

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

活断層データベースで現在表示している活断層図よりも詳細なマップを公開するため、活断層の調査地（463地点）及び活断層線（16断層）に関するデータの位置精度を確認・更新するとともに、詳細な活断層図を表示するためのシステムを構築した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

活断層データベースは、地震現象の解明に貢献するために、これまで実施された約2万地点に及ぶ活断層調査地点の情報を収録してい、現在も新たな研究成果をデータとして収録している。今後、詳細な活断層図（縮尺5万分の1程度）を公開することによって活断層と構造物の位置関係を認識しやすくするとともに、断層パラメータ等をウェブ上で簡単に確認できるように表示システムを改善することによって活断層による被害への対応に関する検討を容易にすることを目標としており、今年度はそのために必要なデータ位置精度更新作業と表示システム改善作業を進めることができた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまでに実施してきた作業に基づき、20断層程度について、これまでよりも詳細な活断層図（縮尺5万分の1程度）を活断層データベースで公開する。また、活断層の調査地（200地点程度）及び活断層線（20断層程度）に関するデータの位置精度を確認・更新する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門

電話：029-861-3691

e-mail：

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吾妻崇

所属：活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
イ. 内陸地震の長期予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、中央構造線断層帯・石鎚山脈北縁西部区間および石鎚山脈北縁区間において変位履歴調査を実施した。さらに、過年度に実施した讃岐山脈南縁東部区間・鳴門南断層の阿波大谷地区におい

て、補足のボーリング調査を実施した。

石鎚山脈北縁西部区間を対象とした調査では、川上断層の東延長が西条市街地を東へ延びる西条石黒地区において、ドローンLiDAR調査、トレンチ調査、S波反射法地震探査等を実施した。調査地の周辺では、北側隆起の逆向き低断層崖ないし撓曲崖がみられ、低崖を横断するトレンチではこれと調和的な撓曲変形が認められた。これまで実施された年代測定の結果では、最新活動は従来指摘されている西暦1596年文禄（慶長）の大地震群と調和的であり、伊予地震と対応する可能性と矛盾しない。

石鎚山脈北縁区間の岡村断層を対象とした調査では、新居浜市大生院地区において、ドローンLiDAR調査、3Dトレンチ調査等を実施した。調査地近傍には、新旧2つの扇状地性段丘面が分布し、両者を分ける段丘崖が約17mの累積的な右横ずれ変位を示す。低位の段丘面上で断層に直交方向のトレンチを掘削し、正の花弁構造を伴う明瞭な断層と複数回のイベントを識別した。また、高位の段丘面上でもピットを掘削し、鉛直な断層と礫層中に挟在するK-Ahと見られる細粒火山灰を検出した。今後、放射性同位体年代測定結果等も踏まえて、個別のイベント発生年代や累積横ずれ量の形成時期、横ずれ平均変位速度等を検討した。

また、連動型古地震の復元手法や発生頻度／発生確率の評価手法を国外の長大活断層系の事例を基に幅広く検証していくため、トルコ・東アナトリア断層系の古地震調査を再開した。対象区間は、西暦1514年以降、Ms7.0以上の顕著な被害地震が知られていなく、大地震の空白域とされていた断層系中南部から南部にかけての断層区間とした。令和4年度は、2014年に実施したトレンチ調査地点（Kartal地点）を含む複数のトレンチ調査地点を選定した。2014年トレンチ調査では、シャッターリッジと閉塞凹地の境界を横断してトレンチを掘削し、ほぼ鉛直な断層と凹地を埋積する細粒堆積物、リッジを構成する蛇紋岩を確認した。2023年2月6日に生じたMw7.8の巨大地震では、この空白域を含む複数の断層区間が連動した巨大地震とみられる。2014年トレンチ地点の緊急地震断層調査では、リッジと閉塞凹地の境界を延びる明瞭な地表地震断層が確認され、左横ずれ3.8～4.1mが計測された（MTA・Hasan Elmaci私信）。今後、同地点の3Dトレンチ調査等を含めて再調査を実施し、連動型古地震の復元手法を検証する。

本研究のうち中央構造線断層帯の調査については、文科省委託事業「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」の一部として実施した。関係各位に記して御礼申し上げます。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

主に四国陸域の中央構造線断層帯を対象として、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した。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実施した。それらを踏まえて、連動型古地震像復元手法についての普遍性を検討するため、東アナトリア断層系等の国外の長大活断層系も対象とするため、現地調査研究に着手した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所,2022,「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」,令和3年度成果報告書,146,査読無,謝辞無
近藤久雄,糸魚川一静岡構造線断層帯における連動型巨大地震の発生可能性評価,第四紀研究,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

木村治夫・近藤久雄・今吉 隆・竹本哲也,2022,中央構造線断層帯鳴門南断層(阿波大谷地点)における地中レーダ探査によって検出された横ずれ変位,日本活断層学会2022年度秋季学術大会,O-9
Okumura, K., P. Pokhrel, H. Kondo, T. Yamanaka, S. Sapkota,2022,Rupture History of the Himalayan Frontal Thrust near Bagmati River crossing in Central Nepal,SCEC Annual Meeting 2022,Poster 097

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

主に四国陸域の中央構造線断層帯を対象として実施してきた地震時変位量を復元する調査、調査手法の改良を整理する。それらの地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動／非連動イベントを判別し、セグメント毎の連動性評価をとりまとめる。また、国外の検討事例として、東アナトリア断層系の2023年Mw7.8で活動した地震断層上において、Kartal地点を含む地点で変位履歴調査を実施し、連動型古地震の復元手法の検証と改良について検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：
電話：
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：近藤久雄
所属：産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

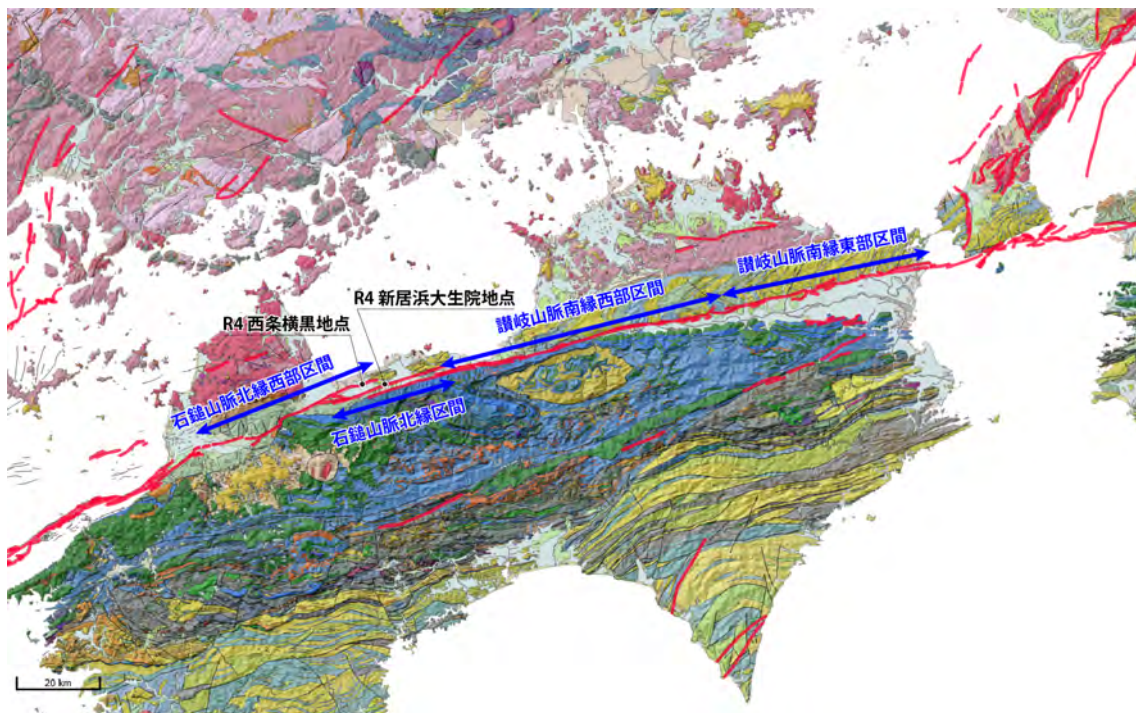


図1 四国陸域の中央構造線断層帯と活動区間，令和4年度の調査地点
基図は地質調査総合センター発行のシームレス地質図，活動区間は地震調査推進本部地震調査委員会（2017）。



図2 石鎚山脈北縁区間・岡村断層の新居浜市大生院地区における3Dトレンチ調査。
トレンチ東壁面、ほぼ鉛直な断層と北側低下の撓曲変形が露出した。

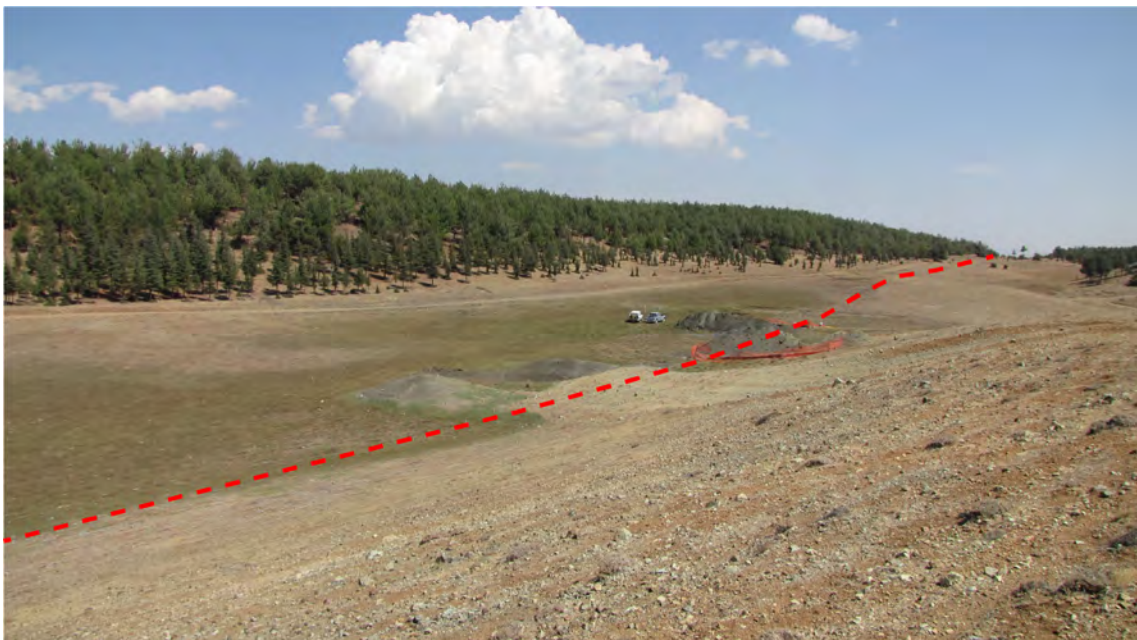


図3 東アナトリア断層系・2014年カルタル・トレンチ調査地点周辺の地形
赤破線が東アナトリア断層，写真は北向きに撮影．断層の北側が閉塞凹地，南側（手前）が蛇紋岩からなるシャッターリッジ．



図4 2014年カルタル・トレンチの東壁面の写真

ほぼ鉛直な断層が露出し、閉塞凹地を埋積する細粒堆積物、シャッターリッジを構成する蛇紋岩、リッジからの崩積堆積物等を明瞭に切断する。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のため、火山の地質図作成を進め、日光白根及び三岳火山地質図を出版し、秋田焼山火山の地質図及び原稿をまとめた。伊豆大島では海陸をつなぐ沿岸部水深400m程度までの範囲で浅海レーザ測量及び水中ドローンによる海底地形地質調査を実施した。雌阿寒岳、岩木山、御嶽山では地表踏査による噴火履歴調査を実施した。大規模火砕流分布図シリーズとして「支笏カルデラ支笏火砕流堆積物分布図」をWeb公開した。活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、御嶽山の岩石試料を対象としたK-Ar及びAr/Ar年代測定を実施し、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした。日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理するため、日本の火山データベースを更新・拡充した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ishizuka O., Tani K., Taylor, R., Umino S., Sakamoto I., Yokoyama Y., Shimoda G., Harigane Y., Ohara Y., Conway, C., Perez, A. and Sekimoto S.,2022,Origin and age of magmatism in the northern Philippine Sea basins,GEOCHEM. GEOPHY.

GEOSY.,23,1-30,doi:10.1029/2021GC010242,査読有,謝辞無

Nishihara A., Geshi N. and Naruo H.,2022,Long-term change of the eruption activities of Sakurajima volcano, Japan, inferred from the fallout tephra deposits,Front. Earth

Sci.,10,doi:10.3389/feart.2022.988373,査読有,謝辞無

柳澤宏彰・及川輝樹・川口亮平・木村一洋・伊藤順一・越田弘一・加藤幸司・安藤 忍・池田啓二・宇都宮真吾・坂東あいこ・奥山 哲・鎌田林太郎,2022,新潟焼山火山2016年噴火：活動推移・噴出物を基にした噴火モデル,火山,67,295-317,査読有,謝辞無

査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

及川輝樹・川邊禎久・古川竜太・宝田晋治・渡部将太・石塚吉浩・伊藤順一,2022,火山位置情報の整備－確実度付きの火山・噴出中心情報の整備,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC30-06

草野有紀・山元孝広・及川輝樹・石塚吉浩・中村洋一,2022,日光火山群三岳火山の完新世テフラ,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC29-P03

谷内 元・栗谷 豪・中川光弘,2022,単一火山におけるマグマ多様性とその成因：千島弧南部・利尻火山での例,日本地質学会第129年学術大会

及川輝樹,2022,御嶽山の噴火史と水蒸気噴火,御嶽山・箱根山・草津白根山－水蒸気噴火および防災と観光－シンポジウム（長野県木曾町）

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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、秋田焼山の火山地質図を出版する。御嶽山、雌阿寒岳、伊豆大島の地質図をとりまとめる。岩木山で引き続き調査研究を実施する。活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、ガラス質火山噴出物についてのAr/Ar年代測定手法の開発を進め、K-Ar及びAr/Ar年代データの比較研究を実施する。大規模火砕流分布図の作成を継続する。日本の火山データベースでは、完新世の噴火イベントに関するデータ更新を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所地質調査総合センター

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学,北海道教育大学,秋田大学,信州大学,大阪府立大学,など

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

電話：

e-mail：

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：古川竜太

所属：活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

津波浸水履歴情報のコンテンツ整備のため、千島海溝沿いおよび房総半島東方沖の波源に関連して、基礎データの収集を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

過去に発生した海溝型巨大地震の地質痕跡の分析を行うため、千島海溝沿いおよび房総半島東方沖の波源に関連したデータの収集を進めることができた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

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

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澤井祐紀
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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

内陸断層の深部における地震発生と塑性流動の関わりを明らかにするための地質調査、地質調査に対応した岩石変形の解明のための実験を行っている。令和4年度は以下を実施した。

(1) 塑性変形した岩石から応力と歪を石英の動的再結晶微細構造から読み取る手法を確立し、論文化を行った。

(2) 調査範囲を広げ、令和元年からの調査で東西約8 km程度の範囲の調査を行った。

(3) 地質調査により得られた試料より塑性変形の過程で破壊に移行した見られる痕跡を見出し、その検討と空間的広がりを検討中。

(4) Na端成分斜長石の焼結方法を確立し、それを論文化した。

(5) 令和2年度の成果としてNa端成分斜長石の粒成長速度の遅さを見出したが、この化学組成依存性を検討するべくNa端成分以外の斜長石の焼結方法の検討を東北大学と開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究課題は地震発生場における応力・歪の空間分布を直接得られる数少ない研究課題と考えている。令和4年度までで東西約8 km程度の詳細調査を進め、地球物理学的観測とも比較できる程度の範囲とした。ただし、実際の応力・歪の空間分布を出すためには、石英動的再結晶の膨大な試料の解析が必要である。令和4年度はこの解析に必要な手法を確立し、今後につながる成果が得られた。一方で、地殻の主要鉱物である斜長石が難焼結材であることも含め実験の難易度が高い。これまで本研究課題で見出された結果は、地殻内での地震発生や歪集中について根本から考えを変える必要性を示していると考えており、将来のより精緻な物理法則に基づく地震発生過程、地震すべり過程のモデル化を可能にするものと考えている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Shigematsu, N., Y. Zhou, H. Hyuga, Y. Yoshizawa, and M. Kido, 2022, Fabrication of dense albite aggregates by hot pressing, *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 34, doi:10.1186/s40645-022-00492-5, 査読有, 謝辞無

Yeo, T., N. Shigematsu, and T. Katori, 2023, Dynamically recrystallized grains identified via the application of Gaussian mixture model to EBSD data, *Journal of Structural Geology*, 167, 104800, doi:10.1016/j.jsg.2023.104800, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Yeo, T., 重松紀生・香取拓馬, 2022, A statistical approach to quantifying dynamic recrystallisation in naturally deformed quartz based on EBSD analysis, 日本地球惑星科学連合 2022年退会, S-CG52-P-13

Yeo T., 重松紀生・Wallis Simon・香取拓馬, 2022, Evolution of quartz crystallographic preferred orientation (CPO) with increasing strain., 日本地質学会第129年学術大会, G1-O-19

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度に見出した塑性変形の過程で破壊に移行した見られる痕跡について、その空間的広がりなどについて詳細に検討し、断層深部におけるゆっくり滑り、地震との関りを明らかにする。また令和4年度に公表した Yeo et al. (2023 JSG) の手法を広範囲に適用することで断層深部の塑性歪の空間的広がりを明らかにする。また、令和2年度の成果として明らかにした斜長石粒成長についての化学組成の影響を明らかにするとともに、天然への外挿を考慮し含水試料、粗粒試料の合成方法を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：部署等名 活断層・火山研究部門

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：重松紀生

所属：活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

Multi-GASを用いた火山ガス組成連続観測におけるセンサーの感度変化を補正する方法を確立するため、草津白根山において、センサーの現地校正システムを用いた試験観測を実施した。阿蘇火山にて、FTIRとMulti-GAS、アルカリフィルターパックを用いた火山ガス組成の比較観測実験を実施した。焼岳にてMulti-GASを用いた観測を実施し、当該火山の火山ガス組成を把握した。Masaya火山で実施した火山ガス組成観測結果を解析し、火山ガスの大気中での酸化作用についての知見をとりまとめた。

伊豆大島において自然電位の連続観測を継続し、静穏期における自然電位データの蓄積を進めた。また、電磁探査法によって得られたデータから比抵抗構造を求めるとともに、自然電位を再現するための熱水系の数値シミュレーションを実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火道内過程のモデル化に不可欠な地球化学的観測データを提供した。また、熱水系の構造の解明のために自然電位観測および比抵抗構造に基づく数値シミュレーションを実施した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kazahaya R., M. Varnam, B. Esse, M. Burton, H. Shinohara, and M. Ibarra, 2022, Behaviors of redox-sensitive components in the volcanic plume at Masaya volcano, Nicaragua: H₂ oxidation and CO preservation in air, *Front. Earth Sci.*, 10, 867562, 10.3389/feart.2022.867562, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

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

伊豆大島において自然電位の連続観測を継続するとともに、電磁探査法から得られた比抵抗構造に基づき熱水系の数値シミュレーションを実施し、火山活動の活発化に伴う自然電位変動を評価する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無：有

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ

電話：

e-mail：

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島喜雄

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度解析を終えた日本全国の地殻内応力マップに関する論文を公表し（Uchide et al., 2022）、その結果を産総研の地殻応力場データベースで公開した。

不均一応力場の成因に関して、今年度は福島県浜通り周辺の正断層場について検討を行った。Imanishi et al. (2012)は、福島県・茨城県の沖合に太平洋プレートから陸に向かって延びる分岐断層が存在し、そこでの正断層すべりにより浅部域へ応力集中が生じ、福島県浜通り周辺が局所的に

正断層場になったという仮説を立てた。しかしながら、この分岐断層は気象庁一元化震源をもとに推定されており、陸域の観測データのみによるartifactである可能性も残されていた。そこで今年度はS-netデータを活用し、海陸データを統合して震源再決定を行った。その結果、多くの震源は気象庁カタログよりも浅い位置に再決定されたが、依然として太平洋プレートから陸に向かって延びる分布が確認できた。これらの地震のメカニズム解は様々なタイプを示すが、応力テンソルインバージョンにより推定した応力場は正断層場に近い場であり、分岐断層が正断層すべりを起こし得ることが示され、Imanishi et al. (2012)の仮説を支持する結果となった。

メカニズム解を活用した活動性評価として、プレート境界周辺の地震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に発生しているか否かを判定し、プレート間固着状態の変化を推定する手法を南海トラフ沿いに適用した（今西・野田, 日本地震学会2022年度秋季大会）。その結果、1944年東南海地震、1946年南海地震、1968年日向灘地震の大すべり域の固着が基本的には継続していることが確認できたとともに、長期的SSEに対応した周期的な固着の剥がれも推定することができた。

また、内陸活断層への応力载荷機構を探る一環として、下部地殻で発生する地震の性質を調べた（今西ほか, 日本地球惑星科学連合2022年大会）。ここではD95より3km以上深くプレート境界面より10km以上浅い地震を下部地殻地震と定義し、日本列島全域における発生状況を調べた。下部地殻地震は様々な場所に分布しているが、特に福島県浜通り周辺、新潟県中越地域、広島県、紀伊半島などに集中域が見られ、その発生レートはほぼ一定であった。また、上部地殻の地震との間に地震活動が少ないギャップ域が存在する特徴も見られた。下部地殻地震のb値は0.7程度で上部地殻の地震と大きな違いは見られなかったが、メカニズム解はばらつきが多く、数100MPaに相当する大きな応力降下量を持つ地震も多数発生しているなど、上部地殻の地震と明らかに異なる特徴が見られた。これらの特徴は内陸地震の発生メカニズムの鍵になり得ることから、次年度においても継続して調査を進める。

その他、能登半島北東部の群発地震活動に関して、高精度震源分布の時空間発展の解析から、駆動メカニズムについて調査した（雨澤ほか, 日本地震学会2022年度秋季大会）。本群発地震は主に4つのクラスタから構成されているが、群発地震の発端となった南部クラスタ底部で高圧になっていた流体が一気に解放され、新たな流体供給路が形成されたこと、その後も南部クラスタから周辺域へ間欠的な流体移動が生じていること、さらに周辺域の低浸透率な環境により活動が長期化していることが示唆された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

構造共通モデルの構築に関して、日本全国の地殻内応力マップを地殻応力場データベース

(<https://gbank.gsj.jp/crstress/>)で公開した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Uchide, T., T. Shiina, and K. Imanishi, 2022, Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes, *J. Geophys. Res.*, 127, <https://doi.org/10.1029/2022JB024036>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

雨澤勇太・平松良浩・宮川歩夢・今西和俊・大坪 誠, 2022, 長期継続している能登半島北東部の群発地震—震源マイグレーションの評価および駆動メカニズムの考察—, 日本地震学会2022年度秋季大会, S09-05

今西和俊・椎名高裕・内出崇彦・重松紀生, 2022, 日本列島陸域における下部地殻の微小地震活動, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG52-04

今西和俊・野田朱美, 2022, プレート内地震と地殻変動データを組み合わせた解析手法による年スケールのプレート間固着変化の検出：南海トラフ沿いのケース, 日本地震学会2022年度秋季大会, S08-18

Uchide, T., T. Shiina, and K. Imanishi, 2022, Big data of small earthquakes to reveal the crustal stress in Japan, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG45-05

内出崇彦, 2022, 機械学習を活用した微小地震データ処理による地下断層の物理特性の解明, 2022年度統計関連学会連合大会, 3HAM-04

内出崇彦,2022,機械学習を活用した微小地震データの大量処理による地震発生場の物理的状態の推定,産総研人工知能研究センター第61回人工知能セミナー

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

- ・海底地震計のデータを取り込んで、応力マップの対象範囲を海域に拡大する。また、応力の時間変化を検出するようにデータ解析を行う。
- ・プレート内地震と地殻変動データを組み合わせた解析手法を内陸地震へ拡張する。
- ・最大規模評価に向けて、シミュレーションの効率化のため、震源モデルのエネルギー収支によるスクリーニングの適用可能性を検討する。
- ・引き続き、系統的な自然地震を対象とした動的破壊シミュレーション手法の検証を行っていく（課題番号UTS_05との共同研究）,

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

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

他機関との共同研究の有無:有

安藤亮輔（東京大学大学院理学系研究科）,大谷真紀子（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

電話:

e-mail:

URL:

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名:今西和俊

所属:産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

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

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

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

・千島-日本海溝

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

・相模トラフ

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

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

- ・南海トラフ

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

- ・日本海沿岸

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

今年度の成果の概要は以下の通りである。

- ・千島ー日本海溝

北海道太平洋沿岸において地質調査を行い、17世紀に発生した巨大津波をはじめとした過去のイベントに関するデータを取得した。また、17世紀巨大津波の波源に関する予察的な計算を行った。

- ・相模トラフ

1703年元禄津波の歴史記録について野外調査を実行した。

- ・南海トラフ

三重県南伊勢町で採取した試料の分析を進め、過去3000年間において発生した海水の浸水イベントの年代を検討した。和歌山県橋杭岩の巨礫についてその運搬条件を数値解析し、1707年宝永地震の津波では動かないものが存在することを明らかにし、同津波よりも大きな津波が過去に発生していたことを明らかにした。高知県南国市では、津波の浸水頻度を評価するため、沿岸の砂丘の発達時期を復元した。和歌山県那智勝浦町では、過去の津波の浸水履歴を明らかにするための地質調査を行った。宮崎県日南市では、津波堆積物の分布と数値計算の結果を比較し、1662年日向灘地震の断層モデルを構築した。

- ・日本海沿岸

青森県西部および山形県沿岸の津波浸水履歴の検討を行った。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

和歌山県橋杭岩の巨礫についてその運搬条件を数値解析し、1707年宝永地震の津波では動かないものが存在することを明らかにした。これにより、既往最大とされている宝永地震の津波よりも大きな津波が過去に発生していたことを明らかにした。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

Namegaya, Y., H. Maemodaku, M. Shishikura and T. Echigo, 2022, Evidence from Boulders for Extraordinary Tsunamis along Nankai Trough,

Japan, Tectonophysics, 842, 229487, doi:10.1016/j.tecto.2022.229487, 査読有, 謝辞無

Ioki, K., Y. Yamashita and Y. Kase, 2022, Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuganada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan, Pure and Applied

Geophysics, doi:10.1007/s00024-022-03198-3, 査読有, 謝辞無

- ・学会・シンポジウム等での発表

嶋田侑真・澤井祐紀・松本弾・谷川晃一郎・伊藤一充・田村亨・行谷佑一・穴倉正展・藤野滋弘, 2022, 三重県南部の沿岸湖沼における過去3000年間の海水侵入の履歴, 日本第四紀学会2022年大会, O-19

伊尾木圭衣・澤井祐紀・行谷佑一, 2022, 17世紀および13世紀頃に千島海溝南部で発生した超巨大地震による波源の違い, 日本地震学会2022年度秋季大会, S22P-04

澤井祐紀・田村亨・嶋田侑眞・谷川晃一郎,2022,北海道東部の浜堤列平野で発見された17世紀の巨大津波による侵食痕跡,日本地震学会2022年度秋季大会,S22-03

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度実施計画の概要は以下の通りである。

・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過去の海岸線の移動過程を復元し、17世紀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

元禄地震に関する史料調査を実施する。

・南海トラフ

紀伊半島，四国，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

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

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学,秋田大学,筑波大学,東京大学,法政大学,地域地盤環境研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

電話：029-861-3691

e-mail：

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澤井祐紀

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

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。2021年11月～2022年10月の間に短期的SSEの断層モデルを46個決定した。

和歌山県日高郡日高川町に新規地下水等総合観測施設を設置した。

観測を継続している関東、東海、中部、近畿、四国地方の地下水・ひずみデータ等を地震予知連絡会報で報告した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

2021年11月～2022年10月の間に短期的SSEの断層モデルを46個決定し、この間のプレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測に大きく貢献した。また、決定した短期的SSEは南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震調査委員会、地震予知連絡会に報告し、短期的SSEの評価に貢献した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

木口努・今西和俊・松本則夫,2022,岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(2021年11月～2022年4月),地震予知連絡会報,108,306-307,査読無,謝辞無

木口努・今西和俊・松本則夫,2023,岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(2022年5月～2022年10月),地震予知連絡会報,109,印刷中,査読無,謝辞無

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・矢部優,2022,東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2021年11月～2022年4月)(65),地震予知連絡会報,108,299-305,査読無,謝辞無

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・矢部優,2023,東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2022年5月～2022年10月)(66),地震予知連絡会報,109,印刷中,査読無,謝辞無

北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努・矢部優,2022,紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2021年11月～2022年4月),地震予知連絡会報,108,446-456,査読無,謝辞無

北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努・矢部優,2023,紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2022年5月～2022年10月),地震予知連絡会報,109,印刷中,査読無,謝辞無

北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優,2022,畿地域の地下水位・歪観測結果(2021年11月～2022年4月),地震予知連絡会報,108,57-460,査読無,謝辞無

北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優,2023,近畿地域の地下水位・歪観測結果(2022年5月～2022年10月),地震予知連絡会報,109,印刷中,査読無,謝辞無

落唯史・矢部優・板場智史・松本則夫・北川有一・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦,2022,東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント(2021年11月～2022年4月),地震予知連絡会報,108,232-298,査読無,謝辞無

落唯史・矢部優・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,2023,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(2022年5月～2022年10月),地震予知連絡会報,109,印刷中,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。新規地下水等総合観測施設を設置する。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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松本則夫
所属：活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ

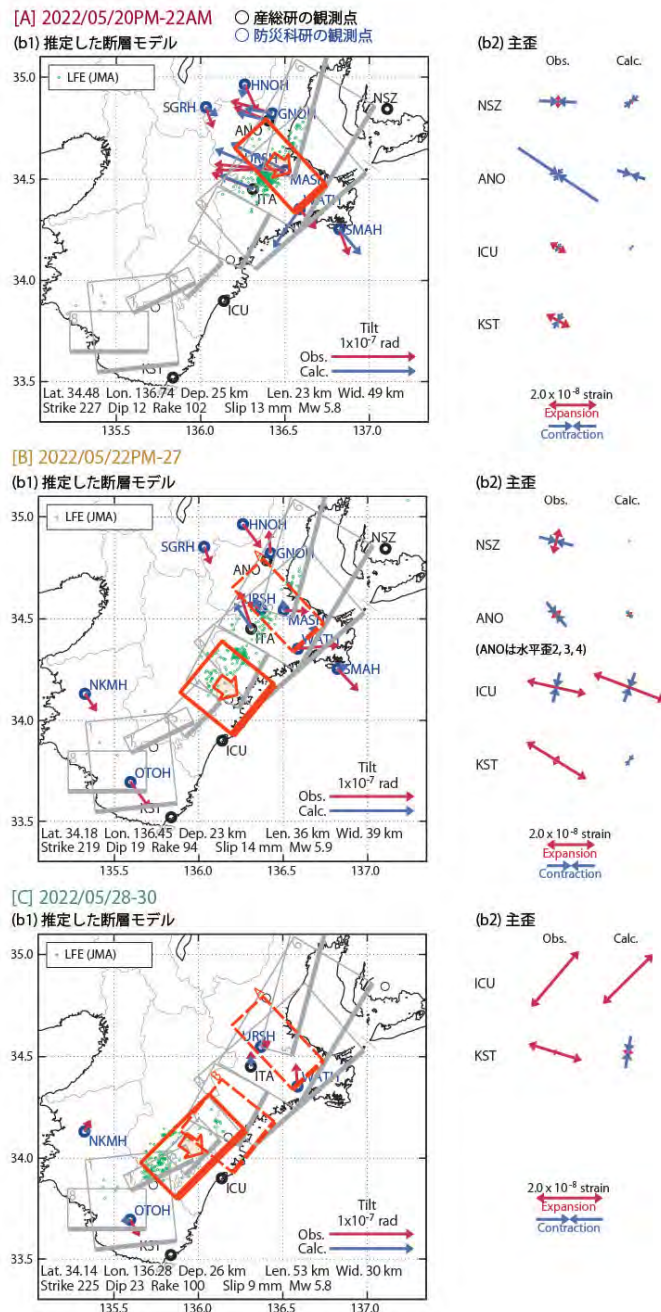


図1 産総研・防災科研のひずみ・傾斜データにより決定した短期的ゆっくりすべりの断層モデルの位置 (落・他, 2023)

[A]2022年5月20日午後～2022年5月22日午前、[B]2022年5月22日午後～2022年5月27日、[C] 2022年5月28日～2022年5月30日の期間に産総研・防災科研のひずみ・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 (落・他, 2023)。緑色の丸は同期間の気象庁一元化震源カタログによる深部低周波地震 (微動) の震源位置。

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

国内外の歴史記録の残る大規模噴火（準プリニー式～プリニー式噴火）の噴火推移を収録し、統一的

な基準で比較検討が可能な「噴火推移データベース」を作成し、令和4年7月に公開した。また、Vesuvio1944年、Tarawera1886年噴火などの新たなデータの追加・補充を行い、改訂版を年度内に更新する予定である。また、主に21世紀にわが国で発生した火山噴火の噴出物の大部分を網羅した「火山灰データベース」を令和4年5月に公開し、また新たなデータの追加をおこなった。成層火山の長期的な噴火活動の推移とそのメカニズムの解析を目的として、桜島火山の大規模軽石噴火の噴出物の層序・分布・噴出量の解析を行ない、結果を論文として公表した。阿蘇・始良・鬼界をはじめとするカルデラ火山のカルデラ形成噴火およびそれに関連する噴火の噴出物の岩石学的解析を行い、マグマ溜まりに蓄積されたマグマの温度圧力条件や、マグマ溜まりでの滞留時間などの見積もりを実施した。さらに、より深部からの句鉄質マグマの供給とそれによるマグマ供給系の長期間の発達過程について、阿蘇火山などの事例に基づき解析を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

中長期的な火山活動の評価における、火山灰をはじめとする噴出物モニタリングによる火山活動の評価に関し、過去の噴出物の特徴のデータを検索できるシステムの構築を行ない、噴出物の特徴から火山活動の状況の把握や類似事例の搜索を可能とした。噴火推移のパターンを比較できる噴火推移データベースの作成により、噴火推移のパターン化とそれによる事後予想を可能とした。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Nishihara, A., Geshi, N., Naruo, H., 2022, Long-term change of the eruption activities of Sakurajima volcano, Japan, inferred from the fallout tephra deposits, *Frontiers in Earth Science*, 10, doi:10.3389/feart.2022.988373, 査読有, 謝辞無

下司信夫, 2022, 火山災害軽減のための地質情報, *月刊地球*, 45, 15-25, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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引き続き整備する。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。噴出物の特徴データをデータベース化した火山灰データベースの拡充を行うとともに、火山灰粒子の特徴の自動識別機能の開発を行なう。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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：下司信夫

所属：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2022年度は、火山関連データベースとして、2022年7月に大規模噴火の特徴・推移、中長期的前駆活動を取りまとめた大規模噴火データベース(<https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/>)を公開した。摩周

カルデラ、支笏カルデラ、洞爺カルデラ、濁川カルデラ、十和田カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ、池田カルデラの8つのカルデラにおける詳細情報が掲載されている。また、同じく2022年7月には目撃事例のある火砕噴火の中長期的・短期的前駆活動、噴火推移情報を取りまとめた噴火推移データベース (<https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/>) を公開した。フンガトング火山2022年噴火、福岡ノ場2021年噴火、ケルト火山2014年噴火など16の噴火の詳細が取りまとめられている。さらに、2022年4月には、日本国内外の噴火で噴出した火山灰粒子の顕微鏡画像などの情報を収録した火山灰データベース(https://gbank.gsj.jp/volcano/volcanic_ash/)を公開した。桜島火山、霧島火山、阿蘇火山など38の火山について、約1万枚の火山灰粒子の画像データなどが掲載されている。また、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム(<https://ccop-gsi.org/gsi/geohazard/index.php>)の構築を継続した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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・公開において、3つの火山関連データベースを新たに公開することができた。また、これらのデータベースやアジア太平洋地域ハザード情報システムは、災害の軽減に貢献できると考えられる。今後も火山関連データベースやハザード情報システムの整備、構築を進めていく予定である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

宝田晋治・池上郁彦・金田泰明・下司信夫,2022,大規模噴火データベースと噴火推移データベースで噴火の詳細を明らかに,科学・岩波書店,92,951-954,査読無,謝辞無

Ogburn, S. E., Charlton, D., Norgaard, D., Wright, H.M., Calder, E.S., Lindsay, J., Ewert, J.E., Takarada, S. and Tajima, Y.,2023,The Volcanic Hazard Maps Database: an initiative of the IAVCEI Commission on Volcanic Hazards and Risk,Journal of Applied Volcanology,12,2,<https://doi.org/10.1186/s13617-022-00128-9>,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：大規模噴火データベース（大規模噴火の特徴・推移，中長期的前駆活動を取りまとめた）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web） <https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/>

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：噴火推移データベース（目撃事例のある火砕噴火の中長期的・短期的前駆活動，噴火推移情報を取りまとめた）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web） <https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/>

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：火山灰データベース（日本国内外の噴火で噴出した火山灰粒子の顕微鏡画像などの情報を収録）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

https://gbank.gsj.jp/volcano/volcanic_ash/

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大津波を引き起こす震源断層の実態解明と流体変動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
イ. 地震断層滑りのモデル化

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

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

【平成31年度】

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

【平成32年度】

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

【平成33年度】

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

【平成34年度】

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

【平成35年度】

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2011年の東北沖地震（M 9.0）では、地震に伴う断層滑りが「浅部プレート境界断層」（＝デコル

マ) に沿って海溝軸近傍まで到達し、結果として大きな津波が発生した。一方、これまでの多くの研究では、流体 (=水) がデコルマの地震性すべりに深く関与していると推測されてきたが、デコルマの物理物性に関する知見は極めて限定的であった。特に、断層面の強度を規定する間隙水圧の原位置データはデコルマに沿って全く得られていない。

本研究では、東北沖の日本海溝に発達しているデコルマの物理物性を解明するため、反射法地震探査データを高精度で解析した。海底下のP波速度構造モデル(図1)を用い、デコルマに沿って間隙水圧を定量的に求めた結果、デコルマの間隙水圧が異常に高いことを発見した(Jamali Hondori and Park, Scientific Reports, 2022)。デコルマの断層強度やすべり挙動を評価するために、間隙水圧から有効応力比を求めた結果、プレート間の固着が予想外に弱いことが明らかになり、デコルマが滑りやすい状態にあったことが判明した。デコルマに沿った間隙水圧の異常は、断層面に対する有効応力の低下や地震性滑りをもたらし、2011年東北沖地震(M 9.0)の巨大津波を引き起こした可能性が高い。

本研究の成果は、今後、日本海溝や南海トラフにおける巨大地震・津波発生モデルの構築や、防災・減災対策に貢献できるものである。

なお、令和4年度の成果は本課題の5か年計画と概ね一致する。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

今年度の成果は、日本海溝沈み込み帯のプレート境界断層に沿った地震性すべりに影響する地殻構造と断層物性を解明したことで、関連の深い建議項目「1(5)ア」の目的達成に貢献している。本研究で明らかになった、デコルマに沿った間隙水圧の異常は、2011年東北沖地震に伴う断層滑りが海溝軸近傍まで至るプロセスに重要な役割を果たし、結果的に大きな津波を引き起こしたと考えられる。日本海溝に発達するデコルマの間隙水圧を初めて定量的に求めたことで、巨大地震・津波を引き起こす震源断層の実態を把握する上で重要な進展があり、これは今後の地震・津波災害の軽減に貢献することになる。本研究手法を日本海溝の広域へ拡張し、また南海トラフにも適用することで、今後の巨大地震や津波防災・減災対策に重要な貢献が期待できる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Jamali Hondori, E. and J.-O. Park, 2022, Connection between high pore-fluid pressure and frictional instability at tsunamigenic plate boundary fault of 2011 Tohoku-Oki earthquake, Scientific Reports, 12, 12556, doi:10.1038/s41598-022-16578-5, 査読有, 謝辞有
Koge, H., J. Ashi, J.-O. Park, A. Miyakawa, and S. Yabe, 2022, Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties on shallow plate boundary fault, Earth, Planets and Space, 74, 56, doi:10.1186/s40623-022-01621-6, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

孫岳・Jamali Hondori Ehsan・朴進午, 2022, 日本海溝の海側アウターライズにおける音響基盤反射面の不連続性, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG56-P04

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

令和5年度には、日本海溝のアウターライズで反射法地震探査を行い、大規模アウターライズ地震断層の地殻構造と物性を調べる。また、大規模アウターラ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。令和5年度のHe濃度および同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)を過去の測定値と比較することで、大規模アウターラ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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

洋研究所),高畑直人(東京大学大気海洋研究所)

他機関との共同研究の有無:有

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:東京大学大気海洋研究所 国際・研究推進チーム

電話:04-7136-6009

e-mail:iarp@aori.u-tokyo.ac.jp

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

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:朴進午

所属:東京大学大気海洋研究所

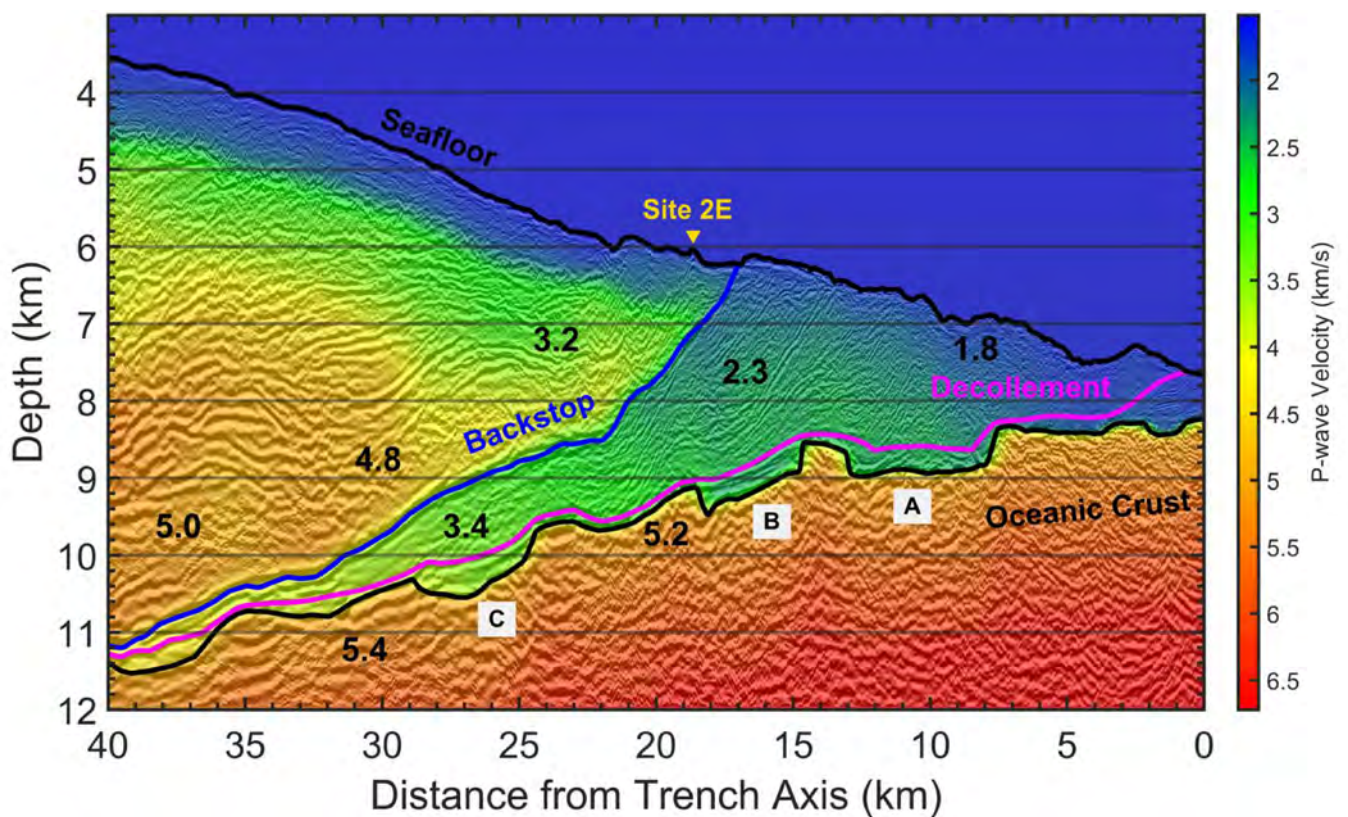


図1. 東北沖の日本海溝を横切る反射法探査測線D13の地殻構造とP波速度構造モデル。図中の数字はP波速度、A, B, Cはグラブ構造。

(1) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地球物理・化学的探査による海底火山および海底熱水活動の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

指す。

平成31年度については、継続的に調査している海域である南西諸島および鹿児島湾でこれまでに採取した海水試料の分析を進める。この調査を実施するために新青丸共同利用に応募済みである。平成32年度以降については、継続的に調査している海域において、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。公募による海洋調査船のシ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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度に鹿児島湾奥に存在する海底火山である若尊カルデラにおいて採取した海水のヘリウム同位体を分析した。ここでは過去にもカルデラ内の海水ヘリウムを分析しており、そこに含まれるマグマ由来のヘリウムの同位体比を調べることで火山の活動度の変遷を調べることができる。しかし残念ながら、観測時期が冬季であったため、カルデラ内の海水の入れ替わりが起これ、そこに溜まっていたマグマ由来のヘリウムは逃げていることがわかった。そこで、逆にこの現象を利用してマグマ由来のヘリウムのフラックスを見積もることを試みた。今回の観測から、冬季にはカルデラ内の熱水性ヘリウムが完全に抜けることがわかった。過去の観測では海水が層状構造になる夏季に観測を行なっており、その時に観測されたヘリウムの過剰分が冬季にリセットされてからの数ヶ月で蓄積されたと仮定することで、熱水性ヘリウムのフラックスを見積もることに成功した。見積もったヘリウムフラックスは、過去に別の方法で見積もったフラックスと同程度の量であり、今回の見積もりが妥当であると考えられる。このフラックスは桜島のそれと比べると桁違いに小さく、始良カルデラにおけるマグマ物質の地表への供給は主に陸上の桜島であることを支持する結果を得た。

また陸上の火山に関しては、長期継続して調査している木曾御嶽山や雲仙岳周辺において観測を行なった。雲仙岳においてはヘリウム同位体比などの測定を行い、阿蘇山のデータとの比較を行うことによって、山体形状の違いが温泉・熱水系に与える影響を調査した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

桜島と共通のマグマだまりを持つと言われる若尊カルデラにおいて、マグマ由来のヘリウムのフラックスを見積り、桜島と比べると物質供給量は格段に少ないというこれまでの見積りと同様の結果を得た。しかし桜島と若尊カルデラはマグマだまりが同じであり、始良カルデラ全体の活動を知る上で、桜島と同様に海底火山をモニタリングすることも重要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Sano, Y., T. Kagoshima, M. Zhang, N. Takahata, T. Onoue, T. Shibata, Y. Nishio, A.-T. Chen, H. Lee, T.P. Fischer, D. Zhao, 2023, Older magma at Aso caldera than at Unzen stratovolcano in south west Japan as recorded through helium isotopes, *Communications Earth and Environment*, 4, 2, doi: 10.1038/s43247-022-00649-6, 有, 無

Snyder, G.T., A. Yatsuk, N. Takahata, R. Shakirov, H. Tomaru, K. Tanaka, A. Obzhurov, A. Salomatin, S. Aoki, E. Khazanova, E. Maryina, Y. Sano and R. Matsumoto, 2022, Ocean dynamics and methane plume activity in Tatar Strait, far eastern federal district, Russia as revealed by seawater chemistry, hydroacoustics, and noble gas isotopes, *Front. Earth Sci.*, 10, 825679, doi: 10.3389/feart.2022.825679, 有, 無

Zhang, M., W. Liu, L. Guan, N. Takahata, Y. Sano, Y. Li, X. Zhou, Z. Chen, C. Cao, L. Zhang, Y.-C. Lang, C.-Q. Liu and S. Xu, 2022, First estimates of hydrothermal helium fluxes in continental collision settings: Insights from the Southeast Tibetan Plateau margin, *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL098228, doi: 10.1029/2022GL098228, 有, 無

Xu, S., L. Guan, M. Zhang, J. Zhong, W. Liu, X. Xie, C. Liu, N. Takahata and Y.

Sano, 2022, Degassing of deep-sourced CO₂ from Xianshuihe-Anninghe fault zones in the eastern Tibetan Plateaus, *Science China Earth Sciences*, 65, 139–155, doi: 10.1007/s11430-021-9810-x, 有, 無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス
概要：御嶽山火山において火山観測を実施した
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：長野県・岐阜県
調査・観測期間：2022/6/13-2022/6/15
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス
概要：雲仙岳火山において火山観測を実施した
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：長崎県
調査・観測期間：2022/8/15-2022/8/16
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまでの観測航海で得られた海水および海底堆積物試料のヘリウムの分析を進め、海底火山活動の様子を探る。また継続して観測している陸上火山の噴気や熱水の分析を行い、それらの火山の活動度を評価する。一方、日本海溝や南海トラフなどの海底巨大断層も調査対象とし、深部流体の動きを探る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学大気海洋研究所
他機関との共同研究の有無：有
佐野有司（高知大学 海洋コア総合研究センター）, 鹿兒島渉悟（富山大学 理学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大気海洋研究所国際・研究推進チーム
電話：04-7136-6009
e-mail：iarp@aori.u-tokyo.ac.jp
URL：http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小畑元
所属：東京大学大気海洋研究所

(1) 実施機関名：

千葉大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

電磁気学的な地震先行現象の総合的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

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

(1)観測

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

(2)解析

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

(3)室内実験および計算機実験

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

(4)国際ワークショップの開催。

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

[1] 観測

地圏一大気圏一電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発

新規観測点の設置と観測点保守に関しては、COVID-19感染症の状況を考慮しつつ、他人と干渉せずに大学から自動車で行く可能な観測点の保守作業は、原則予定どおり行っている。四国・九州の観測点は感染症動向を注意しつつ、第7波が収束した11-12月に実施した。

房総slowlipの発生領域にある大原で臨時観測を実施したが、地下水面が高いこと、電磁環境ノイズが大きいことから、当初予定地は断念した。美浦観測点に設置した地中ラドン観測器について、2022年9月24日の豪雨によって故障し、腐食した回路部等の修理を実施している。VLF帯パルス電磁波観測においては、5観測点における観測は概ね順調に行われた。

[2] データ解析について

A. ULF磁場データの地震前兆性に関する統計解析

昨年度に引き続き、統計的有意性、ROC的前兆性の評価を行っている。これらの結果は、地震電磁気現象を理解するのに役立ち、ULF電磁アプローチに基づく予測モデルを改善することができる。この研究で提案された方法論は、予測方針を評価し、短期的な地震予測のために他の種類の測定を最適化するのも役立つと考えている (Han et al., Entropy 2020)。また他の統計的有意性、ROC的前兆性が確認されたパラメータと合わせて、ETASモデルへの前兆現象の取込みを開始した。まずはULF磁場変動についてROC結果に基づいて、時系列余震予測および本震予測の数理確率モデルの検討をしている。

B. 地中ラドン濃度解析

昨年度に引き続き、 α 線を計測する地中ラドン濃度観測データの解析を継続中である。

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 2022年トルコ地震の事例解析 中国との共同研究

昨年度、2018年2月2日に打ち上げられた中国の地震電磁気衛星 (CSES-1) のIn-situ電離圏電子数変動と2023年2月6日にトルコで発生したM7.8クラス地震との関係の調査を開始した。この地震に関して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) を用いた統計解も実施予定である。

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

東北地方太平洋沖地震に関して、日本の地磁気共役点であるオーストラリア北部のGNSSによって観測された電離圏総電子数 (TEC) を解析したところ、日本で地震直前に観測されたものと同様なTECの正異常があった。異常の開始時間は地震の41.5分前であり、日本で観測された時間に非常に近く、日本とほぼ同じ磁気経度で発生していた。これは、電離層内の電場が大地震の直前に電子を再分布させたというモデルを支持している (He et al., Frontier in ES, 2022)。地震電離圏擾乱の観測によって、Mw 8.~9.の4つの巨大地震では、マグニチュードが1増加すると内部重力波が10倍強くなることを示した。典型的な津波地震である2010年のインドネシア・メンタワイ地震では、この経験的関係よりも強い内部重力波が励起された一方、励起された音響波の振幅は正常であった。このことはゆっくりとした断層の破壊が長周期の大気波動を効率的に励起することを示唆している (Heki et al., GRL 2022)。

トンガの火山噴火に伴う日本やインドネシア上空のTEC異常変動について電離圏擾乱の伝播速度は大気ラム波と同じ速さであり、対流圏からの上方へのエネルギー漏洩が起源であることを示唆した (Heki, EPS 2023; Muafiry et al., Atmosphere 2022)。また電離圏擾乱は少なくとも4回日本上空を通過したことを確認した。

(3) 津波による電子数変動の解析 台湾との共同研究

津波によっても発生する移動性大気擾乱 (TAD) に関して、トンガの火山噴火に対する応答を解析している。トンガ火山の激しい噴火により、2022年1月15日04:05UTに地表面近くにて顕著なTADが発生した。台湾に設置されたフラックスゲート磁力計、気圧計、潮位計およびイオノゾンデデータを使用して、台湾におけるこのTAD応答を調査した。地表付近の大気圧は11:30UTに上昇し始め、11:50UTにピークに達し、海面変動は12:00UTに始まり、14:00UT以降に顕著になった。電離層は12:00UTに突如上昇し、14:30UTに最高高度に達し、東向き電場が出現したことを示唆した。磁場変化を調査したところ14:00-15:00UTの間に、TADによって生成された東向きのダイナモ電場と調和的な変化が検知された (論文投稿準備中)。津波によるTAD変動の解析にも有効な情報が得られたといえる。

(4) イオノゾンデ統計解析

昨年度に引き続き、情報通信機構（NICT）の国分寺イオノゾンデ観測データの解析を実施するとともに、GPSデータと同様に日々NICTにて公開されるデータを用いてリアルタイム解析を継続して実施している。

(5) 電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測

電離圏変動の理解には電離圏電子密度の3次元分布の把握が必要であるが、電離圏擾乱時にこの3次元密度分布を適切に連続的に再構成することが可能なトモグラフィー手法はまだ開発されていない。そこで、昨年度線形正則化法を改良した手法を開発した。従来の方法では、対象とする空間ボクセルに対して東西南北上下の6方向への変動に着目して拘束条件をかけるが、この方法では擾乱時には適切な結果が得られなかった。この拘束条件を上下の2方向に限ることにより、変動の大きい擾乱時の電離圏電子密度分布も再現可能にしたことが特徴である（Song et al., JGR SP 2021）。近年わかってきた台風によって励起された電離圏擾乱について開発したトモグラフィーを用いて再構成したところ、擾乱は大気重力波によって励起され、台風の強さだけでなく、中性風の重要性（中性風速度が10-20 m/sで弱い条件であること）も初めて観測学的に示した（Song et al., JGR SP 2022）。2011年東北地方太平洋沖地震に関しても開発した手法を適用したところ、地震動や津波による電離圏変動の高度方向の構造から、前者は音波、後者は大気重力波によって励起されていることが世界で初めて明らかとなった（論文投稿準備中：図1参照）。また、地震前兆の振る舞いについては、震央上空250 kmを中心に電子密度が減少する領域が、3月8-9日に20時間以上存在し、その周囲では電子密度は増加していることがわかった（論文投稿準備中：図2参照）。この結果は、非線形トモグラフィーによるLiu et al., Wiley 2018.の結果（doi: 10.1002/9781119156949.ch17）と同様であるが、夜間でも安定に再構成でき、連続的に可視化できたことが重要である。

D. 大気圏熱赤外異常解析 気象衛星ひまわりデータの解析 イタリアとの共同解析

一昨年度Himawari6-7号を衛星熱赤外温度異常と地震との統計的有意相関とROC解析を用いた前兆性の評価を実施し、地震発生との間の偶然では説明できない相関関係があり、 $M_{JMA} \geq 6.5$ の地震の場合、ランダムな推測に対して最大4.3の確率利得があることを報告した（Genzano et al., JGR SE, 2021）。Himawari8-9号については、バンドや時間分解能も上昇したことから、2018年新燃岳の溶岩噴出を例にその性能の調査と雲判別の精緻化・高度化を実施している。

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）、および地震統計解析（中国南方科技大学等との共同研究）

引き続き、解析を実施している。新たに国内のGNSSデータを用いて（4観測点の対角線の交点における疑似歪を算出）、歪計測の疑似ネットワークを構成し、そのネットワークの関連度の調査研究に着手した。2018年熊本地震に関してb値や地震活動との比較を実施している。

F. 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。

JpGUにおける国際セッションInterdisciplinary studies on pre-earthquake processes（2022年5月22日にhybrid開催。講演数：口頭12件、ポスター8件）を企画、実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Xie, W., K. Hattori, P. Han, and H. Shi, 2022, Temporal Variation of b Value with Statistical Test in Wenchuan Area, China Prior to the 2008 Wenchuan Earthquake, *Entropy*, 24(4), 494, doi: 10.3390/e24040494, 査読有, 謝辞有

Kojima, S., R. Niwa, N. Iwamoto, H. Kaneda, K. Hattori, K. Komura, T. Yamazaki, and K. Yasunaga, 2022, Development History of Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD) in the Kanmuriyama Area, Central Japan, *J. the Japan Society of Engineering*

Geology,63(1),2-12,doi: 10.5110/jjseg.63.2,査読有,謝辞無

木村亮太・安藤芳晃・服部克巳・早川正士,2022,WLP-FDTD法を用いた地殻変動に伴うULF帯電磁放射の波源電流強度推定の高精度化,J. Atmospheric Electricity,41(2),52-57,doi: 10.1541/jae.41.52,査読有,謝辞無

Song, R., K. Hattori, X. Zhang, and J.-Y. Liu,2022,The Two-Dimensional and Three-Dimensional Structures Concerning the Traveling Ionospheric Disturbances Over Japan Caused by Typhoon Faxai,J. Geophys. Res.: Space Physics,127(11),e2022JA030606,doi: 10.1029/2022JA030606,査読有,謝辞無

Chen, H., P. Han, and K. Hattori,2022,Recent Advances and Challenges in the Seismo-Electromagnetic Study: A Brief Review,Remote Sensing,14(22),5893,doi: 10.3390/rs14225893,査読有,謝辞無

Heki, K. and T. Fujimoto,2022,Atmospheric modes excited by the 2021 August eruption of the Fukutoku-Okanoba volcano, Izu-Bonin Arc, observed as harmonic TEC oscillations by QZSS,Earth Planets Space,74:27,doi: 10.1186/s40623-022-01587-5,査読有,謝辞無

He, L., L. Wu, K. Heki, and C. Guo,2022,The conjugated ionospheric anomalies preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake,Front. Earth Sci.,10,850078,doi: 10.3389/feart.2022.850078,査読有,謝辞無

Heki, K.,2022,Ionospheric signatures of repeated passages of atmospheric waves by the 2022 Jan. 15 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption detected by QZSS-TEC observations in Japan,Earth Planets Space,74:112,doi: 10.1186/s40623-022-01674-7,査読有,謝辞無

Muafiry, I.N., I. Meilano, K. Heki, D. D. Wijaya, and K. A. Nugraha,2022,Ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption above Indonesia from GNSS-TEC observations,Atmosphere,13,1615,doi: 10.3390/atmos13101615,査読有,謝辞無

Heki, K., M.S. Bagiya, and Y. Takasaka,2022,Slow fault slip signatures in coseismic ionospheric disturbances,Geophys. Res. Lett.,49,e2022GL101064,doi: 10.1029/2022GL101064,査読有,謝辞無

Igarashi, K., T. Tsuchiya, and K. Umeno,2020,Characteristics of Anomalous Radio Propagation before and after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake as Seen by Oblique Ionograms,Open J. Earthq. Res.,9(2),100-112,doi: 10.4236/ojer.2020.92007,査読有,謝辞無

Xue, J., Q. Huang, S. Wu, and T. Nagao,2022,LSTM-Autoencoder Network for the Detection of Seismic Electric Signals,IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,60,5917012,doi: 10.1109/TGRS.2022.3183389,査読有,謝辞無

鴨川仁,2022,電離圏変動検知による早期津波予測の可能性,津波とその予測II,月刊地球,44(9),440-448,査読無,謝辞無

Minamoto, Y., M. Kamogawa, A. Kadokura, M. Sato, and S. Omiya,2022,An alternative methodology of fair-weather identification for ground-based measurement of AEF at the polar region,J. Geophys. Res. Atmos.,e2021JD035732,doi: 10.1029/2021JD035732,査読有,謝辞無

Nanjo, KZ., J. Izutsu, Y. Orihara, and M. Kamogawa,2022,Changes in seismicity pattern due to the 2016 Kumamoto earthquake sequence and implications for improving the foreshock traffic-light system,Tectonophysics,822,229175,doi: 10.1016/j.tecto.2021.229175,査読有,謝辞無

Nickolaenko A. P., A. Y. Schekotov, M. Hayakawa, R. Romero, and J. Izutsu,2022,Electromagnetic manifestations of Tonga eruption in Schumann resonance band,J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.,237,105897,doi: 10.1016/j.jastp.2022.105897,査読有,謝辞無

Yamada, M., T.C. Ho, J. Mori, Y. Nishikawa, and M. Yamamoto,2022,Tsunami Triggered by the Lamb Wave From the 2022 Tonga Volcanic Eruption and Transition in the Offshore Japan Region,Geophys. Res. Lett.,49(15),e2022GL098752,doi: 10.1029/2022GL098752,査読有,謝辞無

Hamama, I., M. Yamamoto, M.N. ElGabry, N.I. Medhat, H.S. Elbehiri, A.S. Othman, M. Abdelazim, A. Lethy, S.M. El-hady, and H. Hussein,2022,Investigation of near-surface chemical explosions effects using seismo-acoustic and synthetic aperture radar analyses,J. Acoust. Soc. Am.,151(3),1575,doi: 10.1121/10.0009406,査読有,謝辞無

Nishikawa, Y., M. Yamamoto, K. Nakajima, I. Hamama, H. Saito, Y. Kakinami, M. Yamada, and T.C. Ho,2022,Observation and simulation of atmospheric gravity waves exciting subsequent

tsunami along the coastline of Japan after Tonga explosion event,Scientific Reports,12,22354,doi: 10.1038/s41598-022-25854-3,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

百本直輝・津村紀子,2022,S-netデータを用いた福島県沖の震源決定への観測点補正值の影響,日本地震学会2022年度秋季大会,S19P-03

小河勉,2022,拡張村上モデルの導出,日本地球惑星科学連合2022年大会,SEM16-12

小河勉,2022,拡張村上モデルにもとづく流動電位起源静電磁場と重力異常・磁気異常の比較,地球電磁気・地球惑星圏学会第152回講演会,R003-P03

Motojima, K., and N. Takezawa,2022,Statistical relationship between earthquakes and anomalous propagations on MF band at sunset time,Japan Geoscience Union Meeting 2022,MIS10-06

後藤悠希・本島邦行,2022,MF帯放送波の伝搬異常と地震発生との予測を見据えた関連性解析,日本地震予知学会第9回学術講演会,22-05

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(1) 観測

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

・地圏一大気圏一電離圏結合の観測学的研究のためのデータ収集。

地震に先行するTEC異常の発生原因の1つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能な装置の開発の継続。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の構築。

・GNSS-TEC解析では、Hekiが指摘している直前変動の統計解析の継続。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Molchan Error Diagram等で評価の継続。

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

・電離圏トモグラフィによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測の継続。

・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。

・前兆性の確認されたパラメータによる確率数理モデル構築の検討。

(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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：有

橋本武志（北海道大学大学院理学研究院）、日置幸介（北海道大学大学院理学研究院）、中谷正生（東京大学地震研究所）、上島誠（東京大学地震研究所）、小河勉（東京大学地震研究所）、吉村令慧（京都大学防災研究所）、梅野健（京都大学大学院情報学研究科）、松島健（九州大学大学院理学研究院）、相澤広記

(九州大学大学院理学研究院),山中千博(大阪大学),長尾年恭(東海大学海洋研究所),織原義明(東京学芸大学),鴨川仁(静岡県立大学),本島邦行(群馬大学),井筒潤(中部大学),山本真行(高知工科大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：千葉大学大学院理学研究院

電話：043-290-2801

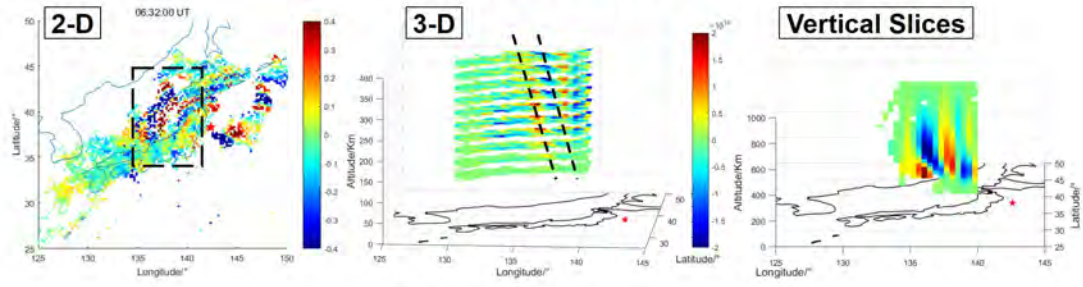
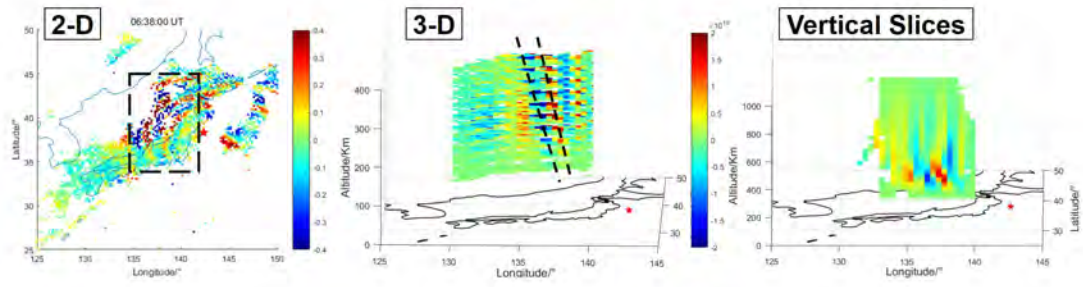
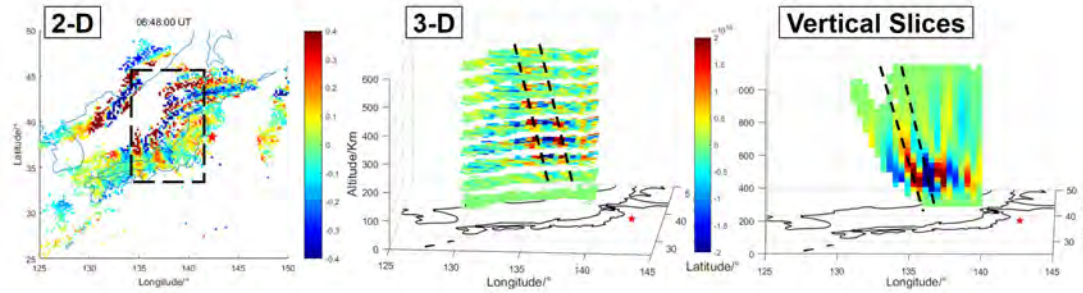
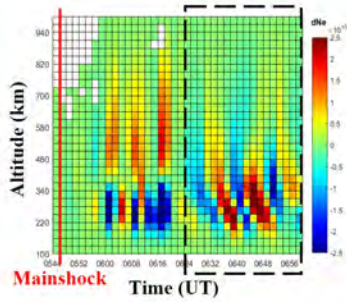
e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：服部克巳

所属：千葉大学大学院理学研究院

A**06:32 UT (15:32 LT)****06:38 UT (15:38 LT)****06:48 UT (15:48 LT)****B**

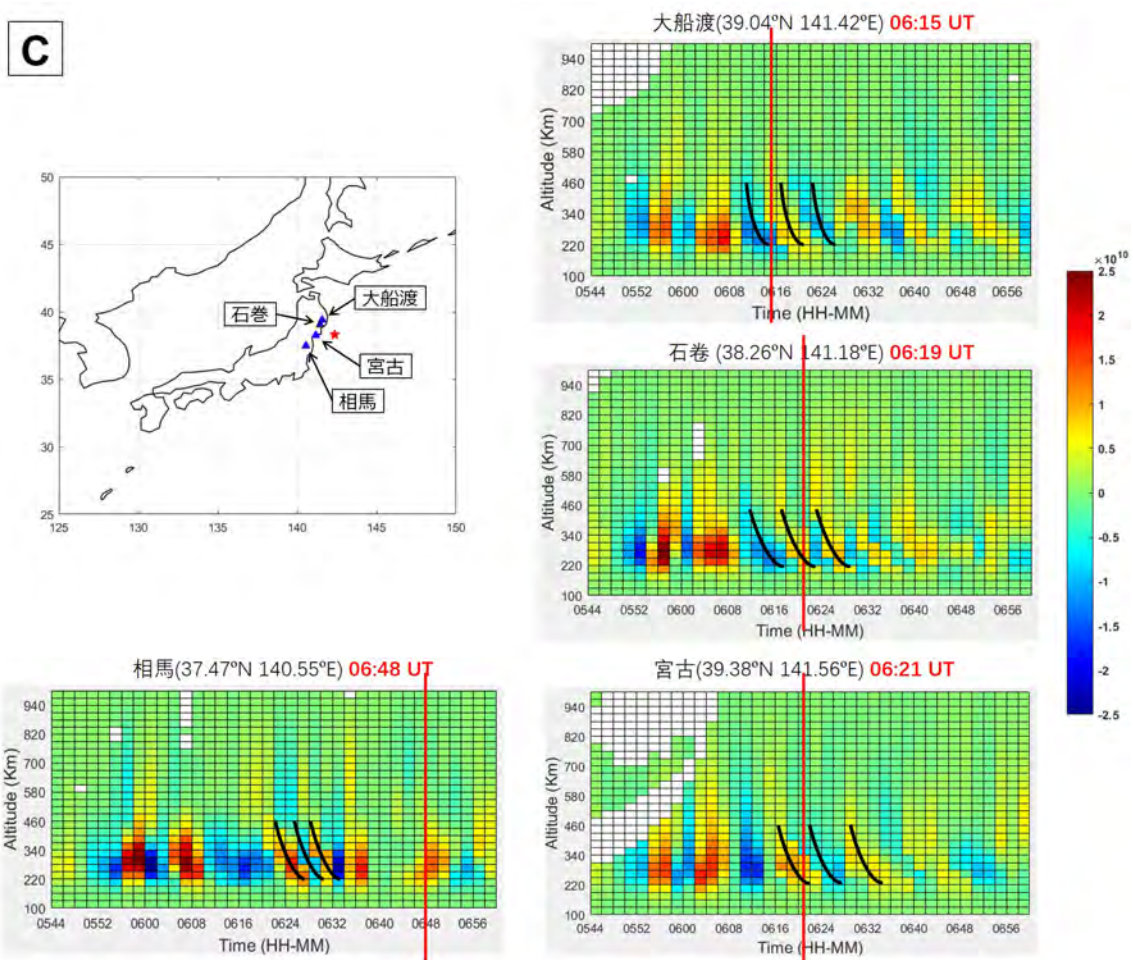


図1 2011年東北地方太平洋沖地震の地震動および津波に起因する電離圏電子数変動
 A 津波に励起された電離圏電子数変動の空間マップ。

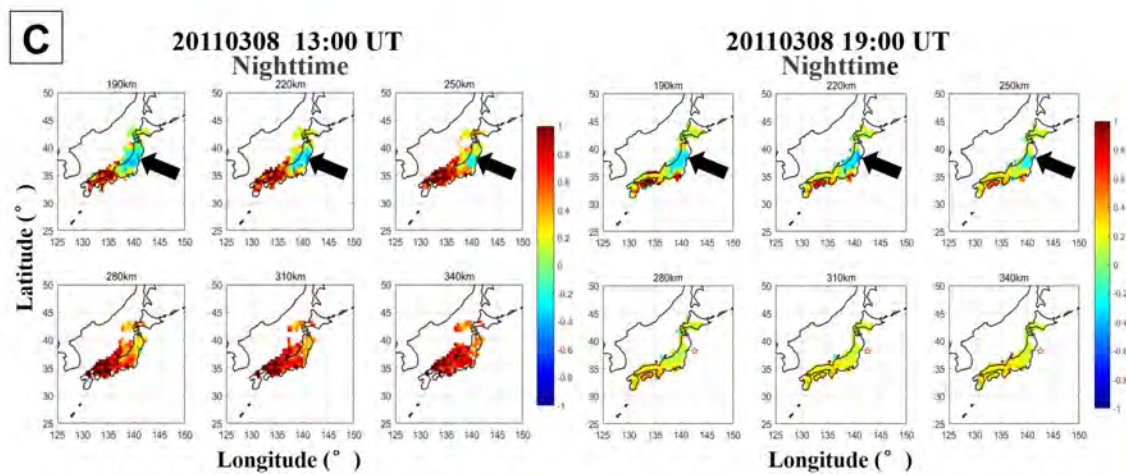
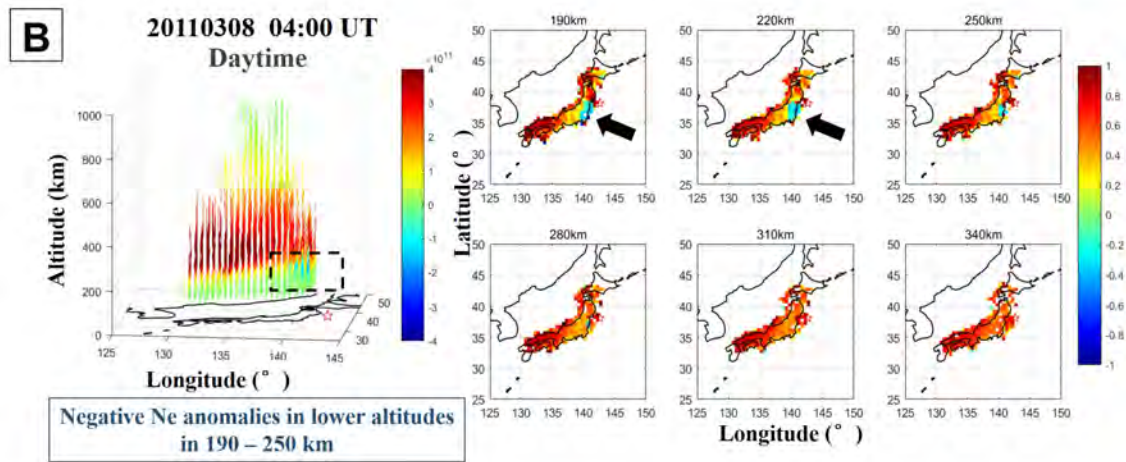
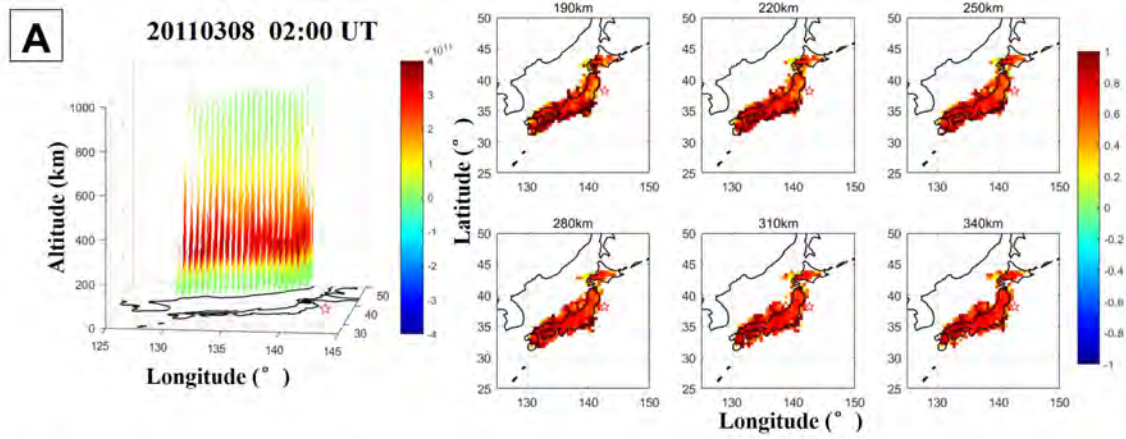
06時32分、06時38分、06時48分の2次元TEC、3D電子密度分布、垂直分布のスナップショット。

B 仙台の上空の電離圏電子異数変動の時間変化

赤線は東北地震の発震時刻。四角で囲った部分が大気重力波の特徴を示している。

C 大船渡、石巻、宮古、相馬上空の電離圏電子異数変動の時間変化

赤線は実際の高さ3mの津波の到達時刻。電離圏電子数変動の方が数分早く到達。



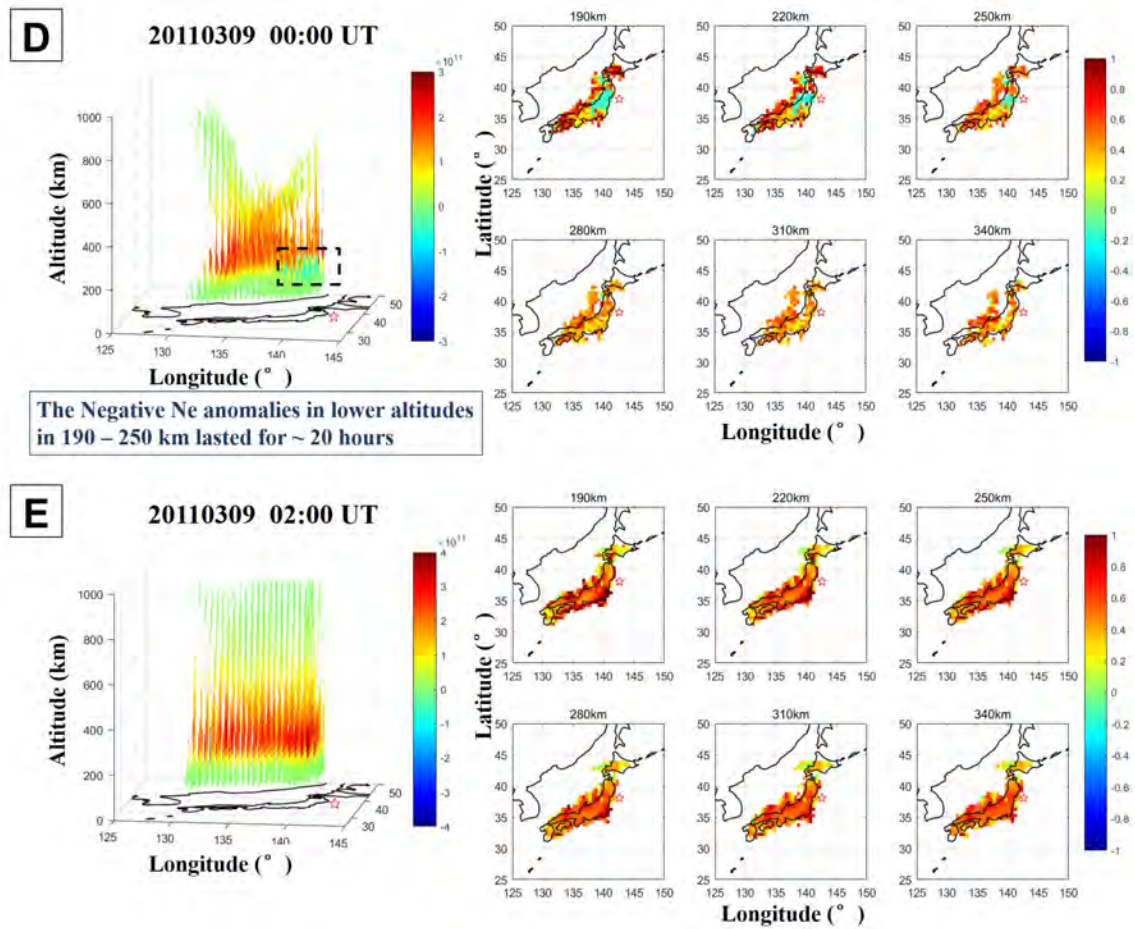


図2 2011年東北地方太平洋沖地震に先行する3次元電離圏電子密度変化（3Dマップと高度マップ）：過去15日間の同時刻の電子密度分布の中央値を基準モデルとした差分値を表示。

A 2011年3月8日02時00分UT（異常なし）

B 2011年3月8日04時00分UT（震央上空の電離圏下端部に異常減少発現：3Dマップの点線で囲んだ領域と高度マップの矢印）

C 2011年3月8日13時00分UTと19時00分UTの高度マップ（LTの夜間も異常が継続）

D 2011年3月9日00時00分UT（震央上空の電離圏下端部に異常減少継続、弱まる）

E 2011年3月9日02時00分UT（震央上空の電離圏下端部に異常減少消失）

(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4年度の計画の概要：

【提案の背景】標準的な地震リスク評価手法では、震源・波動伝播・地盤増幅・建物応答・直接的被害・社会的影響に関する研究分野からの知見を統合して、リスクが評価されるが、各研究分野に対応するそれぞれのモジュールに存在する複数モデルの組み合わせることでリスクカーブ群が得られることになる。すなわち、地震リスク評価には、モデルそのもののばらつきのみならず、モデルの相違によるばらつきが伴っている可能性がある。2021年度までにはこの点について検討するために、各研究分野に存在する多くのモデルをプラットフォームに組み込み、系統的に地震リスクを評価した。その結果、現在一般的に行われている地震リスク評価には非常に大きなばらつきを内包していることを示した。

【震源過程】プレート間巨大地震の強震動生成域に対する距離減衰の特徴をまとめる。プレート間巨大地震の震源像を推定するために、プレート間での地震反射波に着目し、波動論的アプローチで巨大地震の発生するプレート間の状態を推定し、震源像の予測に繋げることを試みる。

【深部地盤・伝播経路】2次元的是ではあるが主に海洋性モホ面より浅部を高い精度と解像度で求めるこ

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

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

【浅部地盤構造】現状の土構造物の地震リスク評価において、解析モデルにおける上記のような地盤物性の不確実性の影響を考慮に入れて、検討がなされることは（特に設計実務において）稀である。つまり、不確実性を無視する地盤災害の予測法が、不確実性を考慮した場合と比べて危険側の評価となっている可能性も否定できない。このため、液状化の可能性のある地盤上に構築された直接基礎建物を対象に、地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析を実施する。

【構造物被害予測】近年のフラジリティ曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用したフラジリティ曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討する。また、目視調査に代わる新たな方法として、①機械学習を用いた構造被害程度把握の自動化、②ドローンなどの飛行体を用いた広域被害把握、③構造物に設置したセンサーを用いた被害把握の手法に着目し、その概要と実現可能性について調査を行う。災害対応策として採用するためには、その精度評価が重要となるため、特に精度に関する情報の整理を行う。

【リスク評価高度化】近年UAVを用いた空撮写真および空撮写真から生成された点群データを用いたインフラ管理技術が急速に進歩している。本研究では、拠点間連携共同研究（統括型）で開発・維持している地震リスク分析プラットフォームへ統合し、リスク分析の高度化に資することを念頭に、UAVの空撮写真から生成された市街地の高密度点群データをもとに作成されたエクスポージャーデータを地理情報システムへ実装する手順を構築する。地震や豪雨により、いったん被害が生じるとその影響が甚大で復旧にも時間がかかると考えられる高速道路、新幹線などの社会インフラが集中する地域における土砂災害の危険度評価を行う。

【プラットフォーム高度化】モジュールごとのモデルの数やばらつきが採用するモデルに依存することから、複数モデルを考慮したときのモジュール間のばらつきの違いを公平に評価する統一的な手法が確立されていない。また、より詳細な計算手法を考慮したプラットフォームとするためには、用いるモデルが詳細化するため、モデルごとのばらつきの比較がさらに困難となることが予想され、その手法について検討が必要となっている。さらに、震源モデルについては、津波によるリスク評価に用いられるものや地震サイクルシミュレーションに基づくものを取り込むために、それらの重みの想定などが課題である。そこで、モデルの違いによるモジュール間のばらつきの公平な比較についてさらに検討する。地震発生時のリスクは地震リスクにとどまらないため、マルチハザードに対するリスク評価も必要となり、地震リスク評価のためのプラットフォームの高度化が不可欠である。

【コンピュータサイエンス】高性能物理シミュレーションと人工知能を融合し、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目指す。具体的には、このようなアルゴリズムに基づく地震動解析、地盤増幅解析、地殻変動解析等に適用可能な有限要素法の開発を行うとともに、実問題への適用により手法の課題を抽出する。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】平成3年度の分析結果を反映し、内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行うとともに、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用いて、自治体職員に対するヒアリングにもとづき災害シナリオの多様性があることの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

【震源過程・強震動予測】プレート間巨大地震の強震動生成域に対する距離減衰の特徴をまとめた(Miyazawa et al., 2022)。震源像を推定するために、断層面におけるP波の反射・透過係数の違いから、摩擦強度を推定するための理論研究を拡張し、SH波が任意の角度でプレート境界に入射して反射する時に観測される反射波の震幅変化から、摩擦強度を推定することを検討した。

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

【浅部地盤構造】液状化の可能性のある地盤上に構築された直接基礎建物を対象に、地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析を実施した。その結果、液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜評価において地盤物性の空間的不均質性の影響が無視できず、振動後の過剰間隙水圧の消散過程が地点により異なるため建物の不同沈下や傾斜といった被害が誘発されることがわかった。

【構造物被害予測】フラジリティ曲線の高度化と、地震被害発生時に即座に建物・インフラ施設の被災度を判定する技術の概要を調査するとともに、これまでに蓄積された膨大な地震被害写真を機械学習することによる被害判定システムの構築を試みた。来るべき都市直下での地震や東海・東南海・南海地震への備えとして、継続して研究を実施し、災害対応力をさらに高めておく必要がある。

【リスク評価】リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャー情報の精密化が必要不可欠である。このために、UAV等で撮影された写真やその他のリモートセンシング情報を用いて、エクスポージャーに関するパラメータを位置情報とともに取得し、地理空間情報システム上に展開するフレームワークを構築した。本年度は特に、地上設置型3Dスキャナにて取得した高密度点群による高精度な建物3D形状推定や赤外線カメラを用いた壁内の筋交い位置推定の可能性を検討した。地震や豪雨により、いったん被害が生じるとその影響が甚大で復旧にも時間がかかると考えられる高速道、新幹線などの社会インフラが集中する地域で、土砂災害予測基本図と既往のCS立体図、また現在の技術で作成され公開されている土砂災害ハザードマップとの比較を行い、土砂災害が発生する箇所と現象について検討し、その危険度評価を行った(図1)。現状のハザードマップでは被害予測には不十分であり、CS立体図も個別の現象予測には情報不足であることが明らかになった。

【プラットフォーム構築】南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによって多様な災害が引き起こされることが想定されるが、それぞれの災害が単独で想定した場合と、相互に関連したとして想定した場合では、災害の想定にどのような違いが出るかを把握することが重要である。また、多様な災害が相互にどのような影響を与え、それが災害の規模にどのような影響を与えるかを知ることが、災害の軽減に重要となる。これらについて、どのような調査方法があるかについて検討を行った。

【コンピュータサイエンス】時刻歴発展問題を対象として、シミュレーション内で生成される過去時間ステップにおける解析結果を学習することで、解析効率を高めるアルゴリズムを開発し、地殻の粘弾性応答解析へ適用した。高詳細な実地殻構造モデルを用いた有限要素法による地殻変動の順解析が本手法により効率化されることを確認した(図2)。今後は、逆解析等との組み合わせにより、プレート間固着状態推定などのへの適用が期待される。

【災害リスク情報・ステークホルダ参画】平成3年度の分析結果をもとに改良したシステムにもとづき地表速度での内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行った。また、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用い自治体職員に対するヒアリングを実施し、災害シナリオの多様性があることの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる災害について、震源・波動伝播・地盤増幅・建物応答・直接的被害・社会的影響に関する研究分野からの知見を統合したリスク評価を実施することで、最新の科学的知見に基づく災害リスクの大きさとそのばらつきを提示することが出来る。これは、それぞれの分野が災害にどれくらい寄与しているかを示すことで、重点的に対策すべき分野や研究資源の配分を検討するための重要な知見となる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Miyazawa, M., R. Kiuchi and K. Koketsu, 2022, Attenuation Characteristics of High-Frequency Ground Motions from Local Sources Caused by Great Subduction Zone Earthquakes in Northeast Japan, *Seismological Research Letters*, 93(5), 2686-2699, <https://doi.org/10.1785/0220210353>, 査読有, 謝辞有

Fujita, K., S. Murakami, T. Ichimura, T. Hori, M. Hori, M. Lalith, N. Ueda, 2022, Scalable Finite-Element Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Accelerated with Data-Driven

Method, *ScalAH22: 13th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems*, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

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院）, 倉田 真宏（京都大学防災研究所）, 中嶋唯貴（北海道大学大学院工学研究院）, 毎田 悠承（東京工業大学 環境・社会理工学院）, 井上和真（群馬工業高等専門学校）, 芹川由布子（福井工業高等専門学校）, 神野達夫（九州大学大学院人間環境学研究院）, 佐伯琢磨（神戸学院大学）, 仲西理子（海洋研究発機構）, 山本揚二郎（海洋研究発機構）, 高橋努（海洋研究発機構）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4080

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

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島信一

所属：京都大学防災研究所

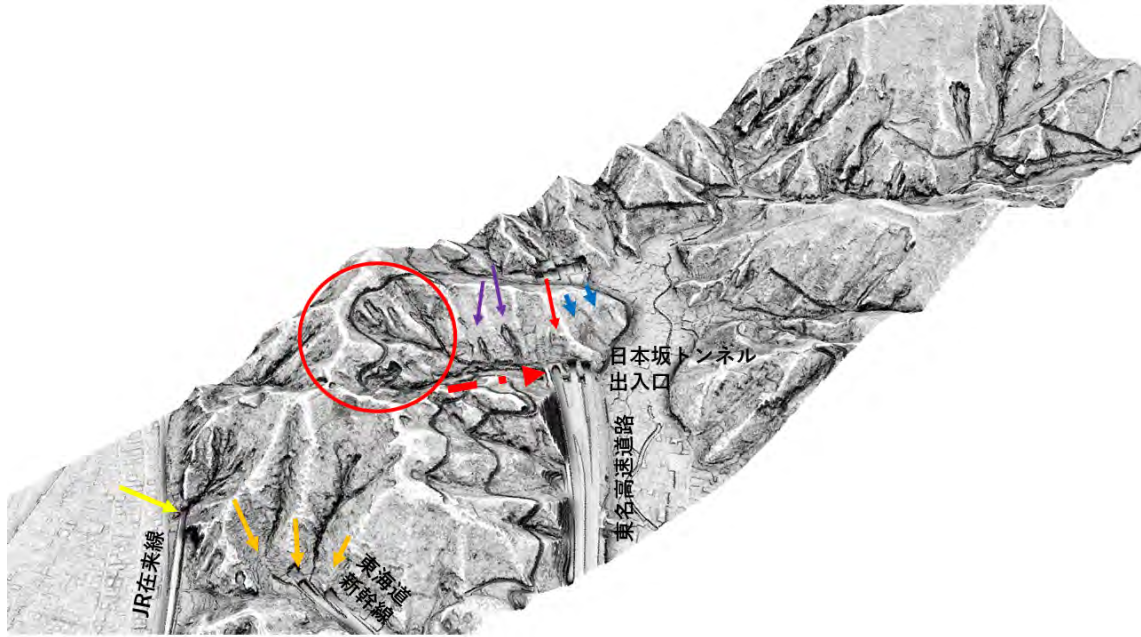


図1 地震と豪雨による斜面崩壊に対する高速道路・新幹線などの社会インフラの危険度評価

- ・ 東名高速道路日本坂トンネル出入口の直上（赤↓）には北向き斜面にみられる地すべり性の土砂移動（青↓）が起こっていない
- ・ 南側の過去に土石流性の崩壊が多発した斜面（赤○）の前兆と考えられる侵食谷（紫↓）が形成されている
- ・ 過去の土石流の流下経路（赤い太点線→）を遮断してトンネル出入口道路が建設されている
- ・ JR在来線のトンネル出入口（黄↓）と東海道新幹線の出口（橙↓）を含めて、いずれも地震や豪雨に対して、土石流や斜面崩壊が発生する可能性が高いと考えられる地形がみられる

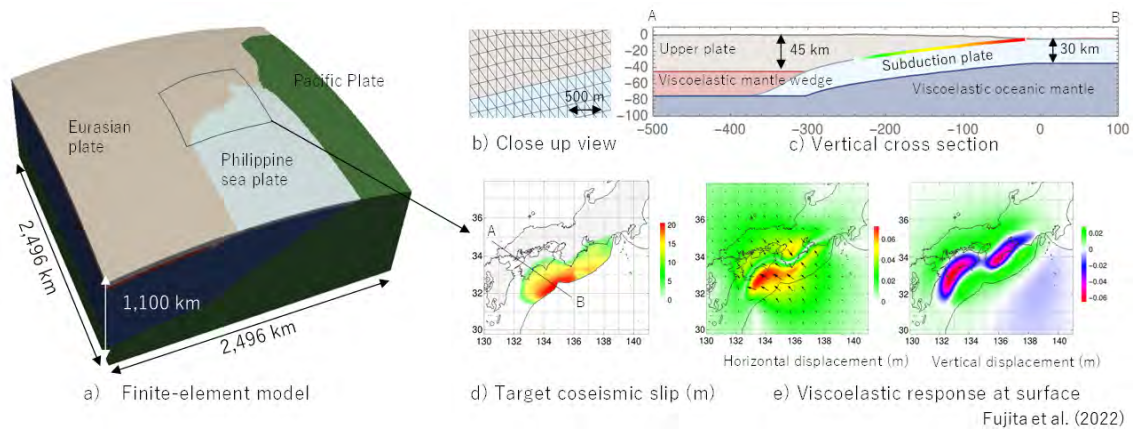


図2 Data-driven methodを活用した高詳細粘弾性地殻変動解析

- ・ 過去時間ステップのデータを使うことで粘弾性地殻変動解析の精度を落とすことなく高速化する手法を開発。通常の方法と比べて最大84倍速
- ・ 富岳の大規模並列環境を高効率で使える方法とすることで、南海領域の高詳細3次元粘弾性地殻変動解析を実施

Kohei Fujita, Sota Murakami, Tsuyoshi Ichimura, Takane Hori, Muneo Hori, Madgededara Lalith, Naonori Ueda, Scalable Finite-Element Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Accelerated with Data-Driven Method, ScalAH22: 13th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems, 2022.

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価手法の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

巨大地震時における土木・建築構造物等の社会インフラ施設の災害リスクを評価するためには、浅部地盤（工学的基盤から地表まで）における非線形応答を適切に考慮する必要がある。重点推進研究（特定型）（その3）では、浅部地盤の地震時挙動のより合理的な評価手法の確立に向けて、種々の不確実性を考慮した地盤の非線形応答評価手法について検討する。

(1)室内土質試験の不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価

地震時における土の複雑な応力・ひずみ関係を表現できる構成モデルには、比較的多くのモデルパラメータが存在する。これらのパラメータの多くは、室内土質試験（特に非排水繰返しせん断試験）の結果に基づき決定するのが望ましいが、試験では簡便化のため実際の地盤の応力状態（例えば、斜面における静的初期せん断応力の存在等）を考慮しないことが多い。本研究では中空ねじりせん断試験装置を用いて系統的な非排水繰返しせん断試験を実施し、繰返しせん断強度に及ぼす初期応力状態の影響について定量的な評価を試みる。

(2)水平2方向入力地震動が浅部地盤の非線形応答に及ぼす影響の評価

本研究では、2方向加速度応答スペクトルが一致し、加速度軌跡が異なる地震動を入力とした1G場振動台実験を実施し、水平2方向入力の影響が浅部地盤の非線形応答や液状化に及ぼす影響を評価する。具体的に現行の地盤の耐震設計で使用されている1方向入力を1種類、2方向入力として円形軌跡、実位相軌跡の2種類を入力とし、鋼製円形土層内の飽和した砂地盤の加速度応答や過剰間隙水圧の地震時挙動を計測することで、1方向入力時と2方向入力の非線形応答や液状化に及ぼす影響を評価する。

(3)Numerical analysis of adjacent pile supported structures and development of failure envelopes

involving liquefaction-induced large deformations

過去の地震（1995年兵庫県南部地震、2011年カンタベリー地震）では、上部構造を支える隣接杭が、複雑な入力と慣性の相互作用により、異なる破壊メカニズムを示すことが明らかになった。しかし、地震による大きな地盤変形を伴う杭の破壊が、曲げで始まるのか、座屈で始まるのかについては、現在のところ理解が不足している。そこで本研究では、土・水二相系の有効応力法に基づく2次元および3次元の有限要素解析を実施し、繰返し荷重を受ける際の隣接する杭の力学挙動について数値解析的な検討を実施する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1) 室内土質試験の不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価

各種模型振動実験で用いられることの多い豊浦標準砂を対象に、傾斜地盤における初期応力状態を再現するため圧密後に排水条件で初期せん断を載荷した後、液状化試験（非排水繰返しせん断試験）を実施した。試験では、初期せん断応力比の大きさよりも繰返しせん断応力比が大きい両振りの載荷条件（緩傾斜地盤に相当）に加えて、初期せん断応力比が繰返しせん断応力比を上回る片振りの載荷条件（急傾斜地盤に相当）も併せて考慮した。これらの一連の結果を液状化回数比（＝初期せん断ありの液状化までの繰返し回数／初期せん断なしの液状化までの繰返し回数）と初期せん断応力比の関係として整理したところ、初期せん断の影響により液状化回数比が小さくなる傾向が示された。

(2) 水平2方向入力地震動が浅部地盤の非線形応答に及ぼす影響の評価

振動台実験の結果、1方向入力よりも2方向入力とした場合の方が、過剰間隙水圧の上昇が顕著であり、言い換えれば液状化の度合いが大きいことが確認された。本実験の入力である地震動は応答スペクトルで基準化されていることから、振幅レベルが揃っており、2方向入力を描く複雑な軌跡が水圧の上昇に寄与していることが確認された。2方向入力の軌跡特性の影響は現状の耐震設計では考慮されていないため、今度の耐震設計手法の改良に向けた貴重な結果であると言える。

(3) Numerical analysis of adjacent pile supported structures and development of failure envelopes involving liquefaction-induced large deformations

本研究で用いた有限要素モデリング手法の妥当性を検証するため、京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用いた地盤・構造物（杭）系の模型振動実験に対して、数値シミュレーションを実施した。次に、妥当性が検証された地盤の構成モデルおよび地盤と杭間の相互作用のモデル化手法を導入した2次元解析より、斜面下に向かって最も遠くに位置する杭が流動する地盤から最も大きな応力を受けることが明らかとなった。また3次元解析からは、液状化した杭の破壊位置と破壊の種類を決定するのは慣性力の大きさであることが示された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究では、(1) 室内土質試験、(2) 大型模型振動台実験、(3) 数値シミュレーションの3つの観点から、浅部地盤（斜面や地盤・構造物系を含む）の地震時非線形応答の評価手法に関して検討を行った。いずれの手法も、大地震による浅部地盤の災害リスク評価において必要不可欠なものである。現時点ではいずれの成果も基礎的な現象の理解に留まってはいるものの、今後の研究において研究内容の深化・発展が期待されることから、将来の地震時における地盤災害の合理的なリスク評価に貢献するものであると考えられる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

浅見健斗・井上和真・上田恭平・芹川由布子・下保亮太・服部孝生,2022,水平2方向入力地震動に対する砂地盤の非線形応答に関する解析的検討,日本地震工学会第17回年次大会,F-12-4 (TS 20220283)

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

上田恭平（京都大学防災研究所）,田中宣多（京都大学防災研究所）,Anurag Sahare（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

Majid Manzari（George Washington University）,芹川由布子（福井工業高等専門学校）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4092

e-mail：ueda.kyohei.2v@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：上田 恭平

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

即時建物被害予測技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

巨大地震に対しては、構造物は損傷によって地震の入力エネルギーを消費することが想定されている。その為、地震発生時には構造物には耐震設計上で想定しているように損傷が生じることとなる。そこで、地震発生後の構造物の継続利用性を早急に判断する必要がある。この判断結果を即時に収集することにより、早期に広域の被害状況を把握することが可能となり、地震時の災害対応において極めて重要な情報となる。本研究では、この即時被害把握技術として、①衛星画像を用いた広域の被害把握、②ドローンなどの飛行体を用いた地域の被害把握、および③センサーを用いた構造物の被害把握、の現在の技術状況と今後の可能性について検討を行う。更に上記の3つの技術を相互に比較検討することにより、発災後の時間経過と利用可能な被害把握手法の関係、および把握できる被害地域とその制度について整理を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震発生前の対策としては、予測される地震に対する被害程度をあらかじめ推定し、その推定結果に基づいた対策を取ることが多い。構造被害に着目すると、過去の巨大地震における構造物の被害程度の調査結果から、確率的に構造被害を予測する方法が取られる。具体的には、地面での最大加速度や最大速度といった地震動の指標値を予測または計測し、経験的に求めたその指標値と被害率の関係をj用いて被害程度を推定する。この指標値と被害率のj関係は「フラジリティ曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度（PGA）や最大地動速度（PGV）のj関係から経験則として求められてきた。最近でも2016年熊本地震や2011年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物のフラジリティ曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法でフラジリティ曲線を推定することは困難となりつつある。

そこで本研究では、近年のフラジリティ曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用したフラジリティ曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討した。

また、巨大地震発生時に早期に災害対応を実施し、二次被害を軽減するためには、迅速な被害把握が不可欠である。今日では、依然として被害把握には「応急危険度判定」や「被災度区分判定」といった、技術者の目視に依る方法を用いている。これらの方法は、非常に時間がかかり、またそもそも仕上げなどにより構造体が見えな、超高層建物などで目視調査が現実的ではない、といった問題がある。これらの問題を解決するため、今日では、①機械学習を用いた構造被害程度把握の自動化、②ドローンなどの飛行体を用いた広域被害把握、③構造物に設置したセンサーを用いた被害把握、等の方法が精力的に開発されつつある。

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

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震災害を軽減するためには、地震発生前に災害リスクをj精確に推定して災害発生前に適切な対応を取っておくことと、ひとたび地震が発生した場合は、迅速にその被害状況を把握することが重要である。本年度の成果は、災害リスク推定のために特に多く存在する鉄筋コンクリート造建物のフラジリティ曲線の高度化や、迅速な被害把握のための新しい技術開発状況調査を実施した。これにより、災害対応力の向上が望まれる。本課題で対象としている技術は比較的新しい技術開発分野であり、センシングやIT技術、機械学習技術の高度化などにより実際に適用が可能となってきている。そのため、今後も継続して、これらの技術の高度化を進める必要がある。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Huang, J, Kurata, M, Kawamata, Y, Kanao, I, Qi, L, Takaoka, M.,2022,In-Plane damage of partition walls with various boundaries during earthquakes.,Earthquake Engng Struct Dyn,https://doi.org/10.1002/eqe.3802,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

岸本航輝, 毎田悠承, 齊藤隆典, 宮内博之, 楠浩一, 坂田弘安,2022,ドローンを用いた空中撮影による建築物の応答変位計測に関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,構造II, pp.251-252

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

楠浩一（東京大学地震研究所）,倉田真宏（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

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

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所

電話：03-5841-1760

e-mail：kusunoki@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：楠 浩一

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和4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を主体に年3回程度（うち1回は京大防災研発表会を含める）にワークショップを開催し、確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行う。南海トラフの津波想定域においては、検証を進めてきた津波数値モデルを用いて四国から関東までの広域の沿岸域や市街地を対象とした多数シナリオの津波計算を行い、確率的な津波高さを計算する。これをもとに、いくつかの市街地に着目して沿岸の津波高に支配的な領域や断層パラメータを抽出し、津波ハザードのホットスポット推定と不確実性（津波高の推定結果のバラツキ）について明らかにする。また、南海トラフ想定震源域での観測によって得られた最新の理学的知見を整理し、これを確率的すべり分布生成過程へ反映する方法を開発する。さらに、東大地震研グループが開発している津波の波線追跡やデータ同化手法と京大防災研グループが開発している地形による津波の増幅率推定やその周波数特性評価を組み合わせ、沖合の海底ケーブル津波計やGPS波浪計等で捉えた津波高から沿岸津波高の即時予測を行う手法を開発し、防災工学的な側面に立った社会実装のための準備を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

和4年度は、多様な津波波源を考慮した地形による津波増幅率の推定や、津波の応答関数推定などにより、防災工学的な側面に立った社会実装のための準備を行った。津波増幅率については、高速で簡便に沿岸域の津波水位を求めるため、メキシコ太平洋側で発生する海溝型地震を対象に、地形の効果による津波の増幅率を推定した。増幅率の推定では、多数の地震シナリオに基づいた数値計算結果と津波発生時の水位の空間分布を用いて、最大津波波高から波源の影響を除くことを試みた。求めた増幅率と波源の情報を併せて沿岸域の最大津波波高を推定し、数値計算結果との比較を行った。初期水位分布全体を考慮し、波動方程式の解の重ね合わせによって算定したパラメータは、最大津波波高との強い相関が確認された。これによって、波源の情報を表すパラメー

タと当該地点での津波の増幅率を表す回帰係数への分離が可能となった。さらに、この波源の代表パラメータと増幅率を用いて沿岸の最大津波波高を簡便に予測するモデルを構築したところ、メキシコのゲレロ州沿岸域においては水深10m程度まで数値モデルと同様な確率分布を得た。以上の結果より、この津波増幅率は、波源の特性に依存しない周辺地域との相対的な津波ハザードの大きさを表す指標として有用であることが示唆された。この成果はPure and Applied Geophysicsに掲載された。

地形による津波の応答関数については、南海・東南海地震想定域で多数の地震津波シナリオにもとづいた津波計算を行い、対象地域は駿河湾内部およびその周辺沿岸域の地形による津波の周波数応答特性を求めた。まず、確率論的過程にもとづいて震源断層モデルを多数生成し、生成したそれぞれについて津波計算を行い、波源域・沿岸域での時系列波形のスペクトル解析を行うこと津波の応答関数を求めた。この波源域沿岸域の評価地点の選定には、津波のray tracingから伝播経路を抽出し、その経路上の地点を用いた。求めた応答関数については、地形形状から概算した固有周期と比較し、その妥当性について評価する。その結果、対象地点間のスペクトル比のシナリオ間アンサンブルをすることで、津波伝播過程でのそれぞれのスケールに対応した卓越周期が抽出された。また、抽出した応答関数は単純化した地形条件での理論的な共振周期と一致し、本手法の妥当性が示された。本研究で求めた応答関数は、波源スペクトルからの畳み込みによる沿岸域の最大津波振幅の予測や、津波の継続時間の定量的予測への応用が期待される。以上の成果は、土木学会論文集B2（海岸工学）に掲載され、海岸工学講演会で口頭発表された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

当該研究成果は、不確実性の大きい将来の津波に対して、従来の想定より多くのシナリオを考慮しつつ、それぞれの不確実性要因がもつ沿岸津波への影響の大きさを定量化するものである。また、地形による津波応答関数の結果は、共振発生の事前予測や津波継続時間の定量評価へ応用されることが期待できる。今後、その予測可能性について評価を行う予定である。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chida, Y., and Mori, N.,2023,Numerical modeling of debris transport due to tsunami flow in a coastal urban area,Coastal Engineering,179,104243,doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104243, 査読有,謝辞有

Fukui, N., Mori, N., Miyashita, T., Shimura, T., & Goda, K.,2022,Subgrid-scale modeling of tsunami inundation in coastal urban areas,Coastal Engineering,177,104175,doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104175, 査読有,謝辞有

Miyashita, T., Mori, N., & Gómez-Ramos, O.,2022,Local Tsunami Amplification Factors due to the Bathymetric Effect and its Application to Approximate Hazard Assessment on the Zihuatanejo Coast,Pure and Applied Geophysics,179(12),4301-4322,doi.org/10.1007/s00024-022-03177-8, 査読有,謝辞有

Mori, N., Satake, K., Cox, D., Goda, K., Catalan, P. A., Ho, T.C., Imamura, F., Tomiczek, T., Lynett, P., Miyashita, T., Muhari, A., Titov, V., & Wilson, R.,2022,Giant tsunami monitoring, early warning and hazard assessment,Nature Reviews Earth & Environment,(3),557-572,doi.org/10.1038/s43017-022-00327-3, 査読有,謝辞有

宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也,2022,日本の太平洋沿岸を対象とした地形効果による津波の周波数応答特性の推定,土木学会論文集B2（海岸工学）,78(2),I_55-

I_60,doi.org/10.2208/kaigan.78.2_I_55, 査読有,謝辞有

菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人,2022,大阪市を対象とした南海トラフ地震による津波および強震動被害の複合評価,土木学会論文集B2（海岸工学）,78(2),I_205-

I_210,doi.org/10.2208/kaigan.78.2_I_20555, 査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Miyashita, T., Ho T.C., Mori, N., & Shimura, T.,2022,Tsunami Responses along the Japanese Coast Due to Bathymetry Effect,Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 19th Annual Meeting,OS17-A005

宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2023, 複雑な幾何形状をもつ湾内の長波による水面の応答振動特性, 令和4年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, C314

宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也, 2022, 日本の太平洋沿岸を対象とした地形効果による津波の周波数応答特性の推定, 第69回海岸工学講演会, 14

菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人, 2022, 大阪市を対象とした南海トラフ地震による津波および強震動被害の複合評価, 第69回海岸工学講演会, 48

Miyashita, T., Suganuma, R., Mori, N., Shimura, T., 2022, SEISMIC AND TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT OF COASTAL BUILDINGS IN WEST COAST OF JAPAN, 37th International Conference on Coastal Engineering

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

宮下卓也（京都大学防災研究所）, 森信人（京都大学防災研究所）, 志村智也（京都大学防災研究所）, 何東政（京都大学防災研究所）, 千田 優（京都大学防災研究所）, 佐竹健治（東京大学地震研究所）, 古村孝志（東京大学地震研究所）, 綿田辰吾（東京大学地震研究所）, 佐藤哲郎（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4142

e-mail：miyashita.takuya.4w@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮下 卓也

所属：京都大学 防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

リアルタイム地震情報配信手法の高度化に向けた地盤特性の影響度評価

(3) 関連の深い建議の項目：

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) 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：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

R4年度は、微動観測から同定した建物特性を利用して、建物の振動解析モデルを構築する。実際の観測記録に対して精度を検証し、予測地震動に対する応答を評価する。次に、推定した地盤特性を利用して、工学的基盤に入力した地震動に対して自由地盤地表面ならびに建物基礎部で観測される地震波を予測する手法を検討する。さらに、病院の病院地震観測網において、建物基礎部（耐震建物や免震建物）で観測された実測波における差異を分析する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

建物の図面が現存していない、70年代以前に竣工されたL字型平面を有する低層RC造病院建物を対象に、モード情報を踏まえた振動解析により建物各部の詳細な応答を予測した。モード情報の同定にはR3年夏に実施した微動観測記録を用いた。また予測結果の検証には、R3年春から稼働する建物の基礎階と上部階の2か所での地震観測システムで得られた実際の地震応答記録を利用した。建物の損傷および建物内の室内被害に用いる応答について、現状では観測階の加速度応答の最大値や積分により得られた変位を基礎階と上部階で線形補間して非観測階の加速度波形や層間変形角を予測するに留まっている。図1に振動モデルによる予測結果と実際の地震応答記録を比較する。左図は地震観測点（7と19）および微動観測軸である。中央図に示す予測波形の最大振幅は、最も精度の高いモデルパラメータでは多くの地震で誤差30%以内に収まった。観測点は2点に留まるが、振動モデルを利用することで、各部の応答を詳細に予測することが可能となる。右図では建物の両端部のモード振幅が大きくなるねじれモードや、中央部分がたわむモード、屋上階塔屋の局所モード、の影響を表現できている。

また地盤モデルを考慮した数値解析モデルの構築方法を検討した。対象建物の候補は、観測対象の病院建物である。解析方法は、地表面－建物間の伝達関数を用いた周波数応答解析とし、解析モデルは①質点系のスウェイロッキングモデル、②3D-FEM解析モデルの2種類を検討した。構築した3D-

FEM解析モデルの一例を図2に示す。構築した解析モデルを用いて、拠点となる建物の強震記録から対象地域の地表面地震動の評価方法を検討した。さらに、建物基礎部と周辺の地表面で観測された地震動のスペクトル特性を分析し、建物と地盤の相互作用の影響について議論した。

今後の連携活動の研究シーズとして、海域観測網などの異なる観測網を統合的に用いて、緊急地震速報を更なる高精度・迅速化を目指す取り組みや、深層学習を活用した地震カタログの高精度化、スロー地震の一種である浅部微動のモニタリングシステムといった地震解析処理の最新の取り組みについて議論した。また地震情報配信の実際例や、長周期波動場のモニタリングによるリアルタイム地震解析システム(GRiD MT)の詳細および緊急地震速報配信における予報業務許可に関する地震研究所（および東京大学）においての運用の実際例について情報を共有した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化の研究に関連して、建物応答や被害の予測精度を向上し、かつ即時に建物利用者や管理者にその情報を提供することを目的に、利用者が多い大規模な建物や災害拠点となる施設を対象として、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した。今後は、構築したモデルを用いて、将来の大地震に対する被害想定を高度化する、地震時の即時被害推定の精度を向上する、また後発地震に対する残存性能について評価する。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：有

鹿嶋俊英（建築研究所）、柏尚稔（大阪大学工学研究科）、溜渕功史（気象研究所）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4084

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

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：倉田 真宏

所属：京都大学 防災研究所

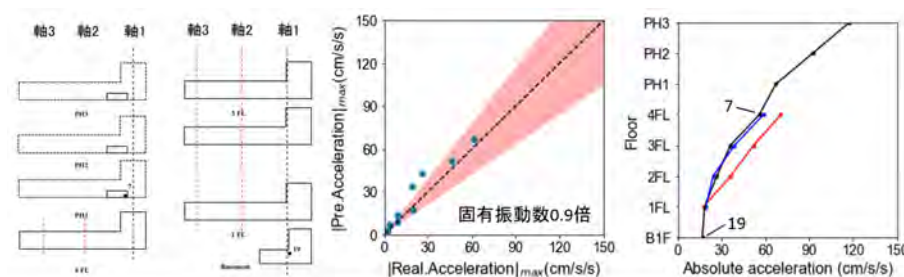


図1 微動観測から構築した振動モデルを利用した建物各部の応答予測

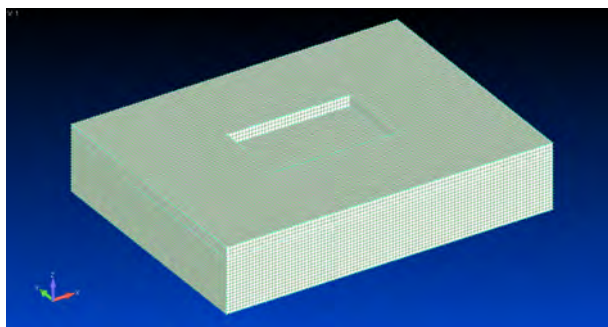


図2 地盤のFEM解析モデルの検討例（直接基礎）

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

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：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

地震により再活動する可能性がある地すべり地と認識されている不安定な土塊などは、最近計測技術の進歩した1m-LiDAR DEMなどを用いた可視化技術を用いるとその局所的な位置により地震に対する応答に差があると考えられる。また現在変位を生じている地すべり土塊の地形的特徴に差がある部位において、地震に対する応答を明らかにすることは、斜面崩壊、地すべり、土石流の発生位置の危険度を付することになり、ハザードマップ作成において有用な情報を与えることができる。このために、現在、変位を生じている徳島県三好市西井川の地すべり地において、末端、地すべり土塊内部、その隣接する谷部、谷部の地下水位の高い部位で、長周期速度計により地震に対する応答の比較観測を実施する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

現在、変位が継続している徳島県三好市西井川の地すべり地において、末端、地すべり土塊内部、その隣接する谷部、谷部の地下水位の高い部位で、長周期速度計により地震に対する応答の比較観測を実施した。地すべり土塊の末端は、南北に切り取り部があり東西方向に指示する構造がない。また、地震計を設置した隣接する谷部は東西方向で、地すべり土塊の側方を侵食する構造である。震源がほぼ西に位置する2022年11月22日10:24、深さ46km M3.7 豊後水道を震源とする地震、震源がほぼ南に位置する2020年12月29日01:47、深さ35km M4.4高知県東部を震源とする地震について、地すべり土塊の特徴的な地形を有する地点の地震波への応答を比較し、各部位の地震に対する危険度の評価をおこなった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震に対するハザードマップ作成時に、予想される震源の方向に対して斜面に存在する不安定土塊の

崩壊危険度を付する可能性があり、ハザードマップの高精度化に貢献できる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

齊藤隆志,2022,土砂災害予測基本図による地形変化検出とそれに基づく豪雨・地震による崩壊モデルの提案,日本地形学連合2022年秋季大会

齊藤隆志,2023,地震および豪雨による斜面災害発生個所の事前予測方法の統合,京都大学防災研究所 年次講演研究発表会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤隆志（京都大学防災研究所）,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

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

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4102

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

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤 隆志

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

ばらつきを考慮したハザード想定結果の「受け取られ方」に関する評価研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

令和4年度は、平成3年度の分析結果を反映し、内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行うとともに、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用いて、自治体職員に対するヒアリングにもとづき災害シナリオの多様性があることの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、平成3年度の分析結果をもとに改良したシステムにもとづき地表速度での内閣府の南海トラフ地震動想定の評価を行った。また、前年度の成果にもとづき改良したシステムを用い自治体職員に対するヒアリングを実施し、災害シナリオの多様性があることの理解を深めるための方策の検討、さらには検討成果を踏まえシステムのさらなる改良を行う。ただし、自治体職員のヒアリングについては本年度の地震動評価をふまえて実施するため本報告には反映されていない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究では地表速度で地震動シミュレーション結果のばらつきについての評価を行っている。しかし、内閣府が公表している地震動推定結果は、地表面では震度であり速度については工学的基盤の強震波形のみが公開されている。そのため内閣府のシミュレーション結果を、地表面での最大速度に変換する作業を昨年度から実施している。昨年度は、簡易的な手法を用いて変換を行った結果、60cm/sを超える最大速度が多く算出された。また200cm/sを超えるような地点も多く、最大のPGVは高知県で約680 cm/sとなった。

一方、過去の代表的な地震の最大速度は2016年熊本地震で約240kine、2011年東北地歩太平洋

沖地震では約 100kine であり、第一段階として観測上の最大値である約 240kine をPGVの上限値として内閣府による地震動シミュレーション結果の変換を行った（図1）。さらに検討を進め内閣府(2012)の前身である内閣府(2009)による表層地盤モデルを用いて南海トラフ巨大地震に対して地震応答解析を実施した（図2）。

また自治体職員に対して、本研究プロジェクトで開発したシステムについてのインタビューを行い、1) システムの改良点、2) ばらつきが存在することへの理解の深まり、3) ばらつきをふまえた防災対策のあり方について意見収集を行う。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4285

e-mail：maki.norio.8v@kyoto-u.ac.jp

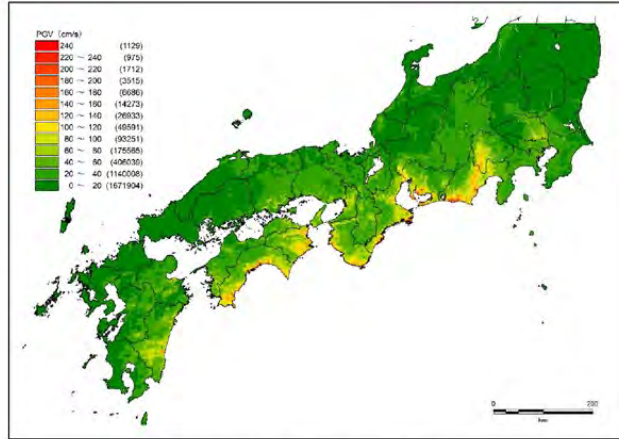
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：牧 紀男

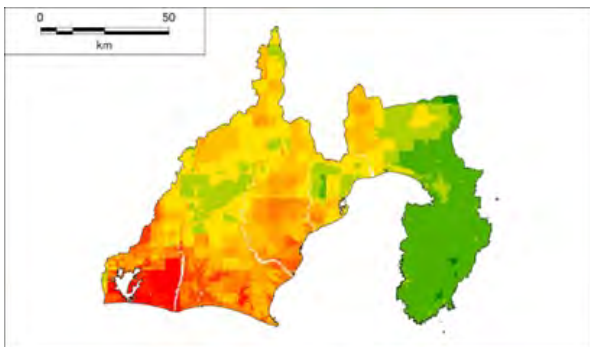
所属：京都大学 防災研究所

(基本ケース)

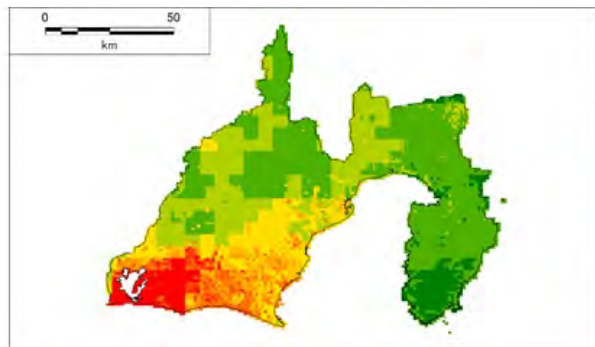


240cm/sを最大値としたPGV分布図

図1 240 cm/s を最大値としたPGV分布図
内閣府（基本ケース）



これまでの方法のPGV



内閣府(2003)浅部地盤モデルを用いた地震応答解析
結果の地表最大速度

図2 内閣府(2003)浅部地盤モデルを用いた地震応答解析結果の地表最大速度

(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：

地震および豪雨による斜面災害発生個所の事前予測方法の統合

(3) 関連の深い建議の項目：

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

豪雨と地震により引き起こされる土砂災害の端緒の位置予測のために、地すべり、崩壊、土石流の土砂災害に土砂災害予測基本図（特許番号：7153330号）を用いて、現象の観察を基本として事象の前後の比較を行う。この土砂災害予測基本図は、1m(50cm)-LiDAR DEMを用い視覚的に地形を理解しやすく表現することが可能である。この図を用いて、土砂災害の端緒となる土砂移動を起こす箇所の特定が可能となることを示す。次に、豪雨・地震と異なる外力の場合の検討をし、共通の地形的特徴と合わせて、それぞれの土塊移動の端緒となる破壊現象のモデルを示す。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

いくつかの災害事例にこの手法を適用した結果、豪雨と地震と外力が異なっても、現象の端緒となる箇所には共通する地形的特徴があることが判明した。豪雨の場合、いわゆる侵食前線の最先端である遷急点に隣接する谷頭部や遷急線として認められる段差の連続する箇所がその破壊の端緒となることが多くの事例で認められた。土砂災害予測基本図では、まず斜面の侵食量を算出しその傾斜量を得る。そのため、この遷急点あるいは遷急線が侵食のおよんでいる部分の境界部が視覚的に明瞭に認識されることになる。この部分は、谷の落水線上の段差として表現され、この段差の大きさも落水線に沿った河道縦断図から比較することが可能である。また、この谷を通過する落水線の集中が豪雨の場合の重要な特徴で、これも落水線に沿った上流域面積の急激な増加すなわち落水線の合流から得られる。加えて上部斜面の集水域に浸透能の低い岩石の露出あるいは土層が薄い場合には崩壊の端緒となると考えられ、広島市安佐南区の土石流の発生域の斑状流紋岩の岩脈でそれに相当する。さらに、この段差（谷頭部の境界部）の周辺の傾斜が大きいことにより崩壊が生じやすい傾向がある。この3つの量を三軸とし、それぞれの箇所の量をプロットし、原点からの距離を比較することでその危険度の順序付けが可能と考えられる。

地震の場合、谷地形をしているかはそれほど重要ではなく、斜面下方に土層あるいは斜面を支持する構造のない箇所の崩壊が多く、これは豪雨の場合と同様に段差として認識可能で土砂災害基本図でも検出が容易な箇所である。地震前後の地表変位検出は、2016年熊本地震の阿蘇カルデラ周辺を対象として実施したので、その例を示す。当初、地震波の伝搬によってその地点の卓越する振動方向との関係を重視していたが、地表変位が傾斜の下方すなわち斜面下方に認められることから考察した変位

出現、破壊出現のモデルを示す。この段差周辺に谷による侵食が斜面の傾斜方向にある場合の段差付近、谷内の土層のうすい箇所、段差よりも斜面上方の箇所の振動の比較を観測した例も示すことができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

豪雨と地震、異なる誘因に対しても有効なハザードマップ作成の新手法を示すことが可能と考えられる。特に、斜面崩壊、地すべり、土石流の端緒となる不安定な土塊の位置を視覚的にわかりやすい方法で示すことが可能であり、被害想定範囲の特定には、既存の土砂流動モデル（iRICなど）を利用すると精度の高いハザードマップを作成することが可能である。現在、その適用段階である。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

齊藤隆志,2022,土砂災害予測基本図による地形変化検出とそれに基づく豪雨・地震による崩壊モデルの提案,日本地形学連合2022年秋季大会

齊藤隆志,2023,地震および豪雨による斜面災害発生個所の事前予測方法の統合,京都大学防災研究所年次講演研究発表会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤 隆志（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

古谷 元（富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科）,中屋志津男（白浜試錐）,筒井和男（和歌山県土砂災害啓発センター）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4102

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

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤隆志

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震によるマルチハザードリスク評価手法に関する検討

(3) 関連の深い建議の項目：

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(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4年度の計画の概要：

【提案の背景】標準的な地震リスク評価手法では、震源・波動伝播・地盤増幅・建物応答・直接的被害・社会的影響など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。これまでの重点推進研究では、地震リスクとして地震動による被害を対象としているが、南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによって、多様な災害が引き起こされることが想定される。

本研究提案は、これら多様なハザードに基づく災害を考慮することを可能とし、リスク評価を統一的に実施するための課題を洗い出し、巨大地震によるマルチハザードリスク評価を実現する手法に関して検討する。

【現状の問題点】巨大地震に起因する強震動、津波のリスク評価はそれぞれ独立して行われていることが多い。しかしながら、両者は同じ震源による事象であるにもかかわらず、地震シナリオの発生確率や震源モデルが両者で異なり、統一的に扱われていない。また、強震動や津波に加え、強震動によって引き起こされる地すべり、地盤変状、火災などによるリスクについても独立した事象ではないため、併せて統一的にリスク評価を実施する必要があると考えられる。

【本研究で期待される成果】巨大地震に起因する強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などの事象によるリスクについて、統一的に評価する方法について考え方が提示される。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによって多様な災害が引き起こされることが想定されるが、それぞれの災害が単独で想定した場合と、相互に関連したとして想定した場合では、災害の想定にどのような違いが出るかを把握することが重要である。また、多様な災害が相互にどのような影響を与え、それが災害の規模にどのような影響を与えるかを知ることは、災害の軽減に重要となる。これらについて、どのような調査方法があるかについて検討を行った。

また、確率論的地震リスク評価を地震火災を含めた手法に拡張し、京都市上京区の木造密集市街地を対象に様々な不確実性を考慮した地震動と火災のマルチハザードリスク評価を実施した。対象とした地震は、琵琶湖西岸断層帯、花折断層帯、有馬一高槻断層帯、生駒断層帯、京都西山断層帯、六甲一淡路断層帯の6断層帯で発生するものである。火災関連の偶発的不確実性として、出火の数・場所、気象条件（気温、風速、風向）、消防隊の火災覚知時間、地震動による家屋の構造被害に伴う防火性能の低下を考慮しており、認識論的不確実性として、経験的出火予測式の不確実性（地震間の変動性）を考慮した。その結果、地震動とそれに伴う火災によるリスク（建物損失額）の50年超過確率が図に示すように推定された。地震動と火災の複合効果を考慮した損失超過確率曲線は、超過確率が高い領域では地震動だけを考慮した時の曲線に、超過確率が低い領域では地震火災だけを考慮した時の曲線に支配され、超過確率が中位の領域では両方の曲線に大きく依存する。すなわち、地震動だけを考慮した従来のシングルハザードのリスク評価では、損失の超過確率が過小評価され、特に、頻繁には起こらないものの地震後の火災が地域に壊滅的なインパクトを及ぼし得る点が見落とされることになる。この結果は、マルチハザードリスク評価の重要性を強調している。一方、津波火災については、津波の伝播・浸水、津波による石油タンクの移動、石油の流出・拡散、石油の燃焼拡大、火災からの熱放射、の一連の現象を様々な不確実性を考慮して数値的にシミュレートするための計算枠組みを構築し、大阪市港湾エリアに適用して、確率論的津波火災ハザード評価を実施した。

さらに、地震と洪水による複合災害の事例として、1830年8月19日（文政十三年七月二日）に発生した京都盆地北西部付近を震源とする地震による被害を調査した。京都盆地南部の巨椋池周辺の堤防に亀裂や堤体の沈下が発生し、これらの地域は地震発生半月後に豪雨に見舞われ、堤防が決壊して宇治川が流れを変え巨椋池に流れ込む状況となったことが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

南海トラフ沿いで発生する巨大地震により引き起こされる、強震動、津波、地すべり、地盤変状、火災などのマルチハザードによる災害について、その特性や発生した際の規模などについて検討することで、災害の軽減のための知見となることが期待される。また、過去の被害地震によるマルチハザードによる災害について調査することで、マルチハザードによる災害の発生状況や発生原因を特定することができれば、将来の被害想定に大いに役立つことが期待される。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Nishino, T.,2023,Probabilistic urban cascading multi-hazard risk assessment methodology for ground shaking and post-earthquake fires,Natural

Hazards,<https://doi.org/10.1007/s11069-022-05802-0>,査読有,謝辞有

大邑潤三,2022,1927年北丹後地震による淀川堤防被害の分析,鷹陵史

学,48,27-54,<https://cir.nii.ac.jp/crid/1520293954148859904?lang=ja>,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

大邑潤三,2022,1830年京都の地震による堤防被害とその後発生した水害について,日本地震学会2022年度秋季大会,S10-06

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松島信一（京都大学防災研究所）,森 信人（京都大学防災研究所）,境 有紀（京都大学防災研究所）,西嶋一欽（京都大学防災研究所）,伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,関口春子（京都大学防災研究所）,齊藤隆志（京都大学防災研究所）,上田恭平（京都大学防災研究所）,宮下卓也（京都大学防災研究所）,西野智研（京都大学防災研究所）,加納靖之（東京大学地震研究所）,楠 浩一（東京大学地震研究所）,市村 強（東京大学地震研究所）,三宅弘恵（東京大学地震研究所）,大邑潤三（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島信一
所属：京都大学防災研究所

Fig. 14 Evaluated loss exceedance curves (i.e., the probability that the total loss to the buildings exceeds a certain threshold at least once within a 50-year period when all the possible earthquakes are considered)

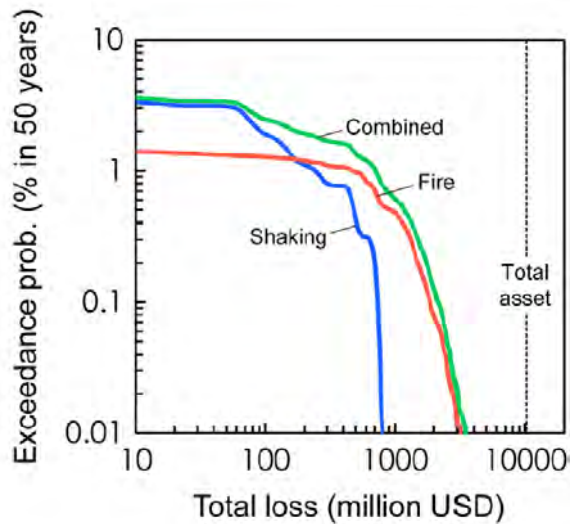


図 京都市上京区の木造密集市街地における地震動とそれに伴う火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の50年超過確率）（Nishino, 2023）

対象とした6つの内陸地震による京都市上京区の木造密集市街地における地震動とそれに伴う火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の50年超過確率、緑色の線）。青線は地震動だけを考慮した時の建物損失額の50年超過確率、赤色は地震火災だけを考慮した時の建物損失額の50年超過確率。Total assetは、対象地域全体での建物構造別の延床面積から算定される建物価値の合計。

(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：

活断層末端の活火山地域における大規模斜面崩壊の発生予測に関する研究-1858年（安政五年）立山、鳶崩れを例として-

(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

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

活断層の末端部周辺では、地震動の増幅や地殻の静的歪み集中により、しばしば極めて大規模な斜面崩壊が発生する。このような斜面崩壊は、崩壊土砂埋没による直接的被害に加え、津波・せき止め湖決壊・その後の豪雨に伴う土石流など、周辺域・下流域における二次的・継続的災害の発生要因や救援・復興活動の阻害要因にもなりうるため、その発生可能性の評価は防災上非常に重要である。とくに、活断層は活火山周辺を避けて分布する傾向があることから、必然的に活火山地域に活断層末端が位置する例も多く、活断層末端周辺での崩壊は、火山体の解体過程およびそれに伴う斜面崩壊ハザードを考える意味においても重要と言える。しかし、影響力の大きな巨大崩壊の事例は歴史時代を通じても限られるため、どのような場所・条件下でどのような過程を経て巨大崩壊にいたるのかについては未解明な点が多い。そこで本研究では、活断層末端の活火山地域で発生した大規模斜面崩壊の典型例とも言える1858年飛越地震時の立山、鳶崩れに着目し、大規模斜面崩壊の先駆的・前兆的微地形とも言われる山体重力変形地形を対象としたコア掘削調査および最新の航空レーザー測量データ等による立山カルデラ全体の山体重力変形地形・大規模崩壊地形・活断層地形マッピングを実施する。また、これらに加えて地震学的・史料地震学的検討も加えることにより、跡津川断層東端近傍におけるこの巨大崩壊の発生にいたるまでの長期的な山体重力変形進行過程やその地形・地質学的素因、さらには、飛越地震時に鳶崩れの位置で巨大崩壊が発生した要因を明らかにする。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

コア掘削調査に先立ち、国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所が2017年に実施した航空レーザー測量のデータ（1 mグリッド数値標高モデル）から作成したMPI赤色立体地図実体視画像（Kaneda & Chiba, 2019）を使用し、鳶崩れ周辺を含む立山カルデラ全域の山体重力変形地形マッピングを行った。その結果、カルデラ東縁部（室堂山～獅子岳にかけての地域）および南縁部（鳶崩れ～五色ヶ原にかけての地域）にとくに山体重力変形地形が集中することが明らかとなった。とくに南縁部には、多数の山体重力変形地形と鳶崩れを含む新鮮な大規模崩壊地形が共存することから、この周辺は、山体重力変形が十分に進行して大規模崩壊へと移行するステージにある可能性がある。一方、鳶崩れ周辺に着目すると、鳶崩れ方向（北西方向）への斜面変形を示唆する山体重力変形地形群（図1の赤字a周辺）と、北方向への斜面変形を示唆する山体重力変形地形群（図1の赤字b周辺）の2系統の山体重力変形地形が確認でき、この山（大鳶山）が大きく2方向に変形していることが明らかとなった。

次に、鳶崩れにいたる山体重力変形過程を明らかにするため、鳶崩れの滑落崖直上に位置する重力性凹地（小湖沼）において、可搬型パーカッションコアリングシステム（金田ほか，2018）によるコア掘削調査を実施するとともに、採取したコア試料について、テフラ分析および放射性炭素（C-14）年代測定を実施した。掘削を行った凹地は、2系統の山体重力変形地形のうち北方向の斜面変形に伴うもので、稜線直下にあるもの（「大鳶小池」と呼ぶ）とそれより南側のやや低い位置にあるもの（「大鳶池」と呼ぶ）の2箇所である（図1，挿入図）。2022年7月12～17日に現地確認のための偵察調査を行ったのち、9月2～9日に本調査（現地への機材運搬およびコア掘削）を実施した。コア掘削機材については、別調査のため、前年（2021年）夏にヘリコプターを用いて掘削地から約2 kmの距離にある五色ヶ原山荘に運搬・越冬保管されていたものを使用し、山荘から現地までは人力で運搬した。また、掘削したコアについては、登山口である室堂ターミナルまで人力運搬の後、研究室に郵送した。なお、調査のベースとする予定だった五色ヶ原山荘が新型コロナウイルス感染発生によって本調査直前に閉鎖となってしまったことや天候不順の影響により、実際にコア掘削を行うことができたのは9月5日の1日のみであった。

最初に掘削を行った大鳶池では、深度187 cmまでのコアが採取された（図2a）。コアは大きく、上位から黒褐色～褐色有機質シルト層（A層；深度0～66 cm）、細～小礫混じりの明褐色シルト～砂層（B層；同66～149 cm）、礫層（C層；同149～187 cm）の3層で構成される。層相や周辺の露頭情報から、B層・C層は凹地形成前の稜線上緩斜面に堆積した風成・崖錐堆積物である可能性が高く、現在と同様の湖沼環境が推定されるA層の基底がこの凹地（大鳶池）の形成層準と考えられる。テフラ分析の結果、A層の基底直上に明瞭な火山ガラス含有率のピークが認められ、火山ガラスの形態や鉱物組成などからこれはK-Ahテフラ（7196～7307年前；Smith et al., 2013）と考えられる。3箇所の有機質堆積物試料のC-14年代測定からもK-Ahと矛盾しない結果が得られ、これらの情報に基づいて凹地形成年代を外挿によって求めると7700～8500年前となる。

一方、続いて掘削した大鳶小池では、時間的な制約から深度102 cmで掘削を中止せざるを得なかったが、採取されたコアは、一部に礫層を挟むものの深度102 cmまで湖沼成の黒褐色～暗褐色有機質シルト層であり、この堆積物はさらに深部まで続いていると考えられる（図2b）。このコアにおいても、深度85～90 cm付近にK-Ahテフラと考えられる火山ガラス含有率のピークが認められた。有機質堆積物試料のC-14年代値については、1試料にK-Ah層準との矛盾が認められたため、（1）この年代値のみを棄却した場合、および（2）このコアのすべてのC-14年代値が信頼できないと考えてK-Ah層準のみを使用した場合の2通りのケースを想定し、外挿によって深度102 cmの年代を求めると8100～10600年前となる。したがって、大鳶小池の形成は、少なくともこの年代より遡ると考えられる。

以上のコア掘削結果から、大鳶池や大鳶小池は1858年の鳶崩れ発生時に形成されたものではなく、これに先立つこと少なくとも8000年以上前に開始した山体重力変形によって形成され、その後、長い準備期間を経たのちに鳶崩れにいたったことが明らかとなった。この山における山体重力変形の開始時期については現時点では定かではないが、おそらく10000年以上前に最初に大鳶小池を形成する山体重力変形が発生し、その後、7700～8500年前に大鳶池を形成する山体重力変形が生じた可能性が高い。ここで興味深いことは、大鳶池の形成年代が跡津川断層の4回前の活動時期（7500～8100年前；地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004）とよく合致することである。地震時に山体重力変形が進行した事例が多く知られていることや（Ponti & Wells, 1991など）、鳶崩れが跡津川断層の最新活動（1858年飛越地震）により発生していることなどを考えると、跡津川断層の活動のたびに大鳶山の山体重力変形が間欠的に進行したのちに、ついに1858年の活動時に大規模崩壊にいたった可能性がある。

本研究によって、鳶崩れにいたる山体重力変形進行過程の一部が明らかになったものの、山体重力変形の開始時期も含めてその全体像は依然として不明のままである。また、史料学的検討や地震学的検討も加えて、その地形・地質学的素因や飛越地震時に鳶崩れの位置で巨大崩壊が発生した要因を明らかにする計画であったが、残念ながら本研究ではそうした検討まで至らなかった。今後、さらなるコア掘削調査および検討を進める予定である。

本研究の実施にあたっては、環境省中部地方事務所から許可をいただいたほか、五色ヶ原山荘の皆様、飯島 駿氏・太田凌嘉氏・小倉祐弥氏（以上、中央大学理工学部）、および渡辺 樹氏（東京都立大学都市環境学部）に多大なる助力をいただいた。

<引用文献>

- ・地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004），跡津川断層帯の長期評価について．28p．
- ・金田平太郎・柏原真太郎・小村慶太郎（2018），山上湿地掘削のための可搬型パーカッションコア

リングシステム, 月刊地球, 号外69, 112-120.

・金田平太郎・岡田篤正・岡田真介・小山拓志・宮内崇裕(2019), 1:25,000活断層図「立山」, 国土地理院.

・Kaneda, H, and T. Chiba (2019), Stereopaired morphometric protection index red relief image maps (Stereo MPI-RRIMs): effective visualization of high-resolution digital elevation models for interpreting and mapping small tectonic geomorphic features, Bull. Seismol. Soc. Am., 109, 99-109.

・Ponti, D.J., and Wells, R.E. (1991), Off-fault ground ruptures in the Santa Cruz Mountains, California: Ridge-top spreading versus tectonic extension during the 1989 Loma Prieta Earthquake. Bull. Seismol. Soc. Am., 81, 1480-1510.

・Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Ramsey, C. B., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T., and Suigetsu 2006 Project Members (2013), Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/West Pacific Pacific palaeoclimatic records for 150ka, Quaternary Science Reviews, 61, 121-137.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究により, 1858年鳶崩れが先駆的現象・地形を伴うことなく突発的に発生したわけではなく, 8000年以上にわたる長い山体重力変形を経たのちにその発生にいたったことが明らかとなったことは, 地震に伴う大規模斜面崩壊の可能性を評価するうえで山体重力変形地形の存在やその分布に着目することが有用であることを示唆している. 今後, さらなるコア掘削調査および検討を進め, 鳶崩れにいたる山体重力変形進行過程の全体像やその地形・地質学的素因, 飛越地震時に鳶崩れの位置で巨大崩壊が発生した要因を明らかにしてゆく予定である.

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

福井幸太郎・金田平太郎, 2022, 立山カルデラの重力断層の現在の活動状況と形成年代, 日本山の科学会2022年秋季研究大会, O-15

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

金田平太郎（中央大学理工学部）, 松四雄騎（京都大学防災研究所）, 土井一生（京都大学防災研究所）, 加納靖之（東京大学地震研究所）, 大邑潤三（東京大学地震研究所）, 大森貴之（東京大学総合研究博物館）

他機関との共同研究の有無：有

佐々木夏来（中央大学理工学部）, 福井幸太郎（立山カルデラ砂防博物館）, 石村大輔（東京都立大学都市環境学部）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：中央大学 理工学部

電話：03-3817-1967

e-mail：kaneda.00c@g.chuo-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：金田 平太郎

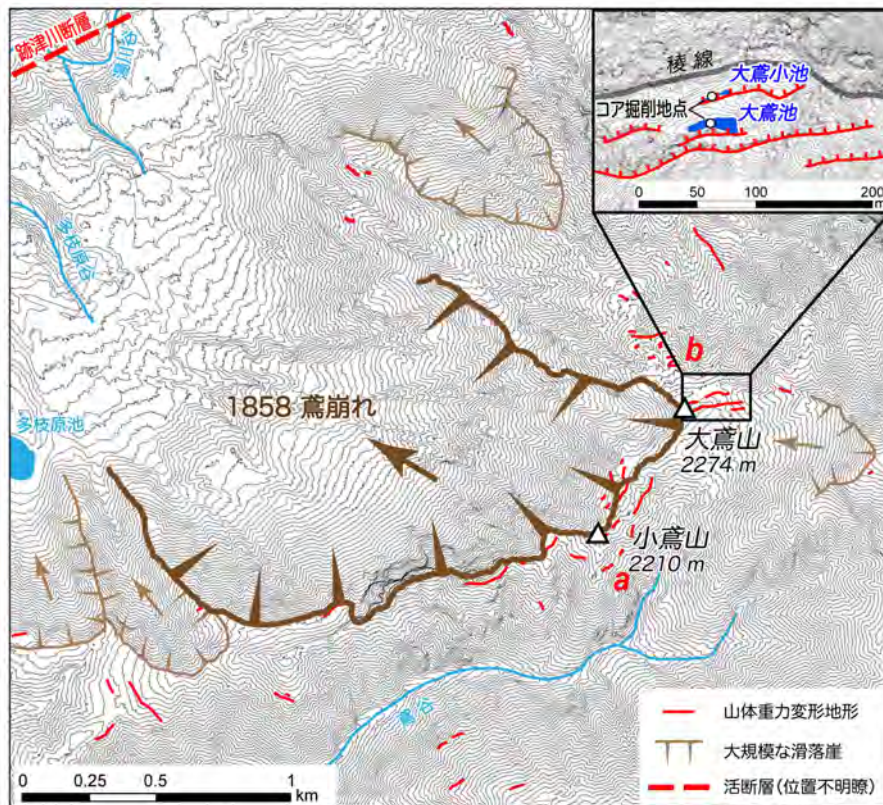


図1 鷲崩れ周辺の山体重力変形地形・大規模滑落崖の分布と本研究のコア掘削地点（挿入図）．
 国土地理院1:25000活断層図（金田ほか，2019）による跡津川断層のトレースも併せて示した．等高線
 （10 m間隔，挿入図は1 m間隔）は国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所が2017年に実施した航空レー
 ザー測量のデータ（1 mグリッド数値標高モデル）に基づく．

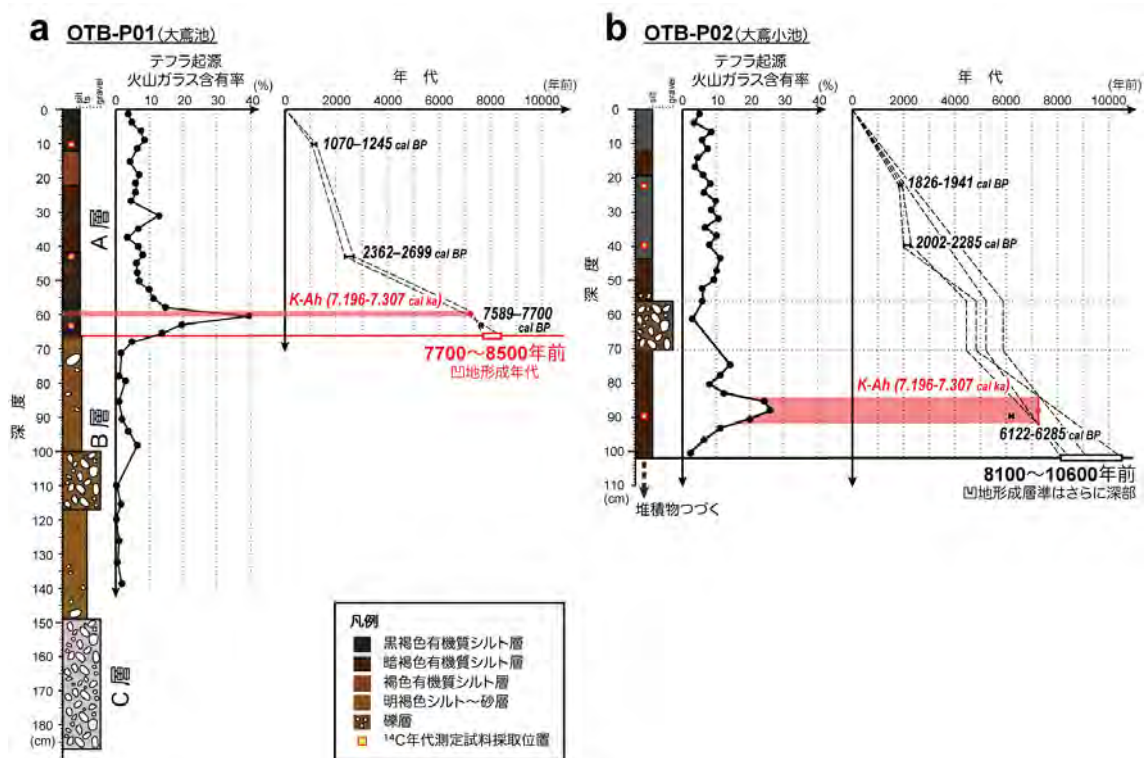


図2 大鷲池コア (a) および大鷲小池コア (b) の柱状図, テフラ分析結果および深度-年代曲線.

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島大規模噴火による大量軽石火山灰降下に対する事前広域避難に向けた実践的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 令和4年度の計画の概要：

令和2年度より本拠点間連携共同研究の課題の下で、鹿児島市八幡校区のコミュニティ協議会と長期的に連携し、大量軽石火山灰降下に関するリスクコミュニケーションのためのワークショップを継続的に実施している。本研究課題では、市民が自ら考え動くことをモットーとし、言わば市民コミュニティの体質改善的なアプローチこそが、いざというときの避難を実現するために不可欠であると考えている。本研究では、これまでに築いてきたコミュニティ協議会との取り組みを継続して進めることによって、市民本位となるコミュニティの体質改善に資する、市民と専門家のコミュニケーション・プロセスの方法検討を目的としている。

当初の計画では、R4年度に事前避難のためのタイムラインを作成し、R5年度に作成したタイムラインを基本としつつ、八幡校区内の町内会でパイロット・ケースとした横展開の方法について検討する予定であった。コミュニティ内での横展開の方針について変更はないが、R4年度では避難のためのタイムラインを作成する以前に、避難の仕方（事前の広域避難及び避難先、あるいは自宅待機）を意思決定する段階で、個々の事情があることが明らかになったため、いざというときにどのような避難対応を選択するかをクリティカル・クエスチョンとしてその考え方を整理した。そうした成果を下に、個々人が置かれる環境的要因で、どのような避難対応が望ましいかを示すフローチャートの作成を試みているところである。R5年度は、昨年度同様、年度内に3～4回のワークショップを行い、個々の避難対応を実施するためのタイムライン作成を行うとともに、年度後半において、八幡校区内の町内会を対象に、より多くの住民が避難方針を自ら作り上げることができるようなコミュニケーション手法を検討する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究は大量軽石火山灰降下の被害の恐れがある鹿児島市街地の八幡校区の住民を対象に桜島の大規模噴火の切迫期における実行可能な危機対応体制の構築し、被災影響の軽減を図るものである。本研究の特徴は、専門家が住民に対して何が正しいかを教えるのではなく、住民が主体的に検討し、専門家は住民の検討を支えるメンターとして位置づける点にある。

R3年度までに、2回のワークショップ（以下WS）を実施しており、大量軽石火山灰降下が生じた時の状況を想像し、WS参加者がおのおの生じる問題について考えることを通じてハザードの理解を深めた。R4年度は、2023年1月13日現在、2回のWS（第3, 4回）を実施している。

第3回（2022年6月22日）は、同校区の広域避難先に指定されている南さつま市の現地視察を行った（図-1参照）。その結果、参加者は都市部の住民を受け入れるだけの収容能力が不足していることを明確に認識するに至った。第4回（2022年10月24日）は参加者に事前に避難するか、自宅にとどまるかの意思決定をしてもらい、その判断のもとで懸念される事項について考える機会とした。興味深いことに、第2回終了時点では、「事前避難」の選択が多数派だったが、現地視察後は、「自宅にとどまる」との選択が多数派となった。言うまでもなく、これは正しい答えがあるような問題ではない。しかし、こうした思索を通じて、住民、研究者が状況改善の糸口を見いだすことが可能となる。これまでのWSを通じたリスクコミュニケーションのプロセスは図-2の通りである。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究は専門家が一方的に指南する、という形式ではなく、避難の主体である住民自身が考えることが必要不可欠という原則に基づき、実践的研究を行った。専門家と住民の長期的な協働活動のもと、住民自身が大量軽石火山灰降下というハザードの理解し、大規模噴火切迫時の取るべき緊急対応行動を決めるための心的枠組がワークショップを通じた学習により明らかに進化している。以上のことから、建議項目である4(2)「地震火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」、5(6)「社会との共通理解と災害教育」に関連して、明らかな貢献があると考えている。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Masamitsu Onishi, Masato Iguchi, Genta Nakano, Kensuke Takenouchi, Yoshiyuki Yama, Katsuya Yamori, 2022, Designing the Collaborative Process between Residents and Experts for Risk Governance: A Case Study on the Construction of a Wide-Area Evacuation System for the Sakurajima Large-Scale Eruption, IDRiM 2022 - The 12th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT

大西正光, 2022, 長期的視野のリスクコミュニケーション：桜島大規模噴火に備える地域との協働活動の現在位置, 2022年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大西正光（京都大学防災研究所）、井口正人（京都大学防災研究所）、矢守克也（京都大学防災研究所）、竹之内健介（京都大学防災研究所）、中野元太（京都大学防災研究所）、前野深（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
山泰幸（関西学院大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4635

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

URL :

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大西 正光

所属：京都大学 防災研究所



図-1 指定広域避難集合場所の視察

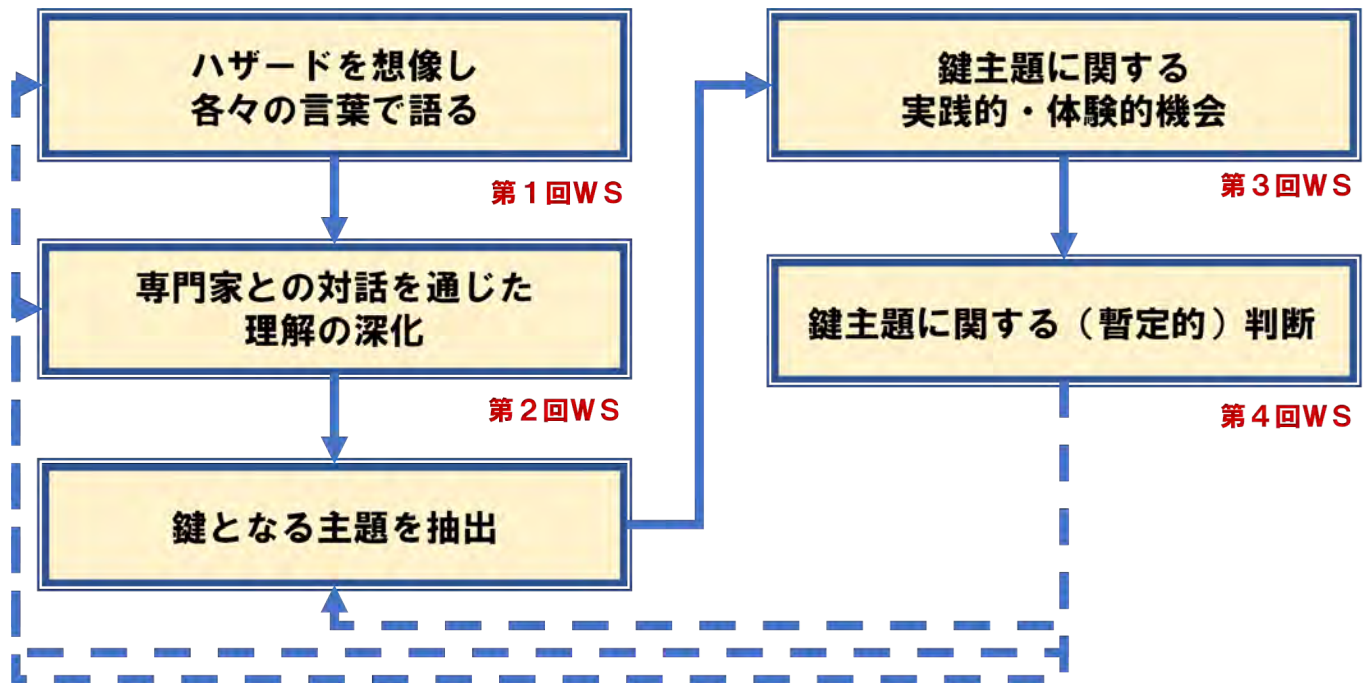


図-2 リスクコミュニケーションのプロセス

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

活断層により形成される盆地端部構造と歴史地震の被害分布との関係に関する研究

(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

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：

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

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

本研究ではまず、庄内平野と庄内平野東縁断層帯の境界部における基盤構造の形状や深さを調べるために、詳細な地盤構造調査を行って基盤構造を推定する。また、並行して、歴史地震である1894年（明治27年）庄内地震について、既往の被害に関する文献と併せて古文書の調査などにより、詳細な被害分布について調査する。次に、推定した詳細な基盤構造モデルに基づいて波動伝播解析を行い、既存の深部地盤構造による結果との比較を行うとともに、地質構造との対応や歴史地震の被害分布との対応を確認する。さらに、より細かい被害分布との対応を確認するためには、浅部地盤構造についても調査する必要があるため、更なる地盤構造調査を実施する。

2022年度には、庄内平野東縁断層帯周辺において微動観測による深部地盤構造調査を実施し、その結果から基盤構造を推定し、さらに臨時的な地震観測を実施して微動観測による地盤構造調査を補完する情報を取得する予定であったが、調査箇所を特定するために、まずは既往の文献調査に加え古文書の調査などに基づき、1894年（明治27年）庄内地震の被害について調査した。その結果、調査箇所について詳細な事前調査が不可欠であることがわかったため、2022年度末に現地調査を実施することとした。一方、1894年庄内地震とは別に、本研究で対象とすべき地震を調査した結果、1830年文政京都地震の際の被害と盆地端部構造との関係についても検討することとした。1830年文政京都地震の震央は京都盆地北西部端付近と推定されているが、建物・人的被害は京都盆地東縁部に沿って南北に被害が集中しており、その原因について調査した。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

既往の文献調査に加え古文書の調査などに基づき、1894年（明治27年）庄内地震の被害について調査した。1894年庄内地震の被害は、地震発生直後に行われた被害調査の報告から南北走向の庄内平野東縁断層帯に沿う地域に加え、庄内平野を流れる最上川、赤川、京田川の流域周辺を中心に酒田市の

沿岸部に至る地域にまで東西方向に広がっていたとされている（小藤, 1895；水田・鏡味, 2011；水田・鏡味, 2013など）。この被害を説明するために「矢流沢（やだれざわ）断層」と呼ばれるほぼ東西方向に伸びる地表地震断層が図示されていたが、近年の地下構造・活断層調査により、その存在は否定されている。被害分布図からは庄内平野東縁断層帯（北部）に沿った被害分布が認められるほか、余目背斜と呼ばれる地下構造が存在する地域で被害が少なかったことが読み取れる。このことから、余目背斜上では、地震基盤が浅く、軟弱な表層地盤が薄いために地震動の増幅が比較的小さかったことが推定される。また、矢流沢断層が想定された地域において被害が大きかったことについては、最上川沿いに軟弱な地盤が厚く堆積していることと関連が深いことが想定される。一方、既往の地下構造調査により、庄内平野の東端では庄内平野東縁断層帯の活動による褶曲構造により、基盤が西方向に基盤が深くなるように傾斜していることがわかっている（地震調査研究推進本部, 2009）。さらに、既往研究の庄内平野における地震動観測記録の分析により盆地中央部より盆地西部の沿岸部（酒田市周辺）で基盤が深いと推定されており（佐藤・他, 2009）、盆地東端部だけではなく、盆地内でも基盤深さが変化していることが示唆される。庄内平野の盆地端部構造及び庄内平野東縁断層帯の地下形状によって、平野内に被害集中域が発生した可能性も考えられる。ところが、地震動予測式を用いた地震動予測では、被害分布に対応するような地震動分布は再現されない（地震調査研究推進本部, 2009）。このことから、1894年庄内地震の被害と地震動およびそれに大きな影響を与える基盤構造との関係を調査するためには、庄内平野東縁部のみならず、盆地全体の基盤構造を詳細に調査する必要があることが分かった。加えて、1894年庄内地震に関する既存の文献資料（水田・鏡味, 2013）に関するデータの収集も行った。2023年度には、これら結果を踏まえて調査・観測を計画・実施する一方で、集落ごとの被害統計をGISデータ化し分析を行う。

1830年文政京都地震の震央は京都盆地北西部端付近と推定されているが、建物・人的被害は京都盆地東縁部に沿って南北に被害が集中していたことがわかっており（大邑, 2019）、その原因に関して盆地端部構造との関係について調査した。その結果、被害が集中した五条通から伏見稲荷大社にかけて地域や伏見の辺りの地域では街道沿いで建物が多く存在していたということもあるが、盆地境界の直上ではなく盆地端部から数百m西に離れた地域に盆地境界に沿って続いていることが分かる。また、被害集中域よりも北側では、盆地境界の位置が東に移動するため、被害箇所も同じように東に移動する。この現象は、エッジ効果（Kawase, 1996）によるものと推察されるが、京都盆地東縁端部を模した単純な基盤構造モデルによる地盤増幅特性のシミュレーションでは、建物被害に大きな影響を与える周期1秒前後の地震動の増幅は盆地端部より西側に数百m離れた場所で最も大きくなることを示した（図：松島・他, 2022）。このことから、1830年文政京都地震の際の被害の集中は、盆地端部におけるエッジ効果によるものと推察された。今後、より詳細な比較分析を行い、1830年文政京都地震の被害地域と盆地端部境界との関係について明らかにする。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

歴史地震の被害分布や被害状況から強震動の生成と被害の発生の関係を定量的に評価するために、強震動予測手法とリスク評価手法の適切な手法を考慮して、これらの手法の検証を行う必要がある。その際、地質学や歴史学の知見を考慮することが重要となる。このことは、「3(1)ア.強震動の事前評価手法」と「3(1)ウ.大地震による災害リスク評価手法」の目的達成に関して、重要な知見を提供できると考えられる。また、「災害の軽減に貢献する」という目標に対しては、本課題の研究成果は、歴史地震の被害情報から強震動生成に関する知見、さらには震源特性に関する知見を抽出することを可能とし、他の歴史地震に適用することで、強震動や震源特性に関する情報がなかった地域でも適用することで新たな知見を得、それを将来の地震災害の軽減に活用できることが期待される。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

大邑潤三, 2022, 1927年北丹後地震による淀川堤防被害の分析, 鷹陵史

学, 48, 27-54, <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520293954148859904?lang=ja>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

大邑潤三, 2022, 1830年京都の地震による堤防被害とその後発生した水害について, 日本地震学会2022年度秋季大会, S10-06

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松島信一（京都大学防災研究所）,加納靖之（東京大学地震研究所）,大邑潤三（東京大学地震研究所）
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）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

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

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松島 信一
所属：京都大学 防災研究所

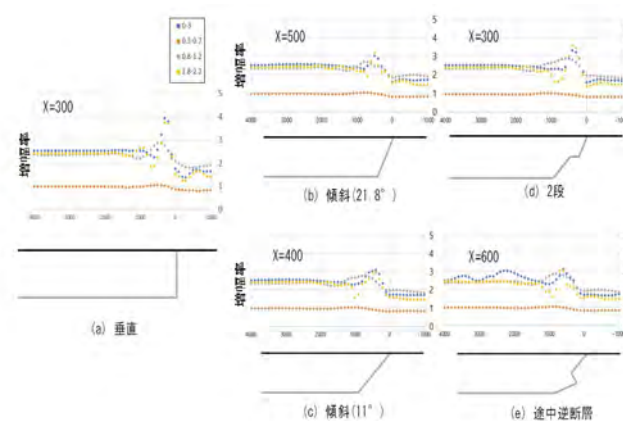


図 平面波入射により計算される盆地端部における地盤による速度増幅率
鉛直下方より平面波入射した際のモデル最上面での入射波に対する速度増幅率。全振動数，中心振動数0.5 Hz，同1.0 Hz，同2.0 Hzの地盤増幅率をそれぞれ青、橙、杯、黄の●で示す。

(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：

連続地震動観測による大規模地すべりの再活動危険度評価

(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
イ. 考古データの収集・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

- (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

(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
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

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) 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

(6) 令和4年度の計画の概要：

本研究の目的は、大規模地すべりにおける高密度連続地震動観測により、斜面の地質・地形構造と震動の応答関係を解明するとともに、斜面の震動特性の時間的な変動を把握し、斜面の不安定化過程を的確に評価することである。そのため、2004年の豪雨により西南日本で発生した再活動型大規模地すべり地において、地震計を設置し、高密度+連続地震動観測を行い、地すべり斜面における地震動の増幅特性や地震動卓越振動方向の変化を具体的な観測結果に基づいて明らかにし、斜面における高精度表面波探査や電気探査を行い、斜面の不安定化過程を捕捉し解明する。また、2018年北海道胆振東部地震により発生した大規模岩盤地すべり地における稠密地震観測を行うとともに、すべり面付近の土層から土試料を採取し、地すべり地の振動特性およびすべり面土層のせん断特性などを調べて、地すべりの発生・運動機構を解明する。さらに、四国山地における歴史地震と大規模地すべりの調査を行い、地震規模や人間活動状況から地すべりの発生及び再活動条件を解明する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

得られた成果の概要は以下の通りである。

(1)西南日本で発生した再活動型大規模地すべり地において、6台の地震計により連続地震動観測、ほぼ全体をカバーするような稠密微動観測、高精度表面波探査及び電気探査などを行った結果、大規模地すべりにおける地震動特性を推測する場合には、斜面の地質特性や地形特性による影響を別々に考える必要があることを明らかにした。また、斜面における大規模地すべり土塊は、大地震時には豪雨時とは異なったすべり面を形成し、移動する可能性があることがわかった。

(2)2018年北海道胆振東部地震により幌内地区（砂岩泥岩互層地域）において発生した大規模岩盤地すべり地における3台の地震計を設置し、連続地震観測を行った。また、地すべり地の源頭部および末端付近にすべり面を形成した土層から土試料を採取し、異なる载荷条件下でせん断実験を実施した。地震観測データについての解析は進行中であるが、採取した土試料に対するせん断実験を実施した結果、(a)砂層から採取した試料を用いた飽和・非排水せん断においては、高い過剰間隙水圧が発生しうること；(b)泥質土層から採取した試料のせん断強度（摩擦角度）は10度前後で、極めて低いことが分かった。

(3)地震で大規模崩壊を発生させた地域（大歩危南方地域）を調査し、その地形・地質条件をまとめた。その結果、調査した崩壊地では断層、節理、劈開などの不連続面構造が存在する場合には、そこが分離面またはすべり面となることが示された。不連続面構造の分布や形態が地域的に集中している場所があり、また河川侵食による斜面下方の切断があるような不安定条件を備えた場所で最近の崩壊が発生していることが示された。崩壊が発生した場合に、上流に広大な水域がある河川をブロックする場所があることも判明し、地震直後に河道閉塞のおそれがある地域も存在することが示された。

(4)1686年の貞享安芸伊予地震等がきっかけとなり崩壊が繰返し発生してきた高知県大豊町のトウジ山周辺を地質踏査した。トウジ山が位置する北東―南西方向に伸びる尾根沿いには硬質な珪質片岩、塩基性片岩が分布し南東へゆるく傾斜している。尾根を挟んで北西側と南東側は主に泥質片岩からなり、徐動性地すべりが多数分布し、徐々に斜面下部に移動するため尾根が常に先鋭化する作用が働いている。このような地形は地震動が増幅されやすく崩壊発生の素因の一つになっていると推測される。

(5)安政東海・南海地震（1854）により発生した善徳地すべりと有間大崩壊についての現地調査を実施した。善徳地すべりは、吉野川右支川祖谷川の中流域、徳島県三好市西祖谷山村善徳の両岸に位置している。またこの地すべりは、日本の地すべり分類のなかで破碎帯地すべりの最大級のものとして知られている。この地すべりの滑動は、記録が乏しいものの、安政地震（1854年）を端に発していると言われ、現在も継続している。昭和57年（1982年）より建設省（現国土交通省）の地すべり対策直轄事業が展開されている。有間の大崩壊は、吉野川支流の平石川上流部、土佐町有間に位置する。この崩壊も、安政地震（1854年）時に推定土量570万立米の土砂移動が発生した。その後、有間地区は明治26年（1893年）の豪雨、昭和21年（1946年）の昭和南海地震、昭和51年（1976年）の台風17号の豪雨により崩壊域が拡大している。このような大きな土砂の履歴以降、地すべり滑動が拡大し、昭和53年度より高知県による地すべり・崩壊対策事業が展開された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

王 功輝,2022,降下火砕物斜面における地震時地すべりの発生・運動機構について―日本で近年発生した土砂災害を例として―,2021年度土砂災害予測に関する研究集会プロシーディング, P89-90. 防災科学技術研究所研究資料,480,査読無,謝辞無

Gonghui Wang,2022,Some Recent Coseismic Landslides,Coseismic Landslides: Phenomena, Long-Term Effects and Mitigation (eds: Towhata, Wang, Xu, Massey), Springer,1,169-203,ISBN: 978-981-19-6597-5,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Gonghui Wang, Baichuan Liu, Issei Doi, Toshitaka Kamai, Takahiro Ohkura,2022,Unraveling the role of halloysite on the initiation and movement of coseismic landslides of pyroclastic fall

deposits: a case study, JpGU2022, HDS07-10

Liu Bingcheng, Wang Gonghui, 2022, Development of Micro-fractures within Shear Zone Revealed by X-ray Micro-CT Scan: Examples from Rock Halite in Ring-shear Experiments, JpGU2022, HDS07-12

Chengrui Chang, Gonghui Wang, 2022, Pre-failure Kinematics Strongly Modulated by Shear Localization: An Experimental Study and Its Implication for the Failure-time Forecast of Landslide, JpGU2022, HDS07-13

Shengshan WU, Gonghui Wang, 2022, Shear rate-dependent frictional properties of nanomaterials and implication for high mobility of rock avalanches, JpGU2022, HDS07-14

王功輝・巫昇山・古谷元・部直喜, 2023, 2018年北海道胆振東部地震時に発生した大規模岩盤地すべりについて, 京都大学防災研究所年次講演研究発表会, D209

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

王 功輝（京都大学防災研究所）, 土井 一生（京都大学防災研究所）, 山崎新太郎（京都大学防災研究所）, 荒井紀之（京都大学防災研究所）, 加納 靖之（東京大学地震研究所）, 大邑 潤三（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

古谷 元（富山県立大学）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4111

e-mail：wang.gonghui.3r@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：王 功輝

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：

日本の強震観測点におけるESG研究成果の収集および分析

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

地盤増幅に関する研究は、わが国が多くの研究を先駆的に実施してきた分野である。国際的には、ESG研究として展開され、2021年8月には、第6回ESG（Effects of Surface Geology on Seismic Motion）国際シンポジウム（以下、ESG6）が日本主催で開催された。ESG6では、日本の強震観測点で蓄積された強震記録を用いた地震動や地盤増幅特性に関する研究が多く発表され、日本の強震観測データは世界的にも注目されている。本研究では、日本の強震観測点を対象として実施されてきた地盤増幅特性の評価や地盤構造モデルの推定などのESGに関する研究の成果を収集し、それらの相互の関係を分析する。これらの成果をまとめて国際的に情報発信し、日本のESG研究の国際展開を強化することに寄与する。さらに、研究会では、強震記録に基づいて地震動に及ぼす地盤の影響を定量的に評価するための議論も行い、ESG研究の新しい方向性を探ることを目的とする。

まず、日本の強震観測点での強震記録を用いた地盤増幅特性評価および地盤構造モデル推定などに関する既往の研究の成果を収集する。整理した研究文献による地盤増幅特性、地盤構造、表面波位相速度などを相互に比較する。こうした同じ強震観測点での既往の研究の結果を比較し、類似点と相違点を明確にし、結果に違いが生じた原因を明らかにする。さらに、これらの結果をESG6でのブラインド予測で得られている知見とも比較し、地盤増幅特評価や地盤構造モデル推定のガイドラインへ向けた議論を展開する。これらの研究の成果をまとめて国際学術雑誌へ論文として投稿することも考える。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、まず、研究会を開催し、研究参加者が研究実績のある地域を選び、強震観測点でのESGに関する研究文献などを収集した。図1には、2016年熊本地震の発生後に行われたKiK-net益城強震観測点での微動アレイ観測の結果をまとめたものである。6グループによって微動アレイ観測が行われ、レイリー波位相速度が得られている。すべての位相速度は、比較的よくまとまっており、大きな系統的な差異はない。図には、検層によるS波速度構造に対する理論位相速度も示されている。検層による

理論値は、周波数8～20Hzですべての観測結果よりも大きくなり、検層によるモデルのS波速度の値に改良の余地があることを示している。図には、各グループにより得られたS波速度構造モデルも示されている。観測位相速度のばらつきに比べて、モデルのばらつきは大きいことがわかる。逆解析時の異なる仮定が使われており、その違いがモデルの推定に大きい影響を与えていると考えられる。図2は、各モデルに対する1次元増幅特性を示している。増幅特性は類似しており、各地盤モデルが位相速度で拘束されているために、モデルの波動的特徴（増幅倍率やピーク周期など）が類似することを示唆している。

本研究では、ESG6で議論された熊本平野での強震動のブラインドテストの結果についても詳しく調べた。ステップ1として行われた微動及び表面波探査の観測データの分析とS波速度モデルの推定では、複数の参加者による位相速度の推定結果は類似しているが、S波速度構造モデルは大きく異なっていることがわかった。これは、上記のKiK-net益城での結果と同様である。この2つの事例は、今後、モデルの推定時の合理的な仮定の設定に関するコンセンサスの必要性を強く示している。さらに、ブラインドテストのステップ2および3として行われた弱震動および強震動の推定結果に関する議論も行った。図3左には、2016年熊本地震の本震の強震動の予測結果が示されている。これらの予測波形を用いて、Anderson (2004)によるGOF (Goodness-of-fit) 分析のうち、Arias duration (C1)、Energy duration (C2)、Arias intensity (C3)、Energy integral (C4)、Peak acceleration (C5)、Peak velocity (C6)、Peak displacement (C7)、Response spectra (C8)、Fourier spectra (C9)の比較指標で検討した。図3右に、本震の予測結果に対する各指標が示されている。下段は、各予測のGOFの平均である。また、中段は各指標の平均であり、C3、C4およびC9の値が低くなっているが、その他の指標は高い値である。下段は、手法別の評価値である。各手法に対する周波数0.5-1、1-2 HzのGOF分析結果では、2Dおよび3D手法の予測結果が高くなっている。このことは、岩盤サイトで観測された記録を利用した1D手法よりも盆地生成表面波や盆地転換表面波を考慮できる3D手法が有効であることを示していると考えられる。これらのESG6のブラインドテストの結果を取りまとめ、国際学術雑誌に論文として投稿した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

津野靖士・山中浩明・長嶋史明・川瀬博・松島信一,2023,2016年熊本地震の弱震動および強震動ブラインド予測結果のGOF分析への適用,令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中浩明（東京工業大学）,松島信一（京都大学防災研究所）,岩田知孝（京都大学防災研究所）,浅野公之（京都大学防災研究所）,長嶋史明（京都大学防災研究所）,三宅 弘恵（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

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

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京工業大学 環境・社会理工学院

電話：045-924-5513

e-mail：yamanaka.h.aa@m.titech.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中 浩明

所属：東京工業大学 環境・社会理工学院

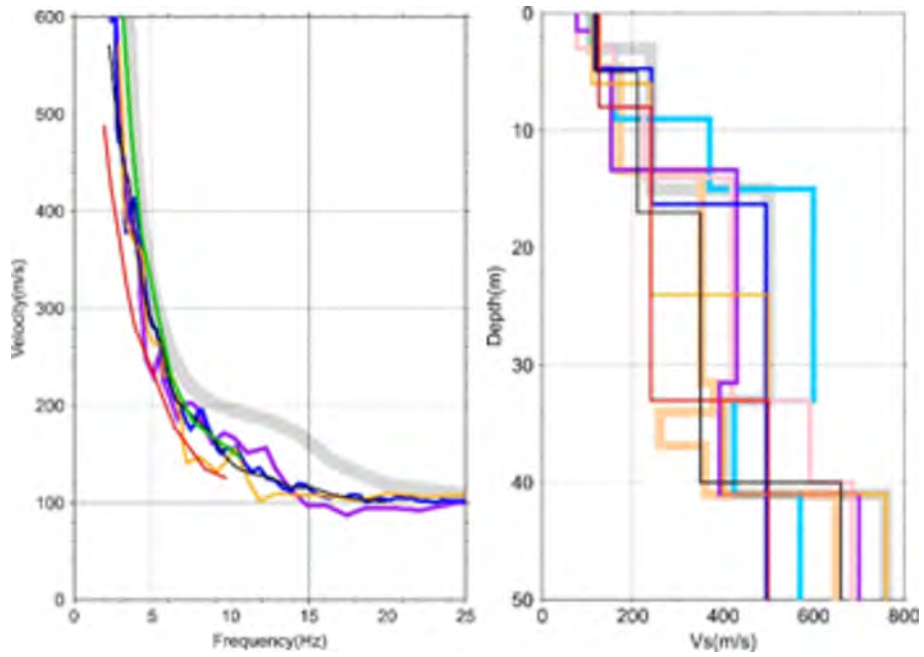


図1 KiK-net益城での微動探査による位相速度（左）とS波速度構造（右）

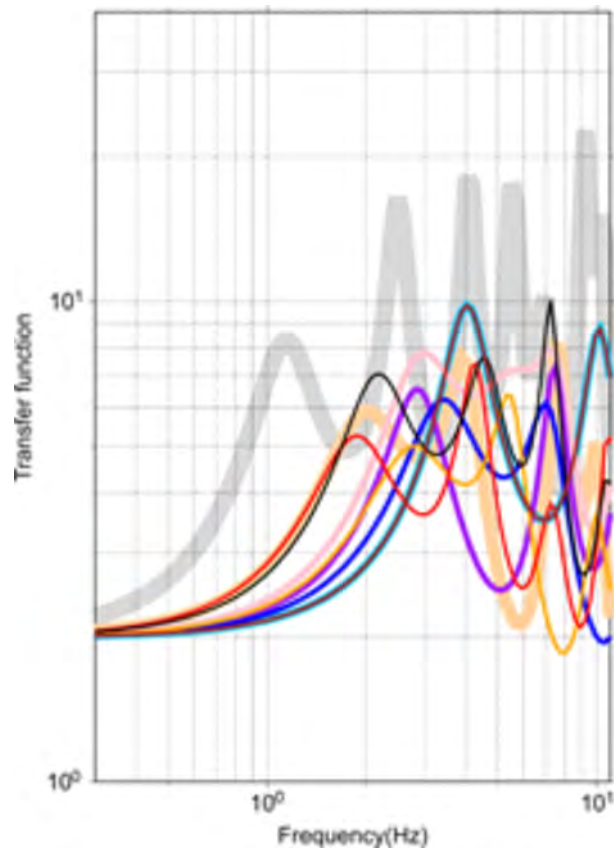


図2：図1の地盤構造モデルのS波の1次元増幅特性

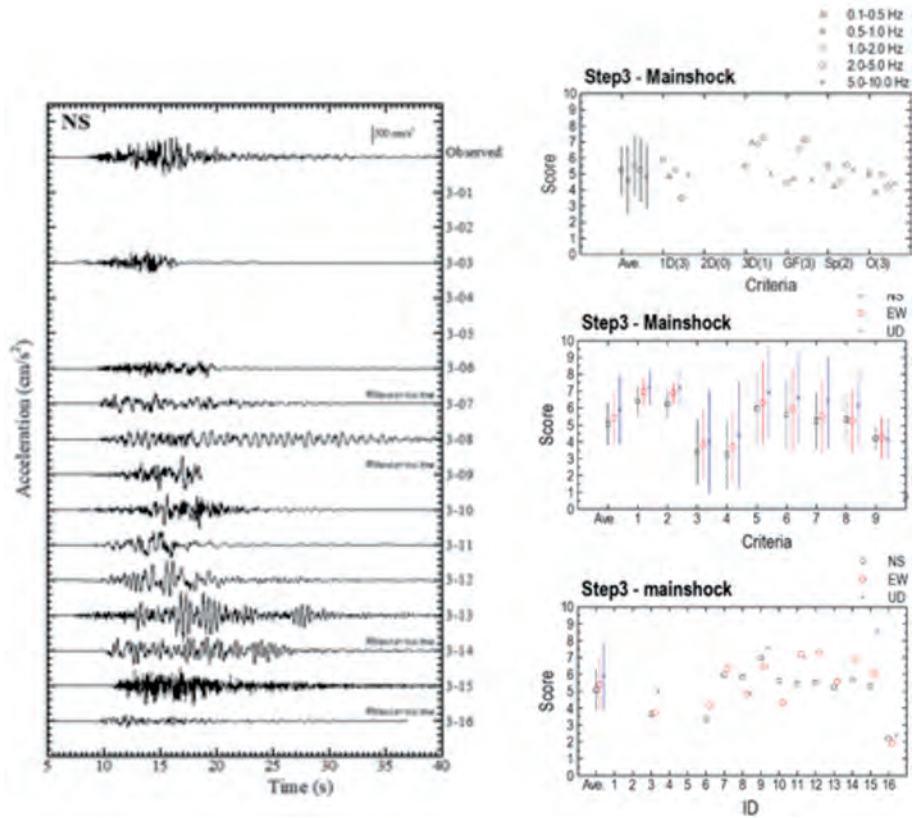


図3：ESG6のブラインドテストの結果

左は2016年熊本地震の本震の加速度波形の予測結果、右は予測値と観測値を用いて得られるAnderson(2004)の比較指標である。右下：各強震動ブラインド予測結果に対するGOF、右中：各クライテリアに対するGOF、右上：各手法に対するGOF。

(1) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

リスクコミュニケーションを推進するための地震・火山災害に関する意識調査の標準的な質問紙設計とその有効性の検証

(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：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

令和4年度：火山に関する標準的な質問紙を設計し、アンケート調査によりその有効性を検証する。設計にあたっては先行研究を整理した上で、下記の点に留意する。なお、今年度は噴火対策に関わる設問については、居住地域ごとの火山リスクに大きな違いがあることから、今回は噴火対策の設問を除外することとした。

1. 火山現象の特性の理解、2. 対象とする火山が噴火した場合に発生する各噴火現象の理解、3. 溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流・土石流の移動速度の理解、4. 避難等に係る用語の認知、5. 各噴火現象と居住地域への影響の認識、6. 避難先や移動方法など。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

火山災害に関する先行研究をレビューし、先行研究を踏まえつつ、できるだけ標準的な調査項目として、以下の6項目を設定した。1. 火山現象の特性の理解、2. 対象とする火山が噴火した場合に発生する各噴火現象の理解、3. 溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流・土石流の移動速度の理解、4. 避難等に係る用語の認知、5. 各噴火現象と居住地域への影響の認識、6. 避難先や移動方法など。

常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村（北海道：伊達市、壮瞥町、洞爺湖町、豊浦町、森町、七飯町）、福島県（猪苗代町、二本松市）、栃木県（那須町）、神奈川県（箱根町）、新潟県（糸魚川市）、長野県（軽井沢町、御代田町）、熊本県（阿蘇市、高森町、南阿蘇村）、大分県（由布市、別府市）、鹿児島県（鹿児島市）を対象として、作成した質問紙票の質問項目をベースに、オンライン調査を実施し、各地域住民の火山災害に関する意識を明らかにするとともに、設計した調査票の有効性について検討した。

図は調査結果の一部として、「大きな噴石」、「降灰」、「降灰後土石流」を図1～3に示す。まず、活火山を周辺地域として12地域を設定した。各地域ごとに、噴火現象の理解度に違いがあることが確認された。この違いがどのような要因については、本調査結からは確認することができない。しかしながら、こうした意識調査票を作成することにより、同じもの差で地域間の火山に対する意識を比較することが可能となった。また、ハザードマップの認知と保管状況について調査した（図4、図5）。ハザードマップを見たことがあるは、もっとも高い地域で約9割、低い地域で約4割に留まるなど、地域ごとにかかなりの差が見られた。

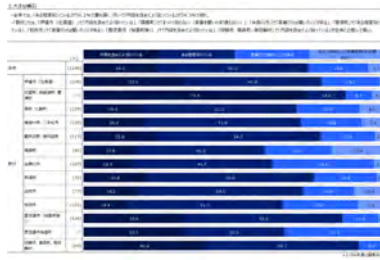


図2 噴火現象の理解 (大きな噴石)

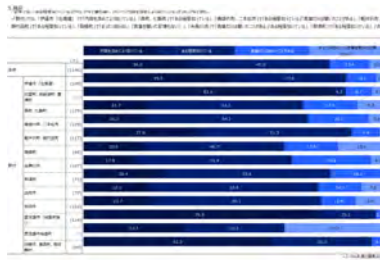


図3 噴火現象の理解 (降灰後土石流)

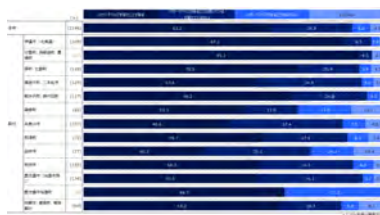


図4 ハザードマップの閲覧状況(%)

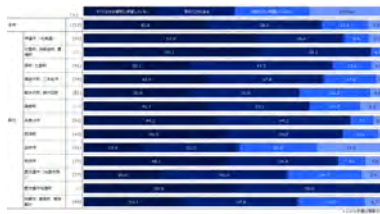


図5 ハザードマップの保管状況(%)

(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：

1923年関東地震の木造建物被害率に基づく震源破壊プロセスの解明

(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
 - (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
- 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
 - イ. 首都直下地震

(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
 - 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
 - (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
- 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：

首都直下地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

本研究では以下の研究項目を実施する。このうち当初2022年度は①～⑤（最適シナリオの同定）までを実施する計画であったが、微動観測に時間を要したため下記①～④を実施することとし、③④については着手するにとどめることとした。

① 建物被害資料の収集と強震動計算地点の決定

関東地震による建物被害資料を収集し、短周期地震動生成域を求めるための拘束条件となる大被害地域、無被害地域、そして各地域における地震発生当時の中心部を把握し、強震動計算地点とする。

② 大被害地域におけるサイト増幅特性の評価

選定した強震動計算地点のうち、大被害地域の地点において微動観測を行い、微動の水平上下スペクトル比MHVRを計算する。Kawase et al. (2018) のEMR法では、EMRを任意地点のMHVRに乗じることで擬似地震動水平上下スペクトル比pEHVRを求めることが可能であることから、本手法により大

被害地域の地点でpEHVRを求める。求めたpEHVRにNagashima et al. (2014) のEHVR用地盤構造同定手法を適用し、当該地点でのサイト増幅特性を求める。

③ 不均質震源モデルの構築と各地点の強震動の作成

断層面のすべり量・破壊伝播速度の不均質性を考慮した震源モデルを構築することができるSekiguchi and Yoshimi(2011)の手法により1923年関東地震の不均質震源モデルを複数構築する。その上で、仲野・川瀬(2021)の統計的グリーン関数から強震動を不均質震源モデルごとに計算する。その際サイト増幅特性は、大被害地域の地点においては②で求めたEMR法によるサイト特性を用いて詳細に考慮する。

④ 戦前の建物モデルによる各地点の被害推定

八木・他(2020)によって求められた建築年代別の戦前の建物被害評価モデルに③で求めた強震動を入力し、不均質震源モデルごとの各地点での建物被害率を求める。この際当時の建築年代別の存在比率も考慮した上で計算を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2022年度の研究においては、まず関東地震による震源インバージョンに関する研究論文、および建物被害に関連する資料および論文を収集し、短周期地震動生成域を求めるための拘束条件となる大被害地域、無被害地域、そして各地域における地震発生当時の市街地中心部を当時の地形図によって把握することにより、計算対象となる強震動評価地点を決定し、その計算地点中で大被害地域内にある各地点において微動観測を行って、微動の水平上下スペクトル比MHVRを計算した。そしてKawase et al.(2018)の提案したEMR法で擬似地震動水平上下動比pEHVRを求め、それに対してNagashima et al.(2014)の拡散波動場に基づく地盤構造同定手法を適用して、当該地点でのサイト増幅特性を求めた。図1には選定したターゲット地点、およびうち昨年中に微動観測を終了し解析してきた地点を○で囲んで示した。図2にはそのうち小田原市内で得られた観測点のHMVRを示す。この図からこの地点では卓越振動数が1Hz付近にあり、その増幅度も大きいことから、大被害の発生に当該サイト特有のサイト増幅特性が寄与していたものと考えられる。

このMHVRをEMR法によりpEHVRに変換し、Nagashima et al. (2014)の拡散波動場理論によるEHVRからの速度構造同定手法を利用して速度構造を同定した。さらにその構造から次元のS波サイト増幅特性を求め統計的グリーン関数を用いた波形合成法の計算準備を整えた。

一方震源のモデル化については研究計画に従い、Sekiguchi and Yoshimi(2011)の手法により1923年関東地震の不均質震源モデルを構築し、SMGAのサイズや面積が強震動予測レシピに従うものとなっていることを確認した。

建物モデルの年代別存在比率については文献および資料を収集し、1923年当時の年代別存在比率を計算した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

今年度は不可避な事情により当初計画通りに実施できなかったことから、次年度以降にも微動観測・地下構造同定の作業を進め、南関東エリアにおけるサイト増幅特性を把握し、複数の震源モデルにより被害予測を行い、1923年関東地震の被害を最もよく再現できるシナリオを策定する。さらに今後発生する可能性のある首都直下の一回り規模の小さい海溝型地震の地震災害リスクの評価を実施していきたい。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伊藤恵理（京都大学防災研究所）,長嶋史明（京都大学防災研究所）,孫ジカイ（京都大学防災研究所）,
川瀬博（京都大学防災研究所）,三宅 弘恵（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

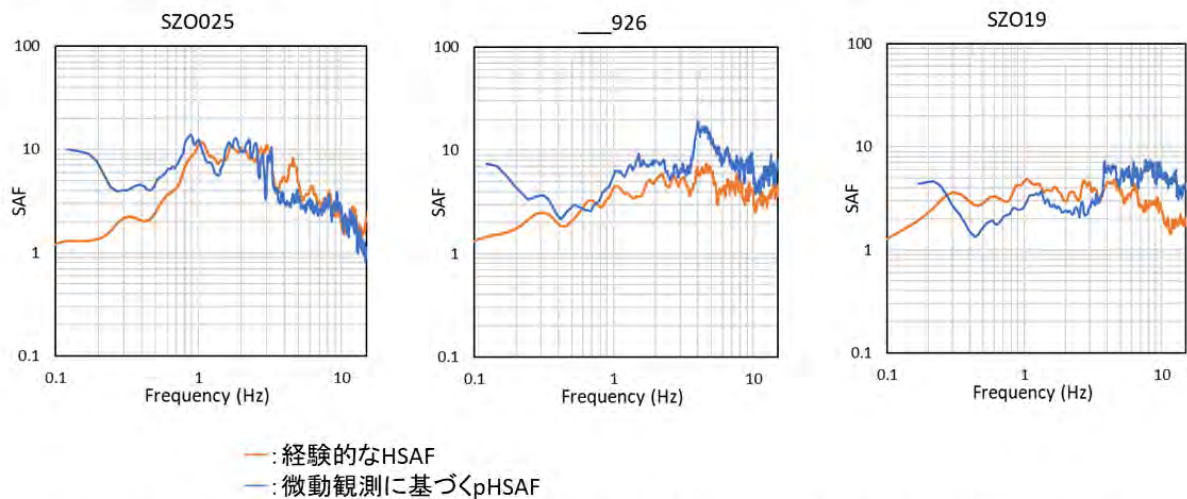
(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所
電話：0774-38-4051
e-mail：ito.eri.4x@kyoto-u.ac.jp
URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：伊藤 恵理
所属：京都大学 防災研究所

強震動観測地点での経験的なHSAFとpHSAFの比較 (pHSAFの妥当性の確認)



pHSAFは既に得られている強震観測地点での経験的なHSAF(仲野,2019)と調和的。

微動と地震動の増幅の比較

強震動観測点で分離した水平動のサイト増幅特性と微動の水平上下比に地震動と微動のスペクトル比と地震動の上下動増幅率を補正して得られた推定サイト増幅特性を比較したもの。両者は微動のノイズが影響している低振動数域以外はよく一致している。

(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：

既存在来木造建物に大きな被害を引き起こす地震動の発生要因に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

南海トラフのようなプレート間の巨大地震、あるいは、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震のような直下地震、いずれの場合も発生する地震動は、震源、深部地盤構造、表層地盤の組み合わせによって様々に変化する。一方で、大きな被害を引き起こす地震動が発生する震源と地盤構造の組み合わせはよくわかっておらず、事前にどこで大きな被害が生じる可能性があるかわかれば、地震防災にとって大きな意義がある。

そこで本研究では、震源や地盤構造を様々に変えた強震動シミュレーションを行って地震動を作成し、その破壊力を評価するツールとして、昨年度の拠点間連携共同研究で開発した既存在来木造建物を再現する実大1層縮約試験体を用いて、どのような震源と地盤構造の組み合わせが既存木造建物に大きな被害を引き起こす地震動を生成するかについて検討する。

ここでは、将来大きな被害を引き起こす可能性がある地震動として、2003年十勝沖地震のKiK-net厚真で記録された2秒よりやや長い周期が卓越して繰り返し回数が多い地震動に着目する。このサイト周

辺には学校建物があり、基礎が大きな被害を受けて取り壊しになったが、それ以外には周辺に建物がなく、この地震動が実際にどの程度の被害を既存木造建物に対して引き起こすかは不明である。地震応答解析を行うと大きな被害となる結果になるが、木造の復元力特性モデルは、繰り返しの影響の評価がまだ十分にできておらず、実際の実大木造試験体での検証が必要である。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2003年十勝沖地震のKiK-net厚真のような2秒よりやや長い周期が卓越して揺れの数が多い地震動の発生要因について表層地盤を対象に分析を行った。過去に発生した地震動の卓越周期と繰り返し回数を求め、これと V_s30 （表層30mの平均せん断波速度）の対応関係を図1に示す。

これを見ると、揺れの数が2秒よりやや長く揺れの数が多い地震動は、 V_s が200m/s以下の軟弱地盤で発生していることがわかったが、表層地盤が軟弱でも必ずしもそのような地震動が発生するとは限らず、引き続き発生要因について検討が必要である。

また、KiK-net厚真の強震記録を、開発した実大1層縮約試験体（図2）に入力した振動実験を行った。その結果、非常に大きな被害となり、解析的な結果が確認された。得られた変形角－ベースシア係数関係を図3に示す。最大変形角は、1/10近くに達し、内外装材が剥落後、両筋交が座屈して全壊に至った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

境有紀, 汐満将史, 五十田博, 江口直希, 2022, 地震動の破壊力を測ることを目的とした簡易木造試験体の開発（その1）研究概要と静的実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集

汐満将史, 境有紀, 五十田博, 江口直希, 2022, 地震動の破壊力を測ることを目的とした簡易木造試験体の開発（その2）振動実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学 防災研究所

電話：0774-38-4045

e-mail：sakai.yuki.4s@kyoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：境 有紀

所属：京都大学 防災研究所

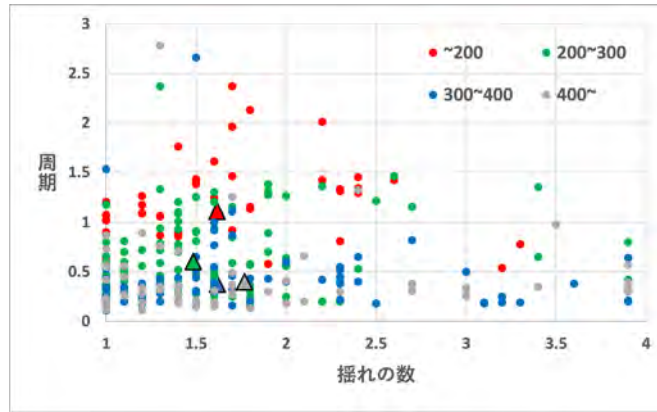


図1 過去に発生した地震動の揺れの数と周期とVs30の対応 (凡例: Vs30(m/s))

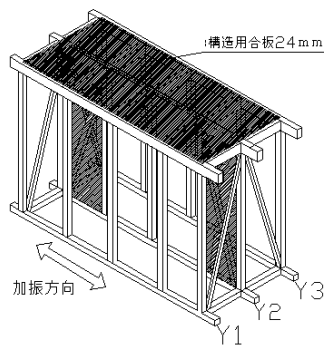


図2 試験体鳥瞰図

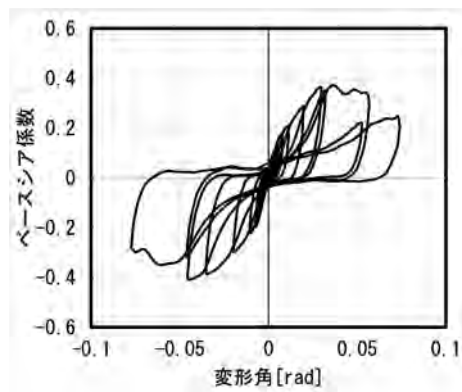


図3 実験結果 (変形角ーベースシア係数関係)

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波生成過程の理解に向けた浅部スロー地震の活動様式・発生場の解明とモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

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

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

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

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

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

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

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

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

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

メキシコ・ゲレロ州沖合で、2022年3月末から4月初めにかけて、海底地震計の設置回収作業を実施した。また、海底地震観測網の海底地震・測地観測網のデータを解析して、観測されたテクトニック微動と微小地震の活動域を残差地形及び重力異常と比較した。

2017年から2019年にゲレロ州沖合で取得された海底地震計記録に含まれる微小地震のP波及びS波の走時の検出と読み取りを、ディープニューラルネットワーク(DNN)を用いた人工知能による地震波検出ソフト (Earthquake Transformer) (Mousavi et al., 2020)を用いて実施した。ここではOBSで

得られた連続観測記録に対して、Earthquake Transformerを適用し、各観測点でのP波及びS波の到達時刻を抽出した。すべてのP波とS波の到達時刻と地震イベントとの対応付けを施した後、地震波速度構造として水平成層構造を仮定して震源を決定した。また、スロー地震、特にテクトニック微動の検出には改良エンベロープ相関法（Mizuno and Ide, 2019）を用いた。ここでは、300秒間の時間窓を150秒毎に時間をずらしながら相互相関関数をそれぞれ求めて、テクトニック微動の検出をおこなった。相互相関関数で得られる観測点間のラグタイムに基づき、テクトニック微動の震源を微小地震の震源決定と同様の地震波速度構造を用いて求めた。

ゲレロ地震空白域の特に西側では、微小地震とテクトニック微動の両方がほとんど発生しない領域（サイレントゾーン）の存在が既に指摘されている（Plata-Martinez et al, 2021）。サイレントゾーンは、局所的な重力及び地形の特徴を示す残留重力及び残差地形分布の負の異常域に対応する。この負の異常域は沈み込むプレート境界面が周囲と比べて相対的に窪む領域として解釈できる。一方、正の異常域は、沈み込む前の海底地形とそこで得られる残差重力及び地形異常との比較から、沈み込む海山として解釈した。

2017年から2019年にかけて機械学習による検出で約4000の微小地震が検出された。特に2017年11月からの1年間には、これまでの目視による検出数の約5倍の2500イベントが検出された。得られた微小地震の震央の多くは海岸線付近に分布し、ゲレロ地震空白域のサイレントゾーン内にはほとんど分布しない。つまり、ゲレロ地震空白域内の顕著な残留重力及び残差地形の負の異常域から解釈されるプレート境界面上の相対的な窪み域では微小地震はほとんど発生していない。さらに、ゲレロ地震空白域を含む沖合で発生する微小地震及びテクトニック微動の震央の多くは、残差重力・地形異常が正から負に遷移する領域に多く分布する。つまり、明瞭な正または負の異常域では、微小地震とテクトニック微動のような小さなファスト地震及びスロー地震のいずれも発生していない。

2002年4月18日にサイレントゾーンよりも海側の海溝軸付近でMw6.7のプレート境界型地震が発生した。この地震のScaled Energy（地震波放射エネルギーを地震モーメントで規格化）は、おおよそ 10^{-6} で通常のプレート境界型地震が示す 10^{-5} と比べて小さく、他の地域で発生した津波地震で得られるScaled Energyと同程度である（Flores, 2018）。この「小津波地震」のすべり分布と残差重力及び残差地形異常を比較すると、小津波地震のすべり域は残差重力・地形の正の異常域、つまり沈み込む海山の位置とよく対応する。さらに、機械学習で検出された微小地震や、改良エンベロープ相関法によるテクトニック微動の震央のいずれも、小津波地震の主すべり域内にほとんど分布しないことも確認された。

日向灘では、2021年8月に設置した海底地震計アレイの回収を2022年8月に長崎丸第97次航海にて実施した。また、文科省委託研究「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」と連携して、すでに設置されている委託研究の観測網の西側に6台の海底地震計を設置し、2015年に活動があったプレート境界浅部のスロー地震活動の待ち受け観測を開始した。回収したデータについては、委託研究で回収されたデータとのマージ作業を終え、解析処理を始めた。

過去に実施した別プロジェクトによる海底地震観測のデータの解析を進めた。2014年以降、日向灘で実施された海底地震計の方位をRayleigh波粒子軌跡の解析から推定した。広帯域海底地震計（BBOBS）の大半は、 5° 以下、短周期海底地震計（LOBS）の約半数では 12° 以下の推定誤差で方位が決定された。一方で、推定誤差が 20° 以上となるLOBS観測点が見られ、それらは水深に依存することがわかった。特に大きく推定誤差が遷移する水深は2200mから2600mの範囲で、水深が浅いほど推定誤差が大きい。海洋infragravity波とパワースペクトル密度の関係及び海洋におけるノイズ源との比較から、LOBSの方位推定誤差の水深依存性は、海底流がRayleigh波の水平動成分のSN比を下げること、コンプライアンスノイズがRayleigh波の上下動波形自体を歪めたことによるものと結論づけた。本研究の結果は、Dran & Laske (2017) で指摘されたRayleigh偏向波解析による方位推定誤差が海底の環境ノイズレベルの指標となり得ることを実証し、今後日向灘海域に設置されるN-netや他海域での海底地震観測においても、水深依存性を持つ海底背景ノイズレベルが表面波やノイズ解析に影響を与える可能性を示唆する重要な成果である。

日向灘で過去最大級とされている1662年日向灘地震について、浅部スロー地震の海底地震観測の成果や人工地震波を用いたプレート境界の位置情報、東北地方太平洋沖地震で得られた浅部スロー地震と巨大地震大すべりの関係など最新の地球物理学研究の知見を基に、新たな断層モデルを構築した。並行して実施した宮崎県沿岸部における津波堆積物の調査結果と断層モデルを用いた津波による浸水シミュレーションにより、この断層モデルの妥当性を評価し、1662年日向灘地震がM8級巨大地震であった可能性を科学的に初めて示した。本研究の結果は、国や日向灘沿岸の地方自治体における地震・

津波に対する防災に役立つ基礎資料となり、すでに日向灘の地震活動の長期評価に反映されている（産総研AIST04の課題と共同で実施）。

スメクタイト、イライト、カオリナイトについて高温高压下で動的粘弾性実験を行い、これらが含水している状況下における高温高压下での粘弾性的挙動を定量的に明らかにした。また、SEMを用いた撮像によって明らかになった粘土鉱物のネットワーク構造とそれら粘弾性の関係性について定性的に議論を行った。

分岐断層周辺の力学場を表現する目的で粘弾性を考慮した有限要素モデルを構築し、分岐断層周辺の歪と応力の蓄積過程について考察を開始した。複数の断層が変位する場合を考え、媒質内の実効粘性率の関数としてモデルを構築し、実効粘性率が歪と応力の蓄積パターンに及ぼす影響を調べた。その結果、分岐断層に沿いに歪と応力が蓄積されやすく、断層の会合点からの距離に依存して歪と応力の蓄積速度が変化することが明らかになった。また、歪の蓄積と緩和は同時進行して、実効粘性率が低いほど蓄積速度が小さくなる傾向にあることを指摘した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

メキシコゲレロ沖、日向灘および日本海溝付近の微小地震活動やテクトニック微動の活動を調べて、通常の地震活動とスロー地震活動の分布等を明らかにした。また、プレート境界域周辺の地震活動の発生場のモデル化に向けて、レシーバ関数法やH/Vスペクトル比法の改良を進めた。有限要素法を用いて沈み込み帯浅部の歪蓄積過程を調べて、ゆっくり滑りの発生場の理解を深めた。さらに海域における地殻変動観測の推進に際して、特に海底地震計及び圧力計による地殻活動の現状把握に向けた手法の開発を行った。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ioki, K., Y. Yamashita, and Y. Kase, 2022, Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuganada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan, *Pure and Applied Geophysics*, doi:10.1007/s00024-022-03198-3, 査読有, 謝辞無

Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E. S. M. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara, and Y. Ito, 2022, Seafloor Depth Controls Seismograph Orientation

Uncertainty, *Geophysical Journal International*, 232, 1376–1392, doi:10.1093/gji/ggac397, 査読有, 謝辞無

柳田 浩嗣・仲谷 幸浩・八木原 寛・平野 舟一郎・小林 励司・山下 裕亮・松島 健・清水 洋・内田 和也・馬越 孝道・八木 光晴・森井 康宏・中東 和夫・篠原 雅尚, 2022, 2015年11月に沖縄トラフ北部で発生した地震 (M 7.1) の余震活動と背弧リフティング, *地震*, 2, 75, 29–41, doi:10.4294/zisin.2021-12, 査読有, 謝辞有

Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, and T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, *Earth, Planets and Space*, 74(5), doi:10.1186/s40623-021-01562-6, 査読有, 謝辞有

山下 裕亮, 2022, 2022年1月22日に日向灘で発生したMJ6.6の地震について, *宮崎の自然と環境*, 7, 39–43, 査読無, 謝辞無

Woods, K., S. C. Webb, L. M. Wallace, Y. Ito, C. Collins, N. Palmer, R. Hino, M. K. Savage, D. M. Saffer, E. E. Davis, and D. H. N. Barker, 2022, Using seafloor geodesy to detect vertical deformation at the Hikurangi subduction zone: Insights from self-calibrating pressure sensors and ocean general circulation models, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2022JB02398, 査読有, 謝辞無

Farazi, A.H., Y. Ito, E. S. M. Garcia, A. M. Lontsi, F. J. Sánchez-Sesma, A. Jaramillo, S. Ohyanagi R. Hino and M. Shinohara, 2023, Shear-wave velocity structure at the Fukushima forearc region based on H/V analysis of ambient noise recordings by ocean bottom seismometers, *Geophysical Journal International*, doi:10.1093/gji/ggad028, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Farazi, A.H., Md.S. Hossain, and Y. Ito,2022,hear wave velocity estimation in the Sylhet Basin, Bangladesh by H/V analysis: implication for geophysical bedrock depth,EGU 2022,EGU22-905,doi:10.5194/egusphere-egu22-905

伊藤喜宏,2022,コロナ禍での国際研究プロジェクトーメキシコにおける地震・津波災害軽減に向けた学際的研究の推進一,JpGU2022,U07-05

悪原 岳・山下 裕亮・大柳 修慧・佐脇 泰典・山田 知朗・篠原 雅尚,2022,Fluid reservoir in the Hyuganada accretionary prism related to the ridge subduction: implication from a passive seismic array,JpGU2022,SSS03-09

仲谷 幸浩・柳田 浩嗣・八木原 寛・平野 舟一郎・山下 裕亮・松島 健・中東 和夫・篠原 雅尚,2022,Micro-seismicity in the northern part of the Nansei-Shoto subduction zone observed by ocean bottom seismic network,JpGU2022,SSS03-P01

山下 裕亮・大柳 修慧・佐脇 泰典・仲谷 幸浩・八木原 寛・伊藤 喜宏・篠原 雅尚,2022,Ocean bottom seismological observation at the boundary between slow earthquakes and ordinary earthquakes in Hyuga-nada, western part of Nankai Trough,JpGU2022,SSS03-P02

佐脇 泰典・山下 裕亮・大柳 修慧・Emmanuel Soliman Garcia・伊藤 亜妃・杉岡 裕子・高橋 努・篠原 雅尚・伊藤 喜宏,2022,Seismological Property and Structure beneath the Seafloor at the Hyuga-nada, Estimated Using Ocean Bottom Seismographs,JpGU2022,SSS03-P04

馬場 慧・武村 俊介・小原 一成・竹尾 明子・山下 裕亮・篠原 雅尚,2022,Spatial variations in shallow slow earthquake activity associated with a subducted ridge in Hyuga-nada, southwest Japan,JpGU2022,SCG44-02

望月 公廣・山下 裕亮・山田 知朗・Warren-Smith Emily・Jacobs Katie・Savage Martha・Wallace Laura・篠原 雅尚,2022,Offshore tremor activities in relation to a slow slip event around the plate coupling transition zone in the central part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand,JpGU2022,SCG44-07

青山 都和子・望月 公廣・山下 裕亮・山田 知朗,2022,Comparison of spatiotemporal distributions of offshore tremor activities in the northern part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand,JpGU2022,SCG44-P21

Muramoto, T., Y. Ito, Y. and N. Furuichi,2022,Viscoelastic behavior of solid-liquid two-phase under high pressure and high temperature,JpGU2022,SCG43-P02

Farazi, A.H., Y. Ito, A. M. Lontsi, J. Piña-Flores, F. J. Sánchez-Sesma, and E. S. M. Garcia,2022,Retrieving S-wave velocity profile by EHVSr analysis in offshore Fukushima, NE Japan,JpGU2022,SSS03-P07

Ohyanagi, S., K. Ohta, and Y. Ito,2022,Shallow tectonic tremor activity near the Japan Trench from 2016 to 2022: development of fully automated monitoring system and its application to the Off Sanriku and Off Fukushima tremor clusters,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,O07

Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E. S. M. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara, and Y. Ito,2022,Spatial Relationship of Shallow Slow Earthquake and Strong Negative Velocity Impedance at Hyuga-nada,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,P080

Ito, Y. S. Ohyanagi, R. O. Plata-Martinez, E. S. M. Garcia, and K. Flores,2022,Insights into the occurrence and relationship between seismicity and a relief of plate interface near the trench at the western part of Guerrero seismic gap from a recent seafloor experiment,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,P010

仲谷 幸浩・柳田 浩嗣・八木原 寛・平野 舟一郎・山下 裕亮・松島 健・中東 和夫・篠原 雅尚,2022,機動的な海底地震観測による喜界島東方～北東沖における通常の地震と浅部微動との時空間的關係,日本地震学会2022年度秋季大会,S09-08

利根川 貴志・悪原 岳・山下 裕亮・杉岡 裕子・篠原 雅尚・武村 俊介・辻 健,2022,南海トラフ浅部沈み込み帯における地震学的構造の時間変化とスロー地震との関連,日本地震学会2022年度秋季大会,S06-02

佐脇 泰典・山下 裕亮・大柳 修慧・Garcia Emmanuel Soliman・篠原 雅尚・伊藤 喜宏,2022,日向灘海底地震観測記録から得られる自己相関関数の時空間的特徴,日本地震学会2022年度秋季大

会,S01P-08

根岸 幹・小原 一成・武村 俊介・悪原 岳・山下 裕亮・杉岡 裕子・篠原 雅尚,2022,紀伊半島南東沖における稠密海底地震計アレイを用いた2020年12月に開始した浅部スロー地震活動の観測,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-12

武村 俊介・馬場 慧・矢部 優・山下 裕亮・汐見 勝彦・松澤 孝紀,2022,南海トラフの超低周波地震検知下限の推定,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-20

Sawaki, S., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E.S.M. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara and Y. Ito,2022,Spatial Relationship of Shallow Slow Earthquake and Strong Negative Velocity Impedance in the Western Nankai Subduction Zone,AGU fall meeting 2022,T31A-13

Wallace., L. M., Y. Ito, N. Palmer, S. Suzuki, R. Hino, C. A Williams Jr, K. Mochizuki, Y. Yamashita, E. Warren-Smith, K. Jacobs and M. K. Savage,2022,Insights into the occurrence and characteristics of near-trench slow slip events at the central Hikurangi subduction zone from a recent seafloor geodetic experiment,,AGU fall meeting 2022,T42B-07

Ito,Y., S. Ohyanagi, R. O. Plata-Martinez, E.S.M. Garcia, and K. Flores,2022,The relationship between seismicity and geometry of plate interface near the trench at the western part of Guerrero seismic gap from a recent seafloor experiment,AGU fall meeting 2022,T32D-0172

Ohyanagi, S., K. Ohta, and Y. Ito,2022,Shallow tectonic tremor activity in the Japan Trench: continuous decay of the activity in 2016 - 2022,AGU fall meeting 2022,T24B-04

Farazi, A.H., Y. Ito, Y., A.M. Lontsi, J. Piña-Flores, F.J. Sánchez-Sesma, and E.S.M. Garcia,2022,S-Wave Velocity Estimation Based on Analysis of Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Earthquake Coda in Offshore Fukushima, NE Japan,AGU fall meeting 2022,S51A-04

Inoue, T., Y. Ito, T. Kubota, K. Shiomi, and K. Ohta,2022,Estimation of a fault model and detail duration for the 2017-2018 slow slip event in the Nankai subduction zone using ocean bottom pressure,AGU fall meeting 2022,T32D-0156

伊尾木圭衣・山下裕亮,2022,宮崎県青島における津波被害の考,第12回巨大津波災害に関する合同研究集会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2022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）の解析により、浅部スロー地震発生の際の空間的特徴の抽出に取り組む。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・圧力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テクトニック微動活動の詳細な位置関係、特に深さ分布について調べる。また浅部スロー地震発生域における粘弾性モデルを用いた応力蓄積・緩和過程の理解を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4240

e-mail：ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：伊藤喜宏

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明

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

2 地震・火山噴火の予測のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

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

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

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

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

4年次：四国における新規取得データの解析、および2本目の測線での観測終了。

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

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

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

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

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

3年次：改良したSSE検出手法の各地域データへの適用。GNSS観測の継続。

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

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

○過去の地殻変動観測記録の再解析

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

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

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

四国中部の須崎市から今治市まで南南東-北北西に伸びる測線DD'上に7臨時観測点を設置し、観測を開始した（図1）。久万高原町の面河山岳博物館に設置した観測点SL32における観測の様子を図2に示す。9月と2月にメンテナンスを行い、データを回収した。この測線では、近傍の定常観測点、N.SSKH、N.IKKH、N.TGWF、GS.SSK2、TANBARも利用する。

四国南西部の土佐清水市から四万十市西土佐奥屋内を通して八幡浜市までの測線CC'について、未解析だった期間（2021年1月～2022年1月）のレシーバ関数を追加して、レシーバ関数イメージを更新した。図3に示すように、スラブの傾きは、南側では約10°であるが、深部低周波地震の発生域付近より北側では約20°と大きくなる。四国東部の海陽-米子測線でのスラブの傾斜6°よりやや大きいことがわかった。

○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データを用いて2022年度に発生した南海トラフ沿いの短期的SSEの検出を行うとともに、東北日本やアラスカのGNSSデータを用いた短期的SSEの検出も行い、今まで報告されていない短期的SSEの検出に成功した。また、複数の短期的SSEの検出手法（Nishimura et al., 2013; Okada et al., 2022; Yano et al., 2022）について、四国西部の同一GNSSデータセットへ適用して結果を比較し、各手法の特徴について検討を開始した。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

阿武山観測所に残る記録の整理を行った。昨年度までに公開したデータベースに順次登録した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

澁谷拓郎・中川潤・長岡愛理,2023,南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指した地震学的構造研究：四国地域（4）,京都大学防災研究所令和4年度研究発表講演会

岡田悠太郎・西村卓也,2022,日本海溝及び千島海溝における短期的スロースリップイベントの系統的検出,日本測地学会第138回講演会

岡田悠太郎・西村卓也,2022,日本海溝及び千島海溝における短期的スロースリップイベントの系統的検出,日本地震学会2022年秋季大会

Yutaro Okada and Takuya Nishimura,2022,Systematic Detection of Short-Term Slow Slip Events along the Japan and Kuril Trenches,AGU Fall Meeting 2022

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地震：地震観測による地殻構造探査

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

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県土佐清水市大岐 32.8126 132.9407

調査・観測期間：2020/4/21-2022/1/29

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：地震：地震：地震観測による地殻構造探査

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

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県久万高原町面河溪 33.7150 133.0932

調査・観測期間：2022/3/22

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：地震：地殻変動：GNSS観測

概要：南海トラフ沿岸域におけるGNSS連続観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：静岡県浜松市 34.9597 137.7335

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：ソフトウェア開発（データベース）

概要：紀伊半島における地殻変動観測のプロマイド記録のデジタルアーカイブ

既存データベースとの関係： doi:10.15083/0002002255

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：

(11) 令和5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

四国中部の須崎ー今治測線の7観測点において、地震臨時観測を継続し、レシーバ関数解析によりこの測線におけるフィリピン海プレートの形状を推定する。他の測線での結果と併せて考察し、四国下のフィリピン海プレートの形状について議論する。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

来年度は本計画の最終年度にあたるので、南海トラフ沿いのGNSS観測点のノイズレベルの評価を行い、SN比の悪い観測点の撤収を行う。GNSSや海底データ、陸上のひずみ・傾斜データも用いた短期的SSEの観測解析手法の高度化と他のスロー地震との関係に関する考察を引き続き行う。

○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のうち未撮影のものを撮影する。これまで撮影した記録画像を用いたデジタル数値化と短期的SSEの検出を試みる。公開したデジタルアーカイブに順次記録を追加する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澁谷拓郎（京都大学防災研究所）、西村卓也（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加納靖之（東京大学地震研究）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4192

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

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澁谷拓郎

所属：京都大学防災研究所

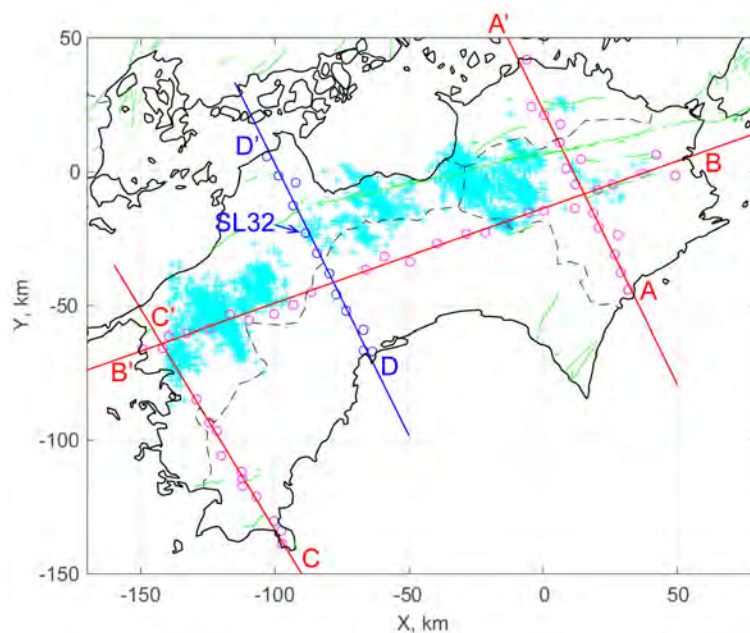


図1 四国におけるリニアアレイ地震観測

青線の測線DD' が今年度新たに展開したリニアアレイ。観測点SL32における観測の様子を図2に示す。測線CC' についてのレーザ関数イメージを図3に示す。水色の+は深部低周波地震。緑の線は活断層。

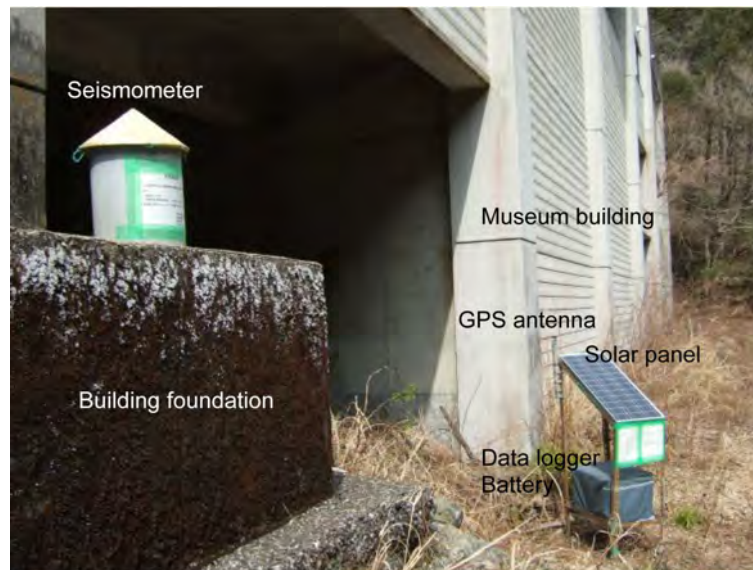


図2 観測点SL32における地震計とデータ収録装置の設置状況。

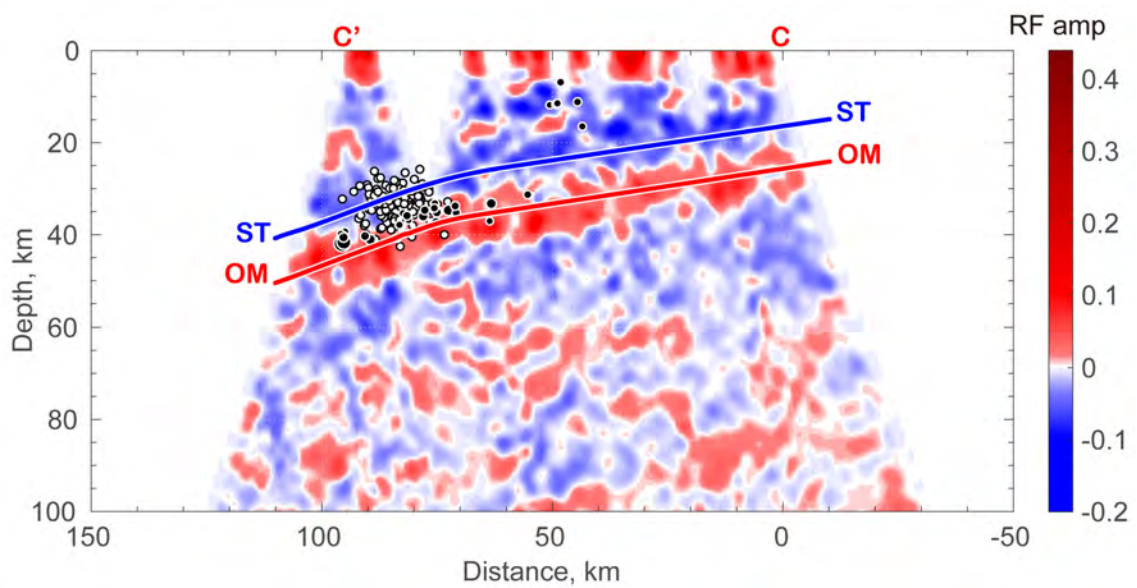


図3 測線CC' におけるレーザ関数イメージ
 レーザ関数の正の振幅を赤で、負の振幅を青で示す。STとOMを付した線は、それぞれフィリピン海スラブの上面とスラブ内の海洋モホ面と解釈される。白丸は深部低周波時地震、黒丸は通常の地震を示す。

(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：

内陸地震の発生機構と発生場の解明とモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

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

5 研究を推進するための体制の整備

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

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

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

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

地震の発生過程と今後の推移の予測を試みる。

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

(7) 本課題の5か年計画の概要：

・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

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

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

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

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

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

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

・比抵抗観測とモデル化

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

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

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

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

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

の推定、大阪北部の地震の本震前の連続波形記録や測地学的記録の精査、

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

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

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

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

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

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

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

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

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

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

・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

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

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

震発生層の厚さ等の境界条件の整理、シミュレーションプログラムのコーディング

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

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

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

H35: 内陸地震の活動期のシミュレーションの統合化とまとめ

・地震活動変化

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

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

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

山陰地方ひずみ集中帯の西縁付近に位置する島根県西部三瓶山周辺では、2019年より稠密GNSS観測を開始し、3年間のデータの蓄積により高精度の速度分布が得られるようになった(図1)。三瓶山周辺では、山陰地方の地震帯に特徴的な海岸線に沿った地震活動の帯に対して直交方向の地震活動の帯が見られるが、鳥取県中部のような顕著なひずみ集中は確認できなかった。三瓶山周辺と島根半島以東の海岸線沿いの変位速度を比較すると、三瓶山以西では変動帯が沖合の領域にも続いていることが示唆される。また、直交方向の地震活動から三瓶山周辺では陸域での変動帯の幅も広がっていることも示唆される。これらのことから、三瓶山以西では顕著なひずみ速度の集中が見られない原因として、中国地方と大陸安定部の相対運動が島根半島以東に比べてブロードな変動帯によって賄われている可能性がある。

・比抵抗観測とモデル化

本研究計画では、中国・四国地方の基盤的比抵抗構造では、(a)鹿野・吉岡・岩坪断層を含む線状配列をなす地震活動帯（ここでは緯度・経度5分 \times 7.5分の測点密度観測網を展開。以下の(b)(c)地域では緯度・経度10分 \times 10分の測点密度を設定）、(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)、そして(c)四国地方では未測定エリア等において、広帯域MT観測を実施する。そして、測点密度を向上させたこれら3地域における広域的・基盤的比抵抗構造調査データをもとに、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ことを到達目標とした。

令和4年度は、中国・四国地方のMT観測予備調査と選点完了地域として、遠地により見合わせていた中国地方中部（島根・出雲-広島・三次測線）における本観測と構造解析を実施した。本報告ではこの中国地方中部の広帯域MT法調査概要を報告する。本年度の調査対象域のうち北部地域は、山陰地方の内陸地震帯内の地震活動が低い地域である地震空白域（石川,1990）の西端部にあたり、また、南部地域は浅野他（1986）が指摘した地震帯（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）に位置する。本調査結果を加えることで、両地域において地震空白域やその周辺の活動帯構造の特徴の連続性に関する新たな知見が期待される。

2022年10月下旬から12月上旬にかけて、中国地方中部地域における測定空白域を中心に自然界に存在する電磁場変動を信号とする広帯域MT法観測を実施した。観測ではフェニックス社製広帯域MT法測定器MTU-5Aを使用し、各測点では地磁気3成分電場2成分の5成分を測定した（合計9地点、図2）。本観測により得られた見かけ比抵抗探索曲線ならびに位相差曲線を図3に示す。見かけ比抵抗や位相などの探索曲線図から得られた特徴としては、今回の観測地域を大局的にみれば、北部の平野部（SM以北）と南部の山間部（KB以南）の2つの地域内の各測点同士では、互いに曲線の形状は似ていることがわかった。北部では特に、長周期帯にかけての見かけ比抵抗 y_x 成分の緩やかな上昇と、広い

周期帯にわたりほぼ一定のxy成分に関する位相差曲線がみられた。一方、南部では見かけ比抵抗xy成分、yx成分はともに1秒前後の周期帯にかけて上昇し、その後、周期100秒あたりまで両成分とも減少する。位相差曲線もその変動と調和的である。全ての地点で得られたわけではないが、より長周期帯1000秒あたりにかけて緩やかな上昇傾向もみられる地点もある。これらの特徴から南部は高比抵抗な地殻の存在が、その深部には低比抵抗領域の存在が示唆された。

次に、電磁応答解析ならびにその結果を用いて比抵抗構造解析を行った。最初に、Caldwell et al.(2004)のインピーダンス位相テンソル解析を導入し、構造の3次元性評価に使用される β 値や主軸方位などを計算し、今年度の測定地域である中国地方中部域の空間的な電磁気応答を調べた(図4-1)。対象地域の β 値は全周期帯で概ね5度以内に収まった。また、比抵抗構造の走向を推定するために主軸を求めたところ、周期0.1秒より長周期帯で概ねN30°W方向が卓越した。インダクションベクトル(図4-2)の方向も考慮して付近の海岸線に直交するN60°E走向を持つ2次元構造であると解釈した。その走向を固定しGroom and Bailey (1989)分解を行い、電場の回転や歪みを固定して2次元構造性の抽出を試みた。得られたインピーダンスデータについてOgawa and Uchida (1996)のプログラムコードを用いた2次元構造解析を行った。その結果得られた中国地方中部域(出雲-三次測線)の構造断面を図5に示す。

この構造断面では、地殻深度は全般的に高比抵抗領域(数k Ω 以上)であるという特徴が示された。ただし、幾つかのポイント周辺ではその高比抵抗領域の深部が途切れるところがみられた。この高比抵抗が途切れるという特徴は、2003年島根県東部比抵抗研究グループ(2005)による島根県東部地震空白域調査結果の比抵抗構造断面にもみられ、この点は調和的ではあるものの、本年度構造は島根東部の構造と比べて高比抵抗構造として推定された。また、これまで山陰地方のM6を超える内陸地震発生域下で指摘された10 Ω m以下の顕著な深部低比抵抗領域も、北部一部構造以外はみられない。この図には2次元比抵抗構造断面に地震活動を参考データとして描画されている。これによると最南部を除き、やはり、地震活動は高比抵抗領域で見られるようだ。しかしながら、これらの地震活動と比抵抗構造の対比には注意を要する。何故なら、今回の調査測点配置と電磁応答解析の結果を基に仮定した構造の走向とは一致しないからである。2次元構造計算に用いた投影断面を中心として幅10kmの幅の中に入る地震活動をプロットしたので、必ずしも、調査測点下の地震活動がプロットされているわけではない。

本測線周辺にみられる上述の北部・南部地域の地震活動の特徴との関連を明らかにするためにも、今後はより周辺域の広範囲の既存の観測データを活用することや測点密度を上げるなどして、より詳細な構造調査を行うことが求められる。最後に、MT観測では日鉄鉱コンサルタント(株)より観測機材を使用させていただき、加えて参照点磁場記録の提供を受けたことを記す。

・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

有馬高槻断層帯の北方の下部地殻内に、地震波反射体が存在することが知られている(片尾, 1994)。これまで、満点計画による稠密な地震観測網の波形データを活用して、反射体のイメージングが行われ、図6(C-F)に示されているように、深部低周波地震の震源域を下端とするような北落ちの反射体が推定されていた(Aoki et al., 2016, Katoh et al., 2018)。しかしながら、これらにおいては、単純な速度構造や一定傾斜の反射体を仮定していること、浅部のイメージングにおいて直達S波の影響を除き切れていないことなどの問題があった。今回、新たに開発した深層学習を用いた走時読み取りプログラムを用いて、満点計画の地震データの中で、未処理で震源決定も行われていなかったデータを解析に利用することを可能にした(加藤, 2022)。さらに、開発した走時読み取りプログラムをFine TuningしてS波の反射波を読み取るモデルを作成することにより、約14万個という大量の反射波の走時を読み取り、イメージングを行うことが出来た。また、深部低周波地震の震源決定に用いられているJMA2001の速度構造を解析に用いること、および、マイグレーション処理により反射体の傾斜を補正することで、図6(A,B)に示すように、反射体の上面の位置を精度よく推定した。加えて、高周波帯域までのレーパー関数解析を行うことにより、図7に示すように、これまで不明だった反射体の鉛直方向の構造を推定し、反射体が厚さ5km以下の地震波低速度の薄い層であることを明らかにした。これらにより、反射体は深部低周波地震の震源域で最も深く、そこから浅部へ広がっていることが明確となった。さらに、反射体の南北の端の水平位置を押さえることにより、主たる反射体が、深部低周波地震の震源域(Kurihara and Obara., 2021)から有馬高槻断層帯へ向かって、南上がりの扇形に広がるように分布していることが分かった。日本の下部地殻の温度圧力下では水は浸透では移動できないと考えられること、有馬型塩水がマントル起源であることなどから、反射体は、有馬高槻断層帯の深部の延性せん断

帯の低速度異常域をイメージしたものであると推定された。推定された延性せん断帯のゆっくりすべりにより、GNSS等で推定されているひずみ速度場を説明できるかどうか、今後の課題となる。

図8には、上記の解析に用いた深層学習を用いた走時読み取りプログラムの性能評価の結果を示した(加藤, 2022)。用いたデータが、250Hzサンプリングの満点観測点、100Hzサンプリングの定常観測点および0.1満点観測点(松本・他, 2018)の3種類のため、3つのモデルによる結果を示している。エキスパートによる読み取り結果をよく再現していることが分かる。

満点観測点および周辺の定常観測点のデータを活用して、有馬-高槻断層帯近傍の応力場の空間変化を調べた(田中・他, 2022)。解析領域の大きさは、有馬-高槻断層帯に平行な方向には10km、深さ方向には2.5km、有馬-高槻断層帯に直交方向には、断層帯からの距離による変化を見るために、メカニズム解の数が50以下となるように、領域の大きさを可変で小さくしている。手動読み取りされたデータのみを用いている。これまで報告されているように(例えば、藤野・片尾, 2009)、近畿地方中北部ではほぼ東西の最大主圧縮応力の向きが卓越しているが、図9に示すように、有馬-高槻断層帯近傍では、それが時計回りに回転していることが良くわかる。

有馬-高槻断層帯の一般的な走向はN80°E程度と東西に近く、ほぼ東西の最大主圧縮応力の下では他の活断層に比べてせん断応力が小さいはずであり、どうしてすべりが起こるのか問題となっていた(例えば、Tsutsumi et al., 2012)。上記の応力場の時計回りの回転は、一つの説明を与えるものである。

長野県西部地域の10kHzサンプリングと満点観測および周辺の定常観測点のデータを用いて、地震メカニズムの逆解析により、2017年6月のMj5.6(気象庁の震央地名は長野県南部の地震)の断層付近において、応力場の空間変化が推定された(野木, 2022)。図10に解析に用いた地震の震源分布と観測点分布、およびMj5.6の地震および1984年長野県西部地震(Mj6.8)の推定断層面を示す。震源分布は、Iio et al.(2017)の手法により、観測点補正値を用いて再決定されたものである。震源分布の下限は、Mj5.6の断層付近で深さ約7 kmと最も浅く、周辺に向かって深くなるアーチ状を示している。

図11に長野県南部の地震(Mj5.6)の断層付近の深さ4.5kmにおける最大主応力軸(σ_1)の方位の空間変化を示す。逆解析にはMj5.6の地震の発生前のメカニズム解を使用した。解析領域を1辺(の長さ)1 kmの立方体のサブ領域に分割し、各サブ領域は半グリッド0.5 km重なるように設定している。青破線で囲まれた領域において、Terakawa et al. (2013)が推定した遠方の応力場に比べて、約20度の時計回りの σ_1 の回転が検知された。これは、長野県西部地震による応力変化と背景応力場、および図12に示す地震発生域より深部の逆断層における非地震性すべりによる応力変化で説明できることが分かった。歪を計算するプログラムはNikkhoo and Walter, (2015)によるものを使用した。上記のように、付近の震源分布の下限は、深さ約7 kmを最浅部とするアーチ状を示しているので、深部の逆断層は、深さ7.5 kmを断層の上端として、東落ち45度、すべり方向65度を仮定した。非地震性すべりを起こす断層の平均すべり量は6 m、背景応力場の主応力の方向はTerakawa et al. (2013)より推定されたN125°Eとし、差応力は13 MPaとした。図12に示すように、この非地震性すべりにより、M5.6の断層に応力集中を起こすことが可能である。長野県西部地震の断層を挟んで反対側においても、同様に応力集中が発生しているが、この付近では、1984年10月3日にMj5.4の逆断層の余震が発生している(青木, 1986)。

図13は、推定された深部すべりモデルとM5.6の地震および1984年長野県西部地震の断層と、これまで長野県西部地域で観測されてきた各種の異常変化との位置関係を示したものである。満点観測網は、これらの異常域を囲むように2008年に設置された。これらの異常現象と深部の非地震性すべりとの関係は今後の課題となる。

山陰の地震帯で発生した2016年鳥取県中部地震の断層近傍の応力場を精度よく推定し、断層端付近において、地震前に差応力が小さかったことを見出したが(Iio et al., 2021)、地震前の最大主応力の方位は、地震後の余震域における平均的な方向と同じだったと仮定していた。地震前の最大主応力の方位を可能な範囲で変化させるsensitivitytestを行い、得られた結果がロバストなものであることを示した(Iio et al., 2023)。

・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(2022年1月~2022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、4953個の地震の震源を決定した(図14)。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246個(図15の赤い点線で示した範囲

内の地震)が含まれている。また、2021年6月~2022年12月までに発生した火山性地震について、地震波形のP波初動の押し引き分布とS/P振幅比のデータから、116個のメカニズム解を推定した。

御嶽山直下の火山性地震は2022年2月~3月に急激に活発化し、これは2014年9月の噴火以降の最大のunrestな活動となった。2014年の噴火前後には、火山性地震のメカニズム解は、広域応力場から予想されるものと正反対の東西伸長型から広域応力場と調和的な東西圧縮型へと明瞭に時間変化する様子がとらえられていた。今回のunrestな活動では、メカニズム解を時系列でみれば、東西伸長型と東西圧縮型のイベントが期間を分けることなく混在していた。一方、メカニズム解の空間分布に着目すると、2022年2月には東西伸長型のイベントは剣が峰の南方約1kmの場所に集中していた。2022年3月になると、震源域はより狭い範囲に限定されるようになり、4月~10月にはこの領域での活動はほとんどなくなった。11月には、ふたたびこの領域で東西伸長型の地震活動が観測された。今回のunrestで東西伸長型の地震が集中した領域は、2014年噴火前に東西伸長型の地震活動が活発化したところに当たり、噴火のメカニズムと関連があるかもしれない。

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

長期間の地震データから安定的にテクトニック応力場のパターンとその時間変化を評価することを目指し、従来のCMTデータインバージョン法(Terakawa & Matsu'ura, 2008)に「過去のデータの解析結果を直接的先験情報として取り入れる機能」を追加した(Terakawa & Matsu'ura, 2023)。新手法では、観測データに対する応力場の滑らかさ(間接的先験情報)と過去のデータの解析結果(直接的先験情報)の重みを支配する2つの超パラメータを定式化に取り入れ、Matsu'ura et al. (2007)の統合逆化公式に沿い、直接的先験情報と間接的先験情報を統一的に取り扱うことができるようにした。この手法では、2つの超パラメータの最適値をABICに基づいて求め、観測データから合理的に応力場のパターンを推定することが可能となる。直接的先験情報に関する超パラメータは、観測データの不確かさに対する直接的先験情報の不確かさの比(ϵ^2)で表され、直接的先験情報の不確かさが小さいほど、直接的先験情報の重みが大きくなるようになっている。この超パラメータ ϵ^2 は、応力場のパターンの時間変化の指標となりうるものであり、 ϵ^2 が1を大きく超えると、応力場のパターンの時間変化があった可能性を示す。つまり、新手法では、ABICを用いて応力場のパターンの時間変化を客観的に測ることが可能となった。

この新手法により、東北地方における24年分(1997年1月~2020年12月)の地震データから応力場時空間変化を推定した(Terakawa & Matsu'ura, 2023)。この解析では、地震は応力だけでなく断層強度を支配する間隙流体圧等の影響を受けることを考慮し、気象庁の震源リストとクラスター解析手法(Zaliapin & Ben-Zion, 2013)を用いて応力の指標となる地震を抽出し、F-netモーメントテンソルカタログからデータセットを作成した。具体的には、まず、地震を単独地震とクラスター地震に分け、クラスター地震の1つのファミリーの中の最大イベントを本震として選別し、単独地震と本震からデータセットを作成した。対象地域では、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(東北沖地震)が発生したため、対象期間を3つの期間(期間1: 1997年1月~2007年1月、期間2: 2007年2月~2011年2月、期間3: 2011年3月~2020年12月)に分け、まず、期間1のデータを(直接的先験情報を考慮しない)従来法で解析した(解析1)。次に、解析1の結果を直接的先験情報として期間2のデータを新手法で解析した(解析2)。また、比較のため、同じデータを直接的先験情報を考慮せずに(従来法で)解析した(解析20)。ABICの最小値は、解析2で-5052、解析20では-4226となり、これは直接的先験情報を考慮した解析2の方が、解析20に比べて合理的な結果であることを意味する。解析2における ϵ^2 の値は1.3となり、これは応力場のパターンの時間変化がないことを意味する1に近い。実際、解析1と解析2の応力の向きを、テンソルの内積を利用した値 D (1から2つの応力テンソルの内積を引いた値、2つの応力が一致すると0、正反対で2の値をとる)を用いて比較すると、海溝付近の2つの領域(図16b-d)を除いて両者はよく一致する(図16)。2つの解析の応力の差(D)の有意性について、 D の統計的なばらつき V (標準偏差に当たるもの)を考慮して $J(D) = D - 2V$ により簡易的に評価した。 $J > 0$ のとき、2つの解析の応力の差は統計的に有意であると考えられる。この結果、解析1と2の応力のパターンの違いは、解析1の推定誤差が大きいことにより V が大きくなり、有意でないことがわかった。このことから、東北沖地震前の14年間は、東北地方の応力場は安定的であったと考えられる。

次に、解析2の結果を直接的先験情報として期間3のデータを新手法で解析した(解析3)。比較のため同じデータを従来法でも解析した(解析30)。ABICの最小値は解析3で-12119、解析30では-11551となり、直接的先験情報を考慮した解析3の方が合理的な結果となった。解析3における ϵ^2

の値は7.4であり、期間2～3の間で応力場の時間変化があった可能性を示唆する。実際、解析2と解析3の応力場のパターンの結果を比較すると、3か所（A1: 福島県・茨城県沿岸～沖合、A2: 秋田県中央部、A3: 岩手県沿岸～沖合）で応力場のパターンに違いがみられた（図17）。解析2と3の応力の違いについても、解析1と2の場合と同様に調べたところ、A1の中央部以外の地域では、期間2のデータが少ないため解析2の推定誤差が大きく、応力の時間変化は有意ではないことがわかった。この「見かけの応力時間変化」は、東北沖地震の応力変化によりこれらの地域の偏差応力レベル（剪断歪エネルギー）が上昇し、これまで理解されていなかった応力の不均質が明らかになったものであると考えられる。一方、A1の中央部では解析2及び3の両方の推定誤差が比較的小さく、捕らえられた応力時間変化は有意である。これまで多くの先行研究により、2011年東北沖地震により東北地方の応力場は広い範囲で変化したと理解されてきたが、本研究では、応力の時間変化があったのは震源域南部にあたるA1の中央部に限られると結論付けた。

更に、解析3の結果を直接的先験情報として考慮し、解析3で用いなかった「余震」に分類されるデータを解析し、余震データの応力場への影響を調べた（解析4a: 2011.3.11～2012.3.31の余震データの解析、解析4b: 2012.4.1～2020.12.31の余震データの解析）。解析4aの結果では、東北沖地震の大すべり域の応力場は東西伸長の正断層型となり（図18aのA4）、これは東北沖地震直後の約1年間に震源域直下のスラブ内で正断層型の地震が多発したことを反映したものである。しかし、東北沖地震の発生から1年経過した2012年4月以降のデータを解析した場合は、このような正断層型の応力場はA4領域内の狭い範囲に限られる（図18b）。更に興味深いことには、解析4a及び4bにおいて、震源域（A4）以外の領域では、余震を取り入れた影響はほとんど見えない（図19）。これらのことから、震源域付近の東西伸長の正断層型の余震データの影響は、1年という早い時間スケールで急激に小さくなり、例えば深部からの間隙流体の貫入などの物理過程を反映している可能性がある。

本研究において、長期間の地震データから応力場とその推定誤差を合わせて評価することにより、大地震前後で地震活動の時空間パターンが大きく変化することと、その地震活動の変化が必ずしも応力の向きの時間変化によるものではないことが示された。従来の応力インバージョン法では、1つの地震データが代表する応力場の範囲が客観的でなく、応力の時間変化と空間変化を区別するのが難しい。一方、CMTデータインバージョン法では、1つのデータが代表する応力場の範囲を地震の規模と震源位置を考慮して合理的に決めることができ、推定誤差の評価を通じて応力の時間変化と空間変化を精度よく区別することができる。この特長は、直接的先験情報を解析に取り入れる機能の追加と応力テンソルの内積を利用した推定誤差や応力の差の評価を導入したことにより、更に強固なものとなった。本手法による長期間の地震観測データの解析により、大地震に関係するテクトニック応力場の知見を蓄積・更新することが可能になったことは重要な成果である。

・地震活動変化

西南日本に相次いだ地震データを時空間ETASモデルに当てはめた動画で昭和期の南海トラフ連鎖地震前後の地震活動のいくつかの予測的な特徴を議論し、連鎖地震の蓋然性をリアルタイムで追求できる時空間予測の課題を展望した。

階層的時空間版（HIST-ETAS）モデルを、数年にわたる最近の日本内陸地震をテストデータセットとして、対数尤度比スコアを用いて評価し、短期予測における検証を行った。中長期的な性能を検討するために、数種類の時空間ポアソンモデルとHIST-ETASモデルのバックグラウンド地震発生率を比較した。その結果、第一に、M4.0からM5.0までの地震に対して、HIST-ETAS-5paモデルが最も良い短期予測結果を示した。次に、中期予測では、最適空間不均一ポアソン震度モデルがHIST-ETASモデルの地震背景震度よりも良い予測性能を示し、日本内陸全域均一発生率ポアソンモデルが最も悪い予測性能となった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Iio, Y., S. Matsumoto, Y. Yamashita, S. Sakai, K. Tomisaka, M. Sawada, T. Iidaka, T. Iwasaki, M. Kamizono, H. Katao, A. Kato, E. Kurashimo, Y. Teguri, H. Tsuda, T. Ueno, 2023, Spatial change in differential stress magnitudes around the source fault before intraplate earthquakes, *Geophy. J. Int.*, 233, 1279–1295, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac521>

熊澤貴雄・尾形良彦, 2022, 非定常ETASモデルから見える能登半島群発地震活動の地域的变化 (続報), *地震予知連絡会会報*, 108, 310-313

Nthaba, B., Ikeda, T., Nimiya, H., Tsuji, T., & Iio, Y., 2022, Ambient noise tomography for a high-resolution 3D S-wave velocity model of the Kinki Region, Southwestern Japan, using dense seismic array data, *Earth, Planets and Space*, 74, 96

Ogata, Y., 2022, Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models, *Earth Planets and Space*, 74, 110, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01669-4>

尾形良彦, 2022, ETASモデルなどによる短・中・長期の地震確率予測と検証評価, *地震予知連絡会会報*, 107, 547-555

Terakawa, T., and M. Matsu'ura, 2023, Tectonic stress fields inferred from long-term CMT data ranging over different periods, *Geophy. J. Int.*, 223, 162-181

