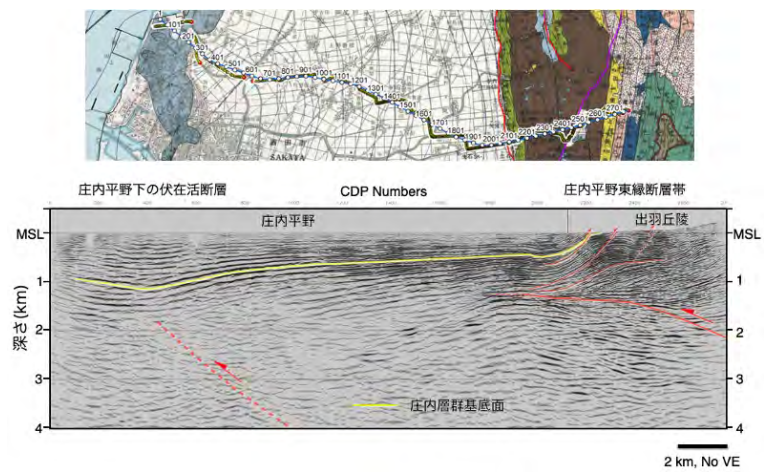


図 9 反射法地震探査に基づく庄内平野東縁断層帯および庄内平野に伏在する活断層の断層形状。

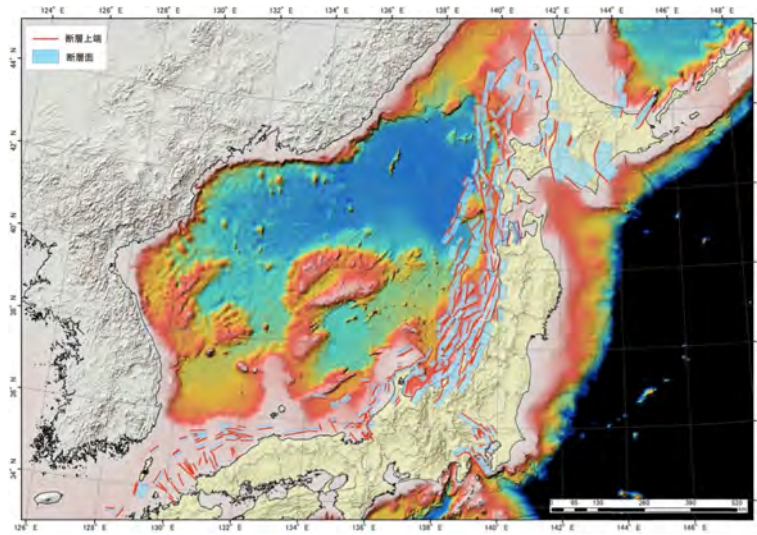


図 10 日本海と沿岸の震源断層の矩形モデル。佐藤ほか (2020)。関東地域は Ishiyama et al. (2013) による。

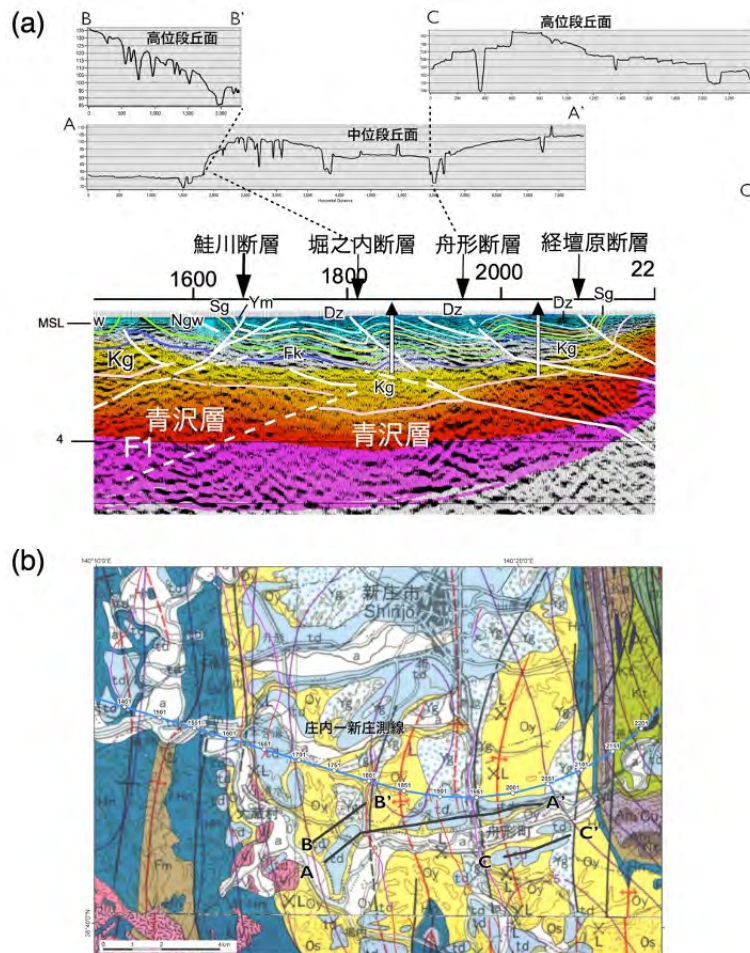


図 11 (a) 新庄盆地、小国川沿いの河成段丘面の地形断面図 (上) 庄内-新庄測線の深度断面の解釈。深度断面図は佐藤・他 (2019) による。測線及び地形断面の位置は (b) に示す。測線図の背景は大沢・他 (1987, 1988) による。

(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：

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 2 年度の成果の概要 :

令和 2 年度は、年次計画に基づいた機動的調査観測を実施したとともに、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維持・管理するとともに、既存観測データを用いたスロー地震活動の特徴や相互作用、スロー地震発生域の構造・流体挙動、東北地方における沈み込み帯上盤の流動構造の把握を行なった。

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 50 のカタログが登録されている。様々なスロー地震カタログに基づいて、多様性と系統性の観点からスロー地震活動の特徴や相互作用について整理を行った ( Obara, 2020 )。また、統計モデルに基づく深部低周波微動活動特性の評価手法の提案 ( Buckby et al., 2020 ) や、低周波地震の破壊伝播速度が通常地震に比べて遅いこと ( Supino et al., 2020 ) など、各種スロー地震の活動特性の解明を進めた。

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 ) を維持するとともに、深部超低周波地震の検出手法の改良を行い、検出限界マグニチュードを低下させ多数のイベント検出が可能となった。それに伴い、深部超低周波地震の活動様式が鮮明になりつつある。例えば、豊後水道では通常は約 3 か月間隔でエピソードに発生する深部超低周波地震が、長期的スロースリップイベント ( SSE ) 継続期間中には 1 か月間隔、及びさらに短い間隔でバースト的活動が頻繁に発生することが分かった。

東北地方太平洋沖及び西南日本において、沈み込みプレート境界やプレート運動を仮定して計算された理論波形をテンプレートとして、防災科研 F-net の連続波形データから超低周波地震を検出し、超低周波地震の空間依存性や他のパラメタとの比較を行った ( 図 1、2 )。その結果、浅部超低周波地震による地震モーメント解放レートは深部超低周波地震より大きく、プレート境界浅部の不均質性が強いことが示唆される。また、浅部超低周波地震の活動度とプレート境界カップリング強度には負の相関があり、超低周波地震活動が活発な領域はカップリングが弱く、さらに地震波速度の遅い領域の周辺に対応することから、流体の存在がプレート境界の摩擦強度やスロー地震活動に影響を与えられ ( Baba et al., 2020 )。

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の新たなモード検出を目指し、科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において、4 つの稠密な地震計アレイを四国西部の低周波地震発生域の直上に設置し、2019 年 12 月下旬から 2020 年 5 月まで連続波形記録を取得した。各地震計アレイの口径は約 1 ~ 2 km で、60 ~ 100 点の 3 成分短周期地震計 ( 一部の観測点では上下動成分のみ ) から構成される ( 計 340 点 )。深部低周波地震活動が活発であった期間のデータに対して、センブランス解析を行ったところ、数分間の短い間に約 100 km/hr の高速移動が起きていることが捉えられた。

南海トラフ沈み込み帯の深部低周波地震 ( LFE ) の長期的な挙動に関する理解を深めるために、高密度及び高感度の地震計ネットワーク ( Hi-net ) によって記録された 11 年間を超える連続地震データに対して、マッチドフィルター法を適用した ( 2004 年 4 月から 2015 年 8 月まで )。その結果、合計で約 510,000 個の LFE を検出した ( Kato and Nakagawa, 2020 )。同期間の気象庁一元化処理震源カタログに比べて、約 23 倍の LFE が検出された。豊後水道における長期的 SSE 中に、LFE の群発的な活動が断層走向方向に沿ってゆっくりと移動を示す。また、長期的 SSE から解放される弾性エネルギーは、LFE の活動度を制御していると考えられる。主要な ETS 中には、LFE がゆっくりと断層走向方向に移動する。これは、最大約 100 km の距離に広がり、拡散係数  $\sim 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$  の拡散的なパターンの移動形式を示す。この移動パターンは、以前の研究で報告された低周波微動の時空間変化と一致する。さらに、長さ 15 km までのより短い距離においても、LFE は拡散的なパターンで急速移動 (  $\sim 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$  ) の拡散

係数)を起こすことを新たに発見した。また、主要な ETS エピソード中に、LFE の急速な移動が断続的に多数発生していたことも捉えられた。これらの観測結果から、スロースリップには、拡散プロセスによって制御される時間的にクラスター化した断層滑りイベントが多数含まれていることが示唆される。

#### 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。このうち一部の観測点について、観測場所の事情や新型コロナウイルス感染症の影響により、観測を中止した観測点や、停止したものの保守作業が実施できていない観測点がある。停止した観測点の復旧についての検討を進めた。

四国で発生している短期的 SSE のすべり分布を防災科学技術研究所 Hi-net による傾斜変化(オフセット)データセットに基づいて推定し、2001 年から 2019 年にかけて発生した 61 イベントについてすべり分布を求めることに成功した(Hirose and Kimura, 2020; 図 3)。この結果、短期的 SSE のすべり量は空間的に一様ではなく、18 年間の累積すべり量の分布によれば四国の ETS 領域が 3 つに区分されることが分かった。またすべり領域のスラブ走向方向への長さは、2012 年頃を境に、それ以降の SSE ではより大規模のものが増える傾向がみられた。

#### 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

当初の計画に基づき、GNSS データによる SSE の系統的検出のため、データ処理期間を最新の期間まで延長した。先行研究と同様に追加した期間においても日向灘や四国中部における非定常変動が見られ、2019 年の豊後水道長期的 SSE に前後して同領域において小規模な SSE が発生していることが確認できた(図 4)。

#### 6．スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

本年度は、スロー地震と中・大規模地震の関係について調べるために、東北地方で沈み込み帯上盤の流動構造を調べた。S-net および陸域観測点での S 波スプリッティングデータから火山フロントを境に前弧では、海溝平行の速い S 波の振動方向がみられ、地下に冷たく動かないマントルがあることがわかった(図 5、図 6)。これは日本海側の高温で流動するマントルと対照的で、この基本構造が沈み込み帯の変形や地震・火山活動を支配していると考えられる(Uchida et al., 2020)。なお、南西諸島における繰り返し地震の抽出および東北日本との比較は研究進捗の遅れから本年度は実現できなかった。

#### 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。これまで、絶対・相対重力観測を 2-3 月に宮崎 1 点、東海 2 点(菊川・豊橋)及び豊後水道 1 点(足摺岬)で実施してきたが、本報告書作成時点において、コロナウィルスの感染防止の観点から実施時期の延期を検討している。これまで得られた成果の例として、図 7 に東海地方の観測結果を示す。スロースリップ発生中に重力増加が相対的に減少していることが分かる。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を継続し、データを蓄積している。同重力計の性能を水沢 VLBI 観測所の超伝導重力計との比較観測から明らかにし、スロースリップが検出できる帯域を評価した。また、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た。

東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を行い、データを蓄積した。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

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、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で取得したデータや、前計画・科研費で取得してきた既存稠密地震観測データの解析を継続した。

豊後水道の中心部に位置する水ノ子島において2016年12月から現地収録型のレコーダを使用した臨時地震観測を開始し、2019年6月まで波形記録を収録することが出来たが、2019年8月の台風による高波の影響で観測装置が流失してしまった。令和2年度は、高波対策を施した新観測点の構築を行い、観測を再開する予定であった。しかし、新型コロナウイルス感染症の影響で現地に行くことが出来ず、観測を再開することが出来なかった。現在、令和3年度中の観測点再構築を目指して準備を進めている。また、これまでに得られたデータを用い、豊後水道周辺で報告されている深部低周波微動が、臨時観測点でも収録されているかの確認を行った(図8)。その結果、微動を確認することが出来た。

前計画において紀伊半島南部の深部低周波地震発生域直上に設定した「みなべ-下北山測線」で取得した稠密地震観測データでは、深部低周波地震も観測することができた。そこで、本観測で取得した低周波地震のP波・S波の検測値を用いて、低周波地震の震源決定を行った。測線下では、深さ27-35km付近に、沈み込むフィリピン海プレート上面に対応すると解釈できる明瞭な反射層が確認されている(Kurashimo et al., 2014)。本研究で決定した低周波地震の震源は、反射帯に集中し、トモグラフィ解析で得られた測線下の地震波速度構造と比較すると、低周波地震発生域のP波速度は低下する特徴を示している。これらのことから、プレート境界における滑り運動や流体の存在が、これら低周波地震の発生に寄与していると考えられる。また、科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において四国西部で実施した制御震源地殻構造探査で取得したデータに対して反射法解析を適応した。得られた反射法断面図からは、深さ25-33km付近に沈み込むフィリピン海プレート上面に対応すると解釈できる北傾斜の反射帯が確認できる。プレート境界に沿った反射帯の見え方は、プレートの沈み込む方向と沈み込みに垂直な方向の両方で変化している。短期的SSEの積算すべり量(Nishimura et al., 2013)が大きな領域は、明瞭な反射帯が確認できる領域に対応し、反射波の特性の変化と積算すべり量の変化との間には対応関係があるように見える。このことは、プレート境界近傍の構造不均質が断層の滑り挙動に影響を与えている可能性を示唆している(Kurashimo et al., 2020)。

#### 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。先行研究で四国室戸岬沖南海トラフの浅部デコルマは高間隙水圧の状態にあることが示され(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、泥岩層の低い透水性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推定を試みた。本研究のため、JAMSTECが過去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: PSDM)処理に着手し、P波速度構造を求めるとともに、間隙水圧推定を行っている。

以下、現在まで得られた結果である。

(1) 暫定的なP波速度構造モデル(図9)で、浅部デコルマに沿って沈み込む四国海盆堆積層が部分的に低速度を示すものの、室戸岬沖南海トラフのように浅部デコルマの全区間における低速度は認められず、潮岬沖デコルマ付近の全面的な高間隙水圧の状態は考えられない。

(2) PSDM断面図(図10)では、砂泥互層のタービダイトを含む四国海盆堆積層が浅部デコルマに沿って沈み込んでいるイメージが得られた。透水性の高いタービダイトの沈み込みの場合、泥岩層

の沈み込み（例：室戸岬沖南海トラフ）に比べて、間隙率が低下し（例：Hipers et al., 2018）、高間隙水圧の形成は困難である。これは、潮岬沖南海トラフの MCS 測線 KI01 付近で浅部スロー地震が殆ど観測されないことと調和的である。

（3）今後、PSDM 処理による P 波速度構造モデルを改良し、潮岬沖南海トラフの MCS 測線 KI01 に沿って浅部デコルマ付近の間隙水圧を定量的に求める。

#### 10. スロー地震と地震発生との関連性

深部低週地震活動の発生タイミングを基準にして、南海トラフ沿いの陸域 GNSS データを重合して深部短期的 SSE 発生時の滑り量分布に関する解析を進めた（Kano and Kato, 2020）。深さ約 35km のスロースリップ発生域に加えて、四国東部と東海地域においてはわずかな滑りが固着域において起きていたことを見出した。固着域の中で確認されたスロースリップという点が特徴的であり、昨年度報告した四国西部域における固着域内のわずかな滑りが他の地域でも発生していたことを示した。短期的 SSE が起きる度に、固着域深部側でわずかに滑りが進行することで、固着域に対して応力が間欠的に載荷されていると考えられる。短期的 SSE と固着域の関係性を理解する上で重要な成果である。

- （9）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- Baba, S., A. Takeo, K. Obara, T. Matsuzawa, T. Maeda, 2020, Comprehensive Detection of Very Low Frequency Earthquakes Off the Hokkaido and Tohoku Pacific Coasts, Northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 125, <https://doi.org/10.1029/2019JB017988>.
- Baba, S., S. Takemura, K. Obara, A. Noda, 2020, Slow Earthquakes Illuminating Interplate Coupling Heterogeneities in Subduction Zones, *Geophys. Res. Lett.*, <https://doi.org/10.1029/2020GL088089>.
- Buckby, J., T. Wang, J. Zhuang, K. Obara, 2020, Model checking for hidden Markov models, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, <https://doi.org/10.1080/10618600.2020.17>.
- Chang, J.-H., J.-O. Park, T.-T. Chen, A. Yamaguchi, T. Tsuru, Y. Sano, H.-H. Hsu, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, and C. Tamura, 2020, Structural-morphological and sedimentary features of forearc slope off Miyagi, NE Japan: implications for development of forearc basins and plumbing systems, *Geo-Marine Letters*, <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00636-w>.
- Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura, 2020, Slip distributions of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula based on NIED Hi-net tilt measurements, SCG58-P22, JpGU-AGU Joint meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura, 2020, Slip distributions of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula based on NIED Hi-net tilt measurements, *Slow Earthquakes WS 2020*, Virtual, 16-17 Sep.
- 廣瀬仁・卯川知希, 2020, 地震数データから応力変化量を推定する手法の試行, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 24, 10-17.
- Hirose, H. and T. Kimura, 2020, Slip distributions of short-term slow slip events in Shikoku, southwest Japan from 2001 to 2019 based on tilt change measurements, *J. Geophys. Res.*, 125, e2020JB019601. doi: 10.1029/2020JB019601.
- 廣瀬仁・木村武志, 2020, Slip distributions of short-term slow slip events in Shikoku, southwest Japan from 2001 to 2019 based on tilt change measurements, スロー地震学 A01-A02 班合同オンライン研究会, 6月16, 23, 30日.
- 廣瀬仁・木村武志, 2020, Slip distributions of short-term slow slip events in Shikoku, southwest Japan from 2001 to 2019 based on tilt change measurements, *Slow Earthquakes WS 2020*, Virtual, 9月16-17日.
- Kato, A. and S. Nakagawa, 2020, Detection of deep low-frequency earthquakes in the Nankai subduction zone over 11 years using a matched filter technique, *Earth Planets Space*, 72:128, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01257-4>.
- Kano, M. and A. Kato, 2020, Detailed spatial slip distribution for short term slow slip events along the Nankai subduction zone, southwest Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 125, e2020JB019613,

<https://doi.org/10.1029/2020JB019613>.

- Khoshmanesh, M., M. Shirzaei, N. Uchida, 2020, Deep slow-slip events promote seismicity in northeastern Japan megathrust, *Earth and Planetary Science Letters*, 116261.
- Kurashimo, E, K. Mochizuki, T. Iidaka and K. Obara, 2020, Seismic reflection profiling across deep low-frequency tremor zone in western Shikoku, southwestern Japan, SCG58-P17, JpGU-AGU joint Meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Obara, K., 2020, Characteristic activities of slow earthquakes in Japan, *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 90, <https://doi.org/10.2183/pjab.96.022>, 29-315.
- Obara, K., and T. Nishimura, 2020, Main Results from the Program Promotion Panel for Subduction-Zone Earthquakes, *J. Disaster Research*, 15, <https://doi.org/10.20965/jdr.2020.p0087>, -95.
- 岡田悠太郎・西村卓也・田部井隆雄・松島健・廣瀬仁, 2020, GNSS データを用いた短期的スローリップイベントの検出手法の開発と南海沈み込み帯への適用, 日本測地学会第 134 回講演会, 10 月 21-23 日.
- Okada, Y., T. Nishimura, T. Tabei, T. Matsushima, H. Hirose, 2020, Detection of short-term slow slip events and estimation of their duration by using three components of GNSS data in the Nankai subduction zone, southwest Japan, SCG58-08, JpGU-AGU Joint meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Okada, Y., T. Nishimura, T. Tabei, T. Matsushima, H. Hirose, 2020, Development of the Detection Method for Short-term Slow Slip Events by Using GNSS Data And its application to the Nankai Subduction Zone, *Slow Earthquakes WS 2020*, Virtual, 16-17 Sep.
- 坂本龍之輔, 田中愛幸, 2020, ばねブロックモデルでの周期外力に対するダイランシー効果, 日本物理学会, 3 月.
- Sakamoto R., and Y. Tanaka, 2020, A physical model of tremor response to periodic external stress in poroelastic medium, SCG58-P19, JpGU-AGU joint Meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Sakamoto R., and Y. Tanaka, 2020, A physical model of tremor response to external stress in poroelastic medium, S031-0001, AGU Fall Meeting 2020, Virtual, 1-17 Dec.
- Sano, Y., T. Kagoshima, N. Takahata, K. Shirai, J.-O. Park, G. T. Snyder, T. Shibata, J. Yamamoto, Y. Nishio, A-T Chen, S. Xu, D. Zhao, and D. L. Pinti, 2020, Groundwater Anomaly Related to CCS-CO<sub>2</sub> Injection and the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake in Japan, *Front. Earth Sci.*, 8:611010, doi: 10.3389/feart.2020.611010.
- Shiozaki, I., T. Uto, M. Uyeshima, H. Hataoka, H. Murakami, N. Oshiman, Y. Iio, and K. Ando, 2020, A research report on the fundamental investigations of an electrical resistivity structure beneath Chugoku and Shikoku regions, southwestern Japan (2019), SEM21-P03, JpGU-AGU joint Meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Supino, M., N. Poiata, G.Festa, J.P.Vilotte, C.Satriano, K.Obara, 2020, Self-similarity of low-frequency earthquakes, *Scientific Reports*, 10, doi:10.1038/s41598-020-63584-6.
- Takagi, R., N. Uchida, and K. Obara, 2020, Detection of slow slip events on the Philippine Sea plate beneath the Kanto region, *Slow Earthquakes WS 2020*, Virtual, 16-17 Sep.
- Tanaka, Y., C. Shibata, Y. Tamura and A. Kobayashi, 2020, Calibration of portable relative gravimeters toward the detection of gravity signals accompanied by slow slip events, SCG58-06, JpGU-AGU joint Meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Tanaka, Y., C. Shibata, Y. Tamura and A. Kobayashi, 2020, Toward the detection of gravity signals accompanied by slow slip events, *Slow Earthquakes WS 2020*, Virtual, 16-17 Sep.
- Teshiba, S., H. Hirose, 2020, Spatiotemporal evolution of interplate slip in the Hyuganada and the Bungo Channel from 1996 to 2000 based on GNSS data, SCG58-P38, JpGU-AGU Joint meeting 2020, Virtual, 12-16 July.

- Teshiba, S. and H. Hirose, 2020, Slow slip events in the afterslip area of the 1996 Hyuganada earthquakes, based on GNSS data, Slow Earthquakes WS 2020, Virtual, 16-17 Sep.
- Teshiba, S. and H. Hirose, 2020, Slow Slip Events in the Afterslip Area of the 1996 Hyuganada Earthquakes, Southwest Japan, Based on GNSS Data, S027-0015, AGU Fall Meeting 2020, Virtual, 1-17 Dec.
- Tomonaga, Y., K. Yagasaki, J.-O. Park, J. Ashi, S. Toyoda, N. Takahata, and Y. Sano, 2020, Fluid dynamics along the Nankai Trough: He isotopes reveal direct seafloor mantle-fluid emission in the Kuman Basin (southwest Japan), ACS Earth and Space Chemistry, 4 (11), 2105-2112, DOI: 10.1021/acsearthspacechem.0c00229.
- Tsuru, T., J.-O. Park, K. Amakasu, T. No, K. Arai, T. Inoue, S. Furuyama, K. Uchida, and Y. Nakamura, 2020, Possible fluid discharge associated with faults observed by a high-resolution dense-2D seismic reflection survey in Uchiura Bay off Numazu, Japan, Earth, Planets Space, 72, 121.
- Uchida, N., J. Nakajima, K. Wang, R. Takagi, K. Yoshida, T. Nakayama, R. Hino, T. Okada, and Y. Asano, 2020, Stagnant forearc mantle wedge inferred from mapping of shear-wave anisotropy using S-net seafloor seismometers, Nature Communications, 11(1), 5676, doi:10.1038/s41467-020-19541-y.
- Ukawa, T., H. Hirose, 2020, An estimation of stress changes based on earthquake swarm seismicity accompanied by Boso slow slip events, SCG58-P39, JpGU-AGU Joint meeting 2020, Virtual, 12-16 July.
- Ukawa, T. and H. Hirose, 2020, 房総スロースリップイベントに伴う群発地震活動に基づく応力変化の推定, Slow Earthquakes WS 2020 Virtual, 9月 16-17 日.
- Uyeshima, M., R. Yoshimura, M. Hata, H. Ichihara, K. Aizawa, 2020, On 3-D resistivity structure in the SW part of Shikoku-Island, SW Japan, and sensitivity of the Network-MT responses to the structure, SCG58-P11, JpGU-AGU joint Meeting 2020, Virtual, 12-16 July.

( 10 ) 令和 3 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引き継いで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

四国西部の低周波地震発生域の直上にて取得された稠密地震計アレイのデータ解析を進め、深部低周波地震の詳細な時空間発展を明らかにする。

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。2018-2019 に発生した豊後水道 SSE と 2016 年ごろの小規模 SSE とのすべり域の比較など、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ていく。

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

解析対象領域を拡張し、西南日本の広域における SSE の系統的な検出を行う。また検出および断層モデル推定手法の改良を行う。

6 . スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

南西諸島における繰り返し地震の調査を行う。またその分布と SSE の分布との比較等を行う。

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 [



5か年計画に基づき、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

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、紀伊半島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。水ノ子島観測点データと周囲の定常観測点データを用いた地震波トモグラフィ解析を開始する。新型コロナウイルス感染症の状況次第であるが、なるべく早い時期に水ノ子島観測点の再構築を目指す。また、令和4年度から四国で実施する稠密地震観測の現地踏査を実施する。

#### 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

紀伊半島潮岬沖南海トラフの MCS 測線 KI01 に沿って PSDM 処理を続け、最終的な P 波速度構造モデルを求めるとともに、浅部デコルマ付近の間隙水圧を定量的に推定する。また、既存の四国室戸岬沖南海トラフの浅部デコルマ付近で得られた間隙水圧分布と比較し、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物性について考察する。

#### 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。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蔵下英司・小原一成・竹尾明子・加藤愛太郎・上嶋誠・小河勉・飯高隆(東大地震研・東大情報学環)  
他機関との共同研究の有無：有  
加納将行・内田直希・高木涼太(東北大)、井出哲・田中愛幸(東大理)、朴進午(東大大気海洋研)、中東和夫(東京海洋大)、津村紀子(千葉大)、麻生尚文(東工大)、廣瀬仁(神戸大)、松島健(九州大)、田部井隆雄(高知大)、西村卓也(京大防災研)、松澤孝紀(防災科研)

#### (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

#### (13) 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

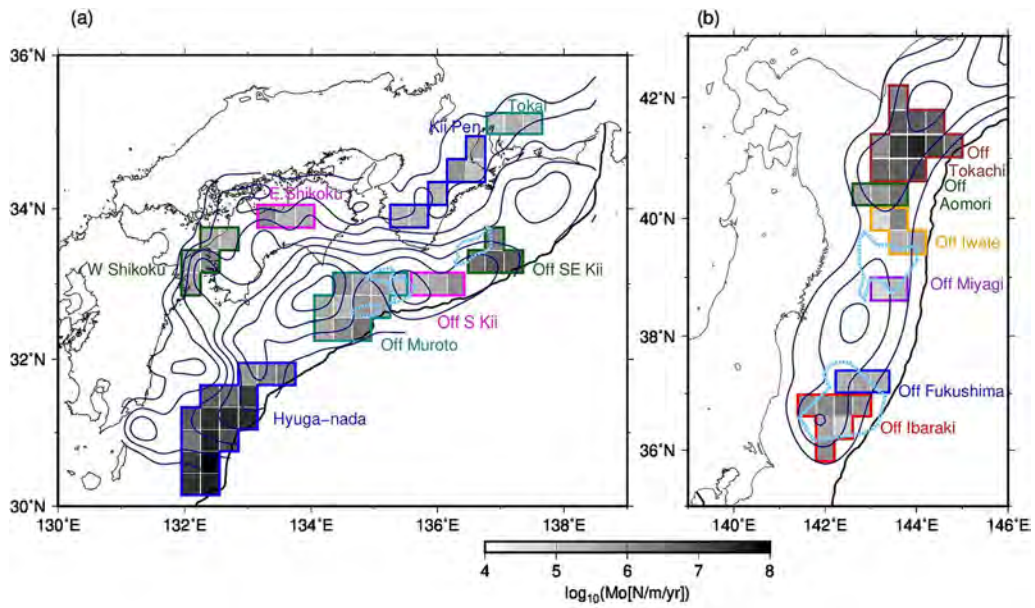


図 1: (a) 西南日本と (b) 東北日本のモーメント解放レート。青線は各地域のすべり欠損速度 ( (a): 10 mm/year 間隔、(b): 30 mm/year 間隔 )、薄青線は各地域の地震波速度の遅い領域を表す。赤線は各地域のすべり欠損速度 ( (a): 10 mm/year 間隔、(b): 30 mm/year 間隔 )、薄赤線は各地域の地震波速度の遅い領域を表す。

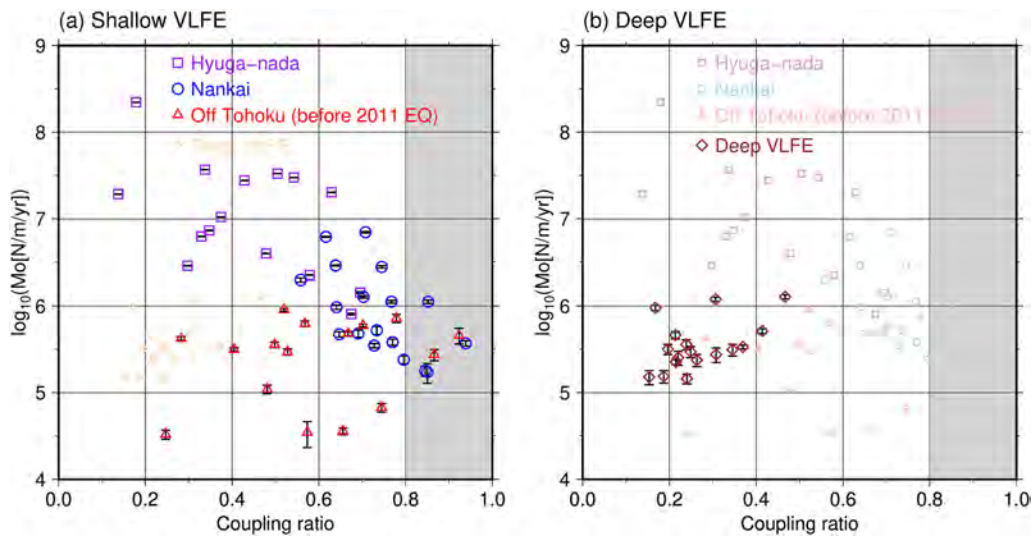


図 2: (a) 浅部超低周波地震 ( VLFE ) と (b) 深部超低周波地震の、モーメント解放レートの常用対数 (縦軸) とカップリング率 (横軸) の関係。浅部超低周波地震では、モーメント解放レートとカップリング率の間に負の相関が見られる。

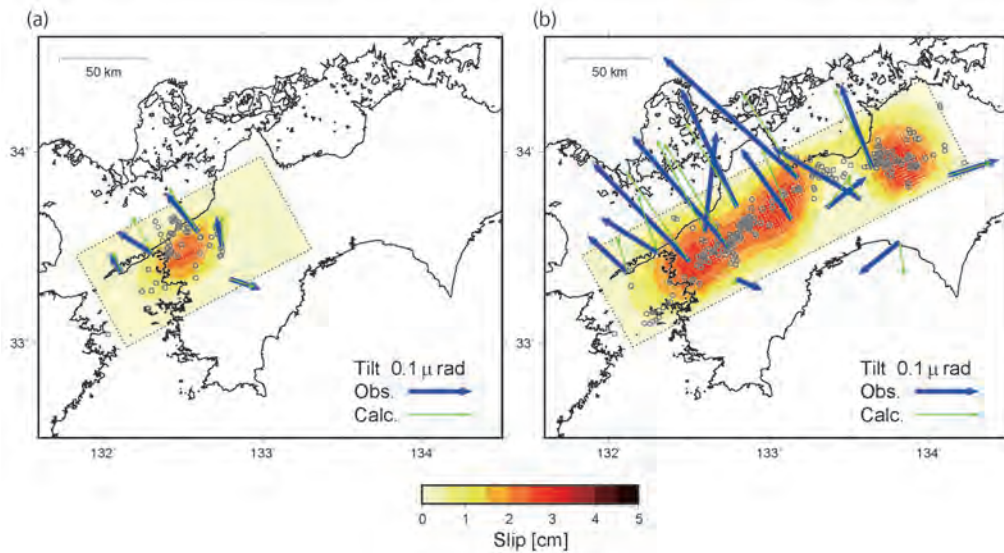


図 3: 四国で発生した短期的 SSE のすべり分布の例。

(a) 2006 年 4 月の SSE、(b) 2018 年 2 月の SSE。すべり量を色で示す。青の矢印は観測された傾斜変化ベクトル、緑の矢印は計算された傾斜変化ベクトル。灰色の円はそれぞれの SSE 継続中に発生した微動の震央。(Hirose and Kimura (2020) を一部改変)

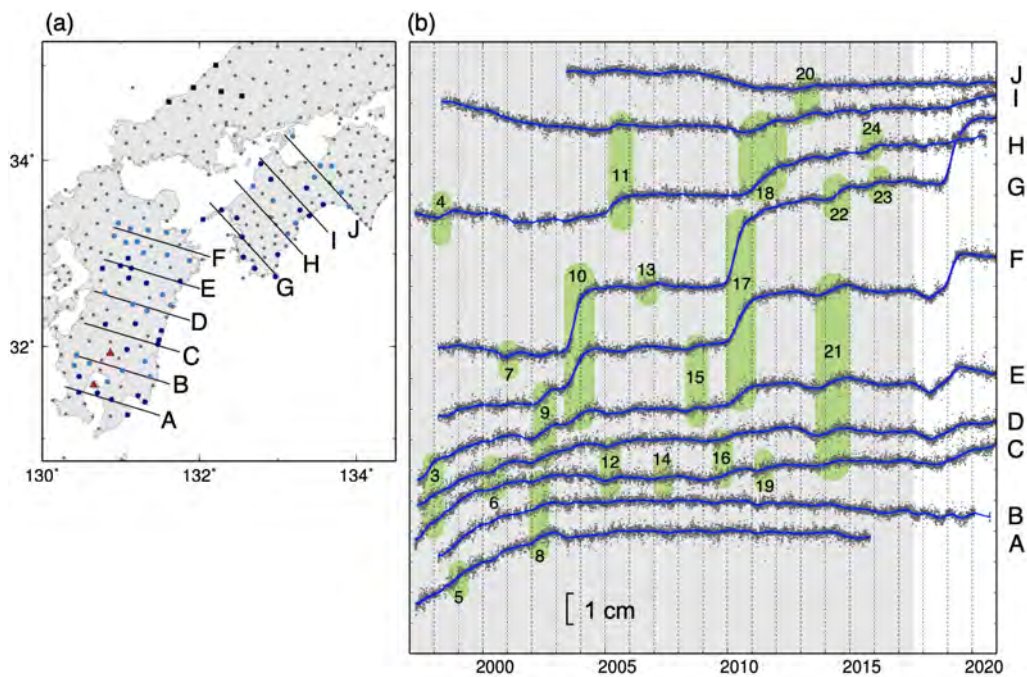


図 4: (a) GNSS 観測点分布。各側線に沿った色付きの観測点を使用。(b) 各側線の観測点でスタックした側線と並行方向の変位時系列。

灰色は Takagi et al. (2019) の解析期間。2017 年 10 月以降は新たに追加した期間。緑色の範囲は Takagi et al. (2019) によって検出された長期的 SSE。

- ↔ 地表での速いS波の振動方向
- 地震波の速度が方位によらない場所
- 地震波の速度が方位により違う場所
- ▲ 火山

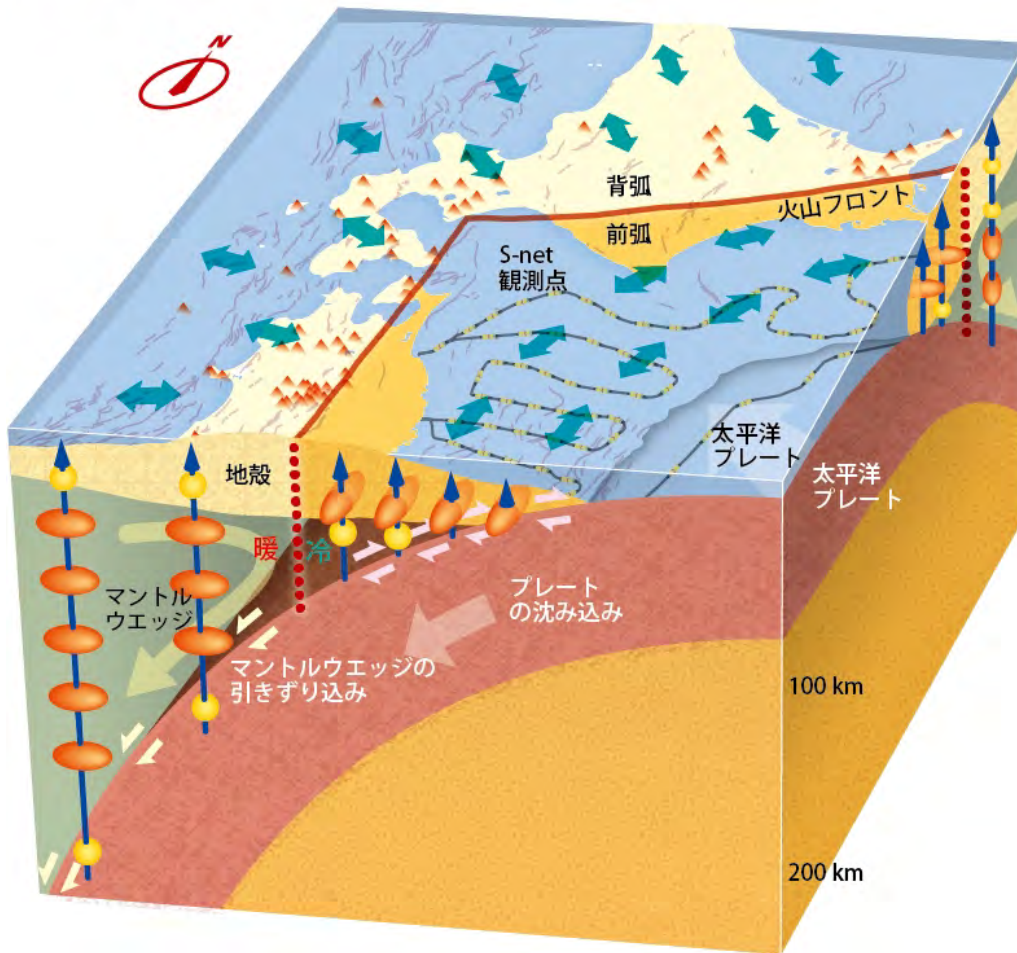


図5：東北日本の断面図と本研究の結果。

地表の三角は火山、赤線は火山フロント、青い両矢印は観測された速いS波の振動方向（地震の波が伝わる速度が速い方向）を示す。黄色と灰色の曲線は海底のS-netの観測点とケーブルを表す。地下の楕円体は推定された地震の波が伝わる速度が方向により異なる場所、球は地震の波が伝わる速度が方向によらない場所を示す。太平洋プレート上面に沿った浅部でのピンクの小さい矢印はプレート境界を境とした食い違い、深部でのうす緑色の矢印は、マントルウエッジ領域を引きずり込む運動を表す。マントルウエッジ領域の大きく曲がった矢印は、この領域での流動を表す。

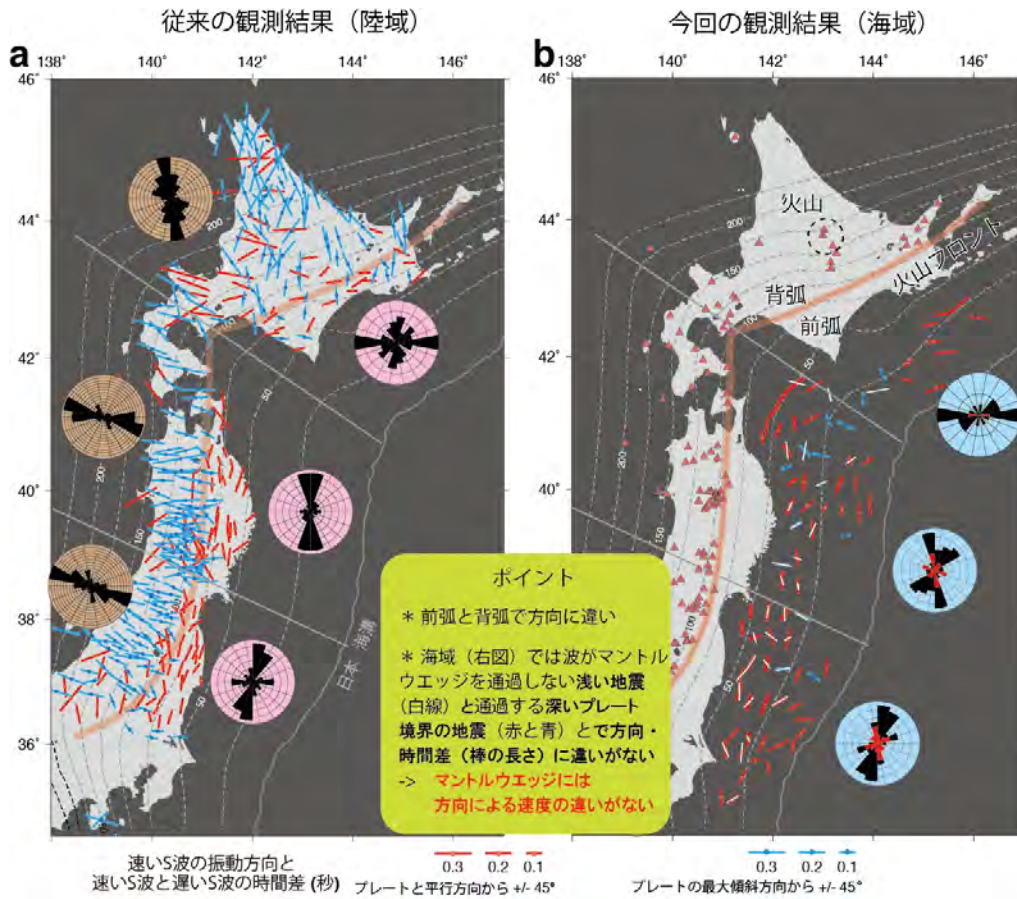


図6：従来の陸での観測（左）および今回の海域での観測（右）による速いS波の振動方向と速いS波と遅いS波の時間差。

棒の方向が速いS波の振動方向、棒の長さが時間差を観測点ごとに示す。棒の色は、速いS波の振動方向がプレートと平行方向に近い（赤色）かそれと直交方向に近い（青色）を示す。茶色、ピンク色、水色のグラフはそれぞれ背弧、前弧陸域、前弧海域での振動方向の頻度分布を示す。前弧海域（水色）のグラフ内の赤の棒は、波がマンテルウエッジを通過しない浅い地震の速いS波の振動方向を表す。

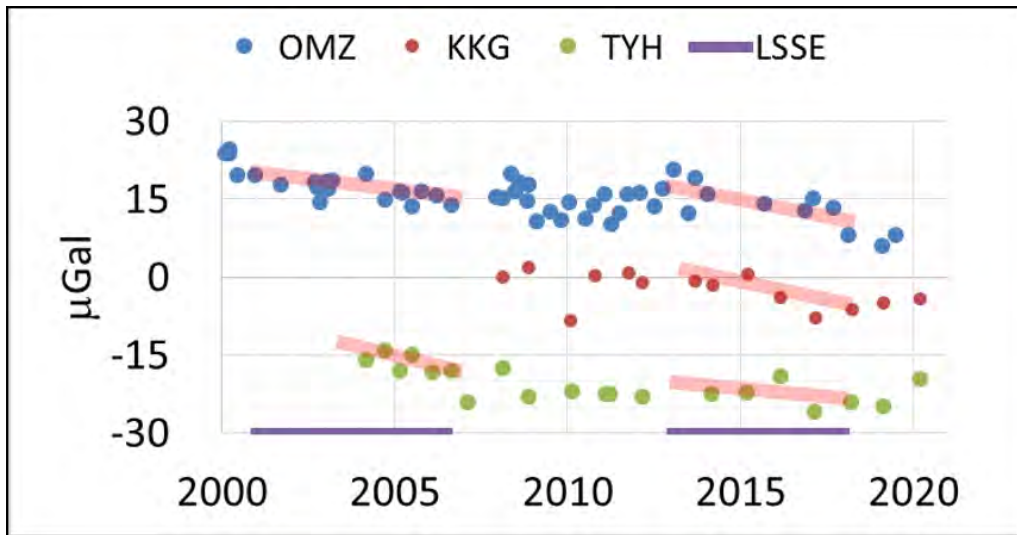


図 7: 東海地方で観測された重力異常。

縦軸は重力変化(  $\mu\text{Gal}$  は 10 億分の 1G )、横軸は時間で紫の線がスロースリップ発生期間を表す。御前崎 (OMZ)、菊川 (KKG)、豊橋 (TYH) の 3 観測点で、スロースリップ中に重力が減少している。近く上下変動による見かけの重力変化は取り除いてある。この重力変化は、弾性理論 ( Okada, 1992 ) から期待される変化より 1 桁以上大きく、スロースリップ域の流体が断層破砕帯を通過して浅い方へ流れたとすることで説明できる ( Tanaka et al., 2018 )。

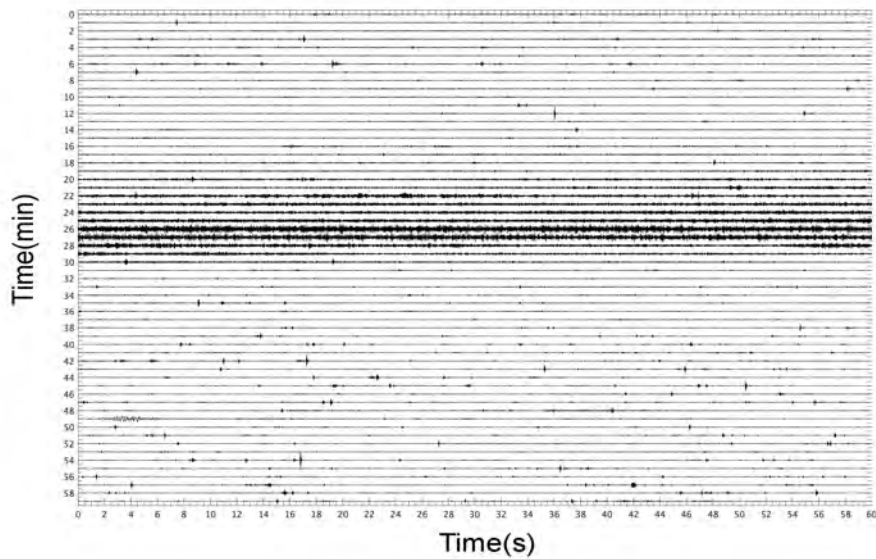


図 8: 2016 年 8 月 10 日 2 時から 3 時までの上下動成分連続波形記録。

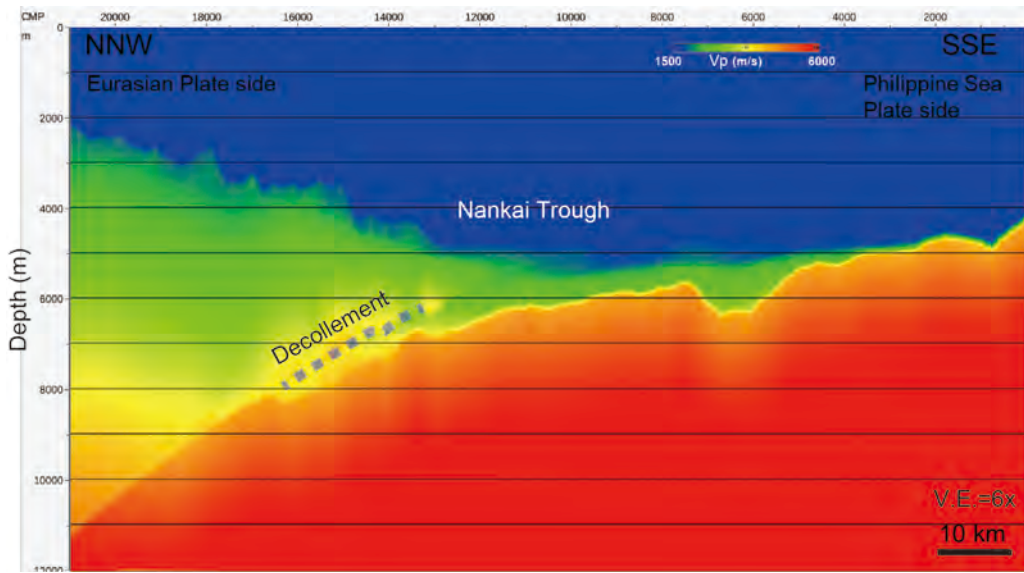


図 9: 紀伊半島潮岬沖南海トラフの MCS 測線 KI01 の暫定的な P 波速度構造モデル。  
 PSDM 処理によって P 波速度構造モデルを求めた。浅部デコルマは、灰色の点線で示されている。

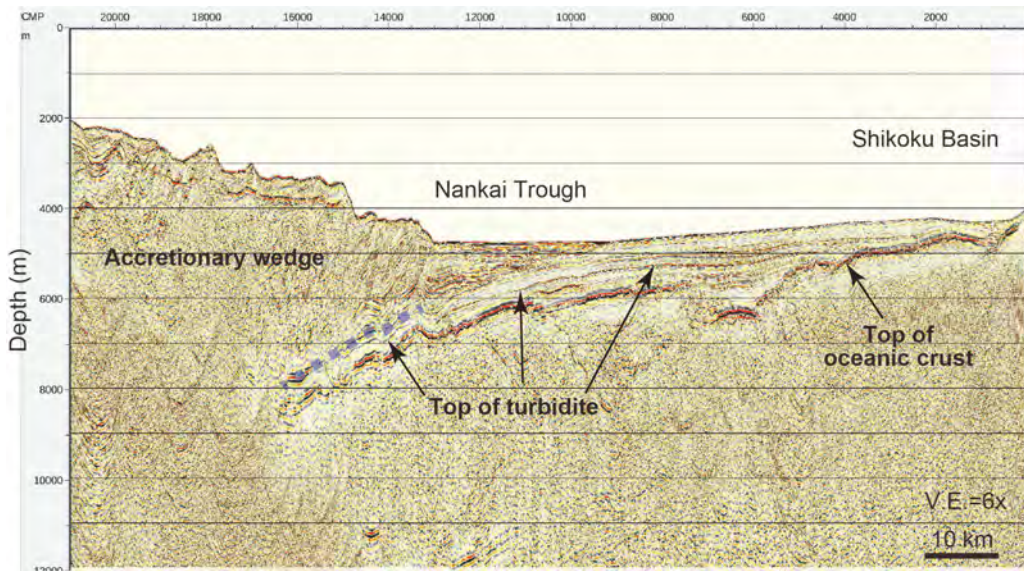


図 10: MCS 測線 KI01 の暫定的な PSDM 断面図。  
 浅部デコルマは、灰色の点線で示されている。

(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：

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、それらの発現が相関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づ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 2 年度の成果の概要 :

地震活動の特徴の地域性を理解することは、経験的な確率予測の有力な助けとなる。本年度は、日本海東縁で近接しておきた 1964 年新潟地震 (Mj7.5) と 2019 年山形地震 (Mj6.7) 周辺地域の地震活動に階層的時空間 ETAS モデルを適用し、背景地震活動度  $\mu$  (余震的トリガの影響を除いた、独立地震の発生レート) と余震生産性 K の空間分布のロバストな特徴を見つけ、地学的特徴との対応を検討した (図 1、Ueda et al., 2021)。 $\mu$  は東西短縮の歪み速度 (Menesses-Gutierrez and Sagiya, 2016) と正の相関をもち、両地震とも、新潟 - 神戸歪み集中帯の北部延長とされる速い東西短縮の地域でおきた東西圧縮の逆断層地震である。また、新潟地震の震源域は K が低く地震発生深度での P 波速度 (Matsubara et al., 2020) が高い。山形地震の震源域はこの逆である。岩石実験での微小破壊の活動を参考にすれば、山形地震の震源域のほうが地殻の損傷程度が高く、より延性的にふるまうのだと解釈できる。山形地震の震源域に新潟地震の破壊域が侵入しなかったのも、そのせいかもしれない。

このように、地震活動の地域性や速度構造を精度よく決めることの意義は今後ますます高まると思われる。地域の地震活動度の指標のひとつであるグーテンベルグ-リヒター則の a 値について、その最尤推定量と推定誤差の計算方法、統計学的根拠については、これを明示した文献が見あたらないので、解説論文にまとめた (岩田・尾形, 2020)。また、詳細な速度分布の値も示唆されたわけだが、最近よく使われるようになった速度推定手法である空間自己相関 (SPAC) 法を小さな観測アレーに適用する際の解析可能波長の上限が、アレーサイズに信号 SN 比の平方根を乗じたもの程度であることを示し、また表層減衰の推定に使える可能性も示した (長・岩田, 2020; Cho and Iwata, in press)。

上述の日本海東縁の例に限らず、地震活動を独立地震とトリガされた地震に分けて見ること (デクラスタ) は、今では地震活動解析の第一歩となっている。恣意的な基準を導入しないデクラスタ手法として、ETAS を応用した方法 (e.g., Zhuang et al., 2002) に加えて、リスケールされた時空間距離での最近接イベントとの距離に着目する Zaliapin and Ben-Zion (2013) の手法がよく使われるようになっている。本年度は、イタリア北東部の 1977-2018 年のカタログ (M2.0 まで完備、約 4000 イベント) に対し

て、この二つの方法でのデクラスタリング結果を比較した (Varini et al., 2020)。両者で検出されたクラスタ内部でのイベント間のリンクの仕方は (当然) 異っていたが、クラスタ分けの結果は各クラスタが含むイベントの構成を含めて非常によく一致していた。どちらの結果でも、地震の半分強は独立地震であり、その 8 分の 1 程度に、前震もしくは余震、あるいはその両方が伴った。非独立地震のうち 9 割弱は、クラスタ内の最大地震より後におきた余震、1 割強は前におきた前震であった。

いっぽう、断層面の幾何学的複雑さが地震破壊に与える影響も近年さまざまな事例で示唆されている。今年度、2000 年鳥取県西部地震 (Mj7.3) の破壊域 (水平方向 30km、鉛直方向 15km の鉛直な左横ずれ断層) を覆う地表に約 1km 間隔で面的に配置された地震計 1000 点のアレーで得た、2017-2018 年の 13ヶ月間の 100Hz 連続データを解析した (Kato et al., 2021)。得られたカタログは M-0.6 まで完備で、4033 個の微小地震 (最大で M2.6) の震源分布は、2000 年の地震直後の余震域全体にわたって、いまだ集中的な活動 (本震破壊面を描き出すような余震分布) が保たれていることを示しており (図 2a)、現代の技術による超高感度観測で超微小地震まで観測することで、昔の地震の破壊面の情報を得られる可能性がある。

圧倒的な観測点密度を利用して、必要な場合には数 m の相対精度で決定された震源は、長さ約 20km の主断層以外にも 5km (図 2a) から 30m (図 2b) までの様々な大きさの明瞭な鉛直板状の分布を示し、2000 年の地震では主断層と平行および共役な方向の横ずれ断層が、あらゆるスケールで動いたと考えられる。また、図 2b のような小さな面上でも活動の移動が観察され、その速度 (約 30m/日) からして流体移動が関与が推察される。

この観測では P 波速度のトモグラフィーも 0.5km という圧倒的な空間分解能が達成された (図 2c)。2000 年地震の破壊開始点から走向に沿って約 6km 北に明瞭な速度境界があり、それより南東の高速域では震源が主断層に集中しているのに対して、北西の低速域でははっきりした主断層がなく、多数の共役面を含む複雑な分布をしている。2000 年の地震で大きな滑りがあったのは南東側の高速域で、北西側の低速域は連続性のよい長い断層がない未熟な剪断帯の段階と考えられる。

このように地震活動や地殻物性のマルチスケールな不均質性が解明されると、地震活動を支配する物理メカニズムの理解を通じて新たな予測手法につながると期待される。今年度は、1 自由度の固着 - 滑りシミュレーションで作成したデータを用いて訓練したランダムフォレストモデルを、サイクルが繰返すにつれて固着 - 滑りの大きさや間隔が徐々に変わっていった Urata et al. (2018) の摩擦実験の剪断応力、変位の時系列データに適用し、レート・ステート摩擦 (RSF) 特性の変化を求めることに成功した (石山ら, 2020, 地震学会)。

上述の 2000 年鳥取県西部地震でもそうであったが、やはり内陸地震である 1976 年唐山地震 (M7.8) の破壊域でもいまだに地震活動が見られ、最近では 2019 年 12 月 5 日に豊南地区で M4.5 が起きている。余震継続期間は地域のテクトニック載荷レートに反比例するという、RSF に基く余震の物理モデル (Dieterich, 1994; Toda and Stein, 2018) からは、唐山の余震は 100 年以上続くと考えられる (e.g., Zhong and Shi, 2012)。そこで今年度、唐山地震震源域を含む約 300km 四方程度の領域について、1970 年から 2019 年 12 月 5 日までの地震活動を有限断層 ETAS モデル (Guo et al., 2017, 2019) を用いて解析した (Liu et al., 2020)。その結果、現在の地震活動は、独立地震と過去の地震の余震がほぼ半々な、余震期と通常期の境目の状態であると考えられる。また、現在の独立地震の活動度は、唐山地震前の数年間におけるレベルより明らかに低くなっており、これは単に余震期が終わったということでは説明できず、唐山地震後はテクトニック載荷レートが下がったと考えられる。

階層的時空間 ETAS による短期的確率の準リアルタイム予測システムの開発を継続した。今年度は、種々の情報を重ねあわせて対話的に表示するマッピングツールを使いやすくするため、GIS ソフトウェアを用いたものを試作した。また、2020 年 11 月 6-7 日に青森県沖で M5.5 と M5.2 の地震が近接しておきたため、昨年度開発した計算・マッピングツール (井筒ら, 2019) を用いて、前震識別の方法として提案されている短期的な空間集中化指標の推移を見守った。この 2 つの地震によって集中化スコアは上がり、2020 年 12 月 31 日時点でも高止まりしているが、これはその後の地震活動が低調であったために値が更新されないだけである。また、この地震から 150km ほど南西で 12 月 12 日に M5.6、50km

ほど西で 12 月 21 日に M6.5 の地震がおきたが、それらに先立つ地震活動の集中化はなく、12 月 21 日の地震はむしろ活動の分散化傾向がみられる場所で起きたものであった。

Maeda(1996)の前震識別法(以後 M 法)は、数十キロ四方内に一定規模( $M_{f0}$ )以上の地震数個( $N_f$ )が数日( $T_f$ )以内に起きた場合に、そのあと数日( $T_a$ )以内に、予測のターゲットとする大きな( $M_{m0}$ 以上)地震がおきるというアラームを立てる、時空間の絞り込みの強い予測手法であり、伊豆諸島、長野県北中部、岩手・宮城県沖、茨城県沖の 4 地域では 300-1600 という高い確率ゲインを示すことが知られている(前田・弘瀬, 2016)。しかし、地震活動の活発化を先行現象とみなすこのような手法は、本震が前震の余震としておきたものを捉えているだけ(Helmstetter et al., 2003; Felzer et al., 2015)なのか、本震につながる特別な物理過程によるもの(e.g., Kamogawa et al., 2019, Lippiello et al., 2012, 2019)なのか分からない(Nakatani, 2020)。そこで、ETAS モデルによって作製した人工的なカタログ(つまり、独立地震のランダムな発生と余震的トリガ効果だけで起きる地震活動)に対して M 法を適用して、実カタログに適用した場合との予測成績を比較した。昨年度は伊豆諸島地域でのみ予察的な解析を行った(弘瀬ら, 2019, JpGU; 前田ら, 2020)が、本年度は M 法が特によい成績を示す伊豆諸島、長野県北中部、岩手・宮城県沖、茨城県沖の 4 地域で解析を行った(弘瀬ら, 2020a, JpGU-AGU; Hirose et al., submitted)。成績の比較表を図 3 に示すが、いずれの地域でも実カタログに対しての方が成績がよく(確率ゲインで 1.16-5.64 倍高い)、M 法は、余震トリガ効果に助けられている面はあるにせよ、それだけではない、物理的な前震ならではの特徴を利用できていると言える。実際、各地域で予測ターゲットとした地震の前の地震活動を比べてみると、ETAS カタログと実カタログでは明らかに時間的推移の特徴が異なっている(図 4)。

そこで、どのような物理過程が M 法の拾い上げる特徴的な前震を産み出しているかを検討するために、それぞれの地域で既知の地震テクトニクス情報と M 法による予測の成績を比較した(弘瀬ら, 2020b, 地震学会; Hirose et al., submitted)。

プレート境界である岩手・宮城県沖および茨城県沖で M 法が成功するのは、VLF(超低周波地震)や微動のみられる地域に隣接する、背景地震の群発活動(Nishikawa et al., 2019)が見られる地域であり(図 5a, b)、SSE による地震活動が M 法で前震として捉えられている可能性がある。また、M 法が成功するのは、そのような背景地震の群発活動のなかでも、プレート境界直上の低速度異常域の縁の部分である(図 5c)。さらに、岩手県沖(図 6 の領域 N)に関しては、ターゲット地震もアラームも、大部分は Uchida et al.(2016)が見つけた 3.09 年周期のプレート間滑り速度の増減リズムにおいて、ゆっくり滑りが速い時期に発生しており、予測が成功したのは全てがそのような時期であった。したがって、SSE に引き起こされる群発活動が前震として拾い上げられていると推察される。

いっぽう地殻内地震では、流体活動に関連する群発活動を前震として捉えていると推察される。長野県北中部で M 法が成功するのは、新潟 - 神戸歪み集中帯および糸魚川 - 静岡構造線である(図 7a, b)。ただし、図中 C の地震は M 法に予知されたことになっているが、2011 年東北沖地震の 13 時間後で、また、適中アラームとなった地震ともやや離れているので、前震 - 本震の関係ではなく、どちらも極度に頻発していた誘発群発活動の一環ということにすぎない可能性が高い。そうすると、M 法が成功するのは新潟焼岳以西ということになり、ここは流体(部分溶融)やマグマ活動によると思われる低速度異常が地殻から上部マントルまでひろがっている(Nakajima and Hasegawa, 2007)地域である。伊豆諸島に関しては、活動的な火山列からなる七島・硫黄島海嶺に沿ってほぼ満遍なく M 法が成功している(図 7c, d)。なかでも、マグマ貫入に伴う地殻変動と群発地震の対応がよい(e.g., Kumazawa et al., 2016)ことで有名な伊豆半島東部は、予知率 12/13、適中率 5/6 と抜群の成績であり、M 法はマグマ活動にともなう群発地震を前兆としてとらえていると推察される。また、例外的に成績が悪い(空振りアラームのみが 27 個もある)新島付近は、流紋岩質である、中部地殻が薄いなど、伊豆諸島の中では特異な地質をもつことも注目される。

上述の M 法においてもそうであったが、経験的な先行現象の研究では、余震的トリガリング(ETAS)効果から数百倍程度の確率ゲイン、本震につながる特別な物理過程から産み出されたと思われる異常現象から数倍の確率ゲインが得られることが多い(Nakatani, 2020)。これは、かつて地震予知の本筋と期

待された、壊れ始めをとらえることによる決定論的な前兆に期待された姿からはほど遠い(中谷, 2020a, 地震研究所公開講義)が、これは、一旦開始した地震破壊がどこまで成長するかが確率的なプロセスであるせいだと考えられている(e.g., Ide and Aochi, 2005; Noda et al., 2013; 中谷, 2020b, 予知連)。今年度、確率的な地震破壊成長の抽象的微小モデルである分岐クラックモデル(図 8a、Vere-Jones, 1977)に臨界ゾーンという概念を導入して、このような地震の可予測性の経験的特徴を整理する枠組みを提案した(Zhuang et al., 2021)。このモデルは、一つの微小クラックの破壊がある確率で次世代における隣接の微小クラックの破壊をトリガするということを繰り返す確率過程で、一つのクラックがトリガするクラックの数の期待値(臨界度)が1未満なら破壊のカスケードは速やかに終息、1なら必ず終息するけれども寿命が長くなる。このモデルによる地震のサイズ分布は図 8b のようになり、 $<1$  では、システムサイズとは無関係に地震サイズに上限がある。モデルの破壊単位(微小クラック)を岩石破壊の AE 程度と仮定すれば、 $<1$  における上限サイズは M-2.5 となり、一般的な観測下限より小さい範囲に留まる。すなわち、通常の観測で捉えられている地震は、基本的に  $=1$  のゾーン(臨界ゾーン)でしか発生せず、現在可能な地震の最大サイズは連続的な臨界ゾーンのサイズと考えられる。臨界ゾーンでおきる地震の破壊の成長は複雑(図 8c)で、個々の地震のサイズを決定論的に予測できないことには変わりはないが、臨界ゾーンの検出によって、地震発生の必要条件が整っている時空間を同定できれば、確率ゲインが上乘せできるはずである。物理的には  $\beta$  が下から 1 に迫ると強度余裕が上からゼロに迫ることに対応するだろう。

この見地からは、先行異常は決定論的な震源核のように破壊開始点付近に限定されず、臨界ゾーン全体でみられると考えられる。このことは、経験的に提案されている低確率ゲインの先行現象(モーメント放出加速(Bowman et al., 1998)、 $b$  値の低下(Nanjo et al., 2012)、地球潮汐による載荷/除荷時の地震活動変化の比(Yin et al., 2006)、重力変化(Chen et al., 2016)、電磁気変化(e.g., Han et al., 2017; Zhuang et al., 2013)、GPS 変位異常(Wang et al., 2013)など)が広範囲に観測されることと調和的である。とくに  $b$  値については図 8b で上限サイズより小さい直線部分の  $b$  値( $=0.75$ )が自然地震での  $b=1$  より小さいことに注意すれば、先行現象としての  $b$  値の低下は、 $\beta$  が 1 に迫るときに上限サイズが増加して、 $b=0.75$  の部分が観測にかかるようになったと解釈できる。また、この上限マグニチュードの上昇は、ETAS の背景地震発生レートやクラスタリングの強さの時間の上昇としても捉えられるはずである。間接的ではあるが、Mignan(2014)は、M-3 くらいまで活動を見れた場合には、定常 ETAS から外れる前震が見つかる傾向があると指摘している。

上述のクリティカルゾーンに関連する先行現象の候補の中でも、 $b$  値の低下は多数の事例が報告されている。本年度、この現象についてのレビューを行った(楠城, 2020a, 予知連)。また、M6.4 地震の 34 時間後に M7.1 地震(7月5日)がおきた 2019 年のリッジレスト地震に関して、詳細な地震活動の解析を行なった(図 9、Nanjo, 2020a, 2020b, JpGU, 2020c, AGU; 楠城, 2020b)。まず M6.4 地震の前 10 年間にはこの地震の震源の周囲 10km に集中した  $b$  値の顕著な低下が認められた。M6.4 の地震は共役な二つの断層が滑ったものであり、そのうちのひとつで M7.1 が起きた。M6.4 の余震活動は両方の断層で見られたが、M7.1 の起きる方の断層の M6.4 の震源から M7.1 の震源までの間 5km に限定して顕著な低  $b$  値が見られた。この部分では余震活動の減衰が悪く(大森 - 宇津則の  $p$  値が低い)、また、M6.4 の地震によってクーロン破壊応力が顕著に増したはずである。観察された  $b$  値の低下は、期待通り応力の増加を捉えたのだろう。さらに、短期的前震の特徴であると指摘されている Lippiello et al. (2012) の空間集中化傾向がこの領域に限定して見られることも確認された。M6.4 地震以降の 34 時間にこの領域の損傷が急激に進んだという、物理的な意味での前震活動であった可能性が示唆される。

おおむね(7)に沿って進捗した。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
長 郁夫・岩田貴樹, 2020, SPAC 法の解析可能最大波長と SN 比の関係式, 日本地震学会秋季大会, S15P-18, 10月29-31日, オンライン.

Cho, I. and T. Iwata, in press, Limits and benefits of the spatial autocorrelation microtremor array method due

- to the incoherent noise, with special reference to the analysis of long wavelength ranges, *J. Geophys. Res.*, 126, 2020JB019850, doi:10.1029/2020JB019850.
- Hirose, F., K. Tamaribuchi, and K. Maeda, submitted, Does a stationary ETAS model dream of foreshocks?, Application of an earthquake forecasting method based on swarm-like activity to synthetic catalogs produced by ETAS models.
- 弘瀬冬樹・溜淵功史・前田憲二, 2020a, 自然地震カタログと時空間 ETAS カタログに内在する前震活動の特徴の違い: 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測モデルを用いた検証, JpGU-AGU joint meeting, SSS13-03, 7月12-16日, オンライン.
- 弘瀬冬樹・溜淵功史・前田憲二, 2020b, ETAS モデルは前震の夢を見るか?: 群発的地震活動に基づく地震予測手法を用いた検証, 日本地震学会秋季大会, S09P-08, 10月31日, オンライン.
- 石山 諒・福山英一・B. Enescu, 2020, Temporally variable estimation of friction parameters using machine learning, 日本地震学会秋季大会, S08-21, 10月31日, オンライン.
- 岩田貴樹・尾形良彦, 2020, Gutenberg-Richter 則における  $a$  値の最尤推定, *地震*, 73, 93-96, doi:10.4294/zisin.2020-1.
- Kato, A., S. Sakai, S. Matsumoto, and Y. Iio, 2021, Conjugate faulting and structural complexity on the young fault system associated with the 2000 Tottori earthquake, *Communications Earth & Environment*, doi: 10.1038/s43247-020-00086-3.
- 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?. *Seismol. Res. Lett.*, XX, published online, doi: 10.1785/0220200179.
- 前田憲二・弘瀬冬樹・溜淵功史, 2020, 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法(5):最近の活動事例による検証と ETAS モデルとの比較, *地震予知連絡会会報*, 103, 356-360.
- Nakatani, M., 2020, Evaluation of phenomena preceding earthquakes and earthquake predictability, *J. Disaster Res.* vol.15, No.2, 112-143.
- 中谷正生, 2020a, あんた、地震の何なのさ? - 短期前兆のメタ理論と予知の可能性, 東京大学地震研究所公開講義, 9月21日, オンライン.
- 中谷正生, 2020b, 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, 第229回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行」(07), 11月26日, オンライン.
- 中谷正生, 2020c, 地震に先行する現象の評価: 災害情報への利用可能性, *地震・火山噴火予測研究のサイエンスカフェ*第3回, 6月24日, オンライン.
- Nanjo, K. Z., 2020a, Were changes in stress state responsible for the 2019 Ridgecrest, California, earthquakes?, *Nature Communications*, 11:3082, DOI:10.1038/s41467-020-16867-5.
- Nanjo, K. Z., 2020b, Changes in stress state associated with the 2019 Ridgecrest, California, earthquakes, JpGU-AGU Joint Meeting, SSS08-06, 12-16 July 2020, online.
- Nanjo, K., 2020c, Changes in stress state and seismicity pattern responsible for the 2019 Ridgecrest, California, earthquakes, AGU fall meeting, S029-0007, 10 December, online.
- Nanjo, K. Z., 2020d, Capability of Tokai strainmeter network to detect and locate a slow slip: First results, *Pure and Applied Geophysics*, 177, 2701-2718, DOI: 10.1007/s00024-019-02367-1.
- 楠城一嘉, 2020a,  $b$  値にもとづく大地震発生予測のモデルのレビュー, 第229回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行」(07), 11月26日, オンライン.
- 楠城一嘉, 2020b, 小さな地震が大地震を探るカギ? カリフォルニアの直下型大地震の解析から異常をとらえ、防災につなげる, *academist journal*, <https://academist-cf.com/journal/?p=14310>.
- 野村俊一・尾形良彦 (2020) 多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価, *地震予知連絡会会報*, 103, 361-366.
- Ueda, T., A. Kato, Y. Ogata, and L. Yamaya, 2021, Spatial variations in seismicity characteristics in and around the source region of the 2019 Yamagata-Oki Earthquake, Japan, *Earth, Planets and Space*, 73:40,

doi:10.1186/s40623-020-01325-9.

Varini, E., A. Peresan., and J. Zhuang, 2020, Topological comparison between the stochastic and the nearest-neighbour earthquake declustering methods through network analysis. *J. Geophys. Res.*, 125: e2020JB019718, doi:10.1029/2020JB019718.

Zhuang, J., M. Matsu'ura, and P. Han., 2021, Critical zone of the branching crack model for earthquakes: Inherent randomness, earthquake predictability, and precursor modelling. *European Physical Journal Special Topics*. 230: 409-424. in "The Global Earthquake Forecasting System: Towards Using Non-seismic Precursors for the Prediction of Large Earthquakes" (Eds. F. Freund, A. Mignan, G. Ouillon, and D. Sornette), doi:10.1140/epjst/e2020-000272-7.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

CSEP の各モデルによる系統的な予測実験を継続する。ETAS モデルで短期的な地震発生確率を予測しマッピングする準リアルタイムシステムを完成する。各種地震活動解析ツールのウェブインターフェイスを作る。ETAS モデルの高度化および物理的基礎付けを進めると同時に、ETAS 効果では説明できない前震活動を表現できる統計モデルを検討する。前震活動の詳細を調べるため、稠密ネットワークデータ等からの地震検出の下限を下げた超高品質の地震カタログを作製する。b 値低下、静穏化の先行現象としての有意性評価の結果を論文化する。外部擾乱による地震トリガ現象の調査を進める。

( 11 ) 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 (中谷正生、鶴岡 弘、加藤愛太郎、福田淳一、中川茂樹)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 ( 勝俣 啓 )

京都大学防災研究所 (片尾 浩、直井 誠)

京都大学大学院理学研究科 (Enescu Bogdan)

東海大学 (長尾年恭)

東京学芸大学 (織原義明)

静岡県立大学 (楠城一嘉)

県立広島大学 ( 岩田貴樹 )

中部大学 (井筒 潤)

気象研究所 (弘瀬冬樹)

統計数理研究所 ( Zhuang Jiancang、野村俊一 )

地震予知総合研究振興会 (石辺岳男)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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

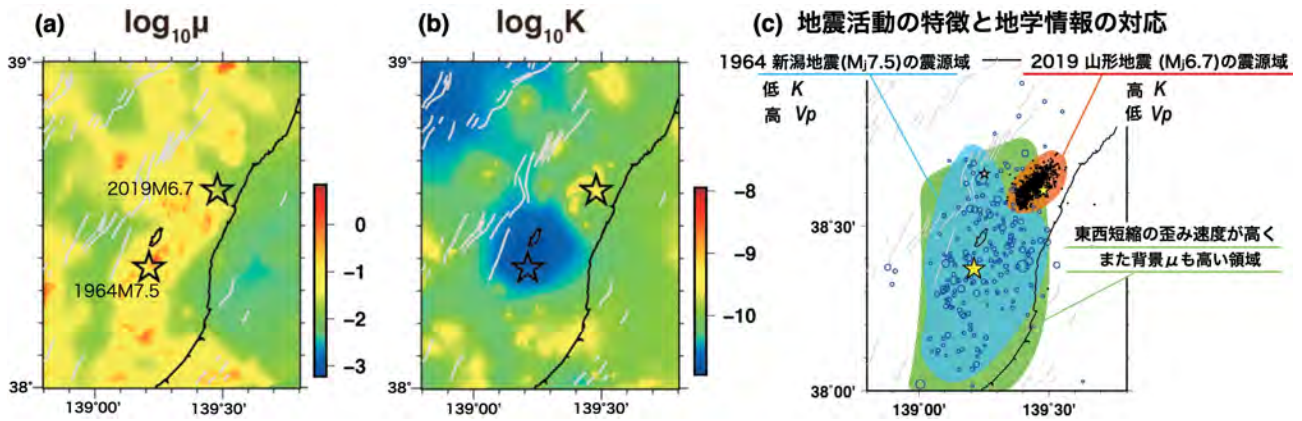


図 1. 日本海東縁地域の時空間 ETAS パラメタの空間分布と歪み速度、P 波速度の比較 (Ueda et al., 2021 を改変)  
 (a) 独立地震発生レート  $\mu$  の空間分布。(b) 余震生産性  $K$  の空間分布。(c) 東西短縮速度および P 波速度の空間分布との比較。

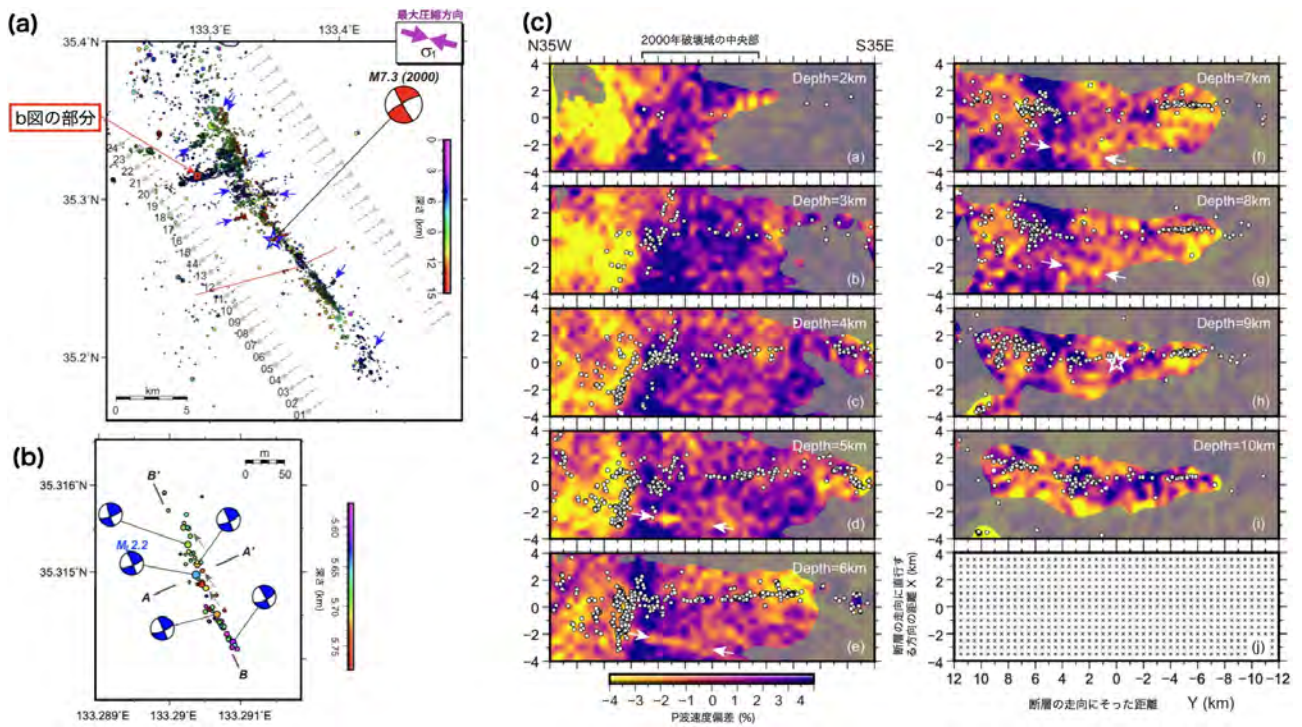


図 2. 2000 年鳥取県西部地震の震源で 2017 年 4 月から 2018 年 4 月まで 13 ヶ月運用された 1000 点の超稠密アレーによる観測結果 (Kato et al., 2021 を改変)  
 (a) 震源分布。青い矢印は、本震断層に共役な走向をもつ鉛直な板状クラスタ。(b) a 図の一部の拡大。点線矢印の走向をもつ 30m 程度の鉛直板状クラスタが雁行配列している。これらの地震は、2017 年 12 月の M<sub>2.2</sub> の地震の余震活動 2 日間ほどと、5 日後から 4 日間続いた群発的活動としておきた。(c) P 波速度のトモグラフィー結果。白丸は気象庁が震源決定した 2000 年鳥取県西部地震 (白星) の余震。

適用対象	期間	M法のパラメタ					予知率		適中率		ゲイン
		$M_{p0}$	$T_f$ (日)	$N_f$	$T_a$ (日)	$M_{m0}$	%	対象地震数	%	アラーム数	
岩手・宮城県沖 (実カタログ)	1961-2010	5.0	9	3	4	6.0	33.3	24	24.4	41	340.5
岩手・宮城県沖 (ETASカタログ)	1961-2010	5.0	1	2	2	6.0	9.1	20	8.3	25	292.7
茨城県沖 (実カタログ)	1961-2010	5.0	3	2	1	6.0	66.7	6	30.8	13	1567.5
茨城県沖 (ETASカタログ)	1961-2010	5.0	1	2	1	6.0	14.3	8	15.4	8	446.5
長野県北中部 (実カタログ)	1998-2019	2.0	1	5	5	5.0	40.0	15	9.6	73	439.9
長野県北中部 (ETASカタログ)	1998-2019	2.0	4	2	4	5.0	29.6	26	0.7	1299	78.0
伊豆諸島 (実カタログ)	1977-2019	3.0	1	2	4	5.0	72.3	65	20.1	314	338.0
伊豆諸島 (ETASカタログ)	1977-2019	3.0	1	2	2	5.0	68.4	128	9.0	1331	133.4

図 3. M 法 (Maeda, 1996) 前震識別を実カタログと ETAS による合成カタログに適用した場合の成績の比較 (Hirose et al., submitted より改変)

ETAS シミュレーションによる合成カタログは各地域で 1000 試行作成し、1000 試行のそれぞれに対して M 法のパラメタを最適化したので、ETAS カタログでの最適パラメタと成績は、1000 試行の中央値を示した。また、適中したアラームの数と予知できたターゲット地震の数が必ずしも一致しないのは 1 つのアラームで複数個のターゲット地震が予知できた場合があるからである。

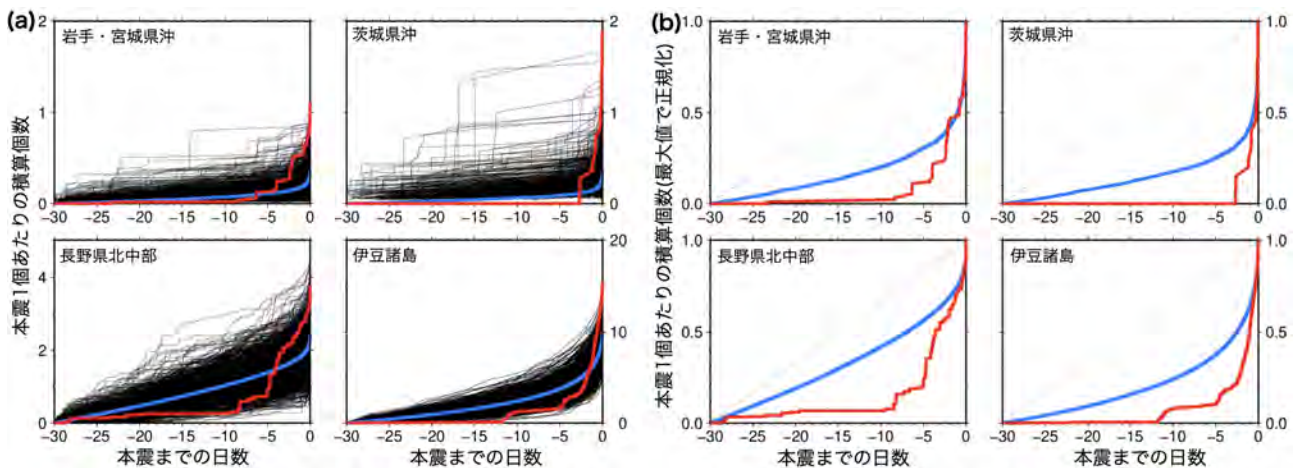


図 4. 前震活動の時間推移 (Hirose et al., submitted より改変)

赤線は実カタログ、黒細線は ETAS シミュレーションによる合成カタログ (1000 試行)、青線は ETAS カタログの平均。いずれのカタログでも、M 法の成否にかかわらずそこに含まれる全てのターゲット地震前 30 日間の活動をスタックして、ターゲット地震 1 個あたりの個数になおして示した。(b) では、前震活動の時間的特徴が比較しやすいよう縦軸を正規化して示した。実カタログでは地震前数日に強く集中していることがわかる。



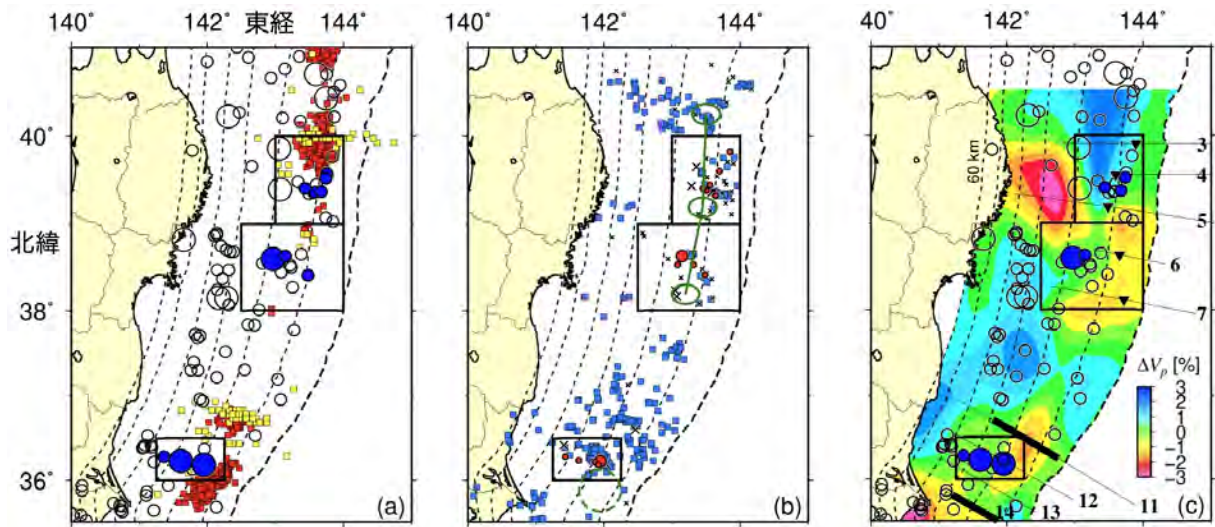


図 5. 日本海溝地域の地震テクトクスと M 法予測の当たり外れ (Hirose et al., submitted より改変)  
 点線は太平洋プレート上面の等深線 (10km 間隔)。(a),(c) 青丸: 予知された対象地震。白丸: 見逃がした対象地震。(b) 赤丸: 適中アラームとなった地震。x 印: 空振りアラームとなった地震。なお、(a,b) では岩手・宮城県沖に、(c) では茨城県沖に最適化した M 法のパラメタを日本海溝域全てに適用したので予測結果が微妙に異っている。地震テクトクス情報としては、(a) には Nishikawa et al.(2019) による継続時間 80 秒以上の微動 (赤四角) と VLF(黄四角) を、(b) には Nishikawa et al.(2019) による背景地震の群発活動 (青四角) を、(c) には Hua et al.(2020) による太平洋プレート上面での P 波速度偏差を示した。

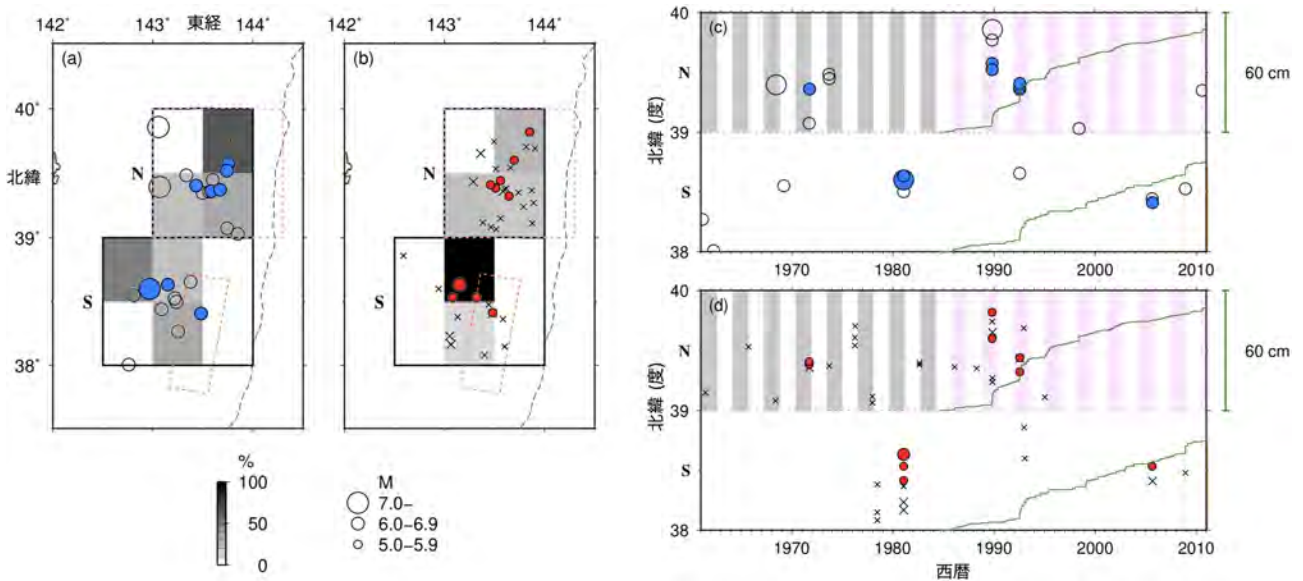


図 6. 岩手県沖 (領域 N) と宮城県沖 (領域 S) での M 法予測の当たり外れとスロースリップの周期性 (Hirose et al., submitted より改変)  
 青丸、白丸、赤丸、x 印の意味は図 5 と同じ。(a) のグレースケールは予知率。(b) のグレースケールは適中率。(a, b) のピンク破線は Uchida et al.(2016) が 3.09 年周期のスロースリップの加減速をみつけた領域。オレンジ破線は、Ito et al.(2013) が SSE を見つけた領域。(c, d) のストライプは Uchida et al. (2016) の 3.09 年周期のスロースリップのリズムでの速期。ただし 1984.5 年以前はそれ以降のリズムを外挿した。(c, d) の緑線は、繰り返し地震から推定した領域 N、領域 S それぞれでの累積すべり量。オレンジの縦線は Ito et al.(2013) の見つけた SSE の時期。

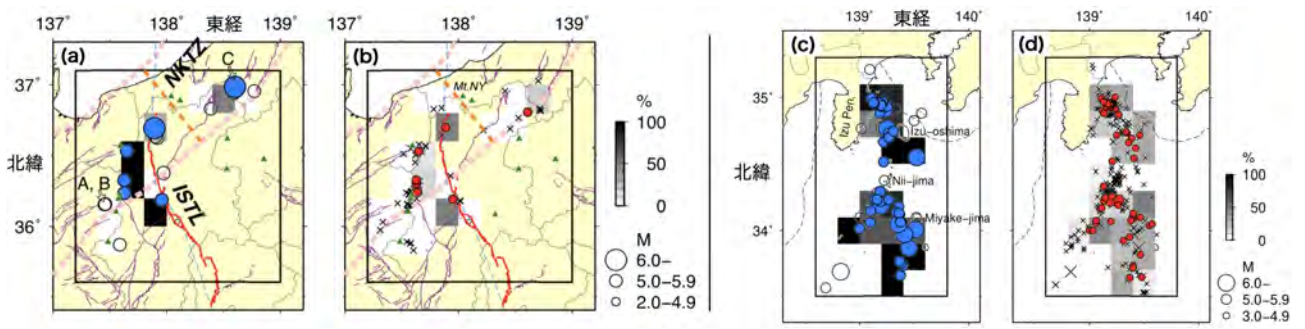


図 7. 長野県北中部と伊豆諸島における M 法予測の当たり外れ (Hirose et al., submitted より改変)  
 青丸、白丸、赤丸、x 印の意味は図 5 と同じ。(a) 長野県北中部の予知率。(b) 長野県北中部の適中率。(a, b) 青い破線はアムールプレートとオホーツクプレートの境界 (Bird, 2003)。二本の平行なピンク破線の間が新潟 - 神戸歪み集中帯 (NKTZ)。オレンジ破線は、地殻速度偏差 (Nakajima and Hasegawa, 2007) に見られる境界。赤い線分たちは糸魚川 - 静岡構造線 (ISTL)。三角印は活火山。Mt. NY は新潟焼岳。(c) 伊豆諸島の予知率。(d) 伊豆諸島の適中率。

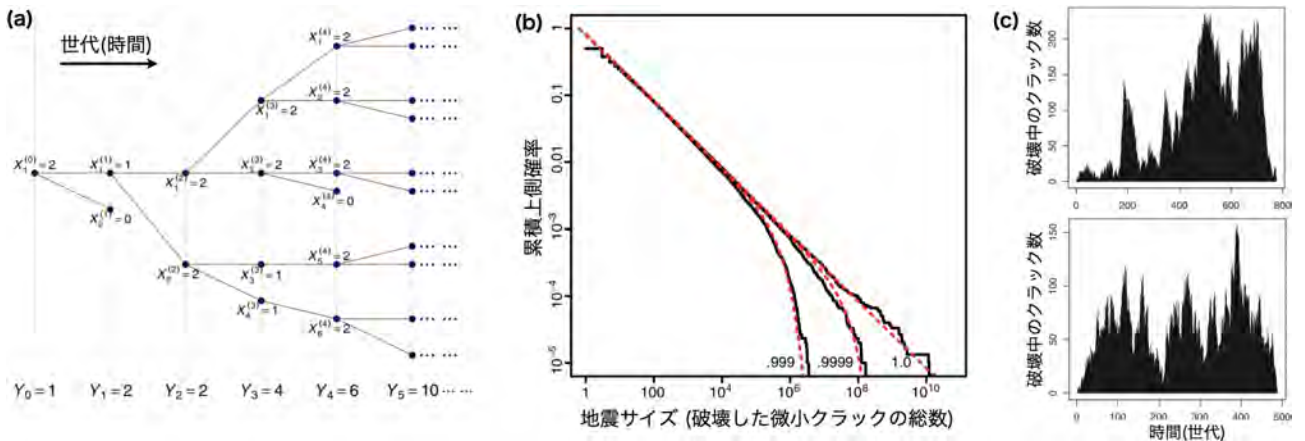


図 8. 分岐クラックモデルとその振舞 (Zhuang et al., 2021 より改変)  
 (a) 分岐クラックモデルの時間発展の様子。第  $n+1$  世代に破壊する微小クラックの数  $Y_{n+1}$  は、第  $n$  世代の各クラック  $X^{(n)}_j$  に直接トリガされたクラックの総数である。(b)  $\alpha$  が 0.999, 0.9999, 1 の場合のサイズ頻度分布。赤破線は打ち切り Pareto ( $\alpha < 1$  の場合) もしくは Pareto ( $\alpha = 1$  の場合) 関数による漸近線。(c)  $\alpha = 1$  の二分岐モデルで起きた大地震 2 例の震源時間関数。一旦終息しかけてから、それ以前にも増して大きなモーメントレートが出るような不規則性は分岐クラックモデルの本質的なランダム性の顕れである。

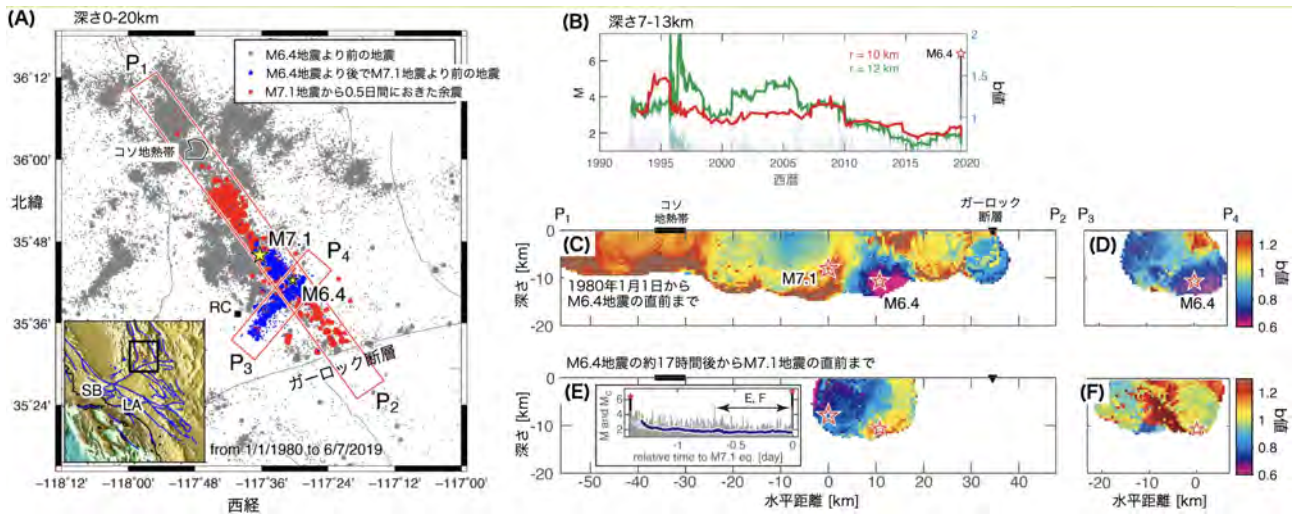


図 9. 2019 年リッジレスト地震に至る期間の地震活動 (Nanjo, 2020a より改変)  
 (A)1980 年以降の地震活動の分布。(B)M6.4 地震までの震源周辺の  $b$  値の推移。灰色は MT ダイアグラム。(C, D)M6.4 地震までの  $b$  値の分布の鉛直断面投影図。(E, F) M6.4 地震から M7.1 地震までの期間の  $b$  値の分布の鉛直断面投影図。ただし、M6.4 地震直後のデータは信頼性が落ちるため、後半のみで  $b$  値を計算した。

(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か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2年度の成果の概要：

##### 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

###### 1) 太平洋プレート・スラブ内の短波長不均質構造の推定

海溝型地震と深発地震の強震動予測を進めるために、高周波数地震波を遠地に伝える海洋プレート内の不均質構造の理解が重要である。これは、スラブ内地震の発生メカニズムやプレート運動・成長過程の理解のための基礎にも繋がる。

太平洋プレート内部には、海嶺でのプレートの生成と成長過程において、水平方向の相関距離が数キロメートル、鉛直方向が0.5 km程度の短波長不均質構造が、互層構造（ラミナ構造）を成して発達していることが知られている。高周波数（ $>1-2$  Hz）地震波が強い前方多重散乱を起こしラミナに沿って伝播することで、海域で観測されるPn/Sn波（Po/So波）は高周波数に富んだ長いコーダを有する特徴的な波群を示す。

北西太平洋のWPAC海底地震観測点（41N, 160E）の波形データを調べたところ、観測されたPo/So波形に強い伝播方位性が確認された。観測点から北東方向に位置する千島～カムチャッカ海溝の地震はPo波はパルス状の立ち上がりを示し、南西方向に位置する東北沖の地震ではPoの立ち上がりが鈍く紡錘状の長いコーダを持ち、かつ距離減衰が小さい特徴が確認できた（図1、Furumura and Kennett, 2021）。このことから、海洋プレート内の短波長不均質構造の方位分布の存在が示唆された。この方位は、北西太平洋で報告されているPn/Sn伝播速度の異方性の方向と一致することから、速度異方性と同様に、太平洋プレートの生成・成長過程で生成したことが考えられる。

地震波伝播の3次元差分法シミュレーションに基づいて、観測されたPo伝播の方位性を説明する短波長不均質構造の空間分布特性をを検討した。観測波形と計算結果の比較から、短波長不均質構造はN45E方向に長軸（相関距離20 km）を持ち、これに直行する方向（N135E）に短軸を持つマルチスケール（相関距離0.25 kmと2 km）な不均質構造により良く説明できることが確認できた（図2）。これらスケールの異なる不均質構造は、海洋プレートがアセノスフェア上を移動して成長する過程で溶融物がプレート下部に付着することで生成するものと、中央海嶺でのプレート生成時の断層痕跡によるものと解釈できる。

不均質構造の長軸方向に沿う方向では、Po/So波が強い前方多重散乱による導波により、観測に見られる紡錘状の長いコーダを形成する。一方、不均質構造の分布に直交する方位のPo/Soでは、散乱が弱く、パルス状のPo/So波形が保たれると説明できる。

###### 2) 太平洋プレート内の短波長不均質構造分布と異常震域

上記で確認された、海洋プレート内の短波長不均質構造（ラミナ）とその方位分布は、深発地震の異常震域の形成に大きく影響することが考えられる。

2003年10月24日に京都府沖で発生した深発地震（Mw6.8、深さ384 km）では、最大震度4が震央から1000 km以上離れた帯広市で観測され、北海道から関東にかけての太平洋岸の広い範囲が有感となった（図3 a）。この地震による強い異常震域の成因とスラブ内の不均質構造の関係を調べるために、地震波伝播の3次元差分法シミュレーションを実施した。前述した短波長不均質構造の分布特性をもとに、太平洋スラブのモデルを設定（Model B）し、0.1875 kmの格子間隔で離散化した差分法計算

により、周波数 4.6 Hz までの地震波伝播を評価した。比較のために、太平洋用スラブ内の不均質分布が 90 度異なる別のモデル ( Model B ) も実施した。結果、Model A では短波長不均質構造の並びに沿って高周波数地震波の導波効果が強化されることが確認された ( 図 3 b )。新しいモデルにより、北海道において地動震幅が 2 倍以上増大し、そして継続時間の長い波群が得られるなど、観測波形の特徴を良く説明できることが確認された ( 古村・Kennett, 2020 )。

## 2 . 広帯域強震動シミュレーションコードの整備・公開

昨年度に継続して、3次元差分法に基づく地震波伝播シミュレーションのオープンコード ( OpenSWPC; Maeda et al., 2017 ) を、利用者コミュニティからの意見や機能追加に関するフィードバックを受けて、デバッグ、改良、機能拡張を進め、2020年8月13日に Ver. 5.10 を GitHub に公開した。主な更新点として、波動伝播のスナップショットを GMT を用いて描画する機能や、入力パラメータの厳格なチェック機能の追加、Mw から Mo への変換式のアップデートがある。論文等からの引用のために、研究データレポジトリ Zenodo にコードを登録し、doi を取得した。また、コミュニティへの周知と利用促進に向けて OpenSWPC ロゴを作成した。

今年度から開始された、東大地震研共同利用・共同研究の大型計算機共同利用研究に向け、東大情報基盤センターの Orkforest-PACS 計算機と、昨年 2 月に更新された地震研 EIC 並列計算機への OpenSWPC の実行環境を整備するとともに、大規模並列演算性能を確認した。

## 3 . 沖縄本島近海で発生する地震の CMT 解析

令和 2 年度は南西諸島域で地震活動が活発な沖縄本島近海で 2004 年 7 月から 2020 年 4 月に発生した MJMA4.5 ~ 5.9 の 11 個の地震の強震波形記録から、地震の位置、規模、震源メカニズムを推定した。南西諸島では定常地震観測点が島にしかないため、走時を用いた通常の震源決定は海溝に平行 ( 島弧に平行 ) な方向に比べて直交する方向と深さ方向には極端に分解能が低い。そこで、本研究では、海底地形、海水層、地盤 ( J-SHIS 深部地盤モデル ) や沈み込むスラブまで含むリアルな ( 暫定 ) 海陸統合 3 次元地下構造モデルを用いた CMT インバージョンを実施した。CMT インバージョンには Okamoto et al. (2017) の FAMT 法を用い、グリーン関数の計算には陸上、海底地形などを考慮できる 3 次元差分法の計算コード HOT-FDM (Nakamura et al., 2012) を使用した。沖縄本島南東沖に南北方向、東西方向、鉛直方向に各 2 km 間隔でセントロイド震源の候補点を設定し。相反定理を用いてグリーン関数を計算した。使用したデータは防災科学技術研究所が展開する F-net の 3 観測点の強震記録 ( 速度波形 ) と K-NET の 7 観測点の強震記録 ( 加速度波形 ) である。加速度波形は速度波形に積分しバンドパスフィルタをかけて使用した。インバージョンに使用する観測点数は、波形記録の質を考慮し 3 ~ 9 点とした。

解析した結果を図 4 に示す。イベント番号は発生日時の順に付けている。セントロイド震源は気象庁による一元化震源の震央 ( F-net と同じ ) によるものと比べて北西側に移動した。Event2 と 7 の震央は A-A' 線から北東方向にやや大きくずれているが、その他のイベントは A-A' 線または B-B' 線上にほぼ載っている。深さのばらつきは一元化震源や F-net によるものよりも小さい。Event1, 2, 7 はフィリピン海 ( PHS ) プレートのマントル ( 海洋性マントル ) 中に位置しているが、それ以外はすべて PHS プレート上面または海洋性地殻内に求まった。メカニズム解も Event1, 2, 7 以外は、すべて水平に近い節面と鉛直に近い節面を持ち、T 軸が PHS プレートの沈み込む ( 海溝軸に直交する ) 方向に down dip している逆断層タイプである。セントロイドの震央が A-A' 線からやや大きくずれている Event2 と 7 は strike-slip タイプである。また、震央が A-A' 線上に位置するが震源が深い ( Event2 と 7 と同様に海洋性マントル中 ) Event1 は、P 軸がほぼ鉛直で 2 つの節面の走行が海溝軸と平行に近い正断層型である。これと A-A' 線上の他のイベントとの違いは、海底から震源までの媒質による荷重が他に比べて大きいことが主原因と考えられる。

## 4 . データ同化・逆伝播計算による震源の即時推定

これまで、3次元差分法による K-NET, KiK-net 強震波形記録と地震波伝播シミュレーションとデータ同化した波動場を初期値として、高速計算から未来の時刻の長周期地震動を予測する手法開発を進めてきた ( Furumura et al., 2020; Oba et al., 2020 )。この同化波動場は、時間を反転させた運動方程式を

用いた逆伝播シミュレーションにより、初期波動場（震源）のイメージングにも有効である。本研究では、大地震の震源即時推定に向け、強震観測データと地震波逆伝播シミュレーションのデータ同化に基づく、震源イメージングの有効性を検討した。本手法は、データ同化を行わない従来の Back Projection 法や Time Reversal 法（Migration 法）に比べて、観測データの誤差（粗い観測点間隔による波動場構築の限界を含む）と波動伝播シミュレーションの誤差（地下構造モデルの不確定性による）の両方を適切に考慮した、高解像度の震源イメージングが期待できる。

本手法を用いて 2004 年新潟県中越地震と 2008 年茨城県沖地震の KiK-net データを用いた震源イメージングを行ない、発震時に震源近傍に初期波動場が良好に再構築されることを確認した。そして、データ同化を行わない従来のイメージング方法に比べて、シャープな震源像が求まることや、Synthetic 波形データを用いた、より深い地震（40 km, 80 km）のケースでも震源イメージングが適切に実行可能であることを確認した（図 5）。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Furumura, T., and T. Maeda, High-resolution source imaging based on time-reversal wave propagation simulations using assimilated dense seismic records, *Geophys. J. Int.*, 225, 1, 140-157, <https://doi.org/10.1093/gji/gga,2020>.  
Oba, A., T. Furumura, and T. Maeda, Data assimilation based early forecasting of long period ground motions for large earthquakes along the Nankai Trough, *J. Geophys. Res.*, <https://doi.org/10.1029/2019JB019047>, 2020.  
Furumura T. & BLN Kennett, Azimuthal variation of lithospheric heterogeneity in the northwest Pacific inferred from Po/So propagation characteristics, 日本地震学会 2020 年秋期大会, オンライン, 10 月 30 日, 2020.
- ( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：  
( 1 ) 令和 2 年度に継続し、地殻・マントル及び海洋プレート内の不均質構造を高密度強震観測データと地震波伝播シミュレーションから推定し、広帯域（短周期～長周期）強震動の事前評価の精度向上に取り組む。  
( 2 ) 令和元年～2 年度に開発した、強震観測データと地震波伝播シミュレーションの同化に基づく震源モデルと長周期地震動の即時予測手法を、日本海溝や南海トラフの巨大地震に適用させるための手法改良を進める。  
( 3 ) 地震波伝播計算と強震動被害の事前評価の高度化に向け、地震波伝播オープンコード（OpenSWPC）の機能拡張と、令和 3 年度に東大情報基盤センターに導入される、高性能スパコン（BDEC）での性能チューニングを進める。  
( 4 ) 強震動の事前評価モデルの改善に向けて、南西諸島域の地盤構造モデルの改良を実施するとともに、FAMT 法による CMT 解析を継続する。
- ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
古村孝志・三宅弘恵・武村俊介  
他機関との共同研究の有無：有  
東京大学大学院情報学環（田中淳・関谷直也） 岡山大学（竹中博士） 弘前大学（前田拓人）
- ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/



(13) 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

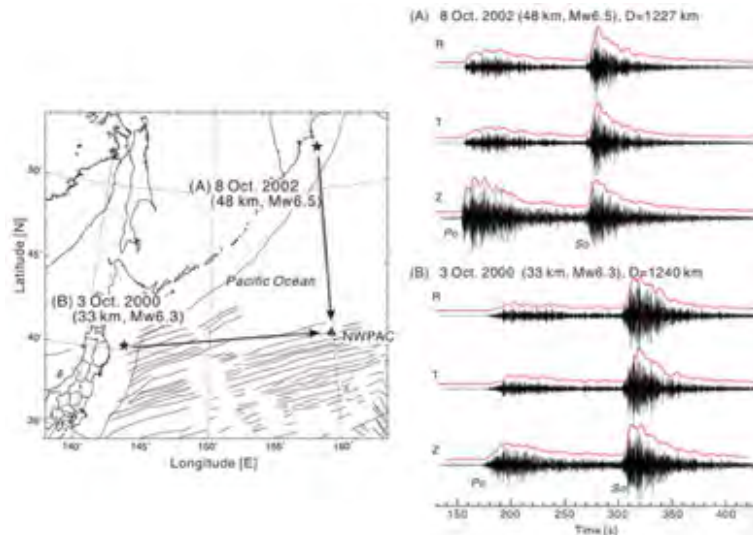


図1 北西太平洋での Po/So 波形の方位的特徴

地震の規模と震央距離がほぼ等しい( A )カムチャツカ半島沖の地震と( B )東北沖の地震における NWPAC 海底地震計での 3 成分ハイパスフィルター( > 3 Hz )波形、及びエンベロープ形状の比較。左図には、震央と観測点、海底での地磁気異常のリニアメントを示す。

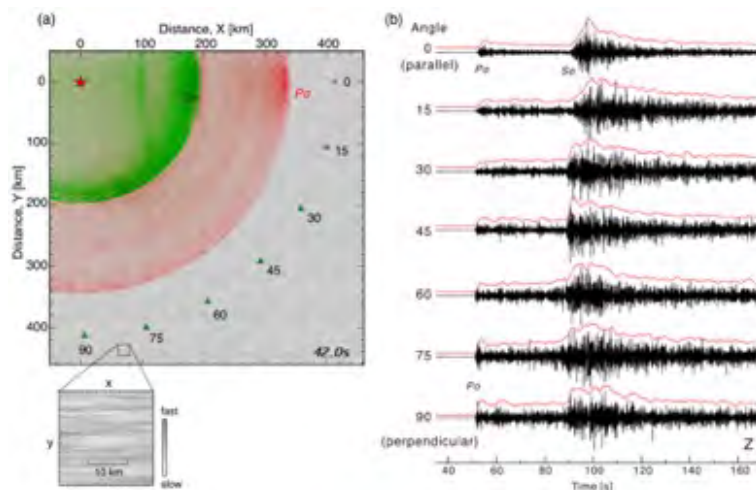


図2 Po/So 伝播の 3D FDM シミュレーション

( a ) 3DFDM シミュレーションによって得られた海底面での地震波動場のスナップショット(地震発生から 42 秒後)。P 波を赤色、S 波を緑色で表示。( b ) 震源距離 410 km の地点で鉛直成分速度波形を方位角で表示( 0 と 90 度は、それぞれ横長の不均質構造に平行、垂直方向を表す )。レコードセクションの各トレースは最大振幅で正規化。

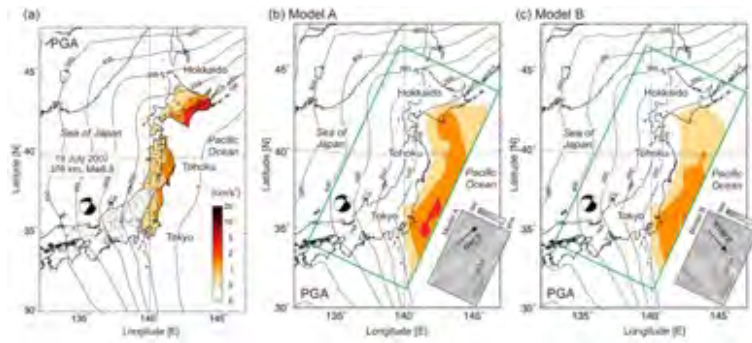


図3 深発地震の異常震域の再現計算

(a) 2004年京都府沖の深発地震(深さ376 km, Mw6.8)の最大加速度分布、(b)海底地震計観測から推定された不均質モデル(Model A)による計算結果、(c)不均質構造の分布が90度異なるモデルによる計算結果の比較。

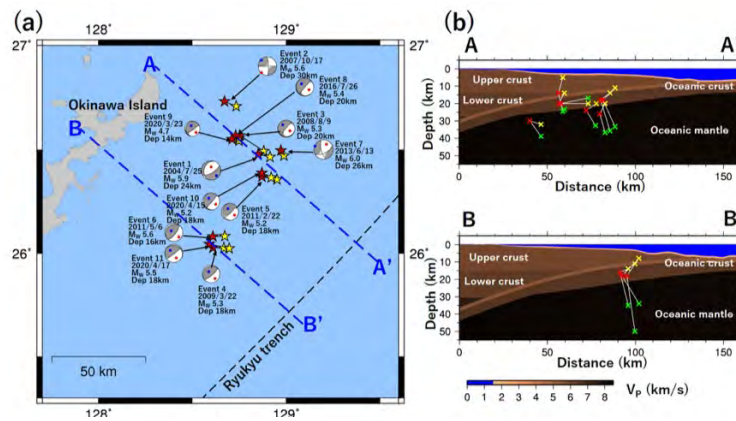


図4 沖縄本島近海地震のCMTインバージョンの結果

(a) 震央とメカニズム解。赤星が今回のFAMT解析で得られたセントロイド震央の位置で、黄色星はF-netのCMTで仮定された震央の位置(気象庁一元化震源の震央)、(b)左図のA-A'線とB-B'線の断面図。構造断面に震源位置を投影している。赤色の×が今回のFAMTのセントロイド震源、黄色の×がF-netのCMTのセントロイド震源、緑色の×が気象庁一元化震源の位置。3つのうち後者2つを対応するFAMTのセントロイド震源と線でつないでいる。

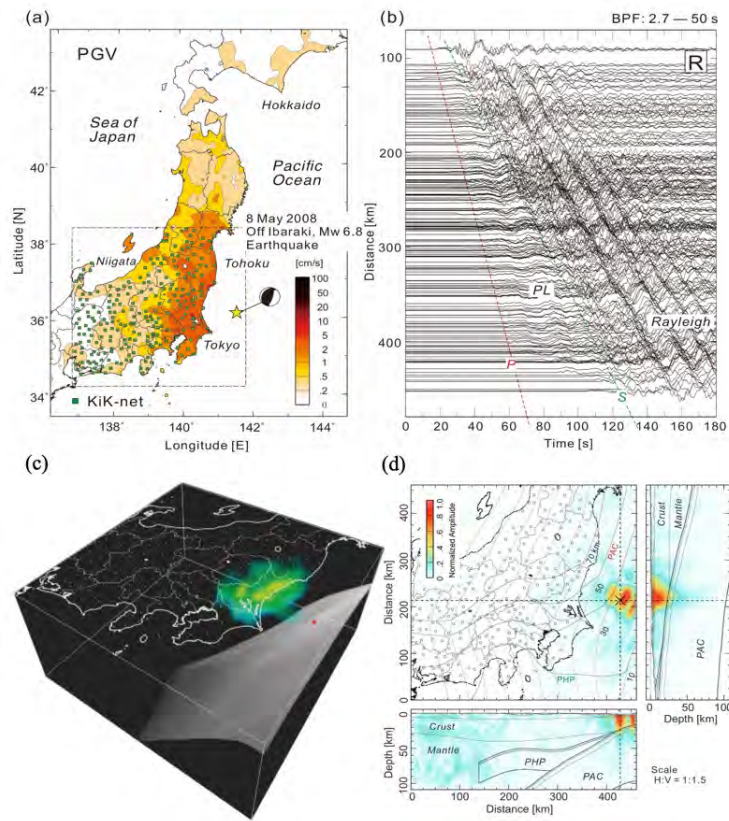


図5 2008年茨城県沖の地震 (Mw6.8) の時間反転シミュレーションによる震源イメージング。

(a) 最大速度分布と解析領域 (点線) 及び、用いた KiK-net 観測点 (緑四角)。(b) 用いた KiK-net 地中観測記録 (Radial 成分のみを表示)。(c) 時間反転シミュレーションのスナップショット。(d) 震源イメージング結果 (太平洋プレート上面、東西断面、南北断面での波動場の振幅)。

(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2年度の成果の概要：

根津周辺における稠密観測を開始した。我々は、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。2020年9月より、根津神社、天王寺、寛永寺、不忍池とその周辺地域へと観測点を徐々に追加していき、2020年12月上旬に観測点数は19点となった。2021年2月現在も観測は継続中であり、観測の終了は3月末を予定している。これまでに回収した一部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(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22日に、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オンラインで開いた。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：なし

(10) 令和3年度実施計画の概要：

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。

(11) 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・東京大学大学院情報学環 酒井慎一  
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

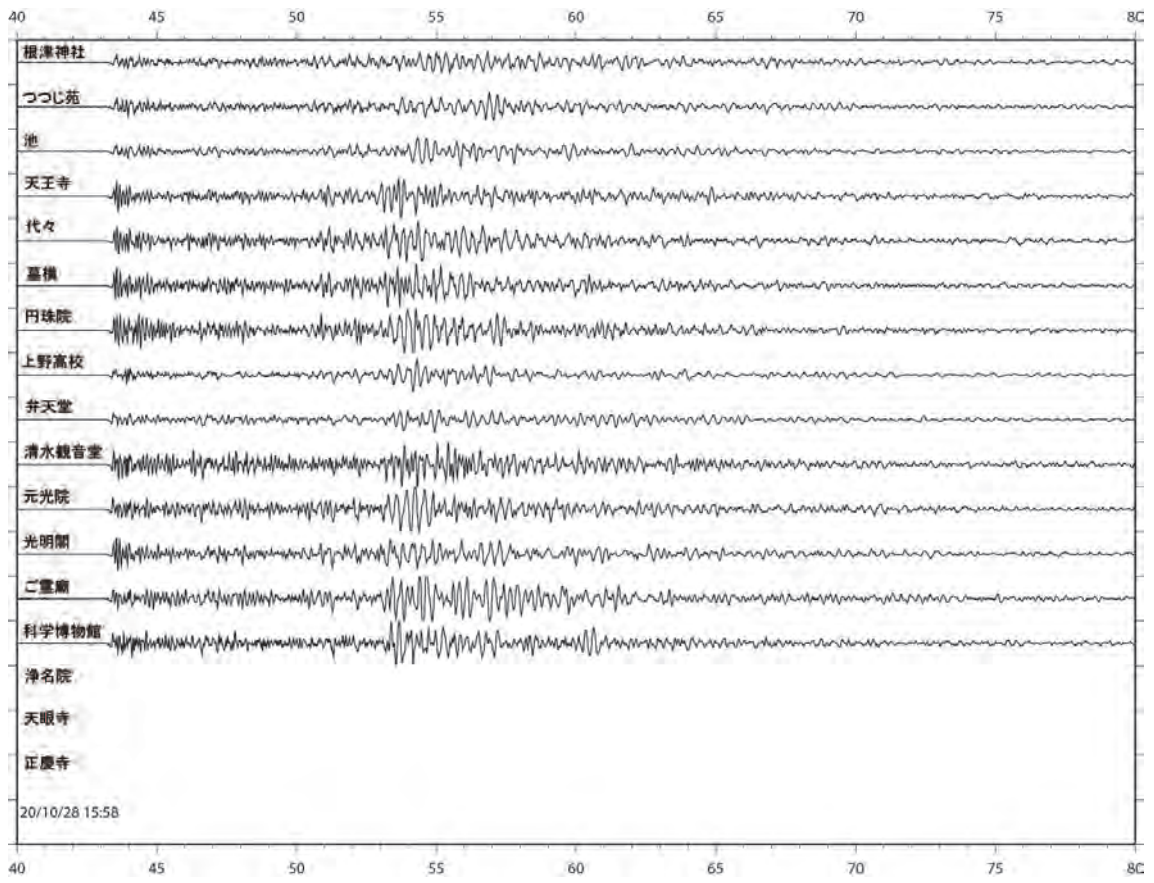
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(13) 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



谷根千での観測波形例

(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2年度の成果の概要 :

令和二年度は、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完了した。堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性の定量化に向けて、2020年9月4日福井県嶺北の地震などの対応も含め、東京大学地震研究所共同利用の枠組みで可搬型微動・強震観測システムを運用した。また、国内外の強震記録の分析を行い、震源解析(図1)や地下構造解析、強震動シミュレーションを行った。

この他、大地震発生後に生じる地下構造の速度低下に伴い、通常地震ハザード評価で用いられる経験式以上の震度増分が生じる可能性を示し、余震の震度が想定よりも大きくなる事例を調査した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kobayashi, H., K. Koketsu, H. Miyake, and H. Kanamori, 2021, Similarities and differences in the rupture processes of the 1952 and 2003 Tokachi-oki earthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, e2020JB020585, <https://doi.org/10.1029/2020JB020585>.

