

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」

令和4年度年次報告

【成果の概要】

令和5年9月

科学技術・学術審議会測地学分科会

地震火山観測研究計画部会

目 次

【令和4年度の成果の概要】

1. はじめに	1
2. 能登半島北東部の継続的地震活動と2023年5月のM6.5の地震	6
3. 令和4年度の成果の概要	9
3-1. 地震・火山現象の解明のための研究	9
3-2. 地震・火山噴火の予測のための研究	19
3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究	24
3-4. 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	34
3-5. 研究を推進するための体制の整備	39
4. まとめ	50
用語解説	52
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） 実施機関	88
災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次） 令和4年度研究課題一覧	89

【参考資料】

計画推進部会および総合研究グループ等別の成果	95
1 (1) 地震（現象解明）	97
1 (2) 地震（長期予測）	125
1 (3) 地震（中短期予測）	140
1 (4) 火山	173
1 (5) 災害誘因評価・即時予測	190
1 (6) 防災リテラシー	213
1 (7) 史料・考古	223
1 (8) 観測研究基盤	234
2 (1) 南海トラフ沿いの巨大地震	244
2 (2) 首都直下地震	247
2 (3) 千島海溝沿いの巨大地震	250
2 (4) 桜島大規模火山噴火	253
2 (5) 高リスク小規模火山噴火	256
3 拠点間連携共同研究	262

[令和4年度の成果の概要]

1. はじめに

「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）」（以下「本研究計画」という。）は、科学技術・学術審議会において平成31年に建議され、平成31年度（令和元年度）から5か年計画として実施されている。本研究計画は、平成26年度から5年間実施された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の方針を踏襲して、地震・火山現象の根本的理解、発生予測、災害誘因*予測、災害情報の活用に関する研究を実施する。加えて、防災対策の推進について、国民や社会の共通理解の醸成を効果的に図るための手法開発に関する研究を新たに開始した。本研究計画では、災害の軽減に貢献することを意識した研究を推進するという視点をより明確にし、関連研究分野との一層の連携強化を通じて、観測研究の成果を最大限に活用して災害軽減に役立てるための方策の研究等を進めている。

本研究計画は以下の5つの大項目で構成される。

1. 地震・火山現象の解明のための研究
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
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
5. 研究を推進するための体制の整備

上記大項目のうち、1は地震・火山災害の根本原因である地震・火山現象そのものの理解を深めるため、低頻度大規模現象を含む多様な地震・火山現象の特性を把握し、それらが発生する仕組みの解明を目指した研究を行うものであり、次の中項目からなる。

- (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) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
- (3) 地震発生過程*の解明とモデル化*
- (4) 火山現象の解明とモデル化
- (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

2は、1で得られた科学的理解に基づき地震・火山噴火の予測手法や活動の推移予測手法の開発を目指した研究を行うものであり、次の中項目からなる。

- (1) 地震発生の新たな長期予測
- (2) 地殻活動*モニタリングに基づく地震発生予測
- (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
- (5) 火山活動推移モデル*の構築による火山噴火予測

3は、地震・火山噴火が引き起こす地震動や津波、火山噴出物*、斜面崩壊などの災害誘因を事前及び発生後即時的に高精度に予測する手法の開発を進めるとともに、災害誘因予測を災害情報につなげる研究を行うものであり、次の中項目からなる。

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測*手法の高度化
- (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

4は、過去の地震・火山噴火によって引き起こされた災害誘因が災害素因*へ与える作用に焦点を当てながら、その災害発生の仕組みや要因を解明するとともに、災害の軽減に結びつく効果的な知識要素を特定し、防災リテラシー向上に資する実践的な開発・研究を行うものであり、次の中項目からなる。

- (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は、計画全体を組織的に推進する体制の整備や、基礎的な観測体制の強化を図るものであり、本研究計画全体の研究基盤の開発・整備が含まれ、次の中項目に分けられている。

- (1) 推進体制の整備
- (2) 分野横断で取り組む総合研究を推進する体制
- (3) 研究基盤の開発・整備
- (4) 関連研究分野との連携の強化
- (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

本研究計画においては、成果の社会実装を将来的に目指すとともに、地震学・火山学的な見地のみならず災害科学的な観点も重視する。そのため、大項目2の「地震・火山噴火の予測のための研究」においては、研究成果の出口が意識されている。このような観点から、「地震発生の新たな長期予測」、「地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測」、「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」の3つが重点的に取り組む研究として位置づけられている。その背景には、蓄積されつつある地震・地殻変動*等の観測データや基礎的な研究成果を、過去の大地震の発生履歴の知見に依存してきた地震発生の長期評価*に活用するための手法や、プレート境界*でのすべりの時空間変化の推定等を通して中短期での大地震の発生確率の計算に活用するための手法の開発が期待されていること、噴火事象系統樹*における分岐確率や論理の根拠となり得る観測・分析データが本研究計画等を通じて徐々に蓄積されてきたことなどがある。

さらに、地震・火山災害が災害誘因と災害素因の相互作用により発生することを考慮し、本研究計画では、地震学・火山学の研究者と災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者の協力を深化させ、災害科学としての取組を図る。これを具体化するため、大項目5の「研究を推進するための体制の整備」の中に「分野横断で取り組む総合研究を推進する体制」を中項目として位置付け、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、という5つの課題設定を行い、それぞれに対応する総合研究グループを組織した。本研究計画から、大きな災害につながる低頻度大規模地震として千島海溝沿いの巨大地震を総合研究の対象とすることになった。また、高リスク小規模火山噴火は、火口や噴気地が観光スポットになっている場合などにおける、規模は小さくとも災害リスクの高い火山現象に着目する、本研究計画で新設された課題であり、これに対応する総合研究グループでは、予測困難性と社会的要因に着目して、まず研究の方向性から検討を始め、文理融合研究課題のシーズを育てることを目標としている。

令和4年度の本研究計画は、国立大学法人等、国立研究開発法人、独立行政法人、政府機関、公設試験研究機関¹が策定した約170の実施計画（個別課題）、公募による10の実施計画（個別課題）、及び拠点間連携共同研究^{*2}としての17の実施計画（個別課題）からなっている。また、この個別課題の成果は、年次報告【機関別】（文部科学省及び地震・火山噴火予知研究協議会^{*3}のホームページに掲載）に取りまとめられている。これらの個別課題による研究成果をもとに、本研究計画の項目別に令和4年度の成果を取りまとめたものが本報告書である。

本報告書の作成にあたっては、難解な学術用語をなるべく避け、平易な文章で学術的成果を記述することを心がけた。説明が冗長となることを避けるためにやむを得ず専門用語等を使用する場合には、本報告書付録の「用語解説」⁴のページで当該用語を解説しているので、必要に応じて参照されたい。

¹ 国立大学法人等（北海道大学、弘前大学、東北大学、秋田大学、新潟大学、東京大学、東京工業大学、千葉大学、富山大学、名古屋大学、京都大学、神戸大学、鳥取大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、兵庫県立大学、立命館大学）、国立研究開発法人（情報通信研究機構、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、産業技術総合研究所）、独立行政法人（国立文化財機構）、政府機関（国土地理院、気象庁、海上保安庁）、公設試験研究機関（北海道立総合研究機構、山梨県富士山科学研究所）

² 「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点^{*}」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所が連携して進める共同研究。南海トラフ沿いの巨大地震を対象とし、重点的に推進すべき防災・減災に資する研究を募集する「重点推進研究」と、地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究に関連する研究課題を公募する「一般課題型研究」からなる。

³ 東京大学地震研究所には、本研究計画で立案された研究を推進する目的で地震・火山噴火予知研究協議会が設置されている。

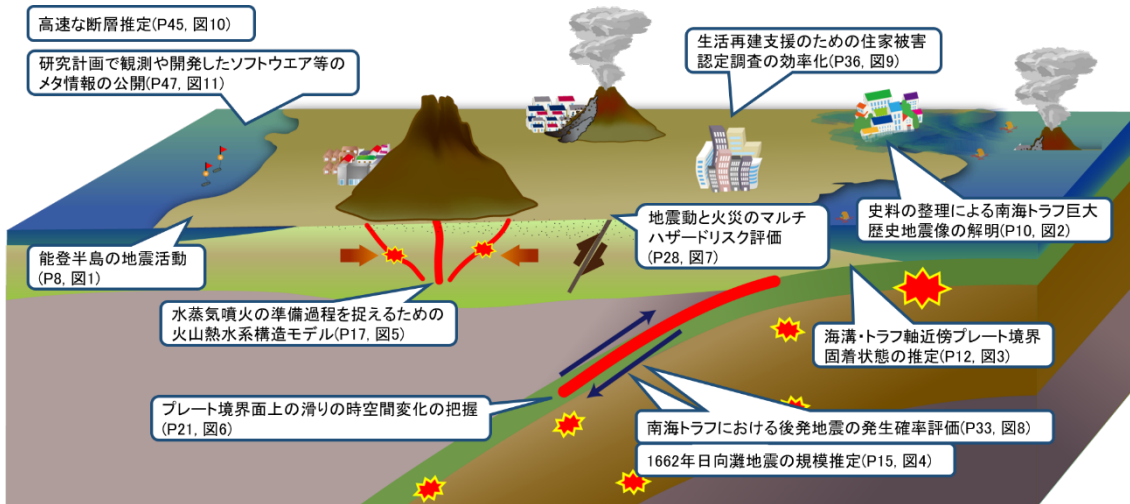
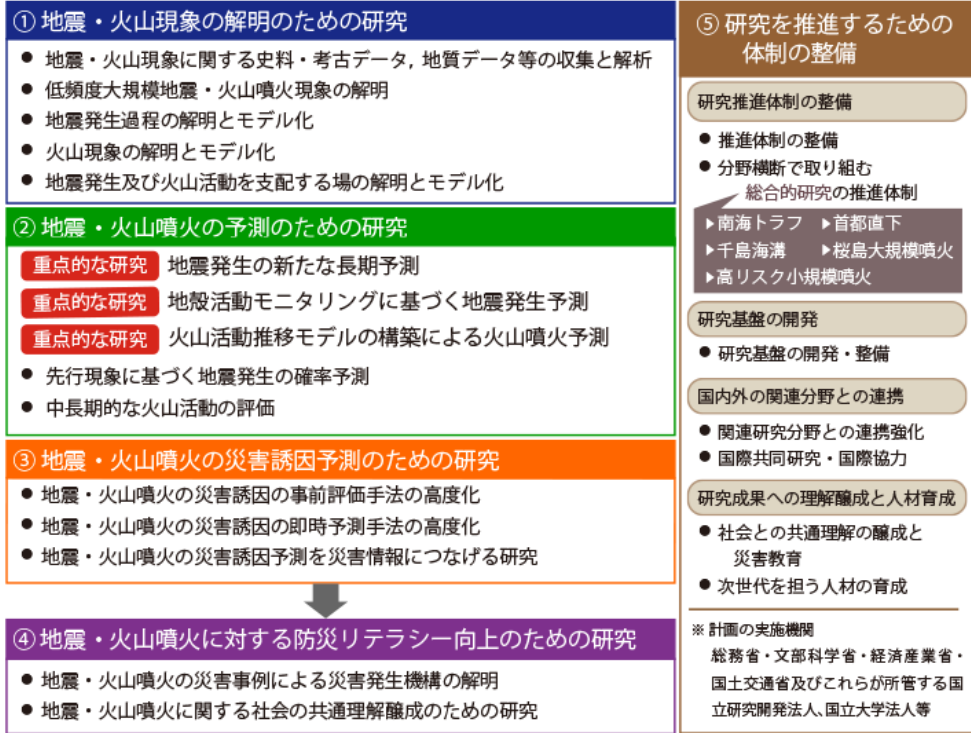
⁴ 用語解説に掲載している用語に、下線（破線）と*を付記している。

また、本報告書では、研究課題を [xxxx01] のように課題番号で示している。それぞれの研究実施機関・研究課題名・研究代表者については「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（令和4年度）研究課題一覧」のページを参照されたい。

参考資料には「地震・火山噴火予知研究協議会が取りまとめた計画推進部会及び総合研究グループ等別の成果」を添付した⁵。これは本研究計画の項目別あるいは研究テーマ別に学術報告として成果を取りまとめたものであり、より詳細な成果が報告されているので参考にされたい。

⁵ 研究分野毎に効率的かつ調和的に研究を推進するために、地震・火山噴火予知研究協議会には8の計画推進部会と5の総合研究グループが設置された。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究



成果の概要概念図

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）令和4年度成果のまとめ。災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究の全体像を描き、その主要な成果を吹き出しで記述した。詳しくは吹き出しに記載されたページと図を参照。

2. 能登半島北東部の継続的地震活動と 2023 年 5 月の M6.5 の地震

石川県能登半島の北東端部 (図 1a) では、2020 年末頃から地震活動度が急激に増加しており、2022 年 6 月 19 日にもマグニチュード (M) 5.4 の地震が発生したことから、地震活動の推移に注目が集まっていた。2022 年度には科学研究費助成事業 (特別研究促進費) による総合調査および地震・火山噴火予知研究協議会からの各課題への追加予算により、その発生原因を調べる研究が進められていた。その中で 2023 年 5 月 5 日に、この領域で M6.5 の地震が発生し、石川県珠洲市では震度*6 強を観測、各地で被害も生じた。この地震の震源*は、それまでの地震活動域の北端部付近に位置している。地震波形を用いたすべり分布の推定によると、その主破壊域は震源よりも更に北側、これまでの地震活動域から連続する面構造の浅部延長に位置する (図 1b, d)。

これまでの研究から、一連の地震活動が発生する原因を知るための手がかりとして、2 点の特筆すべき観測結果が挙げられる。1 点目は、この地震活動中にみられた微小地震の発生位置の移動である (Amezawa et al., 2023; Yoshida et al., 2023)。高精度震源再決定の結果から、2023 年に発生した M6.5 の地震発生より前の期間では、地震活動の群発的な特徴が強く表され、複数の地震発生集中域に分かれて地震が発生していることが明らかとなった。またこの地震活動では、地震の発生場所が深部から浅部に移動していく傾向が見られた (図 1c, d)。この微小地震の移動が、地殻*内で複雑に入り組む複数の面構造を用いて、ゆっくりと生じていたことを示している (Yoshida et al., 2023)。このようなゆっくりとした微小地震の震源の移動は、自然の群発地震*活動や注水実験からもしばしば報告されており、流体の移動や非地震性すべり*の伝播に起因すると考えられている。今回報告された面構造を用いた地震発生域の深部から浅部への移動は、特に 2011 年東北地方太平洋沖地震 (東北沖地震) 後に東北日本内陸部のいくつかの領域で誘発された地震活動とよく似ている。これらの地震活動の発生は、様々な状況証拠から、深部から浅部へ向かう流体の移動が影響した可能性が示唆される。この地域の地殻深部に流体が存在していたことは、地震活動域深部における地震波低速度域や S 波反射面の存在からも示唆されている (図 1, Yoshida et al., 2023; Nakajima, 2022)。

特筆すべき観測結果の 2 点目は、群発地震活動中に観測された顕著な地殻変動である (Nishimura et al., 2023)。この水平変位の向きが群発的な地震活動域を中心とした放射状になっていること、単純な断層運動だけでは説明できないことから、今回の群発地震活動と密接に関わっていることが強く示唆されていた。そのような大きな変位が地殻内の群発地震活動時に広域的に観測されることは珍しいものの、過去には 1965 年に始まった松代の群発地震時にも同様の報告があった。その際には、地下水の湧出や既存の温泉水の増加も観測され、“水噴火説” と呼ばれる、火山のマグマ*が果たす役割を地下水が代わりに演じることで、一連の変動が生じたとする考えが提案されており (中村, 1971)、今回の地震活動の発生もこのような地殻内の流体の上昇が関与していた可能性がある。なお、近年世界的に流

体が断層に貫入*した際に生じる非地震性すべりの影響に注目が集まっており、今回の地表変位の成因には、そのような非地震性すべりの影響も含まれていたかもしれない。

2023年5月5日に発生したM6.5の地震は、2022年6月19日に発生したM5.4の地震の余震の震源が分布する面構造の最浅部付近で開始し、更にその浅部側で大すべりを生じた(図1b, d)。このことは、2023年5月5日のM6.5の地震が、地殻深部から既存の断層帯を通ってきた流体の上昇と、それに誘発された非地震性すべりに伴う地殻の変形により引き起こされたことを想起させる。この地震の主破壊域の北東側では、1993年にM6.6の地震が発生している。しかしながら、その震源域*は陸上の観測点から離れているため、震源の深さの推定精度が悪く、現在の地震活動との3次元的な位置関係は明確ではない。2023年5月5日のM6.5の地震後の地震活動の多くは、同じ面構造の浅部延長(北部側)で発生しているように見える。この地震時の断層破壊により、更に浅部の領域へ流体が供給されるようになった可能性が考えられる。

能登半島の地震活動

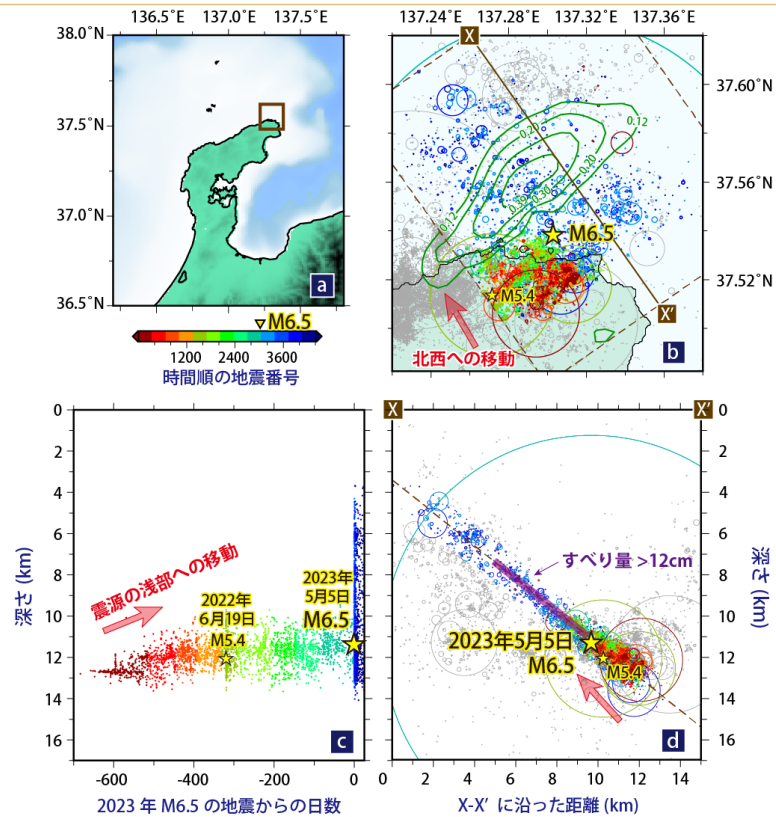


図1. 能登半島の地震活動。能登半島の北東端部の地震活動について、震源分布を調べると、2023年M6.5の地震前に浅部への移動がみられた。一連の地震活動の発生には地殻内流体*の上昇が関与していた可能性が示唆される。(a) 解析領域。(b) 震央*分布と2023年M6.5地震の地震時すべり分布(緑のコンター。単位はm)。丸の大きさは断層のサイズに相当する。M6.5地震の震源を含む面構造内(dの破線から1km以内)で発生した地震の発生順をカラースケールで表している。(c) 地震の発生時と震源の深さとの関係。M6.5地震の震源を含む面構造内で発生した地震のみを示す。(d) 震源の断面図。測線の位置と範囲は、それぞれ(b)の実線と点線により示される。紫の線でM6.5地震の主破壊域(すべり量 ≥ 0.12 mの範囲)を表す(Yoshida et al., 2023をもとに作成)。

3. 令和4年度の成果の概要

3-1. 地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山現象の包括的な理解と解明を進めることで、発生予測や災害誘因予測の高度化を実現することを目指し、史料・考古・地質データ等に基づく低頻度大規模現象に関する研究や、観測・数値シミュレーション*・実験等に基づく地震・火山現象の解明とモデル化、現象が発生する場の地下構造や応力*等に関する研究を継続した。

(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

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、地質データ等の収集・集積と分析を行うことで、データベース化を進めた。

ア. 史料の収集とデータベース化

東北地方で発生した地震について、各地の史料等の調査から、1454年に東北地方の太平洋沖で発生した享徳地震は関東でも大地震と認識される地震であったこと、1611年の会津慶長地震で形成された山崎新湖の形状、安政江戸地震の江戸より東方の被害地域の境界などが明らかになった [NGT_01]。また、1616年の仙台地震における津波の記述は、慶長奥州地震津波(1611年)に関する記述が伝わったものであり、現段階では仙台地震によって大きな被害をもたらした津波は発生しなかったと考えるのが妥当であると考えられる [IRID01]。阿蘇山において、熊本県の阿蘇高森で書かれた瀬井家日記から、1830年8月12日に新火口とスコリア丘が形成されたことや、1854年の安政南海トラフ地震の4～9カ月前に阿蘇山の火山活動が活発化していたことを確認した [HMEV02]。

情報工学研究者と連携して人工知能(AI)による史料中の地名表現の自動抽出を試行した [UTH_01]。安政東海・南海地震、安政江戸地震、濃尾地震等についての歴史史料翻刻、および目録作成を行った [NGY_01]。Web-GIS*を活用して南海トラフ巨大地震史料の現在地点を地図上に表示するとともに各史料の情報が表示されるようにした。これをもとに宝永地震、安政東海地震、昭和東南海地震についての比較検討を行い、宝永地震と安政東海地震は異なる震源域で発生したことが示された(図2) [NGY_01]。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、デジタルアーカイブを活用するためのWebアプリの改良、歴史地震IDに基づくポータルサイトの試作を行った [ERI_01]。

研究会の開催、書籍の刊行、勉強会の開催を通じて、歴史地震に関する研究コミュニティの構築・教育・市民への普及を図った [NGT_01, IRID01, ERI_01]。

史料の整理による南海トラフ巨大歴史地震像の解明

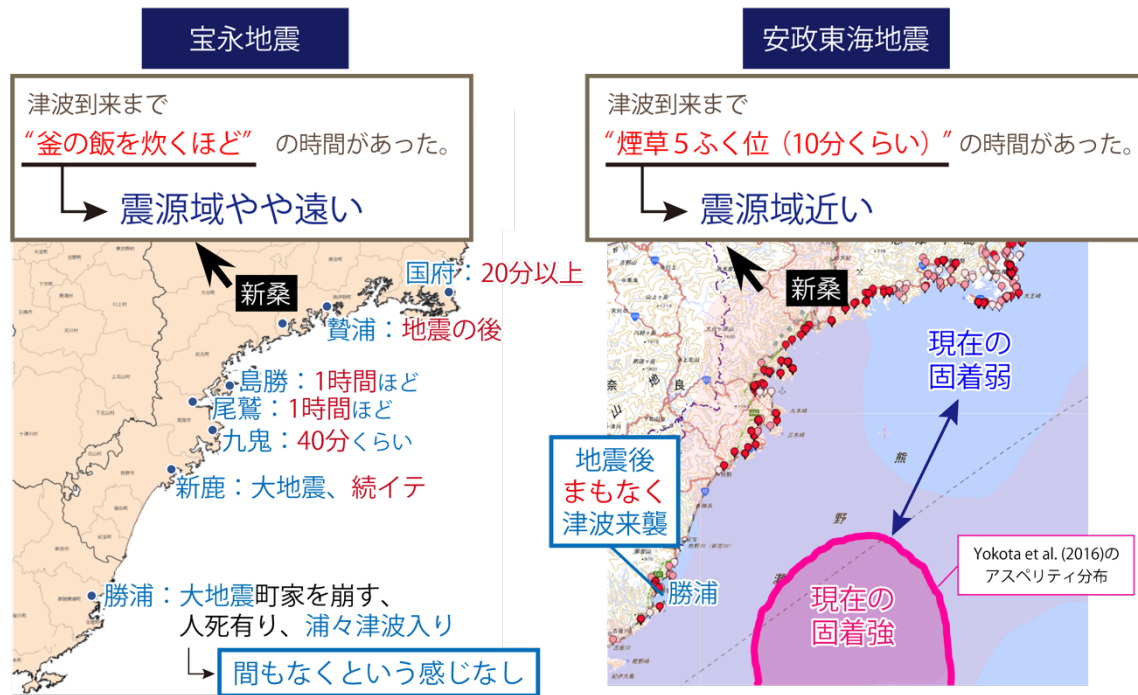


図2. 史料の整理による南海トラフ巨大歴史地震像の解明。史料からみえる宝永地震、安政東海地震の違いを示す。史料データは e コミマップ*上で整理しており、史料の存在地点を地図上のマーカー（右図の沿岸地域にある赤色や桃色などのバルーン）で示し、これらのマーカーをクリックすると史料の情報が表示される。この比較により、例えば宝永地震（左）と安政東海地震（右）による津波到来までの時間は同じ地域でも異なっており、2つの地震が異なる震源域で発生したことが、史料からも明示された。

イ. 考古データの収集・集成と分析

「歴史災害痕跡データベース (Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)」の試作版を作成し、調査地点ごとの災害痕跡情報を収集することで、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^[NAB_01]。縄文集落の分析から本州東部で発生した地震活動について考古年代の特定等の基礎的な検討を行った結果、縄文時代前期（約6,000年～5,000年前）後葉の時期に房総半島先端部の隆起を伴う相模トラフの地震、および津波をともなう三陸の大地震が発生したと推測される^[NGT_01]。瀬井家日記に記載された有感地震の情報を収集・調査し、1854年（安政元年）12月24日の安政南海地震と、12月26日の豊予海峡地震の際の阿蘇南郷谷の被害状況が明らかになった。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された^[UTH_01]。

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

千島海溝・日本海溝周辺域では、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地質調査を行うとともに、17世紀巨大津波の波源に関する予察的な計算を行った^[AIST08]。その結果、北海道胆振地方東部の厚真町で発見された津波堆積物^{*}は、1611年の慶長奥州地震津波の痕跡である可能性が高く、内閣府が想定する17世紀型巨大地震の津波は小さくなることを示唆した^[HKD_01]。

南海トラフ周辺域では、和歌山県串本町の橋杭岩の巨礫の運搬条件についての数値解析から、過去に1707年宝永地震の津波よりも大きな津波が発生していたことを明らかにした。また、宮崎県日南市での津波堆積物の分布と数値計算から、1662年日向灘地震の断層モデルを構築した。南西諸島海溝沿いでは、石垣島における掘削調査から1771年明和津波由来の可能性のあるイベント堆積物を発見した^[UTS_01]。

内陸活断層^{*}について、愛媛県の石鎚山脈北縁西部区間では、トレンチ調査^{*}によって西暦1596年文禄（慶長）の大地震群、その中の伊予地震に対応する可能性がある撓曲^{*}変形が認められた^[AIST02]。糸魚川―静岡構造線断層帯では、北部木崎湖地区周辺での浅層反射法地震探査^{*}により、横ずれ断層^{*}が比較的地下浅部で逆断層^{*}に収斂する可能性が示唆された^[NGY_03]。

富士山では、御殿場山体崩壊^{*}後の噴出物の斑晶^{*}、メルト包有物^{*}、石基^{*}ガラス組成の分析から、山体崩壊直後は山体の荷重が減少するためにマグマの噴出経路が容易に確立し、噴火しやすい状態であったと推定された^[ERI_02]。草津白根山では、完新世^{*}テフラ^{*}の岩石磁気分析から熱水変質^{*}鉱物を同定し、噴火様式^{*}を推定できる可能性が見出された^[TYM_01]。また、草津白根火砕丘^{*}群北側の2地点では、テフラ調査、テフラのX線回折分析、土壌の放射性炭素年代^{*}測定が行われ、各地点におけるテフラの年代値が得られた^[TYM_01]。このほか、日光白根及び三岳火山では地質図が出版され、秋田焼山火山では地質図及び原稿がまとめられた。また、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」がweb公開された^[AIST03]。

（２）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

近代的な機器観測によるデータと史料・考古・地質データ等を統合し、近代的な観測開始以前の低頻度大規模現象をはじめとした地震・津波・火山噴火の発生履歴の解明を進めるため以下の研究を実施した。

海底地殻変動観測^{*}の継続により、根室沖のプレート境界の浅部まで固着していることが示唆された（図3右）^[ERI_05]。東北沖の日本海溝では、浅部プレート境界断層の間隙水圧^{*}が異常に高いことを発見した^[AORI01]。メキシコ・ゲレロ州沖合では、地形や重力異常のパターンが周囲と異なる領域において、微小地震とテクトニック微動^{*}のいずれも発生していないことがわかった^[DPR101]。

霧島山13世紀御鉢噴火の堆積物の層序^{*}区分と、粒子物性（密度、粒径、粒子形状、連結空隙率）、および岩石組織^{*}の定量解析から、マグマ上昇過程・噴火強度の詳細な時間変化が

明らかにされた^[ERI_03]。始良カルデラ噴火*およびその先行噴火の噴出物の分析から、珪長質マグマ*の大部分はU-Th放射平衡に到達しており、マグマ生成から約40万年以上の時間が経過していることが示された。他方、溶岩*流として噴出した珪長質な先行噴火のマグマはU-Th放射非平衡*であることから先行噴火のよりも新しいマグマであることがわかった。
[HKD_02]

海溝・トラフ軸近傍のプレート境界固着状態の推定

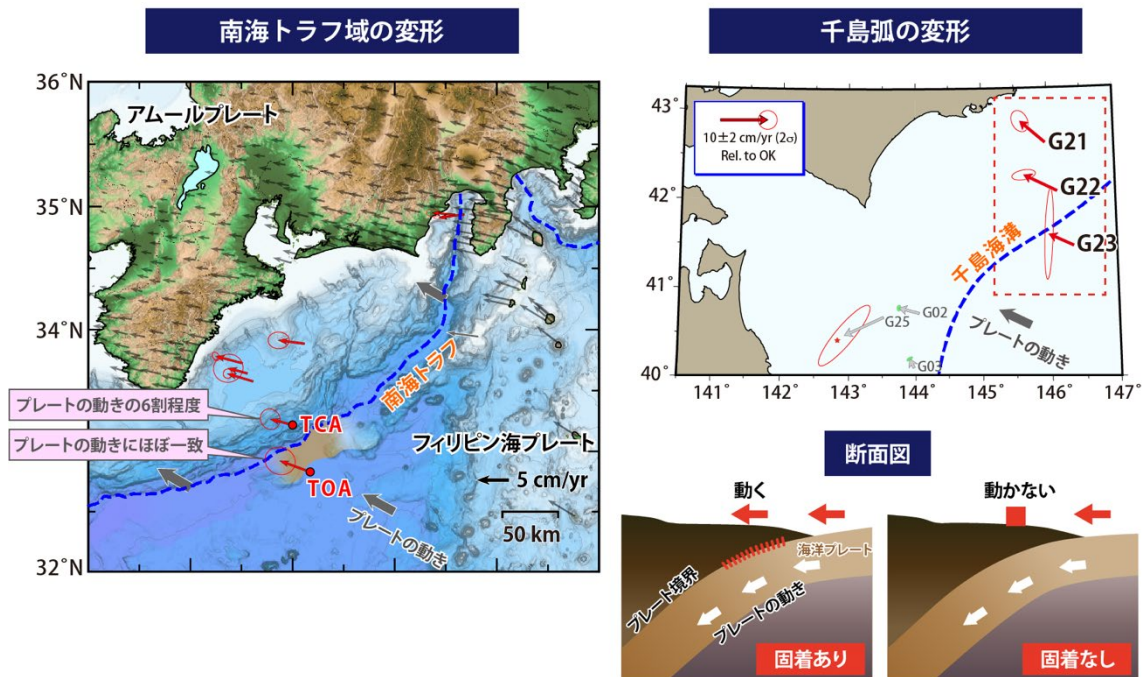


図3. 海溝・トラフ軸近傍のプレート境界固着*状態の推定。継続的な海底地殻変動の観測により明らかとなったプレート境界の固着状況。(左図) アムールプレートに対する各観測点の年間移動量を、方向とともに赤矢印で示す。南海トラフより外側(南東側)では、これまで知られているプレート相対運動と同じであるが、内側(北西側)ではその約6割程度の移動が観測された。(右図) 千島海溝根室沖に設置された観測点のオホーツクプレートに対する年間移動量を赤矢印で示す。海溝より内側(北西側)でプレート収束速度と同程度の年間約7 cmの移動が観測された。これらの結果は、いずれの領域でもプレート境界浅部ではプレートが固着しており、この固着域の周りではひずみ*が蓄積していることを示す(右下図参照)。

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

多様な断層すべりや地震活動に関する研究を通して地震発生過程の解明を進めた。また、地球科学的観測や調査、室内・数値実験などを通して、地震断層すべりの物理・化学モデルの構築を行った。

ア. 地震発生機構の解明

水圧計と地殻変動のデータから 2011 年東北沖地震の断層モデルの推定を行った結果、宮城県沖では海溝軸付近の応力降下*は小さく、この地震を引き起こしたひずみエネルギーは、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が示唆された [NIED02]。南西諸島北部域では、上盤*内で M3 イベントを含む微小地震の震源の移動が見られ、活動域の終端付近から微動*イベントが開始していることが明らかになった [KGS01]。

GNSS*データおよび発震機構解*による広域応力場のデータを反映した地震サイクル*シミュレーションを行う物理モデル化手法を構築し、中央構造線活断層帯を対象に適用したところ、トレンチ調査による推定値と概ね一致する平均変位速度*と地震発生間隔が得られた [UTS_05]。アスペリティ*での破壊を伴いながらゆっくりすべり*が伝播した場合について、断層の摩擦パラメータ*とすべりの伝播速度の関係を与える理論式を導入した [JAMS01]。深部での地殻変形を実験的に理解するため、その環境を模した温度 800 °C、封圧 0.8 GPa における試料の内部摩擦を求め、差応力*を精密に決定する手法を確立した。またこの実験により、下部地殻の力学特性と石英粒子の発達過程に関係があることを明らかにした [ERI_06]。

イ. 地震断層すべりのモデル化

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 [THK_07]。セメント強さ試験標準砂として売られている石英砂 (SiO₂ が約 98%) を使って乾燥、室内、湿潤、加水の 4 条件で、速度ステップの摩擦すべり実験を行い、乾燥環境でも速度弱化*特性を示すことがわかった [THK_02]。粗さの異なる二つの断層面を設定したメートルスケールの超大型摩擦実験*から、断層の表面形状と断層強度や震源核*形成過程、破壊伝播速度の関係を明らかにした。これは自然の断層でのこれらのパラメータの推定結果を解釈する上で重要な成果である [NIED03]。

(4) 火山現象の解明とモデル化

多様な火山現象を理解するために、活火山*周辺や火口近傍において多項目高密度の地球物理・地球化学的観測を実施し、火山下で進行する現象を時空間的に定量化した。さらに、火山噴出物の分析、マグマの流動・破碎・脱ガス*・結晶化などの物理・化学的な実験及びマグマ上昇過程などの数理モデルによる理論解析を進めた。深部マグマ溜まり*から火山体浅部へのマグマの上昇、浅部での火山活動から噴火の発生を一連の過程と捉えて噴火規模や様式を定量的に理解し、火山活動や噴火機構のモデル化を進めた。

ア. 火山現象の定量化と解明

2007 年から 2017 年に得られた浅間山の多項目データの再検討により、N型地震*の出現時期に火口下の帯磁*傾向が停止することが明らかになった。N型地震多発時には熱水もしくはガスが火口浅部に供給され、そのため火口下の帯磁域の冷却が停滞することが示唆さ

れた^[ERI_07]。三宅島におけるドローンによる繰り返し空中磁気観測から、カルデラ縁辺部直下の磁化が非常に低い一方、沈降するカルデラ内の磁化は平均的な値を示し、2000年噴火時のカルデラ形成による破砕はカルデラ縁辺部付近に局在していることが示唆された^[ERI_07]。2012年から2020年に発生した桜島の爆発的噴火*に伴う地震を対象に、過去の人工地震探査による速度構造と山体地形を考慮した震源再決定が行われ、震源の深さは従来の推定よりもはるかに浅い火口底数百メートル下という極浅部であることが示された^[THK_03]。2019年8月から2020年6月の阿蘇中岳噴火に伴う火山灰*の岩石磁気測定が行われ、飽和残留磁化*と飽和磁化*の比が高い期間が火口底において火映が確認された期間に対応しており、火道*のマグマヘッドの物理条件の変化を反映していると推定された^[KOB023]。

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

浅間火山天明軽石の分析から、斜長石斑晶とマイクロライト*の組成範囲がほぼ一致し、バイモーダルな分布を示す組成の頻度分布も酷似していることが明らかにされた。マイクロライトは、マグマ溜まりで混合前のマグマから晶出したものと、マグマ混合後に均質化したメルトから晶出したものとの半数ずつで構成され、火道上昇中の減圧結晶作用*で晶出したマイクロライトは極わずかであることが示された^[THK_04]。ニカラグアのMasaya火山で実施した火山ガス*組成観測データの解析からは、火山ガスの大気中での酸化作用についての知見がまとめられた^[AIST06]。

(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

地震や火山噴火が発生する場のモデル化を進めるため、プレート境界域、海洋プレート*内部、内陸域及び火山地域において、地震波速度構造や比抵抗*構造、応力やひずみ場等を明らかにするための研究を実施した。また、地震活動と火山活動の相互作用についての研究を進めた。

ア. プレート境界地震*と海洋プレート内部の地震

1662年日向灘地震について、宮崎県沿岸部における新たな津波堆積物の調査結果と、地震活動の高精度決定により構築した断層モデルを用いた、津波浸水シミュレーションにより、これまで最大でM7.9と考えられていたものがM8級の巨大地震であった可能性を初めて示した^[DPRI01, AIST04] (図4)。潮岬沖～四国沖で得られた反射法探査の断面から、1946年南海地震のすべり域やプレート間の固着が強い地域と、スロー地震が観測される地域の境界に、トラフ軸に沿った上盤プレート*内の低速度帯(構造異常)があることを見出した^[JAMS02]。紀伊半島沖のDONET*で蓄積された地震波初動の読み取りデータから、短期的スロースリップ*イベント(SSE)の発生期間に地震活動が活発になることを明らかにした^[JAMS01]。温泉溶存ガス濃度の継続的な観測から深部低周波地震*を検出するシステムを製作し、紀伊半島の本宮、川湯、大紀で観測を実施したが、深部低周波地震に伴う変化は検出されなかった^[UTS_04]。

ニュージーランドヒ克蘭ギ沈み込み帯*北部のテクトニック微動の多くは、SSEが発生した直後からバースト的に発生し、SSE発生期間の前後ではその発生域が拡大していたことがわかった。また、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、東北沖、十勝沖と比較して1桁以上小さいことがわかった [ERL_08]。

3次元地震波速度構造解析から、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*の余震分布に沿ってP波の低速度域が局在していることが明らかになった [THK_06]。また、太平洋スラブの上面付近にスラブ内の含水断層を反映した低速度・高ポアソン比の異常体が見られ対応する含水断層の破壊で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 [THK_05]。

2011年東北沖地震後10年間の余効変動*から、マントル*ウェッジ*や火山前線の下での粘性*領域など、個々の領域がもたらすレオロジー*不均質性の寄与を明らかにした。[THK_07]。

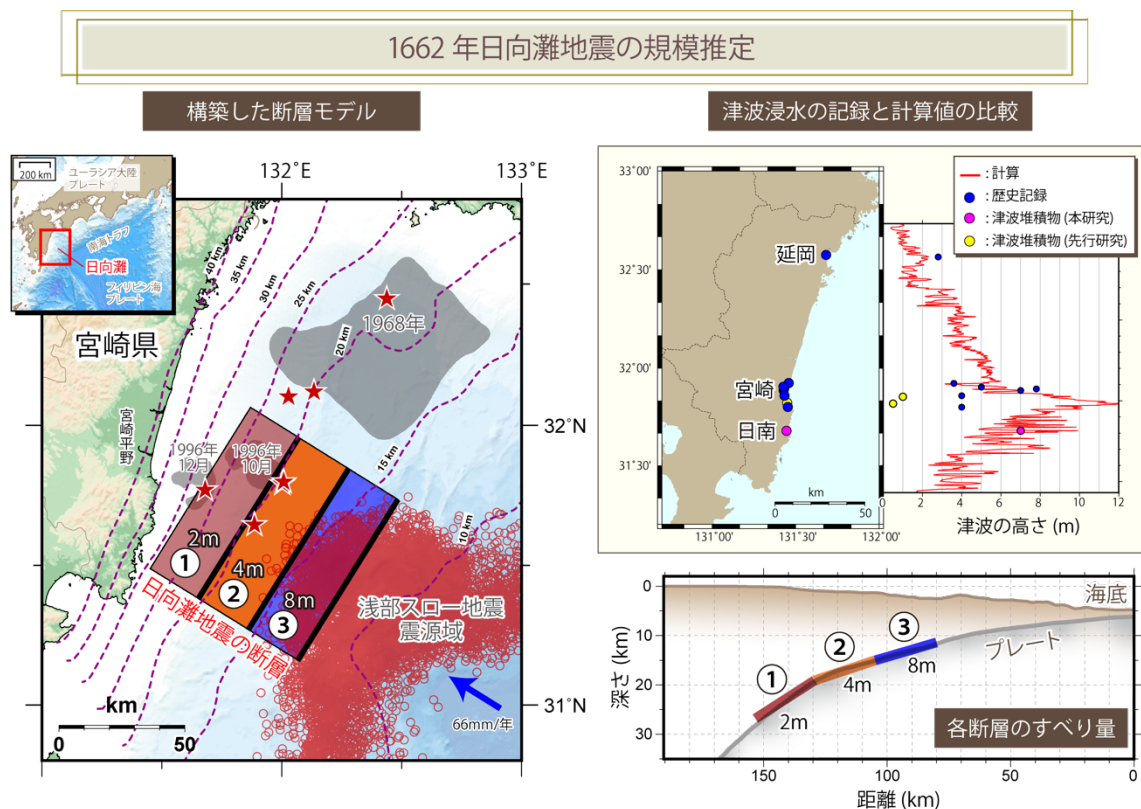


図4. 1662年日向灘地震の規模推定。浅部スロー地震*発生域やプレート境界位置などの最新の知見をもとに新たな断層モデルを構築し、1662年日向灘地震がM8級の巨大地震であった可能性を科学的に初めて示した。左図の①～③は本研究で構築した断層モデルで、従来の推定より浅部(断層③)でもすべりがあった可能性を示した。赤星は1923年以降のM7級プレート境界地震の震央、灰色領域は主なプレート境界地震の震源域、赤丸は浅部低周波微動*の震央、紫破線はプレート境界位置の等深線をそれぞれ示す。右上図は津波浸水シミュレーションから断層モデルを評価した結果。①～③の3断層を用いて計算された津波高は、本

研究で新たに津波堆積物が発見された地点（日南）の浸水を説明する。右下図は深さ方向の断面図で示す断層の位置とすべり量。太い灰色線はプレート境界，細い茶色線は海底地形を示す。本成果は地震調査研究推進本部*が2022年3月に発表した「日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動長期評価（第二版）」に反映されている（Ioki et al., 2022 に加筆修正）。

イ. 内陸地震*

有馬高槻断層帯の北方の下部地殻*内に存在する地震波反射体は，厚さ5 km以下の薄い地震波低速度の層と解釈され，深部低周波地震の震源域から有馬高槻断層帯へ向かって南上りに分布していることがわかった [DPRI03]。長野県西部地域の地震メカニズムの逆解析*により，2017年6月に発生したM5.6の地震の震源断層*付近において，長野県西部地震による応力変化と背景応力場，および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最大主応力軸の回転が検知された [DPRI03]。

3次元地震波速度構造解析の結果から，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が明らかになった [NIED02]。

GNSS 観測データの解析から，九州の内陸地震が下部地殻の非弾性*変形の影響を強く受けていることが示された。また，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）と南東端付近に低比抵抗体の存在が推定された。低比抵抗体が破壊に対するバリアとして働き，警固断層の走向と約10°ずれた方向に2005年福岡県西方沖地震の破壊が進展したことが示唆された。内陸地震発生域が2つの低比抵抗体に挟まれた場所にあるという結果は，2016年熊本地震や北海道東部での解析結果と類似している [KYU_01]。

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，地震が面構造上を深部から浅部へ移動していたこと，震源域付近において高間隙圧流体を示唆する高 V_p/V_s *領域が存在することが確認された [THK_02]。箱根火山で相似地震*から非地震性すべりの履歴を推定し，傾斜計*記録との比較を行ったところ，非地震性すべりの加速と同じ時期に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 [THK_02]。

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

鬼界カルデラを対象に調査・探査航海が行われ，広帯域海底地震計，海底電位差磁力計*，海底磁力計等の長期海底観測機器の回収・設置が実施された。また，火山噴出物の化学分析とその時間変化から，鬼界アカホヤ噴火以降のマグマ供給系とその変遷についてのモデルが提案された [KOBEO, JAMS03]。草津白根山では湯釜火口北側噴気のヘリウム/アルゴン比 ($^3\text{He}/^{40}\text{Ar}$ *比) が地下でのマグマ発泡度変化を反映していることが提案され，さらに発泡度変化が浅部熱水だまりの膨張・収縮と同期していることから，マグマ発泡がその上部の浅部熱水系*に影響を及ぼすことが示された（図5） [TIT_03]。阿蘇山周辺と雲仙岳周辺のヘリウ

同位体比*調査と両者の比較から、阿蘇山は雲仙岳よりもマントル起源のマグマの寄与が少ない一方で、浅部ではより発達した熱水系を持っていることが示唆された [AORI02]。

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

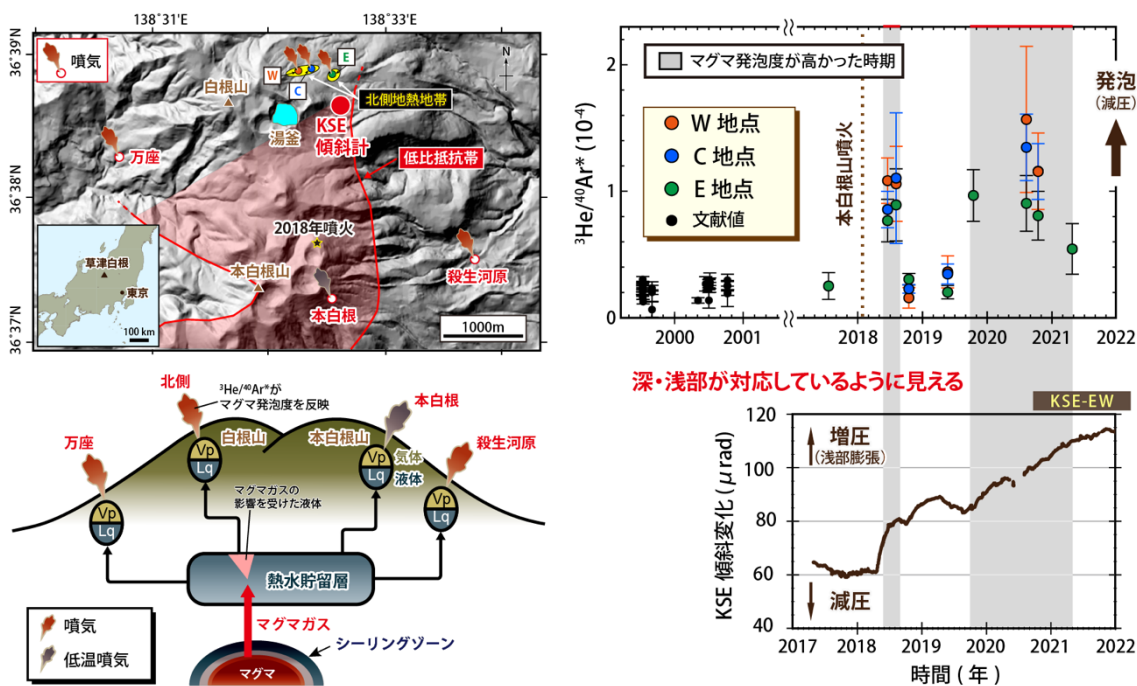


図5. 水蒸気噴火*の準備過程*を捉えるための火山熱水系構造モデル。草津白根山の湯釜火口北側の噴気について、 $^3\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 比 ($^{40}\text{Ar}^*$ はマグマ由来の ^{40}Ar を意味する) に基づきマグマ発泡度の変化が火山活動活発化と関係していること、さらにマグマの発泡で説明できることを示した。発泡度変化のタイミングは浅部熱水だまりの膨張・収縮とよく一致しており、同火山の活動の活発化を駆動するマグマ～浅部活動の物質学的な繋がりが確認できた。草津白根山のような熱水が卓越している火山の活動活発化にマグマ（おそらく熱水系より深部）の寄与を示唆した意義もある。希ガスなので複雑な反応を考える必要がなく、今後、火山活動モニタリングの指標の一つとして活用が期待できる。

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

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、カルデラ内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、それらの分布と地質学的構造との間の関連性を捉えることに成功した [DPRI04]。2016年熊本地震による粘弾性*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、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には地震前後で顕著な変化は見られなかったことがわかった [GSI_01]。

2011 年東北沖地震以降活発化したいわきの地震活動域と他の地域の地下構造を比較するため、この地域から新潟まで延びる測線を設けて電磁気学的構造を調べた結果、火山フロント*の背弧側で、マントルから地殻にかけての顕著な低比抵抗域の存在が見られた^[ERI_09]。

オ. 構造共通モデル*の構築

全国の地殻内応力に関するデータセットを産業技術総合研究所の地殻応力場データベースで公開した^[AIST07]。

3-2 地震・火山噴火の予測のための研究

地震・火山噴火現象の観測・実験・理論研究に基づき、地震発生や火山噴火の予測手法の構築に関する研究を実施した。長期的な地震・火山噴火発生履歴に加えて、地殻変動や地震活動等の観測データを活用することで、地震発生の新たな長期予測手法の構築及び中長期的な火山活動評価手法の開発を行った。また、地殻活動のモニタリングや物理的解釈・数理モデル化、様々な自然現象の変調と地震発生の相関調査を通して、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測及び先行現象に基づく地震発生確率予測に関する研究を行った。さらに、想定される火山現象を網羅してその時間的連関を整理した噴火事象系統樹の高度化を進めるとともに、火山活動推移モデルの構築に向けた研究を進めた。

(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

日本海溝および千島海溝根室沖や、南海トラフ沿い、南西諸島海溝沿いにおける海底地殻変動観測を実施し、新たに取得したデータと既存データを再解析することで、プレート境界浅部における固着・すべり状態の定量的評価を進めた(図3) [ERI_05, JCG_03, IRID02, NGY_02]。

大地震発生シナリオの構築手法で重要となるプレート境界でのせん断応力蓄積速度を直接的に推定する手法を開発し、南海トラフ沿いの海陸測地データに適用した。推定された応力蓄積速度およびプレート境界における地震性・非地震性すべりの摩擦特性*を想定することで、M8クラスの前震*・M8地震の余効すべり・本震発生、という一連の地震シナリオを作成した [NIED03, JMA_01]。