・学会・シンポジウム等での発表

西村卓也, 2022, ひずみ集中帯における稠密GNSS観測—山陰及び有馬-高槻断層帯における詳細速度分布, *日本地震学会2022年秋季大会*, S03-05

尾形良彦, 2022, 大きな地震連鎖の確率とシナリオをどう求める, *日本地震学会の特別シンポジウム 大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？—後発地震と臨時情報—*

田中俊雄・飯尾能久・片尾 浩・澤田 麻沙代・富阪和秀, 2022, 稠密地震観測によって推定された近畿地方北部の応力場, *日本地震学会2022年秋季大会*, S12-01

寺川寿子・松浦充宏, 2022, CMTデータインバージョン法による長期間地震データによるテクトニックテクトニック応力場の推定, *日本地球惑星連合大会*

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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、山陰地方及び跡津川断層周辺でのGNSS観測を継続し、地殻変動速度の精度を向上させる。観測された地殻変動から有馬—高槻断層帯の深部せん断帯のモデリングを行うとともに、すべり速度が地質学的な推定とGNSSデータに基づく推定で大きく異なる要因の考察を行う。また、2020年12月より群発地震活動と非定常地殻変動が継続している能登半島において臨時GNSS観測を継続し、地殻変動と地震活動の関係に関する考察を行う。

・比抵抗観測とモデル化

次年度(令和5年度)実施計画：当初の実施計画に基づき、令和4年度に引き続き本観測を見合わせた中国・四国地方におけるMT予備調査を行い、選点完了地域において本観測を実施するとともに、中国地方中北部・東部域～四国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施する予定である。

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

山陰地方の地震帯、近畿地方中北部や長野県西部地域など西南日本の横ずれ断層の活動域における高密度地震観測データの解析により、内陸地震の断層周辺の3次元の不均質構造や応力場の解明等を行う。大阪府北部の地震発生域では、臨時観測データも含めた解析により、大阪北部の地震の発生過程と発生場を明らかにして、今後の地震活動の推移予測に資する。また、高密度観測で得られた地震波動場の特徴に基づく地下構造の解釈と都市部地下構造探査への検討を行う。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

R4年度に改良したCMTデータインバージョン法 (Terakawa & Matsu'ura, 2023) により、名古屋大学をはじめとする諸機関の定常地震観測で得られた御嶽山周辺域の地震のメカニズム・CMTデータ

を解析し、応力場のパターンとその時間変化を調べる。この地域では、2014年御嶽山噴火や2017年長野県南部の地震（M 5.6）が発生している。これらのイベントが応力場のパターンや地震活動度の変化に与える影響を調べる。また、この手法を日本列島全域で観測された長期間地震データにも適用し、日本列島全域の応力場のパターンを推定する。この解析結果に基づき、大地震の発生に伴う応力場の時間変化を調べる予定である。また、間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法（Terakawa and Hauksson,2018）により、2016年熊本地震震源域の絶対応力場を推定する予定である。

・地震活動変化

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

能登半島の地震活動については、当初の計画には含まれていなかったが、本課題においても、各種の観測等を行ってきた。今後の活動の推移を見つつ、必要な場合には観測を継続するとともに、観測データに基づいた総合的なモデリングや考察を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所

他機関との共同研究の有無：有

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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所

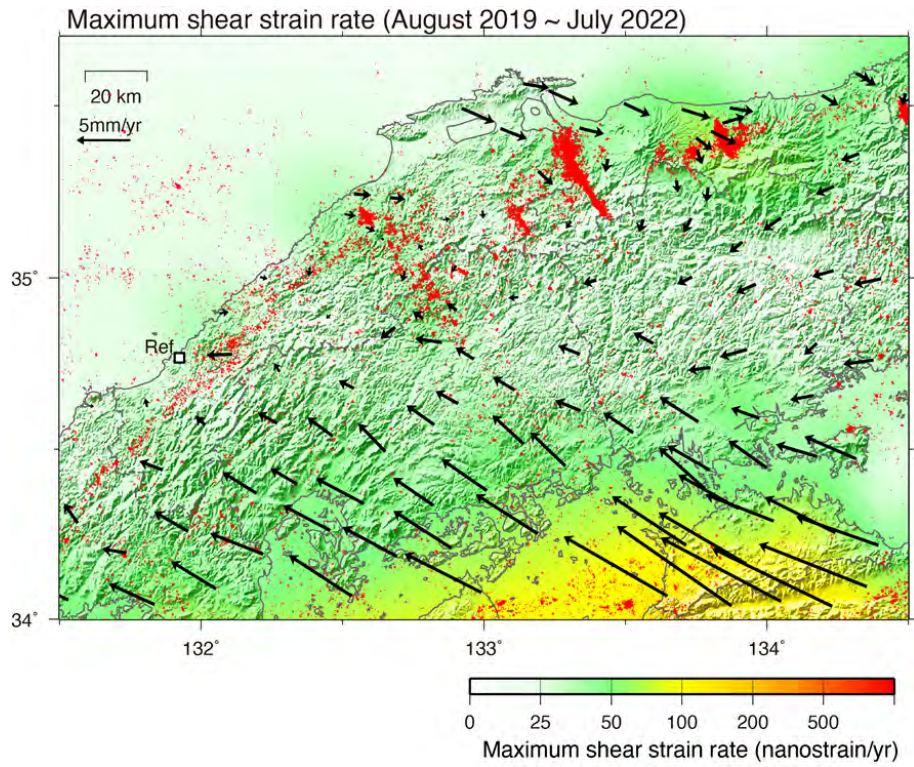


図1 山陰ひずみ集中帯のGNSS観測に基づく水平変位速度と最大せん断ひずみ速度分布
GNSSデータは2019年8月から2022年7月までの平均速度。赤点は、1998年1月から2022年9月までの気象庁一元化震源を表す。

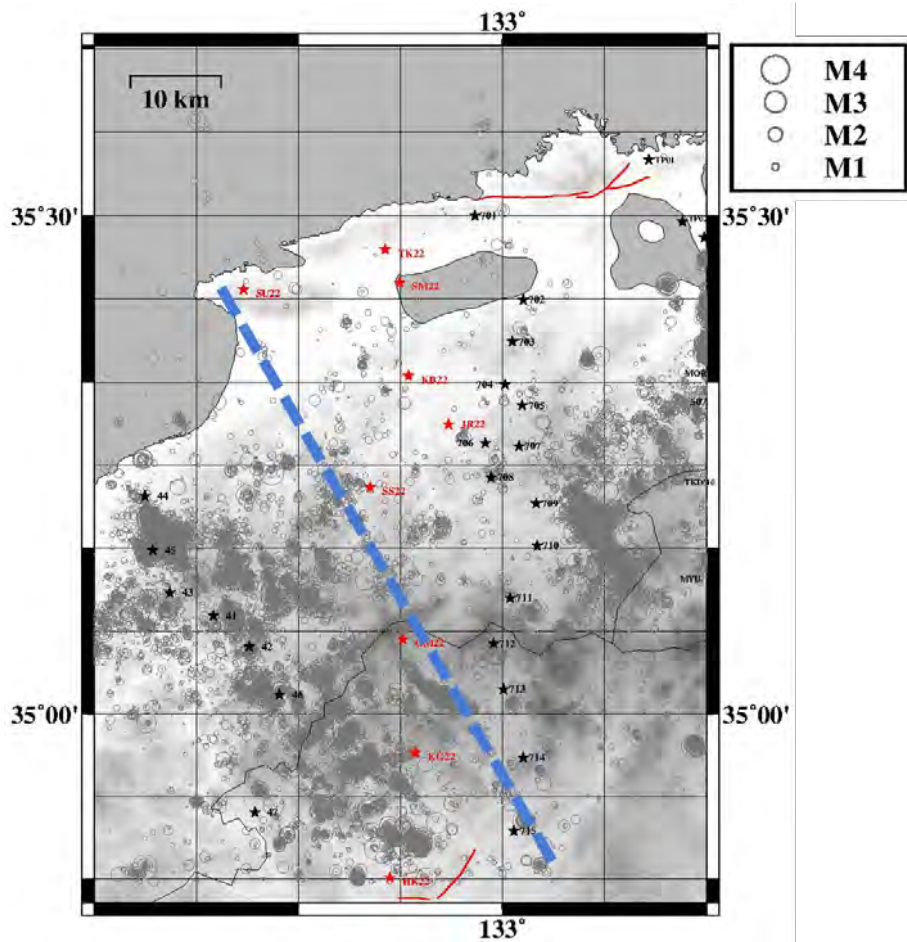


図2 2022年度の広帯域MT法観測地点分布図

本年度の広帯域MT観測地点を赤★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4で示される2次元構造断面図の測線位置を示す。この図面には中国地方中部（島根・出雲-広島・三次測線）に加えて、既存の周辺域の観測点データ（2003年島根県東部比抵抗研究グループデータ（2005）ならびに三瓶山周辺域データ（塩崎、1993））も黒★印で記載した。また、気象庁ホームページ「地震月報」より2000/1/1～2019/12/31の期間に深度20kmより以浅で発生した地震の震央データを入手・描画した。図版作成にはGMT (Generic Mapping Tool)を使用した。

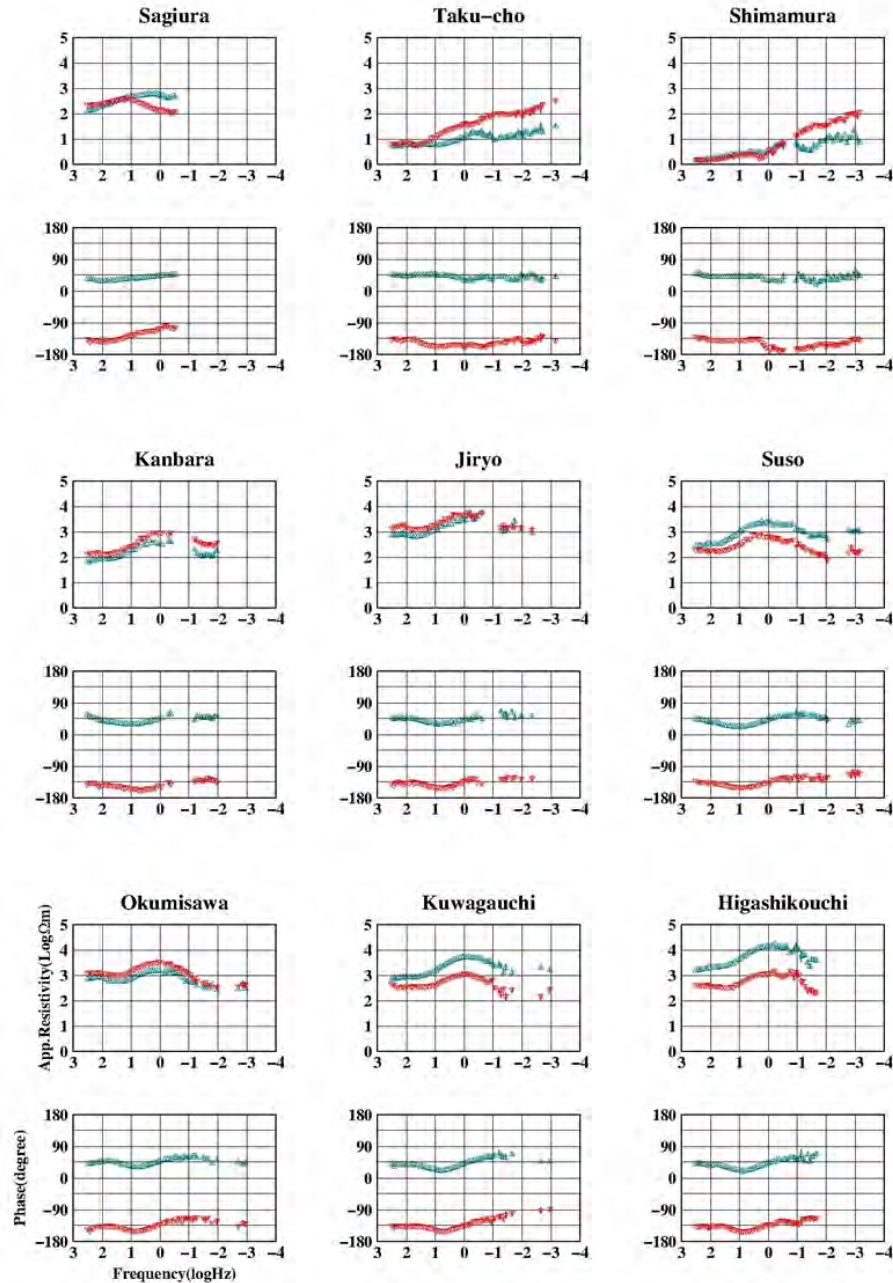


図3 得られた見かけ比抵抗(上)ならびに位相差探索曲線(下)

南北方向電場と東西方向磁場変動から推定された見かけ比抵抗を緑△印、東西方向電場と南北方向磁場変動の組み合わせで推定されたそれを赤▽印で示す。縦軸は見かけ比抵抗 (Ωm)、横軸は周波数 (Hz) を対数目盛りで表現する。位相差曲線について縦軸は位相差 (度) を表す。グラフ配置は左上の鷺浦サイトを除き、サイト位置が北から南の順で左から右、上から下へ配置した。

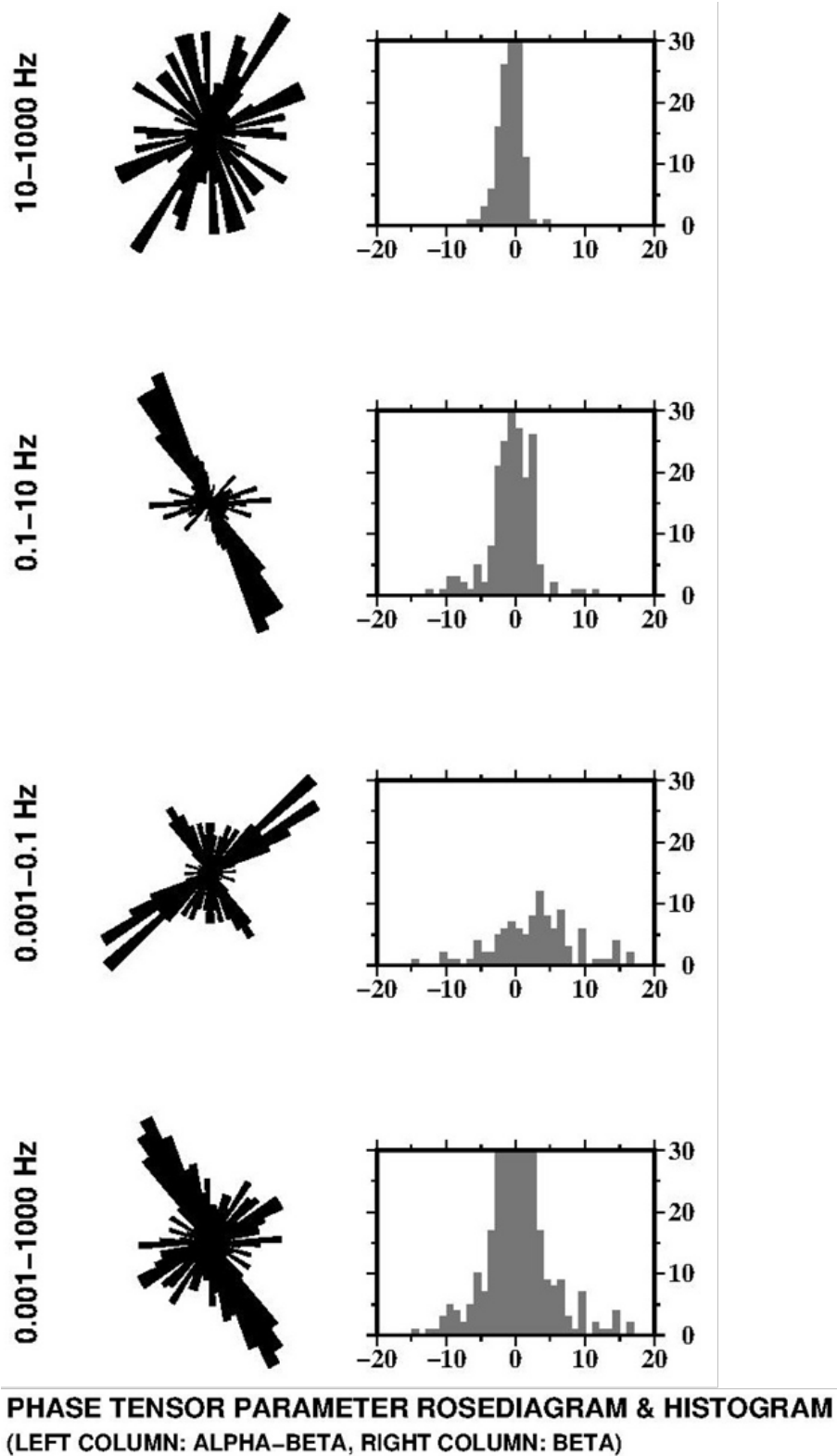


図4-1 インピーダンス位相テンソル楕円の主軸方位の値（左図）とskew角 β （右図）

左上から0.1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のskew角 β の出現頻度をヒストグラムで示す。中国地方中部（島根・出雲-広島・三次測線）では、楕円の主軸は全周期帯域にわたりN30W方向を示す。 β 値については、0.1秒以下の周期帯では概ね ± 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る。

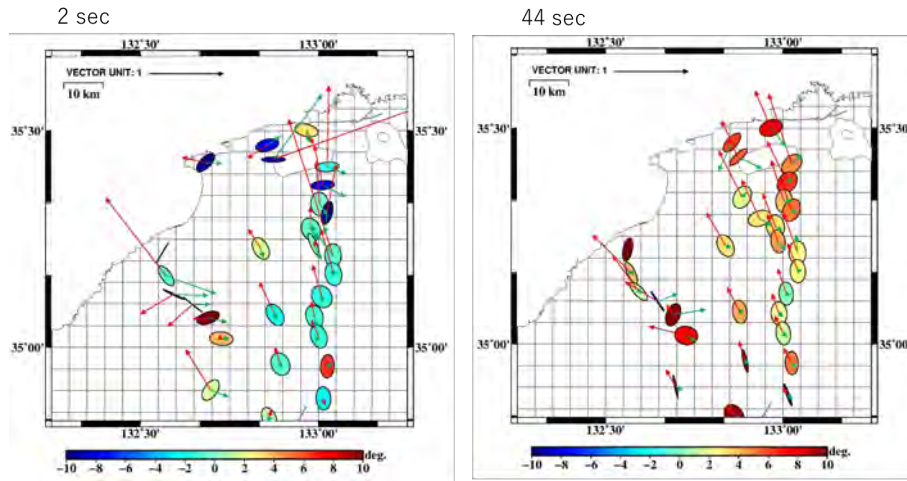


図4-2 インダクションベクトルと位相テンソル楕円

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 β 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。この地域周辺の特徴を掴むために、この図面には中国地方中部（島根・出雲-広島・三次測線）のみならず、2003年島根県東部比抵抗研究グループ（2005）データならびに三瓶山周辺域データ（塩崎、1993）を用いた処理結果も併記した。周期2秒のインダクションベクトル（実部）を見ると海岸線方向を指し示すものが多い中、例えば、北部の島根半島のベクトルが直近の海を指し示すわけではなく南側を指す成分があることがわかった。より長周期帯側では、例えば、周期44秒のインダクションベクトルは海岸線に直交し、この傾向は広い範囲で調和的であることが示された。

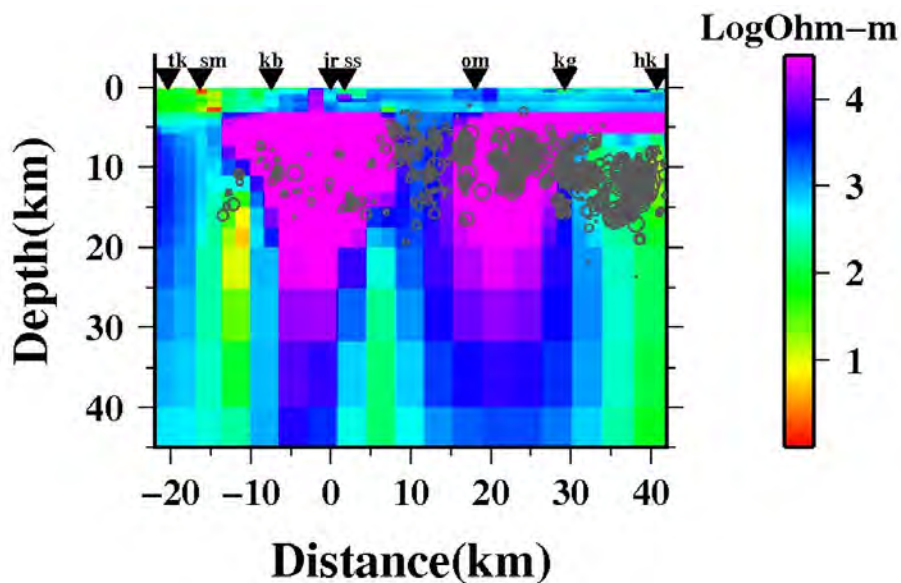


図5 中国地方中部（島根・出雲-広島・三次測線）の2次元比抵抗構造断面図

測線を中心として幅±5kmの範囲に含まれる震源データ（2000年1月1日～2019年12月31日に深度20kmより以浅で発生した地震）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。

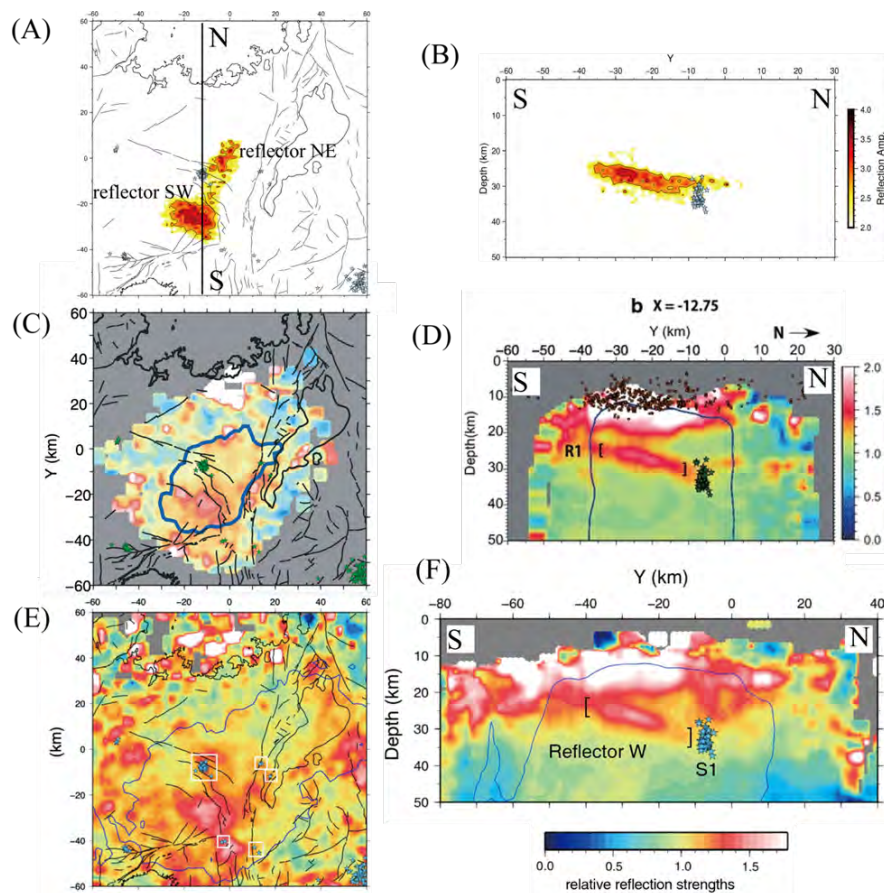


図6 有馬高槻断層帯の北方の下部地殻内のS波のreflector

(A)深層学習を活用して推定されたS波reflectorの上面、(B)は(A)の測線に沿う南北断面における反射強度の断面図(加藤, 2022)。一番外側のコンターがreflectorとする反射振幅の閾値 (median- σ)に対応している。(C)(D)はAoki et al. (2016)、(E)(F)はKatoh et al. (2018)の結果。(B)(D)(F)は(A)上の測線の南北断面図。各図の星印は気象庁一元化震源における深部低周波地震。(D)の赤い丸印は測線から幅5 km以内でAoki et al. (2018)が解析に使用した地震、青い線はグリッドに含まれるデータ数が50000個の等値線。(E)(F)の青い線はグリッドに含まれるデータ数が10000個の等値線。黒線は活断層(中田・今泉, 2002)。

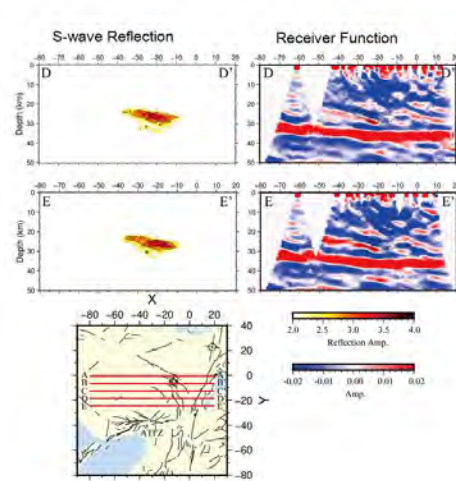


図7 有馬高槻断層帯の走向方向の鉛直断面におけるreflectorとレシーバ関数イメージ

測線D-Eに沿った断面図において、S波反射法解析(左)とレシーバ関数イメージング解析(右)の結果を比較(加藤,2022)。座標軸は有馬高槻断層帯(ATFZ)の走向がX軸に平行に表示されるように時計回りに10°回転。

左図にはreflectorとする反射振幅をコンターで示しており、レーザ関数イメージングによる断面にも、対応する反射振幅の閾値をコンターで示している。reflectorとする反射振幅の閾値のコンターの下面は赤色、上面は青色のレーザ関数イメージとなっており、reflectorが薄い低速度異常域であることが分かる。水色の星印はKurihara and Obara.(2021)によって決定された深部低周波地震の震源であり、測線から5 km以内のものをプロット。

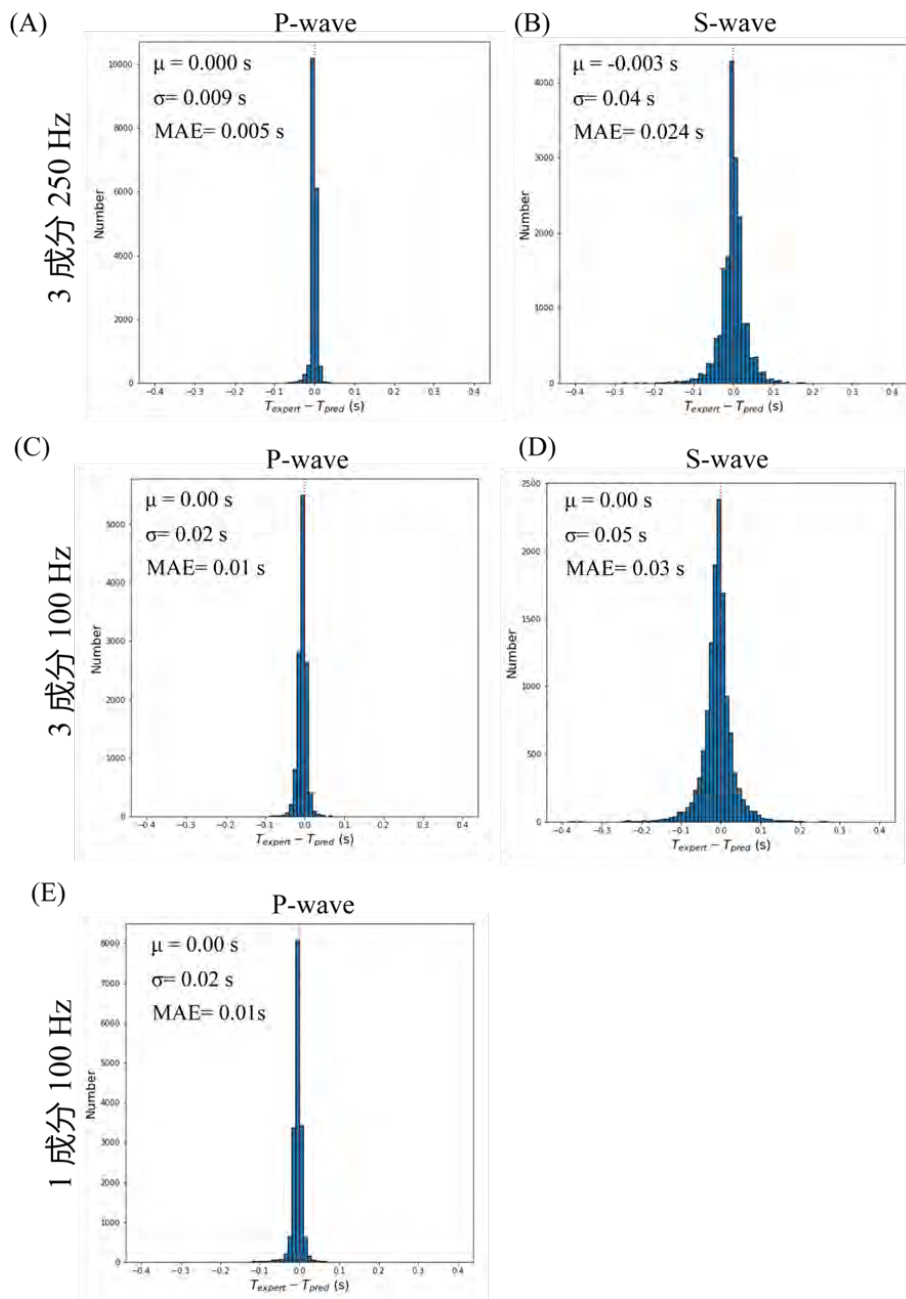


図8 深層学習を用いた走時読み取りモデルと人間との読み取り結果の比較

(A)(B)は3成分250 Hzサンプリング用モデル、(C)(D)は3成分100 Hzサンプリング用モデルと人間とのP波とS波の走時残差ヒストグラム、(E)は1成分100 Hz用サンプリング用モデルと人間とのP波の走時残差ヒストグラム。 μ 、 σ 、とMAEは走時残差の平均、標準偏差と平均絶対誤差(加藤, 2022)。

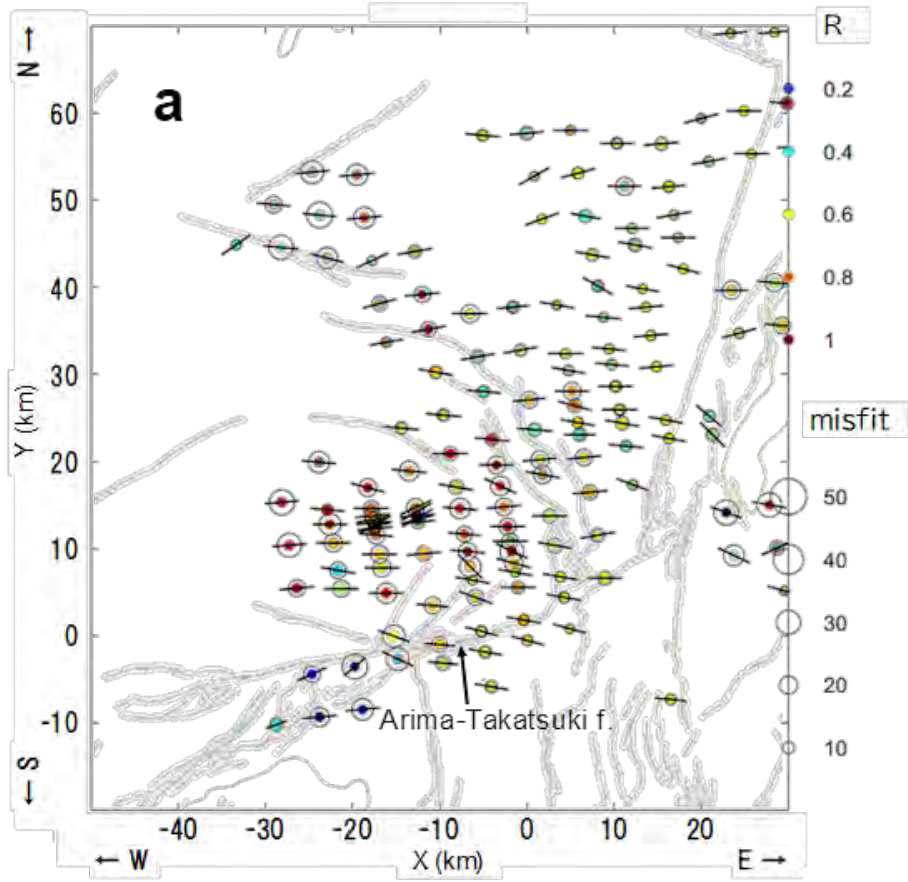


図9 有馬-高槻断層帯近傍の応力場の空間変化

地震メカニズムの逆解析により推定された、深さ10kmにおける最大主圧縮応力の向き(田中・他, 2022)。応力比およびmisfitの大きさをシンボルでも示している。灰色で示した活断層は産総研のデータベースによる。

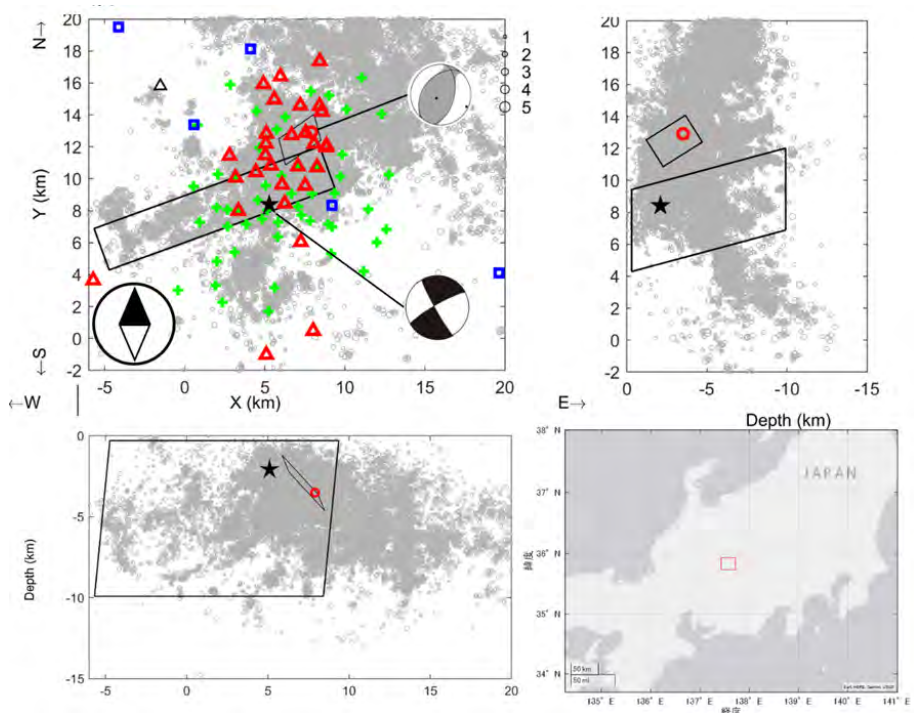


図10 長野県西部における震源分布と観測点分布

震源分布は、10kHzサンプリング観測と満点観測および定常観測(名古屋大学, 気象庁, 防災科学技術研究所)による地震データ(1995年6月-2017年12月)から観測点補正値を用いて再決定されたもの。Yoshida and Koketsu(1990)による1984年長野県西部地震(Mj6.8)の断層、上記の観測による余震分布から推定した2017年長野県南部の地震(Mj5.6)の断層、およびそれぞれの地震メカニズム解を示す(メカニズム解はF-netおよびYukutake et al., 2010より引用)。+ : 10kHzサンプリング観測点 1995年6月~2022年9月。△ : 満点地震観測システム観測点 2008年8月~2022年9月。□ : 定常観測点(NIED, JMA, and Nagoya University)、★ : Mj6.8の震源、○ : Mj5.6の震源、△ : 御嶽山。

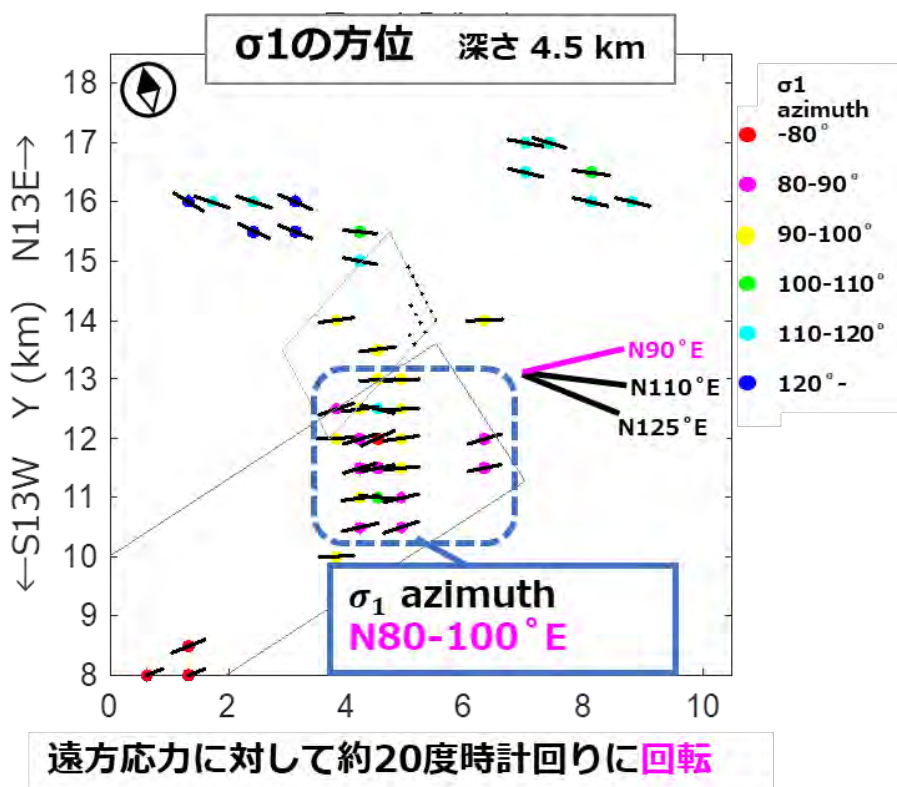


図11 長野県南部の地震(Mj5.6)の断層付近の最大主応力軸(σ_1)の方位の空間変化
 深さ4.5kmの水平面における σ_1 の方位(北から時計回り)の空間変化(野木, 2022)。Y軸はMj5.6の地震の断層の走向方向(N13E)。

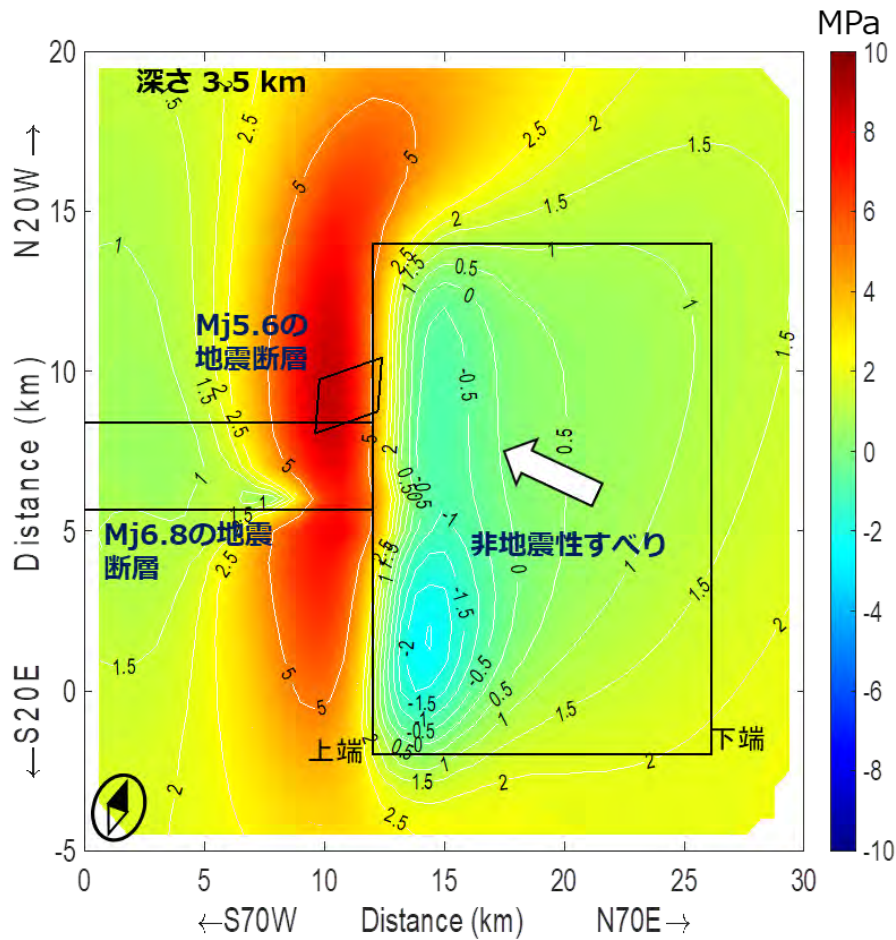


図12 地震発生域より深部の逆断層上の非地震性すべりによる応力変化

逆断層上の非地震性すべりおよび長野県西部地震Mj6.8の地震すべりによる、Mj5.6の地震と同じ走向・傾斜・すべり方向に対するCFFの空間変化(深さ3.5 kmにおける) (野木, 2022)。深部の逆断層は、深さ7.5 kmを断層の上端として、東落ち45度、すべり方向65度、非地震性すべりを起こす断層の平均すべり量は6 mとした。見かけの摩擦係数は $\mu'=0.4$ を仮定。

長野県西部地域の断層モデルと
速度異常域・隆起域・地下水異常

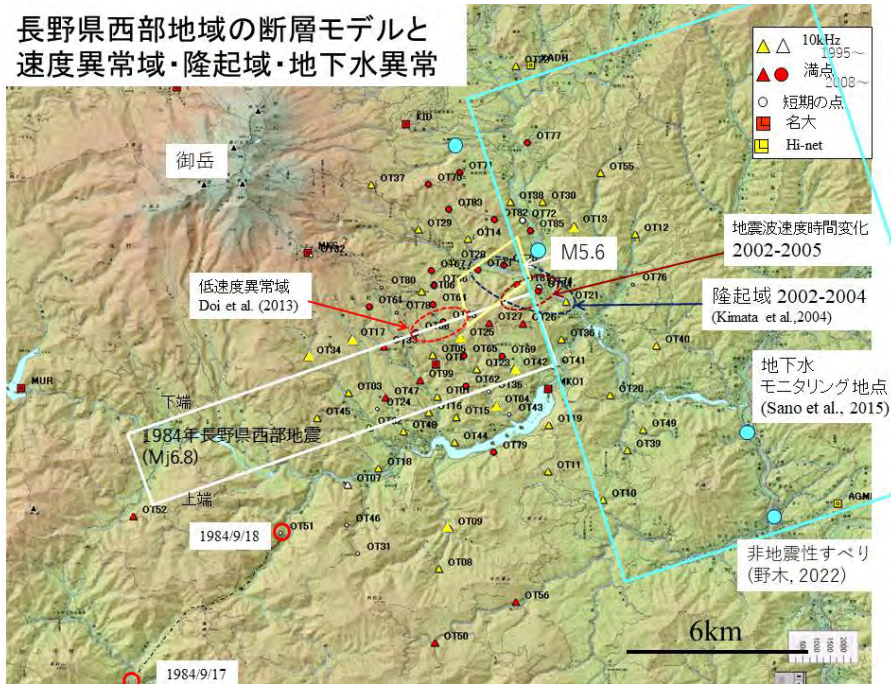


図13 推定された非地震性すべりを起こした逆断層、Mj5.6および1984年長野県西部地震の断層と、これまで長野県西部地域で観測された各種の異常変化との位置関係

深さ約2kmの低速度異常域(Doi et al., 2013)、トモグラフィーにより地震波速度異常の時間変化が見られた領域(京大防災研, H25年度年次報告)、水準測量により検知された隆起域(Kimata et al., 2004)、Heの同位体比の時間変化が推定された地下水モニタリング地点(Sano et al., 2015)。10kHzサンプリングと満点観測および周辺の定常観測点(名大とHi-net)の位置も表示。

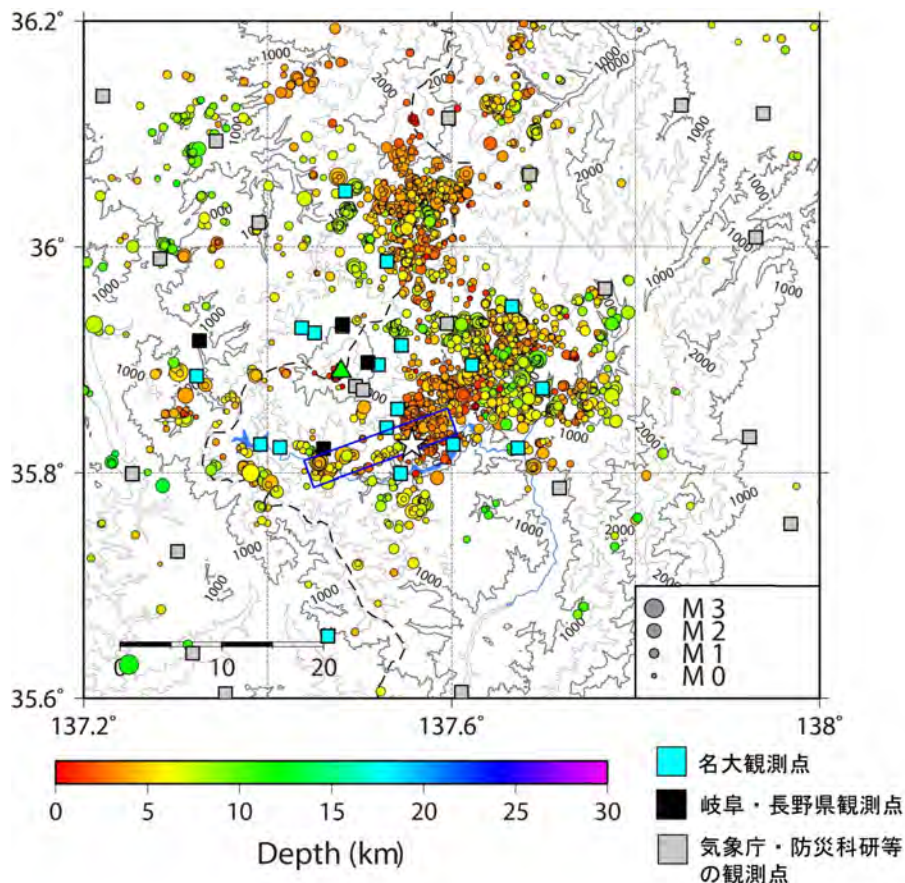


図14 御嶽山周辺域の地震活動（2022.1-2022.12）と観測点分布
 △は御嶽山、☆と青線の矩形は1984年長野県西部地震の震源と震源断層。

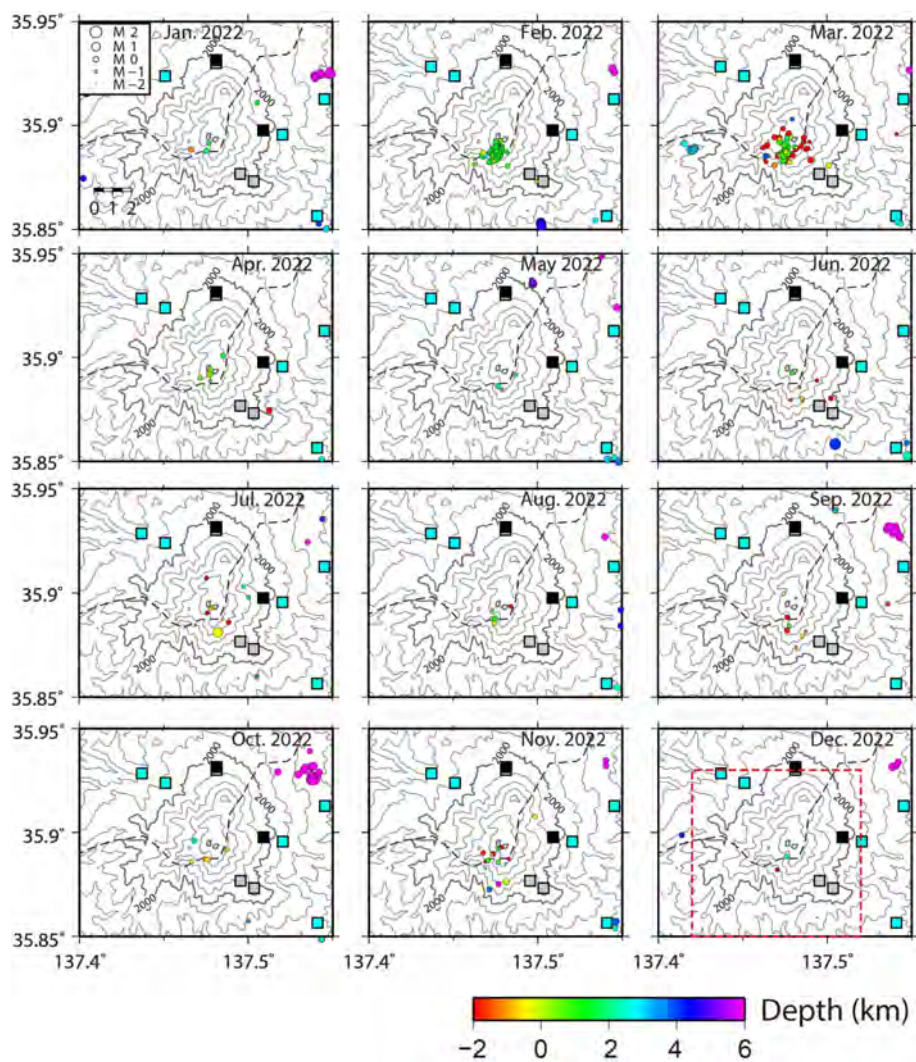


図15 御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布（2022年1月～12月）
 観測点の記号は図14と同様。

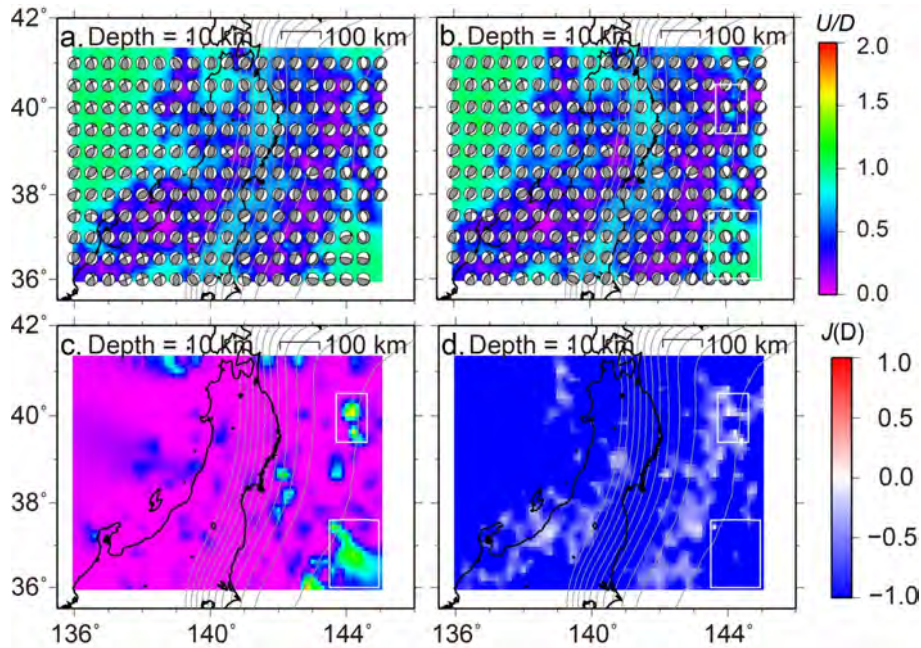


図16 東北沖地震前の応力場 (Terakawa and Matsu'ura, 2023)

a. 解析1の応力場のパターンと推定誤差 U (データ: 期間1, 直接的先験情報なし)。 b. 解析2の応力場のパターンと推定誤差 U (データ: 期間2, 解析1の結果を直接的先験情報とした)。 c. 解析1と解析2の応力場のパターンの違い D (1-偏差応力テンソルの内積の平均値)。 d. 解析1と解析2の応力の差 D の評価関数 ($J(D)$)。 $J > 0$ のとき応力の違いは有意である。この結果から、期間1と2では有意な応力時間変化は見られない。 a-dの灰色のコンターは、太平洋プレート上面の等深度線を表す。

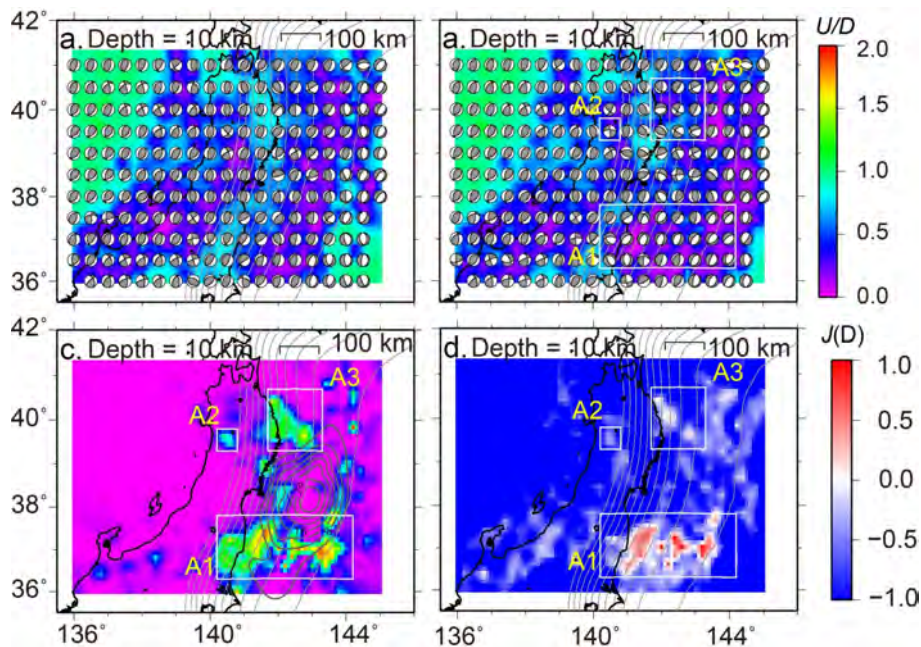


図17 東北沖地震前後の応力場の変化 (Terakawa and Matsu'ura, 2023)

a. 解析2の応力場のパターンと推定誤差 U (データ: 期間2, 解析1の結果を直接的先験情報とした)。 b. 解析3の応力場のパターンと推定誤差 U (データ: 期間3, 解析2の結果を直接的先験情報とした)。 c. 解析2と解析3の応力場のパターンの違い D (1-偏差応力テンソルの内積の平均値)。 d. 解析2と解析3の応力の差 D の評価関数 ($J(D)$)。 A1の中央部で $J > 0$ となり、この領域で期間2と3の応力の違いは有意である。 a-dの灰色のコンターは、太平洋プレート上面の等深度線を表す。 cの濃い灰色のコンターは、東北沖地震時の滑り分布 (Hashimoto et al. 2012) を表す。

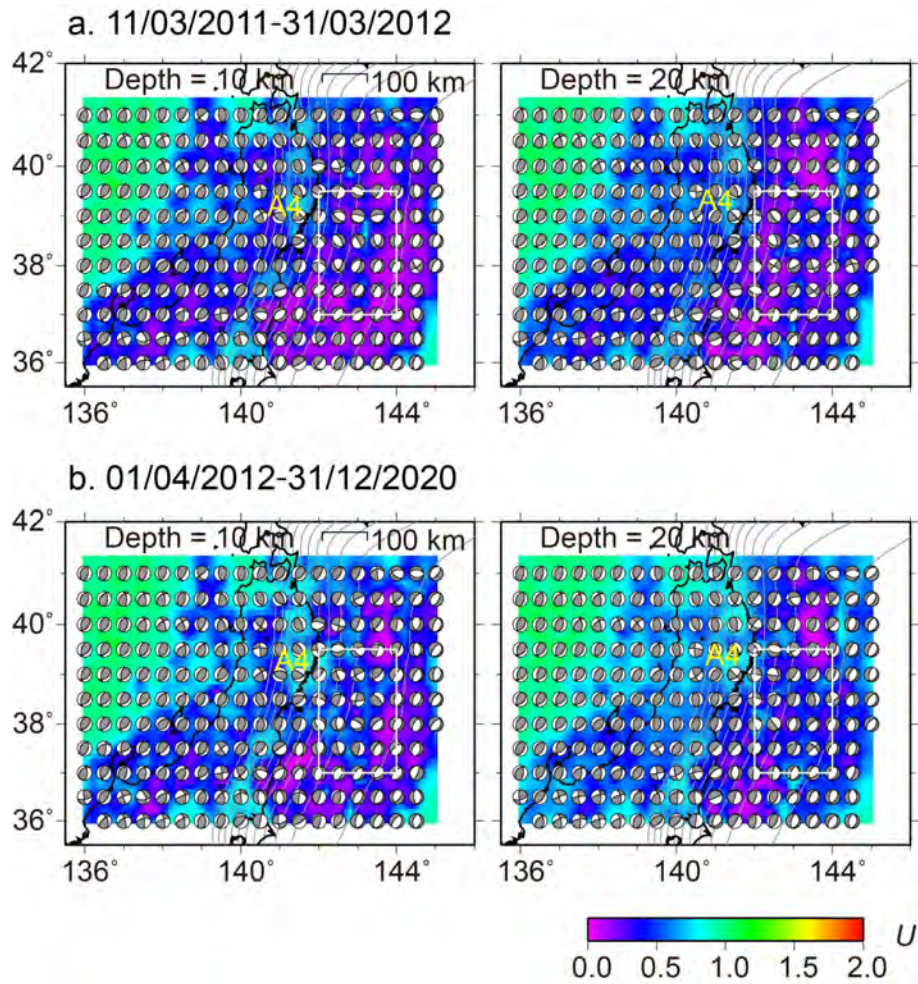


図18 東北沖地震後の余震データの影響を考慮した解析による応力場

a. 2011年3月11日～2012年3月31日までのデータを解析した場合（解析4a）。b. 2012年4月1日～2020年12月31日までのデータを解析した場合（解析4b）。応力場と推定誤差の表現は、図3a-bと同じ。

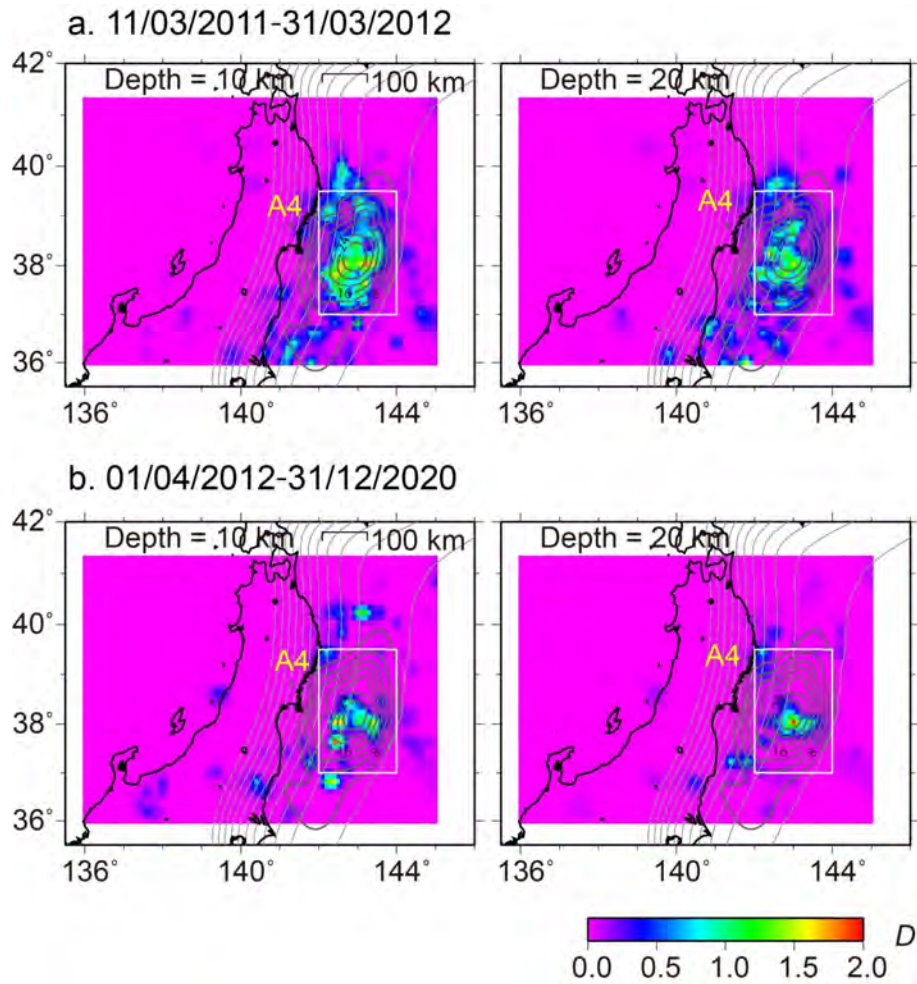


図19 :解析4a及び4bと解析3の応力差 (Terakawa and Matsu'ura, 2023)

a.解析4aと解析3の応力差。b.解析4bと解析3の応力差。応力差の表現は、図3cと同じ。グレーのコンターは図4cと同じ。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本列島の地震－火山噴火の基本場解明：地殻とマントルにおける応力、流体-マグマ、温度・流動－変形場

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
イ. 内陸地震
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火
オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震
千島海溝沿いの巨大地震
桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本列島は、地球最大のプレートである太平洋プレートと、それに接するフィリピン海、オホーツク、および巨大な大陸プレートであるユーラシアの合計4つのプレートがせめぎ合う世界最大の変動帯である。日本列島における地震・火山噴火として現れる変動現象を正確に把握して予測につなげるには、これらのプレート間の物質・力学相互作用を含めて、日本列島全体を俯瞰する広域的な場の理解が必要である。このために、地質学・地球物理学・地球化学の手法を統合し、地殻・マントルにおける

*応力場

*岩相-水-マグマの分布と物性

*温度・流動－変形場

を列島規模の大構造および重要地域での詳細研究により、定量化することを大きな目的とする。

基本場とその性質の理解に基づいてこそ、初めて異常が定義・検出でき、またなぜ異常が発生するのか

(例えば破壊、流体やマグマの発生-上昇-噴火といった時空間での局所的突発現象が発生するのか)、その機構に定量的制約が課せられる。「場の不均質」が現れやすい島弧-島弧会合部・遷移部は注目対象領域の一つである。またマグマの生成・移動を取り入れたシミュレーションにより、島弧スケールの基本場と個々の火山がどのように結びつくか(例えば、なぜカルデラ火山のような熱や物質の集中が起こるか)などの研究に道を拓こうとするものである。

上記の多様な場は、従来異なる手法によって研究が進められてきたが、島弧変動現象を物理化学過程としてみた場合、一連の必須要素である。このために、機関の枠を越えた多様な分野から最適なメンバーでそれぞれの場の理解を深化させる:地震メカニズム解と応力場解析(行竹、飯尾)、異なるスケールの空隙・クラックが存在する岩石-流体の V_p - V_s -電気伝導度測定(渡辺)、岩石・流体試料の組成分析・多変量解析に基づく地殻内流体・マグマの分布と循環把握(中村、岩森)、粘弾性体あるいは固液2相流体の理論・数値シミュレーションによる温度場と流動-変形場推定(深畑、岩森)を行う。同時に、それらを比較・統合することで、地震発生場と流体-マグマ発生・噴火場を統一的に理解することを目的とする。これらの基本場の理解に立脚して、温度場、流体-マグマ分布、流動変形を介した地震発生と火山活動の相互作用の理解を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

下記3項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場(地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動-変形)の解明を目指す。

* 応力場:地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

近年応力逆解析法を用いて地震メカニズム解データから地殻応力場の推定が行われ、震源断層近傍の詳細な応力場の空間変化や(例えば、Yukutake et al., 2006; Yoshida et al., 2014)、列島規模での広域応力場の分布(例えば、Terakawa and Matsu'ura, 2010; Yukutake et al., 2015)が得られてきた。一方、応力場の推定においては、通常、(1)地震は断層面上の最大せん断応力方向に滑る、(2)解析領域内では応力場は均質であるという2つの仮定を置く必要がある。しかし、(2)の仮定について実際の地殻内は断層強度と応力場の双方が不均質であるという結果が報告されている

(Rivera and Kanamori, 2002)ほか、応力場が非常に不均質であった場合応力逆解析法の結果にバイアスがかかる可能性も指摘されている(Smith and Dieterich, 2010)。この課題では、仮定した応力場に対する各メカニズム解のMisfit角に着目し、実際に観測された地震メカニズム解データが均質な応力場でどの程度説明可能かどうかMisfit角を基に定量的に評価し、応力場の不均質性についての制約を試みる。メカニズム解の決定誤差が重要になってくるため、2000年鳥取県西部地震震源域で行われた多点稠密地震観測のデータを用いて高精度にメカニズム解を推定し、その結果に基づいて解析を行う予定である。本研究で地震後の震源断層周辺の応力場の不均質性が明らかになれば、応力の絶対値への議論も可能であり、また応力逆解析法の妥当性の評価にもつながる。さらに地震発生及び火山現象と地殻内流体との関係の理解を目指し、火山地熱域及びその周辺で発生する群発地震活動や深部低周波地震について高精度な震源分布や発生域の応力場を明らかにし、その時間空間特性及び周辺地殻構造やテクトニクスとの関係を明らかにする。

* 岩相-水-マグマの分布と物性

地殻やマントルに存在する流体(水を主成分とする)は、地震活動・火山活動において重要な役割を果たしている。その根は、沈み込むプレート(スラブ)にある。従来、沈み込むスラブと、それに由来する流体、流体の移動とマントル・地殻岩石との反応によって生じるマグマの分布は、スラブが均質であることを仮定して解析が進められてきた。しかし近年、沈み込むスラブ物質の不均質(たとえば、海山、断裂帯など)の存在が、沈み込まれる側の地震や火山活動に大きな影響を及ぼしうることが分かってきた(e.g., Nishizawa et al., 2017)。沈み込むスラブの不均質と沈み込まれる側(島弧側)での流体、マグマ活動の関係性を解明するため、火山岩および深部由来流体の採取・分析と、得られたデータのインバージョン解析(機械学習的手法の導入)により、溶融度、スラブ由来流体量、スラブ由来流体の起源物質組成を定量的に求め、日本列島に供給される流体やマグマ生成の基本場解明を目指す。特に、沈み込むスラブ不均質の指標となりうる元素や同位体、および隣り合う火山の違い

(例えば、箱根カルデラ火山と富士成層火山)、構造線・火山周辺の地下水、および島弧-島弧遷移帯(例えば、中部日本弧-東北日本弧; Nakamura et al., 2017)に注目しつつ、研究対象地域を1か所選定し、流体-マグマ研究を進める。並行して、物性実験と地球物理学的観測から流体やマグマの分布・性質特定を目指す。地震波速度、電気伝導度をもとに、地殻やマントルにおける流体の分布を推定するのが、本研究項目の目的である。流体を含む岩石の弾性波速度や電気伝導度に関するモデルは、こ

れまでも多数提案されてきている。しかし、高圧下で実際にどのような空隙が存在しているのかについての理解が不足していた。本研究では、岩石試料として、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、ハンレイ岩、カンラン岩等を使用し、弾性波速度・電気伝導度測定から、圧力増加に伴う空隙の閉鎖、連結度の変化を調べる。また、X線CT観察により、どのような空隙がどのような割合で存在しているか、空隙の全体像を調べるとともに、イオンリングで表面研磨した岩石試料のSEM観察により、高圧下でも閉じないアスペクト比の大きな空隙の実体、および異なるスケールの空隙・クラックの物性に及ぼす効果を明らかにする。高圧実験と空隙構造観察を組み合わせることにより、高圧下での空隙構造を理解し、流体を含む岩石の弾性波速度・電気伝導度に関する統一的なモデルを構築する。このモデルを観測データに応用することにより、地殻・マンツルの流体分布を推定する。

* 温度・流動－変形場

島弧スケールの温度場は、マグマ生成を含む化学反応や、岩石物性（特に密度と粘性率）を規定する最重要要素といえる。温度場は、プレート沈み込みとそれに伴うマンツルウエッジ対流、およびマグマや流体の移動の相互作用によって生み出される。本研究項目では、対流－流体発生と移動の数値モデル（e.g., Horiuchi and Iwamori, 2016; Nakao et al., 2016）を発展させ、マグマ生成・移動も再現するより現実的なモデル構築とそれに基づく観測の解釈、および予測を目指す。このモデル化が進めば、将来的には、沈み込むプレートから火山噴火に至るまでの一連のプロセスとその連動の様子を定量的に把握することにつながり、個々の火山と沈み込み帯場の関係性の理解が、飛躍的に進むと期待される。これらの温度場・流動場の理解に根差し、島弧の変形場の理解を目指す。島弧変形場の最も基本的な力学源は、海洋プレートの沈み込みに伴う海陸プレート間の力学的相互作用（プレート境界面に変位の食い違いを与えることによって表現できる）である。最近になって、なぜ島弧－海溝－外縁隆起帯という地形的な凹凸が世界中の沈み込み帯で普遍的に形成されるのか、このモデルに基づきその根本的な物理メカニズムが明らかとなった（Fukahata & Matsu'ura, 2016）。しかし、沈み込むスラブの形状が島弧の走向方向に変化していることから明らかなように、現実の現象をより正確に理解するためには、島弧の縦断方向だけでなくその走向方向の変化も無視できない。さらには、津軽海峡や豊後水道などいわゆる島弧－島弧会合部では、顕著な負の重力異常が島弧側に大きく入り込むといった現象が世界中で一般的に見られる。そこで、本研究では、島弧の走向方向の変化や島弧－島弧会合部に焦点を当てて、2次元モデルから3次元モデルへと物理的な理解を深化させることを目指す。加えて、日本列島のテクトニクスを理解するためには、他の島弧と比較することが重要である。そこで、いわゆる比較沈み込み学についても、地形や重力異常分布、応力状態、火山分布などとの比較を基に研究を進める。

年次計画

平成31年度：2000年鳥取県西部域において実施された多点稠密地震観測データのとりまとめ、メカニズム解の決定を実施。センチメートルスケールのクラック（以降 cm-crack）を含む岩石試料（花崗岩、直径26mm、長さ30mm）および含まない岩石試料（花崗岩、花崗閃緑岩、カンラン岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。深部流体の分布が期待される大きな構造線沿い、特にISTL－MTL沿いの湧水組成既存データを精査し、分布の概要を調べる。沈み込んだ海山の影響が明らかなカムチャッカ火山の試料を用い、特徴的成分やその検出方法を探る。島弧粘弾性変形場の3次元モデル構築のため、まず2次元モデルにおいて歪みの振る舞いについて理解を深める。マンツル対流モデルに溶融・メルト組成再現を行うための定式化を行う。

平成32年度：引き続き鳥取県西部域におけるメカニズム解の整備を進めるとともに、Misfit角を用いた断層周辺の応力場不均質に関する解析を進める。前年度に引き続き、cm-crackを含む岩石試料（花崗岩）および含まない岩石試料（花崗岩、花崗閃緑岩、カンラン岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。前年の解析に基づき、ISTL－MTL沿い深部流体のサンプリングを行う。沈み込んだ海山が島弧火山岩に及ぼす影響を、特徴的成分に注目しながら化学インバージョンする方法を構築する。同時に、日本の火山で特徴的成分がみられるか、既存データから抽出を試みる。プレート境界形状が海溝の走向方向に変化する場合について計算を実行し、理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いがどう変化するかも調べる。他の沈み込み帯についても研究を進める。マンツル対流モデルに溶融・メルト組成再現の定式化を組み込む。水に加え、CO₂を組み込むための定式化を進める。

平成33年度：鳥取県西部域において断層周辺の応力場不均質性を定量的に推定するとともに、本震前の応力場の情報、特にその絶対値についての制約を試みる。cm-crackをやや多く含む岩石試料（花崗岩）について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMにより空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。ISTL-MTL沿い深部流体のサンプリングを継続するとともに、主要・微量・同位体分析を開始する。海山の影響が推定される日本の火山岩のサンプリングを進める。島弧-島弧会合部のように、プレート境界の走向が変化する場合に、海洋プレートの沈み込みによる島弧の変形場がどのようになるのか理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いがどう変化するかも調べる。比較沈み込み学についても引き続き研究を進める。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成34年度：鳥取県西部域で実施した解析をほかの内陸域の地震活動に適用し、応力場不均質性に関する普遍性を調べる。cm-crackを多く含む岩石試料（花崗岩）について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを検討する。深部流体の調査・組成分析を進め、予察的な統計解析により、深部流体のソース・過程の抽出を試みる。海山の影響を抽出するため、火山岩組成の分析（主要・微量・同位体）を進める。並行して組成インバージョンを開始する。地形や重力異常分布、応力状態、火山分布の普遍的特徴と特殊性を、観測データを基に明らかにし、その結果をまとめる。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成35年度：これまでの結果に基づいて地殻応力場の不均質性と強度及び絶対応力値に関する議論を進める。前年度に引き続き、cm-crackを多く含む岩石試料（花崗岩）について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを構築する。深部流体の調査・組成分析を進め、深部流体、海山からの影響を定量的に結び、流体・マグマ循環を統合する。日本列島を含むいくつかの島弧について、3次元の変形理論モデルを適用し、地形および重力異常などの原因を考察する。水、CO₂を含み、マグマ組成を再現するモデルの結果をまとめ、沈み込み帯の流体・物質循環を統合する。5年間の応力、物性、流体・マグマ生成、数値モデルの結果・知見を総合し、日本列島の基本場を明らかにする。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題は、下記3項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場（地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動-変形）の解明を目指すものである。

* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

* 岩相-水-マグマの分布と物性把握

* 温度・流動-変形場の再現と検証

各サブ課題について、下記を実施し、いずれも概ね計画通りに進展した。

* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

今年度は、火山深部への流体供給過程について焦点をあて、火山深部で発生する深部低周波地震や微動を対象にし、その観測波形の特徴や発生源の推定に関する研究を進めた。箱根火山において2019年5月26日未明に火山近傍の観測点で観測された継続時間10分程度の連続的な微動シグナルに対する解析を行った。観測データを詳細に解析した結果、シグナル前半部では1Hz付近を中心とするブロードなスペクトルピークを持つが、後半部では振幅の増加とともに0.9Hz付近とその倍音モードに対応する周波数でシャープなスペクトルピークを持つハーモニック振動に変遷することが分かった（図1）(Yukutake et al., 2022)。この微動源を地震波形のエンベロープの相関により得られる観測点間の走時差から推定すると、箱根カルデラの北側深さ40km付近に推定された（図2）。これはモホ面の深さレベルに対応し、また箱根火山深部で発生する低周波地震活動域の深部延長に位置する。この火山性微動前後の箱根深部での低周波地震活動についてマッチドフィルター法を用いて詳細な活動時系列を推定した結果、微動の発生数時間前から活発化しその後約1年間にわたって活動レートが高い状態であったことが分かった（図3）。また深部低周波地震の活動域は、微動の発生直後から時間の経過とともに浅部に拡大している様子が見られ（図3d）、火山深部での流体供給に伴い、こうした微動や深部低周波地震活動が励起された可能性が示唆される。

* 岩相-水-マグマの分布と物性把握

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。観測された地震波速度と電気伝導度から地殻の流体分布を推定するためには、高圧下のクラックをどのような空隙として扱うべきかを理解する必要がある。

センチメートルスケールのクラックのある岩石試料（庵治花崗岩）について、含水状態での弾性波速度・電気伝導度測定を高圧下で行うとともに、X線CT画像から構築した3次元モデルを用いてクラック閉鎖の数値実験を行った。クラック内に残る空隙を高圧下で観察することは困難であるため、数値実験によりクラック内の空隙を推定する。この推定の妥当性を検証するため、数値実験で得られる空隙に対して計算される電気伝導度と測定値とを比較した。圧力下での電気伝導度変化の一例を図4に示す。クラック閉鎖の数値実験では、アスペリティ接触で弾性変形のみが生じる場合（降伏応力：2GPa）と、降伏応力が小さく（0.22 GPa）塑性変形も生じる場合を考えた。常圧では、電気伝導度の計算値と測定値は良い一致を示しているが、弾性変形のみが生じる場合はクラック閉鎖が進まず、測定値よりも有意に高い値を示す。降伏応力を下げて塑性変形が生じるようにすると、測定値に近い電気伝導度を示した。ただし、10MPaを超える圧力では開口がピクセルサイズ（50 mm）よりも小さくなり、現在のモデルの適用限界を超えるため、電気伝導度は計算できなかった。高圧下のクラック閉鎖実験においては、圧力増加時にAE発生が観測された。また、デジタルマイクロスコープを用いたクラックの表面観察では、実験後のクラック表面に多くの微小粒子が見られた。アスペリティ接触部での微小破壊によりAEが発生し、微小粒子が作られたと考えている。この微小破壊による変形によりクラック閉鎖が進行し、弾性変形のみの場合よりも低い電気伝導度をもたらしていると考えている。

常圧（0.1 MPa）および、圧力10 MPaでのクラックの開口分布および電流分布を、それぞれ図5(a)、(b)に示す。高圧での開口分布は降伏応力を0.2 GPaとして得たものであり、測定された電気伝導度を与えるものである。また、接触応力の分布を図5 (c) に示す。高圧下でのクラックは、このような離散的にアスペリティ接触している2つの面として捉えるべきであると考えている。

地殻流体の分布・循環については、以下の研究を行った。深部流体および火山体内部を含む浅部での流体循環の実態を明らかにするため、阿蘇カルデラを含む九州中部、および始良カルデラを含む九州南部のそれぞれの領域に分布する地下水について、溶存元素組成データを統計解析し、組成的特徴とその空間分布の成因あるいは生成機構を推定した。統計解析の方法は、白色化されたデータに基づくクラスター解析（Iwamori et al., 2017; 2020）を用いた。その結果、既存研究では見いだせなかったカルデラ内および外における浅部の流体循環、火山性成分の循環、および沈み込んだプレート由来と考えられる深部流体を見分け、その分布と地質学的構造との間の関連性を、初めてクリアに捉えることに成功した（図6、Iwamori et al., 2023）。特に、九州中部地域においては、有馬型の深部流体が、別府島原地溝帯南縁や大きな断層帯に沿い、かつ前弧から背弧に存在し、九州中部が広範囲に深部流体のフラックスを受けていることが分かった。

また、前年度に引き続き、岩相-水-マグマの地殻および上部マントル条件での地震波速度および電気伝導度を再現するフォワードモデルとそのインバージョンの研究を進めた。その結果、ベイズ統計に基づくインバージョンにより安定的にパラメータ推定が可能であることが分かった。このモデルを用いた実際のデータ解析が進行中である。

* 温度・流動-変形場の再現と検証

Okazaki et al. (2021)は、ABICに基づく基底関数展開により、空間的に離散的なGNSSデータから連続的な変形場の推定を行う手法を開発し、2006年1月から4年間の日本列島のGNSSデータに適用した。同手法を新たに1997年1月からの3年間、2017年10月からの3年間のGNSSデータにも適用することで、時間変化も含めた日本列島の変形場を明らかにした（深畑ほか、2022; 図7）。その結果、日本列島では強弱はあるものの遍く変形が生じており剛体近似に基づくプレートテクトニクスに立脚して地殻変動を解釈することは無理があること、つまりは日高山脈か糸静線かなど日本列島のどこを

北米（オホーツク）プレートとユーラシア（アムール）プレートの境界が通るのか長い間議論されてきたが、そのような論争は不毛であることを主張した。代わりに、日本列島が千島弧や東北日本弧などの島弧の集合体から成ることに注目し、島弧間の変動と島弧内の変動とに整理・分類することで日本列島のテクトニクスがより簡明に理解できることを論じた。

最近のデータ解析では、観測データに加えて先験的情報を利用するベイズ統計が主流となっている。ベイズ統計では、観測データの重みと先験的情報の重みを超パラメタで規定する。モデルパラメタと超パラメタの同時事後分布から解を求める際に、これまで確率最大（MAP）や平均値（EAP）が採用されることが多かったが、モデルパラメタ数が多い場合には、MAPは不適切な解となること、EAPは組み合わせ爆発により計算困難となること、その一方、モデルパラメタについて周辺化（積分）し、その周辺尤度最大から超パラメタの最適値を求めた後にモデルパラメタを推定するABICが、実は適切な解を与えることを解析解と数値計算を組み合わせで示した（Sato et al., 2022；図8）。この成果は、インバージョン解析全体に及ぶ大きな波及効果を持っている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
火山深部での連続微動の観測記録の解析を通して、火山深部でのマグマ性流体の供給過程に関する議論が進んだ。また、日本列島の時空間的変形場の解明、あるいは変形場を解明するための解析手法開発という地震・火山現象の解明の基盤となる研究として貢献している。これらの基盤の理解に基づき、災害の軽減にも長期的に大いに貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

査読有,謝辞無

査読有,謝辞無

Yukutake, Y., Yoshida, K., & Honda, R.,2022,Interaction Between Aseismic Slip and Fluid Invasion in Earthquake Swarms Revealed by Dense Geodetic and Seismic Observations,Journal of Geophysical Research: Solid Earth,127(4),doi: 10.1029/2021JB022933,査読有

Yukutake, Y., Honda, R., Ukawa, M., Kurita, K.,2022,Harmonic tremor from the deep part of Hakone volcano,Earth Planets

Space,74,144,https://doi.org/10.1186/s40623-022-01700-8,査読有

Ryou, H., Yuki, A., Yohei, Y., & Shin'ichi, S.,2022,Fracture Structures in and Around Hakone Volcano Revealed by Dense Seismic Observations,Journal of Disaster

Research,17(5),663-669,査読有

Iwamori, H., H. Nakamura, N. Morikawa, M. Takahashi, A. Inamura, S. Haraguchi, T. Nishizawa, S. Sakata,2023,Groundwaters and deep-seated fluid circulation around Aso Volcano, Southwest Japan, revealed by multivariate statistical analysis of the geochemical data,Journal of

Volcanology,433,https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107739,査読有,謝辞有

Iwamori H, M Yoshida, H Nakamura,2022,Large-scale structures in the Earth's interior: Top-down hemispherical dynamics constrained by geochemical and geophysical

approaches,Frontiers in Earth Science,10,https://doi.org/10.3389/feart.2022.1033378,査読有

Tanaka, E., K. Yasukawa, K. Nakamura, J. Ohta, T. Miyazaki, B.S. Vaglarov, S. Machida, K.

Fujinaga, H. Iwamori, Y. Kato,2022,Secular Variations in Provenance of Sedimentary

Components in the Western North Pacific Ocean Constrained by Sr Isotopic Features of Deep-Sea Sediments,Geochemistry, Geophysics,

Geosystems,23,https://doi.org/10.1029/2021GC009729,査読有

Nakanishi, N, T Yokoyama, S Okabayashi, H Iwamori, T Hirata,2022,Geochemical constraints on the formation of chondrules: Implication from Os and Fe isotopes and HSE abundances in metals from CR chondrites,Geochimica et Cosmochimica

Acta,319,254-270,https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.11.009,査読有

Yasukawa K, J Ohta, M Hamada, Q Chang, H Nakamura, K Ashida, Y Takaya, K Nakamura, H

Iwamori, Y Kato,2022,Essential processes involving REE-enrichment in biogenic apatite in deep-

sea sediment decoded via multivariate statistical analyses, *Chemical Geology*, 614, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121184>, 査読有

Masuda Y, T Yokoyama, S Okabayashi, A Ishikawa, H Iwamori, 2022, Chemical and Isotopic Evaluation of a Microsampling Method using Laser Ablation and Membrane Filter, *Geostandards and Geoanalytical Research*, 46, 205-222, <https://doi.org/10.1111/ggr.12426>, 査読有

Asaah ANE, T Yokoyama, H Iwamori, FT Aka, J Tamen, T Kuritani, T Usui, T Hasegawa, EM Fozing, 2022, Geochemical composition of dykes along the Cameroon Line (CL): Petrogenesis and similarities with the Central Atlantic Magmatic Province, *Geochemistry*, 82, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125865>, 査読有

岩森光, 2022, 地殻流体の分布を推定する地球物理—地球化学の統合的手法, *地球化学*, 56, 87-98, <https://doi.org/10.14934/chikyukagaku.56.87>, 査読有

中村仁美・岩森光, 2022, 有馬型温泉水とスラブ脱水, *地球化学*, 56, 76-86, <https://doi.org/10.14934/chikyukagaku.56.76>, 査読有

野末陽平・深畑幸俊, 2022, 基底関数展開による変位場推定におけるボックスカー関数と3次B-スプライン関数の比較, *地震*, 75, 1-12, DOI: 10.4294/zisin.2021-8, 査読有

Yamashita, S., Yagi, Y., Okuwaki, R., Shimizu, K., Agata, R. and Fukahata, Y., 2022, Potency density tensor inversion of complex body waveforms with time-adaptive smoothing constraint, *Geophys. J. Int.*, 231, 91-107, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac181>, 査読有

Sato, D.K., Fukahata, Y. and Nozue, Y., 2022, Appropriate reduction of the posterior distribution in fully Bayesian inversions, *Geophys. J. Int.*, 231, 950-981, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac231>, 査読有

Okazaki, T., Fukahata, Y. and Ueda, N., 2022, Time variable stress inversion of centroid moment tensor data using gaussian processes, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 127, <https://doi.org/10.1029/2022JB024314>, 査読有

深畑幸俊、岡崎智久、西村卓也, 2022, GNSSデータに基づく日本列島の歪み速度場と島弧間および島弧内変動, *地学雑誌*, 131, 479-496, doi:10.5026/jgeography.131.479, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

Yuji Nakamura, Ahyi Kim, Hiroki Uematsu, Yohei Yukutake, Yuki Abe, 2022, Towards Constructing a High-precision Phase picker for Volcanic Earthquakes Using Deep Learning: Performance Evaluation of Various Models, AGU Fall Meeting, Poster (S42C-0163)

本多 亮、安部 祐希、行竹 洋平、酒井 慎一, 2022, 箱根カルデラ内の亀裂系構造の空間変化とその原因について, 日本地震学会秋季大会, 口頭発表 (S06-11)

吉田 圭佑、宇野 正起、松澤 暢、行竹 洋平、椋平 祐輔、佐藤 比呂志、吉田 武義, 2022, 石川県能登半島北東部の群発地震：マグマ活動に起因する構造と流体供給, 日本地震学会秋季大会, 口頭発表 (S08-02)

楠城 一嘉、行竹 洋平、熊澤 貴雄, 2022, 富士山の低周波地震の検知と統計解析, 日本地震学会秋季大会

中村 勇士、金 亜伊、上松 大輝、行竹 洋平、安部 祐希, 2022, 深層学習による高精度な火山性地震の位相検出モデルの構築に向けて：様々なモデルの性能評価, 日本地震学会秋季大会, ポスター発表 (S21P-03)

楠城 一嘉、行竹 洋平, 2022, A study on detection of low-frequency earthquakes at Mt. Fuji and data quality evaluation, 地球惑星科学連合2022年大会, ポスター発表 (SSS11-P04)

行竹洋平、金亜伊, 2022, 機械学習による霧島火山における火山性地震活動の推定, 日本地震学会秋季大会, ポスター発表 (S21P-04)

萬年 一剛、安部 祐希、代田 寧、道家 涼介、藤松 淳、原田 昌武、本多 亮、行竹 洋平, 2022, 箱根火山の活動監視と評価, 地球惑星科学連合2022年大会, 口頭発表 (SVC34-08)

三浦 凜、平松 良浩、行竹 洋平, 2022, Double-Difference トモグラフィー法により推定された白山火山下の三次元地震波速度構造, 地球惑星科学連合2022年大会, ポスター発表 (SVC31-P09)

行竹 洋平、金 亜伊, 2022, 機械学習を用いた火山性地震の検出と震源決定—霧島火山への適用例—, 地球惑星科学連合2022年大会, 口頭発表 (SCG51-05)

尾崎 智紀、行竹 洋平、市原 美恵, 2022, 箱根火山深部で発生した調和型微動のモデル化, 地球惑星科学連合2022年大会, ポスター発表 (SCG54-P03)

金 亜伊、中村 勇士、上松 大輝、行竹 洋平、安倍 祐希, 2022, 機械学習を用いた箱根火山における地震

波検測: 同一判定窓内に複数の地震波がある場合の検測精度の向上に向けて,地球惑星科学連合2022年大会,ポスター発表(SCG51-P05)

Hitotsumatsu, H. & Watanabe, T.,2022,Structure of pores in a fracture under pressure,日本地球惑星科学連合2022年大会

一松駿斗,2022,圧力による亀裂閉鎖で形成する空隙構造,日本地熱学会令和4年学術講演会

深畑幸俊, 森祐太朗,2022,日本列島前弧域の大地形と沈み込む海洋プレートの形状との関係,地球惑星科学連合2022年大会,口頭発表(HGM03-07)

深畑幸俊, 森祐太朗,2022,プレート沈み込みによるdislocation modelに基づく第四紀における西日本の大地形の発達,地球惑星科学連合2022年大会,ポスター発表(SCG52-P09)

深畑幸俊, 岡崎智久, 西村卓也,2022,ABICを用いた基底関数展開に基づくGNSSデータの解析による日本列島の歪み速度場,日本地震学会2022年度秋季大会,ポスター発表(S04P-05)

Iwamori, H. and 14 others,2022,Simultaneous Analysis of Seismic Velocity and Electrical Conductivity for Subsurface Imaging of Geofluids in the Crust and the Uppermost Mantle,地球惑星科学連合2022年大会,招待口頭発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

令和4年度に報告した火山性微動に対する物理的な考察を進める。

アスペリティ接触を考慮した岩石モデルの構築

前年度までの成果に基づき、アスペリティ接触を考慮した岩石の弾性および電気伝導度モデルを構築する。Gao and Gibson (2012)に倣い、クラックの外力に対する応答（クラック・コンプライアンス）をクラック表面の高さ分布を用いて表現し、クラックを含む媒質の実効弾性率に関係づける。FIB-SEMにより岩石試料（庵治花崗岩）の粒界クラック表面の高さ分布を調べる。粒界クラックの表面形状から計算される弾性波速度と測定値を比較し、モデルの妥当性を検証する。

一方、表面の高さ分布からクラックの電気抵抗を計算することができる。クラックの形成するネットワーク形状を与えることによって、粒界クラックがつくる伝導経路の電気抵抗を求めることができる。微細構造から出発するモデルを構築したうえで、どのような媒質パラメータを介して現実の観測量と関係づけられるかを検討する。

これまでに得られたデータを統合しつつ、流体および溶岩などの地殻流体に関わる試料の調査・サンプリング・分析、およびそれらの統計解析・モデリングに基づき、深部流体やマグマの発生・上昇・湧出-噴火過程の統合的な理解を目指す。

日本列島のテクトニクスをより良く理解するために、島弧の地形や重力異常の高まりがどのようなパラメータとよく相関しているのか、様々な沈み込み帯の間で比較する、いわゆる比較沈み込み学的研究を行う。また、GNSSデータから日本列島の変形を推定する際に平滑化条件を課してきたが、例えば活断層周辺での歪みの局在を過小評価してしまう恐れがある。そこで、より高解像度で歪み速度場を得るべく解析手法の高度化に向けた研究を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

深畑幸俊（京都大学防災研究所）,飯尾能久（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 京都大学防災研究所

電話: 0774-38-4226

e-mail: fukahata@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL: <http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~fukahata/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：深畑幸俊

所属：京都大学防災研究所

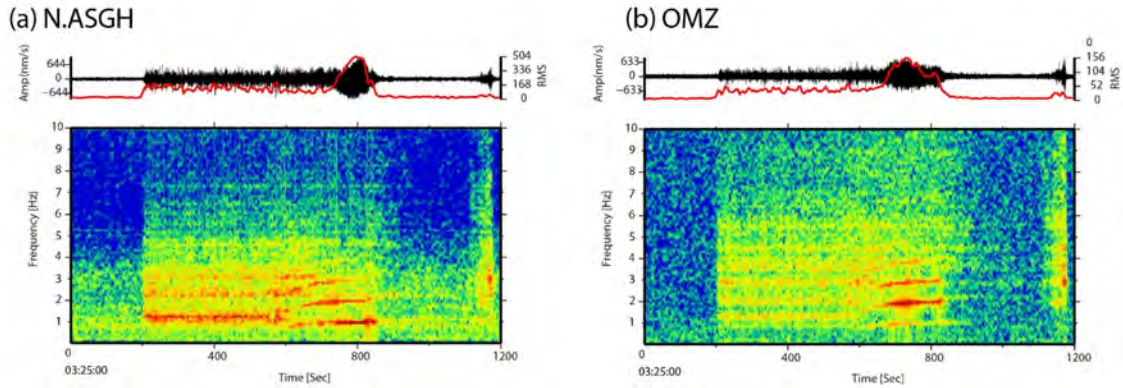


図1

箱根火山近傍のHi-net南足柄観測点(N.ASGH)及び神奈川県温泉地学研究所大又沢観測点で記録された火山性微動の波形記録（上下成分）とそのランニングスペクトル (Yukutake et al., 2022)。

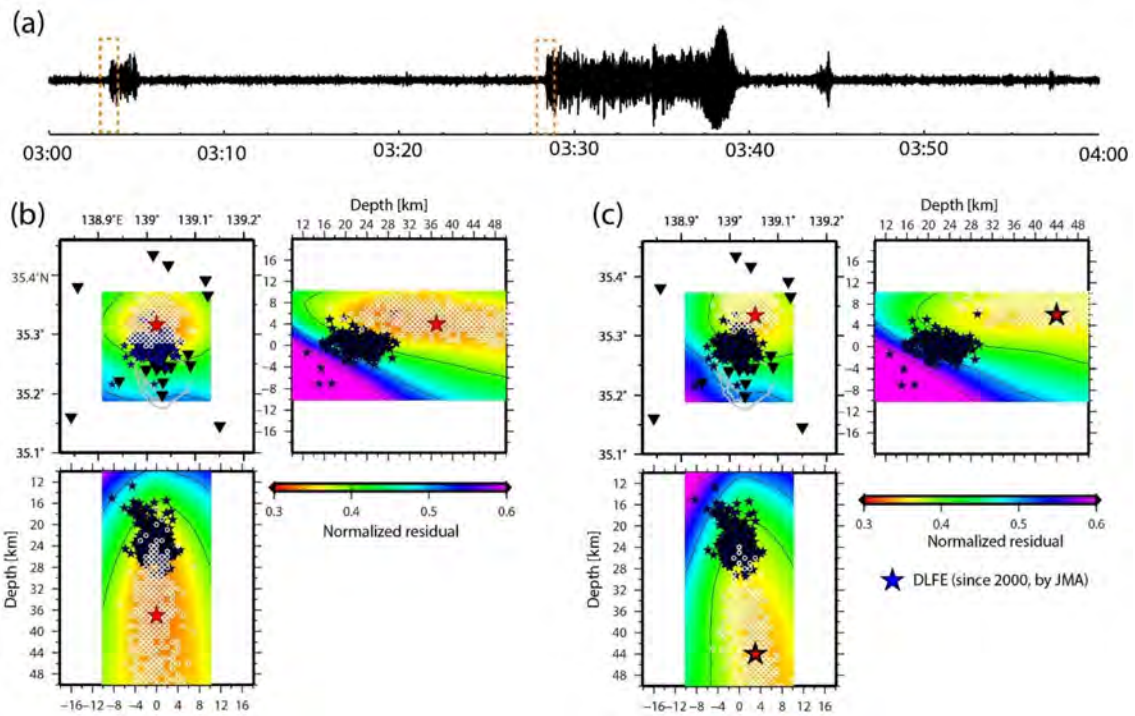


図2

微動波形記録(a)に対して、(b) (c)立ち上がりのエンベロップ相関から求めた走時差データから得られた微動の震源位置。赤星印は微動源の最適解の位置を、白丸はブートストラップ法の結果、カラーは残差の分布を示す。青星印は過去20年間に発生した深部低周波地震の位置を示す (Yukutake et al., 2022)。

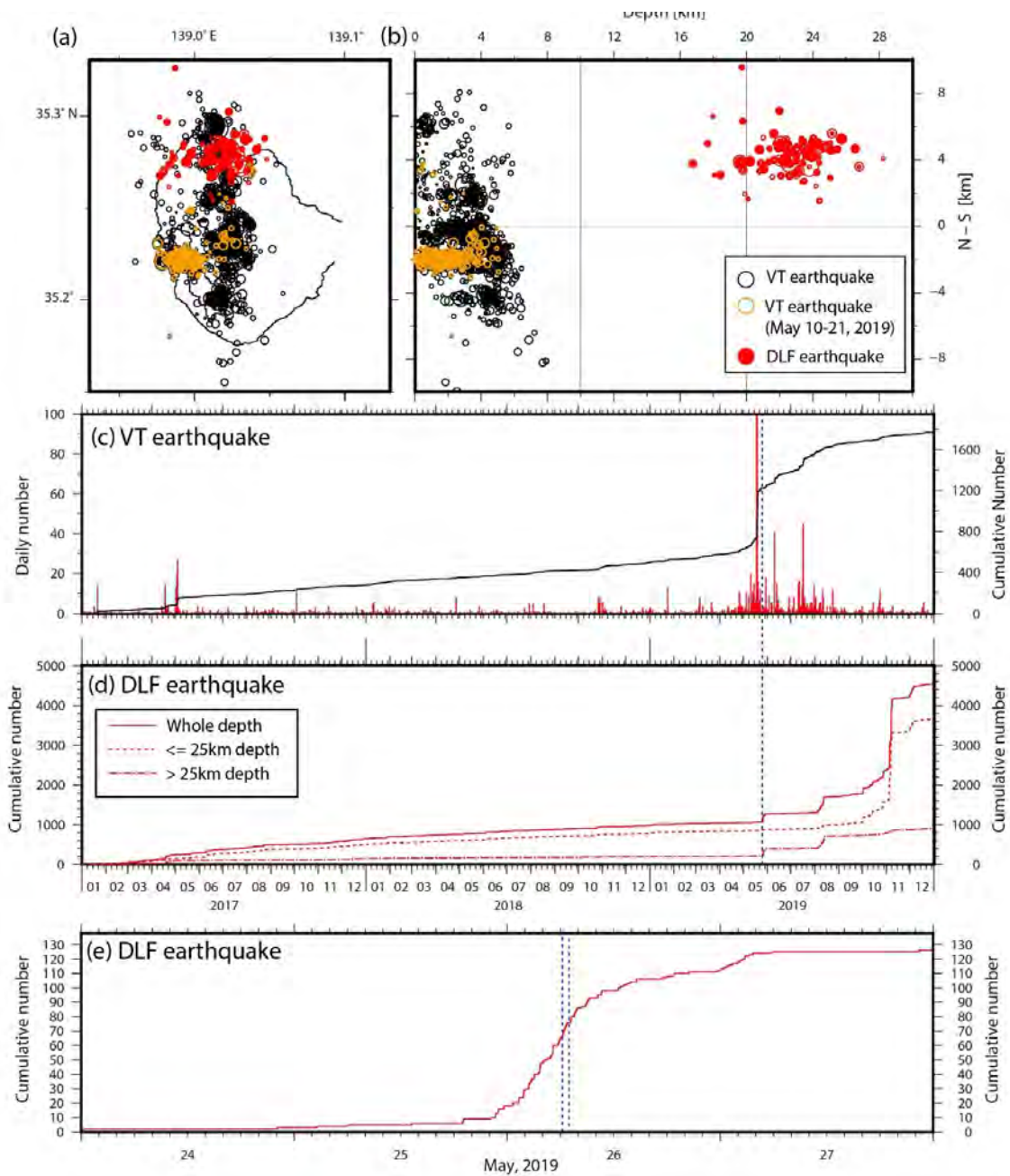


図3

箱根火山における2017年から2019年までの地震活動。(a)震央分布図、(b)南北深さ断面図。黒丸は火山構造性地震、オレンジ丸は2019年5月に発生した群発地震活動、赤丸は深部低周波地震を表す。(c)、(d)火山構造性地震及び深部低周波地震の積算曲線。(d)の波線及び一点波線は深さ25km以深及び、25kmより浅部での深部低周波地震の積算曲線を示す。(e)火山性微動発生時(2019年5月26日)の深部低周波地震積算曲線の拡大図。(Yukutake et al., 2022)

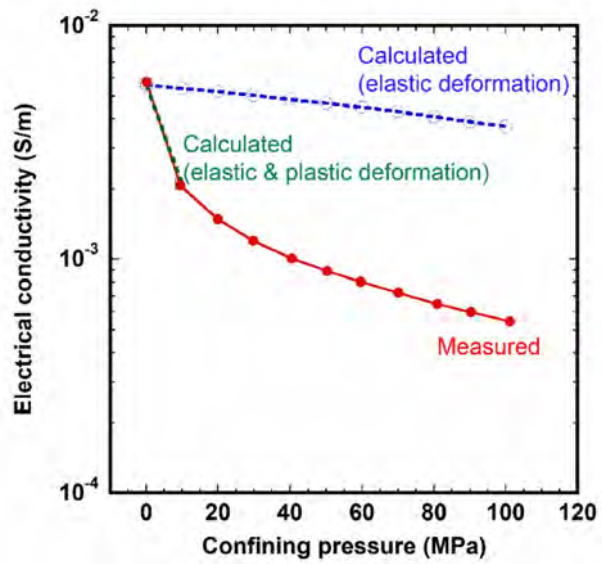


図4

クラックのある含水庵治花崗岩試料 (fr02) の電気伝導度の封圧依存性。間隙流体は0.1mol/Mの塩化カリウム水溶液（電気伝導度：1.2 S/m）である。クラック閉鎖の数値実験により求めた電気伝導度も併せて示している。

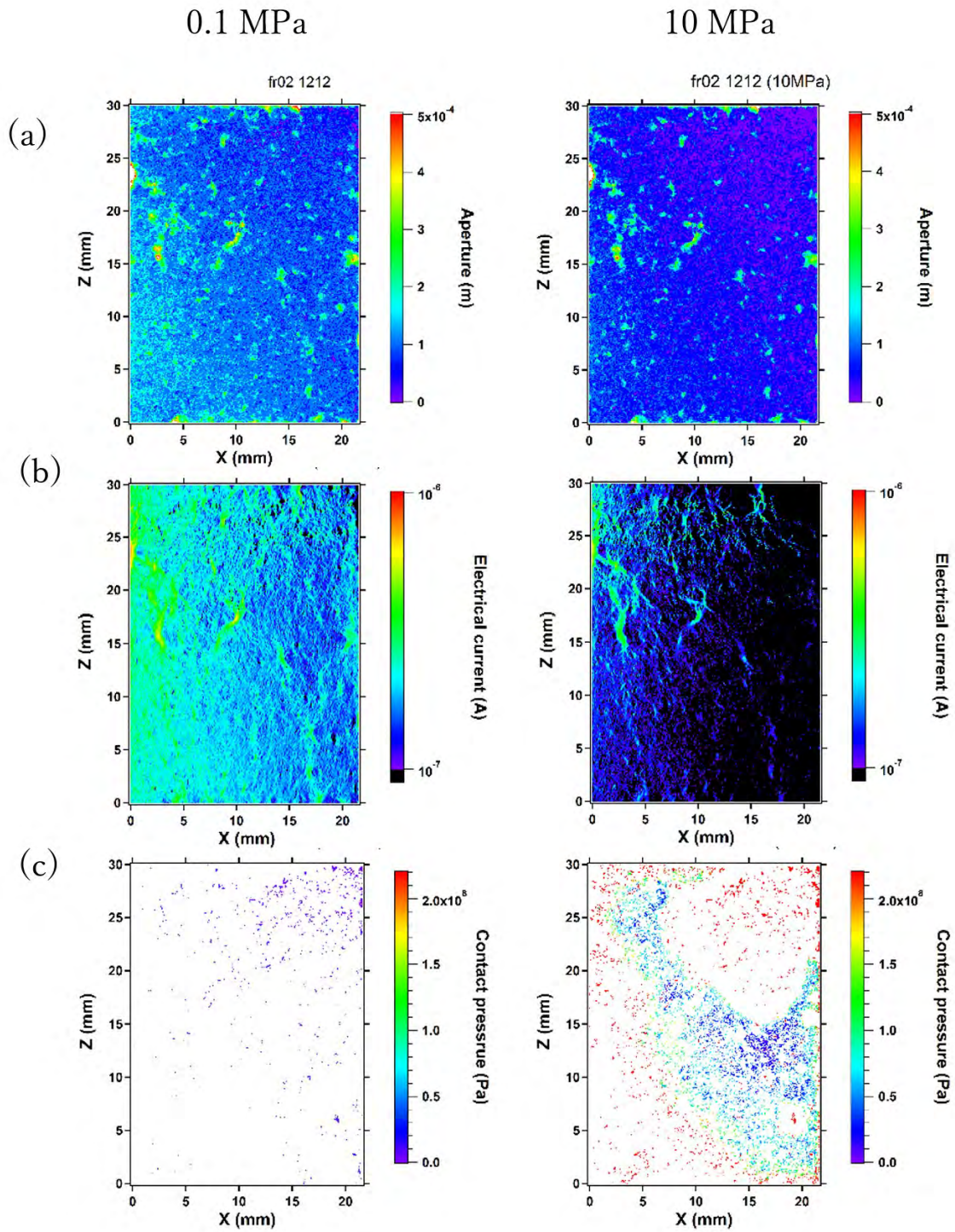


図5

0.1 MPa（左）および10 MPa（右）における(a)開口分布、(b)電流分布、(c)接触応力の分布。0.1 MPaはX線CTから構築した3次元モデルを基にしたものであり、10 MPaはそのモデルを用いた数値実験によるものである。

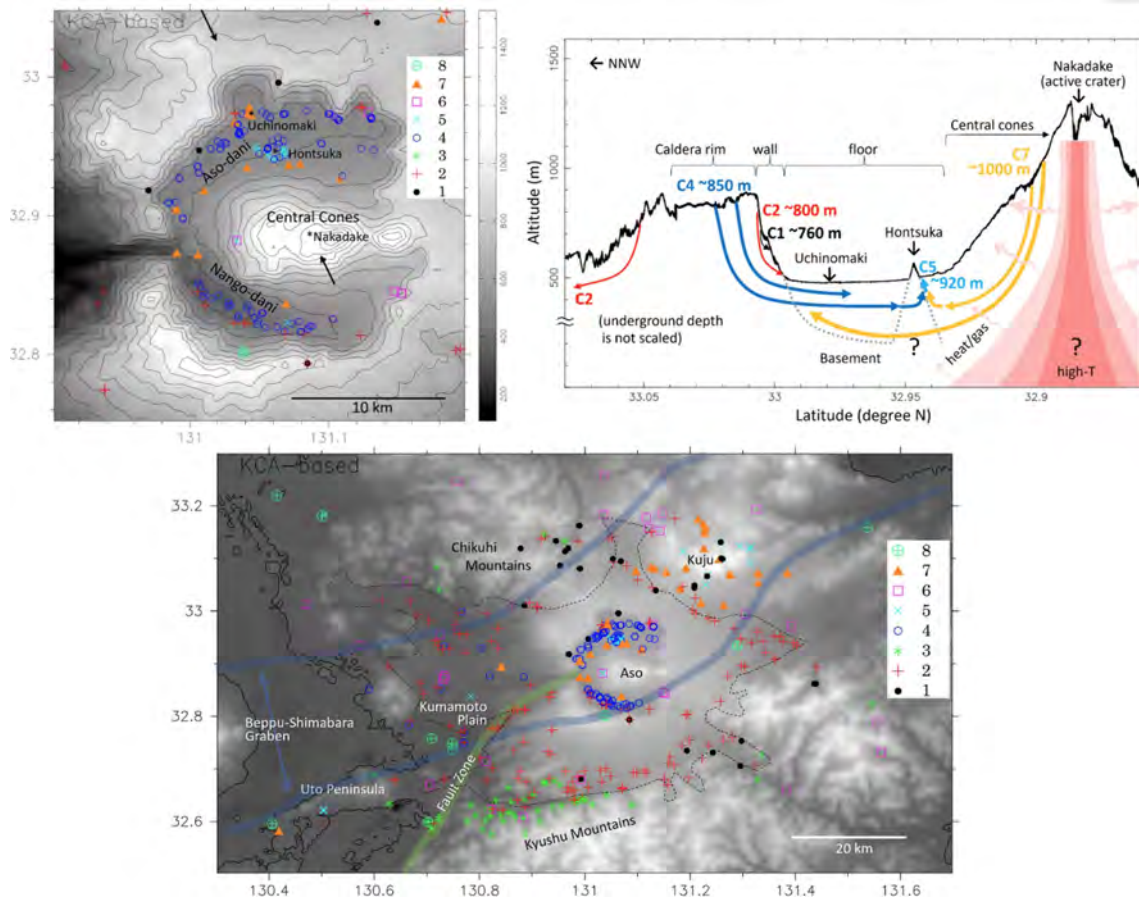


図6

地下水・湧水の溶存成分組成に基づく8つのクラスタの地理的分布。阿蘇カルデラ内の同心円構造（左上図）と流体循環（右上図：クラスタ1～4は、外輪山への降水が20年程度かけてカルデラ内（および外）に浸透・湧出したもの。クラスタ7は、中央火口丘への降水が浸透・湧出したもの）。広域での8つのクラスタの地理的分布…。別府ー島原地溝帯や布田川・日奈久断層帯などの大きな構造線沿いに有馬型塩水が出現することなど、地下水の組成・起源と、空間分布に強い関係性があることが分かった（下図）。

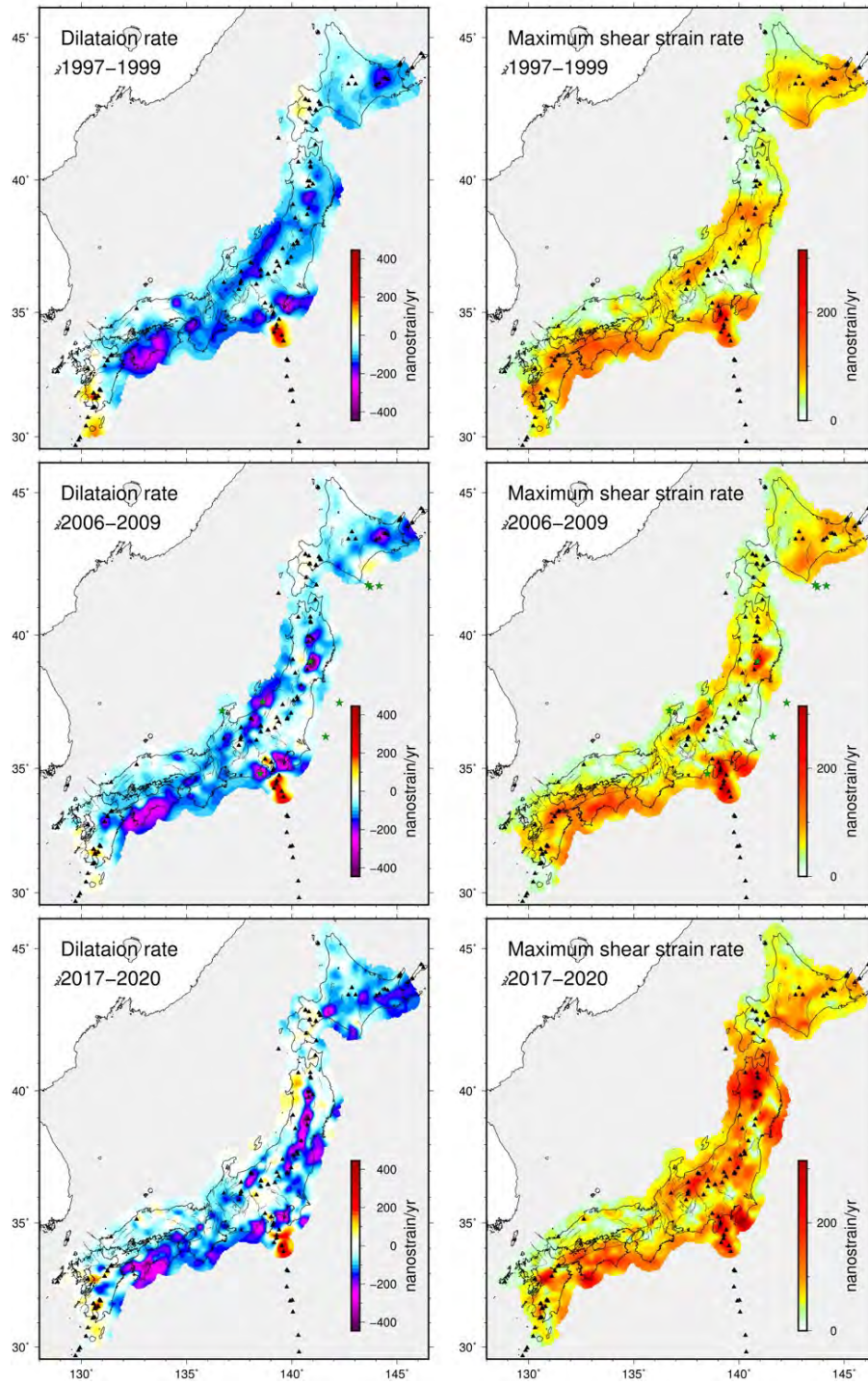


図7

ABICに基づく基底関数展開によりGNSSデータから推定した3つの期間（1996-99, 2006-2009, 2017-2020年）における日本列島の歪み速度場。（左）面積歪み速度、（右）最大剪断歪み速度、深畑ほか（2022）より。

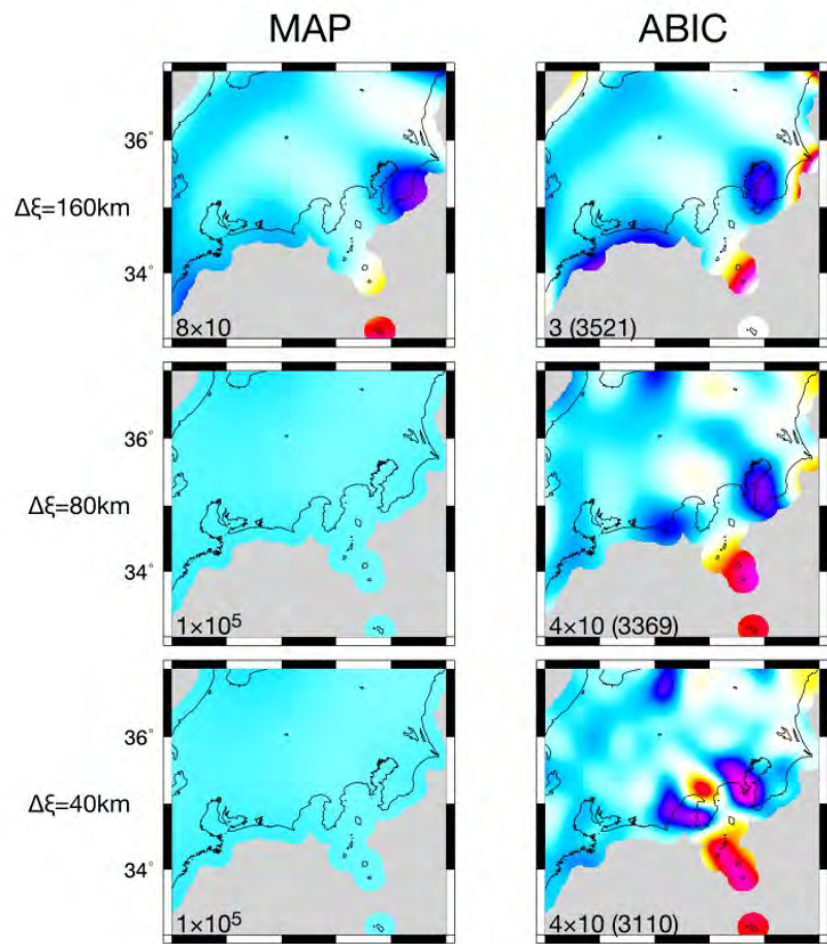
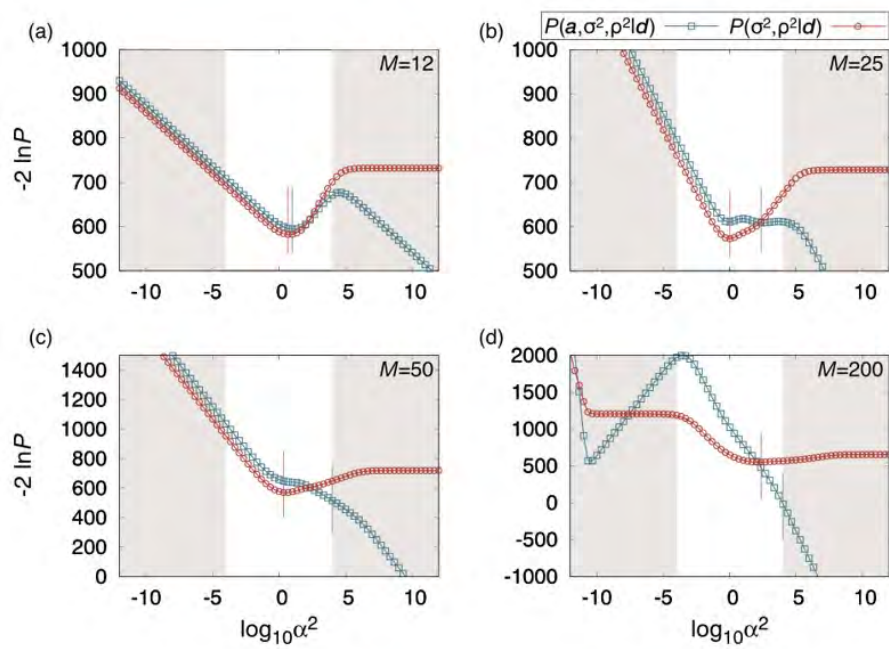


図8 MAP解とABIC最小解の比較。(上) MAP解では、over-smooth解(平滑化パラメタ $\alpha^2 \rightarrow$ 無限大)が大域最大となっており、モデルパラメタ数 M が大きくなると、局所最大の解が消えて、過度にスムーズな解が選択されてしまうようになる。縦軸の P は確率を、横軸の α^2 は平滑化の先験条件の強さをそれぞれ表す。(下) GNSSデータから面積歪み速度場を推定した結果。基底関数間隔 $\Delta\xi$ を小さくするとモデルパラメタ数が大きくなり、MAP解を用いた場合には適切に推定できなくなる。Sato et al. (2022)より。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

測地観測データに基づく内陸地震長期評価手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

- ・ GNSS 等の測地学的観測データに基づく内陸地震の長期予測手法の開発を行い、日本列島を対象とした地震発生確率の試算を行う。
- ・ 地震活動データに基づき、内陸部の任意の場所について内陸大地震発生の定常確率（永年確率）を求めるとともに、近傍活断層系に基づく時間依存の大地震の長期確率を求める。短期・中期の異常地震活動が認められた場合に、これらを合わせた多重確率予測が準リアルタイムで計算可能になるようにデータベースを作成・準備する。確率予測のばらつきが見えるように複数の予測を目指す。
- ・ 断層への载荷応力変化に応じた地震発生確率変化を定量的に評価するための手法を提案する。
- ・ InSAR やGNSS 繰り返し観測等から得られるデータを用いて測地学的ひずみ速度推定手法の高度化と観測点密度がひずみ速度推定に与える影響を検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題においては、内陸地震の長期予測手法の開発に関して、以下の3つのサブテーマを設け、サブテーマ毎の研究概要を示す。最終的には各サブテーマから得られた成果を総合して、長期予測手法の高度化を目指す。

1. GNSS データを用いた地震活動の長期予測

・ 応力蓄積速度が一定と考えられるようなバックグラウンドの変形場を、日本列島の過去のGNSSデータから推定し、変位速度場からひずみ速度場を計算する手法の比較検討、標準的解析手法の提案を行う。得られたひずみ速度データに基づき、既往の長期予測手法・モデルを参考にして、予測手法の比較検討を行い、内陸大地震発生の定常確率の計算を行う。日本列島の過去の地震活動を用いて、地震

発生予測モデルの検証とパラメータの最適以下を行う。

・測地データに基づいて、これまでに提案されているひずみ速度や地震カタログを用いた内陸地震発生確率推定手法の調査を行う。観測されたひずみ速度や、歴史地震を含む地震カタログを用いて、地震発生確率推定を試行し、地震本部の長期評価や実際の地震活動との比較等を行う。

・ブロック断層モデルを用いて、背景地震及びブロック境界沿いの固有地震の長期評価を行う手法を開発する。まず、西南日本のGNSSデータを精査し、ブロック運動モデルの再考を実施する。次に、ブロック内の歪み速度をGNSSデータから推定し、西南日本をテストケースとしてブロック内の歪み速度と地震活動に基づく地震の長期評価の手法の構築・検証を行った後、日本列島規模でのブロック運動モデルを構築し、日本列島規模でのブロック内の歪み速度と地震活動について長期評価の手法を構築・検証を行う。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

・検出率を踏まえた「常時地震活動度」を位置に依存するパラメータを持つ時空間ETASモデルの高度化によって求め、Gutenberg-Richter式のb値モデルを併用することによって、各所の大地震の永年発生確率を求める。

・大地震の長期評価において繰り返し間隔のばらつきを表すのに用いられるBPT分布の変動係数 α 値などを地域別あるいは断層の空間的特性に基づいて求め、ベイズモデルを用いたロバストな長期確率評価を試作する。

・1995年兵庫県南部地震以降に発生した $M \geq 6.8$ の地殻内地震に対して、各地震後に実施された活断層調査データ・地殻変動データをとりまとめて、断層の活動間隔、地殻歪速度、周辺応力変化への応答などから、破壊直前の活断層の状態と地震活動の特徴を抽出する。特に、破壊開始点（震源）と活断層・震源断層の位置関係などに注目する。同様の検討を国外の地殻内大地震に対しても実施する。

3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

・衛星SARの干渉解析手法に基づき、主に、跡津川断層、有馬高槻断層帯、中央構造線の周辺において、地震間詳細地殻変動分布を推定する。まず、ALOS-2等のアーカイブ画像を用いたInSAR解析を試行し、GNSSデータとの比較を行い、時系列解析手法やノイズ軽減手法について検討する。次に、有限要素法を用いたすべり速度推定を行って、測地データに基づくすべり速度推定結果と活断層評価（長期評価）におけるすべり速度比較をするとともに、過去の測地測量データとの整合性等との検証を行う。

・顕著なひずみ集中や地震火山の相互作用から複雑な地殻変動が観測されている新潟県南部や三宅島などを対象として大学院生を主とする全国の関係機関が参加する稠密GNSS繰り返し観測を行い、観測誤差を考慮した詳細な変形場の解明と既存GNSS連続観測点のデータとの比較を行って、長期予測への利用可能性を検討する。また、観測を通じた次世代研究者・技術者の養成を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. GNSSデータを用いた地震活動の長期予測

本サブテーマを3項目に分けて実施した。1番目の項目として、GNSSデータから推定したひずみ速度と気象庁の地震カタログを用いて内陸地震発生確率を評価した。地殻ブロックの剛体運動、D90の空間分布、最大マグニチュードの空間分布、GR則のb値の空間分布に着目し、西南日本での内陸地震発生確率を0.1°刻みのグリッドで評価した。この評価には、Kimura et al. (2019)のGNSS速度及び解析結果、気象庁及び宇津(1982, 1985)の地震カタログを用いた。GNSS速度については、プレート間固着と地殻ブロックの剛体運動も除去してひずみ速度に変換し、Savage & Simpson (1997)に基づき地震発生層の厚さ(D90)から測地地震モーメント速度 \mathbf{m}_0^G を求めた。一方、地震カタログからは、D90と切断GR則のb値(図1)、及び最大マグニチュード M_{\max} (図2)を推定した。そして、 \mathbf{m}_0^G と地震による地震モーメント速度が等しいと仮定し、 \mathbf{m}_0^G , b値, M_{\max} から切断GR則のa値を算出した。最後に、 $M_w 6.0$ 以上の地震の推定数をa値から換算し、 $M_w 6.0$ 以上の内陸地震の30年発生確率をポアソン過程で求めた。図4は推定した内陸地震の30年発生確率である。そのうち、九州中部や大規模な構造線(糸魚川-静岡構造線, 新潟-神戸ひずみ集中帯, 四国の中央構造線等)沿いで0.5%~3%の比較的高い確率を示した。この分布はひずみ速度の分布と調和的であり、相関係数も0.742と高いため、ひずみ速度が地震は発生確率に最も寄与している可能性がある。また、過去の大地震の震源分布と比較すると、算出された確率は内陸部の地震活動を概ね反映していると考えられる。今後は、 \mathbf{m}_0^G に占める弾性成分

の割合推定や、より長期間の地震カタログを用いた M_{\max} の推定等、手法の更なる改良が必要である。

2番目の項目として、北海道地方において、GNSSのひずみ速度からGR則の b 値や M_{\max} は一様として 0.2° 刻みのグリッドで $M6$ 以上の30年地震発生確率の計算を行った(図4)。得られた発生確率の最大値は北海道東部の内陸部で3.2%であった。1919年-2020年の $M5$ 以上の震源分布と比較すると、統計的に有意とは言えないまでも地震発生確率の高いところで、地震が発生している傾向が認められたが、地震発生数の絶対値が実際の地震数より予測値が過大(2.2倍)であった。これは、最近100年間の地震活動レートが長期的なものより低いか、非弾性変形が北海道では卓越していることによる可能性がある。

3番目の項目として、GNSSデータを用いたクリギング法によるひずみ速度空間推定のパラメータ調整を行った。応力速度と余震継続時間の関係性を検討するため、中国地方で発生した中規模地震を調査し、活断層で発生した地震は継続時間が相対的に短い傾向が得られた。多項目データを一元的に入力しパラメータ推定が可能なランダムフォレスト法を、地震発生長期評価に応用するスキームの検討を行った。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

本サブテーマを2項目に分けて実施した。1番目の項目では、階層的時空間版(HIST-ETAS)モデルのバックグラウンド地震発生率による日本内陸部の長期地震発生確率の予測・検証として $M6$ 以上の地震について、対数尤度比スコアを用いて評価し、遡及的長期予測の性能を検証した。まず、1885年から現在までの全期間を2つに分け、最近30年間を予測期間とする遡及予測実験を行った。第二に、歴史的な被害地震データ(1500年~1884年)を、1885年から現在までの世紀のデータを用いて空間的に検証した。いずれの検証においても、HIST-ETAS-5paモデルの内陸背景地震活動の空間強度は、最良適合の非一様ポアソン空間モデルよりはるかに優れており、日本内陸全域均一発生率ポアソンモデルが最も悪い予測性能となった。

2番目の項目として、東北沖地震の本震前約13年間と最近5年間(2016年3月11日~2021年3月10日)の地震発生率変化をマッピングした。その結果、最近の地震活動は、震源断層大すべり域(core)で本震前よりも顕著に低下しており、それを取り巻く青森東方沖~房総半島沖(corona)で高い状態が続いていることが明確になった(Toda & Stein, 2022; 図5a)。Coreにおける余震活動は約2~3年程度で終息し、その後は東北沖前よりも静穏化している。Coronaの活発化は今後少なくとも20-30年は継続するとみられる。この時空間変化は、摩擦状態の非線形特性を考慮した応力伝播モデルで上手く説明でき(図5b)、coreでの地震活動静穏化は百年以上継続する可能性が高い(図6)。1960年チリ地震($M9.5$)、1964年アラスカ地震($M9.2$)、2004年スマトラ沖地震($M9.2$)にも概ね同様の傾向が認められた。この傾向は、スケールダウンすると $M8$, $M7$ 地震にも当てはまり、地震の空白域(seismic gap)や地震サイクル(seismic cycle)での地震活動の時系列を評価するうえで重要である。同様の視点で熊本地震前後の地震活動変化を調べた結果、震源断層上の余震活動は約7年で元に戻るのに対し、オフフォルト余震活動は20年以上にもおよぶことがわかった(図7)。

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

本サブテーマは以下の3項目として実施した。1番目の項目としては、InSARデータにSplit Spectrum法を適用する際に必要な前処理(フィルタリング・外れ値除去・トレンド除去)の効果を系統的に調べ、電離層擾乱の影響をロバストに軽減するフローを確立した。さらに対流圏遅延の補正を行い、InSAR時系列解析を用いて単周期変動を除去することで2015年Gorkha地震の余効変動や、北アトリア断層および跡津川断層周辺の定常的な地殻変動を検出することに成功した。跡津川断層周辺については、GNSS変動場との高い整合性も確認した(較差のRMSが $1.8\sim 1.9$ mm/year)。

2番目の項目としては、InSARデータの時系列解析により、鮮水河断層(中国)周辺における数mm/yearレベルの変動場を明らかにした。さらに、2014-2022年の平均的な固着分布を推定するとともに、2014年康定地震($M_w 5.9$)・2022年瀘定地震($M_w 6.6$)にともなうすべり分布と比較した。断層面上の固着深さは空間的な不均質があり、おおむね $M6-7$ クラスの地震発生からの時間と正の相関が見られる。これらの地震は地震間に固着している部分を破壊するが、時間が経つにつれて固着行きが浅部から深部へと広がっていき、地震間の固着領域を形成する。鮮水河断層の地下構造に著しい水平不均質はないことを考えると、得られた結果は地震後の断層のヒーリング過程を見ていると解釈される。

3番目の項目として、気象モデルによるInSARの対流圏遅延の補正手法を複数比較し、研究対象領

域とした岩手宮城内陸地震震源域や大阪平野においては、使用する大気遅延モデル式や気象モデルの解像度等により補正後のノイズレベルに大きな違いがないことや、数10km以下の短波長ノイズの補正には気象モデルを利用したアプローチには限界があることを示した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

GNSSや地震活動のデータを用いた内陸地震の長期予測手法の確立に向けて、着実に前進しており、内陸地震の長期予測の精度向上を通して、災害の軽減に貢献できるため、今後も継続して研究を続けることが重要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Mildon, Z., G. Roberts, J. Walker, J. Beck, I. Papanikolaou, A. Michetti, S. Toda, F. Iezzi, L. Campbell, Kenneth J. W. McCaffrey, R. Shanks, C. Sgambato, J. Robertson, M. Meschis, and E. Vittori.,2022,Surface faulting earthquake clustering controlled by fault and shear-zone interactions,Nature Communications,13,7126,doi:10.1038/s41467-022-34821-5,査読有,謝辞無
西村卓也,2023,第237回地震予知連絡会重点検討課題「内陸地震の長期予測」の概要,地震予知連絡会会報,109,査読無,謝辞無
西村卓也,2023,測地データを用いた内陸地震の長期予測,地震予知連絡会会報,109,査読無,謝辞無
Ogata, Y.,2022,Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models,Earth Planets Space,74,110,doi:10.1186/s40623-022-01669-4,査読無,謝辞無
尾形良彦,2022,階層的時空間 ETAS モデルなどによる短・中・長期の地震確率予測と検証評価,地震予知連絡会会報,107,547-555,査読無,謝辞無
Sailallah, S.N., and Y. Fukushima,2023,Comparison of Tropospheric Delay Correction Methods for InSAR Analysis Using a Mesoscale Meteorological Model: A Case Study from Japan.,Earth Planets Space,75,18,doi:10.1186/s40623-023-01773-z,査読有,謝辞無
Takahashi, N., J. B. H. Shyu, C. Chen, and S. Toda,2022,Long-term uplift pattern recorded by rivers across contrasting lithology: Insights into earthquake recurrence in the epicentral area of the 2016 Kumamoto earthquake, Japan,Geomorphology,419,doi:10.1016/j.geomorph.2022.108492,査読有,謝辞無
Toda, S., and R. S. Stein,2022,Central shutdown and surrounding activation of aftershocks from megathrust earthquake stress transfer,Nature Geoscience,15,494-500,doi:10.1038/s41561-022-00954-x,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

原太郎・高橋浩晃,2022,内陸地震発生評価に向けた中国地方における地殻変動と地震活動特性の検討,日本地震学会2022年秋季大会,S14-03
長岡頌悟・高田陽一郎・木下陽平,2022,悪条件下においてSSM を適用する際のフィルターについて,東京大学地震研究所共同利用研究集会
長岡頌悟・高田陽一郎・木下陽平,2022,ALOS-2を用いた地震間地殻変動の検出：悪条件下での電離層擾乱への対応,日本測地学会第138回講演会,41
西村卓也,2022,測地データを用いた内陸地震の長期予測,第237回地震予知連絡会 重点検討課題
Ogata, Y.,2022,Prediction and validation of short- to long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models,2022 SCEC Annual Meeting
尾形良彦,2022,階層型時空間ETASと時空間ポアソン過程モデルによる日本内陸部の地震発生確率の予測と検証,日本地球惑星科学連合2022年大会
尾形良彦,2022,背景地震活動度を用いた内陸地震の長期予測と検証評価,第237回地震予知連絡会 重点検討課題
Stein, R. S., and S. Toda,2022,Megathrust earthquakes cause a central shutdown of seismicity that lasts for centuries, and a surrounding activation of seismicity that lasts for decades,AGU fall

meeting 2022,T56A-08

遠田晋次・Ross S. Stein,2022,熊本地震による九州中北部への応力伝播と地震活動度変化,2022年日本地震学会秋季大会,S09-21

Toda, S., and R. S. Stein,2022,The 2016 M 7.0 Kumamoto, Japan, earthquake turned seismicity on and off over a broad area for the past 6 years, a product of stress transfer to a diverse set of surrounding faults, and a complex rupture termination,AGU fall meeting 2022,T22B-06

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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

ひずみ速度や地震活動パラメータの空間特性の検討を進めるとともに、複数の地学情報を一元的に用いる地震発生長期評価手法の検討を進める。観測されたひずみ速度から東日本におけるプレート固着による影響の補正を行い、東日本における内陸地震の発生確率に試算を行う。今までに試算を行った西日本と北海道の発生確率と統合し、日本全国を対象としたGNSSデータを用いた内陸地震の発生確率分布をもとめる。

2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

レシーバ断層の多様性を考慮した応力伝播—地震応答モデルについて、応力载荷レートの変動も加味したモデルを構築し、能登半島群発地震など群発地震活動への適用を図る。また、横ずれ主要活断層沿いの地震活動の分布と断層幾何形態、活動履歴、周辺歴史地震などに着目し、地震活動の時空間変化による地震サイクルでの位置づけの検討を行う。

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

InSAR時系列解析によって得られた地震間地殻変動とGNSS稠密データを混在利用して極めて空間解像度の高い3次元変位場と2次元歪場を推定する。この際、対流圏遅延を一層軽減するためにMSM(メソモデル)やGNSSにより観測される水蒸気遅延を活用する。東チベットにおいてはInSAR時系列解析対象領域を広げる。推定した詳細な変動場と断層帯およびその両端部の力学的不均質性の関係を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村卓也（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）,高田陽一郎（北海道大学大学院理学研究院）,遠田晋次（東北大学災害科学国際研究所）,福島洋（東北大学災害科学国際研究所）,三浦哲（東北大学大学院理学研究科）,青木陽介（東京大学地震研究所）,伊藤武男（名古屋大学大学院環境学研究科）,宮崎真一（京都大学大学院理学研究科）,松島健（九州大学大学院理学研究院）,尾形良彦（統計数理研究所）,野村俊一（早稲田大学大学院会計研究科）,矢来博司（国土地理院）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所地震予知研究センター

電話：

e-mail：

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村卓也

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

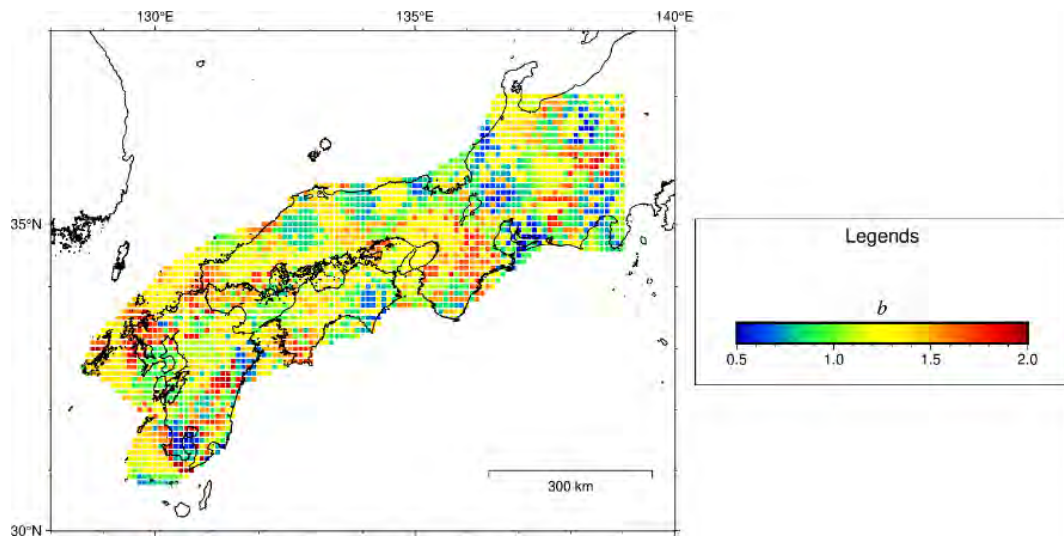


図1. 西南日本の地震活動から推定したGR則のb値の空間分布。

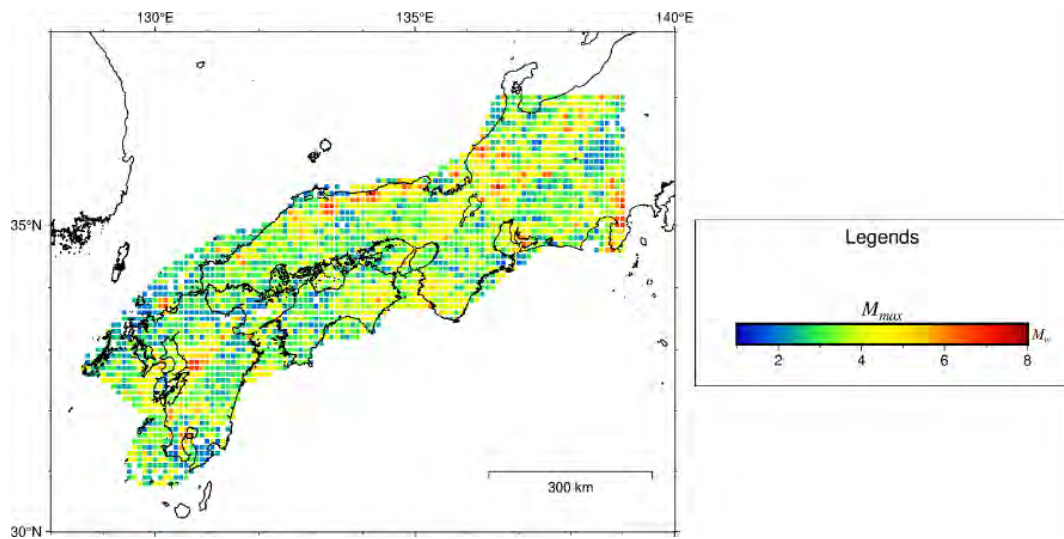


図2. 西南日本の地震活動から推定した推定された最大マグニチュード M_{\max} の空間分布。
 なお、 $M_{\max} \leq M_w 6.5$ のグリッドでは M_{\max} を $M_w 6.5$ として地震発生確率の計算を計算した。

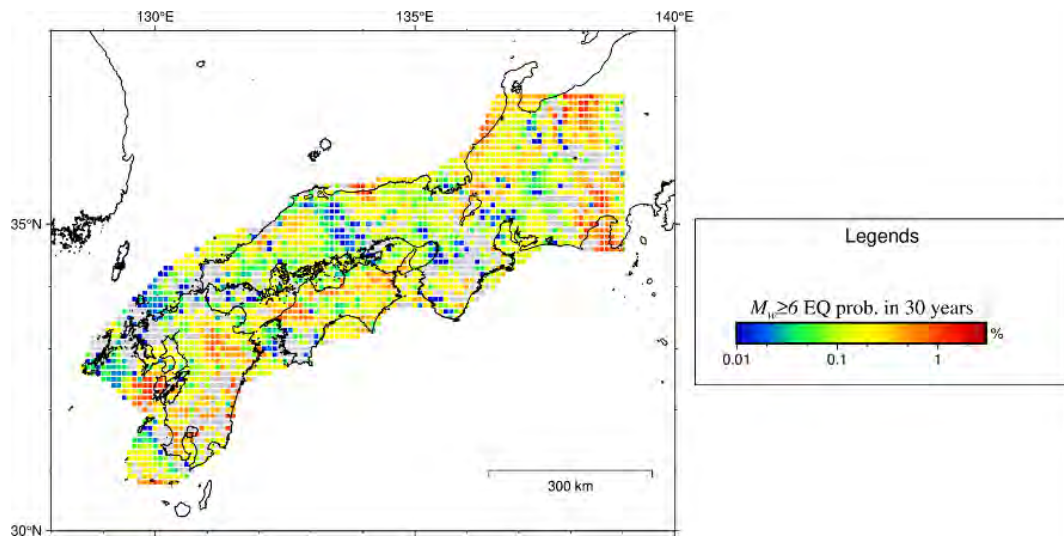


図3. M_w 6.0以上の内陸地震の30年発生確率。
 灰色はb値が1.5以上で発生確率を求められなかったグリッドを示す。

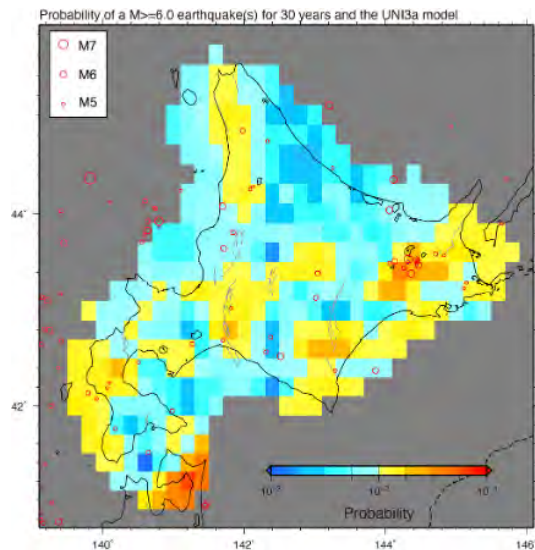


図4. 北海道地方における M_{JMA} 6.0以上の内陸地震の30年発生確率。
 地震発生層の厚さと剛性率を一様として計算を行った。赤と紫の丸は、1919-2020年の深さ20km以浅でM5以上の地震の震央で、赤はデクラスタリング後のもの。

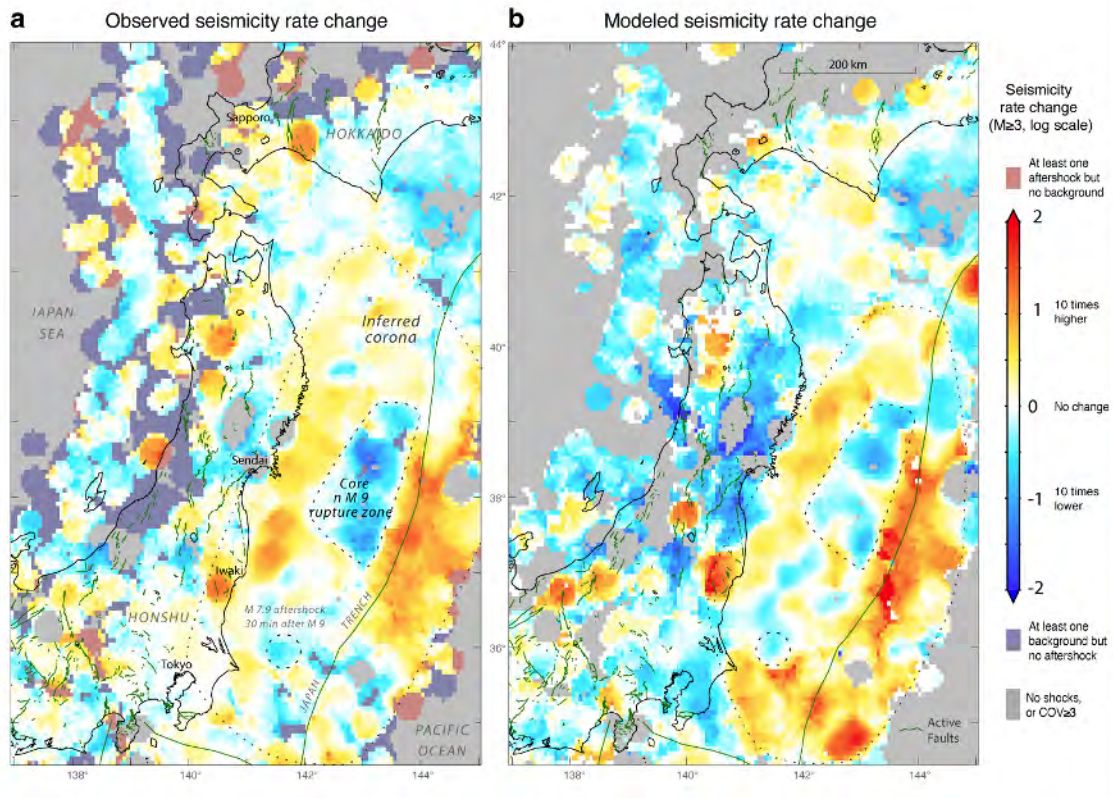


図5 a) 東北沖地震前13年間に對する同地震後5~10年後の地震発生レートを變化. b) Rate/State Coulombモデルによる後ろ向き予測 (retrospective forecast) .

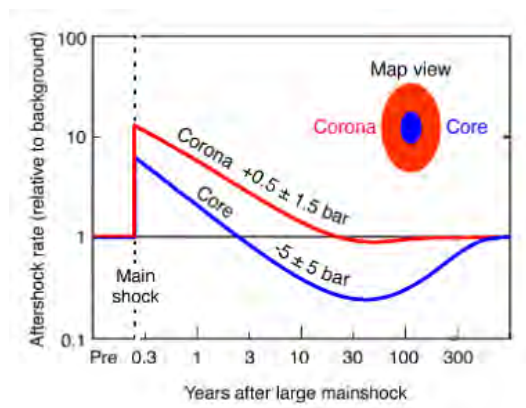


図6. Rate/State Coulombモデルによる大すべり域 (core) と周辺域 (corona) の地震活動の時系列Rate/State Coulombモデルによる大すべり域 (core) と周辺域 (corona) の地震活動の時系列。

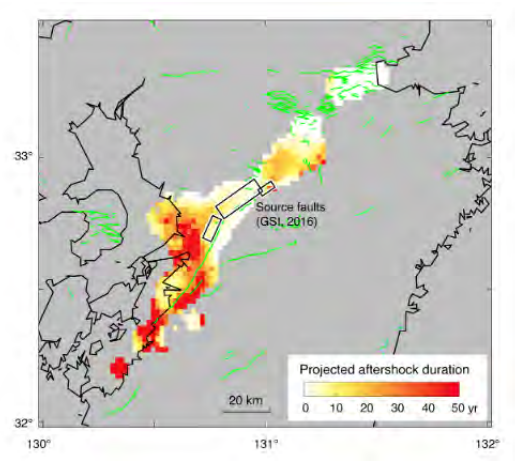


図7. 熊本地震6年後までの震源データを用いた広域余震活動の推定継続期間。

(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、スンバワ島付近のサンゲアン・アピ火山を研究対象とするが、それ以外の火山におい

て顕著な噴火が発生した場合、機動的な観測を実施するものとする。

年次計画は以下の通りである。

平成31年度

噴火活動中のシナブン火山、スメル火山、アグン火山について、火山活動推移モデルを作成する。

平成32年度

シナブン火山とメラピ火山を対象に水蒸気噴火からマグマ性噴火に至るまでの活動推移をまとめる。

平成33年度

火山性地震の発生頻度が高いが噴火に至らない火山としてグントール火山、サンゲアン・アピ火山の2013年噴火以前の地震活動を中心に火山活動推移をまとめる。

平成34年度

VEI4の規模に達した2014年ケルフト火山噴火と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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度の計画はVEI4の規模に達した2014年ケルフト火山噴火と2010年メラピ火山噴火に至る地震活動、地盤変動、火山ガス等に関するインドネシアの火山地質災害軽減センターのデータを再検討し、火山活動推移モデルを構築することである。

(1) 2010年メラピ火山

2010年噴火に先行して地盤変動と地震活動の活発化がとらえられている。2009年4月から山頂付近の膨張が光波測量による斜距離の変化として捉えられている。2010年9月までの17か月間は1cm/月の緩やかな膨張が、火山性地震の発生をほとんど伴わずに続いた。2010年9月に入り、火山性地震の活動が高まると地盤の膨張速度が加速した。メラピ火山では噴火の10か月前に噴気ガスの二酸化炭素濃度が急増した。

(2) 2014年ケルフト火山噴火

2014年の大規模噴火の7年前の2007年に火口内に溶岩ドームを形成する噴火活動があった。その後は、地震活動は静穏であったが、2014年1月10日ごろから火山性地震の発生頻度が徐々に増加し、さらに2月11日以降は急増して2月13日の大規模噴火に至った。この地震活動に先行する地盤変動について検討した。火口から約1km北北西に傾斜計があるが、噴火の3か月前の2013年11月中旬から火口方向が隆起する傾斜変化が検出された。また、ケルフト火山では噴火の20日前に温度が4℃上昇した。地盤変動→地震活動→温度上昇の順に準備過程が推移したことが分かる。なお、火山ガスに関するデータはない。

(3) 準備過程の考察

2010年メラピ火山と2014年ケルフト火山噴火のいずれの噴火についても地盤変動が地震活動に先行して現れる。火山性地震活動も構造性地震と同様に岩石の破壊プロセスを表しており、地盤変動として現れるマグマ貫入による応力集集中、そして、応力が破壊強度を超えると火山性地震が群発することが示された。メラピ火山では、噴火の10か月前に噴気ガスの二酸化炭素濃度が急増した。火山体内部には多量の二酸化炭素が滞留しているので、それ以前から現れていた地盤変動により既存の二酸化炭素があふれ出したと考えられる。ケルフト火山では噴火の20日前に温度が4℃上昇した。地盤変動と地震活動は温度上昇に先行しており、深部のマグマ貫入過程から浅部への移動というプロセスに推移したと考えられる。

(4) 噴火直前の現象

2010年メラピ火山と2014年ケルト火山噴火のいずれも噴火直前には急速な地盤の隆起・膨張が見られた。メラピ火山では噴火発生前の1日間で1.1mの斜距離の急激な短縮、ケルト火山では、2月13日の18時ごろ（5時間前）から急速な隆起傾斜（2.4マイクロラディアン）として観測された。この隆起の時間帯には、低周波地震の発生回数が急激に増加した。22:46に最初の爆発が発生し、2007年に形成された溶岩ドームが破壊された。その後、低周波地震は連続的に発生するようになり（ほぼ微動状）、23:01に開始するプリニー式噴火に至った。浅部に移動したマグマの内部では18時ごろから急速に発泡がおこり、低周波地震を発生させるとともに浅部でガス圧が増加し、溶岩ドームを破壊したと考えられる。その結果、圧力は低下したが、さらに発泡を促進することとなり、低周波地震が連続的に発生しプリニー式噴火に至った。溶岩ドームの破壊からその後のプリニー式噴火への移行は2010年メラピ火山噴火でも同様である。10月26日17時の爆発により、2006年に形成された溶岩ドームが破壊された。その後、しばらく静穏であったが、11月1日ごろから火砕流が発生し、11月3日から5日には火砕流を伴いながらプリニー式噴火が発生した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

桜島では始良カルデラ下へのマグマの蓄積量から今後、大規模噴火が想定されている。大規模噴火に至るまでの火山活動の推移予測に貢献できる。すなわち、地盤変動が地震活動に先行し、噴火が近づくにつれて火山構造成地震の活動が急速に高まる。噴火直前の状態においては低周波地震の活動も激化する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

シナブン、グントール、メラピ、ケルト、スメル、アグン、サンゲアン・アピ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

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所火山活動研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター
電話：099-293-2058
e-mail：iguchi.masato.8m@kyoto-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井口正人
所属：京都大学防災研究所

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

桜島南岳のブルカノ式噴火に伴う岩塊の最大到達距離について、空気振動観測によって評価を試みた。岩塊が火口から3.3kmにまで到達した2020年6月4日のイベントに代表されるように、岩塊到達距離の長いイベントの空振記録には最大振幅だけでなく増圧相の長周期化という特徴がある。この観測事実に基づいて、空振一回積分波形の最大値（ I_{max} ）と、岩塊最大到達距離から期待される最大鉛直初速度（ V_{max} ）の関係を調べた。 V_{max} が大きいイベントほど、 V_{max} / I_{max} の分布上限が低下するという特徴が見られる（図1）。この V_{max} / I_{max} の V_{max} に対する依存性について岩塊の運動方程式に基づいて検討すると、 V_{max} / I_{max} の減少は爆発深度の増加を示唆する。つまり、 V_{max} が大きいイベントは爆発深度が深い可能性がある。また V_{max} / I_{max} と V_{max} の分布の特徴によって、到達する最大岩塊距離を評価できる可能性がある。

繰り返し海底地震観測点は1点のみであるが、陸上の地震観測点データ（鹿児島大学、京都大学、気象庁、Hi-net）と併合処理することにより、若尊カルデラ域、桜島東方の黒神周辺、鹿児島湾北岸に近い国分付近の微小地震の検知能力が向上し、特に桜島の主マグマ溜まりに近接する若尊カルデラ域の初動メカニズム解の決定に効果がある。令和4年度も引き続き海底観測を行い、これらの活動域の中期的なモニタリングを継続した。そして、次のことが明らかになった。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。一方で国分付近では数は少ないものの、微小な構造的な地震が時折発生する。黒神周辺では震源決定される地震が無かった。桜島北方の主マグマ溜まりへのマグマ蓄積を反映すると考えられるGEONET観測点の組み合わせによる面積ひずみの時間変化と地震回数積算の時間変化は、いずれの領域も明瞭な相関は認められない（図2）。ただし、若尊カルデラ域のバースト活動を除いた中期的な地震数の増減は、面積ひずみ変化と相関する可能性も示唆された。また、地震のメカニズム解の特徴は次のとおりである。国分付近の解は、九州南部の内陸地震で求められる解と類似し、T軸の方位が安定している。九州南部の広域応力場と調和的である。P軸の方位の変化により strike slip, normal fault type が混在する。若尊カルデラ域は、normal fault

type 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。M3程度の有感地震に相当する規模の地震の前後等、起震応力軸方位が短時間で明瞭に変化する場合がある。黒神周辺は、P・T軸の方位が安定し、時間変化がほとんど無い。P軸の方位はほぼ北を向き、北方に圧力源が存在することで説明可能と考えられる（図3）。

2022年6月にハルタ山観測室周辺において地震計アレイを展開して観測を開始した。また、2022年11月11日から12月9日に桜島の道路沿い光ファイバーを利用してDistributed Acoustic Sensingによる観測を実施した（図4）。これらの観測実施期間の12月8日に桜島の北東部と北西部にて薬量120 kgの発破を実施して、人工地震の観測に成功した。

火山噴火に数分程度先行する傾斜変動について、桜島を含む全国の活火山を対象に網羅的な調査を行った。傾斜変動の自動検知アルゴリズムを考案した。多くの火山で噴火の半数程度について先行する傾斜変動が検知された。桜島での結果を表1に示す。昭和火口と南岳で傾斜変動が先行する割合は同程度であり、爆発と非爆発を比べても爆発の方が僅かに割合が高い程度であった。

これまで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、球状変動源に基づいた解析を行ってきた（Hotta and Iguchi, 2021, EPS）。しかしながら、球状変動源では説明しきれない傾斜変化もある。このことから、開口割れ目モデルについても検討を行った。噴火直後の22:07~22:10の傾斜ひずみ変化に関しては開口割れ目モデルのほうが妥当であり、南岳直下から細長く火道状に伸びる割れ目が14.6 cm閉口するものであった（図5）。

2022年11月に桜島内の水準測量路線（桜島西部山腹のハルタ山登山路線および北部山腹の北岳路線の2路線）において一等水準測量の繰返し観測を実施した。また、2021年度に新設した路線である鹿児島湾西部の大崎鼻GNSS点付設の水準点まで、および桜島北部の割石崎GNSS点付設の水準点までのそれぞれの枝線区間においても測量を行った。測量結果から、2021年11月~2022年11月の期間における地盤上下変動量を見積もった。得られた結果から、桜島中央部付近において、変動量は小さいものの地盤沈降（桜島西岸のS.17を基準として最大約-3.6mm）が生じていることが確認された（図6）。この期間、南岳直下のマグマ溜りにおいては減圧傾向であったと考えられる。また、桜島北岸に比較的近い北岳路線の水準点においてはほとんど地盤上下変動が認められなかった。この期間に、始良カルデラ地下のマグマ溜まりにおいて増圧があったとしてもそれほど顕著ではないことを示唆する。

2022年10月に桜島およびその周辺の重力点20点において相対重力のキャンペーン観測を実施した。この観測データを1998年以降の観測データとともに解析したところ、桜島島内の多くの重力点で重力値が増加していることが分かった（図7）。この重力増加は、桜島中央部の海拔下3500 mにおける 8.0×10^9 kg/yrの質量増加で再現できる（図8）。

2022年10月26日から28日にかけて、有村観測坑道において絶対重力観測を実行した。有村での絶対重力観測値は2010年から2015年頃まではおおむね一定値を取る傾向にあったが、2017年以降については年周変化に加えて有意な重力増の傾向があることが分かりつつあった。2022年の新たな測定値を加えても、この増加傾向（約+3.6マイクロガル/年）は変わらないことが確認された（図9）。この増加率は、地殻変動による効果では説明できないため、山体下で質量増加が生じている可能性を示唆する。

気象庁の観測によれば、噴火活動が比較的低調だった2022年6月まではSO₂放出率も1000 t/dと2012年頃の非常に活発な時期に比べて1/4程度と低い状態で推移していた。噴火活動が低調だったため、降灰は1月28日の1試料のみであるが、火山灰付着水溶性成分のCl/SO₄モル比は0.49と比較低い値であった（図10）。これらの結果は、この時期にはマグマが深部で停滞した状態であったことを示しており、噴火活動が低調だったことと整合している。7月頃からは噴火活動も活発な状態になり、SO₂放出率も2000 t/dまで上昇し11月まではこの状態が維持されていた。水溶性成分のCl/SO₄モル比は6月末には1.12, 1.29と活動の活発化に先行して上昇しており、マグマの上昇を捉えている（図10）。9月には0.5まで一旦低下したが、10月になると再び1.48, 1.12に上昇しており、再びマグマの上昇が起きたとみられる。12月にはSO₂放出率も1500 t/dと僅かに低下したが、水溶性成分のCl/SO₄モル比は顕著に低下した（図10）。特に、6日と7日ではわずか24時間でこの比が0.7程度から0.4まで半減していることは注目すべきである。ガス放出率と水溶性成分の分析結果からHClの放出率を求めると1月は概ね280 t/d程度であったが、噴火活動が活発だった7月や10月には1000 t/dを超えた。この期間にはマグマの上昇が起きたと考えられるが、SO₂放出率の上昇は顕著ではなく、上昇したマグマは少なかったとみられる。水溶性成分のCl/SO₄モル比は放出されるガスの“質”の変化であるが、SO₂放出率と組み合わせることで“量”の変化も捉えることができ、従って上昇するマグマの“量”の変化も地球物理学的観測と結びつけることで精度をあげることができる可能性がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

噴火災害誘因である火山岩塊の最大到達距離を空気振動から評価できる可能性を見出したことから、災害誘因予測への貢献している。始良カルデラおよび桜島の起震応力場の時間変化がみられないことから、この1年における桜島へのマグマ供給率はほぼ一定であったと推察される。桜島直下の圧力源は減圧傾向に引き続きあり、その一方で質量増加が継続していることから、噴火活動は昨年を引き続き脱ガス卓越が継続していることが明らかになった。一方、火山灰付着水溶性成分のCl/SO₄モル比の変化から、ここ1年の全体としてマグマが深部で停滞しているが、10月にマグマの上昇が示唆される変化が明らかになった。したがって、全体としては噴火活動は低調で、安定したマグマ供給、深部マグマ停滞と脱ガスが卓越する一方で、間欠的なマグマ上昇があったと推察される。このことから、火山活動推移モデルの構築と予測に対する重要な知見が得られたと言える。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光・竹中悠亮・井口正人,2022,桜島火山における繰り返し相対重力測定(2021年10月および2022年3月),京都大学防災研究所年報,65B,67-76,査読無,謝辞有

風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光,2022,LaCoste & Romberg型相対重力計のリードアウト感度設定の標準化(2021年12月),北海道大学地球物理学研究報告,85,11-24,doi:10.14943/gbhu.85.11,査読無,謝辞有

宮町宏樹・小林励司・八木原寛,2022,2020年8月の若尊カルデラ海域の短時間群発地震活動,火山,67,471-478,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

山本圭吾・松島健・吉川慎・内田和也・井上寛之・園田忠臣・竹中悠亮・岡田和見・大柳諒・上土井歩佳・野辰之介・河野太亮・塚口正臣・満永大輔・田町勇氣・井上温史・西條祥・久保武史・大倉敬宏,2023,精密水準測量による桜島火山の地盤上下変動(2022年11月測量の結果),令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会,P08

若林環・風間卓仁,2022,相対重力計のスケールファクター検定における陸水重力擾乱補正の重要性,日本測地学会第138回講演会,53

大柳諒・風間卓仁・山本圭吾・風早竜之介・宮城磯治・井口正人,2022,1975年~1992年の相対重力データで明らかになった桜島火山直下の質量増加:火山ガス観測データに基づく考察,日本測地学会第138回講演会,58

Maeda, Y.,2022,A Systematic search for slow-to-fast inflation before volcanic eruptions: Examples from Japan and Alaska,AGU Fall Meeting

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地震：DAS観測

概要：桜島一周ルートにてDistributed Acoustic Sensingによる地震観測を行った。実施者：東北大学、京都大学、九州大学

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県鹿児島市桜島 31.567 130.6176

調査・観測期間：2022/11/11-2022/12/9

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：微動探査・弾性波探査・速度検層

概要：薬量120kgの発破を桜島の2箇所にて実施した。実施者：京都大学、気象庁

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県鹿児島市桜島 31.6182 130.6774

調査・観測期間：2022/12/8-2022/12/8

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動：水準測量

概要：実施者：京都大学・九州大学・北海道大学・気象庁

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県鹿児島市桜島 31.58983 130.60127

調査・観測期間：2022/11/7-2022/11/18

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

項目：火山：地殻変動：重力測定

概要：キャンペーン相対重力観測。実施者：京都大学、北海道大学

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県鹿児島市桜島 31.58983 130.60127

調査・観測期間：2022/10/24-2022/10/29

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

海底地震繰り返し観測を継続し、蓄積された観測データから海域の地震波速度構造を改善し、地震活動の解析を行う。火山噴火に数分程度先行する傾斜変動について、桜島を含む国内火山での解析結果を論文にまとめる。2017年11月13日南岳爆発全体で生じた一連の傾斜ひずみ変化に対して変動源の再検討を行う。ほかの噴火事例についても検討する。2023年11月に桜島において水準測量を行う予定である。2023年10月と2024年3月に相対重力のキャンペーン観測を実施し、桜島島内の重力時間変化を監視する。相対重力観測時に絶対重力観測を行い、両観測の整合性や地殻変動現象との対応を調査し、重力増加傾向と桜島のマグマ供給系との対応関係を理解する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中道治久（京都大学防災研究所）、井口正人（京都大学防災研究所）、為栗健（京都大学防災研究所）、山本圭吾（京都大学防災研究所）、大見士朗（京都大学防災研究所）、山田大志（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学大学院理学研究院）、西村太志（東北大学大学院理学研究科）、山本希（東北大学大学院理学研究科）、太田雄策（東北大学大学院理学研究科）、森俊哉（東京大学大学院理学系研究科）、今西祐一（東京大学地震研究所）、大湊隆雄（東京大学地震研究所）、西山竜一（東京大学地震研究所）、野上健治（東京工業大学理学院）、神田径（東京工業大学理学院）、堀田耕平（富山大学都市デザイン学部）、前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究所）、大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）、横尾亮彦（京都大学大学院理学研究科）、風間卓仁（京都大学大学院理学研究科）、松島健（九州大学大学院理学研究院）、相澤広記（九州大学大学院理学研究院）、中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、八木原寛（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中道治久

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

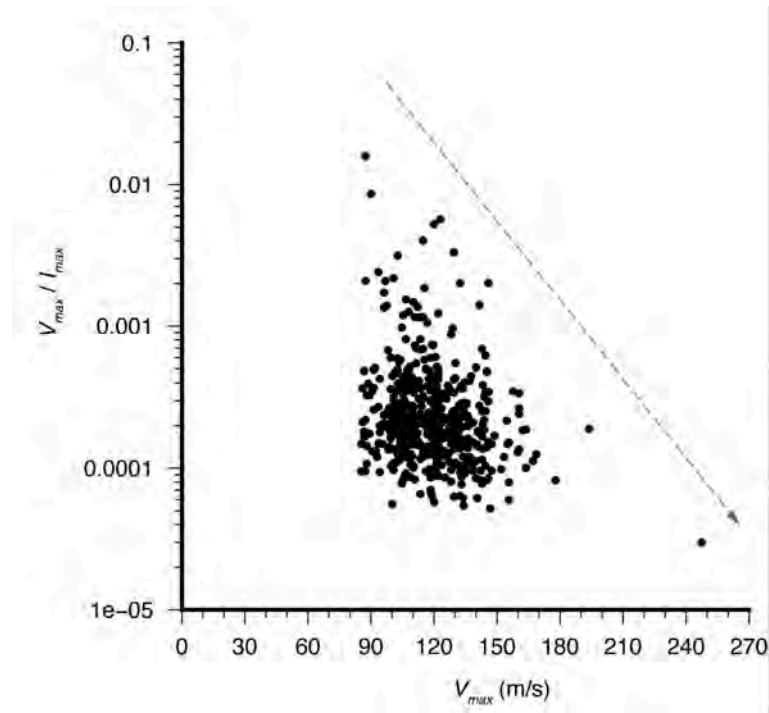


図1
Vmax / ImaxとVmaxの関係

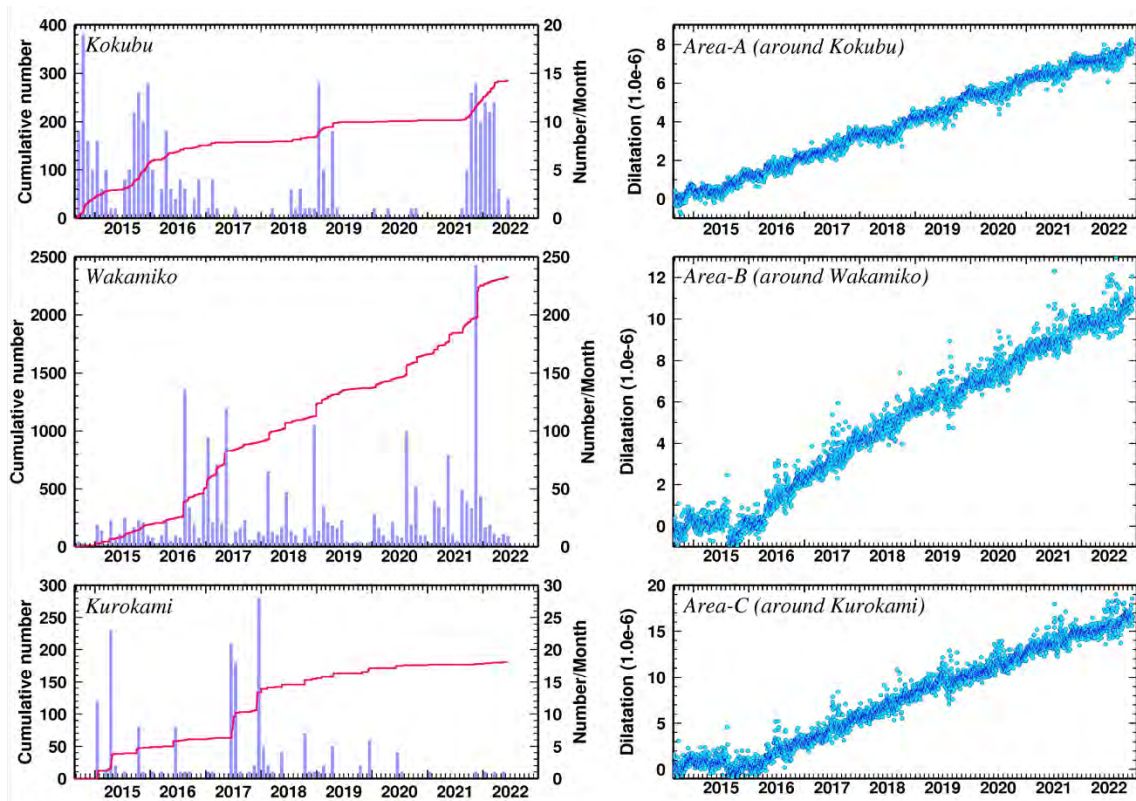


図2
国分、若尊、黒神領域における地震の発生頻度（左）と面積歪み（右）



図4
地震計アレイ、Distributed Acoustic Sensingの光ファイバーのルート、発破実施の位置

	解析した噴火数	先行する傾斜変動が検知された噴火数	傾斜変動の先行割合
昭和火口(爆発)	3045	1577	52%
昭和火口(非爆発)	1330	599	45%
南岳(爆発)	717	385	54%
南岳(非爆発)	498	223	45%
南岳A火口	64	28	44%
南岳B火口	285	145	51%

表1
解析した噴火数、先行する傾斜変動が検知された噴火数、その割合。波形入手可能かつ前の噴火からの経過時間が1時間以上のものを対象にした。

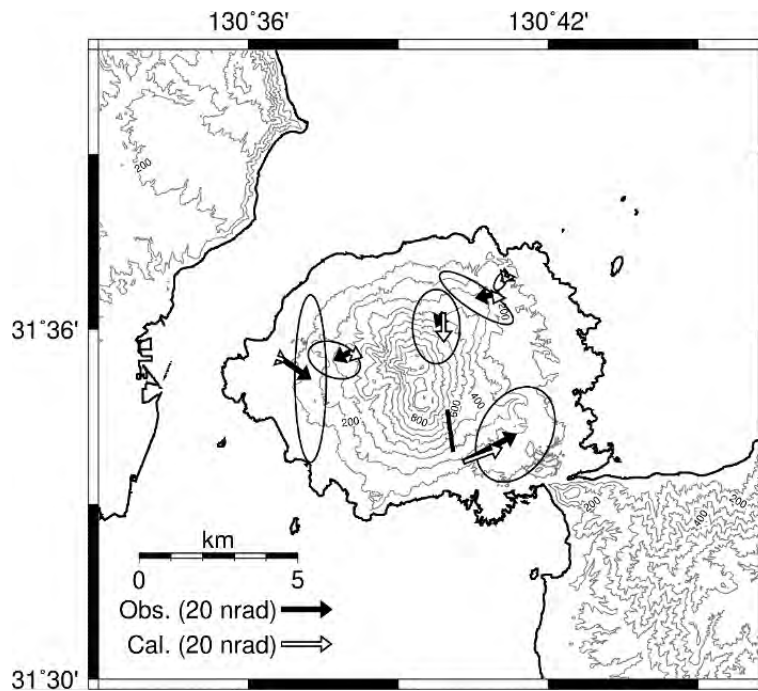


図5

2017年11月13日南岳爆発直後（22:07～22:10）の傾斜ひずみ変化に対して得られた開口割れ目（太線；下側が上端）。長さ5.5 m，幅2720 m，傾斜角60°，走向N262°Eであり，14.6 cmの閉口であった。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。

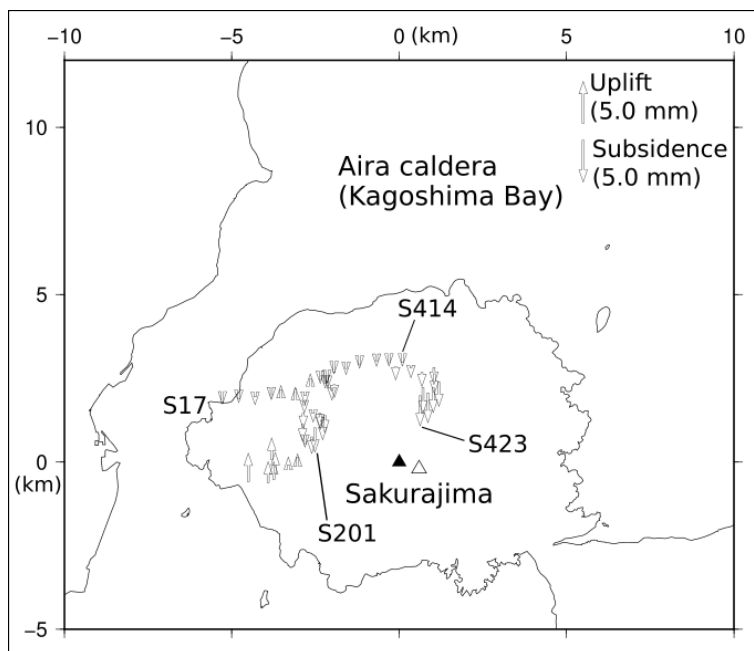


図6

桜島西岸のS.17を基準点とした、2021年11月～2022年11月の期間の各水準点における地盤上下変動量。黒三角および白三角は、それぞれ南岳火口および昭和火口の位置を示す。

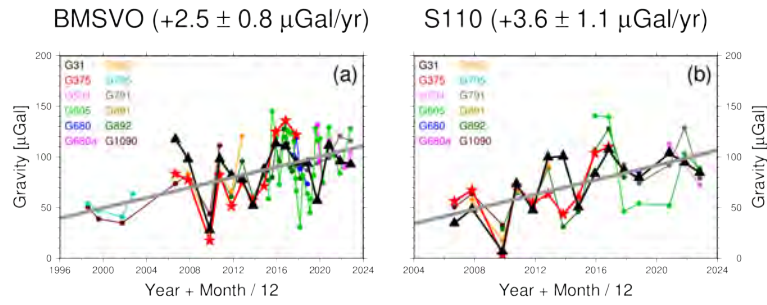


図7
桜島中央部のBMSVO重力点およびS110重力点における重力時間変化。

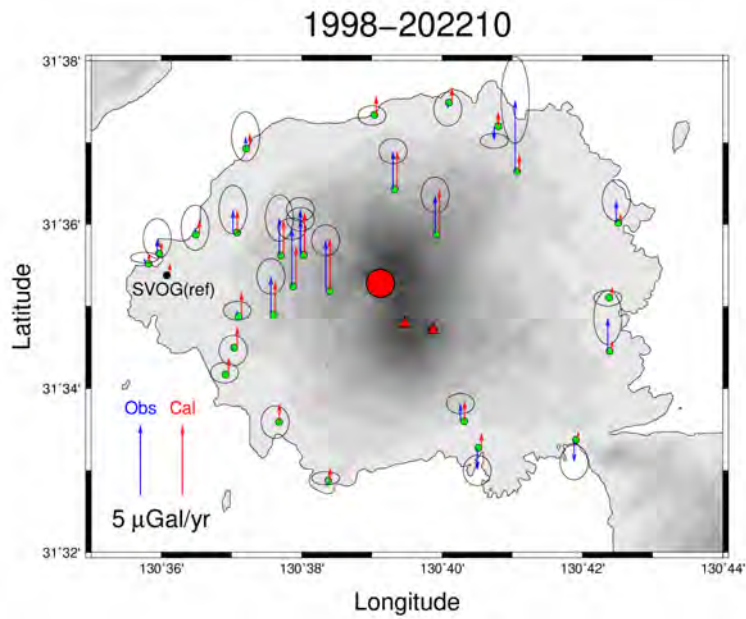


図8
桜島島内の重力点における重力変化速度の空間分布。

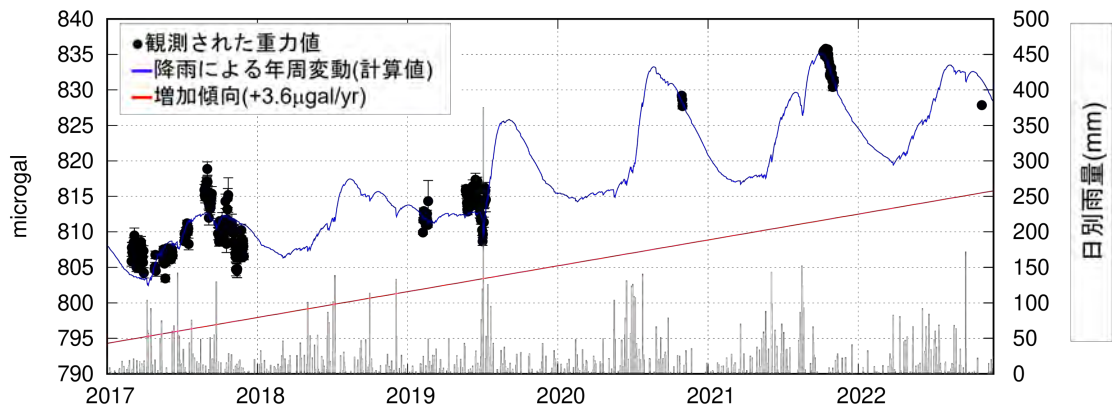


図9
2017年から2022年にかけての有村観測坑道での絶対重力値の変動。降雨による年周変動に加えて、+3.6マイクロガル／年の重力増加傾向が見られる。

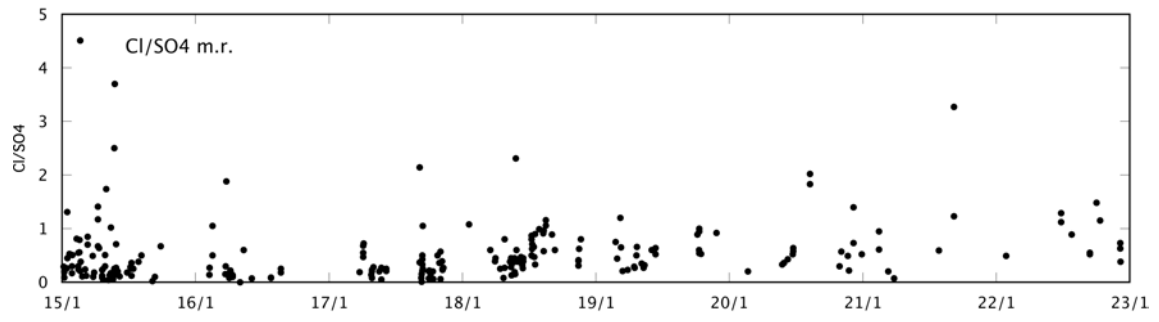


図10
2015年から2022年の火山灰付着水溶性成分のCl/SO₄モル比

(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ジング則や不均質性等の違いを考慮した、プレート境界地震の広帯域震源モデルを基礎とした内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの開発。大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の継続。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成34年度：内陸地殻内地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの構築と実地震記録への適用による

問題点の整理（新規提案課題「断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究」で得られた震源モデルに関する知見があればそれも考慮する）。大阪盆地、奈良盆地等での地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施を踏まえた地盤構造モデル改良。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

平成35年度：プレート境界地震及び内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの提案。大阪盆地、奈良盆地等の改良モデルの提案。強震観測（中川低地、京都市内）の継続。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【大阪堆積盆地3次元地盤構造モデルの高度化】

大阪堆積盆地3次元地盤構造モデルの高度化の一環として、新たなデータを用いた地質構造モデルの改良と、堆積層のQ値モデルの再検討を行った。

本課題では、文科省委託・上町断層帯重点観測（文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所、2013）で作成された大阪盆地の3次元地盤構造モデル（Sekiguchi et al., 2016）の改良を進めている。このモデルの作成においては、複数の鍵層を設定し、各種観測・探査によるそれらの深度データから3次元の地質構造モデルを作り、それを物性値に変換することで3次元の速度構造モデルを構築している。最も浅い鍵層である海成粘土層のMa10層は、平野部で露頭から深さ二百数十m程度までに存在する。一方、大阪平野では建築土木構造物の建造時に実施されてきた多数の浅層ボーリングにより深度50m程度までの地質が高密度で得られている。地域によってMa10層が直接見出され、Ma10層より浅部に存在するMa12層が見出されていることもある。大阪盆地の堆積層の層構造は、多数の反射法地震探査で明らかにされているように、積み重なる同時代面が大局的に相似的な変形形状を示している。Ma12層は非常に浅いため、反射法地震探査の深度断面でMa12層とMa10層の反射面の関係が直接的に明らかにされた例は無いが、やはり、大局的には相似的な変形形状を持つと考えられる。そこで、

1) Ma12層とMa10層の両方の標高データが存在する地点のMa12層とMa10層の標高差を内挿してMa12-Ma10標高差分布モデルを作り、2) Ma12層標高データのみが存在する地点で、Ma12層標高と1)によるMa12-Ma10標高差推定値を組み合わせてMa10標高推定データを作った。浅層ボーリングデータの追加により、Ma10層標高モデルが数十m程度修正され、小さい空間スケールのMa10層の形状の変化がモデル化された。

本課題では、令和2年度に、2018年大阪府北部の地震の地震動シミュレーション結果を用いた堆積層Q値のモデル化を実施した（Sekiguchi et al., 2020）。地震動シミュレーションに用いられた震源モデル（Asano et al., 2018）は波形インバージョンにより求められたものであるが、観測点により振幅の過小評価・過大評価はあるものの、平均的には観測波形の振幅を再現している。そのため、堆積層Q値の最適値を調べるにあたり、地震動シミュレーションの合成波形と観測波形の間で振幅調整をしていなかった。しかし、地震動シミュレーションの計算波形のS波到着時あたりの振幅をみると、大阪盆地の観測点では、観測に比べ過小評価の観測点が多いことが確認された。Q値は減衰率のパラメータであるため、観測波形と計算波形のRoot Mean Squareエンベロープの振幅を比較して最適なQ値を調べる際、比較する時間ウィンドウの頭の部分の振幅を揃えるのが一般的である。そこで、地震動シミュレーションの計算波形に振幅補正を施してQ値のモデル化を再検討した。ただし、このケースでは、単純に、各観測点で比較する時間ウィンドウの頭の部分の振幅を合わせればよいというわけにはいかない。震源項の補正は、射出方向及び周波数毎に異なってよいと考えられるが、大阪盆地は震源からおよそ90°の方位角に広がって分布しており、この盆地内を複雑に行き来した波が各観測点に到来するため、時間ウィンドウの頭の部分に到来した波に対して妥当な振幅補正が後続部分に対して妥当であるとは限らないという問題がある。そこでまず、各観測点で時間ウィンドウの頭の部分で振幅補正值を決め、その値の大阪盆地内の平均値をとり、改めてこれを共通の振幅補正值とした。この共通振幅補正值を使ってRMSエンベロープの振幅比較を行って各観測点で最適Q値を求めた。大阪平野中心部の広い範囲で、1.0~2.0HzのQ値は $Q=0.15V_s$ （ V_s ：S波速度）とモデル化された。

【京都－奈良盆地の浅部地盤の周波数別地震応答評価】

京都盆地から奈良盆地にかけての地域には、国内の他の堆積平野と同様、地表付近に沖積相当層が分布している。地震被害に直結する周波数帯域での地震応答(地盤増幅特性)には、深部地盤構造だけで

なく、浅部地盤構造の寄与も適切に評価する必要がある。このため、今年度はテストケースとして、京都盆地から奈良盆地にかけての浅部地盤による周波数別地震応答を評価し、空間的な特徴を把握した。京都盆地から奈良盆地にかけては、令和元～3年度に実施された「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」（文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所, 2022）（以下、奈良重点）によって、250 mメッシュ（4分の1地域メッシュ）単位での浅部地盤構造モデルが新規に作成された。本課題ではこの奈良重点の成果による浅部地盤構造モデルを活用した。奈良重点の浅部地盤構造モデルは、ボーリングデータベースの解析により作成された地層モデル（深さ1m刻みで、代表土質、平均N値をモデル化）をベースに、代表土質、N値、有効土被り圧（深さに関するパラメータ）とS波速度の関係式をモデル化することで作成されている。このS波速度の関係式を構成する係数は、対象地域で多数実施された極小～小半径微動アレイ観測で得られた位相速度の分散曲線にフィッティングするようにモデル化されている。このため、ボーリングデータベースと微動アレイを統合して解析することにより作成された瀬浅部地盤構造モデルである。奈良盆地の浅部地盤構造モデルの特徴としては、盆地中央付近を流れる大和川より南側で層厚が相対的に厚く、最も厚いメッシュで40 mに達している。本課題では、奈良重点による各メッシュの浅部地盤構造モデルに対し、工学的基盤面（ここではS波速度350 m/s）にSH波を鉛直入射させ、Haskell Matrix法で地震応答を計算することで、周波数別の地盤増幅率を得て、これを地図上にマッピングした。なお、入力波は2Eを仮定している。周波数1 Hzでは、調査対象領域全体で、浅部地盤構造による地盤増幅率は小さく、大阪平野と異なり、この周波数の地盤増幅特性に対する浅部地盤の寄与は小さいことが分かった。2 Hzでは、京都盆地南部の三川合流域周辺や奈良盆地南部での増幅が顕著である。さらに、3 Hz以上となると、京都府南部の木津川流域（木津川低地帯）も含め、ほぼ対象領域全体で地震動の増幅が見られるようになる。盆地内の詳細な増幅率の空間分布は、各メッシュの地層モデルやS波速度に対応して複雑な分布をしている。このように浅部地盤構造とその応答を空間的に詳細にモデル化することで、強震動の事前評価に必要となる地震応答評価の高度化に貢献することができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

短周期から長周期までの広帯域強震動予測の高度化のための地下構造モデルの妥当性の検証と改善、および、地盤応答の事前評価が進められた。

本課題が開発しているモデルは、強震動という災害誘因の事前予測の高度化に貢献することによって災害軽減につながると考えている。本課題で開発したモデルを広く利用してもらえよう、最終年度はモデルの取りまとめを進めたい。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Asano, K., T. Iwata, K. Yoshida, N. Inoue, K. Somei, K. Miyakoshi, and M.

Ohori, 2022, Microtremor array surveys and development of the velocity model in the Hakodate Plain, Hokkaido, Japan, Earth Planets Space, 74, doi:10.1186/s40623-022-01647-w., 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

浅野公之・岩田知孝・濱田晃之・吉田邦一・染井一寛・関口春子, 2022, ボーリングデータベース解析と微動アレイ観測による京都盆地～奈良盆地の浅部地盤速度構造モデルの作成, 日本地震学会2022年度秋季大会, S16-03

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

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構築方法のとりまとめを行う。大阪盆地、奈良盆地等の改良モデルのとりまとめを行う。強震観測（中川低地、京都市内）を継続して実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

関口春子（京都大学防災研究所）, 岩田知孝（京都大学防災研究所）, 浅野公之（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所

電話：

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

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：関口春子

所属：京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地表地震断層を伴う地震とそうでない地震の震源近傍強震動の特性が異なることが明確になっていることから、地表地震断層の有無による違いを踏まえ、国内外の大～巨大地震の震源域強震動特性と震源過程におけるその生成原因の関係を整理分析を継続し、将来発生する地震時の強震動予測のための震源モデル高度化に寄与する知見を得ることを目的とする。期間内に生じた大～巨大地震の強震記録を用いた震源インバージョンによる震源モデル推定や広帯域強震動シミュレーションによる強震動生成域モデルを構築し、既往震源スケーリング等と比較して、将来予測の震源断層モデルの高度化に資する。

（場合によっては）期間内に生じた地震による極大地震動特性解明のためのサイト特性推定を実施。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：既往震源近傍強震記録と震源断層モデルの収集。観測点情報の収集。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2020年度：既往震源近傍強震記録の震源項の分離。観測点情報の収集継続。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2021年度：既往震源近傍強震記録の震源項の分離継続。地表地震断層を生じた地震と生じていない地震の震源近傍強震動記録の特性比較。運動学モデルシミュレーション。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2022年度：震源断層モデルに基づく運動学モデリングの検証。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2023年度：震源近傍強震動特性モデルの既往データによるモデルの検証と改良。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

能登地方の地震による強震動

2020年末より地震活動が継続している能登半島北部において、2022年6月19日15時8分にMJ 5.4の地震が発生し、K-NET正院(ISK002)では最大加速度606 cm/s/s（3成分合成値）、震度6弱を計測し、周辺で被害が生じた。この記録において水平動では卓越周波数が約1 Hzであった。このサイトの記録にはこの強震のみならず弱震時も同様の卓越周波数を持っており、前年度までに報告してきた、2021年2月13日福島県沖の地震時のKiK-net山元町(MYGH10)での計測震度相当値6.4の記録のような、強震による浅部地盤の非線形応答と見られるような現象はなかったと考えられる。当該サイトにおいて微動アレイ探査を実施し、浅部地盤構造を推定すると、工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルによりこのサイトが約1 Hzの卓越周波数を持つことがわかった。

2022年11月9日茨城県の地震による強震動

2022年11月9日17時40分にMJ 4.9の地震が深さ約51 kmで発生し、震央距離約37 kmの茨城県城里町小勝で最大加速度722 cm/s/s（3成分合成値）、震度5強を観測した。観測記録には周波数約8 Hzが卓越していた。防災科学技術研究所により浅部地盤構造調査が実施され、工学的基盤面相当以浅の構造によってこの周期帯域が大きく増幅することがわかった。震度計を含む強震観測点が数多く設置されるようになり、最大加速度や震度値が大きい観測が得られるようになってきたが、観測密度がそれなりに確保されていることから、そういった極大強震動の発生原因が局所的なものであるか、あるいは広域的なものであるかが分析により判別出来るようになってきた。今回の2例は特に工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造の影響が大きいと考えられるが、深部地盤構造による増幅効果も含め、定量的な評価を進めて行く必要がある。そのためには、震度値等だけでなく、時刻歴波形の公開、サイトの地盤構造調査が必要であるのは言うまでもない。

強震動予測のための震源モデル設定に関する分析

既往震源断層モデルや本課題で分析された震源特性情報をもとに、これまで、応力降下量の深さ依存性について示してきた。ここでは既往の震源断層モデルのすべり角のばらつきの程度を求めた。本検討では、国内の地震に対する震源インバージョン解析結果で、震源インバージョン解析のデータとして強震波形記録が使用されているもの、加えて、不均質震源断層モデルデータベースSRCMOD (Mai and Thingbaijam, 2014)または防災科学技術研究所から、各要素断層のすべり角の情報を含むデジタルデータが公開されていること、を条件に不均質断層モデルを選び出した。結果、28地震の36震源モデルが収集できた。

すべり角は $[-\pi : \pi)$ の有界性をもつ情報であることから、方向統計学の方法に基づいた平均および標準偏差を得た。また1地震ですべり角の異なる複数の断層面が設定されている場合はそれぞれの断層面において平均値と標準偏差を求めた。すべり角の標準偏差の平均値は

地殻内地震 $21\text{度} \pm 5\text{度}$

プレート境界地震 $18\text{度} \pm 5\text{度}$

すべての地震 $20\text{度} \pm 5\text{度}$

と求められた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

広帯域強震動予測の高度化を目的として、強震動を観測した地点の浅部地盤構造モデルの推定や、増幅特性を分析した。災害誘因の事前予測に不可欠である強震動予測のための震源断層モデルパラメータ設定方法の高度化のため、不均質震源モデルのすべり角の不均質性の特性化を行った。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

岩田知孝・浅野公之・宮本英・緒方夢顕,2022,2022年6月能登地方の地震によるK-NET正院（ISK002）の地震動特性と地盤構造,日本地震学会2022年度秋季大会,S16-04

岩田知孝・浅野公之・宮本英・緒方夢顕,2023,2022年6月19日能登地方の地震(M5.4)時に震度6弱を

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究を継続する。強震動予測のための震源断層モデルパラメータの高度化を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

岩田知孝(京都大学防災研究所),浅野公之(京都大学防災研究所),関口春子(京都大学防災研究所)
他機関との共同研究の有無:無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野

電話:

e-mail:

URL:<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:岩田知孝

所属:京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山地域を含む地震地すべり発生場の評価と斜面における強震動及び不安定化の事前予測手法の展開

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法のさらなる高度化を進めるため、次の5ヶ年においては、以下の事柄を明らかにする。本研究では、地域的多様性を考慮した災害素因に関する研究（サブテーマ1）、観測による災害誘因メカニズムの検討（サブテーマ2）、阿蘇地域に特化した研究（サブテーマ3）の3つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 重力変形斜面において、地震によって崩壊しうる斜面に特徴的な地形と地質構造を現地踏査によって明らかにする。また、既往災害を例とした複数のモデル化を行い、それらを標本として「危険な斜面」をあらためて再定義し、危険箇所の抽出を行う。特に南海トラフ巨大地震時の事例を対象とする。

2) すべり面となりうる降下火砕物の特徴をもとに、地震時に崩壊する危険性の高い降下火砕物の空間分布を、噴火史や給源の位置から推定する。

3) すべり面と想定される層準や移動土塊から試料を採取し、物理特性や動的なせん断挙動を計測する。さらに、崩土の移動特性を把握するため、流動特性をリングせん断試験機によって調べる。

4) 斜面における地震観測について、多点稠密な地震観測・微動観測へと拡張し、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施することで、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを

評価するとともに、揺れの特徴や大きさと、地下水の変動量、斜面の永久変形量の関係を明らかにする。

5) 過去の多数の災害事例についてまとめた啓蒙書を出版する。災害が発生していない（未災の）段階で、住民に読んでもらい、将来被りうる災害について身近に考える具体的な材料とすることで、大都市域の盛土斜面をフィールドとして、社会学的な見地から住民が自らのリスクを認識する手法を開発する。

6) 特に、阿蘇地域において、熊本地震時の未崩壊斜面においてボーリング調査、ボーリング試料の土質試験、ボーリング坑内での物理観測を実施して、強震動による地すべり現象発生のポテンシャルを評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度（令和1年度）においては、南海トラフ巨大地震をターゲットとし、主に四国山地および沿岸部の急峻斜面において、過去に発生した地震時の重力変形斜面での崩壊事例を収集し、周辺の非崩壊斜面と対比しつつ、崩壊した斜面の地質構造の特徴を抽出する。大規模崩壊の痕跡、重力変形斜面、堰止め湖などの痕跡をGIS上で抽出し、地質・地形調査を行うとともに重点調査箇所の設定を行う。

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

四国山地中央部の地震と関係する深層崩壊地およびその周辺環境の検討を行っているが、20世紀以降発生した深層崩壊地を調査したところ、本年度は特に以下が明らかになった。（1）泥質片岩または珪質片岩であること、（2）褶曲作用に伴う軸面劈開が発達している場所であること、（3）河川の攻撃斜面または谷の遷急点付近。（2）の褶曲および軸面劈開は（1）に示す泥質片岩および珪質片岩に発生しやすい。そして、深層崩壊地は例えば流れ盤の徐動性地すべりが発生する場所、これらとは関係なく発生していることが判明した。深層崩壊地の場合、特に高角度の姿勢を持つ亀裂が重要であると考えられる。それは、亀裂が急速な岩盤内部への水の流入経路となり、地震時には、亀裂がもたらす直立板状の構造が水平動の影響を受けやすいと考えられるからである。（2）の軸面劈開は四国山地南部では鉛直姿勢であることが多く、四国山地南部では地域的に共通する性質であることを確認した。また、高密度地形データから作成した地形表現図をベースに踏査を行ったところ、

（3）の河川と関係する特徴も明らかになった。つまり、上記の地質条件を備えた場所で、河川侵食が影響すると、重力斜面変形によって、斜面が伸長し、亀裂が開く、そして深層崩壊の準備段階が完成する。そのような時に地震や豪雨があれば、崩壊が発生することが示唆された。

上記の地質的な特徴を持つ高知県大豊町のトウジ山斜面において、地震動と斜面変形、変動の関係を明らかにするため、令和2年度から地震・斜面観測をおこなっている。前年度に明らかにされた斜面における地震動の増幅特性の成因を明らかにするため、本年度は簡易貫入試験と表面波探査を実施し、過去の崩壊物の厚みと弾性波速度を推定した。その結果、崩壊物が徐動性の地すべりを呈する地点における増幅特性は崩壊物内における地震波の多重反射で説明できることが分かった。また、2年強にわたる傾斜の連続観測の結果、温度変化によるセンサーのノイズレベルとの分離がやや難しいものの、多雨期後に微小な傾斜変化があったことが認められ、重力変形が進行していることが示唆された。

また、横浜市の盛土において地震動と間隙水圧の同時観測をおこなった結果について解析したところ、以下の強震時の地盤の塑性的な変形に伴う過剰間隙水圧の上昇の特徴がわかった。過剰間隙水圧の上昇量は地震動の瞬間的な大きさよりも継続的な大きさと深い相関を持った。東京都目黒区の盛土における過剰間隙水圧の上昇時間が地震動の継続時間と同じオーダーを持つのに対して、横浜市においては1桁から2桁大きなオーダーを持った。盛土の材質などの影響が示唆され、盛土の安全率を評価するうえで盛土固有の特徴を把握する重要性が指摘された。

斜面の安全率を評価する方法として、震度法やNewmark法が広く使われているが、これらの方法では斜面を剛体として扱い、斜面内部の地震動も同様であることを仮定している。そこで、斜面内部の地震動の不均質性の有無を観測から明らかにするため、ブロック化が進行した北海道釧路町の地すべりにおいて稠密地震観測を実施した。その結果、低周波帯においては、観測点間の位相差は0に近い値を示すのに対し、高周波数帯においては位相が観測点間で大きく異なり、斜面内部の変形が示唆された。これらの特徴から斜面内部での地震波の伝播特性を抽出することで、斜面安定計算の高度化に資すると考えられる。

2016年熊本地震によって崩壊した火山研斜面において土壌水分計と傾斜計による観測を継続した。渇水時期に不飽和状態ある地盤が、大雨の時に飽和状態になり、静水圧が生じることが分かった。これにより、熊本地震発生時の有効先行降雨量および斜面崩壊への影響を解明することが期待できる。

また、1年強にわたる観測期間において傾斜が0.01度/年程度継続的に変形していることが分かった。既往研究によって、強震を受けた盛土が地震後も年単位で不安定となり変形したことが指摘されており、テフラの斜面も数年以上にわたって変形が継続している可能性が示唆された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本年度の成果は、①地震時にどのような地質を持つ斜面が崩壊しうるか、②降雨によってどのような水文環境となるか、といった斜面崩壊の素因の評価に加え、①地盤のどのような条件によって地震動が増幅するか、②過剰間隙水圧がどのように発生するか、③斜面内部で地震波がどのように伝播するかといった地震動が入力された際の斜面の挙動についても知見を与えている。さらに、強震後の長期的な斜面の変形も提示する。これらは地震時に危険な斜面の抽出の手掛かりとなり、地震時の斜面の安定計算への必須のインプットとなるものであることから、今後の研究の発展によってより精緻なハザードマップの作成に寄与すると考えられる。また、四国地方中央部、首都圏、北海道南東部を研究対象領域としており、総合的研究の対象とする地域においてどのような斜面災害が発生しうるかの知見を提供するものである。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Doi I., S. Matsuura, H. Osawa, T. Shibasaki, and S. Tosa, 2022, Effects of slope instability on coseismic landslide susceptibility during earthquakes, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81, doi: 10.1007/s10064-022-03015-0, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Yamasaki, S., 2022, Pelitic schist with epigenetic deformation, as a geological factor of deep-seated landslides, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-05

山崎新太郎, 2022, 四国中央部における泥質片岩で発生した深層崩壊の地質学的背景, 日本応用地質学会中四国支部令和4年度研究発表会, 11

山崎新太郎, 2022, 深層崩壊の背後にある多様な地質背景, 第61回日本地すべり学会研究発表会, S-6
王功輝・劉百川・土井一生・釜井俊孝・大倉敬宏, 2022, Unraveling the role of halloysite on the initiation and movement of coseismic landslides of pyroclastic fall deposits: a case study, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-10

土井一生・小原一成・王功輝・釜井俊孝・千木良雅弘, 2022, 愛媛県久万高原町南東部において観測される繰り返し地震波形の時間分布, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS13-05

土井一生・釜井俊孝, 2022, Observation of the pore water pressure response to strong ground motion in a filled slope in Yokohama city, 日本地球惑星科学連合2022年大会, HDS07-03

土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一, 2022, 稠密地震観測から推定される地すべり内の地震波伝播の不均質性, 第61回日本地すべり学会研究発表会, 2-21

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：その他：斜面の地震と変形の観測

概要：紀伊山地の重力変形斜面において地震動と変形の長期観測をおこなった。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県天川村栃尾地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：地震動と変形、間隙水圧の同時観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：神奈川県横浜市三ツ沢下町

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：テフラの崩壊地において、地震時の地震動、変形と水圧を計測する。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県南阿蘇村高野台地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：受け盤の大規模岩盤地すべりにおいて地震観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県久万高原町川下地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：深層崩壊斜面において地震動の観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：奈良県五條市赤谷地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：強震動地震観測

概要：海岸沿いの岩盤地すべりにおいて強震観測と変位の計測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室市長節地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形・水圧の観測

概要：海岸地すべりにおいて地震動の稠密観測などをおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道釧路町仙鳳趾地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震と変形の観測

概要：四国地方の深層崩壊斜面において地震動と変形の同時観測をおこなう

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県大豊町トウジ山地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県美馬市曾江谷川周辺

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県三好市西祖谷山村有瀬周辺

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県大豊町豊永・岩原周辺

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：高知県仁淀川町国道33号周辺

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：地質調査、露頭観察

概要：

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：愛媛県松山市城山・国道33号周辺

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震観測

概要：2018年北海道胆振東部地震時に発生した大規模岩盤地すべり地における地震動の長期観測を実施する。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道厚真町幌内地区

調査・観測期間：2022/8/-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：斜面の地震観測

概要：大規模再活動地すべりにおいて地震動の稠密観測などを行う

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県那賀町阿津江地区

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまでの研究で、特に鉛直方向に発生した亀裂が地震時および降雨時の深層崩壊に関係することが判明したが、亀裂は特に地殻変形のプロセスで形成されていることも明らかになった。実際に、位置が詳しく判明している活断層の周辺で深層崩壊が発生している例が複数あることを筆者は確認しており、筆者はこれを活断層の変動を模擬した砂箱実験でも確認した。次年度は、四国山地内および東海地域で知られている断層周辺の岩盤を調査し、鉛直方向の亀裂と姿勢、そしてその深層崩壊への役割を明らかにする。そしてこれにより地震時崩壊ハザードマップ作成のための指針を提案する。

また、四国、紀伊山地、北海道、首都圏、火山研斜面で稼働中の地震や斜面の観測を継続する。特に、強震時の変形や間隙水圧、地震後の長期的な斜面の変形に関するデータを収集する。さらに、斜面における稠密地震観測を進展させ、地震動の地すべり内の伝播特性について明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

土井一生（京都大学防災研究所 ※総括、サブテーマ2（主査）、サブテーマ3）、王功輝（京都大学防

災研究所※サブテーマ1、サブテーマ3、サブテーマ2),山崎新太郎(京都大学防災研究所※サブテーマ1),松四雄騎(京都大学防災研究所※サブテーマ1)

他機関との共同研究の有無:有

千木良雅弘(深田地質研究所※サブテーマ1(主査)),大倉敬宏(京都大学大学院理学研究科※サブテーマ3(主査)),西山賢一(徳島大学※サブテーマ1),釜井俊孝(所属無※サブテーマ2)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:京都大学防災研究所

電話:0774-38-4113

e-mail:doi.issei.5e@kyoto-u.ac.jp

URL:

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:土井一生

所属:京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火砕流の発生と流下予測

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火に先行する地盤変動，地震活動，火山ガス放出量などのうち，火砕流発生の予測を可能とするパラメータを抽出する。また，過去の火砕流を伴った噴火の再解析を行い，流下距離からシミュレーションにより火砕流の体積を逆算し，噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより火砕流配分比を決定する。最終的には，配分比に基づき火砕流が流下する流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成し，地盤変動のリアルタイム処理結果と結合することにより，オンラインハザードマップのプロトタイプを試作する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては，過去の火砕流を伴った噴火に前駆する地震，地盤変動，火山ガス放出量などについて再解析を行い，火砕流が発生するときの条件を抽出する。過去の火砕流について流下距離からシミュレーション・フォワードモデリングにより火砕流の量を推定する。降下火山灰の量の把握を含め，火砕流の堆積量を把握するための観測体制を強化する。

2020年度においては，前年度の計画を引き続き実施し，過去の噴火と新たに観測された多くの事例について噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより総噴出物量に占める火砕流への配分比を決定する。降下火山灰量を非火砕流により上方へ噴出した噴出物量とし，降下火山灰量を差し引くことにより，火砕流配分比を決定することも試みる。

2021年度においては，火砕流配分比に基づき，桜島の流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成する。火砕流ハザードマップのセミナーを実施する。

2022年度においては，実際に発生した火砕流の流下範囲と火砕流ハザードマップを比較することに

より、シミュレーション結果を検討し、必要に応じてシミュレーションパラメータのチューニングを行う。火砕流ハザードマップのセミナーを実施する。

2023年度においては、先行する地盤膨張量はオンラインで出力されるデータであり、このデータを入力条件としたオンラインハザードマップを試作する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

火砕流の発生予測に関して、地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測データを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータを明らかにした。火砕流を伴う噴火は長期的に収縮傾向の脱ガスが進んでいる際に発生し、噴火直前に見られる地盤変動の膨張時間、前駆地震の発生頻度と振幅の上昇から火砕流の発生危険度のリアルタイム予測の検討を行い、以下のような火砕流の発生危険度判定を行なった。

- ・中長期的な地盤変動データにおいて収縮かどうかの判定を行い収縮期であればレベルを1にする
- ・地盤変動で膨張（伸縮計記録で10nstrain以上の伸張）があり規定値以上のの振幅の地震が5回発生すればレベルを2にする
- ・地盤変動の膨張が1分値で前5分平均の1.1以下が10分継続し停滞となったらレベルを3にする
- ・地震の最大振幅が5回以上更新されたらレベルを4にする
- ・それぞれのレベルで72時間以上変化がない場合は判定をリセットする。

上記の判定により、2010年以降の火砕流28例のうち、発生時に20例がレベル4、6例がレベル3と判定され火砕流の発生危険度を数値化できた。現在、火砕流のリアルタイム発生予測のロジックをサーバーへ搭載する準備を行っている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火砕流は高温の火砕物や火山ガスが山腹斜面を高速で流れ下るもので、火山噴火の中で最も危険な現象の一つであり、火山防災上、その発生予測は必要不可欠である。今年度において火砕流の発生予測のリアルタイム化にむけてのロジックが完成しており、火山噴出物による災害誘因の即時予測手法の開発に貢献している。最終年度において火砕流発生前の膨張量から火砕流の規模予測を加えて火砕流のリアルタイムハザードマップを完成させる予定である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

為栗健,2022,火砕流の発生と流下予測,2022年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会

為栗健,2023,火砕流のリアルタイム流下予測,令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会,A302

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度において火砕流発生前の膨張量から火砕流の規模予測を加えて火砕流のリアルタイムハザードマップを完成させる予定である。すでに構築している自治体向けの火山活動データ表示装置上で上記のハザードマップを加えて、職員向けの講習会を行なう。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

為栗健（京都大学防災研究所）,井口正人（京都大学防災研究所）,中道治久（京都大学防災研究所）,山本圭吾（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）,眞木雅之（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：tameguri.takeshi.2u@kyoto-u.ac.jp

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：為栗健

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

噴火後の土石流および泥流の発生に関する観測と予測手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山防災上重要な2つの現象、すなわち火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生および噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して、その危険度や規模を予測する手法の確立を目的として、桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行う。噴火後の土石流・泥流の発生の危険度や規模の予測については、火山灰堆積分布および堆積物の物性の時間変化による発生ポテンシャルの変化を解明することが重要である。また、融雪型火山泥流については、火砕流の規模、温度、積雪の量と物性、地盤条件が重要な要因であり、これらを考慮した泥流のシミュレーションモデルの開発が必要である。本研究では以上の点の解明に重点を置き、対象火山について、時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や発生規模を予測する手法を検討するとともに、焼岳については、融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させる。さらに、これらのモデルを使って、噴火後の土石流・泥流の発生基準雨量や融雪型火山泥流に関する火山防災情報が提供できるようにすることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、対象火山である桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山の最近の火山噴火活動と火山灰の堆積、噴火後の土石流や泥流、洪水の発生状況について調査し、そのデータを整理する。また、噴火後の土石流や泥流の予測モデルの構築に向けて、土石流や泥流の発生ポテンシャルと関係する流域の諸量を明らかにし、そのデータの取得を行う。

2020年度においても2019年度のデータの収集を継続して行うとともに、入手ができないデータに

についてはその推定方法について検討する。また、流域の火山灰の堆積分布を与条件として土石流や泥流の発生や規模を計算する手法、火砕流の規模や降雪量分布を与条件として融雪型火山泥流を計算する手法について既存の手法を整理し、それらの計算精度の向上も図る。

2021年度においては、これまでの調査結果やデータを使って、噴火後の土石流や泥流の発生ポテンシャルの時間変化のモデルを進める。このポテンシャルは土石流や泥流の発生に伴い軽減すると考えられるので、このモデルには土石流や泥流の発生モデルも組み込む必要がある。融雪型火山泥流については、焼岳火山を対象にしたモデルの構築を進める。

2022年度においては、2021年度に検討を開始した土石流や泥流の発生ポテンシャルのモデルの完成を目指し、土石流や泥流のモデルへの接続を図る。融雪型火山泥流については、焼岳流域に適用し、モデルの問題点を検討する。

2023年度においては、噴火後の火山灰の量とその後の降雨量を入力条件として、土石流や泥流の発生や規模を予測するモデルの完成を目指し、桜島火山等を対象にして、噴火後の土石流や泥流の発生基準雨量について検討する。融雪型火山泥流についても、火砕流の規模や方向、積雪量分布などを入力条件にした泥流の予測モデルの完成を目指し、焼岳火山に適用する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 噴火後短期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの評価方法の開発

－桜島における土石流観測－

火山噴火にともない火山噴出物が流域に堆積すると、地表面の浸透能が低下し比較的弱い雨でも土石流が発生するようになる。しかし、火山噴出物の流出によって、土石流の発生回数が減少する。地表面の状態は土石流・泥流発生ポテンシャルの指標の一つと考えることができるが、火山活動が活発な時期は現地への立ち入りが出来ず、その変化を経時的に直接的な方法で観測することは出来ない。そこで、地表状態を間接的に評価する手法の一つとして、実際の土石流の流出過程を再現するような簡便な流出解析モデルの計算パラメータを逆解析し、計算パラメータを指標に土石流発生時の地表面の状況を把握できるのではないかと考えた。Kinematic Wave法を用いた土石流の流出解析モデルを構築し、桜島有村川流域を対象に流出波形を良好に再現できる流出係数、粗度係数を探索した。2015年～2020年の58件の土石流のうち、16件の流出波形の再現度が低く、流出係数、粗度係数の最適値が定まらなかった。波形の再現性のよかった42件の土石流の流出係数、粗度係数と降灰量の関係を解析した結果、降灰量が多い時期には流出係数が増大し、流出係数が0.4-0.5程度の値を示した後に減少することがわかった(図1)。有村川3号堰堤におけるLVPセンサー、水位計、流速計、CCTVのデータから、流出波形の再現度が低い土石流と再現度が高い土石流の相違を解析した結果、再現度が低い土石流は粗度係数が大きく(図2)、土砂濃度が高く、含有される巨礫のサイズが大きい傾向があることがわかった(図3)。今後はこれらの土石流の流動特性を考慮し流出解析モデルを改良し、降灰と計算パラメータの関係の定式化に取り組みたい。

2. 噴火後中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの変化

－焼岳における長期観測による解析－

1962年(昭和37年)の焼岳の噴火以後20年くらいは足洗谷流域で土石流が頻発したが、最近ほとんど発生していなかった。そうした中で、2019年に約20年ぶりに発生した。このような現象の背景には、噴火による土石流発生ポテンシャルの急激な増加、土石流の頻発による減少、さらには生産土砂の蓄積によるポテンシャルの回復という変化過程と豪雨の発生場所と降雨特性があると考えられる。そこで、火山噴火後の中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルのモデル化にあたり、噴火後土石流が頻発することで一旦下がったポテンシャルが回復する過程について、凍結融解作用による土砂生産に着目して検討した。

土石流発生ポテンシャルに関係する素因としては、斜面の降雨浸透能と渓床堆積土砂量が考えられる。前者は噴火後の火山灰の堆積物のクラスト化により一旦減少するが、経時的に徐々に回復するものと考えられる。後者は崩壊や渓岸侵食などの土砂生産現象により増加し、土石流が発生すると減少する。焼岳では、1962年の噴火後の足洗谷流域では土石流が頻発したが、40年程度経過すると土石流の発生頻度は急激に減少した。渓床堆積土砂量が減少し、土石流の発生ポテンシャルが下がったためと思われる。しかし、2019年、10分間雨量強度が60mm/hに達する大雨が流域の源頭部にもたらされ、また、渓床土砂堆積物の回復もあり土石流が発生した。昨年度までに焼岳地域を対象として土砂生産

の主要な要因である凍結融解作用を考慮したポテンシャルの回復について評価する手法を提示した。ただし渓床堆積土砂が厚くなると中小出水では渓流での表流水が発生せず、土砂の運搬がおこらないという課題があった。そこで、令和4年度は土砂動態モデルの水移動過程について改良を加え（図4）、土石流が発生する渓流源頭部において堆積物諸係数による土石流発生についての感度分析を行った。

足洗谷流域の過去の観測研究成果によると、降雨中、渓床源頭部の堆積物は浸透流による飽和帯が底部に発生すると同時に表流水が発生していた。すなわち堆積物全層が飽和しなくても表流水が発生していた。このように堆積物が全層飽和状態でなくても表流水が発生する水移動過程を再現できるようなモデルへの次の改良を行った（図4）。斜面で発生した表面流は河道部の表流水に加えることとし、斜面での浸透流は渓床堆積物の浸透流に加えた。また渓床堆積物の表流水の底部への浸透についても考慮した。さらに流域地形モデル作成時に渓流源頭域について、局所的な現象である土石流発生を対象とするために従来の単位河道を詳細に分割することとした。

改良を加えた土砂動態モデルにおいて堆積物の諸定数（透水係数、堆積厚、浸透能、素時計数）が土石流発生に及ぼす影響を検討する感度分析を実施した。対象は足洗谷流域の支流であるヒル谷流域であり、ここでは2020年7月8日に豪雨により土石流が発生した。ヒル谷流域の渓流を12区分し、最上流の3単位河道において土石流発生の起因となりうる堆積物表面での移動および底部をすべり面とする滑動を検討した。堆積物表面での移動は平均粒径 d 程度の深さにおけるせん断力とせん断抵抗力のつり合いを安全率 F_1 として求め、 $F_1 < 1$ のときに表面での移動が始まると考えるものである。堆積物底部をすべり面とする滑動も同様に深さ D におけるせん断力とせん断抵抗力のつり合いを安全率 F_2 として求め、 $F_2 < 1$ のときに滑動が起こると考える。計算対象期間は2018年7月9日～2020年7月8日の2年間とした。透水係数 $k=1.0 \times 10^{-2}$ m/s、堆積層厚 $D=1.0$ m、浸透能 $f_0=100$ mm/h、マンシングの粗度係数 $n=0.24$ m^{-1/3}/sを基本条件とし、各係数を変化させたシミュレーションを実施した。

基本条件におけるヒル谷最上流部の3単位河道における安全率 F_1 および F_2 の時系列変化を図5に示す。表流水による堆積物表面の移動に関する安全率 F_1 は降雨中に表流水が発生すると低下したが、計算期間を通じて1を上回った。堆積物底部での滑動に関する安全率 F_2 は堆積物中の浸透流水深が上昇にともなって低下した。実際に土石流が発生した2020年7月3～8日の降雨中には約1.5まで低下した。透水係数、堆積物厚、浸透能、マンシングの粗度係数といった堆積物各係数を変化させたときの F_1 および F_2 の最小値を図6に示す。堆積物が厚く透水係数が小さいほど安全率が減少する傾向がみられた。マンシングの粗度係数による影響はほとんど表れなかった。基本条件での表流水深は最大約0.2mであり、粗度係数が小さい条件でも安全率を顕著に低下させるほどの水深とならなかったためである。浸透能が小さいほど浸透流水深が小さくなる結果、安全率は大きくなった。今回の解析では粘着力を既往文献の値を採用して扱ったが、粘着力をある値より小さく設定すると表流水による堆積物表面の移動に関する安全率 F_1 が1を下回るようになることが試算されており、堆積物の粘着力の与え方については更なる検討を要する。

3. 粘着性泥流の流動特性

火山泥流は噴火中や噴火後に起こる災害の中でも広範囲に大きな被害をもたらす現象であり、数値シミュレーションによる泥流の流動範囲の予測は避難方法や被害範囲の検討のために非常に有効である。既存の泥流研究の多くは、マグマ噴火後に発生しやすい非粘着性泥流を対象としたものである

(Pierson et al., 1996; Kataoka et al., 2008; Ban et al., in Prep.)。一方、熱水変質帯が発達する火山では粘着性泥流が発生することが知られているが(Kataoka et al., 2018)、粘着性泥流から非粘着性泥流までの広い粘着力の範囲の泥流現象の流動特性については十分な知見が得られていないのが現状である。本研究では、水路実験によって粘着力の強さが泥流の流動特性に与える影響を検討するとともに、粘着性を考慮した泥流の数値シミュレーションモデルを構築し、泥流中の固体材料の粘着性が泥流の流動特性に与える影響について検討を行った。

図7は、平衡勾配と粘着力との関係を示している。ここで平衡勾配とは、土石流・泥流が渓流を流動しても渓床が浸食されず、土砂も堆積しない勾配である。なお、渓床の勾配が平衡勾配よりも急であれば渓床が浸食され、緩やかであれば渓床に土砂が堆積する。図に示すように、粘着力の増加に伴い、平衡勾配が大きくなるのが分かる。つまり、粘着力の増加によって渓床が浸食されにくくなり、土石流・泥流はあまり発達せず、非粘着性材料の場合と比較して斜面勾配が急な場所で土石流・泥流が停止することが分かる。また、流動深が浅い方が粘着性の影響が強くと表れ、平衡勾配が大きくなりやすいことが分かる。図8は、蛇行角40度、水路幅100m、渓床勾配17°の蛇行流路に泥流が流れた場合の流動深さの時間的な変化を示す。Case1の河床材料は非粘着性、Case2の河床材料は13.6kN/m²の

粘着性を有する。図に示すように、粘着性を有する河床材料を用いたCase2では、発生直後の流動深が浅いときは粘着力によって平衡勾配が大きくなりやすいため、泥流があまり発達せず伝播も遅い。しかし、下流まで伝播し、ある程度流動深が深くなった後は伝播速度が速くなり、非粘着性材料を用いたCase1と同程度の速度で下流に伝播している。図9は、溪床高さの変動量の時間的な変化を示す。図に示すように、非粘着性材料を用いたCase1は平衡勾配が小さいため、全区間で浸食が卓越していることがわかる。一方、粘着性を有する河床材料を用いたCase2では、泥流発生直後は流動深が浅いため、土砂の堆積が卓越したが、下流に伝播して泥流先端部の流動深が深くなると浸食が卓越し、泥流が発達して下流まで流動した。これらの結果は、斜面崩壊が小さく、初期流動深が小さい場合は平衡勾配が大きくなるため、比較的急勾配の場所であっても土石流・泥流が停止することを示している。一方、局所的であっても流動深が深くなると平衡勾配が溪床勾配以上となり、泥流が発達して下流まで伝播することを示している。

4. 融雪型火山泥流の発生機構の解明

火山噴火の熱で斜面上の積雪や氷河が融解し、大量の融雪水によって泥流が発生することがある。この現象は融雪型火山泥流と呼ばれ、降雨と比較して供給される融雪水量が多いと大規模な泥流に発達し、激甚な災害につながる恐れがある。宮本ら（1989）は、1926年に十勝岳で発生した大正泥流の再現計算を実施し、美瑛川、富良野川においては氾濫実績をよく再現することを示した。しかし、融雪から泥流の発生までの過程は、これまで詳細に観測されたことがなく不明であるため、宮本らの再現計算においても、単純化した融雪水供給を仮定して泥流挙動のみを計算するにとどまっている。融雪過程を明らかにするため、村重ら（2015）は、高温土砂を積雪層に供給する融雪実験を行い、火山噴出物から積雪層への熱供給によって生じる融雪水量の推定モデルを提案した。中里ら（2022）は、積雪層と火山噴出物との混合を想定した積雪層融解実験を行い、村重らのように積雪層上に加熱土砂を静置する条件と比べて融雪速度が大きくなることを示し、さらに融雪速度が火山噴出物の粒径に依存することを明らかにした。このことから、融雪型火山泥流発生過程においては、単に火山噴出物の持つ熱量によって融雪速度が決まるのではなく、火山噴出物と積雪層の混合形態や火山噴出物そのものの粒径等の質に依存して変化することが示唆される。

そこで、礫を投げ上げ、積雪層への貫入を計測する実験を行った。使用した礫は数段階に粒径の異なる安山岩と軽石で、粒径が4 cm以下のものはスリングショットを使用、粒径が4 cm以上のものは直接手で投げ上げた。礫が貫入した深さと共に、貫入深さまでの積雪層の密度を10 cm間隔で計測した。実験の結果から、落下時の礫が持つ運動エネルギーと礫が押しつけた積雪質量の関係を図10に示す。運動エネルギーと礫が押しつけた積雪質量との間には線形の関係があることがわかる。また、この関係は、安山岩と軽石の違いによらず同じ関係であることも分かった。この関係を用いれば、噴出物の初速度と積雪の状態を与えれば貫入深を推定することができる。火山噴出物を球形と仮定し、粒径と密度、初速を与え、飛行中の空気抵抗、飛行中の冷却効果を考慮して、一定密度の積雪層への貫入深さを計算し、火山噴出物と積雪の混合状態から積雪層上に火山噴出物が堆積した状態への移行を考慮して融雪を計算した結果を図11に示す。粒径が小さい場合、初期の融雪速度は大きいですが、貫入深さが小さいため、それより上部の積雪をすぐに融かし切ってしまう、融雪速度が小さくなる傾向がみられる。初速が大きくなると、貫入深さが大きくなるので、混合状態が長く続くが、飛行中の冷却効果で熱量が減少しているため、積雪を融かし切ることができなくなっている。一方、粒径が大きい場合、初速によらず貫入深さが大きく、積雪との混合状態が最後まで継続しているものの、融雪速度は小礫と比較して小さい。このため、粒径が20～50 mm程度の礫が最も効率的に融雪を促進する結果となった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火山噴火の影響を考慮した降雨流出現象や土砂流出現象を適切にモデル化し、シミュレーションできるようにしておくことは、災害誘因の即時予測化において基本的な事項である。本研究では、山地源頭部での詳細な土砂移動モデルの構築、および土石流流出モデルの構築を図っており、噴火時の土砂災害の即時予測化に結びつくものである。また、火山噴出物の泥流の流出特性には粘着力が影響するので、本研究では泥流の解析に粘着力を考慮した。これにより噴火時に、泥流の影響範囲を精度よく予測できれば警戒避難体制の高度化に貢献することができる。さらに、融雪型火山泥流の融雪機構にはいくつかの形態が考えられるが、その一つの形態として、高温の石礫が積雪層に落下した場合の融

雪機構について検討した。従来から研究を進めている融雪機構に新たなプロセスを加味することで、融雪型火山泥流の即時予測化の高度化に貢献できる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

ゴメス クリストファー、宮田秀介、片岡幹人、足利健介、金井彩佳、ブラダクバラージュ、藤田正治,2022,粗粒な未固結堆積物かさ密度測定のためのフィールドSfM-MVS法ーヒル谷観測流域での調査ー,砂防学会誌,75(4),25-29,査読有,謝辞無

中里友輔、本居絵子、堤大三,2022,火山噴出物と積雪の混合状態を考慮した融雪型火山泥流発生過程の実験と解析,砂防学会誌,75(3),3-9,査読有,謝辞有

Timur ERSÖZ, Kyoka HANEDA, Anna KURIBAYASHI, Yutaka GONDA,(2023,Lahar Sediment Runoff Characteristics in the Arimura River Basin of Sakurajima Volcano, Japan,Proceedings of Multimodal Sediment Disaster Workshop 2023, Tainan, Taiwan,18-21,査読無,謝辞無

宮田秀介、堤大三、山口翔大、村重慧輝、中里友輔、藤田正治,2022,発生・発達過程を考慮した融雪型火山泥流予測、MIS16-01,Japan Sciences Union Meeting 2022,MIS16-01,査読無,謝辞無

羽田京香、権田豊、Timur Ersoz、栗林杏奈,2022,桜島有村川流域における降雨特性および降雨が土石流発生に与える影響,令和4年度砂防学会研究発表会概要集,123-124,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

中里友輔、堤大三、藤田正治、井口正人、宮田秀介,2022,融雪型火山泥流の発生機構に関する研究ー火山噴出物の積雪層への貫入実験ー,令和4年度砂防学会研究発表会,77-78

堤大三,2022,融雪型火山泥流発生メカニズムの解明のための融雪実験,令和4年度砂防学会研究発表会,5-6

小林正直、藤田正治、宮田秀介、山野井一輝,2022,焼岳足洗谷における溪床堆積土砂量の変化と流出過程に関するシミュレーション,令和4年度砂防学会研究発表会,671-672

Timur ERSÖZ, Kyoka HANEDA, Anna KURIBAYASHI, Yutaka GONDA,2022,Relationship between debris flow discharge coefficient and monthly ashfall in Arimura river basin,令和4年度砂防学会研究発表会,127-128

羽田京香、権田豊、Timur Ersoz、栗林杏奈,2022,桜島有村川流域における降雨特性および降雨が土石流発生に与える影響,令和4年度砂防学会研究発表会,123-124

宮田秀介、堤大三、山口翔大、村重慧輝、中里友輔、藤田正治,2022,発生・発達過程を考慮した融雪型火山泥流予測,Japan Sciences Union Meeting 2022,MIS16-01

Timur ERSÖZ, Kyoka HANEDA, Anna KURIBAYASHI, Yutaka GONDA,(2023,Lahar Sediment Runoff Characteristics in the Arimura River Basin of Sakurajima Volcano, Japan,Multimodal Sediment Disaster Workshop 2023, Tainan, Taiwan,18-21

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2023年度においては、桜島火山を対象にして、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、ガリの形成に伴う土砂の流出特性を予測するモデルの完成を目指す。また、焼岳火山を対象として、噴火後の地表面の状態の変化を考慮した土石流・泥流発生ポテンシャルを検討する。融雪型火山泥流についても、積雪量分布などを入力条件にするとともに、火砕流による融雪シナリオ別に下流への流出ハイドログラフを想定し、泥流の予測モデルの完成を目指し、焼岳火山に適用する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

藤田正治（京都大学防災研究所）、竹林洋史（京都大学防災研究所）、宮田秀介（京都大学防災研究所）
他機関との共同研究の有無：有
地頭蘭隆（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、堤大三（三重大学）、権田豊（新潟大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学防災研究所
電話：075-611-5263
e-mail：fujita.masaharu.5x@kyoto-u.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤田正治
所属：京都大学防災研究所

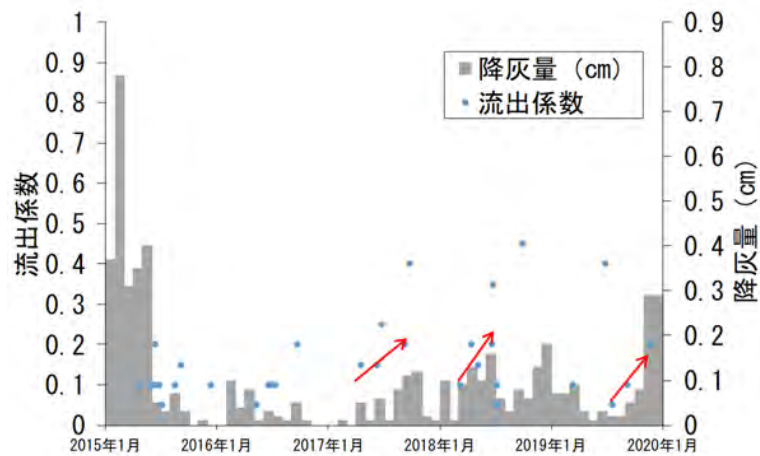


図1 等価粗度係数および流出係数の降灰量による変化

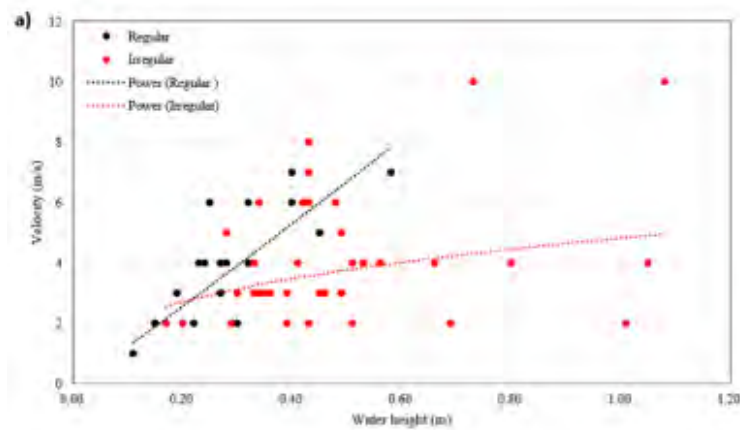


図2 土石流の流速と水深の関係



図3 再現性の良い土石流（左）と再現性の悪い土石流（右）

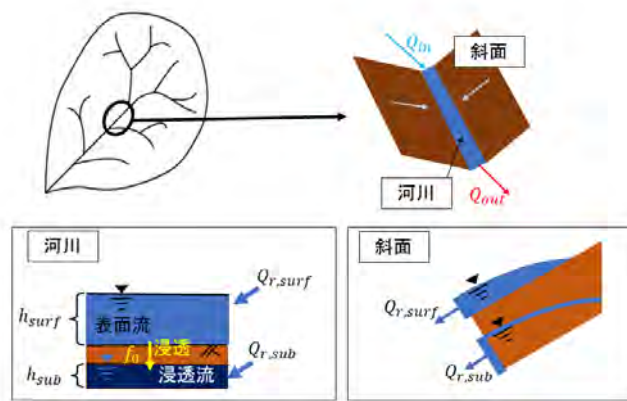


図4 山地源頭部の降雨流出および浸透流モデル

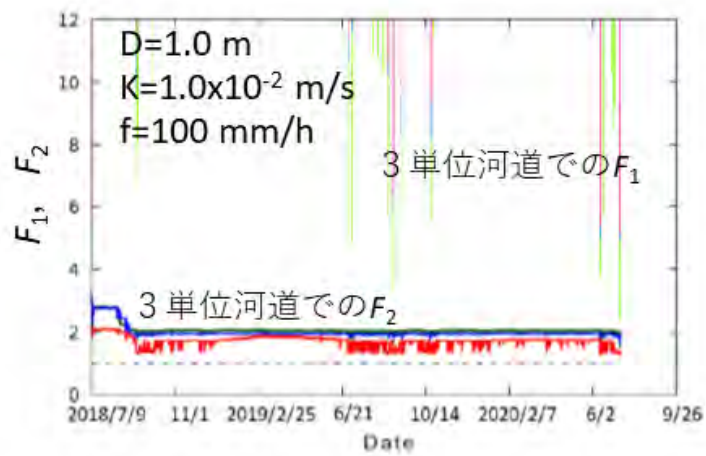


図5 河道堆積土砂の滑動に対する安全率

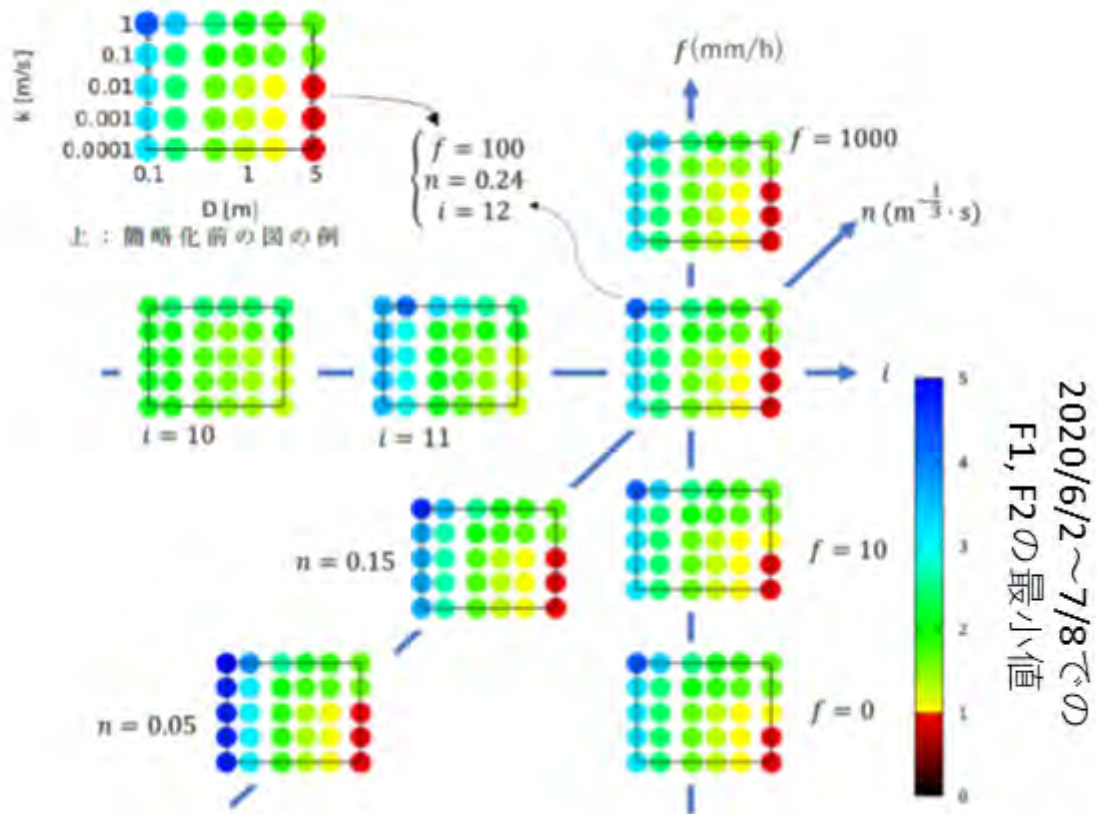


図6 土層厚、透水係数、粗度係数、浸透能による安全率の変化

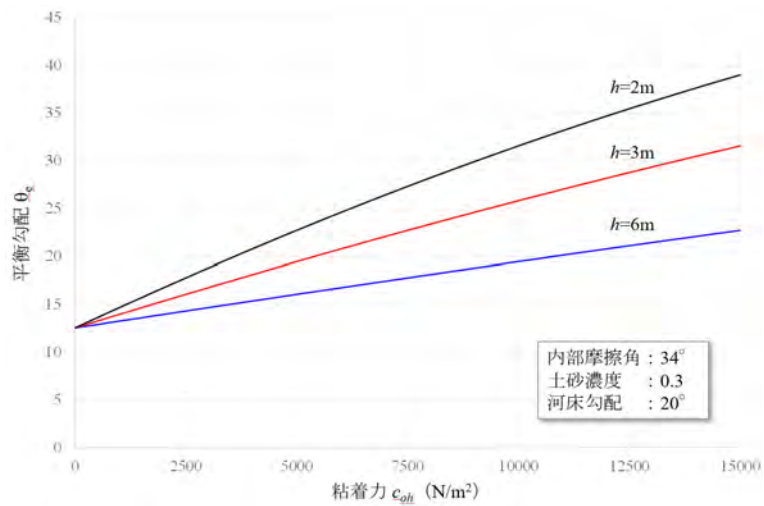


図7 粘着性泥流の平衡勾配と粘着力の関係

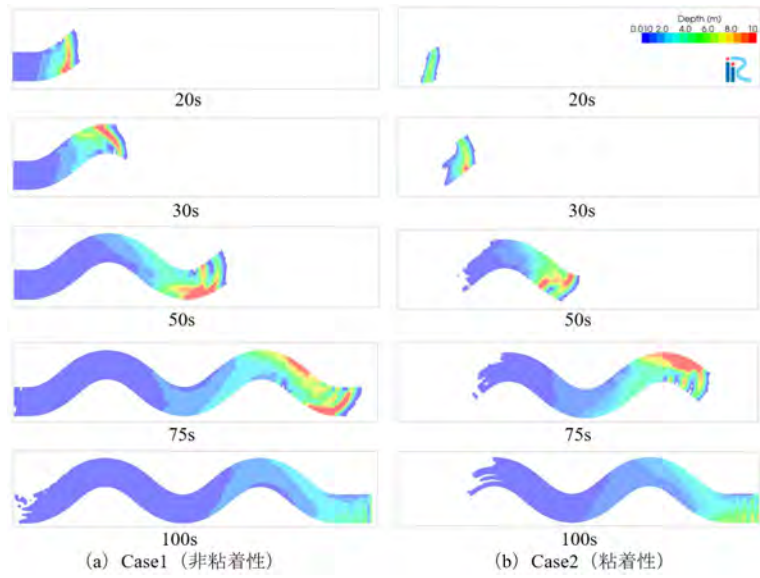


図8 粘着性および非粘着性泥流の流動深

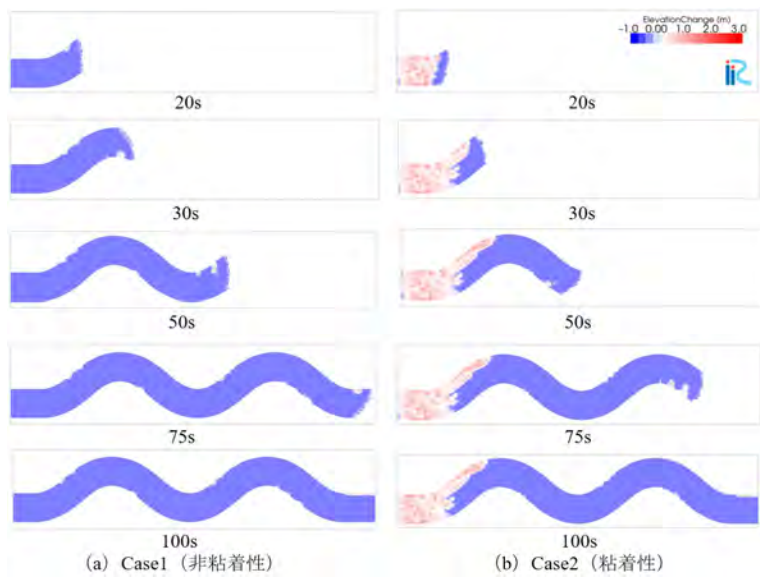


図9 粘着性および非粘着性泥流の河床変動量

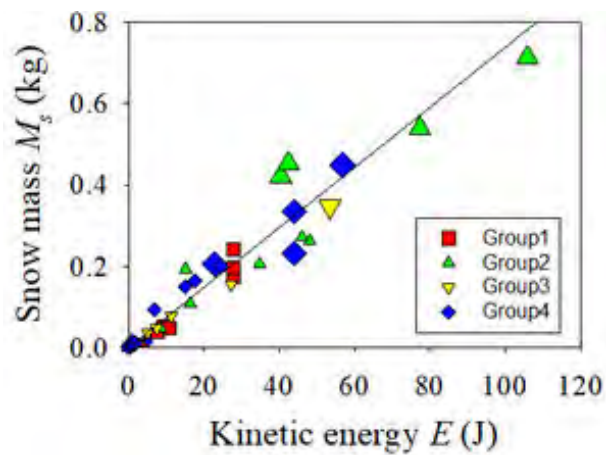


図10 落下する石礫の運動エネルギーと貫入により押し退けた積雪質量

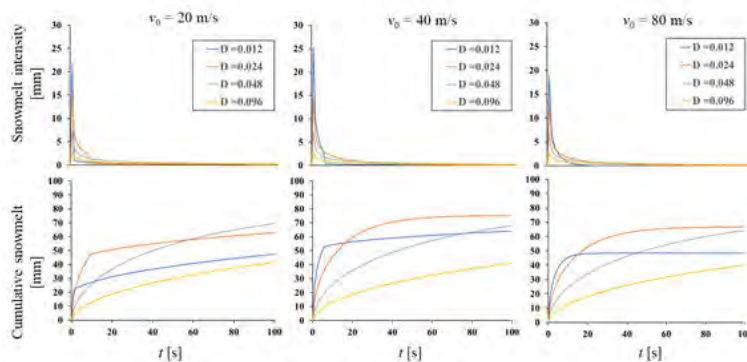


図11 落下する高温石礫による融雪量

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島火山における地域との連携による火山災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
 - (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

桜島火山では、現在噴火警戒レベルを事実上3以上で運用しており、火山活動が高まれば住民の避難を伴うレベル4と5と選択肢が狭いのが現状である。噴火警戒レベルが存在する法的・行政的制約のもとに、大規模噴火危機時の対応や事前準備における課題を明らかにする。地域の行政機関やステークホルダーと連携して火山研究の知見を整理し、社会に適切に発信する手法を見出す。懸念されている桜島大規模噴火について、住民や行政に対して防災リテラシーの実態とニーズを明らかにする。住民、報道従事者、行政等の防災担当者などを対象とした公開講座やセミナーなどを通じて火山研究の現状や火山現象の基礎的な理解を進める。大規模噴火に対応するために、地域防災計画の更新や災害対応や復旧・復興の実施において火山研究成果の反映をさせる。そのために、想定噴火による被災予測および復旧・復興への影響予測を高精度化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

セミナーと講習会を実施し、火山研究成果や火山データを地域防災対策等に反映させることについて検討する。検討項目は以下の通りである。

- (1) 避難計画における火山研究成果の活用
- (2) 様々な噴火シナリオに基づく避難計画の多様化の研究。具体的には、火山活動推移モデル（事象系統図）にリストアップされる噴火規模・様式について、前駆活動及び噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。
- (3) 現状の避難計画の問題点と火山研究による解決の可否の検討による火山研究ニーズの探索。火山研究から想定される今後の噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と火山研究によってその問題

が解決可能であるかどうかを検討する。さらに、どのような事前情報が必要であるか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かを調べ、火山研究の課題としての解決策を探る。また、観測データの解析結果の一般への伝え方を検討する。

令和4年（2022年）度においては、観測データの解析結果の一般への伝え方の検討結果を反映したデータ表示システムの作成をする。

令和5年（2023年）度においては、データ表示システムのビクターセンターへの導入と実証実験を行う。以上の検討を踏まえ、火山研究からみた地域防災計画や支援策などへの提言を取りまとめる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

火山防災に関連した火山学の基礎的知識をまとめてわかりやすく紹介するために自然災害科学・防災の百科事典の第4章火山災害において火山噴火のメカニズムと火山性地殻変動による災害について解説を掲載した。火山学は複数の専門分野から構成される学際的な学問である。そのため、専門でない分野を学ぼうとする学部生や大学院生にとって、必要な基礎知識や当該分野の重要な考え方を学ぶ良い教材が十分あるとは言えない状況である。そこで、各分野の手法や考え方を紹介するために火山学会誌の特集号「次世代研究者のための火山学講座」を企画して、自ら地震波トモグラフィ手法による火山の地下構造についての解説論文を出版した。

火山防災勉強会の機会に、噴石飛散による噴火警戒レベルの引き上げについての認知度のアンケート調査から噴石飛散で噴火警戒レベルが引き上げられることの認知度は高いが、基準となる飛散距離の認知度が低いことが分かった。そして、火山学会秋季大会にて報告した。

火山防災に対するリテラシーを高めるための、火山観測における取り組みに対する理解の促進や、火山観測の歴史の学習の方法として、桜島火山観測所サイエンスミュージアム構想のための準備を進めた。この分野で先端的な取組を進めている京都大学防災研究所阿武山観測所のサイエンスミュージアム運営に関わっている阿武山地震・防災サイエンスミュージアムを桜島に招へいし、桜島火山のジオガイドとともに現地調査を歴史的に貴重でかつ稼働中の観測装置に着目して2022年11月に実施した。そして、一般向け説明資料の作成を進めた（図1と2）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

実際に起こった噴火災害について住民アンケート調査から防災リテラシーの実態の調査をさらに進めた。桜島火山観測所ミュージアム構想における調査から、必要な知識要素の特定をさらに進めた。その結果、歴史的に価値が高く稼働中の観測装置について先端的な取組が進んでいる阿武山観測所の知見を加えて広く紹介していくことが防災リテラシー向上に繋がると考えた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

中道治久,2022,4章火山災害 噴火のメカニズム,自然災害科学・防災の百科事典,154-155,査読無,謝辞無

中道治久,2022,4章火山災害 地殻変動,自然災害科学・防災の百科事典,166-167,査読無,謝辞無

中道治久,2022,火山における3次元地震波速度トモグラフィー実践法,火山,67,207-220,doi:10.18940/kazan.67.2.207,査読有,謝辞無

Rahadianto, H., H. Tatano, M. Iguchi, H.L. Tanaka, T. Takemi, and S. Roy,2022,Long-term ash dispersal dataset of the Sakurajima Taisho eruption for ashfall disaster countermeasure,Earth System Science Data,14,5309-5332,doi:10.5194/essd-14-5309-2022,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

中道治久・阪本真由美,2022,火山岩塊の落下を受けて実施した桜島住民アンケート結果,日本火山学会2022年度秋季大会,A1-01

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

桜島火山観測所サイエンスミュージアム構想のための解説資料作りやプログラム検討を進める。また、桜島の大規模噴火を想定した広域避難を対象としたリアルタイム意思決定支援システムの検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中道治久（京都大学防災研究所）,井口正人（京都大学防災研究所）,多々納裕一（京都大学防災研究所）,大西正光（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

兵庫県立大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中道治久

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

ハルタ山観測機器のご紹介

1. 佐々式地震計 S-1000

(開発年)