Tran, M. T., V. Vi, H. Miyake, K. Irikura, and D. Bui, 2020, Empirical Green's function simulations toward site-specific ground motion prediction in Vietnam, *Pure Appl. Geophys.*, 177, 2281-2298, <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02491-3>.

Miyake, H., T. Taira, and L.-W. Chen, 2020, Impact of seismic velocity change on ground motion modeling, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SSS04-08.

Chen, L.-W., T. Taira, and H. Miyake, 2020, Decade-long temporal variation of near-surface seismic velocity and S wave azimuthal anisotropy in Southern Hokkaido, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SSS12-01.

Tanircan, G., H. Miyake, O. Ozel, H. Yamanaka, K. Chimoto, S. Tsuno, N. Takai, and O. Kaplan, 2020, Strong ground motion simulation of the 1956 (Mw6.5) Eskişehir, Turkey earthquake, *Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 1d-0114.

Shigefuji, M., N. Takai, S. M. Bijukchhen, M. Bhattarai, C. Timsina, S. Singh, H. Miyake, and K. Koketsu, 2020, Basement structure in the Kathmandu Valley, Nepal using received function analysis, *Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 1d-0048.

Yamanaka, H., K. Chimoto, O. Ozel, O. Ozmen, S. Arslan, E. Yalcinkaya, M. Tun, E. Pekkan, S. Tsuno, O. Kaplan, H. Miyake, G. Tanircan, N. Takai, E. Ate, K. Tekin, A. Sezen, T. Ozturk, M. Alkan, M. Nurlu, S. Citak, O. Karagoz, K. Hatayama, M. Ohori, M. Mirzaoglu, O. Sipahi, M. Morita, S. Sasano, and Y. Fujita, 2020, Microtremor explorations for shallow S-wave velocity profiles at strong motion stations in Turkey, *Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering* Paper No. 1f-0013.

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

令和三年度は、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。



( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

三宅弘恵・古村孝志・ほか

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・東京工業大学・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・ほか

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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

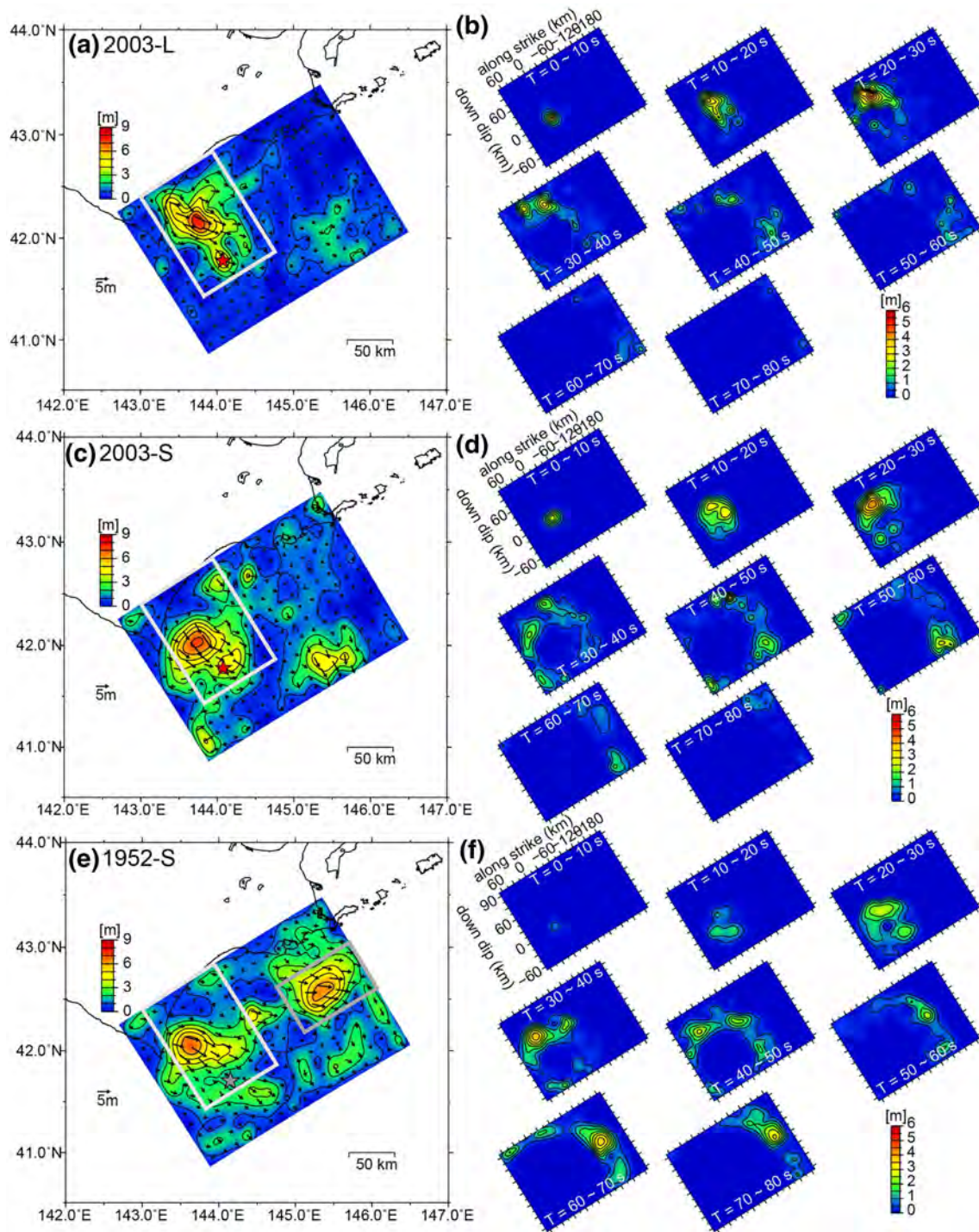


図1 . 2003年と1952年十勝沖地震の類似性と相違性 (Kobayashi et al., 2021)

両者は十勝沖ですべりが見られるが、後者は M6 クラスの初期破壊を伴い、すべりが厚岸沖に至ったことが遠地記録と震源解析から示された。

上段：2003年十勝沖地震の遠地・強震・測地記録を用いたジョイント震源インバージョン

中段：2003年十勝沖地震の遠地・強震記録を1952年十勝沖地震と揃えた震源インバージョン

下段：1952年十勝沖地震の遠地・強震記録を用いたジョイント震源インバージョン

( 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

工. 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て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、噴火現象の分岐に係る地質学、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 2 年度の成果の概要 :

堆積物解析手法の高度化においては、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おいては、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活動的火山で実施している。霧島新燃岳については昨年度から引き続き噴出物の解析を進め、2011 年や 2018 年噴火の解析結果の噴火現象把握や予測への活用について検討するとともに、18 世紀享保噴火も踏まえた噴火事象系統樹の作成を進めた。また、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名、富士山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た。噴出物分布にもとづく噴出量推定においては、従来の手法を実際の現象で試し評価しつつ、最適な手法を開発することが急務である。草津白根火山 2018 年噴火における水蒸気爆発堆積物について、複数の手法を用いて噴出量を推定し、2 倍近く生じる結果の差異について取得データ点数や最適近似関数の導出方法を含め考察を行った。

即時的な噴火現象の把握及び調査の実践の一環として、西之島における 2019 - 2020 年噴火の噴出物採取や地形データの取得を、気象研究所や海洋研究開発機構と協力して実施した。ドローンによる試料採取については従来の手法を改良した吸引法により、200 g 以上の礫サイズ試料の採取に成功したほか、全岩組成分析により、これまでの安山岩の活動から玄武岩質安山岩の活動に変化したことなどを明らかにした。また多数の画像をもとに作成した地形データより、噴火前後の島の面積や体積の変化、火口状況の変化を明らかにした。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いて、ドローンの活用が極めて有効であることが示されたと同時に、他の火山で実施する際の注意点や改善点も見出された。

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既往研究のレビュー、最近の研究成果等について情報交換を行なった。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活用していくことなどを確認した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Shohata, S., Maeno, F., Suzuki, Y., Yasuda, A. and Hokanishi, N., 2020, Relationship between the change of eruption style and the rock texture of ejecta during the Shinmoe-dake 2018 eruption, Kirishima, Japan. Japan Geoscience Union Meeting 2020, online, SVC43-P07.

Tsunematsu, K., Maeno, F. and Nishimura, K. (2020) Application of an inertia dependent flow friction model to snow avalanches: exploration of the model using a ping-pong ball experiment, *Geosciences*, 10, 436, doi:10.3390/geosciences10110436.

Tajima, Y., Nakada, S., Maeno, F., Huruzono, T., Takahashi, M., Inamura, A., Matsushima, T., Nagai, M. and Funasaki, J. (2020) Shallow magmatic hydrothermal eruption in April 2018 on Ebinokogen Ioyama Volcano in Kirishima Volcano Group, Kyushu, Japan. *Geosciences*, 10, 183, doi:10.3390/geosciences10050183.

Ohashi, M., Ichihara, M., Maeno, F., Kennedy, B. and Gravley, D., 2020, Quantitative measurement of bubble textures in pumice clasts using a digital stereo microscope with low-angled ring illumination. *Earth, Planets and Space*, 72, 185.

前野 深・吉本充宏, 2020, 西之島噴火による地形・地質・噴出物の特徴とその変化. 小笠原研究, 46, 37-51.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

引き続き、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、霧島新燃岳などいくつかの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、調査観測の連携体制についても引き続き検討する。また、既存研究や海外の事例も考慮し、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）を整理しつつ、事象分岐の評価方法を探る。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前野深（東大地震研）

他機関との共同研究の有無：有

宮縁育夫（熊本大）、嶋野岳人（常葉大）、鈴木由希（早稲田大）、吉本充宏（富士山研）、石塚吉浩（産総研）、三輪学央（防災科研）、長井雅史（防災科研）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(13) 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 2 年度の成果の概要：

昨年度の地震学会秋季大会において企画した特別セッション「オープンデータと地震学」で収集した事例や議論を踏まえ、地球惑星科学連合大会や地球電磁気学会において、地震学分野でのデータ公開に関する取り組みについて報告した。関連分野での取り組みや今後の協力関係など、本研究課題を進めるために重要な情報が得られた。また、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アンケートを実施する予定である。

おおよそ計画どおりの進捗であった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

加納靖之、2020、オープンデータと地震学、地球電磁気・地球惑星圏学会第 148 回総会、招待講演。  
平田直・汐見勝彦・加納靖之、地震観測、固体地球物理分野におけるデータのオープンマネージメント、JpGU-AGU Joint Meeting 2020、招待講演。

( 10 ) 令和 3 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。

( 11 ) 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 加納靖之  
他機関との共同研究の有無：有  
防災科学技術研究所 汐見勝彦  
北海道大学 高橋浩晃  
東北大学 内田直希  
京都大学防災研究所 澁谷拓郎  
九州大学 松島 健

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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2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、スイッチの老朽化に対応するため、JDX-東大地震研間のスイッチの交換を実施した。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開始した。令和3年3月31日にデータ流通ワークショップを開催予定である。MQTTプロトコルを利用したWINフォーマットに対応したリアルタイム地震波形表示システムを開発した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

観測データ流通網 JDXnet への接続ポイントの拡大するとともに、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。

( 11 ) 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

地震, 地殻変動等, 火山の各観測データの流通協定に参加する各機関 (\*) とそのデータ流通システム担当者が共同研究に参加する。

(\*) 北大・弘前大・東北大・東大・東工大・名大・京大・高知大・九大・鹿児島大・防災科研・気象庁・JAMSTEC・産総研・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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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

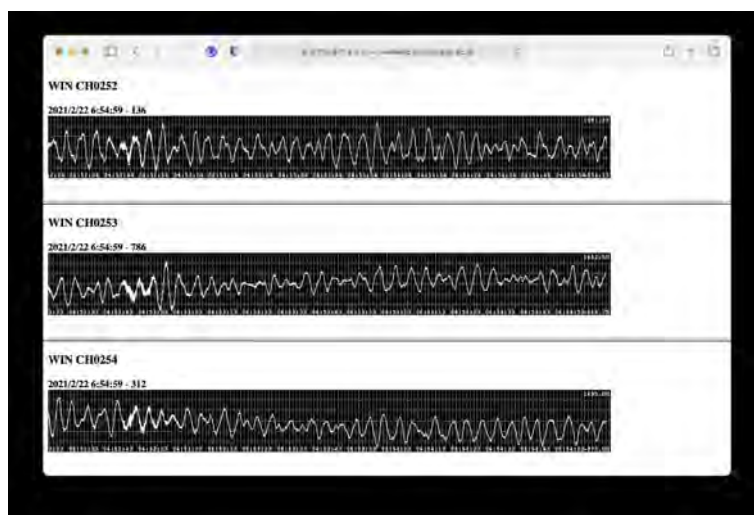
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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



MQTT プロトコルを利用した地震波形リアルタイム表示システム

(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

工. 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2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。

本年度は火山近傍における重力観測を継続し、地震研で開発された小型絶対重力計 TAG-1 を用いて蔵王観測所（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、宮城県蔵王町）における観測を2020年10月27～29日に実施した（図1）。TAG-1を用いた蔵王観測所での絶対重力観測は2017年より同様に行っており、過去の測定結果と比較すると、10 $\mu$ Gal程度の変動が認められる（図2）。市販の絶対重力計（FG5）を用いた過去の観測結果と比較するとTAG-1との間に若干の系統誤差があるようにも見えるが、同じ重力計での観測でも変動が認められるため、器差のほか火山活動あるいは局所的な擾乱の影響等も含まれているとみられる。

また、アクセス困難な火口近傍などの野外観測で使用できるように、本体の小型化や遠隔操作ができるようにTAG-1の改良を進めた。図3は地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分で、従来の7割程度のサイズに小型化した。絶対重力計で使用するレーザー光は正確に鉛直方向に照射され、真空中で落下する鏡の位置が計測される。野外観測の温度変動により照射方向が影響されないように、レーザーを射出する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、さらに遠隔操作で基台の傾きを微調整できるようにモーターを組み込んだ（図4）。このような構造の基台が絶対重力計で使用された例は無く、今後の観測において所期の性能が得られているか評価する。

当初計画では、本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予定であったが、機材の調達が遅れた。そのため、絶対重力計の光学部分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の小型ユニットを製作し（図5）試験に必要な準備作業を進めた。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Araya, A., K. Kasai, M. Yoshida, M. Nakazawa, and T. Tsubokawa, Evaluation of systematic errors in the compact absolute gravimeter TAG-1 for network monitoring of volcanic activities, in International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg, 2020. [https://doi.org/10.1007/1345\\_2020\\_107](https://doi.org/10.1007/1345_2020_107)

新谷昌人, 光ファイバネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 26, 205-207, 2020.

新谷昌人, 重力加速度計測による地殻変動・火山活動観測技術, 電子情報通信学会誌, 103, 9, 938-944, 2020.

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、小型絶対重力計を用いた観測を実施するとともに、長距離の光ファイバ伝送試験や同一ファイバに接続された複数の信号を分離する多重化試験等を行なう予定である。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地震研究所 新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学 葛西恵介、他 2 名。京都大学 福田洋一、他 1 名。海洋研究開発機構 荒木英一郎。国立天文台 田村良明。極地研究所 土井浩一郎、他 2 名。

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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

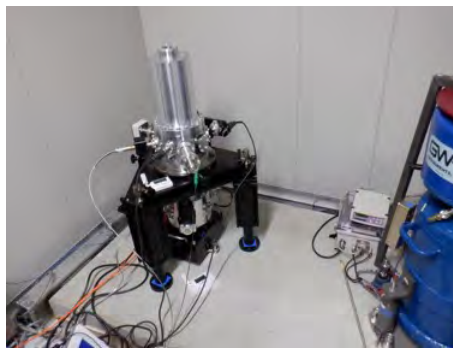


図 1 蔵王観測所 ( 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター ) における観測

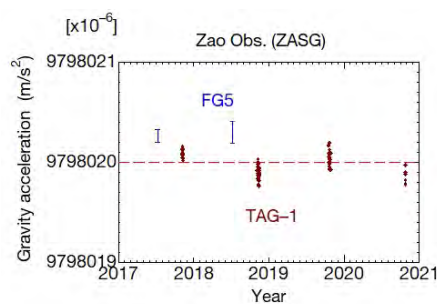


図 2 蔵王観測所における TAG-1 および FG5 の過去の観測を含めた測定結果  
10uGal 程度の変動が認められ、両重力計で若干の系統誤差があるようにも見える。

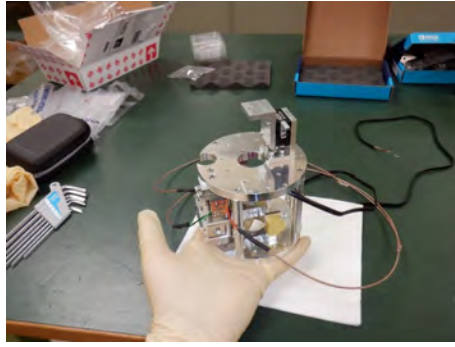


図3 地面振動補正用の組み込み加速度計の振り子部分  
従来の7割程度のサイズに小型化した。



図4 レーザーを射出する基台の部分  
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され、遠隔操作で基台の傾きを微調整できるようにモーターが組み込まれている。

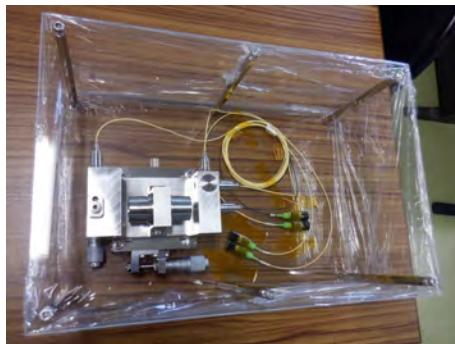


図5 長距離伝送や多重化が可能な通信波長帯で利用できる絶対重力計光学部分の小型ユニット

(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相関評価

(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

工. 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、2019年度以降は1カ月に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相関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2年度の成果の概要：



2019年度に開発が完了した24,639画素の超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムを桜島ミュオグラフィ観測所に投入して、従来システムと比して有感面積を拡大することで、より短時間での高精度透視画像を取得することに成功した。その結果、活発化した南岳火口の下にプラグが成長している様子を確認することに成功した。一方で、2020年度には、低解像度の従来システムにおいて既に可能となっている「1日1枚の透視画像(画素数3481)」を機械学習(Convolutional Neural Network)することで機械学習による噴火判定プログラムを開発した。同プログラムを学習データ期間外のデータに適用した結果7割を超える正答率を得ることに成功した(Nomura et al. 2020)。学習データの期間、噴火予測の対象とした期間、噴火の有無の判定の手がかりとなった透視画像の領域については以下の通りである。

Training 期間 2014-11-19 00:00:00 ~ 2016-01-28 23:59:59 (ミュオグラフィ透視画像 382 枚 (true: 191 枚))

Validation 期間 2016-02-07 0:00:00 ~ 2016-03-17 23:59:59 (ミュオグラフィ透視画像 40 枚 (true: 20 枚))

Test 期間 2016-03-24 00:00:00 ~ 2016-05-11 23:59:59 (ミュオグラフィ透視画像 42 枚 (true: 21 枚))

噴火の有無の判定の手がかりとなった透視画像の領域: 図1 参照

得られた ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線を図1に示す。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
Yukihiro Nomura, Mitsutaka Nemoto, Naoto Hayashi, Shouhei Hanaoka, Masaki Murata, Takeharu Yoshikawa, Yoshitaka Masutani, Eriko Maeda, Osamu Abe & Hiroyuki K. M. Tanaka, Pilot study of eruption forecasting with muography using convolutional neural network, Scientific Reports volume 10, 5272 (2020).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62342-y>

- (10) 令和3年度実施計画の概要:

画素数3481の透視画像を機械学習することで7割を超える噴火予測の正答率を得ることに成功した。24,639画素の画像を用いれば、情報量が格段に増えるため正答率が上がることが期待される。2021年度には、24,639画素の画像を利用することで予測精度を高める。また、2021年度も引き続き桜島において超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムの拡張を続け、時間分解能を向上させる。更に、桜島以外の火山で同機械学習の手法が適用可能かを検討する。

- (11) 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(田中宏幸)

東京大学医学部附属病院(林直人)

他機関との共同研究の有無: 有

近畿大学(根本充貴)

広島市立大学(増谷佳孝)

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(Dezso Varga)

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

- (13) 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

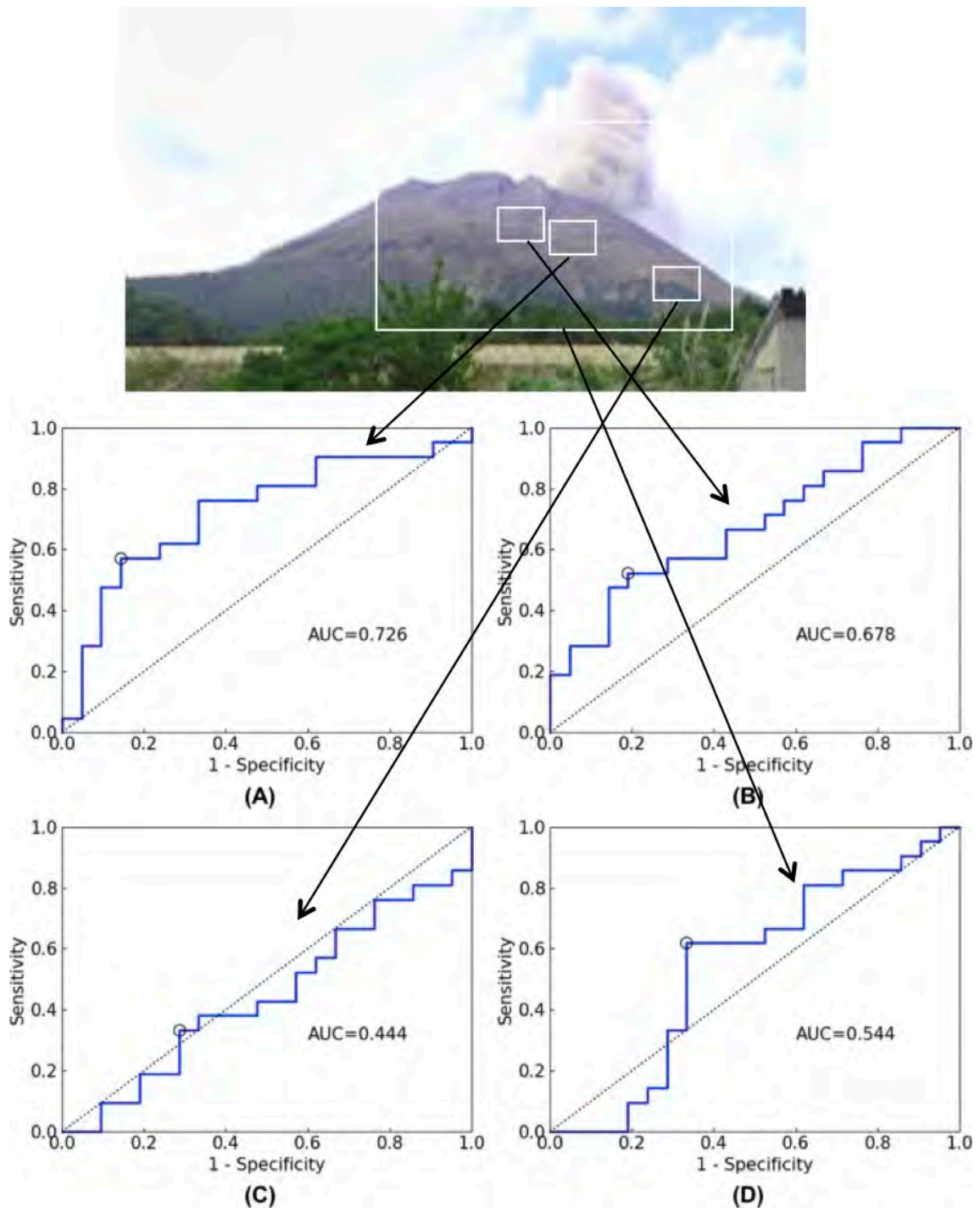


図1 機械学習による噴火判定プログラムを学習データ期間外のデータに適用することにより得られたROC( Receiver Operating Characteristic ) 曲線

(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。データがリアム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はなく、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ム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2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、2016年1月に、汀線部で観測ケーブルの露出が発見されたため、2016年5月13日、14日に、当該ケーブルの汀線部から沖合100mまでの区間のケーブル敷設状況調査を実施し、汀線部から沖側約30mまでの区間のケーブルの保護強化対策が必要であることがわかった。2017年には、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た。そのため、発電発電機が起動し、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、現在年度内完了に向けて、復旧に向けた作業を行っている。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。

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100kmとして、チャンネル間隔5m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(図2)。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1 m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。現在データの解析中である。今後、DAS計測を定常観測に用いることをめざして、システム開発を実施する。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(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

篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公広・笠嶋丈夫・有岡孝祐・濱川雅之・久保田俊輔、2020、モニタリングをめざした三陸沖海底光ケーブル観測システムにおけるDAS地震観測、日本地球惑星科学連合2020年大会

篠原雅尚、海域地震・地殻変動観測の将来像、2020、第228回地震予知連絡会

篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公広・酒井慎一、2020、分散型音響センシング技術を用いた三陸沖光ケーブル観測システムにおける高密度海底地震観測、日本地震学会2020年度秋季大会、S23-05

篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公広・酒井慎一、2020、DAS計測技術による三陸沖光ケーブル観測システムを用いた海底地震観測、ワークショップ：海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望-第3回-

(10) 令和3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、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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

篠原雅尚・塩原肇・望月公広・一瀬建日・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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(13) 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

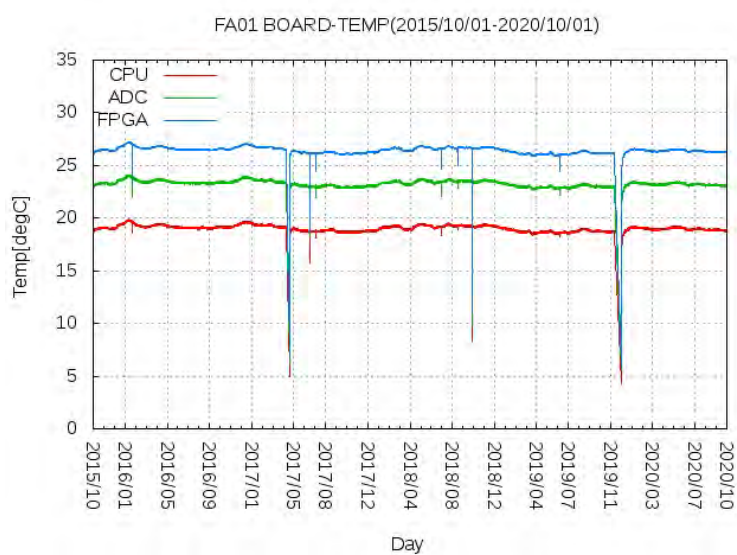


図 1

2015年に設置したシステムの観測装置内部の温度変化。2015年に設置した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの海岸に最も近いFA01における設置後2015年10月から2020年9月までの観測装置内CPU、AD変換装置、FPGA(書き換え可能ゲートアレイ)の温度である。どの素子も30度以下でほぼ一定の温度を保っている。一時的に低温になるのは、観測を一時的に停止した時期である。

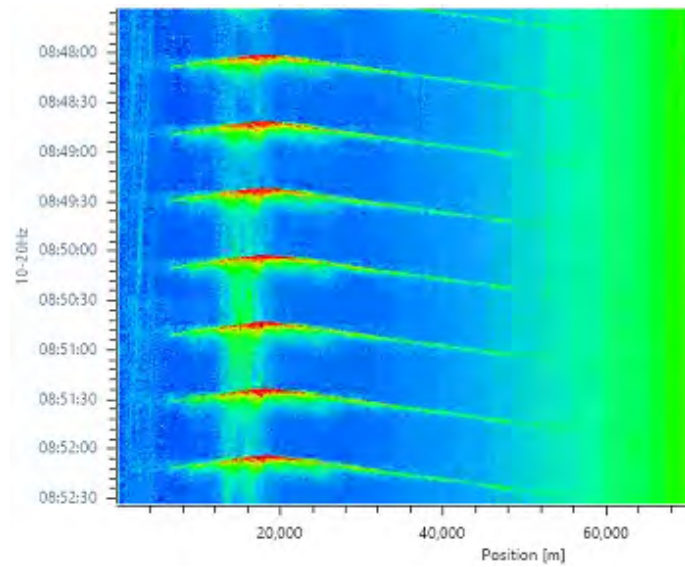


図 2

DAS 計測により記録されたエアガンの例。1996 年に設置した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの空  
き光ファイバーを用いて、敷設ルート上で発震されたエアガン観測を行った。横軸は陸上局からの距離、横軸は  
時間である。一定時間間隔で発震されるエアガンからの信号が明瞭に記録されている。

(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2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おり、現段階での成果を論文化し、今年度内に受理された。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(図1左)。2017年9月に現場へ行った際に音響トランスポンダからの応答が無く、所在が心配であったが、設置時の海底位置において発見された。同時に、広帯域地震・傾斜観測を継続させるため、新たにBBOBST-NXと周囲の環境(流向流速・水温)を計測するべく海底電磁流速計システムもほぼ同じ地点に設置した。回収したデータには、設置時に設定した2年1ヶ月間のデータが欠測無く得られており、5年経過していたが内部の高安定度の水晶時計は動いており、その時刻差も4秒程度で、時刻補正も十分な精度で可能である。また、外装部に取り付けた水温計(10分サンプリング)は2018年1月までデータ収録していた。まだBBOBST-NXのデータ処理は進んでいないが、広帯域地震(傾斜)センサーのマスポジションは初期の大きな変動を除くと2年間にわたり非常に安定していたことがログデータから分かった(図1右)。海底面での傾斜観測の可能性をよりサポートする結果と判断される。また、2021年1月後半には、2019年1月にチリ沖に設置したBBOBSを8台(および1Hz長期観測型海底地震計を5台)回収するが、その内6台はCMG-3Tのマスポジションも連続記録しており、初の機動的な海底面傾斜アレイ観測となることが期待される。

昨年度実施出来なかった、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の比較試験観測に向け、2021年度の研究船利用公募を申請・仮採択され、2021年5月に観測航海を実施する予定となっている。

その他、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)を見つけたので、その実地評価を鋸山観測坑および実験室で進めた。観測坑では過去に複数種類のセンサーでの試験観測結果があり、それらとノイズレベルの比較を行った(図2)。最新のカタログ値と較べて10秒以上の長周期側でのノイズレベルが高く、少々期待外れではあるが、製造会社との交渉により低ノイズ化・広帯域化も検討するとのことであり、期待はまだあると考えている。

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っている。現在多数運用されている1年以上観測可能な長期観測型海底地震計は短周期地震計(固有周期1秒)を搭載しており、小型広帯域地震計に換装することにより広帯域化することが可能である。2017年までは、小型広帯域地震計に、固有周期20秒のNanometrics社Trillium Compact Broadband Seismometerを用いて開発を行った。この小型広帯域地震計は、直径90mm、高さ100mmの円筒形容器に収納されており、この容器のまま搭載できるレベリング装置を新規に開発した。開発した長期観測型小型広帯域海底地震計は、主にプレート境界浅部で発生するスロー地震の観測を想定しているが、深部構造研究のための深発地震や遠地震の観測、海底火山の観測への利用も可能である。新規開発した海底地震計を、2017年2月に日向灘に設置、同年7月に回収し、超低周波地震がS/N比よく記録されていた。2018年には、同じくNanometrics社のTrillium Compact Broadband Seismometer固有周期120秒を用いた小型広帯域地震計を製作した。これは、サイズ、重量ともに固有周期20秒のものと同じであるが、観測時に許容される傾斜角が小さい。そのため、20秒

計用に開発したレベリング装置を、制御ソフトウェアの改良により、より精度の高いレベリングを可能とし、120秒計を搭載できるようにした。その後、主に120秒計を用いた台数の確保に努め、2020年には20台規模で観測に用いることができるようになった。海底での記録の蓄積から雑微動レベルについて上下動はセンサーの帯域において低いレベルであるが、水平動成分に関しては上下動成分よりも雑微動レベルが高いことが確認されつつある。雑微動レベルは地震観測としては低いレベルであり、スロー地震だけではなく、遠地地震・深発地震なども明瞭に記録されている(図3)。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
末次大輔・塩原 肇, 日本の広帯域海底地震学, 地震 2, 73, 37-63, doi:10.4294/zisin.2019-6, 2020.

H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, T. Sato, Tilt observations at the seafloor by mobile ocean bottom seismometers, *Frontiers in Seafloor Geodesy*, (Frontiers in Earth Science, Solid Earth Geophysics,) 2021. (accepted on 28 Dec. 2020).

塩原 肇・杉岡裕子・太田豊宣・大西信人, - 自律型新方式海底地震計の開発試験に向けた - 深海用小型ビデオカメラの開発, 東京大学地震研究所技術研究報告, 26, 2021. (2020.10.13 受理)

篠原雅尚, 海域地震・地殻変動観測の将来像, 地震予知連絡会会報, 105, 2021 (印刷中)

(10) 令和3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、今年度回収したBBOBST-NXおよびBBOBSアレイの傾斜データの処理と解析を進める。また、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年間実施すべく開始する。評価を開始した加速度センサーについても、より詳細な検討を進める。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の開発については、現在開発した測器を観測に用いており、海底での記録が得られているので、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。さらに観測状況のより詳細な把握のために、レベリング装置コントローラーの高度化を検討、実施する予定である。また、開発したレベリング装置は一般的に使用可能となっているので、異なる種類の地震計センサーの搭載を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

塩原肇・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・一瀬建日・悪原岳  
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(13) 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

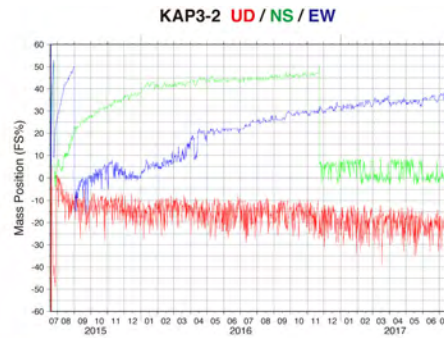
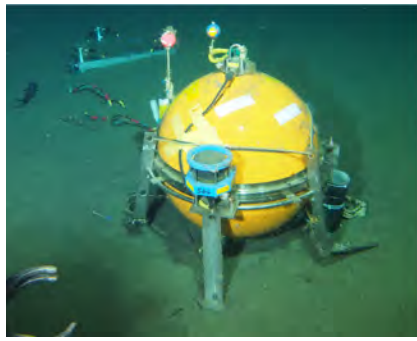


図1 2015年7月設置から5年ぶりに回収したBBOBST-NX

「しんかい6500」から見た海底での様子(左)、1日毎の内部ログに記録されたマスポジション値(フルスケール値の百分率、右)。マスポジションが50%に達するとマスのセンタリングを実行するように設定してあり、観測開始初期を除くと2年間、非常に安定した動作をしていたことが明確に分かる。実際に傾斜データとして用いるのは100Hz連続サンプリングされた値であり、より滑らかなものになると思われる。

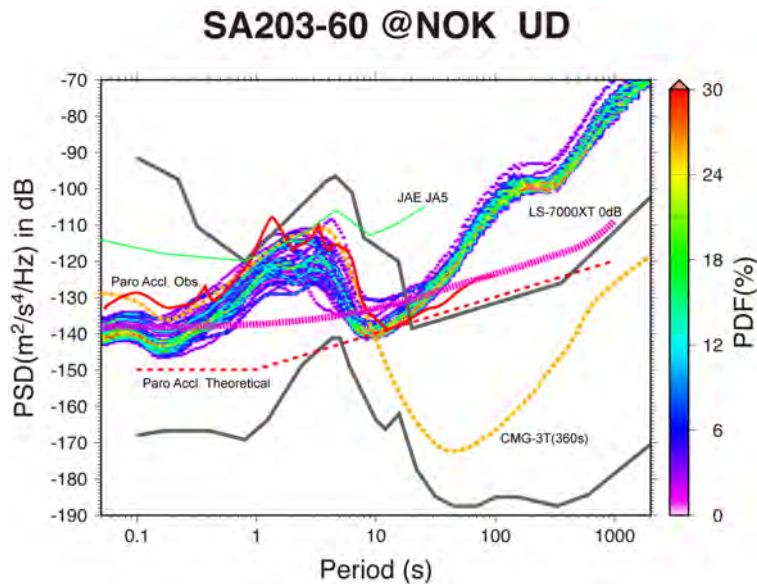


図2 新方式加速度センサーの比較試験

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関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。2020年6月に鋸山観測坑で実施した試験観測データを、過去に実施した各種センサーの実測値と、ノイズレベルで比較を行った。カタログでの自己ノイズは周期10秒で-150dB、100秒で-140dB程と読めるが、試験に用いた個体はそこまで低ノイズでは無い様子である。過去のCMG-3Tでの計測結果があるので、観測坑内は十分に静かな環境と考えられる。しかし、このセンサーは、超深海用長期観測海底地震観測においての本質的優位性が大きいので、これを改良する事を製造会社と今後検討する。

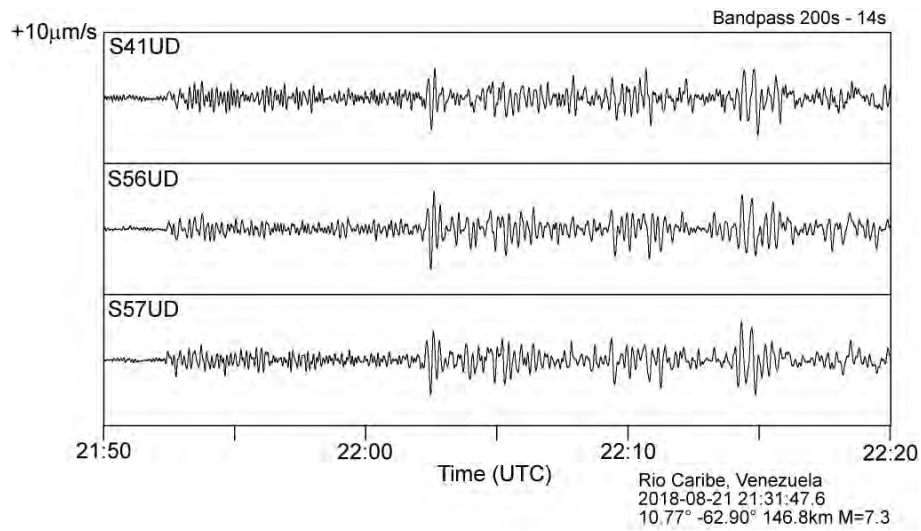


図3 レベリングシステムに搭載した Nanometrics 社 Trillium Compact Broadband Seismometer 固有周期 120 秒計をセンサーとした小型広帯域地震計による遠地地震の例

120 秒計を搭載した小型広帯域海底地震計 3 台を宮城県沖日本海溝陸側斜面に設置して、2018 年 4 月から同年 11 月まで観測を行った。水深は約 3000 m である。低いノイズレベルを反映して、遠地地震や深発地震が明瞭に記録されている。南米ベネズエラで発生したマグニチュード 7.3 の地震の記録である。200 秒から 14 秒の帯域制限フィルターをかけている。

( 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：

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2年度の成果の概要：

令和2年度は、次世代の対話検測処理系システムについて試作を開始した。

昨年度に行った検討をもとに、対話検測ソフトウェアのベース部分を作成した。これは、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ており、今後の機能拡張を可能としている。

また、昨年度に引き続き、Python 言語で地震データ解析の際によく使用される ObsPy パッケージに親和性の高い WIN フォーマット波形やチャンネル表の読み込みモジュールの開発を進めた。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

中川茂樹・加藤愛太郎，2020，WIN フォーマットデータを ObsPy で読み込む新しいモジュール，東京大学地震研究所技術研究報告，印刷中．

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

令和 3 年度は，前年度に引き続き対話験測処理系システムの試作を継続して機能を追加し，試作品を本課題の担当者及び関係者で試用する．また，伝送系システムの仕様について検討を開始する．

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中川茂樹・鶴岡弘・青木陽介

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学（青山裕・高橋浩晃），弘前大学（前田拓人），東北大学（内田直希・山本希），名古屋大学（前田裕太），京都大学（大見士朗・中道治久），高知大学（大久保慎人），九州大学（松島健），鹿児島大学（八木原寛），防災科学技術研究所（汐見勝彦・植平賢司・上田英樹），気象庁（鎌谷紀子・大竹和生），気象研究所（溜淵功史），神奈川県温泉地学研究所（本多亮），地震予知総合研究振興会（関根秀太郎）

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 13 ) 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

(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 2 年度の成果の概要 :

研究成果共有サーバ ( evrss ) へのデータ登録作業を開始した. 地殻構造データベースとして前計画で整備された「日本列島周辺域のプレート境界面分布」・歴史史料データベースとして「日記史料有感データベース」へのリンク・地殻変動データベースとして「2003 年十勝沖地震臨時 GPS 観測データ」と「地殻変動プロマイド記録」へリンク・成果論文データベースとして本計画に関連する成果論文一覧が格納された. 地震解析ソフトウェアとして「XETAS ( 地震活動解析ソフトウェア )」が登録された. サーバのセキュリティ対策のため OS のアップデート作業を実施した. 観測や調査のメタデータ収集に向け, 既存のフォーマット形式について検討を行った.

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので, 令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

データベースサーバを引き続き安定的に運用する. 新たに格納可能なデータコンテンツについて調査を進めるとともに, データ生産者・部会等との調整を継続する. 利用拡大を図るためのデータベースの周知を行う. 調査や観測のメタデータ収集に向けたフォーマット作成に必要な調整を実施する.

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

平成22年度から毎年実施してきた新潟県周辺のひずみ集中帯におけるGNSS繰り返し観測は、令和元年度を持って終了したため、観測機器の撤収作業を実施した。

平成28年(2016年)熊本地震による余効変動について、Tomita et al. (2020)の手法に倣い、余効すべりと粘弾性変形それぞれの寄与を同時に推定する手法を試験的に導入した。厚さ25kmの弾性層及びその下のMaxwell粘弾性層の2層からなる半無限媒質を仮定し、Fukahata and Matsu'ura (2005)のプログラムを用いて、弾性及び粘弾性グリーン関数を計算した。地震時のすべり量については、3枚の矩形断層(矢来ほか2016)を仮定した。地震後1年間の水平方向の変位から粘弾性変形を考慮した余効すべりの推定を、MCMC法を用いて行ったところ、粘弾性層の粘性率が $2 \times 10^{18}$  Pa s程度であ

れば観測データを最もよく説明できることが分かった(図1、2)。また、同様の解析を地震後3年間の変位を用いて行ったところ、観測データを最もよく説明する粘性率は $5 \times 10^{18}$  Pa s 程度であった。これらの結果は、粘弾性層における粘性率の時間変化を反映している可能性がある。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
川畑亮二・宗包浩志，2021，MCMC法を用いた震源断層及びすべり分布モデル推定のためのプロトタイププログラムの開発，国土地理院時報，134。
- (10) 令和3年度実施計画の概要：  
有限要素法による数値シミュレーションを用いて、地下の不均質構造やレオロジーを考慮した内陸地震の余効変動のモデル化を試みる。
- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
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
- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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@gxb.mlit.go.jp  
URL：https://www.gsi.go.jp
- (13) 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

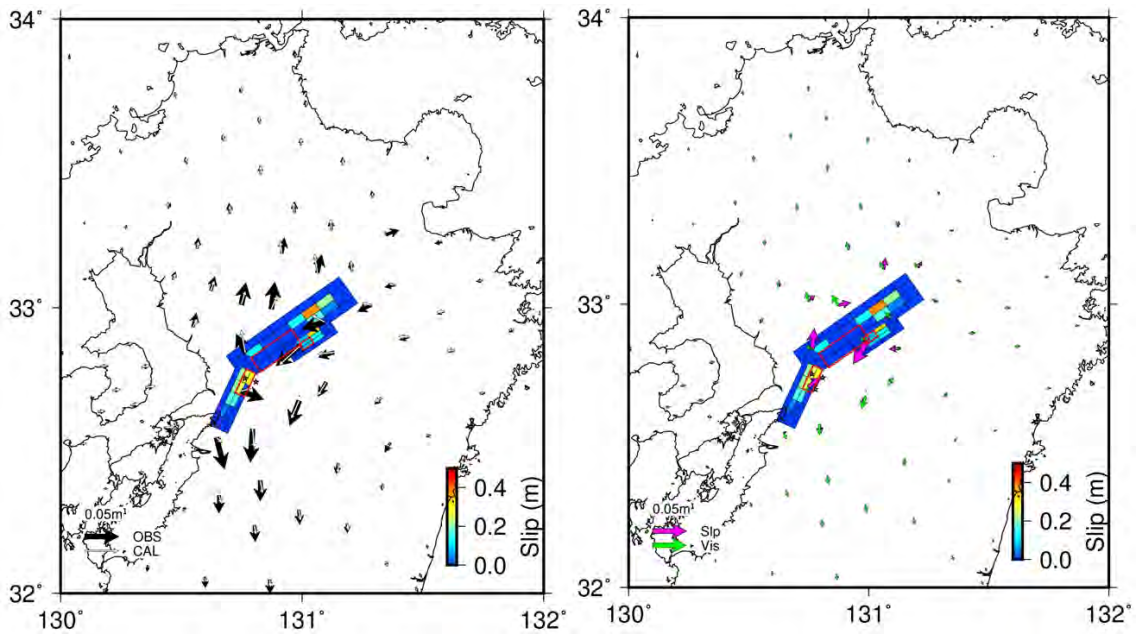


図1 . 平成 28 年 ( 2016 年 ) 熊本地震後 1 年間の変動量から推定した余効すべり分布  
 ( 左 ) 水平方向の変位の観測値 ( 黒 ) 及び計算値 ( 白 ) 。 ( 右 ) 水平方向の変位の計算値のうち、余効すべり ( マゼンタ ) 及び粘弾性変形 ( 緑 ) の寄与。地震時のすべりを与えた断層パッチ ( 矢来ほか 2016 ) を赤枠で囲っている。なお、上端を除く断層端のすべり量は 0 に固定している。粘性率は  $2 \times 10^{18}$  Pa s を使用した。

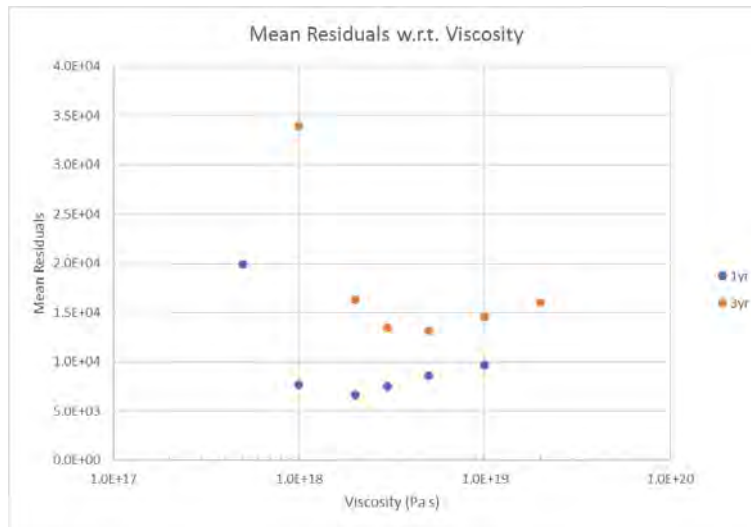


図2 . 各粘性率に対する残差の平均値  
 熊本地震後 1 年間 ( 青 ) 及び 3 年間 ( 橙 ) の変位を用いて余効すべりを推定した結果の残差の平均値を、各粘性率に対して図示している。

(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2年度の成果の概要：

Loveless and Mead (2010) の断層形状に基づき、全国の解析を行った。その結果、日向灘、豊後水道、四国中部、紀伊水道、志摩半島でのSSEを検出できた。志摩半島では、2017年3月頃からSSEが発生し、2018年3月頃に終息し、その後2019年1月頃からまた開始し、2020年4月頃に終息している。四国中部では、2019年1月頃からSSEが始まり、2020年末に終息している。紀伊水道SSEは、2019年4月頃から始まり、2020年末に終息している。2018年6月頃から始まった日向灘北部SSEは2019年初めまでに豊後水道に移動し、2019年中頃に終息したが、2020年7月頃から日向灘北部、南部でSSEが発生している事がわかった。(図1、図2)

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

小沢慎三郎、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2年度) Ozawa S, Kawabata, R, Kokado K, Yurai, H., Long-term slow slip events along the Nankai trough delayed by the 2016 Kumamoto earthquake, Japan, Eearth Planets Space, 72:61, 2020

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、ブロック断層モデリングの改良を引き続き行うと共に令和3年度の地殻変動の解析を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(13) 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

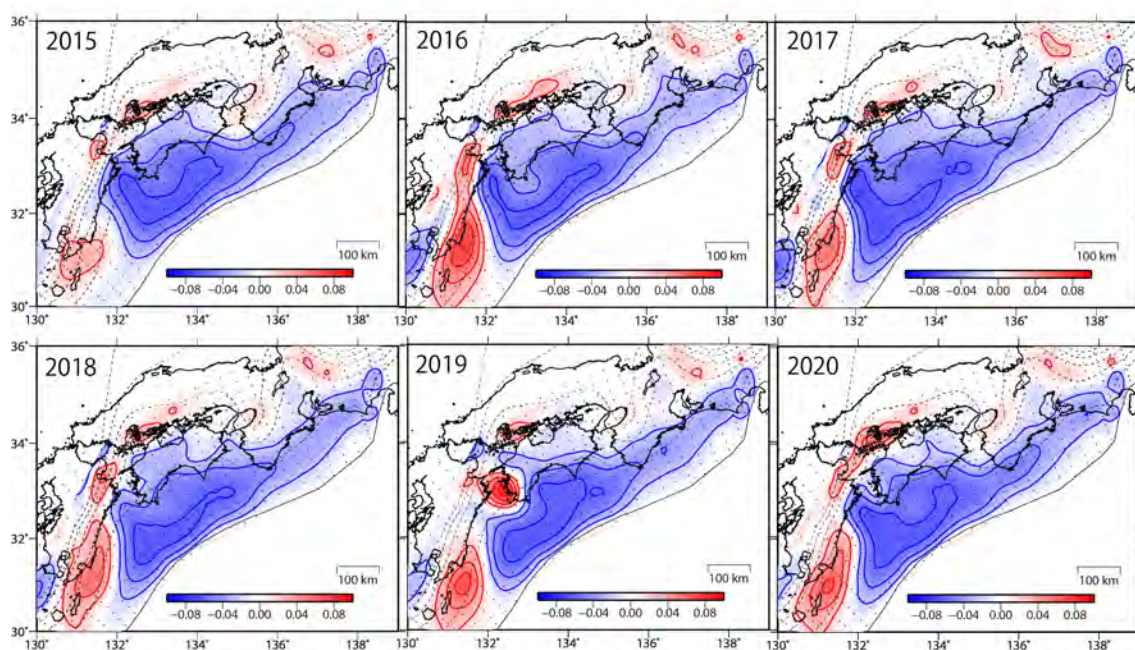


図1 西南日本の固着状態の変化。青：固着、赤：滑り。コンター間隔2cm。

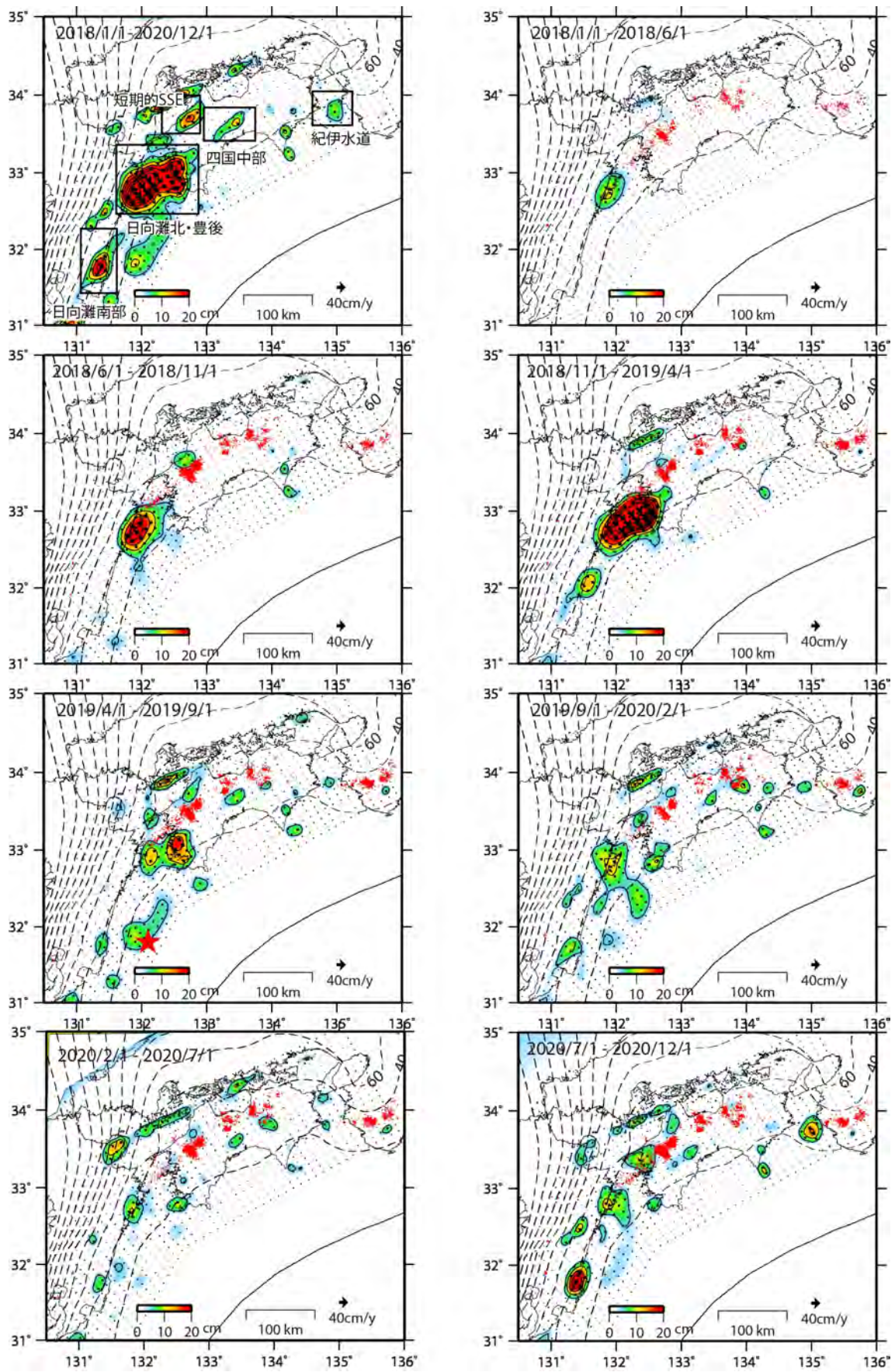


図2 西南日本のプレート間滑り

(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2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、霧島地域に適用し、マグマ溜まりの時間変化を推定した。その結果、伊豆大島では、2016年頃から膨張傾向が停滞している事がわかった(図1)。桜島と霧島の統合解析により、桜島、始良カルデラでの体積膨張、霧島での2018年噴火前、噴火時、噴火後の膨張、収縮、膨張が推定された(図2)。

また、インバージョンを草津白根山、浅間山に適用し、マグマ溜まりの時間変化を推定した。その結果、草津白根山では、西方やや深部の力源が2014年および2018年以降膨張していることが明らかになった。また、浅間山では、深部の力源が2015-2017年を除いて継続的に収縮していること、浅部の力源が2015年、2017年、2020年の活動期に膨張していることが明らかになった。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

小沢慎三郎、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(第9年次)、国土地理院調査研究年報(令和2年度)



( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

伊豆大島、桜島、霧島、草津白根山、浅間山のマグマ溜まりの時間変化を引き続き調査する。伊豆大島、桜島、霧島以外の火山地域のモデル化を試みる。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)

URL : <https://www.gsi.go.jp>

( 13 ) 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

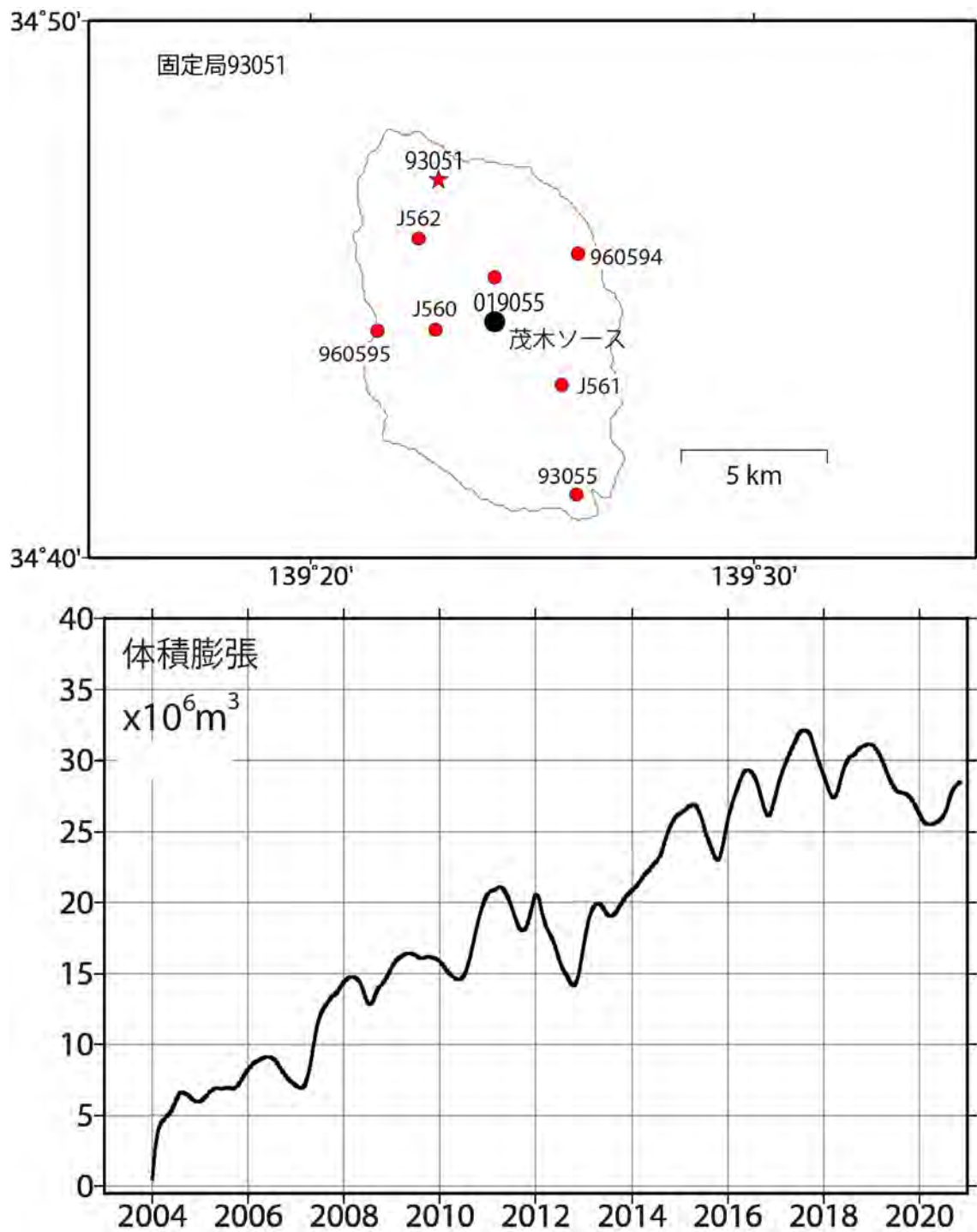


図1 伊豆大島の配点図と茂木ソースの体積変化

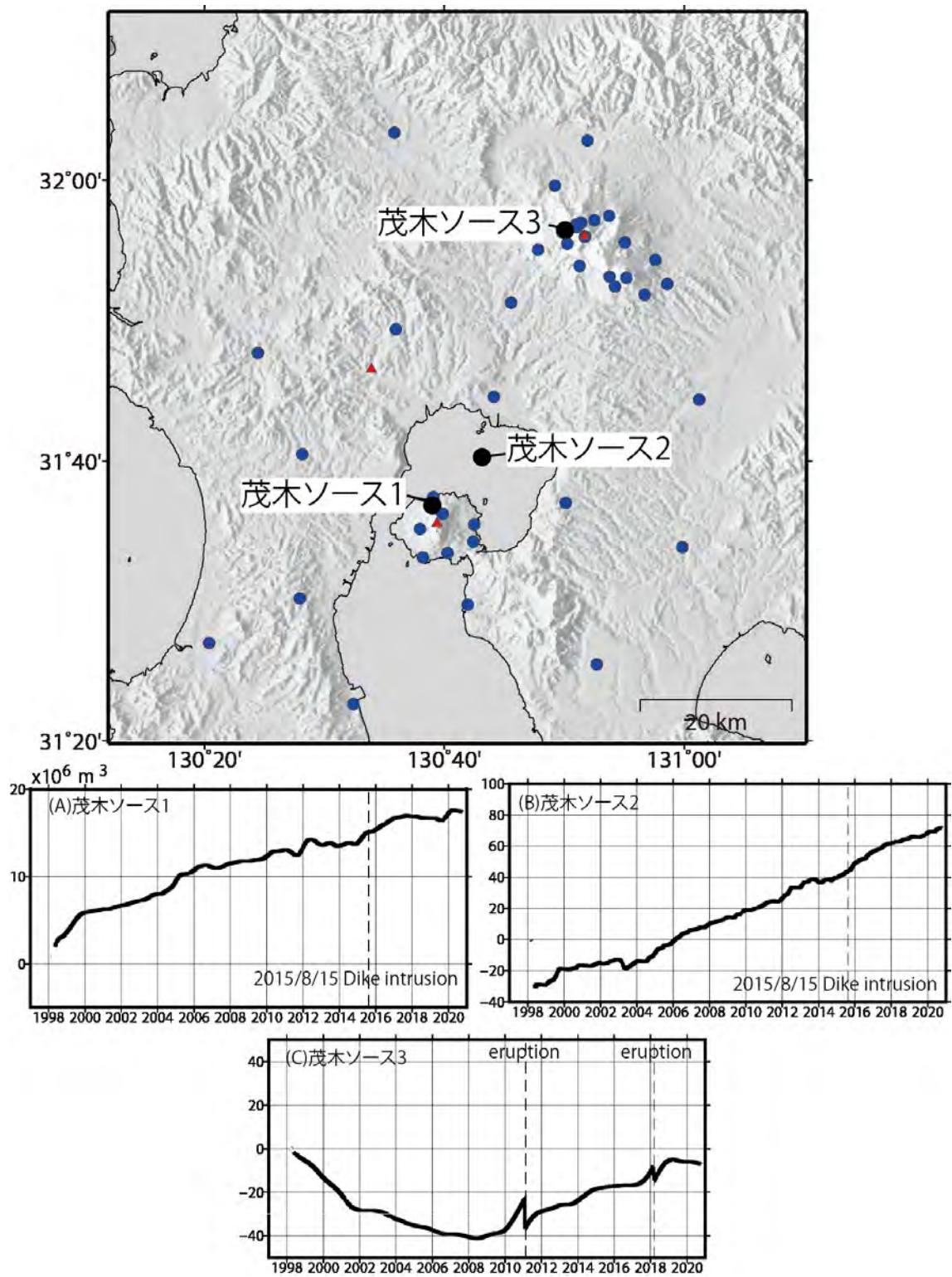


図2 霧島・桜島の配点図と茂木ソースの体積変化

(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期的に行い、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2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) へ参画し、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を開発した。

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、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、4月20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・四国東部や九州北部及び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、硫黄島や浅間山、口永良部島、桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動等も検出するなど、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た。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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
日本列島の地殻変動 <https://www.gsi.go.jp/kanshi/index.html>

(10) 令和3年度実施計画の概要：

全国においてGNSS連続観測点を維持し観測を継続する。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公開するとともに、精度評価を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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@gxb.mlit.go.jp  
URL：https://www.gsi.go.jp

(13) 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 験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2年度の成果の概要：

全国 25 験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、潮位データ、験潮場間の潮位差データを用いた地殻変動の把握を行った。

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 9 か所で実施した。（電子基準点課）

令和 2 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 1,150km（相模、駿河、御前崎、遠州、紀伊北、紀伊南、室戸及び足摺地区）を実施した。（測地基準課）

航空機 SAR を用いて、全国の活動的な火山（噴火警戒レベル 1 以上）9 ヶ所の観測を実施し、噴火前の地形情報を取得した。（地図情報技術開発室）

（ 9 ）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

国土地理院,2020, 関東甲信地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,104,145-147

国土地理院,2020, 伊豆地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,104,149-165

国土地理院,2020, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,104,166-196

国土地理院,2020, 中国・四国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,104,395-414

（ 10 ）令和 3 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）

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 1,107km（相模、駿河、島田、御前崎、遠州、紀伊南、室戸及び足摺地区）を実施する。（測地基準課）

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）

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）

（ 11 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

（ 12 ）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

( 13 ) 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2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、丘珠、鹿児島各飛行場にて実施した。また、関東・中部・近畿、中国・四国及び九州北東部において、航空重力測量を実施し、上空の重力データを取得した。このほか、熊本において、絶対重力観測を実施した。

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した。また、測地観測所等で地磁気絶対観測等を実施した。さらに、富士山において全磁力連続観測を実施した。

（9）令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
半田優実，富山顕，兒玉篤郎，栗原忍，越智久巳一，大森秀一，相対重力計CG-5を用いた重力鉛直勾配測定，日本地球惑星科学連合2020年大会予稿集，SGD02-P04，2020.

飯尾研人，吉樂絵里香，大森秀一，栗原忍，越智久巳一，矢萩智裕，河和宏，松尾功二，兒玉篤郎，富山顕，半田優実，航空重力測量における解析手法の検討，日本地球惑星科学連合2020年大会予稿集，SGD02-05，2020.

撈上泰亮，吉藤浩之，山口智也，越智久巳一，国土地理院による地磁気観測の現状，2020年度CA研究会論文集，2021.

Kurihara, S., M. Nakashima, T. Kodama, K. Iio, S. Ohmori, M. Handa, E. Kichiraku, K. Matsuo, H. Kawawa, and K. Ochi, The Airborne Gravity Survey for Development of a New Precise Gravimetric Geoid Model in Japan, AGU Fall Meeting 2020, 670012, 2020.

（10）令和3年度実施計画の概要：

引き続き、九州、東北、北海道地方等において、航空重力測量を実施する。また、那覇空港において、飛行場重力点の設置を行う。このほか、地上における絶対重力観測、測地観測所等における地磁気の連続観測及び富士山における全磁力連続観測を実施する。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

測地部物理測地課

他機関との共同研究の有無：無

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

（13）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2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、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。西之島では、火山活動が活発した2019年12月以降、溶岩等によるとみられる地形や海岸線の変化の様子を検出した(図1)。また、口永良部島や草津白根山等の国内の火山を対象として時系列解析を実施した結果、

差分干渉画像では検出できない微小な地殻変動を検出した(図2)。これらの解析結果は、火山噴火予知連絡会等に提供された。2020年10月30日に発生したトルコ・ギリシャ沖の地震では、サモス島の西側で衛星に近づく変動、北岸で衛星から遠ざかる変動を検出した(図3)。

2020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48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5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22.5mm/年(方位角134°方向)であった(図4)。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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3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干渉解析を定期的実施し、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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(13) 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

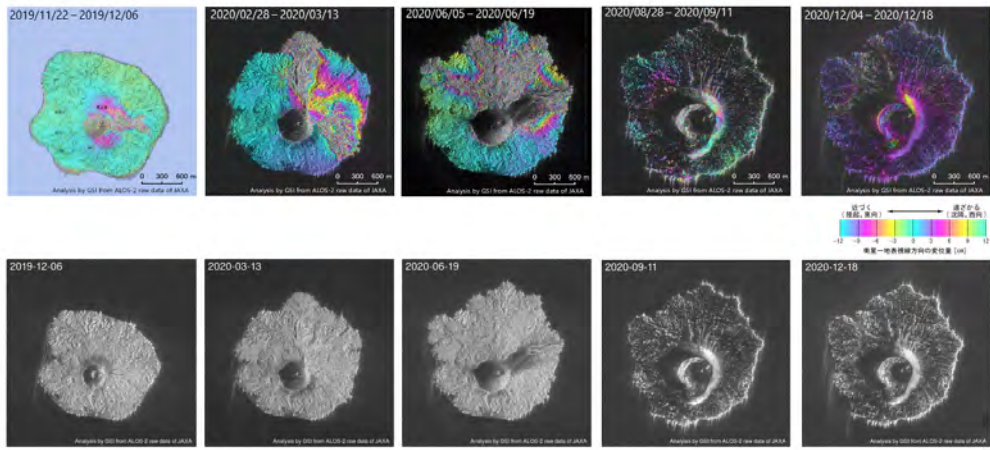


図1 西之島の SAR 干渉解析結果 (2019 年 11 月 22 日 ~ 2020 年 12 月 18 日)  
 上段：干渉画像、下段；強度画像

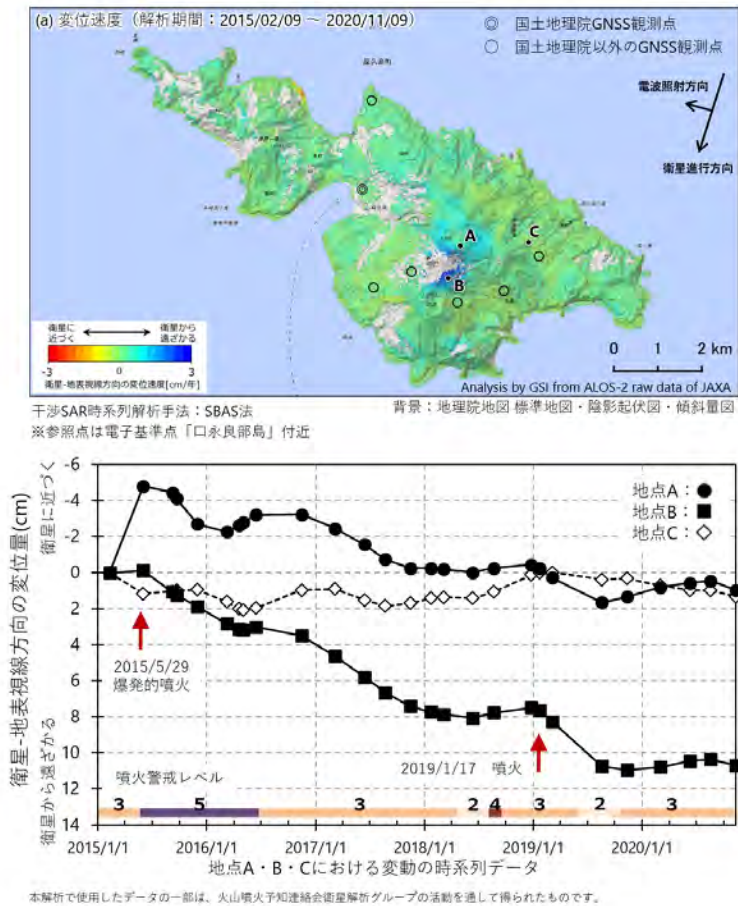


図2 口永良部島の干渉 SAR 時系列解析結果  
 上図：変位速度分布、下図：地点 A,B,C における変動の時系列

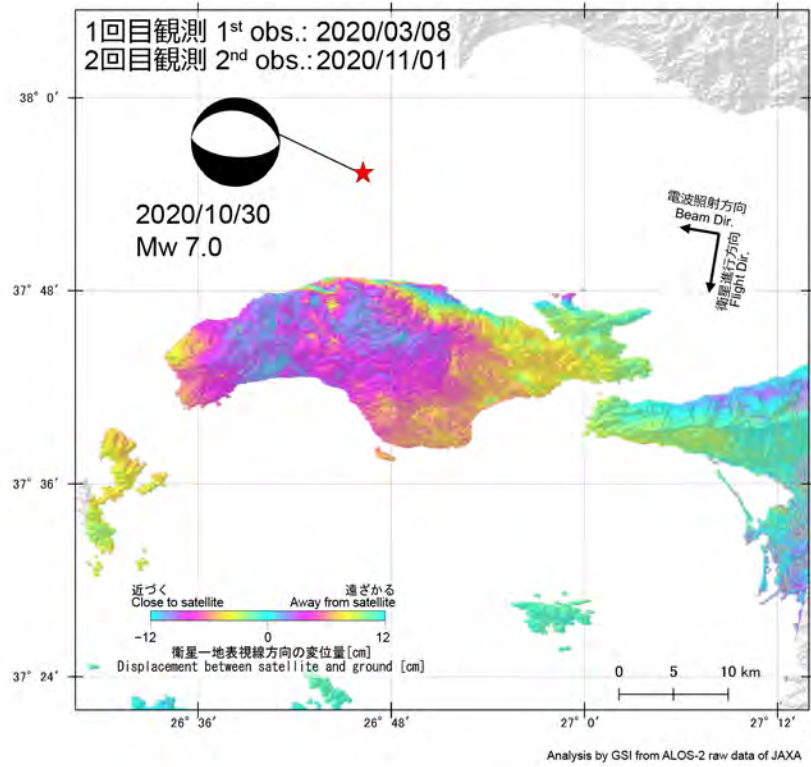


図3 SAR干渉解析によるトルコ・ギリシャ沖の地震(2020年10月30日、M7.0)に伴う地殻変動



図4 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2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。また、発災時に安定して解析結果の情報を提供するために REGARD へ精密単独測位 (PPP) による解析を導入して冗長性を確保するにあたり、解析に必要な測位衛星の軌道情報の推定機能を強化した。
- ・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、3時間ごとに24時間スパンの電子基準点の座標時系列を求める試験解析を実施し、解析の安定性向上のための改良を行った。

・様々な汎用的な機器を用いた地殻変動観測システムの開発に関しては、近年普及し始めている廉価版の GNSS 機器を用いた GNSS 連続観測装置を開発した。この装置を国土地理院構内の研究棟屋上に設置して約 1 ヶ月間の試験観測を実施した。近傍の電子基準点 4 点の F3 解を基準に基線解析及び三次元網平均計算を実施し日々の座標値を算出した結果、1 ヶ月間の連続観測の標準偏差が水平 5mm、上下 10mm 以内となり、cm レベルの地殻変動を把握できる精度が得られることを確認した。

・上記観測装置の地殻変動の把握能力を検証するために、地盤沈下やスロースリップ等による複雑な地表変動が生じている房総半島を試験フィールドに選び、令和 3 年 2 月に千葉県長生郡市の 10 箇所に装置を設置し GNSS 連続観測を開始した。

以上の通り、5 か年計画に沿った成果が得られた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

中川弘之・宮原伐折羅・宗包浩志, 2020, 精密単独測位(PPP-AR)を用いた GNSS 定常解析システムの開発, 国土地理院時報, 133, 77-86.

( 10 ) 令和 3 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、REGARD に送られる電子基準点リアルタイムデータが発災時でも安定的に通信できるように、電子基準点の通信機能を強化する。

・電子基準点キネマティック解析システムについて、令和 2 年度に引き続き試験解析を行うとともに、座標時系列の安定性を向上させるための取り組みを継続する。

・千葉県の 10 箇所に設置した、廉価版の GNSS 機器を用いた GNSS 連続観測システムを引き続き運用し、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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)

URL : <https://www.gsi.go.jp>

( 13 ) 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

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・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2年度の成果の概要：

令和元年度に調査を実施した、石狩低地東縁断層帯とその周辺「鶴川」、長岡平野西縁断層帯とその周辺「弥彦」「三条」(図1)、糸魚川 - 静岡構造線断層帯とその周辺「信濃池田 改訂版」「松本 改訂版」(図2)、庄川断層帯とその周辺「下梨」「白山」(図3)、長良川上流断層帯とその周辺「白鳥」「八幡」(図4)、上町断層帯とその周辺「大阪西南部 改訂版」「岸和田 改訂版」11面の1:25,000活断層図を整備・公開した。

また、櫛形山脈断層帯、月岡断層帯、長岡平野西縁断層帯、頓宮断層、木津川断層帯、大原湖断層、小郡断層、糸魚川 - 静岡構造線断層帯(改訂)の調査を実施した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

岡田真介(2020): 1:25,000活断層図 石狩低地東縁断層帯とその周辺「鶴川」解説書・国土地理院技術資料D1-No.1017, 6p.

石山達也(2020): 1:25,000活断層図 長岡平野西縁断層帯とその周辺「弥彦」解説書・国土地理院技術資料D1-No.1018, 6p.

澤 祥(2020): 1:25,000活断層図 長岡平野西縁断層帯とその周辺「三条」解説書・国土地理院技術資料D1-No.1019, 9p.

廣内大助(2020): 1:25,000 活断層図 糸魚川 静岡構造線断層帯とその周辺「信濃池田 改訂版」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1020, 11p.

鈴木康弘(2020): 1:25,000 活断層図 糸魚川 静岡構造線断層帯とその周辺「松本 改訂版」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1021, 10p.

後藤秀昭(2020): 1:25,000 活断層図 庄川断層帯とその周辺「下梨」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1022, 6p.

中埜貴元・後藤秀昭(2020): 1:25,000 活断層図 庄川断層帯とその周辺「白山」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1023, 12p.

熊原康博(2020): 1:25,000 活断層図 長良川上流断層帯とその周辺「白鳥」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1024, 13p.

金田平太郎(2020): 1:25,000 活断層図 長良川上流断層帯とその周辺「八幡」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1025, 9p.

田力正好(2020): 1:25,000 活断層図 上町断層帯とその周辺「大阪西南部 改訂版」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1026, 10p.

杉戸信彦(2020): 1:25,000 活断層図 上町断層帯とその周辺「岸和田 改訂版」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.1027, 8p.

(10) 令和3年度実施計画の概要:

令和3年度においては、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(改訂)の6断層帯を1:25,000活断層図として整備する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)

URL: <https://www.gsi.go.jp>

(13) 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

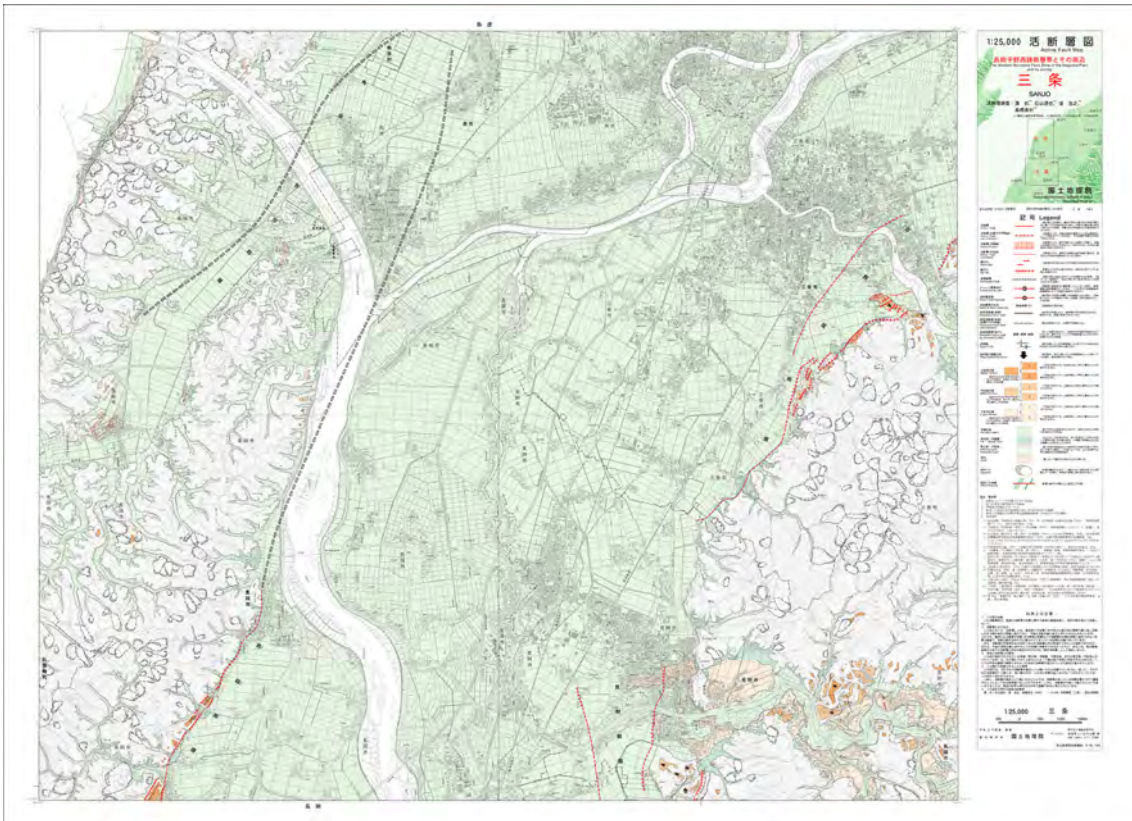


図1 長岡平野西縁断層帯とその周辺 「三条」

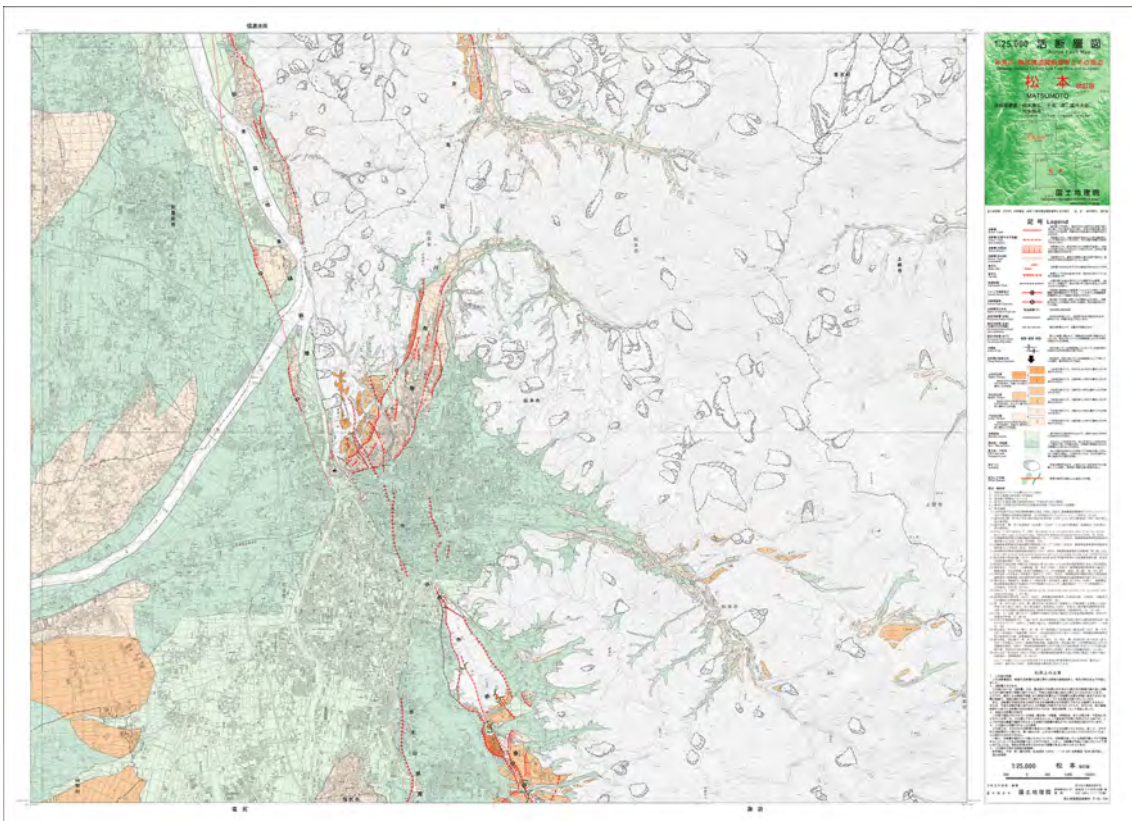


図2 糸魚川 静岡構造線断層帯とその周辺 「松本 改訂版」



図3 庄川断層帯とその周辺 「白山」

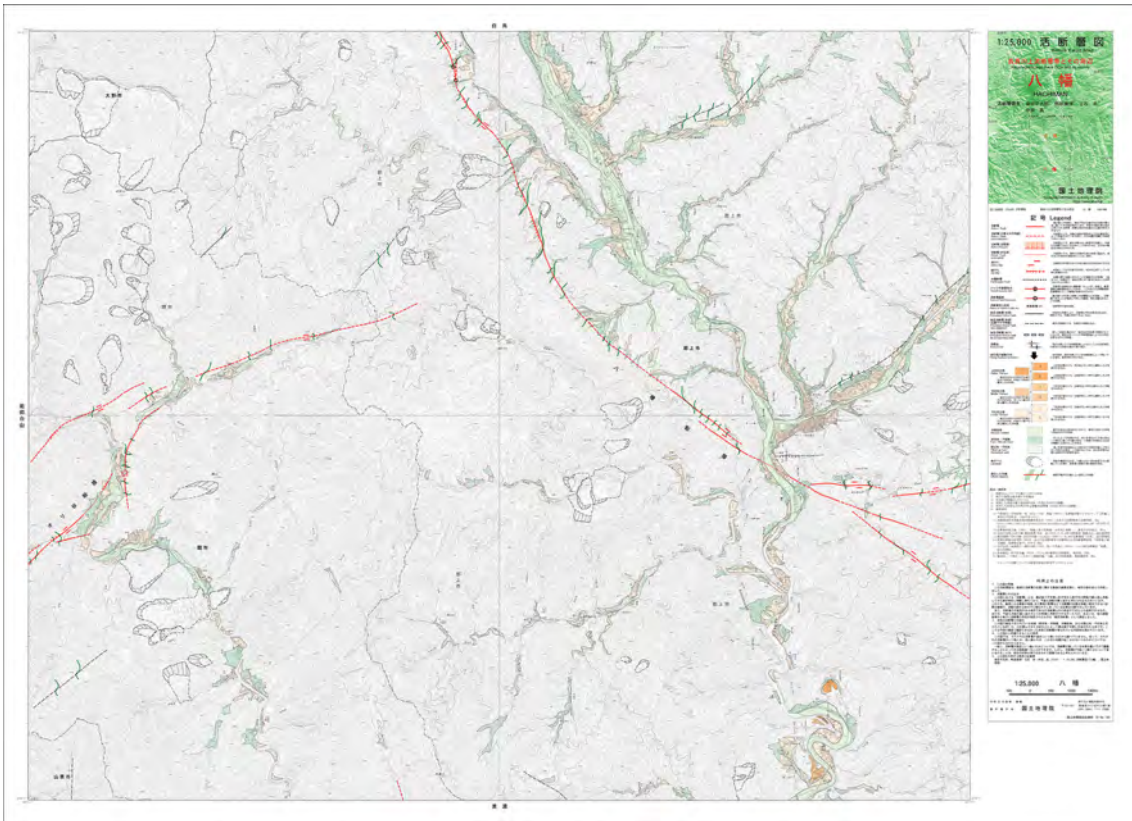


図4 長良川上流断層帯とその周辺 「八幡」

(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

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・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2年度の成果の概要：

令和2年度においては、「浅間山」の火山土地条件調査を実施し、「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整備した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度においては、「諏訪之瀬島」の火山土地条件調査を実施し、「御嶽山」「伊豆大島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図整備を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

応用地理部 地理調査課

他機関との共同研究の有無：無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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@gxb.mlit.go.jp  
URL：https://www.gsi.go.jp

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

- ・国土地理院が公開するGNSS連続観測データに関する所在情報を、引き続き国土地理院のホームページから公開した。( <http://datahouse1.gsi.go.jp/> )
- ・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、令和元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維持およびデータベースの更新を行った。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

- ・国土地理院が公開するGNSS連続観測データに関する所在情報を整備し、国土地理院のホームページから引き続き公開する。
- ・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2年度の潮位観測データを潮位年報として取りまとめる。

・地殻活動総合解析システムの維持およびデータベースの更新を引き続き行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)

URL : <https://www.gsi.go.jp>

( 13 ) 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応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2年度の成果の概要：

前年度に引き続き、北海道太平洋岸の津波堆積物情報の高度化を進めた。実際には、フィールド調査を実施できなかったため、年代測定データの追加と火山灰分析結果の蓄積を進めた。その結果、北海道太平洋岸の津波堆積物の年代は、十勝地域と釧路根室地域では17世紀のイベントだけでなく12世紀のイベントも年代が異なることが示唆された。また十勝の当縁川河口域において、10世紀から18世紀までの地殻変動史を構築することができた。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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、令和2年度に実施できなかった国内外における既知の津波堆積物の追跡調査を計画している。特に、東北地方太平洋沖地震から10年経過した津波堆積物について、三沢市で再サンプリングを行う。北海道太平洋岸においては、1カ所でトレンチ調査を実施して連続的な試料から年代測定を実施し、イベントの堆積年代だけでなくイベントがなかった時代の確認も行い、長期評価に必要な情報を得る。十勝の地殻変動史については、重要な結果なので、もう1地点で同様の傾向が見えることを確認し、特に、地震間変動の傾向が反転する時期の年代を決め、17世紀のイベント後の傾向も把握する。地点間対比の手法についても、さらにデータを増やして汎用性を確認し、手順の一般化を図る。

(11) 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

秋田県立大学(千葉 崇)

新潟大学人文社会・教育科学系(高清水康博)

東北大学(菅原大助,石澤亮史)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) 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 2 年度の成果の概要 :

今年度は当初、1 年目を実施できなかった阿蘇の野外調査、および阿多を対象とした野外調査を行い、採取試料の化学分析を行う予定であった。しかしながら、コロナ禍により出張の自粛を大学から強く要請されたため、野外調査は実施できなかった。このため当初の計画を変更し、試料を採取済であった屈斜路カルデラを対象に、化学分析と U-Th 放射非平衡分析を行った。その結果、予察的ではあるが、珪長質マグマの生成に 3 万年程度の時間を要していた可能性が明らかになった。また昨年度に完成した U-Th 放射非平衡の分析法について、白頭山のカルデラ噴出物への適用例とともに、Lithos 誌に印刷されるに至った。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Kuritani, T., Nakagawa, M., Nishimoto, J., Yokoyama, T. and Miyamoto, T. (2020) Magma plumbing system for the Millennium Eruption at Changbaishan volcano, China: constraints from whole-rock U-Th disequilibrium. *Lithos*, 366-367, 105564, doi:10.1016/j.lithos.2020.105564.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

来年度についても、特に北海道外での野外調査については予断を許さない状況である。このため、阿蘇および阿多を対象とした野外調査の実施を選択肢として残しつつ、道内の主要カルデラ ( 屈斜路・洞爺・支笏 ) の分析・解析を進める予定である。現状では屈斜路と支笏については U-Th 放射非平衡の分析を終えていることから、さらに結果の解析を進め、珪長質マグマの生成に要した時間スケールの決定、および論文化を進める。また洞爺カルデラについては基礎的な地球化学データの蓄積、および代表的な試料を対象とした U-Th 放射非平衡の測定まで終える予定である。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

栗谷豪, 中川光弘, 吉村俊平, 松本亜希子  
他機関との共同研究の有無 : 有  
東京工業大学, 横山哲也  
大阪市立大学, 柵山徹也

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道大学大学院理学研究院  
電話 : 0117062729  
e-mail : kuritani@sci.hokudai.ac.jp  
URL :

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

本年度は、樽前火山1667年噴火の噴出物の揮発性成分分析を行い、噴火前のマグマ溜まりでの状態を検討した。当初計画では実験を行うこととなっていたが、コロナ禍による材料入手の遅れのためこれを一旦停止し、令和元年度の火山噴出物の揮発性成分の分析をさらに継続した。樽前火山は令和元年度の研究予定火山(桜島火山・浅間火山・有珠火山)には含まれていないが、活動が活発で今後も噴火が危惧されることから、本課題に新たに加えることとした。

樽前火山の活動には3つの噴火ステージ(9000年前の噴火、2500年前の噴火、1667年以降の“歴史時代噴火”)がある。本課題では、歴史時代噴火のうち規模が最も大きく、大量の軽石・火山灰を噴出した1667年噴火を対象とした。まず、苫小牧市内において噴火の初期から晩期まで系統的に軽石を採取した。そして、斑晶鉱物中のガラス包有物を対象とし、主要な揮発性成分であるH<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>の溶存濃度を測定した。測定に成功した包有物の個数は54個である。分析の結果、データ点はH<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>ダイアグラム上で3つの分布を示した。1つ目はCO<sub>2</sub>を含まず、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比がほぼ0のもの、2つ目はCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比が高く、CO<sub>2</sub>が10mol%のガスとの平衡共存線にのるもの、3つ目はCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比が更に高く、CO<sub>2</sub>が20mol%含まれるガスとの平衡共存線にのるもの、である。1つ目はマグマ溜まりの単純な脱ガスで説明することができる。2つ目と3つ目は、それぞれのCO<sub>2</sub>濃度のガスがマグマ溜まり内の様々な深度に存在したことを表しており、このことは、CO<sub>2</sub>に富むガスが深部より上昇しマグマを洗い流すように流れる現象(CO<sub>2</sub>フラクシング)が起きていたことを示す。すなわち、マグマ溜まり内では様々な脱ガス現象が同時に、空間的に不均一に進行しているということになる。マグマだまりで不均一に脱ガスやフラクシングが進行するという考えは、これまで他の火山でも知られていない。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

吉村 俊平, 2020. 石基ガラスの塩素濃度不均質から読み解く珪長質マグマの脱ガス現象, 岩石鉱物科学, 49, 51-57.

(10) 令和3年度実施計画の概要：

本年度は、予定外に樽前火山の研究を行うこととなったが、マグマ溜まりの新しい脱ガスモデルが見出されるという興味深い成果があった。CO<sub>2</sub>フラクシングはマグマ溜まりを増圧であることが知られており、噴火のトリガーを知る上で重要な現象である。そこで、来年度は樽前の研究をさらに継続し、CO<sub>2</sub>ガスの体積や流量を定量的に検討したい。具体的には、本年度のデータに本課題代表者の吉村が開発したCO<sub>2</sub>フラクシングの理論モデル(Yoshimura and Nakamura, 2011; 2013)の改良版(現在開発中)を適用し、どれくらいの流量でCO<sub>2</sub>ガスが流れていたかを制約したい。また、その計算結果を増圧モデル(Lucacci et al., 2017)と比較することで、CO<sub>2</sub>フラクシングが噴火トリガーにどのように寄与したかを調べたい。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉村俊平、栗谷豪、松本亜希子、中川光弘(北海道大学)

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院

電話：

e-mail：shumpyos@sci.hokudai.ac.jp

URL：

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

1. 各火山でのモニタリング観測・解析

【十勝岳】

- ・地磁気全磁力観測（連続2カ所、反復サーベイ1回）2008年からデータあり（北大・気象庁）
- ・人工衛星（TROPOMI）データを利用したSO<sub>2</sub>フラックスの推定（北大）
- ・ベンガラ温泉で自動サンプラーを用いた温泉水の高頻度サンプリングと分析を継続。（東大理、道総研と共同）
- ・62-2火口近傍でのMulti-GAS連続観測装置の設置を試みたが機器の不具合のため有効なデータは取得できなかった（北大、産総研と共同）次年度に再設置の予定。

【蔵王山】

- ・全磁力反復サーベイを気象庁と共同で実施（東北大、2014年から）顕著な変化は観測されていない。

【吾妻山】

- ・全磁力反復サーベイを気象庁と共同実施。それまでの消磁傾向が2020年に帯磁に反転した可能性が高い（東北大、2003年から気象庁データあり、2016年に気象庁は連続観測開始）

【伊豆大島】

- ・電磁気による各種モニタリングを継続（地磁気全磁力、直流比抵抗法、ACTIVE-CSEM）カルデラ内で長年続いてきた帯磁傾向（1988-89年噴火後の緩和過程）が停滞しつつある。比抵抗モニタリングでは今のところ火口下の低比抵抗化は見えない（東大地震研）

【三宅島】

- ・当初計画では予定していなかったが、ドローンを用いた空中磁気測量を実施。2016年測定データとの比較を試みている（東大地震研）

【イジエン】

- ・気候変動観測衛星「しきさい」の赤外画像解析により、インドネシアのイジエン火山の火口湖表面温度の2019年の推移を高頻度で追跡し、火山活動の高まりを検出することに成功した（東大地震研）

【草津白根山】

- ・地磁気全磁力連続観測の継続。2018年春頃から消磁傾向が続いている（東工大、約10年の記録あり）

【焼岳】

- ・3カ所で地磁気全磁力観測を継続するとともに、今年度は連続観測点を1カ所新設した。これで、設置予定であった点はすべて運用を開始した（京大防、観測開始は2016年）
- ・山頂周辺の噴気観測（温度・化学組成）を継続した。2016年から平均1回/年程度の頻度で実施中。昨年度に続いて地磁気全磁力反復測量を行ったほか、登山道沿いの自然電位分布を測定した（信州大：公募研究課題で実施）

【九重山】

- ・前年度に実施したドローン空中磁気測量のデータを、等価アノマリ法（Nakatsuka and Ohkuma, 2005）+交点コントロール法（Nakatsuka et al., 2009）で詳細に解析。2004年京大理実施のデータと比較するこ

とで、明瞭な冷却帯磁を示す時間変化成分の検出に成功。この結果は、地上観測から期待されるモデルともよく合う(京大理・北大)

#### 【阿蘇山】

・ACTIVE 比抵抗モニタリングを中岳火口周辺の既設点で3回実施した。来年度に観測点を拡充予定で、そのための機材を調達した(京大理)

#### 【霧島硫黄山】

・噴気化学組成の採取・分析を行い、過去の分析値と合わせて2018年水蒸気噴火と化学組成変化の関係を考察した(東海大：公募課題で実施)

### 2. ツール開発

噴気画像の自動処理(北大)。今年度は、気象庁の火山監視カメラのインターバル赤外画像の提供を受けた。夜間の噴煙に可視画像の同様の手法を適用することで風向風速を逐次自動推定できるか検討した。

### 3. 研究集会

KUS\_02 と合同の研究集会を開催する予定であったが、新型コロナの影響で対面会合の実施が困難のため、今年度の成果はオンラインで収集・共有し、会合は来年度夏までを目途に実施することとした。

### 4. 観測データに基づく火山活動評価

本課題及び KUS\_02 では、各種観測データに基づき数年～数10年スケールの中期的な火山活動評価(特に unrest 事象の定量的評価)を行うにあたり、ニュージーランドで開発された VUI(火山活発化指数)を我が国の火山用にカスタマイズして適用する。昨年度作成した基準に基づいて、気象庁・北大・道総研等のデータを用いて十勝岳の VUI 毎月値を、1970年から2019年について算出し、火山学会で発表した。また、今年度は阿蘇山中岳についてワーキンググループで VUI 基準を検討した。

### 5. モニタリングデータの解釈に資する地下構造探査

#### 【吾妻山】

・主に第1次計画における前身の課題(1003)で取得した、吾妻山の広帯域 MT 探査データを解析した。マグマ溜まりと思われる顕著な低比抵抗体を検出しており、2018-19年のデータから気象庁が推定した地盤膨張源(関ほか、投稿中)との対応関係を議論した(東北大)

#### 【蔵王山】

・火山 PJ の課題 B4 で実施した蔵王山 AMT 探査の3次元比抵抗構造の予察的解析を行った。インダクションベクトルからは、御釜～五色岳の地下に低比抵抗体の存在が示唆される(東北大)

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：北海道大学・札幌管区気象台, 2020, 十勝岳(地磁気全磁力), 第146回火山噴火予知連絡会資料(その2の6), 34-35. 北海道大学・札幌管区気象台, 2020, 十勝岳(地磁気全磁力), 第147回火山噴火予知連絡会資料(その2の6), 42. 東京大学地震研究所, 2020, 伊豆大島全磁力, 第147回火山噴火予知連絡会資料(その3の4), 29-30. 東京大学地震研究所, 2020, 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(その3の4), 28. 上記以外にも気象庁は、本課題で研究対象としているすべての火山で噴火予知連絡会資料・会報を作成・出版している。

(10) 令和3年度実施計画の概要：

各火山で電磁気・熱・ガス観測を継続し、非噴火期または噴火期の活動評価の基礎となるデータを引き続き蓄積する。噴気放熱率推定自動化ツールの開発では、連続画像から噴気形状の自動推定を行う部分に着手する。ドローン空中磁気観測は、オペレーションが容易な現場環境であり今後の時間変化

も期待できる吾妻山に対象を変更して実施する。吾妻山の火山活発化指数ワークシートを作成する。  
KUS\_02 と合同で研究集会を開催する（夏までに熊本で現地実施またはオンライン）。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

橋本武志

青山 裕

田中 良

他機関との共同研究の有無 : 有

本課題からの予算配分を予定している機関の共同研究者

東北大学 : 市來雅啓

東大震研 : 小山崇夫・金子隆之

東大理 : 森 俊哉

東工大 : 神田 径・寺田暁彦

名大環境 : 市原 寛

京大理 : 宇津木充・大倉敬宏・横尾亮彦

京大防 : 吉村令慧

九大理 : 相澤広記

本課題からの予算配分を行わない機関の共同研究者

東海大 : 大場 武

信州大 : 齋藤武士

気象庁 : 高木朗充

道総研 : 高橋 良

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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 2 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するとともに、1929 年 Grand Banks Tsunami の再現数値実験を行った。巨大地震は発生しないとされているアメリカ東海岸の沖で 1929 年 Grand Banks 地震 (M7.2) が発生した。この地震直後に震源近傍のケーブルが切断され、海底地すべりが発生したことが確認されている。図 1 の数字を記入した場所でケーブルが切断されていたことが確認されている。さらに地震波形解析から地すべり自体が地震波を励起したとされている (Hasegawa and Kanamori, 1987)。また、この地震 (海底地すべり) は津波を励起し、Halifax (カナダ) の検潮記録には津波波形も記録されている (図 2 黒線)。

本研究では、海底地すべり域を海底ケーブルが切断された位置から、図 1 のように想定した。海底地すべりの数値計算を実施するにあたり、計算手法 TsunamiSquares (Xiao et al., 2015) を改良する。その計算結果を JAGURS 津波計算コードに入力し津波計算を実施した。海底地すべりを計算する際の内部摩擦角やマンニングの摩擦係数は Ioki et al. (2019) で推定されものを使用した。Halifax での観測波形を説明できかつ海底ケーブルの切断位置を説明できる最適な海底地すべりモデルをトライアンドエラーで推定した。図 1 に地すべりを起こした層厚分布、図 2 に計算津波波形 (赤) と観測津波波形 (黒) の比較、図 3 に地すべり発生後 32 分の地すべりの様子と津波伝搬図、図 4 に地すべり発生後 60 分後の図を示す。観測波形はおおよそ説明できていることが分かる。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Tanioka, Y., (2020) Tsunami modeling by marine landslides and reduction of disasters, Invited, JpGU 2020 abstract

Nakagaki, T, and Y. Tanioka, (2020), Numerical Simulation of Submarine Landslide Tsunami due to the 1929 Grand Banks Earthquake, JpGU2020 abstract

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

1929 年 Grand Banks Tsunami の再現実験をまとめる。第 2 段階として海底地すべり発生による津波励起が知られている 1998 年パプアニューギニア地震津波・1946 年アリューシャン地震津波への適用を試みる。また、日本での海底地すべり地形の解析を開始する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

東北学院大学 (柳澤英明)

海洋研究開発機構 (3 名)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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

( 13 ) 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

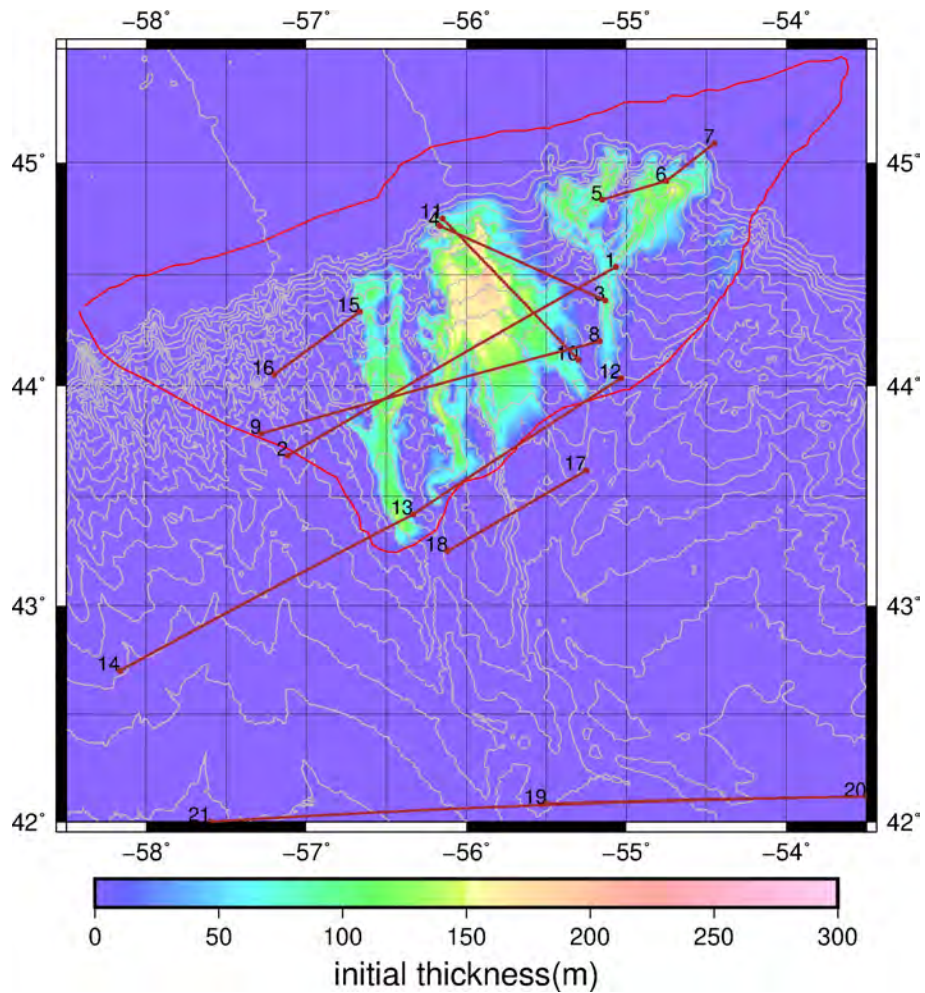


図 1

海底地すべりの発生した場所と層厚．赤線は地すべりにより切断された海底ケーブル．番号は切断された位置を示す。

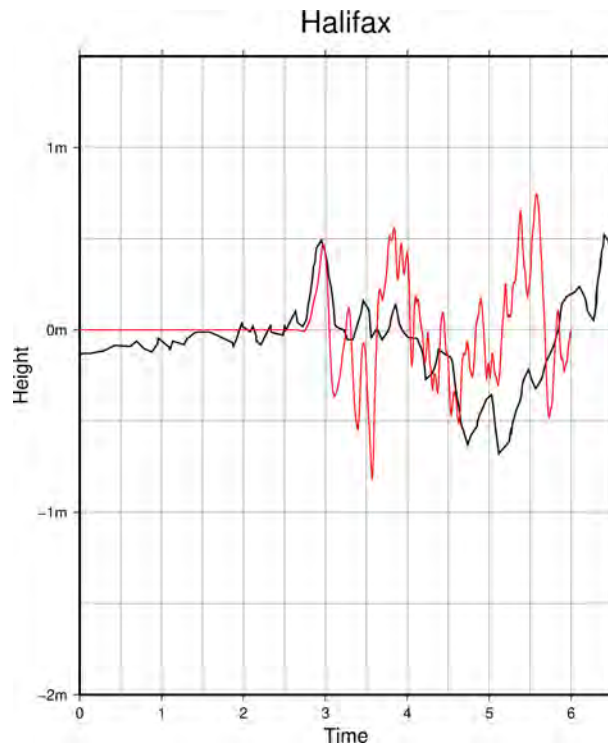


図 2  
Halifax 検潮所での観測津波波形（黒）と計算津波波形（赤）

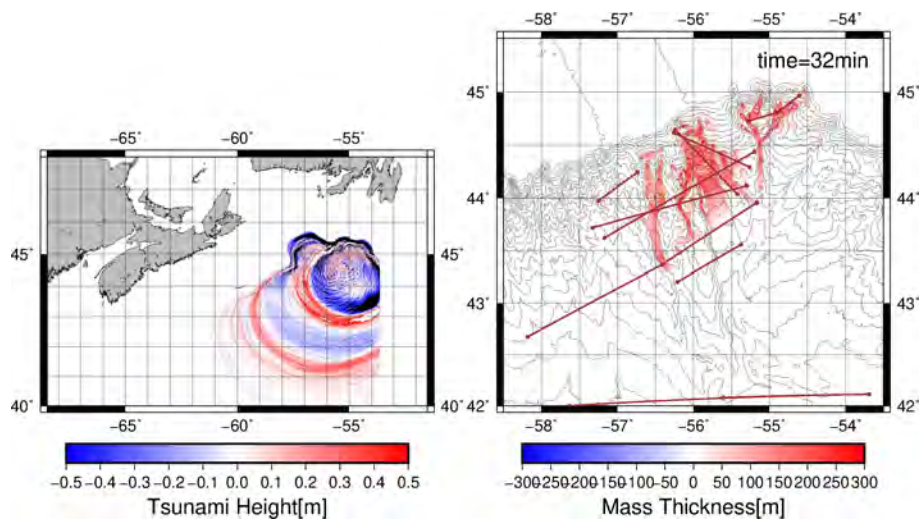


図 3  
海底地すべり発生後 32 分での津波伝搬（左）と地すべり分布（右）



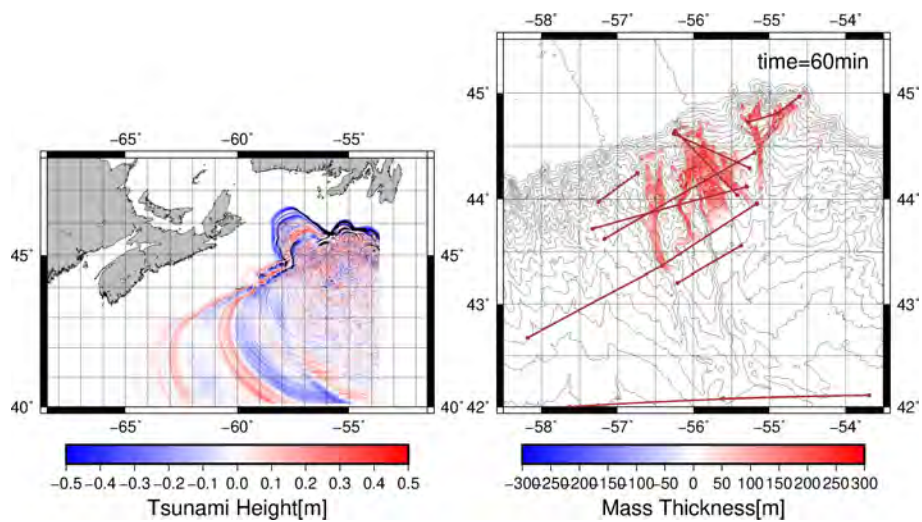


図 4  
海底地すべり発生後 60 分での津波伝搬（左）と地すべり分布（右）

(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れ替え（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れ替え（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れ替え。
- 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れ替え。
- 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2年度の成果の概要：

今年度は、表示システムに新たに導入するコンテンツとして、振幅震源自動推定ツールと火山性地殻変動源自動推定ツールの開発に取り組んだ。

振幅震源自動推定ツールについては、Battaglia and Aki (2003) および Kumagai et al. (2010) の解析手法を用いて、北海道大学において昨年度導入した解析サーバー上で、試作プログラムの動作確認を行った。win システムでテレメータされている地震波形のデータを用いて、専用の解析サーバー上で震源を逐次推定し、結果を画像として保存していく処理となっている。今年度は、十勝岳のデータについて、STA/LTA でトリガーをかけ、イベント発生時にのみ震源を探索するモードで試験を行い、設定パラメータを評価した。処理結果の表示部では、Web ベースのビューワを開発した。

地殻変動源自動推定ツールについては、以下の2つの方式でプログラムの作成に着手した。具体的には、? 球状圧力源+ダイク等の複数ソースを MCMC 法でリアルタイム推定し、最適解とそのソースパラメータの頻度分布(事後確率分布)を同時に推定する方式。THK\_12 の課題で開発したコード(RUNE)を改変して活用する。? 火山体直下にグリッド状に球状圧力源(茂木ソース)を配置し、Variance Reduction 最適値を与える位置を抽出する方式。

なお、前計画で設置した表示システムについては、老朽化した機材の入れ替えを行いつつ、通信契約の切り替えも適宜進めつつ、今後の機能拡張に向けたサーバーの回収を行った。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

北海道大学の有珠観測所で動作中の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む。また、今年度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う(一部外注を予定)。地殻変動源推定コンテンツについては引き続きプログラムの制作を進める。新コンテンツを含む表示システムは、準備ができ次第、課題参加者で共有し試用を始める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本武志(北大) 課題連絡担当者

青山 裕(北大)

高橋浩晃(北大)

谷岡勇市郎(北大)

大園真子(北大)

田中 良(北大)

他機関との共同研究の有無：有

山本 希(東北大) システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(蔵王山など)

太田雄策(東北大) 地殻変動源推定ツールの設計。

大倉敬宏(京大理) システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(阿蘇山など)。火山防災協議会メンバーとしての実験的利用と開発へのフィードバック。

松島 健(九大) システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(雲仙など)

石峯康浩（富士山研）全国の火山防災協議会の動向調査。システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査（霧島山など）  
長谷川嘉彦（気象庁） 気象庁データの使用に関する調整。  
藤田英輔（防災科研） 防災科研データの使用に関する調整。

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：

( 13 ) 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び、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 2 年度の成果の概要：

### 1 . 目的

2020 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予定であった。

しかし、北海道太平洋沿岸の新しい津波浸水想定を発表が遅れたため、その影響に関する分析を行うこともできなかった。そのため、これまでに収集した避難移動履歴データを用いて、津波と土砂災害による複合災害を想定した空間分析を行った。

この研究では、津波災害のみを想定した場合と、津波災害および土砂災害の複合災害を想定した場合の避難行動に関する移動軌跡データの収集を行い、複合災害が発生した場合における集団避難行動の課題を明らかにした。そのために、津波災害のみを対象とした避難行動と、津波災害および土砂災害による複合災害を対象とした避難行動とを比較し、複合災害発生時における課題を抽出した。また、実験後に参加者に対して避難実験結果をフィードバックする時間を設け、参加者防災意識の変化に関するアンケート調査を行った。これにより、集団避難行動および複合災害からの避難を検討する際の基礎的な資料の整備に貢献できると考えられた。

### 2 . 研究方法

本研究では、集団避難に関する移動軌跡データを収集した。まず、収集対象の集団員全員のスマー

トフォンに位置情報を取得、送信するアプリケーション（以下、「避難ログアプリ」）をインストールした。この避難ログアプリを使用して疑似的な集団避難を行い、移動軌跡データを収集した。

その後、収集した移動軌跡データから抽出した歩行速度を計算し、歩行速度の増減によって発生した集団列の分断箇所を抽出した。集団列の分断は避難の遅延につながるため、その要因を特定し、集団避難時における課題を抽出した。

### 3．移動軌跡データの概要

移動軌跡データについては、2019年に北海道大学文学部の地域科学演習で収集したものを使用した（奥野ほか、2019）。データの収集は、北海道稚内市の中心市街地で行った（図1）。稚内市においては、最大11.97mの津波浸水が想定されているほか、データ収集を行った中心市街地における第一波の最短到達時間は、最短で15分となっている（北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会、2017）。また、市街地西部の傾斜地は、土砂災害（特別）警戒区域に指定されている。

データ収集は、2019年6月1日に実施した。収集には、スマートフォンおよび避難ログアプリを利用し、位置情報を約5秒間隔で取得した。収集する際には、避難状況を記録するため、集団の前方、中間、後方をビデオカメラ3台体制で撮影した。

調査員は、北海道大学文学部で2019年度前期の地域システム科学演習を受講している大学院生、学部生の全28名である。集団避難は、観光者等が多く集まると想定される「道の駅わっかない」を避難開始地点とし、(1)津波災害のみと、(2)津波と土砂崩れによる複合災害の2ケースを想定し、収集した（図2、3）。津波災害のみの場合には、避難開始地点から最も近い指定緊急避難場所の「稚内総合文化センター」へ向かうものである（約450m）。複合災害の場合には、「稚内総合文化センター」へ向かうが、途中で土砂災害が発生しており、避難先を指定避難所の「宗谷経済センター」へ変更して避難を行うものとした（約1,050m）。

収集の際、調査員には、周囲の集団員は考慮せず、各自のペース（移動速度）で避難するように指示した。なお、今回の実験においては、避難ログアプリが動作せず、使用できない集団員がいたため、25データを有効データとした。

### 4．移動軌跡データ分析

図4および図5は、集団の平均歩行速度および分断発生時のグループ間距離（重心間距離）をグラフ化したものである。グラフ内のグループ1、2は、それぞれ先頭集団、分断して生じた後続集団を表す。図6および図7は、集団全体の重心位置と、分断が発生した箇所を地図上に表示したものである。図内の数字は、避難開始からの経過時間（分）である。

津波災害のみを想定した「稚内総合文化センター」への集団避難時では、避難開始直後に分断状態が見られた。撮影したビデオカメラ映像と照合したところ、歩行速度の遅い集団員が遅れたことによって発生したものであり、図4および図6内の地点Aまでには解消していた。地点Aは、工事のために車道に設置された臨時的歩行スペースの入口であり、幅員が狭いことによってグループ1が渋滞し、歩行速度が低下したことが分断状態の解消の要因となっていた。そのほかには、分断状態ではないが、地点B、C、Dにおいて大きな減速が見られたが、これらは信号によって停止していたためであった。なお、分断発生時のグループ間距離については、短時間で解消したこともあり、小さい値であった。

次に、津波災害と土砂災害の複合災害を想定した「宗谷経済センター」への避難においては、図5および図7内の地点Aでの分断発生以降、避難場所に到着するまで分断状態が続いていた。地点Aは、信号が設置された交差点であり、信号によって集団の後半部が停止したことにより、分断が発生していた。

その後、地点Bにおいてグループ2が減速しているが、街路樹によって歩道が狭くなっており、列が渋滞したためであった。そのほか、地点C、Dにおいて大きな減速が見られたが、信号による停止、信号がない横断歩道での車両通過待ちによる減速が要因であった。なお、地点Aで分断が発生し、地点B、Cでグループ2が信号によって停止して以降、グループ1との時間差が縮まることはなかった。



グループ間距離については、先述した A 地点において分断が発生し、地点 C、D の交差点において停止したため、グループ間距離が大きく増大していた。この地点 C、D の交差点における停止のほか、歩道が狭くなる箇所（図 5 および図 7 内の 10 周辺）や道路横断等の際にグループ 1、2 とともに共通して減速していたこともあり、グループ 1 が避難先である「宗谷経済センター」に到着し、移動を停止するまで 50m 以上の距離を維持していた。

今回、調査を行った地域においては、地震発生後から津波による影響が見られるまでが最短で 6 分、第一波が到達するまでが最短で 15 分という想定となっている（北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会、2017）。実験の結果、津波のみの避難では 7 分 40 秒、複合災害の避難では 14 分 30 秒を要した。このことから、地震発生直後に避難を開始した場合、津波のみの場合は第一波到達まで数分間の猶予が見られるが、複合災害の場合、特に分断によって生じたグループ 2 については、時間的な猶予がほぼ無い状況となっている。津波災害のみの避難と比べ、津波災害と土砂災害が複合的に発生した場合、より迅速に避難を開始する必要があるほか、集団の分断が避難を遅延させている可能性が示唆された。今回の分析結果では、信号や車両通過待ちによる停止時に分断が発生しており、これらを避けた避難経路の検討が求められるものと考えられる。しかし、今回のような交差点や交通量の多い道路などが多く見られる中心市街地の場合、上述の経路検討が困難な場合が想定される。その場合、避難場所の再検討が必要となる可能性も考えられる。

また、今回の移動軌跡データの収集時には、事前に避難先を決定し、避難先へ誘導していたため、「避難先を探す」という時間を確保していなかった。そのため、実際には、今回の避難時間に加えて避難先を検討する時間が必要となり、津波の襲来に巻き込まれるリスクが高まる可能性がある。避難先の情報を把握していない観光者等が該当すると考えられ、地理不案内な者でも容易に避難先を決定でき、迅速に避難を開始できるような仕組み作りが必要であると推察される。

## 5. フィードバック学習による参加者防災意識の変化

実験後に参加者に対して避難実験結果をフィードバックする時間を設けた。フィードバック学習はプロジェクターに映し出された内容を基に説明を行う講義形式で行った。まず支援システムにより可視化された訓練結果を参加者に示し、その後詳細な説明を行った。

稚内市の実験では、浸水エリアの変化が津波発生場所によって異なるという特性に着目してフィードバック学習を構成した。稚内市が想定する津波浸水の開始時間は、稚内港で津波断層モデル F01 が 15 分、F02-F03 連動モデルが 36 分とされている。しかし F01 は浸水開始 15 分頃に比較的小規模な浸水が発生し、その 1 時間後に宗谷湾内で勢力を増した津波が再び浸水を発生させるという特徴が挙げられる。このような湾内で津波の勢力が増す現象は、函館湾でも見られる現象であるが、ハザードマップからはそうした特徴は読み取れない。ここに土砂災害等複合的な要因をシステム上でシミュレーションし説明ことで、多様な状況を参加者にフィードバックすることができた。

フィードバック学習前後で行ったアンケート調査の結果は以下の通りである。まず学習前の避難訓練成否に関しては（図 8）、回答者 28 名中「はい」を選択した参加者が 68%であったが、学習後のアンケートでは、「はい」が 54%に対して、「いいえ」が 46%と増加した。評価を改めた 4 名のうち 3 名は、複合災害に対する意識がなかった点を理由として挙げ、1 名は避難速度を理由に挙げていた。

次に避難行動時の重要項目に対するアンケート調査結果を見ると（図 9）、「避難所位置の確認」と「避難経路の確認」を選択した回答者がそれぞれ 42%であった。釧路市の結果と合わせてみても、避難訓練参加者の重要視する項目は、この 2 項目に絞られることが明らかとなった。しかしフィードバック学習後の回答では、避難所位置が 25%、避難経路が 32%と比率を下げた。最も割合を増やした項目が「事前の防災学習」で、4%から 25%となった。次いで「避難行動速度」が 7%から 14%となった。宗谷湾や函館湾の 2 度浸水が起こるといった津波の特徴や、複合的な災害といったそれまで知られていなかった内容が、参加者の意識に強く残ったのではないかと考えられる。

## 6. 結論

本研究では、津波災害と土砂災害の複合災害を想定した移動軌跡データの収集を行い、複合災害が発生した場合における集団避難行動時の課題を明らかにすることを目的とし、集団避難行動に関する移動軌跡データの収集および分析、さらにはフィードバック学習を行い、参加者防災意識の変化を明らかにした。

その結果、津波災害、津波災害および土砂災害による複合災害の2ケースから集団避難時における課題を抽出することができた。特に、複合災害を想定した避難行動については、歩行速度の低下に伴う集団の分断によって避難時間が大幅に増大しており、分断によって生じた後続集団が津波襲来に巻き込まれるリスクが高まっているなど、複合災害からの避難対策検討の必要性が示唆された。

また、システムを利用したフィードバック学習に関しては、動的な訓練結果と災害関連情報を可視化することによって、参加者の防災意識を変化させる効果があったと考えられる。まず、訓練成否の自己評価に関して、主観的な評価から客観的な評価に変化した点が特徴として挙げられる。また、システムによる津波発生からの経過時間を意識した訓練結果の提示により、自身の避難速度や津波浸水の特徴といった点も参加者に意識させたことが評価できた。

以上のように本研究は、複合災害からの避難対策検討における基礎資料の整備に貢献できたものと考えられる。

#### 参考文献

奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一(2019)津波と土砂崩れによる複合災害を想定した集団避難行動分析 - 北海道稚内市を事例として - 「地理情報システム学会講演論文集」, 29 (CD-ROM) .