イ. 内陸地震の長期予測

測地データから推定されるひずみ速度*分布に基づいて、北海道を対象にM6以上の30年地震発生確率の計算を行った。1919~2020年に発生した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、計算された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。しかし、予測された地震発生数は実際の地震数より過大(2.2倍)であった。この要因として、最近100年間の地震発生率が長期的なものより低いことや、北海道では非弾性変形が卓越していることが考えられる。また、西南日本を対象に、M6以上の30年地震発生確率を求める際の地震発生層の厚さと平均剛性率の2つのパラメータについて、領域内で一様の場合と不均質な場合の違いを調査した。その結果、パラメータを変えても大規模な構造線・変動帯(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)沿いや九州中部において、比較的高い地震発生確率が得られた [DPRI05]。

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

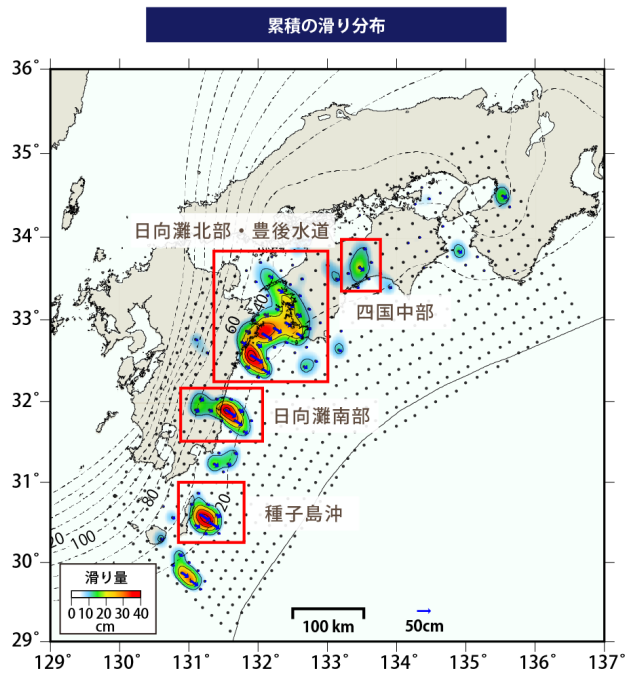
ア. プレート境界すべりの時空間変化の把握に基づく予測

地殻変動データから南海トラフ域の SSE の時空間変化を調べ、日向灘北部・豊後水道や四国中部等において 2019 年初め頃から開始した長期的 SSE の時空間変化を推定することに成功した (図 6)。2020 年半ば頃から本格的に始まった日向灘南部の長期的 SSE は、2021 年半ば頃に終了している。さらに、四国中部の長期的 SSE が短期的 SSE と連動していることや、2019 年種子島地震 (M6.4) の余効すべり後に短期的 SSE が起きていることなど、スロースリップに関する新たな知見が得られた [GSI_02]。

2011 年東北沖地震の大すべり域周辺における繰り返す地震*の解析から、福島県沖～宮城県沖で 2021 年から 2022 年にかけて発生した M6～7 クラスの地震発生に伴う非地震性すべりが検出された [THK_09]。また、豊後水道で発生している深部微動の潮汐*相関について調べたところ、長期的 SSE の隣接領域では潮汐への感度が高いことが示された [JMA_01]。さらに、紀伊半島南東沖における浅部超低周波地震*によるモーメント解放量の空間分布を調べたところ、沈み込んだ古銭州海嶺の西端でモーメント解放量が大きいなどの特徴が明らかになった [ERI_12]。

南海トラフのプレート形状を模擬した地震発生サイクル*シミュレーションにおいて、摩擦特性や有効法線応力の分布を調整することで、巨大地震に加えて、固着域深部で繰り返す長期的・短期的スロースリップイベントの発生間隔や規模を概ね再現できた [JMA_01]。

プレート境界面上の滑りの時空間変化の把握



領域ごとの累積モーメントの時間変化

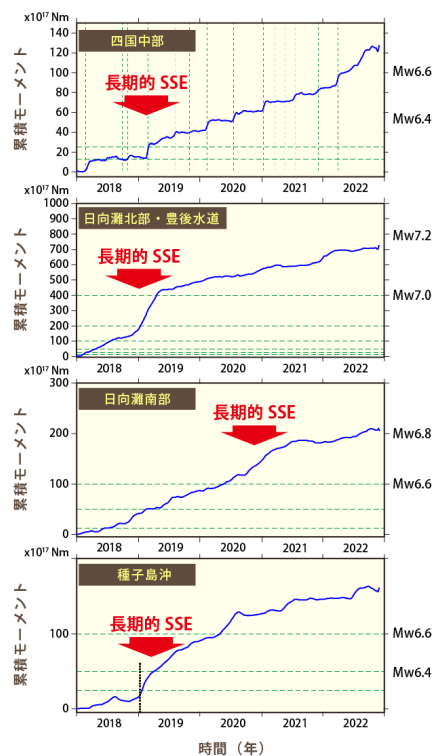


図6. 長期的 SSE の時間発展。(左図) 2018 年から 2022 年の間に南海トラフ沿いの非定常地殻変動*から推定したプレート境界での累積のすべり量分布 (カラスケール)。青い矢印は各地点のすべりの方向と大きさを、赤枠は右図のグラフそれぞれの範囲を示す。(右図) 左図の赤い領域ごとの累積モーメントの時間変化。右側の縦軸は、地震モーメント*で示した値である。四国中部の縦線は短期的 SSE の発生時期を示す。四国中部、豊後水道で 2019 年始めに長期的 SSE が発生したことがわかる。また、日向灘南部では長期的 SSE が 2020 年半ばから 2021 年半ばにかけて発生したこと、種子島沖では 2019 年種子島沖地震 (M6.4) [黒点線] の余効すべり後に短期的 SSE が発生したことがわかった。なお四国中部では、2019 年以降、長期的 SSE の発生期間中に短期的 SSE が発生し、両者が共存していると考えられる。

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

2011 年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) の地震発生率の時空間変化を明らかにした。最近の地震活動は、大すべり域で本震前よりも顕著に低下しており、それを取り囲む青森東方沖～房総半島沖で高い状態が続いている。大すべり域における余震活動は約 2～3 年程度で終息し、その後は東北沖地震前よりも静穏化*している。周辺部における地震活動の活発化は、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、大すべり域での地震活動静穏化は百年以上継続する可能性が高い。またこの傾向は、スケールダウンすると M8 や M7 地震後の地震活動推移にも当てはまり、地震の空白域や地震活動の時空間変化を評価するうえで重要である。同様の視点で 2016 年熊本地震前後の地震活動変化を調べた結果、断層面上の余震活動は約 7 年で元に戻るのに対し、断層面外の余震活動は 20 年以上にもおよぶことがわかった [DPRI05]。

繰り返し地震の周期性に加え、2011 年東北沖地震後の応力蓄積率の時空間変化を考慮したモデルを作成し、2020 年四半期毎の繰り返し地震の予測実験を行ったところ、ポアソン過程*に比べて優れた予測性能が示された [THK_09]。

2021 年 3 月に宮城県沖で発生した Mw7.0 のプレート境界型の地震が、Mw5~6 の準繰り返し地震の震源域から開始したこと、さらに Mw5~6 の準繰り返し地震の震源域内部には更に小さい繰り返し地震が複数発生していたことが明らかとなり、震源域の階層性*に関する知見が得られ、地震発生予測に向けて震源域の構造に関する理解が深まった [THK_09]。

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

過去の地震活動からの時空間距離と活断層からの空間距離をもとに大地震発生確率を評価する手法を中国の四川-雲南地方の地震活動に適用し、M6 以上の地震 14 個の予測性能を調べたところ、ランダム予測よりは優れた予測結果を示した [ERI_13]。

任意の地震群内にあるイベントのマグニチュード差や時空間的距離に着目する前震識別モデルを、様々な機械学習*手法で作成し、アンサンブル学習*を導入して複数の特徴量を学ぶことで、従来の前震識別手法に比べて精度を少し向上させることができた。また、前震活動のメカニズムに関する研究や地殻流体や電磁気的な先行現象に注目した研究も実施した [ERI_13]。

(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

富士山星山期（約10万~1万7,000年前）の岩層なだれ*堆積物に含まれる火山礫*の斑晶鉱物組合せや斑晶量、石基組織の分析から、複数の溶岩流を含む山体が崩壊したことや、星山期におけるマグマが多様であったことを示した。また、富士山北麓~東麓のテフラ層の分析から、約4,000年前以降の比較的規模の大きなテフラの層序を確立した。さらに、富士山に関する学術文献収集の分類・リスト化、地質情報を地理情報システム (GIS) への組み込み、噴出物データベース作成を進めた [MFR101]。伊豆大島の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。これを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 [ERI_03]。また、桜島の大規模軽石噴火の噴出物の層序・分布・噴出物の解析から長期的な噴火活動の推移とそのメカ

ニズムを明らかにした [AIST10]。

イ. モニタリングによる火山活動の評価

火山活動を観測データから評価するための火山活発化指数 (VUI)*¹⁾について、吾妻山では各種データにおける量や活発化を示す基準を記載するワークシートの作成を終えた。阿蘇山ではワークシートの作成を継続し、草津白根山では作成方針を策定した [HKD_04, KUS_02]。霧島山の硫黄山における2018年の小規模水蒸気噴火と、2021年の熱水による噴騰現象に伴って観測された地電位変化の発生モデルを提示した [HDK_04]。阿蘇山において実施した相対重力測定²⁾の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求め、火口周辺域での陸水あるいは熱水の影響と思われる年周変化を捉えた [KUS_02]。多成分火山ガス連続観測装置のセンサー感度変化を室内実験により調べ、リアルタイムで補正する手法を開発した [JMA_05]。国内外の歴史記録にある大規模噴火の噴火推移を収録した「噴火推移データベース」ならびに、日本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」を公開した [AIST10]。

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

桜島火山の総合的な観測研究を進め、最近1年間は、地殻変動の傾向や起震応力場に時間変化が見られずマグマ供給率はほぼ一定である一方、桜島直下の圧力源は減圧傾向にあることから、脱ガスが継続していると推察した。この間、2023年2月8日の約5年ぶりに発生した昭和火口での噴火では、噴火に前駆してハーモニック微動と昭和火口の白色噴煙が観測されたことから、微動や噴気現象に着目することで活動火口の分岐を理解・予測できる可能性が示された [DPRI07]。国内火山を対象とした火山観測データ解析や噴出物分析及び理論的研究をもとに、火山活動推移のモデル構築や火山活動・噴火現象の分岐判断指標に関する研究成果について発表と意見交換を行い、共通点および相違点についての議論を進めた [THK_11]。蔵王山の約800年前以降の噴火活動について水蒸気噴火、水蒸気噴火から小規模マグマ噴火*³⁾、そして準プリニー式噴火後小規模マグマ噴火となる3ケースについて堆積物の解析から相違点および類似点を抽出し、噴火事象分岐*⁴⁾の要因を検討した [KOB028]。

3-3 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

強震動の事前評価手法を高度化するため、震源のモデル化手法の高度化やそれに資する知見を得るための実地震の震源過程*の分析、震源から地表までの地下構造のモデル化、震源や地下構造との関連における強震動の生成メカニズムの分析、地震波伝播シミュレーション手法の高度化を引き続き行った。

既往の震源断層モデル*の特徴を調べるため、国内の地震で強震波形記録が使用されている震源インバージョン*結果から、地殻内地震、プレート境界地震、全ての地震について、断層上のすべり角のばらつきの特徴を推定した [DPRI09]。

地震波形解析と地震波伝播シミュレーションから、琉球海溝沿いで発生するスラブ内地震について、沈み込む太平洋プレート上面でのS波反射波が、中部日本で帯状の強い揺れを起こすことを確認した。これまで3次元地震波速度構造解析においては、この深さでの太平洋スラブの高速異常が認められず、スラブの断裂または薄化の可能性が議論されてきたが、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 [ERI-14]。

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ることで強震動ハザード評価の高度化に資するため、断層近傍の地震動について検討を行った。屏風山・恵那山断層を対象として、詳細な地形データにもとづく活断層トレースデータの作成と、それにもとづく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った。またその強震動予測の試算を実施した [NGY-05]。

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。浅層ボーリングデータの追加により、小さい空間スケールの変化をモデル化することに成功した。堆積層のQ値モデルの再検討では、大阪平野の平均的な振幅比を用いて合成波形のエンベロープ*を補正し、観測との比較により最適なQ値を得た [DPRI08]。

能登半島北部で2022年6月19日に発生したM5.4の地震では、震度6弱を記録したK-NET*正院 (ISK002) の水平動の卓越周波数*が約1 Hzであった。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明らかになった [DPRI09]。

震源過程および強震動予測について、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。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振幅変化から、摩擦強度の推定をした。ま

た、地殻の粘弾性応答解析の効率を高める手法を開発し、高詳細な実地殻構造モデルを用いた有限要素法*による地殻変動の解析に適用して、その効果を確認した〔CTOC01〕。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液状化*試験を実施したところ、初期せん断が液状化発生回数に影響を及ぼす傾向が示された。また水平2方向の入力地震動を与えた振動台実験の結果、1方向入力よりも2方向入力とした場合の方が、液状化の度合いが大きくなることが確認された。地盤・構造物（杭）系の模型振動実験と数値シミュレーションの比較から推定された地盤モデルと地盤-杭間相互作用モデルによる解析により、地盤の流動が杭に及ぼす力を分析した〔CTOC20〕。

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わかった。また、1830年文政京都地震の震央は京都盆地北西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。その原因を検討するため、盆地構造を調査した結果、盆地端部から数百m西に離れた地域の盆地境界に沿って被害地域が続いていることがわかった。これに基づき実施した地盤増幅特性*のシミュレーションでもそれを再現することができ、1830年文政京都地震の被害集中は、盆地端部におけるエッジ効果*によるものと推察された〔CTOC35〕。

表層地質が地震動に及ぼす影響を調べるため、熊本平野を対象に複数の研究者グループに分かれて、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をそれぞれで行ったところ、各グループが推定した位相速度の推定結果は類似するが、S波速度構造モデルは大きく異なることがわかった。この事例は、速度構造モデル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〔CTOC37〕。

2003年十勝沖地震によるKiK-net*厚真の強震記録*を、開発した実大一層縮約試験体*に入力した振動実験を行ったところ、大きな被害が発生することがわかった。実験から得られた変形角とベースシア係数*（層せん断力係数）の関係から、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ことがわかった〔CTOC40〕。

イ. 津波の事前評価手法

2018年アナク・クラカタウ島火山噴火（インドネシア）では、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。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。具体的には、地すべりが終了した時点で地形条件の変化に対応した波高の推定方法（ブシネスクモデル*）に切り替えて津波計算を実施する枠組みを構築した。さらに、周辺の諸島の仮想観測点で津波波形が得られるものとして、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。仮想観測点での波形と3地域での津波（波高・速度分布）をデータベース化すると共に、仮想観測

点が無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、高い精度で予測できることが明らかになった [HKD_05]

津波増幅率について、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。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された。また、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、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、津波伝播過程での各シナリオの地震規模に対応した卓越周期を抽出した。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 [CTOC22]。

ウ. 大地震による災害リスク評価*手法

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における、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基づく検証を行う広帯域地震動プラットフォームに対して、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 [ERI_16]。

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評価および物的ならびに経済リスクの地震被害想定を行った。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、住民と避難に関する課題・認識を把握・共有した [HRO_02]。

構造物被害予測の高度化のために、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調査を実施するとともに、これまでに蓄積された膨大な地震被害写真を機械学習させる被害判定システムの構築を試みた。リスク評価の高度化のためには、対象となるエクスポージャ情報*の精密化が必要不可欠であり、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。様々な地震動想定を表示可能とする防災リスク情報のためのシステムの構築を継続しており、今年度は地表における内閣府の南海トラフ巨大地震モデルの想定地震動を用いて評価を行った。改良したシステムを用いて自治体職員に対して行ったヒアリングにもとづき、災害シナリオに多様性があることへの理解を深めてもらうための方策を検討した。また、地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析により、液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜評価においては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 [CTOC01]。

フラジリティ曲線の作成方法に関して、地震被害ではなく非線形地震応答解析を援用した方法の可能性を検討した。また、目視調査に代わる新たな被害把握の方法として、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センサーを用いた建造物の被害把握の3つの新技術に着目し, 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〔CTOC21〕。

確率論的地震リスク評価について, 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。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(図7)。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ていることがわかり, マルチハザードリスク評価が重要であることを示した。一方, 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の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わかった〔CTOC32〕。

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をするために, 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い微動の水平上下スペクトル比(MHVR)を計算した。当該地点でのサイト増幅特性を求めたところ, この地点では卓越振動数が1 Hz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〔CTOC39〕。

地震動と火災のマルチハザードリスク評価

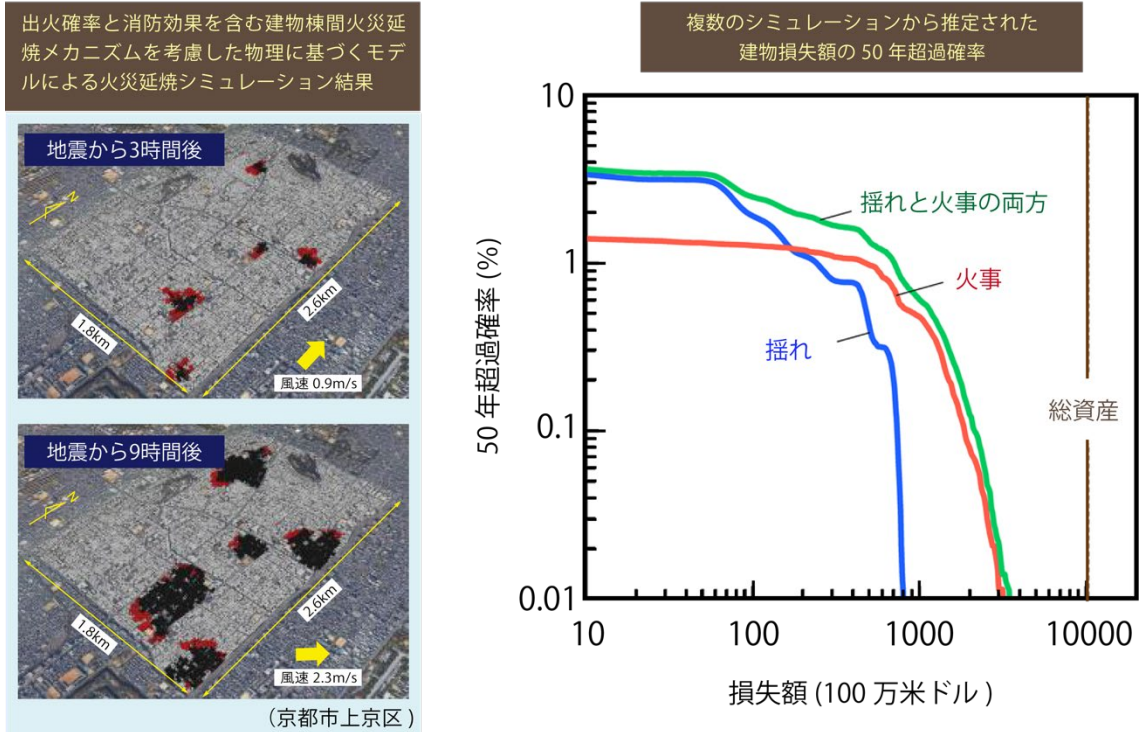


図7. 地震動と火災のマルチハザードリスク評価。(左) 経験的出火予測式による予測地震動強さに対応した出火確率と消防効果を含む建物棟間火災延焼メカニズムを考慮した物理に基づくモデルによる火災延焼シミュレーション結果。灰色、赤、黒の立体物は、それぞれ燃えていない建物、燃えている建物、焼けた建物を表す。(右) 青線は地震動だけ、赤色は地震火災だけ、緑線は地震動と地震火災を考慮したときの建物損失額の50年超過確率*。総資産は、対象地域全体での建物構造別の延床面積から算定される建物価値の合計 (Nishino, 2023に加筆修正)。

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

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調査を継続し、重力斜面変形によって、斜面の伸長、亀裂の開口が発生し、深層崩壊の準備段階が形成されるという共通の性質を持つ崩壊地が、(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で特徴付けられることを明らかにした。また、深層崩壊地の1つである高知県大豊町のトウジ山斜面において、前年度観測された斜面における地震動の増幅の成因を明らかにするため、崩壊物の厚みと弾性波速度を推定した結果、崩壊物が徐動性の地すべり*を呈する地点における地震動の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を明らかにした [DPRI10]。

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、斜面内部の変形が示唆される結果が得られた。同結果は、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を実現できることを示唆する [DPRI10]。

宮城県栗原市の荒砥沢等で地すべりモニタリングを継続し、荒砥沢でのモニタリング結果を栗原市が運営する栗駒山麓ジオパークビジターセンターでリアルタイム公開を開始した [IRID03]。

高速道路、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*との比較分析を行い、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を明らかにした [CTOC01]。

土砂災害の端緒となる土砂移動を起こす箇所を、土砂災害予測基本図をもとに特定する手法をいくつかの災害事例に適用した結果、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 [CTOC31]。

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、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行った [CTOC26]。

富山県立山カルデラの大鳶池や大鳶小池は、1858年飛越地震時の鳶崩れ（山体崩壊）発生時に形成されたものではなく、これより8,000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。また、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、ついに1858年の飛越地震時に大規模崩壊にいたった可能性があることを示した [CTOC33]。

オ. 火山噴火による災害誘因の事前評価手法

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。具体的には、噴火直前に見られる地盤変動の膨張継続時間、前駆地震の発生頻度と振幅の増加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、火砕流の発生危険度判定ロジックを構築した [DPRI11]。

(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

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。2011年東北沖地震とそれ以降に発生した多数の地震の地震波形を

予測したところ、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つの評価指標において、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。また、地震波伝播シミュレーションオープンコードOpen SWPCの機能拡張を進め、最新コード(Ver 5.3.0)を2023年2月にGitHubにおいて公開した[ERI_14]。

鳥取県内の計測震度観測点からリアルタイム震度と最大加速度値を受信し、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のリアルタイム震度をWebベースで県庁と共有した[TTR_01]。

地震波動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、Wave gradiometry法*の利用を検討した。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明らかになった。深層学習によって、単独観測点の地震波形から地震波動の伝播方向の観測情報を得る手法の開発を行った。開発した手法によって、連続して地震が発生するケースでもP波検測をせずに波形の形状から直接伝播方向を推定可能であることがわかった。データ同化*手法を適用することにより、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を得た[JMA_06]。

建物の図面が現存していない、1970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、建造物の振動特性を踏まえた解析により建物各部の詳細な応答を予測した。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。病院建物を観測対象とし、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[CTOC23]。

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、斜面の地質特性と地形特性による影響の両者を個別に考える必要があることを明らかにした。また、貞享安芸・伊予地震(1686)、安政東海・南海地震(1854)、安政安芸・伊予地震(1857)と関係しているとされる大規模崩壊が発生した地域(徳島県大歩危南方地域)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、そこが分離面またはすべり面となることが示された[CTOC36]。

イ. 津波の即時予測手法

新たなデータ同化手法に基づく新たな波動場現況推定手法の定式化ならびに数値実験による精度検証を実施した。現在時刻を含む一定時間幅の間の観測と予測の残差を最小にするという目的関数を持ち、有限の時間区間内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新しい手法を開発した[HRS_02]。

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 (MCMC) 法*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。観測網が十分に断層面をカバーしている場合、断層すべりの制約として用いた自己相関関数について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。また、MCMC法を用いた1枚矩形断層推定では、2022年福島県沖の地震に対し、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 [THK_12]。

2016年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、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。また同地震において、津波波形に着目し、津波伝播計算におけるエネルギー散逸について調べた。また、2022年のフンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う水位変動について、各地で観測された海面変位には、気圧変化由来の海面変位と固体地球現象由来の津波が混在していると考えられるため、日本の沖合水圧計観測網の観測データを用いて噴火後の火山島の地盤変動等による固体地球現象に起因した津波の規模を概算したところ、日本へ到来した津波全体にそれが占める割合は大きくないことを示した [JMA_06]。

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

火山泥流*を対象として、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。その結果、粘着力の増加によって溪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わかった [DPRI12]。

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。また、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日の噴火は共に水分の寄与が大きかったが、20日の噴火の方が噴煙内部の火砕物*の量が多いことがわかった。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い、傘型噴煙*の形状を明らかにした。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次元噴煙モデルの開発を進め、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 [JMA_07]。

(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の構築のために、参照サーバ側の立ち上げ作業をより簡便にする目的で、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。また、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。表示コンテンツのひとつとして、球状+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を継続した^[HKD_06]。

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った。内閣府（2013）が公表した被害想定をもとに、4日間にわたって放送されたドラマ「パラレル東京」の前後で行った、アンケート調査結果を解析した。解析の結果、まず「パラレル東京」を視聴したことの効果として、考えられるいくつか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上がった。さらに3か月が経過しても、4つの事象は「恐ろしさ」因子が高く、被害想定の情報、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刺激したということがわかった^[III_01]。

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M8以上の地震の発生確率計算に関して、南海トラフにおける地震発生履歴を考慮し、一日以内、一週間以内、三年以内の後発地震発生確率を評価した（図8）。また半割れ地震発生後の後発地震に対する津波リスクマップの作成手法の開発も進め、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^[IRID04]。

地表面における地震動速度を用いて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。内閣府が公表している地震動推定結果は、地表面では震度で示され、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。第一段階として観測上の最大値である約 240 cm/s を地表最大速度（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を変換した。さらに検討を進め、既往の表層地盤*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、最大地表速度分布を得た^[CTOC30]。

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2回のワークショップを実施した。1回目で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い、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認識するに至った。また、2回目に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。昨年度のワークショップ終了時点では「事前避難」の選択が多数派だったが、6月の現地視察後は「自宅にとどまる」との選択が多数派となった。こうした思索の機会を通じて、住民、研究者が状況改善の糸口を見いだす可能性があることを示した^[CTOC34]。

火山災害誘因（ハザード）について住民の認知度を調べるための標準的な調査項目として、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， を設定した。常時観測火山の近くに立地する 9 道県15市町村を対象として，作成した調査票の質問項目をもと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。設計した調査票は火山に関する標準的な質問紙として機能すること，本調査票を用いることにより地域間の火山に関する住民意識の比較が可能であることが確認された [CTOC38]。

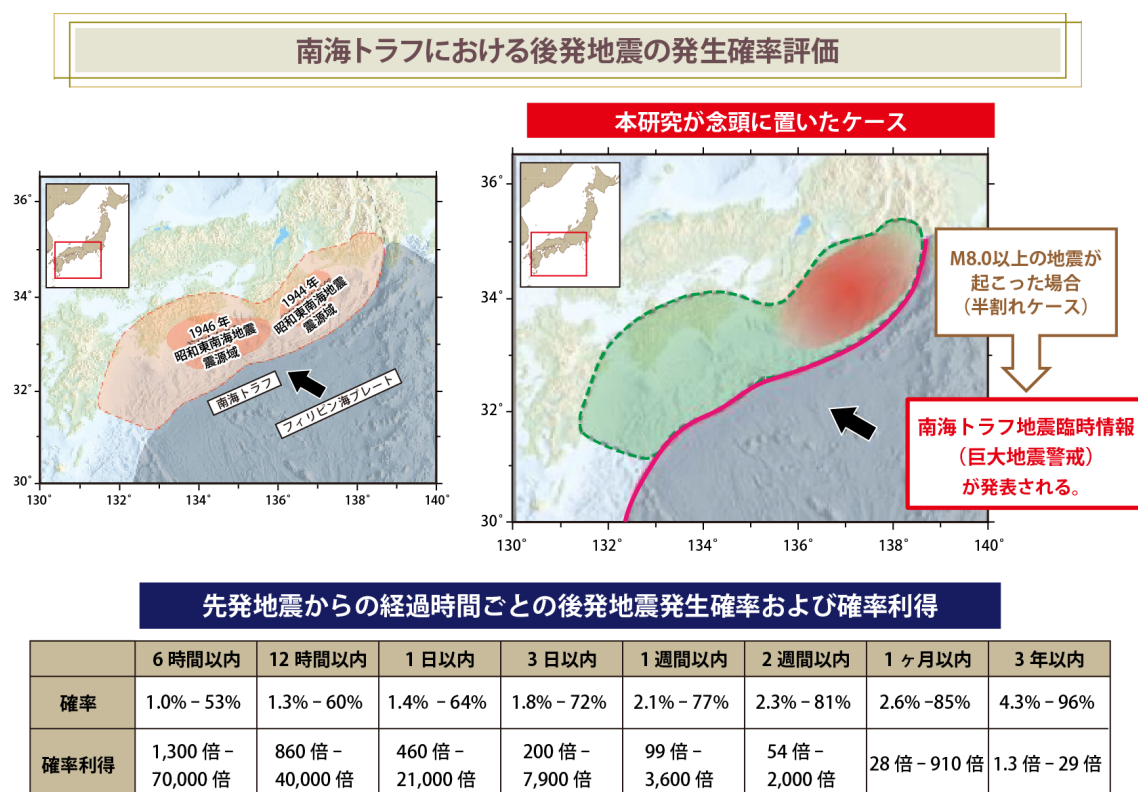


図 8. 南海トラフにおける後発地震の発生確率評価。M8クラス以上（半割れ）およびM7クラス（一部割れ）の地震発生後に後発する地震の発生確率を，南海トラフにおける地震発生履歴を考慮し，評価を行った。例えば，M8クラス以上の地震発生から1週間以内に，M8以上の後発地震が発生する確率は約2%～77%，平時の約100～3,600倍と算出される (Fukushima et al., 2023に加筆)。

3-4 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

地震・火山噴火災害の発生機構を理解するためには、災害事象を、それが生じる場所や地域の歴史的・地理的・社会的特性と関連づけ、記録の信頼性も踏まえて分析することが重要である。近世初期の蝦夷地（北海道）に関係する史料は限られるが、1640年北海道駒ヶ岳噴火の関係史料を書誌学的に整理し、火山学の知見と照らし合わせながら内容を精査した。その結果、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が確認され、降灰で暗くなった時間や降灰の範囲など、従来の理解とは異なる噴火当時の状況や認識が判明した^[UTH_02]。津波災害はとりわけ地形環境とその変化に大きく影響を受ける。岩手県宮古市を対象として、幕末・明治の絵図史料や旧版地形図により当時の地形を復元し、山奈宗真『岩手県沿岸大海嘯*部落見取絵図（丙）』により1896年明治三陸地震津波の浸水範囲や家屋や道路の配置情報を可視化した。その結果、2011年東北沖地震の津波浸水範囲は、1896年のそれに含まれない市街地を多く含み、それらは戦後から高度経済成長期に拡大した市街地部分に当たることが明らかになった^[IRID05]。

2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の生活再建に関する相談データ（主として仮設住宅入居者）の共起ネットワーク*分析から、被災者自身の抱える生活再建上の課題を抽出した結果、被災者の再建を推進する上で住宅再建の方法や方針についての情報を提示する必要性が明らかになった。また、住家被害認定調査や罹災証明発行業務において「行政職員が学ぶべき知識」の体系化と行政職員向けの効果的な教育プログラムの構築を進めてきた。2022年3月の福島県沖地震では、被災地の新地町に、本プログラムを受講した応援体制「チームにいがた」が派遣され、3週間弱で約5,500棟の調査が効率的に遂行できた。図9は1年前の災害時の新地町職員による調査と本事例の調査件数の日次推移の比較である。調査の開始も早く、日別調査件数も多く、現場において効率的に調査ができたことが確認された^[TYM_03]。南海トラフ地震で被害が想定される尼崎市内の中小企業の災害対策の実情を把握するために、質問紙調査（無作為に抽出、回答者数754）を行った。その結果、被災によって事業活動中断に至る事由としては、建物（事業拠点）損傷やライフラインの寸断、従業員の被災や通勤困難と考えている企業が多い。また、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施策の可能性が示唆されるにもかかわらず、主として資金面の課題により多くの企業が現在の立地場所での事業継続しか考慮していない状況が明らかになった^[HGY_02]。南海トラフ地震により甚大な津波被害が予測され、新想定によって津波浸水想定*地域からの人口転出が顕著になった高知市において、小地域統計データを分析し、災害リスクを逃れるための人口・事業所の移転が階層的格差と関連し、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。防災リテラシーにとって重要である科学知が脱文脈化*し、予期しないネガティブな社会的影響をもたらすことがあり、防

災リテラシーを生活構造や災害文化，土地利用といったローカルの文脈と関連づけてとらえる必要性を指摘した [NGY_06]。

地震・津波・火山噴火に関する地域の災害特性や過去の災害履歴等の把握に資するデータベースの整理を進めることは，地域の特性や災害リスクの認知，防災リテラシーの向上につながる。地震ハザード評価について，数百～数万年といった長期間の再現期間に対応する，地震による揺れの大きさを評価した長期間平均ハザード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を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。また，確率論的地震動予測地図と同様に，今後の一定期間内に強い揺れに見舞われる可能性を，工学的基盤における地震動の応答スペクトルの観点から示した地震動ハザード評価（試作版）が地震本部より公表された。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 [NIED04]。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，長周期地震動に関する観測情報のオンライン配信や推計震度分布図を 250 m メッシュに高解像度化するなどの情報内容の改善を行った [JMA_16]。地震・津波及び火山に関する知識や防災行動について一般の人々への理解を深めるために，地方自治体や教育機関，報道機関等と連携して地域の状況に合わせた方法を構築した。[JMA_17]。

生活再建支援のための住家被害認定調査の効率化



調査手法、調査ツールに関する知識を深める講義型研修と、調査員の目線をあわせる現場実地研修を含めた効果的な研修を実施

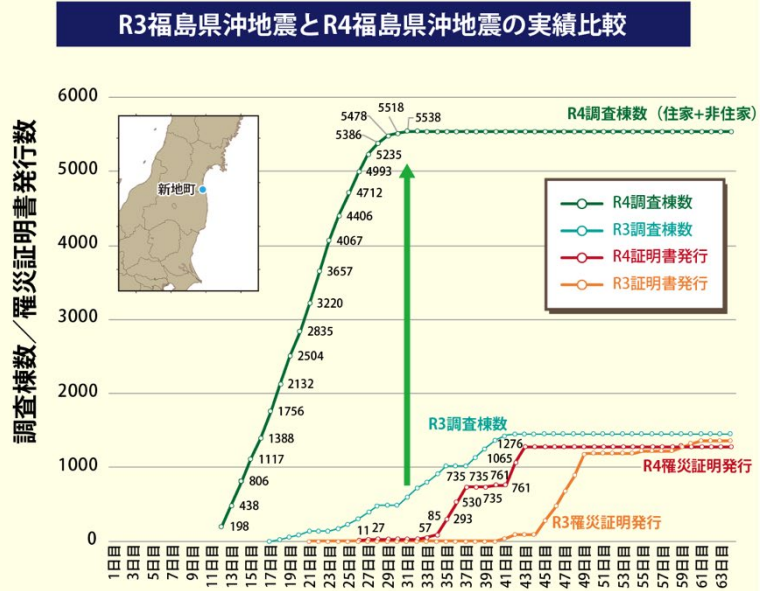


図9. 生活再建支援のための住家被害認定調査の効率化。住家被害認定調査や罹災証明発行業務において「行政職員が学ぶべき知識」の体系化と行政職員向けの効果的な教育プログラムの構築を進めてきた。2022年3月の福島県沖地震では、被災地の新地町に対し、本研修を受講した応援体制「チームにいがた」が派遣された。共通理解の下で効率的な調査が実施され、3週間弱で約5,500棟の調査が完了した。図は1年前の災害時の新地町職員による調査と本事例の調査件数の日次推移の比較である。調査の開始も早く、日別調査件数も多く、現場において効率的に調査ができたことが確認された。

(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

将来発生が懸念される地震・火山災害に着目し、応急期を想定したシナリオに基づいて、個人および集団レベルにおけるリスク認知や避難行動の量的分析を行う研究が蓄積された。例えば、GISなども利用しながら、災害の社会素因*である脆弱性*を個人レベルで評価・可視化する手法を開発するとともに、様々な地域や集団を対象に社会の防災リテラシーの実態把握を蓄積した。また、オープンサイエンスやリスクコミュニケーション*など新しい手法を取り入れ、行政機関や一般市民などと連携しながらリスク認知能力を涵養したり知識レベルを向上させたりする取り組みを展開し、具体的に研修プログラムの体系化と教材コンテンツの作成をほぼ完成させた。これらの取り組みの中では、人文社会科学の研究者が地震学や火山学の研究者と連携して研究を進め、行政機関や地域の学習施設などとの協働に

本格的に乗り出した。

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に、苫小牧市を事例に、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て、集団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・歩行速度・避難時間に着目した分析を行った。その結果、歩道の狭さや歩道脇の植物の繁茂、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）など、ミクロな地物が集団による円滑な歩行を妨げており、豪雪や凍結といった冬季の路面状況によっては、比較的短距離であっても、津波到達までに全員の避難が完了しないことが示唆された^[HKD_07]。

災害予測情報等を災害対応に効果的に活用できるか否かを考えるためには、意思決定にかかるメカニズムを理解することが重要である。こうした観点から、災害情報が被害の発生抑止に資する過程についての認知仮説に基づいて、大学生を対象に、津波避難意思決定課題にかかる機能的MRIを用いた脳活動計測実験を行った。その結果、定量シナリオでは、より高い脳活動が右大脳半球優位において見られ、定性シナリオでは、より高い脳活動が両大脳半球において認められた。この実験結果は、定量シナリオと定性シナリオは避難の意思決定や防災教育に対して考慮するメリットがあることがわかった^[IRID06]。

2014年に深刻な御嶽山噴火被害を経験した長野県木曾地域のように、日本の多くの火山地域では、登山客や観光客を対象とした防災・減災策が課題となっており、併設されるジオパーク・博物館・ビジターセンターの学習施設としての役割が期待されている。昨年度に引き続き各火山地域における学習施設を調査し、比較表を完成させた。その結果、火山防災教育に関する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っていること、子供に対する啓発教育を通じて、周囲の大人の火山防災意識の向上も期待されていることがわかった^[NGY_07]。

日本の火山地域の中でも、桜島や阿蘇には大学の観測研究施設が所在し、地域の火山防災に対する基幹的な役割が期待されている。京都大学防災研究所桜島火山観測所では、鹿児島市と連携して桜島住民を対象とする火山防災勉強会を開催してきた。2020年6月4日未明の噴火による火山岩塊（噴石*）の居住地近傍への着弾に関連して、噴石飛散による噴火警戒レベル*引き上げの認知度に関する質問紙調査（回答340名）を行った結果、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明らかになった^[DPRI13]。また、人文社会系の研究者や京都大学防災研究所阿武山観測所と連携して、桜島火山のジオガイドも巻き込んだアクション・リサーチ*を実施し、歴史的に貴重でかつ稼働中の観測装置に着目して防災リテラシー向上のための説明資料の作成を進めた^[DPRI13, DPRI14, HYG_01]。

一方、全国的な火山観光地に位置する京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センターでは、阿蘇ジオパークや阿蘇火山博物館といった地域の様々な学習施設と連携して、火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための実践的な研究を進め、2016

年熊本地震によって被災した研究センター本館の復旧作業の一部を、ジオパークガイドと協力して行うことによって、地震観測の歴史や災害復旧過程などについての知識を地域社会と共有した。また、総合研究グループ「高リスク小規模噴火」とも連携して、昨年度実施した「阿蘇への観光客に対する火山防災に関する意識調査」の結果を分析した結果、火口周辺での火山ガスの危険性に関する音声ガイド・掲示板の存在や噴火の痕跡が、観光客が退避壕に入るといふ安全確認行動を促進することが明らかになった [KUS_03]。

京都大学防災研究所阿武山観測所は、科学者と一般市民との連携手法としてオープンサイエンス手法（市民参画型科学，市民参画型データ収集・管理）を取り入れながら先端的な取り組みを行ってきた。とりわけ本年度は、地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレView*」のパイロット版を完成させるとともに、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）を主として市民参加で解説する「みんなで翻刻*」について、数年にわたって安定的に運用できるようにシステム更新を行い、登録者数が当初目標（1万人）に迫る8350人に到達した [DPRI14]。

地震・火山噴火災害に対する社会の共通理解の醸成のための研修プログラムの作成において、対象・目標を明確化した上で内容を精選し、方法の吟味，評価・検証とフィードバックを行った。これまでの評価検証において、それぞれの知識項目について説明できる人と説明できない人の割合に研修前後で統計的に有意な差が見られ、この研修によって参加者の理解が促されたことがわかっている。本年度は、要素化した「地震・火山研究者が理解してほしいこと」を、自治体職員のニーズをもとに再構成し、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、関東地震（関東大震災）100周年に向けて、特に津波を伴った地震災害としての側面に着目し、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たコンテンツを作成した [NGT_02]。

3-5. 研究を推進するための体制の整備

本研究計画で得られる研究成果を災害の軽減に効果的に役立てられるように、参加機関間で緊密な情報共有を図った。また、基盤的な観測網*の維持・整備を行うとともに、観測データや研究成果をデータベース化し、これらを共有することにより効率的に研究を進めた。同時に、観測技術の開発及び高度化に取り組んだ。さらに、学際的に研究を進めるため関連分野との連携を強化するとともに、地震・火山噴火現象や災害に関する知見を広げるために国際的な共同研究を推進した。

(1) 推進体制の整備

本研究計画は地震学・火山学の成果を災害軽減に活用する観点から、地震学と火山学を中核とし、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野を含む、総合的な学際研究として本研究計画を推進している。また、地震本部や行政機関等と連携し、基礎研究の成果を発展させ、社会実装につながることを目指している。測地学分科会*は、計画の進捗状況を把握し行政や社会のニーズを踏まえた計画の推進につとめた。地震・火山噴火予知研究協議会は、大学、行政機関、国立研究開発法人等の委員から構成され、密接に情報交換をしながら計画を推進している。協議会には企画部*が設置され、専任教員が研究の進捗状況の把握や研究者間の連絡調整に従事している。企画部内の戦略室では、計画全体の方向性について検討し、研究成果の取りまとめを行っている。協議会には研究内容で分類した8つの計画推進部会を設置し、すべての研究課題はいずれかの計画推進部会に所属し、情報交換を行いながら研究を進めている。年度末には協議会主催で成果報告シンポジウムを開催し、計画全体の進捗状況を確認するとともに、情報交換を行った。今年度は、昨年度に引き続き、新型コロナウイルス感染症の観測研究計画への影響を調査し、計画の変更等の適切な対応を行った。また、地震本部との技術的・制度的な連携強化の一貫として、地震本部が「当面10年間に取り組むべき地震調査研究*」の一つとしている「内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化」に関連して、「地殻内地震発生確率評価手法検討ワーキンググループ」を結成しており、検討会を継続実施した。

地震予知連絡会*は、モニタリング手法の高度化に資する役割を担うため、年4回定期的に会議を開催し、地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果の情報交換を行い、関係各機関の情報の共有を行っている。

火山噴火予知連絡会*は、定例会を2度開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。また、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、令和5年度から始める体制を提言としてとりまとめた^[JMA_08]。

・ 拠点間連携共同研究

災害や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所および地震・火山噴火予知研究協議会と、「自然災害に関する総合防災学*の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所および自然災害研究協議会とが連携して計画を進めることが有効である。このため、前研究計画から両研究所が牽引役として各分野での連携を図り、共同研究を進めている。両拠点の研究者が中核となってテーマを決め、それを実現するための研究について全国の研究者からの提案課題を募集して全国規模の共同研究を進める「重点推進研究」と、ボトムアップ研究を公募する「一般課題型研究」を実施している。

重点推進研究では「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^[CTOC01]」を総括研究として実施し、「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^[CTOC20]」、「即時建物被害予測技術の高度化^[CTOC21]」、「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^[CTOC31]」、「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^[CTOC32]」を特定型として進めた。一般課題型研究では、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、即時予測手法の高度化の研究、および災害誘因予測を災害情報につなげる研究を実施した。

(2) 分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制

以下の5項目については、それらが発生した場合の社会への影響の重大さに鑑み、研究分野横断による総合的な研究として実施している。

・ 南海トラフ沿いの巨大地震

地震・測地観測網で得られたプレート間固着*やスロー地震の知見に基づき、南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデルを構築する。その上で地震波および津波の伝播モデルに基づき、西南日本地域の強震動および津波浸水モデルを提示することを目的とする。今年度は、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、2011年東北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(図4)。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^[DPRI01]。

・ 首都直下地震

首都直下地震は、一旦発生すれば首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを

与える可能性が高い。想定される多様な震源について、発生メカニズムや発生可能性を評価できるようになることを目標とする。現代の地震観測で得られる知見を用いて、歴史地震の震度を検証および定量化する狙いで、東京都文京区根津周辺の11点で稠密観測を実施中であり、暫定的な解析結果では観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認された^[ERI-15]。また、地震被害想定が住民に周知された場合の住民の被害に関する認知面に及ぼす影響と、住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に、アンケート調査・分析を実施し、被害想定情報が、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刺激したことがわかった^[III-01]。そのほか、首都直下地震に関連する課題の研究者による意見交換会をオンラインで行った。

・ 千島海溝沿いの巨大地震

千島海溝沿いでは、津波堆積物の調査により、2011年東北沖地震と類似した巨大地震が繰り返し発生していることが明らかにされている。政府の地震本部はM8.8程度以上の超巨大地震の発生が切迫している可能性が高いと評価しており、津波や地震動による大きな被害が予想される。

千島海溝南部に設置した3か所の海底地殻変動基準局において船舶及びウエーブグライダー*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^[ERI-05]。十勝沿岸・当縁川周辺の珪藻群集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1.5 m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5 m程度までしか分布していないこと、津波堆積物は17世紀初頭以前となると2,500年前まで存在しないことが明らかにされた^[HKD-09]。千島海溝からカムチャツカ海溝にかけての広域的な1977年以降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^[HKD-09]。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、5,500年前～4,000年前の間に発生した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。一方、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^[HKD-09]。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^[HKD-09]。

・ 桜島大規模火山噴火

活発な噴火活動を60年以上続け、今後、大規模噴火の発生が予想される桜島を対象に、各研究項目間で緊密な連携と成果の共有を図り、住民避難を視野に入れた総合的研究を推進している。本総合研究グループには異なる部会に属する27の研究課題が参画しており、令和4年度も12月にハイブリッド研究集会を開催し、参画する各課題の成果から大規模噴火研究に資する知見を取りまとめた。本研究集会では、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト*課題や京都大学防災研究所火山防災連携研究ユニットからも研究発表を行い、総合研究グループにおける議論を活性化させた。

令和4年度研究集会の議論の要点は以下の4点に集約される。

- ① 現在の観測データは脱ガスした重いマグマが蓄積していることを示すことから、次の大規模噴火はプリニー式噴火で始まる歴史時代の大規模噴火とは異なり、溶岩流出から開始することを想定しなければならない。噴火シナリオの多様化が望まれる。
- ② 2022年7月24日噴火時の対応を通じて、情報発表までの意思決定の遅さと発表された情報に警戒を要する範囲の情報が含まれない、という2つの問題点が露呈した。
- ③ 火山性微動*と地盤変動データからリアルタイムで降灰を予測することにより、火山灰ハザードを評価できるようになるなど、モニタリングデータに基づくハザード予測の高度化が図られたが、警戒を要する範囲の設定は依然として重大な問題である。
- ④ 桜島の大規模噴火では市町村の境界をまたぐ広域避難が想定されるが、広域避難の認知度は低い。認知度を上げる長期的な視野の取り組みが必要であり、リスクコミュニケーションが重要である。

観測・研究の立場から、ハザード予測を行うことで噴火発生前に警戒を要する範囲を設定することが最大の課題である。この課題は噴火の発生の時期、場所、規模、様式の予測性能の向上が本質的に関わるものであり、今一度、火山噴火予知研究の原点に立ち戻る必要がある。

・ 高リスク小規模火山噴火

噴気地帯や山頂火口近傍には、多くの観光客や登山客が訪れるため、小規模な噴火でも人的・物的被害が生ずる場合がある。また、小規模な噴火は発生頻度が相対的に高いことから、観光客や登山客等の災害リスクの低減という観点から重要な研究対象である。

災害情報の発信に関する研究に関しては、吾妻山について VUI の試作を進めており、気象庁や国土地理院のデータを活用したワークシートを試作した^[THK_08, HKD_04, KUS_02]。数値指標で示す VUI が専門外の人々にどう見えるか、活動シナリオの想定や火山活動評価はそれほど自明ではないのではないかと、など予測可能性とリスク評価に関するいくつかの問題が指摘された^[HKD_04, KUS_02]。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の位置づけを明確化するために、阿蘇火山博物館、富士山科学研究所、箱根ジオミュージア

ムの火山防災に関する取り組みに対する調査・比較を進めた^[NGY_07]。御嶽山噴火の事例から、市町村の災害対応のボトルネックとなる事項の抽出と対応策の検討を行い、マンパワーに限られる小規模自治体の対応に関する問題点や噴火の影響が複数自治体にまたがる場合の連携などの課題を指摘した^[HYG_01]。

小規模噴火の発生する場の把握に関しては、草津白根山において土壌ガスに基づく側噴火*リスクの評価を進めており、ガスフラックスの強弱と希ガスの同位体分析を組み合わせることにより側噴火の危険度が高い場所を同定できる可能性が示された^[TIT_03]。

観測による火山の活動把握に関しては、吾妻山において地震・地殻変動の連続観測を継続的に実施しているが、大学から現地関係者へ提供される観測情報が過多とならないよう工夫する必要があることが、防災関係者とのやりとりを通じてわかった^[THK_08]。空中電界変動*を活用する手法の開発も継続している。霧島火山観測所での観測を新たに開始したが、2022年11月の硫黄山での泥噴火では顕著なシグナルは検出されなかった^[THK_03]。弥陀ヶ原火山において、活動状態を把握するための多項目地球物理観測を継続している^[TYM_02]。

噴火の予測に関する研究に関し、極小規模噴火を含めた見逃がしのない「真の噴火履歴」解明を目指した取り組みとして火口内や火口近傍の湖沼堆積物を新たな情報源とする調査を開始し、弥陀ヶ原での予備調査では微小噴火と思われる火山灰層を検出した^[TYM_01]。

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

防災科学技術研究所は、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) を安定して運用し、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、震源発震機構解、断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った^[NIED05]。

国土地理院は、全国に展開されたGNSS連続観測システム (GEONET*) を維持するとともに国際GNSS事業 (IGS) へ参画し、観測データの提供を行った。加えて、最新のGPS衛星およびITRF*に対応したGEONETの新しい解析ストラテジの運用を着実に継続した。また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを行い、結果を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^[GSI_04]。また、ALOS-2の合成開口レーダー (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い、国土地理院のHPで解析結果を公開するとともに、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^[GSI_07]。このほか、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す、電子基準点*を用いたREGARDを継続的に運用しており、断層パラメータの不確実性の評価も取り入れるなど、従来法からの置き換えに向け、試験運用中である (図10)^[GSI_08]。