(開発者) 佐々憲三

(倍率) 400倍

1. (使用開始)

1962年(昭和37年)ハルタ山
観測室完成時 大阪府高槻市
にある阿武山観測所から移設

・国内で数少ない
煤書き記録を使用
している機械式
地震計である

すすがけ記録ドラム
(24時間記録)

エアードンパー
(慣性での揺れ防止)

錘 (箱の中に鉄丸棒)



図 1

阿武山観測所から桜島に移設され現在も稼働中の佐々式地震計の一般向け説明図

ハルタ山観測機器のご紹介

2. 志田式微気圧計

(開発年) 1919年(大正8年)
(開発者) 志田 順(しだとし)
(経緯)

1919年上賀茂観測所に設置
⇒後、阿蘇火山研究施設に
移設

⇒1961年(昭和36年)同型の
ものを山上観測室(西桜
島村)に設置

⇒1962年(昭和37年)ハルタ
山観測室(当時の本館)完
成時移設



図 2

京都大学理学部地球物理学教室の初代教授の志田順が考案した微気圧計の一般向け説明図。現在も稼働中である。

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

災害リテラシーの育成のためのオープンサイエンス手法の検討

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ア. 史料の収集とデータベース化
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

「オープンサイエンス」の手法による地震、火山、津波災害データベースの構築・共有を通じた災害リテラシーの育成に向けて研究を実施する。防災リテラシーの向上という課題について、単なる知識提供ではなく、一般市民と地震、火山研究者とが共同して観測研究や災害軽減の取り組みをすすめる「オープンサイエンス」や「オープンデータ」の思想に基づく新しい次世代型地震研究の可能性について検証することを到達目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

以下の3つの研究を行う。(1)地震・津波避難訓練への「オープンサイエンス」導入による防災リテラシー向上、(2)「オープンサイエンス」による自然災害史料の解説と活用、(3)市民参加による内陸地震観測の「オープンサイエンス」化。以上の(1)-(3)の研究の相互の情報交換により、「オープンサイエンス」の観点から、災害リテラシーを育成するための新しい手法を探る。年度ごとの計画は以下の通り。

平成31年度：オープンサイエンス型サイエンスミュージアムの企画、運営。運営、地震・津波避難訓練時の個人行動記録の分析、「みんなで翻刻」の改良、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証を実施する。

平成32年度：オープンサイエンスの手法による災害リテラシー育成方法を、サイエンスミュージアム、「満点計画」、改良版「みんなで翻刻」などを通して実施する。

平成33年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエンス的な活用を実施し、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証、「満点計画」、「0.1満点計画」の

検証を実施する。

平成34年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1満点計画」の検証、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエン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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

当初の計画に従って、(1)サイエンスミュージアム「阿武山地震観測所」の運営による地震リテラシーの向上、(2)地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」の導入による市民参画型地震・津波訓練の推進、(3)自然災害に関する歴史資料の解説を行う「みんなで翻刻」プロジェクトの推進、(4)内陸地震観測「満点計画・0.1満点計画」によるオープンサイエンス型地震学の試行、以上の4つの研究を実施した。具体的には、(1)については、サイエンスミュージアムとして運営してきた「阿武山地震観測所」は、目標通り、この3.5年間で合計1200人を超える来訪者を記録することができた。また、市民と社会とつながるオープンサイエンスの基盤として、「特定非営利活動法人阿武山地震・防災サイエンスミュージアム」が発足させたこと、桜島火山観測所との交流プロジェクトの開始も大きな成果の一つであった。(2)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「逃げトレ」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に開発した「逃げトレView」のパイロット版を完成させた。(3)については、過去の地震・津波災害の記録と推定される記述が含まれる歴史資料(古文書等)を市民参加で解説する作業を主とする「みんなで翻刻」のシステムのリニューアルから1150日間安定的に運用でき、これまでに、登録者数が当初目標(1万人)に迫る8350人に到達した。(4)については、稠密内陸地震観測研究である「満点計画」、「0.1満点計画」で得られたデータの整理・分析の側面と、同計画で使用する「満点地震計」を中核とした小中学生対象の防災授業、参画型観測活動の2本柱で、地震学にオープンサイエンス(市民参画型科学)としての性格を導入するとともに、災害リテラシーの向上につとめた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究で目指している「防災リテラシー」の向上の根幹には、「学ぶ・知る」(Learning Disaster Science)から「共にする」(Doing Disaster Science)への転換が不可欠であり、オープンサイエンスのスタンス・手法は、その転換のための一助となっている。この点で、「地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上」、とりわけ、「地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成」に大きく貢献するものとなっている。今後も、3.11により顕在化した地震学(地震・火山研究)と社会との間の溝を埋めるため、オープンサイエンスの観点に立って、科学者と一般市民とが「共にする」科学として地震学の再構築、および、専門家や行政に依存することなく、自らリスクを探索し、知り、対策手段を講じる主体的な市民を育成することは、今後の「災害の軽減に大きく貢献」するものと思われる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Yamori, K., Iio, Y., and Shiroshita, H., 2022, Open science in seismology: The role of citizen science in the transition from seismic observatory to science museum, *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, 12, 1-23, <https://doi.org/10.5595/001c.35742>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

当初の計画に従って、(1)サイエンスミュージアム「阿武山地震観測所」の運営による地震リテラシーの向上、(2)地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」の導入による市民参画型地震・津波訓練の推

進、(3)自然災害に関する歴史資料の解読を行う「みんなで翻刻」プロジェクトの推進、(4)内陸地震観測「満点計画・0.1満点計画」によるオープンサイエンス型地震学の試行、以上の4つの研究を実施した。具体的には、令和5年度は特に、以下に力を入れる。(1)については、複数の地震・火山観測所をベースとするサイエンスミュージアム・ネットワークによる防災リテラシーの向上方策に関する研究、(2)については、「逃げトレ」を活用した不確実性を伴うリスク情報に対するリテラシーの向上方策に関する研究、(3)については、「みんなで翻刻プロジェクト」の継続、(4)については、満点計画学習プログラムの効果性の検証、以上である。い z p く よる の アライアンスによる防災

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

矢守 克也（京都大学防災研究所）,飯尾能久（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松浦律子（地震予知総合研究振興会）,加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災研究所

電話：0774-38-4024

e-mail：yamori@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢守 克也

所属：防災研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

歴史地震史料を活用した地震学的解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震
火山

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

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

歴史地震史料からは、これまでも過去の地震に関する多くの情報が抽出されてきた。たとえば、いつどこでどの程度の大きさの地震が発生したか（地震の年表）、震源の広がりほどの程度だったか（たとえば南海トラフの巨大地震）、強震動や津波による被害はどの程度であったか、などである。

歴史地震史料には、当時の人々が体験した現象を見たまに記録したと想定できる記述が多数ある。震動の強さや継続時間、地殻変動（地盤や海岸の昇降）、地下水の以上（井戸や温泉）、液状化被害などである。これらの一部は既に活用され、地震学的な解析がなされているが、まだまだ解析されないまま放置されている記述も多い。歴史地震史料の精度（限界）を考慮しつつ、現在の標準的な地震学の手法を用いて解析することにより、過去に発生した地震についてより深く分析をおこなうことを目的とする。上記の諸現象に関する調査のほか、大地震発生後に続発する余震に関する系統的な分析や、本震と大きな余震の分離などもこれまで十分に行なわれておらず重要な課題である。そのためには、地震の専門家でなくとも容易に使うことができる解析ツールの開発や史料の記述を分析できる地震研究者の育成も必要である。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

(a) 解析（計算）ツールの整備：歴史地震史料にあらわれるのは、体感あるいは目視で確認できるような現象である。震動の強さや継続時間、液状化の発生などであれば断層や地盤構造を仮定した全波形の再現、地殻変動や地下水の異常であれば、地殻変動の計算などをより簡単におこない、その結果と史料の記述を対照できるようなツールの整備をおこなう。地震学と歴史学等の双方の専門家が対話しながらツールの整備をすすめるために「古地震研究検討会（仮）」を年1回程度（10月頃）開催し、議論と実装をおこなう。具体的な史料の記述に解析ツールを適用するため、これまでの史料調査を補う調査を実施する。

(b) 史料を解説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説をすすめる。上記の検討会や勉強会を定期的で開催し、ツールの開発と研究者の育成に努める。解析ツールについては、平成33年度を目処に、開発したツールを公開し、試用を受けて改良する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

古文書解説のための定期的な勉強会（週1回、京都とつくばの2か所、オンラインまたはハイブリッド）を継続的に開催している。また、合宿形式の勉強会（2022年8月26日～28日オンライン、2023年3月23日～25日ハイブリッド）を開催した。参加者の解説技術の向上をはかるとともに、これまで歴史地震研究に関わっていなかった研究者や学生、あるいは市民の方々に研究を普及する機会となった。「古地震研究検討会」は開催しなかった。

歴史地震のカタログや震度分布を活用したツールの開発とデジタルアーカイブを活用するためのWebアプリの改良を行い、関係者でテストした。気象庁の地震月報(カタログ編)の震度データを検索できるWebアプリにデータを追加し、距離減衰式による震度予測機能を追加した。歴史地震IDに基づくポータルサイトを試作した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

データベースやツールの開発や教育を通じて、史料の収集とデータベース化およびその解析に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

加納靖之,2023,コラム3 山村と地震,中央大学山村研究会(編)白水智(編集代表)「山村は災害をどう乗り越えてきたか—山梨県早川町の古文書・民俗・景観を読み解く」,小さ子社,193-196,ISBN:9784909782137,査読無,謝辞無

服部健太郎,2022,1923年関東地震による伊豆大島の被害を記した資料,歴史地震,37,69-73,査読有,謝辞無

服部健太郎・大邑潤三,2022,明治初期の日本における地震の記録『震災録』—Milne(1882)との関係,地質学史懇話会会報,59,56-59,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Kano Y. and M. Baba,2022,Analysis of Aftershock Activity of the 1855 Ansei-Edo Earthquake Using Historical Documents Around the Kanto Region,Joint General Assembly of Asian and African Seismological Commission

Kano Y. and M. Baba,2022,Analysis of Aftershock Activity of the 1855 Ansei-Edo Earthquake Using Historical Documents Around the Kanto Region,AOGS2022,SE13-A006

Kano, Y.,2022,Development of Search Tools for Japanese Historical and Current Earthquake Catalogues,AOGS2022,SE13-A007

加納靖之,2022,前近代と近代以降の地震カタログの統合検索ツールの開発, MIS22-P01, 日本地球惑星科学連合2022年大会,日本地球惑星科学連合2022年大会,MIS22-P01

馬場道人・加納靖之,2022,関東周辺の史料を用いた1855年安政江戸地震の余震活動の分析,日本地球惑

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。開発したツールを一般公開する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加納靖之（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

中西一郎（京都大学大学院理学研究科）,小林昭夫（気象研究所）,弘瀬冬樹（気象研究所）,田中昌之（気象研究所）,堀川晴央（産業技術総合研究所）,橋本雄太（国立歴史民俗博物館）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：加納靖之

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マグマ溜まりの時間発展と噴火様式との関連性

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価
(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

マグマの状態と噴火様式について見られた関連性についてより詳しく調べるために、爆発的噴火と非爆発的噴火（溶岩流噴火）を数多く起こしている富士火山に焦点を絞って、噴出物の解析を進める。富士火山では、爆発的噴火が卓越する時期と溶岩流噴火が卓越する時期があるが、両者が混在する時期もある。そこで、様々な時期、様々な様式の噴火による噴出物を網羅的に解析することにより、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を目指す。加えて「中長期の火山活動の評価」と「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」をつないで、将来の噴火の様式・規模を検討するためには、マグマの状態の時間発展に関するデータが必須であることから、時間発展が追えるようなある程度連続した期間についての噴出物解析も実施する。

火山噴出物の分析を通じて集めるデータは、マグマの温度、圧力、含水量、組成についてであり、加えて、それらの噴出物をもたらした噴火の様式や規模についての情報を文献から収集する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

5か年の研究期間で、富士火山（新富士火山）の活動期のうち次の4つの時期について試料の分析を行う。（1）溶岩流が卓越する富士宮期、（2）溶岩流が卓越するが爆発的噴火もある須走b期、（3）山頂及び山腹での爆発的噴火が卓越する須走c期（Cal BC 1500年頃～ Cal BC 300年頃）、（4）山腹での割れ目噴火が卓越し溶岩流噴火と小規模な爆発的噴火が頻発している須走d期（Cal BC 300年頃以降）。

2019年度と2020年度には、富士宮期、須走b期、須走c期から幾つかの噴火を取り上げ、噴火様式とマグマの状態についての関係を明確化するための検討を行う。富士火山においては、深部と浅部の2つのマグマ溜まりの存在が示唆されているが、斑晶組成から判断してできるだけ浅部のマグマの影響を受けずに噴火した試料の分析を優先し、深部マグマの状態が噴火様式にどの程度影響するかを評

価する。

2021年度と2022年度には、主に須走d期の試料分析を行う。この時期は最も新しい活動期であるため噴出物の保存状態が良く、ある程度連続した噴火の噴出物採取が可能である。そのような適切な試料を用いることで、噴出物からマグマの状態の時間発展を捉えることが可能か否かの検討を行う。この須走d期は全体としては小規模な噴火が多いが、貞観噴火（溶岩主体）と宝永噴火（爆発的）という新富士火山の活動としては最大規模の様式が異なる噴火を含んでいる。そこで、上述の研究に加えて、貞観噴火と宝永噴火に先立つ数回の噴火の噴出物を分析して、大規模噴火に向けてマグマの状態が変化しているかどうかについても調べる。

2023年は、それまで4年間の研究をとりまとめて、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を行う。集められたマグマの温度、圧力、含水量、組成についてのデータは、浅部マグマ溜まりの影響を評価するために噴火口位置についての情報も加えて、時間空間的に整理する。また、連続する噴火の噴出物について、マグマの状態の時間発展が確認された場合には、それが次の噴火の様式や規模の予想につながるかどうかの検討を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

マグマの状態と噴火様式に関連性を調べるために、R1-3年度に行なった富士火山の爆発的噴火試料の解析の続きとして、どのようなマグマ供給系を考えるのが適当か考察した。分析した試料は富士山東側の籠坂峠で採取されたS-8以降の33層である。

およそ2900年前に発生した御殿場山体崩壊の直後からしばらくの期間にわたって、斜長石マイクロライトに乏しくガラス質石基組織をもった小規模噴火が継続することを報告し(R1年度報告)、山体崩壊による微妙な荷重の変化が噴火時のマグマ上昇を容易にしたというマグマ供給系モデルを提示した(R2年度報告書)。全岩化学組成について詳しく検討したところ、前後の時期とは明瞭に異なる組成分布が観察された。特にSiO₂のわずかな上昇に対して、TiO₂が大きく増加しAl₂O₃は大きく減少するという特徴を持つ。このような組成の噴出物が実現する条件をRhyolite-Meltsを用いて検討したところ、(a)低含水量のマグマが上昇経路で斜長石を結晶化させながら深部マグマたまり(300-400MPa相当の深度)から直接的に地表に至るような噴火をしたか、(b)深部マグマ溜まりでTiO₂が十分に高くなるまで斜長石を結晶化させた後に一気に地表に噴出した、のいずれかが噴火モデルとして適切であることが分かった(R3年度報告書)。

R4年度は、上記の(a)(b)のモデルのいずれが正しいのかを見極めるため、噴出物の斑晶とメルト組成(メルトインクルージョン(MI)と石基ガラス(GM))の組成分析を行った。御殿場山体崩壊の直後のS-14-3からS-17-3までの試料では、斜長石斑晶コア組成のAn値(Ca/(Ca+Na)*100)、および、かんらん石のMg# (Mg/(Mg+Fe) * 100)が有意に前後の期間よりも低い。また、斜長石、かんらん石斑晶とも、コア組成とリム組成がほとんど変わらない(図1、図2)。このことは、噴出物中の斜長石とかんらん石斑晶が、上昇中のマグマの中で結晶化したことを強く示唆している。加えて、斜長石斑晶中のMI組成はGM組成と類似しており(図3)、MIの捕獲が地表への噴出の直前であったと推定できる。これらの観察事実は、(a)のモデルを支持する。

上記の結果と全岩化学組成の変化とを合わせて、御殿場山体崩壊後のマグマ供給系について検討すると以下のような描像が描ける(図4)。(1)前期(S-14-3~S-15-2):この期間は、全岩化学組成変化の方向は斜長石分別のトレンド上にあり、斑晶組成とMI組成はいずれもマグマの上昇中に斑晶の結晶化とMI捕獲を示唆している。結晶分別の程度が時間と共に低下していることから、上昇中の火道で結晶化する割合が低下してきており、時間とともに、マグマの噴出経路が確立し容易に噴火しやすくなったものと思われる。(2)中期(S-16-1~S17-3):全岩化学組成変化の方向と斑晶・MI組成がマグマの上昇中に斑晶の結晶化と分別が起きている点は(1)と同様だが、時間経過とともに次第に火道で結晶化する割合が増加しており、マグマが容易に噴火しにくくなってきていることが示唆される。おそらく、それまでの噴火の堆積物の影響により、御殿場山体崩壊による荷重減少の影響が低下してきたためであろう。(1)(2)の期間は、深部マグマ溜まりでは結晶分化はほとんどおこらず、深部マグマ溜まりへの新たなマグマの供給による過剰圧獲得によって噴火がトリガーされているものと思われる。(3)後期(S17-4~S17'-1):斑晶組成の特徴から、深部マグマたまりで結晶分化がおきていることが示唆される。このため、深部マグマ溜まりへの新たなマグマの供給による過剰圧獲得だけでは地表に噴火するには力不足で、深部マグマ溜まりにおいて結晶分化によってある程度の浮力を獲得していることが、地表への噴火に必要なのだろう。このことは、御殿場山体崩壊による荷重減少の影響がほとん

どなくなったことを示唆する。(4)完治期(S17'-2以降): 斑晶組成は深部マグマ溜まりでの斑晶形成を示唆する一方で、全岩化学組成の分布方向が低圧下での結晶分別の影響を受けたものになっている。噴火未遂のマグマあるいは噴火後にドレインバックしたマグマが、浅部に小さなマグマポケットを多数形成しており、深部から上昇したマグマはほぼ必ずそれらのマグマポケットと混合してから噴火に到るため、このような全岩化学組成の特徴が作られたのだろう。

御殿場山体崩壊という特殊な事例によって深部マグマ溜まりの挙動を明瞭に観察できる機会が得られたことによって、富士山のマグマ供給系と噴火のメカニズムについて大きく理解を進めることができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

富士火山の連続的な噴火の噴出物について、全岩化学組成、斑晶組成等のデータを収集し、マグマ供給系の時間変化を明らかにした。今後はマグマ供給系のモデルや噴出量階段ダイアグラムと組み合わせることで、火山活動の長期予測に貢献できるものと思われる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

安田 敦,2022,噴出物から読み解く富士山のマグマ供給系,科学,92,611-617,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

安田敦・田島靖久,2022,富士火山の深部マグマたまりからの噴火について,日本火山学会2022年度秋季大会,P2-33

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

マグマ供給系の時間変化に関する物質科学的な制約条件をもとにして、噴出量階段ダイアグラムを読み解く作業を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

安田敦（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：安田敦

所属：東京大学地震研究所

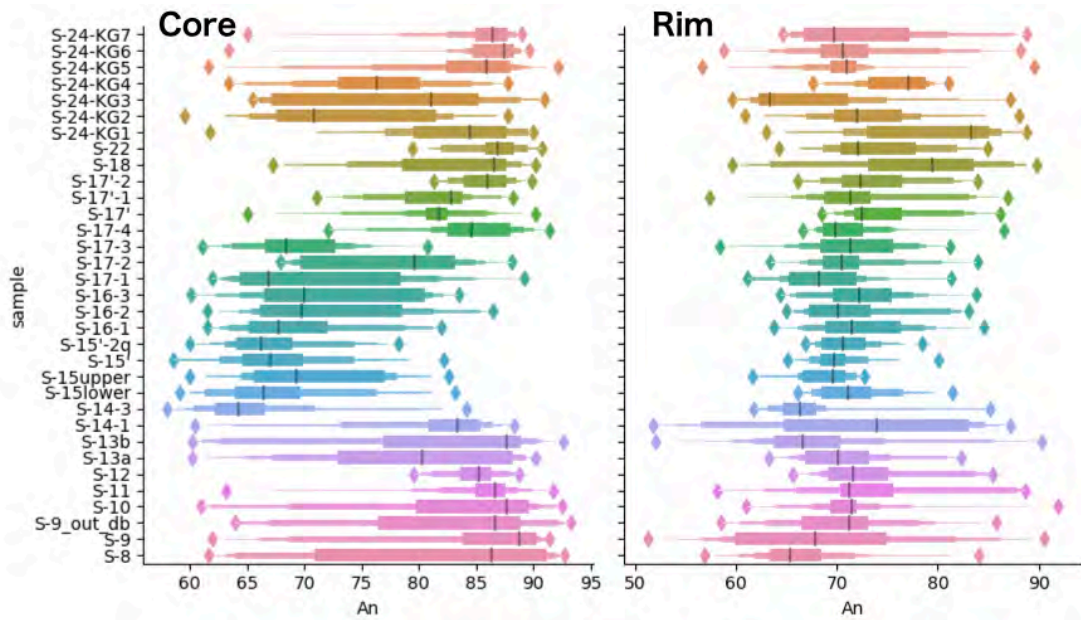


図1. 斜長石斑晶組成の時代変化

4分位プロットを用いて、分析値の最大、最小、平均値、25パーセンタイル、75パーセンタイルを示す。(a) コア組成、(b) リム組成。

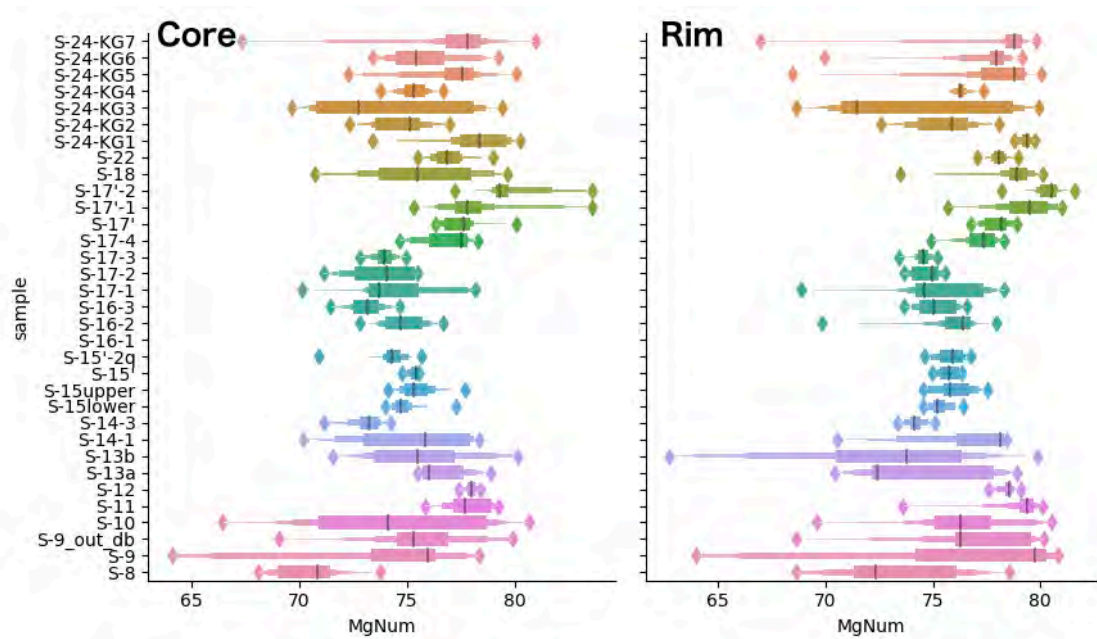


図2. かんらん石斑晶組成の時代変化

4分位プロットを用いて、分析値の最大、最小、平均値、25パーセンタイル、75パーセンタイルを示す。(a) コア組成、(b) リム組成。

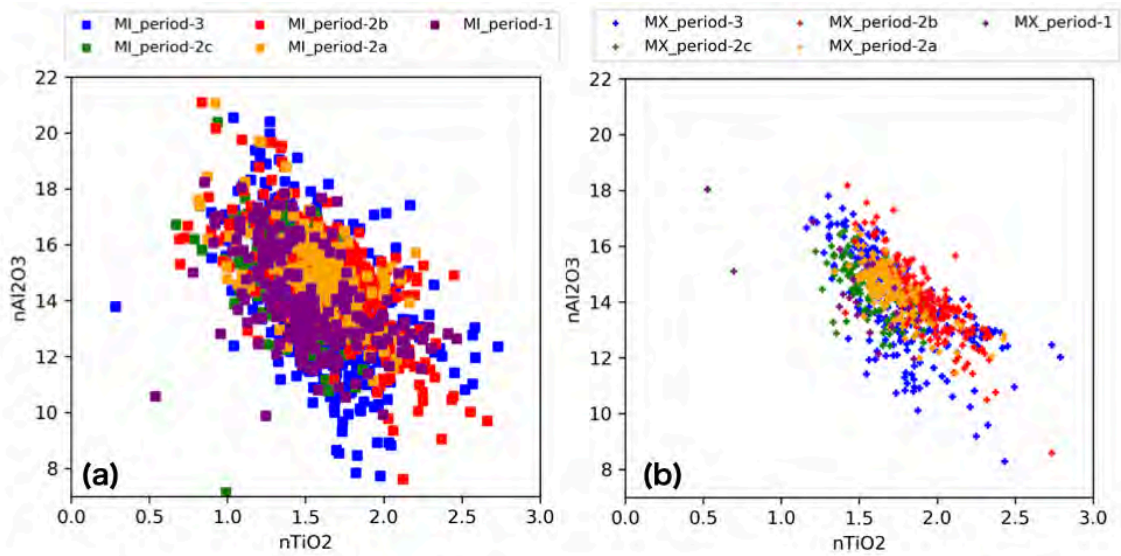


図3. メルトインクルージョン組成と石基ガラス組成の比較
 (a)メルトインクルージョン組成、(b)石基ガラス組成。御殿場山体崩壊後の前期(preiod-2a)と中期(period-2b)のメルトインクルージョン組成は、他の期間よりも分布範囲が狭く、且つ、石基ガラスの組成とよく一致している。

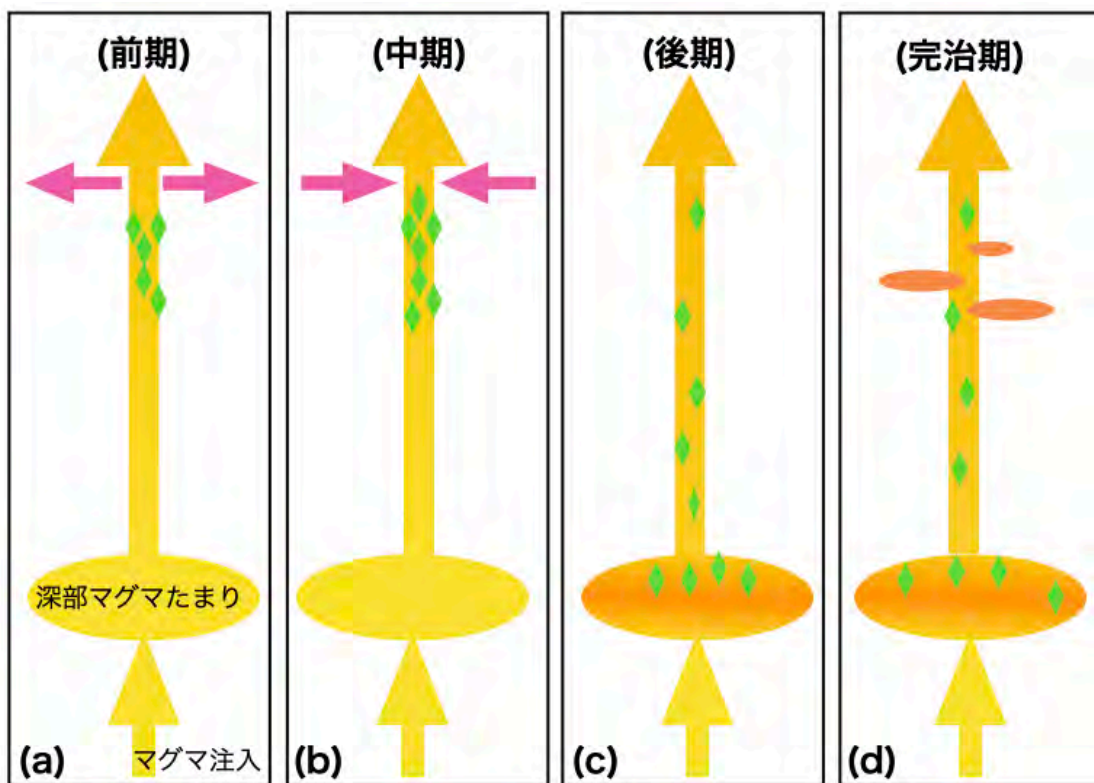


図4. マグマ供給系の時間変化のモデル図
 (a)前期:深部マグマ溜まりではほとんど分化しておらず、経路での分化程度は次第に低下。(b)中期: 深部マグマ溜まりではほとんど分化しておらず、経路での分化程度は次第に上昇。(c)後期: 深部マグマ溜まりでは結晶分化が顕著になる。(d)完治期: 浅部にマグマポケットが発達し、混合マグマが噴出するようになる。

(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一火道システムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (4) 中長期的な火山活動の評価
 - ア. 火山噴火の長期活動の評価
 - (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題で扱う大規模噴火は、プリニー式・サブプリニー式噴火である。プリニー式噴火に代表される大規模かつ爆発的な火山噴火は、噴出物を広範囲に飛散させるため、多様かつ深刻な災害を広域で引き起こす可能性がある。しかし近代的火山観測網によるVEI4クラス以上の大規模噴火の観測事例は国内にはなく、現象や物理パラメータの時間発展の解明や、想定される災害の種類や規模の評価は不十分である。噴火に伴う諸現象（前駆的現象を含む）の解明とそれらの時空間解像度の向上、災害現象の把握には、噴出物の詳細な解析に加えて、史料データの活用や海外の事例をもとにした比較研究も同時に進める必要がある。本課題ではとくに下記 (a)、(b) の問題点や背景を踏まえ、大規模噴火の実績がある火山を対象に地質調査や物質科学的解析、史料データ等をもとにした噴火推移の再構築、噴出量や噴出率の推定、マグマ溜り一火道系の物理化学状態の推定、またこれらの中長期における変遷を解明することを目的とする。さらに地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇に関する時間的情報の抽出も試みる。大規模噴火における事象分岐の要因について考察し、事象系統樹へ反映させることも目指す。

(a) プリニー式噴火は爆発的かつ定期的なマグマ噴出による噴煙柱形成で特徴付けられるが、同時に一連の活動で火砕流や溶岩流・ドームを伴うなど噴火推移は単純でないことが多い。また珪長質マグ

マに限らず、安山岩質から玄武岩質までの幅広いマグマ組成で起こり得る。前駆的現象を含めた噴火推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、時間スケールの理解が重要である。近代以降については観測記録、歴史時代については古記録も併用した現象及び推移の解明が必要である。

(b) 噴火物理パラメータ（噴出量・噴出率）推定手法は次第に進歩しており、既存手法とともに新たな手法にもとづく再解析により噴出量や噴出率の推定値が大きく変わる可能性がある。これらのデータに基づく噴火規模や強度と物質科学的特徴の変化は、火山の中長期的活動とそれを駆動するマグマ溜り一火道系の進化を理解する上で重要である。またVEI 4以上の噴火は国内での発生頻度は低いですが海外では数年に1回程度発生しており、様々な大規模噴火の共通点や相違点を明らかにする上で重要な情報源になると考えられる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、伊豆大島で安永噴火をはじめとする大規模噴火を対象に地表踏査や試料採取を行い、地質・物質科学的解析に着手する。噴出物の年代学的解析、古記録の収集・検討を開始する。堆積物・噴出物解析に基づく噴火推移や物理化学パラメータの推定方法を検討する。国内の他の火山（浅間山、霧島山など）についても調査を進めるとともに、従来の研究をもとに大規模噴火の推移やマグマ供給系の特徴について情報を収集する。近現代に海外で発生した大規模噴火を選定し、地質データや観測記録等の収集をはじめめる。

2020年度においては、伊豆大島では地質・物質科学的解析を継続する。代表的な大規模噴火について噴火推移を推定するとともに、テフラデータと物理モデルを用いた解析を行い、噴出量・噴出率およびそれらの変化を明らかにする。岩石微細組織や鉱物化学組成データを基にしたマグマ溜りの温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り一火道系とその変遷の解明を目指す。浅間火山、霧島火山においても地質調査を進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火については必要であれば現地調査を行い、試料採取、地質・物質科学的解析を行う。また海外の新しい事例については地球物理学的観測データとの比較も進める。

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、マグマ溜り一火道系とその変遷の解明を目指す。また、伊豆大島、浅間山、霧島火山では、地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇の時間スケール、火砕流等の付随現象の時期、噴火の継続時間についても考察する。国内の他の火山、海外の大規模噴火に関する研究も継続する。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察する。

2023年度においては、これまでの研究を総括し、前駆的現象を含めた大規模噴火の物理化学パラメータとその推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、それを駆動するマグマ溜り一火道システムの状態と（中長期的）時間変化をまとめる。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察を進め、事象系統樹へ反映させることを目指す。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

霧島山については13世紀御鉢噴火の堆積物（高原テフラ、ThT）の詳細な層序区分を行い、噴火推移を再構築するとともに、粒子物性（密度、粒径、粒子形状、連結空隙率）および岩石組織の定量解析を進め、マグマ上昇過程・噴火強度の時間変化について考察を行った。ThTはThT-a、b、cの3つのユニットとして識別され、それぞれ異なる爆発的（準プリニー式）噴火によって形成されたと考えられる。各ユニットのスコリア礫についてSolidity等の形状指数を調べたところ、肉眼で観察した粒子形状の特徴を良く表しており、その値の違いには空隙構造の違いが反映されていることがわかった。また、気泡量や独立気泡の割合が粒径や層厚と相関していることも明らかとなった。これらの粒子形状や岩石組織とその変化から噴火の強度とその推移について考察した。粒子形状が不規則なThT-a（低い形状指数）を形成した噴火は比較的小規模で強度が低く、噴火後半で爆発性が上がるイベントであったと考えられる。ThT-b噴火はThT-aに比べて大規模・強度の高い噴火であったが、ThT-cは後半ほど

爆発性が下がるイベントであり、前2つの噴火とはやや異なる経路をたどったと考えられる。

伊豆大島については、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行い、大規模噴火に共通の性質、噴火推移やマグマ溜り条件に制約を与えるための研究を進めた。特筆すべき点は、従来の気象庁により作成された「伊豆大島噴火シナリオ」について、特に山頂噴火で想定される推移に対して、これまでの地質学的・物質科学的研究で得られた知見を反映させることを試みた。具体的には、山頂からの大規模噴火（準プリニー式噴火）では時間とともに斜長石斑晶量に富むようになり、より爆発的な活動に遷移するというパターンがあることがY1やY4噴火の研究で明らかになったが、この大規模噴火に遷移するかどうかの判断基準を事象系統樹に組み入れ、改訂版伊豆大島噴火シナリオを提案した。

浅間山については16 kaに発生した浅間史上最大規模の活動のうち、2つのプリニー式噴火（YP、YPk）について地質学的、物質科学的研究を進めた。YP、YPkはいずれもほぼ同様の噴出量（ 1 km^3 強）と全岩化学組成を有するが、YP降下軽石は上位に向かって細粒化し噴火強度の減少を示す一方、YPk降下軽石は徐々に粗粒化し噴火強度が増大したことがわかった。構成物組成の層序変化を考慮すると、細粒層で変質岩片に富むYP噴火では母岩の破壊によって火道が不安定化した一方、粗粒層で変質岩片に富むYPk噴火では母岩の破壊が火道の拡大をもたらした可能性がある。また、YP降下軽石は高い発泡度を有するとともに小気泡に富み、急減圧による気泡核形成の促進を示唆するのに対し、YPk降下軽石は比較的低い発泡度と大きく変形した気泡を有し、緩やかな減圧を経験したと考えられる。鉱物化学組成よりYP、YPk噴火ともにマグマは830–870 °Cの温度条件下にあったと推定される。一方YP降下軽石はやや高い含水量（4.4–4.7 wt%）とマグマ粘性（約 10^7 – 10^8 Pa·s）であるのに対し、YPk降下軽石は含水量（4.1–4.5 wt%）、マグマ粘性（ 10^6 Pa·s）である。2つのプリニー式噴火における最大の違いは結晶量に起因するマグマ粘性の違いであるが、この特徴がマグマ上昇過程や噴火推移に及ぼした影響については更なる検討を要する。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

伊豆大島についてはこれまでの研究成果を既存の噴火事象系統樹（噴火シナリオ）に反映させることを試みた。既存の噴火シナリオでは噴火規模と噴火推移との関係や、それに関連する観察・観測項目などについて十分に触れられていなかったが、本研究の成果を組み込むことによりこれらの点が従来よりも明確になった。また、本研究が噴火発生時の事象分岐判断の際にどのように貢献できるかを具体的に示すことができた。

本年度検討した浅間山16kaの活動では、2回のプリニー式噴火がほぼ同様の噴火規模、マグマ組成、マグマ溜り条件であるにも関わらず噴火の展開が大きく異なることが明らかになった。この展開の違いを生じた原因については今後さらに研究を進める必要があるが、安山岩質マグマによる大規模噴火の推移パターンの多様性やそのマグマシステムとの関係の理解において重要な知見であり、課題1(2)だけでなく課題2(5)にも貢献する。今後、事象分岐の要因を明確にし系統樹へ反映させることを目指す。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

前野 深・池永有弥,2023,伊豆大島における噴火推移モデル,防災科学技術研究所研究資料,487,58,査読無

池永有弥・前野 深・安田 敦,2023,安永噴火を中心とした伊豆大島の噴火推移とマグマシステム,防災科学技術研究所研究資料,487,30,査読無

Kaneko, T., Maeno, F., Ichihara, M., Yasuda, A., Ohminato, T., Nogami, K., Nakada, S., Honda, Y., Murakami, H.,2022,Episode 4 (2019–2020) Nishinoshima activity: abrupt transitions in the eruptive style observed by image datasets from multiple satellites,Earth, Planets and Space,74,1,doi:10.1186/s40623-022-01578-6,査読有

片岡香子・鹿野和彦・前野 深,2022,火山砕屑物の堆積構造（第4章）,伊藤 慎編「図説堆積構造の世界：フィールドマニュアル」,朝倉書店,査読無

前野 深,2022,地球を震わせたフンガ火山の爆発的噴火—The 2022 explosive eruption of Hunga volcano that shook the Earth,科学,92,559,査読無

・学会・シンポジウム等での発表

関子田和典・前野 深,2022,浅間山16 ka大規模噴火プリニー式噴火のマグマ蓄積条件と噴出過程,日本火山学会秋季大会,P2-30

正畑沙耶香・前野 深・安田 敦・外西奈津美,2022,霧島御鉢火山1235年噴火堆積物物性の定量化による玄武岩質爆発的噴火の理解,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC32-P05

春田悠祐・前野 深,2022,7.3 ka 鬼界カルデラ噴火におけるプリニー式噴火フェーズ,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC32-P13

前野 深,2022,Volcanogenic tsunamis during the 2022 Hunga eruption, Tonga -constrains from numerical analysis and comparison with the 1883 Krakatau event-,日本地球惑星科学連合2022年大会,U09-08

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

伊豆大島についてはYシリーズ噴出物の粒子物性・岩石鉱物化学組成・微細組織の解析を進め、玄武岩質大規模噴火に共通の性質、噴火推移やマグマ溜り一火道系の特徴をまとめる。これをもとに噴火事象系統樹の改訂を進める。浅間火山については、天明噴火および16 kaの2つのプリニー式噴火に関する地質・物質科学的データの取得を進め、噴火様式遷移の原因について考察を進める。霧島火山については特に13世紀文暦の噴火推移やマグマ上昇過程の研究の成果をまとめる。そしてこれまでの研究を総括し、大規模噴火の物理化学パラメータとその推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、それを駆動するマグマ溜り一火道システムの描像についてまとめる。各噴火について事象分岐の要因を明確にし系統樹へ反映させることを目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前野深（東京大学地震研究所）,安田敦（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

鈴木由希（早稲田大学）,安井真也（日本大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前野深

所属：東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

非線形動力学・計算材料科学との学際連携に基づく地震現象の多様性の統一的理解

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では非線形動力学・計算材料科学的アプローチに基づいた地震研究を行う。具体的には、以下3項目について研究を展開し、従来の実験的摩擦研究や地球物理学的モデルとは異なる観点からの理解を提出し、自然現象としての地震に関する理解を深める。

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 地震は断層・プレート境界の力学的不安定性の結果であり、その本質を理解するためには摩擦法則の理解が必須である。いくつかの仮定を置くと、摩擦の力学的不安定性には定常状態摩擦力が負の滑り速度依存性を持たねばならないことがわかる。ゆえに、定常状態摩擦力が負の速度依存性を示すための微視的物理条件を定量的に詰めることが本質的に重要である。負の速度依存性の本質は、真接触面積の時間依存性（エイジング）にあるとこれまで思われてきた。しかし近年の分子論的スケールの実験によれば、真接触面積ではなく応力そのものがエイジングを示し、真接触部位の局所的な強さも時間とともに増大しうることを意味する。この物理的原因は分子論的な構造緩和と予想される。実際に、結晶構造が乱れたアモルファス系ではこのようなエイジングによる強度回復が知られている。本課題では、分子論的構造緩和を時間依存過程として取り入れた連続体モデルを構築し、摩擦の速度依存性の正負を決める微視的パラメタを同定する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 断層どうしの相互作用は地震活動の複雑性を決める重要な要因であり、例えば余震の性質（大森則のp値、c値）やGR則のb値にも影響を与えると考えられている。他方、断層多体系の作る地質学的構造（ひずみ集中帯など）とその形成過程は重要な学際的課題だが、そのような長時間スケールの挙動には断層間相互作用のみならず断層強度回復の時間依存性も大きく効くため、計算負荷が非常に高くなる。そのため、定量的なシミュレータ開発がこれまで困難であった。この問題を解決すべく、本課題では点震源多体系を対象を絞ることで効率的なシミュレータ開発を行う。より具体的には、時間発展にkinetic Monte Carlo法を採用し、波数空間で応力再分配を計算することで、計算負荷を大幅に低減する。イベントに伴う弱化と回復過程は考える状況によって変わりうるため、その設定は自由に変えられるよう、汎用性を高めたシミュレータを開発する。開発したコードを用いて、GR則の成立を確認し、b値の時空変動特性について応力の

絶対値や空間不均一性への依存性をノイズ（擾乱）の影響などを定量的に確立する。最終的には媒質の不均一性（特に弾性率の不均一性）を取り扱えるようなアルゴリズムも実装し、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 現状、摩擦不安定性の理解は速度状態依存摩擦則に基づき分岐現象（Hopf分岐）として理解されているが、実際にはその描像とは矛盾する観測事実が知られるようになってきた。分岐理論においては、不均一性やノイズが分岐の性質を定性的に変えることが知られているが、沈み込み帯においても潮汐やプレート沈み込み速度の変動など、ノイズや摂動としてみなせる要因が多く存在する。ゆえに、このような擾乱を考慮した摩擦不安定性の理論を作り、観測事実を解釈し直す必要がある。本課題では、沈み込み速度の振動や変化が摩擦不安定性に与える影響について、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データと比較する。可能であれば安定性の変化を分岐理論的に理解する。とくに、スロー地震は潮汐などの応力摂動に鋭敏であることが知られているため、分岐点におけるノイズの影響を定式化しその現象論を確立することで、スロー地震への理解を深める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 2019～2020年度においては、アモルファス系の微視的な変形イベントを熱活性化過程としてモデル化した上で、空間自由度を考えない平均場モデルに基づき、摩擦力の速度依存性を計算する理論的な枠組みを構築する。平均第一到達時間を計算することで巨視的な摩擦ダイナミクスの特徴的時間スケールを評価することで摩擦力を計算する。構造緩和に関わる微視的パラメタが摩擦の速度依存性に及ぼす影響を定量化し、負の速度依存性が実現されるための一般的条件を確立する。2021年度からは空間自由度を考慮した計算を行い、2022～2023年度にかけて負の速度依存性が実現されるためのより一般的な条件を確立する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 2019年度においては、プロトタイプとして固体アモルファス材料の粗視化モデルに対するkMCシミュレータを構築する。2020年度においてはシミュレーションを実行して、アモルファス固体における塑性現象の臨界的な挙動を調べ、時間的な挙動（特に余震統計と待ち時間分布）および空間的な特性（stress shadow 的な塑性イベントの発生など）、ノイズ（擾乱）の影響などを調べる。2021～2022年度にかけては、前年度までに開発したシミュレータを拡張し、断層多体系や亀裂多体系を取り扱えるよう、イベント頻度と時間依存回復過程をマクロスケールで非熱的にモデル化し、kMCシミュレータへ実装する。2023年度においては、弾性率の不均一性を取り扱えるようにkMCシミュレーションを拡張し、亀裂進展ダイナミクスが本シミュレータで取り扱えるようにする。開発したシミュレータを用いて、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 2019年度においては、偏微分方程式を系統的に簡略化する非線形動力学分野の手法（縮約理論）を用いて、不均一なプレート境界を速度状態変数摩擦法則でモデル化した偏微分方程式系を、分岐点近傍に注目してより簡素な方程式系へ帰着する。2020年度においては、初年度で導出した偏微分方程式系について、その分岐構造を明らかにする。2021～2023年度においては、分岐点近傍にある系について、ノイズが滑りの安定性に及ぼす効果に関して、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データを比較する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

スロー地震発生域のプレート境界では延性的なマトリックス中に脆性的なブロック体が混在し、特異なレオロジーを示すことが示唆されている。通常、ブロック体どうしは接触せずに延性的なマトリックスがスムーズに流れるが、ブロック体どうしが時折接触して応力を支えることで半脆性的な挙動が実現されるのではと考えられている。この系は非球状の粒子（ブロック体）がマトリックスに浮かんだサスペンション系とみなすことができ、非球状粒子系のジャミングレオロジーの研究に帰着される。加えて、粘土鉱物を多く含むガウジにおいても、粘土鉱物粒子特有の平たい形状が摩擦特性に大きく寄与することが示唆されているが、その微視的機構は検証されていない。このように非球状の鉱物粒子が示すレオロジーを微視的観点から解明することは摩擦の物理における重要課題になっている。しかし、非球状な粒子を扱うシミュレーションは技術的困難が多く、これまで地震発生論分野では研究

が進んでいなかった。そこで我々のグループでは非球状粒子のレオロジーの微視的メカニズムに資するための数値計算コード開発を開始した。2022年度においては一般楕円体を対象として、圧縮・剪断・一定圧力・一定体積などさまざまな境界条件に対応するコードを実装し、その基礎的な挙動を確認した。単純剪断で定常状態を実現したシミュレーションにおいては、レオロジー特性が形状因子にはさほど依存せずHerschel-Bulkley型の構成法則を満たすことを確認した。一様圧縮のシミュレーションにおいては、円盤状粒子が形成する組織構造を確認し、密度と温度に応じて「一様相」「ネマティック相」「柱状相」の三つの異なる組織構造を移り変わることを確認した。現在、各相の定量的な実現条件および熱力学的な特徴づけが進行中である。このような空間構造の違いは剪断応力のもとで多様な過渡的レオロジーを生むと予想される。

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

地震活動を「断層多体系の弾性論的相互作用の結果として生じるエネルギー緩和過程」として捉え、非線形動力学の問題として定式化し、統計モデル的な従来アプローチとは異なる側面から理解する試みを行なっている。昨年度まで推進してきた断層多体系のコード作成はほぼ完了し、GR則の確認、 b 値が応力の減少関数であることを定量的に確立した。さらに、時間の経過とともに点震源が帯状に集合していく過程も確認できた。現在はこれらの成果を取りまとめている段階である。ただしこのコードでは一つの断層を点震源と見なしており、その意味で空間的にかなり大きなスケールでのダイナミクスになっている。一方で内陸地震などは一つの発達した断層帯に沿うように発生することが多く、断層多体系という視点よりは「発達した断層帯の形状複雑性」という成因の方がより重要と考えられる。そこで2022年度から新たに開始した試みは、断層形状の粗さ（ラフネス）に注目し、ラフネスの自己アフィンの性質に起因する応力不均一性が地震発生の統計性に及ぼす影響を調べることである。自己アフィンの応力場では不均一性がスケール依存しており、小さなスケールほど不均一性が相対的に大きくなる。従って、応力の不均一性がバリアとして働くモデルを仮定すれば、自己アフィンの応力場からGutenberg-Richter則が自然に結論されることになる。そのような観点から、2022年度においては、自己アフィンの不均一応力場における地震発生過程をモデル化した。これは閾値を超えると地震発生し一定の応力降下が起こるという簡単なモデルであるが、Gutenberg-Richter則と大森則の両方を再現する。さらに、統計力学における概念を用いることで、モデルにおけるランダムな応力場の特性（ハースト指数）が、GR則の b 値および大森則の p 値に関係づけられることを示した。これらのことを二次元断層と三次元断層の場合に確かめ、モデルに次元依存性がないことも明らかにした。

C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

我々のグループでは、動的トリガリングの微視的過程を解明するため、断層ガウジを模した粉体層に動的な応力摂動を与えた際の応答について、離散要素シミュレーションを用いた研究を行っている。2022年度においてはとくに動的応力摂動の周波数依存性に注目し、もっとも効率的にすべりを誘発する周波数がガウジ層の共振周波数になっていることを確かめた。しかも、入射地震波の周波数が共振周波数から20~30%程度ずれていてもすべり誘発能力にはさほど差がないことも分かった。従ってこのような共振によるトリガリングはある程度ロバストに発生しうる。すべりの共振周波数はガウジ層全体の弾性定数と質量密度、および層厚から決まり、ガウジ粒径には依存しないことも発見した。この結論は入射する地震波が横波でも縦波でも変わらないことを確かめた。これらのことから、ガウジ層が厚いほど共振周波数は低くなる。この共振周波数が地震波程度の周波数（数Hz程度）になるためには、法線方向圧力が非常に低い、あるいは流体が豊富に存在しなければならないことも結論される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震災害軽減のためには、純粋科学として地震発生に潜む規則性を発見していくことがブレイクスルーにつながる。地震発生シミュレーションはそのための強力な手法であるが、計算モデルは正しい物理的根拠に基づかなければならない。その際に鍵となる物理法則は断層の摩擦特性である。地震発生シミュレーション研究の多くにおいては速度状態依存摩擦法則が実装されているが、近年では単純な速度状態依存摩擦法則には従わない物質も多々発見されており、摩擦法則の理解を深めることが喫緊の課題になっている。そこで本研究では、通常速度状態依存摩擦法則では記述できないように見える代表例である粘土鉱物の摩擦法則の理解を目指している。これまで困難だった非球形粒子の摩擦・レオロジー特性を離散要素シミュレーションで再現・解明することで、実験が先行していたこの分野の物理的理解を促進する。その結果、地震発生シミュレーション研究に物理的な基礎を与えることが

できる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Roy, S, T. Hatano, 2022, Model for creep failure with healing, Physical Review

Research, 3, 023110, <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.4.023110>, 査読有, 謝辞無

Roy, S., T. Hatano, P. Ray, 2022, Modeling crack propagation in heterogeneous materials: Griffith's law, intrinsic crack resistance, and avalanches, Physical Review

E, 105, 055003, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.105.055003>, 査読有, 謝辞無

Sumino, Y., T. Saito, T. Hatano, T. Yamaguchi, S. Ide, 2022, Spatiotemporal chaos of a one-dimensional thin elastic layer with the rate-and-state friction law, Physical Review

Research, 4, 043115, <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.4.043115>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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

粘土鉱物をはじめとする非球形ガウジ粒子の摩擦特性を微視的観点から明らかにするための研究を継続する。2022年度においては一般楕円体を対象として、圧縮・剪断・一定圧力・一定体積などさまざまな境界条件に対応するコードを実装した。2023年度はそのコードを用いて以下の状況に関するシミュレーション研究を行う。まず、一様状態での緩和過程の摩擦法則をその微視的な物理過程とともに明らかにする。その上で、「一様相」「ネマティック相」「柱状相」の三つの異なる組織構造がどのような応力状況で移り変わるかを明らかにする。これら組織構造は異なるレオロジーを示すことが予想されるので、構造が遷移した際に何らかの摩擦不安定性が発生するかどうか確かめる。

B. 摩擦不安定性における応力摂動効果

2023年度においては亀裂進展過程における応力摂動効果のモデル化とその解析を行う。従来の研究においてはDieterich理論(1994)に従い速度状態依存摩擦法則に従うパッチ状の脆性部位の応答を考慮することが多かったが、実際の観測では理論の予測と合わないことも多く、異なる描像に基づくモデル化が必要とされている。ここでは破壊エネルギーの不均一性を考慮した確率的な亀裂進展モデル、および、流体圧がすべりと相互作用して変動するモデルという二つの異なる物理的モデルにおける応力摂動効果を考える。応力変動の位相と地震発生率の位相のずれ、および応答率と応力状態（応力の絶対値や流体圧など）の関係に注目して、結果を観測データと比較することで、応力摂動への応答を最もよく説明するモデルと実際の断層との対応を議論する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所, 数理系研究部門, 東京大学大学院理学系研究科

他機関との共同研究の有無：有

波多野恭弘（大阪大学理学研究科）, 新山友暁（金沢大学自然科学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻理論物質学講座

電話：

e-mail：

URL：<http://thmat8.ess.sci.osaka-u.ac.jp>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：亀伸樹

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

千島海溝・日本海溝における複合海底地震測地観測によるプレート境界の挙動解明とそのモデル化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本海溝，房総半島沖相模トラフの沈み込み型プレート境界における多様なすべり現象の時空間分布を長期海底観測により明らかにする．余効すべりがほとんど起こっていない東北沖地震の本震時すべりが大きかった領域において，プレート内地震活動に着目して，そこでの応力状態を推定することを通して，間接的にプレート境界の力学状態の時空間分布の推定を試みる．また，本震破壊域内においてプレート境界型地震の活動が回復する過程を追跡することで，そこでの巨大地震発生後のプレート境界の固着・すべり状態を把握する．また，東北沖地震後に余効すべりが卓越している領域では，それを背景として発生している多様な低周波微動・（超）低周波地震・周期的スロースリップなどに注目して，プレート間すべり速度の時空間発展や，それらすべり現象の相互作用を明らかにする．

日本海溝と対比的に，近い将来に巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖ではGPS/A観測点や海底間音響測距からなる海底測地観測によりプレート間固着の実態，特に固着域の上端の位置を明

らかにする。これに加えて、海底圧力観測の高度化によって鉛直変動場の把握を図り、プレート境界浅部での固着・すべり状態の連続的な変化の理解を試みる。海底測地観測網と陸域GNSS観測網を併合利用することで海域から陸域にかけて長大測地測線を構築し、千島弧のレオロジー構造を考慮することで、より正確なプレート間固着の下端の位置の推定精度を向上させ、来るべき巨大地震の震源域の幅を制約する。

実験・モデル研究では、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界の状態を再現した摩擦実験により、摩擦構成則パラメータの温度・変位速度・間隙水圧・物質（粘土鉱物含有量など）依存性を明らかにし、それらを反映した数値モデリングによって浅部から深部までのプレート境界のすべり挙動を再現する。さらに、観測により得られた知見と併せて、日本海溝や相模トラフにおけるプレート境界断層の多様なすべりの空間分布、相互作用や時間発展を明らかにするモデルの高度化を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：

- ・千島海溝根室沖において、GNSS/A装置及び海底間音響測距装置による海底地殻変動観測を開始する。また根室沖におけるプレート間固着の定量把握のために当該地域のレオロジー構造の検討を開始する。
- ・日本海溝北部東北沖地震震源域外側領域における日本海溝北部におけるGNSS/A観測を実施する。また宮城沖において、長期観測型自己浮上式海底地震計による海底地震観測を実施する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を行う。
- ・深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2020年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続するとともに、ドリフト自己校正機能付海底圧力観測を実施する。広域地殻変動モデリングのためのレオロジー構造のプロトタイプモデルを構築する。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続・実施する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を実施する。
- ・初年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2021年度

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続し、初期的な水平変位場の検出を試みる。得られた地殻変動場を説明するプレート間固着の予察的モデルを得る。2020年度に設置したドリフト自己校正機能付海底圧力計を回収し、その精度検証を実施する。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・スロー地震現象の探索およびプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。

引き続き深海掘削やコアリングにより得られた資料を用いたプレート境界状況再現実験を継続する。

2022年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続する。機能を改良したドリフト自己校正機能付海底圧力計を海底ケーブル式観測点のごく近傍に投入し、その精度検証を行う。
- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、地震活動の回復の時空間分布を把握する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を継続する。
- ・前年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続しつつ、観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明する予察的なモデルの構築を行う。

2023年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を終了して、成果のとりまとめを行う。また地殻変動場

を説明するプレート間固着モデルを構築する。前年度投入したドリフト自己校正機能付き海底圧力計を用いた観測との比較から、海底ケーブル式観測点の水圧計の長期ドリフト特性の抽出を行う。

- ・日本海溝におけるGNSS/A観測を継続し、変位速度ゆらぎの有無について検証を行う。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、東北沖地震以降の地震活動の回復の時空間分布を明らかにする。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における海底上下地殻変動観測の結果をとりまとめ、プレート間滑りを推定する。
- ・過去4年間に実施したプレート境界状況を再現した摩擦実験の結果と、観測により得られた観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明するモデルを提示する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

日本海溝および千島海溝根室沖でのプレート境界浅部の固着・すべり状態を定量評価することを目的としたGNSS-A観測を継続した。日本海溝沿いの水平変位速度分布の分布については、中部（宮城県沖）で粘弾性緩和による陸向き変位が卓越する状況が継続している一方で、北部（三陸沖）・南部（福島県沖）では、陸向き変位速度の増加あるいは海溝向き変位速度の減少する傾向が認められた。三陸沖においては、GNSS-A観測とともに海溝軸を挟んだ海底間音響測距観測を2019年から約2年間実施した。日本海溝から千島海溝の海域における浅部スロー地震の活動について、海底観測データを用いて解析を進めた。宮城県沖を対象とした地震発生サイクルシミュレーションを行った。東北沖地震発生後から約3年後までの震源域北部の地震活動を海底観測データから把握した。房総半島沖における海底圧力観測を継続し、過去データから、スロースリップによる変動の抽出を試みた。沈み込み帯の深部スロー地震発生域におけるプレート境界断層帯の変形挙動を明らかにするべく、アンチグライト蛇紋岩試料を用いて、変形実験を行った。遠洋性粘土のガウジ試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度・封圧・間隙水圧条件下で変位速度急変三軸摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化とその要因について検討した。以上、上記計画通りに実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

海域観測研究

日本海溝および千島海溝根室沖でのプレート境界浅部の固着・すべり状態を定量評価することを目的としたGNSS-A観測を継続した。2022年5月に備船(第三開洋丸)およびWave Glideによって根室沖での観測を実施したほか、6月10日に日本海溝沿いでの観測をWave Gliderにより実施した。音響走時検出にはPhase-Only Correlation (POC)解析 (Honsho et al., 2021) を用い、音響測位解析はMCMC法を用いた手法 (Tomita and Kido, 2022) によって、アレイ変位および音速水平勾配構造を推定した。日本海溝沿いの水平変位速度分布の分布については、Tomita et al. (2017)やHonsho et al. (2019)に報告してきたものと比べると、中部（宮城県沖）で粘弾性緩和による陸向き変位が卓越する状況が継続している一方で、北部（三陸沖）・南部（福島県沖）では、陸向き変位速度の増加あるいは海溝向き変位速度の減少する傾向が、それぞれの海域で認められ、東北沖地震後の余効変動の空間パターンが時間変化していることを示唆する。一方で、根室沖の海溝陸側斜面に設置されている2観測点で約7cm/年の変位速度が得られた。これはプレート境界浅部までの固着を強く示唆する結果である。三陸沖においては、GNSS-A観測とともに海溝軸を挟んだ海底間音響測距観測を2019年から約2年間実施したが、この期間では有意な基線長短縮は見られず、プレート境界浅部に達するような定常クリープまたはスロースリップイベント (SSE) は発生していなかったと考えられる。

日本海溝から千島海溝の海域における浅部スロー地震の活動について、S-netおよび自己浮上式海底地震計 (OBS) による地震観測データにもとに解析を進めた。2011年東北沖地震発生直後の三陸沖でのテクトニック微動の活動度は、東北沖地震本震発生からの経過時間とともに減衰しつつも、2016年以降に繰り返し発生する微動バーストに似た準周期的な変動を示していた。三陸沖および福島県沖の2016年から2022年の微動活動の時間変化をみると、三陸沖では微動の発生頻度は時間の経過とともに低下している一方で、福島県沖では顕著な時間変化はみられない。微動の活動度に東北沖地震後の余効すべりが影響していると考えられることから、両海域で余効すべりの経時的な減衰の様相が異なっていることを反映していると解釈される。東北沖地震の破壊域内に位置する宮城県沖北部では、東北沖地震以前に超低周波地震 (VLFE) の活発化に同期した微動活動があり、さらにそれを取り囲むような通常地震の活発化もみられた。活発化した通常地震には小繰り返し地震も含まれ、東北沖地震発生以前

に進行していた固着の剥がれの影響化で非地震性すべりの加速が起り、それに伴ってスロー地震と通常地震とがともに活発化したことを意味する。

宮城県沖を対象とした地震発生サイクルシミュレーションを行い、M9の東北沖地震の発生サイクルのなかでのM7宮城県沖地震単独破壊の発生サイクルの時間変化を調べた。宮城県沖地震の発生間隔は、その破壊域の深部側でのM9地震の余効すべりとその減速と、浅部側での再固着とその剥がれの2つの要因が競合することによって長期的な変化を示すことが示された。

その他、微動とその背景にあるSSEの発生に伴う地震波速度構造の変化の検知の試み、広帯域OBSによるVLFEの観測、S-netの水圧データによるSSEの検知能力の評価など、日本海溝・千島海溝沿いにおけるプレート境界でのスロー地震活動に関する研究を行った。

本年度は、2011年10月から約1年間および2013年10月から1年間の観測を行った東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの詳細解析を行った。この観測は、東北沖地震発生後から約3年後までの宮城県沖、岩手県沖の震源域北部の地震活動を把握することを目的としている。詳細な震源分布が得られており、地震活動の時空間的な変化を明らかにした(図3)。

房総半島沖において、2022年自己浮上式海底圧力計6台の設置、6台の回収を、地震研の用船により第二開洋丸(海洋エンジニアリング)を用いて行った。また、これまでに得られている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。昨年度開発した海洋モデルに対してマルチチャンネル特異スペクトル解析を用いて成分に分け、圧力計データと海洋モデルの相関がよい成分のみを用いて海洋モデルを再合成し、それを圧力計データから除去するという方法を更新された海洋モデルを用いて、2018年のデータに適用した。また、海洋変動を除去した後、季節変動等を表すパラメトリックモデルを当てはめ、スロースリップによる変動の抽出を試みた。その結果、圧力変化の残差の標準偏差が0.76hPaとなった(観測点KAP2の場合)。また、推定されたスロースリップによる上下変動は隆起域と考えられるKAP2地点で14.8mmの隆起となった。

実験・モデリング研究

沈み込み帯の深部スロー地震発生域におけるプレート境界断層帯の変形挙動を明らかにするべく、アンチゴライト蛇紋岩試料を用いて、温度500°C、封圧1 GPa、含水量0~12 vol%の非排水条件下で変形実験を行った。その結果、間隙流体圧比の増加にともなって、蛇紋岩の変形機構が長大な断層面上での摩擦すべりから開口破壊(モードI型)および開口・剪断破壊(モードI・II型)のネットワーク形成(fault-fracture mesh構造)に変化することがわかった(図5)。このことは、微動や低周波地震などの深部スロー地震が高間隙流体圧下においてプレート境界断層帯内で発生する開口・剪断破壊群に対応する可能性を示唆する。

宮城沖日本海溝付近のプレート境界断層は、太平洋プレート被覆層の遠洋性粘土層中に形成されていることが明らかになっている。そこで、遠洋性粘土のガウジ試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度(25~150°C)・封圧(150 MPa)・間隙水圧(50 MPa)条件下で軸方向変位速度0.1~10 $\mu\text{m/s}$ の変位速度急変三軸摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化とその要因について検討した。変位速度・状態依存摩擦構成則による摩擦データのフィッティングの結果、摩擦構成則定数 a は温度によりあまり変化しないのに対し(図6a)、定数 b は温度上昇に伴って25°Cから100°Cまで低下して100°Cで最小となり、100°Cから200°Cにかけて大きく増加した(図6b)。この結果、 $a - b$ は温度上昇に伴って25°Cから100°Cまで増加し、100°Cから200°Cにかけて大きく減小した(図6c)。また、150°C以下では $a - b \geq 0$ であるが、200°Cでは $a - b < 0$ となり、固着すべりも観察された

(図6c)。定常摩擦係数 μ_{ss} は温度上昇に伴って25°Cから50°Cまで増加した後、100°Cで極小となり100°Cから200°Cにかけて大きく増加した(図6d)。実験に使用した遠洋性粘土試料にはスメクタイトが約42 wt%含まれており、スメクタイトは50~150°Cの温度で脱水することが知られている。100°Cで b が最小、 μ_{ss} が極小となるのはスメクタイトの脱水によって難透水性ガウジ層内部の間隙水圧が上昇し、ガウジのヒーリングが抑制され、摩擦強度が低下したためと考えられる。以上の結果から、日本海溝のスメクタイトに富むプレート境界断層は、温度100°C程度の深度で高間隙水圧下にあると想定される。三陸沖、宮城沖や茨城沖の浅部で観測されているスロー地震は、このような高間隙水圧下で発生している可能性がある。また、スメクタイトに富むプレート境界断層では、非地震性から地震性への断層運動の遷移は150~200°Cの温度範囲で起こると考えられる。

さらに、以上のような摩擦構成則定数の温度変化に基づき、千島海溝~日本海溝の沈み込み帯浅部プレート境界のすべりについて、数値モデルの構築を開始した。

関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

千島海溝および日本海溝沿いでGNSS-A海底地殻変動観測を継続して実施してきたことにより、これらの海域におけるプレート間の固着状態が明らかになりつつある。海底地震観測により、低周波微動と通常地震の連動した活動の実態が明らかとなりつつあり、これはスロー地震と通常地震の発生メカニズムの関連性の解明に寄与するものである。東北地震後の微小地震活動により、震源域のプレート固着を推測している。房総半島沖プレート境界でのスロースリップのモニタリングを継続して、プレート間固着状態の推定を行っている。プレート境界を構成する複数種類の物質についての摩擦特性の温度・圧力依存性に関する室内実験や、海溝近傍の低剛性を考慮した津波地震発生モデル構築は、すべりの多様性を生み出す断層面の摩擦特性の理解につながるものである。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kubota, T., T. Saito, R. Hino, 2022, A new mechanical perspective on a shallow megathrust near-trench slip from the high-resolution fault model of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 1, 68, doi:10.1186/s40645-022-00524-0, 査読有, 謝辞有

Takahashi, H. R. Hino, N. Uchida, T. Matsuzawa, Y. Ohta, S. Suzuki, M. Shinohara, 2022, Tectonic tremors immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake detected by near-trench seafloor seismic observations, *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 1, 1-14, doi:10.1186/s40645-022-00525-z, 査読有, 謝辞有

Hino, R., T. Kubota, N. Y. Chikada, Y. Ohta, H. Otsuka, 2022, Assessment of S-net seafloor pressure data quality in view of seafloor geodesy, *Progress in Earth and Planetary Science*, *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 1, doi:10.1186/s40645-022-00526-y, 査読有, 謝辞有

Tomita, F. and M. Kido, 2022, An approximate travel time calculation and a robust GNSS-acoustic positioning method using an MCMC technique, *Earth Planets and Space*, 74, 176, doi:10.1186/s40623-022-01740-0, 査読有, 謝辞有

Viens, L., L. F. Bonilla, Z. J. Spica, K. Nishida, T. Yamada, and M. Shinohara, 2022, Nonlinear Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 49, 21, e2022GL100122, <https://doi.org/10.1029/2022GL100122>, 査読有, 謝辞無

Yamaya, L., K. Mochizuki, T. Akuhara, S. Takemura, M. Shinohara, and T. Yamada, 2022, CMT inversion for small-to-moderate earthquakes applying to dense short-period OBS array at off Ibaraki region, *Earth Planets Space*, 74, 164, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01721-3>, 査読有, 謝辞有

Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, and K. Yomogida, 2022, Detailed S-wave velocity structure of sediment and crust off Sanriku, Japan by a new analysis method for distributed acoustic sensing data using a seafloor cable and seismic interferometry, *Earth Planets Space*, 74, 92, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01652-z>, 査読有, 謝辞有

Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, and S. Sakai, 2022, Performance of seismic observation by distributed acoustic sensing technology using a seafloor cable off Sanriku, Japan, *Front. Mar. Sci.*, 9:844506, doi: 10.3389/fmars.2022.844506, 査読有, 謝辞有

Spica, Z. J., J. C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara and T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL095287, <https://doi.org/10.1029/2021GL095287>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

中田令子・日野亮太, 2022, 日本海溝沿いの浅部プレート境界で発生する津波地震の連動性について, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS07-P15

佐藤豪大・東龍介・高木涼太・日野亮太・篠原雅尚, 2022, 日本海溝-千島海溝会合部OBS観測網記録の地震波干渉法解析による地震波速度変化検出の試み, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS03-P08
川久保晋・東龍介・日野亮太・高橋秀暢・太田和晃・篠原雅尚, 2022, 2003年十勝沖地震後の震源近傍における長期的なテクトニック微動活動, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG44-03

松本一駿・日野亮太・高橋秀暢・篠原雅尚,2022,日本海溝北部におけるテクトニック微動と通常地震の連動した活動,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG44-04

西村建・木戸元之・日野亮太,2022,海底間音響測距による三陸沖海溝軸の挙動の測定,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG48-09

西村建・木戸元之・日野亮太,2022,海底間音響測距に基づく岩手県沖海溝軸の挙動に関する研究,日本測地学会第138回講演会

佐藤豪大・東龍介・高木涼太・日野亮太・篠原雅尚,2022,稠密OBSアレイ観測から検出された日本海溝-千島海溝会合部における地震波速度の時間変化,日本地震学会2022年秋季大会,S22-15

東龍介・高木涼太・馬場慧・日野亮太・篠原雅尚,2022,広帯域海底地震計とF-netによる北海道襟裳沖の浅部VLF観測,日本地震学会2022年秋季大会,S22-16

松本一駿・日野亮太・高橋秀暢・篠原雅尚,2022,日本海溝北部におけるテクトニック微動活動域周辺の微小通常地震,日本地震学会2022年秋季大会,S09-15

中田令子・内田直希・堀高峰・日野亮太,2022,M9地震サイクルにおけるM>7宮城県沖地震の繰り返し間隔の変化,日本地震学会2022年秋季大会,S08-32

Tomita, F., M. Kido, C. Honsho, T. Iinuma, Y. Ohta, R. Hino T. Sun, H. Luo, K. Wang,2022,Near-Trench Postseismic Subsidence Following the 2011 Tohoku-oki Earthquake Revealed by GNSS-Acoustic Observations,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,T56A-04.

Ohyanagi, S., K. Ohta, Y. Ito, R. Hino,2022,Shallow tectonic tremor activity in the Japan Trench: continuous decay of the activity in 2016 – 2022,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,T42B-04

Matsumoto, K., R. Hino, H. Takahashi, M. Shinohara,2022,Swarms of microearthquakes associated with tectonic tremor bursts in the northern Japan Trench,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,T32D-151

Sato, T. R. Azuma, R. Takagi, R. Hino, M. Shinohara,2022,Spatio-temporal seismic velocity variation near the junction between Japan and Kuril trenches revealed from long-term dense-OBS network observation,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,T32D-169

Nakata, R., N. Uchida, T. Hori, R. Hino,2022,Recurrence interval Intervals for M>7 Earthquakes Through a Cycle of M~9 Earthquake in the Middle Segment of the Japan Trench,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,T46A-08

佐藤利典、鈴木雅博、村田耕一、碓氷典久、塩原肇、山田知朗、篠原雅尚,2022,海洋モデルを用いた海底圧力計からのスロースリップによる変動の抽出,日本地震学会2022年秋季大会,S02P-05

佐藤利典、鈴木雅博、村田耕一、碓氷典久、塩原肇、山田知朗、篠原雅尚,2023,MSSA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洋モデルを用いた海底圧力計からのスロースリップによる変動の抽出,海と地球のシンポジウム2022

平内健一・永田有里奈・岡崎啓史,2022,前弧マントルウェッジ蛇紋岩の破壊様式に対する間隙流体圧の影響,日本地質学会第129年学術大会,T1-O-6

金川久一・藤森純矢・中西智哉・嵯峨野紗弓・澤井みち代,2022,三軸摩擦実験に基づく紀伊半島沖南海トラフ付加体中の断層の強度・安定性・癒着度の深度変化,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS07-02

金川久一・中西智哉・藤森純矢・嵯峨野紗弓・澤井みち代,2022,オパールガウジの摩擦特性の温度変化と沈み込み帯の断層運動への適用,日本地質学会第129年学術大会,G1-O-2

Sawai, M., Sato, T., Hiramatsu, T. and Kanagawa, K.,2022,Frictional properties of basalt collected from a seamount and implications for earthquake generation,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG57-P04

Sawai, M., Hiramatsu, T., Wada, S. and Kanagawa, K.,2022,Frictional properties of basalt: Effects of the seamount subduction on earthquake generation,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,P110

津田健一・芝崎文一郎,2022,Investigation of the faulting process of tsunami earthquake based on dynamic rupture simulations,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS07-16

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

海域観測研究

日本海溝および千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続する。ドリフト自己校正機能付き海底圧力観測システムで得られたデータをS-netやDONETで得られたデータと比較することにより性能評価を実施する。海陸にわたる広域地殻変動モデリングのために必要となるレオロジー構造について検討を継続して進める。また、えりも沖ならびに三陸沖北部における広帯域海底地震観測を継続して実施し、低周波微動や超低周波地震の震源位置の推定精度向上をめざす。日本海溝北部における海底地殻変動観測とスロー地震活動把握のための海底地震計アレイ観測を継続する。東北沖地震後の微小地震活動について、解析を進める。房総半島沖の海底水圧観測を継続するとともに、得られたデータの解析を引き続き行う。

実験・モデリング研究

- ・前年度に引き続き、前弧マントルウェッジの基底で発生するepisodic tremor and slip (ETS) の発生機構の解明を目指して、ETS発生域に相当する温度圧力条件下においてアンチゴライト蛇紋岩の変形実験を行い、蛇紋岩の強度や破壊様式に対する間隙流体圧の影響について明らかにする。
- ・遠洋性粘土以外の太平洋プレート被覆層および基盤岩の試料について、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、これらの試料の摩擦特性の温度変化を明らかにする。
- ・海山を構成する物質について、不安定な挙動を示す可能性が考えられる温度圧力条件下で三軸摩擦実験を行い、その摩擦特性に対する温度・間隙水圧の影響を検討する。
- ・実験から得られた摩擦構成則定数の温度変化に基づき、千島海溝～日本海溝の沈み込み帯浅部プレート境界の多様なすべりについて、数値モデルにより検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）、塩原肇（東京大学地震研究所）、望月公廣（東京大学地震研究所）、山田知朗（東京大学地震研究所）、一瀬建日（東京大学地震研究所）、悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

日野亮太（東北大学）、木戸元之（東北大学）、太田雄策（東北大学）、東龍介（東北大学）、高橋浩晃（北海道大学）、村井芳夫（北海道大学）、大園真子（北海道大学）、佐藤利典（千葉大学）、伊藤喜宏（京都大学防災研究所）、山下裕亮（京都大学防災研究所）、八木原寛（鹿児島大学）、仲谷幸浩（鹿児島大学）、気象庁、金川久一（千葉大学）、澤井みち代（千葉大学）、平内健一（静岡大学）、廣瀬丈洋（海洋研究開発機構）、谷川亘（海洋研究開発機構）、芝崎文一郎（建築研究所）、野田博之（京都大学）、安藤亮輔（東京大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

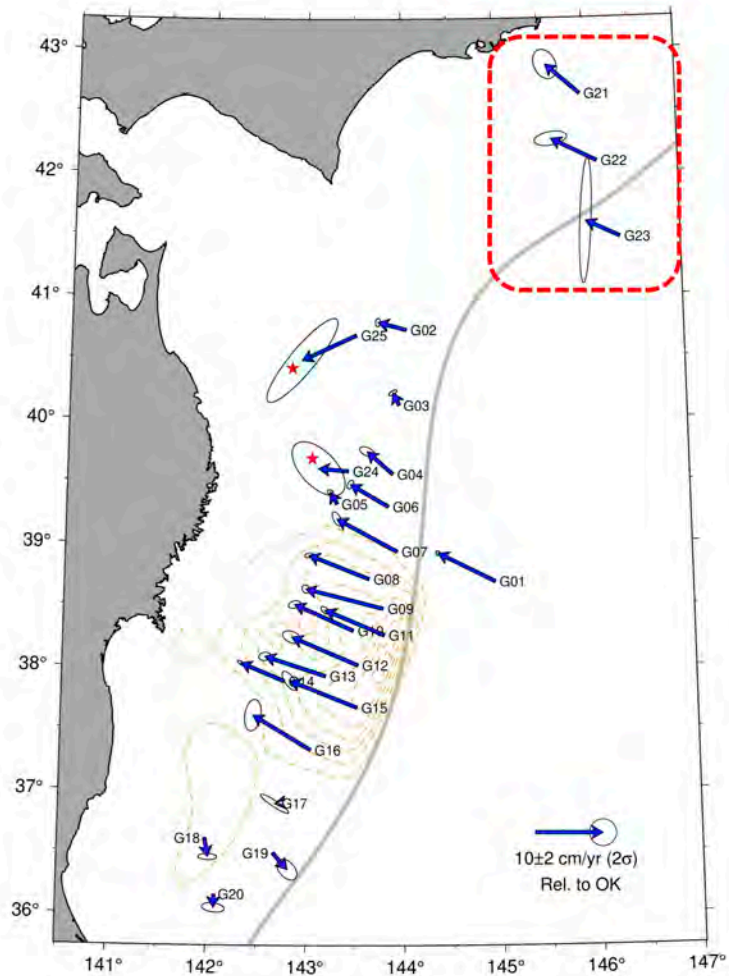


図 1

GNSS-A観測で得られた日本海溝から千島海溝南部における水平変位速度（対オホーツクプレート）。2012年からの平均変位速度を示す。ただし、根室沖の観測（赤破線枠内）は2019年、三陸沖の新設観測点（赤星印）は2020年に観測を開始した。

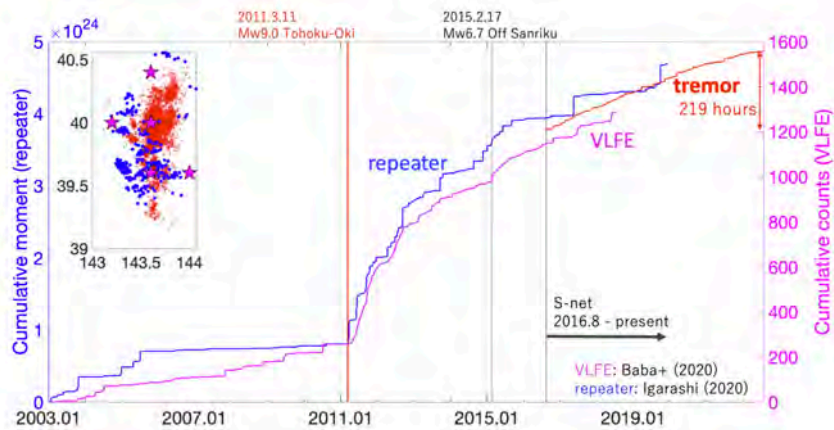


図 2

S-netにより観測された三陸沖における浅部テクトニック微動の活動度の時間変化。

青線は1日毎のイベント発生数を表すヒストグラム、赤線は積算継続時間、緑線は最小二乗法で求めた積算継続時間のモデルをそれぞれ示す。

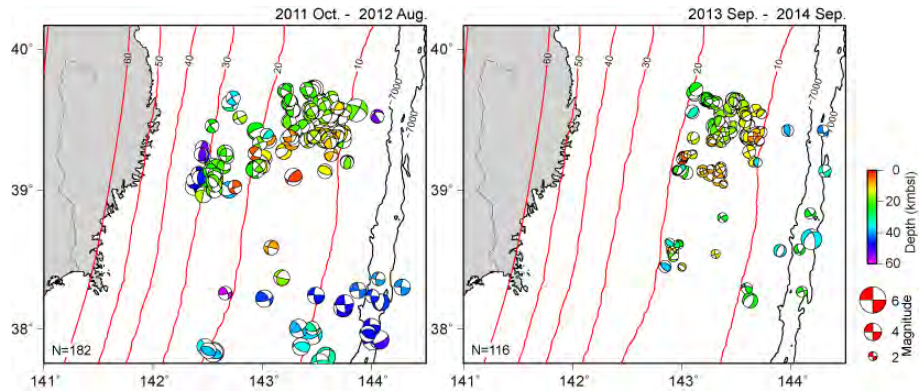


図3

長期観測型海底地震計の初動極性による発震機構解（下半球投影）。黒線と赤線は、水深とプレート境界の深さを示す。震源球の大きさはマグニチュードを、色は震源の深さを示している。多くの地震が正断層型、横ずれ型の機構解を持つ。

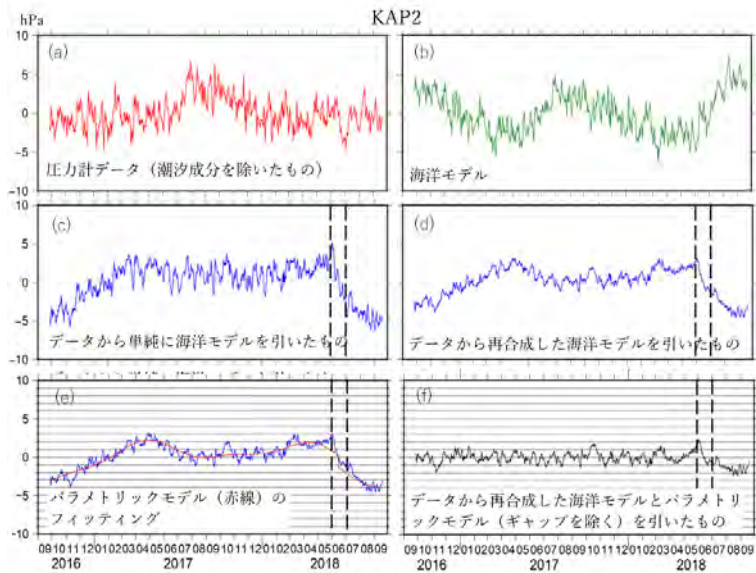


図4

(a) 圧力計データ（潮汐成分を除いたもの）。(b) 海洋モデル。(c) データから単純に海洋モデルを引いたもの。(d) データから再合成した海洋モデルを引いたもの。(e) パラメトリックモデル（赤線）のフィッティング。(f) データから再合成した海洋モデルとパラメトリックモデル（ギャップを除く）を引いたもの。破線はスロースリップの期間を示す。(c), (d)から、再合成したほうがよりよく変動が取り除けていることがわかる。(f)から、スロースリップの前後で1 hPa以上の段差があるのがわかる。

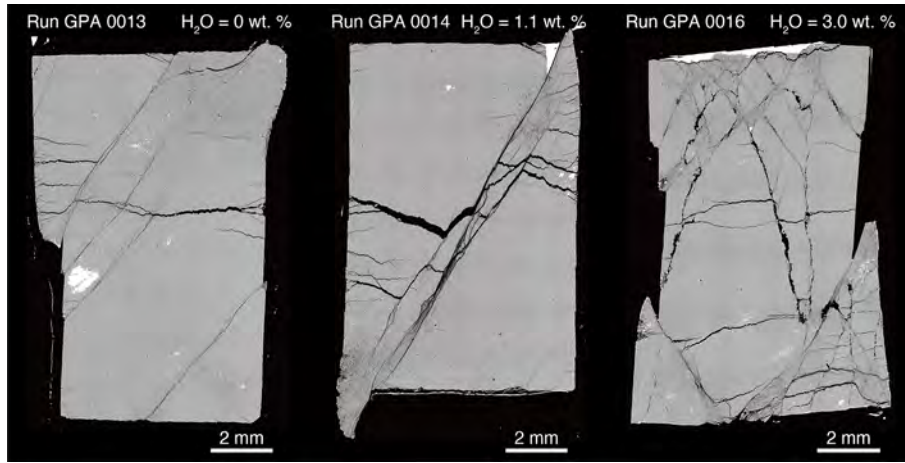


図5
実験後のアンチゴライト蛇紋岩試料の反射電子像。圧縮方向は上下方向となっている。

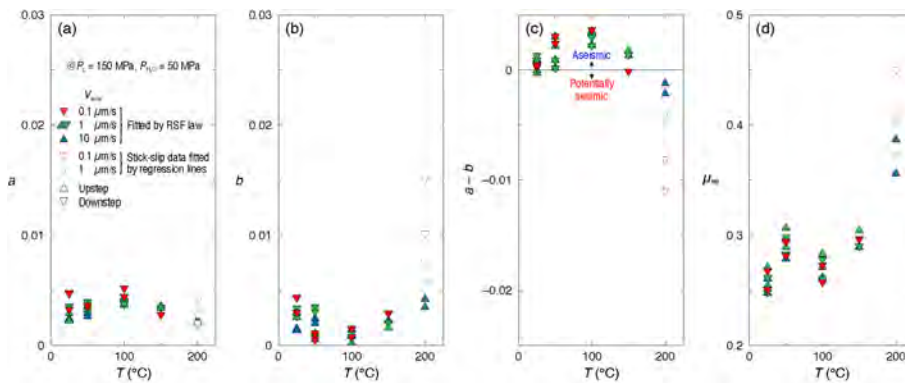


図6
遠洋性粘土ガウジの摩擦構成則定数 a (a), b (b), $a - b$ (c), および定常摩擦係数 μ_{ss} (d), それぞれの温度変化。 P_c : 封圧, P_{H_2O} : 間隙水圧, T : 温度, V_{axial} : 軸方向変位速度, RSF law: 変位速度・状態依存摩擦構成則。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

深部地殻の強度は地震発生の理解に重要な基礎情報である。深部地殻変形を支配すると期待される石英について、過去に固体圧式変形試験機を用いて行われた含水天然石英岩（瑪瑙）の高温高压変形実験における流動応力は、変形条件への依存性が系統的でなく、パイロフィライト圧媒体の内部摩擦の補正が課題となっていた。そこで、このデータの補正を目的として、温度800°C、封圧0.8 GPaにおける試料アセンブリの内部摩擦を求め(図1)、差応力を精密に決定する手法を確立した。さらに、実験回収試料を解析し、転位クリープの力学特性とも密接に関係する動的再結晶組織の発達過程が石英結晶のすべり系に依存することを明らかにした(Shimizu & Michibayashi, 2022)。

熱水下でジャケットなしの長距離摩擦試験を行うことのできる回転式摩擦試験機のデータ計測システムを改良し、間隙水圧100 MPa、法線応力200 MPaまでの条件で、曹長石粉末の剪断による校正試験を行い良好な結果を得た。また、高温高压液体圧式三軸試験機については、ガウジの長時間固結実験を行うために、経年劣化で信頼性が落ちていた制御系を更新した。長いDcを見るのに必要な滑り距離まで実験できるように、現在ジャケットとヒーターアセンブリの再設計を行っている。

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進めてきた、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が完成した。昨年度、滑り速度だけでなく滑り変位にも依存する摩擦の下での定常状態の滑り端の伝播速度を線形臨界安定性解析で求め、4つの摩擦パラメタによる挙動の分類、および伝播速度の解析表現を求めた。今年度は、物理的に意味のある音響モードでの伝播解であるintrudingタイプ、extrudingタイプについて数値解を求めたところ、昨年度に報告したそれらの解析解と調和的であり、よって、伝播速度の理論解析において摩擦則を線形化したことが正当であることが示された(Suzuki, 2022)。

マクスウェル粘弾性体中の地震サイクルシミュレーションでは、速度弱化パッチが地震サイクルから永久固着（载荷が緩和してしまい、滑り速度がゼロに漸近していく(Miyake and Noda, 2019)）に遷移することが知られている。この遷移の数学的構造を詳細に解析し、従来の弾性体内断層の地震性・非地震性滑り遷移が渦状点のHopf分岐であるのとは違って、粘弾性系に特有な鞍点が、地震性挙動に対応する渦状点に接近して接線分岐をおこす前に地震性リミットサイクルに衝突、これが消失するホモクリニック分岐であることをつきとめた(山本・野田, 2022)。

熱・流体・空隙相互作用がある時の断層挙動を統一的に理解する枠組みを作る試みを開始した(Suzuki & Matsukawa, 2022a,b,c; 鈴木・松川, 2022a,b)。そのような相互作用が重要であると考えられている事象の一つに、中深発地震の原因と目されるスラブマンツルの蛇紋岩の脱水脆性化がある。長崎変成帯のアンチゴライト蛇紋岩を、深さ60 kmの稍深発地震域に相当する封圧0.6-1.7GPa、温度500-700°Cで変形実験を行った(清水ら, 2022a; 奥出ら, 2022)。700°Cでも脱水軟化および降伏が起きる場合と起きない場合があり、蛇紋岩の初期不均質(微小クラックの存在)の影響と考えられる。降伏した場合の試料では、実験中に生じた断層剪断帯に集中して脱水反応の生成鉱物がみられ、断層の形成や剪断変形が脱水反応を促進することが示唆された。これは正のフィードバックを生み、不安定現象を生み出すメカニズムたりうる。

同様に、地震滑りにおける複雑なフィードバック問題として、地震時の摩擦発熱と粘土鉱物の化学反応による間隙圧の上昇の問題も注目されているが、その理論モデルの数値解析(e.g., Platt et al., 2015)を大変位量まで続けると、剪断帯中央に歪速度が集中する対称な解が不安定化し、歪速度のピークの移動が生じることが知られている(e.g., Rice, 2015; AGU abstract)。不安定化以降の数値解は数値

誤差の発現であり計算手法に依存するため、現実的な状況のシミュレーション結果として扱う事ができない。しかし初期値において例えば反応率の分布などに不均質性と非対称性があると仮定すると、上述の解の一意性の消失の問題は解消され、数値解は解像度を増やすと収束するようになる。初期反応率の勾配などに関して現実的な範囲を推定することができれば、歪速度ピーク移動開始後に関する数値シミュレーションは有効であり、断層の力学的性質を調べる事が可能となる。いくつかの初期反応率分布について一定滑り速度の数値実験を行い断層の剪断応力の変化を調べたところ、歪速度ピークの移動開始タイミングに対応した応力変動は非常に振幅が小さく、摩擦実験などで力学データからこれを解釈する事はほぼ不可能である事がわかった(金木・野田, 2022)。逆に言うと、断層の高速滑り時の強度変化を考える上で、歪速度ピークの移動に関してはあまり考慮する必要が無いと言える。

このように、間隙流体圧の上昇による強度の低下は地震発生メカニズムにおいて非常に重要であるが、温度・圧力が脆性-延性遷移条件に達する地震発生層の最下部では、鉱物の軟化により断層面にしめる真実接触面積の割合が大きくなるため、間隙流体圧の効果がなくなってしまう可能性が指摘されている(Hirth & Beeler, 2015)。昨年度、液体圧式三軸試験機で行った、多孔質(間隙率5%) Solnhofen 石灰岩(97% calcite, 平均粒径6 μ m)の変形試験(歪み速度1E-5-1E-6 /s)は、間隙圧がない場合には応力指数 $n=5$ 程度の転位クリープがおきる高温(400-500 $^{\circ}$ C)、高封圧(360 MPa)で行なった。本試験では、このような条件で封圧に近い間隙圧(340-360MPa)を与えて行なった世界で唯一のデータである。より確実に結晶内塑性が期待される500 $^{\circ}$ Cのデータの解析の結果、応力指数は間隙圧350 MPaで $n=22$ 、360MPaで $n=32$ と、転位滑りクリープに支配される準脆性領域の特徴を示していた。また、強度も有効封圧の10 MPa増加に対して20 MPaの割合で増加しており、脆性的な特徴を示している。巨視的な変形様式については、間隙圧360 MPa(i.e.,有効封圧0 MPa)では割れを生じたのに対し、間隙圧350 MPa(i.e.,有効封圧10 MPa)では、実験限界の33%歪みまでバレーリングが続いた。ただし、後者の場合でも6%歪み以降は顕著なダイラタンシーを生じており、微視的なクラッキングは盛んにおきたと思われる。このように、封圧・温度からは延性であるべき条件においても、間隙圧は岩石の挙動を脆性化する強い効果があることが示唆される(図2, Kanaya et al., 2022a, b)。

地震発生論においてはあまり注目されてこなかったが、摩擦発熱による断層岩石の熱膨張も法線応力の不均質化を通じて正のフィードバックを起こしうる(e.g., Burton, 1980)。連続体中におかれた断層の滑りにおいて、不均質な摩擦発熱による試料の熱膨張に伴う垂直応力変化を効率的に計算できるアルゴリズムを作成し、より大波長の不均質ほどより低い滑り速度で不安定化し、垂直応力不均質が増大することが確認できた。大きな試料ほど長い波長までの不均質が含まれることから、動的弱化の臨界速度が試料サイズに反比例するという実験結果(Yamashita et al., 2015)をこの仕組みで説明することができた(図3, 野田, 2022)。

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波前地震重力変化は、現在、重力計や地震計で検出されているが、これらの計器では、観測点での重力の変化と、それによる観測点の加速度の和を測っており、P波到着の少し前までは、両者がほぼキャンセルしあって信号が微弱である。しかし重力変化の空間微分は、このようなキャンセルを受けず、これは歪み計で観測できる可能性がある。理論歪みは震源メカニズムを反映した方位分布をもつが、有利な方位では、距離2000kmにおけるP波前歪み信号は、P波走時の半分程度の時刻で神岡で稼働中の100m基線長レーザー歪み計の雑音レベルをこえ、P波到達直前には雑音レベルの50倍にも達することがわかった(図4, 河合ら, 2022)。

巨大地震誘発の可能性もある長期的SSEについて、その地殻変動データから断層のすべり速度などのモデル変数とモデルパラメタである摩擦特性の同時推定を行うデータ同化の手法を開発している。本年度は、従来のEnKF法(e.g., Hirahara & Nishikori, 2019)に比べて計算量が少ないアジョイント法を、数値実験で生成したSSEデータで適用したところ、初期条件で観測から直接は知れない初期強度分布と、摩擦パラメタにトレードオフがあり推定が困難であることがわかったが、SSEの周期性を条件として陽に課すことでこの問題を解決し、摩擦パラメタを誤差15%程度で推定できることがわかった(大谷ら, 2022)。

おおむね計画通りに実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

流動レオロジーや有効応力則に関する進展、粘弾性での断層シミュレーションは、断層深部を含めて物理的に妥当な包括的モデリングに貢献する。滑りモードの統一理論は、地震の多様性を理解する新たな切り口になる。メカノケミカル反応や熱弾性を含んだシミュレーションができるようになったこ

とは、強震動の理解に貢献する。P波前重力信号の新たな検出法が提案されたことは、巨大地震の即時警報に役立つ。SSEのデータ同化はプレート境界の推移予測に貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Kanaya, T., W. Zhu, , M. Nakatani, and A. Takeuchi,2022b,Effect of pore fluid pressure on the brittle-ductile transition,USGS Earthquake Hazards Program, Final Technical Reports,G21AP10012,査読無,謝辞無

Noda, H.,2022,Dynamic earthquake sequence simulation with an SBIEM accounting for interseismic poroelastic rebound,Earth, Planets and Space,74,89,doi:10.1186/s40623-022-01649-8,査読有,謝辞有

Shimizu, I. and K. Michibayashi,2022,Steady-state microstructures of quartz revisited: Evaluation of stress states in deformation experiments using a solid-medium apparatus,Minerals,12,329,doi:10.3390/min12030329,査読有,謝辞有

Suzuki, T,2022,Deriving the slip front propagation velocity with the slip-dependent and slip-velocity-dependent friction laws via the use of the linear marginal stability hypothesis,Phys. Rev. E,106,015002,doi:10.1103/PhysRevE.106.015002,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Kanaya, T., M. Nakatani, and A. Takeuchi,2022a,Effective pressure law works within the “shallow” lower crust,Gordon Research Conference Rock Deformation

金木俊也・野田博之,2022,地震時の摩擦発熱と鉱物の化学反応による流体圧の上昇と剪断変形の集中、その後の解の不安定化と剪断集中帯の移動について,日本地震学会2022年秋季大会,S08P-08

河合 貫太郎・亀 伸樹・綿田辰吾・新谷昌人,2022,地震で即時に生じる重力場変動の弾性歪み計測による検出可能性,日本地震学会2022年秋季大会,S08-14

野田博之,2022,摩擦発熱と熱弾性効果による垂直応力不均質の時間発展—摩擦実験試料のサイズ効果への示唆,日本地震学会2022年秋季大会,S08-27

大谷 真紀子・亀 伸樹・加納将行,2022,豊後SSEの断層摩擦特性・すべり推定の4DVAR数値実験,日本地震学会2022年秋季大会,S08-36

奥出桜子・清水 以知子・緒方夢顕・道林克禎,2022,固体圧試験機による長崎蛇紋岩の高温高压変形実験:断層変形による脱水反応促進,日本地質学会東京大会,T1-O-29

清水 以知子・奥出桜子・緒方夢顕・道林克禎,2022a,蛇紋岩の変形促進脱水反応と稍深発地震,日本地球惑星科学連合大会,SCG49-15

清水柊汰・鈴木岳人・松川 宏,2022b,粉粒体の力学的挙動の粒子間摩擦依存性,日本物理学会2022年秋季大会,12pH1101-8

Suzuki, T., and H. Matsukawa,2022a,Condition for the transition from slow to fast earthquakes analyzed by the BK model with the interaction among heat, fluid pressure, and porosity,,JpGU Meeting 2022,SCG44-12

Suzuki, T., and H. Matsukawa,2022b,Analytical understanding of condition of slow and fast earthquakes based on the BK model and the interaction among heat, fluid pressure and porosity,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,P028

Suzuki, T., and H. Matsukawa,2022c,Investigating the mechanism of the transition from slow to fast earthquakes using the BK model and interaction among heat, fluid pressure and porosity,AGU Fall Meeting 2022,T31A-09

鈴木岳人・松川 宏,2022a,BKモデルと熱・流体・空隙相互作用に基づくゆっくり—高速地震遷移の多様性の理解,日本地震学会2022年度秋季大会,S08-37

鈴木岳人・松川 宏,2022b,前震-本震系列の繰り返し周期の透水係数への依存性,日本物理学会2022年秋季大会,12pH1101-15

山本 誠・野田博之,2022,粘弾性媒質中の速度弱化パッチの地震性・非地震性遷移におけるホモクリニク分岐と摩擦強度不均質の影響,日本地震学会2022年秋季大会,S08-33

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

回転式摩擦試験機では、様々な鉱物の摩擦特性を広い速度範囲で求める。また、粘土鉱物のメカノケミカル反応を探るために、剪断した粘土鉱物試料の化学分析を行う。高温高压液体圧式三軸試験機においては、ヒーリング試験の滑り距離を伸ばしてDcの時間増加現象の詳細を解明する。固体圧試験機においては、より高い封圧での実験を行う。

摩擦構成則は、RSFの様々な発展則の理論的な検討と、峻別のための新たな実験手法を検討する。

滑りモードの統一的理解は、熱・流体・空隙相互作用を取り入れる。また、個別の破壊だけでなく、地震活動をモデル化に取り組む。

断層シミュレーションについては、熱弾性や粘弾性をとり入れた計算手法を、より広い条件で使えるように改良する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中谷正生（東京大学地震研究所）、亀伸樹（東京大学地震研究所）、吉田真吾（東京大学地震研究所）、大谷真紀子（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

清水以知子（京都大学大学院理学研究科）、野田博之（京都大学防災研究所）、鈴木岳人（青山学院大学）、桑野修（海洋研究開発機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中谷正生

所属：東京大学地震研究所

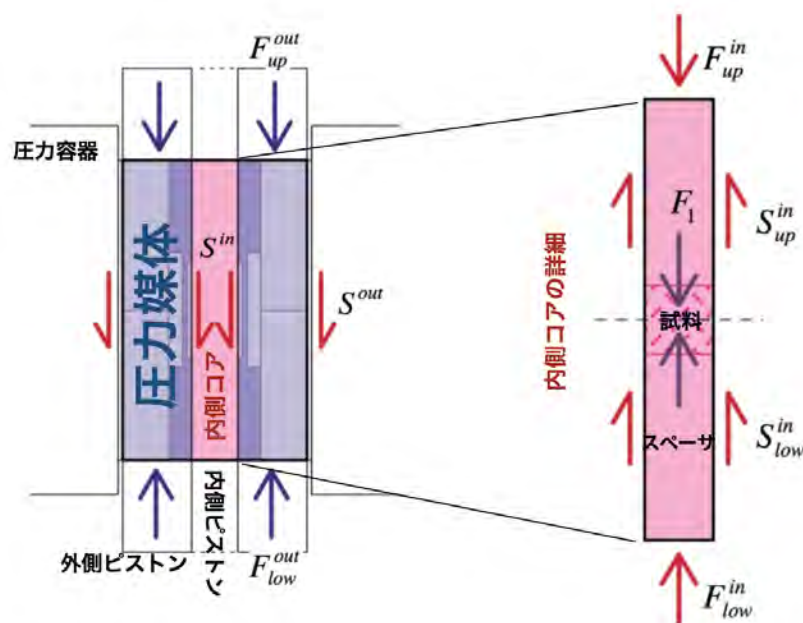


図1. 固体圧式変形試験機の試料アセンブリ内に働く力 (Shimizu & Michibayashi, 2022より改変)

試料を含む内側コア部分にかかる軸力と、圧力媒体を含む外側部分にかかる軸力をそれぞれ計測できることで、内側コア側面に働く摩擦を補正して試料にかかる軸力が求まる。

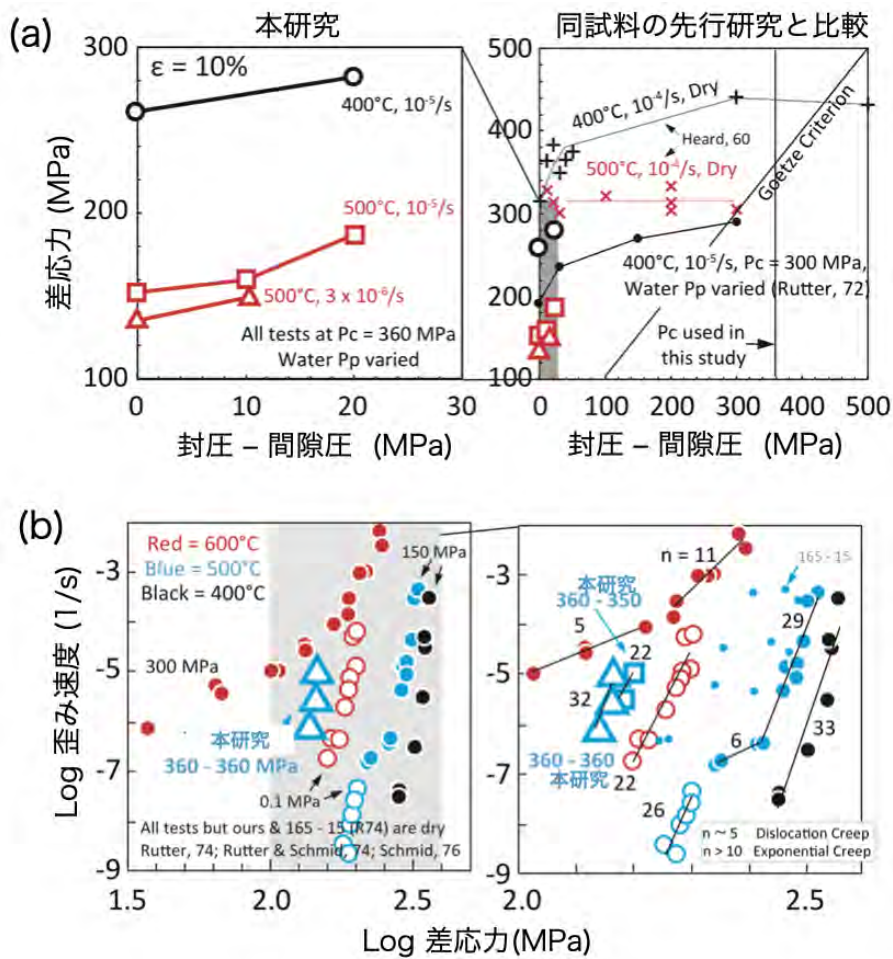


図2. Solnhofen石灰岩の高封圧・高間隙圧における実験結果 (Kanaya et al., 2022aより改変)
 (a) 強度の有効応力依存性。 (b) 応力指数。

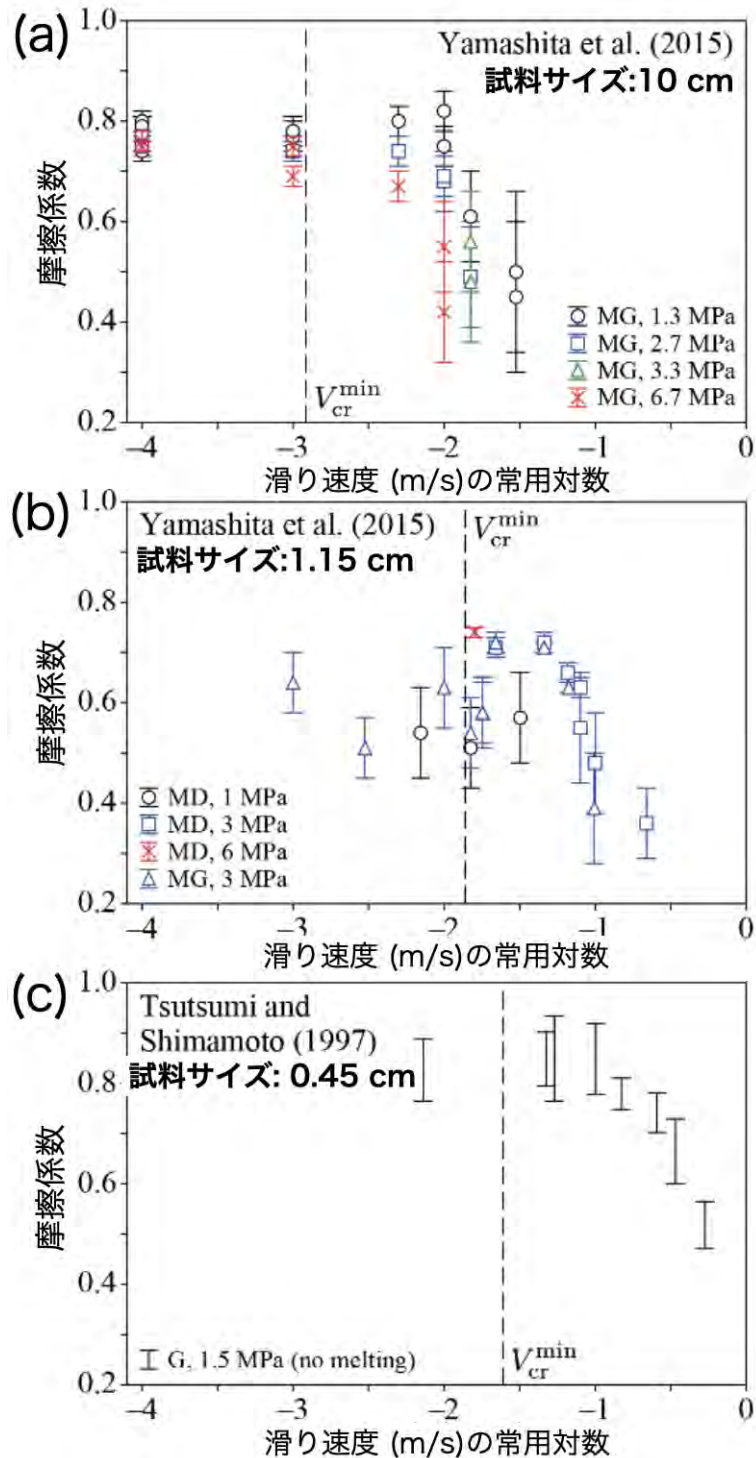


図3. 動的弱化のおきる速度の試料サイズ依存性 (野田, 2022より改変)

(a) 試料サイズ10 cm、(b) 試料サイズ1.15 cm、(c) 試料サイズ0.45 cm。動的弱化の実験結果(シンボル)に、縦破線で理論的に予想される動的弱化の臨界滑り速度(熱弾性効果で法線応力不均質が成長する最低速度)を書き入れた。各実験データの岩種と法線応力は、反例に示した。G:花崗岩、MD:モンゾ閃緑岩MG:変成斑れい岩。

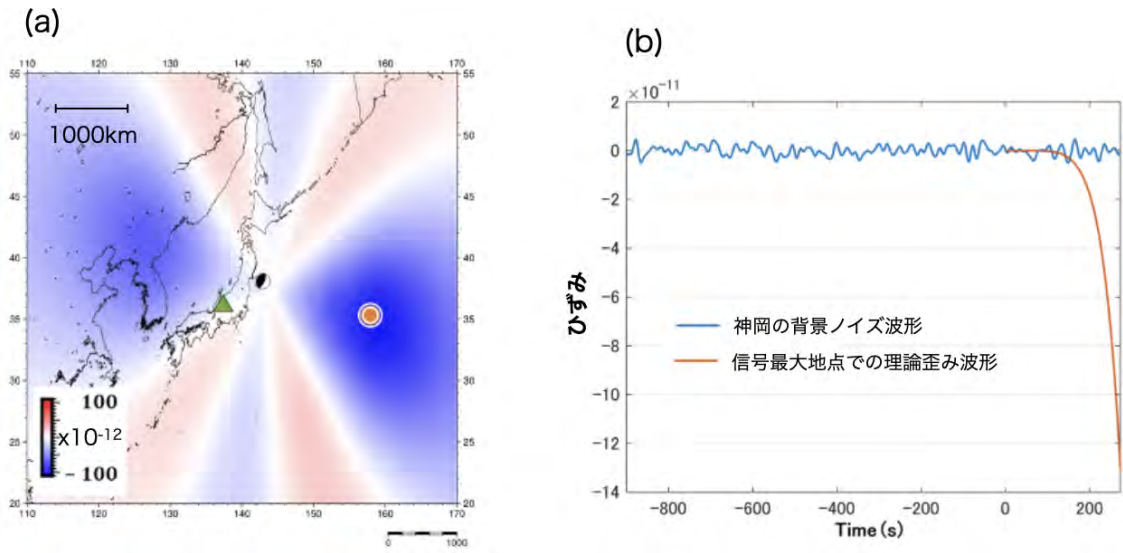


図4. M9東北地震相当の地震(ビーチボール)に対するP波前弾性歪 (河合ら, 2022より改変)
 (a) 理論歪波形振幅の分布図。(b) 赤線: 信号最大となる位置(aの赤丸)での理論歪み波形。青線: 神岡観測点(aの三角)での背景ノイズ波形。横軸のゼロは発震時刻、右端はP波到達時刻。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

多項目観測データの比較研究に基づく噴火過程の理解とモデル構築

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (4) 火山現象の解明とモデル化
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (4) 中長期的な火山活動の評価
 - イ. モニタリングによる火山活動の評価
 - (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - エ. 桜島大規模火山噴火
 - オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの観測研究計画を通じて火山周辺の多項目観測網が徐々に充実し、火山活動に関するデータの蓄積が進んできた。近年では、阿蘇山、霧島新燃岳、浅間山、口永良部島などの噴火時に火口近傍の観測点による重要なデータが得られ、噴火現象の理解が大きく進んだ。しかしながら、個々の火山に関する理解はある程度進んだものの、火山現象の根底にある物理メカニズムの理解はまだ十分とは言えず、火山活動の予測は未だに経験に頼る部分が多い。多くの火山で得られたデータを比較して共通点・相違点を詳細に検討するとともに、実験や理論的考察とも比較することにより、物理メカニズムの理解が進むことで初めて、物理的理解と観測に基づく火山活動の予測が可能となる。

観測点が整備されており火山現象の観測データが豊富である浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島および、最近顕著な活動があった諏訪之瀬島・西之島などを主たる観測研究の対象火山とし、全国連携で多項目観測の継続・拡充を図ると共に、得られたデータの解析を進め比較研究を行う。多項目観測データに基づき、マグマ蓄積およびマグマ上昇等の噴火準備過程、噴火中の火道内プロセス、噴火が終息に向かう噴火過程のそれぞれの段階について、物理過程のモデル化を進める。得られたそれぞれの過程に関するモデル間の関係を把握し、それらを有機的に結合することにより、火山活動推移全体を記述する火山活動推移モデルの構築に資する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本計画は、「火口近傍での多項目観測」、「比較研究」、「衛星データの活用」、「新たな観測手法の開発」、「モデル実験」の5つの柱からなる。その狙いと実施内容は以下の通り。

1. 火口近傍での多項目観測

数年程度の比較的短かい間隔で噴火を繰り返す火山は噴火の全過程にわたるデータが得やすい。また、現在活動中の火山もデータを得る貴重な機会を提供してくれる。これらを踏まえ、本研究では、浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島・西之島などを主たる対象とする。対象とする火山において、地震・GNSS・傾斜・重力・電磁気・空振・ガス等の多項目の観測を実施する。また、実施期間中に新たな顕著な火山活動があった場合は観測資源を投入し貴重なデータの獲得を目指す。

2. 比較研究

観測データを蓄積し、国内外の火山における観測・解析事例との比較研究を進めることにより、マグマの蓄積・上昇等の噴火の準備過程から噴火そのものの物理機構、噴火が終息する条件の理解など、噴火準備段階から終息までを含む火山活動全体像の各段階を記述する物理モデルの構築を目指す。例えば、地震・地殻変動・重力・電磁気・火山ガス観測等を統合的に解析することにより、マグマの蓄積位置、蓄積量、マグマ溜まりから地表へのマグマ上昇経路、マグマ流量を把握し、マグマ供給系のモデル化を進める。また、噴火時の地震・地殻変動・空振データの解析に基づき、噴火時の火道プロセスのモデル化を進める。空中磁気データからはマグマの上昇・下降に伴う山体の温度変化の検出や噴火後のマグマの冷却過程の理解を進める。その際、異なる火山のデータ同士の比較や、文献調査による、国内外の火山活動との比較も進める。

3. 衛星データの活用

解析およびモデル化にあたっては、InSARや赤外面像などの衛星データの活用が有効である。次世代SAR衛星の打ち上げに伴うデータ量の加速度的増大に備え、SARデータ解析を自動的に行うシステムを開発する。また、SARで面的に得られる地殻変動場は複雑であり、モデルパラメータの自由度の少ない茂木モデルやダイクモデルでは十分に表現できないことから、地形・複雑な地下構造・複雑な力源の形状などを考慮し、有限要素法などの数値的手法を用いたモデルを開発し、適用する。

衛星赤外面像による東アジア活火山リアルタイム観測・情報発信システムの運用と、噴火データの収集・解析を進め、次世代衛星データへの対応などの高度化を進めるとともに、衛星データを用いた噴火推移の多様性の把握および類型化や火山防災に資する情報発信手法の開発を進める。

4. 新たな観測手法の開発

火口近傍はSNが高く良質なデータが得られるが、観測の実施は容易ではない。火口近傍観測に適した観測装置の開発や、飛行体の活用など観測に必要な様々な技術開発も進める必要がある。近傍観測手法としてドローンなどの飛行体を用いた火山観測手法の開発を進める。具体的には、マルチコプターやペイロードの大きい無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量、赤外面像撮影、火山ガスサンプリング、GNSSや地震計モジュールの火口近傍設置手法等の開発を進める。

また、観測が困難な火山を対象とする観測技術開発も必要である。そのために、機動型観測装置として、地震計・空振計・ハイドロフォン・カメラなどのセンサーを任意に選択でき、衛星通信により定期的なモニタリングやデータダウンロードも可能とする可搬性の高いパッケージを開発する。陸上観測のみならず海上観測も想定し、機器開発を進める。

5. モデル実験

噴火がさらに成長するのか、あるいは減衰して終わるのかは、噴火中のある瞬間に噴出するマグマ（噴出マグマ）とその後に続いて噴出するマグマ（駆動マグマ）それぞれの性質や、2つのマグマの関係等によって決まると考えられる。従って、マグマ模擬物質を用いた室内実験やモデリングを行い、噴火開始前のマグマ状態の空間分布が駆動マグマと噴出マグマの挙動や噴火推移に与える影響を明らかにする。さらに、噴出物からマグマ挙動の履歴を読み解くためのモデル構築を行う。そして、噴火開始前のマグマ状態の空間分布を推定するための効果的な観測方法の検討や、噴出推移事例の背後にある共通プロセスの理解につなげる。

以下に、各年度ごとの実施内容をまとめる。

令和元年（2019年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・浅間についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータの自動解析システム開発の開始
- ・衛星赤外面像火山観測システムの機能拡張（新衛星への対応）

- ・無人飛行体による空中磁気観測
- ・無人飛行体用観測モジュール開発
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

令和2年（2020年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・霧島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータの自動解析システム開発の継続
- ・衛星赤外面像火山観測システムの機能拡張（観測域の拡大）
- ・無人飛行体による空中磁気観測、機器設置実験
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

令和3年（2021年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・阿蘇についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・高飛行高度・高ペイロード型無人ヘリに向けた観測モジュールの開発と改良
- ・難地域観測用観測機器の現場テスト
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和4年（2022年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・伊豆大島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・無人飛行体による空中磁気観測結果の解析
- ・難地域観測用観測機器の改良
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和5年（2023年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・諏訪之瀬島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SARデータ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外面像火山観測システムにWebベースのシミュレーションシステムを追加
- ・無人飛行体用観測モジュールの設置実験
- ・難地域観測用観測機器の改良と現場テスト
- ・噴火推移事例データの収集調査

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 火口近傍での多項目観測

浅間山、霧島山、伊豆大島、三宅島、阿蘇、諏訪之瀬島等において火口周辺での多項目観測を継続している。

浅間山においては、2007年から2017年の間に得られた多項目データを再検討し、N型地震の出現時期に帯磁傾向が横ばいになることを見出した。これは、N型地震が多発する時期に山体冷却が停滞したことを示しており、N型地震発生時に浅部に熱水あるいはガスが供給されたことにより冷却の進行が停滞したことを示唆する（図1）。

三宅島ではドローンによる繰り返し空中磁気観測を実施している。昨年度カルデラ周辺の磁化構造の解析結果の速報を報告したことに続き、今年度は磁化構造についてさらなる検討を進めた。カルデラ付近の3次元磁化構造の平面図及び東西断面・南北断面を見ると、カルデラリム直下は磁化が非常に弱化した状態となっており、カルデラ形成時にリム付近の岩体が破碎されたことによる見かけ上の弱化と解釈される。これに対し、沈降したカルデラ内は平均的な磁化を示しており、カルデラ形成時に落下した岩体は細かく破碎されることなく元の構造をある程度保ったまま沈降したと解釈できる。こ

の解釈は、地震データ解析や表面観察等に基づいて提案されているピストン状に岩体が沈降したとするモデルと整合的である。また、複数回の空中磁気観測で得られた磁化測定データから磁化の時間変化の空間分布を求めたところ、カルデラリムの内側が弱化傾向を示しており、地下水不飽和層の下に分布すると考えられる熱水変質層から熱水や高温ガスなどが火口縁の亀裂などに沿って上昇しているという描像が浮かぶ。次期活動時には、破碎して流体が通りやすくなっているカルデラリム付近を火山性流体やガスの上昇経路として使う可能性が高いと考えられる（図2）。

伊豆大島においてもドローンによる空中磁気探査を繰り返して実施しており、今年度は3次元磁化強度分布を求めた。三原山火口付近では1km以下の比較的小さな空間スケールの不均質構造があることがわかった。例えば、1986年に噴火したB火口列を通る北西-南東断面を見ると、B火口列に沿って磁化強度が弱くなっている。この断面に平行で三原山火口中央を通る断面を見ると、火口南側の深度500m～1km付近に強く帯磁した領域が見られる。2つの断面の間隔は数100m程度しか離れていないにもかかわらず構造が大きく異なっている（図3）。

諏訪之瀬島では2021年3月に強化した空気振動観測網によって、活発な噴火活動に対応する空気振動の特徴を明らかにした。空気振動パルスの規模と発生間隔の時系列は、火山ガスに富んだマグマの陥入による小規模空振パルス（ストロンボリ式噴火）の頻発と、脱ガス進行に伴う結晶化をもたらす噴火様式の変化（ブルカノ式噴火への移行）という特徴を反映している（図4左）。また、噴煙高度と空振パルス振幅の対応関係からは、空振パルス振幅が小さい時期には噴煙高度が高くなる傾向が見られる（図4右）。これらの結果から、噴煙は火山灰と火山ガスの混合体であり、空振パルス振幅の強弱は噴煙中の火山ガス量の大小を反映していると解釈することができる。

海外の火山についても共同研究を実施しており、火口近傍観測データの解析を進めている。ストロンボリ火山は、いわゆるストロンボリ式噴火と呼ばれる小規模爆発が十分程度の間隔で頻発し、多くの観光客が訪れる著名な観光地である。一方、Paroxysmと呼ばれる大量の軽石を噴出する大規模噴火が数年に1回突然発生する。火口付近を多くの観光客が訪れることから、この大規模噴火の発生予測は火山防災上極めて重要である。

山頂火口域のフィレンツェ大学の定常観測点の傾斜計・広帯域地震計データおよび2014年日伊共同観測の傾斜データを解析したところ、山頂火口付近に圧力源があることが示唆された。急峻な山体地形を考慮できる有限要素法による理論値計算と観測データを比較したところ、小規模爆発・大規模噴火とも、火山性圧力源は山頂火口直下数百メートル下に位置することがわかった。他のデータとの比較から、その大きさは山頂火口のカルデラと同規模で、おおよそ半径100mほどの大きさであると推定された。一方、小規模・大規模の違いは増圧量にあり、その違いは約1000倍に達する（図5）増圧量の違いを説明するモデルとして、図6のようなモデルを考えた。このモデルでは、傾斜データが示すマグマ溜まり内の増圧量は、火道内マグマの上昇により生じる静圧と粘性マグマと火道壁との摩擦力によって生じる動圧からなると考える。小規模爆発は繰り返し発生し、1回の噴出量は画像等の解析から1-30m³と求められている。動圧の効果を小さいとして火道内マグマの上昇量を求め、火口半径を2mとすると、上昇体積量は0.6-22m³となる。これは画像観測とよく一致する。大規模噴火については、発生前に溶岩流出が観察されていたことから、静圧変化は小さいと考えられる。式をもとに増圧量からマグマ流動速度を求めると2-21m/sとなる。これは熱映像観測から推定されていた2-30m/sと一致する。以上の結果から、ストロンボリ火山の噴火時の山体変形は、共通の極浅部のマグマ溜まりの増圧と減圧により生じていること、また、火道内のマグマ挙動により増圧量が統一的に理解できることが明らかとなった。

2. 比較研究

桜島火山、口永良部島火山、霧島火山で得られた空振エネルギーと降下火山灰量の関係式に基づき、諏訪之瀬島の2021年7月の噴火活動に伴う降下火山灰量の検討を試みた。図7に示すように、噴煙初期浮力と空振エネルギーの関係と、実際の噴煙到達高度から期待される初期浮力を比較すると、諏訪之瀬島の値は他の火山の傾向とは大きく乖離していることがわかる。諏訪之瀬島における空振エネルギーが他の火山に比べて小さいことは火口径が小さいことで説明が可能であり、これは各火山での観察記録と整合的である。一方で噴煙浮力が著しく大きい点については、放出された火山灰自体の熱だけでなく火道下部に陥入した火山ガスに富む高温マグマも寄与している可能性が指摘できる。

3. 衛星データの活用

衛星赤外面像を用いてブルカノ式噴火に伴う噴火推移の検討を進めている。近年、衛星観測技術の

進歩に伴う観測頻度の向上により、ブルカノ式噴火等の短時間スケールの現象の観測が視野に入ってきた。高頻度観測衛星の代表であるひまわり8/9号の10分毎という高頻度衛星赤外面像を用いることにより、ブルカノ式噴火およびその発生場をもたらす噴火推移全体を一元的に観測し、活動が推移する中でブルカノ式噴火の発生準備がどのように進み、噴火の発生にどのようなプロセスが関係し、次の噴火あるいは終息へと移行するのか、を捉えることができる可能性が出て来た。本年度は、この最初の試みとしてひまわり8/9号の高頻度画像により、ブルカノ式噴火が実際にどのように捉えられるかを、主に2018年新燃岳活動を用いて検討を行った。

本研究ではひまわり8/9号の3.9- μ mと11- μ mバンドの輝度温度を使って、熱異常の時間変化を調べた（分解能2 km、観測頻度10分毎）。3.9- μ mは高温の熱源に敏感な上に、1.6- μ mと2.3- μ mに比べ太陽光反射光の影響が少なく昼間の時間帯を含めて熱異常を観測することができる利点がある。11- μ mバンドは画素内の広い範囲を占める部分の温度を強く反映するため、通常はバックグラウンド温度の指標として利用される。ただし、火砕流等の発生により高温領域が一挙に広がる場合は、熱異常を示すこともある。

ブルカノ式噴火は、火口に生じたキャップロックにより火道内の圧力が高まり、やがて亀裂等からガスが抜けることにより火道浅部のマグマが減圧発泡し、キャップロックを吹き飛ばし、爆発的噴火に至るものとされる。爆発プロセスを表面の熱異常から見ると、この時間変化は爆発による高温物質の飛散と火口底浅部の暴露による急激な上昇と、噴火直後からの冷却に伴う一様な低下を示す”急騰・漸減の非対称のパターン”を取ることが期待される（図8）。加えて実際の活動において溶岩噴出やガス放出等が前後に伴えば、それらの影響がこのパターンに重なることとなる。

2018年新燃岳活動では、3月6日より直径約750mの山頂火口凹地で溶岩噴出が始まった（図9）。溶岩は火口の中心付近から噴出し、同心円状に拡大、火口内を約40mの厚さで満たして9日には停止した。この停止直後より、比較的規模の大きいブルカノ式噴火が散発的に発生するようになった。ブルカノ式噴火は3月中旬まで高い頻度で発生し、その後発生頻度は徐々に低下した。長中期スケール（年～数日）においては、溶岩噴出期は一定の高い熱異常（例、図10の3月6日7時頃～7日7時頃の3.9- μ mバンド）、ブルカノ式噴火期は散発的な熱異常で特徴付けられる。

ブルカノ式噴火の発生プロセスを探るために、短期スケール（～24h）での検討も行った。この結果、個々の熱異常イベントは数時間スケールの急騰・漸減の非対称パターンから構成されていることが明らかになった（図10、黒矢印）。このパターンは、先に述べた爆発のプロセスから期待される熱異常の時間変化と一致しており、このピーク部分がブルカノ式噴火の爆発発生に対応していると考えられる。

ブルカノ式噴火は爆発的噴火であり、爆発に伴って空振が発生する。この空振と熱異常パターンのピークの発生日時の同時性を見ることで、急騰・漸減パターンが実際にブルカノ式噴火によるものであるかを確認することができる。図10の青矢印は気象庁によって報告されている爆発的噴火を示す。このように、熱異常の急騰・漸減パターンが見られる所では、多く空振が観測されている。

ブルカノ式噴火が示す短期の熱異常の変化パターンは、これを内包する推移によりつくられる状況（＝発生場）の違いによって、どの様に変化するであろうか？ 2018年新燃岳活動に伴うブルカノ式噴火は、火口近傍域が厚さ約40mの厚い溶融した溶岩層に覆われる状態で発生している。爆発プロセスに対応する単純な急騰・漸減パターンを示すことは、このような発生場の特徴（前駆的な熱異常があったとしても表れ難い）を反映している可能性がある。似た様なパターンは、厚い溶岩の噴出が卓越するシナブン火山、カラングタン火山等のブルカノ式噴火でも見られている。

発生場が異なる例として、2019年ベズィミアニ火山の事例が挙げられる。ここでは長中期的な表面活動はなく、本活動は山頂斜面で単発的なブルカノ式噴火として発生した。図11左に示す短期変化のように、3.9- μ mバンドの熱異常は徐々に高まりピークとなった後、徐々に低下するパターンをとる。この時、2.3- μ mに加え、1.6- μ mバンド（高温に敏感、300-400°C以下の温度域では熱異常は観測されない）においても前駆的熱異常の上昇が見られる。このことから、山頂斜面に高温の溶岩が溶岩ドーム等を形成しつつ急速に噴出し、マグマ上昇に伴う減圧発泡によりブルカノ式噴火が発生した等の可能性が考えられる。また、このピークと伴に11- μ mバンドの熱異常が不連続的に高くなっている。これは爆発に伴って溶岩ドームが崩壊、火砕流が発生し、一時的に高温物質が広範囲に拡がったためと推定される。さらに、ベズィミアニでは2021年にも似たようなブルカノ式噴火が起きている（図11右）が、こちらは1.6- μ mバンドの前駆的熱異常は認められない。2021年では、溶岩は火口近くまで達したものの表面には直接噴出せず、内成的成長（浅所への貫入）により表面が温められていたのかもしれない。

4. 新たな観測手法の開発

離島火山の観測・解析手法開発の一環として、2022年1月にフンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山で発生した大規模海底火山噴火について、754 km離れたフィジーの1観測点の地震計と気圧計のデータを統合解析し、噴火の時系列の詳細な情報を得た。フィジーの地震計は主に噴火に伴う空振を記録している。地震計の空振に対する応答を定量的に評価することにより、地震波のパワーを空振によるものから分離することができた。噴火の始まりが4:00UTC頃であり、その時点ですでに通常の噴火よりもはるかに大きい地震を発生させていることが分かった。もしこの情報を的確に利用できたなら、噴火の発生をいち早く検出できた可能性がある(図12)。

夜間の静かな時間帯の背景ノイズレベル(SBL)は火山体内の状態を反映する新たな指標となり得る可能性があり、本課題ではその応用を進めている。霧島山新燃岳の噴火では、顕著な地震学的な前駆過程が見つかっていなかったが、SBLを調べることにより2011年噴火と2017年噴火それぞれの前数カ月にわたって連続微動が発生し、その振幅が成長していること、成長の時間変化は $(t_0-t)^{-1}$ に比例し、これは、噴火の前駆過程として様々な観測パラメータに適用されているFFM(Failure Forecast Methods)に対応させられることが分かった。震源が決められている新燃岳直下の連続微動や噴火微動と振幅比を比較したところ、SBLから検出された微動は新燃岳火口付近やや西方向の極浅部であると推定された(図13)。

本課題では、新たな観測機器の開発も進めており、今年度は、地震研と株式会社アコーが開発中の空振計について、南極や山岳地域での使用を想定した低温環境での性能評価を実施した。極地研低温環境実験室において -30°C の環境での28日間の動作試験を行い、火山観測や南極観測で使用実績のある空振計と比較したところ、周波数特性や位相特性の変化は見られず、低周波側でも良好な感度を示し、問題無く動作することを確認した。この新型空振計の消費電力は既存の空振計の半分以下(約35 mW)であり、野外観測に適している。現在、長期安定性の評価に向けて、浅間山と霧島硫黄山で連続稼働中である(図14)。

5. モデル実験

福徳岡の場合2021年やトンガ2022年噴火に関する物理過程解明のためのモデル実験の準備を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Watanabe A., Honda Y., Akiyama T., Tanaka S., Gresse M., Uyeshima M., Morita Y., 2022, Magnetization Structure and its Temporal Change of Miyakejima Volcano, Japan, Revealed by Uncrewed Aerial Vehicle Aeromagnetic Survey, Journal of Disaster Research, 17, 644-653, 10.20965/jdr.2022.p0644, 査読有

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Yasuda A., Ogawa T., Watanabe A., Sakashita S., Takeo M., Yanagisawa T., Honda Y., Kajiwaru K., 2022, An ultra-high-resolution autonomous uncrewed helicopter aeromagnetic survey in Izu-Oshima Island, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 425, 107527, 10.1016/j.jvolgeores.2022.107527, 査読有

Takeo M., Aoki Y., Koyama T., 2022, Recent volcanic activity at the Asama volcano and long-period seismic signals, Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and biological sciences, 98, 416-438, 10.2183/pjab.98.022, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

金子隆之, 2013, 衛星リモートセンシングによる伊豆大島の噴火推移観測, 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト, 課題間連携研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか: 伊豆大島火山を例にして」

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5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、三宅島、阿蘇、諏訪之瀬島等において火口近傍の多項目観測を継続し、観測量の間の関係やその物理的背景の解明を進める。
- ・海外の火山についても共同研究等で得られたデータの解析を進める。

2. 比較研究

- ・伊豆大島と三宅島など、複数の火山で得られた電磁氣的構造の比較研究を進める。
- ・国内火山のみならず海外の火山についても解析を進め、比較研究対象火山の多様化を進める。

3. 衛星データの活用

衛星画像を用いた噴火推移解析に取り組む。ひまわり8号の観測結果に、ALOS-2、WorldView、OMPS・TROPOMI等の複数の衛星画像を効果的に組合せて、解析を進める。主要な対象は、2018年新燃岳噴火とするが、他に重要な噴火が発生した場合は、機動的に対象を変更する。

4. 新たな観測手法の開発

- ・SBL解析による、火山活動の地震学的な前駆現象過程の解析を進める。
- ・開発中の新型空振計の長期安定性評価を継続する。

5. モデル実験

福徳岡の場2021年やトンガ2022年噴火に関する物理過程解明のためのモデル実験を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大湊隆雄（東京大学地震研究所）、金子隆之（東京大学地震研究所）、市原美恵（東京大学地震研究所）、小山崇夫（東京大学地震研究所）、青木陽介（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

寅丸敦志（九州大学）、杉岡裕子（神戸大学）、中道治久（京都大学防災研究所）、大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）、西村太志（東北大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大湊隆雄

所属：東京大学地震研究所

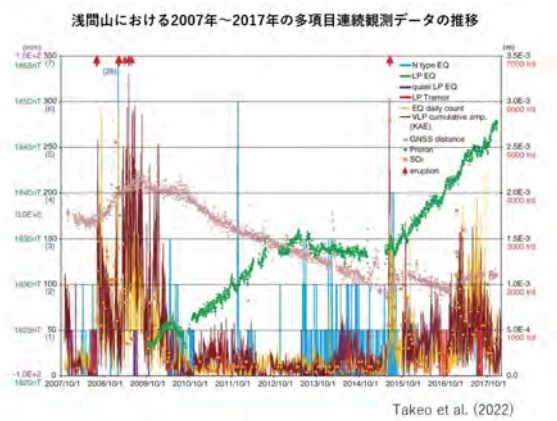


図1 浅間山における2007～2017年の多項目連続観測データの推移
N型地震の出現と地磁気変化異常が同期している。

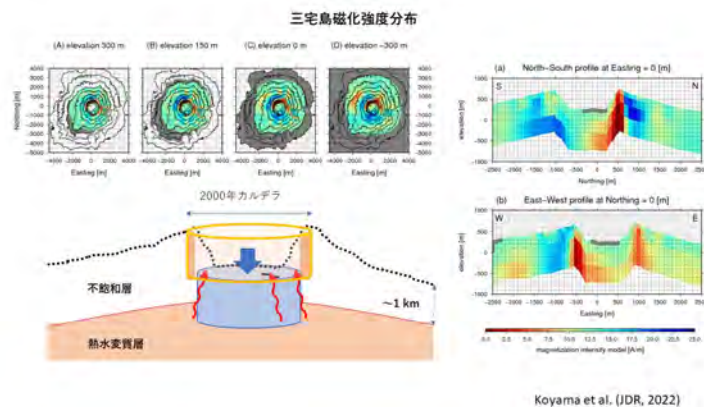


図2 三宅島磁化強度分布

左上：様々な深さ断面における磁化強度分布。平均的な磁化強度は12.4A/mと推定された。解像されていない箇所はグレーで塗りつぶしている。右：磁化強度分布の鉛直断面。左下：三宅島浅部構造の概念モデル。カルデラリムの弱磁化は破碎が進んでいることを示唆する。カルデラ底の下は特に弱磁化はしておらず、あまり破碎せずに沈降したことを示唆する。磁化強度の時間変化はカルデラリム内側で顕著であり、熱・高温ガスの通り道となっていることが示唆される。

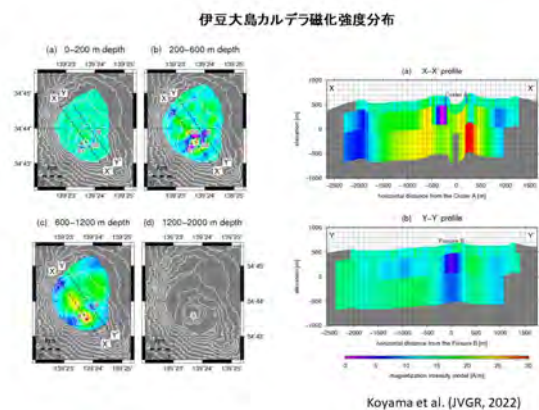


図3 伊豆大島カルデラの磁化強度分布

左：様々な深さ断面における磁化強度分布。解像されていない箇所はグレーで塗りつぶしている。右：磁化強度分布の鉛直断面。

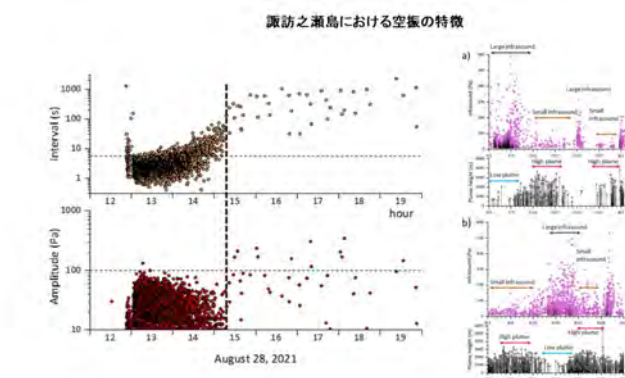


図4 諏訪之瀬島における空振の特徴

左：2021年8月21日の空振パルスの発生間隔と振幅の時系列

右：2021年7月と9月における空振パルスと噴煙到達高度の時系列

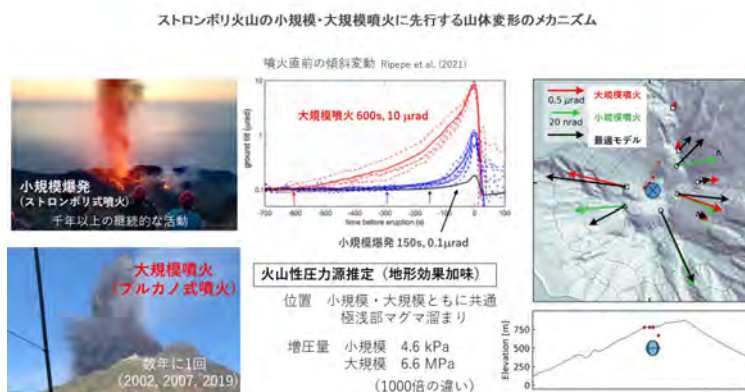


図5 ストロンボリ火山の小規模・大規模噴火に先行する山体変形のメカニズム

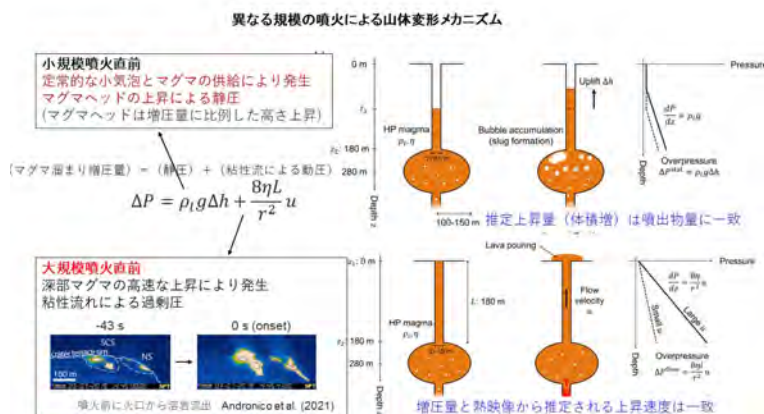


図6 異なる規模の噴火による山体変形メカニズム

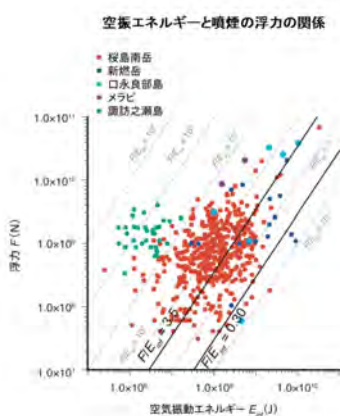


図7 空振エネルギーと噴煙の浮力の関係

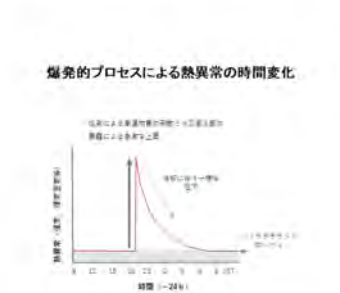


図8 爆発的プロセスによる生じる熱異常の時間変化

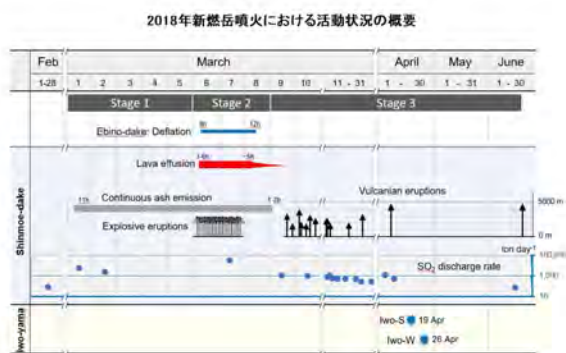


図9 2018年新燃岳噴火における活動状況の概要

新燃岳における熱異常の短期・中期変化と各種観測量の対応

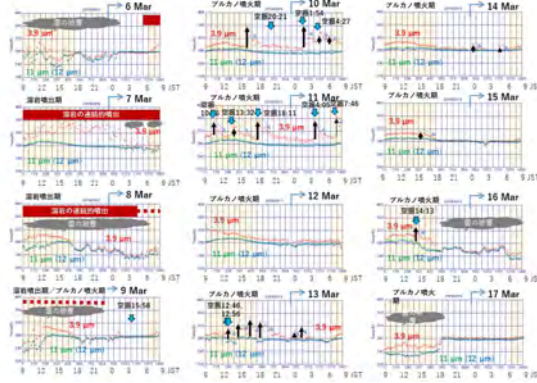


図 1 0 新燃岳における熱異常の短期・中期変化と各種観測量の対応

ベズィミアニ火山におけるブルカノ噴火(24h スケール)

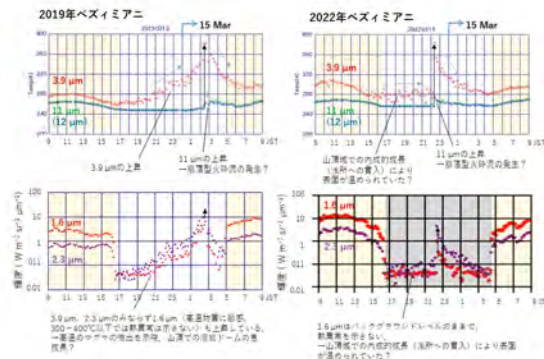


図 1 1 ベズィミアニ火山におけるブルカノ噴火 (24 h スケール)

地震・空振統合解析によるHunga-Tonga Hunga-Ha'apai 海底火山噴火の推移解明

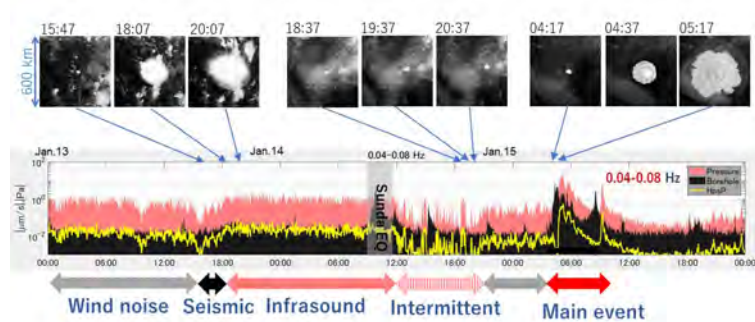


図 1 2 地震・空振統合解析によるHunga-Tonga Hunga-Ha'apai 海底火山噴火の推移解明

地震背景ノイズレベル(SBL)のモニタリングから噴火の前駆過程を探る

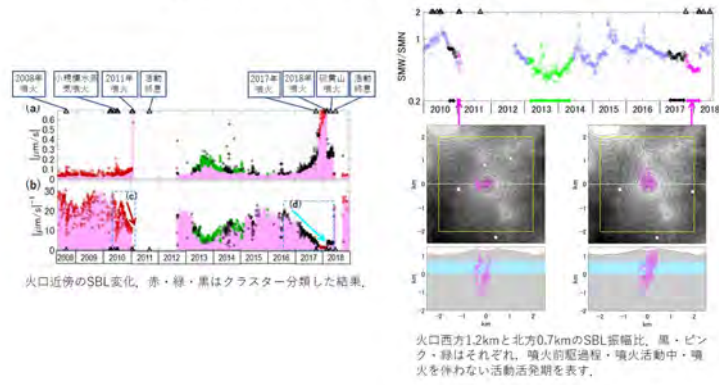


図 1 3 地震背景ノイズレベル(SBL)のモニタリングから噴火の前駆過程を探る

ACO製新型空振計の低温環境試験および他機種との比較

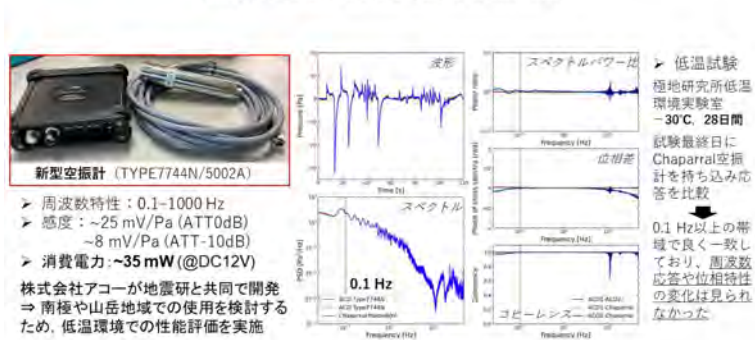


図 1 4 ACO製新型空振計の低温環境試験および他機種との比較

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本・NZ国際協力によるヒ克蘭ギ沈み込み帯における多様な地震活動と、その発生環境との関係の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

2 地震・火山噴火の予測のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

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

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本観測研究では北島北東部ギズボーン沖合で日・NZ・米国際共同による海域地震・地殻変動観測を行い、陸域の観測記録とともに2018年に設置された海底掘削孔内ひずみ・温度観測記録とあわせて、多様な断層すべり運動を詳細に把握する。また当海域で2017・2018年に行われた大規模海域構造調査の結果と比較して、その活動とプレート境界の構造的特徴およびその変化との関係について解明する。さらに、2021年頃に発生が予想されている、固着強度遷移域までに及ぶ大規模なスロースリップの直上観測を目的として、遷移域周辺にて国際共同による海域地震・地殻変動観測を実施する。一方陸域においては、スロースリップに伴うプレート境界周辺の構造的特徴の変化を捉えることを目的として、NZでは初めてとなる電話回線を用いたネットワークMT法による電磁気連続観測の計画を策定し、実施に向けた準備を行う。可能であれば、本計画期間中に観測を開始する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：

2018年3月終わりから4月前半にかけて、ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部において比較的大規模なSSEが発生した。本海域では2018年10月に海底地震計および海底圧力計を設置し、観測を継続しているところ

である。2019年11月に予定しているNZの調査船Tangaroaを用いた航海にて、これらの海底観測機器を回収し、データ解析を始める。この航海では新たに海底地震計などを設置の予定である。

これまでの陸域GNSS観測データから把握される海域におけるスロースリップの繰り返し発生現象から、ヒ克蘭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、ヒ克蘭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、観測網をヒ克蘭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年度からヒ克蘭ギ沈み込み帯北部で稼働している掘削孔内観測データなどを参照しつつ、通常の地震活動からスロースリップまで、多様な断層すべり運動の発生メカニズムについて考察を進める。

ネットワークMT法による電磁気連続観測について、引き続き計画の策定を行う。まずはヒ克蘭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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部のギズボーン沖では、陸域GNSS観測網からおおよそ2年周期でスロースリップイベント（SSE）が発生することが知られていた。2014年5月から2015年6月にかけて、海底地震計、海底圧力計、海底電位磁力計を用いた日本-NZ-米の国際共同による海域地球物理観測（Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip：HOBITSS）を行った。その結果、2014年9月から10月にかけて観測網直下で発生した大規模なSSEの直接観測に成功し、またそれに伴う海域下で発生するテクトニック微動活動を初めて明らかにした。陸域GNSS観測点に海底圧力計の記録を加えてSSEのすべり分布をかき席したところ、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いることがわかった（Wallace et al., 2016）。また、微動については陸域地震観測点でも確認できる120個を選択し、その時空間分布を解析したところ、活動分布が沈み込む海山周辺に限られていることが明らかとなった（Todd et al., 2018）。一方、海底地震計波形記録には、120個以上の微動が見られることから、なるべく完全な微動活動の時空間分布を把握することを目的として、観測全期間にわたる海底地震計観測記録のみを用いた解析を実施した。その結果、2590個の微動が検出され、その多くはSSEが発生した直後からバースト的に発生したepisodicなものであった。SSE発生期間前後以外の発生域は沈み込んだ海山の直上からアップディップ側の10~15 km程度に収まっているが、SSE発生期間の前後では発生域が40 km程度に拡大した。さらにこの海域の微動について、そのエネルギーの推定を行った。まず、Yarce et al. (2021) で、HOBITSSの海域地震観測網と陸域地震観測網のデータを合わせて、海域下で発生する地震の震源・マグニチュードから、各海底地震観測点のサイト増幅特性を求め、それを補正したうえで各観測点における微動のエネルギー・レート関数から平均のエネルギー・レート関数を計算し、継続時間で積分してエネルギーを求めた。今回求められた微動のエネルギーは $10^2 \sim 10^6$ Jにほとんどが収束しており、特に $10^3 \sim 10^5$ Jに多くのイベントが集中している。微動のエネルギー・レートは、多くのイベントが $10^1 \sim 10^3$ J/sに収束していた。この結果から、この海域で発生するテクトニック微動のエネルギーは、南海トラフ浅部をはじめ、東北沖や十勝沖のものと比較して1桁以上小さいことがわかった。今後、この周辺で実施された構造調査の結果と比較して、その発生条件などについて調べていく。

本海域における海域観測については、2018年10月に設置し、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。このSSEに伴う微動活動は、2014年の微動活動と同様、SSEのすべりが終息する時期に活動が活発化したことがわかった。2014年と2019年のSSEに伴う微動活動を詳細に比較するために、同じ手法を適用して活動解

析を進めている。さらに、2021年10月には、2018-19年と同じ海域で海底地震計9台を用いた観測網を構築し、1年間の観測を実施した。この観測網は2022年9月に全台回収し、現在解析を行っている。また、2022年10月には海底地震計10台を用いた同様の観測網を構築し、観測を継続している。本観測網は2023年10月ころに回収を予定している。

2020年11月には、前述のヒクランギ沈み込み帯北部からおよそ250 km南の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て、1年間の観測を実施した。本海域では約6年に一度の周期でSSEが発生しており、前回の発生が2016年だったことから、2021年から2023年頃に次のSSEの発生が見込まれており、このSSEの直接観測を目指して、海域観測網を展開した。コロナ禍で海外渡航が大幅に制限される中、NZの共同研究機関であるGNS Scienceから日本人研究者の入国許可が申請され、渡航人数を最小限の3人に絞った上、入国時にNZが指定する隔離施設に2週間滞在することを条件として入国が許可された。隔離期間があけてのち、GNS Scienceにおいて海底地震計、海底圧力計の整備を実施し、その後の航海で投入した。2021年5月には実際にSSEが観測網直下で発生し、これの直接観測に成功した。2021年10月の航海で海底観測機器全台を回収し、現在も解析にあたっている。初期的解析結果では、SSE発生以前から微動活動が始まり一度終息するものの、さらにSSEと同期して微動が活動しているように見える。また、微動活動の空間分布はプレート境界固着強度分布とよい一致を示しており、プレート境界周辺域における構造との関係が示唆される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

北島北東部ギズボーン沖合では、コロナ禍の中ではあったが、着実に日・NZ・米国際共同による海域地震・地殻変動観測を継続的に実施しており、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のための研究を進めている。これまでにSSEおよびそれに伴うテクトニック活動の観測網直下での直接観測に成功しており、これらの多様な断層すべりの時空間分布の詳細などを明らかにしている。また、過去の観測記録にさかのぼり、テクトニック微動のエネルギー分布も把握し、地下構造との比較検討ができるようになりつつある。

さらに、2021年頃に発生が予想されていた、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については、海陸統合地震・地殻変動観測網によって、その直接観測に成功し、SSEや、その周辺域のテクトニック微動活動の詳細な解明を進めている。

陸域においては、SSE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実施を計画していたが、実際にこの観測を開始した。

以上より、当初計画については着実に遂行しており、断層すべりイベントの直接観測など、当初予定を上回る成果を上げていると言える。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Iwasaki, Y., K. Mochizuki, M. Ishise, E. K. Todd, S. Y. Schwartz, H. Zal, M. K. Savage, S. Henrys, A. F. Sheehan, Y. Ito, L. M. Wallace, S. C. Webb, T. Yamada and M. Shinohara, 2022, Continuous Tremor Activity With Stable Polarization Direction Following the 2014 Large Slow Slip Event in the Hikurangi Subduction Margin Offshore New Zealand, *J. Geophys. Res.*, 127, 10.1016/j.epsl.2022.117443, 査読有, 謝辞有

Wang, W., M. Savage, A. Yates, H. J. Zala, S. Webb, C. Boulton, E. Warren-Smith, M. Madley, T. Stern, B. Fry, K. Mochizuki and L. Wallace, 2022, Temporal velocity variations in the northern Hikurangi margin and the relation to slow slip, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 574, 10.1016/j.epsl.2022.117443, 査読有, 謝辞無

Bassett, D., A. Arnulf, S. Henrys, D. Barker, H. van Avendonk, N. Bangs, S. Kodaira, H. Seebeck, L. Wallace, A. Gase, T. Luckie, K. Jacobs, B. Tozer, R. Arai, D. Okaya, K. Mochizuki, G. Fujie and Y. Yamamoto, 2022, Crustal Structure of the Hikurangi Margin From SHIRE Seismic Data and the Relationship Between Forearc Structure and Shallow Megathrust Slip Behavior, *Geophys. Res. Lett.*, 49, 10.1029/2021GL096960, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

米島慎二・望月公廣・山田知朗・篠原雅尚,2022,Average Vp/Vs ratio below the sediment layer derived from local earthquake time picks of the ocean bottom seismometer records,Japan Geoscience Union Meeting,SSS03-11

望月公廣・山下裕亮・山田知朗・Warren-Smith Emily・Jacobs Katie・Savage Martha・Wallace Laura・篠原雅尚,2022,Offshore tremor activities in relation to a slow slip event around the plate coupling transition zone in the central part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand,Japan Geoscience Union Meeting,SCG44-07

青山都和子・望月公廣・山下裕亮・山田知朗,2022,Comparison of spatiotemporal distributions of offshore tremor activities in the northern part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand,Japan Geoscience Union Meeting,SCG44-P21

Stephen Kwong・Martha K Savage・Emily Warren-Smith・Katie Jacobs・Laura Wallace・Kimihiro Mochizuki,2022,The PULSE Network: Building an Earthquake Catalogue to Further Understand SSEs on the Hikurangi Subduction Zone,American Geophysical Union Fall Meeting,T31A-04

Laura M Wallace・Yoshihiro Ito・Neville Palmer・Syuichi Suzuki・Ryota Hino・Charles A Williams・Kimihiro Mochizuki・Yusuke Yamashita・Emily Warren-Smith・Katie Jacobs・Martha K Savage,2022,Insights into the occurrence and characteristics of near-trench slow slip events at the central Hikurangi subduction zone from a recent seafloor geodetic experiment,American Geophysical Union Fall Meeting,T42B-07

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

ヒクラング沈み込み帯北部のギズボーン沖では、国際共同も含め、2012年から断続的に海域地震観測を実施してきた。2017年には同海域を含んだ大規模構造調査が行われるなど、これまでの地震波反射断面測線もあわせ、多様な地震活動と沈み込むプレート境界周辺の構造との詳細な比較研究が可能となってきた。これまでに海域地震観測で取得してきたデータを用いて、SSEや微動などの地震活動とプレート境界周辺の構造・物性との比較をし、その発生メカニズムの研究を進める。

2020年10月から2021年10月にかけて実施した、ヒクラング沈み込み帯中部のプレート間固着強度遷移域における海陸統合地震・地殻変動観測では、プレート間固着強度により相関を示すSSEおよびテクトニック微動活動が観測された。これらの断層すべり運動について、その時空間分布などを詳細に調べ、プレート境界面の物理的性質と断層すべりの特徴との関係について、検討を進める。

2022年10月には、再度沈み込み帯北部に海域観測網を構築し、引き続き観測を行っている。この観測網の回収を2023年10月に実施する予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

望月公廣（東京大学地震研究所）,篠原雅尚（東京大学地震研究所）,上嶋誠（東京大学地震研究所）,山田知朗（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）,木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

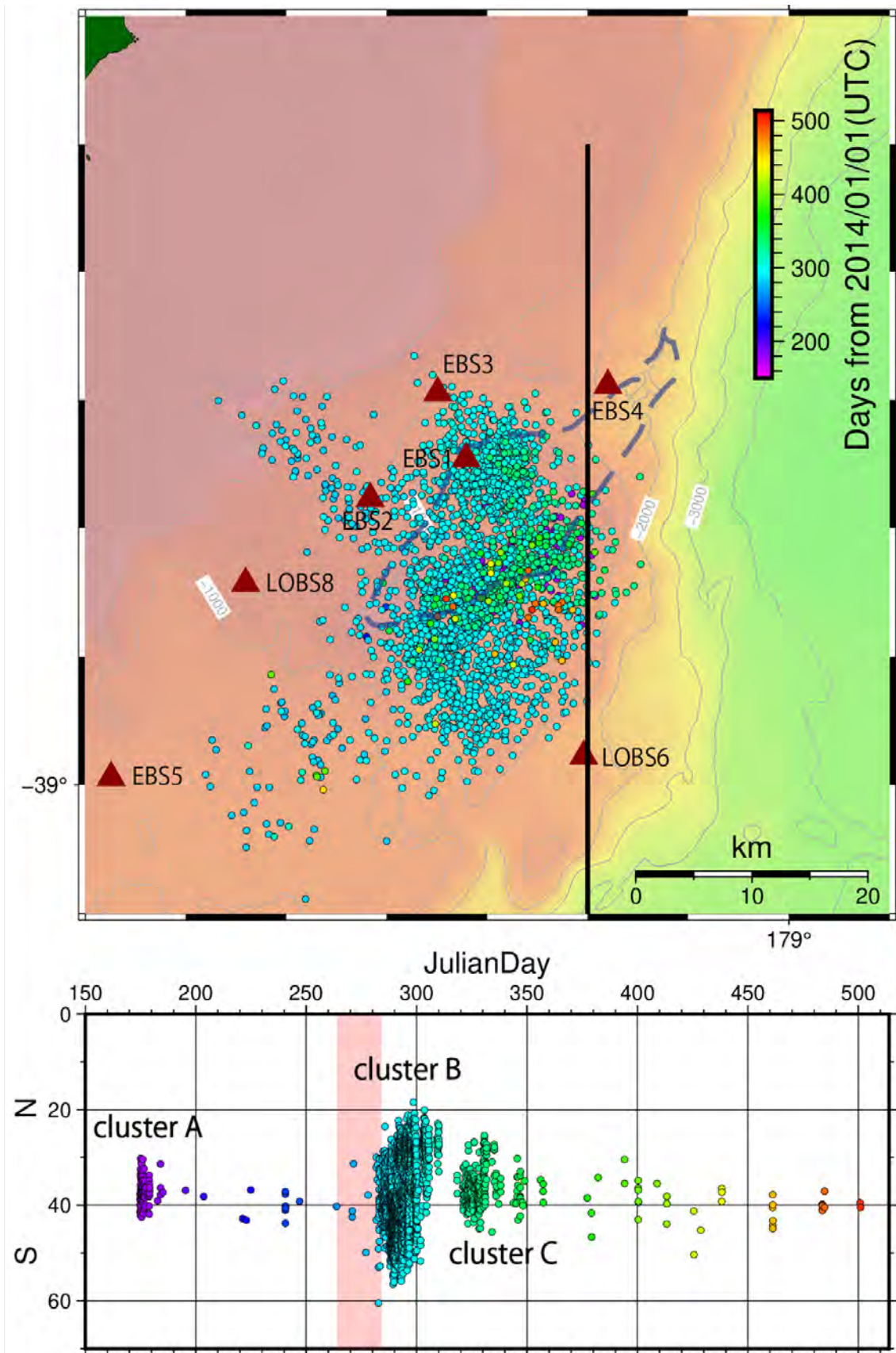
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

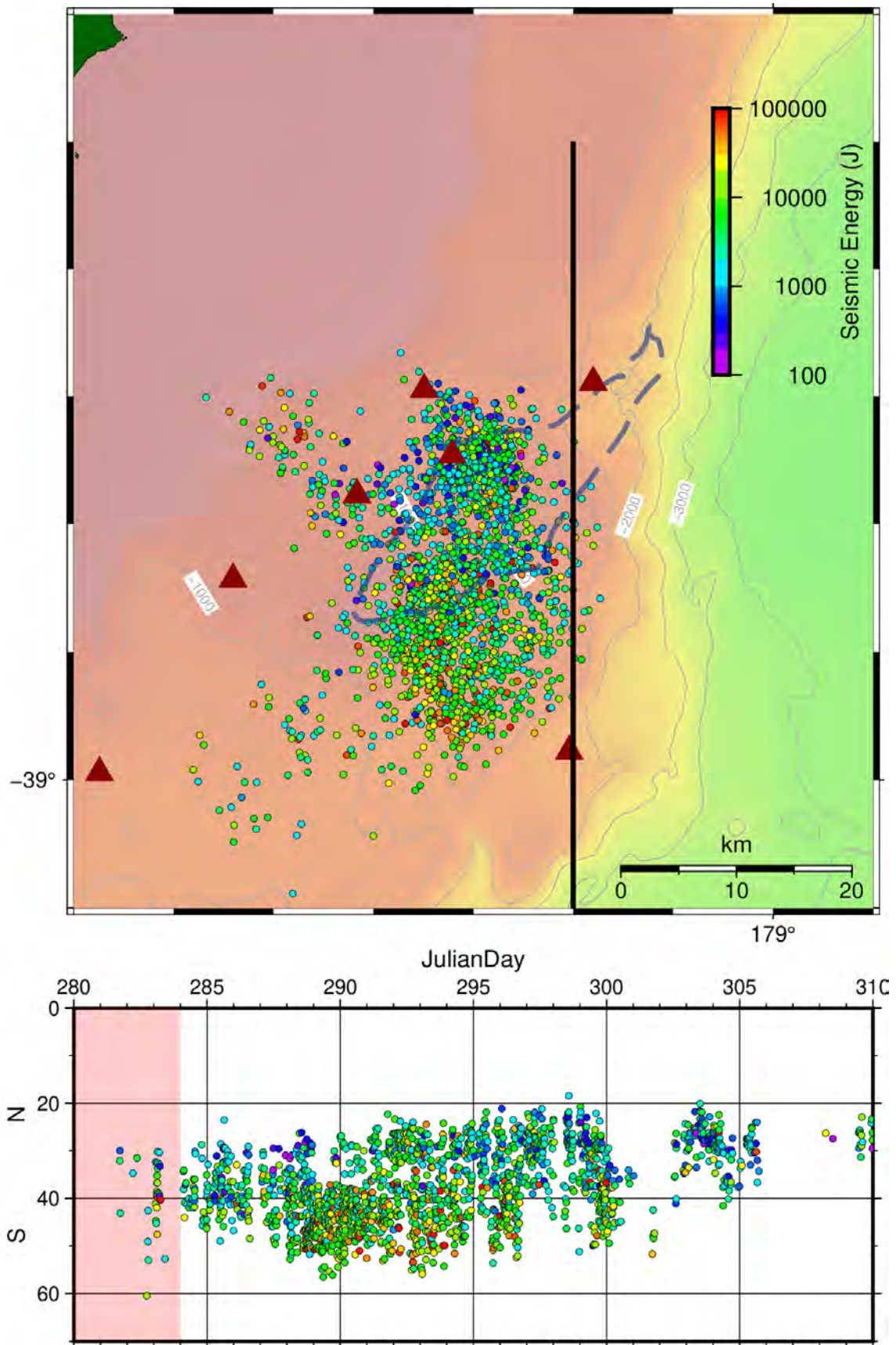
氏名：望月公廣

所属：



微動の時空間分布プロット

丸は微動の震央，青の波線は沈み込んだ海山，赤い三角形は検出に用いたOBS観測点の位置をそれぞれ表す。微動の震央プロットは，発生した日付で色付けしている。



SSE後に発生した微動のクラスターのエネルギーの時空間分布

検出した微動の震央図をエネルギーの大きさに色付けしている

(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：

内陸地震発生ポテンシャルの予測を目指した島弧の地殻応答と断層における地殻内流体の影響の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

この計画では、東北地方太平洋沖地震発生後、M7の福島県浜通りの内陸地震が発生し飛躍的に地震活動の増加した阿武隈山地より南側の、地震活動の増加が見られなかった北関東から2004年新潟県中越地震の震源域を通る島弧を横断する測線を調査対象とする。この測線において臨時地震観測とMT観測をおこなう。この観測研究により、地殻、マンツルの速度構造、減衰構造、比抵抗構造を明らかにする。また、モホ面やプレート境界面等の形状を明瞭にし、この地域の3次元的な構造を明らかにする。この構造は、基本構造モデルのデータとなるとともに、地殻活動のシミュレーションと連携して研究する際の基本データとなる。この測線上には、東北地方太平洋沖地震が発生する以前に発生した中越地震、また、地震後発生した長野県北部の地震が位置し、内陸地震とプレート境界地震の関係を調べることができる。さらに、長野県北部地震の領域は、火山地域であるため、地殻応答の観点から地震と火山の相互作用という視点からも重要な地域である。また、この測線は地殻内流体の存在によって活発になったと考えられるいわき地域の南側に位置し、地震活動の増加が見られなかった地域であるため、地震活動が活発化した地域と活発化しなかった地域との比較から、地殻内流体の影響について明らかにすることができる。この測線で得られたモデルをもとに、地震前後の東北日本弧の地殻活動の変化の再現を調査する。それにより、構造モデルの精緻化が期待できる。このように、地殻内流体と地震発生との関係を調査し、地震発生ポテンシャル評価にむけた研究を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

島弧の地殻・上部マンツルの高精度な不均質構造（3次元地震波速度・減衰・散乱構造、不連続面分布、断層面形状、比抵抗構造など）の推定をおこない島弧横断の地殻・マンツルの不均質構造モデル

の構築を目指す。その構造をもとに、地殻活動のシミュレーションの研究グループと連携し、地震発生ポテンシャルの解明に向けた研究を行う。各年度に下記の観測研究を実施する。

平成31年度には、島弧の地殻・上部マントルの高精度な不均質構造モデル（3次元地震波速度・減衰・散乱構造、不連続面分布、断層面形状など）を構築するためにいわきの地震活動域の南側から中越地域へ抜ける測線において、Hi-net等既存の観測点をもとに空白域を埋めるよう5点程度の地震観測点を展開し、自然地震観測を開始する。

平成32年度には、地震観測を継続するとともに、地震観測が行われている測線において10点のMT観測を実施し、地震学的研究だけでなく電磁気学的研究もおこない、総合的な理解を目指す。

平成33年度には、地震観測を継続するとともに、Hi-net等定常観測点と臨時観測点とのデータを合わせて解析を進め、測線上での地震学的研究による構造の解明を行う。

平成34年度には、地震観測を継続するとともに、電磁気観測では平成32年度に展開した測線での観測を補充する10点でのMT観測を実施する。これにより、島弧断面について2次元的でなく3次元的構造の理解を目指す。

平成35年度には、平成34年度に実施した測線に対して、地震学的研究と電磁気学的研究をもとにした総合モデルを作成する。さらに、それらの結果をもとに地殻内流体と地震の関係を調べる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

内陸地震発生メカニズムを解明することは、災害を軽減するために非常に重要な課題である。内陸地震のメカニズムを理解するためには、断層への応力集中とひずみの蓄積について理解することが重要である。また、内陸地震発生には地殻内流体の存在が大きく関係していることがわかってきている。そのような地殻内流体が、島弧のシステムの中でどのように生成され、移動し断層近傍に存在するのにかつて理解することは内陸地震の発生ポテンシャルを理解する上で重要な研究課題である。2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、プレート境界での滑りや余効変動による滑りによって、島弧はひじょうに大きな影響を受けた。地震活動が活発になった地域もあれば、活動が抑えられた地域もあり、東北地方太平洋沖地震による地殻応答の解明は重要な課題となっている。この課題では東北地方太平洋沖地震の発生以降大きな地震活動の変化がみられたいわき周辺やその南側の地域より、日本海側にかけて島弧を横断する測線において解析を行い、地震学的解析や電磁気学的解析を行い、島弧の横断構造を明らかにし、地震活動と地殻流体の存在との関係を明らかにし、内陸地震発生のポテンシャル解明を行うことを目的としている。

今年度はいわきの地震活動域から新潟に延びる測線において電磁気学的構造について、さらに詳細な構造を明らかにする研究をおこなった。この領域では3本の測線において解析を行っている。昨年度は中央の測線1本の測線のデータをもとにして構造を求めたものであるが、今年度は3本すべての測線の解析において解析を行いより正確な構造を求めた。中央の測線の構造では測線上において上部地殻からマントルにかけて3つの領域で低比抵抗域が検出できたことが報告されている。ひとつは火山フロント中心部の低比抵抗域であり、マントルから地殻中部まで見られた。2つ目は火山フロントの前面部に位置し地殻中部に存在する低比抵抗域である。3つ目は、測線の西端での上部地殻に存在する低比抵抗域である。この特徴的な構造は、他の2つの測線でも見られた。中央の測線の結果同様に、火山フロントの背弧側に顕著な低比抵抗域がマントルから地殻にかけて見られる。

また、いわき市周辺の地震活動域と比較する目的で調査した、ひたちなか市から柏崎市にかけての測線においても、解析が行われた。沈み込む太平洋プレートの上部から火山である高原山にかけて続く低比抵抗域が検出された。また、燧ヶ岳の下部地殻においても低比抵抗域が検出された。今後は、これら2つの測線を比較することにより、いわきの地震発生域の地震の原因を明らかにするとともに、内陸地震の発生ポテンシャルの解明を目指す。

また、庄内平野で取得したデータについても、さらにデータを増やして解析を進めた。水平断面の結果からみると、地下1kmでは平野や盆地の堆積層に相当する部分が低比抵抗域になっており、地下10kmでは鳥海山と月山の下に局所的に低比抵抗域が存在することが分かった。また、地下20km以深では低比抵抗域が本領域の北東側及び南側に広く分布していることが分かった。さらに、南北に近い5つのラインに沿う比抵抗構造の鉛直断面図において、震源分布と比抵抗構造を比較すると、地震発生層の下限が浅部の高比抵抗とその下の低比抵抗の境界と対応していることが分かった。日本海に近くでは上部地殻の高比抵抗域が厚くなり、地震発生層も厚くなるのに対して、脊梁山脈の近くでは上部地殻の高比抵抗域が薄くなり、地震発生層も薄くなることが分かった。また、定量的評価として地

震発生層の下限の下の地殻の比抵抗値はおおよそ30 m ~ 100 mであることが分かった。

さらに、乾燥岩石、電解水、メルトの比抵抗の値の研究結果と観測された比抵抗値を比べた。乾燥岩石の比抵抗値は温度により減少するが、800°C以下では温度の影響だけでは地震発生層の下の低比抵抗値を説明できないことが分かった。そのため、南東北の背弧側の下部地殻は、高温又は水やメルトなどの流体に富んでいる可能性があることが明らかとなった。次に火山活動との関係について考えてみると、鳥海山、月山は下部地殻の低比抵抗域の西端に存在し、鳥海山、月山ともにその下は低比抵抗であり、低比抵抗域は下部地殻まで続いていることがわかり、深部低周波地震も火山に対し東側に存在していることが分かった。このことは、鳥海山、月山の東の下部地殻は水やメルトに富んでおり、低比抵抗域は流体の移動経路を示している可能性が示唆される。また、低周波地震は低比抵抗域の縁に存在していることがわかった。

能登半島での活発な地震活動を受けて、珠洲市での地震観測を実施した。珠洲市折戸町から正院長町にかけて南北に測線長約8 kmの測線において、200m間隔で43点の地震観測点を展開した(図1)。センサーは固有周期4.5Hzの3成分の地震計で、GEOSPACE社のGSX-3を使い250Hzサンプリングで収録した。観測された地震波形において後続波が観測された(図2)。後続波は、水平動より上下動において顕著であり、P波であると考えられる。そのため、震源からP波で射出し反射面で反射したPxP波であると考え、反射面が水平に存在すると仮定し、その反射面の深さを推定した。その結果、深さ15kmから17kmの深さに存在する可能性が示唆された。日本国内では多くの内陸地震の震源域の直下において、顕著な反射面がみられ、地殻流体が存在する可能性が示されてきている。また、それらの地殻流体が地震の発生とつながっている可能性が示されてきている。この地域も観測された反射面が地殻流体と関係し、地震の発生の原因となっている可能性が考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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

建議の1(5)においては、「プレート境界域や海洋プレート内部及び内陸を含む地殻・マントル内の地震発生域及び火山地域において、地震波速度・減衰構造、地震活動、応力場、変形場、比抵抗構造、レオロジー構造等を明らかにすることで、地震や火山活動が発生する場のモデル化を進める」とあり、まさしく、内陸域の地殻・マントル内の地震発生域の地震波構造、比抵抗構造を明らかにした研究であり、建議の記載の目標達成への貢献をしている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

白田優太・飯高隆・蔵下英司・五十嵐俊博・小原一成・加藤愛太郎・酒井慎一・中川茂樹・武田哲也,2022,北茨城-いわき地域における稠密アレイで記録された地殻内S波反射波イメージング,地震,75,125,doi: 10.4294/zisin.2021-13,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

飯高隆(東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所),酒井慎一(東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所),上嶋誠(東京大学地震研究所),白井嘉哉(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

市來雅啓（東北大学）,坂中伸也（秋田大学）,山谷祐介（産業技術総合研究所）,小川康雄（東京工業大学）,津村紀子（千葉大学）,他、これまでに行ってきた内陸地震研究の合同観測の後継の研究運営方式をとり、全国の大学に呼びかけ参加者を募って実施する。

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：飯高隆

所属：東京大学地震研究所・東京大学大学院情報学環

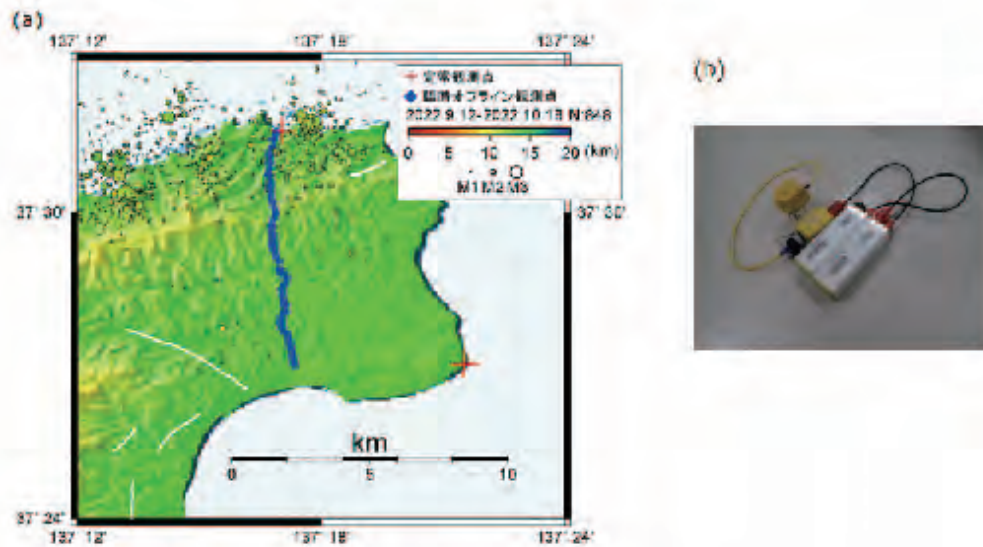


図1 観測点分布(a)と観測機材(b)

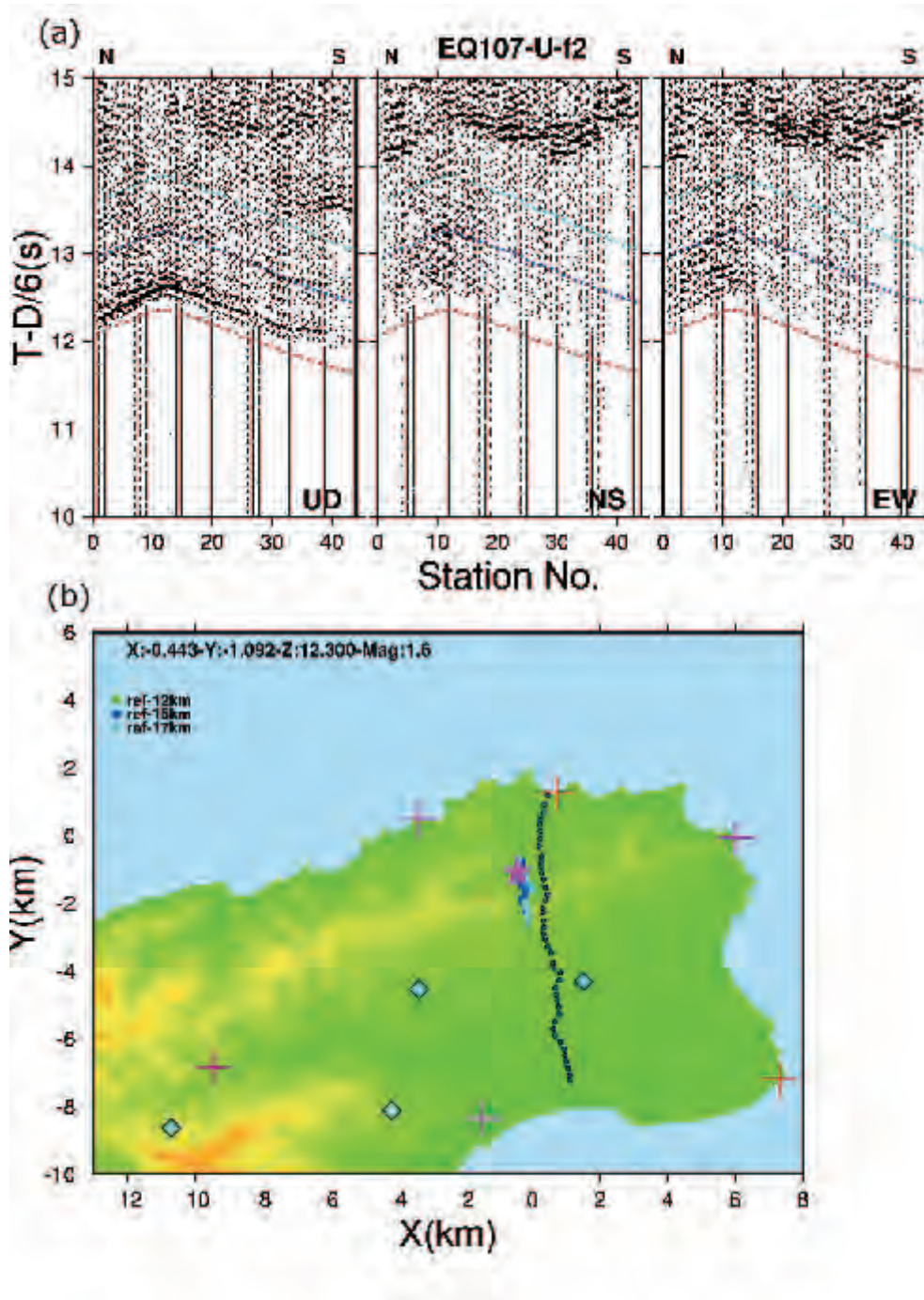


図2 波形例(a)と反射点分布(b)

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究の中心となる観測点である松代（長野県）では、2019年にTT70型超伝導重力計（011号機）が冷凍機のトラブルのため運転停止となって以降、一時的措置として、小型の超伝導重力計（iGrav型028号機）による観測が続けられてきた。令和3年度の末に、TT70型011号機の代替として、超伝導重力計（CT型036号機）を石垣島（沖縄県）から松代へ移設した。現在は、同じ観測室の中に、CT型036号機とiGrav型028号機という2台の超伝導重力計が置かれている状態である。CT型036号機の松代での設置作業は令和4年3月から開始されたが、磁場の調整に用いる装置の不具合などの要因により、現在でもまだ支持磁場の勾配（バネ定数に相当する）を本来の状態まで弱めることができていない。このため、CT型036号機はまだ試運転の状態と位置付けられる。とはいえ、設置後約1年が経過した現在、冷凍機の精密アラインメントやデータ収録システムの整備などの周辺部の調整は完了しており、ノイズレベルやドリフトの点ではCT型036号機はiGrav型028号機とほぼ同等の品質のデータを生産している。

東日本各地での絶対重力測定に関しては、松代以外に、弟子屈（北海道）、蔵王（宮城県）、富士山（山梨県）において実施した。弟子屈および蔵王では、それぞれ産総研および東北大学と協力し、超伝導重力計の経年的なドリフトを検定する作業を進めている。富士山では、山麓と中腹とで2台の絶対重力計を同時に動かし、重力値の差を精密に決定した。これによって、サーベイなどに使用する相対重力計の感度検定に有用な測線を構築することができた。

東北地震後の水沢（岩手県）における長期的な重力変化に関しては、衛星重力観測や水文学の専門家も含む研究チームを組織して検討を進めてきた。まもなく論文を投稿する予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

今西祐一・高森昭光,2021,超伝導重力計における磁気浮上の有限要素法によるシミュレーション,東京大学地震研究所彙報,96,3-4,doi:10.15083/0002003430,査読有,謝辞無

Imanishi, Y.,2022,Inertial effects due to eruption-induced atmospheric disturbances identified by superconducting gravimeter observations at Matsushiro, Japan,Earth Planets

Space,74,54,doi:10.1186/s40623-022-01615-4,査読有,謝辞無

Imanishi, Y., Nawa, K., Tamura, Y., Ikeda, H.,2022,Effects of vertical nonlinearity on the superconducting gravimeter CT #036 at Ishigakijima, Japan,Earth Planets

Space,74,73,doi:10.1186/s40623-022-01609-2,査読有,謝辞無

今西祐一・西山竜一・本多 亮,2022,富士山における2台のFG5による絶対重力測定（2022年9月）－相対重力計検定ラインの構築およびFG5の器差検定－,東京大学地震研究所彙報,97,1-11,doi:10.15083/0002005972,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

田村良明・今西祐一・西山竜一・風間卓仁・松尾功二,2022,国立天文台水沢の超伝導重力計で観測された2011年東北地方太平洋沖地震発生後の重力変化,日本地球惑星科学連合2022年大会

今西祐一・高森昭光,2022,超伝導重力計における磁気浮上の有限要素法によるシミュレーション,日本地球惑星科学連合2022年大会

名和一成・今西祐一・池田博・本多亮・岡大輔・白川龍生・大井拓磨・高橋浩晃・大園真子・青山裕・岡田和見・山口照寛,2022,道東・屈斜路カルデラとその周辺で観測される短期的重力変化,日本地球惑星科学連合2022年大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

松代に移設した超伝導重力計CT型036号機の支持磁場について、最終調整を行う。その際に問題になることは、ここ2～3年で世界的に液体ヘリウムの供給量が激減し、入手性が極度に悪化したことである（磁場の調整作業では液体ヘリウムを多量に消費する）。今後、液体ヘリウムの供給事情が改善されなければ、現状のままで本観測に入る可能性も考えられる。並行観測しているiGrav型028号機は、次期建議との関連で、令和5年度または6年度に他観測点へ移動する。

絶対重力測定は、松代のほか、神岡（岐阜県）、蔵王（宮城県）、富士山（山梨県）において実施する。この中で、神岡での測定は、新型コロナウイルス感染症の影響などでたびたび延期されてきたが、実施できれば2019年以来となる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

今西祐一（東京大学地震研究所）, 西山竜一（東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
三浦哲（東北大学）, 田村良明（国立天文台）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今西祐一
所属：東京大学地震研究所



図1

松代観測点（長野県）に設置された超伝導重力計（CT型036号機；右奥）。左は2019年から稼働している超伝導重力計（iGrav型028号機）。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生予測のための島弧-海溝システムの観測-モデリング統合研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生 of 新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- (4) 火山現象の解明とモデル化
 - ア. 火山現象の定量化と解明
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生 of 新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- (4) 中長期的な火山活動の評価
 - ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は、観測と日本列島基本構造モデルの構築・更新と地殻活動予測を統合的に実行し、地殻活動予測、巨大地震発生予測、火山噴火予測を含む多様な地殻活動についての定量的な理解を深めることを目的としており、数値計算、海陸地震観測、日本列島基本構造モデル、長期間地殻変動の4つの研究を実施する。

数値計算：前計画までの成果を踏まえ、日本列島を含む広範な領域（千島弧、東北日本弧、西南日本弧、伊豆小笠原弧、琉球弧、および朝鮮半島、ロシア沿海州、中国沿岸部）を対象として三次元有限要素モデルを構築する。稠密な地殻変動データを用いて、各プレート境界領域で進行するすべり状態と地下の粘性構造を推定する。地殻変動データとしては、国土地理院のGNSSデータに加えて、アメリカのネバダ大学が公開している全世界の地殻変動データが利用可能である。特に、大陸部のデータは深部の粘性構造を推定する上で重要である。推定した粘性構造とすべり速度欠損分布を用いて内部応力状態を求め、地震活動データと比較検討しながら、観測された地殻変動・応力状態と調和的なモデルを求める。このモデルの中に震源断層を置き、それぞれの断層面上に作用するクーロン応力変化を求め、上盤プレート内の地震発生の長期予測を行う。上記で用いた地下構造モデル、震源断層モデルは観測の進展・データの集積に応じて適宜更新し、長期予測も随時更新していく。

海陸地震観測：日本海から日本列島を横切り日本海溝または南海トラフに抜ける長大な測線を設定する。海域部の測線上に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施する。また、陸上に

は地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析・表面波解析を実施して、深部までの構造を求める。この測線上で大容量エアガンレイ、ハイドロフォンストリーマ、海底地震計による地震波速度構造探査実験を行い、深部構造の解析に必要な測線下の構造の情報を得ることも目標である。

日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルを基礎として、本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。これに加えて、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定、Hi-netの震源再決定の結果を用いた広域の地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新など、データの集積に応じたモデルの更新を行う。また、同時に進行するプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

長期間地殻変動：断層深部形状を考慮し、第四紀後期の西南日本・東北地方の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31(令和1)(2019)年度

- ・数値計算：日本列島域の三次元有限要素モデルを構築する。千島海溝の固着の進行にともなう北海道地域の震源断層の応力蓄積速度を求める。

- ・海陸地震観測：他プロジェクトにより、東北日本日本海側を主な対象域とした構造探査実験が計画されており、この構造探査と連携する形で、東北日本太平洋側の地震地殻上部マントル構造をもとめる実験を実施する。

- ・日本列島基本構造モデル：同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、東北日本・日本海側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和2年(2020)度

- ・数値計算：南海トラフー琉球海溝におけるプレート境界プロセスによる西南日本域の震源断層面上のクーロン応力変化を検討する。

- ・海陸地震観測：想定する測線上の海域部に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施す。また、陸上には地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。

- ・日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルに本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、東北日本太平洋側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和3(2021)年度

- ・数値計算：東北地方太平洋沖地震後10年間の粘性緩和にともなう上盤プレート内の震源断層の応力変化を評価する。

- ・海陸地震観測：前年度に設置した長期海底地震計および陸上の地震観測点を回収する。

- ・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新を行う。また、同時に進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和4(2022)年度

- ・数値計算：関東地方および伊豆小笠原弧の応力状態について、東北沖地震、相模トラフ、伊豆小笠原海溝のプレート境界プロセスの影響を検討する。

- ・海陸地震観測：前年度までに得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析・表面波解析などを実施して、深部までの構造を求める。
- ・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新を行う。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。
- ・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和5(2023)年度

- ・数値計算：4年目までに検討したプレート境界プロセス間の相互作用を検討し、今後数十年スケールの応力変化についてまとめを行う。
- ・海陸地震観測：数値モデルによる地震発生ポテンシャルの検討に向けて、これまでの解析結果をとりまとめて、日本列島の基本構造の構築・更新を行う。
- ・日本列島基本構造モデル：大規模構造探査の観測結果や海底ケーブル観測網による海域の震源再決定を反映させたプレートモデルと、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形的研究、Hi-netの震源再決定結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層・レオロジーモデルの更新についてまとめを行う。
- ・長期間地殻変動：西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動と、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートのとりまとめを行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

数値計算：文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト（2012-2016）」では、関東地方の伏在断層の矩形モデルが得られた。これらの断層の滑り方向を求めるため、断層にかかる最大剪断応力方向が断層のすべり方向であると仮定し、Terakawa & Matsu'ura (2010)による応力場を適用して、各断層のすべり方向を得た（図1）。関東地方の応力パターンは、基本的に太平洋プレートの沈み込みによる東西圧縮と伊豆小笠原弧の衝突に支配され狭い領域で変化する。そのため、逆断層運動を基調とするものの横ずれ成分も加わり、断層によってすべり方向は大きく変化する。これらの断層に対し、東北地方太平洋沖地震前後10年間の応力変化を求める。東北沖地震前後のすべり分布は橋間ほか（日本地球惑星科学連合2022年大会、地震予知連絡会会報）のモデルを適用した。結果を昨年度の東北地方における断層での応力変化と合わせて示す。関東地方の特に南部の断層については、フィリピン海プレートのプレート境界に近いこともあり、計算結果が発散する結果となったため、北関東の断層についてのみ応力計算結果を示す（図2）。東北沖地震前の固着時は東北地方の断層と異なり、断層にかかる応力は北関東の断層活動に対しては抑制的に働く。東北沖地震後は逆に北関東の断層については逆に断層活動に対しては促進的に働く。これらの結果は東北沖地震の変形が北関東の断層に対して伸張的に働くために、断層強度を低下させるためと考えられる。今後、南関東も含めたより精度の高い応力計算のためには、モデルの更新とともに、各震源断層の形状や断層物性の把握が必要である。

参考文献

Terakawa, T., and M. Matsu'ura (2010), The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626.

橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也・松原誠, 2022, 2011年東北沖地震前後の東北地方の震源断層への応力蓄積, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-08.

橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也, 2022, 日本海溝におけるプレート間相互作用による東北日本背弧域の震源断層への応力蓄積, 地震予知連絡会会報, 108, 654-656

海陸地震観測：

(1)2019年東北日本弧中部陸域地震探査の屈折・広角反射法解析

日本海地震・津波調査プロジェクトの一環として2019年に実施した地震探査の陸域部（図3）について、2021年度 (Iwasaki et al., 2021) に引き続いて屈折・広角反射法データ処理・速度構造モデル構築を行った (Iwasaki et al., 2022)。2021年度までは、走時解析を主体として速度構造モデルを構築した。2022年度は、これまで得られたモデルに対して理論波形 (synthetic seismogram) を計算し、走時データに基づくモデルで任意性の残されていた6 km/s層上面付近の構造及び中部・下部地殻、上部マントルの速度と境界面の速度コントラストについて振幅情報を取り入れた推定・修正を行った。尚、今回の一連の解析においても、当該測線屈曲の影響を抑える目的で、波線追跡において距離補正を行っている。

前年度までに提出したモデルから計算される理論波形は、特に測線の最西部（庄内平野）及び最東部（北上山地）のshot記録において、offsetが5-10 km以内に現れる顕著な後続波を十分説明できていない。更に、6 km/s層からの屈折波について幾つかのoffset範囲で観測記録には見られないshadow zoneが出現する。このような欠点の解消を目指して、地殻最浅部を構成する堆積層及び6 km/s層上面の形状と速度（速度コントラスト）の修正を行った。得られた浅部構造を図2に示す。図中の茶色の枠内（A及びB）が、庄内平野及び北上山地域での修正箇所である。測線最東部の地殻上部（B枠の深さ5.5 kmまで）の6 km/s層の速度は5.8-6.25 km/sであり、前回のモデルと比較してその深部において0.1 km/sほど速い。この結果は、これまでの制御震源地震探査から得られた北上山地下の構造 (Iwasaki et al., 1994; 2001) の特徴とより整合的になった。但し、修正後の構造においても、その最浅部が1.6-2.0、1.8-3.5、3.5-4.5及び4.5-5.5 km/sのP波速度を持つ4層から成ること、各々の層の速度・厚さが水平方向に著しく変化すること、及び形状がSato et al. (2020a,b) による反射法断面解釈に基づく断層及びカルデラの位置とよく対応することについては、前回まで提出してきたモデルの特徴と変わらない。

深部構造については、これまでの解析から、特に深さ24-26 kmに顕著な反射面が存在し、Mohoは30-32 kmに存在することが明らかになっていた。理論地震波形計算を元に、上記の特徴を重点的に説明するように修正を行った速度構造モデルを図3に示す。今回の計算によれば、深さ24-26 kmの面での速度コントラストが0.3 km/s、Moho面でのコントラストが0.2-0.3 km/s程度であることが要請される。図5のモデルは、これらの要請及び初動走時から推定されるPn波速度（7.7-7.8 km/s）を拘束条件として構築したものである。このモデルの下部地殻・上部マントル付近の構造の特徴を示す目的で、図6にその速度profileの概念図をこれまでのモデルと比較して示した。図6(b)で明らかのように、今回のモデルはこれまでのモデル（図6(a)）と比較してMoho面直上の構造が複雑である。即ち、地殻最下部の速度が7.0-7.1 km/sで、Moho面直上に厚さ2km程度で速度が7.1-7.5 km/sの速度遷移領域が存在する。また、モホ面下の深さ38及び46kmに推定されていた不連続面での速度コントラストについては、0.1-0.2 km/sと推定された（図5）。

図7に、このモデルから計算されるショット60001（図3及び4参照）の理論波形を観測波形と比較した。図中の黄色の矢印は深さ24-26 kmからの反射波、赤の矢印がMohoからの反射波（PmP波）を指している。図6(a)で示したこれまで速度構造から計算される理論波形では、PmP波が広範囲（offset 90-130 km）で顕著になる一方、深さ24-26 kmからの反射波が極めて微弱となり、その特徴が観測波形と大きく異なる。これに対して、今回提出したモデルによる理論波形（図7(b)）は、全体として観測波形（図7(a)）の特徴（反射波の出現範囲・相対的な振幅）をよく説明していると考えられる。

参考文献

- Iwasaki, T., Yoshii T., Moriya T., Kobayashi A., Nishiwaki, M., Tsutsui T., Iidaka, T., Ikami, A. & Masuda, T., 1994. Precise P and S wave velocity structures in the Kitakami massif, Northern Honshu, Japan, from a seismic refraction experiment, *J. Geophys. Res.*, 99, 22187-22204.
- Iwasaki, T., Kato, W., Moriya, T., Hasemi, A., Umino, N., Okada, T., Miyashita, K., Mizogami, T., Tajeda, T., Sekine, S., Matsushima, T., Tashiro K. & Miyamachi, H., 2001. Extensional structure on northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, *Geophys. Res. Letters*, 28, 2329-2332.
- Iwasaki, T. et al., 2021. The upper crustal structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling II, *JpGU Meeting*, SCG49-05.
- Iwasaki, T. et al., 2022. The crust and uppermost mantle structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling,

JpGU Meeting, SCG49-05.

Sato, H. et al., 2020a. Seismic transect across the central part of Northern Honshu, Japan, 2020 JpGU-AGU Joint Meeting, MIS03-P05.

Sato, H. et al., 2020b. Deep seismic reflection profiling across the Shonai and Shinjo basins, northern Honshu, Japan, 2020 Spring Meeting of JAPT, 016.

(2)2019年東北日本海陸統合探査海域測線における長期海底地震観測

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。そこで、最上部マントルまでの詳細な構造を求めるために、令和元年には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、太平洋側から日本海溝までの構造探査を行った。日本列島における地震発生・地殻変動の定量的研究には、リソスフェア・アセノスフェア境界に至るまでの深部構造を把握することも重要である。太平洋側では、令和元年の構造探査に引き続いて、これまでの観測例が少ない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で構造探査測線上に5台の長期観測型海底地震計を設置して観測を行った。令和4年度は、令和元年度に行った日本海における構造探査測線上に、2022年11月に小型広帯域地震計7台を設置して、長期海底観測を開始した。設置は、海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」KH-22-9次航海にて実施した。同研究航海では、深部構造を求めるための情報として、小型広帯域地震計を設置した測線において、GIガンとハイドロフォンストリーマによる反射法地震探査を行い、浅部構造を把握した(図8)。観測は1年程度継続した後に、レーザー関数解析などの深部構造を得るための解析を実施する予定である。

日本列島基本構造モデル: 森本・富樫断層帯の重点的な調査観測の一環として、同断層帯の断層形状を推定する目的で、断層帯中央部において測線長24 km、中型パイプロサイズ車4台を震源とする深部構造探査を実施した(図9)。受振点間隔25 m、発振点間隔50 m(断層地表位置近傍の約1 km区間は25 m)、総受振点数約970点である。また、反射法の総発振は約340点、屈折法の集中発振点は6点である。今後、観測データを元に反射法・屈折法解析に基づき深度断面を推定し、断層形状や断層関連褶曲などの構造推定を行う。

長期間地殻変動: 東北日本・日本海側の長期間地殻変動を推定する目的で、葡萄山地南西端に分布する海成段丘面の離水年代の推定のために、新潟県村上市岩ヶ崎にて花崗岩類を基盤とする更新世の海成中位段丘および完新世海成段丘(離水ベンチ群およびノッチ)において採取した試料について、宇宙線生成核種年代測定法による地表面露出年代推定を行った。また、比較検討を目的として、テフロクロロジーに基づき最終間氷期に形成されたとされる青森県深浦町(宮内, 1988; 小池・町田(編), 2001)にて採取した試料についても、同様に地表面露出年代推定を実施した。加速器質量分析用に試料の前処理・精製を弘前大学および東京大学タンデム加速器研究施設にて実施した。また、東京大学タンデム加速器研究施設にて $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ の質量分析を行った。得られた $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 比から石英中の ^{10}Be 濃度を算出し、その値に基づいて調査地域の地表面露出年代値を推定した。その結果、深浦町行合崎で採取した試料では、離水後の浸食速度を 0.02 mm/yr と仮定した場合、離水年代が約8.5万年前と推定された。また、村上市岩ヶ崎では、離水後の浸食速度を 0.01 mm/yr と仮定した場合、離水年代が約12.1万年前と推定された。これらは周辺の段丘面の編年・分布から間接的に推定された海成段丘面の形成年代と矛盾しない。

参考文献

宮内崇裕, 1988, 東北日本北部における後期更新世海成面の対比と編年. 地理学評論 Ser. A, 61, 404-422.

小池一之・町田 洋(編), 2001, 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 105 p.

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
海陸地殻構造探査による上盤側プレートの構造推定と粘弾性三次元有限要素法モデルによるプレート境界の固着状態・上盤側プレート内部の応力状態の計算を一体で進めるというコンセプトで、上盤側プレート内の地震発生の長期予測について新しい手法開発を行ってきた。これまで北海道・東北日本・

関東地域について解析を進め、着実に成果を挙げつつあり、この点で、課題の進捗状況は「(1) 地震発生の新たな長期予測 イ. 内陸地震の長期予測」の目的に直結している。また、今後は西南日本などより広い領域への本手法の適用と更なる手法開発を進めることができると期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki and T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, Earth Planets and Space, 74, 5, doi.org/10.1186/s40623-021-01562-6, 査読有, 謝辞有
Sanxi Ai, T. Akuhara, M. Morishige, K. Yoshizawa, M. Shinohara, and K. Nakahigashi, 2022, Layered evolution of the oceanic lithosphere beneath the Japan Basin, the Sea of Japan, J. Geophys. Res., in press, 査読有, 謝辞有
橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也, 2022, 日本海溝におけるプレート間相互作用による東北日本背弧域の震源断層への応力蓄積, 地震予知連絡会会報, 108, 654-656, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Iwasaki, T. et al., 2022, The crust and uppermost mantle structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-05
石山達也・佐藤比呂志・加藤直子, 2022, Active tectonics of reactivated of rift-related structural elements: southwestern northern Honshu rift system, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-10
蔵下英司・佐藤比呂志・岩崎貴哉・飯高 隆・石山達也・篠原雅尚・石毛宏和・清水英彦・川崎慎治・阿部 進・平田 直, 2022, Seismic structure from the forearc region off Miyagi to the central part of Northern Honshu arc, Japan, revealed by onshore-offshore seismic experiment-II, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-03
佐藤比呂志・石山達也・橋間昭徳・加藤直子・越谷 信・松原 誠, 2022, 東北地方陸域の震源断層モデル, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-07
橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也・松原誠, 2022, 2011年東北沖地震前後の東北地方の震源断層への応力蓄積, 地球惑星科学連合2022年大会, SCG50-08

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

- ・数値計算：今年度までに得られた結果を総合し、日本列島周辺域のプレート境界プロセスを総合し、東北日本、西南日本における断層の応力計算結果を取りまとめる。そのために、特に、応力を安定的に計算できるようにモデルを修正する。
- ・海陸地震観測：令和4年度に設置した小型広帯域海底地震計の回収を試行する。得られているデータを用いて、構造解析を続行する。
- ・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断層について、深部断層形状を考慮した第四紀後期の長期間地殻変動を求める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）, 望月公廣（東京大学地震研究所）, 山田知朗（東京大学地震研究所）, 石山達也（東京大学地震研究所）, 橋間昭徳（東京大学地震研究所）, 悪原岳（東京大学地震研究所）, 佐藤比呂志（東京大学地震研究所）, 飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：有
東北大学, 北海道大学, 千葉大学, 京都大学防災研究所, 鹿児島大学, 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

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

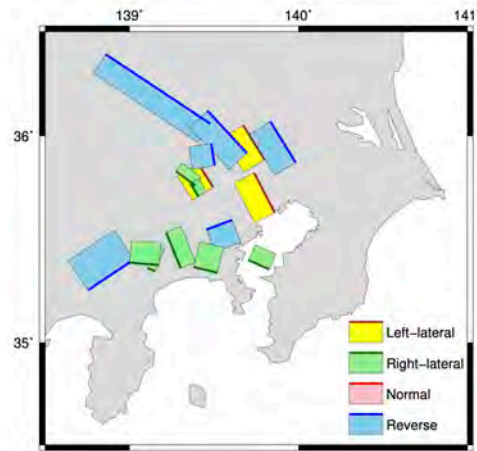


図1 関東地方の伏在断層におけるすべり方向。
 正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層の別を色で示した。Terakawa & Matsu'ura (2010)の応力場を用い、最大剪断応力のかかる方向をすべり方向と仮定した。

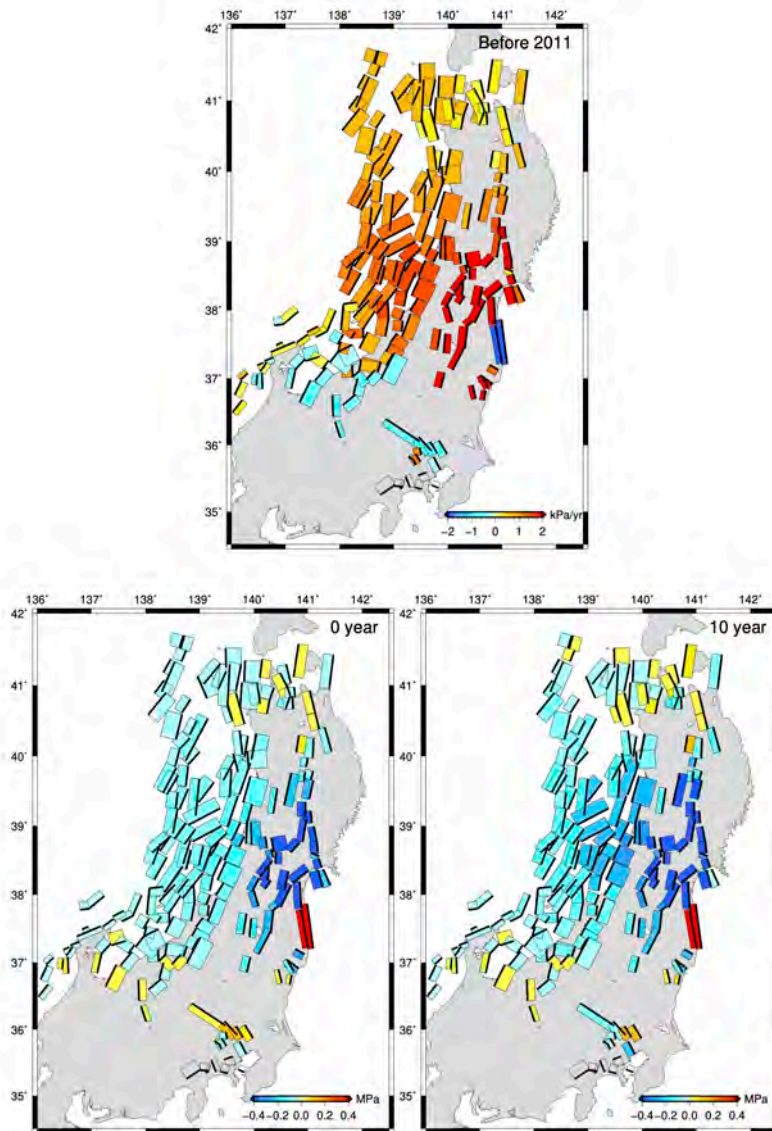


図2 東北ー北関東地方の断層における2011年東北沖地震前後の応力（ ΔCFS ）。
 実効摩擦係数の値は0.4とした。関東地方南部については、応力が求められなかったので応力を示していない。

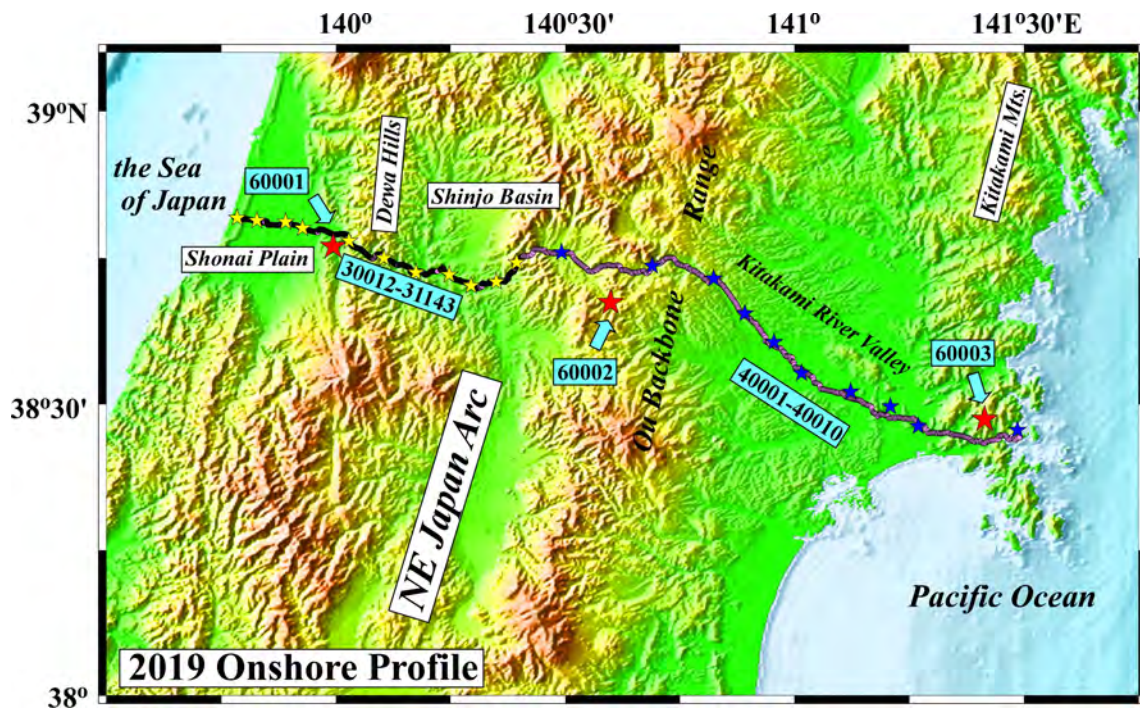


図3. 2019年陸域測線図。

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。発震点及び受振点総数は、24及び1,667点である。

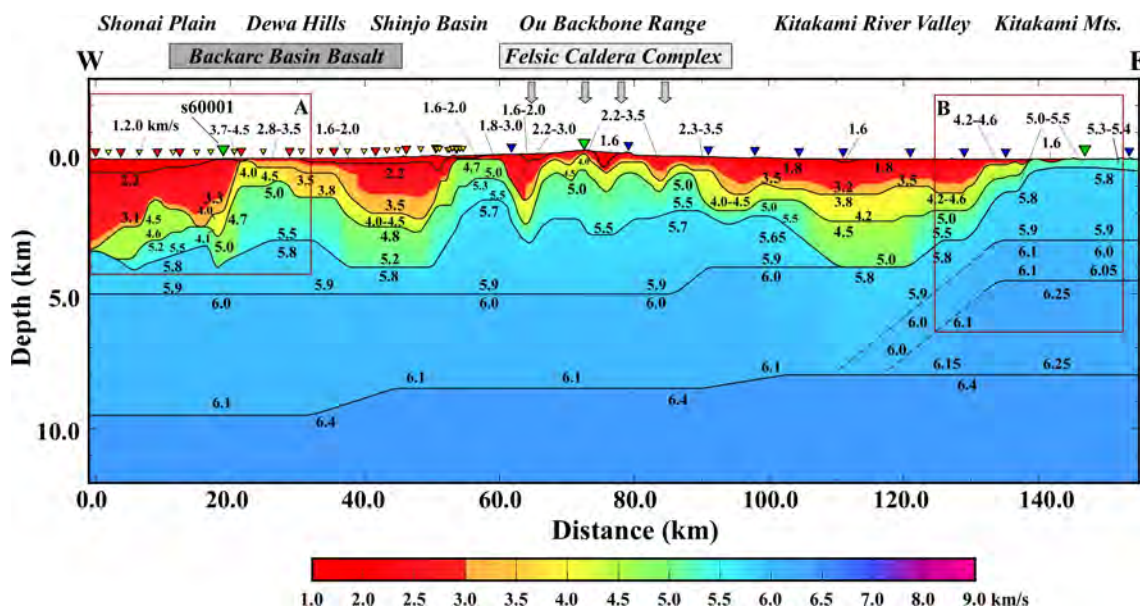


図4. 走時及び振幅解析から求めた測線下の浅部構造。

図上部の逆三角印は、発震点位置を示す。緑：ダイナマイト発震点。赤及び青：震源車多重発震。Sato et al. (2020a, b) の反射断面解釈に基づくカルデラの位置を図上端の矢印で示した。また、A（庄内平野域）、B（北上山地域）で示した茶色の枠内は、振幅データを用いた解析で構造が大きく修正された箇所である。

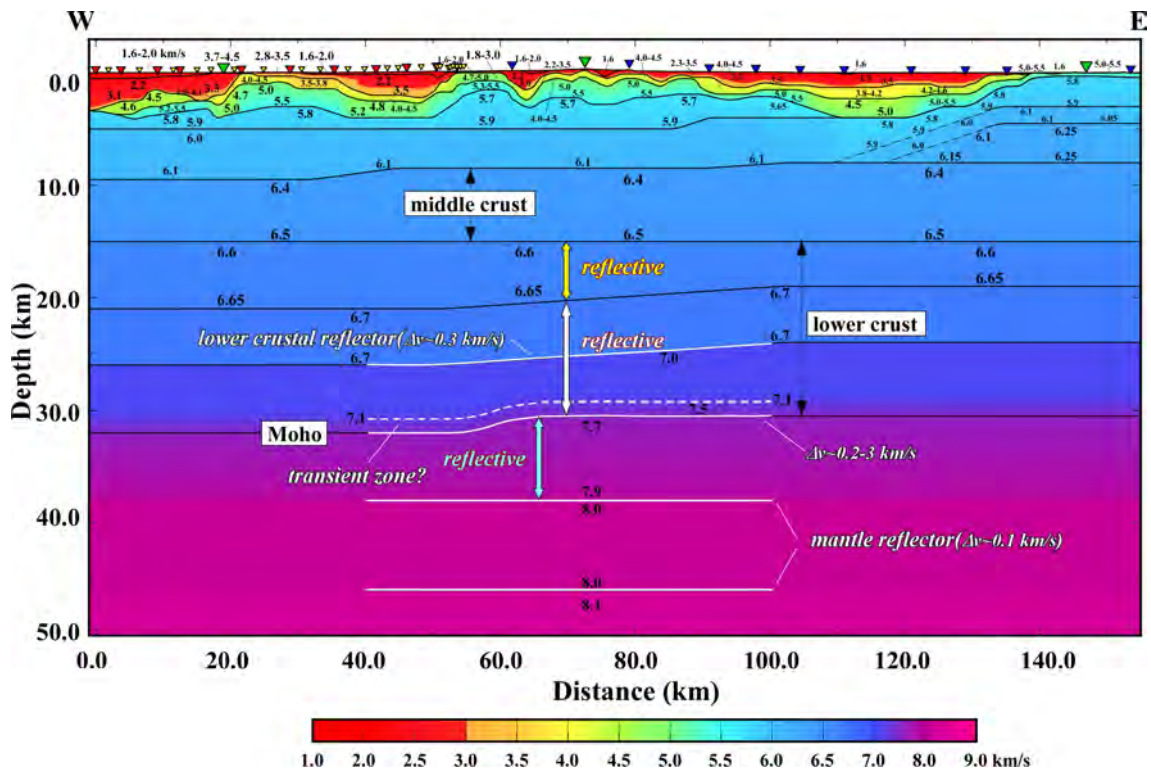


図5. 地殻・最上部マントルの速度構造。

地殻深部・上部マントルの反射面における速度コントラストも示した。下部地殻及びMoho面付近の速度profileは、図4(b)に示した。

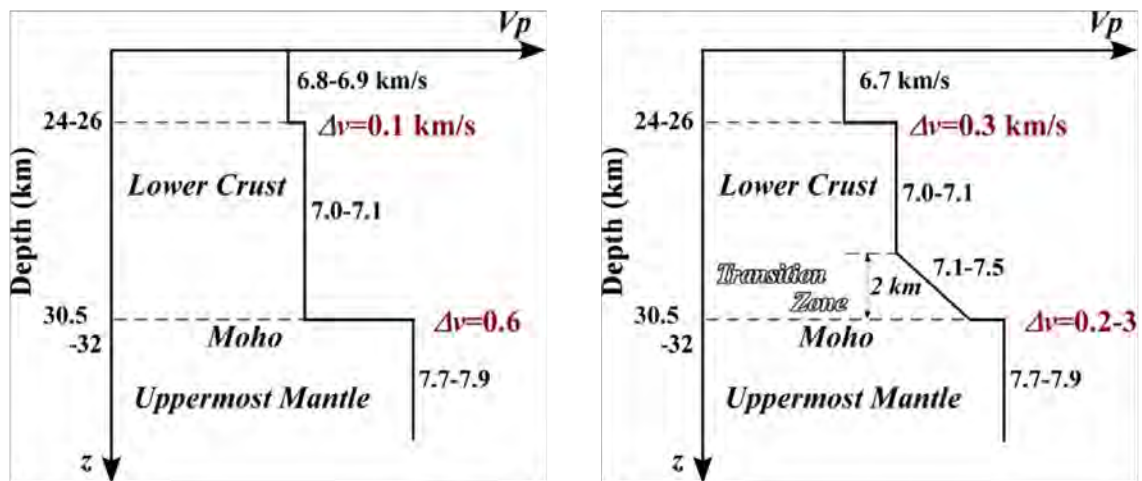


図6. 下部地殻・マントル最上部における速度profile。

(a) 前回提出した走時解析に基づくモデル。(b) 今回提出した走時・振幅解析に基づくモデル。

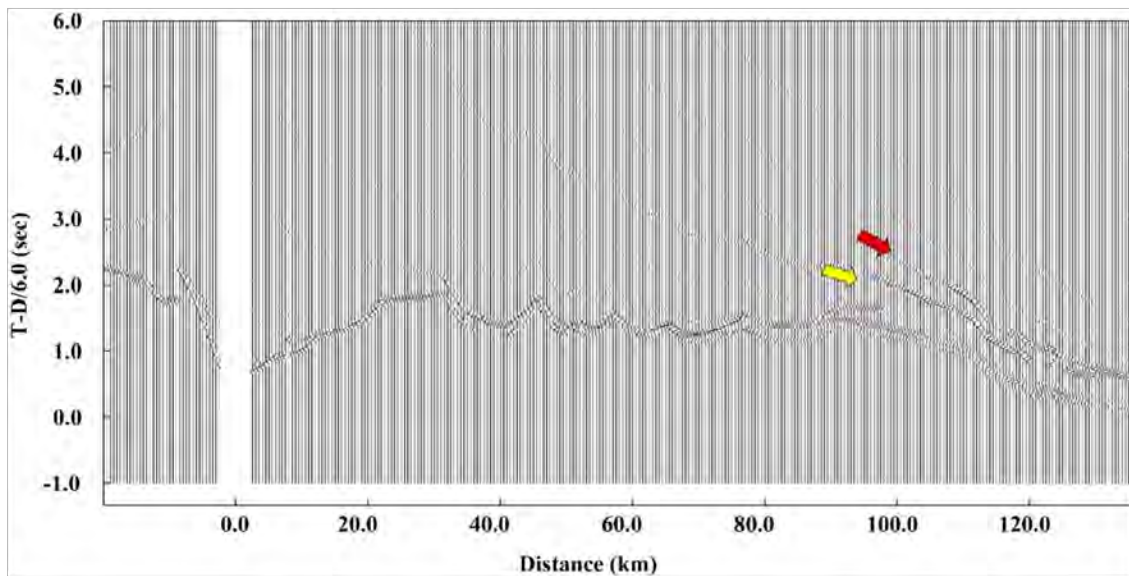
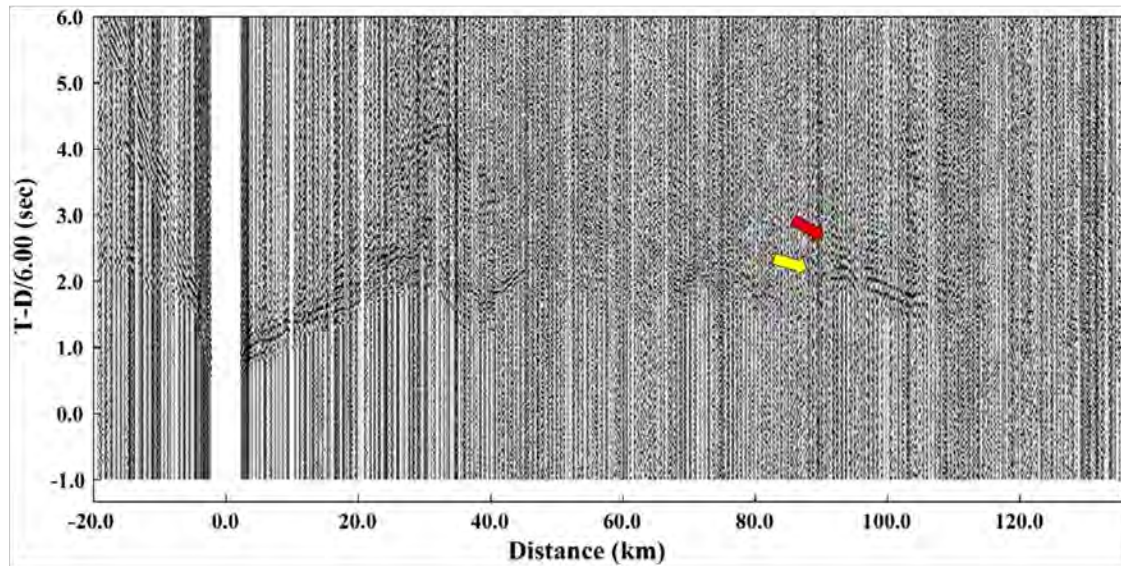


図7. ショット60001 (図1参照) における観測波形と理論波形の比較図。

(a) 観測波形。(b) 図3のモデルから計算された理論波形。深さ24-26 km及びMohoからの反射波をそれぞれ黄色と赤色の矢印で示した。

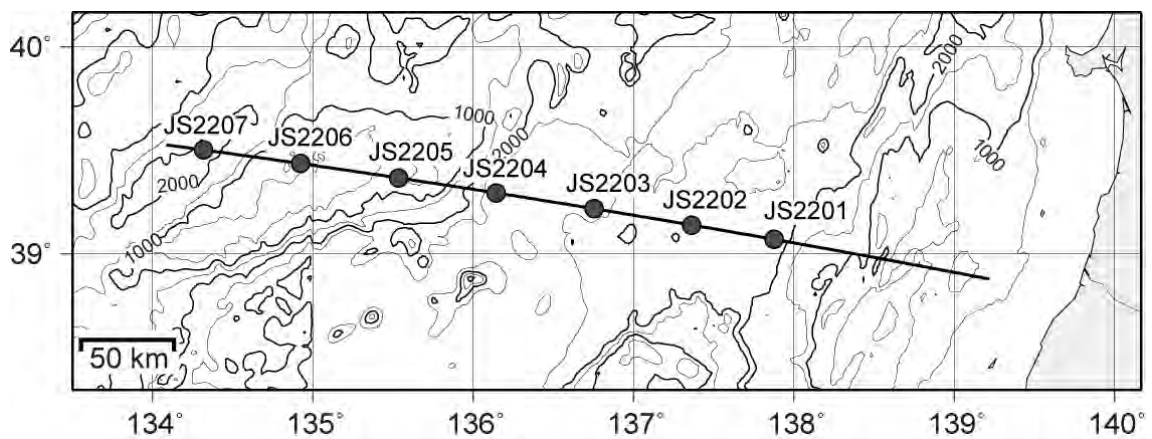


図8. 2022年11月に、学術調査船「白鳳丸」KH22-9次航海にて、設置した小型広帯域海底地震計の位置（黒丸）。
 設置後に浅部構造を求めるために、GIガンとハイドロフォンストリーマによる反射法地震探査を行った(黒線)。

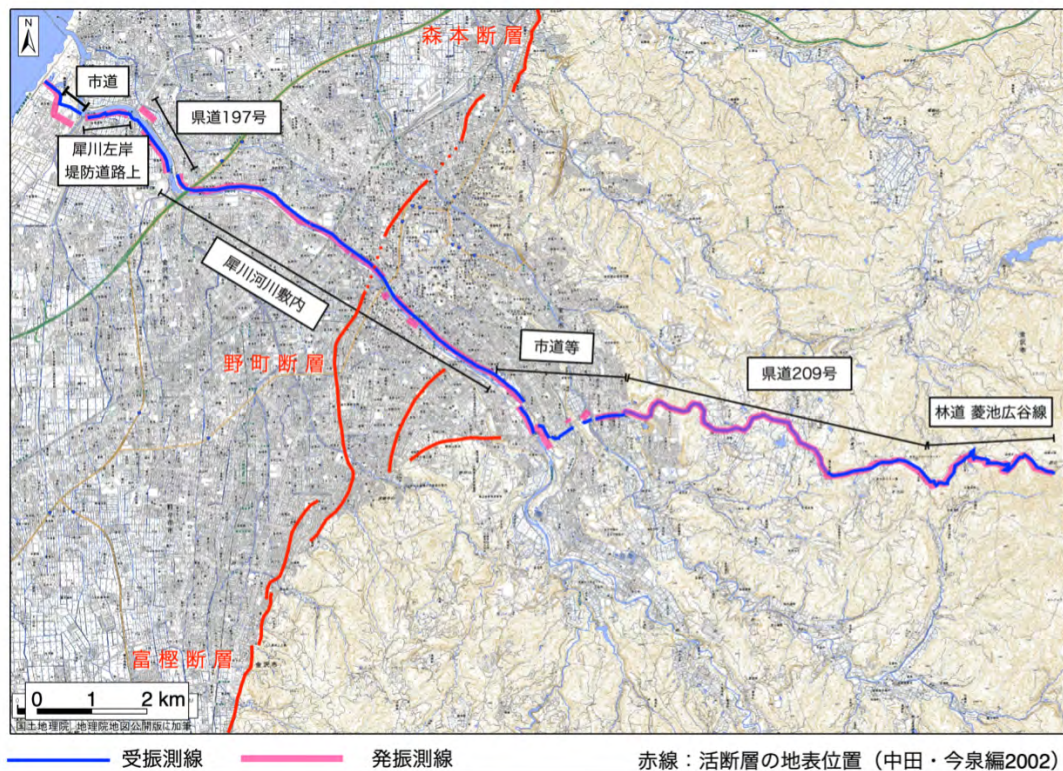


図9. 森本・富樫断層帯中央部を横断する深部構造探査の測線位置図。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

スロー地震モニタリングに基づく南海トラフ域の地震発生可能性評価手法に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフ域を中心とし、沈み込みプレート境界で発生する多様な滑り現象をモニタリングすることで、それらの時空間変化を高精度に把握し、スロー地震間の相互作用、スロー地震と地震発生との関係、これらの現象の発生環境としての地下構造異常・流体挙動との関係の解明を通じて、プレート境界すべり特性やプレート境界現象間の相互作用の理解を深める。これら新たに得られる知見に基づき、スロー地震が隣接する巨大地震領域に与える影響、すなわち、スロー地震と同じプレート境界で発生する大地震発生可能性の相対的な変化を評価する手法の開発に貢献する。

サブテーマ毎の到達目標を以下に記す。

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費から引き継いでスロー地震データベースを更に拡充し、本地震火山観測研究計画内での利用に留まらず、国内外のスロー地震研究基盤としてその存在価値を高め、地震研究分野におけるわが国の国際的リーダーシップの強化に貢献する。また、これらのカタログを活用しスロー地震の活動特性を正確に把握することで、シミュレーションによる現象再現性の精度向上を通じ、長期的及び中短期的な大地震発生可能性の評価に貢献する。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

これまでの本地震火山観測研究計画や科研費等で展開した四国西部・九州東部の広帯域地震観測データ等を用いて、南海トラフ域に発生する超低周波地震のモニタリングを行ない、その活動様式を解明すると共に、他のスロー地震との相互作用などを明らかにする。得られた超低周波地震カタログはスロー地震データベースに登録し、国際的スロー地震研究の推進に貢献する。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

スロー地震は、短い長さスケールほど滑りの継続時間が短くなる拡散現象としての性質を有しており、既知のものより高速且つ短い伝播距離で特徴づけられる新たな高速移動現象が存在することが予想される。この新たなモードは、ゆっくり滑りから通常の地震による速い滑りへの遷移的な挙動を知る上で重要である。特に、中短期的な時間スケールにおいて、ゆっくり滑りと地震発生との関連性を考える上で根本的な理解の促進に貢献すると期待される。これまでの機動観測によって取得された地震波形データを用いて、深部低周波地震の高速移動現象の新たなモード検出を目指し、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域において、これまでに構築してきたGNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせて解析することで、長期的SSEをはじめとする、より長期的なプレート間すべりの動態を把握しスロー地震間の相互作用について理解を深める。同時に、この領域でのすべり特性・プレート間相対運動による歪蓄積と解放の収支を推定し、その発生様式の理解を通じて巨大地震発生様式の解明を目指すことで、地震の長期的予測の高度化に資することを目的とする。

5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

準リアルタイム解析による長期的SSEモニタリング手法の開発をするとともに、フィリピン海プレート上面における長期的SSE活動様式の全容を解明する。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

プレート境界面上の巨大地震震源域周辺に分布するスロー地震域におけるすべり特性の理解をすすめる。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

南海トラフ等のスロースリップ域において重力・地磁気観測を実施し、間隙流体の時間変動を捉えることを目指す。プレート境界の応力状態を変化させる間隙流体の移動を明らかにすることは、他のスロー地震及び巨大地震発生域とスロースリップ発生域とがどのように相互作用しているのか解明することに貢献し、中短期予測につながる。

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

スロー地震の活動様式に違いがある四国中部から東部にかけての地域で稠密地震観測を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震発生域における構造を明らかにする。豊後水道のほぼ中央に位置する水ノ子島に構築した観測点を維持し、取得データの解析から、豊後水道下のプレート形状を明らかにする。これら、明らかになったプレート境界面の形状や境界面近傍の構造不均質と、モニタリングされるスロー地震活動と対応させることで、滑り特性を規定する地下構造異常の特徴を把握する。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動を解明する。特に、浅部スロー地震の地域性（発生域 vs. 非発生域）を規定する要因を明らかにするとともに、デコルマやOut-of-sequence-thrust(OOST)断層の構造と流体が浅部スロー地震にどのように影響するかを解明する。また、デコルマやOOST断層の固着（強・弱）と挙動における沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体の役割を明らかにする。

10. スロー地震と地震発生との関連性

スロー地震の時空間発展を詳細に調べることで、その周辺域への応力载荷の状況を把握し、地震の発生可能性の相対的变化を推定することを試みる。例えば、房総沖のスロースリップに伴う有感群発地震に関して、地震活動の詳細な時空間発展を把握し、滑りが引き起こす応力変化と比較することで、地震発生を引き起こす条件を探索する。また、大地震の発生に先行する前震活動の解析を行い、スロースリップとの関連性について検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

2019年度は、2021年度に科研費から本計画にデータベースを移行するための準備を進め、2020年度は移行作業を実施する。2021から2023年度は、データベースの維持・拡充を継続するとともに、多様なスロー地震カタログを活用してそれぞれの時空間変化や相互作用などを明らかにする。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021から2023年度は、科研費で展開された広帯域地震観測点の維持、データ収集、解析を行ない、既存の広帯域地震観測網のデータも活用して、超低周波地震の活動特性や他のスロー地震との相互作用を明らかにする。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021年度は、高密度な機動観測によって取得された地震波形記録に対して、アレイ解析手法等を適用することで、深部低周波地震の詳細な時空間発展を明らかにする。2022から2023年度は、深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

2019年度においては、前計画・科研費等で構築してきた機動的GNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせてモニタリングを行う。このためのGNSS基線解析環境を構築するとともに、過去の長期間のデータも活用しSSEの把握を進める。2020年度においては、前年度の研究を継続する。2021年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、プレート境界面付近における歪収支について検討を進める。2022年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、SSE同士の相互作用について検討を進める。2023年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、成果の取りまとめをおこなう。

5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的SSEの系統的把握とそのモニタリング

2019年度においては、これまで開発した手法を準リアルタイム解析へ拡張することを検討する。また、関東地方などを中心にSSEの系統的検出を行う。2020年度は、引き続き手法の拡張とSSEの系統的検出を行う。2021年度は、開発した手法に基づく準リアルタイムモニタリングの実施を目指す。2022年度は、モニタリングを継続するとともに、相模トラフから琉球海溝までの領域における長期的SSEのセグメント化や移動などの活動様式を明らかにする。2023年度は、SSE活動様式をさらに検討し、地震活動および微動活動との時空間的な関係性を検討する。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

西南日本および南西諸島における繰り返し地震活動をモニタリングし、SSEや比較的大きな地震の活動状況との関係を調べる。またスロースリップの周期性に関する研究も行う。これらによりプレート境界での地震とスロースリップの関わりの仕方が明らかになれば、中短期予測の精度向上に寄与できる可能性がある。

2019年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本でのスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2020年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本での周期的なスロースリップについて解析を行う。2021年度は、南西諸島における繰り返し地震を抽出および東北日本との比較を行う。2022年度は、南西諸島におけるスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2023年度は、スロー地震と中・大規模地震の関係についてモデル化を行う。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

重力観測は西南日本のスロースリップ域で2-3年間に1回を行うことを標準とするが、スロースリップの発生に応じて観測頻度を地域間で調整する。

(2019～2022年度)絶対・相対重力観測(東海、四国、宮崎、八重山)、地磁気観測(八重山)、ネットワー

クMT観測（四国）、データ解析、ノイズ補正手法及び既存モデルの改良を行う。（2023年度）同上、成果とりまとめ

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

2019から2023年度において、水ノ子島観測点の保守・データ回収作業を実施し、水ノ子島観測点と周辺観測点のデータを用いた解析を実施することで、豊後水道下のプレート構造を把握する。紀伊半島等で取得されている稠密地震観測データの再解析を実施し、スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにする。2021年度は、2022年度から四国で実施する地震観測の現地踏査を実施する。2022から2023年度にかけて、稠密地震観測を実施する。取得した稠密地震観測データの解析を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常を抽出する。

9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

2019年度と2021年度においては、既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査（Multi-channel Seismic : MCS）データと深海掘削(ODP/IODP) データを統合し、デコルマ・Out-of-sequence-thrust(OOST)断層や沈み込む四国海盆堆積物の構造的特徴、流体分布、摩擦係数を推定すると共に、海底地殻変動観測(Yokota et al., 2016)から求めたデコルマの固着分布(強・弱)と比較する。2020年度と2022年度においては、既存MCSデータが十分でない浅部スロー地震の発生域と非発生域でTime-lapse MCS調査を行い、デコルマやOOST断層の反射係数を比較することで、間隙水圧の時間変化を推定すると共に、その間の浅部スロー地震発生と比較する。2023年度は、デコルマやOOST断層の構造的特徴と間隙水圧の時間変動に着目し、浅部スロー地震の活動様式との関連性を求め、浅部スロー地震発生に対する断層の地殻構造と流体挙動の影響を解明する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

2019から2021年度は、房総沖スロースリップに伴う群発地震活動の震源再決定、Matched filter法による地震活動の再検出を行う。また、小繰り返し地震のモニタリングに関する課題とも連携し、非地震性滑りの時間発展について調べる。2022から2023年度は、房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目して検討する。5か年の実施期間中に大地震が発生した場合は、先行した前震活動や地殻変動に関する解析を実施し、大地震発生に至る直前過程に関する知見を蓄積する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

年次計画に基づいた機動的調査観測を実施するとともに、南海トラフ沿いにおけるスロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行なった。また、スロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データ解析手法の開発を進め、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式、スロー地震発生域の構造・流体挙動の把握、スロー地震と地震発生との関連性に関する研究を進めた。

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築したスロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データベースへのカタログ登録を継続的に呼びかけ、現在では約100のカタログが登録されている。また、紀伊半島南東沖でこれまでに発生した浅部超低周波地震の震央位置やすべり過程の再評価を行い、詳細な発生様式を明らかにした(Takemura et al., 2022a)。主な特徴としては、沈み込んだ古銭洲海嶺の西端で浅部超低周波地震のモーメント解放が大きく、主要な浅部超低周波地震エピソードはその活発域全体で繰り返し発生しているのに対して、小規模なエピソードは活発域の一部のみで発生し、必ずしも場所が固定されていないことなどが挙げられ、スロー地震活動の多様性が改めて示された(図1)。また、それぞれの浅部スロー地震エピソードの震源パラメータスケーリング則を明らかにした(Takemura et al., 2022b)。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において展開された機動的広帯域地震観測点（四国西部6点、紀伊半島4点、東海4点）と準定常観測点（四国西部5点、九州1点）のうち機材調整などの都合で四国西部の機動的観測点3点を撤収した。残り17点を維持するため現地作業を行なったとともに、深部超低周波地震の検出手法の改良を継続的に実施している。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

南海トラフ沈み込み帯の深部低周波地震（LFE）の移動現象を解明するために、四国西部に展開された稠密な短周期地震計アレイにより取得された連続波形記録の解析を継続した。LFEの大規模活動が生じた2020年2月下旬前後約1カ月間の波形データを用いて、センブランス値に基づいてLFE震源の時空間発展を推定した。低周波地震は、2020年2月18日から約10日間にわたって活発化し、海溝軸に平行な方向に移動を示した。また、低周波地震の震央分布は、現在のフィリピン海プレートの収束方向と平行な西北西－東南東の走向に加えて、過去の収束方向に平行な北西－南東走向の2つで特徴づけられ、低周波地震はプレートの沈み込みにより生成された構造に規定されていると解釈される。

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。そのこれまでの観測データに基づき、2015～2016年頃および2018～2019年頃に豊後水道で発生した2つのスロースリップイベント（SSE）のすべり域を推定した。2015～2016年のSSEでは顕著な微動活動が伴わなかったのに対し、2018～2019年のSSEでは明らかな深部微動を伴った。推定されたすべり過程から、前者ではSSEのすべりが微動発生域に達しなかったのに対し、後者では微動発生域まですべりが伝播していた。このことより豊後水道では微動発生域にすべりが達することによって微動が誘発されることが強く示唆される。

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

常時微動表面波トモグラフィー手法を高度化し、海底地震計データを用いて水平・深さ方向ともに高分解能な3次元S波速度構造を推定できる手法を開発した。開発手法をS-netデータに適用し、日本海溝沈み込み帯前弧最先端部の付加堆積物や海洋性地殻に対応する低速度領域のイメージングに成功した。この手法開発は当初の計画とは異なるが、近年急速に発展する海底観測網をスロー地震発生場の解明に活用するために必要不可欠なものである。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

本年度は、世界の地震波形のデータを用い、繰り返し地震を抽出するプログラムの開発を行った。データのダウンロードおよび解析条件の設定を容易にできるシステムを作成した。また、解析を高速化するために、解析の途中段階のスペクトルおよびコヒーレンスデータのデータベース化を行えるプログラムを作成した。

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

昨年度に引き続き、四国南西部、宮崎で重力観測を実施し、重力異常のデータを蓄積した。石垣島では、時間分解能を絶対重力観測から大幅に改善した連続観測可能な重力計を用い、比較的規模の大きいSSEの発生中に、地殻上下変動では説明できない重力変化を検出することに成功した（図2）。負の重力異常が観測された事実は東海やカスカディアと共通する。また、微動が潮汐に対して時間遅れで発生する観測事実を、流体挙動を考慮した物理モデルで説明することで、プレート境界の摩擦特性や透水構造が制約できることを示し論文で公表した。

能登半島で活発化している群発地震の原因として、流体またはSSEが関わっていることが指摘されているため、昨年度より当初計画にはなかった絶対・相対重力観測を実施している。重力観測は3月上旬に実施予定で、昨年度の重力値と比較することで流体移動の可能性を探る。

豊後水道周辺域でNetwork-MT観測を実施し、広域深部比抵抗構造を推定することで、普通地震、スロー地震の発生域と電気の流れやすい領域(流体の存在を示唆)との関連性を明らかにした。東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を継続し、データを蓄積中である。地磁気変化の異常場をデータから同定するために、地磁気変化の全国規模の標準場モデルの構築を進めた。また、四国西部域におけるNetwork-MT観測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

令和3年12月から開始した、四国東部地域におけるスロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出を目的とした稠密地震観測を継続して実施した。臨時地震観測点の配置を図3に示す。本観測では、徳島県阿波市から海陽町に至る「南北測線」（測線長：約70 km）上の70か所（観測点間隔：約1 km）、三好市から神山町に至る「東西測線」（測線長：約60 km）上の30か所（観測点間隔：約2 km）に観測点を設置している。令和4年6月までは、すべての観測点で固有周波数4.5Hzの地震計によって上下動及び水平動の3成分観測を実施し、6月以降は、深部低周波地震の活動域直上に設定した東西

測線上の地震計を固有周波数1Hzに変更して、観測を実施している。観測は、令和5年3月上旬まで継続する予定である。気象庁一元化震源カタログによると、令和5年1月31日までの観測期間中に、図3で示す範囲で629個の地震（マグニチュード1.0以上）の震源が決定されている。また、深部低周波地震の発生も報告されている。観測で得た連続記録から、これら地震の震源時刻に従って、イベント毎へのデータ編集を実施した。東西測線上の観測点で収録した地震の波形例を図4に示す。明瞭なP波初動のあとに、地下深部からの反射波と思われるフェイズを確認することが出来る信号対雑音比の良好な観測データが取得できた。

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

南海トラフで浅部スロー地震を引き起こす「浅部プレート境界断層」（＝デコルマ）の断層強度やすべり挙動を評価するために、比較対象となる日本海溝の反射法地震探査データを解析し、海底下のP波速度構造と間隙水圧を求め、有効応力比（Effective stress ratio = calculated vertical effective stress ÷ expected vertical effective stress under normal consolidation conditions）を推定した（Jamali Hondori and Park, Scientific Reports, 2022）。有効応力比が低いほど断層強度は弱く、滑りやすい。過剰間隙水圧の状態が考えられる四国室戸岬沖南海トラフ（Tobin and Saffer, Geology, 2009）と宮城沖日本海溝（本研究）デコルマの有効応力比の比較を図5に示す。海溝軸に近いZone Iにおいて、南海トラフの有効応力比が日本海溝より著しく低く、南海トラフのデコルマがもっと滑りやすい、浅部スロー地震発生の容易な状態が考えられる。沈み込む太平洋プレート上面のグラーベン構造の発達域にあたる、日本海溝のZone Iには付加体内部の複数のスラスト断層がグラーベン構造内部まで発達し、スラスト断層の優れた排水作用が相対的に高い有効応力比をもたらした可能性が考えられる。一方、南海トラフのZone Iでは、透水性の低い泥岩層が沈み込み、排水作用が劣ることで、低い有効応力比が維持されていると考えられる。なお、令和4年度の成果は本課題の5か年計画と概ね一致する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

2013年2月25日に発生した栃木県北部地震M6.3の前震活動の再解析をおこなった。本震発生前後に発生した地震1193個に対して波形相関による相対走時差データを用いて、震源再決定を行った。これらをテンプレートとして、2013年1月～2月の連続波形記録を用いて、テンプレートマッチングによりイベント検出を行った。その結果、合計15786個の地震を検出した。前震活動は、約1カ月前から発生数が徐々に増え、数日前に発生率が一時的に増加し、約1時間前にはさらに活発になった。このように、複数の時間スケールにおいて前震活動の段階的な活発化が確認された。また、本震が起きる約1時間前にM3.6の地震が発生した以降、前震活動域が本震の断層面の走行方向に加えて深さ方向にも拡大した。活動域の拡大速度は約10 km/日で拡散的な様式を示した。時空間スケールは異なるが、2011年東北沖地震の発生前に見られた前震活動域の拡大の様子と類似性が見られ、スロースリップが本震の発生を促した可能性が考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究課題と関連の深い建議の項目（2(2)ア プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測）の目的達成に貢献するために、スロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行っている。また、解析手法の開発も進め、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式、スロー地震発生域の構造・流体挙動の把握、スロー地震と地震発生との関係に関する研究を進めている。

スロー地震活動は沈み込むプレート境界におけるすべりを反映すると考えられるため、その活動の詳細な描像を解明することは、プレート間すべりを把握しその物理的メカニズムを理解する上で重要である。特に、浅部スロー地震活動が多様であることについては、巨大地震発生域に隣接した浅部プレート境界のせん断応力あるいは流体の時空間変化に対応していると考えられ、巨大地震発生域周辺の不均質性がスロー地震活動によって明らかにされたことは、スロー地震と巨大地震との関連性を議論する上で重要である。今後も、スロー地震モニタリングを継続的かつ詳細に実施することにより、巨大地震発生の切迫度評価に向けた研究に貢献するものと期待される。

地殻変動観測に基づき、プレート境界におけるSSEの時空間変化を把握し、地震現象の一つである微動活動の発生にSSEが影響を与えていることを示した成果は、プレート間すべりの把握による地震発生予測に向けた重要な観測事実を示すものである。

常時微動表面波トモグラフィ手法を高度化し、浅部スロー地震が発生する日本海溝沈み込み帯におけるプレート境界付近のS波不均質構造を広域かつ高分解能で推定できるようになった。今後、スロー

地震分布や通常地震の分布と詳細に照らし合わせることで、スロー地震の発生メカニズムや大地震すべり域を規定する構造要因の解明につながると期待される。

SSEの発生時期と同期する重力異常の検出結果が徐々に蓄積されてきており、その結果を定量的に解釈するための流体移動に基づく物理モデル構築も初期段階のものが完成した。今後、複数地域の観測データを蓄積するとともにモデルを改善してデータの説明を試みることで、他のサブテーマから明らかになっているSSEの多様性と流体移動との関係を解明することが期待できる。

南海トラフと日本海溝のデコルマに沿った有効応力比を比較し、浅部スロー地震発生について考察したことで、「関連の深い建議の項目」の目的達成に貢献している。今後、浅部スロー地震を引き起こすデコルマの物性解析を継続することで、「災害の軽減に貢献する」とともに、巨大地震とスロー地震との関連性を解明する研究への貢献が期待できる。

このような研究を継続して実施し、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研究に貢献し続けることで災害の軽減に貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

平松祐一,2023,相対重力計gPhoneXによる連続観測で捉えた石垣島のスロースリップ域における重力異常の短期的なふるまい,修士論文,東京大学大学院地学系研究科

Jamali Hondori, E. and J.-O. Park,2022,Connection between high pore-fluid pressure and frictional instability at tsunamigenic plate boundary fault of 2011 Tohoku-Oki earthquake,Sci. Rep.,12,12556,doi:10.1038/s41598-022-16578-5,査読有,謝辞有

Koge, H., J. Ashi, J.-O. Park, A. Miyakawa, and S. Yabe,2022,Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties on shallow plate boundary fault,Earth Planets Space,74,56,doi:10.1186/s40623-022-01621-6,査読有,謝辞無

Sakamoto, R.and Y.Tanaka,2022,Frictional and Hydraulic Properties of Plate Interfaces Constrained by a Tidal Response Model Considering Dilatancy/Compaction,J. Geophys. Res. (Solid Earth),127,e2022JB024112,https://doi.org/10.1029/2022JB024112,査読有,謝辞無

Takagi, R., and K. Nishida,2022,Multimode dispersion measurement of surface waves extracted by multicomponent ambient noise cross-correlation functions,Geophys. J. Int.,231,1196–1220,https://doi.org/10.1093/gji/ggac225,査読有,謝辞有

Takahashi, H., R. Hino, N. Uchida, T. Matsuzawa, Y. Ohta, S. Suzuki, M. Shinohara,2022,Tectonic tremors immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake detected by near-trench seafloor seismic observations,Prog. Earth Planet. Sci.,9,66,doi:10.1186/s40645-022-00525-z,査読有,謝辞無

Takemura, S., K. Obara, K. Shiomi, and S. Baba,2022a,Spatiotemporal Variations of Shallow Very Low Frequency Earthquake Activity Southeast Off the Kii Peninsula, Along the Nankai Trough, Japan,J. Geophys. Res. (Solid

Earth),127,e2021JB023073,https://doi.org/10.1029/2021JB023073,査読有,謝辞無

Takemura, S., S. Baba, S. Yabe, K. Emoto, K. Shiomi, and T. Matsuzawa,2022b,Source characteristics and along-strike variations of shallow very low frequency earthquake swarms on the Nankai Trough shallow plate boundary,Geophys. Res.