奥野祐介・橋本雄一(2015)積雪寒冷地における疑似的津波避難行動に関する軌跡データ分析! GIS - 理論と応用 - , 23 (1) , 11-20.

北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会(2017)日本海沿岸の津波浸水想定の見直し報告書平成29年2月 .

森田匡俊・小池則満・小林哲郎・岩見麻子(2015)小学校における集団避難行動の可視化と改善に関する研究「地理情報システム学会講演論文集」, 24 (CD-ROM) .

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一, 2020, 疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析, 第29回学術研究発表大会講演論文集, 29, CD-ROM .  
小野塚仁海・橋本雄一, 2020, 携帯電話??統計を援?した?規模停電を伴う地震災害の避難?動推定 , 第29回学術研究発表大会講演論文集, 29, CD-ROM .  
工藤由佳・橋本雄一, 2020, 積雪寒冷都市における複合災害時の避難困難地域に関する空間分析 - 北海道留萌市の津波浸水想定域の事例 - , 第29回学術研究発表大会講演論文集, 29, CD-ROM .  
塩崎大輔・橋本雄一, 2020, 登記情報を用いたスキーリゾート地区における不動産の空間分, 第29回学術研究発表大会講演論文集, 29, CD-ROM .  
三好達也・橋本雄一, 2020, 新型コロナ禍における北海道のGISコミュニティ活動, 第29回学術研究発表大会講演論文集, 29, CD-ROM .

(10) 令和3年度実施計画の概要 :

令和3年度においては、令和2年度に実施できなかった地方レベル・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。

また、令和3年度には、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び、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。

(11) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

(13) 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 稚内市の中心市街地

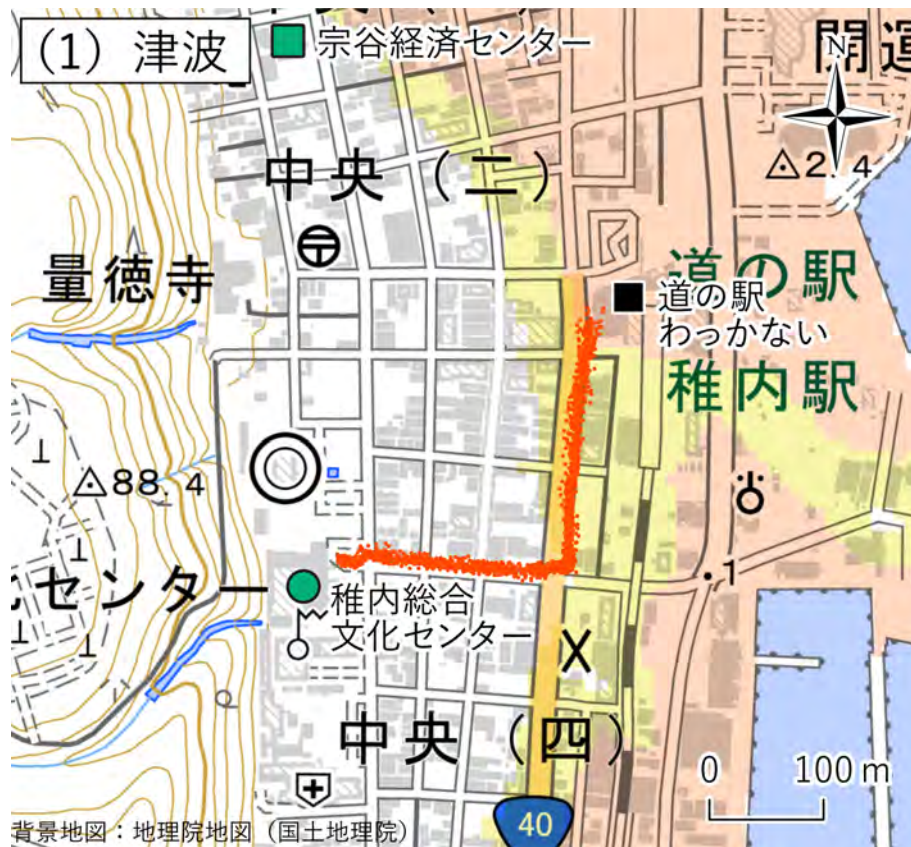


図2 収集データ(津波災害を想定)

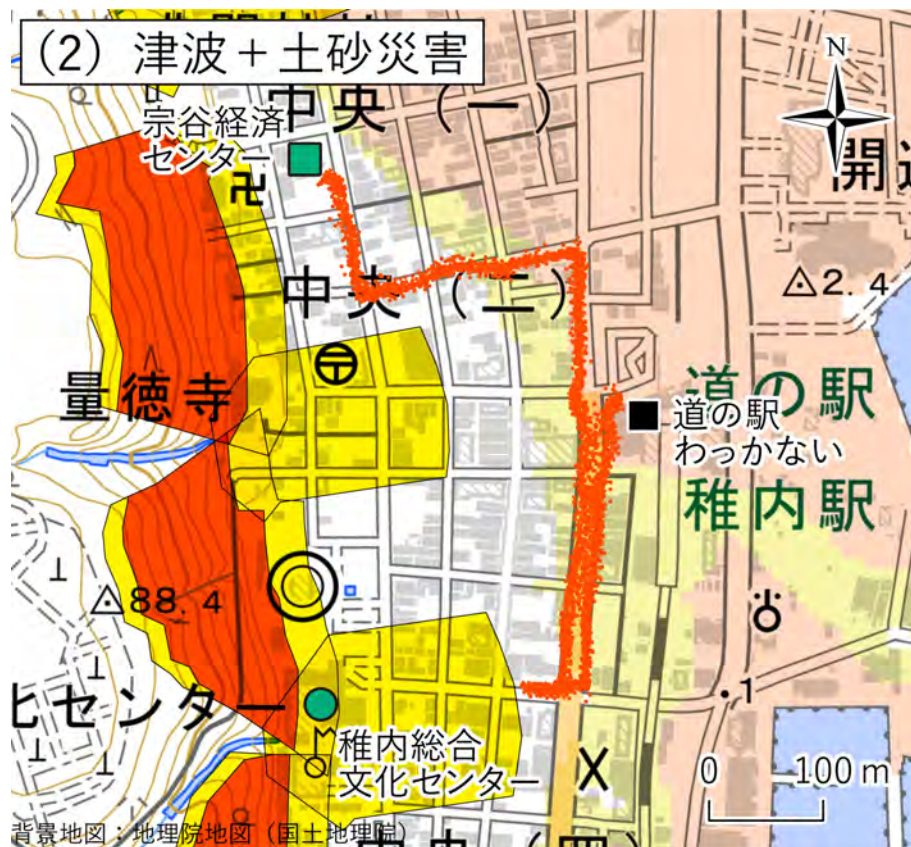


図3 収集データ(複合災害を想定)

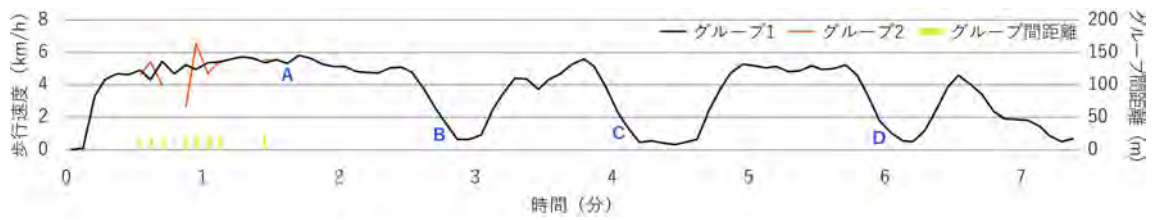


図4 平均歩行速度及び分断発生時のグループ間距離（津波災害のみ）

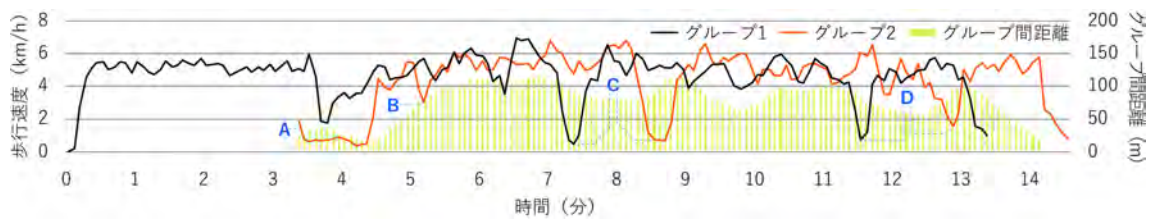


図5 平均歩行速度及び分断発生時のグループ間距離（複合災害）

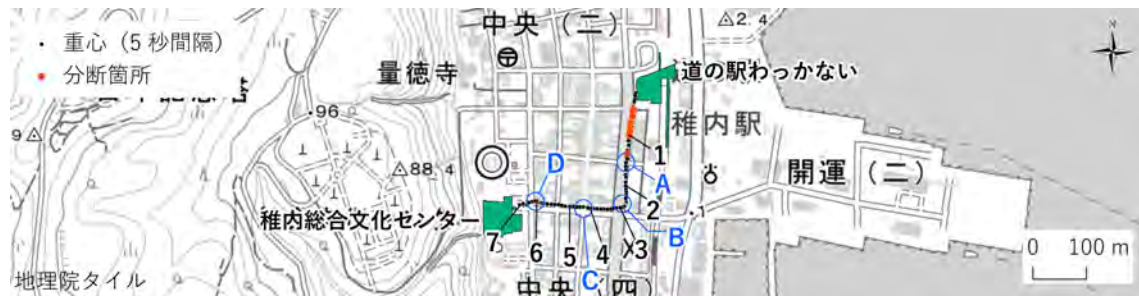


図6 分断発生箇所（津波災害を想定）



図7 分断発生箇所（複合災害を想定）

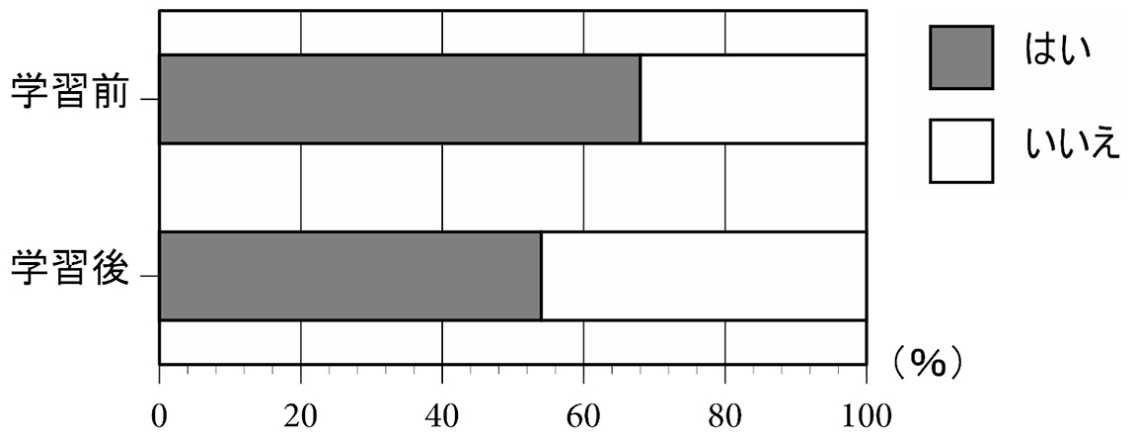


図8 フィードバック学習の結果

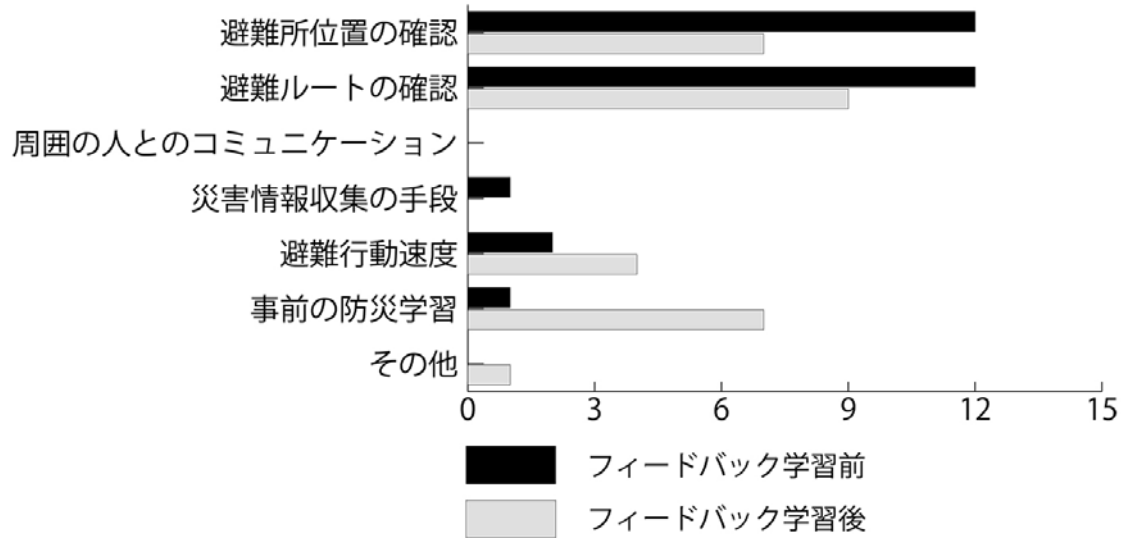


図9 フィードバック学習による意識の変化

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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2年度の成果の概要 :

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の一元的な流通とデータの蓄積などを行った。地殻変動連続観測では、新たに気象庁のひずみ計観測網の25観測点141チャンネルの流通収集が開始された。また、産総研の超伝導重力計データのオフライン収録も開始した。データ提供機関の新規加入があったため協定書の改定を実施した。GNSS データでは、1995年兵庫県南部地震時に実施された臨時観測データのアーカイブ作業を実施した。収集したデータのハードウェア障害による消失を防止するため、正副サーバの自動同期機能を追加するとともに、外部に接続した2台のSSDディスクへ定期的にバックアップを行う機能を付加した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

地殻変動連続観測と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。過去のGNSS データサーバに格納する作業を継続する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

高橋浩晃・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

北海道立総合研究機構地質・環境研究本部地質研究所(岡崎紀俊)

自然科学研究機構国立天文台水沢V L B I観測所(田村良明)

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(三浦哲、太田雄策)

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(名和一成)

気象庁気象研究所(勝間田明男、小林昭夫)

気象庁地震火山部(宮岡一樹)

東京大学地震研究所(新谷昌人)

神奈川県温泉地学研究所(加藤照之、本多亮、原田昌武、道家涼介)

地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所(浅井康広)

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(鷺谷威、伊藤武男)

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター(山崎健一、山下裕亮、西村卓也)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設(柴田智郎)

高知大学自然科学系理学部門(田部井隆雄、大久保慎人)

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(松島健)

鹿児島大学大学院学術研究院(中尾茂)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: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

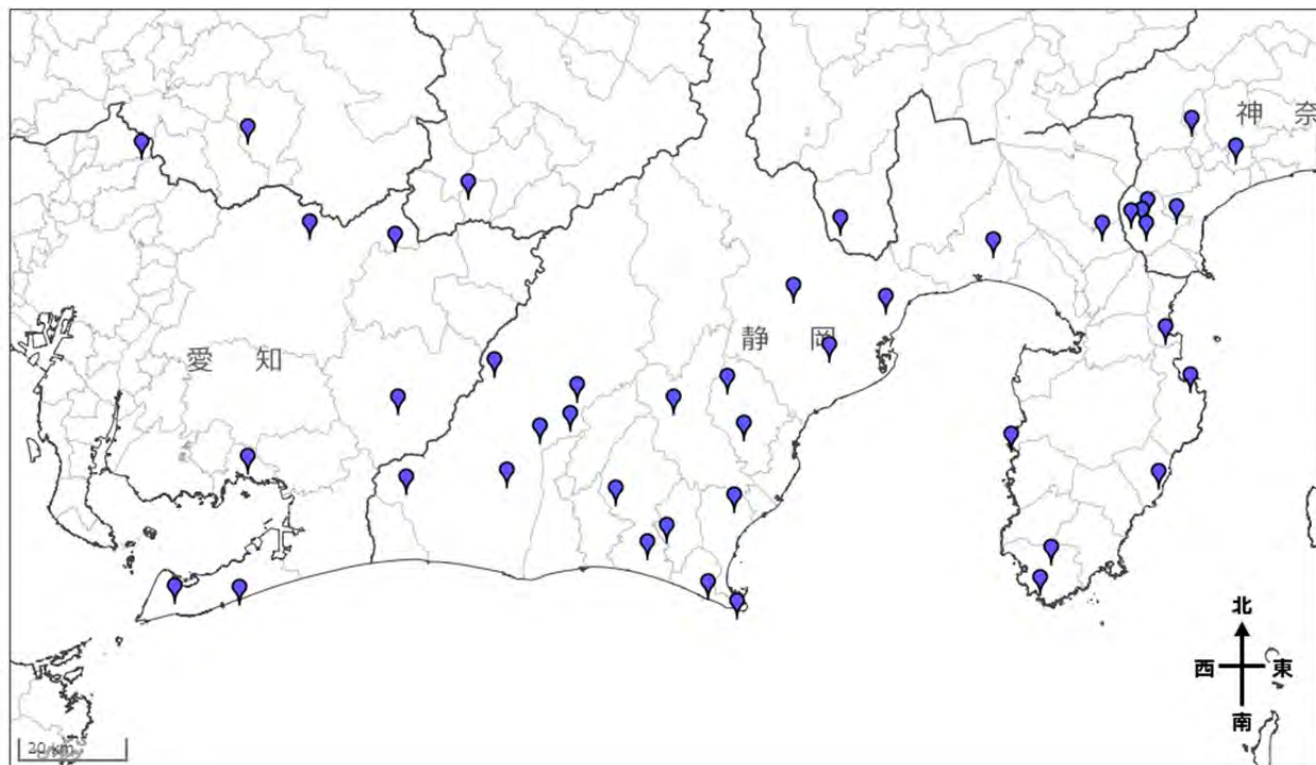
URL:https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/



(13) 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



地殻変動連続観測データ流通が行われている関東東海地域の観測点分布。  
気象庁ひずみ観測点の追加により観測点密度が大幅に向上した。

(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 2 年度の成果の概要：

道南地域から道東地域にかけての津波堆積物の広域対比を継続した。年代決定については既に検討が行われたポイントについても再検討を行った。17 世紀の堆積物の年代分布から、胆振地方と十勝地方とは別のイベントである可能性が高くなった。十勝地方当縁川河口域で取得されたコアについて、珪藻から長期的な隆起沈降を推定する手法を適用した結果、地震前後の隆起沈降の時間的な特徴が検出できる可能性が見い出された。

千島海溝南部の根室沖に設置した海底地殻変動観測基準局 3 か所において 2 回目の測定を実施した。海底地殻変動観測点を設置することによるプレート間固着率の検出能力を検討し、陸域からは感度がない海溝軸に近い深さ 0-20km 付近のプレート境界で分解能が向上することが確かめられた。地震活動の静穏化をイメージする手法を適用し、2006 年中千島の地震 ( Mw8.3 ) の長期的な地震活動から約 15 年前から静穏化が起こっていた可能性が示された。北方四島の地震観測点を含めた震源決定を行うと現在よりも 100km 程度東方まで精度の改善が見込まれることが示された。

震源情報を必要とせず、沖合津波計で観測されるデータのみを用いたデータ同化による津波即時浸水予測手法の開発を継続した。北海道十勝根室沖を対象とした数値実験から、S-net 観測点で観測される波形からグリット上での波形を合成する際のパラメータに適切な拘束条件を導入することで、M8 以上の地震については数分以内に浸水予測が行えることを示した。強震動評価については、根室半島沖で発生した中規模地震について周期別の距離減衰を検討し、プレート境界地震では予測式と同等の振幅となること、スラブ内地震ではそれを上回ることを確認した。札幌都市圏の K-net 観測点の経験的サイト増幅特性の検討に着手した。地震発生履歴の基礎資料とするため遺跡における地震痕跡の調査を継続した。根室地方での噴砂痕跡から過去 7000 年間に最大で 8 回の噴砂イベントがある可能性が示された。また、十勝地方と日高地方の遺跡包蔵地 1700 箇所余のうち報告書がある 290 箇所について調査を継続した。

報道機関と津波警報時の呼びかけに関する検討を実施したほか、気象台と共同で自治体向けオンライン・オンデマンドの地震津波勉強会を企画実施し、北海道の太平洋沿岸のほぼすべての自治体から参加があった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 )：

青田裕樹・大園真子・高橋浩晃・太田雄策, 2020, 陸域 GEONET による北海道根室沖のプレート間固着推定の限界と新設 GNSS 観測点による推定範囲の検討, 日本地震学会講演予稿集, S03-07.

Ichiyanagi, M., Mikhaylov, V., Kostylev, D., Y. Levin, H. Takahashi, 2020, Evaluation for hypocenter estimation error in the southwestern Kuril trench using Japan and Russia joint seismic data. *Earth Planets Space* 72, 86. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01215-0>

Tanioka, Y., 2020, Improvement of near-field tsunami forecasting method using ocean-bottom pressure sensor network (S-net). *Earth Planets Space* 72, 132. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01268-1>

Katsumata, K., Zhuang, J., 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. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02498-w>

西村裕一・A. Shisikin・高清水康博・菅原大輔・石澤堯, 2020, 色丹島のテフラと津波堆積物：2019

年調査の概要，地球惑星科学連合，MIS01-P01.

Susukida, Y., Katsumata, K., Ichianagi, M. et al., 2020, Focal mechanisms and the stress field in the after-shock area of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake (MJMA 20180607). Earth Planets Space 73, 1. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01323-x>

(10) 令和3年度実施計画の概要：

津波堆積物の高精度年代決定による広域比較を継続して実施する。海底地殻変動観測を継続して実施しプレート間固着状況の情報を得る。他の沈み込み帯において巨大地震の長期地震活動静穏化の調査を行う。津波の即時・事前予測にプレート境界面での固着率の情報を先験情報として取り入れる手法の開発に着手する。千島海溝南部で発生した過去のM7クラスの地震による強震動特性の評価を実施するとともに、札幌都市圏の広帯域地震動分布の特性について検討する。自治体などと協力し地域防災力向上に必要な取り組みを実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高橋浩晃・谷岡勇市郎・西村裕一・勝俣啓・村井芳夫・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・日野亮太・木戸元之・東龍介（東北大学大学院理学研究科）  
石丸聡・大津直（北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所）  
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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

(13) 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

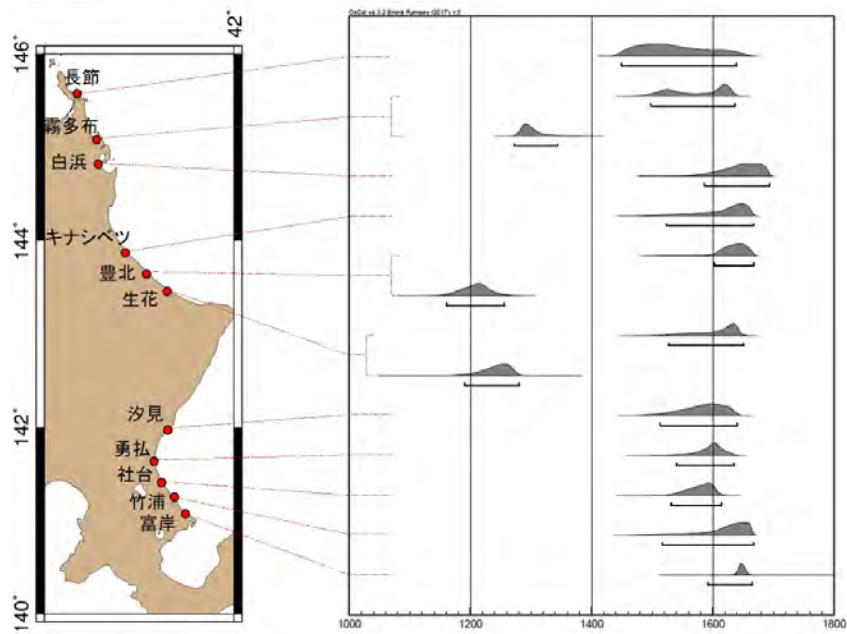


図1 . 詳細な年代検討を行った津波堆積物の広域比較。横軸は西暦

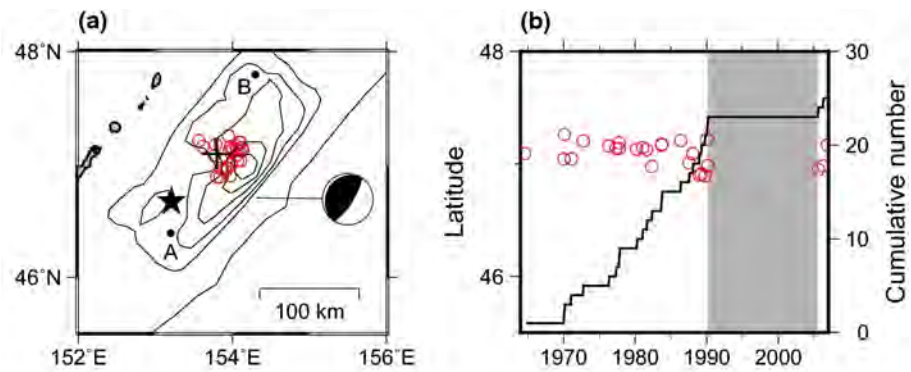


図2 . 2006年中千島地震の15年前から発現していた地震活動の静穏化現象 ( Katsumata and Zhuang, PAGEOPH, 2020より引用 )

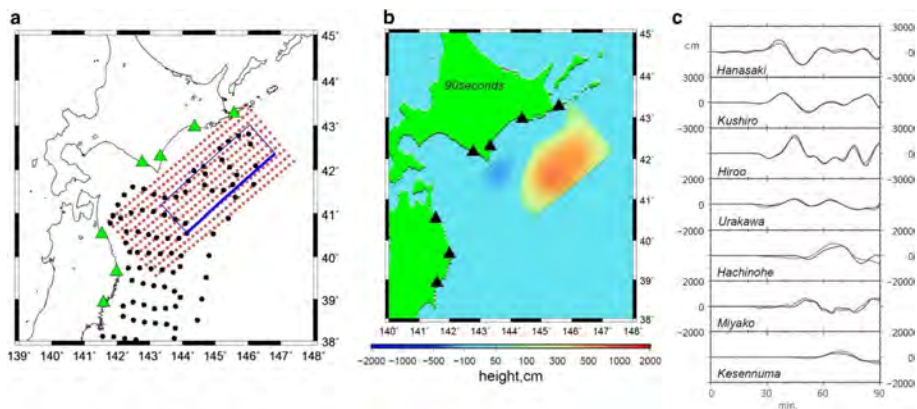


図3 . 十勝根室沖での仮想巨大地震時の津波即時同化実験 ( Tanioka, EPS, 2020より引用 )  
 ( 左図 ) 黒点の S-net で観測された津波波形を用いて赤点の同化ポイントでの波形を内挿して作成 ( 中図 ) 地震後 90 秒後の津波波高分布 ( 右図 ) 沿岸津波計での波形比較。黒線に比べ赤線はより広い範囲での同化を行った結果

(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 of 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 2 年度の成果の概要 :

・安政東海地震の発震時

安政東海地震について記す史料には、地震が起きた時刻を嘉永七年十一月四日( 1855 年 12 月 23 日 ) の「五ツ時過」( 午前 8 時過ぎ ) とするものや、「四時少々前」( 午前 10 時前 ) とするものなどがあり、日本の史料から推定される発震時には幅がある。このとき下田では、国境画定と開国をめぐる、ディアナ号に乗ってきたロシア使節と江戸幕府の役人との間で条約交渉が行われており、地震の約 1 ヶ月後には日米和親条約を批准する目的でアメリカ使節も来航したため、地震や津波についての情報は海外にも伝えられた。英語で記された当時の新聞記事のうちディアナ号の航海日誌との関連がみてとれるものでは、発震時を 9:15 ( 上海、アメリカの新聞 ) または 9:45 ( イギリスの新聞 ) としている。揺れが続いた時間についてもそれぞれ 2~3 分、約 1 分としている点で違いがある。

ロシア語で記されたディアナ号の航海日誌原本の該当部分を確認したところ、発震時には英語で at 9:45 となる記述があり、揺れは約 1 分と記されていた。その通りに伝えていたのはイギリスの新聞記事であったことになり、情報が伝わった経緯の違いや翻訳に伴う問題から、航海日誌とは異なる記述が生じたと考えられる。

ただし、発震時には 15 分刻みで出来事を記す航海日誌の書き方をふまえると、9:45 ちょうどでなく、9:45 から 10:00 の間に地震が起きた、と理解するのが妥当である ( 有泉和子氏のご教示による )。安政東海地震に伴う津波はアメリカ西海岸にも到達したが、その記録の解析から導かれる発震時は 9:46 となり ( Kusumoto et al., 2020 )、航海日誌の記述と重なる。また、地震当日の下田の日の出 ( 6:48 ) と日の入り ( 16:38 ) の時刻から計算すると、「五ツ時」は 8:03、「四時」は 9:53 となり、「四時少々前」(「村垣淡路守公務日記」) に地震が起きたとする記述は航海日誌から知られる発震時と整合的であったといえる。

・北但馬地震の人的被害の要因

本地震は 1925 年 5 月 23 日 11 時 10 分頃に発生した M6.8 の内陸型地震であり、震央は兵庫県円山川河口付近と考えられている。先行研究によると起震断層や震央の直近では、家屋倒壊が瞬時に引き起こされることなどから、人的被害が拡大する傾向にあるとされる。これにより人的被害の分布は、起震断層が不明である歴史地震に対して、起震断層を特定するのに有効であるとする研究もある。

本研究では発災直後に救援に出動した、旧海軍舞鶴要港部の史料を使用して、当時の状況を明らかにした。本地震における震央直近の地域では、建物倒壊が多数発生し、一部の集落では火災が拡大しているが、死亡率が低い地域が存在する。逆に震央から離れているが死亡率が非常に高い地域が存在する。史料からこれらの地域の被害発生プロセスを明らかにすると、地域の生業や建築様式の違い、火災の程度、救援の有無など、複数の要因が重層的に作用して人的被害を拡大・縮小させていることが明らかとなった。地震による人的被害の程度は単純に震央距離のみで説明できるものではないことの一例を示した。

また本地震が発生した大正末期は、陸軍などが大正関東地震を教訓として、それまで難しかった師管や衛戍地を越えた軍隊の災害出動を準備していた時期にあたる。本地震における軍隊の出動記録を検討したところ、旧陸軍が演習を名目として衛戍地外に災害出動を行うなど、軍隊が迅速かつ柔軟に出動している事が明らかになった。

・その他

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 を設計した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

大邑潤三, 2020, 1925 年北但馬地震における震央付近の人的被害と救援活動 海軍史料の分析を中心に, 歴史地震, 35, 177-186.

大邑潤三，2020，特集デジタル・ヒストリーの諸実践：歴史災害研究における GIS 活用の試み，クリオ，34，139-140．  
大邑潤三，2020「災害碑」という概念と分類方法の検討，歴史都市防災論文集，14，115-122．  
服部健太郎・中西一郎・大邑潤三，日記の筆者が地震動を感じた地点の時間変化：近江八幡「市田家日記」の場合，地震2，73，65-68．  
岩橋清美・大邑潤三・加納靖之，2020，文理融合によって切り拓く歴史地震研究の現在 - 一八三〇年文政京都地震を事例にして - ，地方史研究，70(3)，75-79．  
加納靖之・杉森玲子・榎原雅治・佐竹健治『歴史のなかの地震・噴火 過去がしめす未来』（東京大学出版会、2021年3月刊行予定）

(10) 令和3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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

佐竹健治・西山昭仁

他機関との共同研究の有無：有

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

東京大学地震研究所

鶴岡 弘・加納靖之

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

(13) 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2年度の成果の概要 :

日記史料に基づく1707年の宝永地震前後の京都における有感地震の調査

同時代史料である日記史料に記されている有感地震の記録は、歴史地震の研究において信頼性の高い基礎データとして活用できる。そこで、京都で記された日記史料の有感地震の記録に基づいて、1707年(宝永四年)の宝永地震前後の京都における有感地震の記録数の推移について調査した。

下鴨神社で記された日記史料である『光行日次』(『鴨脚正彦家文書』所収)には、宝永地震前後の

期間について連続記録がある。有感地震の記録は、1700年（元禄十三年）から地震発生直前まで年一回未満であり、地震の記録のない月がほとんどで地震の記録のない年もある。十月四日の宝永地震発生後、同月中は有感地震の記録は頻繁にあるが、翌十一月からは急速に減少する。翌1708年（宝永五年）には年間数回程度の有感地震の記録がみられるが、1709年（宝永六年）以降は年一回程度に減少しており、宝永地震前の状態に戻っている。

また、吉田神社で記された日記史料である『御広間雑記』には、宝永地震前後の連続記録があるが、有感地震の記録は1700年から地震発生直前まで年に数回程度であり、地震の記録のない月がほとんどである。十月四日の宝永地震発生後、同月中は有感地震の記録は頻繁にあるものの、翌十一月になると半以下に減少している。翌1708年から1710年（宝永七年）までは年間数回程度の有感地震の記録がみられるが、1713年（正徳三年）以降は年一回程度に減少し、宝永地震前の状態に戻っている。

これらのことから、京都で記された日記史料にある有感地震の記録によると、1707年の宝永地震の発生直後に有感地震の記録は増加するが、宝永地震を挟む前後数年の期間については地震の記録数に顕著な差はみられない。

#### 日記史料有感地震データベースを活用した歴史地震研究

別件の研究事業において構築されている日記史料有感地震データベースに収められている有感地震データを活用して、19世紀中頃の日本で発生した地震の震央推定に向けた研究を実施した。本研究は、日記史料から得られた有感範囲のデータ（日記史料有感データ）と、気象庁の震度データベースに収められている機器観測による有感範囲のデータ（気象庁有感データ）との比較・検討に基づいており、昨年度開発した研究手法の改良版である。

本研究手法では、最初に日記史料有感データにある有感場所に最も近い気象庁の地震観測点を選択し、次に日記史料有感データにある有感記録の中で時刻が同じデータを選び出して、その地震の有感分布図を作成した。このような日記史料に基づく有感分布図と気象庁有感データに基づく有感分布図とを比較・検討して、気象庁の震度データベースに収められている地震から、近似した有感分布を有する地震を抽出したデータセットを作成した。また今年度は、日記史料有感データ及び、その比較の対象である気象庁有感データの期間を増やした。さらに、日記史料有感データにある有感記録の有無と気象庁有感データとの比較に基づいて、有感地点分布の類似度を数値化し、気象庁の震度データベースから抽出される震央候補の確度を向上させる手法を組み合わせた。

この改良版の研究手法について有効性を確認するため、既に震央が推定されている19世紀中頃の幾つかの歴史地震を対象として震央の推定を試みた。1853年の嘉永小田原地震や1855年の安政江戸地震の場合には、推定震央に近い位置に推定できたが、1854年の嘉永伊賀上野地震の場合には明瞭に推定できなかった。

この改良版の研究手法を用いて、既往研究において震央が未推定である1855年の安政遠江・駿河の地震と、同年の安政米子の地震について震央の推定を試みた。その結果、前者の地震は、現在の静岡県焼津市域で複数の家屋倒潰が生じている状況や、日記史料有感データによる有感範囲から、被害発生地域の近傍で発生した内陸地震であった可能性がある。また後者の地震は、米子城での被害が前年（1854年）の嘉永（安政）南海地震による被害であったと考えられ、日記史料有感データによる有感範囲から検討すると、京都近傍で発生した内陸地震であった可能性がある。

本研究手法で使用している気象庁有感データには、20世紀初頭に開始された全国的な機器観測以降、約100年間分の地震活動が収められているため、機器観測の記録が存在しない前近代に発生した地震の震央を推定するには候補が制約される。このような課題を解決するために、本研究手法については今後も試行錯誤的に改良を加えていく必要があると考える。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
西山昭仁, 2020, 宝永地震（1707年）前後の京都における有感地震の検討, 第37回歴史地震研究会（オンライン伊賀大会）講演要旨集, 20.

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

新規の日記史料の調査・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する。  
また、本データベースを活用し、前近代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、前近代の南海トラフ沿いの巨大地震や西南日本での大地震と、同地域における中・小規模の地震との関係について実態の解明を試みる。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震火山史料連携研究機構

西山昭仁・佐竹健治

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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

## 令和2年度年次報告

課題番号：HRO\_01

(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2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。得られたデータについては、気象庁や大学と随時、情報共有を行っている。

#### ( 1 ) 雌阿寒岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、噴気および温泉水の地球化学的観測、地下水位連続観測を行った。雌阿寒岳西麓の湯の滝や雌阿寒温泉などでは温泉水の Cl や SO<sub>4</sub> 濃度がここ数年上昇する傾向がある。また、雌阿寒温泉では 2017 年以降、温度の上昇が続いている。また、中マチネシリ火口の噴気の化学成分には大きな変化はなかった。一方、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比は徐々に重くなる傾向が続いている。

#### ( 2 ) 十勝岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、噴気および温泉水の地球化学的観測、地下水位連続観測を行った。GPS 観測では、2006 年から続く火口域の膨張傾向が 2018 年春頃からは収縮傾向へ変わったが、2020 年は概ね横ばいで推移した。吹上温泉地域と十勝岳温泉地域での温泉観測の結果、2020 年度は化学成分や温度に大きな変化は認められなかった。大正火口の噴気の温度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。活動の活発化が認められる振子沢噴気孔群では、噴気域の拡大や溶融硫黄の流出が認められ、高温状態が続いている。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、2016~2018 年頃は 90 以上を示したが、2019 年頃から低下を始め、2020 年 9 月現在では 50 程度となっている。

#### ( 3 ) 樽前山

火口域での地温連続観測と、噴気および温泉水の地球化学的観測を行った。A 火口と B 噴気孔群の噴気温度は、それぞれ約 450 および約 300 で高温状態が続いているが、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・水素同位体比は徐々に重くなる傾向が続いている。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、2020 年もその傾向が続いた。

#### ( 4 ) 倶多楽

2019 年度から温泉水や噴気の地球化学的観測を行っている。大正地獄や大湯沼、奥の湯などでの観測のほか、温泉街の主要泉源でも観測を行った。また、日和山の噴気の観測を行った。いずれの観測でも、火山活動に関係する顕著な変化は認められなかった。また、昨年度同様にこれまで登別温泉地域で行われてきた温泉観測のデータのコンパイルを行った。

#### ( 5 ) 有珠山

山頂・山麓での重力観測、噴気観測、および地下水位連続観測を行った。山頂の I 火口の噴気温度は約 400 でここ数年間大きな変化は認められない。また、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比にも大きな変化はなかった。地下水位連続観測の結果、洞爺湖温泉の水位は洞爺湖の水位と連動した変化を示しており、火山活動に関連する変化は認められなかった。

#### ( 6 ) 北海道駒ヶ岳

火口域での噴気温度観測、山麓域での温泉水の地球化学的観測と地下水位連続観測を行った。山麓の温泉水の温度や化学成分に大きな変化はなかった。また、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。

#### ( 7 ) その他の火山

噴気観測をアトサヌプリと恵山で行い、温泉水観測を旭岳と恵山で行った。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。



( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
高橋 良・伊藤久敏(2020)岩石学的特徴と U-Pb 年代に基づく函館市街地下の軽石堆積物の給源の  
検討．火山，65，69?82．

( 10 ) 令和 3 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、地盤変動や、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、熱水変質調査や電磁探査など多項目の調査・観測を加えて、熱水系の構造などを検討する。それらを基に、観測されている地殻変動や地震活動のメカニズムを総合的に検討する。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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

( 13 ) 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の評価する。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の評価し、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2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。今年度は補完的な検討として、多人数での一斉避難、車いす使用、自力避難困難者のリヤカー運搬など多様な条件下での避難速度を中学校の避難訓練を通して実測した。また訓練終了後に実施したアンケートによって、避難訓練に参加した中学生の防災学習効果をテキストマイニングにより把握した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
なし。

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

本研究成果を踏まえて、日本海溝・千島機構周辺海溝型地震による北海道の地震被害想定を実施し、減災目標を検討する。

( 11 ) 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

国立大学法人埼玉大学 大学院・理工学研究科環境科学・社会基盤部門 環境計画 田中 規夫  
教授

国立大学法人北海道大学 大学院・文学研究科人間システム科学専攻 地域システム科学講座 橋  
本 雄一 教授

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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

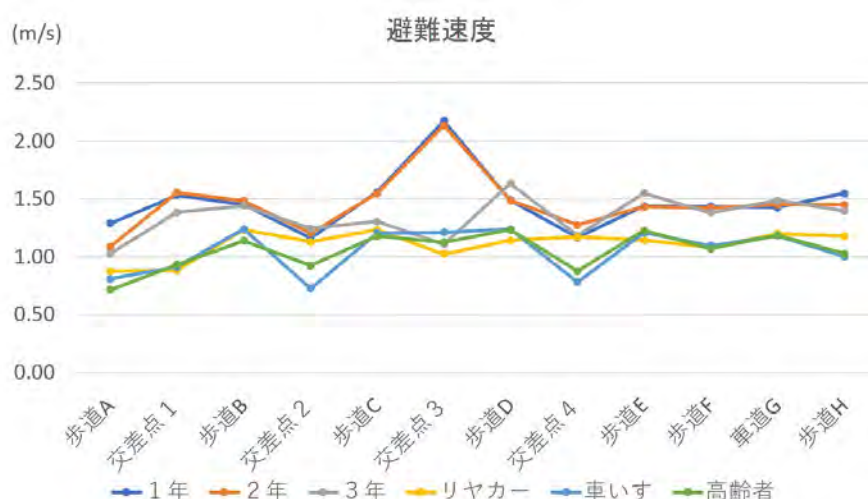
e-mail : kawakami-gentaro@hro.or.jp

URL : <http://www.hro.or.jp/eeg.html>

( 13 ) この研究課題( または観測項目 ) の連絡担当者

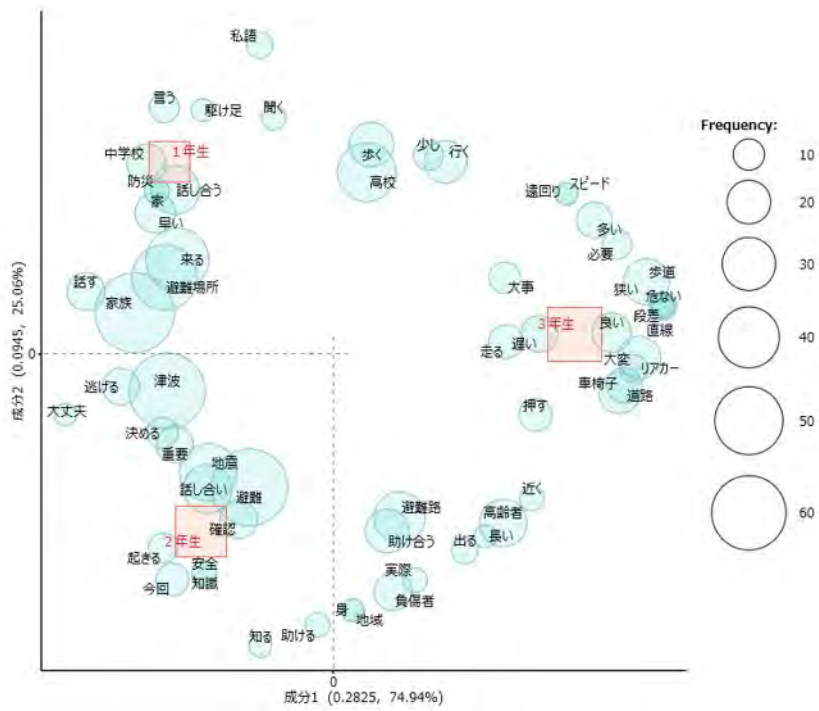
氏名 : 川上源太郎

所属 : 地質防災グループ



多様な津波避難データの取得

千島海溝巨大地震・津波が想定されている中学校において避難訓練を実施して得られた、多様な条件下での避難速度。計測はGPSによる。



### 避難訓練による学習効果の確認

訓練終了後の自由記述アンケート結果を用いたテキストマイニングにより、避難訓練参加者に対する防災学習効果を把握した。

(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2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

東北地方太平洋沖プレート境界で発生した地震からのsP波、pP波、地殻内トラップ波等の出現状況を把握するため、広帯域レコードセクションの作成を行った。Hi-net地震計の特性を補正して0.05~0.5 Hzといった低周波成分の利用を可能にし、Auto Gain Controlとwiggle trace表示による可視化を行ったことにより、多様な変換波が震央距離400 km以上にわたって追跡できることを確認した。レコードセクションは東北地方太平洋沖で発生したM5以上の地震について作成した。その中にはsP波のように起源が明確なものも見られるが、多数の未知の波動が含まれているようである。今後、未知の波動の性質や起源を解明することは、プレート境界や変換面の形状、変換面周辺の地震波速度構造、および震源深さ等を制約することに繋がるが、今年度はそのための基礎的なデータセットを準備することができた。

2018年胆振東部地震震源域においてS波スプリッティング解析を行い、余震域の走向の局所的変化と速いS波の振動方向が対応するような結果を得た。2011年東北地方太平洋沖地震後に東北地方内陸で誘発された群発地震発生域において、震源の拡散モデルに基づく拡散係数と地震活動の継続時間に逆相関の関係があることを見いだした。このことは、群発地震活動初期の震源の拡散を調べることで、地震活動の継続時間がある程度予測できることを意味し、地震活動予測の観点から注目される。

地殻浅部での低周波地震活動が見られる可能性がある地域として、北海道雌阿寒岳周辺で発生した地震を対象に、Frequency Indexを用いて低周波地震の識別を行なった。その結果、地殻浅部の低周波地震の中で火山活動との対応が見られない地震群が、雌阿寒岳北方で発生していたことがわかった。また、地殻深部低周波地震の中で、波形がよく似た地震が1週間程度の間隔で繰り返したことを見いだした。この繰り返し低周波地震とも呼ぶべき現象は、深部低周波地震の発生メカニズムを考える上で有用な観測例である。地殻浅部の低周波地震の発生が知られている函館東部においては臨時地震観

測を継続したが、低周波地震活動は極めて低調であった。既に記録を得ている地震波形をテンプレートとして matched filter 解析を行った結果、80 個程度の地震を検出することができた。

## 2. 津波堆積物等の地質学的調査

秋田県にかほ市象潟の海岸から約 600 m 離れた水田において、ハンディジオスライサーを用いて深さ 2 m のコア 6 本の掘削を行い、試料の岩相観察、堆積物の顕微鏡観察、および粒度分析を行った。その結果、耕作土直下に含まれる相厚 0.1 ~ 0.55 m の砂相を象潟地震による津波堆積物と認定した。青森県十三湖では 1700 年代に津波が及んだことを前年度までに報告した。その津波は 1741 年渡島大島津波または 1793 年鯨ヶ沢地震津波の可能性がある。今年度は鯨ヶ沢地震について、2 通りの既存断層モデルに基づいた津波伝播シミュレーションを実施し、十三湖に津波が流入した可能性があることを示した。このように、地質調査に基づく研究とシミュレーションに基づく研究の融合研究が進展しつつある。

## 3. 堆積層構造調査

主に KiK-net のデータを用いたコーダ規格化法による解析から、東北地方北部における地盤増幅率の推定を行なった。その結果においても増幅率が大いことが示された青森県南東部においては、微動探査を行って地盤の卓越周波数を求め、標高との対応関係があることを見いだした。これは、揺れやすい火山灰層が厚く堆積している場所での標高が高いためと解釈できる。地盤増幅率は場所ごとに特性が異なるが、その原因となる事例の蓄積を着実に進めている。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和 3 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

今年度整備した広帯域レコードセクションのデータセットを用い、レコードセクションに見られる波動の種類と震源位置・CMT 解の対応関係を把握する。未知の波動についてはその起源の検討を行う。

秋田県森吉山周辺の群発地震発生域において、波形による地震群の分類を行い、繰り返し地震の発生位置と発生時系列の特徴を明らかにし、内陸における繰り返し地震の発生メカニズムを検討する。地殻浅部低周波地震については、函館付近における臨時地震観測と matched filter 解析を継続して、地震活動状況を明らかにする。地殻浅部低周波地震の検出と matched filter 解析の対象地域は順次拡大する。

### 2. 津波堆積物等の地質学的調査

これまでの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。必要に応じて津波伝播シミュレーションを行い、地質学的観点を補完する。

### 3. 堆積層構造調査

青森県東部において揺れやすさが大きいことが指摘されている地点における微動探査を継続し、揺れやすさに影響する要因の推定を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

小菅正裕、前田拓人、渡辺和俊、片岡俊一、梅田浩司

他機関との共同研究の有無 : 有

秋田大学 : 鎌滝孝信 ( 連携研究 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 弘前大学理工学研究科

電話 : 0172-39-3609

e-mail : mkos@hirosaki-u.ac.jp

URL :

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 小菅正裕

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利活用によって、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2年度の成果の概要：

実データは単にばらつきやノイズ成分が多だけでなく、地震動や潮汐成分も重畳している。これらの非津波信号と津波信号とは周波数の違いによって原理的には分離可能であるが、フィルタ処理を行うためには一定時間のデータの蓄積が必要となす。逐次的に到来するデータに対して適用可能な因果的フィルタでは、フィルタの群遅延特性による津波波形の崩れも無視できない。そこで、大気分野で活用されている経験的モード分解法 (Ensemble Empirical Mode Decomposition; EEMD) を海底圧力計記録の津波信号に適用し、津波信号の効果的な抽出を試みた。EEMD は任意の時系列信号を複数の時系列 (モード) に分解する方法で、概ね低次のモードほど高周波に富む傾向があるが、その具体的な周波数範囲は信号自体がもつ特性に依存するという特徴がある。改定における津波記録の場合には、ごく微小な津波から 2011 年東北地方太平洋沖地震による巨大津波まで、この EEMD で分解された特定の次数範囲のモードに顕著な振幅の信号が現れることを見出した (Wang et al., 2020a)。このことにより、フィルタによる遅延の影響なく効果的かつ迅速に津波を検知し、データ同化による津波即時予測につなげることが可能となった。

前年度に引き続き、日本の津波監視網に限定せず、世界各地の津波即時予測問題に対するデータ同化法の適用可能性の検討を引き続き行っている。本年度は、2020 年 5 月にクレタ島で津波が観測された地中海東部において、データ同化による津波即時予測を実施するための最適な海底津波観測網の検討を実施した (Wang et al., 2020b)。

巨大津波は低頻度巨大災害のため、海底観測網で捉えられる僅かな記録のみで手法を構築することは困難であり、地震・津波双方を含むできるだけ現実的な記録を数値的に合成し、それに対して予測手法のテストを行うというプロセスが不可欠である。そこで、大規模計算が必要だが 3 次元的地震・津波運動を計算できる融合数値計算法 (Maeda and Furumura, 2013) から海底圧力を合理的に再現できる地震津波シミュレーション手法 (Saito et al., 2016) をシームレスにつなぎ、実用的かつ現実の不均質構造を組み込んだ地震にともなう全波動現象を実現する。そのための実装として、これまで国内コミュニティで開発してきたオープンソースの地震動シミュレーションコード OpenSWPC (Maeda et al., 2016) と津波シミュレーションコード JAGURS (Baba et al, 2015) とを利用した実装を行い、既存

手法との比較を行った。既存の不均質な断層モデルを地球物理的に妥当と思われるいくつかの仮定のもとに短波長・高周波にアップスケーリングし、既存海底地震津波観測網でのリアルな合成波形を作成する準備が進行中である。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Wang, Y., Satake, K., Maeda, T., Shinohara, M., & Sakai, S. (2020a). A Method of Real-Time Tsunami Detection Using Ensemble Empirical Mode Decomposition. *Seismological Research Letters*, 91(5), 2851?2861. doi:10.1785/0220200115.

Wang, Y., Heidarzadeh, M., Satake, K., Mulia, I. E., & Yamada, M. (2020b). A Tsunami Warning System Based on Offshore Bottom Pressure Gauges and Data Assimilation for Crete Island in the Eastern Mediterranean Basin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(10). doi:10.1029/2020jb020293.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

津波検知を含めたデータ同化に基づく即時予測手法の実観測記録への適用をさらに推し進め、常時モニタリング・津波検知・現況把握そして予測という一連の津波即時予測の信頼性をさらに向せられる。また、不均質な地殻構造と海底地形を組み込んだ現実的地震津波シミュレーションを実施し、その結果にデータ同化を適用することで、「答えのある」現実的な問題に対してどこまで津波即時予測手法が迫れるかの検討を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

前田拓人

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所(佐竹健治)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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、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2年度の成果の概要：

令和2年度は、北但大震災、昭和南海地震、阪神・淡路大震災等の過去の地震災害が、その後、どのように学校教育において活用されているのかを文献調査・ヒアリング調査を通して把握した。

阪神・淡路大震災は、学校における防災教育が本格的に導入されるきっかけとなった災害である。地震発生メカニズム・地震による被害については、兵庫県・神戸市の副読本すべてに掲載されており活用されている。その一方で、阪神・淡路大震災を経験した教員の高齢化により、被災経験を主題とした授業を実施する機会は減少傾向にあり、対照的に南海トラフ地震を主題とした教材利用が増えていることが調査から明らかになった。阪神・淡路大震災による被害をどのように学校教育において継承して行くのか、災害から26年を迎える阪神地区における課題である。

この点、参考になるのが1925年の北但大震災の事例である。北但大震災については、地震が発生してから95年が経過しているものの、被災地であった豊岡市城崎町の学校教育においては未だに継続して教育が実施されている。地震があった5月23日には、防災行政無線にてサイレンが流され授業は中断し黙祷。その日は、防災学習を併せて実施することになっている。いつ頃から防災教育が展開されているのか、継続して行われている要因がどこにあるのかについては引き続き調査分析予定である。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Mayumi Sakamoto, 2020, Disaster Memories in Museums and Disaster Recovery - Disaster Reduction Institute and 1995 Hanshin-Awaji Earthquake Recovery, 7th World Conference on Earthquake Engineering 10a-009 (査読論文)

Mayumi Sakamoto, 2021, Transferring Historical Disaster Memories: The 1925 North Tajima Earthquake, Journal of Disaster Research Vol.16 No.1, 2021 (査読論文)

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、阪神・淡路大震災が防災教育に及ぼした影響を経年変化を踏まえて把握する。淡路地域を中心に、学校教育における防災教育の実践状況についてのヒアリング調査を行う。

併せて、火山噴火を経験した地域における防災教育の実戦についてヒアリング・文献調査を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 室崎益輝、森永速男、加藤恵正、富永良喜、紅谷昇平、  
青田良介、浦川豪、阪本真由美

他機関との共同研究の有無 : 有

兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 永野康行

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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2年度の成果の概要 :

令和2年度には、海外を含む、現地調査を実施することを予定していたが、Covid-19の感染拡大の影響により、それらの調査の大部分が延期となり、年度内の実施が不可能となった。

そのため、研究計画を大幅に変更することが求められた。

1) イタリア ラクイラ地震・イタリア中部地震からの復興に関する実態調査

2) 南海トラフ地震発生想定地域における事前対策の実状に関する調査

3) 南海トラフ地震発生想定地域における在住地の危険性に関する認識に関する調査(調査準備)

1)については、ラクイラ地震、イタリア中部地震の被災自治体および復興を支援する政府機関へのヒアリングと現地調査を通じて、特に歴史的市街地の復興に際しての文化財保存の視点からの調査、耐震補強計画の策定、政府による全面的な支援施策策定のプロセスを把握した。それと並行して、長期化する復興プロセスを支える仕組みとしての仮設住宅供給の方策についても明らかにした。市街地をよりよい形で再建するためには、現行耐震基準には及ばないものの、類似災害時に被害を受けないような耐震補強工法についての許認可が行われることや、壁を共有する複数建物を一括して計画策定対象とする方法などが、今後の地震災害リスク情報と建物の工法に関する規制をどのように運用していくのかを検討する際の参考となる。

2)については、特に那智勝浦町における調査を通じて、リスクを認知した上での事前移転計画について、特に公共施設は議論の俎上に載るものの、住宅の移転再建を図るためには、その費用負担を含めた合意形成を図ることの難しさがあらためて明らかとなった。

さらには、移転用地の確保についても、土地所有者の把握が難しいこと、地籍混乱地域が多くふくまれていることから、災害後にそれらの作業を始めたとしても、多くの時間を要する可能性が高いことが示唆された。

それらを解消するためには地籍調査の実施が不可欠となるが、なかなかそれも進んでいない現状も明らかになった。

3)に関しては、次年度以降のWebアンケートを行うこととしており、その結果は、次年度詳細に報告集するものとする。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : アンケート結果のとりまとめが終了しておらず、新年度の論文投稿となる。

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :



令和3年度には、前年度実施予定であった、海外調査の実施を検討する。

その場合、

1) ニュージーランドにおける調査・台湾における調査  
を中心として実施する。

海外調査ができない場合を想定して、

2) 国内基礎自治体における、リスク情報を根拠とした土地利用規制の可能性に関する調査  
を検討する。

本来は、地震のリスクをどのように土地利用規制に反映させる可能性があるのかを明らかにするための調査となるが、洪水リスクに関して、家屋倒壊等氾濫想定区域（氾濫流・河岸浸食）が指定されるようになり、そこでは移転再建を促進することが求められつつある現状も踏まえ、これらの帰省をどのように受け止め、具体的な土地利用へと反映していくことができるのかを整理する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澤田雅浩准教授（研究統括）

馬場美智子准教授・紅谷昇平准教授・青田亮介教授・室崎益輝教授（研究科長）

他機関との共同研究の有無：有

関西学院大学総合政策学部 照本清峰准教授

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：減災復興政策研究科

電話：078-891-7376

e-mail：

URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

(13) 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2年度の成果の概要：

令和2年度においては、(1)住民の災害に関する意識調査分析(ドラマ『パラレル東京や関連するNHKスペシャルを軸とした、首都直下地震や災害に関する調査の解析)と、(2)地震災害等の発生確率、被害想定、関連する災害情報などに関する住民調査を実施する予定であった。

予定通り、(1)実施したパネル調査の結果を解析し、首都直下地震と防災についてのキャンペーン報道による影響や効果を分析し、報告につなげた。(2)11月には、地震災害等、災害情報や防災に関する全国を対象としたアンケート調査を実施した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也, 2020, 首都直下地震に関する防災啓発番組による知識獲得 知識ギャップ仮説に着目して, 日本心理学会第84回大会(9月8日-11月2日オンライン開催)【日本心理学会学術大会優秀発表賞受賞】 齋藤さやか・安本真也・関谷直也, 2020, 地震対策意図と心理的背景 - 地震動予測地図に関するプレ意識調査からの検討, 第47回地域安全学会研究発表会(秋季)(オンライン開催). 安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也, 2021, パネル調査に基づくドラマ「パラレル東京」の効果 - 首都直下地震への対策 -, 東京大学大学院情報学環 紀要 情報学研究(紀要)(見込)

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度においては、地震・災害の情報活用(発生確率、被害想定等)に関する住民調査を前提に、地震災害の発生確率、被害想定などに限定して分析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中 淳：東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター  
関谷 直也：東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター  
片田 敏孝：東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター  
宇田川真之：東京大学大学院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  
山梨大学・秦康範、琉球大学・斉藤さやかほか

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

(13) 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

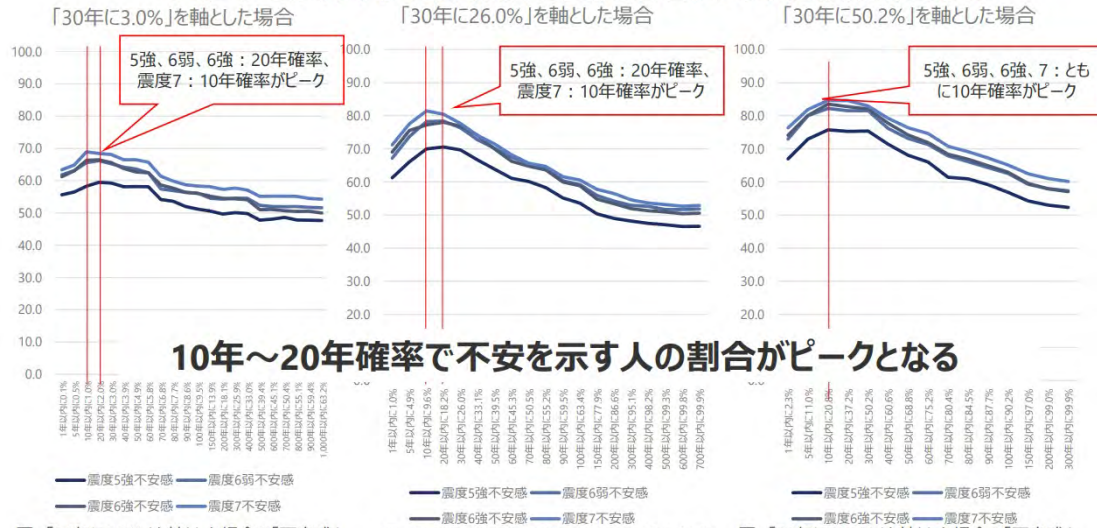
## 確率論的地震動予測地図に関する全国調査

0

Q13-1.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「不安」を感じますか。それぞれあてはまるものを1つだけお選びください。

－「1.非常に不安を感じる」、「2.不安を感じる」、「3.どちらかといえば不安を感じる」、「4.どちらかといえば不安を感じない」、「5.不安を感じない」、「6.まったく不安を感じない」のうち、1～3を回答した人の割合をグラフにした。

### →「確率を計算する期間」を変えると、人の意識は変わる



### 10年～20年確率で不安を示す人の割合がピークとなる

図 「30年に3.0%」を軸とした場合の「不安感」

図 「30年に26.0%」を軸とした場合の「不安感」

図 「30年に50.2%」を軸とした場合の「不安感」

## 成果報告(2) アンケート調査結果

調査を実施した結果を資料とさせていただきます

(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2年度の成果の概要：

令和2年度は、新型コロナウイルス感染流行を受け、現地での歴史資料の所在調査や撮影の実施が困難であった。それゆえ、既に調査していた地域の資料を精査し、地震津波に関する情報の存在を確認した。

今年度はかつての気仙郡今泉町（現在の陸前高田市気仙町）の住人吉田東岬（1840 生～1921 没）が記した『古新手鑑』の解読・分析をおこなった。

『古新手鑑』は、『新収日本地震史料』に一部解読文が収録されているが、多くの部分が未翻刻のままであった。中扉には「仙台旧藩治宙定例御用手鑑」・「天変地異抜抜書」とあり、安政元年（1854）伊豆地震、安政2年（1855）江戸地震、安政3年（1856）八戸沖津波、安政4年（1857）冷害、安政5年（1858）彗星、明治29年（1896）三陸津波について記述されている。また明治三陸津波部分には、慶長16年（1611）地震津波の記述が加えられている。

以下、気仙郡の地震・津波の被害についてみていくと、慶長16年（1611）慶長奥州地震津波について、同書では気仙郡今泉・高田・浜田の三ヶ村で100余名の溺死者があったとし、この情報が気仙大肝入職の山田六郎兵衛から吉田氏に引き継がれた文書に記載されていたとしている。

安政3年（1856）八戸沖地震について、家屋への被害やけが人はないとしているが、「神崎前」や「八日町裏通り」、「鉄砲町」の道路などが津波に浸水したと記している。

明治29年（1896）の明治三陸津波の記述では、気仙郡各地の死者について「戸籍面におゐての調」として、各村の死者数を記す。しかし、この死者数については、従来把握されていた岩手県警の長所や、山奈宗真の『大海嘯取調書』と死者数が大きく食い違う結果となった（表参照）。現段階では、山奈の数値が「最も信頼がおける」とされているが、当時の戸籍を調べたとする『古新手鑑』の死者数の出現により、明治三陸津波の死者数は再検討される必要性が出てきた。

（9）令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
蝦名裕一、2020、慶長奥州地震津波に関する史料の記述と伝承の継承、第37回歴史地震研究会伊賀大会（2020年9月27日オンライン開催）。

蝦名裕一、2020、『古新手鑑』にみる旧気仙郡の歴史津波、第8回歴史地震史料研究会（2020年11月15日オンライン開催）。

（10）令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、当初計画では前年度に実施の予定であった青森県、また当該年度に実施予定であった山形県における調査の実施の予定であるが、新型コロナウイルスの状況次第では調査が困難になる可能性が考えられる。よって、先行して調査を実施していた、文化元年（1804）に発生した象潟地震など日本海側の地震津波についての歴史資料などの解読・分析を進め、日本海沿岸地域の災害情報事例の収集を実施する。

（11）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、准教授  
他機関との共同研究の有無：無

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学災害科学国際研究所 災害文化研究分野

電話：022-752-2146

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

（13）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

## 明治三陸津波の死者数の比較 (1)

村名	項目	県警6.19	山形県	〔宮新手機〕	村名	項目	県警6.19	山形県	〔宮新手機〕	村名	項目	県警6.19	山形県	〔宮新手機〕
西戸村	全戸数		446	449	赤崎村	全戸数		393	393	小友村	全戸数		121	376
	流失(戸数)		357	368		流失		158	29		流失		59	54
	全溺		6			全溺		4			全溺			
	半溺		1			半溺		23			半溺		23	
	一家断絶			147		一家断絶			3		一家断絶			2
	流失(家量)		315			流失(家量)		157			流失(家量)		57	
	全潰		6			潰			2		潰			13
	半潰		1			全潰		4			全潰			
	馬			3		半潰		23			半潰		18	
	全人口		2535	2793		全人口		3136	3112		全人口		778	2617
	死亡(合計)	328	1624	2139		死亡(合計)	506	455	455		死亡(合計)	1412	211	203
	死亡(男)		753	1059		死亡(男)		204	251		死亡(男)		78	78
	死亡(女)		931	1076		死亡(女)		251	204		死亡(女)		133	125
	重傷		35	35		重傷		36	40		重傷		13	
重傷(男)		18		重傷(男)		18		重傷(男)		7				
重傷(女)		17		重傷(女)		20		重傷(女)		6				
馬				馬				馬						
吉浜村	全戸数		87	222	大船渡村	全戸数		189	298	米崎村	全戸数		46	345
	流失(戸数)		35	33		流失		69	42		流失		10	9
	全溺					全溺		9			全溺		4	
	半溺					半溺		9			半溺		7	
	一家断絶			14		一家断絶					一家断絶			
	流失(家量)		33			流失(家量)		65			流失(家量)		10	
	全潰					潰			25		潰			9
	半潰					全潰		9			全潰		4	
	馬			54		半潰		9			半潰		7	
	全人口		1059	1065		全人口		1433	2346		全人口		259	3813
	死亡(合計)	982	204	194		死亡(合計)	832	110	97		死亡(合計)	321	25	11
	死亡(男)		83	85		死亡(男)		44	33		死亡(男)		10	3
	死亡(女)		121	194		死亡(女)		66	64		死亡(女)		15	8
	重傷		10	9		重傷		4	14		重傷		4	4
重傷(男)		5		重傷(男)		2		重傷(男)		1				
重傷(女)		5		重傷(女)		2		重傷(女)		3				
馬				馬				馬						

明治三陸津波の死者数の比較 (1)

## 明治三陸津波の死者数の比較 (2)

村名	項目	県警6.19	山形県真	古新学紙	村名	項目	県警6.19	山形県真	古新学紙	村名	項目	県警6.19	山形県真	古新学紙		
越喜来村	全戸数		316	312	夫盛村	全戸数		219	360	高田町	全戸数		14	560		
	流失(戸数)		125	124		流失		160			155	流失			1	
	全溺					全溺						全溺				
	半溺		1			半溺		13				半溺				
	一家断絶			10		一家断絶					9	一家断絶				
	流失(家屋)					流失(家屋)		157				流失(家屋)			1	
	溺			4		溺					10	溺				1
	全溺					全溺						全溺				
	半溺		1			半溺		13				半溺				
	全人口		2395	2391		全人口		1721			1881	全人口		111		3418
	死亡(合計)	802	460	430		死亡(合計)	960	676			620	死亡(合計)	30	22		19
	死亡(男)		225	197		死亡(男)		270			140	死亡(男)		11		9
	死亡(女)		235	233		死亡(女)		406			380	死亡(女)		11		10
重傷		3	11	重傷		26		30	重傷							
重傷(男)		4		重傷(男)		13			重傷(男)							
重傷(女)		5		重傷(女)		13			重傷(女)							
馬				馬					馬							
綾里村	全戸数		367	436	灰田村	全戸数		342	452	気仙村	全戸数		137	534		
	流失		276	274		流失		154			143	流失		27	29	
	全溺		14			全溺		6				全溺		3		
	半溺		6			半溺		6				半溺		8		
	一家断絶			103		一家断絶					11	一家断絶				
	流失(家屋)		242			流失(家屋)		138				流失(家屋)		27		
	溺			15		溺					14	溺				8
	全溺		14			全溺		5				全溺		3		
	半溺		5			半溺		6				半溺		8		
	全人口		2251	2767		全人口		2092			3144	全人口		1017		3816
	死亡(合計)	330	1265	1347		死亡(合計)	231	518			570	死亡(合計)	14	42		42
	死亡(男)		553	656		死亡(男)		220			142	死亡(男)		19		19
	死亡(女)		716	691		死亡(女)		298			328	死亡(女)		23		23
重傷		24	11	重傷		11		13	重傷		8					
重傷(男)		12		重傷(男)		7			重傷(男)		4					
重傷(女)		12		重傷(女)		4			重傷(女)		4					
馬				馬					馬				5			

明治三陸津波の死者数の比較 (2)



(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% に達すと政府の見解があり、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、別課題で申請した傭船によるものの他、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2年度の成果の概要：

前年度、根室沖に3箇所の GPS-A 観測点 (G21, G22, G23) を新設し、初回の観測を実施した。その際 G21 と G22 は、定点観測での上下動検出が可能な三角形 + 中心 no 海底局アレイ形状としたが、G23 は調達予算の関係で従来の三角形のままであった。本年度は2回予定されていた航海が、新型コロナの感染拡大の影響で10月の1回のみとなった。それでも、G23 の中心に1局を追加設置し、3観測点ともに目的のアレイ形状にした後に、各観測点で GPS-A 定点観測および移動観測を、17~26時間程度実施した(図1)。

変位の推定精度を向上させるため、新しい走時検出手法の適用、音速補正式による絶対音速値に関する独自の修正、および、海上 GNSS 測位の上下変位の誤差を低減するための海面高補正を施したうえで、全てのデータの情報を平等に引き出すために、アレイ形状決定とアレイ変位量推定を同時に行うキャンペーン一括解析を実施した。特定の観測点では、音速の変化量を表す NTD と呼ぶ量の時系列変化が、移動観測時に大きく変動する特徴的なパターンを示し、地図上でのプロットにより、空間変化であることが判明した(図2)。そのため、音速構造の空間傾斜も考慮した解析を行い、前年度観測と今年度観測の2キャンペーンからの各観測点での暫定変位速度を推定した(図3)。15ヶ月間隔の2回の観測のみのため、現段階では系統誤差の評価ができない。特にプレート運動より大きな速度となった G21 では誤差が大きいものと見られる。一方、G23 はプレート運動に近い速度が得られ、G22 からは全体としての強い固着が覗かれる結果となった。上下変位速度については、中心海底局設置の効果は確認できたが、現段階では固着について言及できる精度ではない。2回での観測精度から判断し、トータルで4年間程度の観測期間があれば、固着の空間分布について議論できるレベルに達すると期待できる。

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Honsho, C., M. Kido, T. Ichikawa, T. Ohashi, T. Kawakami, and H. Fujimoto, 2021, Application of Phase-Only Correlation to Travel-Time Determination in GNSS-Acoustic Positioning, Front. Earth Sci., 9:600732. doi:10.3389/feart.2021.600732

本莊千枝, 木戸元之, 富田史章, 太田雄策, 市川俊人, 大橋徹, 川上太一, GNSS-Acoustic 測位精度向上にむけた解析手法の改良 - 位相相関を用いた走時決定と地球潮汐の影響評価 -, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 7月12日, オンライン開催

木村友季保, 木戸元之, 太田雄策, 本莊千枝, 富田史章, 根室沖の水平・鉛直地殻変動検出のための中心海底局を加えたアレイを用いた GNSS-音響観測, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 7月12日, オンライン開催

木戸元之, 移動観測・海上多点観測を含む GNSS-音響観測の観測条件について, 日本測地学会第134回講演会, 10月21日, オンライン開催

(10) 令和3年度実施計画の概要:

2021年4月および10月に予定されている航海で、さらに観測データを蓄積し変位速度の推定精度を上げるとともに、系統誤差の大きさを評価する。解析において、移動観測と定点観測を分けた上下変位推定も行い、中心海底局設置による純粋な精度向上効果を、数値シミュレーション結果とも比較し、手法の妥当性を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

東北大学災害科学国際研究所(木戸元之)

他機関との共同研究の有無: 有

東北大学理学研究科(日野亮太・太田雄策・東龍介)

北海道大学(高橋浩晃・大園真子)

海洋研究開発機構(飯沼卓史・富田史章・堀高峰・尾鼻浩一郎)

東京大学地震研究所(篠原雅尚)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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/>

(13) 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

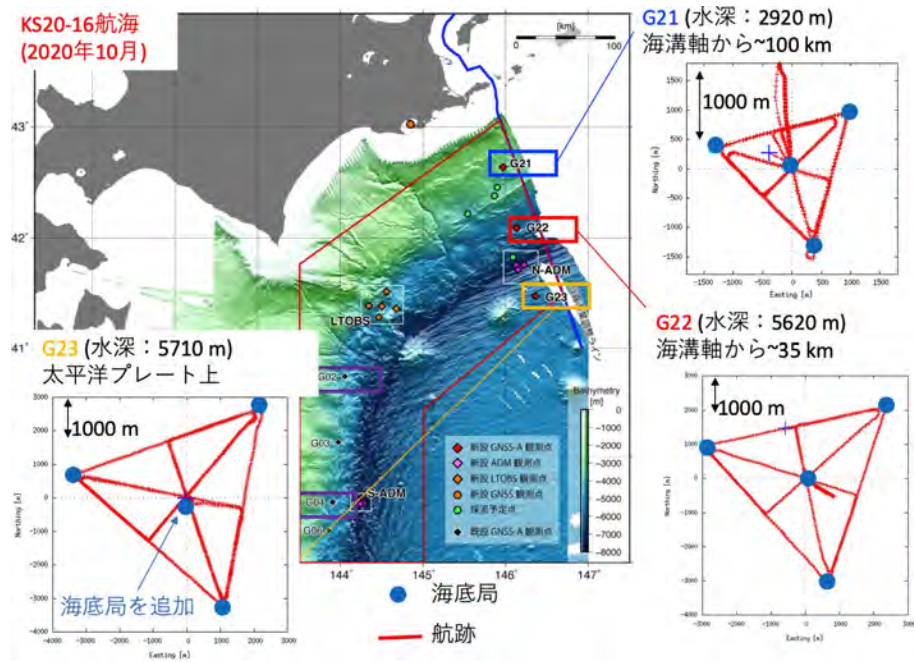


図 1 : 2020 年度の GPS-A 観測実績

G23 の中心に海底局を追加した上で、移動観測・定点観測を実施した。

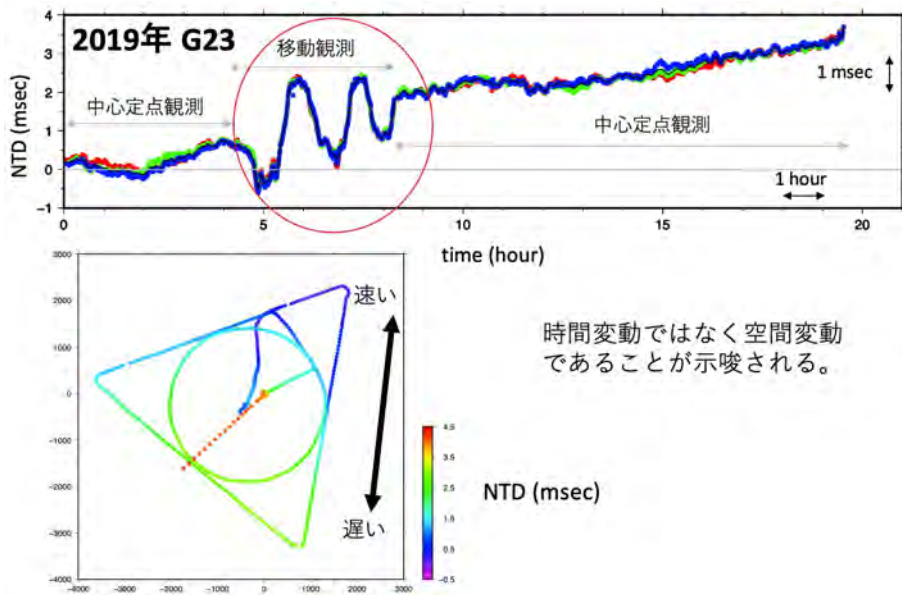


図 2 : NTD の時空間変化

音速変化を表す NTD の移動観測中の時系列変化のパターン ( 上段 ) から、音速分布に強い空間勾配があると判断できる ( 下段 ) 。

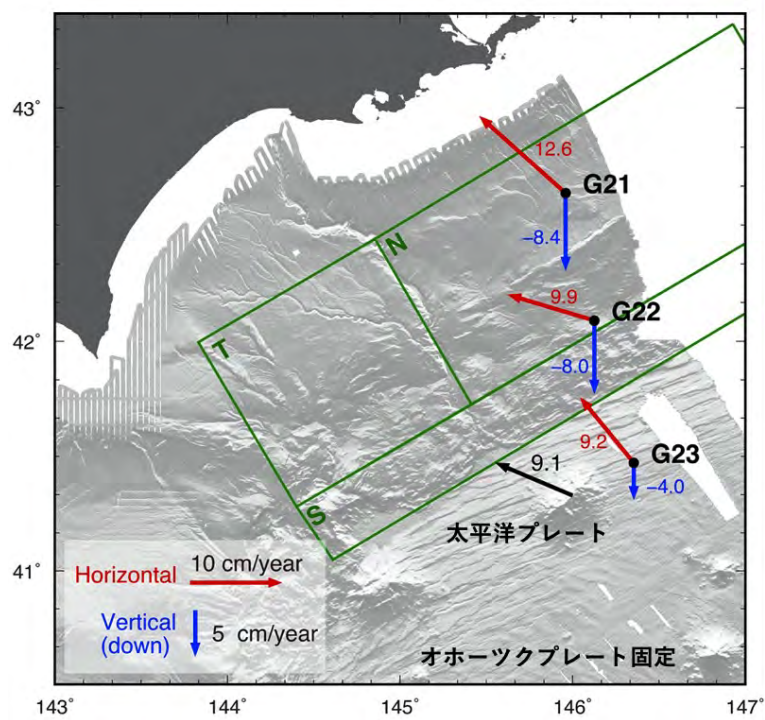


図3：GPS-Aによる地殻変動の暫定推定結果

15ヶ月の間をあげた2回のGPS-A観測から得られた地殻変動速度の暫定的な推定結果。水平動を赤、上下動を青ベクトルで示す。緑の矩形はIoki and Tanioka (2016)による17世紀型超巨大地震の想定断層。

(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

工. 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 2 年度の成果の概要 :

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 ( 地表設置型合成開口レーダ ) の連続計測を継続した。

南阿蘇村立野地区には 2017 年に GB-SAR を設置した。図 1 に 2020 年 1 月から 6 月までのデータから推定した地表面変位を示す。図 2 が現場の様子である。GB-SAR 計測からは大きな変位は確認されていない。同地区はこれまで熊本地震による崩落地帯の安定化、国道ならびに鉄道の復旧工事が行われてきたが、これらの工事は 2020 年 8 月までに完了し現場を通過する国道 57 号線と豊肥本線が復旧した。工事がほぼ終了した 2020 年 4 月から 8 月の間は国交省熊本復興事務所の委託研究として GB-SAR レーダ計測を行い、安全が確保できていることを確認した。

SAR 画像のピクセルごとの位相・強度情報を用い、二枚の SAR 画像の干渉 ( 位相の差 ) により、二回の観測の間における変位量を推定する干渉 SAR 手法で地表面変位量を推定する。しかし観測間において大気屈折率が時間的・空間的に変化した場合、その変化量は電波の伝搬速度を変化させ結果的に干渉 SAR における位相差として現れる。この誤差を軽減するのが大気補正である。立野の観測範囲はカルデラ内部の山間部であり、その独特な気象状態から、5 分の観測間隔においても大きな大気誤差が発生することが分かっている。

一例として、設置した GB-SAR がとらえた変位を図 3 に示す。この変位は 1 か月間に計測した SAR 画像を処理して得た。大気補正をしないと大きな変位が現れるが大気補正が正しく行われることでこの誤差を取り除くことができる。この結果から明らかなように本 GB-SAR による観測では、mm オーダーの変化を捉えられることが分かる。

南阿蘇村立野では送受信に水平、垂直の直交偏波を利用するフルポーラリメトリ計測を行っている。フルポーラリメトリ計測では、降雨時を除き偏波間に大気による変位誤差が生じないという利点がある。ポーラリメトリ計測ではデータ間の相関性を利用したアルファ・エントリピー解析がよく知られている。通常の衛星 SAR では、1 か所を一度しか計測しないので観測地点周辺の位置相関を利用してアルファ・エントリピー解析を行うが、GB-SAR では連続した時系列データを利用することから時間相関データをアルファ・エントリピー解析に利用できる。アルファ・エントリピー解析を現場で発生した小規模な土砂滑りに適用したところ、図 4 に示すように表面状態の変化から土砂滑りの兆候と思われる現象をとらえることに成功した。

次世代型のレーダとして MIMO 型 GB-SAR 装置の開発を進めた。MIMO 型 GB-SAR 装置は現在の GB-SAR と同じ 17GHz 周波数帯域を利用し、アンテナの開口幅を現在とほぼ同じとすることで、第一段階としてはこれまで利用してきたレーダと同等の性能を達成することを目的として開発を進めてきた。現状で図 5 に示す完成したレーダを利用した計測例を図 6 に示す。分解能については、従来装置とほぼ同じであることが確認できたが、計測最大距離に限界があることがわかったので、このための改良を続けた。MIMO 型 GB-SAR 装置では FM-CW レーダ方式を利用するが、最大計測可能距離は FM-CW レーダ装置の直接のビート信号に含まれる最大周波数成分で決まる。このために新たな AD 変換器を利用しビート信号のサンプリング周波数向上と、AD 変換器の量子化レベルを 12bit まで向上させ解析精度を向上させた。また FM-CW レーダの周波数偏移速度を低下させ掃引時間を長くすることで総合的な送信信号強度を高める改造を行った。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Izumi, Y., L. Zou, K. Kikuta, and M. Sato, 2020, " Iterative Atmospheric Phase Screen Compensation

for Near-Real-Time Ground-Based InSAR Measurements Over a Mountainous Slope, " IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 58, pp. 5955-5968.

Izumi, Y., G. Nico, M. Sato " A time-series clustering approach for atmospheric propagation delay compensation in Ground-based radar interferometry, " In International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Hawaii (USA), July. 2020.

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

宮城県荒砥沢地区に設置している GB-SAR については連続計測を継続し、GB-SAR データの取得を継続する。現在開発中の MIMO レーダによる計測システムの置換を検討し、長期モニタリングの信頼性向上をめざす。

大気補正の手法は引き続き推定精度の信頼性向上のために必要である。宮城県荒砥沢地区ならびに既に取得した熊本県南阿蘇村立野のデータを利用して検討を進める。

( 11 ) 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 東北アジア研究センター )

菊田 和孝 ( 東北大学 東北アジア研究センター )

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 )

他機関との共同研究の有無 : 有

栗原市

国交省九州復興事務所

熊谷組

安藤・ハザマ

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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>

( 13 ) 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 )



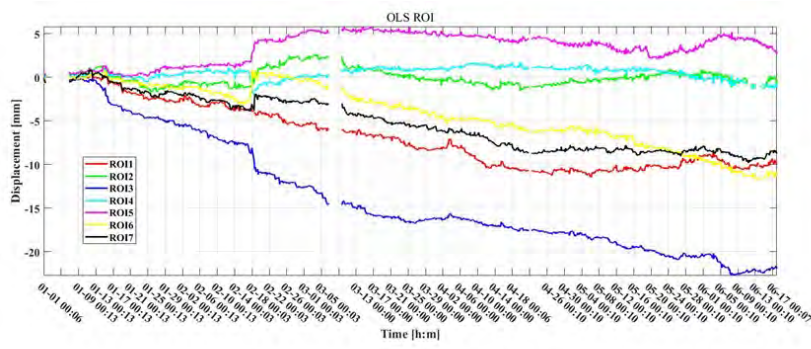


図1 南阿蘇長期計測  
2020年1月から6月までのGB-SARから推定した地表面変位

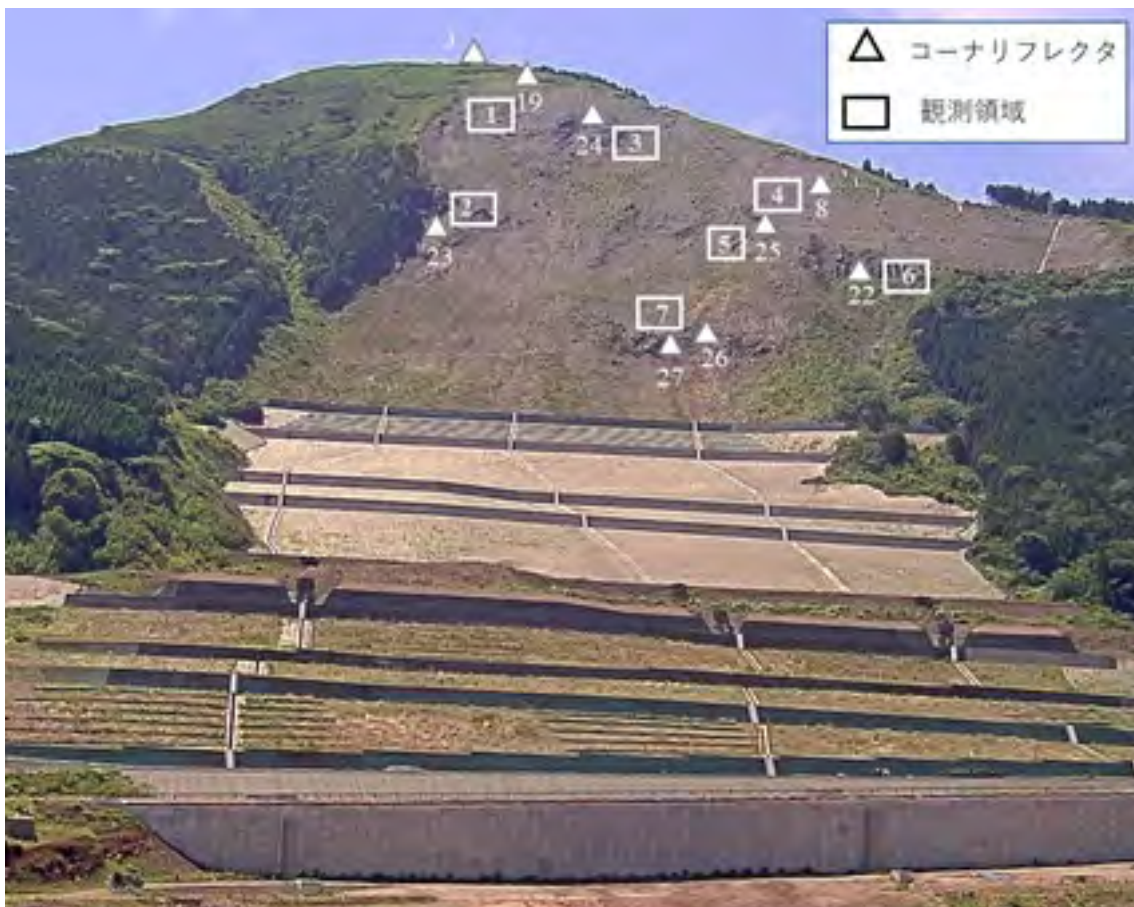


図2 南阿蘇村立野地区 GB-SAR計測対象地域

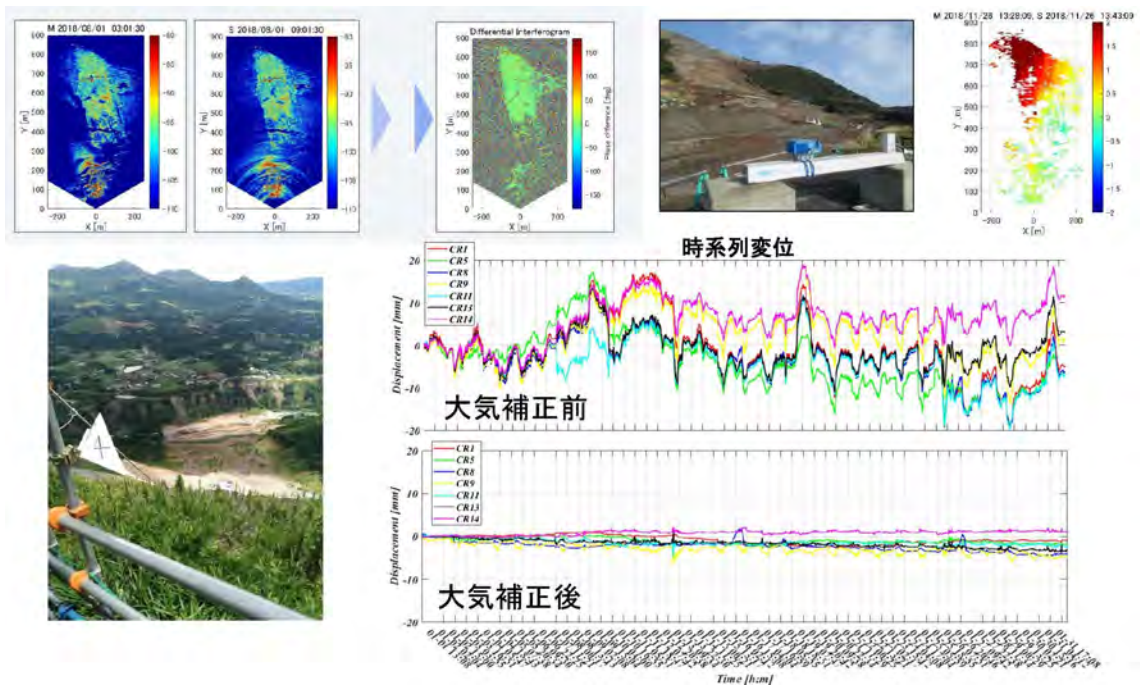


図3 大気補正

1か月間に計測した干渉GB-SARによる推定変位。大気補正をしないと大きな変位誤差が現れるが大気補正が正しく行われることでこの誤差を取り除くことができる。

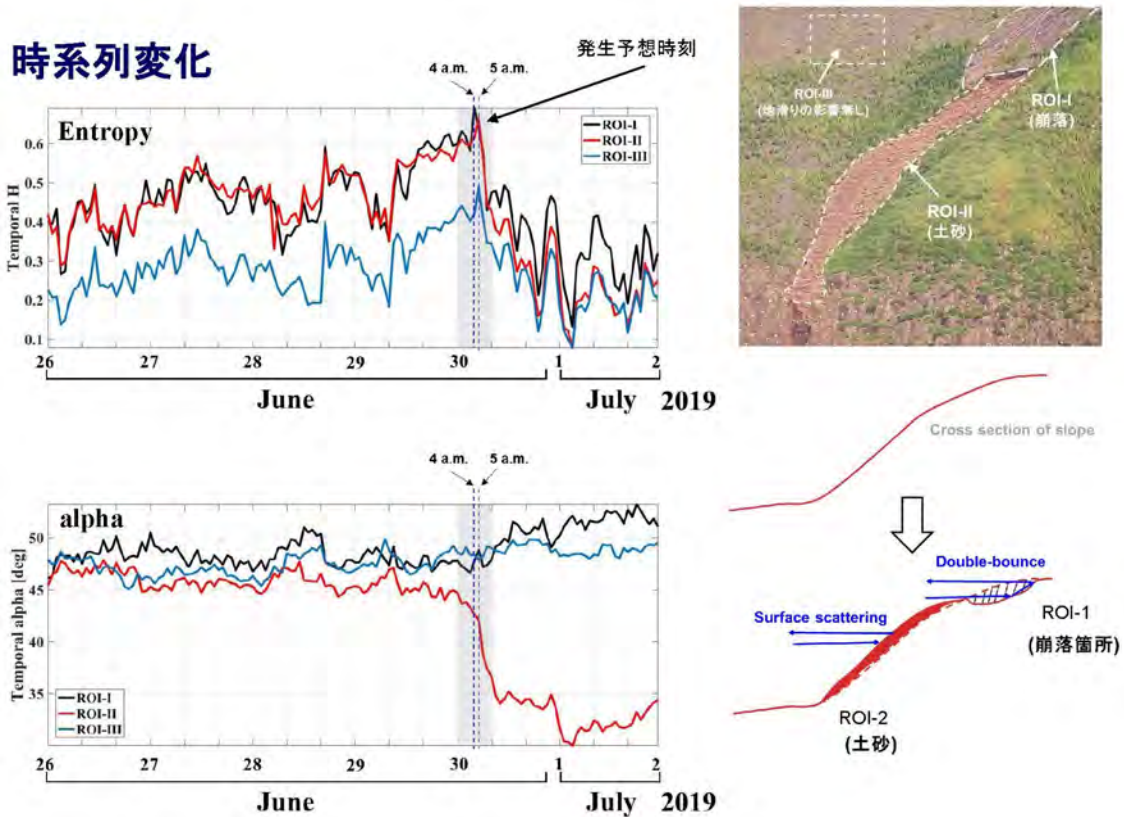


図4 小規模地すべり減少の偏波情報による検知例

アルファ・エントリピー解析を現場で発生した小規模な土砂滑りに適用したところ、表面状態の変化から土砂滑りの兆候と思われる現象をとらえることに成功した。



図5 MIMO型GB-SAR装置  
 東北大学で開発中の17GHz周波数帯MIMO型GB-SAR装置

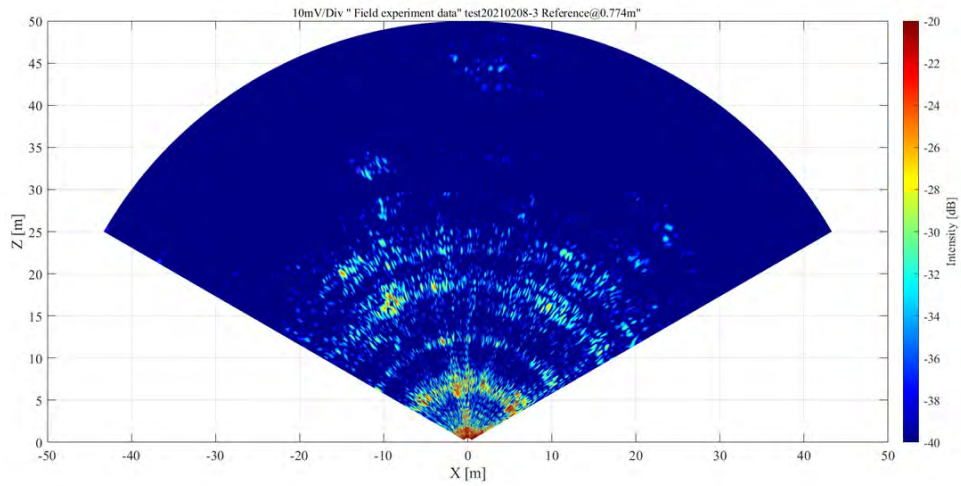


図6 MIMO型GB-SARによる画像  
 完成したレーダを利用した計測例。分解能については、従来装置とほぼ同じであることが確認できたが計測最大距離の延長を進めている。

(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 2 年度の成果の概要 :

1 年目で構築した基本スキームに基づき、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について、最近 100 年間のグローバルな地震カタログを用いて信頼区間も含めて計算した。南海トラフ地震臨時情報は、地震発生から 1 週間後、および、地震発生から 1 週間後~ 2 週間後の単位での情報が発出されることから、当初の計画ではこれらの期間内の確率を計算することとしていたが、より参考となる情報を提供する観点で、1 日以内、3 日以内、3 年以内の発生確率についても計算した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
なし

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

半割れケースと一部割れケースの両方について、引き続き検討を進めた上で「理解・気づきツール」として参照可能な確率推移表として整理する。また、南海トラフ地域の特殊性についても検討したうえで、計算した確率値の利用の考え方についても整理する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門 福島 洋・木戸元之  
東北大学災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 越村俊一  
東北大学大学院理学研究科 日野亮太・太田雄策  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門  
電話 :  
e-mail : zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp  
URL : <http://irides.tohoku.ac.jp/>

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

令和2年度においては、東北地方で実施した古絵図の分析手法を応用し、1858年安政東海地震津波における浜名湖周辺の古地形復元と津波到達点の判定をおこなった。

安政東海地震における津波浸水の様子を描いた古絵図として、浜名湖南端の舞坂宿の津波被害を描いた [1]「舞坂宿津波図」、浜名湖北東部の細江引佐の津波被害の様子を描いた [2]「安政地震津波被害絵図」がある。[1]「舞坂宿津波図」からは、絵図に描かれる浸水地点について、現代も残る寺社や塚などの位置から津波被害を判定、また他の宿場絵図から当時の舞坂宿の街並みを復元し、津波浸水の状況について分析した。細江引佐については、今日も残る東海道の脇街道、通称「姫街道」をはじめとした寺社や歴史的建造物、地形などから浸水点を判定した。

また、岩手県岩泉町の明治7年段階の歴史的地形を描いた「陸中国閉伊郡乙茂村書上絵図」について、東北大学災害科学国際研究所に設置されている超高精細スキャンを用いて詳細なデジタルスキャンをおこない、このデータをもとに歴史地形の詳細な分析と、2016年台風10号の際の岩泉の水害状況との関連性について分析した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
蝦名裕一・今井健太郎・大林涼子・柄本邦明・都司嘉宣, 2020, 古絵図に基づく安政東海地震の浜名湖周辺における津波浸水域の分析, 歴史地震, 35, 187-206.

蝦名裕一・森口周二・呉修一・菅原大助, 2020, 岩手県岩泉町における歴史地形と台風被害の関連性の解明, JpGU-AGU Joint Meeting, MIS28-07, (2020年7月オンライン開催)。

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、これまで収集した情報から、東北地方太平洋沿岸地域の歴史地形を網羅的に復元し、2011年の東日本大震災における津波被害と歴史地形の関連性について分析・解明を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

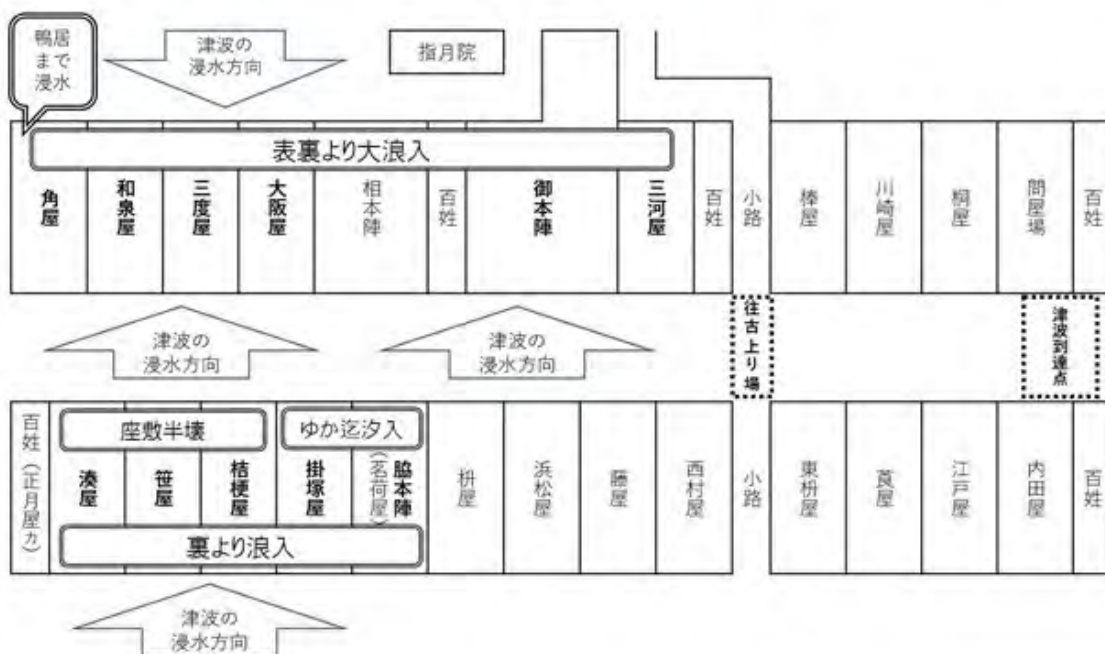
蝦名裕一, 東北大学災害科学国際研究所, 人間・社会対応研究部門, 准教授  
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学災害科学国際研究所 災害文化研究分野  
電話：022-752-2146  
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp  
URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

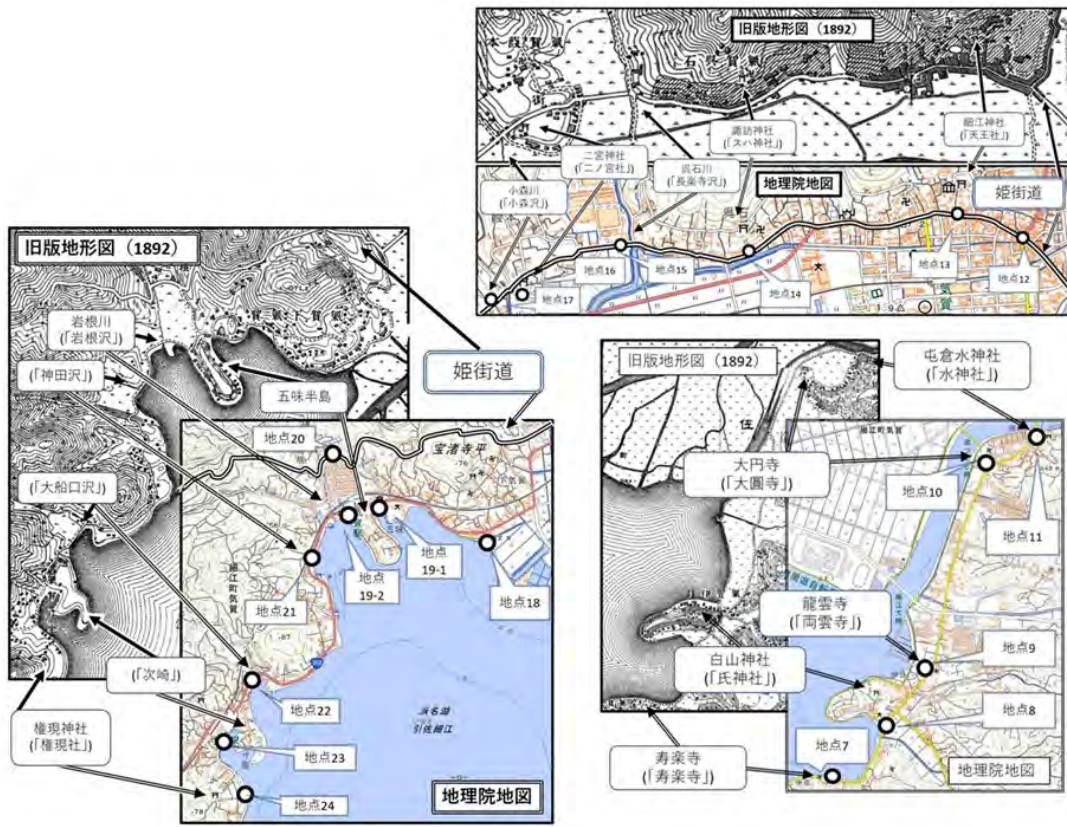
氏名：蝦名裕一  
所属：東北大学災害科学国際研究所



舞坂宿の津波被害と配置

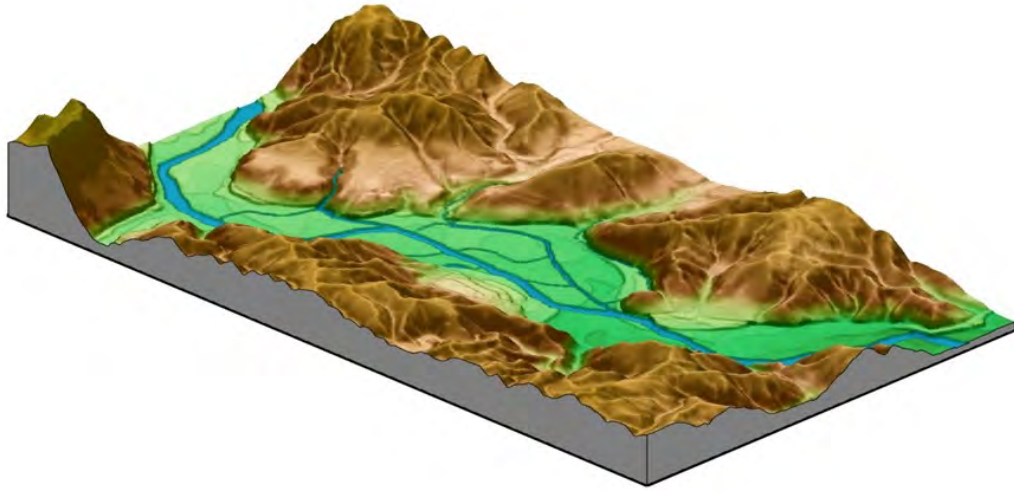
『新収日本地震史料』、『舞阪町史』から作成





細江引佐における安政東海地震の被害状況

復元地形 明治初期



岩泉町乙茂地区の明治初期の地形

(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2年度の成果の概要：

令和元年度に得られたデータの分析を進め、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)の構築を目指した。令和3年度に、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実験検証を行うスケジュールを視野に、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。

<調査(令和元年度実施分の関連箇所再掲)>

南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域在住の成人(20歳~79歳)240人を対象としたweb調査を対象A(通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難)とB(南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)に基づいた避難)それぞれ独立に実施した。いずれの調査でも回答者は6世代(20代~70代)の各世代男女各20名となるように調整した。対象A調査では自宅で休日に強い地震(震度6強を想定)に遭遇し停電等で何も情報が入らないというシナリオ(図1A)を提示し、自宅が大津波に襲われる可能性の認識と、それを警戒して避難を行いそうな程度を問うた(各0~5の6段階評価)。対象B調査では南海トラフの半割れ想定における地震臨時情報(巨大地震警戒)について基礎的な知識を提供した後、回答者の居住地の反対側(紀伊半島沖で回答者を東西に分割)で発生した大地震(M8.3)に基づいた臨時情報によって「後発地震が発生してからの津波避難では間に合わない可能性のある地域、高齢者などの要配慮者は1週間程度避難」の勧告が自治体から発されるシナリオ(図1B)を提示し、同様に自宅が大津波に襲われる可能性の認識と、それを警戒して1週間の避難を行いそうな程度を問うた。いずれの調査でも、避難するか否かが判断する上で、参考にする情報・知識について自由記述を求めた。

<分析結果>

当初、避難するか否かが判断する上で参考にする情報・知識についてKJ法に準じた内容分析を行ったところ、以下のようなカテゴリーが得られた(図2A)。

- (1) 津波：高さ、どの地域までくるか、何時にくるのか、被害予測
- (2) 避難所：どこの避難所に逃げるべきなのか、避難所のキャパ、避難所の生活環境/インフラの状態、避難所生活をどのように送るのか、避難所のインフラ
- (3) 居住地に関する情報：震度はどれくらいになりそうなのか、被害予測、避難場所までの移動時間、津波の被害、交通情報、海拔
- (4) 情報源：自治体、国、首相、自分の近隣の住民、友達；SNS、気象庁、Youtube、専門家(テレビ、ラジオから)、マスメディア、テレビ、NHK、ニュース、ラジオ、防災無線

この分析結果は「避難するか否かが判断する上で、参考にする情報・知識」の俯瞰的な理解のためには有用であるが、本研究の目指す認知神経科学的な実験実証の目的設定のためには解像度が粗すぎる。そのため、部会での議論に基づき、改めて参考にする情報についてメディア情報に絞り込んで同様の分析を行ったところ、以下の3つのディメンションで整理するのが適切と思われた(図2B)。

- (1) 発信者：自治体、国、気象庁、テレビ、ラジオ、町内会、友達/一般人、近隣住民、ラジオ、専門家、首相、Youtuber
- (2) 発信ツール：テレビ、ラジオ、防災無線、無線放送、SNS(未整理課題：知り合いのSNS(LINE)等)なのか、知らない人のSNS(Twitter)なのか？)、ネットニュース
- (3) 発信内容：震度/マグニチュード、被害状況の報告(映像、SNS)、被害予測(特に津波/到着時刻、到達地域)、津波警報、勧告、被災現場の映像、国からの発表内容、気象庁からの発表内容

さらに、部会での議論と心理学・認知神経科学の先行知見に基づいて「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)」として「意思決定と時間制限の関係」に着目し、以下の3つのresearch questionに着目するのが適切と考えた。

- (1) 効果的な情報の与え方はあるのか
- (2) 時間的な制限/緊急時か否かでの意思決定プロセスの違い
- (3) 直感的/論理的な意思決定の分類とそのバランスの解明

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Sugiura, M., R. Nouchi, A. Honda, S. Sato, T. Abe, and F. Imamura, 2020, Survival-oriented personality factors are associated with various types of social support in an emergency disaster situation, *PLoS One*

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度の分析結果をもとに、メディアの災害情報が、適切な緊急時避難意思決定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、これを脳メカニズムレベルで検証する認知課題を設計する。これにあたり、(1) 効果的な情報の与え方はあるのか、(2) 時間的な制限/緊急時か否かでの意思決定プロセスの違い、(3) 直感的/論理的意思決定の分類とそのバランスの解明、の 3 つの research question を意識する。可能であれば健常大学生を対象に機能的 MRI を用いた脳活動計測実験まで目指す。

( 11 ) 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・教授)  
佐藤 翔輔(東北大学災害科学国際研究所・准教授)  
保田 真理(東北大学災害科学国際研究所・プロジェクト講師)  
水谷大二郎(東北大学災害科学国際研究所・助教)  
大場健太郎(東北大学加齢医学研究所・助教)  
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・助教)  
浅野 竜一(一般社団法人 Project72・ミッショントレーナー)  
本多 明生(静岡理科大学・准教授)  
他機関との共同研究の有無: 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 災害認知科学研究分野(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](mailto:zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp)  
URL: <http://www.hubs.idac.tohoku.ac.jp/>

( 13 ) 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

### A 通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難

ある日、休日で自宅でくつろいでいたら、大きな地震が発生しました。立っていることが難しいくらいの強い地震です。つり下げた電灯が激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちてきました。置物が倒れたり一部の家具が移動したりしています。窓ガラスも割れそうです。

電話や携帯電話、インターネットも使えなくなりました。停電のためテレビも映らず、ラジオを聴くこともできません。

### B 南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）に基づいた避難

基礎説明：半割れ・後発地震  
 M8以上が7日以内：十数回に1回程度  
 シナリオ（紀伊半島西側例）

- ・紀伊半島東側の領域を震源とした大規模地震が発生  
 東側沿岸部で高い津波が次々と到達
- ・西側後発地震発生の可能性について

気象庁：  
 南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)  
 首相からの呼びかけ  
 後発地震による津波に避難が間に合わない地域の方々は1週間避難を継続・・・  
 自治体から避難勧告  
 後発地震が発生してからの津波避難では明らかに避難が完了できない地域の住民は、1週間程度避難・・・

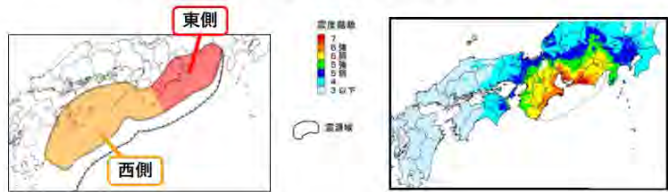


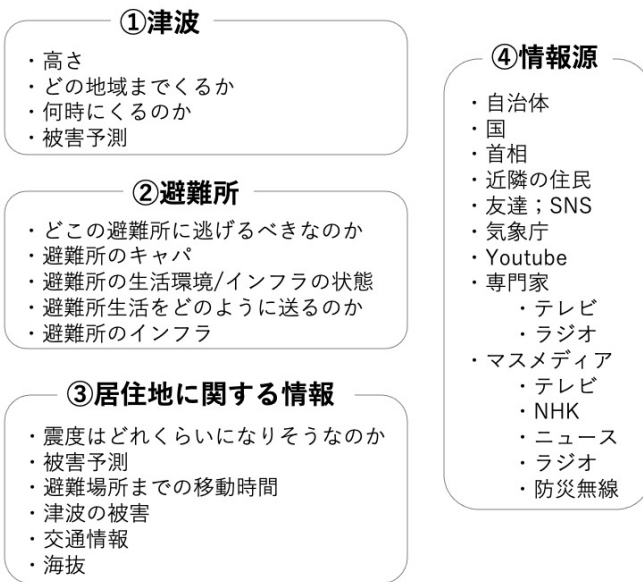
図1：調査シナリオ

A：通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難

B：南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）に基づいた避難

これらのシナリオに基づき、避難するか否か判断する上で、参考にする情報・知識の自由記述を求めた。

### A 全記述データの分析結果



### B メディア情報に絞った分析結果

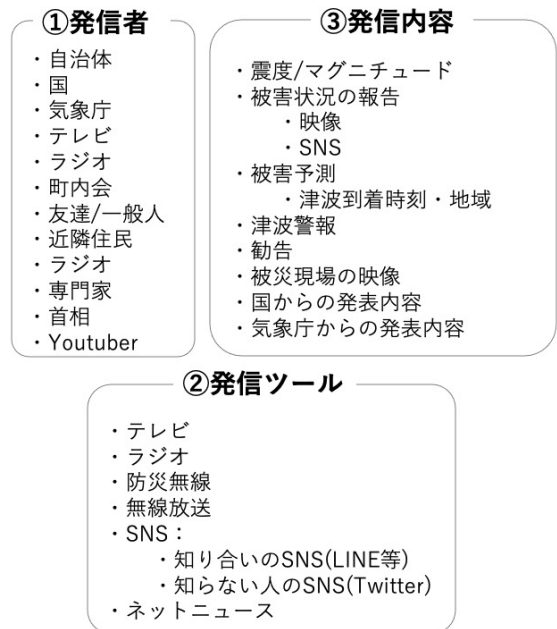


図2：内容分析の結果（避難するか否か判断する上で参考にする情報・知識）

KJ法に準じた内容分析によって得られた情報のカテゴリー

A：全記述データの分析結果。(1)津波、(2)避難所、(3)居住地に関する情報、(4)情報源の4カテゴリーを得た。

B：メディア情報に絞った分析結果。(1)発信者、(2)発信ツール、(3)発信内容の3カテゴリーを得た。

(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 2 年度の成果の概要 :

( 1 ) 地下構造モデルの不確かさ ( 100km スケール ) を考慮した手法開発

・地下構造の不確かさごと地下構造モデルの候補から構成されるアンサンブルの形で取り込んで考慮できる断層すべり推定手法を開発し、数値実験により有効性を確かめた。( Agata et al., 2021 )

( 2 ) 世界測地系と整合する三次元地下構造モデルでの弾性グリーン関数ライブラリ



・世界測地系で用いられる準拋楕円体や全球でのジオイドモデルと日本列島の地下構造として全国一次地下構造モデルを取り入れた、プレート境界での単位すべりに対する弾性応答のグリーン関数ライブラリを構築した。(Hori et al., 2021)

(3) プレート境界巨大地震における津波シナリオのためのランダム不均質断層すべり分布の生成

・震源域での滑り分布の長期間の平均と考えられる、プレート境界での滑り遅れ速度に比例する確率分布にもとづき、シナリオ地震の震源断層上の滑り分布をランダムに生成する手法を構築した。(Nakano et al., 2020)

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Agata, R., A. Kasahara and Y. Yagi, 2021, A Bayesian inference framework for fault slip distributions based on ensemble modeling of the uncertainty of underground structure - With a focus on uncertain fault dip, *Geophysical Journal International*, accepted.