気象庁は地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持を継続し、関係機関の地震観測データを一元的処理した結果を公開し、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〔JMA_09〕。また、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連続的な監視観測を継続するとともに、50火山と他の活火山のうちのいくつかの火山について、地震観測・GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施し、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〔JMA_12〕。

海上保安庁は、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するとともに、西之島、噴火浅根、海徳海山及び福徳岡ノ場において監視体制を強化した。また、測量船により硫黄島の海域火山基礎情報調査を実施した〔JCG_04〕。

大学は、観測データ流通網JDxnet*の安定的な運用を継続し、TDXへの移転対応を実施した。また、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〔ERI_19〕。高知大学は、3成分広帯域地震計*と常時微動*アレイの運用を継続し、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 5 mm 程度の降雨に対応した変動を抽出することができた〔KOC_01〕。

高速な断層推定

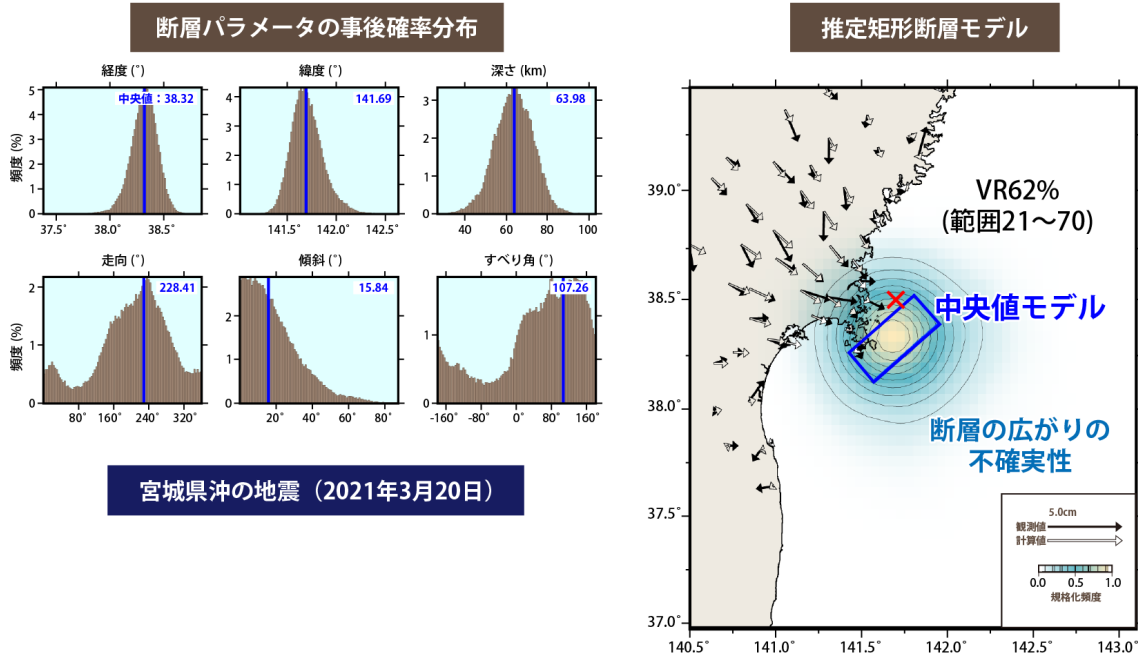


図10. 高速な断層推定 (REGARD) による断層推定結果の例。2021年3月20日に発生した宮城沖地震のときの地殻変動から断層パラメータを推定したもの。左は断層パラメータの事後確率分布、右は推定された矩形断層モデルの位置とその不確実性の広がりを示す。左の青線は中央値で、右上にその数値を示す。東北大学で開発された推定パラメータの不確実性を評価できるプログラムを国土地理院に技術移転した。従来法からの置き換えに向け、試験運用中である。

イ. 観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、三陸沖光ケーブル式海底地震津波観測システムの予備の光ファイバーケーブルにDAS計測*を適用することにより、空間的に高密度の海底地震観測を実施した [ERI_22]。東北大学は、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 [THK_13]。情報通信研究機構は、Pi-SAR X3*の初期機能・性能確認試験を実施して、来年度からの各種実証観測を行える体制を整えたほか、富士山等の試験観測で15 cm分解能での地表面画像取得に成功した [NICT01]。

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、地殻変動連続観測データおよびGNSSデータサーバを運用し、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 [HKD_08]。東京大学地震研究所は、次世代の対話検測処理系システムについて試作を引き続き進め、昨年度試作したソフトウェアを試用するとともに、震源決定プログラムや地図表示機能を実装した。また、伝送系システムの仕様について検討を継続した [ERI_24]。

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

気象庁は、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した。2020年9月より一元化处理*にS-net*, DONET2のデータの活用を開始している [JMA_14]。産業技術総合研究所は、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を公開した。また、目撃事例のある噴火の中長期的・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、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を公開した。加えて、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムの構築を継続した [AIST11]。国土地理院は、六日町断層帯、高田平野東縁断層帯、阿寺断層帯及び長良川上流断層帯、佐賀平野北縁断層帯、糸魚川ー静岡構造線断層帯など8面の1:25,000 活断層図を公開した。また、長町ー利府線断層帯、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、糸魚川ー静岡構造線断層帯について整備を実施した [GSI_09]。また「諏訪之瀬島」の火山土地条件図・数値データ及び「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図・数値データを公開した。「蔵王山」の火山土地条件を調査し、「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 [GSI_10]。地震・火山噴火予知研究協議会では、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した (図11) [ERI_25]。

研究計画で観測や開発したソフトウェア等のメタ情報の公開

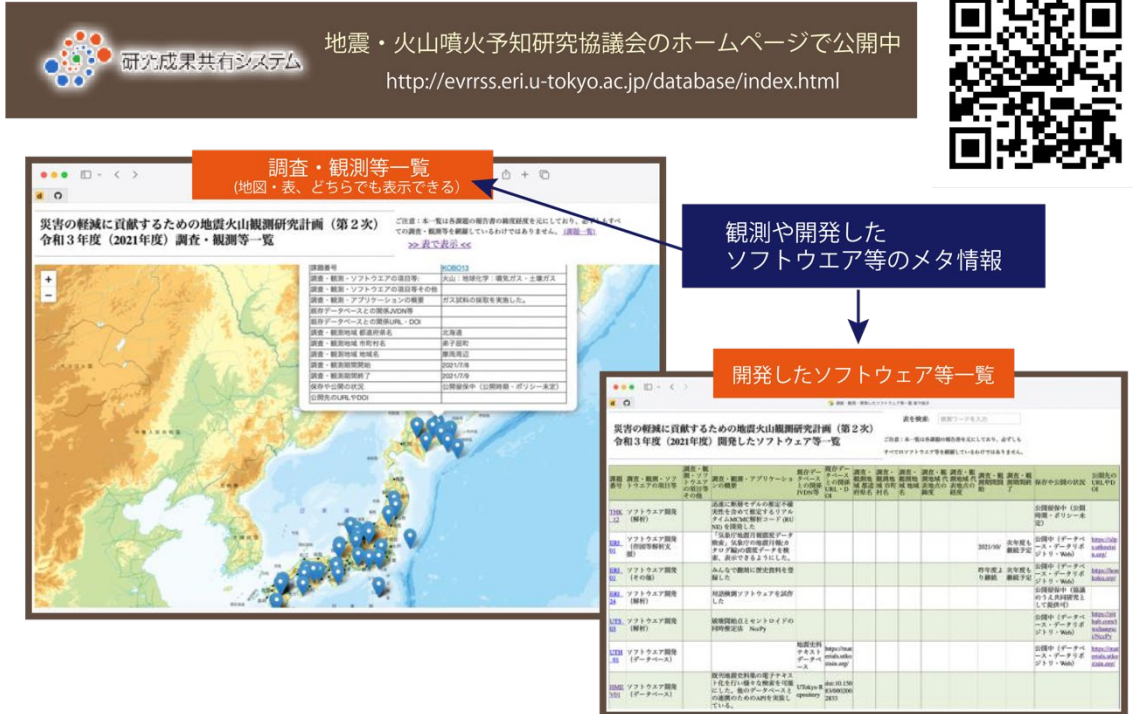


図 11. 研究計画で行った観測や開発したソフトウェア等のメタ情報の公開。本年度から作成・公開を始めた調査・観測等一覧（地図表示，左上）および開発したソフトウェア等一覧（右下）。各課題の成果をとりまとめ作成したもの。各課題の報告書へのリンクも貼られており，そこから成果の詳細も確認できる。地震・火山噴火予知研究協議会の研究成果共有システムの中で公開している。

(4) 関連研究分野との連携強化

理学，工学，人文・社会科学などの関連研究分野間で連携し，地震・火山研究の成果を災害軽減に役立てる。低頻度大規模地震・火山噴火現象の具体的な規模，発生頻度，発生機構等を明らかにするために，近代観測以前の地震・火山現象の解明を目指し，eコママップの整備を続けるなど，引き続き歴史学・考古学と連携して計画を進めた。また，日向灘での大規模地震の規模推定では，歴史記録と津波堆積物データを組み合わせることで，これまで見積もられていたものより大きな地震の存在が示唆された。進展の著しい数理科学，情報科学，計算機・計算科学等の研究分野の成果も取り入れた。例えば，大規模数値モデルによる火災延焼見積もりにより，地震動と火災のマルチハザードリスク評価の重要性が示された。

(5) 国際共同研究・国際協力

新型コロナウイルス感染拡大の影響を受け，海外への渡航，海外からの研究者の受け入

れ等が厳しく制限されている中でも、オンラインを活用するなど、制限下でも可能な観測研究を実施した。

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、地震発生機構の解明のための国際共同研究を進めている。今年度は2016年ニュージーランド・カイコウラ地震の震源域の Slip Tendency 解析*や地震波速度構造推定等を行った [THK_01]。2020年11月にヒ克蘭ギ沈み込み帯中部に位置する固着強度遷移域周辺に設置した海底観測機器について、2021年5月に観測網直下で発生した短期的 SSE の観測に成功した。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 [ERI_08]。

プレート沈み込み帯周辺の国際共同研究においては、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・測地観測網のデータを解析し、観測されたテクトニック微動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 [DPRI01]。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分けられ、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 [THK_05]。

インドネシアの火山を対象とした国際共同研究では、火山活動推移モデルを構築に向けて、VEI*4の規模に達した2014年ケルト火山噴火と2010年メラピ火山噴火に至る地震活動、地盤変動、火山ガス等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た。噴火の準備過程として、まず地盤変動が観測され、そして地盤変動の進行とともに地震活動の活発化が両火山で見られた。また、メラピでは土壌からの二酸化炭素濃度の急増、ケルトでは火口湖水温の温度上昇が見られた。噴火直前の現象としては、両火山とも急速な地盤の隆起・膨張、低周波地震発生数の急増から連続発生への移行から、溶岩ドーム*の破壊を経て、プリニー式噴火の発生という推移をたどった [DPRI06]。

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 [GSI_07]。石岡局の水平速度は約20.6 mm/年 (方位角136° 方向) であった。これは、通常のプレート運動の成分に2011年東北沖地震の余効変動を含んでいるものと考えられる。

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

社会との共通理解の醸成を図るために、地震・火山噴火現象及び地震・火山災害に関するアウトリーチ活動を積極的、かつ組織的に展開した。

地震・火山噴火予知研究協議会は地震研究所広報アウトリーチ室と共同で、報道関係者等を対象とする地震・火山噴火予測研究のサイエンスカフェを開催するなど、地震・火山噴

火現象の予測研究や研究活動の現状を理解してもらうための取組を継続的に行っている。

大学は、小中高生、住民、行政等の防災担当者、報道関係者等に対して、地震・火山現象の基礎的な理解を深めてもらうための公開講義、セミナー、ラボツアーなどを行った。

気象庁は、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。

(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

大学や研究機関は、観測研究に携わる研究者のキャリアパスを確保するための若手教員・研究員のポストの確保に務めている。地震・火山噴火予知研究協議会は、令和4年度に2名の特任研究員を雇用し、人材育成の一端を担っている。また、火山分野においては、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトにおいて、本研究計画に参画する大学や研究機関が、火山研究者を志す全国の大学院生に実習や講義などを行い、若手育成に取り組んだ。

阿蘇ジオパークガイドと2016年熊本地震の震災遺構ガイド（計44名）を対象とした勉強会を実施した^[KUS_03]。その際、本計画の課題 NGT_02 にて制作中の教育用ビデオのうち2本（「地震と災害」「地震の観測」）を参加者に視聴させた。また、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・掲示板の存在と噴火の痕跡を認識させることにより、観光客が退避壕に入るという安全確認行動が促進される」という結論を得た。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2016年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^[KUS_03]。

まとめ

「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4年目となった令和4年度は、この2年間オンラインのみでの開催だった「成果報告シンポジウム」が、現地とオンラインのハイブリッド形式による開催になるなど、徐々に新型コロナウイルス感染症の影響から解放され、フィールドでの調査・観測の再開も進んだ。観測研究を中心とした本計画は、コロナ禍の間に得たオンラインツールに関するノウハウなども活用しつつ、今年度も5つの大項目・3つの重点研究・5つの総合研究で多くの成果を得た。

今年度は歴史史料の整理や調査が進み、過去の巨大地震の震源像や、地震と火山噴火の時系列の関係が明らかになったことで、史料から新たな地震・火山噴火の現象解明につながる知見が多く得られた。多項目の観測データが着実に蓄積され、それぞれのデータや複数の視点に基づく理論・実験・数値計算が行われたことで、現象のモニタリングや予測につながる成果が得られた。強震動や地震波伝播シミュレーションでは計算手法の高度化が、また災害誘因予測に関しては、各種データのリアルタイム解析やそれに基づく推定モデルの開発が進んだ。多様な種類のデータベースの公開が行われ、地域の災害特性や過去の災害履歴の把握に資するものから、歴史災害痕跡、地殻応力場、大規模噴火のデータベースなどが整備されたことから、今後はこれらを研究へ積極的に活用していくフェーズに来たといえる。

重点研究の1つである「地震発生の新たな長期予測」については、「地殻内地震発生確率評価手法検討ワーキンググループ」での検討が進み、地震本部との連携が進んだ。また、「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」においては、これまでに蓄積されたデータの解析、噴出物分析や理論的研究の成果を集約して議論することにより、火山活動推移モデルの構築と火山活動・噴火減少の分岐判断についての理解が進んだ。

本計画から始まった防災リテラシーの向上のための研究では、地震災害に関する知識の体系化が進み、構築された教育プログラムを受講した自治体職員が2022年3月の福島県沖地震の後の住家被害認定調査に従事することにより、調査の効率が向上したことが定量的に示された。研究成果が自治体職員の防災リテラシーの向上に繋がったことは、本研究計画の社会的な直接的な貢献となった好例といえよう。

総合研究グループもそれぞれ分野横断の研究活動が続けられている。「南海トラフ沿いの巨大地震」では、1662年日向灘地震の震源域周辺がフォーカスされ、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、新しい断層モデルが提案された。「首都直下地震」では、歴史史料による震度と現在の同地点での地震観測の比較による震度の検証が継続的に行われ、また首都直下地震に関するアンケート調査からは、恐ろしさの感情が住民の被害の印象を持続する結果が得られた。「千島海溝沿いの巨大地震」では、海底地殻変動観測などの科学的な観測研究から、自治体との津波避難計画の検討まで、一貫通貫型の総合研究として着実に実施されている。「桜島大規模火山噴火」では、関連する研究プロジェクトなどに重視する研究者も参画し総合研究グループにおける議論が

活発化することにより、火山噴火ハザード予測における成果の意義と課題が明確になった。「高リスク小規模火山噴火」では、火山学者と社会科学者との協働による研究がより進展した。

令和4年度は、比較的地震火山災害が少ない1年ではあったが、トピックとして掲げた2020年頃から継続している能登半島北東部の地震活動は現在も活発である。今年度も継続して行った地震や測地、地球電磁気など多項目の観測研究により、この地震活動には地下深部から浅部への流体供給が関与している可能性が示唆された。火山活動も比較的定常的な活動が続いたが、桜島火山においては、2023年2月に約5年ぶりに昭和火口での噴火があり、今後、微動や噴気現象に着目することで活動火口の遷移を予測できる可能性が示された。4年目の本計画は、コロナ禍を乗り越えて確実に各課題の観測研究が進展し、まとめの5年目を迎える体制が整ってきたといえる。

用語解説

アクション・リサーチ

現実問題の解決を目指した実践と研究または、目標となる望ましい状態に向けて変革をしていくことを目指した実践と研究を行っていくもの。

アスペリティ

プレート境界や断層面の固着が特に大きい領域のこと。この領域が地震時にすべると、すべり量が周りよりも大きくなり、大振幅の地震波を放出する。アスペリティがどのように連動してすべるかによって地震の大きさが変化する。いろいろな大きさのアスペリティが混在する場合には、それらの相互作用が地震サイクルに大きく影響すると考えられている。

アルゴリズム

問題を解いたり、目標を達成したりするための計算手順や処理手順のこと。

アレイ

地震計などの観測機器を比較的狭い範囲に数多く並べること。地震計のアレイによる観測では、それぞれの地震計の波形を重ね合わせることによりノイズが除去されて微弱な信号を検出することや、観測点ごとの地震波の到着時間の差から地震波の到来方向を推定することができる。

アンサンブル学習

機械学習において、複数のモデルを個々に別々に学習させたものを、多数決や平均をとるなどして融合させることによって、未だ学習していないデータに対する予測性能を向上させるための学習。

一元化処理

気象庁・防災科学技術研究所・大学などの各機関で管理・運営している地震観測データをリアルタイムで収集し、それらを利用して震源の決定などの処理を一元的に行うこと。気象庁において実施している。

異方性

物質の物理的性質が方向によってことなることをいう。例えば、P波の伝わる向きやS波の振動方向によってその伝わる速さが異なる性質（P波とS波についてはそれぞれの項を参照）。前者は方位異方性、後者はS波偏向異方性と呼ばれる。これらの異方性は、地殻内の

亀裂やマントル内の鉱物結晶が一定の方向に配向することで生じると考えられている。前者は地殻内の応力場を、後者はマントルのダイナミクスを解明する手掛かりとなる。

インバージョン

インバージョン解析（逆解析）の略称。結果から原因を推定する数学的解析法のことをいう。推定したい事象（原因）をモデル変数で表現し、物理モデルを介して事象と観測データ（結果）と結びつけ、観測データを合理的に説明できるモデル変数を推定する。

ウェーブライダー

自律航走型海洋プラットフォーム。波の力を推進力に換えて航行するため、燃料を必要としない。任意の地点に移動できるほか、一定の範囲内にとどまることもできる。多様な観測機器や発電・蓄電システムを搭載できるが、航海速度が小さいために、速い潮流に逆らって航行することはできない。

上盤

地殻内部にかかる力の状態は複雑で、その状況によって様々な型の断層運動が生じる。断層面が傾いている場合、断層面を挟んで浅い側を「上盤」、深い側を「下盤」と呼ぶ。断層面を境として両側の岩盤が上下方向に動くときを「縦ずれ断層」と呼び、このうち、上盤側がずり下がる場合を「正断層」、のし上がる場合は「逆断層」と呼ぶ。

上盤プレート

沈み込むプレートよりも上側に位置するプレートのこと。

エクスポージャ情報

ある時刻に発生した地震動・津波など（ハザード：災害誘因）にさらされるもの（エクスポージャ：曝露）に関する情報。具体例としては、建物の占有面積、建物の高さ、建物の固有周期などがある。

液状化

地震による振動により、地盤が液体状になる現象。地上の建造物は沈下や傾斜し、地中の水道管などが浮き上がったたりする。

エッジ効果

水平に伝播する盆地生成の回折波・表面波と鉛直下方から伝播してくる直達 S 波の干渉により盆地の端部において生成される特異な増幅効果のことをいう。

エンベロープ

地震波形から絶対値を求め、時間毎の最大値をトレースするような曲線で、包絡線とも呼ばれる。

応力

岩盤などの物体内部に考えた仮想的な面に作用する、単位面積当たりの力。応力の単位は Pa (パスカル)。面に対して垂直な方向の力を垂直応力または法線応力、面に平行な力をせん断応力とよぶ。物体内部の応力の分布を応力場という。震源域の応力が岩盤または断層の強度に達したときに地震が発生すると考えられている。地球科学が取り扱うほとんどの範囲では、応力は6つの独立な成分を持つ2階の対称テンソルとして記述できる。一般に、応力テンソルは対角化が可能であり、3つの固有値と固有ベクトルを、それぞれ主応力と主応力軸と呼ぶ。特に3つの主応力を、圧縮が大きい方から順に最大主応力、中間主応力、最小主応力と呼ぶ。最大主応力と最小主応力の差を差応力と呼ぶ。

応力降下

蓄積されたひずみエネルギーが断層すべりによって解放され、断層面にかかる応力が低くなる現象。

海溝型巨大地震

プレート の項を参照。

海嘯 (かいしょう)

河口に入る波の前面が高い垂直な壁となり、砕けながら川上に進む現象のこと。かつては津波も海嘯と呼ばれていた。

(震源域の) 階層性

地震発生場には様々な長さスケールの不均質構造が含まれており、断層のすべりは複雑となるが、統計的にはフラクタル的性質を持つ。断層すべりが極小スケールから始まり、次第に大きなスケールの構造へと広がり、どこかで停止して最終的地震サイズが決まる。このような地震発生領域の構造を階層的構造といい、地震活動が階層性を示す要因と考えられている。

海底地殻変動観測

海底の地殻変動を観測すること。以下のような手法がある。

- ・GNSS-音響測距結合方式：海上の船舶やブイの位置をGNSSによって精密に決定し、それらと海底に設置された音響トランスポンダー（基準局）との距離を、音波を用いて測定する

ことにより、地殻変動による基準局の絶対位置の変化を長期間にわたって観測する手法。GNSS-A と略されることもある。

- ・海底間音響測距：音波を用いて海底の基準点間の距離を測定することにより、地殻変動による2点間の相対変位を連続的に観測する手法。
- ・海底圧力観測：海底の圧力変化を測定することにより、地殻変動による上下方向の相対変位を連続的に観測する手法。
- ・孔内観測：海底下に掘削された孔（ボアホール）の内部に設置した機器により、地殻変動による地殻のひずみ・傾斜や、間隙水圧の変化を長期間にわたって連続的に観測する手法。

海底電位差磁力計

低ノイズの海底で地磁気3成分の時間変化を捉える磁力計の機能に加え、耐圧容器の外に腕を拡げるように展開した電極間の電位差の時間変化を捉える機能を合わせもつ観測機器。

海洋プレート

プレート の項を参照。

火砕丘

小規模な噴火を繰り返すことで火口のまわりに火山砕屑物が積もってできた円錐形の地形。

火砕物

火山噴出物 の項を参照。

火砕流

高温の火山砕屑物が、高温の火山ガスや取り込んだ空気とともに高速で火山体斜面を流下する現象。噴火によって火口から噴出した噴煙柱の崩壊や、溶岩ドームの崩落により発生し、火口から長距離にわたって流下して大きな被害を及ぼす。

傘型噴煙

爆発的な火山噴火の際に火山ガス、灰粒子、エアロゾルが噴煙を形成する。浮力中立高度にて噴煙は水平方向に同心円状に広がり、水平方向から鉛直に上がる噴煙と合わせて見ると傘型に見えることから、傘型噴煙と呼ばれる。

火山ガス

地下のマグマに溶けている揮発性成分が、マグマの上昇に伴う圧力低下などにより発泡して地表に放出されたもの。火山ガスの主成分は水蒸気であり、その他に、二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素、塩化水素、フッ化水素、水素などの成分が含まれる。

火山活動推移モデル

火山噴火に先行する現象、噴火発生、噴火の規模や様式の時間変化、さらに終息までを一連の現象として示したモデルのこと。起こりうる火山活動や噴火現象を網羅的にまとめその時系列を整理した噴火事象系統樹をさらに発展させたものに位置づけられる。

火山活発化指数 (VUI)

VUIは Volcanic Unrest Index の略。数年から数10年スケールの中期的な火山活動評価のために考案された噴火が発生していない時点での火山活動に関する客観的・定量的な評価指標で、観測者・科学者と行政・住民とのコミュニケーションツールとしての利活用が念頭におかれている。微小地震活動や地熱活動などが一時的に高まった時、行政・住民は過去の事例と比較した場合の深刻性といった観点で捉えることができる。ニュージーランドで開発され、日本国内の複数の火山で試験的な導入に関する研究が進められている。

火山性地震

火山体またはその周辺で発生する地震。火山内部の応力場や流体の状態を反映していると考えられている。

火山性微動

火山活動に伴って起こる微弱な震動。火口直下などの浅部に存在する火山性流体の状態を反映していると考えられているほか、噴煙が連続的に放出されている際にも観測される。火山性地震とは異なり、震動が数分から数時間、ときには数日間にわたって継続することがある。

火山泥流

噴火に伴う火山噴出物が水分と一体となって流下する現象を火山泥流という。単に泥流とも呼ぶ。砂防の分野では、岩塊が卓越し水とともに流下する現象を土石流と呼ぶ。火口から泥状物質が噴出され流れ下るもの、火山噴出物が堆積し多量の降雨により流れ下るもの、積雪地域で噴火が起こり多量の氷雪が溶けるために生じるものなど、成因は複数考えられる。

火山の状況に関する解説情報

火山活動に変化が認められるなど、気象庁が火山活動の状況を伝える必要があると判断した場合に発表される情報。今後の活動推移によっては噴火警戒レベルを引き上げる可能性がある場合などに「火山の状況に関する解説情報（臨時）」が発表される。

火山灰

火山噴出物 の項を参照。

火山フロント

火山は、沈み込んだプレートが 100～150 km に達したところの直上の地表に、海溝軸にほぼ平行に分布する。この帯状の火山分布の、海溝に近い側の端を火山フロントという。

火山噴火予知連絡会

火山噴火予知計画（文部省測地学審議会（現文部科学省科学技術・学術審議会）の建議）により、関係機関の研究及び業務に関する成果及び情報の交換、火山現象についての総合的判断を行うことなどを目的として、昭和 49 年に設置された機関（事務局は気象庁）。年に 2 回開催する定例会では全国の火山活動について総合的に検討を行う。火山噴火などの異常時には、臨時に開催し、火山活動について検討を行う。
<https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE.html>



火山噴出物

火山噴火により噴出した物質の総称。火山噴出物は気体、液体、固体と様々な形態をとり、それぞれの例として火山ガス、溶岩、火山砕屑物が挙げられる。火山砕屑物のうち直径 64 mm 以上を火山岩塊（噴石）、直径 2 mm～64 mm を火山礫、直径 2 mm 未満の細かい破片を火山灰という。「噴石」に火山礫を含む場合もある。

火山防災（会議）協議会

活動火山対策特別措置法に基づき、火山地域の都道府県及び市町村が設置する協議会。関係機関及び火山専門家などによって構成され、「噴火シナリオ」や「火山ハザードマップ」、「噴火警戒レベル」、「避難計画」などの一連の警戒避難体制について協議する。

火山マイスター

有珠山と御嶽山において、地域防災力の向上を図るとともに、ガイドを担って地域の魅力発信にも活かしていこうとする目的から、火山地域の自然や特性について正確な知識を有する地域防災のリーダーとして認定された人のことをいう。

火山礫

火砕物 の項を参照。

活火山

現在活発な噴気活動のある火山だけでなく、歴史記録や噴出物の調査から、概ね過去 1 万年以内に噴火したと認められる火山。現在、日本には 111 の活火山がある。

活断層

地質時代でいう第四紀後期（数十万年前～現在）に繰り返し地震を発生させ、地表近傍まで食い違い変位を生じさせてきた断層。今後も同様の地震を発生させると考えられる。

火道

地下のマグマ溜まりから地表へ至るまでのマグマの上昇経路のこと。

下部地殻

地殻 の項を参照。

カルデラ噴火

カルデラは、大規模な噴火の後に生じる、輪郭が円形またはそれに近い大きな陥没地形のこと。カルデラを形成する噴火様式をカルデラ噴火という。

間隙水圧

土の粒子間や岩石中の孔（間隙）に入り込んだ水にかかる圧力。

干渉 SAR

SAR の項を参照。

完新世

地質時代の区分のひとつで、最終氷期が終わった約1万年前から現在までを指す。

岩石組織

岩石の構成鉱物の大きさ、形、かみ合わさりかた、配列のこと。

岩屑なだれ

地震、水蒸気爆発や火山体の急激な変形などによって火山体の一部が崩壊（山体崩壊）し、溪流を高速で流れ下る現象のこと。土石流の潤滑剤が水であるのに対し、岩屑なだれはなだれ（雪崩）と同様に大量のガス（空気や水蒸気）が潤滑剤になる。

貫入

地下の流体が岩盤に割れ目をつくりながら入り込み移動する現象のこと。

機械学習

観測や実験などによって取得された大量のデータを解析処理することによって、多くの事例から、人間の手を必要とせずにコンピュータ自らが学習して認識・判断する技術のことをいう。

企画部

地震・火山噴火予知研究協議会の下に設けられた組織。建議に基づく研究全体を円滑に実施するため、研究計画の企画，立案，調整を行う。

基盤的な観測網

地震調査研究推進本部の「地震に関する基盤的調査観測計画」（平成9年8月）及び「地震に関する基盤的調査観測計画の見直しと重点的な調査観測体制の整備について」（平成13年8月）に基づく、高感度地震計（防災科学技術研究所のHi-net，気象庁及び大学など），広帯域地震計（防災科学技術研究所のF-net 及び大学），強震計（防災科学技術研究所のK-NET と KiK-net）の観測網のことをいう。

逆解析

インバージョン の項を参照。

逆断層

上盤 の項を参照。

共起ネットワーク

アンケート，ニュース，SNS などの文章から抽出した単語を用い，共起関係（共通して出現する関係）にある単語を線で結んだ図のことをいう。テキストに含まれる単語間の関係性を可視化できる。

強震記録

強震動 の項を参照。

強震動

被害を及ぼすような強い地震動（揺れ）のこと。強震動を振り切れることなく記録するための地震計を強震計と呼び，強震計で記録した波形データを強震記録，または，強震動記録と
いう。

共同利用・共同研究拠点

個々の大学の枠を超えて、大型の研究設備や大量の資料・データなどを全国の研究者が利用したり、研究を行うための施設として認定された拠点。

拠点間連携共同研究

「地震・火山科学の拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の拠点」である京都大学防災研究所が連携して研究を進める仕組み。

空中電界変動

帯電した噴煙が変化することで引き起こされる電界の変化。噴火現象に相関する長周期の変動に加え、火山雷の発生によると考えられるインパルス状の変動もある。

繰り返し地震

発生場所（震源域）、発震機構解、マグニチュードがほぼ同じで、繰り返し発生している地震。発生場所と発震機構がほぼ同一であるため観測波形が良く似ることを利用して検出される。波形の相似性が高いことから、相似地震と呼ばれることもある。また、個々の繰り返し地震が小地震の場合は、小繰り返し地震ということもある。

群発地震

同程度の規模の地震が比較的狭い地域で続発する活動のこと。地震が数年にわたり続発することもある。

傾斜計

地表面の勾配（傾き）の変化を測定する機器のこと。

珪長質マグマ

長石や石英などの珪長質鉱物に富み、やや低温（900℃程度）で粘性の大きなマグマで、その大部分は地殻物質の融解により生成される。これが冷却・固化した火山岩がデイサイトや流紋岩である。

減圧結晶作用

圧力が低下する過程でマグマの結晶化が進むこと。

考古データ

考古学の調査・研究によって発見された地震や火山噴火などの痕跡、またそのような痕跡に関する記載。

構造共通モデル

地震や火山噴火を含む多様な地殻活動を定量的に理解することを目的として、これまで蓄積された日本列島の沈み込み構造に関する知見を統一的に集約し、統合的に構築した共通モデル。

広帯域地震計

主として周期約 100 秒から 0.1 秒までの地面の振動を観測できる周波数帯域の広い地震計。周期数秒より長い地面の揺れに対しては他の地震計に比べて感度が高い。

固着

プレート境界や断層においてずれ運動がない状態のこと。

固着率

プレート境界断層に沿ったプレート相対運動の累積変位のうち、定常的な断層すべりで解消されない累積変位の割合。

災害素因

災害誘因を受けた際に生じる被害・損失の規模や様態を左右する、地形・地盤などの自然環境の脆弱性（自然素因）や、人口・建物・施設などの人間社会の脆弱性（社会素因）のこと。

災害誘因

災害をもたらす原因（加害力、外力）のこと。英語ではハザード (hazard) という。地震や火山噴火による災害は、災害誘因である地震動、津波、火山灰や溶岩の噴出などの外力が災害素因に作用することで引き起こされる。

差応力

応力 の項を参照。

山体崩壊

山体が地震や火山噴火などによって大きな崩壊を起こす現象。

軸面劈開

結晶や高温・高圧の下で固結した岩石などが、ある一定の方向に薄く剥ぐように割れやすい性質を劈開という。劈開が層理（岩石中にみられる成層構造）と平行な場合を層面劈開というのに対して、褶曲構造内の岩石の割れやすい方向が褶曲軸面と平行な場合を軸面劈開という。

事象系統樹

時間と共に進行する一連の事象（イベント）を網羅的に列挙し、それら相互の関係と時間発展（事象分岐）を樹形図（イベントツリー）として整理したもの。それぞれの分岐には、地質学的情報、観測データ、理論などに基づいて確率が付与されることもある。地震活動に関して作成されたものを地震活動事象系統樹、火山活動に関して作成されたものを噴火事象系統樹という。

事象分岐

事象系統樹 の項を参照。

地震・火山噴火予知研究協議会

科学技術・学術審議会（測地学分科会）による建議に基づく地震及び火山噴火の観測研究に関して、関係機関の連携を緊密にして観測研究計画を協議し、研究の有効な推進を図ることを目的として東京大学地震研究所に設置されている組織。予知協、予知協議会、あるいは予知研究協議会と略称されることもある。

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



地震カタログ

地震の発生時刻や震源、規模（マグニチュード）などの情報をまとめたデータベースのこと。

地震サイクル

地震発生サイクル の項を参照。

地震探査

爆薬やパイロサイスなどの人工震源を用いて地震波を発生させ、これをいろいろな地点で観測して、地震波の伝播速度や減衰などを調べることにより地下の構造を明らかにする手法。構造探査の手法のひとつ。

地震調査委員会

地震調査研究推進本部 の項を参照。

地震調査研究推進本部

地震調査研究推進本部は行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき政府の特別の機関として1995年7月に総理府（現在の所管は文部科学省）に設置された。地震本部と略称されることもある。地震調査委員会は、地震調査



研究推進本部の下に設置され、関係行政機関(気象庁、国土地理院など)や大学などの調査結果を収集、整理、分析し、これに基づき地震活動に関して総合的な評価を行う。

<https://www.jishin.go.jp/>

地震発生過程

広域の応力によって特定の震源断層に応力が集中し地震の発生に至る物理・化学過程。

地震発生サイクル

地震発生後、断層面の強度が回復するとともに、プレート運動などによる広域応力により再びひずみエネルギーが蓄積され、次の地震が発生するまでの一連の過程。地震サイクルともいう。

地震モーメント

地震の規模を表す最も基本的な量。震源断層の面積とすべり量及び剛性率(岩盤の変形のしにくさを表す物性値)の積で計算される。断層運動の規模を表すために用いられることもある。単にモーメントと略されることがある。

地震予知連絡会

地震予知の実用化を促進する旨の閣議了解(昭和43年5月)及び測地学審議会建議(昭和43年7月)に基づいて、地震予知に関する調査・観測・研究結果などの情報の交換とそれらに基づく学術的な検討を行うため、昭和44年4月に発足した組織。国土地理院が事務局を務める。<https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/>



地すべり

斜面の一部あるいは全部が地下水などの影響と重力によって移動する現象。

地すべり土塊

地すべりによって、斜面下方へ移動した物質の塊をいう。

沈み込み帯

プレート の項を参照。

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト

平成26年の御嶽山の噴火などを踏まえ、火山災害の軽減に資する火山研究の推進(次世代火山研究推進事業)と、広く社会で活躍する火山研究人材の裾野を拡大するとともに、火山に関する広範な知識と高度な技能を有する火山研究者とな



る素養のある人材の育成（火山研究人材育成コンソーシアム構築事業）を目的として、文部科学省が平成 28 年度から実施している 10 ヶ年のプロジェクト。<https://www.kazan-pj.jp/>

実大一層縮約試験体

将来発生する地震動の破壊力を測るために開発された試験的な木造建物のこと。従来の木造建物を再現するために、柱、梁、および一層の構造用合板で構成された簡易的な木造建物である。震源と地盤構造のどのような組み合わせが既存の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ために用いられる。

地盤変動

地殻変動のうち、変化の生じる範囲が狭く、変動源が比較的浅いところにあると思われるものの。

シミュレーション

実際の事象を、その事象を支配している法則に基づいてほぼ同様となるように組み立てた模擬空間で再現試行すること。コンピュータを用いた数値シミュレーションを指すことが多い。

社会素因

災害素因 の項を参照。

重力異常

重力の実測値とその緯度の標準重力の差のこと。たとえば、地下に高密度の岩石があると、重力値は標準重力値よりも大きくなり、低密度の岩石がある場合は小さくなる。これらに基づき重力値の測定から地下構造を推定することが可能である。

首都圏地震観測網

首都圏地域で発生する地震の研究と、その被害軽減を目的に、首都圏（東京都、茨城県、神奈川県、千葉県、山梨県、埼玉県）の約 300 カ所に設置された坑井式地震計で構成され、防災科学技術研究所が運用している観測網。通称の MeSO-net(メソネット)は、Metropolitan Seismic Observation network の略。

<https://www.mesonet.bosai.go.jp/mrportal/top>



首都直下地震

首都圏の直下を震源として発生する地震の総称で、特定の地震を指すものではない。内閣府の首都直下地震モデル検討会は、近い将来に発生が予想される M7-8



クラスの地震として想定した 20 通り以上の地震による震度分布・津波高などの検討結果を平成 25 年に公表した。

<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/>

（噴火の）準備過程

火山噴火は、火口から溶岩や火山ガスが急激に地表に放出される現象である。噴火の前には、地下深部で発生したマグマが、マントルや地殻内を上昇し、地殻浅部にマグマ溜まりとして蓄積される。さらに、内部の圧力が高まるなどの理由で、マグマが地表へ移動し溶岩や火山ガスとして噴出する。このように噴火に至るまでの一連の過程を噴火の準備過程という。

常時微動

地震計によって常時観測される地面のわずかな揺れのこと。常時微動を測定することにより、建物や地盤の揺れやすさの特徴を調べることができる。

徐動性（の）地すべり

土地の一部が降雨などによる地下水上昇等に起因してその形状を比較的保ったまま断続的にゆっくりと移動する現象。

史料

歴史時代の地震や火山噴火などの研究の素材となる、古文書、日記、絵図、建築などの総称。

震源

地震時の断層破壊が始まった場所を震源といい、一般に、緯度・経度・深さで表す。断層破壊が始まった場所であることを強調するために、破壊の開始点ということもある。なお、震源断層や震源域、震源過程を概略的に指して震源と呼ぶこともある。

震源域

地震時に破壊された領域全体のこと。

震源インバージョン

地震観測データから、震源の位置や断層面上のすべりを推定する解析手法。

震源核

断層全体が壊れる（地震発生）前に、断層の一部がゆっくりとすべり始める現象。すべりが低速なため地震波は放射されず、地震発生の準備過程で形成されると考えられている。震源核の周辺に生じる応力集中により震源核は徐々に大きくなり、ある限界の大きさ（臨界サイ

ズ)に達したときに、断層全体の急激な破壊(地震)が生じると考えられている。

震源過程

地震は震源域において断層面がすべることで生じる。このとき断層面上ですべりが伝播する過程のことを震源過程という。断層面上のすべりの速さや向きの時空間変化をあらかじめ指定する運動学的なものを指す。破壊や摩擦の物理法則と連続体力学を用いて断層のすべり伝播過程を動力的に記述する「動的(地震)破壊過程」とは区別されることが多い。

震央

地震時の断層破壊が始まった場所を震源といい、一般に、緯度・経度・深さで表す。震源を、直上の地表に投影した点を震央という。

震源断層

地震時に破壊され、すべりが生じた断層のこと。

震源断層モデル

断層面上におけるすべり量の分布やすべり方向、破壊の伝播様式を表すモデルのこと。

震度

地震によって生じる、地表における揺れの強さを表す指標。地震の規模を表すマグニチュードとは異なる。日本では、気象庁の震度階級により、揺れの強さは震度0から震度7までの10段階に区分される。1996年3月までは、体感及び建物被害などの状況から震度を推定していたが、現在は、計測震度計により算出される。震度と揺れの状況の関係は、気象庁のHPを参照。



<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/index.html>

水蒸気噴火

マグマなどの熱によって火山体内部または地表付近の水が気化して体積が膨張することで、水蒸気が急激に噴出する現象のこと。噴火口付近の岩石が砕け、火山砕屑物(火山岩塊や細粒火山灰)が飛散する。噴出物には、新鮮なマグマ由来の物質は含まれない。

すべり欠損

プレート境界面での相対変位を考えた時、プレート相対運動から期待される相対変位から、実際に生じている相対変位を減じた量をいう。すべり欠損が大きいということはプレート間が固着していることを意味する。

スラブ

重い海洋プレートは、大陸プレートなどのより軽いプレートの下へ沈み込む。海洋プレートが沈み込んだ部分をスラブという。

スラブ内地震

沈み込んだ海洋プレート（スラブ）内部で発生する地震。海溝軸の近くや、プレート境界地震が起こらないような深い場所で規模の大きな地震が起こる場合がある。

スロー地震

通常地震のように断層が急激にすべることなく、ゆっくりとすべることによって、蓄積されたひずみエネルギーを解消させる現象。ゆっくり地震ともいう。プレート境界で発生するスロー地震には、周波数が高いものから低いものの順に以下の種類がある。

・低周波微動

数分から数日の間、断続的に微弱な低周波振動（数 Hz～10 Hz）を発生させる現象。低周波地震の重ね合わせと考えられ、プレート境界のゆっくりすべりに伴って発生すると考えられる微動。火山性微動や常時微動とは発生原因が異なり、区別される。テクトニック微動とも呼ばれる。海溝付近の安定すべり域の深部側にある固着域に遷移する領域で発生する浅部低周波微動と、固着域からさらに深部の安定すべり域に遷移する領域で発生する深部低周波微動がある。

・超低周波地震

短周期（高周波）成分がほとんど含まれず長周期（低周波）成分が卓越する地震波を放射する地震で、10～100秒程度の帯域に卓越した周期を持つもの。浅部低周波微動と同様の場所で発生するものを浅部超低周波地震、深部低周波微動と同様の場所で発生するものを深部超低周波地震という。

・スロースリップイベント（SSE）

プレート境界面などの断層で発生する非地震性すべりで、非定常なゆっくりとしたすべり。継続時間が数日～10日程度の深部短期的SSEと半年～数年程度の長期的SSEがある。南海トラフの場合、長期的SSEは固着域の深部側に隣接した遷移領域で、深部短期的SSEは深部の安定すべり域により近い遷移領域で発生する。

スロースリップ

断層面やプレート境界面で発生する非地震性すべりで、非定常なゆっくりとしたすべり。長いものでは継続時間が数年に及ぶものもある。ゆっくりすべり、スロースリップイベント（SSE）、準静的すべりともいう。

静穏化

地震活動や火山活動が以前の活動よりも相対的に低下している現象。

脆弱性

災害素因 の項を参照。

正断層

上盤 の項を参照。

石基

火山岩を構成する組織の一つ。火山岩中の非常に細かい鉱物粒子からなる緻密な組織を石基と呼び、比較的大きな粒である鉱物結晶を斑晶と呼ぶ。

先行現象

地震や火山噴火の発生前に、震源域や火山体の内部や周辺で発生するさまざまな異常現象。地盤の隆起・沈降、地震活動の変化、電磁気異常、地下水の変化などが報告されている。前兆現象あるいは先駆現象と呼ばれることもある。

前震

比較的大きな地震が発生すると、それより小さな地震が直後から近くで続発する。この最初の大きな地震のことを本震、その後が続発する地震を余震という。また本震の前に、その震源の近くで本震よりも規模の小さな地震が起ることがあり、これを前震という。

浅部熱水系

熱水系 の項を参照。

総合防災学

自然環境から人間活動にいたる全てのプロセスを研究対象として、安心安全な社会基盤を構築するための政策について工学的な視点に立脚して設計していく学問領域のこと。

相似地震

地震波形がよく似ている地震群のこと。ほぼ同じ断層面で同じようなすべりが起きた場合に発生すると考えられる。発生場所（震源域）、発震機構解がほぼ同じで繰り返し発生することから、繰り返し地震と呼ばれることもある。

層序

地層の重なっている順序のこと。

増幅特性

表層地盤の影響で地震の揺れが増幅される特性のこと。サイト特性ともいう。

即時予測

地震や火山噴火の発生直後に得られるデータを用いて、強い揺れや津波、火砕噴出物の程度や広がり、到来時刻などの防災に役立つ事項を可能な限り速やかに予測すること。地震動の即時予測でよく知られているものとしては、気象庁で運用されている「緊急地震速報」がある。

測地学分科会

文部科学大臣の諮問に応じて、科学技術や学術の振興に関する調査審議をし、答申をする科学技術・学術審議会の下に設置され、測地学及び政府機関が行う測地事業計画に関する調査審議を行う組織。地震や火山の研究も測地学の一分野としてとらえられている。



https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/index.htm

速度弱化

断層面の摩擦強度が、断層のすべり速度の増大とともに小さくなることをいう。

側噴火

山頂付近の火口（山頂火口）ではなく、それ以外の中腹や山麓で発生する噴火。

損失超過確率曲線

年超過確率と損失額との関係を表した曲線のこと。

ダイク

岩脈ともいい、地層や岩石の割れ目にマグマが板状に貫入し固まったもの。

帯磁

磁性鉱物を含む岩石が磁化を獲得することをいう。

卓越周波数

地震動は様々な波数（単位時間当たりの振動回数）の波動の重ね合わせで表せるが、そのう

ち卓越したエネルギーを持つ周波数のことをいう。

脱ガス

マグマに溶け込んでいる揮発性（ガス）成分が、マグマの上昇に伴い圧力が低下するなどして溶解度が下がり、気泡として析出してマグマから分離することをいう。そのガス成分が周辺岩体に浸透・拡散するなどして十分に抜ければ爆発性が低下し、ガス成分が残れば爆発性が高まると考えられている。

脱文脈化

思い出に相当するエピソード記憶を、知識に相当する特定の場所や時間に関係せず、物事の意味を表わす一般的な知識・情報についての記憶（意味記憶）に転換する過程のこと。

地殻

地球の固体部分を構成する大きな成層構造のうち、一番外側の層。地殻の下にはマントルが存在する。地殻は海洋地殻と大陸地殻に分類され、海洋地殻は約 6 km のほぼ均一な厚さであるのに対し、大陸地殻は平均的には 30 km 程度の厚さであるが、安定な大陸地塊などでは 60～70 km の厚さに及ぶ場所がある。地殻の浅い部分を上部地殻、深い部分を下部地殻と呼ぶ。上部地殻と下部地殻の間に中部地殻が存在する場所もある。

地殻活動

地殻内で発生する現象全般の総称。

地殻（内）流体

地殻の内部に含まれる水やマグマなどの流体。地殻内で水は、岩盤の亀裂や岩石の空隙（間隙）、鉱物の粒界（岩石を構成する鉱物間の境界）などに存在していると考えられている。

地殻変動

地震などの断層運動やマグマの蓄積・放出などの火山活動によって地表に生じた変位やひずみ、傾斜の変化。地盤変動ということもある。

地下構造モデル

地震波（P 波、S 波）速度や密度、減衰など構造パラメータの空間分布を記述したモデルのこと。

地表地震断層

地震時の断層運動が地表に達して生じた地表面の食い違い。単に、地震断層、あるいは、地

表断層ということもある。

長期評価

地震発生可能性の長期評価の略。主要な活断層で繰り返し発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測したもの。

長周期地震動

規模の大きな地震が発生した場合に生じる、ゆっくりとした揺れのこと。高層ビルは固有周期が長く長周期地震動により影響を受けやすい。

潮汐

月や太陽などの他の天体の引力により生じる海水面の昇降（海洋潮汐）や地球の変形（固体潮汐）をいう。

超低周波地震

ゆっくりすべりや火山活動に伴って生じる地震で、短周期（高周波）成分がほとんど含まれず長周期（低周波）成分が卓越する地震波を放射する地震。プレート境界域で発生する超低周波地震については、**スロー地震** の項を参照。

津波地震

地震動から推定される地震の規模（マグニチュード）に比べて大きな津波を生じる地震。

津波シナリオ

津波の波源断層モデルを設定して行った津波計算結果から沖合の水圧変動、予測対象地域の沿岸水位分布、浸水深分布、到着時間を記録したもの。波源断層モデルを様々に設定して予め計算した多数のシナリオにより構築された津波シナリオバンクを用いて即時予測が行われる。

津波浸水想定

津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深。

津波堆積物

津波によって運ばれた砂や礫などが堆積したもの。これらの調査により、過去の津波の発生年代や浸水規模を推定することができる。

低周波地震

短周期成分がほとんど含まれず長周期成分が卓越する地震波を放射する地震。ただし、超低周波地震に比べて卓越する地震波の周波数は高い（概ね 1 ～ 数 Hz）。活火山近傍の下部地殻やモホ面付近などで発生する深部低周波地震，火山噴火に前後して火山体のごく浅い場所で発生する浅部低周波地震がある。

低周波微動

スロー地震 の項を参照。

テクトニック微動

スロー地震 の項を参照。

テフラ

噴火によって噴煙や火砕流として噴出した火山砕屑物（火山弾，軽石，火山灰など）が地表に堆積した物。噴火堆積物とも呼ばれる。

テレメータ

地震などの野外観測で得られるデータを，無線通信や電話回線，衛星通信などを介し，大学や研究機関などの観測拠点へ伝送すること。

電子基準点

GEONET の項を参照。

同化

複雑な現象の高精度予測のために，数値シミュレーションの結果として得られる物理量が観測データをなるべく再現できるように，適切な初期値や境界値，各種パラメータを推定すること。

撓曲（とうきょく）

地層が変位する場合に断層とならず，連続性が保持されて階段状に折れ曲がってできた構造。

当面 10 年間に取り組むべき地震調査研究

地震本部が，2019 年に取りまとめた「地震調査研究の推進について ―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第 3 期）―」において挙げられた，今後 10 年間に取り組むべき調査・研究