Lett.,49,e2022GL097979,https://doi.org/10.1029/2022GL097979,査読有,謝辞無

Tonegawa, T., R., Takagi, K. Sawazaki and K. Shiomi,2023,Short-term and long-term variations in seismic velocity at shallow depths of the overriding plate west of the Japan Trench,J. Geophys. Res. (Solid Earth),128,e2022JB025262,https://doi.org/10.1029/2022JB025262,査読有,謝辞無

Yoshida, K., T. Matsuzawa, N. Uchida,2022,The 2021 Mw7.0 and Mw6.7 Miyagi-Oki earthquakes nucleated in a deep seismic/aseismic transition zone Possible effects of transient instability due to the 2011 Tohoku earthquake,J. Geophys. Res. (Solid

Earth),127,e2022JB024887,https://doi.org/10.1029/2022JB024887,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura,2022,Changes in long-term activity patterns of interplate slip

from short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula, Japan, JpGU Meeting 2022, SCG44-P25

平松祐一, 田中愛幸, 小林昭夫, 2022, スロースリップ信号の検出に向けた石垣島地方気象台における連続重力データの解析 (第二報), 日本測地学会第138回講演会, 61

Hirose H., N. Chujo, T. Kimura, 2022, Periodic changes in activity pattern of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula, Japan, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022, P048

Kato, A., A. Takeo, K. Obara, 2023, Striations of tectonic tremor and implication for fluid channels based on a dense seismic array in western Shikoku, Japan, 11th ACES (APEC Cooperation for Earthquake Science) International Workshop

小原一成, 2022, 通常とは異なるスロー地震活動とは何か, 日本地震学会2022年度秋季大会, S09-09

高木涼太・西田究, 2022, 常時微動トモグラフィによる日本海溝・千島海溝沿い前弧海域下の3次元S波速度構造, 日本地震学会2022年度秋季大会, S22P-03

Tanaka, Y., H. Sakaue and Y. Hiramatsu, 2022, Temporal gravity anomalies in long-term slow slip areas along the Nankai Trough and Cascadia, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022, O-30

Ukawa, T., H. Hirose, 2022, Stress changes caused by Boso slow slip events inferred from seismicity data, JpGU Meeting 2022, SCG44-P24

Yu, F., E. Jamali Hondori, and J.-O. Park, 2022, Pore-fluid pressure estimation for the Nankai Trough plate-boundary fault: Implications for shallow very low frequency earthquakes, JpGU Meeting 2022, S-CG44-28

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 地震; 地震: 広帯域地震観測

概要: 四国西部、紀伊半島、東海の14点の機動的広帯域地震観測点で観測を実施した。スロー地震データベースを整備した。

既存データベースとの関係: スロー地震データベース

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sloweq/>

調査・観測地域:

調査・観測期間:

公開状況:

項目: 地震: 地殻変動: GNSS観測

概要: 四国、九州の独自GNSS観測点約30点での連続観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 四国、九州

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (協議のうえ共同研究として提供可)

項目: 地震: 地殻変動: 重力測定

概要: 宮崎、豊橋、足摺岬、能登で重力測定を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 宮崎、東海、四国西部、能登

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中 (論文・データジャーナル・報告書等)

<https://doi.org/10.1186/s40623-018-0797-5>

項目: 地震: 磁力観測 (全磁力・3成分)

概要: 東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 東海地方、石垣島、西表島

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：MT・AMT観測

概要：四国西部と九州東部においてNetwork-MT観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：四国西部、九州東部

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：四国東部で100点の稠密地震観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県

調査・観測期間：昨年度より継続-2023/3/3

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築されたスロー地震データベースの運用維持、カタログ追加登録等の事業を学術変革領域研究「Slow-to-Fast地震学」と協力して継続的に発展させるとともに、様々な種類のスロー地震の活動特性の解明を進める。

2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において設置した機動的広帯域地震観測点の維持、データ収集を行い、深部超低周波地震の検出、活動特性や他のスロー地震との相互作用の解明を進める。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域においてこれまでに構築してきた機動的GNSS連続観測点での地殻変動観測および座標値解析を継続して実施する。またこれまで蓄積された観測データを活用し、SSE検知手法の開発、地域ごとのSSE活動様式の解明を進め、長期的なプレート間すべりの挙動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

3次元S波速度構造推定手法をさらに高度化させるとともに、通常地震・スロー地震活動等との詳細な比較を行うことで、日本海溝におけるプレート境界不均質構造とスロー地震活動の関係を明らかにする。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

繰り返し地震の解析プログラムを世界の様々な場所で適用し、非地震性すべりを推定し、スロー地震と中・大規模地震の関係について事例を増やし調査する。

7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

5か年計画に基づき四国南西部、宮崎、石垣島での絶対・相対重力観測を継続するとともに、これまでの観測結果を解釈するための物理モデルを構築する。四国西部域におけるNetwork-MT観測を継続するとともに、四国全域にわたる3次元比抵抗構造推定を試みる。

8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

四国東部における稠密地震観測で取得したデータに地震波速度構造解析等を適応し、スロー地震発生域やその近傍の詳細な構造を明らかにする。紀伊半島等における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

紀伊半島の潮岬沖や日向灘沖南海トラフのMCSデータを用いたPSDM処理を行い、P波速度構造モデルを求め、浅部プレート境界断層の間隙水圧と有効応力比を推定する。これら間隙水圧と有効応力比を浅部スロー地震発生と比較し、浅部スロー地震発生のメカニズムについて考察する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目し

て検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蔵下英司（東京大学地震研究所）,小原一成（東京大学地震研究所）,竹尾明子（東京大学地震研究所）,加藤愛太郎（東京大学地震研究所）,上嶋誠（東京大学地震研究所）,小河勉（東京大学地震研究所）,飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加納将行（東北大学）,内田直希（東北大学）,高木涼太（東北大学）,井出哲（東京大学大学院理学系研究科）,田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）,朴進午（東京大学大気海洋研究所）,中東和夫（東京海洋大学）,津村紀子（千葉大学）,麻生尚文（東京工業大学）,廣瀬仁（神戸大学）,松島健（九州大学）,田部井隆雄（高知大学）,西村卓也（京都大学防災研究所）,松澤孝紀（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蔵下英司

所属：東京大学地震研究所

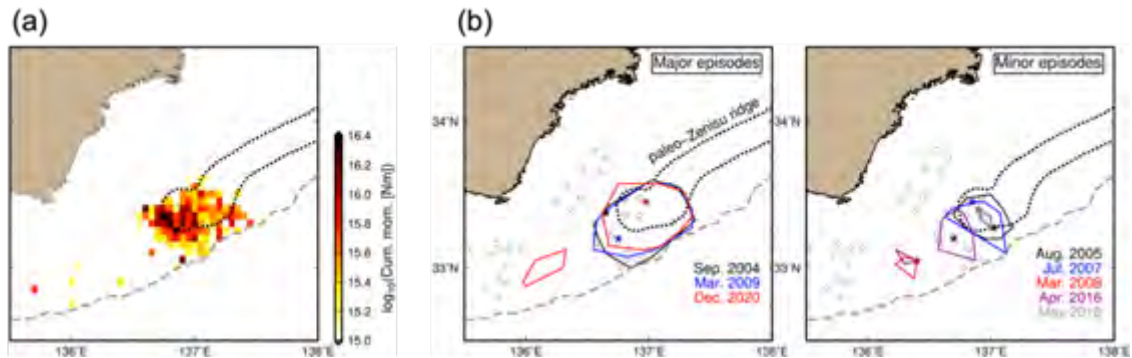


図1: (a)浅部超低周波地震による2004年4月～2021年3月の17年間の積算モーメントの空間分布と (b) 浅部超低周波地震活動の活動域。

図中の破線は南海トラフ、点線はPark et al. (2004)による古銭洲海嶺の位置を示す。

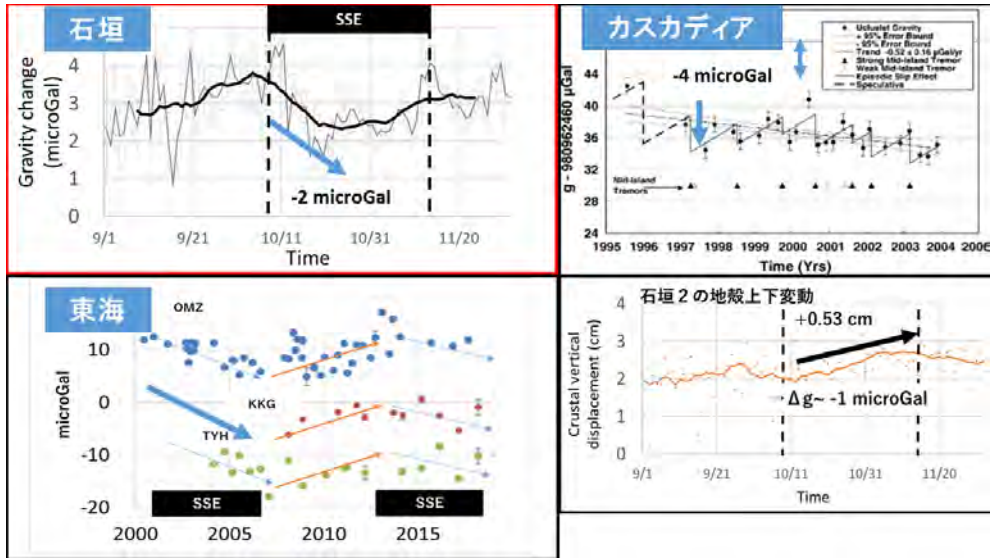


図2: 石垣島で観測されたスロースリップ中の重力変化。

スロースリップの開始と同時に重力が約2microGal減少する（左上）。東海（左下）やカスカディア（右上）の観測結果と異なり連続的な重力データを取得した。GNSSによる地殻上下変動の寄与は約-1 microGalで、スロースリップ期間全体にわたり一様な速度で生じるが（右下）、重力変化は期間の前半に起きている。

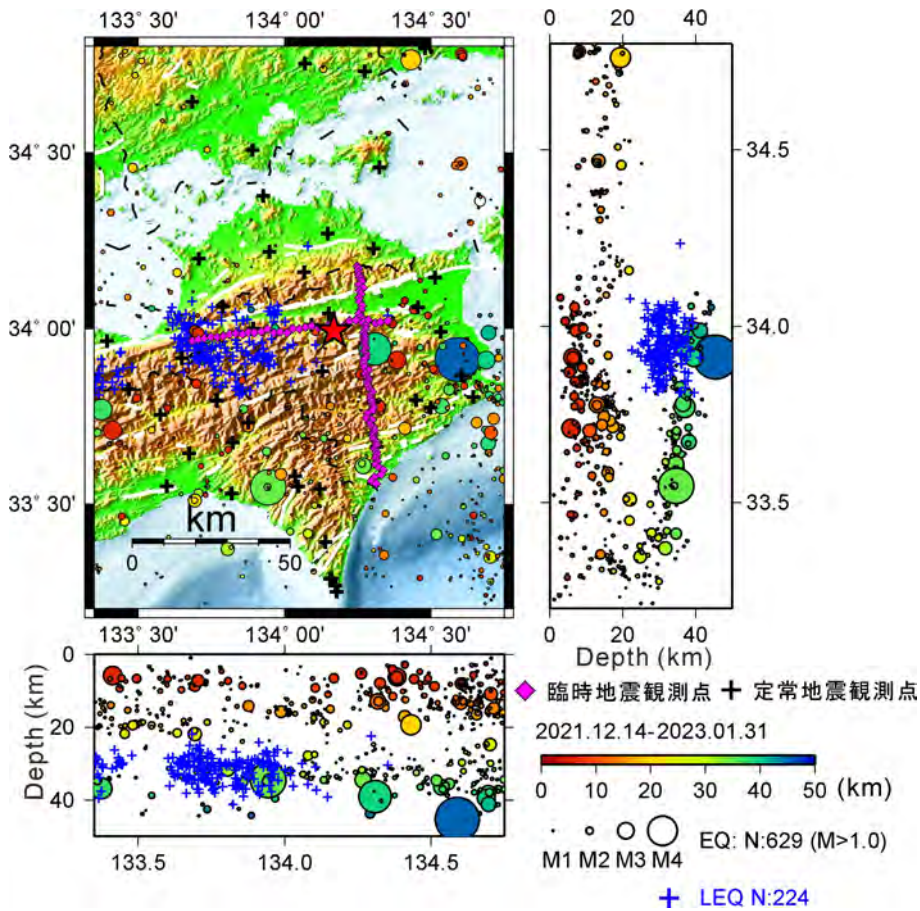


図3: 臨時地震観測点配置図。

○印は、令和5年1月31日までの観測期間中における気象庁一元化処理による震源を示し、その大きさがマグニチュード、色は震源の深さを表す。青色十印は、気象庁一元化処理による低周波地震の震源を示す。赤色星印は、観測波形記録（図4）の震央を示す。

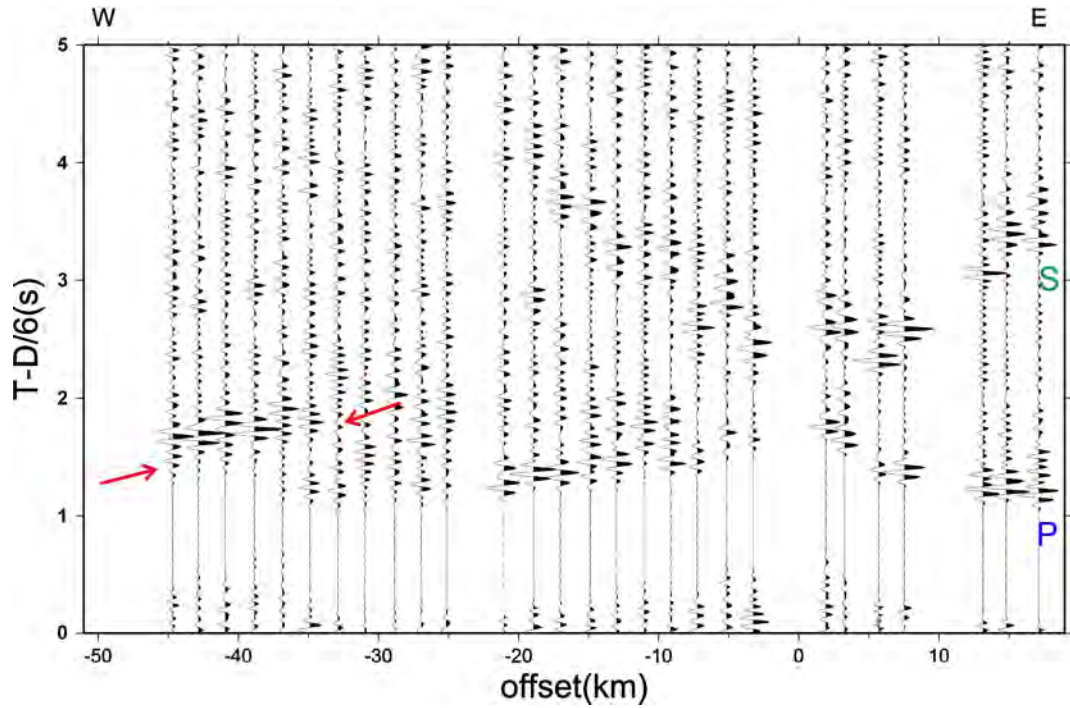


図4: 東西測線上の観測点で収録した地震の観測波形例（上下動成分）。
 (震源時: 2022/4/22 11:00:43.66, Latitude: 33.99367 °N Longitude: 134.16817 °E 6.6 km deep, $M_{JMA}=2.3$)。横軸は震央距離, 縦軸の時間は原点が震源時に対応する。振幅にはAGC処理を施している。リダクション速度: 6.0 km/s。Band pass filter: 5-20Hz。地下深部からの反射波と思われるフェイズ(赤色矢印)を確認することができる。

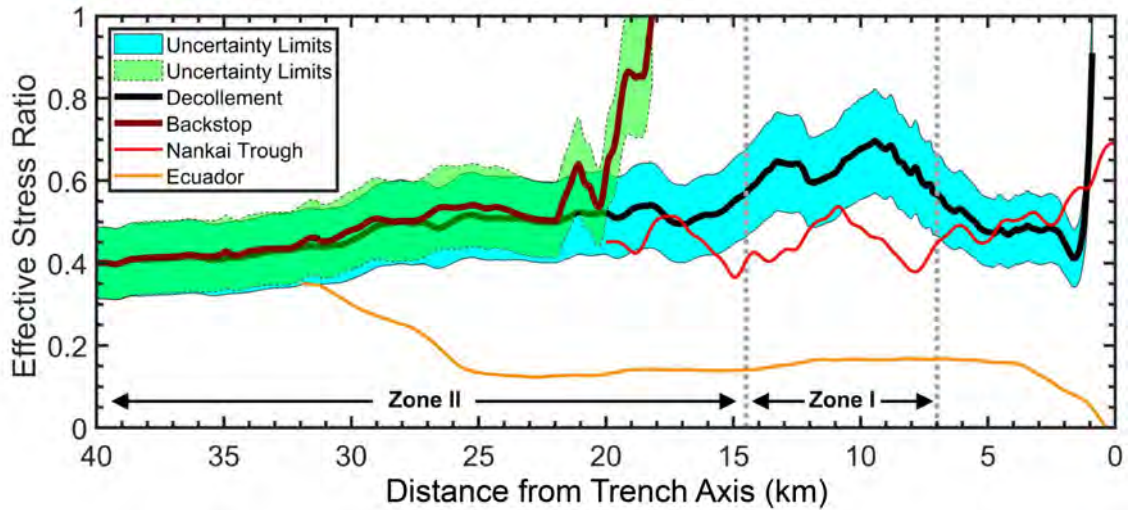


図5: 四国室戸岬沖南海トラフと宮城沖日本海溝におけるデコルマの有効応力比。
 赤線は南海トラフでの値を示し、黒線は日本海溝での値を示す。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

大地震発生確率を評価する直感的な方法として、過去の地震活動からの時空間距離をもとに推定する方法(Proximity-to-Past-Earthquakes, PPEモデル, Jackson and Kagan, 1999)と、長期滑りレートの高い活断層からの空間距離をもとに推定する方法(Proximity-to-Mapped-Faults, PMFモデル)が考えられる。これらの方法、および、両者の荷重平均を用いるProximity-to-Known-Sources (PKS)モデルを、四川-雲南地方について作り、M6以上の地震の発生確率を計算、実際におきたM6以上の地震14個と比べて成績を求めた。どのモデルもランダム予測に対しては1を超える確率利得を示したが、PKFはぎりぎり1を超える程度であった。最もよかったのはハイブリッド方式のPKSである(図1, Zhang et al., 2023, in press)。

活断層における大地震の発生確率の評価方法の一つは、平均再来間隔と最新大地震からの経過時間をBPTモデルに代入して求めることであり、HERPによる評価では、再来間隔のゆらぎパラメータAPを、長期履歴のよくわかった4つの大きな断層のデータから0.24としている。APの値は予測確率に大きく影響する。そこで、繰り返し相似地震の最新のカatalog(Igarashi, 2020)を用いてAPを求めたところ、平均値は0.20とHERP値に整合的だが、再来間隔が長いものほどAPが小さくなる傾向が見つかった(石辺・松浦, 2022)。

将来発生する地震の強震動・津波を定量的に予測するには、予測する地震での断層滑り方向を仮定する必要がある。一つの方法は、広域応力場と断層の姿勢から断層面に働くトラクションの剪断成分の方向を求め、この向きに滑ると考えるWallace-Bolt仮説を採用することである。この方法の妥当性を調べた先行研究(Ishibe et al., 2020)では、Terakawa & Matsu'ura (2010)で推定された三次元広域応力場から期待される滑り方向とF-netメカニズム解を比較し、両者が概ね30度以内で一致することを見出した。本年度は、より小さな地震についての検証のために、Uchide(2020)の微小地震のメカニズム解カatalogを用いて同様の調査を行った。最近起きた大地震の影響を受ける地域以外では、概ね30度以内で一致したが、小さい地震ほどミスフィット各が大きくなる傾向が見い出された。一つの解釈として、小規模地震ほど短波長の応力不均質を反映しているという可能性が考えられる(石辺ら, 2022b)。

野村・尾形の前震識別モデルは、任意の地震群内のマグニチュード差や時空間的距離に着目して、30日以内に現時点での群内の最大地震より大きな地震が起きる確率を経験的に評価するもので、地域性だけに基いて予測した場合より性能が高いことが示されている(野村・尾形, 2018)。この前震識別モデルの具体形はロジスティック回帰で作ったものだったが、今年度、ニューラルネットワークやランダムフォレストなど様々な機械学習手法でこのモデルを作ってみた。それらは、野村・尾形(2018)のオリジナルモデルより性能が悪かったが、アンサンブル学習を導入して複数の機械学習手法を組合わせた場合には、前震識別精度を野村・尾形(2018)より僅かながら向上させることができた(鈴木・野村, 2022)。

地震活動が余震的トリガリング作用をもち、それによって時空間クラスタリングすることは疑いなく、それを利用したETASモデルなどだけでも、ランダム予測より数十-数百倍のゲインは得られる(e.g., Nakatani, 2020)。しかし「地震の可予測性の問題」と呼ばれる問題の肝は、このような時空

間クラスタリング以上に、何か非ランダムな要素があるか、特に、FMDに非定常性があるかという問いであり、2004年に南加のデータで次におこる地震のマグニチュードは一つ前の地震のマグニチュードと相関をもつと主張されて以来、論争が続いている(図2)。本年度、この問題に関する29本の論文のメタ解析を行った(Petrillo & Zhuang, 2022)。カタログのコンプリートネスが悪いとアーティファクトとして相関が出ることは合意があるが、結論(yes/no)と使用データのコンプリートネスやサイズには有意が相関がなく、今ところ形勢は本当に互角である。この問題は時間更新型確率予測にとって根本的に重要であり、カタログ品質をさらに向上させて検証すべきである。

地震が本質的に事前予測困難と考えられる理由の一つは、地震の高速破壊そのものの成長過程が複雑で、始まった地震がどこまで大きく成長するかが断層・応力の強い不均質性に支配されているように見えることである。本年度、2022年9月の台東地震(M7.1)とその16時間前の最大前震(M6.6)について、断層モデルを仮定せず大間違いを犯しにくいとされるPDTI法による震源インバージョンを行った(Yagi et al., 2023 in press)。本震は途中で一度モーメントレートが落ちて前半と後半にはっきり分かれており、本震後半の破壊は、前震破壊と本震前半の破壊の間から始まった。また、前震でも本震でも、途中で破壊伝播方向の大きな転換が起きた。階層パッチモデル(Ide & Aochi, 2006)ならこういった破壊の様子が無理なく説明できる。

地震カタログ作成の新しい可能性として機械学習手法の利用が注目されている。本年度、室内水圧破碎実験で得られた連続収録AEデータ(24ch)に対し、深層学習を用いてイベント検出・走時検測を行い震源カタログを作成することを試み、古典的手段の組合せ(STA/LTAによる波形切り出し—AR-AICモデルによるP波走時検出—非線形最小二乗法による震源決定)で作成したものと比較した。機械学習では、イベント存在確率を出力とする深層学習ネットワークでイベント検出・波形切出を行い、PhaseNet (Zhu & Beroza, 2019)に似た深層学習ネットワークでチャンネル別に走時確率値を評価、REALアルゴリズム (Zhang et al. 2019)を高速化した独自手法でPhase Associationし、非線形最小二乗法で震源決定した。黒髭島花崗岩10供試体、イーグルフォード頁岩2供試体の実験でよく震源が求まったものに対する検測値等を用いて訓練したシステムに、ウルフキャンプ頁岩供試体の実験で得られた連続収録AE波形データを食わせたところ、従来法(927個)の数倍以上の個数の震源を得ることができた。スコアが低いピック値を使うと誤検出と思われるものが多く、品質管理が課題である(図3, 直井ら, 2022)。いっぽう、有効な特徴量を、大量の学習データから自動で発見するという深層学習のコンセプトからすれば、このような地震学的な震源決定の考えに沿った段階を踏むやり方が正確な結果を産むとは限らない。そこで、1)観測波形から走時の確率トレースを計算し、2)多数の観測点の走時確率トレースから震源座標と発震時刻を推定するという2つのプロセスを深層学習で処理する仕組みを考案し、同様のAEデータを用いて訓練・検証・テストを行った。2)に関しては、深層学習で解くと精度を出すのが難しかったため、得られた走時確率トレースを最もよく説明する震源を差分進化で求めることで数mmの精度を達成できた(直井, 2022)。

臨時稠密観測網は定常観測網より分解能に優れるが、サイト補正等をして、イベントのマグニチュードを定常観測からのものと整合的に決めるのが難しく、特に、臨時観測のみで検出されたイベントのマグニチュード情報を用いたいときに問題となる。そこで、ベイズ的な考え方で臨時観測のマグニチュードを簡単に補正できる新たな手法を開発した。Xichang地域の臨時網と中国の定常網のデータを用いて補正すると(図4)、臨時網で決めたマグニチュードは平均で0.5程度上方補正され、一方定常網のマグニチュードも、補正量の平均はゼロであるが、個々のイベントには+/-0.1程度の補正がかかった。ベイズ推定の観点からは、後者の補正は、臨時観測の情報が追加されたことで、全国網でのマグニチュード決定もより正確になったと考えられる(Si et al., 2022)。

一方、歴史資料から当時の地震活動を読み解くにあたっては、夜には寝ていることの多かった昔の人間という計器の特性に注意する必要がある。土佐市の真覚寺の日記は、1854年南海トラフ地震から1858年まで、1732件の有感記録を、揺れの程度を大・中・小に分類して収録している。中・大の地震に限れば時間帯に対する有意な依存性は見られないが、小に対しては夜間のレートが35%ほど低く、Schuster検定を行うとp値は $2E-15$ となり、夜間の検知率が低いことは間違いがない。大きさを分けずに分析した場合でもやはり夜間に少ない傾向はp値が $2E-9$ と確実であり、有感地震数全体としては2割程度が見逃がされていると考えられる。なお、日記期間が南海トラフ地震から始まっているが、上記のような傾向が南海トラフ地震直後の一過性のものでないことも確認できた。さらに、地震の大きさの記述がない津軽藩御国日記や盛岡藩雑書でも同様の発生時間帯の偏りがあり、p値は $1E-4$ – $1E-13$ と明らかに有意であった(図5, 石辺ら, 2022a, 2023 in press)。

地震活動に基づく短期確立予測の手法として、ETASモデルは最もよく確立されたものである(岩田,

2022; Zhuang, 2022)。将来的な社会実装を検討するために、気象庁震源を自動取得し、HIST-ETASモデルによる発生確率の空間分布を常時更新、その結果を、柔軟なGUIによって指定できる条件で地震活動等と重ねた地図を取得するシステムはほぼ完成し、安定的に運用できるようになった(図6, 加藤私信)。いっぽうで、ETASモデルそのものの高度化も進めている。大き目の地震などある時期を境にETASのモデルパラメタが変化する例は多く知られている。ルーチン的な運用のためには、このような変化を準リアルタイムで自動検出し、変化前と変化後のパラメタを自動で決めなおして運用を継続する必要がある。本年度、データに適切な個数の変化点を見付ける決定木アルゴリズムを開発した。M5.5-6.5の大きめ地震5個を含む2005-2017年のイタリア中央アペニン地方のカタログに適用したところ、2016年のM6、2017年のM5.5の少し後に変化点があると判定され、そこで背景地震レートが大きく変わったことが見い出された。また、主要な活動域の場所にも対応した変化が見られた(Benali et al., 2022)。いっぽう、高緯度地域、あるいは世界規模でのETAS解析を適切に行えるよう、球面幾何を考慮した得たETASモデル(SETAS)を作り、FORTRANのプログラムパッケージを作成した(Xiong & Zhuang, 2023 in press)。

地震活動の長期静穏化が千島の巨大地震に対する中期的先行現象である可能性が指摘されている(e.g., Katsumata & Nakatani, 2021)。1969、1975の北海道東方沖地震の震源域では2003年2月に群発地震がありその後16年以上にわたり顕著な長期静穏化が継続している(Katsumata & Zhuang, 2020)。この現象のメカニズムについて一つの仮説を提案した(勝俣, 2022)。2002年2月の群発が、津波地震であった1975年の震源域(海溝軸近くでゆっくり滑りしやすい物性)でのSSEが、そのdown-dip側のプレート境界に誘発したものとすれば、このSSEは、同時に、down-dip側のスラブ内に圧縮を加えるため、太平洋スラブ内部で発生していたdown-dip-extension型の地震活動が減少すると期待され、観察された静穏化を説明する。このような見方をすると、2019年12月に同じ場所でおきた群発地震活動も2003年と同様、1975年地震断層面上でのSSEが原因と考えられる。

このように、地域の地学的特徴と地震活動の特徴に相関がみつければ、地震の物理的理解にもハザード評価にも有用である。南加の先行研究で、熱流量が高い地域ほど余震の生産性が低いことが示されている(Yang & Ben-Zion, 2009; Enescu et al., 2009)。また、日本でも、火山地域では動的トリガリング圧倒的に起きやすいことがよく知られている。そこで、本年度は2000年以降に日本内陸でおきた20km以浅M5.5以上の地震18個の余震活動パラメタを求め、NIEDのもつ地殻熱流量データ(Matsumoto, 2007)と比較した。有意な相関は認められなかった。一方で、南加と比べてETASのアルファ値が低い傾向にあり、日本の方が群発的な活動が多い可能性が示唆された。また、2011年M9以前の東北日本では、大森・宇津則の余震生産性が比較的高く、本震が逆断層であることや断層系が複雑なことと関係しているのかもしれない(Enescu & Furuya, 2022)。

おおむね計画に沿って進捗した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
断層情報と地震情報をハイブリッドで用いることや、前震識別におけるアンサンブル学習は、多項目の情報を経験的に組み合わせるという、関連の深い建議項目の今後の展望に貢献している。前震識別に機械学習が用いられたのは、先行現象を用いた経験的な予測として重要な貢献である。深層学習による震源決定で、従来の地震学的な思考による工程を踏まない試みというのも同様の意義がある。また、地震の本質的可予測性とほぼ同義であるマグニチュード相関の問題で、地震カタログの品質の重要性が示唆されたことは、最近の情報科学を用いたカタログの進歩と相まって重要な進歩の方向性を示唆する。情報理論に裏付けされた臨時観測と定常観測のマグニチュード整合性をとる手法ができたことは、カタログ品質が大きな制約になるETAS等の活動モデルの検証と高度化に大きく貢献する。SSEが長期静穏化の原因だという説が複数の現象から支持されたことは、新たな予測手法のヒントを与える。予測成績の向上だけでなく、先行現象と地学条件の関係を明かにすることは、物理ベースのアプローチとの相乗効果を生む。活動の性質の変化点に自動対応するアルゴリズムは、ETAS以外にも使え、様々な逐次更新型確率予測モデルの実用的システムの開発に貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Benali, A., J. Zhuang, and A. Talbi, 2022, An updated version of the ETAS model based on multiple change points detection, *Acta Geophys.*, 70, 2013-2031, doi:10.1007/s11600-022-00863-

y,査読有,謝辞無

Enescu Bogdan・下條賢梧・八木勇治・武田哲也,2022,稠密地震観測網で捉えられた長野県北部の地震の前駆過程,地震ジャーナル,74,10-17,査読無,謝辞無

石辺岳男・松浦律子・佐竹健治,2023 in press,発生時の無作為（ランダム）性から探る史料中の有感記録の完全性,歴史地震,38,in press,査読有,謝辞無

査読有,謝辞有

Naoi, M., K. Imakita, Y. Chen, K. Yamamoto, R. Tanaka, H. Kawakata, T. Ishida, E. Fukuyama, Y. Arima,2022,Source parameter estimation of acoustic emissions induced by hydraulic fracturing in the laboratory,Geophys. J. Int.,231,408-425,doi: 10.1093/gji/ggac202,査読有,謝辞有

Petrillo, G. and J. Zhuang,2022,The debate on the earthquake magnitude correlations: a meta-analysis,Scientific Reports,12:,20683,doi:10.1038/s41598-022-25276-1,査読有,謝辞無

Si, Z., J. Zhuang, and C. Jiang,2022,A Bayesian algorithm for magnitude determination by merging multiple seismic networks,Chinese Journal of Geophysics (Acta Sinica

Geophysica),65(6),2167-2178,doi:10.6038/cjg2022P0138,査読有,謝辞無

Xiong, Z. and J. Zhuang,2023 in press,SETAS: A Spherical Version of the Space-Time ETAS Model,Seismol. Res. Lett.,in press,doi:10.1785/0220220198,査読有,謝辞有

Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, and J. Lu,2023 in press,Irregular Rupture Process of the 2022 Taitung, Taiwan, Earthquake Sequence,Sci. Rep.,in press,査読有,謝辞無

Zhang B., S. Chen, J. Zhuang, B. Zhang, and X. Wu,2023 in press,Statistical evaluation of earthquake forecast efficiency using earthquake-catalog and fault slip rate in the Sichuan-Yunnan region, China,Front. Earth Sci.,11:,1091408,doi:10.3389/feart.2023.1091408,査読有,謝辞無

J. Zhuang,2022,Statistical Seismology,In: Daya Saga B. S., Cheng Q., McKinely J., Agterberg F. (eds) Encyclopedia of Mathematical Geosciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series,doi:10.1007/978-3-030-26050-7_34-1,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Enescu, B. and K. Furuya,2022,Investigation of a possible relationship between aftershock parameters for sequences occurred inland Japan after 2000 and crustal heat flow,Japan Geoscience Union Meeting 2022,SSS05-P01

石辺岳男・松浦律子,2022,Aperiodicity Parameters Estimated From the Recent Repeating Earthquake Catalogs and Implication for Seismic Hazard Assessment,apan Geoscience Union Meeting 2022,SSS11-06

石辺岳男・松浦律子・佐竹健治,2022a,発震時刻の無作為（ランダム）性から探る有感記録の完全性,第39回歴史地震研究会

石辺岳男・寺川寿子・橋間昭徳・望月将志・松浦律子,2022b,広域応力場からWallace-Bott仮説を用いて断層すべり角を推定する手法の検証ー微小地震発震機構解カタログを対象にー,日本地震学会2022年度秋季大会,S08-15

Ishiyama, R., E. Fukuyama, and B. Enescu,2022,What do the time-variable friction parameters in laboratory experiments tell us about sliding dynamics?,Japan Geoscience Union Meeting 2022,SSS07-14

勝俣 啓,2022,1975年北海道東方沖の津波地震の震源域で発生したスロースリップによって誘発された群発地震と地震活動静穏化,日本地球惑星科学連合2022年大会,S-SS11

直井 誠, 陳 友晴, 有馬 雄太郎,2022,深層学習を利用した室内水圧破碎誘発AEのイベントカタログ作成,日本地震学会2022年秋季大会,S21P-02

Petrescu, L. and B. Enescu,2022,Nearest-neighbour cluster analysis of intraslab seismicity in the Vrancea Seismic Zone, Romania,Japan Geoscience Union Meeting 2022,SCG43-03

鈴木暁大・野村俊一,2022,アンサンブル学習を用いた前震活動の確率的識別モデル,日本保険・年金リスク学会 第20回研究発表大会

直井 誠,2022,走時の確率トレースを利用した深層学習による震源決定,日本地球惑星科学連合2022年大会

岩田貴樹,2022,ETASモデル：クラスター性を表すための点過程モデル,第13回横幹連合コンファレン

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

リアルタイム確率更新・可視化システムについては、複数の予測モデルを使えるようにする。また、これを用いて、効率よくレトロスペクティブテストをする手法を検討する。予測モデルに多項目の使用や機械学習等、新たな方向性をとり入れることは継続する。地震カタログなど基礎データの品質改善にも引き続き取り組む。先行現象の検証をより大規模なデータセットに対して行う。地殻活動の特徴と地学条件の関係の調査も継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中谷正生（東京大学地震研究所）, 鶴岡弘（東京大学地震研究所）, 加藤愛太郎（東京大学地震研究所）, 福田淳一（東京大学地震研究所）, 中川茂樹（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

勝俣啓（北海道大学）, 片尾浩（京都大学防災研究所）, 直井誠（京都大学防災研究所）, Enescu Bogdan（京都大学大学院理学研究科）, 長尾年恭（東海大学）, 織原義明（東京学芸大学）, 楠城一嘉（静岡県立大学）, 岩田貴樹（県立広島大学）, 井筒潤（中部大学）, 弘瀬冬樹（気象研究所）, Zhuang Jiancang（統計数理研究所）, 野村俊一（早稲田大学）, 石辺岳男（地震予知総合研究振興会）, 永田広平（気象大学校）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中谷正生

所属：東京大学地震研究所

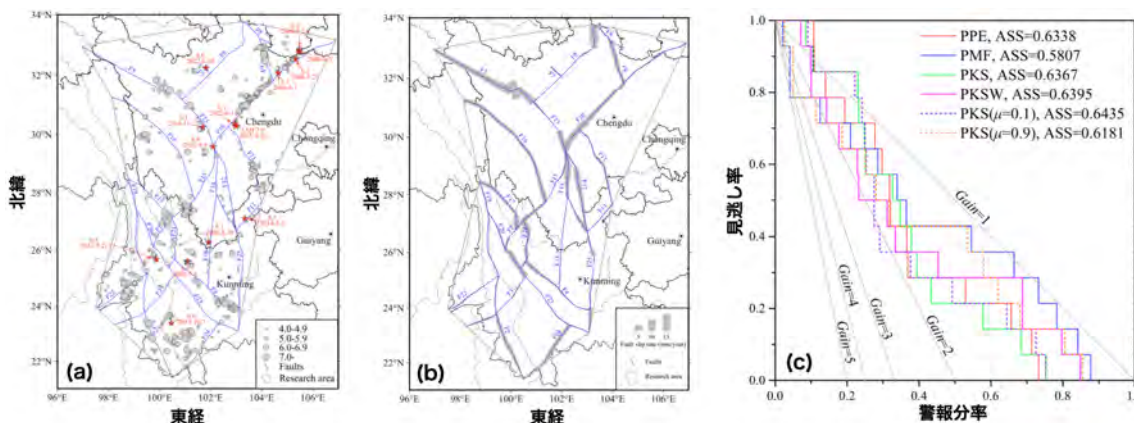


図1. 四川-雲南地方で過去の地震活動データと活断層データからM6以上地震を予測するレトロスペクティブ実験(Zhang et al., 2023, in pressより改変)

(a) PPE予測モデルで用いる地震。CENCカタログより1970-2022年の50km以浅、M4以上の1234イベントを使用。赤字は実験で予測ターゲットとするM6以上の地震14個。青字はPMF予測モデルで用いる断層。(b) PMF予測モデルで用いる断層(青線)の長期滑りレートを灰色線の太さで示した。(c) 実験結果のモル

チャン成績図。ASSはエリアスキルスコアで、大きい方が好成績。PKSモデルに関しては、重みづけの違う4種類を試した。重みづけ係数ミューが大きいほどPMF重視となる。PKSとだけ書かれているのは、最尤法で決めたミューを用いたもの。PKSWは、重みづけをマグニチュードで変える(Hiemer et al., 2013)もの。

番号	出版年	使用データ	手法	相関あり?	著者
1	1989	Numerical	Heuristic	No	Bak & Tang
2	2002	SCSN	Statistics	No	Christensen et al.
3	2004	CMT,NEIC,CNSS	Statistics	No	Felzer et al.
4	2004	SCSN	Heuristic	Yes	Yang et al.
5	2005	SCSN	Heuristic	No	Corral
6	2006	ANSS	Statistics	No	Helmstetter et al.
7	2006	NEIC-PDE	Statistics	No	Corral
8	2007	ANSS	Statistics	Yes	Lippiello et al.
9	2007	ANSS	Statistics	Yes	Lippiello et al.
10	2007	NCEDC	Physics	No	Caruso et al.
11	2008	NCEDC	Statistics	Yes	Lippiello et al.
12	2009	SCEC,JMAEC	Statistics	Yes	Sarlis et al.
13	2009	NCEDC	Statistics	Yes	Lippiello et al.
14	2010	CMT	Statistics	No	Yoder et al.
15	2010	CMT	Statistics	No	Aalsburg et al.
16	2011	Numerical	Physics	No	Zhang et al.
17	2011	SCEC, CMT	Statistics	Yes	Sarlis
18	2011	³⁵	Statistics	No	Daividsen
19	2012	⁴⁰	Statistics	Yes	Lippiello et al.
20	2012	⁴²	Statistics	No	Daividsen et al.
21	2013	Numerical	Physics	Yes	Lippiello et al.
22	2013	CMT	Statistics	Yes	Nichols et al.
23	2013	Numerical	Physics	No	Shcherbakov et al.
24	2016	ISIDE, ⁴⁶	Statistics	Yes	Spasiani et al.
25	2016	Numerical	Statistics	Yes	Spasiani et al.
26	2018	TABOO,SOCAL,JMA	Statistics	No	Stallone et al.
27	2019	SCSN	Statistics	No	Zambrano
28	2019	CMT	Statistics	Yes	Nandan et al.
29	2022	ANSS	Statistics	Yes	Nandan et al.

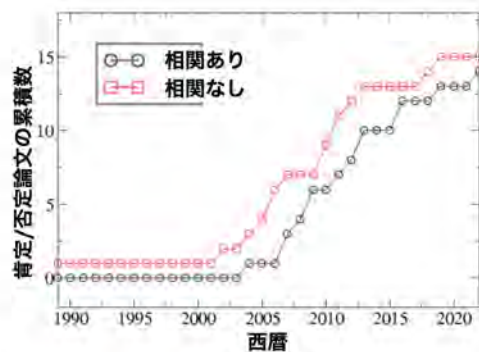


図2. マグニチュード相関の有無に関する論争 (Petrillo & Zhuang, 2022より改変)

左の表にある29本の論文を有り派と無し派に分け、それぞれの累積出版数を追ったのが右の累積カウント図。

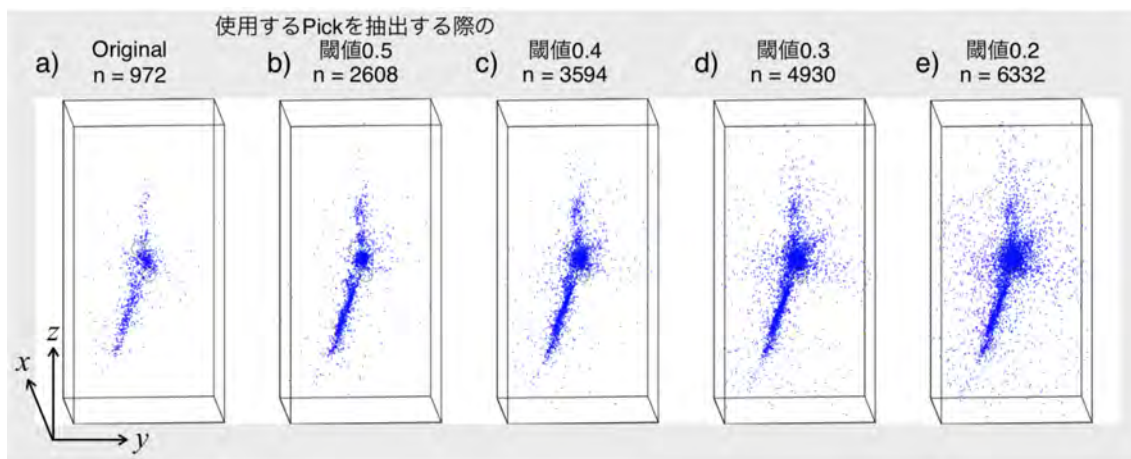


図3. 室内水圧破碎実験で得られたAE連続波形から深層学習を利用して作成した震源分布 (直井ら, 2022)

a) 従来手法で決定した結果。b) - e) 深層学習を利用して決定した結果。走時検測におけるPick候補抽出時の閾値を変えてAssociation・震源決定を行い、従来手法と同じ走時誤差の選別基準で抽出(P波走時8個以上、最大誤差10 mm以下)した結果を示している。

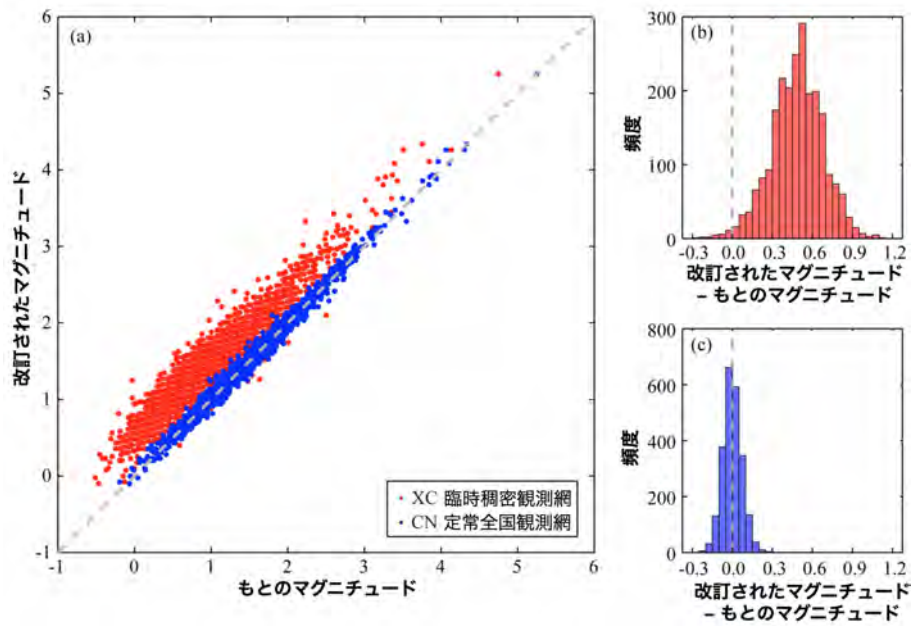


図4. Xichang地域の臨時ネットワークと中国の定常ネットワークそれぞれで決めたマグニチュードを補正した結果 (Si et al., 2022より改変)
 (a) 補正結果。(b) Xichang地域の臨時観測網で決めたマグニチュードに対する補正量の分布。(c) 定常観測網 (中国地震観測網)で決めたマグニチュードに対する補正量の分布。

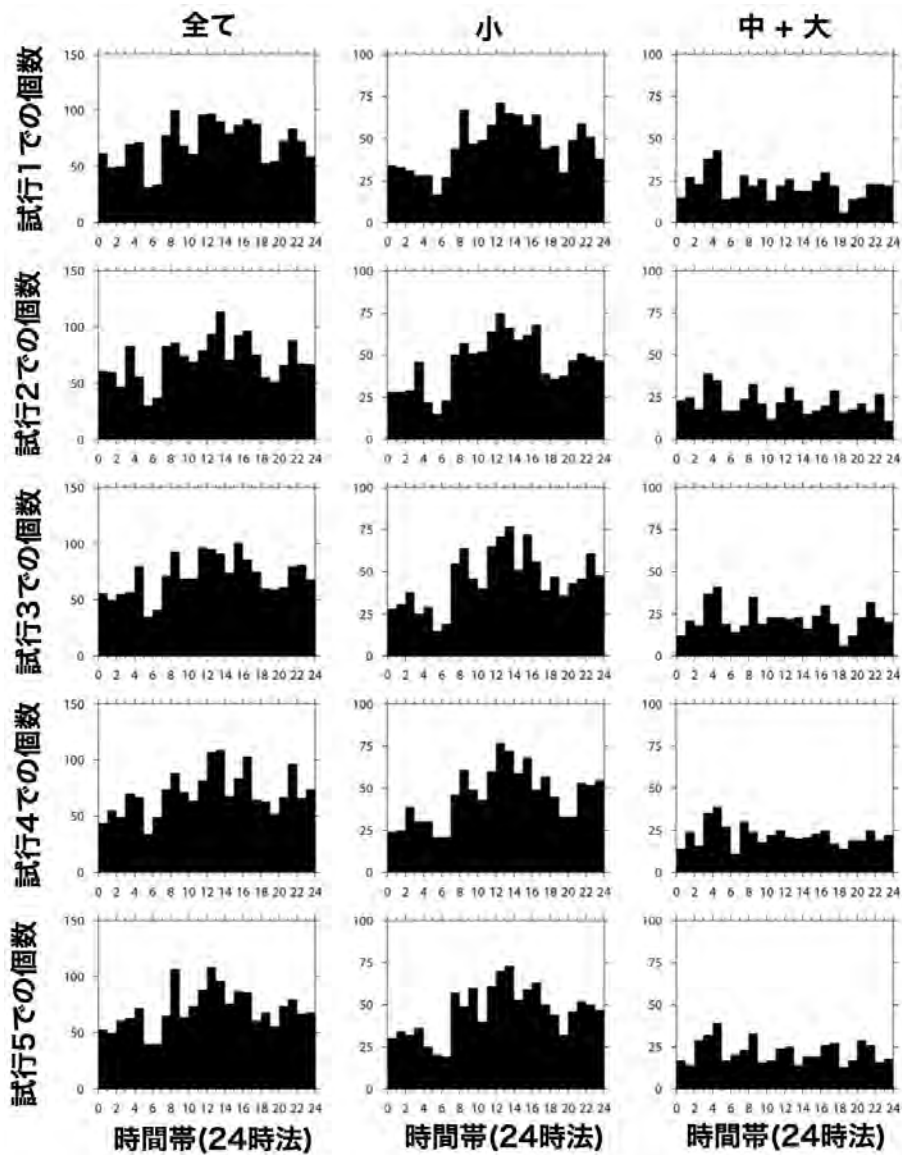


図5. 真覚寺日記に収録された有感地震の発生時間帯のヒストグラム(石辺ら, 2023 in pressより改変)
 不定時法で記された時間帯情報を、24時法に変換するとき乱数を用いた。その変換の試行のうち5回を示す。
 左列: すべての有感記録を用いた場合、中列: 揺れの程度「小」のみを用いた場合。右列: 揺れの程度「中・大」のみを用いた場合。

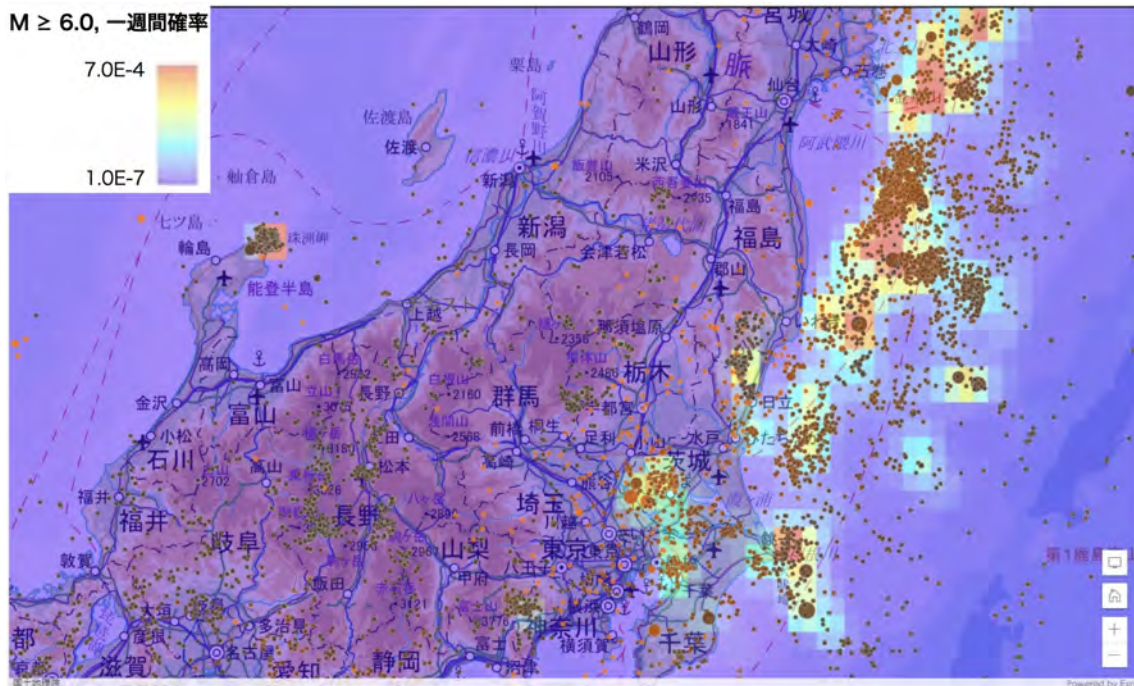


図6. 地震発生確率ルーチン更新システムの画面例 (加藤私信)

カースケールの確率値は0.1度x 0.1度のグリッドに対するM6以上の発生確率。他の様々な情報をレイヤーで追加できる。この例では直近一ヶ月の震源だけを選択した。

(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カ年の重点課題として、(1)関東平野直下のM7級プレート境界・内地震による長周期地震動の生成可能性と構造物・地盤災害への影響評価、(2)近年の高性能パソコンに適合した広帯域強震動シミュレーションコードと高分解能地下構造モデルの開発、(3)南海・相模トラフ沿い、千島・日本海溝沿いの巨大地震による広帯域強震動の予測とその不確定性の定量化、(4)海・陸リアルタイム強震観測データ同化に基づく強震動（長周期地震動）の即時予測実験に取り組む。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 広帯域地震動評価に向けた強震動成因物理メカニズムの解明【H31～35年】

地表断層により生成する断層ごく近傍長周期パルス（Near-field項）の生成要件（震源の深さ、規模、断層すべり角）と断層滑り速度と強震動帯域の関係を、1999台湾集集地震や1999年トルコイズミット地震、2016年熊本地震等の強震観測データを再精査により明確化し、警固断層や上町断層などを対象とした断層ごく近傍強震動の予測を行う。そして、首都圏直下地震として心配される、M7級のフィリピン海プレート境界・内部の地震の発生に伴う、関東平野での長周期（広帯域）地震動の特性（応答スペクトル強度、震動継続時間等）を評価するために、2013年パキスタンの地震(M7.7)や2018年メキシコオアハカ地震(M7.2)など、関東と地震環境が類似する地震波形データの解析と、1923年関東地震の余震記録の再解析を進める。そして海溝型M8級巨大地震と、大規模平野直下のM7大地震の強震動の特性と構造物被害への影響を検証する。さらに、南海トラフ地震の長周期地震動の増幅や継続時間の予測の高度化に向け、表面波の増幅と導波に強く影響する、海域の付加体の内部構造（ V_s 速度勾配、 Q_s 値等）を既往の反射・屈折法研究の精査と、微動及び自然地震のインターフェロメトリーに基づく構造研究（新規計画における京大防災研究所の研究課題）の成果を統合してモデル化し、2004年紀伊半島南東沖地震や2016年三重県沖地震の強震動シミュレーションにより検証する。

2. 広帯域強震動シミュレーションコードの整備・公開【H31～35年】

強震動災害誘因の事前評価に資する高度なコード開発を進め、オープンコードとして研究者コミュニティに公開することで、観測・シミュレーション統合研究や、データ駆動型研究の強化に貢献する。現行の公開コード（OpenSWPC;Maeda et al., 2017）の改良を進め、海溝型巨大地震の強震動評価に不可欠な海底地形と海水／固体境界条件の組み込み、広域強震動・地殻変動評価のための球殻座標（または準球殻座標）への拡張、巨大地震の長時間継続地震動の評価に不可欠な、長時間ステップ安定計算のための単精度／倍精度混合演算の実現、短波長不均質構造による強い散乱下で安定に機能する、高性能PML吸収境界条件と広帯域の減衰（ Q ）モデルの導入、等を進める。そして、リアルタイム地震観測データ同化の実現に向けた、高速ネットワーク（SINET）接続リアルタイム高速計算機（東大情報基盤センターBDEC等）への適合をはかる。

3. 長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究【H31～34年】

長周期地震動による災害軽減に向けて、将来の強震観測網のリアルタイムデータ配信と、今後の海域観測網の充実を見据え、観測データ同化にもとづく、大規模平野での長周期地震動の即時予測の実現に向けた基礎開発を進める。K-net, KiK-net等の陸域強震観測データに加え、DONET, S-net及び今後展開が期待される海域強震観測データ同化に基づく、海溝型巨大地震（南海トラフ地震、日本海溝の地震）の長周期地震動の即時予測を目指すとともに、海域強震観測の必要性・有効性を検討する。即時予測の防災への活用を図るために、耐震工学及び社会心理学の研究者と協働により、予測が必要な物理量（加速度値、応答スペクトル、強震動継続時間など）のとその予測誤差、不確定性を含む防災情報の発信、構造物の応急対応等について、関連分野の研究者との協働による総合的研究を進める。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 琉球海溝スラブ内地震の太平洋プレート反射波による強震動生成メカニズムの解明

琉球海溝沿いで発生するスラブ内（深さ36—260 km）において、沈み込む太平洋プレート上面でのS波反射が、震源距離1500 kmの中部日本に帯状の強い揺れを起こす現象を、F-net/Hi-net地震波形解析と地震波伝播シミュレーションから確認した。さらに、高速度の太平洋プレートを通過した屈折S波

が、660 km境界で広角反射を起こすことで、震源距離2000 kmの北海道に強い揺れを起こす過程を確認した。これらのS反射波による遠地の地動（PGV）は、震源域直上と同程度の大きさを持つため、琉球海溝沿いのスラブ地震の地震動予測では注意が必要である。

琉球海溝の地震の際に中部日本と北海道で見られる特異な震度分布は、歴史地震の震源推定に活用できる可能性がある。1911年喜界島地震は、琉球海溝で発生した史上最大級（M8）の地震であり、これまで深い地震（160 km; Gutenberg and Richter, 1954, 100 km; Utsu, 1989）あるいは浅い地震（10-60 km; 後藤、2013）かの議論がある。この地震の震度分布は九州から中部日本にかけて有感範囲が広がるが、上述の特異な震度異常は認められないことから、浅い地震の可能性が高い。

太平洋スラブ上面のS波反射点は、和歌山から京都付近下の深さ300 kmから400 kmに相当する。これまでトモグラフィ解析において、この深さで太平洋スラブの高速度異常が認められず、スラブの断裂または薄化の可能性が議論されてきた（Obayashi et al., 2009）。しかし、太平洋スラブからの明瞭なS反射波が存在することから、スラブは完全には消失（断裂）していないと考えられる。

2. 深層学習による長周期地震動の即時予測手法の開発

震源域近傍での強震観測波形から、遠地の平野での長周期地震動の波形を予測する深層学習モデルを構築した。深層学習モデルには、Temporal Convolutional Network (TCN)を用い、F-net福島観測点（HROF）での強震波形データを入力として、Hi-net横浜観測点（YFTH）の地震波形データを予測した。まず、2004～2011年（東北地方太平洋沖地震の発生直前）の期間に日本海溝沿いで起きた60個の地震（Mw5.5-8.0）を教師データとして学習を行った（図4 a）。Hi-net記録は振り切れないことを確認し、広帯域化フィルタ（Maeda et al. 2011）施した。学習は東大情報基盤センターのWisteria-aによるGPU計算で2分を要した。

次に、学習済みモデルを用いて東北地方太平洋沖地震とそれ以降に発生した30個の地震（Mw5.8-9.0）の地震波形を予測した。予測波形の観測波形との一致度は、1）応答スペクトル、2）弾性エネルギー積算量、3）地震動継続時間、4）波形エンベロープ相関係数の4つの指標で評価し、いずれも四分位範囲が0.5～2倍に収まることを確認した（図5f）。ただし、入力観測点（福島、HROF）近傍の地震（図5d）は、その中でも予測精度が低くなり、その原因として震源から入力観測点の距離が短く、長周期地震動の起源である表面波がまだ発達していないためと考えられる。

予測に要する時間は、CPU計算でも1波形あたり0.05秒程度と短く、観測データの取得とともに短い間隔で予測繰り返すことで、予測精度と猶予時間のトレードオフを解消できると期待できる。東北地方太平洋沖地震の際には、地震から200秒後に関東で最大地動となるが、その90秒前には長周期地震動の応答スペクトルや継続時間を実際の80%のレベルで予測できることが確認できた（図5 c）。

3. 大規模並列地震波伝播シミュレーションコード(OpenSWPC)の整備・公開

本観測研究計画と、国内外の利用者からのフィードバックを受けて、地震波伝播シミュレーションオープンコード（Open SWPC; Maeda et al., 2017）の機能拡張を進めた。今年度の主な機能拡張として、1) Regionalスケールの計算に向けた全国一次地下構造モデルモデル（JIVSM）の世界測地系化への対応、2)東大情報基盤センターWisteria-oスパコン対応・性能チューニング、3) Python（Obspy, pyGMT）による計算結果の可視化処理ユーザーインターフェース拡充、4) クラウド上での計算実行環境の整備である。特に、Wisteria-oスパコンでの性能チューニングにおいて、MPIプロセスの最適配置とrankmapの利用により、昨年度のコードの2倍の高速化を達成した（図7）。最新コード（Ver 5.3.0）は、2023年2月にGitHub（<https://github.com/tktmyd/OpenSWPC>）で公開した。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
- ・目標3-(1)-ウに対し、本研究成果は深発巨大地震による強震動の生成メカニズムの解明と予測精度の向上に貢献する。
- ・目標5-(2)-アに対し、南海トラフにつながる琉球海溝での巨大地震（1911年喜界島地震）の震源メカニズムを明確化した。
- ・目標3-(2)-ウに対し、深層学習に基づく長周期地震動の即時予測手法を開発した。
- ・目標5-(3)-イに対し、地震動予測に必要な地震波伝播シミュレーションオープンコードの整備と公開を行った。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Furumura, T., Y. Oishi, 2023, An early forecast of long-period ground motions of large earthquakes based on deep learning, J. Geophys. Lett., submitted

Furumura, T. and BLN Kennett, 2023, Distinctive seismic reflections from the subducting Pacific slab for earthquakes in the Ryukyu arc, Geophys. J. Int., <https://doi.org/10.1093/gji/ggac514>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

田屋大輝・古村孝志, 2022, 1次元畳み込みニューラルネットワークによる速度応答スペクトル予測, 日本地震学会秋期大会, S21-06

江成徹平・古村孝志, 2022, 地震波干渉法によるグリーン関数を用いた長周期地震動の即時予測, 日本地震学会秋期大会, S15-11

古村孝志, 2022, 深層学習に基づく長周期地震動の即時予測実験, 日本地震学会秋期大会, S21-P10

T. Furumura & B.L.N. Kennett, 2022, Distinctive deep S reflections from the Pacific slab, 日本地球惑星科学連合2022大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

リアルタイム強震観測データと高速シミュレーションの同化、及び深層学習に基づいて、南海トラフや日本海溝沿いの大地震による長周期地震動と強震動の即時予測の実現に向けた基礎開発を令和4年度に継続して進める。OpenSWPCの継続開発を進め、東大情報基盤センターのWisteria-aスパコンのGPUへの適合を調査し、また大規模シミュレーションの普及促進を図る。本研究課題の5カ年の成果を取り纏め、即時予測技術の社会展開に向けた課題と見込みをもとに、次期計画での重点目標を定める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

古村孝志（東京大学地震研究所）、三宅弘恵（東京大学地震研究所）、武村俊介（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

田中淳（東京大学大学院情報学環）、関谷直也（東京大学大学院情報学環）、竹中博士（岡山大学）、前田拓人（弘前大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：古村孝志

所属：東京大学地震研究所

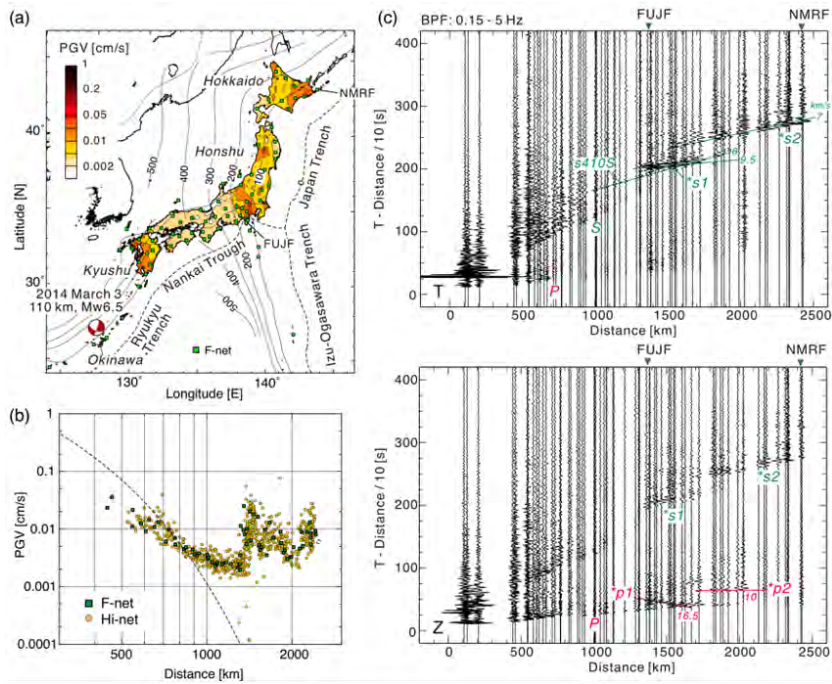


図 1

(a) 琉球海溝のやや深発地震（110 km）における日本列島の地動速度分布(PGV)、(b)PGVの距離減衰特性と距離減衰式（Si & Midorikawa, 1999）との比較。(c) F-net観測点記録の記録セクションTransverse (T)、Vertical (Z)成分に見られる大振幅のS反射波（*s1, *s2）。

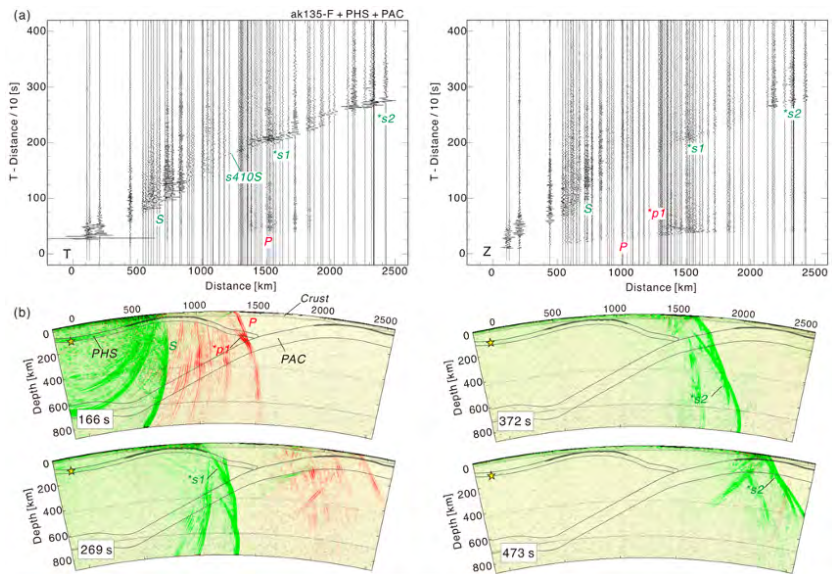


図 2

琉球海溝のやや深発地震の3次元地震波伝播シミュレーション。(a) F-net観測点での計算結果の記録セクションT,Z成分、(b)琉球海溝から北海道にかけて北東-南西方向に横切る断面での波動場スナップショット（赤がP波、緑がS波を表す）。太平洋プレート（PAC）上面でのP,S反射（*p1,*s1）と660 km境界でのS反射（*s2）をマーク。

1911年喜界島地震 震度分布

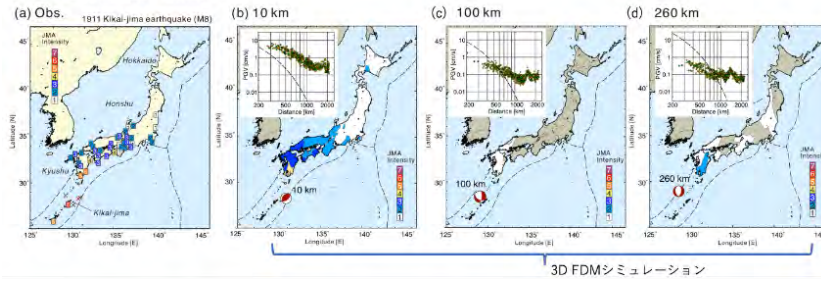


図3

1911年喜界島地震（M8）における震度分布（a）と、異なる震源の深さ（10, 100, 260 km）による地震波伝播シミュレーションによる震度分布（b, c, d）。震源の位置とメカニズムは、各深さで発生した近年の地震のメカニズムをもとに設定。

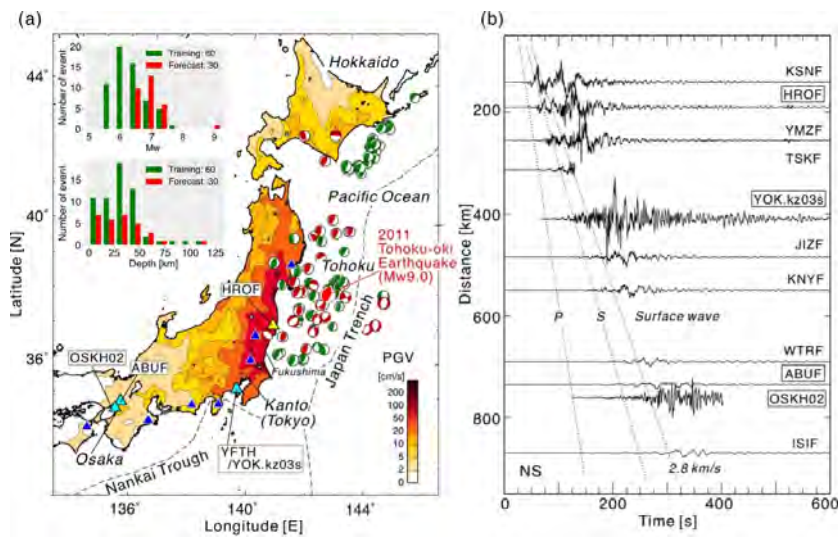


図4

深層学習（TCN）による関東及び大阪平野での長周期地震動の即時予測テスト。(a) 予測モデルの学習に用いた地震（緑；2011年東北地方太平洋沖地震の前）と、予測実験に用いた地震（赤；東北地方太平洋地震とそれ以降の地震）。入力観測点（HROF, YOK.kz03s）と予測地点（関東：YFTH、大阪：ABUF、OSKH02）。(b) 東北地方太平洋沖地震の記録セクションNS成分（F-net, SK-net YOF.kz03sと KiK-net OSKH02）。

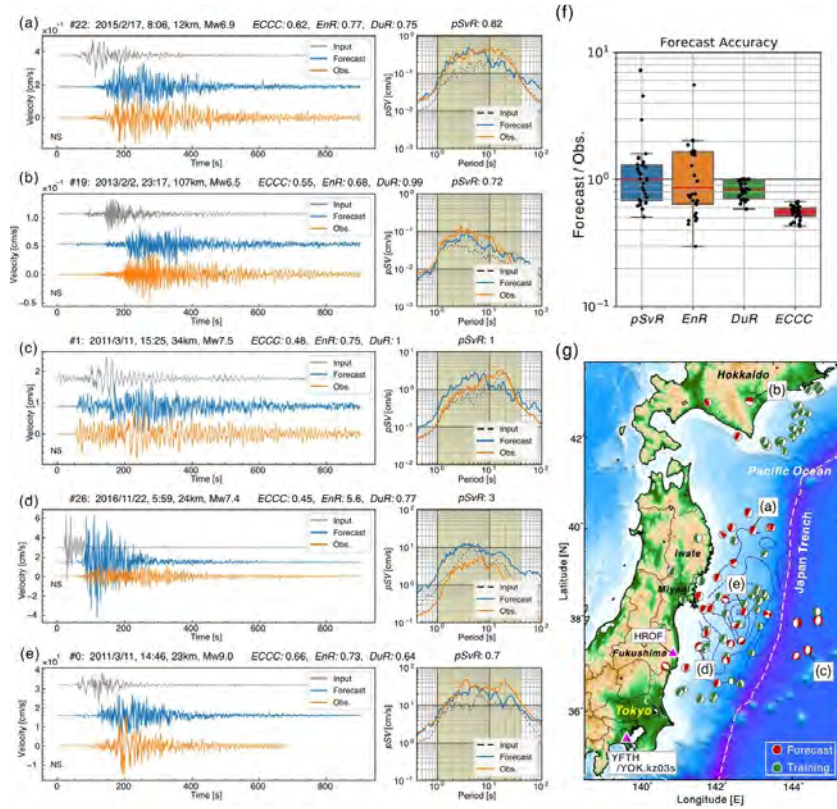


図 5

(a)-(e) 深層学習 (TCN) による関東 (YFTH, YOK.kz03地点) での長周期地震動波形の予測結果 (5地震) と速度応答スペクトルの比較。グレーは入力波形 (HFOR)、青が予測波形、オレンジが観測波形。(f) 予測を行った30地震について観測の一致度を、速度応答スペクトル比 (pSVR)、弾性エネルギー累積量比 (EnR)、継続時間比 (DuR)、エンベロップ相互相関係数(ECCC)について、四分位図で評価。(g) 学習に用いた地震 (緑) と予測に用いた地震 (赤)、および入力 (HROF) と予測地点 (YFTH/YOK.kz03s)。

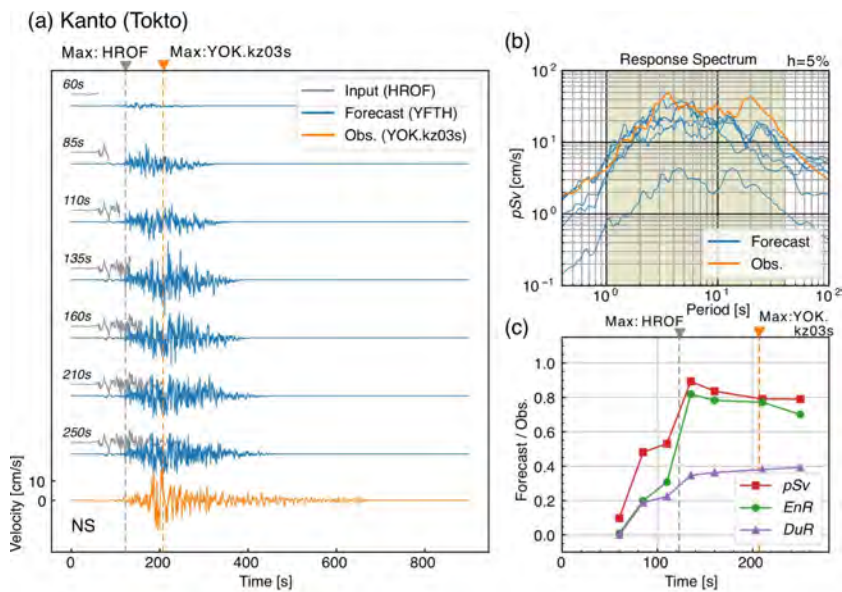


図 6

関東平野における長周期地震動の繰り返し予測実験。(a) 地震発生から60, 85, ..., 250秒後までの入力観測点 (HROF) での波形記録 (グレー)、YFTH/YOK.kz03s観測点での予測波形 (青)、実際の観測波形 (オレンジ)。(b) 繰り返し予測における速度応答スペクトルの変化と観測との比較。(c) 予測性能 (pSVR,

EnR, DuR) の時間変化。グレーとオレンジの波線は、入力観測点と予測地点で地動が最大振幅となる時刻。

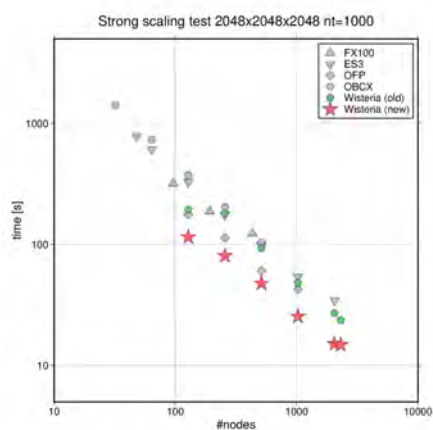


図 7

OpenSWPCの並列化演算性能。横軸が計算ノード数、縦軸が3次元計算（2048x2048x2048格子点）で1000タイムステップに要する時間（秒）。緑印は2022年度のコード、赤印は最新コードでの演算時間を表す。性能チューニングにより2倍のスピードアップを実現。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震の震度を検証および定量化したいと考え、2020年9月から根津周辺における稠密観測を継続している。安政江戸地震の揺れの検証を目的のひとつとし、観測点は同地震の被害史料の分析から被害場所が特定できた地点とその近隣地点にした。2023年2月時点では11点で観測をしている。これまでに文京区本郷で震度1以上を記録した地震は98回あり、それらのデータを用いた暫定的な結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

石瀬素子・酒井慎一・中村亮一・原田智也,2022,安政江戸地震の被害記述の科学的検証～印西市・成田市・佐倉市での地震観測を通して,印西の歴史,13,23,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

最終年度のため、寺社等における観測を撤収する。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結果をまとめる。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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

酒井慎一（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：酒井慎一
所属：東京大学地震研究所・東京大学大学院情報学環

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和四年度は、強震動による地震災害誘因の分析に必要な、国内外の地震に対する強震動記録の分析や強震動予測を進めると共に、広帯域地震動プラットフォームの構築に関する国際共同研究を行った。

米国南カリフォルニア大学に本部を置く南カリフォルニア地震センターSCECでは、断層面と地下構造モデルを入力情報として、複数の強震動予測手法によるValidationを行う場として広帯域地震動プラットフォーム (SCEC Broadband Platform) が構築されている。特徴は、時刻歴波形ではなく工学的利活用を目的とした5%加速度疑似応答スペクトルによる評価、地震動の再現度合を判断する客観的評価指標の導入、そして計算コードの公開である。本研究では、このプラットフォームに米国や韓国で開発された手法に加え、日本で開発された強震動予測手法を実装し、国際展開を図った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震の災害誘因の事前評価手法の高度化に関する研究を予定通り実施した。また、日本で開発された強震動予測手法を国際的なプラットフォームに実装したことにより、世界複数国の重要構造物の入力地震動に検討される可能性が生まれ、災害の軽減に貢献する一助となる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

三宅弘恵・上原美貴,2022,2021年千葉県北西部の地震の首都圏における強震動,日本地震学会2022年度秋季大会,S15-21

Miyake, H. and N. Morikawa,2022,Seismic source characterization for probabilistic and scenario seismic hazard analysis beneath the complex tectonic setting,AGU Fall Meeting 2022,S45B-07

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和五年度は、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。

に資する研究を引き続き推進する。具体的には、大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害のフラジリティの研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

三宅弘恵（東京大学地震研究所）,古村孝志（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学大学院情報学環,北海道大学,東京工業大,信州大学,福井大学,広島大学,高知大学,九州大学,国立研究開発法人建築研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名 : 三宅弘恵

所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

堆積物に基づく噴火物理化学パラメータ推定手法の高度化と事象分岐判断への活用

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
- 火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

- ア. 火山現象の定量化と解明
- イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
- ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
- エ. 桜島大規模火山噴火
- オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1回の噴火の噴出量は噴火の規模を決定するために必要な物理量であり、地表面現象や災害の性質にも密接に関係する。噴出率や噴出物組成とそれらの時間変化は、噴火様式や推移の理解において重要であり、進行中の噴火では推移予測のための基礎データとなる。これらの物理化学パラメータは事象分岐の判断においても重要な要素になる。そのため、活動的火山においては過去の噴火におけるこれらのパラメータを解明することに加えて、噴火開始後には迅速にそれらを明らかにし、事象系統樹における分岐判断に取り入れていくことが重要になる。ただし現状の事象系統樹の試作及び活用において、この点は十分に克服できていない。本課題ではとくに下記(a)~(c)の問題点を踏まえ、活動的火山における将来の噴火を念頭に、噴火時の地表面現象を迅速に把握し、堆積物及び噴出物データをもとに噴火の物理化学パラメータ（噴出量・噴出率など）を推定するための既存手法を見直し、より高度かつ実用的なものへと発展させることを目指す。

(a) 噴火発生時には即時的な現象観察と地質調査を行い、堆積物データをもとに物理化学パラメータとその変化を迅速に決定する必要がある。その際に地震学的・測地学的データなど地球物理学観測と

の照合も行われるべきである。しかし現状、堆積物及び噴出物にもとづくパラメータ推定手法や他の観測データの活用方法は十分に確立されているわけではない。噴出率や噴出量推定にはいくつかの経験則や理論モデルが用いられるが、推定値が定まらない場合が多く、誤差の定量的評価も不十分である。近年の新燃岳噴火などではこの問題が顕在化している。

(b) 事象分岐を判断する上で上記パラメータが重要な役割を担うと考えられるが、具体的に事象系統樹に組み込むためには、分岐の重みについて定量的基準が必要である。

(c) 実際の噴火に際しては、堆積物データをもとに事象分岐の判断を試行し、調査観測研究の成果を迅速に取り入れつつ、噴火事象系統樹を更新していくことも必要である。そのために、噴火発生時には調査観測を全国連携で機動的に実施するとともに、関連機関とも密接に連携する必要がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

火山噴火直後に得られる堆積物の地質学的情報（層厚・粒径分布等）を用いて、物理モデルや経験則と組み合わせる噴火物理パラメータ（噴出量・噴出率など）を推定するための既存手法をレビューし、その評価及び改良を行う。近年の霧島山、桜島、浅間山等での噴火や、海外の噴火を対象に堆積物データの再解析を行うとともに、地球物理観測データ等から推定される物理量との照合を行い推定手法の最適化を試みる。また推定値の信頼度評価手法についても検討する。一方物理パラメータに加えて、噴火直後の地表面現象や発生場の把握と、化学組成等物質科学的データについても、その即時把握と活用方法について、事象分岐判断への導入を念頭において検討する。上記火山や他の活動的火山での噴火を想定し、堆積物及び噴出物データの迅速な取得のための機動的観測方法や体制の整備、データ共有方法の検討も同時に進める。とくに上述の(a)~(c)に着目して研究を進める。

2019年度においては、(a)については、噴火堆積物をもとに噴火の物理化学パラメータを見積もるための手法や理論及び経験モデルを整理し、それらの精度と適用性について実際の噴火事例をもとに検討する。また地球物理学的観測データの活用方法について検討し、地質・物質科学的情報と地球物理学的観測から得られる物理量との差異やその原因について、実例をもとに考察する。即時的現象把握に関しては、遠隔観測やドローンの活用方法についても検討する。(c)については、将来の噴火を想定し、噴火の物理量を迅速に把握し、事象系統樹の評価改良を速やかに行うための、機動的かつ効率的な火山噴出物調査手法の提案を目指す。そのための議論を、研究集会などの場を設けて行う。これは2023年度まで年1回を目安に実施する。

2020年度においては、前年度からの(a)に関する研究を継続する。また(b)に対応して、既存研究や海外の事例などをもとに、噴火現象の分岐に関係する地質学、物質科学および地球物理観測にもとづく基準（噴出率変化等）を整理し、事象分岐の重みの論理的、数値的評価方法を探る。

2021年度においては、前年度からの(a)、(b)に対応する研究を継続する。またそれらを踏まえて、霧島山、伊豆大島、浅間山など活動度の高い火山について事象分岐判断基準の評価、改良を進める。

2022年度においては、これまでの研究を総括しつつ、噴火時の地質及び物質科学的データの迅速な収集と現象の即時的把握、噴火物理化学パラメータの解析、事象系統樹や分岐判断への活用方法についてまとめる。また、噴火が想定される火山や噴火中の火山の調査観測を全国連携で機動的に実施する枠組みや、関連機関との連携方法について整理し、噴火の際には実践する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

堆積物解析手法の高度化については、噴出物の迅速なマッピング、噴出量・噴出率の高精度推定を目指した研究を、噴出物時系列解析・分析手法の高度化については、化学組成、組織、色等の情報取得とその活用を目指した研究を複数の火山で実施している。本年度も霧島、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名等の火山を対象とするとともに、2021年に海底噴火を起こした福徳岡ノ場や2022年に噴火を起こした硫黄島も対象に加え、噴出物の構成物、組成、組織等の時系列変化を明らかにする研究を進めた。

霧島新燃岳については、2017-2018年噴火の表面現象・噴火様式推移を、噴火時の調査観察（踏査およびドローン）と噴出物の物理化学分析にもとづき明らかにした。その結果、観測された噴火様式とその変遷は、山頂火口直下の地質構造とマグマ上昇率の影響を強く受けたこと、爆発と溶岩ドーム形成を同時に発生するハイブリッド噴火により、2011年噴火には認められない高結晶度の軽石が生じたことなどがわかった。この研究をまとめ論文を投稿した。

2021年8月に福徳岡ノ場で発生した大規模海底噴火については、衛星やインフラサウンドデータを

活用した噴火様式や詳細な時系列にもとづく噴火推移の把握、定常一次元モデルを用いた噴出率等の噴火パラメータの推定、噴出物の化学分析にもとづくマグマの特徴の把握とSO₂収支の推定などを行い、この噴火の全体像（噴出量0.1-0.4 km³、噴出率10⁶ kg/s以下）と浅海におけるマグマと海水との相互作用のプロセスを明らかにした（Maeno et al., 2022）。また、漂流軽石の気泡組織の解析を進め、マグマ上昇過程やマグマと海水との相互作用のプロセスを解明する研究にも取り組んだ。その結果、最も存在量が多い灰色軽石について、気泡数密度は一般的なプリニー式噴火と比較して桁で小さく、マグマ上昇速度はそれほど高くなかった可能性が示された。

アクセス困難な地域の試料採取や地形調査の迅速な実施におけるドローンの活用方法や実例（霧島新燃岳、西之島）について整理し出版した（前野, 2022）。

課題参加者による研究集会を2023年2月に実施し、本課題の今後の進め方や最近の研究成果等について情報交換を行った。とくに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。今後噴火が発生した際には、防災科学技術研究所のJVNDを活用したデータ共有の枠組みを積極的に活用していくことなどを確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火山噴火時の即時的現象把握や、噴出量等の噴火パラメータ推定のための調査協力およびデータ共有体制の構築は、課題3(2)ウの大きなテーマであるが、研究集会の実施や論文化を通して着実に進んでいる。福徳岡ノ場噴火についてはアクセス困難な火山での噴火対応の実践となったが、リモート地物観測データ、地質物質科学的データ、モデリングを融合させたアプローチの有用性が示された。迅速性において課題は残るものの、本建議項目の目的に対しては大きく貢献するものである。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Maeno, F., Kaneko, T., Ichihara, M., Suzuki, Y.J., Yasuda, A., Nishida, K., Ohminato, T., 2022, Seawater-magma interactions sustained the high column during the 2021 phreatomagmatic eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba., *Communications Earth and Environment*, 3, 1, doi:10.1038/s43247-022-00594-4, 査読有, 謝辞有

前野 深, 2022, 火口近傍地質データをいかに取得するか?—ドローンによる接近観測とその火山学的意義—, *月刊地球*, 519, 26, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

前野 深・金子隆之・市原美恵・鈴木雄治郎・安田 敦・西田 究・大湊隆雄, 2022, 2021年福徳岡ノ場噴火における水に富んだ持続的噴煙柱の形成, *日本火山学会秋季大会*, B2-13

水野樹・前野 深, 2022, 気泡組織解析に基づく2021年福徳岡ノ場噴火のマグマ上昇プロセスの推定, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, SVC32-P11

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

噴火堆積物をもとに噴火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について、実際の噴火事例をもとにそれらの精度と適用性についてさらに検討を進め、課題の総括へ向かう。また、地球物理学的観測データの活用方法についても検討を行い、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（噴出率やSO₂放出量など）やその原因について考察する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前野深（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

宮縁育夫（熊本大学）, 嶋野岳人（常葉大学）, 鈴木由希（早稲田大学）, 吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）, 石塚吉浩（産業技術総合研究所）, 三輪学央（防災科学技術研究所）, 長井雅史（防災科学技術研

究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前野深

所属：東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

観測研究データへの永続的識別子付与

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究データに永続的な識別子を付与し、観測研究計画で得られたデータの効率的な公開と利用の促進をはかる。

近年、「オープンデータ」をキーワードに、研究データにもDOI（Digital Object Identifier：論文等の永続的識別子としてよく知られる）などの永続的な識別子をつけるという運動が広まりつつある。データに識別子を付与することにより、データを適切に利用（引用）することができ、また、論文の被引用件数と同様に、利用された履歴を機械的に追跡できるようになるためデータ提供者の評価にもつながる。本計画では、観測研究で得られたデータについて、識別子をつけて公開するための課題を検討し、実際に公開をすすめる。現計画だけでなく過去の計画で取得したデータの公開についても検討する。

専門家だけでなく非専門家も含む幅広い人々がデータを使えるようになれば、これまでにない新しい発想での解析等が実施される可能性がある。また、データに立脚して地震学への理解を広めることができるようになる。そのためには、データを公開するという意思と、公開したデータを管理、追跡する手法とが必要である。すでに多くのデータが公開されているが、すべてのデータに誰でも容易にアクセスできるという状況には至っておらず、改善の余地がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題の実施にあたっては、課題番号ERI27「研究成果共有データベースの構築」や、観測実施機関の関連する課題との連携を密にする。

関係者間でデータへのDOI等永続的識別子付与についての情報交換をおこなう。また、5年間の研究期間中に実際のデータのうち、条件の整ったものを対象に永続的識別子を付与して試行的に公開する。DOIの付与には、自ら登録機関に登録する、データジャーナルを出版し、そこにデータペーパーの投稿を受け付ける、既存のデータジャーナルに投稿する、などの手法が考えられる。それぞれの手法の長所・短所などを検討する。また、データの種類やその生産者（観測、実験、数値計算等）によって最適な手法は異なるとも考えられるため、観測研究計画関係者から広く情報提供を求める。

平成31-32年度においては、DOI等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理する。永続的識別子付与について先行する防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、極地研究所、海上保安庁の事例も参考にする。

平成33-34年度においては、前年度までの検討にもとづき、識別子としてDOIを想定し、公開に必要なシステムの要件を検討し、システム開発を開始する。開発したシステムによりDOI付与および公開を実施する。観測研究計画の各担当者から得たデータ公開に関する情報を分析する。

平成35年度においては、前年度までに実施したDOI付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データのDOI付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡ってDOI付与・公開するための課題を検討する。

平成35年度においては、前年度までに実施したDOI付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データのDOI付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡ってDOI付与・公開するための課題を検討する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

東京大学では機関リポジトリ（UTokyo Repository）に外部で公開しているデータベース等のメタデータを登録できる。いくつかのデータを登録し、DOI付与も実現した。機関リポジトリを通じて「データカタログ横断検索システム」やGoogle Dataset Searchなどにも登録される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

データへの永続的識別子付与の検討を通して研究基盤の整備に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

加納靖之,2022,歴史地震研究におけるデータ整備と公開,令和4年度ROIS-DS-JOINT2022共同研究集会「オープンサイエンス時代の重力観測・データの流通と利活用」,15,<http://id.nii.ac.jp/1291/00017200/>

Kano, Y.,2022,A few Examples of Activity of Open Science in Historical Earthquake Studies,日本地球惑星科学連合2022年大会,MGI30-11

Kano, Y.,2022,A few Examples of Activity of Open Science in Historical Earthquake Studies,日本地球惑星科学連合2022年大会,MGI30-11

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

加納 靖之（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

汐見勝彦（防災科学技術研究所）,高橋浩晃（北海道大学）,内田直希（東北大学）,澁谷拓郎（京都大学防災研究所）,松島健（九州大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

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

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名 : 加納 靖之

所属 : 東京大学地震研究所

地震史料集テキストデータベース

<https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/record/2902833>
「学術機関リポジトリ」に収録する

データセットについて

このデータベースでは、これまで収集・出版されてきた地震や火山噴火に関連する史料のテキストを体系的に検索できます。 / Database of Materials for the history of Japanese earthquakes / Keywords: 歴史地震, 歴史資料, 地震, 火山, テキストデータ, historical earthquake, historical document, earthquake, volcano, text data [ソース] Fulltext

データセット

JSONダウンロード

sckan_id	18.178.205.230_oai-irdb-nii.ac.jp-00926-000517276
sckan_title	地震史料集テキストデータベース
sckan_site_name	学術機関リポジトリ
sckan_site_url	https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/record/2902833
sckan_last_updated	2022-01-21T09:33:28Z
sckan_description	このデータベースでは、これまで収集・出版されてきた地震や火山噴火に関連する史料のテキストを体系的に検索できます。 / Database of Materials for the history of Japanese earthquakes / Keywords: 歴史地震, 歴史資料, 地震, 火山, テキストデータ, historical earthquake, historical document, earthquake, volcano, text data [ソース] Fulltext
データセットのライセンス	
maintainer	
relationships_as_object	
private	false
maintainer_email	
num_tags	0
id	38998b8e-80ef-426e-ae0e-2a11b702f529
データセットの発行日 (自動設定)	2022-01-21T09:33:28.744259
データセットの更新日または修正日 (自動設定)	2022-01-21T09:33:28.744266
author	東京大学地震火山史料連携研究機構, Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo
author_email	
state	active
version	
creator_user_id	236469ef-c560-453f-854a-79898438210c
type	dataset
num_resources	1
license_id	
relationships_as_subject	
name	oai-irdb-nii.ac.jp-00926-000517276
isopen	false
データセットの説明ページURL	
データセットの説明	このデータベースでは、これまで収集・出版されてきた地震や火山噴火に関連する史料のテキストを体系的に検索できます。 / Database of Materials for the history of Japanese earthquakes / Keywords: 歴史地震, 歴史資料, 地震, 火山, テキストデータ, historical earthquake, historical document, earthquake, volcano, text data
owner_org	35e0fa77-578c-4f1b-ba47-9ecfd92932a
データセットのタイトル	地震史料集テキストデータベース
revision_id	45b4a1f5-86ae-4b6f-8c27-c115129d9844

組織

description	
created	2021-09-16T08:11:45.405025
title	IROB
name	irdb
is_organization	true
state	active
image_url	
revision_id	a238f758-ae01-46a4-b477-d1fc6e835d27
type	organization
id	35e0fa77-578c-4f1b-ba47-9ecfd92932a
approval_status	approved

配信

- 配信 1	
mimetype	
cache_url	
hash	
配信の説明	
配信の名称	Fulltext
配信のファイル形式	HTML
配信の情報提供ページURL	https://reosmalls.u-tokyo.ac.jp/
dataset_active	false
cache_last_updated	
package_id	38998b8e-80ef-426e-ae0e-2a11b702f529
配信の開始日 (自動設定)	2022-01-21T09:33:28.753100
state	active
mimetype_inher	
配信の最終更新日 (自動設定)	
position	0
revision_id	45b4a1f5-86ae-4b6f-8c27-c115129d9844
url_type	
id	d68c36da-1bfc-4f69-b439-d705387b4973
resource_type	
配信のバイトサイズ	

付加情報

データセットの情報を記述する言語	jin
nii-type	dataset
oai-identifier	oai-irdb.nii.ac.jp:00926:000517276
データセットの公開者	東京大学地震火山史料連携研究機構
sckan_site_name	学術機関リポジトリ
sckan_site_url	https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/record/2902833

「データカタログ横断検索システム」に登録されたデータの例

The screenshot shows a Google Dataset Search interface. At the top, the search bar contains the text '地震史料集テキストデータベース'. Below the search bar, there are filters for '最終更新日', 'ダウンロード形式', 'ライセンス', 'トピック', and '無料'. The search results show two datasets. The first dataset is '地震史料集テキストデータベース' from search.ckan.jp, updated on Apr 5, 2017. The second dataset is 'Database of materials for the history of Japanese earthquakes' from repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp, updated on Nov 17, 2021. This second dataset is highlighted with a grey box. To the right of the highlighted dataset, there is a detailed view showing the file format 'txt, application/x-yaml, text/x-shellscript', the update date 'Nov 17, 2021', the creator '東京大学地震火山史料連携研究機構', the license 'Attribution-ShareAlike 4.0 (CC BY-SA 4.0)', the target region '東京都', and a link to the '説明' (Description) page. A message on the left indicates that results are not displayed as expected and provides a link to instructions on how to add new datasets to the index.

Google Dataset Search results for "地震史料集テキストデータベース".

2件のデータセットが見つかりました

地震史料集テキストデータベース
search.ckan.jp
更新日: Apr 5, 2017

Database of materials for the history of Japanese earthquakes
repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp
application/x-yaml +2
更新日: Nov 17, 2021

txt, application/x-yaml, text/x-shellscript

データセット更新日
Nov 17, 2021

データセットの作成元
東京大学地震火山史料連携研究機構

ライセンス
Attribution-ShareAlike 4.0 (CC BY-SA 4.0)
ライセンス情報は自動的に取得されました。

対象地域
東京都

説明
Database of Materials for the history of Japanese earthquakes

結果が期待どおりに表示されない場合:
インデックスに新しいデータセットを追加する方法についての説明をご覧ください。

Google Dataset Searchに登録されたデータの例

(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：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、JGNに関わるTDXの移転対応を実施した。また、京都大学防災研究所宮崎観測所においてSINET6への新規接続を完了した。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継続した。令和5年3月30日にデータ流通ワークショップを開催予定である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

観測データを関連の機関において安定してリアルタイムで共有する基盤の整備と運用は非常に重要であると考えている。今後においては現在は1万チャンネルにおよび地震波形データの流通を実現しているが、これらを飛躍的に向上できる基盤の開発と整備が求められる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

鶴岡 弘,2023,MQTT プロトコルを用いた WIN システム用リアルタイム波形表示システムの開発,東京大学地震研究所技術研究報告,印刷中,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

観測データ流通網JDXnetへの接続ポイントを拡大するとともに、引き続きJDXnetの安定的な運用を継続する。新たなデータ流通プロトコルのテストを実施するとともに、データ流通ワークショップを開催する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡弘（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学,弘前大学,東北大学,東京大学,東京工業大学,名古屋大学,京都大学,高知大学,九州大学,鹿児島大学,防災科学研究所,気象庁,海洋研究開発機構,産業技術総合研究所,国土地理院,地震予知総合研究振興会,国立天文台,北海道,青森県,東京都,神奈川県,静岡県

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鶴岡弘

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

光技術を用いた地下深部・火山近傍における地震・地殻変動計測技術の確立

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

断層すべりや応力場など地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部や断層近傍における観測手法の確立が不可欠である。また、火山観測においては、インフラの乏しい火山体近傍における観測でマグマ移動等に伴う地下深部の質量変動などの監視が必要である。

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での次世代の光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。小規模のシステムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

光ベースの小規模の地震・重力の計測システムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。計画前半では、光通信分野の研究機関やメーカーと連携し、長距離伝送試験や複数のセンサに光源を同時配信する光センサ・ネットワーク実験を行い、高温の地下深部あるいは火山活動時にアクセス困難となる火口近傍での地震・地殻変動の観測手法を確立させる。計画後半に同システムを用いた観測を実施する。

2019年度においては、地震計・小型絶対重力計などのセンサに関して、長距離の光ファイバ伝送試験を実施する。

2020年度は、複数のセンサを同一ファイバに接続しそれらの信号を分離する多重化試験を実施する。

2021～2023年度には、野外における予備的な試験観測の実施後、地熱地帯や火山近傍での試験観測とその結果の総括を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。

当初計画では野外における予備的な試験観測の実施後、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こととしていた。2021年度に南極野外環境で実施した観測データに風の影響とみられる変動が記録されており、風速と擾乱の大きさととの関係を解析した。また、火山近傍に位置する蔵王観測所（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）において観測を実施した。さらに光干渉方式の小型地震計を試作し、性能評価を行なった。

2021年度に南極露岩上で行なった観測データを再解析し、風速と重力値のばらつきの関係を定量的に評価した。図1の青点は2分ごとに計測された昭和基地の野外の露岩上の重力値であり、理論的に予想される値（赤線）からのばらつきがみられる。昭和基地の風速（黒線）と比較すると、風速が一時的に小さくなった時刻にばらつきが小さくなっており、振動加速度が風速の2乗に比例する傾向があることがわかった。すなわち、風速が大きいと精度の高い重力測定は困難となる一方、ある程度以下の風速では地面振動や測定値のばらつきは急激に小さくなる。

継続して行なっている蔵王観測所における重力観測については、2021年度に開発した小型の組み込み加速度計を用いて、2022年10月26日～11月2日に実施した。

光干渉方式の地震計については、市販の地震計で用いられている小型振り子に再帰性の鏡を取り付け、外部の半導体レーザーからの光を光ファイバで導入し、干渉計を構成した。振り子のコイルに制御をかけることで、0.01～25Hzの速度平坦特性をもつ広帯域地震計を試作し、設計の特性となっていることを確認した。

このように概ね当初計画に沿って、光ファイバで接続できる地震計・重力計を用いて野外を含む環境で性能評価を行なった。今後は多重化や長期観測等、面的な観測網を構築するための開発研究を継続する。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火山帯の野外環境に近い状態で、長基線光ファイバで光源と接続する構成で重力データを取得し、誤差要因等の評価を行なった。火山帯における長期の野外重力観測を計画する上で必要となる基礎データを取得した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

新谷昌人,2022,光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究,東北大学電気通信研究所研究活動報告,28,304-306,査読無,謝辞無

新谷昌人, 小野寺圭祐, 川村太一, 辻健, 田中智,2022,月地震観測のための光干渉式地震計の開発,第66回宇宙科学技術連合講演会講演集,4F12,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

新谷昌人, 岡大輔, 福田洋一, 青山雄一, 服部晃久, 西島潤, 奥野淳一, 土井 浩一郎,2022,第63次日本南極観測隊で実施された絶対重力測定,日本地球惑星科学連合2022年大会,SGD02-P03

新谷昌人, 岡大輔, 風間卓仁, 西島潤, 服部晃久, 福田洋一, 奥野淳一, 青山雄一, 土井浩一郎, 葛西恵介, 坪川恒也,2022,小型絶対重力計TAG-1を用いた低温野外環境における 連続重力観測,日本測地学会第138回講演会,62

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまで行なってきた火山帯の観測所での絶対重力観測を実施する。また、試験観測による性能評価および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継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新谷昌人（東京大学地震研究所）,高森昭光（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

葛西恵介、他2名（東北大学）,福田洋一、他1名（京都大学）,荒木英一郎（海洋研究開発機構）,田村良明（国立天文台）,土井浩一郎、他2名（極地研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新谷昌人

所属：地震研究所

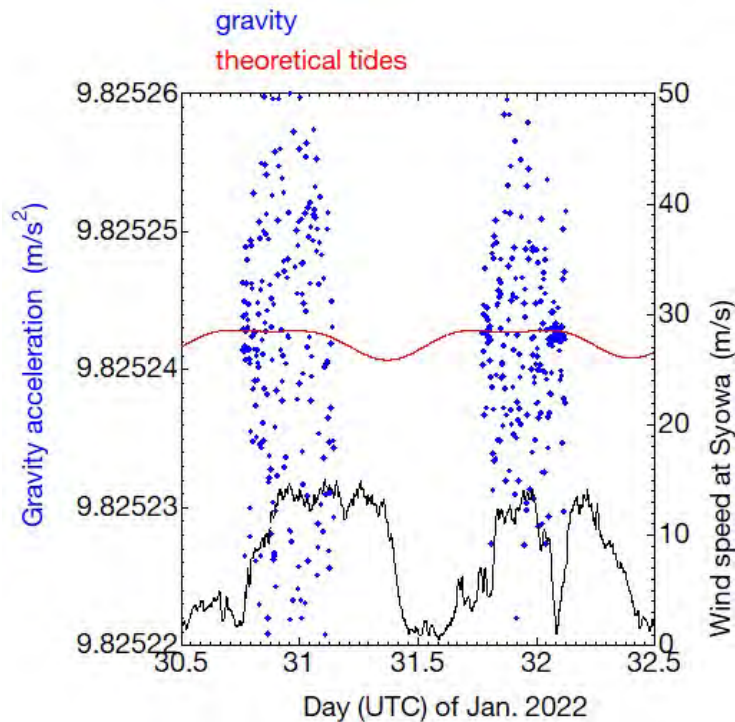


図1 昭和基地の屋外の基準点BM2316において測定された重力値（青点、左軸）および昭和基地で観測された風速（黒線、右軸）。赤線は基準点における重力の計算値を示す。風速は気象庁保有の地上気象データを利用した。

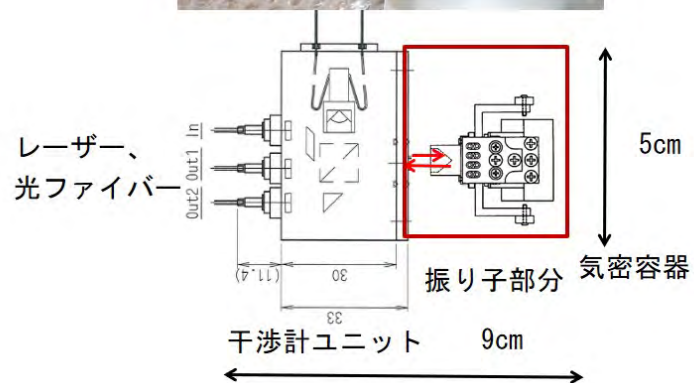


図2 光干渉方式の地震計。振り子に再帰性の鏡を取り付け、外部から光ファイバで導入されたレーザー光により干渉計が構成される。振り子のコイルに制御をかけることで、速度平坦特性をもつ広帯域地震計として動作する。

(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：

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

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2019年度までの研究によって得られるようになった透過像は1枚の画像を得るのに半年かかっている。一方で、2018年度終了時までの技術開発によりミュオグラフィの口径が6㎡に拡張されることで画像取得速度は10倍向上した。したがって、①2019年度以降は1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カ月に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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2020年度は、100枚を超える透視画像を纏める事で、24枚の時系列透視画像を作成した（図1）。作成された時系列透視画像と衛星SARデータを比較した（図2）。衛星SARによって捉えられた桜島山頂付近の隆起/沈降と噴火の活発期/平穏期との間に負の相関が、また、山頂付近の隆起/沈降と火口底

直下の密度の上昇、減少との間に正の相関があるとの兆候が見えている。この発見に基づき、噴火の平穏期には、火道中に高密度のプラグが形成されマグマ性ガスがトラップ、圧縮されることにより山体が膨張する。反対に、噴火の活発期には、プラグが存在しないことからガスが抜け、山体が収縮すると結論づけられた。衛星SARデータとの連携は予測精度の向上につながると期待される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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・解析技術の開発において宇宙線技術を応用した火山活動予測技術の高度化に貢献する。国際共同研究の推進に貢献した。素粒子物理学分野、火山学分野、測地学分野の研究者と連携して研究分野間の連携を強化した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

László Oláh, Giuseppe Gallo, Gergő Hamar, Osamu Kamoshida, Giovanni Leone, Edward W. Llewelin, Domenico Lo Presti, Gábor Nyitrai, Takao Ohminato, Shouhei Ohno, Hiroyuki K. M. Tanaka, Dezső Varga, 2023, Muon Imaging of Volcanic Conduit Explains Link Between Eruption Frequency and Ground Deformation, Geophys. Res. Lett.

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2022年度作成された時系列透視画像と衛星SARデータについては、観測期間が短く、活発期/平穏期2周期分から判断する必要があり、十分な確度で相関を議論することができない。本研究においては、上記の国際チームが2023年より5年間の連続観測を実施することにより、相関の確度を向上させる。成果を取りまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中宏幸（東京大学地震研究所）, 林直人（東京大学医学部附属病院）

他機関との共同研究の有無：有

根本充貴（近畿大学）, 増谷佳孝（広島市立大学）, Dezső Varga（ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中宏幸

所属：地震研究所

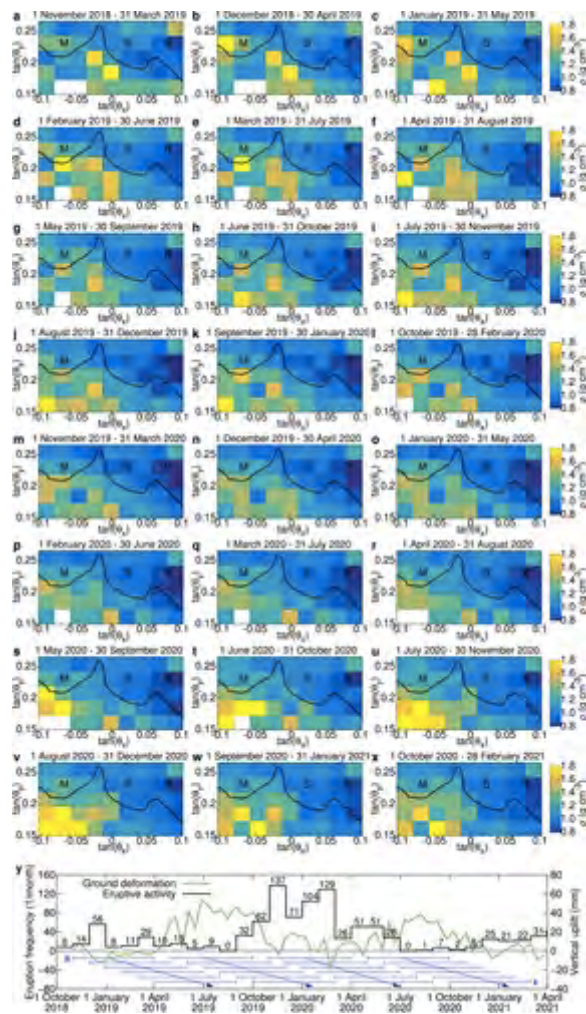


図1 桜島の時系列透視画像

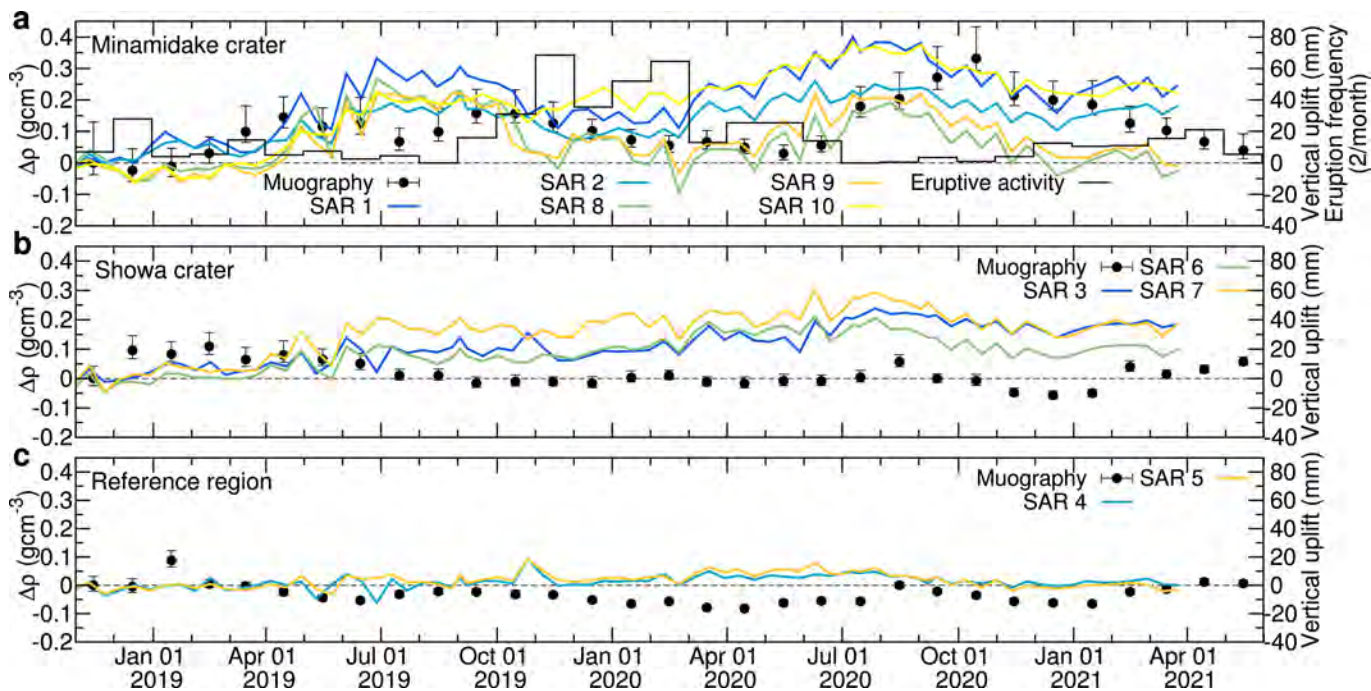


図2. 桜島火口近傍における密度変化、噴火頻度、SAR変位との比較

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底ケーブルを用いる地震・地殻変動・津波リアムタイム観測技術開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震火山噴火発生予測において、海域となっている海洋プレートの沈み込み帯直上における地震・地殻変動・津波観測は本質的な情報を与える。データがリアルタイムで得られる定常的海底観測は、地震火山噴火発生予測のための海洋プレート沈み込みに関する研究に寄与するだけでなく、緊急地震速報の高度化や緊急津波情報の発信など、防災上不可欠の情報を得ることができる。これらの目的のためには、できるだけ高密度で高品質のデータを取得する必要がある。そこで、本研究計画では、定常的な海域観測網のさらなる高度化に取り組む。特に海底ケーブルを用いるリアルタイム観測について、さらに高度化なシステムの開発をめざす。また、海域に観測網を構築するにあたって、コストの問題も考慮する必要がある。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないのので、可能な開発項目を順次進めて行く。現在は、南海トラフ高知県沖から宮崎県沖の領域に、海底ケーブル観測システムの設置が計画されており、このシステムに貢献することを目標として、下記の開発項目を優先的に実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化可能なシステム
- ・GNSS/Aや海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発

を実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが期待される。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

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の両方を用いた併行観測を継続しており、両システムの保守および改良を引き続き実施した。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として、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム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した。また、これまでに蓄積したデータを用いて、解析を進めた。以上、上記計画通りに実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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（旧システム）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（新システム）の両方を用いた併行観測を継続しており、新旧システムの保守および改良も引き続き実施している。新システムでは、2017年に波浪の影響を受けやすい汀部から沖側約30mまでの区間のケーブルの保護対策と、アース電極の沖合への設置作業を実施した。沖合数十mにアース電極を設置し、これまで利用していた汀線部アースと並列に接続した。その結果、給電電圧の変動はほぼ無くなり、安定した運用ができるようになった（図1）。2022年10月には、波浪の影響を受けやすい汀部から沖側約100mまでの区間のケーブルやシーアースの敷設状況を点検するとともに、旧システムのシーアース抵抗値の長期安定化を図るため、アース部周囲に析出している堆積物全体を除去した。2022年1月には、旧システムのGPS受信器の交換を行っているが、2022年10月には新システムのGPS受信器のおよびルビジウム時計の交換を行った。また、2021年度に作成した新システムの地震計と水圧計の記録を、webシステムを通じて、公開するシステムの維持を行った。また、2023年1月には、光回線を釜石局舎に導入し、インターネット環境の安定化を行った。今後通信容量の拡大を計画する。

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(旧システム)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している。2019年2月に最初の観測を行って以来、1回あたりは短期間であるが、これまでに9回の観測を行っている。2022年については、地震研究所に導入されたDAS計測器を用いて、2月終わりから2日程度の試験観測を行い、10月には約2週間の観測を行い、多数の地震が記録された。どちらの観測も、測定全長は100km、観測点間隔は2m、ゲージ長は100mとした。長いゲージ長を設定することにより、余地感度の高い計測を試みた。今回導入したDAS計測器は、S/N比がよく、記録区間全体にわたって、地震波を記録することができた(図2)。また、2022年度はこれまでに蓄積したデータを用いて、解析を進めた。2019年2月2日から行ってきたDAS観測データにより、マグニチュード1.8の微小地震を含む多くの地震がDAS計測システムにより観測されること、マグニチュード3の地震についてはP波およびS波の到着が明瞭に記録できること、さらに、2,300 km離れたマグニチュード6.6の地震も記録されていることを確認した。DAS観測に用いてる旧システムは、従来の地震計を装備しており、DAS記録と通常地震計の記

録の比較の結果、DAS観測の記録は従来の地震計の記録により一致を示し、DAS観測のノイズレベルが人工的と思われる時間変動をしないことを確認した。また、DAS計測の特徴を生かして、これまでよくわからなかった海岸付近から沖合に向けての詳細な地震学的な雑微動の空間変化を明らかにした。2020年11月に行ったDAS計測と制御震源を用いた構造探査の結果、制御震源についてもDAS記録が従来の地震計記録とよく一致することが確認できた。ただし、DAS記録は制御震源からのP波の振幅が小さく、これはDAS計測が光ファイバと平行な歪みを計測しており、光ファイバを内蔵する海底ケーブルが海底に横たわっていることと関係があると考えられる。また、DASデータに対して地震波干渉法を用いて表面波の抽出を行い、その位相速度から堆積層最下部から上部地殻の高分解能S波速度構造を推定した。また、地震波干渉法を適用する前に、周波数-波数フィルターを適用することで、効率よく表面波が抽出できることを示した。海域では、制御地震探査によるP波速度構造推定がよく行われるが、S波速度構造の高分解能推定は困難であった。高分解能S波速度構造を求めることが可能になったことから、今後、空間的に高分解能な V_p/V_s 比の推定が可能となることが期待される。

「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

建議では、海域での地震・地殻変動観測の高度化のため、超深海を含む海域で、定常的な海域観測網の高度化等を目的としている。地震研究所で開発・設置し、本研究課題で改良・運用を行っている三陸沖光海底ケーブル式地震津波観測システムは、ICTを用いたインライン型観測ノードとPoE技術によるプラグイン式観測ノードを持つシステムであり、これまであまり例がないハイブリット式システムの改良運用を行うことは、定常的な海域観測網の高度化に寄与する。一方、本研究課題で開発を行っている海底ケーブルに含まれている光ファイバーを用いた分散型音響センシング手法による地震観測は、海底において、空間的に大量なデータ取得を可能とするものであり、これも定常的な海域観測網の高度化に合致している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Spica, Z. J., J. C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara and T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL095287, <https://doi.org/10.1029/2021GL095287>, 査読有, 謝辞無

篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・酒井慎一, 2022, 分散型音響センシング計測と三陸沖海底光ケーブル観測システムによる地震観測, *月刊地球*, 44, 37-43, 査読無, 謝辞無

Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, and S. Sakai, 2022, Performance of seismic observation by distributed acoustic sensing technology using a seafloor cable off Sanriku, Japan, *Front. Mar. Sci.*, 9, 844506, doi: 10.3389/fmars.2022.844506, 査読有, 謝辞有

Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, and K. Yomogida, 2022, Detailed S-wave velocity structure of sediment and crust off Sanriku, Japan by a new analysis method for distributed acoustic sensing data using a seafloor cable and seismic interferometry, *Earth Planets and Space*, 74, 92, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01652-z>, 査読有, 謝辞有

Viens, L., L. F. Bonilla, Z. J. Spica, K. Nishida, T. Yamada, and M. Shinohara, 2022, Nonlinear Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL100122, <https://doi.org/10.1029/2022GL100122>

・学会・シンポジウム等での発表

福島駿・篠原雅尚・西田究・竹尾明子・山田知朗・蓬田清, 2022, Development of seismic interferometry analysis for DAS data on a seafloor cable to determine shallow S-wave velocity structure with spatially high resolution, 日本地球惑星科学連合2022年大会

高野洋輝・篠原雅尚・仲田理映・蔵下英司・石山達也・加藤直子・望月公廣, 2022, Seismic structure revealed by reflection survey using distributed acoustic sensing applying to seafloor cable off Sanriku, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS03-P09

福島駿・篠原雅尚・山田知朗・西田究・竹尾明子・蓬田清, 2022, DASと3成分地震計による spatial autocorrelationの定式化と三陸沖海底ケーブルデータへの適用, 日本地震学会2022年度秋季大会, S01-08

篠原雅尚・山田知朗・高野洋輝・蔵下英司・仲田理映・望月公廣・悪原岳・酒井 慎一,2022,三陸沖海底光ケーブルを用いた分散型音響センシング計測による制御震源と地震記録の特性,日本地震学会2022年度秋季大会,S02-04

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないので、可能な開発項目を順次進めて行く。具体的には、下記の開発項目を可能なものから実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化が可能なシステム
- ・GNSS/A や海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発
- を引き続き実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが可能である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）,塩原肇（東京大学地震研究所）,望月公廣（東京大学地震研究所）,一瀬建日（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

防災科学技術研究所,海洋研究開発機構

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

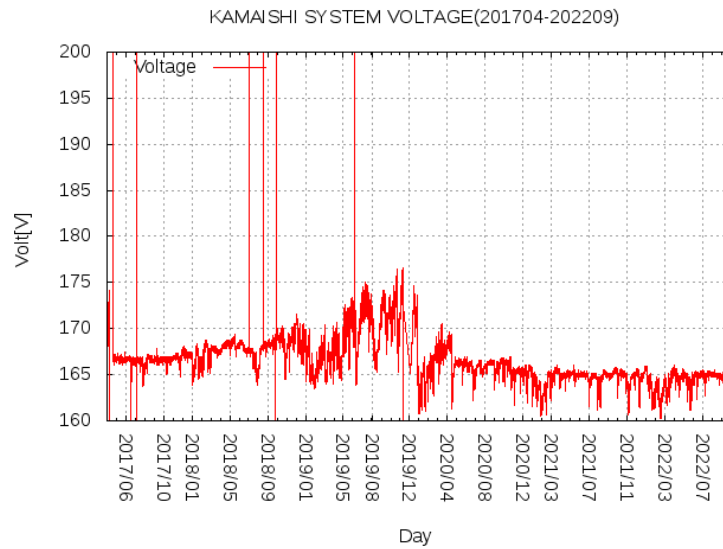


図1

新システムにおいて、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後のシステム電源電圧の変動（2017年4月～2022年9月）。変動はほぼ15V以内に収まっている。当初は雷の影響と思われるノイズが混入していたが、局舎アースの工夫により減少した。

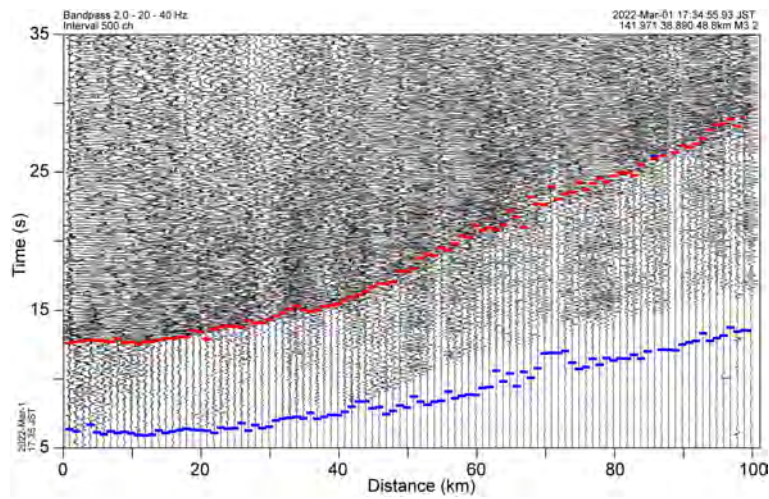


図2

三陸沖光ケーブル観測システムにおける新しく導入したDAS計測器により収録された地震記録例。横軸は陸上局からの距離、縦軸は時間を示す。青線と赤線は読み取ったP波とS波の初動をそれぞれ示す。

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本開発の一つとして、海底面設置型の広帯域地震・傾斜観測システムの開発と高度化を進めている。房総半島沖で繰返し実施している次世代型広帯域海底地震・傾斜計（BBOBST-NX）による長期海底傾斜観測の、機器近傍の水温を含む2年以上のデータが2020年に得られた。これにより傾斜データの水温依存性が約-30 micro rad/°Cの温度係数で明確に存在しており、0.1°C度以上の温度変動があると有意な傾斜変動を判別するのに問題となることが分かった。この水温変動の影響を対症的に除去する手法開発を進めると共に、その要因となり得る広帯域地震センサー内部で高精度な温度変化記録を陸上の実験室内で試験計測した。その結果から得られた温度係数は上記の半分程度と小さかったが、地震センサーでの個体差、またはチタン合金製のセンサー部外装自体の伸縮による影響が可能性として推定される。（図1）

また、2022年9月に、これまで開発・運用してきた、インテリジェント型APGを用いたOBP 6台を、カナダ・バンクーバー島沖で小スパンアレイとして展開、2年間の連続観測中である。

ここ数年実施出来ないままであった、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の比較試験観測については、2年続けて研究船利用が不採択となり、2024年度での試験実施を、AORI共同利用以外も含め検討する。2020年に房総半島沖に設置したBBOBST-NXについても同様な状況が続いているが、潜水艇利用が必須でもあり、機器回収優先で2024年度以降に実施できるよう検討する。

超深海域での長期広帯域地震観測を実現させるために有力な候補となる低ノイズの加速度センサー（Silicon Audio社、203-60）について、内部ノイズレベル検証試験・専用品開発を引き続き進めた。最終的に、現在のセンサーは低感度（差動出力で6V/m/s²）であるため、収録システムを含む現在の試験環境では完全な計測は困難であることが判明した。製造会社と、本センサーの低消費電力化・静的傾斜情報取得・高感度化について、2022年12月のAGUでは直接の面談も行い、改修を進めている。また、超深海用に極力容積を抑え、本センサーに適合させた（差動入力仕様）、専用収録システムの改修作業も並行して実施している。

海底において空間的に高密度なやや広帯域地震観測の実施をめざして、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発を行い、観測に用いている。2018年以降、台数の確保に努め2022年には30台規模で観測に用いることができるようになった。自由落下自己浮上式海底地震計は、どのような傾きで海底に着底しても、地震計の鉛直・水平を保持する必要があり、低消費電力で小型の広帯域地震計センサー向けのレベリング装置を開発して、小型広帯域海底地震計に用いている。2021年にレベリング装置の機能強化を行い、レベリング動作時刻記録機能を付した。レベリング動作時刻記録のために時刻モジュール(RTC)を搭載した新しい制御部を開発した。この開発により、レベリング動作時の時刻を個体番号やセンサーの傾斜とともに記録することができるようになった。2022年度は、これらの整備を経て、小型広帯域海底地震計を用いた観測をルーチン的に実施できるようになった。今後も引き続き、今回開発した小型広帯域海底地震計を用いて、空間的に高密度なやや広帯域地震観測を実施する予定である。

現在、海底における精密水圧観測には、Paroscientific社の水圧センサを用いていることが多い。このセンサは十分な性能と実績を有しており、これまで津波や地殻変動の観測に用いられてきた。しかし、計測に用いている水晶発振子の発振周波数の長期にわたる直線的变化が見られる場合があることや圧力計測にbourdon管を用いていることから設置位置により絶対値が変化することがある。そこで、2021年度から新しい水圧センサ(横河電機製)の試験評価を開始した。現在我々が用いている水圧計記録収録装置を横河電機製水圧センサに接続し、新しい海底水圧計を製作した。この横河電機製水圧センサ搭載の海底水圧計は2021年8月の東北海洋生態系調査研究船「新青丸」KS21-19航海により、房総半島沖の水深約3,400 mの地点に設置された。房総半島沖では、プレート境界スロースリップが発生しており、スロースリップによる海底上下変動をモニタリングするために、海底水圧計ネットワークによる観測が行われている。横河電機製水圧センサ搭載海底水圧計の設置地点は、この従来の海底水圧計ネットワークの1点と同一地点とした。そのために横河電機製水圧センサとParoscientific社の水圧センサの記録を比較可能である。設置された横河電機製水圧センサ搭載海底水圧計は、「新青丸」KS21-26航海により同年11月に回収された。また、試験観測を継続するために、回収と同時に別途横河電機製水圧センサを搭載した海底水圧計を再設置した。再設置した横河電機製センサ搭載海底水圧

計は、海洋エンジニアリング「第二開洋丸」にて、2023年3月に回収された。また、2023年9月には、「第二開洋丸」により、海底上下変動観測に用いていたParoscientific社センサ搭載した従来の海底水圧計を回収し、記録の比較が可能となった。解析可能な観測期間全体にわたる水圧ノイズを、Paroscientific社センサと横河電機製水圧センサで比較したところ、50秒よりも長い帯域では、同一のノイズスペクトルが得られた。一方、10秒から50秒の帯域では、Paroscientific社センサと横河電機製水圧センサによるノイズスペクトルに差が見られ、この帯域では横河電機製水圧センサ自体のノイズレベルが、Paroscientific社センサよりも高いことがわかった。2022年1月に発生したトンガにおける海底火山の大規模噴火による海面変動は、従来のParoscientific社海底水圧計、横河電機製水圧センサ搭載海底水圧計の両方で記録されており、3600秒から10秒の帯域では、ほぼ同一の波形が得られた(図2)。これらの結果は、横河電機製水圧センサのノイズレベルはやや高いものの、津波や地殻変動観測に利用可能であることを示している。今後は、横河電機製水圧センサの長期変動について、検討する必要がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

項目「4(2)ウ. 観測・解析技術の開発」での目的に対しては、必要予算の獲得・海域試験観測の実現に応じた、可能な範囲での技術開発を機器及び解析方法の両面で進めた。本課題では実際の観測研究を念頭にした機器開発を行う方針であり、実用化した要素から研究的観測へ適用している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki and T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, Earth Planets and Space, 74, 5, doi:/10.1186/s40623-021-01562-6, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Shinohara, M., S. Aoi, M. Mochizuki, K. Uehira, T. Yamada., T. Kunugi, T. Takeda, R. Noda, S. Iwai, 2022, Field evaluation of new silicon resonant sensor using MEMS technology for ocean bottom pressure observation, AGU 2022 Fall meeting

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

機動的傾斜変動観測での開発に関しては、2020年度に回収したBBOBST-NX(房総半島沖)およびBBOBSアレイ(チリ沖)の傾斜データの解析、実際に海底で使用したセンサーによる陸上での追試験を進める。

低ノイズの加速度センサーについては、改修版を用いてより詳細な実装の検討を進める。超深海域用の長期広帯域地震計については、外装部を含めた具体的な仕様設計を行う。これについては、申請中の科研費と密接に関連しており、その結果次第で進展具合が変わる。

小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計は、現在観測に用いており、これまでに様々な海域での記録が得られている。機能強化により観測状況のより詳細な把握も可能となっており、記録の評価を含めて、総合的な性能を把握する。また、横河電機製水圧センサについては、得られた記録の評価を継続して、実用化へ向けた検討をまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

塩原肇(東京大学地震研究所), 篠原雅尚(東京大学地震研究所), 望月公廣(東京大学地震研究所), 山田知朗(東京大学地震研究所), 一瀬建日(東京大学地震研究所), 悪原岳(東京大学地震研究所)
他機関との共同研究の有無 : 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKIYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：塩原 肇
所属：東京大学地震研究所 海半球観測研究センター

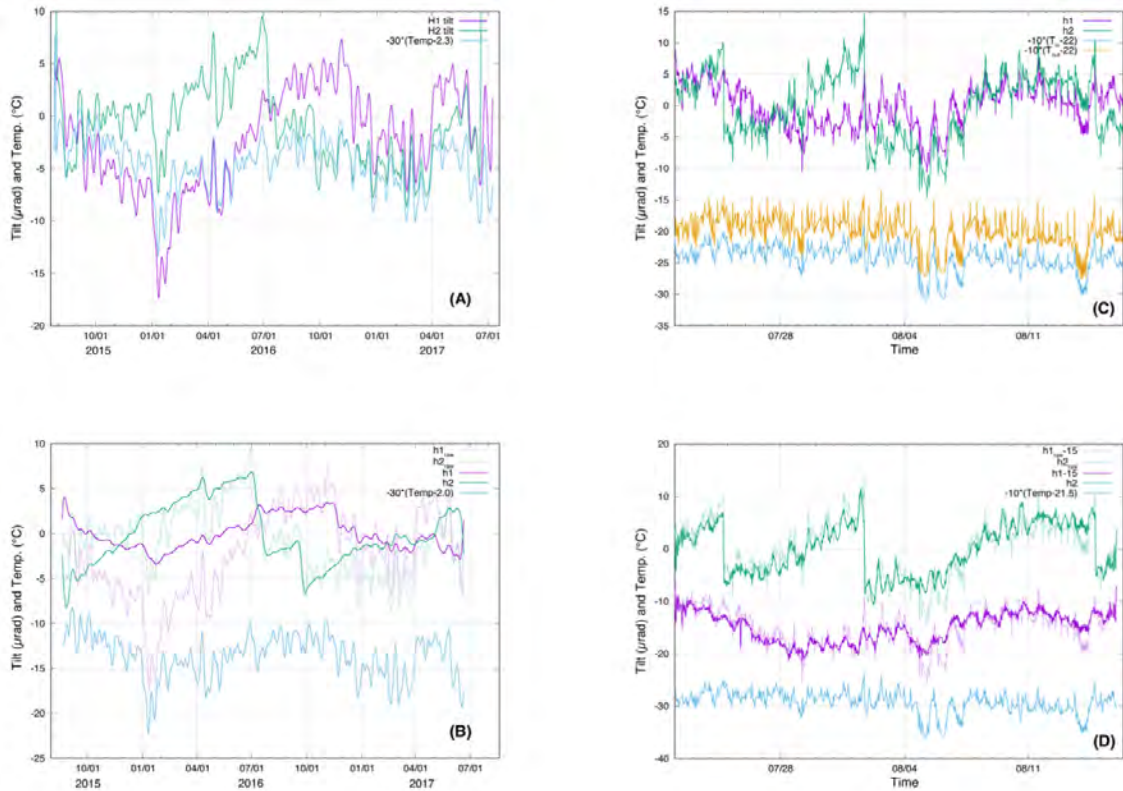


図1 BBOBST-NXおよび別個体の同型式地震センサーによる、傾斜変動への温度変動の影響
房総半島沖で得た2年間の傾斜・水温変動 (A)、水温変動の影響を除去した結果 (B)。別個体の地震センサーを用いた実験室内での傾斜・センサー内部温度の変動 (C)、同様に影響を除去した結果 (D)。それぞれの温度影響除去処理で得た代表的温度係数値(-30,-10)を示してあるが、室内試験時の方が小さい結果となった。

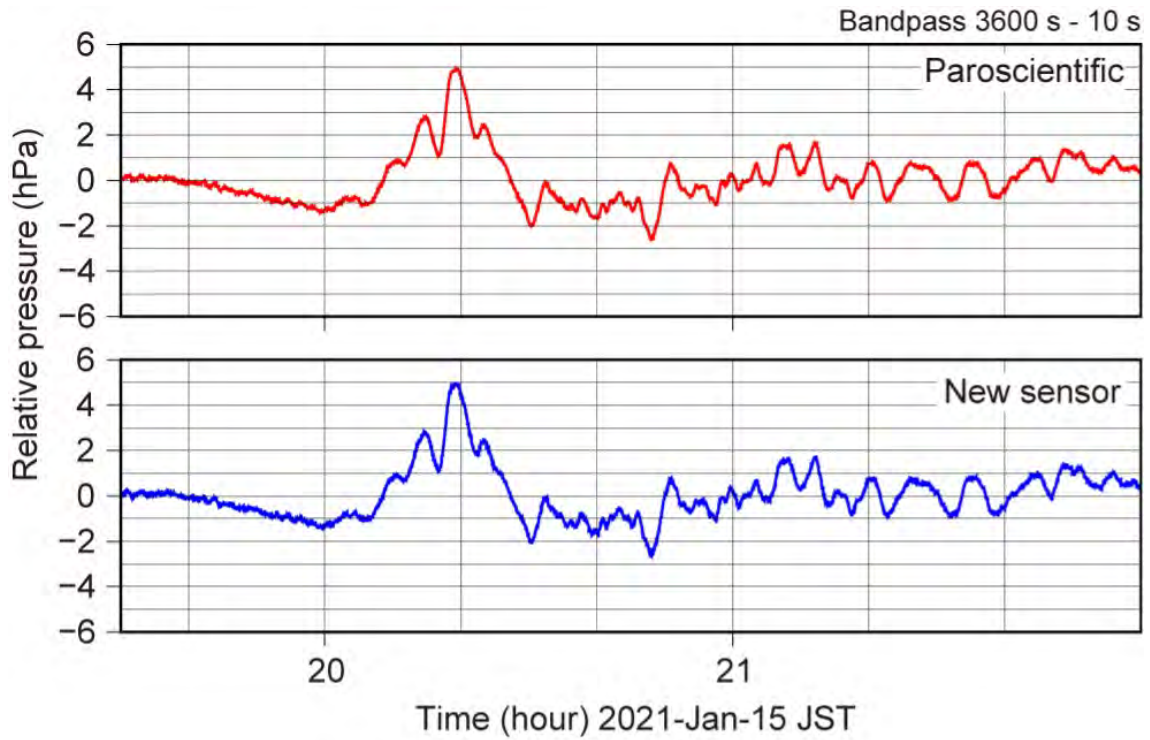


図2 トンガ大規模噴火による海面変動記録の比較

2022年1月に発生したトンガにおける海底火山大規模噴火による海面変動は、従来の海底水圧計に用いているParoscientific社センサ（上）と、同一記録システムを用いた海底水圧計に搭載した横河電機製水圧センサ（下）で記録された。2つの水圧計はほぼ同一地点に設置してあった。記録には3600秒から10秒のバンドパスフィルターをかけてある。振幅を含めて、ほぼ同一の記録が得られた。

(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：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、前年度に引き続き、次世代の対話検測処理系システムについて試作を進めた。前年度までに、複数のプラットフォーム上で動作し波形表示、手動検測、震源決定プログラム実行機能や地図表示機能の機能を備えた対話検測ソフトウェアを試作した。今年度は、昨年度試作したソフトウェアを本課題の担当者及び関係者で試用するとともに、メカニズム解の計算や表示の機能を実装した。また、伝送系システムの仕様について検討を継続した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

全国規模のデータ流通及びデータ処理で広く用いられているプログラムについて、その近代化と機能向上が着実に進んでいる。観測データを利用した研究がより簡便かつ活発に行われるとともに、データ伝送や処理技術の進展によって観測そのものの高度化・効率化が期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中川茂樹・青山裕・高橋浩晃・前田拓人・内田直希・山本希・大竹和生・鶴岡弘・青木陽介・前田裕太・大見士朗・中道治久・大久保慎人・松島健・八木原寛・汐見勝彦・植平賢司・上田英樹・宮岡一樹・溜瀨功史・本多亮・関根秀太郎,2022,マルチプラットフォーム次世代WINシステムの開発(2),日本地震学会2022年度秋季大会,S02-07

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：対話検測ソフトウェアを試作を継続した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）製作中のため共同研究者のみに公開して不具合修正や機能拡張への協力を求めている。ある程度落ち着いた時点で公開する予定。

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は、前年度に引き続き対話検測処理系システムの試作品を本課題の担当者及び関係者で試用し、改善点をまとめ修正する。また、伝送系システムについて試作を開始する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中川茂樹（東京大学地震研究所）、鶴岡弘（東京大学地震研究所）、青木陽介（東京大学地震研究所）、内田直希（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）、高橋浩晃（北海道大学）、前田拓人（弘前大学）、山本希（東北大学）、前田裕太（名古屋大学）、大見士朗（京都大学）、中道治久（京都大学）、大久保慎人（高知大学）、松島健（九州大学）、八木原寛（鹿児島大学）、大竹和生（東京大学大学院工学系研究科）、汐見勝彦（防災科学技術研究所）、植平賢司（防災科学技術研究所）、上田英樹（防災科学技術研究所）、宮岡一樹（気象庁）、溜瀨功史（気象研究所）、本多亮（神奈川県温泉地学研究所）、関根秀太郎（地震予知総合研究振興会）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中川茂樹

所属：東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

研究成果共有データベースの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ア. 強震動の事前評価手法
 - イ. 津波の事前評価手法
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
 - エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法
 - オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法
 - (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ア. 地震動の即時予測手法
 - イ. 津波の即時予測手法
 - ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (1) 推進体制の整備
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - ア. 観測基盤の整備
 - イ. 観測・解析技術の開発
 - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
 - (4) 関連研究分野との連携強化
 - (5) 国際共同研究・国際協力
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
 - (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究計画で得られる成果やデータ、メタデータ情報などを共有し活用するために必要となる制度的・技術的な課題を各部会や関係機関と整理検討し、持続可能なデータベースに向けたポリシーを作成する。策定されたポリシーに基づき、必要とされる場合にはデータアーカイブ作業を運用する体制の整備や、データサーバの製作などを実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31～33年度においては、部会や関係機関と成果共有データベースの方向性についての意見交換を実施し、運用体制の持続可能性に十分に配慮したうえで、ポリシーを決定する。データへのdoi付与等についても連携して検討を実施する。

平成33～35年度においては、策定されたポリシーに基づき、研究成果データベースの持続的な運用に必要な制度設計などの作業を実施する。具体的な内容はポリシーに依存するが、例えば、データの取り扱いを支援する専門員の業務仕様の策定や、データサーバの開発などが想定される。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

研究成果共有システムの運用方針については、昨年度の検討結果として、「運用責任は戦略室とし、戦略室が中心となってポリシーの検討、コンテンツの調整、課題や部会への関係情報収集や依頼、周知広報を実施する。システム運用は企画部の学術支援職員と戦略室教員及び課題担当者で実施する。収集する情報は、課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携で必要となるメタ情報を中心とし、課題間連携や部会間・総合研究グループ間連携で活用可能な関係情報の所在を示すハブ的な役割を果

たす。」を今年度についてはテスト的に運用を実施した。部会内や部会間・総合研究グループ間連携を促進するための共有オンラインストレージ（Nextcloud）を継続して運用した。また、昨年度に調査観測のメタ情報を集約し、課題間や部会間・総合研究グループ間連携をより推進するため、建議で実施されている社会調査・ソフトウェア開発・観測・地質調査等を一元的に収集することとなったことを受けて、令和3年度における観測や開発したソフトウェア等のメタ情報を整理して研究成果共有システムにて公開を行なった（図1、図2）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
研究成果共有システムの運用を維持していくための組織等の整備が引き続き重要である。また、サーバ等の維持管理は昨今のセキュリティ事情があり負担軽減等の観点からクラウドサーバ等の活用を積極的に進める必要がある。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

データベースサーバを安定的に運用するとともに、格納可能なデータコンテンツについての調査を継続的に実施する。収集を開始したメタ情報の登録・共有を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡弘（東京大学地震研究所）、地震・火山噴火予知研究協議会企画部研究戦略室（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有
建議に参加するすべての機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部
電話：03-5841-5787
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鶴岡弘
所属：東京大学地震研究所

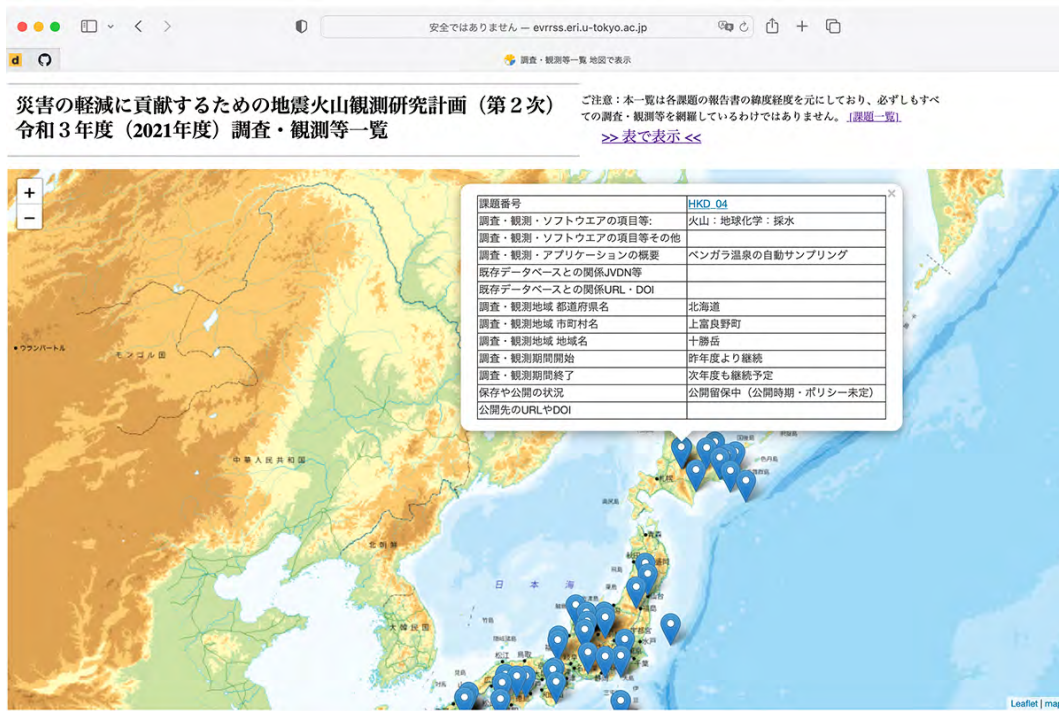


図1. 公開されている「令和3年度（2021年度）調査・観測等一覧（地図表示）」のスクリーンショット
 成果報告書をもとに本年度作成した令和3年度の調査・観測等一覧についての地図表示。各地点のアイコン
 をクリックすると、メタ情報の他、課題報告書もリンクから確認することができる。表形式での表示もでき
 る。



図2. 公開されている「令和3年度（2021年度）開発したソフトウェア等一覧」のスクリーンショット
 成果報告書をもとに本年度作成した令和3年度の開発したソフトウェア等一覧。本項目は、表形式のみである
 が、課題報告書のほか、公開先のURLがdoiがある場合はそれにもリンクされている。

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度に引き続き、熊本地震による粘性変形を補正した上で余効すべりとマグマだまりの体積変化の同時推定を試みた。今年度の変更点は、熊本地震の粘性変形の補正にPollitz (2017)のモデルを用いてKelvin粘性を考慮したこと、また余効すべりの推定に際し、従来の布田川断層および日奈久断層に対応する断層面以外に、Kobayashi et al. (2023)で示唆されている阿蘇カルデラ内の2枚の地震時断層に対応する断層面をおいたことである。

予察的な結果では、地震後に顕著に見られた阿蘇カルデラ内の沈降が、阿蘇カルデラ内の2枚の断層面における正断層的なすべりで説明できること、また、阿蘇山のマグマだまりの体積変化には地震をはさんだ顕著な変化はあまり見られず、2015-2016, 2019, 2021の火山活動活発化に対応した体積膨張が見られることがわかった。

今年度の研究は上記計画通りに実施された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震・火山現象の解明という目的のため、2016年熊本地震を題材に、余効変動のモデル化と地震と火山の相互作用の有無について検討した結果、2016年熊本地震の余効変動は、適切な地震時断層および余効すべり面を設定することで、粘性変形と余効すべりで基本的に説明できること、阿蘇山のマグマだまりに対する地震の影響は顕著でないことを明らかにした。また、「災害の軽減に貢献する」という目標に対して、本課題は素課程である地震時変動および余効変動の理解という目標を立てたが、2016年熊本地震について、その理解を進展する成果が得られている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

宗包浩志,2022,地殻変動による阿蘇山の長期的な監視：熊本地震の余効変動補正手法の検討,IpGU 2022,S-VC34-3

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

粘性変形の補正手法および余効すべり面の検討を進めるとともに、余効すべりとマグマだまり体積変化の同時推定においてNetwork Inversion Filterの導入も検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

時間依存のブロック断層モデリングに海底地殻変動データを取り入れ、2014年以降の日本列島のプレート境界の固着状況の変化を調べた。ブロック境界はLoveless & Mead (2010)によった。また、九州南部域でフォワードスリップが出ないような拘束をかけている。その結果、海域での滑り欠損がより明瞭になり、2018年頃から発生した豊後水道のSSE等の固着状況の変化を検出できた（図1）。またSuito(2017)、水藤(2017)の成果に基づいて、東北地震、熊本地震の余効変動を補正し、東北地震前の定常変動を地殻変動データから差し引き、南海トラフ域のスロー地震（SSE）を調べた。その結果、2019年初めころの豊後水道、四国中部、紀伊水道の長期的SSEの時空間変化を推定できた

（図2）。2020年半ば頃からの、日向灘南部の長期的SSEは2021年半ばころに終了している。2019年からの四国中部の長期的SSEは、短期的SSEと同期していることが示された（図3）。2019年種子島地震（M6.4）のアフタースリップ後に短期的SSEが発生している（図3）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測において、南海トラフ沿いの紀伊水道～種子島

にかけての地域の2018年以降の時空間変化が把握できた。2019年5月の日向灘地震の前に深部プレート面上でのSSEの発生が確認された。当該SSEが日向灘地震を促進する方向に応力を変化させることから、日向灘地震の評価に資する事例と考えられる。また、四国中部の長期的SSEと四国北西部の短期的SSEの相関が示された事により、プレート境界の滑り過程の理解に部分的に貢献できたと考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小沢慎三郎、宗包浩志、水藤尚,2023,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

・学会・シンポジウム等での発表

小沢慎三郎、宗包浩志、水藤尚,2022,GEONETで検出された南海トラフ沿いの長期的SSE,地球惑星科学連合大会2022,SGD01-P07

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は、ブロック断層プログラムの改良を引き続き行うとともに、令和5年度のデータを使用して解析を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

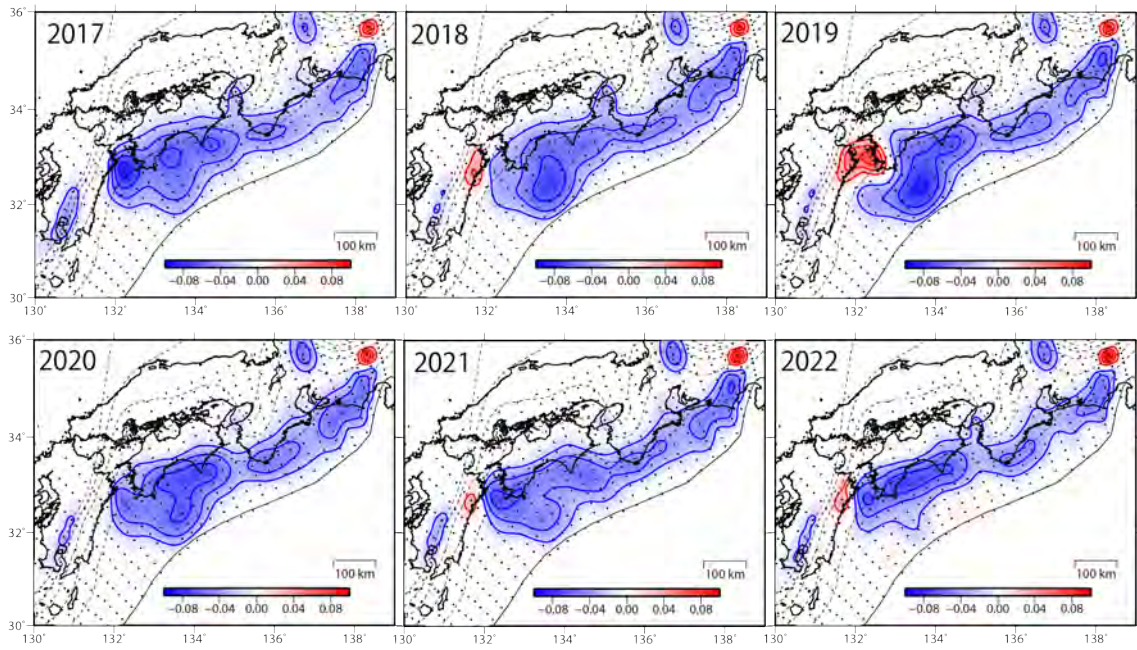


図1 プレート境界の固着と滑り

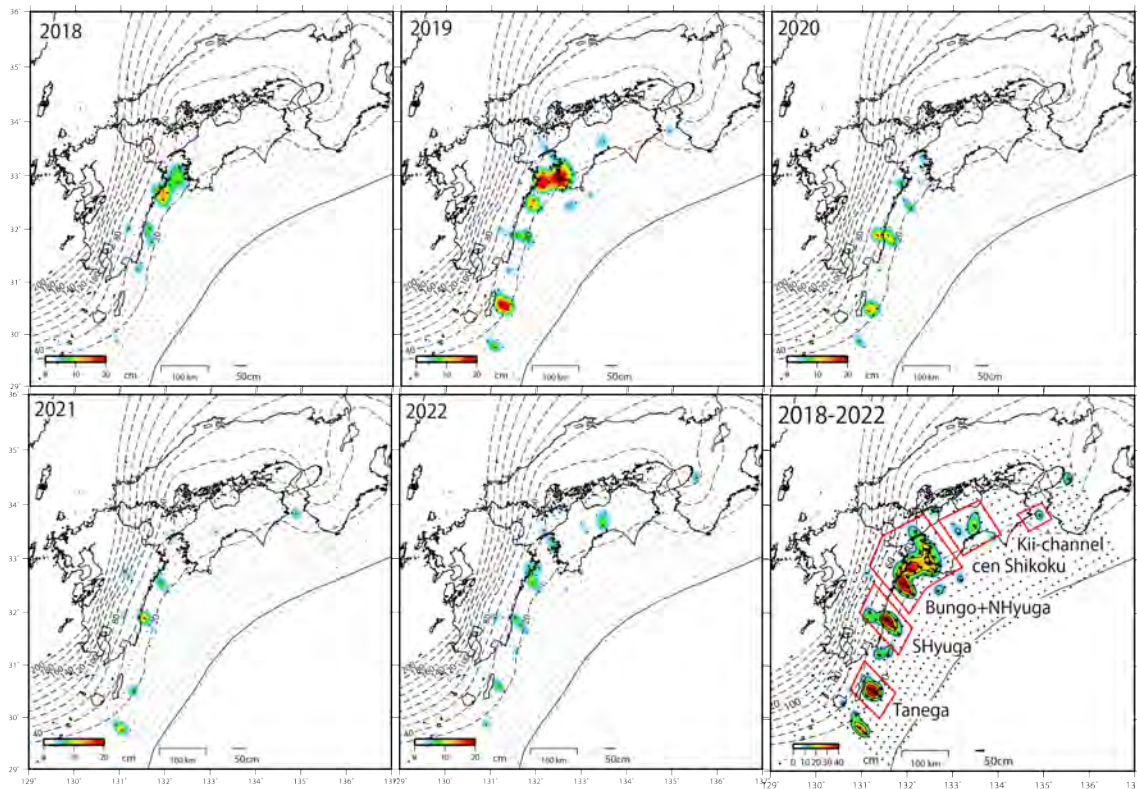


図2 プレート境界滑り

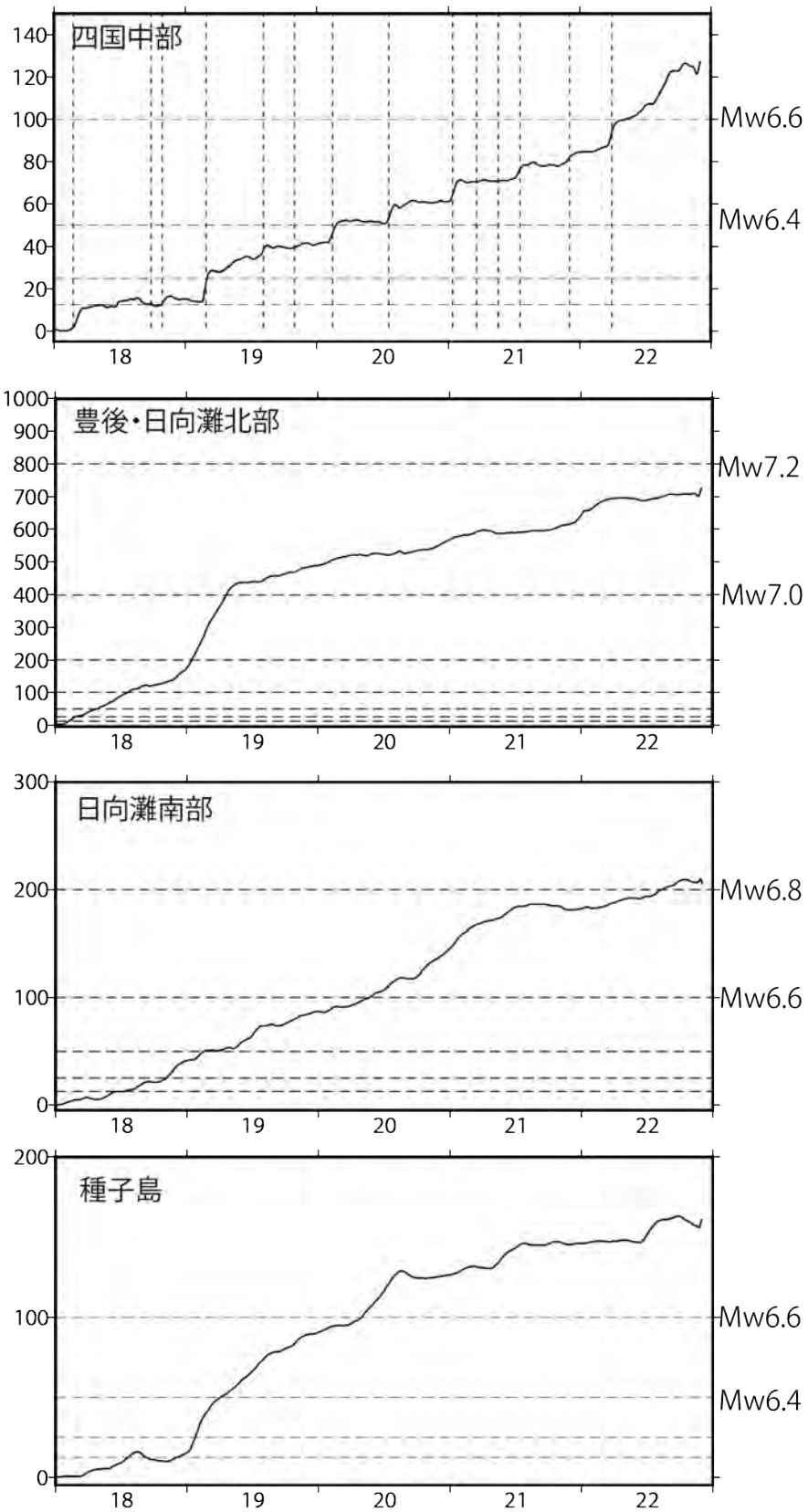


図3 モーメントの時間変化
 四国中部の縦線は短期的SSEの発生を示す。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

時間依存のインバージョンを伊豆大島、桜島、霧島に適用し、解析を継続した。その結果伊豆大島では、膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していたが、2016年頃から長期的な膨張が停滞ないしは若干の収縮にも見えることが確かめられた（図1）。桜島と霧島の統合解析では、広域地殻変動を座標の2次までの関数として考慮し解析中で取り除いている。その結果桜島では膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していること、直近ではやや停滞が見られる事を確かめた（図2）。また、霧島山のマグマ溜りの体積変化は、2019年頃から停滞しており、2022年に若干の膨張が推定された（図2）。伊豆大島に関しては、モニタリングの自動化を行い、桜島・霧島は計算の自動化を行っている。また、阿蘇山について、熊本地震の影響を補正した上でマグマだまりの体積を推定する試みを進めた。その結果、熊本地震の前後で体積変化に顕著な変化は見られず、2015-2016、2019、2021の火山活動の活発化に対応した体積膨張が見られることが明らかになった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

モニタリングによる火山活動の評価において、伊豆大島、桜島・霧島の長期的トレンド変化をモニターすることによって、それぞれの火山活動の中・長期的な評価に貢献できたと考えられる。また、阿蘇山についても、熊本地震の影響を取り除き、長期的なトレンド変化のモニターを可能にしたことで、火山活動の中・長期的な評価に貢献できたと考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小沢慎三郎、宗包浩志,2023,地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究,国土地理院調査研究年報

・学会・シンポジウム等での発表

宗包浩志,2022,地殻変動による阿蘇山の長期的な監視：熊本地震の余効変動補正手法の検討, JpGU 2022, S-VC34-3

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度のデータを用いて、火山解析を継続する。また、モニタリングの自動化を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

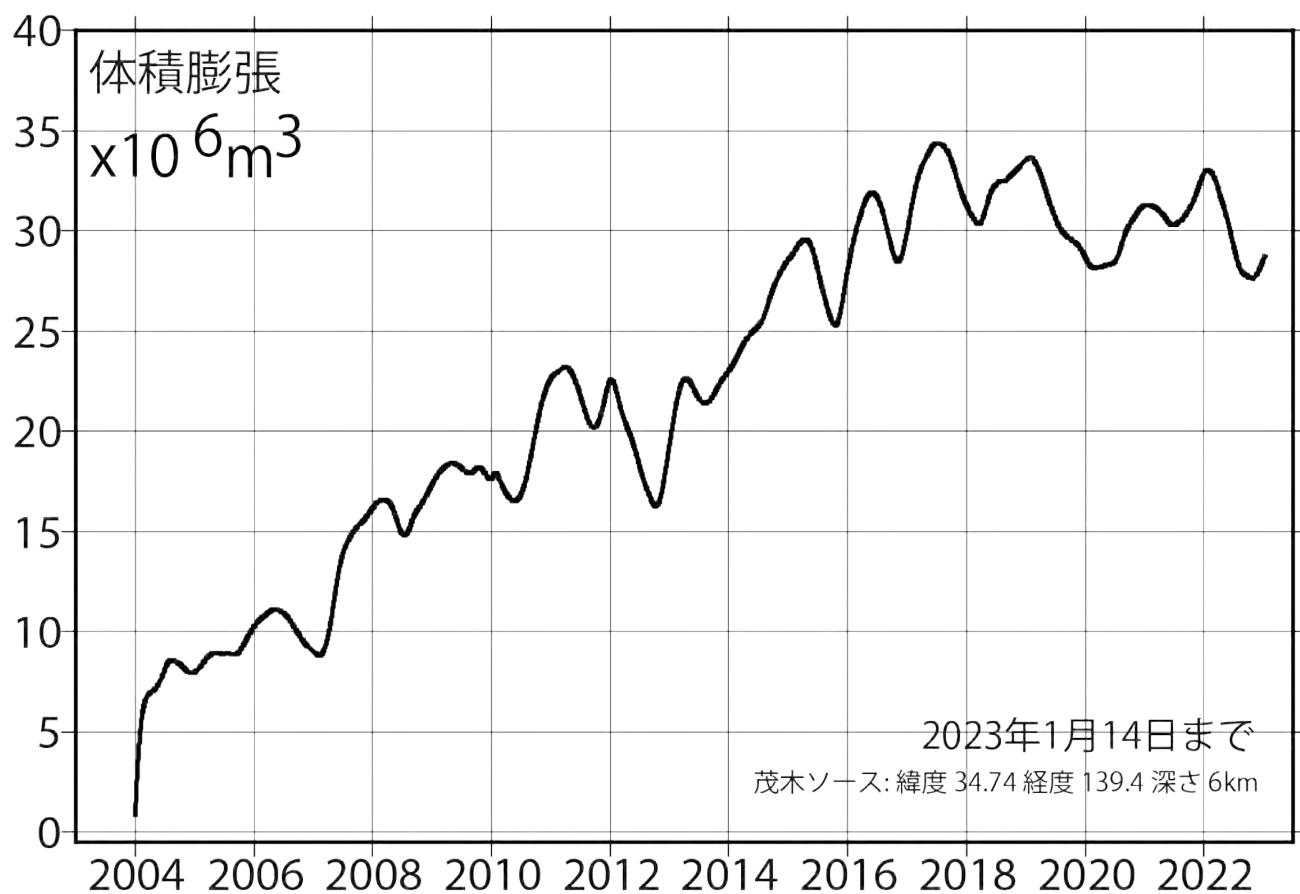
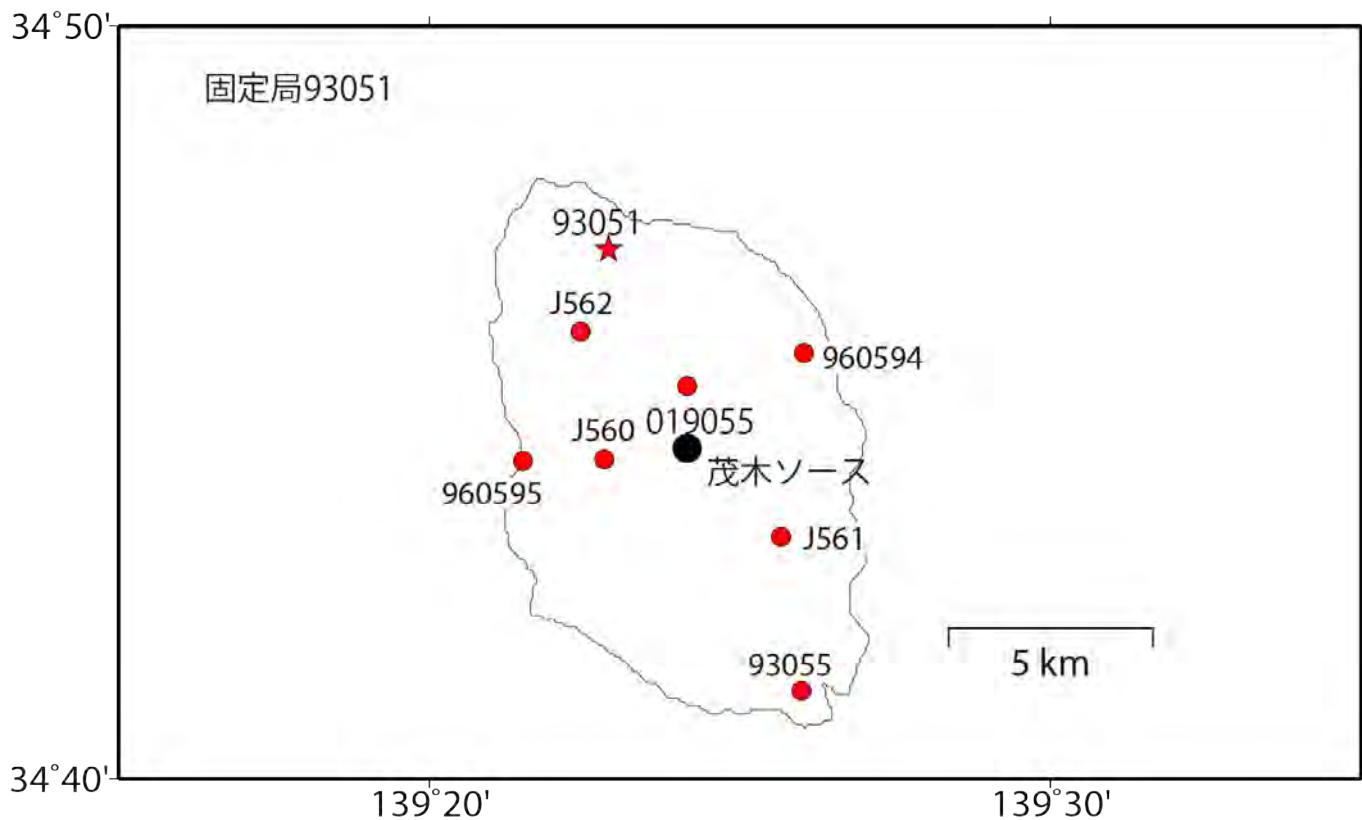


図1 伊豆大島の体積変化

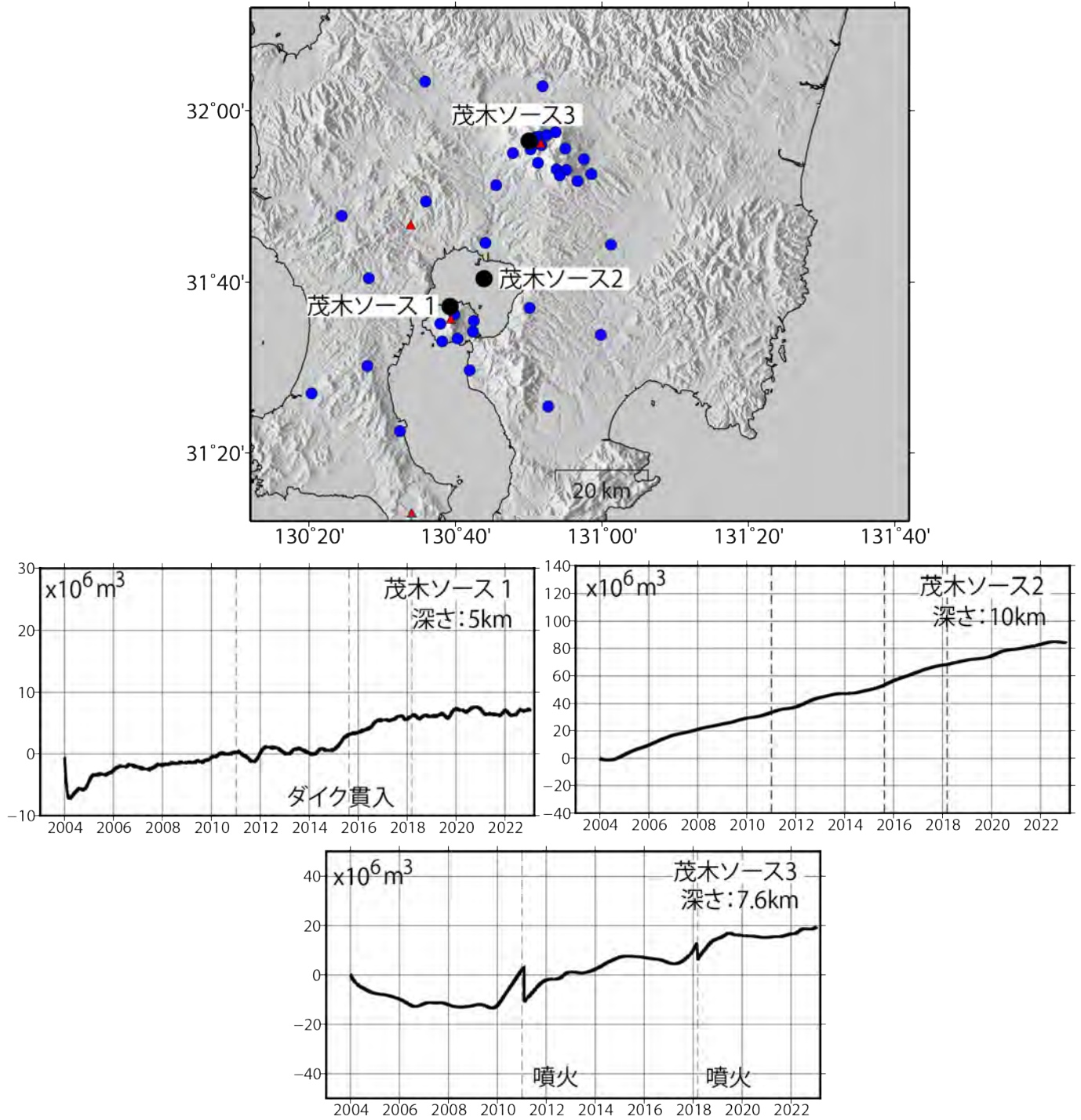


図2 霧島・桜島域の体積変化

(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常的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、国際GNSS事業（IGS）へ参加し、観測データの提供を行った。加えて、最新のGPS衛星およびITRF更新に対応した、GNSS連続観測（GEONET）の新しい解析ストラテジの運用を着実に継続した。地殻変動の監視においても、新しい解析ストラテジによる座標値に基づき行われ、従来手法に比べ、僅かながら季節変動を抑えられるようになった。

また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施し、8月11

日に上川地方北部で発生した地震、石川県能登地方での地震活動及び沖縄本島北西沖の地震活動に伴う地殻変動を検出した。さらに、2019年春頃から四国中部、2020年夏頃から紀伊半島西部・四国東部や九州南部で発生したプレート間ゆっくりすべり（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動、硫黄島や霧島山周辺の火山活動に伴う地殻変動等を検出など、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与している。これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

平均20km間隔の稠密GNSS連続観測網と新しい解析ストラテジに基づくそれらの座標値は、地震・火山活動を観測する基盤として重要で、地震・火山研究の推進・高度化に資するものである。また、解析ストラテジの更新により近年のGPS衛星・ITRFへの対応が可能となったことで、日本列島全域の地殻変動情報をより着実に提供できるようになった。これは災害の軽減に資するもので、今後も継続的な解析ストラテジ更新により、安定性・精度の向上が期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

国土地理院,日本列島の地殻変動,<https://www.gsi.go.jp/kanshi/index.html>

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

全国において電子基準点を維持し、高い可用性を保持しながら観測を継続する。また、国際GNSS事業（IGS）へ参画し、観測データの提供を行う。新しい解析ストラテジに基づく解析結果を適切に運用する。

また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを定常的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地観測センター電子基準点課・地殻監視課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地形地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本列島全域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化に寄与するため、潮位連続観測データを継続的に取得すると共に、観測システムの更新やデータの共有化を進める。（地殻監視課）

基本測量に関する長期計画の施策を基本に、大規模地震対策特別措置法に基づく「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域を対象として、定期的に水準測量を実施し信頼性のある高精度の地殻上下変動量データを取得する。

火山周辺地域においてREGMOS等による連続観測を継続するとともに、観測システムの更新など観測設備の安定的・継続的な運用を行う。

航空機SARを利用して、活動的な火山における火口等を観測し、噴火前後の変化情報を蓄積する。（測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室）

(7) 本課題の5か年計画の概要：

全国25箇潮場での潮位連続観測を引き続き実施するとともに、日本周辺の海面変動トレンドの定量的な評価を行う。また、潮位データ等を公開するなどデータの共有化を進め、津波等の発生時における予測や終息等の防災情報の発信への活用を図る。（地殻監視課）

「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域の水準路線を対象に、平成31年（令和元年）度においては1,309kmの水準測量を実施し、令和2年度以降においては対象となる水準路線を中心に定常的な観測を実施する。

活動的な火山において電子基準点を補完して詳細な地殻変動を捉えるためREGMOS等による地殻変動連続観測を実施する。

全国の活動的な火山について航空機SARによって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、噴火前後の変化情報を明らかにする。

（測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室）

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全国25箇潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施し、これらの潮位観測データを引き続きホームページで公開するとともに、気象庁、国土交通省の防災情報提供

センターに潮位データを提供し、潮位データを共有化した。また、潮位連続観測による地殻変動及び海面変動トレンドの把握を行った。機動観測として、自動測距測角装置による連続観測を1火山（伊豆大島）で実施し、得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告した。（地殻監視課）

火山周辺地域において可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）等による連続観測を8火山で実施した。また、活発な地震活動が継続している石川県能登地方で、REGMOSによる地殻変動観測を2か所で開始した。（電子基準点課）

令和4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996km（駿河、御前崎、東伊豆、紀伊南、阿南、室戸及び足摺地区）を実施した。（測地基準課）

全国の活動的な火山について、航空機SARによる観測を5火山で実施し、噴火前の地形情報を取得した。（地図情報技術開発室）

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

全国25験潮場での潮位連続観測を安定的に実施するとともに、潮位データを共有することによって、観測基盤としての潮位観測データの整備に貢献した。また、水準測量、潮位連続観測による地殻変動の把握を継続することにより、地震サイクル全過程の地殻変動データを収集するという目標に貢献した。

火山周辺地域や地震活動の活発な地域において、電子基準点を補完するREGMOSを設置することで火山活動や地震活動の詳細を把握することに貢献した。また、活動的な火山の火口等を対象とした航空機SAR観測では、噴火前の地形情報を新たに取得することで、噴火前後の地形変化を明らかにするために必要な地理空間情報の蓄積に貢献した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

国土地理院,2022,東海地方の地殻変動,地震予知連絡会会報,108,183-215

国土地理院,2022,中国・四国地方の地殻変動,地震予知連絡会会報,108,463-478

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

全国25験潮場での潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守及び監視を実施するとともに、これらの潮位データを引き続きホームページで公開する。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行う。機動観測では、自動測距測角装置による連続観測を1火山（伊豆大島）で実施し得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告する。（地殻監視課）

火山周辺地域を中心に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）

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1,008km（御前崎、西伊豆、紀伊南、香川、室戸、日南及び出水地区）を実施する。（測地基準課）

全国の活動的な火山について航空機SARによって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、噴火前後の変化情報を明らかにする。（地図情報技術開発室）

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地観測センター地殻監視課,測地観測センター電子基準課,測地部測地基準課,基本図情報部地図情報技術開発室

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp

URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

物理測地観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

航空重力測量により全国の高品質な重力データを収集し、全国を網羅する標高基準（ジオイド・モデル）の精度を向上することにより、GNSS測位によって容易に信頼できる標高が得られる環境を整備する。また、地上における重力値の繰り返し観測及び地磁気の連続観測を行い、地震や火山活動の監視、現象の理解等に必要となる基礎資料として提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

航空重力計を航空機に搭載し、山間部や沿岸海域を含む全国を網羅した稠密な重力データの測定を令和元年度から4年間かけて順次実施する。得られた重力データを利用し、令和5年度には高精度な精密重力ジオイドの計算を実施する。

また、地震や火山現象の理解とその予測研究に必要な基礎的資料を整備するため、南海トラフ巨大地震の想定震源域における繰り返し絶対重力観測による重力変化の把握を引き続き行うとともに、地磁気の連続観測及び富士山中腹における全磁力連続観測による地磁気変化の監視を継続する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

重力測量については、主に北海道、沖縄地方において、航空重力測量を実施し、上空の重力データを取得した。

地磁気測量については、測地観測所等（鹿野山測地観測所、水沢測地観測所及び全国10か所に設置している地磁気連続観測装置）において、機器更新を行い、地磁気連続観測データを取得するとともに、地磁気絶対観測等を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

これまでに得られた航空重力データを含めた重力データより、精密重力ジオイド・モデルを試作し、GNSS測量と水準測量から求めた実測ジオイド高と比較した。その結果、精密重力ジオイド・モデルの目標精度3cmを達成していることを確認した。このことから、観測基盤としての精密重力ジオイド・モデルを高精度に整備することができると考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

栗原忍・大森秀一・兒玉篤郎・畔柳将人・半田優実・吉樂絵里香・飯尾研人・中島正寛・飯塚康裕・松尾功二・富山顕,2022,精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量（中間報告）—信頼性の高い標高を誰もが利用できる社会を目指して—,国土地理院時報,135

・学会・シンポジウム等での発表

深谷 俊太郎・中島 正寛・飯塚 康裕・豊福 隆史・越智 久巳一・山本 宏章・大森 秀一・加藤 知瑛・畔柳 将人・半田 優実・松尾 功二,2022,航空重力データを用いた新たな精密重力ジオイド・モデルの試作と今後の観測計画,日本地球惑星科学連合2022大会

市村 和輝・中島 正寛・深谷 俊太郎・豊福 隆史・酒井 和紀・吉田 賢司・越智 久巳一・山本 宏章・大森 秀一・塩谷 俊治・加藤 知瑛・畔柳 将人・小川 拓真・半田 優実・松尾 功二・鈴木 啓・出戸 雅敏,2022,東北地方におけるGNSS/水準測量データを用いた精密重力ジオイド・モデルの精度評価,測地学会第138回講演会
M. Nakashima・ K. Ichimura・ S. Fukaya・ T. Toyofuku・ K. Sakai・ K. Matsuo・ K. Ochi・ H.

Yamamoto・ K. Yoshida・ S. Omori・ T. Enya・ C. Kato・ M. Kuroyanagi・ M. Handa・ T. Ogawa・ A. Suzuki・ M. Ideto,2022,Geoid slope validation of a precise gravimetric geoid model for Japan by GNSS/leveling survey in 2021,AGU Fall Meeting 2022

酒井 和紀,2022,GNSSによる標高決定の高精度化に向けた取組～新たな標高体系の構築～,電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 第21回総会講演会

酒井 和紀,2022,GNSSで決まる標高がさらに高精度に～新たな標高体系の構築に向けた国土地理院の取組～,「測量の日」記念講演会

攪上 泰亮・松下 拓輝・吉藤 浩之・吉田 賢司・大森 秀一・越智 久巳一,2022,最新の磁気図（2020.0年値）の作成と公表,日本地球惑星科学連合2022大会

酒井 和紀,2022,「目には見えない身近な力」を測る—地磁気測量—,第51回国土地理院報告会

松下 拓輝・攪上 泰亮・吉田 賢司・酒井 和紀,2022,日本全国の地磁気連続観測装置の更新,2022年度CA研究会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続き、沖縄地方等において、航空重力測量を実施するとともに、精密重力ジオイド・モデルの構築を行う。このほか、地上における絶対重力観測、測地観測所及び基準磁気点における地磁気の連続観測を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 測地部物理測地課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志

所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

宇宙測地技術による地殻変動監視

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地殻変動分布の把握による地震像・火山活動の詳細な解明及び火山活動箇所の正確な把握による災害軽減に活用する。また、今後起こりうる地震や火山噴火の長期予測のため、海外の地殻変動観測事例をできる限り解析する。

日本列島とその周辺海域に展開される地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持するとともに、中長期的視野に立った観測基盤の整備や更新を行っていく。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸域観測技術衛星2号（ALOS-2）等のSARデータを使用して日本全国のSAR干渉解析を定常的に実施し、日本国内における火山、地盤沈下等による地殻・地盤変動を検出する。また、国内外で地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には、緊急時の現況把握を目的として緊急解析を実施する。さらに、2020年度に打ち上げ予定の先進レーダ衛星（ALOS-4）に対応するため、解析手法やシステム構成の検討を進め、切れ目なく地殻・地盤変動の監視を継続する。

ITRFの構築に貢献し、我が国の測量の基準となる座標系を維持し、また、巨大地震を引き起こすとされているプレート運動を監視するため、IVSと連携してVLBI測量を実施する。具体的には、石岡VLBI観測施設において、IVSの年間計画に基づき国際VLBI観測を実施する。また、IVSが推進する次世代VLBI観測システム（VGOS）による広帯域観測を実施する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ALOS-2のSARデータを使用して北方四島を含む国土全域を対象に定常的にSAR干渉解析を行ったほか、ALOS-2の蓄積された観測データを用いた干渉SAR時系列解析を国内の火山を対象として行った。これまでに解析を行った40火山のうち、21火山で地殻変動を検出した。これらの結果は、国土地理院のHPで公開するとともに、火山噴火予知連絡会に提出し火山活動評価に活用された。さらに、全国の地盤・地殻変動を把握するため、干渉SAR時系列解析の対象を全国に広げ、2023年1月までに北海道及び東日本地域の解析結果を国土地理院のHPで公開した。この解析により、多くの局所的な変動を把

握した(図1)。

このほか、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するため、緊急観測データを用いて解析を実施した。国内では、2019年12月に火山活動が活発化した西之島について、1ヶ月に1回程度観測されるデータを解析し、継続的に火山活動に伴う地殻変動の監視を行った。また、2022年6月19日に発生した石川県能登半島の地震では、地震後に行われた緊急観測のデータを用いて解析を行った。国外では、2022年6月21日(UTC)に発生したアフガニスタンの地震において、最大で10cmを超える地震に伴う変動が検出された。2022年9月17日と18日(UTC)に発生した台湾の地震では、最大1m程度の衛星に近づく変動が検出された(図2)。さらに、2022年9月19日(UTC)のメキシコの地震では、震央の北西側で最大40cmの衛星に近づく変動が検出された(図3)。これらの結果は、いずれも国土地理院のHPで公開するとともに、地震調査委員会、地震予知連絡会等の関係機関に報告した。

2022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238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7年の観測データから、水平2成分は約0.4mm、鉛直成分は約1.1mm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20.6mm/年(方位角136°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。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

ALOS-2のSARデータを使用した全国定常解析、地震発生や火山活動活発化時の緊急解析の実施など、地殻変動の観測基盤の維持に貢献している。また、干渉SAR時系列解析の火山監視や全国の地盤・地殻変動の監視への活用や、ALOS-2の後継機であるALOS-4に向けたシステムの構築など、観測技術の高度化や観測基盤の整備を進めている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Matsumoto, S., T. Nakakuki, T. Yutsudo, H. Ueshiba, Y. Takagi, K. Hayashi, K. Mori, Y. Sato, and T. Kobayashi, 2023, Status of the Ishioka VLBI Station for the Past Two Years, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2022 General Meeting Proceedings, NASA/CP-20220018789, 56-58

Matsumoto, S., H. Ueshiba, T. Nakakuki, Y. Takagi, K. Hayashi, T. Yutsudo, K. Mori, Y. Sato, and T. Kobayashi, 2022, An effective approach for accurate estimation of VLBI-GNSS local-tie vectors, Earth, Planets and Space, 74, doi:10.1186/s40623-022-01703-5

・学会・シンポジウム等での発表

三木原香乃・石倉信広・島崎久実・市村美沙・石本正芳・佐藤雄大・山下達也・小林知勝, 2022, 房総半島の地盤沈下地域におけるALOS-2高頻度観測データを用いた干渉SAR時系列解析の検証, 日本地球惑星科学連合2022年大会, STT39-P05

市村美沙・三木原香乃・石倉信広・島崎久実・石本正芳・佐藤雄大・小林知勝・宗包浩志, 2022, 干渉SAR時系列解析を用いた阿蘇山における地殻変動の監視(2016年4月～), 日本地球惑星科学連合2022年大会, SVC34-P04

市村美沙・石本正芳・三木原香乃・古居晴菜・雨貝知美・佐藤雄大・小林知勝・宗包浩志, 2022, 干渉SAR時系列解析を用いた阿蘇山における地殻変動の監視, 日本火山学会2022年度秋季大会, P1-24

藤原智・三木原香乃・市村美沙・石本正芳・小林知勝, 2022, アトサヌプリ火山群の収縮変位の継続ー3世代衛星による干渉SAR観測とALOS-2時系列解析ー, 日本火山学会2022年度秋季大会, B1-08

藤原智・三木原香乃・市村美沙・石本正芳・小林知勝, 2022, 硫黄島の火山性断層変位の成長過程ーALOS-2干渉SAR時系列解析ー, 日本火山学会2022年度秋季大会, P1-25

小林知勝・三木原香乃・市村美沙・古居晴菜・雨貝知美・石本正芳・佐藤雄大, 2022, 国土地理院における干渉SAR時系列解析をもちいた火山性地殻変動の監視, 日本火山学会2022年度秋季大会, B1-07

藤原智・三木原香乃・市村美沙・石本正芳・小林知勝, 2022, アトサヌプリ火山群の収縮変位の継続ー3世代衛星による干渉SAR観測とALOS-2時系列解析ー, 日本測地学会第138回講演会, 44

藤原智・三木原香乃・市村美沙・石本正芳・小林知勝,2022,硫黄島の火山性断層変位の成長過程 – ALOS-2干渉SAR時系列解析 –,日本測地学会第138回講演会,P03
 石本正芳・三木原香乃・市村美沙・古居晴菜・雨貝知美・佐藤雄大・小林知勝,2022,ALOS-2観測データを用いた干渉SAR時系列解析による全国地盤変動監視,日本測地学会第138回講演会,P07
 高木悠・石垣真史・中久喜智一・吉藤浩之・阿部聡・本田昌樹・森克浩・佐藤雄大,2022,ITRF2020における石岡VLBI局,日本測地学会第138回講演会,P08

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

衛星SARデータを使用して日本全国のSAR干渉解析を定常的に実施し、日本国内の火山における地殻変動を監視する。国内外で地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には緊急解析を実施する。

VLBIは、引き続きIVSの観測計画に基づき、石岡局で国際共同観測を実施する。また、観測データを解析し、観測局位置とその速度を算出する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署名：

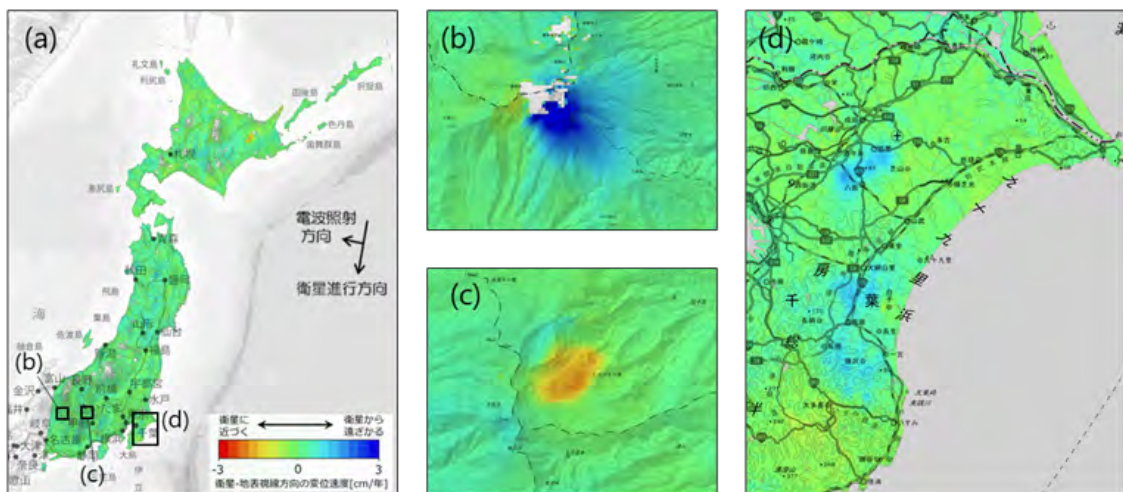
国土地理院 測地部宇宙測地課,地理地殻活動研究センター地殻変動研究室
 他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
 電話：029-864-5954
 e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
 URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
 所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室



Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

図1 2014年～2021年の「だいち2号」の観測データを用いた干渉SAR時系列解析による北海道・東日本の地殻・地盤変動

(a)は衛星視線方向の変位速度（南行軌道）、(b)～(d)は、それぞれ、御嶽山、八ヶ岳、房総半島周辺の拡大図

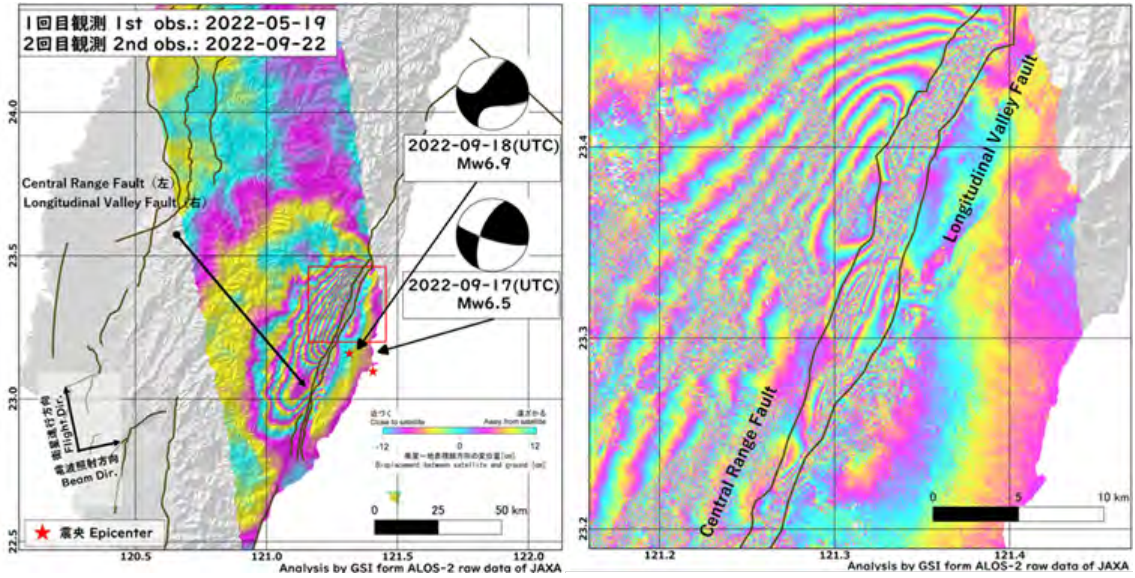


図2 「だいち2号」 SAR干渉画像による台湾の地震に伴う地殻変動
 左図は広域の干渉画像、右図は左図の一部を拡大した図。断層帯の西側で変動が大きく、最大1m程度の衛星に近づく変動が見られる。断層線はStyron et al. (2010)より。

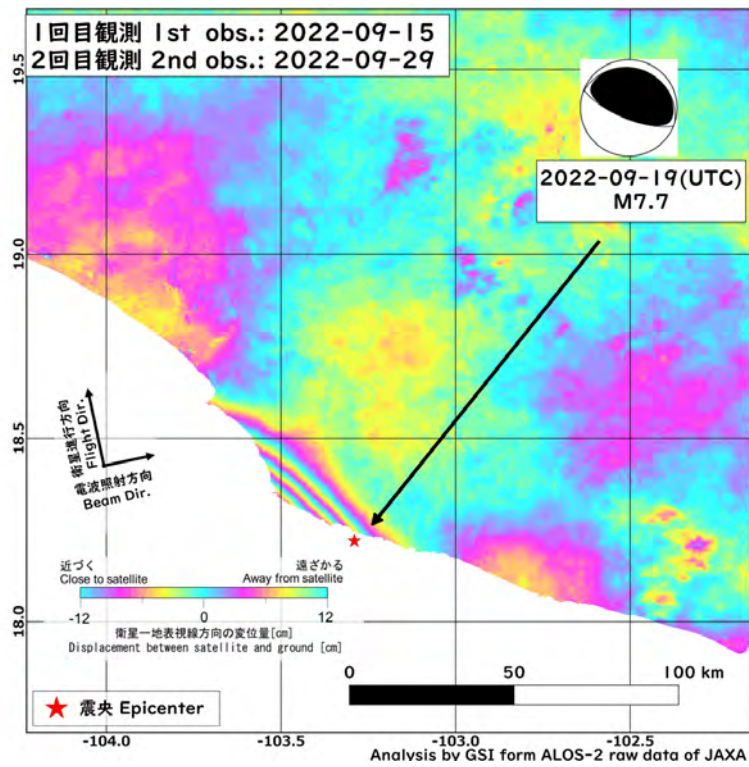


図3 「だいち2号」 SAR干渉画像によるメキシコの地震に伴う地殻変動
 震央の北西側で最大で約40cmの衛星に近づく変動が見られる。



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4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・全国の電子基準点を対象とした電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)を引き続き運用した。また、従来の相対測位手法をPPP（精密単独測位）に置換したプロトタイプシステムを構築した。さらに、PPPの精度を高めるために、GNSS衛星の軌道情報推定手法を改良した。
- ・REGARDの信頼性向上を目的として導入した、リアルタイム測位解の品質に着目した異常値判定の仕組みを引き続き運用した。
- ・令和2年度から房総半島に設置している、廉価版のGNSS 機器を用いた小型GNSS観測装置10点の観測データを用いて、F5準拠の日々の座標値を算出した結果、房総半島の一部において沈降を確認した。これは千葉県が実施している水準測量において確認されている地盤沈下と整合的である。また、令和4

年度には、新たに本装置を20点房総半島に設置した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

・電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) はリアルタイムで地殻変動を観測し、巨大地震後数分での断層推定を目指したシステムである。令和4年度に行った軌道情報推定手法の改良及びPPPを用いたREGARDのプロトタイプシステム構築は、地殻変動をリアルタイムで確実に捉える上で必要な技術開発であり、REGARDの高度化に資するものである。

・異常値判定により確実にノイズ事例を棄却することができ、REGARDから発信される地殻変動情報の信頼性の向上に貢献した。

・廉価版のGNSS 機器を用いた小型GNSS 観測装置を用いることで、変動域においてこれまでよりも稠密な地殻変動観測が可能になることが期待される。令和4年度は、実際の観測結果に基づいて地殻変動監視への適用可能性を評価したものであり、今後の本装置を含む稠密なGNSS観測点を用いた地殻変動観測の実用化の可能性を示すものである。

「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

・PPP導入に向けた取組み及び異常値を判定する仕組みの構築は、地殻変動情報の高精度化及び信頼性向上に寄与するもので、災害軽減を目標とする観測研究の推進に貢献する。今後は断層モデル推定手法の改良を進めることで、REGARDシステム全体の高度化が期待される。

・小型GNSS観測装置を含む稠密なGNSS観測点を用いた地殻変動観測の実用化は、GNSSを用いた観測基盤を強化し、災害軽減を目標とする観測研究の推進に貢献する。小型GNSS観測装置で用いられるGNSS機器は、国土地理院の所有する可搬型GNSS連続観測装置のGNSS機器とほぼ同等の性能を確認しており、GNSSを用いた観測基盤の強化につながると考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Abe, S., K. Ohno, N. Takamatsu, S. Kawamoto, and K. Akiyama, 2022, Precise GNSS Orbit and Clock Determination Using MADOCA Software, AGU Fall Meeting 2022

Ohno, K., N. Takamatsu, S. Abe, S. Kawamoto, T. Miyazaki, Y. Takei, and S.

Murakami, 2022, Improvement of "REGARD": a rapid coseismic fault model estimation system based on real-time GNSS analysis, 13th United States-Japan Natural Resources (UJNR) Panel for Earthquake Research

大野圭太郎・阿部 聡・高松直史・川元智司・秋山恭平, 2022, MADOCAを用いたGNSS軌道推定, 日本測地学会第138階講演会

大野圭太郎・多田直洋・阿部 聡・高松直史・村松弘規・川元智司, 2022, リアルタイムPPPを用いた震源断層モデル推定システムの開発, 日本地球惑星科学連合2022年大会

Takamatsu, N., K. Ohno, S. Abe, T. Miyazaki, Y. Takei, S. Murakami, and S.

Kawamoto, 2022, Toward Improvements in REGARD: A Real time Finite Fault Model Estimation System Based on Japan's Dense GNSS Array Network GEONET, AGU Fall Meeting 2022

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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、マルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）による矩形断層モデル推定の実装に向けて検討を行う。

・電子基準点キネマティック解析システムについて、引き続き試験解析を行う。

・房総半島に設置した小型GNSS観測装置を引き続き運用し、長期間のデータ取得及び解析を実施するとともに、当該地域での地盤沈下やスロースリップ等の地殻変動の把握への活用可能性について評価

する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室,測地観測センター電子基準点課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国活断層帯情報整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の主要な活断層について、位置・地形等のデータベースの充実を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費により主要な活断層について、断層の詳細な位置、関連する地形の分布等の情報を整備・提供するものである。

令和元年度においては、庄川断層帯、長良川上流断層帯、長岡平野西縁断層帯、石狩低地東縁断層帯、糸魚川－静岡構造線断層帯（改訂）、上町断層帯（改訂）の6断層帯を1:25,000活断層図として整備。

令和2～5年においては、26断層帯を整備する予定。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度に整備した、六日町断層帯とその周辺「栃尾」（図1）「越後湯沢」（図2）、十日町断層とその周辺「津南」（図3）、高田平野断層とその周辺「柿崎」（図4）、阿寺断層帯及び長良川上流断層帯とその周辺「金山」（図5）、佐賀平野北縁断層帯とその周辺「佐賀」（図6）「武雄」（図7）、糸魚川－静岡構造線断層帯とその周辺「茅野 改訂版」（図8）の8面について1:25,000活断層図を公開した。

また、長町－利府線断層帯、会津盆地西縁・東縁断層帯、長野盆地西縁断層帯、伊那谷断層帯、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯、弥栄断層、糸魚川－静岡構造線断層帯を整備した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震本部が調査対象としている主要活断層帯のうち、陸域の活断層帯とその周辺について、活断層の詳細な位置や関連する地形の分布等を表示した「1:25,000活断層図」を整備し、地震本部の調査研究の推進に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

立石良,2022,1:25,000活断層図 六日町断層帯とその周辺「栃尾」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1061
岡田真介,2022,1:25,000活断層図 六日町断層帯とその周辺「越後湯沢」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1062
田力正好,2022,1:25,000活断層図 十日町断層帯とその周辺「津南」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1063
廣内大助,2022,1:25,000活断層図 高田平野断層帯とその周辺「柿崎」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1064
金田平太郎,2022,1:25,000活断層図 阿寺断層帯及び長良川上流断層帯とその周辺「金山」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1065
楮原京子, 小山拓志, 千田昇, 中田高,2022,1:25,000活断層図 佐賀平野北縁断層帯とその周辺「佐賀」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1066
後藤秀昭,2022,1:25,000活断層図 佐賀平野北縁断層帯とその周辺「武雄」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1067
杉戸信彦,2022,1:25,000活断層図 糸魚川-静岡構造線断層帯とその周辺「茅野 改訂版」解説書,国土地理院技術資料D1-No.1068

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度においては、雫石盆地西縁－真昼山地東縁断層帯、北上低地西縁断層帯、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯、湖北山地断層帯、鹿野－吉岡断層、上町断層帯、有馬－高槻断層帯、六甲・淡路島断層帯について1:25,000活断層図として整備。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 応用地理部地理情報処理課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

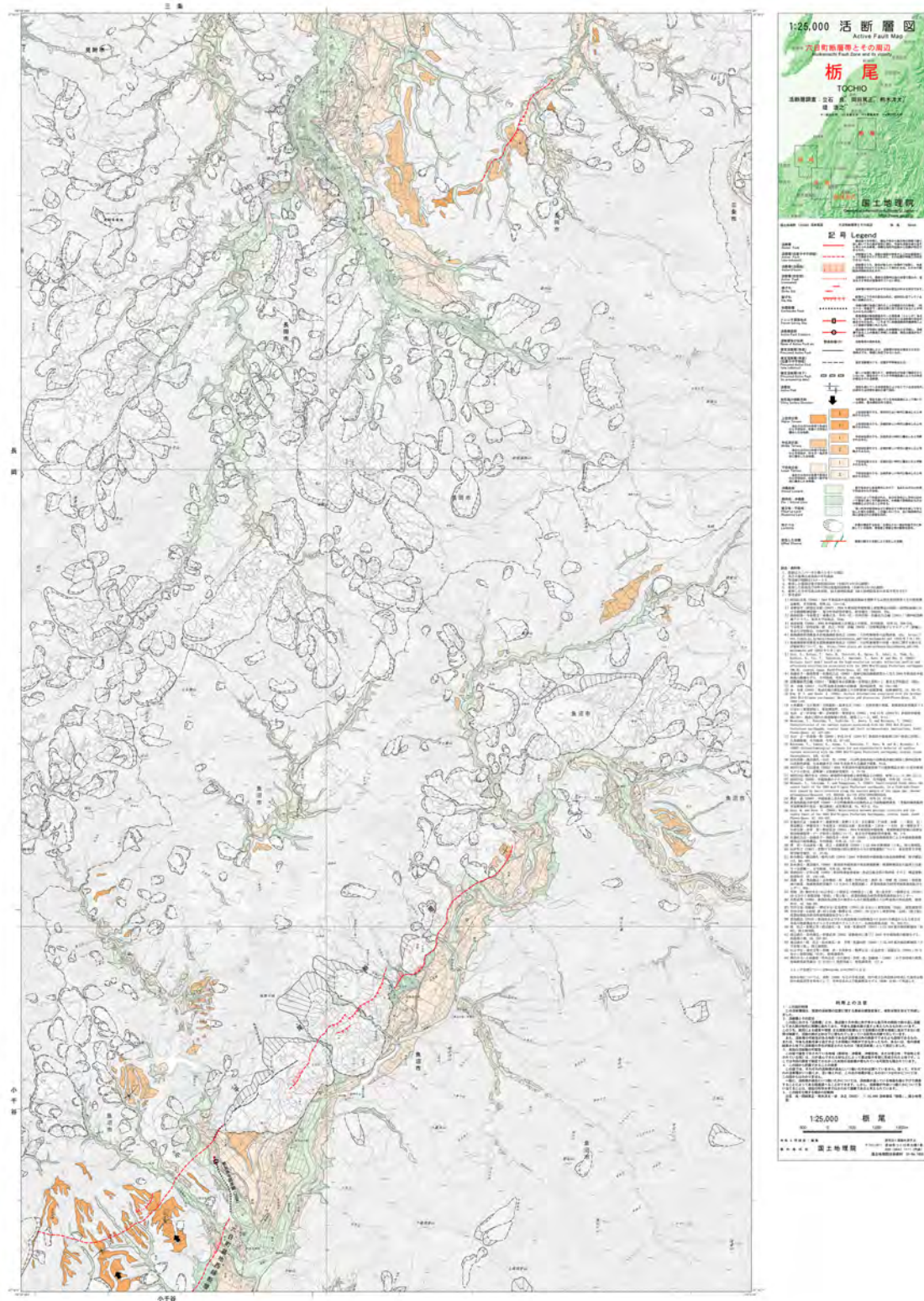


図1 1:25,000活断層図 六日町断層帯とその周辺「栃尾」



図2 1:25,000活断層図 六日町断層帯とその周辺「越後湯沢」

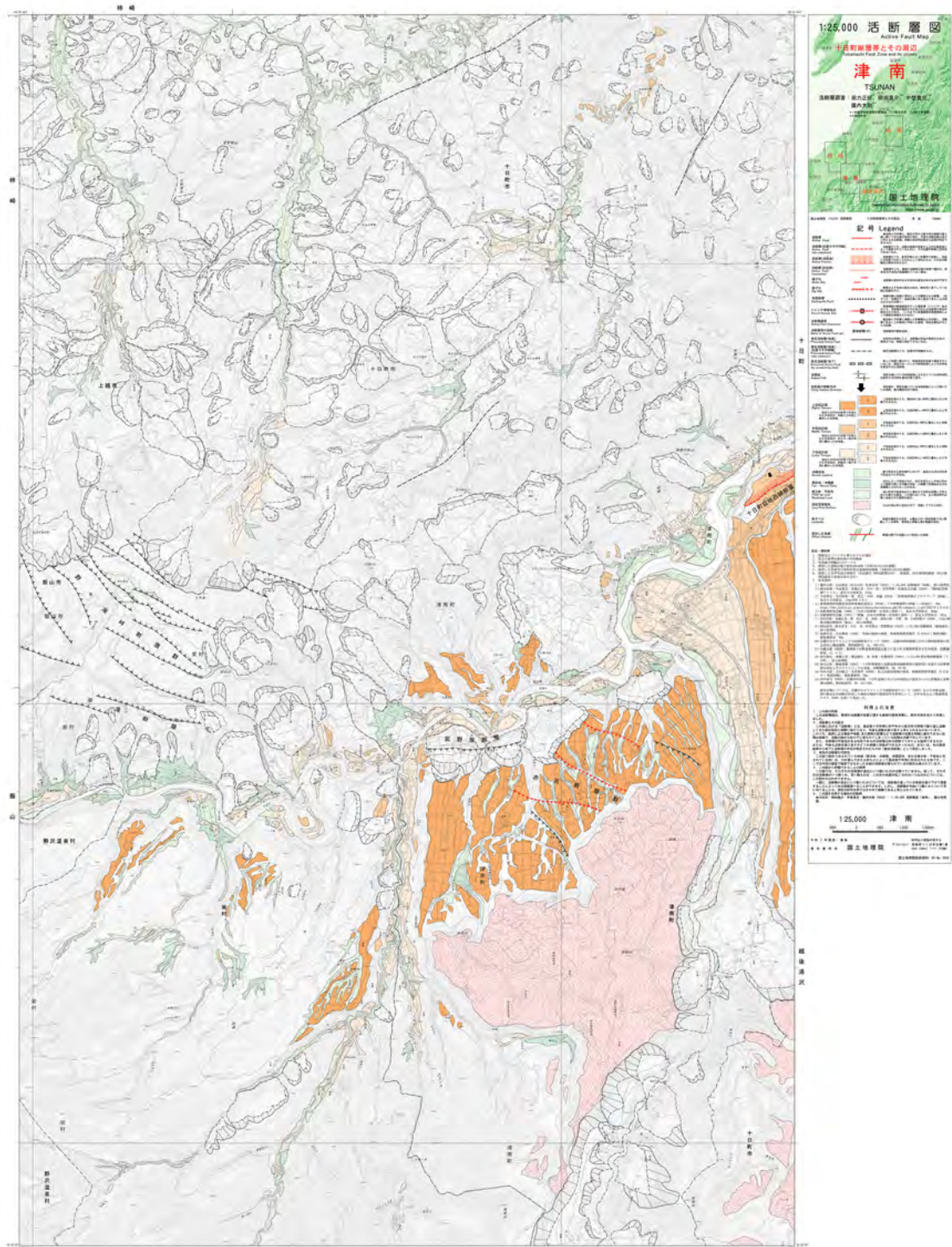


図3 1:25,000活断層図 十日町断層帯とその周辺「津南」

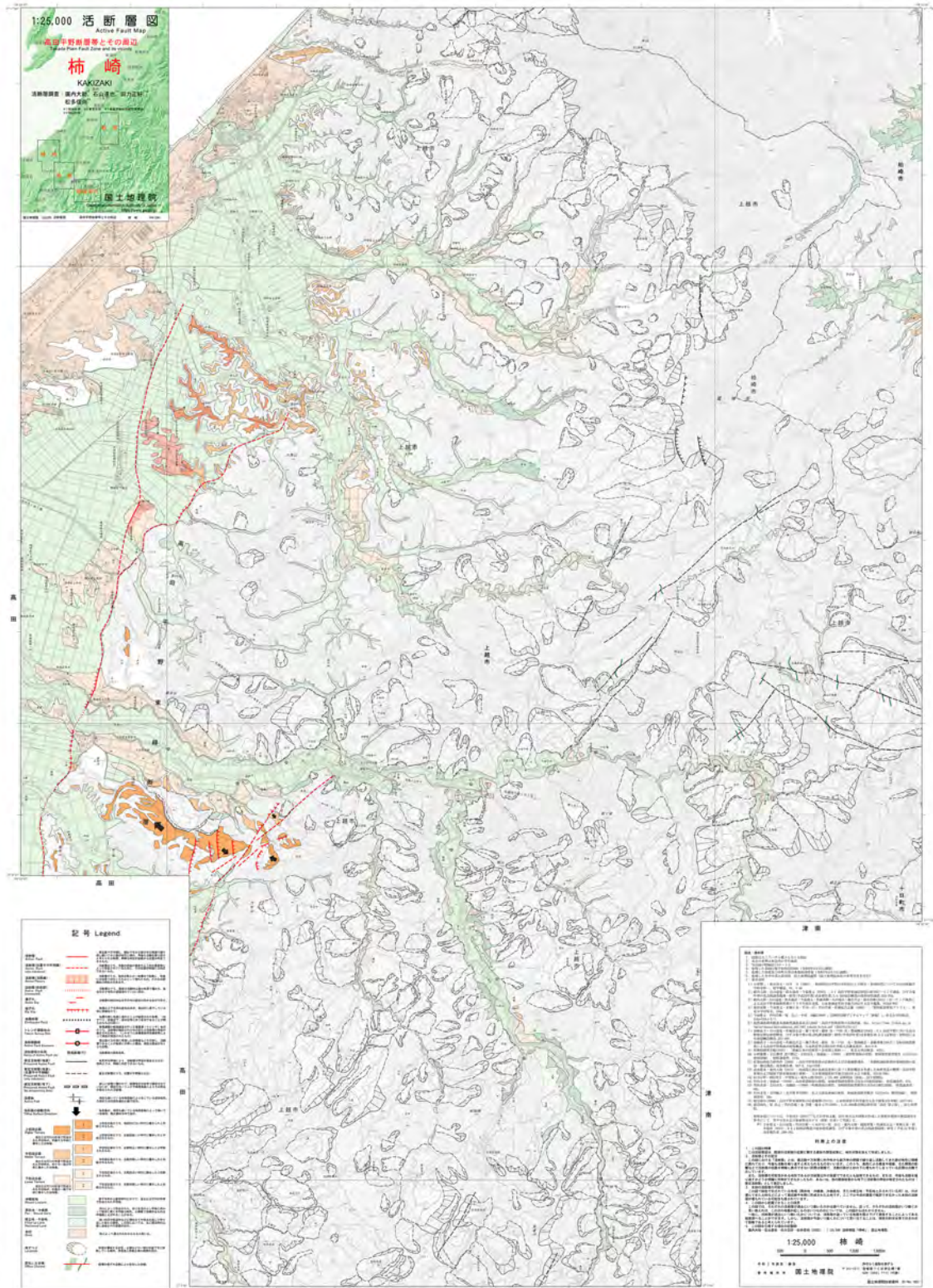


図4 1:25,000活断層図 高田平野断層帯とその周辺「柿崎」

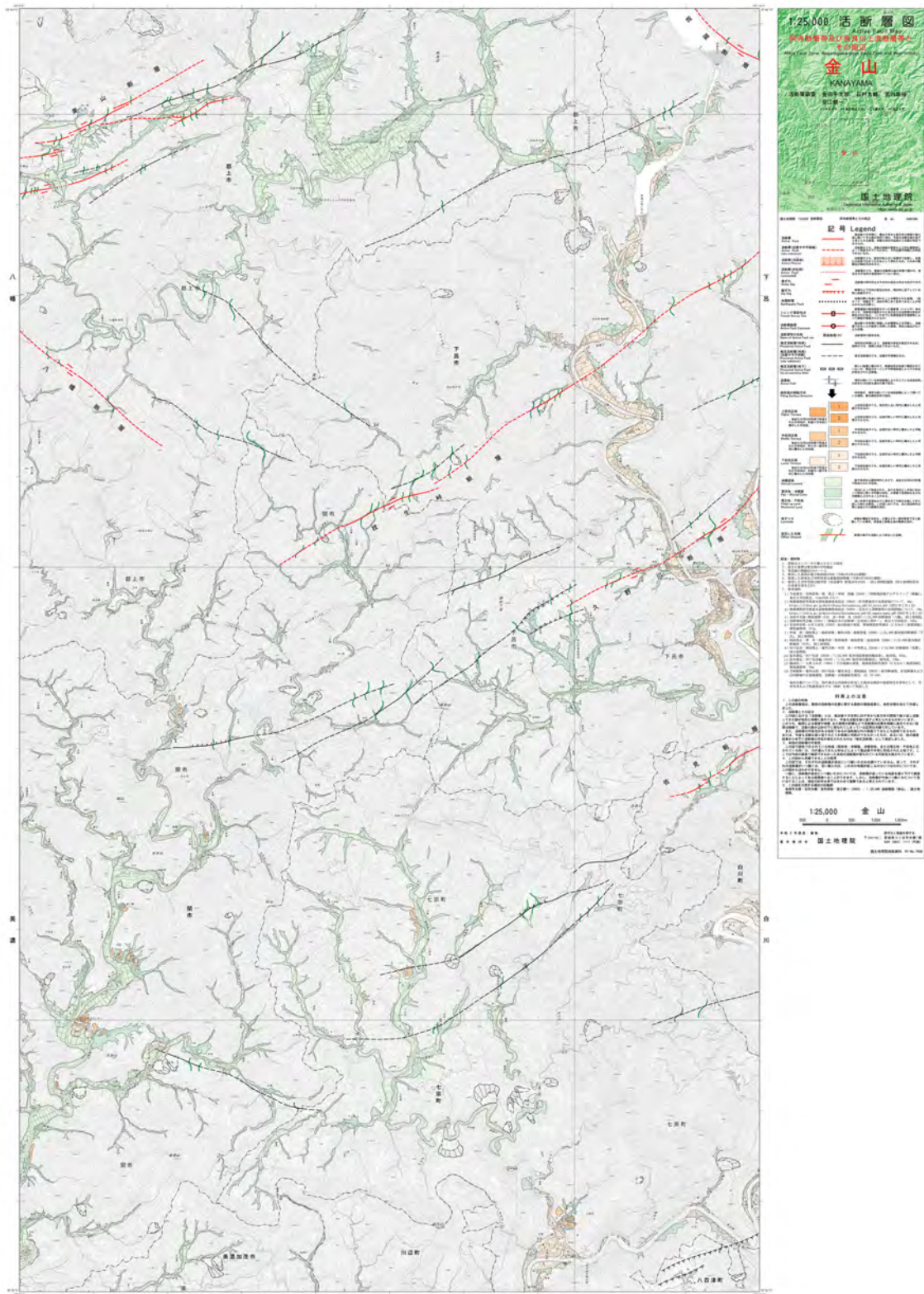


図5 1:25,000活断層図 阿寺断層帯及び長良川上流断層帯とその周辺「金山」

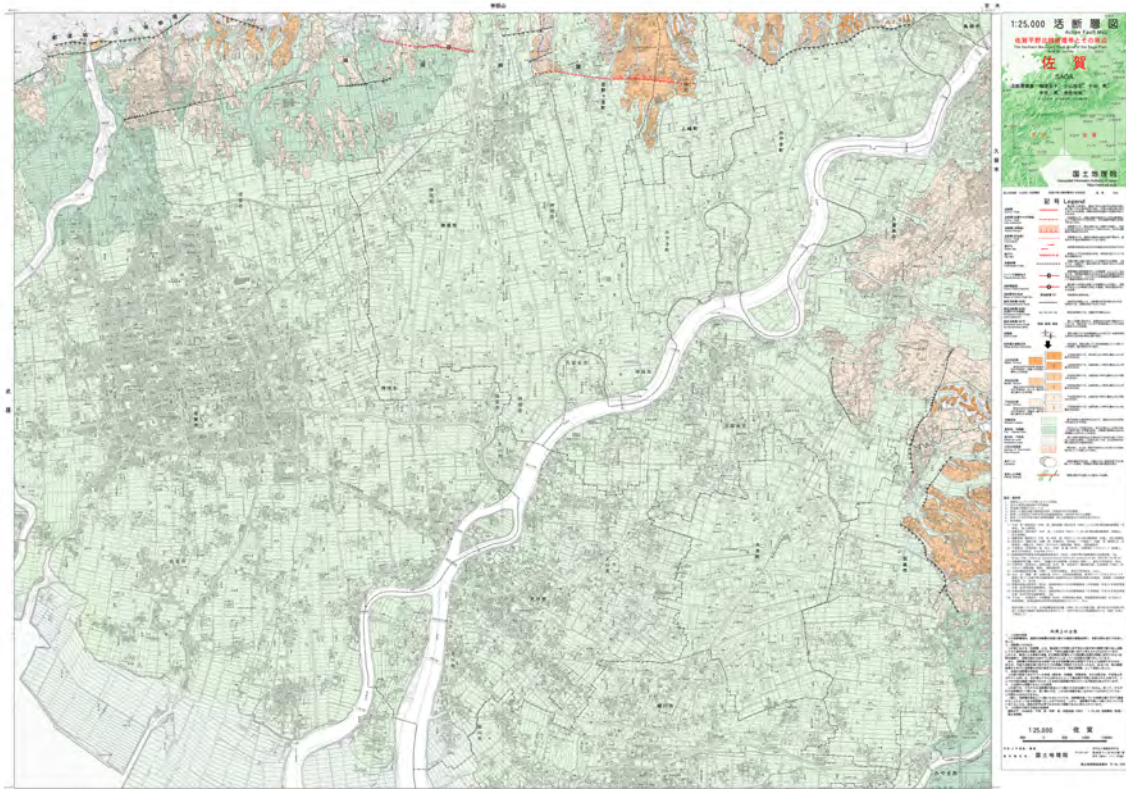


図6 1:25,000活断層図 佐賀平野北縁断層帯とその周辺「佐賀」

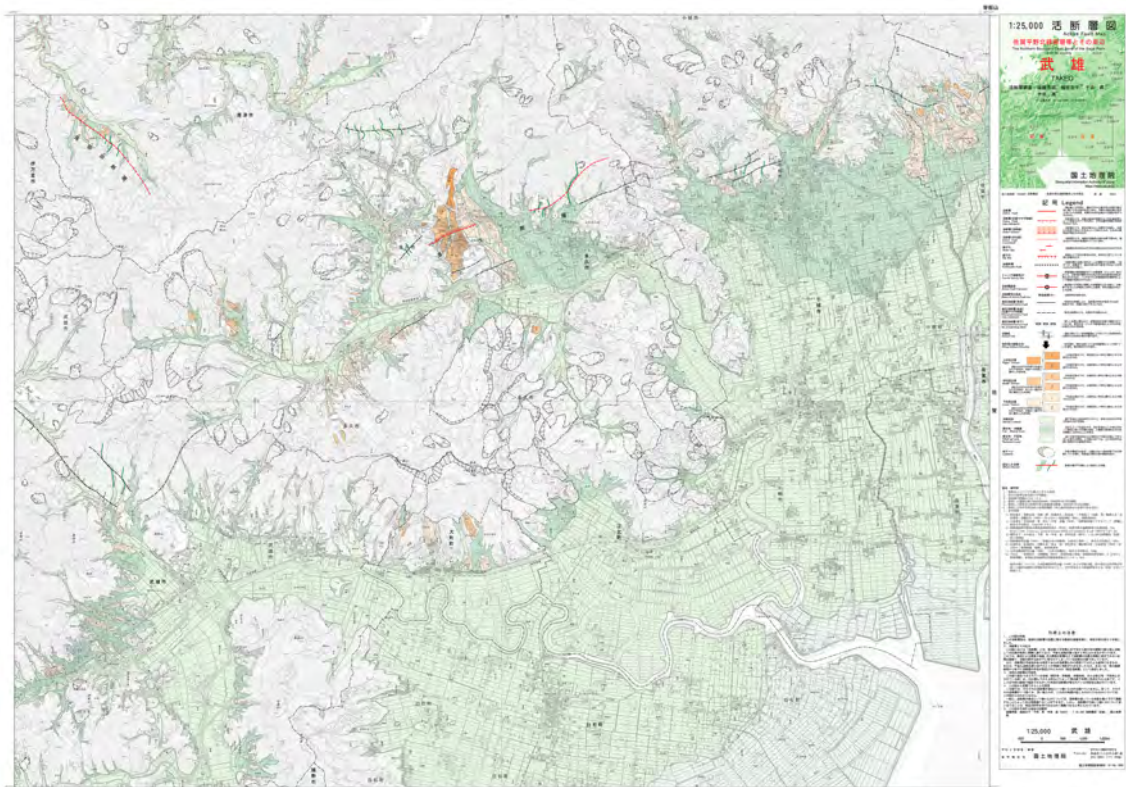


図7 1:25,000活断層図 佐賀平野北縁断層帯とその周辺「武雄」

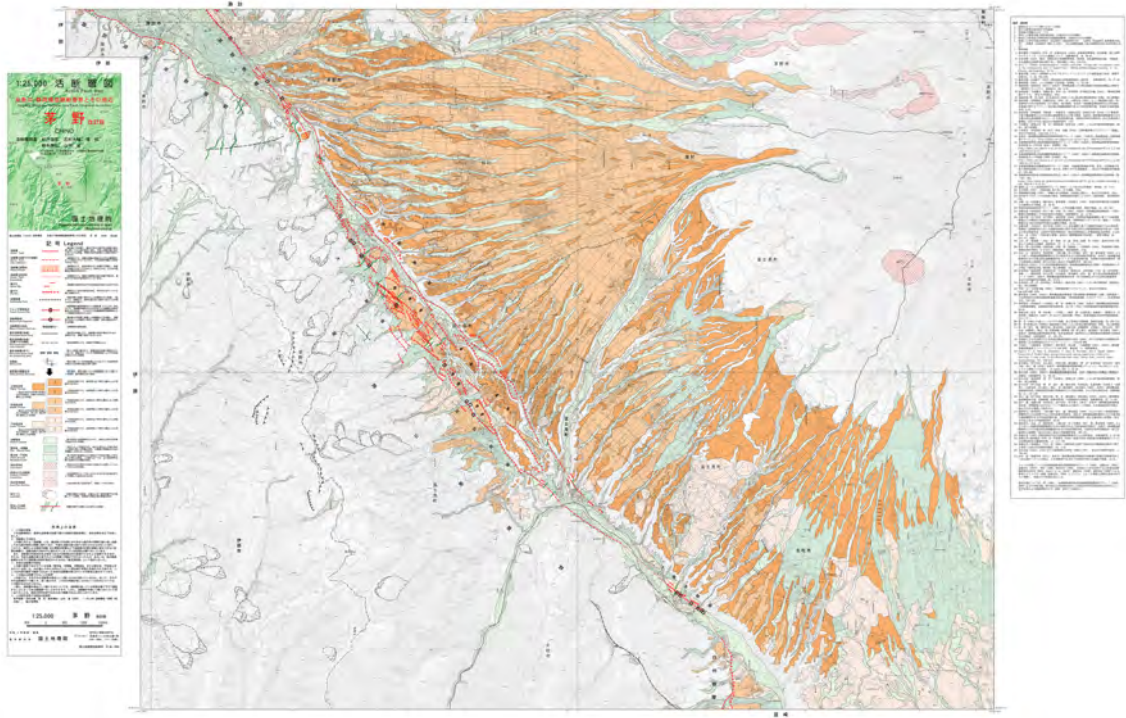


図8 1:25,000活断層図 糸魚川-静岡構造線断層帯とその周辺「茅野 改訂版」

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山基本図・火山土地条件図整備

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある50火山について、火山基本図及び火山土地条件図を作成するとともに、それらの数値データ化を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費及び地理空間情報整備・活用等推進費により火山防災地形データとして整備・提供するものである。

令和元年度においては、「箱根山」の火山土地条件調査を実施し、「岩手山」「秋田駒ヶ岳」「日光白根山」の火山基本図整備を実施する。

令和2年度～5年度においては、毎年度1火山程度の火山土地条件調査、毎年3～4火山程度の火山基本図整備を実施し、それらの数値データを整備・提供予定。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度に調査を行った「諏訪之瀬島」の火山土地条件図及び数値データを公開した。また、令和3年度に作成した「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」、令和4年度に作成した「諏訪之瀬島」の火山基本図及び数値データを公開した。

令和4年度においては、「蔵王山」の火山土地条件調査及び「北海道駒ヶ岳」「白山」「鶴見岳・伽藍岳」「九重山」「諏訪之瀬島」の火山基本図を整備した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

火山防災に資する基礎的な地理空間情報として、火山土地条件図及び数値データ、並びに火山基本図及び数値データを整備した。

これらの成果については、関係機関に対して情報提供を行い、併せて地理院地図等のWebページで公開を進めた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度に調査を行った「蔵王山」の火山土地条件図及び数値データ並びに令和4年度に作成した「北海道駒ヶ岳」「白山」「鶴見岳・伽藍岳」「九重山」の火山基本図及び数値データを公開する。
また、「焼岳」「神津島」の火山土地条件調査及び「アトサヌプリ」「樽前山」「三宅島」「青ヶ島」の火山基本図を整備。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 応用地理部地理調査課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻活動データベース整備・更新

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

国土地理院が管理する地殻活動データベースについて、整備および時点更新を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- ・ 国土地理院が公開するGNSSデータクリアリングハウスの整備を行う。
- ・ 海岸昇降検知センター事務局として潮位データの収集を行う。
- ・ 地殻活動総合解析システムの整備を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

- ・ 今年度の成果の概要
- ・ 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った。
- ・ 海岸昇降検知センターに登録されている験潮場について、毎月の平均潮位をとりまとめてホームページから順次公開するとともに、令和3年度の潮位観測データを潮位年報として取りまとめた。
(<https://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html>)

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

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、潮位観測データを潮位年報として取りまとめることで、観測基盤としての潮位観測データの整備に貢献した。また、長期間に渡る潮位観測データは、地震間の固着状態の変化を推定ための基礎データとなる上下変動場を与えるものであり、地震サイクルの理解を通じて災害の軽減に貢献するという目標に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・ 論文・報告書等
- ・ 学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

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4年度の潮位観測データを潮位年報として取りまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国土地理院 地理地殻活動研究センター地殻変動研究室,研究管理課,測地観測センター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地理地殻活動研究センター 研究管理課
電話：029-864-5954
e-mail：gsi-eiss+3@gxb.mlit.go.jp
URL：https://www.gsi.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宗包浩志
所属：国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波堆積物情報の高度化と実践的活用に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
- (5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題の目的は、(a)津波堆積物の認定、(b)年代決定、(c)津波規模の推定、(d)地点間対比、(e)津波堆積物の保存／消失過程の評価について、それぞれ高度化を実現するための手法を確立し、信頼性の高い地質情報を得ることにある。5ヶ年計画では、総合的研究の項目にある千島海溝沿いの巨大地震を主な対象として(a)-(d)の調査を進め、複数の地点で地震の規模まで含めた発生履歴を明らかにする。特に17世紀と12世紀のイベントについては北海道全体で津波の波高分布を明らかにした上で年代による対比を行い、地殻変動の量も推定する。これにより、最終年度までに波源モデルの構築と信頼性の高く一貫性のある長期評価を実現可能とする。(e)については東北地方の太平洋岸と日本海岸などで地域を厳選し調査を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

前述の(a)-(d)の手法の確立は、国内で実施する津波堆積物調査と分析を通じて行う。(a)は、すでに提唱されている手法と海外の研究者が進めている新しい地球化学的、生物学的手法による認定手順2011年や1983年の津波堆積物など既知の津波堆積物に応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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

北海道胆振地方東部の厚真町において17世紀の津波堆積物を見出し、その分布や特徴、および堆積年代を調べた。調査領域は海岸線に沿う方向に約1km、内陸方向には約300m（現在の海岸から600-900m）の範囲に設定し、約50ヶ所でハンディジオスライサー（長さ1.0, 1.5m）とピートサンプラーを用いて掘削をおこなった。調査地の大半は乾いた草地で、砂置き場などで使われていた場所もあるが、17世紀の一連の火山灰（Ta-b；1667年, Us-b；1663年）の下部およびその下位の泥炭はまったく乱されていない。鍵層となる他の火山灰（B-Tm；10世紀, Ta-c3；約2000年前, Ta-c2；約2500年前）は全域で明瞭であった。津波堆積物と識別した砂層は1層のみである。津波堆積物とした根拠は、この砂層にのみ海生珪藻含まれていること、内陸に向かい薄層化（層厚は最大50cm超から徐々に減少、パッチ状になり見えなくなる）および細粒化（平均粒径は1.5φから3.5φ程度まで減少）の傾向が見られること、比較的厚い堆積物には級化構造が認められること、砂層が下位の泥炭を侵食した痕跡が見られること、である。砂層がUs-b（1663年）の直下（0-3cmの泥炭を挟む）にあることから、苫小牧市やむかわ町で報告されている津波堆積物（例えば、高清水ほか、2007）と同じ津波イベントによるものと推測した。泥炭の質を吟味して年代を決めたところ、2σ暦年代範囲は1596-1641年となった。よって、この地域の津波堆積物は、1611年の慶長奥州地震津波の痕跡である可能性が高い。痕跡が識別できるのは、厚真町では約4.5m（当時の地表）の高さまで、江戸時代後期の海岸線（伊能図）から約500m内陸まで、である。また、津波堆積物の平均粒径は、分布限界付近では3.5φ程度まで細くなる。こうした堆積物の性状から示唆される津波の規模は高さ5m程度であり、内閣府の想定（沿岸で約9m）より小さい。また、過去2500年間には、津波の可能性のある痕跡はX線CT画像でも他に識別できなかった。

珪藻群集分析に基づき過去の地殻変動の履歴を構築する手法を開発し、北海道十勝地方、大樹町の当縁湿原において17世紀巨大地震前後の地殻変動量を推定した。当縁湿原では、17世紀の巨大地震に伴う津波堆積物が海岸から2km以上内陸まで分布している。ここで標高2.5-3.0m (TP) の地点でこの津波堆積物を含むコアを採取して珪藻群集を調べたところ、この地震発生直前まで徐々に沈降しており、地震後に隆起に転じ、その後はしばらく隆起傾向が続いた様子が示された。一方、潮間帯から潮上帯に生育する*Pseudopodosira kosugii* は津波堆積物の層準で最も多く産出する。同じ湿原の干潟〜塩性湿地の3地点で*Pseudopodosira kosugii* の生息分布と標高、潮位との関係を詳しく調べた結果、分布限界およびモードはそれぞれ、0.8~1.3m (TP), -0.2~0.3m (TP) であることがわかった。このばらつきは環境の違いを反映したものと考えられる。過去の地殻変動は、地層中に出現するこの珪藻の分布限界およびモードを現在の標高と比較することで推定することができる。すなわち、現在の地層中にみられる分布限界は、地盤が隆起する過程で分布限界高度を超えてからさらに隆起した量を示す、同じくモードは、地震発生時に沈降から隆起に転じた時期を示すものなので、隆起量は最大でも現生のこの珪藻の分布モードの標高からの高さとなる。よって、分布限界とモードの両者を用いることで隆起量を制約できる。現生の分布高度については、当時の環境がわからない以上、モードについては3か所のうち最も低い標高、分布限界高度については最も低い標高をもとに検討すべきである。複数の調査地点のコアを用いて検討した結果、隆起量は1.5mと精度良く推測することができた。なお、この隆起量は地震時隆起と地震後隆起を合わせてものであるが、隆起が地震発生後に急激に起きていないことが珪藻分析からわかっているため、地震時隆起の寄与はほとんどないと考えられる。先史時代の地殻変動を詳細に検討した事例は貴重であり、波源モデルの構築や津波想定の見直しにも重要となる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

1-(1)-ウ, 2-(1)-ア, 5-(2)-ウに関して, 厚真町で新たに, 1611年の慶長地震によるものと推測される津波の痕跡を認定できた。しかも, 比較的単純な地形において堆積物の分布限界を推定できたので, 波源の構築や評価に貢献する成果となった。内閣府が想定している日本海溝北部を震源とする地震の情報が格段に増したので, 災害の軽減にも寄与するものである。十勝地方の地殻変動歴を明らかにしたことは, 千島海溝の巨大地震の発生様式, 17世紀の地震の波源モデルを構築, 評価する上で重要な情報である。同様に, 千島海溝を震源とする地震の情報が格段に増したので, 災害の軽減にも寄与するものである。今後は, 胆振地方については隣接する苫小牧市やむかわ町の調査結果も含めて胆振東部全域の津波痕跡分布と履歴を明らかにする。十勝地方については, 17世紀の地震前の地盤標高を現在と比較し, 次の巨大地震の発生時期についても検討できると考えている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので, 令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Frenken, M., Bellanova, P., Nishimura, Y., Schulte, P., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., Schwarzbauer, J., 2022, Suitable indicators to determine tsunami impact on coastal areas in Northern Japan, Aomori Prefecture., Environmental Monitoring and Assessment, 194, 385, <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09989-4>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

厚真町に隣接する苫小牧市とむかわ町において津波堆積物調査を実施し, 1611年津波のこの地域での性状, さらに長期的な発生履歴を明らかにする。厚真町では超規模なトレンチ調査を実施する。トレンチ調査については, 土地所有者の承諾をすでに得ている。調査に際して, 地元住民への説明会も開催し, 地質情報を防災に活かしてもらうことも計画している。十勝については, 長期的な地殻変動履歴を求める手法を確立し, 同じ湿原内の別の地点や周辺の湿地でも検証したい。また, 17世紀の地震前に地殻変動パターンが隆起から沈降に転じた時期があるはずなので, その時期を明らかにし, また変動速度についても検討する予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

西村裕一(北海道大学大学院理学研究院)

他機関との共同研究の有無 : 有

千葉 崇(酪農学園大学), 高清水康博(新潟大学人文社会・教育科学系), 菅原大助(東北大学), 石澤堯史(東北大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話 : 011-706-3591

e-mail : isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 西村裕一

所属 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

大規模噴火に関わるマグマプロセスの時間スケールの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

カルデラ噴火のような大規模な噴火において、マグマはどのような速さでマグマ溜まりに蓄積されるのか、マグマはどのくらいの期間マグマ溜まりに停留するのか、そして噴火を引き起こす準備プロセスはいつから始まるのか、といった時間スケールを明らかにすることは、噴火予測において極めて重要であるが、日本のカルデラ火山においては、このような定量的な情報がほとんど蓄積されていない。そこで本課題では、国内の代表的なカルデラ火山を対象に、ウラン系列放射非平衡を用いた物質科学的研究を実施し、カルデラ噴火を引き起こすような大量のマグマがどのような時間スケールで準備されるのかを明らかにすることを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究で利用するU-Th放射非平衡法では、現在から遡って約1万年前～30万年前の期間に起きたマグマプロセスに対応できることから、この期間内に活動した洞爺、阿蘇、阿多を解析対象とし、さらに余裕があれば屈斜路、阿寒、始良についても解析を進める。U-Th放射非平衡法を適用するにあたっては、マグマ供給系を含めたマグマプロセスについての事前的検討が不可欠であるため、先行研究を十分に吟味した上で、必要に応じて試料の採取、岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの蓄積プロセスや分化プロセスを詳細に明らかにし、U-Th放射非平衡を測定する試料を選定する。

- 1年目： 阿蘇・洞爺を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 2年目： 阿蘇・阿多を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 3年目： 阿蘇・洞爺におけるマグマプロセスの解析
- 4年目： 阿蘇・阿多におけるマグマプロセスの解析
- 5年目： 各火山の代表的な試料のU-Th放射非平衡の測定・時間スケールの抽出

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は、(1)昨年度に採取した始良カルデラおよび先行噴火噴出物試料についての基礎分析とU-Th放

射非平衡分析、(2)十和田カルデラ噴出物の試料採取、を行った。なお、当初予定していた阿蘇カルデラにおける試料採取は、コロナ第7波の影響で調査を自粛したこともあり、次年度へと持ち越しとなった。(1)については、先行噴火・カルデラ噴火を含め、珪長質マグマの大部分がU-Th放射平衡に到達しており、マグマ生成後、約40万年以上の時間が経過していることが示された。その一方で、溶岩流として噴出した珪長質な先行噴火については、U-Th放射非平衡であることが確認された。この成果については現在、国際誌への投稿準備を進めているところである。(2)については、約6万年前に噴出した奥瀬火砕流堆積物から歴史時代の915年噴出物まで、一部の層準を除いて、ほぼ連続的な試料を採取することができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「地震・火山現象の解明のための研究」における項目「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」に関して、始良カルデラ噴火に関わった膨大な量の珪長質マグマは40万年前には生成されており、噴火前に長寿命の珪長質マグマ系を構成していたことが明らかとなった。本課題研究において、これまで解析を行った支笏・屈斜路(Kp-IV)・洞爺においても同様の特徴が確認されており、巨大カルデラ噴火を引き起こす珪長質マグマ系としての共通点が見いだされた。このことから、今後は巨大カルデラ噴火における長寿命珪長質マグマ系の存在の必然性、および巨大カルデラ噴火後の珪長質マグマ系の再構築プロセスについての検討が必要であると考えている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Oiwa, K., T. Kuritani, M. Nakagawa, and S. Yoshimura, 2023, Pre-eruption magmatic processes and magma plumbing system at Hachijo-Nishiyama volcano, Izu-Bonin arc, Japan, *Earth, Planets and Space*, 75, 6, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01761-9>, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

来年度は、今年度の後半に採取した十和田カルデラの噴出物の基礎分析とU-Th放射非平衡分析・解析、基礎分析をほぼ終えている洞爺カルデラ噴出物を対象としたU-Th放射非平衡分析・解析、そして新たに阿蘇カルデラおよび先行噴火の噴出物を対象に試料採取を行い、基礎分析を実施する。既に基礎的な解析を終えている支笏カルデラ噴出物については、さらなる細部の詰めを行った上で、論文化を進める予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

栗谷豪(北海道大学大学院理学研究院), 中川光弘(北海道大学大学院理学研究院), 吉村俊平(北海道大学大学院理学研究院), 松本亜希子(北海道大学大学院理学研究院)

他機関との共同研究の有無 : 有

横山哲也(東京工業大学), 柵山徹也(大阪市立大学)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等 : 北海道大学大学院理学研究院

電話 : 0117062729

e-mail : kuritani@sci.hokudai.ac.jp

URL :

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：栗谷豪

所属：北海道大学大学院理学研究院

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マグマ脱ガス実験と火山噴出物の揮発性成分解析に基づく噴火分岐メカニズムの解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

噴火事象の分岐は、火道上昇中のマグマの発泡・脱ガス現象の起こり方の違いに起因すると考えられている。すなわち、発泡が卓越しマグマ浮力が高まれば爆発的噴火となり、開放系脱ガスが卓越しガスが失われると非爆発的噴火に至ると考えられている。しかし、火道内の各深度で発泡・脱ガスがどのように起きているかは不明であり、噴火分岐の根本的要因は未解明である。そこで本課題では、火山噴出物の揮発性成分の解析と実験室でのマグマ脱ガスシミュレーションを組み合わせることで、噴火分岐の要因を明らかにすることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

まず、対象火山として、観測データが揃っており、将来の噴火が危惧され、爆発性の高い安山岩～流紋岩質マグマを噴出する桜島火山・浅間火山・有珠火山などを選定し、噴火様式ごとに火山噴出物を採取し揮発性成分組成の特徴を明らかにする。次に、室内実験でマグマの発泡・脱ガス・圧密を再現し、試料の揮発性成分の特徴を明らかにする。そして、天然と実験を比較し、火道内でどのような脱ガス過程が起きたかを解読する。読みだされた脱ガス過程と噴火様式の関係を検討し、噴火分岐の仕組みを実証的に明らかにする。

令和元年においては、桜島・浅間・有珠を対象とした岩石の採取、および揮発性成分の分析を行う。

令和2年においては、高温高压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、高温高压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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

珪長質マグマが噴火する前、地殻深部を起源とする苦鉄質マグマが珪長質のマグマ溜まりに供給され、マグマ上昇中に混ざりこみながら噴火する例がよくある。この現象では苦鉄質マグマからガスが放出され、それが珪長質マグマに供給されることで噴火ダイナミクスに影響を与える可能性がある。本年度はこの現象を調べるため、流紋岩質岩石の中に苦鉄質包有物が含まれる新島阿土山溶岩を対象とし、流紋岩と苦鉄質包有物の境界部分に注目して組織観察および揮発性成分（H₂O、CO₂、Cl）の空間分布の分析を行った。観察の結果、流紋岩の石基には細い脈が形成され、枝分かれしながら遠方（少なくとも薄片サイズの3cmくらい）まで断続的に広がっていることが判明した。この脈は苦鉄質包有物の表面付近でより多く形成されていた。一方、苦鉄質包有物では結晶化が著しく進行し、結晶度は80~90%であった。粒間メルトは流紋岩質であり発泡していた（このメルトの組成はホストの流紋岩の組成とは異なっていた）。揮発性成分濃度を分析した結果、ホストの流紋岩では、脈の付近および玄武岩質包有物の表面付近でH₂O、CO₂、Clともに濃度が高まっていた。苦鉄質包有物中の粒間ガラスも揮発性成分に富んでいた。以上のことから、苦鉄質マグマが低温の流紋岩質マグマに取り込まれた際に急冷されて結晶化し、苦鉄質マグマは二次沸騰と呼ばれる、結晶化に伴うメルトの発泡を起こした。そして生成したガスはホストの流紋岩質マグマに放出され、ガス脈を形成しながら広がっていった、と考えられる。脈の形成の仕組み、時間スケールなどについては現在解析中である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

苦鉄質包有物からのガスの放出や、ホストマグマ中でのガス脈の形成は、これまで噴火ダイナミクスの中でほとんど考えられてこなかった過程である。ホストマグマの脱ガス通路として機能していた可能性もある。そのため、噴火メカニズムを理解する上で欠かせない研究対象であると考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

菅原 維1、吉村 俊平,2022,過冷却条件における流紋岩質メルトの結晶化実験,日本鉱物科学会2022年年会,S1R6-04

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

来年度は、本年度見出されたマグマ間の揮発性成分の受け渡しメカニズムの解明を進める。また、新島向山火山で採取された火砕性黒曜石の分析を行う。この物質は本計画の開始当初より重要な研究対象であったが、まだ十分に分析することができずにいた。これらを行い、論文として公表することを目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉村俊平（北海道大学）,栗谷豪（北海道大学）,松本亜希子（北海道大学）,中川光弘（北海道大学）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院

電話：

e-mail：shumpyos@sci.hokudai.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吉村俊平

所属：

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国では数10年の休止期を挟んで小規模な噴火を繰り返す火山が多いが、こうした火山の噴火予知は、現状では噴火直前の前兆的地震活動の検知に頼るところが大きく、非噴火期において次の噴火の切迫度を評価する方法は確立されていない。これは、噴火準備過程・噴火・終息過程を通じた火山活動サイクルのモデル化があまり進んでいないためであるが、その根本的な原因として、地震や地盤変動以外の観測項目では、非噴火時を含めた長期間にわたるモニタリングデータが不足しており、火山相互の比較や類型化が十分に行われていないことが背景にある。

本課題では、前建議計画の熱水系卓越型火山の課題等で取り組んだ電磁気・熱・ガスのモニタリング観測を進展させるとともに、新たなチャレンジとして、ドローンを利用した火口近傍の空中磁気反復測量と、遠望カメラ画像の自動解析による噴気放熱率の連続的推定手法の開発を進める。非噴火期を含めた火山活動推移モデルの構築を目指すとともに、研究対象とする火山については順次活動評価を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題と同様にモニタリング観測による火山活動の評価に取り組む地震・地盤変動モニタリング課題（KUS02）とは相互補完の関係にあるため、合同研究集会を開くなど連携しながら研究を進める。

令和1年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化のスキーム開発。九重山でのドローン空中磁気観測。研究会合。十勝岳の火山活動評価。

令和2年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化ツールの試作。御嶽山でのドローン空中磁気観測。阿蘇山の火山活動評価。

令和3年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理のテスト運用。蔵王

山でのドローン空中磁気観測。研究会合。吾妻山の火山活動評価。

令和4年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。草津白根山の火山活動評価。

令和5年度：各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。研究会合。雌阿寒岳の火山活動評価。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 各火山でのモニタリング観測・解析

【雌阿寒岳】ナカマチネシリ火口周辺域で地磁気全磁力繰り返し観測を実施し、2014年頃から消磁傾向が始まり、現在もその傾向が続いている（北大）。

【十勝岳】地磁気全磁力連続観測を継続した。消磁傾向が続いている（北大）。二酸化硫黄放出率観測（人工衛星データ解析+地上トラバース）を実施。人工衛星データでは冬期に1000 t/dを超える放出率が推定されていた。データ処理上の問題ではないかと疑われていたが、今年度冬期に地上トラバースを行ったところ、やはり大きな放出率が得られたことから、顕著な年周変化は実際の自然現象である可能性が出てきた（東大理・北大）。

【有珠山】山頂火口原内で土壌拡散CO₂フラックスのマッピングを2回実施。顕著な異常や変化なし（北大・東大理）。

【吾妻山】ドローンを利用した空中磁気測量データに基づき磁化構造解析を行った。燕沢火口（旧火口）付近と、繰り返し磁気測量から推定されていた消磁域付近は、低磁化異常にあたることを明らかにした（東北大・北大）。

【蔵王山】AMT解析を実施、表層変質層に対応する低比抵抗層、1.5kmBSL付近にもスポット的な超低比抵抗体（東北大）。

【伊豆大島】地磁気観測（全磁力及び3成分）、ACTIVE比抵抗モニタリングの継続。カルデラ内での無人機空中磁気測量データを用いた3D磁化構造解析。1986年噴火のB火口列に沿った低磁化（東大震研）。

【三宅島】無人機空中磁気測量データを用いた3D磁化構造解析。山頂カルデラの縁部の地下が顕著な低磁化であることを発見（東大震研）。

【西之島】各種人工衛星データを解析した。熱異常の時間的推移と噴煙放出の状況（ひまわり8/9号）、SO₂放出率（TROPOMI）、変色海域（GCOM-C）をモニターした。2022年9-10月期には、これらのモニタリングデータで小規模な噴火活動に伴う異常が捉えられた（東大震研）。

【草津白根山】地磁気全磁力観測を継続した。2022年1月頃に始まった消磁傾向は7月以降帯磁傾向に転じた。地磁気データは後述のVUI判定基準にも活用した（東工大）。

【焼岳】4箇所地磁気全磁力の連続観測を継続した。1箇所を除いて安定してデータが取得できている。今のところ、火山活動に関係する明瞭な変動は捉えられていない（京大防）。

【阿蘇山】地磁気全磁力連続観測を継続した。噴気、地熱、火口湖の各放熱形態に応じた放熱率推定法を適用し、放熱率の経時変化を追跡した（京大理）。

【霧島山】硫黄山で電磁場の連続観測を行い、2018年の小規模な水蒸気爆発と2021年の噴騰現象に伴い観測された地電位の変化について発生モデルを提示した（九大）。

2. 合同研究集会

2023年1月20日にオンラインでKUS_02との合同研究集会を開催し、両課題の成果と今後の研究の方向性について情報共有・意見交換を行った。この研究集会では、気象研究所から吾妻山の火山ガス観測、道総研から雌阿寒岳の温泉・噴気観測、関連の深い公募研究（KOB011：東海大）から霧島硫黄山・箱根山・草津白根山の火山ガス組成に関する話題提供をいただいた。

3. モニタリングデータに基づく火山活動評価

本課題では、KUS_02との共同により、毎年1火山ずつ対象を決めて火山活発化指数（VUI）の試験的導入を進めている。今年度は草津白根山を対象とした。2022年10月3日と12月12日に、KUS_02と合同で草津白根VUIワーキンググループの会合を開き、オンラインにてワークシートの作成方針や進捗状況について議論した。VUIワークシートの作成と1967年以降の各種モニタリングデータへの適用は東工大が担当した。これ以外に、それぞれ一昨年度・昨年度の対象火山であった阿蘇山と吾妻山のVUI

ワークシートの作成作業も継続し、吾妻山についてはひとまず整理を終えた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題では、建議の項目「2(4)イ. モニタリングによる火山活動の評価」に貢献すべく、KUS_02と共同して毎年度1火山についてVUI（火山活発化指数）の試験的導入に取り組んできた。過去3年間に取り組んできた十勝岳・阿蘇山・吾妻山に続き、今年度は草津白根山のVUIワークシートを試作し1967年以降の観測データに対して評価を行った。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Aizawa K., Muramatsu D., Matsushima T., Koyama T., Uyeshima M., Nakao S.,2022,Phreatic volcanic eruption preceded by observable shallow groundwater flow at Iwo-Yama, Kirishima Volcanic Complex, Japan,Nat. Comm. Earth and

Environment,3,187,doi:10.1038/s43247-022-00515-5,査読有,謝辞有

Hashimoto, T.,2022,Post-Eruptive Persistent Cooling Beneath the Summit Crater of Usu Volcano as Revealed by Magnetic Repeat Surveys,J. Disast.