Hori, T., R. Agata, T. Ichimura, K. Fujita, T. Yamaguchi and T. Iinuma, 2021, High Fidelity Elastic Green's Functions for Subduction Zone Models Consistent With the Global Standard Geodetic Reference System, *Earth, Planet and Space*, accepted.

Nakano, M., S. Murphy, R. Agata, Y. Igarashi, M. Okada and T. Hori, 2020, Self-similar stochastic slip distributions on a non-planar fault for tsunami scenarios for megathrust earthquakes, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 7, 45, <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00360-0>.

(10) 令和3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。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海域地震火山部門

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

( 13 ) 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2年度の成果の概要 :

第4期中期計画に基づき下記のような成果が得られた。

#### 1. 海洋プレート構造解析研究

南海トラフ熊野灘における既存三次元地震探査データの再解析に基づき、地質構造と浅部低周波地震(VLFE)発生分布の関係を明らかにした。沈み込む海洋地殻の上面は地殻内断層による起伏に富み、その上位の付加体には覆瓦衝上断層が発達しており、半遠洋性泥質物を主体とする厚いアンダースラスト堆積物層の内部に、衝上断層群のデタッチメントが複数認定された。さらに、衝上断層群を切る横ずれを伴う共役な断層群が認められ、プレート沈み込み方向と斜交する最大水平圧縮応力の方向が特定された。これらの地質構造的特徴を、Nakano et al. (2018) が高精度に決定したVLFEの震源分布およびメカニズムと比較すると、ほとんどのVLFEは海洋地殻が隆起した場所の北北西側の、アン

ダースラスト堆積物層内に局在していることが確認された。また、最大水平圧縮応力の方向は、局在する VLFE と海洋地殻隆起部との位置的關係および低角逆断層型 VLFE のすべり方向と調和的であった。南海トラフ熊野灘では、海洋地殻上面の起伏が上載堆積物内の応力場に影響を与え、堆積層内の既存すべり面に沿う VLFE の発生に寄与していると考えられる (図 1)。(Shiraishi et al.,2020)

プレート境界浅部でスロー地震活動が活発なニュージーランドヒ克蘭ギ沈み込み帯北部の 3 次元 P 波速度とその方位異方性構造を推定した。解析には海洋研究開発機構が日米英 NZ との国際共同研究で取得した 3 次元屈折法探査データを使用し、方位異方性を考慮した地震波走時トモグラフィ解析を実施した。解析の結果、付加体内に発達する分岐断層や deformation front の近傍で顕著な P 波速度異方性を検出した。付加体内の P 波の速い軸はプレート沈み込み方向におおむね一致し、応力場によるクラックの偏向と断層に沿って発達する粘土鉱物の層構造を反映していると考えられる。また、従来考えられていたものより約 10km 陸側に、沈み込む海山の本体と思われる高速度体がイメージングされた。こうした海山の沈み込みにより subduction channel が形成され、流体に富む堆積物や火山碎屑物が深部へ運ばれると考えられる。これらの結果はスロー地震を起こすプレート境界断層の構造を制約する重要な情報である。(Arai et al.,2020)

2011 年東北地震時に非常に大きな浅部滑りがあった箇所の反射断面には逆断層とそれによる変形構造が見られ、浅部滑りが小さかった場所にはそのような構造は見られない。主破壊域北側海溝軸付近で報告されている津波波源域には斜面崩壊が認められる。沈み込み帯浅部の構造的な特徴は巨大地震の浅部滑りと関連している可能性がある。(Nakamura et al.,2020)

## 2. 海域地震活動解析研究

南海トラフ域において、DONET および臨時観測で取得した圧力成分と地震計三成分のノイズ記録に地震波干渉法を適用し、P 波と表面波の抽出を行った。0.2-0.5Hz 帯域では圧力成分の相関から、1-3Hz 帯域では上下動成分の相関からそれぞれ P 波が抽出された。この違いは、ノイズに含まれる波動場が水深・海底下の S 波速度構造・海底地形によって変化することに起因する。この解析では従来の 1 ビット正規化の手法ではなく、混入する地震イベント部分の振幅補正等に工夫を施すことで抽出に成功しており、今後、ノイズ記録を用いた実体波トモグラフィなどへの活用が期待される。(Tonegawa et al.,2020)

海底地震計のノイズ記録からアレイ内のレーリー波の伝播速度を推定し、その値をエンベロープ相関法に用いることで、日向灘で発生した 3 エピソード / 3 年観測の浅部超低周波地震の震央分布を推定した。この分布とフィリピン海プレート上面の深さコンターを比較して浅部超低周波地震の深さを推定したところ、沈み込む海山の影響が小さい東側では震源の深さは 10km 以浅となり、西側の海山近傍ではそれより深くなった。これは沈み込む海山がスロー地震の発生域に局地的に影響を及ぼしていることを示唆している。(Tonegawa et al.,2020)

カナダ (カスカディア地震発生帯) など海外との共同研究を進め、地震活動や地殻構造を明らかにした。(Hutchinson et al.,2020)

## 3. 海底堆積物調査研究

2004 スマトラおよび 2011 東北地方太平洋沖地は、巨大な津波を発生させた海溝での浅い地震時のすべりを起こした。堆積記録にはこの時空間記録が含まれている。日本海溝に沿った約 250km の範囲で 2011 年の東北地方太平洋沖地震の影響を放射性同位元の濃縮度から特定した。地震時に形成された「ホモジナイト」と名付けられた音響的に透明で均質な厚層ユニットは、通常おこる高周波の地震動、および上盤プレートの物性に起因する低周波かつ長時間の地震動に関連して堆積した事が考えられる。(McHugh et al.,2020)

琉球海溝の南西端は、台湾東沖の花蓮海底谷の末端に連結するため、台湾からフィリピン海に流れ込む堆積物の最終的な集積の場であると考えられていたが、その実態は明らかでなかった。本研究では水深 6,147m の琉球海溝底で採取したコアを解析した。XRF コアスキャナーを使い 1mm 間隔の Ca/Fe 比に化学組成データにより 36 枚のタービダイトを識別した。また、Zr/Rb ピークは主に粒径を反映すると考えられた。本研究の試料では半遠洋性泥はタービダイトに比べて全有機炭素と全窒素の含有量が

やや高く、 $\delta^{13}\text{C}$  値も高いという特徴が認められた。磁気測定結果では台湾起源の碎屑物の指標の磁鉄鋼一つであるので台湾からの堆積物の供給が高い時期があった可能性がある。(Hsiung et.al.,2020)

#### 4. 海底観測システム開発研究

海底水圧計を現場で校正するための技術開発。実験室及び DONET 海域の水圧計校正の繰り返しにより、1cm H<sub>2</sub>O 未満の精度で海底水圧計の校正ができることを実証した。(Machida et.al.,2020)

DONET の水圧計の長期的ドリフト特性を実験室での評価試験と現場の長期観測から明らかにした。(Matsumoto and Araki,2021)

DAS 計測を室戸沖海底光ファイバケーブルで実施し、水中音響現象観測への適用性について検討した。(Matsumoto et.al.,2021)

海底光ファイバ歪計や海底傾斜計による観測技術のを継続している。掘削孔内の間隙水圧や傾斜計では 2020 年 12 月～2021 年 1 月にかけて起こった南海トラフの近傍で発生したゆっくり滑りの検出に成功した(図 2(a))。その変動量はトラフ近傍のごく浅い断層でのスロースリップによりモデル化されることが示され、その領域はこの期間中での低周波微動の発生域と整合的である(図 2(b))(投稿準備中)。

(9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Arai, R., S. Kodaira, S. Henrys, N. Bangs, K. Obana, G. Fujie, S. Miura, D. Barker, D. Bassett, R. Bell, K. Mochizuki, R. Kellett, V. Stucker, B. Fry, NZ3D Team (2020). Three-dimensional P wave velocity structure of the northern Hikurangi margin from the NZ3D experiment: Evidence for fault-bound anisotropy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth.*, 125, e2020JB020433. <https://doi.org/10.1029/2020JB020433>.

Hsiung, K-H., Kanamatsu, T., Ikehara, K., Usami, K., Horng, C-H., Ohkouchi, N., Ogawa, N-O., Saito S., Murayama, M., X-ray fluorescence core scanning, magnetic signatures, and organic geochemistry analyses of Ryukyu Trench sediments: turbidites and hemipelagites., *Progress in Earth and Planetary Science* 2021 8:2, <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00396-2>

Hutchinson, J.; Kao, H.; Riedel, M.; Obana, K.; Wang, K.; Kodaira, S.; Takahashi, T. & Yamamoto, Y., Significant geometric variation of the subducted plate beneath the northernmost Cascadia subduction zone and its tectonic implications as revealed by the 2014 Mw 6.4 earthquake sequence, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2020, 551, 116569, doi:10.1016/j.epsl.2020.116569

Machida, Y., Nishida, S., Kimura, T., & Araki, E. (2020). Mobile pressure calibrator for the development of submarine geodetic monitoring systems. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2020JB020284. <https://doi.org/10.1029/2020JB020284>

Matsumoto H and Araki E (2021) Drift Characteristics of DONET Pressure Sensors Determined From In-Situ and Experimental Measurements. *Front. Earth Sci.* 8:600966. doi: 10.3389/feart.2020.600966

Matsumoto Hiroyuki, Eiichiro Araki, Toshinori Kimura, Gou Fujie, Kazuya Shiraishi, Takashi Tonegawa, Koichiro Obana, Ryuta Arai, Yuka Kaiho, Yasuyuki Nakamura, Takashi Yokobiki, Shuichi Kodaira, Narumi Takahashi, Robert Ellwood, Victor Yartsev, Martin Karrenbach, Detection of hydroacoustic signals on a fiber-optic submarine cable, *Scientific Reports*, Vol. 11, Paper No. 2797, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82093-8>, 2021/02/04

McHugh C., M., Seeber, L., Rasburyc, T., Strasser, M., Kioka, A., Kanamatsu, T., Ikehara, K., & Usami, K., Isotopic and sedimentary signature of megathrust ruptures along the Japan subduction margin, *Marine Geology*, 428, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106283>

Nakamura Yasuyuki, Toshiya Fujiwara, Shuichi Kodaira, Seiichi Miura & Koichiro Obana Correlation of frontal prism structures and slope failures near the trench axis with shallow megathrust slip at the Japan Trench, *Scientific Reports* (2020) 10:11607 doi:10.1038/s41598-020-68449-6

Shiraishi K., Yamada Y., Nakano M., Kinoshita M., & Kimura G. Three-dimensional topographic relief of the oceanic crust may control the occurrence of shallow very-low-frequency earthquakes in the Nankai

Trough off Kumano. Earth, Planets, and Space, 2020, 72:72. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01204-3>.

Tonegawa, T.; Yamashita, Y.; Takahashi, T.; Shinohara, M.; Ishihara, Y.; Kodaira, S. & Kaneda, Y., Spatial relationship between shallow very low frequency earthquakes and the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region of the Nankai subduction zone, Geophys. J. Int., 2020, 222, 1542-1554, doi: 10.1093/gji/ggaa264

Tonegawa, T.; Kimura, T. & Araki, E., Near-Field Body-Wave Extraction From Ambient Seafloor Noise in the Nankai Subduction Zone, Frontiers in Earth Science, 2021, 8, 699, doi:10.3389/feart.2020.610993

( 10 ) 令和 3 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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海域地震火山部門

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

( 13 ) 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

図 1

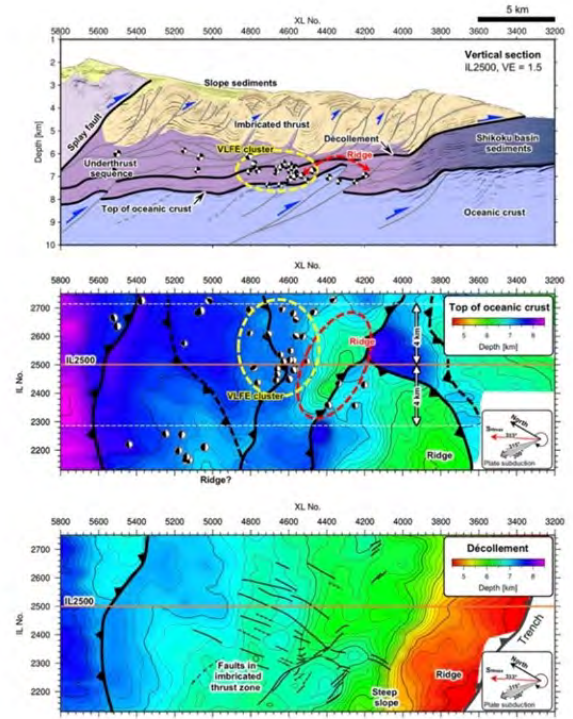
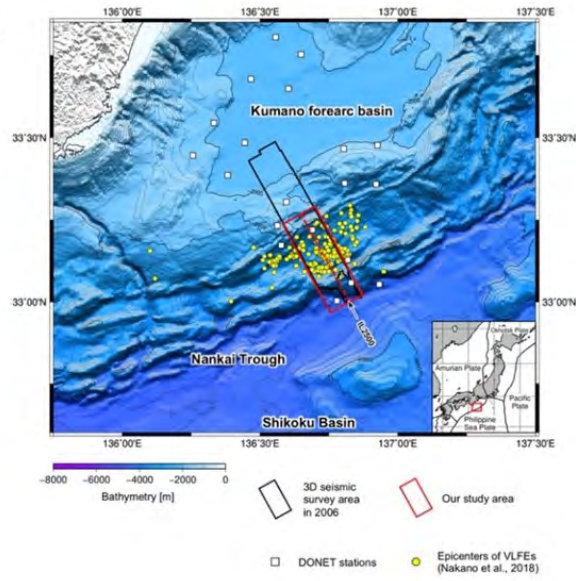


図 2 (a)

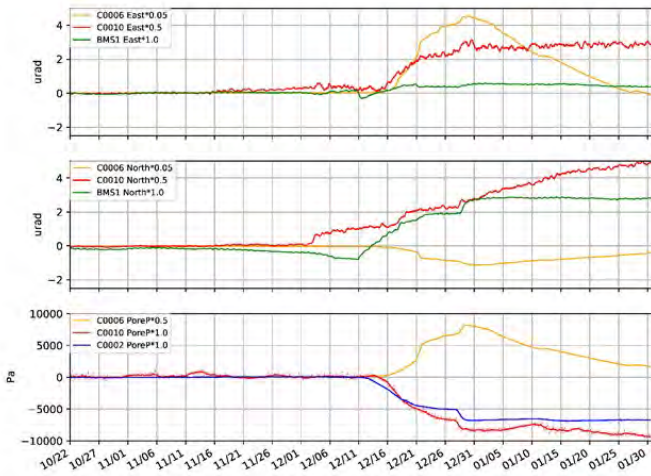
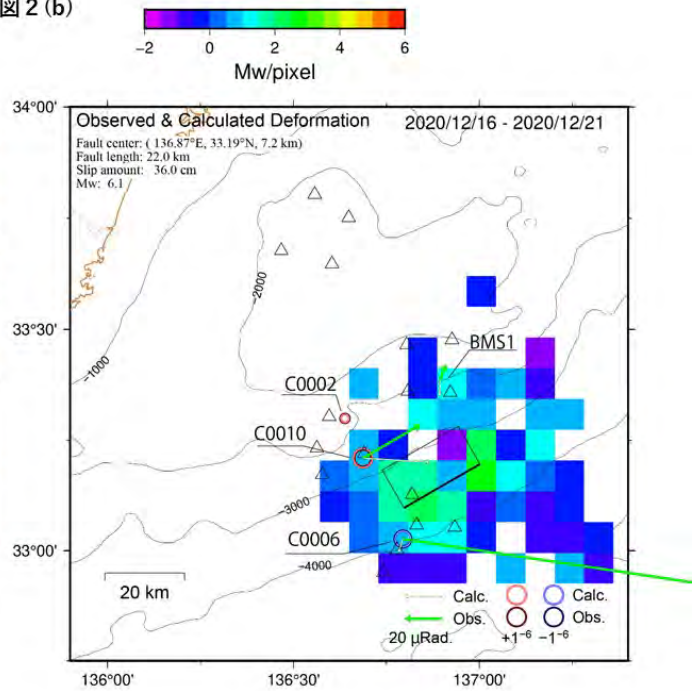


図 2 (b)





(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2年度の成果の概要：

第4期中期計画に基づき令和2年度的主要実施内容、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。鬼界カルデラ調査での試験では良好な結果が得られた。一方、西之島調査での試験では、通信機材トラブルが発生し、長期運用に向けての改良点が明らかになった。

##### (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、「かいいい」でドレッジ調査を実施し、良好な岩石試料を得た。  
・西之島において、「かいいい」、「かいいい」、「新青丸」で3回の調査航海を実施し、ハイドロフォンシステム(マーメイド)の投入や火山灰の採取等を行った。

##### (項目3) 海洋掘削プロジェクトの推進：プロポーザル作成

・海洋プレート内部での水循環を明らかにするために「東北沖アウターライズ掘削」のプロポーザルをIODPに提出した。  
・巨大海台形成プロセスの解明のために、「オントンジャワ海台掘削」のプロポーザルをIODPに提出した。

##### (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

・IODP Exp351 航海で得られた掘削試料にもとづく伊豆背弧火成活動進化の時間発展を明らかにした。  
・IODP Exp369 の掘削試料(オーストラリア南西海域)を基に、 Gondwana大陸分裂と巨大ブルームの関係を解明した。

・トンガ海域で2019年に起きた海底火山噴火の緊急調査で得られた軽石の揮発性成分を分析した。ほとんど水和していないことから、2019年のMetis Shoalの噴火は海面上まで達していたことを示した。

##### (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

・沿岸域火山における地震・電磁気探査の手法を開発するために、電磁気探査手法についての数値シミュレーションを実施した。

・オントンジャワ海台地殻マントル構造の推定し、リソスフェア下部に熱化学ブルームによって発生したマグマの溶解残り層物質が付加していると推定された。

・千島スラブの下410km不連続面直上に本州スラブに見られたもの同様な低速度異常を検出した。

- ・ マグマ発生・移動・集中・マントル内の移動・マグマ溜まりの形成・再固結という一連の過程を3次元シミュレーションで実現した。
- ・ 大陸リソスフェア縁辺域における大陸分裂のメカニズムの解明するために、2次元箱粘弾性体モデルにおいて厚い大陸リソスフェアが分裂する様子を再現した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- T. Miyagoshi et al., Tectonic plates in 3D mantle convection model with stress-history-dependent rheology, *EPS*, 72, 2020
- M. Morishige, T. Kuwatani, Bayesian inversion of surface heat flow in subduction zones: a framework to refine geodynamic models based on observational constraints, *GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL*, 222, 103-109, 2020
- W. Fujisaki et al., Redox conditions and nitrogen cycling during the Triassic-Jurassic transition: A new perspective from the mid-Panthalassa, *EARTH-SCIENCE REVIEWS*, 204, 2020
- K. Shiraishi et al., Three-dimensional topographic relief of the oceanic crust may control the occurrence of shallow very-low-frequency earthquakes in the Nankai Trough off Kumano, *EARTH PLANETS AND SPACE*, 72, 2020
- K. Ueki et al., Oxidation during magma mixing recorded by symplectites at Kusatsu-Shirane Volcano, Central Japan”, *EARTH PLANETS AND SPACE*, 72, 2020
- J. Ohta et al., Fish proliferation and rare-earth deposition by topographically induced upwelling at the late Eocene cooling event, *Scientific Reports*, 10, 2020
- T. Sano et al., Two-stages of plume tail volcanism formed Ojin Rise Seamounts adjoining Shatsky Rise, *LITHOS*, 372-373, 2020
- M. Nakano et al., Self-similar stochastic slip distributions on a non-planar fault for tsunami scenarios for megathrust earthquakes, *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 2020
- T. Yamazaki et al., Unmixing biogenic and terrigenous magnetic mineral components in red clay of the Pacific Ocean using principal component analyses of first-order reversal curve diagrams and paleoenvironmental implications, *EARTH PLANETS AND SPACE*, 72, 2020
- A. Perttu et al., Reconstruction of the 2018 tsunamigenic flank collapse and eruptive activity at Anak Krakatau based on eyewitness reports, seismo-acoustic and satellite observations”, *EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS*, 541, 2020
- Y. Suzuki et al., High-resolution 3-D S-velocity structure in the D region at the western margin of the Pacific LLSVP: Evidence for small-scale plumes and paleoslabs, *PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS*, 307, 2020
- T. Miyazaki et al., Haraguchi Satoru”, The First 10 Million Years of Rear Arc Magmas Following Backarc Basin Formation Behind the Izu Arc, *GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS*, 21, 10, 2020
- T. Hanyu et al., Determination of total CO<sub>2</sub> in melt inclusions with shrinkage bubbles, *CHEMICAL GEOLOGY*, 557, 119855, 2020
- M. Python et al., The distinctive peridotite of Taww, Northern flank of Jabal Nakhil, Oman”, *LITHOS*, 376-377, 105758, 2020
- C. Ito et al., Isotope Dilution - Total Evaporation - Thermal Ionization Mass Spectrometric Direct Determination of Radioactive Strontium-90 in Microdrop Samples, *ANALYTICAL CHEMISTRY*, 92, 16058-16065, 2020
- K. Fujita et al., Three-dimensional visualization of columnar vortices in rotating Rayleigh-Benard convection, *JOURNAL OF VISUALIZATION*, 23, 635-647, 2020
- Y. Tomimatsu et al., Marine osmium isotope record during the Carnian “ pluvial episode ” (Late Triassic) in the pelagic Panthalassa Ocean, *GLOBAL AND PLANETARY CHANGE*, 197, 2020

- D. Sauter et al., Sub-axial deformation in oceanic lower crust: Insights from seismic reflection profiles in the Enderby Basin and comparison with the Oman ophiolite, *EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS*, 554, 116698, 2021
- L. D. Harry et al., Evolution of the Southwest Australian Rifted Continental Margin During Breakup of East Gondwana: Results From International Ocean Discovery Program Expedition 369, *GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS*, 21, 1-26, 2020
- Y. Kawano et al., Persistent Long-Period Signals Recorded by an OBS Array in the Western-Central Pacific: Activity of Ambrym Volcano in Vanuatu, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 47, 19, 2020
- Y. Tasaka et al., Two-dimensional oscillation of convection roll in a finite liquid metal layer under a horizontal magnetic field, *JOURNAL OF FLUID MECHANICS*, 911, 2021
- T. Ohtaki et al., Seismic velocity structure of the upper inner core in the north polar region, *PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS*, 311, 2020

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

第 4 期中長期計画に基づき令和 3 年度の主な実施内容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を開発する。

(項目 2) 我が国最大規模のカルデラなどを対象とした構造探査、地球物理学的観測、手法開発、火山体の海底調査、岩石試料採取・分析を行う。

(項目 3) 得られる知見を活用し、「ちきゅう」などを用いた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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海域地震火山部門

電話 :

e-mail : ceat

URL : <http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

( 13 ) 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2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。  
11月には、GNSSアンテナとSLR望遠鏡不動点との相対位置関係を求めるためのコロケーション測量を、国土地理院の協力のもと実施した。
- ( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
海上保安庁, 下里水路観測所におけるSLR観測, 地震予知連絡会会報, 104, 11-5.
- ( 10 ) 令和3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。
- ( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

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/>

( 13 ) 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

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：

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、巖原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

( 8 ) 令和2年度の成果の概要：

ほぼ計画通り観測を継続している。

井戸の破損により令和2年1月から観測を休止していた巖原験潮所は、令和2年7月に観測を再開した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要：

引き続き、全国20ヶ所(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、巖原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬)の常設験潮所で潮汐観測を実施し、リアルタイムにインターネット公開する。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課

電話：03-3509-3636

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/>

( 13 ) 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 2 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 )。

GNSS-A の最大の誤差要因である海中音速場変動の推定の高度化を進めた。これまでに別個に提案されてきた手法を包含するように観測方程式を再構築し、音速変動の解釈性が高いモデルを導入した。データ誤差の共分散項の導入や、事前分布を制御するハイパーパラメータを ABIC で選択するなど、統計学的に適切な手法を用いることで、音速変動を適切に推定することが可能となった。さらに、本手法を実装したソフトウェアのソースコードを公開した ( Watanabe et al., 2020 )。

海中音速場の推定結果について、海洋モデル及び観測から得られた海中構造との比較を行った。GNSS-A で推定された音速場は、海洋モデルでは再現しきれない局所的な影響を反映している可能性があることが分かった。 ( Yokota et al., 2020 )。

観測の効率化に向け、海上における測量船の観測範囲及び海底局アレイのサイズが測位精度に与える影響についてシミュレーションによる検証を行った。観測時間削減のためには、観測範囲・アレイサイズともに小さくするほうが良いが、小さくするほど精度が悪化するトレードオフの関係にあることが分かった。最適なサイズとして、これまでに経験的に設定していた値が、最適であることが数値的に裏付けられた ( Nakamura et al., 2020 )。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Ishikawa T, Yokota Y, Watanabe S and Nakamura Y (2020) History of On-Board Equipment Improvement for GNSS-A Observation With Focus on Observation Frequency. *Front. Earth Sci.* 8:150. doi: 10.3389/feart.2020.00150

Yokota Y, Ishikawa T, Watanabe S and Nakamura Y (2020) Kilometer-Scale Sound Speed Structure That Affects GNSS-A Observation: Case Study off the Kii Channel. *Front. Earth Sci.* 8:331. doi: 10.3389/feart.2020.00331

Watanabe S, Ishikawa T, Yokota Y and Nakamura Y (2020) GARPOS: Analysis Software for the GNSS A Seafloor Positioning With Simultaneous Estimation of Sound Speed Structure. *Front. Earth Sci.* 8:597532. doi: 10.3389/feart.2020.597532

Nakamura Y, Yokota Y, Ishikawa T and Watanabe S (2020) Optimal transponder array and survey line configurations for GNSS-A observation evaluated by numerical simulation. *Front. Earth Sci.* in press. doi: 10.3389/feart.2021.600993

海上保安庁 (2020), 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, 104, 57-62.

海上保安庁 (2020), 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, 104, 361-365.

( 10 ) 令和 3 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、日本近海の世界最大規模の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。

( 11 ) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

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/

(13) 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	4.3 284.4	10/18/2016 - 11/04/2020	11	*
(2) KAMS	38.64	143.26	6.5 290.4	10/18/2016 - 11/05/2020	13	*
(3) MYGI	38.08	142.92	6.0 299.6	10/18/2016 - 11/05/2020	14	*
(4) MYGW	38.15	142.43	1.5 308.7	10/17/2016 - 11/06/2020	16	*
(5) FUKU	37.17	142.08	2.3 141.3	10/17/2016 - 11/06/2020	17	*
(6) CHOS	35.50	141.67	2.2 328.2	10/21/2016 - 09/16/2020	15	*
(7) BOSN	34.75	140.50	0.2 56.2	10/21/2016 - 09/16/2020	16	*
(8) SAGA	34.96	139.26	2.2 340.1	10/22/2016 - 09/17/2020	17	*
(A) TU08	38.71	143.64	8.7 299.3	05/29/2016 - 06/14/2020	10	
(B) TU10	38.29	143.50	10.6 304.5	05/28/2016 - 06/15/2020	9	
(C) TU12	38.00	143.54	10.3 297.4	05/27/2016 - 06/16/2020	10	
(D) TU14	37.90	142.77	5.2 301.3	07/25/2016 - 06/16/2020	11	
(E) TU17	36.90	142.72	2.6 333.5	05/26/2016 - 06/17/2020	9	
GEONET				11/06/2016 - 11/06/2020		

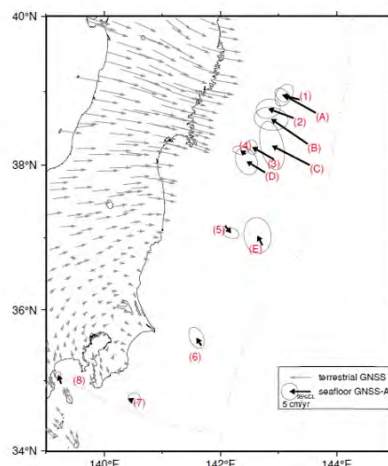


図1 日本海溝沿いの直近約4年間の水平移動速度。北米プレート固定。

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr) (deg)	Period	Data	Update
(9) TOK1	34.08	138.13	2.9 289.4	10/13/2016 - 11/10/2020	18	*
(10) TOK2	33.88	137.60	5.0 298.8	10/12/2016 - 09/17/2020	16	*
(11) TOK3	34.18	137.39	4.6 293.8	10/13/2016 - 11/10/2020	17	*
(12) ZENW	33.09	137.55	- -	02/20/2020 - 11/08/2020	4	*
(13) KUM1	33.67	137.00	4.1 296.6	10/12/2016 - 11/09/2020	19	*
(14) KUM2	33.43	136.67	3.4 292.8	10/12/2016 - 11/09/2020	20	*
(15) KUM3	33.33	136.36	2.3 272.5	10/11/2016 - 11/09/2020	23	*
(16) KUM4	33.08	136.64	- -	02/21/2020 - 08/03/2020	3	
(17) SLOW	33.16	135.57	3.0 304.6	10/11/2016 - 09/20/2020	19	*
(18) SIO2	32.98	135.99	- -	-	2	
(19) MRT1	33.35	134.94	4.3 295.1	10/10/2016 - 09/20/2020	23	*
(20) MRT2	32.87	134.81	3.0 245.3	10/07/2016 - 09/19/2020	24	*
(21) MRT3	32.80	135.35	- -	08/10/2019 - 08/02/2020	6	
(22) TOS1	32.82	133.67	4.7 310.6	10/10/2016 - 09/19/2020	20	*
(23) TOS2	32.43	134.03	6.1 291.0	08/12/2016 - 08/01/2020	20	
(24) ASZ1	32.37	133.22	4.2 295.1	06/27/2016 - 07/28/2020	23	
(25) ASZ2	31.93	133.58	4.0 299.8	07/01/2016 - 07/31/2020	22	
(26) HYG1	32.38	132.42	3.0 300.0	10/09/2016 - 10/24/2020	22	*
(27) HYG2	31.97	132.49	1.0 302.2	10/09/2016 - 10/24/2020	23	*
GEONET				11/10/2016 - 11/10/2020		

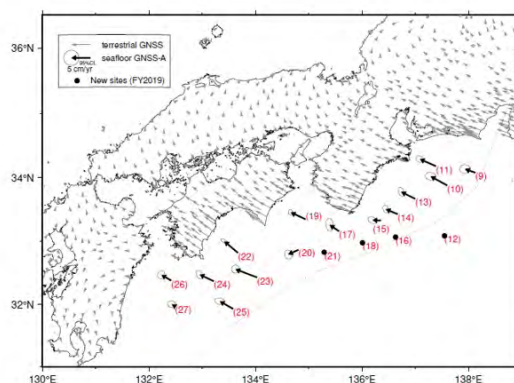


図2 南海トラフ沿いの直近約4年間の水平移動速度。アムールプレート固定。

( 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

工. 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2年度の成果の概要：

海域火山の定期巡回監視観測を実施した。

さらに、西之島については、監視体制を強化し、監視観測を継続して実施している。

また、海域火山基礎情報調査「伊豆東部火山群(手石海丘)」を実施した。

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た。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2020, 海域火山の最近の活動, 第146回火山噴火予知連絡会資料

海上保安庁, 2020, 海域火山の最近の活動, 第147回火山噴火予知連絡会資料

( 10 ) 令和3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。

( 11 ) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

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/>

(13) 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

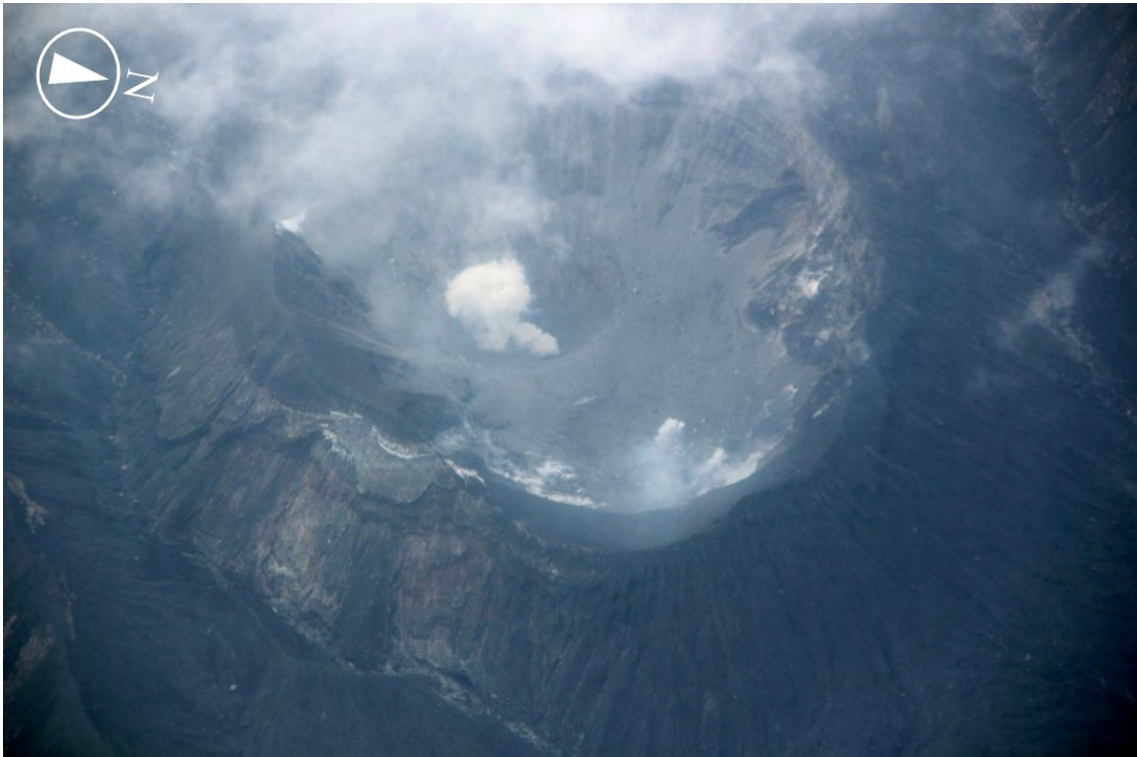
所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室



第1図 西之島（2020年6月29日）



第2図 西之島 (2020年11月24日)



第3図 諏訪之瀬島 火口 (2020年9月29日)



第4図 諏訪之瀬島 変色水域 (2020年9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2年度の成果の概要：



- ・GNSS 座標データを用い、2017 年春から 2018 年秋にかけて発生した志摩半島付近の長期的スロースリップが、2019 年半ばから 2020 年半ばにかけ再び発生していることを検出した。2017 年 3 月からの 2 年間、3 年間の変化量から推定されたすべりの規模は、それぞれ Mw6.42、6.55 相当であった。
- ・GNSS 座標データを用い、2019 年豊後水道の長期的スロースリップの変位を簡易的に除去し、2019 年に四国中部にも小規模な長期的スロースリップが発生していたことを検出した。すべりの規模は Mw6.1 相当であった。
- ・GNSS 座標とひずみ計データの統合インバージョンにより、2018～2019 年の豊後水道長期的スロースリップのすべり分布の解析を行った。すべりの規模は Mw6.8 相当であった。
- ・防災科研の傾斜データとひずみ計データの統合インバージョンにより、2015 年 4 月、2016 年 1 月、10 月に発生した短期的スロースリップのすべり分布の解析を行った。
- ・エンベロープ相関法による浅部低周波微動解析を行い、紀伊半島南東沖で 2020 年 12 月 6 日から微動が活発に発生していることを検出した。
- ・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を行った。
- ・中規模繰り返し地震について、近傍の M6 クラス以上の地震との関係を調査した。中規模繰り返し地震の発生間隔が平均よりも長くなった後、複数の系列にて常にはないが、次の繰り返し地震までの間に近傍で M6 クラス以上の地震の発生が見られることが分かった。そして、2011 年東北地方太平洋沖地震以降、その影響を受けた系列では繰り返し間隔が非常に短かつ非定常になり、そのような関係をうかがい知ることができないことも分かった。
- ・東京大学地震研究所と共同でガウジ層を挟む模擬断層の摩擦実験中の内部状態変化についてデータの解析を行った。
- ・規模の大きな内陸地震周辺の M2.0 以上の地震活動について、M 系列データの積算の傾きの変化を見ることで平均的な規模の時間変化を調査した結果、検知力低下の疑われる地震直後の期間を除いても、数ヶ月程度以上にわたり徐々に平均的な地震規模が低下する傾向が見られた。
- ・2016 年熊本地震によるせん断ひずみエネルギー変化 (Noda et al., 2020) に対応し、地震活動の規模別頻度分布に違いが見られるか調査した結果、せん断ひずみエネルギー変化が正の領域では、GR 則の b 値が一連の活動の開始前に比べて本震後に有意に低下したことが分かった。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
 宮岡一樹，小林昭夫，2020，南海トラフ地域のスロー地震 (2) 気象庁・気象研究所による観測，地震予知連絡会 50 年のあゆみ，148-150 .  
 小林昭夫，2021，GNSS による長期的スロースリップ客観検出手法の応用 - 短期的スロースリップの検出と長期的スロースリップの規模推定 - ，気象研究所研究報告，69，1-14 .  
 気象研究所，2020，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，104，22-26.  
 気象研究所(勝間田明男)，2020，天竜船明レーザー式変位計による地殻変動観測，地震予知連絡会会報，104，212-215.  
 気象研究所，2020，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，104，366-368.  
 気象研究所，2020，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，104，369-372.  
 気象研究所，2020，中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2020)，地震予知連絡会会報，104，448-452.

(10) 令和 3 年度実施計画の概要：

- ・地震発生シミュレーションについてメッシュ細分化、計算速度高速化を検討する。
- ・東海大学と共同で、海底地震計観測を行う。

・地震活動の特徴を表す  $b$  値や  $p$  値などの様々な指標について、日本全国の地域毎の時間変動特性および地域差の特徴について調査する。また、個々の活動指標を重ね合わせた統合的な指標について統計的に検討する。

( 11 ) 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 : 有

東京大学、富山大学、東海大学

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象研究所企画室

電話 : 029-853-8535

e-mail : [ngmn11ts@mri-jma.go.jp](mailto:ngmn11ts@mri-jma.go.jp)

URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

( 13 ) 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

(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 2 年度の成果の概要：

#### [ テーマ 1 ]: 観測研究による火山活動の活発化や噴火に至るプロセスの解明

##### (1) 伊豆大島等におけるマグマ蓄積・上昇過程の解明

伊豆大島において GNSS、光波測距、多成分ひずみの地殻変動観測を継続し、その解析からマグマだまりのマグマ蓄積量の変化を推定した（火山噴火予知連絡会に報告）。GNSS 自動解析に必要な解析システムの処理装置、及び旧式の観測装置を更新した。

吾妻山、霧島山、口永良部島で、地殻変動解析で変動源を推定し、火山活動評価に資する結果を得た。西之島の噴火活動で、衛星データを解析してマグマ噴出率の推移を推定した。

伊豆大島の重力繰返し精密観測を継続するとともに、相対重力計の種類や個体差によるバイアスを取り除く手法を検討した。個体差について、絶対重力値を用いたスケール検定・較正による測定値の信頼性の向上を確認した。また観測点での重力鉛直勾配の実測値と、理論モデルからの推定値を、機械高補正に導入して、2種の重力計の差を解消する効果を確認した。

##### (2) 伊豆大島山頂部における地表放熱量評価

噴気活動が認められるカルデラ南部地域において、2017 年以降に 3 回行った 1 m 深地温マッピング観測（2017.10-11, 18.03, 18.07）と、領域内に設置した参照点の連続観測データにより、マッピングした各点を季節変動に従う点と火山活動による地温兆候が認められる点に分離し、後者は現在も噴気が視認できる地域あるいは過去に噴気の認められた地域に一致することを確認した。

空中熱赤外線繰返し観測（今年度から継続）の初回を実施し、熱赤外画像を作成した。また可視観測による DEM を作成した（初年度及び最終年度）。

#### [ テーマ 2 ]: 火山活動の解析・評価のための手法開発

衛星 SAR の干渉解析における対流圏遅延補正プログラムの開発を進め、対流圏遅延量を積分で求める座標系の変更により、座標変換の回数を減らして計算速度を大幅に向上させた。また、地表面の気象要素として従来の近傍モデル面の内外挿値に対して、地表面解析値を用いる手法を試み、さらに改良課題があることを示した。GNSS の火山活動が静穏な時期の複数年の時系列データから、非火山性の変動（トレンドおよび季節変動）を評価して、全期間の時系列データを補正することにより、火山性の変動の時期と変動領域を明瞭に確認できた（吾妻山）。

標高の高い火山で、火口下浅部の圧力源による地殻変動データへの山体地形の影響を、境界要素法により計算し、従来の簡易な手法の適用限界を示した。境界要素法による地形を考慮した地殻変動計算システムの開発を進め、今後の監視業務への導入に向けた検討課題を示した。山体地形モデル作成及び計算結果作図機能を追加し、18火山で山体地形メッシュ作成及び圧力源モデルの設定を可能にした。  
[テーマ3]: 監視観測データの活用的高度化

地震波干渉法(相互相関解析)により、これまでに大規模なカルデラやカルデラ縁火山で検出されているS波異方性について、そうではない浅間山に同手法を適用し、Reyleigh波及びLove波の位相速度トモグラフィーを調査して、周波数に依存する低速度異常領域の特徴を明らかにした。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- 安藤 忍, 奥山 哲, 飯野英樹, 2020, 西之島における SAR 解析, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「SARによる地表変動解析の新展開:先進レーダー衛星の活用を見据えて」, 2020年12月
- 安藤 忍, 奥山 哲, 飯野英樹, 2020, 小笠原諸島西之島の溶岩噴出率の算出の試み, 日本測地学会第134回講演会, 2020年10月
- 安藤 忍, 奥山 哲, 松末伸一, 2020, Lava discharge rate in Nishinoshima volcano, Ogasawara Islands revealed using ALOS-2/PALSAR-2, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月
- Chikita K., A. Goto, J. Okada, S. Miura and M. Yamamoto, 2020, Estimates of hydrological, thermal and chemical budgets of Okama Crater Lake, Zao Volcano, Japan: A preliminary study, JpGU meeting 2020, 2020年7月, 千葉県千葉市
- 井村 匠, 伴 雅雄, 常松佳恵, 後藤章夫, 岡田 純, 2020, 蔵王火山丸山沢噴気地熱地帯の火山物質科学的研究, 日本火山学会2020年度秋季大会, 2020年10月
- 川口亮平, 2020, 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, 日本火山学会2020年度秋季大会, 2020年10月
- 川口亮平, 2020, 境界要素法に基づく火山周辺の気象庁傾斜計データの評価の検討(2), 日本地球惑星科学連合2020年大会, 2020年5月
- 長岡優, 西田究, 青木陽介, 武尾実, 2020, 浅間山の3次元3次元VSV, VSH構造, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月
- 長岡優, 2021, 地震波干渉法による霧島山の3次元VSV, VSH構造, 東京大学地震研究所特定共同研究(B)「プレートの沈み込みと島弧変動のダイナミクス」オンライン集会, 2021年1月
- Okada J., Y. Nihara, S. Chikasawa, T. Yamamura, S. Seki, K. Sasaki, A. Takagi, and K. Fukui, 2020, Re-activation of volcanic activity on May 2019 at Azumayama ?Importance of precise ground deformation monitoring near the crater, JpGU meeting 2020, 2020年5月, 千葉県千葉市
- Okuyama S., Ando S. Shimbori T., 2020, Development of InSAR tropospheric phase delay correction system at MRI (4th report), JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月
- 奥山 哲, 安藤 忍, 新堀 敏基, 2020, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムへの地上面解析値の導入, 東京大学地震研究所共同利用(研究集会)「SARによる地表変動解析の新展開:先進レーダー衛星の活用を見据えて」, 2020年12月
- 奥山 哲, 安藤 忍, 新堀 敏基, 2020, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムへの地上面解析値の導入, 日本測地学会第134回講演会, 2020年10月
- 鬼澤真也, 石原昂典, 平山康夫, 松田健助, 谷口無我, 松島喜雄, 2020, 伊豆大島火山における1m深地温測定~経験的手法による地熱兆候の検出~, 日本火山学会2020年度秋季大会, 2020年10月
- 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. 駿震時報(論文).
- 寺田暁彦, 香取 慧, 谷口無我, 山本 希, 山田大志, 鬼澤真也, 西澤達治, 青山 裕, 森田裕一, 大場 武, 2020, 草津白根火山西方における温泉湧出と2018年群発地震, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月

?澤宏彰，飯野英樹，安藤 忍，高木朗充，及川輝樹，2020，西之島の 2020 年 6 8 月のバイオレント・ストロンボリ式噴火. 火山.

( 10 ) 令和 3 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

(1) 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観測を継続し、地殻変動（源）解析の迅速化・自動化を目指す。他の活動的火山についても地殻変動等の解析を行う。

伊豆大島において重力の繰り返し精密観測を継続し、観測データの精密な補正技術を開発する。

(2) 伊豆大島山頂部における地表放熱量評価

地表面の熱収支連続観測を継続し、地表面熱・水収支モデルの構築を目指す。繰り返しの空中熱赤外観測を継続し、地表温度分布を把握するとともに観測及びデータ処理技術の確立を目指す。

マグマ・揮発成分収支について、既存資料の調査に基づき、概念モデルを検討する。

[ テーマ 2 ] 火山活動の解析・評価のための手法開発

(1) 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。

(2) GNSS 解析手法の高度化

気象モデルを導入した大気遅延補正による解析プログラムの開発を進める。

(3) 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変動源の変化の推定手法、地下のマグマ挙動に伴う地殻変動シミュレーション手法の、プログラムを開発する。

[ テーマ 3 ] 監視観測データの活用的高度化

(1) 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

地震波干渉法を用いた伊豆大島地下の地震波速度の解析から、その時間変化を検出する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

研究代表者：齋藤 誠 火山研究部長

研究担当者：

[ 火山研究部 ] ○小久保一哉、鬼澤真也、安藤忍、森健彦、奥山哲、岡田純、川口亮平、島村哲也、  
( 併任：火山課 ) 瀧山弘明、加古考範、山本哲也、長岡優

[ 地震津波研究部 ] 小林昭夫

他機関との共同研究の有無：無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

( 13 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小久保一哉

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2年度の成果の概要：

気象庁のGNSS解析において、現状の解析結果には、時期により解析手法が異なることにより一貫した検知能力下での評価ができないとの課題がある。対処として、主に2016年度以前のデータについて再解析を実施する準備を進めており、昨年度に引き続き、解析処理の手法の検証、評価を行った。傾斜計データについて、検知能力の調査、監視項目としての評価のため、昨年度に引き続き、観測点の特性を把握するための調査及び降水等の気象による影響（ノイズ）等を整理した。また、ノイズを低減させるため、潮汐補正の状況の点検や気圧等の影響に対する新たな補正適用を行った。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。

（9）令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（10）令和3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。

（11）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  
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

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長  
電話：03-6758-3900(内線：4514)  
e-mail：jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp  
URL：http://www.jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：瀧山弘明  
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2年度の成果の概要：

雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、阿蘇山において全磁力連続観測および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、火山活動との対応関係を調査した。2018年および2019年に実施した本白根山での自然電位については観測結果をとりまとめ、験震時報に投稿した。また、白根山(湯釜付近)の全磁力連続観測においては、柿岡におけるH成分を用いた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ている。雌阿寒岳では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ジットコンパスを用いた偏角の測定を実施した。伊豆大島では次期噴火に備えて観測を強化するため、全磁力繰返し観測点を6点増設した。永年変化のDI補正については、前年度に人工衛星主磁場モデルを用いた補正方法を検討し有効な方法となりうることを確認しているが、今年度は任意の座標・高度に対し地磁気3成分永年変化の衛星地磁気モデル値を算出できるようプログラムを改装した。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。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
山崎明・飯野英樹・有田真・下川淳，本白根山における 2018 年噴火後の自然電位および地磁気全磁力  
観測( 2 )，日本地球惑星科学連合 2020 年大会，オンライン開催，2020 年 7 月  
山崎明，火山での精密磁場観測における諸問題，Conductivity Anomaly 研究会シンポジウム，オンラ  
イン開催，2021 年 1 月  
下川淳・山崎明・笹岡雅宏・増子徳道・弘田瑛士，草津白根山における全磁力観測の現状について，  
Conductivity Anomaly 研究会シンポジウム，オンライン開催，2021 年 1 月  
飯野英樹・山崎明・有田真・田中達朗・下川淳，2018 年の本白根山噴火後の自然電位観測，駿震時報，  
2021 年 1 月受理  
下川淳・山崎明・笹岡雅宏・増子徳道・弘田瑛士，草津白根山における全磁力観測の現状について，  
2020 年度 C A 研究会論文集，2021 年 2 月

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化を目指すため、特に水蒸気噴火を起こす火山につ  
いて重点的に調査を行う。この目的の下に引き続き雌阿寒岳、草津白根山などにおいて全磁力の連続  
観測、繰返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。DI 補正については簡易偏角・伏角計  
を使用することにより補正係数を直接決定できる見通しが得られたが、伊豆大島や雌阿寒岳で実測し  
DI 補正を試みる。地磁気永年変化の DI 補正については衛星主磁場モデルを軸に引き続き調査を進め  
る。草津白根山では DI 補正に向けた検証、年周変化の影響を除去する取り組みも進める。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：山崎 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 2 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

・箱根山、草津白根山、霧島山硫黄山、吾妻山、焼岳及び Taal 火山( フィリピン ) を対象に、火山ガス及び熱水流体の化学組成、水素・酸素安定同位体比、並びに火山灰の化学成分を分析し、熱水系での火山活動のモデルを構築するための事例研究を行った。

・東海大学との共同研究を実施している箱根山では、2019 年度までに噴気の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比と He/CH<sub>4</sub> 比が火山性地震の回数と対応良く変化することから火山活動評価の指標として有効であることを明らかにし、次回の活動を予測するために引き続き地球化学データを蓄積し、火山噴火予知連絡会等に情報提供を実施した。

・草津白根山では東海大学、東京工業大学と共同で観測を実施し、火口湖湯釜の湖水の Mg/Cl 比が過去の噴火・噴出現象に対応して変化したことに着目して分析を続けた結果、2019 年夏以降に湯釜湖水の Mg/Cl 比に僅かな上昇が起きたことを明らかにし、引き続き火山噴火予知連絡会に資料を提供した。

・霧島山硫黄山では東海大学、東京大学などと共同で観測を実施し、2018 年 4 月の噴火前後で増加した硫黄山周辺の熱水の Cl/SO<sub>4</sub> 比が 2019 年以降低下に転じたが、硫黄山西麓の火口跡の熱水は 2020 年の夏以降同比が再び上昇したことを捉えた。

・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は化学分析及び顕微鏡分析を実施し、当該火山灰は熱水系での爆発によってもたらされたことを明らかにし、その結果を焼岳・乗鞍岳火山防災協議会の事務局に資料として提供した。

・2020 年 4 月頃から発生した飛騨地方の群発地震に伴って異常湧出した焼岳山麓の高温泉の化学組成や安定同位体比を分析し、高温泉の異常湧出は焼岳の火山活動とは直接的な関係はないことを明らかにし、地元気象台に資料を提供するとともに、温泉水の専門学会誌に論文を掲載した。

・フィリピン Taal 火山については噴火後の火口湖からフィリピン火山地震研究所が採取した熱水の提供を受け、噴火の前後で化学成分及び安定同位体比に変化が起きていたことを明らかにし、フィリピン火山地震研究所に情報を提供した。

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。また、産業技術総合研究所と共同して吾妻山で比較観測を実施し、マルチガスの器差に関する検証を行った。

・二氧化硫( SO<sub>2</sub> ) 放出率計測の自動化へ向け、戦略的イノベーション創造プログラム( SIP ) で行われた先行観測研究を元に課題の洗い出しと解決策の検討を行い、試験機の開発、試験観測及び改良を行った。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

Muga Yaguchi (2020) Abnormal discharge of high-temperature hot spring water observed at the abandoned well in the Okuhida hot spring area during the earthquake swarm occurred at Gifu-Nagano district, central Japan. Journal of Hot Spring Sciences, 70, 70-79.

( 10 ) 令和 3 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・九重山・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、前年度の試験機で得た問題点の改良を行い、連続観測装置に特化したモデルへと装置及びシステムを整備して薩摩硫黄島で試験観測を開始する。また、気象モデルを用いた火山ガス拡散モデルから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、比較観測を行い効率的な校正手法の開発を進める。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。さらに、二酸化硫黄放出率連続観測を開始する薩摩硫黄島において、火山ガスの噴出状態把握のためマルチガス観測、ガス採取等を行う。

### (11) 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

### (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

### (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：菅野智之

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・堅牢性の向上も目指す。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 2 年度の成果の概要 :

PLUM 法の高度化について、P 波を検知する方法を進展させ、初期破壊の P 波の上下動成分のみから得られる震度を予測に用いることにより、地盤増幅特性が不明な観測点でも適用できる方法を開発した。同方法を用いると、約 2 割の地震において従来の PLUM 法よりも迅速に警報を発表できることを確かめた。データ同化と波動伝播シミュレーションを組み合わせた地震動予測について、計算時間短縮のため MPI や OpenMP を用いた並列化及び MPI 通信の効率化に取り組んだ。また、密な観測網が利用可能な状況では、( 断層破壊の全体を捉える ) Mw の即時推定では強い揺れに間に合わず、揺れをモニターする方法が有効であることを事例検証をもとにまとめた。

近地津波について、沿岸津波観測データへのリアルタイム回帰分析による予測手法を 2011 年東北地方太平洋沖地震津波に適用して予測性能を評価した。遠地津波についても、過去事例から得た減衰過程の特徴に基づく減衰式を 2010 年チリ中部沿岸の地震津波に適用して予測性能を評価した。いずれも概ね ± 12 時間の幅で減衰予測できることを示した。津波の後続波について、カムチャツカ ~ 千島列島で発生する遠地津波で地震から約 48 時間後に津波注意報の基準に達しうほど津波が高くなる観測事例があり、津波数値計算を行った結果、南アメリカからの反射波が原因であることを示した。津波地震の規模推定について、地震観測波形から周期ごとの振幅分布を求め、様々な破壊継続時間を仮定した理論分布と比較して最も合う破壊継続時間を推定し、振幅比から地震の規模を推定する手法を考案した。世界各地で発生した津波地震の理論地震波形を用いて検証し、その有効性を確認した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Hoshiya, M., 2020, Too-late warnings by estimating Mw: Earthquake early warning in the near-fault region, Bull. Seism. Soc. Am., 110(3), 1276-1288.

Minson, S., J. Saunders, J. Bunn, E. Cochran, A. Baltay, D. Kilb, M. Hoshiya, and Y. Kodera, 2020, Real-Time Performance of the PLUM Earthquake Early Warning Method during the 2019 M6.4 and 7.1 Ridgecrest, California, Earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 110(4), 1887-1903.

Kilb, D., J. Bunn, J. Saunders, E. Cochran, S. Minson, A. Baltay, C. O'Rourke, M. Hoshiya, and Y. Kodera, 2021, The PLUM earthquake early warning algorithm: A case study of west coast, USA, data. J. Geophys. Res. (submitted)

Katsumata, A., M. Tanaka, and T. Nishimiya, 2021, Rapid estimation of tsunami earthquake magnitudes at local distance, Earth Planets Space (submitted)

Nakata, K., A. Katsumata, and A. Muhari, 2020, Submarine landslide source models consistent with multiple tsunami records of the 2018 Palu tsunami, Sulawesi, Indonesia. Earth Planets Space, 72, 44.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

PLUM 法の改良を進め、伝播経路特性については地下構造の精緻化を図る。地盤増幅特性の中の位相特性を検討し、長周期地震動を含めた即時予測での継続時間の予測の精度向上の研究を進める。データ同化手法や波動伝播シミュレーションの効率性を検討し、予測モデルの構築に着手する。

収集・整理した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継続時間予測手法を改良する。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本剛靖

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に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2年度の成果の概要：

・気象庁一般気象レーダーを用いて、2020年6月4日2時59分桜島爆発的噴火の事例の噴煙高度を解析した結果、火口上約8000m以上に達していたことが分かった。

・桜島の遠望観測データを用いて、気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法の検証を進めた。また、確率的推定手法について、大気屈折率・地球楕円体の効果の組み込み、ジオイド補正を追加するなどの改良も行った。

・気象研究所 X バンド MP レーダー ( MRI-XMP ) による噴煙観測と 2 次元ビデオディストロメーター ( 2DVD ) による降灰観測を継続している。

・2DVD によって直接観測された降灰データを用いて、気象レーダーによる解析結果を検証するためのスキームを考案した。

・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気象庁移流拡散モデル ( JMA-ATM ) を開発した。

・JMA-ATM と結合した火山灰データ同化・予測システムを用いて、予報官による衛星解析に対する検証を行い、同システムで作成した初期値を用いることで火山灰雲の中心位置・火山灰雲の面積の予測が改善することを確認した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
新堀敏基・石井憲介, 2021, 気象庁移流拡散モデル設計書, 気象研究所技術報告, 84. (in press)

( 10 ) 令和 3 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に着手する。

・前年度までに開発した新しい移流拡散モデルへ凝集、再飛散過程等の導入に着手する。

・火山灰データ同化・予測システムについて、実事例実験による評価に着手する。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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>

( 13 ) 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

工. 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2年度の成果の概要：

令和2年度は、第146回(令和2年6月30日)第147回(令和2年12月23日)の2回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しらせした。

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することとしており、4月に口永良部島部会を設置した。第1回及び第2回口永良部島部会を4月21日及び12月18日に、第4回霧島山部会を12月16日に、第5回草津白根山部会を12月15日に開催し、火山活動の検討を行った。

3月には第23回火山活動評価検討会を開催し、今後の活火山の選定作業等の進め方等について検討を行う予定である。

メーリングリストやオンライン会議等の導入を行い、火山噴火予知連絡会の火山活動の評価及び情報発信の強化を進め、部会の積極的活用や、本会議による議論の充実をはかる等の改善を進めた。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 令和3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。

(11) 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(火山噴火予知連絡会事務局) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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>

(13) 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处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2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处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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

地震・火山月報(防災編) <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/index.html#monthly>

地震月報(カタログ編) <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

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。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う。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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>

( 13 ) 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 : 気象庁地震火山部管理課地震情報企画官

(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

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

(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2年度の成果の概要：

令和元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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和2年度にデータ伝送を光回線できなかったところについて、光回線又は携帯電話回線化を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁 地球環境・海洋部海洋気象課、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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：市川真人

所属：気象庁地球環境・海洋部海洋気象課



(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2年度の成果の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気4成分観測、及びいわき、北浦での全磁力精密連続観測を実施し、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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

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。

(10) 令和3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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 山際 龍太郎

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

工. 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2年度の成果の概要:

### 1) 連続的な火山観測

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、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。令和2年度は、草津白根山に埋設型の地震計・傾斜計及び空振計を整備。また、全国3箇所に監視カメラを増設した。

### 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、口永良部島、阿蘇山、桜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・熱赤外観測を草津白根山(白根山(湯釜付近))・霧島山(新燃岳)(予定)・阿蘇山(予定)・口永良部島で実施し、火山活動評価に活用した。

### 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。

## (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等): 地震火山月報(防災編)2020年3月号~2021年2月号(予定)

## (10) 令和3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。

## (11) 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

## (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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：http://www.jma.go.jp/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：重野伸昭

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

Ⅰ. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・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2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(1966~1967年)、鹿屋(1967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(1971~1972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。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・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 2 年度の成果の概要：

地震カタログ(震源、発震機構)を 2019 年 8 月分まで作成し、地震月報(カタログ編)として公開した(令和 2 年度内の予定含む)

海域観測網の観測データを一元化処理業務へ取り組むためのシステム等の準備を進め、震源決定のルーチン業務を 2020 年 9 月から開始した。

震源過程解析については、海外で発生したイベントについて、遠地実体波を用いて断層すべり分布を推定した結果を公開した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

地震月報(カタログ編): <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>



震源過程解析結果の公表：<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/index.html>

山本 麦・森脇 健，2020，Source-Scanning-Algorithm 法による地震波放出源の推定，JpGU - AGU Joint Meeting 2020，SCG70-P01。

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

地震カタログの作成、発震機構解析及び大地震時の震源過程解析を行い、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。一元化震源決定処理における海域のノイズ対策やデータの品質改善を進める。1977 年以降の震源について大学等の検測値を取り込んだ震源再計算を行うとともに、1918 年以前の震源についても震源計算を行い、順次公開する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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>

( 13 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岩切一宏

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で公表する。

(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 2 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 2 年度については、西之島、硫黄島、阿蘇山、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島及び諏訪之瀬島で噴火が発生したほか、草津白根山（白根山（湯釜付近））、浅間山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）や年報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。

（ 9 ）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

地震・火山月報（防災編）2020 年 3 月号～2021 年 2 月号（予定含む）

令和 2 年（2020 年）の火山活動（各火山）

（ 10 ）令和 3 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。

（ 11 ）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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

( 13 ) 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：地震火山部火山監視課火山調査係長

(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2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・成果を共有および社会の受けとめかたを調査した。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
- ・南海トラフ地震に関連するシンポジウムの開催およびアンケートの実施
- ・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

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和3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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震調査連絡係長

電話 : 03-6758-3900 ex.5114

e-mail : jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

( 13 ) 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2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

- ( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- ( 10 ) 令和3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。
- ( 11 ) 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
- ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名 : 地震調査連絡係長  
電話 : 03-6758-3900 ex.5114  
e-mail : jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp  
URL : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- ( 13 ) 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の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、通常の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 2 年度の成果の概要 :

機動的な海底地震観測

令和 2 年度は、当初 4 月中旬に海底地震観測航海を予定していたが、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により中止となった。その後、大幅な日程変更と徹底した感染症対策の上、7 月末~8 月上旬に航海を実施し、5 か年の観測計画を維持した。当該航海においては、平成 31 年( 2019 年 )4 月から喜界島東方海域で観測を開始した、8 台の 1 Hz 長期収録型自己浮上式海底地震計( LOBS )から成る小スパン海底地震観測網の回収および新規投入をおこなった。回収したのは第 1 期 LOBS( 図 1 : 青 )で、新規位置に第 2 期 LOBS( 図 1 : 橙 )を投入した。回収直後・投入直前の時刻較正はそれぞれ正常に完了し、LOBS の着底位置座標は音響通信装置を用いた三点測量により決定した。第 2 期 LOBS は設置から約 8 か月後の令和 3 年( 2021 年 )4 月中旬に回収し、同航海で新規位置へ入れ替え( 第 3 期 )を予定している( 図 1 : 赤+ )。LOBS の回収・設置・測量作業は、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た。なお、本共同利用においては、海域観測の実習の場として大学院生延べ 4 名が乗船した。

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の境界面上で発生するスロー地震( 特に浅部低周波微動 )や相似地震の検出・震源決定精度の向上に貢献する。また、観測領域は 1911 年に喜界島近海で発生した M8.0 巨大地震の推定震央[ 後藤, 2013, 地震 ]( 図 1 : 黄 )および推定震源域周辺にあたり、第 4 期( 令和 5 年度に回収 )まで LOBS を機動的に展開することで、地震・スロー地震領域の棲み分けや時間的対応を議論する。

スロー地震

令和 2 年度は令和元年度に設置した 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 )の震源決定を実施した( 図 2 左上 )。南西諸島海溝における浅部微動は、日向灘の浅部微動に比べ継続時間が短い特徴が前計画での長期観測から明らかになっており、エンベロープ相関法による震源決定では通常 120 秒程度の解析時間長を使うことが多いが、今回の解析では解析時間窓を 60 秒としている。エンベロープ相関法による震源決定の結果、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令和元年( 2019 年 )9 月から 10 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いる( 図 2 の左上と右上 )。マイグレーションを伴う活動も複数回確認されたが、マイグレーション方向は南北両方向に存在している( 図 2 下 )。また、断続的な活動ながらゆっくりとした速度でマイグレーションしている様な活動も見られ、この地域において複数のスロー地震活動パターンがあることが示唆される。浅部微動の分布は、前計画中に実施された臨時観測から求められている分布とも非常によく似ていることも明らかとなった。観測点数や配置が全く異なる観測網で同じような分布が得られたことから、浅部微動の分布形状の特徴は、本対象領域において普遍的なものである可能性が高い。また、Nishimura(2014) で求められている S-SSE の down-dip 側に位置しているようにも見えるが、S-SSE の along-dip 方向の精度が低いことを考慮すると、浅部微動と S-SSE の位置関係は現時点ではほぼ同じ場所であると考えられる。2000 年以降の F-net MT 解の分布や、陸上観測網から求められた通常の震源分布と比較すると、喜界島の東 10~20 km 沖で浅部微動と通常の地震活動が重複する場所が存在する( 図 2 の左上と右上 )。本研究の浅部微動カタログには、まだ一部に通常の地震が含まれており、これらが重なっている可能性がある。今後、イベントの判別をより丁寧におこない、棲み分けの有無についての議論を進める。

相似地震の解析

令和 2 年度は、上述したように新型コロナウイルス感染症の影響により、当初航海実施の見通しが立たず、第 1 期 LOBS のデータ取得に大幅な遅延が見込まれていた。そのため、平成 30 年度までの前期計画( 図 1 : 灰 )で取得されたトカラ列島東方海域の海底地震観測データを利用し、小規模イベントも含めた相似地震の解析を継続した。解析期間は 2016 年 7 月~2018 年 3 月に拡張し、相似地震の検出には Matched-Filter 法を引き続き採用した。テンプレート地震として、鹿児島大学南西島弧地震火山観測所のルーチン震源カタログから 143 イベント( M3.0 以上 )を抽出し、14 観測点( うち海

底観測点は6点)×3成分の観測データを用いて解析した。プレート震源は、LOBSでの地震波到達時刻の読取値を陸上観測点の検測値と統合して震源再決定した上で、プレート境界付近で発生した地震であることを確認している。検出された相似地震の震源はプレート震源と同一とした。総検出数は1440イベントで、相似地震群(10イベント以上)として47グループを認定した。検出された相似地震群は、小繰り返し地震型、群発地震型、両者の混合型の3つの活動様式に大別された(図3b)。これらの活動様式をもつ相似地震群は、フィリピン海プレートの上面深度が約20kmの深さ付近で集中的に確認され、浅部低周波微動[山下・他, 2020, 災害軽減]や短期的スロースリップイベント[Nishimura, 2014, PEPS]の発生領域と空間的に棲み分けている可能性が示唆される(図4)。

#### 日向灘 南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化

バースト的な活動を除いたプレート境界域での相似地震(小繰り返し地震)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、その地震発生前2年間の準静的すべり速度を求め、時間変化について調べた。ここでは、陸上地震観測点の中長期のデータのみを用い、解析を継続している。領域分けについては、昨年度に報告したものと同一12領域(図5のA~M)で、変更はない。

当該領域では、2009年10月30日の奄美大島北方海域のM6.8以降、M6.0以上の活動は2014年8月29日に日向灘で発生したM6.0のみであったが、2019年には1月8日に種子島東方沖(領域E)でM6.0、5月10日に日向灘中部(領域B)でM6.3が発生した。これらの地震発生に伴い領域BとEで準静的すべり速度が急増した(図5)。これらの地震発生から1年半以上が経過した現時点では、領域BとEの準静的すべり速度はピークを過ぎて減少の途上にあるように見える。一方で、最近、準静的すべり速度が減少傾向にある種子島南東沖(領域F)、奄美大島北東沖(領域K)を除く他の領域は、2020年にかけても準静的すべり速度が増加傾向もしくは増加した状態が継続している。以上のことから、2016年頃以降の、日向灘~奄美大島域の広域にわたる準静的すべり速度の明瞭な増加は、2020年においても継続したとみられる。

日向灘北部(領域A)奄美大島北東(領域K)を除く10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。それ以前の15年間(2001~2015年)においては、ほとんどの領域で準静的すべり速度の変化は小さい(図5)ことから、2016年前後の変化を見るために、2016~2020年の5年間とそれ以前の15年間(2001~2015年)のそれぞれの期間で求められた準静的すべり速度(図6の左・中)、及びその比(図6の右)を緯度0.3°×経度0.3°の領域について0.1°ずつ、ずらしながら求めた。その結果、日向灘中部から奄美大島にかけての広域で準静的すべり速度が概ね全般的に増加していること、この中でもM6.3が発生した日向灘中部、M6.0が発生した種子島東方、奄美大島付近と大隅半島南東沖は周囲に比べて準静的すべり速度の増加が相対的に大きいことが分かった。これとは逆に、奄美大島北東沖(図5の領域K)では準静的すべり速度が明瞭に低下している。

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Yukihiro Nakatani, Hiroshi Yakiwara, Shuichiro Hirano, Reiji Kobayashi, Hiroki Miyamachi, Shigeru Nakao, Yusuke Yamashita, Kazunari Uchida, Takeshi Matsushima, Hiroshi Shimizu, Kazuo Nakahigashi, Tomoaki Yamada, Hideji Abe, and Masanao Shinohara, Similar earthquake activity in the northern part of the Ryukyu subduction zone observed by onshore and offshore seismic data, JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (Online), 2020

仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・中尾茂・宮町宏樹・小林励司・山下裕亮・清水洋・松島健・内田和也・中東和夫・阿部英二・山田知朗・篠原雅尚, 南西諸島海溝北部の準定常海底地震観測網により検出された相似地震の発生間隔と空間分布, 日本地震学会 2020年度秋季大会, s22-05, 2020

山下裕亮・仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・中尾茂・宮町宏樹・小林励司・清水洋・松島健・内田和也・中東和夫・阿部英二・山田知朗・篠原雅尚, 喜界島東方海域における浅部低周波微動活動(その1), 日本地震学会 2020年秋季大会, S22P-04, 2020

Yusuke Yamashita, Masanao Shinohara, Hiroko Sugioka, and Aki Ito, Shallow low-frequency tremor at Hyuga-nada (2017-2018), Slow Earthquakes Work Shop 2020 Virtual (Online), P-A01-16, 2020  
Yusuke Yamashita, Kimihiro Mochizuki, Martha K Savage, Emily Warren-Smith, and Laura M Wallace, Ocean bottom seismological observation of slow earthquake activity in the northern part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand, AGU Fall meeting 2020, T017-0001, 2020

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 3 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微動の震源決定を実施する。また、今年度の観測結果の精査を進め、次年度回収した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。

喜界島東方海域に展開した第 2 期 LOBS を 2021 年 4 月中旬に全 8 台回収し、同航海で新規配置への 8 台投入を実施する(第 3 期観測の開始)。8 点の観測点のうち、2 点では固有周期 120 秒または 20 秒の長期収録型小型広帯域海底地震計を投入予定である。第 1 期および第 2 期 LOBS データを用いて、1911 年 M8.0 喜界島地震の推定震源域付近での相似地震を検出する。

地殻変動については、島嶼域 GNSS 連続観測を継続し、沖縄トラフの拡大を考慮した有限要素モデルを使い、観測された GNSS 変動を説明するように北部南西諸島域の下に沈み込むフィリピン海プレート固着域と固着率の推定を進める。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

八木原 寛、仲谷幸浩、中尾 茂

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学防災研究所(山下裕亮)

東京海洋大学(中東和夫)

東京大学地震研究所(山田知朗、篠原雅尚)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

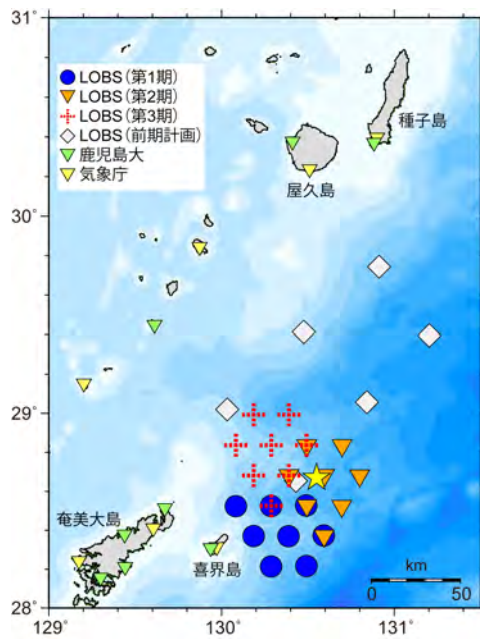


図1 海底および島嶼部の地震観測点配置。

青 が 2020 年に回収された第 1 期 LOBS、橙 が新規投入された第 2 期 LOBS の位置を示す。赤+が 2021 年に入れ替えらえる第 3 期 LOBS、灰 が前期計画での LOBS 配置である。黄 は 1911 年に発生した M8.0 喜界島地震の想定震源 [ 後藤, 2013 ] を示す。その他シンボルは相似地震解析に使用した島嶼部の定常地震観測点である。

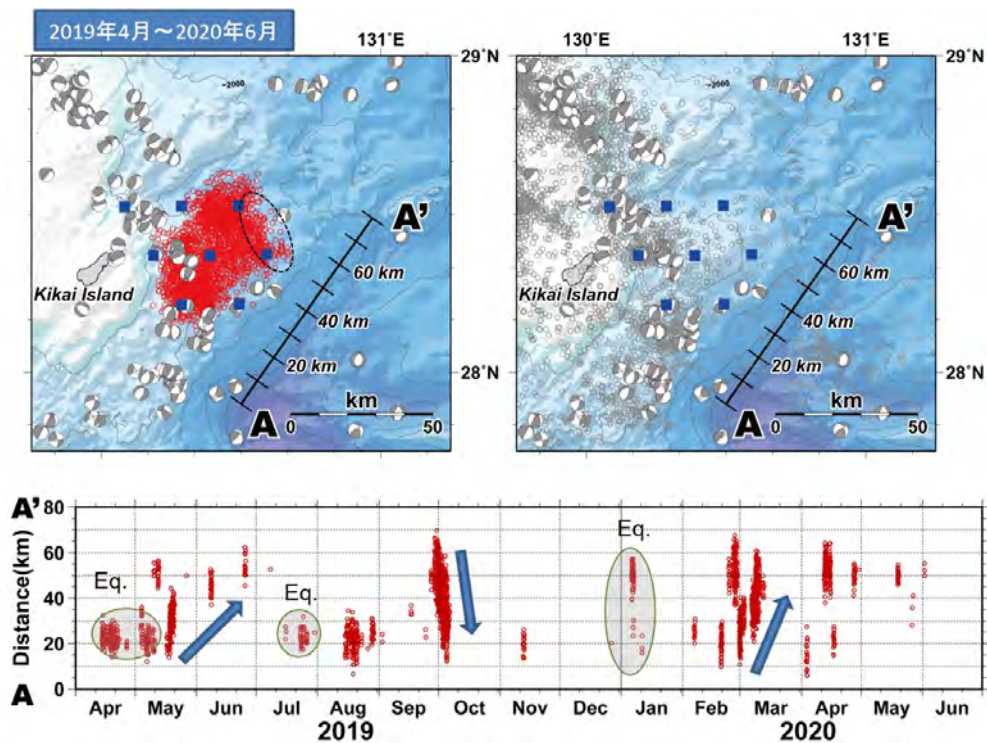


図2 スロー地震（浅部低周波微動）の震央分布と時空間分布。

震源決定されたスロー地震の震央分布を赤 で左上に示す。比較のために、通常地震の震央分布（鹿児島大学のカタログ）を灰色○で右上に示す。 は第 1 期 LOBS 観測点である。これらの震央分布には F-net の MT 解を重ねて示した。また、左上の震央分布の楕円点線は、分布の形状が過去の観測（2016、2017 年）で推定された分布と一致する領域であることを示す。時空間分布（下）のうち、Eq. と付された楕円に囲まれたプロットは通常地震であることを示す。

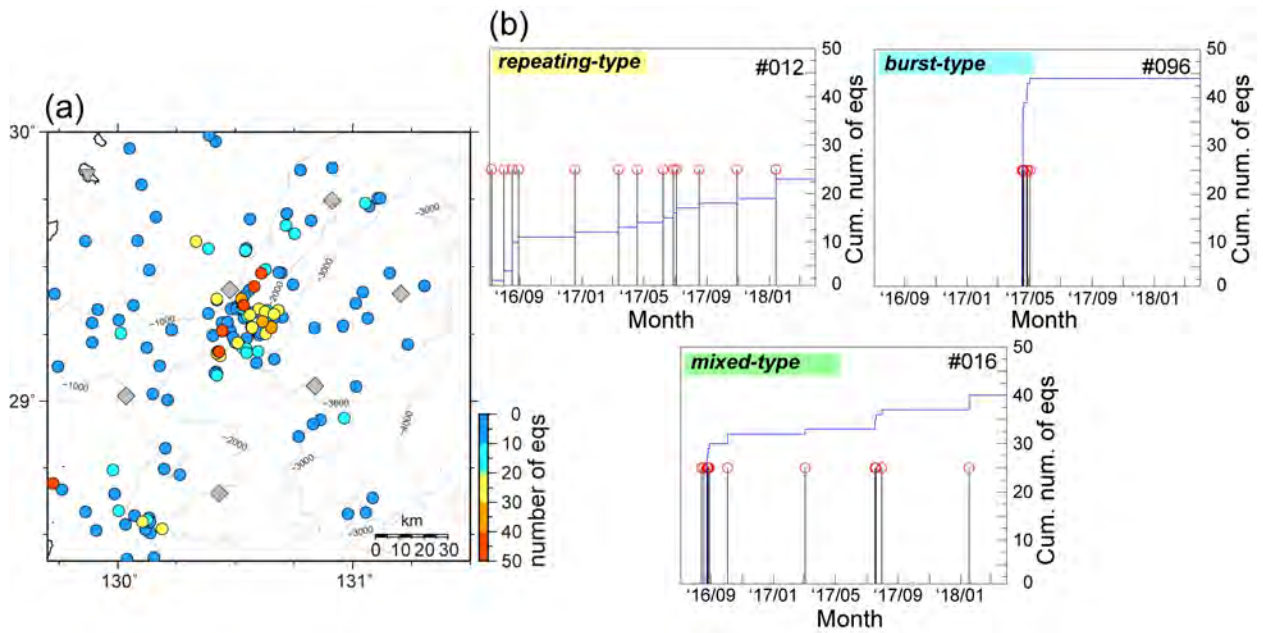


図3 相似地震の検出数分布と発生間隔。

(a) 各プレート震源において検出された相似地震数分布を示す。

(b) 小繰り返し地震型(左上)・群発地震型(右上)・混合型(下)の特徴をもつ代表的な相似地震群の発生間隔(赤丸)と積算地震発生数(青線)を示す。

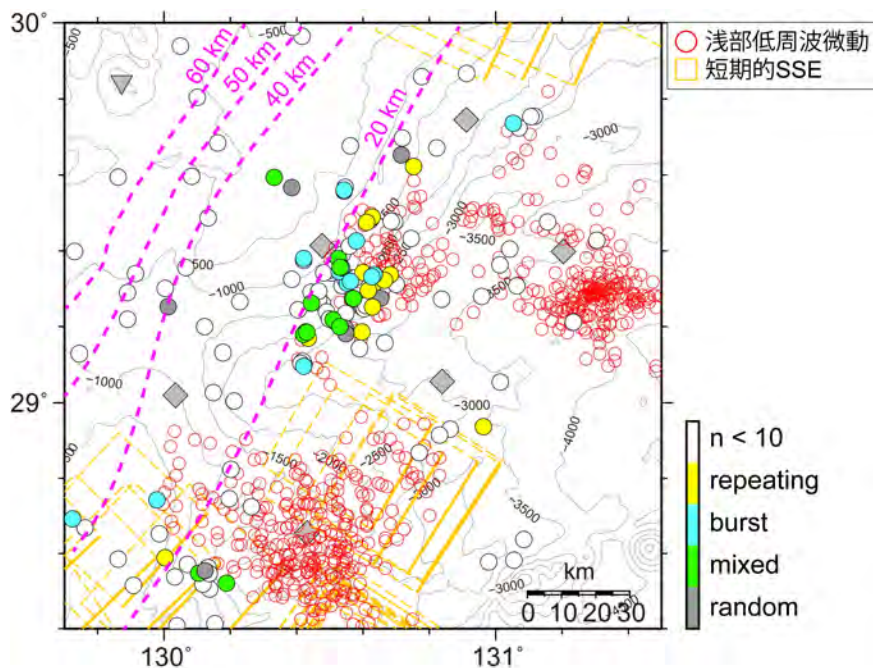


図4 相似地震群の空間分布

は黄が小繰り返し地震型、青が群発地震型、緑が混合型、灰が発生間隔に規則性のない相似地震群を、白は検出数が10イベント未満であったことをそれぞれ示す。コンターはフィリピン海プレートの上層深度 [ Yakiwara et al., in prep. ] である。赤丸は浅部低周波微動(2017/08?2018/10) [ 山下・他, 2020, 災害軽減 ] を、矩形域は短期的スロースリップイベント(1997?2013) [ Nishimura, 2014, PEPS ] を示す。その他シンボルは地震観測点である。

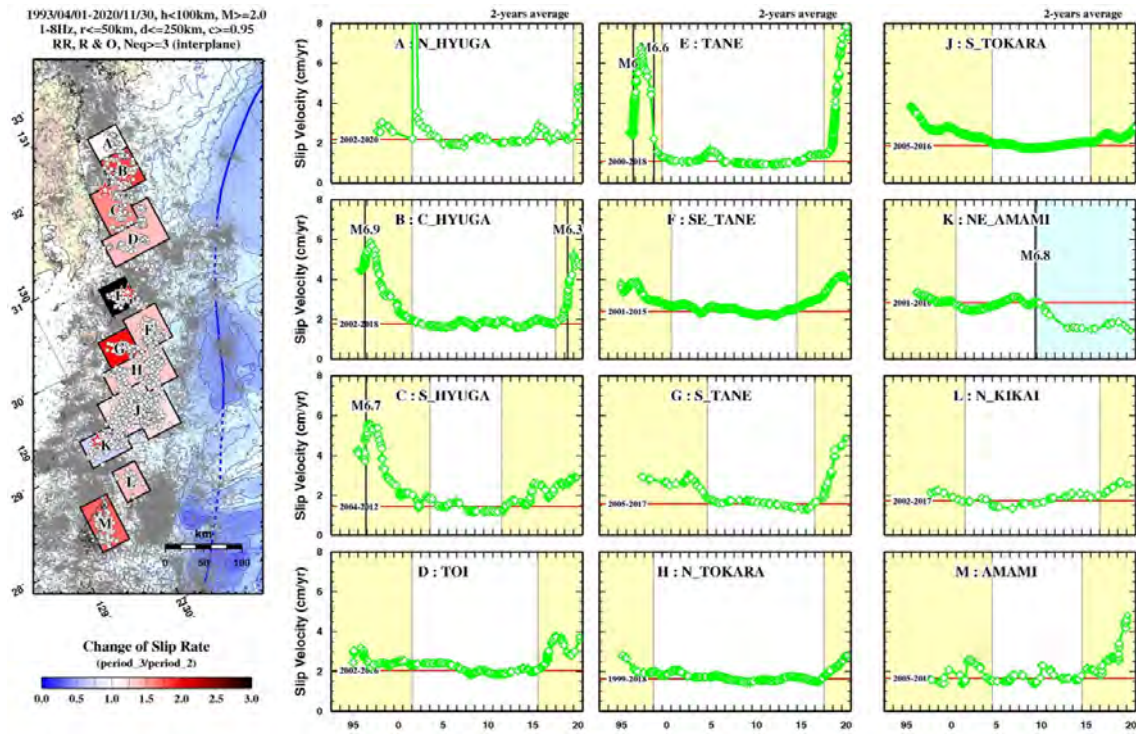


図5 日向灘から奄美大島近海に至る12領域での準静的すべり速度の時間変化。淡黄色と薄青色はそれぞれ、準静的すべり速度の大、小の期間であることを示す。各図中の赤線は、それに付した期間における準静的すべり速度の平均値である。1993年以降に発生したM6.4以上のプレート境界地震の発生時が、該当する図中に縦太線で示されている。

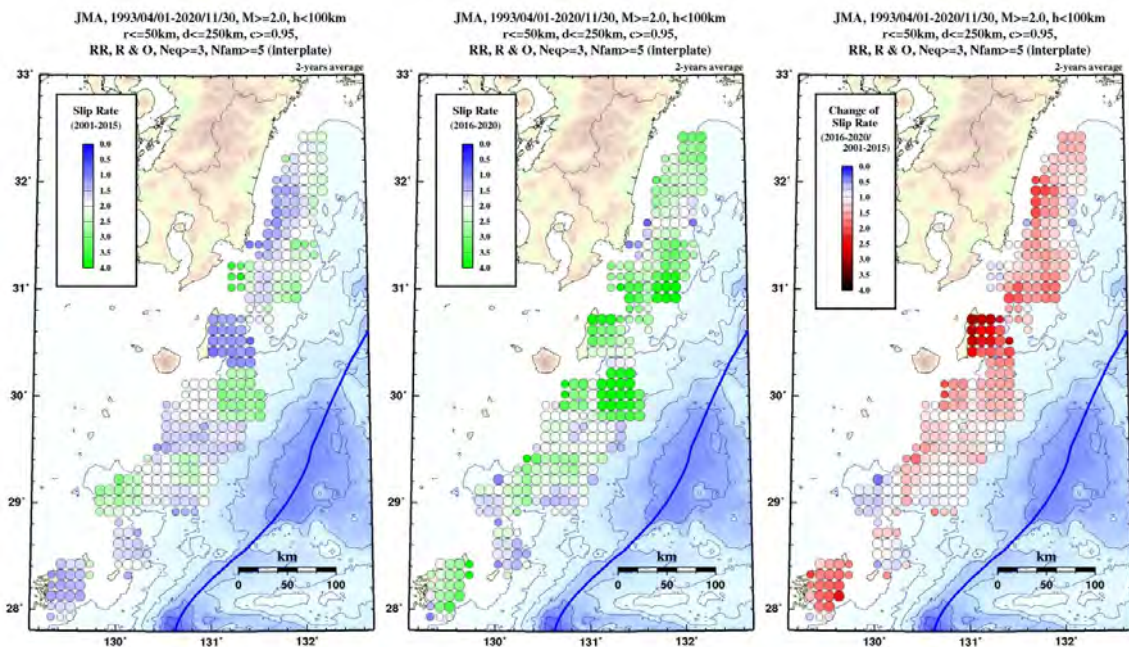


図6 日向灘から奄美近海に至る領域における2015年前後の平均的な準静的すべり速度、及び準静的すべり速度の比の分布。左図と中図がそれぞれ、2001～2015年及び2016～2020年の平均的な準静的すべり速度の分布を示す。右図が2016～2020年と2001～2015年の準静的すべり速度の比を示す。解析は、緯度 $0.3^\circ \times$ 経度 $0.3^\circ$ の領域を $0.1^\circ$ 毎にずらして行った。



(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：

40km<sup>3</sup>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<sub>2</sub>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2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設置と試料採取を行った。一方、これまでの研究航海により取得した反射法地震探査ならびに長期海底地磁気観測のデータ解析と、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「かいいい」によるKR20-11航海(9月24日~10月13日)により、航走調査と長期海底観測機器の設置、試料採取を行った。航走調査により、海底地形・地磁気データを取得した(図1)。海底機器の設置では、神戸大学所有の5台の広帯域海底地震計(BBOBS)、8台の海底電位差磁力計(OBEM)、11台の海底磁力計(OBM)を図2のように設置し、長期の海底観測を実施している。試料採取では、ピストンコアラーによる採泥と、ドレッジによる岩石試料の採取を行った。ピストンコアラーによる採泥は、KS19-17航海の結果を踏まえ、新たにカルデラ近傍から数十キロメートル遠方の広範囲で、反射法地震探査で鬼界カルデラ噴出物が確認できた11地点で実施した

( 図 3 )。採取できたピストンコアには、軽石や火山灰ガラス片などが含まれ、軽石が逆級化構造を示すなど再堆積を示唆する堆積物が複数確認できた。ドレッジによる岩石試料の採取は、海底カルデラを特徴づける二重のカルデラ壁、カルデラ内溶岩ドーム、及びカルデラ南西側の古い火山と思われる地形の場所で行った( 図 4 )。溶岩ドームでは主に発泡した流紋岩が採取されたが、発泡度や鉄物量には多様性が見られた。また、いくつかの地点では二種類のメルトがマグマ供給系に關与していたことを示唆するような暗色の縞を含む流紋岩や、暗色の溶岩が採取された。一方カルデラ壁付近では反射法地震探査で貫入岩体の存在が示されており、それに相当すると推定される暗色の緻密な溶岩が採取された。また、水中に噴出したと推定される冷却節理が発達した溶岩も確認できた。

得られた反射法地震探査ならびに長期海底地磁気観測のデータ解析を進めてきた。反射法地震探査のデータ解析により、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の把握を進めた。その結果、鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積層の平面的な広がりや層厚からその総量を見積もることができた。この成果は、現在、学術論文に投稿準備中である。

堆積物・岩石試料の物質科学的解析は、高知コアセンターと神戸大学で進めた。高知コアセンター( 11 月 8-10 日、15-17 日 )では、新青丸 KS19-17 航海で採取した 10 地点のピストンコア試料を分析した。X-CT 撮影、MSCL 測定、コアスキャン、記載、サンプリングを実施した。カルデラ近傍で採取したコアはともに軽石と火山灰ガラス片を含み、一部のコアではスコリアや縞状軽石が確認できた。カルデラ遠方で採取したコアにも火山灰ガラス片が多く含まれ、細粒の軽石も少量含まれていた。また、神戸大学において、これらのピストンコアに含まれていた火山灰ガラスの化学組成を測定したところ、ほとんどの試料で鬼界アカホヤ噴火の火山灰ガラスの特徴と類似するものが多数含まれていることが確認できた。さらに、ちきゅうの SCORE プログラムで得られた掘削試料についても、特に過去二回の大規模噴火の噴出物と推定される堆積物について、火山灰ガラスの組成測定を進めた。岩石試料の物質科学的解析では、陸上で採取された試料およびドレッジ試料の主要元素の全岩化学組成分析を実施した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に關連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 )：  
On Board Cruise Report: かいれい KR20-11 次研究航海報告、2020 年

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

研究航海と観測データの解析、試料の物質科学的解析により研究を進める。

研究航海により、海底観測装置の設置・回収と、追加の試料採取を実施する。

観測データの解析では、反射法地震探査データと OBEM で得られた長期海底地磁気観測のデータの解析をさらに進める。反射法地震探査データの解析では、特に鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積層の着目し、噴出物の運搬堆積様式について検討する。長期海底地磁気観測データの解析により、巨大カルデラ火山下の比抵抗構造の推定を行う。比抵抗構造を推定する領域を広げるもしくはその解像度の向上のために、観測地点を毎年増やす計画であり、その観測地点で得られたデータの解析を随時進めていく。

ピストンコアで得られた堆積物試料、陸上で採取された岩石試料およびドレッジによる岩石試料の物質科学的解析を進める。特にアカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積層を対象に実施したピストンコアリングにより得られた堆積物については、堆積構造や構成物の記載、化学組成分析などを進め、これら特徴やその分布などから噴出物の運搬堆積様式についての検討を始める。岩石試料については、新たな試料の全岩化学組成分析を進めるとともに、全岩化学組成分析が終了した分の微量元素組成および同位体組成の分析を進める。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉岡 裕子( 海洋底探査センター構造探査部門) 教授・センター長

島 伸和( 海洋底探査センター構造探査部門・理学研究科惑星学専攻) 教授

巽 好幸 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授  
松野 哲男 (海洋底探査センター構造探査部門) 特命講師  
中東 和夫 (海洋底探査センター構造探査部門) 客員准教授・東京海洋大学准教授  
清水 賢 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命講師  
佐野 守 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命助教  
井和丸 光 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命助教  
鈴木 桂子 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授  
金子 克哉 (海洋底探査センター火山学部門・理学研究科惑星学専攻) 教授  
清杉 孝司 (海洋底探査センター火山学部門) 講師  
中岡 玲奈 (海洋底探査センター火山学部門) 助教  
木村 純一 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授・海洋研究開発機構 分野長代理  
他機関との共同研究の有無：無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) 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

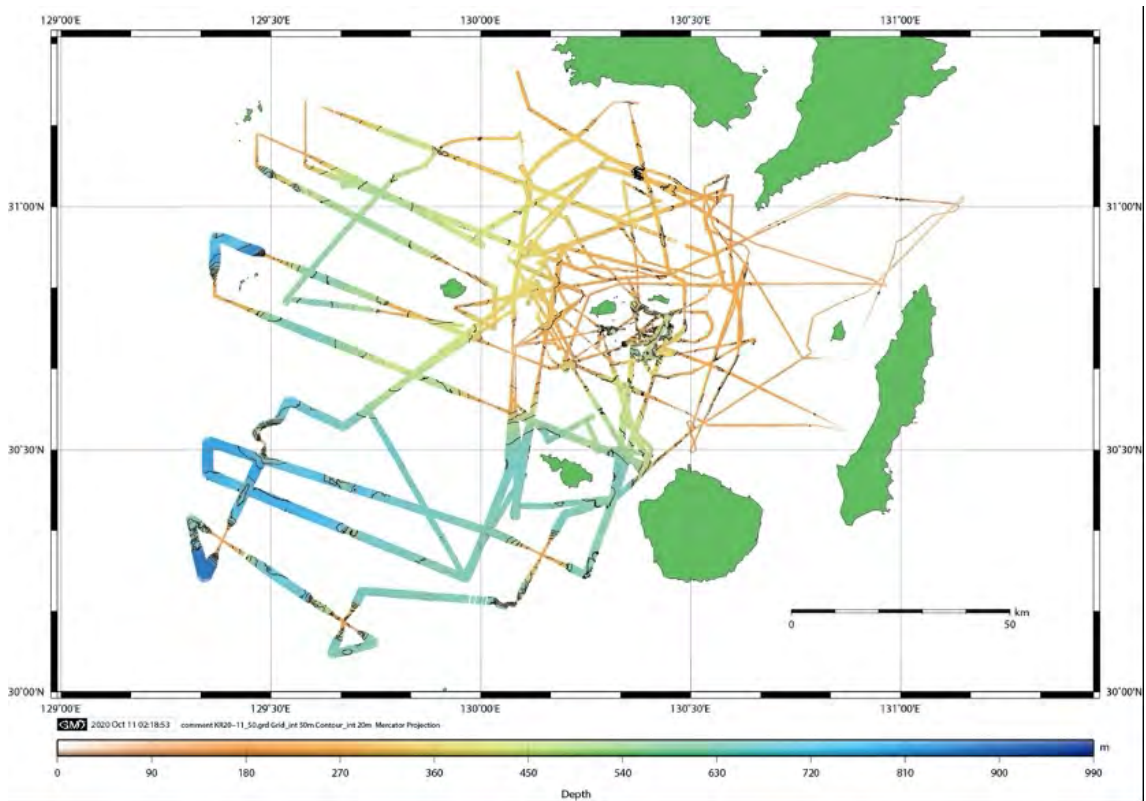


図 1

航走調査により得られた海底地形図。地磁気データはこのうちの一部で得られた。「On Board Cruise Report: かいれい KR20-11 次研究航海報告」にもとづく。

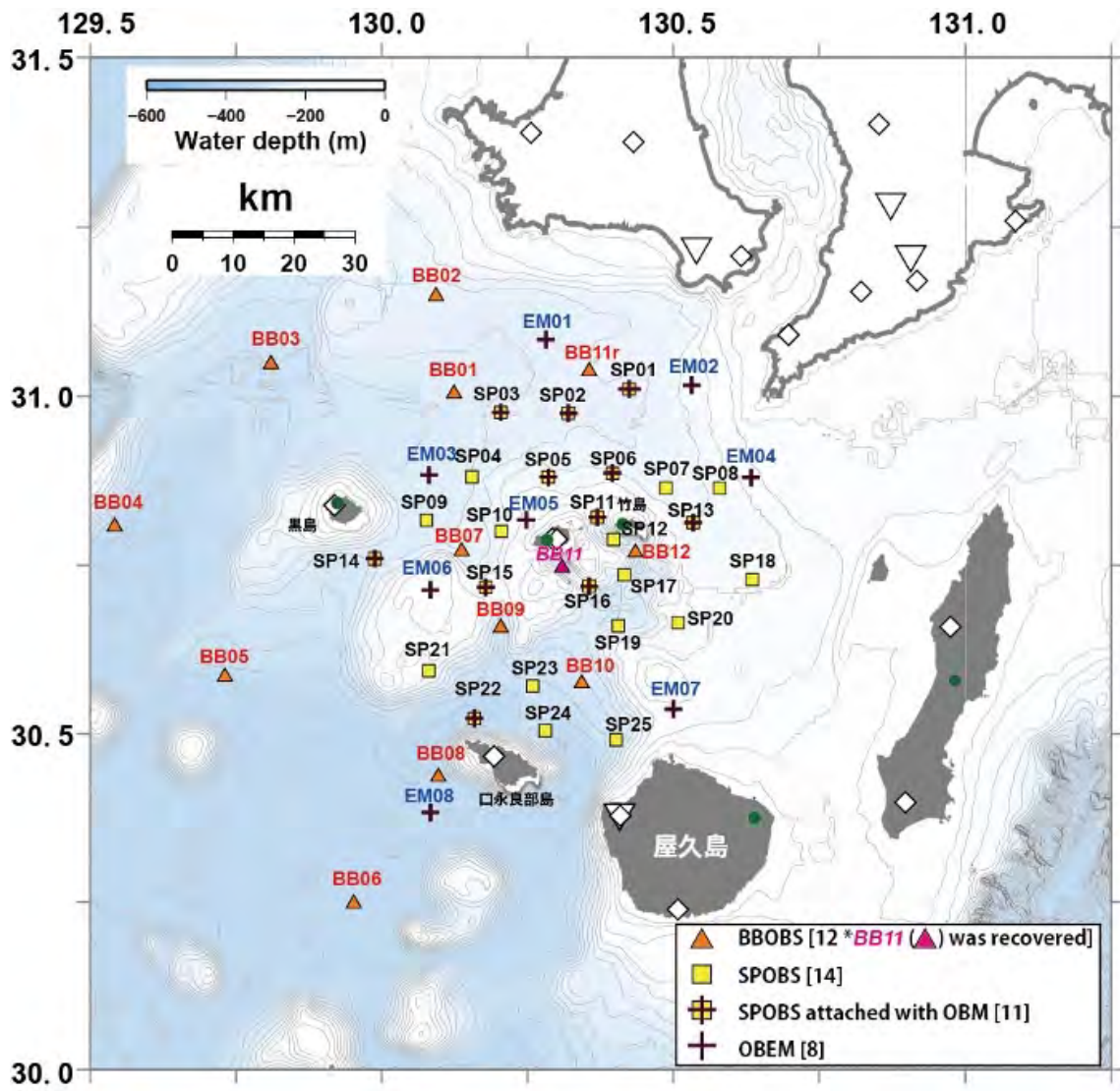


図 2

広帯域海底地震計 (BBOBS)、海底電位差磁力計 (OBEM)、海底磁力計 (OBM) の設置地点。図には、同航海で設置された海洋研究開発機構所有の機器も描かれている。「On Board Cruise Report: かいれい KR20-11 次研究航海報告」にもとづく。

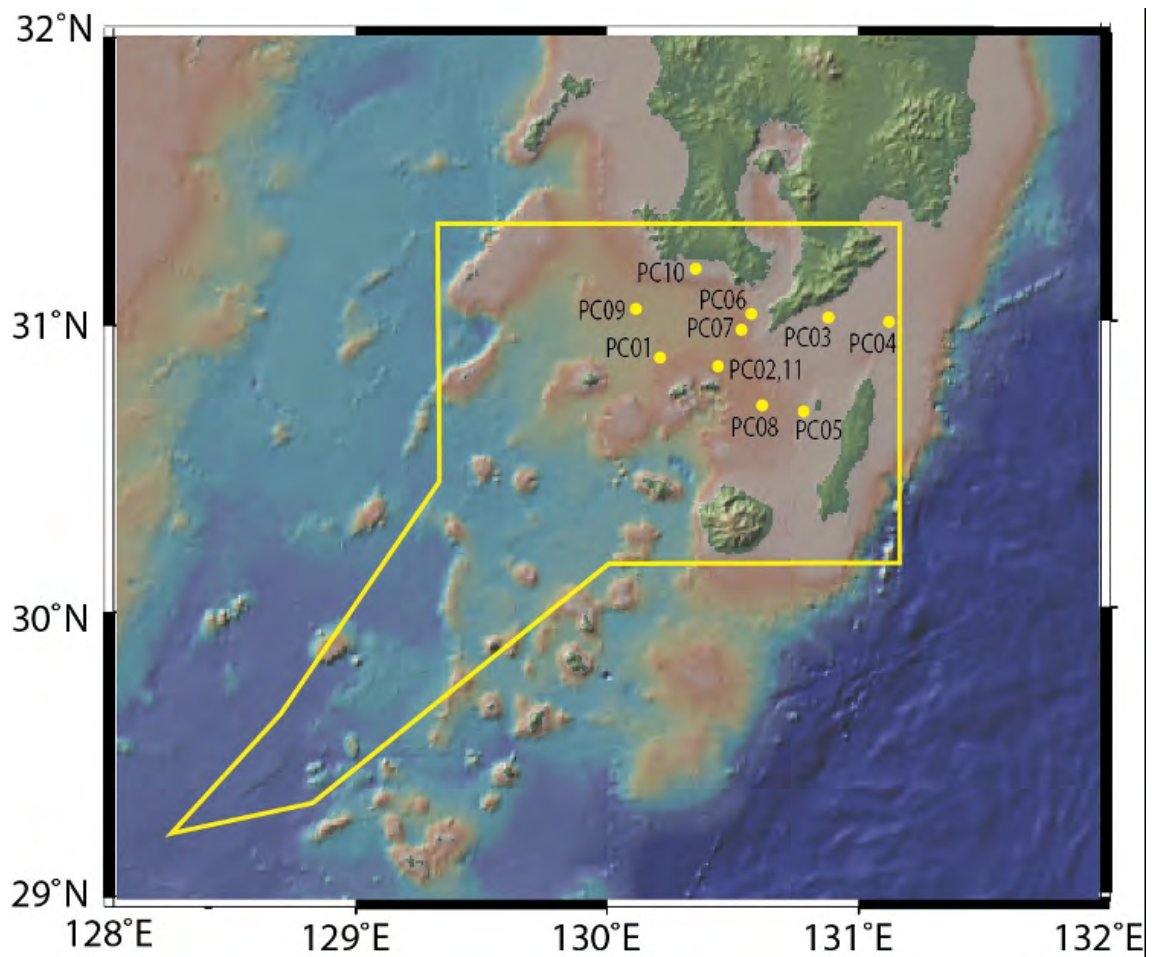


図3  
ピストンコアリング実施地点。「On Board Cruise Report: かいれい KR20-11 次研究航海報告」にもとづく。

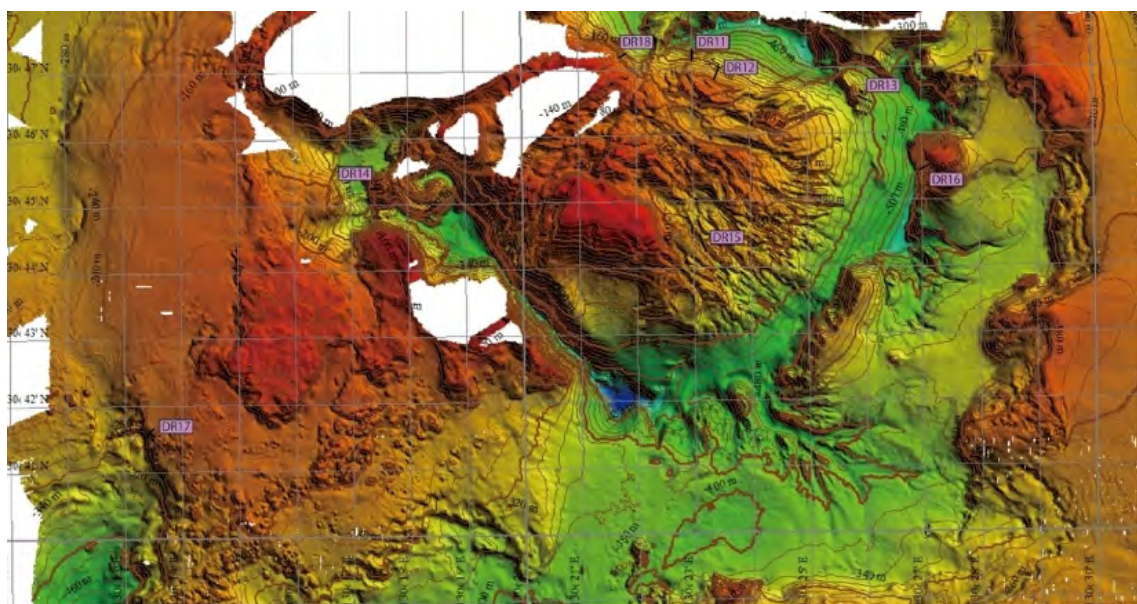


図4  
ドレッジ実施地点。「On Board Cruise Report: かいれい KR20-11 次研究航海報告」にもとづく。

(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2年度の計画の概要：

近年の稠密観測網によって観測された震度データ(気象庁震度データベース等)を用いて、様々な地震活動変化(大地震発生、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)が有感地震の時空間的特徴にどのような影響を及ぼすのか、調査する。また平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」で構築した、有感地震回数に基づき大地震の震源域を推定する予察的手法の高度化に向けた検討を行う。令和元年度に実施した、近年の地震を対象とした観測震度と計算震度との残差分布に基づく大地震類型化の可能性に関する検討を継続する。なお震度計算には、地表における計測震度の多次元距離減衰式(田中・他, 2017; Matsu 'ura et al., 2018)を用い、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。

令和元年度に実施した近年に観測された様々な地震活動変化が有感地震回数の時空間的な変化に及ぼす影響に関する調査結果を用い、実際の日記資料等から抽出された有感地震回数変化と比較することで、歴史時代の地震活動(変化)について議論する。

平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」では、有感地震回数の空間的分布に基づいて大地震の震源域を推定する予察的手法を構築し、近年に発生した3地震(2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震ならびに2011年福島県浜通りの地震)に対して適用することで、その震源域のイメージングに成功した。この結果は今後、史料から有感地震に対する記述を抽出・蓄積するとともに、予察的に構築した手法を高度化することで歴史地震の震源域を従来の被害記述とは異なった観点から議論できる可能性を示唆する(例えば、石辺・他, 2019、日本地球惑星科学連合2019年大会; Ishibe et al., 2019, StatSei11)。ただし予察的に構築された手法は、大地震に伴う余震活動の空間分布にのみ着目したものであった。そこで令和元年度には、震源距離と有感地震回数の時間的変化の特徴について論じ、有感地震回数の累積頻度曲線の形状が震源距離に依存する可能性を示唆した。令和2年度には、大地震が発生していない定常的地震活動度の把握を目的として、手法の高度化・拡張に向けた検討を継続する。

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。

(7) 令和2年度の成果の概要:

平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」では、有感地震回数の空間的分布に基づいて大地震の震源域を推定する予察的手法を構築し、近年に発生した3地震(2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震ならびに2011年福島県浜通りの地震)に対して適用することで、その震源域のイメージングに成功した。令和2年度には、平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」ならびに令和元年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「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」において実施してきた成果を取り纏め、論文として投稿した(石辺・他, 2021; 修正中)。

有感地震記述に基づく地震活動解析には、(1) 距離減衰式(等)の震度再現手法の構築とその検証、(2) 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)調査ならびに(3) 近年の震度データを用いた地震活動変化等の分析・調査が重要である。そこで本研究では上記の3項目について調査し、有感地震記述がデータベース化された際にどのように地震活動解析に活用すべきか、手法の構築とその適用限界について調査を継続した。

令和2年度にはこれまで震度の計算に用いてきた、地表における計測震度の多次元距離減衰式(田中・他, 2017; Matsu 'ura et al., 2018)のパラメータをアップデートし、論文として投稿し、出版された(Matsu 'ura et al., 2020; Bulletin of the Seismological Society of America)。また、アップデート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た。手法については過年度と同様に、2000年から2010年までに最大震度3以上が観測された20 km以浅で発生した約2300地震を対象に、気象庁観測点での計測震度を計算し観測値と比較した。なお、表層30 mにおける平均S波速度(AVS30)としては、引き続き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。その結果、従前のパラメータを用いた場合と顕著な相違は見られず、震度ならびに有感地震回数を良く再現できることが確認された(図1)。2000年伊豆諸島群発地震など微小地震が活発な領域で見られる若干の偏り(過大評価)は、小規模地震に対しても気象庁マグニチュードとモーメントマグニチュードの換算式 $M_w = M_j - 0.3$ (内閣府, 2013)を仮定していることに起因すると考えられる。本年度はまた、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構築された計測震度の多次元距離減衰式について、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、アップデートされたパラメータを用いて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を整理した。

歴史・計器観測時代を問わず、地震活動を解析するためには地震カタログ(史料)に記録されている地震(有感地震記述)の品質(均質性・完全性)等を精査する必要がある。地震カタログにおいては、マグニチュードの決定方法や観測網の移設等により期間内の均質性が保持されていない可能性がある。史料中の有感地震記述においても同様に、著者がその期間を通じて一様の検知能力で記録をしているのか、或いは転居などに伴い記述地点が変化していないか等について調査し、史料中に記録されている有感地震記述が地震活動変化を議論するのに十分な均質性を保持しているのか、確認する必要がある。またカタログ(史料)には欠測期間が含まれている。どの期間の有感地震が記録されているのか、有感記録がない期間が単に欠測期間であったのかについて検討する必要がある。これらを考慮しなければみかけの地震活動変化を誤って検出する恐れがある。Satake and Ishibe (2020; Seismological Research Letters)では、均質な地震活動推定へ向けて日記中の天気の記述を用い、『津軽藩御日記』と『榊原藩日記』ならびに気象庁震度データベースから過去350年間の江戸・東京の有感地震を整理した。その結果、1703年元禄関東地震や1923年大正関東地震、1855年安政江戸地震などの大地震発生

後の余震活動に伴う顕著な有感地震回数の突出や、地震活動の活発化あるいは静穏化の可能性を示唆する有感地震数の時間的変化が見出された。

計器観測時代と歴史時代の地震活動に相違があるものの、ある観測点で有感となった地震の震源分布と震源距離（或いは震央距離）に対する累積頻度分布（或いは確率分布）の把握は、その付近で記述された日記史料に記述されている有感地震の範囲について、一つの判断材料となりうる。Satake and Ishibe (2020; Seismological Research Letters) では、東京大手町において震度 2 以上となった地震の震源分布ならびに震央距離に対する累積確率分布を示し、およそ 60 % の地震が震央距離 100 km 以内の関東地方で発生した地震によるものであることを示した。同様にして得られた勝浦市墨名観測点において有感となった地震の震源分布ならびに震央距離に対する累積確率分布（図 2）からは、勝浦市墨名において有感となった地震の多く（およそ 70 %）は震央距離 100 km 未満に分布することが分かる。

房総半島沖のフィリピン海プレートの沈み込み境界では、モーメントマグニチュード（ $M_w$ ）6.4～6.7 程度、継続期間 10～30 日程度の群発地震活動を伴うスロースリップイベント（以下、SSE）が数年程度の間隔で繰り返し発生してきたことが、傾斜計や GNSS データ等から明らかにされてきた（例えば、Hirose et al., 2012; Proceedings of the National Academy of Sciences）。一方、1970 年代以前の発生履歴については、これまでのところ良く分かっていない。房総沖 SSE の発生域に近い震度観測点である勝浦市墨名では、上記の継続期間と調和的な有感地震数の突出が 1923 年以降 1980 年以前の期間についても 1929 年 3 月下旬、1933 年 11 月、1937 年 10 月、1939 年 3 月、1942 年 5 月、1951 年 12 月、1966 年 7 月、1971 年 6 月、1977 年 6 月などに見出されており、これらの期間に房総沖 SSE とそれに伴う群発地震活動が発生した可能性が示唆される（石辺・他，2018；日本地震学会 2018 年度秋季大会）。顕著な大地震を伴わない有感地震回数の突出は群発的活動の発生を示唆しており、史料中の有感地震記録からも群発的活動或いは SSE の発生を検出できる可能性が示された。

- ( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Matsu 'ura, R. S., Tanaka, H., Furumura, M., Takahama, T., and Noda, A., 2020, A New Ground Motion Prediction Equation of Japanese Instrumental Seismic Intensities Reflecting Source Type Characteristics in Japan. Bulletin of the Seismological Society of America, 110(6), 2661-2692.  
Satake, K., and T. Ishibe, 2020, Toward homogeneous estimate of seismicity from historical materials: number of felt earthquakes in Tokyo since 1668, Seismological Research Letters, doi:10.1785/0220200060.  
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，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．（修正中）  
石辺岳男・松浦律子・古村美津子・赤塚真弓・田力正好・岩佐幸治・榎原雅治・佐竹健治，2020，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向けて，第 37 回歴史地震研究会（オンライン伊賀大会），2020 年 9 月 26 日 - 28 日．  
五島朋子・中村亮一・石辺岳男・室谷智子・佐竹健治，2020，1092 年（寛治六年八月三日）の地震津波は気象災害であった可能性，日本地震学会 2020 年度秋季大会，2020 年 10 月 29 - 31 日，オンライン．

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

（代表者名）石辺 岳男 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

（分担者名）

松浦 律子 公益財団法人地震予知総合研究振興会上席研究員

古村 美津子 公益財団法人地震予知総合研究振興会解析部長

赤塚 真弓 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

田力 正好 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

岩佐 幸治 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

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教授  
佐竹 健治 東京大学地震研究所教授

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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.adep.or.jp

URL：

( 11 ) 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

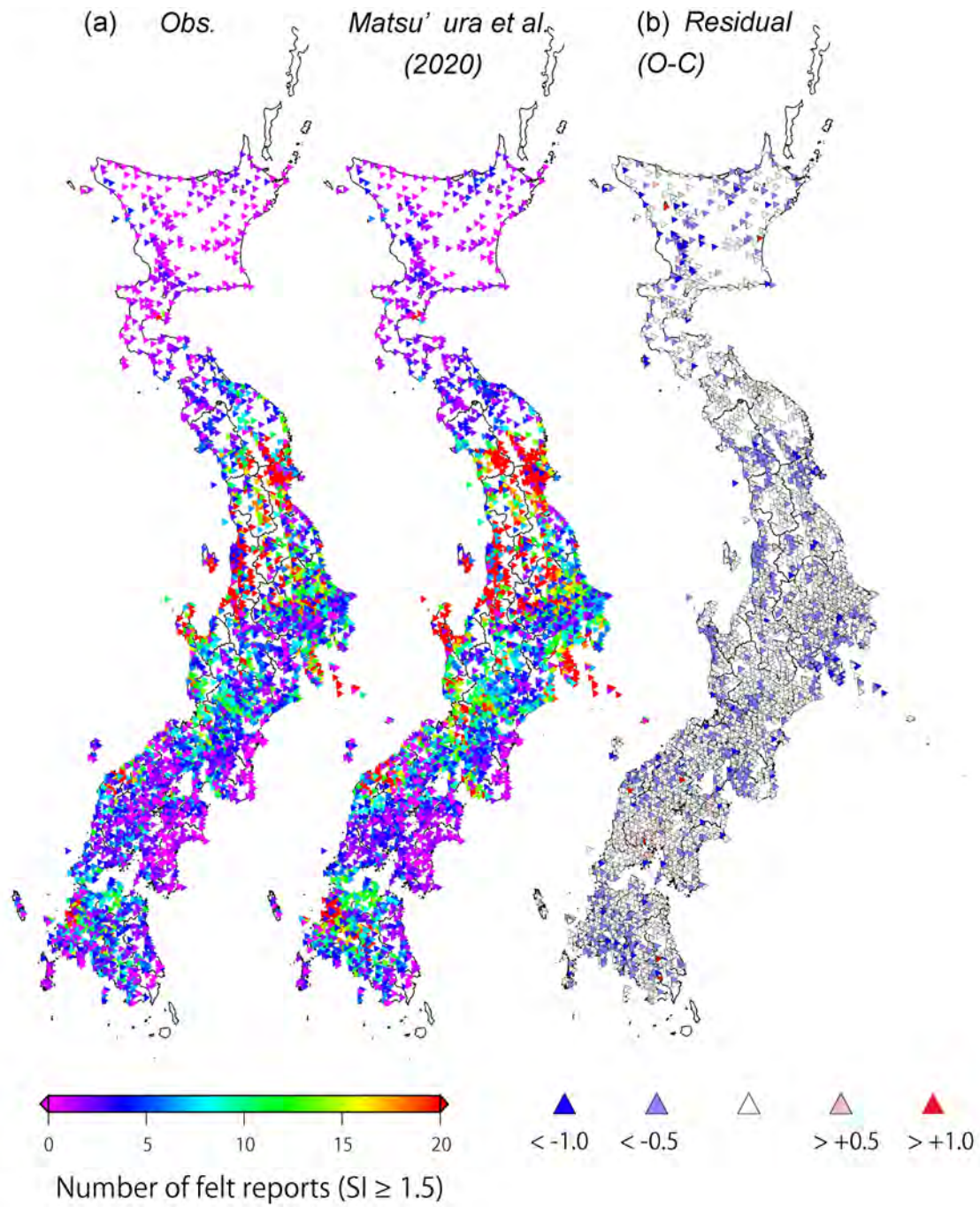


図1. (a) (左) 2000年～2010年の気象庁有感地震データベースによる有感地震回数(計測震度SI: 1.5以上)の分布と(右)距離減衰式(Matsu'ura et al., 2020)によって計算された有感地震回数の分布の比較. (b)それぞれの観測点における震度の残差(観測値 - 計算値)の平均値.