項目。 https://www.jishin.go.jp/about/activity/policy_revised/

土石流

火山泥流 の項を参照。

トレンチ調査

地質調査法の一つで、地表から溝状に掘り込み、地層を新たに露出させ、断面を観察する方法。地震分野では過去の断層運動の年代や周囲の環境の調査、火山分野では過去の噴火史を調査するために有力な方法である。

内陸地震

陸のプレートの子殻内で発生する地震。

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会

気象庁が「南海トラフ地震に関連する情報」を発表するにあたり、有識者からの助言を得るために開催される会。有識者6名の委員に加え、国土地理院、海上保安庁、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、産業技術総合研究所が参画する。観測データの状況を平常時から把握するために原則として月1回開催されるほか、観測データに異常が認められた場合には南海トラフ地震との関連性を緊急に評価するために臨時的に開催される。

逃げトレView

地域住民一人ひとりについて、津波からの避難がどの程度容易か困難かをスマートフォンのアプリで評価・診断できることを目指して研究・開発が進んでいるツール。

https://www.jamstec.go.jp/bosai-nankai/j/result_2d.html

二重偏波気象レーダー

偏波面が地面に平行な水平偏波とそれに直交する垂直偏波の二つの偏波を送受信し、水平偏波と鉛直偏波のレーダー反射強度やその比などを多数のパラメータの量を動じに観測できる気象レーダーのこと。降水量や降灰量とは水平偏波のレーダー反射強度の関係づけられており、水平偏波と鉛直偏波の比はレーダーの反射因子となる大気中の粒子の形状を反映している。気象用途や火山噴煙観測においては、Xバンド(8-12 GHz) およびCバンド(4-8 GHz) の周波数帯のレーダーが用いられている。

熱水系

地熱地帯や火山の地下で形成される、熱水が貯留・循環している領域のこと。

熱水変質

地下数百 m～数 km の高圧下において、温度が 100℃を超える熱水に長時間さらされることで、化学反応により岩石の組成が変化すること。

粘性

力を加えるとその速度に応じた速度で流動し、力を除くと静止するような物質の力学的性質をいう。

粘弾性

加えられた力に応じて変形し、力を除くともとの形に戻る弾性的性質と、加えられている力に応じた速さで時間とともに変形が進行する粘性的性質をあわせ持つ性質。粘弾性体に加えられた応力が、粘性的性質による変形に伴い減少していく現象を応力緩和という。

年超過確率

ある事象の稀さの度合いを表現するために、ある値を超える確率を 1 年あたりで算出したもの。毎年、1 年以内に発生する確率をいう。例えば、100 年に 1 度の時間雨量 150 mm を超える規模の降雨の場合、この事象の年超過確率は 1/100 である。

爆発的噴火

急激な体積膨張を伴い、岩石や火山灰、ガスなどを一気に放出する噴火を爆発的噴火と呼ぶ。噴火が爆発的になるか否か（爆発性）は以下の条件に左右される。一般にマグマの粘性が高い場合やマグマ中に多量の揮発性物質が含まれる場合に、爆発的な噴火になりやすい。また、マグマの熱で地下水が急膨張する水蒸気噴火も爆発的噴火である。マグマの粘性が低い場合やマグマ中の揮発性成分が噴火前に抜けてしまった場合は、爆発を伴わずにマグマが火口から噴出・流出する非爆発的な噴火になりやすい。

ハザードマップ

ある災害に対する危険な区域を示した地図。火山のハザードマップでは、噴石、降灰、火砕流、溶岩流、泥石流などの災害を引き起こす現象が波及すると予想される範囲などが図示される。

発震機構解

地震時の断層運動を断層面の向き（走向、傾斜角）と相対すべりの向き（すべり角）によって表現したものこと。メカニズム解ともいう。地震波の放射パターン（地震波の初動の振動方向）から求められたものを初動解、波形全体から求められたものを CMT 解と呼ぶ。初動解において、初動が上向きの領域と下向きの領域の境界を節面という。発震機構解のタイプ

は、正断層型、逆断層型、横ずれ断層型に大別される。震源域の応力場を知る手がかりとなる観測データである。

斑晶

石基 の項を参照。

半割れ

想定される震源域全体が一度にすべるのではなく、震源域が2つの部分に分かれて別々に明瞭な時間差をもってすべった場合、もしくは、片方の部分がすべり、もう片方の部分はすべっていない状態をいう。南海トラフ沿いでは、1854年に南海トラフの西側で発生した安政南海地震（M8.4）の30時間後に、その東側で安政東海地震（M8.4）が発生した事例を含めて4例の半割れが知られている。

ひずみ

岩盤（プレート）などの変形の程度をあらわす量。単位長さ当たりの変位量で定義される。ひずみの空間的な分布の状態をひずみ場という。

ひずみ集中帯

ひずみ速度 の項を参照。

ひずみ速度

単位時間当たりのひずみの変化量。ひずみ速度の空間的な分布の状態をひずみ速度場という。測地観測や地形から推定される地殻のひずみ速度が大きい領域はひずみ集中帯と呼ばれる。

非地震性すべり

断層面やプレート境界面で発生する、地震波を出さない、ゆっくりとしたすべり。

非弾性

外力によって変形した物質が、外力を除去すると元に戻る性質を弾性といい、元に戻らないものを非弾性という。非弾性で媒質が変形することを非弾性変形という。非弾性的性質には、粘性や塑性などの性質が含まれる。地殻の上部は主に弾性的性質を持つが、深部になると粘弾性的性質や塑性的性質を持つことが知られている。内陸地震の発生のメカニズムを理解するためには、粘弾性的性質や塑性的性質を持つ層の影響を理解することが重要であると考えられている。

比抵抗

単位断面積・単位長さ当たりの電気抵抗値のこと。電気伝導度の逆数。マグマの周辺では高温や流体の存在によって低い比抵抗値を示すことが多いため、地中の比抵抗の分布（比抵抗構造）を調べることで火山噴火の発生ポテンシャルや地下のマグマの状態を把握する研究が進められている。また、地震の破壊領域と地中の比抵抗構造との関連も注目されている。

非定常地殻変動

プレート境界面での固着によって陸側プレートが引きずりこまれることなどによる定常的な地殻変動とは異なる地殻変動のこと。

微動

長時間にわたって継続する、振幅の小さい地震動のこと。地震などが起こらなくても、波浪や風、人間活動などによって定常的に生じる振動を常時微動または雑微動という。プレート境界域で発生する微動については、スロー地震 の項を参照。

表層地盤

地表面近くに堆積した地層のこと。

表面波

地表面に沿って伝わる地震動。波の進行方向に対して地表が直交方向に水平に振動して伝播するラブ波と、上下方向に楕円を描くように振動するレイリー波がある。

ブシネスクモデル

沿岸部に到達した津波には、地形の影響を受けて波高が高くなる、局所的に波高が変化するという変形が生じる。これらの非線形性を考慮する非線形分散波理論の近似モデルの一つ。

フラジリティ曲線

基盤の最大加速度と建物の損傷規模に関する確率との関係を示す曲線のこと。例えば、建物の軽微な被害、大破するような被害、倒壊するような被害の境界を表すフラジリティ曲線が作成されれば、基盤の最大加速度を入力することにより、それぞれの被害発生確率を求めることができる。

プリニー式噴火

噴火様式 の項を参照。

プレート

地球表面は、十分に冷却して固くなっている最上部マントルと地殻を合わせた、厚さ 100 km 程度の複数の固い岩石の層で覆われている。この岩石層がプレートと呼ばれ、その動きをプレート運動という。また、隣り合う 2つのプレートの境界がプレート境界である。プレート境界で発生する地震はプレート境界地震、プレートの内部で発生する地震はプレート内地震と呼ばれる。

プレート境界

プレート の項を参照。

プレート境界地震

プレート の項を参照。

噴火警戒レベル

火山活動の状況に応じて「警戒が必要な範囲（生命に危険を及ぼす範囲）」と防災機関や住民などの「とるべき防災対応」を 5段階に区分した指標。噴火警戒レベルに応じた「警戒が必要な範囲」と「とるべき防災対応」が地方自治体の地域防災計画に定められた火山において、噴火警報・予報に付して発表される。

噴火警報

火山噴火に伴い、生命に危険を及ぼす火山現象の発生や危険が及ぶ範囲の拡大が予想される場合に、「警戒が必要な範囲（生命に危険を及ぼす範囲）」を明示して気象庁が発表する警報。噴火警戒レベルが運用されている火山においては、噴火警戒レベルを付して発表する。

噴火事象系統樹

事象系統樹 の項を参照。

噴火シナリオ

火山ごとに、噴火で想定される現象の発生推移を時系列的に整理したもの。噴火の規模や現象発生パターンなどの分岐判断について示した噴火事象系統樹を指しているが、防災対応を目的としたより実効的なものを指すこともある。

噴火様式

噴火時にマグマが地表に噴出する際、噴火の様子はマグマの性質や破碎の程度などによって異なり、いくつかのタイプに識別される。その異なる噴火の様子を噴火様式という。主な噴火様式としては、以下のようなものがある。

- ・プリニー式噴火：マグマの粘性が高い火山に見られる噴火様式で、数十分から1日程度にわたり、大量の火山ガスと火砕物（火山灰や軽石）からなる噴煙柱を形成する。噴煙柱の高さは成層圏に達し、広範囲に火砕物を降下させる。細粒の噴出物が成層圏にとどまり、世界の気候に影響を及ぼすこともある。噴煙柱の広がり小さいものは、準プリニー式噴火と呼ばれる。
- ・ブルカノ式噴火：マグマの粘性がやや高い火山に見られる噴火様式で、爆発的な噴火を伴う。火山弾や火山礫を空中高くに噴出し、細粒な火山灰を放出し黒色の噴煙を上げる。
- ・ストロンボリ式噴火：マグマの粘性が低い火山に見られる噴火様式で、比較的小規模で間欠的な爆発を規則的に繰り返す。噴出物のほとんどを、半ば固結した溶岩片が占め、火山灰はほとんど放出しない。噴火が長期にわたって継続することが多い。

噴砂

地震時の強い揺れにより、地下水を含んだ砂の層が液状化し、その上の地層を引き裂くように砂が上昇する現象。

噴石

火山噴出物 の項を参照。

平均変位速度

活断層の累積変位の履歴から推定される長期的な変位速度。

ベースシア係数

層せん断力係数（地震時に建物が受ける応答加速度）のこと。建築物全体の振動性状や設計上の耐震性能などを代表する値としても用いられる。多層建築物の場合は第一層、最下層にかかるものを指す。

ヘリウム同位体比

ヘリウム(He)の2つの安定同位体 ^3He , ^4He の比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) のこと。ヘリウムは希ガス元素の一種で、 ^3He の大部分は地球形成時に内部にとり込まれた始源的な成分に由来するもの、 ^4He の大部分は地球形成後、岩石中のウランやトリウムの放射壊変時に放出される α 粒子に由来した成分である。上部マントル起源のヘリウムはマグマ・熱水流体を介して地表付近に運ばれるため、火山ガス、深層ガス、温泉水・ガス等の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を測ることにより、これらのマントル物質およびマントルを通過した流体の地球表層への到達を検出できる。

ポアソン過程

事象の発生確率が時間に依存せず常に一定（先行する事象の発生や、その後の経過時間が、

後続の事象の発生確率に影響を与えない) であるような過程。

防災リテラシー

地震・火山噴火災害に対して適切な防災対策や避難行動をとることができるよう、地震・火山に関する基本的な知識、住む地域の災害リスクの知識、災害情報（警報、注意報）の知識、防災対策や避難方法に関する知識をもち、それらを活用する能力のこと。

放射非平衡

放射性元素が崩壊する過程で生じる中間壊変生成核種の存在比が、堆積・浸食・火山活動などの地学的な過程により、崩壊定数から想定される平衡状態の存在比からずれることがある。これを放射非平衡といい、平衡状態に戻るまでの存在比の変化は時間の関数となる。岩石に含まれる放射非平衡状態の元素の存在比を測定することで、ずれが生じてからの時間を知ることができる。

放射性炭素年代

大気中に一定の濃度で存在する炭素の放射性同位体 ^{14}C が半減期 5,568 年で放射性崩壊することを利用し、試料中に取り込まれた ^{14}C の濃度の減少の程度から算出される年代。

飽和磁化

磁界中の強磁性体は、磁界の強さとともに磁化は増加するが、ある磁界以上では一定の値を取る。この状態を磁気飽和といい、このときの磁化の大きさを飽和磁化という。この状態で強磁性体を磁界がない状態にしたときの磁化の大きさを飽和残留磁化という。

飽和残留磁化

飽和磁化 の項を参照。

マイクロライト

火道内の水に飽和したメルト（部分溶融体）が噴火の際に減圧する際に、メルト含水量が減少することで、融点が上昇するため結晶作用が駆動される。この結晶作用によってマイクロライトが形成される。マイクロライトの形成は、マグマのレオロジー的性質や脱ガス効率に影響するため、噴火ダイナミクスに変化を引き起こす。マイクロライトは数十 μm 以下のサイズの結晶のことを指し、1 μm 以下のサイズの結晶をナノライトと呼ぶことがある。

マグマ

岩石物質の高温溶融体。噴火によってマグマが地表に出たものを溶岩という。マグマが地殻内で結晶化したり、地殻物質を溶かしこんだりして、多様な組成のマグマができることを、

マグマの分化という。それにより、二酸化ケイ素含有量の少ない組成のマグマから、より二酸化ケイ素含有量に富む組成のマグマが生成されていく。マグマの分化によって、一般に粘性が大きくなる。

マグマ供給系

地下深部から火口までマグマが供給されるマグマ溜まりや火道を含むシステム全体のことを指す。

マグマ溜まり

火山活動の源であるマグマが蓄積されているところ。その存在位置、形状、内部構造、内容物の特性などの情報は、噴火現象の理解に欠かせないが、現状では、よく研究されている少数の火山に限り、それらのごく一部が明らかにされているのみである。

マグマ噴火

噴出物のほとんどがマグマから直接由来した噴火。ハワイ式噴火、ストロンボリ式噴火、ブルカノ式噴火、プリニー式噴火などが該当する。

摩擦実験

室内において、岩石中の模擬断層などに力を加えて滑らせる、地震の模擬的な実験のこと。

摩擦特性

断層に作用する応力や断層のすべり速度、周辺の温度、間隙流体圧などに対する、断層の摩擦強度の依存性。

摩擦パラメータ

摩擦構成則で用いられる媒介変数で、これらが摩擦強度の速度依存性などの摩擦の特性を表す。

マントル

地殻の下にある深さ約 2,900 km までの固体層。その上部（上部マントル）は、かんらん岩を主成分とする岩石で構成されている。

マントルウェッジ

海溝から沈み込んだ海のプレート（スラブ）と、上盤の陸の地殻に挟まれたくさび（ウェッジ）形のマントルの領域。

みんなで翻刻

歴史資料の文字を現代の活字に直してデータとして扱いやすくする作業（翻刻）を支援するツール。AI による自動くずし字認識を搭載するなど先進的な機能を備えるだけでなく、一般参加者を広く募集している。<https://honkoku.org/>

メルト包有物

マグマ中で斑晶が晶出する際に、斑晶中に周囲の流体（メルト）が捕獲されたもの。結晶ができた当時のメルトの組成を記録している貴重な情報源である。

モーメント

地震モーメント の項を参照。

モデル化

物理現象の時間変化を数式などで記述したり、諸要素の相互関係や因果関係を模式的に表現すること。地震や火山の分野においても、様々な現象について、実際の物理現象を再現するモデルの構築（モデル化）が試みられている。構築したモデルを用いて未来時刻までシミュレーションを行うことで、将来発生する現象の予測が行われる。

有限要素法

解析的に解くことが難しい微分方程式の近似解を数値的に得る方法のひとつ。構造力学分野で発達し、他の分野でも広く使われている手法。

ゆっくりすべり

スロー地震 の項を参照。

溶岩（流）

火山噴火時に火口から地表に出たマグマ物質。冷え固まって岩石となった後も「溶岩」と呼ばれる。溶岩が連続して地表を流れる現象を溶岩流という。

溶岩ドーム

火口から押し出された粘性の高い溶岩が、山体を流れ下ることなく固まってできたドーム状の地形。溶岩の塊そのものを指すこともある。

余効すべり

地震が発生した断層面と同一の面上で、地震の後に起こるゆっくりとしたすべり。

余効変動

地震の後に、余効すべりや粘弾性緩和などによって、震源域あるいはその周囲で発生する地殻変動。

横ずれ断層

上盤 の項を参照。

リアルタイム GNSS

GNSS の項を参照。

陸海統合地震津波火山観測網

防災科学技術研究所が運用する、全国の陸域から海域までを網羅する地震・津波・火山の観測網の総称。略称はMOWLAS（モウラス：Monitoring of Waves on Land and Seafloor の略）。<https://www.mowlas.bosai.go.jp/mowlas/>



以下の8つの基盤観測網（うち7つは既設，1つは整備中）から構成される。

陸域の基盤観測網

- ・高感度地震観測網（Hi-net）：全国に展開された約800点の高感度地震計からなる坑井式微小地震観測網。<https://www.hinet.bosai.go.jp/?LANG=ja>
- ・全国強震観測網（K-NET）：全国に、約20 km間隔で設置された1000点以上の地表強震観測点からなる観測網。
- ・基盤強震観測網（KiK-net）：全国に展開された約700点の強震観測点からなる観測網。各観測点で、地表と地中の双方に強震計が設置されている。
<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- ・広帯域地震観測網（F-net）：全国に展開された約70点の広帯域地震観測点からなる観測網。<https://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>
- ・基盤的火山観測網（V-net）：全国の16火山に設置された坑井式地震計・傾斜計と広帯域地震計，GNSSなどからなる観測網。<https://www.vnet.bosai.go.jp/>



海域の基盤観測網

- ・日本海溝海底地震津波観測網（S-net）：日本海溝沿いの海底に設置された，地震計と津波計が一体となった観測装置を海底光ケーブルで接続した観測網。観測装置は150カ所，ケーブル総延長は約5,700 kmである。
<https://www.seafloor.bosai.go.jp/S-net/>
- ・地震・津波観測監視システム（DONET）：海底に設置された地震計や水圧計などの観測機器ネットワークによって，地殻変動，地震動，津波などを計測する。南海



トラフの地震及び津波を常時観測監視するため、熊野灘沖に展開されたシステム (DONET1) と、紀伊水道沖に展開されたシステム (DONET2) からなる。

<https://www.seafloor.bosai.go.jp/DONET/>

- ・南海トラフ海底地震津波観測網 (N-net) : 南海トラフ地震の想定震源域のうち、観測網がまだ整備されていない高知県沖から日向灘にかけて設置が計画されているケーブル式海底地震・津波観測システムのこと。



<https://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku20a/k84-3-2.pdf>

リスクコミュニケーション

行政、専門家、地域住民、事業者などが、社会活動の中で発生するリスクや災害リスクなどについて情報を共有するとともに考え、出てきた問題点を相互のコミュニケーションによって解決していこうとする行い。

リスク評価

脅威をもたらす現象とその大きさ (ハザード)、発生する可能性のある災害に対する被害の受けやすさと対応能力の低さ (社会の脆弱性)、及び発生確率を組み合わせ、災害によって社会が被る被害の内容とその大きさを評価すること。

レオロジー

物質の変形や流動の大きさや速さと、単位面積あたりに働く力 (応力) の関係。

歴史地震

文献史料 (古文書、日記など) に記述されている歴史時代の地震、またこれによる被害のこと。

GS 立体図

地形図から判読できる3つの地形量「①標高」「②傾斜」「③凹凸 (曲率)」を異なる色調で彩色し、複数枚を重ねて透過処理することで立体表現した図。

DAS 計測

分散型音響センシング (Distributed Acoustic Sensing) 技術を用いた計測。光ファイバーケーブルに光パルスを入力すると、ファイバー中の不純物による散乱が生じることを利用して、散乱点のわずかな移動を精密に検出することで、光ファイバーケーブルに沿う方向の変形を短い間隔毎に計測できる。光ファイバーケーブルが敷設されたルート上に極めて短い間隔で多数並ぶ観測点それぞれで、ケーブルが敷設された方向のひずみの変化を測ると同等のデータが得られる。

DONET

陸海統合地震津波火山観測網 の項を参照。

e コミマップ

防災科学技術研究所が「災害リスク情報プラットフォームの研究開発」の一環として研究開発している e コミュニティ・プラットホームの一連の製品のうちのひとつ。別名、庁内情報共有・発信基盤システム。地域の防災情報などを登録することで、防災マップの作成し、地域住民の防災対策の検討と実施を支援する。



<https://ecom-plat.jp/index.php?gid=10457>

GEONET

国土地理院が運用する GNSS 連続観測システムのこと (GNSS の項を参照)。全国に展開された約 1,300 ヶ所の電子基準点とつくば市にある GEONET 中央局からなる。<https://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi41012.html>



GIS

地理情報システム (Geographic Information System) の略。地理的位置に関する情報を持ったデータ (空間データ) を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、時間や空間の面から分析できる技術である。

GNSS

全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System) の略称。地球上での位置決めや時刻同期を目的とした電波を発射する人工衛星群、地上の支援システム、及び電波を受信して 3 次元的な地球上の位置や正確な時刻を知る目的で使用する利用者群の総称。米国が構築した GPS、ロシアの GLONASS や、ヨーロッパ連合 (EU) の Galileo、日本の QZSS (みちびき) などのシステムがある。

ITRF

国際地球基準座標系 (International Terrestrial Reference Frame) の略。GNSS, VLBI, SLR などの宇宙測地観測データに基づき国際協定によって決定・維持されている三次元直交座標系であり、地球の重心を座標の原点としている。これに準拠して位置を定義すれば、プレート運動による 2 地点間の相対的な位置の時間変化を容易に表すことができる。

JDXnet

全国地震観測データ流通ネットワーク (Japan Data eXchange network) の略。日本列島に展開されている地震観測点のデータの全国規模のリアルタイム流通ネットワーク。

J-SHIS

地震調査研究推進本部が取りまとめた「全国地震動予測地図」に関するデータを一元的に管理し、地震ハザードを地図上に表示する Web サービス。防災科学技術研究所により運用されている。<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>



K-NET

陸海統合地震津波火山観測網 の項を参照。

KiK-net

陸海統合地震津波火山観測網 の項を参照。

MCMC

インバージョン解析において、観測値を合理的に説明する物理モデルの変数を求める際に、変数をランダムに変動させる探索法であるマルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo methods) の略。従来の探索法に比べて、初期値の影響を低減し、変数が取りうる値を広く探索でき、最終的に得られた変数の信頼度を定量的に評価できるという利点がある一方、計算に時間がかかるという課題がある。

N型地震

火山で発生する低周波地震の一つ。単色の振動あるいは調和型の振動が時間とともにゆっくりと減衰する波形を有する。

Pi-SAR X3

情報通信研究機構が開発した、航空機搭載合成開口レーダーの一つ。従来機よりも2倍の高周波帯域に対応した送受信機とアンテナ、高速・大容量の観測データ記録装置、観測データを準リアルタイムで処理する機上処理装置を搭載する。2021年12月に世界最高の分解能15cmが定常的に得られることが実証された。

PLUM法

Propagation of Local Undamped Motion 法の略。震源や地震の規模の推定は行わず、震度を予測しようとする地点の周辺の地震計で観測された揺れの強さから、直接、予測対象地点の震度を予想する新しい即時予測手法。巨大地震が発生した際でも精度良く震度を予測できる。

Q値

地震波の減衰の強さを表すパラメータ。Quality factor の略。Q値が小さいほど地震波は減

衰しやすい。

RC 造

鉄筋コンクリートで柱や梁などの主要構造部を構築している造りをいう。耐久性，耐震性，耐火性に優れる。

REGARD

国土地理院が運用する電子基準点リアルタイム解析システム (REaltime GEONET Analysis for Rapid Deformation monitoring) の略で，リアルタイム測位サブシステム，イベント検知サブシステム，断層モデル推定サブシステムの3つのサブシステムで構成される。それぞれが，リアルタイム測位による変位時系列の計算，巨大地震発生の検出，自動断層モデル推定による地震規模の計算を行っている。

S-net

陸海統合地震津波火山観測網 の項を参照。

Slip Tendency 解析

断層の姿勢と周囲の応力状態から，断層面に作用する力 (せん断応力と垂直応力) を計算し，その二つの応力の比の大きさにより断層の動きやすさを定量的に表現する解析。

SAR

合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar) の略。レーダーを搭載する人工衛星や航空機の移動中に得たデータを合成することで移動方向の開口面を大きく拡大し，大型アンテナと同等の高い分解能を実現したレーダーシステム。SAR 干渉解析 (Interferometric SAR, InSAR) は，同じ場所を撮影した時期の異なる2回の画像の差をとる (干渉させる) ことにより地表面の変動を詳細に捉える手法である。

SINET

Science Information NETwork 6 の略で日本全国の大学・研究機関などの学術情報基盤として，国立情報学研究所が構築，運用している情報通信ネットワーク。

<https://www.sinet.ad.jp>

VEI

Volcanic Explosivity Index の略で，火山噴火の規模を表す指数。爆発的噴火に伴い降下した火山砕屑物の体積に基づいて推定される。指数の推定の際，溶岩ドームや溶岩流として噴出したマグマの量は含まれない。VEI は0から8までの9段階に区分される。1は小噴火，

2～3は中規模噴火，4～5は大規模噴火，6はカルデラ形成をともなう巨大噴火，7以上は地球規模に影響を及ぼす破局的な噴火に対応する。

VLBI

超長基線電波干渉法 (Very Long Baseline Interferometry) の略。はるか遠くにある天体から放射される電波を利用して，アンテナ間の正確な距離を測定する手法。数千キロメートル離れたアンテナ間の距離を，わずか数ミリメートルの誤差で測ることができる。

Vp/Vs (比)

P 波速度と S 波速度の比のこと。岩石の種類や流体が含まれるかどうかによって値が変わる。

Wave Gradiometry 法

アレイ観測データを解析する方法の一つ。波動場の空間勾配を用いることにより，波動場の伝播方向とみかけ速度に加えて振幅の空間変化に関する情報も推定することができる。

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） 実施機関

総務省	国立研究開発法人情報通信研究機構
文部科学省	国立大学法人等 北海道大学大学院理学研究院 弘前大学大学院理工学研究科 東北大学大学院理学研究科 東北大学災害科学国際研究所 秋田大学大学院国際資源学研究科 新潟大学災害・復興科学研究所 東京大学大学院理学系研究科 東京大学大学院情報学環 東京大学地震研究所（共同利用・共同研究拠点） 東京大学大気海洋研究所 東京大学史料編纂所 東京大学地震火山史料連携研究機構 東京工業大学理学院火山流体研究センター 千葉大学大学院理学研究院 富山大学学術研究部都市デザイン学系 名古屋大学大学院環境学研究科 京都大学大学院理学研究科 京都大学防災研究所（共同利用・共同研究拠点） 神戸大学海洋底探査センター 鳥取大学大学院工学研究科 高知大学理工学部 九州大学大学院理学研究院 鹿児島大学大学院理工学研究科 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 立命館大学総合科学技術研究機構
	国立研究開発法人防災科学技術研究所
	国立研究開発法人海洋研究開発機構
	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所
経済産業省	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
国土交通省	国土地理院
	気象庁
	海上保安庁海洋情報部
都道府県	地方独立行政法人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
	山梨県富士山科学研究所

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次） 令和4年度研究課題一覧

実施機関名	課題番号	研究課題名	研究代表者
北海道大学	HKD_01	津波堆積物情報の高度化と実践的活用に関する研究	西村裕一
	HKD_02	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	栗谷豪
	HKD_03	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	吉村俊平
	HKD_04	電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築	橋本武志
	HKD_05	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	谷岡勇市郎
	HKD_06	火山活動即時解析表示システムの開発	橋本武志
	HKD_07	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	橋本雄一
	HKD_08	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	高橋浩晃
	HKD_09	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	高橋浩晃
弘前大学	HRS_01	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	前田拓人
	HRS_02	データ同化に基づく津波現況把握と即時予測の高度化	前田拓人
東北大学	THK_01	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	岡田知己
	THK_02	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	松澤暢
	THK_03	噴火発生時刻の即時把握と噴火ダイナミクスの研究	西村太志
	THK_04	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	中村美千彦
	THK_05	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	趙大鵬
	THK_06	スラブ内地震の発生メカニズムに関する研究	東龍介
	THK_07	地殻応答による断層への応力载荷過程と断層間相互作用の解明と予測	岡田知己
	THK_08	集中地震観測による火山体構造・火山現象発生場の解明	山本希
	THK_09	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	内田直希
	THK_10	地殻変動に伴う大気中ラドン濃度変動	長濱裕幸
	THK_11	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	西村太志
	THK_12	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	太田雄策
	THK_13	地震・火山データの無線伝送技術の開発	内田直希
東北大学災害科学国際研究所	IRID01	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	蝦名裕一
	IRID02	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	木戸元之
	IRID03	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	佐藤源之
	IRID04	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	福島洋
	IRID05	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	蝦名裕一
	IRID06	災害に関わる個人の心理・行動特性とその評価・活用・調整に関する研究	杉浦元亮
新潟大学	NGT_01	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	片桐昭彦
	NGT_02	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	田村圭子
東京大学地震研究所	ERI_01	歴史地震史料を活用した地震学的解析	加納靖之
	ERI_02	マグマ溜まりの時間発展と噴火様式との関連性	安田敦

	ERI_03	大規模噴火に伴う諸現象とそれを駆動するマグマ溜り—火道システムの解明	前野深
	ERI_04	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	亀伸樹
	ERI_05	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	篠原雅尚
	ERI_06	より現実的な断層面ダイナミクス	中谷正生
	ERI_07	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	大湊隆雄
	ERI_08	日本・NZ 国際協力によるヒクラ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	望月公廣
	ERI_09	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	飯高隆
	ERI_10	東日本における長期的重力変化の観測とモデリング	今西祐一
	ERI_11	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	篠原雅尚
	ERI_12	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	蔵下英司
	ERI_13	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	中谷正生
	ERI_14	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	古村孝志
	ERI_15	首都圏の地震被害分布と地震像の解明	酒井慎一
	ERI_16	堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明	三宅弘恵
	ERI_17	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	前野深
	ERI_18	観測研究データへの永続的識別子付与	加納靖之
	ERI_19	データ流通網の高度化	鶴岡弘
	ERI_20	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	新谷昌人
	ERI_21	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	田中宏幸
	ERI_22	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	篠原雅尚
	ERI_23	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	塩原肇
	ERI_24	マルチプラットフォーム次世代 WIN システムの開発	中川茂樹
	ERI_25	研究成果共有データベースの構築	鶴岡弘
東京大学理学系研究科	UTS_01	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	後藤和久
	UTS_02	巨大地震に伴う粘弾性余効変動の解明	田中愛幸
	UTS_03	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	井出哲
	UTS_04	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	角森史昭
	UTS_05	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	安藤亮輔
	UTS_06	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	森俊哉
東京大学情報学環	III_01	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	関谷直也
東京大学史料編纂所	UTH_01	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	榎原雅治
	UTH_02	近代以前の地震・火山災害に関する多角的研究	杉森玲子
東京大学大気海洋研究所	AORI01	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	朴進午
	AORI02	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	小畑元
東京大学地震火山史料連携研究機構	HMEV01	地震火山関連史料に基づく低頻度大規模地震火山災害の調査	大邑潤三
	HMEV02	地震関連史料に基づく近代以前の地震活動の調査	榎原雅治

東京工業大学	TIT_01	海域火山活動に伴う熱水活動の実験的研究と観測研究	野上健治
	TIT_02	小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の開発	野上健治
	TIT_03	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	寺田暁彦
千葉大学	CBA_01	電磁気学的な地震先行現象の総合的研究	服部克巳
富山大学	TYM_01	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	石崎泰男
	TYM_02	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	堀田耕平
	TYM_03	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	井ノ口宗成
名古屋大学	NGY_01	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～	山中佳子
	NGY_02	南西諸島海溝におけるプレート間固着状態の解明	田所敬一
	NGY_03	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	鈴木康弘
	NGY_04	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	田所敬一
	NGY_05	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	鈴木康弘
	NGY_06	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	室井研二
	NGY_07	御嶽山地域の防災力向上の総合的推進に関する研究	山岡耕春
	NGY_08	小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発	山中佳子
京都大学防災研究所	DPRI01	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	伊藤喜宏
	DPRI02	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	澁谷拓郎
	DPRI03	内陸地震の発生機構と発生場の解明とモデル化	飯尾能久
	DPRI04	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	深畑幸俊
	DPRI05	測地観測データに基づく内陸地震長期評価手法の開発	西村卓也
	DPRI06	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	井口正人
	DPRI07	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	中道治久
	DPRI08	広帯域強震動予測の高度化に関する研究	関口春子
	DPRI09	断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究	岩田知孝
	DPRI10	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	土井一生
	DPRI11	火砕流の発生と流下予測	為栗健
	DPRI12	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	藤田正治
	DPRI13	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	中道治久
	DPRI14	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	矢守克也
京都大学理学研究科	KUS_01	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	宮崎真一
	KUS_02	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	大倉敬宏
	KUS_03	阿蘇で学ぶ地震・火山災害への備え	大倉敬宏
奈良文化財研究所	NAB_01	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	村田泰輔
神戸大学	KOBE01	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	島伸和
鳥取大学	TTR_01	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	香川敬生

高知大学	KOC_01	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	大久保慎人
	KOC_02	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	大久保慎人
九州大学	KYU_01	地震火山相互作用下の内陸地震空間ポテンシャル評価	相澤広記
鹿児島大学	KGSM01	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	八木原寛
兵庫県立大学	HYG_01	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	阪本真由美
	HYG_02	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	澤田雅浩
立命館大学	RTM_01	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	小笠原宏
	RTM_02	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	川方裕則
情報通信研究機構	NICT01	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	川村誠治
防災科学技術研究所	NIED01	多角的火山活動評価に関する研究	藤田英輔
	NIED02	地震・津波予測技術の戦略的高度化研究	汐見勝彦
	NIED03	巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究	齊藤竜彦
	NIED04	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	中村洋光
	NIED05	基盤的観測網の運用	青井真
海洋研究開発機構	JAMS01	地震発生帯モデリング研究	堀高峰
	JAMS02	海底広域変動観測研究	石原靖
	JAMS03	海底火山観測研究	小野重明
産業技術総合研究所	AIST01	活断層データベースの整備	吾妻崇
	AIST02	主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究	近藤久雄
	AIST03	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	古川竜太
	AIST04	津波浸水履歴情報の整備	澤井祐紀
	AIST05	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	重松紀生
	AIST06	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	松島喜雄
	AIST07	高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究	今西和俊
	AIST08	海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明	澤井祐紀
	AIST09	地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上	松本則夫
	AIST10	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	下司信夫
	AIST11	アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備	宝田晋治
国土地理院	GSI_01	内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明	宗包浩志
	GSI_02	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	宗包浩志
	GSI_03	火山地域のマグマ供給系のモデリング	宗包浩志
	GSI_04	GNSS 連続観測(GEONET)	宗包浩志
	GSI_05	地形地殻変動観測	宗包浩志
	GSI_06	物理測地観測	宗包浩志
	GSI_07	宇宙測地技術による地殻変動監視	宗包浩志
	GSI_08	GNSS 観測・解析技術の高度化	宗包浩志
	GSI_09	全国活断層帯情報整備	宗包浩志
	GSI_10	火山基本図・火山土地条件図整備	宗包浩志
	GSI_11	地殻活動データベース整備・更新	宗包浩志
気象庁	JMA_01	地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究	小林昭夫
	JMA_02	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	鬼澤真也

	JMA_03	火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価	菅井明
	JMA_04	地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化	藤原善明
	JMA_05	化学的手法に基づく火山活動監視・予測に関する研究	高木朗充
	JMA_06	地震動・津波即時予測の高度化に関する研究	林 豊
	JMA_07	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	新堀敏基
	JMA_08	火山活動の総合判断	中村政道
	JMA_09	地震観測、地殻変動観測	宮岡一樹
	JMA_10	潮位観測	鈴木博樹
	JMA_11	地磁気精密観測	仰木淳平
	JMA_12	全国における火山観測の強化	長谷部大輔
	JMA_13	地磁気観測成果のデータベース化	谷口秀隆
	JMA_14	全国地震カタログの作成	森脇健
	JMA_15	火山現象に関する基礎データの蓄積と活用	小久保一哉
	JMA_16	地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有	今村翔太
	JMA_17	防災・減災に関する知識の普及啓発	今村翔太
海上保安庁	JCG_01	海洋測地の推進	三枝隼
	JCG_02	験潮	林王弘道
	JCG_03	海底地殻変動観測	石川直史
	JCG_04	海域火山観測	高梨泰宏
北海道立総合研究機構	HRO_01	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	高橋良
	HRO_02	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	仁科健二
山梨県富士山科学研究所	MFRIO1	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	吉本充宏
	MFRIO2	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	本多亮
公募研究	KOBO08	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	織原義明
	KOBO17	富士山頂における全磁力通年観測	佐柳敬造
	KOBO19	東京海洋大学練習船での海底地殻変動観測	中東和夫
	KOBO21	石基組織から読み解く北海道摩周火山の噴火推移過程	佐野恭平
	KOBO22	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	知北和久
	KOBO23	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	望月伸竜
	KOBO25	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	横田裕輔
	KOBO26	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	児玉哲哉
	KOBO27	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	大場武
	KOBO28	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	伴雅雄
拠点間連携共同研究	CTOC01	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	加藤尚之・松島信一
	CTOC20	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	上田恭平
	CTOC21	即時建物被害予測技術の高度化	楠浩一
	CTOC22	津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価	宮下卓也
	CTOC23	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	倉田真宏
	CTOC26	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	齊藤隆志

CTOC30	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	牧紀男
CTOC31	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	齊藤隆志
CTOC32	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	松島信一
CTOC33	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-	金田平太郎
CTOC34	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	大西正光
CTOC35	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	松島信一
CTOC36	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	王功輝
CTOC37	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	山中浩明
CTOC38	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	秦康範
CTOC39	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	伊藤恵理
CTOC40	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	境有紀

[参 考 资 料]

計画推進部会および総合研究グループ等別の成果

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（第2次）」（建議）に示された実施内容について、令和4年度の成果を計画推進部会および総合研究グループ等別に学術報告として取りまとめた。

この報告は、地震・噴火予知研究協議会¹⁾に設置された8の計画推進部会と分野横断で取り組む総合研究を推進する体制として5の総合研究グループ、及び地震火山観測研究を災害研究に結びつけるための共同研究を実施する東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間連携委員会²⁾の責任で編集したものである。

この報告に基づいて、難解な学術用語をなるべく言い換え、平易な文章で表現して書き直したものが、本編の「令和4年度の成果の概要」である。本編の「令和4年度の成果の概要」の内容について、さらに詳細を知りたい場合、原著論文を参照したい場合には、以下の報告をご参照いただきたい。

○東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会

「地震（現象解明）」計画推進部会長	飯高 隆（東京大学大学院情報学環）
副部会長	望月公廣（東京大学地震研究所）
副部会長	岡田知己（東北大学大学院理学研究科）
「地震（長期予測）」計画推進部会長	西村卓也（京都大学防災研究所）
副部会長	宍倉正展（産業技術総合研究所）
「地震（中短期予測）」計画推進部会長	中谷正生（東京大学地震研究所）
副部会長	川方裕則（立命館大学理工学部）
「火山」計画推進部会長	中道治久（京都大学防災研究所）
副部会長	前野 深（東京大学地震研究所）
「災害誘因評価・即時予測」計画推進部会長	太田雄策（東北大学大学院理学研究科）
副部会長	為栗 健（京都大学防災研究所）
「防災リテラシー」計画推進部会長	高橋 誠（名古屋大学大学院環境学研究科）
副部会長	井ノ口宗成（富山大学都市デザイン学部）
「史料・考古」計画推進部会長	榎原雅治（東京大学史料編纂所）
副部会長	山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）
「観測研究基盤」計画推進部会長	鶴岡 弘（東京大学地震研究所）
副部会長	青山 裕（北海道大学大学院理学研究院）
「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー	伊藤喜宏（京都大学防災研究所）
「首都直下地震」総合研究グループリーダー	酒井慎一（東京大学大学院情報学環）
「千島海溝沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー	高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）
「桜島大規模火山噴火」総合研究グループリーダー	井口正人（京都大学防災研究所）
「高リスク小規模火山噴火」総合研究グループリーダー	大湊隆雄（東京大学地震研究所）

○東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会

研究代表者	松島信一（京都大学防災研究所）
研究代表者	加藤尚之（東京大学地震研究所）

-
- 1) 東京大学地震研究所には、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画で立案された研究を推進することを目的に設立された地震・火山噴火予知研究協議会がある。ここでは、本観測研究計画に参加する全国の大学等が連携し、研究機関と協力しながら研究を推進している。また、科学技術・学術審議会測地分科会地震火山観測研究計画部会では、大学、研究機関、行政機関が連携して計画の推進を図っている。地震・火山噴火予知研究協議会には、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の、効率的かつ調和的な実施を推進するために、8の計画推進部会と5の総合研究グループが設置されている。
 - 2) 「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所は、地震や火山噴火の現象解明・予測の研究成果を災害軽減につなげるための組織的な共同研究を実施するために、拠点間連携共同研究委員会を設置している。

1 (1) 地震 (現象解明)

「地震 (現象解明)」計画推進部会長 飯高 隆

(東京大学・大学院情報学環)

副部会長 望月公廣

(東京大学・地震研究所)

副部会長 岡田知己

(東北大学・理学研究科)

地震や火山噴火が多発する我が国において、地震、火山噴火に伴う現象を理解し、これらによる災害を減少させることは重要な課題である。そのため、災害軽減に貢献することを目指して、地震・火山の観測研究を推進することの意義は大きい。地震がいつ、どこで、どのようなメカニズムで、どのような頻度で発生したかについての解明は基本的な情報を与える。地震現象の根本的な理解を深めるためには低頻度大規模現象を含む地震現象の多様性について特性を理解し、それらの現象が発生する仕組みや発生する場について観測研究・理論研究・実験研究の多方面からアプローチすることが大切である。

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

低頻度で大規模な地震現象の研究では、長期間における地震活動を把握する必要がある。史料や考古学的データや地質データ等の長期間にわたるデータの解析に加えて近代的な観測データを用いた解析を行い、研究を進めていく必要がある。2011年3月11日に、M9という巨大な地震の発生を経験した我々は、低頻度でも巨大な地震がいかに甚大な被害を及ぼすのかを実体験した。低頻度の巨大地震については、その災害を想定し対策を講ずることが非常に重要である。その現象の発生が低頻度であるがゆえに、我々はその実像をはっきりと理解することが難しいが、様々な観測や実験によって現象を明らかにすることが重要である。

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観測を継続した研究がなされた(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_05])。2022年5月に備船(第三開洋丸)およびウェーブグライダーによって根室沖での観測を実施したほか、6月と10月に日本海溝沿いでの観測がウェーブグライダーにより実施された。その結果、根室沖の海溝陸側斜面に設置されている2観測点で約7 cm/年の変位速度が得られた(図1)。これはプレート境界において、プレートが浅部まで固着していることを強く示唆する結果である。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、船舶とウェーブグライダーという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(東北大学災害科学国際研究所[課題番号:IRID02])。日本海溝沿いの水平変位速度の分布については、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が示唆された(東京大学地震研究

所[課題番号：ERI_05])。

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データはデコルマに沿って全く得られていない。そこで、東北沖の日本海溝に発達しているデコルマの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(東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI01])。海底下のP波速度構造モデル(図2)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。

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(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01])。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。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。また、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ことがわかった。

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

地震発生過程の解明とモデル化においては、観測結果や実験結果の解析から理解が進んだ。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。その際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。そこで非球状粒子のレオロジーの微視的メカニズム解明に資するための数値計算コード開発を開始した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04])。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。

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、差応力を精密に決定する手法を確立した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_06]）。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。

通常地震の発生予測については、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ータの違いを示すことができた（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_03]）。

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あり、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して消失する、ホモクリニック分岐であることをつきとめた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_06]）。

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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_06]）。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、稍深発地震の原因と目されるスラブマンタ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用い、深さ 60 km の稍深発地震域に相当する封圧 0.6-1.7 GPa、温度 500-700 °C で変形実験を行った。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となりうることがわかった。

南西諸島北部域における海底地震観測では、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）した通常の微小地震に対して、Double-Difference 法による高精度相対震源決定を適用した（鹿児島大学 [課題番号：KGSM01]）。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、M3 イベントを含む微小地震の震源が上盤内で移動していることがわかった（図 3）。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、両者の時空間的な関係が示唆された。

南アフリカの鉱山において、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、その推定に成功した（立命館大学 [課題番号：RTM_01]）。また、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 20 wt% 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

したことなどが示された（立命館大学〔課題番号：RTM_01〕）。

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た一方、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、東北大学理学研究科〔課題番号：THK_02〕）。また、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（図5、東北大学理学研究科〔課題番号：THK_07〕）。

（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

地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化においては、多くの観測研究がなされ、重要な成果が得られた。まず、海溝型地震の発生場について、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（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI01〕）。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（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI01〕、産業技術総合研究所〔課題番号：AIST04〕と共同で実施）。

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過して八幡浜市までの測線について、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（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI02〕）。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（図6）。

ニュージーランド、ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部のギズボーン沖の観測について、海底地震計波形記録には、先行研究で確認された120個以上の微動が見られることが視認されたため、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（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_08〕）。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微動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深さ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深さ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。今回求められた微動のエネルギーはほとんどが 10^2 – 10^6 Jに収束しており、特に 10^3 – 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 – 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。

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、展開している(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS02])。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した。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。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を調べ、それらの対応状況を明らかにした(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS02])。

スラブ内地震やマントルウェッジに関する研究も進められた。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 波トモグラフィ解析を行った結果、マントルウェッジ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(東北大学理学研究科[課題番号: THK_05])。特に、太平洋スラブは表面から 20 km の厚さ範囲で蛇紋岩化マントルを示す高 P 波速度 (V_p)、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 V_p 域が局在することが明らかとなった(図 7、東北大学理学研究科[課題番号: THK_06])。

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(海上保安庁[課題番号: JCG_03])。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、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ことを示した。

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(弘前大学[課題番号: HRS_01])。また、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をレシ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(弘前大学[課題番号: HRS_01])。

内陸地震発生や火山活動を支配する場の研究においても多くの観測研究がなされた。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。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、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。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

たデータを解析に利用することを可能にした(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03])。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、反射体の上面の位置を精度よく推定することに成功した。加えて、高周波帯域までのレシーバ関数解析を行うことにより、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5 km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(図8, 京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03])。

長野県西部地域の10 kHz 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(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03])。この中の領域において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。この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、東落ち傾斜 45° 、すべり方向 65° 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N125° Eとし、差応力を13 MPaとした。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ことがわかった(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03])。

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、地殻流体の分布・循環についての研究が行われた(図9, 京都大学防災研究所[課題番号:DPRI04])。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解析を用いた。その結果、既存研究では見出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。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(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI04])。

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载荷が挙げられる。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。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行われた(九州大学[課題番号:KYU_01])。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10)。

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、別府島原地溝帯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。

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（九州大学[課題番号：KYU_01]）。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ングされた。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 年熊本地震の結果と類似していることがわかった。

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、3 本の測線において解析を行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_09]）。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た。

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。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わかった。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のが分かった。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 $3\sim 100 \Omega\text{m}$ であることが分かった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_09]）。

箱根火山周辺域における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相似地震の検出を行った（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。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。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 11、東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。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 V_p/V_s 領域を震源域付近に確認した。また、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12, 東北大学理学研究科[課題番号: THK_02])。

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(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_10])。弟子屈および蔵王では、それぞれ産業技術総合研究所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。

内陸地震の発生過程を理解すべく海外での観測研究もおこなわれた。2016年ニュージーランド・カイクウラ地震の震源域の応力場を推定し、Slip Tendency (ST) 解析によりカイク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(東北大学理学研究科[課題番号: THK_01])。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。

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た(産業技術総合研究所[課題番号: AIST05])。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た。また、Na端成分斜長石の焼結方法を確立した。

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(国土地理院[課題番号: GSI_01])。予察的な結果ではあるが、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(国土地理院[課題番号: GSI_01])。

地震発生場の解明とモデル化においては、シミュレーションを用いた解析も行われている。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、レオロジー的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(図13, 東北大学理学研究科[課題番号: THK_07])。

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(東京大学理学系研究科[課題番号: UTS_02])。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、東北地方太平洋用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。

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ために、深部低周波地震の震源域があつて第四紀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が行われている（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_04]）。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。この間の通常の地震は4回、深部低周波地震は25回あつたが、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。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。この間の通常の地震は4回、深部低周波地震は28回あつたが、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。大紀観測点では2022年12月15日から観測を継続している。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、この間の通常の地震は0回、深部低周波地震は6回あつたが、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、今後見極めていく必要がある。

ビッグデータの解析やデータベースの公開の研究も進んだ。日本全国の地殻内応力マップに関する論文を公表し、その結果を産業技術総合研究所の地殻応力場データベースで公開した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。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。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た（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。

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

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月から東京都文京区根津周辺における稠密観測が継続されている（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。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。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。

東北地方にある2つの強震観測点の地下構造を推定した（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。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拡散波動場理論によって確認した。K-NET 青森では、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、気象庁で階上町道仏観測点と呼ばれている観測点である。ここでは、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、地盤応答の非線形性についても検討した（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

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

地震の現象解明を目指した観測機器の技術開発の研究も行なわれている。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が進められた（東京大学地震研究所[課題番号:ERI_23]）。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 $-30 \text{ micro rad/}^\circ\text{C}$ の温度係数で明確に存在しており、 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 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。

これまでの課題と今後の展望

低頻度大規模地震の現象解明においては、千島海溝沿いや三陸沖に設置された観測機器による海域観測が進められており、データが蓄積されている。海溝近くの観測点でもプレートの沈み込みの方向に大きく動いていることから、プレートが浅部までカップリングしていることを示した。海域でのGNSS-Aによる海底地殻変動観測は、ウェーブライダー等の新しい技術開発によって、高密度高頻度での観測が可能となりつつあり、より精度の良いデータがとられることが期待される。また、S-netを用いた解析も進み、海域でより精密な構造が得られつつある。このことは今後のシミュレーション等のより正確な解析に貢献するものと思われる。南海トラフにおける海底地殻変動の観測においては安定した精度でデータが得られつつあり、モニタリングが可能となりつつある。プレートの沈み込みに伴う浅部微動の解析は、国内外の観測で進められており、それぞれの沈み込み帯で得られた結果を比較検討し、それぞれの地域の特徴の類似・相違点を明らかにしたうえで、現象を普遍的に捉えた研究がなされるものと期待される。また、微小地震と浅部微動の震央分布の時空間的關係についての検討が進み、お互いに影響を及ぼしあっている可能性について示唆される結果が得られつつある。GNSS-A観測点の設置が進んでいない日向灘から南西諸島北部域にかけては、小繰返し地震を用いた累積すべり量の時間変化を用いることにより、変化の検出を試みている。スラブ内地震の現象の理解においてはS-net等を用いた詳細なトモグラフィ結果が示され、スラブ内地震がアウターライズ断層や流体と関係している可能性が示され、理解が進んでいる。