Res.,17,630-638,doi:10.20965/jdr.2022.p0630,査読有,謝辞無

Inoue, T., Hashimoto, T., Tanaka, R., Yamaya, Y.,2022,A broadband magnetotelluric survey for Mt. Meakandake volcano with special attention to the unrest during 2016–2017,Earth, Planets and Space,74,114,doi:10.1186/s40623-022-01673-8,査読有,謝辞無

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Watanabe A., Honda Y., Akiyama T., Tanaka S., Gresse M., Uyeshima M., Morita Y.,2022,Magnetization Structure and its Temporal Change of Miyakejima Volcano, Japan, Revealed by Uncrewed Aerial Vehicle Aeromagnetic Survey,J. Disast.

Res.,17,644-653,doi:10.20965/jdr.2022.p0644,査読有,謝辞有

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Yasuda A., Ogawa T., Watanabe A., Sakashita S., Takeo M., Yanagisawa T., Honda Y., Kajiwaru K.,2022,An ultra-high-resolution autonomous uncrewed helicopter aeromagnetic survey in Izu-Oshima Island, Japan,J. Volcanol. Geotherm.

Res.,425,107527,doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107527,査読有,謝辞無

Nashimoto, S. and Yokoo, A.,2023,A new method to reconstruct the 3D ground surface temperature from aerial TIR and visible images: Application to the active crater of Aso volcano, Japan,Earth, Planets and Space,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

橋本武志,2022,有珠山頂火口原の長期的冷却帯磁,日本火山学会2022年秋季大会,P2-15

橋本武志,2023,未噴火の火山活動の評価に関する新しい研究の取組,東京大学地震研究所第17回サイエンスカフェ

伊藤良介・宇津木充,2022,2004年九重火山空中磁気測量データを用いた磁気インバージョン解析,日本火山学会2022年秋季大会,B2-11

成田翔平・横尾亮彦・大倉敬宏,2022,阿蘇山2021年噴火前後の熱活動推移,日本火山学会2022年秋季大会,P1-23

田中 良・橋本武志・成田翔平,2022,熱水系の活動による地盤変動に対する浸透率構造の影,日本火山学会2022年秋季大会,B1-13

寺田暁彦・鈴木レオナ・谷口無我・大場 武,2022,湖水濃度変動から示唆される草津白根山浅部熱水循環の時間変化,日本火山学会2022年秋季大会,B2-12

石橋 桜・宇津木充・南 拓人・吉川 慎・井上寛之,2022,阿蘇2021年水蒸気噴火後の地下比抵抗分布の推定,日本火山学会2022年秋季大会,A1-09

梨元 昂・横尾亮彦,2022,3次元温度分布図からみた2020年8月から2022年3月の阿蘇中岳第一火口の熱活動,日本火山学会2022年秋季大会,A1-10

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

各火山（雌阿寒岳，十勝岳，吾妻山，伊豆大島，草津白根，焼岳，九重山，阿蘇山等）での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測を継続する。噴気放熱率推定の自動処理ツールの開発を進める。人工衛星データの解析については，衛星赤外面像と二酸化硫黄放出率の解析を実施予定。雌阿寒岳の火山活動評価（VUIワークシート試作と過去データへの適用）を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本武志（北海道大学），青山裕（北海道大学），田中良（北海道大学）

他機関との共同研究の有無：有

市來雅啓（東北大学），小山崇夫（東京大学地震研究所），金子隆之（東京大学地震研究所），森俊哉（東京大学大学院理学系研究科），神田徑（東京工業大学），寺田暁彦（東京工業大学），市原寛（名古屋大学大学院環境学研究科），宇津木充（京都大学大学院理学研究科），大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科），横尾亮彦（京都大学大学院理学研究科），吉村令慧（京都大学防災研究所），相澤広記（九州大学大学院理学研究院），大場武（東海大学），齋藤武士（信州大学），高木朗充（気象庁），高橋良（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の事前評価・即時予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海底地すべり（斜面崩壊）による津波について精密な数値計算によるモデル化を行い、深海での海底地すべりから津波励起・伝搬・遡上まで再現できる手法を開発する。さらに、開発した数値計算手法を用いて、過去の海底地すべり津波による近地津波の再現を行い数値計算手法の改良と津波再現性の向上を図る。さらに、南海トラフ沿い及び日本海溝・千島海溝沿いの海底地すべり地形から、地すべり津波の沿岸での津波災害ポテンシャルを評価する。また、そのような地すべり津波が津波観測網（S-NET・DONET）でどのように観測されるかを計算し、津波即時予測への影響を評価するとともに、数値計算結果を津波即時予測に取り込む手法の開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- 平成31年度においては、深海での海底地すべりによる津波数値計算手法の開発を実施。
- 平成32年度においては、開発された津波数値計算手法を用いて、過去の海底地すべりによる津波の再現数値実験を実施するとともに、津波数値計算手法の改良を実施する。
- 平成33年度においては、他の海底地すべりによる津波の再現数値計算実験を実施するとともに、津波数値計算手法のさらなる高度化を実施する。また、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形を評価する。
- 平成34年度においては、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形から津波数値計算を実施し、津波災害ポテンシャルを評価する。
- 平成35年度においては、それまでの海底地すべり津波が発生した場合の津波即時予測手法の開発を

行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の数値計算手法開発を継続し、前年度から実施している1946年アリューシャン津波地震の海底地すべりによる沿岸波高の再現数値実験を改善した。1946年アリューシャン地震は現在知られている最も異常な津波地震（Ms7.4, Mt9.3）で、ハワイやアメリカ西海岸で大きな津波が観測されている。さらにアリューシャン列島沿岸で最大40m近くの津波高が調査されている（Okal et al, 2003）。また、沿岸で25mを超える津波が調査されている場所は比較的局所的で海底地すべりにより津波がより大きくなったことが示唆されている（図1）。今年度はTsunami Squareにより海底地すべりと津波を同時に計算し、地すべりがほぼ終了した時点でJAGRUSに切りかえ津波のみを計算した。津波高は比較的良く再現できる事が分かった。さらに南海トラフ域での地すべり再現実験も開始した（学会発表1）。

次に、2018年アナクラカタ火山噴火（インドネシア）による地すべりにより津波が発生しジャワ島西岸からスマトラ島東岸に津波が押し寄せ被害をおよぼした。今年度はこのような火山島の地すべりによる津波の即時予測手法の開発を行った。本研究では地すべりと津波のモデルをVolcFlowを用いて実施し、地すべりが終了した時点でBussinesqモデル（Yamanaka and Tanioka, 2017）に切り替えて津波計算を実施した。最初に2018年アナクラカタ地すべりによる津波の再現実験を実施し、計算が妥当であることを確認した（図2）。その後、図3に示す周辺の諸島に6つの仮想観測点での津波波形が得られるものとして、これらの地点での波形を用いて、ジャワ島西岸やスマトラ島東岸での津波を予測する手法を開発した（図3）。詳しくはクラカタ諸島周辺を3つの海域に分割し、各海域の津波（波高・速度）を仮想点での観測波形を用いて予測し、3地域での予測津波をまとめて津波伝搬を計算することでジャワ島西岸やスマトラ島東岸での津波を予測する。そのため、様々な体積を持った地すべりを4方向に発生させ、6つの仮想観測点での波形と3地域での津波（波高・速度分布）をデータベース化した。実際にはデータベースを用いて地すべり津波が発生した後3分間のクラカタ諸島周辺の津波を予測する（図3）。その情報をインプットとして津波数値計算により沿岸での波高を予測する。実際にデータベースにない方向への地すべりによる津波が予測可能かどうかを検証した結果、上手く予測できることが分かった（図4）。本研究結果は火山島噴火による津波の即時予測を可能にするもので、画期的な研究成果である。

参考論文

Okal, E.A, G. Plafker, C.E. Synolakis, and J.C. Borrero, 2003, Near-field survey of the 1946 Aleutian tsunami on Unimak and Sanak Islands, Bulletin of the Seismological Society of America, 93, 1226-1234, <https://doi.org/10.1785/0120020198>

Yamanaka, Y., Y. Tanioka, Estimating the Topography Before Volcanic Sector Collapses Using Tsunami Survey Data and Numerical Simulations, Pure Appl. Geophys., doi:10.1007/s00024-017-1589-8

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
地すべり津波の即時予測手法の開発は「(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」への貢献研究成果
また災害の軽減に直接貢献する成果である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tanioka, Y., Y. Yamanaka, and T. Nakagaki, 2022, Characteristics of Tsunamis Observed in Japan due to the Air Wave from the 2022 Tonga Eruption, Earth Planet. Space, 74, doi:10.1186/s40623-022-01614-5, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

今井健太郎, 大林涼子, 中村恭之, 富士原敏也, 柳澤英明, 谷岡勇市郎, 2022, 南海トラフ沖の海底地すべりによる津波の影響に関する検討, 2022年度海岸工学講演会,

今井健太郎, 大林涼子, 中村恭之, 谷岡勇市郎, 2022, 昭和東南海地震における新鹿の津波痕跡高の励起源について, 日本地震学会2022年度秋季大会,

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

1946年アリューシャン津波地震と1998年パプアニューギニア地震津波の津波再現実験を実施することで計算手法を確立。さらに、南海トラフ等の海底地すべり津波の解析を実施し海底地すべり津波の事前予測・即時予測可能性をまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

北海道大学地震火山研究観測センター

他機関との共同研究の有無: 有

柳澤英明 (東北学院大学), 3名 (海洋研究開発機構)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 地震火山研究観測センター

電話: 011-706-3591

e-mail: isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL: <https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名: 谷岡勇市郎

所属: 北海道大学

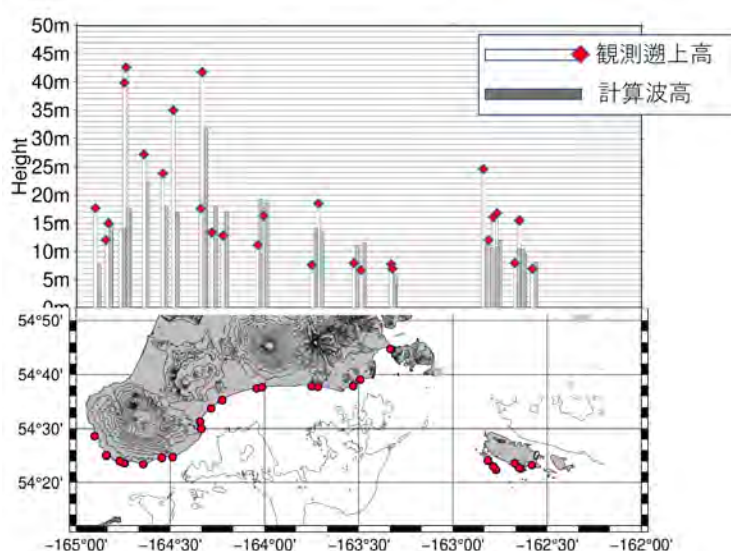


図1

1946年アリューシャン津波地震の海底地すべりモデルによる津波の再現実験結果

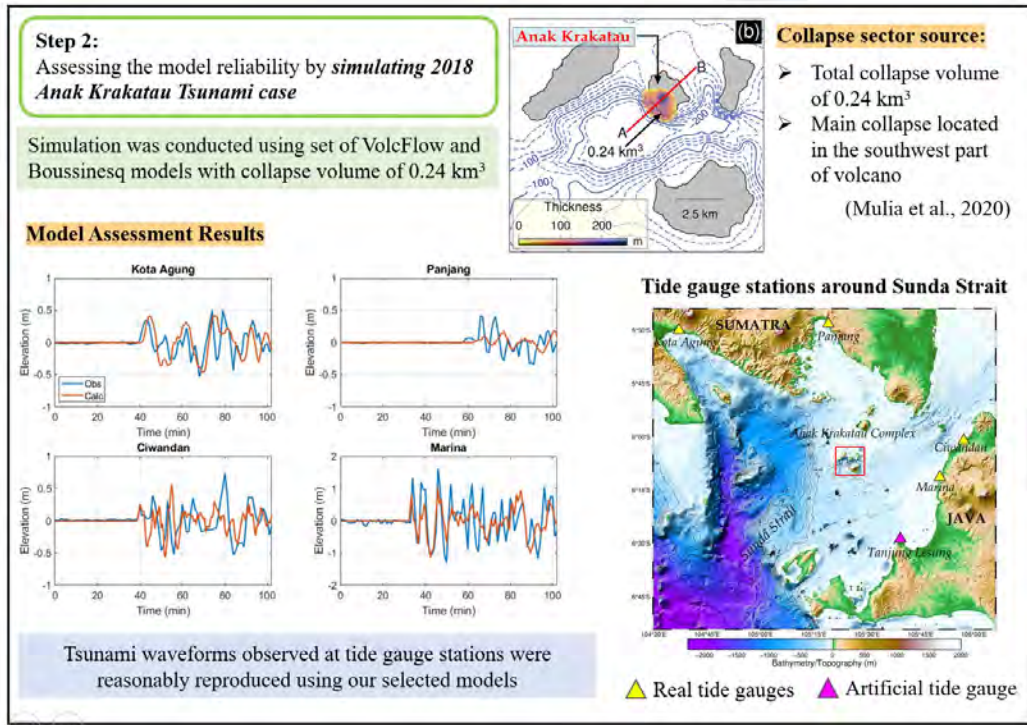


図2
2018年アナクラカトア噴火地すべり津波再現実験

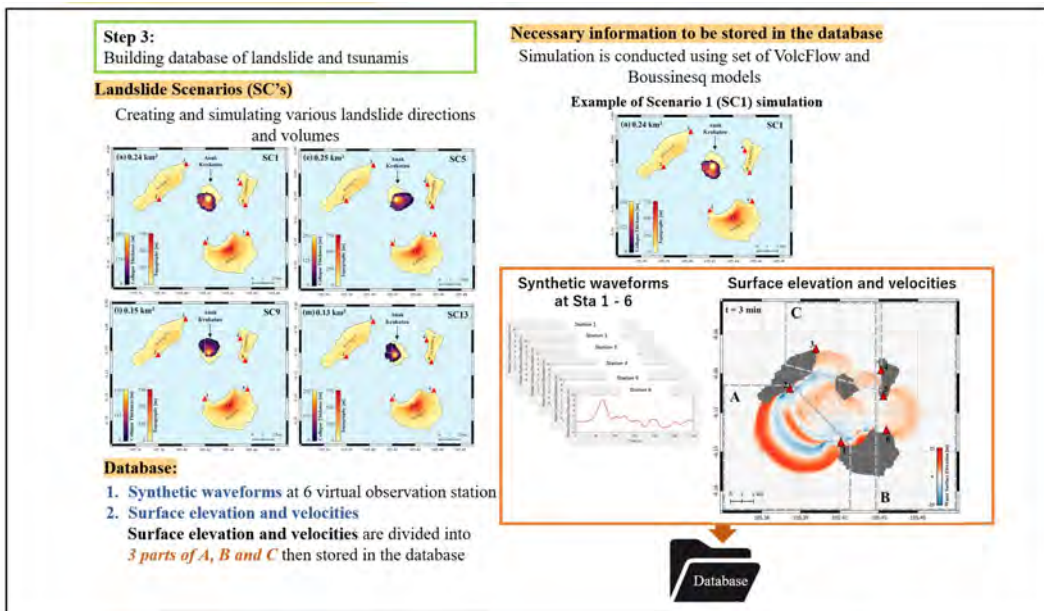


図3
地すべり3分後の津波（波高・速度分布）を予測する手法の開発

Test case 1

Waveforms Comparison at 5 Tide Gauges Stations

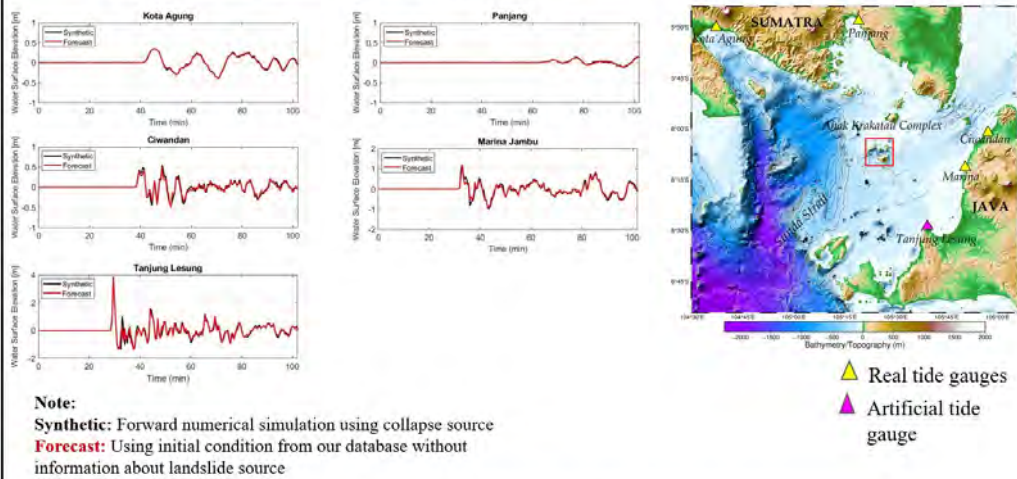


図4
開発された手法による地すべり津波予測実験の結果

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動即時解析表示システムの開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山噴火が切迫した段階または噴火中には、火山性地震や微動が頻発したり、大きな地盤変動が急激に進行したりする場合がある。このようなケースでは、研究者や現業者が手動で地震波形や地盤変動データを読み取って震源や力源を推定することは多くの場合困難であり、精度を多少犠牲にしてもほぼリアルタイムで自動的に震源や力源が推定できるシステムの方が有用性は高い。そのため、本研究課題では、5年間でこうした自動処理システムを試作するとともに、前建議計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムの追加表示コンテンツとして組み込む。将来的には、こうしたシステムを、現業機関や、地元自治体火山防災協議会メンバーの火山専門家に利用してもらうことで、火山噴火の災害誘因予測を、迅速かつ的確な状況把握と災害対応の支援につなげることを目指す。本計画ではこのための実験的展開も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤変動源を表示するシステムを試作する。試作したシステムは、前計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムのコンテンツの一部としても活用し、地元自治体火山防災協議会のメンバーとなる専門家がアドバイスを行うにあたっての支援ツールとしての利用を念頭に置く。これに加えて、自治体の防災担当者にこの情報表示システムを平常時から活用してもらえるよう、火山以外の観測・防災情報（例えば気象情報や地震活動など）についても、ユーザの要望を取り入れながら改良を進める。R1年度とR2年度は、代表機関と東北大を中心にシステム設計を進め、R3年度以降は九州地方への展開も行う。

令和1年度：地殻変動源自動推定ツール・振幅震源自動推定ツールの設計。前計画で設置したシステムの入替え（北海道・東北）。

令和2年度：システム開発。前計画設置システムの入替え（北海道・東北）。

令和3年度：九州地方へのシステム展開。前計画で設置したシステムの入替え。

令和4年度：システム改修。前計画で設置したシステムの入替え。

令和5年度：九州地方へのシステム展開。5カ年の総括。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

以下のことを実施した。

1. 参照サーバ側の立ち上げ作業をより簡便する目的で、サーバへの表示データ保存に関するソフトウェアの整備を進めた（昨年度から継続）
2. 前建議での課題から表示システムのソフトウェア開発をJava8で進めてきたが、今後のサポート期限等の問題があることから、ベースプラットフォームを全面的にJava11系統に移行する作業を進め、様々なPC環境を想定した異なるOS上での動作テストを行った
3. 気象庁のHP仕様が大きく変更されたためその対応を進めた
4. win形式rawデータのリアルタイム表示に向けた改修作業
5. ソフトウェアの開発・配布環境の構築試験のために、Gitサーバの運用テストを開始した
6. 北大学外ユーザーに対して、システム改修後のアプリケーションの配布を速やかに行うために、Gitサーバを学外ネットワークへも通信可能にした
7. 表示コンテンツのひとつとして、茂木+ダイクの圧力源をMCMCでリアルタイム推定するプログラムの開発（東北大と国土地理院との共同開発）を引き続き進めた

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究では、次世代火山研究推進事業で有珠山に展開中のGNSS観測網にこのシステムを活用することをめざしており、次の噴火におけるリアルタイムの情報把握に役立てようとしている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

田中 良・中島悠貴・村上 亮・武田歩真・山口照寛・鈴木敦生・青山 裕,2022,安価で省電力なGNSS観測装置による有珠山の稠密 GNSS観測（序報）,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC31-P03

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

5カ年の総括として、

1. 次世代火山研究推進事業で展開した有珠山GNSS観測網との連携（リアルタイム測位表示や、実際の観測網配置に基づくMCMC力源推定の精度検証）
2. 実際の観測データを含めた、より現実的な事象への適用による精度評価への着手（有珠山2000年噴火時のデータ等への適用）を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本武志*課題連絡担当者（北海道大学）,青山裕（北海道大学）,高橋浩晃（北海道大学）,谷岡勇市郎（北海道大学）,大園真子（北海道大学）,田中良（北海道大学）

他機関との共同研究の有無：有

山本希（東北大学）,太田雄策（東北大学）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松島健（九州大学）,石峯康浩（山梨県富士山科学研究所）,菅野智之（気象庁）,藤田英輔（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - イ. 津波の事前評価手法
 - (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - イ. 津波の即時予測手法
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
地震
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2007年に地理空間情報活用推進基本法が制定され、それを受けて翌年には地理空間情報活用推進基本計画（一次）が閣議決定された。これらにより日本では法的根拠を持って国家的な地理空間情報の整備や更新が行われるようになった。さらに、東日本大震災の経験により、防災を中心とした地理空間情報の整備や活用が望まれるようになった。そこで、前期の「災害の軽減に貢献するための地震・火山噴火観測研究計画」では、地理空間情報（G空間情報）、GIS（地理情報システム）、衛星測位（GPS、準天頂測位システムなど）を統合活用し、防災・減災に活用するための基礎的システムを開発し、それによって高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システム構築

などを目指し、成果をあげた。

今期の計画において本研究は、地理空間情報、GIS、衛星測位に現代的ICT技術、AI、IoTなどを統合し、避難行動に関するマイクロジオデータ等を収集して、防災・減災に関して社会的有効性の高い統合的な情報活用システムを開発する。

本研究では開発したシステムを援用し、都市的な地域開発と災害誘因となる自然現象とで人的被害や経済的被害を分析することで災害リスクの解明を行い、その結果から「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」について、人文社会科学と自然科学の両方の立場から議論を行う。特に、ここでは地方レベル、市町村レベル、町内会レベルというように空間スケールごとに分析を行ない、各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。

上記の分析結果を受けて、防災・減災の対策を情報流通の面から検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国、地方自治体、住民組織、住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか明らかにし、それによって「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」克服のための可能性を探る。

特に本研究は、地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波を想定し、北海道東部太平洋沿岸（釧路市、厚岸町など）の積雪寒冷地を主なフィールドとして研究を進める。これらのフィールドは、道路の凍結や、堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素が増加する。このような状況を想定し、本研究は積雪寒冷地の防災・減災に向けた情報システムの開発と活用についても研究を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行う。準天頂衛星システムは平成29年度に衛星4機体制となったため、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。当年度には準天頂衛星システムを用いた活用方法の開発と実証実験を行い、さらに従来空間分析手法の改良などを行う。なお、当年度では平成27年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し、これまでに収集したデータと融合させて、分析に用いる時空間データベースの作成を行う。

平成32年度においては、地方レベル・市町村レベル・町内会レベルでの人口や土地利用などの地理空間情報を用いた津波浸水による津波被害に関する分析、避難施設と避難困難地域（津波到達までに避難場所に到達できない地域）に関する分析、住民の避難行動に関する分析などを行う。当年度には、積雪寒冷地である北海道全域を対象に、現在、北海道総務部危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて、マクロな視点による津波被害分析を行う。その際には人口や土地利用のデータを時系列的に収集し、GISに取り込んで空間データベースを構築した後に、都市の変化と災害リスクとの関係について分析する。

平成33年度においては、積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し、人口、土地利用、津波浸水想定だけではなく、避難施設と避難困難地域に関するデータの収集と分析を行う。事例市町村としては、地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波の浸水想定域が広範囲に及ぶ東部太平洋沿岸の釧路市や厚岸町などとする。道路の凍結や堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素を加え、避難施設や避難ルートなど住民避難に関する地理空間情報を用いて空間データベースを構築する。この分析により、生活レベルのミクロな視点で、各自治体のもつ「災害に対する社会的脆弱性」に関する分析を行う。

平成34年度においては、ここまでの結果を受けて、当年度には事例市町村の津波浸水想定域における町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。その際には、準天頂生成に対応した津波避難支援ナビゲーションシステムを用い、何が避難の障害になり、何が避難をサポートするのか、ミクロレベルでの地物に関する分析を行う。また、集団での避難実験の移動ログを収集し、個人レベルとは異なる避難の障害を抽出する。最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにし、「自助・共助を最適化する公助」について考察を行う。

平成35年度においては、上記の分析を継続しつつ、当年度には自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行う。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国・地方自治体・住民組織・住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへ

の聞き取りから明らかにする。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行う。この研究では、自宅から避難場所までの住民行動を総合的に扱い、避難開始や避難場所選定などに関する住民の意思決定についてはファジーAHPなどの手法で分析する。また、避難移動に関しては現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して分析する。

最終年度である平成36年度には以上の分析成果を統合し、津波災害時の住民避難の課題を抽出し、地域開発と災害に対する関係性を考慮して、災害に関する社会的脆弱性を明らかにする。なお、災害の危険生が高い地域で積雪寒冷地の地域性を考慮した研究を行うために、積雪のある冬季と、積雪のない夏季の2時期での検討に重点を置く。

また、全ての年度を通じて、地域防災のための公開講座や講演会の開催や、自治体防災担当者への講義や防災GISハンズオンセミナーなどを実施する。北海道総務部危機対策課の防災アドバイザー制度を利用して自治体への防災GISの普及を試みるほか、北海道大学と自治体との相互協定等を利用して防災教育活動・地域貢献を実施し、効果的な研究成果の普及手法を探る。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 今年度の成果の概要

2022年度においては、予定通り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った。その際には、準天頂衛星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った。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した。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」について考察した。

2. 研究事例1：苫小牧市の津波浸水想定域における避難困難地域の空間分析

2-1 研究の目的と方法

本研究は(1)2012年の想定から2021年の想定への変更による避難困難地域と避難困難人口の変化について分析手法を提案すること、(2)避難が困難とされる地域の特性から津波防災上の課題を明らかにすることを目的とする。

研究の対象地は北海道西部太平洋岸に位置する苫小牧市とする。苫小牧市は2021年想定では浸水面積が約1万ヘクタールと大きく拡大した(図2-1)。2012年想定と比較すると、2021年想定は約1.4倍となった。また、人口の多い市街地が浸水域に含まれたことで浸水域内の人口は増加した。

本研究における避難困難地域の定義は、津波の到達までに津波浸水域の外、または浸水域内の津波避難ビルへの避難が困難な地域とした。対象地域を50mメッシュで覆い、このうち建物と道路を含むメッシュを可住地メッシュと設定した。さらに、可住地メッシュのうち30cm以上の浸水が想定されるメッシュを要避難メッシュとし、メッシュに含まれる道路上に避難の出発点を作成した。これは、内閣府が示した避難困難人口推定手法で、30cm以上の浸水が想定される地域を避難対象としていることによる。

また、30cm以上の津波浸水想定域の外縁、および津波避難ビルを避難の脱出点とし、出発点から最寄りの脱出点までの距離を算出した。算出された避難距離から移動に要する時間を求め、津波到達時間と比較することで避難の可否を判定した。なお、津波避難ビルへの避難の場合は安全な階数への垂直避難の時間も考慮した。さらに、千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループが示した避難速度の逓減率から、非積雪時、積雪時、凍結時、豪雪時の4つの路面条件を設定し、避難の準備に要する時間を考慮した上で昼間と夜間の2つの時間帯条件も設定した(表2-1)。

本研究では道路データとして国土基本情報の道路中心線データ、建築物データとして基盤地図情報、浸水域データとして北海道が提供している津波浸水結果GISデータを用いる。避難施設は苫小牧市役所のホームページに記載されている住所からポイントデータを作成した。

人口推定では、夜間人口は総務省統計局の国勢調査小地域データ(2015年、5歳階級別人口)、昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ(2015年、5歳階級別人口)を用いた。人口密度の過度な低下を防ぐために、まず対象地域を50mメッシュで覆い、建築物データと道路データを重ねた。

建築物と道路の両方が存在するメッシュを、人口が分布しているメッシュとして抽出した。抽出したメッシュを当該小地域の面積として人口密度を求める。得られた人口密度を用いて面積按分を行い、避難困難地域人口を推定した。

2-2 避難困難地域の推定

2012年想定と2021年想定のそれぞれについて、非積雪時、積雪時、凍結時、豪雪時の4つの路面条件と、昼間、夜間の2つの時間帯条件を組み合わせ、8つの条件で避難困難地域の画定を行った。なお、2012年想定については、北海道が公開するデータから津波が到達するまでの時間を一律49分として設定した。2021年想定については、北海道のデータより、津波が到達するまでの時間を最短40分とし、さらに10分ずつ到達時間を加えることで、さらに精緻な分析を行った。

2012年想定では、錦岡駅周辺と苫小牧駅以南の地域で避難困難地域が見られる。路面状況が悪化するにつれて、同地域で避難困難地域は拡大し、その面積は豪雪時に最も大きくなった。また、いずれの路面条件においても昼間より夜間の方が避難困難地域は拡大した。

2021年想定における避難困難地域は、2012年想定における避難困難地域と重なる傾向にあった。非積雪時の場合、新たに浸水想定に組み込まれた地域の大半では計画通りに避難行動を開始することができれば避難可能であると推定された。しかし、たとえば沼ノ端駅周辺のように現時点で避難ビルの指定がない地域では避難が困難であった。これは、浸水想定域外への避難が必要にあり、避難に要する移動距離が長くなったためである。2012年想定の場合と同様に、避難困難地域は路面条件の悪化に伴って拡大した。苫小牧市全体の傾向として、2012年想定において浸水想定域の外縁部であった地域で避難困難地域が拡大した。2012年想定では浸水域外に脱出することで避難が可能であったが、2021年想定になり浸水域外への脱出点が内陸に移動したことが原因と推測される。また、各津波避難ビルの周辺の地域が避難困難地域から外れていることから、津波避難ビルの適切な配置は避難対策で有効であると考えられる。

2-3 避難困難地域の人口推定

2012年想定について各路面状況での避難困難人口を比較すると、路面状況の変化が避難に影響を与えているといえる。非積雪時と豪雪時を比べると、豪雪時の避難困難人口は非積雪時の約3.7倍になった。昼夜間で人口を比較すると、非積雪時、積雪時、凍結時においては夜間よりも昼間の方が避難困難人口は大きくなった。避難準備に要する時間は夜間の方が長く避難困難地域の面積も夜間の方が大きい。そのため、避難困難人口も夜間の方が大きくなるように思われるが、時間帯による人口分布の変化により人数が変動していると推測された。避難困難地域には市街地が含まれることから、通勤や通学などにより昼間人口が集まっていると推定した。

また年代別に見ると、いずれの条件においても40～44歳と60～64歳で多くなっていた。また、若い世代のなかでは、10～19歳の世代が多くなっていた。

2021年想定についても、各路面状況での避難困難人口の比較から、路面状況の変化が避難に与える影響は大きいといえる。非積雪時と豪雪時を比較すると、豪雪時の避難困難人口は非積雪時の約4.4倍になり、2021年想定では路面状況による影響が2012年想定より大きくなった。2021年想定では、いずれの路面条件においても昼間より夜間の避難困難人口が大きい。これは、郊外の住宅地が避難困難地域に含まれることが影響していた。年代別に見ると、2012年想定の場合と同様に、いずれの条件においても40～44歳と60～69歳で多くなっている。また、若い世代のなかでは、10～19歳の世代が多くなっていた。2012年想定から2021年想定への変更により避難困難人口は大きく増加した。非積雪時の夜間では、その人数は約14.5倍である。苫小牧市では市街地が浸水想定域に含まれる。2012年想定では、時間帯による人口の移動により避難困難人口に昼間と夜間で大きな差が生まれている。また、2021年想定では新たに郊外の住宅街が浸水想定地域、および避難困難地域に追加されたことが影響し、昼間より夜間の避難困難人口が多くなっている。（図2-2、図2-3）

2-4 浸水想定の変更による影響と課題

分析の結果、2012年想定から2021年想定への変更による浸水想定域の拡大により、避難困難地域は拡大し、避難困難人口も大きく増加したことがわかった。

特に、2021年想定で新しく想定域に追加されたが、まだ津波避難ビルの指定がない地域では浸水想定域外への避難が必要となり、避難に要する時間は長くなる。このような地域では、津波避難ビルを適切に配置するなど、避難計画を強化する必要がある。

また、2012年想定から継続して浸水域内である地域でも、変更前の想定においては避難が可能だったが2021年想定により避難が困難になった地域がある。これらの地域では避難先を検討しなおすといった対策が必要である。

2021年想定により浸水想定域は内陸に拡大したが、苫小牧市は平坦な地形であるため、海の様子が見えない地域も少なくない。内陸側の地域では、想定されている避難準備時間以内に避難を開始できた場合には避難可能な地域も多いことが明らかになったため、津波を想定して速やかに避難する意識付けが重要になると考えられる。

3. 研究事例2：日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析－北海道苫小牧市を事例として－

3-1 目的と方法

本研究は、北海道太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難時の課題を抽出するため、苫小牧市を事例とし、集団全員の疑似的津波避難に関する移動軌跡データを収集して、避難距離及び歩行速度、避難時間に着目した分析を行う。これにより、集団避難時の課題等が明らかとなり、現在北海道内の市町村において進められている津波対策の再検討をする際の基礎資料になると考えられる。本研究では、集団避難に関する移動軌跡データを収集する。データ収集では、まず収集対象の集団員全員のスマートフォンに移動軌跡データを収集するアプリケーション（以下、避難ログアプリ）をインストールする。この避難ログアプリを使用して集団での疑似避難を行い、移動軌跡データを収集する（図3-1）。

収集した移動軌跡データから、避難距離及び歩行速度、避難時間を算出する。避難距離及び歩行速度については、まず移動軌跡データに含まれる緯度経度の位置情報を平面直角座標に変換し、変換した座標値から2点間の距離の公式を用いて移動距離を算出する。そして、その算出した移動距離及び時間情報から歩行速度を算出する。

避難時間については、避難開始から避難終了までの時間を移動軌跡データの時間情報から算出する。なお、歩行速度の算出後、エラーデータ等を取り除くデータクリーニングを行う。データクリーニングについては、（1）歩行速度が10km/hを超える点、（2）海上等の歩行不可能な場所にある点、（3）信号によって停止している点を削除する。算出した避難距離、歩行速度、避難時間と新旧想定 of 津波浸水想定区域を用い、津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難の課題を明らかにする。

3-2 移動軌跡データの収集

移動軌跡データの収集は、前述のデータ収集システムを使用し、2022年7月16日に実施した。移動軌跡データは、約5秒間隔で位置情報及び時間情報を取得しており、データ収集時には、避難の状況を記録するため、2台のビデオカメラで集団の前方、後方を撮影した。

調査員は、北海道大学文学部で前期に開講されている地域科学演習を履修している学部生及びサポートの大学院生の全10名（男性8名、女性2名）である。避難経路は、集客施設等が立地する国道36号と糸井西通の合流部から津波浸水想定区域外の糸井山神社付近の交差点まで（経路1、図3-2）、JR沼ノ端駅から津波浸水想定区域外の北栄町4丁目と5丁目の境界付近まで（経路2、図3-3）の2経路を設定した。なお、新想定では、経路1の避難開始地点には地震発生後40分で、経路2の避難開始地点には地震発生後67分で津波が到達する想定となっている。調査員には事前に調査用の避難経路を記した地図を配布し、各自のペース（移動速度）で避難するように指示した。なお、調査員10名のうち、2名が避難ログアプリの動作不良等が原因でデータが取得できていなかったため、経路1及び経路2ともに8データを有効データとした。

3-3 移動軌跡データ分析

避難距離については、経路1が約1,625m、経路2が約1,253mであった。経路1については、旧想定 of 区域外に出るまでが約904mであったことから、新想定によって避難距離が約721m増大していた。経路2については、旧想定では津波浸水想定区域外であったことから、避難に要した距離である約1,253mの増大となった。

平均歩行速度については、経路1が5.04km/h、経路2が5.19km/hで、全体では5.10km/hであった。経路1の跨線橋以外は傾斜の無い平坦な地形であり、平均歩行速度に顕著な差は見られなかった。図3-2と図3-3は、集団の5秒間隔の重心位置であり、上述の経路別の平均歩行速度よりも遅い地点を

青色、速い地点を赤色で表示したものである。表3-1は、歩行速度が低下した要因であり、これら図内に記載のアルファベットと対応している。速度低下要因の特定には、移動軌跡データ収集時に避難の様子を録画したビデオカメラ映像から特定した。なお、アルファベットの記載がないものについては、速度低下要因を特定できなかった箇所である。

経路1では、跨線橋の傾斜部分や通行人とすれ違う際、交差点等の道路を横断する際に減速していたほか、歩道が狭い箇所での減速がみられた。特に、後半部分は、歩道の狭さに加え、歩道脇の植物の繁茂も円滑な歩行を妨げていた。経路2においては、経路1で見られた速度低下要因のほか、公園敷地入口の杭や路上駐車といった障害物、公園敷地内の地面状況（砂）も円滑な歩行を妨げる要因として見られた。

避難開始から新想定津波浸水想定区域外までの避難時間については、経路1が19分25秒、経路2が14分30秒であった。旧想定の場合は、経路1は10分50秒、経路2は区域外のため0秒であることを考慮すると、それぞれ避難時間が8分35秒、14分30秒の増大となった。

3-4 考察

苫小牧市では、津波の避難可能距離を「歩行速度(m/秒) × (津波到達時間(分)-5(分)) × 60」で算出している。歩行速度については、1.0m/秒(3.6km/時)が基本とされており、経路1及び経路2を上述の計算式に当てはめた場合、経路1の津波到達時間が40分であったため2,100m、経路2の津波到達時間が67分であったため3,720mとなる。今回の疑似的集団避難においては、経路1が約1,625m、経路2が約1,253mであったため、苫小牧市が定める避難可能距離の範囲に収まるものであった。

避難行動要支援者が同行している場合や、北海道は積雪寒冷地であるため、積雪時、豪雪時、凍結時についても考慮する必要がある。日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループが2021年に公表した「被害想定手法について(案)」の歩行速度を参考値とした。この数値で算出した避難可能距離を表3-2に示す。経路2については、避難距離が1,253mであり、積雪期/非積雪期、健常者中心/避難行動要支援者同行ともに避難が可能と考えられる。しかし、経路1については、避難距離が1,625mであり、健常者中心でも豪雪時(未除雪時)には避難を完了できない可能性があることや、避難行動要支援者同行の場合、豪雪時(未除雪時)及び凍結時には避難が困難となる可能性がある。

また、上述の計算式では、地震発生から避難開始までの準備等の時間を5分とし、避難可能距離を設定しているが、要配慮者や地理不案内な観光者等の集団の場合は、避難のための準備や避難先の決定等にさらに多くの時間がかかる可能性がある。その場合、避難可能距離がさらに小さくなり、津波の到達時間までに津波浸水想定区域の外に避難することが困難である避難困難地域が拡大するおそれがあると推察される。そのため、避難先の再選定や避難訓練の実施による準備時間の短縮化が必要であると考えられる。

速度低下要因については、今回疑似的津波集団避難を行った2経路では、歩道が狭いことによる速度低下が見られた。特に、歩道脇の植物の繁茂によって歩道が狭くなった場所では、集団での避難をより困難なものになっていた。経路1及び経路2が避難路として指定されている場合、定期的な除草等の維持作業が必要と考えられるが、現行の津波ハザードマップにおいては、避難路が記載されていない状況である。円滑な避難のための重要な要素である避難路の維持及び整備を適切に行うためにも避難路の早急な再検討又は公表が必要である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「(2) 総合的研究」の「ウ. 千島海溝沿いの巨大地震」に関しては、北海道の太平洋沿岸地域において集団避難実験を行い、2012年と2021年の津波浸水想定を重ねあわせて、避難の障害を抽出した。また、都市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検討し、「自助・共助を最適化する公助」について考察した。「(3) 研究基盤の開発・整備」の「ウ. 地震・火山現象のデータ流通」と「エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開」に関しては、GIS,GNSS,地理空間情報を組み合わせジオマイクロデータの分析を行うためのデータベースを構築した。

いずれも地域の防災リテラシーを向上させるために資するものであり、これら成果を防災教育コンテンツと利用することで「災害の軽減に貢献する」と考えられる。また、2022年度から高校で必修化された「地理総合」の中での防災教育にも、これら成果は役立つものであり、特に災害に関する「教材の現地化」を進める上で有効である。今後は、「地理総合」を核として、小学校、中学校、高等学校、

大学を一貫する防災リテラシー向上のための教育に繋げる予定である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

- 橋本 雄一,2022,北海道太平洋沿岸の津波浸水想定変更に伴う避難困難域の変化,地理情報システム学会講演論文集,31,B-O2-4,査読無,謝辞有
- 奥野祐介, 橋本雄一,2022,日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析-北海道苫小牧市を事例として-,地理情報システム学会講演論文集,31,B-O2-3,査読無,謝辞有
- 塩崎大輔, 橋本雄一,2022,大学地理教育におけるICT及びWebVR技術を用いた防災教育システムの利活用,地理情報システム学会講演論文集,31,B-5-5,査読無,謝辞有
- 三井 和, 橋本雄一,2022,苫小牧市の津波浸水想定域における避難困難地域の空間分析,地理情報システム学会講演論文集,31,B-1-6,査読無,謝辞有
- 川村 壮, 橋本 雄一,2022,函館市における土地利用の空間的特徴と津波災害リスク,地理情報システム学会講演論文集,31,B-1-5,査読無,謝辞有
- 小野塚 仁海, 橋本 雄一,2022,携帯電話人口統計を用いた災害発生直後の都市における人口分布変化に関する研究-平成30年北海道胆振東部地震発生後の札幌を事例に-,地理情報システム学会講演論文集,31,B-1-4,査読無,謝辞有
- 竹内慎一, 戸松誠, 片岡鉄也, 橋本雄一, 草苺敏夫,2022,北海道における津波避難の防災教育活動の実践について その2 むかわ町立鷗川中学校への協力事例,日本建築学会北海道支部研究報告集,95,333-336,査読無,謝辞無
- 橋本 雄一,2022,ブラックアウトとホワイトアウト,地理,67(2),129-166,査読無,謝辞無
- 橋本, 雄一 (担当:編者(編著者)),2022,六訂版 GISと地理空間情報: ArcGIS Pro3.0の活用 (書籍),古今書院,査読無,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

- 橋本 雄一,2022,北海道太平洋沿岸の津波浸水想定変更に伴う避難困難域の変化,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-O2-4
- 奥野祐介, 橋本雄一,2022,日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析-北海道苫小牧市を事例として-,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-O2-3
- 塩崎大輔, 橋本雄一,2022,大学地理教育におけるICT及びWebVR技術を用いた防災教育システムの利活用,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-5-5
- 三井 和, 橋本雄一,2022,苫小牧市の津波浸水想定域における避難困難地域の空間分析,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-1-6
- 川村 壮, 橋本 雄一,2022,函館市における土地利用の空間的特徴と津波災害リスク,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-1-5
- 小野塚 仁海, 橋本 雄一,2022,携帯電話人口統計を用いた災害発生直後の都市における人口分布変化に関する研究-平成30年北海道胆振東部地震発生後の札幌を事例に-,地理情報システム学会第31回学術研究発表大会,B-1-4
- 橋本 雄一,2022,GISで考える津波避難,令和4年レジリエント社会・地域共創シンポジウム「海溝型地震の被害想定と減災」
- 川村 壮, 橋本雄一,2022,室蘭市における土地利用変化と津波災害リスク,日本地理学会2022年秋季学術大会,536
- 橋本 雄一,2022,「地理総合」におけるGIS教育,日本地理学会2022年秋季学術大会,S303
- 川村 壮, 橋本雄一,2022,苫小牧市において想定される日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震による津波災害,2022年度 北海道地理学会 春季学術大会
- 小野塚仁海, 橋本雄一,2022,携帯電話人口統計を用いた災害発生後の都市における人口分布変動の時空間的研究 平成30年北海道胆振東部地震の事例,2022年度 北海道地理学会 春季学術大会
- 橋本 雄一,2022,千島海溝沿い巨大地震による津波避難を科学する,2021年度地震火山研究観測センターシンポジウム:巨大地震と津波-千島海溝沿いの巨大地震に備える-

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

1. 今年度の成果の概要

1-1 成果の概要

2022年度においては、予定通り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った。その際には、準天頂衛星に対応した津波避難支援ナビゲーションシステムを用い、何が避難の障害になり、何が避難をサポートするのか、マイクロレベルでの地物に関する分析を行った。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した。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」について考察した。

1-2 「関連の深い建議の項目」の目的の達成への貢献、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する成果の位置づけと今後の展望

「(2) 総合的研究」の「ウ. 千島海溝沿いの巨大地震」に関しては、北海道の太平洋沿岸地域において集団避難実験を行い、2012年と2021年の津波浸水想定を重ねあわせて、避難の障害を抽出した。また、都市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検討し、「自助・共助を最適化する公助」について考察した。「(3) 研究基盤の開発・整備」の「ウ. 地震・火山現象のデータ流通」と「エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開」に関しては、GIS,GNSS, 地理空間情報を組み合わせジオマイクロデータの分析を行うためのデータベースを構築した。

いずれも地域の防災リテラシーを向上させるために資するものであり、これら成果を防災教育コンテンツと利用することで「災害の軽減に貢献する」と考えられる。また、2022年度から高校で必修化された「地理総合」の中での防災教育にも、これら成果は役立つものであり、特に災害に関する「教材の現地化」を進める上で有効である。今後は、「地理総合」を核として、小学校、中学校、高等学校、大学を一貫する防災リテラシー向上のための教育に繋げる予定である。

2. 研究事例1：苫小牧市の津波浸水想定域における避難困難地域の空間分析

2-1 研究の目的と方法

本研究は(1)2012年の想定から2021年の想定への変更による避難困難地域と避難困難人口の変化について分析手法を提案すること、(2)避難が困難とされる地域の特性から津波防災上の課題を明らかにすることを目的とする。

研究の対象地は北海道西部太平洋岸に位置する苫小牧市とする。苫小牧市は2021年想定では浸水面積が約1万ヘクタールと大きく拡大した(図2-1)。2012想定と比較すると、2021年想定は約1.4倍となった。また、人口の多い市街地が浸水域に含まれたことで浸水域内の人口は増加した。

本研究における避難困難地域の定義は、津波の到達までに津波浸水域の外、または浸水域内の津波避難ビルへの避難が困難な地域とした。対象地域を50mメッシュで覆い、このうち建物と道路を含むメッシュを可住地メッシュと設定した。さらに、可住地メッシュのうち30cm以上の浸水が想定されるメッシュを要避難メッシュとし、メッシュに含まれる道路上に避難の出発点を作成した。これは、内閣府が示した避難困難人口推定手法で、30cm以上の浸水が想定される地域を避難対象としていることによる。

また、30cm以上の津波浸水想定域の外縁、および津波避難ビルを避難の脱出点とし、出発点から最寄りの脱出点までの距離を算出した。算出された避難距離から移動に要する時間を求め、津波到達時間と比較することで避難の可否を判定した。なお、津波避難ビルへの避難の場合は安全な階数への垂直避難の時間も考慮した。さらに、千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループが示した避難速度の逓減率から、非積雪時、積雪時、凍結時、豪雪時の4つの路面条件を設定し、避難の準備に要する時間を考慮した上で昼間と夜間の2つの時間帯条件も設定した(表2-1)。

本研究では道路データとして国土基本情報の道路中心線データ、建築物データとして基盤地図情報、浸水域データとして北海道が提供している津波浸水結果GISデータを用いる。避難施設は苫小牧市役所のホームページに記載されている住所からポイントデータを作成した。

人口推定では、夜間人口は総務省統計局の国勢調査小地域データ(2015年、5歳階級別人口)、昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ(2015年、5歳階級別人口)を用いた。人口密度の

過度な低下を防ぐために、まず対象地域を50mメッシュで覆い、建築物データと道路データを重ねた。建築物と道路の両方が存在するメッシュを、人口が分布しているメッシュとして抽出した。抽出したメッシュを当該小地域の面積として人口密度を求める。得られた人口密度を用いて面積按分を行い、避難困難地域人口を推定した。

2-2 避難困難地域の推定

2012年想定と2021年想定のそれぞれについて、非積雪時、積雪時、凍結時、豪雪時の4つの路面条件と、昼間、夜間の2つの時間帯条件を組み合わせ、8つの条件で避難困難地域の画定を行った。なお、2012年想定については、北海道が公開するデータから津波が到達するまでの時間を一律49分として設定した。2021年想定については、北海道のデータより、津波が到達するまでの時間を最短40分とし、さらに10分ずつ到達時間を加えることで、さらに精緻な分析を行った。

2012年想定では、錦岡駅周辺と苫小牧駅以南の地域で避難困難地域が見られる。路面状況が悪化するにつれて、同地域で避難困難地域は拡大し、その面積は豪雪時に最も大きくなった。また、いずれの路面条件においても昼間より夜間の方が避難困難地域は拡大した。

2021年想定における避難困難地域は、2012年想定における避難困難地域と重なる傾向にあった。非積雪時の場合、新たに浸水想定に組み込まれた地域の大半では計画通りに避難行動を開始することができれば避難可能であると推定された。しかし、たとえば沼ノ端駅周辺のように現時点で避難ビルの指定がない地域では避難が困難であった。これは、浸水想定域外への避難が必要にあり、避難に要する移動距離が長くなったためである。2012年想定の場合と同様に、避難困難地域は路面条件の悪化に伴って拡大した。苫小牧市全体の傾向として、2012年想定において浸水想定域の外縁部であった地域で避難困難地域が拡大した。2012年想定では浸水域外に脱出することで避難が可能であったが、2021年想定になり浸水域外への脱出点が内陸に移動したことが原因と推測される。また、各津波避難ビルの周辺の地域が避難困難地域から外れていることから、津波避難ビルの適切な配置は避難対策で有効であると考えられる。

2-3 避難困難地域の人口推定

2012年想定について各路面状況での避難困難人口を比較すると、路面状況の変化が避難に影響を与えているといえる。非積雪時と豪雪時を比べると、豪雪時の避難困難人口は非積雪時の約3.7倍になった。昼夜間で人口を比較すると、非積雪時、積雪時、凍結時においては夜間よりも昼間の方が避難困難人口は大きくなった。避難準備に要する時間は夜間の方が長く避難困難地域の面積も夜間の方が大きい。避難困難人口も夜間の方が大きくなるように思われるが、時間帯による人口分布の変化により人数が変動していると推測された。避難困難地域には市街地が含まれることから、通勤や通学などにより昼間人口が集まっていると推定した。

また年代別に見ると、いずれの条件においても40～44歳と60～64歳で多くなっていた。また、若い世代のなかでは、10～19歳の世代が多くなっていた。

2021年想定についても、各路面状況での避難困難人口の比較から、路面状況の変化が避難に与える影響は大きいといえる。非積雪時と豪雪時を比較すると、豪雪時の避難困難人口は非積雪時の約4.4倍になり、2021年想定では路面状況による影響が2012年想定より大きくなった。2021年想定では、いずれの路面条件においても昼間より夜間の避難困難人口が大きい。これは、郊外の住宅地が避難困難地域に含まれることが影響していた。年代別に見ると、2012年想定の場合と同様に、いずれの条件においても40～44歳と60～69歳で多くなっている。また、若い世代のなかでは、10～19歳の世代が多くなっていた。2012年想定から2021年想定への変更により避難困難人口は大きく増加した。非積雪時の夜間では、その人数は約14.5倍である。苫小牧市では市街地が浸水想定域に含まれる。2012年想定では、時間帯による人口の移動により避難困難人口に昼間と夜間で大きな差が生まれている。また、2021年想定では新たに郊外の住宅街が浸水想定地域、および避難困難地域に追加されたことが影響し、昼間より夜間の避難困難人口が多くなっている。（図2-2、図2-3）

2-4 浸水想定の変更による影響と課題

分析の結果、2012年想定から2021年想定への変更による浸水想定域の拡大により、避難困難地域は拡大し、避難困難人口も大きく増加したことがわかった。

特に、2021年想定で新しく想定域に追加されたが、まだ津波避難ビルの指定がない地域では浸水想定域外への避難が必要となり、避難に要する時間は長くなる。このような地域では、津波避難ビルを適

切に配置するなど、避難計画を強化する必要がある。

また、2012年想定から継続して浸水域内である地域でも、変更前の想定においては避難が可能だったが2021年想定により避難が困難になった地域がある。これらの地域では避難先を検討しなおすといった対策が必要である。

2021年想定により浸水想定域は内陸に拡大したが、苫小牧市は平坦な地形であるため、海の様子が見えない地域も少なくない。内陸側の地域では、想定されている避難準備時間以内に避難を開始できた場合には避難可能な地域も多いことが明らかになったため、津波を想定して速やかに避難する意識付けが重要になると考えられる。

3. 研究事例2：日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析－北海道苫小牧市を事例として－

3-1 目的と方法

本研究は、北海道太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難時の課題を抽出するため、苫小牧市を事例とし、集団全員の疑似的津波避難に関する移動軌跡データを収集して、避難距離及び歩行速度、避難時間に着目した分析を行う。これにより、集団避難時の課題等が明らかとなり、現在北海道内の市町村において進められている津波対策の再検討をする際の基礎資料になると考えられる。本研究では、集団避難に関する移動軌跡データを収集する。データ収集では、まず収集対象の集団員全員のスマートフォンに移動軌跡データを収集するアプリケーション（以下、避難ログアプリ）をインストールする。この避難ログアプリを使用して集団での疑似避難を行い、移動軌跡データを収集する（図3-1）。

収集した移動軌跡データから、避難距離及び歩行速度、避難時間を算出する。避難距離及び歩行速度については、まず移動軌跡データに含まれる緯度経度の位置情報を平面直角座標に変換し、変換した座標値から2点間の距離の公式を用いて移動距離を算出する。そして、その算出した移動距離及び時間情報から歩行速度を算出する。

避難時間については、避難開始から避難終了までの時間を移動軌跡データの時間情報から算出する。なお、歩行速度の算出後、エラーデータ等を取り除くデータクリーニングを行う。データクリーニングについては、（1）歩行速度が10km/hを超える点、（2）海上等の歩行不可能な場所にある点、（3）信号によって停止している点を削除する。算出した避難距離、歩行速度、避難時間と新旧想定との津波浸水想定区域を用い、津波浸水想定区域の更新に伴う集団避難の課題を明らかにする。

3-2 移動軌跡データの収集

移動軌跡データの収集は、前述のデータ収集システムを使用し、2022年7月16日に実施した。移動軌跡データは、約5秒間隔で位置情報及び時間情報を取得しており、データ収集時には、避難の状況を記録するため、2台のビデオカメラで集団の前方、後方を撮影した。

調査員は、北海道大学文学部で前期に開講されている地域科学演習を履修している学部生及びサポートの大学院生の全10名（男性8名、女性2名）である。避難経路は、集客施設等が立地する国道36号と糸井西通の合流部から津波浸水想定区域外の糸井山神社付近の交差点まで（経路1、図3-2）、JR沼ノ端駅から津波浸水想定区域外の北栄町4丁目と5丁目の境界付近まで（経路2、図3-3）の2経路を設定した。なお、新想定では、経路1の避難開始地点には地震発生後40分で、経路2の避難開始地点には地震発生後67分で津波が到達する想定となっている。調査員には事前に調査用の避難経路を記した地図を配布し、各自のペース（移動速度）で避難するように指示した。なお、調査員10名のうち、2名が避難ログアプリの動作不良等が原因でデータが取得できていなかったため、経路1及び経路2ともに8データを有効データとした。

3-3 移動軌跡データ分析

避難距離については、経路1が約1,625m、経路2が約1,253mであった。経路1については、旧想定と新想定との区域外に出るまでが約904mであったことから、新想定によって避難距離が約721m増大していた。経路2については、旧想定では津波浸水想定区域外であったことから、避難に要した距離である約1,253mの増大となった。

平均歩行速度については、経路1が5.04km/h、経路2が5.19km/hで、全体では5.10km/hであった。経路1の跨線橋以外は傾斜の無い平坦な地形であり、平均歩行速度に顕著な差は見られなかった。

図3-2と図3-3は、集団の5秒間隔の重心位置であり、上述の経路別の平均歩行速度よりも遅い地点を青色、速い地点を赤色で表示したものである。表3-1は、歩行速度が低下した要因であり、これら図内に記載のアルファベットと対応している。速度低下要因の特定には、移動軌跡データ収集時に避難の様子を録画したビデオカメラ映像から特定した。なお、アルファベットの記載がないものについては、速度低下要因を特定できなかった箇所である。

経路1では、跨線橋の傾斜部分や通行人とすれ違う際、交差点等の道路を横断する際に減速していたほか、歩道が狭い箇所での減速がみられた。特に、後半部分は、歩道の狭さに加え、歩道脇の植物の繁茂も円滑な歩行を妨げていた。経路2においては、経路1で見られた速度低下要因のほか、公園敷地入口の杭や路上駐車といった障害物、公園敷地内の地面状況（砂）も円滑な歩行を妨げる要因として見られた。

避難開始から新想定津波浸水想定区域外までの避難時間については、経路1が19分25秒、経路2が14分30秒であった。旧想定の場合、経路1は10分50秒、経路2は区域外のため0秒であることを考慮すると、それぞれ避難時間が8分35秒、14分30秒の増大となった。

3-4 考察

苫小牧市では、津波の避難可能距離を「歩行速度(m/秒) × (津波到達時間(分)-5(分)) × 60」で算出している。歩行速度については、1.0m/秒(3.6km/時)が基本とされており、経路1及び経路2を上述の計算式に当てはめた場合、経路1の津波到達時間が40分であったため2,100m、経路2の津波到達時間が67分であったため3,720mとなる。今回の疑似的集団避難においては、経路1が約1,625m、経路2が約1,253mであったため、苫小牧市が定める避難可能距離の範囲に収まるものであった。

避難行動要支援者が同行している場合や、北海道は積雪寒冷地であるため、積雪時、豪雪時、凍結時についても考慮する必要がある。日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループが2021年に公表した「被害想定手法について(案)」の歩行速度を参考値とした。この数値で算出した避難可能距離を表3-2に示す。経路2については、避難距離が1,253mであり、積雪期/非積雪期、健常者中心/避難行動要支援者同行ともに避難が可能と考えられる。しかし、経路1については、避難距離が1,625mであり、健常者中心でも豪雪時(未除雪時)には避難を完了できない可能性があることや、避難行動要支援者同行の場合、豪雪時(未除雪時)及び凍結時には避難が困難となる可能性がある。

また、上述の計算式では、地震発生から避難開始までの準備等の時間を5分とし、避難可能距離を設定しているが、要配慮者や地理不案内な観光者等の集団の場合は、避難のための準備や避難先の決定等にさらに多くの時間がかかる可能性がある。その場合、避難可能距離がさらに小さくなり、津波の到達時間までに津波浸水想定区域の外に避難することが困難である避難困難地域が拡大するおそれがあると推察される。そのため、避難先の再選定や避難訓練の実施による準備時間の短縮化が必要であると考えられる。

速度低下要因については、今回疑似的津波集団避難を行った2経路では、歩道が狭いことによる速度低下が見られた。特に、歩道脇の植物の繁茂によって歩道が狭くなった場所では、集団での避難をより困難なものになっていた。経路1及び経路2が避難路として指定されている場合、定期的な除草等の維持作業が必要と考えられるが、現行の津波ハザードマップにおいては、避難路が記載されていない状況である。円滑な避難のための重要な要素である避難路の維持及び整備を適切に行うためにも避難路の早急な再検討又は公表が必要である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

橋本雄一（北海道大学文学研究院）、谷岡勇市郎（北海道大学理学研究院）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院文学研究院
電話：
e-mail：you@let.hokudai.ac.jp
URL：https://www.let.hokudai.ac.jp/staff/4-4-02/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本雄一

所属：北海道大学大学院文学研究院

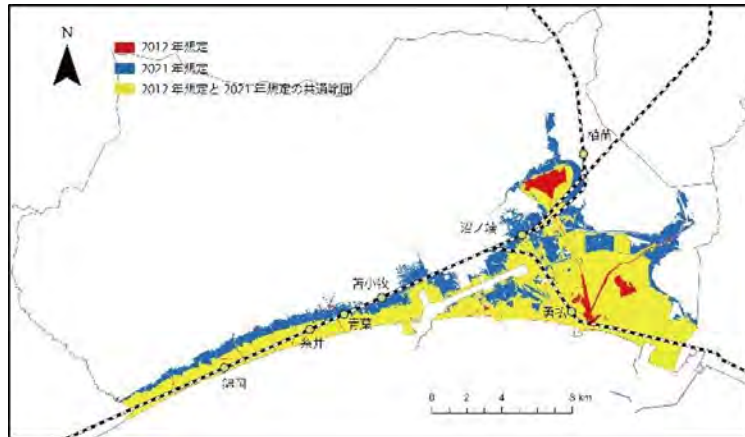


図2-1 苫小牧市における津波浸水想定の変化
北海道が提供する津波浸水結果 GIS データより作成.

	避難準備時間		水平移動速度		垂直移動時間
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼夜間
非積雪時	5分	10分	0.62m/s	0.496m/s	0.68m/s
積雪時	7分	12分	0.54m/s	0.432m/s	
凍結時			0.49m/s	0.392m/s	
豪雪時			0.32m/s	0.256m/s	

表2-1 路面状況と時間帯の条件内閣府

日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ『被害想定手法について 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定項目及び手法の概要』により作成.



図2-2 条件別避難困難人口

夜間人口は国勢調査小地域データ（2015年）,昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ（2015年）により推定.

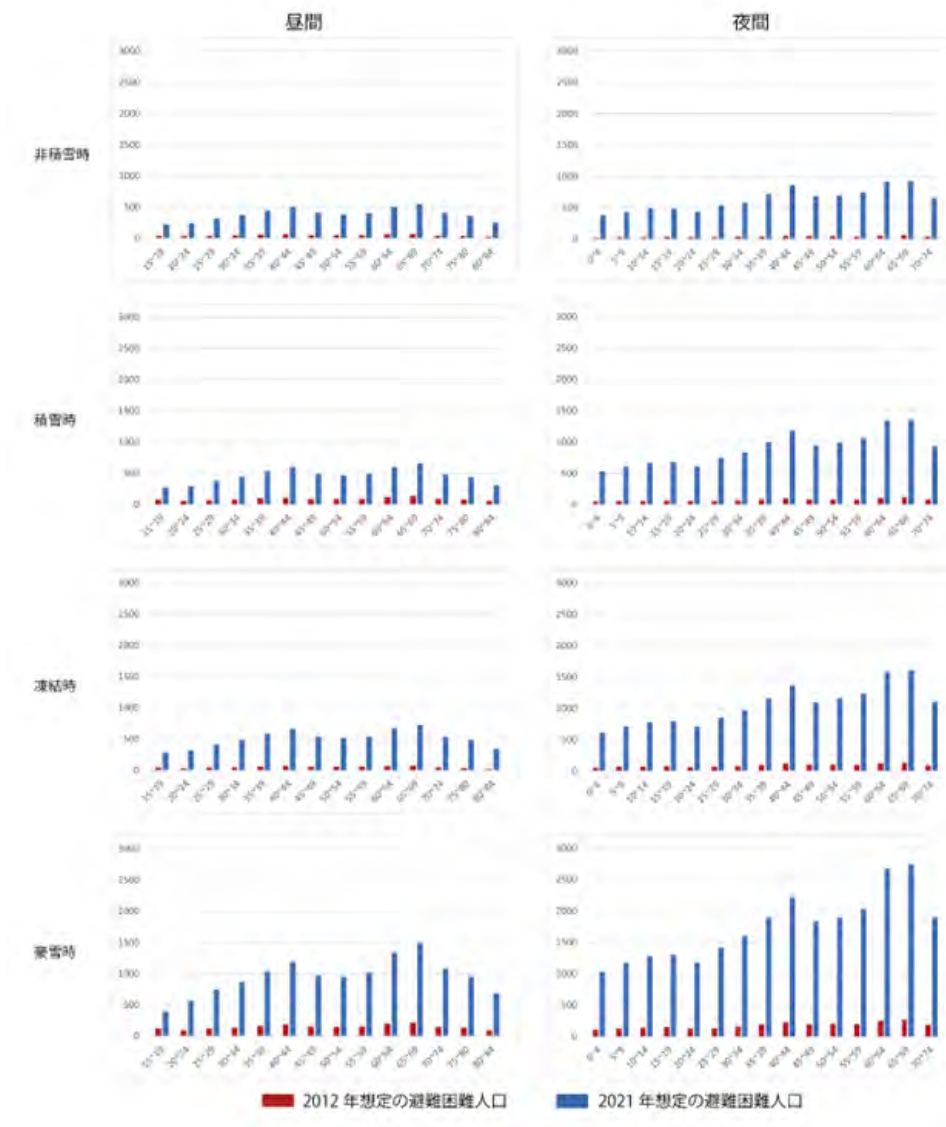


図2-3 2012年想定と2021年想定における避難困難人口の比較
 夜間人口は国勢調査小地域データ（2015年）、昼間人口は株式会社日本統計センターの推計昼間人口データ（2015年）により推定。

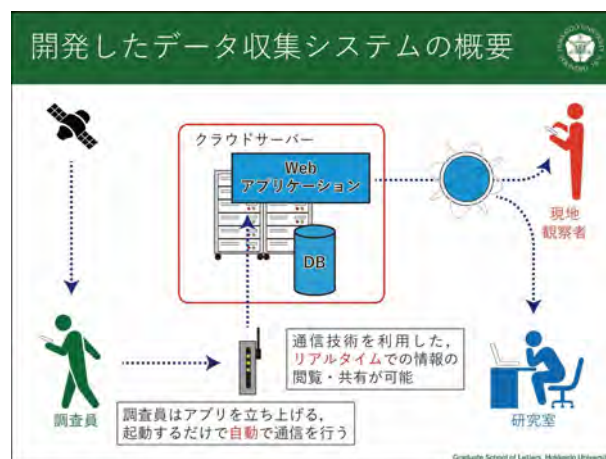


図3-1 データ収集システムのイメージ

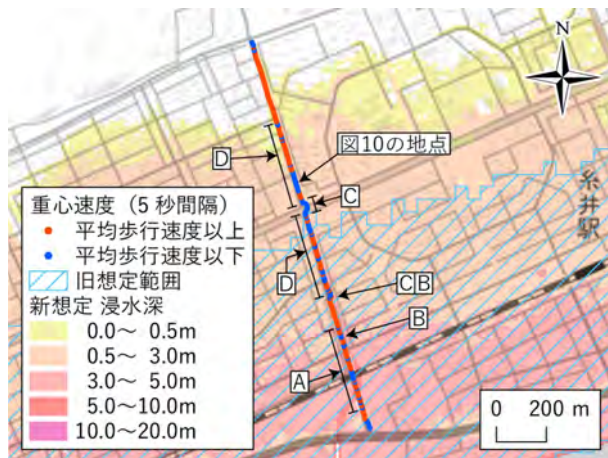


図3-2 経路1の移動軌跡データ

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。A~Fは表3-1に対応。



図3-3 経路2の移動軌跡データ

背景に地理院タイル（国土地理院）を使用して作成。A~Fは表3-1に対応。

記号	速度低下要因
A	傾斜（跨線橋）
B	通行人（徒歩、自転車）とのすれ違い
C	道路横断時（交差点等）
D	狭い歩道
E	障害物（杭、路上駐車等）
F	悪路（砂）

表3-1 速度低下要因

A~Fは図3-2と図3-3に対応。

		健常者中心	避難行動要支援者同行	全体
経路1 (1,625m)	非積雪・非凍結時	2,975.73	2,069.54	2,743.06
	積雪時	2,380.59	1,655.63	2,194.45
	豪雪時（未除雪時）	1,428.35	993.38	1,316.67
	凍結時	2,142.53	1,490.07	2,468.75
経路2 (1,253m)	非積雪・非凍結時	5,271.30	3,666.05	4,859.14
	積雪時	4,217.04	2,932.84	3,887.31
	豪雪時（未除雪時）	2,530.22	1,759.70	2,332.39
	凍結時	3,795.33	2,639.55	4,373.22

表3-2 避難可能距離（参考値）

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地殻変動等多項目データの全国流通・一元化・蓄積・公開を行うデータサーバの安定的かつセキュアな運用のためサーバの更新作業を行った。GNSSデータサーバについてはセキュリティアップデートを行った。新たにひずみ観測点1点、重力観測点1点のデータの登録を開始し、重力データについては過去に遡って登録した。解析機能においては、一度設定したパラメータがセッション期間保持されるような機能の付加を行ったほか、多成分ひずみ計ではひずみ解析時に成分を選択できるような改良を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震・火山研究の基盤となる観測データの全国流通・公開が着実に実施された。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続き、データサーバの安定的な運用を実施し、データの全国流通・一元化・蓄積・公開を行うとともに、解析機能のアップデートを図る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）,大園真子（北海道大学大学院理学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

岡崎紀俊（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）,田村良明（国立天文台水沢V L B I 観測所）,三浦哲（東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター）,太田雄策（東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター）,名和一成（産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門）,小林昭夫（気象庁気象研究所）,露木貴裕（気象庁気象研究所）,宮岡一樹（気象庁地震火山部）,新谷昌人（東京大学地震研究所）,板寺一洋（神奈川県温泉地学研究所）,本多亮（神奈川県温泉地学研究所）,原田昌武（神奈川県温泉地学研究所）,道家涼介（神奈川県温泉地学研究所）,鷺谷威（名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター）,伊藤武男（名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター）,山崎健一（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）,山下裕亮（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）,西村卓也（京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）,柴田智郎（京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設）,田部井隆雄（高知大学自然科学系理学部門）,大久保慎人（高知大学自然科学系理学部門）,松島健（九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター）,中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

十勝沿岸の当縁川周辺の珪藻群衆の解析を詳細に実施し、17世紀初頭の超巨大地震時の隆起はそれほど大きくなく、その後1.5m程度隆起したことが明らかになった。胆振地方東部厚真町や苫小牧勇払の津波堆積物の空間分布を調査し、17世紀初頭の津波浸水深さが最大でも標高5m程度までしか分布していないことが判明した。また、津波堆積物は17世紀初頭以前は2500年前まで存在しないことが明らかにされた。

根室沖に設置された3か所の海底地殻変動基準局において船舶およびウエーブライダーを用いた4回目の測定を実施し、プレート境界浅部においても太平洋プレートと陸側プレートの相対運動速度に調和的な変位量が得られ、プレート境界浅部までの固着率が高い可能性が示唆された。応力条件を拘

束したプレート境界のすべり欠損推定を複数の期間を区切って行い、2003年十勝沖地震前後のプレート間固着の時空間変化が推定された。北海道から東北北部の長期広域的な地殻変動場を調査し、M7.5程度以上の大地震の余効変動が長期間継続し、プレート間固着率の推定等で留意する必要性が示唆された。

千島海溝からカムチャツカ海溝にかけての広域的な長期間の地震活動を調査し、色丹島沖～択捉島沖にかけての津波地震が発生している領域にのみ統計的に有意な静穏化が見られることが明らかになった。また、2019年、2021年と同じ場所において海底地震観測を実施した。S-net整備後の十勝根室沖の震源精度について検討を行った。

S-net観測データを用いた津波地震に対応できる津波予測手法の開発を行った。海底圧力計による津波波形には地震波による短周期成分が混入するが、水圧の平均値を取り規格化することで短周期の地震動による水圧変化の影響を軽減させて初期波形を推定する手法を開発した。また、アウターライズ地震の波源を推定する手法の検討も行った。

1611年三陸慶長津波で記録された津波の短波長成分に起因する局所集中を説明可能な断層モデルを検討し、千島海溝南部の波源では再現することが困難であり、三陸慶長津波の波源は日本海溝沿いで発生した地震によるものであることが示された。映像のピクセル強度情報から潮位変化を抽出するフィジビリティテストを実施し、水位変動への変換が可能であることが示された。

十勝根室沖で発生する地震の震源特性を調査するためスペクトルインバージョンから震源・伝播・サイトを分離し、コーナー周波数と地震モーメントと震源深さの関係を整理し、プレート内部地震で短周期成分が強く、Qs値は既存研究とほぼ同等であることが確認された。強震動による地盤液状化痕跡を考古資料から抽出する作業を継続し、5.5～4kaイベントによる痕跡が広域かつ規模が大きいことが明らかになった。石狩低地帯でも広域的にみられる噴砂イベントが同定されたが、近隣の活断層系の地震による可能性が高い。

千島海溝・日本海溝地震津波に関して、北海道庁の地域減災計画策定、自治体の津波避難緊急事業計画策定において専門的な助言を行った。津波避難計画策定に関する勉強会を北海道日高振興局等の関係機関と連携して実施した。ライフライン対策について産業保安監督部と連携し専門的な助言を行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

千島海溝沿いの巨大地震総合研究グループの中核課題として、古地震調査・海底地殻変動観測・地震活動解析・海底地震観測・津波即時予測手法の開発・地域防災力の向上に向けた取り組みが、関連課題との連携を含めて着実に実施された

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yamanaka, Y., Y. Tanioka, 2022, Short-wave run-ups of the 1611 Keicho tsunami along the Sanriku Coast, Prog Earth Planet Sci, 9, 37, doi.org/10.1186/s40645-022-00496-1, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

廣瀬亘・高橋浩晃, 2022, 考古資料からみた千島海溝周辺地域の地盤液状化履歴, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-04

一柳昌義・高橋浩晃・東龍介, 2022, 千島海溝付近で発生する地震の震源決定制度の検討, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-P02

今井俊輔・高橋浩晃, 2022, 応力条件を拘束したインバージョン法による千島海溝南部プレート間固着状況推定, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-11

石田優香・高橋浩晃・大園真子, 2022, ITRF2014で見た北海道-東北地方の地殻変動場の時空間特性, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-10

俣野未羽・谷岡勇市郎・中垣達也・上谷政人・馬場俊孝・野徹雄・今井健太郎・山中悠資・小平秀一, 2022, 千島海溝沿いアウターライズ巨大地震に伴う津波の即時予測へ向けた手法開発, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-07

大石健登・谷岡勇市郎・山中悠資, 2022, S-net観測データを用いた津波地震に対応可能な即時予測手法開発に向けた数値実験, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-08

高橋浩晃・一柳昌義・東龍介,2022,十勝根室沖の地震活動の現況,日本地震学会2022年秋季大会,S22-13

富田史章・木戸元之・太田雄策・日野亮太・飯沼卓史・本莊千枝・大園真子・高橋浩晃,2022,千島海溝沿い根室沖における海底測地観測,日本地震学会2022年秋季大会,S22-09

山中悠資・谷岡勇一郎,2022,2003年十勝沖地震津波の数値波動特性,日本地震学会2022年秋季大会,S22P-06

山中悠資・谷岡勇一郎,2022,1611年慶長地震津波の波源域の推定,日本地震学会2022年秋季大会,S22-02

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要：根室沖のGNSS/A海底基準局3点において船舶及びウエーブグライダーによる海底地殻変動観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室沖 42.089 146.126

調査・観測期間：2022/5/10-2022/5/14

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地質：津波堆積物調査（露頭断面）

概要：津波堆積物調査を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道大樹町当縁川河口域 42.506 143.459

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地質：津波堆積物調査（露頭断面）

概要：津波堆積物の面的調査を行った

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道厚真町浜厚真 42.5972 141.8638

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地質：津波堆積物調査（露頭断面）

概要：津波堆積物の面的調査を行った

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道苫小牧市勇払 42.6279 141.7501

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：海底地震観測

概要：海底地震観測を実施した

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道根室沖 42.5 145.3

調査・観測期間：2022/10/2-2022/11/18

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

津波堆積物による沿岸域の長期的な地殻変動の解明を進める。海底地殻変動観測を行って速度場推定の精度向上を図る。地盤や伝播特性の地域性を考慮した地震動予測向上に向けた調査を継続する。遺跡での地盤液状化痕跡のデータを集約し、長期間にわたる強震動発生頻度に関する知見を得る。地域防災力向上に向けて自治体等と連携した取り組みを継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）, 谷岡勇市郎（北海道大学大学院理学研究院）, 西村裕一（北海道大学大学院理学研究院）, 勝俣啓（北海道大学大学院理学研究院）, 村井芳夫（北海道大学大学院理学研究院）, 大園真子（北海道大学大学院理学研究院）, 高井伸雄（北海道大学大学院工学研究院）, 橋本雄一（北海道大学大学院文学研究院）

他機関との共同研究の有無：有

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）, 日野亮太（東北大学大学院理学研究科）, 木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）, 東龍介（東北大学大学院理学研究科）, 石丸聡（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）, 大津直（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）, ロシア科学アカデミー極東支部, ロシア科学アカデミー地球物理学調査所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

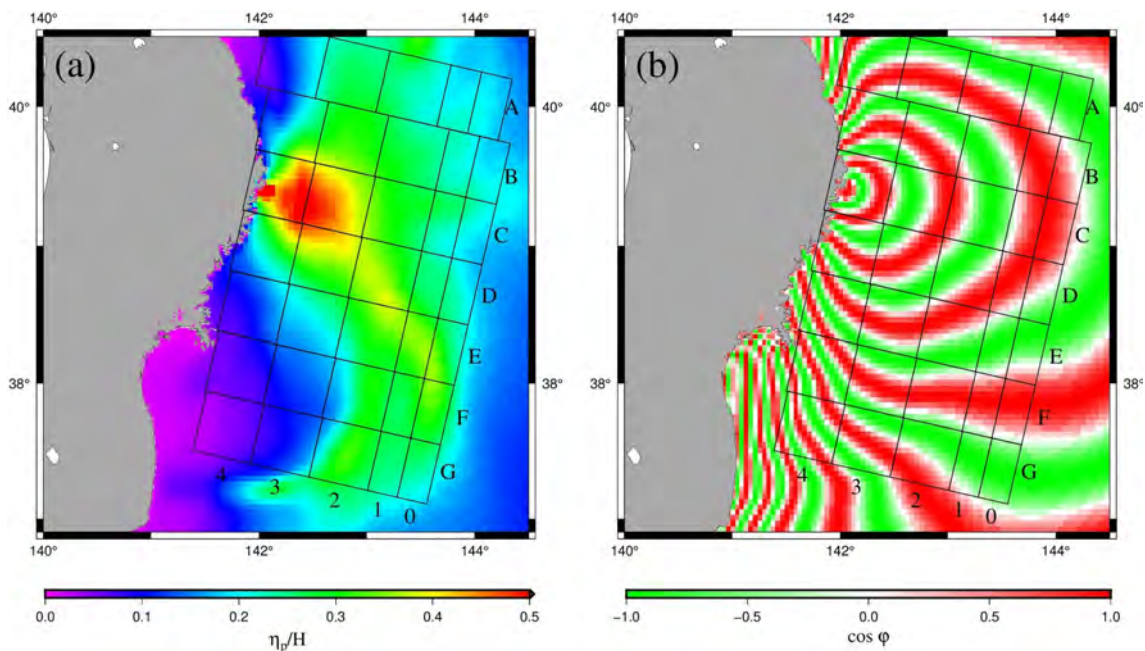
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター



1611年三陸慶長津波の局所集中を再現する数値実験（Yamanaka and Tanioka, PEPS, 2022より引用）
プレート境界に複数のグリーン関数を配置し局所集中が発生しうるシナリオから断層位置を特定した

(1) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震火山関連史資料に基づく低頻度大規模地震火山災害の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
 - 地震
 - 火山

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ア. 史料の収集とデータベース化
 - イ. 考古データの収集・集成と分析
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - (3) 研究基盤の開発・整備
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開
 - (4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題の目的は、史料データ・考古データなどを用いて、過去に発生した地震・津波や火山噴火の実態を分析し、近代以降の機器観測による観測データとの比較・検討を通じて、低頻度ではあるが大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を解明することである。

平成26年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった人文学系の分野の研究者も組織的に参加して、連携した研究が実施されている。このような連携研究を主体的に実施しているのが本研究課題であり、史料や考古資料を主軸に据えた研究を基盤として、地震学・火山学や関連諸分野との連携強化を指向した、取りまとめ課題としての役割も有している。

本研究課題では、別の研究課題においてデータ化が進行中の史料データに基づいて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の様相を明らかにしていく。史料のデータ化及び史料記述の分析に際しては、東京大学史料編纂所と連携して実施していき、既刊地震史料集に所収されている歴史的に信頼できる史料に加え、新たに調査・収集された史料も活用して、低頻度で大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を検討する。また、別の研究課題においてデータベース化が進行中の考古データなどを援用して、それらの実態解明を深化させていく。この際に重要になってくるのが史料データと考古データとの統合である。

史料データは被害発生の時期は明確であるが場所は必ずしも明確ではなく、考古データは被害発生の時期に幅があるものの場所は明確である。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」におけるこれまでの研究では、このような特徴を持った双方のデータについて、被害発生の時期と場所とを結合して連続したデータを作成し、時代・時間情報と位置情報の両方から検索可能なデータベースの構築に向けて、史料・考古の統合データベースの試作版を作成してきた。そこで本研究課題においても、既刊地震史料集を中心とした文献史料に基づく史料データベースと、考古資料に基づく災害痕跡データベースとの統合データベースのシステム構築を目指していく。具体的には、史料記述にある被害発生場所を位置情報（緯度・経度）に変換し、史料データと考古データとの統合分析が可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。これによって、位置情報という共通の要素を導入部として、双方のデータベースに収められた様々なデータを統合的に利活用できるようにする。

以上のように、本研究課題では今後の5か年の間に、上記の史料・考古データの統合データベースを構築・改良しつつ、機器観測以前の長期間にわたる地震火山活動の検討に資するための基礎データを作成していき、近代以前の日本列島における低頻度で大規模な地震・津波や火山現象とそれらによる災害の実態を明らかにしていく。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31・32年度]

別の研究課題において作成された史料データや考古データなどを用いて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害について、統合的に分析可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。また、史料データ・考古データなどから、近代以前の日本列島における地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

[平成33・34年度]

別の研究課題で作成された史料データや考古データなどを用いて、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を継続して実施する。また、これらのデータに基づいて、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明し、特に、南海トラフ沿いで発生した巨大地震・津波や西南日本の内陸部で発生した大地震を対象とする。

[平成35年度]

別の研究課題で作成された史料・考古データなどを活用して、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を実施し、公開に向けた整備を行う。また、これらのデータから、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震史料集テキストデータベース

地震史料集テキストデータベースに収録された史料について、書名欄に書かれている地名をデータ化した。地名の代表点の緯度・経度は、ROIS-CODHの歴史的行政区画データセットβ版から取得した。また、同データベースのデータについて、史料集発行時の間違いや、テキスト化のミスなどを点検、修正し、より正確なデータとした。点検の過程で、『増訂大日本地震史料』の綱文のうち「(?)」が付されたものについて再検討し、修正案を提示した。

地震史料に記載されている歴史地名を現代の位置情報に変換するための地名辞書(Gazetteer)データについて検討を行った。「旧高旧領取調帳」のデータはオープンデータ化が困難で利用が難しいこと、人間文化研究機構が公開する「歴史地名辞書データ」は試験的に検討した2地域において2割程度の地名をカバーできていないことが判明した。これをうけて「みんなで翻刻」に「天保郷帳」を登録し江戸後期の全国の村単位の地名を抽出してデータ化を進めている。

地名へ固有識別子を付与して地名辞書を作成するGeoLODに対し、地震史料集データベースで収集された地名を試験的に登録し、有効に利用できることを確認した。また現在公開されているデータベースに地図化システムや震度判定システムを組み込めるかを検討した。

新史料の収集・分析

昨年度収集した1854年安政東海地震の甲府盆地東部の家屋被害に関する史料に関して分析を進め、救済金額などから村ごとの本潰軒数と半潰軒数の内訳を推定した。また善光寺地震で被害が発生した村の文書に関して、被害直後だけでなく数年後の年貢等の状況に関する史料についても解読を進め、史料群としての性格を明らかにすることを目指している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

1854年安政東海地震における甲府盆地東部の家屋被害について、合算された潰家軒数から連立方程式を用いて本潰軒数と半潰軒数の内訳を明らかにする方法を検討した。歴史地震において家屋倒壊率から震度を導き出す場合、家屋の本潰軒数と半潰軒数から被害率を算出する方法がとられており、他地点と比較するためにもこの内訳を求めることが重要である。また半潰を本潰の50%とすることに対しては議論があることから、本事例における半潰の被害状況についても検証をおこなった（投稿中）。

本研究は（2）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明、における「南海トラフ沿いの巨大地震・津波や西南日本内陸部など、過去に繰り返した大規模な地震が発生している地域について、海外所在の史料も含め新資料の発掘に努める」こと、および（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、における「史料から検出できる家屋倒壊率を震度推定として適切に活用する方法について各種の事例から検討する」ことに貢献している。

安政東海地震において甲府盆地の東部一帯が震度7相当の揺れに見舞われていたことが明らかになった。将来発生が予想される、南海トラフ地震においても同様の震度となる可能性も考えられる。これをふまえて対策を行うことにより被害が軽減されると考えられる。今後、同地域のより詳細な地盤条件や地下構造をふまえた分析が望まれる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

加納靖之,2023,『増訂大日本地震史料』の「(?)」が付された綱文の再検討,地震2,75,183-192,10.4294/zisin.2021-5,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

大邑潤三・加納靖之,2022,1596年9月に近畿地方で発生した地震に関する震度の検討,日本地球惑星科学連合2022年大会,MIS22-P04

加納靖之,2022,地震史料のデータベース化の現在,地震史料シンポジウムII「災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法」

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

別の研究課題で作成された史料データや考古データなどを用いて、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を継続して実施する。また、これらのデータに基づいて、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明し、特に、南海トラフ沿いで発生した巨大地震・津波や西南日本の内陸部で発生した大地震を対象とする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大邑潤三（東京大学地震火山史料連携研究機構）、佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

他機関との共同研究の有無：有

榎原雅治（東京大学史料編纂所）、杉森玲子（東京大学史料編纂所）、荒木裕行（東京大学史料編纂所）、林晃弘（東京大学史料編纂所）、山田太造（東京大学史料編纂所）、鶴岡弘（東京大学地震研究所）、

加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大邑潤三

所属：東京大学地震火山史料連携研究機構

(1) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震関連史料に基づく近代以前の地震活動の調査

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題の目的は、日記史料に記されている数百年間に及ぶ有感地震の記録を活用して、近代以前の日本列島において巨大地震・大地震の前後に発生した中・小規模の地震や地震活動の実態などを解明することである。

本研究課題では、別件の研究課題において実施される、近代以前に発生した低頻度の巨大地震・大地震や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する研究とは異なり、規模は小さいが高頻度で発生する中・小規模の地震や地震活動などについて、近代以前における有感地震の記録の収集と分析に基づいて実態の解明を試みる。本研究課題は、東京大学のデジタルアーカイブズ構築事業において、平成29年度から東京大学地震火山史料連携研究機構が実施している研究「歴史地震火山活動データベース構築・分析」を基盤としており、史料に基づく研究成果を地震学において活用していくための研究

として位置付けられる。本研究課題を実施する上で基盤となる日記史料に基づく有感地震のデータベース構築については、上記の研究プロジェクトにおいて先行して実施されている。そのため本研究課題では、構築・公開中の日記史料有感地震データベースに基づいて、機器観測以前の長期間にわたる地震活動の時空間分布を明らかにし、近代以前の地震活動のデータと近代的な機器観測によるデータとの比較・検討を実施していく。そして、近代以前における中・小規模の地震の発生状況や地震活動などについて解明することで、長期的な地震活動の全体像把握に貢献することを目指す。特に、今後の5か年の間に、19世紀中頃に発生した南海トラフ沿いでの巨大地震に関して、その前後に発生した中・小規模の地震を含む地震活動の実態を解明したいと考えている。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

[平成31・32年度]

現存する膨大な史料の中から、十数年分の有感地震が記されている日記史料を調査・収集し、日記史料有感地震データベースを構築する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットを作成する。

[平成33・34年度]

日記史料の調査・収集に基づいて、日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討を行い、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットの作成と改良を実施する。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討に基づいて、前近代に南海トラフ沿いで発生した巨大地震や西南日本で発生した大地震と、中・小規模の地震との関係について実態の解明を試みる。

[平成35年度]

日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施し、データベースに基づく有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模地震の実態の解明を試みる。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動を比較・検討するためのデータセットを用いて、19世紀中頃に西南日本で発生した中・小規模の地震のカタログ化を試みる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 熊本県博物館ネットワークセンター所蔵「瀬井家資料」を調査し、文政9年～明治元年

(1826～1868)にいたる阿蘇山の火山活動に関する記事を収集した。その結果、以下の知見が得られた。

・熊本測候所編『阿蘇山噴火史要』(1932)は「長野家日記」を典拠として1830年8月12日(天保元年6月24日)に阿蘇で噴火があり、池とその西方に新たな山ができたことを記しているが、「長野家日記」には鳴動と降灰の記事があるのみで、池や新山に関する記述はない。そのため、気象庁『活火山総覧 第4版』では「1830年、噴火、降灰多量、噴石丘形成?」としている。今年度の調査によって、「瀬井家日記」、および熊本県立図書館所蔵「下林家日記」によって、同日に新火口とスコリア丘と推定される池と「富士山ニ似山」ができたこと、登山者の中に犠牲者がいたことが確認できた。また降灰は翌年まで続いたことが判明した。

・天保3年(1832)以後、降灰の記録は減少し、安政南海地震の嘉永7年(1854)に若干増加している。

・有感地震は弘化元年(1844)を除き、年間0～3日にとどまる日数で推移するが、嘉永6年(1853)は7日に増加し、嘉永7年2月5日、火口付近で突然「暑湯」が吹き上がり、湯を浴びた5人が死亡したことが判明した。また瀬井家に伝わった「甲斐亀右衛門一代記」には、同年閏7月、肥後の久住・波野地方は降灰によって畑の作物が全滅したことが記されており、火山活動が活発化していたことが推定される。

2) 「高野家記録」のマイクロフィルムを調査し、18世紀の宮城県南部の地震活動を調べた。宝暦九年(1759)から天明元年(1781)の約20年分の日記を特に詳細に分析し、有感となった日時や地点を

特定した。得られた有感地震のデータセットと現代の地震活動との比較を通して、「高野家記録」が記録する震度の下限や、地震の発生地域を推定した。また、明和四年（1767）に発生したふたつの被害地震について、有感分布や余震の発生状況を検討し、震源の位置や規模を提案した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

2（1）ア．海溝型巨大地震の長期予測

1854年の安政南海トラフ地震の4~9カ月前に阿蘇で火山活動が活発化していたことを確認したことによって、「大学は、史料に記述された数百年間の有感地震の記録を活用して、大地震の発生前後の中・小規模の地震活動を抽出する。」とあることに貢献した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

漆原惇・加納靖之,2022,高野家記録」の原本調査と18世紀の宮城県南部の地震活動,日本地球惑星科学連合2022年大会,MIS22-10

漆原惇・加納靖之・大邑潤三,2022,高野家記録を用いた18世紀の宮城県南部の地震活動,第39回歴史地震研究会,O-17

水野嶺・加納靖之・榎原雅治,2022,「高野家記録」に基づく18世紀の宮城県南部の地震活動,日本地震学会2022年度秋季大会,S10-07

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

1) 本年度に引き続き、嘉永7年の南海地震前後に九州を中心とした西日本地域で発生した有感地震・火山活動に関する史料情報を収集する。

2) 宝永4年の南海地震前後の同地域で発生した有感地震・火山活動に関する史料情報も調査する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

榎原雅治（東京大学地震火山史料連携研究機構）,佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

他機関との共同研究の有無：有

榎原雅治（東京大学史料編纂所）,杉森玲子（東京大学史料編纂所）,荒木裕行（東京大学史料編纂所）,林晃弘（東京大学史料編纂所）,山田太造（東京大学史料編纂所）,加納靖之（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

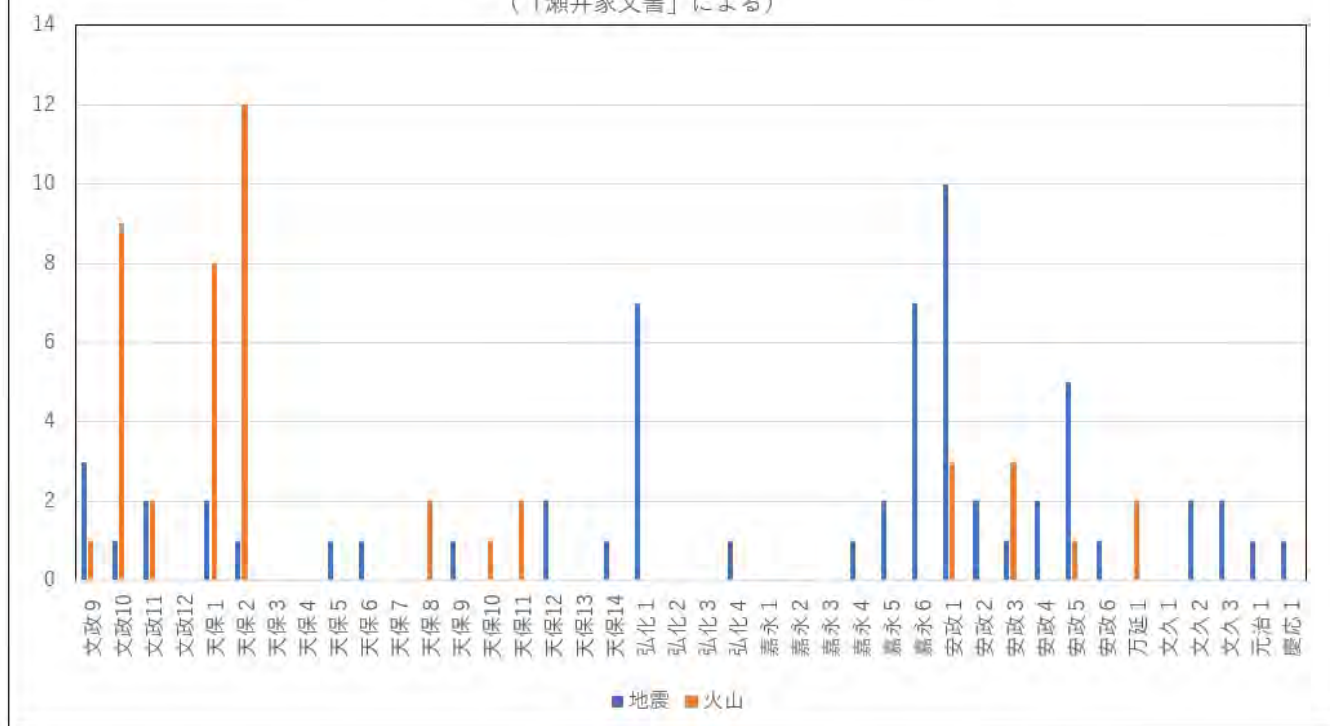
(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：榎原雅治

所属：東京大学地震火山史料連携研究機構

阿蘇高森での有感地震・火山活動記事日数の推移

(「瀬井家文書」による)



阿蘇高森の有感地震・火山活動記事の日数

「瀬井家文書」によって、阿蘇南郷谷高森における19世紀前半の有感地震と火山活動に関する情報が記された日数の変化を示した。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

当初の計画通り、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球化学的・地球物理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。いずれの火山においても、明らかな活動の活発化を示唆する変化は認められなかった。また、倶多楽（登別地域）の熱水系について検討を行い、熱水系モデルの構築を行った（高橋ほか、2022）。得られたデータについては、気象庁や大学、地元自治体と随時情報を共有している。

<雌阿寒岳>

噴気・温泉水の地球化学的観測、GNSS連続観測及び地下水位連続観測を行った。雌阿寒温泉では2017年頃から温度やCl濃度の上昇が続いている。湯の滝でも2019年頃から温度が上昇しているが、ClやSO₄濃度は低下している。中マチネシリ火口内の熱水活動はここ数年活発な状態である。噴気温度（約200℃）には大きな変化はないが、2022年はHCl成分がやや高くなった。また、2018年以降はそれ以前と比較して噴気凝縮水の酸素・水素同位体比がやや重い値を示し、2022年もその傾向が続いた。

<十勝岳>

噴気・温泉水の地球化学的観測、火口域での地温連続観測、GNSS連続観測及び地下水位連続観測を行った。温泉水の化学成分や温度はここ数年ほぼ横ばいで推移しており、2022年も大きな変化は認められなかった。大正火口の噴気の温度（約300℃）や凝縮水の酸素同位体比には大きな変化はないが、凝縮水の水素同位体比やSO₂濃度は2013年以降徐々に低下する傾向がある。振子沢噴気孔群は高温状態が続いており、その噴気の凝縮水の酸素・水素同位体比はこれまでと同様に島弧のマグマ水と類似した値を示したが、近年は低下傾向を示している可能性がある。62-1火口の地温は、2022年は2021年と同様に80℃前後で推移した。2006年後半から続いていた火口域の膨張は、2017年の夏頃から停滞している。

<樽前山>

噴気・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360℃および約220℃で、2012年頃から徐々に低下する傾向が続いている。A火口とB噴気孔群の噴気では2008年から2012年まで硫黄化合物の濃度低下が認められ、それ以降は横ばいで推移していたが、2022年はやや上昇した。また、どちらの噴気域でも凝縮水の酸素・水素同位体比は2012年以降、徐々に重くなる傾向が続いているが、2019年頃からはこの傾向が鈍化している。1998年の観測開始以降、山麓の温泉水の化学成分濃度は低下していたが、2011年頃から横ばいとなり、2022年もその傾向が続いた。

<倶多楽>

大正地獄や大湯沼、奥の湯などのほか、地獄谷の主要泉源などでも温泉観測を行った。日和山では検知管を用いた噴気成分の観測と、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比の観測を行った。いずれの観測でも、火山活動に関する顕著な変化は認められなかった。また、観測で得られたデータに加えて、水蒸気噴火噴出物中などの熱水変質鉱物の検討を行うとともに、既存研究での電磁探査結果をふまえて、登別地域の熱水系についてまとめた（高橋ほか、2022）。

<有珠山>

噴気観測と地下水位連続観測を行った。山頂のI火口の噴気温度（約380℃）と噴気凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化は認められなかった。また、2022年は火口域の広い範囲で噴気観測を行った（銀沼火口、小有珠、外輪山）。I火口以外の噴気の温度はいずれも100℃程度で、低温だったが、銀沼火口や小有珠の噴気はI火口よりもわずかに重い酸素・水素同位体比を示した。一方、外輪山の噴気は軽い同位体比を示した。山麓の地下水位は洞爺湖の水位と連動して変化しており、火山活動と関連すると考えられる変化はなかった。

<北海道駒ヶ岳>

温泉水の地球化学的観測と火口域での噴気温度観測、山麓域での地下水位連続観測を行った。山麓の温泉水の温度・化学成分や、噴気温度に大きな変化はなかった。山麓の地下水位に火山活動に関連した変化は認められなかった。

<その他の火山>

アトサヌプリで噴気観測を、旭岳で温泉観測を、恵山で噴気・温泉観測を行った。これらの火山において、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比や、温泉水の温度や化学成分に大きな変化は認められなかった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究での観測で得られた結果は随時気象庁や大学などと情報共有しており、他機関の観測結果と合わせての総合的な火山活動把握に活用されている。また、北海道や地元自治体への情報提供などを行っており、火山災害軽減のために活用されている。今後も他機関と連携して継続的に観測を行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行っていく。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

高橋 良・鈴木隆広・大森一人,2022,地球化学的・鉱物学的調査から推定した倶多楽火山登別地熱地域の熱水系,火山,67,453-469,<https://doi.org/10.18940/kazan.67.4.453>,査読有,謝辞無

柴田智郎・高橋 良・秋田藤夫,2022,北海道有珠山の火山活動と洞爺湖温泉の水位・温度・化学組成の変動,地学雑誌,131,585-595,<https://doi.org/10.5026/jgeography.131.585>,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：噴気を採取し、化学成分や同位体比を測定した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道雌阿寒岳、アトサヌプリ、十勝岳、樽前山、日和山、有珠山、恵山

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水

概要：温泉水を採取し、化学成分や同位体比を測定した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：北海道雌阿寒岳、十勝岳、旭岳、樽前山、倶多楽、北海道駒ヶ岳、恵山

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山および北海道駒ヶ岳において、温泉水や噴気の地球化学的観測や、地下水位観測、地温観測、地盤変動観測などを継続する。雌阿寒岳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、熱水変質調査などを加えて、熱水系の構造などを検討する。得られたモニタリングデータなどは気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

エネルギー・環境・地質研究所地域地質部地質防災グループ

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所

電話：011-747-2454

e-mail：takahashi-ryo@hro.or.jp

URL：http://www.hro.or.jp/eeg.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋良

所属：地域地質部 地質防災グループ

(1) 実施機関名：

北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

巨大地震津波の想定において、地震の影響を考慮した避難経路の使用可能性や、積雪寒冷・夜間などの悪条件下での避難速度を明らかにするとともに、屋外での低温環境が避難者に及ぼす影響などを総合的に評価し、津波災害による最大リスクを評価する手法を開発する。更に、地域社会における人口構成、市街地の再編や海岸保全施設等の整備などの経年変化を考慮し、長期的に変動してゆく防災対策の効果を評価する。また本研究では、想定される最大リスクを軽減するための複数の防災対策案について、モデル地域の住民や自治体と共に対策コストや効果、利便性、地域産業への影響などの条件から定量的に評価して優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画に反映させる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題は北海道立総合研究機構の重点研究として実施しているもので、平成29年度に開始し今年度は最終年度である。これまでに3町において避難経路・避難所の発災時における使用可能性の評価データ、および冬季避難訓練に基づく避難速度の実測データなどを取得している。平成31年度 津波災害に関わるハード・ソフト対策による被害軽減効果を評価し、モデル地域の住民や自治体と共にコスト、利便性、地域産業への影響などの条件を踏まえて定量的に再評価して対策の優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画へ反映する。平成32年度以降は研究計画未定

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究課題は北海道立総合研究機構の重点研究として取り組んでいるもので、主たる研究期間は令和元年で終了している。今年度はこれまでの成果を拡充・適用した、地震被害想定と減災対策効果の導出、および住民避難行動に関する実証的研究を実施した。

・北海道庁の地震防災対策における減災目標策定に関するワーキンググループと連携し、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震における津波及び地震動による北海道の地域特性を反映したハザードの評価および物的ならびに経済リスクの地震被害想定をおこなった。また、道による減災目標の設定のため

に、関係機関が実施する防災対事業による減災効果を検証した。

・津波避難のリスク評価結果を避難行動に反映させるために、市町村と共同で防災教育を実践し、自動車避難での課題把握、住民と避難に関する課題認識を把握・共有した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

都市部における津波避難手段の多様化による対策効果の評価に関する研究

「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震」を対象として、太平洋沿岸の都市部において、避難者の属性や分布に応じて自動車と徒歩を組み合わせた避難モデルを構築し、避難シミュレーションを行うことで、津波避難手段の違いによる避難行動の成否を判定し、避難手段の多様化による効果を評価する。また、多様な避難手段の実現に向けた課題を整理する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

エネルギー・環境・地質研究所地域地質部地質防災グループ,北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ,林業試験場森林環境部環境グループ

他機関との共同研究の有無：有

田中規夫（埼玉大学大学院・理工学研究科環境科学・社会基盤部門）,橋本雄一（北海道大学大学院・文学研究科人間システム科学専攻）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所

電話：011-747-2447

e-mail：nishina-kenji@hro.or.jp

URL：http://www.hro.or.jp/eeg.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：仁科健二

所属：地質防災グループ

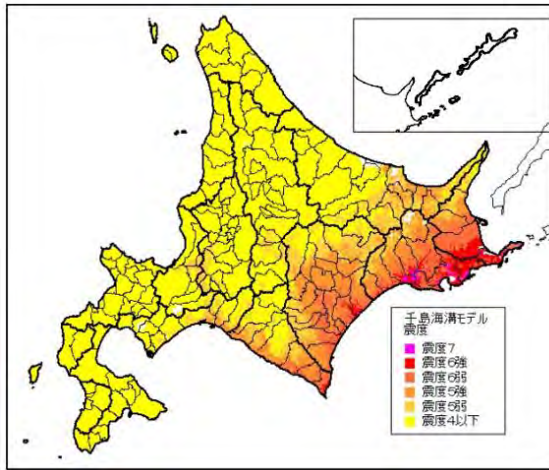


図1 千島海溝型地震断層モデルに基づく地震動予測と被害想定結果
早期避難率を向上、津波避難ビルなどの対策による減災効果を評価した。



図2 乗車介助の学習の効果
歩車混合避難による移動速度の変化を計測した。

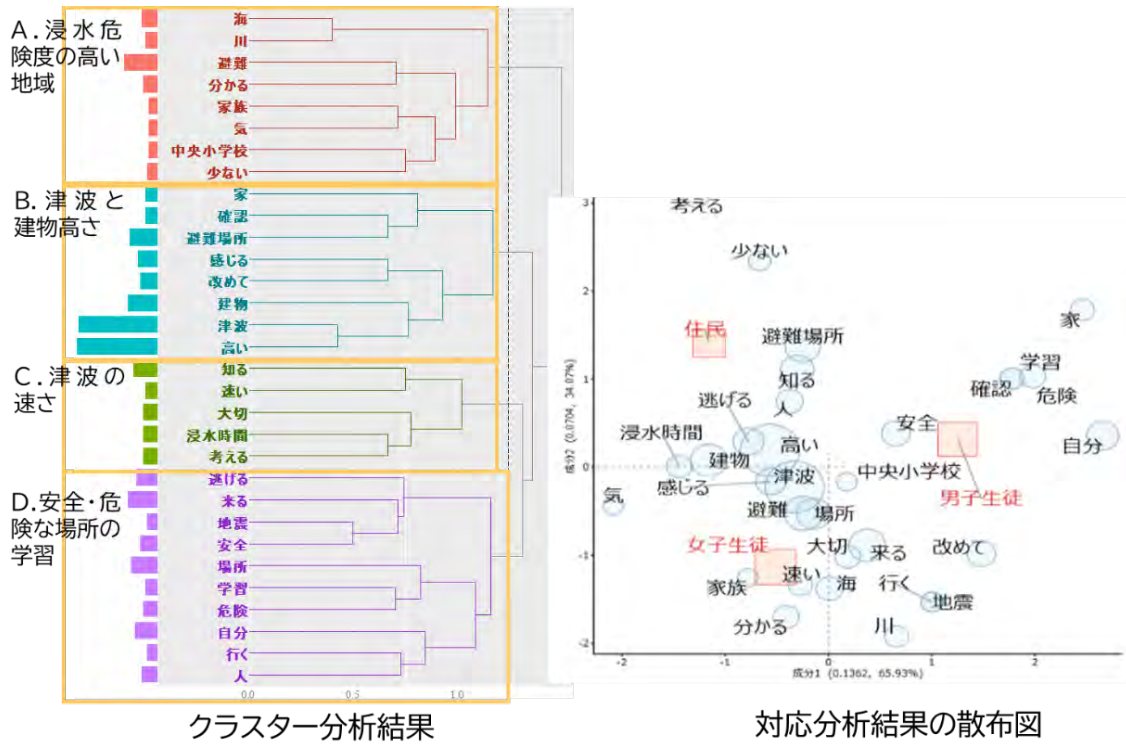


図3 避難訓練参加者の学習効果を解析

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、住民と共有した。

(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との関係の解明である。また、日本海沿岸では太平洋側に比べて砂丘列が発達するため、津波は主に河川遡上して氾濫、または河口部から内陸への氾濫となることが多い。これらの津波堆積物を認定するための新たな手法の開発を試みる。さらに、地震災害誘因の事前評価手法の高度化に資することを目的に、歴史地震発生域を含む領域における堆積層構造の推定を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

S-net観測網や、3次元波動伝播シミュレーション技術を活用して、青森県東方沖から千島海溝沿いでの震源とメカニズム解の決定精度を向上させるとともに、地震波形を説明できるプレート構造の推

定を行う〔2019～2020年度〕。これらにより、東北地方北部から日高山脈にかけての海域を含んだ領域での地震発生を規定する応力場について基本的理解を得るとともに、時間発展の枠組みの中での現状認識を行う〔2020～2023〕。また、誘発地震発生域など内陸地震活動が活発な領域では、震源のマイグレーションの解析、S波偏向異方性の時間変化の高精度推定、地殻浅部低周波地震活動の解明、深部低周波地震の波形モデリングを通して、流体と内陸地震発生の関係をこれまで以上に明らかにする〔2019～2021〕。

2. 津波堆積物等の地質学的調査

島弧会合部にあたる北東北の日本海沿岸や下北半島などにおいて津波の履歴や浸水範囲の解析を行い、津波の史料が乏しい江戸中期以前の津波波源の推定に必要な基礎資料を得る。具体的には、地質調査・試料分析・年代測定などを通じて、日本海側の津波堆積物を認定するための新たな調査手法を構築する〔2019～2023〕。2019～2021年度は青森県・秋田県・山形県の日本海沿岸を、2022～2023年度は下北半島の津波堆積物の調査を実施する。

3. 堆積層構造調査

歴史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4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要

広帯域地震波動現象の解析

Hi-net 観測網の地震計特性を補正して低周波成分を抽出すると、空間的に連続したさまざまな後続波が見られる。その中でP波直後の後続波に注目し、波動伝播シミュレーションも用いて検討した結果、波形の震源深さ依存性を用いて震源の深さを推定できる可能性があることがわかった。

青森県および周辺海域で発生する中規模以上の地震のうち、2004年以降に発生したもののCMT解を、全国1次地下構造モデルに基づき数値シミュレーションにより構築された3次元グリーン関数データベースを用いて再決定した。また、その際に用いられる波形適合度の基準に関し、既往研究で先見的に用いられている様々なバリエーションについて統一的な検討を行い、最適なものを選定した。従来通りの1次元構造に基づく推定と比較検討した結果、1次元構造では波形形状が大きく異なるため推定に利用できない観測点が多数あったものが3次元構造で適切に利用できるようになり、CMT解の推定できたイベント数も大きく増えた。また3次元構造下で推定されたプレート境界近傍の地震は1次元構造よりも系統的にプレート沈み込み角と断層運動の傾斜角に良い一致が見られた。さらに、1次元構造に基づくCMT解よりも3次元構造を仮定するとモーメントテンソルの非ダブルカップル成分の割合が系統的に下がる結果が得られた。

東北地震による内陸地震の誘発

東北地方太平洋沖地震の前後で内陸の地震活動が大きく変化したことが知られている。これを、近年機械学習によって整備された微小地震まで含む震源メカニズム解カタログ (Uchide, 2020) をレーバ断層として用いたクーロン破壊基準 (ΔCFF) の観点から調査した。有限断層モデルに基づいて計算された ΔCFF の空間ブロック平均から、東北地方北部と南部～関東地方にかけては、東北地震後の内陸地震の ΔCFF が系統的に正に偏る、すなわち東北地震によって誘発された可能性が示唆された。また東北地震前の定常的な活動に対する ΔCFF は必ずしも正にはならず、地震によって内陸地震の発生が大きく変更を受けたことを強く示唆している。

津波堆積物の地質学的調査

昨年度までに、秋田県沿岸の象潟において1804年の象潟地震の津波に由来すると考えられるイベント堆積物を識別した。今年度は、イベント堆積物およびその上位・下位の堆積物の珪藻化石分析を実施した。イベント堆積物中の珪藻群集は、津波堆積物に良く認められる淡水生種、汽水生種、海水生種が混在する「混合群集」であった。また、イベント堆積物の下位の堆積物は海水生種が、上位の堆積物は淡水生種が卓越することから、イベントを境に、古象潟湖は地殻変動によって隆起・離水したことが珪藻化石分析からも明らかになった。一方、青森県では下北半島北部の関根浜の海岸とMIS5eの海成段丘に挟まれる微高地において、津波堆積物の調査を実施した。層相観察、X線CT撮影、鈹物組成

(モード分析), 粒度分析, 14C年代測定, 珪藻分析の結果, 17世紀以降に発生した海由来のイベント(津波, 高潮等)によって形成された堆積物を識別した. このイベント堆積物が仮に1611年慶長三陸地震, あるいは17世紀に千島海溝で起こった連動型地震の津波堆積物の場合, それぞれの想定震源域を再検討する必要がある.

堆積層構造調査

本年度は, 2つの強震観測点の地下構造を推定した. 微動アレー観測を行い, 地盤調査結果を踏まえて比較的表層のS波速度を逆解析した. さらに, 地震記録を収集して深い地盤構造の影響をKawase et al.(2011)の拡散波動場理論によって確認した.

1つめの強震観測点はK-NET青森である. K-NET青森は青森市の中心部に設置されている. 青森市の地表付近は軟弱であり, さらに長期地震動が卓越することが知られている. この長周期地震動の原因として, 堆積層が厚いことが考えられている. この地点では, 微動アレーの結果から深さ約100mまでS波速度を推定した. 2つめの強震観測点は青森県が設置した震度観測点であり, 気象庁では階上町道仏観測点と呼ばれている. この地点は県内で有数の揺れやすい観測点であり(片岡・山本, 2007), 最近では2022年3月16日におきた福島県沖の地震の際に, 震度5弱が観測されている. この地点では, 深さ約16mまでボーリング調査を行い, 速度構造を求めた. この地点では, 強震動が得られていることから, 地盤応答の非線形性についても検討した.

地下構造推定とは別に, 2011年東北地方太平洋沖地震の際の津軽平野における長周期地震動について検討した. その結果を以下に記す. なお, ここで言う, 長周期とは振動数で0.2Hzから0.5Hzの範囲を指す. 速度波形の比較では, 津軽平野を一樣に伝播する波群を見つけることはできなかった. 隣接した観測点では類似の波群を見つけることはできたが, 振幅が異なっていた. 津軽平野で一樣に卓越する周期帯域はなく, 場所によって卓越振動数が異なっていた.

地震波速度変化とひずみ応答推定

日本全域に展開されているHi-net観測点を用いて, 地震波速度変化の潮汐応答の空間分布を推定した. これまでも, いくつかの地域で速度変化の潮汐応答は報告されている. しかしながら, これまでの研究では, 潮汐歪み応答が検知された事例が個別に報告されているのみで, 潮汐歪み応答が見えない観測結果は蓄積されていない. したがって, 潮汐応答の空間分布を議論するためには, 潮汐応答の有無を判定するための基準を提案し, 統一的手法で速度変化の潮汐応答を計算する必要がある. そこで本研究では, 状態空間モデルに基づきカルマンフィルタと最尤法を組み合わせた手法により地震波速度変化の潮汐応答を広域に推定した. Hi-net観測点796点で1時間ごとに常時微動の自己相関関数9成分を計算した. モデル化した潮汐による速度変化を状態空間モデルに組み込み, カルマンフィルタと最尤法により潮汐による速度変化量と潮汐と速度変化の位相差を推定した. 得られた潮汐歪み応答は103から105[μstrain]で変動しており, 大局的に浅部のS波速度が遅い領域で潮汐歪み応答が大きい傾向が見られた. 歪み感度の大きい地域は, 高い間隙流体圧やアスペクト比の低いクラックの存在を示唆するものである.

そもそも潮汐のような静的歪みによる地震波速度変化は, 岩石の非線形弾性現象によって生じると考えられる. 非線形弾性理論に基づいて弾性係数を高次まで展開することで, 高次までの弾性係数と歪みテンソルによって地震波速度を表現することができる. これまで室内での岩石実験によって高次弾性係数が推定されてきたが, 地殻での高次弾性係数の大きさはまだよく分かっていない. 本研究では, 海洋潮汐によって潮汐歪みの主軸が時間変化することに着目し, 異なる方向の潮汐歪みに対する地震波速度変化を調べた. 東北地域を含む6つの活火山に設置されている地震観測網で記録された約4年間の常時微動の相互相関関数により速度変化を計算した. 速度変化の歪み応答には, 歪みの方位に対して明瞭な方位依存性が見られた. 特に, 潮汐歪みが卓越する方位と平行な方向にある観測点ペアで, 潮汐歪みによる速度変化が大きくなる傾向が見られた. これは, 非線形弾性理論に基づく地震波速度変化と調和的であり, 地殻における歪みによって生じる地震波速度変化のメカニズムの理解に繋がるものである.

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

木村雄大・岡田里奈・梅田浩司,2023,下北半島, 関根浜のイベント堆積物について,東北地域災害科学研究,59,印刷中,査読無,謝辞無

小菅正裕,2023,東北地方太平洋沖で発生した地震のP波直後の波形を用いた震源深さ推定の試み,東北地域災害科学研究,59,印刷中,査読無,謝辞無

渡部大地・前田拓人・高野智也,2023,2011年東北地方太平洋沖地震による地震の誘発現象の力学的検討,東北地域災害科学研究,59,印刷中,査読無,謝辞無

増永仁・前田拓人・高野智也,2023,3次元不均質速度構造モデルを用いた青森県周辺の地震に対するCMT解推定,東北地域災害科学研究,59,印刷中,査読無,謝辞無

Okada, R., Umeda, K., Kamataki, T., Sawai, Y., Matsumoto, D., Shimada, Y. and Ioki, K.,2022,Geological record of 18th and 19th century tsunamis along the Japan Sea coast of Tsugaru Peninsula, northwestern Japan,Marine

Geology,453,106905,10.1016/j.margeo.2022.106905,査読有,謝辞無

Takano, T., Nishida, K.,2023,Tidal response of seismic wave velocity at shallow crust in Japan,submitted,査読有,謝辞無

Takano, T., Nishimura, T., and Nakahara, H.,2023,Anisotropic seismic velocity variations responding to different orientations of tidal deformations,submitted,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Okada, R., Umeda, K., Kamataki, T. and Sawai, Y.,2022,Preliminary report of multi-descriptive analyses on sandy event deposits at Ajigasawa, northern Japan,AGU Fall Meeting 2022,NH22C-0443

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

北海道から茨城県沖にかけての領域で発生した地震のP波直後の後続波の波形によるクラスタリングを行い、震源位置による波形の特徴、および地震タイプ（プレート境界地震、スラブ内地震、陸域地殻内地震）による波形の違いを把握する。また、震源深さ推定を多数の地震に適用し、妥当性を検討する。

津波堆積物調査については、これまで採取したイベント堆積物について珪藻分析を実施する。イベント堆積物を構成する碎屑粒子の微細構造から津波堆積物の識別する手法を検討する。

地盤構造については、階上町の地下構造調査を継続し、微動探査ならびに地震波干渉法の適用により、これまでよりもやや深い地盤構造の推定を試みる。また、青森平野についてはK-NET以外に数箇所の地震観測点があるため、その周辺で微動アレー観測を行うとともに、地震記録に拡散波動場理論を適用し、地下構造の比較検討を行う。

歪み感度応答については、内陸の観測点だけでなく海域に展開されているS-net海底地震観測網を利用し、東北地方北部から青森県東方沖や千島海溝周辺にかけて統一的に地震波速度変化の歪み感度を推定する。降雨や気温変化などの影響を受けない海底において、地震波干渉法に基づき海洋荷重に対する地震波速度変化により求める。また、本年度の成果により、地震波速度変化の潮汐歪み感度の大きさには地域性があり、大局的に地震波速度構造と相関があることがわかった。このことは、歪み感度の大きさが地殻内の間隙流体圧やクラック形状に依存することを示唆する。そこで、地震波速度変化の歪み感度の時間変化を調べることで、間隙流体圧やクラック形状の時間変化をモニタリングすることを目指す。速度変化の歪み感度の時空間変化を調べることで、内陸やプレート近傍で生じる地震発生ポテンシャルとの関連性について検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

前田拓人（弘前大学理工学研究科）,高野智也（弘前大学理工学研究科）,渡辺和俊（弘前大学理工学研究科）,片岡俊一（弘前大学理工学研究科）,梅田浩司（弘前大学理工学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

坂中伸也（秋田大学国際資源学研究所）,鎌滝孝信（連携研究）（岡山理科大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：弘前大学理工学研究科

電話：0172-39-3608

e-mail：tktmyd@hirosaki-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：前田拓人

所属：弘前大学理工学研究科

(1) 実施機関名：

弘前大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

データ同化に基づく津波現況把握と即時予測の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

2011年東北地方太平洋沖地震とそれによる東日本大震災を受けて急ピッチで海底における地震・津波観測網の構築が進み、陸・海を統合した地震と津波のモニタリング体制が確立しつつある。これを受けて、特に海域における地震津波等の記録の即時的な利用に基づく地震・津波の即時予測技術の高度化には多大なる期待が寄せられている。日本列島周辺には世界中他に類を見ないような高密度海底・海上津波観測網が敷かれつつあることから、高密度観測に基づく津波即時予測手法の開発および検証研究がきわめて活発に行われている。

これまで開発されてきた多くの津波即時予測技術が災害誘引である地震発生やそれによる地殻変動などの逆推定に基づくものであるのに対し、本課題の申請者らは、それらの災害誘引の地震学的描像に直接立脚せずに高密度観測記録から津波波動場そのものの現況把握を行う「データ同化」に基づく津波即時予測手法を提唱し、その開発を行ってきた。この方法は、複雑な地震断層運動の推定の不確実性に依存せず、また地震情報に依存しないことから海底の斜面崩壊等の非地震性の津波にもそのまま適用可能であると期待されるなど、さまざまな状況下での安定した津波即時予測に適した側面があると考えられる。しかし、この手法は提案されてからまだ日が浅く、真に実用的な津波予測手法に育て上げるためには、まだ多くの積み残しがある。本研究課題では、津波の波動伝播の実況把握から予測を行う時間発展型予測手法としてのデータ同化に基づく津波即時予測手法のさらなる高度化を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画の津波データ同化技術は、大別してデータ同化に基づく津波の現況把握と、それをを用いた即時予測の部分からなる。解析手法の高度化を行うのはもちろんのことであるが、低頻度巨大災害である津波は実記録に基づく手法の妥当性の検証がそもそも困難であり、津波の数値シミュレーション

に基づく数値実験が決定的に重要である。そこで、地震・津波数値計算技法の開発や、それらの数値シミュレーションに基づく津波即時予測技法の検証も本研究でカバーする。

現況把握においては、海底津波記録がその観測機器の置かれている場所における地殻変動のオフセットの影響を受けること、より即時性を高めようとするほど地震直後の大振幅地震波信号が推定を難しくするという問題が認知されるようになった。前者についてはその対処法の一部はすでにその研究に着手してきたところであり、本研究計画の初期段階において、集中的に検討を行う。また、後者の問題については、これまで我々が開発してきた地震・津波統合シミュレーションのほか、地震動と津波の両方の記録を合成する手法が複数提案されている。大規模かつ現実的な地震・津波の統合的シミュレーション技術の利活用によって、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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

アジョイント方程式に基づくあらたな波動場現況推定手法の定式化ならびに数値実験を実施。これまで開発してきた最適内挿法に基づく現況把握は、本質的に現時刻の空間補間である。過去の状態からの時間発展は、現況把握のための予測値として間接的に用いられるが、最適内挿法ではその予測値を観測一予測残差で破壊的に更新してしまうため、結果として得られる波動場の時空間発展は波動方程式に完全に適合するわけではないという弱点を抱えていた。あらたに開発した方法は、現在時刻を含む一定時間幅の間の観測一予測残差を最小にする、という目的関数を持ち、有限の時間区間で仮定する波動方程式（浅水波方程式）にもっとも適合するような波動場を推定する。一般化変分法の一つである最適制御理論に基づく定式化から、このような目的関数を最小化するために必要とされる目的関数の波動場の初期状態（時間区間の先頭時刻）の波動場に対する微分が、ある微分方程式（アジョイント方程式）を時間反転させて解くことで得られることが示された。特に浅水波方程式の場合には、そのアジョイント方程式は浅水波方程式と等価であり、かつ生成項に観測一予測残差を持つものであることが示された。したがって、数値シミュレーションによる前方予測と、観測一予測残差を生成項とした逆伝播の繰り返し計算を行うことで、有限時間区間において最も波動方程式に適合する波動場の初期状態を推定できる。

等間隔の観測網に外部から津波が入射する状況を模擬した数値実験により、定式化された手法の検証を行った。初期水位の時刻における推定では、初期水位の形状を完全には推定できないものの、模擬観測波形をほぼ完全に再現できた。さらに、本手法を即時予測に適合させるため、同じ時間区間で繰り返し計算を行う代わりに、1イタレーション毎に解析対象の時間区間を未来にスライドさせていく方法を考案し、その数値実験も行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

建議には『大学は、震源過程など地震学的描像を必要としないデータ同化手法に基づく津波伝播の状況把握から、地震やそれ以外の災害誘因による津波を、可能な限り即時かつ高精度に推定する手法の開発を行う。』とあり、まさにこの内容に沿ったデータ同化手法法に基づく津波即時予測の手法開発について今年度も着実な進展があった。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

前田拓人,2022,アジョイント方程式に基づく波動場の推定とその津波即時予測問題への応用の試み,日

本地震学会2022年秋季大会,S01P-04

前田拓人,2022,Adjoint法に基づく波動場の時空間状態把握に向けて,東京大学地震研究所研究集会『陸海両域での超高密度観測時代の観測・解析手法と地震波伝播理論の新展開』

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

本年度の新たな成果であるアジョイント方程式に基づく方法について,その安定性・収束条件・実地形を考慮した現実的なモデル適用など,さらなる高度な数値実験をすすめ,その有効性の検証を行う.

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

前田拓人(弘前大学理工学研究科)

他機関との共同研究の有無:有

佐竹健治(東京大学地震研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:弘前大学大学院理工学研究科

電話:0172-39-3505

e-mail:

URL:<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:前田拓人

所属:弘前大学大学院理工学研究科

(1) 実施機関名：

兵庫県立大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山観測データを活用した減災・復興モデルの構築とリスクコミュニケーションに資する事例収集

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、過去に発生した災害において、地震・火山観測情報がどのように災害対応・復興に活用されてきたのか、災害対応における意思決定と災害を契機とした被災地の移転再建や生活再建における観測情報の利活用を事例検証を通して明らかにすることを目的とする。また、その社会的知見(災害の教訓)と地震・火山に関する科学的知見(メカニズム)を、市民の防災リテラシー向上と、減災・復興施策(災害対応・事前移住・事前復興計画技術など)に資する災害事例の収集を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

過去の災害事例において、地震・火山観測情報が災害対応・復旧・復興にどのように活用されたのかを、文献調査、現地調査、通時調査を通して検証する。研究実施過程においては、セミナーなどを通して研究成果を社会的に発信するとともに、減災・復興政策に活かすという目的のもとリテラシー向上を図るための人材育成に取り組む。具体的な、検討事項は以下のとおり。

- (1) 地震・噴火発生時の災害対応に活用される観測情報の体系化
- (2) 被災したエリアにおける、生活環境の移転・土地利用規制と生活再建の検討
- (3) 地震・噴火による社会的被害の解明と、その社会的知見(災害の教訓)と地震や火山に関する科学的知見(メカニズム)を生かした、事前復興計画の策定と市民の防災リテラシー向上。

2019年度は、過去に発生した災害（南海地震、阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、伊豆大島、御嶽山噴火、口永良部島噴火など）の災害対応・復旧復興過程において、観測情報がどのように活用されたのかを事例検証を通し明らかにする。

2020年度、21年度は、観測情報に基づく、警戒区域や危険区域の指定などの土地利用規制が、そこに住む住民の暮らしや生活再建にどのような影響を及ぼしたのか、地域住民への調査に基づき検証する。災害復興過程において、警戒区域や危険区域の指定により被災エリアへの立ち入りや再建が規制されたエリア（東日本大震災、有珠山・雲仙岳・伊豆大島・口永良部島など）に着もくし事例検証を行う。2022年度は、被災経験やその後の観測情報提供の仕組みの見直し、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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2023年度は地震・火山観測情報を活用して防災リテラシー向上を図るための方策として、大学の火山観測所が持つ地震計、観測データ、観測技術に着目し、これらの科学技術情報をどのように体系化・活用することができるのかを京都大学桜島観測所・阿武山観測所との連携により検討した。市民の参画によるシチズン・サイエンスについて、火山に関する知見があまりない市民、地震観測・技術を活用したオープンリテラシーに取り組んでいる京都大学阿武山サポーター、桜島に詳しいジオガイド等、火山の専門家とのアクション・リサーチを通し検討した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

関連の深い建議の項目は、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であり、防災リテラシー向上の多様な取り組みを連携させることにより、新たな知見を得る点において貢献している。

今年度の研究をさらに発展させ、研究機関が有する地震・火山観測技術を防災リテラシーに効果的に活用する方策を検討する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

長島雄介, 阪本真由美, 2022, 小学校における地震・津波の取り上げ方に関する研究~被災地で用いられる副読本に着目して, 日本災害情報学会第25回学会大会予稿集, 6-7

・学会・シンポジウム等での発表

長島雄介, 阪本真由美, 2022, 小学校における地震・津波の取り上げ方に関する研究~被災地で用いられる副読本に着目して, 日本災害情報学会, A1-3

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2022年度の研究成果を発展させ、地震・火山に関する防災リテラシーを高めるための方策をアクション・リサーチにより検討する。また、研究期間全体より得られる成果を取りまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

阪本真由美（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）, 室崎益輝（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）, 森永速男（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）, 加藤恵正（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）, 富永良喜（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）, 紅谷昇平（兵庫県立大学大学院

減災復興政策研究科),青田良介(兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科),浦川豪(兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科)

他機関との共同研究の有無:有

永野康行(兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

電話:078-891-7376

e-mail:

URL:<https://drg-u-hyogo.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:阪本真由美

所属:兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

(1) 実施機関名：

兵庫県立大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震観測研究の成果を活用した土地利用に係る事例収集に基づく枠組みの提案

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
 - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - イ. 首都直下地震
 - エ. 桜島大規模火山噴火
 - オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
首都直下地震
桜島大規模火山噴火
高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまで、ニュージーランドやトルコ、台湾などにおいて、活断層の近傍における建築制限を含む土地利用規制が進められてきた。日本においては、現在中央構造線近傍における特定建築物の建築制限を徳島県が主体となって実施している。

とはいえ、一部私権を制限することや、その断層が地表面に明確に現れていないことなどから、土地利用規制や建築制限をしても実態としての建物移転はなかなか進まない現状にある。観測技術の進展によって災害誘因の予測が精緻化されてきた現在、それを被害軽減を図る土地利用規制、建築規制にきちんと展開することが可能となっているが、これまでの状況を踏まえると、社会実装時に十分活用できない可能性がある。

そこで、海外事例、さらには徳島での取り組みによる関係機関、当事者の認識等を細かく整理することで、将来に向けた防災・減災の視点を含めた情報共有、対策実施のあり方を検討する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度～33年度までは、特に海外での建築制限の運用実態を把握するための調査を進める。

具体的にはニュージーランド、トルコ、台湾を想定している。規制を進める当局だけでなく、住民や事業者、不動産関連業者への調査を進める。

平成34年度以降は、国内での土地利用規制の運用実態を把握し、災害誘因予測が精緻化された状況下での運用のあり方を検討する。また、東日本大震災被災地における土地利用規制（災害危険区域）の現状把握にもつとめ、時間経過に伴う実態変化を把握する。

平成35年度にはそれらの成果を関連分野に提供・共有し、我が国における観測技術の土地利用規制への活用方策を検討する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

南海トラフ地震の発生によって、各地で甚大な被害の発生が懸念されているが、特に被害が想定される関西地方の沿岸地域には、多くの中小企業が集積している。

これらの企業は災害発生時、多くの困難に直面する可能性が高い。工場の被災だけでなく、従業員の被災によって業務の継続が困難になることが懸念されている。

そのための対策を講じる必要性から、業務継続計画の策定が国や自治体から推奨されているが、人材不足や予算不足など、さまざまな背景から計画策定は十分に進んでいない。

実際、企業としての業務継続ができなくなると、サプライチェーンにも影響がある他、従業員の生活不安も生じることになる。

このことは、地域全体の復興を鑑みても、なるべく避けられるべきであり、包括的な対策、支援が必要となる。

一方で、企業の中には、工場の分散配置や従業員の在宅勤務の推進など、対策を講じている場合もある。

平常時の業務と連携させることで、このような対策を実現しているケースも多い。

令和3年度に、兵庫県沿岸部の自治体に居住する住民に対して、住居の選択時の災害発生リスクへの配慮についての調査を行ったが、今年度は兵庫県尼崎市の中小企業を対象として災害時の備えや被害への懸念、そして工場分散配置や従業員のオンラインワークの可能性等についての現状を把握するためのアンケート調査を行い、その実情を把握した。

やはり、資金面等の課題から、現在立地している場所での事業継続しか考慮していない事業所が多くあることが明らかになった一方で、平時から拠点を分散することの意義を感じているという結果も得られた。

このことは、災害誘因予測の精緻化に伴い、企業の立地を分散してリスクを低下させる土地利用施策が可能となることを示唆しているほか、従業員の安全確保、事業継続の観点から複数の拠点によってバックアップすることが具体化する可能性を明らかにすることができた。

なお、並行して実施予定であった海外での事例調査については、新型コロナウイルス感染症拡大による影響から断念し、次年度以降に実施する予定としている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震・火山噴火に対する防災リテラシーの向上を考える際、その対象の現状を把握することは重要である。

昨年度は、住民の視点から、災害リスクと居住地選択の関係性を明らかにしたが、今年度は事業所（特に中小企業）の実情を把握することができた。

実際に災害誘因予測が精緻化され、高い解像度で地域のリスク評価がなされれば、平時を含めた土地利用規制が具体化し、社会実装可能な状況となる。その場合にも、土地を私有する所有者、利用者の合意形成は手続き上不可欠である。それらの利害関係者の実情を踏まえ、どのような形で災害時にも安全な土地利用を進め、業務継続や居住継続、生活環境の維持をすることができるのかを考える基礎

的知見が提供されたといえる。

今後は、こういった実情を踏まえ、土地利用計画への実装のための要件をクリアにするための、研究者、実務者、行政、そして住民や事業者等との対話を進めていくことが必要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

澤田雅浩,2022,中高層集合住宅のみで構成される地区における在宅避難を前提とした地区防災計画のあり方に関する研究—神戸市中央区港島地区における地区防災対策委員会の活動を通じて—,地区防災計画学会誌,24,74,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

計画の最終年度として、

これまでの調査結果を踏まえた、行政、事業者、住民、実務家、専門家による社会実装に向けた課題の整理についてのワークショップを実施する。

また、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で海外渡航が叶わず、調査が遅れている、トルコ、インドネシア等での災害誘因予測と土地利用計画の関係についての調査を実施する予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澤田雅浩（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）,馬場美智子（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）,紅谷昇平（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）,青田亮介（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）,室崎益輝（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科）

他機関との共同研究の有無：有

照本清峰（関西学院大学総合政策学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：減災復興政策研究科

電話：078-891-7376

e-mail：

URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澤田雅浩

所属：減災復興政策研究科

(1) 実施機関名：

東京大学情報学環

(2) 研究課題（または観測項目）名：

ニーズ・アセスメントに基づく地震・火山災害に関する発生確率、被害想定、災害情報のコミュニケーション戦略の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、南海トラフ地震や首都直下地震、大規模噴火災害等の想定災害において、多様なステークホルダーを対象に、災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）をどのように理解・掌握して活用しているかなど情報の理解の現状と課題を明らかにすることを目標とする。これらより一層の活用を図るために地震学・火山学に求められる情報内容や表現、活用条件について考察する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査を実施する。

平成32年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査の解析を行う。

平成33年度においては、1年目、2年目の成果を元に、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査を実施する。

平成34年度においては、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査の詳細解析を行う。

平成35年度においては、地震学・火山学のアウトプットに対するニーズや活用実態災害、情報と

しての活用を抑制している要因および課題の明確化する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度実施計画の概要

地震災害に関する住民調査を前提に、地震災害・火山災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）などの住民の受け止め方に関する詳細な解析を行う。

議題設定

本研究は、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法を開発することを目的とする。本年度では被害想定に着目して、これを分析するものである。

調査概要

地震の被害想定という情報が住民に伝達した場合、被害に関する認知面などにどのような影響面を及ぼすのか。その点を明らかにするために、内閣府（2013）が公表した被害想定を基に、4日間にわたって放送されたドラマ「パラレル東京」の前後で、縦断型のアンケート調査を行った。この番組放送前後に、東京都民を対象としたインターネットパネルを用いた3波の縦断型調査（「パラレル東京」放送直前、直後、3か月後）を実施した（調査1）。

また、その結果を基に、都民の首都直下地震の被害に関する認知体系を明らかにするため、東京都民を対象としたインターネット調査（調査2）を実施した。

調査内容

調査1において、第1波から第3波それぞれで、「自分自身が群集雪崩や将棋倒しに巻き込まれる」など8つのリスク事象に、自分自身（調査対象者）がどの程度の確率であろうかと思うかを問うた。ここで用いた8つの事象は、「パラレル東京」のテーマとして用いられていた内容であった。

また、調査2において、8つのリスク事象それぞれに対して、Slovic（1986; 1987）のリスクに関する認知マップの研究を基に、「正確にリスクを知っているか知らないか」「きわめて致命的なリスクかほとんど致命的ではないリスク化」など、8つの尺度をSD法（7点尺度）で問うた。

調査結果

その結果まず、「パラレル東京」を視聴したことの効果として、一部、認知レベルでの変化がみられた。まず、8つすべてのリスク事象について、番組視聴前よりも自分が被害に巻き込まれると思う確率があがっていた。そしてその後、3か月が経過しても、「群集雪崩や将棋倒しに巻き込まれること」「大規模な延焼火災に巻き込まれること」「工場や建物の爆発被害に巻き込まれること」「土砂災害に巻き込まれること」の4つのリスク事象については、自分がそうした被害に巻き込まれると思う確率が番組視聴前よりも有意に高い状態を維持していた。

なぜ、これら4つの事象に関するリスク認知だけが、「パラレル東京」の効果として視聴前より高い状態を維持したのか。その点を明らかにするため、調査2の結果を用いて、8つのリスク事象に関するイメージ地図を作成した。

その結果が図である。4つの事象は「恐ろしさ」因子が高いことが明らかとなった。つまり、元々、リスクイメージとして感情的に、恐ろしいと考えられていた事象を、被害想定情報は刺激したということである。「パラレル東京」は、恐怖という感情面に訴えかけた結果、3か月にわたり、自分自身が首都直下地震で特定の被害に遭う可能性がある、と考えるようになった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究の成果に基づけば、災害誘因予測情報たる被害想定を用いて、住民に対して効果的な地震に関する防災啓発を行うにあたり、受け手たる住民に恐怖感情を与えることは、認知面において中期的に効果がみられることが明らかとなった。これまでは、「脅しの防災」に否定的な言説が多かったが、今後は、こうした災害誘因予測情報を用いた、感情的アプローチについても研究をすすめる必要がある。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

安本真也・葛西優香・富澤周・関谷直也,2022,地震の被害想定をめぐるコミュニケーション—都民の意識と地震のしろうと理論—,地域安全学会論文集,41,95-105,査読有,謝辞有

Saito S., S. Yasumoto and N. Sekiya,2022,Earthquake probability in the National Seismic Hazard Maps for Japan and people's risk perceptions: the search for more effective expression,Earth Planets Space,74,Article number: 82,https://doi.org/10.1186/s40623-022-01627-0,査読有,謝辞無

安本真也・葛西優香・富澤周・内田充紀・関谷直也,2023,首都直下地震と都民の意識—2022年東京都民調査から—,東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編,39,印刷中,査読無

関谷直也・安本真也・葛西優香・富澤周・内田充紀,2023,富士山大規模噴火と都民の意識—2022年東京都民調査から—,東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編,39,印刷中,査読無

・学会・シンポジウム等での発表

安本真也・葛西優香・富澤周・関谷直也,2022,東京都民の地震の被害想定に関する意識,第50回（2022年度）地域安全学会研究発表会（春季）,B10

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

本年度の成果ならびに地震動予測地図の研究成果、他の研究成果を含めて、とりまとめをしていく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

関谷直也（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,田中淳（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,片田敏孝（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）,安本真也（東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

秦康範（山梨大学）,斉藤さやか（東北大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：総合防災情報研究センター

電話：03-5841-5924

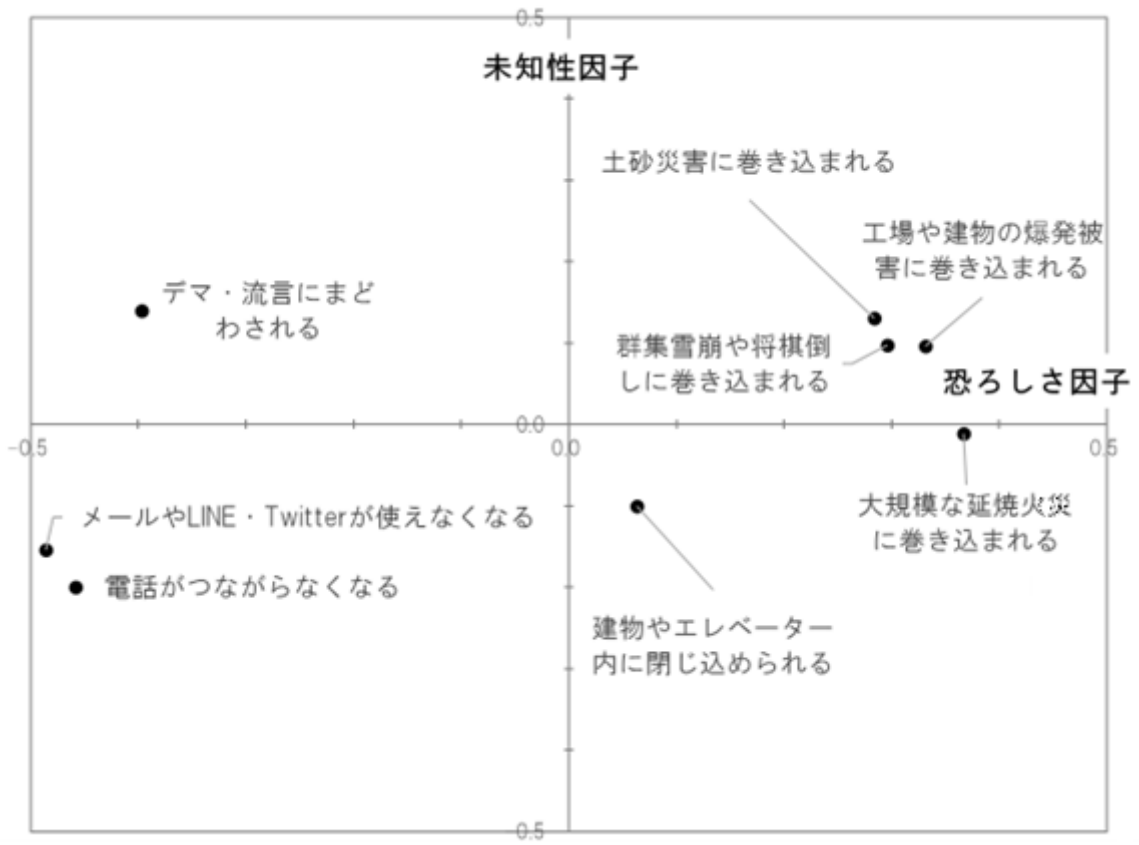
e-mail：cidir@iii.u-tokyo.ac.jp

URL：http://cidir.iii.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：関谷直也

所属：東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター



首都直下地震に関するリスクのイメージ地図

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、昨年同様、コロナ禍による行動制限から当初予定していた山形県の調査を実施せず、元和2年（1616）における仙台地震に関する史料からの再分析を実施した。当該地震について『日本被害地震総覧』や『理科年表』では、地震動により仙台城の石垣の崩壊したことに加え、津波が発生した可能性が指摘されていた。

それは『大槌古城由来記』をはじめとした大槌地方の史料に元和2年（1616）に津波が発生した記述

が存在したためであるが、盛岡藩の史書などとの比較から、これは慶長16年（1611）の慶長奥州地震津波の記事であることが特定できる。しかし、この記述が『宮城県海嘯史』（1903）や『宮城県昭和海嘯史』（1935）に「三陸地方」の津波として書き継がれ、『増補大日本地震史料』にも掲載された。これが、宮城県塩竈市浦戸における永禄年間の津波伝承と混同された『浦戸の今昔』の記事が『新収日本地震史料 続補遺』に収録され、『日本被害津波総覧』においては元和2年（1616）に浦戸を襲った津波として記載されることになった。

すなわち、元和2年（1616）の仙台地震における津波の存在は、これを記した近代以前の文献は存在せず、現段階では大きな被害をもたらした津波は発生していないと考えるのが妥当である。

また、昨年度実施したシンポジウム「歴史が導く災害科学の新展開Ⅴ—文理融合による1611年慶長奥州地震津波の研究—」を、令和4年(2022)3月11日に「歴史文化資料保全ネットワーク叢書」として報告書を刊行した

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

今年度の研究成果では、東北地方太平洋沿岸の歴史地震である元和2年（1616）仙台地震および、慶長16年（1611）の慶長奥州地震津波の評価に関連する史料及び既往研究について、史料の誤りとそこから生じた既往研究の誤解を訂正し、両地震についてより詳細な災害の実相を描くことができた。今後は、新たな史料の搜索と並行し、従来把握されている史料の再評価と、既往研究における歴史災害像についても、史料に基づいた見直しにより歴史災害の正確な実相の把握を進める。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

蝦名裕一,2022,歴史文化資料保全ネットワーク叢書『シンポジウム歴史が導く災害科学の新展開Ⅴ—文理融合による1611年慶長奥州地震津波の研究—』,東北大学災害科学国際研究所,査読無,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

蝦名裕一,2022,元和二年(1616)仙台地震の津波被害をめぐって,第39回歴史地震研究会大会,O-16

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は、5ヶ年計画では秋田地域の調査を実施する予定であったが、前年度までに秋田県にかほ市地域の調査を実施しているため、これまで調査を実施できなかった青森県地域を含めた東北地方太平洋岸の歴史津波、1677年延宝八戸沖地震や1793年寛政地震津波を中心とする史料収集および分析を進める予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所 災害人文社会研究部門）

他機関との共同研究の有無：有

熊谷誠（岩手大学地域防災センター）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害文化アーカイブ研究分野

電話：022-752-2146

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一

所属：東北大学災害科学国際研究所

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GPS-A観測による効率的な上下変動検出技術の開発と根室沖観測への適用

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
(3) 研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでGPS-A観測は、海域での地殻変動を直上で捉えられる有効な手段として普及してきたが、上下動の計測には移動観測が必要でかつ検出精度も低かったことから、水平変動の検出に重点が置かれてきた。しかし、海底設置トランスポンダを適切なレイアウトで配置して定点観測を実施することで、これまで原理的に上下変動が解けないとされてきた定点観測方式でも上下変動の検出が可能であることがわかってきた。今後のGPS-A観測網の広域展開時に期待される海上自律プラットフォームでの自動観測は、長期観測時の燃料の制限から、推進性能上定点観測に限定される可能性があり、定点観測で水平動と合わせて上下動も計測する方法の開発が望まれている。

一方、千島海溝でのM8.8以上の超巨大地震の今後30年の発生確率が最大で40%に達すとの政府の見解が有り、同海域を対象とした研究計画が同じ項目から申請されている。地震間の地殻変動としては水平変動が卓越しているが、地震時変位や地震後の余効変動では上下動も無視できない存在であることが、2011年の東北沖地震に関する研究で明らかになっている。新たな観測網を構築する千島海溝で、巨大地震に備え上下動検出可能な体制を作っておくことは重要である。

本研究では、コスト効率の高い最適なGPS-A海底局設置レイアウトを精査し、新規観測が予定されている根室沖および現在余効変動による顕著な上下動が見られている東北沖の特定の点で実測データを得ることで、上下変動が検出可能なことを理論と観測の双方から5年以内の実証し、今後の新しいGPS-A観測のモデルケースとして提案することを目標とする。また、5年間の実証データを利用し、千島海溝および日本海溝沿いの海底地殻変動場を把握するのに有用なデータを提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

水平方向の地殻変動成分の検出に特化してきた既存の海底局アレイの中央に、海底局を1台追加して配置することにより、通常行われる定点観測で上下動検出が可能なことを実証し、得られるデータは地震の長期評価に利用する。

2019年度は、課題HKD_09およびERI_05と連携し、根室沖に設置予定の3ヶ所のGPS-A観測点の

海底局アレイの中心に、本課題で整備する海底局を追加設置し、アレイ全体の形状決定のための観測をおこなったうえで、上下動検出を可能にするアレイ中心での定点観測を開始する。1キャンペーン観測内のアレイ位置の時系列から、上下変位検出精度の暫定的に検討する。

2020年度と2021年度は、根室沖での繰り返し観測を実施し、初回の上下も含めたアレイ変位を求め、想定される観測精度と照らし合わせ解釈を行うとともに、上下変位推定における観測時の海上プラットフォームの違いの影響を吟味する。また、根室沖での初期観測結果を参考にしつつ、日本海溝沿いに展開している東北大所有のGPS-A観測点の中から適当な1~2点を選定し、別途回収予定の海底局の電池を整備し直し、選定した観測点に追加設置することで、根室沖と同様の上下動検出が可能な状態にし、それらのサイトでも観測を開始する。

2022年度および2023年度は年1回の頻度で観測を継続しデータを集積させる。さらに、既存観測点から上下変動検出が可能な6局等の特別なレイアウトのものを抽出し、近年考案された上下変動を組み込んだ解析アルゴリズムで既存の観測データを再解析し、現状のレイアウトでの上下変動検出精度、誤差要因を把握するとともに、誤差伝搬理論に基づいた最適な観測機器配置レイアウトを提案する。

各年度の観測では、誤差要因について考察できるよう、CTD/XCTD等による海中音速場についても同時計測を実施する。観測で使用する調査船は、別課題で申請した備船によるものの他、海洋研究開発機構の共同利用の機会も併せて利用する予定である。得られた水平・上下変動推定値を、観測を実施した研究課題に還元し、プレート固着状態の推定に役立てるとともに、誤差要因について精査した後に、新しいタイプのGPS-A観測レイアウトとして提案し、他のGPS-A観測を実施している研究機関が利用できるようにする。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2022年度は、課題HKD_09およびERI_05と共同で、備船航海を利用した船舶観測によるGNSS-A観測を千島海溝および日本海溝で実施したほか、wavegliderを用いたGNSS-A観測も行った。根室沖の観測点G21, G22, G23については設置からほぼ3年が経過し、計4回目のキャンペーン観測を実施できたことから、この3年間での変動ベクトルが有意な精度で固着傾向にあることが見えてきた。上下動に関しては、3観測点とも沈降傾向が見られるものの、船舶とwavegliderで異なるプラットフォームによる観測間で機器によるオフセットが生じてしまう問題があり、他の観測点のデータとも合わせたオフセット推定の必要性があることがわかった。

また、前年度実施できなかった追加海底局のアレイ中心への設置による効果検証の観測を実施することができた。5月の備船航海ではG22の既存中心海底局の周りに回収タイプの2台の試験海底局(図1)を追加設置し(図2)、同時観測を行う機会を得た。試験海底局は観測後回収した。中心海底局の追加による上下動推定への寄与は理論的には十分効果があることがわかっているが、実際には走時検出の際の音響波形の歪の影響で効果が低減する場合があるとも判明した。今回設置した試験海底局は、この波形の歪を少なくする工夫がされており、このうち円筒形トランスデューサを用いた方では波形歪が減り信頼できる走時読み取りができることがわかった。

本研究で、中心海底局の設置による定点観測での上下変位検出効果が示されたことから、今後は移動観測を不得意とするwavegliderによる無人自律観測の重要性が増すことを鑑み、より長期に渡り安定した観測ができるよう、荒天時のwavegliderの姿勢把握について検討した。長期のキャンペーン観測中に複数回waveglider本体が一時的に逆さまに転覆することがあったが(図3)、吊り下げグライダー部に引かれることですぐにもとに戻る様子が姿勢データで確認できた。しかし、転覆の際アンテナなどを破損する危険があるため、重量バランスを変えつつ、姿勢の安定性を検討した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「1.(5)ア」の項目に関し、上下変動検出の技術検証を根室沖のサイトで実施することで、固着度合いの推定に資するデータを蓄積することができ、これまでの観測の空白域を埋めている。

「5.(3)イ」の項目に関し、次世代型海底局の設計・実用試験が実施できた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Tomita, F. and M. Kido, 2022, An approximate travel time calculation and a robust GNSS-acoustic positioning method using an MCMC technique, Earth Planets and Space, 74, 176, doi:10.1186/s40623-022-01740-0, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

木戸元之, 飯沼卓史, 福田達也, 太田雄策, 富田史章, 2022, 様々な海況下でのウェーブグライダーの運動姿勢について, 日本測地学会第138回講演会, 013

Kido, M., C. Honsho, F. Tomita, Y. Ohta, R. Hino, T. Inuma, 2022, Impact of employing a waveglider on GNSS-Acoustic survey along the Japan trench, GU General Assembly 2022, EGU22-2138

富田史章, 木戸元之, 飯沼卓史, 太田雄策, 本荘千枝, 日野亮太, 野徹雄, 中東和夫, 2022, 東北沖におけるウェーブグライダーを活用したGNSS音響海底地殻変動観測, 日本地球惑星連合2022年大会, SCG48-10

富田史章・木戸元之・太田雄策・日野亮太・飯沼卓史・本荘千枝・大園真子・高橋浩晃, 2022, 千島海溝沿い根室沖における海底測地観測, 日本地震学会2022年秋季大会, S22-09

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2023年度は、共同利用船による観測が予定されており、最終年度として十分な量のデータを取り、上下動も含めより信頼できる変位推定をする。また、その結果に基づき、理論と実測の両面からの上下動変位検精度を総括する。その際、異なる海上プラットフォームによる影響、試験海底局で取得した歪の少ない波形データなど、ハードに依存する部分についても、その特性を正確に把握できるようにする。上下変位検出にも役立つことがわかったwaveglider観測の長期安定性に関する、特に姿勢把握部分について、さらなる改良を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）, 日野亮太（東北大学大学院理学研究科）, 太田雄策（東北大学大学院理学研究科）, 東龍介（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）, 大園真子（北海道大学大学院理学研究院）, 飯沼卓史（海洋研究開発機構）, 富田史章（海洋研究開発機構）, 堀高峰（海洋研究開発機構）, 尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）, 篠原雅尚（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：木戸元之

所属：東北大学災害科学国際研究所



図1
G22に試験的に追加設置した海底局。従来型と比べ音響素子のガラス玉からの距離を離れた他、音響素子のタイプも半球形と円筒形の2種類を用意した。

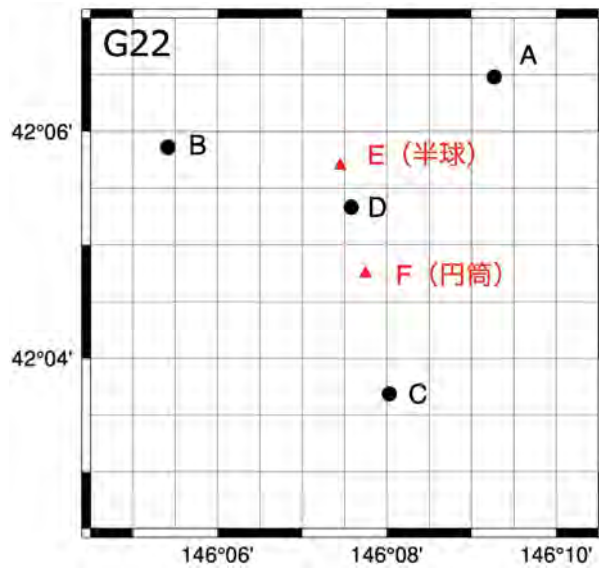


図2
試験快適局2台の設置箇所。G22の中心海底局を挟むように設置し、上下変位推定への寄与、波形の歪による違いに関するデータを取得した。

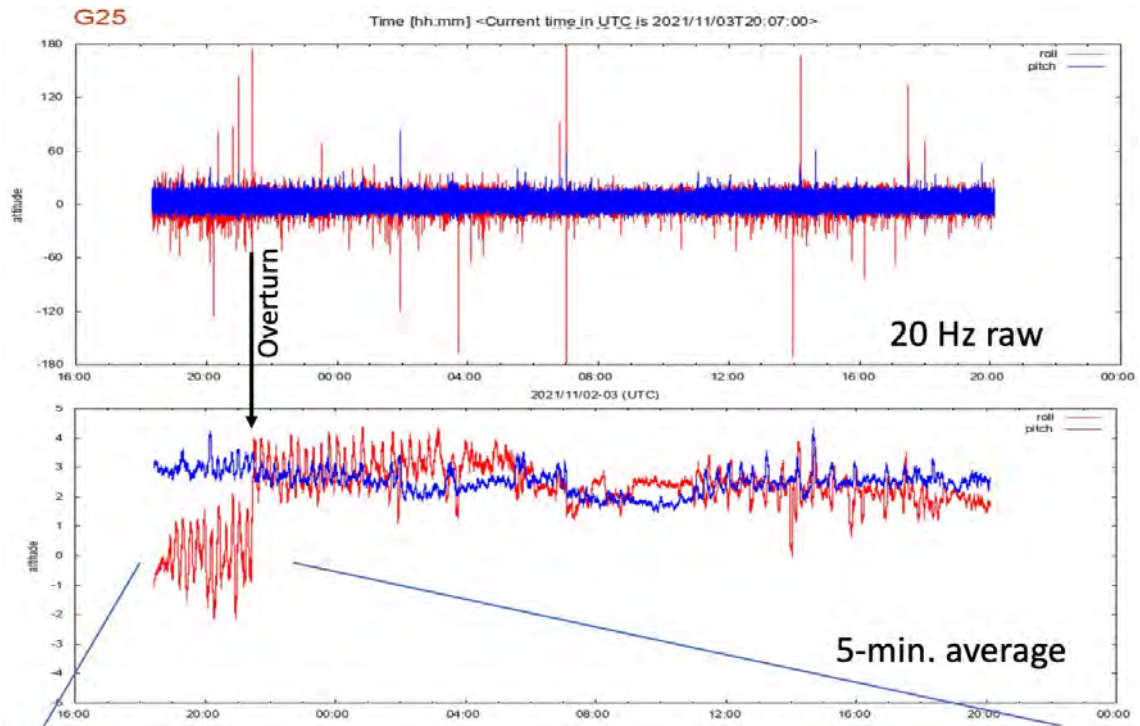


図3

wavegliderの姿勢データ（最も海峡が悪かったときの例）。赤がピッチ角、青がロール角。1日の観測中に5回ほど転覆（ロール角=±180度）していることがわかる（上図）。最初の転覆でアンテナを損傷し重量バランスが変わったため、ロールの平均値にオフセットが生じたことがわかる（下図）。

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)による地表面変位計測の高精度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GB-SAR干渉計測では、レーダ電波の地表面の往復時間・位相を計測し、繰り返し計測における位相の変化を計測し、地表面変位を推定している。電波は空中の伝搬速度が、大気に含まれる水蒸気量によって変化する。電波の伝搬速度が変化するとレーダで計測する対象物が変化しなくとも、計測される位相が変化するため、あたかも地表面が変位するような誤差を与える。我々が荒砥沢、南阿蘇で計測したデータにおいて、水蒸気量による誤差は、日変化においても無視できないほどの量であり、そのための大気補正手法を開発してきた。これにより、大気状態が比較的安定している場合、正確な地表面変位の計測が行えることを確認したが、強雨時など補正が十分でない事例も確認している。本研究では、こうした問題を解決することで、GB-SAR干渉計測の精度を向上させ、地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法に資することを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31-33年度は現在宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している2台のGB-SARの連続計測を継続し、GB-SARデータの取得を行う。合わせて、気象観測ステーションを設置するなどして、局所的な大気情報計測を行う。

広域のGB-SAR計測では、大気補正を計測したレーダデータを用いて行うことが実用上重要であり、本研究ではこれまで計測地域の大気を単純化したモデルで表現し補正に利用してきたが、モデルを高精度化し、時間・空間的にアダプティブな補正手法を開発する。そのために、局所的かつ詳細な大気情報を利用し、手法を検証する。

研究グループが所有するGB-SAR装置は世界的にも数少ないフルポーラリメトリ計測を行える。特に偏波情報を利用した大気補正は世界的に他のグループが実践的なデータを利用して行うことができず、我々は世界に先駆けた研究を行う体制を整えている。

平成34,35年度は発生する火山噴火予兆や地滑り予兆なども考慮しつつ、計測対象を変えて開発した

手法の検証を継続する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2011年11月に設置した宮城県栗原市でのモニタリングを継続している。荒砥沢の地滑りモニタリング結果は栗原市が運営する栗駒山麓ジオパークビジターセンターでリアルタイムで公開を開始した。地滑り災害を紹介するパンフレットを作成し、一般訪問者に対するアウトリーチ活動を進めた。79GHzおよび17GHzシステムのMIMO型GB-SARについて、大気補正手法の検討を進めている。このため79GHzおよび17GHzの同時計測による崖面計測を実施した。大気補正後はどちらのレーダデータもより変動が抑えられた時系列変位結果が得られた。

栗駒山麓ジオパーク推進の一環として栗原市荒砥沢地滑り地入林検討委員会に参加し、GB-SARモニタリングの結果をインターネット経由でリアルタイムで提供することにより、地滑り地帯の見学者の安全を確保する活動を開始した。

2022年6月、本モニタリングに対して総務省東北総合通信局より東北総合通信局長賞が授与された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

佐藤源之、齋藤龍真,2022,17GHz GB-SARによる宮城県栗原市地滑り長期モニタリング,電子情報通信学会 信学技報,122(151),21-25,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

現在活動が活発になっているインドネシア メラピ火山の観測について、インドネシア政府の責任者からGB-SAR利用についての打診があった。これについてGB-SAR設置の検討を進める。

宮城県栗原市荒砥沢の地滑りモニタリングシステムに関して、栗原市への管理移管による実装の準備を進める。

MINO型レーダによる地滑り観測の実地評価を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐藤源之（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）、森口周二（東北大学災害科学国際研究所）、Anwer Sayed（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）、菊田和孝（東北大学災害科学国際研究所 東北アジア研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

長谷中利明（熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター）、栗原市,国交省九州復興事務所,熊谷組,安藤・ハザマ

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北アジア研究センター

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://magnet.cneas.tohoku.ac.jp/satolab/satolab-j.html

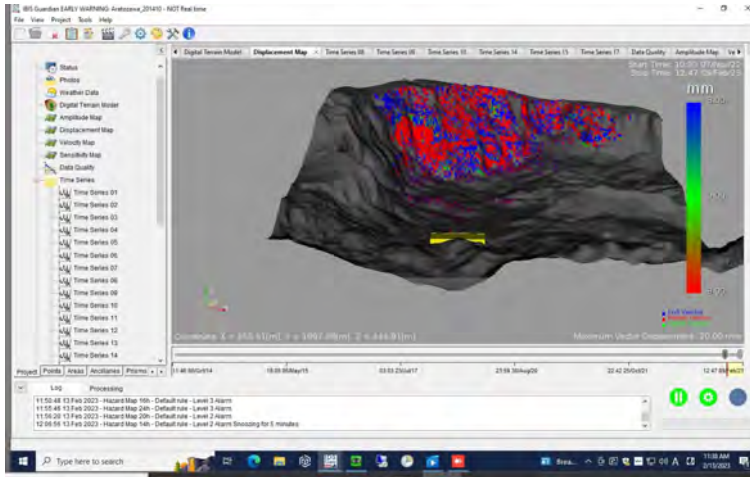
(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐藤源之

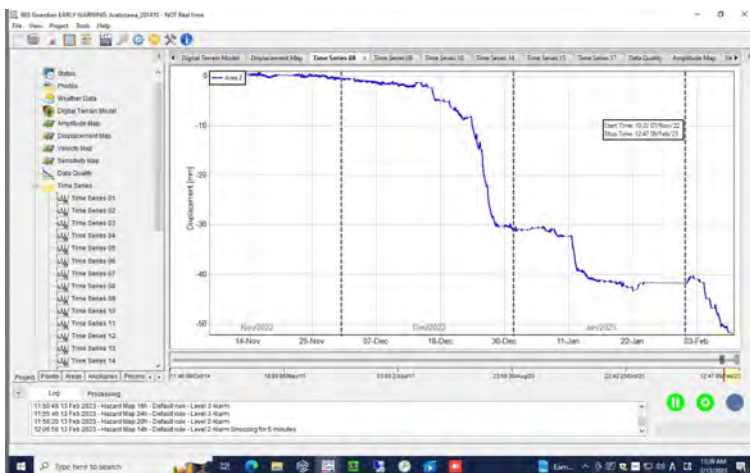
所属：東北大学 災害科学国際研究所（東北アジア研究センター）



栗駒山麓ジオパーク推進協議会見学会
河北新報2022年5月26日



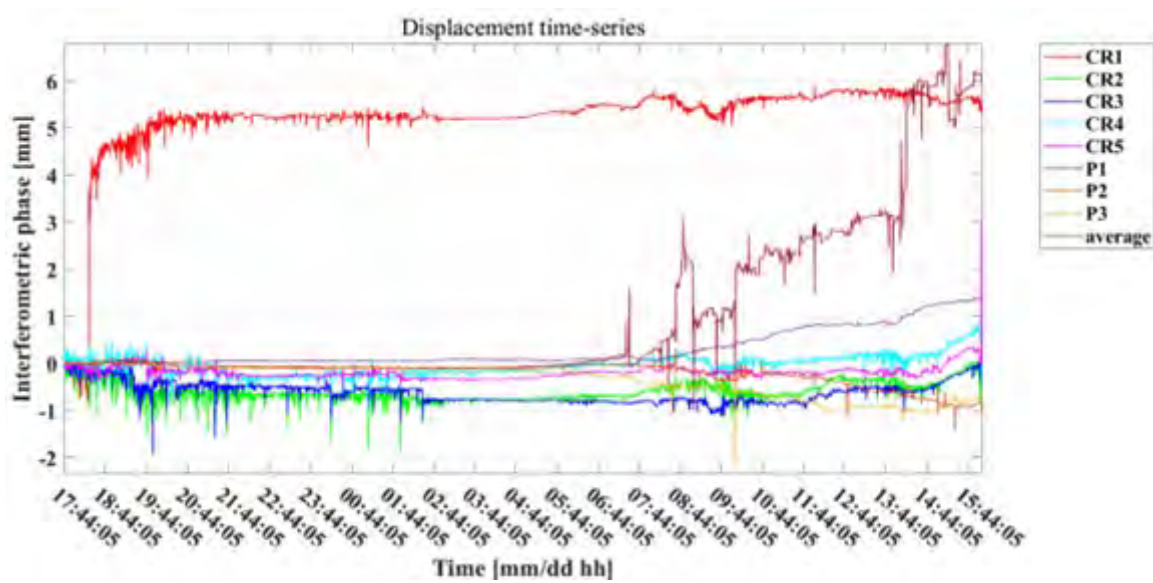
GB-SAR In-SARによる変位画面



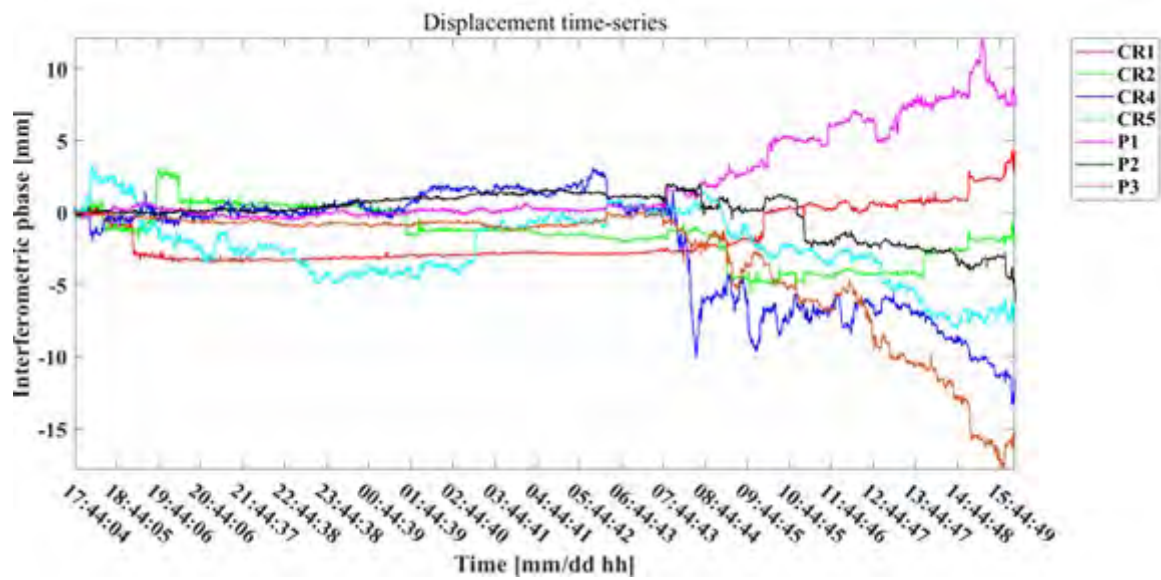
GB-SAR InSARで計測した1地点の地表面変位
12月初旬から積雪による変位が見られている



17GHz GB-SARと79GHz MIMOレーダの同時計測実験



17GHz 干涉SAR 大気補正後



79GHz 干涉SAR 大気補正後

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

M8クラス以上（半割れ）およびM7クラス（一部割れ）の地震発生後に後発する地震の発生確率計算結果に関して、南海トラフにおける地震発生履歴を考慮し、後発地震の発生確率評価を行った。一日以内、一週間以内、三年以内の後発地震発生確率は、それぞれ、1.4-64%（平時の460~21,000倍）、2.1-77%（平時の99~3,600倍）、4.3-96%（平時の1.3~29倍）と評価された。また、半割れ地震発生後の後発地震による津波リスクマップ作成手法の開発も実施したとともに、成果の想定利用者との意見交換会も実施しながら、後発地震の発生確率評価や津波リスクマップの表現方法を検討した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

災害発生時の切迫性を社会的に伝える方法の確立を目指し、科学的な知見を重視しつつ起こりうる現象や結果（被害等）を相場観的に示すために、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）が発表されるケースでの後発地震発生確率と津波リスクに特にフォーカスして取り組んできた。今年度、後発地震が発生する確率についての科学的な裏付けの解析や津波リスク計算などが完了し、想定利用者との検討会を企画するなど、成果の利活用を検討するフェーズに入っている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Fukushima, Y., T. Nishikawa, and Y. Kano, 2023, High probability of successive occurrence of Nankai megathrust earthquakes, Scientific Reports, 13, 63, doi:10.1038/s41598-022-26455-w, 査読有, 謝辞有

東北大学災害科学国際研究所南海トラフ地震臨時情報対応研究プロジェクト, 2023, 南海トラフ地震臨時情報発表時における組織の対応計画作成支援パッケージ, 東北大学災害科学国際研究所, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

福島洋・西川友章・加納靖之, 南海トラフ地震の連発確率について, 日本地震学会2022年度秋季大会, S14-02

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

想定利用者との相談を継続し、成果の利活用を試行する取り組みを行う。また、「ゆっくりすべりケース」確率計算のための方法論を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

福島洋（東北大学災害科学国際研究所災害評価・低減研究部門）, 木戸元之（東北大学災害科学国際研究所災害評価・低減研究部門）, 越村俊一（東北大学災害科学国際研究所災害評価・低減研究部門）, 日野亮太（東北大学大学院理学研究科）, 太田雄策（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害評価・低減研究部門
電話：
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp
URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：福島 洋

所属：東北大学災害科学国際研究所 災害評価・低減研究部門

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、昨年同様、コロナ禍による行動制限などにより予定していた東海地方の調査が実施できなかったため、これまで収集した歴史地形情報の詳細化および歴史津波の浸水範囲の可視化作業の手法の確立を進めた。

岩手県宮古市をフィールドとし、①現在の宮古市の地形、②旧版地形絵図に基づく地形復元③幕末・

明治の絵図史料に基づく地形復元をGMT（Generic Mapping Tools）を用いて実施した。これに④東日本大震災の津波浸水範囲および、⑤山奈宗真『岩手県沿岸大海嘯部落見取絵図（丙）』をもとにした明治三陸地震津波の津波浸水範囲の重ねあわせ作業を実施した。

②については、旧版地形絵図が作成された大正5年（1916）当時の家屋や道路の配置情報を可視化した上で、これをベースとして1896年の明治三陸地震津波における津波浸水範囲を詳細に復元した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

令和4年度の研究で復元した宮古市の歴史地形および1896年の明治三陸地震津波の浸水範囲の分析からは、1896年の津波浸水範囲に1916年段階で既に家屋が再現されている様子が確認できる（図1）。また、宮古市においては1896年の明治三陸津波で各役場や学校などの主要施設やその周辺は浸水していないが、2011年の津波では1896年の津波で浸水しなかったかつての市街地が多く含まれる結果となっている。ここから、宮古市は1896年の津波の後に以前の市街地を基礎として復興し、これを基礎として戦後から高度経済成長期の市街地が拡大した結果、これらの地域の大部分が2011年の津波浸水範囲に含まれる結果へとつながったと考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は、令和4年度に開発した旧版地形絵図にもとづく明治・大正期の家屋や道路の配置復元と、これをベースにして山奈宗真『岩手県沿岸大海嘯部落見取絵図』との比較から明治三陸津波の浸水範囲の可視化作業を進め、岩手県沿岸部における1896年明治三陸津波後の復興とその後の開発が、2011年の津波被害にいかに関与するかについて分析を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所 災害人文社会研究部門）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所 災害文化アーカイブ研究分野
電話：022-752-2146
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp
URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一
所属：東北大学災害科学国際研究所

岩手県宮古市の1896年明治三陸地震津波の浸水範囲と 1915年の歴史地形および家屋の状況



宮古市域における明治三陸津波の浸水範囲と大正期の歴史地形

岩手県宮古市の前近代の歴史地形・家屋と 現在の地形および2011年の津波浸水範囲



宮古市の歴史地形および2011年の浸水範囲

(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4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
令和4年度は、災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程について令和3年度に開発・検証した認知仮説に基づいて、これを脳メカニズムレベルで検証する認知課題を設計・検証し、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った。5か年計画に沿った進捗である。

(1) 認知課題の設計と検証

認知課題設計上、最も重要な問題が避難意思決定課題の作成である。津波防災教育動画の効果として、視聴後に発生した津波からの避難率を実測して評価できれば理想的だが、現実的ではない。その代替として、主観的な津波発生リスクの程度が異なる架空の地震遭遇シナリオを数多く用意し、実験的に避難意思決定課題（避難する／しない）を行わせ、その避難率変化を評価する（図1）。しかし、この意思決定が、実際の津波避難意思決定と同じ心理プロセスによって行われるのか、疑念が残る。また、架空シナリオを構成する情報には、震度や震源域といったメディアから取得する定量的情報（図1A）と、自身の体験で五感から得られる定性的情報（図1B）の2種類がある。そこで、この意思決定傾向（個人差）が、実際の津波避難意思決定傾向と、同じ性格特性（心理プロセスの個人差）を反映するかを、定量・定性の2つのシナリオタイプを区別して検証した。具体的には、災害適応的な心理行動特性「災害を生きる力」8因子(Sugiura et al., 2015)のうち、リーダーシップと能動的健康的の2因子が、東日本震災における主体的な津波避難行動と有意に関連した知見(Sugiura et al., 2019)を参考に、これらの性格特性相関パターンが、2タイプの架空シナリオにおける避難意思決定でも見られるかを検証した。

方法：1,200名の一般成人（男性600名・女性600名； 49.5 ± 16.6 (SD)歳）を対象としたオンライン実験を行った。参加者は40試行の津波避難意思決定課題（定量20シナリオ・定性20シナリオ；避難するかしないか2択）を行い、その後動画視聴課題（津波防災教育介入群と対照群各 $n=600$ ）と介入後の津波避難意思決定課題（介入前と同課題）を行った。各被験者は「災害を生きる力」質問紙にも回答した。今年度は介入効果についての分析を行わず、2群を分割せずに介入前の津波避難意思決定課題の結果を分析した。回答一貫性（平均避難率の高いシナリオで避難し、低いシナリオで避難しない傾向）の指標として、避難すると回答したシナリオと避難しないと回答したシナリオの全体避難率の平均の差について二標本検定の要領でt値を計算し、 $p > .05$ となった回答者を分析から除いた結果分析対象者は205名となった。各対象者の避難率と生きる力8因子の得点との相関を、全シナリオ及び定量・定性シナリオに分けて分析した。弱い効果量と認められる $|r| > .1$ を有意な相関とした。

結果（表1）：全シナリオの避難率では生きる力8因子のうち、リーダーシップ($r = .140$)・愛他性($r = .139$)・能動的健康的($r = .135$)の3因子と有意な相関がみられた。定量シナリオにおける避難率では、愛他性($r = .134$)のみが有意で、定性シナリオではリーダーシップ($r = .164$)・愛他性($r = .117$)・能動的健康的($r = .147$)の3因子が有意であった。

考察：架空シナリオではあっても、避難率（避難意思決定傾向）が実際の津波避難意思決定傾向と同じ性格特性（リーダーシップ・能動的健康的）を反映することから、避難意思決定が共通した心理プロセスに依存することが示唆された。この関係は特に定性シナリオで顕著であった。一方で、実際の津波避難意思決定傾向とは関係の知られていない愛他性と避難率との相関もみられたことは、架空シナリオ実験固有の心理過程の影響（例えば実験者への付度）を示唆するかもしれない。

(2) 脳活動計測実験

開発した認知課題を用いた脳活動計測実験を令和4年度中に完了した。ただしデータ分析は視聴後の避難意思決定の促進を予測する津波防災教育動画の視聴中の脳活動の分析に先立ち、避難意思決定課題実施中の脳活動について、定量シナリオと定性シナリオの比較を行った。

方法：58名の大学生（男性31名・女性27名； 21.5 ± 1.3 (SD)歳）を対象に機能的MRIを用いた脳活動計測実験を行った。認知課題の検証実験と同様に、40試行の津波避難意思決定課題（定量20シナリオ・定性20シナリオ；避難するかしないか2択）を行い、その後動画視聴課題（津波防災教育動画と対照動画を含む）と介入後の津波避難意思決定課題（介入前と同課題）を行った。

結果：事前の津波避難意思決定課題実施中の脳活動を2つのシナリオタイプで比較したところ、定量シナリオでより高い脳活動が右大脳半球優位に頭頂間溝(IPS)周囲皮質で（図2A）、定性シナリオでより高い脳活動が両大脳半球の側頭頭頂接合部(TPJ)及び腹外側前頭前野(vIPFC)で（図2B）認められた。

考察：思考においてIPSは形式的思考や検証可能な命題の処理に、TPJとvIPFCは具体的思考や検証不可能な命題の処理に関与することが知られている。定量シナリオと定性シナリオが、それぞれこれら異なる思考処理を特徴とすることは合理的であり、これらに基づいた避難意思決定過程やそれに干渉するための教育介入過程も、戦略を区別することにメリットがあるかもしれない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究-(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」と「5 計画を推進するための体制の整備-(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育、(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成」へ貢献する「災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程とその個人差」の実証実験に向け、準備が整った。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Matsuzaki, Y., Ishibashi, R., Yasuda, M., Tanabe-Ishibashi, A., Honda, A., Abe, T., & Sugiura, M., 2022, Does the eight-factor “power to live” in disaster exist since childhood?, *Frontiers in Public Health*, 10, 1022939, 10.3389/fpubh.2022.1022939, 査読有, 謝辞無

Sugiura, M., 2022, Adaptability, supernaturalness, and the neurocognitive basis of the self-transcendence trait: Toward an integrated framework through disaster psychology and a self-agency model., *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 943809, 10.3389/fnbeh.2022.943809, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度に実施した脳活動計測実験データについて、視聴後の避難意思決定の促進を予測する津波防災教育動画の視聴中の脳活動の分析を行う。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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉浦元亮（東北大学災害科学国際研究所）, 佐藤翔輔（東北大学災害科学国際研究所）, 保田真理（東北大学災害科学国際研究所）, 水谷大二郎（東北大学災害科学国際研究所）, 大場健太郎（東北大学加齢医学研究所）, 石橋遼（東北大学スマート・エイジング学際重点研究センター）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：認知科学研究分野（加齢医学研究所・人間脳科学研究分野）

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://www.hubs.idac.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：杉浦元亮

所属：東北大学加齢医学研究所／災害科学国際研究所

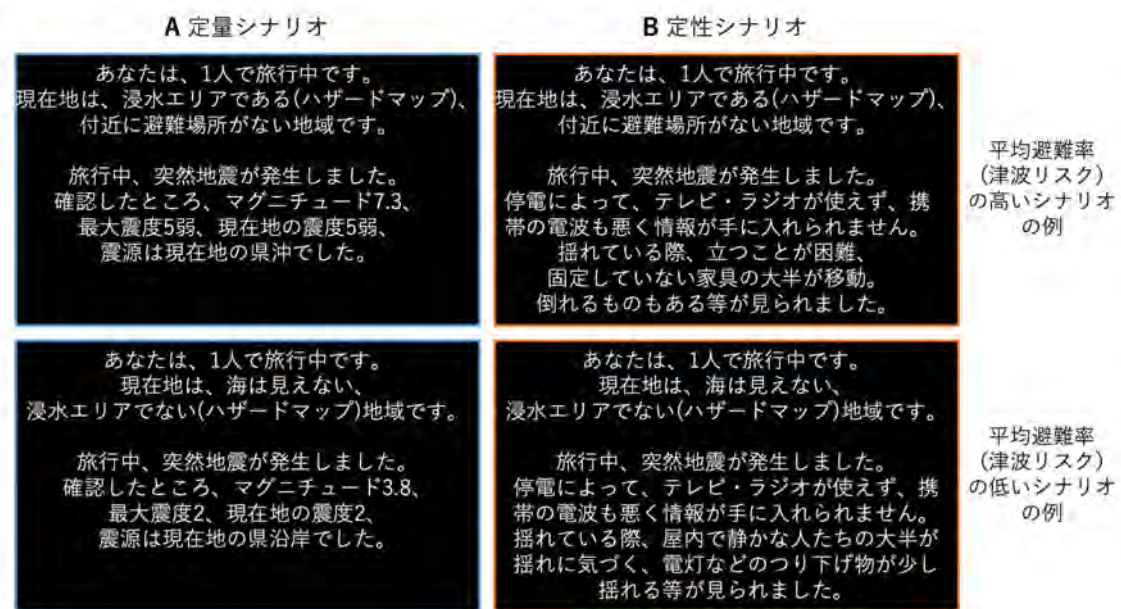


図1 避難意思決定課題シナリオの例
定量シナリオ (A) と定性シナリオ (B)。上が平均避難率の高いシナリオ、下が低いシナリオ。

生きる力8因子	全シナリオ	定量シナリオ	定性シナリオ	東日本大震災
リーダーシップ	.140	.086	.164	*
問題解決	-.020	-.066	.029	
愛他性	.139	.134	.117	
頑固さ	-.040	-.035	-.037	
エチケット	.020	-.002	.037	
感情制御	.086	.056	.099	
自己超越	.079	.093	.049	
能動的健康	.135	.096	.147	*

表1 避難率では生きる力8因子の相関
全シナリオ、定量シナリオ、定性シナリオに分けて避難率と生きる力8因子の得点のPearson相関係数(r)を示す。 $|r| > .1$ を有意な相関とし太字で示す。*：東日本大震災で主体的津波避難と有意な関連の見られた因子(Sugiura et al., 2019)。

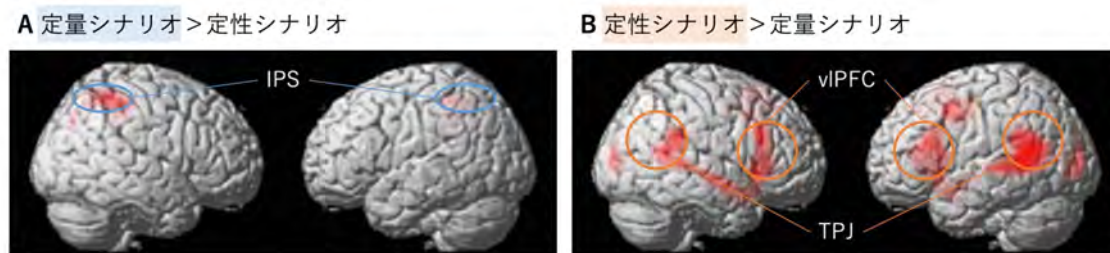


図2 避難意思決定課題中の脳活動：定量シナリオと定性シナリオの比較
定量シナリオでより脳活動が高い領域 (A) と定性シナリオでより脳活動が高い領域 (B)。それぞれ左図が右大脳半球、右図が左大脳半球を横から見た図。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1) ゆっくりすべりの伝播速度を与える理論式の導出 (Ariyoshi et al., 2022)

すべり速度・状態依存摩擦則を仮定し、定常状態ですべり速度強化の領域内に、すべり速度弱化的パッチ(アスペリティ)が分布している状況で、アスペリティでの破壊を伴いながらゆっくりすべりが伝播した場合の、摩擦パラメータと伝播速度の関係を与える理論式を導入した。この関係と実際の沈み込み帯での伝播速度から、摩擦パラメータの特徴的すべり量を推定した。

(2) DONET観測網直下の3次元速度構造推定と震源再決定 (Yamamoto et al., 2022)

2015年からDONETでの観測によって蓄積された地震波初動の読み取りデータを用いて3次元速度構造を推定するとともに、震源再決定を行った。その結果にもとづいてプレート境界との相対位置関係を調べ、プレート境界付近の地震活動を特定するとともに、スロースリップイベントの発生期間に活動が活発になることを明らかにした。

(3) 地下構造モデルの不確かさを考慮したすべり分布推定手法の実データへの適用 (Agata et al., 2022)

すべり分布と地下構造モデルを同時に推定する手法を、豊後水道スロースリップイベントの実データに適用した。3つの異なる地下構造モデルの組み合わせによる多数の地下構造モデル候補(=不確かさ)を考慮してすべり分布の確率分布を推定した結果、すべりが数十km以内の領域に局所化しているとともに、観測点から遠いプレート境界浅部ではばらつきが大きくなることを示した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

プレート境界すべりの時空間変化の把握において、プレート境界付近の地震活動変化との対応関係を見出すとともに、構造の曖昧さを考慮して地殻変動の実データから推定することを実現した。また、すべりの時空間変化の予測をする際に必要となる断層摩擦パラメータの推定を、ゆっくりすべりの伝播速度にもとづいて行う根拠となる理論式の導出に成功した。これらによって、プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測に向けた準備を進めることができた。これらの成果は、推移予測における初期値やパラメータ推定のための拘束を与えるものと期待している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ariyoshi, K.,2022,Extension of Aseismic Slip Propagation Theory to Slow Earthquake Migration,J. Geophys. Res.,127,e2021JB023800,https://doi.org/10.1029/2021JB023800,査読有,謝辞無

Agata, R., R. Nakata, A. Kasahara, Y. Yagi, Y. Seshimo, S. Yoshioka, T. Iinuma,2022,Bayesian Multi-Model Estimation of Fault Slip Distribution for Slow Slip Events in Southwest Japan: Effects of Prior Constraints and Uncertain Underground Structure,J. Geophys. Res.,127,e2021JB023712,https://doi.org/10.1029/2021JB023712,査読有,謝辞無

Yamamoto, Y., S. Yada, K. Ariyoshi, T. Hori, N. Takahashi,2022,Southwest Japan: Effects of Prior Constraints and Uncertain Underground Structure Seismicity distribution in the Tonankai and Nankai seismogenic zones and its spatiotemporal relationship with interplate coupling and slow earthquakes,Prog. Earth Planet. Sci.,9,32,https://doi.org/10.1186/s40645-022-00493-4,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

村上 颯太・橋間 昭徳・飯沼 卓史・藤田 航平・市村強・堀高峰,2022,南海トラフの巨大地震による粘弾性変形に対するリソスフェア-アセノスフェア境界の低粘性領域の影響,日本地震学会2022年度秋季大会,S03-14

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。

地震発生帯の現状把握・長期評価へ貢献するために、地震発生帯の調査観測から得られた最新の観測データに基づき、地震発生メカニズムの理解やプレート固着の現状把握と推移予測に資する知見を蓄積する。そのためには、まず、海域観測で取得した各種データと既存データ等を統合してこれまでに機構で開発された地震発生帯モデルを高精度化し、それらモデルを用いた地震発生帯変動の計算結果と観測データの解析による現状把握及び推移予測の手法を確立する。同時に、これまでに構築してきた即時津波被害予測システムの高度化を進める。得られた知見は、国等の地震・津波被害想定や現状評価のための情報として提供するとともに、情報創生の研究部門とも連携して社会へ情報発信する。具体的には(1)新たな観測システム、調査・観測、実験によって得られたデータを用いた三次元地震発生帯地下構造モデルの構築(2)地震発生帯における地殻活動の変動状況の把握と予測のためのデータ同化手法の高精度化(3)海底地すべり等、地震以外の津波発生源を考慮した、即時津波被害予測システムの高度化等をおこなう。

さらに、これらの進捗状況を踏まえ、(1)高度化された三次元地震発生帯地下構造モデルでの地震の発生、地震波の伝播、津波の発生等の各過程に関するシミュレーションや、地殻活動のデータ解析の実施(2)掘削による実断層サンプルを用いた力学実験結果に基づく、断層運動の力学過程のモデル化(3)データ同化手法を用いたプレート固着状態の推移予測の試行に取り組む。これらにより、地震・津波の発生過程の理解とその予測を進め、得られた知見及びデータを国、関係機関等へ提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター,地震発生帯研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所,東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門

電話：

e-mail：

URL：<http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：堀 高峰

所属：海域地震火山部門地震津波予測研究開発センター

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底広域変動観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

- (3) 研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

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

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

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

（国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋）

III 1. (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地

震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。海底下で発生する地震は、陸域と比較して未だ実態の把握が大幅に遅れている。そこで、地震活動の現状把握と実態解明のために、広域かつ精緻な観測データをリアルタイムで取得する海底地殻変動・地震活動観測技術システムを開発し、展開する。特に、巨大地震・津波の発生源として緊急性や重要性が高い海域を中心に三次元地殻構造や地殻活動、断層物性、地震活動履歴等に係る調査を実施する。また、これら観測システム及び調査によって得られた各種データセットは、地震調査研究推進本部等、我が国の関係機関で地震発生帯の現状評価等に活用されるように広く情報提供する。さらに、これら日本周辺での知見に加えて、アジア太平洋地域の地震・津波の実態解明と防災研究推進のための広域的な共同研究体制を構築する。

具体的には(1)海底地殻変動観測の高度化を目的とした、地震・津波観測監視システム(DONET)設置海域における海域実証試験(2)光ファイバーセンシング等の新たな海底地殻変動・地震活動観測技術や、より広域的な観測を効率的に行うための無人自動観測技術の開発(3)南海トラフ等の重要海域における複雑な断層形状や断層付近の各種物性を三次元的に捉えるための構造探査及び海底地震観測(4)海底堆積物の採取及び解析による地震発生履歴の調査等に取り組む。また、以上の調査・観測から得られたデータを詳細に解析し、地震発生帯の実態把握に係る知見として、国、地方公共団体、関係機関へ提供する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

第4期中期計画の実施による今年度の成果の要旨を以下に記述します。

・Nakamura et al. (2022), GRL

潮岬沖－四国沖の稠密測線で得られた反射断面から、土佐渚トラフ近傍下にトラフ軸に沿った構造異常があることを見出した。構造異常の成因は上盤プレート内の低速度帯である可能性が高い。この構造異常帯は1946年南海地震の滑り域やプレート間の固着が強い地域と、ゆっくり地震が観測される地域の境界に位置しており、プレート境界滑り様式の深さ方向での違いとの関連が示唆される

・Kimura et al. (2022), G3

潮岬沖周辺の反射断面と陸上の地質構造から、潮岬沖には高密度な熊野火成岩体が延びており、この火成岩体が上盤側の構造の不均質性、巨大地震破壊域のセグメント区分、ゆっくり地震分布などの「分水嶺」となっている可能性を示した

・Qin et al. (2022), EPSL

日本海溝南部の陸側下部斜面の構造に、海溝軸に沿う方向での構造不均質があることを示した。2011滑り域の南端付近では海溝軸付近に逆断層が見られず、滑りが海溝軸まで達しなかったことを示唆する。一部地域ではsubduction channelと解釈できる構造が見られたが、この構造はゆっくり地震と関連している可能性がある

・白石ほか(2022)、物理探査

沿岸域海底火山の探査手法確立を目的とした理論波形を用いたケーススタディを行った。波形インバージョンとリバースタイムマイグレーションを組み合わせることで、効果的に火山体の地下構造を調べることができることを示した

・Shiraishi and Watanabe (2022), EPS

関東地域の稠密地震観測網で得られた自然地震波形記録にリバースタイムマイグレーション法を適用

することで、関東平野下に沈み込む2枚のプレートのイメージを得た。この手法により、トモグラフィーで得られる構造モデルや制御震源による探査で得られる地下構造イメージより高品質な結果を得られる可能性を示した。

・三浦ほか(2022)、地震

海底地震計を浅海域に設置する際に、アンカーの回収が必要となる場合がある。これまで使用されてきたアンカー回収型海底地震計を、回収用ロープを変更することで水深650m以浅で使用可能なように改良し、日本海での構造調査で使用した。

・Bassett et al. (2022), JGR

地震調査分野のビッグデータから得られた南海トラフ全域の3D構造と地震発生様式との関連に関して議論した

・Sato et al. (2022), Island Arc

大和海盆周辺で実施した構造探査の結果をレビューし、地殻の厚さやP波速度の違いによってこの地域を6つのドメインに区分した。これらはリフティングや背弧拡大プロセスの進行度合いを表していることを示唆した

・Matsubara et al. (2022), EPS

日本海でのエアガン発振を加えた走時トモグラフィーにより、日本海沿岸の速度構造を詳細に求めた結果、佐渡島と能登半島間の浅部に超低速度域があることがわかった。日本海で発生してきた地震と構造の関係を議論した

・Obana et al. (2023), PEPS (accepted)

2017年から18年に宮城県沖のアウトターライズにおいて、OBS地震観測を実施。観測期間中に発生した3つのM6クラスの正断層地震の本震と本震直後の余震分布を詳細に解析し、異なる傾斜方向や傾斜角、走向を持つ複雑な断層系がアウトターライズ正断層地震の破壊に関係する場合があることを示した。

・Tonegawa and Fukao (2022), EPS

東北地方沖に設置されたS-netの気象津波記録を用い、S-net内でトンガ噴火によって励起された海面変動の伝播速度がどのように変化するかを調べた結果、S-net内の伝播速度は、沖合はラム波、陸に近づくにつれて津波の伝播速度になることが分かった。これは、海面変動のピークが気象津波によるものから津波によるものに推移していると考えられる。

・Tonegawa et al. (2022), JGR (accepted)

東北地方沖に設置されたS-netのノイズ記録を用いて、海底下の地震波速度の時間変化を推定した結果、沖合側観測点では速度が単調に増加していたが、2021年の3つの大きな地震の際に速度が低下したこと、その速度低下の分布は地震のPGVの空間分布とよく一致することが分かった。また、海溝軸近傍の北緯36-39度付近では、長期的に速度が上昇するという傾向も確認できた。これは、地震の震動による減少の回復過程、もしくは、応力場による流体の排水などが原因と考えられる。

・Ikehara et al. (2022), Frontiers in Earth Science

南西諸島の前孤海盆の津波起源のタービダイトの堆積間隔とその輸送過程について、タービダイトの堆積間隔は、数百年から2、3千年(平均: 1,388年)であることが分かった。浅海の碎屑物(サンゴ片など)が津波により海底谷を通じて海底扇状地に運ばれていることも明らかになった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
適宜、地震調査委員会等の国の施策への協力

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Nakamura, Y., K. Shiraishi, G. Fujie, S. Kodaira, G. Kimura, Y. Kaiho, T. No, S.

Miura, 2022, Structural Anomaly at the Boundary Between Strong and Weak Plate Coupling in the Central-Western Nankai Trough, Geophys. Res. Lett., 49, 10.1029/2022GL098180, 査読有, 謝辞無

Kimura, G., Y. Nakamura, K. Shiraishi, G. Fujie, S. Kodaira, T. Tsuji, R. Fukuchi, A.

Yamaguchi, 2022, Nankai Forearc Structural and Seismogenic Segmentation Caused by a Magmatic Intrusion off the Kii Peninsula, Geochem. Geophys.

Geosyst., 23, 10.1029/2022GC010331, 査読有, 謝辞無

Qin, Y., Y. Nakamura, S. Kodaira, G. Fujie, 2022, Seismic imaging of subsurface structural variations along the Japan trench south of the 2011 Tohoku earthquake rupture zone, Earth Planet. Sci. Lett., 594, 10.1016/j.epsl.2022.117707, 査読有, 謝辞無

白石和也、藤江剛、小平秀一、田中聡、川真田桂、内山敬介, 2022, 沿岸域の浅海底火山を対象とする地震探査のフィジビリティスタディ: 波形インバージョンとリバースタイムマイグレーションの適用性, 物理探査, 75, 105-118, 10.3124/segj.75.105, 査読有, 謝辞無

Shiraishi, K., T. Watanabe, 2022, Seismic reflection imaging of deep crustal structures using local earthquakes in the Kanto region, Japan, Earth, Planets Space, 75, 10.1186/s40623-023-01772-0, 査読有, 謝辞無

三浦亮、野徹雄、小平秀一、前川拓也、寺田育正、柴田英紀、岡部圭二, 2022, 大陸棚～大陸斜面上部に設置した自己浮上型海底地震計のアンカー回収作業, 地震 第2輯, 75, 10.4294/zisin.2021-9, 査読有, 謝辞無

Bassett, D., A. Arnulf, S. Kodaira, A. Nakanishi, A. Harding, G. Moore, 2022, Crustal Structure of the Nankai Subduction Zone Revealed by Two Decades of Onshore-Offshore and Ocean-Bottom Seismic Data: Implications for the Dimensions and Slip Behavior of the Seismogenic Zone, J. Geophys. Res., 127, 10.1029/2022JB024992, 査読有, 謝辞無

Sato, T., T. No, S. Kodaira, 2022, Characteristics of crustal structures in the Yamato Basin, sea of Japan, deduced from seismic explorations, Island Arc, 32, 10.1111/iar.12474, 査読有, 謝辞無

Matsubara, M., T. Ishiyama, T. No, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, S. Kamiya, 2022, Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Earth, Planets Space, 74, 10.1186/s40623-022-01724-0

Tonegawa T., Y. Fukao, 2022, Wave propagation of meteotsunamis and generation of free tsunamis in the sloping area of the Japan Trench for the 2022 Hunga-Tonga volcanic eruption, Earth, Planets Space, 74, 10.1186/s40623-022-01727-x

Ikehara, K., T. Kanamatsu, K. Usami, 2022, Possible Tsunami-Induced Sediment Transport From Coral Reef to Deep Sea Through Submarine Canyons on the Southern Ryukyu Forearc, Japan, Frontiers in Earth Science, 10, 10.3389/feart.2022.753583

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門地震発生帯研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所,東京大学大気海洋研究所,東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門
電話：
e-mail：
URL：<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石原 靖
所属：海域地震火山部門

(1) 実施機関名：

海洋研究開発機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底火山観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

（国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋）

III 1. (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底火山の噴火は、突発的かつ大規模な災害をもたらす、また地球環境への影響が非常に大きい。これら火山災害の発生予測や地球環境への影響評価を行うためには、その原因となる熱、マグマ、流体の発生と輸送現象、噴火履歴や噴火推移、更にそれらの準備過程に当たる地球内部活動を理解することが重要である。そこで、本課題では、国際深海科学掘削計画（IODP）の下で地球深部探査船「ちきゅう」等を用いた海洋掘削を推進し、海底火山活動の観測、調査、地質試料の採取分析によって活動履歴、過去の噴火様式等の現状を把握する。また、得られたデータや知見を用いて地球内部構造や物質

の収支等を推定し、火山活動を支配する地球内部 流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組み等を、単体の火山からグローバルな規模まで解明する。

具体的には(1)無人自動観測システムと海底観測機器を組み合わせた海域火山観測システムの開発(2)我が国大規模のカルデラ等を対象とした構造探査、火山体の海底調査、岩石試料の採取(3)火山活動の現状把握とマグマや流体の生成から噴火に至る過程及び様式の理解に基づいて得られる海底火山活動の予測に資するデータ及び知見の国及び大学等研究機関への提供等をおこなう。

これらの進捗状況を踏まえ(1)伊豆・小笠原弧等の海底火山における海域火山観測システムを用いた火山活動の現状把握(2)継続的な各種調査・観測の実施、試料の採取及び分析により蓄積された知見を活用した、国内外の火山の中長期活動や噴火過程の比較検証(3)「ちきゅう」等を用いた火山体深部や海洋地殻の実態と形成過程の解明を目指した海洋掘削を可能とするためのデータ及び研究成果の創出等に取り組む。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

第4期中期計画に基づき令和4年度の主な実施内容、成果は以下の通りである。

(項目1) 海域火山観測システムの開発・システム評価

・海底光ケーブルを利用したDAS観測の試験を行い、鬼界カルデラ火山の火山活動を捉えることに成功した。

(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

・JAMSTEC調査船で、福岡ノ場と西之島の調査を行った。

(項目3) 海洋掘削プロジェクトの推進：プロポーザル作成

・学会やワークショップ等において研究集会のサポートを行った。

(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

・国外の研究機関と連携してトンガ・フンガ火山の海底岩石サンプル採取に成功し、分析・解析を進めた。

(項目5) グローバルな規模での地球内部構造・物質収支の推定、地球内部物質・エネルギーの循環機構やマグマ供給機構の解明：データ取得、データ解析・試料分析

・高度地球化学分析技術の開発を進めた。

・数値シミュレーションや室内実験により、地球内部でのマグマ挙動や大陸分裂のメカニズムの解明を進めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明」の項目に対して、鬼界カルデラ、福岡ノ場、西之島、トンガ・フンガの4火山に関する研究が進展し、とりわけ鬼界カルデラと西之島の2火山のマグマ供給系の構造の解明に大きく貢献した。次年度以降は、福岡ノ場とトンガ・フンガの2火山に対するマグマ供給系の構造の解明が進むと期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

M. NAKANO, D. SUGIYAMA, 2022, Discriminating seismic events using 1D and 2D CNNs:

applications to volcanic and tectonic datasets, EARTH PLANETS AND

SPACE, 74, 134, doi:10.1186/s40623-022-01696-1, 査読有, 謝辞無

K. UEKI, H. HINO, T. KUWATANI, 2022, Extracting the geochemical characteristics of magmas in different global tectono-magmatic settings using sparse modeling, Frontiers in Earth

Science, 10, 994580, doi:10.3389/feart.2022.994580, 査読有, 謝辞無

D. SUETSUGU, M. OBAYASHI, T. TONEGAWA, H. Shiobara, H. SUGIOKA, A. ITO, T. ISSE, Y.

ISHIHARA, S. TANAKA, J. YOSHIMITSU, 2022, Nature of mantle discontinuities beneath the

Ontong Java Plateau, PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY

INTERIORS, 106969, doi:10.1016/j.pepi.2022.106969, 査読有, 謝辞無

K. YOSHIDA, Y. TAMURA, T. SATO, Sangmanee Chalermrat, Puttapreecha Ratchanee, S.

ONO,2022,Petrographic characteristics in the pumice clast deposited along the Gulf of Thailand, drifted from Fukutoku-Oka-no-Ba,GEOCHEMICAL JOURNAL,56,134-137,doi:10.2343/geochemj.GJ22011,査読有,謝辞無
A. NAKAO, T. KUWATANI, K. UEKI, K. YOSHIDA, T. YUTANI, H. HINO, S. AKAHO,2022,Subduction-zone parameters that control slab behavior at the 660-km discontinuity revealed by logistic regression analysis and model selection,Frontiers in Earth Science,10,1008058,doi:10.3389/feart.2022.1008058,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

第4期中長期計画に基づき令和5年度の主な実施内容、成果は以下の通りである。

(項目1) 光海底ケーブルを利用してDAS観測試験を行う。海底地震計用いた火山性地震の観測を行う。
(項目2) 伊豆大島、三宅島、西之島、福岡ノ場など伊豆小笠原海域を対象とした地球物理学的観測や物質科学調査を行う。

(項目3) 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4) グローバルな規模での地球内部構造や物質の収支などを推定し、火山活動を支配する地球内部流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組みを解明する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海洋研究開発機構 海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所,神戸大学,北海道大学工学部,海上保安庁,気象庁・気象研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海域地震火山部門
電話：
e-mail：
URL：<http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小野重明
所属：海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海洋測地の推進

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

SLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動を把握するためのデータを提供し精度向上に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Nakamura, Y., Watanabe, S., Yokota, Y. Suzuki, A., Ueshiba, H. and Seo, N.,2022,Shimosato Co-Location of the SLR and GNSS Stations,International Association of Geodesy Symposia,1-7,doi:10.1007/1345_2022_156,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

下里水路観測所において SLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

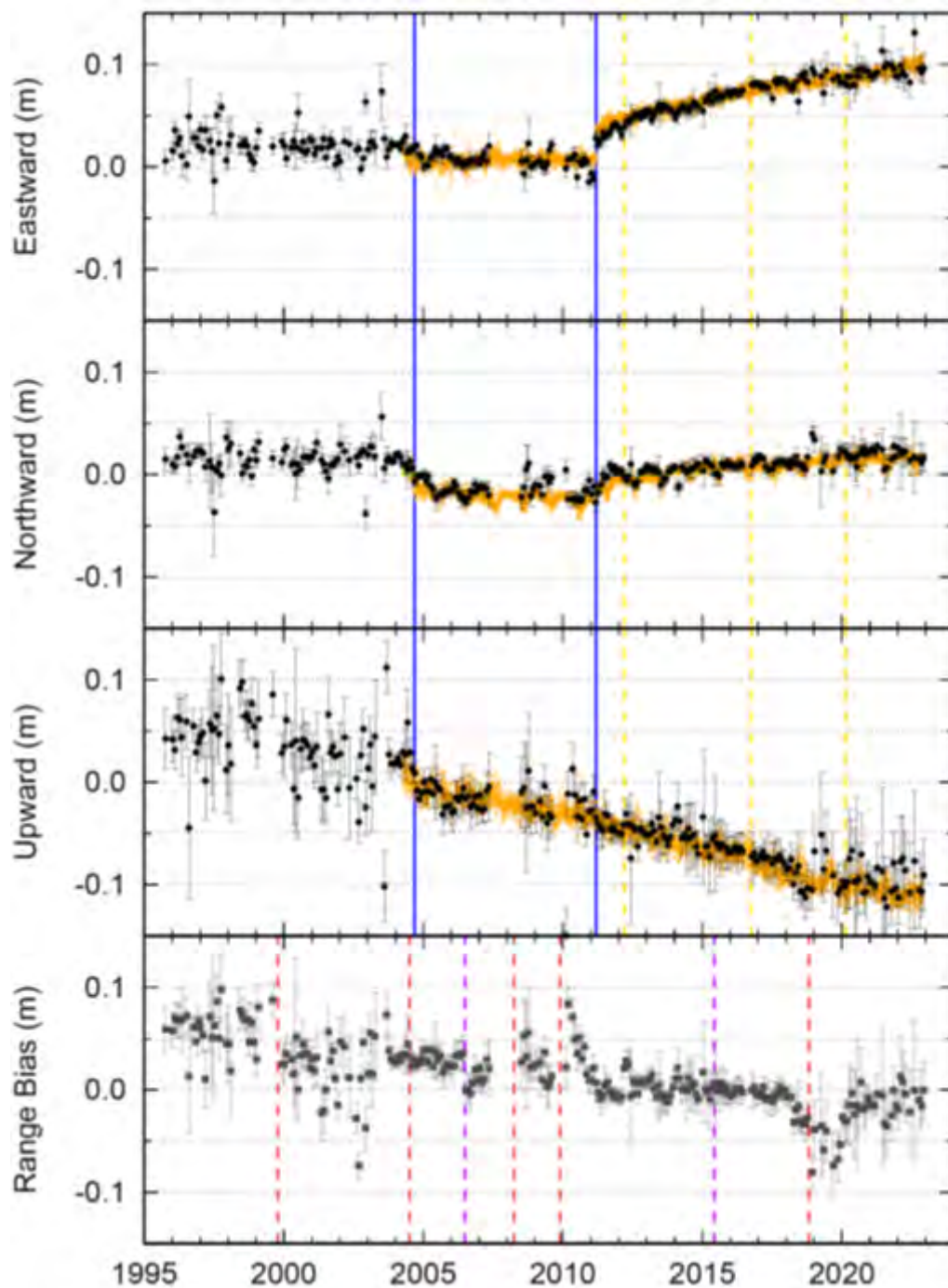
海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
電話：03-3595-3632
e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。
URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：三枝隼
所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室



下里水路観測所のSLR/GNSS観測時系列

ITRF 2014の速度を適用した上で、測地衛星「LAGEOS-I」及び「LAGEOS-II」の測距データを用いて解析した下里レーザー不動点の変位（黒丸）及びレンジバイアスの値（1か月解）並びにGNSS観測点であるIGS観測点「SMST」の変位（黄丸、1日解）。SLRデータの解析には、C5++ソフトウェア（Otsubo et al., 2016 EPS）を、GNSS解析にはRTKLIB version 2.4.2（Takasu, 2013）をスタティックPPPモードで使用した。

変位量は、解が比較的安定している2005年1月の局位置解（北緯33.57769313度，東経135.93703761度，楕円体高101.644 m）を基準とし，局地直交座標系において示している。ITRF 2014における地震に伴う変位は補正していない。エラーバーは1 σ の範囲を示す。青線は，2004年紀伊半島南東沖地震（M 7.4及びM 6.9，2004年9月5日）及び2011年東北地方太平洋沖地震（M 9.0，2011年3月11日）の発生日を示す。黄破線，赤破線及び紫破線は，それぞれGNSSアンテナ・レドーム，SLR観測装置及びSLRキャリブレーションターゲットの更新日のうち主要なものを示す。

(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、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開した。
海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開する。
海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁 海洋情報部沿岸調査課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課
電話：03-3595-3636
e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。
URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：林王弘道
所属：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海底地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界の固着状態の把握のため、GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続する。観測点の増設によって空間分解能の向上を図るとともに、測位精度および時間分解能の向上を目指した技術開発を行い、固着状態の時間変化の把握に努める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の手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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海溝型地震震源域海底において、GNSS-音響測距結合方式（GNSS-A）による地殻変動観測を継続して実施した。日本海溝沿いにおける観測から、東北地方太平洋沖地震の余効変動が続いていること（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）。観測結果は、地震調査研究推進本部地震調査委員会や気象庁南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会に定期的に報告を行い、地殻活動の現状評価の資料として活用されている。

Markov Chain Monte Carlo (MCMC)法を用いた新たな解析手法の検討(Watanabe et al., under review)や数値シミュレーションによる誤差解析など、さらなる精度向上を目指した解析技術の研究を進めている。また、音響機器の機種依存の誤差が明らかになりつつあり、水槽実験等を通じて機器特性を把握するための研究を進めている(中村他、in press)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

海域における地殻変動観測を安定的・継続的に実施し、成果を政府関連会議に定期的に報告することで国の地震防災対策に貢献している。また、観測データや解析ソフトウェアを公開することで、海底測地分野の研究の推進に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

海上保安庁,2022,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,107,79,査読無,謝辞無
海上保安庁,2022,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,107,389,査読無,謝辞無
海上保安庁,2022,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,108,433,査読無,謝辞無
中村優斗,石川直史,秋山裕平,渡邊俊一,黒田泰成,望月将志,横田裕輔,2023,海底地殻変動観測で用いる海底基準局のディレイタイムの計測について,海洋情報部研究報告,61,査読有,謝辞無
Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Nakamura, and Y. Yokota,2022,Full-Bayes GNSS-A solutions for precise seafloor positioning with single uniform sound speed gradient layer assumption,Research Square,doi: 10.21203/rs.3.rs-1881756/v1,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Nakamura, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, and Y. Yokota,2022,Overview of the seafloor geodetic observation conducted by the Japan Coast Guard using the GNSS-Acoustic ranging combination technique,the 24th EGU General Assembly,EGU22-1652,doi: 10.5194/egusphere-egu22-1652
Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Nakamura, and Y. Yokota,2022,Full-Bayesian GNSS-A seafloor positioning solution derived by the Markov-Chain Monte Carlo method,the 24th EGU General Assembly,EGU22-3274,doi: 10.5194/egusphere-egu22-3274
石川直史,渡邊俊一,中村優斗,横田裕輔,2022,GNSS-A海底地殻変動観測アレイSGO-Aによる南海トラフプレート境界のすべり欠損レートの変動モニタリング,JpGU2022,SGD01-P02
中村優斗,横田裕輔,石川直史,渡邊俊一,2022,数値シミュレーションによるGNSS-A海底地殻変動観測における海中音速場の単層水平傾斜に関する考察,JpGU2022,SCG48-11
渡邊俊一,石川直史,中村優斗,横田裕輔,2022,マルコフ連鎖モンテカルロによるGNSS-A海底測位解の導出と単一音速傾斜層モデルの適用,JpGU2022,SGD01-10
中村優斗,横田裕輔,石川直史,渡邊俊一,2022,数値シミュレーションによるGNSS-A解析ソフトウェア「GARPOS」の精度評価:フルベイズと経験ベイズの精度比較,日本測地学会第138回講演会,15
永江航也,横田裕輔,石川直史,渡邊俊一,中村優斗,2022,SGO-Aにおける機器・角度依存した上下動誤差とGARPOSを用いた音響信号読み取り方法の検討,日本測地学会第138回講演会,14
石川直史,横田裕輔,2022,南海トラフ及び日本海溝におけるプレート境界すべりの検出能力,日本地震学会2022年度秋季大会,S03-13
中村優斗,横田裕輔,石川直史,渡邊俊一,2022,数値シミュレーションによるGNSS-A解析ソフトウェア「GARPOS」の測位誤差の評価,日本地震学会2022年度秋季大会,S03-08
永江航也,横田裕輔,石川直史,渡邊俊一,中村優斗,2022,SGO-Aにおける統一的な新しい音響信号読み取り方法の検討,日本地震学会2022年度秋季大会,S03-09
石川直史,中村優斗,渡邊俊一,永江航也,横田裕輔,2022,GNSS-A観測における音響送受波器の機種依存性,海洋調査技術学会第34回研究成果発表会,6
Nakamura, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, K. Nagae, and Y. Yokota,2022,GNSS-A seafloor geodetic observation along the Japan Trench and the Nankai Trough conducted by the Japan Coast Guard,AGU Fall Meeting 2022,G35B-0331

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要：日本海溝及び南海トラフで実施しているGNSS音響結合方式による海底地殻変動観測の観測データ、解析ソフトウェア、解析結果

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOHO/chikaku/kaitei/sgs/datalist.html>

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続き、日本海溝沿い、南海トラフなどの日本近海の世界型巨大地震が発生した海域ならびに発生が想定される海域において、観測を継続するとともに、観測の高精度化・高効率化のための研究開発を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁 海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無：有

東北大学災害科学国際研究所,名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター,東京大学生産技術研究所,海洋研究開発機構

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室

電話：03-3595-3632

e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石川直史

所属：海上保安庁海洋情報部技術・国際課

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr) (deg)		Period	Data	Update
(1) KAMN	38.89	143.36	4.8	293.5	08/19/2018 - 09/07/2022	11	*
(2) KAMS	38.64	143.26	6.3	297.3	08/18/2018 - 09/06/2022	13	*
(3) MYGI	38.08	142.92	8.0	281.1	08/21/2018 - 09/06/2022	16	*
(4) MYGW	38.15	142.43	2.9	131.4	08/21/2018 - 09/06/2022	16	*
(5) FUKU	37.17	142.08	1.6	155.8	08/22/2018 - 09/05/2022	16	*
(6) CHOS	35.50	141.67	1.5	335.0	08/26/2018 - 09/05/2022	13	*
(7) BOSN	34.75	140.50	2.3	355.4	08/27/2018 - 09/08/2022	15	*
(8) SAGA	34.96	139.26	3.4	351.6	08/27/2018 - 09/15/2022	15	*
GEONET					09/15/2018 - 09/15/2022		

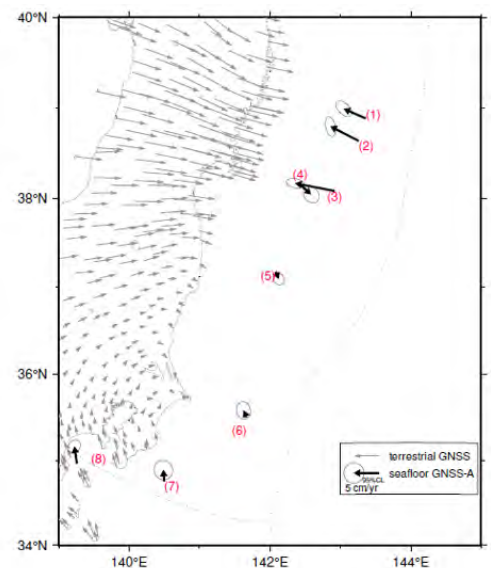


図1 日本海溝沿いの直近約4年間の水平移動速度（北米プレート固定）

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr) (deg)		Period	Data	Update
(9) TOK1	34.08	138.13	3.4	311.9	08/13/2018 - 09/09/2022	20	
(10) TOK2	33.88	137.60	4.2	304.8	11/28/2018 - 12/04/2022	19	*
(11) TOK3	34.18	137.39	4.0	297.7	09/13/2018 - 10/11/2022	17	*
(12) ZENW	33.09	137.55	-	-	02/20/2020 - 09/09/2022	10	
(13) KUM1	33.67	137.00	4.4	289.7	09/13/2018 - 10/11/2022	19	*
(14) KUM2	33.43	136.67	3.4	285.8	11/27/2018 - 12/05/2022	20	*
(15) KUM3	33.33	136.36	2.7	284.4	08/12/2018 - 09/14/2022	20	
(16) KUM4	33.08	136.64	-	-	02/21/2020 - 09/14/2022	11	
(17) SIOW	33.16	135.57	3.7	296.3	11/21/2018 - 12/15/2022	21	*
(18) SIO2	32.98	135.99	-	-	03/18/2020 - 12/15/2022	13	*
(19) MRT1	33.35	134.94	4.0	299.5	11/23/2018 - 12/05/2022	19	*
(20) MRT2	32.87	134.81	4.7	291.9	08/11/2018 - 09/12/2022	24	
(21) MRT3	32.80	135.35	-	-	08/10/2019 - 09/12/2022	16	
(22) TOS1	32.82	133.67	5.0	301.7	11/24/2018 - 12/08/2022	18	*
(23) TOS2	32.43	134.03	2.3	317.7	02/15/2019 - 12/08/2022	18	*
(24) ASZ1	32.37	133.22	4.8	296.7	11/24/2018 - 12/06/2022	16	*
(25) ASZ2	31.93	133.58	5.1	304.8	11/26/2018 - 12/07/2022	16	*
(26) HYG1	32.38	132.42	3.1	288.3	11/25/2018 - 12/07/2022	17	*
(27) HYG2	31.97	132.49	2.5	306.2	11/25/2018 - 12/06/2022	18	*
GEONET					12/15/2018 - 12/15/2022		

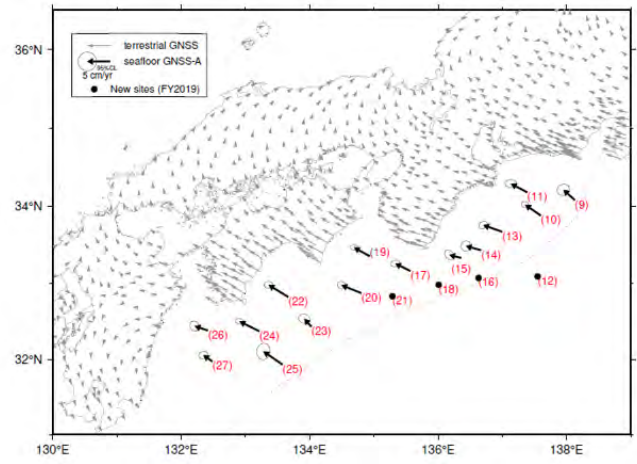


図2 南海トラフ沿いの直近約4年間の水平移動速度（アムールプレート固定）

(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

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

航空機による南方諸島及び南西諸島における海域火山の定期巡回監視観測を実施している。

なお、西之島、噴火浅根、海徳海山及び福徳岡ノ場については、監視体制を強化し、毎月1回程度の監視観測を継続して実施している。

また、測量船により、硫黄島の海域火山基礎情報調査を1月～2月に実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

これらの調査結果は火山噴火予知連絡会に報告するとともに、海域火山データベースに掲載し公表している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

海上保安庁,2022,海域火山の最近の活動,第150回火山噴火予知連絡会資料

海上保安庁,2022,海域火山の最近の活動,第150回火山噴火予知連絡会資料

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海上保安庁海洋情報部沿岸調査課海洋防災調査室
電話：03-3595-3607
e-mail：下記URLの問い合わせフォームから問い合わせください。
URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高梨泰宏
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：

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・マグニチュード頻度分布に関するb値等のパラメータや、潮汐と地震発生の相関を表すパラメータの典型的な確率密度分布を定式化することで地震活動の異常度を定量的に評価する手法を開発した。

・地殻変動の指標化として2000年以降のGNSSデータから日本全域の格子化ひずみ速度場を計算し、大きなひずみ速度を示した地域や時期を抽出した結果、東北日本の広範囲における2011年東北地方太平洋沖地震による影響、房総半島や四国西部におけるスロースリップイベントによる影響などに関連付けられることを示した。

・豊後水道における深部微動と潮汐との相関の長期的な時間変化を調査した。長期的スロースリップイベント（LSSE）の隣接領域ではせん断応力による潮汐感度が高く潮汐応力値が大きいほど深部微動が発生しやすく、また、LSSE期とそれ以外の期間の比較では潮汐感度はLSSE期の方が大きいことを示した。

・地殻変動データからプレート境界での剪断応力蓄積速度を直接推定する「力学的カップリング・インバージョン手法」を提案し、南海トラフ沿いプレート境界に適用した。更に応力蓄積速度の推定結果に基づき、前震・余効すべり・本震から成る一連の地震シナリオを作成した。

・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。また、過去10年間の駿河湾の海底地震計のデータに微動が記録されていないか調査したが微動は認められなかった。

・DONET観測点を用いた浅部低周波微動のモニタリングシステムを常時稼働させた。

・大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を開発した。この手法を日向灘のGNSS客観検知に適用し、余効変動が除去され長期的スロースリップのみ検出されることを確認した。

・地震発生シミュレーションについて、長期的・短期的スロースリップ（LSSE, SSSE）を再現するため細かなメッシュの平面断層モデルを用いて各種パラメータに対するモデルの挙動を検証した。昭和東南海地震時の東海沖の割れ残りを想定して地震発生層（アスペリティ）のパラメータを東西で変え、その深部にLSSEとSSSEに対応するパッチを置いた。その結果、M8クラスの地震（西側アスペリティの破壊2回と全域破壊1回を繰り返す）間に10年間隔でM6クラスのLSSE、2か月間隔でM5クラスのSSSEが現れ、各現象の発生間隔や規模を概ね再現できた。なお、LSSEは全域破壊後には現れないが、SSSEは定常的に発生している。

・DASの試験観測を静岡県浜松市天竜区の船明トンネル内にて行い、自然地震の観測とDASの振幅情報の再現性を調査した。周辺で発生した自然地震をDASは多数捉えている。また、小型の加振器を用いてDASと地震計に地中を介して人工的に振動を与えると、周波数固定で与える振動の大きさを段階的に変えたとき、DASと地震計が捉えた人工振動の振幅の大きさは加振器が与えた振動と線形傾向にある。しかし、周波数及び与える振動の大きさを固定して長期間DASと地震計に観測させると、地震計の振幅は定常であるがDASの振幅は周期に規則性のない揺らぎが見られる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Hirose, F., K. Maeda, K. Fujita and A. Kobayashi, 2022, Simulation of great earthquakes along the Nankai Trough: reproduction of event history, slip areas of the Showa Tonankai and Nankai earthquakes, heterogeneous slip-deficit rates, and long-term slow slip events, *Earth Planets Space*, 74, 131, doi:10.1186/s40623-022-01689-0, 査読有, 謝辞無

Nagata, K., K. Tamaribuchi, F. Hirose and A. Noda, 2022, Statistical study on the regional characteristics of seismic activity in and around Japan: frequency-magnitude distribution and tidal correlation, *Earth Planets Space*, 74, 179, doi:10.1186/s40623-022-01722-2, 査読有, 謝辞有

Saito, T. and A. Noda, 2022, Mechanically Coupled Areas on the Plate Interface in the Nankai Trough, Japan and a Possible Seismic and Aseismic Rupture Scenario for Megathrust Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 127, e2022JB023992, doi:10.1029/2022JB023992, 査読有, 謝辞無

Tamaribuchi, K., M. Ogiso and A. Noda, 2022, Spatiotemporal distribution of shallow tremors along the Nankai Trough, Southwest Japan, as determined from waveform amplitudes and cross-correlations, *J. Geophys. Res.*, 127, e2022JB024403, doi:10.1029/2022JB024403, 査読有, 謝辞無

野田朱美, 2023, 力学的カップリングに基づくプレート境界大地震のシナリオ作成手法の開発, *Slow-to-Fast地震学ニュースレター*, 2, 査読無, 謝辞無

野田朱美, 2023, 南海トラフで将来発生するのはどんな地震? - プレート境界における地震シナリオ作成手法の開発 -, *日本地震学会広報誌「なみふる」*, 132, 査読無, 謝辞無

気象研究所, 2022, 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*, 108, 439-441, 査読無, 謝辞無

気象研究所, 2022, 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*, 108, 24-28, 査読無, 謝辞無

気象研究所,2022,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,108,442-445,査読無,謝辞無

田中昌之,2022,中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2022),地震予知連絡会会報,108,608-612,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Noda, A. and T. Saito,2022,An Inversion Method to Estimate Mechanically Coupled Areas on the Plate Interface,AGU Fall Meeting 2022

Panayotopoulos, Y., S. Abe, H. Baba, N. Nakao and T. Nishimiya,2022,Report from 5 years Ocean Bottom Seismometer observations in Suruga Bay,日本地震学会2022年度秋季大会

Noda, A. and T. Saito,2022,Energy-based scenarios for Nankai trough earthquakes: The impacts of aseismic slip events on strain energy accumulation,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022

永井あすか・馬場久紀・笠谷貴史・横山由香・中尾風佐・佐柳敬造・大上隆史・西宮隆仁・坂本泉・阿部信太郎・篠原雅尚,2022,Exploration of Turbidity Current occurred in northern Suruga Bay by Typhoon No. 24 in 2018. -Traces Turbidity Current survey by R/V Shinsei Maru KS-21-1 Cruise-,JpGU meeting 2022

Noda, A. and T. Saito,2022,Energy-based scenarios for interplate great earthquakes taking aseismic slips outside seismogenic zone into account,JpGU meeting 2022

永井あすか・西宮隆仁・中尾風佐・馬場久紀・長尾年恭,2022,駿河湾の海底地震計で観測される波形の種類について一巨大地震震源域での低周波微動検出の試み一,日本地震予知学会2022年度学術講演会
勝間田明男・島淳元・西宮隆仁,2022,能登半島で発生している群発地震について,日本地震学会2022年度秋季大会

野田朱美・齊藤竜彦,2022,プレート境界の力学的カップリングの推定:相模トラフ沿いプレート境界で発生する大地震の多様性,日本地震学会2022年度秋季大会

西宮隆仁・永井あすか・中尾風佐・馬場久紀・小林昭夫・溜瀧功史,2022,駿河湾におけるOBS観測の概要と観測記録への微動検出手法適用の試み,2022年度第1回「南海トラフ～南西諸島海溝の地震・津波に関する研究会」

小林昭夫・木村一洋,2022,発生した地震の余効変動を除去したGNSS非定常変位の検出,JpGU meeting 2022

弘瀬冬樹・小林昭夫・前田憲二,2022,長期的スロースリップイベント時に上昇する豊後水道の深部微動の潮汐相関,日本地震学会2022年度秋季大会

木村久夫・小林昭夫・山本剛靖・露木貴裕,2022,地殻変動データの指標化に向けた試行,日本地震学会2022年度秋季大会

野田朱美,2022,測地データと地震データを用いた3次元モーメント密度分布のインバージョン解析,震源インバージョンワークショップ～地震発生物理の包括的理解に向けた手法開発とその実践～

永田広平・溜瀧功史・弘瀬冬樹・野田朱美,2022,統合的な地殻活動指標の構築に向けて一“ふつう”の地震活動の特徴に基づく異常度評価一,JpGU meeting 2022

田中昌之・小林昭夫,2022,DASで捉えた人工振動の振幅について,日本地震学会2022年度秋季大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目:地震:地殻変動:ひずみ計観測

概要:石井式三成分ひずみ計の常時観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:福井県敦賀市山泉 35.6178 136.0700

調査・観測期間:昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況:公開中(データベース・データリポジトリ・Web)

<https://crust-db.sci.hokudai.ac.jp/db/login.php>

項目:地震:地震:海底地震観測

概要:駿河湾において自己浮上式海底地震観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域：静岡県 34.6923 138.5584

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

- ・ひずみ計、GNSSなどの地殻変動データを同時に使った短期的、長期的スロースリップの変動源推定手法を検証する。
- ・大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を改良する。
- ・地震発生シミュレーションについて計算速度高速化を行い、従来の結果と比較検証を行う。
- ・東海大学と共同で海域の地震観測を行う。
- ・地殻活動の特徴を表す様々な指標を組み合わせた統合的指標について、顕著地震の発生との関連性の調査や物理的背景の検討などにより、地殻活動の現在の異常度を表現する手段としての性能評価を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無：有

東京大学,富山大学,東海大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小林昭夫

所属：気象研究所地震津波研究部

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

〔テーマ1〕火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

・伊豆大島で実施している自動光波観測について、気象庁数値予報モデルを使用した気象補正の自動化を行い、補正後のノイズレベルを定量化した。さらに東京管内及び福岡管内の一部火山の光波繰り返し観測データに対して、上記気象補正手法を適用した。

・昨年度までに機器更新を完了した伊豆大島の稠密なGNSS観測の結果を用いて、全島的な地殻変動と三原山の局所的な地殻変動を分けて圧力源を推定した。

・伊豆大島にて実施してきた重力観測により、三原山においてGNSSで観測される沈降に伴うフリーエア効果から期待されるよりも大きな重力増加が生じていること等を明らかにし、成果を大学彙報に取りまとめた。

・伊豆大島においてUAVを用いた空中熱赤外観測を夏季と冬季に実施し、放熱率の定量化に向けた観測・解析方法の問題点の洗い出しを行った。

・伊豆大島の過去の活動における観測量やマグマ供給系に関する既存知見の整理を進めた。

・雲仙岳山頂の溶岩ドーム周辺の局所的な地殻変動について、2006年以降の国内SAR衛星データを使った干渉SAR時系列解析を実施し、溶岩ドームの東側斜面において東向きかつ沈降の変化が加速していることを検出した。

・吾妻山の長期GNSS時系列（過去9年間）に対して、プレート運動や年周変化を考慮した解析を行い、火山性異常を精密に抽出し、活発化現象の分類化を行った。

・大学および海外研究機関との共同研究により火山体浅部の地下水流動システム（蔵王山、田沢湖）や複合的な変動源の存在（アゾレス諸島Fogo火山）を明らかにした。そのほか、東北管内の火山で発生した突発的現象（吾妻山の火口の大穴火口の陥没、秋田焼山の火山ガス噴出など）に対する現地調査と火山学的評価を実施した。

・フンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う地震記録の解析を行い、震動の励起源の高度と規模の推定を行った。その結果、励起源の高度は40~50kmと成層圏上部で、規模（エネルギー）は1991年のピナツボ噴火の1/50程度であることを明らかにした。

〔テーマ2〕火山活動の解析・評価のための手法開発

・気象庁の数値気象モデルを用いて干渉SARの対流圏遅延補正を行うプログラムについて、LA（局地解析）への対応を行った。

・GNSSについては、モデルトップより高高度の領域を計算に含めるとともに、レイトレーシングを実装したことで、天頂遅延量の推定について、顕著な改善が見られた。

・山体地形を考慮して地殻変動源を求める手法の開発として、海底地形を考慮した地形モデルの作成を行いその影響を調べた。また、三宅島の水準測量データの解析に適用し、地形効果を考慮することで、地下浅部の圧力源を火山性地震の発生域の近くに推定できた。

〔テーマ3〕監視観測データの活用的高度化

・地震波干渉法により得られた速度変化に関して、諸観測量との関係性について調査した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chikita, K. A., K. Amita, H. Oyagi, and J. Okada, 2022, Effects of a Volcanic-Fluid Cycle System on Water Chemistry of a Deep Caldera Lake: Lake Tazawa, Akita Prefecture, Japan, *Water*, 14, 3186, 査読有, 謝辞有

Araujo, J., F. Sigmundsson, T. Ferreira, J. Okada, M. Lorenzo, R. Silva, R. Carmo, and J.L. Gaspar, 2022, Multiple inflation and deflation events from 2004 to 2016 at Fogo (Agua de Pau) volcano, Sao Miguel, Azores, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 432, 査読有, 謝辞有

柳澤宏彰・及川輝樹・川口亮平・木村一洋・伊藤順一・越田弘一・加藤幸司・安藤忍・池田啓二・宇都宮真吾・坂東あいこ・奥山哲・鎌田林太郎・兒玉篤郎・小森次郎・奈良間千之, 2022, 新潟焼山火山2016年噴火—活動推移・噴出物を基にした噴火モデル—, *火山*, 67, 295-317, 査読有, 謝辞有

鬼澤真也・西山竜一・今西祐一・大久保修平・安藤 忍・長岡 優・島村哲也・平山康夫・石原昂典・松田健助・金子祐也・上田義浩・谷田部史堯・渡邊篤志・安藤美和子・坂下至功, 2022, 伊豆大島における火山活動の解明と活動評価への適用に向けた合同重力観測, *東京大学地震研究所彙報*, 査読有, 謝辞有
鬼澤真也, 2023, 既存知見に基づく伊豆大島噴火シナリオ改善に向けた検討, *防災科学技術研究所研究資料*, 487, 45-50, 査読無

川口亮平, 2023, マグマ移動シナリオに基づく地殻変動シミュレーション, *防災科学技術研究所研究資料*, 487, 66-69, 査読無

・学会・シンポジウム等での発表

奥山哲・安藤忍・齊藤一真・村上亮, 2022, 干渉SAR時系列解析により検出された恵山における局所的地殻変動, *JpGU meeting 2022*

安藤忍・鬼澤真也, 2022, 伊豆大島におけるドローンを用いた熱赤外観測, *JpGU meeting 2022*

川口亮平, 2022, 火山の地形を考慮した地殻変動計算システムの開発 -海底地形の効果の検討-, *JpGU meeting 2022*

大石雅之・山村卓也・山岸遼・鈴木康太・越谷英樹・作野魁・岡田純, 2022, 吾妻山大穴火口底における陥没現象, *JpGU meeting 2022*

Ishikawa, A., T. Nishimura, G. Lacanna, H. Aoyama, R. Kawaguchi, E. Fujita, T. Yamada, T. Miwa, and M. Ripepe, 2022, Pre-explosive ground deformations induced by normal Strombolian and paroxysmal activities at Stromboli volcano, *5a Conferenza Alfred Rittmann*

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

〔テーマ1〕火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

伊豆大島における地殻変動をはじめとした多項目観測によるマグマ蓄積量の把握、マグマ上昇検出等による活動評価手法の開発について、成果を取りまとめる。併せて、他の活動的火山についても実施してきた地殻変動等の解析結果の取りまとめを行う。

〔テーマ2〕火山活動の解析・評価のための手法開発

干渉SAR解析及びGNSS解析のための気象モデルを用いた補正技術の開発を進めるとともに、業務化に向けた検討を行う。また、マグマ活動に伴う地殻変動シミュレーション手法の開発を進め、これらについての成果を取りまとめる。

〔テーマ3〕監視観測データの活用的高度化

地震波干渉法による地震波速度の時間変化の検出を試みるとともにその要因について検討を行い、それらの成果を取りまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉田 康弘 *研究代表者 (気象庁 火山研究部), 鬼澤真也 (気象庁 火山研究部), 安藤忍 (気象庁 火山研究部), 森健彦 (気象庁 火山研究部), 奥山哲 (気象庁 火山研究部), 岡田純 (気象庁 火山研究部), 川口亮平 (気象庁 火山研究部), 島村哲也 (気象庁 火山研究部), 入山宙 (気象庁 火山研究部), 菅井明 (気象庁 火山研究部 (併任: 火山監視課)), 小久保一哉 (気象庁 火山研究部), 山田晋也 (気象庁 火山研究部 (同: 地震火山技術・調査課)), 小林昭夫 (気象庁 地震津波研究部)
他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 気象研究所企画室
電話: 029-853-8535
e-mail: ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL: <http://www.mri-jma.go.jp>

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名: 鬼澤 真也
所属: 気象研究所火山研究部第一研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動監視・評価の高度化に資するため、全国の火山の地殻変動観測およびデータについて、監視項目の評価と適正化の検討、地殻変動検出のためのノイズ低減に向けた検討を進めるとともに、地殻変動検出時の変動源推定等の解析と結果の噴火予知連絡会等への報告を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁では常時監視火山をはじめとする活火山において傾斜計やGNSS等の地殻変動観測装置を整備しデータを取得するとともに、関係協力機関から提供を受けたデータを用いて全国の火山活動の監視を行っている。これら監視データにより地殻変動の検出を試みるとともに、活動の活発化に伴い地殻変動が検出された際には、これらのデータを使用し、適宜、変動源推定等の解析を行い、火山噴火予知連絡会等に報告する。また、観測データをより有効に活用し、監視・評価手法を改善していくために以下の検討、技術の高度化を進める。

- ・ GNSS等の異常検知力調査およびこれに則った監視項目の評価、適正化の検討
- ・ 傾斜データ等のノイズ低減によるデータ高品位化のための検討
- ・ H30年度に打ち上げ予定のALOS-4に対応したSARデータ解析環境の構築と地殻変動検出

(8) 令和4年度の成果の概要：

・ 今年度の成果の概要

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。八幡平・秋田焼山周辺では、2020年中頃より衛星に近づく方向の変化が確認された。いずれの火山も地震活動は概ね低調で、熱活動にも特段の変化は認められないものの、八幡平・秋田焼山周辺が隆起していると考えられる。

この他、火山活動が活発化した火山に対して、GNSSや傾斜計等の地殻変動データを用いて変動源推定等の解析を行い、火山活動を評価した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

1) 地殻変動観測による監視・評価

常時監視火山等の活火山において、傾斜計、GNSS等の地殻変動観測データにより変動の検出を行い、火山活動の監視、評価を行う。顕著な変動を検出した際には、変動源推定等も含めた解析を行い、他観測データと併せて活動評価に利用できるようにする。

2) 技術的検討

地殻変動観測データについて、ノイズ低減によるデータ高品位化のため、データ整理、検討を進める。

3) 成果の公表

得られた成果は、火山噴火予知連絡会における火山活動評価、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、適宜、学会等において発表を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部火山監視課,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台,火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有

国土地理院,宇宙航空研究開発機構,大学,研究機関,自治体等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900(内線：5114)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：http://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：菅井明

所属：気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

雌阿寒岳、草津白根山など熱水活動の活発な火山において全磁力連続観測および繰返し観測を継続的に実施し、火山活動との対応を調査する。また、火山性磁場変動の抽出の高精度化を図る。これにより、全磁力による火山の熱水系の活動状況をモニタリングする技術を高度化し、水蒸気噴火の前兆的現象を捉えることを目標とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

雌阿寒岳や草津白根山、伊豆大島などの熱水系の卓越する火山において、全磁力の連続観測および繰返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。全磁力の観測結果を解析し、全磁力変化をもたらす熱源位置の推定を行う。また、地殻変動や地震活動、比抵抗構造と熱源の対応を調べ火山内部で発生している物理過程の解明を目指す。平成27年度～30年度に気象庁が水蒸気噴火の予測を目的として整備した樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山、安達太良山における全磁力観測データの解析を行い、熱活動の状況を分析する。また、これら火山の山麓参照点に設置された三成分磁力計データを外部磁場擾乱補正に適用し、火山性磁場変化の抽出の精度向上を図る。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

雌阿寒岳・草津白根山・阿蘇山・伊豆大島で全磁力観測を継続し、火山活動と全磁力変化の対応を調査した。雌阿寒岳及び草津白根山においては、引き続き全磁力繰返し観測と二次元的な磁気観測を行った。伊豆大島においては、東京大学地震研究所とともに地磁気の絶対観測を実施するとともに、全磁力連続観測点における偏角・伏角測定から全磁力観測データをDI補正することで、より精確な火山活動評価が可能となった。また、火山業務における地磁気観測の導入をさらに進めるため、火山監視に効果的な連続観測網のあり方、および観測装置の安定性確保に係る情報収集、課題解決について検討した。草津白根山においては、より適切な全磁力参照点候補の選定を行い、吾妻山では全磁力参照点に設置している収録機器の温度依存性及びその低減に関する調査を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

浅利晴紀、長町信吾,2022,伊豆大島における全磁力観測の進展,2022年度Conductivity Anomaly研究会シンポジウム

笹岡雅宏、浅利晴紀、増子徳道、下川淳,2022,草津白根山湯釜南東で観測される季節変化に関する調査,2022年度Conductivity Anomaly研究会シンポジウム

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

雌阿寒岳・草津白根山・伊豆大島で全磁力観測を継続し、火山活動と全磁力変化の対応を調査する。年周変化や太陽活動による外部磁場変化の影響を除去する手法や地磁気永年変化に伴うDI効果の補正手法などの開発を引き続き行う。さらに、簡易型の伏角偏角測定器の開発を行うとともにDI補正に必要な観測を各火山で実施することで、より高精度な地磁気による火山活動評価につなげる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤原善明

所属：気象庁地磁気観測所技術課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

化学的手法に基づく火山活動監視・予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

直接採取した火山ガスや熱水の化学組成及び安定同位体比、並びに火山灰に付着した火山ガス由来成分等の分析を通じて火山ガス活動の理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発するとともに、火山ガス活動への理解を踏まえ、地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

吾妻山、箱根山、草津白根山及び霧島山等の活動的火山において採取した火山ガスや熱水の化学組成及び水素・酸素安定同位体比、あるいは火山灰から抽出した水溶性の化学成分を、重量分析や容量分析などの手分析のほかにガスクロマトグラフやイオンクロマトグラフ、分光分析といった機器分析を組み合わせて分析し、火山ガス活動やその起源に関する理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスをセンサー等で測定し火山ガス活動をモニタリングするための研究を行う。具体的には、気象庁が4火山に設置した、多成分火山ガス連続観測装置によるガス成分比のモニタリング技術の向上、気象モデルを用いた二酸化硫黄放出率のモニタリング技術の改善、二酸化炭素等土壌ガスの連続観測あるいは機動観測による噴火ポテンシャル評価等を、吾妻山、草津白根山、伊豆大島、桜島等で行う。また、それらのデータと、地震や地殻変動等の既存の物理観測データを組み合わせた統合解析手法を検討する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

成果の概要は以下のとおりで、研究計画とは概ね一致している。

テーマ1 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

・霧島山（硫黄山）周辺の火口跡の熱水や湧水に溶存する化学種の組成（Cl/SO₄比）変化から、2022年6月頃および11月下旬頃に硫黄山の山頂域を中心とした活動の高まりを捉えた。箱根山で火山ガスの採取・分析を実施した結果、2021年8月頃に発生した活動の高まりは、消長を繰り返しながら低下傾向にあることを認めた。2022年4月から11月の間に草津白根山湯釜火口湖の化学組成分析を実施し、過去に噴火前後で観察されたような溶存成分（Mg/Cl比）の急激な変化が生じないかどうかを追跡した。本研究期間にはMg/Cl比の上昇は観察されなかった。以上の結果は随時噴火予知連絡会などに提供した。

・本庁火山監視課が実施する草津白根山湯釜火口湖水の化学分析について分析値の質を向上するための助言・支援を実施した。

テーマ2 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

・吾妻山2018-2019年の火山性異常について、ごく浅部の熱水活動に伴う局所的な地殻変動の観測等とともに、多成分火山ガス連続観測で得られた多種のガス濃度変化（Stix and De Moor, 2018）に基づきマグマ・熱水の寄与を理解しながら監視・評価する手法が有効であることを示した。

・多成分火山ガス連続装置の観測精度向上のため、センサーの感度変化の挙動を室内実験により明らかにし、リアルタイムで補正する手法を提案した。

・次期計画に取り組む衛星データを用いた二酸化硫黄（SO₂）放出率の監視技術に関する事前調査を行い、気象モデル（気象庁局地解析値）を活用し活動把握が可能であることを西之島の事例を用いて示した。

・二酸化硫黄放出率計測の自動化へ向け現地収録による連続観測の試験を阿蘇山で始めた。問題なく放出率が計算でき、既存の手法と比べても大きな差異がないことを確認した。また、観測システムの耐久試験としてハード面の問題点の洗い出しを進めた。気象モデルを用いたSO₂放出率推定において、モデルの水平解像度が低い場合（数km程度）は、SO₂プルームの再現性が劣ることが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tomoya Obase, Hirochika Sumino, Kotaro Toyama, Kaori Kawana, Kohei Yamane, Muga Yaguchi, Akihiko Terada, and Takeshi Ohba, 2022, Monitoring of magmatic-hydrothermal system by noble gas and carbon isotopic compositions of fumarolic gases, Scientific Reports, 12, 17967, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22280-3>, 査読有

Yaguchi, M., T. Ohba, Y. Hirayama, and N. Numanami, 2022, Volcanic ash from the June 17, 1962 eruption of Yakedake volcano: stereomicroscopic, XRD, and water-soluble components analyses, Journal of Disaster Research, 17, 257-262, <https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0257>, 査読有

Terada, A., M. Yaguchi, and T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during volcanic unrest based on a time-series of lake water chemistry, Frontiers in Earth

Science, 9, 740671, <https://doi.org/10.3389/feart.2021.740671>, 査読有

北川隆洋, 風早竜之介, 谷口無我, 篠原宏志, 福岡管区气象台, 大分地方气象台, 2022, Multi-GAS連続観測における硫化水素センサーの感度変化の影響とその補正, 火山, 67, 113-123, https://doi.org/10.18940/kazan.67.1_113, 査読有

谷口無我, 2022, 噴火により放出された火山灰について, 昭和37年（1962年）の焼岳火山噴火資料集, 長野県松本地域振興局HP, <https://www.pref.nagano.lg.jp/matsuchi/matsuchi-somu/yakedake.html>, 査読無

・学会・シンポジウム等での発表

Ohba T., M. Yaguchi, N. Numanami, and S. Toyoshima, 2022, Correlation between the rate of increase in the He/CH₄ ratio of volcanic gas and the number of earthquakes at Mt Hakone, The

14th CCVG Field Workshop

Toyoshima S., T. Ohba, N. Numanami, and M. Yaguchi, 2022, A Study on Sulfur Isotope Ratios in Hakone Volcanic Gas, The 14th CCVG Field Workshop

Numanami N., T. Ohba, and M. Yaguchi, 2022, Multivariate analysis of river water and hot spring water of Hakone volcano, The 14th CCVG Field Workshop

谷口無我, 大場武, 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台, 宮崎地方気象台, 2023, 熱水分析による霧島山(硫黄山)の火山活動モニタリング, 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト 課題Bサブテーマ成果報告会「九州の火山」

高木朗充, 福井敬一, 谷口無我, 岡田 純, 2023, 火山ガスと地球物理学観測から推定される吾妻山2018-2019年の火山性異常, 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)「多項目モニタリングにもとづく火山活動の中期的評価と推移モデルの構築」研究集会(令和4年度)

高木朗充, 福井敬一, 谷口無我, 岡田 純, 2022, 火山ガスと地球物理学観測から推定される吾妻山2018-2019年の火山性異常, 日本火山学会2022年度秋季大会

寺田暁彦, 鈴木レオナ, 谷口無我, 大場武, 2022, 湖水濃度変動から示唆される草津白根山浅部熱水循環の時間変化, 日本火山学会2022年度秋季大会

若松海, 寺田暁彦, 角野浩史, 小長谷智哉, 谷口無我, 大場武, 2022, 草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌ガス中のヘリウム・炭素同位体比—土壌ガスの起源—, 日本火山学会2022年度秋季大会

森健彦, 入山宙, 河波俊和, 岩本征大, 井上秀穂, 2022, 阿蘇火山における二酸化硫黄放出率の準連続観測—その1—, 日本火山学会2022年度秋季大会

寺田暁彦, 鈴木レオナ, 谷口無我, 大場武, 2022, 濃度時系列データに基づく火口湖底活動の定量的評価と濃度変動予測モデル—草津白根山・湯釜火口湖への適用—, 日本地球惑星科学連合2022年大会

豊島誠也, 大場武, 沼波望, 谷口無我, 2022, 箱根火山ガス中の硫黄同位体比に関する考察, 日本地球惑星科学連合2022年大会

大場武, 谷口無我, 沼波望, 豊島誠也, 2022, 箱根山火山ガスHe/CH₄比の上昇速度と地震回数との関係, 日本地球惑星科学連合2022年大会

小長谷智哉, 角野浩史, 外山浩太郎, 大場武, 谷口無我, 石橋純一郎, 2022, 霧島硫黄山噴気中のヘリウム・炭素同位体組成の時間変動, 日本地球惑星科学連合2022年大会

谷口無我, 大場武, 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台, 宮崎地方気象台, 2022, 熱水の化学分析による霧島山えびの高原(硫黄山)の火山活動モニタリング, 日本火山学会2022年度秋季大会

河波俊和, 森健彦, 入山宙, 2022, 準定常ガス拡散モデルを用いた二酸化硫黄放出率推定, 日本火山学会2022年度秋季大会

橋本明弘, 森健彦, 新堀敏基, 高木朗充, 2022, 気象予測モデルを併用した新しい二酸化硫黄放出率推定手法の開発: その4, 日本火山学会2022年度秋季大会

谷口無我, 大場武, 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台, 宮崎地方気象台, 2022, 熱水の化学分析による火山活動モニタリング—霧島山えびの高原硫黄山の例—, 日本地球化学会第69回年会

谷口無我, 大場武, 寺田暁彦, 2022, 湖水の化学組成からみた草津白根山湯釜火口での最近(1982年以降)の噴火の要因, 日本地球惑星科学連合2022年大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5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

これまで取り組んできた活動的火山における火山ガスや熱水等の採取および化学・安定同位体組成分析を継続する。このうち、主に水蒸気噴火の発生が懸念される火山について、熱水系構造や火山活動の監視指標などに関する研究成果を学会や論文を通じて公表する。また、観測結果の一部については火山噴火予知連絡会にも情報提供し、研究成果の活用を図る。

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、令和4年度から阿蘇山で開始した試験観測を継続し、二酸化硫黄カラム濃度の観測データを蓄積するとともに、野外観測における観測システムの課題を整理し、必要な改善点を取りまとめる。蓄積されたデータは、気象モデル等を用いた二酸化硫黄放

出率への換算を進め、連続観測手法における測定値の精度を明確にさせる。また、高解像度気象モデルによる気象場を用いた二酸化硫黄プリュームの再現精度を左右する因子を明らかにし、研究成果として取りまとめる。

吾妻山・草津白根山・御嶽山・九重山に設置されている連続観測マルチガスの観測精度向上のため、可搬型装置による比較観測を行うとともに、火山ガスの曝露によるセンサーの電圧感度変化挙動を明らかにするための室内実験データから補正手法の開発を完了する。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理解を含め、論文にまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象研究所火山研究部第三研究室
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室
電話：029-853-8535
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL：http://www.mri-jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高木朗充
所属：気象研究所

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震動・津波即時予測の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震動即時予測について観測震度に対して予測震度が概ね震度差1以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やマグニチュードが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上も目指す。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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 地震波の伝播方向や伝播速度を地震動の実況把握に活用するため、アレイ解析手法のひとつであるWave gradiometryの利用を検討している。合成波形を用いた予備解析の結果、観測点が多数存在する関東地方では長周期地震動の伝播方向や伝播速度が即時的に推定できる可能性があることがわかった。また、この手法を2022年のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う水位変動に適用して、海洋波伝播の面的分布を推定したところ、日本近海では、海洋波は南東から北西へ向かって概ね津波の速さで伝播していたことが観測データから明らかになった。このようにWavegradiometryは、沖合を伝播する津波の解析にも利用できる。
2. 単独観測点の地震波形から地震波の伝播方向の観測情報を得るため、深層学習による波動伝播方向推定手法の開発を進めた。P波検測をせずに波形形状から直接伝播方向を推定する本手法は、連続して地震が発生するケースでも適用可能であることを示した。
3. 地震波伝播シミュレーションに基づいた地震動即時予測の応用として、地震波の逆伝播を用いた震度分布の事後推定手法の開発を進めている。逆伝播時にも観測地震動を同化することにより、観測値が得られなかった領域でもある程度地震動分布が復元できる見通しが得られた。
4. 長周期地震動の予測では、短周期地震動の予測（震度の予測）で取り入れられているPLUM法のような手法による長周期地震動の即時予測の可能性について、検討を進めた。
5. 遠地津波の振幅の増加・減衰過程を近似する関数の導出に用いられていない期間・海域の歴史津波のうち、1780年のウルフ島沖の地震による北海道への遠地津波の典拠を確認したところ、北海道に津波が及んだというデータは誤りであることが判明した。
6. 2016年の福島県沖の地震津波について、長時間津波伝播計算を行い、近地の沿岸での津波減衰過程の再現度を調べた。その結果、再現度は地点ごとに異なること、観測値と計算値の差は波源推定誤差の影響を上回り、沿岸域パラメータ等の伝播過程の表現方法に改善の余地があることを示した。
7. 2016年の福島県沖の地震において小名浜の検潮所で観測された津波第一波の波形に着目し、津波伝播計算におけるエネルギー散逸について調べた。その結果、津波伝播過程における非線形性の1つである移流の計算で生じる数値散逸が、現実の物理散逸の代替を担い、観測波形の再現に寄与している可能性があることを示した。
8. 津波伝播計算における津波減衰過程の精度向上のため、海陸境界での境界条件の改良を行い、既存の方法での計算との比較を行った。これにより計算格子間隔より小さい現象も津波減衰過程の計算結果の精度に影響を与えていることを示した
9. 津波伝播計算を安定に行える条件について検討した。その結果、積分時間間隔をCFL条件を満たす範囲で一般的に用いられる値よりも長くしても安定して計算が可能であり、その方法によって計算速度の向上が可能であることを示した。
10. 2022年のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う水位変動について、日本の沖合水圧計観測網の観測データを用いて、火山カルデラの空間スケールを持つ固体地球現象に伴う津波の規模を概算したところ、初期水位の体積にして3 km³程度であり、日本へ到来した津波全体に占める割合としては大きくないことを示した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

上記1.~4.により3(2)ア. 地震動の即時予測手法、また、1.および5.~10.により3(2)イ. 津波の即時予測手法の高度化に資する研究成果を得た。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

干場充之・対馬弘晃,2022,地震動と津波の即時予測 ―最近10年の研究の進展―,月刊地球,509,80-87,なし,査読無,謝辞無

山本剛靖,2022,遠地津波の観測データに基づく経験的な減衰予測手法,気象研究所技術報告,86,1-48,10.11483/mritechrepo.86,査読無,謝辞無

Ogiso, M., and K. Tamaribuchi,2022,Spatiotemporal evolution of tremor activity near the Nankai Trough trench axis inferred from the spatial distribution of seismic amplitudes,Earth, Planets and Space,74,49,10.1186/s40623-022-01601-w,査読有,謝辞無

石丸聡・小木曾仁・伊藤陽司・楨納智裕,2022,凍結・融雪期の大雨により生じた土石流—雌阿寒岳2008年5月の大雨による事例—,日本地すべり学会誌,59(2),41-49,10.3313/jls.59.41,査読有,謝辞無
Saunders, J. K., S.E. Minson, A.S. Baltay, J. J. Bunn, E. S. Cochran, D. L. Kilb, C. T. O' Rourke, M. Hoshiha and Y. Kodera,2022,Real-Time Earthquake Detection and Alerting Behavior of PLUM Ground-Motion-Based Early Warning in the United State,Bulletin of the Seismological Society of America,112(5),2668-2688,10.1785/0120220022,査読有,謝辞無
小木曾仁・石丸聡,2022,2008年5月20日に雌阿寒岳で発生した土石流に伴う地震波の記録,日本地すべり学会誌,59(4),146-151,10.3313/jls.59.146,査読有,謝辞無
対馬弘晃,2022,沖合の津波観測による近地津波の即時予測—津波波源推定とデータ同化を中心に—,月刊地球,515,381-388,なし,査読無,謝辞無
Ogiso, M., and H. Tsushima,2023,Ocean-wave Gradiometry: Visualizing and Extracting Propagation Features of the 15 January 2022 Tsunami Wavefield with Dense Ocean-Bottom Pressure Gauge Arrays,Seismological Research Letters,10.1785/0220220151,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

鎌谷紀子・小木曾仁,2022,自己回帰モデルによるスペクトル解析は地盤増幅率の周波数特性評価に有効か?,東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」,(7)
小木曾仁,2022,地震動の逆伝播を用いた面的震度分布の早期推定に向けた検討,東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」,(5)
林豊,2022,1780年ウルフ島地震による日本での津波のデータの信頼性,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS12-P08
小木曾仁,2022,地震動エネルギーの逆伝播を用いた最大震度分布の事後推定,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG55-02
対馬弘晃・林豊・山本剛靖,2022,稠密海底水圧観測が津波の波源・伝播の再現に与える効果:2016年11月22日福島県沖の地震の事例解析,日本地球惑星科学連合2022年大会,HDS10-02
高野洋雄・対馬弘晃・林豊・Entel Mikhail,2022,トンガ火山噴火に伴う潮位振動について,日本地球惑星科学連合2022年大会,U09-P02
対馬弘晃・林豊,2022,海底水圧記録を用いた2022年トンガ火山噴火に関連した初期水位体積の概算,日本地球惑星科学連合2022年大会,U09-P26
鎌谷紀子・小木曾仁,2022,自己回帰モデルによるスペクトル解析—地盤増幅率の周波数特性評価への適用—,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG55-P02
Ogiso, M.,2022,Estimation of source radiation amplitude from seismic coda waves considering the heterogeneous seismic structure,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS04-P01
小木曾仁,2022,J-SHIS地盤データを用いた計測震度に対するサイト特性係数の検討,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG55-P03
Kodera, Y.,2022,Automatic classification of fast and slow earthquake signals from continuous records using an unsupervised machine learning algorithm,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022,P112
対馬弘晃,2022,稠密沖合津波波形の逆解析による津波波源生成の時空間発展の拘束,日本地震学会2022年度秋季大会,S17P-03
小木曾仁,2022,不均質な地下構造の影響を考慮した地震波エンベロープを利用した震源放射エネルギーの推定,日本地震学会2022年度秋季大会,S15P-03
小寺祐貴,2022,深層学習を用いた地震波形からの波動伝播方向推定の試み,日本地震学会2022年度秋季大会,S21P-08
下山利浩,2022,長周期地震動の予測についての検討,日本地震学会2022年度秋季大会,S15-10
Tsushima, H.,2022,Capability of Inversion of Dense Offshore Tsunami Measurements to Constrain Spatio-Temporal Evolution of Tsunami Source Generation,AGU Fall Meeting 2022,NH22C-0453
Kodera, Y.,2022,Unsupervised Automatic Classification of Fast and Slow Earthquake Signals from Continuous Records with a Hierarchical Clustering Algorithm,AGU Fall Meeting 2022,S42C-0172

小木曾仁,2022,地震波伝播の即時把握へ向けたWavegradiometryの活用可能性の検討,日本地震工学会・大会-2022,A-22-2

小木曾仁・対馬弘晃,2022,海洋波のグラディオメトリ解析: 稠密海底圧力観測網データを用いた津波波動場の可視化と伝播特徴の抽出,東京大学地震研究所共同利用研究集会「陸海両域での超高密度観測時代の観測・解析手法と地震波伝播理論の新展開」,S22-14

対馬弘晃,2022,2016年11月22日福島県沖の地震の津波数値解析: 沿岸部における非線形性の影響評価,第12回巨大津波災害に関する合同研究集会,セッション1の3番目

南雅晃,2022,津波数値計算における詳細なCFL条件~その計算精度・速度の検討,第12回巨大津波災害に関する合同研究集会,セッション4の3番目

小寺祐貴,2023,深層学習による単独観測点からの波動伝播方向推定の試み,東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動をはじめとする地球科学データの即時解析・即時予測と情報の利活用」,(9)

小木曾仁,2023,Wave gradiometryを用いた波動伝播の即時把握に向けた検討,東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動をはじめとする地球科学データの即時解析・即時予測・情報の利活用」,(13)

下山利浩,2023,長周期地震動の即時予測についての検討,東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震動をはじめとする地球科学データの即時解析・即時予測・情報の利活用」,(6)

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから長周期地震動を含め未来の波動場を予測する手法を発展させ、地震動波形の予測モデルの構築を進める。また、現業への導入を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるよう計算方法の改良を図る。

津波伝播計算の安定性・再現性に影響を与える沿岸域での摩擦・境界条件などの要素に着目し、計算手法を改良し長時間予測の精度向上を図る。これにより、観測事例が知られていない現象を含めた津波全過程予測手法を改良する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 気象研究所企画室

電話: 029-853-8535

e-mail: ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL: <http://www.mri-jma.go.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 林 豊

所属: 地震津波研究部

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
火山

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。

浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

活動的な火山である桜島を主対象として、二重偏波レーダーや高速スキャンレーダーなどの先進的な気象レーダーによる噴煙のエコー強度やマルチパラメータを解析することにより、噴火検知技術の開発や噴出する火山灰・礫の量や挙動を定量的に推定するための技術開発を行う。また気象衛星で観測される火山灰から、噴火検知や噴火規模の即時的な推定の研究を行うとともに、噴火発生直後の監視カメラによる爆発映像等を利用し、気象レーダー等による解析結果の検証、火砕流や火山岩塊等の防災上重要な火山現象の解析を行う。

領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した新しい移流拡散モデルを、堅牢性、速報性、柔軟性および開発管理の観点から設計して開発する。そして供給源および新しい移流拡散モデルとこれまでが開発した火山灰データ同化システム（プロトタイプ）を組み合わせ、火山噴出物に対する観測データの解析から予測までを一貫して実行できる火山灰データ同化・予測システムの構築を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・二重偏波気象レーダー等による噴煙の観測結果から、噴煙に含まれる火山灰等の分布を定量的に推定する手法の開発を行った。
- ・二重偏波化された一般気象レーダー（福岡）のデータを用いて、2021年阿蘇山噴火の解析を行った。その結果、10月14日・20日の噴火は共に水物質の寄与が大きかったが、20日の噴火の方が、噴煙内

部の火山噴出物（火砕物）の量が多いことを示した。

・2021年福徳岡ノ場噴火と2022年フンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山（トンガ海底火山）噴火に伴って発生した雷データの比較解析を行い、トンガ海底火山噴火の方が雷活動（ストローク数・エネルギー）で見た規模が大きいことを示した。

・2021年福徳岡ノ場噴火と2022年トンガ海底火山噴火について、気象衛星ひまわりの画像解析を行った。衛星視差の影響による傘型噴煙の位置ズレが傘型噴煙の面積・半径の解析に与える影響については、衛星天頂角が極度に開いていない限り、無視できることを示した。

・大気との相互作用や各種保存則など火山噴煙の力学を考慮した1次元噴煙モデル（NIKS-1D）の開発を進め、本モデルの性質調査を行って、現実の噴煙でみられる特徴を再現していることを確認した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ishii, K., A. Nishijo, T. Koyaguchi, and Y. J. Suzuki, 2022, A physics-based source model for real-time tephra-dispersal forecasting for weak eruption plumes, J. Appl. Volcanol., 11, 15, doi:10.1186/s13617-022-00127-w, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

佐藤英一, 2022, 二重偏波気象レーダーで観測した2021年阿蘇山噴火, 日本地球惑星科学連合大会, MIS23-P03

佐藤英一, 2022, 海底火山噴火に伴って発生した雷について, 日本地球惑星科学連合大会, MIS23-P04

佐藤英一, 2022, 二重偏波レーダーによる大気中の火山灰量推定手法について—初期解析結果—, 日本火山学会, A3-07

新堀敏基・林 昌宏・石元裕史, 2022, 2022年1月15日トンガ海底火山噴火により発生した傘型噴煙のひまわり8号による解析（その2）, 日本火山学会, P1-38

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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ついて、成果を取りまとめる。

・新たに開発した移流拡散モデルの物理過程の改良について、課題を取りまとめる。

・火山灰データ同化・予測システムについて、定量的な濃度予測のための火山灰プロダクトの利用に関する評価を取りまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象研究所火山研究部

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所, 鹿児島大学, 防災科学技術研究所, 東京大学地震研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新堀敏基

所属：気象研究所火山研究部第二研究室

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動の総合判断

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

防災関係機関の防災活動に資するため、引き続き全国の火山活動の状況について総合的な判断を実施する。特に噴火が近づいた火山や噴火中の火山について、最新の研究成果に基づき現在の状態から火山噴火や噴火終息に至るまでの過程についての噴火推移の予測を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

火山噴火予知連絡会（定例会、臨時会）、あるいは、規模の大きな噴火発生時等の社会的影響が大きい場合に特定の火山を対象に設置した部会において、噴火発生の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、その結果を火山噴火予知連絡会統一見解等に取りまとめて報道発表や気象庁の火山情報で公表する等により社会に分かりやすく発信するとともに、各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災活動を支援する。

また、研究成果・観測結果の情報交換、火山観測データの流通・共有の促進、活発化した火山における臨時観測に係る総合的な調整、研究成果の社会への発信などを通じて、火山噴火予知研究の推進に寄与する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、第150回（令和4年7月5日）及び第151回（令和4年12月6日）の火山噴火予知連絡会本会議を開催し、全国の火山活動の状況について検討を行った。検討結果は本会議終了後に報道発表し、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で公表するとともに、気象庁ホームページでもお知らせした。

並行して、火山噴火予知連絡会のあり方について検討を行い、令和4年8月24日に「あり方検討作業部会最終報告」にて将来的に目指すべき体制を提言、令和4年12月27日にその提言を踏まえた「あり方報告の具体化作業部会報告」にて、来年度（令和5年度）から始める体制を提言としてとりまと

めた。今後、これらの提言に基づいた新しい体制で進めることとしている。

また、メーリングリストやオンライン会議等を活用し、火山噴火予知連絡会における議論の充実及び情報発信の強化を引き続き進めている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

火山噴火予知連絡会あり方検討作業部会,2022,火山噴火予知連絡会あり方検討作業部会最終報告,24p.