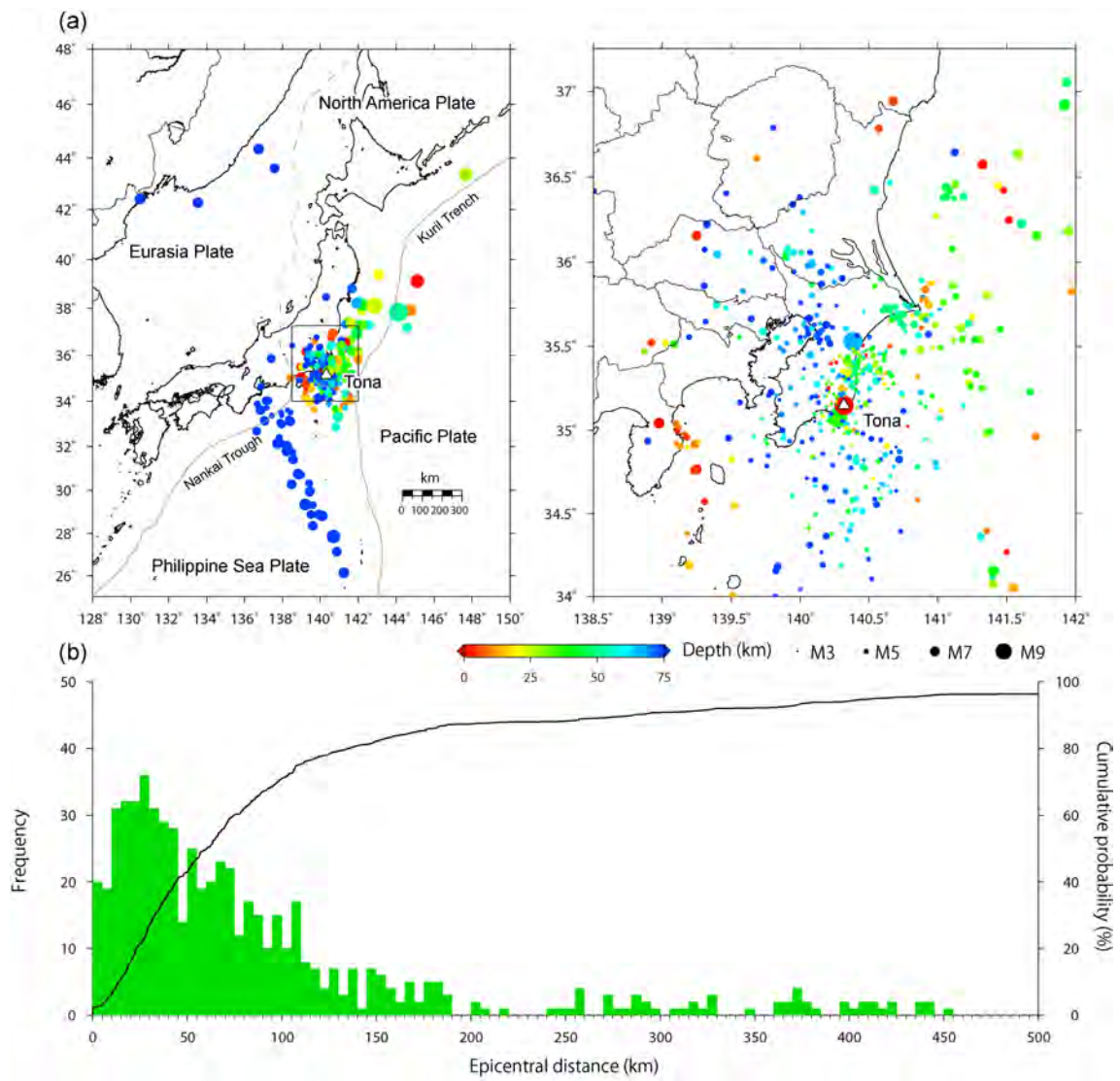


図 2 . (a) 勝浦市墨名において有感となった地震の震源分布 ( 気象庁震度データベースによる ) . (b) 勝浦市墨名において有感となった地震の震央距離のヒストグラム ( 左縦軸 ) ならびに累積確率分布 ( 右縦軸 ) .

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

カルデラ・リサージェンスモデルに基づく北海道屈斜路カルデラの大規模噴火予測

(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

(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

(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2年度の計画の概要：

令和2年度は、屈斜路カルデラにおいて、(1)アトサヌプリ溶岩ドーム、(2)中島火山、(3)リシリ溶岩ドームの調査を行う。(1)アトサヌプリ溶岩ドームは山頂部のテフラに関する詳細な調査を行う。(2)中島火山は、構成する各ユニットの火山岩の化学分析を行い、中島火山の岩石学的な性格を明らかにする。(3)リシリ溶岩ドームはテフラ層序のとりまとめを行い、リシリ火砕流堆積物の詳細な分布域を明らかにする。

(7) 令和2年度の成果の概要：

(1)アトサヌプリ溶岩ドームは、山頂部のテフラに関する野外調査を行い、テフラの詳細な分布域を明らかにした。(2)中島火山は、火山岩の化学分析を行い、12個の全岩化学分値を得た。(3)リシリ溶岩ドームはテフラ層序のとりまとめを行い、リシリ火砕流堆積物の詳細な分布域を明らかにした。令和2年度の最も大きな成果は、中島火山の火山岩12個の全岩化学分値を得たことである。中島火山は上陸禁止区域になっていることから、勝井(1962)以来、分析値の報告はなかった。中島火山を構成する岩石のSiO<sub>2</sub>量は68-69wt.%であり、K<sub>2</sub>O量は1.5-1.6wt.%である。SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図では、中島火山の岩石は屈斜路のリサージェントドームと同じトレンドにのり、さらに、カルデラ内のオヤコツドームも同じトレンドにのる。このことは、中島火山、リサージェントドーム、オヤコツドームが、屈斜路カルデラの環状断層に沿って形成されたと考えると合理的に説明できる。中島火山の化学組成は、屈斜路カルデラがリサージェントカルデラであることと調和的であり、環状断層内の一部が隆起してリサージェントドームが形成されたことを示す。中島火山の化学組成は、屈斜路カルデラの内部構造とマグマだまりの解明に大きな役割を果たすと考えられる。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：なし。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

(代表者名)後藤 芳彦 室蘭工業大学准教授  
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：室蘭工業大学  
電話：0143-46-5291  
e-mail：ygoto@mmm.muroran-it.ac.jp  
URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：後藤 芳彦  
所属：室蘭工業大学

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動推移に対応した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2年度の計画の概要：

北海道中央部、大雪山の御鉢平カルデラと北海道東部、雌阿寒岳の阿寒富士・ポンマチネシリ 1000 年前噴火では、噴出するマグマの化学組成が異なる(御鉢平カルデラ：デイサイト、阿寒富士：玄武岩、ポンマチネシリ：玄武岩質安山岩)。これまでの研究で、各噴出物では、マグマ混合の痕跡が確認でき、マグマ混合後(マグマの注入後)から、噴火に至るまでの時間に系統的な違いがあることが明らかとなった。本研究では、各噴火について改めて噴火推移を明らかにし、噴火推移に対応したマグマ供給系の変遷を構築することを目指す。その際、マグマの化学組成が異なる噴火で、マグマ供給系の変遷過程のどのように違うかを検討する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

御鉢平カルデラについて

御鉢平カルデラ噴出物は山頂部と山麓に分かれて分布している。本年度は山頂部と山麓の堆積物に対比するために、古地磁気方位測定、層序解析、構成物分析を行った。その結果、北東山麓と南西山麓に分布する火砕流堆積物と山頂部の層雲峡部層(Soukkyo Member; Yasuda et al., 2018)は、古地磁気方位が一致し、特徴的に深成岩片を含むことから同じ噴火堆積物であることが明らかになった。一方、従来、御鉢平カルデラ起源とされていた北-北東山麓に広がる火砕流堆積物は、古地磁気方位が山頂堆積物のどれとも一致せず、御鉢平カルデラが給源ではないことが示唆された。カルデラ壁上部を構成する最大層厚 60 m の分厚く成層した火砕物はこれまでベースサージ堆積物に一括されていたが、本研究の野外調査の結果、降下スコリア、マグマ水蒸気爆発による凝灰角礫岩、ベースサージ堆積物、火砕流堆積物、降下火山灰などが互層した複雑な層相を示すことが明らかになった(Yasuda et al., 2020)。現在、岩石学的な研究を行い、本研究で明らかになった噴火推移に対応したマグマ供給系の変遷を検討している。

阿寒富士・ポンマチネシリ 1000 年前噴火について

阿寒富士については、これまでの研究で、約 2500 年前に噴火活動を開始し、約 1000 年前まで活動したことが明らかになった。約 1500 年間の活動期間で少なくとも 17 回の降下スコリアを噴出する噴火が生じ、さらに複数枚の溶岩流を流出させた。現在、噴出物中のかんらん石斑晶の元素拡散モデルからマグマ混合から噴火に至るまでの時間の推定を行っている。また、ポンマチネシリ 1000 年前噴火については、野外調査の結果、短期間で複数回の噴火が生じていることが分かった。噴出物はほぼ



同じ全岩化学組成を示し、斑晶鉱物も同じである。鉱物化学組成からマグマ混合の証拠が確認できた。現在、マグマ供給系モデルの詳細を検討している段階である。

- ( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- ・Yasuda Y, Sato E, Suzuki-Kamata K (2020) Paleomagnetic constraints on a time-stratigraphic framework for the evolution of Ohachidaira volcano and the summit caldera, central Hokkaido, Japan. Bull Volcanol 82:71. <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01403-6>
  - ・南裕介・中川光弘・佐藤鋭一・和田恵治・石塚吉浩(2020) 雌阿寒岳火山群, ポンマチネシリにおける最近 1000 年間の活動と熱水変質鉱物組み合わせの変化 . JpGU-AGU Joint Meeting 2020, オンライン開催, 2020 年 7 月(口頭発表) .
  - ・佐藤鋭一・和田恵治・南裕介・石塚吉浩・中川光弘(2020) トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討 . 日本火山学会 2020 年度秋季大会, オンライン開催, 2020 年 10 月 9 日(口頭発表) .
  - ・藤丸航・和田恵治・佐藤鋭一(2020) 十勝岳・雌阿寒岳の苦鉄質噴出物の組織解析による噴出過程の検討 . 日本火山学会 2020 年度秋季大会, オンライン開催, 2020 年 10 月 10 日(口頭発表) .
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
- (代表者名) 佐藤 鋭一 北海道教育大学旭川校准教授  
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附属 地震火山研究観測センター非常勤研究員
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名 : 北海道教育大学 旭川校  
電話 : 0166-59-1315  
e-mail : [sato.eiichi@a.hokkyodai.ac.jp](mailto:sato.eiichi@a.hokkyodai.ac.jp)  
URL :
- ( 11 ) 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

## 令和2年度年次報告

課題番号：KOB07

(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2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) の地上試験モデルの開発研究を実施する。

(7) 令和2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 (130 kg) で得られた成果を超えるミッションを、6U (10 kg 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。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

山崎政彦, 地震先行現象検出特化型 CubeSat のエンジニアリング・モデル製作, 第十回気象文化大賞 (2020)

長尾年恭・鴨川仁, 地震・火山噴火予知研究と電磁気観測, 日本磁気学会 まぐね Vol.15, No.5 (2020)

児玉哲哉, 地震予防説: Bertholon 's Earthquake Rod を求めて, 第7回日本地震予知学会学術講演会 (2020)

(9) 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主任開発員

他機関との共同研究の有無：有  
山崎 政彦 日本大学助教  
前後 大河 日本大学大学院生  
前田 賢人 日本大学大学院生  
二又 領 日本大学大学院生  
鴨川 仁 静岡県立大学特任准教授

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：

( 11 ) 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2年度の計画の概要：

鯨類ストランディングに関する研究では、これまで日本鯨類研究所が公開するストランディングレコードを用いていたが、国立科学博物館がホームページ上で公開しているデータはこれに新たに見出された過去の事例が追加されたものになっている。ただし、国立科学博物館が公開するデータは、日本鯨類研究所のように Excel 形式のデータベースをダウンロードできるものではなく、事例が1つずつ示される形式のため、前年度は2011年東北地方太平洋沖地震前のマス・ストランディングデータのコピーにとどまっている。本年度はそれ以降のデータをコピーし地震との関連を調査する。

宮城県は漁海況調査として、沿岸と沖で海水温と塩分の定点観測を長期にわたって行っている。そして、その報告書(紙ベース)は宮城県県政情報センターで一般公開されている。このデータは3地点(大島・江の島・田代島)における毎日2回の海水温と塩分濃度以外に、年5~12回の沖合における定点観測データなどがある。この資料は1971年から1992年までが宮城県県政情報センターに所蔵されている。この約20年間のデータをデジタル化し、1978年宮城県沖地震(M7.4)などの顕著な地震前に異常がみられたかどうか、他の期間ではどうだったかを調べる。本年度は前年度に引き続き、この作業を実施する。

地下水については、2019年6月に発生した山形県沖の地震(暫定M6.7)の震源に近い新潟県村上市が、複数の湧水水質調査を定期的に行っていることがわかっている。この過去データを入手するとともに、現地で地震発生直前の状態について住民からの聞き取り調査を実施する。また、三陸地方での寺院を中心とする井戸水異常の聞き取り調査(織原・鴨川, 2016)にならって、新潟県村上市から山形県鶴岡市にかけて、地震前の井戸水異常に関する聞き取り調査を行う。

(7) 令和2年度の成果の概要：

新型コロナの影響で出張調査が計画通りにできなかった。そのようなことから、本年度の予算の大半は繰越となった。本年度の成果概要は以下である。

宮城県が所有する漁海況調査データ(書類)のデジタル化については、1978年度まで終了したので、1978年宮城県沖地震前の定点観測3地点の海水温データ変化をプロットし、異常の有無を検証した。

Fig.1 には、毎日 10 時と 15 時に海水温を観測していた宮城県の大島と江の島、田代島の場所がプロットされている。1972 年 4 月 1 日から 1979 年 3 月 31 日までに Fig.1 に示された範囲内で発生したマグニチュード (M)6.5 以上の地震は 2 つあり、図中に示されている。1978 年 6 月 12 日に発生した M7.4 の地震が 1978 年宮城県沖地震である。Figs.2-4 はそれぞれ大島、江の島、田代島の 10 時 (赤)、15 時 (青) の海水温と、15 時と 10 時との海水温の差 (緑) を示している。縦の点線 M6.7 と M7.4 の地震が発生した日である。2 つの地震の直前に 3 観測点に共通した顕著な異常は見られない。しかし、江の島では M6.7 地震前にトレンドよりも高温を示す日が数日見られた。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
織原義明, 2020, 「深海魚出現は地震の前兆」は本当か?, 日本地震学会広報誌「なみふる」, 121, 6-7.

( 9 ) 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 個人研究員  
他機関との共同研究の有無: 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名: 東京学芸大学教育学部  
電話: 042-329-7489  
e-mail: orihara@u-gakugei.ac.jp  
URL:

( 11 ) 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

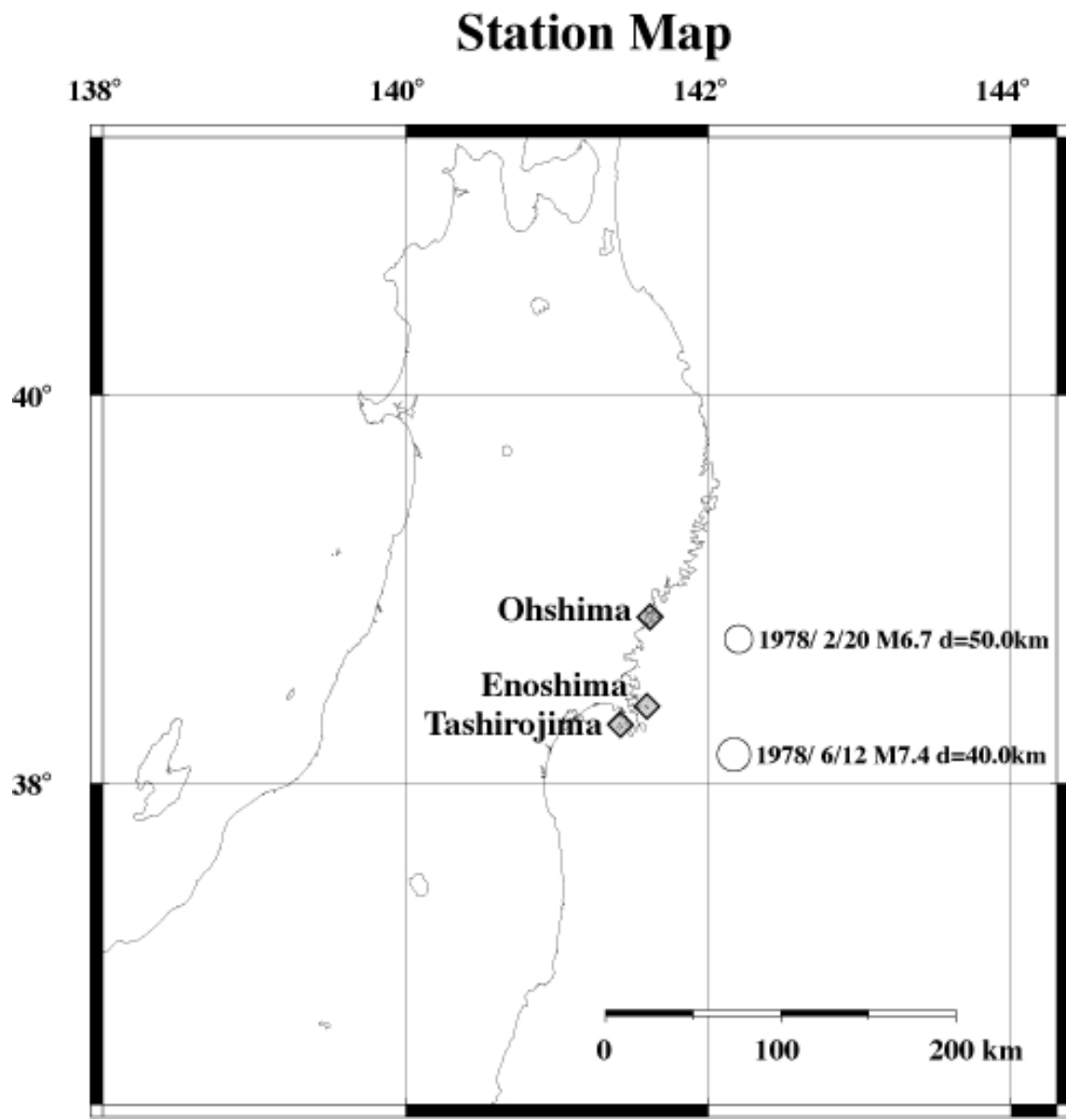


Fig.1 Station Map

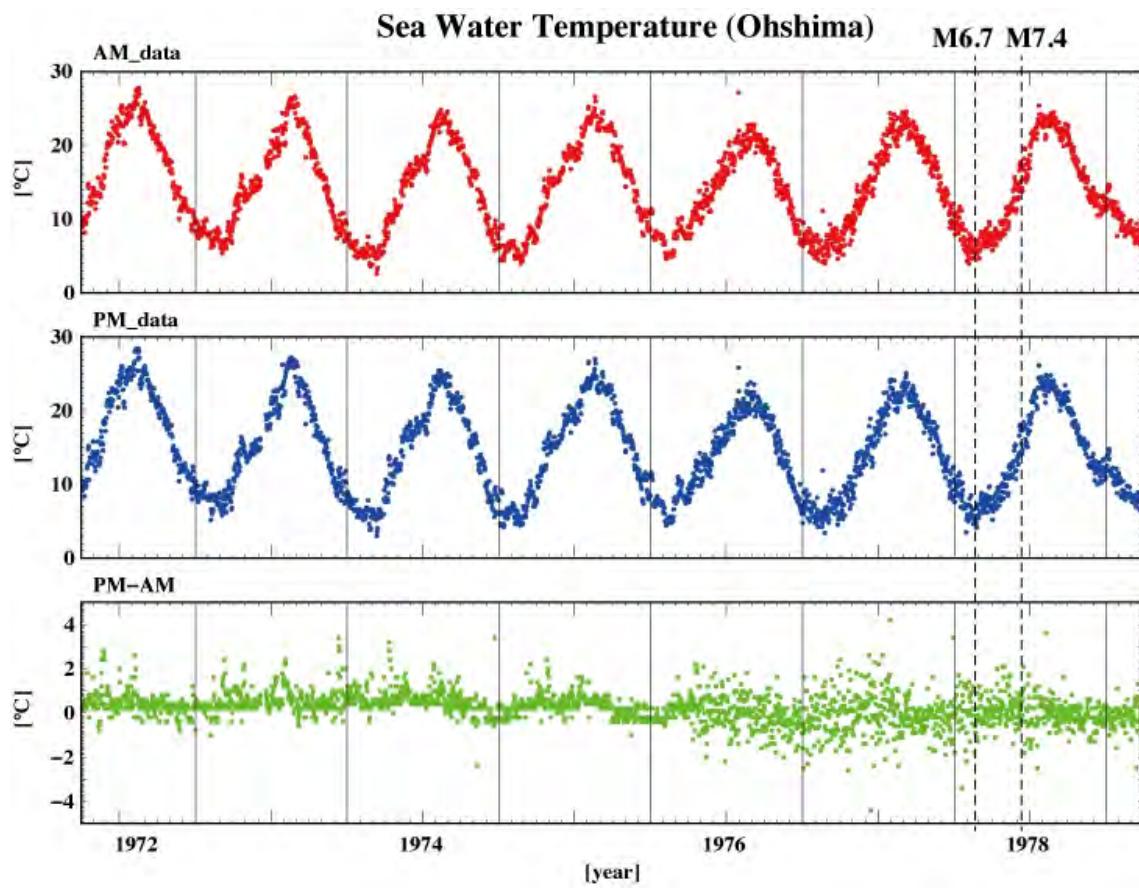


Fig.2 Sea Water Temperature (Ohshima)

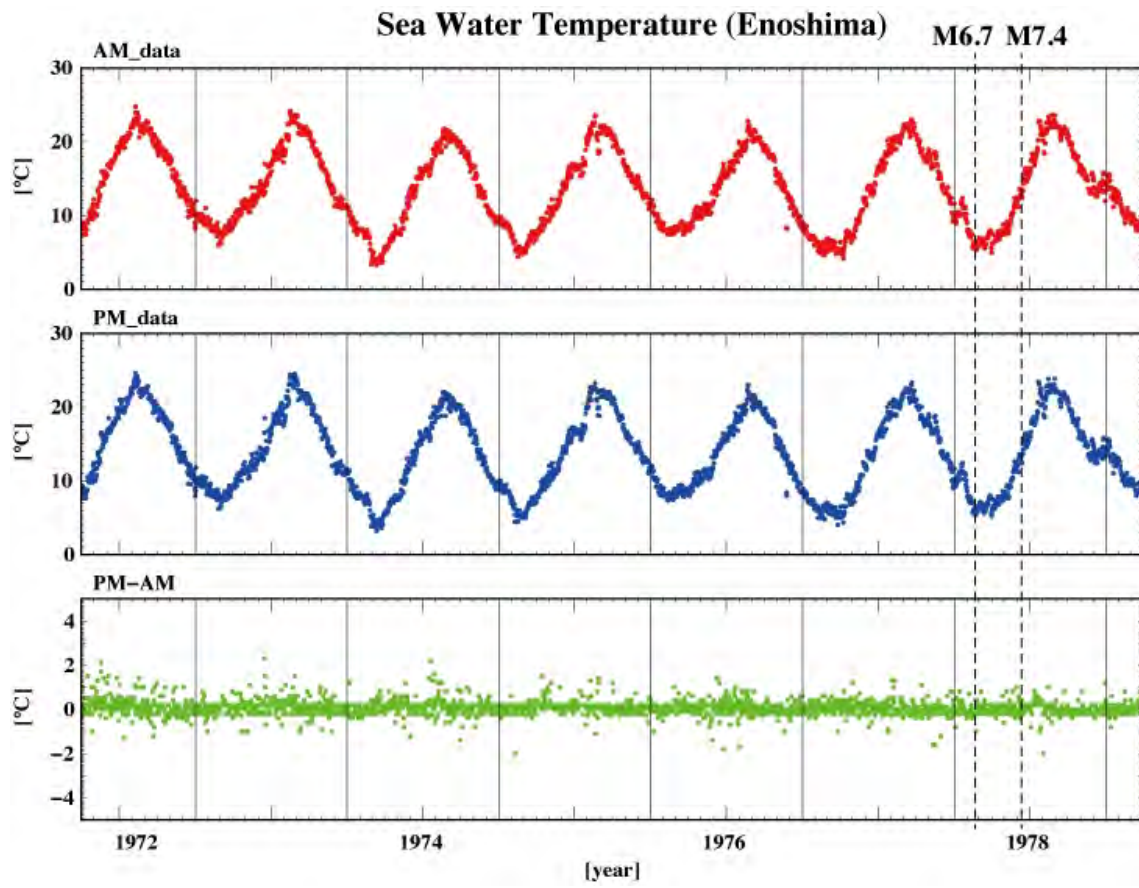


Fig.3 Sea Water Temperature (Enoshima)



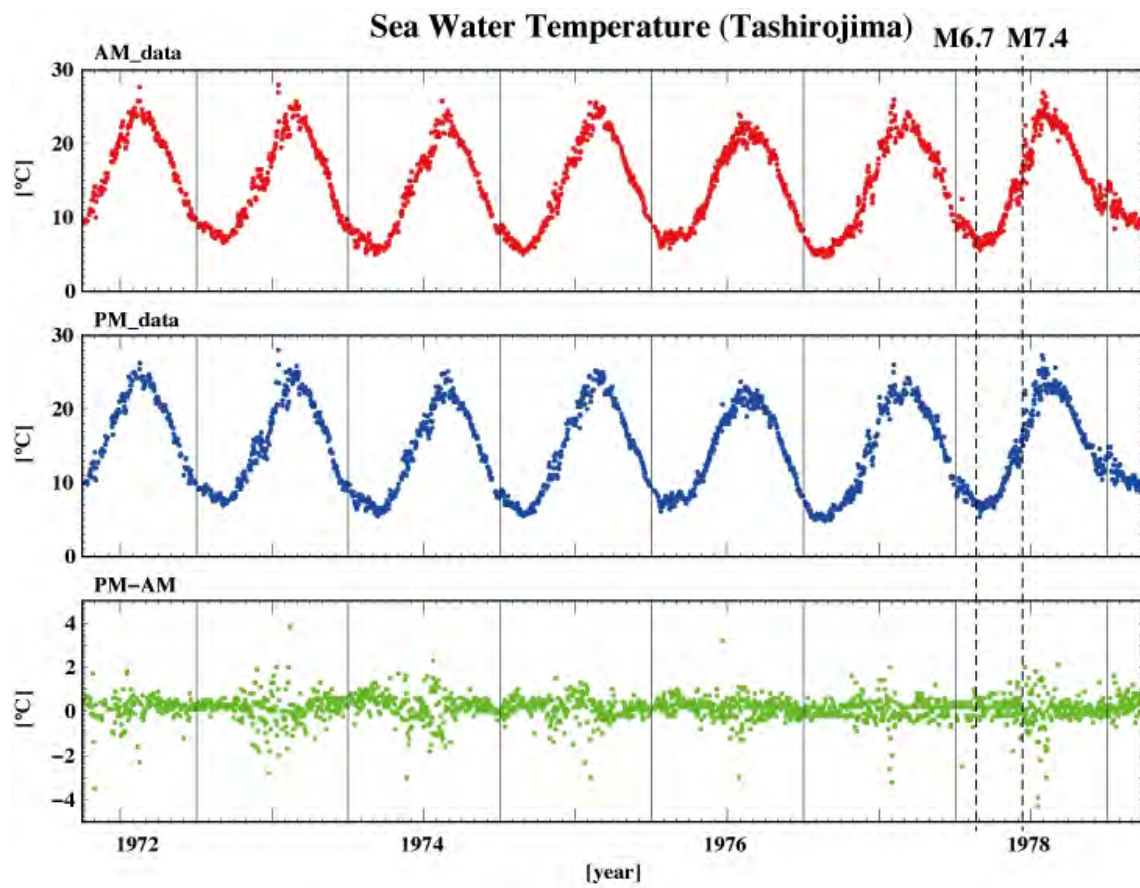


Fig.4 Sea Water Temperature (Tashirojima)

(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統計的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2年度の計画の概要：

1) DEMETER 衛星によって取得されたデータの再解析・追解析

我々は、過去の本公募研究を通して以下の4つの成果を出し報告をしている。本年度では査読付き論文として出版ができるように、目的で提示した統計的な手法の妥当性を再評価し出版をめざす。

(A) 予知率・適中率の計算を行い、その結果、現象は地震発生と因果性があると結論付けた。

(B) DEMETER の連続ローサンプリング電場データと地上落雷データの比較から、強度減少は雷起源電波 D 領域であることを統計的に示した。

(C) DEMETER は地球上の地震活動活発領域のみ VLF 帯ハイサンプリング電場データを取得している。その領域の中で1地震(スマトラ島南部地震)だけは、先行的強度減少発生時に衛星が震央付近を通過した。ハイサンプリングデータを調査したところ地震前の雷放電起源のホイスラー波強度の伝搬計算から、D 領域の電子密度が20-30%増加していることを示した。

(D) 関数主成分解析を用いて先行現象が見られる軌道と見られない軌道の分離が定量的にできるようになった。

2) CSES 衛星の同一手法による解析

前述(A)の検証をCSESで行えるか調査する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

計画にある(A)については、2)のCSESにおける検証にもつなげるため、2衛星に用いられる統一的な解析コード作成を目指している。現在、衛星時刻の取り込み方法で解析コードに不具合が見つかったため修正を行っている。

本年度は(C)の検証で大きな成果を出した。過去の研究では DEMETER 衛星の軌道が地震先行4時間前に震央に隣接した最大地震である南スマトラ沖 M6.8 の先行現象について雷からの電波を使い D 領域の地震先行電子密度上昇の定量的評価を行うことに成功している。本年度では別視点から本現象を調査した。行った方法は、VLF 帯航行用電波を用いて前述と類似した解析を行った。その結果、VLF 帯航行用電波(雷電波と違って周波数が一定であり、送信出力強度も一定であるため電離圏高度で検知した信号を評価しやすい)でも地震先行とみられる D 領域電子密度上昇が確認できた。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

( 代表者名 ) 鴨川 仁 静岡県立大学グローバル地域センター特任准教授

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第一研究ユニット主任研究員

城和 貴 奈良女子大学理学部教授

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博士課程

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 11 ) 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2年度の計画の概要：

草津白根山，箱根山，霧島硫黄山など，近い将来水蒸気噴火の発生が懸念される火山で，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2年度の成果の概要：

草津白根山

2014年7月から2020年10月にかけて，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3つの噴気で，2020年6月から8月にかけてドライガス中のH<sub>2</sub>S濃度の急激な低下，He/H<sub>2</sub>S比およびCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比の急激な上昇が見られたが，この傾向は2020年8月から10月にかけて反転した．これらの変化から，湯釜直下に存在する熱水溜りに対し供給されるマグマ成分の流量は低下傾向にあると推定される．

箱根山

箱根山の大涌谷地熱地帯において，2013年5月から2020年12月まで，ほぼ毎月実施した火山ガスの採取・分析の結果，He/CH<sub>4</sub>比は23~26ヶ月の周期で変動することが明らかとなった．この周期性によるとHe/CH<sub>4</sub>比の次回の極小は，2021年1~4月に訪れると予測される．極小が起きた数カ月後には，地震活動が活発化する可能性があり，今後，箱根山の火山活動に注目する必要がある．

霧島硫黄山

霧島硫黄山では3つの噴気孔(a, b, c)で噴気を繰り返し採取・分析した．2018年4月の水蒸気噴火以降，火山活動は穏やかになり，噴気に含まれるマグマ起源成分であるH<sub>2</sub>やSO<sub>2</sub>の濃度は低下傾向が継続している．2020年の秋に新たに出現した噴気(V2)は高濃度のSO<sub>2</sub>ガスを含み，マグマ起源成分の寄与が大きく，今後の組成変化に注目する必要がある．

霧島硫黄山の噴気を SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S 三成分系で区分することにより興味深い結果が得られた。噴気の組成を SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S 三角図( Stix and de Moor, 2018 )上にプロットした( 図 1 )。この図では、噴気の組成から熱水系の状態を推定することができる。噴気の CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 比は、1.4 ~ 22 と、大きな範囲に分布している。また、多くの噴気の H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> モル比が 4 よりも高い。大部分の噴気は、Hydrothermally Dominated type ( HD ) の領域に位置する。

図 2 に示すように、活発期以外の噴気は、すべて HD-type に分類される。H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> 比が低い、いくつかの噴気は、Hydrothermally-Magmatic type に分類される。さらに、Hydrothermally-Magmatic type に分類された噴気は、CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 比に基づき、Deep Hydrothermally-Magmatic type ( DHM ) と Shallow Hydrothermally-Magmatic type ( SHM ) に区分される。2017 年 5 月と、2018 年 3 月の噴気 a は、CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 比が 4 よりも低く、SHM に分類されている。2017 年 5 月にはきわめて強い勢いの噴気 ( h ) が出現している。霧島硫黄山はこの時期、いわゆる噴火未遂の状態にあったと考えられる。2018 年 3 月の直後には小規模な水蒸気噴火が発生した。よって霧島硫黄山では、SHM タイプの噴気出現が噴火の前兆とみなされる。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
大場 武, 2020, 水蒸気噴火と化学, 化学と教育, 68, 204 - 207 .

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

( 代表者名 ) 大場 武 東海大学教授

( 分担者名 )

沼波 望 東海大学大学院生( 博士課程 )

他機関との共同研究の有無 : 有

谷口 無我 気象研究所研究官

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東海大学・理学部

電話 : 0463-58-1211

e-mail : takeshi\_ohba@tokai-u.jp

URL :

( 11 ) 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

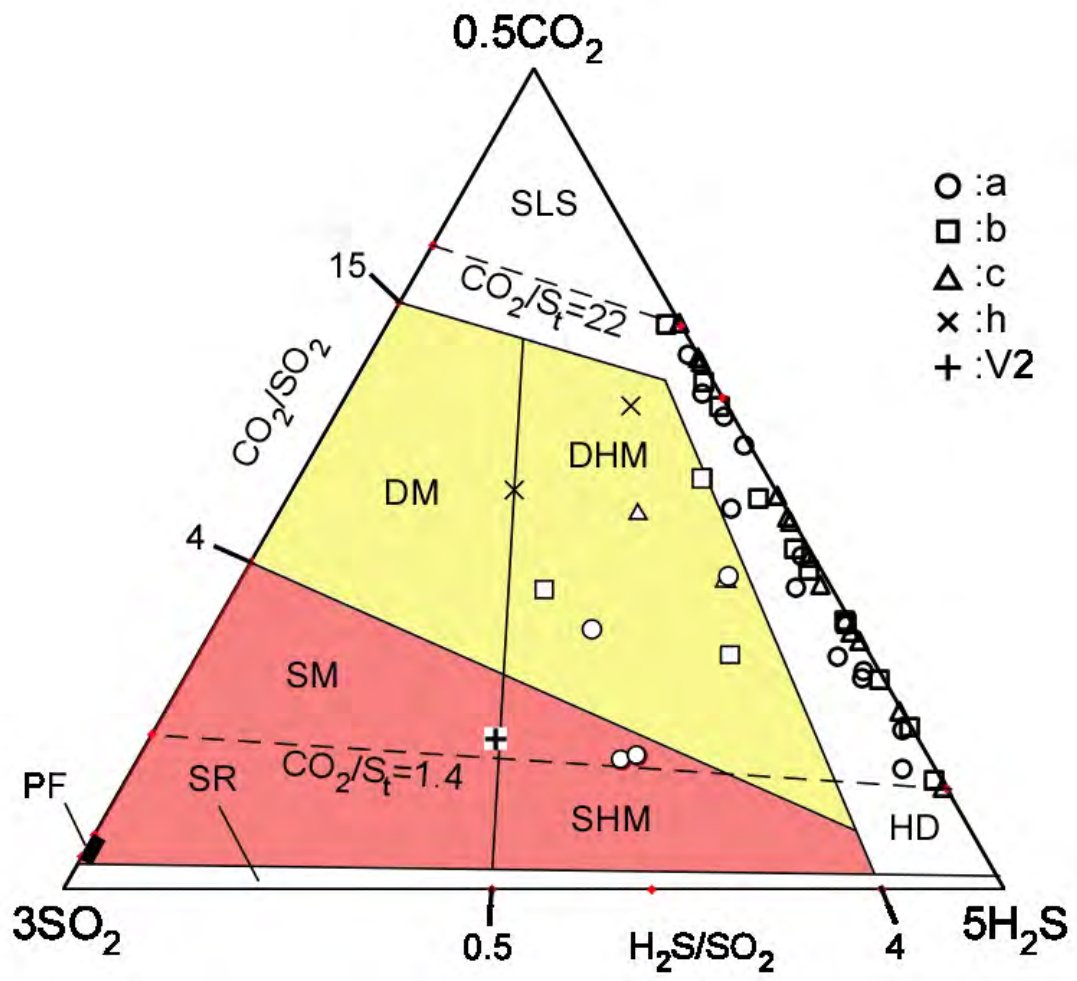


图 1 . SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S 三成分图

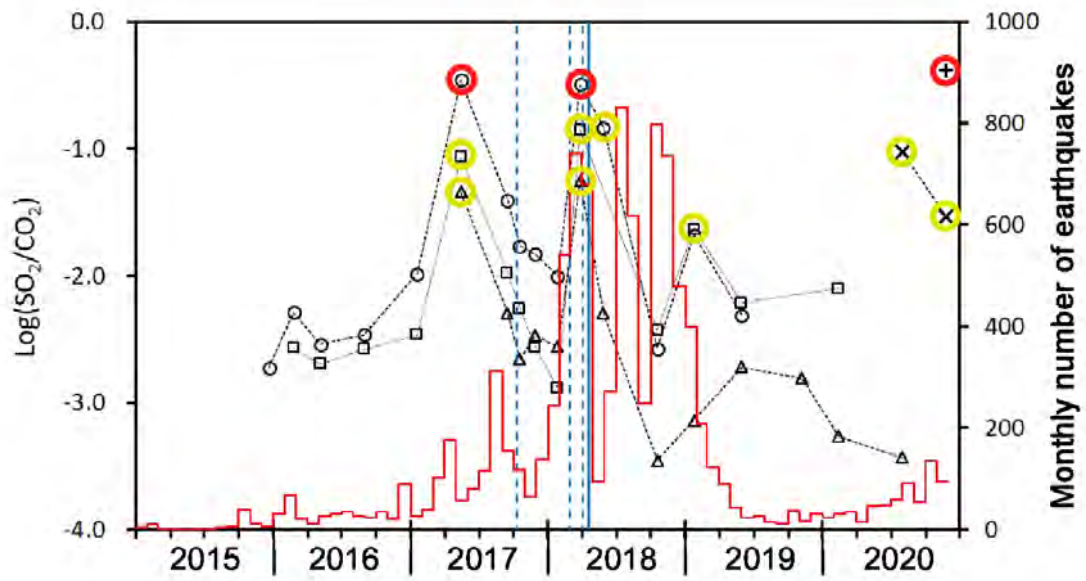


図2 . SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 比の時間変化

赤色円は SHM 型，黄色円は DHM 型の噴気を示す．上記以外の噴気は HD 型に分類される．地震回数は気象庁による．青の縦線は霧島硫黄山における水蒸気噴火を示し，青の破線縦線は新燃岳の噴火を示す．

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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2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2年度の成果の概要：

令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響のみならず、4月末から発生した上高地群発地震による登山道ならびに周辺道路の一部崩落や7月の豪雨災害の影響があり、当初の計画した通りに研究を進めることができなかった。8月以降に野外調査を行い、定期的に噴気を採取している北峰南噴気と1962-63火口噴気から噴気試料を採取し、組成分析を行った。北峰南噴気は昨年度からさらに噴気温度が10度近く低下し約95度と2018年度の約120度から2年間で約20度も温度が低下した。噴気の勢いも弱まっており、噴気孔は硫黄の析出によって狭まっている。1962-63火口噴気は現地での様子に特段の変化は認められなかった。両噴気ともに化学組成や凝縮水の同位体組成に大きな変化はなく、昨年度までと同様の特徴(北峰南噴気は低SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SだがHeに富み、水の同位体はマグマ性流体の高い関与を示し、1962-63火口噴気は同位体が地域天水の値よりも軽く、気液分離に伴う同位体分別の影響を受けている)を示した。昨年空振を伴う火山性地震が複数回発生し、大きな地形の変化が確認さ



れた山頂北西の黒谷火口は、今年度は特に大きな変化が認められなかった。昨秋から勢いが増し、温度の上昇が推定されている黒谷火口東壁の噴気からの活動も継続していることが確認された。北峰南および 1962-63 噴気の化学・同位体組成が大きく変化していないことから、山頂付近のマグマ-熱水系には大きな変化はなく、むしろ山体浅部で噴気が黒谷火口へも供給されることで、北峰南噴気の温度低下と噴出量の低下が起きていると考えている。また、今年度は山頂南西に位置する岩坪谷噴気へ初めてアクセスし、噴気の観察を行ったが、地形が急峻で噴気孔へ近づくことはできなかった。10m 程度離れた場所からの観察では、勢いが強い（北峰南よりも強い）ものの、噴出口で白色化しており、噴気の温度は沸点程度と推察された。しかしながら黒谷火口内の噴気と同様に岩坪谷噴気からも試料採取は困難なことが分かった。焼岳では噴気の研究に加えて昨年度から地磁気観測を、今年度からは自然電位の測定も始めた。地磁気観測は、山頂付近の 25 カ所の観測点でシーズンに 2~3 回程度観測し、京都大学の連続観測データと比較することで、山頂付近の地磁気分布と変動を検討している。自然電位は南麓の登山道沿いに測定し、山頂付近さらには北峰南噴気付近の電位変化から熱水系の寄与を検討している。以上の結果を踏まえて、焼岳山頂付近のガス輸送システムについて考察を深めていきたいと考えている。

- ( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
齋藤武士・羽田野天誠・渋谷圭一，焼岳，黒谷火口周辺の地形・地磁気・噴気活動の変化．日本地球惑星科学連合 2020 年大会，SVC45-19，2020 年．
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
（代表者名）齋藤 武士 信州大学学術研究院理学系准教授  
（分担者名）羽田野天誠 信州大学大学院総合理工学研究科 大学院生  
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准教授
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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：
- ( 11 ) 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熱水活動の変動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2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)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; Kagoshima et al., 2018, Goldschmidt Abstracts)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について推定を行う。また、胆振周辺の温泉で得られたガスを分析することで北海道胆振東部地震に伴うガス組成の変化を観測し、地震活動が摩周の火山活動と化学データに与える影響を評価する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

2020年11月に摩周周辺のアトサヌプリや和琴温泉でガス試料を採取した。また、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」(以下、「昨年度研究課題」と表記)で獲得した試料等に含まれる揮発性元素の濃度・同位体組成の分析を進めて、当該地域におけるデータを収集した。アトサヌプリ・和琴温泉で2017年から2019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を確認した。また、アトサヌプリ噴気の主成分は二酸化炭素と硫化水素などであるのに対し、和琴温泉遊離ガスの主成分は窒素や二酸化炭素・メタンなどであることを確認した。両地点の試料においてアルゴン同位体比は大気との区別がつかなかった。アトサヌプリ試料の炭素同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比)と硫黄同位体比( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比)は2018年から2019年にかけて低下した可能性がある。和琴温泉試料について、窒素同位体比( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比)は2017年から2019年にかけて顕著な変動が観測されなかった。一方で二酸化炭素の炭素同位体比は2017年から2018年にかけて下降し、2018年から2019年にかけて上昇した。また、メタンの炭素同位体比は2017年から2018年にかけて上昇し、2018年から2019年にかけて下降した。本研究で得られたデータは今後の観測で得られる化学データと比較可能であり、同地域の火山活動度を評価していく上で有用と考えられる。また北海道胆振東部地震に関する地球化学的観測成果(Sano et al., 2020, Front. Earth Sci.)などを得ており、このような成果は北海道摩周付近の化学デー

タと火山活動の関係を調査する上で役立つと期待される。今年度は代表者の異動に伴う分析装置の移設作業が必要であったことから、新たに獲得した試料の分析が進められておらず、測定可能になり次第実施する予定である。

- ( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Kim, H., Lee, H., Lee, J., Lee, H.A., Woo, N.C., Lee, Y.S., Kagoshima, T., Takahata, N. and Sano, Y., 2020, Mantle-derived helium emission near the Pohang EGS Site, South Korea: Implications for active fault distribution. *Geofluids* 2020, 2359740.
- Mejean, P., Pinti, D.L., Kagoshima, T., Roulleau, E., Demarets, L., Poirier, A., Takahata, N., Sano, Y. and Larocque, M., 2020, Mantle helium in Southern Quebec groundwater: A possible fossil record of the New England hotspot. *Earth and Planetary Science Letters* 545, 116352.
- Sano, Y., Kagoshima, T., Takahata, N., Shirai, K., Park, J.O., Snyder, G.T., Shibata, T., Yamamoto, J., Nishio, Y., Chen, A.T., Xu, S., Zhao, D. and Pinti, D.L., 2020, Groundwater anomaly related to CCS-CO<sub>2</sub> injection and the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake in Japan. *Frontiers in Earth Science*, 8, 611010.
- Kagoshima, T., Takahata, N., Yamano, M., Yamaguchi, A., Park, J.O. and Sano, Y., 2020, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ratios in pore fluids and bottom seawater around the Japan Trench. *JpGU-AGU Joint Meeting 2020 abstract*, SCG62-04.

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
- (代表者名) 鹿児島 涉悟 富山大学理学部特命助教  
他機関との共同研究の有無 : 有  
佐野 有司 東京大学大気海洋研究所教授

- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
- 部署等名 : 富山大学 理学部  
電話 : 07-6445-6577  
e-mail : kagos@sci.u-toyama.ac.jp  
URL :

- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者
- 氏名 : 鹿児島 涉悟  
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2年度の計画の概要：

本研究は平成31年度より3か年の計画で進めており、令和2年度はその2年目になる。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-Ok17)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<sup>14</sup>C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様相の推移や継続期間を明らかにし、それらを類型化し、また各タイプの発生頻度を検討する計画である。平成31年度には、主に現地観察によって、テフラ層を分類し、7つの各噴火フェーズのうちZa-Ok1と7内でのテフラ層の種類がどのように時間変化しているかを明らかにした。令和2年度Za-Ok26についてテフラ層の種類の変化を明らかにすると共に、分類したテフラ層の代表的なものについて粒度分析と構成物解析を行い、それらをもたらした噴火の特徴を明らかにする。

(7) 令和2年度の成果の概要：

蔵王火山の最新の火口である御釜の活動は約800年前から続いている。御釜を火口とするテフラ層はZa-Ok17の7枚あり、挟まれる古土壌試料の<sup>14</sup>C年代と古記録を基に、Za-Ok1~4は13~16世紀、Za-Ok5は17世紀、Za-Ok6は18世紀末~19世紀、Za-Ok7は1894~1897年の噴火によるものと推定している。

平成31年度の成果を踏まえた上で、令和2年度に調査を進め、テフラ層の種類及びZa-Ok26の各テフラ層内でのテフラ層の種類の変化を解明した。

まず、テフラ層の種類として、テフラ層を、(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) 白色変質火山灰層に分類した。

テフラ層の種類の変化は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 と 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主に累重するパターン。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。Ok2,5,6 がこれに相当する。B1：黒色火山灰層あるいは青灰色火山灰層や灰色火山灰層が累重するパターン。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-O7 がこれに相当する。

御釜から約 1.5km 西南西地点で各層の代表的なものについて採取した試料について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 10、黒色火山灰層は 12 あるいは 23 に、青灰色火山灰層と灰色火山灰層は 23 あるいは 34 に、白色変質火山灰層は 34 にピークが見られた。この結果から、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た各々の噴火の順であった可能性が考えられる。

構成物は、赤色スコリア、淡褐色スコリア、黒色スコリア、黒色石質岩片、灰色～青灰色石質岩片、白色変質石質岩片、結晶片が主で、黒曜石もまれに見られた。結晶片はどの試料にも 30～40% 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、それとほぼ同量の淡褐色スコリア、黒色スコリア、黒色石質岩片が認められた。黒色火山灰層ではスコリア及び黒色石質岩片が多く、淡褐色粗スコリアも 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と比べて黒色石質岩片及び灰色～青灰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、約 20% の淡褐色スコリアを含む特徴がある。

黒色石質岩片及び灰色～青灰色石質岩片はやや丸みのあるものとそうでないものがある。前者は類質の可能性があるのでそれを除き、これらの岩片、黒色スコリア、淡褐色スコリア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と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、前者に近い傾向が認められた。

粒径が大きいことと赤色スコリアを含むことから褐色火山灰層は小規模の準プリニー式噴火によること、黒色火山灰層、青灰色火山灰層、灰色火山灰層はスコリアと黒色、灰色～青灰色石質岩片の割合から小規模マグマ水蒸気噴火によること、白色変質石質岩片が多いことから白色変質火山灰層は水蒸気噴火によることが推定される。黒色火山灰層、青灰色火山灰層、灰色火山灰層は規模及びスコリアと黒色石質岩片及び灰色～青灰色石質岩片の比すなわち噴火時に上昇したマグマの関与率が異なっていた可能性がある。

古記録の情報との比較及び  $^{14}\text{C}$  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 年間であったと現時点では考えられる。なお、Za-Ok7 については、噴火活動期間は 1～2 年間と推定されている。

( 8 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Takebe, M, Nishi, Y, Ban, M (2021) Evolution of the calc-alkaline magma feeding system of the Komakusadaira pyroclastics in Zao Volcano, NE Japan. *Bulletin of Volcanology*, 83:12.

Hiwatashi, H., Ban, M., Ivarez-Valero, A.M., Kriegsman, L., Sato, M. (2021) Disequilibrium phenocrystic assemblage within dacites reveals magma mixing and stratified chamber after crustal assimilation at El Hoyazo volcano, SE Spain. *Lithos*, 380?381, 105849.

Takebe, M., Nishi, Y., Ban, M. (2020) The temporal variation of magma plumbing system of the Kattadake pyroclastic rocks in the Zao volcano, northeastern Japan. *Goldschmidt conference 2020, remote*. 2533.

Sato, M., Ban, M. (2020) Pre-eruptive magmatic processes of Zao volcano: timescales of multiple magma mixings revealed by orthopyroxene phenocrysts. *Goldschmidt conference 2020, remote*. 2289.

Sato, M., Ban, M. (2020) Magma plumbing system at Zao volcano, NE Japan: time scales of magmatic processes revealed by chemical zoning in orthopyroxene phenocrysts. *JpGU -AGU Joint Meeting 2020 virtual*, SVC41-P03.

伴雅雄, 樋渡日和, Ivarez-Valero, A.M., Kriegsman, L., 佐藤初洋 (2020) スペイン、EL Hoyazo 火山の

岩石学的研究：深部由来マグマの証拠．日本鉱物科学会 2020 年年会, リモート．R6-02.  
佐藤初洋, 伴雅雄 (2020) 斜長石斑晶組成・組織からさぐる蔵王火山のマグマ溜まり．日本火山学会 2020 年度秋季大会．O3-05.  
川鳶弘之介、伴雅雄、常松佳恵、片岡香子、井村匠 (2019) 蔵王山東麓濁川・遠刈田地域の過去 8000 年間のラハール堆積物．日本火山学会 2020 年度秋季大会．O3-13.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

( 代表者名 ) 伴 雅雄 山形大学理学部教授

他機関との共同研究の有無：無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：山形大学・理学部

電話：023-628-4642

e-mail：ban@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

URL：

( 11 ) 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2年度の計画の概要：

コロナ蔓延前に提出した当初計画では、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、令和2年の夏はコロナ流行という事を勘案して、富士山自体への登山が全面禁止となった事から、山頂観測点ではなく、静岡県側の新五合目、太郎坊基地へ磁力計を設置する事とした。

2020年10月にオーバーハウザー磁力計を太郎坊観測点に設置し、連続観測を開始した。データはソニー社製の極省電力データ転送装置を用いてリアルタイムモニターを開始した。

(7) 令和2年度の成果の概要：

富士山頂での夏季観測は通常7月1日の山開きから8月31日までの2ヶ月の間で実施されるが2020年度は新型コロナウイルスの影響という事で富士山登山そのものが全面的に禁止される事となった。そのため、認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」でも、山頂における夏季観測を中止する事となった。

結果として、当初計画では2021年度以降に設置を予定していた静岡県側・新五合目の太郎坊に、オーバーハウザー磁力計を2020年10月に設置し、定常観測を開始した。

写真1はその設置作業風景である。

記録は東京大学地震研究所や国土地理院の山梨県側の地磁気全磁力観測点のデータと比較しても、十分ノイズレベルも低く、火山噴火予知に資するクオリティを保持している事が判明した。

図1は2020年10月の磁力計設置直後の東京大学地震研究所の fj1 観測点(山梨県側)との比較である。

図2は横軸に地震研 fj1 観測点の記録、縦軸に新設した太郎坊観測点の記録を示す。非常に相関の高い記録となっている事がわかる。

なお2021年度に公募研究が採択された場合には、山頂での定常観測開始を目指す所存である。

(8) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

長尾年恭・鴨川仁, 地震・火山噴火予知研究と電磁気観測, 日本磁気学会 『まぐね』, Vol.15, No.5, 264-271, 2020.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

( 代表者名 ) 長尾 年恭 東海大学海洋研究所教授

( 分担者名 ) 佐柳 敬造 東海大学海洋研究所准教授

他機関との共同研究の有無 : 有

鴨川 仁 静岡県立大学特任准教授

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東海大学 海洋研究所

電話 : 054-334-0411

e-mail : nagao@scc.u-tokai.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 長尾 年恭

所属 : 東海大学 海洋研究所





写真1 太郎坊における磁力計設置作業風景

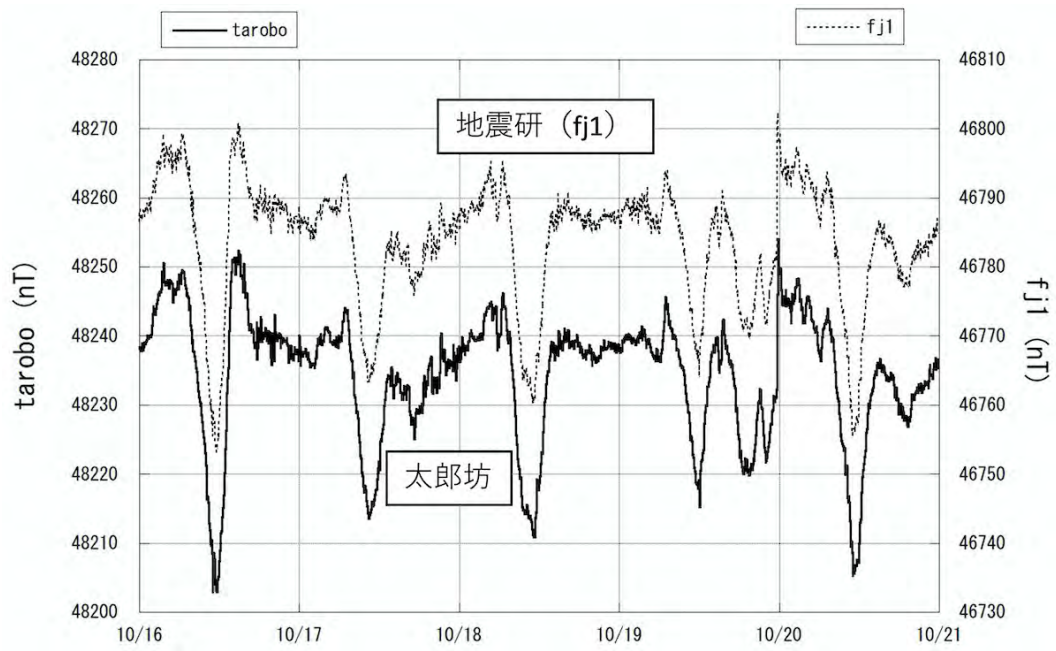


図1 磁力計設置直後の東大地震研の記録との比較

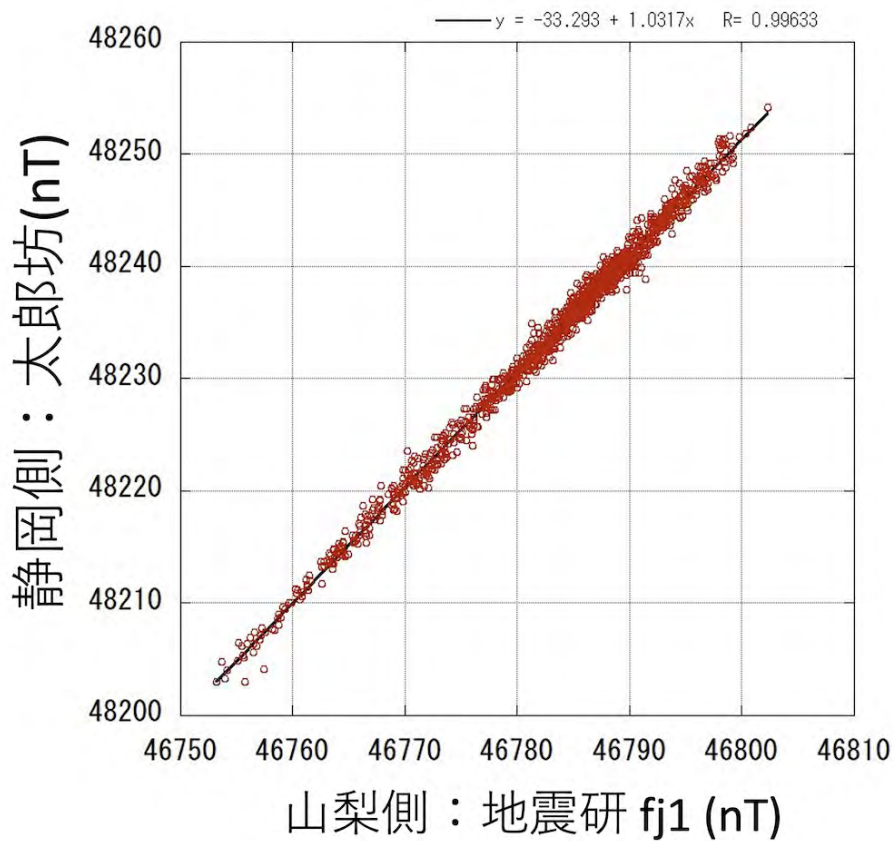


図2 東大地震研 ( fj1 ) と太郎坊の記録の相関

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

みんなで拓本 - 地震・津波・火山噴火伝承碑のデジタル収集と解読

(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

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

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：

(6) 令和2年度の計画の概要：

本研究では、地震や火山噴火等に関する石碑の碑文をアーカイブするために、市民と協働するオープンサイエンスの手法を用いてデジタル画像(デジタル拓本)を取得し、それを解読するための手法および実用的なシステムを開発することを目的とする。デジタル拓本を取得するための技術は既に研究代表者によって「ひかり拓本」として確立され、現在特許出願中である。

このような状況のなか、(1) 全国に存在する碑文の画像を収集し、(2) 収集した碑文を解読、公開、活用するための仕組みとして、碑文収集と史料解読というふたつのオープンサイエンスの取り組みを融合し、新たなプロジェクト - みんなで拓本 - を構築する。

(7) 令和2年度の成果の概要：

本研究は当初の計画であった、市民参加の企画は covid-19 の影響で実施できなかった。また、申請している特許に関しても、同じく covid-19 の影響で審査がずれ込み、本来7月頃に判明する筈が延長され、現状では2021年3月に何らかの連絡があるとの報告のみ届いている。このため不特定多数にアプリを配布することもできなかった。

そこで代表者と参加者、交流のある研究協力者にのみアプリを配布し、各自で撮影実験を行った。

- ( 8 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
大邑潤三，2020「災害碑」という概念と分類方法の検討，歴史都市防災論文集，14，115-122．
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
(代表者名) 上梶 英之 国立文化財機構奈良文化財研究所 アソシエイトフェロー  
他機関との共同研究の有無：有  
加納 靖之 東京大学地震研究所准教授  
橋本 雄太 国立歴史民俗博物館助教  
大邑 潤三 東京大学地震研究所特任研究員
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：国立文化財機構 奈良文化財研究所  
電話：0742-30-6733  
e-mail：uesugi-h8m@nich.go.jp  
URL：
- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：上梶 英之  
所属：国立文化財機構 奈良文化財研究所

(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、? 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、? 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 3 1 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 3 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 3 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 3 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 3 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 2 年度の成果の概要 :

高知大学が所管する地震動観測点において、地震動観測記録のモニタリングを準リアルタイムで行うシステムを構築し、運用を行なった。合わせて、ごく浅層の地盤構造を常時モニタリングするため、サンプリング周波数 500 Hz での観測を実施するとともに地震計設置位置下の地盤の固有周波数解析を常時行なった。今年度は観測点周辺での大規模気象変動が比較的少なかったため、今年度観測分からは気象変動に起因する地盤状況の変動については見つけることができなかった。

また、新型コロナ禍のため観測を含む現地作業を行うことができず、微動アレイ観測網の構築が進まなかった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
特になし

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

実施計画が遅れている観測点近傍におけるごく浅層の地盤構造変化を対象とした、常時微動アレイ観測を早期に開始する。観測記録は令和 2 年度までに構築した、地震動観測記録の準リアルタイムモニタリングシステムに組み込み、他の観測情報と合わせて運用を継続する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

高知大学 理工学部附属 高知地震観測所

大久保慎人

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 理工学部附属 高知地震観測所

電話 :

e-mail : okubo@kochi-u.ac.jp

URL :

( 13 ) 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：理工学部附属 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で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年度：

現状のW I NシステムおよびW I N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年度：

新たなW I N伝送プロトコルの策定に向けプロトタイプを作成と仮実装を試みる。

平成33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年度：

時期、時間帯を限定し、S I N E T、J G N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2年度の成果の概要：

昨年度構築した通信実験テストベッドを、多様な通信規格に対応できるようシステムの更新を行なった。携帯データ通信(高速通信,ごく低速通信)、仮想ネットワーク通信、高速大容量低遅延回線などを複数用意することで、今後の実証実験が容易に行えるようにした。新たな伝送プロトコルに関しては、前年度検討を行った現状システムの問題点の洗い出しをもとに、最低限必要な要件の洗い出しと拡張仕様として準備すべき項目について検討した。

新型コロナ禍のため、他機関との打ち合わせが十分に行えず、仮実装に関しては十分な進捗はない。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
特になし

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要：

他機関との連携・協議を進めながら、必要要件について早急に取りまとめる。最大限の拡張要素を含む形で閉じた伝送ネットワーク内で随時、仮実装と問題点の洗い出しを繰り返すことで伝送プロトコルを確立しつつ、今後の実証実験に備える。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学 理工学部附属 高知地震観測所

大久保 慎人

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：理工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

( 13 ) 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：理工学部附属 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手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2年度の成果の概要：

1. アンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) に基づくデータ同化手法の開発

これまで豊後水道長期的スロースリップ (L-SSE) を対象に、一つの L-SSE 円形パッチを持つモデルによる L-SSE 域での摩擦パラメータ・固着域における固着率の推定、および L-SSE 域でのすべり発展予測を行ってきた。最近、四国中部～日向灘における南海トラフの走向に沿って L-SSE の再来間隔等の多様性、すなわち固着率の大きな巨大地震震源域深部では L-SSE の発生間隔が長くなる、と報告されている。そこで、実 GNSS 観測データによる EnKF データ同化を目指すには、モデル領域を四国中部～日向灘南部まで広げ、L-SSE 発生の多様性を再現するモデルを、まず構築する必要がある。まず、この領域の3次元プレート形状を考慮して、固着率の走向方向の変動の影響を調べたが、これだけでは観測された多様性を説明できないことが分かった。次に、各種パラメータ (固着率・L-SSE での摩擦パラメータ・L-SSE の深さ方向での幅等) の L-SSE 発生への影響を調べるために、平面傾斜モデルに一樣なパラメータ分布を持つ固着域・L-SSE 域・クリープ域を設定し、各パラメータを独立に変化させた。L-SSE 幅と震源核臨界サイズの比が L-SSE 発生をコントロールと言われているが、ほぼ全てのパラメータが L-SSE 再来間隔へ影響していることが分かった。更に、同じ平面モデルで、走向方向にパラメータの不均質性を与え、その相互作用を調べた。その結果、固着率・法線応力の不均質性により走行方向での L-SSE の再来間隔・最大すべり速度・継続時間の変動が生じることが確認された。また、これまであまり注目されてこなかったが、L-SSE 領域での両端における境界条件の相違により、L-SSE の走行方向へのすべり伝播の多様性が生じることが確認された。

2. アジョイント法に基づくデータ同化手法の開発

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を、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。開発手法を地震後 15 日間に得られた GNSS データに同化することで、摩擦特性の空間分布を推定した。また、得られた摩擦特性により、その後 15 日間の地殻変動の予測を行い、観測された GNSS 時系列が再現可能であることを検証した (Kano et al. 2020)。本解析では 1 日ごとの GNSS データを用いたが、より正確な余効変動の予測には地震発生直後の高時間分解能な地殻変動データが必要であり、今後地震直後の GNSS データの同化に向けた高サンプリングな GNSS データの解析に着手する。

3. 事後確率分布推定に基づくデータ同化手法の開発

観測データからモデル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。事後確率分布の推定には、通常はモンテカルロ的な手法が使われるが、フォワードモデルの計算コストが高い場合は、そのような手法の適用は困難である。今年度は昨年度に引き続き、フォワードモデルの計算コストが高い場合にも適用可能な事後確率分布の推定手法の開発を行った。適用対象としては、昨年度に引き続き、摩擦構成則に従う余効すべりとマンツルの粘弾性緩和を組み合わせた余効変動の物理モデルを用

いた。このモデルで、プレート境界面の摩擦パラメータ、マンツルの粘性率、地震前のすべり速度、地震時のすべり分布、モデル誤差に関するパラメータを未知とし、2011年東北沖地震の地震時及び地震後7年間の地殻変動のデータを用いて、未知パラメータの同時事後確率分布を上記の手法を用いて推定した。

#### 4. 八重山地方のSSEの解析

引き続き八重山地域でのGNSS連続観測を実施している。今年度は携帯回線で転送しているデータの転送が途切れ、観測機器の故障が疑われるが、COVID-19感染症流行のため現地に赴くことができず、観測データが現地で蓄積している。1年以上放置すると古いデータが消去されてしまうが、観測点が小中学校のため、現時点では現地へ向かう見通しが立っていない。

Kano et al. (2018) は、琉球海溝南西部八重山諸島近傍においておよそ6ヶ月周期で繰り返し発生するスロースリップイベント(SSE)の解析を行い、2010-2013年に発生したSSEに伴う断層すべり速度の時間発展の振る舞いがSSE毎に異なることを示した。今年度は、解析期間を2019年まで拡張するとともに、2013年以降に整備された新規のGNSS観測点のデータを加えることで、より多くのSSEに解析に着手した。その結果、計16回のSSEによるすべり時空間発展が推定された。すべりが推定された位置や再来間隔については先行研究と整合的で、SSEがプレート境界面の同じ場所で繰り返し発生していることを示唆している。この地域のSSEのすべり速度の加減速の時間変化の様式は2通りあることがKano et al. (2018)により報告されているが、今回の解析でゆっくりと加速してすべり速度が最大になった後ゆっくりと減速する新たなパターンが見つかった。このパターンのSSEは16回中7回発生した。今後すべりの時間発展の様式を整理し、その違いがなぜ生じるかを検討する。

#### 5. すべり分布推定のためのメカニズム解の誤差推定手法の構築

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。応力場情報を得るには、地震のメカニズム解を極力多く集めることが重要である。通常は誤差の大きいメカニズム解は捨ててしまうが、誤差を正しく見積もることが出来れば、その誤差情報も含んだ上で得られたメカニズム解を全て用いた解析が可能となる。このような理由で、P波初動極性(押し引き)データを元にしたメカニズム解の誤差を推定する手法を開発した。

ある地震に対して得られたP波初動のデータに対し、適当なメカニズム解を仮定すると、そのメカニズム解から期待される極性と合致しているものの個数・全体の個数・極性が合致する確率から、尤度(データとモデルの合い具合に関する統計的評価関数)を作ることが出来る。これに節面の向きおよび極性が合致する確率が一様分布に従うという仮定を置き、これをベイズ推定における事前分布として先の尤度と掛け合わせることでメカニズム解の事後分布を得る。但し、事後分布を解析に得ることは困難であるため、棄却法[von Neumann, 1951, National Bureau of Standards: Applied Mathematics]によるサンプリングで近似的に得ることとした。これにより多数のメカニズム解の集合、即ちメカニズム解の確率分布を得ることが出来た。この分布全体を用いることで、応力場推定など、メカニズム解を元にした様々な統計的推定を従来よりも合理的に行い得る。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kano, M. and A. Kato, Detailed spatial slip distribution for short-term slow slip events along the Nankai subduction zone, southwest Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2020JB019613, 2020, doi:10.1029/2020JB019613.  
Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, and K. Hirahara, Adjoint-based direct data assimilation of GNSS time series for optimizing frictional parameters and predicting postseismic deformation following the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Earth Planets Space*, 72, 159, 2020, doi:10.1186/s40623-020-01293-0.  
加納将行、データ同化に基づく断層すべりの理解・予測と波動場推定の高度化に向けた研究、『地震』第2輯、73、69-91、2020, doi:10.4294/zisin.2019-9.

Yukutake, Y., T. Iwata, and Y. Iio, Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms, *Tectonophysics*, 790, 228553, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228553>

岩田貴樹・尾形良彦, Gutenberg-Richter 則における a 値の最尤推定, *地震*, 73, 93-96, 2020, <https://doi.org/10.4294/zisin.2020.73.93>

Cho, I., and T. Iwata, Limits and benefits of the spatial autocorrelation microtremor array method due to the incoherent noise, with special reference to the analysis of long wavelength ranges, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126, 2020JB019850, 2021, <https://doi.org/10.1029/2020JB019850> (in press)

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

まず、各種パラメータの L-SSE 発生への影響および走向方向でのパラメータ不均質性が L-SSE 発生に及ぼす相互作用の調査を継続し、観測された L-SSE 発生の多様性を再現するフォーワードモデルをいくつか構築する。次に、これらのモデルを初期アンサンブルとして、実際に地表で観測された GNSS データを用いた EnKF データ同化により、各種パラメータの改良および L-SSE すべり発展の予測を行う。

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予測に向けた、高サンプリング GNSS データの解析法の開発に着手する

事後確率分布の推定手法の開発を継続する。より高次元のモデルに適用可能とするために、手法の改良を検討する。

八重山における GNSS 観測を継続するとともに、SSE の時空間発展の多様性を整理し、その発生機構の解明を目指す。

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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学理学研究科 : 宮崎真一

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 : 福田淳一

県立広島大学 : 岩田貴樹

東北大学理学研究科 : 加納将行

理化学研究所 : 平原和朗

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学理学研究科

電話 : 075-753-3911

e-mail : miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL :

( 13 ) 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

(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 P J 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 2 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実施した。また、連携各種観測データに基づく中期的な火山活動評価の対象として阿蘇火山を選定し、電磁気・熱・ガスのモニタリング課題 (HKD 04) と連携の上、ニュージーランドで開発された火山活発化指数 ( Volcanic Unrest Index ) を適用するための検討を開始した。

コロナウイルスの影響により、御嶽山での水準測量や阿蘇火山での絶対重力測定を実施できなかった。しかしこれらをのぞき、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、データの収集と解析を進めた。この間の顕著なイベントは、十勝岳の 2020 年 6-8 月の火映現象 ( 硫黄燃焼 ) と 9 月 14 日の傾斜変動である。9 月 14 日に発生した十勝岳の傾斜変動イベントでは、増圧変動時間帯に増大した地震活動が増大した。この時に観測された地震波の振幅比の変化から、震源が浅化したことを示唆する結果を得た。

また、有珠山において次期噴火を想定した GNSS 観測点の整備の現地調査と選点作業を行った。

【吾妻】

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、長周期地震やそれに伴う短期的傾斜変動を断続的に観測した。これらの現象は 2018 年~2019 年活動期にも観測されており、吾妻山大穴火口直下における熱水活動の活発化を示唆する。また、これまでの活動変化と同様に、活動活発化の初期の段階において、火山性地震の震源が深部から浅部へ移動する現象が捉えられた。さらに、長周期地震と短期的傾斜変動の変動量の間には正の相関があり、長周期地震が熱水系最上部における圧力弁的役割を担っていることが示された。

【伊豆大島・三宅島】

長期的には膨張を続けている伊豆大島において、膨張源の性質を理解するために絶対重力測定を継続的に実施した。その結果、麓の測定点では約 20microgal / 山頂測定点では約 70microgal もの大きな変動が見られ、降水の引力効果がノイズとなっていることが示唆された。そこで、重力値の時間変動から、マグマの蓄積による効果と降雨による引力効果を弁別して解釈できる解析手法 ( モデル ) を確立した。今後、地殻変動データと組み合わせることで、伊豆大島下で蓄積する物質の性質 ( 密度 ) が推定可能となる。

【焼岳】

引き続き、多項目観測を継続するとともに、2020 年 4 月からの群発地震に対応するため、上高地・下堀沢 ( DP.SMHZ ) に強震観測点を増設し、また群発地震に伴う地殻変動を検証するため、上高地・徳沢にて臨時の GNSS 観測を実施した。

2020年5月中旬から6月上旬、および、6月上旬から7月上旬にかけて観測されたGPSの変位データを、それぞれ、Matsu 'ura and Hasegawa (1987)の非線形インバージョン手法により、変動源のパラメータを推定したところ、双方ともほぼ同位置に開口断層が推定された。また、群発地震活動の主たる地震は推定された開口断層に沿って分布し、かつ、それらの発震機構解にはNon Double Couple成分が大きいものが見られることなどから、今回の一連の地震活動がダイク貫入イベントを伴った可能性が大きい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、平均では8割程度の稼働率が維持された。そして、これらのデータと定常観測のデータを用いた機械学習による微小地震検知アルゴリズムを完成させた。

深発地震を用いた御嶽山山頂域のP波速度構造をセンブランス解析により推定し、2600m/sという値を得た。今後この値は震源決定やより詳細な構造推定を進めるための基礎的な情報となる。

2016年から継続して実施しているGNSSキャンペーン観測に加え、新たに2箇所でGNSS連続観測を開始した。

#### 【阿蘇・九重】

京都～阿蘇～桜島の長距離測線で相対重力の往復測定を2020年9月に実施し、阿蘇火山周辺の複数の水準点にて重力の絶対値を決定した。また、2020年10月に阿蘇カルデラ内の相対重力キャンペーン測定を実施し、阿蘇山麓に対する阿蘇山上の相対重力分布をもとめた。

阿蘇火山で近年観測されるようになった、長周期微動に先行して発生する高周波微動の震源を中岳火口近傍に設置した3箇所の地震計アレイと本堂観測点に設置した三次元アレイを用いて決定した。その結果、高周波微動はS波として観測点に到達していること、また、その震源は中岳第一火口西壁深さ200-500mの、電磁気学的手法によって推定された低比抵抗領域に位置することが明らかになった。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】

地震およびGNSSの連続観測を継続した。その結果、新岳火口を東西に横切る基線では、2019年12月から2020年6月まで水平距離が5mm程度伸長した。水準測量を2回実施した。同期間には地震頻発が2020年2月から4月にあり、2020年1月から2020年6月は二酸化放出率が1日あたり1000トンを超えていた。また、2020年5月および2020年12月に水準測量を実施し、路線南部に向かって地盤が隆起する変動をとらえた。そして、2019年12月～2020年5月の期間における水準測量データおよびGNSSデータを統合解析し変動源を推定したところ、深さ7.7kmの茂木ソースにおいて半年間で $4 \times 10^{16} \text{ m}^3$ の体積増加が発生していたことが明らかになった。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
青山 裕・田中 良・橋本武志・村上 亮・成田翔平(2020)十勝岳の火口近傍における力学観測：序報，北海道大学地球物理学研究報告，83，25-48．Maeda, Y., Yamanaka, Y., Ito, T., and Horikawa, S., Machine learning based detection of volcano seismicity using the spatial pattern of amplitudes, Geophys. J. Int., in press, doi:10.1093/gji/ggaa593 園田忠臣(2020)口永良部島火山における水準測量(2020年5月)，京都大学防災研究所技術報告，第21号．

- (10) 令和3年度実施計画の概要：

#### 【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

道内5火山における地震・地殻変動観測を継続し、データの収集と解析を進める。

有珠山におけるGNSS観測点(15地点ほど)のピラー設置を行い、1回目の測量を実施する。また、有珠山において臨時地震アレイ観測を実施する。

#### 【吾妻】

引き続き、吾妻山の既設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。

【伊豆大島・三宅島】

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

【焼岳】

引き続き、多項目観測とそのデータ解析を実施

【御嶽】

地震およびGNSS観測を継続し、新型コロナウイルス蔓延により順延された水準測量を実施する

【阿蘇・九重】

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。京都～阿蘇～桜島の長距離測線における相対重力の往復測定を実施し、阿蘇カルデラ内の複数の水準点の絶対重力を決定する。また、GNSSやInSARデータを用いた地殻変動源解析を行う。

【口永良部島】

地震観測、GNSS観測、水準測量、レーダー観測を実施する

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏、横尾亮彦、風間卓人

他機関との共同研究の有無：有

青山 裕、橋本武志、村上 亮（北大）

山本 希、三浦 哲（東北大・理）

今西祐一、大湊隆雄（東大震研）

寺田暁彦（東工大）

前田裕太、山中佳子、寺川寿子、伊藤武男（名大）

大見士朗、中道治久、山本圭吾（京大防）

研究協力者

村瀬雅之（日本大）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：火山研究センター

電話：0967-22-5000

e-mail：

URL：

(13) 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

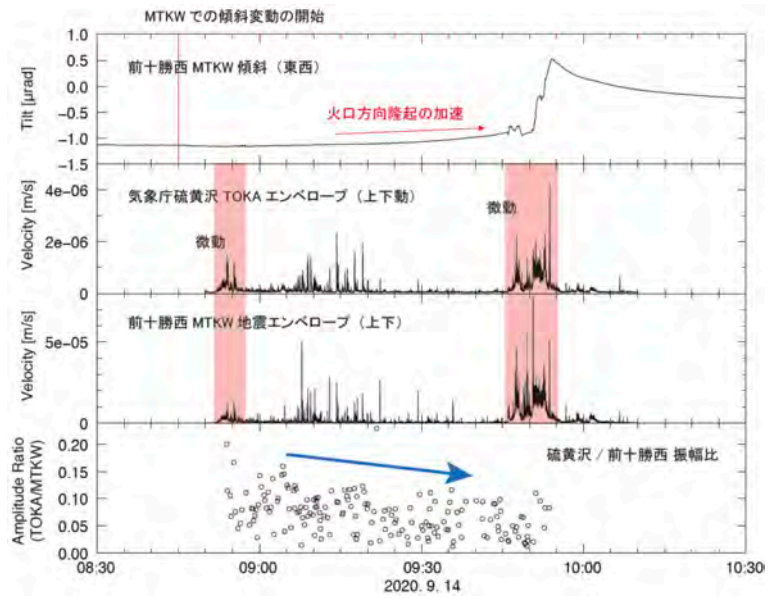


図 1

9月14日の傾斜変動イベント．最上段は北大前十勝西観測点で得られた傾斜東西動，2 - 3段は気象庁硫黄沢（山麓）と前十勝西（火口近傍）の地震波形高周波エンベロープ，最下段は硫黄沢と前十勝西の地震動最大振幅比

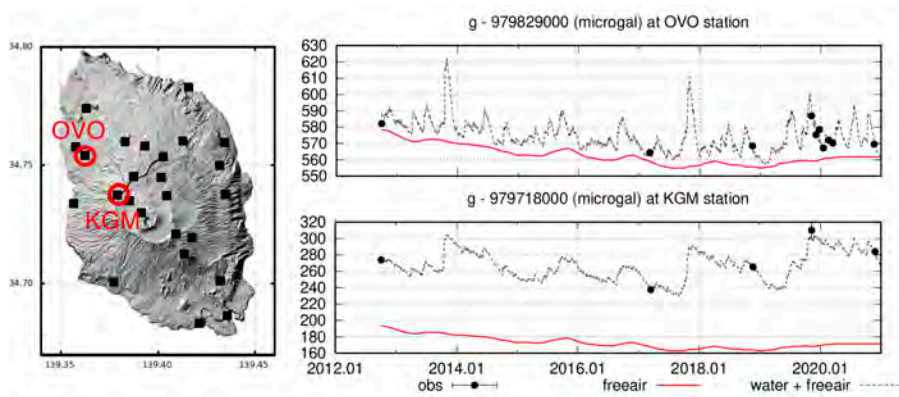


図 2

黒丸 は，伊豆大島の2地点（麓 OVO，山頂付近 KGM）で測定された重力値の時間変動を表す．赤線は球状膨張源から予想される上下動に伴う重力変動，破線は降雨による引力効果を加味したモデル計算値を表す．

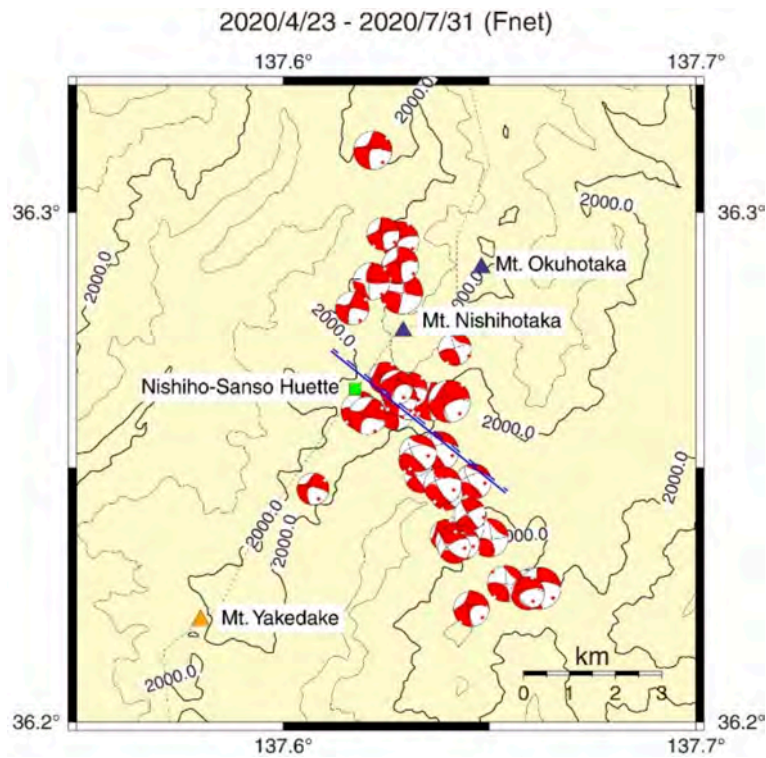


図 3

開口断層 ( 5/10-12 6/9-11 の変動に対応するもの ) と F-net により求められた主な地震の発震機構解 (F-net データベースを参照)。

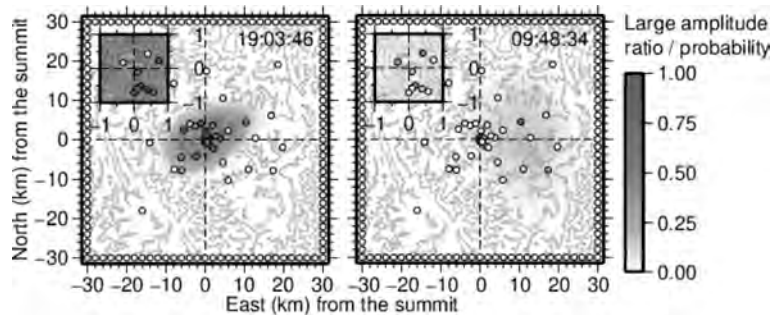


図 4

機械学習による微小地震検知 (Maeda et al., in press)。各観測点で 1 秒間にノイズレベルを超えたサンプル割合を円の塗りつぶし色の濃さで表す。これを教師データとして推定した、その 1 秒間にノイズレベルを有意に超える地震波が存在した確率の空間分布を影の濃さで表す。挿入図は山頂付近の拡大図。左は LP イベント、右は風によると思われるローカルノイズの例を表す。ローカルノイズにおいても特定の観測点で振幅が大きくなることはあるが、近接観測点間の相関が悪いために推定した確率の空間分布は薄くぼやけたものになっており、山頂域に高確率領域が集中する LP イベントとはパターンが異なる。このようなパターンの違いを学習させることで本物と偽物のイベントの自動判別を可能にした。

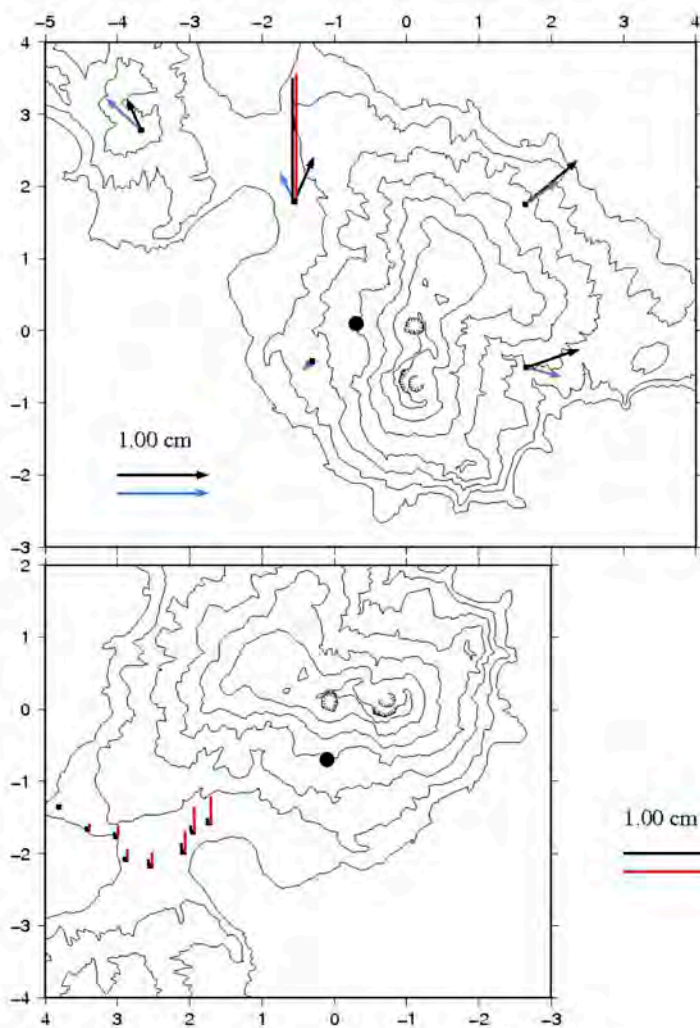


図5

口永良部島における2019年12月～2020年5月の水準測量データおよびGNSSデータを用いた統合解析により求められた茂木ソース。図中の黒丸の位置の深さ7.7kmに増圧源が求まった。上図の黒矢印および青矢印は、それぞれGNSSの観測水平変位ベクトルおよび茂木モデルから計算される理論水平変位ベクトル。上図の縦の黒線および赤線は、それぞれGNSSの観測垂直変位および茂木モデルから計算される理論垂直変位。下図(北が左向きとなるように図を回転して表示)の縦の黒線および赤線は、それぞれ水準測量によるKUC12Nを基準点とした観測垂直変位および茂木モデルから計算される理論垂直変位。半年で $4 \times 10^{16} \text{ m}^3$ の体積増加、つまり $8 \times 10^{16} \text{ m}^3/\text{year}$ の体積増加率である。

(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：

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大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615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2年度の成果の概要：

コロナウイルスの影響により、ガイド向けの講習会をほとんど実施出来なかった。これらの講習を来年度以降にオンラインあるいはハイブリッド方式で開催する。また、同じく修学旅行生の激減により、ガイドプログラム（防災教育プログラム）作成を次年度以降に実施することにした。

阿蘇火山博物館の火口ライブ映像コーナーに設置された準リアルタイム火山情報表示システムを更新した。ここでは、遠望カメラ映像、火口周辺の地震波形、GNSSによる地殻変動を表示している。また、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し、熊本県の地域振興局と危機管理防災課に表示システムを設置することとし、そのためのクライアントマシンを準備した。

阿蘇火山博物館を訪れる修学旅行生を対象としたガイドプログラム（防災教育プログラム）作成のため、熊本県観光統計表の教育旅行来熊者発地リストから上位15都道府県を抽出した。その結果、九州沖縄、関東、近畿、東海の4地域で8割以上が占められていた。それらの地域向けのプログラム作成のため、まずは対象都道府県の防災マップの収集を開始した。

ジオパークガイドの講習を兼ね、京都大学火山研究センターの2016年熊本地震からの復旧工事を見学した。この建物は1923年関東地震後に建設された鉄筋コンクリート製であり、さらに2012年には



耐震改修工事が施されたので、震度6強の揺れだけでは損壊しなかったと考えられている。しかし、実際の熊本地震本震時には、周辺で多発した地すべりの影響で建物の地下に亀裂が走り、基礎が大破した。この周辺の地すべりは火山性堆積物をすべり面として発生しているので、周辺の災害は広義の火山災害と捉えることができる。また、この地域は緩斜面であることから、熊本地震発生前は土砂災害警戒区域にすら指定されていなかった。これらの経緯を、ジオガイドの研修材料だけでなく、地方自治体の防災関係者への教育材料として今後活用する。

「火山研究人材育成コンソーシアム構築事業」主催で、都道府県自治体職員を主対象とした火山防災特別セミナーが2020年10月に阿蘇市にて開催された。このセミナーにおいて、阿蘇火山での噴火災害軽減を目的とした、熊本県の火山防災協議会、阿蘇市の阿蘇火山防災会議協議会、気象庁の阿蘇山火山防災連絡事務所、環境省の阿蘇くじゅう国立公園管理事務所および京都大学火山研究センターの連携について火口巡検を交えて紹介した。阿蘇火山では、阿蘇火山防災会議協議会が阿蘇火山ガス安全対策専門員会を設置し、同専門員会の助言により、環境省が火山ガス検知システムを設置し、阿蘇市が同システムを運用するとともに火口監視員を配置し観光客の対応に当たっている。これらの内容とセミナー主催者により行われた火山学の基礎についてのセミナー内容を、今後の阿蘇火山の防災担当者への講義資料とし、他府県自治体からの来訪者へ対応にあたってもらう。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 令和3年度実施計画の概要 :

ジオパークガイドむけに、地震の基礎や地震災害に関するセミナーを実施し、ガイド育成テキストを作成する。

東北大学と共同で、阿蘇火山への観光客をターゲットとした「観光客の火山防災意識に関する調査」を実施する。そしてその結果を、火口見学に対応するジオガイド養成のための研修材料に反映させる。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調査を開始する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大倉敬宏

他機関との共同研究の有無 : 有

阿蘇ジオパーク事務局 池辺伸一郎

阿蘇火山博物館 豊村克則

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 火山研究センター

電話 : 0967-22-5000

e-mail : bonkura@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

URL :

(13) 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

工. 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 阿蘇火山と、北海道の屈斜路 - 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5?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 - 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 - 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 - 阿蘇地域の温泉を対象にH<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 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、安山岩質岩マグマ起源流体、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チンチン澄澄 3He/4He/20Ne 比ケ 曠う ゼ昇塵 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 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 - 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 - 阿蘇地域の温泉 (3 地点) を対象に H<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 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 2 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。

応力場 - 下部地殻の非弾性変形の影響 -

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載荷が挙げられる。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。しかしながら、従来我々が得られるものは地表に展開されている GNSS 観測点の変位レートであり、下部地殻の変形推定の拘束が難しかった。そこで我々は地震発生層での応力場が応力の連続性から下部地殻に影響していると考え、下部地殻の非弾性ひずみを検出する手法を開発した。昨年度に開発した手法 (Yuasa et al., 2020) では、応力の連続性から上部地殻と下部地殻の偏差応力テンソルは同じであると仮定し、下部地殻の非弾性歪み速度テンソルを拘束した。しかしながら、下部地殻の偏差応力の詳細な推定は困難であり、どの程度上部地殻と下部地殻が似ているか客観的に判断することが出来ないという問題点があった。前述の問題点を克服するために Yuasa & Matsumoto (submitted) では ABIC 最小化によって上部地殻と下部地殻の偏差応力の類似性を決定するように改良し、九州地域の GNSS 観測データから推定された地表面歪み速度に対して開発した手法を適用した。島弧の地殻変形過程にはプレート沈み込みの影響も重要であることから、下部地殻における非弾性ひずみレートのほかにプレート間の coupling-rate (滑り欠損速度) も考慮して推定を行った。その際、2 つの拘束条件 1) プレート表面における滑り欠損速度の分布が滑らかであること、2) 非弾性歪み速度の方向が偏差応力に従うこと (流れ則) を適用した。その結果、地震活動が活発な別府 島原地域において下部地殻の非弾性ひずみレートが高いことが見いだされた。特に別府 阿蘇地域においては顕著であり、この領域は地温勾配が高く、低速度異常が下部地殻にあり、地震発生層が薄い領域であった。このことから、この領域の下部地殻においては相対的に粘性が低く、高いひずみレートで変形し、その結果として上部地

殻に応力が載荷され、高い地震活動がみられると解釈できる。さらに、緑川断層など、別府 島原地域の西部の断層領域においては上部地殻の主応力方向と地表での主ひずみレート方向が斜交していることから、断層強度が弱いことが示唆された。以上のように、変形レート・応力を統合的に解釈することによって、下部地殻の非弾性ひずみの不均質によって、地震発生層である上部地殻に応力場形成される様子をモデリングすることが可能となった。

一方で、北海道での内陸地震発生ポテンシャルが高いと示唆される道東屈斜路カルデラ周辺は、火山フロント下の薄い脆性層（弾性層）の存在やカルデラ特有の地殻不均質構造がひずみ集中に起因すると考えられている。GNSS 稠密観測網から得られる地殻変動場について、今年度、直近約 3 年間のデータを追加し、再解析を行った結果、昨年度報告したように、広域応力場として常にプレート収束の影響が存在することとともに、火山フロント、特に屈斜路カルデラ周辺での局所的な収縮が現在も継続していることを示した。このカルデラに局在化する地殻変動について、地温勾配分布等に基づく不均質構造モデルを構築し、1993 年にあった火山活動起因の膨張イベントとその後の時空間発展について、InSAR の結果の再現を試み、地下構造やその物性について議論した（Yamasaki et al., 2020）。この領域では、仮定した膨張源の幅がカルデラ内の浅い弾性層の幅よりも小さいため、ジオメトリの影響としては均質構造の場合（Yamasaki et al., 2018）と比べて大きな違いがないものの、カルデラ下に 1017Pa s オーダーの低い粘弾性媒質が必要であることが示された。九州で下部地殻の低粘性によるひずみ集中が示唆されているが、道東地域においてもこのようなカルデラ下の低粘性媒質の局所的な存在が、ひずみや応力の局在化を招くと考えられ、実際に観測される地表ひずみもカルデラ内で相対的に大きい収縮を示す。今後、広域一様な応力負荷とカルデラ内の局所的・一時的な変形誘因の影響が、カルデラ不均質構造に対してどのように応答するか、観測値を説明するモデルを構築することにより検討する。

2016 年熊本地震の発生以降、我々は稠密な臨時地震観測を継続してきた。発生から 5 年経過した現在、蓄積された地震の発震機構解データを詳細に解析した。余震による非弾性ひずみの時間変化を見積もった結果、日奈久断層南部や布田川断層西部において、余震による非弾性ひずみの減少レートが小さいことが見いだされた。このことから、この領域は地震後時間が経っても歪みが増加していることがわかった。余震活動による非弾性変形が地震時の応力変化に対しての応答の変形であると解釈した場合、これらの領域の減少レートは熊本地震本震による応力変化のみでは説明できないことがわかった。これは、地震後に震源域下もしくはその周辺で非弾性ひずみが進行していることを示唆している（光岡・他、2020 地震学会）。熊本地震で大きく滑らなかった領域に対する応力負荷は今後の地震発生可能性評価にとって重要な情報であることから、この地震後変形のモデル化（下部地殻の粘弾性変形による応力場形成や、余効すべりのモデル化）を今後進めていく。

#### 応力場 偏差応力の絶対値

地震の発生を理解するためには、地震断層の正確な断層形状とその周辺の応力状態を知ることが必要である。DD 法を用いて決定した震源分布（Shito et al., 2017）を再解析し、その余震分布から 2016 年熊本地震の震源域である日奈久・布田川断層の枝分かれ構造等詳細な形状を決定した。また、その周辺の絶対偏差応力場の推定を試みた（Mitsuoka et al., 2020）。最大前震前と本震後の 2 期間の偏差応力場は、最大前震と本震の断層モデル（例えば、Asano and Iwata, 2016; Mitsuoka et al., 2020）の近傍で、有意に変化していることが確認された。このことから、この領域の絶対応力レベルは、地震時に生じた応力変化のそれと同等であることが言える。そこで、この時間変化が有意である領域を対象に、地震前後の応力場の差が熊本地震本震による応力変化によると考え、それぞれのテンソルの関係から、偏差応力の絶対値の推定を行った。その結果、この領域の地震前の応力場の差応力は 15 MPa 程度であることが推定された。この大きさから、断層上の摩擦係数が非常に小さい、あるいは間隙流体圧が静岩圧に近い非常に大きいことが示唆された。

一方、2016 年熊本地震後に展開した臨時 GNSS 観測網を維持することにより熊本地震による余効変動が継続していることを確認した。また、継続する余震活動の検知、発震機構解の精度向上のため、2021 年度以降、地震観測網の稠密化を計画している（2020 年度には 3 点増設）。今後、余効変動のモデルを検討し、上記の差応力絶対値推定や、地震後変形モデル化等に生かし、地震発生ポテンシャル評価に資する。

## 応力場 応力降下量分布

熊本地震の余震 406 イベントを対象とした S 波コーダスペクトル比法による震源パラメータの推定を行い、応力降下量の空間分布やその特徴について調べた。解析は基本的に Somei et al. (2014) の手順に倣って、観測記録から震源スペクトル比を求めた。観測記録は 2016 年熊本地震合同観測グループによる観測点から 9 点、防災科学技術研究所 (以下、防災科研) 高感度地震観測網 Hi-net の観測点から 7 点の計 16 点のデータを用いた。従来の研究では個々のスペクトル比に対してグリッドサーチでパラメータ推定を行うものが多かったが (e.g., Ruhl et al., 2017; Yoshimitsu et al., 2019), これは同一イベントに対して異なったペアによる異なった応力降下量を推定する可能性がある。本研究ではすべてのスペクトル比をまとめて最小二乗解の推定を行った。1-30Hz の解析周波数帯における SN 比 (Signal-Noise Ratio; SNR) が 2 以上のデータを用いて、相対的地震モーメント・地震のコーナー周波数を推定した。最大地震の地震モーメントを防災科研広帯域地震観測網 F-net のメカニズム解による値で固定し、そのほかの地震との地震モーメント比から対象とした地震の地震モーメントを推定した。解析の結果、地震モーメントはコーナー周波数に対して  $M_0 \propto f_c^{-3.6}$  の関係に従う様子が見られた。推定された地震モーメントとコーナー周波数を用いて、地震断層を円形クラックと仮定して応力降下量を推定した (Eshelby, 1957; Brune, 1970, 1971)。その結果、応力降下量は 0.30 ? 32 MPa の間でばらついており、幾何平均値は 3.6 MPa ( $-1 \sim +1$  はそれぞれ 1.7/7.4 MPa) であった。過去に日本国内で発生した内陸地震の応力降下量 (Somei et al., 2014) と比較すると、本研究の推定値は空間的なばらつきの範囲内であった。一方、本研究では詳細に推定誤差を考慮してもなお、地震の規模依存性、震源深さ依存性が認められた。これらは内陸地震発生域における地震の発生メカニズムを考えるうえで重要な結果である。

## 応力場 b 値の観点から

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。時間変化が見られた場所は本震の大すべり域 (e.g., Asano and Iwata 2006; Horikawa 2006) 下部に相当し、本震の大すべり、もしくは震源断層上端から浅部延長 (深さ 0-3km) での余効すべり (Nakao et al., 2006) に伴う応力解放を反映していると考えられる。

## 地震学的構造

Shito et al. (2020) では、多重等方散乱を仮定したモンテカルロ法にもとづく散乱波の感度カーネルの計算により、内部減衰と散乱減衰の三次元構造を分離推定する手法を開発し、九州の地殻の深さ 15 km まで 1-2 Hz, 2-4Hz, 4-8Hz の各周波数帯において、信頼度の高い内部減衰と散乱減衰の三次元減衰構造を得た。その結果、全ての周波数帯において火山周辺に顕著な高散乱減衰領域がイメージングされた。これは、火山体地下にマグマだまりなどを含む様々な空間スケールの不均質構造が存在していることを示していると考えられる。また、白亜紀花崗岩に対応した九州北部の低内部減衰領域がイメージングされた。また熊本地震の震源西部深さ 10 km の領域は活火山が存在していないにも関わらず 2-4Hz で顕著な高散乱減衰を示した。その原因は空間スケール 1 km 程度のランダム不均質の存在であると考えられる。以上のような三次元地震波減衰構造は、地震波動伝播予測の高精度化に有効であると考えられる。

志藤他 (2020) では、2016 年熊本地震合同地震観測データおよび 2016 年熊本地震以前のデータをもとに震源域の三次元地震波速度構造を決定し、震源再決定および震源メカニズムの推定を行った。Shito et al. (2017) においても熊本地震震源域の三次元地震波速度構造および震源再決定がなされたが、本研究で使用した地震の数は Shito et al. (2017) の 2 倍以上であり、より拡充されたデータセットを使用した。本研究で得られた速度構造と、MJ 7.3 の地震のすべり分布 (Asano and Iwata, 2016) とを比較すると、すべりの大きかった領域は、 $V_p = 6.0\text{km/s}$ ,  $V_s = 3.5\text{km/s}$  程度の中庸な速度を持つ領域に対応して

いる。Shito et al. (2017) と比較してより鮮明にイメージングされた阿蘇山西側にある低速度領域は、すべりの大きかった領域の端が一致しており、低速度領域の存在により主要な破壊が停止したと解釈できる。この結果は後述の比抵抗と調和的である。阿蘇の西側の低速度領域は低  $V_p$ , 低  $V_s$ , 低  $V_p/V_s$  となっておりマグマだまりよりはむしろマグマから脱水した高温のガスや塩水領域と解釈される。以上の震源、速度構造に加えて、地震メカニズムは、今後なされる種々の研究の基礎的情報としてデジタルデータで公開した。

#### 比抵抗構造

熊本地震震源域周辺の比抵抗構造からは内陸地震ポテンシャル評価をする上でポジティブな結果が得られた。200 点の広帯域 MT 観測点のデータから 3 次元比抵抗構造を推定し、震源と比抵抗の空間的な対応を精査したところ、前震、本震を含め M5 以上の規模の大きい地震は低比抵抗体の近傍で破壊が開始する一方で、M5 より規模が小さい地震は低比抵抗領域から離れた場所でも破壊が開始することが示唆された。また、低比抵抗体内部でも破壊は開始するが、それらはすべて規模が小さい地震であることが示された (Aizawa et al., 2021)。低比抵抗体の端部付近から破壊が開始すると規模の大きい地震に成長しやすいことを示した結果であり、高温度、高間隙水圧領域から外側に向かって破壊が開始すると破壊が成長しやすいと解釈された。一方、破壊の停止については、熊本地震の本震および前震の破壊停止位置が低比抵抗体の端部に相当することから、高温度、高間隙水圧領域に向かって破壊が進展すると、破壊が停止しやすいことが示唆された。この結果は前述の地震波速度構造からの示唆と同様である。しかしながら、本震の大すべり域近傍にもやや低比抵抗な領域が存在し、高温度 (200 - 400 °C), 高間隙水圧領域に向かって破壊が進展しても、かならずしも破壊は停止せず、場合によっては破壊が加速されることも示唆された。このやや低比抵抗な領域の上部には顕著な低比抵抗領域が存在し、その下部が地震発生領域の上限と一致するため、粘土層の下部に流体が蓄積され高間隙水圧領域を形成していると解釈された。これは火山浅部でみられる粘土層と地震発生の関係 (e.g., Tsukamoto et al., 2018; Hashimoto et al., 2020) が断層帯でも成立している可能性を示した結果である。熊本地震震源域西部の低比抵抗領域は、およそ 15 万年前に 2 km<sup>3</sup> の砥川溶岩を噴出した赤井火山との対応からマグマ性の流体が蓄積されている領域と解釈された。その水平位置は、地震波減衰構造で推定された高散乱減衰域と水平位置がほぼ一致した。熊本地震震源域周辺の 3 次元比抵抗構造はデジタルデータとして公開した。一方、北海道東部においては雌阿寒岳周辺で 16 点の広帯域 MT 観測を実施し、既存データと合わせた解析から、柱状の低比抵抗体が雌阿寒岳地下に存在していることが示唆された。屈斜路カルデラ地下にも同様の低比抵抗体の存在が示唆されており (本多他, 2011), 1959 年, 1967 年の M6 クラスの内陸地震が屈斜路カルデラと阿寒カルデラの間で発生したことから、熊本地震と同様に、低比抵抗体が破壊の成長を阻害し地震の最大規模を規定している可能性がある。次年度に広域で観測を行い、屈斜路、阿寒両地域をカバーする比抵抗構造を推定し、内陸地震との対応を検討する。

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。九重火山の広帯域 MT 観測データの解析からは、1995 年に最新の水蒸気噴火を起こした硫黄山近傍に鉛直に伸びる低比抵抗領域がイメージングされた (Abdallah et al., 2020)。その後、2019 年に実施した観測も含め、観測点数をおよそ 5 倍の 193 点に増やし推定した高空間分解能な比抵抗構造からは、九重火山北側の深さ 10 km 以深に巨大な低比抵抗体がイメージングされた。この低比抵抗体は深さ 6 km, 4 km と浅くなるにつれ複雑に分岐しているが、地表の温泉、噴気帯、マグマ起源の炭酸泉、および過去の噴火地点はすべて低比抵抗体の中心部ではなく、その端部に位置していることが明らかとなった。これまで低比抵抗体は全体として流体の通路の役割を果たすと解釈されてきたが、九重火山の結果は低比抵抗体の中心ではなく、むしろその端部が流体の通路である可能性を示した (Aizawa et al. submitted)。比抵抗は流体が占める空隙率やその連結度に依存するが、浸透率は流体の通路の径の 2 乗にも比例する。そのため低比抵抗体の端部ではフラクチャの存在などにより流体の径が太く、浸透率が相対的に大きいことが示唆された。これまで前課題、本課題でさまざまな領域で 3 次元比抵抗構造を推定してきており、低比抵抗体の端部は、テクトニック地震、深部低周波地震、地殻変動源が位置するなど地殻活動が活発な領域であることが示唆されている。低比抵抗体のどこに“動きやすい”流体が存在するかという視点で、今後、他地

域においても地殻活動との空間的な対応を検討する。

#### 化学観測

前述のとおり、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 km<sup>3</sup> 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。マグマから揮発した流体は地震活動を活発化させ、一方で地震によりマグマの発泡が促進されるなど、流体の移動を介して火山活動、地震活動が相互に影響することを化学観測により検証する。2020 年度はコロナウイルスの影響で装置の設置ができなかったが、熊本観測点と阿蘇観測点を、2021 年 3 月 10 日に設置し、観測を開始する見込みである。上記の温泉のくみ上げ施設内に、全自動の地下水溶存ガスを設置し、ヘリウム窒素アルゴンの三成分比の時間変化に注目して調べる。

温泉水の希ガス同位体比については、2020 年 3 月に現地地温泉水を採取し計測した。3 つの温泉水に共通するのは、ヘリウム同位体比の値が Ra 比で 3~4 でマントル起源のガスを含んでいることである。2013 年以降はヘリウム同位体比に大きな変化が見られていないが、布田川断層に沿った熊本観測点と大谷観測点では、ヘリウムネオン比が上昇している。とくに、熊本観測点の上昇の程度が大きい。

#### 室内実験

マグマだまりが地下深部で結晶化することで、マグマだまり内部に揮発性成分が濃集していく。揮発性成分が過飽和になると、気泡が形成し、マグマだまりの増圧や、マグマだまりからの揮発性成分の脱ガスが起こる。マグマだまりの冷却結晶化に伴う発泡過程は、噴火ポテンシャルの評価や、周辺岩体への火山性流体の供給と関係する。冷却固結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、マグマだまりの冷却結晶化に伴う揮発性成分の濃集過程について、H<sub>2</sub>O ? KCl - CO<sub>2</sub> のアナログ系を用いて室内実験を行った。今年度は、感温シートを用いた温度の時間空間発展と映像をもとにした結晶化前線の時空間発展のデータを取得し、結晶層の発達と CO<sub>2</sub> 気泡発生の有無について検討した。また技術的には、圧力漏れを防ぎ、増圧過程を適切にモニタリングできるように、圧力弁の改良を行った。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- 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 Space* 73, 12 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01340-w>
- Abdallah, S., Utsugi, M., Aizawa, K., Uyeshima, M., Kanda, W., Koyama, T. & Shiotani, T., (2020). Three-dimensional electrical resistivity structure of the Kuju volcanic group, Central Kyushu, Japan revealed by magnetotelluric survey data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 400:15:42
- Hashimoto, T.M., Aizawa, K., Hayashida, Y., Yuasa, Y., Matsushima, T., Yamamoto, Y., Tsukamoto, K., Miyano, K., Matsumoto, S. & Shimizu, H., (2020). Joint seismological-magnetotelluric investigation of shallow and implosive non-DC and DC earthquakes beneath the gravitationally unstable Heisei-Shinzan Lava Dome, Unzen Volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 406.
- Mitsuoka, A., Shito, A., Matsumoto, S., Yamashita, Y., Nakamoto, M., Sakai, S., Iio, Y., Shimizu, H., Goto, K., Okada, T., Ohzono, M., Yamanaka, Y., Kosuga, M., Yoshimi, M. & Asano, Y., (2020). Spatiotemporal Change in the Stress State Around the Hypocentral Area of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, *J. Geophys. Res.-Solid Earth*, 125, e2019JB018515. <https://doi.org/10.1029/2019JB018515>
- Mitsuoka T., A. Toramaru, A. Harijoko, and H. E. Wibowo (2021), Eruption types and conduit dynamics of Kukusan and Genteng volcanoes of the Ijen volcanic complex, Indonesia, *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D Earth and Planetary Sciences, Volume XXXV, No. 1*



- Shito, A., Matsumoto, S., Ohkura, T., Shimizu, H., Sakai, S., Iio, Y., Takahashi H., Yakiwara H., Watanabe T., Kosuga M., Okada T., Yoshimi M., and Asano Y. (2020). 3-D intrinsic and scattering seismic attenuation structures beneath Kyushu, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB018742. <https://doi.org/10.1029/2019JB018742>
- Yamasaki T., H. Takahashi, M. Ohzono, T. J. Wright, T. Kobayashi, (2020), Time influence of elastic thickness non-uniformity of viscoelastic crustal response to magma emplacement: application to the Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, *Geophys. J. Int.*, 224, 701-718, doi:10.1093/gji/ggaa440
- Yamashita S., Toramaru, A (2020). Control of magma plumbing systems on long term eruptive behavior of Sakurajima volcano: Insights from CSD (Crystal Size Distribution) analysis. *Dynamic Magma Evolution*, Geophysical Monograph 254, First Edition. Edited by Francesco Vetere (2020).
- 志藤あずさ 他 著者 81 名, 2016 年熊本地震合同地震観測データ - 地震学的解析の基礎的資料として -, *地震*, 73, 149-157, doi:10.4294/zisin.2019-11.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

- 熊本地震震源域にて稠密地震観測 (令和 2 年度の繰越)
- ヘリウム・窒素・アルゴンの三成分連続観測開始 (令和 2 年度の繰越)
- 熊本地震震源域にて余効変動観測の継続
- 下部地殻の非弾性変形の方法と大きさを推定する手法の高度化
- 弟子屈 阿寒地域での広帯域 MT 観測
- 霧島, 大崩山での広帯域 MT 観測
- 屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺において連続 GNSS 観測
- 内陸部 b 値解析, 応力逆解析, 応力変化, p 値解析
- 室内実験 : 冷却結晶化・発泡過程と増圧過程の定量的な検討

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

- 相澤広記・松本 聡・松島 健・清水 洋・寅丸敦志 (九州大学)
- 大園真子・高橋浩晃・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)
- 他機関との共同研究の有無 : 有
- 滋賀県立大 : 小泉尚嗣 (化学調査分析)
- 名古屋大学 : 市原寛 (MT 観測)
- 京都大学理学研究科 : 柴田智郎 (化学調査分析)
- 道総研地質研 : 岡大輔 (重力観測)
- 産総研 : 名和一成 (重力観測)、森川徳敏 (化学調査分析)
- 岡山理科大学 : 志藤あずさ (地震学的構造)

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

- 部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

(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2年度の成果の概要：

前年度に続き、湖の表層堆積物中の各種有機物の放射性炭素年代測定、地質調査・トレンチ調査によるテフラ層序の解明、古地磁気方位測定による溶岩噴出年代の決定等により富士山の噴火履歴を精査した。

山中湖の表層堆積物中の各種有機物の放射性炭素年代測定から、富士山の噴火噴出物の年代推定法の検討を行った。その結果、表層堆積物に含まれる植物プランクトン由来の脂肪酸、クロロフィル a 及びその分解産物が表層水中の溶存無機炭素に比べ古い年代を示す一方、表層堆積物中の全有機炭素が表層水中の溶存無機炭素とよく一致する年代を示すことが明らかとなり、リザーバー年代の補正により全有機炭素が堆積物の年代推定に利用可能であることが明らかとなった。このことは、リザーバー年代補正した全有機炭素の放射性炭素年代から推定される約 1500 年前のテフラ (YM-e) が、同時期に噴火した鷹丸尾溶岩の年代と整合的な年代を示すことから支持された。今後、引き続き多点での測定を進めることで、富士山北東麓での噴火履歴の高精度化が可能になるものと期待される。

テフラ層序の報告例が乏しい山中湖南方 (東大演習林) で深度約 7m のトレンチ調査を実施し、過去約 4000 年間のテフラ層が少なくとも 14 枚確認された (写真)。最上部に 1707 年の宝永噴火スコリア層 (Ho)、下部付近に約 3200 年前の砂沢スコリア層 (Zu) が認定できた。この調査により、模式層序として記載されている東麓地域のテフラ層の北麓までの側方への連続性を確認することができた。また、北麓の代表露頭 (KF01) のテフラ各層について形状測定と全岩化学組成分析を実施した。含有礫のアスペクト比、表面凹凸度および真円度においてテフラ層ごとに中央値に差異がみられ、全岩化学組成においても各層が異なる組成範囲をもつことが明らかとなり、こうした分析方法がテフラ層の識別に有効である可能性が示唆された。

富士山麓の古地磁気方位データを蓄積し、ABIC を用いて古地磁気永年変化曲線を作成した (図)。西暦 1100 年以降は西暦 1707 年宝永噴火以外の火山噴出物が見つかっていないため、作成した古地磁気永年変化曲線は紀元前 1000 年から西暦 1100 年までの 2100 年間のものである。

宝永山は隆起によって形成されたと考えられてきたが (Miyaji et al., 2011)、本研究で実施した全岩化学組成分析及び段階熱消磁実験の結果、宝永山を構成する岩石や宝永山山頂に分布する赤岩凝灰角礫岩層は、西暦 1707 年の宝永噴出物と全岩化学組成、古地磁気方位とも一致することが明らかとなり、宝永噴出物の堆積により形成されたことが明らかになった。

(9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 令和 3 年度実施計画の概要 :

次年度も引き続き地質調査、トレンチ調査、年代測定や古地磁気学的アプローチによって精緻な噴火履歴を明らかにしていく。その中で、化合物レベルの C14 年代測定や礫の形状分析による層序識別など、新たな手法の模索も継続して実施する。

(11) 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 富士山火山防災研究センター  
吉本充宏、馬場章、山本真也、亀谷伸子、内山高、本多亮、石峯康浩  
他機関との共同研究の有無 : 有  
東京大学地震研究所 安田敦 准教授

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 山梨県富士山科学研究所  
電話 : 0555-72-6211  
e-mail : [www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp](mailto:www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp)  
URL : <http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/index.html>

(13) 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

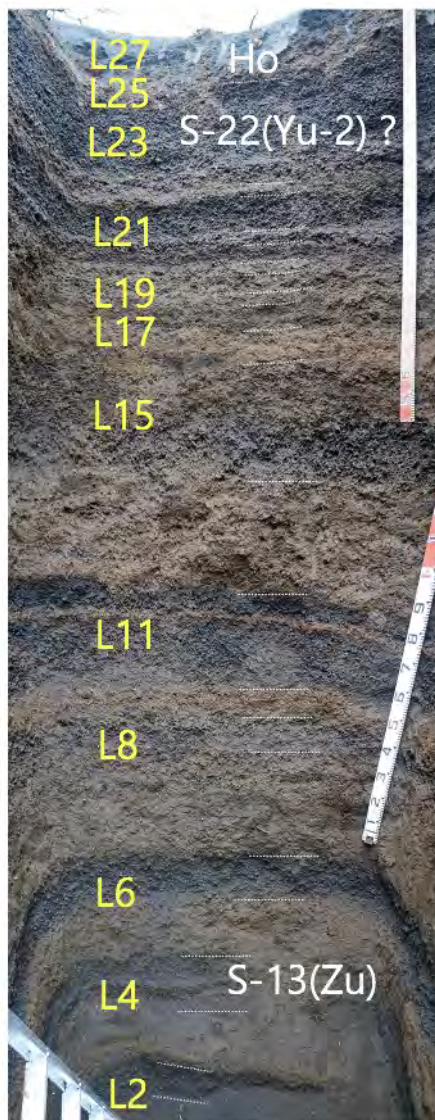
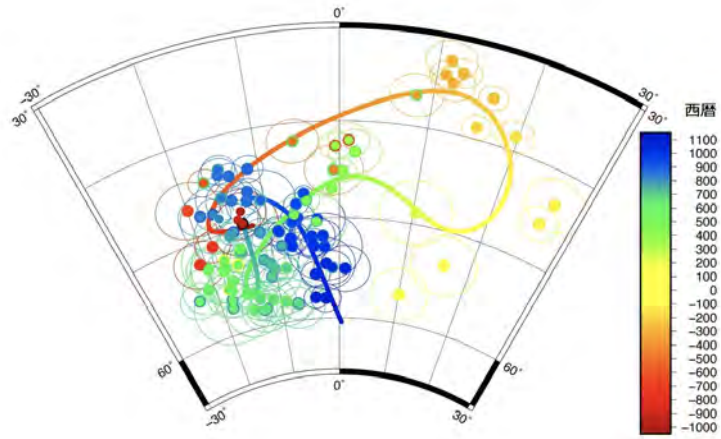


写真: 富士東麓地域で実施したトレンチ調査写真

山中湖南岸付近, 東大演習林内で実施したトレンチ調査の写真. 掘削は重機で行い, 最大7 mの深さまで実施.