深層学習の技術を取り込んだ地震波の到達時刻を読み取る技術が進み、多くのデータの解析が可能となり、ビッグデータを用いた解析へと進みつつある。群発地震の原因として、地殻内流体を含む反射面との関係の理解が進み、群発地震の発生においては地殻内流体の影響が大きいという考えが支持された。

地震の滑りについては室内実験等の研究も進んでおり、プレート境界地震や内陸地震の断層の挙動についての理解が進んでいる。また、シミュレーションの研究も進んでおり、多くの成果が得られつつある。これらの得られた結果を実際の地震現象にどのようにつなげていくかが重要であるように思われる。このように、プレート境界地震やプレート内地震や内陸地震において、様々な研究対象や分野で多様な成果が得られつつある。今後は地震現象の総括的理解を目指していく必要がある。また、得られた個々の成果や全体像を他部会へとつなぎ、発生の予測や災害軽減にどのようにつなげていくかを考えて進めていくことが重要である。

成果リスト

- Amanda, F.F., N. Tsuchiya, V.N. Alviani, M. Uno, R. Yamada, S. Shimizu, R. Oyanagi, 2022, High-temperature silicified zones as potential caprocks of supercritical geothermal reservoirs, *Geothermics*, 105, 102475, doi:10.1016/j.geothermics.2022.102475
- Asaah A.N.E., T. Yokoyama, H. Iwamori, F.T. Aka, J. Tamen, T. Kuritani, T. Usui, T. Hasegawa, E.M. Fozing, 2022, Geochemical composition of dykes along the Cameroon Line (CL): Petrogenesis and similarities with the Central Atlantic Magmatic Province, *Geochemistry*, 82, doi:10.1016/j.chemer.2022.125865
- 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, 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, doi:10.1029/2021GL096960
- 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.: Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2022JB024992
- Bayarbold, M., A. Okamoto, O. Dandar, M. Uno, 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.2022.10515
- Dhar, S., J. Muto, Y. Ohta, T. Iinuma, 2023, Heterogeneous rheology of Japan subduction zone revealed by postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 10, 9, doi:10.1186/s40645-023-00539-1
- Farazi, A.H., Y. Ito, E.S.M. Garcia, A.M. Lontsi, F.J. Sánchez-Sesma, A. Jaramillo, S. Ohyanagi R. Hino, 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, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggad028
- Fujita, W., M. Nakamura, K. Uesugi, 2022, Chemical compaction and fluid segregation in piston cylinder experiments, *Chem. Geol.*, 614, 121182, doi:10.1016/j.chemgeo.2022.121182
- 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
- Fukuda, J., J. Muto, S. Koizumi, S. Sawa, 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
- Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, 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*

- Planet. Space, 74, 92, doi:10.1186/s40623-022-01652-z
- Heath, B.A., D. Eberhart-Phillips, F. Lanza, C. Thurber, M.K. Savage, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Iio, 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, doi:10.1016/j.epsl.2022.117666
- Hino, R., T. Kubota, N. Y. Chikasada, Y. Ohta, H. Otsuka, 2022, Assessment of S-net seafloor pressure data quality in view of seafloor geodesy, *Progress in Earth and Planetary Science, Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 1, doi:10.1186/s40645-022-00526-y
- Honda, R., Y. Abe, Y. Yukutake, 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
- Hua, Y., D. Zhao, Y. Xu, 2022, Azimuthal anisotropy tomography of the southeast Asia subduction system, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, e2021JB022854, doi:10.1029/2021JB022854
- Ide S., S. Nomura, 2022, Forecasting tectonic tremor activity using a renewal process model, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 57, doi:10.1186/s40645-022-00523-1
- 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, *Geophys. J. Int.*, 233, 1279-1295, doi:10.1093/gji/ggac52
- 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, *Front. Earth Sci.*, doi:10.3389/feart.2022.753583
- Imanishi, Y., 2022, Inertial effects due to eruption-induced atmospheric disturbances identified by superconducting gravimeter observations at Matsushiro, Japan, *Earth Planet. Space*, 74, 54, doi:10.1186/s40623-022-01615-4
- Imanishi, Y., K. Nawa, Y. Tamura, H. Ikeda, 2022, Effects of vertical nonlinearity on the superconducting gravimeter CT #036 at Ishigakijima, Japan, *Earth Planet. Space*, 74, 73, doi:10.1186/s40623-022-01609-2
- 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)ー相対重力計検定ラインの構築およびFG5の器差検定ー, *東京大学地震研究所彙報*, 97, 1-11, doi:10.15083/0002005972
- 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
- Inoue, T., T. Hashimoto, R. Tanaka, Y. Yamaya, 2022, A broadband magnetotelluric survey for Mt. Meakandake volcano with special attention to the unrest during 2016-2017, *Earth Planet. Space*, 74, 114, doi:10.1186/s40623-022-01673-8.
- Ioki, K., Y. Yamashita, Y. Kase, 2022, Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuganada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-022-03198-3

- 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, doi: 10.14934/chikyukagaku.56.87
- 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, J. Volcanol., 433, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107739
- Iwamori, H., M. Yoshida, H. Nakamura, 2022, Large-scale structures in the Earth's interior: Topdown hemispherical dynamics constrained by geochemical and geophysical approaches, Front. Earth Sci., 10, doi:10.3389/feart.2022.1033378
- 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, 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.:Solid Earth, 127(2), doi:10.1029/2021JB022161
- Jamali Hondori, E., 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
- 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
- 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
- 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
- Kanaya, T., W. Zhu, M. Nakatani, A. Takeuchi, 2022, Effect of pore fluid pressure on the brittle-ductile transition, USGS Earthquake Hazards Program, Final Technical Reports, G21AP10012
- 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(8), e2022GC010331, doi:10.1029/2022GC010331
- 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
- Koge, H., J. Ashi, J.-O. Park, A. Miyakawa, S. Yabe, 2022, Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties on shallow plate boundary fault, Earth Planet. Space, 74, 56, doi:10.1186/s40623-022-01621-6
- 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
- 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, Prog. Earth Planet. Sci., 9, 68, doi:10.1186/s40645-022-00524-0
- Lei, X., T., Ohuchi, M., Kitamura, X., Li, Q., 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

- 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
- 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, *Geostand. Geoanal. Res.*, 46, 205-222, doi:10.1111/ggr.12426
- 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
- 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 Planet. Space*, 74, 171, doi:10.1186/s40623-022-01724-0
- 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, 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, doi:10.1016/j.tecto.2022.229390
- Mindaleva, D., M. Uno, N. Tsuchiya, 2023, Short-lived and voluminous fluid-flow in a single fracture related to seismic events in the middle crust, *Geophys. Res. Lett.*, 20(5), e2022GL099892, doi:10.1029/2022GL099892
- 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*, 75, 13-28, doi:10.4294/zisin.2021-9.
- 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(14), 2022GL098745, doi:10.1029/2022GL098745
- Mukuhira, Y., M. Uno, 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
- Mngadi, S.B., M.D. Manzi, N.Z. Nkosi, R.J. Durrheim, Y. Yabe, A. Tsutsumi, H. Ogasawara, 2022, Micro- and macro-structural investigations of faulting in deep South African gold mines, *Proc. 10th Int. Symposium RaSIM10*
- 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, doi:10.14934/chikyukagaku.56.76
- 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), 2022GL098180, doi:10.1029/2022GL098180.
- 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, 19-27
- 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, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 319, 254-270, doi:10.1016/j.gca.2021.11.009
- 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
- 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, 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
- Noda, H., 2022, Dynamic earthquake sequence simulation with an SBIEM accounting for interseismic poroelastic rebound, *Earth, Planet. Space*, 74, 89, doi:10.1186/s40623-022-01649-8
- 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
- Nthaba, B., T. Ikeda, H. Nimiya, T. Tsuji, Y. Iio, 2022, Ambient noise tomography for a highresolution 3D S-wave velocity model of the Kinki Region, Southwestern Japan, using dense seismic array data, *Earth, Planet. Space*, 74, 96, doi:10.1186/s40623-022-01654-x
- Nurdiana, A., A. Okamoto, M. Uno, M., N. Tsuchiya, 2022, Development of open transport of aqueous fluid from pegmatite revealed by trace elements in garnet, *Geofluids*, 8786250, doi:10.1155/2022/8786250
- 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
- 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 Planet. Space*, 74, 110, doi:10.1186/s40623-022-01669-4
- 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
- Ohuchi, T., Y. Higo, Y. Tange, T. Sakai, K. Matsuda, T. Irifune, 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
- Okada, R., K., Umeda, T., Kamataki, Y., Sawai, D., Matsumoto, Y., Shimada, K. Ioki, 2022, Geological record of 18th and 19th century tsunamis along the Japan Sea coast of Tsugaru Peninsula, northwestern Japan, *Marine Geology*, 453, doi:106905, 10.1016/j.margeo.2022.106905
- Okazaki T., Y. Fukahata, N. Ueda, 2022, Time variable stress inversion of centroid moment tensor

- data using gaussian processes, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2022JB024314
- 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, 117707, doi:10.1016/j.epsl.2022.117707
- Roy, S., T. Hatano, 2022, Model for creep failure with healing, *Phys. Rev. Res.*, 4, 023110, doi:10.1103/physrevresearch.4.023110
- Roy, S., T. Hatano, P. Ray, 2022, Modeling crack propagation in heterogeneous materials: Griffith's law, intrinsic crack resistance, and avalanches, *Phys. Rev. E*, 105, 055003, doi:10.1103/PhysRevE.105.055003
- Sakai, S., E. Kurashimo, T. Iidaka, N. Uchida, K. Yoshida, T. Okada, 2022, Seismic Data from Temporary Seismic Observation in the Northeast Noto Peninsula, Central Japan, Zenodo, doi:10.5281/ZENODO.6767362
- Sato, D.K., Y., Fukahata, Y. Nozue, 2022, Appropriate reduction of the posterior distribution in fully Bayesian inversions, *Geophys. J. Int.*, 231, 950-981, doi:10.1093/gji/ggac231.
- 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, doi:10.1111/iar.12474
- Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E. S. M. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara, Y. Ito, 2022, Seafloor Depth Controls Seismograph Orientation Uncertainty, *Geophys. J. Int.*, 232, 1376-1392, doi:10.1093/gji/ggac397
- Shigematsu, N., Y. Zhou, H. Hyuga, Y. Yoshizawa, M. Kido, 2022, Fabrication of dense albite aggregates by hot pressing, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 34, doi:10.1186/s40645-022-00492-5
- Shimizu, I., 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
- Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, *Earth, Planet. Space*, 74(5), doi:10.1186/s40623-021-01562-6
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, 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
- 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ージビリティスタディ: 波形インバージョンとリバータイムマイグレーションの適用性, *物理探査*, 75, 105-118, doi:10.3124/segj.75.105
- Shiraishi, K., T. Watanabe, 2022, Seismic reflection imaging of deep crustal structures using local earthquakes in the Kanto region, Japan, *Earth Planet. Space*, 75, 14, doi:10.1186/s40623-023-01772-0
- Spica, Z. J., J.C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara, T. Yamada, 2022,

- Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL095287, doi:10.1029/2021GL095287
- Sumino, Y., T. Saito, T. Hatano, T. Yamaguchi, S. Ide, 2022, Spatiotemporal chaos of a onedimensional thin elastic layer with the rate-and-state friction law, *Phys. Rev. Res.*, 4, 043115, doi:10.1103/physrevresearch.4.043115
- Suzuki, T., 2022, Deriving the slip front propagation velocity with the slip-dependent and slipvelocity-dependent friction laws via the use of the linear marginal stability hypothesis, *Phys. Rev. E*, 106, 015002, doi:10.1103/PhysRevE.106.015002.
- Takagi, R., 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
- 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, 1, 1-14, doi:10.1186/s40645-022-00525-z
- 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, *Geochem. Geophys. Geosystem.*, 23(1), e2021GC009729, doi:10.1029/2021GC009729
- Terakawa, T., M. Matsu'ura, 2023, Tectonic stress fields inferred from long-term CMT data ranging over different periods, *Geophys. J. Int.*, 223, 162-181, doi:10.1093/gji/ggac449
- Tomita, F., M. Kido, 2022, An approximate travel time calculation and a robust GNSS-acoustic positioning method using an MCMC technique, *Earth Planet. Space*, 74, 176, doi:10.1186/s40623-022-01740-0
- Tonegawa, T., R. Takagi, K. Sawazaki, 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, e2022 JB025262, doi:10.1029/2022JB025262
- 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, Planet. Space*, 74, doi:10.1186/s40623-022-01727-x
- Toyokuni, G., D. Zhao, K. Kurata, 2022, Whole-mantle tomography of Southeast Asia: new insight into plumes and slabs, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, e2022JB024298, doi:10.1029/2022JB024298
- Uchide, T., T. Shiina, K. Imanishi, 2022, Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, e2022JB024036, doi:10.1029/2022JB024036
- 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
- Viens, L., L.F. Bonilla, Z.J. Spica, K. Nishida, T. Yamada, M. Shinohara, 2022, Nonlinear

- Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 49, 21, e2022GL100122, doi:10.1029/2022GL100122
- Wang, W., M. Savage, A. Yatesac, H.J. Zala, S. Webb, C. Boulton, E. Warren-Smith, M. Madley, T. Stern, B. Fry, K. Mochizuki, L. Wallace, 2022, Temporal velocity variations in the northern Hikurangi margin and the relation to slow slip, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 574, doi:10.1016/j.epsl.2022.117443
- 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
- 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, *Tectonophys.*, 831, 229329, doi:10.1016/j.tecto.2022.229329
- 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
- Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Nakamura, 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
- 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.:Solid Earth*, 127, e2021JB023366, doi:10.1029/2021JB023366
- 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, 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, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, e2022JB02398, doi:10.1029/2022JB02398
- Yabe, Y., S. Abe, G. Hofmann, D. Roberts, H. Yilmaz, H. Ogasawara, T. Ito, A. Funato, M. Nakatani, M. Naoi, 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
- 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
- Yamashita, S., Y. Yagi, R. Okuwaki, K. Shimizu, R. Agata, Y. Fukahata, 2022, Potency density tensor inversion of complex body waveforms with time-adaptive smoothing constraint, *Geophys. J. Int.*, 231, 91-107, doi:10.1093/gji/ggac181
- Yamaya, L., K. Mochizuki, T. Akuhara, S. Takemura, M. Shinohara, T. Yamada, 2022, CMT inversion for small-to-moderate earthquakes applying to dense short-period OBS array at off Ibaraki region, *Earth Planet. Space*, 74, 164, doi:10.1186/s40623-022-01721-3
- 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,

doi:10.1016/j.geothermics.2022.102412

- 柳田浩嗣, 仲谷幸浩, 八木原寛, 平野舟一郎, 小林励司, 山下裕亮, 松島健, 清水洋, 内田和也, 馬越孝道, 八木光晴, 森井康宏, 中東和夫, 篠原雅尚, 2022, 2015年11月に沖縄トラフ北部で発生した地震 (M7.1) の余震活動と背弧リフティング, *地震* 2, 75, 29-41, doi:10.4294/zisin.2021-12
- 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 deepsea sediment decoded via multivariate statistical analyses, *Chem. Geol.*, 614, 121184, doi:10.1016/j.chemgeo.2022.121184
- Yeo, T., N. Shigematsu, T. Katori, 2023, Dynamically recrystallized grains identified via the application of Gaussian mixture model to EBSD data, *J. Struct. Geol.*, 167, 104800, doi:10.1016/j.jsg.2023.104800
- Yoshida, K., H. Kanamori, 2023, Time-domain source parameter estimation of Mw 3-7 earthquakes in Japan, *Geophys. J. Int.*, 234(1), 243-262, doi:10.1093/gji/ggad068
- Yuasa Y., S., Matsumoto, 2023, Anelastic deformation in the lower crust and its implications for tectonic dynamics in Kyushu, Southwest Japan, *Tectonophysics*, 846, 229674, doi:10.1016/j.tecto.2022.229674
- Yukutake, Y., K. Yoshida, 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
- Yukutake, Y., R. Honda, M. Ukawa, K. Kurita, 2022, Harmonic tremor from the deep part of Hakone volcano, *Earth Planet. Space*, 74, 144, doi:10.1186/s40623-022-01700-8.
- Zhao, D., Y. Katayama, G. Toyokuni, 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

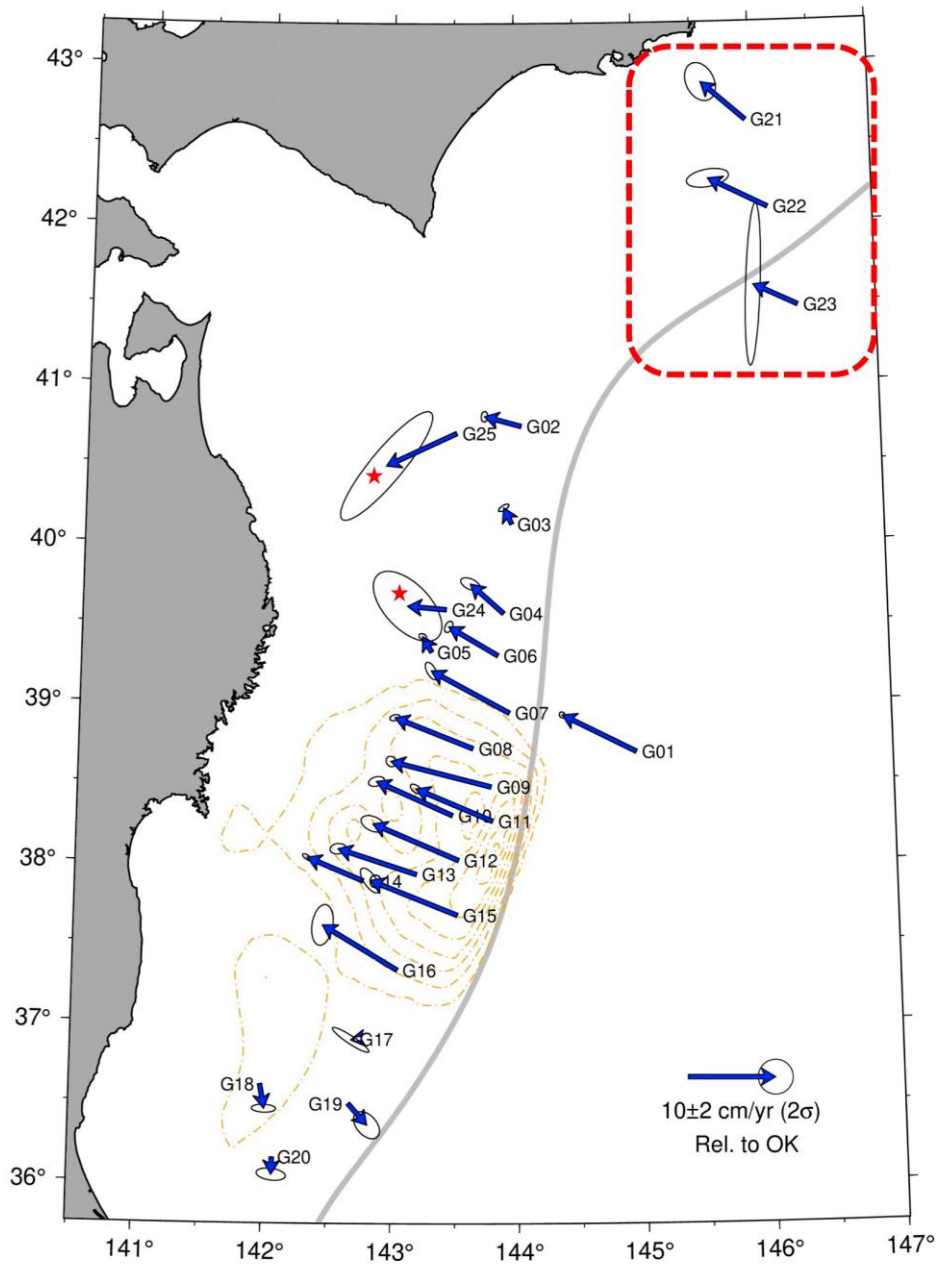


図1. GNSS-A観測で得られた日本海溝から千島海溝南部における水平変位速度（対オホーツクプレート）。2012年からの平均変位速度を示す。ただし、根室沖の観測（赤破線枠内）は2019年、三陸沖の新設観測点（赤星印）は2020年に観測を開始した（東京大学地震研究所[課題番号:ERI_05]）。

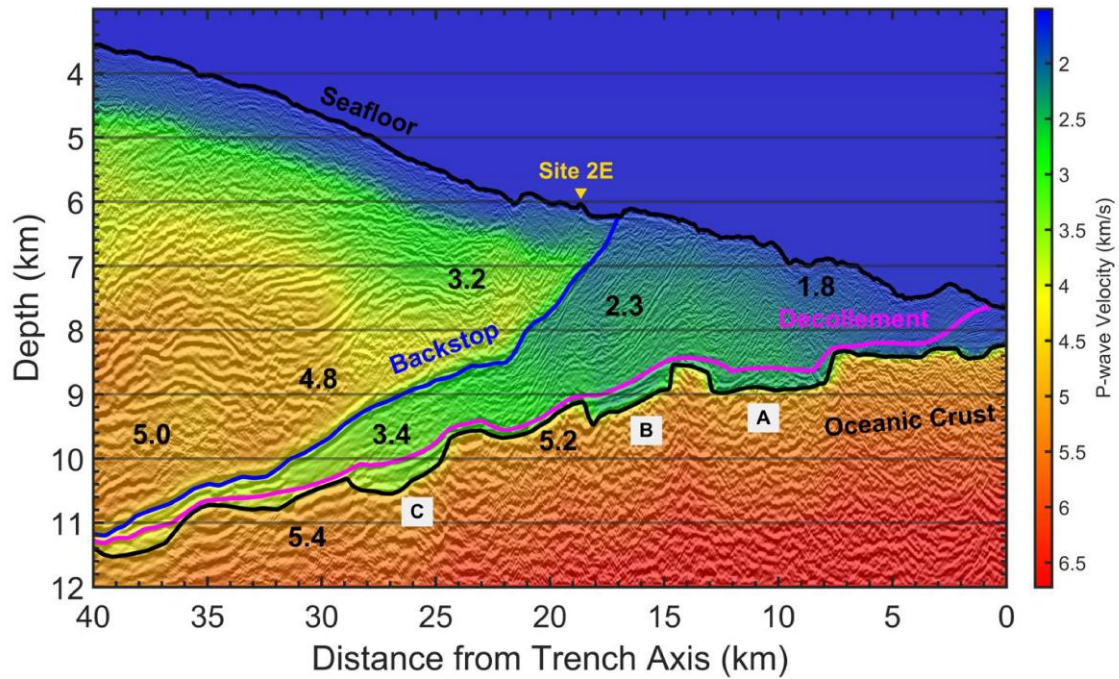


図2. 東北沖の日本海溝を横切る反射法探査測線D13の地殻構造とP波速度構造モデル。図中の数字はP波速度，A，B，Cはグララーベン構造（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI01]）。

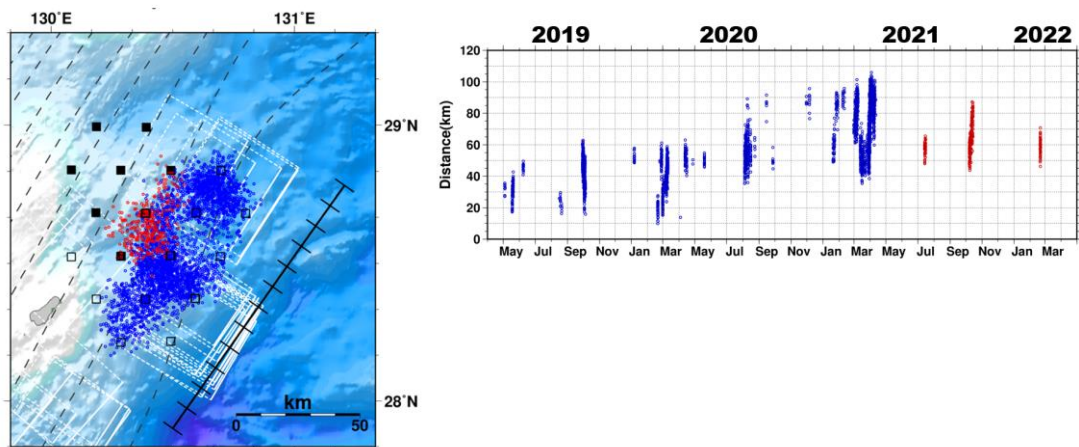


図3. 浅部微動の震央分布と時空間分布。震源決定された浅部微動のうち，第3期観測で推定されたものを赤○，第1～2期観測で推定されたもの（令和3年度までに報告済）を青○で示す。白と黒の□はそれぞれ，第1～2期，第3期の海域地震観測点を示す（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）。

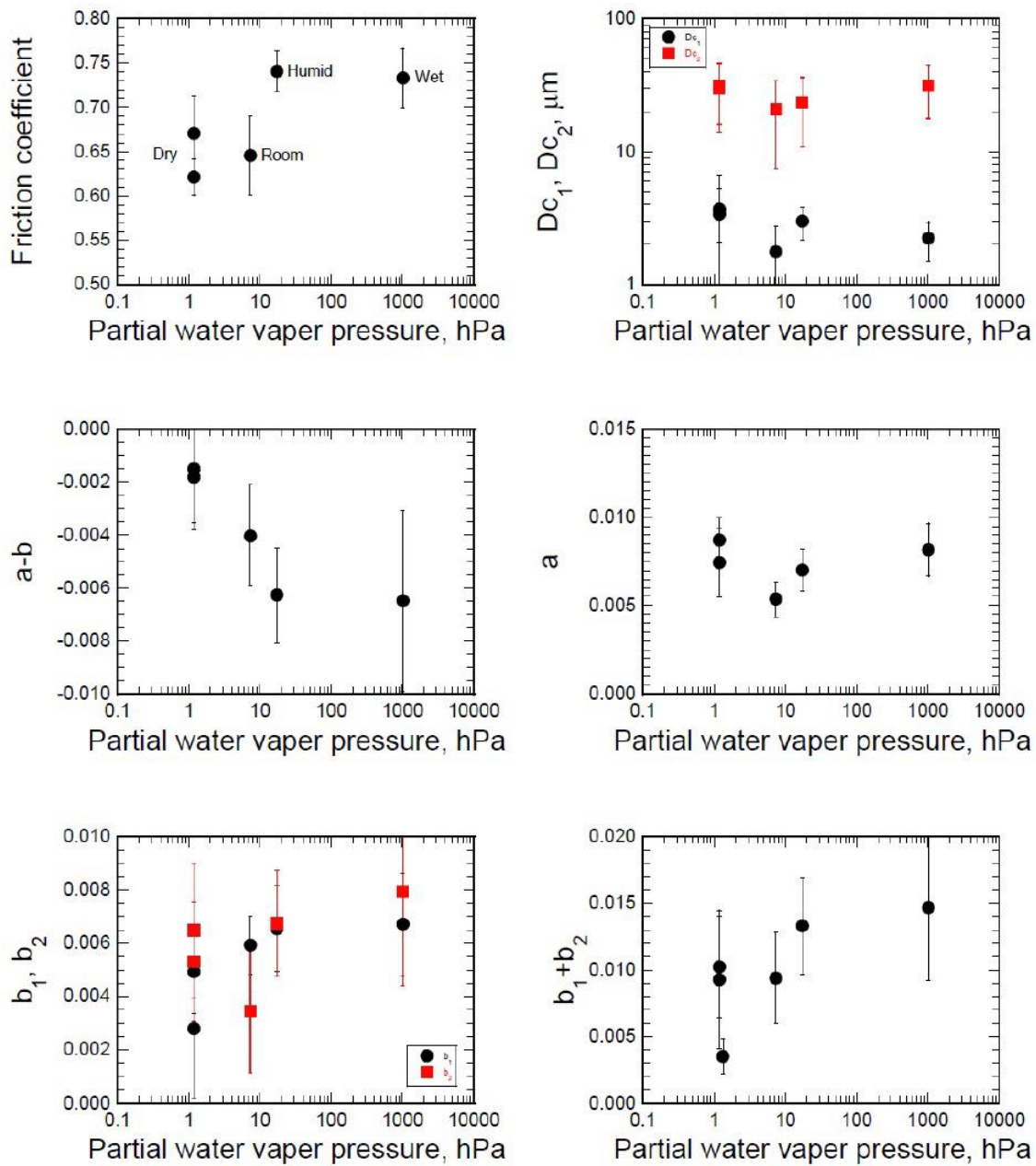
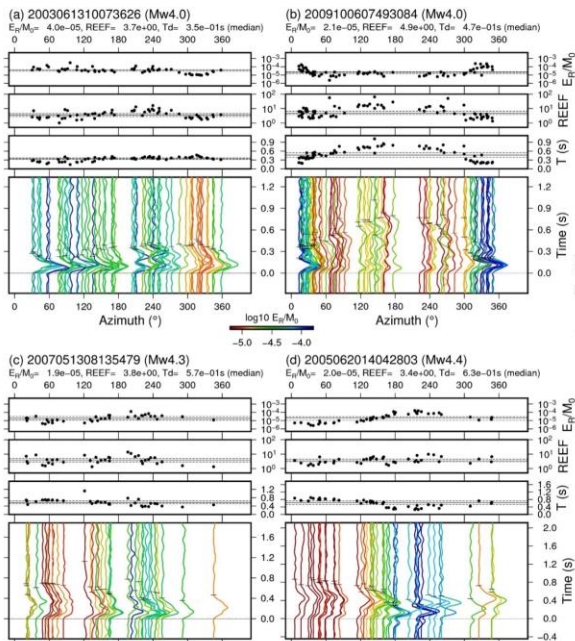
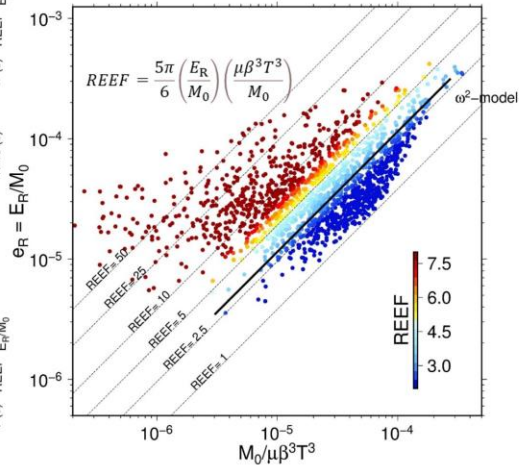


図4. 実験で得られた、二つの状態変数を持つ速度状態依存摩擦構成則の摩擦パラメータの水蒸気分圧依存性（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。

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。



Radiated energy enhancement factor (REEF; Ye et al., 2018)を用いて破壊の複雑性を定量化。



Mw3~7の地震で moment-scaled energy, moment-scaled duration, REEFの明瞭な規模依存は見つからなかった。 1

図5. 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（東北大学理学研究科 [課題番号: THK_07]）。

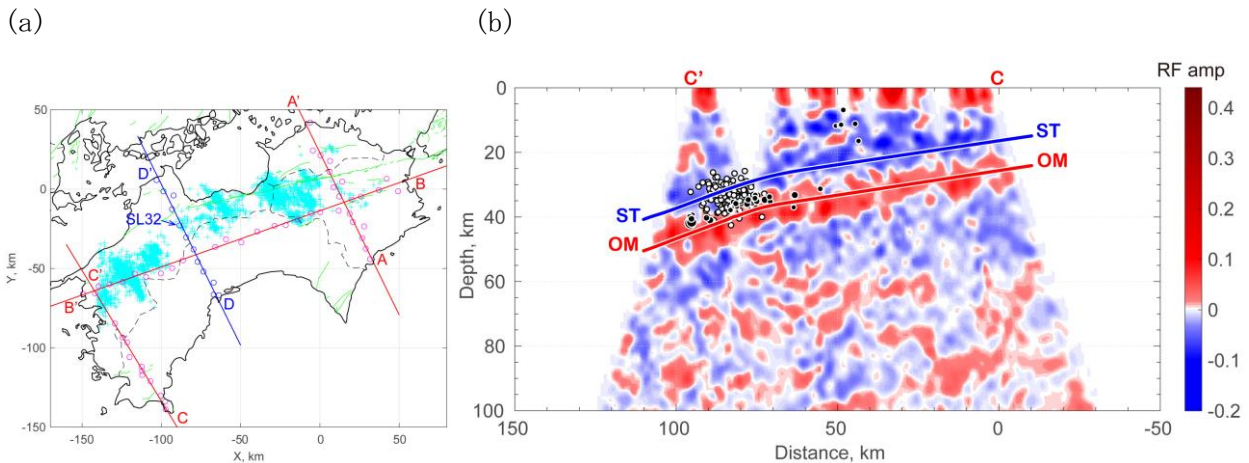


図6. (a) 測線図。(b) 測線CC'におけるレーシーバ関数イメージ。レーシーバ関数の正の振幅を赤で、負の振幅を青で示す。STとOMを付した線は、それぞれフィリピン海スラブの上面とスラブ内の海洋モホ面と解釈される。白丸は深部低周波時地震、黒丸は通常地震を示す（京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI02]）。

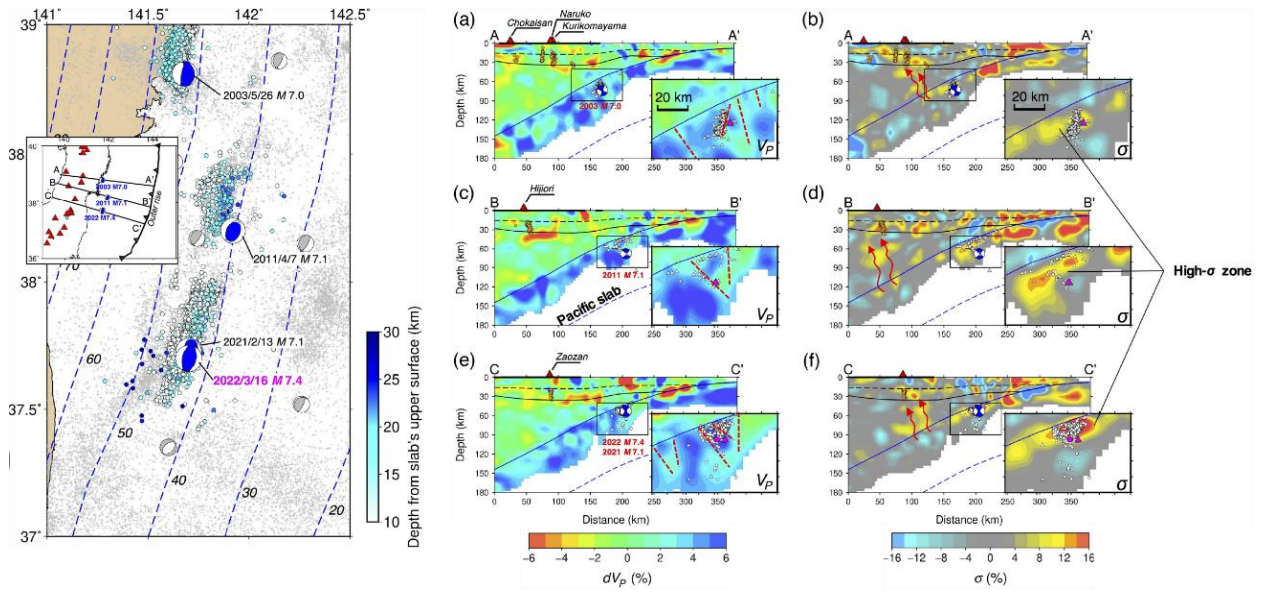


図7. 福島沖～宮城沖前弧域の3次元地震波速度分布 (a, c, e)とポアソン比分布 (b, d, f)。左図広域マップに黒線で断面位置を示す。スラブ表面に局在する低 V_p 異常で M7 級スラブ内地震断層 (赤破線) が活動した (東北大学理学研究科[課題番号: THK_06])。

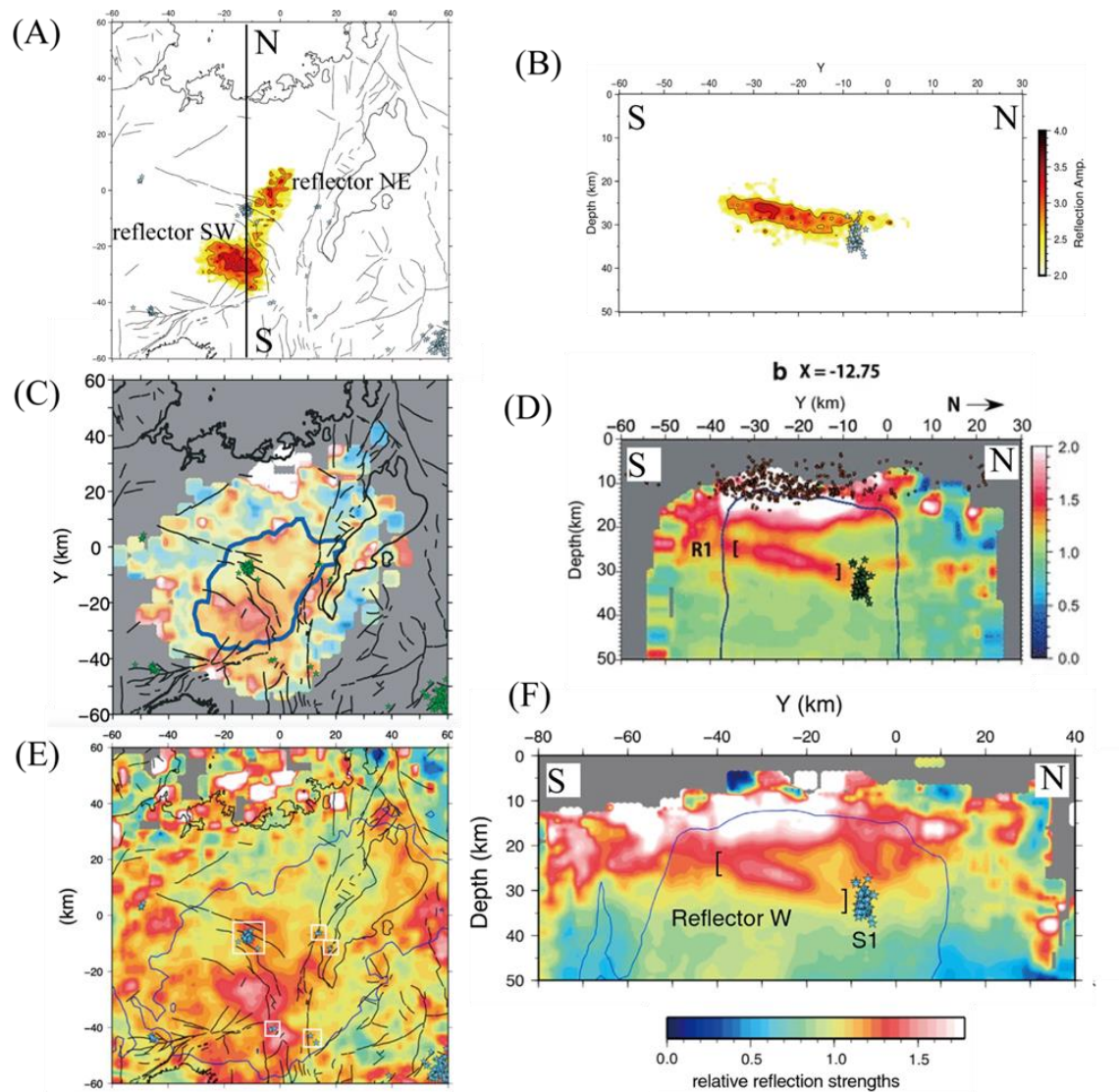


図 8. 有馬高槻断層帯の北方の下部地殻内の S 波の reflector。(A) は深層学習を活用して推定された S 波 reflector の上面, (B) は (A) の測線に沿う南北断面における反射強度の断面図 (加藤, 2022)。一番外側のコンターが reflector とする反射振幅の閾値 (median- σ) に対応している。(C) と (D) は Aoki et al. (2016), (E) と (F) は Katoh et al. (2018) の結果。(B), (D), (F) は (A) 上の測線の南北断面図。各図の星印は気象庁一元化震源における深部低周波地震。(D) 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) および (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 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI03], 中田・今泉, 2002)。

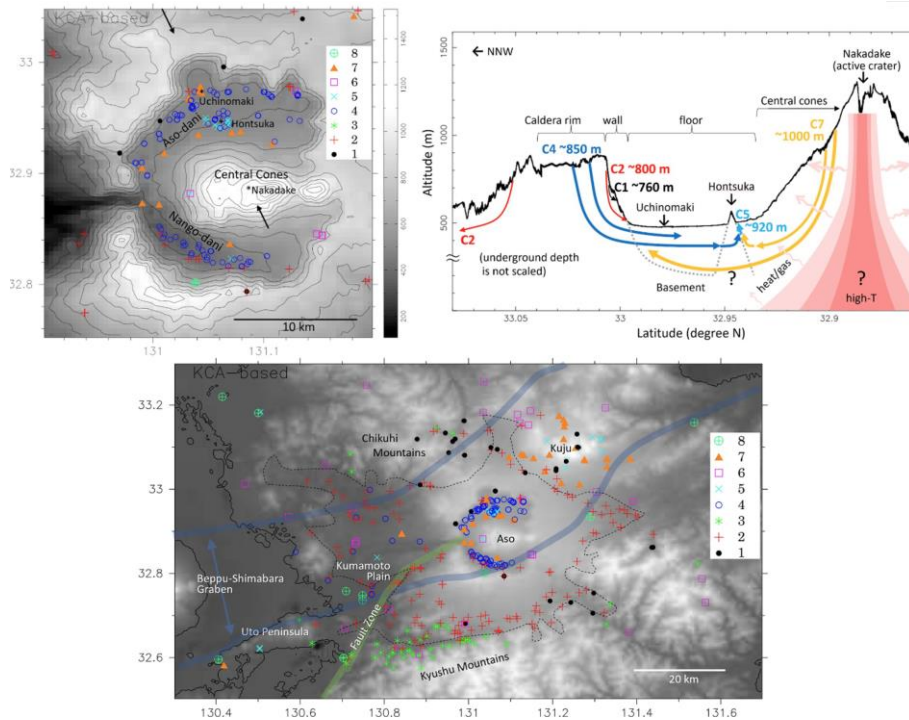


図9. 地下水・湧水の溶存成分組成に基づく8つのクラスタの地理的分布。阿蘇カルデラ内の同心円構造（左上図）と流体循環（右上図：クラスタ1～4は、外輪山への降水が20年程度かけてカルデラ内（および外）に浸透・湧出したもの。クラスタ7は、中央火口丘への降水が浸透・湧出したもの）。広域での8つのクラスタの地理的分布。別府—島原地溝帯や布田川・日奈久断層帯などの大きな構造線沿いに有馬型塩水が出現することなど、地下水の組成・起源と、空間分布に強い関係性があることが分かった（下図）（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI04]）。

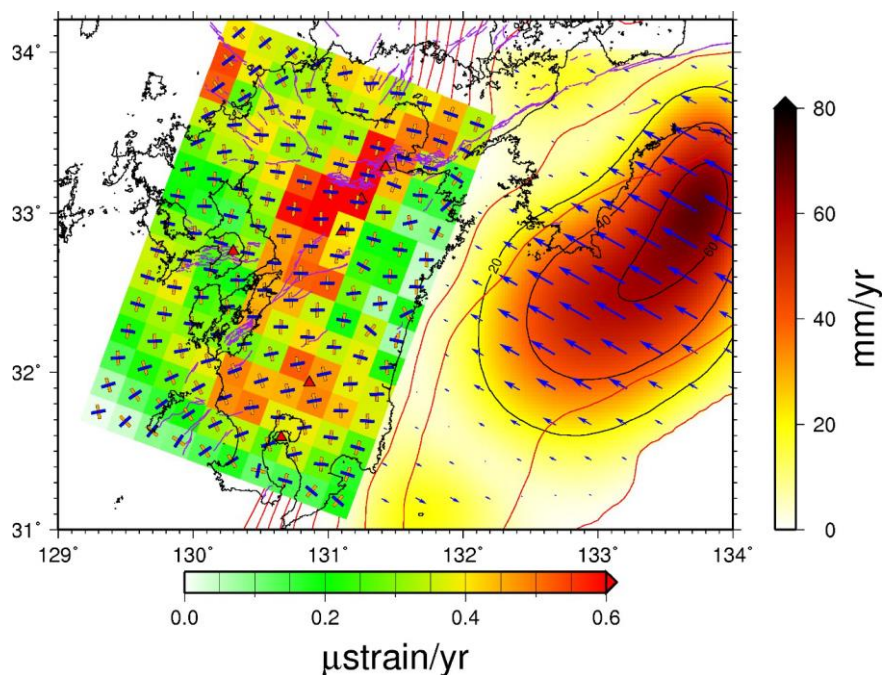


図10. GNSS データから推定した下部地殻の非弾性変形とプレート境界のすべり分布（九州大学[課題番号：KYU_01]）。

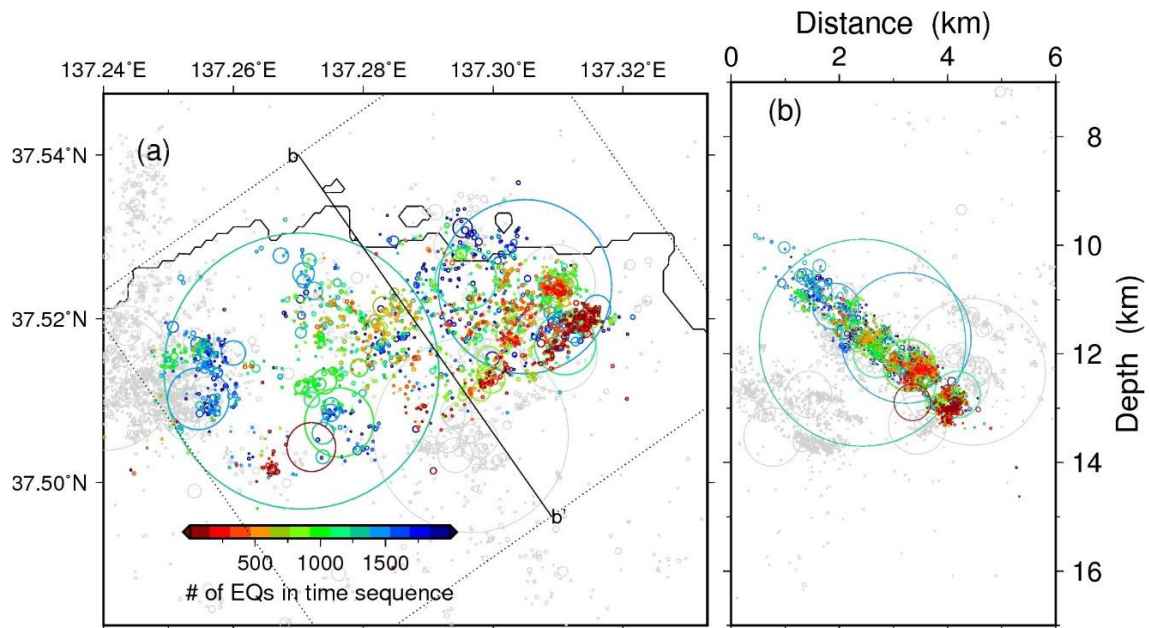


図 11. 能登半島北東部の群発地震活動中に発生した 2022 年 M5.4 地震の断層面における地震の震源分布。色は発生順を表す（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。

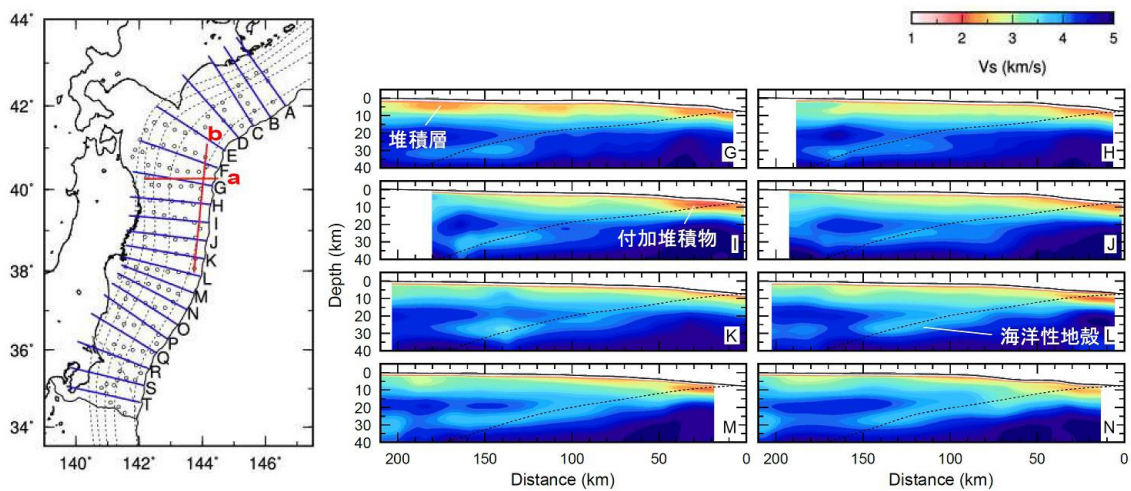


図 12. S-net データを用いた常時微動表面波トモグラフィーにより推定した 3 次元 S 波速度構造。破線はプレート境界上面モデルを表す（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。