火山噴火予知連絡会あり方報告の具体化作業部会,2022,火山噴火予知連絡会あり方報告の具体化作業部会報告,10p.

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

あり方作業部会などの提言に基づき、火山噴火予知連絡会を新たな体制で運営する。火山活動評価検討会においては、少数の火山研究者の助言を参考にしつつ、噴火災害特別委員会においては、関係機関と火山研究者などが協力しながら総力をあげて、それぞれ火山活動の評価を実施する。噴火災害特別委員会においては、ハザードの検討にも取り組む。これらの検討結果等を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。

火山調査研究検討会については、準備会を設置し、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ための仕組み作りに向けた検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部火山監視課,気象庁地震火山部,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台火山監視,警報センター

他機関との共同研究の有無：有

火山噴火予知連絡会に参画する関係機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900(内線：5114)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：http://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村政道

所属：気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震観測、地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を継続する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計、東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに、文部科学省と協力して、大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し、その結果を大学、関係機関に提供することにより、研究の推進に資する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持し、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を行った。

また気象庁における地震観測データおよび地殻変動データを収集・解析するためのシステム（EPOS）の更新および、文科省と共に地震観測データの一元的処理を行うためのシステム（REDC）の更新を行った。

顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。

震源データを日々、更新するとともに、**2020年8月**までの精査後の震源データ（確定値）を公開した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
・論文・報告書等
・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部,気象庁大阪管区気象台地震火山課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：宮岡一樹
所属：気象庁地震火山部管理課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

潮位観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和3年度に光回線化ができなかった箇所について、光回線化を進めた。

潮位データ集約サーバーの保守点検を実施し、経年劣化による欠測のリスクを減らした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度に光回線化ができなかった箇所について、光回線化を進める。

潮位データ集約サーバーが安定して稼働できるよう、システムの保守を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁大気海洋部環境・海洋気象課,地震火山部

他機関との共同研究の有無：有

国土交通省（水管理・国土保全局、港湾局）,国土地理院,海上保安庁と連携した潮位データの一元化

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900（内線：5114）

e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木博樹

所属：気象庁大気海洋部環境・海洋気象課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地磁気精密観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地球電磁気学的観測による地殻活動及び火山活動の研究に資するため、精密な地磁気観測データを継続して提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の4観測点において、数十年～100年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。

あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

柿岡、女満別、鹿屋及び父島での地磁気4成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。

火山活動起源のシグナルを抽出するために用いられる「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法に加え、地域によって変化の大きさ、傾向が異なることに対処する上で必要となる地域毎の基準値の観測精度を維持するため、地磁気観測点への車両や建築物等による人工的な磁気擾乱の監視観測を維持し、異常値の検出・補正処理を施した。

地磁気活動の月別概況、K指数、地磁気現象、及び確定値等の観測資料を地磁気観測所ホームページ上で毎月公表している。これらのデータの引用・追跡を容易にするため、DOI (Digital Object Identifier) を付与しており、以下の地磁気観測所ホームページで確認することができる。

[URL] https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の4観測点において、数十年～100年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。

あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：仰木淳平

所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国における火山観測の強化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下、火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた50火山の連続的な監視観測を継続する。また、火山活動が活発化した場合には、必要に応じ観測体制を強化する。

これらの観測成果は、噴火警報等の防災情報の発表や火山解説資料の作成に利用するとともに、地震火山月報（カタログ編）や火山年報に取りまとめて公表する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1) 連続的な監視観測

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等により、連続的な監視観測を行う。

火山観測施設の更新計画（5か年）に基づき、平成23年度から実施している観測施設の更新を継続する。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、地震観測・GNSS繰り返し観測、熱観測等の計画的な機動観測を実施する。また、阿蘇山、桜島、口永良部島等、火口からの二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急的な機動観測を実施し、火山活動の詳細を把握する。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山解説資料等の防災目的の資料等に

利用する他、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等により公表する。

4) 観測データの共有

気象庁及び関係機関による新規観測点のデータのうち、火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 連続的な火山観測

全国の50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。また、阿蘇山、桜島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・熱赤外観測を十勝岳、吾妻山、箱根山、中之島で実施し、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。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

気象庁地震火山部,2022,地震火山月報（防災編）2022年3月号～11月号

気象庁地震火山部,2023,地震火山月報（防災編）2022年12月号～2023年2月号（予定）

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

1) 監視観測の継続

火山噴火予知連絡会で監視・観測体制の充実等が必要とされた50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等により、常時観測を継続する。

2) 機動観測の実施

全国の火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測、ドローンによる可視・熱赤外観測等の調査観測を計画的に実施するとともに、火山活動に異常が認められた場合には、緊急観測を実施して火山活動の詳細を把握する。

3) 観測データの共有

関係機関による新規観測点のデータのうち火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。また、防災科学研究所のJVVDNに観測データを共有する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部,札幌管区气象台,仙台管区气象台,福岡管区气象台火山監視・警報センター
他機関との共同研究の有無：有

大学・防災科学研究所等の研究機関,自治体・地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900（内線：5114）

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：長谷部大輔

所属：地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地磁気観測成果のデータベース化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地殻活動・火山活動を的確に検出するため、地磁気基準観測および全磁力精密観測の成果を継続してデータベース化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島の4地点（定常観測点）と祓川（調査観測点）の5観測点における地磁気4成分連続観測データを、継続して地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供する。

印画紙に記録された柿岡、女満別、鹿屋の地磁気アナログデータを高時間分解能のデジタルデータへの変換を継続して実施し、過去に遡ってのデータ解析を可能とする。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

計画に基づき、定常観測点の4地点（柿岡、女満別、鹿屋、父島）に、調査観測点の祓川を加えた5観測点における地磁気4成分連続観測データを、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した。加えて、1983年2月～1993年3月の柿岡の確定毎秒値を観測所データベースに登録、公開するとともに、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(1963～1964年)、鹿屋(1964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(1968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。さらに、柿岡(1957年3～12月、1972年5～11月)の変換が困難だった顕著現象について、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。

なお、データの引用・追跡を容易にするため、DOI (Digital Object Identifier) を付与しており、以下の地磁気観測所ホームページで確認することができる。

[URL] https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

- (9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ・論文・報告書等
 - ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまで進めてきた計画を継続し、柿岡、女満別、鹿屋、父島、祓川の5観測点における地磁気4成分連続観測データを統一的な形式に整理し、地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供する。

紙媒体による地磁気アナログ記録の画像データ化、デジタルデータ化も継続して実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：有

名古屋大学,京都大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地磁気観測所総務課

電話：0299-43-1151

e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp

URL：https://www.kakioka-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：谷口 秀隆

所属：気象庁地磁気観測所観測課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

全国地震カタログの作成

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国地震カタログを作成する。また、定常的な発震機構解析（初動発震機構解、CMT解）及び大地震時の震源過程解析を実施し、それら成果の関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

海域観測網の地震波形データを一元化処理へ取り込み、地震波形の分析や震源決定等の改善を進める。

大学等の検測値を取り込んで過去にさかのぼった震源決定を行い、全国地震カタログに反映させて総合的な地震カタログを作成する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

各年度において、地震カタログ（震源、発震機構）の作成及び震源過程解析を実施し、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

一元化処理へのS-netやDONET2等の海底地震計データ活用のルーチン業務開始に向けた準備を行い、平成31年度に運用を開始する。

過去震源の改訂に関しては、5か年計画の前半に1919～1921年の再解析を行うとともに、1976～1997年の期間について大学等の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを適宜作成する。再解析が終了した期間から公開する。

その他、適宜、地震カタログに係る解析・処理の改善を図る。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震カタログの作成及び震源過程解析を実施し、関係機関へのデータ提供、一般への公開を実施する。

今年度中に地震月報（カタログ編）2020年9月～2021年3月号を公開予定である。なお、2020年9月より一元化処理にS-net、DONET2のデータの活用を開始しており、公開予定の月報ではこれらのデータを震源決定等に使用している。

震源過程解析については、2022年9月18日の台湾付近（Mw7.0）、11月11日のトンガ諸島の地震（Mw7.3）、そして2023年2月6日のトルコの地震（Mw7.8、7.6）等について遠地実体波を用いて断層すべりを推定した。台湾付近、トンガ諸島の地震等については解析結果をwebで公開し、トルコの地震の解析結果は、速報的に地震調査委員会に報告した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部地震火山技術・調査課
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900（内線：5114）
e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森脇健
所属：地震火山部地震火山技術・調査課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山現象に関する基礎データの蓄積と活用

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の活火山のうち、気象庁の常時観測火山（50火山）については観測データの収集を行い、それ以外の活火山も含めた火山機動観測班が計画的あるいは緊急的に実施する機動観測による観測データを収集し、火山現象のデータベースとしてその蓄積を図る。

これらの成果は、噴火警報等の防災情報発表や火山活動解説資料等の作成に利用するとともに、火山月報（カタログ編）や火山年報に取りまとめて公表する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁が常時観測を行っている50火山については、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、傾斜計、監視カメラ等の常時観測データの収集、解析を行い、蓄積する。

全国の活火山については、4センターの火山機動観測班が行う地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測等の計画的な機動観測により得られたデータを解析し、蓄積する。また、火山活動に異常が認められた場合には、火山機動観測班が出動して行う緊急的な機動観測により収集したデータを解析し、蓄積する。

これらの観測データの蓄積にあたっては、今後の活火山総覧改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報や火山活動解説資料等の防災資料の作成に利用するほか、火山月報（カタログ編）や火山年報、火山活動の概況（英文）に取りまとめて気象庁HPにより公表する。

地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を

進める。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

常時観測火山に選定された全国の50活火山について、東京の火山監視・警報センター、札幌、仙台、福岡の地域火山監視・警報センター、及び鹿児島地方気象台において、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集するとともにデータの解析を行い、それらの成果の蓄積を進めた。

また、全国の活火山について、計画に沿って地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を行い、得られた観測データを解析し、蓄積した。

令和4年度については、桜島、諏訪之瀬島、硫黄島、西之島等において噴火が発生したほか、阿蘇山、焼岳、鶴見岳・伽藍岳、口永良部島、磐梯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）として各火山の活動状況を取りまとめ、いずれも気象庁HPで公表した。

また、引き続き、各火山の火山防災協議会と観測データや火山活動解説コメントの共有を、WEBを通じて行った。

データの収集、蓄積、公表など、いずれも計画に沿って進捗している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

気象庁,地震・火山月報（防災編）2022年3月号～2023年2月号

気象庁,令和4年（2022年）の火山活動（各火山）

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

全国の50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積する。

全国の火山について、地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積する。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種監視・観測で得られた成果は、HPで速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報（カタログ編）や年報等によりHPにより公表する。また、火山活動の概況を英文で取りまとめてHPにより公表する。地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部,札幌管区気象台,仙台管区気象台,福岡管区気象台,火山監視,警報センター

他機関との共同研究の有無：有

大学、防災科学研究所等の研究機関,自治体、地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長

電話：03-6758-3900(内線：5114)

e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp

URL：https://www.jma.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小久保一哉

所属：気象庁地震火山部火山監視課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報などの防災情報の改善のための検討で得られた知見や成果を共有する。これにより、関連の研究の推進に資する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を、広く大学等関係機関、防災関係機関に気象防災情報として、また、各種情報の検討部会や火山噴火予知連絡会等を通じ、広く共有する。アンケートを実施するなどして、社会の受けとめかたを調査し、その結果を基にして情報内容の改善を図る。また、火山防災協議会などを通じ情報の普及・啓発を図る。

国際共同研究・国際協力については国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて、また、航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて、国際的な研究活動の進展に寄与する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

関係機関と連携し、気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を共有した。今年度新たに実施した主な内容や情報内容の改善は以下のとおり。

・緊急地震速報の発表条件に長周期地震動階級の予測値を追加して情報発表を開始したほか、長周期地震動に関する観測情報のオンライン配信を開始（R05.2.1～）

- ・推計震度分布図を1kmメッシュから250mメッシュに高解像度化したほか、緊急地震速報の震度予測技術を活用して高精度化して運用開始（R05.2.1～）
- ・日本海溝・千島海溝で想定されている巨大地震の想定震源域やその周辺でMw7.0以上の地震が発生し、大規模地震の発生可能性が平常時より相対的に高まっている際に発表する「北海道・三陸沖後発地震注意情報」の運用開始（R04.12.16～）
- ・トンガ諸島での大規模噴火による潮位変化を受けた、火山噴火等による潮位変化に関する情報改善（R04.7.27～）

また、昨年度に引き続き以下の内容を実施した。

- ・防災科学技術研究所のDONETやS-net等、関係機関の海底地震・津波観測データ等を活用した地震・津波情報発表
- ・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・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
- ・津波警報等の視覚的伝達手段として「津波フラッグ」を定め導入推進。
- ・火山噴火応急支援サイトを活用した、最新の観測データを用いた火山活動状況解説、自治体との情報交換
- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

浜田 広太・桑山 辰夫・平野 和幸・中野 俊也・林原 寛典,2022,フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山噴火に伴う潮位変化について－気象庁の対応－,日本地球惑星科学連合2022年大会,U09-01

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

これまでの取り組みの成果や経験を活かし、引き続き継続的或いは発展的に取り組む。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁及び全国気象官署職員
他機関との共同研究の有無：有
様々な関係機関、専門家等と連携

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今村翔太
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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組んだ。

今年度新たに実施した主な内容は以下のとおり。

・日本海溝・千島海溝で想定されている巨大地震や北海道・三陸沖後発地震注意情報の普及啓発の実施（内閣府・消防庁と協力）

・関東大震災100年をきっかけとした地震・津波の備えへの普及啓発

また、昨年度に引き続き以下の内容を実施した。

・地方自治体等と連携した防災訓練への助言・協力、HP等での相互協力

・教育機関と連携した学校防災教育へ助言・協力

- ・防災関係機関、民間団体等と連携した出前講座・防災講演会等の実施
- ・報道機関と連携した防災番組への協力
- ・わかりやすい防災行動を説明した動画作成・SNSでの普及啓発
- ・南海トラフ地震に関する普及啓発（内閣府・消防庁と協力）
- ・火山との位置関係や地域性を踏まえた火山防災情報の普及啓発の推進

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。特に、関東大震災100年をきっかけとした地震・津波の備えへの普及啓発について、関係機関と連携して取り組む。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁及び全国気象官署職員
他機関との共同研究の有無：有
様々な関係機関、専門家等と連携

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震調査連絡係長
電話：03-6758-3900 ex.5114
e-mail：jmajishin_kanrika@met.kishou.go.jp
URL：https://www.jma.go.jp/jma/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今村翔太
所属：地震火山部地震津波監視課地震津波防災推進室

(1) 実施機関名：

鹿児島大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南西諸島北部域におけるプレート間すべりの特性に関する地震・地殻変動観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

平成30年度までの研究成果を踏まえ、地震の検知能力・分解能の向上に特化した小スパン観測網を年度ごとに少しずつ移動させる機動的な海底地震観測を実施する。これを4か年に渡り実施することで、特に1911年喜界島近海地震の想定震源域及びその周辺域を重点的にカバーし、スロー地震活動及び通常地震活動の観測データを取得する。並行して島嶼域においては、平成30年度まで実施してきたGNSS観測を継続・強化する。

得られた観測データを解析し、1911年喜界島近海地震の想定震源域周辺におけるスロー地震活動（特に低周波微動活動）について、その震源域の広がりや想定震源域との位置関係を明らかにする。また、通常地震活動との比較を行い、両者間の時空間的な関係について考察する。さらに、日向灘など他地域との比較を行い、類似点・相違点について検討する。

一方、1911年喜界島近海地震の想定震源域およびその周辺域における、島嶼域地震観測のみでは検出できない未知の小規模な相似地震活動について、想定震源域内外での活動分布を明らかにする。また、スロー地震活動（特に低周波微動）の震源分布と比較し、両者の空間的境界を検討する。

併せて島嶼域GNSS観測では、沖縄トラフの拡大とブロック運動をさらに精度を向上させて求め、3次元有限要素解析により南西諸島北部域のプレート間の固着域、固着率を推定する。

以上の地震・地殻変動観測研究の結果を総括し、スロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域と固着率を基に現在の北部南西諸島域のプレート間すべ

りの特性について考察する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測の実施

1年目の概ね上四半期の期間中に1911年喜界島近海地震の推定震源域付近にLOBSを投入し、小スパン海底地震観測網による観測を開始する（LOBSの第1期観測の開始）。続く2年目においては、概ね上四半期の期間中に第1期観測のLOBSを回収し、新規位置にLOBSを投入しての観測を開始する（LOBSの第2期観測の開始）。以後同様に、3～4年目はLOBSの回収と新規位置にLOBSを投入しての観測開始を繰り返す。5年目に第4期観測のLOBSを回収し、機動的な海底地震観測を終了する。なお、当該観測航海を大学院生等の海域観測実習の場として利活用する。

GNSS観測については、平成30年度までに実施してきた島嶼域観測網を継続するとともに、1年目中に下甕島にGNSS観測点を設置して観測網を強化し、5か年計画の末まで継続する。

スロー地震活動（特に、浅部低周波微動）と通常の地震活動の解析

1年目は、機動的な海底地震観測のデータが未取得のため、喜界島東方沖で過去に実施された別プロジェクトの海底地震観測および平成30年度までの準定常海底地震観測で取得されたデータの再解析を行う。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータを用い、低周波微動や通常の地震の震源決定を年次的に実施する。5年目は、5か年分の結果を総括し、低周波微動の震源域、小繰り返し地震を含む通常の地震との時空間的な関係を明らかにし、1911年喜界島沖の地震の想定震源域との関係を議論する。また、スロー地震活動の特徴について、日向灘など他地域との比較を行う。

相似地震の解析

1年目は、平成30年度までの準定常海底地震観測で得られたデータを利用し、島嶼域の地震観測網では検出できない規模の小さいものも含めた相似地震の解析を試行する。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータから、相似地震を検出し、震源決定を行う。5年目は、5か年のうちに得られた震源分布から、1911年喜界島近海地震の想定震源域との空間的な関係を明らかにする。また、上記のスロー地震（特に浅部低周波微動）の震源分布と比較検討することで、当該領域におけるプレート境界のすべり特性を議論する。

島嶼域GNSSデータの解析

2年目は、高度化された種子島から奄美大島までのプレート境界を3次元有限要素モデルに組み込む。当該地域のプレート運動を再推定し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う内部変形を求める。3年目は、新規に追加設置した観測点を含めた測線の解析で得られた沖縄トラフの拡大率を求める。沖縄トラフの拡大率、フィリピン海プレートの沈み込み速度を境界条件とし、前年度に求めた当該地域の内部変形を説明できるように固着域、固着率を求める。4年目は、GNSS連続観測データを使ってスロースリップの検出を行い、検出できたスロースリップの断層モデルを求める。5年目は、固着域、固着率とスロースリップ発生域、繰り返し地震から求めたプレート間の固着の情報を精査する。

観測研究の総括

5年目において、計画期間中のスロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常の地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域・固着率の解析結果に基づき、現在の南西諸島北部域のプレート間すべりの特性について考察する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[1] 機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測

令和4年度は、当初予定通り4月中旬に海底地震観測を実施し、5か年の観測計画を維持した。海底地震計の回収・投入作業は、長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸の教育関係共同利用に基づき実施し、海域観測実習の場として大学院生2名が乗船した。図1に、令和4年度に回収した第3期（緑+）・投入した第4期（橙○）を含む本観測計画の観測点配置を示す。展開している小スパン海底地震観測網の観測点間隔は約20 kmと稠密であり、沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界面上で発生する浅部微動や、島嶼域地震観測点のみでは捉えることのできない地震の検出および震源決定精度の向上に貢献する。観測領域は1911年喜界島地震（M8.0）の推定震央〔後藤, 2013〕

（図1：☆）および震源域周辺にあたり、令和5年度に回収する第4期まで海底地震計を機動的に展開することで、地震とスロー地震の空間的な棲み分けや時間的対応を議論する。

長崎丸第88次航海（2022年4月15日～20日）において、2021年4月中旬に喜界島北東海域に投入した8台の海底地震計から成る小スパン海底地震観測網の回収（第3期終了）および新規投入（第4期開始）を実施した。まず、回収した第3期の8台は、6台が固有周期1秒の長期収録型自己浮上式海底地震計（LOBS：Long-term Ocean Bottom Seismometer）、2台がそれぞれ固有周期120秒と20秒の小型広帯域海底地震計（CBB OBS：Compact Broadband OBS）で構成されている。回収直後の時刻較正は正常に完了したが、回収後のログ調査により、LOBSのうち1台（TK2117観測点）は、着底時の傾斜が31.4度と大きく傾いており、搭載しているモーター駆動式ジンバルで地震計の水平を正常に調整できていなかった。ただし、他の観測点とコヒーレントなシグナルは記録していたため、エンベロープ相関法を用いる微動の震源決定（後述）には当該観測点を暫定的に使用している。次に、投入した第4期の8台は、6台がLOBS、2台がいずれも固有周期120秒のCBB OBSである。投入直前の時刻較正は正常に完了した。第4期観測網は投入から約1年後の2023年4月に回収を予定している。島嶼域GNSS観測に関しては、平成30年度までに構築してきた観測網において継続的な観測を実施している。女島観測点（長崎県五島市）には、長崎丸第88次航海（2022年4月）および第97次航海（2022年8月）により、計2回渡島した。前年度（2021年4月）に太陽光発電等の電源周りを強化したことで、付近を通過した台風等による被害を防ぐことができた。2022年4月渡島時はデータ回収に成功したが、2022年8月はGNSS受信機不良により機体交換作業を実施した。また、横当島観測点（鹿児島県十島村）には2022年12月にアクセスし、データ回収に成功した。その他の観測状況は、気象海況等により、渡島およびデータ回収にやや遅れが生じている。令和4年度内に、宇治島観測点（鹿児島県南さつま市）に1回の渡島を計画している。

[2] 浅部低周波微動（浅部微動）の活動

令和4年度は令和3年度に設置した20 kmスパンの海底地震計アレイデータを用いて、期間中に発生した浅部低周波微動（以降、浅部微動）の暫定的な解析を実施した。エンベロープ相関法による震源決定の結果、観測期間中の2021年7月、2021年10月、2022年2月に浅部微動エピソードが確認され、そのうち最も活発な活動は2021年10月に発生した（図2）。最も活発な2021年10月のイベントはマイグレーションを伴う活動であった。このマイグレーションは南西から北東方向に向かったものであった。観測網の関係上、観測網外で誤差が大きなイベントが多く取り除かれているため数が少なく見えるが、実際には観測網外でも活動があり、その一部を今回の解析では見ていると考えられる。震源決定誤差が10 km程度のイベントは、観測網の南東部に位置しており、令和2年度、令和3年度に報告済の結果（2019～2020観測、2020～2021観測）のうち、down-dip側の活動に対応していることがわかった。観測網南東部以外で微動活動は確認できなかった。これまでの3期間にわたる観測で、浅部微動のdown-dip側の位置は比較的明瞭に分布していて、深さ15 km程度の場所に位置していることが確認できた。深さは日向灘の浅部微動活動のdown-dip側の位置と整合的である。

現時点の暫定解析においては、浅部微動カタログに微動ではないイベントが多数含まれていると考えられるため、今後精査を進め、通常地震分布や構造との対比、これまでの結果との比較を行い、議論を進める。

[3] 第1期～第3期における微小地震と浅部微動の時空間的關係

令和4年度はまず、令和3年度までの第1期・第2期データから震源決定（観測点補正済み）した通常微小地震に対して、Double-Difference法 [Waldhauser & Ellsworth, 2000] による高精度相対震源決定を適用した。その結果、2019年5月（第1期）に発生したマイグレーションを伴う微動エピソードに先行して、上盤内でM3イベントを含む微小地震が震源移動していることがわかった。一連の微小地震は、約3～4 km/dayの速さで南西から北東方向へ移動し、その活動の終端付近から微動エピソードが開始していることから、両者の時空間的な対応が示唆される（図3）。2020年9月（第2期）には、観測領域の北部と南部で約10日の間隔を置いて発生した微動エピソード同士の時空間領域を埋めるように、プレート境界周辺の微小地震が約1～2 km/dayの速さで北東から南西へ移動していることがわかった。

以上の結果に加え、2022年4月に回収した第3期データ（暫定的に5点のLOBS）を用いて、観測期間中の最も顕著な活動であった2021年10月の微動エピソード発生時の、通常（微小）地震と浅部微動の時空間的關係を調査した。通常地震の震源決定は従来手法と同様で、観測点補正およびDouble-Difference法を採用した。結果として、通常地震のほとんどは観測領域の北西部に求まり、プレート上面深度約20–30kmのプレート境界周辺および上盤内で発生していることが明らかになった（図4）。

すなわち、当該期間の微小地震活動は、同時期に観測された浅部微動とは空間的に重ならずdown-dip側に分布しており、第2期までの結果と同様、両者の発生領域は棲み分けていることがわかった。一方で、時間的な対応関係は現時点では確認できなかった。最終的に観測領域内に求まった地震数は33イベントで、1か月あたりの地震発生数としては、第2期までの結果よりも多く、今後、観測期間全体の地震活動解析を進め、浅部微動との対応関係を総合的に議論する予定である。

[4] 日向灘中部一南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化

本課題では、バースト的な活動を除いたプレート境界域での小繰り返し地震（相似地震）を用い、日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に準静的すべり速度を求め、時間変化について調べてきた。この解析においては、陸域の地震観測点の中長期データを用い、前述の海域地震観測のデータは含まれていないため、海域の検知能力は相対的に下がる一方で、広域かつ中長期の時間変化をみることができる。令和4年度は令和3年度報告に記載した改良方法を引き続き用いて解析した（図5）。

各領域の準静的すべり速度の平均値は、領域E（種子島南東沖）と領域K（トカラ列島南東沖）を除き、1.0~1.5 cm/yr.であった。領域E（種子島南東沖）では2.1 cm/yr.、領域K（トカラ列島南東沖）では1.9 cm/yr. と相対的に大きい。また累積すべり量の時間変化に着目すると、領域D（種子島東方）、E（種子島南東沖）、F（種子島南方）、及びM（奄美大島北東沖）で2018~2019年頃以降、それ以前の期間よりも準静的すべり速度の有意な増加が認められる。この変化は令和3年度に報告済であるが、令和4年度の解析でもこれらの領域で準静的すべり速度が増加した状態が継続していることが分かった。一方、領域Kでは、2010年頃以降に準すべり速度がやや低下する傾向を呈する（ただし、隣接する領域J, Lと比較して準静的すべり速度は相対的に大きい）。

1993~2022年の約29年間の中長期のデータを用い、約 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ の小領域毎に求めた平均的な準静的すべり速度とカップリング率の分布を図6に示す。いずれの小領域においてもカップリング率が概ね50%以上であり、日向灘中部から奄美大島にかけての領域は全般的にカップリングが弱くない。このうち、種子島南東沖とトカラ列島東方にカップリング率がより大きい領域が認められる。また、前述した浅部微動の活動領域付近では準静的すべり速度は求められておらず、陸上観測点で検出可能な規模の小繰り返し地震活動は無いことが示唆される。なお、その周囲領域のカップリング率は約70%である（領域L）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

南西諸島北部域における既往の巨大地震の推定震央域周辺で稠密海域地震観測を計画的に実施し、浅部微動と通常の地震の空間的なすみ分けや、推定震央域付近は浅部微動の活動域であることが分かってきた。南西諸島域の巨大地震発生ポテンシャル評価に資する科学的知見の蓄積が進展している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara, Y. Ito, 2022, Seafloor Depth Controls Seismograph Orientation Uncertainty, Geophysical Journal International, 232, 1376-1392, doi:10.1093/gji/ggac397

山下 裕亮, 2022, 2022年1月22日に日向灘で発生したMJ6.6の地震について, 宮崎の自然と環境, 7, 39-43

・学会・シンポジウム等での発表

仲谷幸浩・柳田浩嗣・八木原寛・平野舟一郎・山下裕亮・松島健・中東和夫・篠原雅尚, 2022, Microseismicity in the northern part of the Nansei-Shoto subduction zone observed by ocean bottom seismic network, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS03-P01

仲谷幸浩・柳田浩嗣・八木原寛・平野舟一郎・山下裕亮・松島健・中東和夫・篠原雅尚, 2022, 機動的な海底地震観測による喜界島東方~北東沖における通常の地震と浅部微動との時空間的關係, 日本地震学会2022年度秋季大会, S09-08

中尾茂・八木原寛・仲谷幸浩・平野舟一郎・森井康宏・八木光晴・馬越孝道・山下裕亮・松島健, 2022, 男女群島女島におけるGPS連続観測, 日本測地学会第138回講演会, 76

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：地震：海底地震観測

概要：南西諸島北部の喜界島北東海域において、8台の長期収録型海底地震計を用いた海底地震観測を行い、データを取得した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県喜界島北東海域

調査・観測期間：2021/4/-2022/4/

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

喜界島北東海域に20 kmスパンで展開した第4期LOBS+CBB OBSを2023年4月中旬に全8台回収する。これにより、第4期観測とともに計画全体としての観測も終了となる。回収データを用いて、期間中に発生した浅部微動の震源決定を実施する。また、第1期～第4期観測データを用いて、これまでの観測結果の精査を進め、浅部微動分布のマッピングを行う。さらに、1911年M8.0喜界島地震の推定震源域周辺における微小地震を検出し、浅部微動の時空間分布と総合して当該領域のプレート間すべり特性を議論する。

九州南部－南西諸島北部域の中長期の陸上地震観測データを用いた準静的すべり速度の解析を継続する。また、島嶼域GNSS観測を引き続き実施する。沖縄トラフの拡大を考慮し、トカラ列島付近のフィリピン海プレートの沈み込みに伴う固着率について、有限要素法により解析する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

八木原寛（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、仲谷幸浩（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

他機関との共同研究の有無：有

山下裕亮（京都大学防災研究所）、中東和夫（東京海洋大学）、山田知朗（東京大学地震研究所）、篠原雅尚（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：南西島弧地震火山観測所

電話：099-244-7411

e-mail：yakiwara@sci.kagoshima-u.ac.jp

URL：http://bousai.kagoshima-u.ac.jp/nansei-toko/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：八木原 寛

所属：南西島弧地震火山観測所

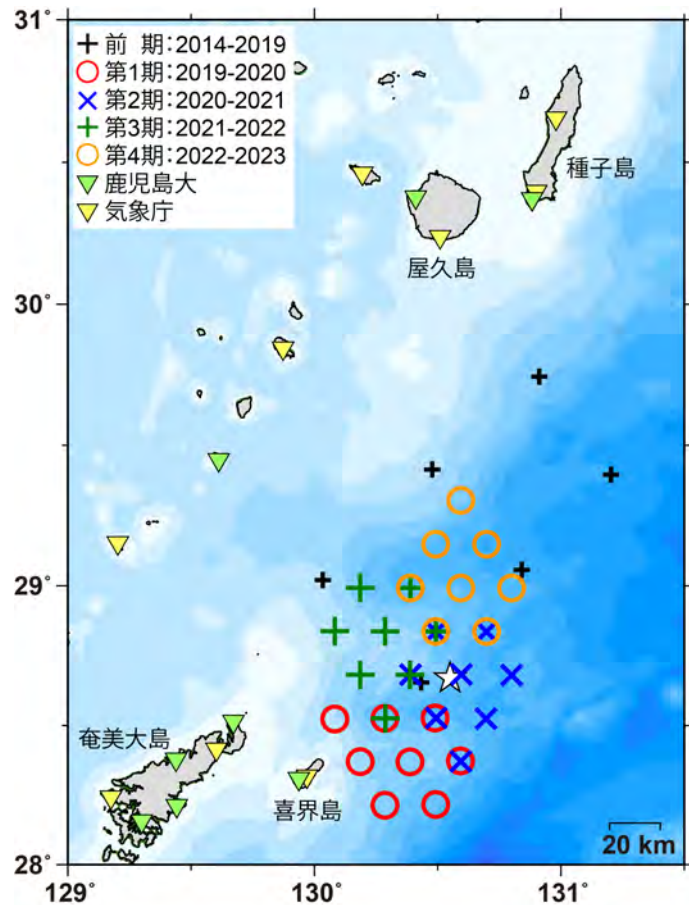


図1：南西諸島北部域における海底および島嶼域の地震観測点配置

緑+は2022年度に回収した第3期、橙○は新規投入した第4期の観測点をそれぞれ示す。赤○は第1期、青×は第2期、黒+は前期計画の観測点である。白☆は1911年M8.0喜界島地震の想定震源〔後藤,2013〕を示す。その他は南西諸島北部域における定常地震観測点である。

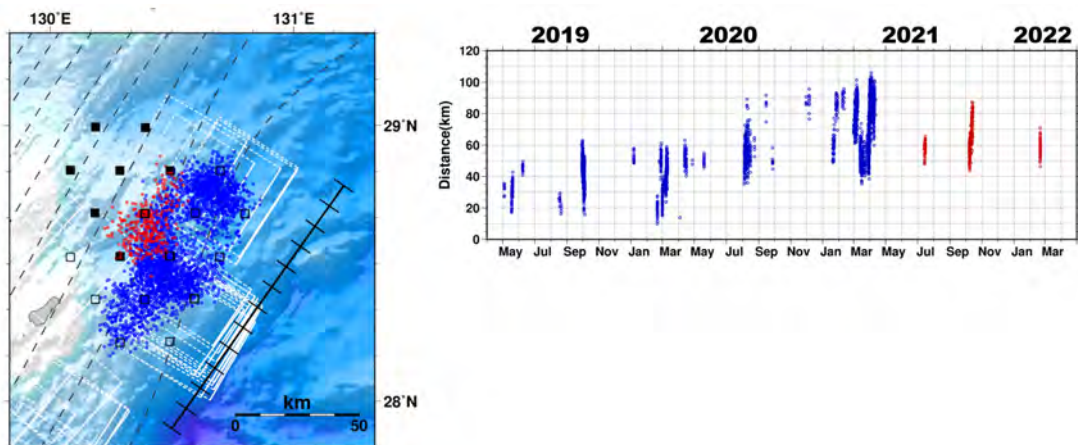


図2：浅部微動の震央分布と時空間分布

震源決定された浅部微動のうち、第3期観測で推定されたものを赤○、第1～2期観測で推定されたもの（令和3年度までに報告済）を青○で示す。白と黒の□はそれぞれ、第1～2期、第3期の海域地震観測点を示す。

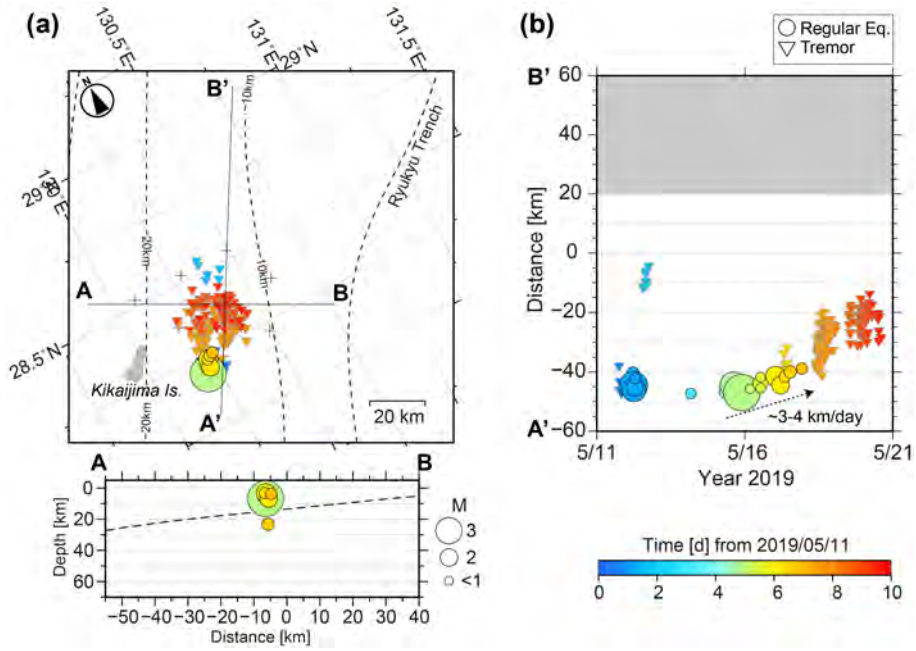


図3：微動エピソードに先行する微小地震の震源移動（第1期：2019年5月11日～21日）

（左）当該期間における地震および微動の震源分布。カースケールは2019年5月11日からの経過日数を示す。黒+は第1期観測点、黒破線はプレート境界深度 [Iwasaki et al. (2015)] である。下図はフィリピン海プレートの沈み込み方向（A-B）に沿った深さ断面図。（右） along-trench 方向（A' - B'）に沿った各震源の時空間分布。灰領域は観測領域外を示す。シンボルは図3左と同様である。

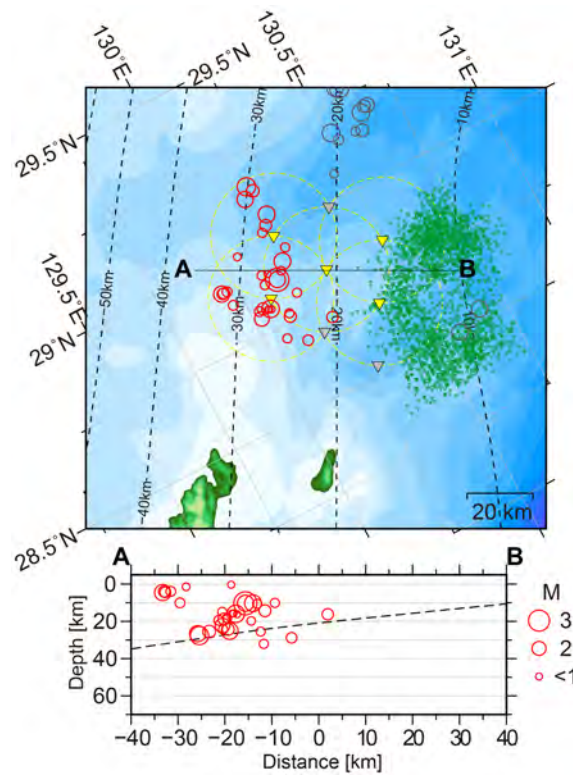


図4：第3期観測（通常地震は2021年10月1日～10月31日）で得られた震源分布

通常地震の最終震源分布（赤○）。緑▽は第3期の浅部微動、黄▽（震源決定に使用）および灰▽（震源決定に未使用）は第3期観測点をそれぞれ示す。黄破線は各観測点を中心とした半径20 kmの円で、この範囲の震源決定精度は十分であるといえる。その他のシンボルは図3左と同様である。

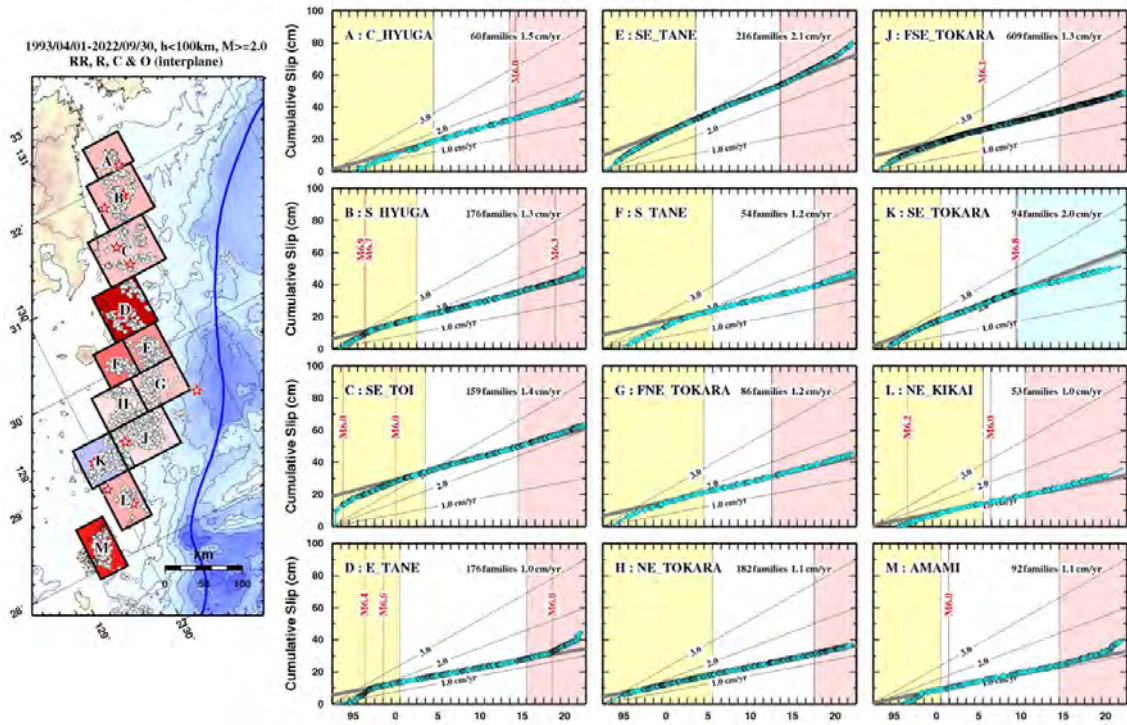


図5：小繰り返し地震の解析による日向灘から奄美大島近海に至る12領域毎の累積すべり量の時間変化。淡ピンク色と薄青色はそれぞれ、準静的すべり速度が平均（淡黄色の期間）よりも大、小の期間であることを示す。各図の右上には、領域毎の準静的すべり速度の平均値とそれを求めるために用いた小繰り返し地震群数を記した。縦赤線は、1993年以降に発生したM6.0以上のプレート境界地震の発生時を示す。

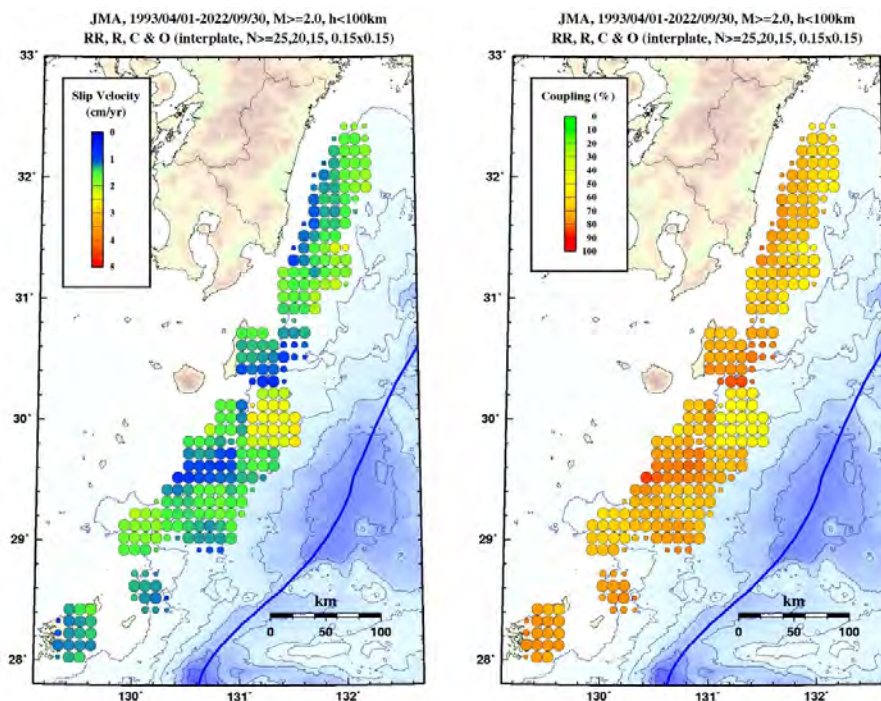


図6：日向灘から奄美近海に至る領域における平均的な準静的すべり速度（左）、及びカップリング率の分布（右）

(1) 実施機関名：

神戸大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

鬼界海底カルデラにおけるマグマ供給系の構造・進化の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

40km³以上のマグマを噴出する「巨大カルデラ噴火」は今後100年で約1%の確率で発生し、その危険値（＝想定犠牲者数×発生確率）は海溝型巨大地震・首都直下地震と同程度の、典型的な低頻度大規模火山現象である。従って、この噴火を引き起こすマグマ供給系の構造と進化並びに活動度の理解と把握は我が国にとって喫緊の課題である。しかしながら、日本列島で地質記録が比較的揃っている過去12万年間に巨大カルデラ噴火を起こした7座の火山で、現在巨大カルデラ噴火につながる可能性のあるマグマ溜りの存在（位置と形状）すら確認できていない。その最大の原因の1つは、陸域火山ではマグマ溜りの確認に有効な大規模稠密構造探査が困難なことにある。

そこで神戸大学では2016年から、附属練習船「深江丸」を用いて海洋研究開発機構などと連携して我が国で唯一海域に存在し、最も直近（7300年前）に巨大カルデラ噴火を起こした「鬼界海底カルデラ」の地球物理学的観測・探査を開始し、カルデラ形成後に巨大溶岩ドームが形成され、それは現在も活動的であることを確認した。

一方で、巨大噴火とカルデラ形成を繰り返す巨大カルデラ火山におけるマグマの進化過程は、岩石学に残された未解決問題の1つであるとともに、その解明は巨大カルデラ火山の活動予測を行う上でも重要な束縛要件を与える。これまでの研究で、巨大カルデラ噴火を起こす中間組成～フェルシクなマグマには、マントルのみならず、下部・上部地殻の物質が関与することが示されている。従って、そのマグマの進化過程の詳細を理解するには、微小域同位体比・微量元素分析法を用いて斑晶鉱物に記録されたマグマ組成の時間変化を読み解き、地球物理学的に得られたマグマ供給系の構造と合わせた包括的な進化モデルの提案が必要不可欠である。

以上の背景、研究の重要性を鑑みて、神戸大学では「鬼界海底カルデラ」に焦点を当てて、以下の点を5年間で明らかにすることを計画している：

a) 海底電位差磁力計などを用いた鬼界カルデラ下のマグマ供給系のイメージング

b) 稠密反射法地震探査、陸上地質調査、ピストンコアリングによる、少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火のマグマ噴出量の推定

c) ドレッジ、簡易ドリリングなどによる海底岩石及び陸上試料の物質科学的解析による、マグマ供給系進化の解明

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題の目標を達成するために、神戸大学の附属練習船「深江丸」による探査航海を毎年実施し、稠密反射法地震探査と海底電位差磁力計の設置・回収を行う。一方、ピストンコアリング、ドレッジや簡易ドリリングによる試料採取は、海洋研究開発機構の調査船を用いて行う予定である。得られた試料の物質科学的解析は、陸上地質調査により得られた試料を含めて毎年継続的に行う。

海底電位差磁力計（OBEM）による電磁気トモグラフィでは、比抵抗構造の推定により、巨大カルデラ火山のマグマ溜り等の溶融体を含む構造を正確に把握することに重点を置く。具体的には、4台のOBEMの設置・回収を毎年繰り返すことにより、巨大カルデラ火山を横切る2次元測線と山体を覆う面的な観測点での長期海底地磁気観測を実施する。このデータ解析により、巨大カルデラ火山全体の大局的な2次元比抵抗構造と、山体下の上部マントルまでの3次元比抵抗構造を推定する。これにより、マントルダイアピルの規模を把握するだけでなく、深部の部分融解ゾーンやマグマ溜りを把握する。

反射法地震探査を稠密な測線で毎年実施することにより、1) 貫入岩体と、2) 少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火の噴出物と考えられる堆積層の、空間分布や総量の把握を行う。

1) では、二重のカルデラ縁に沿って複数の脈状貫入岩体が存在することを確認しており、この空間分布をより正確に理解する。さらに、これらの岩石試料の採取を、ドレッジや簡易ドリリングにより実施する。得られた岩石については主成分・微量成分・同位体比分析を行い、これらの組成をこれまでに我々が明らかとした鬼界カルデラ地域の岩石の化学的特徴と比較することでカルデラ形成前後のマグマとの成因関係を明らかにする。

2) では反射法地震探査で見いだされた各堆積物層を認定し、その連続性を使って各層の空間分布を把握する。このうち、主に鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積物を対象にピストンコアリングを実施する。得られた堆積物については火山ガラス組成の分析を行い、SiO₂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を行い、鬼界アカホヤ噴火と同様の解析を試みる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

九州の南の海域に位置する鬼界海底カルデラ火山を対象にした研究航海により、長期海底観測機器の回収・設置と、航走観測を行った。一方、これまでの研究航海により取得した地球物理学的観測データの解析と、堆積物・岩石試料の岩石学的、地球化学的、地質学的解析を進めた。

鬼界海底カルデラ火山を対象にした海底における長期観測を、広帯域海底地震計（BBOBS）、海底電位差磁力計（OBEM）、短周期海底地震計（SPOBS）および海底磁力計（OBM）により行ってきた（図1）。これらのBBOBSおよび、SPOBS、OBMは令和2年度10月に海洋研究開発機構の研究船「かいれい」KR20-11航海で、OBEMは令和3年度7月に海洋研究開発機構の研究船「かいめい」KM21-05航海で設置したものである。これらの海底観測機器の回収を、海洋研究開発機構の研究船「新青丸」によるKS-23-3航海（2月11日～2月18日）により行った。また、令和3年度10月に薩摩硫黄島と竹島に、12月に黒島の陸上に設置して観測を行っていた磁力計の回収を11月に行った。一方で、これまでに海底観測機器で得られた観測データを順次解析を進めており、得られた成果を学会・シンポジウム等での発表を進めている。

堆積物・岩石試料の岩石学および地球化学的解析は、神戸大学と海洋研究開発機構で進めた。

「かいめい」KM22-01航海で採取した掘削試料とROV採取試料について、全岩化学組成における主要元素および微量元素分析を進めた。その結果、7300年前の鬼界アカホヤ噴火の後のマグマ活動と考えられるが、これまで採取されてこなかった組成範囲の噴出物が認識された。これらの意義については現在検討中である。

鬼界アカホヤ噴火以降のマグマ供給系の変遷について、これまでの物質科学的データをものにまとめた論文をHamada et al.(2023)として、Journal of volcanology and Geothermal Researchに発表した。鬼界アカホヤ噴火及びその後の火山噴出物の化学分析を元に、マグマの組成の特徴、マグマの

温度や酸化還元状態等の岩石学的条件、およびそれらの時間的変遷を明らかにした。その結果は、次の2点にまとめられる。1) カルデラを形成した大規模噴火である鬼界アカホヤ噴火の後、直後にはその残りのマグマが活動した。2) その後に鬼界アカホヤ噴火のマグマと岩石学的性質の異なる新たな珪長質マグマと苦鉄質マグマが浅部における新たなマグマ供給系を作り、この供給系が巨大溶岩ドームおよび現在活動火口がある薩摩硫黄島の噴出マグマである。

堆積物試料の地質学的研究については以下を行った。鬼界海底カルデラ火山周辺の島（薩摩硫黄島、竹島、黒島、九州島南部）において、火砕流の到達範囲をより高精度に評価するため地質調査、および鬼界アカホヤ噴火噴出物の噴出口近傍の定置温度を岩石磁気学的に推定するための試料採取を行った。それらの試料分析の結果、竹島では鬼界アカホヤ噴火噴出物が580℃以上の高温で定置したが、薩摩硫黄島での定置温度は、150℃以下の低温であった。この結果は、大規模火砕流は噴出口近傍であっても、噴出初期温度が大きく異なることを示唆しており、火砕流の流動堆積様式を検討する上で重要なデータである。

鬼界アカホヤ噴火によって噴出した火砕密度流の海上と海中での流動堆積機構の違いを明らかにするため、カルデラから約70kmの範囲内の様々な距離における陸上火砕流堆積物および海底火砕流堆積物（KR20-11によるピストンコア試料）の篩による粒度分析を行った。その結果、海底火砕流堆積物は、海面を流れて陸上に堆積したものに比べ、流走距離とともに急速に細粒化し淘汰も良くなっていることを明らかにした。現在さらに粒度分析を進めている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

カルデラ火山の普遍的なマグマ供給系過程を明らかにするため、九州の他のカルデラ火山（阿蘇、始良）の岩石学的・地球化学的比較研究を行った。その結果、カルデラ火山のマグマ供給系の普遍的性質は、高いマグマ生成率、および多様な組成のマグマが同一の地殻物質を起源として生成することである。一方、マグマ生成から噴出までの間におこるマグマのマントルや地殻の同化混合過程は、カルデラ火山ごとに全く異なることを明らかにした。このことは、カルデラ火山ごとに組み込むべき過程とそうでない過程があることを示しており、普遍的なカルデラ火山のマグマ供給系モデルを構築するために、鍵となる視点としての意義を持つ。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Hamada, M., T. Hanyu, I. M. McIntosh, M. L. G. Tejada, Q. Chang, K. Kaneko, J. Kimura, K. Kiyosugi, T. Miyazaki, R. Nakaoka, K. Nishimura, T. Sato, N. Seama, K. Suzuki-Kamata, S. Tanaka, Y. Tatsumi, K. Ueki, B. S. Vaglarov, K. Yoshida, 2023, Evolution of magma supply system beneath a submarine lava dome after the 7.3-ka caldera-forming Kikai-Akahoya eruption, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 434, 107738, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107738>, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

清杉 孝司・出口 翔太・金子 克哉・鈴木 桂子・中岡 礼奈・清水 賢・島 伸和・巽 好幸・羽生 毅, 2022, Investigation of subaerial and submarine deposits of pyroclastic density currents: A case study at Kikai volcano, SW Japan, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG48-05

山本 揚二郎・伊藤 亜妃・石原 靖・大林 政行・田中 聡・中道 治久・八木原 寛・仲谷 幸浩・杉岡 裕子・大塚 宏徳・松野 哲男・島 伸和, 2022, 鬼界海底カルデラにおける海陸自然地震観測, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SVC31-P18

Iona McIntosh・Morihiisa Hamada・Takeshi Hanyu・Maria Luisa Tejada・Takashi Miyazaki・Qing Chang・Bogdan Vaglarov・Katsuya Kaneko・Koji Kiyosugi・Reina Nakaoka・Keiko Suzuki-Kamata・Nobukazu Seama, 2022, Investigating the formation of the Kikai submarine lava dome using matrix glass volatile contents, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SVC29-12

中岡 礼奈・金子 克哉・島 伸和・鈴木 桂子・清杉 孝司・羽生 毅・山本 由弦・松野 哲男・清水 賢・杉岡 裕子・巽 好幸, 2022, 海底掘削試料から明らかになった鬼界カルデラ火山噴出物の特徴, 日本地球化学会 第69回年会, PR0081

羽生 毅・常 青・金子 克哉・中岡 礼奈・清杉 孝司・鈴木 桂子・山本 由弦・松野 哲男・島 伸和・巽

好幸,2022,鬼界カルデラ破局噴火の噴火準備過程—ちきゅうSCORE試料より—,日本地球化学会 第69回年会,PR0088

長屋 暁大・藤江 剛・小平 秀一・田中 聡・山本 揚二郎・杉岡 裕子・宮町 宏樹・松野 哲男・大塚 宏徳・鈴木 啓太・島 伸和,2022,屈折法地震波探査によって推定された鬼界カルデラ地下の地震波速度構造,日本火山学会2022年度秋季大会,B2-09

長屋 暁大・藤江 剛・小平 秀一・田中 聡・山本 揚二郎・杉岡 裕子・宮町 宏樹・松野 哲男・大塚 宏徳・鈴木 啓太・島 伸和,2022,屈折法地震波探査による鬼界カルデラ地下の地震波速度構造の推定,日本地震学会2022年度秋季大会,S06-12

小畑 拓実・荒木 将允・松野 哲男・南 拓人・島 伸和,2022,海底地形効果を考慮した3次元比抵抗構造解析手法の開発,地球電磁気・地球惑星圏学会2022年秋学会,R003-03

Katsuya KANEKO・Ayumu NISHIHARA・Ryohei KIKUCH・Kento SHINJO・Kimihiko NISHIMURA・Jun-Ichi KIMURA・Qing CHANG・Takashi MIYAZAKI・Takeshi

HANYU,2023,Common and individual magmatic processes in three caldera volcanoes, Aso, Aira, and Kikai volcanoes, SW Japan,IAVCEI Scientific Assembly 2023,02G-1

田中 聡・羽生 毅・藤江 剛・山本 揚二郎・小平 秀一・宮崎 隆・白井 洋一・上木 賢太・Maria Luisa G. Tejada・宮町 宏樹・西来 邦明・佐藤 勇輝・島 伸和・鈴木 桂子・金子 克哉・松野 哲男・清杉 孝司・中岡 礼奈・大塚 宏徳・清水 賢・荒木 将允・長屋 暁大・小畑 拓実・ならびに課題提案者一同,2023,鬼界海底カルデラの総合調査,海と地球のシンポジウム2022,6-1

長屋 暁大・藤江 剛・小平 秀一・田中 聡・山本 揚二郎・杉岡 裕子・宮町 宏樹・松野 哲男・大塚 宏徳・鈴木 啓太・島 伸和,2023,屈折法地震波構造探査によって明らかになった鬼界カルデラ火山直下の低速度領域,海と地球のシンポジウム2022,6-2

小畑 拓実・荒木 将允・廣瀬 時・沖園 雄希・松野 哲男・南 拓人・大塚 宏徳・巽 好幸・杉岡 裕子・島 伸和,羽生 毅・田中 聡・市原 寛,2023,鬼界カルデラ火山海底下の三次元比抵抗構造解析,海と地球のシンポジウム2022,6-3

羽生 毅・常青・中岡 礼奈・清杉 孝司・金子 克哉・鈴木 桂子・山本 由弦・松野 哲男・島 伸和・巽 好幸,2023,鬼界カルデラ破局噴火のマグマ準備過程,海と地球のシンポジウム2022,6-4

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度までの研究航海により取得した海底観測を含む地球物理学的観測データの解析と、掘削とピストンコア、ドレッジおよび陸上で採取された得られた堆積物・岩石試料の岩石学的、地球化学的、地質学的解析をさらに進める。観測データの解析を進めることで、巨大カルデラ火山下の地殻・マントル構造の推定を行う。一方、堆積物・岩石試料の物質科学的解析を進めることで、鬼界カルデラ火山における3回の大規模噴火を含む10万年スケールにおける長期的なマグマ供給系の進化過程について考察を行う。また、大規模噴火噴出物の堆積物については、掘削とピストンコアにより得られた試料と陸上で採取した試料の堆積構造や構成物の記載、化学組成分析、粒度分析、古地磁気測定による定置温度の推定などを進め、海面および海底を流動する火砕流の運搬堆積様式および冷却過程についての検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉岡裕子（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、島伸和（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、巽好幸（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、松野哲男（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門）、中東和夫（神戸大学海洋底探査センター構造探査部門/東京海洋大学）、清水賢（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、佐野守（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、井和丸光（神戸大学海洋底探査センター探査運用部門）、鈴木桂子（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、金子克哉（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、清杉孝司（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、中岡礼奈（神戸大学海洋底探査センター火山学部門）、木村純一（神戸大学海洋底探査センター火山学部門/海洋研究開発機構）

他機関との共同研究の有無：有

小平秀一 他9名（海洋研究開発機構海域地震火山部門）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：海洋底探査センター

電話：078-431-4620

e-mail：kobec-office@research.kobe-u.ac.jp

URL：http://www.k-obec.kobe-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：島 伸和

所属：理学研究科惑星学専攻 / 海洋底探査センター

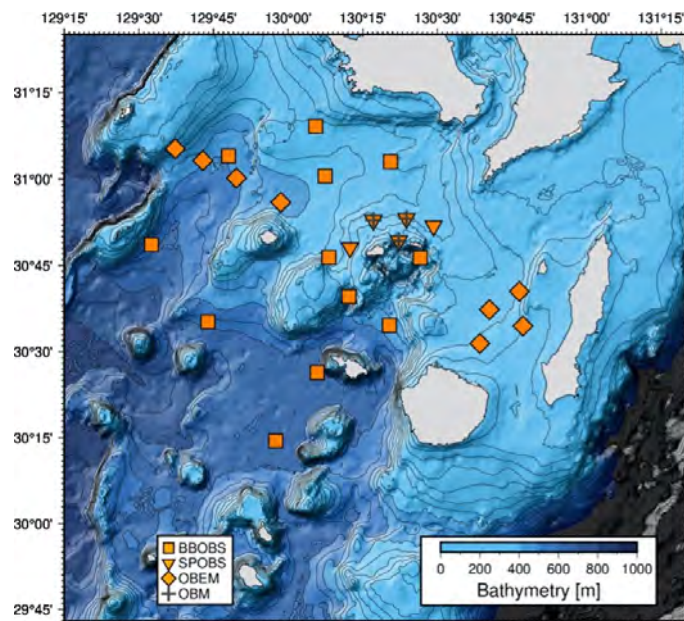


図1

鬼界カルデラ周辺の海底地形図と、広帯域海底地震計（BBOBS）、海底電位差磁力計(OBEM)、短周期海底地震計(SPOBS)および海底磁力計(OBM)による観測点を示す。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

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4年度の計画の概要：

本研究課題の最終年度となる今回の申請では、これまでに集められたデータから地震との関連性を検証し論文としてまとめることに研究に重点を置く。

現地調査については、宮城県県政情報センターで一般公開されている漁海況調査の報告書（紙ベース）のデジタル化作業を継続する。論文化については、最初に「アマチュア研究グループ“なまずの会”による地下水異常と地震との関係についての再調査」に取り掛かる。このテーマに関しては、既に2019年の日本地震学会秋季大会で発表しているが、他の研究者からいただいた意見等をふまえて検証方法を再検討したのちに論文化する。他に、鯨類のマス・ストランディング（集団座礁）と地震との関係についてと、多賀城市観測井データの2011年東北地方太平洋沖地震先行異常について、論文としてまとめる。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. ボラ大量死と地震

2022年3月16日、福島県沖を震源とする最大震度6強（マグニチュード7.4）の地震が発生した（気象庁，2022）。一方、この地震の前に東京と大阪でほぼ同時期にボラが大量死するといった出来事があった。インターネット上では、この地震の前兆ではないかとする書き込みが散見された。

申請者のもとに新聞社から、ボラ大量死と地震との関係に関する問い合わせがあったことから、予定を変更して、ボラ大量死と地震との関連について調べ、論文としてまとめることを優先させた。

3月16日福島県沖の地震の前兆ではないか、とされたボラ大量死は、3月6日東京都大田区の呑（のみ）川で約1000匹が死亡した件と、3月7、8日の両日に大阪市の平野川と第二寝屋川であわせて約7500匹が大量死した件である（産経新聞社，2022；中日新聞東京本社，2022）。

ボラの大量死は、概ね100以上の場合を大量死とし、過去の新聞記事およびインターネット検索から拾い上げた。また、複数の魚種が示された記事については、ボラが先頭に示されているものだけを選んだ。その結果、ボラ大量死は37件となった。地震は、一般の人がその発生をより意識しやすい基準として、地震の揺れの大きさを表す震度とした。2022年3月16日福島県沖の地震が最大震度6強だったことから、最大震度6強以上の地震とした。調査期間は、気象庁の震度階級が現在の10階級になっ

た1996年4月1日から2022年6月30日とした。対象となる地震は21個となった。Fig.1に、最大震度6強以上の地震21個（青色ひし形）とボラ大量死37件（赤色星印）が発生した場所を示す。

Fig.1 最大震度6強以上の地震とボラ大量死の発生場所

ボラの大量死発生から地震までの時間（先行時間）は、Orihara et al. (2019) にならって、イベント発生から30日後までとした。イベント発生場所から地震までの距離は、2022年3月のボラ大量死（東京都大田区）から、福島県沖の地震の震源までがおよそ290 km だったことから、半径 300km以内とした。

両者の関係を調べた結果、ボラ大量死から30日後までに半径300km以内で震度6強以上の地震が発生したケースは、2022年3月6日東京都大田区ボラ大量死と2022年3月16日福島県沖の地震のみであった。つまり、今回インターネットで話題になったボラ大量死と地震以外に、同様の対応はなかった。

ボラの大量死といったときどき発生する、異常ともいえる現象を地震の前兆ではないかと考える人がいる。そうした人は、その後に地震が発生すると、たとえ遠く離れていても両者を関連あるものとして結びつけてしまう傾向がある。しかし、過去に発生したボラ大量死と大地震との関係を調べると、ボラ大量死が大地震の前兆現象であることを示唆するような事実は見出せなかった。

2. トルコ・シリアの地震と赤みを帯びたレンズ状の雲

2023年2月6日未明、トルコとシリアの国境付近でマグニチュード7.8の地震が発生した。この地震の18日前（1月19日）に、トルコ・ブルサ県で、赤みを帯びたレンズ状の雲が出現していた。この雲がいわゆる地震雲だったとする書き込みがネット上でみられた。

Fig.2 は雲が発生したブルサ県と震源となったガジアンテプ県カフラマンマラシュの位置関係を示している。直線距離で700km以上離れている。これを日本で例えるなら、東京で発生した地震について、その前兆が東京ではなく、山口県や北海道南部などで見られたことになる。

Fig.2 レンズ状の雲とトルコ・シリア地震との位置関係

これもまたボラ大量死同様に、遠く離れていても両者を関連あるものとして結びつけてしまう人が少なからずいるといった例である。

また、Yahoo!ニュースでも「トルコ大地震で目撃“地震雲”の正体に気象学者・荒木健太郎氏「雲は地震の前兆にはなりません」」日刊スポーツ

(<https://news.yahoo.co.jp/articles/13d78990595cf5e0d3ba0228b46c16f11608df44>) といった記事を取り上げていた（2023/2/7(火)18:39配信）。

この記事に対するヤフーコメントの批判的な意見は、荒木氏の断定的な否定に対して、「なぜ“ない” 言い切れるのか？」といった内容のものが目立った。ないことを証明することは、悪魔の証明などと言われることもあり、大変困難である。たとえ科学的に正しいといえる内容であっても、断定的に「ない」と否定してしまうと、いらぬ反発を招く恐れがある。表現の仕方には注意を払う必要がある。

3. 2011年東北地方太平洋沖地震前の水温変化

2011年東北地方太平洋沖地震前の異常の有無を調べることを目的として、宮城県県政情報センターに所蔵されている行政資料から、宮城県水産技術総合センター内水面水産試験場 (Miyagi Prefecture Fisheries Technology Institute, Freshwater Fisheries Experiment Station) (大和町吉田字旗坂地内) と、宮城県栽培漁業センター(Miyagi Prefectural Sea Farming Center) (石巻市谷川浜字前田22) の水温データ（1日1回計測）をデジタル化した。

Fig.3 は、各観測点と地震との位置関係を示している。Fig.4は、宮城県水産技術総合センター内水面水産試験場の伏流水と河川水のデータで、Fig.5 が宮城県栽培漁業センターの地下水の水温になる。いずれも、2005年4月から2008年3月の資料がなかったためデータ欠損となっている。また、Fig.5 の宮城県栽培漁業センターは、地震の影響で2011年2月9日以降のデータはない。いずれのデータにおいても、2011年東北地方太平洋沖地震前の顕著な異常は見られなかった。

Fig.3 2011年東北地方太平洋沖地震の震源と観測点との位置関係

Fig.4 宮城県水産技術総合センター内水面水産試験場の伏流水と河川水の水温データ

Fig.5 宮城県栽培漁業センターの水温データ

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「関連の深い建議の項目」5(6)社会との共通理解の醸成と災害教育については、2023年2月に発生したトルコ・シリアの地震とその前に見られた奇妙な雲を地震雲とするインターネット情報とその反応を調べた。その結果、科学的に正しいといえる内容であっても、表現の仕方によっては一般市民から反発を招く可能性があることが示された。

「災害の軽減に貢献する」については、昔から地震前兆ではないかといわれている様々な事象と地震との関係を調べ、そこから地震前兆の可能性のあるものを見出そうとしている。肯定的なものはなかなか見出せないが、否定的な結果を明らかにすることもまた重要であると考えている。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

織原義明,2022,ボラの大量死と地震との関連性の検討,東海大学海洋研究所研究報告,44,27-36,査読有,謝辞有

織原義明,2022,海鳴りと地震・津波,日本地震予知学会第9回学術講演会アブストラクト集,22-14,査読無,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

織原義明,2022,海鳴りと地震・津波,日本地震予知学会第9回学術講演会,22-14

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

織原義明（東京学芸大学教育学部）

他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京学芸大学教育学部

電話：042-329-7489

e-mail：orihara@u-gakugei.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：織原 義明

所属：東京学芸大学教育学部

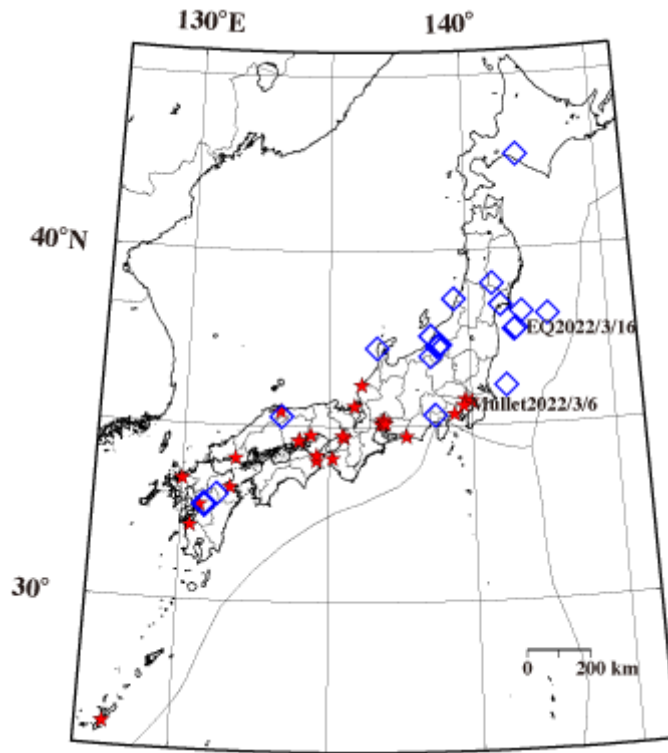


Fig.1 最大震度6強以上の地震（青色ひし形）とボラ大量死の発生場所（赤色星印）
織原 (2022) より

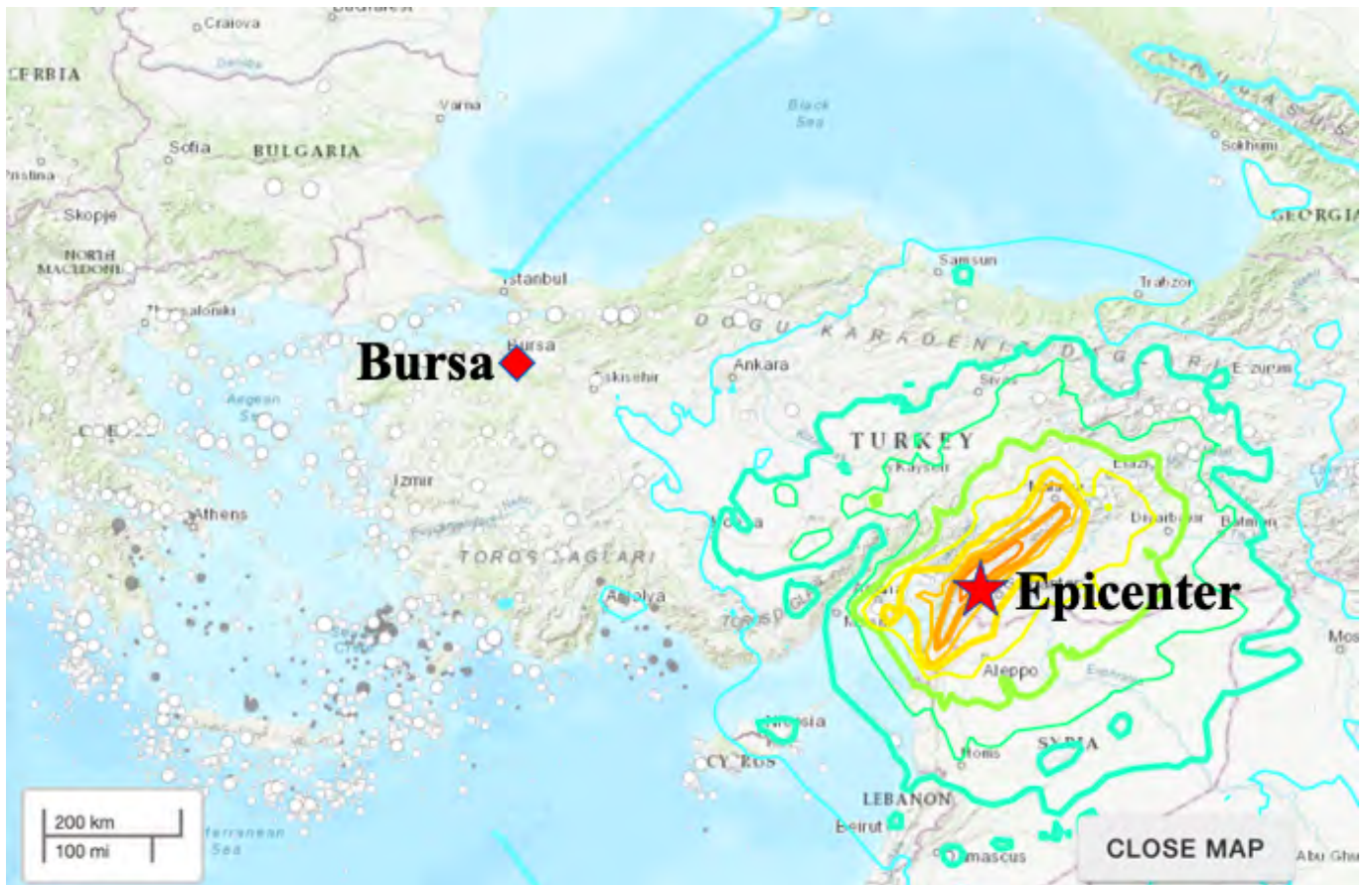


Fig.2 レンズ状の雲とトルコ・シリア地震との位置関係

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/map?historic-seismicity=true&shake-map-intensity=false> に加筆

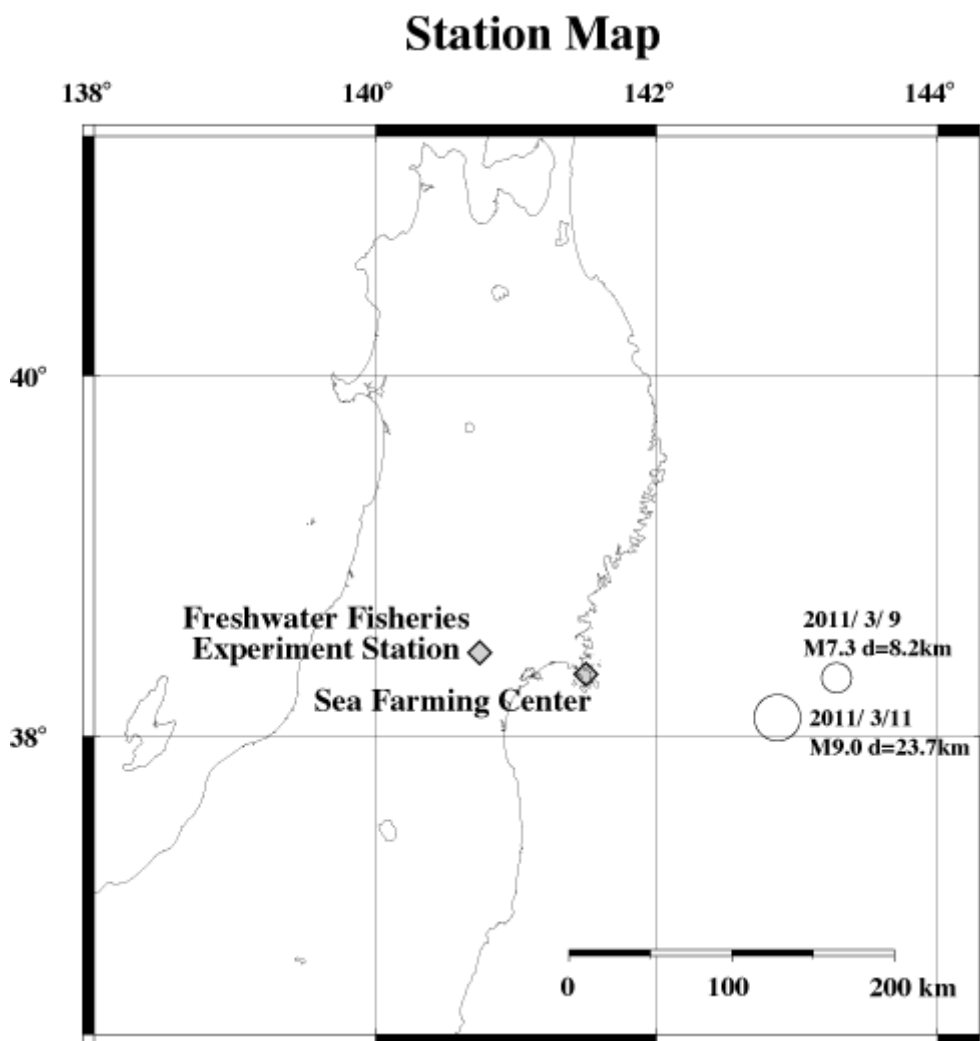


Fig.3 2011年東北地方太平洋沖地震の震源と観測点との位置関係

Water Temperature

(Miyagi Prefecture Fisheries Technology Institute, Freshwater Fisheries Experiment Station)

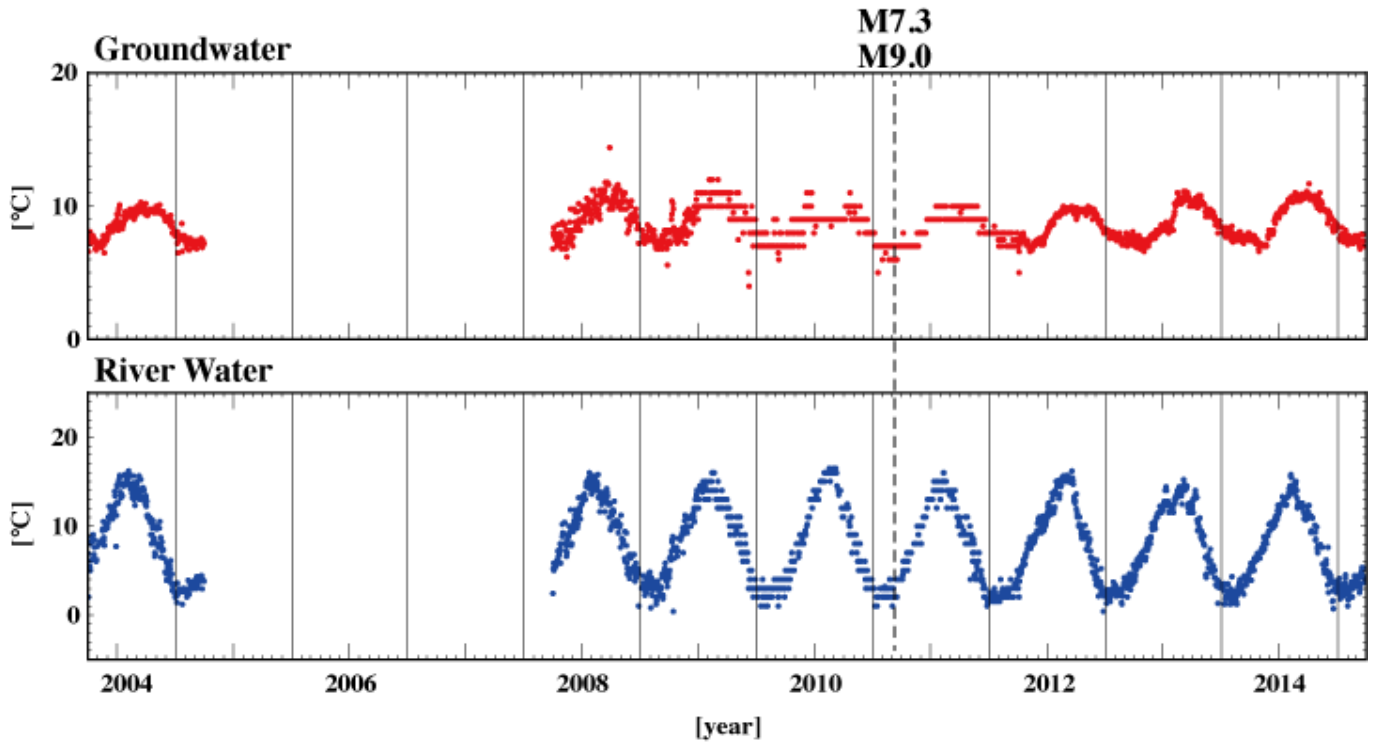


Fig.4 宮城県水産技術総合センター内水面水産試験場の伏流水と河川水の水温データ
宮城県水産技術総合センター「宮城県水産試験研究成果要旨集」より

Water Temperature

(Miyagi Prefectural Sea Farming Center)

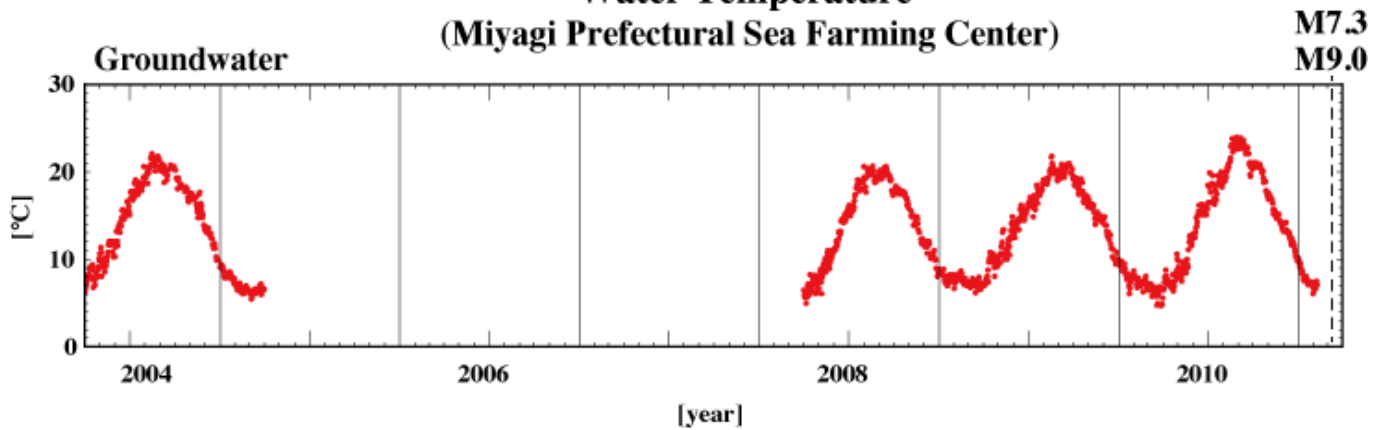


Fig.5 宮城県栽培漁業センターの水温データ
宮城県水産技術総合センター「宮城県水産試験研究成果要旨集」より

(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4年度の計画の概要：

2022年度の当初計画では、認定NPO法人「富士山測候所を活用する会」の富士山頂観測点に磁力計の設置を予定していた。しかしコロナの状況があまり改善せず、山頂での活動に制約がかかる状態であった。これは旧気象庁測候所の建物が厳しい気象条件に耐えるため、極めて気密性の良い建物となっている事から、入山しての作業には入山2週間前からの検温、PCR検査陰性という条件が課せられた。

このような厳しい体制を取っていたのであるが、やはり一般登山者等との接触は避けられず、常駐スタッフ3名全員がコロナに感染するという事態が発生し、観測点を閉鎖せざるを得ない状況も発生した。

このため、本年度は山頂付近での観測点設置候補地の選定のため、地磁気臨時移動観測を重点的に行う事とした。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

全磁力異常を解析する時に、近年重要視されているのが観測点近傍の全磁力環境（全磁力空間分布）である。真の異常なのか、あるいは観測システムが物理的に位置が変化した（高さやセンサーポールが不可抗力のために傾く等）等による人工的な変動なのかを判断するためにも、極力観測点周辺は磁気勾配が小さい事が望ましい。しかし太郎坊は玄武岩質の溶岩に周囲を囲まれており、富士山における地磁気観測では、どこに観測点を設置しても、この問題から逃げる事は出来ない。

この困難を少しでも回避するため、令和4年度は、山頂から宝永火口付近までの全磁力環境調査を実施した。図1および図2はGoogle Earth上にプロットした2022年8月10日に実施した臨時観測の測定点分布である。

臨時観測の結果、気象庁が地殻変動観測等を実施している8合目付近に地磁気勾配が小さく、観測に好適な場所を見つける事ができた。図3は八合目近傍のGoogle Earth上にプロットした観測点分布である。図4は全体の測線図（左）と八合目付近の測線拡大図（右）である。

図5に今回選定した観測点候補地（図中に楕円で示した地点）を示す。ここでは鉛直方向の地磁気勾配が1mあたり30nT以下となっている事が判明した。

磁気データ解析システムについては、プラットフォームをPythonとして、主成分解析(PCA)および独立成分解析(ICA)を組み込んだシステムを昨年度開発し、現在欠測データをどのように適切に処理するかについて、試行を行っている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

長尾年恭・鴨川仁・楠城一嘉・上嶋誠・佐柳敬造,2022,富士山噴火予知実現のための多角的監視, (一社)日本地震予知学会 第9回学術講演会,22-11

長尾年恭・鴨川仁・上嶋誠・佐柳敬造,2023,富士山における全磁力観測 一山頂近傍における電磁環境予備調査一,認定NPO法人 富士山測候所を活用する会 第16回成果報告会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐柳敬造（東海大学海洋研究所准教授）,長尾年恭（東海大学海洋研究所客員教授）

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）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東海大学 海洋研究所

電話：054-334-0411

e-mail：sayanagi@scc.u-tokai.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐柳 敬造

所属：東海大学 海洋研究所

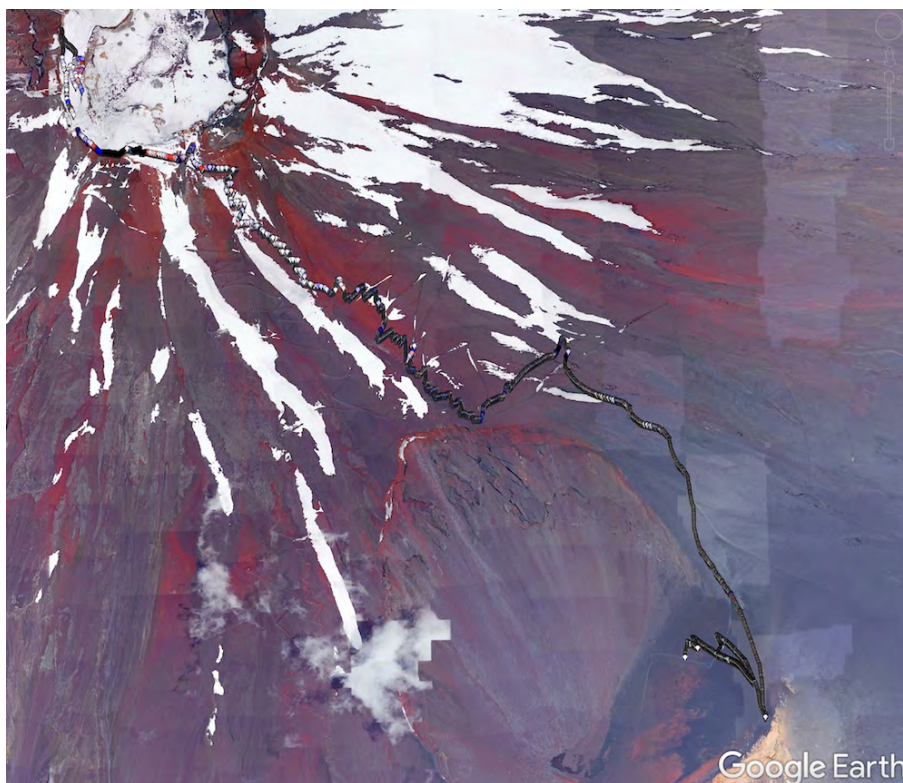


図1 2022年8月に実施した地磁気臨時観測のルートマップ



図2 2022年8月に実施した地磁気臨時観測のルートマップ（3次元表示）

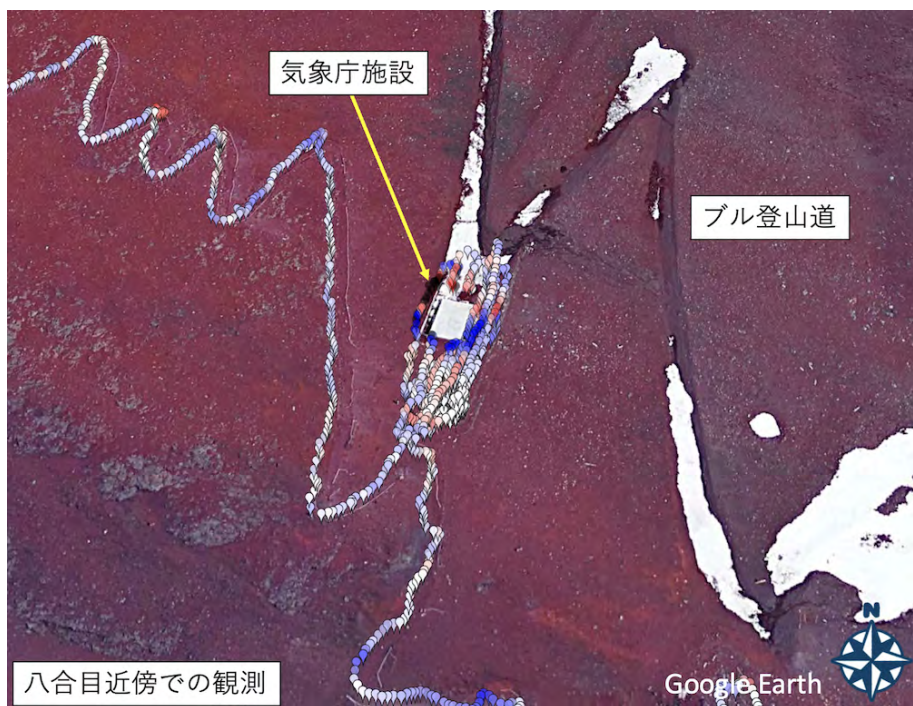


図3 御殿場ルート8合目付近の予備観測結果。中央に気象庁施設が存在する。

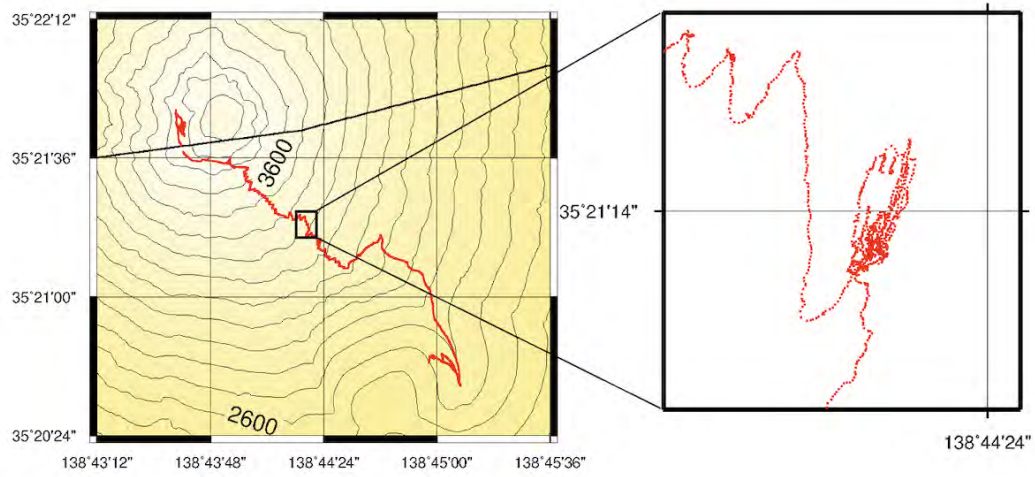


図4 予備観測全体の測線図（山頂から宝永火口：左）と八合目付近の測線拡大図（右）

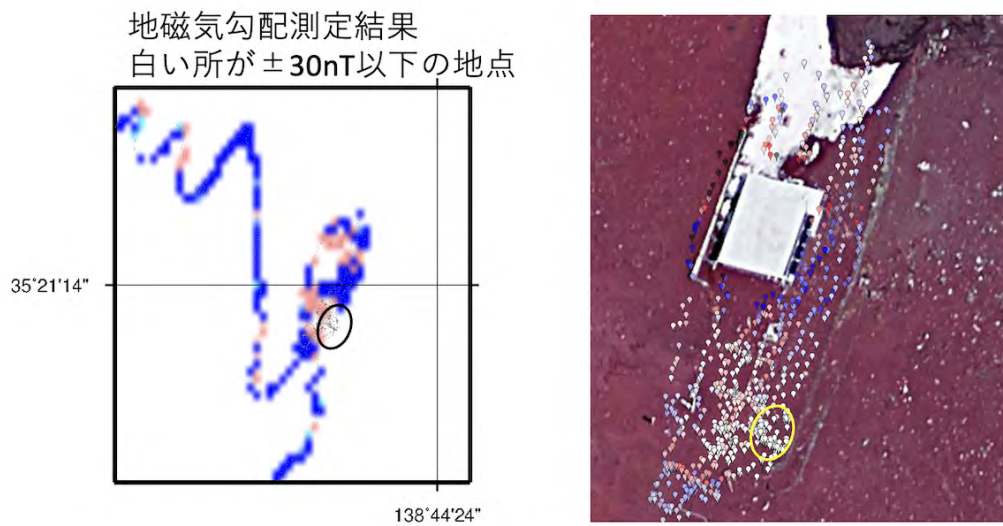


図5 御殿場ルート八合目付近の観測候補地点（楕円で囲った地点）。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

東京海洋大学練習船での海底地殻変動観測

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

東京海洋大学練習船「汐路丸」の実習航海を利用し、茨城・福島沖において4か所の海底局アレイの位置推定を行う。新たに得られた位置と、これまでの観測で得られている位置との比較を行い、海底局アレイの変位を明らかにすることで、茨城・福島沖のプレート境界固着状況推定に資するデータを取得する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は2022年1月に、2017年以来5年ぶりに茨城沖の海底局G20で取得した観測データの解析を進めた。解析の結果、海底局位置は2017年から南に約2cm、東に約18cm移動していることが分かった。この結果と2017年以前の解析結果を比較すると、変位方向は調和的であるが、変位量は増加しているという結果が得られた。海底局G20は黒潮の流路にあたるため、観測中の海中音速構造の変化が大きい海域である。そのため解析時に海中音速構造変化の影響を受けている可能性がある。そこで海中音速構造の変化を考慮した解析を現在行っており、今後、より正確な海底局位置を明らかに予定である。一方、今年度の観測は、2022年10月に海底地殻変動観測およびウェーブグライダーの回収作業を茨城・福島沖において行う予定であったが、海況が悪くいずれも実施することが出来なかった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

岡山悠宇, 中東和夫, 鹿島英之, 酒井久治, 木戸元之, 2022, 東京海洋大学練習船「汐路丸」による海底地殻変動観測, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SGG48-P12

富田史章, 木戸元之, 飯沼卓史, 太田雄策, 本荘千枝, 日野亮太, 野徹雄, 中東和夫, 2022, 東北沖における近年のGNSS音響海底測地観測とその成果, 日本地震学会2022年度秋季大会, S03P-06

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中東和夫(東京海洋大学准教授), 岡山 悠宇(東京海洋大学大学院生), 清水良弥(東京海洋大学大学院生), 永井智明(東京海洋大学大学院生), 石橋 環(東京海洋大学大学院生)

他機関との共同研究の有無: 有

木戸元之(東北大学教授), 西村健(東北大学大学院生)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 東京海洋大学・学術研究院

電話: 03-5463-0742

e-mail: knakah0@kaiyodai.ac.jp

URL:

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 中東 和夫

所属: 東京海洋大学・学術研究院

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

石基組織から読み解く北海道摩周火山の噴火推移過程

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (4) 火山現象の解明とモデル化
- ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

火山の噴火推移予測に資するデータを蓄積するため、摩周火山約7600年前カルデラ形成噴火のうち降下火砕物（Ma-g~i）を対象に、地質調査で採取した岩石を用いて放射光分析を実施する。放射光分析は兵庫県立大学高度産業科学技術研究所のニュースバル放射光施設ビームライン(BL-10)にて、同施設の原田哲男博士に助言・協力をいただきながら実施する。湿式分析によって $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ を定量した標準試料を用いて放射光分析を実施し、 Fe^{2+} および Fe^{3+} に由来する放射光スペクトルから $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ を推定する検量線を作成する。また、作成した検量線から北海道摩周火山カルデラ形成期のマグマ噴出率の時間変化と火山岩組織の酸化度との関係を明らかにする。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

これまでに採取した試料に対して湿式分析を実施し、 Fe^{2+} および Fe^{3+} 既知の標準試料とした。これらの試料を用いてニュースバル放射光施設ビームライン(BL-10)にて690 [eV]から750 [eV]の領域を対象に放射光分析を実施し、Fe元素に由来する放射光スペクトルから $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ を推定する検量線を作成した。また、これらの検量線をもとに摩周火山カルデラ形成期の降下火砕物について $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ の変化を推定したところ、Ma-iの下部から上部に向かって $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ が11.5から16.6と増大すること、Ma-iからMa-hに噴火が移行する際に $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ が16.6から9.2へと減少する傾向が得られた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

目の前で噴火している火山が今後どのような活動に移行するのかを推定し、そこから適切な防災・減災対策につなげていくためには、噴火推移と火山噴出物の変化に関するデータを蓄積することが重要である。本研究ではカルデラ形成する噴火に対して $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比の変化を見積もり、噴火推移との関係を明らかにした。

今後はより詳細に噴火推移と $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比の関係を調べることで、火山の噴火推移予測に資するデータとして $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ が有用である可能性を提案できる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

佐野恭平・原田哲男,2023,放射光を用いた火山噴出物の解析,ニュースバルシンポジウム2023

佐野恭平・原田哲男・和田恵治・佐藤鋭一,2023,放射光分析と気泡組織解析に基づく北海道摩周火山約7600年前カルデラ形成噴火のマグマ上昇・酸化過程,日本地球惑星科学連合2023年大会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐野恭平（兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科）

他機関との共同研究の有無：有

和田恵治（北海道教育大学旭川校名誉教授）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科

電話：0796-34-6079

e-mail：sano@rrm.u-hyogo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：佐野 恭平

所属：兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

活火山火口湖の水・熱・化学物質収支の長期評価と火山活動変動との関係について：蔵王山と御釜

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 令和4年度の計画の概要：

2013年以来火山活動の活発化を繰り返している蔵王山において、火口湖「御釜」の水・熱・化学物質収支を定量的かつ長期的に求め、地下熱水系の動的変動と火山活動変動との関係を探った。これにより、現在および今後の蔵王火山の活動度評価とその変動予測に資するとともに、物理観測で得られた地下構造などとの対比や、発生が懸念される火山泥流の検討に有用な情報を得ると考える。令和4年は計4回の現地観測を行い、令和元年から連続観測を行っている御釜の水位・水温のデータを基に、御釜への地下水流入・流出量の変動と熱的条件の変化を量的に求める。併せて、湖水・河川水の化学分析から、地下水による化学負荷量の変動を求め、御釜の化学的変化への影響を調べることを考えた。他方、結氷期に観測される御釜の水温上昇傾向から、地下からの地熱流量の変動を求め、御釜の地下約190mにあると推測される低比抵抗体との関係を明らかにする。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

図1に、御釜と観測点の位置を示す。令和元年からL地点で水位を連続観測しており、このデータを基に、御釜における地下水流入・流出量の季節変動を求め、御釜の水位・貯留量との関係を求めた。また、最深点MD地点に係留系を用いて水温ロガーを10台設置した。御釜の地下水流入・流出量は、水収支式と化学物質ty集収支式との連立で求めた。水収支式にある湖面蒸発量は、M地点での気象観測で得られた風速・気温・湿度とMD地点の表面水温からバルク法によって求めている。また、化学物質収支の評価には、試水の化学分析から硫酸イオンを採用した。図2に、御釜の水位と水位との関係を示す。図から、地下水流入量は水位と高い負の相関、地下水流出量は水位と高い正の相関があることがわかる。この高い相関の意味は、蔵王火山体における水の浸透速度は極めて高く、地下水浸透量は、御釜の水位に応じて季節的に変化することがわかった。図3は、2021年12月～2022年3月の完全結氷期における1時間水温の変動を示す。結果として湖底から15m高さまで水温の上昇が見られ、これによって地下からの熱流量は0～5.5 W/m²の範囲で変動することがわかった。しかし、これに対応する全層平均水温は、1.08℃から1.56℃への上昇と小さく、現在の蔵王の静穏な活動状況を反映している結果となった。なお、この水温上昇期に湖底2mに設置した電導度ロガーの値は、62.8 - 64.2 mS/mの小幅な変動を示した。このことは、地下からの熱供給は、熱対流ではなく熱伝導によって起こっていることが示唆された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

御釜における水循環と地殻熱流に関する本研究は、御釜の地下熱源や浸透水に対する応答特性を明らかにすることにある。これにより、蔵王火山が持つマグマ系・熱水系に対する水理地質学的特性が定量的に明らかになり、噴火予兆への一つのシグナルを提供することができると考える。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Chikita, K.A., Goto, A., Okada, J., Yamaguchi, T., Miura, S. and Yamamoto, M.,2022,Hydrological and Chemical Budgets of Okama Crater Lake in Active Zao Volcano, Japan,Hydrology,9,28,doi:10.3390/hydrology9020028,査読有,謝辞有
Chikita, K.A., Amita, K., Oyagi, H. and Okada, J.,2022,Effects of a Volcanic-Fluid Cycle System on Water Chemistry of a Deep Caldera Lake: Lake Tazawa, Akita Prefecture, Japan,Water,14,3186,doi:10.3390/w14193186,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

知北和久・網田和宏・大八木英夫・岡田 純,2022,秋田県・田沢湖の水収支・化学物質収支に基づく水循環機構,陸水物理学会第43回釧路大会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

知北和久（北海道大学北極域研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

後藤章夫（東北大学・東北アジア研究センター）,岡田純（気象庁気象研究所火山研究部）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：北海道大学 北極域研究センター

電話：011-772-4292

e-mail：chikita@sci.hokudai.ac.jp

URL：https://researchmap.jp/read0167130

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：知北 和久

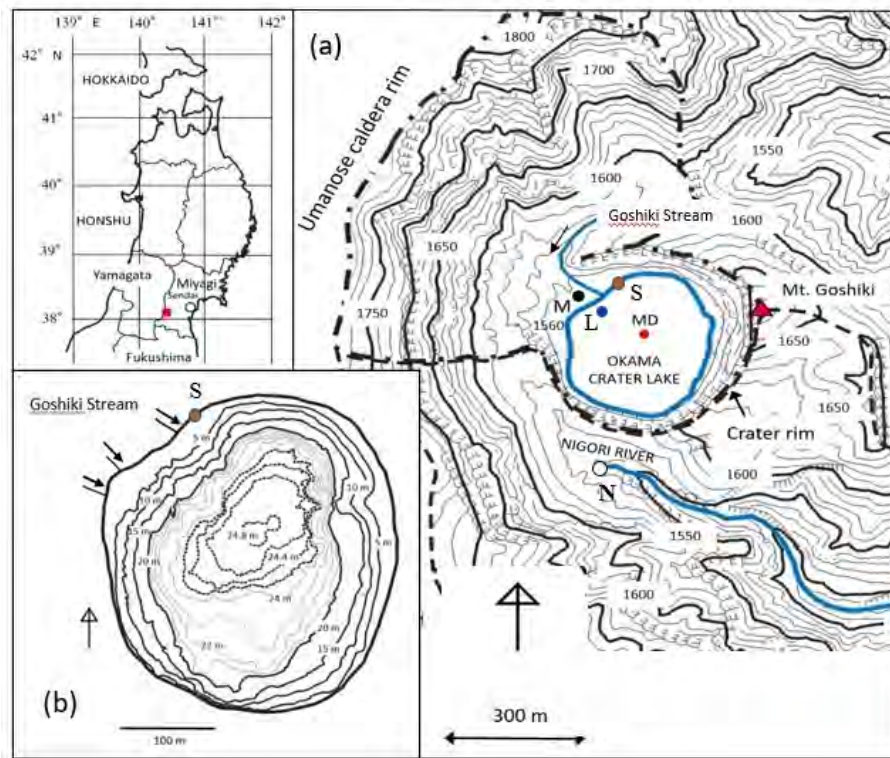


図1. 蔵王・御釜の位置と観測点の位置.

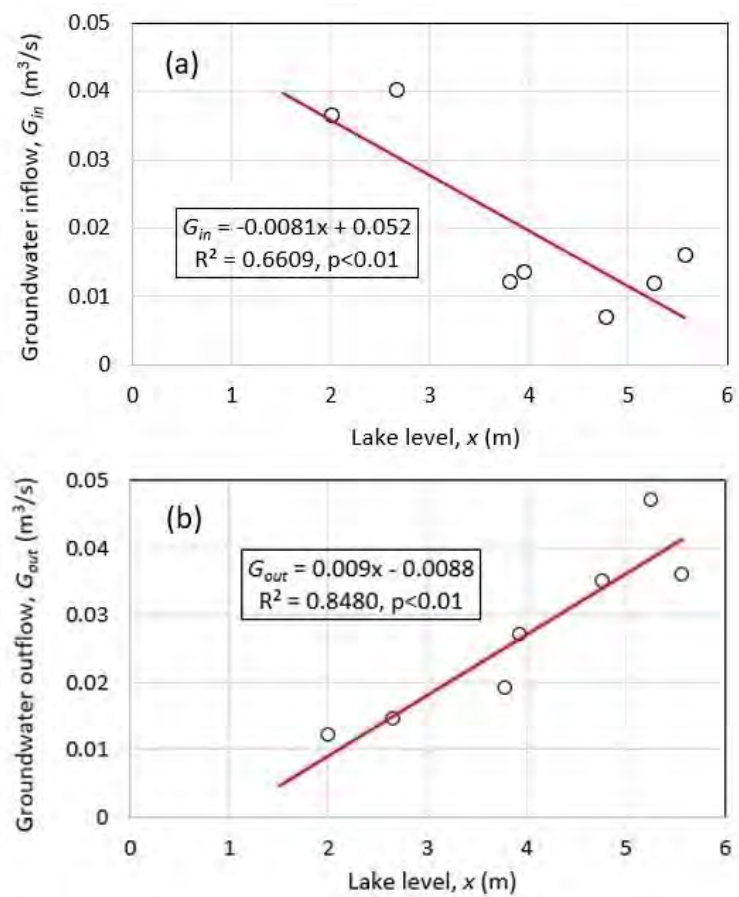


図2. 御釜の水位と(a) 地下水流入量と(b)地下水流出量との関係.

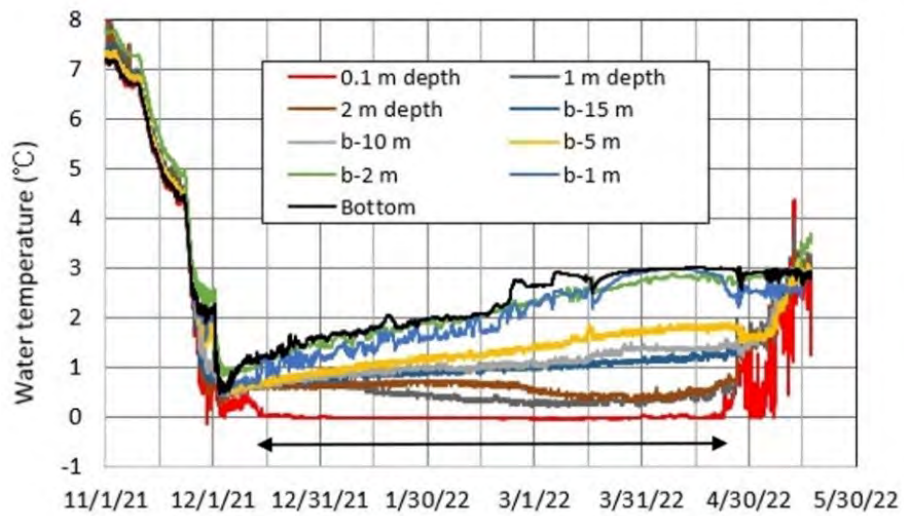


図3. 完全結氷期（矢印の期間）を挟んだ期間における1時間水温の変化.

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

阿蘇中岳火山灰の岩石磁気的性質の時系列変化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 令和4年度の計画の概要：

本研究は、2019年7月からマグマ噴火を開始した阿蘇中岳の火山灰について磁気特性の測定を行うことで火山灰粒子内部の磁性鉱物の時間変化の有無を確認する。この一連の灰噴火は、2020年6月に活動を停止しており、噴火の開始から停止に至る噴火プロセスにおける磁性鉱物の時間変遷を確認できる可能性がある。火山灰内部の磁性鉱物に由来する磁気特性（組成、磁区構造）は、晶出時から噴出し冷却される過程における履歴を反映していることが期待される。

測定に用いる火山灰試料は、京都大学火山研究センターの大倉敬宏教授が灰噴火の後にその都度採集したもので、火山灰の磁気特性の約1年程度の時間変化を調べるのに最適である。同センターの複数観測点（KAF, SAK, HONDなど）において採取された。火山灰試料は、一部を洗浄し、実体顕微鏡観察用と偏光顕微鏡観察用、磁気特性分析用の3分割にした。磁気特性分析用試料は、未洗浄のものも準備し、洗浄による磁性の変化の有無を確認する。

岩石磁気測定内容は、含有磁性鉱物の磁区構造を把握するためのヒステリシス測定、及びFirst Order Reversal Curve(FORC)測定、（キュリー温度を推定するための）熱磁気分析、（残留磁化のブロッキング温度と保磁力の特徴を調べる）3軸等温残留磁化の熱消磁を予定している。火山灰試料の光学・電子顕微鏡観察も始める。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本研究は阿蘇中岳の1年程度の噴火活動で放出された火山灰を複数地点でその都度採集し、それらの火山灰の磁気特性の時間変化を把握した上で、マグマの物理条件の時間変化との関係性を検討した。

2019-2020年の阿蘇火山中岳の噴火に伴う火山灰について各種の岩石磁気測定を行いその特性を解析した。熱磁気分析および3軸IRM-熱消磁実験の結果からキュリー温度と保磁力分布の特徴を求めた。火山灰に含まれる磁性鉱物は、チタンに富むチタノマグネタイト（チタン含有量 $x = 0.4-0.5$ ）とチタン含有量の少ないチタノマグネタイト（ $x < 0.1$ ）の混合である。熱磁気分析で得られる誘導磁化強度を参照すると、磁性鉱物全体の総体積の8割程度がチタンに富むチタノマグネタイトである。ヒステリシス測定から得られた飽和残留磁化と飽和磁化の比（Mrs/Ms）および保磁力(Bc)は明瞭な相関関係をもち、これらの値は噴火期間の中で一定ではなく、高い値をとる時期と低い値を取る時期が存在することが明らかとなった。First-order reversal curve (FORC)測定の結果から、Mrs/MsおよびBcが上昇する時期の試料は、相互作用のない単磁区粒子が出現していることが確認できた。すなわち、細粒の磁性粒子の割合が増えている。前述したように火山灰内部に含まれる磁性鉱物としては、チタン

に富むチタノマグネタイトが卓越している。また、予察的ではあるが、電子顕微鏡観察・EDS分析により、粗粒のチタノマグネタイトと細粒のチタノマグネタイトを確認した。細粒のチタノマグネタイトはチタンに富むチタノマグネタイトに対応する。以上の測定結果を総合的に考えると、高いMrs/Ms（および高いBc）の理由は、チタンに富むチタノマグネタイトの粒径分布が小さくなり、単磁区構造の占める割合が増加することと解釈できる。またキュリー温度からチタン含有量を計算すると、チタンに富むチタノマグネタイトのチタン含有量も一定ではなく、期間を通してわずかに変化していることが明らかとなった。ヒステリシスパラメータとキュリー温度（チタン含有量）の関係は、Mrs/MsおよびBcが上昇する時期にキュリー温度が低下する（チタン含有量がわずかに上がる）傾向を示す。特筆すべきこととして、Mrs/MsおよびBcが上昇する時期には火映現象が観測されていることである。すなわち、火山灰の磁気特性の時間変化はマグマヘッド付近の物理条件の変化に関連する可能性を見出した。

ヒステリシスパラメータの変動とキュリー温度の変動から推定されるマグマヘッド付近での磁性鉱物の晶出条件についてBuddington and Lindsley(1964)に基いて検討した。その結果、次の様な火道内部の物理学的特徴と火山灰の磁気特性の関係を推定した。

1)期間を通してマグマヘッドの深さが一定であるならば、Mrs/MsおよびBcが上昇する時期（チタン含有量が増加する時期）にマグマはより高温になっている。

2) 期間を通してマグマの温度が一定であるならば、Mrs/MsおよびBcが上昇する時期（チタン含有量が増加する時期）には、マグマヘッドがより浅くなる。

これらの結果は、火山噴火における火道内部の物理的条件の変化を、火山灰中のチタン磁性体粒子の磁気特性の変化が反映していることを示唆している。

なお、以上の研究成果は、Earth, Planets and Spaceに投稿し、受理されている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究は「火山現象の定量化と解明」に対して、火山現象とそこから得られる物質の特性を関連付けることで火山現象の解明に貢献するものである。具体的には火山灰の岩石磁気特性を時系列に詳細に解明することにより、その変動と火山現象の1つである火映現象との関連性を見出した。火映現象は火山活動が活発化する時期に観測されるが、詳しい現象解明には至っていない。本研究は、火山噴出物研究に一般的な岩石鉱物学・地球化学的分析とは異なる観点から「一連の噴火に伴う火山灰試料の岩石磁気特性の時間変化」を初めて把握し、そのヒステリシスパラメータ（Mrs/Ms, Bc）が噴火期間において一定ではないことを示した。さらに、一連の観測された火山現象と照らし合わせた結果、火映現象の観測時期との明瞭な関連性が見出された。このことから、火山灰内部の磁性鉱物に由来する磁気特性の変化は火道内部の物理条件を反映している可能性が示唆された。火映現象の解明などを含め、今までにない手法での火山現象解明への寄与が期待できる結果となった。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Anai, C., Ohkura, T., Yoshikawa, S., Mochizuki, N., 2023, Temporal change in rock-magnetic properties of volcanic ashes ejected during a 3one-year eruption event: A case study on the Aso Nakadake 2019–2020 eruption, Earth, Planets and Space, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

穴井千里・大倉敬宏・吉川慎・望月伸竜, 2022, Temporal change with rock magnetic properties of volcanic ashes: A case study on the Aso Nakadake 2019–2020 eruption, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, R004-P08

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

望月伸竜（熊本大学准教授）, 坂口拓也（熊本大学大学院生）, 深見基（熊本大学大学院生）
他機関との共同研究の有無：有

穴井千里（高知大学特任助教）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：熊本大学・大学院先端科学研究部

電話：096-342-3420

e-mail：mochizuki@kumamoto-u.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：望月 伸竜

所属：熊本大学・大学院先端科学研究部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

GNSS-A海底測地観測データの高精度化に向けた精度評価システムの構築

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 令和4年度の計画の概要：

GNSS-A海底測地観測の精度を理解するために、以下の研究を実施する。まず、海中音速構造の分析のために、海中音速構造影響をGARPOSと呼ばれるGNSS-A解析用のプログラムに基づいて実データや数値的に生成した疑似データから海洋場モデルパラメータを抽出し、実観測データとの比較によって誤差が大きくなるケースの評価や海洋構造の分析を進める。また、動揺する機上でのハイレートGNSSデータを評価するための実験を実施し、GNSS-AにおけるハイレートGNSSデータを評価する。必要な空中・水中の音響通信データは、屋内水槽での海底基準局を用いた試験によって、データを取得する。とくに、東京大学柏キャンパスの海洋工学水槽を用いた実験により精密な計測を実施する。また、動揺時のハイレートGNSSデータについては、稼働台車等を用いた実観測試験を行う。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

GARPOSの拘束条件に関する高度化ならびにMCMCへの拡張が実施された。また、それらを用いた影響評価とGNSS-Aの位置決定精度が劣化する場合のモデル拘束条件の分析により、高精度化できる観測ケースを見出した。

水中の音響通信データを、東京大学柏キャンパスの海洋工学水槽での海底基準局を用いた試験によって取得した。これらのデータの分析から、とくに上下動に大きく影響を与える機器誤差の規模を特定した。これはGNSSにおけるアンテナ依存性やマルチパス誤差などに対応しており、今後のGNSS-A観測の高精度化に非常に重要な役割を担うと考えられる。

また、ハイレートGNSS誤差がGNSS-A観測に影響を与えるかどうかについて稼働台車を用いた実観測試験を継続的に実施している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

GNSS-A観測データの高精度化によって、5(3)イ観測・解析技術の開発に関連する海底地殻変動観測技術の高度化に貢献している。また、5(3)エ地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開に対応するGNSS-A観測データの公開に対しての準備が進んでおり、次年度に、高精度化されたGNSS-A観測データの精度評価のためのデータ公開システムが整備されることで、2(1)アの海溝型巨大地震の長期予測に貢献することが期待される。

以上のように、当該研究成果は、海底地殻変動観測技術の高度化によって、海溝型巨大地震の長期予測や巨大地震のリスク評価、誘発災害の理解などに関して災害の軽減に貢献する。今後、精度評価のためのシステムの構築によって、より正確かつ迅速な巨大地震に関する災害軽減に貢献すると期待される。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yokota, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., and Y. Nakamura, 2022, Temporal change of km-scale underwater sound speed structure and GNSS-A positioning accuracy, *Earth Space Sci.*, 9, doi:10.1029/2022EA002224, 査読有, 謝辞有

渡邊俊一・石川直史・中村優斗・横田裕輔, 2022, 音速構造と海底局位置を一括推定する海底地殻変動解析ソフトウェア「GARPOS」の構築及び東北地方太平洋沖地震後10年間の海底地殻変動成果を用いた余効変動の検出と解釈, 季刊水路10月号, 203, 査読無, 謝辞無

Nakamura, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., Nagae, K., and Y. Yokota, 2023, Subseafloor tectonic phenomena along the Japan Trench and the Nankai Trough revealed from recent GNSS-A observation at Japan Coast Guard's SGO-A sites, *Underwater Technology 2023*, 査読有, 謝辞有

Zhao, S., Yokota, Y., Wang, Z., and S. Xue, 2023, Investigation on GNSS-A precise point positioning based on adaptively robust filter considering the horizontal heterogeneity of sound speed structure, *Underwater Technology 2023*, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

石川直史・渡邊俊一・中村優斗・永江航也・横田裕輔, 2022, GNSS-A観測における音響送受波器の機種依存性, 海洋調査技術学会第34回研究成果発表会, 6

Yokota, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., Nakamura, Y., and K. Nagae, 2022, Observation accuracy of GNSS-A seafloor geodetic observation array (SGO-A) in 2022, AGU fall meeting 2022, G5A-03

Nakamura, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., and Y. Yokota, 2022, Overview of the seafloor geodetic observation conducted by the Japan Coast Guard using the GNSS-Acoustic ranging combination technique, EGU General Assembly

2022, EGU22-1652, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1652>

Watanabe, S., Ishikawa, T., Nakamura, Y., and Y. Yokota, 2022, Full-Bayesian GNSS-A seafloor positioning solution derived by the Markov-Chain Monte Carlo method, EGU General Assembly 2022, EGU22-3274, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-3274>

Yokota, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., and Y. Nakamura, 2022, Development of a method to analyze the error factor of GNSS-A system using SGO-A data, EGU General Assembly 2022, EGU22-1564, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1564>

Nakamura, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S., Nagae, K., and Y. Yokota, 2022, GNSS-A seafloor geodetic observation along the Japan Trench and the Nankai Trough conducted by the Japan Coast Guard, AGU fall meeting 2022, G35B-0331

横田裕輔・石川直史・渡邊俊一・中村優斗, 2022, GARPOSを用いたGNSS-A観測の精度評価：海底局アレイと上下位置, JpGU meeting 2022, SGD02-P09

横田裕輔・石川直史・渡邊俊一・中村優斗, 2022, GNSS-A観測における海洋場の表現と解析における拘束条件, JpGU meeting 2022, SGD01-11

横田裕輔・永江航也・石川直史・渡邊俊一・中村優斗,2022,SGO-Aにおける音響信号の角度・機器依存性と上下動誤差,日本地震学会2022年度秋季大会,S03-10

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目:ソフトウェア開発(解析)

概要:簡便かつ高精度・高速なGNSS-A解析を実現するオープンソフトウェア

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:

調査・観測期間:

公開状況:公開中(データベース・データリポジトリ・Web)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6414642>

項目:ソフトウェア開発(解析)

概要:GNSS-A解析のオープンソフトウェアGARPOSをMCMCに拡張したバージョン.より正確な尤度・誤差の理解に貢献する.

既存データベースとの関係:

調査・観測地域:

調査・観測期間:

公開状況:公開中(データベース・データリポジトリ・Web)

<http://doi.org/10.5281/zenodo.6825238>

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

横田裕輔(東京大学生産技術研究所准教授)

他機関との共同研究の有無:無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:東京大学・生産技術研究所

電話:03-5452-6187

e-mail:yyokota@iis.u-tokyo.ac.jp

URL:

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:横田 裕輔

所属:東京大学・生産技術研究所

(1) 実施機関名：

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：Preludeのフライトモデル制作

(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4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)の宇宙実証モデル（フライトモデル）の開発研究を実施する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

ミッションデザインおよび概念設計に基づき、実現性を確認するためのエンジニアリングモデル(EM)の製作を行ない、目的を達成するには6Uサイズ(10×20×30cm)のCubeSatで実現可能とわかった。DEMETER(130kg)で得られた成果を超えるミッションを、6U(10kg程度)のCubeSatで実現できることが確認できた。現時点で衛星のEM(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電氣的性能を確認・試験されるモデル)の設計・製作は完成まで50%の段階にあるが、コロナウイルスの影響で、衛星製作作業はほとんど進展せず、一部部品の購入を実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

山崎政彦,2022,地震先行電離圏変動現象検知のためのCubeSatのフライト・モデル製作に向けて：衛星バス・サブシステムの打ち上げ環境および宇宙環境適応試験,第十二回気象文化大賞

・学会・シンポジウム等での発表

Tomoyuki Iida, Masahiko Yamazaki, Masashi Kamogawa,2022,Development of a Prelude Satellite Equipped with Electric Field and Plasma Measurement Sensors Based on Statistical Evaluation of Seismic Precursors Using Artificial VLF Radio Waves Obtained from In-Orbit

Observations, Proceedings of AIAA/USU Conference on Small Satellites, 1-7

Iida Tomoyuki, Yamazaki Masahiko, Kamogawa Masashi, 2022, Statistical Evaluation of Seismic Precursors by Artificial VLF radio waves using on-orbit Data, 33rd International Symposium on Space Technology and Science

保坂 勇人, 山崎 政彦, 鴨川 仁, 飯田 智之, 本山 真, 武田 龍亮, 大谷 響心, 小林 伶士, 2022, 地震に先行する電離圏変動現象の観測衛星Preludeの地震検知数について, 第66回宇宙科学技術連合講演会

柳原 大輔, 山崎 政彦, 鴨川 仁, 飯田 智之, 佐藤 匠, 小林 伶士, 田中 勇夢, 山田 啓侃, 岩田 隆佑, 保坂 勇人, 本山 真, 2022, 地震に先行する電離圏変動現象の観測衛星Preludeのエンジニアリングモデル開発, 第66回宇宙科学技術連合講演会

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

児玉 哲哉（宇宙航空研究開発機構主任開発員）

他機関との共同研究の有無：有

山崎 政彦（日本大学准教授）, 柳原大輔（日本大学大学院生）, 佐藤匠（日本大学大学院生）, 飯田智之（日本大学大学院生）, 神田浩佑（日本大学大学院生）, 山田啓侃（日本大学大学院生）, 鴨川 仁（静岡県立大学特任准教授）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット

電話：070-1170-3262

e-mail：kodama.tetsuya@jaxa.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：児玉 哲哉

所属：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

水蒸気噴火を起こす火山の活動把握：火山ガス・火口湖水・温泉水等の化学分析に基づく地球化学的アプローチ

(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

オ. 高リスク小規模火山噴火

(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4年度の計画の概要：

箱根山，草津白根山，霧島硫黄山，吾妻山，那須岳など，将来水蒸気噴火が起こり得る火山で，繰り返し火山ガス，火口湖水，温泉水などマグマ起源物質を含む試料を採取・分析し，各種地球物理的情報を合わせて考察することにより，火山体内における火山性流体の挙動を解明し，火山活動を把握する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

箱根山では，毎月，大涌谷近辺の3カ所の噴気孔で火山ガスを採取し，地震活動との関連を調べた。草津白根山では，5，9，11月に5カ所の噴気孔で火山ガスを採取し，地震活動との関連を調べた。霧島硫黄山では，6，11月に2カ所の噴気孔で火山ガスを採取し，地震活動との関連を調べた。那須岳では，10月に2カ所の噴気孔で火山ガスを採取し，地震活動との関連を調べた。吾妻山では11月に火山ガス・採取分析を実施した。本年度の活動は，ほぼ計画通りに実施された。

箱根山

箱根山の大涌谷地熱地帯において，ほぼ毎月火山ガスを三カ所の噴気孔（n，s，c）で採取・分析した。噴気のHe/CH₄比に着目すると，2015，2017，2019，2021年に火山活動の極小期が出現し，その直後に火山活動が活発化した。各極小期後の活動期におけるHe/CH₄比の上昇速度を比較すると，2021<2017<2019<2015年の順序となった。

三カ所の噴気孔（n，s，c）の中で噴気cにはSO₂が比較的高濃度で含まれ，隣接する500m深度のボーリング孔から放出される化学組成と類似している。噴気cの化学組成は噴気nやsに比べて，地震回数変動との相関が高い。2021年7月から8月にかけて，噴気cのHe/CH₄比やCO₂/H₂S比は急激に増加したが，その傾向は継続せず，2022年末にかけて小さな増減を繰り返しながら低下傾向が継続した。このことは，2022年は，火山活動が2021年の弱い活発化の緩和過程にあったことを示唆している。2019年3月と2年5カ月後の2021年8月に活発化を示すHe/CH₄比やCO₂/H₂S比の上昇が噴気cで観察された。これと同様のインターバルが次回の活発化に適用されると仮定すると，2024年1月頃に次回の活発化が起きると予測される。

霧島硫黄山

2022年6月と12月に霧島硫黄山で噴気の採取・分析を実施した。霧島硫黄山は2018年4月の水蒸気噴火以降、火山活動は穏やかになり、全体的には噴気に含まれるマグマ起源成分であるSO₂の濃度は最盛期より低下した。しかし一部の噴気のSO₂/H₂S比やH₂Oの酸素同位体比は、2020年11月から2022年11月にかけて上昇しており、今後、火山活動が活発化する可能性がある。

草津白根山

2022年5, 9, 11月に、草津白根山で繰り返し噴気を採取・分析した。白根山山頂北側の地熱地帯で採取された2つの噴気では、2022年5月から11月にかけてドライガス中のH₂S濃度が上昇した。これらの噴気では、2022年5月から11月にかけてHe/H₂S比およびCO₂/H₂S比は低下した。このことから、湯釜直下に存在する熱水溜り供給されるマグマ成分の流量は、2022年5月から11月にかけて低下傾向にあると推定される。殺生河原噴気のHe/H₂S比は、2021年10月から2022年11月にかけて、緩やかに減少した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究の主要な目的は、水蒸気噴火を起こす可能性のある火山において、噴気の化学組成・安定同位体比の時間変化を追及することにより、水蒸気噴火のポテンシャルを評価することである。観測により得られた噴気の化学組成・安定同位体比の変動は、地震活動に代表される火山活動の指標と良い相関が確認された。このことは、高リスク小規模火山噴火の典型である水蒸気噴火のポテンシャル推定に貢献している。水蒸気噴火は、人的被害をもたらした2014年の御嶽山噴火、2018年の本白根山噴火の噴火形式であり、本研究で実施している地球化学的な観測は、これらの噴火に類似した火山活動予測に貢献すると考えられる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

豊島誠也・大場武・沼波望・谷口無我,2022,箱根火山ガス中の硫黄同位体比に関する考察,JpGU,SVC31-14

大場武・谷口無我・沼波望・豊島誠也,2022,箱根山火山ガス He/CH₄比の上昇速度と地震回数との関係,JpGU,SVC31-13

大場武・谷口無我,2022,草津白根山における地球化学的モニタリング,日本火山学会秋季大会,P2-25

谷口無我・大場武・福岡管区気象台・鹿児島地方気象台・宮崎地方気象台,2022,熱水の化学分析による霧島山えびの高原(硫黄山)の火山活動モニタリング,日本火山学会秋季大会,P1-32

寺田暁彦・鈴木レオナ・谷口無我・大場武,2022,湖水成分濃度変動から示唆される草津白根山浅部熱水循環システムの時間変化,日本火山学会秋季大会,B2-12

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大場 武（東海大学教授）,沼波 望（東海大学総合理工学研究科大学院生）,豊島 誠也（東海大学理学研究科大学院生）

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）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東海大学理学部

電話：0463-58-1211

e-mail：takeshi_ohba@tokai-u.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大場 武

所属：東海大学理学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山活動推移における分岐の要因の解明：蔵王山、過去約800年間の噴出物の事例研究

(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：

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：

桜島大規模火山噴火

(6) 令和4年度の計画の概要：

蔵王山の約800年前以降の水蒸気噴火に始まる噴火は、水蒸気噴火のみで終息、その後小規模マグマ噴火に至って終息、さらに準プリニー式及び小規模マグマ噴火を経て終息する3ケースがある。本課題では、各ケースの水蒸気噴火テフラ層の物質科学的特徴を明らかにし、水蒸気噴火からその後の事象への分岐の要因を解明する。

(7) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

蔵王火山の最新の火口である御釜の活動は約800年前から続いており、御釜を火口とするテフラ層はZa-Ok1～7の7枚が識別されているが、水蒸気噴火に始まる噴火は、水蒸気噴火のみで終息、その後小規模マグマ噴火に至って終息、さらに準プリニー式に至りその後小規模マグマ噴火を経て終息する3ケースがある。本課題では、Za-Ok7、Za-Ok5、Za-Ok1を3ケースの各々の代表例として、初期の水蒸気噴火による堆積物の体積の推定および構成物の詳細解析を行い、得られた特徴について比較し、相違点と類似点を抽出し、それらを基にその後の事象分岐の要因を検討した。

体積については多くの地点で層厚を測定した値を基に推定した。その結果、Za-Ok7とZa-Ok5よりもZa-Ok1の方が大きいことが判明した。構成物は、Za-Ok1, 5, 7共に白色変質岩片を主体とするが、本質物質であるスコリア及び類質物質である黒色～灰色石質岩片も含む。スコリアには黒色のものとベージュのものがある。またその他に輝石と斜長石の結晶片も含む。本質物質と変質物質の比率はZa-Ok1, 5, 7に明瞭な差は認められない。一方で、ベージュスコリアと黒色スコリアの量比が、Za-Ok1, 5, 7の順に少なくなる。また、類質岩片の量はZa-Ok1と7よりもZa-Ok5の方がやや少ない。黒色スコリアの発泡度はZa-Ok1, 5, 7に相違は認められないが、ベージュスコリアの発泡度はZa-Ok1の方がZa-Ok5, 7よりもやや高い傾向がある。マイクロライト量は、Za-Ok1, 5, 7何れも黒色スコリアの方がベージュスコリアよりも多い。スコリア中のガラスの化学組成は黒色スコリアの方がベージュスコリアよりもSiO₂量が高い傾向にあるが、黒色スコリア及びベージュスコリアの組成をZa-Ok1, 5, 7の3者比較した場合に明瞭な相違は認められない。含まれる変質鉱物の種類はZa-Ok1, 5, 7共に同じである。

スコリアのガラスの化学組成黒色スコリアの発泡度が何れの場合も似ていることから、噴火に関与

した元のマグマは、今回扱ったどの場合でも組成的に同一であったと考えられる。また、含まれる変質鉱物の種類も同様であったことから、関与した熱水系の発達程度も同様であったと推定される。一方で、準プリニー式に至りその後小規模マグマ噴火を経て終息した場合は、その他の場合に比して規模が大きくまたベージュスコリアの割合及び発泡度が高い傾向にあった。これは、噴火に関与したマグマの量が大きく、また上昇率も高かったことに起因する可能性がある。揮発性成分量も多かったと思われる。水蒸気噴火のみの場合とその後小規模マグマ噴火に至った場合ではベージュスコリア/黒色スコリア比が後者の方がやや高いという違いがある。これについては後者の方が噴火に関与したマグマの上昇率が前者の場合よりも大きかったことが考えられる。すなわち、水蒸気噴火に始まる噴火推移の分岐の要因としては、関与するマグマの量や上昇率が大きなものであることが指摘できる。そしてそれは、噴出物の体積やベージュスコリア/黒色スコリア比に現れる可能性が指摘できる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

新たな事象に至る分岐の要因を解明することは、「地震火山災害軽減研究」（建議）III. 2. (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測の中核をなすものである。本課題は、最新の火口からの多くの噴火について火山活動推移パターンが類型化された蔵王山において、分岐前の事象の特徴を基に火山活動の分岐の要因の解明を試みたものである。その結果、異なる噴火推移パターンを辿るものを比較した場合に、噴火初期の噴出物の特徴が異なる可能性が指摘された。また、その要因についても推測された。この成果は火山活動推移のモデルを構築する上で有用な事例となると考えられる。

(8) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ban M, Kawashima K, Tsunematsu K, Kataoka KS, Imura T, 2022, Lahar deposits along the Nigorikawa River in the eastern foot of Zao Volcano, Japan, during the last 8000 years, J. Volcanol. Geotherm. Res., 432, 1076855, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107685, 査読有, 謝辞無
Sato M, Ban M, Yuguchi T, Adachi T, 2022, Pre-eruptive magmatic processes of historical activities at Zao volcano, northeastern Japan: Insights from compositional zoning in orthopyroxene phenocrysts, J. Volcanol. Geotherm. Res., 432, 1076866, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107686, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

松岡睦実、伴雅雄、佐藤初洋、井村匠, 2022, 蔵王山1895年噴火噴出物中に含まれる黒曜岩質岩片について, 日本地球惑星連合, SVC29-P02
Ban M, Kanno S, Sato M, Imura T, 2022, Magma feeding system of the latest magmatic unit of Azuma volcano, NE Japan, Goldschmidt Conference, 12989
伴雅雄、菅野舜、佐藤初洋、井村匠, 2022, 東北日本、吾妻山の最新マグマ噴火ユニットをもたらした浅部マグマの活性化過程, 日本鉱物科学会, S1R909
Sato M, Ban M, Yuguchi T, Adachi T, 2023, Magmatic processes and timescales of shallow plumbing system at Zao volcano, NE Japan: perspectives from compositional zoning in orthopyroxene phenocrysts, IAVCEI, P1.154

(9) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

伴 雅雄（山形大学理学部）
他機関との共同研究の有無：無

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：山形大学理学部
電話：023-628-4642

e-mail : ban@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

URL :

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：伴 雅雄

所属：山形大学理学部

(1) 実施機関名：

高知大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震動観測点観測環境の時間変化把握に向けた、解析手法の検討・開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震・火山噴火の予測および災害の軽減のために利用される基礎データである地震動観測点における観測状況の健全性を、時間変化を追って把握できる手法の開発を行う。本課題によって観測状況の把握が可能となれば、① 観測点における観測の維持・管理に携わる人的資産の効率的な運用、② 周辺における工事や構造物の建築等によりやむなく観測点の休止・廃止が必要となった場合に同等の観測状況を持つ候補地選定、といった観測点および観測網、付随する施設を維持するために必要な判断基準作成が可能となる。

観測状況把握の重要性が増す一方、観測に携わる人的資産の確保は、多くの機関において大きな負担となっている。これに伴い、観測点の大半が無人となっていることから、観測の質を担保するための観測点における観測状態の監視・把握を遠隔から可能とするシステム開発と導入は必要不可欠である。観測点における観測状態の変化には、主に観測機器の故障や不調と、観測機器の設置状況の変化が含まれる。観測機器が同時に不調となるとは考えづらいため、複数の異なる手法で観測状況を監視できれば、状況の切り分けが可能となる。また、ごく浅層地盤における速度構造変化に注目することで観測機器の設置状況の変化の把握が可能となると考えられる。高知県を含む四国南部では、降り始めからの積算雨量が1000mmを越すことも珍しくない。あわせて大量の降雨は、急傾斜地が多く存在する地域では土砂災害にも繋がる。このことから雨水がごく浅層地盤からより深部へ浸透することによって、周辺地盤に影響を与えていると考えられる。したがって、観測機器の設置状況の変化を地震動観測点下の地震波速度構造の時間変化として抽出できれば、観測状況を把握することが可能となる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、ごく浅層地盤における地震波速度構造変化抽出のための常時微動アレイを観測点のごく近傍に連続稼働させると共に、観測記録の自己相関関数の時間変化と共に比較することで、対象深度の異なる観測状態の変化を抽出する観測・解析手法の開発を目指す。

平成31年（令和元年）度：

雨水浸透に伴うごく浅層地盤速度構造の変化抽出のため、微動アレイ観測を常時実施するシステムの

設置を行う。

平成32年（令和2年）度：

四国内に設置してある地震動観測点における過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を行う。あわせて常時微動アレイの記録を準リアルタイムで解析し、ごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法の開発を行う。

平成33年（令和3年）度：

四国内に設置した地震動観測点の過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を継続する。あわせて常時微動アレイの記録にごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法を適用する。

平成34年（令和4年）度：

常時微動アレイの運用と変動抽出の解析を継続する。

平成35年（令和5年）度：

課題の取りまとめと実運用可能なシステムへの実装を提言する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は高知大学が運用する、土居地震観測室内と周辺に設置した、3成分広帯域地震計と常時微動アレイの運用を継続した。常時微動アレイによって常時推定している位相速度の時間変化からは時間雨量5mm程度の降雨に対応した変動が抽出できた。また、3成分広帯域地震計のHVSR解析でも、位相速度変動が見られた周波数帯域に対応するHVSR値の変動が検出されている。降雨開始から間もない時間帯からこれらの変動が開始していることから、また、変動周波数帯が12Hz付近と高周波にあるため、降雨のごく浅層への浸潤によって、表層地盤の速度構造が変化していることがわかる。加えて、より低周波数帯域では変動の減衰や回復が緩やかではあるが、総降雨量に対する変動が見られ、降雨水の鉛直方向の浸透も示唆される結果が得られた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

今年度の成果により、降雨等の環境変動を地震動記録から推定・把握することが可能となる。今後より時間的、周波数的に詳細な解析を加えることで、地震動観測点の観測環境の時間変化把握と地球物理的に解釈可能なモデルとして運用できる可能性がある。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度までに試行した観測システムの計測的な運用とそこから得られる、観測環境の時間変化把握を進めるため

の手法開発・解析を継続する。合わせて、本課題の取りまとめと、現実に即した形で実運用可能なシステム、実装・運用に向けた提言をまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学工学部附属 高知地震観測所,大久保慎人（高知大学工学部附属 高知地震観測所）

他機関との共同研究の有無：有

産業技術総合研究所,防災科学技術研究所,など5名程度

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保慎人

所属：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もがスマートフォンとして持ち得る、現在の通信事情にはそぐわない。加えて、WINシステムは、かつての日本独自規格であった「ケータイ」と同様に日本国内のみで使われる仕様・システムとなってしまっており、グローバルスタンダードとなり得ていない。しかしながら、観測点から自律的に多種多様なデータを準リアルタイムで伝送可能な仕組みは、他の波形記録フォーマットSEED (miniSEED) などを用いる仕組みには無い特徴である。自律的なデータ伝送機器として、現在IoT (Internet of Things) が取り上げられており、観測機器がこれに当たると考えれば、データ伝送のためのプロトコル（手順）のみが時代遅れとなっていると言える。したがって、新たなデータ伝送プロトコルの開発は急務である。本課題では、WIN伝送プロトコルが現状抱えている問題点を洗い出し、グローバルスタンダードとなりうる伝送プロトコルへの発展を視野に入れ、次世代仕様のWIN伝送プロトコルの策定・実装を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、5-(3)-アにある、各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムの運用に必要な、大容量かつ多項目の観測データを確実に、かつ効率的に流通させるための通信方式の検討・開発を行う。通信方式の中核をなす、伝送プロトコルを策定し、実装するために必要な検討・開発を担う。

平成31年（令和元年）度：

現状のWINシステムおよびWIN伝送プロトコルに関する問題点の洗い出しを行う。
問題点の洗い出しと開発に向け、通信実験テストベッドとなる小規模通信網を構築する。

平成32年（令和2年）度：

新たなWIN伝送プロトコルの策定に向けプロトタイプの作成と仮実装を試みる。

平成33年（令和3年）度：

通信実験テストベッドと多チャンネル・時間分解能が高いデータを用いた実証実験を実施する。

平成34年（令和4年）度：

時期、時間帯を限定し、SINET、JGN等の大規模通信網を用いた実証実験を実施する。

平成35年（令和5年）度：

課題の取りまとめと新プロトコルを実運用可能なシステムへの実装を提言する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

令和3年度に提案したVPNトンネルを用いる、現状のWINパケットの伝送実験を令和4年度では実施した。用いた伝送経路は高知大学(eduroam)＝SINET＝クラウドシステム間である。クラウドシステム側ではセキュリティ確保のため、最小限の通信ポートのみを解放するよう設定を行なった。VPNトンネル化のためのプロトコルとして、簡便にかつセキュアさを確保できる現状一般的なSSHプロトコルを用いた。VPNトンネルの開通は問題なく行えたが、L2VPN相当のネットワーク環境とするためには、管理者限定での実行が不可欠であることが判明した。多くの大学、研究機関では管理者権限でのソフトウェア実行はネットワーク・インシデントとなりうるため、忌避されていることもあり、今後の実装のためには大きな障害となりうる制限である。今後も、利用プロトコルの検討が必要である。VPN開通のための制限があることがわかったが、現状の仕様としてのVPNトンネルの開通、データ伝送速度の確保について検証した。VPNトンネルの開通は、高知大学(eduroam)、モバイルネットワーク、固定回線問わず開通は可能であった。通信速度も多少のオーバーヘッドがあるものの、ISDN等の既存回線を置き換え可能な通信速度帯域は確保できる。ただし、VPNトンネルの通信状況は、回線自体の持つ通信速度・安定度に依存しており、モバイルネットワークの場合は特に回線速度・安定度の制限条件となりうる。加えて、VPNトンネル上に、miniSEEDのストリーム、テキストベースのデータなど様々なデータ伝送を行ったが、VPNトンネル自体への影響は見られなかった。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度では大規模通信網をバックボーンとする実証実験を行ったが、VPNトンネルを利用する通信の基幹システム・プロトコルが、日進月歩で制限がキツくなるセキュリティ環境に即していないことが判明した。現状のシステム・プロトコルでも実運用に支障はないが、より安定した、セキュアなシステムとする必要がある。

令和5年度では、これを受け、汎用でかつユーザーアプリケーションレベルでも実装可能な伝送システム・プロトコルを再度模索するとともに、次世代プロトコルとしても提言をまとめる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学工学部附属 高知地震観測所,大久保慎人（高知大学工学部附属 高知地震観測所）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所,北海道大学,気象庁気象大学校,地震予知総合研究振興会,など5名程度

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保慎人

所属：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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(A)スロースリップのデータ同化における初期アンサンブルの作成

スロースリップのデータ同化をアンサンブルカルマンフィルタの枠組みで行う際に、推定される摩擦パラメータの初期分布をうまく与える必要があることが明らかになっている。そのためには、地震・スロースリップなどのセグメントに、適切な摩擦パラメータを与える必要がある。そこで、昨年度から、どのような摩擦パラメータ分布を与えると現実的なセグメントサイズ・再来間隔・累積すべり量をもつスロースリップが生じるかを、フォワード計算によって検討してきた。今年度は、走向方向に完全に一樣な摩擦パラメータを仮定しても、スロースリップがセグメントに分かれて発生しうること、そのセグメントの空間的な大きさがRuina(1983)による震源核形成サイズ h^* で決まり、断層の幅との大小によってスロースリップに成長したりできなかつたりすることを明らかにした。また、スロースリップの発生領域に隣接して固着域を設定し、固着の強さを走向方向に非一樣に与えると、セグメントごとのスロースリップの再来間隔が異なることも明らかになった。これは豊後水道で観測されているスロースリップが、走向方向にセグメントに分かれて発生し、再来間隔がセグメントごとに異なること（例えばTakagi et al. 2019）と調和的である。今回の結果から、初期アンサンブルとして「摩擦パラメータが一樣」というアンサンブルを考慮すべきであることが明らかになった。

沖縄県八重山地域で発生しているスロースリップのデータ同化の基礎データとするために、同地域でのGNSS観測を継続した。

(B) 物理モデルのパラメータの事後確率分布推定手法の開発

観測データからモデルのパラメータの最適値のみならず、その不確実性を明らかにするためには、逆問題をベイズ的に定式化し、パラメータの事後確率分布を推定する必要がある。しかし、多数の未知パラメータを持つ非線形モデルに対する事後確率分布推定は一般に計算コストが非常に高い。今年度はiterative ensemble smootherとensemble transform Kalman filterを用いて空間的に変化するパラメータの事後確率分布を現実的な計算コストで近似的に推定する手法を開発した。この手法では、事前確率分布からサンプリングされた粒子を観測データとモデル計算結果に基づいて反復的に更新し、最終的に事後確率分布のサンプルを得る。この手法の性能を評価するために、余効すべりと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て人工的なGNSS時系列データを作成し、このデータからモデルのパラメータ（プレート境界の摩擦パラメータ、マンツルの粘性率、地震時の応力変化等の空間分布）の事後確率分布を推定した。その結果、推定された事後確率分布の平均は真値を良く再現していた。また、地震時の応力変化が大きい場所でパラメータの不確実性（事後確率分布の標準偏差）が小さく、小さい場所で大きいというリーズナブルな結果が得られた。

(C)余効すべり初期過程のデータ同化

昨年度着手した2003年十勝沖地震直後の初期の余効すべりを正確に把握するためのデータ同化手法の開発を継続した。まずデータ処理として高サンプリングのGNSSデータをItoh et al. (2021)の手法に基づいて前処理し、地震後5日間の6時間間隔の変位時系列を得た。次にマルコフ連鎖モンテカルロ法による摩擦特性推定手法を開発し、擬似データによる数値実験で性能を評価した。その後、現実の観測データに適用し、摩擦特性の空間分布を推定した。得られた摩擦特性の空間分布を用いると、観測変位時系列は説明可能なものの、空間変化が大きな構造になっている。

(D) データ同化におけるシステムノイズの検討

本研究課題で扱われるデータ同化においては、状態空間モデルを用いた推定が重要な役割を果たす。状態空間モデルにおいては推定したい「状態」の時間変化が、ある確率分布（システムノイズ）に従

うとし、これに正規分布を用いることが多い。しかし、時間変化が局所的に急激であるなどした場合、正規分布では十分な推定が行えないことが起きえる。

こういった例の一つとして地震検知能力の時間変化がある。特に余震活動においては、本震発生直後の地震検知能力の低下が顕著であり、そこから急激に地震検知率が回復していく。従来研究では地震検知能力のシステムノイズに正規分布を用いており、これに対する検討を行った。

地震検知能力を表すモデルにはOgata & Katsura [1993, GJI, doi:10.1111/j.1365-246X.1993.tb04663.x]によるものを用いた。このモデルにおける「地震検知率が50%となるマグニチュード」に相当するパラメータ μ の時間変化を求めることで地震検知能力の時間変化を推定する。典型的とされる余震活動における μ の時間変化のパラメトリックモデル[Ogata & Katsura, 2006, GRL, doi:10.1029/2006GL025888]と大森・宇津公式[Utsu, Geophys. Mag., 1961]を元に、観測される余震時系列の人工データを生成し、これに μ のシステムノイズを正規分布（モデルN1）またはCauchy分布（モデルC1）とした状態空間モデルを適用し、アルゴリズムには粒子フィルタを用いて推定を行った。尤度に基づくモデル比較では、モデルC1の方がモデルN1よりも概ねの場合においてよいという結果になった。

さらにシステムノイズのばらつき（正規分布であれば分散、Cauchy分布であれば尺度）も時間変化出来るようモデルを拡張し、より柔軟な推定も試みた。これは「自己組織型状態空間モデル」と呼ばれ、やはり粒子フィルタを用いることで推定を行い得る。この拡張モデルにおいても、やはりシステムノイズを正規分布（モデルN2）またはCauchy分布（モデルC2）とし、それぞれを用いた解析を行った。前述のモデルC1およびN1と合わせ計4つのモデルの中で、モデルC2が概ねよいという結果になった。そして、実際の余震データに対する解析においてもモデルC2が最もよいものとなった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・論文・報告書等
- ・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

「令和4年度の成果の概要」のサブテーマ(A)~(D)に分けて記載する。

(A) 今年度の結果を取り入れて、アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化を実施する。また、沖縄県八重山地域で発生しているスロースリップのデータ同化の基礎データとするためのGNSS観測を継続する。

(B) 今年度開発した事後確率分布推定手法を実際のGNSSデータに適用する。

(C) 観測データを再精査するとともに、摩擦特性の空間平滑化条件などの導入も検討し、より正確な初期余効すべりの把握を目指す。

(D) 余震検知率モデルの高度化、並びにそれと組み合わせた余震活動解析に基づく応力変動推定を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

宮崎真一（京都大学理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

福田淳一（東京大学地震研究所）,岩田貴樹（広島県立広島大学）,加納将行（東北大学大学院理学研究科）,平原和朗（理化学研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：京都大学理学研究科

電話 : 075-753-3911

e-mail : miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL :

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名 : 宮崎真一

所属 : 京都大学理学研究科

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・地殻変動モニタリングによる中期的な火山活動の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国には数十年以上の休止期を挟んで噴火を繰り返す火山が多い。しかし、その活動サイクルを通して観測研究が行われている火山はごくわずかである。したがって、その他多くの火山を対象として活動評価をおこなうためには、阿蘇や口永良部島などの火山において、長年にわたる近代的観測により蓄積されてきた多項目観測データの分析を進めて、火山活動推移モデルを構築することが不可欠である。一方、その他の火山においては、それぞれの火山活動サイクルの中でさまざまな段階にあると考えられる複数の火山で、同一の項目でモニタリングを実施し、他火山との比較研究を通して、個々の火山の状態を把握することが必要になる。

そこで、本研究課題では、長期間にわたるデータの存在する観測項目である、火山性地震、地殻変動、重力、応力場などのモニタリングを複数の火山で実施し、それらの比較研究をおこなう。そして、近代的観測研究により蓄積されつつある知見を最大限に活用し、「中長期的な火山活動の評価」を実施する。

全体の到達目標は、予測精度向上や推移モデルの高度化のために、観測データによる噴火推移の支配要因の理解を深め、さらなる観測事例の蓄積により火山活動推移モデルの構築および事象分岐条件の設定をすることである。

本課題の対象火山は、駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒・吾妻・伊豆大島・三宅島・焼岳・御嶽・阿蘇・九重・口永良部島であり、以下に重点的な観測を実施する火山などの到達目標を記す。

有珠：総合観測と集中的な地震観測を実施し、次期噴火にいたる過程で生じる現象をとらえる。

十勝：総合観測を継続し、unrestイベントを含む火山活動推移（特に噴火準備過程）の類型化を行う。

吾妻：火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動を明らかにし、他の研究対象火山における

現象との比較を通じて、中長期的な火山活動の評価を行う。

伊豆大島・三宅島：精密な重力変化の分析により次期噴火にいたる過程で生じる地下のマグマの移動を明らかにする。

焼岳：総合的な観測を継続し、1914年噴火から100年以上が経過した同火山が活動再開に至るまでの推移を把握する。

御嶽：2014年噴火以降に長期にわたり継続している山頂域の地震活動と収縮の発生プロセスを明らかにすること、次の噴火に向けた活動変化を捉える。

阿蘇：噴火サイクルが10~20年と比較的短い阿蘇火山では、そのサイクルを規定する物理量の抽出を目指した多項目モニタリングを実施し、他火山の活動評価の指標を提示する。

口永良部：数ヶ月から数年の時間スケールにおける、マグマ蓄積過程とマグマ蓄積量・率を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題と同様に「モニタリングによる火山活動の評価」に取り組む北大代表の課題「電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築」とは相互補完の関係にある。そのため、研究集会を開き密接に連携しながら研究を進め、合同で火山活動評価をおこなう。

本課題では、各火山において、地震観測と地殻変動の連続観測（GNSS and/or 傾斜計）と後述の臨時観測などを実施する。さらに、地震波干渉法による速度構造の時間変化検出や、御嶽山で見られた火山活動にともなう地震活動のメカニズム解の変化検出など、共通の解析手法を適宜各火山のデータに適用することを目的に、各火山担当者の情報交換をすすめる。

また、富山大課題の「富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング」と連携して研究を遂行する。

各年度に実施する観測の内容は以下の通りである。

令和1年度：

御嶽山：In-SAR解析+水収支モデリング、GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

三宅島：火山PJと共同で臨時地震観測

阿蘇火山：地震・空振・傾斜計アレイなど多項目観測。年3回の相対重力測定。

口永良部：レーダ観測をふくむ多項目観測の継続、水準測量

令和2年度：

有珠山：次期噴火の準備をとらえるための臨時観測点設置

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：多項目観測の継続。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和3年度

有珠山：火山PJと歩調を合わせ臨時地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：GNSSキャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和4年度：

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、山頂地震観測。

阿蘇火山：水準測量。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和5年度：

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。火山PJと共同で臨時地震観測

御嶽山：山頂地震観測

阿蘇火山：年4回の重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

対象火山において地震や地殻変動観測によるモニタリングを継続している。また、電磁気・熱・ガスのモニタリング課題(HKD_04)と共同で2023年1月に研究集会を実施した。この集会では、対象火山におけるこれまでの観測研究成果を担当者間で共有し、「火山活動推移モデルの構築による予測」への道筋や次期建議研究での課題についての議論をおこなった。

また、HKD_04と共同で、阿蘇火山・草津白根山でのVUI策定作業をおこなった。阿蘇火山ではいくつかの項目のVUIの日々の自動更新が可能になった。

コロナウイルスの影響は少しずつ小さくなり、各火山における観測研究は以下に示すようにおおむね順調に進展している。

【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

道内主要5火山における地震・地殻変動観測を継続し、データの収集とunrestイベントの抽出・データ解析を進めた。このうち、樽前山・十勝岳・雌阿寒岳においては、400MHz帯の新スプリアス規格へ対応している無線機を設置して、観測を継続している。

2021年5月以降に有意な活動の変化が見られる十勝では、顕著な傾斜変動イベントの変動源を明らかにした。

有珠山においては、前年度に新設されたGNSS観測点において安価で低消費電力なテレメータ装置による試験観測を実施した。

【吾妻】

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・挙動の解明に資する観測データの蓄積をおこなった。それらのデータ解析により、頻繁に観測される短期的傾斜変動と高周波連続震動を伴う長周期地震発生源を結ぶ流路・流体供給系の存在が示唆された。また、機械学習(CNN)による火山性地震のタイプ分類手法・検出自動化に関する研究を行った。

【伊豆大島】

伊豆大島において、絶対重力観測とそのモデル化を実施した。2012~2022年までの断続的な絶対重力観測結果とGNSS上下変位を組み合わせて、重力勾配と降水重力擾乱の諸パラメータを推定するモデルを構築した。そして、伊豆大島直下における有意な質量増加を検出し、膨張源に新たに生じたマグマの密度を推定したところ、その値は約 1.0 g/cm^3 であった。

【御嶽】

2022年2月~3月の地震活動活発化に際して得られた多項目のデータを解析した。この地震活動は、山頂域の地震クラスタのうち一番深いクラスタで発生し、微動や傾斜変動を伴っていた。また、数日前には深部の地震活動が観測されていた。これらの特徴は2014年の噴火前の活動のものと似ている。しかし、噴火に至らなかった2022年に発生した地震数は2014年より少なく、2022年の傾斜変動量も2014年より小さいものであった。

また、2022年5月に水準測量を実施し、2021年の測量結果と比較したところ、山頂に近いエリアの沈降が検出された。一方、広域で見ると2018年頃から山頂側がわずかに隆起する地殻変動が得られている。今後も測量を継続して、この変動を追跡する必要がある。

GNSS観測においては、山頂領域の12点を連続観測化するとともに、2022年8~9月には山麓域においてGNSS集中観測をおこなった。そして、2016年から2021年にかけてのGNSS観測で検出された地殻変動とInSAR時系列解析結果を比較した結果、いずれにも共通して山頂領域の沈降傾向の鈍化がみとめられた。

【焼岳】

多項目観測の継続とそのデータ解析を実施した。この解析結果に基づき、2022/5/24~2022/7/12に発表された「噴火警戒レベル2」について、行政・地域社会への対応に当たった。

【阿蘇・九重】

阿蘇火山の中央火口丘群西側で、水準測量を実施した。2018年の測量結果と比較した結果、草千里付

近などの水準点において1~2cmの沈降が検出された。

阿蘇において、2022年5月から1月に1度の頻度で相対重力キャンペーンを実施した。得られたデータに対してスケールファクター補正を施すことにより、高精度の重力変化量をもとめることができ、火口周辺域での陸水あるいは熱水の影響によると思われる年収変動が捉えられた。また、2022年11月にはAVLにおいて絶対重力観測を実施し、2010年の観測値と比較することで、熊本地震による地盤沈降、建物沈降を示す結果が得られた。

九重においては、InSARデータを用いた地殻変動の抽出をおこない、その時間的推移から、地殻変動源の時間変化を明らかにした。

【口永良部島】

2014年8月から2021年12月にかけて14回実施された水準測量の結果を整理した。これによると、2014年8月~2015年3月、2017年9月~2019年9月など噴火直前の山頂側隆起と噴火後の沈降が捉えられている。また、2021年5月以降は顕著な上下変動が見られていない。

また、この火山で発生するモノクロマティック地震に高周波信号が重畳するハイブリッド地震の分類を行った。その結果、噴火期間以外に卓越する、高周波部分に単調振動が後続し剪断破壊を引き起こす応力集中が期限と考えられるグループと、噴火期間に卓越し単調振動の高周波地震が後続しクラック振動を引き起こす圧力解放が期限と考えられるグループに分類されることが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地球物理学的な観測を複数の火山で実施することにより、関連の深い建議の項目である「モニタリングによる火山活動の評価」の目的達成に大きく貢献している。

火山災害の軽減のためには、噴火が発生するまえに火山活動を適切に評価し、噴火発生時期、噴火規模などを予測することが重要である。本研究は「モニタリングによる火山活動の評価」を通して災害軽減に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Maeda, Y. and Watanabe, T.,2022,Estimating errors in autocorrelation functions for reliable investigations of reflection profiles,Earth Planets

Space,74,https://doi.org/10.1186/s40623-022-01606-5,査読有,謝辞無

若林環, 風間卓仁, 福田洋一, 安部祐希, 吉川慎, 大倉敬宏, 今西祐一, 西山竜一, 山本圭吾,2023,LaCoste型およびScintrex型相対重力計におけるスケールファクターの読取值依存性の検定.,測地学会

誌,68,49-68,doi:10.11366/sokuchi.68.49,査読有,謝辞有

Ishii, K., A. Yokoo, T. Ohkura and T. Kazama,2022,Temporal variation in the depth of the magma surface at Aso volcano in 2014–2015,Bulletin of Volcanology,85,10.1007/s00445-022-01616-x,

査読有,謝辞有

宮縁育夫・飯塚義之・大倉敬宏,2023,阿蘇火山中岳第1火口における2021年10月14日噴火,日本火山学会誌,67,441-452,10.18940/kazan.67.4_441,査読有,謝辞無

青山 裕,2022,北海道の活火山における減災に向けた観測研究の取り組み-物理観測と物質科学の今後の連携を見据えて-,日本火山学会誌,67,171-193,https10.18940/kazan.67.2_171,査読有,謝辞無

T. Permana and H. Aoyama,2022,Locating Volcanic Earthquakes and Tremors Using Delay Time and Amplitude Ratio Information from Cross-Correlation Functions,Seismological Research

Letters,https://doi.org/10.1785/0220220199,査読有,謝辞有

Anai, C., T. Ohkura, S. Yoshikawa and N. Mochizuki,2023,Temporal change in rock-magnetic properties of volcanic ashes ejected during a 1-year eruption event: a case study on the Aso

Nakadake 2019–2020 eruption,Earth Planets

Space,75,https://doi.org/10.1186/s40623-023-01783-x,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

宮縁 育夫・飯塚 義之・大倉 敬宏,2022,阿蘇火山中岳2021年10月14日噴出物の分布と構成物,日本火山学会 2022年度 秋季大会,A1-07,https://doi.org/10.18940/vsj.2022.0_7

大久保美鈴・大倉敬宏,2022,阿蘇カルデラ周辺の地殻変動の変動源について (1997年-2015年),日本火山学会 2022年度 秋季大会,B1-11
小松隼人・大倉敬宏・爲栗 健,2022,阿蘇火山において噴火準備過程で発生する A 型地震,日本火山学会 2022年度 秋季大会,A1-13
成田翔平・大倉敬宏,2022,長期間の地盤変動から示唆される九重火山の火道閉塞,日本火山学会 2022年度 秋季大会,B1-09
青山 裕,2022,北海道内火山における将来の噴火に向けた火山観測の課題,JpGU Meeting 2022,SVC34-06
若林環・風間卓仁,2022,相対重力計のスケールファクター検定における陸水重力擾乱補正の重要性.,日本測地学会第138回講演会,53
Maeda, Y., Watanabe, T., Terakawa, T., Yamanaka, Y., Horikawa, S.,2023,Subsurface structure and recent activity of Mt. Ontake, central Japan,IAVCEI Scientific Assembly
前田 裕太・寺川 寿子・山中 佳子・堀川 信一郎,2022,2022年2月～3月の御嶽山の地震活動活発化について,日本火山学会 2022年度 秋季大会,A3-05
村瀬 雅之・前田 裕太・金 幸隆・堀川 信一郎・松廣 健二郎・竹脇 聡・及川 純・手操 佳子・百合本 岳・山田 晋也・木股 文昭,2022,精密水準測量によって検出された御嶽山の上下変動 (2021-2022年),日本測地学会第138回講演会,38
坂本 侑太・伊藤 武男,2022,InSARを用いた御嶽山浅部圧力源の粘弾性応答の評価,JpGU Meeting 2022,SGD01-02
杉村 俊輔・山本 希・森田 裕一,2022,畳み込みニューラルネットワークを利用した火山性地震の分類,JpGU Meeting 2022,SVC34-P08
山田大志・井口正人・中道治久,2022,口永良部島火山の2019年以降のモノクロマティック・ハイブリッド地震活動と火山活動との関連,JpGU Meeting 2022,SVC28-P08
成田翔平・大倉敬宏,2022,ALOS-2/PALSAR-2が捉えた九重火山の複雑な変動場,日本測地学会第138回講演会,P06

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

北海道内5火山における地震・地殻変動観測を継続し、データの収集を進める。
十勝岳のVUI評価を最新のデータまでアップデートして2020年-2022年度に発生した活動変化との対応を検討し、評価項目や基準の再確認、活動推移のモデル化へ向けた現象の整理等を進める。

吾妻

既設の観測点における地震・地殻変動の連続観測を継続し、火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動の解明を明らかにする。また、試作した吾妻山のVUIに観測網強化によって得られた最近の知見を取り入れるための検討を進める。

伊豆大島

モデルの更なる高精度化、準備期から噴火への移行の兆候を検知するためにも、定期的な絶対重力測定と、島内での相対重力測定を続ける。

御嶽

地震、GNSS観測、水準測量を年次計画通り実施する

焼岳

引き続き、多項目観測とそのデータ解析を実施する

阿蘇 九重

阿蘇カルデラ内における相対重力キャンペーン測定を月に1回実施する。
GNSSやInSARデータを用いた地殻変動解析を行う。

VUIの項目追加を検討するとともに、VUI自動更新システムの構築をする。

口永良部

口永良部島において地震観測，GNSS観測，水準測量，レーダー観測を実施する

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科），横尾亮彦（京都大学大学院理学研究科），風間卓人（京都大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学），橋本武志（北海道大学），村上亮（北海道大学），山本希（東北大学大学院理学研究科），三浦哲（東北大学大学院理学研究科），今西祐一（東京大学地震研究所），大湊隆雄（東京大学地震研究所），寺田暁彦（東京工業大学），前田裕太（名古屋大学），山中佳子（名古屋大学），寺川寿子（名古屋大学），伊藤武男（名古屋大学），大見士朗（京都大学防災研究所），中道治久（京都大学防災研究所），山本圭吾（京都大学防災研究所），村瀬雅之（研究協力者）（日本大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山研究センター

電話：0967-67-0022

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大倉敬宏

所属：火山研究センター

(1) 実施機関名：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

阿蘇で学ぶ地震・火山災害への備え

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
 - (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
 - 地震
 - 火山
- 5 研究を推進するための体制の整備
 - (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
 - (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日奈久・布田川断層帯での30年地震発生確率が全国の活断層のうちでは比較的高い部類に属するとされていたにもかかわらず、この情報が地元自治体では共有されていなかった。地震や火山に関する情報を適切な防災行動や防災対応につなげるためには、情報の受け手（一般市民）も地震や火山及びそれらに起因する災害について正しく理解することが必要となる。正しい理解のためには、学習する機会を提供し、理解しやすくする仕組みが必要である。そこで、その機会や仕組みを地震・火山の準リアルタイムデータ表示や震災・火山噴火体験を交えたガイドプログラムの中に実装する。そしてまず第一に、阿蘇にて活動するガイドの防災リテラシーを向上する。次にガイドを仲介媒体として、阿蘇地域を訪れる観光客や他地域の自治体職員の地震や火山にかかる正しい知識を醸成する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震・火山の準リアルタイムデータ表示として、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成25～30年度）において北海道大学の太島氏が開発した準リアルタイム火山情報表示システムを改良して使用する（以下、表示システムと略）。

阿蘇地域では、火山博物館ガイドセンターやジオパークガイド協会に所属するガイドらが地震災害の語り部などとして活躍している。また彼らは「熊本地震の経験や教訓を伝える修学旅行生向けの学習プログラム」や「震災遺構を巡る観光ツアー」、「2016年10月に爆発的噴火を起した阿蘇火山の案内」などの震災体験を交えたガイドプログラムを既に実行している。本研究課題では、ガイドの情報発信力を高めるため、2～3ヶ月に一回程度、阿蘇火山博物館などにおいてサイエンスカフェを開催する。また、年に1～2回、専門家（地震、火山、災害対応など）による講習会を実施する。また、ガイドと

ともに、阿蘇火山博物館での中高生への教育プログラムを改良し、修学旅行生に自地域でのハザードを認識させるようにする。

なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

年次計画は以下の通りである。

R1年度：

○表示システムを熊本県庁と阿蘇地域振興局に設置し、地方自治体関係者の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

○阿蘇火山博物館に観光客向けの表示システムを設置し、観光客の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

○阿蘇火山博物館を過去に修学旅行で利用した中高の上位5都府県をターゲットに、ハザードマップなどを収集し、その府県向けの学習プログラムを作成し（阿蘇ガイドと協力し情報共有する）、随時実施する。

○阿蘇ガイドを対象とする地震学セミナーを開催する。

R2年度：

○環境省・南阿蘇ビジターセンターに観光客向けの表示システムを設置する。

○阿蘇火山博物館を修学旅行で利用した中高の6~15位の都府県をターゲットに学習プログラムを作成し、随時実施する。

○阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。また、ガイド講習会の実施する。

R3-5年度：

○阿蘇火山博物館で全都道府県をターゲットに学習プログラムを作成する。

○阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。

○ガイド講習会を実施する。そのなかで、阪神・淡路大震災等の過去災害における語り部活動の事例を調査し、比較検討することにより、ガイドプログラムの向上をはかる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

阿蘇ジオパークガイド（以下ジオガイド）や震災遺構ガイド（語り部含む）との活動を通じた地震・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を今年度も実施した

これまでに、2016年熊本地震により被災した火山研究センターの本館の復旧過程をジオガイドと共有してきた。その最終フェーズとして、2022年の7月にウィーヘルト地震計の組立作業をジオガイドの協力を得て実施した。この地震計は、昭和3年から設置されていたもので、熊本地震の本震にて本館とともに被災した。2019年に本館の復旧工事が始まる前、ジオガイドの協力を得ていったん解体し、館外にて保管されていたものである。一連の作業を通して、地震観測の歴史、災害からの復旧過程などを研究者とジオガイド間で共有することができた。

ジオガイドと震災遺構ガイド（計44名）を対象とした勉強会を実施した。その際、本部会課題であるNGT02で製作中の教育用ビデオのうち2本（「地震と災害」「地震の観測」）を視聴した。これらのビデオの学習項目に関する理解度を視聴前後で調査し、いずれのビデオも高い教育効果を有していることを確認した。

前年度に実施された「阿蘇への観光客に対する火山防災に関する意識調査」の結果を分析し、「火口周辺での火山ガスの危険性に関する音声ガイド・掲示板の存在、噴火の痕跡が観光客が退避壕に入るといふ安全確認行動を促進する」という結論を得て、英文学術誌に公表した。この結果は、阿蘇火山防災会議協議会の対策に有効活用されており、また熊本地震の震災遺構の意義づけにもつながることから、震災遺構ガイドの勉強会でも有効活用されている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

阿蘇を訪れる観光客に地震災害に関して多くを学んでもらうためには、まず熊本地震震災ミュージアムやジオパークで活動するガイドの地球科学および防災リテラシーを向上することが不可欠であると

の認識のもと、ガイドのリテラシー向上の手法を検討することで「地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」に貢献することを目指している。

また、火山災害に対する備えという観点からも、ジオパークで活動するガイドの防災リテラシー向上の手法を検討し、「地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」に貢献している。いずれも、「災害の軽減に貢献」に直結するものであり、今後も推進していく。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

D. Sasaki, Y. Jibiki and T. Ohkura, 2022, Tourists' behavior for volcanic disaster risk reduction: A case study of Mount Aso in Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, 78, 103142, 10.1016/j.ijdr.2022.103142, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

阿蘇ジオパークガイド（以下ジオガイド）や震災遺構ガイド（語り部含む）との活動を通じた地震・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を引き続き実施する。

令和5年には東海大学阿蘇キャンパスの跡地に、熊本地震震災ミュージアム中核拠点施設が完成することから、この施設での案内を担当予定の阿蘇ジオパークガイドと震災遺構ガイドの地球科学および防災リテラシーを再確認し、さらなる向上をはかる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

池辺伸一郎（阿蘇ジオパーク事務局）、豊村克則（阿蘇火山博物館）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：火山研究センター

電話：0967-67-0022

e-mail：bonkura@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大倉敬宏

所属：火山研究センター

(1) 実施機関名：

九州大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震火山相互作用下の内陸地震空間ポテンシャル評価

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
- (4) 火山現象の解明とモデル化
 - イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - イ. 内陸地震
 - ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
 - オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測
- (4) 中長期的な火山活動の評価
 - イ. モニタリングによる火山活動の評価

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

- (1) 推進体制の整備
- (2) 総合的研究
 - オ. 高リスク小規模火山噴火
- (3) 研究基盤の開発・整備
 - ア. 観測基盤の整備
 - エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつける。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

熊本ー阿蘇火山と、北海道の屈斜路ー阿寒カルデラ周辺を観測重点地域として内陸地震空間ポテンシャル評価の研究を行う。地震発生は、対象地域に働く応力場、断層周辺の力学的応答、地震を発生させる断層面の形状、断層の強度、破壊の開始や停止に対する流体の効果、流体の上昇の効果、という要素に規定されていると考え、以下のような手法に基づきそれぞれの要素の評価を行う。

応力場：地震活動がある領域についてはモーメントテンソルを用いて推定する。地震の起こっていない領域については周辺の応力状態、変形状態から推定し、応力場モデルの構築を行う。機動地震観測により地震活動が活発な地域では水平深さ方向とも5km程度の分解能で推定する。さらに構造情報を入れて、数値計算により不均質な応力場の再現を試みる。応力場が不均質であることが示唆されている天草周辺の非地震帯、警固断層周辺で臨時GNSS観測、地震観測を強化し、不均質な応力場が形成されるメカニズムを推定する。

断層周辺の力学的応答：地震学的、電磁気学的構造、測地学的運動から周辺の地域の弾性的・非弾性的応答を推定し、数値計算により断層に載荷される応力(応力再配分)を推定する。一方、地震による非弾性変形やGNSS観測による地表変位速度データをもとにして、定常変形や大規模地震による応答を求める。

地震を発生させる断層面：主に観測重点地域を対象に地表の活断層の分布、稠密地震活動から見出される震源の面上配列、広帯域MT調査による厚みをもった破碎帯(低比抵抗帯)の形状から推定する。

断層の強度：周辺の地震活動から見積もられる間隙流体圧、応力場と断層面との関係、低比抵抗ー低速度域、断層直上の温泉ガス分析から推定される空隙率、等を用い推定する。流体供給源の位置と化学観測からの流体経路を参考にして、断層の強度低下の可能性を検討する。

流体分布と、流体が地震の開始や停止に及ぼす影響：比抵抗構造、速度構造、減衰構造の3者を推定することにより地下の流体の蓄積場所と、水かガスかマグマかの判別、温度、粘性係数、さらには流体を蓄える亀裂の大きさを推定する。観測重点地域は5~10 km程度の解像度で応力場モデルと組み合わせ、歴史地震の発生した場所の地震ポテンシャルを検討する。さらに、断層端と流体分布の位置関係から、破壊が流体によって停止する可能性を検討する。流体周辺域とその他の地域に分け、初期破壊過程と最終的な地震の規模との関連を統計的に評価する。

流体移動の効果：火山周辺ではマグマの蓄積や粘性緩和によって周辺の応力場が変化し、地震発生につながる事が考えられる。屈斜路ー阿寒カルデラにおいてはGNSS観測などから歪の不均質場を明らかにするとともに、地震活動や火山活動との関連性について検討する。マグマが冷却結晶化する過程で析出した水を含む揮発性成分や、断層地下にもともと蓄積されている流体も移動することにより地震を誘発する可能性がある。熊本ー阿蘇地域の温泉を対象にH₂, 4He, CH₄, N₂, O₂, 36Ar, 40Ar, CO₂, 222Rnのモニタリング連続観測を行い、玄武岩質マグマ起源流体、安山岩質マグマ起源流体、大気の混合比を求め、その時間変化と地震活動との相関を検討する。さらに水の酸素水素同位体比・全炭酸・3He/4He/20Ne比・陰陽イオン・主要ガス・222Rnのサンプリングも定期的に行い、流体の起源を推定し流体供給路を推定する。また、起源の異なる流体が相互に混入することがあるかどうかを調べる。これによって、火山活動との相互作用や地震活動の活動様式について知見を得る。また、断層等でガスサンプリングを実施する。また、流体の起源についての別のアプローチとして、野外の露頭調査からは深成岩体(過去のマグマ溜り)周辺の含水鉱物の分布や、分析による化学組成、さらには冷却結晶化の室内実験において結晶化の進行と発生するガスの挙動を調べ、流体の振る舞いや、流体が深成岩体周辺に100万年単位で蓄積される可能性を検討する。

以上の手法により、過去に大きな地震が起きた地域をモデルケースとして、各要素を推定し、支配的な要素や、要素間の関係性を調べる。これにより内陸地震の空間ポテンシャル評価手法の開発を試みる。

平成31年度は以下の観測調査を行い、既存データと併せて解析を進める。

地震観測：熊本地震震源域、その南部延長部、天草非地震帯および阿蘇を含む領域で稠密地震観測を実施し、地震後応力場推定の精度を向上させるとともに、地震活動様式を詳細に把握することでこれらの時空間変化をとらえるためのデータ取得を開始する。また、既存データの処理解析を進め、布田川ー日奈久断層帯の断層面形状、地震後応力場推定を進める。

測地観測：GNSSによる熊本地震の余効変動観測を継続する。屈斜路ー阿寒カルデラ周辺において連続GNSS観測のデータを収集、解析する。

化学観測：熊本ー阿蘇地域の温泉(3地点)を対象にH₂, 4He, CH₄, N₂, O₂, 36Ar, 40Ar, CO₂, 222Rnのモニタリング連続観測を開始する。

電磁気観測：鶴見岳周辺で10点規模の広帯域MT観測を実施する。

室内実験：アナログ物質を用いて冷却速度が、気泡形成の振る舞いに及ぼす影響を調べるための実験装置のデザインを行う。

重力観測：北海道屈斜路カルデラ・阿寒カルデラ周辺において、これまでの重力観測のデータを整理する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題では、多項目観測や室内実験を通じて内陸地震の発生場所や規模の評価手法の確立に道筋をつけることを目標としている。令和4年度の成果は以下のとおりである。

応力場 一下部地殻の非弾性変形の影響一

地震発生ポテンシャルを評価するうえで重要なものの一つは下部地殻から地震発生層への応力荷が挙げられる。下部地殻内の粘性不均質に起因する局所的な非弾性変形は地震や歪み集中帯の成因に対して重要な役割を果たしている可能性があるが、その影響を評価するためには、下部地殻の変形を検出する必要がある。昨年度に報告した九州のGNSS観測点の定常的な変位速度を用いた下部地殻の非弾性歪速度およびプレート間の固着分布の推定がpublishされた (Yuasa and Matsumoto, 2023)。下部地殻の非弾性変形のモデル化はBarbot (2020)に、プレート間の固着分布のモデル化はYabuki & Matsu' ura (1992)の方法に則った。推定の結果、プレート間の固着分布はこれまでの先行研究（例えば、Yokota et al., 2016; Noda et al., 2018）に類似した分布が得られた一方で、下部地殻の非弾性歪み速度の分布は周辺のテクトニクスを反映したと思われる特徴的な分布を示した(図1)。推定された地殻下部の非弾性変形とプレート間カップリングを用いて計算された応力変化は、九州の内陸地震が地殻下部の非弾性変形の影響を強く受けていることを示している。また、上部地殻の偏差応力場との比較から、BSGの南側に多くの弱断層からなるshear zoneが存在することが示唆された

道東地域での定常的な収縮変動をカルデラ下の不均質構造に起因すると仮定した有限要素モデルの構築を昨年度に引き続き行った。昨年度課題となっていた各設定に対する応答の状況を確認し、カルデラ下の不均質構造の存在に伴い、その領域の境界付近でひずみ・応力が集中することは確認したが、定量的評価には至っていない。また、カルデラ下に設定した粘弾性領域のさらに下部の物性が現実的でないことが分かったため、この部分を改良するなどして今後より現実的な設定において計算を進める。道東の地殻変動観測からは、これまでのGEONET、北海道大学のGNSS観測データに加え、2022年に設立された「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通して提供された、屈斜路カルデラ周辺のGNSS観測データ約30点分を併せて解析し、2020-2022年の超稠密地殻変動場の把握を行った。その結果、これまで定常的な変動として見られていたカルデラ中心部に向かう収縮傾向が一転して2021年後半頃から膨張傾向を示すようになり、それが現在も継続していることが明らかになった。この地域では1993年から1995年にかけてもアトサヌプリの南西部を起源とする膨張変動が報告されている (Fujiwara et al., 2017)が、当時のイベントよりも小さい変動量となることが分かった。シル形状を仮定すると深さ6kmの位置に 2.4×10^6 m³/年、球状圧力源を仮定すると深さ5 kmのところに 3.6×10^6 m³/年の体積増加が推定された。なお、1993-1995年の膨張イベント時には一時的に屈斜路カルデラでの地震活動の活発化が見られたが、地震活動、重力モニタリングなどからは現状そのような他の特異な現象は検出されていない。

地震観測

日奈久断層南部における稠密地震観測

九州大学では東京大学と共同で日奈久断層南部におよそ110点の地震観測点(図2)を展開し、断層及びその周辺域における地震活動の検出と発震機構の推定を通じて発生ポテンシャル評価の試みを進めつつある。観測は上下動地震計、サンプリング周波数100Hzで収録し、約8割の観測点で携帯電話網を通じ、観測センターに伝送している。このシステムは鳥取県西部地震震源域で行われたものを改良しつつ、汎用性を持たすための試験的な観測も兼ねている。得られたデータを自動処理システムによって震源決定し、発震機構解も推定している。図3に示す断面図を見ると検出能力の向上と震源分布から見た断層形状がよりはっきり確認できる。

能登地方での臨時地震観測

活発な活動が継続する能登半島での群発地震活動震源域において、臨時地震観測を行った(東京大学、

東北大学と共同)。波形例、発震機構解の例を図4に示す。観測は6点の上下動地震計を展開した。これらはオンラインでデータを伝送している。メカニズム解からわかるように、本観測によってメカニズム解の節面拘束に寄与できる。今後解析を進めていく。

比抵抗構造

内陸地震発生域の比抵抗構造に共通した特徴が抽出された。本課題において北海道道東部で実施してきた広帯域MT観測と、論文化されている既存データ (Ichihara et al. 2009, 2013, Inoue et al. 2022) を合わせた合計168カ所の観測点データを用いて、屈斜路-阿寒地域の3次元比抵抗構造を推定した。初期解析からは屈斜路、雌阿寒、両火山直下において低比抵抗体がイメージされ、両者は深くなるにつれ西側に伸びているという結果が得られた。1949年から2015年での規模の大きな (M4-M6) 内陸地震はこの2つの低比抵抗体に挟まれた比較的高比抵抗な領域で発生していることが示された。阿寒地域を対象を絞った詳細な解析 (Inoue et al. 2022, 井上 2023) でも広域の解析と同様に、深くなるにつれ西側に傾斜する低比抵抗が推定された。マグマ貫入を示唆するシル状圧力源の推定位置が低比抵抗体の外側に位置することから、低比抵抗体から水平方向に貫入したマグマが地盤変動を引き起こしたと解釈された。

福岡県警固断層周辺で2021~2022年に広帯域MT観測を行い、得られた65点のデータを用いて3次元比抵抗構造を推定した。その結果、警固断層の北西端付近 (2005年福岡県西方沖地震の地震断層の南東端) および警固断層の南東端付近に低比抵抗体がイメージされた。警固断層は両低比抵抗体に挟まれた比較的高比抵抗な領域に位置している。警固断層の走行と2005年福岡県西方沖地震断層の走行は、およそ10°のずれがあるが、低比抵抗体が破壊に対するバリアとして働き、断層走行が変化していることが示唆された。また、福岡県西方沖地震断層の余震分布の下限は低比抵抗体の上面と一致する。道東および警固断層で見られた内陸地震発生域が2つの低比抵抗体に挟まれた場所であるという結果は、2016年熊本地震の結果 (Aizawa et al. 2021) と類似している。

化学観測

阿蘇内牧温泉 (ASO, 深度35m) と2016年熊本地震震源付近の温泉 (KUM, 深度1200m) において溶存ガスの組成変化の連続測定を継続した。また、得られたデータからの深部起源ガスの量と組成の変化の推定を行った。ASO, KUM 両地点間の距離はおよそ40 kmである。溶存ガスの連続測定からはASO, KUM両地点とも2021年12月中旬から大気成分の割合の顕著な増加が捉えられた。ASOでは2022年12月現在も大気成分が増加したまま (不可逆変化) だが、KUMにおいては2022年4月に元のレベルに落ち着いた。この変動が生じた理由について現在検討している。

溶存ガスの大気混入率に顕著な変化が見られた一方で、深部起源ガス中の端成分組成 (Andesite/Basalt) に特筆すべき変化は見られなかった。特にKUM観測点は安定で、周辺で発生する地震にも影響を受けないことが分かった。KUM観測点の深部起源ガス端成分の割合が安定であったため、2022年11月に観測地点をKUMとASOの中間で布田川断層からおよそ10 km北側に位置する大谷の湯 (OTN) に観測点を移し観測を継続している。

野外地質調査

これまでのアナログ実験結果から、冷却結晶化によって揮発成分が濃集し増圧する過程は、結晶化のカイネティクスや対流など様々な要因によって影響されることがわかった。今年度の研究では、実際のマグマだまりの化石である大崩山深成岩体を調査し、地下深部のマグマだまり内の物理過程について理解することを目的とした。揮発性成分の濃集の結果であるペグマタイトは、上部に向かうにつれて脈状からポッド状に変化する。最上部では、母岩の砂岩に花崗岩質マグマが貫入するストーピングの証拠が確認され、岩石組織と黒雲母の量から、このストーピングはマグマだまりの冷却固結過程の最晩期に起こったことがわかった。

2016年熊本地震の余効変動

これまで得られていたGNSS観測点の時系列では、特に上下変動で2016年後半、2019年後半にステップ上の変化が認められた。そのため、座標系を更新し、IGb14とし、2016年1月以降、再解析をおこなった。その結果、原因不明のステップ上の変化は認められなくなった。このデータにアフタースリップ、粘性緩和による変化を対数関数、指数関数と考え時定数を推定したが、観測点の成分ごとに、両者とも2桁以上の幅を持つ広い範囲の時定数が得られ、特徴を抽出することはできなかった。対数関数、指数関数の

推定された振幅が0.001以上である成分が少なく、計算方法を再検討する必要がある。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

下部地殻の非弾性歪速度およびプレート間の固着分布の推定を同時に行う手法を開発し、九州内陸部の応力集中が定量的にモデル化できるようになった。内陸地震発生域の比抵抗構造研究からは共通した特徴が抽出された。以上は内陸地震ポテンシャル評価に有効と考えられる。布田川断層の北東端と南西端に位置する2か所の温泉施設の溶存ガス成分に2021年12月中旬頃から大気成分の増加が見られた。北東端には阿蘇火山が位置しており断層一火山の相互作用を捉えた可能性があるためその原因を検討している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Inoue, T., Hashimoto, T., Tanaka, R., Yamaya, Y., 2022, A broadband magnetotelluric survey for Mt. Meakandake volcano with special attention to the unrest during 2016–2017, Earth Planets Space, 74, 114, doi:10.1186/s40623-022-01673-8, 査読有, 謝辞無

Yuasa Y. and Matsumoto S., 2023, Anelastic deformation in the lower crust and its implications for tectonic dynamics in Kyushu, Southwest

Japan, Tectonophysics, 846, 229674, 10.1016/j.tecto.2022.229674, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

各種観測の継続

ひずみ場の有限要素モデリング

破壊の進展方向の推定

NDC成分の検出

構造と地震活動との対応調査

地震活動と化学観測の関連調査

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

相澤広記（九州大学）、松本聡（九州大学）、松島健（九州大学）、清水洋（九州大学）、寅丸敦志（九州大学）

他機関との共同研究の有無：有

大園真子（北海道大学）、高橋浩晃（北海道大学）、橋本武志（北海道大学）、角森史昭（東京大学）、中尾茂（鹿児島大学）、小泉尚嗣（滋賀県立大学）、市原寛（名古屋大学）、柴田智郎（京都大学大学院理学研究科）、岡大輔（北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所）、名和一成（産業技術総合研究所）、森川徳敏（産業技術総合研究所）、志藤あずさ（岡山理科大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：九州大学地震火山観測研究センター

電話：092-802-4347

e-mail：aizawa@sevo.kyushu-u.ac.jp

URL：http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：相澤広記

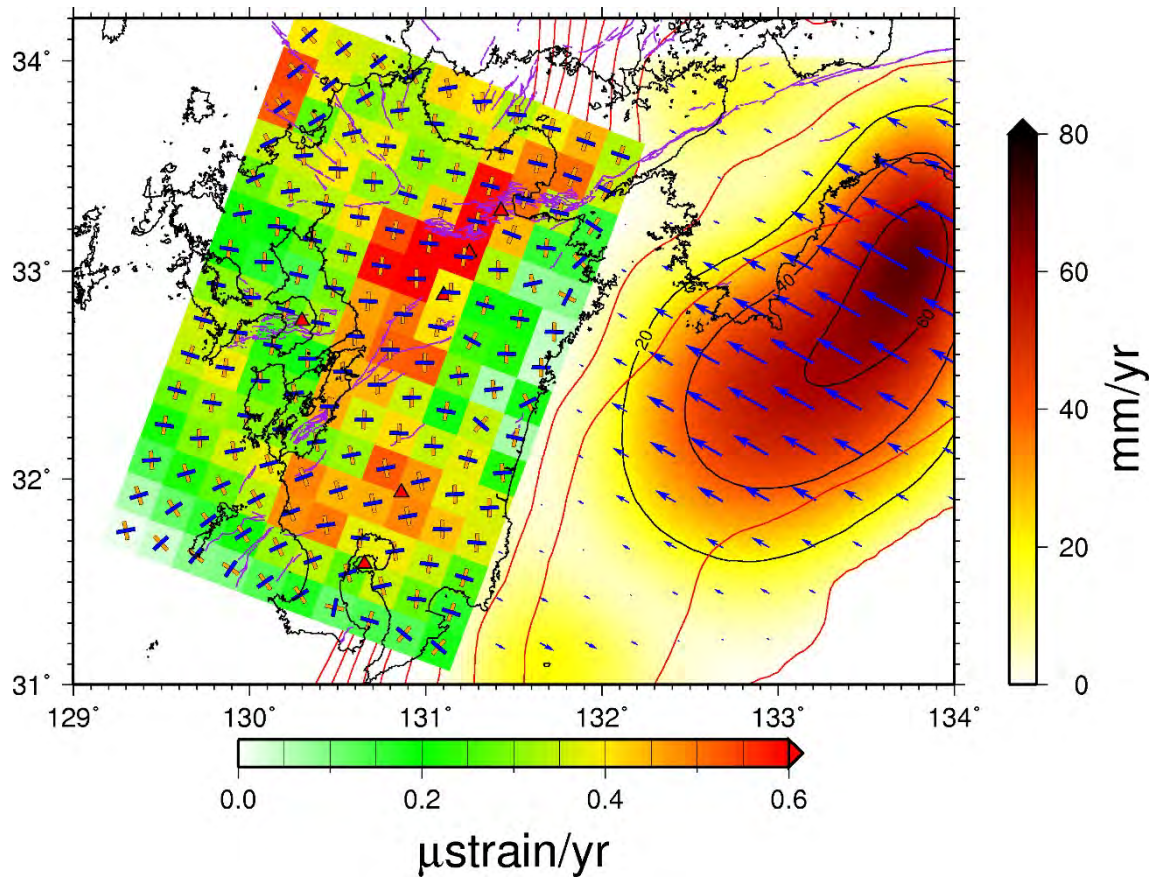


図 1

GNSSデータから推定した下部地殻の非弾性変形とプレート境界のすべり分布 (Yuasa and Matsumoto, 2023)

実証観測：

データ収集・処理

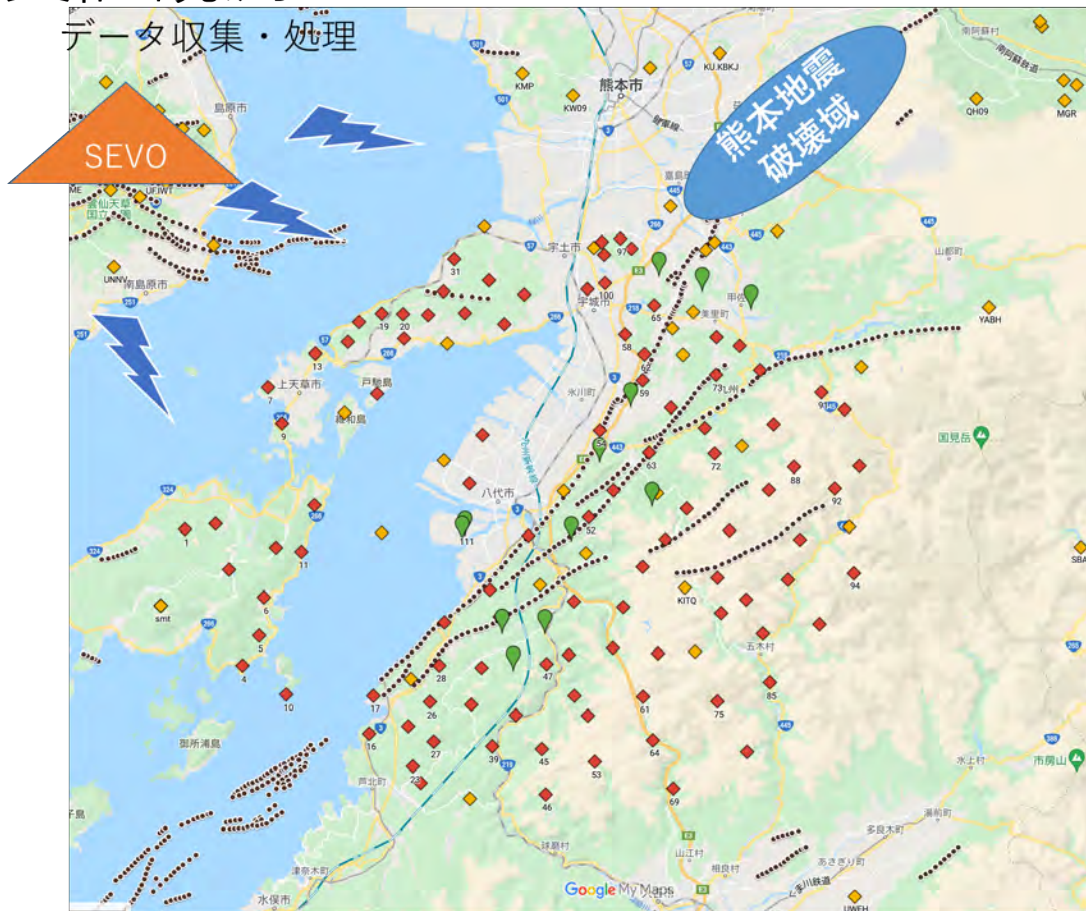


図 2

日奈久断層南部に展開した地震観測点（赤）。オレンジは既存点

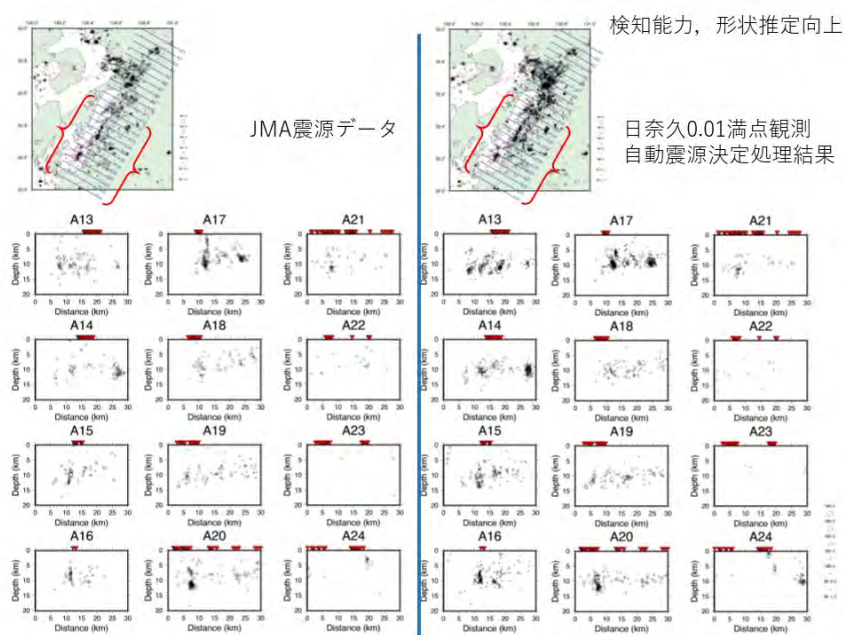


図 3

日奈久断層南部の断層直交断面。JMA（左）と本観測（右）。断面の記号は上の平面図に示されている断面の位置

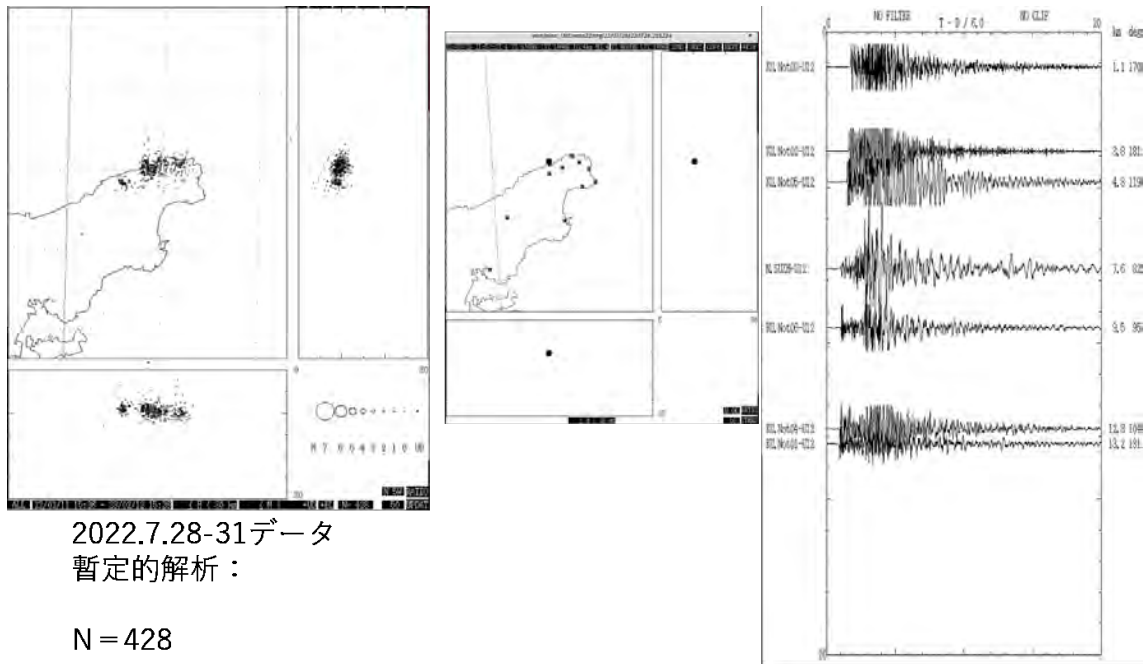


図4
暫定的解析によって得られた設置直後の震源分布（左，自動処理）。右は設置直後に発生したM3.4の地震の震源，発震機構解，波形例を示す。発震機構解の赤線が今回の設置点。節面の拘束に寄与している。

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

富士山の事象系統樹を精緻化するための噴火履歴の研究

(3) 関連の深い建議の項目：

- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (4) 中長期的な火山活動の評価
 - ア. 火山噴火の長期活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
 - (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
 - (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
 - 火山
- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
 - (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
 - (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
 - ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

富士山におけるテフラ層序や年代未詳の噴出物の年代を決定させることにより、噴火履歴を高精度化し、その結果をもとに噴火事象系統樹を精緻化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

富士山の噴火事象系統樹を精緻化するために、詳細な噴火履歴と噴火推移が必要である。そのため、地質調査およびトレンチ調査を実施し、富士火山東麓におけるテフラ層序の再検討を行う。また、堆積物中の有機分子を使った年代推定手法の検討や古地磁気の永年変化を用いた溶岩の年代決定法を検討し、年代未詳の溶岩やテフラの年代決定を行う。さらに、富士山噴出物の既存研究のデータを集約し、調査研究で得られたデータと共に富士山噴出物データベースを構築し、これらのデータを基に噴火履歴の高精度化、噴火事象系統樹の精緻化に取り組む。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地表露頭が少なく、噴火履歴や当時の山体の実態が不明である星山期（約10万円前～1万7000年前）について、静岡県駿東郡小山町の道路工事に伴い露出した岩屑なだれ堆積物を調査した。同岩屑なだれ堆積物に含まれる植物片の放射性炭素年代測定の結果は約1万9000年前であった。同岩屑なだれ堆積物に含まれる火山礫20個を採取し、薄片観察をおこなったところ、斑晶組合せ、斑晶量あるいは石

基組織が異なることから、複数の溶岩流を含む山体が崩壊したこと、星山期の活動におけるマグマが多様であったことが示唆された。

詳細なテフラ層序を確立するため、富士山北麓～東麓の地質調査、テフラ層に挟在する土壌層の放射性炭素年代測定およびテフラの全岩化学組成分析をおこなった。その結果、約4000年前以降について、比較的規模の大きなテフラ層序を確立することができ、特徴的な層相や全岩化学組成（特に K_2O 量、 TiO_2 量、Sr量、Y量）を用いることで層序対比が可能であることがわかった。また、粒子形状測定により、これまで露頭記載のみで対比されていた形状特性に関して、アスペクト比、真円度、表面凹凸度のパラメータでの数値化および識別ができつつある。

最新の噴火である宝永噴火について、東富士演習場内で手掘りのトレンチ調査をおこない、連続的に堆積した宝永噴出物（層厚7 m、粒径1～3 cm）の詳細な試料採取をおこなった（採取した試料は現在分析中）。

噴出物データベース作成のため、富士山に関する学術文献収集の分類、リスト化をおこなった（300本以上収集、約200本についてリスト化が終了している）。また、うち90本の文献については、含まれる様々な地質情報をデジタル化し、地理情報システム（GIS）に組み込むことで一元的に管理・閲覧できるようにした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

安田敦・亀谷伸子・嶋野岳人・吉本充宏・田島靖久,2022,類似したテフラを識別・対比する定量的な方法の数学的な取り扱いについて,月刊地球,44,査読無

・学会・シンポジウム等での発表

田島靖久・嶋野岳人・安田敦・亀谷伸子・吉本充宏・藤井敏嗣,2022,富士火山大沢降下火砕物(スコリア)分布の再検討(1),日本火山学会秋季大会,P2-34

岩森光・中村仁美・森川徳敏・高橋正明・稲村明彦・原口悟・西澤達治,2022,Circulation of geofluids beneath the Aso caldera: constraints from multivariate statistical analysis of geochemical data of groundwaters,JpGU2022,SVC33-05

石峯康浩・坂井亮仁・横田崇,2022,軌跡シミュレーションを用いた草津白根山2018年噴火の放出岩塊の運動特性の検討,JpGU2022,SVC32-04

山本真也・中村高志・李盛源・安原正也,2022,2021年8月に出現した富士山北麓の一時的湖沼「赤池」の水質・安定同位体的特徴,JpGU2022,AHW26-P04

吉本充宏・久保智弘・藤井敏嗣,2022,富士山における火山防災教育：山梨県の実践と課題,JpGU2022,O03-02

太田耕輔・横山祐典・宮入陽介・山本真也・宮島利宏,2022,Long-Term monthly measurements of dissolved inorganic radiocarbon in water at Lake Motosu and Lake Kawaguchi to understand seasonal hydrological variations,JpGU2022,U05-P03

根本夏林・横山祐典・オブラクタ スティーブン・山本真也・宮入陽介・中村淳路・Lamair Laura・Hubert-Ferrari Aurélie・Heyvaert Vanessa・De Batist Marc・藤原治・the QuakeRecNankai Team,2022,An 8000-year record of East Asian dust deposition in Lake Motosu,JpGU2022,U05-P01

亀谷伸子・角野浩史・上木賢太・浜田盛久・石崎泰男・寺田暁彦,2022,Noble gas isotope compositions of mafic phenocrysts in Holocene lavas of Kusatsu-Shirane Volcano,JpGU2022,SGC35-05

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

詳細なテフラ層序構築のため、露頭が少ない山中湖～籠坂峠の周辺1地点で本年度実施できなかった

重機を用いた掘削調査を予定している（掘削地点については現在検討中）。令和4年度に引き続き、富士山の岩石学データのコンパイルを行い、データベースを作成する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター,吉本充宏（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,馬場章（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,山本真也（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,亀谷伸子（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,内山高（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,本多亮（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）,石峯康浩（山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター）

他機関との共同研究の有無：有
安田敦（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：山梨県富士山科学研究所
電話：0555-72-6211
e-mail：www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：吉本充宏
所属：山梨県富士山科学研究所

(1) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

火山モニタリングと地下水流動把握のための多点連続重力観測

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題ではこれまで同様、井戸や湧水等での水位観測・水質観測によって富士山麓の水の流れを追うとともに、重力観測を行うことで広域的に水の動きを追うことを試みる。水位観測については可能であれば観測点数の増強を行い、重力連続観測点についても複数点展開する。これまでに明らかになった水理地質構造に基づき地下水流動による重力効果のシミュレーションを行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度～32年度においては重力観測点の整備を行い観測データの即時的流通を図るとともに、水質調査による水理地質構造の解明をすすめる。また、研究所内井戸の水位観測を実施しデータの流通を図る。平成35年度までには、重力観測データ蓄積により季節変動成分が議論できる状態になり、水位観測データを参照することで既知の水理地質構造中での地下水流動による理論重力値を観測値と比較できる状態を目指す。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度はスバルライン沿いの重力観測網の整備を進めた。まず、4合目におけるgPhone相対重力計による連続観測をスタートし、ネットワーク接続によりリモートでのコントロール及びデータの吸い出しを可能にした。また、5合目における絶対重力測定を実現したことで、MFRI基準点との間の重力差

を利用した、相対重力計の検定観測が多数行われた。MFRI基準点における降雨による重力効果の補正は実現していないが、それに向けては、富士山有料道路管理事務所より提供される気象データに加え、研究所内において土壌水分計測を含めた気象データ観測を開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

1. 地震・火山現象の解明のための研究または5-(2)-オ. 高リスク小規模火山噴火に備えた体制整備として、重力観測網の整備が進んだ。重力の観測は他とは異なる物理量の観測であることから、広く展開される地震・地殻変動観測網から得られるデータとの組み合わせによって火山事象の迅速且つ確実な把握に繋げることができる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度よりは、土壌水分観測により決定された土壌パラメータを用いることで、地下水流動シミュレーションによる陸水の重力効果の見積を開始する。また、ポータブルな総体重力計を効果的に運用し、連続観測点や基準点での絶対重力観測結果との接続により高精度での重力時空間変化の解明を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター

他機関との共同研究の有無：有

名和一成（産業技術総合研究所）,今西祐一（東京大学地震研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：本多亮

所属：山梨県富士山科学研究所

(1) 実施機関名：

奈良文化財研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震
火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火
(3) 研究基盤の開発・整備
エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

主に以下の6点の目標を中心に取り組み、データベースの拡充を進める。

目標1) 考古発掘調査から地震、火山噴火現象を示す痕跡を明確に識別する方法の開発と、それらの発生時期特定に関わる調査・記録法の普及・啓発。

目標2) 過去の低頻度巨大地震の発生時期の検証と被災分布や具体的な被災像の追跡。

目標3) 海溝型地震と内陸型地震発生の関係。

目標4) 史料による近世地震・火山噴火記録と発掘調査から検証される災害・被災実像の対比から、先史・古代・中世の地震・火山噴火像についてより具体的な現象像の解明。

目標5) 日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡。

目標6) 埋蔵文化財情報についての地域発信（発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演など）を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化を目指す。

本研究課題は、2-1(1)「地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析」、2-1(2)「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」、2-2(1)「地震発生の新たな長期予測」、2-2(4)「中長期的な火山活動の評価」、2-4(1)「地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明」に根本的に関わる内容である。その上で目標2)～5)の中でおこなっていくデータベースの拡充は、地震・火山噴火災害についての長期的データの収集と解析を基盤とした、a) 長期間での地

震・火山噴火現象への理解、b)「地震発生の新たな長期予測」や「中長期的な火山活動の評価」に結びつく長期間での地震・火山噴火発生履歴への理解、さらにその履歴からc)長期間での災害および被災履歴の解明に結びつくと考えられる。このような取り組みから、地震・火山噴火発生の時期性や地域性としての実態も見えてくる可能性は高い。またデータ収集をおこなって行く中で、時間・空間スケールの大きく異なる史料、考古、地質学的アプローチやデータについて、共有性や連携強化を進め、災害実像解明に資するデータ基盤作成の強化を図る。

目標1)、5)とした「発掘調査における災害痕跡の調査・記録方法の開発と普及・啓発」と「埋蔵文化財情報についての地域発信を通じた災害履歴情報の共有化と災害知識の定着化」を目指した取り組みは、2-5「研究を推進するための体制の整備」に関わり、データベースの公開によるアウトリーチ活動の活性化を図るだけでなく、2-5(2)「分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制」、2-5(3)「研究基盤の開発・整備」、2-5(4)「関連分野との連携強化」を支える基盤情報整備として活動を目指し、さらに文化庁や地方公共団体との連携強化を進めることで、2-5(6)「社会との共通理解の醸成と災害教育」への取り組みを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

この5か年計画では、(7)の項で示した6つの研究目標について進めていく。このうち、目標1)については科研費(平成30年度科学研究費助成事業(挑戦的研究(開拓)))での採択課題「歴史災害の実像解明への考古・歴史・地質学的複合解析による災害履歴検索地図の開発」としてもすでに着手を始めている。目標2)~5)については、5か年計画で進める研究目標としてデータベースを拡充していく内容であり、目標遂行は当然のことである。目標6)については今後の新しい取り組みの一つとなるが、基幹省庁である文化庁との調整を続けていることと、データベースの運用において最も大きな課題となる基盤情報の取得を、地方公共団体を取り込むことで解決する必要があることから、この目標の遂行は是が非でも進める必要がある。資金等において課題があるが、目標の重要性から行政的な任務遂行に向けた挑戦を進めたい。

目標2)~5)の基盤となる全国の発掘調査成果に基づく災害痕跡データの集成とデータ入力については、年度を区切らず継続的に進め、これまでの実績から今後5年間で10万地点程度のデータ精査を進め、4万点程度の災害痕跡を抽出できる見込みである。その上で、以下の通り次の5か年計画で進める概要工程を示す。またデータ集成組織の更新に向けた基幹省庁との調整は、適宜進める。

【平成31(令和元)年度】

- ・奈良県全体の地震痕跡を中心に地震発生時期の特定と検証をおこなう(目標2、3)。
- ・上記の地震痕跡をもとに近畿エリア(主に兵庫県、大阪府、京都府、和歌山県)の地震痕跡を整理し、被災分布や具体的な被災像の追跡や海溝型地震と内陸型地震発生の関係の検討を進める(目標2、3)。
- ・九州エリア、中国エリア、関東エリアにおける火山噴火災害痕跡を整理し、発掘調査において検証されうる災害の網羅をおこなう(目標4)。
- ・災害痕跡情報の集成や調査研究を通し蓄積される情報を取りまとめ、調査・研究、災害痕跡の記録方法等について検討する(目標1)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。

【令和2(平成32)年度】

- ・1年目で修正した災害痕跡データを基幹に、東海、四国、九州沿岸の考古災害痕跡データを整理することで、南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を進める(目標2、3)。
- ・近畿エリア、九州エリア、中国エリア、関東エリアを中心に、近世地震・火山噴火記録と発掘調査資料とを細かく対比し、その実像解明に向けた調査研究を進める(目標4)。
- ・上記の調査研究を基幹に、近畿エリアを中心に史料に残されていない、発掘調査から発見される過去の地震・火山噴火像、記録のない地域や時期における実態解明を進める(目標4)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。

【令和3(平成33)年度】

- ・南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を継続して進める(目標2、3)。
- ・日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡を進める(目標5)。
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(目標6)。
- ・埋蔵文化財情報についての地域発信(発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演

など)を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化のための試験的作業を進める(目標6)。

【令和4(平成34)年度】

・1~3年目までの作業を進め、データベースやアウトリーチ化を進めると共に、研究内容、東大史料編纂所等との連携データベースの統括を進める。

【令和5(平成35)年度】

・研究内容の総括

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) データベースについて、「**歴史災害痕跡データベース (Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)**」と命名し、2023年3月に α 版を公開することとなった(図1)。

2) 近畿地方(とくに京都府、奈良県)および九州地方を中心に、遺跡から発見される災害痕跡種の類別、痕跡の形成時期について情報収集を進め、災害痕跡の発見されない場所と併せて調査地点ごとに約3万地点のデータベース化を進めた。

3) 上記の結果、表層地質(沖積層上部)にみられる災害痕跡は、地震や火山活動が地形要素によって多様に被害様相を変えるだけでなく、深部の地質の脆弱性との強い相関性がある可能性が見えてきた(図2)。引き続きこの相関性についての調査・研究を進める必要がある。

4) 遺跡単位ではなく、調査地点単位で災害痕跡情報を収集することで、遺構の切り合いや出土遺物の型式、さらに放射性炭素年代などの細かな調査成果を利用することが可能となり、結果的に過去の災害発生時期を捉えることができるようになった(図3)。

4) 文化財保護法により「周知の埋蔵文化財包蔵地」として指定される地域は、防災等の理由でも掘削調査は極めて限定されるが、HDE-GISdbを利用することにより、効率良く効果的な調査結果が得られる可能性が出てきた。

5) 全国の発掘調査を担当する地方公共団体の文化財担当から、発見された災害痕跡等のデータを集めるため、データベースへの入力用インターフェースの構築を進めた。今後、セキュリティ問題等のテストを参加希望のある複数の県を中心に進める。

6) 上記のテスト協力を進めるため、テスト参加希望の県に所属する文化財担当者や「日本災害・防災考古学会」と協力して、災害痕跡の識別方法を含めたHDE-GISdbの利用マニュアルの作成を始めた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題で取り組む「データベースの構築・公開」は、(4)関連の深い建議の項目に示される内容そのものである。令和3年度まで考古発掘調査の成果をどのように活用することで過去の災害の実像に迫れるか試行錯誤を繰り返したが、ようやく令和4年度にその成果としての事例を示すことができるようになってきた。加えてデータベースの構造や入力タスクの整理も進み、東大史料編纂所の進める史料データベースとの具体的な連動を議論する状況に到達したと考える。考古発掘調査で得られる情報は表層地質情報に限られるが、前項の図2、図3で示した通り、調査情報を細かく丁寧に救い上げることにより、過去の災害実像や発生時期の検証には大きな可能性があると考えている。また、日本国内のとくに平野部の都市圏や集住域は「周知の埋蔵文化財包蔵地」と重なるため、大深度の地質調査は容易ではない。本課題で進めるHDE-GISdbは、今後、地質構造や地形構造との相関性について検証を進める必要があるが、そもそも「どこ」で「どのような」調査を進めるべきなのかを絞り込むための基盤情報としても重要な位置づけになり得ると考える。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Taisuke Murata,2022,The Construction of the Historical Disaster Evidence Database and its Effectiveness,J. Disaster Res.,17,420,doi:10.20965/jdr.2022.p0420,査読有,謝辞有

村田泰輔,2022,歴史災害痕跡データベースの構築とその有効性,第1回日本災害・防災考古学会研究会資料,1,41,査読無,謝辞有

村田泰輔,2021,(展望)歴史災害痕跡データベースの構築とその有効性,考古学研究,68-3,16,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

村田泰輔,2022,考古資料による潜在する地震ハザードの見える化と歴史地震研究,地震史料シンポジウムII「災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法」,9

村田泰輔,2022,歴史災害痕跡データベースの構築とその有効性,日本災害・防災考古学会第1回研究会

村田泰輔,2023,考古資料による潜在する地震ハザードの見える化と歴史地震研究,佐保川歴史勉強会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度で進めたデータベースのアルファ版公開を、令和5年度にはクローズドベータ版からベータ版に移行することを目指す。具体的には、全国の地方自治体からの災害痕跡情報に関わる発掘調査成果情報の入力システムの構築に力を入れる。特に近年重要視される情報セキュリティにおいて、今後協力関係となる地方自治体への負担や損害を与えないための構造が必要である。またデータベースの入力にあたっては、災害痕跡の識別や記載方法など、基本ルールの統一化が必要となる。そこで令和5年度からHDE-GISdb利用マニュアルの作成や、災害痕跡識別・記載基本ルール研究会を「日本災害・考古学会」を通じて開設する取り組みを行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

村田泰輔（奈良文化財研究所埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室）

他機関との共同研究の有無：有

佐竹健治 他3名（東京大学地震研究所）,榎原雅治 他2名（東京大学史料編纂所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：奈良文化財研究所研究支援推進部総務課総務係

電話：0742-30-6733

e-mail：webinfo@nabunken.go.jp

URL：https://www.nabunken.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：村田泰輔

所属：奈良文化財研究所埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室



図1 歴史災害痕跡データベースの表画面

歴史災害痕跡データベース (HDE-GISdb) の概観



図1 長岡宮・京跡調査および周辺遺跡(京都府向日市、長岡市)の調査地点とそこから検出された災害痕跡群の表示事例
 ※国土地理院地図をベースに都市圏活断層図(国土地理院)と「バーチャル長岡京条坊復元図(https://backy0175.at.webry.info/201711/article_2.html)」をレイヤー表示させている。

Taisuke Murata, 2022, The construction of the Historical Disaster Evidence Database and its effectiveness
 Journal of Disaster Research, Vol. 17, No. 3, pp.420 - 429. (DOI: https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0430)

図2 歴史災害痕跡データベースの検索画面の事例

長岡京(京都府)周辺の調査現場で検出した地震・火山噴火・水害に関わる災害痕跡地点と、災害痕跡が検出されなかった地点を表示した事例。

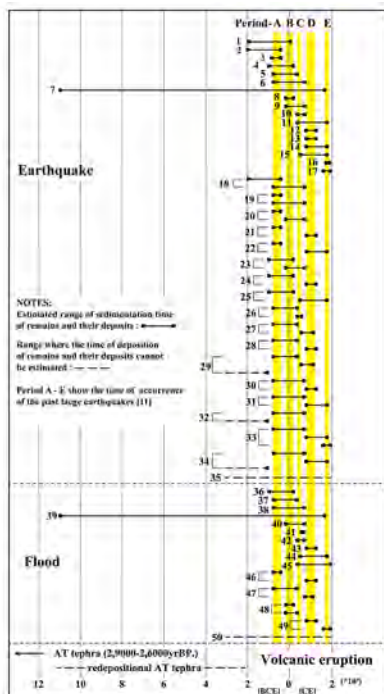


図3 長岡宮・京跡および周辺から発見された災害痕跡の形成時期

データベースを用いた研究事例

発掘調査によって明らかとなる遺構の切り合い関係や、出土遺物からわかる時代と、発見される災害痕跡の層位(地質の中の位置)の関係から、災害が発生した時期を探ることができる。
 図は、長岡宮・京跡および周辺から発見された地震、洪水、火山噴火災害の痕跡について、地点ごと(下表)にまとめた一覧である。
 上のグループに地震、中のグループに洪水、下のグループに火山噴火の痕跡を示した。
 火山噴火の痕跡は、始良Tn火山灰(約2万9千~2万6千年前)である。
 地震の痕跡は、層位関係から以下の5時期に発生した巨大地震であった可能性が高い。

- A: 縄文時代晩期中葉~縄文時代晩期末
 [約780 BCE - 約350 BCE]
- B: 弥生時代前期末~弥生時代後期末
 [約210 BCE - 約250 CE]
- C: 古墳時代
 [約350 CE - 約650 CE]
- D: 平安時代~中世末
 [784 CE - 1603 CE]
- E: 近世~現代
 [1603 CE -]

また洪水痕跡のうち、この地震発生時期と一致するものがある。地震による地形変化を起因とするような災害の複合的発生を示唆している可能性がある。

Taisuke Murata, 2022, The construction of the Historical Disaster Evidence Database and its effectiveness.
 Journal of Disaster Research, Vol. 17, No. 3, pp.420 - 429. (DOI: https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0430)

図3 災害発生時期を絞り込んだ事例

発掘調査で検出された遺構の切り合いや出土した遺物の型式、さらに放射性炭素年代測定の結果などを調査地点ごとにデータ収集することにより、検出した災害痕跡から過去の災害発生時期を絞り込んだ事例

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史料収集と解析

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化

(4) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究は研究計画のうち、1. (1) ア.史料の収集とデータベース化と4. (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害事例による災害発生機構の解明を中心に取り組む。既刊の地震・火山活動関連史料集掲載のうち重要な史料については、改めて原本により校訂し直す。また、日本海側を中心に既刊の史料集に掲載されていない史料を発見することに務める。さらに、各地の地震・火山現象に関連する言語表現の内容を明確にする。半潰等がいかなる被害状況を示しているものかについて明らかにする。その上で、震度推定のための家屋倒壊率の適切な活用方法を提言する。このことによって、近代以降の震度とそれ以前の震度との連続性を確かなものにして行く。家屋倒壊率と地形の関連についても、地積図等の地図を分析して明らかにしていく。

明治・近世の史料をもとに古地形を復元・可視化し、過去の当該地域の地震・火山噴火被害との関連を明らかにする。そのことによって、同地域において次に起きる被害がどのような被害なのかについて予測し、災害予防と防災意識の啓発等への活用を図り、災害の軽減に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている日本海沿岸を中心とした地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者が参加する研究会を開催する。

平成32-34年度は、前年度に引き続き地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。収集した史料のうち、総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する。歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究するとともに、研究会を開催する。

平成35年度は、収集した皆潰・半潰・大破等の家屋被害等級を示すと思われる語句が記載された史料

に記された意味を明らかにし、確実な家屋倒壊率とはどのように導き出すのかを明確にする。さらに、一軒当たり死亡者数の原因を明らかにするため、史料・地形等の検討を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者等が共同で行ってきた研究成果を吟味することにより、異なる学問分野の研究者等の連携研究の方法を明確にする。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度も新型コロナウイルス感染症の感染拡大により、新潟県外への史資料調査は困難な状況が続き限られることになったが、以前に調査した史資料なども含めて検討・分析することができた。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。年代順に記す。

(1) 年代記の史料学的検討による15～16世紀に発生した地震の抽出作業

史料学的な検討により、武蔵国東部（埼玉県南東部近辺）で成立した『年代記配合抄』の1410～1582年の地震関連記事7件、上野国勢多郡（群馬県前橋市）で成立した『赤城神社年代記』の1409～1584年の地震関連記事4件は信憑性が高いことを確認した。

(2) 享徳3年（1454）地震に関する史料の検討

上記（1）の成果と『鎌倉大日記』彰考館本、および従来の研究（行谷・矢田2014、佐々木2022ほか）をふまえ、享徳3年11月23日（1454年12月12日）の地震は、陸奥国牡鹿郡地域（宮城県石巻市周辺）のみならず、関東でも「大地震」と認識される地震であり、上野国勢多郡では半時（約1時間）震動し続けたことを確認した。また同年12月10日ないし12日にも鎌倉や武蔵国東部で「大地震」と認識される地震が発生したことを確認した。

(3) 1611年会津地震で形成された山崎新湖についての国絵図による研究

1611年の会津慶長地震によって形成された山崎新湖は、1645年の工事により完全に消滅するまで存在した内水面であり、会津から日本海へと流下する水が収束する地点に存在した。山崎新湖の規模を推定する資料として、従来注目されてこなかった東京大学総合図書館南葵文庫の「奥州図」について詳細に検討し、「奥州図」には地震により形成された山崎新湖の形状がかなりの程度、正確に表現されていることを明らかにした。

(4) 近世における災害情報の共有についての検討

文政11年（1828）越後三条地震に関し、確実に大名留守居廻状であると確認できる常陸笠間藩牧野家・山城淀藩稲葉家の史料を子細に検討した結果、地震のような大災害に際し、各大家の留守居は、幕府への届書を作成し江戸城に持参すると共に、これを留守居廻状によって広く共有したことを明らかにした。

(5) 体験談資料を用いた1847年善光寺地震に関する研究

明治・大正期の教育者の渡辺敏が善光寺地震について収集した資料、聞き取りした体験記・体験談を再検討することにより、善光寺地震の研究の黎明期における渡辺の研究姿勢や、その後の善光寺地震研究に与えた影響を確認するとともに、災害の体験談資料の有効性を指摘した。

(6) 1855年安政江戸地震被害の境界地域についての検討

安政江戸地震の江戸より東方の境界地域を検討するため、『石河明善日記』を用いて水戸街道沿い、『渡辺東淵雑録』を用いて千葉街道地域の被害の状況・違いについて検討した結果、江戸の東側の境界は、水戸街道では宮和田宿・藤代宿（茨城県取手市）辺り、千葉街道では鷺沼村（千葉県習志野市）辺りであるとした。

(7) 1923年関東地震（関東大震災）の納札についての研究

関東大震災時の社会事象を描いた史料として納札に注目し、早稲田大学図書館所蔵『関東大震災図会納札集』に収録された納札を整理・検討した。その結果、関東大震災に関する題材を扱った納札には、同時代の写真をもとに図柄を描いたものがある一方、元になる写真があるとは考えにくい震災後の社会状況を描いた納札もあり、後者のような社会状況の描写を手掛かりに、従来見えにくい災害と社会との関係にも光をあて得ることなどを指摘した。

2. 考古学および地形・地質の調査

(1) 縄文時代前期の東北・関東両地方における大規模地震の検討

縄文時代前期（7050-5415calBP）に本州東部で発生した地震活動について、縄文集落の分析から考

古年代の特定等の基礎的な検討を行った。神奈川県小田原市羽根尾貝塚での活動を終焉させた地震をと
もなう隆起活動（房総半島先端部の隆起と連動した相模トラフ地震の可能性が高い）、および三陸の海
岸低地帯の集落動向からよみとれる津波をともなう大地震は、いずれも考古年代前期後葉の太木3-諸
磯a式古段階の時期であると推測した。

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10回歴史地震史料研究会

2022年11月26日に第10回歴史地震史料研究会をオンラインにて開催し、本課題研究者メンバーを中
心とした歴史学者8人・考古学者1人・地理学者1人・地震学者1人による研究発表・討議を行った（参
加者31人）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に
対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

新型コロナウイルス感染症の感染拡大のため、史資料の調査が困難な状況が続いた。しかし、可能なかぎ
り調査を実施し、以前に調査した史資料も含めて検討することにより、縄文時代前期の東北地方・関東地
方の地震活動、15～16世紀の関東における地震活動、1454年享徳地震、1611年会津地震、1828年三条地震、
1847年善光寺地震、1855年安政江戸地震、1923年関東地震などについて重要な史料、絵図・考古資料を
解析し、新たな事実や論点を提示することができた。史料の収集とデータベース化に十分寄与できるもの
と考えられる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

片桐昭彦,2022,近世後期に成立した年代記における古代・中世の地震記事の出典,災害・復興と資
料,14,104-114,査読有

片桐昭彦,2022,東国の年代記にみる15世紀の地震,第10回歴史地震史料研究会講演要旨集,7-8,査読無

齋藤瑞穂・五十嵐聡江・宅間清公・安井健一・鈴木正博・齋藤弘道,2022,陸中・山田湾におけるパプ
リック・アーケオロジーの実践と縄文三陸津波研究,第1回日本災害・防災考古学会研究会資料・予稿集,
67-72,査読無

齋藤瑞穂・鈴木正博,2022,縄文三陸地震津波研究(5)―「縄文海進」定着後の天変地異と陸中・山田
湾―,第10回歴史地震史料研究会講演要旨集,1-6,査読無

原直史,2022,大名留守居廻状と災害情報の共有―文政11年三条地震を中心に―,第10回歴史地震史料研
究会講演要旨集,21-25,査読無

原田和彦,2022,松代藩における善光寺地震後の復興策―勘定所元『変災付日記』の分析―,災害・復
興と資料,14,68-87,査読有

原田和彦,2022,地震体験談の蒐集―善光寺地震を素材として―,第10回歴史地震史料研究会講演要旨
集,26-28,査読無

堀健彦,2022,国絵図に描かれた山崎新湖―1611年会津地震により形成された湖の形を考える―,災害・
復興と資料,14,43-57,査読有

堀健彦,2022,1828年三条地震と平安越後古図―災害を契機とした古景観像の創出と流布,第10回歴史地
震史料研究会講演要旨集,18-20,査読無

矢田俊文・中村元・長岡市立中央図書館文書資料室編,2022,災害史研究とチラシ・ポスター・絵葉書
の資料学,新潟大学人文学部附置地域文化連携センター,1-36,査読無,謝辞有

矢田俊文,2022,明治初期における相馬付近・仙台平野南部の潟湖―「磐城岩代両国全図」―,災害・復
興と資料,14,115-123,査読有

矢田俊文,2022,1855年安政江戸地震被害の境界と1856年安政台風の被害:石河明善日記・渡辺東淵雑
録,第10回歴史地震史料研究会講演要旨集,31-33,査読無

・学会・シンポジウム等での発表

片桐昭彦,2022,中世・近世の地域における災害と史料―年代記の出典の検討を中心に―,第16回「災害
文化と地域社会形成史」研究会,2

片桐昭彦,2022,東国の年代記にみる15世紀の地震,第10回歴史地震史料研究会,2

片桐昭彦,2022,年代記の史料学的研究と災害研究,地震史料シンポジウムⅡ災害史料研究が拓く歴史学
の新たな方法,8

齋藤瑞穂,2022,災害考古学の方法と資料,第16回「災害文化と地域社会形成史」研究会,1
齋藤瑞穂・五十嵐聡江・宅間清公・安井健一・鈴木正博・齋藤弘道,2022,陸中・山田湾におけるパブリック・アーケオロジーの実践と縄文三陸津波研究,第1回日本災害・防災考古学会研究会
齋藤瑞穂・鈴木正博,2022,縄文三陸地震津波研究(5)―「縄文海進」定着後の天変地異と陸中・山田湾一,第10回歴史地震史料研究会,1
原直史,2022,大名留守居廻状と災害情報の共有一文政11年三条地震を中心に一,第10回歴史地震史料研究会,7
原田和彦,2022,地震体験談の蒐集―善光寺地震を素材として一,第10回歴史地震史料研究会,8
堀健彦,2022,1828年三条地震と平安越後古図―災害を契機とした古景観像の創出と流布,第10回歴史地震史料研究会,6
矢田俊文,2022,1855年安政江戸地震被害の境界と1856年安政台風の被害:石河明善日記・渡辺東淵雑録,第10回歴史地震史料研究会,10

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

前年度に引き続き地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し,新たな史料については翻刻を行う.災害絵図も収集し,絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う.収集した史料のうち,総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する.歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究するとともに研究会を開催する.