図：富士山の古地磁気方位測定結果と古地磁気永年変化曲線

過去1万年に噴火したと推定されている火山噴出物を176地点で採取，分析した111データに基づきABICが最小となるような曲線を描画したもの．

(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 2 年度の成果の概要 :

令和 2 年度は河口湖周辺の水位観測を継続するとともに、富士北麓地域の水理地質構造についてはその概要を取りまとめる作業を行った。成果は内山 ( 2020 ) にまとめられた。

重力観測についてはまず、富士山科学研究所内基準点が国土地理院による 1 等重力点としての運用が開始された。基準点では昨年度から引き続き gPhone 重力計 ( #163 ) による連続観測が行われ、いくつかの降雨イベントの応答を観測している。最終的にはこの基準点における連続観測と同時に山腹の 2 点において連続観測を行う予定であるが、まずは 4 合目での連続観測用の CG3M を防災科学技術研究所より借り受け、傾斜センサーオフセットを調製後、連続観測に適用するための傾斜補正值マッピング ( 図 ) を行うなど各種調整を行なった。現在は gPhone との並行観測を実施している。また、内山 ( 2020 ) にまとめられた水理地質構造を参照し作成した 3 次元水理地質構造モデルを作成したので、今後土壌水分観測データと合わせて G-Water3D ( Kazama and Okubo, 2009 ) による陸水補正を試みる。

5 合目との間に設けた往復観測測線において、今年度は一度の観測を実施するにとどまったが、これまでに繰り返された往復観測の結果から、この測線を活用することである程度の精度での重力モニタリングが可能であることがわかった。表に示すように、同時に計測した複数の重力計による結果は数十  $\mu$  Gal 以内で一致する。一方で、異なる時期の観測結果を比較すると 100  $\mu$  Gal 程度の値の違いを確認でき、観測日直近の降水の影響が示唆される。年度末には研究所基準点での絶対重力測定を予定している。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

内山高, 2020, 富士火山北麓および富士五湖の水文地質構造と水文学的特徴, 地学雑誌, 129, 697-724.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

次年度は引き続き往復観測の実施および陸水補正の取り組みを強化する。また、連続観測データにおいて、理論潮汐補正後のデータに潮汐成分の補正残りが顕著であることから、潮汐パラメータの推定を試みる。また、気象観測装置を設置し、観測データから陸水補正の処理を自動化する。重力観測データについてはこうした補正を施した上で Web 上で確認できるようにし、一部一般への公開も検討する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

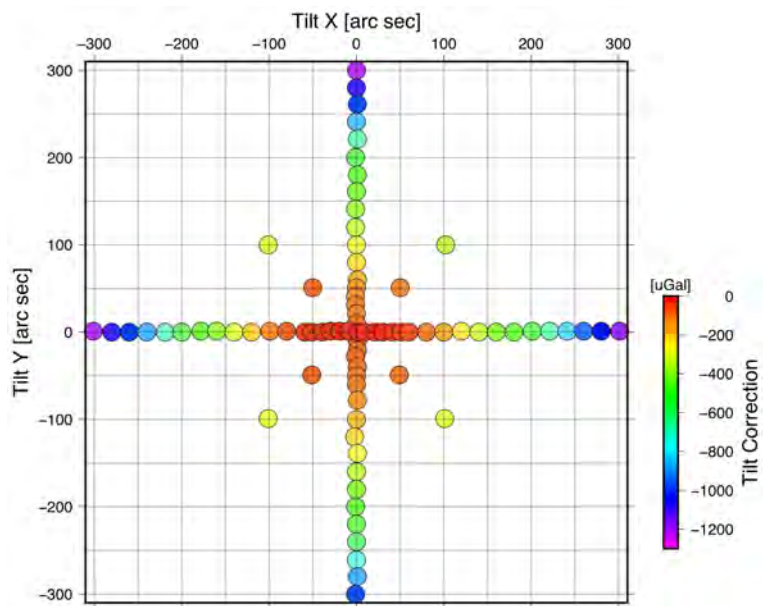
山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター  
他機関との共同研究の有無 : 有  
産業技術総合研究所 : 名和一成 研究グループ長  
東京大学地震研究所 : 今西祐一 准教授

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :  
電話 :  
e-mail :  
URL :

( 13 ) 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



図：CG3M 重力計の傾斜補正マッピング

傾斜を与えて計測を繰り返すことで得た傾斜ごとの補正值の分布．この分布に基づき計測重力値にリアルタイムでの傾斜補正が可能になる．

測定年月日	測定機関	重力計 (S/N)	重力差 ( $\mu$ Gal)
2018/10/9	東京大学	G876	296090
2018/10/9	北海道大学	CG5	296080
2018/10/9	北海道大学	G791	296040
2019/8/4	東京大学	G581	296170
2019/8/4	東京大学	G875	296160

表：往復測定による MFRI 一等重力点と 5 合目重力点の重力差

研究所一等重力点と 5 合目重力点との往復測定によって得られた重力差 (microGal) . 複数の期間により 2 度実施した結果より，一度の観測において機器差は小さく，2 度の測定結果の差は 100 microGal 以上となった．



(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

イ. 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いく中で、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し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。

#### 【31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)

#### 【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）

【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）

【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。

【35年度】

- ・研究内容の総括

（8）令和2年度の成果の概要：

令和2年度（5か年計画では平成32年度と記載）は、令和元年度（同計画では平成31年度と記載）の成果をもとに、課題1）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（目標2、3）、さらに課題2）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（目標4）と、課題3）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）ことを大きな課題とした。

この中で、課題1）は既刊資料となる発掘調査報告書の精査を進め、約1万地点の地震災害痕跡に関わる情報の集成を進めた。しかしこれらの地震災害痕跡の多くは既知のものや、既知の地点周辺から確認され得たものである。特に津波痕跡などを含め、新たな地震痕跡の検出は少ない。この原因は、本年度のコロナ禍によるものが大きいと考える。本来、考古発掘調査は埋蔵文化財の記録と保存が文化財保護法のもと目的と規定され、明確に埋蔵文化財が地震や火山噴火により被災した事実が確認されない限り、災害痕跡などは発掘調査成果として記録されない。このため前5か年計画、本5か年計画においても、現地での調査を通じた担当者とのコミュニケーションが極めて重要であった。しかし本年はこの作業を十分に進めることができず、既刊資料のみでは限られた情報しか得られなかった。来年度に向け、大きく工夫が必要となった。

課題2）は、地震について近畿エリアで、火山噴火について九州エリアで進展があった。近畿エリアにおける地震災害についての調査研究では、奈良盆地東縁断層や生駒断層周辺において、上位段丘あるいは丘陵上の遺跡群で多くの地すべりや地割れによる遺跡の被災、丘陵下や低湿地で液状化による噴砂痕跡や建物群の不等沈下痕跡が、数多く確認された（図1）。これらの多くは9世紀～11世紀、15世紀～16世紀、17世紀～18世紀に集中しており、それぞれ日本三大実録、後二条師通記、中右記、後愚昧記、嘉元記、三綱所日記などに記録される地震であった可能性があり、現在その突合検証作業を進めている（図2）。

またこれらの地震痕跡については、9世紀までに発生した深度5弱以上の地震痕跡も多くみられる。史料そのものの記録が少ない時代のものであり、これについては目標3）に関わる成果といえるだろう。一方、火山噴火災害については、とくに桜島大規模火山噴火総合研究グループとの共同研究が中心に

進んでいる。桜島を中心に、南九州市、鹿児島市、姶良市、霧島市、曾於市、垂水市、志布志市の約4千遺跡について位置と層序の情報をとりまとめ、その中から火山噴火災害を中心に様々な災害痕跡を集成した(図3)。その結果、遺構内に認められる降下火山灰の一次堆積の情報から、これまでに認識されていなかった知見が得られ始めたり、火山噴火に先行する液状化や噴砂といった地震痕跡が見つかったりしている。例えば祇園之洲砲台跡や鹿児島紡績所跡(鹿児島市)など、近世末の遺跡の遺構を被覆する降下火山灰層の事例では、まず火山灰は大正3(1914)年の噴火であることがわかった。火山灰堆積物の調査や降下火山灰シミュレーションから、この火山噴火による被災は、桜島より東側のみに影響したとこれまで考えられていた。しかし当該火山灰は桜島の西側に位置する2つの遺跡から発見された。このような事例の集成は、災害シミュレーションの更新や深化を促進する効果があると考えられる。

各課題の成果の総括として、当初研究課題ではリーフレットを作成し、情報のアウトリーチを進める(課題6)ことを課題とした。しかしこれまで述べたように、目標に掲げた研究は進んでいるものの、アウトリーチに至るまでの十分に網羅的な研究成果は得られていない。そこで本年度での総括を先送りし、研究全体の深化を進めると共に、より多くの情報の集成を進めることとした。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
村田泰輔, 2020, 災害痕跡データベースの構築 - 災害の軽減に向けた考古学の新たな挑戦 -, 佐藤禎一(編)「學士會会報」, 一般社団法人学士会, 942, 57-70. 村田泰輔, 2021, 論説 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, 西藤公司(編)「地域防災」, 一般財団法人日本防火・防災協会, 36, 4-9. 村田泰輔・大澤正吾, 2020, 藤原宮下層運河 SD1901A の検討 - 第198次, 奈良文化財研究所(編)「紀要2020」, 奈良文化財研究所, 92-102. 村田泰輔, 2020, 5 地震痕跡, 桑田訓也ほか, 「平城宮第一次大極殿院東方の調査 - 第612次」, 奈良文化財研究所(編)「紀要2020」, 奈良文化財研究所, 140-143.

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、5か年到達目標として、課題1)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(目標2、3)、課題2)日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像について追跡し(目標5)、それらの成果について課題3)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)という課題を設定していた。また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)ことも課題として掲げている。これに加え、令和2年度で十分に進展しなかった南海トラフ型地震の実像について、東海、四国、九州沿岸の考古災害痕跡データの整理を急ぎ進める。また、とくに火山噴火災害についての実像を把握するため、九州エリアのみならず、関東エリアでの調査研究を進める。

(11) 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)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

(13) 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

電話：0742-30-6848

FAX：0742-30-6849

e-mail：murata-t5j@nich.go.jp

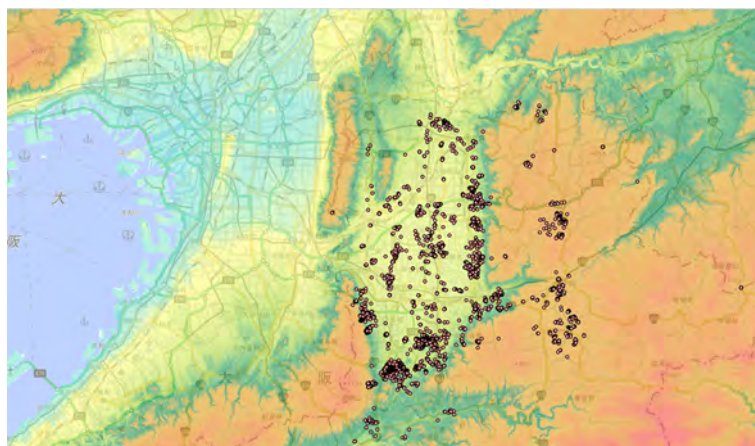


図1 奈良県の遺跡で確認される災害痕跡の分布  
図中の●は災害痕跡の位置を示す。

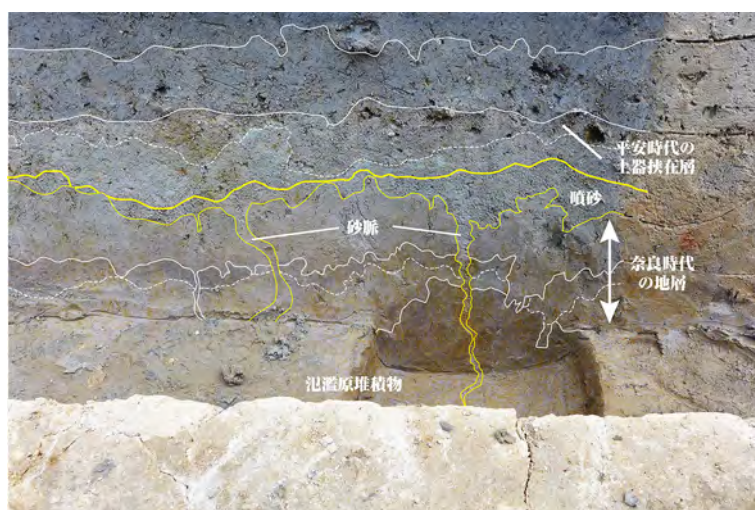


図2 奈良文化財研究所平城第613次発掘調査現場で発見された地震痕跡

### 奈良時代以降から平安時代までの間で歴史記録に残る主な大地震

- 美濃地震(天平17年)【745年】 宇佐美龍夫『日本被害地震総覧』2003、東京大学出版会
- 美濃・飛騨・信濃地震(天平宝字6年)【762年】  
宇佐美龍夫『日本被害地震総覧』2003、東京大学出版会
- 京都地震(天長4年)【827年】 宇佐美龍夫『日本被害地震総覧』2003、東京大学出版会
- 信濃地震(承和8年)【841年】 宇佐美龍夫『日本被害地震総覧』2003、東京大学出版会
- 伊豆地震(承和8年)【841年】 萩原尊禮編『古地震』1982、東京大学出版会
- 奈良地震(斉衡2年)【855年】 『奈良六大寺大観第七巻』1968、岩波書店

表1 発掘調査で検討された史料に記録される古地震



図3 桜島周辺の遺跡と災害痕跡の分布

(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収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収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 2 年度の成果の概要：

令和元年度の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。以下、年代順に成果を述べる。

##### ( 1 ) 『三国一覧合運図』の写本の史料学的検討

年代記『三国一覧合運図』龍谷大学本・東山文庫本、および『大唐日本王代年代記』(愛知学院大学図書館所蔵)を史料学的に検討し、同時代に加筆された記事を抽出した。その結果、東山文庫本・龍谷大学本は少なくとも観応 2 年(1351)以降、『大唐日本王代年代記』は文明 7 年(1475)以降の記事は同時代史料であることを確認した。すなわち、龍谷大学本の康安元年(1361)6月22日～永正 16 年(1516)3月18日の間の 20 件、東山文庫本の康安元年 6 月 22 日～明応 7 年(1498)8月25日の間の 6 件、『大唐日本王代年代記』の明応 2 年(1493)10月晦日～天正 13 年 11 月 29 日(1585 年 1 月 18 日)の間の 4 件の地震記事は信頼できる。

##### ( 2 ) 明応 2 年(1493)10月29日・30日の地震の検討

京都の日記史料『後法興院記』『親長卿記』『御湯殿上日記』、奈良の日記史料『大乘院寺社雑事記』で知られる明応 2 年(1493)10月30日午前 3 時～5 時頃に発生した「大地震」について、東海地方の年代記『大唐日本王代年代記』『常光寺王代記并年代記』の同時代史料として信頼できる地震記事との比較検討を行った。前者は現愛知県知多郡東浦町、後者は現静岡県浜松市で体験した記事である。その結果、a. 明応 2 年 10 月 29 日午後 7～9 時頃に静岡県浜松市を含む地域で大地震、翌 30 日午前 3～5 時頃に愛知県知多郡から京都・奈良を含む地域で大地震が発生したこと、b. 余震は、11 月 3 日までみられる京都・奈良に比べ、静岡県浜松市を含む地域では 11 月 5 日まで毎日、その後 1～2 日おきに 4～5 回、そして 12 月 4 日に大地震が発生し、高頻度で長期間続いたことを確認した。

##### ( 3 ) 文政 11 年(1828)8月シーボルト台風・11月越後三条地震の新出史料の検討

新潟県立文書館所蔵の「文政十一戊子年八月九日九州大風雨御公儀願書御改書上写同十一月十二日大地震越後長岡領潰家死人怪我人」と題された文書(新潟本)について、佐賀県立図書館所蔵の「文政十二己丑二月写九州大風雨流失損亡記?越後大地震之控」(佐賀本)および長岡市村松洞照寺所蔵「覚」との比較により史料学的検討を行った。その結果、新潟本は、魚沼郡横根村(現新潟県魚沼市横根)庄屋とみられる布沢孫次右衛門が記したものであり、シーボルト台風の記事は佐賀本と同じ原本をテキストにするが、三条地震は異なるとし、災害情報の編纂物が村役人層レベルまで広く流布していた可能性を指摘した。

##### ( 4 ) 1847 年善光寺地震の絵図の検討

弘化 4 年(1847)3月の善光寺地震による土石流被害をうけた長野市北部の伺去真光寺村の絵図(長野市公文書館所蔵)、および「信濃国地震大絵図」(真田宝物館所蔵)を中心に分析を行った。その結果、従来土石流被害があったことが知られている浅川原(浅川)とは別に、東方の谷に位置する駒沢



川への土砂崩落があったことを明らかにした．そして，地震発生による土砂崩落が駒沢川をせき止めたことにより土石流を起こし，現長野市街地にまで被害をもたらしたことを想定した．

#### (5) 1854年南海地震による津波被害を描いた絵図の検討

嘉永7年(1854)11月4日の地震津波による現和歌山県由良町の被害状況が記された「津浪之由来」(和歌山県立文書館所蔵)所載の絵図および記事について，由良町役場所蔵の地籍図「集成図」，住宅地図，現地観察などを基に比較分析を行った．その結果，a. 絵図と記事は相互に対照して作成されたものではないこと，b. 絵図の作成者は実際に自らの目で被害を確認して作成した可能性が高いこと，c. 各家の屋根材の違いが記されており建築構造と被害を考える上で重要であること，d. 流れ家被害の地域差は，浸水深の違いといった地形的要因とともに建物構造のもつ社会経済的要因によるものが大きかったと考えられることなどを指摘した．

#### (6) 1855年安政江戸地震の被害の境界についての検討

安政2年(1855)10月2日の江戸地震の被害の境界地域を検討するため，武蔵国多摩郡蔵敷村(東京都東大和市)の名主内野左衛門が記した『里正日誌』所収「安政二卯年十月二日大地震略記」を中心に検討した．地震発生時に横山町二丁目(日本橋)にいた左衛門が，翌日夕刻に帰宅するまでの道程で実見した被害状況の記事を分析した結果，四ツ谷通り下町の割から中野宿(中野区)までのあたりが被害の境界となることを明らかにした．この境界地域は，村岸・矢田(2016)で被害の境界とした甲州道中の代田橋(世田谷区)付近を対応している．

#### (7) 1923年9月1日の関東地震と翌2日の新潟の地震に関する検討

従来未検討の刈羽郡高田村新道(現柏崎市)の神職の日記において大正12年(1923)9月1日・2日の地震の揺れに関する記事を発見した．また，両日の地震報道を確認したところ，新潟測候所所長の佐々木膠蔵は信濃川流域の地震と関連づける発言がみられるが(『新潟新聞』1923年9月2日)，この発言は以前からの新潟測候所の地震観測に基づく議論であり(新潟県新潟測候所・新潟県高田測候所1924)，佐々木が所長に着任した1914年から1917年に至る地震観測と関連することを同時代史料から確認した．地震の近代的観測とその解釈の地域的特質の問題として今後の検証が必要である．

### 2. 考古学および地形・地質の調査

#### (1) 完新世後半の越後平野北東部を事例としたテクトニックな沈降域における河成堆積物の充填様式

越後平野北西部では沖積層の基底標高が-150m以深に及んでいる．その理由として，当地域が地質構造上の凹地にあたり，最終氷期以降も地盤の急速な沈降運動が続いた点が挙げられる．また，当地域の西縁には長岡平野西縁断層帯の一部である角田・弥彦断層が伏在しており，完新世における同断層の活動にともなう平野部の沈降が推定されている．こうした構造運動や断層活動による平野の沈降傾向は，完新世の平野部における土砂の堆積や地形形成に影響を及ぼした可能性が考えられる．そこで，デルタが拡大を始めた完新世後半に焦点を当て，越後平野北西部における河成堆積物の充填様式を明らかにした．地質調査の結果，越後平野北西部が完新世後半においてもテクトニックな沈降域であったことが確認された．沈降を補うかたちで河川堆積物の供給があったことは興味深い事実である．今後，角田・弥彦断層の活動履歴の詳細と河川の堆積環境を解明していく．

#### (2) 縄文三陸地震津波の考古学的研究

縄文時代中期後期(4490-3220 calBP)の津波の研究を実施した．考古学では，岩手県南部5地点から導かれた3800-3650BPイベントおよび宮城県大谷海岸のコアから抽出された3500BPイベントを，相原淳一(2012)が縄文時代後期前葉の堀之内1式~加曾利B1式後半頃にあて，後期遺跡の減少傾向をこの津波の存在と関連付けて理解してきた．一方，近年の高田圭太ほか(2016)の津波堆積物研究では，縄文時代後期の時間幅のなかで3800BP，3500BP，3300BPという複数の巨大津波が発生した可能性が指摘される．そうした動向をふまえて，齋藤・鈴木(2020)は新報告された遺跡と既報告の例を洗い直し，あらためて考古学の立場から津波の発生年代と頻度を提示する．分析の結果，a. 縄文時代後期前葉の崎山弁天1式期と，b. 後期中頃の浜川目沢田式期の直後に海浜集落が衰退しており，三陸海岸ではこの両時期に巨大津波が発生している可能性が高いことを指摘するに至った．東京湾岸の貝塚遺跡でも，このa・bの津波と同じ考古年代に貝塚遺跡が中断・衰退し，また日本海側(新潟)

ではbの時期に液状化を引き起こす大地震が発生している。この2回の津波が発生した頃が、関東地方や日本海側でも大地震・津波の発生する活動期であることは間違いなく、人類活動にも大きなダメージをあたえたことが判明した。

### 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8回歴史地震史料研究会

2020年11月15日に第8回歴史地震史料研究会をオンラインにて開催し、歴史学者9人、考古学者2人、地理学者3人、地震学者1人による歴史地震に関わる研究発表・討議を行った。参加者は発表者を含め36人であった。

#### [引用文献]

相原淳一, 2012, 縄文・弥生時代における超巨大地震津波と社会・文化変動に関する予察 東日本大震災津波の地平から, 東北歴史博物館研究紀要, 13, 1-20

高田圭太ほか, 2016, 岩手県沿岸における津波堆積物の分布とその年代, 活断層・古地震研究報告, 16, 1-52

新潟県新潟測候所, 新潟県高田測候所, 1924, 大正十二年新潟県気象報告

村岸 純・矢田俊文, 1855年安政江戸地震における多摩地域の被害, 2016年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 2016

矢田俊文, 1855年安政江戸地震と1856年安政台風の被害数 武蔵葛西領・武蔵多摩地域・武蔵川崎領, 資料学研究, 15, 2018

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

片桐昭彦, 2020, 災害記録としての『常光寺王代記并年代記』, 災害・復興と資料, 12, 8-19.

片桐昭彦, 2020, 『三国一覧合運図』にみる中世の地震と災害, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 14-16.

北村 繁, 伊藤響平, 弘前城に達する岩城山の山体崩壊堆積物, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 8-10.

齋藤瑞穂, 2020, 特論 1714年信濃小谷地震と姫川の天然ダム, 前近代歴史地震史料研究会編, 歴史学による前近代歴史地震史料集2 近世以前地震家屋倒壊率・死亡者数基礎史料, 新潟大学人文学部, 109-118.

齋藤瑞穂, 2020, 縄文三陸地震津波への接近, 考古学ジャーナル, Vol.738, 50-53.

齋藤瑞穂, 鈴木正博, 2020, 縄文三陸地震津波再々論 縄文時代後期の山田湾津波と復興, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 1-7.

中村 元, 2020, 1961年長岡地震に関する歴史資料と災害状況, 災害・復興と資料, 12, 7-27.

中村 元, 2020, 1923年関東大震災時の新潟県刈羽郡における災害情報について, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 42-44.

原 直史, 2020, 文政11年再論, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 28-30.

原田和彦, 2020, 一八四七年善光寺地震における善光寺町の被害, 災害・復興と資料, 12, 64-72.

原田和彦, 2020, 江戸時代における上越地方の地震活動について 北信濃との関係から, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 24-27.

堀 健彦, 2020, 『震潮記』所載「穴喰浦荒図面」の基礎的考察 1854年南海地震津波被害を考えるために, 災害・復興と資料, 12, 38-48.

堀 健彦, 2020, 1854年南海地震による津波被害絵図について 紀伊国「津波之由来」所載絵図の検討, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 31-32.

矢田俊文, 2020, 俳人岡西惟中と一七〇七年宝永地震における大坂の被害数, 災害・復興と資料, 12, 1-7.

矢田俊文, 2020, 1855年安政江戸地震被害の境界と1856年安政台風による多摩地域の被害, 2020年歴史地震史料研究会講演要旨集, 歴史地震史料研究会, 33-35.

( 10 ) 令和 3 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.

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

片桐昭彦, 北村繁, 清水香, 中村元, 原直史, 堀健彦, 矢田俊文

他機関との共同研究の有無 : 有

九州大学埋蔵文化財調査室, 齋藤瑞穂, 駒澤大学文学部, 小野映介, 長野市立博物館, 原田和彦

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 新潟大学災害・復興科学研究所

電話 : 025 - 262-6289

e-mail : katagiri@human.niigata-u.ac.jp

URL :

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

令和3年度(2年目)においては、令和2年度(初年度)に実施した地震・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)」における要素の洗い出しの実施を基にして、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」を主題に座学部分の研修プログラムを試行的に作成した。1)研修項目ごとに学習目標を検討、2)地震研究者による研修スライドの作成ならびに指導上の留意点を作成、3)育成フレームにおける知識を評価するために確認テストの作成、を実施した。併せて育成のための研修方法の検討を行った。Web環境を活用した1)オンライン研修、2)オンデマンド研修、3)リアルタイム研修、ハイブリッド型研修の構成要素1)座学、2)動画、3)演習、等の組み合わせによる、自治体職員に対する業務手順に沿った研修プログラムにおいて、これらの方法を検討した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度は、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。具体的には、令和2年度に試行的に策定した研修プログラムを活用し、育成対象者からのフィードバックを得る。災害・防災対策担当者に対し、研修プログラムを体験することで、業務において、研修プログラムで得た知識に基づき、獲得可能な「態度」「能力」「貢献」を明らかにする。それらをプログラムの評価とし、必要に応じて、修正・改訂を加える。また、研修プログラム全体を整備し、実装に向けた準備を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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)教授 田村圭子  
他機関との共同研究の有無：有  
東京大学地震研究所 教授 加藤尚之  
東京大学地震研究所 教授 森田裕一  
兵庫県立大学環境人間学部 教授 木村玲欧  
富山大学都市デザイン学部 准教授 井ノ口 宗成

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：

(13) 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)

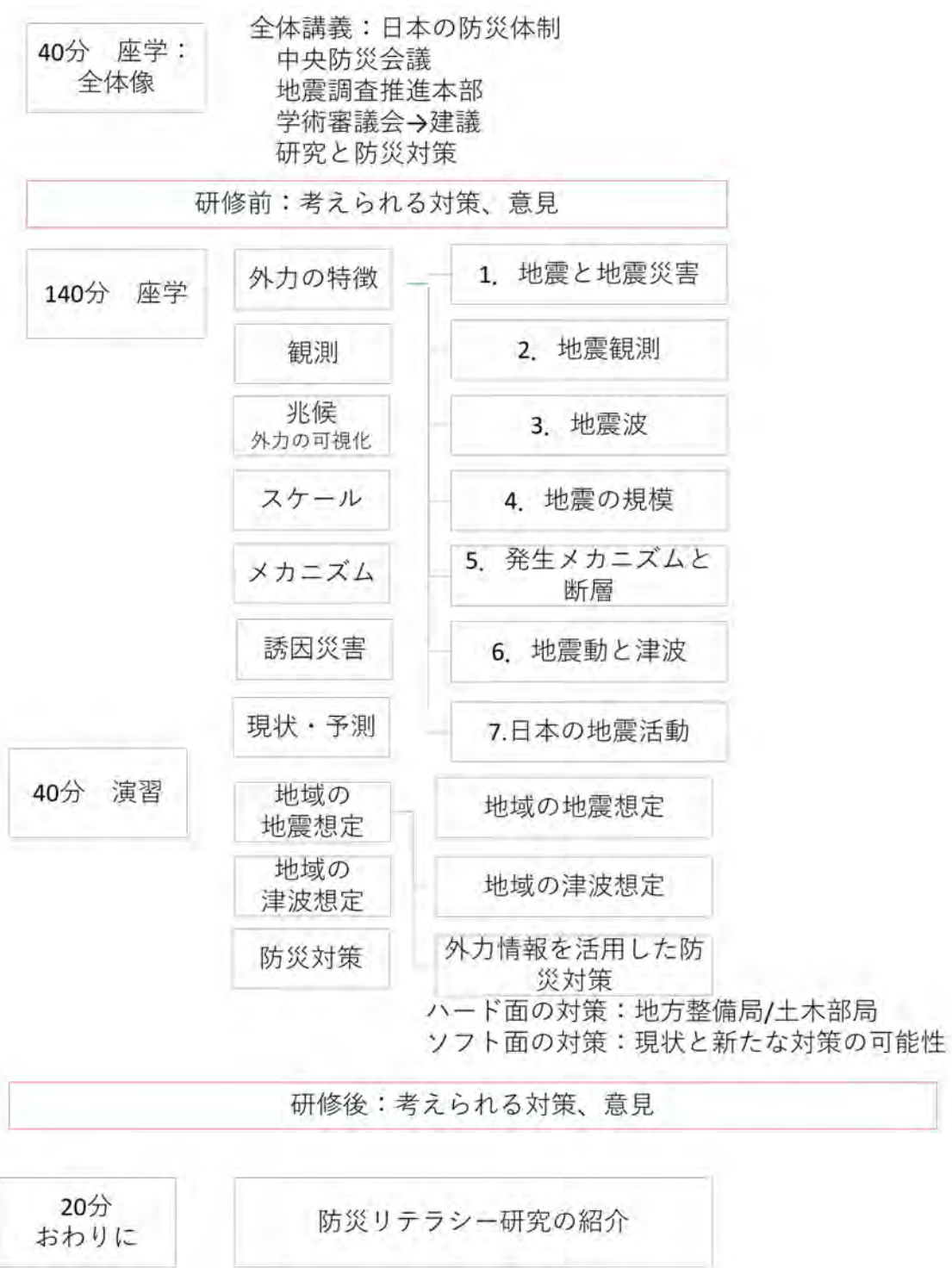


図 1. 育成プログラムのプロトタイプの検討（地震）

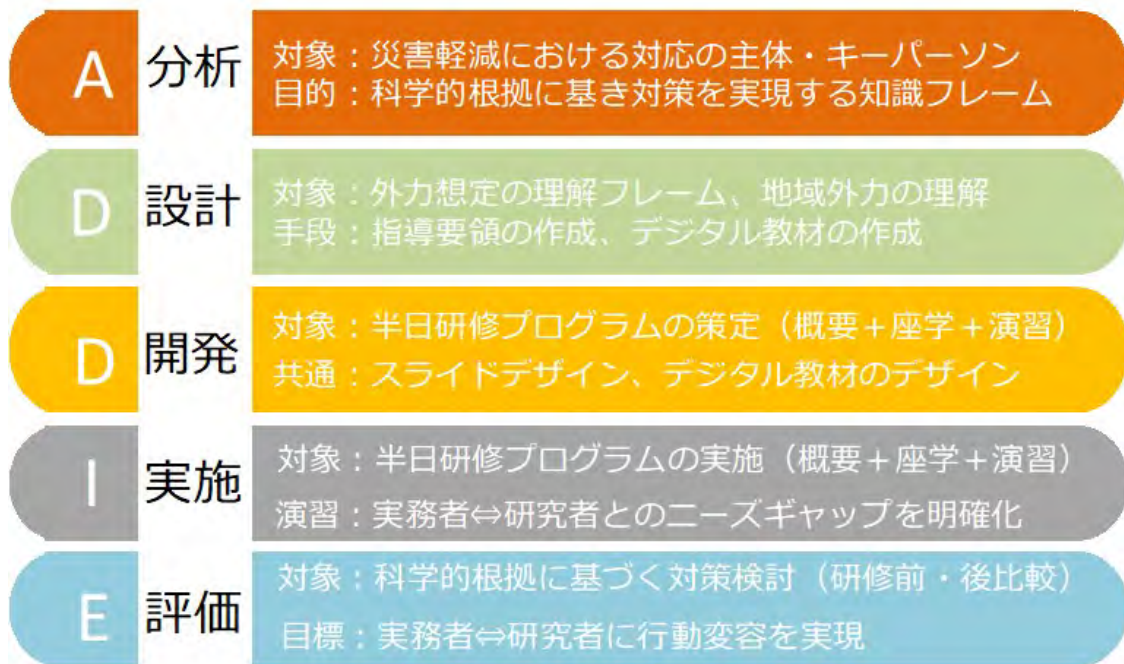


図 2. インストラクショナルデザインの ADDIE モデルにおける育成フレームの同定

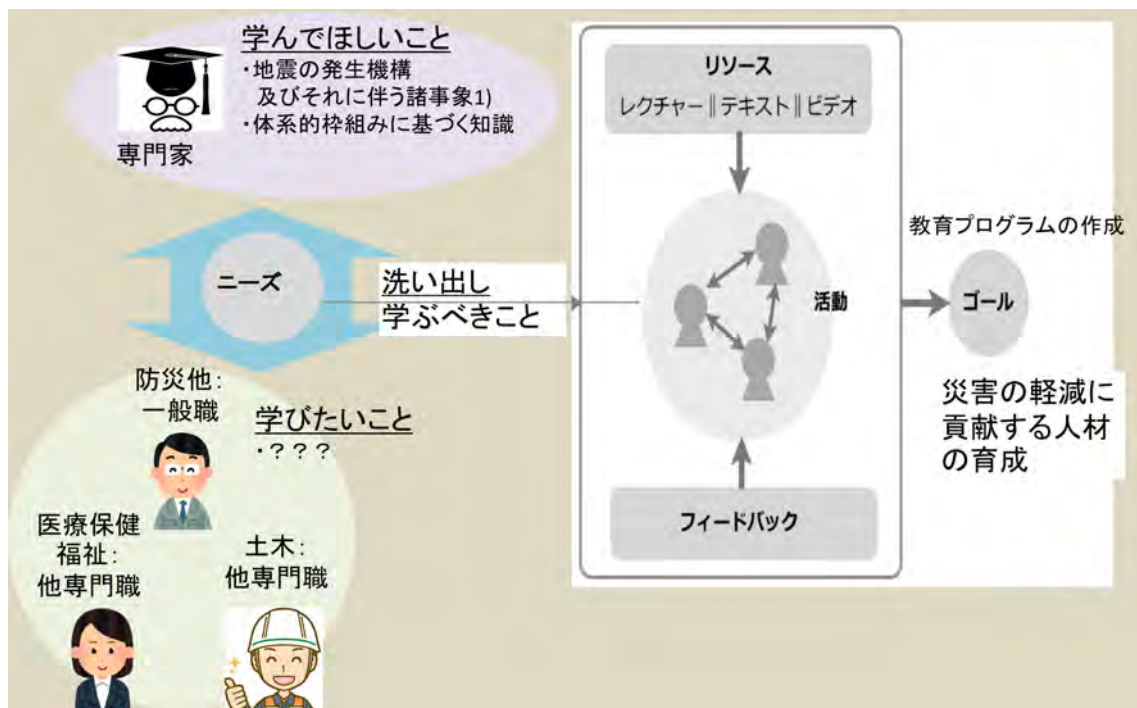


図 3. 研修案のデザインフレーム

## COMPETENCY

科学的に現象を説明する  
科学的な問いを評価/策定する  
データと証拠を科学的に解釈する



## ATTITUDE

科学への興味を持つ  
科学的見地から問いに答える  
環境への意識を持つ

## KNOWLEDGE

科学的に取得すべき知識内容  
手続き的知識  
認識論的知識

## CONTRIBUTION

社会に参画する  
社会的課題の解決を目指す  
国内外への発信

図 4. 育成したい人材の特性



(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、これらを使いこなす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併せて検討する。

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2年度の成果の概要：

- ・宇佐美龍夫氏がこれまで収集し整理してきた史料に載っていたすべての地震を1行1地震として整理した日本歴史地震総表2020が完成した。全部で24361地震で、それぞれ有感だった地名も併せて載せられている。そこで今年度はこれらを検索できるシステムを構築した。ユーザーのニーズを考えると、年月日からの検索だけでなく有感地域での検索も必要だろうと考えたが、日本歴史地震総表に載っている地名も史料の年代によっても異なり、ユーザーが入力するのはたやすくはない。そこですべての有感地点名が何県に存在するのかの対応表を作り、現在の県名から検索できる様にした。検索

サイトは以下のとおり。

<http://www.evr.seis.nagoya-u.ac.jp/sohyo/>

・昨年度末に見つかった大沢家文書については翻刻が進んでいる。新しい史料収集についてはコロナの関係で出張ができなかったため行えなかった。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
山中佳子・宇佐美龍夫, 2020, 歴史地震総表のWEB検索システムの構築, 日本地震学会秋季大会予稿集, S10P-01.

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

・検索システムについては各地の収集状況(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。また現検索システムについてもDBの更新などを行う。

・出張が可能になれば史料収集を続ける。

・歴史地震史料の可視化については、三重県、高知県、愛知県などの入力を追加し、活用方法を考えつつ表現方法について改良を行っていく。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中佳子, 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, 都築充雄, 倉田和己, 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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：

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クラスの海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と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2年度の成果の概要 :

沖縄本島-宮古島間での海底地殻変動観測

本年度は、当該海域の2ヶ所で海底地殻変動観測を行う予定であったが、昨年度に故障が発覚した船舶の装備の修理が間に合わず、観測を行うことができなかった。沖縄本島南東沖の1観測点では、2011年から実施している海底地殻変動観測を別経費にて継続して行った。観測日は2020年6月24-26日で、沖縄県水産海洋技術センターの調査船「函南丸」を使用させていただいた。

今年度までの計9回の観測データを合わせて解析したところ、沖縄本島( 沖縄ブロック )に対して北方向に $17.0 \pm 0.95\text{mm/yr}$ 、西方向に $4.7 \pm 0.96\text{mm/yr}$ の変位速度が得られた。沖縄本島との間の短縮は約 $21\text{mm/yr}$ であり、この結果は、海溝付近のプレート間固着を示唆している。

波照間島沖での海底地殻変動観測

波照間島沖での1観測点において、2020年9月8-9日に海底地殻変動観測を実施した。この観測点は揚子江プレートに対して南に $64.2 \pm 11.2\text{mm/yr}$ 、東に $25.8 \pm 9.8\text{mm/yr}$ で動いており、すなわち、約 $7\text{cm/yr}$ の伸張があることが分かった。この伸張の大きさは、西表島、波照間島と同程度かそれ以上である。また、約 $25\text{mm/yr}$ の非常に速い沈降も併せて観測され、これらの結果は高速の海溝後退による前弧プリズムの薄化を示していると考えられる。本研究では海溝軸付近での固着状態は不明であり、ごく浅い未固結のウェッジ部分だけが固着して津波地震のようなイベントを引き起こすことは否定できない。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

沖縄本島-宮古島間の1ヶ所と波照間島沖の1ヶ所でそれぞれ海底地殻変動観測を実施する。また、別経費で実施している沖縄本島南東沖の1ヶ所でも海底地殻変動観測を継続して実施する。波照間島沖および沖縄本島南東沖の観測点では、変位速度の各成分が約 $1\text{cm/yr}$ の精度で観測されているものの、

個々の座標値にはばらつきが大きいものもあるため，より多くの観測データ（エポック）をもとに変位速度検出のさらなる精度向上を図る．

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一

他機関との共同研究の有無：有

琉球大学（中村 衛）・静岡大学（生田領野）

（12）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

（13）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

(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り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2年度の成果の概要：

令和2年度は、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することを予定していた。新型コロナウイルス感染拡大の影響で、熊本における集中的な調査の実施に支障が生じたためやや規模を縮小するとともに、糸魚川静岡構造線活断層系における調査も実施して活動地域の分散を図り、市街地から離れた山間地域における変動地形調査及びトレンチ掘削調査を実施した。

2016年熊本地震に関連して、御船町高木におけるトレンチ掘削調査を2020年2月から開始した。ここでは既存研究により当該断層帯で唯一、千数百年前の活動が認定され、かつての活断層評価において重要な情報を提示していたため、今回の地震断層の知見も加えて活動履歴評価を再確認すること



を目的とした。この地点は東側低下の断層崖が発達している。2016年熊本地震では垂直変位をほとんど伴わない純粋な右横ずれ変位の地表地震断層が生じた。掘削調査の結果、2016年熊本地震を含めて少なくとも3回の断層運動があったことを明らかにした。このうち、2016年熊本地震の一つ前の活動時期は2,251-1,561 calBPである。壁面の地層の変形構造に基づくと、この活動が右横ずれ変位が主体であると考えられることや、本調査地点の活動時期と、既往研究で明らかとなった布田川断層帯の活動時期が重なることから、本調査地点を含めて布田川断層帯が活動した可能性が高い。また、2016年熊本地震の二つ前の活動時期は3,977-2,768 calBPである。壁面の地層の変形構造に基づくと、この活動は東側が低下する変位が主体であり、日奈久断層帯と連動した活動の可能性もある。したがって、本調査地点は布田川断層帯と日奈久断層帯の活動セグメントが重複する地点である可能性が考えられた

糸魚川静岡構造線活断層系においては、変動地形調査として、糸魚川 - 静岡構造線活断層系南部周辺を計測した国土地理院の航空レーザ測量データ (LiDAR) を用いて1 m メッシュの高解像度な数値標高モデルを作成し、これを立体視可能な画像とし、変動地形の詳細な再判読を行った。1970年代撮影の国土地理院の空中写真を併用して判読するとともに、地表踏査を行った。その結果、南アルプスの山麓において、植生に覆われてこれでは確認されていなかった微小な変位地形が明らかになり、詳細な活断層の分布が明らかとなった。

上記の変動地形調査により明らかとなった尾白川右岸の白州断層を対象に、2020年12月にトレンチ掘削調査と地形計測を実施した。トレンチ壁面には、砂層と古土壌の互層を切る西傾斜の低角な逆断層が出現し、地層の変位量から最近2回の断層運動が確認された。トレンチ壁面に現れた古土壌を変位基準とすると、断層面に沿った変位量は最新活動で約10 cm、1回前の活動で約60 cmと大きく異なるが、上下変位量はいずれも約40 cmであった。トレンチの掘削は、沖積扇状地の撓曲崖の先端部を横切って行われ、壁面に現れた地層の変形は幅20 mの幅の広い撓曲崖の変形の一部であり、変位量について撓曲崖の地形地質とあわせて検討した。トレンチ壁面に現れた地層の変形と、幅の広い撓曲崖とが調和的なことから、最新活動による断層変位が撓曲崖を形成したと解釈された。したがって、最新活動に伴う上下変位量は、沖積扇状地に見られる撓曲崖の上下変位量である1.2~1.4 mと考えられる。一方、1回前の活動に伴う地層に撓曲変形が認められないことから、1回前の上下変位は断層付近でのみ生じたと考えられ、その量は約40 cmと推定される。すなわち、最新活動の上下変位量は、1回前のイベントの上下変位量より2倍以上大きい可能性がある。イベント毎の上下変位量の違いは、それぞれの活動が異なる区間で発生した可能性を示唆しており、最新活動ではより長い区間で変位が生じた可能性が指摘できる。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・細矢卓志・竹内 峻・佐藤拓実・住谷侑也・西口颯真，2020，布田川断層帯と日奈久断層帯の境界部の活動履歴 - 熊本県御船町高木における2016年地震断層のトレンチ調査 - ，日本活断層学会2020年度秋季学術大会

- (10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3年度においては、令和2年度の成果をもとに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。2016年熊本地震では、布田川断層帯と日奈久断層帯との活動履歴を、放射性炭素年代測定を追加したりすることでより絞り込み、日奈久断層帯との活動セグメントとの関連性を議論する。

2014年長野県北部の地震については、写真測量をもとにした変位量測量とトレンチ調査を実施し、一回り小さな地震を含めた活断層の挙動を精緻化するために、過去の各々の地震でどの断層が活動したのか、どの程度の変位があったのかについて、地表変形に影響を与える浅部の断層形状をふまえて議論する。

同時に同じ糸魚川線の南部周辺における令和2年度の調査を継続し、活動度や活動時期から断層帯の活動の多様性を明らかにするための戦略的調査を実施する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鈴木康弘

他機関との共同研究の有無 : 有

東大地震研 ( 石山達也 ) ・ 法政大学 ( 杉戸信彦 ) ・ 広島大学 ( 後藤秀昭 ・ 熊原康博 ・ 中田 高 ) ・ 中央大学 ( 金田平太郎 ) ・ 岡山大学 ( 松多信尚 ) ・ 信州大学 ( 廣内大助 ) ・ 都立大 ( 石村大輔 ) ・ 岩手大学 ( 岡田真介 ) ・ 山口大学 ( 楮原京子 ) ・ 東洋大学 ( 渡辺満久 ) ・ 国立鶴岡工業高等専門学校 ( 澤 祥 ) 等

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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

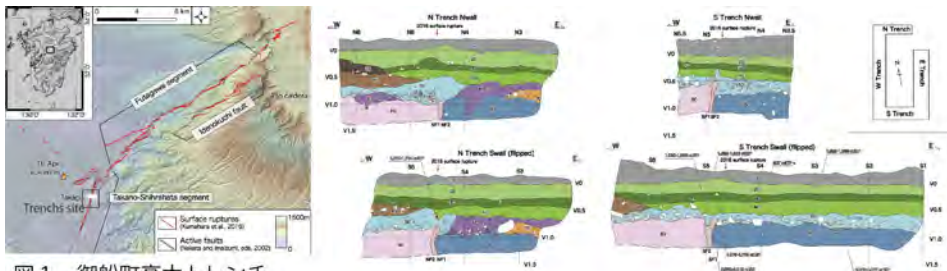


図1 御船町高木トレンチ

熊本地震時に垂直変位を伴わない純粋な右横ずれの地表地震断層が出現した一方で、東落ちの断層崖が発達することから、高野—白旗区間北部は二つの断層帯の活動に影響された複雑な活動史を有する可能性があった

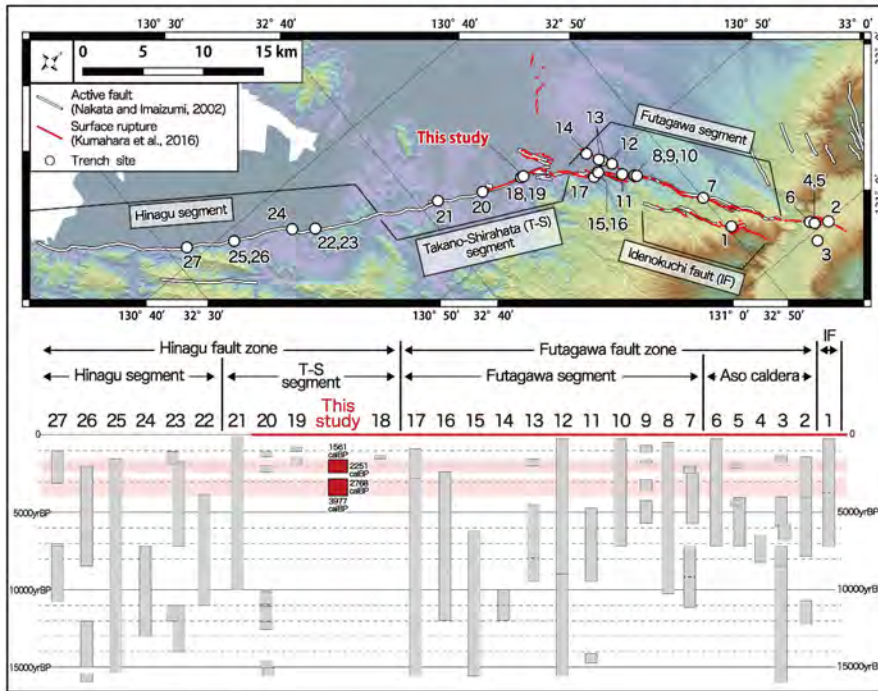


図2 布田川・日奈久両断層帯との連動性（予察）

イベント2は布田川断層の活動、イベント3は日奈久断層の活動の可能性がある

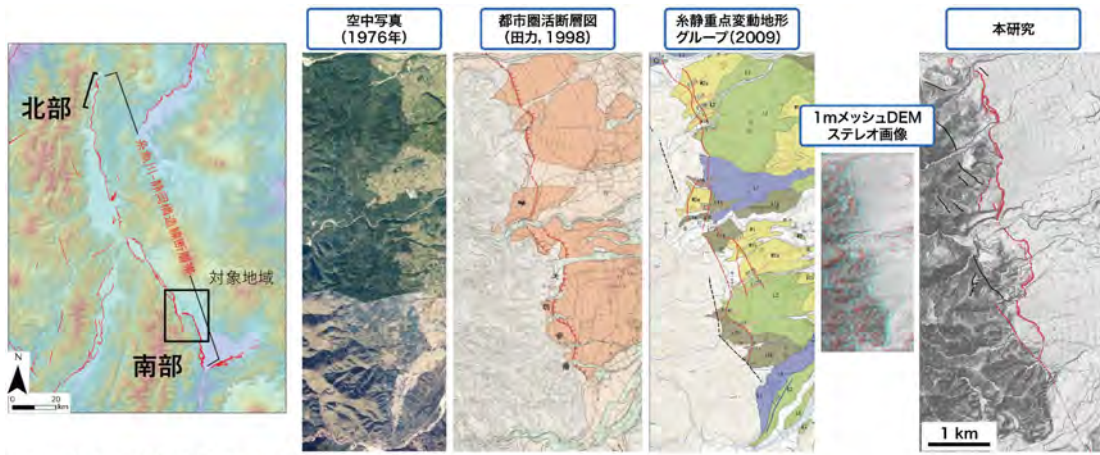


図3 糸魚川静岡構造線活断層系南部 白州付近の変動地形  
 1 mDEM を用いた地形判読の結果、植生のため明確でなかった微小な変位地形が明らかになった。

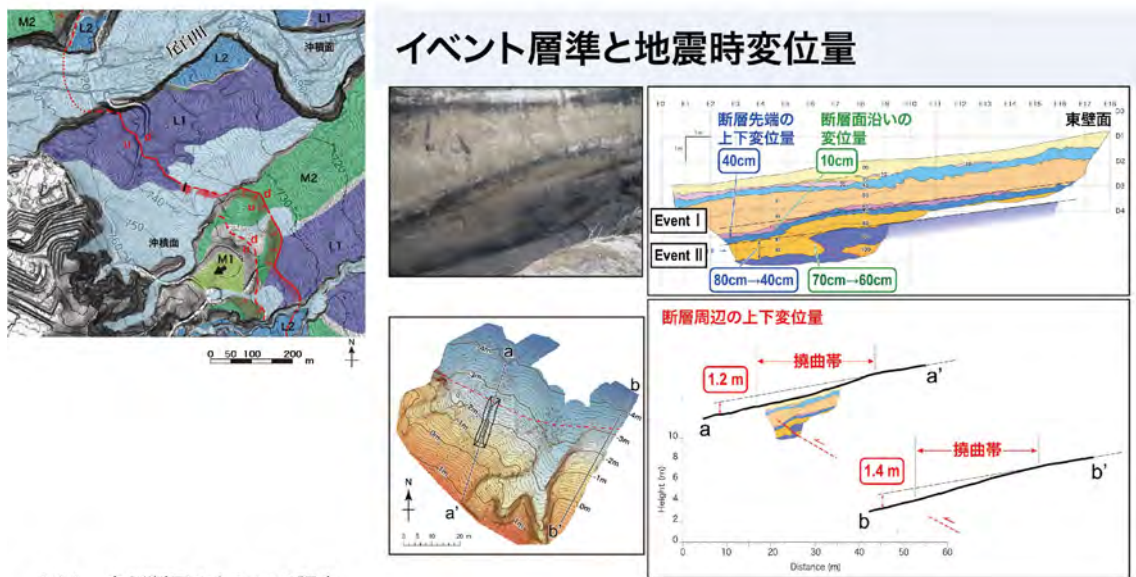


図4 白州断層のトレンチ調査  
 確認された変位地形上でのトレンチ調査で逆断層が認められ、2回の地震イベント読み取れた。  
 その変位量は2倍以上の違いが認められ、地震の規模が違う可能性の検討を行う必要がある。

(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カ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カ所において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つつ、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カ所で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カ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2年度の成果の概要：

1) 変動地形学的アプローチ

昨年度実施した榎野崎海丘－銭洲海嶺間での海底地形調査の詳細解析を行った。海底地形調査を実施した範囲は42 × 20.5kmであり、3.3km間隔で6本の測線を設定し、約15mに1点のデータを得られる設計とした。詳細解析の結果、榎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の低断層崖を確認した。榎野崎海丘南東縁基部には既に活断層が確認されているが、その活断層は北東へと連続し、銭洲海嶺南東縁基部の活断層と一連、もしくは近接して分布する可能性が示唆された。浅層地層調査の詳細解析は実施中であり、この結果もふまえて活断層分布についてさらに検討する計画である。

## 2) 測地学的アプローチ

南海トラフ軸近傍のトラフ軸を挟む3カ所で2021年2月3～5日に海底地殻変動観測を実施した。観測時間は各6～14時間程度であった。観測結果については現在解析中である。

銭洲岩礁でキャンペーンGNSS観測については、拠点となる神津島に渡航できなかったため未実施である。

## 3) 弾性波動学的アプローチ

ノイズ変化に影響されないアクロス信号の振幅時間変化の評価方法の開発を行い、この手法を野島断層近傍におけるACROSSの観測に適用した。その結果、2000年鳥取県西部地震と2001年芸予地震の際に振幅が小さくなったことが明らかになった。これらの地震時には地盤の地震波速度が減少し、さらにS波の速度変化に異方性があることが明らかになっている [ Ikuta et al., 2002 ]。今年度の解析でS波の振幅変化にも異方性があり、鳥取県西部地震ではS波の速度減少がより大きな方向の振幅がより減少していたことが分かった。これらの現象は、震動によってクラックが開き、地盤の減衰が増大したことで統一的に説明できる。今年度の成果により、アクロス信号の振幅を用いて地震時の地盤による減衰や異方性の変化のモニタリングが可能になった。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

### 1) 変動地形学的アプローチ

銭洲海嶺西端や志摩海脚での海底地形・浅層地層調査を実施する。特に銭洲海嶺西端での調査では、今年度明らかになった北東方向に延びる活断層との関係や伊豆マイクロプレートの南側境界との関係を明らかにする計画である。調査航海は2日間程度を予定しており、昨年度実施した仕様と同じく、約15mに1点のデータを得られる設計とする予定である。

### 2) 測地学的アプローチ

今年度実施できなかった銭洲岩礁でのGNSSキャンペーン観測を行う。2日間にわたってそれぞれ数時間程度のデータ取得を行う予定である。

陸上GNSSの連続観測を継続して行う。

### 3) 弾性波動学的アプローチ

アクロスの連続運転を継続して行うとともに、今年度開発した信号振幅の評価手法を東海地域でのアクロスにも適用する予定である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一・伊藤武男・山岡耕春・渡辺俊樹・國友孝洋・鈴木康弘

他機関との共同研究の有無：有

高知大学(田部井隆雄)・静岡大学(生田領野)・法政大学(杉戸信彦)・岡山大学(松多信尚)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail :

URL :

( 13 ) 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



(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、変位量の空間的变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 2 年度の成果の概要 :

今年度は、昨年度からの継続作業として、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および感度解析を実施した。ただし、新型コロナウイルスに伴う移動制限の影響で、特に地表地震断層の形態的特徴を精査するための野外調査は次年度に持ち越す判断とした。そのため、今年度の主な実施項目は以下の3点となる。(1) 野外調査による詳細な地表地震断層とその周囲 100 ~ 200m の建物被害率の高いエリアの被害要因の検討のために、強震動計算のための断層モデルの断層面分解能を、地震本部など従来の計算での約 2km から約 100m へ変更するためのツールの開発と断層モデル作成 [ 熊本地震の強震動計算手法の高度化 ]; (2) 強震動計算において重要となる地盤構造モデルの精査作業の継続 [ 地盤構造モデルの改良 ]; (3) 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など建築構造情報を考慮したデータベース作成・更新の継続作業 [ 建物被害分析 ]; (4) 上記 (1)(2)(3) の分析と地震動記録を再検討による全壊家屋分布を説明できる新たな強震動計算のための断層モデルの検討の開始 [ 新たな強震動計算手法の検討 ] 。

(1):熊本地震の強震動計算手法の高度化については、次の検討を行った。まず、熊本地震の発生直後から行っている野外調査による詳細な地表地震断層とその周囲 100 ~ 200m の建物被害率の高いエリアの被害要因の検討にもとづいて、建物被害には地表および地下浅部での断層運動(ずれ・変位)も影響している可能性があるとの仮説をたてた。しかし、地震本部による震源断層モデルの考え方では、地表から地震発生層の最下部にいたる活断層全体の中で、地表付近の数 km に及ぶ堆積岩層においては応力降下がほとんど発生しないとされている。そのため、震源断層のモデル化(特性化震源モデル)においては、地震発生時に強震動を生成する領域として微小地震発生層の上面の深さの地表下およそ 2km を、便宜的に震源断層モデルの上端の深さとしたモデル断層面の設定法が示されている。このモデル断層面と地表で観察された地表地震断層の間にも変位をもつ断層面を設定するために、詳細な地表地震断層分布から地下浅部へ任意の間隔で 3 次元点群化モデルを生成する R 言語のプログラムを開発した。その際には、地表地震断層とインバージョン手法で求められた地下の震源断層モデルの点群の接合・収斂について、地震・強震動分野の研究者と変動地形分野の研究者で議論を重ねて、次の 2 つのモデル (a)(b) を提案した:(a) 約 100m 間隔で設定される地表の地震断層の点群から指定された地下の震源断層の矩形面上端の辺まで連続させるように収斂,(b) 約 100m 間隔で設定される地表の地震断層の点群から地震発生層上面までの断層面の傾斜角度は、主に変動地形学的手法により推定された

値を付与し、地下の震源断層の矩形面上端の辺とは不連続を許容。

このとき、モデル (a) においては地震発生層上面までの断層面の傾斜の向きや角度は、その後の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が多い、一方、モデル (b) では、震源断層全体で見れば地震発生層上面で距離 2km 程度の断裂が生じることとなり、その妥当性を担保する地震学的なデータは存在しない。しかし、本研究では、これら地震学と変動地形学の両手法でのデータや解釈の相違によるモデルの差異が、強震動の計算にどれほどの影響するものを定量的に示すことも目的のひとつであると認識して、差分法による計算をすすめることとした。これ以外の強震動の計算に必要となるすべり量、すべり角、破壊伝播、地下浅部のすべり速度関数の選択については (ア) 熊本地震での地震動や地表変位の再現を目指す立場に加え (イ) 地震本部の特性化震源モデルの高度化を目的とした予測的立場の両面を、試算結果を比較・検討しながら相互の議論として作業を継続している。

(イ) については、布田川断層帯の強震動予測のための特性化震源モデルに対して、地表断層形状を事前情報として高解像度で取り入れた場合の予測地震動計算を行い、断層近傍の永久変位量分布や局所的な強い地震動が断層形状を反映した空間分布となり、従来の矩形断層による予測地震動分布とは顕著に異なることを示した。前述のように断層浅部のすべり量やすべり速度関数、断層面全体の巨視的形状・大きさ、地震規模の設定方法など、活断層研究から得られる情報を整理し、活断層の強震動評価手法として他地域で活用できる形を目指す。

(2):地盤構造モデルの改良については、熊本地震で地表地震断層が出現した益城町および阿蘇を中心とした地域において、強震動評価用の従来よりも高精度・高分解能な地盤モデル構築のために、昨年度に引き続いてボーリングデータの収集と整理を実施した。そのデータベースと、さらに微動アレイ観測の結果を参照しながら、対象地域での S 波速度構造の解析を実施した。収集したこれらのデータに基づき、50 m メッシュ単位の詳細な浅部・深部統合地盤モデルを構築し、従来モデルとの相違点をまとめながら熊本地震において観察された建物被害分布への影響の程度を定量的に議論するべく、上記課題 (1) の強震動の計算に組み込む作業を継続している。

(3):建物被害分布については、すでに昨年度に、地表地震断層が出現した益城町市街地において、詳細な地表地震の性状と建物被害との関係を明らかにする中で、「?地震断層から 120m 以内の範囲に全壊家屋の総数の 94% が集中すること、?被害率については近傍 120m の範囲内において断層からの離隔距離と被害率には負の相関があること、?建築年代を昭和 50 年以前と以後に分けて分析すると、新旧に寄らず?の関係が成立すること」を紹介した。

今年度は、同様の検討を、熊本地震の地表地震断層が出現した上記益城町市街地以外の範囲において作業を進めた。ここでは、建物登記簿調査データを用いた航空写真判読の建築年代の修正と、木造建物の建築年代別の建物被害と地表地震断層との関係の分析を建物の傾動と倒壊に分けて詳細に再判別を行った。その結果、木造建物では、旧耐震 (1980 年以前)、新耐震 (1981 年 ~ 1999 年)、新耐震 (2000 年以降) のいずれにおいても、地表地震断層から 100m 以内において急激に倒壊率が増加する傾向があるとの結果を得た。

(4):新たな強震動計算手法の検討については、まず、変動地形学的手法で取得されるデータ、あるいは、同手法により推定される巨視的震源パラメータを、熊本地震を発生させた布田川・日奈久断層帯の布田川区間の事前の長期評価結果などを参照しながら議論した。特に「レシピ」に基づく評価で地震モーメントや地震動が過小となったことについて、地震の規模の推定に重要な断層長さについて、変動地形学的手法により明らかとされる活断層の長さ、地震時に出現・観測された地表地震断層長さ、さらに、インバージョン解析など地震学的手法により推定された震源断層長さの相違の検討と、観測された地震規模の予測可能性を議論した。ここでは、阿蘇火山近傍という地形や表層地質の特異な堆積・侵食環境下での変動地形の残存性と変動地形の認定の限界を念頭に、経験式とその説明変数の選択や、活断層や震源断層の長さや地震規模の経験式の中でのばらつきの取り扱いについて、両分野のデータの精度なども俎上にあげた議論を継続した。

次に、地表変状と被害の関係について、益城町市街地や、そのほか昨年度の清正公道沿いのトレン

予調査にもとづく清正公道断層（仮称）の断層浅部のずれの極近傍での強震動生成などの検討結果をもとに、断層の浅部・末端部における破壊伝播速度の変化、特に速度の減少が局地的な強震動の生成に寄与しているのではないかとの仮説をたてた。このことを定量的に議論するために、はじめは単純な矩形面上で破壊伝播速度の変化の影響分析を行うこととした。その結果を見ながら、熊本地震の地表地震断層の分布と、上記課題(2)の地盤構造モデルの改良の成果を取り入れた詳細な検討のためのモデル化を今後議論することとした。

また、予測としての特性化震源モデルの巨視的パラメータの設定において、断層長さの次に確度の高いパラメータは、微小地震の観測データに基づく断層幅であるのか、それとも、変動地形学的手法で得られるすべり量とその断層に沿う分布であるのかを議論し、巨視的パラメータの不確かさを断層幅に転嫁する新たな手法について検討を行った。

さらに、これら以外に、2016年熊本地震で観測された地表地震断層近傍の特徴的な地震動や建物被害の生成要因解明のための断層ごく近傍での地震動の数値計算について、従来の運動学的断層モデルとは異なるアプローチの可能性について、計算手法そのものの議論と、それに必要な事前の観測データの取得可能性について、議論を開始した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Iwaki, A., N. Morikawa, H. Fujiwara, T. Kumamoto, Y. Okuma, and H. Kimura, 2020, Simulation of near-fault ground motion for the 2016 Kumamoto earthquake (Mj7.3) considering the surface rupture geometry, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SSS04-14, online.

岩城麻子・森川信之・前田宜浩・藤原広行, 2020, 強震動予測レシピによる2016年熊本地震(Mj7.3)の強震動シミュレーション, 日本地震工学会2020年大会, T2020-81, online.

(10) 令和3年度実施計画の概要：

令和3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、当初計画に従い、熊本地震を事例とした強震動分布を説明できる計算モデルを確立することを目指す。具体的には、次の4項目の検討をすすめる。

? 熊本地震の地震断層近傍の全域について、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による強震動計算の実施

? 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考慮した断層モデル構築の提案。

? 断層近傍における強震動分布の詳細な地域差を表現できる断層モデル、浅部・深部統合地盤モデルの高度化、および、強震動計算方法の検討、強震動予測手法の高度化の提案

? 上記の新たな震源断層モデルや強震動予測手法の妥当性の検討について、強震観測記録だけでなく建物の被害分布データの利用、また、InSARやLiDARなど観測された地表のより広域な変形に関するデータを用いた議論。

こうした検討により、断層ごく近傍域での強震動予測精度の向上を目指して、地表と地下の変位量分布、および、破壊伝播をシームレスに統合するモデルの作成を行う。そこでは今後の議論のために、断層面の3次元的な形状を表現できる断層モデル作成のツールの開発と提供も目指し、断層浅部での変位や滑り速度時間関数の検討を簡便な設定で実施可能となるようにする。こうしたツールも用いた総合的なシミュレーション手法により、熊本地震の全壊家屋分布を説明できる強震動計算モデルの構築を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

名古屋大学（鈴木康弘）

他機関との共同研究の有無：有

岡山大学(隈元 崇) 広島大学(中田 高) 東洋大学(渡辺満久) 防災科学技術研究所(藤原広行・森川信之・中村洋光・先名重樹)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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>

(13) 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、国内外の学会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2年度の成果の概要：

「東日本大震災研究の成果を踏まえ、東海圏における南海トラフ地震被災想定地域を複数選定し、現地調査を実施する」計画であったが、新型コロナウイルスの影響で調査が実施できなかった。その代替りとして既存の調査を再検討し、大災害後の土地利用や防災の変化を地域類型別に検討し、論文にまとめた。東日本大震災後の復興政策と防災(宮城県三陸リアス部)

震災後の防災政策(「避難、土地利用、防災施設を組み合わせた総合的防災」)の政策効果の検証を行った。結果は以下の通りである。

(1) 三陸漁村の災害文化に対する過小評価、(2) 防潮堤計画と地域防災計画の分離(後者の軽視)、(3) 防災集団移転事業における避難道計画の不備(図.1)(「地域創生学研究」第4号・近刊)

2. 仙台都市圏周辺部の震災復興(宮城県亘理町、山元町)

仙台都市圏周辺に位置する被災地の震災復興過程について現地調査を実施した。以下の点を知見として示した。

(1) 被災による広域交通障害 (JR 常磐線) に起因する人口流出、(2) 農業的土地利用の沿革と都市計画スキームに依拠した防災集団移転のミスマッチ (防災集団移転地の排水問題、水害等) (3) 災害危険区域から外れた津波浸水地の生活基盤の脆弱化 (アクセシビリティ) (4) 農業生産の高度化と地域共同管理の解体 (科研報告書・近刊)

### 3. 伊勢湾台風被災地の防災と脆弱性 (名古屋市南区)

南海トラフ地震新想定にともなう伊勢湾台風浸水地と津波浸水想定地域の重複。過去の被災経験はその後の防災にどう影響したのか。

・土地利用の変化と曝露人口の特性

被災後の工業化、脱工業化と関連した土地利用や人口分布の変化の量的把握 人口の減少と災害弱者 (高齢者、低所得層、外国人) の低地への集中。(図 2)

・コミュニティと防災

伊勢湾台風の記憶に依拠した旧住民主導の防災活動の活性化とその限界。コミュニティと事業所の防災連携の模索。装置型工場の残存と複合型災害リスク。

(『東海社会学会年報』第 12 号「特集 災害と社会変動：伊勢湾台風 60 周年を振り返って」)

(9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

室井研二, 2020, 臨海工業都市の災害 伊勢湾台風後のコミュニティと災害脆弱性, 東海社会学会年報, 12, 15-31.

高橋誠, 2020, 海から遠いまち 伊勢湾台風被災地における土地利用変化と災害暴露性, 東海社会学会年報, 12, 32-45.

(10) 令和 3 年度実施計画の概要 :

(1) コロナの影響がしばらく続くと予想されるため、上半期は行政資料や統計のデータを用いて東海圏の沿岸自治体の防災対策、災害履歴、人口・産業変動の動向を分析し、データベースを作成する。

(2) 新型コロナが地域防災に及ぼす影響を考慮し、リサーチデザインを再考する。

(3) 下半期から愛知、三重、静岡沿岸部を視察し、都市規模や産業の違い等に考慮して、複数の調査対象地を決定する。

ただし、新型コロナの影響で現地調査が困難な状況が続く場合、サーベイ調査を現地調査に先行して実施する等、適宜計画の見直しを行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

室井研二、高橋誠、堀和明、山岡耕春

他機関との共同研究の有無 : 有

黒田由彦 ( 椋山女学園大学 )、田中重好 ( 尚絅学院大学 )

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

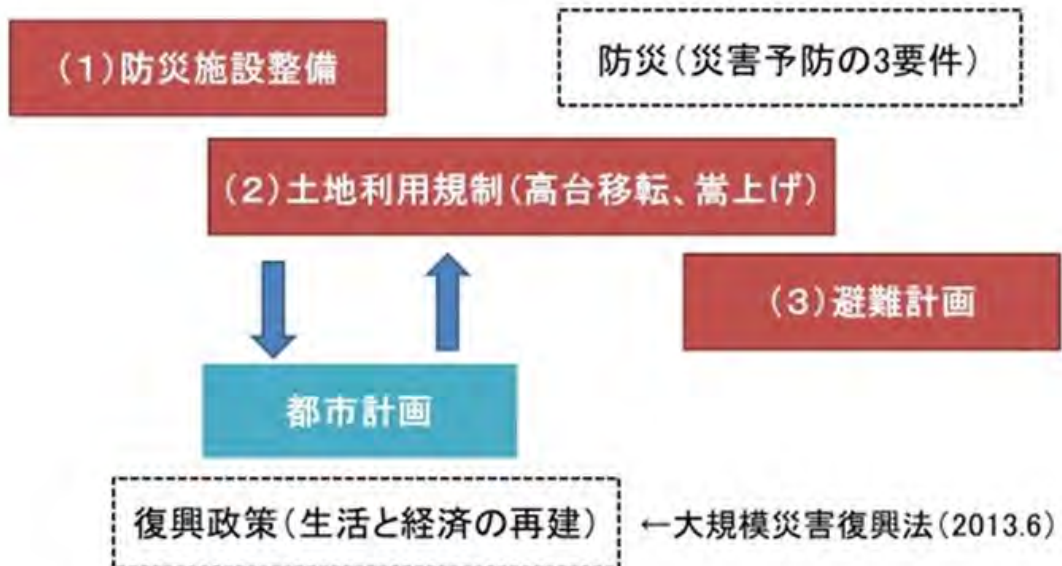
URL :

(13) 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





- ✓ 防災が復興(生活・経済の再建)に及ぼす影響
- ✓ 防災対策間の整合性

図1 防災と復興の関係

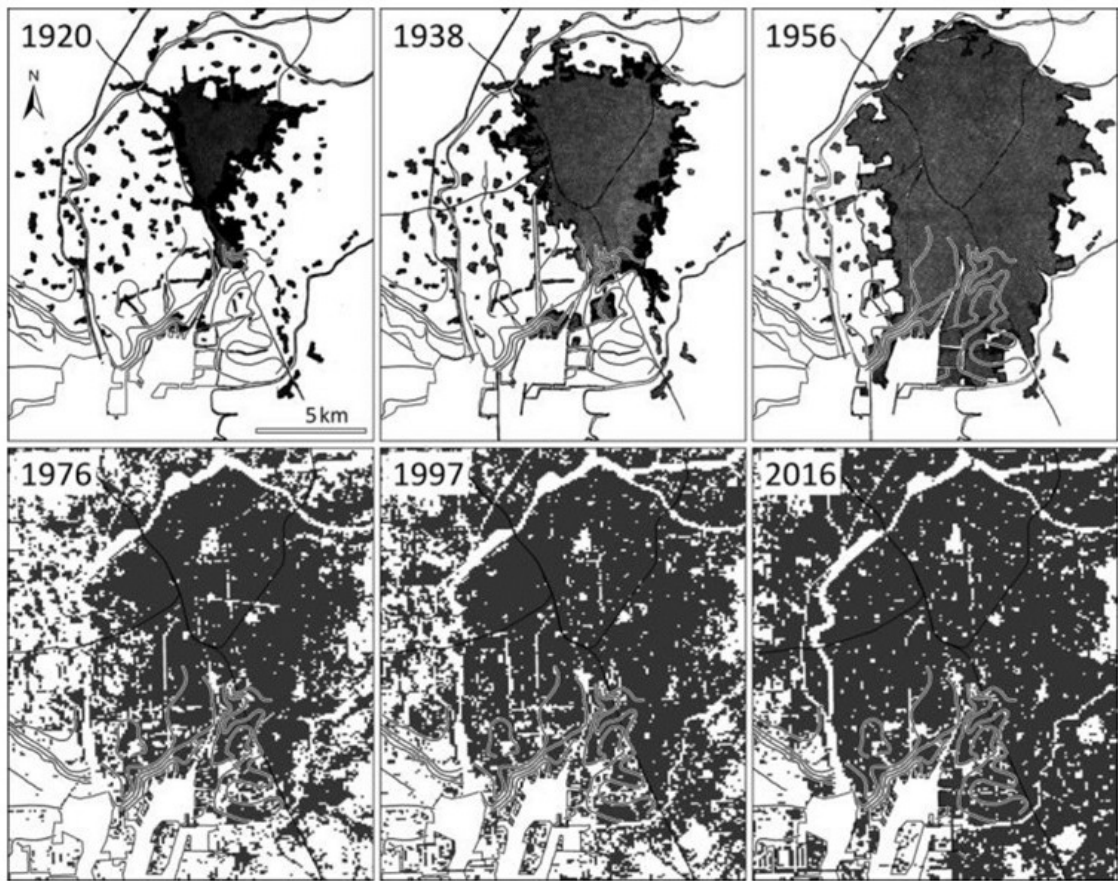


図2 伊勢湾台風前後の名古屋市街地の拡大状況

(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2年度の成果の概要：

御嶽山地域が主催する御嶽山火山マイスターが、地元と専門家との仲立ちに果たす役割を明らかにする目的で、2020年度における御嶽山火山マイスターの活動に関する記録集を作成するとともに、マイスターへのインタビューを行い、マイスターの意識調査を行った。

2020年度はで 戮僚齋砒 蘓祁織灰蹈粉鏡 紐搬腓留洞舛終 韻拭 2020年度の主な活動は  
2020.9.21-22 御嶽山親子登山として、御嶽崩れの見学。

2020.10.11 火山学会公開講座に協力したパブリックビューイング。

2021.2.20 マイスター主催講演会

であった。このように、2020年度は、新型コロナウイルス感染拡大で、木曾地域外の人との物理的接触が制限され、対外的な活動縮小を余儀なくされたこと。計画はされたが、中止になった行事も多いこと。その中で、地元小学生対象のイベントは行われたこと。会議・講演会でオンライン利用が広がったこと、であった。地元観光業への経済的影響が大きい反面、高齢化が進んでおり、新型コロナウイルスの感染が広がることへの恐れも大きいという地元の事情が大きく影響している。

マイスターに対するインタビューは2019年度は第1期マイスターを対象としたものであったのに対し、2020年度は第2期および第3期マイスターへのインタビューも行った。インタビュー項目は前年度と同じく、

- ・マイスターになって変わったこと
- ・マイスターの活動が自分の仕事にどのように活かされているか？
- ・マイスターの活動によって地元の人や周りの人の火山防災の意識、関心は高まっていると感じるか？
- ・今後どのように活動していきたいか？
- ・マイスターネットワークを通じて噴火経験をどのように継承していこうと考えているか？
- ・今、活動する上で、困っていること。

であったが、2020年度は上記に加えて、

- ・新型コロナウイルス感染拡大の影響について
- ・2022年度に開設されるビジターセンターの活用について

を加えた。インタビューの結果、以下の課題があることがわかった。

マイスター志望者、基礎講習受講者が減っていること。マイスターの認知度が低いこと。マイスターになったことのメリットがわかりにくいこと。会議の時間が長いこと。観光シーズンに行われるイベントに、(本業が忙しく)参加できないこと。コロナウイルス感染拡大のため、活動ができず、実感がなかったこと。などであった。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要：

1. 活動記録の作成の継続。

2021年度における、御嶽山火山マイスターの活動を御嶽山火山研究施設との関連も含めて記録する。  
なお、その際に、2022年度にビジターセンターができることも考慮する。

2. マイスターに加えて、行政・専門家のインタビュー調査およびアンケート調査を検討するとともに実施する。

定期的なアンケートや、インタビューによるマイスターの期別の意識の違いや変遷の調査、地元行政担当者の意識

御嶽火山に係わる研究者の意識を調査する。

3. 他火山地域との比較研究を行う。「地元住民と専門家との関係」という観点で、行動の主体、目的、効果などで整理する洞爺湖・有珠火山マイスターや、他の火山地域のジオパークや博物館、また近隣の火山における取り組みとの比較を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

名古屋大学 山岡耕春・國友孝洋・田ノ上和志（長野県からの出向）

他機関との共同研究の有無：有

信州大学教育学部 竹下欣宏 （火山地質学の観点から）

山梨大学総合研究部 秦康範 （災害情報学の観点から）

兵庫県立大学減災復興政策研究科 阪本真由美 （防災・防災教育の観点から）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp)

(13) 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

(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。

現在プロトタイプの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、すでにいくつ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 2 年度の成果の概要 :

ハードウェアの改良では、昨年度融雪期に起こった防水筐体の浸水事故を受けて主に外部防水筐体の仕様の検討を行った。以上と昨年度の改良事項を統合し中間改良案をまとめ改良作業を進めた。現ファームウェアには、未送信データを古い順で送るために通信状態が悪い場所でリアルタイム性が失われる問題があった。指定期間のデータを優先して送信するコマンドを改良し、通信が切断した場合にも再接続を行うなどのエラー処理が適切に行われるようにした。また供給電力が低下した際に必要最低限の情報のみ伝送し、データ収録に電力を優先させる省電力モードを導入した。集録サーバにおけるステータスデータの管理・表示方法の検討、改良も進めた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Maeda, Y., Yamanaka, Y., Ito, T., and Horikawa, S., 2020, Machine learning based detection of volcano seismicity using the spatial pattern of amplitudes, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggaa593.

山中 佳子, 堀川 信一郎, 2020, 2007 年および 2014 年御嶽山噴火のきっかけとなった? 山頂付近やや深部の地震活動, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SVC45-34.*

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

今年度改良を行った中間試験機の運用試験 ( 御嶽山 ) を行い、問題点や改善点の検討を進める。また集録サーバの機能についての改良検討も進める。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中佳子, 前田裕太, 寺川寿子, 堀川信一郎

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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：

情報通信研究機構の第4期中長期計画期間である平成32年度までにおいては、以下の研究活動の実施を計画している。平成33年度以降については、次期中長期計画の策定に合わせて検討を進める。

平成30年度までの成果を引き継ぎ、Pi-SAR2により地震・火山災害時に取得したデータから被害を判読する技術等の開発を進める。これまで航空機 SAR (Pi-SAR および Pi-SAR2) で取得したデータの観測データ検索・配信システムによる公開を進めることにより、災害軽減のための情報利用技術の高度化に関する研究に資する。また、実際の災害発生時には、航空機 SAR の積極的な運用と迅速なデータ配布・公開を行う。

さらに、航空機 SAR 以外の先進的リモートセンサを活用した地震及び火山災害のモニタリング技術についても検討をすすめる。

(8) 令和2年度の成果の概要：

Pi-SAR2により地震・火山災害時に取得したデータから被害を判読するため情報抽出技術に関する研究と地震・火山災害時の地帳面の状況を詳細に観測することができる次世代航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR X3) の研究開発を実施した。以下に、具体的な成果の概要を示す。

1. 機械学習をベースにした土地被覆分類法に関する研究

本研究では、SARによって計測された地表面画像データを有効に活用できるようにするために、機械学習、特に深層学習を用いて画像解析することで地表面の様々な情報を抽出する解析技術に関する

研究を実施している。今年度は、Pi-SAR X2 の観測データと GIS データを深層学習させる新たなモデルを構築して土地被覆分類の高度化・高精度化を行った [有馬・他 (2020)]。

## 2. 地表三次元イメージングによる地表構造物の分離抽出技術に関する研究

本研究では Pi-SAR2 のマルチベースライン SAR データを用いて地表面を三次元イメージングした結果を用いて地表面に存在する植物や建物等の構造物と地表とを分離し、個々の構造物を抽出するあたらしい解析手法の研究を実施している。今年度は、地表物抽出の初期検討として地表とそれ以外の散乱体を分離する第一段階として、平らな地表と地表とは異なる高度分布を持つ地表構造物をカーネル推定により分離する新しい解析法も開発した [牛腸・他 (2020)]。

## 3. 次世代航空機搭載合成開口レーダーの研究開発

NICT では地面・海面、構造物、植生等による電波の散乱特性を高精度に計測することができる次世代航空機搭載合成開口レーダー（以後、「Pi-SAR X3」と呼ぶ）の整備を進め、観測飛行実験を 2021 年度から開始できるように準備している。Pi-SAR X3 では、図 1 に示す観測ターゲットを観測するために必要となる機能・性能について検討した上で、システム設計・製造を実施している [児島・他 (2020)]。表 1 に Pi-SAR X3 の主要な諸元（目標値）を示す。

また、これまで Pi-SAR・Pi-SAR2 により火山地域（火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会報告（平成 21 年 6 月報告 参考資料 1(監視・観測体制の充実等が必要な火山の選定理由取りまとめ資料)）で記載されている火山（99 箇所）のうち、平常時における火山観測を 41 箇所）や地震被害地域の観測した画像データについては観測データ検索・配信システムにて公開している。

### ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Yuya Arima, Shoichiro Kojima, Jyunpei Uemoto, Tomohiko Konno, Semi-supervised Land Cover Classification Using Pi-SAR2 Observation Data, Geoscience and Remote Sensing Symposium 2020, pp.2755-2758.

牛腸正則, 児島正一郎, 山田寛喜, ESPRIT-TomoSAR を用いたマルチベースライン航空機 SAR データの三次元イメージング, 電子情報通信学会和文論文誌, Vol.J103-B, No.8, pp.321-331

牛腸正則, 山田寛喜, AWGN 下における ISTA 再構成の正則化パラメータ最適値に関する一考察, 2020 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-127, p.127

牛腸正則, 山田寛喜, 児島正一郎, 航空機 SAR を用いた地表三次元イメージング -地表構造物の分離抽出に関する基礎検討-, 2020 年度電子情報通信学会信越支部大会, 3E-2, p.82

Masanori Gocho, Shoichiro Kojima, Hiroyoshi Yamada, Limitation of parallel assumption in repeat-pass InSAR using nonparallel orbits, IEICE Communications Express (ComEX), Vol.X9-B, No.12, pp.586-592.

Masanori Gocho, Hiroyoshi Yamada, A Proposal for Sparse Deconvolution using ISTA with Low Computational Complexity, 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2020), G1-3, CD-ROM

Shoichiro Kojima, Junpei Uemoto, Yuya Arima, Masanori Gocho, Hirotaka Igawa, Hideaki Murayama, Next generation polarimetric and interferometric airborne X-band SAR (Pi-SAR X3), 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2020 年大会, CD-ROM

### ( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

現計画に引き続き Pi-SAR・Pi-SAR2 で観測したデータを Web 上で公開する「観測データ検索・配信システム」の運用を行うとともに、被災地の状況把握や災害軽減に有効な情報提供に向けた航空機 SAR による災害把握技術の高度化を実施する予定。また、令和 2 年度末に完成予定の高精細航空機搭載合成開口レーダー（Pi-SAR X3）の初期機能・性能確認試験を実施する予定。Pi-SAR X3 の観測データについては、Pi-SAR・Pi-SAR2 の観測データと同様、Web 上で公開する方向で準備を行う予定。

- (11) 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
- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
 部署等名：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/
- (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
 氏名：中川勝広  
 所属：情報通信研究機構 電磁波研究所



図 1 Pi-SAR X3 の観測ターゲット

観測モード	モード 1	モード 2	モード 3
偏波	HH+HV+VH+VV		
分解能	15cm	30cm	50cm
観測幅（グラウンド）	7km以上	7~10km以上	10km以上
雑音等価後方散乱係数	-20dB以下	-23dB以下,	-27dB以下
標高精度	2m以下		

表 1 Pi-SAR X3 の諸元

(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

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

( 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 2 年度の成果の概要 :

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では、下記の成果が得られた。

・基盤的火山観測網 ( V-net ) 等の JVDN 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。

火山リモートセンシング技術の開発研究では、下記の成果が得られた。

・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。

・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。

噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究では、下記の成果が得られた。

・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ル解析を行い、その特徴を明らかにした。

・霧島 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。

- ・高粘性流体の発泡現象シミュレーションに着手した。
  - ・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。
- 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では、下記の成果が得られた。
- ・那須岳における登山者動向把握実験を実施した。
  - ・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。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

基盤的火山観測網( V-net )や機動観測網、さらに火山観測データ一元化共有システム( JVDN 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、JVDN システムに実装して統合し、情報プロダクトとして提供を開始する。

火山リモートセンシング技術の開発研究では、地上設置型レーダー干渉計による機動観測に向けた高時間分解能観測手法の開発、ARTS-SE のデータの処理手法の開発( ARTS-SE のカメラ型センサ : STIC による箱根試験観測、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 )の開発( 可視域のセンサ部開発 )を実施する。

噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究では、水蒸気噴火における噴煙内の含水量推定手法の開発、高粘性気液二相流シミュレーション、火山灰可搬型分析装置( VOLCAT )による多様な噴火様式で生成された火山灰の解析に関する研究を行う。

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では、自治体における噴火時対応タイムラインの作成と訓練及び研修を実施するとともに、火山災害時の安全確保行動を支援するシナリオ構築・シミュレーションに着手する。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:toiawase@bosai.go.jp)

URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

( 13 ) 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2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。東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震)のような大規模な地震の発生を念頭に、即時震源パラメタ解析システム AQUA の改良を行った。具体的には、一定規模以上の地震が発生したと判断された場合、広帯域地震計に代えて速度型強震計のデータを解析対象とするとともに、断層破壊の継続時間を考慮した解析パラメタに切り替える等の仕組みを導入した。その結果、東北地震の再現では約7分後に低角逆断層型 Mw8.6 の解が得られたほか、リアルタイム処理で M7 以上の4地震を適切に処理することに成功した。S-net データを用いた高精度震源決定のため、S-net 観測点周辺で実施されたマルチチャンネル反射法地震データから観測点補正値を求めた。さらに、一次元速度構造と補正値に基づく震源位置を、稠密な臨時海底地震観測により求められた震源位置と比較し、処理のルーティン化に向けた課題を抽出、検討した。南海トラフ周辺地域を対象に、三次元地震波速度構造を用いたセントロイド・モーメントテンソル(CMT)解析を自動的に実施するためのシステム開発を行った。スロー地震に関しては、S-net データを用いた日本海溝沿いの低周波微動検知の自動処理化に着手した。大地震発生後数時間程度の連続波形記録から、揺れの最大振幅の超過確率を用いることにより、その後の余震活動の推移を予測する手法を開発した。この手法は震源カタログを必要とせず、単点の地震波形のみを用いることが大きな特徴である。

一方、観測された波形データそのものの評価も行った。日本海溝海底地震津波観測網(S-net)等のインライン型の海底観測網では、約3 Hz以上の周波数帯域において、観測波形に筐体の固有振動が含まれることを確認するとともに、この事象の特徴精査、原因の考察を行った。海底圧力計記録に関して、2010年チリ地震時の地震計データとの比較検討を通じ、海底圧力計には、地震による表面波(レイリー波)およびその分散性を明瞭に観測する能力があることを示した。

様々な観測データや得られた地震カタログ等を用いて、将来的に大規模な地震の震源域となりうる領域を把握するための研究開発を進めた。東北地震によって東北日本・中部日本の内陸域にもたらされた剪断ひずみエネルギー変化と地震活動の変化を比較したところ、剪断ひずみエネルギーが増加した地域と東北地震後に地震活動が活発化した地域が良く対応することを明らかにした。陸域地殻内地震の地震発生層の下限について、三次元地震波速度構造を使って再決定した震源に基づく D90(当該



地域で発生する地震数の90%がこれより浅部に存在するという深さ)とD300(地下の温度が300となる深さ)の分布は基本的に同傾向にあることを示した。この結果は、地震活動が少ない地域における地震発生層下限の評価においては、D300が一つの指標となり得ることを意味する。海溝型地震については、主にスロー地震との関連を調査した。南西諸島北部では、通常地震とスロー地震の活動域が概ね棲み分けているが、両者の遷移域では通常地震とスロー地震活動がしばしば同期して発生していることを確認した。岩手県沖・茨城県沖で発生したプレート境界型大地震の地震前・地震時・地震後の断層破壊とスロー地震の活動との空間的な関係を調べたところ、大地震時の破壊領域はスロー地震の活動域とは空間的に相補的であった一方で、大地震の前震や余震の多くがスロー地震の活動域で発生していることを明らかにした。基盤地震観測網で観測された遠地地震波形データの解析から、四国西部下に沈み込むフィリピン海プレートからの脱水が、その上部のマントルウェッジの蛇紋岩化や深部低周波微動の発生に寄与していることを示した。スロー地震の発生メカニズム解明を行うため、スロースリップの包括的なモデリングを進めた。スロースリップシミュレーションの適用範囲を南海トラフから日向灘までに拡張し、日向灘や紀伊半島等の長期的スロースリップイベントの発生と地域的な特徴の違いを計算機上で再現した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- Kimura, H., T. Kimura, Y. Asano, T. Kunugi, and S. Aoi, 2020, An improved rapid-source parameter determination system (AQUA) for giant earthquakes, *IEEE Syst. J.*, **14**, 3, 3451-3462, doi:10.1109/JSYST.2020.2983430.
- Kubo, H. and T. Nishikawa, 2020, Relationship of preseismic, coseismic, and postseismic fault ruptures of two large interplate aftershocks of the 2011 Tohoku earthquake with slow-earthquake activity, *Sci. Rep.*, **10**, 12044, doi:10.1038/s41598-020-68692-x.
- Kubota, T., T. Saito, N. Y. Chikasada and W. Suzuki, 2020, Ultra-broadband seismic and tsunami wave observation of high-sampling ocean-bottom pressure gauge covering periods from seconds to hours, *Earth and Space Science*, **7**, e2020EA011972, doi:10.1029/2020EA001197.
- Sawazaki, K. and T. Nakamura, 2020, "N"-shaped Y/X coda spectral ratio observed for in-line-type OBS networks; S-net and ETMC: interpretation based on natural vibration of pressure vessel, *Earth, Planets and Space*, **72**:130, doi:10.1186/s40623-020-01255-6.
- Shiomi, K., T. Takeda, and T. Ueno, 2021, Seismological evidence of a dehydration reaction in the subducting oceanic crust beneath western Shikoku in southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, **224**, 1, 151-168, doi:10.1093/gji/ggaa423.

(10) 令和3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・高度化ならびに自動処理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。

(11) 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

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:toiawase@bosai.go.jp)

URL : <http://www.bosai.go.jp/>

( 13 ) 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 2 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の開発を開始した。

変斑レイ岩の摩擦特性のスケール依存性を確認するため、防災科研が所有する大型振動台を利用して低速～中速域のすべり速度でメートルスケールのガウジ摩擦実験を実施した。そこで得られたメートルスケールのガウジ摩擦実験データを解析し、速度-状態依存摩擦構成則のパラメータが過去の研究成果と調和的であることを確認した。

E-ディフェンス施設を利用した超大型岩石摩擦試験機について仕様を検討した。

4m 長岩石試料を用いた摩擦実験を実施し、増強した測定網により詳細な弾性波データを収録した。

アジア・太平洋地域で発生した地震のメカニズム及び津波解析を行い、ISNet の Web ページで公開した。SWIFT-TSUNAMI における地震メカニズム及び津波解析結果のツイッター用のシステム開発を行った。

全世界で発生した M7 以上の大地震の不均一な断層破壊過程モデル及び単純化した断層破壊モデルの破壊エネルギー(それぞれ  $G$  と  $G'$ ) を計算した。その結果、 $G$  と  $G'$  の推定値は大きく異なり、これら 2 つの値の差を用いて大地震を引き起こす断層のせん断応力レベルの最低値を推定可能な手法を示した。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和 3 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を行うとともに、内陸地震発生シナリオ作成のための応力分布の推定を試みる。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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:toiawase@bosai.go.jp)

URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

( 13 ) 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に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2年度の成果の概要：

地震本部による地震活動モデル及び地震ハザード情報に基づき全国を対象とした建物リスク評価、人的リスク評価を実施し、地震及び津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を継続し、「J-SHIS 高度化に関する検討会」を立ち上げ、全国概観版地震リスク評価結果の公開に向けて、公開内容等について学識者・民間企業の有識者からの意見聴取を実施した。全国概観版地震リスク評価公開システ

ム ( J-SHIS Map R ) を構築し公開した。建物特性に応じた地震リスク評価のため応答スペクトルを用いた被害関数の開発を行った。認識論的な不確実性を考慮した断層モデルについて検討し、ロジックツリーを試作し、一部地域で地震リスクの試算をした。建物の屋根重量の地域性を反映する等の被害予測手法を改良した上で、2020年時点の地震ハザード評価に基づく全国概観版リスク評価を実施し、J-SHIS Map R で公開できるよう準備した。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和3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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/>

( 13 ) 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 2 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および震源位置、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。

2020 年 3 月 13 日 02 時 18 分に石川県能登地方で発生した地震（ $M_J 5.5$ ）に関して、MOWLAS の観測記録を用いた解析を行った。Hi-net データの 3 成分合成地震波形エンベロープから、石川県能登地方の地震（ $M_J 5.5$ ）後 10 日間のエネルギー輻射量（4～20Hz）を推定した。地震発生から 10 日後の時点で、本震のエネルギー輻射量に対する余震からの積算エネルギー輻射量の割合は 0.18% であり、2007 年能登半島地震（ $M_J 6.9$ 、2.3%）や 2016 年熊本地震（ $M_J 7.3$ 、12.7%）よりも小さいことがわかった。2020 年 4 月 22 日から長野県中部から岐阜県飛騨地方の領域で地震活動が活発化し、4 月 23 日 13 時 44 分（ $M_W 5.1$ ）5 月 19 日 13 時 12 分（ $M_W 5.2$ ）5 月 29 日 19 時 05 分（ $M_W 5.1$ ）には規模の大きな地震が発生した。波形相関データを用いた Double-Difference 法により Hi-net 震源を再決定した結果は、4 月 23 日 13 時 44 分と 5 月 29 日 19 時 05 分の地震の震源はそれぞれ東西方向の鉛直な断層面上に位置していること、また両地震とも P 波速度の高速度域と低速度域の境界付近で発生していることを示した。青森県東方沖で発生した 2020 年 12 月 21 日  $M_J 6.5$  の本震及びその余震分布を、S-net 観測点近傍のマルチチャンネル反射地震探査から求めた堆積層厚に基づく補正值を使用して求めた。本震及び余震は、大局的には西傾斜の地震面に沿って分布し、発生以前からの活動域に近接して発生していることがわかった。

このほか、「長周期地震動の予測情報に関する実証実験」において、実験参加機関の大学や民間企業、事前に登録をした一般ユーザーに対して予測情報を配信し、その利活用方法の検討などを気象庁も加えて進めた。長周期地震動に関する予報業務許可制度が開始しこの許可を取得したことに伴い、2020 年 10 月 8 日に長周期地震動モニタの利用に対する事前登録をやめ、一般に公開した。

N-net においては、海底地形測量や底質調査のために実施された海洋調査結果を踏まえ海底ケーブルの敷設ルート案が策定された。また、宮崎県串間市において陸上局を新設するための工事が開始された。

#### （ 9 ）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）： Aoi, S., Y. Asano, T. Kunugi, T. Kimura, K. Uehira, N. Takahashi, H. Ueda, K. Shiomi, T. Matsumoto, and

H. Fujiwara, 2020, MOWLAS: NIED observation network for earthquake, tsunami and volcano, Earth, Planets Space, 72, 126, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01250-x>.

浅野陽一, 2020, 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2019 年 11 月 ~ 2020 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 104, 4-6.

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 5 月 ~ 2020 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

木村武志, 2020, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2019 年 11 月 ~ 2020 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 104, 415-420.

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 5 月 ~ 2020 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成, 2020, 西南日本における深部低周波微動活動 (2019 年 11 月 ~ 2020 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 104, 388-392.

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 5 月 ~ 2020 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

関口渉次・上野友岳, 2020, 南海トラフ周辺における最近の傾斜変動 (2019 年 11 月 ~ 2020 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 104, 351-360.

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 5 月 ~ 2020 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 105, 印刷中.

( 10 ) 令和 3 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。

( 11 ) 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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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](mailto:toiawase@bosai.go.jp)  
URL : <http://bosai.go.jp>

( 13 ) 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 2 年度の成果の概要 :

コロナ禍のため、予定していた ICDP DSeis 計画の成果を共有し将来計画を練る国際研究交流企画と、成果高知コアセンターに輸入済みの地震発生場から回収したコアの核心部の追加分析を行うことができなかった。配分予算は全額来年度に繰り越す。

このような制約があったが以下の成果が得られた。

南アフリカ金鉱山の地下 1 km 採掘レベルの珪岩中 ( 応力集中は地下 3 km 級 ) で、Naoi et al. (2015 など) が微小破壊観測で時空間発展の詳細を描き出した地震発生場から、2017 年に、ICDP 地震発生場掘削計画 (DSeis 計画) によって、母岩と破壊を、そのままの状態でも回収することに成功していた。2019 年に南ア学生が京大で行った摩擦実験の結果が、国際誌に出版された。出版された内容で特筆されることは、そのままでも回収できた母岩と破砕、あるいは、ガウジでない Intact な珪岩の摩擦特性が、珪岩ガウジの摩擦特性と異なり、微小破壊観測で描き出された準静的破壊の成長を説明しうることなどである。

地下約 3.5 ~ 7 km の深さ範囲を破壊した、2014 年 M5.5 左横ずれ地震については、2017 ~ 2018 年に総延長 1.6 km の連続柱状試料 ( コア ) の掘削回収と孔内に検層に DSeis 計画によって成功し、2018 ~ 2019 年にコアの光学展開画像スキャンや、2019 年度の高知コアセンターの非破壊分析などの結果の整理を進めることができた。2019 年度までに実施された、回収コアから測定された応力データや、地震発生場の南部を半分以上を占める反射法地震反射法探査の解析も進んだ。M5.5 地震の発生場の母岩は、上部地殻的密度と P 波速度 (  $V_p$  ) を持つ、珪質体積変成岩であり、貫入していた下部地殻的密度と  $V_p$  を持つ、変質 Dolerite ( 粗粒玄武岩 ) 質のシルと、変質 Lamprophyre Dyke が重要な役割を果たしていることを確認することができた。

Funato and Ito (2017) が開発した、コア軸に直交する断面の楕円度を弾性変形と仮定し、コアが切り出された岩盤応力を推定する方法 ( コア変形法 DCDA 法 ) は、2017 年から 2018 に掘削回収された総延長 1.6km のコアのうち、200 以上のコアについて、非破壊で、2018 ~ 2019 年に応力が推定されていた。美間・他 (2020) は追加測定を含めたまとめを報告した。東 (2021 立命大修士論文) が、掘削範囲の応力が均質であると仮定し、3 次元応力場を拘束した。それは、M5.5 左横ずれ断層と調和的であった。また残差は、次の応力場の空間的乱れを明瞭に描き出した : ( 1 ) 複数の掘削孔で同じ岩相であるにもかかわらず、非天水起源の湧水が見られた地点があり、( 2 ) M5.5 断層構造と交差した地点でも違いが見られた。さらに ( 3 ) M5.5 地震の余震発生帯の上縁部よりも大きな深度の地点で、他と違う様相を示した。

上述の、湧水が見られた地点や、地震発生帯の上縁部よりも大きな深度の地点では、上記の DCDA 法の残差が外れ値であることを示していた。それらは、ドレライト・シル ( 粗粒玄武岩 ; 下部地殻的物性 ) であった。この岩相の数十 cm 長の区間で、DCDA 法で応力が推定されたコアを含む数十 cm のコアから、変形率変化法 ( DRA 法 ; Yamamoto et al. 1990 ) によって 3 次元主応力が求められた。最大主応力と中間主応力の大きさは、上述の DCDA 法で拘束した平均的な最大主応力と中間主応力より数十 MPa 大きかった。ドレライト・シルの最大主応力と中間主応力の向きは、DCDA 法で拘束した平均的な応力場と調和的であったが、ドレライト・シルの傾斜 ( 南東に約 20 度 ) に近かった ( 兼松 2021 立命大修士論文 )

M5.5 地震断層が確認された Lamprophyre dyke の Intact 部分では、横山 (2020; 阪大修士論文) の XRD 分析によってタルクや黒雲母などが確認されていた。その Intact 部分の高知コアセンターでの  $V_p$ 、密度、磁化率の非破壊分析結果と比較したところ、横山がタルクを多く検出した Lamprophyre dyke の密

度と磁化率が有意に高く、 $V_p$  が有意に低いことが明らかになった（吉田 立命大修士論文；阪口 立命卒業研究）。

ドレライトシルと mafic なダイクの交差点では、塩分がほぼ飽和した湧水が見つかった（Rusley et al., 2018）。2019 年には、同位体分析で非天水起源で、非生物起源の溶存有機物や、水素やメタンなどのガスが検出されていた（中央海嶺の熱水噴出孔に類似；Wiersburg et al., 2019; Nisson et al., 2019）。2020 年は米国とカナダのチームが、He や Kr の同位体分析を行い、Kr の同位体比が、20 億年前の水と言われた Kid Creek 鉱山のもの比べても特異であることがわかった（Warr et al., 2020 AGU）。

地震発生予測の高度化を進めるためには、予測に必要な数理モデルのパラメータを得るだけでなく、総合地球科学的に、上部地殻質の岩石と下部地殻質の岩石と、破壊や水との相互作用の理解を深めることも重要である。南アフリカ金鉱山の下で起こった M5.5 地震の余震発生帯は、これを直接観察できることのできる貴重な場であることが明らかになり始めた。

南アフリカ金鉱山の地下 1km 採掘レベルの珪岩中（応力集中は地下 3km 級）で、Naoi et al. (2015 など）が微小破壊観測で時空間発展の詳細を描き出した地震発生場から、2017 年に、ICDP 地震発生場掘削計画（DSeis 計画）によって、母岩と破壊が、そのままの状態でも回収されていた。2019 年に南ア学生が京大で行った摩擦実験の結果が、国際誌に出版された。出版された内容で特筆されることは、母岩と破壊がそのままでも回収できたこと、あるいは、ガウジでない Intact な珪岩の摩擦特性が、珪岩ガウジの摩擦特性と異なり、微小破壊観測で描き出された準静的破壊の成長を説明しうることなどである。

Moab Khotsong 金鉱山の地下約 3.5~7 km の深さ範囲を破壊した、2014 年 M5.5 左横ずれ地震については、2017~2018 年に総延長 1.6km の連続柱状試料（コア）の掘削回収と孔内に検層に DSeis 計画によって成功し、2018~2019 年にコアの光学展開画像スキャンや、2019 年度の高知コアセンターの非破壊分析が完了していた。2020 年度はそれらや関連データの整理を進めることができた。

Funato and Ito (2017) が開発した、コア軸に直交する断面の楕円度を弾性変形と仮定し、コアが切り出された岩盤応力を推定する方法（コア変形法 DCDA 法）は、2017 年から 2018 に掘削回収された総延長 1.6 km のコアのうち、200 以上のコアについて、非破壊で、2018~2019 年に応力が推定されていた。掘削範囲の応力が均質であると仮定して拘束できた 3 次元応力場は、M5.5 左横ずれ断層と調和的であった。残差は、応力場の空間的乱れを明瞭に描き出した：( 1 ) 複数の掘削孔で同じ岩相であるにもかかわらず、非天水起源の湧水が見られた地点があり、( 2 ) M5.5 断層構造と交差した地点でも違いが見られた。さらに ( 3 ) M5.5 地震の余震発生帯の上縁部よりも大きな深度の地点で、他と違う様相を示した（東 2021 立命館大学修士論文）。

上述の、湧水が見られた地点や、地震発生帯の上縁部よりも大きな深度の地点では、上記の DCDA 法の残差が外れ値であることを示していた。それらは、ドレライト・シル（粗粒玄武岩；下部地殻的物性）であった。この岩相の数十 cm 長の区間で、DCDA 法で応力が推定されたコアを含む数十 cm のコアから、変形率変化法（DRA 法；Yamamoto et al. 1990）によって 3 次元主応力が求められた。最大主応力と中間主応力の大きさは、上述の DCDA 法で拘束した平均的な最大主応力と中間主応力より数十 MPa 大きかった。ドレライト・シルの最大主応力と中間主応力の向きは、DCDA 法で拘束した平均的な応力場と調和的であったが、ドレライト・シルの傾斜（南東に約 20 度）に近かった（兼松 2021 立命館大学修士論文）。

M5.5 地震断層が確認された Lamprophyre dyke の Intact 部分では、横山 (2020; 阪大修士論文) の XRD 分析によってタルクや黒雲母などが確認されていた。その Intact 部分の高知コアセンターでの  $V_p$ 、密度、磁化率の非破壊分析結果と比較したところ、横山がタルクを多く検出した Lamprophyre dyke の密度と磁化率が有意に高く、 $V_p$  が有意に低いことが明らかになった（吉田 立命修士論文；阪口 立命卒業研究）。

M5.5 地震の余震発生範囲の南側の半分以上を占める範囲の 3 次元地震反射法探査データの再解釈も進んだ。M5.5 地震の破壊域の地下 3.5~7km に見られる、強い反射面は、DSeis 計画の孔内検層結果と比べると、ドレライト・シルに対応すると見なすことが妥当であることがわかった（Suzuki et al. 地震

学会と AGU、2020 )。地下 2~3km で観測されていた余震の地震波形を、田所 (立命修士論文) が DD 法で再決定したところ、よりシャープな余震面が描き出され、余震面上の streaks が、強い地震反射面 (ドレライト・シル) との交線であることが明かになった (鈴木・他、2020 地震学会、2020AGU)。

ドレライト・シルと mafic なダイクの交差点では、非天水起源で塩分がほぼ飽和した湧水が見つかった (Rusley et al., 2018)。2019 年には、同位体分析によって、非生物起源の溶存有機物や、水素やメタンなどのガスが検出されていた (中央海嶺の熱水噴出孔に類似; Wiersburg et al., 2019; Nisson et al., 2019) 。2020 年は米国とカナダのチームが、He や Kr の同位体分析を行い、Kr の同位体比が、20 億年前の水と言われた Kid Creek 鉱山のものと比べても特異であることがわかった (Warr et al., 2020 AGU)。

地震発生予測の高度化を進めるためには、予測に必要な数理モデルのパラメータを得るだけでなく、総合地球科学的に、上部地殻質の岩石と下部地殻質の岩石と、破壊や水との相互作用の理解を深めることも重要である。南アフリカ金鉱山の下で起こった M5.5 地震の余震発生帯は、これを直接観察できることができる貴重な場であることが明らかになり始めた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Mngadi, S., A. Tsutsumi, Y. Onoe, M.S.D. Manzi, R. Durrheim, Y. Yabe, H. Ogasawara, S. Kaneki, N. Wechsler, A. Ward, M. Naoi, H. Moriya, M. Nakatani, 2020, The effect of a gouge layer on rupture propagation along brittle shear fractures in deep and high-stress mines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 137, doi: 10.1016/j.ijrmms.2020.104454.

小笠原宏, 2020, 南アフリカ大深度金鉱山の地震リスク低減 - 2010~2015 年度 SATREPS 研究成果の概要 -, *地震ジャーナル*, 70, 32-41.

[Session Convener Selected Highlight] Ogasawara, H., B. Liebenberg, Y. Yabe, Y. Yokoyama, T. Hirono, D.M. Nisson, T.C. Onstott, T.L. Kieft, E. van Heerden, T. Wiersberg, T. Noda, M.S.D. Manzi, S.B. Mngadi, R.J. Durrheim, Y. Yamamoto, T. Ito, A. Funato, M. Ziegler, J.J. Mori, C. Dinske and the DSeis team et al. 2020. The seismogenic zones of an M2.0-5.5 earthquakes successfully recovered in deep South African gold mines: the outcomes and the follow-up plan. *Europ. Geophys. Union 2020, EGU2020-12094*, 5 May 2020, Vienna. [https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-12094\\_presentation](https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-12094_presentation)

Yabe, Y., M. Kanematsu, M. Higashi, R. Tadokoro, S. Yoshida, K. Sugimura, H. Ogasawara, T. Ito, A. Funato, M. Ziegler, B. Liebenberg, B. Watson, S. Mngadi, M. Manzi, R. Durrheim. 2020. Stress state in the upper margin of the aftershock zone of the 2014 Orkney earthquake (M5.5), South Africa, estimated from analyses of drill cores and borehole breakouts of ICDP-DSeis drillings. *Europ. Geophys. Union 2020, EGU2020-3288*, 6 May 2020 [https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-3288\\_presentation.jpg0](https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-3288_presentation.jpg0), Vienna (PICO presentation).

[基調講演] 小笠原宏・矢部康男・伊藤高敏・船戸明雄・廣野哲朗・山本裕二, 2020, ICDP DSeis Team 地下 3 km 以深の太古代泥質堆積岩中のランプロファイアー上で発生した M5.5 地震の余震発生帯掘削調査, *日本材料学会*, 講演番号 608.

[招待ポスター] Ogasawara, H., B. Liebenberg, Y. Yabe, T. Ito, J. Mori, T. Hirono, Y. Yamamoto, Y., T.C. Onstott, T.L. Kieft, R.J. Durrheim, M.S.D. Manzi, M. Ziegler, T. Wiersberg, S. Shapiro, S.N. Somala, E. van Heerden, J. Castillo, P. Dight, 2020, The next step following the accomplished drilling into seismogenic zones of M2.0-5.5 earthquakes in South African gold mines (ICDP DSeis). *Abstracts Japan Geoscience Union 2020, [MIS11-13]*, 24 May 2020, Chiba, Japan.