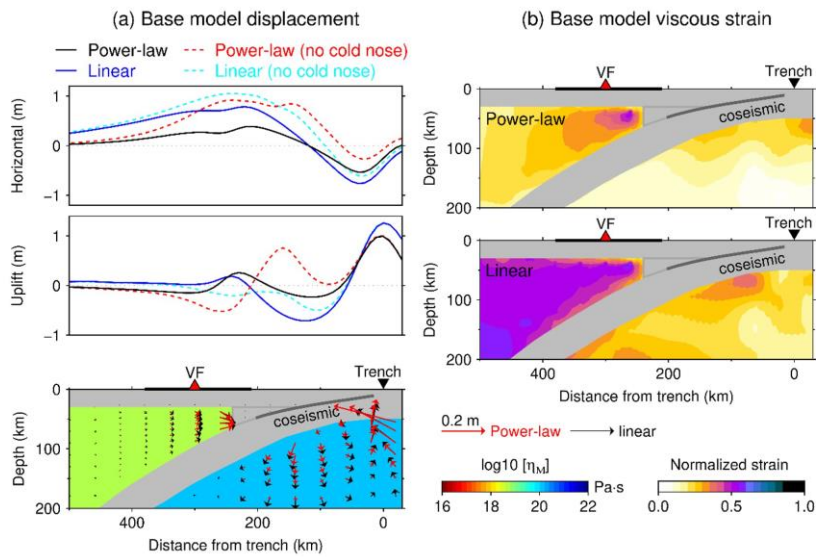


図 13. 非線形レオロジーを使用した余効変動モデル (Dhar et al., 2023)。a) 線形, べき乗レオロジーによる地表変動 (実線はコールドノーズあり, 点線はコールドノーズなし)。べき乗レオロジーの方が, 震源に近い部分でのみ変形小さい (ただし, 両者の定常粘性率はほぼ同じ値を採用している)。b) レオロジーによる粘性歪み分布の違い: べき乗 (上), 線形 (下)。べき乗レオロジーの方が, 震源に近い部分で粘性の低下により粘性歪が発生するが, 線形モデルではモデル領域全体で変形している。これが a) での全体の変形量の幅を決めている (東北大学理学研究科 [課題番号: THK_07])。

1 (2) 地震 (長期予測)

「地震 (長期予測)」計画推進部会長 西村卓也
(京都大学防災研究所)
副部会長 宍倉正展
(産業技術総合研究所)

大地震の長期予測は、日本国内では地震調査研究推進本部による長期評価という形で実施され、その評価結果は全国地震動予測地図などの形で社会に公表されている。おもに過去の地震の発生履歴に基づいて行われてきた大地震の長期予測は、災害軽減や防災対策の立案に役立てられることが期待されるが、大地震の発生は極めて低頻度な現象であるため、長期予測には大きな不確定性が伴っている。本部会では、地形・地質データや史料・考古データを活用して地震の発生や地殻変動の履歴を解明する手法の高度化を進めるとともに、各地域での調査から過去の履歴データを蓄積して、大地震の予測精度の向上を目指した観測研究を行う。さらに、これまでは十分に活用されていなかった地殻変動や地震活動などの地球物理学的観測データや地震発生の物理モデルの利用により、長期予測手法の高度化を目指した観測研究を行う。以下では、本部会に属する各課題について令和4(2022)年度の成果の概略と今後の展望について述べる。

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

熊本県の阿蘇高森で書かれた「瀬井家日記」、および「下林家日記」を調査し、文政9年から明治元年(1826~1868年)までの阿蘇山の火山活動や地震に関する記事を収集した。その結果、1830年8月12日(天保元年6月24日)には、それぞれ新火口とスコリア丘と推定される池と「富士山ニ似山」ができたことや、1854年の安政南海地震の4~9ヶ月前に阿蘇山の火山活動が活発化していたことを確認した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV02])。

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

海溝型地震の発生履歴に関する調査として、沿岸での津波堆積物や巨礫群を用いた古津波と海岸段丘地形や生物痕跡に基づく地震性隆起の評価が行われた。

千島海溝・日本海溝周辺域では、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(産業技術総合研究所[課題番号:AIST08])。さらに、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(北海道大学[課題番号:HKD_01])。堆積物の上下の泥炭から得られる 2σ の暦年代範囲は1596-1641年であり、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。津波痕跡が識別できる範囲等から示唆される津波の高さは5m程度であり、内閣府の17世紀型巨大地震の想定(沿岸で約9m)より小さ

い。この調査地点では、過去 2500 年間の地層に津波の可能性のある痕跡は他に見つからなかった。一方、十勝地方大樹町においては、珪藻群集分析により 17 世紀の巨大地震前後の地殻上下変動を精度良く推測した。その結果、この地域では地震時の変動は小さく、地震後に 1.5 m 隆起したことがわかった（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。

南海トラフ周辺域では、各地で古津波調査が行われた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。三重県南伊勢町では、採取した試料の分析を進め、過去 3000 年間に発生した海水の浸水イベントの年代を検討した。和歌山県串本町の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（Namegaya et al., 2022）。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。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。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（Ioki et al., 2022）。

また、南海トラフ沿いの陸側斜面の志摩海脚付近において、令和 3 年度に実施された海底地形調査・浅層地質構造探査のデータ解析を実施した（名古屋大学[課題番号：NGY_04]）。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明らかになった。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。

南西諸島海溝沿いでは、先島諸島（石垣島、宮古島）において、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。これにより津波による巨礫移動の数値計算による復元精度が向上すると考えられる。石垣島における掘削調査からは、1771 年明和津波由来の可能性のあるイベント堆積物を確認し、試料採取を行った（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_01]）。

内陸地震の発生履歴に関する調査としては、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ドローン LiDAR 調査、トレンチ調査、S 波反射法地震探査等による変位履歴調査を実施した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST02]）。石鎚山脈北縁西部区間でのトレンチでは、周辺地形に見られる北側隆起の逆向き低断層崖ないし撓曲崖と調和的な撓曲変形が認められた。年代測定の結果から、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、その中の伊予地震に対応する可能性がある。糸魚川—静岡構造線断層帯（以下、糸静線）の北部木崎湖地区の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解明するために東西約 1.2 km の浅層反射法地震探査を実施した。（名古屋大学[課題番号：NGY_03]）。反射法解析による重合時間断面およびその解釈を図 1 に示す。図 1（c）の a-a' 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し、先新第三系基盤岩上面と考えられる。一方、先新第三系基盤岩上面と、b-b' に挟まれた領域では、変形や変位は認められないが、b-b' より東側浅部では、東傾斜の反射面群が見られる。この反射面群は 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 c-c' を通過していることが読

み取れる。よって横ずれ断層が比較的地下浅部で逆断層に収れんする可能性が示唆された。

古地震イベントに関するデータを検索・表示できるデータベースは、引き続き充実が図られている。産業技術総合研究所では、活断層及び津波浸水履歴情報を「活断層データベース」「津波堆積物データベース」として整備しており、「活断層データベース」では活断層の調査地（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（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01, AIST04]）。

（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

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。宮城県沖では、海溝軸まで進展する大すべりが推定されたが、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、東北沖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（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02], Kubota 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（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01], Ariyoshi et al., 2022）。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。

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量を反映して、地震サイクルシミュレーションを行う物理モデル化手法を構築した（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_05]）。この手法を用いて、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したところ、シミュレーションによる平均変位速度と地震発生間隔は、トレンチ調査による推定値と概ね一致する結果が得られた。

超大型岩石摩擦試験機を製作して、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た。その結果、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（防災科学技術研究所[課題番号：NIED03], Xu et al., 2023）。

（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

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

はすべり量のばらつきが大きくなることを示した(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS01], Agata 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地震活動が活発になることを明らかにした(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS01], Yamamoto et al., 2022)。

イ. 内陸地震

令和元年度に実施された東北日本を横断する海陸合同構造探査のデータを用いて、陸域部における屈折・広角反射法データ処理に基づく速度構造モデル構築を前年度に引き続き行った。昨年度までは、走時解析を主体として速度構造モデルを構築していたが、今年度は、従来の解析では任意性が残っていた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、理論波形との比較による振幅情報を取り入れた推定・修正を行った(図2)。地殻深部から最上部マントルの構造については、深さ24-26 kmに顕著な反射面が存在し、Mohoは深さ30-32 kmに存在することが明らかになってきたが、振幅情報も加味すると、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。そのため、本モデルは地殻最下部の速度が7.0-7.1 km/sで、Moho面直上に厚さ2 km程度で速度が7.1-7.5 km/sの速度遷移領域が存在するという複雑な構造(図2c)で特徴づけられることが明らかになった(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_11])。

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(防災科学技術研究所[課題番号: NIED02], Matsubara et al., 2022)。

2. 地震・火山現象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

南海トラフ沿い熊野灘において、トラフ軸近傍のTCA観測点での海底地殻変動観測を実施した。周辺の観測点も含めて過去のデータの再解析を実施し、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を求めた(図3a)。TCA観測点における変位速度ベクトルの大きさは、グローバルのプレート運動モデルMORVEL(Demets et al., 2010, 2011)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3a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から得られる地殻変動場から変位速度の大きさのプロファイルを作成し、フォワードモデリングを行った結果、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3b, 名古屋大学[課題番号: NGY_04])。

南西諸島海溝沿いでは、沖縄本島と宮古島間の海溝軸付近のプレート深度 10 km 弱の海底に設置している 1 観測点と別経費による沖縄本島沖の 1 観測点において、海底地殻変動観測を実施した。既に観測を終了している観測点も含めこの地域の 4 観測点についてデータを再解析し、ITRF2014 準拠での変位速度ベクトルを求めた。沖縄本島沖の RKA, RKB 観測点での変位速度ベクトルは、それぞれ $N20 \pm 24^\circ$ W 方向に 52 ± 21 mm/yr, $N18 \pm 7^\circ$ W 方向に 21 ± 7 mm/yr であり、プレート間固着を示す結果が得られている。一方、沖縄本島一宮古島間の RKC, RKD については、それぞれ $N117^\circ$ W 方向に 21 mm/yr と $N88^\circ$ W 方向に 10 mm/yr (ともに暫定値) の変位速度を示しており、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(名古屋大学[課題番号:NGY_02])。

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進展する地震発生シナリオを提案した(防災科学技術研究所[課題番号:NIED03], Saito and Noda, 2022)。

イ. 内陸地震の長期予測

測地データから内陸(地殻内)地震の発生ポテンシャルを評価するために、北海道を対象に、M6 以上の 30 年地震発生確率の計算を行った(図 4)。GNSS のひずみ速度からグーテンベルグ・リヒター(GR)則の b 値や最大マグニチュード(M_{max})は一様として、 0.2° 刻みのグリッドで計算した結果、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。1919~2020 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、予測される地震発生数が実際の地震数より過大(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(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05])。また、西南日本においても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て、 $M_w 6.0$ 以上の内陸地震の 30 年発生確率をポアソン過程を仮定して求めた。その結果、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%の比較的高い確率が得られた(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05])。

(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

Suito(2017)、水藤(2017)の成果に基づいて熊本地震の余効変動を補正し、また、東北沖地震前の定常変動を地殻変動データから差し引いたデータを用いて、南海トラフ域の SSE の時空間変化を調べた(図 5)。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。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。2019 年種子島地震 (M6.4) の余効すべり後に短期的 SSE が発生している (国土地理院[課題番号: GSI_02])。

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

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 (図 6 a)。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 6 b), 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 c)。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, 地震の空白域や地震サイクル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 (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI05], Toda and Stein, 2022)。

5. 計画を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

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, $M_s7.0$ 以上の顕著な被害地震が知られておらず, 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であり, 2023 年 2 月 6 日に生じた $M_w7.8$ 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と考えられる。今年度は, 2014 年に実施したトレンチ調査地点 (Kartal 地点, 図 7) を含む複数のトレンチ調査地点の選定を行っていたところ, 巨大地震が発生し, 地震後の緊急調査では, 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 3.8～4.1 m 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 (産業技術総合研究所[課題番号: AIST02])。

これまでの課題と今後の展望

4 年目を迎える本計画において「地震 (長期予測)」計画推進部会に所属する各課題では, フィールドでの調査に関する研究において, 新型コロナウイルス感染症による制約が緩和されており, 着実に成果が挙げられている。千島海溝沿い西部の北海道胆振地方における津波堆積物から 17 世紀の巨大地震の津波高が高精度に調べられ, 類似の津波が過

去 2500 年間に発生していない可能性が高いことが明らかになったことは、この地域の巨大地震の発生履歴に制約を与える重要な知見である。また、南海トラフ沿いの橋杭岩の巨礫の運搬条件から、1707 年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が明らかになったことも南海トラフ巨大地震の地震像を想定する上で重要である。さらに、日向灘沿岸の津波堆積物から 1662 年日向灘地震が従来考えられていたよりも規模の大きな巨大地震であった可能性が示されたことは、地震本部による「日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価（第二版）」の中で日向灘に M8 程度の巨大地震を評価対象とするきっかけとなったものであり、本部会での研究成果が地震本部の長期評価に反映された事例として高く評価できる。一方、トルコ・シリアで 2023 年 2 月に発生した M_w 7.8 の地震は、長大な活断層帯である東アナトリア断層系の複数の区間が連動して、全長 300 km にも及ぶ巨大地震となったものであり、震源域周辺の強い地震動による巨大災害を引き起こした。直後に発生した M_w 7.6 余震も含めて、地震の規模の予測が、現状の活断層評価手法でも可能であるのかどうかは十分に検証されるべきであり、糸魚川—静岡構造線断層帯や中央構造線断層帯のような国内の長大活断層帯との比較も今後行われるべきであろう。さらには、本部会において「地震発生の新たな長期予測」として実施してきた測地データや地震データを用いた予測についても、どこまで予測可能性があったのか検証されるべきである。

大地震前後の長期にわたる地震活動の活発化・静穏化については、クーロン応力変化と速度状態依存摩擦則に基づくモデルが実際の地震活動を非常に良く説明することが示された。このモデルに従うと大地震における大滑り域では、大地震後に長期に渡って地震活動が静穏化することになり、大地震の震源域を予測するための新たな着眼点であると言える。これらの研究とともに、観測データに基づく断層滑りや地下構造のモニタリング研究や地震サイクルシミュレーションに基づくモデリング研究を組み合わせ、長期予測手法の高度化に向けた研究をさらに続けて行く必要がある。

成果リスト

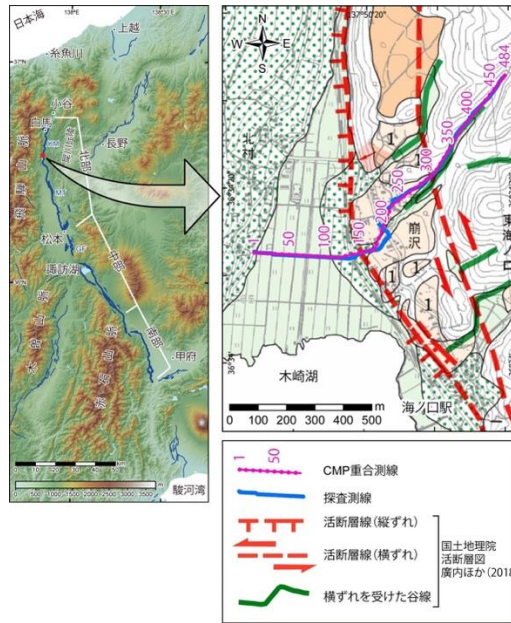
- Agata, R., R. Nakata, A. Kasahara, Y. Yagi, Y. Seshimo, S. Yoshioka, T. Iinuma, 2022, Bayesian Multi-Model Estimation of Fault Slip Distribution for Slow Slip Events in Southwest Japan: Effects of Prior Constraints and Uncertain Underground Structure, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2021JB023712
- Ai, S., T. Akuhara, M. Morishige, K. Yoshizawa, M. Shinohara, K. Nakahigashi, 2023, Layered evolution of the oceanic lithosphere beneath the Japan Basin, the Sea of Japan, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 128, doi:10.1029/2022JB025581
- Ariyoshi, K., 2022, Extension of Aseismic Slip Propagation Theory to Slow Earthquake Migration, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2021JB023800
- Dhakal, Y.P., T. Kunugi, H. Yamanaka, A. Wakai, S. Aoi, 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 Planet. Space*, 75, 1, doi:10.1186/s40623-022-01756-6

- Frenken, M., P. Bellanova, Y. Nishimura, P. Schulte, F. Lehmkuhl, K. Reicherter, J. Schwarzbauer, 2022, Suitable indicators to determine tsunami impact on coastal areas in Northern Japan, Aomori Prefecture., *Environ. Monit. Assess.*, 194, 385, doi:10.1007/s10661-022-09989-4
- 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
- Ioki, K., Y. Yamashita, Y. Kase, 2022, Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuga-nada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-022-03198-3
- Ishimura, D., Y. Iwasa, N. Takahashi, R. Tadokoro, R. Oda, 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, doi:10.1016/j.geomorph.2022.108387
- 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, doi:10.11462/afr.2022.56_47
- 岩佐佳哉, 濱侃, 中田高, 熊原康博, 後藤秀昭, 山中蛭, 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
- 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, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 68, doi:10.1186/s40645-022-00524-0
- 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 Planet. Space*, 74, 171, doi:10.1186/s40623-022-01724-0
- 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, E. Vittori, 2022, Surface faulting earthquake clustering controlled by fault and shear-zone interactions, *Nat. Commun.*, 13, 7126, doi:10.1038/s41467-022-34821-5
- 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
- Namegaya, Y., H. Maemoku, M. Shishikura, T. Echigo, 2022, Evidence from Boulders for Extraordinary Tsunamis along Nankai Trough, Japan, *Tectonophysics*, 842, 229487, doi:10.1016/j.tecto.2022.229487
- 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, 580-581
- 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, 587-590

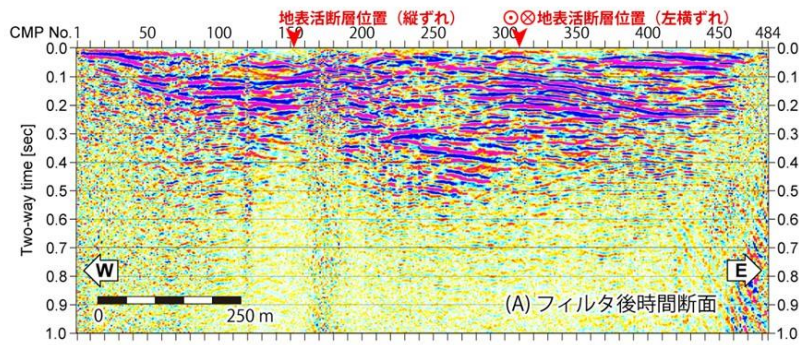
- 西澤あずさ, 2022, 2022年3月16日の福島県沖の地震の震源域近傍の地震活動, 地震予知連絡会会報, 108, 119-120
- Ogata, Y., 2022, Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models, *Earth Planet. Space*, 74, 110, doi:10.1186/s40623-022-01669-4
- 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
- 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
- Ozawa, S, A. Ida, T. Hoshino, 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, *Geophys. J. Int.*, 232, 1471, doi:10.1093/gji/ggac386
- 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
- Sailellah, S.N., Y. Fukushima, 2023, Comparison of Tropospheric Delay Correction Methods for InSAR Analysis Using a Mesoscale Meteorological Model: A Case Study from Japan, *Earth Planet. Space*, 75, 18, doi:10.1186/s40623-023-01773-z
- Saito, T., 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, e2022JB023992, doi:10.1029/2022JB023992
- Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, *Earth Planet. Space*, 74, 5, doi:10.1186/s40623-021-01562-6
- Takahashi, N., J.B.H. Shyu, C. Chen, 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
- Toda, S., R.S. Stein, 2022, Central shutdown and surrounding activation of aftershocks from megathrust earthquake stress transfer, *Nat. Geosci.*, 15, 494-500, doi:10.1038/s41561-022-00954-x
- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, H. Kawakata, K. Mizoguchi, S. Takizawa, 2023, Fault strength and rupture process controlled by fault surface topography, *Nat. Geosci.*, 16, doi:10.1038/s41561-022-01093-z
- Yamamoto, Y., S. Yada, K. Ariyoshi, T. Hori, N. Takahashi, 2022, 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,
doi:10.1186/s40645-022-00493-4

(a)



(b)



(c)

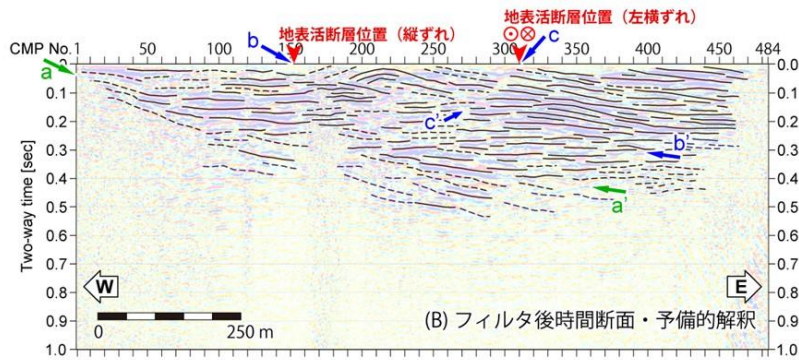
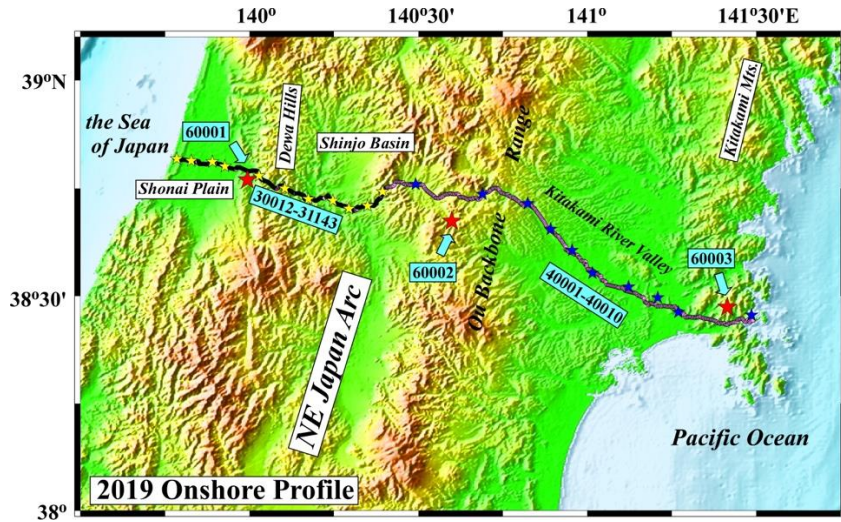
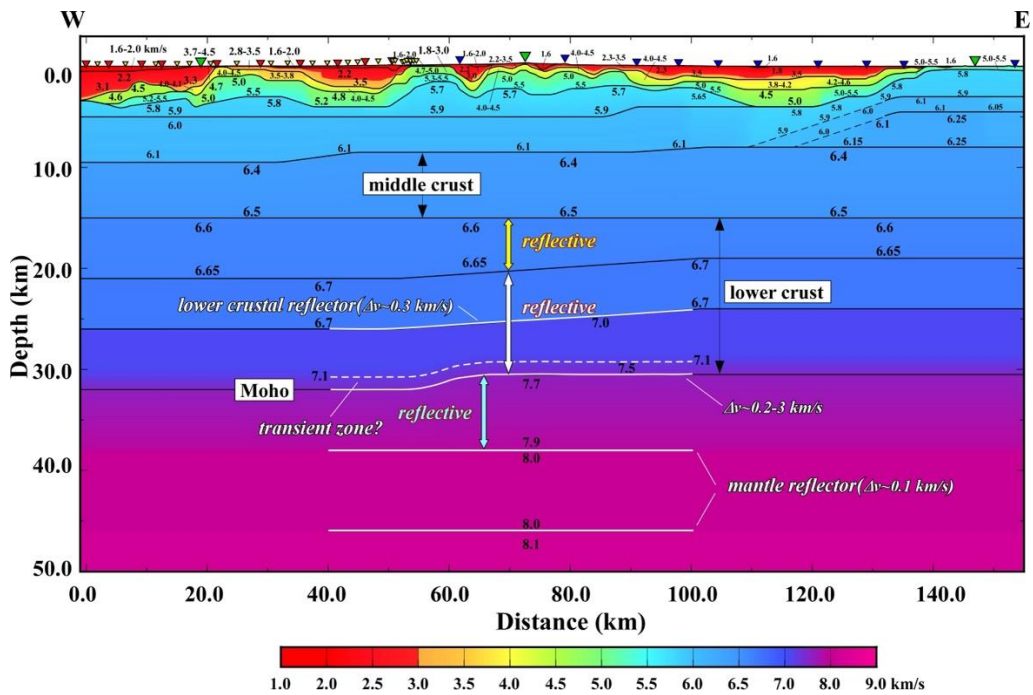


図 1. 糸魚川-静岡構造線活断層帯北部木崎湖地区における浅層反射法地震探査(名古屋大学[課題番号:NGY_03])。(a) 糸魚川-静岡構造線活断層帯の分布 (Okada et al., 2015 を改変) と浅層反射法地震探査測線図。(b) フィルタ後時間断面。(c) フィルタ後時間断面・予備的解釈。

(a)



(b)



(c)

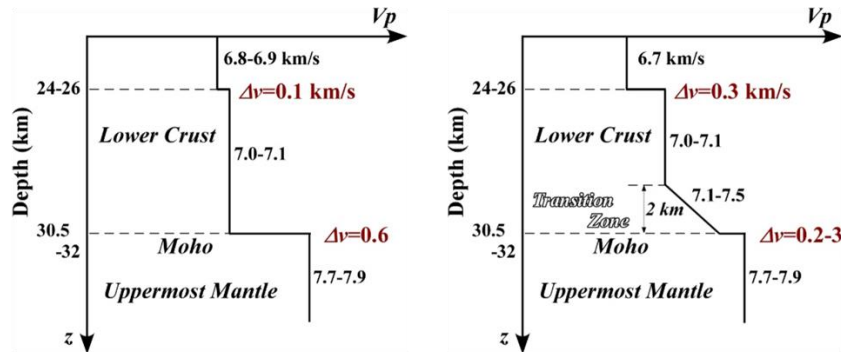


図 2. 東北日本弧中部陸域地震探査の屈折・広角反射法解析結果（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_11]）。(a)測線図。(b)地殻・最上部マントルの速度構造。地殻深部・上部マントルの反射面における速度コントラストも示した。(c)下部地殻・マントル最上部における速度プロファイル。左が走時解析のみに基づくモデル。右が走時・振幅解析に基づくモデル。

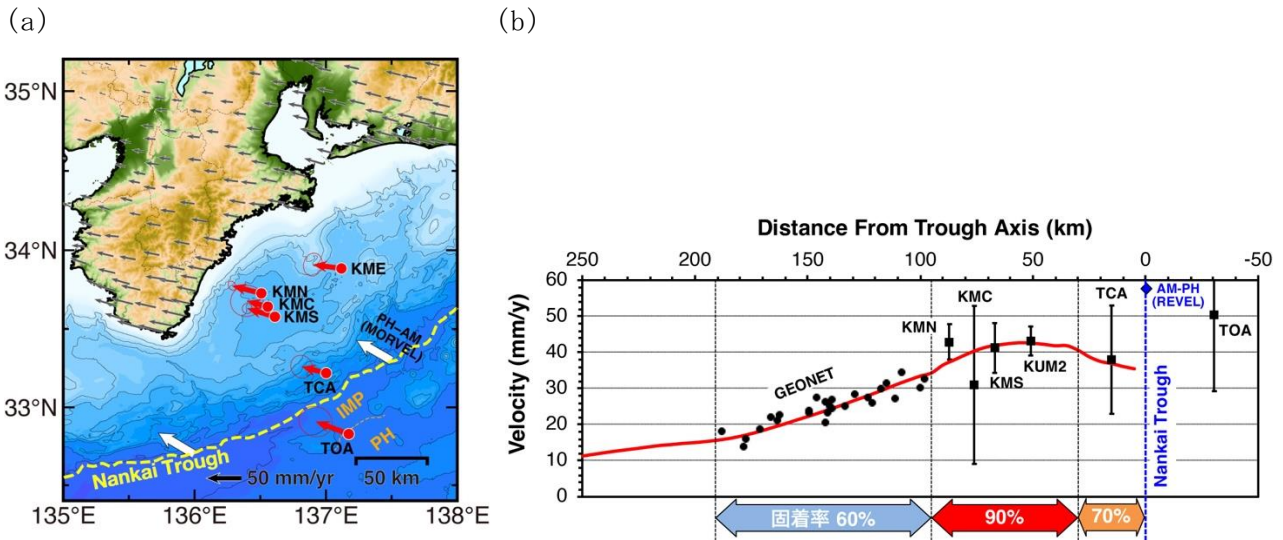


図 3. 南海トラフ沿い熊野灘周辺における地殻変動速度とプレート間固着モデル（名古屋大学[課題番号：NGY_04]）。(a) 海底地殻変動観測によるアムールプレート（MORVEL）に対する変位速度ベクトル。陸上の変位速度ベクトルは GEONET F3 解による。(b) 南海トラフ軸から陸域に至る地殻変動場とプレート間固着分布。プレート間固着分布はフォワードモデリングによる。陸域の地殻変動観測結果は GEONET F3 解による。

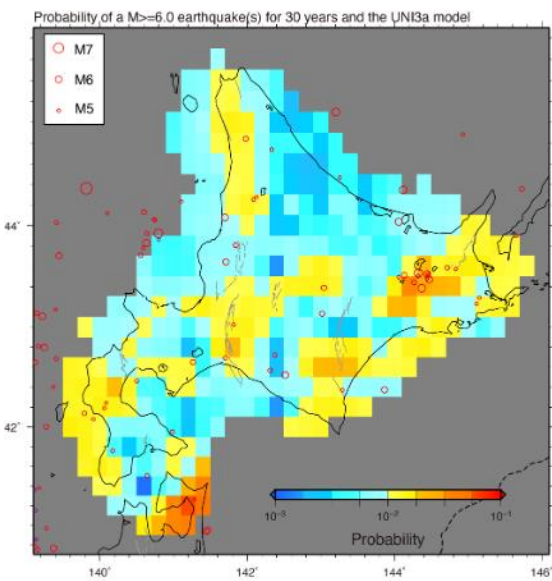
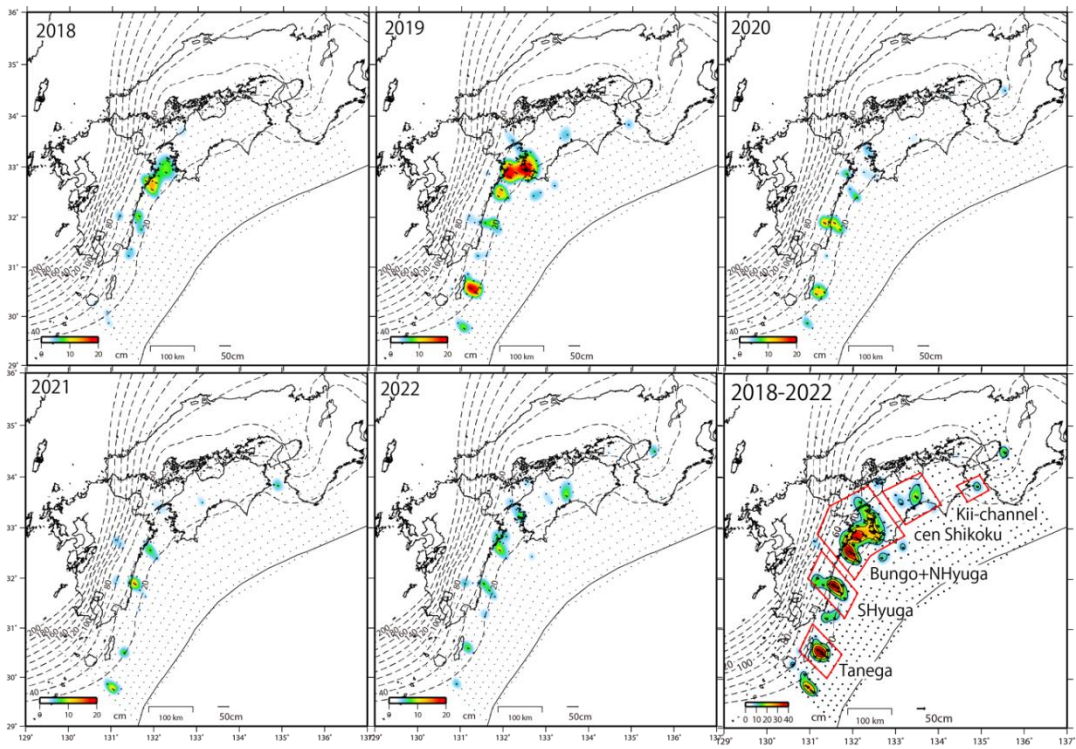


図 4. 北海道地方における $M_{JMA}6.0$ 以上の地殻内地震の30年発生確率（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。地震発生層の厚さと剛性率を一様として計算を行った。赤と紫の丸は1919-2020年の深さ20 km以浅でM5以上の地震の震央で、赤はデクラスタリング後のもの。

(a)



(b)

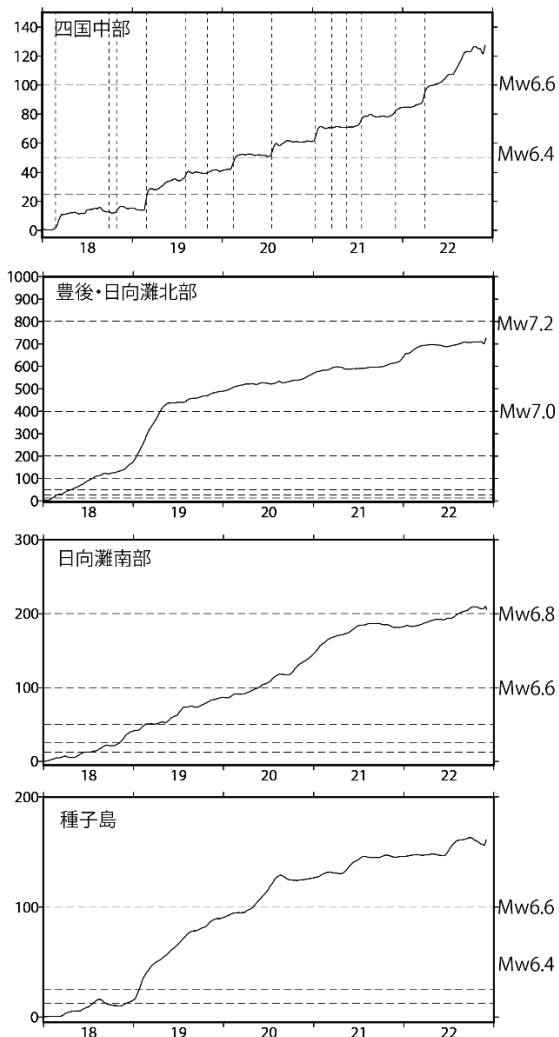


図5. 南海トラフ沿いの非定常地殻変動から推定したプレート境界滑り（国土地理院[課題番号:GSI_02]）。(a) 1年毎及び累積の滑り分布。(b) 領域ごとの累積モーメントの時間変化。各領域は(a)の右下に表示。四国中部の縦線は短期的SSEの発生を示す。

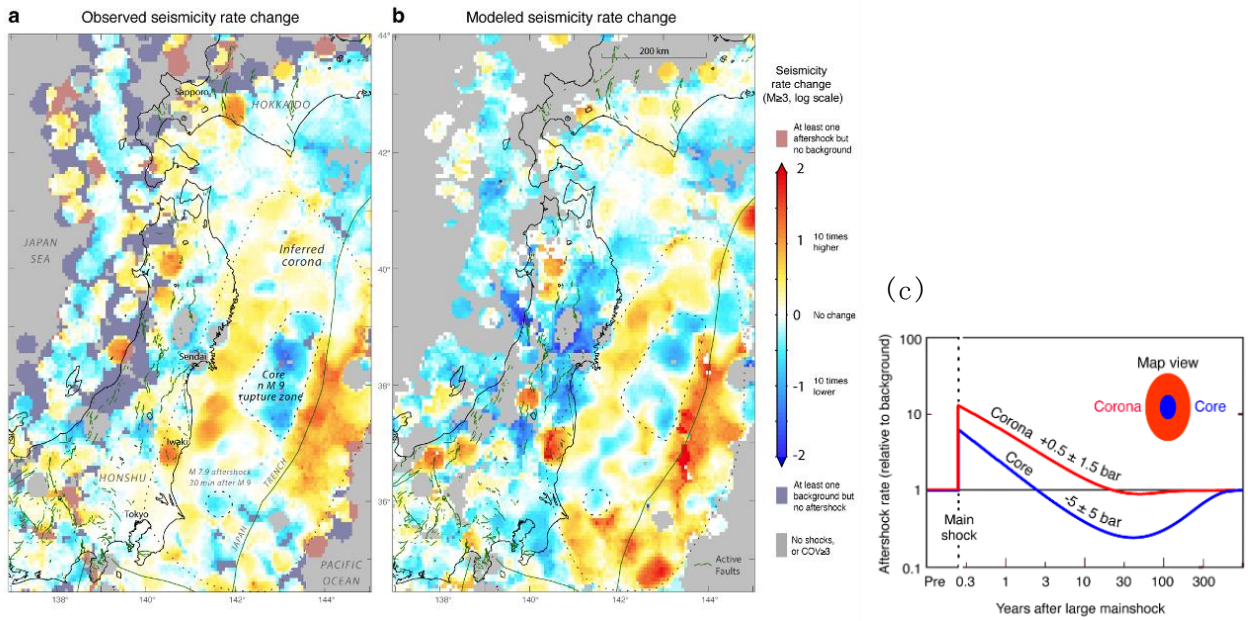


図6. 東北沖地震前後の地震活動の変化(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05], Toda and Stein, 2022)。(a) 観測された東北沖地震前13年間に対する同地震後5~10年後の地震発生率変化。(b) Rate/State Coulombモデルによる地震発生率変化の後ろ向き予測(retrospective forecast)。(c) Rate/State Coulombモデルに基づく大すべり域(core)と周辺域(corona)の地震活動度の時間変化。

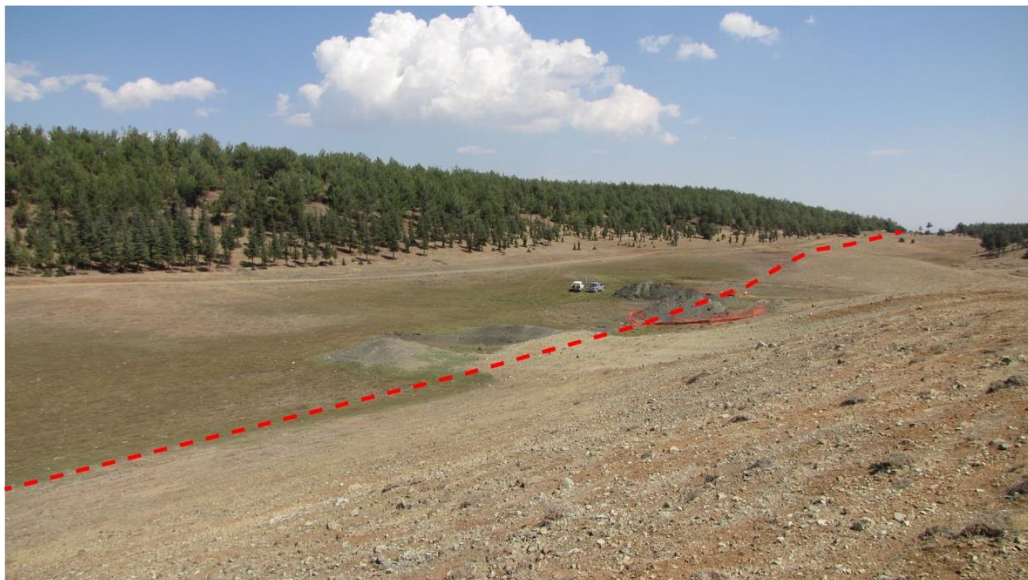


図7. 東アナトリア断層系・2014年カルタル・トレンチ調査地点周辺の地形(産業技術総合研究所[課題番号:AIST02])。赤破線が東アナトリア断層で写真は北向きに撮影。断層の北側が閉塞凹地で南側(手前)が蛇紋岩からなるシャッターリッジとなる。2023年の巨大地震では左横ずれ3.8~4.1 mの明瞭な地表地震断層が確認された。

1 (3) 地震 (中短期予測)

「地震 (中短期予測)」計画推進部会長 中谷正生
(東京大学地震研究所)
副部会長 川方裕則
(立命館大学)

本部会では、地震発生確率が高まっている状態を定量的に評価する手法の開発を目的として、地殻活動のモニタリングや物理的解釈・数理モデル化、様々な自然現象の変調と地震の相関の調査などを行っている。

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

プレート境界の固着・滑りの時空間履歴は、地震発生への影響が物理的に明らかであり、予測への演繹的アプローチが考えやすい。本項目では、スロー地震と繰り返し地震の検出を中心とした、非地震性滑りのモニタリングに基づく物理モデルの構築と予測を目指して研究を行っている。

○地殻変動

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・余効滑り・本震から成る一連の地震シナリオを作成した (気象庁 [課題番号: JMA_01], Saito and Noda, 2022; 野田, 2023a)。また、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 (気象庁 [課題番号: JMA01], 木村・他, 2022a)。

○繰り返し地震

繰り返し地震 (相似地震) は、プレート境界・断層の滑りを監視するすぐれた方法であり、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て繰り返し地震カタログを継続的に更新している。2011 年東北地方太平洋沖地震の大滑り域周辺において、巨大地震発生後の滑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滑りが継続しているものの、その他の地域では本震後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滑りが発生したことを確認した (東北大学理学研究科 [課題番号: THK09], Igarashi and Kato, 2022)。

滑り分布モニタの時空間分解能を上げるためには、より小さな繰り返し地震を用いる

ことが本質的であるが、類似波形検出のために波形相関を高サンプリングの連続波形から総当たりで計算するのに莫大な時間がかかることが障壁であった。本年度、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、総当たりで波形類似度を計算したところ、120 スレッド並列化のもとで、16 ch、100 Hz サンプリング、5.8 年分に相当するサンプル数の連続データを 15.5 時間で処理できるという、十分に実用的な速度が確認できた(東北大学理学研究科[課題番号:THK_09])。

釜石市周辺に 2018 年から 13 点の臨時観測点を置いて行っていた稠密観測については、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した。観測網の効果を調べるために、2018 年 8 月 1 日からの 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ところ、それ以前に比べて 1.7 倍の個数の震源を決めることができていた(東北大学理学研究科[課題番号:THK_09])。

○深部スロー地震

産総研・防災科研・気象庁の 3 機関は、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でおきる短期的なスロースリップ・イベント(SSSE)を解析するシステムを運用しており、2021 年 11 月-2022 年 10 月までの 1 年間では、SSSE46 個の震源断層が決定された(産業技術総合研究所[課題番号:AIST09], 落・他, 2022, 2023)。

一方、GNSS による地殻変動データから、大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を行う手法を開発した。この手法を日向灘の GNSS 客観検知に適用したところ、余効変動が除去され長期的スロースリップイベント(LSSE)のみが検出されるようになった(気象庁[課題番号:JMA_01], 小林・木村, 2022)。

また、東海大学と気象庁は、定常観測の感度が低い駿河湾における海底地震計観測を行ってきた。過去 10 年間の駿河湾の海底地震計のデータに微動活動にともなう振動が記録されていないか調査したところ微動活動は認められなかった(気象庁[課題番号:JMA_01], Panayotopoulos et al., 2022; 永井・他, 2022b; 西宮・他, 2022)。

豊後水道周辺地域で実施している GNSS 連続観測のデータに基づき、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)の滑り域を推定した。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。推定された滑り過程から、前者では SSE の滑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滑りが伝播していた。このことより豊後水道では微動発生域に滑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(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_12])。

豊後水道については、深部微動と潮汐との相関の長期的な時間変化の調査も行った。LSSE の隣接領域での微動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が見い出された(気象庁[課題番号:JMA_01], 弘瀬・他, 2022)。

SSE における流体の役割を解明するために西南日本で精密重力観測を行ってきた。本年度は、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て観測を行った。その結果、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石垣島で検出した(図 1)。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，平松，2023）。

○浅部スロー地震

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（気象庁[課題番号：JMA_01]，Tamaribuchi et al.，2022）。

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滑り過程の再評価を行い，詳細な発生様式を明らかにした。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2，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Takemura et al.，2022a）。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のスケーリング則を明らかにした（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Takemura et al.，2022b）。

○スロー地震と構造の関係

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続けた。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の移動を示した。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つで概ね特徴づけられ，低周波地震の分布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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Kato et al.，2023）。

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)の断層強度や滑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(:=P波速度から推定される有効鉛直応力 ÷ 正常圧密で期待される有効応力)を推定した。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, 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3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は日本海溝より著しく低く，南海トラフのデコルマがより滑りやすく浅部スロー地震が起きやすい状態であると考えられる。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のかもしれない。一方，南海トラフのZone Iでは，透水性の低い泥岩層により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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Jamali Hondori and Park, 2022）。

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，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常時微動表面波トモグラフィ手法を開発した。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，高木・西田，2022）。

令和3年12月から継続している四国東部地域における稠密地震観測で得た連続記録については，気象庁一元化震源カタログの震源時刻に従ってイベント毎のデータ編集を実施し，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できる信号対雑音比の良好な観測データが取得できていることがわかった（図4，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]）。

○地震・スロー地震の物理モデル

南海トラフの実際のプレート形状を仮定したサイクルシミュレーションでは，摩擦特性や有効法線応力の分布を調節することによって，各セグメントの過去の巨大地震の発生様式，日向灘M7.5の発生間隔・深部で繰り返すLSSEなどと同時に再現することに成功した（気象庁[課題番号：JMA_01]，Hirose et al.，2022a）。さらに，SSSEまで含めた再現を目指して，平面断層上ではあるが，より細かいシミュレーションメッシュ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配置した。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ヵ月間隔で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（気象庁[課題番号：JMA_01]）。

スロー地震の物理モデルとして，スロー地震域を安定滑り帯の中に近接した多数の不安定パッチがあると仮定し，一つの不安定パッチの破壊がその周りに引き起こす余効滑りによって隣りのパッチが破壊されることの連鎖によって伝播現象がおきるというモデルが提案されている。これに速度状態依存摩擦構成則を適用して，継続時間の長い破壊過程を定量的に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（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]，Ariyoshi，2022）。

また，微動活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た（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Sakamoto and Tanaka，2022）。

○断層滑りのデータ同化

観測データからプレート境界の滑り履歴と摩擦特性を同時に推定するデータ同化は，原理的には，そのまま今後の滑り予測にも使えるはずである。

昨年度着手した2003年十勝沖地震直後の初期の余効滑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データを得た。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で観測変位の時系列データは説明可能であるが、摩擦特性には大きな空間変化を必要とする（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

観測データから、モデルパラメータの最適値のみならず、その不確実性を明らかにするためには、逆問題を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。昨年度から検討している、iterative ensemble smoother と ensemble transform Kalman filter を用いる手法について、本年度は、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、余効滑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、マントルの粘性率、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値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妥当な結果が得られた（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

SSE 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適切に与えることが重要である。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・累積滑り量をもつ SSE 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 SSE 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 SSE に成長したりできなかつたりすることを明らかにした。一方で、Takagi et al. (2019) は、観測される SSE の累積滑り量や再来間隔の走向方向のバリエーションが、SSE の発生領域に隣接する領域の非一樣な固着度と相関していることを指摘している。そこで、SSE 域の摩擦特性は一樣とした上で、隣接領域の固着度を運動学的に走向方向に非一樣に設定したフォワード計算を試みたところ、SSE はセグメント化し、セグメントごとの SSE の再来間隔が異なるという結果が得られた。したがって、実際のデータ同化では、このようなアンサンブルも考慮する必要がある（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

地震活動は 20 世紀前半からの網羅的観測データがあり、予測手法の検証・実践に関して格段のポテンシャルを有しているため活発な研究が続けられている。

○新しい地震観測手法

これまでの地震観測は、観測点の振動を地震計で測り、振動の空間分布は、多数の独立型の観測点を比較して得られる離散的なものであった。最近、長い光ファイバを敷設

することによって、振動の空間分布を光ファイバに沿って連続的に得る DAS 技術が注目されている。そこで、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 は多数捉えた。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、DAS と地震計で長期間観測を実施すると、地震計の振幅は一定であるが、DAS の振幅には周期に規則性のない揺らぎが見られた（気象庁[課題番号：JMA_01]，田中・小林，2022）。

○震源カタログ

地震活動を用いる研究においては、地震カタログの質と量がまずもって重要である。地震カタログ作成の新しい手法として機械学習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 (24 ch) に対し、深層学習を用いてイベント検出・走時検出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 供試体の実験で得られた高精度な検出値等を用いて訓練したシステムを、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 波形データに適用したところ、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。ただし、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 5, 東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], 直井・他, 2022)。一方、有効な特徴量を大量の学習データから自動で事象を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 の震源座標精度を達成できた (東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], 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、ベイジ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 6), 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、さらに、定常網のマグニチュードも補正量の平均値はゼロであるが、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定常網を用いたマグニチュード決定もより正確になったと考えられる（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13], Si et al., 2022）。

地震カタログにおける大きな問題の一つは、本震直後の地震検知率の低下とその後の急激な回復である。検知能力の時間変化は、状態空間モデルを用いて推定することが多いが、時間変化が局所的に急激であるために、状態の時間変化の確率分布(システムノイズ)をうまく仮定する必要がある。そこで、地震検知能力を表すモデルに Ogata and Katsura (1993)を用いて、改良大森則に基いて作った 250 例の合成カタログに対して、システムノイズとして、正規分布(ばらつきの時間変化なし/あり)、コーシー分布(ばらつきの時間変化なし/あり)の 4 種を仮定した粒子フィルタアルゴリズムで検知能力の変化を推定してみたところ、コーシー分布(ばらつきの時間変化あり)による成績が概ね良好であった。コーシー分布は、裾が重く外れ値を正規分布より許容し得ることから、急激な変化への対応に向いていると考えられる。この知見は、地震や SSE のサイクルをデータ同化する際にも参考になろう（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

歴史資料から過去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 $1E-4$ 以下と明らかに有意であった（図 7，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13], 石辺ら, 2023 in press）。

○地震の可予測性

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がなく、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から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、地震の規模別頻度分布に非定常性があるかという問いであり、2004 年に南カリフォルニア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。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。カタログの完全性に問題があると疑似的な相関が出ることには合意があるが、相関の存在に対する結論(yes/no)と使用データのコンプライトネスやサイズには有意な相関がなく、今のところ形勢は互角である。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（図 8，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13], Petrillo and Zhuang, 2022）。

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月の台湾の台東地震(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ロバストな結果が得られるとされるポテンシー密度テンソルインバージョン法(PDTI法)による震源インバージョンを行った。本震のモーメントレートは、途中で一度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急激な変化が見られた。階層パッチモデル(Ide and Aochi, 2006)ならこういった破壊の様子が無理なく説明できる(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], Yagi et al., 2023)。

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タログ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角が大きくなる傾向が見い出された。一つの解釈として、小規模地震ほどその滑り方向に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(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], 石辺ら, 2022b)。

○地震の周期性

繰り返し地震は周期性があることがよく確認できているため、ゆらぎを考慮した更新過程での確率予測実験が行われてきた。しかし、東北地震でステップ的に増加した背景滑り速度の長期的な減衰の影響で、繰り返し地震の予測実験が一時不可能になっていたが、2020年度に報告したように、非定常更新過程モデルの導入によって再開できた(野村・田中, 2021)。本年度は、2014-2020年の発生データから作成した相対的な応力蓄積率の時空間変化のスプライン関数を短期外挿した応力蓄積率で非定常更新過程モデルを駆動して2020年中の四半期毎の繰り返し地震発生確率を予測した。発生実績と比較したところ、ポアソン過程に比べて有意に高い予測性能が示された(図9, 東北大学理学研究科[課題番号:THK_09], 野村・他, 2022)。