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

片桐昭彦(新潟大学災害・復興科学研究所),北村繁(新潟大学教育学部),清水香(新潟大学人文学部),中村元(新潟大学人文学部),原直史(新潟大学人文学部),堀健彦(新潟大学人文学部),矢田俊文(新潟大学人文学部)

他機関との共同研究の有無:有

齋藤瑞穂(神戸女子大学文学部),小野映介(駒澤大学文学部),原田和彦(長野市立博物館)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:新潟大学災害・復興科学研究所

電話:025-262-6542

e-mail:katagiri@human.niigata-u.ac.jp

URL:

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:片桐昭彦

所属:新潟大学災害・復興科学研究所

(1) 実施機関名：

新潟大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山噴火災害における被害軽減のために利活用可能な要素・知識体系の整理・検証

(3) 関連の深い建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

- 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
 - ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震・火山災害の研究成果を活用し、災害軽減に効果的に生かすためには、研究成果を理解するための枠組みを国民1人1人が持つことが理想である。ところが、熊本地震調査において「断層があることは知っていたが、その断層が地震を引き起こすことを知らなかった」と答えた回答者が相当数のにのぼり、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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

初年度に構築・収集した研修プログラムの素材を活用し、昨年度には仮説化した知識体系の範囲と枠

組みに基づき、研修プログラムの暫定版を構築し、自治体職員等に試験的に実施をした。この結果に基づき検証をフィードバックしながら、3年目においては、自治体職員向けに、研修プログラムを構築する。3年目においては、多くの自治体職員を輩出している大学において、学生を対象として、研修プログラムの実装・検証を実施した。

本年度は、要素化した「地震・火山研究者が理解してほしいこと」を、自治体職員のニーズを元に再構成し、地震の基礎知識習得にかかる研修プログラムを1編、火山の基礎知識取得にかかる研修プログラムを8編、シナリオ作成、収録を実施した。また、来年度の関東地震/関東大震災100周年に向けて、報道やイベント等の機会が多くなり、国内外の関心が高まると想定されることを契機としてコンテンツ作りを実施した。特に津波を伴った地震災害としての関東地震に着目し、南海トラフ地震との比較の中で、より理解を深め、また観測研究への関心の喚起をねらいとして作成した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

田村圭子,2023,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）の紹介,第3回JS減災・レジリエンス推進コンソーシアム合同シンポジウム「地震火山観測研究が目指すレジリエンスの向上」

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5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4年度まで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て、研修プログラムの実装環境を整える。災害・防災対策担当者における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がどのような「態度」「能力」「貢献」を明らかにし、研修体系を整備する。関東地震100周年を契機として、開催されるイベント等の機会を捉え、成果の発信につとめる

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田村圭子（新潟大学危機管理本部危機管理室/災害・復興科学研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加藤尚之（東京大学地震研究所）,森田裕一（東京大学地震研究所）,木村玲欧（兵庫県立大学環境人間学部）,井ノ口宗成（富山大学都市デザイン学部）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：新潟大学危機管理室（総務部総務課）

電話：025-262-6022

e-mail：rmo-jimu@adm.niigata-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田村圭子

所属：新潟大学 危機管理本部危機管理室／災害・復興科学研究所（兼務）

根本的に認識する
火山防災
国策としての

火山は地盤災害である

- ・プレートと火山の関係
- ・世界の火山分布
- ・日本に火山多い

火山は国土形成に役割がある

- ・国立公園と火山

日本は高い火山防災体制をもつ

- ・活火山の定義・その数
- ・国の監視体制・その数

観測すべき対象(説明すべき現象)

火山活動

- ・火山の内部構造
- ・マグマの役割

火山現象

- ・噴火のタイプ
- ・噴出物
- ・マグマ噴火と水蒸気噴火

火山観測

- ・考え方・方法論
- ・事例

火山噴火の事象系統樹作成

1. 世界の火山活動と日本	
1.	世界の火山がどこに集中しているか説明できる
2.	プレートと火山の関係について説明できる
3.	日本における過去の火山災害を説明できる
2. 日本における活火山	
1.	活火山の定義について説明できる
2.	わが国の活火山の監視体制について説明できる
3.	活火山と社会の関わりについて説明できる
3. マグマと火山活動	
1.	火山活動はマグマによって引き起こされることを説明できる
2.	マグマの移動と火山の内部構造について説明できる
3.	マグマ噴火について説明できる
4. 噴火のタイプ/マグマ噴火	
1.	3つの噴火のタイプと噴出物について説明できる
2.	マグマ噴火の2つのタイプについて説明できる
5. 噴火のタイプ-水蒸気噴火	
1.	水蒸気噴火とマグマ噴火の違いについて説明できる
2.	水蒸気噴火が社会にも与える影響について説明できる
6. 実際の火山観測の最前線-阿蘇山	
7. 現象説明のための火山観測	
1.	火山観測の考え方や方法を説明できる
2.	阿蘇山を事例とした、火山観測の概要を説明できる
8. 火山観測研究で明らかになってきたこと	
1.	噴火シナリオ(噴火前観測)

●「関東地震と南海トラフ地震(仮)」内容案

- 発行:地震・火山噴火予知協議会
- 編集:パンフレット製作委員会、地震・火山噴火予知協議会防災リテラシー部会
- 2023年3月までにデータ作成、2024年度に発信
- 見開きで16頁程度を想定

1.	巻紙
2.	済: 全体イントロ、関東地震のメカニズム: 南海トラフからのプレートの沈み込み <図> 田村
3.	済: 南海地震のメカニズム: 南海トラフからのプレートの沈み込み <図> 田村 ※巻紙の話、はじめに(本パンフレットの企画趣意)、対談 加藤、田村
4.	済: 関東: 歴史地震の地殻変動・地形(巨大地殻変動の痕跡) <海岸段丘の写真?> 加藤
5.	済: 南海: 巨震の地殻変動・地形 <海岸段丘の写真?> 加藤 ※地質(人類の生活以前) 穴倉(厚紙研)
6.	済: 済: 関東: 歴史地震 <対談形式?> 田村
7.	済: 済: 南海: 歴史地震 <対談形式?> 田村 ※地質 杉森、植田
8.	済: 済: 関東: 1923年地震の断層モデル+断層、津波分布 <図ベース> 加藤
9.	済: 済: 南海: 1944,1946年地震の断層モデル+断層、津波分布 <図ベース> 加藤 ※科学的・断層モデル・被害想定 古村、関口(京大)
10.	済: 済: 関東: 1923年地震の被害 <写真ベース?> 地産動、火災、地震 木村
11.	済: 済: 南海: 1944,1946年地震の被害 <写真ベース?> 津波 木村 ※史料、木村
12.	済: 済: 関東: 長期予測(巨大地震の確率は低いが、M7クラスはいつ発生しても) <図ベース> 加藤
13.	済: 済: 南海: 長期予測(数十年以内に発生する可能性) <図ベース> 加藤 ※内村
14.	済: 済: 関東: 最新の研究(MESO-net?)
15.	済: 済: 南海: 最新の研究(南海トラフ変動など) ※最新研究 小原、馬場、青井
16.	巻紙紙(観測研究計画など)

関東地震100周年を契機とした
防災リテラシー向上のための
コンテンツ作成

火山学の基礎知識習得のフレームと
実際の学習目標

令和4年度の成果の概要

図1.令和4年度の成果と概要

(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合わせて検討する。

また，各地にはまだ翻刻されていない史料もたくさんあることから南海トラフ巨大地震に関する古文書調査，翻刻も並行して行う。またどの史料にどの地震の情報があるのか，すでに出版された史料集を元に検索ができるシステムを現計画で構築したが，その後収集された史料についても追加し検索できるようDBの更新も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

- ・史料調査および検索システム開発：今後も新たな史料の調査は重要である。各地の図書館や史料館などで収集されている史料だけでなく個人所蔵の史料なども可能であれば収集する。収集された史料についてはDB化を行い，検索システムで検索できるようにし研究者間での情報共有を図る。また検索システムについてもより活用がしやすいよう改良を加える。
- ・歴史地震史料の可視化：すでに調査された地震情報をe-コミマップを用いて面的に整理し，現在わかっている様々な情報と併せて検討できる仕組みを構築する。構築に当っては情報をさまざまな角度で比較検討ができるよう工夫する。また地図やその他資料でデジタル化されていないものについてはデジタル化をし，e-コミマップで使えるようにする。史料がどの地点の情報であるかを特定することは難しいが，現在地方史を中心に集めた史料があり，まずは地域単位で地図上に整理する。その上で現地調査や資料調査などを行い，わかった情報からさらに特定の場所に整理する。このように可視化された史料からそれぞれの地震の相違点を明確化し，南海トラフ巨大歴史地震の地震像解明を目指す。また史料調査では南海トラフ巨大地震だけでなく同時代に発生した内陸被害地震に関する情報も得られることが多いことから，これらについても併せ可視化を行う。初年度はe-コミマップ上での表現方法の検討を行う。

各年度の主な計画は、

H31: 史料収集，検索システムの改良，歴史地震史料の可視化手法の検討

H32: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化手法の改良

H33: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化

H34: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化

H35: 史料収集，検索システムDB更新，歴史地震史料の可視化，南海トラフ巨大歴史地震の比較検討。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

◎史料収集，検索システムの改良

昨年度に引き続き，安政東海・南海地震，安政江戸地震について書かれている大沢家本願寺関係文書の第1，2分冊の翻刻と目録作成をおこなった。また西尾市岩瀬文庫所蔵の田中長嶺「尾濃震災図録」の翻刻集をまとめ，製本し，関係者に配布した。新たな史料である「違変記」を購入し，デジタル画像化をし，目録を作成した。地震史料検索システムについてはDBの更新，システムのバグの修正，改良をおこなった。

◎歴史地震史料の可視化

昨年度に引き続きe-コミマップを使った南海トラフ巨大地震史料の見える化を行った。昨年度に引き続き三重県の史料入力を行うと共に愛知県についても入力を行った。三重県についてはまだ全部の入力が終わったわけではないが，とりあえず現在の入力史料から宝永地震，安政東海地震，昭和東南海地震について比較検討をおこなった（図1）。その結果いくつかの特徴が見えてきた。安政東海地震では全般的に大きな津波被害を被っているが，これまでも指摘があるように（たとえば行谷・都司，2005）南伊勢市東部では比較的被害が少ないことがわかる。また志摩半島の東側では最初に潮が大きく引いているのに対し，紀北以南では大きく引くことはなかったと言っている。さらに紀北以南での津波到来時刻を宝永と比較すると，宝永地震では揺れがおさまってから津波が来るまでに飯を炊くくらいの時間があったが，安政地震ではすぐにやってくる。時間差はあるものの被害そのものは宝永，安政とも大きな被害がでており，これまでに推定された浸水高をみてもさほどの違いはない。このことから宝永の方が規模は大きかったことが想像される。昭和東南海地震でもこの地域には5～20分程度で津波がきている。これらことから，安政や昭和では少なくとも紀北以南に近いところに震源域

があるが、宝永ではそこは滑っていないということができるだろう。もし現在求められているアスペリティが繰り返し滑っているという考え方(Yamanaka&Kikuchi,2004)に基づいてYokota et al. (2016)で求められたアスペリティ分布で考えると、昭和東南海地震と安政東海地震では熊野灘の大きなアスペリティが滑ったが、宝永地震ではこのアスペリティは滑らなかった可能性がある。もしそうであれば、宝永地震＝安政東海地震＋安政南海地震ではない可能性がでてきた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題では新しい史料の収集を行うとともに、今後の理学的活用をめざして史料を地図上に可視化を行っている。今回は可視化できた三重県の史料から宝永地震、安政東海地震、昭和東南海地震について比較検討をし、その震源過程についても考察をおこなった。これらは建議1(2), 1(3)および5(2)アの目的達成に貢献している。現在、三重県について入力途中であるが、避難行動についての特徴も少しずつ見えてきており4(1)へも今後貢献できると考えている。過去の南海トラフ地震の破壊過程がどのようなものであったかを解明することは将来の南海トラフ地震の災害軽減に貢献することが期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

山中佳子,2022,南海トラフ巨大地震解明に向けた史料の見える化,歴史地震研究会,O-13

山中佳子,2022,南海トラフ巨大地震解明に向けた史料の見える化,日本地震学会,S08-08

都築充雄,2022,三河地震（1945）における寺院被害状況と集落別住家被害率,歴史地震研究会,O-29

平井敬,2022,大沢家本願寺関係文書に記された安政東海・南海地震 その2,歴史地震研究会,O-09

山中佳子,2022,南海トラフ巨大地震解明に向けた史料の見える化,第20回中部『歴史地震』研究懇談会

平井敬,2022,資料紹介 災害かわら版翻刻集1 安政東海・南海地震編,第20回中部『歴史地震』研究懇談会

平井敬,2022,大沢家本願寺関係文書の分析 安政東海・南海地震に関して,第21回中部『歴史地震』研究懇談会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

・史料調査および検索システム開発：現在翻刻中の大沢家文書および新規購入した「違変記」の翻刻を進めるとともに新しい史料調査も行う。また現在運用している検索システムについては、DBの更新を行う。またまだ手がつけられていない各地の収集状況（地震に関する情報がなかった史料を含む）が把握できる仕組みを考える。

・歴史地震史料の可視化：e-コミマップを用いた史料情報の可視化作業を進める。まだ入力が終わっていない三重県をはじめ、和歌山県も可視化する。また高知県、静岡県については地方史、郷土史の収集を行う。その上で明応地震、宝永地震、安政地震、昭和地震の震源過程について検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）、平井敬（名古屋大学大学院環境学研究科）、石川寛（名古屋大学文学部）、武村雅之（名古屋大学減災連携研究センター）、都築充雄（名古屋大学減災連携研究センター）、倉田和己（名古屋大学減災連携研究センター）、蛭川理紗（名古屋大学減災連携研究センター）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター
電話：052-789-3046

e-mail :

URL :

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子

所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター



図1 e-コミマップで整理した宝永地震，安政東海地震，昭和東南海地震における津波被害に関する史料。マークで示した場所での津波被害の史料が存在する。e-コミマップではこのマークをクリックすると元史料がみえるようになっている。色の濃さは大まかな津波被害の程度を示す。安政東海地震に描かれたピンクの塗りつぶしはYokota et al. 2016のアスペリティを示す。ここでは津波被害のみを示したが，このほかに揺れの被害，地殻変動や液状化などの情報も見えるようになっている。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南西諸島海溝におけるプレート間固着状態の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

南西諸島海溝の中南部では、1791年と1771年にそれぞれ沖縄本島南東沖と先島諸島南方沖で津波を伴うM8クラスの花溝型巨大地震が発生したとして海溝軸近傍に津波の波源域が求められている。特に1771年の地震は八重山地震として知られている。したがって、南海トラフの延長である南西諸島海溝も、低頻度であっても海溝型地震の発生ポテンシャルを有していると考えられる。しかし、地球物理学的観測による現在のプレート間固着状態や固着域の広がりには明らかになっていない。そのため、地震本部による海溝型地震の長期評価も手つかずの状態である。よって、プレート間固着状態の現状把握が急がれる。

そこで、GNSS—音響方式による海底地殻変動観測（以下、単に「海底地殻変動観測」という）によって実測したすべり欠損レートをもとに、沖縄本島から先島諸島にかけての海域における大まかなプレート間の固着域の広がりや固着率（固着の有無を含む）を5ヶ年で明らかにする。さらに、低周波地震・超低周波地震の分布・活動度等もふまえて、当該海域のプレート間固着状態を統一的に解釈し、同海域における海溝型地震の発生ポテンシャルの評価に生かす。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

○海底地殻変動観測と固着状態の把握

南西諸島海溝沿いに既に設置されている3ヶ所の観測点（沖縄本島—宮古島間2ヶ所；西表島沖1ヶ所）において海底地殻変動観測を実施する。沖縄本島—宮古島間では初年度から4年目まで年1回、西表島では2年目から4年目まで年1回の観測を行う。特に、沖縄本島—宮古島間は島嶼が存在せず、

地殻変動観測の空白域となっている海域であり、これらの点での観測を本研究で新たに開始する。

5ヶ年の観測で得たデータをもとに各観測点での平均的な変位速度を求める。得られた海域の変位速度場とGEONETによる陸域の変位速度場をもとにバックスリップモデルを適用し、プレート境界面上のすべり欠損レートを推定する。その際、フィリピン海プレートの運動はMORVELによるモデルを採用する。以上により、対象海域におけるプレート間固着の状態と分布を明らかにする。

○プレート間固着の統一的解釈

プレート間の固着度合いは、低周波地震等のひずみ解放現象の活動度と相補的であると考えられる。また、超低周波地震の潮汐荷重応答の地域性からプレート境界面の滑りやすさ（固着度合い）に違いがあるとの報告がある（Nakamura and Kakazu, 2017）。そこで、海底地殻変動観測を実施する約5年間について、低周波地震（気象庁の短周期地震計記録を利用）および超低周波地震（F-net等の広帯域地震計記録を利用）の系統的な解析を行い、それらの活動域と活動度を把握するとともに、超低周波地震の潮汐荷重応答の詳細な地域性を明らかにし、海底地殻変動観測結果とあわせてプレート間固着状態を統一的に解釈する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

沖縄本島から宮古島間の海溝軸付近のプレート深度10km弱の海底に設置している2ヶ所の観測点のうちの1ヶ所（RKD観測点；図1）において海底地殻変動観測を実施した。実施日は2022年8月17～18日であった。この観測点では、過去に2016年9月29日と2021年9月21日の2回の観測を実施しており、これらのデータも含めて海底局位置解析を行い、変位速度ベクトルを得た。また、昨年度までに3回の観測を実施しているもう1ヶ所の観測点（RKC観測点；図1）におけるデータも再解析した。解析で得られた海底局位置座標の時系列を図2に示す。

さらに、別経費で実施しているRKB観測点（図1）でも2022年11月16～18日に海底地殻変動観測を行うとともに、既に観測を終了しているRKA観測点（図1）のデータも再解析し、これら2つの観測点について、ITRF2014準拠での変位速度ベクトルを求めた。

以上、4観測点について、海底局位置座標の時系列に直線フィッティングして得られる沖縄本島—宮古島間を固定した場合の変位速度ベクトル（暫定値）を求めた（図1）。RKA、RKBでの変位速度ベクトルは、それぞれN20±24°W方向に52±21mm/yr、N18±7°W方向に21±7mm/yrであり、すでにTadokoro et al. [2018]で報告しているとおり、プレート間固着を示す結果が得られている。沖縄本島—宮古島間のRKC、RKDについては、それぞれN117°W方向に21mm/yrとN88°W方向に10mm/yr（ともに暫定値）の変位速度を示しており、ともに現時点では当該海域においてプレート間固着を示す積極的な証拠は得られていない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

南西諸島周辺については、地震発生の特性を明らかにするための十分な知見が得られていないことや、長大な設定領域において発生する場所を特定できないこと等を理由に、地震調査研究推進本部では、第二版（令和4年）においても長期予測が行われていない。海溝型巨大地震の長期予測のためには、まず、対象地域におけるプレート間固着状態の把握が重要である。ところが、本研究課題で対象としている沖縄本島—宮古島間には島嶼が存在しないため、陸上のGNSS観測網の空白域となっており、当該海域におけるプレート間の固着状態を把握するためには海底地殻変動のモニタリングが不可欠である。対象海域でのプレート間固着の可能性が低いことを示す観測結果が得られつつあり、これは、南西諸島周辺の長期評価の更なる高度化に資する成果である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

田所敬一・中村衛・松廣健二郎・小池遥之, 2022, 沖縄本島—宮古島間における海底地殻変動観測（序報）, 地球惑星科学連合2022年大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

RKBにおける海底地殻変動観測は別経費にて実施する。この観測結果も併せて、沖縄本島周辺でのプレート間固着状態の推定をより精緻化するとともに、RKC, RKD観測点における海底地殻変動観測結果、ならびに令和3年度までに明らかになっている低周波地震や超低周波地震の分布域とも併せて、南西諸島海溝中部域におけるプレート間固着／すべり状態の描像を得る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一（名古屋大学）
他機関との共同研究の有無：有
中村 衛（琉球大学）, 生田領野（静岡大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学環境学研究科
電話：052-789-3046
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田所敬一
所属：名古屋大学環境学研究科

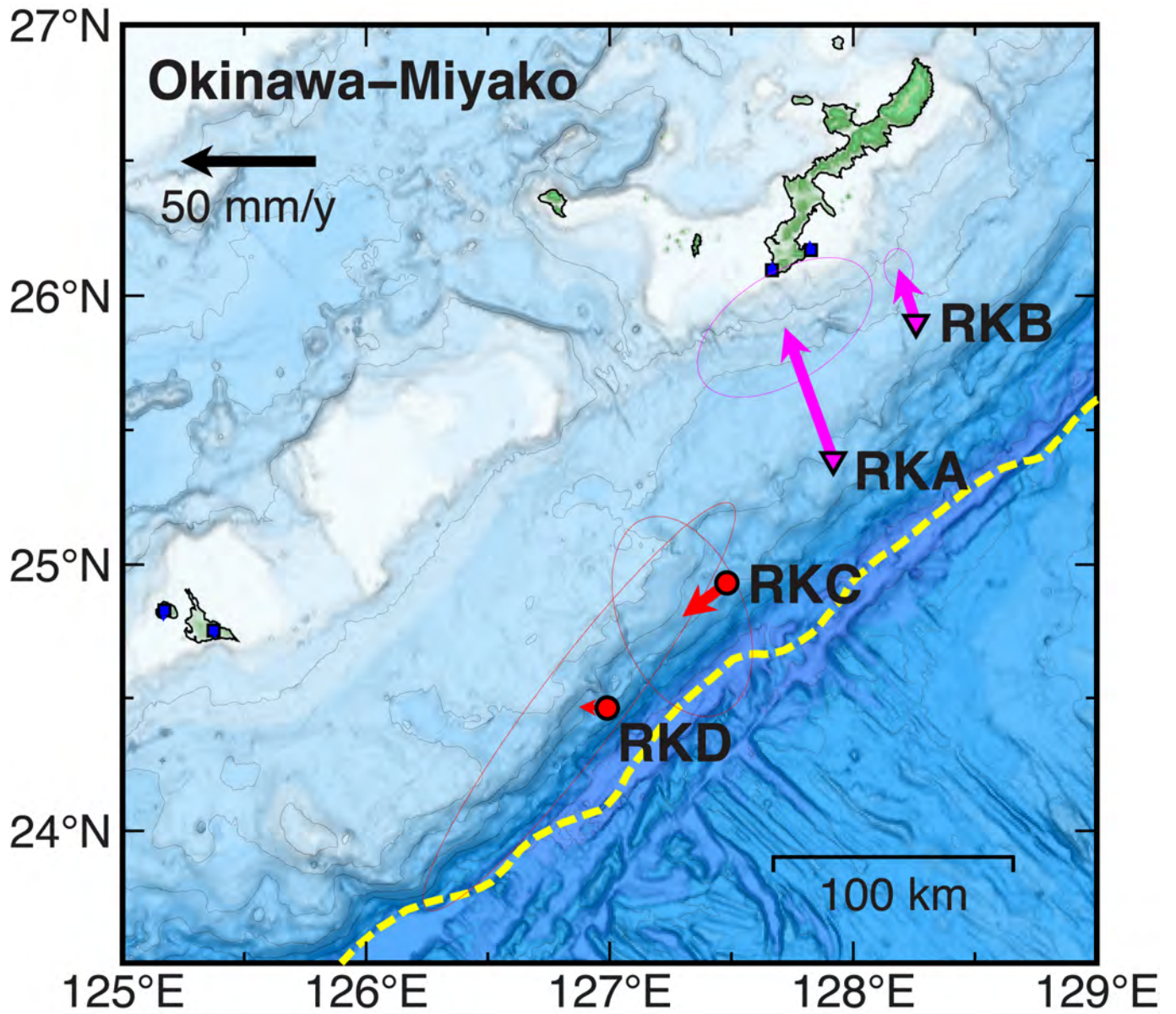


図1：海底地殻変動観測で得られた変位速度ベクトル（暫定）．
 沖縄本島一宮古島間固定．図2に時系列を示した4つのGEONET観測点（青四角）における変位速度の平均を各海底地殻変動観測点での変位速度から差し引いた．

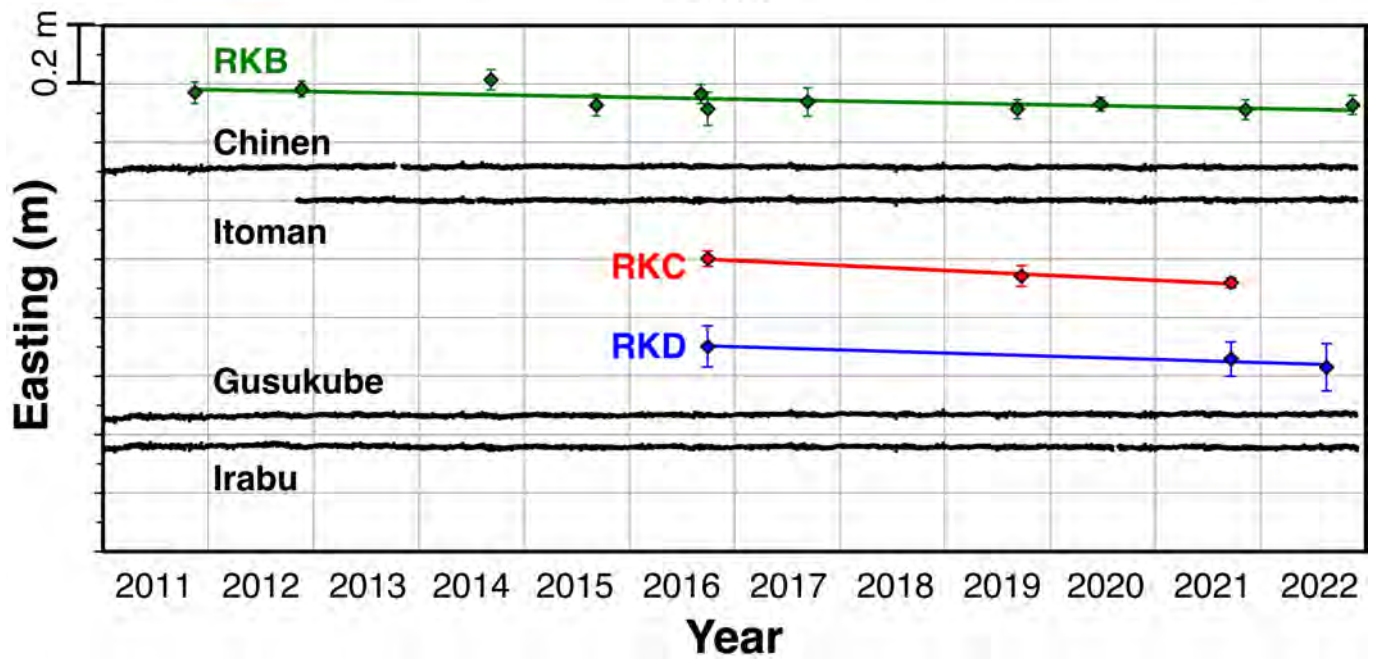
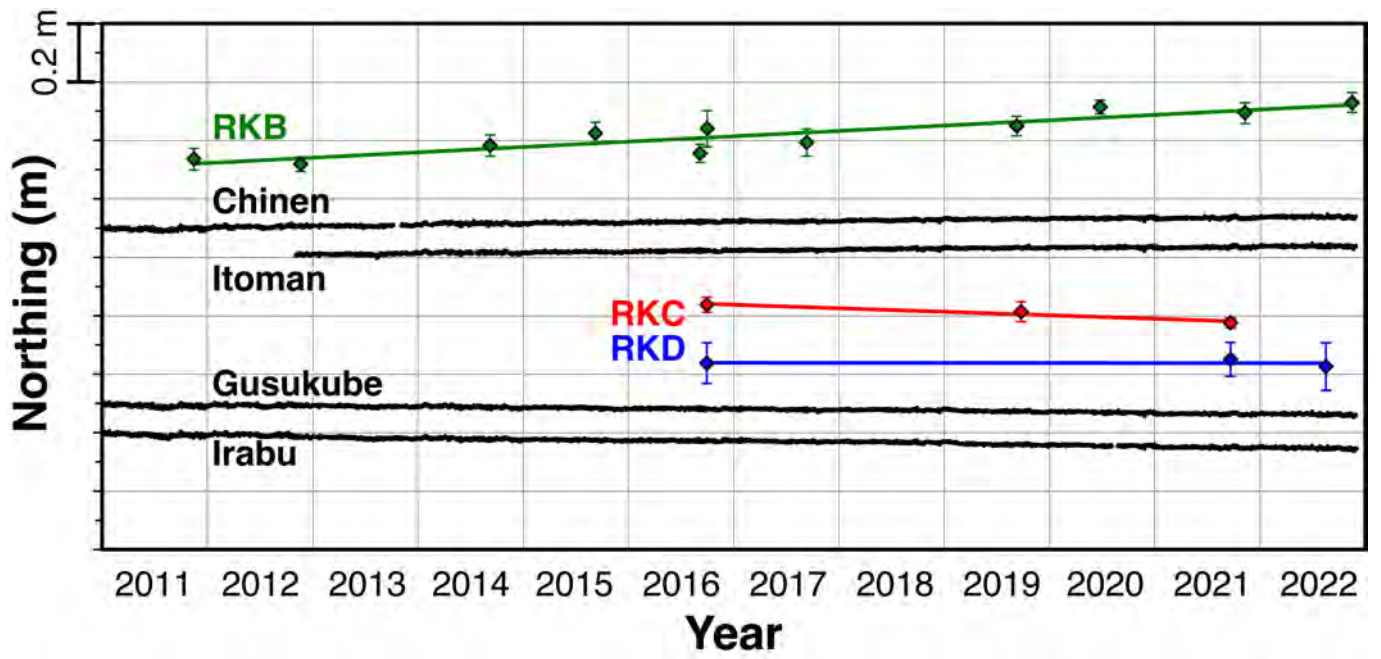


図2：沖縄本島南東方（RKB）および沖縄本島一宮古島間（RKC，RKD）における海底地殻変動観測結果の時系列。

ITRF2014準拠。周辺のGEONET観測点（知念，糸満，城辺，伊良部）の時系列も併せて示す。GEONET観測点の時系列には国土地理院によるF5解を用いた。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、糸静線北部の木崎湖地区で、逆断層とそれと並走する横ずれ断層の変動地形と断層の地下形状との関係を明確にするために浅層反射法地震探査を実施した。また、根尾谷断層の能郷地区において、活断層から発生する地震を評価し得る情報の確度を高めるための調査手法の確立を目的としたピット調査、および、阿寺断層において活断層の破壊範囲と地質構造との関係性に着目した露頭観察を実施した。

2014年長野県北部の地震は、事前に予測されていた地震より1まわり小さな地震で、地表地震断層が出現した範囲も予測より狭かった。地表地震断層の南部延長部の木崎湖付近では、近年、空中写真やDEMを用いた地形判読、さらにはトレンチ調査等から、東側隆起の逆断層の背後（東側）に横ずれ変位を伴った活断層が指摘されている（図1）（例えば、廣内ほか、2018など）。そこで、逆断層と横ずれ断層との関係を明らかにし活断層の形状を知るために、木崎湖北部において東西約1.2 kmの浅層反射法地震探査を行った。震源にはIVI社製Mini Vibeを用い、10~120 Hzの周波数帯で、16秒間のスイープを実施し、合計239点において発振した。受振器には、固有周波数4.5 HzのGS11-D

（GEOSPACE社製）を用い、発震点・受振点間隔は5 mを標準とした（一部、測線が南北方向の区間では10 m間隔）。レコーディングシステムには、独立型収録システムGSR（GEOSPACE社製）を用いて1msのサンプリング間隔とした。受振点は、全243 chを固定展開として集録を行った。浅層反射法地震探査の解析は、一般的な共通反射点重合法の処理に従って行った。重合測線（CMP測線）は、共通反射点の分布が多い位置を通るように設定し、CMP間隔は2.5 mとした。CMP重合測線は、CMP 152付近において、西側隆起の逆断層の地表位置を横切り、CMP 310付近で東側の横ずれ断層の地表位置を通過する。なお、反射法地震探査解析ソフトウェアのSuper-X（地球科学総合研究所作成）を用

いた。解析により、図2Aに示す時間断面が得られた。図2Aのフィルタ後時間断面は、反射法地震探査の一般的な解析手法に従って処理を進め、初動ミュート、振幅回復、デコンボリューションフィルタ、表層静補正、残差静補正、CMP重合、バンドパスフィルタ、周波数-空間領域予測フィルタなどが適用されている。マイグレーションおよび深度変換は未適用のため、ここでは、予備的解釈としてフィルタ後時間断面の解釈を示す(図2B)。図2Bの緑矢印a-a'を結ぶ線よりも深部では、東に傾斜した強振幅の反射面が連続的に分布する。緑矢印a-a'付近は、探査測線西側の地表にも分布する先新第三系の基盤岩上面の深部延長であると考えられる。この先第三系の基盤岩上面と、青矢印b-b'を結ぶ線とに挟まれた領域では、概ね水平な反射面群が分布しており、変形や変位は認められない。一方で、この青矢印b-b'を結ぶ線より東側浅部では、東傾斜の反射面群が見られる。CMP 150からCMP 220の浅部では、西に傾斜した反射面群も見られる。左横ずれ断層は、CMP 310で横切るが、その東側浅部の反射面群(0.0から約0.2秒付近)は、連続性が良く、明瞭な反射面の不連続は認められない。しかしながら、この連続的な反射面群は、青矢印c-c'を結ぶ線を境として不連続となっており、横ずれ断層がこれらの位置を通過する可能性が示唆された。

活断層の平均変位速度は活動区間を決めるうえで重要な情報である。しかし、その変位基準の形成年代の決定は難しい。そこで、変位基準である段丘の離水年代を正確に求めるため、宇宙線生成核種(Be-10)を使った深度断面法(Anderson et al., 1996)を発展させた手法を適用することによって、根尾能郷地区の段丘面の離水年代推定を試みる。根尾能郷地区は1891年にM 8.0 (Mw 7.5)に達する国内史上最大級の内陸直下型地震(濃尾地震)を発生させた、左横ずれ平均変位速度は約2 m/千年(岡田・松田, 1992)ないし 1.3 ± 0.3 m/千年(Kaneda & Okada, 2008)とされる、根尾谷断層が通過する地区である(図3上)。段丘面上でピットを掘削し、地表からの深度の異なる複数の層準から堆積物試料を採取し、深度増加による宇宙線生成核種濃度の減衰から地形面の年代および継承核種濃度を同時に推定する深度断面法(Anderson et al., 1996)に地形面形成後の堆積物(風成層)被覆の効果を加えた手法(松四, 2023)を用いて地形面の年代と継承核種濃度を推定する。現段階では試料採取にとどまるが、ピット壁面に露出した地層は、大きく、地表から深度約45 cmの黒色~黒褐色有機質シルト層(A1層)、深度約45~65 cmの明褐色シルト層(A2層)、深度約65 cm以深の径1 m大の垂円~円礫を含む礫支持の礫層(B層)の3層に区分された(図3d)。

阿寺断層は多くのトレンチ掘削調査がされている断層で、活断層トレースごとの活動履歴の差異より一回り小さい地震の活動を差別化できる可能性のある活断層である。そこで、断層帯全域を対象とした地質概査を行い断層露頭の分布を把握した。連続性の良い区間の破碎帯の幅は断層から200m程度なのに対して、活断層が並走したり連続性の悪い区間では破碎帯の幅は1kmを超えるなど、断層活動時の複雑性に破碎帯の幅が影響していることが示唆された(図4)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・石村大輔・細矢卓志,2022,熊本県西原村小森におけるトレンチ掘削調査に基づく布田川断層帯の活動履歴,活断層研

究,56,47-58,https://doi.org/10.11462/afr.2022.56_47,査読有,謝辞有

岩佐佳哉・濱 侃・中田 高・熊原康博・後藤秀昭・山中 蛍,2022,SLAM技術を用いた低価格モバイル3Dスキャナーによる地表地震断層の数値表層モデルの作成とその有効性,活断層研究,57,1-13,査読有,謝辞有

Ishimura, D., Iwasa, Y., Takahashi, N., Tadokoro, R., Oda, R.,2022,Paleoseismic events and shallow subsurface structure of the central part of the Futagawa fault, which generated the 2016 Mw 7.0 Kumamoto

earthquake.,Geomorphology,414,<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108387>,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

平成5年度は、糸静線北部の活動である長野県北部の地震と熊本地震の詳細な調査結果に基づいて、発生した地震の長期予測が可能であったのかを検討し、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に向け、補足調査を適宜行い検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

石山達也（東京大学地震研究所）、杉戸信彦（法政大学）、後藤秀昭（広島大学）、熊原康博（広島大学）、中田高（広島大学）、金田平太郎（中央大学）、松多信尚（岡山大学）、廣内大助（信州大学）、石村大輔（都立大）、岡田真介（岩手大学）、楮原京子（山口大学）、渡辺満久（東洋大学）、澤祥（国立鶴岡工業高等専門学校）、等

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学減災連携研究センター

電話：052-789-3468

e-mail：

URL：<http://www.gensai.nagoya-u.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学減災連携研究センター

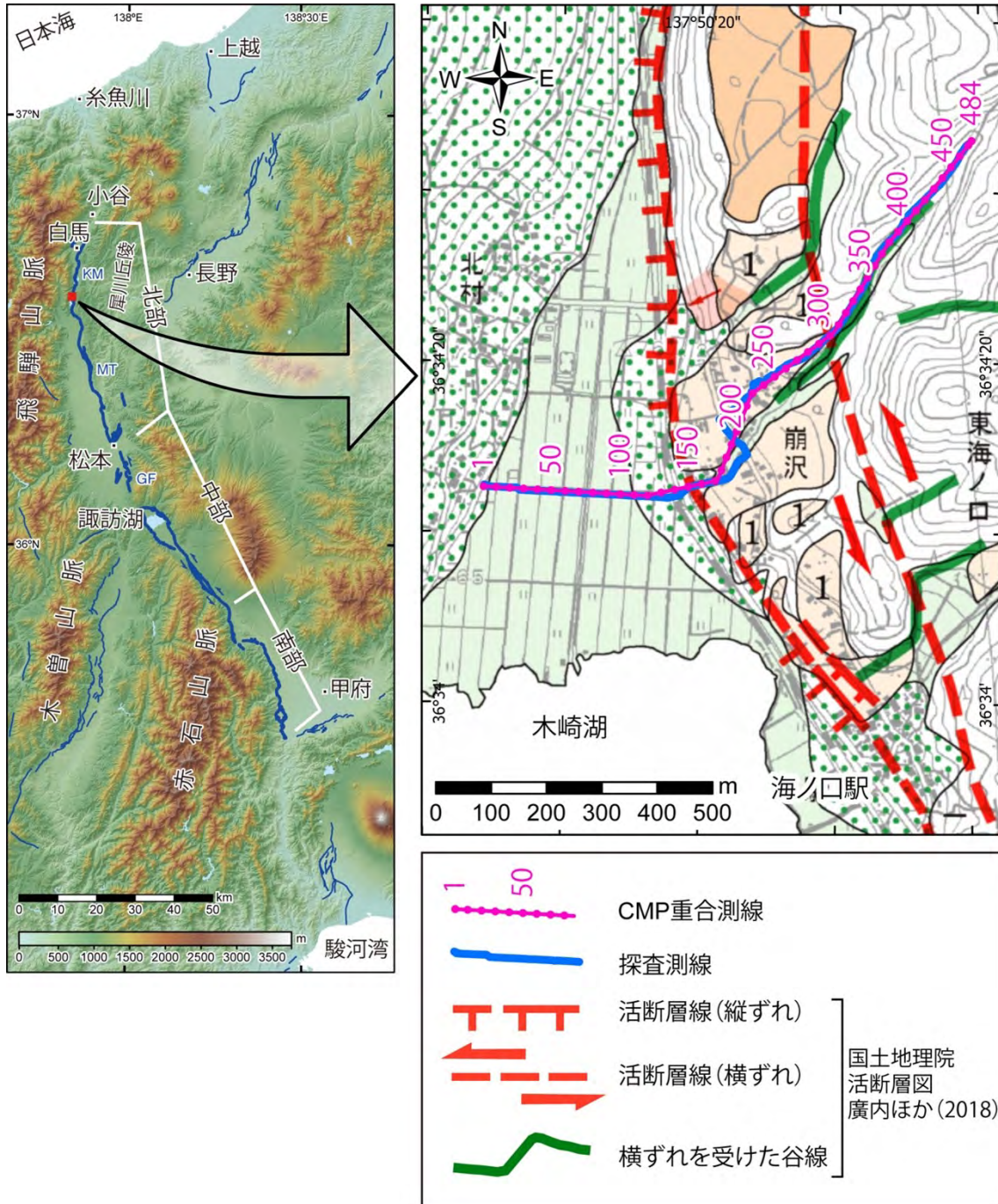


図1 糸魚川静岡構造線活断層帯の分布 (Okada et al., 2015を改変) と浅層反射法地震探査測線図

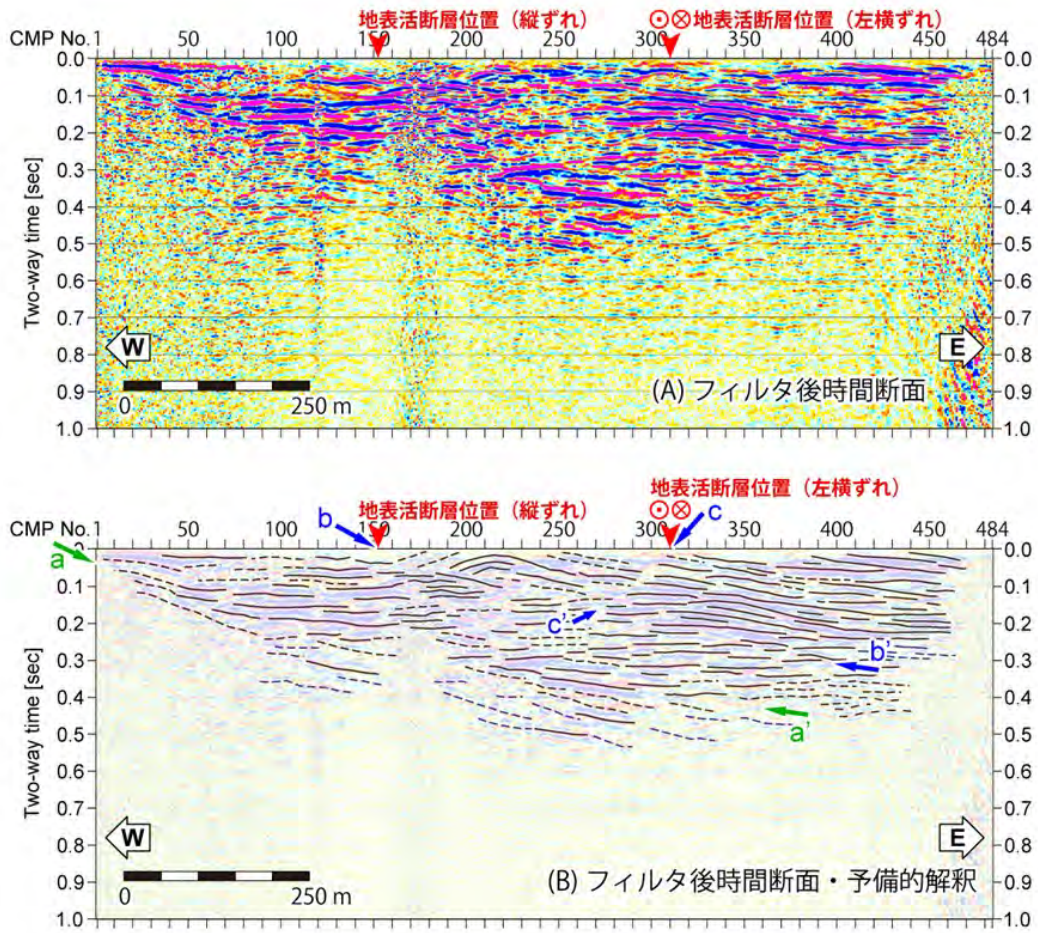


図2 浅層反射法地震探査解析結果 (A) フィルタ後時間断面 (B) フィルタ後時間断面・予備的解釈

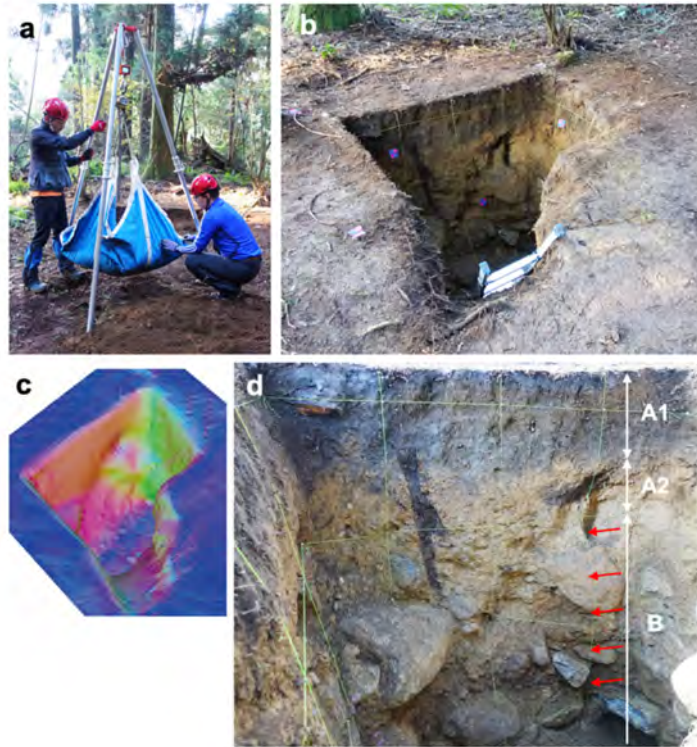
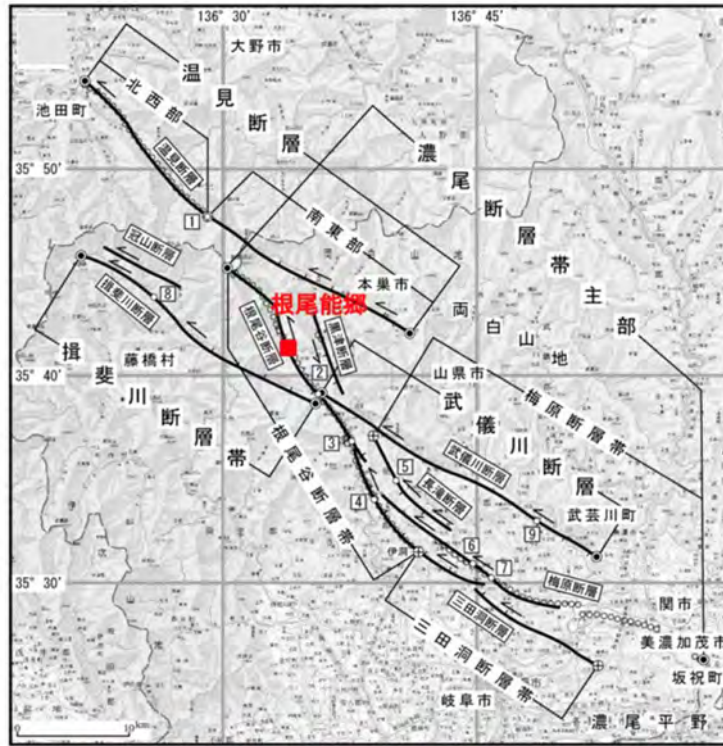


図3 濃尾断層帯および調査地の位置および調査結果

(a) 三脚・重量計・チェンブロック・モッコを使った掘削土の重量計測。(b) 掘り上がったピットの全景。西方をのぞむ。壁面のグリッドの間隔は50 cm。(c) iphone LiDARによる掘削ピットの地形モデル（鳥瞰図）。(d) ピット西壁面の写真。グリッドの間隔は50 cm。赤矢印は、宇宙線生成核種濃度測定用試料の採取層準（深度70 cm, 90 cm, 110 cm, 130 cm, 150 cmの計5層準）を示す。

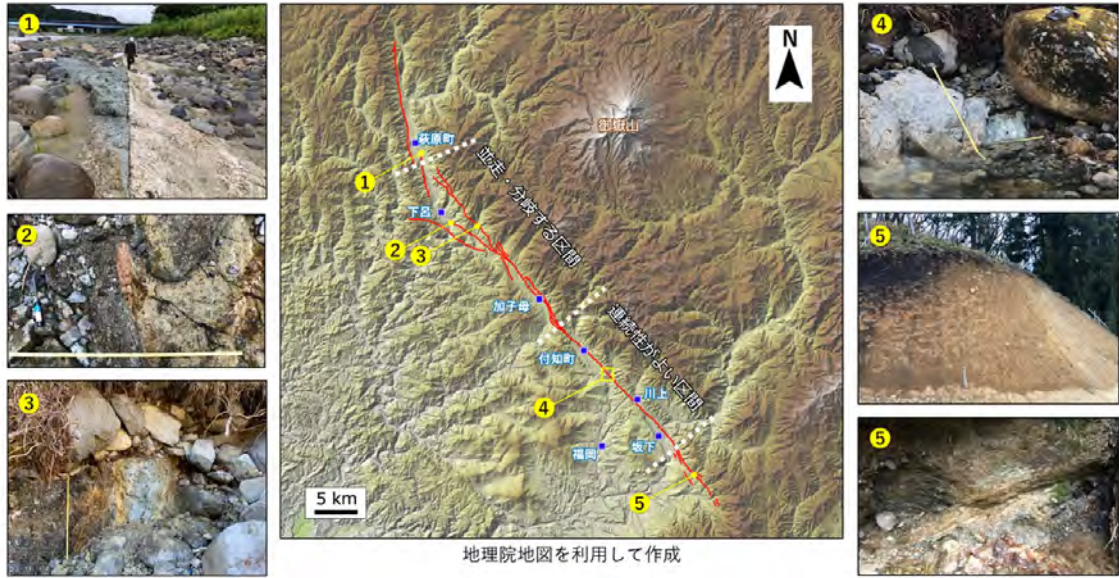


図4 阿寺断層帯を構成する活断層と新たに観察された断層露頭

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南海トラフ域におけるプレート間固着・滑りの時空間変化の把握

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海溝型巨大地震発生の予測のためには、プレート間の固着による定常的なすべり欠損の蓄積と、地震間の間欠的なすべり欠損の解消をもたらすゆっくり滑り等の地殻活動の把握の両方が欠かせない。特に、現行計画で得られた南海トラフ域におけるすべり欠損分布の解釈には、沈み込む側のプレート、特に伊豆マイクロプレートの境界と運動の把握が決定的に重要であることが明らかになった。また、海底地殻変動観測による変位速度の空間的不均質性の解釈には、プレート境界面上でのすべり欠損以外にも陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等の可能性も考慮する必要があることが示唆された。

そこで、本研究では、海域での測地学的観測に加え、現行の地殻変動観測網の制約を克服するために変動地形の分布や変位様式の把握といった変動地形学的調査も併せて行い、伊豆マイクロプレートの境界（特に西端部）と運動の把握を行う。さらに、変動地形学的調査から陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積過程も推定する。これらの全てをふまえて、海陸における地殻変動観測結果からより現実的なプレート間固着状態の把握を行う。これと並行して、5年間にわたる連続的な陸上GNSSおよびアクロスによるモニタリングによって、測地学的アプローチと弾性波動学的アプローチの両面から地殻活動の現状を把握する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

南海トラフ域東部を対象として、以下に詳しく述べる1) 変動地形学的、2) 測地学的、3) 弾性波動学的アプローチから各種観測・調査を行う。海域地殻変動観測結果と変動地形学的調査をもとに、ブロック運動モデルによって南海トラフ沿いのすべり欠損の空間分布の把握を行う。また、陸上GNSSとアクロスを用いた連続モニタリングから、定常時やゆっくり滑り時におけるプレート境界領域の物性変化を捉える。

1) 変動地形学的アプローチ

海底地形調査：

銭洲海嶺西端付近、ならびに志摩海脚において、海底地形詳細調査、ならびに浅層地質構造探査を行う。銭洲海嶺西端付近では、変動地形の連続性から伊豆マイクロプレートの西端部の境界を明らかにするとともに、変動地形の位置・形状から伊豆マイクロプレートの挙動の推定を試みる。陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等が海底地殻変動観測による変位速度の不均質性に与える影響を探るため、志摩海脚でも調査を行う。

陸域地形調査：

陸棚外縁撓曲の活動度等を明らかにするため、紀伊半島等の沿岸部で活構造等の地形と地質を調査する。

2) 測地学的アプローチ

海域地殻変動観測：

南海トラフ地震震源域の浅部におけるすべり欠損の空間分布の把握のために、海上保安庁の観測点が設置されていないトラフ軸近傍の1ヵ所で海底地殻変動観測を2年に1回行う。また、伊豆マイクロプレートの西側境界の大まかな位置を推定するとともに沈み込むプレートの運動を実測するため、南海トラフの海側（沈み込むプレート側）の1ヵ所において2年に1回の頻度で海底地殻変動観測を行う。

伊豆マイクロプレートの動きを把握するため、銭洲岩礁にて2年に1回の頻度でキャンペーンGNSS観測を行う。

得られた観測結果をもとに、変動地形学的知見もふまえて、ブロック運動モデルにより南海トラフ域のプレート間固着状態を把握する。

陸上GNSS観測：

南海トラフ地震震源域の深部におけるスロースリップ等による変動の把握のため、三重県、愛知県、和歌山県内の12ヵ所でGEONETの観測点の間を埋める形でGNSS連続観測を実施する。

3) 弾性波動学的アプローチ

アクロス：

プレート境界面における固着やすべり現象に伴う定常・非定常な物性変化を地震波速度変化等から捉えるため、東海地方の2ヵ所でアクロスの連続運転を行い、定常地震観測点で捉えられた信号記録の解析を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○志摩海脚における海底地形調査・浅層地質構造探査

前年度に実施した志摩海脚付近における海底地形調査・浅層地質構造探査について、得られたデータの解析を今年度を実施した。

今回得られた海底地形データに基づく1秒グリッドDEMを用いて検討した結果、1) 熊野灘から志摩海脚付近にかけて分布する活断層（図1 赤矢印）は、トレースが屈曲に富み、北側隆起を示す、2) 志摩海脚付近から遠州灘にかけて分布する活断層（図1 青矢印）は、トレースが比較的直線的であり、北側隆起に加えて右横ずれを示す、3) 志摩海脚付近の活断層（図1 紫矢印）は、トレースが西方に向かって多数に分岐し、北側または南側隆起を示す、ことが詳しく明らかになった（図1）。また、活断層トレースは全体として志摩海脚付近で左ステップしている。今後、分布と特徴、変位様式についてさらに検討を行う計画である。

○海底地殻変動観測

南海トラフ軸近傍のTCA観測点（図2）において2022年8月23日に海底地殻変動観測を実施した。このデータも含めてTCA観測点における変位速度ベクトルを得るとともに、図1に示した他の観測点についても過去のデータの再解析を実施した。MORVEL [DeMets et al., 2010; 2011] をもとにして剛体運動成分を取り除くことで得られたアムールプレートに対する変位速度ベクトルの方向と大きさは、以下の通りである（図2）：

KMN : $N76\pm 9^{\circ}W$, $43\pm 5\text{mm/yr}$

KMC : $N75\pm 37^{\circ}W$, $31\pm 22\text{mm/yr}$

KMS : $N73\pm 10^{\circ}W$, $41\pm 7\text{mm/yr}$

KME : $N82\pm 22^{\circ}W$, $41\pm 13\text{mm/yr}$

TCA : $N75\pm 25^{\circ}W$, $36\pm 15\text{mm/yr}$

TOA : $N70\pm 26^{\circ}W$, $50\pm 21\text{mm/yr}$

TOA観測点は伊豆マイクロプレート（IZM）とフィリピン海プレート（PH）との境界のやや南東側に設置されているため、TOA観測点における海底地殻変動観測結果は、主として沈み込んでくるフィリピン海プレートの運動を反映していると言える。TOA観測点の変位速度ベクトルは、MORVEL

[DeMets et al., 2010; 2011] から推定される理論的な変位速度ベクトル（ $N60^{\circ}W$, 58mm/yr ）と概ね一致している。ただし、この海域直下にはフィリピン海プレートの内部変形を示唆する複数の構造の不連続が見られる（令和3年度報告）ため、TOA観測点の変位速度にはフィリピン海プレートの内部変形も含まれている可能性がある。TCA観測点における変位速度ベクトルの大きさは、現段階までの観測結果によると、MORVELによるアムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動の大きさの6割程度である。図1に示したKME以外の点における海底地殻変動観測結果とGEONET F3解から得られる地殻変動場（変位速度の大きさのプロファイル）とそれに基づくフォワードモデリングの結果、熊野灘では固着率が90%程度、トラフ軸近傍では70%程度であることが明らかになった（図3）。

○銭洲岩礁GNSSキャンペーン観測

2022年7月22日と24日に銭洲岩礁におけるGNSSキャンペーン観測を実施した。1996年以降、高知大学とともに26年間に計14回のキャンペーン観測を実施しており、これらすべてのデータに対して、銭洲岩礁周辺のGEONET 8カ所のRINEXデータを用いて座標値をF5解に強く拘束するように解析した。2000年三宅島噴火に伴い、ステップ状の基線長変化が観測されたため、2000年以降の約20年間の基線長変化に着目した。その結果（図4）、昨年までと傾向は変わらず、銭洲岩礁と南伊豆2は基線長変化が無く、両観測点は同じブロックに属していると考えられる。一方、銭洲岩礁-新島間には有意な基線長変化が観測されており、両観測点は異なるブロックに属していると思われる。また、八丈および御蔵島のGEONET観測点と銭洲岩礁との間には有意な基線長変化が見られない。

銭洲岩礁におけるGNSS観測の連続観測をめざして2019年にGNSS受信機を格納する防水箱を銭洲岩礁の最高地点に設置したが、その防水箱が亡失していることが2021に発覚した。そこで、連続観測点化を再度進めるため、2022年に機材一式を再設置した。低消費電力のGNSS受信機であるu-blox社のZED-F9Pを用いて、機材やバッテリーなどの小型化を行なった。GNSS機材一式はペリカンケースに入れて防水対策を施し、その上に波浪の影響を受けにくいような形状のカバーを設置した。受信データはオフライン収録であるため、次年度以降に銭洲岩礁に渡った際に回収を行う予定である。

○アクロスの連続運転による物性変化のモニタリング

静岡県森町に設置されているACROSS震源から約3km離れた場所に地震計を設計し、地震波速度に現れる浅部地下水の影響を検討した。観測は2020年9月から継続している。降雨のデータからタンクモデルを用いて仮想的な地下水位に換算し、観測された弾性波の走時変化と比較した。その結果、後続波の走時には降雨に直ちに応答し、徐々に戻るような変動が見られた。そこで、タンクモデルを適用し、降水に対して減衰時定数を変えた指数関数を畳み込んで「換算地下水位」を計算して走時変化との相関を検討した。その結果、後続波の走時変動は5~20日の時定数で減衰させた換算地下水位との間に良い相関があることが分かった（図5）。また、地震計アレイ直下にボアホールを掘削し、地下水位を実測したが、現場の地下水位は降雨に対する遅延が大きく地震波走時の変化との間では相関が小さく、走時変化は広域で応答の速い水の変化により相関していることが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

南海トラフ地震の想定震源域直上における海底での地殻変動を実測し、トラフ軸近傍から陸域に至る大まかなプレート間固着分布が明らかになった。また、海底地形調査によって海底活断層の分布・変位様式が明らかになった。これらの成果は、南海トラフ地震の発生予測に資する基礎的な知見を提供するものである。

アクロスの連続稼働によって得られたデータから物性の時間変化を得るための解析手法を確立し、実際に物性の時間変化が捉えられた。このことは、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測への道を拓く成果である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

2021年度に志摩海脚で実施したサブボトムプロファイラによる浅層地層探査の結果の解析を引き続き行い、マルチビーム測深の結果と合わせて、海底活断層の詳細な分布・変位様式を明らかにする。

南海トラフの海側に設置しているTOA観測点において海底地殻変動観測を実施する。また、連続観測点を設置した銭洲岩礁のデータを回収し、両者のデータを含めて沈み込む海洋プレートの運動をより高精度に把握し、南海トラフ軸近傍のプレート間固着状態を明らかにするとともに、海底活断層の分布・変位様式もあわせて、熊野灘におけるプレート間固着・滑りの空間パターンを明らかにする。

アクロスの連続運転と臨時地震観測によるデータを蓄積し、地形、地質条件の違いによる地震波の応答の違いを明らかにし、地下水に起因する地盤強度の変化が地震波速度変化に及ぼす影響を抽出するための基礎的な解析を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一（名古屋大学）、伊藤武男（名古屋大学）、山岡耕春（名古屋大学）、渡辺俊樹（名古屋大学）、鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

田部井隆雄（高知大学）、生田領野（静岡大学）、杉戸信彦（法政大学）、松多信尚（岡山大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田所敬一

所属：名古屋大学環境学研究科

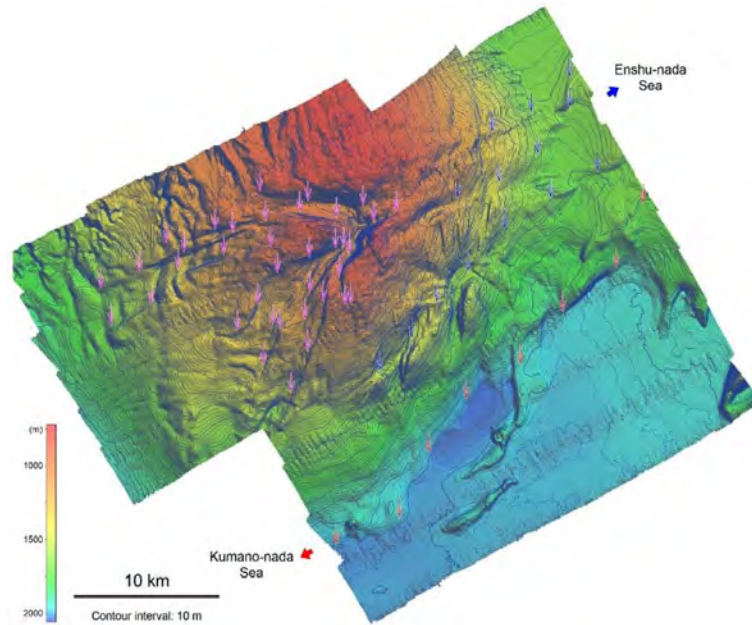


図1：志摩海脚におけるマルチビーム測深結果による1秒グリッドDEMと判読結果（予察）活断層の位置を矢印で示す．各色で示した活断層の特徴については本文を参照．

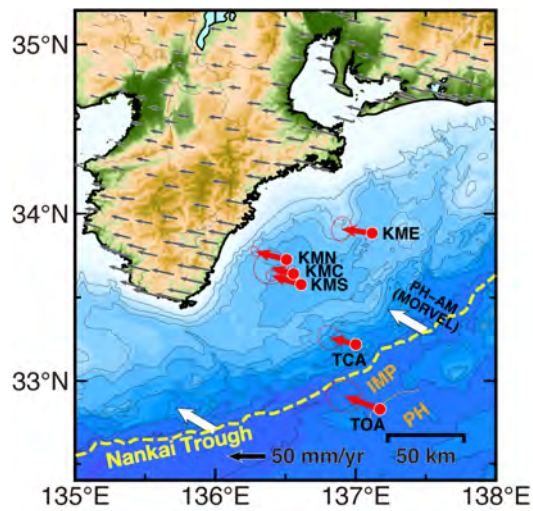


図2：海底地殻変動観測結果．アムースプレート（MORVEL）に対する変位速度ベクトルを示す．陸上の変位速度ベクトルはGEONET F3解による．

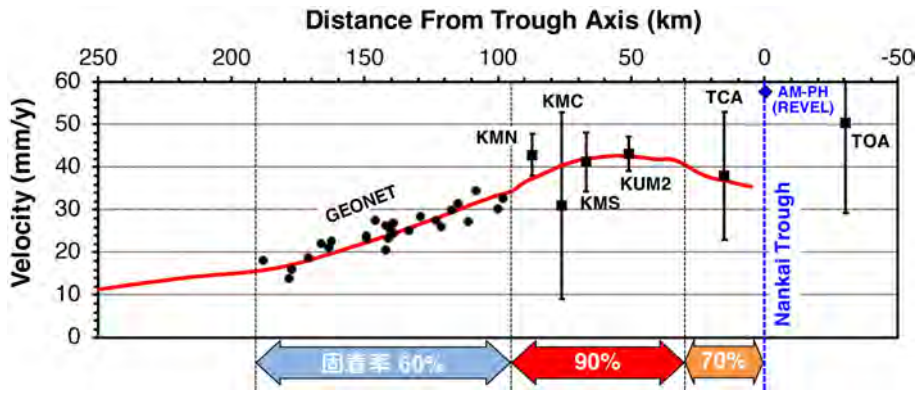


図3：南海トラフ軸から陸域に至る地殻変動場とプレート間固着分布。
プレート間固着分布はフォワードモデリングによる。陸域の地殻変動観測結果はGEONET F3解による。

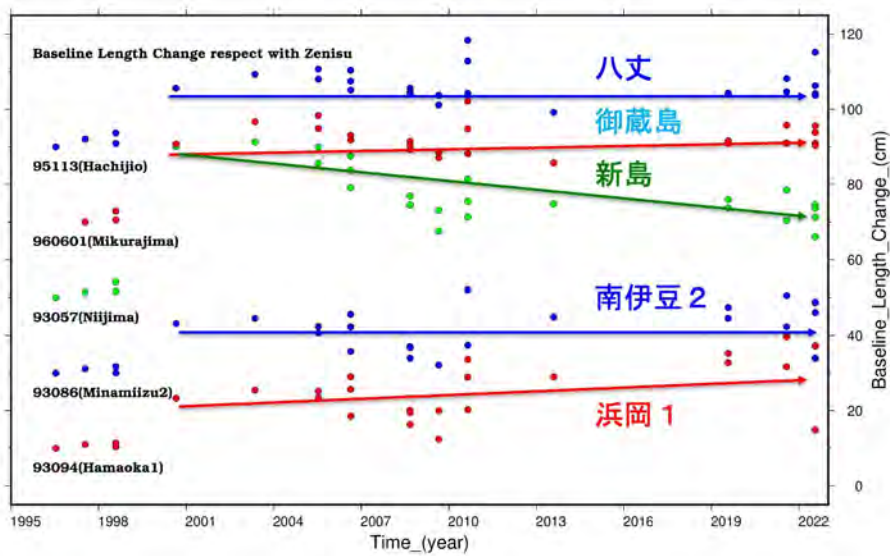


図4：銭洲岩礁に対する周辺のGEONET点の基線長変化
銭洲-南伊豆2間は基線長変化が無く、同じブロックに属していると考えられる。また、銭洲-新島間には顕著な基線長変化が見られ、異なるブロックに属していると考えられる。

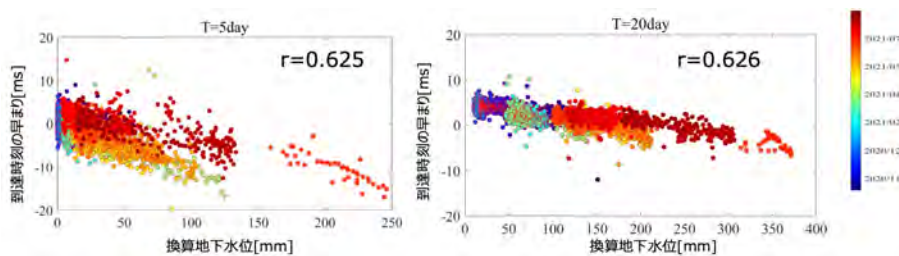


図5：地下水位と後続波の走時変化との関係
（左）radial加振-radial受信，（右）transverse加振-transverse受信の波形に対する走時変化。両者で時定数（Tで標記）が異なる。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地表地震断層の特性を重視した断層近傍の強震動ハザード評価

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究においては、地表地震断層の詳細な特性を考慮して、断層近傍の強震記録を再現できる強震動シミュレーション手法を開発する。地表地震断層のごく近傍の詳細な建物被害分析結果に注目した強震動シミュレーションは新たな取り組みである。活断層から発生する地震予測に関する従来のパラメータステディは約1秒以上の長周期成分を対象としたものが多く、建物被害に大きな影響を及ぼす1秒以下の短周期成分を考慮した研究例は少なかった。これらの周期帯をあわせて広帯域地震動を評価するためには、地震基盤以浅の地表地震断層近傍域における詳細な地盤構造モデルを構築する必要がある。

従来の地表地震断層の研究は、変位量の記載や個々のセグメントの特徴の把握にとどまっていた。強震動との関係を議論するためには、起震断層帯全体の中で相互に関連する地震断層形状の正確な把握や、変位量の空間的変化を高解像度で把握し直すことが求められる。本研究では熊本地震の地震断層の再検討を行うが、いわゆる活断層としての活動性に関する情報は別プロジェクトで得られる成果を用い、強震動予測に適したデータベース化を行う。

最終的に、熊本地震等の事例について新たな強震動評価手法を用いた強震動分布を再現し、建物被害との整合性を確認する。その上で、海外の事例を含めた他地域への適用を試行する。他地域への適用に当たっては、従来からの変動地形学的活断層調査結果を参考にする。なお、期間内に新たな地震断層が出現した場合は、これを検討対象に加える。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は、「熊本地震の益城町と南阿蘇村を事例とした基礎データ収集・感度解析」として以下の項目を実施する。

- 1) 強震動計算モデルへ組み込むため、地表地震断層の詳細な形態的特徴を精査し、破壊開始点、変位

量分布のデータベースを作成する。

2) 航空写真と現地調査結果を総合して、地震断層近傍全域における全壊家屋分布図を作成する。建築構造情報を考慮したデータベース作成。

3) 地震動記録の再検討。全壊家屋分布を説明できる強震動計算モデルを構築する。

平成32～33年度は、「熊本地震の地震断層周辺全域への適用・モデル改良」として以下の項目を実施する。

1) 熊本地震の地震断層近傍の全域について強震動モデルによる計算を適用する

2) 強震動の出現に著しい地域差があることに注目して、地震断層・活断層の特徴との相関を分析する

3) 強震動の地域差を表現できる強震動モデルを検討し、モデルの高度化を目指す。

平成34～35年度は、「他地域・他の活断層へ試行」として以下の項目を実施する。

1) 新たな強震動評価手法を他の活断層へ適用し、強震動予測地図を作成する。

2) 活断層データとしては、他の課題（「変動地形学的手法による内陸地震発生モデルと活断層長期評価手法の再検討」(2. (1) イ. 内陸地震の長期予測)の成果を活用する。

3) 活断層の強震動評価手法として一般化させ、地震本部において活用可能な形を目指す。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度は、野外調査による詳細な地表地震断層をモデル化して強震動計算に反映させ、断層近傍地震動の強震動ハザード評価の高度化に資するための検討を行った。主な実施項目として、以下の3点：(1)屏風山・恵那山断層についての詳細な地震動予測、(2)1891年濃尾地震および1596年伊予・豊後地震の震度分布の詳細解析、(3)熊本地震の地表地震断層近傍の地盤移動量に関する予察的考察、を行った。

(1) 屏風山・恵那山断層について、重点調査の中で名古屋大学等は詳細な地形データを取得し、それに基づいて新たに詳細な活断層トレースデータを作成した。得られた地表断層情報を考慮した強震動予測を行うために、活断層と地表地震断層の関連、断層の破壊方向、それぞれの時空間スケール等について防災科研と議論し、認識のすり合わせを行った。これを受け、防災科研においては活断層トレースデータおよび活断層周辺の詳細な地盤構造モデルを断層モデルに反映させ強震動計算に組み込むためのツール整備を行うとともに、強震動予測の試算を行った。

(2) 地震断層近傍で過去にも被害集中が起きていたかどうかを検討するため、岡山大学等は、1891年濃尾地震の際の震度分布を再検討した。その結果、伏在の有無が議論されている岐阜―一宮断層を仮定せずとも、松田(1974)の地表地震断層の調査結果をもとに松田式を用いた地震規模と特性化震源モデルへの浅部すべりの付与により震度分布を再現可能との結論を得た。また、1596年伊予・豊後地震のA級史料に基づく震度分布から石橋(2019)が推定した中央構造線活断層帯の伊予灘区間の断層モデルについて、特性化震源モデルを用いた地震動で検証した。その結果、石橋(2019)が推定した長さ100km、あるいは陸域へ30km程度の延伸で、震度分布は説明可能との結論を得た。

(3) 熊本地震の際の地震断層近傍の数百メートルの範囲の地盤変形が、強震動発生に影響した可能性を検討するため、名古屋大学等は地震前後のLiDARデータを予察的に再解析した。その結果を被害分布と重ねることにより、断層直上のずれだけでなく周辺の地盤変形データも考慮して強震動発生モデルを検討する準備を開始した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究は、地震の災害誘因の事前評価手法の高度化として、強震動の事前評価手法の改良を目指している。地震断層近傍における強震動発生メカニズムを明らかにすることで、内陸直下地震の際に甚大な被害を生じる震度7になりえる地域（いわゆる震災の帯）を事前に予測できるようにする。そのために活断層研究と強震動研究が連携する。これはまさに被害軽減のために不可欠な研究である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

鈴木康弘・渡辺満久・中田 高・田中 圭・藤原広行・門馬直一・中村洋光・内藤昌平・先名重樹・岩城麻子,2022,2016年熊本地震の地表断層に沿う建物被害集中の原因論,2022年日本活断層学会学術大会,O-4

大熊祐里英・隈元 崇,2022,文禄五年閏七月九日の伊予・豊後地震に関する特性化震源モデルを用いた中央構造線活断層帯の断層パラメータの検証,2022年日本活断層学会学術大会,P-13

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は今年度までの成果や検討結果を受けて以下の項目を計画している。

- インバージョンモデル（再現）や特性化震源モデル（予測）と、地表で複雑な分布を見せる地表地震断層（再現）・活断層分布（予測）との接合に関する分野間の議論とモデル化。
- 活断層研究分野と強震動研究分野間で地表地震断層調査の解釈や強震波形の解釈等の相互理解のための意見交換を引き続き行い、分野間の意思疎通を図る。
- 変動地形の分野から提供できる新たなデータとして、地震断層近傍の地形変動データを整備する。強震動予測モデルにおける変位分布計算結果との比較を行う。
- 今期の研究計画による検討結果と到達点を整理し、次期計画の課題を整理する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

隈元崇（岡山大学）,中田高（広島大学）,渡辺満久（東洋大学）,藤原広行（防災科学技術研究所）,森川信之（防災科学技術研究所）,中村洋光（防災科学技術研究所）,先名重樹（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<https://www.seis.nagoya-u.ac.jp/center/index.html>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

被害の地域的な発現過程とコミュニティの社会・空間構造に着目した地震・津波災害発生機構に関する文理融合的研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの人文社会科学的な災害研究では、情報伝達や避難行動といった「どのように（how）対応したのか」を問題とするものが多く、「なぜ（why）災害が発生したのか」を、災害前や復興後における被災地の社会構造に遡及して解明するものはほとんどない。防災リテラシーの向上のためには、自然災害が社会的構築物であるという基本的な認識の上で、いわゆる緊急対応のみならず、長期間にわたる自然ハザードと地域社会との関係という統合的観点からハザードが災害に転換する構造的脈絡を明らかにする必要がある。

それゆえ、本研究では、同一のハザード（地震、津波、火山噴火など）の外力がかかっても地域ごとに被害や対応の現れ方が異なる過程に着目し、そこにどのような社会的要因が介在しているのかを脆弱性概念に基づいて分析する。脆弱性は土地利用、社会的凝集性、災害文化、災害対策の4側面から捉えられ、工業化や都市化といった構造的要因によって長期的に変化する。本研究では、自然的・社会的特性の異なる地域社会を取り上げ、それぞれについて脆弱性各側面の具体的項目を定量的・定性的に調べるとともに、ハザード外力の地域差と重ね合わせ、災害発生メカニズムやその規定因を明らかにする。それによって、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを明確にする。

具体的には、（1）東日本大震災などの過去の災害を事例に、以上のような地域的差異に着目する視点からハザード外力と脆弱性との相互既定関係を検証し、また、復興後の社会変動によって生じた地域社会における脆弱性の再編様式を明らかにする。（2）東海地域に焦点を置き、地形や集落立地、経済・人口規模や都市システム、災害履歴などを指標に地域的な類型化を行い、ハザードの将来予測と重ね合わせながら、地域類型ごとの脆弱性の内容について比較検討する。（3）コミュニティ防災の全国的な先進事例も参照しながら、以上の結果をもとに、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを地域単位で検討し、地域特性に応じたコミュニティ防災の条件や課題について提言を試みる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：東日本大震災被災地のコミュニティ組織を対象に、他のプロジェクトと連携して2018年度に実施した質問紙調査の分析結果と、その回答者に対する、復興後の災害対応の変化などに関する追跡調査（インタビュー調査）をもとに、これまで行ってきた東日本大震災研究の総括を行うとともに、ハザード外力と脆弱性との相互既定関係について理論化を図る。なお、各年次、コミュニティ防災の取り組み担当者を招聘し、全国的な先進事例に関する定例研究会を開催する。

2020年度：東海地域（愛知・三重・静岡県）、とりわけ南海トラフ地震で津波被害が想定される自治体において予備調査を行うとともに、各種統計などをもとに、ハザードなどの自然的特性と、都市規模や都市システムといった社会的特性から、大都市地域、地方中都市、小都市・農村部、沿岸漁村部といった地域構造に基づく地域類型マップを作成し、予備調査の結果と合わせ、詳細分析の対象地域社会を選定する。

2021年度：地域類型の異なる複数の地域社会（自治体およびコミュニティ）において、（1）地域の自然特性と社会特性、および近年の社会・経済変動を調査し、データベースを作成するとともに、（2）少なくとも第2次世界大戦後の災害履歴を、ハザードの特徴や被害状況のみならず、防災対応や復興プロセスも考慮して整理し、災害発生メカニズムにかかる政策的・地域的要因に関する考察を行い、（3）地域類型間（自治体およびコミュニティのレベル）の比較検討と、地域差をもたらす社会的要因を解明する。インタビュー調査を中心とした現地調査を基本とするが、必要に応じてサーベイ調査も実施する。

2022年度：前年度の活動を複数の地域社会において実施し、調査結果を蓄積するとともに、とりわけ東日本大震災後の法改正や住民の意識変化等に伴う自治体の防災対策の改変やそのコミュニティに対する影響に関して知見を得る。

2023年度：それまでの活動を継続し、蓄積された調査結果の理論的集約を進める。なお、各年次における研究成果は、国内外の学術会議で発表するとともに、学術論文として公表するほか、公開研究会の開催などを通じて地元還元を努める。最終的には、可能な限り、報告書や図書（専門書や一般書）の刊行を目指す。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2022年度は、東海圏の漁村地区の現地調査に着手する計画に沿って、三重県南伊勢町と大紀町の役場で地域防災の取組みの現状や課題についてヒアリング調査を実施し、防潮堤等の防災ハード事業、避難訓練、公共施設の高台移転、大学・専門機関との連携等に関する基礎的情報収集した。

その結果、南伊勢町では、長く入り組んだ海岸線と集落の分散という地理的条件がある上に、町内唯一の幹線道路が津波によって分断されることが予想されているため、集落ごとに防災計画を策定・履行する体制が整えられてきた。ただ、若干の地域差を伴いながらも全体として高齢化が進行しているために、住民の防災意識は高いものの防災力は高くない。一方、大紀町（錦地区）では、元々ハード整備を必要最小限にとどめ、避難を中心としたコミュニティベースの防災計画を立ててきたが、東日本大震災の影響と南海トラフ地震の想定引き上げもあり、巨大な防潮堤建設に舵を切った。町の防災課によれば、近年住民の防災意識の低下が顕著であるという。こうした両町の状況は、防災にかかわるハード整備の点から見て、また社会経済的にも東日本大震災被災地の被災前の状況と異なる特徴が認められる。南海トラフ地震に備える防災リテラシーの向上にとって鍵となる防災施設の整備と防災意識との関連について、今後住民への調査なども実施しながら検討を進めていく。

また、従前より実施してきた、同じく南海トラフ地震想定被災地の高知市における事前復興対策に関する調査結果のとりまとめを行った。高知市では南海トラフ地震の新想定後、市街地沿岸部の津波浸水想定地域で地域防災の取組みが活発化しているが、その一方で、津波浸水想定地域から事業所や住民が転出する動きも活発化した（表1）。そこで、どのような事業所、住民がどこに移転したのかを小地域統計のデータを用いて検証した（図1）。その結果、災害リスクを逃れるためのそうした人・事業所の移転が階層的格差と関連しており、津波浸水想定地域では災害に脆弱な零細事業所、高齢層、借家層の偏在が進んだことを明らかにした。以上のことから、従来より防災リテラシーにとって重要であると指摘されている科学知が脱文脈化する傾向を指摘し、それをローカルな文脈、具体的には生活構造や災害文化、土地利用と関連づけて捉える必要性を見出した（図2）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「防災リテラシー」は、通常、ハザードに関する科学的知識やそれを適切な防災活動に適用する能力と解される場合が多い。しかし、高知市の事例はハザードに関する科学的想定が社会の側の自省的な反作用を誘発し、階層的格差と関連したジレンマを惹起する可能性を示唆するものである。その意味で、上記の研究成果は防災リテラシーを社会経済的変数も考慮したより広い視点から捉える必要性の事例の根拠を示したものと位置づけることができる。今後は、臨海都市（名古屋市南区）と漁村地区（三重県南部沿岸部）の地域比較調査を踏まえて、地域特性にマッチした防災リテラシーの解明を進める。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

室井研二,2022,アーバンフリンジの震災復興と社会変動,日本都市社会学会年報,40,59-75,査読有
室井研二,2022,地域と事業所の防災協力はいかに可能か,ほくとう総研『NETT』,115,22-25,査読無
室井研二,2022,震災復興過程における社会と自然—仙台都市圏周辺部の事例—,都市水害に関するシンポジウム講演論文集・土木学会西部支部,21,21-26,査読無
Agussabti, A., I. Zikri, R. Rahmaddiansyah, A.H. Hamid, A. Baihaqi, and M. Takahashi,2022,Exploring the social science of tropical peatland restoration: Towards more effective community empowerment initiatives for the Aceh peatland ecosystem,Mires and Peat,,28,1-16,DOI: 10.19189/MaP.2022.OMB.StA.2376,査読有
Kenji Muroi,2022,Post-disaster reconstruction in the rural-urban fringe following the Great East Japan Earthquake,E3S Web of Conferences 340, 03001 (2022), The 13th AIWEST 2021,1-9,査読有

・学会・シンポジウム等での発表

室井研二,2022,震災復興の地域的最適解に関する総合的研究2022（2）—「復興条件不利地域」における生活再建と社会変動,日本社会学会第95回大会
室井研二,2022,震災復興過程における社会と自然—仙台都市圏周辺部の事例—,第21回都市水害に関するシンポジウム
Makoto Takahash,2022,Experience, knowledge, and disaster risk reduction,The 5th International Conference on Multidisciplinary Research

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

「南海トラフ地震対策の地域的最適解に関する文理融合型研究」

防災を効果的なものとするためには以下のことが重要になる。第1に、地域の地形的条件や社会経済的特性に関する理解である。災害は地域的な現象であるため、地域特性に即した防災知が必須である。第2に、自然災害はハザードが直接的な誘因になるため、地震・津波に関する科学知の理解もまた防災の基本要件となる。従来、災害・防災に関する伝統的な地域知と普遍的な科学知の間には齟齬や断絶があり、それが効果的な防災の阻害要因となっていたと考えられる。そのため、第3に、両方の知識を接合する条件を解明することが、防災リテラシーの実効性を向上させる上で決定的に重要である。

以上のような研究枠組を東海地域における南海トラフ地震対策に適用し、地域特性にマッチした防災の条件を文理融合型アプローチによって解明することが本研究課題の目的である。最終的な到達点としては、事例調査を踏まえて地域防災を類型論的に把握し、地域類型に即した防災リテラシーの条件や課題を明らかにするとともに、コミュニティや自治体と連携して防災力向上のための実践的な働きかけを行う。

地域防災の類型として、現時点では、事業所が集積する大都市型防災と、過疎高齢化が進む漁村型防災の2つの類型を想定している。大都市型防災に関する研究課題として重視したいのが、第1に、コミュニティと事業所の防災連携を規定する条件の解明である。昼夜間人口比の大きさや近隣関係の希薄さといった大都市の地域特性を考慮するならば、災害（特に日中の）に対するコミュニティの対応に

において事業所との協力は重要な課題となる。地域防災協力事業所制度の活用状況等を手掛かりに、協定を締結しているコミュニティや事業所、同制度を所管する行政機関に聞き取りを行い、この課題にアプローチする。研究課題の2つ目は、ハザードや防災に関する科学知を受容するための条件の解明である。大都市は人口の流動性が高いため、過去の災害経験の地域的な継承が困難である。また、居住地の地形や生態学的条件に関する知識も乏しいと予想される。そのような地域的文脈においてハザードや災害に関する科学知を実効性のある防災につなげるための社会的条件を解明する。事例調査の対象地は、名古屋市南区の低地部と高知市中心市街地の沿岸地域を予定している。本研究課題では東海地域の防災を主眼としているため、名古屋市南区のほうがメインの研究対象となるが、高知と比較することで名古屋の防災の地域特性をより明確に把握することを目指す。なお、名古屋と高知のハザード（地震と津波）や地形条件などに関する地域特性については、地震学や地形学といった自然科学の研究者をメンバーに加え、それを踏まえて予想される被害について具体的なシミュレーションを行う。

漁村型防災に関しては、生業と結びついた資源管理の仕組みがある種の防災機能を兼ねていることが予想される。その実態把握を通して、地域に特有の防災知がもつ可能性や限界を解明する。また、漁村は過去の災害経験の継承や地域の自然条件に関する知識という点では大都市よりも有利な立場にあるが、高齢化が進んだ地域であるため、科学的リテラシーに関しては不利な立場にあると想定される。そこで、漁業関係者や自主防災組織のリーダー、行政機関にヒアリング調査を行い、それを踏まえて生業（漁業）とリンクした防災知・災害文化と、ハザードに関する科学的知識や防災対策の関係（連動と齟齬）について分析する。事例調査の対象地は、三重県南部沿岸地域と岩手・宮城県三陸地域の漁村被災地を予定している。大都市の場合と同様、東海圏である三重県南部のほうをメインの研究対象とするが、三陸漁村と比較することで三重漁村の防災の特徴を明確化することを目指す。また、ハザードや自然条件等の地域的特性に関しては、大都市の場合と同様の被害シミュレーションを行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

室井研二（名古屋大学環境学研究科）、高橋誠（名古屋大学環境学研究科）、山岡耕春（名古屋大学環境学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

堀和明（東北大学）、黒田由彦（椋山女学園大学）、田中重好（尚絅学院大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：室井研二

所属：環境学研究科

大街	町丁字	人口 (2010)	人口 (2015)	2010-15 増加率 (%)	海拔 (m)	長期浸水 エリア	備考
高知街	本町1丁目	90	250	177.8	2		新築マンション (中心市街地活性化計画)
	本町2丁目	199	223	12.1	2		
	帯屋町2丁目	233	306	31.3	2		
北街	はりまや町3丁目	479	571	19.2	2		
下知	東雲町	825	967	17.2	0-1	○	弥右衛門地区 土地区画整理事業
	杉井流	988	1,100	11.3	2	○	
	札場	542	657	12.1	2	○	
	南川添	314	416	32.5	2	○	
	北久保	982	1,149	36.6	2	○	
	海老ノ丸	114	156	36.8	2	○	
江ノ口	伊勢崎町	524	652	24.4	2	○	新築マンション
	吉田町	483	559	15.7	2	○	新築マンション
	愛宕町3丁目	647	712	10.0	2	○	イオンモール近接
小高坂	大膳町	74	83	12.2	3		
	小津町	508	722	42.1	2		新築マンション
	越前町2丁目	442	517	17.0	3		新築マンション
旭街	東城山町	903	1,038	15.0	5		新築マンション 旭グリーンヒルズ(1994) 旭北町(2013)
	玉水町	460	604	31.3	10		
	本宮町	575	720	25.2	10		
	佐々木町	691	856	23.9	20		
	口細山	1,752	2,400	37.0	60-70		
潮江	棧橋通1丁目	771	911	18.2	1	○	潮江西部 土地区画整理事業
	棧橋通2丁目	469	558	19.0	1	○	
一宮	一宮中町1丁目	1,103	1,220	10.6	2-3		
秦	愛宕山	980	1,288	31.4	5-10		新築マンション 向陽台団地(2006)
	宇津野	984	1,247	26.7	20-35		
初月	一ツ橋町2丁目	605	691	14.2	2-3		
朝倉	朝倉南町	669	742	10.9	10		
	行川	191	215	12.6	200		
	朝倉本町1丁目	811	963	18.7	10		
介良	介良甲	389	437	12.3	5		介良団地(1969)
三里	池	1,412	1,814	28.5	30		望海ヶ丘団地(2003)
長浜	瀬戸東町3丁目	1,005	1,245	23.9	10		鶴見台団地(1999)
	瀬戸南町2丁目	915	1,111	21.4	10		
	横浜南町	313	349	11.5	30		瀬戸団地(1969)
	長浜蒔絵台1丁目	597	896	50.1	30-35		蒔絵台団地(2001)
	長浜蒔絵台2丁目	883	1,034	17.1	25-30		

表1 高知市における人口急増地区の特性

2010～2015年

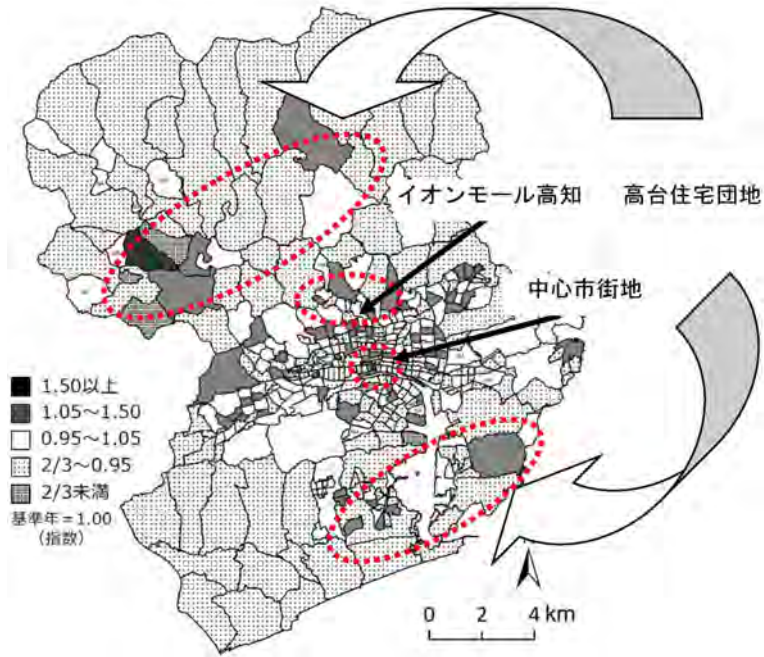


図1 高知市における人口急増地区（2010～15年）

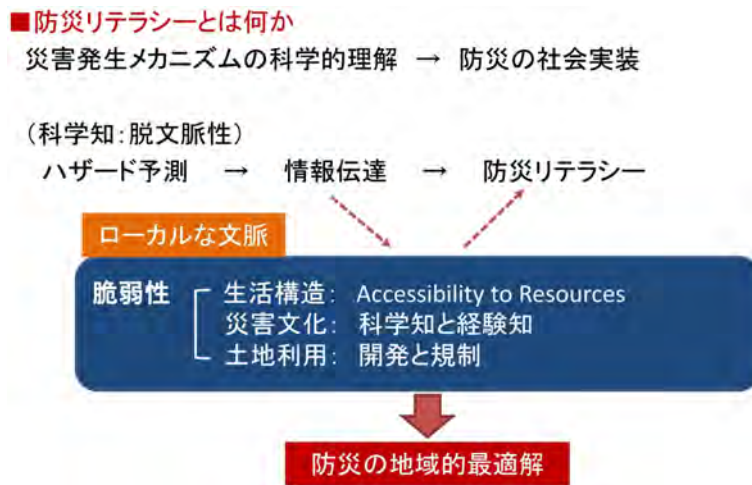


図2 防災リテラシーへの指針

(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が、地元ステークホルダーはどのような対応をとり得るかに着目する。研究期間の前半3年間は長野県からの寄附による名古屋大学御嶽山火山研究施設が運営されており、その期間に地元と名大との顔の見える関係を構築し長期的に継続できるものにするとし、その成果としての後半2年間を検証する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

名古屋大学環境学研究科地震火山研究センターに御嶽山火山防災寄附分野が設置されている3年間は、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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

○令和4年度は、前年度までに実施された、御嶽山火山マイスターの活動に関する記録を作成するために、開催された会合や活動に関する取材を行った。令和4年度は、御嶽山ビジターセンターが王滝村（山テラス）、木曾町（さとテラス）に開所し、名古屋大学御嶽山火山研究施設と御嶽山火山マイスターの拠点の木曾町三岳支所からさとテラスに移転したため、御嶽山ビジターセンターのスターアップの状況取材した。コロナ禍における活動制限は緩和されつつあり、名古屋大学御嶽山火山研究施設主催で、登山者を対象にした御嶽山の避難訓練（防災科技研のビーコンを使った登山者動向把握実験「御嶽山チャレンジ」と同時開催）や水蒸気噴火についてのシンポジウムが地元自治体や火山マイスターの協力のもと行われたため、それら取材した。御嶽山火山マイスターによる地元小学生に対する火山防災教育活動や登山者アンケート等の活動は引き続き行われている。

○令和4年度は、前年度に続き、御嶽山火山マイスターの火山防災・火山リテラシー向上の取り組みにおける位置づけを明らかにするために、複数の火山地域における取り組みとの比較研究を行った。本内容は当初の予定にはなかったが、部会での議論を受けて前年度から実施している。今年度は、前年度に調査を行った桜島、雲仙、磐梯山の結果を下記の比較項目について比較を行い、それぞれの地域の火山防災の特徴の抽出と御嶽山火山マイスターの現状を評価した。調査の結果、各地域の火山防災教育についての考え方の共通点として、防災をあまり前面に出さずに火山の恵みを伝えることを通じて、火山特有の景観を形作った噴火災害について考える契機をつくる、子供に対する啓発教育を通じて、周囲の大人にも火山防災の意識を高めてもらうというものがあつた。御嶽山地域においては、御嶽山火山マイスターの活動拠点と火山研究施設が同一箇所であり、研究者、火山マイスター、行政担当者を含めたミーティングを定期的に行っていることが顔の見える関係の形成に役立っていることがわかつた。

本年度は、阿蘇山、富士山、箱根の各地域の調査を行った。阿蘇山、伊豆大島について調査する計画であったが、伊豆大島は火山博物館がリニューアル中であるため計画を変更した。阿蘇山地域については、ジオパーク活動及び博物館・ビジターセンター機能としての比較をするため、阿蘇火山博物館を訪問して館長にインタビューを行った。富士山地域については、研究のアプローチ活動の比較のため、富士山科学研究所の研究者にインタビューを行った。箱根地域についてはジオパーク活動、博物館機能としての比較をするため、箱根ジオミュージアムの学芸員にインタビューを行った。現在、調査項目に従った分類作業を進め、また調査項目以外にも重要と思われる課題や課題間の相互の関係について質的研究の手法を用いて考察する予定である。

調査項目

1. 役割

- 1-1. 地元から期待されている役割
- 1-2. 噴火時（災害発生時）の役割
- 1-3. 防災における役割
- 1-4. 観光・地域振興における役割
- 1-5. その他

2. 人的交流について

- 2-1. 火山研究者との交流の状況
- 2-2. 火山以外の研究者との交流の状況
- 2-3. 地元住民との交流の状況
- 2-4. 地元行政との交流の状況
- 2-5. 地元事業者との交流の状況
- 2-6. 地元以外の事業者との交流状況

- 2-7. 観光客・登山者との交流の状況
- 2-8. 子供たち（小中高）との交流の状況
3. 施設について（博物館・ビジターセンター等の施設がどのように活用されているか）
 - 3-1. 施設の概要
 - 3-2. 施設の活用方法
 - 3-3. ジオガイド等にどのように活用されているか。
 - 3-4. 防災および観光における役割や効果
 - 3-5. 施設・展示の更新状況
4. 野外見学地
 - 4-1. 野外見学地点の概要
 - 4-2. 野外見学地点の活用状況
 - 4-3. ジオガイド等にどのように活用されているか。
5. 広報（活動を知ってもらう取り組みについて）
 - 5-1. SNSの利用
 - 5-2. SNS以外の利用、マスメディアとの関係
 - 5-3. 学会などの活動
6. 課題と今後について
 - 6-1. 人的ひろがり・連携について
 - 6-2. 予算について
 - 6-3. 施設の発展について
7. 地域の背景
 - 7-1. 地元人たちの火山に対する意識とその変遷
 - 7-2. 火山に関する地域の実情と関係者の対応

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

長野県の御嶽山地域では、平成29年度より御嶽山火山マイスター制度をはじめ、地元木曾町に設置された名古屋大学の御嶽山火山研究施設と連携して活動している。また、今年度、御嶽山ビジターセンター（さとテラス、やまテラス）が開所された。

令和4年度は、当該年度の御嶽山火山マイスターの活動記録をまとめるとともに、御嶽山地域との比較対象のため、前年度の磐梯山、雲仙、桜島地域に加え、3地域を訪問した。6月に阿蘇地域、11月に富士山地域、箱根地域を訪問し、御嶽山火山マイスターや8月に開所したビジターセンターの取り組みとの比較を行うための調査を実施した。

火山災害は他の災害に比べて低頻度であり、また、地域では観光が重要な生業となっているため、防災を強調したくないという事情があり、災害の記憶を継承し、防災リテラシーを向上させていくためには工夫が必要である。そのような中、火山に関する知識の啓発普及に先駆的な火山博物館、ビジターセンター等の代表者にインタビュー調査し、地域の防災リテラシー向上につながる活動や工夫を情報収集・交換することは有効であると考えられる。また、本年度開所した御嶽山ビジターセンターの活用に関して、他火山地域の施設の事例が参考になると考えられる。また、調査結果は、調査に協力していただいた他火山地域の機関にもフィードバックしている。また、御嶽山火山マイスターの活動記録やインタビュー記録は、御嶽山火山マイスターの今後の活動の模索や他火山地域の防災教育活動の参考に資するものであると考えられる。

火山噴火のような頻度の低い災害においては、平常時の防災リテラシー向上が災害の軽減につながる面が大きいと考えられ、災害記憶の伝承や防災教育を持続していくことが重要である。各地域の火山防災教育についての考え方の共通点として、防災をあまり前面に出さずに火山の恵みを伝えることを通じて、火山特有の景観を形作った噴火災害について考える契機をつくる、子供に対する啓発教育を通じて、周囲の大人にも火山防災の意識を高めてもらうというものがあった。今後、火山地域の相互連携を深めることも、災害記憶の伝承や火山防災教育の持続に役立つと考えられる。また、御嶽山噴火災害の特徴として地元にはほとんど被害がなく、火口付近にいた登山者の方々が被害を受けたということがあり、今後の噴火もそうした状況が懸念される。災害の軽減のためには、地域の他、登山者への継続的な火山防災の啓発が必要であり、今後、登山者への啓発について、火山マイスター制度やビジターセンターの効果的な役割を検証していく必要がある。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

堀井雅恵・山岡耕春・國友孝洋・竹脇聡,2022,御嶽山地域と他の火山地域における火山防災リテラシー向上に関連する活動の比較,日本地球惑星科学連合2022年大会,S-VC30

堀井雅恵・山岡耕春・國友孝洋・竹脇聡,2022,御嶽山地域と他の火山地域の火山防災教育に関する活動の比較,日本火山学会2022年度秋季大会,P2-24,https://doi.org/10.18940/vsj.2022.0_163

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は前年度までに訪問した火山地域について調査項目に従った分類作業を進め、御嶽山地域と比較する。また調査項目以外にも重要と思われる課題や課題間の相互の関係について質的研究の手法を用いて考察する。また、当該年度における御嶽山火山マイスターの活動記録をまとめ、これまでの活動記録を公開する。新型コロナウイルスの拡大以降に認定された御嶽山火山マイスターのインタビューを行う。ビジターセンターの利用者アンケートの記述部分を質的研究の手法を用いてまとめる。「頻度の低い火山災害についてどのように防災リテラシーを向上させていくか」についてポリシーブリーフを作成する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山岡耕春（名古屋大学環境学研究科）,金幸隆（名古屋大学環境学研究科）,竹脇聡（名古屋大学環境学研究科）,堀井雅恵（名古屋大学環境学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

竹下欣宏（信州大学教育学部）,秦康範（山梨大学総合研究部）,阪本真由美（兵庫県立大学減災復興政策研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：www.seis.nagoya-u.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山岡耕春

所属：名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

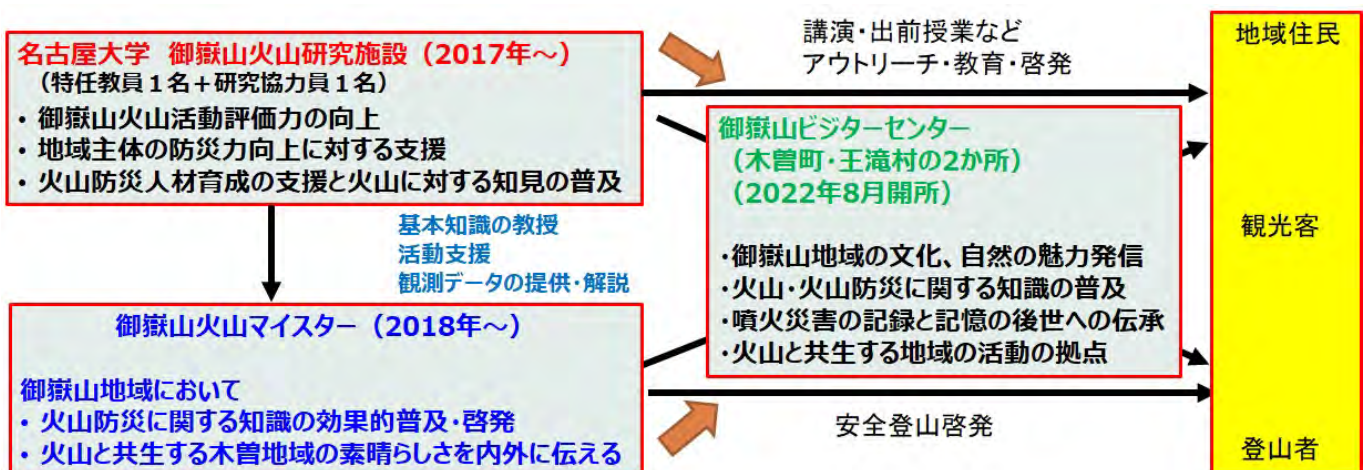


図1： 2014年噴火災害後の御嶽山地域の火山防災教育体制

設立趣旨・役割の比較

災害経験の継承 火山防災 普及・啓発・教育 観光・地域振興 その他

地域	御嶽山	有珠山	磐梯山	雲仙岳	桜島
拠点施設 担い手	御嶽山火山マイスター	洞爺湖・有珠火山 マイスター	磐梯山噴火記念館	雲仙岳災害記念館	桜島ミュージアム
通常	噴火災害を風化させない 火山の防災が最も進んで いる地域を目指す 未曾地域特有の 魅力を観光資源 として発信していく 地域の活性化に貢献 知識の普及啓発活動	噴火の記憶・経験を自らの 言葉で語り継ぐ 災害を軽減する知恵を語り 継ぐ 洞爺湖や有珠火山地域の 魅力発信 洞爺湖・有珠火山地域の 自然や特徴について学び 伝える 絶やさず続ける 人づくりの仕組み	地震・火山に対する啓発 自然災害による人命の保護 美しい景観が形成された 火山活動について学ぶ場 雨天時の観光場所 磐梯山周辺の自然を多く の人に知らせる 自然環境の保護	噴火災害を後世に伝える 住民の防災意識を高める 火山学習の中核施設と して総合的な学習機能を 担う 島原半島の地域振興 ・観光振興の推進 支援への感謝 調査研究	小学校での火山の授業 で防災意識を高める 桜島の構造や歴史を教 える「桜島ビジターセン ター」の運営 桜島をまるごと博物館 と考えると現地で本物を 見て楽しみながら学べ る地域を作ることを目 指し、観光や街づくりに 取り組む
発災時	情報収集し、専門家・関係 機関と登山者・住民とをつ なぐ	率先して避難行動を行う地 域の防災リーダー	情報発信は専門家任せ、 現地の様子を伝える程度 火山防災協議会のメンバー	発災前の防災意識の普及 が役割。行政の後方支援	観測機関からの情報収 集と外部への情報発信
特徴	地元にとっては噴火の直接 被害より観光業への経済的 打撃が大きかったため、防 災を強調したくない気持 ちがある。	30年に一度くらいの頻度 で噴火するので、地元の人 の火山との共生意識・防 災意識が高く、マイスター は地元在住の人に限られ る。	東日本大震災の経験もあり 地震災害や気象災害などの 防災も含めて広く扱って いる。教育・啓発の比重 も高い。	噴火災害の継承によって 住民の防災意識向上を図 る。発災時の支援への感 謝を伝える。	桜島は常に噴火している ので、防災リテラシーを 高めることが主目的では ない。地域振興の比重が 高い。

図2： 有珠山・磐梯山・雲仙・桜島の各地域における火山防災教育に関わる施設・組織の特色及び御嶽山

設立趣旨・役割の比較

災害経験の継承 火山防災 普及・啓発・教育 観光・地域振興 その他

地域	御嶽山	阿蘇山	富士山	箱根
拠点施設 担い手	御嶽山火山マイスター	阿蘇火山博物館	富士山科学研究所	箱根ジオミュージアム
通常	噴火災害を風化させない 火山の防災が最も進んで いる地域を目指す 未曾地域特有の 魅力を観光資源 として発信していく 地域の活性化に貢献 知識の普及啓発活動	火山に関する資料の収集・展 示（火口カメラ映像・噴出物 など） 学術調査研究 火山の防災面における調査 研究、および啓発普及活動 阿蘇地域における 社会教育活動に寄与する 博物館内に阿蘇山ビジター センターがある	富士山に関する様々な角度 からの学術調査研究 （自然環境・火山防災・ 環境共生）資料や情報の収 集 噴火災害を軽減するための噴 火履歴や予兆の研究 火山防災の地域学習 教育・情報、広報・交流 県民や来訪者に対する 知識の普及啓発、研究成果 の発信、地域との連携	火山の不思議や箱根の歴 史、自然の魅力をたっぷり 味わうことができる 全国から修学旅行、 地元小中学校に対する授 業 2015年の噴火の経緯の 展示など
発災時	情報収集し、専門家・関係 機関と登山者・住民とをつ なぐ	レベル3の際には阿蘇火山博 物館が現地対策本部となる。 火山防災協議会のメンバー	所長が火山専門家として火 山防災協議会のメンバーに なっているほか、県の防災課 に属する職員がいて、防 災局員として関わる。	大涌谷であり、噴火時に閉鎖 になるが、火山ガス濃度の 監視のため人が常駐して おり、火山ガス異常の時の 観光客の避難施設となる。
特徴	地元にとっては噴火の直接 被害より観光業への経済的 打撃が大きかったため、防 災を強調したくない気持 ちがある。	当初は観光を目的とした施 設だったが、経営が厳しく なり、2003年に経営者が 変わって再開した。方針 が見直され、地域の教育 や防災に果たす役割が大 きくなった。	県立の研究所なので、か ちがちな研究機関と異 なり、地域のシンクタンク としての機能。地元への 教育普及事業も、博物館 でも大きい。展示もある。	内外から観光客が多く、 修学旅行客も多い。さ わられる展示、動かせる 展示など体験型の展示が 多い。火山ガスで機器が 故障するため映像展示は 比較的少ない。

図3： 阿蘇山・富士山・箱根の各地域における火山防災教育に関わる施設・組織の特色及び御嶽山との比較

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

●昨年度までに改良を終えた5台を御嶽山山頂の試験観測地に配置し、改良機10台による実地試験を継続している。

改良により導入した記録優先モードにより、冬季の運用成績も改善され、昨年の報告から今日まで、新たに大きなトラブルは発生しておらず、厳しい環境下での運用が可能な機器として満足のいく実績を上げている。

2022年2月の火山活動の活発化時においても山頂部のデータ取得・解析に貢献した。

●現用機は2026年3月に終了予定の3Gサービスを使用しているため、昨年度から後継機の開発（4G、マルチキャリア対応）に着手している。アディコ社製QR001をベースとしているが、太陽光発電を利用する観測には不可欠な充放電モジュールを開発・装備する必要がある。本年度は、昨年度設計した充放電モジュールを4台分作成し、単体での動作試験を行なった。充放電モジュールをQR001で動作させるためのファームウェア開発を優先し、これを完成した。このため本年度予定していた後継開発機の仕様評価、防水筐体のレイアウト設計は来年度に送った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

●本課題で開発を行っている軽量装置は、被害地震直後の余震観測や火口域での観測など危険が伴うような場所でのすばやい観測に適した装置であり、建議の目標に書かれた「連続多点地震観測手法の高度化」に適した装置である。

●2022年2月からの御嶽山の火山活動の活発化（噴火警戒レベル2引上げ）の際は、取得データから解析を進め現象の把握に貢献した（「地震・火山噴火の予測のための研究」）。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

前田裕太・寺川寿子・山中佳子・堀川信一郎,2022,2022年2月～3月の御嶽山の地震活動活発化について,日本火山学会秋季大会,A3-05

Yuta Maeda, Toshiki Watanabe, Toshiko Terakawa, Yoshiko Yamanaka, and Shinichiro

Horikawa,2023,Subsurface structure and recent activity of Mt. Ontake, central Japan,IAVCEI

2023 Scientific Assembly

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

・改良を施した現用機（3G通信）を使用した試験観測を継続する。

・作成した充放電モジュールを、後継機（4G通信）に搭載し、運用試験を行う。

・後継機に使用している4G通信モジュールについて汎用性・有効性の再検討をおこなう。

・後継機を防水筐体に収納する際のインターフェイスなどのレイアウト設計（現用機との置換方法）の検討をおこなう。

・後継機における，間欠送信のファームウェア作成，間欠送信での消費電力，通信速度などの仕様評価を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科），前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究科），寺川寿子（名古屋大学大学院環境学研究科），堀川信一郎（名古屋大学大学院環境学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター
電話：052-789-3046
e-mail：
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子
所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

(1) 実施機関名：

情報通信研究機構

(2) 研究課題（または観測項目）名：

先端リモートセンシングによる地震及び火山の被害状況把握技術の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

航空機SARを用いた地震及び火山による災害状況を把握する技術の発展的な開発を行うとともに、これまで収集した航空機SARデータの公開を推進する。災害時等には航空機SARの積極的な運用を行う。

また、航空機SAR以外のリモートセンサを活用する技術を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

NICTは、世界最高レベルの機能・性能を有するPi-SAR X3を令和2年度に開発した。令和3年度は、Pi-SAR X3の初期機能・性能確認試験を実施して、試験観測を行える体制を構築する。令和4年度からは、Pi-SAR X3の試験観測を開始し、土地利用、森林破壊、海洋油汚染、海洋波浪等、地球環境に関するメカニズムを解明するための研究や地震、津波、火山噴火、洪水等の自然災害における被災状況把握のための研究等を実施予定。

また、地震や火山等の自然災害発生時には、その被災状況把握のための観測法や観測データの解析法について研究開発を行なっていく予定。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

昨年度に引き続きPi-SAR X3の初期機能・性能確認試験を実施してシステムの不具合箇所を修正し、来年度からのPi-SAR X3の15cm分解能による各種実証観測を行える体制を整えた。また、初期機能・性能確認試験の合間に、富士山、浅間山、草津白根山、焼岳の試験観測を実施し、15cm分解能での火山観測に成功した。図1に富士山、浅間山、草津白根山、焼岳の試験観測で得られた画像を示す。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

Pi-SAR X3による15cm分解能での火山観測が成功したことで、新たな火山の観測を推進するための体制が整備され、今後の火山災害の軽減に貢献できる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

上本 純平,2022,合成開口レーダーによる高さ計測~代表的な手法とその応用解析手法の紹介~,電波技術協会報誌 (FORN)

児島 正一郎,2022,世界最高分解能15cmの航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X3が拓く地表面観測,地震本部ニュース2022秋

牛腸 正則,2022,Deconvolution ISTA: A solver for multi dimensional convolution problems with low computational complexity,IEICE Communications Express,11,784,doi:10.1587/comex.2022COL0023

・学会・シンポジウム等での発表

上本 純平,2022,建物フットプリントにおけるSAR偏波の立地方位角依存性について,日本リモートセンシング学会 学術講演会,A21

児島 正一郎,2022,Pi-SAR X3の分解能確認試験と画像チューニング,日本リモートセンシング学会 学術講演会

牛腸 正則,2022,円軌道合成開口レーダを用いた火山火口観測 ~ 理論検討 ~,電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会,SANE2022-57

牛腸 正則,2022,Deconvolution ISTAを用いたSARの信号処理的な高分解能化-位相情報保存の検証-,電子情報通信学会 ソサイエティ大会,B-1-106

山崎祐輝,2022,3パスSAR強度画像を用いた地表面の3次元計測と性能評価,映像情報メディア学会メディア工学研究会サマーセミナー

児島 正一郎,2022,NICTにおける航空機搭載合成開口レーダーの開発について,名古屋大学宇宙地球環境研究所 第8回航空機観測セミナー

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度以降、Pi-SAR X3の各種実証観測を実施することで、土地利用、森林破壊、海洋油汚染、海洋波浪等、地球環境に関するメカニズムを解明するための観測技術の高度化や地震、津波、火山噴火、洪水等の自然災害における被災状況把握のための観測技術の高度化を実施する予定。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

情報通信研究機構 電磁波研究所
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：情報通信研究機構広報部
電話：042-327-5322
e-mail：publicity@nict.go.jp
URL：http://www.nict.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

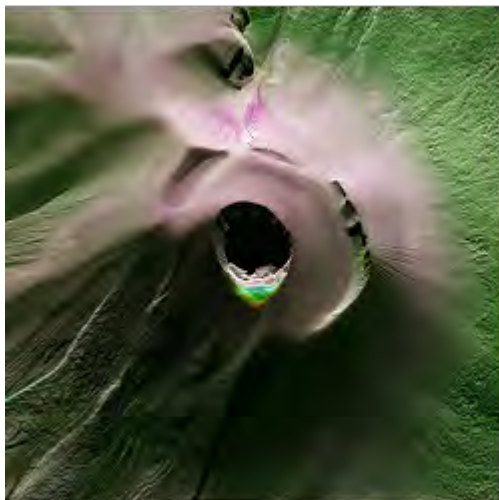
氏名：児島 正一郎
所属：情報通信研究機構 電磁波研究所



(a) 焼岳



(b) 富士山



(c) 浅間山



(d) 草津白根山

図1 Pi-SAR X3による火山観測

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1)多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究

・JVVDN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、JVVDNシステムに実装して統合し、情報プロダクトとして提供した。

・火山体直下の微細な地下構造を把握・モニタリングすることを目的として、自然地震のS波および雑微動の相互相関関数中に卓越する表面波を用いて地震波異方性強度の空間分布およびその時間変化を自動的に推定するシステムを開発した。

(2)火山リモートセンシング技術の開発研究

・十勝岳・吾妻山における地上設置型レーダー干渉計試験観測を実施した

・ARTS-SEのデータの処理手法の開発（ARTS-SEカメラ型センサ派生STIC-Pによる火山試験観測、斜め観測データの処理技術開発、火成岩の赤外分光放射率計測。）を行った。

・望遠分光装置による実験観測（G-STIC, STIC-P）による火山試験観測、データ処理技術開発を進めた。

(3)噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

・水蒸気噴火の評価について、地震波と空気振動から噴出量の割合を推定する手法を開発した。溶岩流・火砕流シミュレーションコードを開発した。

(4)火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究

・那須岳噴火を想定した「噴火時対応タイムライン」を作成した。

・作成した噴火時対応タイムラインの実効性を検証するための防災訓練を実施した。

・防災訓練の結果を受けて、噴火時対応タイムラインと自治体が主体的に訓練を実施するための「訓練実施マニュアル」を改訂した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

火山災害の予測力・予防力・対応力向上に関する研究開発

(1)火山活動の予測技術開発

火山観測網やリモートセンシング技術、物質科学調査等を活用した噴火のリアルタイム把握技術とシミュレーション技術の連携により、噴火によるハザードの即時予測技術を開発する。さらに火山活動の推移予測の研究を行う。

(2)レジリエンスの向上のための取組

火山ハザードの把握と評価から、社会の曝露度・脆弱性を鑑みたレジリエンス向上のための情報の作成に関する研究開発を行う。

(3)JVDNシステムの活用と連携推進

社会のレジリエンス向上に資する情報プロダクツを提供し、JVDNシステム（火山観測データ一元化共有システム）の利活用を行う。さらに、JVDNシステムを活用し、分野や組織を超えた研究実施体制の強化・充実を図る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国立研究開発法人 防災科学技術研究所火山防災研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課

電話：029-851-7611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤田英輔

所属：火山防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・津波予測技術の戦略的高度化研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

防災科研陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS) 観測データに加えて、GEONET等様々な機関のデータや機動的な調査観測のデータを最大限活用した研究開発を実施することにより、地震および津波にかかる防災・減災に貢献しうる情報ならびにそれを提供するための手法を開発することを目指す。特に、陸海統合地震津波火山観測網より得られるデータのモニタリング研究により、多様な情報からなる地震カタログの作成を進めるとともに、地震発生の長期評価の発展につながる地震発生モデル構築を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網MOWLAS や必要に応じて実施する臨時観測、その他国内外の機関より

公表される観測データから、通常の地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解、断層モデル等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を行い、その活動状況を逐次的にモニタリングすることで、多様な情報からなる地震カタログを作成する。得られたカタログについて、防災科学技術研究所による別課題「巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究」と協力し、モニタリング成果を活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション研究を行う。本課題に得られた成果を国民に対してわかりやすく情報発信出来るような工夫を進める。また、地震調査委員会等の政府委員会に随時提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

MOWLAS等の観測データを用いた地殻活動モニタリングを継続するとともに、その高度化並びにモニタリング結果の評価に努めた。

2011年東北地方太平洋沖地震における浅部大すべりの原因を明らかにするため、震源直上の水圧計による津波波形に海陸の地殻変動観測データを加えて断層モデルの推定を行ったところ、宮城県沖で海溝軸まで進展する大すべりが推定された一方、海溝軸付近の応力降下は小さく、深部の震源近傍で大きな応力降下が推定された。この結果は、東北地震を引き起こした歪みエネルギーは、深部のプレート間の力学的固着により蓄積されていたことを示唆する。東北地方太平洋沖海域においては、S-net観測点で記録された強震記録のS波データをスペクトルインバージョン法により解析し、震源スペクトル、伝播経路、サイト増幅の基本的な特性を求めた。その結果、応力降下量は震源の深さとともに増加し、太平洋プレート内の浅い地震では、同じ深さのプレート間地震より高い値を示すことを示した。また、サイト増幅のピーク周波数は海溝軸外側の太平洋海盆上の観測点ではほとんどが2Hzより高く、海溝軸内側の多くの観測点では2Hzより低いという特徴があることを示した。一方、この海域で発生したいくつかの顕著な地震活動に対し、構造探査結果を参照して設定した速度構造並びに推定した堆積層厚に基づく観測点補正等を用いた震源決定を行った。海溝軸周辺からアウターライズ領域については、2011年岩手県沖地震の余震域にあたる北緯39.5度近傍では地震活動がプレート境界に集中しており、海溝軸からプレート境界の深度10kmの間ではプレート境界に沿う地震活動が見られないことを示した。さらに、S-net波形を用いたCMT解析実施可能性の検討を進めた。M6級地震を対象としてF-net MT解及び三次元速度構造を仮定した理論波形を計算し、S-net観測記録と比較したところ、海溝軸外側で発生する地震において、F-net MT解に基づく理論波形とS-net観測波形で有意な違いが見られた。

能登半島から山形県沖で実施された反射法探査の記録を陸域の観測点で読み取り、地震波トモグラフィ解析を行った。その結果、能登半島と佐渡島との間の浅部に地震波速度の低速度域が存在することが明らかになった。また、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震、2019年山形県沖の地震はP波の高速度域と低速度域の境界で発生したことを示した。

南海トラフ海域においては、南海トラフ周辺域の地震活動を迅速かつ高精度に把握するため、三次元地震波速度構造を用いた自動震源計算システムの開発並びに試験運用を行った。日向灘における2022年1月以降の地震活動を用いて、システムの動作確認を行ったところ、三次元構造を用いることで、気象庁一元化震源よりも全体的に数km浅くなり、活動域の上端が構造探査から推定されるプレート境界に近接する結果となった。東海地域でプレート境界周辺の反射構造を推定し、高精度に再決定された深部低周波地震の震源分布と比較した結果、プレート境界周辺で見られる明瞭な反射体は深部低周波地震の活動域とおおよそ一致することが分かった。南海トラフ浅部域に発生する微動活動に対し、DONET観測記録を用いたモニタリングシステムを開発し、試験運用を開始した。本システムにより、南海トラフ浅部域で発生した微動の震源及びエネルギー輻射量を評価することができるようになった。日向灘から南西諸島海溝に沿った領域において、気象庁一元化震源カタログと超低周波地震カタログを比較することで、それぞれの活動の時空間推移の詳細を調査した。その結果、種子島・屋久島からトカラ列島の沖では地震・超低周波地震が同期する活動が見出された一方、日向灘や奄美大島沖ではこのような傾向が明瞭ではなく、プレート間の挙動の特徴を表している可能性があることを示した。

南海トラフで発生するSSEに対し、複数地震サイクルのスケールにわたって数値計算した際に再現された短期的SSEのセグメント形成について、実際のスロー地震活動と比較検討を行った。大局的な特徴については類似性が見られたが、地域によっては実際の微動活動の方がより細かくセグメント化

されている傾向があり、実際には更なる不均質性が関与している可能性があることを示唆する結果となった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

海溝型巨大地震に対しては、様々なデータの統合解析から、東北地方太平洋沖地震時の歪みエネルギー蓄積状況を示すことに成功した。また、通常の地震活動やスロー地震活動の現況を詳細に把握するモニタリング技術の開発並びにスロー地震の数値シミュレーションの精緻化を通じ、巨大地震震源域の想定や震源域への応力荷重を評価するための基礎となるデータ構築に努めた。内陸地震については、地下構造と詳細な震源分布の対比から、規模の大きな地震の震源域となり得る場所に関する知見を収集した。得られた成果は地震調査委員会や南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会等に提出され、現況評価資料として活用された。本件による研究成果は地震津波現象の予測力の向上につながるだけでなく、現況並びに将来発生する地震像の把握を通じて、地震被害低減のための予防力の強化に寄与することが期待される。そのため、今後はモニタリング並びにシミュレーション項目の多様化、精緻化を進めるとともに、それらの成果を巨大地震発生や連鎖の物理プロセス解明に向けた研究につなげる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Dhakal, Y.P., T. Kunugi, H. Yamanaka, A. Wakai, S. Aoi, and A. Nishizawa, 2023, Estimation of source, path, and site factors of S waves recorded at the S-net sites in the Japan Trench area using the spectral inversion technique, *Earth Planets Space*, 75, 1, DOI: 10.1186/s40623-022-01756-6, 査読有

Kubota, T., T. Saito, and R. Hino, 2022, A new mechanical perspective on a shallow megathrust near-trench slip from the high-resolution fault model of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 68, DOI: 10.1186/s40645-022-00524-0, 査読有

Matsubara, M., T. Ishiyama, T. No, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, and S. Kamiya, 2022, Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Earth Planets Space*, 74, 171, DOI: 10.1186/s40623-022-01724-0, 査読有

西澤あずさ, 2022, 2022年3月16日の福島県沖の地震の震源域近傍の地震活動, *地震予知連絡会会報*, 108, 119-120, 査読無

太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦, 2022, 室戸沖～紀伊水道沖の微動活動（2021年12月～2022年3月）, *地震予知連絡会会報*, 108, 495-497, 査読無

・学会・シンポジウム等での発表

松原誠・石山達也・野徹雄・植平賢司・望月将志・金沢敏彦・高橋成実・神谷 眞一郎, 2022, 日本海沿岸の反射法地震探査のデータも活用した三次元地震波速度構造, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, SCG50-05

Matsuzawa, T., 2022, Development of a multi-GPU and multi-node numerical code for a large-scale simulation of slow-to-fast earthquakes, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, SCG44-20

松澤孝紀・堀高峰, 2022, 規模計算とSlow-to-Fast地震学 —モデリングと予測にむけて—, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, STT41-02

関口渉次, 2022, 波面の観測点からの逆伝播を利用した簡易震源推定方法, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, STT38-P07

汐見勝彦・近江崇宏・尾形良彦・澤崎郁, 2022, リアルタイム余震活動予測システム：最近5年間の予測実績と検証, *日本地球惑星科学連合2022年大会*, SSS11-P01

浅野陽一, 2022, 南西諸島北部域における地震・超低周波地震活動の同期, *日本地震学会2022年度秋季大会*, S09-07

久保田達矢・齊藤竜彦・日野亮太, 2022, 直上津波・測地観測に基づく2011年東北地震の浅部大すべりモデリング：浅部不均質構造による応力変化への影響, *日本地震学会2022年度秋季大会*, S08-20

松原誠・佐藤比呂志・越谷信,2022,地震波速度急勾配域で発生した2022年3月18日岩手県沖の地震,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-10
松澤孝紀・芝崎文一郎,2022,数値モデリングにより再現された南海トラフにおける短期的スロースリップのセグメント,日本地震学会2022年度秋季大会,S08P-15
西澤あずさ・望月将志・植平賢司,2022,S-net（日本海溝海底地震津波観測網）データを用いた最近6年間（2016年4月－2022年3月）の震源分布,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-14
太田和晃・汐見勝彦・松澤孝紀,2022,南海トラフにおける浅部微動の地震波エネルギーの空間分布,日本地震学会2022年度秋季大会,S09-11
関口渉次,2022,波面の観測点からの逆伝播を利用した簡易震源推定方法の実データへの適用,日本地震学会2022年度秋季大会,S02P-02
汐見勝彦,2022,紀伊半島下フィリピン海プレート最上部の詳細構造,日本地震学会2022年度秋季大会,S06-10
汐見勝彦・松原誠・関口渉次,2022,三次元地震波速度構造を用いた自動震源決定システムの構築～南海トラフ周辺を対象として,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-18
上野友岳・浅野陽一・武田哲也・小原一成,2022,東海地域におけるスロー地震発生域の地下構造,日本地震学会2022年度秋季大会,S06P-02
山谷里奈・久保久彦・汐見勝彦・武村俊介,2022,S-net海底地震計を用いた日本海溝で発生した地震のセントロイド・モーメントテンソルインバージョン,日本地震学会2022年度秋季大会,S09-P22
Matsuzawa, T.,2022,Development of a numerical code of quasi-dynamic slow-to-fast earthquake simulations for large-scale computing in a multi-node GPU and CPU environment,AGU Fall Meeting 2022,T46A-07
Ohta, K., K. Shiomi, and T. Matsuzawa,2022,Spatial variation of shallow tectonic tremor energy radiation in the Nankai trough,AGU Fall Meeting 2022,T31A-05

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網MOWLAS等の観測データから、通常の地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を継続して実施する。本課題で得られたカタログを活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション技術の開発を行うとともに、地震調査委員会等の政府委員会に随時資料提供を行う。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課
電話：029-856-1611
e-mail：toiawase@bosai.go.jp
URL：http://www.bosai.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：汐見勝彦
所属：防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第4期中長期計画期間が終了する平成34年度末までの到達目標を記述する。

今後発生が懸念される首都直下地震をはじめとする内陸部を震源とする地震、南海トラフや日本海溝等における海溝型巨大地震およびそれにともなう津波による被害の軽減に向けた研究開発に取り組む。具体的には、室内実験および大規模シミュレーション等の成果に基づき、地震発生長期評価の高度化に資する地震発生モデルを構築する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第4期中長期計画期間前半の平成31年度末までの計画概要を記述する。室内実験によって明らかにした破壊法則や観測から得られた地震発生場等の知見を大規模シミュレーションに組み込み、南海トラフにおける海溝型巨大地震、及び内陸大地震の発生多様性を検討し、大地震発生シナリオ作成の高度化を実現する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

大地震発生シナリオの構築手法で最も重要となるプレート境界の力学的固着域を推定する手法を開発し、南海トラフの力学的固着域を推定した。そして、推定した力学的固着によって蓄積される歪みエネルギー量およびプレート境界における地震性・非地震性の摩擦特性を想定することで、M8クラスの前震、前震に伴う余効すべり、余効すべりによりトリガーされる本震巨大地震といった連鎖的に発生する地震発生シナリオを提案した。

超大型岩石摩擦試験機を製作するとともに、二つの異なる断層粗さで実施した摩擦実験データを解析し、断層の表面形状によって断層強度や震源核形成過程、破壊伝播過程が大きくことなることを明らかにした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
応力蓄積量の定量化と摩擦法則の解明に基づく地震発生長期予測手法の開発に対して貢献する。実用化に向けて更なる研究開発を進める。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Saito, T. and A. Noda, 2022, Mechanically coupled areas on the plate interface in the Nankai trough, Japan and a possible seismic and aseismic rupture scenario for megathrust earthquakes, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 127, doi:10.1029/2022JB023992, 査読有, 謝辞無

Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, H. Kawakata, K. Mizoguchi, K., and S. Takizawa, 2023, Fault strength and rupture process controlled by fault surface topography, Nature Geoscience, 16, doi:10.1038/s41561-022-01093-z, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

相模トラフ等における力学的固着を推定し、応力蓄積モデルを構築する。応力蓄積モデルをベースに、現在および歴史的な地震活動の知見を踏まえ、巨大地震とスロースリップの発生モデルを構築する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

国立研究開発法人 防災科学技術研究所地震津波防災研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課

電話：029-851-7611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：齊藤竜彦

所属：防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

自然災害ハザード・リスク評価と情報の利活用に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(4) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

平時から発災時、復旧・復興時の幅広いタイムスケールの中で、各セクターの適切な対応を支援できるよう次の目標を達成する。全国地震動予測地図及び全国を対象とした津波ハザード評価の高度化とともに、全国概観版及び地域の詳細な情報提供を目的とした地域詳細版の地震及び津波のリスク評価研究を実施し、各セクターによるリスクマネジメントを支援可能にする。風水害や土砂災害等の各種自然災害のハザード・リスク評価を統合したマルチハザード・リスク評価手法を開発する。災害情報収集技術や実被害情報と推定情報の融合技術によるリアルタイム被害推定・状況把握システムを開発し、情報提供可能にする。ハザード・リスク評価やリアルタイムシステムの開発基盤として、防災シミュレーションプラットフォームを開発する。研究成果の地域での防災対策や国際的な枠組みでの活用を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

<2019年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、地域への展開を支援・促進するためモデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手

法の開発に着手する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を行う。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めつつ、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験公開を行う。モデル地域を対象とした津波ハザード評価手法の開発に着手する。

<2020年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を進める。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の試験提供を行う。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード評価手法を高度化し、リスク評価手法の開発に着手する。

<2021年度>

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域の拡大を図り、地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の本格的な提供を検討する。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の本格的な提供を検討する。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を進める。

<2022年度>

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震ハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。全国を対象とした津波ハザード・リスク評価を実施するとともに、モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。これらの検討を踏まえた津波のハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。

<2023年度>

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震及び津波のハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震及び津波のハザード・リスク情報ステーションを構築する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震ハザード評価については、シナリオベースの長期間平均ハザードを評価するためのモデル構築を進めるとともに、2022年起点の確率論的地震動予測地図の作成し、地震ハザードステーション（J-SHIS）よりNIED作成版として公開した。工学的利用に資する応答スペクトルに関する地震動ハザード評価を行い、応答スペクトルに関する地震動ハザード評価（試作版）として地震本部より公表された。津波ハザード評価については、千島海溝・日本海溝・相模トラフ・南海トラフ沿いで発生する地震を対象に、4海域を統合した確率論的津波ハザードを試算した。南海トラフ巨大地震の発生の多様性を踏まえたリスクの試算として、過去に発生した履歴が知られており、また災害対応のガイドラインが定められている半割れケースに着目して、先行する半割れケース発生後のハザードや人口分布の変化を考慮した人的被害リスクを試算した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：マルチハザードリスク評価研究部門
電話：
e-mail：
URL：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村洋光
所属：防災科学技術研究所

(1) 実施機関名：

防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

基盤的観測網の運用

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）及び首都圏地震観測網（MeSO-net）を安定的に運用するとともに、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）である、陸域の基盤的地震観測網(高感度地震観測網(Hi-net)、強震観測網(K-NET)・基盤強震観測網(KiK-net)・広帯域地震観測網(F-net))・基盤的火山観測網(V-net)、海域の基盤的観測網(日本海溝海底地震津波観測網(S-net)・地震・津波観測監視システム(DONET))および首都圏地震観測網（MeSO-net）について安定的な運用を継続するとともに、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。さらに、南海トラフの想定震源域のうちDONETではカバーされていない海域（高知県沖～日向灘）に、南海トラフ海底地震津波観測網(N-net)を構築する。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の運用を行いつつ、これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデー

タとの共有化を引き続き進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献する。

MOWLAS等によって得られたデータを定常的に蓄積し、波形データベースを構築する。また、「日本列島標準モデル」に組み込む各種構造の推定・多機能地震カタログの整備を進める。

MOWLASデータを用いた解析結果等については、発災時を含め地震調査委員会等の関係機関へ速やかに提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金により実施される。また、防災科学技術研究所の中長期計画は2022年度末までなので、それ以降の計画については見直す可能性がある。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）及び首都圏地震観測網（MeSO-net）を安定して運用することにより、地震・低周波地震・超低周波地震・スロースリップイベントについてイベント検出、震源位置・震源メカニズム解・断層モデルの推定、余震活動の予測等を継続して行った。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。

2022年1月15日13時（JST）頃のトンガ諸島付近のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山での大規模噴火発生後にS-netとDONETの海底圧力計で観測された記録から、日本周辺に到来した海洋波の性質を調べた。日本国内での大気圧の観測データと海底圧力データを合わせた解析を行った結果、顕著な海洋波の波群に対応する形で気圧波の波群が複数到来していることが示され、トンガ噴火によって放出された複数の気圧波と海洋波との相互作用が日本周辺で観測された複雑な海洋波の形成に寄与していたことを示唆した。また、噴火から1週間分の観測された海底圧力観測記録をデータベースサイトより公開した。

石川県能登地方において2022年6月19日15時08分にMj5.4、20日10時31分にMj5.0の地震が発生した。これらの地震は、2000年代前半以前からの活動域の南に位置するとともに、大局的には2021年夏ごろからの地震活動域内で発生した。この2021年夏ごろ以降の活動域において、比較的地震活動が低調であった場所で19日15時08分の地震が発生し、その後その東側で20日10時31分の地震が発生した。陸海統合地震津波火山観測網等を用いた三次元地震波速度構造や観測点補正值(Matsubara et al., 2019)を用いて震源を再決定した結果は、震源域がその東西から高速度域に挟まれていることを示した。震源域では、2020年11月以前は地震活動が低調で地震発生層の下限(D90)は10.0~14.0kmであったが、2020年12月以降は活発化し、地震発生層の下限(D90)は13.0~17.5kmと深くなったことがわかった。6月19日の地震は、2020年12月以降の活発な地震活動のクラスターの間で、2020年12月以降の活動からのD90(14.5km)よりも浅部(12.6km)で発生したことを示した。

2022年11月9日茨城県南部の地震（Mj4.9、深さ51 km）では、震央の北東36 kmに位置する茨城県震度計の城里町小勝で震度5強を観測し、その他の地点の最大震度は4であった。K-NET及びKiK-netの最大加速度、震度分布では、茨城県南部の地震において震源直上よりも北部で地震動が大きい事例がしばしば見られる。観測された震度とその地域性について検討した結果、2022年の地震では城里町小勝周辺の観測点での周期0.1秒と0.15秒の加速度応答値が過去の同規模の地震と比べて大きいことがわかった。城里町小勝で震度5強が観測された理由として、この短周期帯域の地震波が浅部地盤の影響でさらに増幅し、震度計算用のフィルタ後も一定以上の振幅が残った可能性が示唆された。

N-netにおいては、海底観測機器の製造に入る前に水圧計の長期信頼性確認等のための確認試験を実施した。宮城県串間市の新設陸上局では、陸上装置等を設置するための局舎建物が完成した。高知県室戸市の陸上局では、既存のDONET2の局舎を共用するための局舎内および周辺の整備工事を実施している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

浅野陽一,2022,日本周辺における浅部超低周波地震活動(2021年11月~2022年4月),地震予知連絡会

会報,108,5-8,査読無

浅野陽一,2023,日本周辺における浅部超低周波地震活動(2022年5月~10月),地震予知連絡会会報,109,査読無

木村武志,2022,西南日本における短期的スロースリップイベント(2021年11月~2021年4月),地震予知連絡会会報,108,486-494,査読無

木村武志,2023,西南日本における短期的スロースリップイベント(2022年5月~2021年10月),地震予知連絡会会報,109,査読無

Kubo, H., T. Kubota, W. Suzuki, S. Aoi, O. Sandanbata, N. Chikasada, and H. Ueda,2022,Ocean-wave phenomenon around Japan due to the 2022 Tonga eruption observed by the wide and dense ocean-bottom pressure gauge networks,Earth, Planets and

Space,74,104,<https://doi.org/10.1186/s40623-022-01663-w>,査読有

松原誠,2022,海域観測網を含めた三次元地震波速度構造により再決定した2022年1月22日の日向灘の地震の震源分布,地震予知連絡会会報,108,558-561,査読無

松原誠・北佐枝子,2022,2022年1月22日の日向灘の地震周辺の三次元地震波速度および減衰構造,地震予知連絡会会報,108,562-564,査読無

松原誠,2022,三次元地震波速度構造を用いて決定した2022年3月16日福島県沖の地震周辺の震源分布,地震予知連絡会会報,108,121-122,査読無

松原誠,2022,三次元地震波速度構造を用いて決定した2022年3月18日岩手県沖の地震周辺の震源分布,地震予知連絡会会報,108,123-124,査読無

松原誠,2022,三次元地震波速度構造を用いて決定した能登半島の震源分布,地震予知連絡会会報,108,308-309,査読無

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成,2022,西南日本における深部低周波微動活動(2021年11月~2022年4月),地震予知連絡会会報,108,479-485,査読無

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成,2023,西南日本における深部低周波微動活動(2022年5月~2022年10月),地震予知連絡会会報,109,査読無

西澤あずさ,2022,2022年3月16日の福島県沖の地震の震源域近傍の地震活動,地震予知連絡会会報,108,119-120,査読無

太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦,2022,室戸沖~紀伊水道沖の微動活動(2021年12月-2022年3月),地震予知連絡会会報,108,495-497,査読無

太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦,2023,南海トラフ浅部の微動活動(2022年5月-2022年10月),地震予知連絡会会報,109,査読無

澤崎郁,2022,2021年1月22日日向灘の地震による高周波エネルギー輻射量,地震予知連絡会会報,108,565-568,査読無

関口渉次,2022,南海トラフ周辺における最近の傾斜変動(2021年11月~2022年4月),地震予知連絡会会報,108,416-432,査読無

関口渉次,2023,南海トラフ周辺における最近の傾斜変動(2022年5月~2022年10月),地震予知連絡会会報,109,査読無

・学会・シンポジウム等での発表

Aoi, S., T. Takeda, T. Kunugi, M. Shinohara, T. Miyoshi, K. Uehira, M. Mochizuki and N.

Takahashi,2022,Newly Development and Construction of Nankai Trough Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis: N-net,AGU fall meeting 2022,NH22C-0430

Takeda, T., S. Aoi, T. Kunugi, M. Shinohara, T. Miyoshi, K. Uehira, M. Mochizuki and N.

Takahashi,2022,System Design of Nankai Trough Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis (N-net) with Enhancement of Reliability for Long-Term Operation,AGU fall meeting 2022,NH22C-0431

Shinohara, M., S Aoi, M. Mochizuki, K. Uehira, T. Yamada, T. Kunugi, T. Takeda, R. Noda and S. Iwai,2022,Field Evaluation of New Silicon Resonant Sensor Using MEMS Technology for Ocean Bottom Pressure Observation,AGU fall meeting 2022,NH22C-0432

青井真・武田哲也・功刀卓・篠原雅尚・三好崇之・植平賢司・望月将志・高橋成実,2022,南海トラフ海底地震津波観測網 N-net の開発と構築,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5回-

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続きMOWLAS及びMeSO-netを安定的に運用することにより、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、関係機関における研究・技術開発、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：防災科学技術研究所 企画部広報課
電話：029-863-7672
e-mail：toiawase@bosai.go.jp
URL：http://bosai.go.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：青井真
所属：地震津波火山ネットワークセンター

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南アフリカ大深度金鉱山からの地震発生場における応力と物質の直接調査

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの5年間で成功した、上述の、世界初の地震発生深度での直接総合調査を、次の5年間でさらに推し進める。それによって、地震発生場の地質と構造、絶対応力の空間変化、摩擦特性や、地震発生場の破壊と地殻流体との物理化学的関係の理解を深める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

次の5年間では、ICDP DSeis計画(2016-2019)で地震発生場から掘削回収できたコアの岩石力学・地質学・化学的解析を進める。孔内物理検層や、地震波反射法探査、地震観測のデータとの比較も進める。これらには他予算や高知コアセンターとの共同利用も活用する。他予算がさらに獲得できれば、追加の掘削や孔内物理検層、孔内観測を行ったりする。これらを進めるために、本計画では南アフリカなどでの渉外活動や、アメリカとドイツが主導する水とガスの観測との協力・連携も続ける。

平成31/令和元年度は、現有コアとデータの解析を進める。採択されている高知コアセンター共同利用によってコアの解析を進める。採択されている別予算で国際ワークショップを開催し、成果をまとめ、追加掘削計画を固める。

令和2年度以降は、地震発生場の直接調査範囲を拡大するための新たな他予算の獲得を目指す。獲得がなかった場合は掘削や検層を加え、孔内稠密地震観測網の構築を始める。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

過年度報告済み事項の雑誌論文出版

昨年度、本計画の年次報告を提出した後、6編の論文が5つの査読付きジャーナルと1つの国際シンポジウム論文集に出版された。

小笠原・他(2022)とYabe et al. (2022)は、それぞれ、Cooke4鉱山の採掘前線前方の応力集中域とMponeng鉱山のMw2.2の地震発生場から掘削回収したコアを用いて、3次元応力場の拘束を試み、成功した。

2018年までに、地表下2.9~3.4kmのM5.5地震の余震発生帯の上縁部付近を、2本の掘削孔が貫通し、これらを含む3本の掘削孔から総延長1.6kmの連続円柱状試料が回収され、孔内検層が成功していた。Mngadi et al. (2022)とMiyamoto et al. (2022)は、余震発生帯をホストする地質構造から、角閃石・黒雲母とともに20wt%を超えるタルクが見つかったこと、粉末ガウジの摩擦係数が小さく速度強化性を示したことなどを報告した。Nkosi et al.(2022)は、多くのコアのporosityが2%以下であることや、余震発生帯の母岩（珪長質；堆積変成岩； V_p 6km/s弱、密度約2.7g/cm³）、および、塩基性・超塩基性のシル・ダイク複合体（ V_p >6.5km/sや密度>3g/cm³のものもある）について主に力学的物性をまとめた。Lamprophyreダイクが、余震発生帯のホスト構造であったこと、そして、シル・ダイク複合体と母岩の音響インピーダンス比と3次元反射法探査データとの間に整合性があることなどを報告した。Nisson et al. (2022)は、上記のLamprophyreとは別のダイクにおいて、超塩水脈を発見し、溶存物、母岩の同位体・化学分析を進め、孔内の超塩水の滞留時間（12億年）や母岩との相互作用、緑色片岩変成相から現在の55°Cに至るまでいくつかの地下水イベントがあることを描出した。

M5.5地震の余震発生帯付近に到達した掘削孔の調査活動の再開

2022年1月と10-11月に、岩盤の磁化率、孔内水の温度と電気伝導度などを孔内検層することができた。コロナ禍で中断していた現地活動を3年ぶりに再開できたことになる。水温・水伝導度は、掘削終了直後の2018年の検層結果に比べ有意な増加を示していた。

M5.5地震の余震発生帯上縁部から回収物質の分析の進展

JpGU2022では、美間・他が、452個のコアから測定された応力が、余震発生帯上縁部の応力抜けと応力集中を描出していることを報告した。藤田・他と大場・他は、余震発生帯をホストしたLamprophyreダイク中で、intactなコアからコアロスゾーンに至るまでの2~3m間に、鉱物・化学組成や弾性波に顕著な変化が見られたことを報告した。小笠原・他は、これらのとりまとめと、10億年前の年代が決定された超塩水の分析結果などについて報告した。南アフリカ地質学会のGeoCongressではOgasawara et al. (2023)がKeynoteでこれらをReviewした。Yabe et al. (2023)は、湿潤状態でタルクを含有する上述の試料の摩擦実験を行い、他の文献で報告されている非常に小さな摩擦係数と、滑り速度依存性を確かめることができた。

高知大学海洋コア総合研究センターにおいて上記の2~3mの区間のコアから研磨薄片が作られ、EPMA9元素特性X線強度マップデータの取得が2021年度に行われていた。2022年度はその機械学習鉱物分類が進んだ。また、京都大学地質学鉱物学教室のSEM-EDSによって9元素以外の元素の有無や各元素の定量が行われた。その結果、EPMAデータの機械学習鉱物分類が概ね正しく、Lamprophyreダイク内のコアロスゾーンに向かった鉱物変質の詳細を描出することができた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

掘削調査に成功した余震発生帯の上縁部付近では、母岩の密度と地震波速度が上部地殻並に高く、そこに貫入した超塩基性ダイクが余震発生帯のホスト構造であるとわかった。また、その物理・鉱物・化学分析に基づいて、地震発生場において破壊と水と岩石の総合作用（変質）の空間分布を明かにし始めることができた。応力も実測できている。これらの成果は「災害軽減の貢献」に速結するものではない。しかし、世界で初めて成功した余震発生帯上縁部付近の直接調査であり、建議の項目「1地震・火山現象の解明のための研究」の「1(5)地震発生を支配する場の解明」に資しうる。

回収済みの岩石コア試料の分析や、掘削済みの孔内調査や観測、追加掘削調査が進めば、知見のさらなる増加が期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

小笠原宏・美間良大・石田亮壮・S. Mngadi・東 充也・矢部康男・船戸明雄・伊藤高敏・中谷正生・R. Durrheim,2022,大深度高応力鉱山でのルーチン的な採掘ハザード定量化に資しうる岩盤コア絶対差応力 DCDA 測定法の試評価,材料,71,259-264,doi: 10.2472/jsms.71.259,査読有,謝辞有

Yabe, Y., S. Abe, G. Hofmann, D. Roberts, H. Yilmaz, H. Ogasawara, T. Ito, A. Funato, M. Nakatani, M. Naoi, and R. Durrheim,2022,Stress state in the source region of Mw2.2 earthquake in a deep gold mine in South Africa determined from borehole cores,Pure Appl. Geophys.,179,1679-1700,doi: 10.1007/s00024-022-02999-w,査読有,謝辞有

Mngadi, S.B., M.D. Manzi, N.Z. Nkosi, R.J. Durrheim, Y. Yabe, A. Tsutsumi, and H. Ogasawara,2022,Micro- and macro-structural investigations of faulting in deep South African gold mines,Proc. 10th Int. Symposium RaSIM10,査読有,謝辞無

Nkosi, N.Z., M.S.D. Manzi, M. Westgate, D. Roberts, R.J. Durrheim, H. Ogasawara, M. Ziegler, M. Rickenbacher, B. Liebenberg, T.C. Onsott, and DSeis team,2022,Physical Property studies to elucidate the source of seismic reflectivity within the ICDP DSeis seismogenic zone: Klerksdorp goldfield, South Africa,Int. J. Rock Mech. Min. Sci.,155,doi: 10.1016/j.ijrmms.2022.105082,査読有,謝辞有

Miyamoto, T., T. Hirono, Y. Yokoyama, S. Kaneki, Y. Yamamoto, T. Ishikawa, A. Tsuchiyama, I. Katayama, Y. Yabe, M. Ziegler, R. J. Durrheim, H. Ogasawara,2022,Characteristics of Fault Rocks Within the Aftershock Cloud of the 2014 Orkney Earthquake (M5.5) Beneath the Moab Khotsong Gold Mine, South Africa,Geophys. Res. Lett.,49,doi: 10.1029/2022GL098745,査読有,謝辞有

Nisson, D.M., T.L. Kieft, H. Drake, O. Warr, B. Sherwood Lollar, H. Ogasawara, S.M. Perl, B.M. Friefeld, J. Castillo, M.J. Whitehouse, E. Kooijman, T.C. Onstott,2023,Hydrogeochemical and isotopic signatures elucidate deep subsurface hypersaline brine formation through radiolysis driven water-rock interaction,Geochim. Cosmochim. Acta,340,65-84,doi: 10.1016/j.gca.2022.11.015,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

小笠原 宏・DSeis Team,2022,DSeis Report 1: 南アフリカ金鉱山地震発生場掘削計画2021年度の活動報告,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,MGI32-08

大場 誠也・脇本 雅也・藤田 蕉・小川 巧太郎・小笠原 宏・矢部 康男・松崎 琢也・山本 裕二・DSeis Team,2022,DSeis Report 2: 地下約3 kmの非天水環境下における超塩水/地震を伴う苦鉄質/超苦鉄質の隣接ダイクの物理化学特性,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,SCG46-P05

藤田 蕉・小笠原 宏・矢部 康男・山本 裕二・DSeis Team,2022,DSeis Report 3: 地下約3 kmの非天水環境下における超塩水/地震を伴う苦鉄質/超苦鉄質の隣接ダイクの孔内物理検層と回収コアの地震波速度測定の比較,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,SCG46-P06

鈴木 皓一郎・小笠原 宏・田所 遼悟, M. Manzi, L. Linzer, R. Durrheim, v.H. Esterhuizen, B. Liebenberg,2022,DSeis Report 4: M5.5 Orkney地震の発生場周辺の3次元速度場の較正—3D反射法データとDD再決定されたM5.5地震の余震活動と苦鉄質/超苦鉄質貫入体との比較,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,SSS07-P18

美間 良大・小笠原 宏・矢部 康男・船戸 明雄・伊藤 高敏,2022,DSeis Report 5: M5.5 Orkney地震の余震発生帯上縁部周辺での452個のコアのDCDA応力測定のまとめ,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,SSS07-24

小笠原 宏, DSeis Team,2022,[招待講演]南アフリカ金鉱山地下3 kmの非天水超塩水環境下の太古代珪長質変成堆積岩と苦鉄質・超苦鉄質の貫入変質岩,Jpn. Geosci. Union Meeting 2022,BGM02-06

Ogasawara, H., Y. Yabe, B. Liebenberg, R.J. Durrheim, T.C. Onstott, T.L. Kieft, D. Nisson, J. Catilo, A. Gómez-Arias, and the Seismogenic zone drilling (DSeis) team,2023,ICDP drilling into the upper fringe of the aftershock zone of the 2014 Orkney M5.5 earthquake that ruptured an almost entire depth range of the West Rand Group,GeoCongress South Africa

Yabe, Y., H. Ogasawara, R. Durrheim, M. Manzi, T. Kieft,2023,ICDP-DSeis project to drill into aftershock cloud of the 2014 Orkney earthquake,GeoCongress South Africa

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

高知大学海洋コア総合研究センターに2019年に輸入し、これまでに分析が終わったICDP 地震発生場掘削計画のコア試料は、令和5年度中に最終保存場所である南アフリカに返送する段取りを終える。

日本人研究者の南アフリカへの渡航や、地下現場での作業を再開できる目処が立った。また、アメリカの微生物学研究チームが、孔内の水圧と水温を連続観測でき、孔内水を採取できるパッカーを再設置する計画を持っている。それに合わせ、コアや水の追加採取、日本へ持ち帰っての追加分析することを追求する。

これまでの成果のとりまとめと発信も進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

小笠原宏（立命館大学）

他機関との共同研究の有無：有

矢部康男（東北大学）、森谷祐一（東北大学）、坂口清敏（東北大学）、伊藤高敏（東北大学）、船戸明雄（深田地質研究所）、廣野哲朗（大阪大学）、石井紘（地震予知総合研究振興会）、中尾茂（鹿児島大学）、大久保慎人（高知大学）、山本裕二（高知大学）、小村健太郎（防災科学技術研究所）、松原誠（防災科学技術研究所）、今西和俊（産業技術総合研究所）、三宅弘恵（東京大学地震研究所）、加藤愛太郎（東京大学）、Jim Mori（京都大学）、直井誠（京都大学）、参加他国 南アフリカ、アメリカ、ドイツ、スイス、インド、イスラエル、オーストラリア

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：立命館大学 研究部 リサーチオフィス(BKC) P J 管理担当

電話：077-561-2802

e-mail：ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp

URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci eng/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小笠原宏

所属：理工学部

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震に先行する極微小な前震活動の異常度評価と発生環境の評価

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

自然地震における前震活動の存在は、地震計によるリモート・センシングが可能な現象であり、地震発生予測の確度を上げるための鍵となる。防災科研Hi-netに代表される高感度連続地震観測のおかげで、日本においては極微小な前震の検出も可能であり、現行計画において極微小な繰り返し前震の検出アルゴリズムも提案できた。また2011年に長野県中部で発生したある地震（Mj5.4）の繰り返し前震について、本震に先行する2年程度においては直前においてのみ検出されることが示された。これは、2007年能登半島地震や2008年岩手・宮城内陸地震において、数週間の解析ながら確認された現象と同様である。

しかしながらテンプレートとなる地震波形は、現時点では本震発生後に前震として認められたものを用いたある種の「事後予測」にあたる。そこで、本課題では、2つのアプローチでこの問題の解決を図る。一つ目の目標は、日常的に発生する微小地震記録をテンプレートとして用いた場合に、極微小な繰り返し前震活動が異常活動として認識されるか否か、すなわち「本震」の発生という情報を持たない状況で「本震」の発生をどの程度の確率で予測できるか、を明らかにすることである。二つ目の目標は、テンプレートを必要としない繰り返し地震活動を抽出する手法を確立し、それを適用することで微小繰り返し前震活動の検出を目指すことである。

また、実験室で実施される破壊試験や固着すべり試験時に観測される微小な繰り返し破壊を活用して、繰り返し前震の発生様式、発生機構を明らかにすることも本課題の目的とする。

これらの取り組みを通じて、繰り返し前震活動について、その活動およびイベント自身の異常さを利用して、大地震の発生確率評価にどの程度利用できるかを明らかにすることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

研究目的の達成のために、以下のような年度計画で課題を遂行する。なお、成果の取りまとめは随

時実施する。

【令和1年度】近年に大規模地震が発生した地域、定常地震活動度の高い地域、定常地震活動度の低い地域、大地震の切迫度が高いと評価されている地域等から、研究対象領域を抽出し、気象庁一元化震源カタログよりテンプレートとして使用する微小地震を設定する。現行計画で開発したアルゴリズムに従い、繰り返し活動の抽出をおこなう。データ量が多いため、高速化のためのアルゴリズムの改良も進める。また、二軸せん断試験で得られた波形の解析を高度化するために、実験時に貼り付けられていた弾性波トランスデューサの計器特性を精査するための検定試験を実施する。

【令和2年度】令和1年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。また、抽出された繰り返し活動の特徴を調べ、極微小な繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。テンプレートを必要としない繰り返し地震活動抽出のためのアルゴリズムの検討、解析コードの開発をおこなう。また、前年度に得られた計器特性を利用して二軸せん断試験で得られた波形解析を進める。

【令和3年度】令和1, 2年度までに開発された手法に基づき、引き続き繰り返し活動の抽出をおこない、抽出された繰り返し活動の特徴から、繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。また、二軸せん断試験時の前震的微小破壊について、载荷や破壊面形成と微小繰り返し破壊の時空間的な関係を調べる。

【令和4年度】令和1, 2, 3年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。繰り返し活動の出現に対する大地震の付随確率を求め、大地震の発生確率評価をおこなう。

【令和5年度】大地震に先行して発生する繰り返し前震活動について、実験室で得られた知見と照らし合わせ、繰り返し前震活動の物理的な位置づけを考察するとともに、この活動の特異性について評価する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

【データ解析（波形相互相関の計算の高速化）】地震波形と連続波形の相互相関関数を計算することで、膨大な連続波形データに埋もれた微弱な地震波形を抽出し、カタログ化されていない微小地震を新たに発見できる。これまでは既知の地震波形をテンプレートとし、それらに類似する波形を探すという方法が主であったが、テンプレートを固定せず、連続波形から切り出したあらゆる波形同士の相互相関関数を計算することができれば、気象庁一元化カタログに未記載の微小繰り返し地震をも検知できる可能性がある。そのようなアプローチのために、波形の情報量を削減するハッシュ関数が提案されてきたが、いずれも相互相関関数に比べれば偽陽性・偽陰性共に多い。一方で計算機資源の充実により、長期間の連続波形同士の相互相関関数を総当り的に全て計算することも、非現実的では無くなってきた。そこで大規模なクラスター計算機に頼らずとも、相互相関関数の総当り計算においてどの程度のパフォーマンスが実現できるかを検証した。

総当り計算における最大の困難は、連続波形長さの2乗に比例する計算量を要求されることにある。米 Stanford のグループによる2015年当時の先行研究 (Yoon et al., Sci.Adv.) では、1週間の1成分連続波形につき、10 Hz へのダウンサンプリングを行なっても、相関係数の総当り計算には1週間以上かかることが報告されており、これ以上長期の連続波形への適用は考えられていなかった。波形長さに対する計算量のオーダーは削減しようがないが、それでも2015年時点で計算用コードの最適化はなされておらず、アルゴリズムや計算機性能の改良によって単純に速度が数百倍以上になれば、実用面では意義がある。ただし実用上、ネットワーク相関係数を求めるため複数観測点での値を計算すること、気象庁カタログ未記載の微小地震となると卓越周波数が数十 Hz 以上となりダウンサンプリング不可能であること、の2点は、2015年の研究よりも計算量を増やすことに注意を要する。

そこで本研究では、連続波形から切り出した全ての固定長の窓に対し、Fourier スペクトルを事前に計算しておき、それら同士の積の Fourier 逆変換を計算するコードを実装した。一般に Fourier 変換/逆変換を用いて相関係数を計算する場合、周期関数の相関を計算することになるため、波形の前後にゼロ詰めをすることがあるが、過渡的なイベント波形の場合には、それをしなくとも十分な精度で相関係数が得られることが期待できる。総当り計算は個々の計算が他の組み合わせの計算に影響しないため、並列化は比較的容易である。更に、ネットワーク相関を周波数領域で求めることができるため、観測点数を増やしても Fourier 逆変換の回数は増えないというメリットがある。

市販の64コア搭載 CPU によるベンチマークの結果、100 Hz の波形15チャンネル (5観測点の3成分) に相当するデータであっても、2週間ぶんの連続波形を5時間程度で処理できることがわかった。また計算時間が連続波形長さの2乗に比例して増大することを実機でも確認し、外挿すれば2ヶ月ぶんの

連続波形を24時間程度で処理できる目処も立った。これ以上の長さの連続波形は、現在の一般的なワークステーションが搭載可能なメモリに格納できないため、今のアルゴリズムでは扱えない。しかし2ヶ月というのは、例えば前震を含む顕著な群発地震活動の期間や、大地震後に気象庁の地震検知能が低下する期間をカバーしうる長さである。すなわち、未知の微小地震を発見するための集中的な解析においては、相互相関関数が利用できることを示した。

加えて、同アルゴリズムにて Hi-net の連続波形を処理する実験も実施した。対象は大阪府北部の地震 (2018年06月18日07時58分, Mj6.1) 発生時を含む10日間 (2018年06月18日00時00分--2018年06月28日00時00分) で、使用観測点は震央距離10-12 km の交野観測点と久御山観測点の各3成分とした。結果、余震が活発な期間内において、図1に示すような、気象庁カタログに未記載の地震によるものと見られる波形を複数発見した。しかし単純に相関係数の高いものを抽出すると、地震由来の波形よりも、人間活動由来のノイズと思われるモノトニックな波形が多数発見された。そのようなノイズは、各時刻においては一方の観測点にしか見られないため、使用観測点数を増やせば検出されなくなる可能性もある。一方で本来の対象は微小地震であり、観測点数を増やすことは震源から遠い観測点を使うことに他ならないため、地震波形がノイズに埋もれたデータを増やすことになり、イベント検知能の向上にはつながらないことも予想される。また、ここで問題となったノイズの卓越周波数は地震波の卓越周波数を含む帯域と重なっており、フィルタによる除去は望めない。従って、相関係数とは独立に、抽出された波形が地震性のものでないことを判断するアルゴリズムを組み合わせる必要性があることも分かった。

【室内実験 (絶対震源位置の推定精度の評価)】室内実験において前震的微小破壊 (アコースティック・エミッション, 以下AE) イベントの発生位置と断層面の空間的な関係を調べるためには、AE震源の相対的な分布だけでなく、絶対位置精度の評価が重要となる。そこで令和4年度には、2種類の試験について、絶対震源位置推定の精度評価を実施した。

沈み込むスラブ内浅部の温度圧力条件下での実験が可能な超高压変形装置を想定し、AEの震源位置の推定精度の評価をおこなった。マルチアンビル型装置を用いた高压試験はやや深発地震の理解の深化に貢献すると考えられることからAE解析の高度化は重要な課題であるが、一般的な液体圧、ガス圧の三軸試験に比してデータの取り扱いに注意を要する。第一にマルチアンビル型高压発生装置は固体媒体によって圧力をかけるため、試料に直接トランスデューサを貼り付けることはできず、圧媒体の外に配置される6個のアンビル背面に貼り付けて計測する。すなわち、AEシグナルは試料内部、圧媒体、アンビルを伝播してから記録される。第二に試料の大きさが直径5 mm弱、高さ10 mm弱と非常に小さいことも特徴である。そのため試料の大きさ、すなわちAEの震源域に対してトランスデューサ受感面の大きさが無視できない。これらの影響を調べるために、仮想震源をコンピュータ内で再現してその計算走時を利用して絶対震源位置の推定精度評価を実施した。仮想震源を試料内部に配置させ、試料、圧媒体、アンビルの3層構造を仮定し、さらにトランスデューサは直径6 mmに設定したうえで受感面の中で最も早く波が届く点までの走時を計算した。計算走時に乱数的な読み取り誤差を与えて到達時刻データとして、受感面中心を受振点座標として、また構造を単純化させた一様構造を仮定して震源決定を実施した。適切な弾性波速度を与えることができた場合には、読み取り誤差がなければ、震源位置のずれは約0.01 mm以内と無視できるほど小さかった (図2a)。これはトランスデューサを試料から20 mm近く離れた位置に配置していることで受感面の大きさの影響が低減されていることに起因している。 ± 0.1 マイクロ秒以内の一様乱数ノイズを計算走時に加算した場合には、 0.5 ± 0.5 mm程度のずれが発生した (図2b)。このことは、de Ronde et al. (2007; GJI)の先駆的研究のサンプリング速度 (10 Msps) では不十分であり、100 Mspsでかつ、高周波まで受感できるトランスデューサを用いた計測が必須であることを示している。

次にセメントモルタルを円筒形に成形した試料を用いた絶対震源位置の推定精度の評価をおこなった。この評価においては、試料内部に弾性波源を埋設して弾性波を放射させることで、計測波形の初動読み取り時刻から既知の放射源位置をどの程度の精度で推定できるか精査した。孔内に先端のみが埋設された釘の頭部に圧電素子を貼り釘の先端から弾性波を放射させた。弾性波計測に用いるトランスデューサの数や配置を変更させ、さらに震源推定に用いるトランスデューサの組み合わせを変化させることにより、推定される震源位置がどの程度ばらつくか、また絶対位置がどの程度ずれるかを調べた。トランスデューサ配置に大きな偏りがない限りは、真の震源に対して数mm以内に震源が推定できることが明らかにされた。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震に先行する極微小な前震活動の異常度評価のためには、前震発生期間、前震発生域だけでなく、一般的な地震活動も含めた類似波形検出が必要であり、そのためには、計算の高速化の課題を避けて通ることはできない。この点に関して成果が上がっており、目的の達成に着実に向かっている。また前震の発生環境の評価については、室内実験によるアプローチで実施しているが、前震的な微小破壊がどこで発生したかを明らかにすることは必須であり、その精度評価が実施できたことで、発生環境の理解に向けて前進している。

確率を付す形で前震が発生した可能性を本震発生前に把握することができれば、災害の軽減につながることは明らかであり、今後も、引き続き目的達成に向けて研究を進める。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Shiro Hirano, Hironori Kawakata, and Issei Doi, 2022, A matched-filter technique with an objective threshold, Scientific Reports, doi: 10.1038/s41598-022-25839-2, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

稲西 輝紀・川方 裕則・平野 史朗・中山 雅之, 2022, 円筒形試料内で発生するAE震源の絶対位置精度を評価するための弾性波透過実験, 日本地震学会2022年度秋季大会, S12-05

川方 裕則・大内 智博, 2022, GPaオーダーの高圧試験時に発生するAEの震源決定精度の評価, 日本地震学会2022年度秋季大会, S12-04

土井 一生・小原 一成・王功輝・釜井俊孝・千木良雅弘, 2022, 愛媛県久万高原町南東部において観測される繰り返し地震波形の時間分布, Japan Geoscience Union Meeting 2022, SSS13-05

吉光奈奈・川方裕則, 2022, 岩石圧縮試験を通じた異なる深さにおける地震活動特性の評価, 日本地震学会2022年秋季大会, S09-23

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

大規模地震が発生していない地域、期間の連続波形記録に対して、類似波形探索を実施する。得られた結果について、大規模地震が付随する場合との比較をおこなう。また令和4年度に引き続き、絶対震源決定精度の評価を進めるとともに、データ取得済みの二軸せん断試験時や三軸圧縮破壊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、絶対位置精度の評価結果を踏まえて、破壊の状況と前震的微小破壊の発生位置の関係を調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

川方裕則（立命館大学理工学部）, 平野史朗（立命館大学理工学部）

他機関との共同研究の有無：有

土井一生（京都大学防災研究所）, 吉光奈奈（京都大学大学院工学研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：立命館大学研究部BKCリサーチオフィス

電話：077-561-2802

e-mail：ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp

URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：川方裕則

所属：立命館大学理工学部

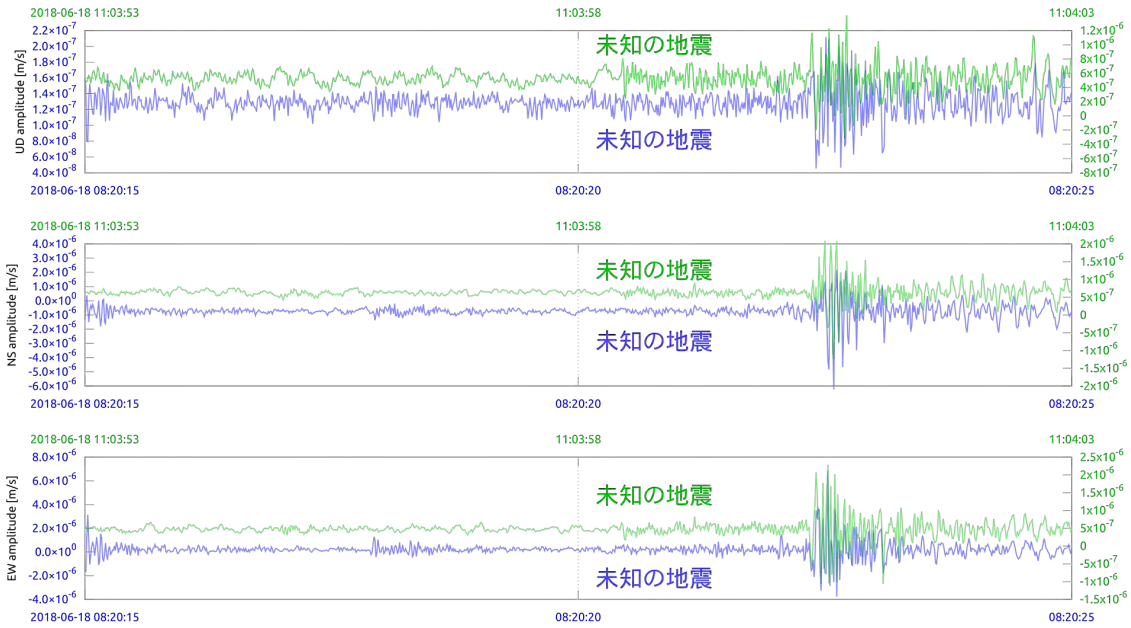


図1

久御山観測点の連続波形記録から、相互相関関数の計算により新たに発見された地震波形のペア。いずれも本震後の大きなノイズに埋もれ、P波の立ち上がりを正確に読み取ることは困難と思われるが、波形の類似性により検知が可能となった。

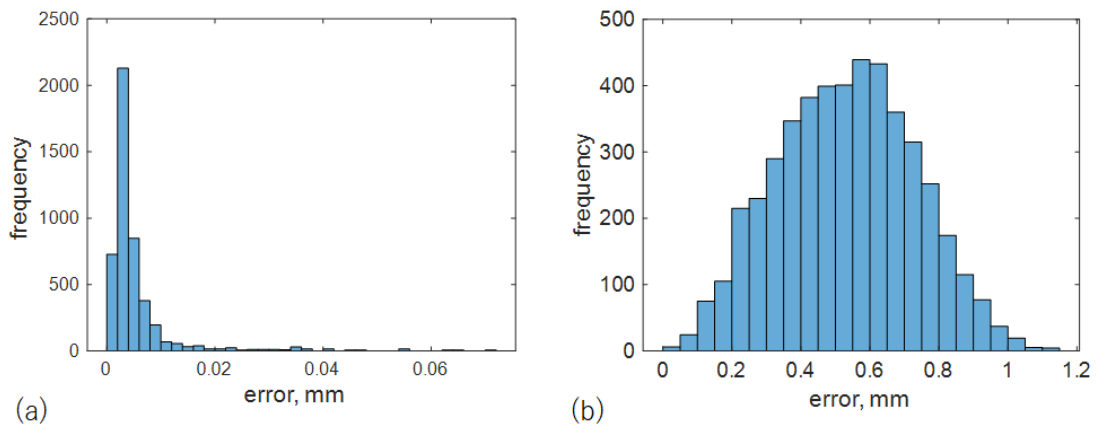


図2

受信位置を点で仮定し、一様構造を仮定した場合の震源決定誤差の頻度分布。(a)読み取り誤差を与えなかった場合。(b) ± 0.1 マイクロ秒以内の一様乱数ノイズを読み取り誤差として計算走時に加算した場合。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

国際共同研究によるニュージーランドにおける地震発生機構の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

日本と同様に沈み込み帯に位置するニュージーランドにおいて地震観測を実施し、地震発生過程の理解を普遍化する。ニュージーランドでは、南島北部において、2010年・2011年クライストチャーチ地震や2016年カイコウラ地震が発生し、甚大な被害を生じた。カイコウラ地震・クライストチャーチ地震は、地震時あるいは地震後に複数の断層が連動して破壊した地震であると考えられており、2016年熊本地震において指摘されたような複雑な断層系の相互作用や断層端の特性の理解の上で最適な対象である。研究担当者がカイコウラ地震発生前から実施中の南島北部での臨時地震観測を継続し、複数の断層が様々な時定数で連動破壊した原因を明らかにする。特に、非弾性変形や応力・流体との関わりを明らかにする。また、内陸断層とプレート境界との連動の検討を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

カイコウラ地震・クライストチャーチ地震両震源域を含む領域でこれまで行ってきた臨時観測データの解析を進めるとともに、両地震の地震後過程のモニタリングやより詳細な構造を求めるため、臨時観測を継続する。

研究担当者らは、これまでの研究から、日本の内陸地震について、下部地殻の構造、特に流体の分布が内陸地震の発生規模や活動範囲を規定する可能性を示してきた（業績1～3）。本課題の対象領域においても同様の下部地殻の不均質構造は、研究担当者らの予備的な研究結果からも見えてくる。そのような知見を踏まえ、複数断層の連動破壊・遅れ破壊に地殻下部の構造や流体の存在が関わる可能性を検討する。そのために、以下の観測解析を、データの蓄積状況・一次処理状況に応じて、順次実施する。

高精度震源決定により、地震発生下限深度分布を正確に推定する。また、地震断層とされた断層群との対応関係から各断層の位置や形状を正確に推定する。多数のメカニズム解を正確に推定し、応力テンソルインバージョンやS波スプリッティングにより、偏差応力の向きや大きさ、強度や間隙流体圧を

求める。地震波トモグラフィや地震波反射面の分布により流体を含む領域を求め、強度と水との関わりを明らかにする。地震波形・地震波干渉法による地下構造の時空間変化の推定を行い、応力場や流体挙動の時間変化を把握する。

地震観測結果と地質学・地形学的知見を総合化し、ニュージーランド南島北部のテクトニクス下における、複雑な断層の分布およびその原因を把握する。地震発生下限深度分布や地震観測で得られた構造・応力場等の比較から地殻内の非弾性変形域を抽出する。非弾性変形域の広がり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4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・2016年ニュージーランド・カイコウラ地震の震源域の応力場とSlip Tendency解析 (Matsuno et al., 2022)

2016年ニュージーランド・カイコウラ地震の震源域の応力場を推定し、Slip Tendency解析によりカイコウラ地震を構成する小断層群の応力場に対するすべりやすさを確認した。震源に対応する断層では高いST値が確認され、応力場に対してすべりやすい断層であることが確認された一方、すべりの終端に対応する断層では、低いST値が確認され、応力場に対してすべりにくい断層であることが確認された。また、各小断層のすべり方向は応力場により概ね説明できることがわかった(図1)。

- ・2016年ニュージーランド・カイコウラ地震の地震波速度構造 (Heath et al., 2022)
- 2016年ニュージーランド・カイコウラ地震を含む、ニュージーランド南島北部での地震波速度構造を推定した。物性の定量的な検討を行い、高い V_p/V_s は高間隙流体によることを指摘した。

- ・ニュージーランド北島のヒ克蘭ギ沈み込み帯北部の地震活動とSSEとの関係 (立岩・他, 2022)

ニュージーランド北島のヒ克蘭ギ沈み込み帯北部において、定常地震観測網を用いた震源再決定を行い、震源位置などから、地震を、上盤側・プレート境界・下盤側に分類した。それぞれの地震活動をSSEの活動と比較した。

- ・ニュージーランド南島北部の応力場とSlip Tendency解析 (田上・他, 2022)

ニュージーランド南島北部は東北地方など同様にインバージョン・テクトニクスが発生していると考えられており、古い正断層の逆断層運動と現在の応力場で生じた新しい活断層が共存している。災害軽減の上では、それらの新旧の断層の活動の特徴を整理する必要がある。そこで、臨時観測網を用いて得られた多数のメカニズム解を用いて同地域の応力場を推定し、1920年台以降に発生した大規模地震の断層面の滑りやすさ (Slip tendency) の確認を行った。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

カイコウラ地震をはじめとするニュージーランドの地震活動について知見を得た。これらは、地震現象の解明に寄与するとともに、国際共同研究の推進を担った。

地震発生過程の解明は災害軽減のための基礎となる。特に、複数断層の連動破壊の様相の、応力場を用いた予測が可能であることを示している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

- ・論文・報告書等

Matsuno, M., A. Tagami, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Bannister, J. Ristau, M.K. Savage, C.H. Thurber, and R.H. Sibson, 2022, Spatial and temporal stress field changes in the focal area of the 2016 Kaikōura earthquake, New Zealand: A multi-fault process interpretation, *Tectonophysics*, 835, 229390, 10.1016/j.tecto.2022.229390, 査読有, 謝辞有

Heath, B.A., D. Eberhart-Phillips, F. Lanza, C. Thurber, M.K. Savage, T. Okada, S. Matsumoto, Y.

Iio, and S. Bannister,2022,Fracturing and pore-fluid distribution in the Marlborough region, New Zealand from body-wave tomography: Implications for regional understanding of the Kaikōura area,Earth Planet. Sci. Lett.,593,117666,10.1016/j.epsl.2022.117666,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

岡田 知己・松野 弥愛・田上 綾香・松本 聡・河村 優太・飯尾 能久・佐藤 将・中山 貴史・平原 聡・Bannister S.・Ristau J.・Savage M.・Thurber C.・Sibson R.,2022,2016年ニュージーランド・カイクウラ地震の応力場とSlip Tendency解析,日本地震学会2022年度秋季大会,S08P-01
立岩 和也・C. Chamberlain・M. Savage・岡田 知己,2022,ニュージーランドヒクランギ沈み込み帯北部における震源パラメータと流体移動の関係,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS07-25
立岩 和也・C. Chamberlain・M. Savage・岡田 知己,2022,eismicity and its implications for fluid movement in the northern and central Hikurangi subduction zone, New Zealand,日本地震学会2022年度秋季大会,S08-01
Tateiwa, K., C. Chamberlain, M. Savage, and T. Okada,2022,Seismicity and its implications for fluid movement in the northern and central Hikurangi subduction zone,Geoscience Society of New Zealand annual conference,A41
田上 綾香・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・Bannister S.・Ristau J.・Savage M.・Thurber C.・Sibson R.,2022,ニュージーランド南島北西部の応力場と発生した地震の断層面との関係,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS07-P20
田上 綾香・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・Bannister S.・Ristau J.・Savage M.・Thurber C.・Sibson R.,2022,ニュージーランド南島北西部の応力場と発生した地震の断層面との関係(3),日本地震学会2022年度秋季大会,S08-16
Tagami, A., M. Matsuno, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, S. Hirahara, S. Kimura, S. Bannister, J. Ristau, J. Townend, M. Savage, C. Thurber, and R. Sibson,2022,Stress field in the northwestern part of the South Island, New Zealand, and its relationship with faults of recent earthquakes,Geoscience Society of New Zealand annual conference,A45

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続き、各研究項目を実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己（東北大学大学院理学研究科）,高木涼太（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：有
飯尾能久（京都大学）,松本聡（九州大学）,Richard H Sibson（オタゴ大学）,Stephen Bannister（GNS Science）,Martha K Savage（ビクトリア大学ウェリントン）,Calum Chamberlain（ビクトリア大学ウェリントン）,Jarg Pettinga（カンタバリー大学）,Clifford H Thurber（ウイスコンシン大学マディソン校）,安藤亮輔（東京大学大学院理学系研究科）,井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己
所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

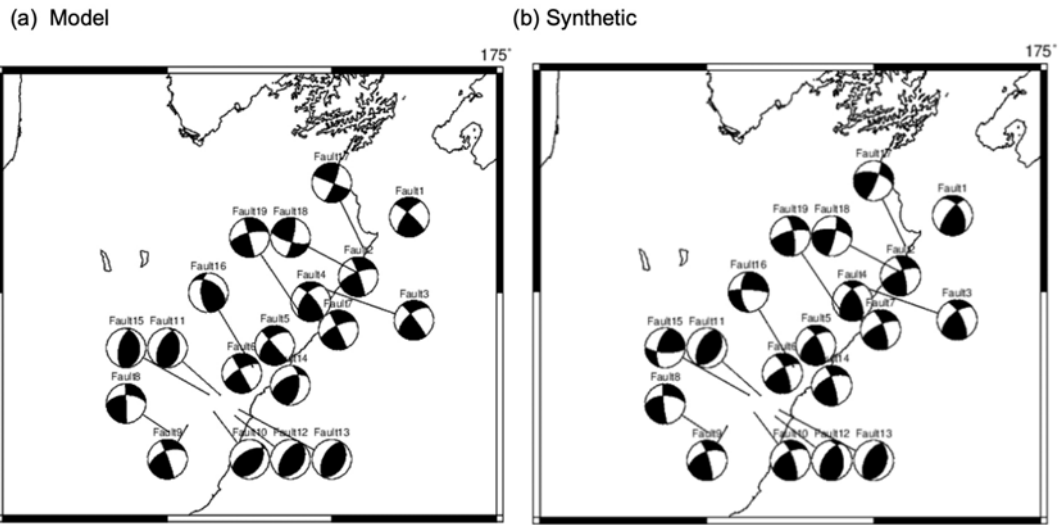


図1. 2016年ニュージーランド・カイコウラ地震を構成する各断層のすべり方向。下半球投影図で示す。(左図) Hamling et al. (2017)による観測結果。(右図) Matsuno et al. (2022)による応力場から推定されたすべり方向(剪断応力方向)。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

流体の寄与に注目した地震断層すべり物理モデルの高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

流体が深部に局所的に豊富に存在していると、そこで歪速度が上昇しやすくなり、その浅部に応力・歪が集中しやすくなると考えられる。また、断層中に流体があれば、間隙圧が上昇して強度が低下すると考えられる。このように流体は地震発生に大きくかかわっていると考えられていたが、多くは定性的な理解にとどまり、定量的な理解が進んだのはごく最近のことである。このような定量的な検討から、地震発生域では差応力が小さく、断層の強度がこれまで考えられていた値の1/10程度と極めて低いことが次第に明らかになって来ており、その原因としてはやはり断層の中の流体の可能性が一番高いと考えられている。しかし、その流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態はまだ必ずしもよくわかっていない。このような問題意識のもと、下記のサブテーマを実施し、これらを統合することにより、特に流体の寄与に注目して地震断層すべり物理モデルの高度化を目指す。

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

地震断層すべりの理解の上で応力と強度を正しく把握することが重要である。応力については主応力の方向と応力比の情報に加えて、大地震やかぶり圧の影響を正しく評価することにより、差応力の大きさについても情報が得られつつある。今後、高精度・多量の震源分布と発震機構解を利用し、小規模な地形や中規模地震が応力場に与える影響から、差応力の大きさの分布を高精度で推定することを目指す。さらに地震の振幅情報も用いて、発震機構解と応力場と観測点補正值を同時に推定する新しい手法を開発する。また、大地震による構造の時空間変化を推定し、それと地震活動や応力の時空間変化と比較することにより、地震活動に対する流体の寄与についてより詳細に明らかにする。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

速度・状態依存摩擦則の微視的過程は真実接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などの情報を融合させて、地震発生における地殻流体の役割と振る舞いについての検討を進める。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

地球物理学的に観測される地震波速度と電気伝導度から、岩石の粒間に存在する地殻流体の存在量・組成・存在形態を見積るには変数が過剰であり、岩石相など何らかの仮定を置く必要がある。もし流体の化学組成と間隙流体の存在形態・電気比抵抗との間の関係式を新たに与えることができれば、制約条件が増え、流体量などのより正確な推定が可能となる。地殻流体は、有馬型熱水に代表されるようにCO₂とNaClの濃度が高いと考えられているが、この両成分は、流体の二面角に対して相反する効果を与え、両者が共存した場合の二面角がどのような挙動を示すかについては殆ど知られていない。そこで、H₂O、CO₂、NaCl三成分系の流体と鉱物間の二面角を高温高压実験によって決定する。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

地震波トモグラフィや電磁気探査から断層深部延長の下部地殻に流体（水や部分溶融体）の存在が示唆され、流体の存在による歪局所化が断層深部への局所的ローディングを引き起こす可能性が指摘されている。つまり、流体の存在は、断層の強度を低下させるのみならず、断層のローディング機構にも深くかかわっている可能性がある。そこで、下部地殻条件における流体の効果を明らかにするために、実験室において下部地殻の温度圧力を発生することのできる試験機を用いて、下部地殻岩石のレオロジーに及ぼす流体の効果を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

● 1年目（令和元年度）

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

2011年東北地方太平洋沖地震後の応力場の時空間変化を追跡し、歪速度場の時空間変化と比較することにより、応力の時空間変化の原因を探る。中規模地震の破壊過程を詳細に調べることにより、強度の不均質性と破壊の不均質性の関係を検討する。ニュージーランド等、海外の応力場と日本の応力場の違いと共通性を検討する。応力場を推定する新たな手法の開発に着手する。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

試料室を外気と隔離できるようにしたロータリー式低速せん断試験機（最大すべり速度は約0.8 mm/s、法線応力は15MPaまで）で摩擦すべり実験を行い、水蒸気量が摩擦強度や摩擦のパラメータ、AE活動に及ぼす影響を調べる。現状では、試料室の雰囲気制御は乾燥状態（湿度がほぼ0%）、飽和状態（湿度がほぼ100%）、室内状態の3通りに限られている。初年度は実験を行いつつ、雰囲気制御範囲を広げるよう試験機の改良を行う。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

超臨界地殻流体の300-500℃、50-1000 MPaでの状態方程式と、その条件での岩石と流体の反応についての状態方程式や熱力学データが全く不足している。特に、地殻流体の平衡計算をする上で重要となる電荷のある溶存種について熱力学データについて、既存のデータには存在しない超臨界、気相領域まで経験的に外挿することを試み、実験によって検証する。

鉱物界面での純水の構造化を調べた実験装置と技術を用いて、H₂O-NaCl-CO₂の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を調べる。さらに、既に開発している超臨界条件における真三軸応力発生ならびに水圧破碎装置を用いて、300-500℃、50-150 MPa条件での岩石内の3次元き裂の優先流路の形成の時間発展ならびに地殻流体透水性に関する流体流動実験に着手する。また、三波川変成帯、東北地方の花崗岩類と接触変成岩における流体通路（鉱物充填脈）の分布、特性を評価し、沈み込み帯と地殻における流体の物理化学的特性とその動的挙動を調べる。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

鉱物の界面エネルギー異方性が比較的小さく、いわゆる組織平衡の状態を想定しやすい、最上部マントルを構成する主要鉱物である橄欖石の、 H_2O 、 CO_2 、 $NaCl$ 三成分系流体との二面角を、ピストンシリンダー装置を用いて1-4 GPa, 900-1200 °Cの条件で実験を行う（高圧側では $MgCO_3$ が共存する条件となる）。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

下部地殻を構成する鉱物粉末を焼結し人工多結晶体を焼結する。さらに細粒変成岩試料を出発試料として、下部地殻の温度・圧力を発生することのできる変形試験機を用いてこれらの多結晶体の変形実験を行い、下部地殻の変形における流体の効果調べる。

●2-4年目（令和2-4年度）

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

応力場の推定手法の開発を継続し、実施しやすい地域から随時応力場の推定を行っていく。合わせて誤差の評価も行うことにより、差応力の推定範囲を正しく見積もる。顕著な応力変化が見られた地域において地震波干渉法等により構造の時空間変化を推定し、地殻流体と地震発生の関係を明らかにする。また、海外も含めた様々な地域での応力推定結果を比較し、地殻流体の観点から、応力場や強度の地域性の解釈を行う。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

改良された試験機を用いて、より多様な雰囲気中で摩擦の振る舞いとAE活動の関係を調べることにより、脆性破壊の水蒸気量依存性が摩擦強度の環境依存性に及ぼす影響を明らかにする。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

H31年度に開発された計算コードを用いて、既存の H_2O - $NaCl$ - CO_2 系流体中の石英の溶解実験データから、同系流体の誘電率を見積もる。鉱物界面での流体の状態・挙動の実験を継続し、 H_2O - $NaCl$ - CO_2 の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を明らかにする。流体流動実験を継続し、岩石内の3次元き裂の優先流路の形成の時間発展と地殻流体透水性を明らかにする。さらに、領家変成帯や三波川変成帯における流体通路の調査を継続し、母岩の温度構造と流体の物理化学的特性との関係を明らかにする。

4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

2年目は橄欖石の実験を継続する。二面角は、鉱物表面の分極度と、流体の分子スケール構造によって決定され、後者の方が前者に比べて、温度圧力条件によって大きく変化すると考えられるため、橄欖石の実験結果を解析することで、他の鉱物と三成分系流体との間の二面角についても、流体組成による変化傾向が推定できる。そこで3年目は石英・輝石など地殻を構成する主要構成鉱物と三成分系地殻流体との二面角についての見積りを行う。地殻流体の電気比抵抗と化学組成の関係については、近年、市来らによるモデル化が進んでいるので、以上によって求めた地殻流体組成と流体形状の関係式と併せることで、宮城県北部地域など地震波トモグラフィやMT法の同時観測が行われている地域について、地殻流体量の再見積りを4年目に行う。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体（水・メルト）の効果の解明

人工および天然の変成岩類多結晶体の変形実験を継続し、下部地殻の変形における流体の効果明らかにする。特に岩石の組成や流体量、実験の温度・圧力・ひずみ速度を制御することで、岩石の強度に対する反応（含水反応）などの効果を定量的に評価し、下部地殻レオロジーに及ぼす流体（水・メルト）の効果定量的に評価する。

●5年目（令和5年度）

各サブテーマにおいて最終的な解析を行い、それらを取りまとめて、流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態を明らかにすることにより、流体の寄与を考慮した新たな地震断層すべり物理モデルを提案する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

群発地震の発生メカニズムの解明をさらに進めるため、2000年から2020年までの期間における箱根火山での相似地震の検出を行った。解析期間では特に2015年5月に箱根芦ノ湖北岸の湖尻で発生した群発地震活動の際に多くの相似地震が検出された。この群発地震は同年6月末に箱根大涌谷で発生した水蒸気噴火に先行して発生した活動である。群発地震の震源分布は、西北西―東南東方向のほぼ鉛

直な面状に集中して発生していることが分かった（図1）。得られた相似地震から非地震性滑りの履歴を推定し、近傍の神奈川県温泉地学研究所湖尻観測点(KZR)の傾斜計記録との比較を行った。非地震性滑りの加速と同時期に西南西方向へ傾き下がる有意な傾斜変動が観測されており、群発地震に伴う非地震性すべりの発生が示唆された。

2020年末ごろから能登半島北東部で発生している群発地震の震源分布を高精度に決定し、それらの地震が面構造を用いて深部から浅部へ移動していたことを明らかにした（図2）。また群発地震開始部付近にみられた環状震源分布とS波反射面を根拠に、マグマ活動に関係した構造が群発地震を発生させた流体供給に寄与した可能性を示した。さらにこの群発地震震源域周辺で行った合同臨時観測データを用いて、地震波速度構造の推定を行い、高間隙圧流体を示唆する高Vp/Vs領域を震源域付近に確認した。

常時微動表面波トモグラフィー手法を高度化し、S-netデータに適用して3次元S波速度構造を推定した。流体を多く含むと考えられる堆積層および海洋性地殻に対応する低速度領域のイメージングに成功した（図3）。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

乾燥（5%RH）、室内（45%RH）、湿潤（100%RH）、加水の4条件で、速度ステップの摩擦すべり実験を行い、摩擦構成則のパラメータ及びAE活動の水蒸気量依存性を調べた。摩擦パラメータについては、おおむね、先行研究（Frye and Marone, 2002）と同様に水蒸気圧の上昇に伴ってb-aが大きくなる傾向が得られ、一方、先行研究と異なり乾燥環境でも速度弱化特性が示された（図4）。AE活動については、水蒸気量が増加すると、m値のすべり速度依存性が小さくなる傾向がうかがえた。

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

高温変成岩中の鉱物脈と母岩の反応帯から、中部地殻の破壊に伴う単一亀裂の流体活動が10時間程度・流量 10^1 - 10^4 m³に及ぶことを明らかにした。その流体量が引き起こしうる地震マグニチュードと流体活動時間の関係が、スロー地震のスケーリング則に載ることを発見した（図5）。

また、2011年東北沖地震に誘発された福島山形県境下の群発地震群に対して、地熱工学のマグニチュード一流体注入量経験則を適用することで、群発地震を引き起こした地殻内の流体量が 10^6 - 10^8 m³であることを示した。地質学的に推定される下部地殻からの流体供給量と比較することで、この流体量が100~10000年の期間で再蓄積されることを示した。

4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

地震発生場でのシリカの溶解析出は、高溶解度場から低溶解度場へのシリカの運搬が必要となる。石英多結晶体を加圧すると、シリカの溶解析出によるセメンテーションと流体の分離が自発的に起こることが実験により確認された（図6）。岩石の空隙率や岩相の違いによって発生する孔隙弾性（poroelasticity）に起因する間隙水圧勾配に着目してセメンテーションと流体分離の時間発展モデルを構築し、流体分離と間隙流体圧上昇の正のフィードバックによりこのような現象が発生することを明らかにした。

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

下部地殻のレオロジーに対する水や粒径の効果を明らかにするために、粒径や含水量等を制御した長石多結晶体を作成を行った。出発試料として、マダガスカル産のラブラドライト（曹灰長石）単結晶をボールミルで粉砕し使用した。セラミックスの研究から、鑄込み法は他の形成方法と比較して焼結時の活性化エネルギーが低い（Zhang et al., 2020）ことが分かっており、緻密な多結晶体の作成に非常に有効であることから、鑄込み法を利用したラブラドライト多結晶体の作成を行った。また、鑄込み法により形成体を作成する際、Tallon et al. (2015)によると、出発物質が100 nm - 600 nmの粒径が最も良く焼結していることから、本研究でも遊星ボールミルを用いてラブラドライト単結晶から300 nm以下の粉末を作成した（図7a）。鑄込み法により形成体を作成し、1250°C、1210°Cでの大気圧焼結を行った。1250°Cで焼結を行った試料では比較的均質に焼結していたが（図7b）、1210°Cで焼結を行った試料では、非常に緻密な部分と空隙の多いの多い部分が不均質に分布している様子が見られた。また、単結晶中に含まれる不純物の影響からか、どちらの温度でも粒界にはメルトが観察された。今後は、空隙をなくすために、HIP（Hot Isostatic Pressing）やHot pressなどで圧力をかけながらの焼結を行い、メルトが生成されない焼結温度条件を決定する。

本研究は、産業総合研究所との共同研究である。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究のサブテーマ1は、地震観測が主であり、地震の発生が何によって促進されるのかを明らかにすることで、災害の軽減に貢献できると期待される。一方、内陸地震の再来間隔は1000年以上と非常に長く、地表での100年程度以内の地球物理学的観測だけからでは、内陸地震の全貌を理解することは不可能である。サブテーマ2-5では、実験や野外観察、シミュレーションを通じて、内陸地震の発生場と再来間隔が何に規定されているのかを明らかにすることにより、災害軽減に貢献することを目指している。

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

箱根の群発地震の解析では、間隙流体圧の増加に加えて、それに伴う非地震性のすべりが地震発生に重要な役割を果たしていることを示した。能登半島北東部の群発地震の解析では、2022年6月のM5.4地震の発生前から、その断層面上の深部から浅部に向かって微小地震の移動が起こっていたことを明らかにし、さらに反射波の解析や地震波速度構造の解析から流体が地震発生に関与している可能性が高いことを示した。箱根と能登の結果はいずれも群発地震の発生には間隙水圧の上昇と地下の弱面の両方が関与していることを示しており、「地震発生過程の解明とモデル化」に近づく成果である。能登半島北東部の群発地震の北にはM7規模の地震を引き起こす可能性のある活断層が位置し、箱根の群発地震は水蒸気噴火に先行したものであり、これらのさらなる解明は災害軽減のために大きな意味を持つ。

また、海域の地震発生場についても強度がそれほど高くないことが指摘されており、その原因を明らかにするためには広域のS波不均質構造の解明が必須である。特に海溝付近のスロー地震は巨大地震発生の引き金になる場合があり、浅部のスロー地震の発生場から巨大地震発生場にかけての構造の推定とそれにもとづく発生過程の理解を通じて災害軽減に貢献できると期待される。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

本実験結果は、断層中に水が存在すると滑りが不安定になりやすいことを示しており、「地震断層滑りのモデル化」において水の影響をモデル化する際に、有効法線応力の変化以外も考慮しなければならないことを意味している。

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

中下部地殻における破壊について、観測と物質科学を時間・流体量で結びつける新しい研究を開拓しつつある。また内陸地震を誘発する地殻内部の流体量について、その再蓄積期間を見積もる新たなモデルを提示した。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

間隙水圧の蓄積・緩和時間の時間スケールの評価に貢献するために、シリカ析出によるアスペリティ・断層面の化学的固着に対する新しい駆動力を提案した。

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

上部地殻内の断層への応力集中を理解するためには、下部地殻のレオロジーの詳細を明らかにする必要がある。これにより、変形しやすい場所が特定できれば、地震の超長期的予測に役立つと期待される。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Amanda, F.F., N. Tsuchiya, V.N. Alviani, M. Uno, R. Yamada, S. Shimizu, and R.

Oyanagi, 2022, High-temperature silicified zones as potential caprocks of supercritical geothermal reservoirs, *Geothermics*, 105, 102475, doi:10.1016/j.geothermics.2022.102475, 査読有

Bayarbold, M., A. Okamoto, O. Dandar, M. Uno, and N. Tsuchiya, 2022, Continental arc-derived eclogite in the Zavkhan Terrane, western Mongolia: Implications for the suture zone in the northern part of the Central Asian Orogenic Belt, *J. Asian Earth Sci.*, 229, 105150, doi:10.1016/j.jseaes.2022.105150, 査読有

Fujita, W., M. Nakamura, and K. Uesugi, 2022, Chemical compaction and fluid segregation in piston cylinder experiments, *Chemical*

Geology, 614, 121182, doi:10.1016/j.chemgeo.2022.121182, 査読有, 謝辞有

Fukuda, J., J. Muto, S. Koizumi, S. Sawa, and H. Nagahama, 2022, Enhancement of ductile

deformation in polycrystalline anorthite due to the addition of water, *J. Struct. Geol.*, 156, 104547, doi:10.1016/j.jsg.2022.104547, 査読有, 謝辞有

Honda, R., Y. Abe, Y. Yukutake, and S. Sakai,2022,Fracture structures in and around Hakone volcano revealed by dense seismic observations,J. Disaster Res.,17,663-669,doi:10.20965/jdr.2022.p0663,査読有

Mindaleva, D., M. Uno, and N. Tsuchiya,2023,Short-lived and voluminous fluid-flow in a single fracture related to seismic events in the middle crust,Geophys. Res. Lett.,in print,doi:10.1029/2022GL099892,査読有

Mukuhira, Y., M. Uno, and K. Yoshida,2022,Slab-derived fluid storage in the crust elucidated by earthquake swarm,Commun. Earth Environ.,3,286,doi:10.1038/s43247-022-00610-7,査読有

Nurdiana, A., A. Okamoto, M. Uno, M., and N. Tsuchiya,2022,Development of open transport of aqueous fluid from pegmatite revealed by trace elements in garnet,Geofluids,2022,8786250,doi:10.1155/2022/8786250,査読有

Takagi, R., and K. Nishida,2022,Multimode dispersion measurement of surface waves extracted by multicomponent ambient noise cross-correlation functions,Geophys. J. Int.,231,1196-1220,doi:10.1093/gji/ggac225,査読有,謝辞有

Tonegawa, T., R. Takagi, K. Sawazaki, and K. Shiomi,2023,Short-term and long-term variations in seismic velocity at shallow depths of the overriding plate west of the Japan Trench,J. Geophys. Res.: Solid Earth,128,e2022JB025262,doi:10.1029/2022JB025262,査読有

Yukutake, Y., R. Honda, M. Ukawa, and K. Kurita,2022,Harmonic tremor from the deep part of Hakone volcano,Earth Planets Space,74,144,doi:10.1186/s40623-022-01700-8,査読有

Yukutake, Y., K. Yoshida, and R. Honda,2022,Interaction between aseismic slip and fluid invasion in earthquake swarms revealed by dense geodetic and seismic observations,J. Geophys. Res.: Solid Earth,127,e2021JB022933,doi:10.1029/2021JB022933,査読有

・学会・シンポジウム等での発表

藤田和果奈・中村美千彦,2022,多孔質弾性に起因する非排水系岩石中の流体分離とセメンテーション,日本地球惑星科学連合2022年大会,SMP27-13

本多 亮・安部祐希・行竹洋平・酒井慎一,2022,箱根カルデラ内の亀裂系構造の空間変化とその原因について,日本地震学会2022年度秋季大会,S06-11

Huang, Y., T. Nakatani, S. Sawa, M. Nakamura, and C. McCammon,2022,The effect of faceting on olivine wetting properties,JpGU Meeting 2022,SIT18-08

金 亜伊・中村勇士・上松大輝・行竹洋平・安部祐希,2022,機械学習を用いた箱根火山における地震波検測: 同一判定窓内に複数の地震波がある場合の検測精度の向上に向けて,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG51-P05

喜多倅子・武藤 潤・澤 燦道・田中桐葉・長濱裕幸,2022,高温・高圧下での曹灰長石合成多結晶体の粒成長と不純物の混入,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG49-P02

萬年一剛・安部祐希・代田 寧・道家涼介・藤松 淳・原田昌武・本多 亮・行竹 洋平,2022,箱根火山の活動監視と評価,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC34-08

三浦 凜・平松良浩・行竹 洋平,2022,Double-Difference トモグラフィー法により推定された白山火山下の三次元地震波速度構造,日本地球惑星科学連合2022年大会,SVC31-P09

Muto, J.,2022,Accelerated hydration and anomalous weakening of the lower crustal rocks,Utrecht University – Tohoku University discussion forum on fluid-rock interactions and deformation within the solid Earth

中村勇士・金 亜伊・上松大輝・行竹洋平・安部祐希,2022,深層学習による高精度な火山性地震の位相検出モデルの構築に向けて: 様々なモデルの性能評価,日本地震学会2022年度秋季大会,S21P-03

Nakamura, Y., A. Kim, H. Uematsu, Y. Yukutake, and Y. Abe,2022,Towards constructing a high-precision phase picker for volcanic earthquakes using deep learning: Performance evaluation of various models,AGU Fall Meeting 2022,S42C-0163

楠城一嘉・行竹洋平,2022,A study on detection of low-frequency earthquakes at Mt. Fuji and data quality evaluation,日本地球惑星科学連合2022年大会,SSS11-P04

楠城一嘉・行竹洋平・熊澤貴雄,2022,富士山の低周波地震の検知と統計解析,日本地震学会2022年度秋季大会,S09P-11

岡田知己・Savage Martha・酒井慎一・吉田圭佑・内田 直希・高木涼太・木村 洲徳・平原聡・松澤

暢,2022,石川県能登半島群発地震震源域におけるS波スプリッティングと地震波速度構造,日本地震学会2022年度秋季大会,S06-09
織茂雅希・吉田圭佑・松澤 暢・平 貴昭・江本賢太郎・長谷川昭,2022,2008年岩手・宮城内陸地震震源域周辺の通常地震および低周波地震の震源スペクトルと地震波放射エネルギー,日本地震学会2022年度秋季大会,S09-19
尾崎智紀・行竹洋平・市原美恵,2022,箱根火山深部で発生した調和型微動のモデル化,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG54-P03
高木涼太・西田究,2022,常時微動トモグラフィーによる日本海溝・千島海溝沿い前弧海域下の3次元S波速度構造,日本地震学会2022年度秋季大会,S22P-03
Takahashi, N., I. Tsujimori, S. Kamada, and M. Nakamura,2022,Effect of sodium salt on rutile solubility in aqueous fluids: Insights into titanium transport in subduction zones, JpGU Meeting 2022, SIT18-11
吉田圭佑・宇野正起・松澤 暢・行竹洋平・椋平祐輔・佐藤比呂志・吉田武義,2022,石川県能登半島北東部の群発地震: マグマ活動に起因する構造と流体供給,日本地震学会2022年度秋季大会,S08-02
行竹洋平・金 亜伊,2022,機械学習を用いた火山性地震の検出と震源決定—霧島火山への適用例—,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG51-05
行竹洋平・金 亜伊,2022,機械学習による霧島火山における火山性地震活動の推定,日本地震学会2022年度秋季大会,S21P-04

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5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

引き続き、地震活動と地殻流体及び非地震性すべりとの関係について、詳細な震源分布や地震波速度構造、異方性構造、減衰構造、放射エネルギー等の解析から検討を行う。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

A E活動に対する水蒸気量の影響については、まだ推定誤差が大きいため、さらに実験を行って再現性を確認し、結論を得る。

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

山形〜福島県境の大峠カルデラ他、群発地震が発生している地域においてフィールド調査を行い、地震発生に関与する流体量の見積もり、流体活動の時間経過等に関する物質的証拠を見出すとともに深部の地殻〜マントル境界部での流体発生と移動現象を解明するために室内実験をさらに進める。

4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

これまでの一連の研究から、沈み込み帯前弧〜楔形マントル上部において、電気伝導度の観測データから多成分系流体の体積分率を見積もる方法を確認する。また、高温高圧実験とシンクロトロンX線CT、数値シミュレーションを組み合わせ、低流体分率 (<~3vol%) の岩石多結晶体における規格化浸透率を求めるとともに、流体移動経路の可視化を行い、地殻流体の蓄積/移動の実態解明を進める。

5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

今年度の試料で見られたメルトや空隙の影響を改良することで、より均質な多結晶体を合成し、下部地殻のレオロジーに対する水や粒径の効果をより詳細に明らかにする。

以上の成果をもとに、地震断層滑りに対する流体の寄与を総合的に明らかにするとともに、スラブから上部地殻の断層への水の供給・蓄積過程と下部地殻のレオロジーの特性を明らかにして、災害軽減に貢献する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中村美千彦(東北大学大学院理学研究科),武藤潤(東北大学大学院理学研究科),矢部康男(東北大学大学院理学研究科),岡田知己(東北大学大学院理学研究科),吉田圭佑(東北大学大学院理学研究科),高木涼太(東北大学大学院理学研究科),松澤 暢(東北大学大学院理学研究科)
他機関との共同研究の有無:有
土屋範芳(東北大学環境科学研究科先進社会環境学専攻),岡本敦(東北大学環境科学研究科),宇野正起

(東北大学環境科学研究科),行竹洋平(東京大学地震研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：松澤 暢
所属：東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

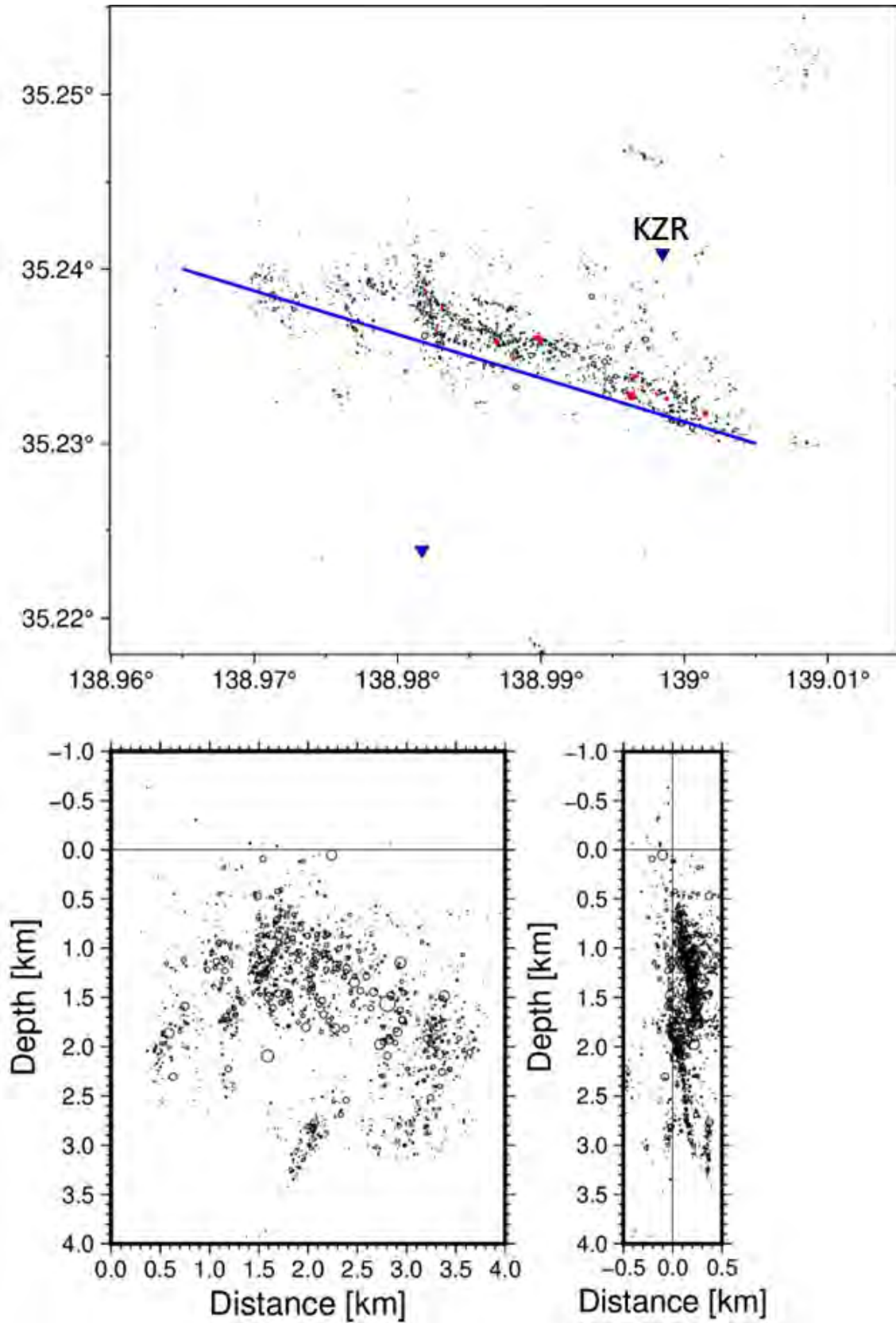


図1. 2015年5月箱根カルデラ内で発生した群発地震の震源分布。
赤丸は検出された相似地震を表す。

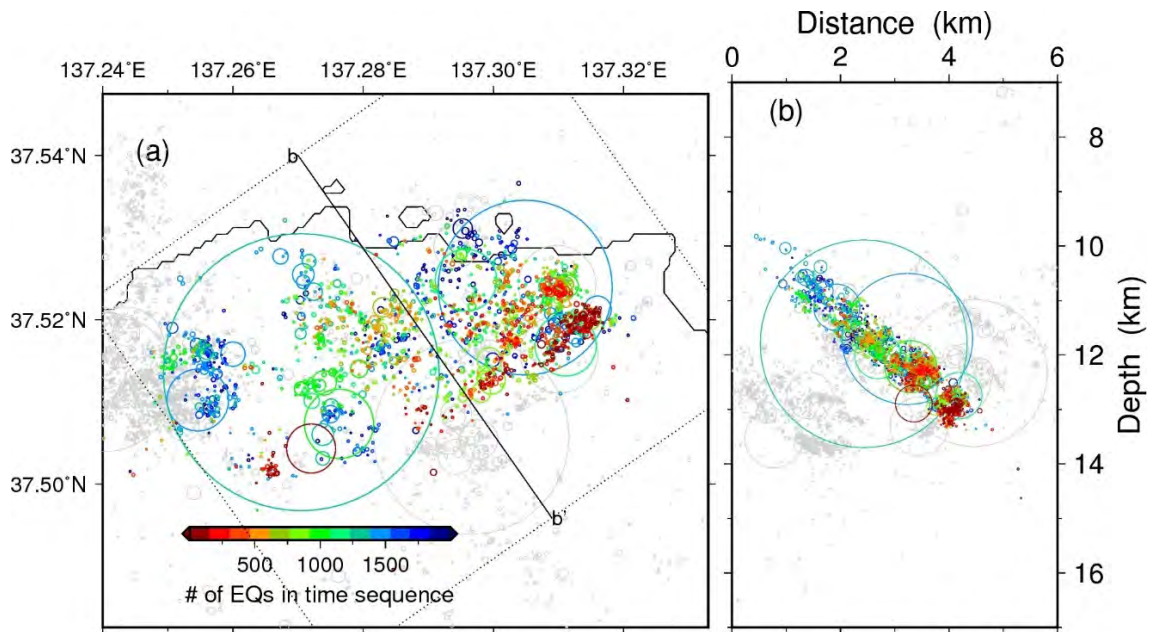


図2. 能登半島北東部の群発地震活動中に発生した 2022年M5.4地震の断層面における地震の震源分布。色は発生順を表す。

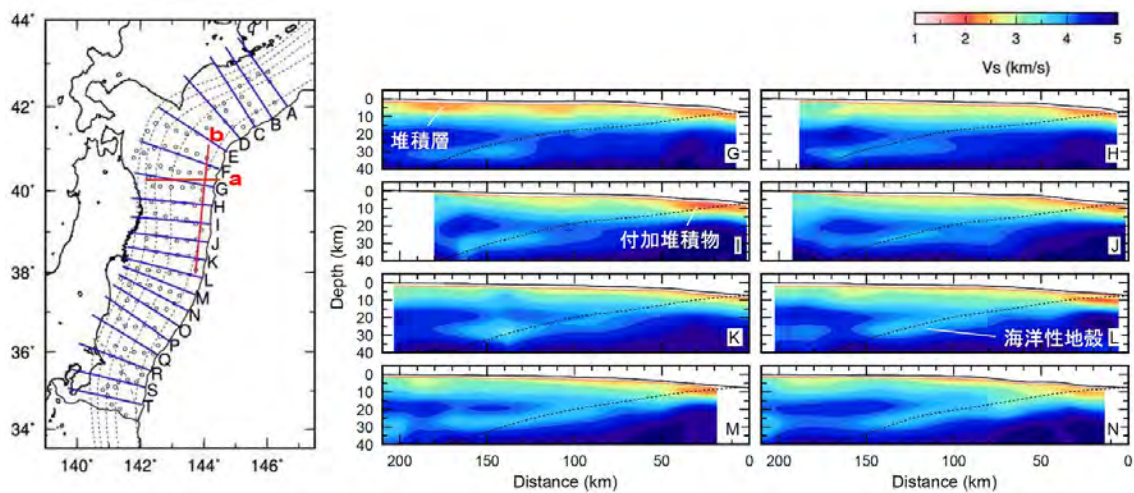


図3. S-netデータを用いた常時微動表面波トモグラフィーにより推定した3次元S波速度構造。破線はプレート境界上面モデルを表す (Iwasaki et al. 2015)。

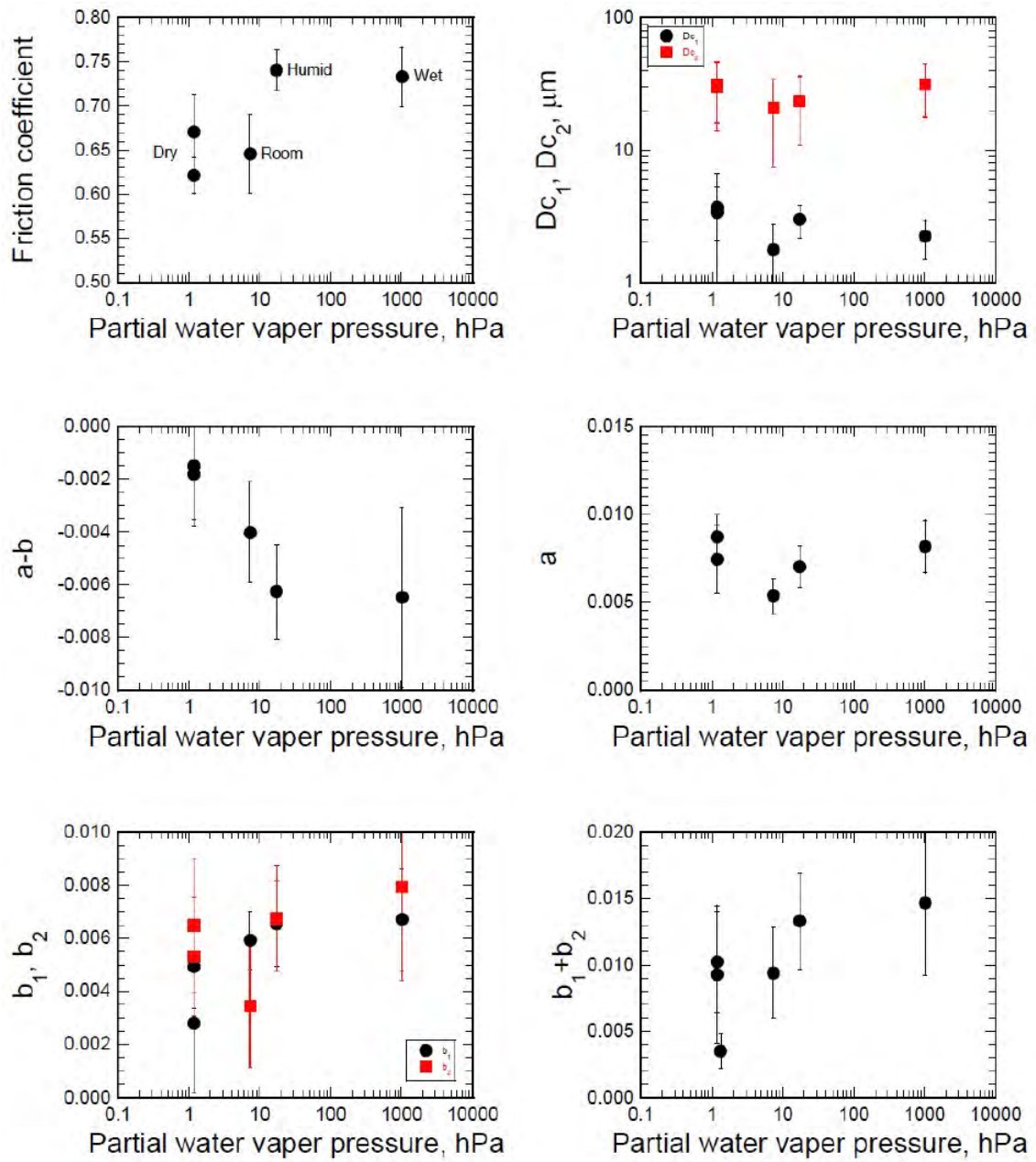


図4.本実験で得られた、二つの状態変数を持つ速度状態依存摩擦構成則の摩擦パラメータの水蒸気分圧依存性。

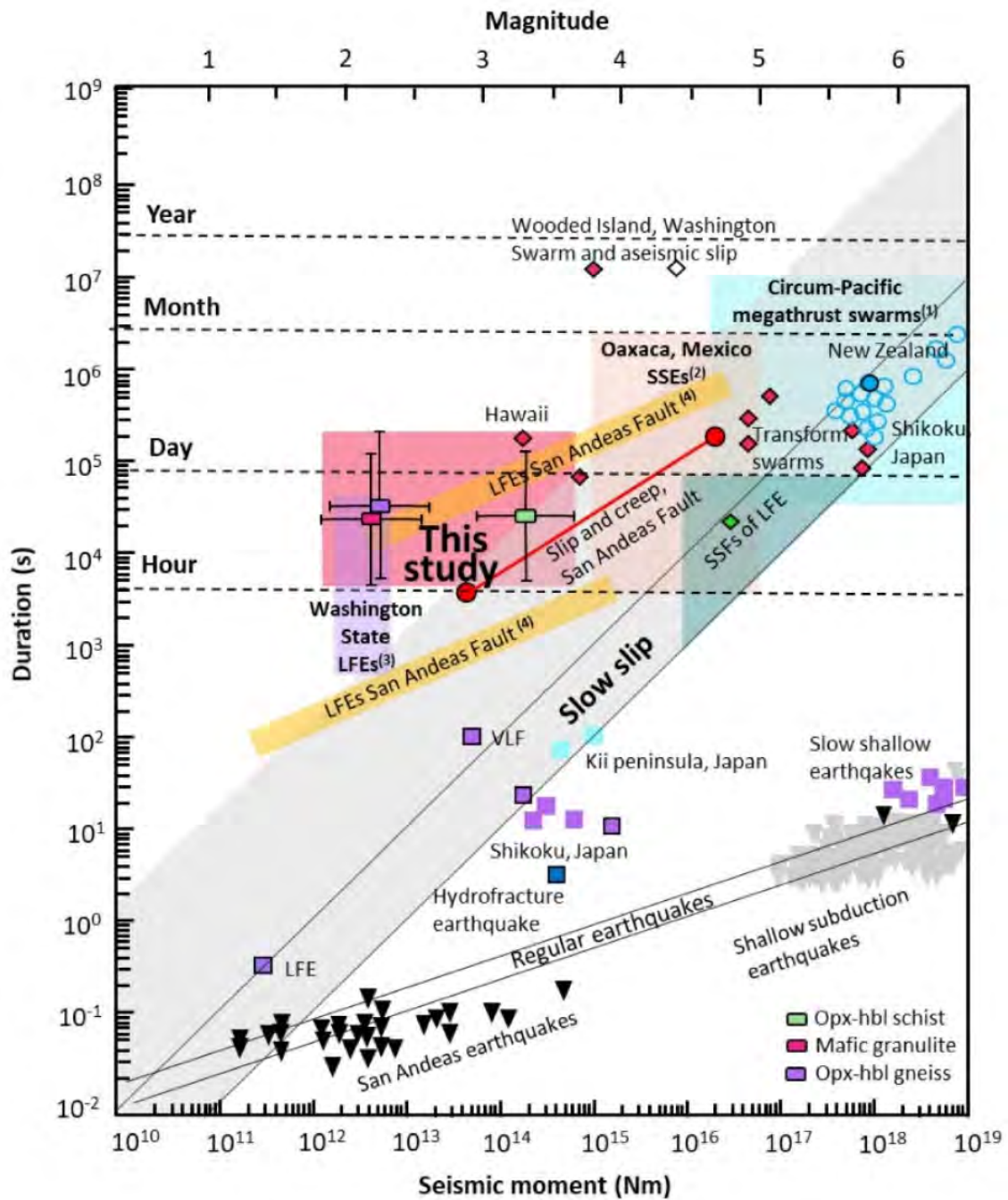


図5. 様々なイベントの継続時間の地震モーメントの関係。
 Ide et al. (2007) の図に、本研究の結果（赤矩形内）と他の研究者による結果を合わせて示す。

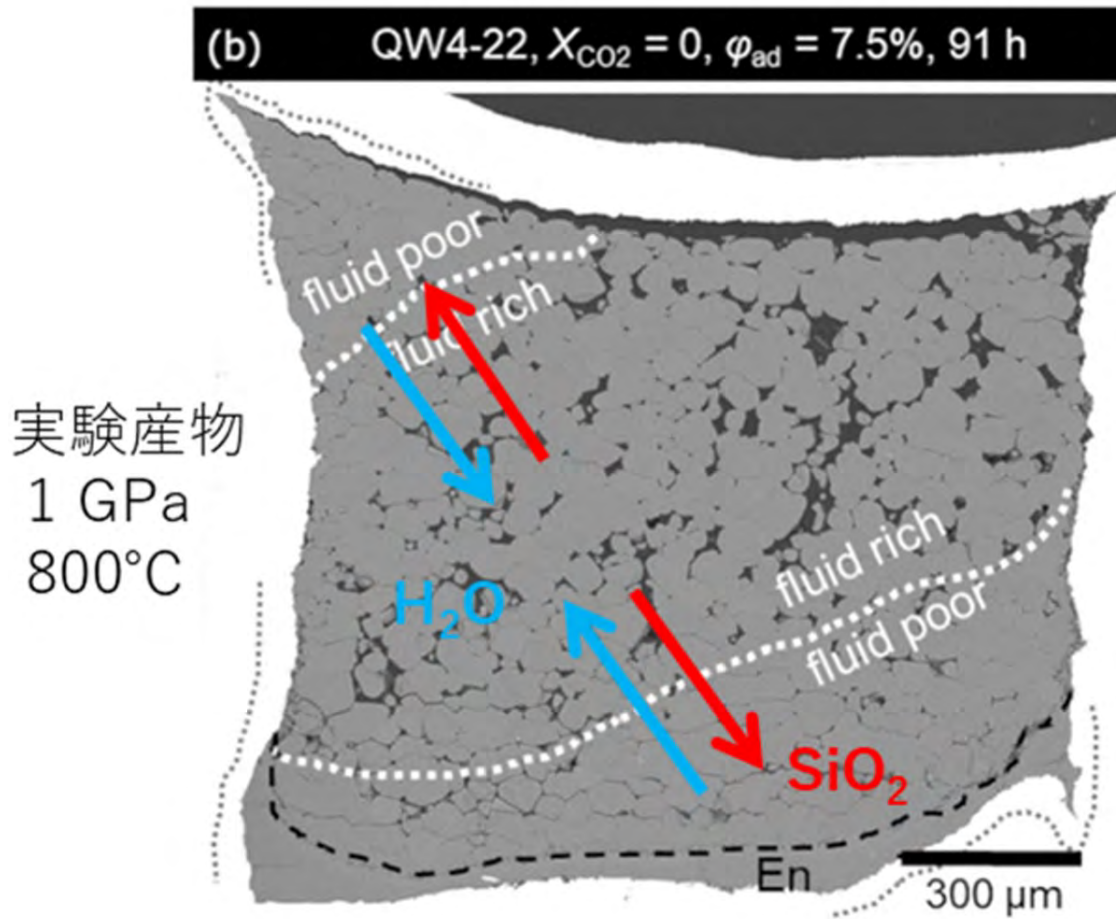


図6. 流体を含む石英多結晶体のBSE (backscattered electron) 画像の例。

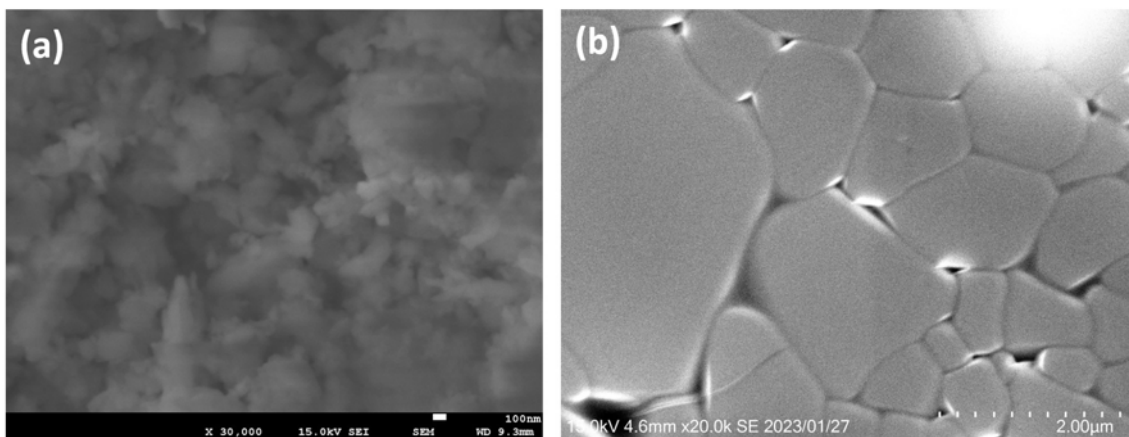


図7. (a) 出発物質。(b) 1250°Cで16時間焼結した試料。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2019年11月から2020年6月まで実施した桜島での空中電界変動観測データの解析を行った。鹿児島地方気象台の報告する爆発や噴火に基づき空中電界変動波形データを抽出し、波形相関を利用して、新たな爆発や噴火を検出できるかなどについて検証を行った。また、2022年6月に霧島の新燃岳や硫黄山の噴火検知を目的に、東京大学地震研究所霧島華山観測所敷地内において、空中電界変動の観測を開始した。

桜島で2012年から2020年に発生した爆発的噴火に伴う地震と空振波、および傾斜計の解析を行った。この期間には、南岳A、B両火口と昭和火口で爆発的噴火が発生している。人工地震探査の結果（Miyamachi et al. 2013）および山体地形を加味して地震波速度構造を仮定し、爆発地震の震源決定を行った。その結果、爆発が発生したそれぞれの火口直下に震央が求められた。また、従来、半無限均質構造を仮定して求められた爆発地震の震源は、火口下数キロメートルに求められていたが、今回求められた震源の深さは、それぞれの火口から数百メートル下の極浅部に求められた。発震時は、空振波から推定される噴火発生時刻より0.2秒ほど早く、火山物質が噴出する直前に極浅部で急激な膨張があったことがわかった。一方、気象庁あみだ川観測点の傾斜計は、いずれの火口での爆発的噴火のときにも、南岳A火口方向の沈降を示していることがわかった。以上の結果は、爆発的噴火は、それぞれの火口直下での急激な膨張、火口底の破壊と噴火の発生、南岳A火口下の圧力源の減圧というプロセスを経ることを示している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

噴火発生の即時検知は、たとえば、噴石や火山泥流等からの避難に重要である。空中電界変動の測定を利用した噴火検知は、桜島及び阿蘇で実証したが、検知例が多くはないので引き続き継続する必要がある。桜島の爆発的噴火に伴う地震や空振、地盤変動データを、最近の人工地震探査の成果を取り入れて解析を行うことにより、噴火直前や噴火中の火山性流体挙動やマグマ供給系の構造について新たな知見を得つつある。論文としてまとめ、火山噴火機構のより高精度のモデルを提示することが必要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中島悠貴・西村太志・青山 裕 井口正人・大湊隆雄・神田 径,2022,桜島における電場観測からの噴火検知の試み,日本火山学会2022年度秋季大会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

桜島の空中電界変動観測、爆発地震の震源決定、空振波解析の結果を基にブルカノ式噴火の発生機構について研究成果をまとめる。また、阿蘇山と浅間山、霧島山の空中電界変動観測を継続するとともに、火山噴火の発生が見込まれる火山に、空中電位計や空振計、地震計を設置し観測を開始する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志（東北大学）,小園誠史（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）,大湊隆雄（東京大学）,神田径（東京工業大学）,井口正人（京都大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村太志

所属：東北大学大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

浅部貫入マグマの結晶化速度と噴火挙動の推定手法の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1. 半深成岩が形成されるような低圧高温条件で一定以上の時間が経過すると、マグマの結晶量が増加し、結晶のネットワークが形成されてほぼ流動できない状態となる。そこでマグマの結晶化実験を系統的に進め、火山浅部に貫入したマグマが流動性を失うまでの時間を明らかにする。これにより、新たな貫入が認められなくなってからどれくらいの時間が経過すれば、マグマ噴火の危険性が低下するかを定量的に把握し、噴火警戒レベル引き下げの科学的判断基準の向上にも貢献できるようにする。

2. 火山灰や軽石などの火砕物の帯磁率に基づき、マグマの活動度推移を即時把握する手法を開発する。帯磁率は少量の試料粉末により1分以内で測定することができるため、火山活動推移の即時把握に利用できると考えられる。多様な化学組成、噴出形態の火砕物の帯磁率を測定して全体的傾向を掴むとともに、一連の噴火活動事例における帯磁率の経時変化を調べる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 半深成岩形成実験：貫入マグマの低圧高温の条件は、主に外熱式ガス圧装置を用いて再現する。出発物質には、安山岩質軽石を用いる。平成31年度は温度・圧力・時間などの基本的な条件を系統的に変えた実験を実施し、実験産物の鉱物学的な解析を行って、反応の素過程を考察する。平成32年度は、ハロゲン元素などの反応速度に対する効果や、実験産物の空隙率などを評価したうえで、結果を論文として投稿する。また、天然の溶岩ドームにおいて類似の組織を持つ岩石サンプルを観察し、実験結果との比較を行って、溶岩ドーム形成におけるマグマの結晶化と自爆性との関係を考察し、論文として投稿する。

2. 火砕岩帯磁率の火山活動評価への応用：帯磁率は、試料に含まれる磁鉄鉱の量と磁区サイズに依存するので、たとえば長時間、地下に滞留して析出ラメラが形成された磁鉄鉱を含むマグマや、地下浅

部で磁鉄鈷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鈷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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 島弧火山の中間組成の噴出物にはしばしば温度や組成の異なるマグマの混交・混合が見られる。マグマ混合はマグマ溜りあるいは火道中で生じていると考えられるので (Koyaguchi, 1987; Tomiya et al., 2013)、マグマ混合が火道上昇中のマイクロライト結晶化を通じて噴火ダイナミクス影響するかどうかを理解することは、マグマ混合が普遍的にみられる火山での噴火様式やその推移の予測に重要である。本研究では、浅間火山天明軽石を例にこの点を調べた。

東京大学地震研究所浅間観測所敷地内の露頭から6層に分けて軽石サンプルを採取し、直径5mm程度の白色軽石を各10個選択し使用した。これは1783年7月28日から8月5日までに発生した断続的なサブプリニー式噴火からクライマックスのプリニー式噴火に対応する (Yasui & Koyaguchi, 2004)。FE-SEMを用いて斜長石を中心に斑晶と、微斑晶からマイクロライト (短軸30-5 μ m)、石基ガラスの反射電子像の撮影とEDSによる組成分析を行った。

石基ガラスのSiO₂含有量は67-76 wt%と広い幅を示し、SiO₂=73-73.5に鋭いピークを持つユニモーダルな分布を示した。またガラス組成はハーカー図において直線的なトレンドを示し、反射電子像では多様なスケールの不均質組織が観察された。これらの結果は、2つの端成分マグマの混合が起きていること、低温側マグマの混合比が大きい (2:1以上) ことを示す。

斜長石斑晶とマイクロライトは、その組成範囲がほぼ一致し (斑晶An# 53-88、マイクロライトAn# 50-86)、その頻度分布も極似して、ともにAn# 70付近を境とするバイモーダルとなる (図)。斑晶のリムとマイクロライトは、組成のピークが一致し、それらの低An#側のピークは斑晶コアの低An#側のピークよりAn#が3程度高い。また、噴火の推移とともに高An#を持つマイクロライトや斑晶リムの割合が増加した。なお、マイクロライトのサイズとコア組成には相関は殆ど無い。以上の組成頻度分布は、斜長石マイクロライトが、マグマ溜りで混合前のマグマから晶出したもの (= 斑晶の細粒成分) と、同じ圧力 (= マグマ溜り) でのマグマ混合で、ある程度均質化したメルトから晶出したものの各約5割ずつで構成され、火道上昇中に減圧結晶作用によって晶出したマイクロライトはごく僅かであることを示す。

珪長質ガラスに微小の石基結晶を加えたメルト (SiO₂= 69.5wt%) を用いたMELTS計算では、浅部マグマ溜り温度 (930 °C) ・圧力 (0.8 kb; Aoki et al., 2013) で平衡となる斜長石はAn# 51、結晶量1 wt%で、そこから等温で0.2 kbまで減圧するとAn#36で結晶量23 wt%となる。一方、マグマ混合による低温端成分マグマの温度上昇を考慮し、80°Cの上昇が減圧と同時に起こる場合には0.5 kbまで斜長石の結晶度は増加せず、An#の低下も4%に抑えられる。このことから、噴火直前のマグマ溜りまたは噴火中の火道内でのマグマ混合で低温端成分が加熱されることでマイクロライトの減圧結晶化が抑制されて、マグマ全体の粘性増加も抑えられ、爆発的な噴火が起こりやすくなっていた可能性がある。島弧のCA系列火山で、マグマ溜りの下部から注入される高温マグマが観測されている場合には、混合の進展とともにマグマが上昇しやすくなり、天明噴火のようにサブプリニー式噴火に続いてプリニー式のクライマックス噴火に至る可能性に十分注意する必要がある。

2. 本質マグマ物質 (急冷したJuvenileな火山砕屑物) の磁氣的性質から、磁性鈷物の種類・産状を解析し、マグマ上昇過程の情報を得るため、桜島大正噴火プリニー式軽石と、その加熱実験産物のMPMSによる低温磁気測定を行った。

保持力の小さい (微) 斑晶~マイクロライトサイズのチタン磁鉄鈷や、斜長石斑晶中の磁鉄鈷包有物の存在が明確に検出できたほか、加熱実験産物では、保持力の大きな細粒ナノライト~ウルトラナノライトサイズの磁鉄鈷が石基に晶出したことが、磁氣的にも明確に確認できた。Fe-Ti酸化物の鈷物相に関しては、FE-SEM, TEMと並んで基本的に有力な分析手法となる可能性があり、磁区サイズ情報が得られるため、とくにマグマの上昇や酸化過程を反映するナノライト成分の検出を目指す。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に

対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

島弧火山において普遍的にみられるマグマ混合が、減圧結晶作用による粘性上昇を抑える効果があることの発見は、火道過程のモデル化に貢献すると考えられる。サブプリニー式噴火が数日継続した後で、そのまま終息するのか、浅間火山天明噴火のように、逆にクライマックスのプリニー式噴火が発生するのかは、災害軽減にとって重要であるが、この分岐においてマグマ混合が果たす役割を明らかにしていきたい。

また近年、マグマの粘性増加や気泡の不均質核形成のサイトとして注目を集めている磁鉄鉱ナノライトを検出する新たな手法として岩石磁気的な手法を開発することは、火山現象の解明と、噴出物を用いた準リアルタイム噴火推移評価手法の開発につながる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

中村美千彦, 櫻井亮輔, 関谷夏子, 2022, 十和田火山御倉山溶岩ドーム Ⅹ デイクティタキシティック組織部の浸透率, 日本地球惑星科学連合大会, SVC32-P12

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は、これまでに実施してきた研究を論文としてまとめる。火道浅部でのマグマの結晶化に関する論文は、結晶化速度の速い玄武岩質マグマの例（富士火山宝永噴火）やアルカリ岩についての論文、浅部結晶化実験の論文が最終段階なので完成を目指す。岩石磁気に関する研究は帯磁率変化を示した原因を考察した火山灰の記載的研究の投稿を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

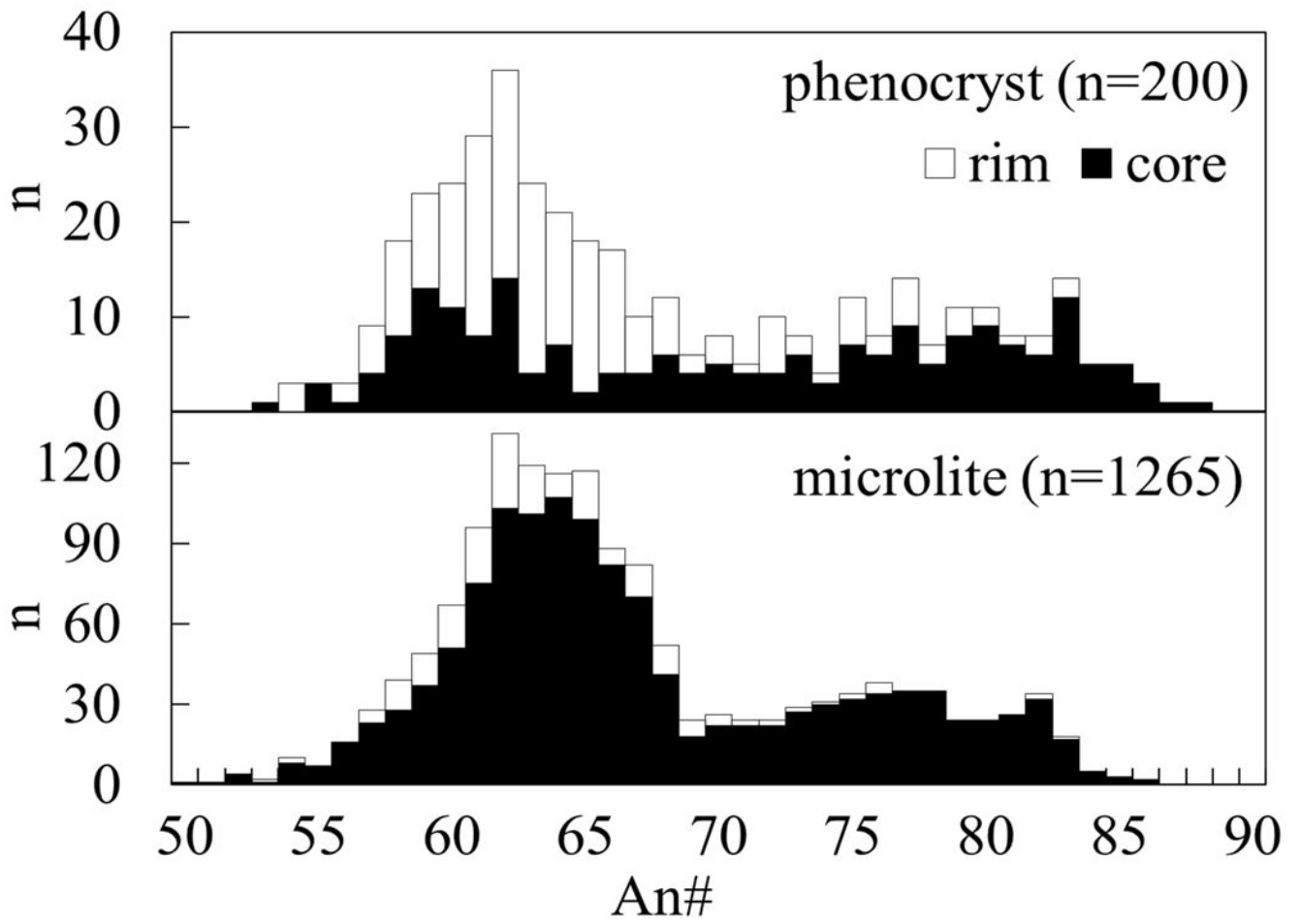
中村美千彦（東北大学大学院理学研究科）, 無盡真弓（東北大学大学院理学研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中村美千彦
所属：東北大学理学研究科



斜長石斑晶とマイクロライトのAn値頻度分布

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

世界各地の大地震発生域との比較研究に基づく地震・火山現象の理解

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
オ. 構造共通モデルの構築

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火
オ. 高リスク小規模火山噴火
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

世界各地のプレート沈み込み帯における地震波トモグラフィー解析の結果を比較することで、プレート沈み込みに伴う地震発生メカニズムの共通点・多様性を明らかにし、大規模な地震・火山噴火発生場に対する理解を深める。これにより低頻度災害の発生メカニズムに関する知見を効率よく増やすことができ、また国際貢献にも繋がると期待される。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては、フィリピン沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。
2020年度においては、アラスカ沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。
2021年度においては、アメリカとカナダの西部にあるCascadia沈み込み帯の3次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。
2022年度においては、アジア大陸東部の3次元地震波速度構造を求め、大陸内部の地震発生機構とプレート内部火山の起源を調べる。

2023年度においては、中国大陸西部の3次元地震波速度構造を求め、インドプレートの沈み込みに伴う地震発生メカニズムを調べる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 近地地震と遠地地震のP波走時データの同時インバージョンを行い、東北アジア地域の3次元P波速度構造と異方性分布を求め、マントル遷移層に停滞する太平洋スラブ上のbig mantle wedge (BMW)内の構造不均質とマントルの対流パターンを調べた。その結果、中国大陸東部を南北に走るTanlu断層帯を境にしてBMWは東西方向に二つのブロックにわけられ、その東部ブロック直下の熱い上昇流によって日本海が開き、東北アジアのプレート内部火山が生まれたことがわかった (Liang et al., 2022).