Mori, J., T. Yasutomi, 2020, Near-field Observations and Slip Distribution for the 2014 Orkney, South Africa Earthquake, *日本地震学会秋季大会予稿集*, S15-11, 2020 年 10 月 30 日, Online.

鈴木皓一郎, M. Manzi, 小笠原 宏, 野田 拓, L. Linzer, R. Durrheim, B. Liebenberg, 2020, Mafic な Sill・Dike が交差する南アフリカ金鉱山直下で発生した M5.5 地震解明に向けた 3 次元地震探査データの再解釈, *日本地震学会秋季大会*, S08P-03, 2020 年 10 月 31 日, Online.

美間良大, 田所遼悟, 吉田峻輔, 東 充也, 阪口賢佑, B. Liebenberg, S. Mngadi, 矢部康男, 船戸明雄, 伊藤高敏, R. Durrheim, 小笠原 宏, 2020, ICDP DSeis 計画: M5.5 余震発生帯におけるコア変形法 (DCDA) による空間応力変化の評価, 日本地震学会秋季大会, S08P-04, 2020 年 10 月 31 日, Online.

[招待講演] Ogasawara, H., Yabe, Y., Takatoshi Ito, and the ICDP DSeis and JST-JICA SATREPS teams, 2020, The 2014 Orkney M5.5 sinistral earthquake below a deep South African gold mine and the post-earthquake drilling investigation from 2.9km depth, 2020 International Forum on Pohang Earthquake, on-line (Korea), 14 Nov. 2020.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

コロナ感染の影響を見極めながら、当初計画と令和 2 年度にできなかった活動とを行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

小笠原 宏

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学 矢部 康男・森谷 祐一・坂口 清敏・伊藤 高敏

( 公財 ) 深田地質研究所 船戸明雄

大阪大学 廣野 哲朗

( 公益社団法人 ) 地震予知総合研究振興会 石井 紘

鹿児島大学 中尾 茂

高知大学 大久保 慎人・山本 裕二

防災科学技術研究所 小村 健太郎・松原 誠

産業技術総合研究所 今西 和俊

東京大学 三宅 弘恵・加藤 愛太郎

京都大学 Jim Mori・直井 誠

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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/](http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/)

( 13 ) 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

(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態で「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旨とする。

(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を進める。

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。

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。

二軸せん断試験時の前震の微小破壊について、載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2年度の成果の概要：

微小な地震活動を検出するための手法開発に関し、相互相関関数を用いた客観的な検出技術の根幹は既に構築済みであったため、令和2年度においては、更なる改良、補強を加え、国際学術誌へ投稿した。しかしながら、相互相関関数を用いる手法は主として、既知の波形をテンプレートとして与え、類似波形を検出するために用いられているが(以下、テンプレート・マッチング)、全く新規の波形同士のペアを検出するためには、すべての連続波形から切り出された短時間波形同士の相互相関を計算する(以下、総当たり)ことが求められる。効率化を図ったとしても取り扱う情報量が多い相互相関関数を用いる手法の場合、取り扱う成分数や期間が増加すると計算コストの増により、実時間よりも長い計算時間を要してしまうことが懸念される。

そこで、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[例えば、Yoon *et al.* (2015)] 波形検出手法についても令和元年度より検討を開始した。令和元年度には、短時間波形の特徴を抽出するための関数として新たなものを2通り提案し、テンプレート・マッチングによりその性能を既存の関数と比較した。その結果、2者共に既存の関数よりも検知された相似波形同士の相関係数が概して高いことが明らかにされた[駒形・他(2020)]。令和2年度においては、微小イベントが頻発していることが分かっていることから、前震活動ではなく余震活動を対象に、総当たりによる性能評価を試みた。対象は2018年大阪北部の地震(Mj 6.1)の発生直後から6分間における、近傍のHi-net観測点の連続波形記録とし、本計画で提案している2つの特徴を抽出するための関数を用いて得られる類似度と相互相関係数を算出した。

その結果、テンプレート・マッチングの時とは少し様相が異なり、2つの特徴を抽出するための関数を用いて得られる類似度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。いずれの手法においても気象庁一元化地震カタログに掲載のない波形を検出したが、検出される波形は一部異なっており、ペアも一部異なった。そのため、単なる「計算コストを削減した代替手法の性能評価」にはとどまらず、どのような特徴を共有する場合にいずれの指標において高い類似度と評価されるかを精査する必要が出てきた。このことは、「検出」という観点からは後退にも見えるが、特徴抽出という点において高度化される大きな可能性が示されたといえ、令和3年度以降に精査に取り組む。

また、新たな手法では計算コストの大幅削減は果たしているものの、総当たりを考えるとさらなる計算コストの削減が求められる。そこで、連続波形記録から地震波信号の特徴を持つ非定常な信号が届いている部分を粗く抽出するための手法を前段として適用することに着手した。

二軸せん断試験で得られた微小前震については、得られている波形記録を再精査し、類似波形を示す前震的微小破壊群に関し、位相限定相関法やクロススペクトル法などを採用して、相対到達時刻差の再検討、相対震源再決定に着手した。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
駒形 亮太・平野 史朗・川方 裕則・直井 誠，2020，Locality Sensitive Hashing を用いた波形の特徴抽出と類似波形検出，JpGU - AGU Joint Meeting 2020，SSS12-P02.

- (10) 令和3年度実施計画の概要：

令和1,2年度に開発に取り組んできた手法において用いている2つの特徴を抽出するための関数、および相互相関関数がそれぞれ「どのような類似性」に基づいて類似度の高低を算出しているか、改めて検討を進める。類似した波形群には、ある程度近い位置でのほぼ同じメカニズム解をもつ破壊によるもの、非常に近い位置での異なるメカニズム解をもつ破壊によるものなど、精査すべき点があると同時に、それぞれの手法のノイズに対する強さについても精査すべきであり、令和3年度においてはこれらの検討に着手する。また、地震波の特徴を持つ非定常波形検出の手法についてもさらなる検討を進める。

二軸せん断試験時の前震的微小破壊については、相対震源再決定を進めるとともに、実施が遅れている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し、各微小前震のマグニチュード推定に取り組む。相対的な震源位置と震源サイズの情報をもとに、前震的微小破壊の破壊領域の重なり程度に関する検討をおこなう。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

立命館大学理工学部：川方裕則、平野史朗

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所：土井一生

- (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

- (13) 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

(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年カイクウラ地震が発生し、甚大な被害を生じた。カイクウラ地震・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。研究担当者らがカイク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：

カイクウラ地震・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つつある。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や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2年度の成果の概要：

本課題の5か年計画の概要に基づき以下の観測研究を実施した。

##### S波スプリッティング解析と時空間変化：Graham et al. (2020)

カイコウラ地震に関係した応力再配分を確認することを目的に、定常地震観測網と本課題で実施した臨時観測網のデータを用いて、カイコウラ地震震源域のS波スプリッティング解析を行った。期間は2013年から2018年である。得られた速いS波の振動方向には空間変化が見られた(図1)。原因について検討をした結果、断層などの構造的異方性や応力による異方性など複数の要因が考えられた。S波スプリッティング解析と $V_p/V_s$ 比の時間変化の検討を行ったが、震源分布の違いに応じ異なる異方性領域を通過したことが原因として考えられた。

##### 微動検出とマッピング：Romanet et al. (2021)

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。本年度は、Romanet and Ide (2019) で用いたGeoNet定常観測点の波形記録に、これまで行ってきた臨時観測のデータを加えてより詳細な解析を行った。その結果、2013年から2019年の間で決定された微動震源は、定常観測網では369個だったのに対して、臨時点を加えた場合では4699個となり、大幅に増加させることができた(図2、Romanet et al., 2021)。この高精度化された震源位置決定により、微動発生域が領域内の特定の位置にクラスタ状に存在している様子が明らかとなった。

##### 多数のメカニズム解推定と応力インバージョン：松野・他(2020)、Okada et al. (2020)、松野(2020)

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た。その後、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。応力場の主軸の向きが地震前後で変化しなかったことから、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。対照的に、南西部では応力比が地震後に減少し、地震後に逆断層型を含む応力場へと変化した。これらの変化は地震に伴う逆断層型を含む応力場の擾乱によるものと考えられる。

##### 統合観測網データのコンパイルと震源決定：河村・他(2020)、松本・他(2020)

カイコウラ地震は、複数の断層が関与した地震であると先行研究で指摘されている[e.g. Litchfield et al. (2018)]。この領域直下にはプレート境界が存在するが、スラブと本地震で破壊された断層の関係性

についてはこれまで明らかになっていない [Cesca et al. (2017)]. そこで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。

本震発生後半年間に発生した 2722 のイベントを対象に、Okada et al. (2019) の平均 1 次元速度構造を用いて HYPODD による震源再決定を行った。定常観測点と臨時観測点の観測走時に、波形相関法によって定量的に求めた観測走時を加えることで、震源決定精度の向上を図った。臨時観測データを加えることで、詳細な震源分布が得られた。これらを用いて余震分布からカイクウラ地震の断層面の推定を試みた。

Yukutake and Iio (2017) の方法を参考に、高精度余震分布から断層形状を定量的に求めた。まず、余震をクラスターに分割し各クラスターに対して、(1) 主成分分析を行い、planarity (=、平面性)  $> 3$ 、(2) bootstrap で 1000 回リサンプリングを行い、走向および傾斜の標準偏差  $< 25^\circ$ 、(3) イベント数  $> 20$ 、以上 (1)~(3) の条件を満たすクラスターを「断層面」と定義し、余震分布に基づいて 8 枚の断層面を特定した。北部は特に複雑な構造を示しており、上述の方法を用いて断層面を定義することが難しかったため、余震分布から 3 枚の断層面を特定した。その結果、カイクウラ地震が複雑な断層面によって構成されていることが示された。また、この地震以前に発生したクック海峡地震 (2013 年, M6.5) の余震活動とも重なり、その南端で本震の大すべり域が位置すること、中央部は南西部から余震活動が乗り移るかのように北西にシフトしているように見えることなどの特徴が見いだされた。

また、北部の余震分布の断面を見ると、震源分布の下面が北西に傾斜する滑らかな曲面を描いており、これがスラブである可能性を示唆している。そこでスプライン補間を用い、余震分布に基づき境界面を推定した。また、発震機構解を求めたところ [Hardebeck and Shearer (2002)]、面上には低角逆断層が多く分布していることが明らかになった。そこで新たに推定した曲面と下面付近に位置する逆断層の節面のそれぞれの法線ベクトルの内積を求めたところ、1 に近い値をとり、2 つの面の類似度が高いことを支持する結果を得た。

まとめ：

カイク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。今後は、震源域近傍での微動の活動は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。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Graham, K. M., Savage, M. K., Arnold, R., Zal, H. J., Okada, T., Iio, Y., & Matsumoto, S., 2020, Spatio-temporal analysis of seismic anisotropy associated with the Cook Strait and Kaikoura earthquake sequences in New Zealand. *Geophysical Journal International*, 223(3), 1987-2008. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa433>

河村 優太、松本 聡、岡田 知己、松野 弥愛、飯尾 能久、佐藤 将、Stephen Bannister、John Ristau、Martha Savage、Clifford Thurber、Richard Sibson, 2020, 高精度震源決定による 2016 年ニュージーランドカイクウラ地震におけるプレート境界面と断層形状の関係、日本地震学会 2020 年大会, S09-20.

松本 聡、河村 優太、岡田 知己、松野 弥愛、飯尾 能久、Rick Sibson、Martha Savage、Kenny Graham、鈴木 真奈美、Stephen Bannister, 2020, 2016 年カイクウラ地震震源域下の S 波反射面の検出およびその本震・余震活動との関連、JpGU - AGU Joint Meeting 2020, SSS11-03.

松野 弥愛, 2020, 2016 年ニュージーランド・カイクウラ地震震源域における応力場の時空間変化、東北大学修士論文

松野 弥愛、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、Stephen Bannister、John Ristau、Martha Savage、Clifford Thurber、Richard Sibson, 2020, 2016 年のカイクウラ地震に関する震源域における応力場の時空間変化、日本地震学会 2020 年大会, S09P-04.

Okada, T., M. Matsuno, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Bannister, J. Ristau, M. Savage, C. Thurber, R. Sibson, 2020, Possible involvement of overpressured fluid in

multi-fault rupture inferred from seismic observations of the 2016 Kaikoura earthquake, Annual Conference of Geoscience Society of New Zealand, Christchurch, New Zealand.

Romanet, P., F. A. Antoniow, R. Ando, S. Bannister, C. Chamberlain, Y. Iio, S. Matsumoto, T. Okada, R. H. Sibson, A. Toh, S. Ide, 2021, Detection of tremor in the Marlborough region and its relationship with the 2016 Mw 7.9 Kaikoura (New Zealand) earthquake, EGU General Assembly.

( 10 ) 令和3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。カイコウラ地震後に SSE が誘発された北島にかけて、地震活動に及ぼす影響を検討する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岡田知己・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 名誉教授 ( オタゴ大学 )、Stephen Bannister 研究員 ( GNS Science )、Martha K Savage 教授、Calum Chamberlain 研究員 ( ビクトリア大学ウェリントン )、Jarg Pettinga 教授 ( カンタバリー大学 )、Clifford H Thurber 教授 ( ウィスコンシン大学マディソン校 )、安藤亮輔・井出哲 ( 東大理 )

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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

( 13 ) 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

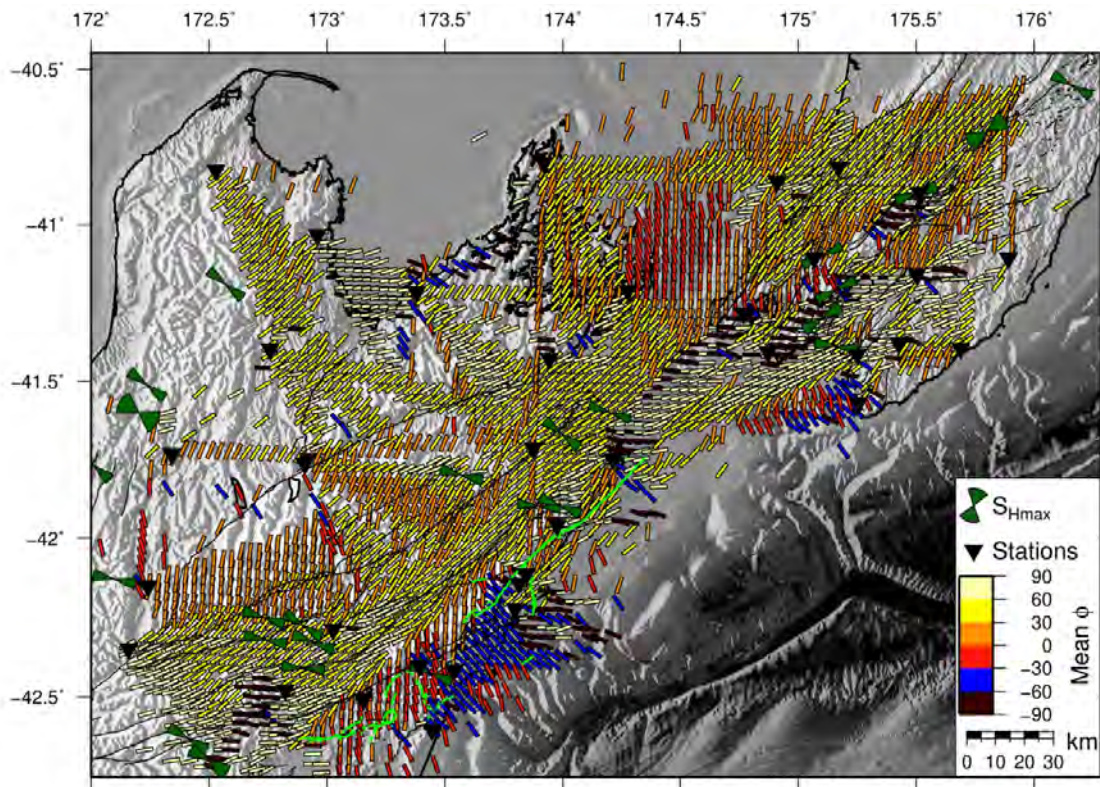


図1. S波スプリッティング解析の結果得られた速いS波の振動方向の空間平均 ( Graham et al., 2020, Fig. 6 より )。色は速いS波の振動方向を表す。Bow-tie は先行研究による最大水平圧縮方向を示す。

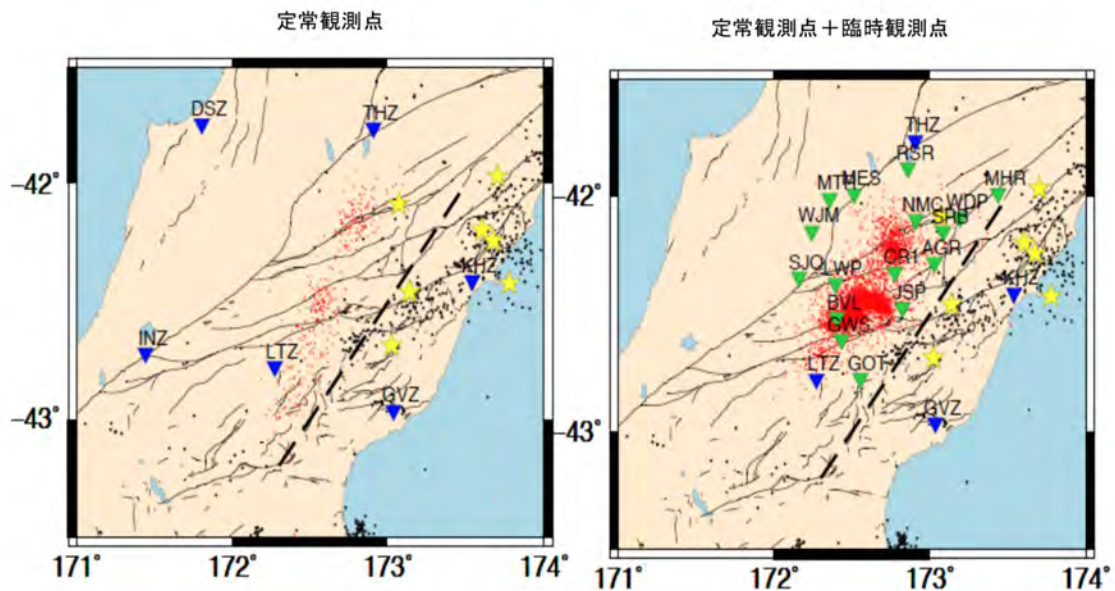


図2. マルボロ断層系の微動活動 ( Romanet et al., 2021 )。  
 ( 左 ) 従来の定常観測網で決定された微動震源。( 右 ) 臨時観測点を加えたデータで決定された微動震源。赤点：微動震源。青三角：定常観測点。緑三角：臨時観測点。

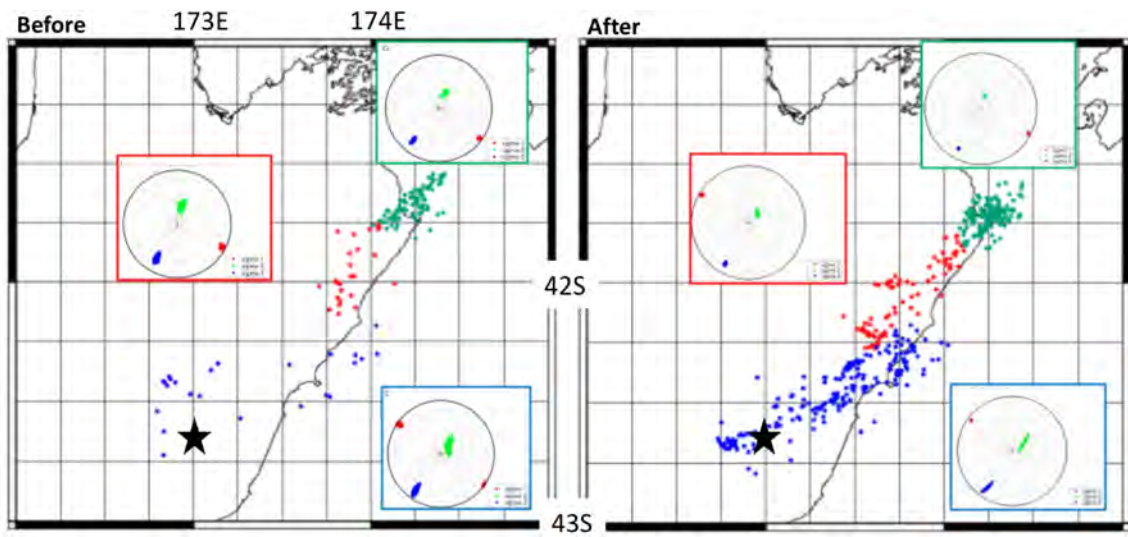


図3. カイコウラ地震前後の応力場（松野、2020）。

（左）発生前、（右）発生後。色（赤・青・緑）は使用した地震の震央位置をそれぞれ示す。★はカイコウラ地震本震位置（河村・他による）



(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：

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値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) 高温高圧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CO<sub>2</sub>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、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、NaCl三成分系の流体と鉱物間の二面角を高温高圧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15 MPa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、試料室の雰囲気の制御は乾燥状態（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、雰囲気の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 °C, 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、 $H_2O-NaCl-CO_2$  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 °C, 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（高压側では  $MgCO_3$  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、より多様な雰囲気での摩擦の振る舞いと 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) 高温高压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变形実験を継続し、下部地殻の变形における流体の効果を明らかにする。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）の効果を定量的に評価する。

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 2 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

2011 年東北沖地震後に山形-福島県境付近に発生した群発地震において、様々なパラメータが 50 日ないし 100 日程度の時定数で急変していることを示してきたが、今年度、震源域内の詳細な  $Q^{-1}$  の値の時間変化を調べた結果、やはり同様の時定数で変化していることがわかった（図 1；Yoshida, 2020）。この減衰の時間変化が間隙流体圧の変化に起因しているのであれば、この手法により断層帯内の間隙流体圧の時間変化を調べられる可能性がある。

函館周辺の深部低周波地震よりも浅部に、低周波地震と通常地震が共存している領域があり、しかもこれらの通常地震の中に繰り返し地震が存在していることを発見した（図 2；Yoshida et al., 2020）。このような繰り返し地震は、ゆっくり滑りまたは間隙圧の上昇による強度低下に起因している可能性がある。一方、昨年度報告した箱根カルデラ内において 2019 年 5 月に発生した群発地震活動中に繰り返し地震を発見し、また傾斜変動が生じていることがわかった（図 3）。拡散的な震源移動が始まった時期から、震源域近傍の傾斜計で有意な傾斜変動が検知され、またゆっくりとした滑りが加速していたことが繰り返し地震の解析から示唆された。これらの結果は、断層帯内に高压の流体が貫入することともなう変動を見ていると考えられる。

鳥取県西部地震域の余震メカニズム解について、ベイズ統計を用いた定量的な誤差推定を行った。得られたメカニズム解を用いて広域応力場に対する余震の Misfit 角を推定し、応力場の不均質性に関する評価を行った。その結果、本震後の応力場は短い空間スケールで不均質であることが明らかになった。本震時の断層滑りによる応力変化を擾乱源と仮定すると、差応力が断層の静摩擦係数 0.1 程度のレベル（数 MPa ~ 数 10MPa）で、本震後の応力場不均質性が再現できることが分かった（Yukutake et al., 2020）。

S-net で観測された常時微動記録に地震波干渉法を適用し、表面波トモグラフィを行った。特に、マルチモードの表面波分散曲線の推定手法を開発し、レイリー波基本モード・1 次高次モードおよびラブ波基本モードの位相速度マップの推定に成功した（図 4）。三陸沖北部の前弧最先端部において周期 14 秒のラブ波位相速度が低速度となっており、Tsuru et al. (2002) によって構造探査から得られている P 波速度構造の空間変化と調和的である。また、2011 年東北沖地震の大すべり域（Iinuma et al., 20012）と根室沖の微小地震空白域（Takahashi and Kasahara, 2007）では高速度であり、プレート境界におけるすべり様式と S 波速度構造の対応関係が示唆される。

### 2 ) 摩擦強度の環境依存性の解明

これまで使用していたアナログ式のサーボ制御装置の動作が経年劣化により不安定となり、予定していた実験を行うことができなかった。そのため、PC を用いた制御装置に更新し、動作確認を行った。これに伴い、データ集録システムの見直しも行った。

### 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

中下部地殻での岩石破壊にともなう水理学パラメータを制約するために、天然の岩石 流体反応帯から流体活動時間・流体圧・浸透率を制約する新たな手法を確立した（図 5；Mindaleva et al., 2020）。反応帯のハロゲン濃度プロファイルの反応輸送解析により流体活動時間と流速を制約し、熱力学解析より流体圧分布を制約した。深さ約 20 km、700 の花崗岩質岩脈-地殻反応帯では約 200 日間の流体活

動が、深さ約 10 km、450 の水流体-地殻反応帯では約 10 時間の非常に短い流体活動が検出され、どちらもき裂-母岩間に約 100 MPa / 10 cm の非常に高い流体圧勾配が維持されていたことが明らかになった。上記の制約から、未破壊の地殻の浸透率は  $10^{-22}$  -  $10^{-20}$   $m^2$  と非常に低く、き裂を含む破碎された地殻の浸透率は  $10^{-16}$  -  $10^{-10}$   $m^2$  と数桁上昇することを示した。従来の地殻浸透率見積り (  $10^{-18}$   $m^2$ ; e.g., Ingebritsen and Manning, 2010 ) は百万年スケールの時間平均であり、未破壊地殻 (  $10^{-22}$  -  $10^{-20}$   $m^2$  ) が破壊により時間~年スケールで浸透率が上昇することで説明できる。天然岩石で観測される流体活動時間 ( 10 時間~年 )、破碎地殻の浸透率 (  $10^{-16}$  -  $10^{-10}$   $m^2$  ) は、地殻内群発地震の継続時間やその推定浸透率 ( e.g., Okada et al., 2015; Nakajima and Uchida, 2018 ) とよい一致を示し、中下部地殻における地殻流体圧・浸透率変動の物質科学的な証拠をつかむことに成功している。これらのことから、地震発生と流体のエピソード的な振る舞いの時空間分解が期待できる。

#### 4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

昨年度、水と塩の二成分流体の二面角を調べ、わずかに 1 ~ 数 wt. % の塩が加わるだけで、二面角が純水の場合よりも大きく低下し、カンラン石の表面を良く濡らすようになることを明らかにした。これは、沈み込み流体が蛇紋岩として固定される前弧域と、流体がマントルを融解させる領域の間に、マントル岩の粒間に流体が共存する領域があり、沈み込んだ流体がマントルを浸透して前弧域に直接抜けている可能性を示している。しかし、もう一つの重要な副成分である二酸化炭素は、塩とは反対に二面角を増加させるため、塩と二酸化炭素の効果の競合関係を理解する必要がある。本研究では、このような問題意識の下、多成分流体の実験を行った結果、二酸化炭素と比べて塩の方が二面角に効果的に作用するため、多成分流体がカンラン石表面を良く濡らすことを突き止めた。さらに、沈み込み帯相当の低温高压条件下では、カンラン石の炭酸塩化反応により、流体中の二酸化炭素濃度が大幅に低下するとともに、生成した直方輝石と菱苦土石の影響により、さらに二面角が低下することが明らかになった ( 図 6 )。また、多成分流体は二面角が小さく、岩石の溶けた融液に近い分布形態を示す一方で、流体と融液では、弾性的性質に差があることから、地震波トモグラフィデータに基づいて、楔形マントル内の流体と融液を区別してマッピングできる可能性がある。

#### 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

昨年度、下部地殻を構成する主要構成鉱物である斜長石多結晶の塑性流動強度に及ぼす水の効果を検討して、試料に加えた含水量が増えるほど、粘性率が下がることを明らかにした。本年度、この実験の前と後での粒子形状を後方散乱電子回折分析 ( EBSD ) 法によって解析したところ、粒径もアスペクト比も変形によって大きな変化が無いことが分かった。さらに EBSD 法によって結晶方位定向配列 ( LPO ) を測定した ( 図 7 ) とところ、結晶方位の集中度が弱いことから、粘性率の低下は粒子内部の変形機構 ( 転位クリープ ) というより、粒径に依存した拡散クリープ、もしくは粒界すべりによって生じていたと推定される。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Huang, Y., T. Nakatani, M. Nakamura, C. McCammon, 2020, Experimental constraint on grain-scale fluid connectivity in subduction zones, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 552, 116610, doi:10.1016/j.epsl.2020.116610.
  - Kashiwagi, H., J. Nakajima, Y. Yukutake, R. Honda, Y. Abe, and S. Sakai, 2020, Seismic constraint on the fluid-bearing systems feeding Hakone volcano, central Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 125, e2020JB020341, doi:10.1029/2020JB020341.
  - Mindaleva, D., M. Uno, F. Higashino, T. Nagaya, A. Okamoto, N. Tsuchiya, 2020, Rapid fluid infiltration and permeability enhancement during middle-lower crustal fracturing: Evidence from amphibolite-granulite-facies fluid-rock reaction zones, Sor Rondane Mountains, East Antarctica, *Lithos*, 372?373, 105521, doi:10.1016/j.lithos.2020.105521.
  - Seki, K., W. Kanda, K. Mannen, S. Takakura, T. Koyama, R. Noguchi, Y. Yukutake, M. Ishikawa, M. Fukai, M. Harada, and Y. Abe, 2021, Imaging the source region of the 2015 phreatic eruption at Owakudani, Hakone Volcano, Japan, using high-density audio-frequency magnetotelluric, *Geophys. Res. Lett.*, 48,

e2020GL091568, doi:10.1029/2020GL091568.

Takagi, R., G. Toyokuni, and N. Chikasada, 2021, Ambient noise correlation analysis of the S-net records: extracting surface wave signals below instrument noise levels, *Geophys. J. Int.*, 224, 1640-1657, doi: 10.1093/gji/ggaa548.

Yoshida, K., 2021, Detection of temporal change in near-source attenuation during intense fluid-driven seismicity following the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. J. Int.*, 224, 138-150, doi:10.1093/gji/ggaa421.

Yoshida, K., A. Hasegawa, S. Noguchi, and K. Kasahara, 2020, Low-frequency earthquakes observed in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan, *Geophys. J. Int.*, 223, 1724-1740, doi:10.1093/gji/ggaa418.

Yoshida, K., N. Uchida, S. Hirahara, T. Nakayama, T. Matsuzawa, T. Okada, Y. Matsumoto, and A. Hasegawa, 2020, 2019 M6.7 Yamagata-Oki earthquake in the stress shadow of 2011 Tohoku-Oki earthquake: Was it caused by the reduction in fault strength?, *Tectonophys.*, 228609, doi:10.1016/j.tecto.2020.228609.

行竹洋平, 2020, 箱根火山の深部低周波地震, *地震ジャーナル*, 69, 31-41.

Yukutake, Y., T. Iwata, and Y. Iio, 2020, Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms, *Tectonophys.*, 790, 228553, doi:10.1016/j.tecto.2020.228553.

( 10 ) 令和 3 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

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、その要因や高压流体との関係について検証を進める。また、群発地震の発生域と地殻構造との関係についても調査をさらに進める。すべり様式と流体分布との関係を議論するため、東北日本前弧海域における S 波速度構造を推定し、プレート境界周辺の S 波速度構造とプレート境界地震およびスロー地震との対応関係を調査する。

2 ) 摩擦強度の環境依存性の解明

湿度を制御した環境下で摩擦すべり実験を行い、湿度が摩擦特性や AE 活動に与える影響を調べる。

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

天然の中下部地殻に存在する反応帯の元素プロファイルを解析し、亀裂の形成に伴う短期的な浸透率の増大とイベントのタイムスケールを明らかにする。水熱実験により、流体流動場におけるシリカ粒子の形成とそれによる亀裂閉塞が断層の水理学的・力学的挙動に与える影響を実験的にさらに明らかにする。

4 ) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

これまでの組織平衡実験を発展させ、高温高压下におけるペリドタイトー流体系の電気比抵抗測定実験を行い、MT データに基づいて粒間流体の体積分率を決定できるようにする。また深部捕獲岩の流体包有物の分析から、捕獲岩の破砕メカニズムを明らかにし、世界各地の活火山深部で観測されている低周波地震との関係を検討する。

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

組織(粒径・結晶方位など)を制御した斜長石多結晶体試料を作成し、間隙水圧(圧力)と強度の関係明らかにする。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

中村美千彦・武藤潤・矢部康男・岡田知己・吉田圭佑・高木涼太・松澤暢

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学環境科学研究科先進社会環境学専攻 土屋範芳・岡本敦

神奈川県温泉地学研究所 行竹洋平

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

(13) 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

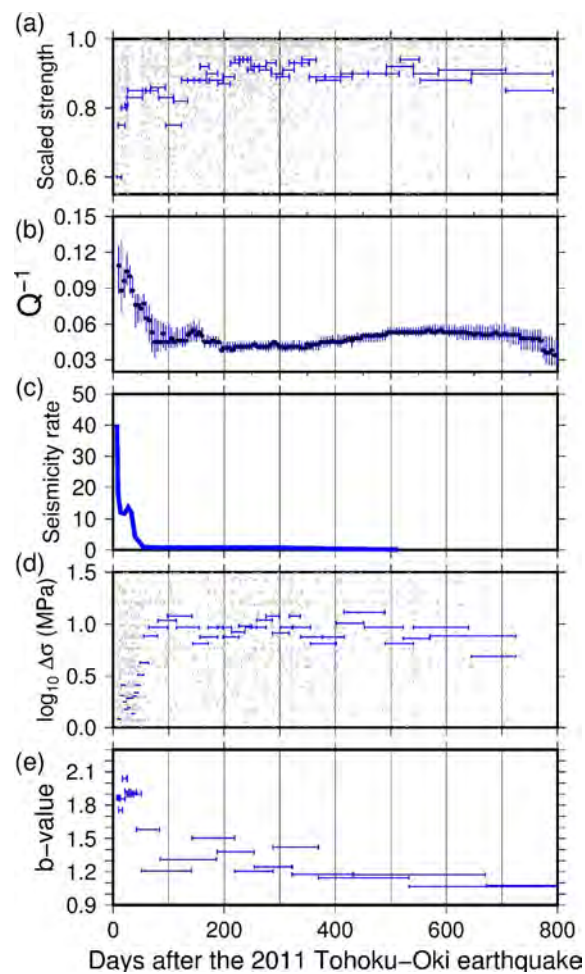


図 1. 2011 年東北沖地震後に山形-福島県境で発生した群発地震およびその地震発生域の様々なパラメータの時間変化 (Yoshida, 2021)

(a) 規格化された強度。(b)  $Q^{-1}$ 。(c) 背景地震発生レート。(d) 応力降下量の対数。(e) b 値。

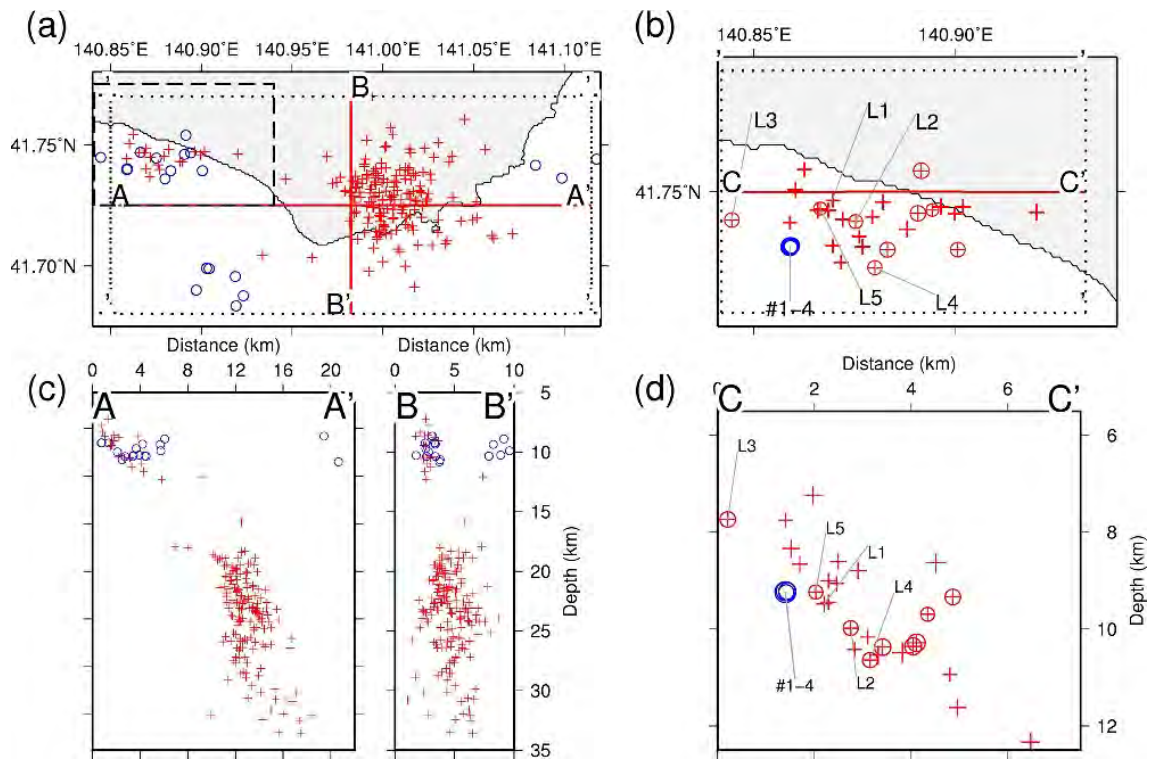


図 2. 函館付近で 2003 年 1 月から 2018 年 10 月の期間に発生した通常の地震 (青丸) と低周波地震 (赤十字) の震源分布 (Yoshida et al., 2020 )  
 (a) 震央分布。(b) 図 (a) の左上破線枠内の拡大図。(c) 図 (a) の A-A' と B-B' の鉛直断面に投影した震源分布。(d) 図 (b) の C-C' 鉛直断面に投影した震源分布。



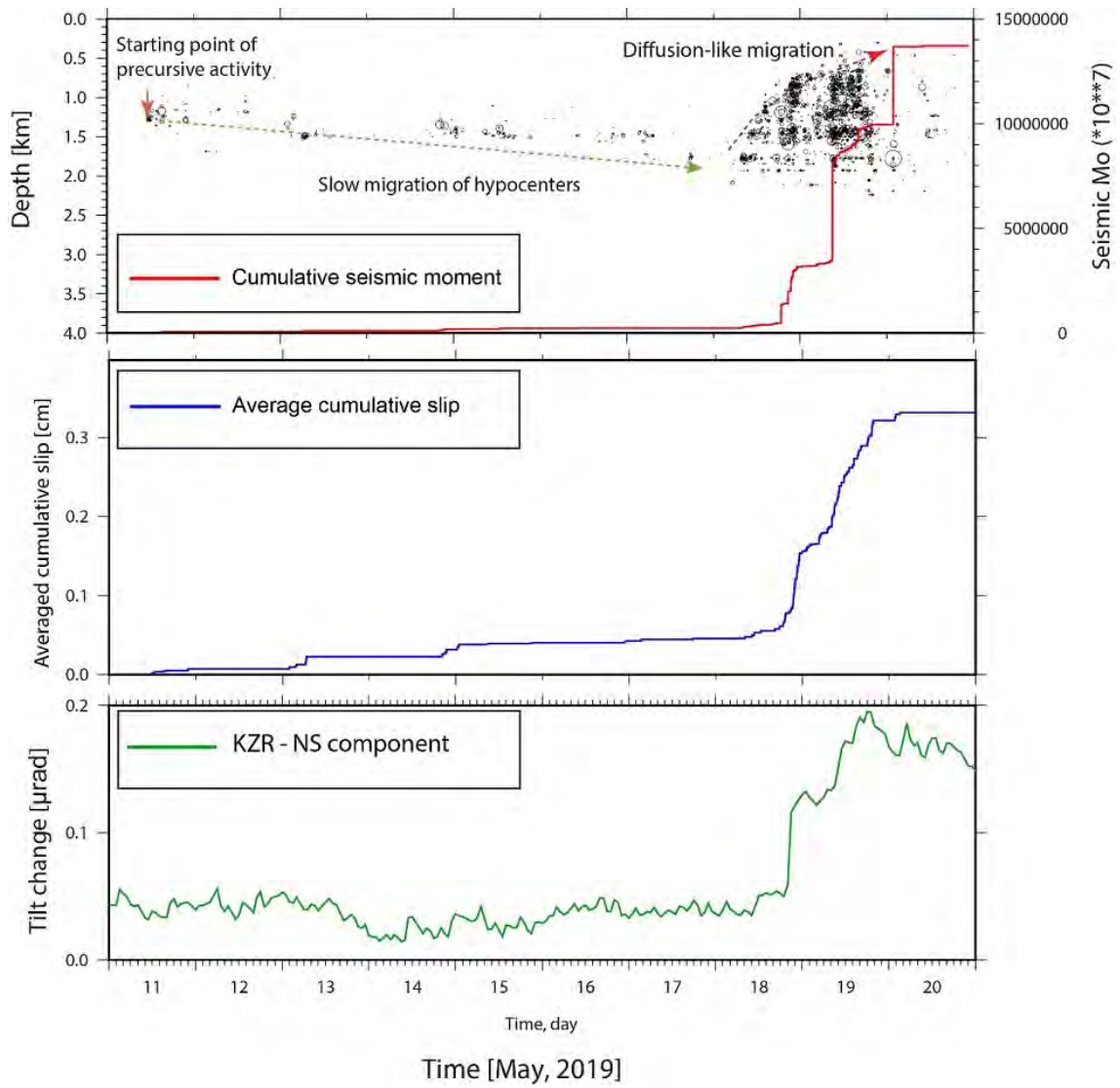


図 3. 箱根カルデラ内において 2019 年 5 月に発生した群発地震活動の時間変化。  
 (a) 震源深さと積算モーメントの時間変化。(b) 繰り返し地震から求めたゆっくり滑りの履歴。(c) 近傍のボアホール観測点 (温地研湖尻観測点) での傾斜記録 (南北成分)

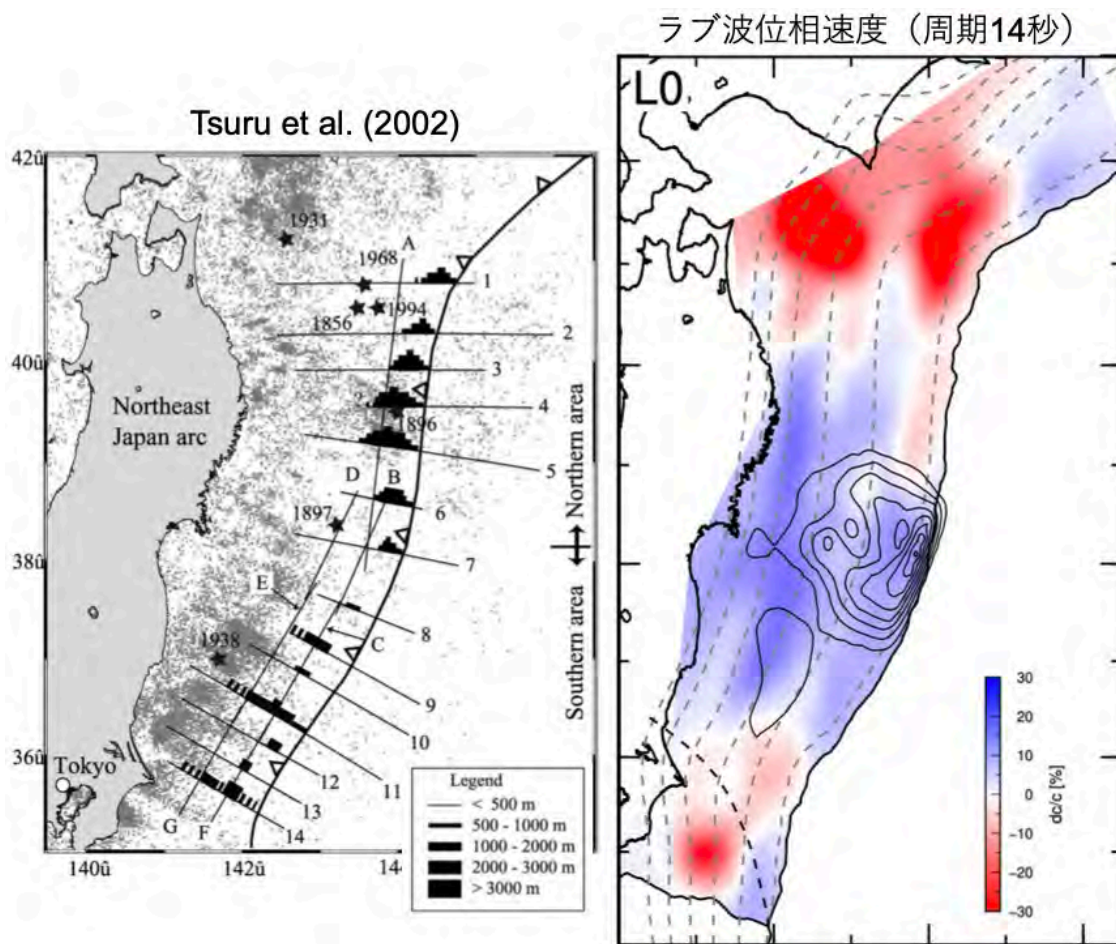


図 4. Tsuru et al. [2002] による低速度物質の空間分布 (左) と S-net 常時微動データから推定したラブ波位相速度マップ (右)

点線コンターはプレート境界等深線 (Kita et al. 2010; Nakajima and Hasegawa, 2006)、実線コンターは 2011 年東北沖地震のすべり分布 (Iinuma et al., 2012)

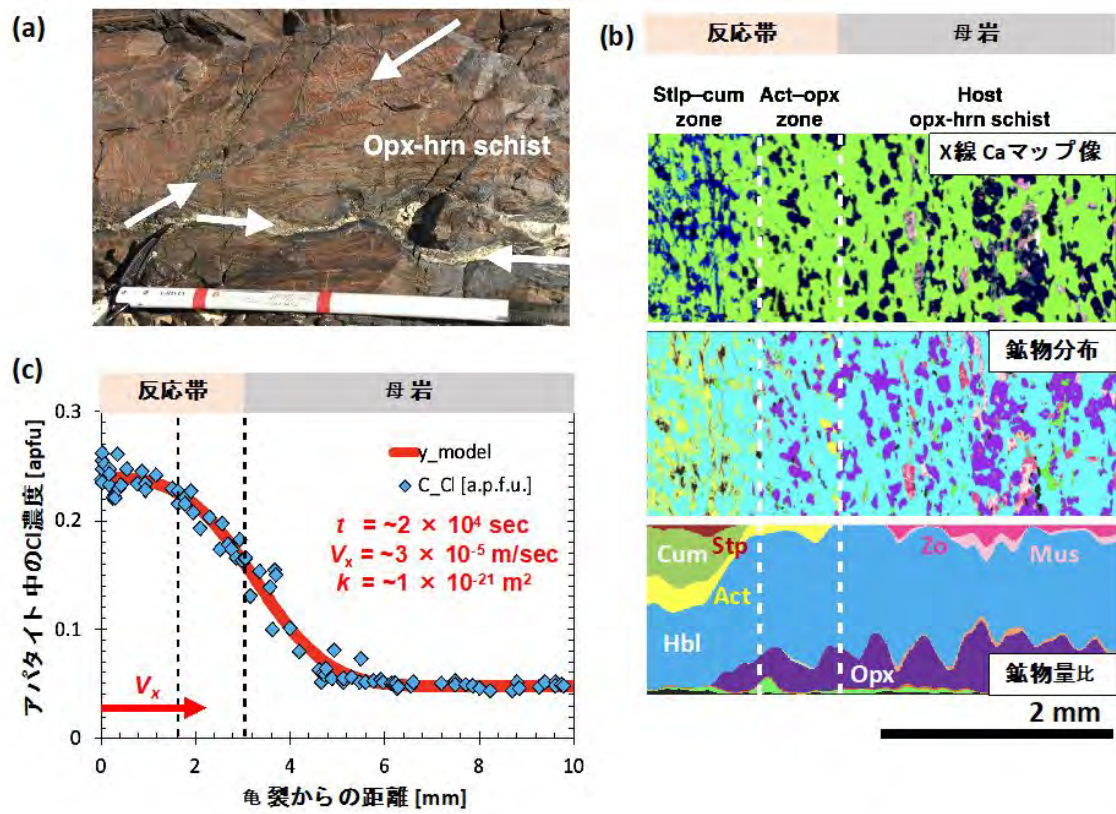


図 5. 中部地殻における岩石-流体反応帯 (東南極セール・ロンダーネ山地; Mindaleva et al., 2020)。(a) 直方輝石-角閃石片岩中のき裂 (白矢印)。黒色直線状の部分はき裂の周囲の反応帯。(b) 反応帯と母岩の X 線 Ca マップ像, 鉱物分布及び鉱物量比。(c) 反応帯から母岩におけるアパタイト中の Cl 濃度プロファイル (青菱形), および反応輸送モデルによる解析結果 (赤線)。

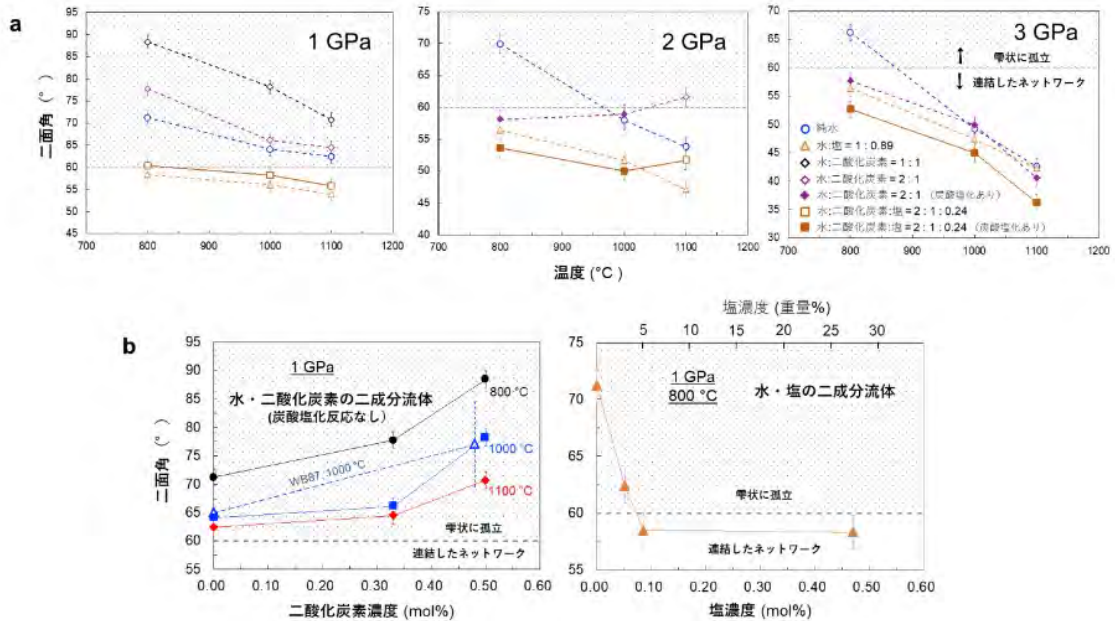
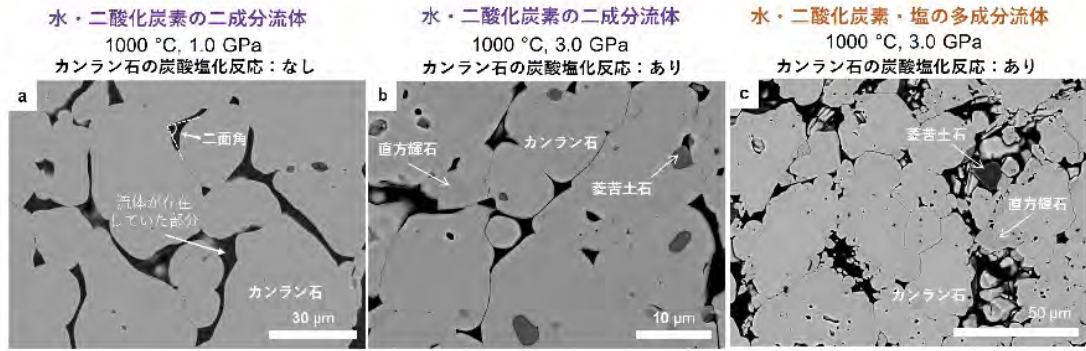


図 6. カンラン石の粒間における超臨界流体 (Huang et al., 2020)

上) 超臨界流体を粒間に含んだカンラン石 (マントルの主要構成鉱物) の多結晶体 (実験産物) の電子顕微鏡写真。暗い部分が高温高压下で流体が存在していた部分。(a) 水・二酸化炭素の二成分流体では、カンラン石の炭酸塩化が起こらない低圧条件下で、図の二面角が  $60^\circ$  より大きくなり流体は孤立して存在する。(b) 高压条件になると、炭酸塩化が起こり、直方輝石と炭酸塩鉱物の菱苦土石が生じる。炭酸塩化の効果で、二面角が  $60^\circ$  より小さくなり、3 次的に鉱物の稜に沿って連結した流体ネットワークが形成される。(c) 水・二酸化炭素・塩の多成分系になると、カンラン石の炭酸塩化の効果に加え、流体中の塩の効果で二面角がさらに小さくなる。

下) 超臨界流体 - カンラン石間の二面角 (実験結果)。(a) 温度圧力依存性。水・二酸化炭素・塩からなる多成分流体の二面角 (濃いオレンジ色の凡例) は、カンラン石の炭酸塩化が起こらない高温低圧条件では、 $800^\circ\text{C}$ 、 $1.0\text{ GPa}$  の条件を除き、二面角が  $60^\circ$  より小さくなるが、水・塩の 2 成分流体の二面角 (黄色い凡例) より大きい。一方、カンラン石の炭酸塩化が起こる低温高压条件では、常に二面角が  $60^\circ$  より小さくなり、すべての実験系の中で、二面角が最も小さくなる。流体中の成分比はモル数で表している。(b) 二面角の二酸化炭素濃度および塩濃度依存性。純水に二酸化炭素が少量加っても、二面角は緩やかにしか上昇しない一方、塩が少量加わると二面角は急激に減少する。ゆえに、二酸化炭素および塩を少量含む多成分流体では、塩の二面角を減少させる効果が、二酸化炭素の二面角を増加させる効果を上回る。

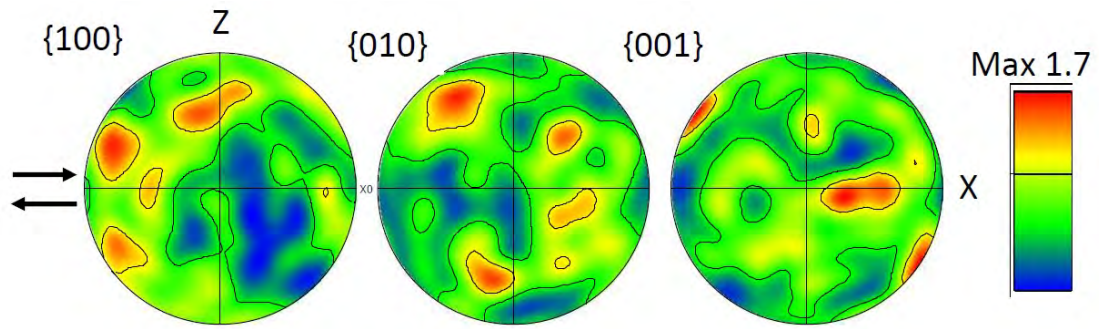


図 7. 後方散乱電子回折分析 ( EBSD ) 法による結晶方位定向配列 ( LPO ) 測定。

変形実験後の測定結果。青が低集中、赤が高集中の配列を示す ( 緑が完全に結晶方位がランダムに分布しているとき集中度を示し、赤はそれに比べて 1.7 倍程度集中 )。赤で示されるようにある程度の集中 ( < 2 倍 ) は見えるものの、その集中度は弱い ( 一般的に、転位滑りの場合は、5 程度になる ) ことから、粒径依存のクリープ機構であることが推定される。

(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2年度の成果の概要：

昨年度の2019年11月末に桜島南岳火口から水平距離約2.7km、地上距離約2.9kmのハルタ山に設置した、ボール型空中垂直電界測定器(空中電位計)、空振計、短周期地震計による観測を2020年6月下旬まで継続し、そのデータ解析を進めた。また、2020年2月から4月中旬までフィールドミル電界計を同地点に設置した。

気象庁鹿児島地方気象台がホームページで報告する桜島火山噴火表に基づき、約180の爆発(Ex)と約100の噴火(Er、爆発を除く噴煙量が中量以上の噴火)について、ハルタ山の空中電位計や、臨時に地上設置した空振計、地震計に信号の発現の有無を調べた。顕著な空振波及び地震波が気象庁の定常観測点に記録される際にExとなるので、ハルタ山に設置した臨時点においてもほぼ100%、地震計及び空振計には顕著な信号が記録された。一方、空中電位計は約80%のExについて数十秒ほどの長周期の信号を記録した。一方、Erについては、約50%の事象にノイズレベルを超えて識別できる空振記録が認められたのに対し、約80%が空中電位計に記録されていた。空振波の記録なしで、空中電界変動が観測されたのは半数にのぼることから、空中電位計もあわせて火山周辺に展開することにより、噴火発生の検知レベルを向上させることができることが明らかとなった。

空中電界変動は、火口から帯電した火山灰が放出されることにより励起されていると考えられている。従来行われているように、空振波の着信時と空気中の音速、火口からの距離をもとに噴火発生時刻を決定し、噴火に伴う地震の発震時や空中電界変動が発現した時刻と比較した。比較的S/N比のよいExを調べた結果、噴火に伴う地震の着信時は、噴火発生時刻よりもやや早く到達していた。従来の研究で指摘されているとおり、噴火発生前に火道内マグマの運動が開始されたと推定できる。一方、空中電界変動は、空振波から予測される噴火発生時刻より数秒程度遅れて発現していることがわかった。空中電位波形はゆっくりとした長周期成分のため立ち上がり時刻は必ずしも明瞭に読み取れないものの、爆発地震の初動から数秒後に空中電界変動が励起されているように見える。また約半年の観測中に顕著な時間変化はない。1985年12月に10日ほど実施された観測では(松本・他、1986)噴火発生時刻とほぼ同時刻に空中電界変動が励起されたと推測されているが、この違いについては、噴火活動や火口地形などに関連していると考えられることから定量的考察をさらに進める必要がある。

噴火発生の際には、火山雷が発生することが知られている。ボール型空中電位計の記録には、噴火発生時の長周期の変動の上に、ステップ状の信号が重畳している。このステップ状の信号は、国土交通省大隈河川国道事務所が海淵に設置した監視カメラの映像を比較することにより、火山雷起源であると推察した。

鹿児島の天候が雷であった5月29日、6月11日、6月15日の空中電界変動を見ると、常時噴火に

よる信号強度と比べ 100 倍以上大きい擾乱が確認される。このことから雷発生時には空中電位計に火山噴火検知能力がないことがわかる。また、天候が雷ではなく雨であった 6 月 4 日の噴火前後に、噴火の信号に重畳して小さな雷雲による雲内放電を検知した。このことから天候が雷とされる日のみならず雨天時であっても注意が必要であることがわかる。

2020 年 11 月に阿蘇山の本堂観測点（京大）に、空中電位計を設置し、観測を開始した。

（ 9 ）令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
中島悠貴・青山裕・西村太志・井口正人・神田径・大湊隆雄・朝倉由香子, 2021, 2020 年 2 月 26 月の桜島・春田山における電位傾度観測で検出された信号, 第 99 回 日本大気電気学会研究発表会, オンライン (Zoom) .

（ 10 ）令和 3 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をさらに進め、爆発地震の震源決定を行い、火口深部から地表までの圧力波の伝播速度や空振波伝播速度を測定する。これらの結果をもとに、火道内ダイナミクスや爆発に伴う衝撃波伝播プロセスを調べる。また、火山噴火の発生が期待される火山に、空中電位計や空振計、地震計を設置し観測を開始する。

（ 11 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志、小園誠史

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学 青山裕

東京大学 大湊隆雄

東京工業大学 神田径

京都大学 井口正人

（ 12 ）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

（ 13 ）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

工. 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、地下浅部で磁鉄鉱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鉱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2年度の成果の概要：

上記1.について、霧島火山新燃岳2011年噴火の石質岩片(溶岩餅由来)サンプルを詳細に観察・分析し、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た。その結果、ナノライトの結晶化により、石基結晶度は5~45日で9.1 vol%上昇し、メルトとマグマの粘性をそれぞれ $10^{6.1-7.4}$ と $10^{7.0-8.3}$  Pa s から $10^{6.9-8.4}$ と $10^{8.2-9.7}$  Pa s に上昇させることがわかった(下図および公表論文)。この粘性上昇はKoyaguchi and Mitani (2005)の気泡過剰圧による破碎条件を跨ぐことになり、ナノライトの結晶化が、溶岩ドームの爆発性を支配している可能性があることがわかった。

上記1.と2.に関し、火砕岩帯磁率を火山活動評価へ応用する物質科学的基礎を構築するため、まず帯磁率の起源となる磁鉄鉱ナノライト・ウルトラナノライトの晶出条件を決定する実験を行った。全岩組成は安山岩質、メルト組成は流紋岩質のマグマを低圧高温下で再現し、結晶化実験を行った。温度・圧力・高温保持時間のほか、酸素分圧などの基本的な条件を幅広く変えた実験を系統的に実施し、実験産物の鉱物学的な解析を行って、形成組織を分類した。その結果、強い磁性を示すウルトラナノライトサイズの鉄チタン酸化物は、NNO buffer環境において、約1気圧および40MPaでは800以下(~650)で、2~8MPaでは900以下で晶出することがわかった。900では、8時間を超えると結晶はナノライトマイクロライトサイズに成長していき、またより酸化的なHM buffer環境では2時間の実験ですでにナノライトサイズに成長していることがわかった。なおこの条件でのラメラの形成は見らず、ナノライト・ウルトラナノライトが噴出した火砕物の帯磁率を担うと考えられる。以上のことから、安山岩質のブルカノ式噴火の本質噴出物が高い帯磁率を示すには、マグマが8MPa以下まで上昇し、約50以上冷却される環境で、かつ比較的高温の場合には滞留時間が約8時間以下である必要があることがわかった。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Mujin, M., Nakamura, M., and Matsumoto, M., 2020, Late-stage groundmass differentiation as a record of magma stagnation, fragmentation, and rewelding, Bull. Volcanol., 82:48, doi.org/10.1007/s00445-020-01389-1

(10) 令和3年度実施計画の概要：

これまでに扱ってきた安山岩質マグマに比べ、玄武岩質マグマは粘性が低く、火山浅部での結晶作用が迅速であり、結晶化による粘性上昇も短時間で起こると考えられる。そのため、石基の結晶作用は、玄武岩質マグマが破碎して爆発的な噴火を起こす主要な要因であると考えられている。そこで、富士火山宝永噴火を例として、石基の最終平衡結晶化深度を実験岩石学により決定し、火道流物理モデルと比較して、噴火ダイナミクスとの関係を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地学専攻 中村美千彦

地学専攻 無盡 真弓

他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

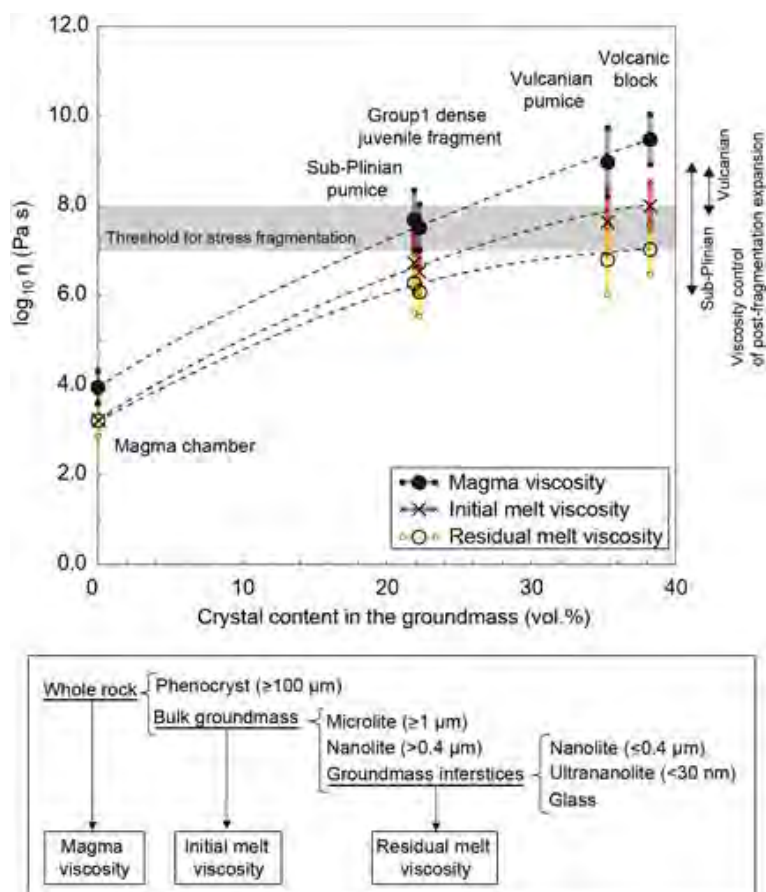
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(13) 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



### 石基ナノライトの結晶作用による新燃岳マグマの粘性上昇

新燃岳 2011 年噴火噴出物（サブプリニー式噴火軽石、ブルカノ式噴火軽石、ブルカノ式噴火の本質石質岩片）について、全マグマ・全石基メルト（斑晶以外）・石基間隙メルト（マイクロライト以外）のそれぞれについて、石基鉱物の結晶化による粘性上昇を計算した。ナノライトの晶出により、ブルカノ式噴火噴出物のメルト粘性が、5MPa の引張応力による応力破砕の閾値（Koyaguchi nd Mitani, 2005; 気泡体積分率 0.2~0.6）を超える。

(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：

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2年度の成果の概要 :

アラスカ南部地域の地殻と上部マントルの P 波速度・S 波速度とポアソン比の3次元微細構造を研究した。特に2018年11月30日に起こった Anchorage 地震 (Mw 7.1) と1964年3月27日に起こったアラスカ巨大地震 (Mw 9.2) の震源域の構造と発生メカニズムについて調べた。その結果、次のような新知見を得た。

(1) 2018年 Anchorage 地震 (Mw 7.1) は沈み込んでいる太平洋スラブの中で起こった正断層型の地震である。震源の上下に顕著な低速度・高ポアソン比の異常体が存在し、スラブの脱水から来た流体を反映するものと思われる。

(2) 1964年アラスカ巨大地震 (Mw 9.2) の震源は megathrust zone における構造の急変部に位置し、震源真上の北米プレートに顕著な高ポアソン比の異常体が存在する。

(3) 太平洋スラブの脱水と震源域の構造不均質がこれらの大地震の発生に影響を及ぼしたと考えられる。この成果は計画(上記(7))に沿ったものである。

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Gou, T., D. Zhao, Z. Huang, L. Wang (2020). Structural heterogeneity in source zones of the 2018 Anchorage intraslab earthquake and the 1964 Alaska megathrust earthquake. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 21, e2019GC008812.

Hua, Y., D. Zhao, G. Toyokuni, Y. Xu (2020). Tomography of the source zone of the great 2011 Tohoku earthquake. *Nature Communications* 11, 1163.

Wang, Z.W., D. Zhao (2021). 3D anisotropic structure of the Japan subduction zone. *Science Advances* 7, eabc9620.

Yu, Z., D. Zhao (2020). Seismic evidence for water transportation in the forearc off Northern Japan. *J. Geophys. Res.* 125, e2019JB018600.

Zhao, D. (2021). Seismic imaging of Northwest Pacific and East Asia: New insight into volcanism, seismogenesis and geodynamics. *Earth-Science Reviews* 214, 103507.

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

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と異方性構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

趙大鵬

豊国源知

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

( 13 ) 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 の把握を目指す。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変化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に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2年度の成果の概要：

### 海域地震観測

アウターライズ域での海洋プレート含水化への理解を深めるため、北海道根室沖で行われた超深海海底地震計を用いたアウターライズ域 - 前弧域のOBS・MCS構造探査データを解析した。P波初動とMCS断面上のモホ面反射波の走時を用いてP波速度構造を求めた結果、海溝の手前にある海山直下において、7 km/s以下の領域が海底下深さ10 kmまで広がる特徴があり、海山から陸の方へ50 kmほど連続して分布することがわかった。この低速度異常の深度がMCSで観測されたモホ面よりも深いことから、海洋地殻が厚くなっているのではなく地殻より深部の構造異常と解釈した。この成因として、低速異常と海山との位置関係から、マグマの下底付加のような火山活動が考えられる。こうした小さな海山は北西太平洋に点在するとみられ、ここでの太平洋プレートが非常に大きな不均質を持って沈み込んでいるといえる。

### 陸域地震観測

東北地方・北海道下の上面地震帯の深さ100-130 kmで発生する6つの地震クラスターについて、波



形相関走時差 DD 法による精密震源推定およびメカニズム解を推定した。その結果、どのクラスターも 1-2 km 四方の領域で主に逆断層型の地震活動であることがわかった。5 つのクラスターでは正断層型地震も伴い、逆断層震源より浅い側で多く発生した。こうした downdip compression 場にもかかわらず発生する正断層地震は、地殻物質のエクロジヤイト化による引張場が原因であると解釈した。エクロジヤイト化に伴う引張場の形成は極めて局所的であることが示唆される。

中部日本下の深さ 350 km で発生する深発相似地震 5 グループ 11 個の震源を hypoDD により再決定し、メカニズム解を調べた。波形と P 波極性分布の類似性、震源の相対位置関係に基づくと、各々の地震はグループごとに共通の断層面上で発生しているが、震源は共通断層面上の別々の場所に位置することがわかった。さらに、応力降下量と地震波放射エネルギーの関係性を調べると、相似地震であっても放射効率・応力降下量ともにばらつきがあり物理パラメータの多様性が見られた。これは、同一スラブの同じ深さ（環境）の地震や共通断層面上の深発相似地震において破壊の進展プロセスに対する thermal instability の寄与が異なる可能性を示唆する。その要因としては、断層表面における鉱物粒径の違い、初期粘性、断層の成長度などが考えられる。

#### 室内実験

冷たい沈み込み帯における稍深発地震の原因の 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。しかし、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。本研究では、スラブ内地震の発生条件を模擬した沈み込みに伴う加熱と同時に変形を行った変形実験から、ローソナイトの安定領域（500 - 550 °C）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。微細組織観察からは、断層に沿って極細粒の非晶質物質が存在することが明らかになった。一方、脱水条件での変形実験では、脱水に伴い歪軟化するものの、急激な応力降下は見られなかったため、今後は実験で形成された断層物質の比較を行い、摩擦不安定性のメカニズムを明らかにしていく。

沈み込み帯の稍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。温度によって様々な力学特性を示すが、600 °C で変形したサンプルでは、安定したすべりが発生し、透過型電子顕微鏡分析により、断層に沿ってゲルマニウムアンチゴライトの細粒板状粒子が観察された。フーリエ変換赤外分光法（FT-IR）分析では、アンチゴライトの OH 伸縮振動に起因するピークが見られ、600 °C 未満の温度ではアンチゴライトが広く形成されたことを示唆している。この結果は、ゲルマニウムオリビンが差応力下で極少量の水によって、含水（蛇紋岩化）し断層を安定させる可能性がある。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Azuma, R., S. Kodaira, R. Hino, G. Fujie, K. Obana, F. Tomita, and Y. Ohta, 2020, Crustal structure of the incoming Pacific Plate off Hokkaido, the southern Kuril Trench subduction zone, by an active-source seismic survey using dense linear OBS array, American Geophysical Union 2020 Fall Meeting, T018-0004. Sawa, S., Nobuyoshi Miyajima, Jun Muto, and Hiroyuki Nagahama (accepted) Strain-induced partial serpentinization of germanate olivine with a small amount of water. American Mineralogist, <https://doi.org/10.2138/am-2021-7735>. Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, “ 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, “ Microstructure evolution of olivine-spinel phase transformation under differential stress for deep-focus earthquakes by phase field method ”, ICOTOM 19 (March 1-4, 2021), oral presentation. Shiraishi, R., J. Muto, A. Tsunoda, S. Sawa, and A. Suzuki Semi-brittle behavior of lawsonite in high pressure deformation experiments., Japan Geoscience Union 2020 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 高温高压下におけるローソナイトの変形挙動，第 61 回高压討論会  
土山絢子・中島淳一，深発の相似地震における震源パラメータの多様性，日本地震学会 2020 年秋  
季大会，S09?24.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

海域地震観測

1933 年昭和三陸地震震源域周辺の海底地震計アレイ観測記録から陸域化スラブ内地震の s 地震波見かけ速度を調べ、アレイ沿いの走時異常から震源断層由来の構造異常の把握を試みる。

陸地震観測

日本列島下のスラブ内地震について繰り返し地震の有無を検証する。また、深発地震の震源パラメータ解析を行う。

室内実験

ローソナイトや蛇紋岩の脱水及びオリビーンスピネル相転移に伴う、摩擦不安定性及び断層形成に関する実験的研究を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東北大学（松澤暢、日野亮太、内田直希、矢部康夫、鈴木昭夫、武藤潤、白石（益戸）令、東龍介）  
他機関との共同研究の有無：有

東京工業大学（中島淳一、麻生尚文）

海洋研究開発機構（小平秀一、尾鼻浩一郎、藤江剛）

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

( 13 ) 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

(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载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 2 年度の成果の概要：

( 7 ) に従い、以下の研究を実施した。

##### [地震および測地観測]

- ・臨時地震観測網の整備

前年度まで設置した観測点は概ね順調に稼働している。加えて、本年度は 6 点（2021.2.15 時点）の新規観測点の整備を行なった。

・2019 年 6 月に発生した山形県沖の地震、2017 年秋田県大仙市の地震の発生機構：Yoshida et al. (2020a), (2020b) など：図 1

2019 年山形県沖の地震は東北沖地震のストレスシャドウで発生しているが、余震分布のマイグレーションから深部からの間隙水圧拡散により発生した可能性が考えられる。一方、2017 年 M5.2 秋田県大仙市の地震は東北沖地震・余効変動の応力変化と調和的な南北走向横ずれ断層で発生したと考えら

れる。この地震も前震活動や余震活動のマイグレーションが見られ、震源核形成過程、余効滑りなどの非地震性的な応力再分配、間隙水圧拡散を反映する可能性がある。

・ S-net 連続観測データに対する地震波干渉法の適用：Takagi et al. (2021)；図 2

S-net 連続観測データに地震波干渉法を適用し、常時微動の相互相関解析から観測点間を伝播する表面波の抽出に成功した。特に、S-net 記録に含まれる機器ノイズを明らかにし、その除去手法を開発した。機器ノイズの除去による表面波解析周波数帯域の拡大により、海域における上盤地殻内の S 波速度構造推定が可能になると考えられる。

・ 日本海東縁地域の応力場と地震活動：田上・他、2020；岡田・他、2020；田上・2020

日本海東縁変動帯では、1983 年日本海中部地震や 2003 年北海道南西沖地震のような震源域近傍での津波や 1964 年新潟地震のような軟弱な地盤の液状化による被害が生じる特徴がある。既往研究により様々な断層モデルが提案されているが、断層形状の要因の理解は充分ではなかった。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が、日本海東縁変動帯で発生した最近 100 年間の大規模地震は概ね現在の応力場で生じた構造の断層による事を確認した。

・ S 波スプリッティング解析：水田・他、(2020)

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、東北地方の地殻内 S 波偏向異方性の再検討を行った。東北地方全域の各観測点で測定された異方性の方向は南北方向と東西方向どちらも見られるが、岩手から宮城にかけての太平洋沿岸では先行研究の結果と一致するような南北方向の割合が多く、中央の内陸部では東西方向の割合が多い傾向となった。

[ 電磁気探査 ]: Motoyama et al (2020) 他；図 3

前年度に引き続き東北地方の地殻 3 次元比抵抗構造推定のため、これまで取得されている広帯域 MT データ (例えば Matsumoto et al., 2020) のコンパイルと解析を実施した。

前弧域については、北上帯と阿武隈帯における前弧側の比抵抗構造をより精緻化した。花崗岩体に対応した高比抵抗体のイメージが得られたと同時に阿武隈帯を南北に縦断する双葉断層に対応した顕著な低比抵抗体は得られなかった (Fukai et al., 2020; Motoyama et al., 2020)。

東北中央脊梁については、鳴子・鬼首地域で顕著な下部地殻から上部地殻に縦に連なる低比抵抗体を地殻応答計算へ反映させた結果を既に公表しているが (Matsumoto et al., 2020)、今回は新潟県村上市から磐梯山・吾妻山を通り福島県いわき市北部にかけての島弧横断面でも顕著な下部地殻から上部地殻の縦に連なる低比抵抗体をイメージすることができた (Motoyama et al., 2020)。ただし、Motoyama et al. (2020) の 3 次元構造解析では磐梯・吾妻山地域はデータ空白域となっている。この空白域でローカルに取得した吾妻山の広帯域 MT の解析が HKD04 課題で実施されており、上部地殻にマグマ溜りに対応する低比抵抗体が見られているが、下部地殻の低比抵抗体は得られていない (Ichiki et al., 2021)。背弧域については、前年に報告した秋田県内陸南部の微小地震活動活発化地域をターゲットにした深部比抵抗構造探査 (MT 探査) を補完する形で 3 観測点でのデータ取得を行った。秋田市雄和地区の秋田空港付近から、仙北市角館町にかけてのほぼ北緯 39°36' の緯線に沿う東西測線で、新たに得られたデータを加えた計 17 測点のデータを用い、2 次元比抵抗断面モデルを得た (図 3-1)。地震活動は、測線中央部の地殻内に存在する高比抵抗体内部から低比抵抗体の境界にかけて顕著であることが分かった。Motoyama et al. (2020) で解析されたデータ以外についても、さらにデータを集める準備を始めた。2008 年から 2010 年にかけて庄内平野周辺域 6 測線で取得した広帯域 MT 観測のデータの取りまとめと再解析を行う準備を開始した (図 3-2)。一方 2015 年から 2018 年にかけて越後平野域からいわきにかけて取得した広帯域 MT 観測データや周辺情報を整理し、それらのデータについても再解析を行う準備を開始した (図 3-3)。また地殻比抵抗以外にも、上部マントルを対象とした 1990 年、ならびに、1994 年から 1997 年にかけて宮城県、山形県以北の東北全域で取得した長基線地電位差観測によるネットワーク MT 観測のデータ整理と再解析を行う準備を開始した (図 3-4)。

[ 断層浅部構造・重力探査 ]: 平出 (2021)；図 4

仙台平野南部は、長町 利府線断層帯の南方に位置し、また双葉断層の北部延長域でもあり、活断層が隣接する複雑な地域である。これまでの研究で、宮城県名取市（愛島丘陵付近）から宮城県亘理町付近まで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。重力探査は2020年9月に実施し、仙台平野を東西方向に横切るように4測線の探査測線を設定し、標準250m間隔で合計74点の相対重力測定を行った。伏在活断層は、平野と丘陵との地形境界に沿って位置することが予想されたため、重力補正の仮定密度および地形補正值について、十分に考慮したうえで、ブーゲー重力異常の変化を追跡した。その結果、調査測線の北側2本では、微小ではあるが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。

[レオロジーモデル構築] (図5)

本年度は、3次元余効変動解析から、2011 - 2016年までの余効変動解析を実施した。

GEONETと東北大学の持つ宮城 - 山形、福島 - 新潟の稠密観測から島弧に沿う南北方向での余効変動の変化を明らかにし、モデル計算から地下のレオロジー構造の不均質性を調べた。2つの側線での観測を、海溝平行成分、直交成分、垂直成分に分け、モデルとの詳細比較を行い、福島測線に比べ、宮城測線のほうが、前弧の高粘性領域（コールドノーズ）が狭いことが明らかになった。この前弧域のレオロジー特性の違いは、Omuralieva et al. (2012)による地震の発生下限深さ（D90）が、宮城に比べ福島のほうがより深いこととも調和的である。

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をはじめとする東北地方前弧地域（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・地震活動の理解がなされることが期待される。

- (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Fukai, M., Y. Ogawa, S. Takakura, M. Mishina, 2020, 3D imaging of NE Japan forearc: implications for fluid distribution and transport, SEM21-05, JpGU-AGU Joint Meeting 2020.  
平出裕博, 2021, 仙台平野南部における伏在活断層の南方への連続性（指導教員・岡田真介）, 岩手大学卒業論文  
Ichiki, M., T. Kaida, T. Nakayama, S. Miura, M. Yamamoto, Y. Morita, M. Uyeshima, 2021, Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan as inferred from three-dimensional electrical resistivity image by magnetotellurics, Earth Planets Space, submitted.  
池田 里奈, 吉田 圭佑, 高橋 諒, 松澤 暢, 長谷川 昭, 2020, 小中地震の破壊伝播指向性を考慮した応力降下量の推定; 福島-茨城県境の地震活動への適用, JpGU-AGU Joint Meeting 2020.  
Matsumoto, S., T. Okada, T. Terakawa, M. Uyeshima, Y. Iio, 2020, The advancement of research on inland earthquake generation 2014-2018, J. Disaster Res., 15, 96-105, 2020, doi: 10.20965/jdr.2020.p0096.  
水田 達也, 岡田 知己, Savage Martha, 高木 涼太, 吉田 圭佑, 八木原 寛, 松島 健, 片尾 浩, 山中 佳子, 小菅 正裕, 勝俣 啓, 大園 真子, 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, 2020, 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, 日本地震学会2020年大会.  
Motoyama, A., M. Ichiki, Y. Ogawa, M. Uyeshima, K. Asamori, T. Uchida, T. Koyama, S. Sakanaka, H. Hase, K. Aizawa, Y. Yamaya, 2020, A three-dimensional electrical conductivity model of the crust

- beneath the southern Tohoku district, NE Japan, SIT24-P03, JpGU-AGU Joint Meeting 2020.
- 岡田 知己、田上 綾香、水田 達也、酒井 慎一、吉田 圭佑、内田 直希、中山 貴史、平原 聡、松澤 暢、2020、陸上臨時地震観測で見た 2019 年山形県沖の地震 (2), JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SCG63-01.
- 田上綾香、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、2020、日本海東縁地域の応力場と発生した地震の断層面との関係 (2)、日本地震学会 2020 年大会.
- 田上綾香、2020、日本海東縁地域の応力場と発生した地震の断層面との関係、東北大学修士論文 ( 指導教員：岡田知己 ) .
- Takagi, R., Toyokuni, G., & Chikasada, N., 2021, Ambient noise correlation analysis of the S-net records: extracting surface wave signals below instrument noise levels, *Geophysical Journal International*, 224(3), 1640?1657, doi:10.1093/gji/ggaa548.
- Yoshida, K. et al., 2020a, Stress Release Process Along an Intraplate Fault Analogous to the Plate Boundary: A Case Study of the 2017 M5.2 Akita Daisen Earthquake, NE Japan. *J Geophys Res Solid Earth* 125.
- Yoshida, K. et al., 2020b, 2019 M6.7 Yamagata-Oki earthquake in the stress shadow of 2011 Tohoku-Oki earthquake: Was it caused by the reduction in fault strength? *Tectonophysics* 228609, doi:10.1016/j.tecto.2020.228609
- 吉田圭佑 & 松澤暢、2020、. 近年の地震観測により得られた東北日本の応力場の不均質性と断層強度および地震発生機構の関係. *地学雑誌* 129, 451?471.
- Yoshida, K., Hasegawa, A., Noguchi, S. & Kasahara, K., 2020c, Low-frequency earthquakes observed in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan. *Geophys J Int*, doi:10.1093/gji/ggaa418.
- Yoshida, K., 2020a, Detection of temporal change in near-source attenuation during intense fluid-driven seismicity following the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys J Int*, doi:10.1093/gji/ggaa421.
- 吉田 圭佑、高木 涼太、内田 直希、池田 里奈、2020、東北地方太平洋沖で発生した小中地震の破壊伝播指向性と応力降下量：S-net を用いた解析, JpGU-AGU Joint Meeting 2020.
- 吉田 圭佑、自然地震データに基づく応力と断層強度に関する研究、2020、日本地震学会 2020 年秋季大会.
- Yoshida, K. 2020b, Simultaneous estimation of stress drop and rupture directivity of small earthquakes in Japan: prevalence of asymmetrical rupture leads to systematic estimation error of stress, AGU fall meeting 2020.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

[地震および測地観測]

R2 年度までに設置した観測点に加えて、R3 年度も新規観測点の整備等を行う予定である。引き続き、臨時観測のデータも活用し、応力場・S 波スプリッティング?解析などの研究を進め、ひずみ速度分布などとの比較を踏まえ、それらと地震活動・断層活動との関係の検討を行う。

S-net と陸域観測網のデータを同時に用いることで、これまでの実体波トモグラフィーでは分解能が低かった海域および海陸境界部の上盤地殻内の S 波速度構造・異方性構造の推定を試みる。

[ 電磁気探査 ]

図 3-2、3-3 に示されている東北地方各地域でのデータの収集コンパイルや吾妻山地域でのデータを合わせた解析を進める。

秋田県内の地震活動と比抵抗構造については、日本海東縁断層帯との関連についても考察を行う。

[ 断層浅部構造・重力探査 ]

引き続き仙台平野南端部付近において、相対重力測定を行う。今年度の調査測線の北側および南側において、追加の測線を設定し重力測定を実施する。

[レオロジーモデル構築・総合検討]

引き続き 3 次元の余効変動のモデル化をすすめるとともに、宮城、福島周辺だけでなく、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。

作成したモデルを用いて、ひずみ・応力の時空間変動、対象領域内の断層への応力載加過程や東北沖地震の地震時・地震後の影響を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己、松澤暢、高木涼太、吉田圭佑、内田直希、市來雅啓、三浦哲、武藤潤、矢部康男、山本希、太田雄策、日野亮太

他機関との共同研究の有無：有

建築研究所（芝崎文一郎）

岩手大学（岡田真介） 東北大学災害科学国際研究所（福島洋）、北海道大学（勝俣啓、高橋浩晃）、

弘前大学（小菅正裕）、名古屋大学（山中佳子）、京都大学防災研究所（片尾浩）、九州大学（松島

健）、鹿児島大学（八木原寛）、秋田大学（坂中伸也）、東大地震研（上嶋誠、大園真子）、東京工業

大学（小川康雄）、産業技術総合研究所（山谷祐介）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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

(13) 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

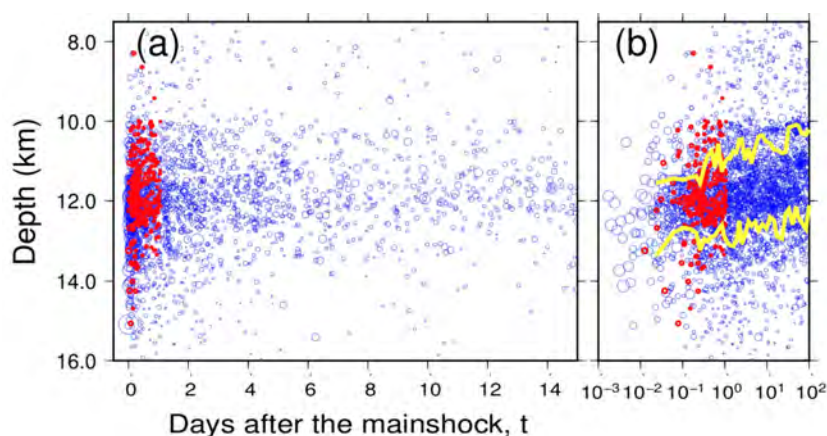


図 1 - 1. 2019 年山形県沖地震の余震の時間-深さ分布。

青は気象庁一元化震源。赤は再決定震源。(a) 0-15 日。(b) 横軸を対数で示す。右：時間-深さプロットの黄色線(左)と赤十字(右)は各時間窓の浅い方から 10%の深さ。



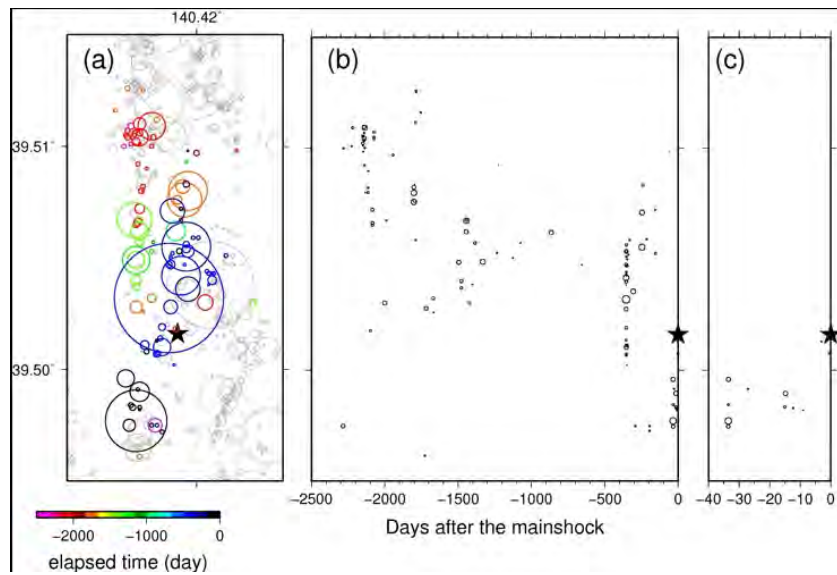


図1 - 2. 2017年秋田県大仙市の地震の前震の時空間分布。  
 (a) 震央分布図。色は発生日を示す。(b) 横軸・時間、縦軸・断層の走向に沿った距離で示す。-2500日から0日の期間を示す。は本震を示す。(c) -40日から0日。

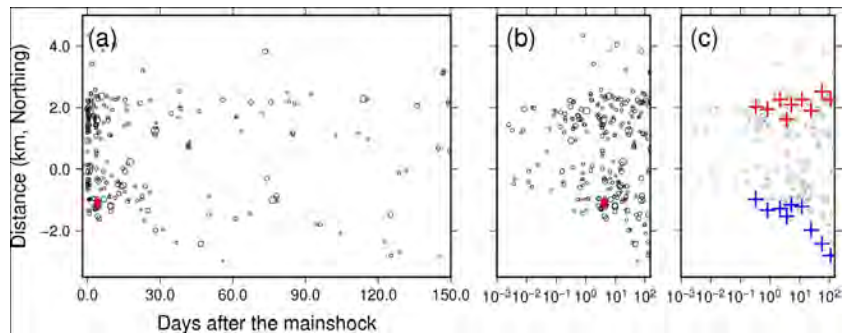


図1 - 3. 2017年秋田県大仙市の地震の余震の時空間分布。  
 横軸・時間、縦軸・断層の走向に沿った距離で示す。(a) 0-150日。(b) 横軸を対数で示す。(c) 中心からみて外側10%の位置を+で示す。

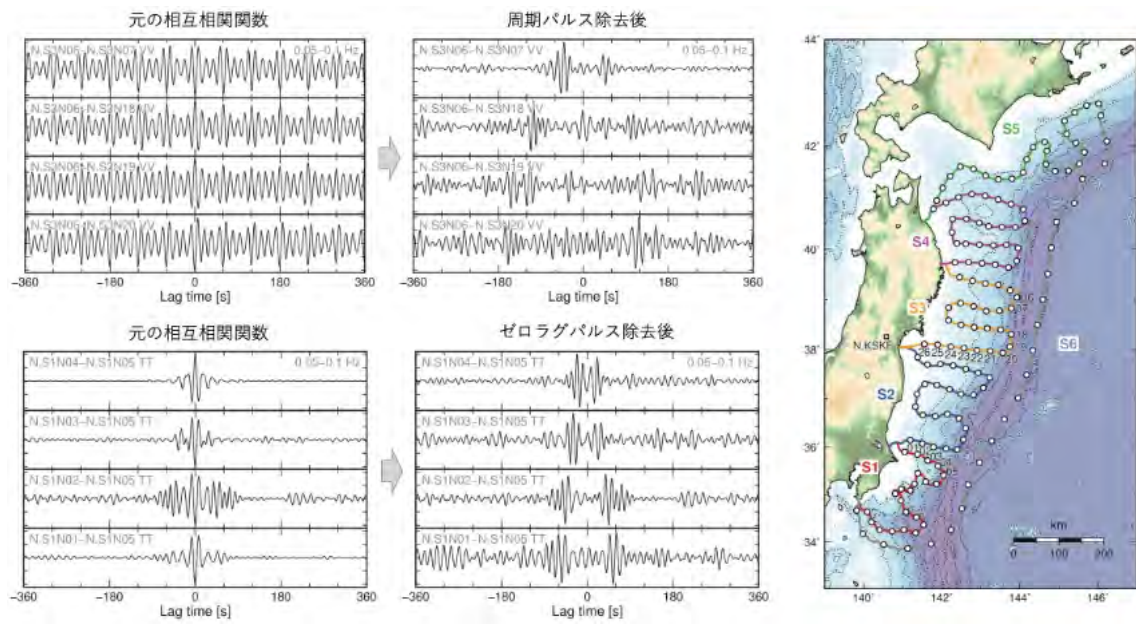


図 2. S-net の常時微動相互相関関数に含まれる機器ノイズの影響除去 ( Takagi et al., 2021 )。周期的機器ノイズに起因する周期パルスの除去前後の相互相関関数、およびランダム機器ノイズに起因するゼロラグパルスの除去前後の相互相関関数。

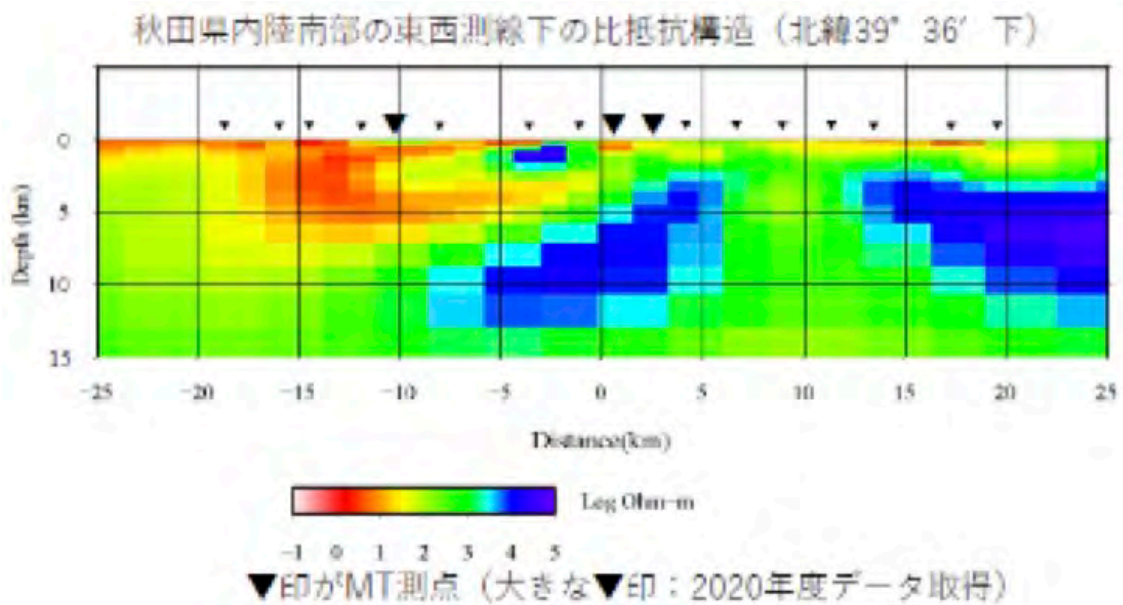


図 3-1. 秋田市雄和地区の秋田空港付近から、仙北市角館町にかけてのほぼ北緯 39 °36 ' の緯線に沿う東西測線での比抵抗構造。

### 東北背弧ひずみ集中帯での広帯域MT観測(2008-2010)

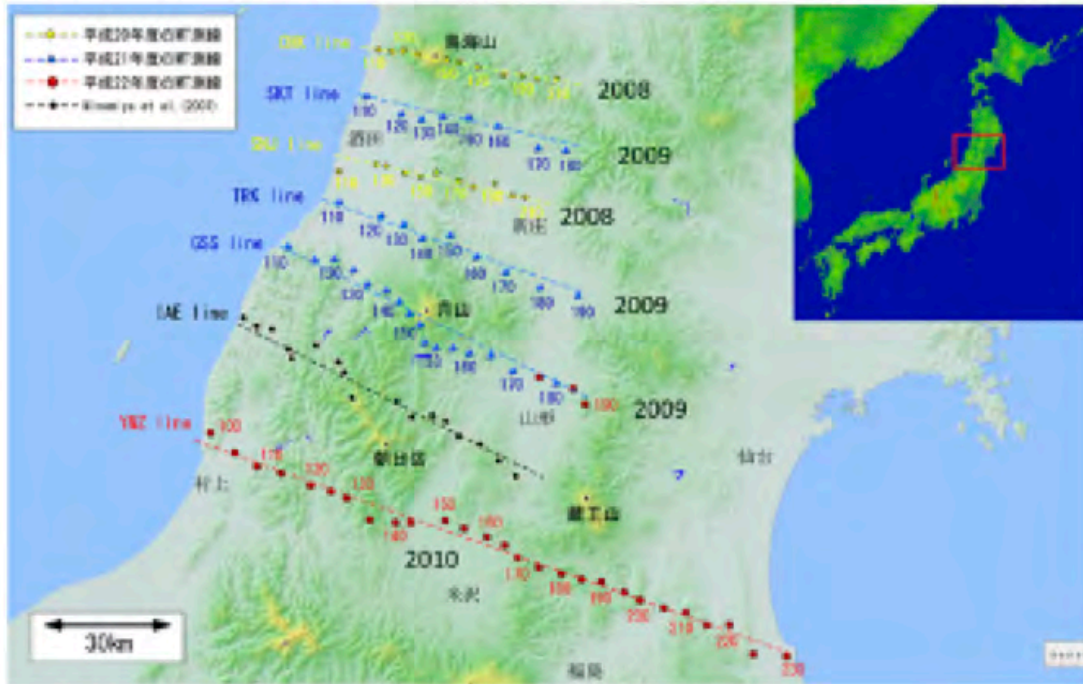


図 3-2. 2008 年から 2010 年にかけて庄内平野周辺域 6 測線で取得した広帯域 MT 観測のデータ。

### 新潟平野-いわき地域での広帯域MT観測(2015-2018)

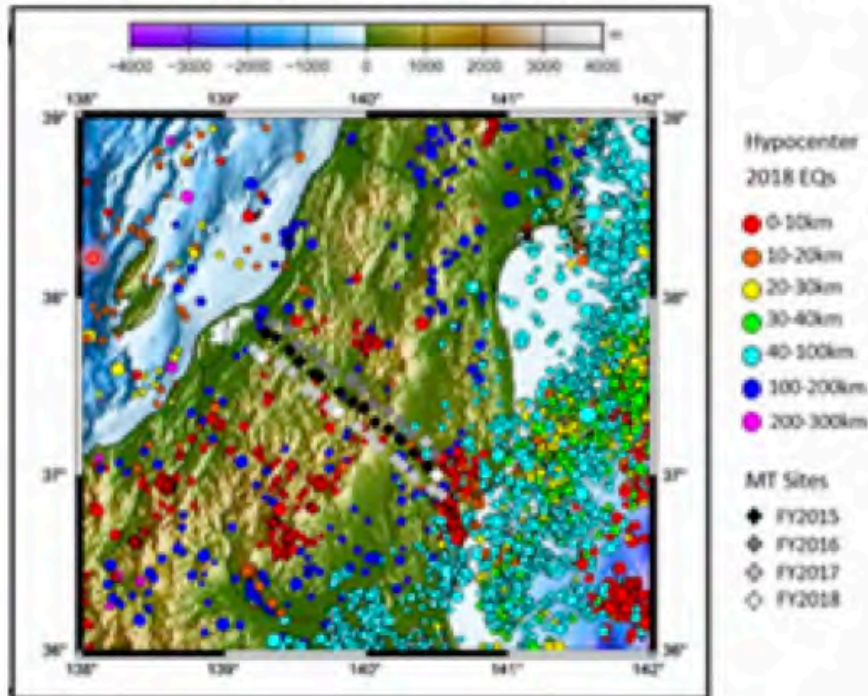


図 3-3. 2015 年から 2018 年にかけて越後平野域からいわきにかけて取得した広帯域 MT 観測データ (ひし形)。色付きの丸は 2018 年一年間の一元化震源の震央と深さを示す。

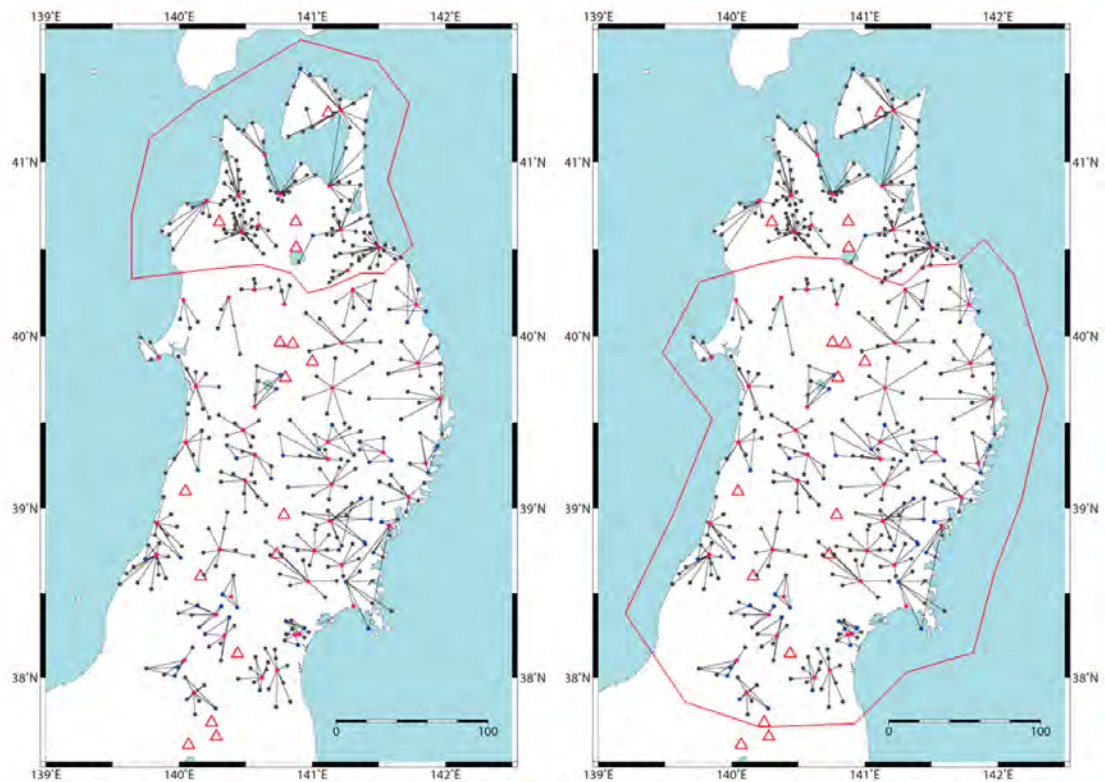


図 3-4. ネットワーク MT データ。

(左) 青森県内で 1990 年に取得されたネットワーク MT データ (赤線内)。11 中心極で構成されており、1 か月間、20 秒もしくは 1 分のサンプリングで地電位差を取得している。(右) 1994-1997 年に青森県以外の東北地方で取得されたネットワーク MT データ (赤線内)。41 中心局で平均して 2-3 か月間 10 秒サンプリングで地電位差を取得している。

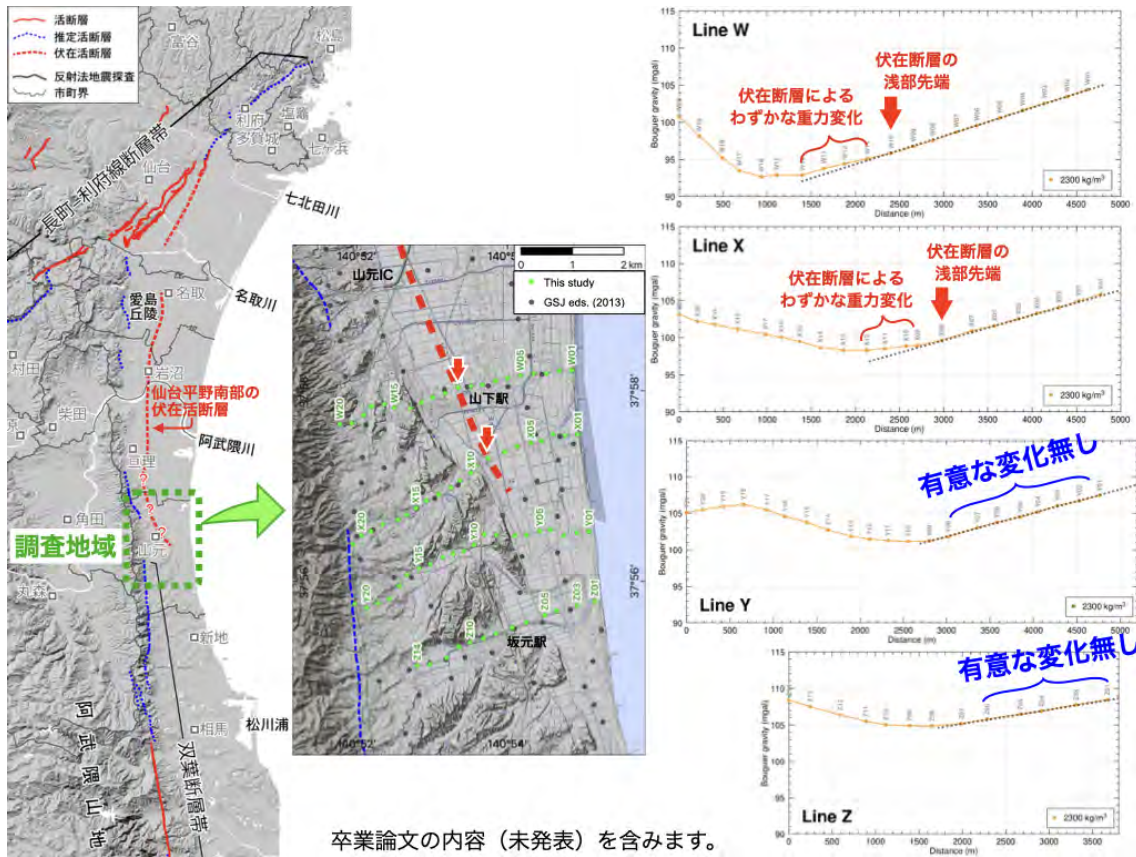


図4. 仙台平野南部，宮城県山元町付近でのブーゲー重力異常の結果（平出、2021）。  
 仮定密度は  $2300 \text{ kg/m}^3$  を適用した。4 測線のうち北側 2 本では，微小ではあるが伏在活断層に関連する重力変化を捉えたが，南側の 2 本の測線では，その延長部分に伏在活断層によると考えられる有意な重力変化はなかった。測線西側の高ブーゲー重力異常は，阿武隈山地の頂部付近に分布する白亜紀後期の花崗閃緑岩に伴う重力変化であり，伏在活断層に伴う重力変化は，その東側に検出される。

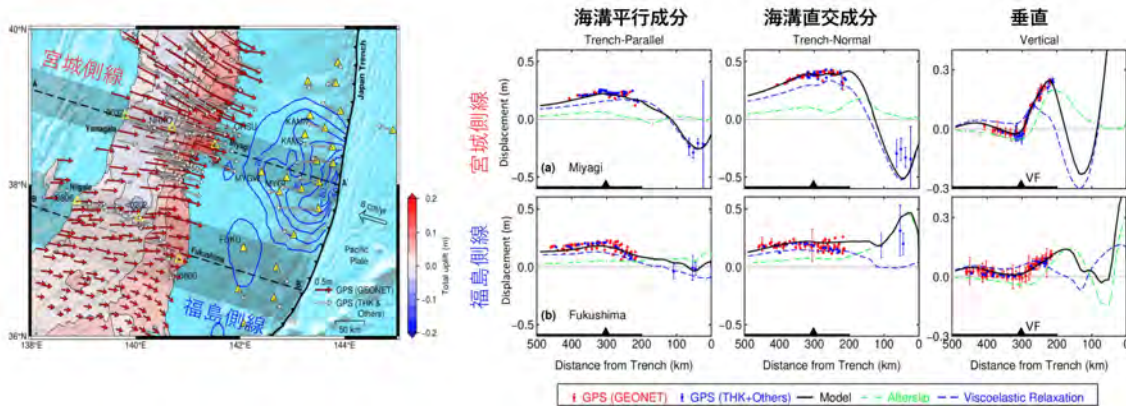


図5. 2011 - 2016 年までの東北沖地震の余効変動解析。  
 GEONET と東北大の持つ宮城 - 山形、福島-新潟の稠密 GNSS 観測から島弧に沿う南北方向での余効変動の変化を  
 解明。2 つの側線での観測を、海溝平行成分、直交成分、垂直成分に分け、モデルとの詳細比較（右）。上段が、  
 宮城測線、下段が、福島測線。  
 線の色は計算値を表す。緑：余効滑りによる変位、青：粘弾性緩和による変位、黒：余効滑りと粘弾性の合算変位  
 （モデル計算）赤シンボル：GEONET 観測値、青シンボル：東北大の稠密観測値

(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目指す。

( 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 2 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、構造解析に着手する予定であった。しかしながら、コロナ禍において現地関係者の意向もあり、当初予定していた規模の地震観測網の展開は令和 3 年度に延期することとした。そのため、本年度は新設した 3 点の臨時地震観測点を含めたデータの予備解析及び解析の基礎となる知見の収集を進めた。また、地震観測点の設置候補地点の選定及びその現地調査も引き続き実施した。

本課題では、地震波干渉法解析を中心とした構造推定を実施するが、この解析手法において 2 観測点間の波動伝播を抽出するためには、波動場の等方的な入射が望ましく、令和元年度においては入射波動場の年周期的な変動などについて実データを用いた検証を行った。一方、地震波干渉法解析によってグリーン関数をより厳密に抽出するためには、波動場の等方性に加えて、波動場のエネルギー等分配が成立していることが望ましい。海洋波浪などを要因とする雑微動は、その伝播過程において P 波・S 波の変換散乱（モード変換）が生じてエネルギー等分配状態に遷移するが（e.g., Hennino, 2001）、火

山地帯においては浅部構造の強い短波長不均質性によってモード変換がさらに促進され、エネルギー等分配が成立しやすいと考えられている ( e.g., Yamamoto and Sato, 2010 )。そこで本年度は、地震波干渉法解析の基礎知見の蓄積を目的として、火山噴火予知計画においてこれまで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モード変換の系統的な推定を行った。P-S 散乱係数の推定にあたっては、浅間山における先行研究に倣い、P波に卓越する人工地震源(発破)から放射された地震波エネルギーの空間分布をデータとして用い(図1)、多重等方散乱モデルを仮定した。阿蘇山、霧島山、磐梯山、岩手山の解析の結果、いずれの火山においても、4-8 Hz 帯と 8-16 Hz 帯において P-S 散乱係数は約  $0.7 \text{ km}^{-1}$  と推定された。この P-S 散乱係数は、火山体程度の空間スケールの波動伝播においては、P波から S波へのモード変換は5秒程度以下の短時間に集中し、定常的な波動場は概ね等分配状態に達していることを表す。この結果は、火山地帯における地震波干渉法解析においては、表面波の伝播速度等の媒質速度構造に加えて、実体波の振幅を用いた解析を行うことができる可能性を示唆する。

また、これらの解析と並行して、過去に実施された自然地震観測のデータ再解析も引き続き実施した。磐梯山においては、1997年10月に自然地震観測を目的とした臨時観測網が展開され、82観測点において10日間の連続観測(夜間のみ収録)が行われた。昨年度は、上下動成分に記録された自然地震コーダ波記録に地震波干渉法を適用して各観測点における自己相関を用いた疑似反射記録の推定を行い、その反射波往復走時は人工地震構造探査で得られた地下構造と大局的には調和的であることを明らかにした。この自然地震観測においては29観測点で3成分観測を行っているため、本年度は水平動成分を用いた解析を進め、S波に卓越した波動場における疑似反射記録の推定を行い、SH波の反射相の抽出を行うことができた。この結果は、自然地震観測の地震波干渉法解析からP波・SH波の反射係数を推定することで、火山体内部の構造不連続面における速度変化に加え、密度に関する情報を抽出可能であることを示唆する。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 令和3年度実施計画の概要 :

これまで検討を進めた結果をもとに蔵王山における集中地震観測を開始し、構造解析に着手する。また、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトで令和2年度の実施した蔵王山における電磁気学的観測・比抵抗構造推定の結果を踏まえ、火山性流体の分布・供給路の推定に着手する。さらに、箱根山における集中地震観測に向けた調整・準備を進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学理学研究科(山本希・岡田知己・高木涼太・西村太志)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学大学院理学研究院(青山裕)

東京大学地震研究所(大湊隆雄)

東京工業大学理学院(寺田暁彦)

名古屋大学大学院環境学研究科(前田裕太)

京都大学大学院理学研究科(大倉敬宏)

九州大学大学院理学研究院(松島健)

京都大学防災研究所(中道治久)

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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



(13) 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

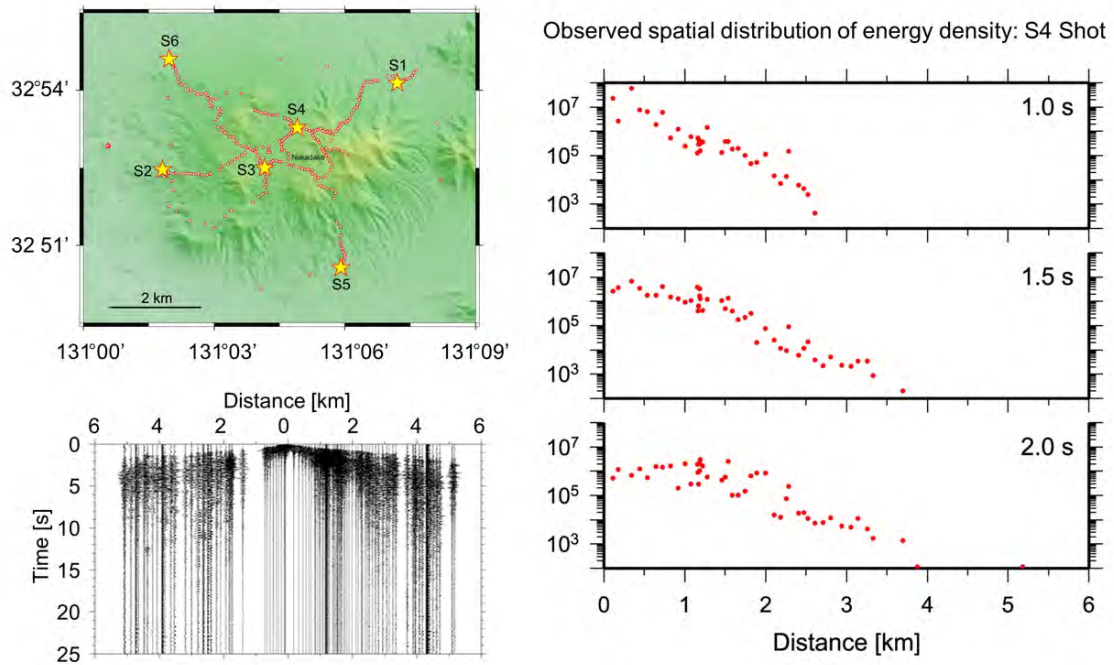


図1 . 阿蘇山における人工地震火山体構造探査記録を用いた変換散乱係数推定の例

左図は観測点(赤丸)・発破点(星印)の分布及びS4発破のペーストアップ記録。右図は各時刻におけるエネルギー密度空間分布(S4発破)。阿蘇山においては、第5次火山噴火予知計画の一環として1998年に人工地震探査が実施された。この観測記録を用いて伝播波動場のエネルギー密度空間分布を基に火山体内部の散乱係数を推定した結果、4-8 Hz帯におけるP-S散乱係数は $0.7 \text{ km}^{-1}$ と求めた。霧島山、磐梯山、岩手山における人工地震火山体構造探査記録を用いた解析でも同程度の散乱係数が得られ、火山地帯における波動場がエネルギー等分配に短時間で漸近することが示された。

(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つことを目指す。

### (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た、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2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(図1, Igarashi, 2020)。長期的に活動が継続する繰り返し地震群の多くは、沈み込むプレートの境界で発生しており、地殻浅部で発生している地震群の多くは、パースト的な活動を示していた。また、作成した繰り返し地震カタログを用いて、日本列島周辺及び世界の沈み込み帯における滑りの空間分布・時間変化の特徴を調べた。得られた平均滑り速度は、プレート間

巨大地震とその余効滑りの影響が見られる地域を除くと、プレート間の相対運動速度よりも遅い傾向が見られた。一方、プレート間巨大地震が発生した領域の滑り速度は、地震発生直後に急激に増加した後徐々に減少していき、その後緩やかに増加していく傾向が見られた。

#### [断層面固着状態の推定]

・函館周辺の低周波地震近傍で発生している通常地震の中に繰り返し地震を見出した。

これらの地震は Pore pressure 増加により発生している可能性がある (Yoshida et al., GJI, 2020)。

・2017年 M5.3 秋田県大仙市の地震の余震震源域拡大フロント周辺で繰り返し地震を見出した。これらは余効滑りに伴う急速な応力増加に起因する可能性がある (図 2, Yoshida et al., JGR, 2020)。

・さらに今年度は、2016年4月に DONET に接続されたことより、リアルタイム監視が可能となった孔内間隙圧計測データに基づいて繰り返しスロースリップ現象のモニタリングを行った (図 3, Ariyoshi et al., 2021) 。その結果、2020年3月のスロースリップイベントは、海溝に向かってすべりが伝播したものの、最も海溝側の C0006 (図 3, 黄逆三角形) 付近まで達していないことを早期に検知することが出来た。

#### [地震再来特性の解明]

Nomura et al. (2017, GJI) が提案した繰り返し地震活動に基づくプレート準静的滑りの時空間変化の推定手法の解析プログラムについて、統計解析ソフト R から MATLAB へのプログラム移植および高速化を行った。

プレート境界付近で繰り返される小・中規模の繰り返し地震は、普段は周期的に発生しながらも、周辺で起こる大地震の影響を受けて発生間隔が急激に短くなることがあり、そのような大地震による余震誘発効果を相対的な時間進行率の変化として取り入れた非定常更新過程モデルを提案した (図 4) 。内陸域の繰り返し地震については、そのカタログの統計解析を行ったところ、背景活動との相関があることがわかった。また繰り返し地震活動期間には、地域および余震活動ごとに違いがあり、流体やせん断応力変化など地震の発生機構の違いを反映している可能性があることがわかった。

・日本のプレート境界沿いの中規模繰り返し地震とその近傍の大規模地震の関係について調べたところ、時間的に近接して起きている事例が複数見つかった。今後これらの地震間の関係を精査する予定である。

#### [重点地域における地震観測]

・2002年から継続している伊豆鳥島における地震観測を継続した (図 5) 。今年度も順調にデータは回収できており、おもな地震は衛星携帯電話経由で回収している。連続データは 2021年3月に回収予定である。

・繰り返し地震を含む釜石沖の地震クラスターでの地震活動の詳細を調べるための陸域臨時観測を引き続き継続した。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Ariyoshi et al. (2021) Characteristics of Slow Slip Event in March 2020 Revealed From Borehole and DONET Observatories. *Front. Earth Sci.* 8:600793. doi: 10.3389/feart.2020.600793

池田 里奈, 吉田 圭佑, 高橋 諒, 松澤 暢, 長谷川 昭, 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, 日本地震学会 2020年秋季大会 2020年10月30日  
川畑拓矢, 上野玄太, 中野慎也, 藤井陽介, 三好建正, 小守信正, 増田周平, 眞木貴史, 土居知将, 野村俊一, 雨宮新, 山崎哲, 露木義 (2020) 第10回データ同化ワークショップの報告, 天気 第67巻第8号, pp.27-30, 2020年8月

Igarashi, T., 2020, Catalog of small repeating earthquakes for the Japanese Islands, *Earth Planet Space*, 72, 73, doi:10.1186/s40623-020-01205-2.