繰り返し地震がなぜ良好な周期性を示すかは、地震の可予測性の問題に重要なヒントと考えられ、繰り返し地震の破壊域内に階層的な強度構造が示唆されている(e.g., Ide, 2019)。2021年3月と5月に宮城県牡鹿半島沖で発生した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ところ、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、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10, 東北大学理学研究科[課題番号:THK_09], Yoshida et al., 2022)。一方、

2015年5月に宮城県気仙沼沖で発生した Mw6.8 の地震は、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が、2015年の場合だけ、隣接する同等サイズのパッチをも破壊していたことがわかった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]，Yoshida，2023）。

活断層における大地震の発生確率の評価方法の一つは、その発生にある程度の周期性を期待して、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、地震調査研究推進本部による評価では、再来間隔のゆらぎパラメタ 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タログ(Igarashi，2020)を用いて AP を求めたところ、平均値は 0.20 と地震調査研究推進本部が仮定している値に整合的だが、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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，石辺・松浦，2022）。

○ETAS による地震発生予測

地震活動に基づく短期的地震発生確率予測の手法として、ETAS モデルは最もよく確立されたものである（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，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 11，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]）。

一方で、ETAS モデルそのものの高度化も進めている。大きめの地震の発生など、ある時期を境に ETAS モデルの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 の規模が比較的大きめの地震 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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，Benali et al.，2022）。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，Xiong and Zhuang，2023）。

○トリガリング

余震活動が、静的および動的応力におよぶトリガリングであることは広く認められている。例えば、南カリフォルニアの先行研究で、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 and Ben-Zion，2009；Enescu et al.，2009)し、日本でも、火山地域では動的トリガリングが圧倒的に起きやすいことがよく知られている。このようなトリガリング感性に影響する地学的特徴を見出すために、本年度は 2000 年以降に日本内陸でおきた 20 km 以浅 M5.5 以上の地震 18 個の余震活動パラメタを求め、防災科

学技術研究所が所有する地殻熱流量データ (Matsumoto, 2007) と比較した。その結果、有意な相関は認められなかった。一方で、南カリフォルニアと比べて 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 年東北地方太平洋沖地震の発生前の東北日本では、大森・宇津則の余震生産性が比較的高かった。これは解析に用いた地震群の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(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], Enescu and Furuya, 2022)。

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

地震先行現象の候補として提案されている様々な自然現象について、地震発生との相関の有無と程度を評価しておけば、その知見を経験的に地震発生確率の予測に取り入れることができるし、物理ベースの演繹的予測法のヒントになることも期待できる。

○複数項目による経験的地震発生予測

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して実際におきた M6 以上の地震 14 個と比べて成績を評価した。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 12, 東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], Zhang et al., 2023, in press)。

○前震識別

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(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], 鈴木・野村, 2022)。

○微小リピータ前震

前震の中には、本震の破壊開始点近傍で本震直前に多数の微小な相似地震としておこるものがある(e.g., Bouchon et al., 2011; Doi and Kawakata, 2012, 2013)。非常に小さな地震であるため ETAS 的なトリガリングで本震を起こした可能性は低く、震源核の形成が示唆されるが、先行現象であるかどうかを検証するためには、大地震の直前だけ

でなく、全ての時間・空間においてテンプレートなしで総当たりの波形比較を行って微小な相似地震を網羅的に検出する必要がある。波形の相互相関関数を用いた方法では計算時間がかかりすぎて実行困難であるために、昨年度までに波形の情報量を削減するハッシュ関数を用いる方法を提案したが、相互相関関数に比べれば偽陽性・偽陰性共に多く、少なくともベンチマークとして相互相関関数による検出を行なう必要がある。そこで、本年度は、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 逆変換を計算して相互相関関数を求めるコードを開発・実装し、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 週間分の連続波形を 5 時間程度で処理できることがわかった。このアルゴリズムを、大阪府北部の地震(2018 年 6 月 18 日 07 時 58 分, Mj6.1)発生時を含む 10 日間の Hi-net 交野観測点と久御山観測点(震央距離 10-12 km)の 3 成分速度波形に適用したところ、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できた(図 13, 立命館大学[課題番号: RTM_02])。

○前震の室内実験

室内実験において微小破壊(アコースティック・エミッション, 以下 AE) イベントが前震的に起きることがあるが、そ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、絶対位置を精度よく知る必要がある。そこで、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マルチアンビル型装置を用いた高圧試験における震源決定精度の評価を行った。マルチアンビル型高圧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 AE センサを貼り付けることはできず、圧媒体の外側に配置される 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。また、試料の大きさが直径 5 mm 弱、高さ 10 mm 弱と非常に小さいため、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。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する。 ± 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。このことは、de Ronde et al. (2007) 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、10 Msps がかつ、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(図 14, 立命館大学[課題番号: RTM_02], 川方・大内, 2022)。

○複合的なメカニズムによる前震活動

2013年2月25日に発生した栃木県北部地震 M6.3 の前震活動を再解析した。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を再決定し、これらをテンプレートとして 2013 年 1 月-2 月の連続波形記録からイベント検出を行った結果、合計 15786 個の地震を検出した。前震活動は、本震の約 1 箇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、本震約 1 時間前に M3.6 の地震が発生して以降は、前震活動域が本震の断層面の走向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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]）。

○ふつうの地震活動

地震活動の異常度を定量的に評価する新たな手法の開発を目指して、2000 年-2020 年 8 月の日本全国の地震活動の規模別頻度分布、潮汐相関に関する指標値について、空間グリッドサイズ一定、解析震源数一定の機械的な解析を行い、各指標値の頻度分布に着目して、全国的に他の活動と区別することができない“ふつう”の地震活動を特徴づけ、これを基準として異常度を定量化したことを昨年度報告した。本年度は、この手法で「ふつうの地震活動」とされたものについて、その全数からなる母集団の規模別頻度分布を定式化するとともに、活動指標の時間変化を評価するときに解析される典型的な 50-100 イベント程度から得た指標値 (b と η) のみかけのゆらぎの意義を検討した。母集団の頻度分布は、完全な GR 則 ($b = 1, \eta = 2$) よりは少し勾配がゆるく、また、僅かに上に凸 ($b = 0.9, \eta = 1.8$) であり、Lomnitz-Adler and Lomnitz (1979) の式 (LL 式) でよくフィットされる。これに対して、小集団から求めた b 値は、最尤推定値 ($b = 0.9$) は正しいものの、 ± 0.3 程度ゆらいでみえるが、これはサンプル数が少ないことによる影響が大きく、LL 式を用いたシミュレーションによって、ふつうの地震活動における b 値のゆらぎは ± 0.1 程度であると推定された。一方、 η 値については、Utsu (1988) が指摘しているように、サンプルが少ないと最頻値すら過小評価される傾向がある。また、みかけのゆらぎも大きい (1.4-2.2 程度) が、これもサンプル数が少ないことによる影響が大きく、LL 式を用いたシミュレーションから推定した η 値の真のゆらぎは、ふつうの地震活動においては 1.7-1.9 程度である（気象庁[課題番号：JMA_01], Nagata et al., 2022）。

○前震以外の地震活動異常

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)。本年度は、1969, 1975 年の北海道東方沖地震の震源域で 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) ことに着目して、長期静穏化現象のメカニズムについて一つの仮説を提案した。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お

ける 2003 年 2 月の群発地震活動を誘発したものだと考えれば、この SSE は、同時に down-dip 側のスラブ内に圧縮力を加えるため、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ことが期待され、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 年の震源断層面上における SSE が要因と推察される（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，勝俣，2022）。

○地殻流体

地殻流体に見られる変動もしばしば地震に先行することがある。同一地点に深さの異なる 3 つの井戸を設置し、地下水位・歪・傾斜を観測する産総研の地下水等総合観測施設は、南海トラフの想定震源域に 20 点を計画し、2006 年から順次整備を進めている。本年度は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（産業技術総合研究所[課題番号：AIST09]）。

大気中ラドン濃度については、令和 4 年度までに全国 25 施設の医薬系放射線管理施設が参画しているモニタリングネットワークによってデータ収集・解析を続けている。

1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震の前 1-2 箇月に、震源域の東方、芦屋断層上にある神戸薬科大学で測定した大気中ラドン濃度に平年のパターンから大きく外れた顕著な変動があったことはよく知られている。本年度は、同データの日周変化パターンを解析した。一般的な日変動のパターンは、日没から日の出までの気温低下時には、空気の安定度が増加することで測定場所付近の地下からのラドン散逸を反映してラドン濃度が上昇し、逆に、日の出以降の気温が上昇時には、空気の混合によってラドン濃度が下降するというものであり、実際 1994 年の 10 月から 12 月のデータもこの日周変化に従っていた。しかし、1995 年 1 月 1 日から 1 月 16 日の地震直前期間においては、気温下降時のラドン濃度の上昇は平年より小さく、測定場所付近のラドン散逸が減少していたと思われる。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、異常に高い値に留まった。一方、ラドン濃度の日最低値からは、より広域的には 12 月以降は平年に比べて顕著にラドン濃度が高い状態が続いていたことが示唆される。両者を考えあわせると、測定場所付近でのラドン散逸はむしろ減少していたのだが、兵庫県南部地震の震源域でのラドン散逸によってラドン濃度が高くなった大気が、混入してきたと考えられる（東北大学[課題番号：THK_10]，西尾・他，2023）。

また、大気中ラドン濃度変動を機械学習(ランダムフォレスト)によって検出することを試みた。福島県立医科大学(平常時：2002 年から 2007 年を学習し、2008 年から 2011 年を予測)では、東北地方太平洋沖地震(2011 年 3 月 11 日)前にあたる 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く、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。一方、神戸薬科大学(平常時：1984 年から 1988 年を学習し、1990 年から 1995 年を予測)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（東北大学[課題番号：THK_10]，土谷・他，2023）。

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(大和町吉田字旗坂地内)の伏流水と河川水の水温データと、宮城県栽培漁業センター(石巻市谷川浜字前田 22)の地下水水温データ(1 日 1 回計測)をデジタル化した。いずれのデータに

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（公募研究，東京学芸大学[課題番号：KOB008]）。

2022年3月16日，福島県沖を震源とする最大震度6強（M7.4）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し，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。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）。そこで，ボラの大量死と，一般の人がその発生をより意識しやすい震度を基準として，最大震度6強以上の地震との関係を調べた。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，この間に該当する地震は21個あった。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。関連を疑う先行時間を，Orihara et al. (2019)にならって，大量死から30日後まで，大量死の場所から地震までの距離を，2022年3月のボラ大量死（東京都大田区）にあわせて半径300 km以内とすると，ボラ大量死から30日後までに半径300 km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（図15，公募研究，東京学芸大学[課題番号：KOB008]，織原，2022a）。

同様にネットで話題になった例として，2023年2月6日未明にトルコとシリアの国境付近で発生したM7.8の地震の18日前にトルコ・ブルサ県（震源から約700 km）で出現していた赤みを帯びたレンズ状の雲が，前兆だったのではないかという話がある。この件に関し，Yahoo! ニュースに「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」との談話が発表されたが，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（公募研究，東京学芸大学[課題番号：KOB008]）。

○電磁気的な地震先行現象

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。異常の開始は地震の41.5分前であり，日本の異常開始時刻と非常に近く，また，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（千葉大学[課題番号：CBA_01]，He et al., 2022）。

一方，同地震数日前の3月8日昼頃から3月9日に昼頃にかけて，東北地方上空で電子密度の負の異常があったことが先行研究(Hirooka et al., 2016; Liu et al., 2018)で指摘されているが，そこで用いられた非線形トモグラフィー手法では，そもそも電子密度の低い夜

間も異常が継続していたかはわからなかった。そこで、昨年度報告した改良線形正則化法 (Song et al., 2021) を適用したところ、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、夜間も含めて安定的に存在していたこと、その周囲では電子密度が増加していたことがわかった (図 16, 千葉大学[課題番号: CBA_01])。

○地震・火山・津波等からメカニカルに誘起される TEC 変動

早期警報等に役立つと期待される、地震・津波・火山によって励起される TEC 変動についても事例解析を進めた。上述 Song et al. (2021) の例からもわかるように、これらのメカニズムや大きさがはっきりした事象による TEC 変動は電離圏にあらわれる先行現象の解析の基礎となると同時に、災害の早期警報に役立つと期待される (千葉大学[課題番号: CBA_01], 鴨川, 2022)。

2022年フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の大規模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。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 (千葉大学[課題番号: CBA01], Heki, 2022; Muafiry et al., 2022)。

また、トンガの大規模噴火により、2022年1月15日04:05UTCに地表面近くにて発生した顕著な移動性大気擾乱 (TAD) について、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調査した。地表付近の大気圧は11:30UTCに上昇し始め、11:50UTCにピークに達した。海面変動は12:00UTCに始まり、14:00UTC以降に顕著になった。電離層は12:00UTCに突如上昇し、14:30UTCに最高高度に達し、東向きの電場が出現したことを示唆した。さらに、14:00-15:00UTCの間には、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。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 (千葉大学[課題番号: CBA_01])。

また、先述の改良線形正則化法 (Song et al., 2021) によるトモグラフィを用いて台風によって励起された電離圏擾乱を解析した結果、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) を初めて観測学的に示した (千葉大学[課題番号: CBA_01], Song et al., 2022)。

これまでの課題と今後の展望

スロー地震に関しては、様々な時空間スケールにおける相互作用が見えてきて、物理的な解釈もなされている。現実のプレート境界の不均質の理解も進んでおり、モニタリング・予測に必要なデータ同化手法も着実に進展しており、物理モデルに基づくスロー地震の予測は、もうすぐ一定程度には成功すると期待できる。通常地震についても、複数のスケールでのアスペリティを取り込んで、南海トラフで見られる複雑さと周期性の両方を再現することに成功しており、また、階層的破壊の実例観察も充実してきた。これらの物理的理解は、自然地震の可予測性を支配する本質的な要素を備えており、経験則の追究を含めて新たな展開が生まれるかもしれない。経験的な手法による予測に関しては、洗練された統計モデルによる予測が着実に進むとともに、機械学習等の利用が始ま

った。まだ、華々しい成果はないが、様々な面から考えて機械学習が経験的な地震予測の性能を大きく改善する可能性は高いだろう。一方で、予測の大前提である、地震カタログ等の基礎データの充実における機械学習の威力はまざまざと示された。

成果リスト

- Ariyoshi, K., 2022, Extension of aseismic slip propagation theory to slow earthquake migration, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, 7, e2021JB023800, 10.1029/2021JB023800
- Benali, A., J. Zhuang, 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
- Chen, H., P. Han, K. Hattori, 2022, Recent Advances and Challenges in the Seismo-Electromagnetic Study: A Brief Review, *Remote Sensing*, 14(22), 5893, doi: 10.3390/rs14225893
- 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
- 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, *JpGU Meeting 2022*, SSS13-05
- Enescu, B., K. Furuya, 2022, Investigation of a possible relationship between aftershock parameters for sequences occurred inland Japan after 2000 and crustal heat flow, *JpGU Meeting 2022*, SSS05-P01
- Enescu Bogdan, 下條賢悟, 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
- 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
- Hamama, I., M. Yamamoto, M.N. ElGabry, N.I. Medhat, H.S. Elbehiri, A.S. Othman, M. Abdelazim, A. Lethy, S.M. El-hady, 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
- He, L., L. Wu, K. Heki, C. Guo, 2022, The conjugated ionospheric anomalies preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Front. Earth Sci.*, 10, 850078, doi: 10.3389/feart.2022.850078
- 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 Planet. Space*, 74:112, doi: 10.1186/s40623-022-01674-7
- Heki, K., M.S. Bagiya, Y. Takasaka, 2022, Slow fault slip signatures in coseismic ionospheric disturbances, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL101064, doi: 10.1029/2022GL101064

- Heki, K., 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 Planet. Space*, 74:27, doi: 10.1186/s40623-022-01587-5
- 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
- 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
- Hirano, S., H. Kawakata, I. Doi, 2022, A matched-filter technique with an objective threshold, *Sci. Rep.*, 12, 22090, doi: 10.1038/s41598-022-25839-2
- 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*, S09P-03
- Hirose, F., K. Maeda, K. Fujita, A. Kobayashi, 2022a, 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 Planet. Space*, 74, 131, doi:10.1186/s40623-022-01689-0
- Hirose H., N. Chujo, T. Kimura, 2022b, 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
- 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*, 3H12
- Igarashi, T., 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
- Iida, T., M. Yamazaki, M. Kamogawa, 2022a, 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 T., M. Yamazaki, M. Kamogawa, 2022b, Statistical Evaluation of Seismic Precursors by Artificial VLF radio waves using on-orbit Data, *33rd International Symposium on Space Technology and Science*, 2022-f-22
- 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
- 石辺岳男, 松浦律子, 2022, Aperiodicity Parameters Estimated From the Recent Repeating Earthquake Catalogs and Implication for Seismic Hazard Assessment, *Japan 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, 松浦律子, 佐竹健治, 2023, 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

- 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?, JpGU Meeting 2022, SSS07-14
- 岩田貴樹, 2022, ETAS モデル: クラスタ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ス
- Jamali Hondori, E., 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
- 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
- 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
- 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
- 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, S09P-07
- 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
- 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
- 木口努, 今西和俊, 松本則夫, 2022a, 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
- 木口努, 今西和俊, 松本則夫, 2023a, 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, 319-320
- 木口努, 松本則夫, 北川有一, 板場智史, 落唯史, 佐藤努, 矢部優, 2022b, 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
- 木口努, 松本則夫, 北川有一, 板場智史, 落唯史, 佐藤努, 矢部優, 2023b, 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, 314-318
- 木村久夫, 小林昭夫, 山本剛靖, 露木貴裕, 2022a, 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, S03P-01
- 木村亮太, 安藤芳晃, 服部克巳, 早川正士, 2022b, 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

- 気象研究所, 2022a, 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
- 気象研究所, 2022b, 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
- 気象研究所, 2022c, 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
- 北川有一, 板場智史, 松本則夫, 落唯史, 木口努, 矢部優, 2022a, 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
- 北川有一, 板場智史, 松本則夫, 落唯史, 木口努, 矢部優, 2023a, 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, 457-467
- 北川有一, 松本則夫, 佐藤努, 板場智史, 落唯史, 木口努, 矢部優, 2022b, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2021年11月～2022年4月), 地震予知連絡会報, 108, 457-460
- 北川有一, 松本則夫, 佐藤努, 板場智史, 落唯史, 木口努, 矢部優, 2023b, 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, 468-471
- 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, SGD01-P05
- Koge, H., J. Ashi, J.-O. Park, A. Miyakawa, S. Yabe, 2022, Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties on shallow plate boundary fault, *Earth Planet. Space*, 74, 56, doi:10.1186/s40623-022-01621-6
- Kojima, S., R. Niwa, N. Iwamoto, H. Kaneda, K. Hattori, K. Komura, T. Yamazaki, 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
- 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
- Minamoto, Y., M. Kamogawa, A. Kadokura, M. Sato, 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
- 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
- Motojima, K., N. Takezawa, 2022, Statistical relationship between earthquakes and anomalous propagations on MF band at sunset time, JpGUnion Meeting 2022, MIS10-06
- Muafiry, I.N., I. Meilano, K. Heki, D.D. Wijaya, 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
- 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, 2022a, 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, SCG48-06

- 永井あすか, 西宮隆仁, 中尾風佐, 馬場久紀, 長尾年恭, 2022b, 駿河湾の海底地震計で観測される波形の種類について—巨大地震震源域での低周波微動検出の試み—, 日本地震予知学会 2022 年度学術講演会, 22-02
- 永田広平, 溜渕功史, 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—“ふつう”の地震活動の特徴に基づく異常度評価—, JpGU Meeting 2022, SSS11-P03
- Nagata, K., K. Tamaribuchi, F. Hirose, A. Noda, 2022, Statistical study on the regional characteristics of seismic activity in and around Japan: frequency-magnitude distribution and tidal correlation, *Earth Planet. Space*, 74, 179, doi:10.1186/s40623-022-01722-2
- 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
- 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
- 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
- Nickolaenko A.P., A.Y. Schekotov, M. Hayakawa, R. Romero, 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
- Nishikawa, Y., M. Yamamoto, K. Nakajima, I. Hamama, H. Saito, Y. Kakinami, M. Yamada, T.C. Ho, 2022, Observation and simulation of atmospheric gravity waves exciting subsequent tsunami along the coastline of Japan after Tonga explosion event, *Sci. Rep.*, 12, 22354, doi: 10.1038/s41598-022-25854-3
- 西宮隆仁, 永井あすか, 中尾風佐, 馬場久紀, 小林昭夫, 溜渕功史, 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」
- 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
- 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
- 野田朱美, 2023a, 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
- 野田朱美, 2023b, 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, 6-7
- Noda, A., T. Saito, 2022a, 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

- Noda, A., T. Saito, 2022b, Energy-based scenarios for interplate great earthquakes taking aseismic slips outside seismogenic zone into account, JpGU Meeting 2022, SCG44-22
- Noda, A., T. Saito, 2022c, An Inversion Method to Estimate Mechanically Coupled Areas on the Plate Interface, AGU Fall Meeting 2022,
- 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, S08-19
- 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
- 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
- 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
- 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, 255-313
- 小河勉, 2022a, 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, 2022b, 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
- 織原義明, 2022a, 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
- 織原義明, 2022b, 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
- Panayotopoulos, Y., S. Abe, H. Baba, N. Nakao, 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, S09P-16
- Petrescu, L., B. Enescu, 2022, Nearest-neighbour cluster analysis of intraslab seismicity in the Vrancea Seismic Zone, Romania, JpGUnion Meeting 2022, SCG43-03
- Petrillo, G., J. Zhuang, 2022, The debate on the earthquake magnitude correlations: a meta-analysis, Sci. Rep., 12, 20683, doi:10.1038/s41598-022-25276-1
- Saito, T., 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, e2022JB023992, doi:10.1029/2022JB023992
- Sakamoto, R., 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, doi:10.1029/2022JB024112
- Si, Z., J. Zhuang, C. Jiang, 2022, A Bayesian algorithm for magnitude determination by

- merging multiple seismic networks, *Chin. J. Geophys. (Acta Sin. Geophys.)*, 65(6), 2167-2178, doi:10.6038/cjg2022P0138
- Song, R., K. Hattori, X. Zhang, 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
- 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
- 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
- Takagi, R., 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
- 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
- Takemura, S., K. Obara, K. Shiomi, 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, doi: 10.1029/2021JB023073
- Takemura, S., S. Baba, S. Yabe, K. Emoto, K. Shiomi, 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, doi:10.1029/2022GL097979
- Tamaribuchi, K., M. Ogiso, 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.:Solid Earth*, 127, e2022JB024403, doi:10.1029/2022JB024403
- 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
- 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, S02P-04
- Tanaka, Y., H. Sakaue, 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*, 0-30
- Tonegawa, T., R., Takagi, K. Sawazaki, 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

- 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
- Ukawa, T., H. Hirose, 2022, Stress changes caused by Boso slow slip events inferred from seismicity data, JpGU Meeting 2022, SCG44-P24
- Xie, W., K. Hattori, P. Han, 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
- Xiong, Z., J. Zhuang, 2023, SETAS: A Spherical Version of the Space-Time ETAS Model, *Seismol. Res. Lett.*, doi:10.1785/0220220198
- Xue, J., Q. Huang, S. Wu, 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
- Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, J. Lu, 2023, Irregular Rupture Process of the 2022 Taitung, Taiwan, Earthquake Sequence, *Sci. Rep.*, 13, 1107, doi:10.1038/s41598-023-27384-y
- Yamada, M., T.C. Ho, J. Mori, Y. Nishikawa, 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
- 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
- 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, 3H11
- 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
- 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
- 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.:Solid Earth*, 128(2), e2022JB025654, doi:10.1029/2022JB025654
- 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, 8, doi:10.1029/2022JB024887
- 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
- Yu, F., E. Jamali Hondori, 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
- Zhang B., S. Chen, J. Zhuang, B. Zhang, 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
- Zhuang, J., 2022, Statistical Seismology, In: Daya Saga B. S., Cheng Q., McKinley J., Agterberg F. (eds) *Encyclopedia of Mathematical Geosciences*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, doi: 10.1007/978-3-030-26050-7_34-1

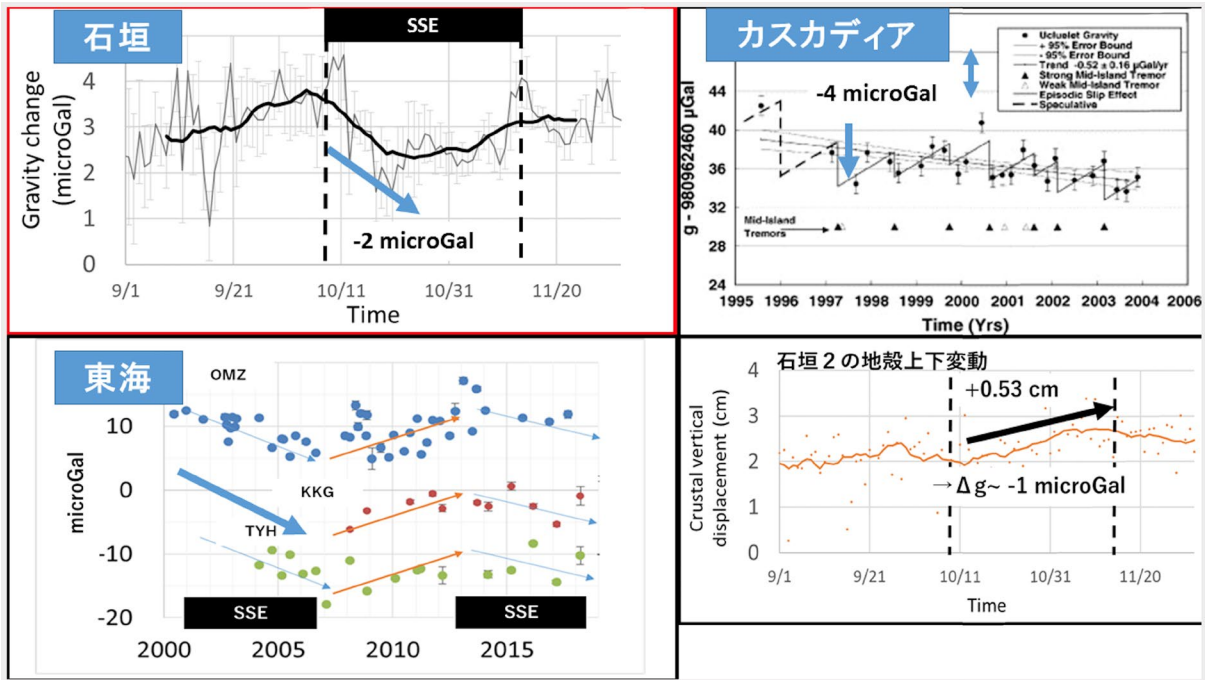


図 1. 石垣島で観測されたスロースリップ中の重力変化。スロースリップの開始と同時に重力が約 2 microGal 減少する（左上）。東海（左下）やカスカディア（右上）の観測結果と異なり連続的な重力データを取得した。GNSS による地殻上下変動の寄与は約 -1 microGal で、スロースリップ期間全体にわたり一様な速度で生じるが（右下）、重力変化は期間の前半に起きている（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，平松，2023 より改変）。

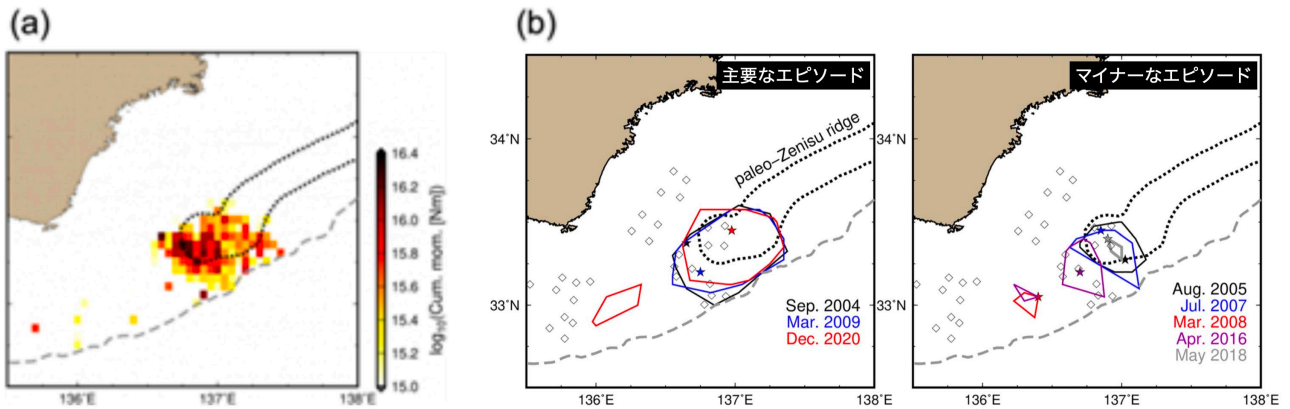


図 2. 紀伊半島南東沖の浅部超低周波地震。(a)浅部超低周波地震による 2004 年 4 月 - 2021 年 3 月の 17 年間の積算モーメントの空間分布と (b) 浅部超低周波地震活動の活動域。図中の破線は南海トラフ，点線は Park et al. (2004) による古銭洲海嶺の位置を示す（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Takemura et al., 2022a より改変）。

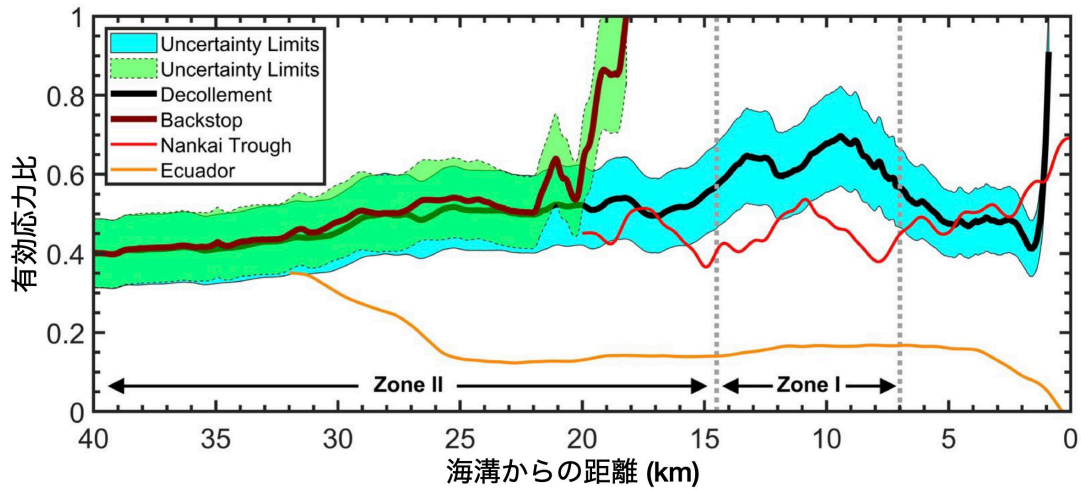


図 3. 四国室戸岬沖南海トラフと宮城沖日本海溝におけるデコルマの有効応力比。赤線は南海トラフでの値を示し，黒線は日本海溝での値を示す（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Jamali Hondori and Park, 2022 より改変）。

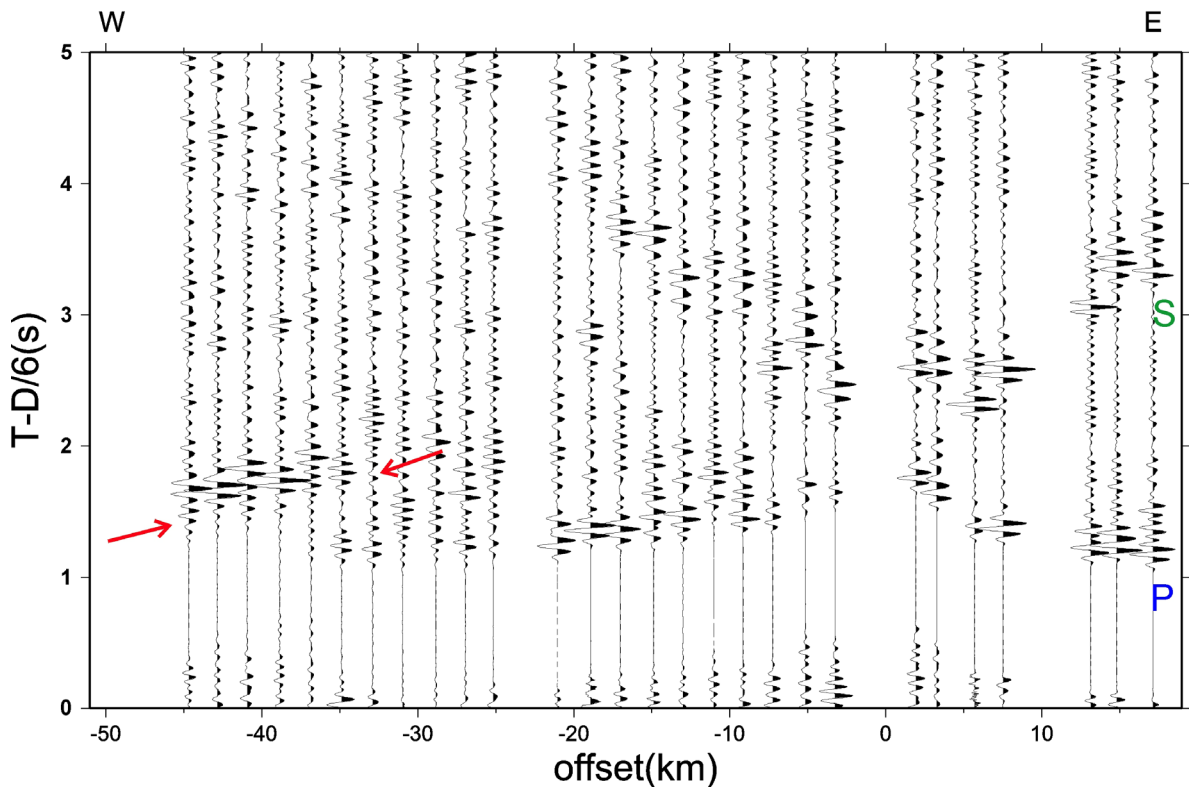


図 4. 四国東部の臨時稠密観測網の東西測線上の観測点で収録した地震の観測波形例（上下動成分）。($M_{JMA} = 2.3$, 発震時刻：2022/4/22 11:00:43.66, 震源位置：33.99367°N 134.16817°E 6.6 km deep)。横軸は震央距離，縦軸の時間は原点が震源時に対応する。振幅には AGC 処理を施している。リダクション速度:6.0 km/s。Band pass filter:5-20 Hz。地下深部からの反射波と思われるフェイズ(赤色矢印)が確認できる（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]）。

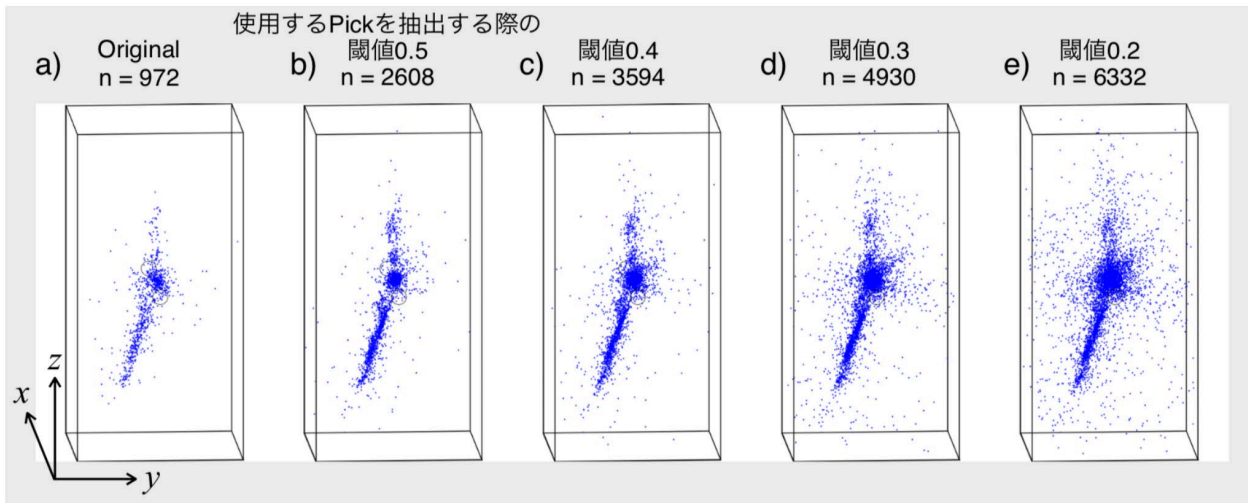


図5. 室内水圧破碎実験で得られたAE連続波形から深層学習を利用して作成した震源分布。a)従来手法で決定した結果。b)–e)深層学習を利用して決定した結果。走時検測におけるピック候補抽出時の閾値を変えて Association・震源決定を行い、従来手法と同じ走時誤差の選別基準で抽出(P波走時8個以上, 最大誤差10mm以下)した結果を示している(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_13], 直井・他, 2022より改変)。

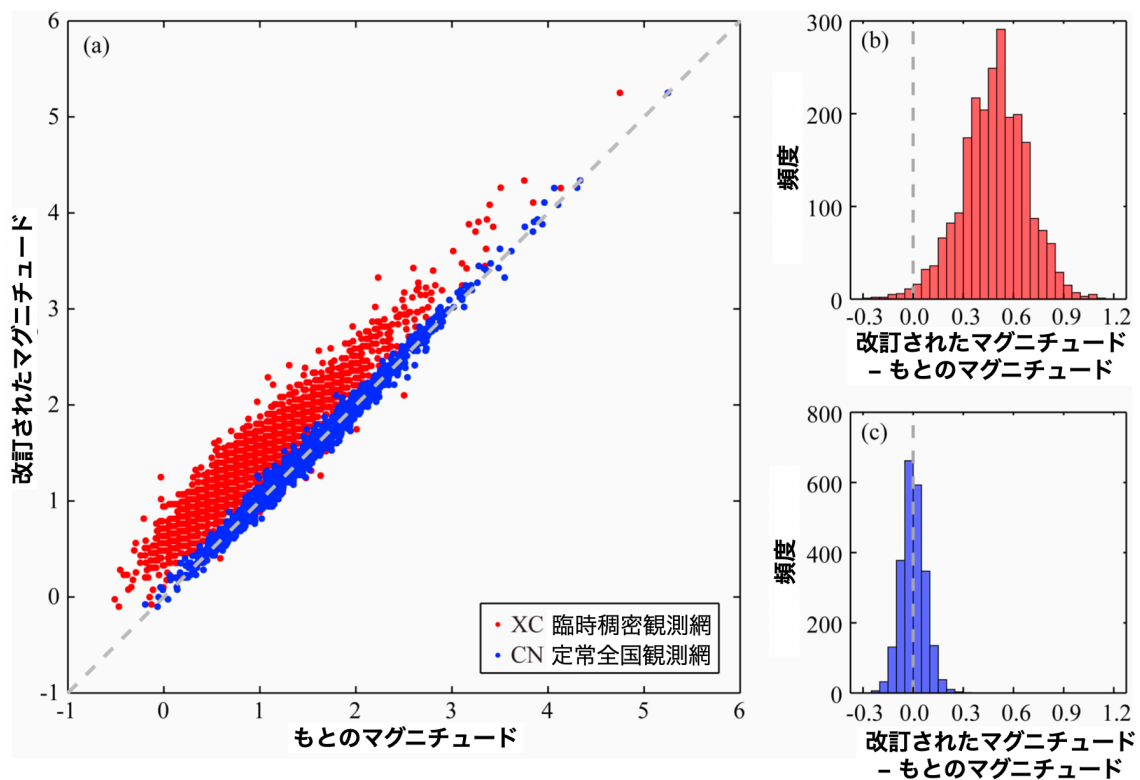


図6. Xichang 地域の臨時ネットワークと中国の定常ネットそれぞれで決めたマグニチュードを補正した結果。(a)補正結果。(b)Xichang 地域の臨時観測網で決めたマグニチュードに対する補正量の分布。(c)定常観測網(中国地震観測網)で決めたマグニチュードに対する補正量の分布(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_13], Si et al., 2022より改変)。

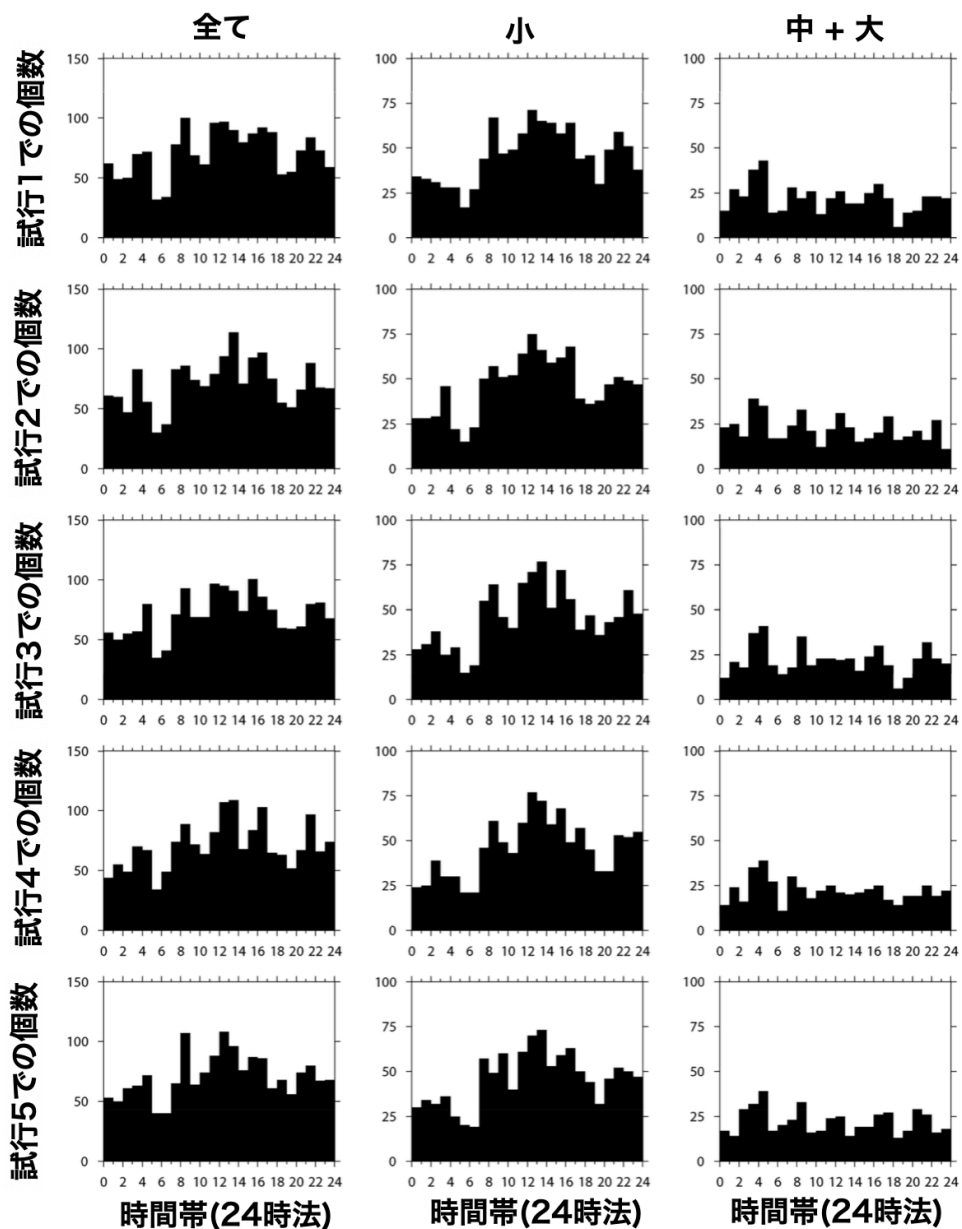


図7. 真覚寺日記に収録された有感地震の発生時間帯のヒストグラム。不定時法で記された時間帯情報を24時法に変換するとき乱数を用いた。その変換の試行のうち5回を示す。左列:すべての有感記録を用いた場合, 中列:揺れの程度「小」のみを用いた場合。右列:揺れの程度「中・大」のみを用いた場合(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_13], 石辺ら, 2023 in pressより改変)。

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	³⁸	Statistics	No	Dauidsen
19	2012	⁴⁰	Statistics	Yes	Lippiello et al.
20	2012	⁴²	Statistics	No	Dauidsen 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	Spassiani et al.
25	2016	Numerical	Statistics	Yes	Spassiani 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.