2. 東南アジア地域の定常地震観測網と多くの臨時地震観測点で記録された大量の近地地震及び遠地地震の走時データに、最新の地震波異方性トモグラフィー法を応用し、この地域下の深さ 1600 kmまでの3次元P波速度構造及び方位異方性分布を調べた。その結果、海洋プレートの深い沈み込みとそのマントル遷移層における停滞は上部マントルに対流を起こし、地殻とマントルの不均質構造と地震・火山活動に大きく影響を及ぼしたことがわかった (Hua et al., 2022; Wei et al., 2022; Wang et al., 2022; Toyokuni et al., 2022).

3. S-net及びHi-netで記録された大量の近地地震走時データを用いて東日本前弧域の3次元P波・S波トモグラフィー解析を行った結果、マントルwedgeと沈み込んでいる太平洋スラブに顕著な構造不均質が存在することがわかった。特にスラブの上面付近に低速度・高ポアソン比の異常体が見られ、スラブ内の含水断層を反映し、その破壊で2021年と2022年福島沖地震(M7.1, M7.4)のようなスラブ内地震が起こると思われる (Zhao et al., 2022; Wang et al., 2023).

上記計画通りに実施した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

日本列島のみでなく、世界多くの地域下の地殻・上部マントルの3次元地震波速度と異方性構造の研究によって、地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化およびプレート境界地震と海洋プレート内部の地震の発生メカニズムの解明に新しい情報を提供した。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Hua, Y., D. Zhao, Y. Xu, 2022, Azimuthal anisotropy tomography of the southeast Asia subduction system, *J. Geophys. Res.*, 127, e2021JB022854, doi:10.1029/2021JB022854, 査読有, 謝辞有

Liang, X., D. Zhao, Y. Xu, Y. Hua, 2022, Anisotropic tomography and dynamics of the big mantle wedge, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL097550, doi:10.1029/2021GL097550, 査読有, 謝辞有

Toyokuni, G., D. Zhao, K. Kurata, 2022, Whole-mantle tomography of Southeast Asia: new insight into plumes and slabs, *J. Geophys. Res.*, 127, e2022JB024298, doi:10.1029/2022JB024298, 査読有, 謝辞有

Wang, Z., D. Zhao, X. Chen, R. Gao, 2022, Subducting slabs, Hainan plume and intraplate volcanism in SE Asia: Insight from P-wave mantle tomography, *Tectonophysics*, 831, 229329, doi:10.1016/j.tecto.2022.229329, 査読有, 謝辞有

Wang, Z., D. Zhao, X. Chen, 2023, Fine structure of the subducting slab and the 2022 M7.4 Fukushima-oki intraslab earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 94, 17-25, doi:10.1785/0220220234, 査読有, 謝辞有

Wei, W., D. Zhao, W. Yu, Y. Shi, 2022, Complex patterns of mantle flow in eastern SE Asian subduction zones inferred from P-wave anisotropic tomography, *J. Geophys. Res.*, 127, e2021JB023366, doi:10.1029/2021JB023366, 査読有, 謝辞有

Zhao, D., Y. Katayama, G. Toyokuni, 2022, The Moho, slab and tomography of the East Japan forearc derived from seafloor S-net

data.,Tectonophys.,837,229452,doi:10.1016/j.tecto.2022.229452,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Zhao, D., Z. Wang,2022,P-wave anisotropy and intraslab earthquakes in the Tohoku forearc,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG43-06

Zhao, D., R. Jia,2022,Seismic structure, anisotropy and dynamics of the big mantle wedge,日本地球惑星科学連合2022年大会,SIT18-02

Zhao, D., Y. Katayama, G. Toyokuni,2022,Seismic structure and seismotectonics of the East Japan forearc derived from seafloor S-net data,日本地震学会2022年度秋季大会,S04P-03

高田大輔・豊国源知・趙大鵬,2022,南米とその周辺地域下のP波マントルトモグラフィ,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG50-12

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

世界最先端の地震波異方性トモグラフィ法を用いて, 中国大陸中西部とアメリカ西部の3次元地震波速度構造と異方性構造を推定し, 大陸marginとその内部の地震発生機構, プレート内部火山の起源およびマントルダイナミクスを調べる.

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

趙大鵬（東北大学大学院理学研究科）,豊国源知（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

中国南京大学,中国科学院,中国地震局,吉林大学,中山大学,西北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zhao@tohoku.ac.jp

URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：趙 大鵬

所属：東北大学 大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

スラブ内地震の発生メカニズムに関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震
千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は海陸の地震観測と室内実験によって、スラブ内地震の発生する場所、条件、様式、それらのスラブごとの差異といった、スラブ内地震の基本的枠組みの包括的な理解を目指す。海域観測では、日本海溝海側での海底地震観測網で観測された東北地方下の地震を解析することで、沈み込む海洋プレート内に存在する断層の広がりや把握を目指す。また、東北地方の二重深発地震面の下面に沿う地震波速度・減衰構造やスラブ内地震の応力降下量、地震波エネルギー放射効率といった断層運動に関する物理量を精査し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにする。さらに、室内実験では、スラブ構成岩石を主として相転移断層形成・脱水脆化・塑性不安定性に伴う断層形成機構を実験的に検証し、温度・圧力・岩石種ごとの主要断層形成機構を把握する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

海域地震観測：アウターライズ正断層地震の断層下端深さの把握を目的とし、1933年昭和三陸地震および2011年宮城県沖地震の震源域直上での海底地震観測網で観測された稍深発地震の解析を行う。解析で用いる稍深発地震震源－観測点間波線経路は、余震活動を用いた地震波トモグラフィでは推定が難しい大地震断層の深部側を通るため、仮に破碎や含水化が断層の深部に及んでいれば、それに関連した低速度異常の検知が期待される。平成31、32年度では、1933年地震震源域の海底自然地震観測記録から稍深発地震波の見かけ速度の変化を調べ、波線追跡法を用いて1933年地震断層にかかわる走時異常の下端深さの把握を試みる。平成33、34年度は、2011年地震震源域での地震観測記録について

て同様の手順を踏んだ解析を行う。ここでの観測点分布は1933年震源域とほぼ同じだが、断層サイズが異なるので検出される走時異常の分布の広がりも異なることが予想される。平成34年度以降は、三陸沖と宮城県沖で得られた結果と既往の地震波速度研究とを総合して比較し、大断層形成にかかわる構造改変の様子を明らかにする。2011、1933年地震震源域での海底観測記録は海洋研究開発機構から提供を受ける。

陸域地震観測：平成31、32年度は、日本列島で発生するスラブ内地震の波形解析により、静的応力降下量や地震波エネルギー放射効率を推定し、震源パラメータに地域変化や深さ変化、規模依存があるかを確認する。また、深発地震の走時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、スラブの異方性を考慮した速度構造、およびS波減衰構造の推定を行うことで、スラブ内不均質構造を明らかにする。平成34年度以降は、一連の解析で得られた結果を総合的に解釈し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにするとともに、スラブ内地震の発生モデルを高度化する。

室内実験：含水鉱物（蛇紋石、緑泥石、ローソナイトなど）の脱水反応やオリビーンスピネル相転移に伴う断層形成機構の把握を目的として、稍深発～深発地震発生域の温度・圧力条件が発生可能な岩石変形試験機（固体圧変形試験装置およびD-DIA型変形試験装置）を用いて高温高圧実験を行う。鉱物種ごとに異なる温度・圧力条件化での摩擦不安定性や降伏強度および不安定すべり時の応力降下量の変化、変形特性を調べる。先の研究成果によりローソナイトは脱水を伴わずとも破壊が生じることが明らかとなり、鉱物種によって異なる変形・破壊特性を示すことが予想された。そこで、平成31年度では、ローソナイトや他の含水鉱物でも同様の実験を行い、脱水前後、どのタイミングで不安定すべりを引き起こすかの検証を行う。平成32～34年度では、間隙水圧を制御したセル（金属ジャケット使用）を開発し、脱水脆性化の有無を調べる。こちらも鉱物種による違いを検討する。平成35年度では、スラブ内に存在する岩石を作成し、多相系での脱水脆性化について検証を行う。また、オリビーンスピネル相転移についても、実際のマントルに存在するオリビンを出発物質として用いた相転移を伴う変形実験を行い、断層形成が起こるか検討をする。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海域地震観測

S-netにより可能となった空間密度の高いデータセットでの地震波トモグラフィーにより、東北日本前弧域下の3次元地震波速度分布を求めた。太平洋スラブは表面から20kmの厚さ範囲で蛇紋岩化マントルを示す高P波速度（Vp）高ポアソン比でイメージされたものの、2003、2021、2022年に福島沖～宮城沖で発生したM7級のスラブ内地震の余震分布に沿うように低Vp域が局在することが明らかとなった（図1）。こうした低Vp異常域がスラブ表面に対し高角であることから、東北沿岸域下のスラブ内地震は海溝海側斜面域で形成されるアウターライズ断層が再活動した地震と言える。震源断層沿いに低Vp化する様子から、蛇紋岩化マントルから脱水した水が断層に排出されたことによる高間隙圧化が示唆され、結果として断層強度が低下しているものと考えられる。

陸域地震観測

岩手県の浅部地殻地震、茨城県と千葉県のプレート境界地震、宮城県のスラブ内地震の4地域で発生した地震（Mj3.7～3.9）に対して、経験的グリーン関数法（EGF法）を用いて震源時間関数を推定した。それぞれの対象地震の近傍で発生した小規模な地震の波形をEGFとして対象地震の波形をデコンボリューションし、得られた震源時間関数から破断時間と破断指向性を推定した。推定された破壊継続時間はおおよそ0.1～0.3秒であり、地域間で大きな差はなかったが、宮城のスラブ内地震は他地域に比べ小さい傾向があり、先行研究により比較的大きな規模のプレート間地震とスラブ内地震の間に示された関係性と一致する。さらに、観測点毎に求められた継続時間の、地震の到来方位による変化に基づき断層破壊の指向性の特徴を調べたところ、すべての地域で顕著な指向性を持つ破壊を持つ地震が存在すること把握され、特に岩手県の地殻地震で指向性を持つ割合が30%程度と最も高かった。指向性の向きはプレート境界地震、スラブ内地震で断層面のup-dip方向に系統的である一方、地殻地震では散逸的であることが確認された。この指向性に関する解析は、中小規模の地震であっても複雑な破壊過程を持つ地震が存在することを示している。

室内実験

深発地震の発生深度（400～600km）における温度圧力環境下でのカンラン石の一軸圧縮変形実験に

よって、特定の温度（850°C周辺）のみにおいてカンラン石のナノ粒子化が進行し、このナノ粒子層への変形エネルギーの集中と部分的溶融が起きる結果、深発地震に至ることを明らかにした（図2）。この結果は、長年謎に包まれていた深発地震の発生メカニズムの有力な説明になるとともに、深発地震の発生がプレート深部の特定の場所（「準安定カンラン石ウェッジ（MOW）」と呼ばれる領域の表面付近）に限定されることを意味している。

深発地震（深さ300-660 km）の発生メカニズムの一つとして、スラブ構成物質のかんらん石が高压相に相転移する際に断層を形成する相転移断層運動モデルが提唱されている。相転移断層モデルの動力学に対する粒径の影響を明らかにするため、かんらん石のアナログ物質であるゲルマニウムかんらん石を用い深発地震発生深度における温度圧力環境下で粒径の異なる出発物質変形実験を行った。断層を形成した岩石の組織観察から、細粒なかんらん石では粒界での相転移により断層が形成し、粗粒なかんらん石では粒内での相転移が断層を形成することが明らかになった。アコースティックエミッション（AE）計測により、かんらん石の粒径の違いによって**b**値が異なることが明らかになった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

前弧域下のスラブ内大地震震源域が低地震波速度異常として検出されており、スラブ内潜在断層の分布把握につながる成果が得られている。スラブ内地震では短周期地震動により木造家屋に被害が生じることがあり、スラブ内地震の破壊継続時間の推定は短周期地震動の励起の理解に寄与する研究である。室内実験では、深発地震の発生には構成岩石の相転移が重要であることを示した。また、相転移断層運動モデルに示された岩石の粒径依存性は、深発地震が稍深発～前弧域深度の地震と同様に既往断層の再運動であるかの理解に向けた手がかりと成り得、スラブ内地震の発生機構の理解に資する成果が得られている。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ohuchi, T., 2022, Grain-size-sensitive creep of olivine induced by oxidation of olivine in the Earth's deep upper mantle: Implications for weakening of the subduction interface, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 326, 106865, doi:10.1016/j.pepi.2022.106865, 査読有

Lei, X., Ohuchi, T., Kitamura, M., Li, X., Li, Q., 2022, An effective method for laboratory acoustic emission detection and location using template matching, *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, 14, 1642-1651, doi:10.1016/j.jrmge.2022.03.010, 査読有

Ohuchi, T., Higo, Y., Tange, Y., Sakai, T., Matsuda, K., Irifune, T., 2022, In situ X-ray and acoustic observations of deep seismic faulting upon phase transitions in olivine, *Nat. Commun.*, 13, 5213, doi:10.1038/s41467-022-32923-8, 査読有

Wang, Z., Zhao, D., and Chen, X., 2022, Fine Structure of the Subducting Slab and the 2022 M 7.4 Fukushima-Oki Intraslab Earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 94, 17-25, doi:10.1785/0220220234, 査読有

Zhao, D., Katayama, Y., and Toyokuni, G., 2022, The Moho, slab and tomography of the East Japan forearc derived from seafloor S-net data, *Tectonophysics*, 837, 229452, doi:10.1016/j.tecto.2022.229452, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

Sawa, S., Miyajima, N., Gasc, J., Muto, J., Schubnel, A., Baïssat, M., and Nagahama, H., 2022, Effect of grain size on the mechanism for deep-focus earthquakes, 日本地球惑星科学連合大会, SCG43-09

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

海域地震観測：S-netで観測された近地・遠地地震を用いた異方性トモグラフィを行い、東北日本前弧および太平洋スラブの詳細な構造を調べる。機動地震観測およびS-netデータのエンベロップ相関解析により微小地震カタログを作成し、余震活動が継続中の新しいアウターライズ大地震域を中心に海溝

海側斜面域の長期的活動状況を詳しく調べる。

陸域地震観測：スラブ内地震については、2003年宮城県沖地震の余震のみの解析を行ったが、次年度は他のスラブ内地震についても同様の解析を行うこと、また解析する地震の規模の範囲を広げることで、今回の解析結果がスラブ内地震に一般的に見られるかどうかを確認したいと考えている。

室内実験：深発地震の発生頻度が深さ600km以上（21GPa相当）で急降下する原因をカンラン石の一軸圧縮変形実験によって調べる。相転移断層形成の実験ではAEセンサを校正することにより粒径の違いがAEの地震波特性にもたらす影響を調べ、自然地震の地震波と比較する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東龍介（東北大学）、松澤暢（東北大学）、日野亮太（東北大学）、内田直希（東北大学）、矢部康夫（東北大学）、鈴木昭夫（東北大学）、武藤潤（東北大学）、白石令（東北大学）、趙大鵬（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

中島淳一（東京工業大学）、麻生尚文（東京工業大学）、小平秀一（海洋研究開発機構）、尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）、藤江剛（海洋研究開発機構）、大内智博（愛媛大学）、澤燦道（東京農工大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：東龍介

所属：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

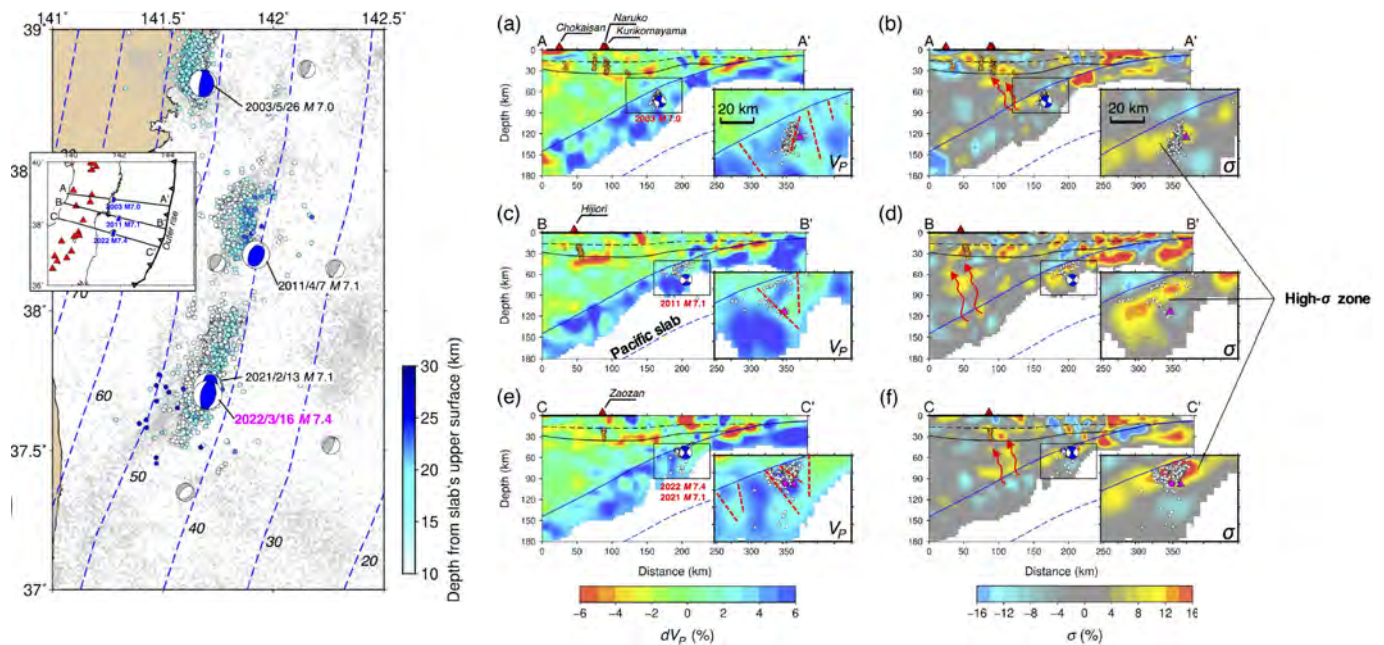


図1. 福島沖～宮城県沖前弧域の3次元地震波速度分布(a,c,e)とポアソン比分布(b,d,f). 左図広域マップに黒線で断面位置を示す。スラブ表面に局在する低 V_p 異常でM7級スラブ内地震断層（赤破線）が活動した(Wang & Zhao et al. (2022)に加筆).

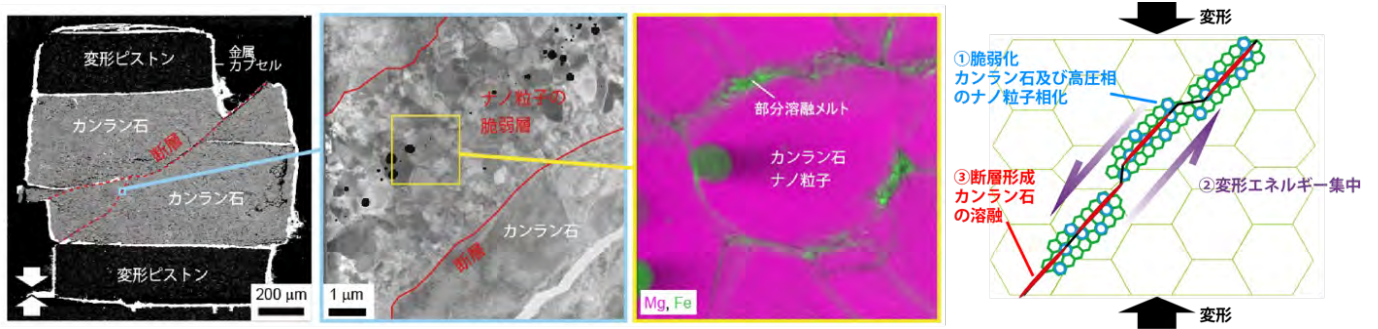


図2. カンラン石の一軸圧縮実験によって形成された断層の反射電子画像 (左図), 走査型電子顕微鏡画像 (中央2図). カンラン石の相転移に伴うナノ粒子化が進むと溶融が生じ断層形成に至ると考えられる (右図) (Ohuchi et al., 2022).

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻応答による断層への応力載荷過程と断層間相互作用の解明と予測

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

東北地方、特に東北地方太平洋沖地震が発生した後に地震活動の変化が見られた秋田県を中心とする東北地方中北部領域などの領域で、東北沖地震後のひずみ場、地震活動や応力場・地殻流体の挙動に伴う強度の時間変化をモニタリングし、東北地方の陸域地殻の東北沖地震後約12年間の応答（余効変動）について知見を得る。また、活断層が複雑に分布する宮城県中部～山形県南部～福島県北部における地震活動の理解を深め、複雑な断層系における応力・ひずみ蓄積過程や断層間の相互作用の理解に貢献する。

また余効変動のような遷移的な変形挙動を予測する岩石力学的データは乏しく、余効変動の盛衰を占う余効すべりと粘弾性緩和の定量的な区分は未だ困難である。そこで本研究では、広範な上部マントル温度条件下でのカンラン石試料の応力緩和実験も行い、東北沖地震の余効変動を予測する遷移流動挙動のレオロジー解明を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目：長期にわたって継続するための測地観測網・地震観測網の整備を行う。

前計画の課題：1203や科研費・新学術領域「地殻ダイナミクス」で設置した臨時観測点を再編し、またこれまでオフラインで行ってきた観測をオンライン化する等、長期観測に対応する。さらに、これまで観測・理解が手薄だった領域の強化として、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測網を整備する。それぞれの観測点間隔は、地震発生層の厚さ（約10-20km）を考慮し、約15km程度とし、また既存観測点の配置を考慮し、計約30点の地震観測点を整備する。比抵抗構造探査については、前年度までに整理・統合したデータを利用し、新潟県村上市～福島県相馬市の二次元測線の解析を進める。実験については、既設の実験機材の整備を行う。領域内の断層浅部・深部構造探査等の結果について既往研究の成果・データ等の収集およびコンパイルを行うとともに、機材調整および測線設定と下見を進める。

2年目以降：測地観測網・地震観測網の整備および比抵抗観測を進める。各項目において整備した

観測網や実験装置を利用し、過去に設置した観測点のデータと合わせて、各解析・実験を順次進める。

ひずみ分布やメカニズム解・応力場・地殻流体および強度分布・震源分布・地震活動を精度良く推定しそれらの時空間変化を捉える。

さらに、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測データを活用し、震源分布・応力場・地震波速度構造を精度良く推定する。Matched Filter法などを用いて、気象庁の一元化処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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震観測：

日本列島内陸域のMw3-7の地震のモーメントレート関数の系統的な推定（Yoshida and Kanamori, 2023）：図1

日本列島内陸域のMw3-7の地震のモーメントレート関数を系統的に推定・解析することにより、中小地震の破壊の複雑性の多様性を明らかにした。

常時微動表面波トモグラフィー手法の高度化（Takagi and Nishida, 2022）：図2

常時微動から3次元S波速度構造を推定するための表面波トモグラフィー手法を高度化した。特に、高次モードの存在・干渉によって表面波伝播が複雑になる海域や堆積層が存在する地域などに適用できる手法を開発した。手法のポイントは、（1）上下動のみでなく多成分相互相関の波形全体を利用することでS/Nが低い場合にもロバストに位相速度を測定できる点、（2）1次元S波速度構造をモデルパラメタとすることでマルチモード表面波の分散曲線を同時推定できる点、（3）波線の屈曲および有限周波数効果を取り入れることで位相速度マップを高分解能で推定できる点である。これらのポイントにより、水平方向・深さ方向ともに従来よりも高分解能なS波速度構造推定が可能になると考えられる。内陸の伏在断層等の地震断層浅部構造の解明のための有用なツールとなると期待される。

能登半島群発地震震源域の臨時地震観測および地震波異方性（岡田知己・他、2022）

能登半島群発地震震源域において、2022年6月末より、臨時地震観測を行った。

臨時地震観測データを用いて、S波スプリッティングにより地震波速度異方性の時空間変化を調べた。

また、地震波速度トモグラフィにより震源域およびその周辺の地震波速度構造を推定した。

地震波自動処理システムの改良 (堀内・他、2022)

相対震源決定を利用した、読み取りデータの自動修正機能を備えた地震波自動処理システムの改良を行った。

日本海東縁地域および東北地方内陸地域における断層の活動様式 (Tagami et al., 2023)

日本海東縁地域および東北地方内陸地域について、地震活動と火山活動との比較を行い、インバージョンテクニクスによる高傾斜角の逆断層は内陸地域の火山近傍で見られることを示した。

東北地方の地震波異方性 (水田・他、2022)

東北地方太平洋沖地震前後の地震波速度異方性について、S波スプリッティングにより調べた。東北地方全域において、2008年12月から2016年4月の期間の定常・臨時地震観測データを用いて解析を行った。地殻内の地震を用いた浅部の解析では概ね最大水平圧縮応力軸 (SHmax) 方向に沿うような応力起因の異方性が確認されたが、背弧側では断層の走向に沿うような構造的異方性も観測され、狭い空間スケールで異方性の方向が変化していることが確認された。東北沖地震前後で、異方性の方向が顕著に変化したことは確認できなかった一方、東北沖地震前後を通じ地震が活発な領域、期間で異方性は大きくなることが明らかになり、東北沖地震による異方性の大きさの変化が応力変化と整合的であるとみられる領域もいくつか存在した。

電磁気観測：

成果リスト (Yamaya et al., 2022：図3 他) にあるように、各地域における観測・研究に取り組んだ。

観測点密度の向上に加え、新種類のデータ (水平磁場変換関数) を逆問題に取り込み、確実に東北地方の断層 (たとえば、申川断層) 周辺の比抵抗構造分解能が向上した。比抵抗・地震活動・坑井温度データとの関係から流体分布の定量化と地震活動との関係やマグマとの関係が明瞭になり場の解明がさらに進んだ。

浅部構造探査：

2022年度は仙台平野南部の伏在活断層の連続性をさらに詳細に検討を行った。伏在活断層を東西に横断する方向の3測線において合計80地点の相対重力測定を実施し、ブーゲー重力異常の詳細な変化を追跡し、約25.5 kmにわたって活断層が連続することを明らかにした (岡田真介・他、2022, 図4)。

測地・モデリング：

東北沖地震10年間の余効変動に関する論文と簡単な2次元モデルから、マントルウェッジの非線形・深さ依存レオロジー、火山前線の下での低粘度ゾーンなど、個々のレオロジー不均質性の寄与を明らかにした。これらを明らかにするには地震後の垂直変動及びその時系列が重要な観測であることから、レオロジック不均質を含んだ力学モデルと稠密観測が、沈み込み帯の地震サイクルにおける様々な変形を包括的に理解する上で重要な役割を果たす可能性を示した (Dhar et al., 2023, 図5)。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

東北地方や能登半島の群発地震の地震活動・地殻構造について知見を得た。

これらは、内陸地震の発生過程の解明に寄与する。

内陸地震の発生過程の解明は災害軽減のための基礎となる。

地震観測では、中小地震の破壊の複雑性の多様性を明らかにし、「地震発生過程の解明とモデル化」に貢献した。地震の破壊過程は地震動に大きな影響を与えるため、災害に直結する。本成果は、地震の発生場所と破壊過程の特徴の傾向を調べるために有用なモーメントレート関数データベースを作成することにより、災害の軽減に貢献する研究への足掛かりを築いた。

高度化された常時微動表面波トモグラフィ手法により、水平方向・深さ方向ともに従来よりも高分解能なS波速度構造推定が可能になると考えられ、内陸地震発生場のより深い理解とともに、伏在断層等の断層浅部構造の解明のための有用なツールとなると期待される。

電磁気観測では、比抵抗構造分解能の向上により、断層周辺の流体分布やレオロジー特性の解明に貢献した。流体分布・温度・圧力から岩石鉱物のレオロジー構造を考慮した応力ひずみモデリングを行い、応力やひずみ集中領域からの中長期的に大地震発生場の予測を行うことが地殻応答の目的であり、その入力データである流体分布の推定は比抵抗構造が最も有力であることは間違いない。今後も比抵抗モデルの分解能向上を提出することで地殻応答計算の入力として貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Sakai, S., E. Kurashimo, T. Iidaka, N. Uchida, K. Yoshida, and T. Okada, 2022, Seismic Data from Temporary Seismic Observation in the Northeast Noto Peninsula, Central

Japan, Zenodo, 10.5281/ZENODO.6767362, 査読無, 謝辞有

Yamaya, Y., Y. Suzuki, Y. Murata, K. Okamoto, N. Watanabe, H. Asanuma, H. Hase, Y. Ogawa, T. Mogi, K. Ishizu, and T. Uchida, 2022, 3-D resistivity imaging of the supercritical geothermal system in the Sengan geothermal region, NE

Japan, Geothermics, 10.1016/j.geothermics.2022.102412, 査読有, 謝辞有

Yoshida, K. and H. Kanamori, 2023, Time-domain source parameter estimation of Mw 3–7 earthquakes in Japan, Geophysical Journal International, 査読有, 謝辞有

Takagi, R. and K. Nishida, 2022, Multimode dispersion measurement of surface waves extracted by multicomponent ambient noise cross-correlation functions, Geophysical Journal

International, 231, 1196–1220, 10.1093/gji/ggac225, 査読有, 謝辞有

Dhar, S., J. Muto, Y. Ohta, and T. Iinuma, 2023, Heterogeneous rheology of Japan subduction zone revealed by postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake, Progress in Earth and Planetary Science, Special Issues, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

水田 達也・岡田 知己・Savage M.・高木 涼太・吉田 圭佑・酒井 慎一・勝俣 啓・大園 真子・小菅 正裕・前田 拓人・山中 佳子・片尾 浩・松島 健・八木原 寛・中山 貴史・平原 聡・河野 俊夫・松澤 暢・2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ, 2022, 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(5), 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG52-09

岡田 知己・Savage M.・酒井 慎一・吉田 圭佑・内田 直希・高木 涼太・木村 洲徳・平原 聡・松澤 暢, 2022, 石川県能登半島群発地震震源域におけるS波スプリッティングと地震波速度構造, 日本地震学会2022年秋季大会, S06-09

堀内 茂木・佐藤 優子・飯尾 能久・加藤 愛太郎・岡田 知己, 2022, 相対震源決定による、読み取りデータの自動修正機能を備えた自動震源決定システム, 日本地震学会2022年秋季大会, S02-08

Tagami, A., M. Matsuno, T. Okada, S. Sakai, M. Ohzono, K. Katsumata, M. Kosuga, Y. Yamanaka, H. Katao, T. Matsushima, H. Yakiwara, S. Hirahara, T. Kono, S. Hori, T. Matsuzawa, S. Kimura, and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, 2023, Evaluation of fault activity in northeastern Japan and its relationship with magmatic activity, IAVCEI 2023, P1.084

石須慶一・小川康雄・布原 啓史・土屋範芳・市來雅啓・長谷英彰・神田 径・坂中伸也・本藏義守・日野裕太・関香織・Kuo Hsuan Tseng・山谷祐介・茂木透, 2022, MT法による超臨界地熱貯留層の調査, 日本地球惑星科学連合2022年大会

市來雅啓・神田 径・海田俊輝・潮田雅司・関香織・山本希・三浦哲・森田裕一・上嶋 誠, 2022, AMT法による蔵王山の比抵抗構造探査, 日本地球惑星科学連合2022年大会

白井嘉哉・上嶋誠・長谷英彰・市原寛・相澤広記・小山崇夫・坂中伸也・小河勉・山谷祐介・西谷忠師・浅森浩一・小川康雄・吉村令慧・高倉伸一・三品正明・森田裕一, 2022, 南東北背弧側の地殻の3次元電気比抵抗構造, 日本地球惑星科学連合2022年大会

Diba, D., M. Uyeshima, M. Ichiki, S. Sakanaka, M. Tamura, and Y. Usui, 2022, Subsurface electrical resistivity structure beneath the southern part of Tohoku, NE Japan, revealed by magnetotelluric and geomagnetic transfer functions, 日本地球惑星科学連合2022年大会

増田章吾・小川康雄・市來雅啓, 2022, 東北地方中央部の広帯域MTデータコンパイル, 日本地球惑星科学連合2022年大会

Masuda, S., Y. Ogawa, and M. Ichiki, 2022, Magnetotelluric Images of Volcanic Zones in NE Japan Arc and Co-seismic Deformations during the 2011 Tohoku M9 Earthquake, EMIW 2022, Çeşme, Turkey

増田章吾・小川康雄・市來雅啓, 2022, 東北地方中央部の広帯域MTデータコンパイルとインバージョン, 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会

石須慶一・小川康雄・吹野浩美・市來雅啓, 2022, MT法による鬼首地域の超臨界地熱貯留層の調査, 日本地熱学会令和4年度学術講演会

Ogawa, Y., S. Masuda, and M. Ichiki, 2022, Magnetotelluric Imaging of NE Japan Volcanic Arc and Co-seismic Deformations during the 2011 Tohoku M9 Earthquake, AGU Fall meeting 2022

増田章吾・小川康雄・市來雅啓, 2022, 東北地方中央部における3次元地殻流体分布, 2022年度CA研究会

山谷祐介・浅沼宏, 2022, 超臨界地熱資源評価に比抵抗構造探査が果たす役割, 2022年度CA研究会

吉田圭佑, 2022, Rupture complexity of Mw3-7 earthquakes in Japan and its appearance in the time and frequency domains, 日本地球惑星科学連合2022年大会

松本 圭晶・吉田 圭佑・豊国 源知・松澤 暢, 2022, 東北沖地震後に福島-茨城沖で多発している正断層型地震の震源分布・断層構造: sP depth-phase を用いた推定, 日本地震学会2022年秋季大会

高木涼太・西田究, 2022, 常時微動トモグラフィによる日本海溝・千島海溝沿い前弧海域下の3次元S波速度構造, 日本地震学会2022年秋季大会

岡田真介・越谷 信・田中美咲・平出裕博・岡田知己, 2022, 重力探査による仙台平野南部の伏在活断層南端部の連続性, 令和4年度東北地域災害科学研究集会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

引き続き、各研究項目を実施する。

地震観測:

2011年M9東北沖地震後に福島~茨城県北部で非常に活発に発生している地震活動と浅部での非地震性滑りの詳細を明らかにする。

3次元S波速度構造推定手法をさらに高度化させるとともに、内陸地震震源域および海域における稠密観測網に適用し、詳細な3次元S波速度構造を推定する。

電磁気観測:

コンパイルしたデータを解析すると同時に、双葉断層周辺の小規模観測を実施する予定である。

浅部構造探査:

2020年度から実施してきた仙台平野南部の伏在活断層をターゲットとした重力探査の成果を取りまとめる。また、断層運動のシミュレーションにより、伏在活断層の角度や変位量等についての評価を検討する。

測地・モデリング:

詳細な地殻変動とレオロジー不均質を考慮した力学モデルから東北沖地震の余効変動の包括的理解を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

岡田知己(東北大学大学院理学研究科), 松澤暢(東北大学大学院理学研究科), 高木涼太(東北大学大学院理学研究科), 吉田圭佑(東北大学大学院理学研究科), 内田直希(東北大学大学院理学研究科), 市來雅啓(東北大学大学院理学研究科), 三浦哲(東北大学大学院理学研究科), 武藤潤(東北大学大学院理学研究科), 矢部康男(東北大学大学院理学研究科), 山本希(東北大学大学院理学研究科), 太田雄策(東北大学大学院理学研究科), 日野亮太(東北大学大学院理学研究科)

他機関との共同研究の有無: 有

芝崎文一郎(建築研究所), 岡田真介(岩手大学), 福島洋(東北大学災害科学国際研究所), 勝俣啓(北

海道大学),高橋浩晃(北海道大学),前田拓人(弘前大学),山中佳子(名古屋大学),片尾浩(京都大学防災研究所),松島健(九州大学),八木原寛(鹿児島大学),坂中伸也(秋田大学),上嶋誠(東京大学地震研究所),大園真子(東京大学地震研究所),小川康雄(東京工業大学),山谷祐介(産業技術総合研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
 電話：022-225-1950
 e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
 URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己
 所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

1700個以上のMw3~7地震のモーメントレート関数を系統的に解析し、中小地震の破壊過程の複雑性の多様性を明らかにした。

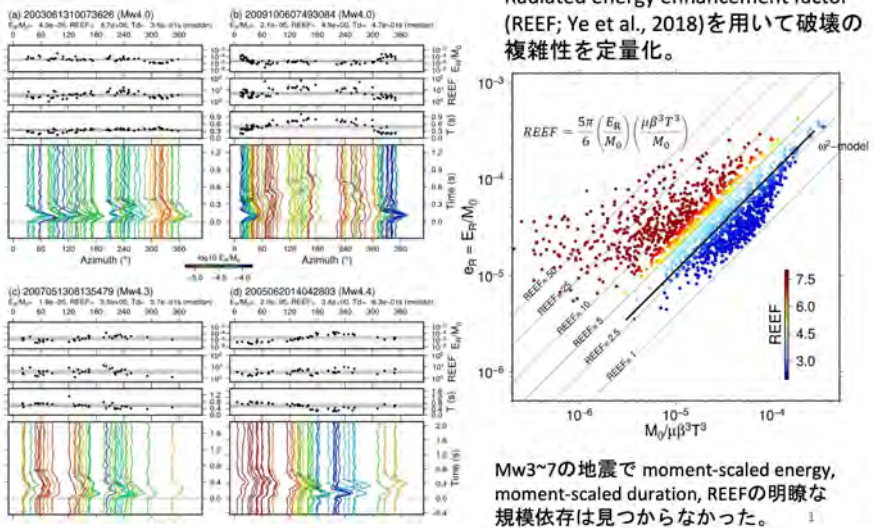


図1. 日本列島内陸域のMw3-7の地震のモーメントレート関数の系統的な推定 (Yoshida and Kanamori, 2023)

常時微動表面波トモグラフィーの高度化

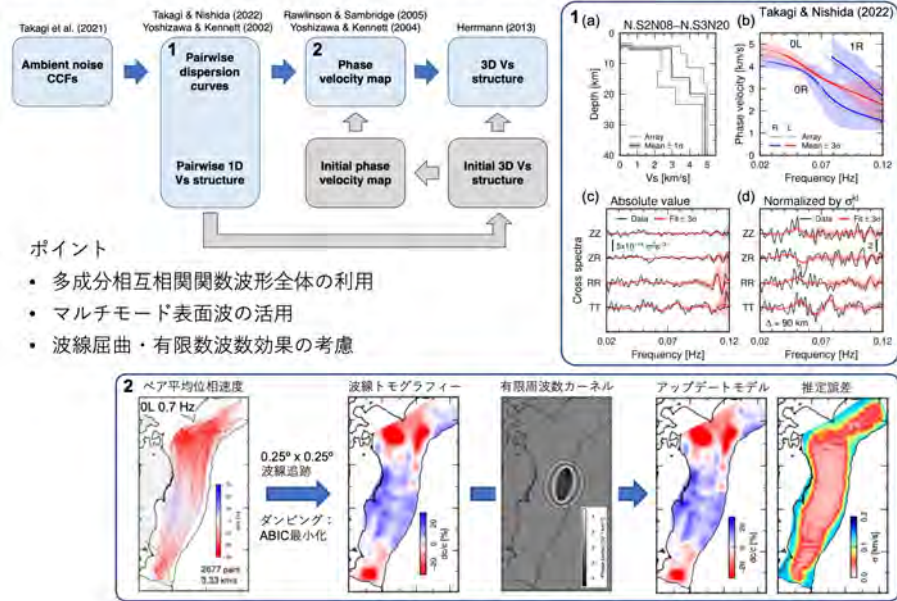
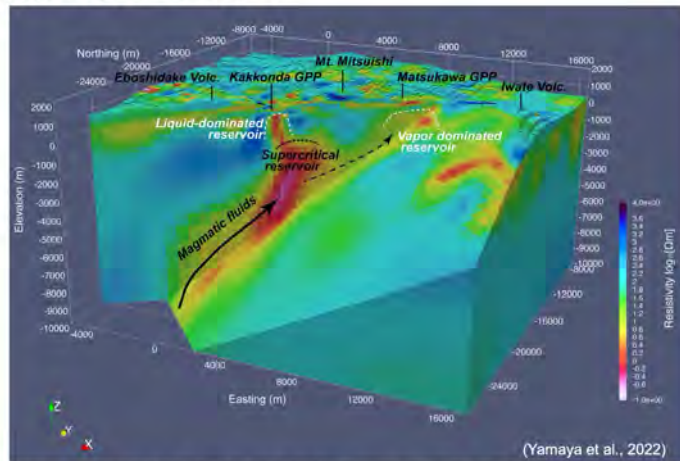


図2. 開発した常時微動表面波トモグラフィー手法 (Takagi & Nishida 2022, GJI).
1段階目で観測点ペア間の1次元S波速度構造およびマルチモード分散曲線を推定、2段階目で位相速度マップ、3段階目で3次元S波速度構造を得る。

葛根田地熱地域のMT法調査



- 低比抵抗体は、深部ではメルトを含むマグマ性流体を示していると考えられる。既存研究と対比すると、おそらくモホ面付近から繋がっており、マグマ供給系を示していると考えられる。
- 金原（1983）が提案した、共通の熱源が葛根田と松川の地熱貯留層に熱水を供給している可能性が比抵抗構造からも示唆された。ただし、測点数が限られていることから、今後測点数を増やし、慎重に解釈を進める必要がある。

図3. 葛根田地熱地域のMT法調査による比抵抗分布 (Yamaya et al., 2022).

仙台平野南部の伏在活断層の連続性

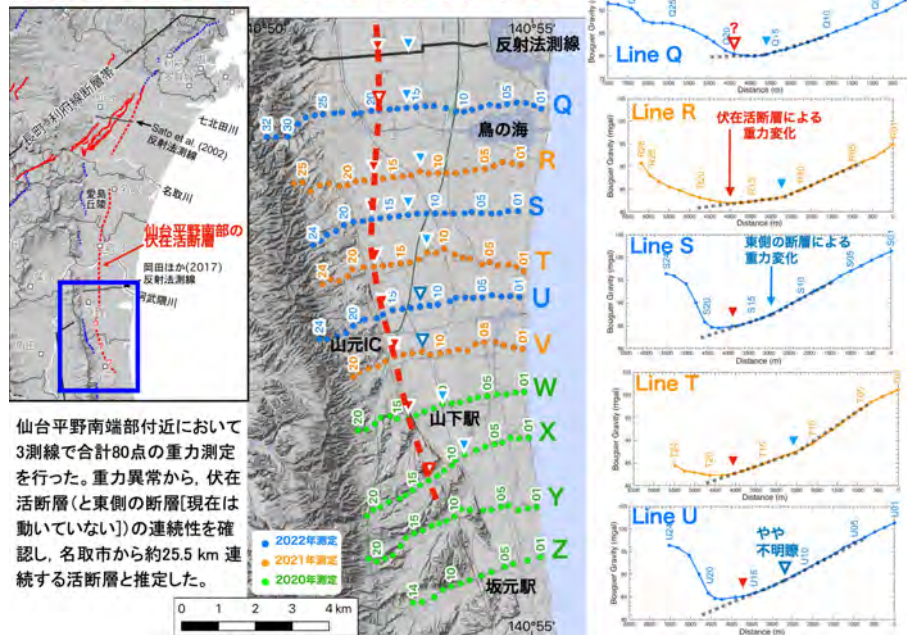


図4. 仙台平野南部の伏在活断層の連続性 (岡田真介・他、2022)
 仙台平野南端部付近において3測線で合計80点の重力測定を行った。重力異常から、伏在活断層(と東側の断層[現在は動いていない])の連続性を確認し、名取市から約25.5 km 連続する活断層と推定した。

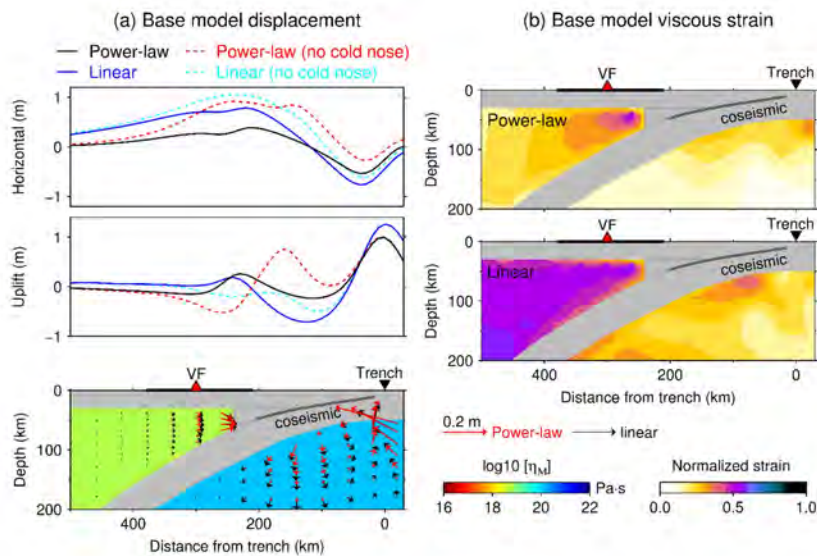


図5. 非線形レオロジーを使用した余効変動モデル (Dhar et al., 2023)
 a) 線形、べき乗レオロジーによる地表変動 (実線はコールドノーズあり、点線はコールドノーズなし)。べき乗レオロジーの方が、震源に近い部分でのみ変形小さい (ただし、両者の定常粘性率はほぼ同じ値を採用している)。
 b) レオロジーによる粘性歪み分布の違い：べき乗 (上)、線形 (下)。べき乗レオロジーの方が、震源に近い部分で粘性の低下により粘性歪が発生するが、線形モデルではモデル領域全体で変形している。これがa)での全体の変形量の幅を決めている。

(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：

集中地震観測による火山体構造・火山現象発生場の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年、高精度の多項目火山観測の拡充により、噴火に先行する中長期的なマグマだまりの変動や、噴火直前の火山体浅部における諸火山現象が検出・解明されつつある。このような一連の火山現象を支配するやや深部から浅部までのマグマ供給系・熱水系を含む火山体構造を明らかにすることは、現象の理解・噴火活動の推移予測（噴火事象系統樹の分岐過程）の基礎情報となるとともに、噴火事象系統樹・噴火活動推移モデルにおける時間発展の把握・理解にとって不可欠である。

これまでの噴火予知計画や地震火山観測研究計画においては、人工地震を用いた火山体構造探査が全国の活火山で継続的に行われ、その結果、火山浅部の詳細な地震波速度構造が明らかになり、火山現象の理解の進展に貢献してきた。しかしながら、浅部に低速度構造をもつ火山体構造故に、マグマだまりが存在するやや深部（～地下10 km弱）の構造の理解は十分とは言い難い。一方で、近年の地震波干渉法等の地震波伝播理論・解析手法の発展により、やや深部の地震波速度構造、さらには構造異方性を推定できる可能性が示されつつある。

そこで本研究課題では、マグマだまり及び浅部の両者において火山活動に伴う変動が見られている蔵王山及び箱根山をテストフィールドとして、それぞれ約2年間の集中地震観測を全国連携で実施し、やや深部から浅部にかけての地震波速度構造を推定することで、火山性流体の分布・供給路を明らかにし、噴火活動推移のモデル化に資する基礎情報を得ることを目指す。具体的には、地震波干渉法に

よる表面波解析により速度構造及び異方性の推定を行うとともに、既存データも併用して自然地震トモグラフィの分解能向上を図り、火山体やや深部構造の推定方法の確立を目指す。また、想定火口域近傍に観光客等が訪れる両火山において観測研究を進めることにより、防災対策に必要な中長期的な噴火ポテンシャルや切迫度の評価のための科学的情報を取得し、火山災害軽減に資することを旨とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

やや深部（～約10 km）から浅部までの火山体構造推定のために、蔵王山及び箱根山の周辺約30 km四方に臨時地震観測点20～30点を展開する。それぞれの火山において約2年間の連続観測を実施し、地震波干渉法解析・自然地震トモグラフィに必要なデータを取得し、既設地震観測点のデータも用いて火山体構造推定を行う。箱根山における観測は、神奈川県温泉地学研究所の支援を受けつつ実施する。

両火山においては、地震学的・電磁気学的な広域構造等についての既往研究結果があるため、これらの結果と本研究課題で得られた構造との統合的な解釈を進め、火山性流体の分布を明らかにする。また、各手法によって推定した構造の比較を行い、火山体構造推定の高度化に向けた検討を進める。各年度では、以下のように研究を実施する。

2019年度：既存データ・既往研究結果をもとにした予備解析を進めるとともに、観測・解析の事前シミュレーションを行い、観測点配置等の検討を行う。

2020年度：蔵王山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。得られたデータをもとに構造解析に着手し、観測データの質のチェック・予備解析を行う。

2021年度：蔵王山における観測を積雪期前まで継続し、解析データの蓄積を行う。年度後半に箱根山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。

2022年度：蔵王山で得られたデータを用いて構造解析を進めるとともに、得られた構造を用いた震源再決定等を行い、火山現象とその発生場の関連を検討する。また、観測期間中の構造時間変化の抽出を行う。また、箱根山における保守作業において回収したデータを用いた構造解析に着手する。

2023年度：箱根山における観測を継続するとともに、箱根山の構造解析を進める。両火山で得られた構造をもとに、火山性流体の分布形態・供給路の推定を行い、火山活動評価に資する情報の抽出を行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本課題では、令和3年度から蔵王山周辺において臨時地震観測網を展開し、構造解析に必要なデータの蓄積を進めてきた。この蔵王山周辺における観測は、当初令和2年度から開始する予定であったものであるが、新型コロナウイルス感染症の拡大を受けて、実施時期を変更したものである。令和4年度には、取得したデータに地震波干渉法を適用し、表面波の抽出及び表面波分散関係の推定を進め、火山体周辺部と山体中央部の想定火口域近傍における浅部構造の差異を明らかにした。想定火口域近傍で推定された構造は、2015年度に実施した人工地震構造探査で得られたものと調和的であり、基盤岩に近い速度を持つ層が浅部まで存在するという蔵王山の特徴的な構造が改めて確認された。また、得られた速度構造を基にして火山性地震の震源再決定を行い、火口湖御釜周辺の活動領域の詳細を明らかにした。

本課題で令和3年度末に臨時地震観測網の展開を行った箱根山についても、観測網の増強と維持を行い、データの蓄積と予備的な解析を進めた。本臨時観測では、神奈川県温泉地学研究所の既設観測網を補間するようにカルデラ内外に17点の観測点を設置し、約1年間の連続観測を実施した。臨時観測点は中央火口丘から約10 km以内の範囲に選点し、既設観測網が手薄なカルデラ西側に特に重点的に配置を行うことで観測点分布を均質化し、カルデラの南北に連なる丹那断層と平山断層によるプリアパート構造と火山活動の関係などの理解を進めることを狙った。地震波干渉法による解析は、本臨時観測及び既設の定常観測網で得られた上下動成分記録を用いて行い、レイリー波の基本モードを主な対象とした。深さ約5 km以浅の構造の推定を行うため、1秒から10秒の周期帯について各観測点ペア間の相互相関関数を計算し、レイリー波の群速度を推定した結果、周期約3秒以下では基本モードの群速度は1.2 km/s前後と概して低速度であり、それ以上の長周期帯では正分散性を示した（図1）。また、丹那・平山断層を境とする東西の違いに着目すると、カルデラの西側では全周期帯にお

いて東側に比べて低速度を示した。得られたレイリー波基本モードの分散関係は、先行研究（平賀、1987; Yukutake et al. (2021)）で推定された浅部に低速度層をもつ速度構造と整合的であり、カルデラの東西の差異はYukutake et al. (2011)などで中央火口丘直下の地震発生領域内（深さ6 km以浅）に存在が示唆されている破碎帯によるS波速度低下に起因していると解釈することができる。今後、得られたレイリー波群速度から3次元速度構造の推定を進めるとともに、水平動成分を用いたラブ波の解析を行い、異方性を含めた構造を推定することで、箱根山直下の流体供給路の理解が進展することが期待される。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望
関連の深い建議の項目の目的である「火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明」に資するため集中観測の実施及びそのデータ解析・解析手法の開発を進めている。得られた成果・知見は、火山現象の発生場及び火山活動推移の理解を深める基礎となるものである。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

山本希,2022,多項目観測による火山活動推移の把握と現象理解,次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト課題関連携研究集会,B2-1

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：火山：地震：短周期地震観測

概要：箱根山周辺における臨時地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：神奈川県箱根町箱根山 35.8617 138.9785

調査・観測期間：2022/2/-2023/2/

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地震：短周期地震観測

概要：蔵王山周辺における臨時地震観測

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：宮城県蔵王町蔵王山 38.1199 140.4525

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

蔵王山及び箱根山における集中地震観測のデータを用いた構造解析を進める。また、先行研究で示されている各種火山現象の発生領域などとの比較を進め、火山性流体の分布・供給路を明らかにし、火山現象と発生場の関連を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山本 希（東北大学大学院理学研究科）,岡田知己（東北大学大学院理学研究科）,高木涼太（東北大学大学院理学研究科）,西村太志（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学大学院理学研究院）,大湊隆雄（東京大学地震研究所）,寺田暁彦（東京工業大学理学院）,前田裕太（名古屋大学大学院環境学研究所）,大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）,松島健

（九州大学大学院理学研究院）,中道治久（京都大学防災研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本 希

所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

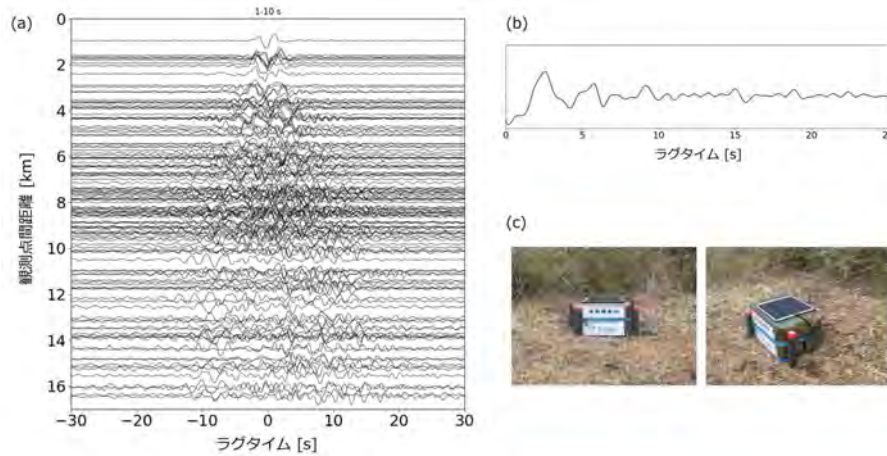


図1. 箱根山における地震波干渉法解析の例

(a) 1~10秒周期帯における相互相関関数のペーストアップ。観測期間前半の3カ月間のデータを使用した解析例。レイリー波の基本モードのほか、高次モードの伝播も確認できる。(b) 相互相関関数の例。活火山浅部構造の特徴を反映した強い正分散性が見られる。(c) 臨時観測点の設置例。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

繰り返し地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

繰り返し地震を用いて断層面の固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化し、地殻活動の理解を進め、地震発生予測の高度化に資する。そのため、プレート境界および内陸地域で発生する繰り返し地震のカタログを整備する。さらに、繰り返し地震の再来特性を理解し、大地震の発生モデルの構築に寄与することで、将来発生する大地震の地震像およびその変動範囲の推定に役立てることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1. 繰り返し地震カタログの更新

前計画で作成した日本の小～中規模の繰り返し地震カタログをアップデートし繰り返し地震活動のモニタリングを行う(2019-2023)。地震の震源再決定、発震機構解の推定および地震波速度構造の時間変化の推定を行い、同一場所での地震の再来を検証する(2020-2023)。また、日本のHi-net以前の大学観測データやS-netやDONET等の新規データの活用も検討し、より長期間および小規模の繰り返し地震の活動を把握する(2020-2023)。また、世界の繰り返し地震活動についても調べ、テクトニクスの違いによる繰り返し地震の特徴の共通点・相違点についての知見を新たに得る(2020-2022)。

2. 断層面固着状態の推定

沈み込むプレート境界および内陸活断層における固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化する。特に、すべりレートの推定に用いるスケーリング則の検討を行う(2019-2023)。震源過程解析や地震波形のシミュレーション、繰り返し地震以外の地震等を用い、すべり推定手法の検討を行う(2019-2023)。さらに、繰り返し地震と通常地震やスロー地震の関係を調査する(2019-2020)。

また、南アフリカ大深度金鉱山において見つかっている、破壊サイズ数十mmという超微小繰り返し地震についても解析を行う(2019-2023)。同観測では14ヶ月の期間に最大50回もの繰り返しを確認されており、活動パターンや震源特性の時間変化を短い時間で検出できると期待される。

3. 地震再来特性の解明

繰り返し地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの特徴や原因を、地震の震源過程解析、統計解析および数値シミュレーションにより明らかにする(2019-2023)。また、中小の繰り返し地震の特性を解明することが大地震の地震像の推定に役立つかどうか調べるために、規模の異なる繰り返し地震の性質を比較検討する(2022-2023)。

4. 重点地域における地震観測

島嶼部地震観測空白域での地震カタログの構築および沿岸・内陸地域において小規模繰り返し地震群発生の特徴を詳細に調べるため、小笠原諸島伊豆鳥島・房総半島・釜石地域など重要な既存の臨時観測点を維持するとともに内陸の地震活動をターゲットとした調査観測も行う(2019-2023)。伊豆鳥島の観測では、この地域の繰り返し地震は、数年程度という比較的長い発生間隔を持つと期待されるため、今期の観測の継続・定期的な保守によりこの地域の繰り返し地震の有無が調査できる。釜石地域においては、計画期間中にM5程度の地震の発生が予測される。この地震の近傍に構築したオフライン観測の継続により、微小地震活動を通じM5程度繰り返し地震の1サイクルにおける準備過程を調べる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[繰り返し地震カタログの更新]

・日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、日本列島周辺及び世界で発生した繰り返し地震活動の検出を行った。また、繰り返し地震とその周辺で発生する地震活動を用いてすべり速度変化の短期的・局所的な時空間変化を推定することを試みた。2011年東北地方太平洋沖地震の大すべり域周辺において、巨大地震発生後のすべり状況変化について調べたところ、宮城県北部では現在も余効すべりの継続が見られた。一方、その他の地域では数年の間にほぼ収束していること、2021年から2022年にかけて発生したM6、M7クラスの地震発生に伴い非地震性すべりが発生したことを確認した。

・東北沖において、ケーブル式の海底地震観測網であるS-netの活用し、小さな地震まで繰り返し地震の解析に用いるため、深層学習モデル(PhaseNet)による地震の検知に着手した。

・波形相関に基づく類似波形探索は、ノイズに埋もれた微小なイベントの抽出を可能とし、地震活動解析において重要な役割を果たしているが、計算コストが大きく大規模なデータセットへの適用は簡単ではない。これを解決するため、波形の特徴を64bit程度のコンパクトなバイナリコードに圧縮するハッシュ関数を深層学習を用いて作成し、室内水圧破碎実験で得られた10MHzサンプリング連続収録データに対して類似波形探索を試みた。地表観測で典型的な100Hzサンプルに換算すると、5.8年分に相当するサンプル数の連続データ16ch分に対して、この深層ハッシングの技術を用いてテンプレート波形なしに各窓間の類似度を総当りで探索する演算実施したところ、120スレッド並列化のもと

で、15.5時間で実現できることが確認できた。

[断層面固着状態の推定]

・2021年3月と5月に宮城沖で発生した Mw7.0と Mw6.7のプレート境界型地震の破壊過程と周辺の地震の震源分布を調べた。その結果、2021年3月 Mw7.0の地震が、東北沖地震後に出現した Mw5-6の準繰り返し地震の震源から開始したことが分かった。更に Mw5-6準繰り返し地震の震源域の内部で更に小さい繰り返し地震が複数発生していたことが分かった(図1)。

・2015年5月に宮城気仙沼沖で発生した Mw6.8の地震の破壊過程と周辺の震源分布を調べた。その結果、2015年 Mw6.8の地震が、2002年、2011年3月、2011年5月、2012年、2020年に Mw6.0-6.4の地震と同じ地震性パッチを破壊していたことが分かった。

[地震再来特性の解明]

・これまでに開発した小～中規模の繰り返し地震活動に対する非定常更新過程モデルを拡張し、相対的な応力蓄積率の時空間変化を時間域の自然3次スプライン関数と空間域の薄板スプライン関数とのテンソル積表現により推定した上で、その将来推移を短期的に予測して繰り返し地震の将来発生確率を評価する手法を開発した。提案手法を東北地方太平洋沖に存在する小～中規模の繰り返し地震群の2014～2020年の発生データへと適用し、2020年中の四半期毎の繰り返し地震発生確率を評価した上で発生実績との比較検証を行った結果、ポアソン過程に比べて十分に高い予測性能が示された(図2)。

・背景地震と繰り返し地震の関係を引き続き検討し、繰り返し地震活動が意味することの検討を継続した。

・スロー地震の連鎖破壊モデルに速度状態依存摩擦構成則を適用することで、継続時間の長い破壊過程を説明することに成功した。これにより、観測された伝播速度から摩擦特性を推定した。

[重点地域における地震観測]

・釜石市周辺では2018年より岩手県釜石市周辺に13点の臨時観測点を設置し、小さな地震まで含めた地震活動を調査してきた(図3)。地震計は主に固有周期2Hzの地震計を用い、バッテリー(一部ソーラーパネル併用)による電源を用い低消費電力型のデータロガーでCFカードに収録した(図3)。データの回収およびバッテリーの交換は、東北大学遠野地震観測所から3ヶ月に1回程度の頻度で行った(図3)。この観測網に関して東北沖地震から10年が経ち十分なデータが得られたことから撤収を行なった。観測網の効果を調べるために、2018年8月1日から10日の10日間について、臨時観測点のデータ使用前後の釜石沖地震周辺の地震の震源分布を比較した。鈴木(2022)が東北地方の地震波形データを用いて作成した深層学習モデルを用い、P波・S波の到着時刻を自動で読み取った。この深層学習モデルは、Zhan and Beroza (2019)により開発されたPhaseNetというプログラムについて、東北地方の地震データ約90万個を学習させたものである。その後REAL (Zhang et al., 2019)と呼ばれるプログラムで、地震ごとに読み取り値をまとめ、さらにWINと呼ばれるプログラム (Hirata and Matsu'ura, 1987)で震源の決定を行った。2018年8月時点で収録を開始していた6点の観測点を使用した場合とそうでない場合を比較すると、およそ1.7倍の個数の地震が検知できるようになった(図4)

・鳥島においては、衛星携帯電話を使ったオンデマンド型テレメータ装置を設置しているが、2022年度も順調に稼働中である(図5)。低速の衛星電話回線を使用しているため、連続データを取得できないが、日時分を指定すれば、翌日の接続時に回収可能な状態にある。山階鳥研職員に依頼して連続データが含まれているCFカードを2022年11月に回収した。2023年3月にも回収予定である。電源としているソーラーパネルの枠の腐食が激しく、近い将来本格的な補修が必要になっている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

・プレート境界滑りの時空間変化の把握能力の向上に向け、基礎的な解析手法の改良、応用、解釈の面で進展している。

・M7クラスの地震の地震破壊の開始と完了の特徴を調べることにより「地震発生過程の解明とモデル化」に貢献した。

・相対的な応力蓄積率の時空間変化があるという現実的な状況においても確率的地震予測を行えるスキームを構築し、その性能評価を行なった。

・プレート固着剥がれ過程に大きな影響を与える特徴的すべり量について、岩石実験とは独立に推定することにより、地震サイクル数値モデルの入力値を絞り込み、地震発生過程の定量的評価の精度が向上する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yoshida, K., T. Matsuzawa, N. Uchida, 2022, The 2021 Mw7.0 and Mw6.7 Miyagi-Oki earthquakes nucleated in a deep seismic/aseismic transition zone: Possible effects of transient instability due to the 2011 Tohoku earthquake, *J. Geophys. Res.*, 127, 8, 10.1029/2022JB024887, 査読有, 謝辞無

Yoshida, K., 2023, The Mw 6.0-6.8 quasi-repeating earthquakes off Miyagi, Japan with variable moment release patterns due to a hidden adjacent slip patch, *J. Geophys. Res.*, 10.1029/2022JB025654, 査読有, 謝辞無

Ariyoshi, K., 2022, Extension of aseismic slip propagation theory to slow earthquake migration, *J. Geophys. Res.*, 127, 7, 10.1029/2021JB023800, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Igarashi, T. and A. Kato., 2022, Spatiotemporal Changes of Inter-plate Aseismic Slip before and after Megathrust Earthquakes Determined from Repeating Earthquakes Recorded by the Japanese Seismic Network, AGU Fall meeting, S22C-0183

野村俊一・内田直希・尾形良彦, 2022, レート間非地震性すべり速度の時空間変化を考慮した繰り返し地震の短期予測, 日本地震学会2022年度秋季大会, S23-03

吉田 圭佑・松澤 暢・内田 直希, 2022, The 2021 Mw7.0 and Mw6.7 Miyagi-Oki earthquakes, northeastern Japan, nucleated at a seismic/aseismic transition zone in the postseismic period of the 2011 M9 Tohoku earthquake, 日本地球惑星科学連合2022年大会

吉田 圭佑・内田 直希, 2022, 地震の破壊過程の複雑性の決定要因：繰り返し地震と他の地震の比較からの示唆, 日本地球惑星科学連合2022年大会

吉田 圭佑, 2022, 同一アスペリティで発生する地震破壊の多様性と共通点：2015年宮城沖の Mw6.8地震と Mw6.0-6.4の準繰り返し地震, 日本地震学会2022年度秋季大会, S08P-03

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）：シミュレーション

概要：Ariyoshi (2022 JGR)で用いられたソースコードと結果。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6651635>

(11) 令和5年度実施計画の概要：

引き続き繰り返し地震活動のモニタリングを行う。また、スロースリップイベント発生域周辺における地震活動を調査し、短期的なすべり速度変化の検出可能性を検討する。

・本年度の研究によって、深層ハッシング技術は演算速度及びメモリ消費量の観点から、数十Chの数年間の連続データに対して、類似度の総当たり計算が実現できることが確認できた。本技術においては、ハッシュ関数の改善によって類似波形の検出パフォーマンスを向上させられると考えられ、令和5年度は損失関数や訓練データセットの改善によるパフォーマンス向上を試みる。また、自然地震の観測データへの適用も始める予定である。

・提案手法のスプライン関数の線形補外による予測はやや安定性に欠けるため、スプライン関数の代わりにガウス過程を用いた相対的蓄積率の推定・予測手法を開発し試行する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

内田直希（東北大学）, 松澤暢（東北大学）, 吉田圭佑（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

五十嵐俊博（東京大学地震研究所）,加藤愛太郎（東京大学地震研究所）,加藤尚之（東京大学地震研究所）,前田拓人（弘前大学）,直井誠（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）,松島健（九州大学）,木村尚紀（防災科学技術研究所）,松原誠（防災科学技術研究所）,有吉慶介（海洋研究開発機構）,鹿児島大学,金沢大学,横浜市立大学,首都大学東京,統計数理研究所,気象研究所,UC Berkeley,早稲田大学の研究者とも連携して実施

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：内田直希

所属：東北大学理学研究科・東京大学地震研究所

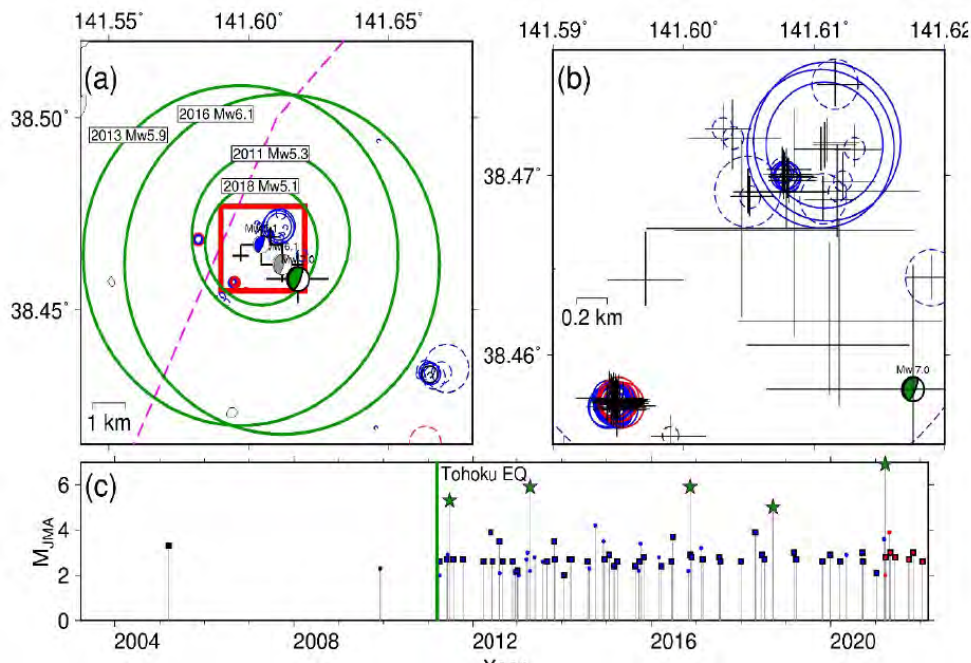


図1. 2021年3月 Mw7.0地震震源周辺の地震活動。

地震の規模を応力降下量 3MPaに相当する丸のサイズで表す。(b)は (a)の領域の赤枠部分の拡大図。(c) 地震の発生時とマグニチュードの関係。星は Mw5-6の準繰り返し地震と 2021年3月 Mw7.0地震。

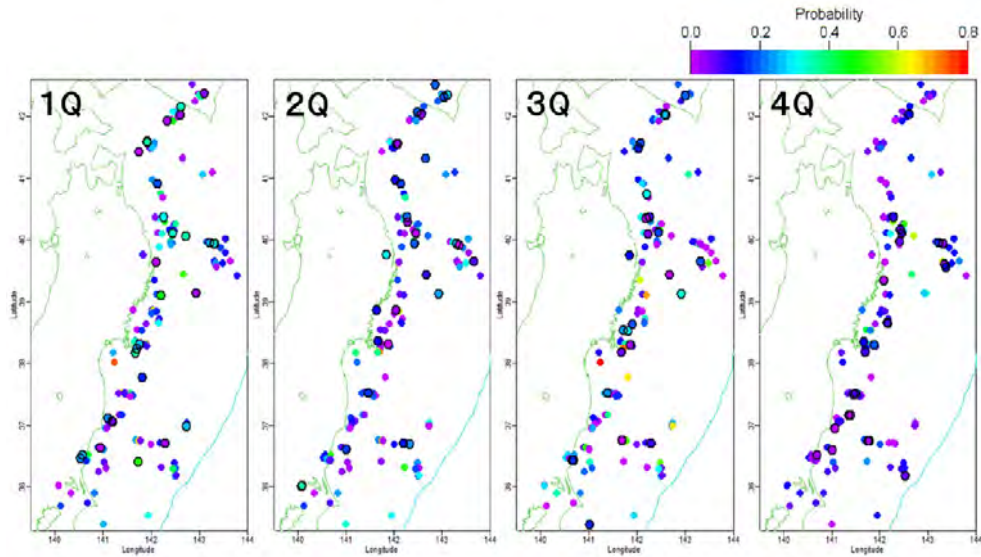


図2. 2020年の各四半期を予測期間として、直前までの発生状況から評価した繰り返し系列毎の地震発生確率。黒囲みは予測期間内に実際に発生した繰り返し系列。

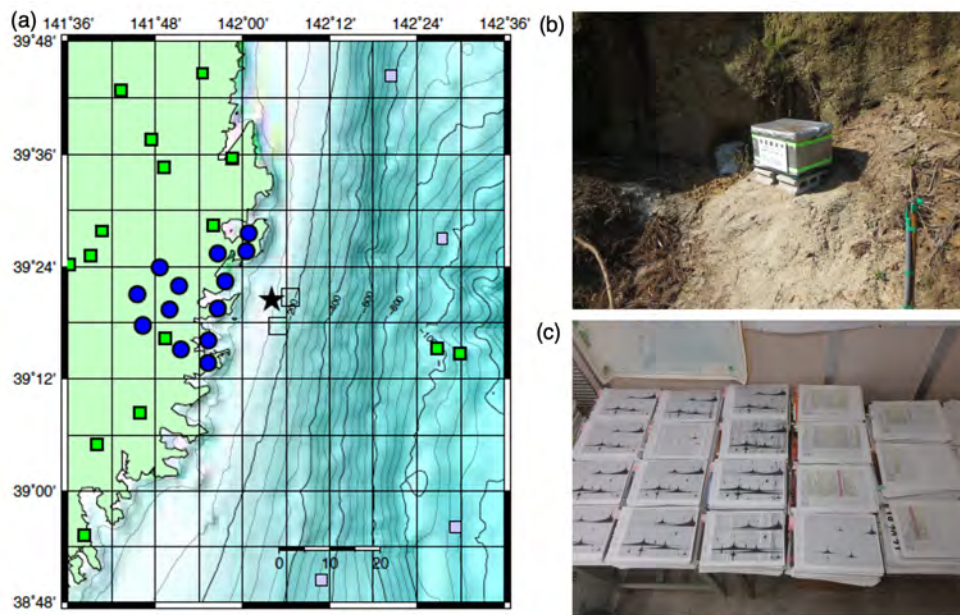


図3. 岩手県釜石市付近での観測状況

(a)釜石沖地震（星印）周辺の地震観測点。緑四角は既存の定常観測点，灰色四角はケーブル式の海底観測点で，今回設置した観測点は青丸。星印の右の大きい四角は，臨時の海底観測点。(b) 観測点の例（箱崎観測点）。まん中が収録装置等を収めた箱で，左奥が地震計。(c) チェック用にプリントアウトされた観測点ごとの地震波形と保守記録。

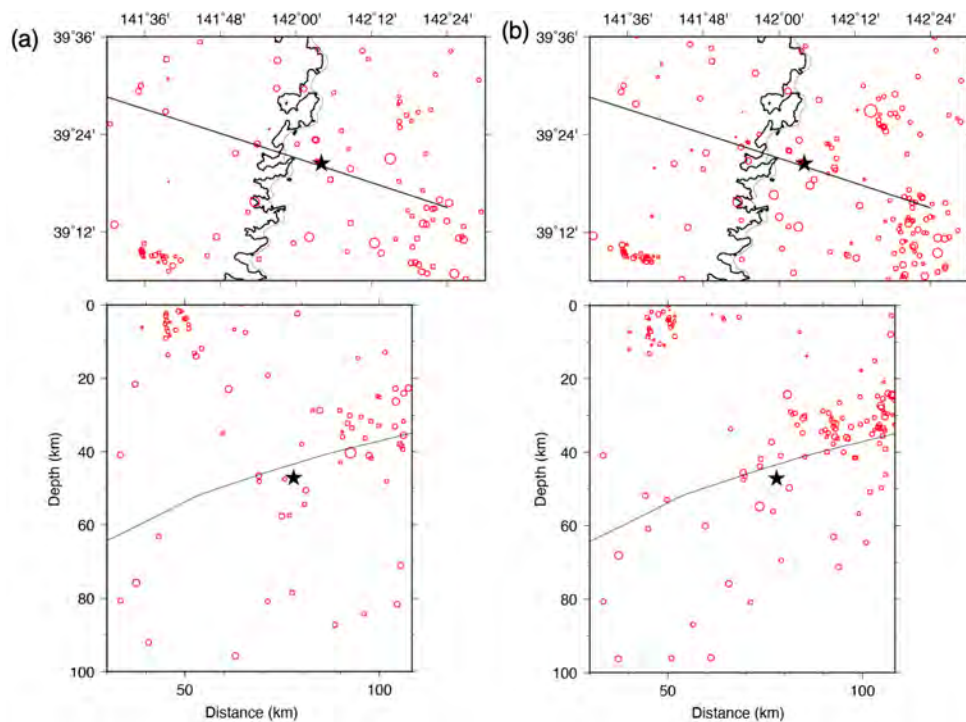


図4. 臨時観測点使用前後の震源分布の比較

(a)は臨時観測点を未使用、(b)は臨時観測点を使用したもので、2018年8月1日から8月10までの震源分布を示す。黒丸は2018年の釜石沖地震の震源。上は平面図、下は断面図を示す。臨時観測点使用前後でそれぞれ、104個、175個の地震が決定された。

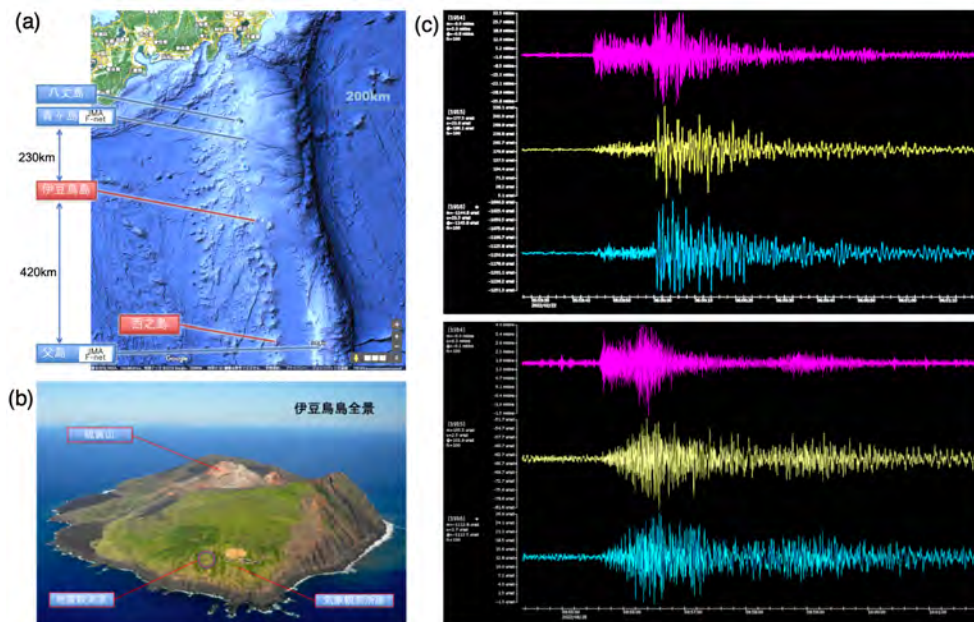


図5. 伊豆鳥島における地震観測状況

(a) 伊豆鳥島の位置 (b) 伊豆鳥島全景と観測点の位置 (c) 最近の波形例。上下の地震の震源要素は、それぞれM 5.0 - Izu Islands, Japan, 2022-02-21 20:59:23 (UTC), 29.541°N 140.814°E, 98.1 km depth およびM 5.2 - Izu Islands, Japan

2022-08-28 00:54:51 (UTC) 32.501°N 142.438°E 10.0 km depth.

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1)全国規模での放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や測定データの解析

令和4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た。今年度は、静岡県立大学（静岡県）から2017年6月以降のデータと大阪医科薬科大学（大阪府）から2020年7月以降のデータを入手し、解析を進めている。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) 1995年兵庫県南部地震前におけるラドンの日変動について

大気境界層内において、日中は空気の混合が活発となり、夜間は空気の安定度が増すため、大気中ラドン濃度の日変動について一般に以下の2点が指摘されている。1) 日没から日の出までの気温が低下するときは、空気の安定度の増加により、ラドン濃度が上昇する(測定地点近傍のラドン散逸を反映)。2) 日の出以降は、気温が上昇するときは、空気の混合が進み、ラドン濃度が下降する。

芦屋層上の神戸薬科大学で測定した1月1日から1月16日のデータ（平常時：1991年から1993年；地震前：1995年）について調べた結果、1995年兵庫県南部地震前は気温の下降によるラドン濃度の上昇は平常より小さく、測定場所付近のラドン散逸が減少していた。また気温が上昇する7時から12時にかけて、ラドン濃度は減少せず、異常に高い値であった。これは、大気の拡散とともに、震源域内の大気中ラドン濃度の高い空気が、測定場所付近に混入してきたためと考えられる。

3)気象データを用いた地震前のラドン異常の検出

兵庫県南部地震(1995年1月17日: M_w 6.9)発生前後の大気中ラドン濃度毎に、気温と水蒸気圧の関係を求めた。この関係における飽和水蒸気圧は、Clausius-Clapeyron式に基づく近似式であるSonntagの式で算出した。高ラドン濃度 (15 Bq m^{-3} 以上) において、地震前の気温と水蒸気圧は、平常時の気温と水蒸気圧を相対湿度で回帰した場合の95%予測区間下限を下回った。さらに、水蒸気圧が低い昼間において、平常時よりも地震前の方が、大気中ラドン濃度は高いことが明らかとなった。

4) 機械学習による地震活動に伴う大気中ラドン濃度の異常検知

東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日: M_w 9.0)と兵庫県南部地震(1995年1月17日: M_w 6.9)の発生前における大気中ラドン濃度変動について、ランダムフォレスト解析を用いて、平常変動（教師データ）から予測される濃度変動と観測値を比較し異常検知を行った。福島県立医科大学(平常時：2002年から2007年、異常検知の実施期間：2008年から2011年)では、2011年において予測値と観測値から求めた決定係数の値が顕著に低かった。また2010年10月、11月に予測値と観測値の差がそれらの標準偏差の3倍を超えていたことが明らかになった。神戸薬科大学(平常時：1984年から1988年、異常検知の実施期間：1990年から1995年)では、1994年12月に予測値と観測値の差がそれらの標準偏差の3倍を超えていた。これらの結果から、大気中ラドン濃度変動解析から地震先行現象に伴う異常検出にランダムフォレスト解析の有効性を検討した。

5) 排気モニタによる測定：大気中ラドン濃度と排気モニタのラドン推定値の比較

排気モニタデータから精度の高いラドン濃度変動解析を行い、先行現象を検知するために、排気モニタ測定値と大気中ラドン濃度との一致性を調べた。これまで、神戸薬科大学や福島県立医科大学では、アイソトープ実験施設（RI施設）の排気モニタで、大気中のラドン濃度変動を測定してきた。その結果、福島（福島県立医科大学放射性同位元素研究施設：測定期間 10日）や東京（東京大学アイソトープ総合センター：測定期間 1日）では、大気中のラドン濃度と排気モニタで測定したラドン値の一致が報告されている。神戸（六甲山域）のように土中の ^{226}Ra (^{222}Rn の親核種)が高い地域においては、建物の壁からのラドン散逸も高くなる可能性がある。そこで、排気モニタの値にRI施設の壁からの影響を検討するため、アイソトープ実験施設（RI施設）に給気される前の大気中ラドン濃度を測定し、大気中のラドン濃度と排気モニタで測定したラドン値との比較を行った。大気中ラドン濃度より排気モニタからのラドン推定値は 5 Bq m^{-3} 程度高い値を示したが、変動はほぼ一致した。

6) 活性炭捕集器によるスクリーニング測定

地震先行現象の検知を排気モニタデータから高い精度の大気中ラドン濃度を得るために、屋内ラドンを用いた排気モニタ値の校正について検討した。排気モニタの適正な感度の確認校正には、非密封の放射性希ガスを用いる必要があるが、工場からの出荷時のみの実施となっている。そこで、屋内ラドン濃度値は、RI施設からの排気の値より十分高値であり、非密封の放射性希ガスの確認校正の線源として使用できる。そこで、確認校正時の基準器として活性炭捕集器（ピコラド）が使用できないかについて検討した。本年度は、ピコラドがWHOの屋内ラドン濃度の基準レベル100 Bq m⁻³を測定するスクリーニング器としての有効であることを証明した。なお、ラドン測定器の校正には弘前大学のラドン曝露場を使用した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「2 地震・火山噴火の予測のための研究」の「(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測」の目的達成への貢献のために、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先行現象の統計的評価を試みた。今後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とともに、「災害の軽減に貢献する」という目標のために、今後機械学習等のデータ駆動手法を取り入れ、中短期の地震先行現象の統計的評価を展開していく。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

土谷真由・長濱裕幸・武藤潤・平野光浩・安岡由美,2023,機械学習による地震活動に伴う大気中ラドン濃度の異常検知,環境放射能研究会,3月6日～3月8日,茨城県つくば市,高エネルギー加速器研究機構

栗山あかね・樋口舞・西村夏樹・安岡由美・長濱裕幸・武藤潤・細田正洋・床次眞司・大森康孝・飯本武志・向高弘,2023,ラドン測定1：排気モニタによる測定,環境放射能研究会,3月6日～3月8日,茨城県つくば市,高エネルギー加速器研究機構

川本奈々帆・齋藤華子・安岡由美・長濱裕幸・武藤潤・床次眞司・細田正洋・大森康孝・飯本武志・向高弘,2023,ラドン測定2：活性炭捕集器によるスクリーニング測定,環境放射能研究会,3月6日～3月8日,茨城県つくば市,高エネルギー加速器研究機構

西尾友克・安岡由美・長濱裕幸・平野光浩・武藤潤・向高弘,2023,ラドン測定3：1995年兵庫県南部地震前における気温を用いた変動解析,環境放射能研究会,3月6日～3月8日,茨城県つくば市,高エネルギー加速器研究機構

安岡由美・長濱裕幸・平野光浩・西尾友克,2023,ラドン測定4：気象データを用いた地震前のラドン異常の検出,環境放射能研究会,3月6日～3月8日,茨城県つくば市,高エネルギー加速器研究機構

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

本課題では、地殻変動や地震・火山活動のデータに限らず、地球潮汐データ、電磁気学的データ、地下水データなどと大気中ラドン濃度との関連を求め先行現象の発現メカニズムを解明し、中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価に着手することを目的とする。各年度大学及び研究機関の各放射線管理施設の排気データの読み取りから、広域な大気中ラドン濃度変動解析を進める。大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明すると共に、機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

長濱裕幸（東北大学大学院理学研究科）,武藤潤（東北大学大学院理学研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：長濱裕幸
所属：東北大学大学院理学研究科地学専攻

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

多項目観測データに基づく火山活動のモデル化と活動分岐判断指標の作成

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

全国の主要な火山について、これまでに得られている地球物理学的、物質科学的データをもとに、火山活動や噴火活動について分岐指標を整理し、分岐判定に対する論理的評価方法を開発する。また、山体構造や周辺テクトニクスを考慮に入れた火山活動をモデル化する。火山活動の活発化や噴火発生時の現象理解や事象分岐の予測に役立てるために、時系列上に、起こりうる火山現象と期待される地球物理学的観測量や噴出物特性をまとめる。加えて、観測量や噴出物特性を説明する物理化学的解釈やモデルを提示する。噴火を繰り返している国内の火山については、個別に火山活動および噴火活動のモデルを提示し、噴火事例の少ない火山については、他火山の事象との比較検討などを通して、特徴的な分岐現象や定常時の活動に着目したモデルを提示することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

これまでの地球物理学的観測研究、地質・岩石学的研究の成果に加え、次期研究計画等で実施される研究課題の成果を取り入れ、樽前山、岩手山、吾妻山、蔵王山、草津白根山、箱根山、伊豆大島、三宅島、浅間山、雲仙岳、阿蘇山、霧島山などを候補として、火山活動のモデル化を行う。

令和1年度（平成31年度）は、噴火事例の有無、観測データの充実度等を指標に、研究対象とする火山を選定し、分類方法やモデル化の方法を検討する。近代的な観測が始まって以降に噴火事例が複数

ある火山、一例しかない火山、あるいは、全くない火山があるので、近代観測以降の噴火発生数、静穏期の長さ、観測項目数等を考慮し、対象する火山や特徴的な分岐指標等を決定する。

令和2年度目および3年度目は、過去のデータ等をもとに各火山等でモデル化を進める。令和4年度目は、各火山等のモデルを比較検討し、共通点や相違点を洗い出し、平均的な描像や特異性を視点に加え、モデルをできるだけ一般化する。令和5年度目は、全体のモデルを俯瞰し、よりわかりやすい表現等を取り入れたモデルの提示方法を検討する。

年に数回、各大学や国の機関に所属する担当者とともに研究集会を実施し、各火山の活動モデル化を進める。また、最終年度を目処に、成果報告書などにまとめる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化や噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成を進めた。

各火山で、火山活動推移のモデル化を進める研究が行われた。

十勝岳において、火口近傍の傾斜観測点でしばしば観測される μ radianオーダーの傾斜変動イベントについて圧力変動源推定を行い、前十勝近傍の標高1300m~1500m付近に変動源を推定した。また2020年9月の傾斜変動イベントに伴う火山性地震群に地震波形データの相互相関を用いた新しい自動震源決定法を適用し、傾斜イベントの発生時間中に震源が浅くなること、震源域の上端付近および下端付近に圧力変動源が位置することが明らかとなった。

阿蘇山では、中規模の水蒸気噴火が過去300年間に少なくとも12回発生している。2016年10月8日の爆発的噴火の際に得られた多項目観測のデータを解析し、噴火の1~2ヶ月前から噴火発生にいたる過程で発生した現象の発生源を特定し、噴火発生場のモデル化を進めた。

イタリア・ストロンボリ火山における小規模(ストロンボリ式)・大規模(ブルカノ式)噴火の発生モデルを傾斜変動のデータ解析を元に調べた。その結果、異なる規模の噴火であっても、火口直下数百メートル下の共通のマグマ溜まりが圧力源となっていること、1000倍の振幅差をもつ噴火直前の隆起量もマグマ溜まりから伸びる火道の中での、マグマの上昇および粘性マグマ流による増圧過程で包括的に説明できることを示した。

霧島新燃岳2017-2018年噴火の表面現象・噴火様式推移を、噴火時の調査観察と噴出物の物理化学分析にもとづき明らかにした。その結果、観測された噴火様式とその変遷は、山頂火口直下の地質構造とマグマ上昇率の影響を強く受けたこと、爆発と溶岩ドーム形成を同時に発生するハイブリッド噴火により、2011年噴火には認められない高結晶度の軽石が生じたことなどがわかった。

草津白根山において湖水濃度の時系列解析を行い、熱水系における陽イオンの挙動を検討し、特定の時期にaluniteの沈殿・溶脱が起きていること、alunite沈殿期以降は、震源域の拡大とともに火山性圧力源の位置の移動が起きたことを明らかとした。この結果に基づき、熱水系における二次鉱物の沈殿溶脱が熱水流路の閉塞・解放を起こし、ひいては火山活動不安定(unrest)や小噴火の誘因となっている可能性を示した。

2012-2013年に発生した小笠原硫黄島での水蒸気噴火を例とし、水蒸気噴火の噴出物の含水割合を調べた。地質調査で固体噴出量を、音波解析で全噴出量(固体+水)を推定した結果、含水割合は16-33 wt. %と求められ、固体噴出量が多い時は水の噴出量も多く、含水量も高いことが分かった。このことは深部からの熱水供給が多い時、熱水溜りが大きくなり、発生する噴火の規模も大きくなることを示す。

諏訪之瀬島の噴火活動について、レーダー反射強度と空振パルス振幅の関係について最近1年間のデータをもとに調査した。噴煙高度が高い噴火発生期では、噴火に対応した反射強度が高い時間帯が複数認められるのに対し、噴煙高度が低い噴火発生期では、噴火に対応した反射強度の高い時間帯がないことが分かった。また、空振パルス振幅が大きい噴火が続く期間では、噴火に対応した反射強度の高い時間帯がなく、空振パルス振幅が小さい噴火が続く期間では、噴火に対応した反射強度が高い時間帯が複数あることが分かった。

火山活動や噴火への分岐判断に関連する研究も進めた。

火山噴火に先行して観測される傾斜変動は、噴火直前過程の理解や将来的な緊急火山速報への活用上重要と考えられる。発生日時のわかる噴火について防災科研MOWLASシステムから波形を入手し傾斜変動の特徴を調査した。先行時間30分以内の変動を対象に自動検知アルゴリズムを作成・適用したところ、約半数の噴火において先行する傾斜変動が検知された。

噴火活動には、火山灰放出からストロンボリ式噴火へ推移する活動がある。火山灰放出は非可動性マグマの排出に、ストロンボリ式噴火は揮発性成分に富むマグマの噴出と位置づけられ、火道内を脱ガスマグマから揮発性成分に富むマグマに入れ替えることが推定される。このように噴火活動の途中で様式を変える噴火では、先行する地盤変動の膨張期は長く（4日～6日）、変動量も大きいことがわかった。また、火山灰放出期は地盤変動が大きく、ストロンボリ式噴火となると空振パルスの頻発現象を伴うことが明らかとなった。

数年から数10年スケールの火山活動の推移を定量的に理解するモデルの構築に向けて、非噴火期の unrest現象を熱水流動シミュレーションの順計算で再現することが可能になってきた。今年度は、低浸透性のcap rockの形状の違いによって、火道を閉塞させた後の地表変位等の応答に様々なパターンが現れることを示した。また、シミュレーションで再現したモニタリングデータを逆解析して求めたソースの妥当性についても検討した。また、前年度までに半定性的な火山活動推移モデルを提示してきた樽前山では、山頂溶岩ドーム直下の着磁域と微小地震発生域、さらには極低比抵抗域とがほぼ一致することを、空中磁気測量データの解析を通じて明らかにした。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究課題は、火山観測データ解析や噴出物分析、理論的研究をもとに、各分担者の視点で火山活動推移のモデルの構築や火山活動・噴火現象の分岐判断指標について研究成果をまとめてきた。毎年、十数の研究発表と意見交換が行われ、共通点や相違点についての議論も進んだ。また、いくつかの研究成果は、論文として公表されている。本研究を立ち上げたことで、火山活動評価や噴火発生予測の方法を構築する視点で研究が進んでおり、引き続き継続する。また、来年度は本研究計画の最終年度であるので、全体をまとめる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

青山裕,2022,北海道の活火山における減災に向けた観測研究の取り組み—物理観測と物質科学の今後の連携を見据えて—,火山,67,171–193 ,https://doi.org/10.18940/kazan.67.2_171,査読有,謝辞無
Theodorus Permana, Hiroshi Aoyama,2022,Locating volcanic earthquakes and tremors using delay time and amplitude ratio information from cross-correlation functions,Seismological Research Letters,査読有

・学会・シンポジウム等での発表

青山裕,2022,北海道内火山における将来の噴火に向けた火山観測の課題,日本地球科学惑星連合2022年大会,SVC34-06

近内雪乃・青山 裕,2022,十勝岳における微小傾斜変動イベント変動源の検討—2019年11月5

日・2022年1月21日の例—,日本火山学会2022年度秋季大会,B1-12

中道治久・井口正人・山田大志,2022,諏訪之瀬島2021年噴火活動におけるレーザー反射強度と空振パルス振幅の関係,日本地球惑星科学連合2022年大会,MIS23-06

前田裕太,2022,A preliminary report on slow-to-fast / fast-to-slow inflation preceding recent volcanic eruptions in Japan,日本地球惑星科学連合2022年大会,SCG44-P14

Maeda, Y.,2022,A Systematic search for slow-to-fast inflation before volcanic eruptions: Examples from Japan and Alaska,Fall meeting 2022, AGU,T31A-02

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度目は、参加者により分岐判断や推移予測に関する研究を進めるとともに、これまでに提案されてきたモデルや分岐判断をまとめる。共通点や相違点を洗い出し、平均的な描像や特異性を視点に加え、モデルをできるだけ一般化することを試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志（東北大学）,山本希（東北大学）

他機関との共同研究の有無：有

橋本武志（北海道大学）,中川光弘（北海道大学）,青山裕（北海道大学）,大湊隆雄（東京大学）,前野深（東京大学）,神田径（東京工業大学）,寺田暁彦（東京工業大学）,前田裕太（名古屋大学）,井口正人（京都大学）,大倉敬宏（京都大学）,中道治久（京都大学）,高木朗充（気象庁）,藤田英輔（防災科学技術研究所）,三輪学央（防災科学技術研究所）,下司信夫（産業技術総合研究所）,篠原宏志（産業技術総合研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村太志

所属：東北大学大学院理学研究科

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海陸測地データを活用したプレート境界面すべり即時把握能力の向上とそれにもとづく津波即時推定手法の高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

GNSSデータや海底水圧計など、海陸の測地データを活用したプレート境界面におけるすべりの即時的な把握能力向上を目指した技術開発およびそれにもとづく津波即時推定手法の高度化を行う。

プレート境界すべりの時空間把握（地震間、地震時、地震後）を即時的に行い、その推移予測を行うことは、地震発生予測を行う上で基盤となる技術である。特に陸上GNSSに代表される測地観測データや、繰り返し地震等の地震学的データによる日～月～年単位でのプレート間カップリング状態の把握はこれまでに数多くの成果を挙げている。しかしそれらの結果を推移予測に活用していくためには、推定精度および時間分解能の向上が必須である。特に高い時間分解能を持つGNSSでは、主として対流圏遅延等の影響によって数十分～1日程度の時間帯域における精度劣化が大きく、こうした時間帯域の地殻変動把握の障害となっている(例えば、Hirata and Ohta, EPS, 2016)。また海底における圧力観測は上下地殻変動場を連続的に把握できるという点で大きな利点を持つが、センサー固有のドリフトが大きく、特に数ヶ月以上の時定数を持つような地殻変動場、例えば地震間のひずみ蓄積や地震後の余効変動等の把握に困難性が存在する。

一方、より短い時間帯域の現象である地震時の断層すべりの即時推定に関しては、国土地理院と東北大学が開発を進めているリアルタイムGNSSを用いた地震時断層即時推定システム（REGARD, Kawamoto et al., JGR, 2017）の運用がすでに開始されており、実際の地震規模推定等に活用されている。しかしREGARDでは陸上GNSSによって得られた永久変位データのみを用いていることから震源域から遠く離れた海溝軸近傍での断層すべりを高い精度で推定することが難しく、推定誤差の定量的な把握が難しいという問題点がある。

こうした背景を受けて、本研究課題では様々な時間帯域(年, 月, 日, 分)におけるプレート間カップリングを、海陸測地データ(GNSSおよび海底圧力計)観測・解析の高度化にもとづいてシームレスに把握する能力の向上を目指す。また、そうした精度向上と並行して、リアルタイムGNSSによって推定されるプレート境界型地震および海域で発生する地震の断層モデルが持つ不確実性を定量的に明らかにする手法を確立する。同手法については、国土地理院と東北大学が共同開発しているREGARDへの実装を目指す。さらに、S-netやDONET等の沖合津波観測で実際に観測される津波記録を用いて、陸上GNSSから即時的に推定される断層モデルが持つ不確実性を低減させる統合インバージョン手法(例えばtFISH/RAPiD, Tsushima et al., GRL, 2014)の高度化を併せて行う。申請者らは、スーパーコンピュータを利用したリアルタイム津波浸水被害予測技術の高度化に取り組んでおり、即時的に得られる断層モデルのリアルタイム浸水予測の精度向上における優位性を実証するとともに、それら断層モデル等の不確実性が沿岸津波波高および津波浸水予測に与える影響を併せて検討し、それら不確実な情報をどのように災害情報に結びつけるべきかについて検討を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度：キネマティックGNSSの感度が大きく低下する時間帯域における対流圏遅延と地殻変動場の高い精度の分離を目指し、搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の精度検証を行う。また海底水圧計の長期ドリフトの室内実験での把握実験を行う。また実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を開始する。さらにリアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量把握をマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)で行うための技術開発を行う。

平成32, 33, 34年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の向上のために、対流圏遅延推定のためのハイパーパラメータ等の最適化を行う。室内実験での海底水圧計の長期ドリフトの把握結果を基に、実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を継続し、実海域での試験観測を行う。実海域での試験観測は主としては、根室沖のS-net観測点近傍で行う(根室沖における海底測地観測に関する研究課題と密接に連携)。MCMC法で与えられた断層モデルの不確実性を沖合津波観測データで更新していく手法の高度化のための開発を行い、数値実験や既往地震等によってその性能を定量的に評価する。さらにこれら不確実な情報の災害情報への活用について特に津波浸水被害に着目して検討を行う。

平成35年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による地震現象モニタリング能力の定量評価を行う。海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材による既設海底水圧計等のドリフト推定を試みる。断層モデルの不確実性の災害情報へ活用する方策を特に津波浸水被害に注力してまとめる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1)リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定手法の高度化とその社会実装の加速

リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)で行うための技術開発および同技術の国土地理院リアルタイム地殻変動監視システム(REGARD)への技術移転を継続して進めた。

昨年度開発を進めたハミルトニアンモンテカルロ法(HMC法)を用いた断層推定手法の高度化を進めた。具体的には昨年度確立した1枚矩形断層推定手法をすべり分布モデル推定へと拡張した。対象としたイベントは2016年熊本地震であり、国土地理院REGARDで推定されたGEONETにおける永久変位3成分を用いた。断層幾何としては、HMC法によって推定された1枚矩形断層の9個のパラメータにおける事後確率分布の最頻値解を固定し、その面上を小断層に分割した。すべり量の事前分布としてはラプラスアン平滑化に基づく多変量正規分布を採用した。その結果、特に布田川断層の最浅部において、最頻値で7mを超える大きなすべりが推定された(図1)。これらの結果は先行研究と調和的な結果である。また全体的にパラメータの不確実性の深さ依存性が見られた。また、断層南西部においても顕著な不確実性が見られた。これは、本研究で仮定した断層幾何では、日奈久断層におけるすべりの説明能力に限界があることを示唆する。さらに、仮定する断層幾何がすべり分布推定に与える影響を定量化するために、1枚矩形断層推定によるサンプルから断層の傾斜角を10個のグループに分け、各グループの平均モデルによって10枚の異なる断層幾何を仮定した。その上で、それらの上でそれぞれ

地震時すべり分布の推定実施した結果、特に深部の小断層において異なるすべりの推定結果を得た。これは仮定した10枚の断層の差異が、深部ほど大きいことに起因する。さらに尤度関数における地表変位の東西成分の標準偏差、および東西成分によるVRにおいて、断層幾何の仮定による違いが確認できた。

多くの断層すべり分布推定はモデルパラメータの数がデータ数よりも多い劣決定問題となりやすい。したがって、安定した推定のためには、先験情報などにもとづいた制約により、問題を正則化する必要がある。正則化の手法として、ラプラシアン平滑化は最もよく採用されるが、本研究では断層すべりが自己相似性を持つという仮定のもと、von Karman の自己相関関数 (von Karman ACF) による制約を与えたすべり分布推定手法の開発を行った。具体的には、従来ハイパーパラメータとして扱われていた相関距離も同時に推定する手法を開発した。同問題は複数の非線形パラメータを同時推定することになる。そのため、開発する手法ではベジアン逆解析を採用した。さらにパラメータ数の増加にともなう収束の難化(次元の呪い)を克服するために、サンプリング手法としてHamiltonian Monte Carlo法 (HMC法) を採用した。開発した手法の精度評価を行うために、相関距離を仮定したvon Karman ACFを用いたすべり分布を生成し、それから期待される地表面変位を計算した後、それに誤差を付加したものを観測データとして、断層すべり分布および相関距離を同時推定した。その結果、観測網が十分に断層面をカバーしている場合、相関距離を正しくかつその誤差の幅とともに推定できることを初めて実証した。

国土地理院で運用しているREGARDへと技術移転した1枚矩形断層推定をMCMC法によってリアルタイムで実現するアルゴリズム ” Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)” の精度評価を継続した。2022年3月16日に発生した福島沖地震において、RUNEによって断層モデルを自動推定することに成功した。同アルゴリズムは今後、R5年度内を目標にREGARD内の1枚矩形断層推定のメインアルゴリズムとして実装・運用されることが予定されている。

国土地理院と東北大学ではこれまで、REGARDの開発と高度化を協力して進めてきた。また、東北大学を中心とした研究グループによって、REGARDによって推定された断層やプレート境界でのすべり分布を起点としたリアルタイム津波浸水被害推計システムの開発が進められ、内閣府の総合防災情報システムの一機能としてすでに運用が開始されている。こうした技術の一層の利活用を目指し、REGARDによる断層推定結果の提供および活用に関する国土地理院、東海旅客鉄道株式会社(JR東海)、東北大学の産官学連携の協定を締結した。これは、大学で開発した成果を現業機関に社会実装した後も、継続してその高度化を進めているという観点で重要な成果と考える。

(2)海底水圧計に含まれる非潮汐海洋成分の高精度除去手法の開発による地殻変動検出能力の向上

海底水圧計は、海底における地殻上下変動場を連続的に捉えることができる重要なセンサーである。一方で、観測する水圧には機器特有のドリフト成分や非潮汐海洋変動成分などが重畳し、それらを適切に分離、除去することが高精度地殻変動観測の観点から重要である。これらの背景に基づき、R4年度は南海トラフに設置されているDONETの長期海底水圧観測時系列に含まれる非潮汐海洋変動成分を分離するための技術開発を行った。具体的には、複数観測点における長期水圧時系列に対して主成分分析を適用し、主成分毎の空間的特徴などから非潮汐海洋変動成分と考えられる成分を取り除くことで、時系列のS/N比を向上させることを試みた。その結果、潮汐成分、機器ドリフト成分を除去した段階で約2.0hPaの標準偏差を持っていた時系列を0.7hPa程度まで低減させることに成功した。

(3)民間GNSS観測網の活用による超稠密地殻変動モニタリング手法の開発

R3年度では、民間GNSS観測網の一つであるソフトバンク独自基準点網の評価を実施した。それに引き続き、R4年度は、同データの利活用を進めるために、地震、火山に関連する分野のみならず、電離層や気象、InSARデータの高精度補正等の分野を含めた国内の12研究機関18部局およびソフトバンク株式会社、ALES株式会社が参画する「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」を、東北大学大学院理学研究科が代表機関となって2022年8月に設立した(図2)。同コンソーシアムでは、ソフトバンク株式会社、ALES株式会社の協力のもと、ソフトバンク独自基準点網のデータの宇宙・地球科学用途に活用するためのフィジビリティスタディ(F/S)をそれぞれの研究分野で実施する。F/Sのためのデータ提供は順次開始されており、例えば能登半島における非定常地殻変動の高精度把握とそのモデル化(京都大学防災研究所がF/S実施担当機関)や屈斜路カルデラ周辺における超高密度地殻変動モニタリング(北海道大学大学院理学研究院がF/S実施担当機関)など、多く

の研究成果が得られつつある。今後、これらF/Sを通じて得られた知見に基づいて、超稠密地殻変動モニタリング手法の開発と高度化を進めていく。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題で開発を行ったリアルタイムGNSSによる1枚矩形断層推定アルゴリズム (“Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)”, Ohno, Ohta et al., EPS, 2021) がREGARDの1枚矩形断層推定のメインアルゴリズムとして活用される目処がついたことは、開発した成果の社会実装という観点できわめて重要である。また、REGARDの成果を活用するために国土地理院、東海旅客鉄道株式会社(JR東海)、東北大学の産官学連携の協定を締結したことは、大学で開発した成果を現業機関に社会実装した後も、継続してその高度化を進めているという観点で重要な成果と考える。また、民間GNSS観測網の一つであるソフトバンク独自基準点網を地球科学に活用するための基盤整備を「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」という形で実現したことは、超稠密地殻変動モニタリングの実現のためにきわめて重要な成果と考える。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yamada, T., K. Ohno, and Y. Ohta, 2022, Comparison between the Hamiltonian Monte Carlo method and the Metropolis-Hastings method for coseismic fault model estimation, Earth, Planets Space, 74, 86, 10.1186/s40623-022-01645-y, 査読有, 謝辞有

Murakami S., T. Ichimura, K. Fujita, T. Hori and Y. Ohta, 2022, Impact of ambiguity of physical properties of three-dimensional crustal structure model on coseismic slip and interseismic slip deficit in the Nankai Trough region, GeoHazards, 3, 162-177, 10.3390/geohazards302000, 査読有, 謝辞無

Tanaka, Y., Y. Ohta, and S. Miyazaki, 2022, Continuous estimation of coseismic and early postseismic slip phenomena via the GNSS carrier phase to fault slip approach: a case study of the 2011 Tohoku-Oki sequence, Prog Earth Planet Sci, 9, 55, 10.1186/s40645-022-00514-2, 査読有, 謝辞有

Hino R., T. Kubota, N. Chikasada, Y. Ohta, H. Otsuka, 2022, Assessment of S-net seafloor pressure data quality in view of seafloor geodesy, Prog Earth Planet Sci, 9, 73, 10.1186/s40645-022-00526-y, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

山田 太介, 太田 雄策, 大野 圭太郎, 2022, ハミルトニアンモンテカルロ法による断層推定および不確実性評価手法の開発, 日本地球惑星科学連合2022年大会

田中 優介, 太田 雄策, 宮崎 真一, 2022, PTS解析で推定された2011年東北地方太平洋沖地震の初期余効すべり時空間発展に基づくプレート境界の摩擦特性の定量評価, 日本地球惑星科学連合2022年大会

大塚 英人, 太田 雄策, 日野 亮太, 久保田 達矢, 稲津 大祐, 2022, PCA-based noise reduction of seafloor pressure data to improve tectonic transient signal detection -Application to DONET long-term continuous data, 日本地球惑星科学連合2022年大会

山田太介, 太田雄策, 2022, 相関距離を未知とした自己相似性を断層すべりの先験情報としたすべり分布推定手法の開発, 日本測地学会第138回講演会

太田雄策, 西村卓也, 青木陽介, 福島 洋, 藤田実季子, 大塚雄一, 鷺谷 威, 伊藤武男, 古屋正人, 大園真子, 大西建広, 池田将平, 伊田裕一, 2022, ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアムの構築, 日本測地学会第138回講演会

太田雄策, 西村卓也, 青木陽介, 福島 洋, 藤田実季子, 大塚雄一, 鷺谷 威, 伊藤武男, 古屋正人, 大園真子, 大西建広, 池田将平, 伊田裕一, 2022, ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアムの構築, GPS/GNSSシンポジウム2022

Hideto Otsuka, Yusaku Ohta, Ryota Hino, Tatsuya Kubota, Daisuke Inazu, 2022, An attempt of transient tectonic signals detection from DONET seafloor pressure record using principal component analysis, AGU Fall Meeting 2022

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定手法の高度化とその社会実装の継続して進める。海底水圧計に含まれる非潮汐海洋成分の高精度除去手法の開発による地殻変動検出能力の向上を目指した技術開発を継続する。(3)民間GNSS観測網の活用による超稠密地殻変動モニタリング手法の開発を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）,日野亮太（東北大学大学院理学研究科）,越村俊一（東北大学災害科学国際研究所）

他機関との共同研究の有無：有

国土交通省国土地理院測地観測センター,産業技術総合研究所計量標準総合センター

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：太田雄策

所属：東北大学大学院理学研究科

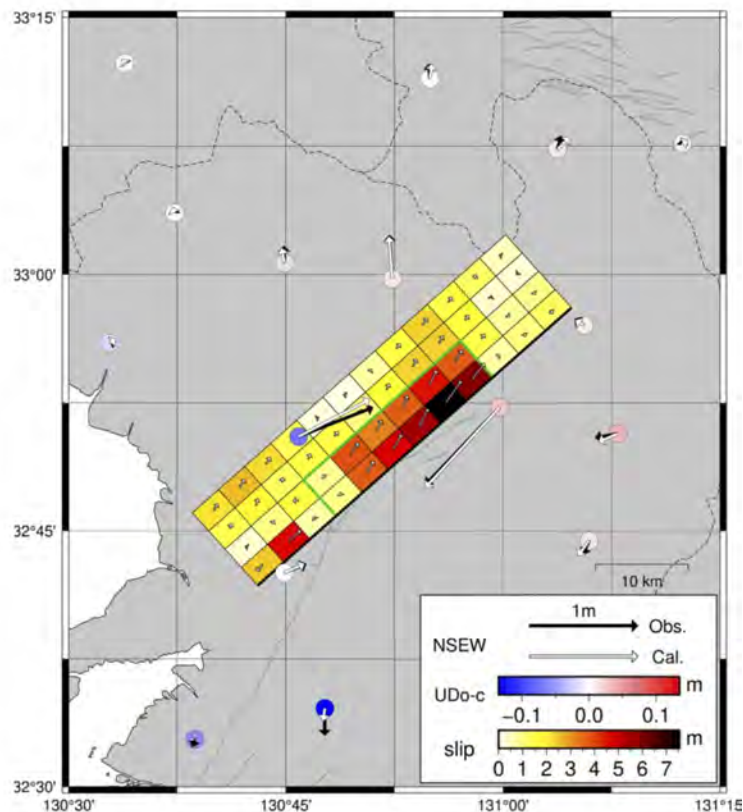


図1

HMC法で推定された2016年熊本地震の地震時すべり分布モデル。最頻値の値を用いて描画した。

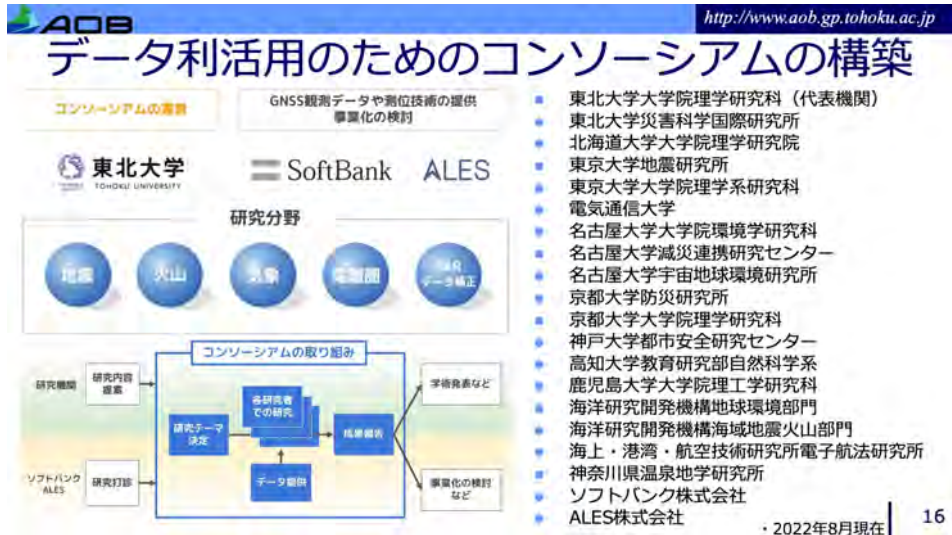


図 2

2022年8月に設立した「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の概要。

(1) 実施機関名：

東北大学理学研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震・火山データの無線伝送技術の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、地震や火山のオンライン観測のための無線データ伝送技術を開発し、地震や火山現象の把握および解明に資する。

短期間に多数の観測点の設置が必要な余震観測は、電源や通信を短期間に確保することが一般的に難しいため、そのほとんどがオフラインで運用されている。リアルタイム観測が可能になれば、余震活動状況の詳細のより早い把握ができる。火山観測においては、火口近傍等商用の回線・携帯網での接続が難しい場所が多く、このような場所での多項目オンライン観測が可能になれば、火山活動の推移の把握に大変有効である。

最近の無線通信の制度面の動向として、2012年の電波法の改正に伴って920MHz帯が新たに無線通信用に割り当てられたことで、帯域幅および出力がおおよそ2倍となり、多くの通信モジュールが提供されるようになった。また、本建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測用に割り当てられている400MHz帯について、九州総合通信局のもとでこの帯域の有効利用に関する調査検討が行わ

れ、近い将来に通信の高速化が可能になる制度改正が見込まれる。さらに技術面の動向として、近年の社会的ニーズにより、いわゆるLPWA（Low Power Wide Area）などの長距離・低消費電力の無線伝送技術が発展し、“モノがインターネットにつながる”社会に近づきつつある。LPWAの中には、プライベートLoRaのような基地局不要の通信規格もあり、自営センサーネットワークなどへの応用が急速に広まっている。

そこで本研究では、このような制度的・技術的發展を地震・火山観測に取り込み、地理的な制約や既存インフラにあまり依存しない機動性や自由度の高い地震・火山観測の実現を目指して、観測センサーを自営網によりインターネットにつなげるための無線伝送システムの技術開発を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

自営無線伝送技術の長所の1つとして、既存のインフラに頼ることなく、必要な場所で使用できるということがある。そのため、地方部や火山近傍など電源・通信インフラが整っていない場所での連続観測のほか、大地震の発生や噴火の兆候・発生といった緊急に観測システムの構築が必要な場面において役立てられると考えられる。本研究では、地震計や傾斜計・GNSS・画像など多項目の観測データについて、気象条件・設置条件の異なる国内の様々なフィールドにおいて伝送試験を行い、地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てるための技術開発を行う。

多様な観測データの伝送に対応するため、情報通信機構の持つ多様な無線技術を応用し、観測項目にあった無線伝送方法・伝送方式を検討する。低速だが長距離・低消費電力を特徴とするLPWAについては、ガスの検針や気象データ等のデータ量の少ない通信での活用例はあるものの、高サンプリングレートが要求される地震波はデータ量が格段に大きく伝送容量が不足する可能性がある。そこで様々な通信規格を比較検討するほか、通信速度に応じたシステムを開発する。速度が不足する場合には観測点側に配置したコンピュータによるエッジコンピューティングにより、地震波の位相読み取りや波形相関による位相差データ作成等を行ったり、観測データのランニングスペクトル画像を作成したりし、一次処理済みの情報を伝送するなどの工夫をして、自営システムとして地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てられるものを目指す。

一方、規格改正による新たな利用形態が期待される400MHz帯の利用については、免許帯であり、地震・火山観測用に最適化できる可能性がある。現在、920MHz帯ですすめているLPWA等の新たな技術を活用し、400MHz帯での新たな無線観測システムの開発にあたる。これについては、H33頃の規格改正を見据え地震観測機器のメーカーとの共同開発を行う。

他課題との連携については、桜島大規模火山噴火・蔵王の火山での観測、内陸地震の発生機構の解明に関する課題と連携していく。また、火山プロジェクトでの緊急観測への活用も視野に入れる。これにより内陸の新たな余震観測のプロトタイプの完成および活発な火山での長距離無線伝送に道を拓く。各年度の計画は以下の通りである。

2019年度

内陸地震および火山近傍における無線伝送のためのシステム要件の検討およびシステム開発を行う。吾妻山における傾斜計データの無線伝送を試みる。約2年後の法改正を見越して400MHz帯長距離無線機材の開発に着手する。

2020年度

システム開発を継続するとともに、920MHz帯において実際の内陸地震火山観測現場でのフェージビリティスタディを行う。内陸地震は中規模地震の余震活動をターゲットとし、課題の洗い出しを行う。火山では吾妻山等の観測現場での、課題の洗い出しを行う。

2021年度

前年度得られた課題の解決を行うとともに、実際の大規模内陸余震観測への無線システム組み込みに関する検討を行う。また、エッジ処理による地震波検知の試行を行う。法改正後に400MHz帯を利用した試験機をテストする。

2022年度

GNSS等地震波以外のデータ伝送に関してのシステム開発に着手する。また、省電力性・可搬性・観測点展開の容易性などの向上に務める。さらに、エッジ処理による精密震源決定の試行を行う。データ流通網への接続試験を行う。稠密地震観測・定常観測点データのバックアップ等他のアプリケーションの検討も行う。

2023年度

観測の現場での長期安定性の検証のほか、データ流通網への即時接続・エッジ部分とセンター側での処理の最適化などトータルのシステムとしての完成度の向上をはかる。

(8) 令和4年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・既存の920MHz帯機器の活用については、東北大学にて、火山での920MHz無線モジュール（インタープラン社 IM920）による気温等の伝送試験を続けた他、IM920を低消費電力型のロガー（Adico QR001）にシリアル接続し、0.2W以下で920MHz無線経由での収録設定変更とイベントデータ回収ができるシステムを作成した。これによりオフライン観測とほぼ変わらない消費電力(+0.08W)で、観測点の遠隔操作が可能になる。また、低速の通信の活用のための機械学習(PhaseNet)を用いたエッジ処理のテストを行なった。さらに、無線システムと接続を行う携帯系の通信の検討のため、情報通信研究機構のIoTゲートウェイと学術情報ネットワーク（Sinet）の広域データ収集基盤のプロジェクトに引き続き参加し、能登半島の群発地震の臨時観測にて携帯テレメータ装置を運用し、データ流通を行なった。

- ・400MHz帯の機器開発については、前年までの需要調査・地震観測機器のメーカーへの打診の結果を受け、本年は400MHz帯の無線機器の開発は行わず、免許状況・利用状況の情報交換のみを行なった。代わりに、情報通信研究機構において、VHF帯（V-High 周波数:207.5-222MHz）での通信試験を行なった。これは、災害時の情報共有の効率化を目指し、自営により多地点・多組織間の無線データ通信を可能にする災害対応IoT(Disaster Response IoT)無線システムというもので、総務省「周波数再編アクションプラン」において、「狭帯域IoT通信システム」として記載されているものである。仙台で行われた八木アンテナおよびオムニアンテナでの変調方式2値FSKでの通信試験について検討した結果、地震波の伝送に十分な速度が出ることが期待されること、オムニアンテナでも、20km以上離れても通信が可能な場所があり、八木アンテナを用いると最大84kmの通信が可能であることがわかった（図1、大和田・他, 2022）。

- ・既存の400MHz帯機器の活用について、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、2023年2月時点で免許数で現在固定局20局、移動局53局の周波数が利用されている。京都大学防災研究所は400MHz帯無線を用いて口永良部島の東側2箇所の地震観測点からのデータを屋久島中継局に伝送し、中継局から地上回線にてデータ送信している。京都大学防災研究所は新たに口永良部島の西側に地震観測点の設置を2022年3月10日に行った（図2）。設置観測機材は、400MHz帯移動局無線機（送信機RM320T、受信機RM320R）、AD変換器（LT-7700）、シリアルIP変換器（SC-DA205）、短周期地震計（SSV-003）、ソーラーパネル（94W×4枚）、リチウムイオンバッテリー（RBT100LFP12S-JP×2台）、チャージコントローラ（RNG-CTRL-RVR40-JP）である。新設地震観測点からのデータは無線にて口永良部島の集落内にある京都大学の拠点（プレハブ）にデータ伝送し、京都大学の拠点と隣接する福岡管区気象台の施設との間のネットワークケーブルにて中継し、EarthLANにて福岡管区気象台に伝送されている。そして、福岡管区気象台と京都大学防災研究所の間のネットワークにてデータが伝送されている。一方北海道大学では、現在400MHz帯無線装置を9回線で運用している（図3）。火山関係9回線のうち、7回線は通年で順調に稼働しているが、十勝岳の1回線および樽前山の1回線（樹林帯の中）については、冬季のデータ送信の成績が極めて悪い。今課題期間中に主に携帯電話回線への移行により、400MHz帯無線装置の使用は16回線から9回線に減少したが引き続き運用を続けていく。

- ・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題は「5 研究を推進するための体制の整備」の「(3) 研究基盤の開発・整備」における「イ. 観測・解析技術の開発」において、地震・火山データの効率的な伝送を可能にすることにより、地震や火山現象の把握および解明に資する。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帯および最近活用が広まっている920MHz帯についてその地震・火山観測への活用を検討し、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す。今後も制度的・技術的發展を地震・火山観測に取り込んでいく。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

大和田泰伯・バボウ シェック サリユーンバケ・佐藤剛至,2022,220MHz帯を用いた2値FSKの通信実験,信学技報,SeMI2022-98(2023-01),査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

VHF帯の地震観測への適用可能性の検討を行う。920MHz帯機器の活用について、引き続き運用とテストを続け、既存の400MHz帯通信機器の運用も続ける。また、メモリを節約して震源が決められる震源決定手法の開発を進める。令和4年に噴火警戒レベルが1に引き下げられた口永良部島では、災害復旧事業の申請を令和4年度に行っているが、令和5年度当初予算には計上されなかったため、引き続き予算計上されるように関係各所に働きかけ、予算化されたら速やかに着手する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

内田直希（東北大学理学研究科）、岡田知己（東北大学理学研究科）、山本希（東北大学理学研究科）、太田雄策（東北大学理学研究科）、吉田圭佑（東北大学理学研究科）

他機関との共同研究の有無：有

青山裕（北海道大学）、中道治久（京都大学）、松島健（九州大学）、佐藤剛至（情報通信研究機構）、天間克宏（情報通信研究機構）、大和田泰伯（情報通信研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：内田直希

所属：東北大学理学研究科・東京大学地震研究所

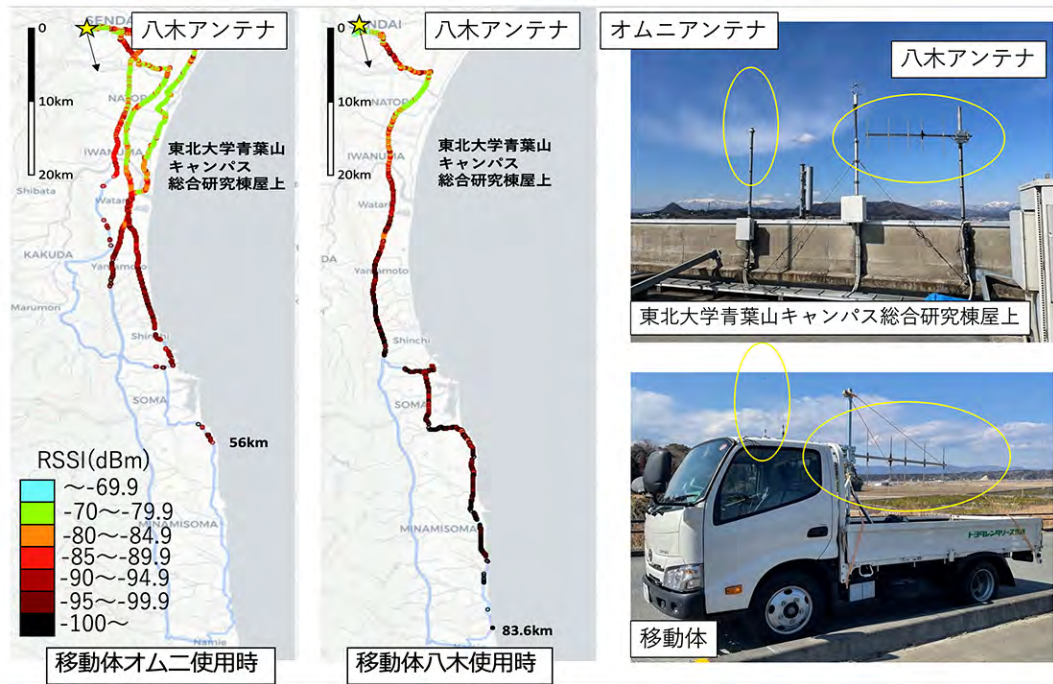


図1. VHF帯通信試験における発信点・受信点の様子と信号受信強度(RSSI)
大和田・他(2022)に加筆修正。



図2. 口永良部島の新設地震観測点の400MHz無線アンテナとGPSアンテナ



図3. 北大の400MHz帯の無線伝送装置利用状況（2022年度末時点）

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海底火山活動中に発生する顕著な火山現象の一つに、海底火山の火口上部の海面が青白色、乳白色、黄緑色、黄色、赤褐色に変色する変色海水がある。これは、海底火山から放出された酸性の熱水が海水と中和され、熱水中のSi、Al、Feが共沈して生成するSiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-H₂O沈殿物によるものである。

陸域の火山の場合、マグマから放出される火山ガスと天水起源の流動する地下水が火山体の浅部にある熱水系を形成する。熱水系では気液分離が起こり、気相は噴気ガスとして、液相は温泉水として放出される。海底火山ではマグマからの火山ガスと反応する水は海水であると考えられることから、岩石-酸性化海水反応実験を行い組成変化について考察した。

2. 実験方法

西之島で採取した溶岩を粉碎し、106-75 μ mに粒度を揃えたものをアセトンで繰り返し洗浄して微粒子を除去した後、大気中で乾燥させ岩石試料として使用した。50mLポリ瓶に約0.2gの岩石粉末試料を正確に秤りとり、これに海水と純水を加える。塩酸溶液を加えて液量を50mL/25mLとしたものを80℃で48時間反応させた。反応後、反応溶液はメンブランフィルターで濾過し、試料溶液中のFe、

Al, SiをICPで定量した。

3. 結果

強酸性反応溶液での実験結果を図1に示す。反応溶液中の海水の割合が60%までは海水の割合が増えるにつれてSiとAlの溶脱量が顕著に減少するが、それ以上海水の割合が増えても溶脱量に大きな変化はない。これに対して、Feの溶脱量は海水の割合に関係なく変化は僅かだった。この結果は、反応溶液中に海水成分が増えるほど反応後の溶液中のFeの割合が高くなることを示している。また、海水の割合が98%の反応溶液で酸性度を低下させると、各成分の溶脱量は減少するが、特にFeは殆ど溶脱しないこと、AlよりもSiの溶脱量が多くなることも明らかになった。

4. 海域火山活動との対比

西之島で観測されている濃厚な褐色系の変色海水(図2)は湧出する熱水中のFeの割合が非常に高いことを示しているが、これまでの酸性溶液-岩石の反応では説明できなかった。今回の実験によって岩石が強酸性化海水と反応することによって生成する熱水はFeの割合が高くなることが明らかになった。また、酸性化海水の酸性度の低下に伴って生成する熱水は、Feの割合が極めて低くSiの割合が非常に高いことから、火山活動の静穏化によって生成する変色海水の色調は薄い白色系になることも実験的に示すことができた。これは福徳岡ノ場2021年噴火以降の変色海水の色調変化と一致している。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

海底火山活動の活発化に伴って赤褐色～茶褐色の変色海水が発生することがわかっていたが、これまでの酸性溶液-岩石反応実験ではそれが説明できていなかった。今回の酸性化海水-岩石反応実験によって活動が活発化するときに限って変色海水の色調が赤褐色～茶褐色を呈することがわかった。また、活動の静穏化による変色海水の組成変化も今回の実験によって説明することができる。これらの結果は、海域火山の活動監視の明確な指標となる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

野上健治,2022,海底火山活動に伴う変色海水の組成変化に関する実験的研究,日本火山学会 2022年度秋季大会,P1-01

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(11) 令和5年度実施計画の概要 :

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

野上健治(東京工業大学)

他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 東京工業大学理学院火山流体研究センター

電話: 0279-88-7715

e-mail: knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL:

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：野上健治

所属：東京工業大学理学院火山流体研究センター

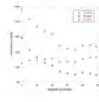


図1 海水の割合に対するFe, Al, Si濃度の変化

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の開発

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動にともなって放出されるマグマ起源の二酸化炭素を面的に捉えるための測定装置を開発する

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度は、装置の基本的な設計を行う。

平成32～33年度は、装置の試作を行う。

平成34年度は、試作した装置を使い、桜島などの火山での観測を行う。

平成35年度はこれらの成果のとりまとめを行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

火山体から拡散放出されている二酸化炭素の放出率測定装置について、昨年度に1000ppmCO₂標準ガスを使ってSenseairmeterとWEST meterで求めた放出率は一致したが、TIT meterで求めた放出率はこれらに比べて低く求められ、濃度ではなく、fluxの高い場合にはCDM7160ではセンサー保護膜の拡散が律速となることが示された。センサーをCDM7160からSenseair社製K-30に置き換えることで、WEST社製CO₂ flux meterと同等の性能が期待できる。また、測定器を直接地面に設置した場合に、チャンバーと地面の間に隙間ができてしまい、正しいデータが出ないこと、長時間動作中に動くことも昨年度の有珠山での観測で示された。これらの性能試験結果を踏まえて、測定装置の設置台座の作成とセンサーの交換及びそれに伴うソフトウェアの更新を行った。

1. 測定装置の設置台座

上下方向にスパイクをつけたリング状の台座を作成した。下方向のスパイクで地面に固定し、上方向

のスパイクで装置が台座からずれないように固定した。連続運転した結果、装置は安定的に作動させることができた。

2. センサー交換に伴うソフトウェアの更新

装置内に設置するセンサーを廃版になったCDM7160からSenseair社製K-30に置き換え、それに伴ってソフトウェアの更新を行い、フィールドテストを実施した。その際に、1データ1ファイルになる不具合がわかった。安定化電源で測定した場合にはこの現象は見られなかったが、フィールドと同じモバイルバッテリーで測定した場合にこの現象が確認された。原因追求をメーカーと共同で実施した結果、上下駆動用モーター、ファンモーター、ポンプモーターの3つのモーターが同時に駆動する時、電圧低下が発生してCPUの再起動を繰り返し、その結果1データ1ファイルになる現象が発生する事がわかった。モバイルバッテリーの出力電流がこの装置においては充分ではなく、その結果として装置のシステムが不安定化したことが原因であった。瞬間最大電流値を引き上げる必要があるので、対処法として、モバイルバッテリーからLiイオンバッテリーに変更し、来年度に連続観測を実施する。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

野上健治（東京工業大学）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京工業大学理学院火山流体研究センター

電話：0279-88-7715

e-mail：knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：野上健治

所属：東京工業大学理学院火山流体研究センター

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(草津白根)

草津白根山のマグマ供給系 (Matsunaga et al., 2022) と関係が深いと考えられる志賀火山においてMT観測を実施した。予察的な解析によれば、白根山浅部の cap rock に対応するような顕著な低比抵抗層は認められていない。同地域ではテレメータおよび現地収録型の臨時地震観測を継続しており、特に同火山・鉢山付近の海水準付近に微小地震活動が存在することが分かった。2018年に地鳴りを伴う顕著な群発地震が発生した高山村では、2022年6月、従来は地震活動が認められなかった笠ヶ岳南側付近を震源域とする顕著な群発地震が捉えられ、震源決定できた。電磁アクロス実験については、落雷による送信アンテナ故障のため観測時期が限られ、当初予定の追加送信局の設置が実施できなかった。

定常地震観測網から得られたデータに基づき、2014年以降の unrest 期間の震源再決定を進めた結果、2018年頃に震源が北東方向へ migration していたことが明らかとなった。この変化は、湯釜火口湖の湖水濃度時系列解析 (Terada et al., 2022) から示唆される alunite など二次鉱物の溶脱・沈殿と時期を同じくしており、浅部での流路閉塞や開放が火山 unrest の多様性を生み出している要因として重要と考えられる (寺田・他, 2022)。

草津白根山の湯釜火口北側の噴気について、He/Ar 比に基づきマグマ発泡度の変化が検出された (Obase et al., 2022)。発泡度変化のタイミングは浅部熱水だまりの膨張・収縮とよく一致しており、同火山の unrest を駆動するマグマ～浅部活動の物質学的な繋がりが確認できた。

火口周辺の浅部構造および物質輸送を地球化学的に明らかにするために、希ガス、二酸化炭素、および気体水銀を用いた新しい測定手法の開発を進めた。この結果、過去に繰り返し噴火した火口外領域の一部について、現在は熱活動が認められないにも関わらず、現在もマグマ起源ガスが上昇していることが分かった (高橋・他, 2022 ; 若松・他, 2022)。

(御嶽)

山体構造解明のため、山頂域南部 (2014年火口域) における長周期 MT データの取得を目指している。しかし、アクセスの困難さや JR 中央線等からのノイズにより、山体深部の比抵抗構造の解明に必要な周期0.3秒以上の MT レスポンスの解明が困難である。この問題を長期間観測により解決することを意図して、本年度は MT 及び広帯域 MT 観測を山頂域 (2014年火口付近) の2箇所において8-10月の2ヶ月程度域実施した。その結果、磁気擾乱の起きたタイミングでMTデータを取得することができ、周期100秒までの良好な MT レスポンスが得られた。予察的な1次元比抵抗構造解析によると、地表からの深度約 100 m 以下の領域に 7 ohm-m 以下の低比抵抗域が分布していることが明らかとなった。この領域は、火山活動に関連した熱水域または変質粘土を反映していると考えられる。

(伊豆大島火山)

2021年度実施の広帯域MT観測で取得されたデータを解析した。初期解析の結果、三原山中央火口下深度数 km 付近は周囲に比べて比抵抗が低い傾向であることが検出された。このことは、火口下に火山性流体による熱水あるいはその変質体が存在することを示唆するもので、当課題で既報の ACTIVE 法による比抵抗構造推定結果と調和的であることがわかった。ここ数100年は中央火口からの噴火が連続していることから、この熱水系は弱点として存在しているため、次期噴火も同じ経路を使って噴火活動をする可能性が高いと考えられる。また、カルデラ内 AMT 観測データの初期解析の結

果、1986年噴火のB火口列下浅部が低比抵抗であることが分かった。この領域は無人ヘリコプターを用いた稠密空中磁気測量からは低磁化領域として検出されており、このことは1986年噴火時に未噴出のマグマが残存している可能性があることを示唆する。地磁気や ACTIVE での連続観測は継続して実施しており、これまでのところ火山活動に伴うとみられるデータ異常はみとめられない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

各火山で火口周辺における多項目の高密度観測が継続されているほか、地下構造調査が進んだ。特に草津白根山においては、深部マグマから地表へと至るマグマ・熱水供給系がイメージされたばかりでなく (Matsunaga et al., 2022), 化学的観測事実に基づく地下浅部状態把握の可能性が示された (例えば, Obase et al., 2022; Terada et al., 2022)。このように得られた多項目データに基づく現象理解は、モニタリングデータに基づく活動評価 (例えば Volcano Unrest Index, VUI の作成), あるいは、事象系統図を作成するための科学的根拠となる。また、本課題が担当する御嶽山および伊豆大島で得られる観測データを解釈するためにも有益である。地下構造調査は各火山で完了しつつあることから、今後、他火山へ同手法の適用を進めて比較研究を行うことが期待できる。また、地下構造の理解が深まったことを基礎として、あたらしい観測方法、解析手法の開発を進めてゆくテストフィールドとしても、今後の方向性として重要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

小山崇夫,2023,電磁気連続観測からみる伊豆大島火山の推移,次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト, 課題関連携研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか:伊豆大島火山を例にして」プロシーディング, 防災科学技術研究所研究資料,487,41-44

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Watanabe A., Honda Y., Akiyama T., Tanaka S., Gresse M., Uyeshima M., Morita Y.,2022,Magnetization Structure and its Temporal Change of Miyakejima Volcano, Japan, Revealed by Uncrewed Aerial Vehicle Aeromagnetic Survey,Journal of Disaster Research,17,644-653,10.20965/jdr.2022.p0644

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Yasuda A., Ogawa T., Watanabe A., Sakashita S., Takeo M., Yanagisawa T., Honda Y., Kajiwaru K.,2022,An ultra-high-resolution autonomous uncrewed helicopter aeromagnetic survey in Izu-Oshima Island, Japan,Journal of Volcanology and Geothermal Research,425,107527,10.1016/j.jvolgeores.2022.107527,査読有

Takeo M., Aoki Y., Koyama T.,2022,Recent volcanic activity at the Asama volcano and long-period seismic signals,Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and biological sciences,98,416-438,10.2183/pjab.98.022,査読有

Suzuki, Y., T. Akatsuka, Y. Yamaya, N. Watanabe, K. Okamoto, K. Osato, T. Kajiwaru, Y. Ogawa, T. Mogi, N. Tsuchiya, H. Asanuma,2022,Estimation of an ultra-high-temperature geothermal reservoir model in the Kakkonda geothermal field, northeastern Japan,Geothermics,105,102525,10.1016/j.geothermics.2022.102525,査読有

Matsunaga, Y., W. Kanda,2022,Numerical modeling of a volcanic hydrothermal system based on resistivity structure,Journal of Disaster Research,17,654-662,10.20965/jdr.2022.p0654,査読有

Matsu'ura, K., A. Terada, T. Mori, T. Ono,2022,A simple method for the analysis of fumarolic gases using response-adjusted sensors with a UAV,Journal of Disaster Research,17,620-629,10.20965/jdr.2022.p0620,査読有

Ogawa, Y., T. Ohba, T.P. Fischer, M. Yamamoto, A. Jolly,2022,Special issue "Understanding phreatic eruptions - recent observations of Kusatsu-Shirane volcano and equivalents -",Earth Planets Space,74,100,10.1186/s40623-022-01643-0,査読有

Matsunaga, Y., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura, T. Nishizawa,2022,Large-scale magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, revealed by broadband magnetotellurics,Journal of Volcanology and Geothermal Research,429,107600,10.1016/j.jvolgeores.2022.107600,査読有

Yamaya, Y., Y. Suzuki, Y. Murata, K. Okamoto, N. Watanabe, H. Asanuma, H. Hase, Y. Ogawa, T. Mogi, K. Ishizu, T. Uchida,2022,3-D resistivity imaging of the supercritical geothermal system in

the Sengan geothermal region, NE Japan, Geothermics, 103, 102412, 10.1002/essoar.10509292.1, 査読有

Ishizu, K., Y. Ogawa, K. Nunohara, N. Tsuchiya, M. Ichiki, H. Hase, W. Kanda, S. Sakanaka, Y. Honkura, Y. Hino, K. Seki, K.H. Tseng, Y. Yamaya, T. Mogi, 2022, Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan, J. Geophys. Res. Solid Earth, 127, e2021JB022911, 10.1029/2021JB022911, 査読有

Terada, A., M. Yaguchi, T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry, Front. Earth Sci., 9, 740671, 10.3389/feart.2021.740671, 査読有

Obase, T., H. Sumino, K. Toyama, K. Kawana, K. Yamane, M. Yaguchi, A. Terada, T. Ohba, 2022, Monitoring of magmatic-hydrothermal system by noble gas and carbon isotopic compositions of fumarolic gases, Sci. Rep., 12, 17967, 10.1038/s41598-022-22280-3, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

若松 海・寺田暁彦・角野浩史・小長谷智哉・谷口無我・大場 武, 2022, 草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌ガス中のヘリウム・炭素同位体比—土壌ガスの起源, 日本火山学会2022年秋季大会, B1-02

寺田暁彦・鈴木レオナ・谷口無我・大場 武, 2022, 湖水濃度変動から示唆される草津白根山浅部熱水循環の時間変化, 日本火山学会2022年秋季大会, B2-12

Serita, S., Ogawa, Y., Ishizu, K., Tseng, K.H., Kunitomo, T., Minami, T., Ichihara, H., Caldwell, T.G., Heise, W., Bertrand E.A., 2022, EM-ACROSS System: Installation at the Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, EMIW 2022

高橋祐希・寺田暁彦, 2022, 火山における土壌拡散水銀放出率の精密測定, JpGU2022, SVC33-10

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・安田 敦・小河 勉・渡邊篤志・坂下至功・武尾 実・柳澤孝寿・本多嘉明・梶原康司, 2022, 無人ヘリコプターを用いた伊豆大島高解像度空中磁気測定の再解析, JpGU2022, STT37-P03

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・本多嘉明・秋山峻寛・田中伸一, 2022, ドローンを用いた空中磁気測量による三宅島磁化構造解析, JpGU2022, STT37-01

Koyama T., Uyeshima M., 2022, CSEM monitoring in Izu-Oshima volcano, Japan, The 25th EM Induction Workshop, P3.2.05

市原 寛, 2022, 御嶽山の電磁気探査, 御嶽山・箱根山・草津白根山—水蒸気噴火および防災と観光—

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 火山: 地温測定 (現地・DTS)

概要: DTS試験観測 (側線長1.2km)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 短周期地震観測

概要: 定常・臨時観測 (14点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 広帯域地震観測

概要: 定常観測 (3点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：空振観測

概要：定常観測（1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動：傾斜計観測

概要：定常観測（ボアホール3点，地表付近3点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動：GNSS観測

概要：連続・繰り返し観測（14点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

項目：火山：その他

概要：定常観測（湖面水位1点・水温2点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動；地下水位観測

概要：定常観測（1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測

概要：電磁ACROSS

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：定常観測（4点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：：噴気（定期採取5か所），土壤ガス（臨時採取，多点）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水
概要：湯釜火口湖（定期採取，1か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：遠望観測（カメラ）
概要：湯釜火口内（1か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：熱映像・噴気温度
概要：夜間空中観測（年1回），30m深地下水温度（定常1点），80m坑井内水晶温度計観測（定常1点）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測
概要：試験観測（2か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：長野県王滝村御嶽山 35.893094 137.480644
調査・観測期間：2022/8/1-2022/10/31
公開状況：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

草津白根山では，現計画を通じて構築してきた地震臨時観測点と，従来から運用してきた地殻変動観測点による連続観測を継続する．これにより，白根山周辺のみならず，志賀火山や長野県高山村周辺の地震活動についても定常作業で把握できる体制を維持する．また噴気ガス，地中ガス，および湯釜火口湖水の定期採取を継続し，地球化学的な知見と物理観測から得られる示唆を併せて，草津白根火山の統合的な理解を進める．比抵抗構造調査は順調に進んでおり，本年度は志賀および本白根山において必要に応じて補完的な観測を行う．引き続き，電磁アクロス計測を繰り返すほか，送信源を湯釜火口から1 km 程度の地点にも設置し，湯釜直下の高比抵抗を示すと期待される蒸気層の探査を行う．

御嶽山では，令和4年度観測を実施した広帯域MT観測点の1点で再測を行うとともに，山頂域中央部のさらに2地点においてMT観測を実施する．同時に，既存データの再解析および比抵抗構造モデリングを進める．

伊豆大島では，広帯域MT観測データの詳細な解析を進め，地震・地殻変動等多項目データとの統合解釈や空中磁気測量により推定された磁化構造との比較などを通じて，伊豆大島火山のマグマ供給系の解明をおこなう．また，全磁力やACTIVEの電磁気連続観測を継続し，次期火山活動監視を引き続きおこなっていく．

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

寺田暁彦（東京工業大学）,神田 径（東京工業大学）,小川康雄（東京工業大学）,野上健治（東京工業大学）

他機関との共同研究の有無：有

青山 裕（北海道大学）,山本 希（東北大学）,小山崇夫（東京大学地震研）,市原 寛（名古屋大学）,前田裕太（名古屋大学）,渡辺俊樹（名古屋大学）,大倉敬宏（京都大学）,角野浩史※研究協力者（東京大学大学院総合文化研究科）,鬼澤真也※研究協力者（気象庁気象研究所）,山田大志※研究協力者（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理学院火山流体研究センター

電話：

e-mail：

URL：<http://www.ksvo.titech.ac.jp/jpn/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：寺田暁彦

所属：理学院火山流体研究センター

(1) 実施機関名：

鳥取大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地方自治体の地震被害想定，災害リスク評価を高度化するための基盤整備

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

(5) 総合的研究との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

鳥取大学が立地する鳥取県は山陰ひずみ集中帯に含まれ，1943年鳥取地震をはじめ複数の被害地震が発生している。大学と県は防災顧問の制度を活用して連携し，地震被害想定の方策などに先進的な概念を導入して来た経緯がある。その実施に際して，大学が積極的に情報提供をおこなっているものの，地下構造モデル策定に必要なデータは都市圏に比べて乏しい。

そこで，地震被害想定における不確実性を低減することを目的として，地下構造モデル構築に必要な探査をより充実し，次期被害想定に用いることができるデータベースを充実する。特に，広域の地震動想定でおおむねにさ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，自治体の中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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度の実施内容と成果は以下の4項目である。

(1) 令和4年度に鳥取県内で実施した観測を図-1に示す。鳥取大学キャンパスを始め全5点(うち臨時2点)において独自の地震観測を継続している。鳥取市若葉台では切盛造成地の記録から切土に対する盛土の増幅とその卓越周期を確認した。2016年に発生した鳥取県中部の地震(Mj6.6)で被害を生じた北栄町由良宿において高密度の常時微動観測を実施し、被害のみられなかった地区では木造建物の固有周期よりも長い地盤卓越周期が見られる結果を得た。これら調査結果はWeb-GISで閲覧できるようにしている(図-2)。

(2)北栄町由良宿の伝統的木造建築物において、その振動特性を微動観測と人力加振から把握した(図-3)。あわせて鳥取県庁(鳥取市)の本庁舎(免震構造)、第二庁舎(制振構造)の2棟についても微動観測で振動特性を把握し、本庁舎では小地震記録による振動特性との比較から免震機能を、第二庁舎では捩れ振動モードを把握した。これら一連の建物観測により、微動を用いた振動特性把握のルーチンを確立した。

(3)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)を受信し、PLUM法に震度の距離減衰と全予測点を2次震源とする改良を加え、P波振幅による震度予測を加えて県内250mメッシュのリアルタイム震度をWebベースで鳥取県庁と共有している(図-4)。令和4年度に実施された震度計の更新において、観測点数の維持とリアルタイム情報送信機能の継続を県と調整した。

(4)鳥取県の地盤震動特性や地震活動を県民に伝えるため、積極的に地域の講演会に参加している。例年、鳥取県および鳥取市の企画、県内町内会の自主防災組織市の企画に便乗することが多いが、参加者は30名程度、多くて100名であった。令和4年度は鳥取市PTAの企画で講演内容の動画を小学生の保護者向けに公開した。このことで約5千家庭での視聴が期待され、今後の県民向け情報発信のありかたの一例となったと考えている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

鳥取県をテストフィールドとして、大地震による災害リスクの事前評価において大きな影響を及ぼす地下構造モデルの高度化をめざして観測を継続している。成果をWeb-GISでデータベース化することで、解析結果の共有および今後の探査計画策定に活用している。最終年度において、得られた成果を総括した災害リスクの再評価を試みる予定である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

Nishimura, I., Noguchi, T., Kagawa, T., 2022, Construction of Web-GIS for integrating geophysical survey data with geotechnical information in the San' in region, southwest Japan, Earth, Planets

and Space,74,DOI: 10.1186/s40623-022-01707-1,査読有,謝辞有

Kagawa, T., Noguchi, T.,2022,Issues related to velocity structure estimation in small coastal sedimentary plains: case of Tottori plain facing the Sea of Japan,Earth, Planets and Space,74,DOI: 10.1186/s40623-022-01640-3,査読有,謝辞有

西川隼人・野口竜也・池本敏和・宮島昌克,2022,Arias Intensity の地盤増幅度とサイト増幅特性の関係に基づく地盤増幅度予測式の検討,土木学会論文集A1 (構造・地震工学),78(4),I_601-I_612,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

谷河直・香川敬生・野口竜也,2022,鳥取平野における微動探査の追加と地下構造モデルの再解析,第74回 2022年度(令和4年)土木学会中国支部部研究発表会,I-16

今津慶大・野口竜也・香川敬生,2022,微動測定による鳥取県の伝統的木造建物の振動特性の把握,第74回 2022年度(令和4年)土木学会中国支部部研究発表会,I-17

西村武・佐々木梨乃・野口竜也・香川敬生,2022,微動および地震観測に基づく地すべり地域一鳥取市佐治地区一における地盤震動特性の把握と地盤構造推定,日本地球惑星科学連合大会2022,SSS11-P11

野口竜也・西村武・吉川菜緒・上田穂乃香・香川敬生,2022,1943年鳥取地震による吉岡断層近傍における微動および重力観測一鳥取市大塚地区一,日本地球惑星科学連合大会2022,SSS11-P12

香川敬生・野口竜也・山田浩二,2022,1943年鳥取地震で生じた鹿野断層におけるS波反射法地震探査データに見られる断層部の振幅異常,日本地震学会2022年度秋季大会,S16P-03

野口竜也・西村武・香川敬生,2022,1943年鳥取地震による吉岡断層のごく近傍における微動特性,日本地震学会2022年度秋季大会,S16P-04

西村武・野口竜也・香川敬生,2022,微動および地震観測に基づく鳥取市若葉台における切盛造成地域の地盤震動特性,日本地震学会2022年度秋季大会,S16P-05

野口竜也・佐々木梨乃・西村武・香川敬生,2022,微動探査及び地震観測に基づく鳥取市佐治地区の地盤震動特性と地盤構造の把握,令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会,CS10-14

西村武・野口竜也・香川敬生,2022,大規模盛土造成地における微動探査を用いた地盤震動特性の把握一鳥取市若葉台の事例一,令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会,CS10-23

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

鳥取県内の地震動予測高度化のため、地盤震動特性および地下構造の把握、およびGISデータベースの拡充を継続的に実施する。鳥取県震度計ネットワークを用いたWEBベースのリアルタイム震度表示システムについては、令和4年度に更新された震度計での運用を継続する。WEB-GISシステムについては、鳥取県のみならず市町村での利活用を促す。これらのツールを総合的に活用し、県民を対象として鳥取県内の地震災害リスクを分かり易く伝えるための活動を継続する。得られた成果を総括し、鳥取県の環境特性を考慮した災害リスクの再評価を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

香川敬生(鳥取大学大学院工学研究科),野口竜也(鳥取大学大学院工学研究科)
他機関との共同研究の有無:無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等:鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
電話:0857-31-5641
e-mail:kagawa@tottori-u.ac.jp
URL:

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：香川敬生

所属：鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻



図-1 令和4年度の主な調査地点

背景は地理院地図(国土地理院)+20万分の1シームレス地質図(産総研)

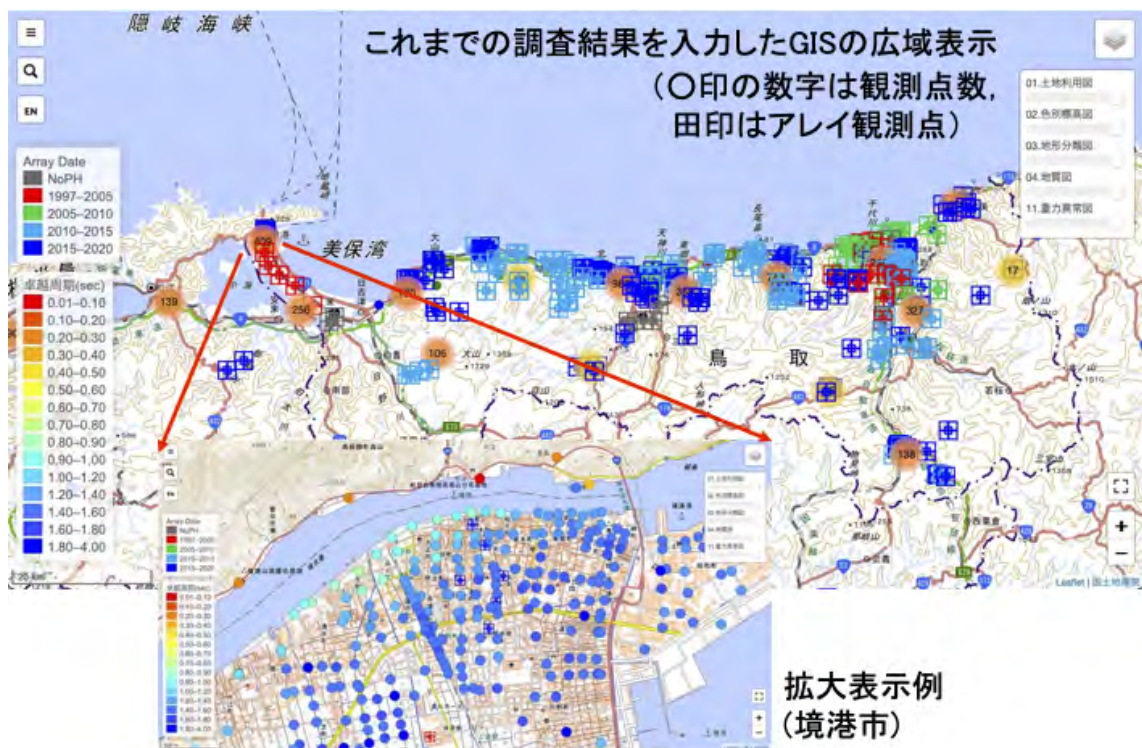


図-2 WEB-GISシステムでの微動卓周期データ表示例

上は県内一覽，下図は一部地域を拡大

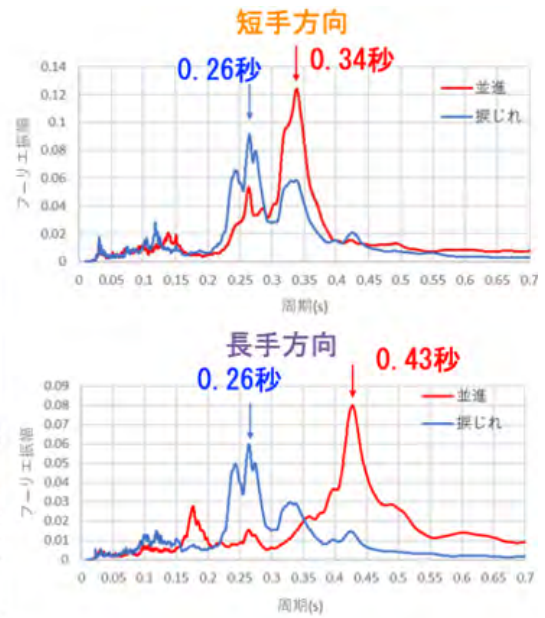


図-3 微動観測による北栄町由良宿における伝統的木造建物の固有周期
赤はそれぞれの方向の固有周期，青は振れ振動の周期



図-4 リアルタイム震度表示システムの稼働例
2022年5月3日鳥取県東部の地震(M4.3)による鳥取県内のリアルタイム震度表示(震度0～4)

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

極小規模噴火を含めた草津白根火山の噴火履歴の解明と噴火ポテンシャル評価

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (4) 中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
オ. 高リスク小規模火山噴火
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

- (1) 地表調査及びトレンチ調査と放射性炭素年代測定により、極小規模～小規模噴火も含めた、草津白根火山山頂部での噴火履歴（噴火の様式・推移・規模・年代及び発生地点）の全容を解明する。
(2) 噴出物の物質科学的解析により、草津白根火山のマグマ溜りと熱水系の深度、温度、化学的状態、規模（空間的広がり）とその時間変遷を解明する。
(3) 上記（1）と（2）を総合し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャルを評価する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年度には、白根火砕丘群の噴火履歴解明のため、湯釜・湊釜・水釜の火口壁沿いで噴出物層序調査を行う。白根火砕丘群東斜面では大・小のトレンチ調査を実施し、極小規模～小規模噴火のテフラの洗い出しを行う。テフラ中の材やテフラ層間の黒土の放射性炭素年代測定を行い、各テフラの年代を決定する。火山岩塊の定方位試料については岩石磁気解析を行い、定置年代・温度を決定し、温度データを基に噴火様式を特定する。火山灰試料については物質科学的解析を行い、各噴火時のマグマ溜り（マグマ噴火の場合）・熱水変質帯（水蒸気噴火の場合）の物理化学的状態を推定する。また、草津白根火山東麓の青葉山付近で地表調査とトレンチ調査を行い、同火山のテフラの層序の骨格を確立する。採取したテフラ試料については物質科学的解析を行い、熱水変質帯の物理化学的状態の

時間的変遷（熱水による酸化・還元状態の変化や熱水変質による再帯磁現象の有無の検証を含む）を検討する。

平成32年度には、白根火砕丘群での噴出物層序調査と東麓でのテフラ層序調査を継続することに加え、本白根及び白根火砕丘群の間に点在する小火口群について、火口近傍での地表調査とトレンチ調査を行い、火口の形成年代、火口を形成した噴火の様式・規模・推移を明らかにする。採取試料については前年度と同様の分析を行い、各噴火時のマグマ溜り・熱水変質帯の物理化学的状態のデータを蓄積する。

平成33年度には、本白根火砕丘群の山頂域に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を行い、噴火履歴を明らかにする。採取試料については、平成31・32年度と同様の分析を行う。

平成34年度には、本白根火砕丘群の山頂域に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を継続する。採取試料については、前年度までと同様の分析を行う。

平成35年度には、前年度までの研究成果を総括し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャル評価を行う。また、成果報告会を草津町で開催する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1) 草津白根山の露頭から採取した完新世テフラを対象に岩石磁気分析を行った。その結果、テフラ内の主要な磁性鉱物は、チタノマグネタイトと考えられる。なお、初磁化率の温度変化曲線では実験中の加熱変化において、約300℃および400～500℃で現れる2つの顕著なピークの有（図1a）無（図1b）による2種類のタイプが認められた。これらピークの要因を検討するため、ピークが認められた試料に対して磁選を行った。磁選後の試料ではこれらピークは認められない一方、磁選後の残渣試料では同様なピークが認められた。したがって、強磁性鉱物以外の鉱物が2つのピークの要因であり、硫化物や水酸化鉄などの熱水変質鉱物が実験中に熱変質したと考えられる。水蒸気噴火の噴出物は熱水変質鉱物に富むことから、初磁化率の温度変化を中心とした岩石磁気分析により熱水変質鉱物を同定することで、噴火様式の推定の可能性を明らかにした。

(2) 白根火砕丘群北側の渋峠～芳ヶ平の登山道沿いの2地点（標高2048m地点、2106m地点）のテフラ調査、土壌の14C年代測定およびテフラのX線回折分析を実施した。標高2048m地点には白根火砕丘起源と考えられるテフラ層（層厚0.5～2cm）が9層堆積しており、14C年代値からそれらは約5400年前～約1700年前に生じた噴火の堆積物である。最下位には熊倉軽石が見られ、その上位の7層のテフラは熱水変質鉱物（パイロフィライト、カオリン鉱物、みょうばん石、シリカ鉱物）に富み、酸性熱水変質帯に由来すると考えられる。1層のみ角ばったラピリからなるテフラ層（直下の土壌の14C年代値は約3800年前）が見られ、白根火砕丘群の火砕丘形成時のテフラである可能性が高いと考えられる。標高2106m地点には層厚1～15cmのテフラ層が10枚程度分布しており、露頭下部および上部の水蒸気噴火テフラ層直下の土壌の14C年代はそれぞれ約7600年前および約700年前である。同地点には比較的規模の大きな噴火によるテフラ層が堆積していると考えられ、また、隣接する志賀火山由来のテフラが含まれている可能性も考えられる。

「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「関連の深い建議の項目」である1(1)ウに関連して、草津白根火山の噴火履歴解明に資する地質データ等の収集と分析が計画通り行われ、テフラの磁気特性に基づく噴火様式の特定や対比が可能になりつつある。併せて、「その他関連する建議の項目」である1(5)ウ、2(4)ア、5(2)オに関連して、草津白根火山の熱水系やマグマ供給系解明に資する基礎データ及び同火山のマグマ活動の長期評価に資するデータも順調に取得できた。5(6)に関連したアウトリーチ活動の準備も順調に進んでいる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Kametani, N., Sumino, H., Ueki, K., Hamada, M., Ishizaki, Y., and Terada, A., 2022, Noble gas

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(1) 令和4年度に引き続き、波峠北側および万座地域の地質調査・テフラ直下の土壌の放射性炭素年代測定を基に、噴火年代の特定と噴火規模の推定をおこなう。テフラの物質科学的解析による熱水系の物理化学条件の推定をおこなう。

(2) 今年度の成果として、強磁性鉱物だけでなく、熱水変質鉱物の影響が岩石磁気分析により同定できることが明らかとなった。令和5年度は、実験過程で生じる熱変質も含めた岩石磁気特性に着目し、2つの露頭間の対比を行う。また、対比の結果と古地磁気年代を統合し、マグマ噴火や水蒸気噴火といった草津白根山の噴火活動史の解明を目指す。

(3) アウトリーチの一環として、2023年11月17-18日に草津町において草津白根山シンポジウムを開催する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

石崎泰男（富山大学都市デザイン学部）, 川崎一雄（富山大学都市デザイン学部）

他機関との共同研究の有無：有

吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）, 亀谷伸子（山梨県富士山科学研究所）, 寺田暁彦（東京工業大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）

電話：076-445-6656

e-mail：ishizaki@sus.u-toyama.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石崎泰男

所属：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）

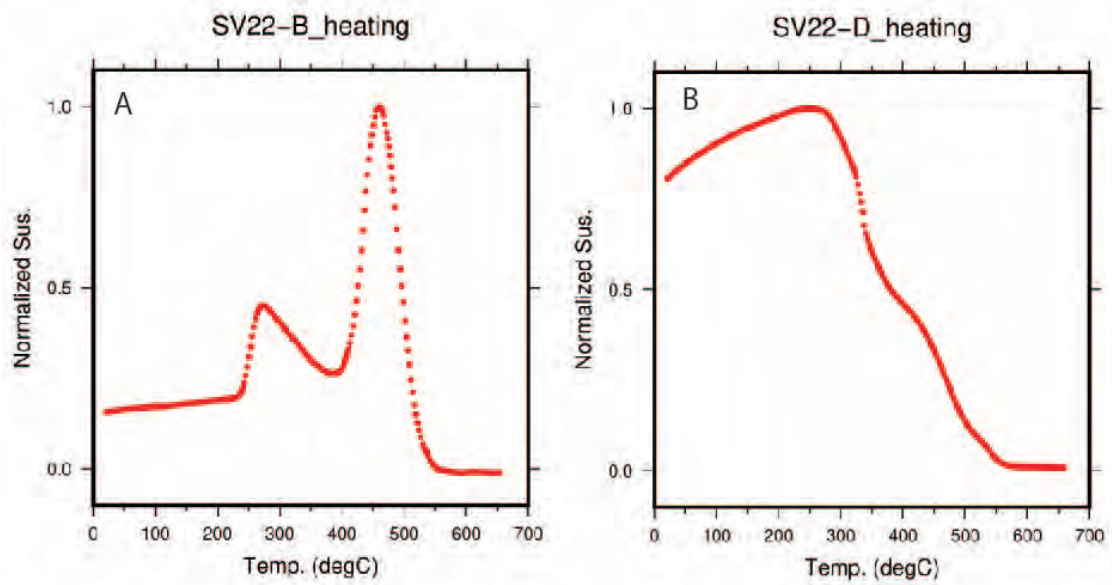


図 1. 代表的な初磁化率の温度変化曲線. a) 約 300°C と約 500°C に熱変質が認められる試料, b) 加熱中の熱変質がほとんど生じていない試料.

(1) 実施機関名：

富山大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

1. 地殻変動観測

富山大学により2015年から行われている精密水準測量の水準点は地獄谷の南東部に偏っており、かつ上下変動のみしか検出できないため、変動源の形状を一意に特定することは難しい。また、地獄谷内は大部分が砂地であり、水準点を面的に拡張することも困難である。そこで、本研究では精密水準測量と合わせてGPS測量を実施する。現在、弥陀ヶ原火山周辺には、地獄谷から数km離れた位置にGEONET観測点と富山大学浄土山観測点の2点のGPS観測点がある。一方で、水蒸気爆発に関連しそうな熱水だまりは浅部にあると考えられており、その膨張に伴う地殻変動の検出可能領域は極めて狭い範囲に限られることが予想される。地獄谷周辺におけるGPS観測網をより強化することで、熱水だまりの活動とその形態を明らかにしていくことが出来ると期待される。地下深部にあると考えられるマグマだまりの形態を明らかにするために、現状の観測点を含む広域の観測網も合わせて拡充していく。

2. 地震観測

弥陀ヶ原火山で最近活発化している噴気活動に伴う振動を長期的にモニタリングすることで、噴気活動を定量化できることが期待される。また、深部低周波地震を長期的にモニタリングし精査することで、マグマの供給・蓄積の様子を把握することができる可能性がある。一方、マグマや熱水が急激に貫入するなど、地下で何かしらのイベントが発生した場合、火山構造性地震といった低周波地震とは異なるタイプの火山性地震が発生すると考えられる。長期にわたって地震観測を実施し、記録を蓄積

することで、平時の弥陀ヶ原火山の状況や活動に伴う変化、水蒸気噴火やマグマ噴火の前兆現象を捉えることができると期待される。

3. 熱活動観測

これまでの富山大の調査により、地獄谷内の噴気帯が拡大していることが確認できた。地表調査のみでは、地獄谷内全域の噴気帯の盛衰や地表の温度状況とその変化を正確に把握することは困難なため、赤外線サーモグラフィカメラを搭載したドローンシステム（UAV）を観測に導入し、上空から地獄谷全域の熱活動のモニタリングを行う。上記1・2の観測データと総合することにより、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係が解明できると期待される。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

水蒸気噴火やマグマ噴火が発生する可能性のある弥陀ヶ原火山の火山過程を明らかにするために、地獄谷の地球物理学的観測を行う。観測を通して、熱水だまりやマグマだまりの形態、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係の解明を図る。

平成31年度においては、地獄谷周辺にGPS観測点や地震観測点の選定・設置を行い、観測・データの蓄積を開始する。精密水準測量は秋に引き続き行う。UAVによる熱活動観測は秋に実施する。

平成32年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程の解明を図る。また、観測点のメンテナンスも随時行う。

平成33年度においては、前年度までの研究で不足している観測点分布を検討し、必要に応じて地殻変動・地震観測網の拡充を図る。地殻変動観測、地震観測および熱活動観測は引き続き継続する。

平成34年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化の解明を図る。

平成35年度においては、引き続き地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化のさらに詳細な解明を図る。さらに、ここまで蓄積されたデータの整理、とりまとめを行う。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 地殻変動観測

地獄谷の遊歩道沿いに実施している水準測量から、2020～2021年の1年間では地獄谷の沈降が隆起に転じたことが分かった。隆起は最大で0.8 cmであり、地獄谷下深さ50 mにシル状の膨張源が推定された（図1）。体積増加量は4800 m³であった（Hotta et al., JpGU2022；堀田ほか，火山，査読中）。また、2021～2022年に関しては地獄谷中心部では最大0.9 cmの隆起が継続している一方で、地獄谷西部は沈降していることが分かった。GPS観測からも地獄谷中心部の新噴気帯で隆起が継続していることが分かる（図2）。2020～2021年の水準測量から得られたシルを2021～2022年の水準測量とGPS観測により得られた変動に適用したところ、体積増加量は6600 m³となったが、一部観測点の観測値と計算値に食い違いもみられた（Hotta, AGU2022；図3）。

2. 地震観測

昨年度までに京都大学の協力を得て立山カルデラに2点、馬場島と浄土山に各1点臨時地震観測点を整備し、WINシステムの解析環境も整備した。2020年9月23日～2021年9月30日の期間の自動解析による震源決定結果を図4に示す。なお、周辺のV-netや気象庁、京都大学や東京大学のデータも用いた。このうち（1）2020年9月末～10月にかけて群発地震が発生した劔岳北方，（2）地獄谷および立山カルデラ周辺，（3）有峰湖周辺の3つの領域について、さらに手動での解析を行った。各領域の結果は次の通り。

（1）劔岳北方の群発地震の震源の範囲にまとまりがみられ、深さも5 km程度にまとまった。

（2）地獄谷周辺では頻度こそ少ないものの1 km程度のかかなり浅い地震が発生した。また、跡津川断層沿いに立山カルデラの多枝原付近を境に震源の深さが変化しているように見える。

（3）：震源が跡津川断層より北の茂住祐延断層に沿うように見える。

3. 熱活動観測

エンマ，コウヤ，ヒャクショウで温泉水を採取し，陰イオン濃度，酸素・水素同位体比を測定した。Seki et al. (2019) に報告されている2014-2016年と同様な値を示し，顕著な変動は見られてい

ない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

地殻変動観測から、2016～2020年には割れ目状の熱水供給路最上部が、2020～2021年にはシル状の熱水だまりがそれぞれ変動を引き起こしていたことや、2017～2020年には放出過多により沈降が続いていた地獄谷の地殻は、2020年以降蓄積過多により隆起が継続していることなどが解明されつつある。また、熱観測により明らかになった熱活動領域と隆起・沈降域に対応がみられた。このように、地殻変動観測や熱観測から弥陀ヶ原火山で進行中の火山現象の定量化と解明に順調に貢献している。

「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけ

本研究の成果は、様々な地球物理学的観測項目から地獄谷における火山活動やその推移を解明することで、立山室堂という観光地で将来起こることが危惧される水蒸気噴火をはじめとした火山現象にもなう災害の軽減に貢献できる。また、立山を中心とした広域地震観測を行うことで、内陸地震にもなう災害の軽減にも貢献できる可能性がある。

今後の展望

各項目のデータを蓄積するとともに、目指すべくは以下の4点である。

- (1) 地殻変動観測については、地獄谷内でレーザー測量等を実施し、面的に地殻変動を捉えることを目指す。
- (2) 地震観測については、震源の決定のみならず、発震メカニズムを明らかにするなど、より踏み込んだ解析・解釈を行う。
- (3) 熱観測については、地下の熱水流動経路に時空間的制約を与えるだけでなく、地殻変動の関係にまで踏み込んだ検討を行う。
- (4) さらに、浅部構造探査により帯水層やガスを供給する亀裂を捉え、温泉活動、ガス活動の理解を目指す。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

堀田耕平・楠本成寿・高橋秀徳・早川裕弐,2022,立山火山地獄谷における水準測量（2015～2021年）,月刊地球・海洋出版,2022年7月号,318-324,査読無,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

堀田耕平・高橋秀徳・本田裕也・剣持拓未,2022,水準測量から明らかになった立山火山地獄谷の再隆起—2020年9月～2021年9月一,日本地球惑星連合2022年度大会,SVC31-07

Kohei Hotta,2022,GPS observation in Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan,American Geophysical Union Fall Meeting 2022,V31D-02

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5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観測による地殻変動のモニタリングを継続するほか、次期計画に向けて観測点拡充等の準備をする。

2. 地震観測

データの蓄積、解析を継続するほか、次期計画に向けて観測点拡充等の準備をする。

3. 熱活動観測

騒音計による噴気音の連続観測を行い、噴気活動の定量化を試みる。引き続き、主な温泉湧出孔で温泉水の調査を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

渡邊了（富山大学都市デザイン学部）,石崎泰男（富山大学都市デザイン学部）,堀田耕平（富山大学都

市デザイン学部)

他機関との共同研究の有無：有

京都大学課題（KUS02）と連携を行う

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：富山大学理工学研究部（都市デザイン）

電話：076-445-6555

e-mail：hotta@sus.u-toyama.ac.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：堀田耕平

所属：富山大学理工学研究部（都市デザイン）

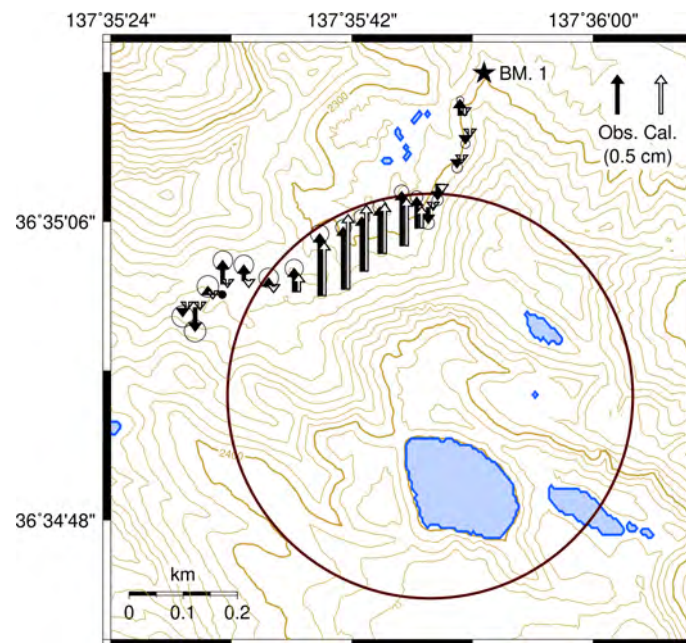


図1：2020～2021年のBM.1（★）に対する上下変動（黒は観測値，白は計算値）と得られたシル（茶色の円）。

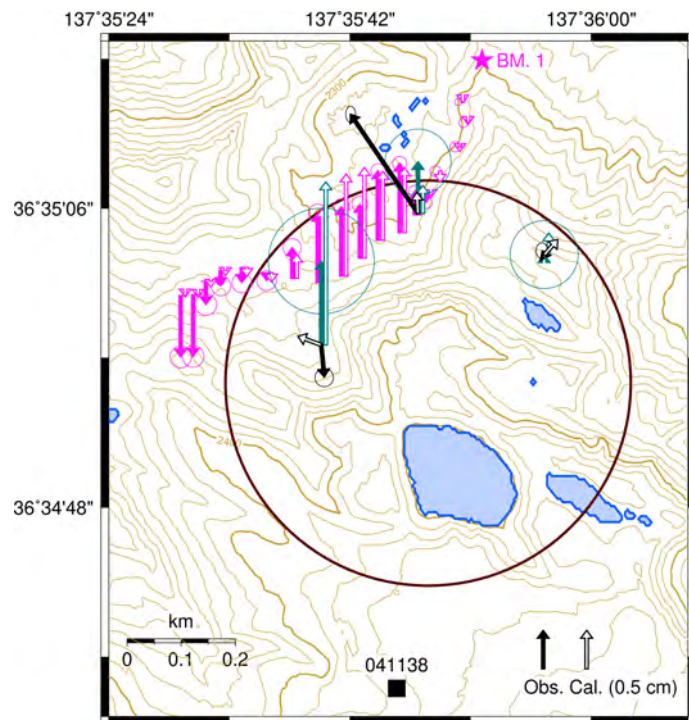


図2：2021～2022年のBM.1（★）に対する上下変動（水準測量；ピンク）とGEONET観測点041138（■）に対する上下（GPS；緑），水平（GPS；黒）変動。白抜きのパクトルは2020～2021年の水準測量から得られたシル（茶色の円）を適用した計算値。

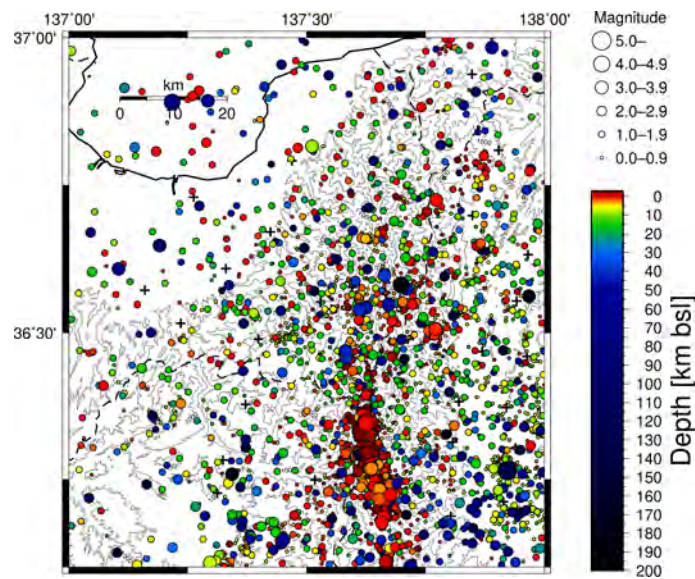


図3：2020年9月23日～2021年9月30日の自動決定による震源分布。カラスケールは深さ、円の大きさはマグニチュードを示す。

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和4年度の成果として、大きく2つがあげられる。1つめは「地震災害後の生活再建のスタートポイントとなる住家被害認定調査の効率化」、2つめは「生活再建支援における相談内容の分析からの傾向把握」である。

1. 地震災害後の生活再建のスタートポイントとなる住家被害認定調査の効率化

生活再建支援のパスポートとよばれる「罹災証明書」の交付にあたり、被災自治体では災害直後から住家被害認定調査を実施しなければならない。この調査においては、内閣府が定める「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」に基づくことが必要となる。しかしながら、この調査では「住家」のみが対象であり、それ以外の「非住家」については言及されていない。あわせて、データマネジメントについても言及されておらず、現場対応の効率化を求めるためには、これらの2点を解決しなければならない。

まず、住家被害認定調査結果を活用する罹災証明書では、生活再建支援制度による支援金支給の対象である「居宅」が主となる。この「居宅」は1世帯に対して1棟の建物を決定し「主たる居宅」と位置づける。それ以外に建物を保有していた場合は、それらは「非住家」として扱われる。居住空間を持つ建物であった場合でも、「従たる居宅」とされるものの「非住家」であることに変わりない。住家被害認定調査において、「主たる居宅」のみを調査することが、最も効率的であるものの、外観調査の段階では「主たる居宅」「従たる居宅」の判別は出来ない。さらに、非住家であったとしても、固定資産税の減免やその他の個別支援が実施される可能性がある。そのため、多くの応援職員が動員されている住家被害認定調査の段階で、非住家も含めて調査実施することが、被災自治体の負担は減少する。しかし、住家被害認定調査は、内閣府の指針に基づくため調査に時間を要することから、全体の調査進捗が遅れることが危惧される。

これらの課題を解決するために、2022年3月の福島県沖地震で被災した新地町を事例として、住家被害認定調査における簡易的な非住家調査を組み入れた効率的な手法を確立し、実証した。この中で、さらなる効率性と確実な罹災証明発行を推進するために、データマネジメントについても言及し、クラウドアプリを開発し、実装した。

調査手法においては、外観として住家と思われる建物については、内閣府が定める指針に基づいて実施するが、非住家については調査員の判断により「大規模被害」「中規模被害」「小規模被害」の3分類を実施することとした。これだけでは、調査員の主観のみに頼ることとなるため、被災した非住家を対象として現地で事前研修を実施することで調査員の目線をあわせ、日々のふりかえりの中で調整した。一方で、3分類としたことで、一定のばらつきが吸収される。この手法では、さらに根拠としての写真を適切に残すことで、最終的な判断は被災自治体に委ねた。これにより、新たな支援を適用する上では、該当しうる建物を3つの分類から洗い出し、それに対して必要に応じて精査することで対象数を適切に把握することが出来る。最終的な決定は、対象数を減らした上で写真を確認して実施することで、全体的な効率化が図られた。

一方で、調査データのみならず、非住家に関する写真を適切に管理しなければならない。非住家は、居宅よりも数が多く、データ入力に大きな労力を要することが想定された。そこで、クラウドアプリとして、写真を一括登録でき、かつ非住家に関する調査結果を簡易的に登録できる仕組みを開発した。

(図1) 本アプリでは、主たる居宅を中心に非住家を紐付けし、データ連係することにより登録にかかる調査員の負担を軽減させた。これをクラウドの仕組みとして実装し、当該の災害で実証した。前述の手法と本アプリを併用することにより、新地町では対象とした建物のすべてを、わずか3週間で調査を完了させた。この結果を1年前(令和3年)に発生した地震の際に新地町が独自で実施したものと比較し、効率的であったことが確認された。(図2) また、データについても確実な記録が確認され、本データを用いてその後の罹災証明交付も効率的に実施された。今後は罹災証明交付に関する傾向分析

を予定しており、本事例の実証研究により、その基礎データが収集できたと考えている。

2. 生活再建支援における相談内容の分析からの傾向把握

ひとたび災害が発生すると、被災者はたとえ命が保証されたとしても、様々な財産を失う。これに対して、被災者は生活再建に関わる活動を開始し、実行しなければならない。しかしながら、災害後の生活再建に関する支援策は多岐にわたるものの、各被災者はどの支援に申請でき、どれほど支援されるかが分からない。そのため、被災自治体では「生活再建総合相談窓口」を設置し、被災者からの問い合わせに対応している。この生活再建総合相談の対応業務は、平時には実施せず、災害後に初めて実施する業務であるとともに、その業務量は膨大である。被災自治体において、業務の効率化を検討する上で、被災者からの相談内容を想定した情報発信や知識の強化が欠かせない。

そこで、2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の対応を事例として、相談窓口で記録された対応記録および課題を文章化したデータを分析することで、相談内容の傾向を導出する。また、その後の支援の申請状況から、被災者の特徴を特定し、支援の予測に資する基礎分析を実施する。

2007年7月に発生した新潟県中越沖地震では、全壊1,121棟、半壊4,583棟の住家被害が発生した。多くの被災者は住家での被害を受け、その後の長期的な生活再建が余儀なくされた。柏崎市では復興支援室を設立し、生活再建に関する専用の相談窓口を開設した。特に仮設住宅入居者および住家が全壊した世帯を対象に、継続的な相談対応を実施し、それらを記録した。

そこで、それらの記録データに対して、1つの文章ごとに発生する名詞に着目し、共起ネットワーク分析を実施することで、その傾向を明らかにした。具体的には、記録の残された780件の対応記録から、8,178個の文章を抽出し、6,293種類、計10,1436個の名詞を抽出した。これらの名詞に対して、各文章内での共起状態を分析することで、名詞間の強いつながりを把握するとともに、相談内容の全体における傾向を解明した。結果として、復興支援策に関する問い合わせや再建相談に加えて、仮設住宅の退去に関する相談、建物の再築に関する業者・工事に関する相談、さらには公営住宅への入居希望等についての相談が強い共起を示した。(図3)すなわち、被災者の再建を推進する上では、住宅の再建方法のあり方やその後の方針についての情報を提示する必要があることが明らかとなった。一方で、住宅の再建方法には応急住宅修理を選択する方法もある。応急住宅修理では、支援対象となる修理箇所および支給限度額が決められているため、必ずしも支援額が被災者の再建に必要な経費とはいえない。そのため支給実績だけでは、被災者が必要とした経費額は把握できない。そこで、災害種別は異なるが、2023年8月豪雨における新潟県関川村を事例として分析を実施した。本事例の選定理由は、申請時において修繕に必要な見積書が添付されていたためである。個人属性および世帯構成、住家の被害程度等の説明変数を用いて重回帰分析を実施したところ、乳幼児を有する世帯では修繕費が高くなる傾向が明らかとなった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- ・ 論文・報告書等
- ・ 学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和5年度は『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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井ノ口宗成（富山大学）、渡邊了（富山大学）、久保田善明（富山大学）、中川大（富山大学）、原隆史（富山大学）、堀田裕弘（富山大学）、矢口忠憲（富山大学）、安江健一（富山大学）、立石良（富山大学）、阿久井康平（富山大学）

他機関との共同研究の有無：有

森嶋厚行（筑波大学）、北原格（筑波大学）、元谷豊（(株)サイエンスクラフト）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理工系事務部理工系総務課（都市デザイン学部担当）

電話：076-445-6918

e-mail：

URL：<https://www.sus.u-toyama.ac.jp/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井ノ口宗成

所属：都市デザイン学部

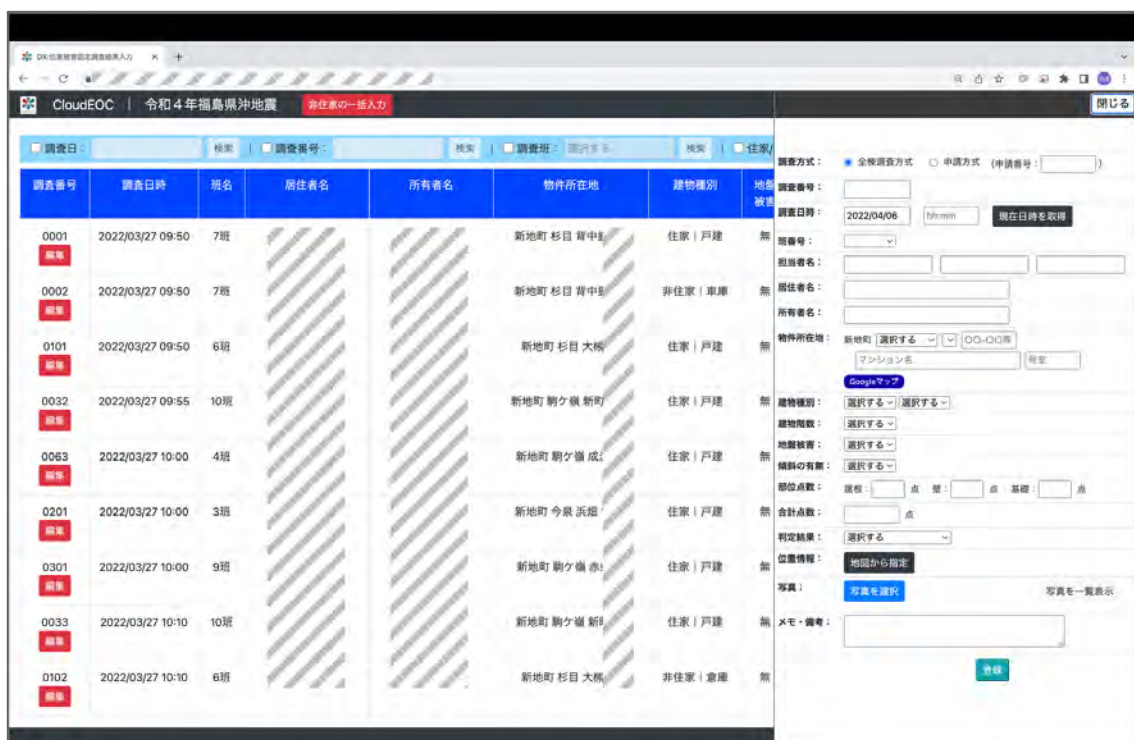


図1 非住家の調査データ管理アプリ

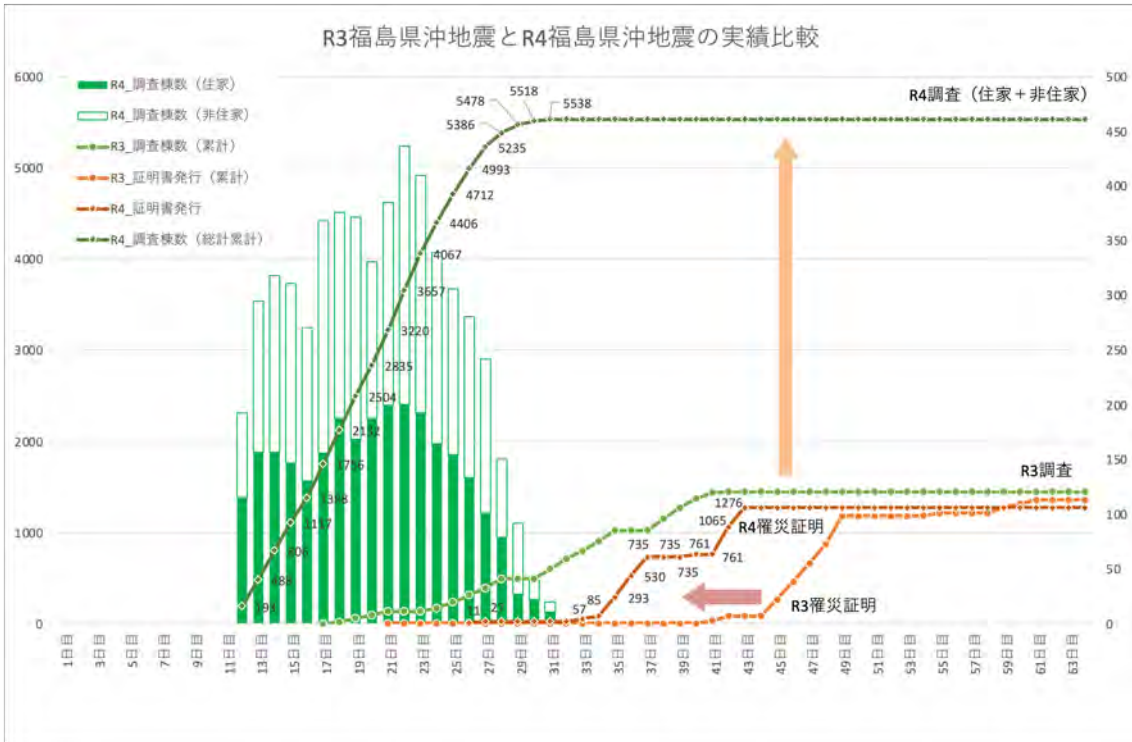


図2 住家被害認定調査の実績と過去との比較

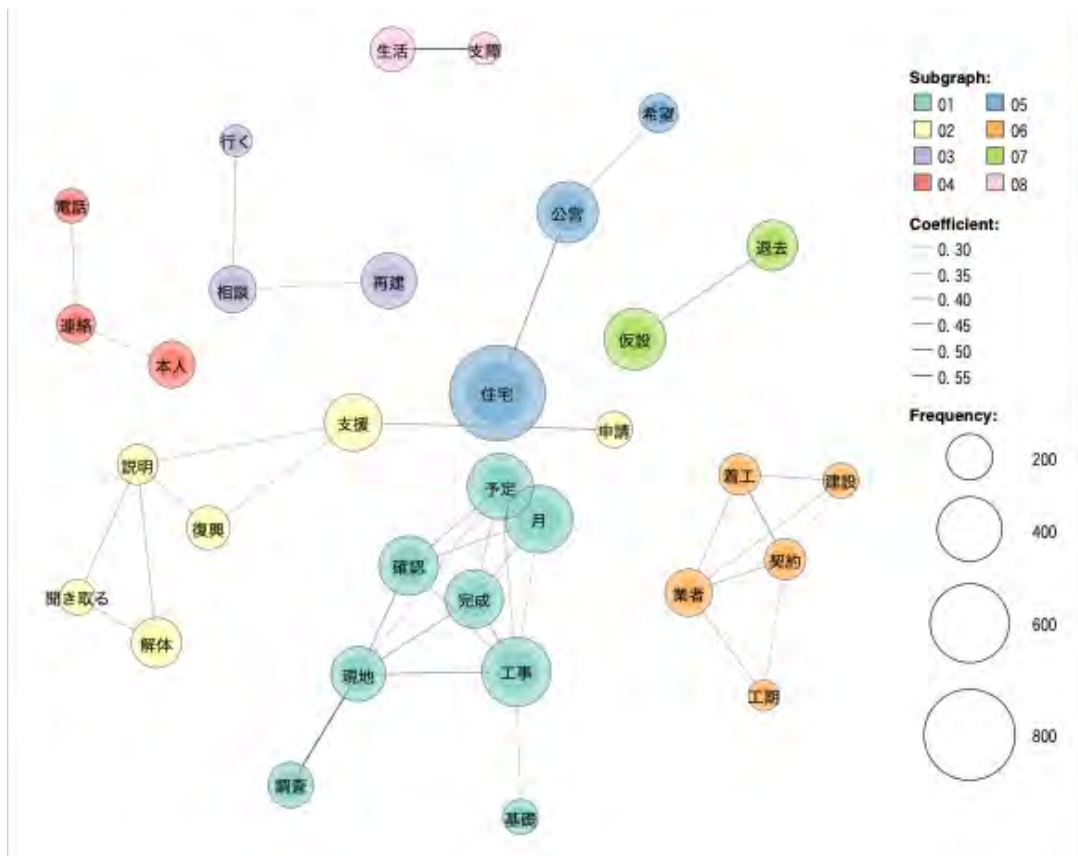


図3 生活再建にかかる相談内容の共起ネットワーク

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1) 昨年度地震史料テキストデータベースを公開したが、ここに収録した史料中に記された地名を地図上に表示させるシステムを構築するために、自然言語処理を専門家とする情報工学研究者と連携して、AIによる史料中の地名表現の自動抽出、および、地名表現のマークアップに取り組んだ。新収日本地震史料第2巻に対して、AIによる地名表現自動抽出を行ったところ、F値として約0.775だったことから、人手による抽出には及ばないが、利用可能な性能と判断した。この結果を自動抽出した結果に対して人手で地名表現の修正を行い、フィードバックさせることで、さらなる自動抽出の性能向上を図っている。また、自動的に緯度経度を付与する手法についても検討を開始した。

2) 昨年度に引き続き、1800年から安政東海・南海地震に至るまでの期間の九州を中心とした西日本

における記録を調査し、以下の新知見が得られた。

・1844年6月24日（弘化元年5月9日）の被害地震を検出した。この日昼頃に発生した地震によって、日向都城と延岡で建物被害が生じていた。また日向小林、豊後臼杵でも新たな有感地震記録がみつかかり、日向灘付近を震源とする地震であると考えられる。同日には佐賀付近でも強い震動の記録が複数みつかかり、同日のうち二つの地震が前後して発生していたと考えられる。

・熊本県博物館ネットワークセンター所蔵「瀬井家資料」を調査し、1826～1868（文政9年～明治元年）にいたる熊本県高森町の有感地震情報を収集した。1854年（安政元）の阿蘇地方での地震についてはこれまで簡略な記録しか知られていなかったが、「瀬井家日記」によって、12月24日（11月5日）発生した安政南海地震と、12月26日（11月7日）に発生した豊予海峡地震のそれぞれの地震による、阿蘇南郷谷の被害状況が具体的に知られるようになった。また同年3月に、阿蘇山中央火口付近で、突然熱水が噴出し、死者が出ていたことが確認できた。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震史料集テキストデータベースを公開していることによって、建議の計画の概要2-1(1)に「長期間における地震・火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するために、史料・考古データ、地質データ等を収集して調査・分析を行うことで、データベースを整備・拡充する」に、また、19世紀九州地域の有感地震記録を広く収集することによって、(2)に「低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の発生履歴、規模、場所を解明するために、史料・考古データ、地質データ等の分析を行う」とあることに貢献できた。これは、計画の実施内容1-1アに「大学は、既刊の地震・火山関連史料集のデータベースを構築する」とある計画にも該当する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Masaharu Ebara, 2022, Development of Farmland in a Lagoon and Damage Caused by Storm Surge in 17th Century Japan, Journal of Disaster

Research, 17, 390-398, doi.org/10.20965/jdr.2022.p0390, 査読有, 謝辞無

Reiko Sugimori, Kazuko Ariizumi, and Kenji Satake, 2022, Origin Time of the 1854 Tokai Earthquake Recorded in the Logbook of the Russian Frigate Diana, Journal of Disaster

Research, 17, 409-419, doi.org/10.20965/jdr.2022.p0409, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

杉森玲子, 2022, 安政東海地震の発震時刻—外国語史料の活用—, 地震史料シンポジウムⅡ 災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法

水野嶺, 2022, 19世紀西日本の広域有感地震—近世日記の活用—, 地震史料シンポジウムⅡ 災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法

杉森玲子, 2022, 史料からみた1640年北海道駒ヶ岳噴火, 歴史地震研究会高槻大会

水野嶺・加納靖之・榎原雅治, 2022, 弘化元年5月・6月の被害地震について, 歴史地震研究会高槻大会

水野嶺, 2022, 日記史料にみる19世紀前半の地震・気象—阿蘇山噴火史の再検討を中心に—, 「災害文化と地域社会形成史」研究会

榎原雅治, 2022, 古代・中世の富士噴火と関東の地震, 東京大学史料編纂所 特別公開講座 ☒ 「歴史のなかの災害—史料から読み解く—」

杉森玲子, 2022, 江戸で記録された噴火・地震, 東京大学史料編纂所 特別公開講座 ☒ 「歴史のなかの災害—史料から読み解く—」

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：地震：歴史史料収集

概要：19世紀の地震に関する記述のある史料を調査した。熊本県博物館ネットワークセンター「高森町瀬井家資料」／大分県佐伯市歴史資料館「佐伯藩家老日記」「同郡方町方日記」／宮崎県都城島津邸「都城島津家文書」／宮崎県立図書館・宮崎県文書センター「高鍋町立図書館所蔵文書」

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：熊本県宇城市松橋

調査・観測期間：2023/2/8-2023/2/10

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

(12) 令和4年度実施計画の概要：

- 1) 公開を開始した地震史料テキストデータベースの本文について原史料による校訂を進め、誤りを修正するとともに、収録されていない記事を補充する。
- 2) 地震史料テキストデータに含まれる地名を自動抽出し、位置情報を付与するための研究を進める。また位置情報を与えて地名を地図上に表示するための方法を検討する。
- 3) データベースを活用して17～19世紀の地震・噴火の事象についての具体的な事例研究を行う。
- 4) 16世紀以前の地震・噴火について記録した「年代記」群の史料学的な検討を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

榎原雅治（東京大学史料編纂所）、杉森玲子（東京大学史料編纂所）、荒木裕行（東京大学史料編纂所）、林晃弘（東京大学史料編纂所）、山田太造（東京大学史料編纂所）

他機関との共同研究の有無：有

佐竹健治（東京大学地震火山史料連携研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：榎原雅治

所属：東京大学史料編纂所

(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4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・昨年度に引き続き、1640年北海道駒ヶ岳噴火の関係史料を調査、分析した。従来参照されてきたものより噴火に近い時期の同時代史料から噴火に関する記述を見出すとともに、編纂物についても典拠に遡って記述を精査し、記述の一部に対しては火山学的な検討を加えた。その結果、降灰で暗闇になったのは概ね一昼夜というのが松前で認識であり、従来の理解よりも短かったこと、これまで「火砕流を示唆する古記録はない」とされてきたが、同時代史料の中には、ブラストや火砕流など、噴火中に起きた高温の流れ現象を示す史料に相当する可能性があるものが含まれていること、北海道駒ヶ岳からの火砕物が美濃や尾張にまで達して降下した、とする従来の理解には再検討の余地があること、噴火から20年あまり経っても火山活動が継続していたことを示唆する史料の記述があること、などを明らかにした。

・1707年富士山宝永噴火により、江戸でも火山灰（砂）が降ったことはつとに指摘されているが、江戸で記された関係史料を読み直した結果、屋内にも砂が入り、砂のためか病人も多く、月次登城した大名衆の人数は例月の3分の1に減少するなどの影響が出たこと、降砂が止んだ後も、風で吹き上げられた砂で視界が悪くなるほどであったが、噴火が終息した翌日に約30cmの積雪となってからは砂の記事はみられず、少なくとも一時的には砂の吹上げが抑えられた可能性があること、砂は江戸城の堀にも投棄されたこと、などを明らかにした。

・1854年安政東海地震・南海地震および1855年安政江戸地震が政治や社会に与えた影響について、下田・大坂・江戸を例に、先行研究もふまえて整理した。特に江戸では、町会所が機能し、火事等での災害対応の経験が震災でも活用されたことなどを、絵画史料にも基づいて指摘した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

上記の成果を通じて、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」に貢献した。また、「地震・火山研究で得られた知見の社会への発信に関しては、地域の行政機関やステークホルダーと連携する」（建議のⅢ「計画の実施内容」）ことにも貢献した。このように、災害事例を集積し、その研究成果を社会に発信することは、「災害の軽減に貢献する」という目標に近づく一助となりうる。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Reiko Sugimori, Kazuko Ariizumi, Kenji Satake, 2022, Origin Time of the 1854 Tokai Earthquake Recorded in the Logbook of the Russian Frigate Diana, Journal of Disaster Research, 17(3), 409-419, doi:10.20965/jdr.2022.p0409., 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

杉森玲子, 2022, 安政の南海トラフ地震・江戸地震が与えた影響, 日本学術会議主催 学術フォーラム「国難級災害を乗り越えるためのレジリエンス確保のあり方」

杉森玲子, 2022, 史料からみた1640年北海道駒ヶ岳噴火, 第39回歴史地震研究会, O-15

杉森玲子, 2022, 江戸で記録された噴火・地震, 文京アカデミー特別公開講座「歴史のなかの災害—史料から読み解く—」

杉森玲子, 2022, 安政東海地震の発震時刻—外国語史料の活用—, 地震史料シンポジウムII「災害史料研究が拓く歴史学の新たな方法」

杉森玲子, 2023, 江戸の都市社会と地震・噴火被害, 一般社団法人レジリエンス協会 定例会「しなやかな社会の実現」

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料の調査・収集・翻刻を可能な限り行う。あわせて、既存の史料の読み直しや、翻刻史料の原史料による確認などにも留意し、近代以前に発生した地震・

火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などを検討しながら、災害事例を集積する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉森玲子（東京大学史料編纂所）,榎原雅治（東京大学史料編纂所）,及川 亘（東京大学史料編纂所）,
荒木裕行（東京大学史料編纂所）,林 晃弘（東京大学史料編纂所）,山田太造（東京大学史料編纂所）
他機関との共同研究の有無：有
大邑潤三（東京大学地震火山史料連携研究機構）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：杉森玲子

所属：東京大学史料編纂所

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

沿岸巨礫を用いた古津波評価法の検討：南海トラフ～琉球海溝の連動可能性評価に向けて

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
 - ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

我が国の沿岸部では、日本海溝沿いや琉球海溝沿いを中心として津波（津波石）や台風の高波で打ち上げられた巨礫群が沿岸部に堆積している。これらは、現在から数千年前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、津波発生日代の理解には砂礫質津波堆積物の情報も重要であり、同時に現地調査を実施する。一方、台風の高波で打ち上げられた巨礫群は沖縄・奄美諸島に広く分布しており、近年の台風で移動した巨礫を空中写真で確認し、サイズ・空間分布を調査する。

年代測定：琉球列島においては津波石を用いた津波発生年代に関する研究が行われてきた。しかしながら、推定津波年代にばらつきがあり、統一的な理解が得られていない。これは、測定試料選定、暦年較正、年代値の解釈の違いによる。そこで、既往研究のうちハマサンゴ巨礫等の信頼性の高い巨礫年代を測定したデータを厳選するとともに、調査で採取する資料を用いて追加の放射性炭素あるいはウラン・トリウム年代測定を平成32～35年度にかけて行う。そして、バイズ理論に基づき年代結果を統計処理し、津波履歴を高精度で復元する。

数値計算：〈津波規模評価〉巨大津波に特化した解析を行うため、特に高い標高に堆積する津波石の打ち上げ計算を行う。数値計算による検討は平成31～35年度の各年度に、現地データや地形データが収集できた地域から順次実施する。具体的には、巨礫移動の水理実験により精度検証を行った上で、鉛直方向の流速、加速度等を考慮した津波計算を実施し、崖上の巨礫打ち上げを説明できる入射波条件を推定する。その結果を制約条件とし、津波波源モデルを推定する。一方、台風の高波での打ち上げが確認できる巨礫群は、津波規模の上限値を推定するために活用することができる。まず、数値計算により推定される台風の高波の波浪強度を推定する。そのうえで、現在の巨礫のサイズ・空間分布を維持できる規模の津波を繰り返し計算により推定し、過去数千年程度の間に発生した可能性のある地震・津波規模を評価する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

琉球海溝南部に面する先島諸島（石垣島、宮古島）において現地調査を行った。具体的には、津波規模を制約するのに重要な津波石の中でも特にサイズの大きいものについて、形状の3D計測を行った。これは、10 mを超えるような巨大な津波石について、通常通りの測量が難しく従来は形状を把握できなかったため、数値計算による巨礫規模の復元が困難だったためである。また、石垣島において掘削調査を行い、明和津波由来である可能性の考えられるイベント堆積物を確認し、試料採取を行った。琉球列島北部については、現地巨礫データに基づく数値計算の成果を取りまとめ、論文化する目的を立てた。また、琉球列島南部や北部を対象として行ってきた多点放射性炭素年代測定についても必要な測定データを得た。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題は、過去の地震津波履歴や規模を把握するためのものであり、これまで挙げた成果は関連の深い項目（1（1）ウ：地質データ等の収集・集成と分析）の趣旨に合致している。過年度、本課題から複数の学術論文として成果が出されており、既に長期評価にも引用されるなどの実績がある。本課題で検討している過去の地震津波の履歴と規模の情報は、津波評価においてもっとも基礎となる情報であり、災害軽減に資する直接的情報を提供できていると考えており、今後も地質情報の取得を進める予定である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

南館健太，後藤和久，Volker Roeber,2022,琉球列島広域における高波起源の巨礫の堆積学的特徴の相違性,日本堆積学会

南館健太，後藤和久，菅浩伸，石澤堯史，小岩直人，伊藤晶文,2022,奄美大島の沿岸巨礫分布を形成した過去の高波の最大規模の数値的推定,日本地球惑星科学連合2022年大会

中田光紀，後藤和久，佐藤海生,2022,1771年明和津波の波源の再検討と人的被害評価,日本地球惑星科学連合2022年大会

後藤和久,2022,現代と将来社会への地質学の貢献：災害研究の視点から,日本地質学会

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

琉球列島北部及び南部における調査分析を継続する。特に、巨礫形状の復元は数値計算を行う上で重要であり、制約に活用できる可能性のある巨礫を選定して3D計測を実施し、形状を考慮した巨礫移動計算に基づくより正確な津波波源推定を行う。また、琉球列島北部における地震津波計算結果、および琉球列島南部における多点放射性炭素年代測定結果については、すでに十分なデータが収集できているため、年度内に国際誌への投稿を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

後藤和久（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

森信人（京都大学防災研究所）, 横山祐典（東京大学大気海洋研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：後藤和久

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

巨大地震に伴う粘弾性余効変動の解明

(3) 関連の深い建議の項目：

- 1 地震・火山現象の解明のための研究
- (2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
地震

(4) その他関連する建議の項目：

- 2 地震・火山噴火の予測のための研究
- (1) 地震発生の新たな長期予測
- ア. 海溝型巨大地震の長期予測
- イ. 内陸地震の長期予測
- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
- ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測
- 5 研究を推進するための体制の整備
- (2) 総合的研究
- ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

海底地殻変動観測によって、東北地方太平洋沖地震後から継続している地殻変動のメカニズムとして、粘弾性変形が重要であることが判明した。本課題は、海陸の地殻変動データに加え、今後のデータ取得が進む衛星重力データの利用まで視野に入れた、広域粘弾性変形モデルを開発することで、地震サイクルの各段階における列島規模の地殻変動の理解を深めることを目的とする。5か年の間に、プレート沈み込み境界の形状、密度・弾性・粘性の不均質構造、自己重力を考慮した球体地球モデルにおける粘弾性変形の計算手法を確立し、日本列島で発生した過去の巨大地震へ適用するとともに、既存手法との差を明らかにすることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成31・32年度に、既存モデルと提案モデルとの比較による、曲率や自己重力の影響の評価を行う。平成33・34年度において、提案モデルへ水平不均質構造を取り込み、平成35年度にプレート境界形状等を考慮した、巨大地震による余効変動のシミュレーションを実施する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

概ね計画のとおり研究が進捗し、本年度までに地下の弾性定数・密度の不均質構造、自己重力を考慮した球モデルにより地震時の重力変化を計算する基本的な手法が完成した。また、既存のモデルとの

比較により球モデルの優位性を評価した。具体的には、東北地方太平洋沖地震で観測された震源付近の海底測地データと遠地の陸上GNSSデータが球モデルでは整合的に説明できることを、半無限モデルとの比較により示した。また、弾性定数や密度の水平不均質が地震時の重力変化に与える影響を定量的に評価し、衛星重力観測の精度を高めることでそれらが検出可能なことを示した。この結果は現在投稿論文で査読中である。現在、ドイツ地球科学センターで現行の重力衛星の後継機となる衛星観測の仕様が検討されており、本研究の結果が引用されている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本課題で開発している球モデルに基づく計算手法は、全球的な変形および重力場の変化を容易かつ正確に計算が可能であり、長波長の変形をいわゆる高詳細モデルやデータ同化モデルに反映させることで、それらを用いた地震発生予測シミュレーションの効率化が可能である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

Tanaka, Y., V. Klemann, Z. Martinec, 2022, An estimate of the effect of 3D heterogeneous density distribution on coseismic deformation using a spectral finite-element approach, X. Hotine-Marussi Symposium (presented 15, June)

高田大成・田中愛幸, 2022, 地殻変動モデリングにおけるGreen関数の比較, 日本測地学会第138回講演会 (2022/10/6発表), 30

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：3次元地下不均質構造を考慮して地震時の重力を計算するソフトウェア

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

開発した手法を用いて2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動モデルを構築するとともに、衛星重力データや陸海の地殻変動データと比較するために手法の適用性を高めるための開発を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中愛幸

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震発生場のテクトニクスとマルチスケール地震現象の予測可能性

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震発生場の不均質性をどのように定量化するか、という問題は震源物理学の主要な問題の一つである。1980年代に「アスペリティ」や「バリア」として認識された2元的な不均質性は、繰り返し発生する特徴的な地震の振る舞いを説明するものの、微小スケールから巨大地震までのマルチスケールな地震現象の振る舞いを説明するには単純すぎた。それに代わるものとして2005年以来、本研究代表者らが提案している階層パッチモデルは、地震現象のマルチスケールな側面の多くを説明する。特に2011年東北沖地震が政府の想定を超えた規模の超巨大地震として発生して以来、階層性の理解が地震の予測可能性にとって重要であることが明らかになってきた。また階層性に影響を及ぼす要因として、プレートの相対速度や熱的構造など、地域的なテクトニクスの違いがあることが全世界規模の研

究により明らかになってきた。

次期計画では、現行計画で得られた知見を元に、データ解析と数値モデリングを組み合わせ、様々なテクトニクス環境条件と階層性の定量化を進め、マルチスケール地震現象の予測可能性を検討する。具体的には様々な地域で地域ごとに異なる階層構造を特徴づける地震活動パラメタの推定を行うとともに、地域を絞って大きさの異なる地震の破壊過程の高精度イメージングによって地域的な階層構造の定量化およびスケールリングを行う。世界各地の沈み込み帯を比較することで、テクトニクス環境条件とスケールリングや階層性パラメタの関連性を調べる。一方で数値モデリングにより階層性パラメタが予測可能性に及ぼす影響を明らかにする。

計画遂行にあたっては、先端的なデータ解析研究と数値モデリング研究を遂行する一方で、これらの研究に用いる手法の簡便化、標準化を通じて、次世代研究者養成のための教育ツールの開発も行う。実際の研究の一部に学生を参加させることで研究者養成も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

小規模から超巨大地震まで、個々の破壊プロセスが含む階層性と、複雑系の相互作用として出現する地震活動の階層性をデータ分析によって定量化し、数値モデリングで予測可能性を検討する。既存の高精度階層性イメージング手法を新しいデータに適用するとともに、先端計算科学の知見を取り入れて新たな階層性分析手法を開発する。これらの分析結果と数値モデリングによって階層性が予測可能性に及ぼす影響を評価する。日本周辺の沈み込み帯での地域研究を基盤として、世界各地の沈み込み帯を対象とすることで、異なるテクトニクスの影響を検討する。そのためにチリ、メキシコ、台湾など世界各地の研究機関と国際協力を進める。データ解析、モデリングの手法を標準化し、次世代研究者養成のための教育ツールを開発する。年度ごとの研究計画は以下の通り。

初年度：日本周辺における高精度階層性イメージング、階層性モデリング手法開発
階層性抽出のための新技術開発、地域研究のための予備解析

2年度目：高精度階層性イメージングの他地域への適用準備、階層性モデリング適用
新技術の適用、既存データ解析・モデリング手法の標準化

3～4年度目：多数の地域での各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、
標準化した手法を用いた研究教育実施

5年度目：各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、研究の取りまとめ
標準化した手法を用いた研究教育実施

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

今年度は確率論的予測手法の開発を中心に研究を進めた。通常地震については点過程を用いたETASモデルや、更新過程を用いた繰り返し地震の予測手法が存在するが、テクトニック微動などのスロー地震活動については予測手法が確立していない。そこで更新過程に短期相互作用と長期ローディングの効果を取り入れた予測手法を開発し、西南日本の微動に適用した。予測性能は期待通りであったが、同時に地域的なテクトニクスの違いによる予測パラメタの違いを示すことができた。この研究成果は日本地球惑星科学連合大会、日本地震学会、米国地球物理学会などで紹介するとともに、Progress in Earth and Planetary Science誌において出版した(Ide and Nomura, 2022)。Ide and Aochi (2005)モデルの現実の場への適用を目指して、日本海溝沈み込み帯の一部に、地震発生履歴に基づいて仮想パッチモデルを構成し、速度状態破壊依存摩擦則を用いた地震活動シミュレーションの枠組みを構築した。またこのような階層性破壊の基礎的な物理プロセスである動的破壊核形成過程について、問題を再構築し論文として投稿した。その他、破壊開始点とセントロイドの同時推定手法の公開コードについて紹介する発表を日本地球惑星科学連合大会において行った。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

プレート境界における低速すべりの一種、テクトニック微動の予測と標準化について足掛かりとなる成果を上げることができた。これは地震発生物理の理解にとって重要な貢献である。災害の軽減については、これまでの理論モデルを現実の場に適用するための準備を整えることができた。今後現在の地震物理学の知見から予測される地震活動を可視化していく。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ide S. and S. Nomura,2022,Forecasting tectonic tremor activity using a renewal process model,Prog Earth Planet Sci,9,57,10.1186/s40645-022-00523-1,査読有,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Chang, T. and S. Ide,2022,NccPy: an open-source earthquake relocation package for higher resolution hypocenter and centroid locations with cross correlation approaches,JpGU2022,SCG44-P27

Ide, S and S. Nomura,2022,Preliminary forecasting model for tectonic tremor activity using a renewal process,JpGU2022,SCG440P32

井出哲・野村俊一,2022,テクトニック微動活動の予測実験：更新過程モデルを用いて,地震学会秋季大会,S09-12

Ide, S and S. Nomura,2022,Forecasting tectonic tremor activity using a renewal process model,AGU Fall Meeting,T42B-01

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

プレート境界の階層性破壊について、現実的な場における破壊の様子の可視化を行うとともに、現在のモデルの仮定の妥当性の検証を行う。特にスロー地震のような低速の変形と、地震の破壊プロセスを分ける本質的な特徴を明らかにし、それを適切にモデル化するための方法論を検討する。関連して動的震源核形成過程の論文の公表を目指す。また階層性破壊のより良い理解のために破壊開始点とセントロイドの同時推定手法のさらなる適用を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

Hideo Aochi（フランスBRGM）,Victor Manuel Cruz Atienza（メキシコ国立自治大学）,Sergio Ruiz（チリ大学）,Kate Huihsuan Chen（台湾国立師範大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井出哲

所属：東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地殻流体の化学的観測による地震火山活動評価システムの高度化と応用

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測
(4) 中長期的な火山活動の評価
イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

- (2) 総合的研究
イ. 首都直下地震
(3) 研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 総合的研究との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでに開発してきた四重極質量分析計での観測を本宮観測点などにおいて実施し、周囲の地震火山活動とHe,N₂,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、本宮観測点などにおいて地下水・噴気観測を実施する。採取した地下水や噴気のガス成分の組成を、四重極質量分析計によって連続的に計測する。

毎年2回の地下水・噴気サンプリングを行い、³He/⁴Heをはじめ測定可能な全ての化学分析を実施する。³He/⁴Heの分析と酸素水素同位体比の測定は産総研で実施する。

これらの分析結果を集約するとともに、それぞれの地域での地殻変動や火山活動の情報を収集し、周囲の地震火山活動とHe,N₂,Arの組成の時間変化との対応を明らかにする。また、データが蓄積された段階で「先行現象に基づく地震発生の確率予測」を主課題としているグループとデータを共有し、データを評価する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

この研究の目的は、深部低周波地震の活動を、温泉溶存ガスの連続を精度良く実行する観測評価システムを製作するとともに、温泉溶存ガスの濃度変化の観測結果によって深部低周波地震を検出できるかどうかを明らかにすることである。このために、深部低周波地震の震源域があって第四期火山が確認されていない、紀伊半島南部の温泉で現在観測を行っている。

1997年に五十嵐によって初めて開発された、地下水溶存ガスを四重極質量分析計でその場観察する手法(Igarashi, et al. (1997))は、その後改良を加えられながらいくつかの研究で使われている(Tsunami, et al. (2008), Fu, et al. (2021))。これらの研究では温泉遊離ガスを測定に使用してきたが、遊離ガスが少ない場合は溶存ガスを積極的に抽出することが求められる。そこで本研究ではまず、溶存ガスを積極的に抽出する仕組みを導入した連続観測装置の製作を行うことで、地殻流体の化学的観測システムの高度化を目指した。また、この装置を用い、深部低周波地震の震源域で第四期火山が確認されていない紀伊半島南部の温泉で観測を行って、深部低周波地震を温泉溶存ガスの組成変化で検出できないかを検討することを目指した。

連続観測に先だって、温泉水の酸素水素同位体比およびヘリウム同位体比を分析した。酸素水素同位体比は、日本の平均的な値の範囲内であり、天水線に乗っていたことから、これらの観測点の水は天水起源であり、いわゆるマグマ水を含んでいないことがわかった。一方、ヘリウム同位体比は大気の数値で規格化した値として4.5Raから5.8Raであり、これら観測点の溶存ガスが深部起源のガスを多く含んでいることが確かめられた。

本宮観測点では2021年6月24日から約半年の間観測を行った。温泉溶存ガスは、酸素の量から評価すると、大気に二酸化炭素とメタンが追加されたような組成で、酸素濃度だけで大気量を見積もると90%が大気であった。観測期間中、2021年10月5日のポンプメンテナンスの時の不連続な変化を除いて、組成は安定して推移した。この間の通常の地震は4回、深部低周波地震は25回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の特徴的な変化は観測できなかった(図1)。この期間の前にも通常の地震や深部低周波地震は発生しているので、遅れた応答も観測できなかったということになる。そこで、観測場所を川湯温泉に移して測定を継続することにした。

川湯観測点では2022年1月11日から約半年の間観測を行った。温泉溶存ガスは、酸素の量から評価すると、大気にメタンが追加されたような組成で、酸素濃度だけで大気量を見積もると85%が大気であった。観測期間中、組成は安定して推移した。この間の通常の地震は4回、深部低周波地震は28回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の特徴的な変化は観測できなかった(図2)。こちらの観測点でも本宮観測点と同様、遅れた応答も観測できなかったということになる。そこで、観測場所を大紀町の阿曾温泉に移して測定を継続することにした。

大紀観測点では2022年12月15日から観測を継続している。温泉溶存ガスは、酸素の量から評価すると、大気にメタンが非常に多く追加されたような組成で、酸素濃度だけで大気量を見積もると40%が大気であった。観測期間がまだ短いので、組成の変動はまだ評価できないが、2023年1月下旬から二酸化炭素とメタンの濃度が増加する傾向にあるように見える(図3)。この間の通常の地震は0回、深部低周波地震は6回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の変化はまだなく、今後見極めたい。

今期までで得られた結果は次の通りである。

1. 多少の遅れはあるものの、予定に沿った装置製作を完了し、観測を行うことができた。
2. 温泉水の採取と溶存ガスの抽出を同時に行う仕組みを組み込むことで、効率よく溶存ガス採取ができた。
3. 本宮観測点と川湯観測点でそれぞれ半年間の観測を行った。ここでは、通常の地震や深部低周波地震に遅れたような特徴的な溶存ガス組成の変化は検出できなかった。
4. 現在大紀観測点で観測を継続している。溶存ガス組成が変化するような傾向を示しつつあり、今後の観測で推移を評価し、通常の地震や深部低周波地震に遅れたような変化を見出せるか見極める。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

高度化した観測装置の製作が完了し、装置の応用方法が見定められたことは、災害の軽減につながる観測技術の高度化として貢献できたと考える。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

角森史昭・森川徳敏・川端訓代,2021,温泉水に溶存するマグマ起源ガスの検出と監視,JpGU2022

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

大紀観測点での温泉水溶存ガスの観測を継続し、通常地震や深部低周波地震の発生に応答するような特徴的な組成変動がないかを見極める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

角森史昭（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

小泉尚嗣（滋賀県立大学）,森川徳敏（産業技術総合研究所）,川端訓代（鹿児島大学）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

電話：

e-mail：

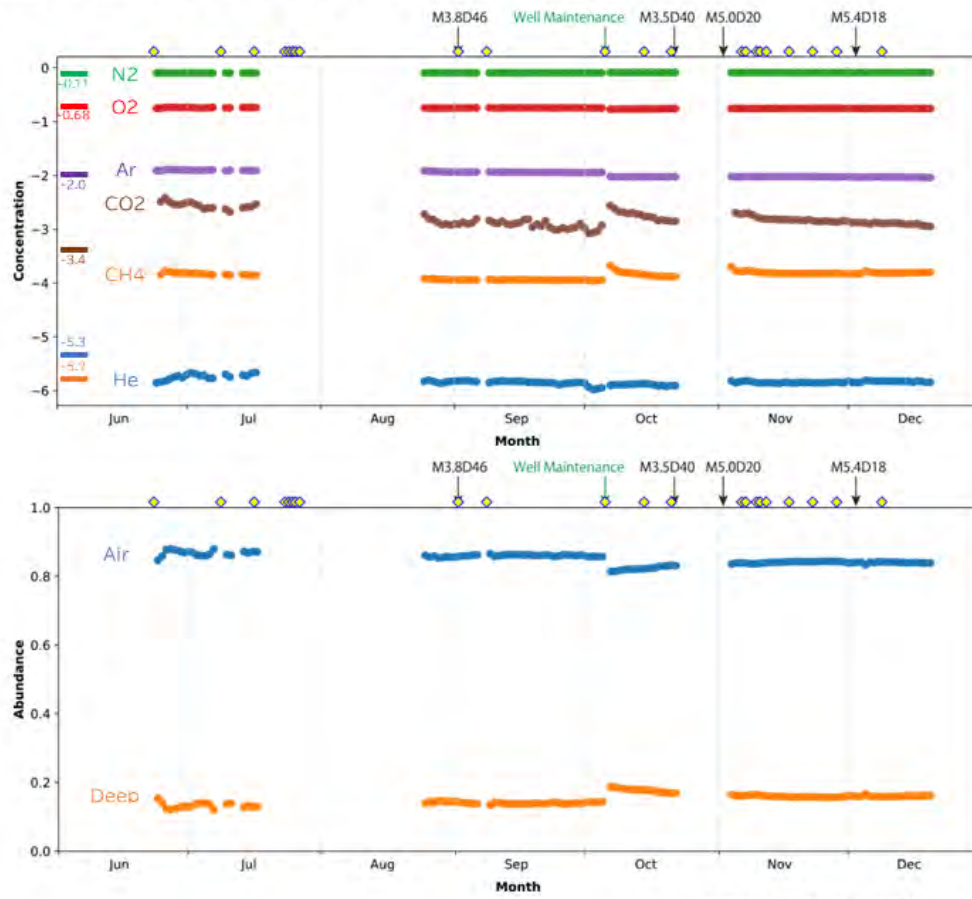
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：角森史昭

所属：東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

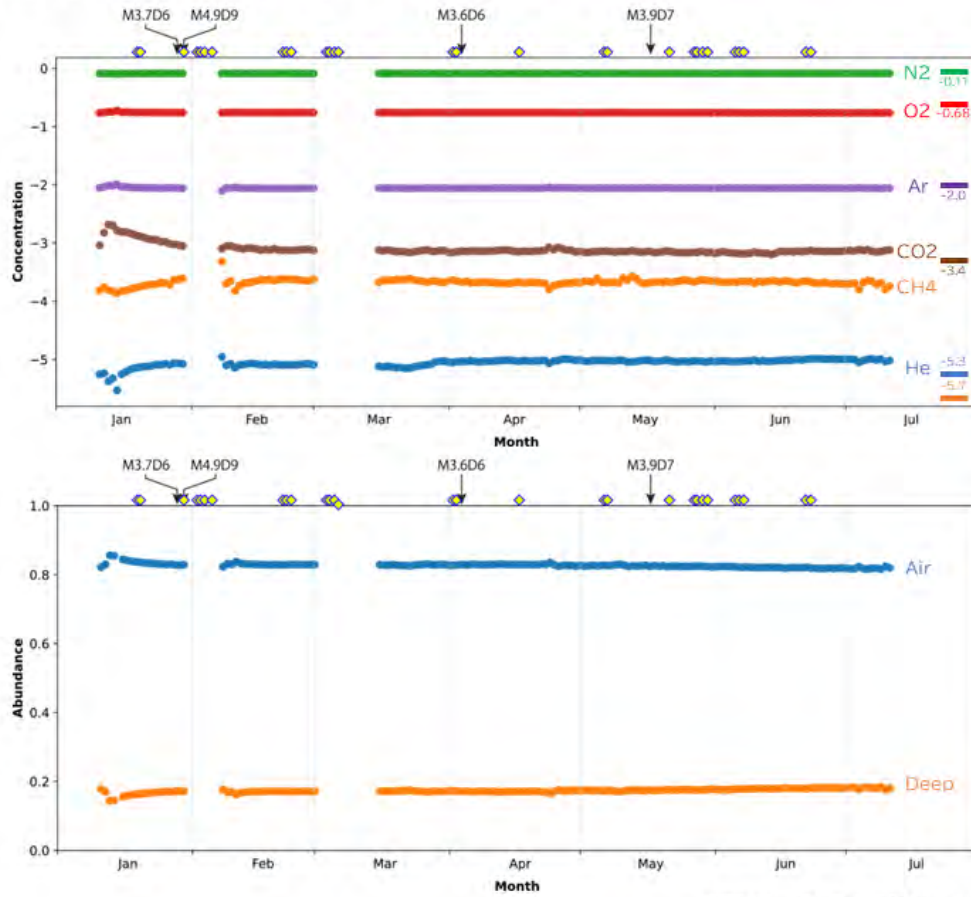
HONの測定結果 (2021-06-24~2021-12-20)



震源リスト, JMA (Feb. 2023) Hi-net, NIED (Feb. 2023)

図1. HON観測点の測定結果

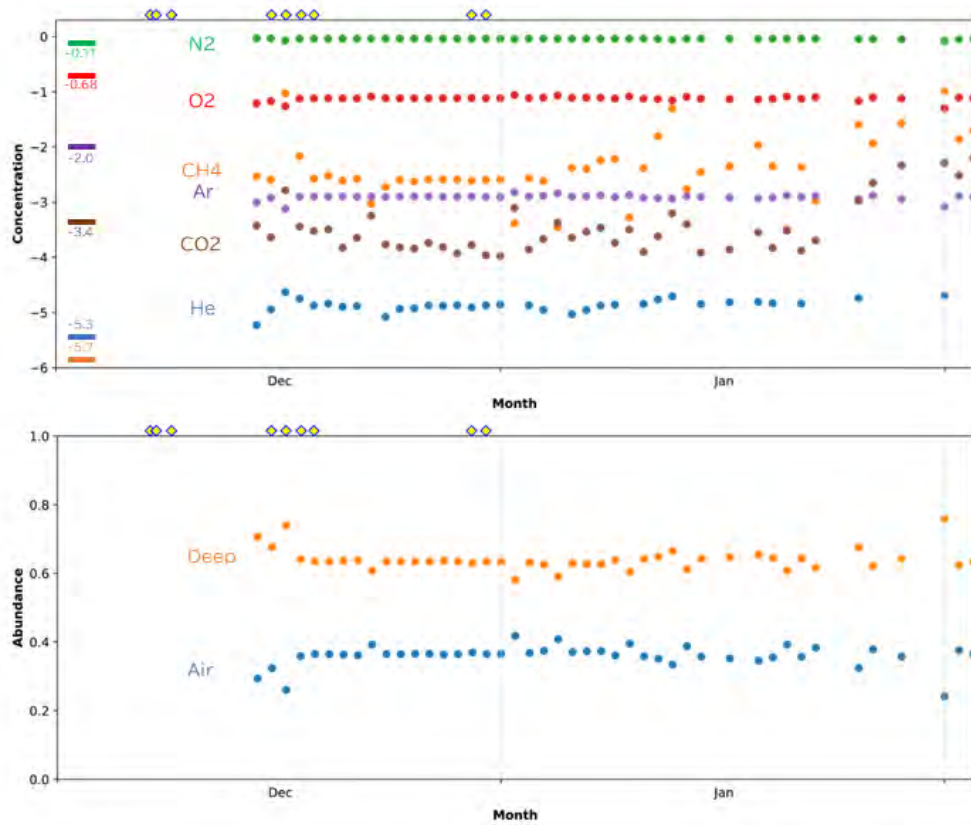
KWYの測定結果 (2022-01-11~2022-07-11)



震源リスト, JMA (Feb. 2023) Hi-net, NIED (Feb. 2023)

図2. KWI観測点の測定結果

TAIの測定結果 (2022-12-15~)



震源リスト, JMA (Feb. 2023) Hi-net, NIED (Feb. 2023)

図3. TAI観測点の測定結果

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

物理モデルと地形・地質学およびテクトニックな観測データを統合した地震発生の長期予測手法の開発と検証

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測
 - イ. 内陸地震の長期予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析
 - ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- (3) 地震発生過程の解明とモデル化
 - ア. 地震発生機構の解明
 - イ. 地震断層滑りのモデル化
- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
 - ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
 - イ. 内陸地震
 - オ. 構造共通モデルの構築

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

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

5 研究を推進するための体制の整備

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

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、地震発生の長期予測を、物理的客観性と定量性の向上を目的とし、地震発生シミュレーション手法の高度化と検証、定量的な変動地形解析手法の開発を行う。それぞれの課題について、5か年での到達目標を以下の様に設定する。シミュレーション研究においては、国内外のいくつかの内陸大地震を対象に、観測データとシミュレーション結果を比較することにより、予測手法の系統的な検証を順次行う。物理モデル構築に当たっては、共同研究により、応力場や断層形状等の地震発生場のモデルを構築し、古地震データから応力蓄積率を推定する。大規模並列計算により順問題を多数回解くことで、動的破壊過程（地震の位置、規模、時期を含む）とそのばらつきを定量化し、観測データと比較することで、その再現性や予測性能を検証する。また、古地震による地殻変動量とその時期といった地形・地質データの高精度化のために、数値的な地形解析手法の開発と検証を行う。そのため

に、ドローンを用いた高空間分解能な数値標高データの取得と精度検証、段丘堆積物等の年代測定を、合わせて行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震発生予測手法の開発と検証については、年次ごとに、既往の顕著な地震イベントから一つを選んで、検証を実施していく。初年度においては、2016年熊本地震を対象とする。モデルの構築にあたっては、産業技術総合研究所と共同研究を行い、応力場と断層形状モデルの構築、ならびに古地震データの収集・解析を行う。シミュレーション結果を地震時の強震動とSAR等の地殻変動データと比較し、再現性等を評価する。2年目から5年目においては、同様の検証を2000年鳥取県西部地震、2004年中越地震、2011年福島県浜通の地震、2014年長野県北部の地震、2016年ニュージーランド（カイコウラ）地震、2018年北海道胆振東部地震などを対象として、順次実施する。ニュージーランドの事例については、現地の研究者と共同する。

定量的な古地殻変動解析手法の開発については、以下の通り行う。初年度においては、地形解析アルゴリズムを整備した上で、房総半島南部に適用し、海岸段丘の自動検出を行う。段丘の形成年代を推定するため掘削による段丘堆積物の取得と年代測定を行う。

2年目においては、海岸段丘を対象としたドローン測量による数値標高モデルの取得（DEM）と精度を検証する。解析ソフトを用いて房総半島南部での地殻変動量の推定を行い、引き続き、未調査地点において段丘堆積物の取得と年代測定を実施する。3～5年目においては、対象を南海トラフの海溝型地震として、同様に海岸段丘の検出と年代測定を行う。調査地点は、富士川河口地域などを想定する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

物理モデルおよびシミュレーションによる長期予測手法の検証および高度化と、地形地質データの定量化手法の開発を行った。

2016年Kaikoura地震では、動的破壊シミュレーションに、過去数千年間の古地震発生履歴の推定結果を考慮したモデルを構築して、複数断層が関与した破壊経路の選択性について、過去の地震の履歴が関与している可能性を示した。2016年熊本地震では、阿蘇カルデラ内で観測された布田川断層末端の分岐断層構造をあらたにモデル化して、動的破壊過程に与える効果を検討し、逆解析で得られた滑り分布と比較した。

地震サイクルシミュレーションでは、GNSSデータおよび発震機構解による広域応力場という観測データを反映した物理モデル化手法を構築した。さらに本モデル化手法のもとで、中央構造線活断層帯を対象としたシミュレーションを実施、得られた平均変位速度および活動間隔をトレンチ調査による推定値と比較して良い一致をえた。また、アセノスフェアの粘弾性効果を、準動的な地震サイクルシミュレーションに取り入れる手法開発を行った。

地形地質データの定量化の課題においては、房総半島内陸部の地殻変動を推定する手掛かりとなる、小櫃川および養老川流域に存在する河岸段丘の空間分布を、高解像度DEMデータと機械学習を用いた手法により定量化解析した。解析の結果、標高分布については改善の余地があるものの平面分布については1980年代に目視ベースで行われた解析と概ね一致する結果を得た。さらに、これまで得られていなかった低位段丘面である久留里V面の14C年代値を得た。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

複数のイベントについて動的・準動的シミュレーションの結果と観測データを比較して、再現性を評価している。評価事例を増やすことができおり、地球物理学的観測データと物理モデリングを用いた長期予測手法の高度化に貢献している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Ozawa, S, A. Ida, T. Hoshino and R. Ando, 2022, Large-scale earthquake sequence simulations of

3D geometrically complex faults using the boundary element method accelerated by lattice H-matrices on distributed memory computer systems, Geophysical J. Int., 232, 1471, doi.org/10.1093/gji/ggac386, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Ando, R., S. Ozawa, A. Ida, T. Hoshino, K. Muramatsu, R. Matsushima, M. Kawai, T. Hanawa, 2022, High-resolution Simulation of Earthquake Recurrence Enabled by Optimization for Multi-core CPUs and Large-scale Parallelization, SC22

村松和紀, 小澤創, 内出崇彦, 安藤亮輔, 2022, 四国周辺の応力場を考慮した中央構造線断層帯の準動的地震シークエンスシミュレーション, 日本地球惑星科学連合大会, C002562

村松和紀, 小澤創, 内出崇彦, 安藤亮輔, 2022, 中央構造線活断層系(MTLAFS)の傾斜角の準動的地震シークエンスシミュレーションによる推定, 日本地震学会秋季大会, C000380

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(11) 令和5年度実施計画の概要:

地震サイクルシミュレーションにGNSS歪速度と広域応力場の観測情報を考慮する手法について取りまとめる (AIST07と共同)。

2016年熊本地震の分岐断層構造を考慮した詳細モデルの解析を行い, InSAR観測と比較して予測性能を評価する。

2023年3月のトルコの地震の動的破壊シミュレーションを実施し, 破壊過程に対する断層形状の効果を調べる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

安藤亮輔 (東京大学大学院理学系研究科)

他機関との共同研究の有無: 有

穴倉正展 (産業技術総合研究所), 宮下由香里 (産業技術総合研究所), 今西和俊 (産業技術総合研究所)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 東京大学大学院理学系研究科

電話:

e-mail:

URL: <http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~ando>

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名: 安藤亮輔

所属: 東京大学大学院理学系研究科

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

遠隔地火山、特に離島火山における火山ガスモニタリングの高度化

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

前期計画で開発した山ガス放出率観測のための簡易型トラバース測定装置を定期フェリーに搭載することで口永良部島の二酸化硫黄放出率の繰返し測定が確立され、公共交通など定期運行されている移動体を使用した二酸化硫黄放出率測定が、離島や遠隔地の火山で有効な手法であることを示した。本課題では、二酸化硫黄放出率の観測頻度が非常に低い他の離島火山や遠隔地火山に、さらに高度化した簡易型トラバース装置を展開することで、これまでより頻繁に二酸化硫黄放出率が測定できるようにする。また、これまで火山ガス放出量のみでの測定であったが、火山ガスの質にあたるガス組成（ $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比）の測定にまで観測項目を広げることにより、モニタリング技術をさらに高度化し、火山噴火の中期予測に貢献するような火山ガスデータの提供を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度および2年度においては、測定装置の開発・高度化と測定基盤の確立を行う。簡易型二酸化硫黄装置をさらに改良し高度化するとともに、火山ガス組成用の小型装置の開発を行う。また、装置の設置ための交渉や、各火山における測定条件に対応した装置やシステムのチューニングを行う。口永良部島の観測の継続及び、測定開始できた火山の観測を継続する。

令和3年度から5年度においては、観測が開始できた火山の観測の維持し継続する。質の良い測定データがとれるようになったら、気象庁やその他の機関に測定で得られたデータを提供することで、火山活動評価に貢献する。最終年度に向けて、開発・確立した装置、および測定手法の技術移転を目指す。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

フェリーによる南西諸島の離島火山での二酸化硫黄放出率観測を継続した。これまで、観測したデータは3G機器を用いて伝送していたが、使用しているSIMカード会社の3G回線が今年度秋に終了したため、事前に4G(LTE)回線に対応したIoT機器への交換を行った。その際、集光系の交換などメンテナンスを行ったほか、観測プログラムに改良を加えた。また、薩摩硫黄島の航路では、携帯回線が不安定な場所が多く、これまでデータ転送が行えない場合が多々あったため、データ転送方法も新たに直しを行い、従来よりも安定してデータ転送を行えるようにした。

口永良部島の二酸化硫黄放出率は、昨年度同様に数十ton/day以下(最大値：56 ton/day, 検出最小値：4 ton/day)が続いており、風向を考えると検出できていると考えられる日でも二酸化硫黄が検出限界未満の日が増えてきている。他の観測項目の経過と考え合わせると、口永良部島の活動が低下し、2014年8月以降続いてきた活動期が終焉に至っていることが明瞭である。

諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率はこれまで通り100 ton/dayから2000 ton/dayを超える高い値も見られていて、活動状況によって大きく変化しているようである。測定回数は少ないが12月以降1000ton/dayを超える放出は見られていない。

薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率はこれまで同様に1000±500 ton/dayで推移している。少なくとも2019年12月の観測開始以来、安定したガス放出を続けていることがわかる。

これらの3つの離島火山の測定データは、これまでと同様に気象庁に共有されており、それぞれの火山の活動評価に役立っている(例：気象庁の各火山の火山活動解説資料を参照：https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.php)。また、今年度は十島村の中之島火山の二酸化硫黄放出率が例年より多く7回(2020年度3回, 2021年度1回)観測された。平均放出率は29 ton/day(最大値：57 ton/day, 最小値：11 ton/day)で、これまでの観測を含めて中之島が30 ton/day弱の二酸化硫黄放出を定常的に続けていることが明らかになってきた。

小型の火山ガス組成(SO₂/H₂S比)モニタリング用の装置を組み上げ、テストを行った。この機器は、ドローン測定に使用できるほか、連続観測に使用できる対応できる仕様になっている。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

離島及び遠隔地火山である口永良部島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島の3火山の火山ガスの放出率のモニタリングを確立し継続することで、これらの火山の活動の評価に貢献している。また、中之島火山に関してもガス放出の状況が明らかになってきた。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

令和4年度同様に、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島、そして中之島の離島四火山での二酸化

硫黄放出率測定を継続し，そのためのメンテナンスや測定方法の高度化を行う．これらの観測により得られたデータは，気象庁やその他の機関と共有することで，火山活動評価の高度化に貢献していく．また，作製した火山ガスのSO₂/H₂S比測定用装置を用いた観測を離島火山や遠隔地火山で実施していく．

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

森 俊哉（東京大学大学院理学系研究科）
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学大学院理学系研究科
電話：03-5841-4649
e-mail：mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森 俊哉
所属：東京大学大学院理学系研究科