Khoshmanesh, M., M. Shirzaei, N. Uchida, Deep slow-slip events promote seismicity in northeastern Japan megathrust, *Earth and Planetary Science Letters*, 116261, 2020.

- 野村俊一 (2020) 繰り返し地震に基づくプレート間滑り速度の時空間変動の逆推定, 統計数理研究所 共同研究会「諸科学における大規模データと統計数理モデリング」, 2020年7月
- Tomita, F., T. Iinuma, Y. Ohta, R. Hino, M. Kido, N. Uchida, Improvement on spatial resolution of a coseismic slip distribution using postseismic geodetic data through a viscoelastic inversion, *Earth, Planets and Space*, 72, 84, doi:10.1186/s40623-020-01207-0, 2020.
- Uchida, N., R. Takagi, Y. Asano, and K. Obara, Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust, *Earth and Planetary Science Letters*, 115986, doi: 10.1016/j.epsl.2019.115986, 2020.
- Yoshida, K. et al. Stress Release Process Along an Intraplate Fault Analogous to the Plate Boundary: A Case Study of the 2017 M5.2 Akita Daisen Earthquake, NE Japan. *J Geophys Res Solid Earth* 125, (2020).
- Yoshida, K., Hasegawa, A., Noguchi, S. & Kasahara, K. Low-frequency earthquakes observed in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan. *Geophys J Int* (2020) doi:10.1093/gji/ggaa418.
- 吉田 圭佑, 高木 涼太, 内田 直希, 池田 里奈, 東北地方太平洋沖で発生した小中地震の破壊伝播指向性と応力降下量: S-net を用いた解析, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 2020年

(10) 令和3年度実施計画の概要:

- ・引き続き日本および世界の繰り返し地震活動の抽出・モニタリングを行う。また、現在運用中の繰り返し地震検出方法の性能を調査し、新たな検出システムの構築に向けて改善すべき点を洗い出す。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・中期的な滑り速度変化の推定可能性を検討する。
- ・小・中規模の繰り返し地震に対して、本年度提案した非定常更新過程に基づく将来の地震発生確率の予測手法を開発する。また、Nomura et al. (2017, GJI) が提案した繰り返し地震活動に基づくプレート準静的滑りの時空間変化の推定手法について、R から MATLAB へと移植し高速化した解析プログラムを用いて時空間グリッド分割を細分化した上で、東北地方太平洋沖地震前後の東北沖におけるプレート準静的滑りの変化を解析する。
- ・内陸断層の繰り返し地震の精査を行う。また、プレート境界の繰り返し地震の rupture characteristics の調査も行う。
- ・ひきつづき、伊豆鳥島・釜石市周辺における地震観測を継続する。伊豆鳥島では主要地震データについては、衛星携帯電話回線を用いてデータ回収を行う。伊豆鳥島の連続波形データについては、2021年3月に回収予定。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

東北大学: 内田直希・松澤暢・吉田圭佑

他機関との共同研究の有無: 有

東大地震研: 五十嵐俊博・加藤愛太郎・加藤尚之

弘前大学: 小菅正裕

京大防災研: 直井誠・山下裕亮

九州大学: 松島健

防災科学技術研究所: 木村尚紀・松原誠

海洋研究開発機構: 有吉慶介

鹿児島大学、金沢大学、横浜市大、首都大学東京、統計数理研究所、気象研究所、UC Berkeley の研究者とも連携して実施。

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：

URL：

(13) 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

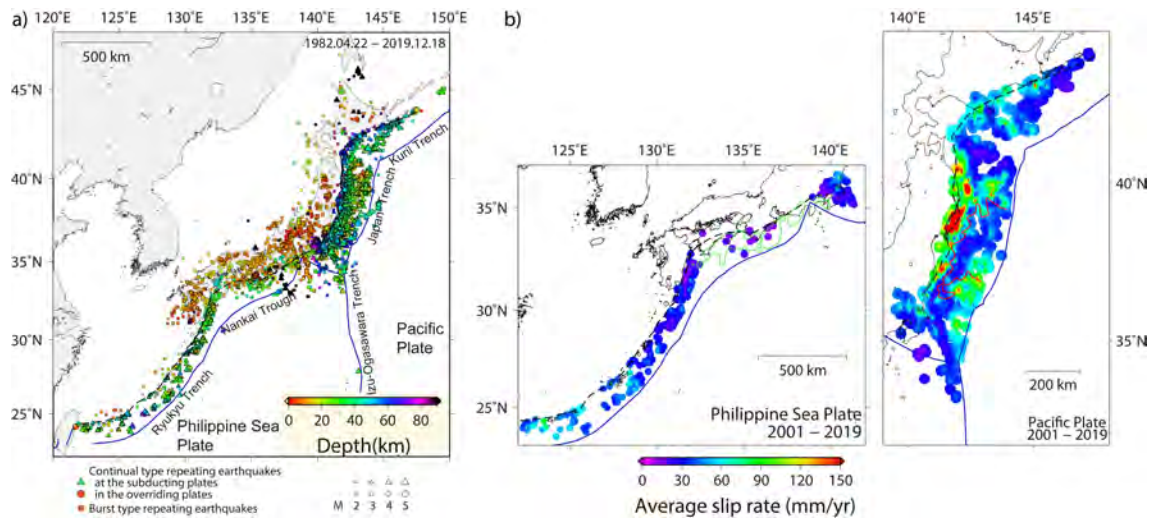


図 1

日本列島周辺における小繰り返し地震。a) 空間分布。 b) 繰り返し地震から推定された平均すべり速度。

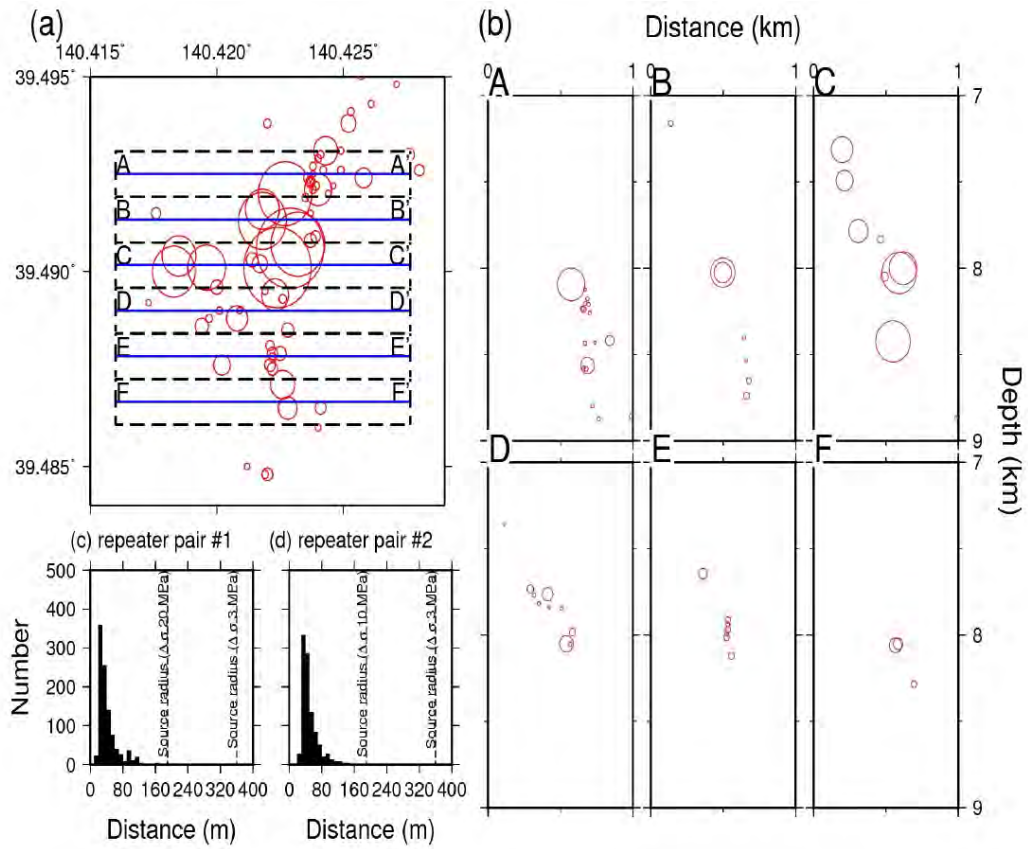


図 2

秋田大仙の地震の余震分布。大滑り域南部の活動。(a) 平面図。(b) 断層走向直交の断面図。丸のサイズで応力低下量 20 MPa の円形断層を仮定した場合の断層サイズを示している。(c) 2 つの possible repeating earthquake の pair の距離の誤差範囲。1000 回のブートストラップで得られた頻度分布を示す。Pair #1, #2 はそれぞれ断面図 B, と C に見られるもの。

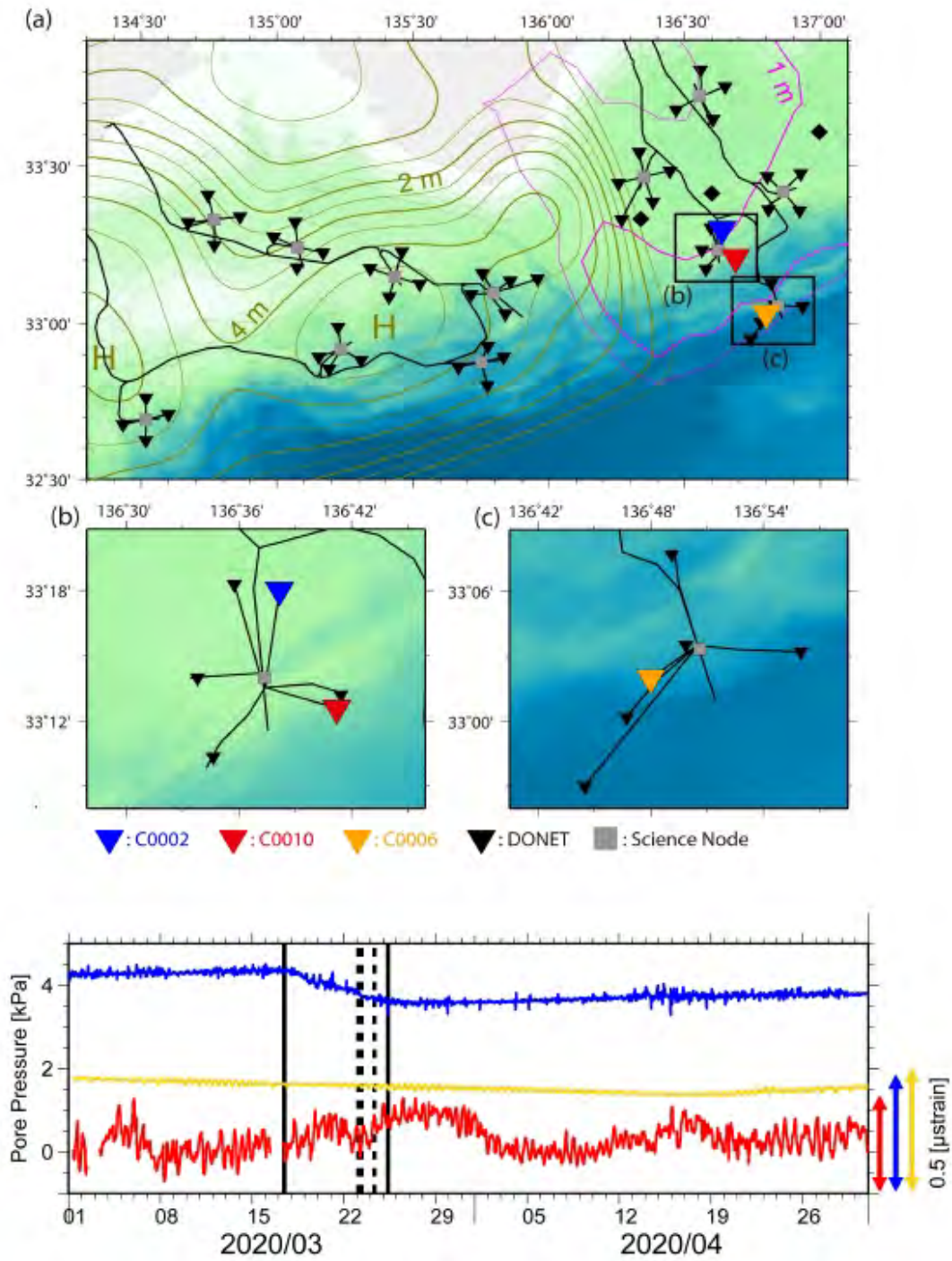


図3  
DONETへ接続された孔内観測点（逆三角）とその記録（下）。色はそれぞれの観測点に対応する。



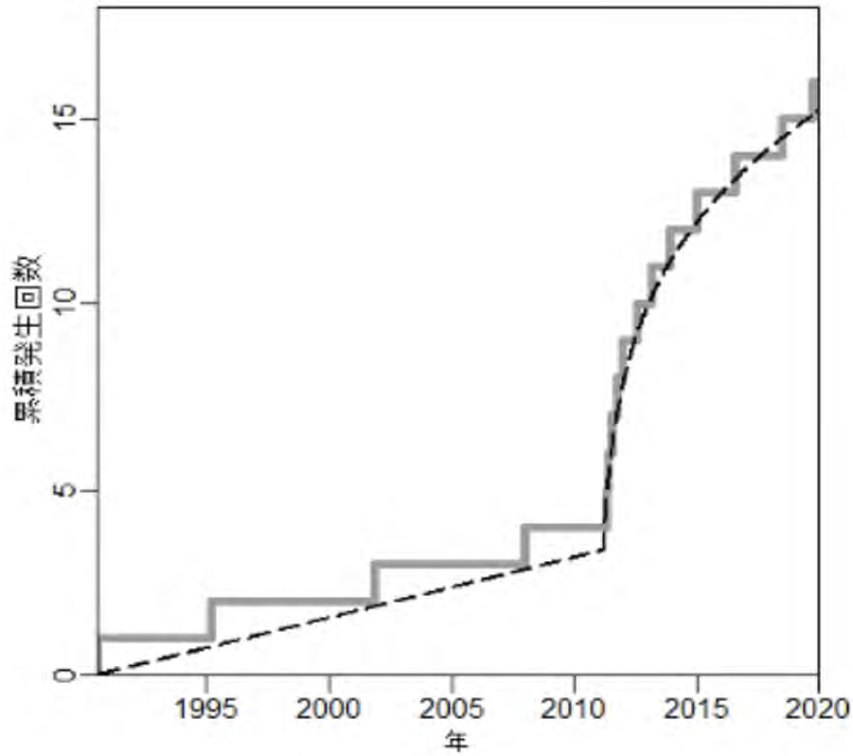


図 4

釜石沖の繰り返し地震系列（2019 年末までの発生状況）に対する非定常更新過程の解析結果．灰色線が累積発生回数，黒破線が 2011 年東北地方太平洋沖地震後の余震減衰（大森・宇津則）を踏まえた非定常更新過程の時間進行の変化を表す。

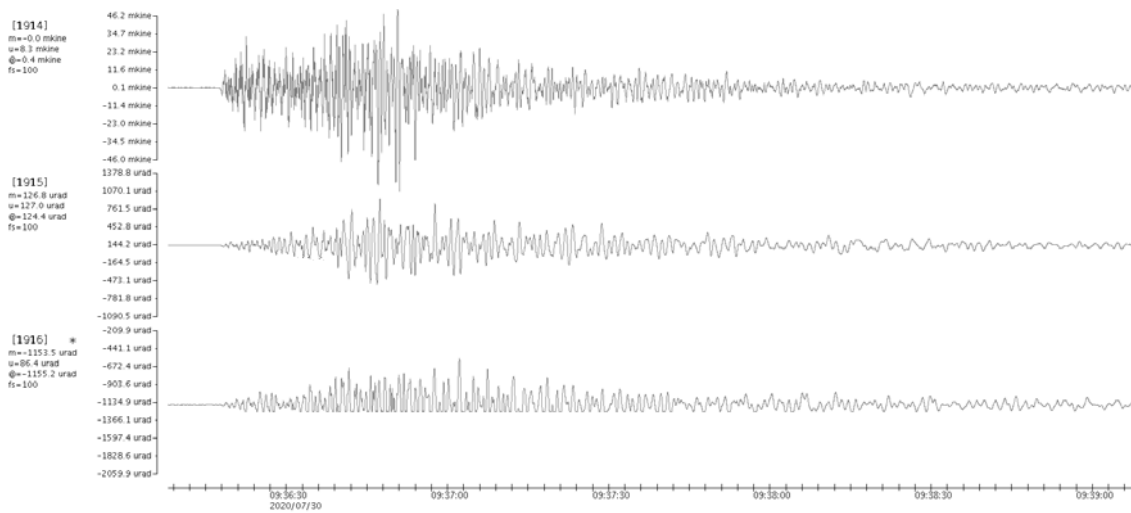


図 5

伊豆鳥島で観測した 2020 年 7 月 30 日 09 時 36 分 鳥島近海 MJ5.8 D=60km の地震の波形。

(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2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2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、大阪薬科大学(大阪府)から2018年10月1日以降のデータを、信州大学医学部(長野県)から2015年1月以降のデータを、東北医科薬科大学(宮城県)から2017年1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) 多深度土壌ラドン濃度測定に基づくラドン散逸率の変動要因の検討

地表ラドン散逸率の測定と土壌ラドン濃度の多深度測定を気象要素の測定とともに同時に行い、土壌ラドン濃度と地表ラドン散逸率の関係を調べた。測定場所として、茨城県に位置する棚倉破砕帯の南端(地質：新第三系泥岩、白亜系花崗岩、土壌：粗粒灰色低地土壌)を選定した。

調査の結果、土壌ラドン濃度は、夏から秋は土壌水分の変化に依存したものの、冬は土壌水分が高いため水分の変化に依存しなかった。さらに、明らかな周期的変動は認められなかった。ラドン散逸率は日変動を示し、周期的な気温と地温の変化にしたがった。降雨による散逸率の上昇は、測定系の直下が降雨の影響を受けていないことによる人為的な要因と土壌に浸透した雨水が土壌中の空気を圧縮したことによる移流発生による。土壌ラドン濃度変化とラドン散逸率変化の明確な関係性は認められなかった。

3) 排気モニタによる大気中ラドン濃度の推定

地震発生前の歪によって、震源付近の地面からラドンの散逸量が変化し、大気中のラドン( $^{222}\text{Rn}$ )濃度が変動することをこれまでに報告してきた。非密封放射性同位元素(RI)を使用する放射線管理施設では、RIの漏えいを監視する排気モニタ(通気式電離箱)が稼働しているが、屋外大気中の放射線管理施設への換気回数が大きい場合、屋外の大気中ラドン濃度を推定できる可能性がある。以前にその排気モニタ(放射線管理施設(換気回数5回/時間)を通った後の空気)のデータの変動について屋外の大気中ラドン濃度変動との一致を報告したが、測定期間が12日間と短かった。そこで、より長期間の測定を実施し、排気モニタ(換気回数13回/時間)で求めた空気中ラドン濃度と屋外の大気中ラドン濃度を比較し、排気モニタのデータから大気中ラドン濃度の推定が可能か検討した。解析の結果、RI施設を通ることで、施設から排気される空気中のラドン濃度が放射線管理の壁材等の影響により $3.9\text{ Bq m}^{-3}$ 上昇することが分かった。この上昇分を差し引くことにより排気モニタのデータから屋外の大気中ラドン濃度の推定が可能であることが示唆された。

4) 黒色頁岩地域の自動車走行による空間放射線量調査と空間放射線量率に対する降雪の影響

宮城県牡鹿半島にある宮城県原子力センターモニタリングステーション(女川、小積、飯小浜地区)でアルファガードを使用して観測されている大気中ラドン濃度データに、地震に関連した変動が含まれていないかを検討し、牡鹿半島における大気中ラドン濃度が特徴的な季節変動を示すことを明らかにし(Omori et al., 2009; Omori and Nagahama, 2016)、平成25年度年次報告(課題番号1223)で宮城県牡鹿半島における大気中ラドン濃度の観測を報告した。

2010年の3月の宮城県牡鹿半島で、空間放射線量率(以下「線量率」)の調査を自動車走行サーベイ法により実施した。測定には2インチNaI(Tl)シンチレーションカウンターを使用した。解析の結果、降雪が線量率に与える影響を評価し、線量率の分布と地表地質との関係を明らかにした。降雪により線量率の上昇が認められた。これは、空気中を浮遊するラドン子孫核種が降雪にとらえられ地表に沈着したことによると考えられる。先行研究において太平洋沿岸地域では降雪による線量率の変

化は生じないと報告されていたが、今回の結果は冬にアジアから日本にやってくる高濃度のラドンとその子孫核種を含む大陸性気団が原因であると考えられる。線量率の空間分布は、宮城県牡鹿半島の中部と東部で高く、南部と北西部で低いことが明らかとなった。この分布は、地表地質の分布と対応を示しており、高線量率地域が牡鹿半島で測定されるラドンの主な供給源になっている可能性がある。これらの成果を Tamakuma et al. (2021 in press) で公表した。

#### 5) 兵庫県南部地震前の大気中ラドン濃度変動の潮汐分潮解析

兵庫県南部地震を引き起こした断層（六甲淡路断層帯）の近傍において神戸薬科大学によって観測された大気中ラドン濃度変動データ（1984年～1994年）を用いて、福島県立医科大学の大森が予察的に昨年度潮汐分潮解析を行った。主要分潮であるK1については、1984年～1988年ではその周期が認められなかったが、兵庫県南部地震前の1990年～1994年の期間では認められたことを平成31年度（令和元年度）年次報告で報告した。

今年度は、地震観測データや地殻観測データとラドン濃度変動データの比較を行った。その結果、潮汐による周期的な変化が認められた時期は、地震観測（京大理学部・東大地震研、1995）や地殻歪（大地の伸縮）観測（京大大学院理学研究科・京大防災研、1996）で異常が認められた時期と一致した。特に、断層において地殻の圧縮速度が小さくなったという報告がされており、これがラドンの周期的な変化が生じるきっかけとなったと考えた。地震発生の数か月前に地殻歪が圧縮から伸張に転換した時にラドンが異常に増加したことを先行研究（Yasuoka et al., 2009）で見出しており、今回の結果はこれと調和的であった。これらの成果を Omori et al. (2021) で公表した。

#### (9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Yuki Tamakuma, Masahiro Hosoda, Yasutaka Omori, Hiroyuki Nagahama, Tetsuo Ishikawa, Michikuni Shimo, Shinji Tokonami (2021) Car-borne survey for a black shale area and influence of snowfall on absorbed dose rate in air of a coastal area. Radiation Environment and Medicine, 10, 2 (in press).

Yasutaka Omori, Hiroyuki Nagahama, Yumi Yasuoka and Jun Muto (2021) Radon degassing triggered by tidal loading before an earthquake. Scientific Reports, 11, 4092. doi.org/10.1038/s41598-021-83499-0

森花恵, 安岡由美, 三浦直, 吉井未来, 飯本武志, 床次眞司, 長濱裕幸, 向高弘 (2020) 排気モニタによる大気中ラドン濃度の推定. 日本保健物理学会第53回研究発表会 Web大会 (2020年6月30日).

高風佑衣, 安岡由美, 細田正洋, 床次眞司, 長濱裕幸, 岩岡和輝, 向高弘 (2020) 空気用ラドンモニタを用いた水中ラドン濃度測定におけるスクリーニング法の検討. 日本保健物理学会第53回研究発表会 Web大会 (2020年6月30日).

大森康孝 (2020) 地表ラドン散逸率の変動要因：多深度土壌ラドン濃度測定に基づく検討. 日本保健物理学会第53回研究発表会 Web大会 (2020年6月30日).

#### (10) 令和3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。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

長濱裕幸・武藤 潤

他機関との共同研究の有無：無

#### (12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) 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

工. 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2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解析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火時小系統樹の分岐判断指標の作成を進めた。

吾妻山や十勝岳では、火山性地震発生域や膨張・収縮源、低比抵抗領域などに空間的な位置関係に類似性が見られる。一方、吾妻山では活動が間欠的であるのに対し、十勝岳は連続的であることや、噴気量などに違いが見られる。また、軸対称モデルの熱水流動シミュレーションにより、火道の一部を閉塞させた状態での下部からの熱水注入させた場合の、地下の熱水系のふるまいを調べた。観測から明らかとなる地下熱水系の空間的な配置の類似性の下、活動パターンの相違が生じる系などを念頭に、さまざまなシナリオで地盤変動や磁場変化との比較ができるようになった。

大地震の発生による噴火の誘発について、中米の地震火山活動記録をもとに調べた。また、全世界のデータの系統的解析を行った。その結果、大地震の発生により、膨張域となった領域の火山の噴火活動が数年間、2 - 3倍程度高まることがわかった。

火山性地震の活動度を系統的・定量的に評価するため、ETASモデルを国内の火山付近の震源カタログデータに適用した。また、深層学習を用いた火山性地震の分類を蔵王山で行った。地球物理学的データとその解析結果をもとに、顕著な火山活動・噴火活動の時系列や発生機構を整理した。阿蘇の2016年10月8日に爆発的噴火の際には、噴火前に微動が停止し、噴火6分および2分前に長周期微動(LPP)が発生する。噴火直前の浅部地殻変動源は、噴火の120秒前と2回目のLPPとほぼ同時に変動が加速し、球状圧力源と深部のクラック膨張により説明できる。これらの活動は、過去の噴火時に推測された地下の力源の発生機構とおおむね同じであることがわかった。2015年8月15日に桜島で発生した群発地震の浅部から深部への震源の拡大は、ダイク伸展に伴う応力変化量や地殻の破壊強度の深さ依存性に起因すると推察された。

爆発・噴火と識別されないものの、爆発・噴火時と類似の地盤変動が桜島において観測される。2017年から2020年に観測されたこのような地盤変動について調べた結果、火山ガスの放出によって発生していると考えられるこの地盤変動は、爆発・噴火が活発化する前に先行して起きることが多いことが明らかとなった。

火山活動の変化に対する火口湖の応答について、湖水の熱・化学パラメータの数値的検討を行った。溶存成分の変化速度は本質的に一次応答であり、時定数は湖底漏水率、変化速度は湖水と湖底噴出流体の濃度差(最終濃度)および時定数に依る。草津白根山の湯釜の湖水濃度の場合、湖底流体と平衡に達するまでに要する時間を見積もると約8年となった。湯釜は10年単位の変動を示すことから、成分濃度をレベル下げの基準とする際にはそれを考慮する必要があることが示唆された。

十勝岳の、三段山山体の活動中に起こった山体崩壊により生じた、ヌッカクシ火口において調査し

た。マグマ噴火は約 1800 年前まであり、その後は水蒸気噴火および小規模な山体崩壊が散発的に発生していることがわかった。小規模噴火の発生については、現在活発な活動を示す火口以外も対象として、調査・評価する必要があることが改めて示唆された。

伊豆大島において、最近の研究調査をもとに、噴火規模について考察した。大規模噴火初期と中規模噴火は、噴出物々の長石量が少なく、マグマ組成や岩石組織は類似している。一方、小規模噴火では長石量富む。また、大規模噴火では、長石量は短時間で増大する。このような噴出物の違いは、地下のマグマの急上昇や脱ガス過程と関連性がある可能性があると考えられる。

割れ目火口からは、(準)プリニー式噴火が短時間で開始する事例多い(桜島大正噴火、桜島安永噴火、北海道駒ヶ岳 1929 年噴火など)。このような爆発性が生じるのは貫入時のダイクの高い過剰圧によると考え、ダイクのアスペクト比や開口量から期待される、噴火直前の地盤変動や地震活動の特徴を議論した。

霧島の 2018 年噴火について、火山灰構成物の時間変化や構成物の特性から、マグマ供給率増加に伴う火道拡大とマグマ供給低下に伴う溶岩ドームの脱ガスとシーリングで、その活動推移を説明した。

- ( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
前田 裕太, 2020, 気象庁一元化震源と ETAS モデルによる火山活動定量化の試み, JpGU-AGU Joint Meeting, SVC45-P37.  
西村太志, 2020, 大地震による火山噴火の誘発の要因, 日本火山学会 2020 年秋季大会(オンライン, 2020 年 10 月 8 日-10 日)。

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

令和元年度および令和 2 年度に検討を進めた内容をもとに、地震・地殻変動データや多項目観測データ等を元にした火山活動のモデル化、多項目観測データや構造データを総合的に説明する個別火山のモデル化、玄武岩質マグマを有する火山の噴火事象系統樹をもとに噴火活動のモデル化などを進める。火山活動を定量化するための新たな解析手法を開発・利用しながら進める。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志、山本希  
他機関との共同研究の有無：有  
北海道大学 橋本武志、中川光弘、青山裕  
東京大学 大湊隆雄、森田裕一、前野深  
東京工業大学 神田径、寺田暁彦  
名古屋大学 前田裕太  
京都大学 井口正人、大倉敬宏、中道治久  
気象庁 高木朗充  
防災科研 藤田英輔、三輪学央  
産総研 篠原宏志

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/

( 13 ) 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2年度の成果の概要：

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, 以下 PTS) の性能評価を目的とし、2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) とそれに引き続く地震直後の余効すべりの時空間発展推定を行った。データには関東から北海道南部にかけての 69 点の GEONET 観測点の 1 秒ごとの搬送波位相データを用いた。沈み込む太平洋プレート上面を 386 の小断層に分割し、それら小断層上のすべり分布を、平滑化拘束を課した状態で推定した。グリーン関数には Okada (1992) の手法を用いた。推定時には、推定された地震時すべりから期待される各観測点における地表変位を搬送波位相変化に反映さ

せることで断層推定の安定性を向上させる初期座標リセットの方法を適用した。これによって、カルマンフィルタを用いる同手法において、地震時から地震後まで連続的に安定した推定が可能になった。推定された各小断層のすべり時系列から本震後の時間帯 (05:51-06:30) のすべり分布を図 1 に示す。このうち、図中の (a) でしめした部分はそのすべりが時間方向で安定せず、グリーン関数の近似限界等による見かけのすべりである可能性が高い。一方で、(b) で示す領域では岩手県沿岸から福島県沿岸にかけて最大 0.3m 程度の逆断層すべりが明瞭に確認できる。同領域におけるすべりは時間方向にその安定度が高く、初期余効すべりを反映しているものと思われる。(b) の領域だけに着目したモーメント解放量は  $M_w7.49$  となった。これらの結果は、従来の GNSS 解析より地震後 10 分間の余効すべり推定を行った Munekane (2012) の結果とそのすべり領域の類似性が高い。一方で、期間が異なるため単純な比較は困難だが、PTS で推定されたすべり量は Munekane (2012) の結果と比較してそのすべり量が大きく、今後両者のより細かい比較が必要である。いずれにせよ、同成果は PTS によって地震時からそれに引き続く初期余効すべりを連続的に捉えることに成功したことを示すものであり、同手法が幅広い時間帯における断層モニタリングに活用可能であることを示唆する結果である。

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を継続した。本年度は昨年度に開発を進めた単一矩形断層モデルからプレート境界におけるすべり分布へ拡張した。すべり分布モデルでは、その未知パラメータ数が多くなり、MCMC によってその解を探索する場合にきわめて長い収束時間を要し、リアルタイムで同手法を活用する上での阻害要因となっていた。そこでより効率的に MCMC によるすべり分布の推定を実現するために「四分木アルゴリズム」の開発を行った。同アルゴリズムでは、まず大まかなすべり分布の特徴を粗いグリッドサイズで推定し、その結果にもとづいて、必要に応じて断層を細分化していくことで、効率的にすべり分布の探索を行う。断層分割の判断基準には、分割前の地震モーメントの値を用いた。これによって地震エネルギーが大きい領域については細かく断層を分割し、より複雑なモデルを許容する一方で、同エネルギーが小さい領域の不要な分割を回避できる。同アルゴリズムを 2011 年東北地方太平洋沖地震に適用した結果、従来の MCMC を用いた手法と比較し、効率的に断層すべりを推定できることが分かった。また、得られた断層すべりの推定不確実性を災害情報へと変換するための検討を開始した。さらに、昨年度本課題において開発した単一の矩形断層モデルをリアルタイム GNSS による永久変位場にもとづき即時的に得るためのアルゴリズム (Real-time automatic UNCertainty Estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)) の国土地理院 REGARD システムへの技術移転を進め、リアルタイム GNSS データから推定された変位場との組み合わせによる動作試験を開始した。RUNE アルゴリズムを 2021 年 2 月 13 日に発生した福島県沖の地震 ( $M7.3$ ) へ REGARD で得られた実際の変位場を入力値として適用した結果、 $M_w$  の中央値が  $M_w7.14$  の南東に傾き下がる高角の逆断層のモデルを推定することに成功した (図 2)。一方、リアルタイムで得られた SN 比が必ずしも高くない変位場を用いたために VR は 43% にとどまった。同結果は RUNE アルゴリズムを用いることでリアルタイムに推定誤差を含めて矩形断層モデルが即時推定可能であることを示唆する結果である。

実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底水圧計 (OBP) 観測システムのプロトタイプ機を用いた実海域試験を行った。OBP で得られる圧力データには機器特有のドリフト成分が含まれ、非定常な地殻変動成分を抽出する際の大きな障害となっている。同課題に対して OBP の長期ドリフトがゼロ点 (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できるという手法 (A-0-A) を海底下で実現するためのシステム開発を行った。水圧計 (Paroscientific 社製, 410K) は耐圧容器であるガラス球内に設置され、ゼロ点としてガラス球内の圧力 (おおよそ大気圧) を用いた。通常の水圧計測時はガラス球内に外圧である水圧を引き込むことで計測を行うとともに、ゼロ点を計測する際には三方バルブの切り替えによりガラス球内の圧力を計測し、一定時間経過後に再度外圧の計測を再開した。同システムの長期試験のために 2019 年 11 月 9 日から 2020 年 6 月 21 日までの 226 日間、三陸沖北部の水深 4178m 地点で観測を行った。その結果、24 時間に 1 回、20 分ゼロ点であるガラス球内の圧力を計測する手順を問題なく実行できていたことが確認できた。ゼロ点であるガラス球内の圧力

時系列および大気圧計時系列を比較すると両者はよく一致する一方で、ガラス球内に比較のために設置した大気圧計が、それよりも長い時定数でゆっくりと増圧している傾向が認められ、より詳細な原因の検討が必要である。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kagawa T. and Y. Ohta, Prior and Real-Time Estimations of Ground Motions, Tsunamis, and Other Geodynamic Hazards, J. Disaster Res., Vol.15, No.2, pp. 144-151, 2020.

田中優介, 太田雄策, 宮崎真一, PTS 解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時すべりから初期余効すべりまでの連続的な推定, 2020, 日本測地学会第 134 回講演会, 12.

太田雄策, 日野亮太, 佐藤真樹子, 鈴木秀市, 梶川宏明, 小畠時彦, 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 3 報), 日本測地学会第 134 回講演会, 51.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度に進めた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, 以下 PTS) の性能評価を継続し、未知パラメータ間の相関等についてより詳細な検討を行うとともに、その適用可能範囲を明らかにする。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海底圧力観測システムのプロトタイプ機の複数海域における長期海域試験を実施し、そのドリフト除去能力について定量評価を行う。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を継続するとともに、それらを災害情報として活用するための方策の提示を目指す。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学大学院理学研究科 太田雄策, 日野亮太, 東北大学災害科学国際研究所 越村俊一

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

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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



(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

工. 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がっている。

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ィ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、実際の大规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する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 2 年度の成果の概要 :

[920MHz 帯を用いた試験・開発]

920MHz 帯を用いた地震波形伝送に関しては、昨年度までに明らかになった限定された見通しの環境での通信の困難性および低い通信速度のため、本年度は地震波以外の低速データの伝送を目指した。しかし、コロナ禍で、実際の作業や計画していた桜島での研究集会およびフィールド試験ができなかったことから、本年度は試験箇所の検討のみにとどまった。

既存の 920MHz 帯機器の活用については、東北大学にて、吾妻<sup>?</sup>および蔵王山の 1.4km - 3.1km の距離で気温等の伝送試験を続けた ( 図 1 )。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申請を行い、動作確認を行った。

[400MHz 帯を用いた試験・開発]

400MHz 帯無線機器の開発のために企業との打ち合わせを行った。本年度は開発資金の調達のため科研費への申請を行ったが、採択にはいたらなかった。コロナ禍で企業との打ち合わせを重ねることが難しかったことや、具体的な開発資金を提示できなかったことから本年度は 400MHz 帯無線機器の開発着手には至らなかった。また、総務省による 400MHz 帯の有効利用に関する法改正についても動きが無かった。

既存の 400MHz 帯無線機器については、京都大学にて、令和元年度に口永良部島にて被災して使用不可になった 400MHz 帯無線送信機およびデジタイザを更新した ( 図 2 )。北海道大学では、無線装置のスプリウス対応を進めた携帯電話通信網への移行作業を進めた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
なし

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

令和 3 年度は引き続き開発企業に協力を要請し、400MHz 帯無線機仕様を確定させる。また、総務省の動向をリサーチし、400MHz の活用のための早急な法改正を要請する。

桜島島内において無線通信にてデータ伝送を行っている経路にて新たに開発中の無線機による通信試験を行い、既設の無線通信との比較を行う。

- ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
東北大学理学研究科（内田直希・岡田知己・山本希・太田雄策・吉田圭佑）  
他機関との共同研究の有無：有  
北海道大学（青山裕）  
京都大学（中道治久）  
九州大学（松島健）  
情報通信研究機構（佐藤剛至・天間克宏・大和田泰伯）
- ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：東北大学大学院理学研究科  
電話：022-225-1950  
e-mail：  
URL：
- ( 13 ) 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  
蔵王山刈田岳観測点における 920MHz 無線の活用試行の様子。



図 2

デジタイザ（写真左側の黒色筐体）と 400MHz 帯無線送信機（写真右側の灰色筐体）。無線機の出力は 1W でぐ榮  
幹浜優任 襦

(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2年度の成果の概要：

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-H<sub>2</sub>O系の沈殿物である。火山活動が静穏な状態のときに生成する沈殿は白色系の、Si, Alを主成分とするのに対して、活発な状態の時に生成する沈殿は褐色系の、Fe, Alを主成分とすることがこれまでの観測で明らかにされている。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。今年度は海底火山から湧出する熱水の生成過程を明らかにするため岩石-酸性溶液反応実験を行い、沈殿物の主成分であるFe, Al, Siの溶脱過程を解析した。

実験方法

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ュ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、濃塩酸を純水で希釈した0.24N塩酸溶液および神奈川県三浦市城ヶ島海岸で採取した海水を5A濾紙

で濾過し、これに濃塩酸 (12 mol/L) を加え酸性化したものを用いた。実験装置は、反応容器内に一定流速で反応溶液を送液するために液体クロマトグラフ用のポンプシステムを使って作成した。流出する反応後の溶液を一定時間間隔で採取し、その重量を測定したのち、分析試料とした。

#### 実験結果とまとめ

Si, Fe, Al の 3 成分について、反応溶液中の濃度を定量し、試料重量から各フラクションにおける各成分の溶脱量を求めた。各成分の溶脱率の時間変化を図 1 に示す。この結果と岩石試料中の存在量から、各フラクションにおける成分間の相対的な溶脱のしやすさを示す溶脱指数を求めた。その結果を図 2 に示す。Al の溶脱率および溶脱指数は酸性海水の方が顕著に低かった。これに対して Fe の溶脱率は殆ど差が見られなかったが、溶脱指数は増加していた。Si の溶脱率、溶脱指数には殆ど差が見られなかった。この結果は、海水を加えることにより三成分のうち Al のみ溶脱が抑制されることを示しており、これまで考えられてきた岩石-酸性溶液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。またこの結果によって、これまでの実験結果では明らかにできなかった海底火山活動が活発化に対応した変色海水の組成変化を説明することができた。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

今年度実施した岩石-酸性溶液実験の反応条件を変えて、Si, Fe, Al の溶脱過程に対する海水の影響について検討する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

野上健治

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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

(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

工. 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2年度の成果の概要：

マグマから放出される揮発性成分は噴気や噴煙として大気中に放出されるだけではなく、火山体から拡散放出されている。熱水系の発達している火山では地下に拡がる滞水層によって揮発性成分のほとんどがマスクされてしまうが、二酸化炭素はその反応性からマスクされる事なく地表へ達する。したがって、正確な二酸化炭素放出率の測定は火山活動を推し量る上で、重要な役割を果たす。

昨年度設計し、試作した自立式チャンバーリフレッシュ機構を備えた二酸化炭素放出率測定装置について、様々な条件で性能試験を行った。濃度測定、リフレッシュ機構、攪拌装置の作動すべてを単

3 乾電池 3 本で賄うことができ、温度環境にも依存するが、動作は連続で 100 時間超である。データの記録間隔は 1 秒間隔で設定することができ、測定時間とリフレッシュ時間についても、任意で設定することができる。

二酸化炭素放出率が比較的高い 15 ppm/min の場合、チャンバー内に付けた攪拌装置を 132rpm から 542rpm まで変化させた結果、低回転でもチャンバー内での濃度を均質にすることができた。濃度測定時間 1 分、リフレッシュ時間 5 分で繰り返し測定した結果、ばらつきはほとんどなく、既製品の WEST system での測定結果と同じであった。また、リフレッシュ時のチャンバー内の二酸化炭素濃度は毎回大気中の濃度に戻っており、リフレッシュ機構が有効に作動していた。放出率が高い場合には、チャンバーの容量が大きい装置が適しているが、放出率が非常に低い場合には、測定時間を伸ばしてもチャンバー内の濃度が十分に上昇しないため、その測定精度にかなりの誤差が含まれるか、測定できない場合があることがわかった。自立式チャンバーリフレッシュ機構はそのまま、チャンバーを小型化し、その性能試験を行った結果、濃度測定時間とリフレッシュ時間などの測定条件を吟味すれば、測定が可能であることがわかった。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

小型化した装置について、測定条件についての検討を加え、計画に先行してフィールド試験も実施する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

野上健治

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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

(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2年度の成果の概要：

（草津白根山）

草津白根火山の深さ10 km程度までの3次元比抵抗構造を明らかにするために、草津白根火山から半径10 kmの領域で広帯域MT観測を実施した。3次元比抵抗構造モデルの構築を行った結果、深部マグマ溜りからのマグマ性流体の供給路に相当すると思われる構造を見出した。また、本白根山南麓の石津鉦山にて電磁アークロス実験を実施したほか、時間領域で信号成分とトレンドとノイズを分別するデータ解析手法を作成した。

本年度も白根火砕丘周辺における多項目観測を継続した。同火砕丘直下への流体供給を示唆する地震、地殻変動は衰退しつつある。ドローン等を用いた湯釜火口湖の繰り返し採水によれば、その化学的特徴は静穏だった2014年以前に戻りつつある。一方で、やや多い湖面蒸発量や山体浅部蓄熱を示す消磁傾向が認められるなど、浅部熱水系のモデリングに重要な観測事実が得られた。

本白根山2018年噴火発生時に観測された火山性微動の発生位置を詳細に決定し、噴火に関与した流体は湯釜の位置する北方に由来することが示唆された。噴火発生時の傾斜変動解析および噴火噴煙放熱量を比較した結果、噴火に関与した熱水が比較的低温であった可能性が示唆された。

湯釜の湖水成分濃度の時間変化について数値的に検討した結果、その応答は1次応答で近似でき、95%応答は約8年と見積もられた。このような長い時間スケールは、噴火警戒レベルを下げる際に考慮する必要があることが分かった。

2018年に活発な群発地震活動が認められた長野県高山村村内において繰り返し温泉採取および地震観測を行った。一時的に濃度上昇していた一部の温泉については、元の濃度に戻ったことを確認した。地震活動は、2018年当時よりも衰退した状態が継続しており、これは草津白根山の活動低下と整合的である。これらの結果は、同火山のマグマ供給系を考えるために重要な観測事実と思われる。

草津白根火山周辺の西方20 kmの範囲において、噴気ガスや温泉遊離ガス、温泉水および井戸水のヘリウム同位体比を測定した。これらの結果は火口からの距離に応じて変化する傾向を示しており、草津白根山の西方向にも火山起源流体の影響が及んでいることが示唆された。

（伊豆大島）

火口周辺5ヶ所に磁力計を設置して、中央火口丘南側のカルデラ底に設置された人工電流源による地下比抵抗連続モニタリング(ACTIVE)を継続した。その結果、地下水位変化に伴う年周変動を除いて、本年度は特段の変化は見られなかった。同様に、直流法による比抵抗モニタリングでも顕著な変

動は認められなかった。なお、当初予定していた伊豆大島広帯域 MT 観測は、新型コロナウイルス感染拡大を忌避して来年度へ延期した。

( 御嶽山 )

長周期 MT レスポンスを得るための試験観測として、ソーラーパネルを用いた観測を山麓部および中腹部で実施した。また、一次元および三次元比抵抗フォワードモデリングを進めた結果、1979 年・2014 年噴火口近傍の測点を除く観測点において、未変質の新时期御岳溶岩を反映した高抵抗層が見出された。2014 年噴火口近傍の結果は、表層付近から少なくとも深度 500m までは低比抵抗層の存在を示しており、噴火に関与した流体の存在が示唆された。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Tseng, K-H, Ogawa, Y., Nurhasan, Tank, S.B., Ujihara, N., Honkura, Y., Terada, A., Usui, Y., Kanda, W., Anatomy of Active Volcanic Edifice at the Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, by Magnetotellurics: Hydrothermal Implications for Volcanic Unrests, *Earth Planets Space*, 72:161, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01283-2>, 2020

Yamada, T, Kurokawa, AK, Terada, A, Kanda, W, Ueda, H, Aoyama, H, Ohkura, T, Ogawa, Y, Tanada, T, Locating hydrothermal fluid injection of the 2018 phreatic eruption at Kusatsu-Shirane volcano with volcanic tremor amplitude, *Earth Planets Space*, 73:14, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01349-1>, 2021

Hill, G.J., Bibby, H.M., Peacock, J., Wallin, E.L., Ogawa, Y., Caricchi, L., Keys, H., Bennie, S.L., Avram, Y., Temporal magnetotellurics reveals mechanics of the 2012 Mount Tongariro, NZ, eruption, *Geophys. Res. Lett.*, 47, 8, Article Number: e2019GL086429, <https://doi.org/10.1029/2019GL086429>, 2020

石崎泰男, 濁川 暁, 亀谷伸子, 吉本充宏, 寺田暁彦 ( 2020 ) 草津白根火山, 本白根火砕丘群の地質と形成史. *地質学雑誌*, 126, 473-491, <https://doi.org/10.5575/geosoc.2020.0022>

亀谷伸子, 石崎泰男, 勝岡菜々子, 吉本充宏, 寺田暁彦 ( 2020 ) 草津白根火山, 白根火砕丘群, 弓池マールおよび逢ノ峰火砕丘の岩石学的特徴, 126, 157-165. DOI <https://doi.org/10.5575/geosoc.2019.0046>

東京大学地震研究所 ( 2020 ) 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 ( 2020 ) 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学会等発表 ( 抜粋 )

芹田創平・小川康雄・曾 國軒・石須慶一・國友孝洋・南 拓人・市原 寛, 電磁アクロデータの時系列解析, 2020 年度 Conductivity Anomaly 研究会 ( zoom 開催 ), 2021.1.7

Ogawa Y, KH Tseng, Nurhasan, Tank B, Ujihara N, Honkura Y, Terada A, Usui Y, Kanda W, Active Volcanic Edifice at the Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, imaged by Magnetotellurics: Hydrothermal Implications for Volcanic Unrests, 2020 AGU Fall meeting, 2020.12.15

Matsunaga Y, W Kanda, S Takakura, T Koyama, Nishizawa, 3-D resistivity structure model around Kusatsu-Shirane Volcano revealed by broadband magnetotellurics, AGU Fall meeting, 2020.12.15

西嶋就平・市原 寛・堀川信一郎・前田裕太・田ノ上和志・松廣健二郎・國友孝洋, 御嶽山山頂部付近における 1 次元比抵抗構造モデル, 第 148 回 地球電磁気ツ狼緘農鰻 愠 総会・講演会, R003-04, 2020 年 11 月

寺田暁彦・香取 慧・谷口無我・山本 希・山田大志・鬼澤真也・西澤達治・神田 径・青山 裕・森田裕一・大場 武, 草津白根山西方における温泉湧出と 2018 年群発地震

鈴木レオナ・寺田暁彦・谷口無我・?橋昌孝・大場 武, 草津白根火山・湯釜火口湖水の不均質性から推定される湖底熱水の化学的特徴, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020 年 7 月

Matsu'ura, K., Terada, A., Mori, T. and Ono T., Multi-sensor system with air blowers for airborne volcanic gas survey using drones: an improvement of a sensor response time, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020.7.12

?橋昌孝・寺田暁彦・角野浩史・外山浩太郎・大場 武・鈴木レオナ, 火口周辺から放出される土壌ガスの起源ーヘリウム同位体比からの示唆ー, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020 年 7 月

谷口無我・大場 武・寺田暁彦，草津白根山湯釜火口湖の化学組成変化，JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020年7月  
角野浩史・外山浩太郎・大場 武・谷口無我・寺田暁彦，草津白根火山の火山ガスのヘリウム同位体比，JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020年7月

(10) 令和3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。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の観測研究を進め，物理・化学的データについて統合的な解釈を進める。さらに，草津白根山北方の志賀火山周辺も含めて定常的な震源決定作業を行う体制を構築する。比抵抗構造については引き続きモデルの構築を進め，震源分布や地殻変動源などとあわせて構造解釈の精緻化を進める。電磁アクロス観測は令和3年度も実施する。ヘリウム観測については，火口周辺の噴気の $3\text{He}/4\text{He}$ 比の定期観測を継続しつつ，未調査領域において温泉水等の採取・分析を進める。

(伊豆大島)

伊豆大島カルデラ内外で広帯域MT法比抵抗構造探査を実施するほか，大島近海で予定されている海底電磁気探査と連携して取り組む。

(御嶽山)

山頂部における長期間観測を4か所程度で開始するほか，比抵抗構造のモデリングを進める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京工業大学 寺田暁彦・神田 径・小川康雄・野上健治  
北海道大学 青山 裕  
東北大学 山本 希  
東京大学地震研 小山崇夫  
名古屋大学 市原 寛・前田裕太・渡辺俊樹  
京都大学 大倉敬宏  
研究協力者  
東京大学大学院総合文化研究科 角野浩史  
気象庁気象研究所 鬼澤真也  
防災科学技術研究所 山田大志  
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/>

(13) 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2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実施した。地盤震動特性の把握、および地下速度構造の推定を実施した。具体的には、鳥取県東部では1943年鳥取地震で出現した地表地震断層による破碎帯周辺、県中部および東部では過去の地すべり地形上など、山間部であっても堆積層による影響が見られる地域を対象とした。結果として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。

(2) 鳥取県内では堆積平野を中心として数多くの微動探査(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た(図-1)。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-2,3)。今年度を実施した(1)の観測結果や未入力データを今後順入力し、データベースの拡充を図る。

(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次震源とする方法によって県内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Webベースでリアルタイム震度を配信できるシステムを開発し、県内の自治体での閲覧を図っている。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

香川敬生・星山賢太郎・野口竜也, 2020, 2000年鳥取県西部地震による気象庁境港観測点における非線形地盤応答特性と境港市役所における観測記録の再現, 土木学会論文集A1, Vol.76, No.4(地震工学論文集第39巻), pp. L163-L171.

西村武・野口竜也・香川敬生, 2020, 2016年鳥取県中部の地震の被害地域における地盤構造推定と地盤震動特性の把握, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SSS04-P13.

- 野口竜也・小林和生・岡野三里・西村武・香川敬生, 2020, 1943年鳥取地震の鹿野断層における稠密微動観測, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, S-SS16-P08.
- 小林和生・岡野三里・西村武・野口竜也・香川敬生, 2020, 稠密微動探査による1943年鳥取地震の鹿野断層ごく近傍における地盤震動特性の把握, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, CS10-12.
- 吉田昌平・香川敬生・野口竜也・西村武: 常時微動探査及び余震観測記録に基づく弓ヶ浜半島の地盤構造モデルの構築, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, CS10-44.
- 野口竜也・西田広大・西村卓也・香川敬生, 2020, 微動観測に基づく鳥取県大山町の避難施設の振動特性および御来屋地区における地盤構造調査, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, CS10-48.
- 野口竜也・西村武・香川敬生, 2020, 鳥取県中部における重力基盤構造の推定, 日本地震学会2020年度秋季大会, S16P-09.
- 香川敬生・野口竜也・山田浩二・竹本哲也, 2020, S波反射法地震探査および常時微動を用いた1943年鳥取地震で出現した鹿野断層近傍の地盤構造, 日本地震学会2020年度秋季大会, S16P-08.
- 野口竜也・小林和生・西村武・香川敬生, 2020, 1943年鳥取地震の鹿野・吉岡断層における稠密微動観測に基づく地盤震動特性の把握, 第40回土木学会地震工学研究発表会, D13-1633.
- 西村武・野口竜也・香川敬生, 2020, 2016年鳥取県中部の地震の被害地域における地盤震動特性とその影響, 第40回土木学会地震工学研究発表会, D12-1613.
- Nishimura, I., Noguchi, T., and T. Kagawa, 2020, Estimation of Subsurface Structure and Ground Motion Characteristics in the Damaged Areas due to the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake, Japan, 10th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, GX185.

(10) 令和3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, 主に微動探査・重力探査・観測地震動の解析を通じた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上記GISデータベースについて, 自治体での利活用を促すとともに, 利用に関する意見を収集する。これらのツールを総合的に活用し。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の構想を始める。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

香川敬生, 野口竜也 2名

他機関との共同研究の有無: 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 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:

(13) 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

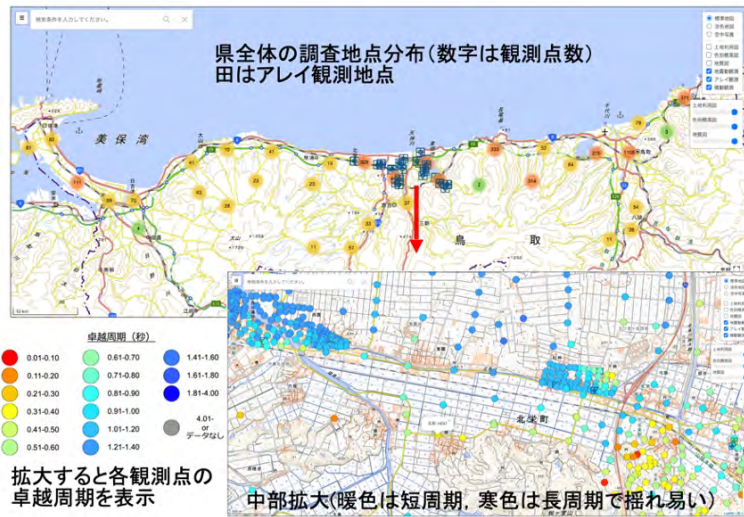


図-1 鳥取県内の微動観測結果の GIS データベース

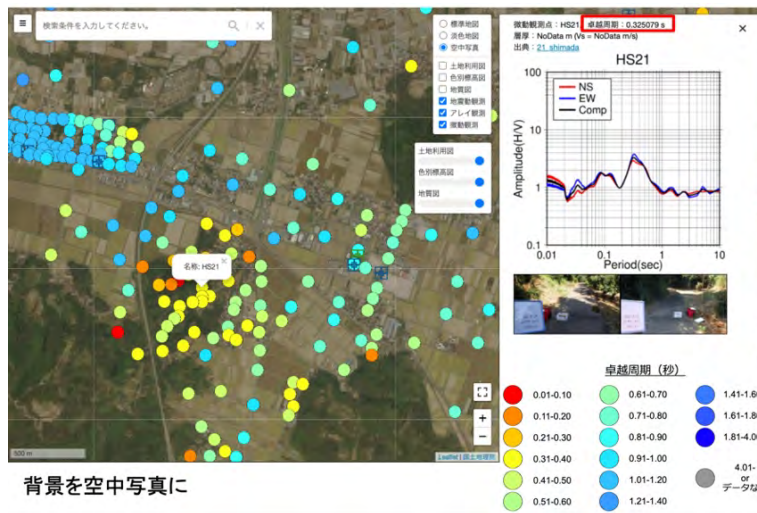


図-1 の GIS データベースでの 3 成分単点観測の H/V スペクトル表示例

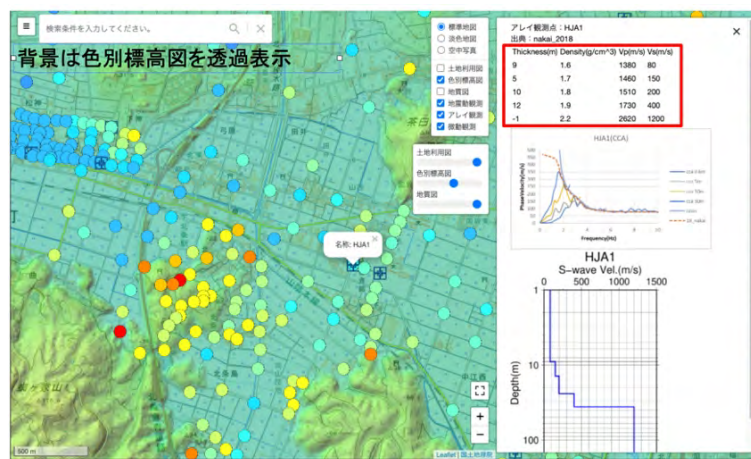


図-1 の GIS データベースでのアレイ観測の位相速度分散曲線と地下構造モデル表示例

(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・涸釜・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 2 年度の成果の概要：

当初の計画通りに調査を行い、以下の成果を得た。

##### 1．本白根火砕丘群の山頂域に見られる小火口の活動年代

本白根火砕丘群の山頂域に分布する小火口のうち、古本白根火口内の小火口（図 1 の小火口?）、新本白根火口縁の小火口（図 1 の小火口?と?）について活動年代を検討した。小火口の周囲には水蒸気噴火による白色粘土質火山灰や既存火山体由来する火山岩塊層が分布しており、その下位には黒色土壌もしくは砂礫混じりの淡褐色土壌が見られる。土壌から得られた暦較正年代は、小火口 1 で約 1700 年前、小火口 2 で約 700 年、小火口 3 で約 2700 年である。これらの年代値が各火口を形成した水蒸気噴火の発生年代と推測される。

##### 2．白根火砕丘群の地質と形成史

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（SPCG）ではあるが、その形成史はよくわかっていない。そこで、SPCG 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・分布を調べて地質図（図 2）を試作した。SPCG を構成する火砕丘が 4 体（形成順に古涸釜、古白根、涸釜及び湯釜火砕丘）あること、噴出物に挟在する土壌の暦較正年代から涸釜火砕丘が約 6000 年前、湯釜火砕丘が約 2000 年前以降に活動したことが明らかになった。

##### 3．テフラ層序から見た草津白根火山の完新世噴火履歴

草津白根火山の完新世噴火履歴の解明を目指したテフラ層序調査を前建議から継続して実施してきた。本年度、山麓から山頂域に分布する主要テフラの層序と年代がほぼ確定し、テフラ物質の物質科学的解析もほぼ完了した。現時点までのデータをもとに整理した、草津白根火山の噴火履歴を図 3 に示す。

##### 4．古地磁気学的手法による噴出物の年代推定

白根及び本白根火砕丘群を構成する各火砕丘は主に火山角礫岩層からなり、14C 年代測定に適した土壌が挟在することは稀である。そこで、土壌の 14C 年代が決定されている露頭において、土壌間に挟まれるテフラ層の古地磁気年代測定を行った（図 4）。その結果、14C 年代と概ね矛盾のない古地磁気年代がえられ、噴出物の年代測定として古地磁気学的手法の有効性が示された。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : 石崎泰男・濁川 暁・亀谷伸子・吉本充宏・寺田暁彦、2020、草津白根火山、本白根火砕丘群の地質と形成史、地質学雑誌、126( 9 )、473-491 . 亀谷伸子・石崎泰男・勝岡菜々子・吉本充宏・寺田暁彦、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、印刷中 .

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

( 1 ) 白根火砕火砕丘群については、噴出物の層序・分布調査を継続し、地質図の完成を目指す。また、火砕丘群を構成する火山角礫岩層、溶岩流、溶岩ドームについて古地磁気年代測定を行い、各噴出物の形成年代を明らかにする。

( 2 ) 本白根火砕丘群については、活動年代不明の小火口がまだいくつか残されているため、各火口噴出物の下位の土壌の  $^{14}\text{C}$  年代を測定し、それらの活動年代を明らかにする。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

石崎泰男

川崎一雄

他機関との共同研究の有無 : 有

山梨県富士山科学研究所 吉本充宏、亀谷伸子

東京工業大学 寺田暁彦

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

( 13 ) 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)

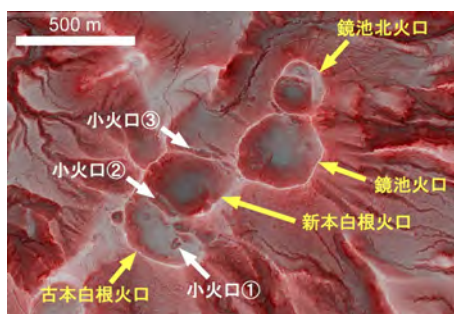


図 1 . 本白根火砕丘群山頂域の小火口分布



図 2 . 白根火砕丘群の地質図 ( 暫定版 )

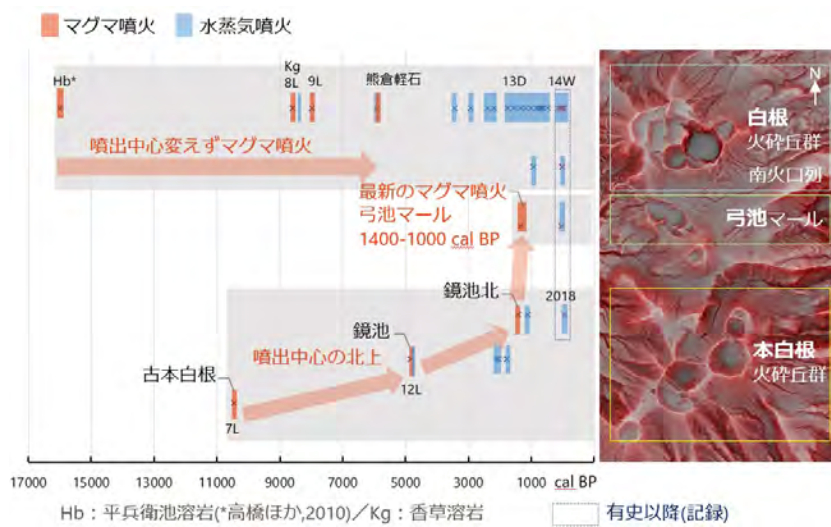


図 3 . テフラ層序から見た草津白根火山の完新世噴火履歴のまとめ

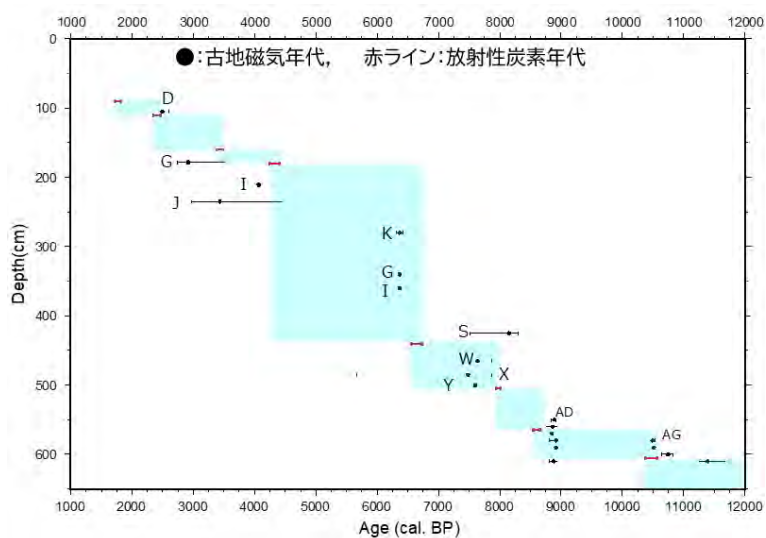


図 4 . 放射性炭素年代と古地磁気年代の対応関係  
背景青の範囲で放射性炭素年代と古地磁気年代が層序と整合的な値をもつ

(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、火山構造成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2年度の成果の概要：

#### 1. 地殻変動観測

2020年9月に、地獄谷遊歩道沿いで水準測量を実施した。2019年9月からの1年間で最大2.9cmの沈降が検出された。この年間上下変動量は地獄谷における水準測量が始まった2015年以来で最大であり、後述する熱観測で熱水孔拡大がみられた紺屋地獄付近で観測された。この変動に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50mに長さ300m、幅75mのほぼ鉛直なダイクが閉口したことが見出された(図1)。このダイクを過去の水準測量のデータにも適用したところ、2017年から閉口が始まったことが分かったが、2017~2018年や2019~2020年には100cm以上閉口した一方で2018~2019年には4cmの閉口にとどまり、毎年一定ではない(図2)。これは噴気活動の盛衰や地下からの熱水の供給量の変化に対応している可能性がある。

一方、地獄谷内にGPSベンチマーク5点を2020年7月に、追加のベンチマーク3点を2020年10

月にそれぞれ設置した。これらのベンチマークにて GPS 繰り返し観測を 2020 年 8 月と 10 月にそれぞれ実施し、2020 年 7 月に設置したベンチマークで最大 7 cm の東向きの変動が検出された。この変動もダイクの閉口で再現することができるが、その深さは 200 m と水準測量のものより深く、位置も異なる（図 3）。この場所は Seki et al. (2016) がマグマだまりから地獄谷下のガスだまりへの熱水の供給経路と解釈した場所とおおむね対応する。

## 2. 地震観測

噴気活動の定量的評価を目的として、百姓地獄北東部の噴気孔近傍において地動観測を行った（地震計：Leanartz、LE-DliteMKIII、データロガー：白山工業、LS-8800）。2020 年 10 月 31 日 14 時 00 分から 10 分間のスペクトルを図 4 に示す。周波数 6-8 Hz および 65 Hz 付近の振動が卓越している。これは観測中すべての時間を通して見られた特徴である。周波数 6-8 Hz の振動の原因は特定できていない。周波数 65 Hz 付近の振動は、噴気孔で発生している空力音によるものと考えている。ガスの噴出に伴う四重極空力音の振幅は、噴出速度の 8 乗に比例することが知られている。そのため、この振動の振幅と噴出速度の関係を理解することができれば、噴出量を推定できるはずである。

また、噴気活動が活発な地獄谷だけでなく、弥陀ヶ原火山全体の活動状況を把握する観点から、京都大学の協力を得て弥陀ヶ原火山周辺での広域地震観測を計画した。本年度は先行して立山カルデラ内の水谷平と多枝原平に観測点を新設し、現在越冬観測を実施中である。2020 年 9 月 23 日から 10 月 27 日の地震波形記録をもとに、周辺の Hi-net や V-net 観測点のデータも含めて震源決定した結果を図 5 に示す。ほとんどが飛騨山脈下に震源を有する地震であったが、跡津川断層の活動に起因すると思われる地震も 2 回検出された。9 月 29 日夕方～30 日早朝にかけてカルデラの北約 10 km の劔岳付近で地震が群発したほか、10 月 20～24 日にかけては上高地付近でやや活発であった。一方で、カルデラ内の 2 点のみでとらえられた地震も多数あり、局地的な地震が発生している可能性がある。

## 3. 熱活動観測

2020 年 10 月に赤外線サーモカメラ（Flir Vue Pro R）を搭載したドローン（DJI Phantom 3 advanced）を用いて、地獄谷内の熱観測を行った。2019 年 9 月と 2018 年 9 月にも同様の観測を行っており、過去 3 年間の観測で次のような熱活動の変化が明らかになった。

- (1) 最も噴気活動が活発な雷鳥荘西方の“新噴気帯”では、明瞭な噴気を伴わない高温域が昨年度の観測で検出されたが、本年度の観測ではその分布が北方へ拡大していた。
- (2) 紺屋地獄ではいくつかの熱水孔が拡大していた。
- (3) 八幡地獄ではいくつかの熱水孔が消失した。
- (4) 全体としては、地獄谷東域で熱水・噴気の活動が活発化し、西域では活動が静穏化しているように見える。

本年度観測に用いた Flir Vue Pro R は、これまで観測に用いていた Flir Vue Pro とは異なり、実温度の測定が可能である。取得した赤外線像から熱水もしくは噴気の温度の求め、それらをもとに地獄谷内の熱水・噴気の温度分布図を作成した（図 6）。地獄谷西域にある新大安地獄が最も噴気温度が低く、東に向かって噴気・熱水の温度が上昇し、100 以上の高温の噴気・熱水孔は地獄谷の東側に偏在する。干渉 SAR 解析結果（Kobayashi, 2018）と比較すると、地表の隆起量と噴気・熱水温度との関連性は明白であり、隆起量が大きい地点ほど高温の熱水・噴気が噴出しているという傾向が見られる。また、水準測量の沈降域ともおおむね対応している。

- (9) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- (10) 令和 3 年度実施計画の概要：

### 1. 地殻変動観測

地獄谷における水準測量、GPS 繰り返し観測を継続する。水準測量に関して今年度得られた成果を論文投稿する。GPS ベンチマークのうち 1 点の夏季連続点化を検討する。

### 2. 地震観測

百姓地獄北東部の噴気孔近傍における地動観測は、より直接的な音波の観測と、噴出速度の測定を同時に行うことを計画している。弥陀ヶ原火山周辺の広域地震観測は、観測点を真川の露頭付近や浄土山、馬場島にも新設して展開する。

### 3. 熱活動観測

令和2年度に引き続き、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。

#### ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

渡邊了、石崎泰男、堀田耕平

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

#### ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 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 :

#### ( 13 ) 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 )

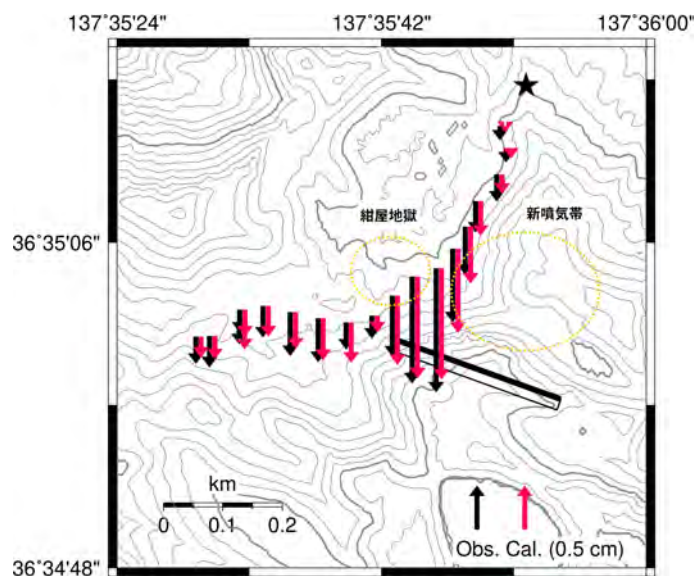


図1 水準測量によって得られた2019年9月~2020年10月の上下変動(黒)と開口割れ目(長方形)の閉口に伴う上下変動(マゼンタ)。は基準とした水準点を示す。

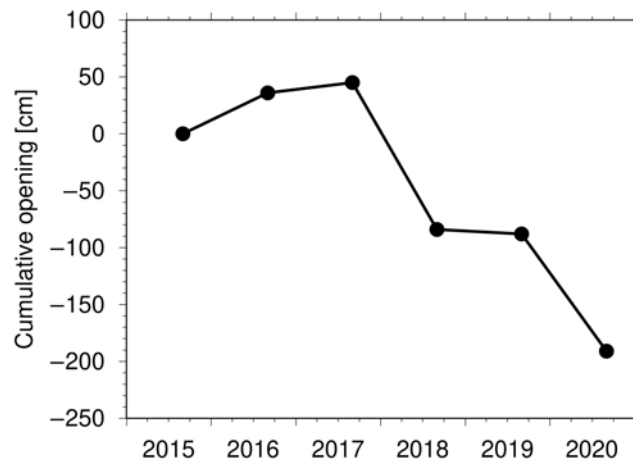


図2 開口割れ目の積算開口量。

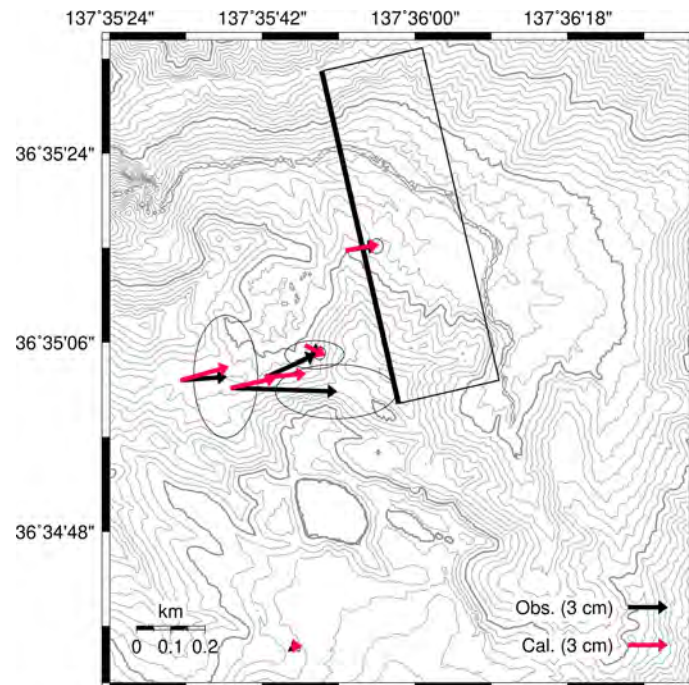


図3 GPS 繰り返し観測によって得られた2020年8月17日~10月20日の水平変動(黒)と開口割れ目(長方形)の開口に伴う水平変動(マゼンタ)。GEONET 観測点960572(滑川)を基準とした。



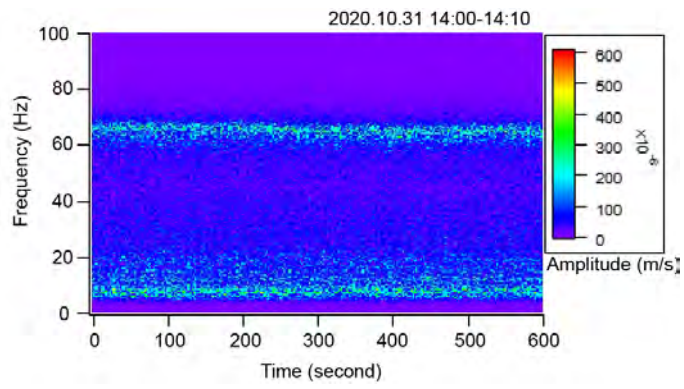


図4 2020年10月31日14時00分から10分間のスペクトル。

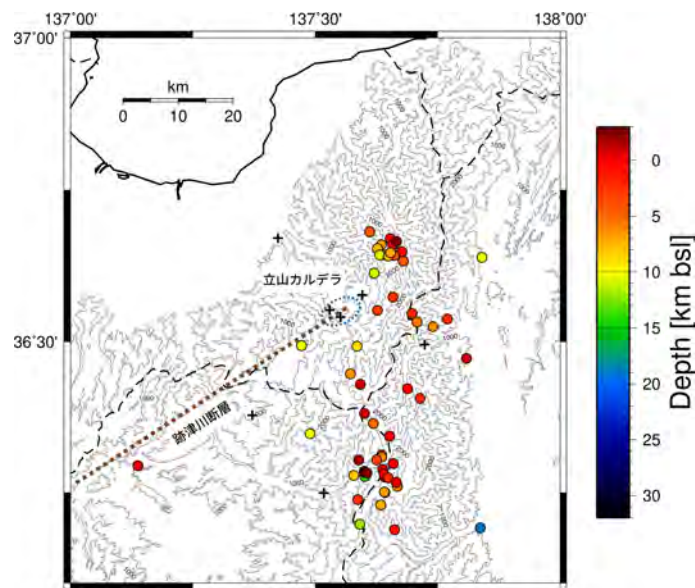


図5 2020年9月23日～10月27日の震源分布。+は震源決定に使用した観測点の位置を示す。

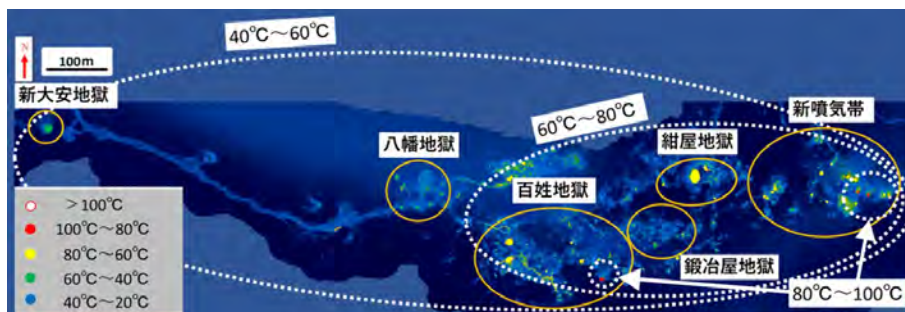


図6 地獄谷内の熱水・噴気の温度分布図。

(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2年度の成果の概要：

令和2年度では、富山県をフィールドとした住宅の実態調査から木造戸建て住宅に着目し、被災者生活再建支援の第一ステップとなる「住家被害認定調査」の理解を深めるためのツール整備を実施した。富山県における住宅の実態調査においては国勢調査結果を利用し、持ち家率が全国1位である富山の具体的な状況を把握し、住宅の種類についても着目した。住家被害認定調査の理解を深めるためのツールについては、簡易的なモデルを作成し、様々な被害パターンに応じて、内閣府が定める被災程度の分類との関係性を明示化できるものとして整備した。

まず、富山県をフィールドとした住宅の実態調査についてである。図1は、平成27年国勢調査における「世帯構造等基本集計」の結果から、全国の持ち家・借家率と富山県の持ち家・借家率を比較したものである。この図から、全国の持ち家率の平均が61.30%であるのに対し、富山県は76.84%であり、被災時には持ち家からの再建が求められることが明らかとなった。これは全国でも1位の数値であり、災害が発生した後の再建方針においても持ち家での再建が求められることが想定される。

また、被災者生活再建支援の多くは罹災証明書に記載される「家屋の被災程度」によって支援受給の可否ならびに支援の程度が変わる。この「家屋の被災程度」を決定する方法が住家被害認定調査であり、内閣府が定める指針に基づく必要がある。住家被害認定調査の指針によれば、その調査は建物構造(木造/非木造)によって調査方法が異なる。そこで、平成30年住宅・土地統計調査から富山の実態を調査し、図2の結果を得た。この結果から、富山県は地方圏であるように、木造住宅の占める割合が全国平均に比べて高いことが明らかとなった。

図1、図2を総合すると富山県で被災者生活再建支援を考える上では、木造住宅・持ち家を想定することが重要であると考えた。

次に、被災者生活再建支援の第一ステップである住家の被災程度を決定するための住家被害認定調査での判定結果について理解を深めるためのツールを整備した。これは、建物の外壁や屋根において、どの程度の被害が発生すると、内閣府が定める家屋の被災程度区分のうちのどれに該当するかを例示するツールである。既往の取り組みとして、東京都豊島区では自治体職員が自発的に住家のモデルを作成し、住家被害認定調査手法を自治体職員に教育するために利用していた。豊島区の協力を得て、より簡易的なモデルとしてツールの整備を実施した。前述の先行調査により、富山県で第一に実施すべきは「木造の一般住宅」であると考えた。非木造住宅や集合住宅については、基本的な形を決め着手することとし、次年度以降の課題とした。

本ツールを木造住宅の模型として作成するにあたり、一般的なホームセンター等で購入可能な資材を利用し、A4もしくはA3サイズでの印刷によって組み立て可能になるよう考慮した。まず、図3に示すような模型作成のための図面を作成した。この図面に沿って塩化ビニル板を切り抜くことで建物の躯体ができあがる。この躯体の大きさに合わせて、屋根および外壁、地盤といった部材の設計を実施した。屋根と地盤はA3サイズ、外壁はA4サイズとした。これにより、一般的なプリンタで印刷できるため、模型作成にあたって特殊な機材を必要としない。また、屋根、外壁および地盤の被害については、住家被害認定調査の専門家の助言をもとに、被害のパターンを作成した。図4にサンプルを示す。これにより、誰もが容易に模型を作成することができるため、必要に応じて地域や個人で作成し、見識を深めることが可能になったと考えている。

これらの被害を表す屋根、外壁および地盤を組み合わせることで、内閣が定める家屋の被災程度区分（全壊、大規模半壊、半壊、半壊に至らない）のいずれをも模型として表現できるようにした。すなわち、被害の発生状況（面積割合）に応じて被災区分が導き出されるため、各被災区分の具体的な被害発生について容易にイメージできることとなった。

この模型は、住民側の視点だけで利用するものにとどまらない。住家被害認定調査の実務を担当する自治体職員において研修の場で利用することで、知識や視点、技術を向上させることが可能である。特に、模型においては、被害パターンを組み合わせることで被害の様子を共通化できるため、多人数での研修であっても共通認識を持つことが出来る。また、判定に至る手順をあわせて示すことで理解が深まるだけでなく、各被害パターンには被害率が決まっていることから、その組み合わせ方によって被災程度区分の判定の正解が確定するため、明確な解答を示すことが出来る。

この模型を用いて、令和2年度は新潟県が実施する被災者生活再建支援研修において実証した。コロナ禍の中での研修であったためオンラインでの研修となったが、模型を事前に送付し、屋根、外壁および地盤の被害パターンを伝えることで、同じ模型が組み立てられ（図5）、統一的な研修が実施できた。自治体職員からも「被害がわかりやすかった」「判定の際に見るべきポイントがわかりやすかった」等の高評価を得た。住民への実証は今後の課題であるが、少なくとも自治体職員の研修においては一定の成果をあげたといえる。

（9）令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（10）令和3年度実施計画の概要：

令和3年度では、被災者生活再建支援について「自分で試す」ツールの具体的な設計・開発を推進する。これは、住家被害認定調査による被災程度判定から、罹災証明発行、各種支援の申請・受給に至るまでの包括的な手続きを可視化し、被災者となる住民自らが、どのような被害が発生した場合、どのような生活再建支援の可能性があるかを知るための仕組みとする。被災者生活再建支援の多くは、住家の被災程度によって受給の可否、支給の程度が変わる。これを住民に提示することで、被災者生活再建支援の知識や理解を深める。また、令和2年度の成果では富山県民は木造の持ち家率が高いことから、富山県内での再建を視野に入れ、新築や購入といった場合の具体的な経済的負担を示し、各種支援の中で得られる支給額と照らし合わせることで、備えておくべき経済的な量を把握できるようなツールとして整備する。公的支援のみならず、個人での備えある保険等も含めて、その必要性を住民自らが判断できるシミュレーションツールとする。これをウェブアプリとして整備し、社会公開を目指す。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

井ノ口宗成, 渡邊了, 久保田善明, 中川大, 原隆史, 堀田裕弘, 矢口忠憲, 安江健一, 立石良, 阿久井康平

他機関との共同研究の有無：有

筑波大学：森嶋厚行, 北原格

(株)サイエンスクラフト：元谷 豊

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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/>

(13) 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

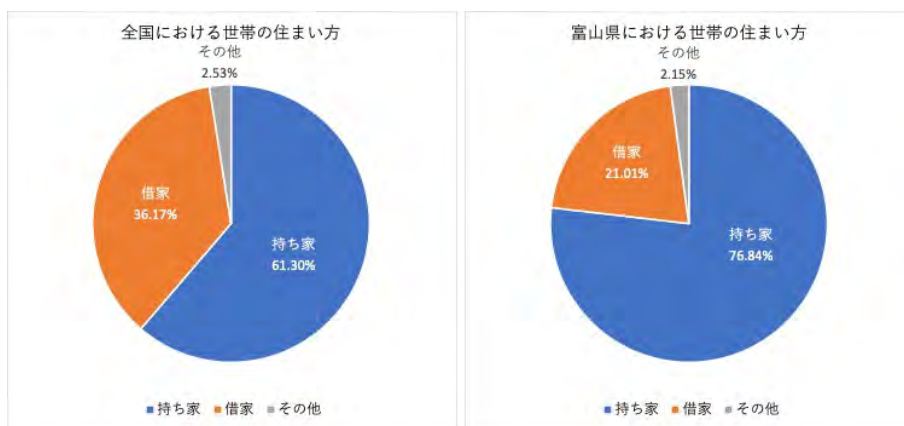


図1 全国と比較した富山県における世帯の住まい方

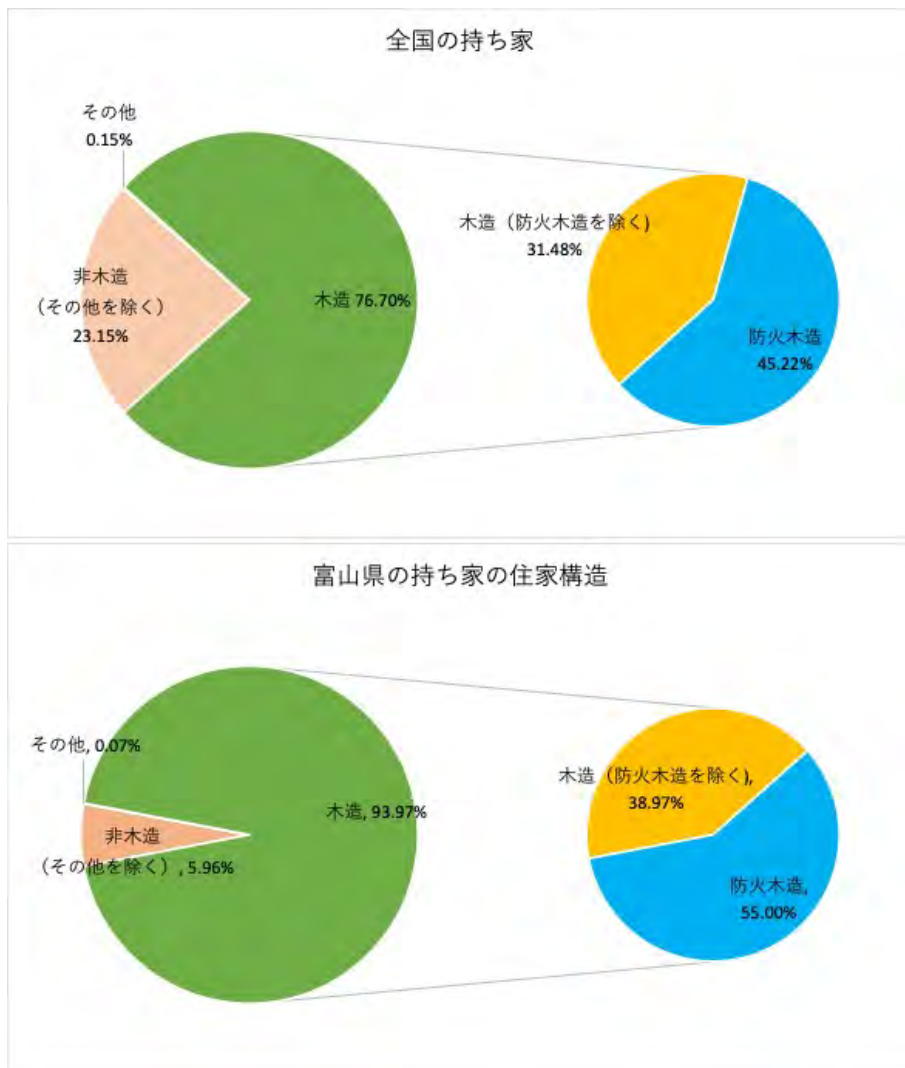


図2 全国と比較した富山県における住宅の構造比較

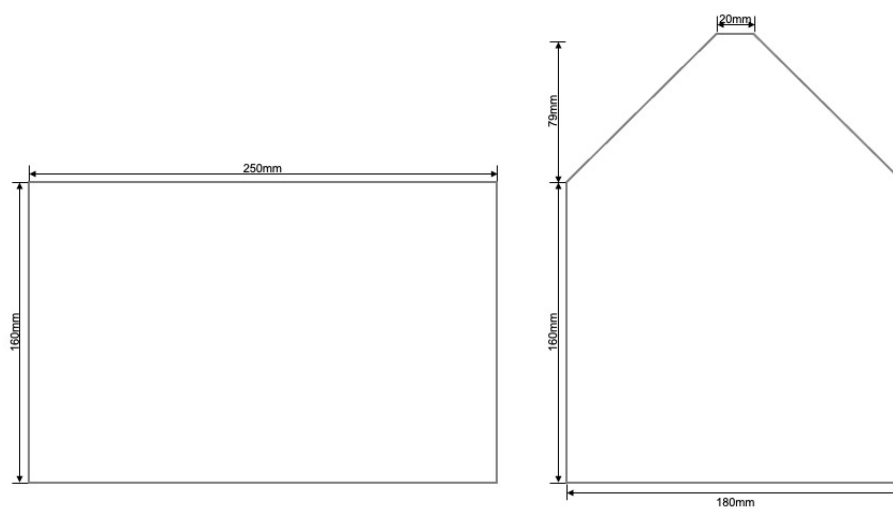


図3 住家被害認定調査のための簡易模型展開図

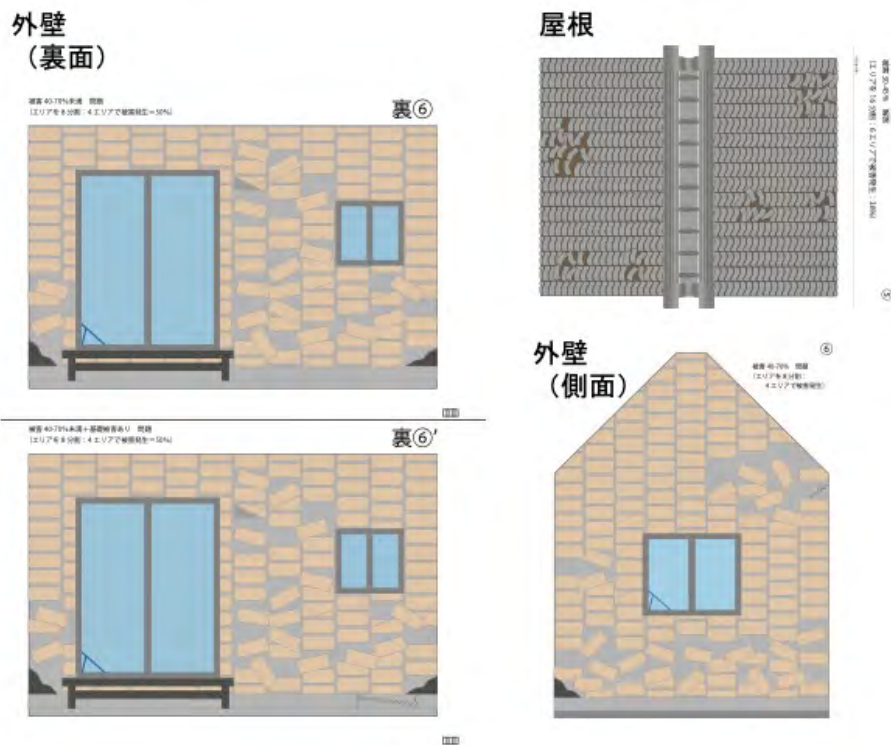


図4 住家被害認定調査のための屋根や外壁の被害パターン例



図5 オンライン研修における簡易模型利用の様子



(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 2 年度の成果の概要 :

1 ) 前年度に引き続き、既刊地震史料集の電子テキスト化を進めた。高精度OCRによるテキスト化の方式を導入したことによって、作業効率、精度とも大幅に上がり、本年度は 8 冊 7988 ページの電子テキスト化を達成した。これによって全体の 91 % の工程を終了したことになる。

2 ) 既刊史料集に収録されている史料を原典によって誤りの校訂や未収録の記事の補充を進めた。現在、予定全 9 冊のうち 3 冊の校訂・データ修正を終えて公開している。また 3 冊の校訂を終え、データを修正中である。

3 ) 構築した地震史料データベースを利用しやすい形で公開するための検索方法を検討し、a 年月単位の地震史料数一覧表から検索する方法、b 理科年表掲載の地震から検索する方法、c 地震史料の所在地名から検索する方法を作成した。

4 ) 個別の事象に関する研究としては、1596 年 9 月に畿内や美濃の史料に記述された「長く白い毛」のような降下物について検討した。これがいわゆるペレ の毛であることは火山学者によって指摘されているが、どこから噴出されたものであるかについては、江戸初期の史料に依って浅間山であるとする説と、偏西風を考えると浅間山の噴出物が京都に届くことはないとする説がある。本課題では、当該日に鹿児島に滞在していた人物の日記から、この前後、九州は台風に見舞われていたと考えられることに注目した。この日記に記された鹿児島での天候記述に整合的な台風を気象庁の公開する台風データベースで求めると、進路や速度は 2002 年の台風 15 号と類似していると推定された。これを参考にして 1596 年 9 月の台風の中心の日ごとの位置を推定すると、京都にペレ の毛が降下した日、台風は九州付近にあり、日本列島上には東風が吹いていたと推定できる。したがって史料に記された噴出物が浅間山から運ばれてきたものであった可能性は高いと考えられる。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

榎原雅治「文禄 5 年豊後地震に関する文献史学からの検討」(『日本歴史』856、2020 年 6 月加納靖之・杉森玲子・榎原雅治・佐竹健治『歴史のなかの地震・噴火一過去のしめす未来』(東京大学出版会、2021 年 3 月予定)

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

1 ) 既刊史料集の電子テキスト化を完了させる。

2 ) 既刊史料集に収録された史料を原典と対照させて、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。

3 ) 地震火山史料データベースの検索利便性を向上させる。

4 ) データベースに収められた地震火山史料記述中の地名に自動的に位置情報を付与し、これを地図上に表示するための方法を検討する。

5 ) データベースを活用して、近世の地震・火山噴火の事象についての具体的な事例研究を行う。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・及川亘・荒木裕行・山田太造・林 晃弘

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震火山史料連携研究機構

佐竹健治・加納靖之・西山昭仁・大邑潤三・水野嶺・吉岡誠也

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

(13) 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

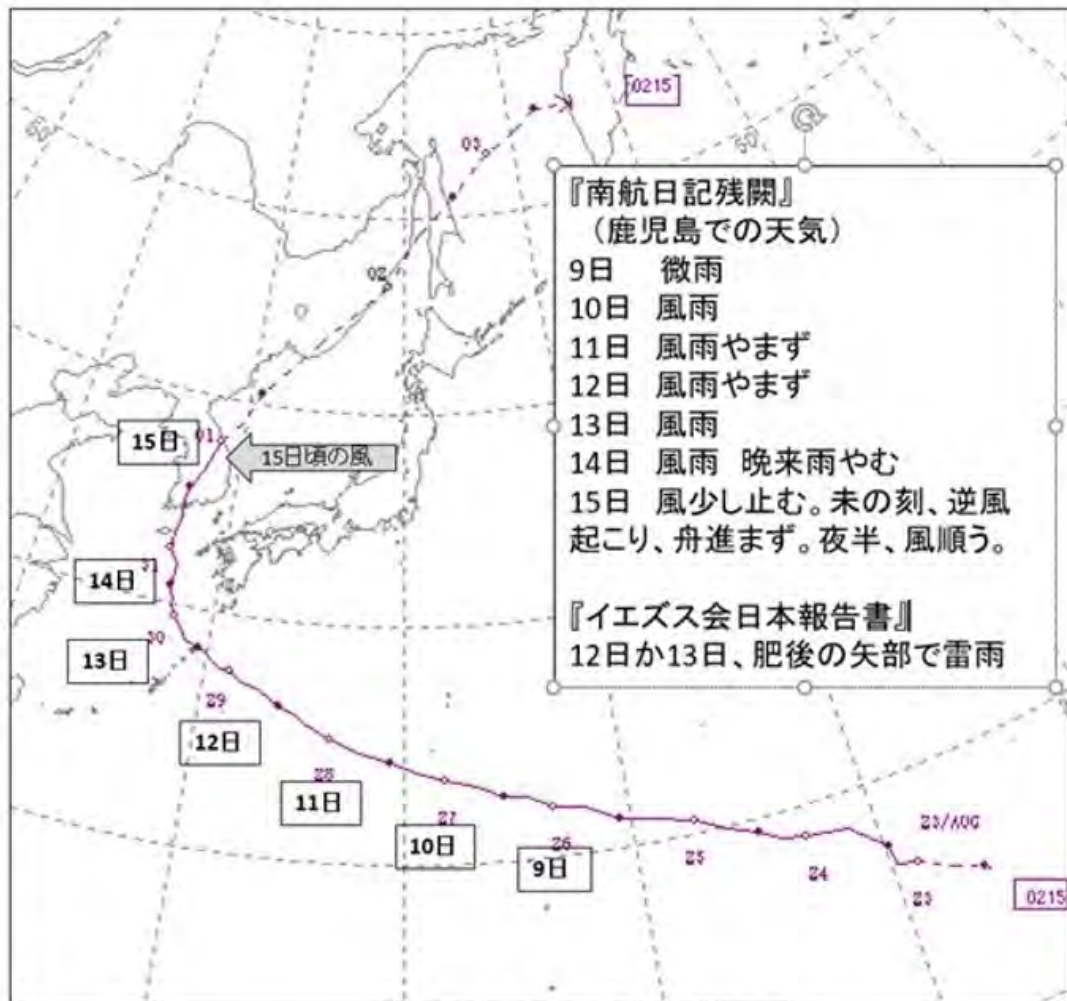


図 文禄5年閏7月の台風経路推定  
気象庁 台風経路図データベース 2002年台風15号(8月23日～9月3日)の経路図に加筆

1596年9月台風と噴出物降下

1596年9月の鹿児島の天気変化と統合的な現代の台風を、気象庁台風データベースで求めると、京都に噴出物が降下した日、台風は九州付近にあったと推定できる。

(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 2 年度の成果の概要 :

安政江戸地震を題材とした絵巻として「江戸大地震之図」( 東京大学史料編纂所蔵 ) およびこれとほぼ同図様の「安政大地震災禍図巻」( チェスター・ビーティー図書館蔵 ) が知られている。両本には詞書がなく、地震による被害等を一般的に描いた絵画作品として知られてきた。しかし、文献史料と符合する内容やその構成から、事実に基づいて特定の場所や出来事を連続的に描いていることが判明した。紙の継目は場面の転換と一致せず、当初から卷子本として制作し、時間の経過に沿って描写したものと考えられる。それぞれ薩摩藩主島津家と五摂家筆頭近衛家に旧蔵されていたもので、幕末の両家の関係を前提に、前者に続いて後者が制作されたと考えられる。

一方、「安政大地震絵巻」( 三康図書館蔵 ) も伝来しているが、伝来の経緯は未詳で、その構成や内容は上記の両本とは異なる。巻頭には名主番組ごとの被害の書上げがあり、町方で一回目の被害報告の内容と符合する。続いて 23 の絵があり、このうち詞書のない 6 場面は市中の被害と対応を一般的に描いている。詞書を伴う 17 場面は、他史料にみえる個別事例との符合が確認できるものもあるが、題材をとった場所は区々で、時間の経過に沿っているとは限らない点において、「江戸大地震之図」等とは異なる。紙の継目は絵や詞書の区切りとほぼ対応しており、巻頭の被害の書上げに続けて、絵を張り継いで卷子本に仕立てた可能性もある。その中で、谷中天王寺の五重塔の九輪が折れて落下した様子が詞書を伴って描かれているが、こうした描写は地震後に修復された五重塔の 1870 年の実測図と合わせれば、地震の揺れについての検討材料になる可能性がある。

このように、文献史料や他の絵画史料とあわせて検討することで、絵巻がもつ史料としての可能性が明らかになり、「江戸大地震之図」は時間の経過に沿って被害の発生状況や復興の過程を読み取るのにふさわしいことが「安政大地震絵巻」との比較検討によって確認された。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

加納靖之・杉森玲子・榎原雅治・佐竹健治『歴史のなかの地震・噴火 - 過去がしめす未来 - 』( 東京大学出版会、2021 年 3 月刊行予定 )

( 10 ) 令和 3 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を調査・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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

杉森玲子・榎原雅治・荒木裕行・林 晃弘・山田太造  
他機関との共同研究の有無 : 有  
東京大学地震火山史料連携研究機構 西山昭仁

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :  
電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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 :

(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、現在から数千年前の間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、津波発生年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、ベ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 2 年度の成果の概要：

本年度は、琉球列島北部の奄美大島・喜界島、琉球列島南部の多良間島・石垣島において現地調査を行った。琉球列島北部での現地調査では、巨礫のサイズ・空間分布の測定と隆起サンゴ礁地形の高精度測量を実施した。これにより、後期完新世の地震性隆起量を推定した。多良間島および石垣島においては、巨礫に加えて砂礫質津波堆積物の調査を行い、石垣島においては大型の海生化石片を含む津波堆積物の可能性の高い砂層を見出した。また、水納島で採取済みの津波堆積物中の試料を用いて多点年代測定を行い、津波イベントの発生時期の高精度推定を行った。琉球列島中部においては、台風の高波起源の巨礫が存在しており、過去に津波が発生していたとしてもこれらの巨礫のサイズ・空間分布を大幅に変更しなかったと考えられることから、現在の巨礫分布を制約条件として、津波数値計算により津波および地震の最大規模推定を行った。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Fujita, R., K. Goto, Y. Iryu, and T. Abe, 2020, Millennial paleotsunami history at Minna Island, southern Ryukyu Islands, Japan. *Prog. Earth Planet. Sci.* 7:53 <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00365-9>.

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要：

琉球列島北部、中部においては現地データが揃ってきており、数値計算主体に移行する予定である。特に、琉球列島北部では地震性隆起地形を制約とすることができると考えており、地形データ解析を先行して実施する。また、両地域において、台風の高波起源の巨礫が分布していることを確認している。これらの分布を過去の地震・津波の最大規模推定に活用するための手法も概ね確立できてきており、この手法を用いて両地域で過去に発生した地震・津波の最大規模推定を行う。琉球列島南部については、引き続き水納島、石垣島を中心に現地調査を実施する。津波石に加え、砂礫質津波堆積物は多点年代測定に適しており、1771 年明和と津波以前の巨大津波の発生時期の高精度推定を行う予定である。その際、どのような試料を年代測定に用いればよいのかを明らかにするため、試料の産状や保存程度等を定量的に評価する手法も検討する。

( 11 ) 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・教授  
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・准教授  
横山祐典・東京大学大気海洋研究所・教授

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：  
電話：  
e-mail：  
URL：

( 13 ) 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 2 年度の成果の概要 :

初歩的なフォワードモデリングにより、M9 規模の矩形断層が引き起こす地震時の弾性変形に対して、半無限モデル ( Okada ) と球体モデル ( PREM ) の比較を行った。震央付近から最大変位が生じる地点までの変動量はほぼ一致するものの、その外側 ( 海溝側、陸側 ) では半無限モデルの振幅が非常に大きくなることが分かった。また、球モデルにおいて弾性定数の水平不均質を考慮して地震時の弾性変形を計算する手法を開発した。2次元モデルにおける予備的な計算の結果、震源が与えられた位置における弾性定数の水平不均質の効果が大きく、観測者の位置におけるそれは小さいことを明らかにした。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Tanaka, Y., V. Klemann and Z. Martinec, Estimating the effects of laterally heterogeneous elasticity on coseismic deformation -a rotationally symmetric case-, AGU Fall Meeting 2020 (San Francisco, USA, 2020.12) poster

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

より多くのケースに対して半無限モデルと球体モデルの比較を行い、断層すべり等に及ぼすモデルの影響を明らかにする。また、3次元的な弾性定数、密度の水平不均質を考慮して弾性変形を計算する手法の開発を進める。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

田中愛幸

他機関との共同研究の有無 : 無

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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 of 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の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2年度の成果の概要 :

今年度は前年度に Ide (2019) で開発した立ち上がり類似した地震波の検出法を改良し、地震の震源(破壊開始点)の精密震源決定法を開発した。この手法により、破壊開始点の相対位置とセントロイドの相対位置を独立に高精度で決定可能となった。小地震では破壊開始点とセントロイドの位置は同一だとみなすと、地震発生域に小地震からなる座標系を設定して、その上に大地震の破壊開始点とセントロイドをマップすることが可能になる。この手法を那珂沖ほか数地域の繰り返し地震を含む地震活動に適用した。那珂沖では異なるサイズの地震の破壊開始点が集中する場所が数か所発見され、これ

らの場所が特に地震の開始しやすい場所になっていることが分かった。同時にある一つの場所から始まる地震でも M2-3 程度、M4 程度、M5 程度と異なる階層まで成長することも判明した。プレート境界の階層構造の組み合わせによって地震が繰り返していると考えられる。これ以外に今後の分析に向けて震源イメージング手法の予備的な開発や、メキシコ、ニュージーランドの地震データの整頓などを行った。

( 9 ) 令和 2 年度の成果に関連の深いもので、令和 2 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和 3 年度実施計画の概要 :

破壊開始点とセントロイドの同時推定法について、複数地域に適用し、手法と数例の解析結果をまとめて公表する。ケーススタディを増やして両者の関係から東日本プレート境界における階層性の統計的性質を把握する。経験的震源イメージング手法を python 化したものの公開を目指す。特にテクトニック微動の精密位置推定のために、複雑な地震波形から震源破壊すべりのインパルス応答を抽出する新たな統計的手法を開発し、予備的な結果を公開する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学大学院理学系研究科 井出哲

他機関との共同研究の有無 : 有

フランス BRGM Hideo Aochi

メキシコ国立自治大学 Victor Manuel Cruz Atienza

チリ大学 Sergio Ruiz

台湾国立師範大学 Kate Huihsuan Chen

( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 13 ) 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, N<sub>2</sub>, 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、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ をはじめ測定可能な全ての化学分析を実施する。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 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 $\text{He}, \text{N}_2, \text{Ar}$ 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2年度の成果の概要：

調整のために引き上げていた装置を再設置して、本宮観測点での観測を再開することを目指して作業を行った。 $^4\text{He}, \text{N}_2, \text{Ar}$ の計測精度を向上させるために、スペクトルの解析を面積積算法に変更することで、質量数決定精度を改善した。装置の再設置を2021年3月20日に行う。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 令和3年度実施計画の概要：

溶存ガスのうち $^4\text{He}, \text{N}_2, \text{Ar}$ の変化を記録し、深部流体が地下水への程度混合しているか、その時間変化はどのようになっているかを調べ、また地殻活動との相関を検証する。また、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の計測を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

他機関との共同研究の有無：有  
滋賀県立大学 小泉尚嗣  
産業技術総合研究所 森川徳敏

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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：

(13) 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

(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(カイクウラ)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2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の開発と検証のために、本年度は2018年北海道胆振東部地震を対象として解析を行った。本地震を優先的に選択したのは、余震分布と発震機構の観測から示唆される震源の複雑性の効果を調べることを重視したためである。断層形状を余震分布から広域応力場を事前の地震活動から拘束して、動力的破壊シミュレーションを行った(図1)。運動学的滑りインバージョン結果と比較して、動的破壊過程と滑りの空間分布の主たる特徴が再現されることが確認された。これは、それら動的パラメタが非平面的な断層形状を反映した初期応力分布に強く依存したものとして理解される。また、2016年カイクウラ(ニュージーランド)地震において、地震発生履歴を反映した応力蓄積率を考慮するモデル化を行い、2016年イベント時の本地域の主要活断層の連動条件と応力蓄積率の関係を評価した。その他、2011年福島浜通り地震について、地震活動に基づく応力インバージョンを実施し、それを考慮した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)。また、地震繰り返しシミュレーションのためのコードを開発した(Ozawa and Ando, 2020)。

また、地形学・地質学的データにもとづく、古地震による地殻変動量と発生時期の推定手法の高度化を行った。地殻変動量については、その元データとなる数値標高モデル(DEM)を用いた海岸段丘面の標高分布をK-meansクラスタリング法を用いて区分する地形解析アルゴリズムを構築した。本手

法を関東地震に関連する房総半島南部の沼段丘面に適用して、従来の目視ベースの地形判読による段丘区分を見直す結果を得た（図2）。本手法により古地震による地殻変動量の定量的な推定に必要な段丘面高度の空間分布が、高確度に得られるようになった。

さらに、段丘面形成年代の推定手法の高度化を実施した。従来手法では、その段丘の形成年代を決定するのに、得られた堆積物試料の最も若い年代値を用いてそれ以外の年代値については再堆積効果として無視してきたところ、本研究では堆積過程を数理的にモデル化することで、再堆積効果を定量的に考慮することでより古い年代値もデータとして活用できるようにした。本手法では、ベイズ推定を応用し、多くのデータから信頼性評価付きで、段丘形成年代を推定できる。構築した手法を沼段丘に適用した。これまで得られている年代値と新たに取得した年代値をコンパイルしたデータセットに適用し、元禄型関東地震の発生年代を推定したところ、最近 Komori et al., 2017 (EPSL) で得られた推定と矛盾しない結果を得た（小森他、地球惑星連合大会、SSS16-04、2020）。

(9) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Ozawa, S. and R. Ando, Mainshock and Aftershock Sequence Simulation in Geometrically Complex Fault Zones, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2020JB020865, 2020.

Komori, J., R. Ando and M. Shishikura, Cluster Analysis of Marine Terraces and Quantitative Seismotectonic Interpretation of the Boso Peninsula, Central Japan, *J. Geophys. Res.*, 125, e2019JB019211, 2020.

Hisakawa, T., R. Ando, T. E. Yano, M. Matsubara, Dynamic rupture simulation of 2018, Hokkaido Eastern Iburi earthquake: Role of non-planar geometry, *Earth Planet Space*, 72:36, 2020.

(10) 令和3年度実施計画の概要：

古地震による地殻変動量および断層滑り量を海岸段丘地形データに基づいて推定するために、段丘標高と地震の繰り返し過程を考慮した力学モデルを構築して、関係する相模トラフ沈み込み帯に適用する。広域応力場と断層形状を考慮した動的破壊シミュレーションを2016年茨城県北部の地震等を対象に実施する。また、これまでに開発している地震繰り返しシミュレーション手法を、任意の断層形状と観測で拘束された平均滑り速度等を考慮できるように拡張し、国内の内陸活断層からモデルケースを選んで解析する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

安藤亮輔

他機関との共同研究の有無：有

産業技術総合研究所 宍倉正展，宮下由香里，今西和俊

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：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](http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/ando)

(13) 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

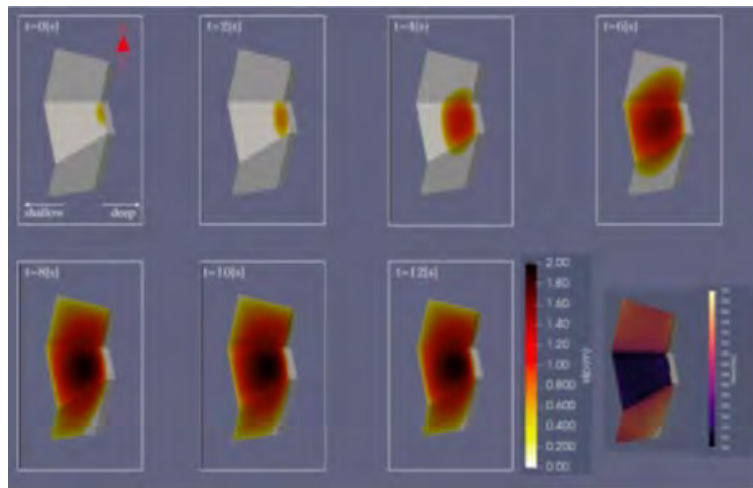


図 1。2018 年胆振東部地震の動的破壊シミュレーション

滑り量の 2 秒ごとのスナップショットと滑り角の空間分布（右下）。断層傾斜が高角となっている断層深部の滑りが抑制され、断層走向が変化している中部の滑り角が変化しているが、運動学的な滑りインバージョン結果と調和的である。Hisakawa et al. (2020)。

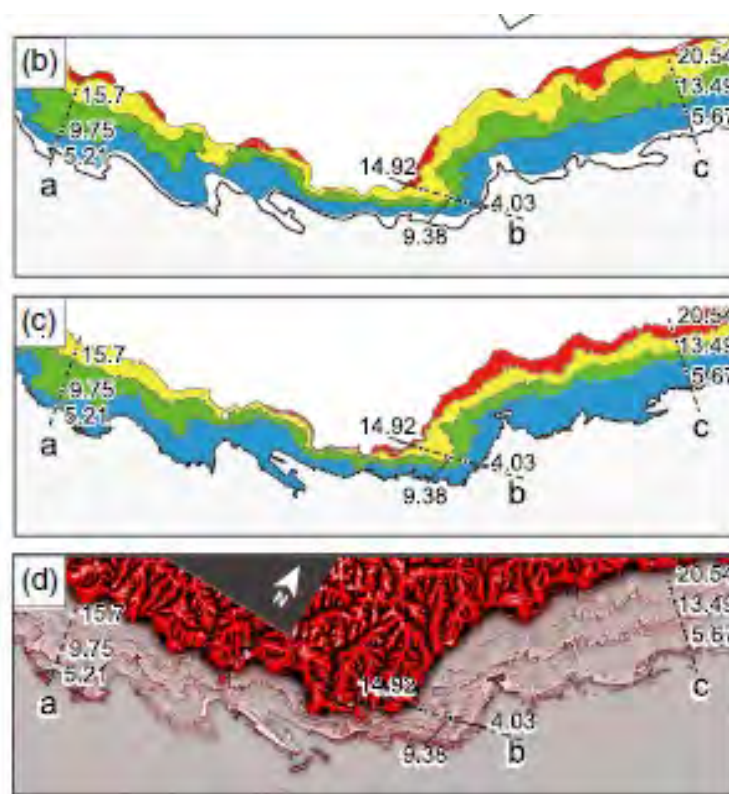


図 2。数値標高データと K-means クラスタリング解析に基づいた新しい段丘区分。

(a) 従来結果，(b) 本研究の結果，(c) 元データ。Komori et al. (2020)。

- ( 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  
工. 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2年度の成果の概要 :

簡易トラバース装置を用いた離島三火山(口永良部島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島)の二酸化硫黄放出率の観測を継続した。また、紫外分光計装置の維持、改良や取得した紫外スペクトルの解析方法の高度化を実施した。

口永良部島の二酸化硫黄放出率は2020年1月に上昇し、今年度4-5月にかけては2000 ton/dayを超える高い放出率が観測された。昨年度末から今年度第一四半期に見られた口永良部島の噴火活動に対応する放出率変化が捉えられた。放出率は6月以降に減少しはじめ、11月には100 ton/dayを割るような低放出率にまで下がり、そのまま低い値を継続している。

薩摩硫黄島では、二酸化硫黄放出率が、通常400-1500 ton/dayで推移しており、時折1500 ton/dayを超えるが、安定したガス放出を続けている。5月に観測装置を搭載していたフェリーの入れ替えがあったが、コロナ禍のため装置の乗せ換えが11月下旬となってしまったため約6か月の欠測が生じてしまった。

諏訪之瀬島は、観測を開始した2019年末から今年度の初めまで、2500 ton/dayを大きく超える高い二酸化硫黄放出がしばしば観測されていた。5月以降は噴火に伴って高い値を出すときもあるが、通常1000 ± 500 ton/day前後で推移している。二酸化硫黄放出率が高い時期と低い時期が見られるが、爆発回数や地震活動との対応がみられるわけではなく、さらなる検討が必要である。

本研究課題で観測した口永良部島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率は気象庁と共有しており、火山活動評価に貢献している(気象庁の各火山の火山活動解説資料を参照)。

複数火山ガス成分の小型測定装置の開発に関しては、小型化と連続測定に向けた装置の主要部分の作成し、自動測定に向けた道筋をつけた

( 9 ) 令和2年度の成果に関連の深いもので、令和2年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 令和3年度実施計画の概要 :

令和3年度の実施計画では、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。令和2年度に十分にメンテナンスができていない、光学系など交換なども実施する。これらの火山では二酸化いおいう放出率データもそろってきたので、地球物理

学的観測データとの比較検討をおこなう。また、複数火山ガス成分の小型測定装置にの開発では、連続測定を確立し、フェリーなどでの測定を試みる予定である。

- ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
東京大学大学院理学系研究科 森 俊哉  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 12 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：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：
- ( 13 ) 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