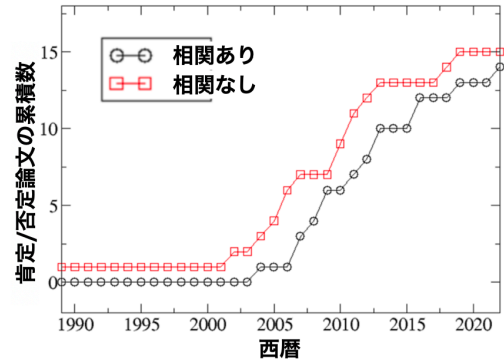


図 8. マグニチュード相関の有無に関する論争。左の表にある 29 本の論文を有り派と無し派に分け、それぞれの累積出版数を追ったのが右の累積カウント図（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]，Petrillo and Zhuang, 2022 より改変）。

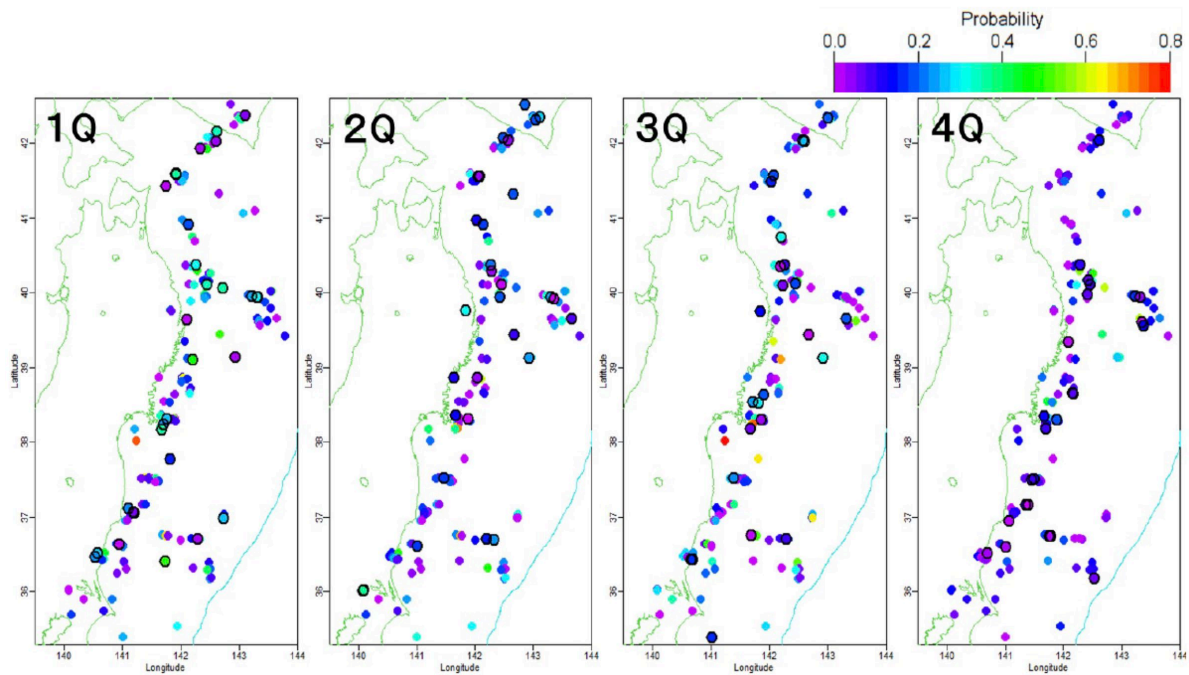


図 9. 2020 年の各四半期を予測期間として、直前までの発生状況から評価した繰り返し系列毎の地震発生確率。黒囲みは予測期間内に実際に発生した繰り返し系列（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]，野村・他, 2022 より改変）。

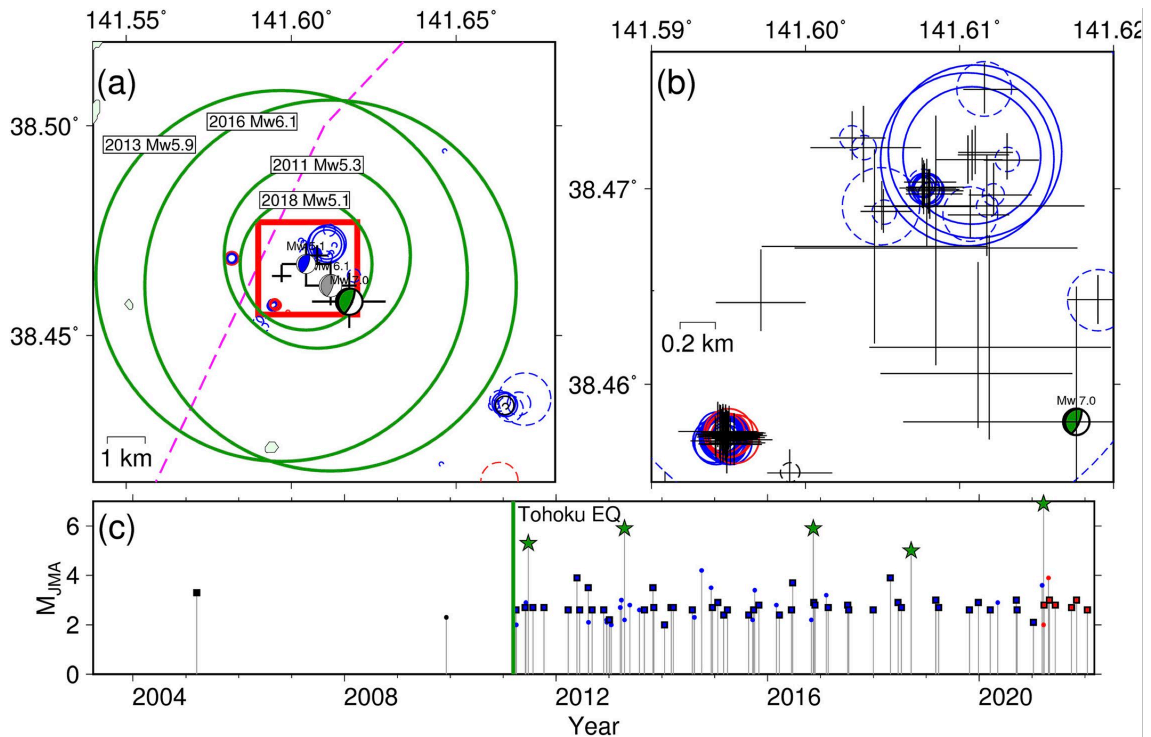


図 10. 2021 年 3 月 Mw7.0 地震震源周辺の地震活動。地震の規模を応力降下量 3MPa に相当する丸のサイズで表す。(b)は(a)の領域の赤枠部分の拡大図。(c)地震の発生時とマグニチュードの関係。星は Mw5-6 の準繰り返し地震と 2021 年 3 月 Mw7.0 地震（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]，Yoshida et al., 2022 より改変）。

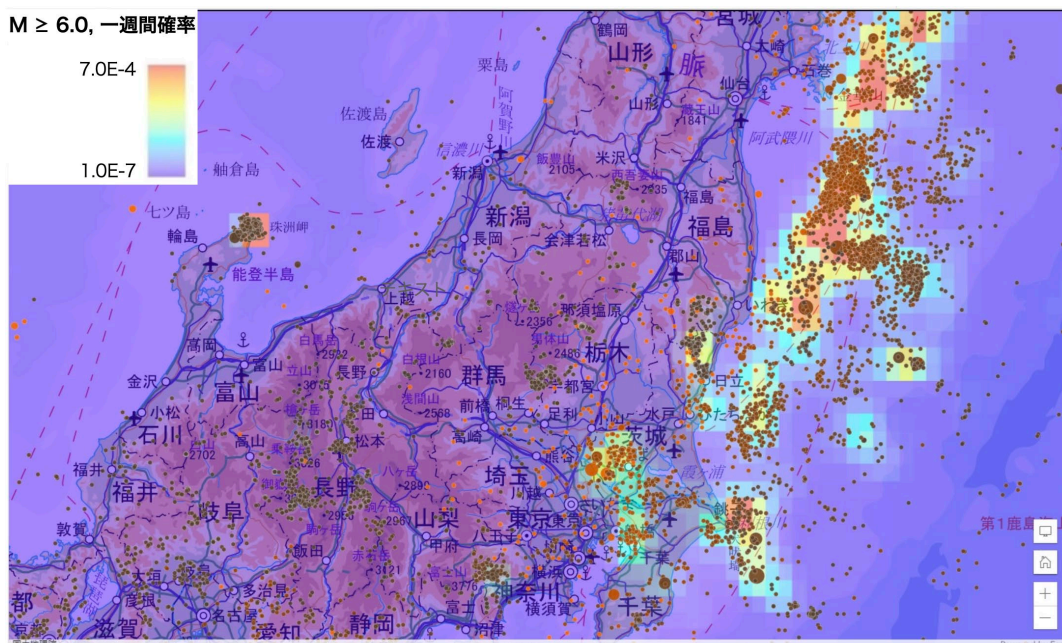


図 11. 地震発生確率ルーチン更新システムの画面例。カラースケールの確率値は 0.1 度 x 0.1 度のグリッドに対する M6 以上の発生確率。他の様々な情報をレイヤーで追加できる。この例では直近一ヶ月の震源だけを選択した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]）。

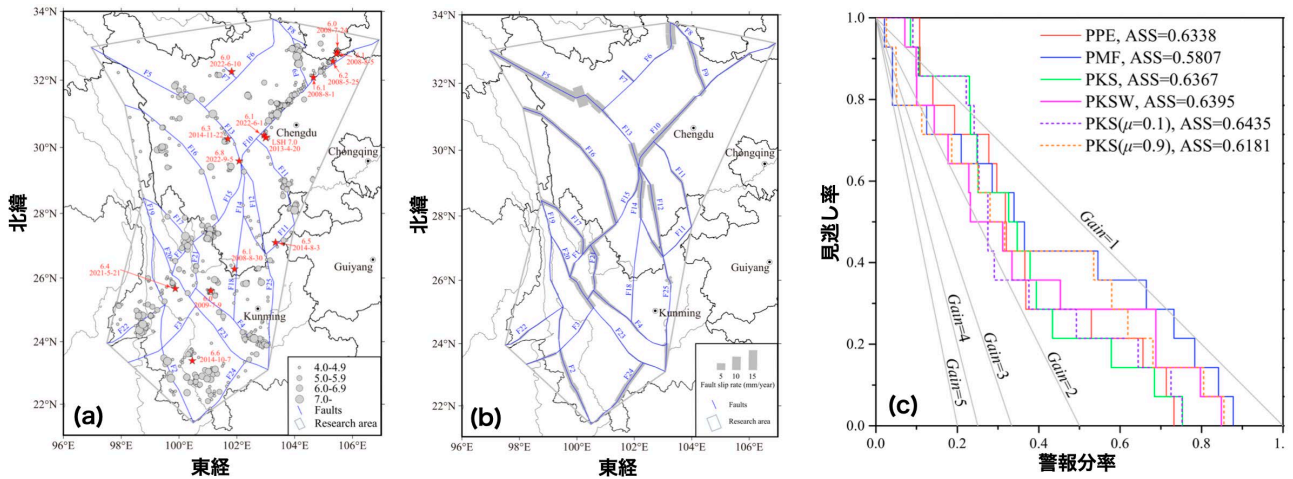


図 12. 四川-雲南地方で過去の地震活動データと活断層データから M6 以上地震を予測するレトロスペクティブ実験。(a)PPE 予測モデルで用いる地震。CENC カタログより 1970-2022 年の 50 km 以浅, M4 以上の 1234 イベントを使用。赤字は実験で予測ターゲットとする M6 以上の地震 14 個。青字は PMF 予測モデルで用いる断層。(b)PMF 予測モデルで用いる断層(青線)の長期滑りレートを灰色線の太さで示した。(c)実験結果のモルチャン成績図。ASS はエリアスキルスコアで、大きい方が好成績。PKS モデルに関しては、重みづけの違う 4 種類を試した。重みづ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 (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_13], Zhang et al., 2023, in press より改変)。

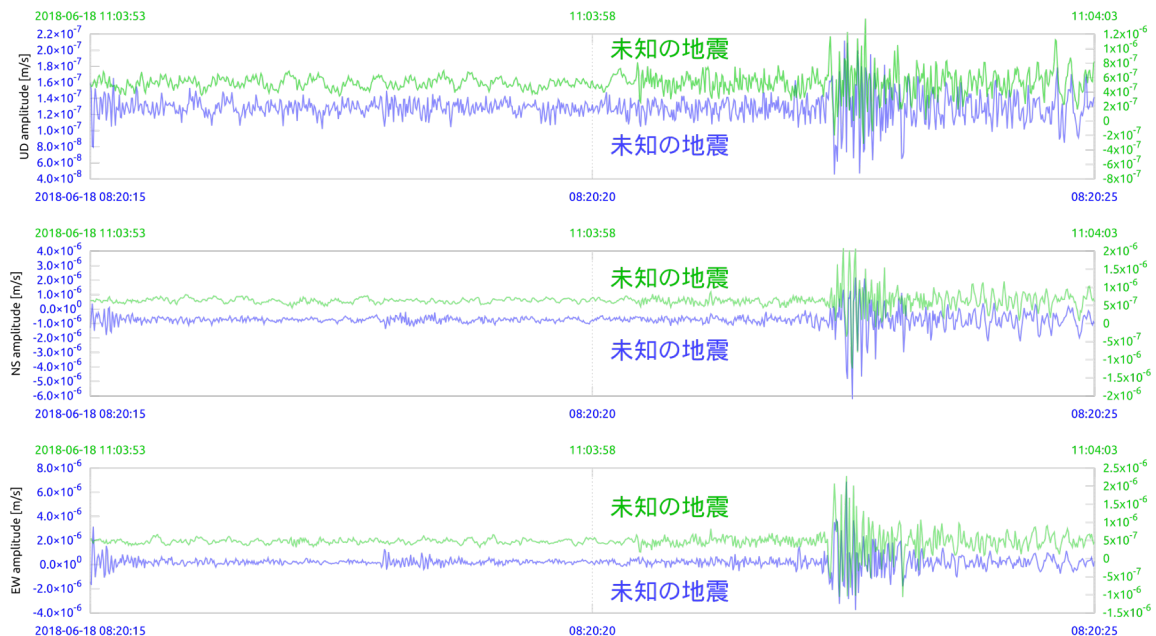


図 13. Hi-net 久御山観測点の連続波形記録から、相互相関関数の計算により新たに発見された地震波形のペア。いずれも本震後の大きなノイズに埋もれ、P 波の立ち上がりを正確に読み取ることは困難と思われるが、波形の類似性により検知が可能となった (立命館大学 [課題番号: RTM_02], 高山・他, 2021 より改変)。

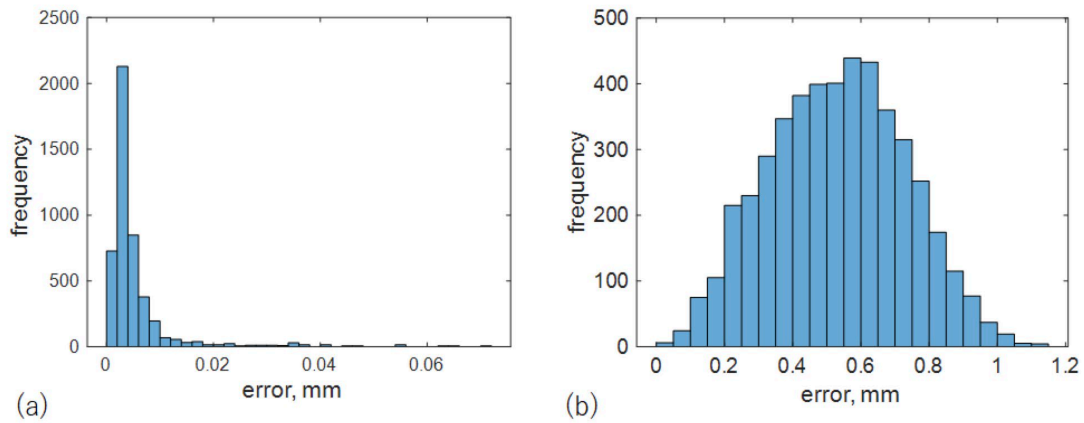


図 14. 受信位置を点で仮定し，一様構造を仮定した場合の震源決定誤差の頻度分布。(a) 読み取り誤差を与えなかった場合。(b) ± 0.1 マイクロ秒以内の一様乱数ノイズを読み取り誤差として計算走時に加算した場合（立命館大学[課題番号：RTM_02]，川方・大内，2022 より改変）。

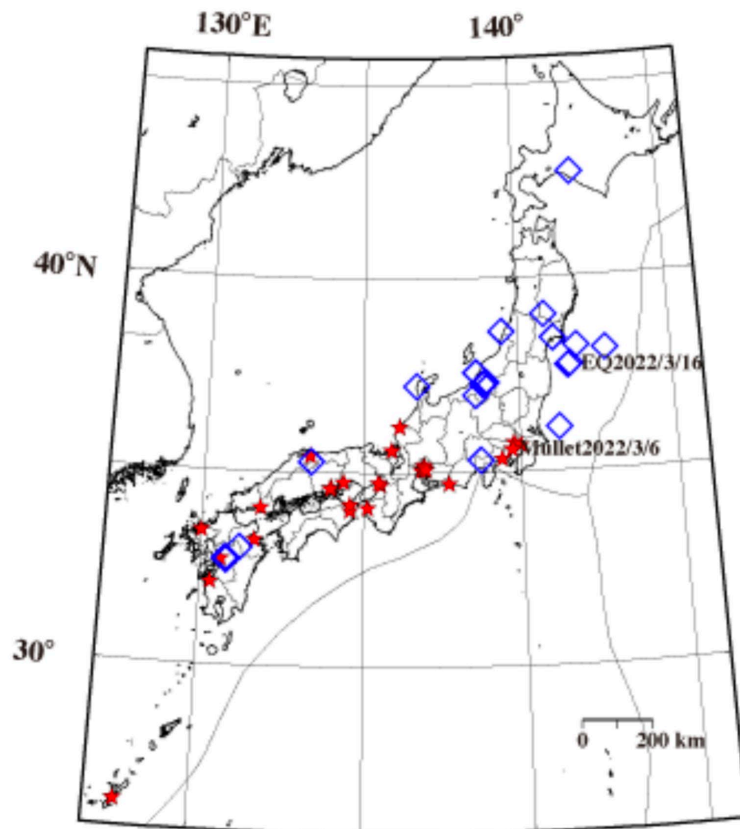
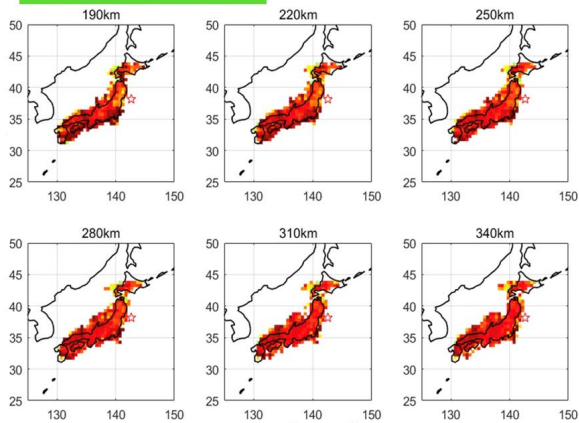
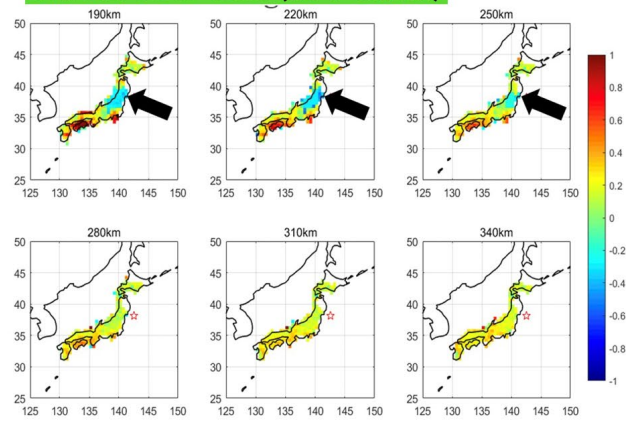


図 15. 最大震度 6 強以上の地震（青色ひし形）とボラ大量死の発生場所（公募研究，東京学芸大学[課題番号：KOB008]，織原，2022a より改変）。

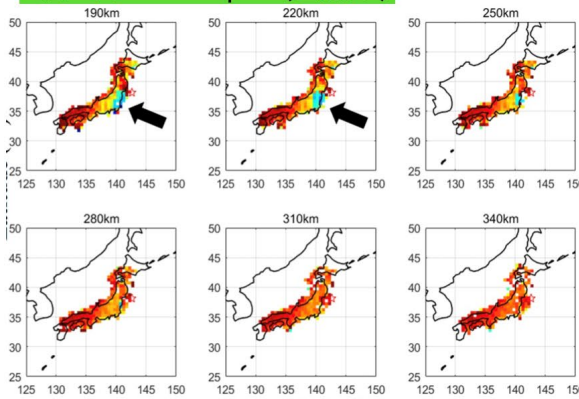
3月8日 JST:11am



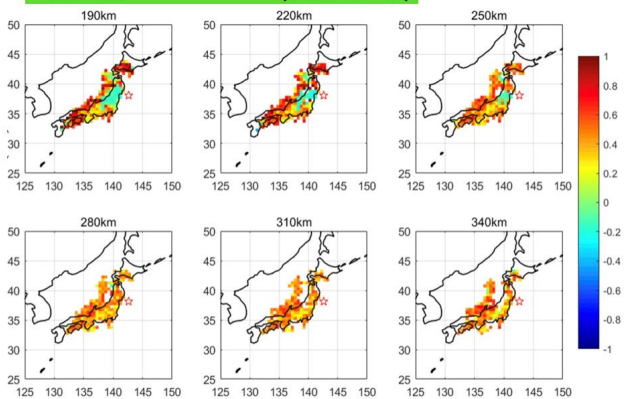
3月9日 JST: 4am (夜でも継続)



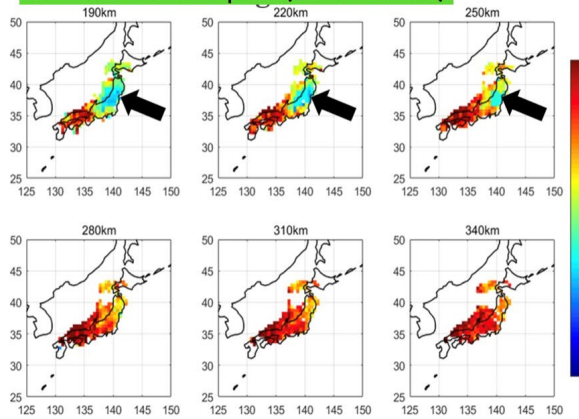
3月8日 JST:13pm (出始め)



3月9日 JST: 9am (終りかけ)



3月8日 JST:22pm (夜でも継続)



3月9日 JST: 11am (正常)

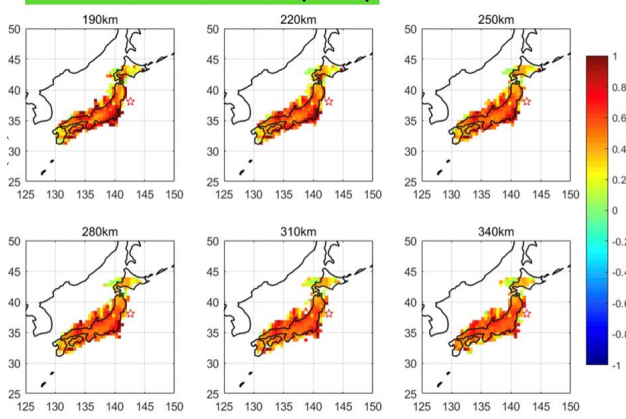


図 16. 2011 年 3 月 8 日から 3 月 9 日にかけての TEC 異常。GNSS-TEC から Song et al. (2021) の 3D トモグラフィー手法で再構成。過去 15 日間の同時刻の電子密度分布の中央値を基準モデルとした差分値を表示。太い黒矢印で異常をハイライト。この後、3 月 9 日 11:45am(JST)に M7.3, 3 月 11 日 14:46pm(JST)に M9.0 の地震が宮城県沖で起きた(千葉大学[課題番号: CBA_01])。

1 (4) 火山

「火山」計画推進部会長 中道治久
(京都大学防災研究所)
副部会長 前野 深
(東京大学地震研究所)

火山の噴火災害を軽減するためには、火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測することおよび火山噴火現象に対応する噴火災害の推移を予測することが重要である。またこれらの予測のためには、火山噴火現象を解明することも重要である。「火山」計画推進部会では、「火山活動の事象分岐の条件・論理を明らかにし、火山活動推移モデルを構築し、発災の原因である火山噴火を予測すること」を上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山現象の解明とモデル化、火山活動を支配する場の解明とモデル化、中長期的な火山活動の評価、観測手法の開発および体制の整備に関する研究を推進している。

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

長期間における火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するためには、地質データ等を収集して調査・分析を行い、そのデータベースを整備・拡充することが重要である。マグマの状態と噴火様式の関連性を調べるために、およそ 2900 年前に発生した富士火山御殿場山体崩壊後の噴出物を対象として、斑晶、メルト包有物 (MI)、石基ガラス組成の分析が行われ、全岩化学組成と合わせてマグマ供給系の時間発展について考察された (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_02])。山体崩壊直後のサンプルの斑晶組成と MI 組成の分析からは、斑晶の結晶化および MI の捕獲がマグマ上昇中に起きたことを示すことから、崩壊による荷重減少のために、この期間はマグマの噴出経路が確立し容易に噴火しやすい状態であったと推定された。さらに分析結果は、時間経過とともに深部マグマ溜まりでの結晶分化がしだいに卓越したことを示すことから、山体崩壊の影響がしだいに弱まり火道内で結晶化が起りやすくなりマグマが上昇しにくくなったため、噴火のトリガーとしてマグマ溜まりでの浮力獲得の影響がしだいに大きくなったというモデルを提案された。約 7600 年前の摩周カルデラ形成期の降下火砕物 (Ma-g~i) を対象に、採取試料の湿式分析と放射光分析が実施され、Fe 元素に由来する放射光スペクトルから Fe^{3+}/Fe^{2+} を推定するための検量線を作成された (公募研究 [課題番号: KOB021])。検量線をもとに降下火砕物の層序毎の Fe^{3+}/Fe^{2+} の検討の結果、Ma-i から Ma-h の層順で Fe^{3+}/Fe^{2+} が系統的に変化することが見出された。草津白根山の露頭から採取された完新世テフラを対象に岩石磁気分析が行われた (富山大学 [課題番号: TYM_01])。その結果、初磁化率の温度変化を中心とした岩石磁気分析で熱水変質鉱物を同定することにより噴火様式を推定できる可能性が見出された。また、白根火砕丘群北側標高 2048 m と標高 2106 m の 2 地点のテフラ調査、土壌の放射性炭素年代測定お

よびテフラの X 線回折分析が実施され、2048 m 地点のサンプルからは約 5400～1700 年前、2106 m のサンプルからは約 7600 年前および約 700 年前の年代値が得られた。前者の堆積物に対しては酸性熱水変質帯に由来する熱水変質鉱物に富むテフラも見出された。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、火山の地質図作成が進められ、日光白根及び三岳火山地質図が出版されたほか、秋田焼山火山の地質図及び原稿がまとめられた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]）。伊豆大島では海陸をつなぐ沿岸部水深 400 m 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が実施され、また、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」が Web 公開された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]）。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が更新・拡充された。

（２）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度で大規模な火山噴火現象の発生履歴、規模等を解明するためには、史料・考古データ、地質データ等の分析を着実に進める必要がある。そこで、霧島山 13 世紀御鉢噴火の堆積物（高原テフラ）の詳細な層序区分にて噴火推移モデルを再構築されるとともに、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が行われ、マグマ上昇過程・噴火強度の時間変化について考察された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_03]）。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が行われ、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が進められた。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、物質科学的研究が進められた。YP, YPk はいずれもほぼ同様の噴出量（1 km³ 強）と全岩化学組成を有するが、YP 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 は徐々に粗粒化し噴火強度が増大したことなど噴火推移の詳細が明らかになった。カルデラ噴火については、噴火準備段階からの活動の推移・履歴を把握するとともに、その推定精度を上げる手法の開発・改良を進める必要がある。始良カルデラ噴火およびその先行噴火の噴出物試料についての基礎分析と U-Th 放射非平衡分析が行われ、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（北海道大学[課題番号：HKD_02]）。一方、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。

（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

多様な火山現象を理解するためには、多項目の観測を行い、進行する火山現象を時空間的に定量化するとともに、火山噴出物の分析、マグマの物理・化学的な実験および数理モデルによる理論解析を行う必要がある。そのために、浅間山、霧島山、伊豆大島、三宅島、阿蘇、諏訪之瀬島などにおいて火口周辺での多項目観測が実施された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）。浅間山の 2007 年から 2017 年に得られたデータの

再検討からは、N型地震の出現時期に帯磁傾向が横ばいになることが見出された（図1）。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（Takeo et al., 2022）。三宅島におけるドローンによる繰り返し空中磁気観測からカルデラ付近の3次元磁化構造が明らかにされた（図2）。カルデラリム直下の磁化が非常に弱化している一方、沈降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破碎されることなく元の構造を保ったまま沈降したと解釈された（Koyama et al., 2022a）。また、伊豆大島にて無人ヘリコプターを用いた繰り返し空中磁気観測から3次元磁化構造が推定され、三原山火口付近において1 km以下の小空間スケールの不均質が明らかにされた（Koyama et al., 2022b）。桜島にて2012年から2020年に発生した爆発的噴火に伴う地震について人工地震探査と山体地形を考慮した速度構造を用いて震源決定がなされ、震源の深さが火口底から数百メートル下という極浅部に求められた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]）。2019年8月から2020年6月の阿蘇中岳噴火に伴う岩石磁気測定が行われた（公募研究[課題番号：KOB023]）。火山灰の磁気特性の時間変化が調べられ、飽和残留磁化と飽和磁化の比が高い期間は火映が確認された期間に対応することが見出され、火道内のマグマヘッドの位置とマグマ温度の関係が推定された（Anai et al., 2023）。

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

浅間火山天明軽石の斜長石斑晶・微斑晶・マイクロライト、および石基ガラスの分析が行われ、斜長石斑晶とマイクロライトは組成範囲がほぼ一致し、その頻度分布も極似し、バイモーダルな分布を示すことが明らかにされた（図3）（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）。この組成頻度分布から、斜長石マイクロライトが、マグマ溜まりで混合前のマグマから晶出したものと同じ圧力でのマグマ混合で均質化したメルトから晶出したものとの半数ずつで構成され、火道上昇中の減圧結晶作用で晶出したマイクロライトは極わずかであることが示された。ニカラグアのMasaya火山で実施した火山ガス組成観測データの解析から、火山ガスの大気中での酸化作用についての知見が取りまとめられた（Kazahaya et al., 2022）（産業技術総合研究所[課題番号：AIST06]）。

（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・熱水系の構造解明

火山地域において、地震波速度・減衰構造や比抵抗構造等を明らかにすることで、火山活動を支配する場のモデル化を進める必要がある。そこで、鬼界カルデラを対象にした研究航海において、広帯域海底地震計、海底電位差磁力計、海底磁力計等の長期海底観測機器の回収・設置（図4）と航走観測が行われた（神戸大学[課題番号：KOB01]、海洋研究開発機構[課題番号：JAMS03]）。また、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、地質学的解析が進められた。鬼界アカホヤ噴火およびその後の火山噴出物の化学分析においては、マグマ組成の特徴、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など、鬼界アカホヤ噴火以降のマグマ供給系についてまとめ、公表さ

れた (Hamada et al., 2023) (神戸大学[課題番号: KOBE01], 海洋研究開発機構[課題番号: JAMS03])。草津白根山において地震の震源再決定が行われ, 2018 年頃の unrest 期に震源が北東方向に移動していたことが明らかになった (東京工業大学[課題番号: TIT_03])。この震源の移動は湯釜火口湖の湖水濃度時系列解析結果 (Terada et al., 2022) から示唆される alunite 等の二次生成鉱物の溶脱・沈殿と時期を同じくしていることから, 浅部での流路閉塞や開放が unrest の多様性を生み出している要因と考えられる。また, 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を検出し, そのタイミングが浅部熱水だまりの膨張・収縮と良く一致していることを見出した。これは, unrest を駆動するマグマと熱水系の物質化学的繋がりを示している (Obase et al., 2022)。阿蘇山と雲仙岳を対象に, 両火山の周囲の温泉・鉱泉・地下水のヘリウム同位体比の調査が行われ, 火口に近い場所ではマグマの影響で同位体比が高く, 火口からの距離が大きくなるにつれて地殻の影響で低下する傾向が見出され, 水理モデル解析から阿蘇山のマグマは雲仙岳よりも古いことが明らかになった (Sano et al., 2023) (東京大学大気海洋研究所[課題番号: AORI02])。

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

火山噴火の長期活動については, 火山ごとに噴火の特徴と履歴を明らかにするとともに, 年代測定精度の向上や階段ダイアグラムの高精度化を進め, 物質科学的解析に基づいて評価を行う必要がある。そこで, 富士山星山期 (約 10 万~1 万 7000 年前) の岩屑なだれ堆積物が調査され, 堆積物に含まれる植物片の放射性炭素年代が約 1 万 9000 年前であること, 堆積物に含まれる火山礫の斑晶鉱物組合せや斑晶量, 石基組織をもとに複数の溶岩流を含む山体が崩壊したこと, 星山期におけるマグマが多様であったことが示された (山梨県富士山科学研究所[課題番号: MFRI_01])。また, 富士山北麓~東麓の地質調査, テフラ層に挟在する土壌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が行われ, 約 4000 年前以降についての比較的規模の大きなテフラの層序が確立されるとともに, 特徴的な層相や全岩化学組成を用いることでテフラ層序対比が可能であることが見出された (山梨県富士山科学研究所[課題番号: MFRI_01])。さらに, 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, リスト化が行われ, このうち 90 本の文献について様々な地質情報がデジタル化され, 地理情報システム (GIS) に組み込むことで一元的に管理・閲覧できるようになった。伊豆大島, 浅間山, 霧島山において, 過去数 100 年の噴火を対象とした噴出物の地質調査が行われ, テフラ層の区分や特徴の明確化と, 岩石鉱物化学組成・組織など物質科学的情報の収集が進められた (東京大学地震研究所[課題番号: ERI_03])。伊豆大島については, 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, 山頂噴火で想定される推移に対し, 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が試みられた。伊豆大島の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 (池永・他, 2023) で明らかになった。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が提案された（前野・池永，2023）。中長期的活動評価と予測のため、雌阿寒岳，岩木山，御嶽山において地表踏査による噴火履歴調査が実施された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST03]）。また活動的火山の噴火履歴を高時間分解能で解明するために，御嶽火山の岩石試料を対象とした K-Ar および Ar/Ar 年代測定が実施され，10 万年前より新しい火山噴出物の噴火年代が明らかになった。

イ. モニタリングにより火山活動の評価

火山活動について数ヶ月から数年の中期的な時間スケールについては，多項目の地球物理学的・地球化学的なモニタリングにより火山の状態を把握することで，火山現象と噴火の関係を定量的に明らかにする必要がある。そこで，火山活発化指数（VUI）を導入するためのワークシート作成が進められ，草津白根山については作成方針の策定，阿蘇山については作成作業の継続，吾妻山では作成が完了した（北海道大学[課題番号：HKD_04]，京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。硫黄山の電磁場連続観測から 2018 年小規模水蒸気爆発と 2021 年噴騰現象に伴って観測された地電位の変化の発生モデルが提示された（Aizawa et al., 2022）（北海道大学[課題番号：HKD_04]）。阿蘇山において相対重力測定が行われ，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が求められ，火口周辺域での陸水あるいは熱水の影響と思われる年周変化が捉えられた（若林・他，2023）（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）。国内外の歴史記録にある大規模噴火の噴火推移を収録した「噴火推移データベース」ならびに，日本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」が公開された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST10]）。また，桜島の大規模軽石噴火の噴出物の層序・分布・噴出物の解析から長期的な噴火活動の推移とそのメカニズムが明らかになった（Nishihara et al., 2022）。多成分火山ガス連続観測装置のセンサー感度変化の挙動が室内実験により明らかにされ，リアルタイムで補正する手法が提案され観測精度向上が図られた（気象庁[課題番号：JMA_05]）。倶多楽火山の温泉において噴気成分と酸素・水素同位体比の観測が行われ，噴出物の熱水変質鉱物の検討と，電磁気探査結果から登別地域の熱水系の考察が行われた（高橋・他，2022）（北海道立総合研究機構[課題番号：HR0_01]）。

（5）火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

噴火事象系統樹をさらに発展させ，火山噴火に先行する現象，噴火発生，噴火規模や様式の時間変化，終息までを一連の現象として捉えた火山活動推移モデルを構築する必要がある。そこで，桜島火山における総合的な観測研究から，始良カルデラおよび桜島の周辺の地殻変動の傾向および起震応力場に時間変化が見られないことから，ここ 1 年の桜島へのマグマ供給率はほぼ一定であったと推察された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）。一方，桜島直下の圧力源は減圧傾向で，質量増加が継続していることから（図 5），脱ガス卓越が継続していると推察された。なお，2023 年 2 月 8 日に約 5 年ぶりに昭和火口で噴火があり，噴火に前駆してハーモニック微動と昭和火口の白色噴煙が観測されたことから，微動と白色噴煙が火山活動推移モデルにおける事象分岐要

素となりうることが分かった。また、火山観測データ解析、噴出物分析や理論的研究をもとに、火山活動推移のモデル構築や火山活動・噴火現象の分岐判断指標について研究成果について発表と意見交換が行われ、共通点および相違点についての議論が進んだ（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。

蔵王山の約800年前以降の噴火活動について、水蒸気噴火、水蒸気噴火から小規模マグマ噴火、そして準プリニー式噴火後小規模マグマ噴火となる3ケースについて、堆積物の解析から相違点および類似点が抽出され、噴火事象分岐の要因を検討した結果が公表された（Ban et al., 2022; Sato et al., 2022）（公募研究[課題番号：KOB028]）。

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

噴火発生直後に火山噴出物などの災害誘因を高精度かつ即時的に予測する手法を開発することは重要である。そこで、堆積物解析手法の高度化と、噴出物時系列解析・分析手法の高度化を目指し、霧島、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名、硫黄島、福德岡ノ場等の活動的火山で研究が進められた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_17]）。2021年8月に福德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収支の推定などが行われ、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が明らかにされた（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も取り組まれた。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。また、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）について整理され公表された（前野，2022）。

5. 研究を推進するための体制の整備

（1）推進体制の整備

火山災害を軽減するためには、火山活動の推移を把握し、必要に応じて発生しうる火山災害への対策を講じる必要がある。そこで、2022年7月と12月に火山噴火予知連絡会本会議が開催され、全国の火山活動の状況についての検討が行われた（気象庁[課題番号：JMA_08]）。また、火山噴火予知連絡会のあり方について検討が行われ、2022年8月に「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が提言され、12月に「あり方報告の具体化作業部会報告」にて次年度から始める体制が提言としてまとめられた。

（3）研究基盤の開発・整備

火山現象の解明と予測のための研究を進め、災害関連情報の迅速な発信や、火山活動

評価の高度化を実現するためには、観測基盤を維持・整備するとともに、必要に応じて観測体制の強化をする必要がある。そこで、全国 50 火山を対象に地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続監視観測が継続された（気象庁[課題番号：JMA_12, JMA_15]）。また、GNSS 繰り返し測定や熱の機動観測が実施された。また、阿蘇山や桜島などにて二酸化硫黄放出率観測を実施した。開発中の小型絶対重力計の南極露岩上での観測データの解析から、風速と重力値のばらつきが定量的に評価された（図 6）（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_20]）。桜島火山に設置された超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムから時系列透視画像が作成され、衛星 SAR 解析結果との比較にて、桜島山頂付近での隆起・沈降と噴火の活発期・静穏期との間に負相関が見出され、隆起・沈降と火口底直下の密度上昇・低下との間に正相関が見出された（図 7, Oláh et. al., 2023）（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_21]）。航空機による南方諸島および南西諸島における海域火山の定期巡回監視観測が実施された（海上保安庁[課題番号：JCG_04]）。なお、西之島、噴火浅根、海徳海山および福德岡ノ場については監視体制が強化され、月 1 回程度の監視観測が実施された。また、測量船により硫黄島の海域火山基礎情報調査が実施された。

これまでの課題と今後の展望

「火山」計画推進部会には、41 の研究計画課題に加えて、当該年度の公募研究は 6 課題あり、地震火山観測研究計画において最大の課題数を有する計画推進部会（以下、部会）であるため、課題間の連携やそれぞれの課題における研究の深化のための取り組みも部会の重要な役割である。そこで、部会に関係する総合研究グループや課題合同の様々な研究集会を開催した。桜島大規模噴火総合研究グループ研究集会を 2022 年 12 月 26 日・27 日に鹿児島市でハイブリッド開催したほか、北海道大学の課題（HKD_04）と京都大学理学研究科の課題（KUS_02）合同の研究集会を 2023 年 1 月 20 日に、東北大学理学研究科の課題（THK_11）の研究集会を 2022 年 1 月 23 日に、東京大学地震研究所の課題（ERI_17）の研究集会を 2023 年 2 月 17 日にオンライン開催した。2023 年 2 月 27 日・28 日には部会の研究集会をオンラインで開催した。このように、各課題内および合同の研究集会を活発に行うとともに、部会と総合研究グループの両方で研究の議論をする形が定着した。

過去 4 年間における部会の研究課題に共通した進展は、詳細については一昨年度および昨年度の報告書で述べた通りであるため省略するが、以下のとおりにまとめられる。まず、火山活動の状態や分岐・遷移を表すパラメータ間の相互関係が見えてきたことがあげられる。これは火山活動推移モデルの構築と推移予測に繋がる成果である。次に、観測手法や分析および解析手法の開発が進展し、広い時間および空間スケールにおいて分析や解析の分解能が向上したことを挙げるができる。これによって、詳細な噴火履歴や地下構造の解明、マルチパラメータ観測の進展が見られた。また、火山に関する各種のデータベースシステム整備が進んできた。火山活動の評価及び火山活動推移モデルの構築において火山活発化指数（VUI）の算出対象火山数の増加や、火山活動推移モデルの構築や火山活動・噴火現象の分岐判断指標に関する研究成果の共有等、着実な取り組みがなされている。

過去4年間においては、日本国内において災害を引き起こす顕著な噴火は無かった。そのため、非常時の火山調査および観測の実践不足は否めないという課題は残る。その一方で、噴火時の火山灰調査を組織的实施と一元化データ共有システムへの調査結果および観測データの取り込みが進み、非常時の火山調査の効率化・高度化に向けた準備が進んでいる。近い将来に起こりうる災害を伴う噴火においてこれらの取り組みが結実することが期待される。

成果リスト

- Aizawa, K., D. Muramatsu, T. Matsushima, T. Koyama, M. Uyeshima and S. Nakao, 2022, Phreatic volcanic eruption preceded by observable shallow groundwater flow at Iwo-Yama, Kirishima Volcanic Complex, Japan, *Commun. Earth Environ.*, 3, 187, doi:10.1038/s43247-022-00515-5.
- 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, 24, doi:10.1186/s40623-023-01783-x.
- 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, doi:10.18940/kazan.67.2_171.
- 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 (Água de Pau) volcano, São Miguel, Azores, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 432, 107694, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107694.
- 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.
- Ban, M., K. Kawashima, K. Tsunematsu, K.S. Kataoka and T. Imura, 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, 107685, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107685.
- Chikita, K.A., K. Amita, H. Oyagi and J. Okada, 2022, Effects of volcanic-fluid cycle system on water chemistry of deep caldera lake: Lake Tazawa, Akita Prefecture, Japan, *Water*, 14, 3186, doi:10.3390/w14193186.
- Chikita, K.A., A. Goto, J. Okada, T. Yamaguchi, S. Miura and M. Yamamoto, 2022, Hydrological and chemical budgets of Okama Crater Lake in active Zao Volcano, Japan, *Hydrology*, 9, 28, doi:10.3390/hydrology9020028.
- 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.
- 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 and 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, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107738.
- 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.
- 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*, 514, 318-324.
- 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.
- Inoue, T. T. Hashimoto, R. Tanaka and Y. Yamaya, 2022, A broadband magnetotelluric survey of Mt. Meakandake volcano with special attention to the unrest during 2016-2017, *Earth Planets Space*, 74, 114, doi:10.1186/s50623-022-01673-8.
- Ishii, K., A. Yokoo, T. Ohkura and T. Kazama, 2023, Temporal variation in the depth of the magma surface at Aso volcano in 2014-2015, *Bull. Volcanol.*, 85, 7, doi:10.1007/s00445-022-01616-x.
- 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 and 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, doi:10.1029/2021JB022911.
- Ishizuka O., K. Tani, R. Taylor, S. Umino, I. Sakamoto, Y. Yokoyama, G. Shimoda, Y. Harigane, Y. Ohara, C. Conway, A. Perez, and S. Sekimoto, 2022, Origin and age of magmatism in the northern Philippine Sea basins, *Geochem. Geophys. Geosys.*, 23, 1-30, doi:10.1029/2021GC010242.
- 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.
- 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, doi:10.3389/feart.2022.867562.
- 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.
- 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月及び2022年3月), *京都大学防災研究所年報*, 65B, 67-76.
- 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,

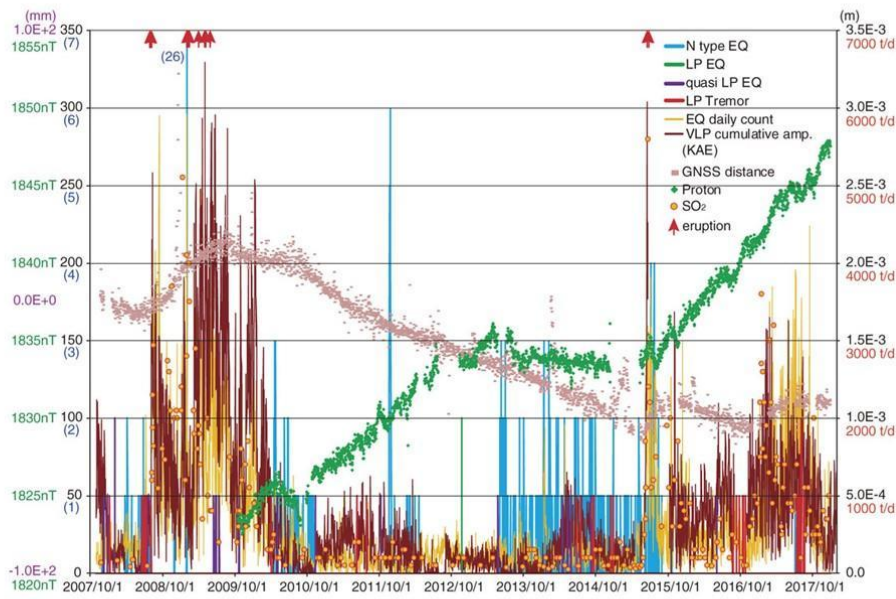
- 113-123, doi:10.18940/kazan.67.1_113.
- Koyama, T., T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, Y. Honda, T. Akiyama, S. Tanaka, M. Gresse, M. Uyeshima and Y. Morita, 2022a, Magnetization structure and its temporal change of Miyakejima volcano, Japan, revealed by uncrewed aerial vehicle aeromagnetic survey, *J. Disaster Res.*, 17, 644-653, doi:10.20965/jdr.2022.p0644.
- Koyama, T., T. Kaneko, T. Ohminato, A. Yasuda, Ogawa, T., A. Watanabe, S. Sakashita, M. Takeo, T. Yanagisawa, Y., Honda, K. Kajiwara, 2022b, 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.
- 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, 防災科学技術研究所研究資料, 487, 41-44.
- Maeda, Y. and T. Watanabe, 2022, Estimating errors in autocorrelation functions for reliable investigations of reflection profiles, *Earth Planets Space*, 74, 48, doi:10.1186/s40623-022-01606-5.
- 前野 深, 2022, 地球を震わせたフンガ火山の爆発的噴火, *科学*, 92, 559.
- 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.
- Maeno, F., T. Kaneko, M. Ichihara, Y. J. Suzuki, A. Yasuda, K. Nishida, T. Ohminato, 2022, Seawater-magma interactions sustained the high column during the 2021 phreatomagmatic eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba, *Commun. Earth Environ.*, 3, 1, doi:10.1038/s43247-022-00594-4.
- 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*, 45, 519, 26-33.
- Matsunaga, Y. and W. Kanda, 2022, Numerical modeling of a volcanic hydrothermal system based on resistivity structure, *J. Disas. Res.*, 17, 654-662, doi:10.20965/jdr.2022.p0654.
- Matsunaga, Y., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura and T. Nishizawa, 2022, Large-scale magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, revealed by broadband magnetotellurics, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 429, 107600, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107600.
- Matsu'ura K., A. Terada, T. Mori and T. Ono, 2022, A simple method for the analysis of fumarolic gases using response-adjusted sensors with a UAV, *J. Disas. Res.*, 17, 620-629, doi:10.20965/jdr.2022.p0620.
- 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, *火山*, 67, 441-452, doi:10.18940/kazan.67.4_441.
- 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.
- Nakano, M. and D. Sugiyama, 2022, Discriminating seismic events using 1D and

- 2D CNNs: Applications to volcanic and tectonic datasets, *Earth Planets Space*, 74, 134, doi:10.1186/s40623-022-01696-1.
- Nakao, A., T. Kuwatani, K. Ueki, K. Yoshida, T. Yutani, H. Hino and S. Akaho, 2022, Subduction-zone parameters that control slab behavior at the 660-km discontinuity revealed by logistic regression analysis and model selection, *Front. Earth Sci.*, 10, 1008058, doi:10.3389/feart.2022.1008058.
- Nishihara, A., N. Geshi and H. Naruo, 2022, Long-term change of the eruption activities of Sakurajima volcano, Japan, inferred from the fallout tephra deposits, *Front. Earth Sci.*, 10, 988373, doi:10.3389/feart.2022.988373.
- Obase, T. H. Sumino, K. Toyama, K. Kawana, K. Yamane, M. Yaguchi, A. Terada and T. Ohba, 2022, Monitoring of magmatic-hydrothermal system by noble gas and carbon isotopic compositions of fumarolic gases, *Sci. Rep.*, 12, 17967, doi:10.1038/s41598-022-22280-3.
- Ogawa, Y., T. Ohba, T.P. Fischer, M. Yamamoto and A. Jolly, 2022, Special issue “Understanding phreatic eruptions - recent observations of Kusatsu-Shirane volcano and equivalents -”, *Earth Planets Space*, 74, 100, doi:10.1186/s40623-022-01643-0.
- 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, doi:10.1186/s40623-022-01761-9.
- Oláh, L., G. Gallo, G. Hamar, O. Kamoshida, G. Leone, E.W. Llewellyn, D. Lo Presti, G. Nyitrai, T. Ohminato, S. Ohno, H.K.M. Tanaka and D. Varga, 2023, Muon imaging of volcanic conduit explains link between eruption frequency and ground deformation, *Geophys. Res. Lett.*, 50, 2, e2022GL101170, doi:10.1029/2022GL101170.
- 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*, 97, 13-32.
- 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.
- 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に関する研究, *国土地理院調査研究年報*.
- Permana, T. and H. Aoyama, 2022, Locating volcanic earthquakes and tremors using delay time and amplitude ratio information from cross-correlation functions *Seismol. Res. Lett.*, 94, 2A, 871-886, doi:10.1785/0220220199.
- Sano, Y., T. Kagoshima, M. Zhang, N. Takahata, T. Onoue, T. Shibata, Y. Nishio, A.-T. Chen, H. Lee, T.P. Fischer and D. Zhao, 2023, Older magma at Aso caldera than at Unzen stratovolcano in south west Japan as recorded through

- helium isotopes, *Commun. Earth Environ.*, 4, 2, doi:10.1038/s43247-022-00649-6.
- Sato, M., M. Ban, T. Yuguchi and T. Adachi, 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, 107686, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107686.
- 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, doi:10.5026/jgeography.131.585.
- Snyder, G.T., A. Yatsuk, N. Takahata, R. Shakirov, H. Tomaru, K. Tanaka, A. Obzhairov, 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.
- Suetsugu, D., M. Obayashi, T. Tonegawa, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, Y. Ishihara, S. Tanaka and J. Yoshimitsu, 2022, Nature of mantle discontinuities beneath the Ontong Java Plateau, *Phys. Earth Planet. Int.*, 334, 106969, doi:10.1016/j.pepi.2022.106969.
- Suzuki, Y., T. Akatsuka, Y. Yamaya, N. Watanabe, K. Okamoto, K. Osato, T. Kajiwara, Y. Ogawa, T. Mogi, N. Tsuchiya and H. Asanuma, 2022, Estimation of an ultra-high-temperature geothermal reservoir model in the Kakkonda geothermal field, northeastern Japan, *Geothermics*, 105, 102525, doi:10.1016/j.geothermics.2022.102525.
- 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, doi:10.18940/kazan.67.4_453.
- Takeo, M., Y. Aoki and T. Koyama, 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, 426-438, doi:10.2183/pjab.98.022.
- Terada, A., M. Yaguchi and T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in quaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry, *Front. Earth Sci.*, 9, 740617, doi:10.3389/feart.2021.740671.
- Ueki, K., H. Hino and T. Kuwatani, 2022, Extracting the geochemical characteristics of magmas in different global tectono-magmatic settings using sparse modeling, *Front. Earth Sci.*, 10, 994580, doi:10.3389/feart.2022.994580.
- 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依存

- 性の検定, 測地学会誌, 68, 49-68, doi:10.11366/sokuchi.68.49.
- 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, *Sci. China Earth Sci.*, 65, 139-155, doi:10.1007/s11430-021-9810-x.
- 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, *J. Disas. Res.*, 17, 257-262, doi:10.20965/jdr.2022.p0257.
- 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*, 103, 102412, doi:10.1002/essoar.10509292.1.
- 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.
- 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.
- 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*, 45, 520, 55-64.
- Yoshida, K., Y. Tamura, T. Sato, S. Chalermrat, P. Ratchanee and S. Ono, 2022, Petrographic characteristics in the pumice clast deposited along the Gulf of Thailand, drifted from Fukutoku-Oka-no-Ba, *Geochem. J.*, 56, 134-137, doi:10.2343/Geochemj.GJ22011.
- 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, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL098228, doi:10.1029/2022GL098228.

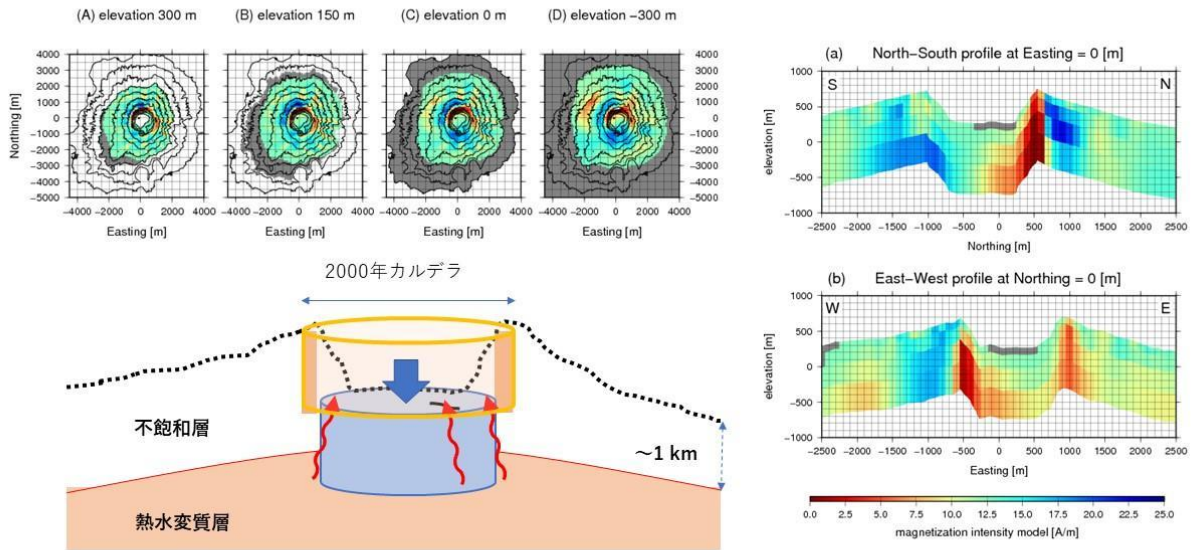
浅間山における2007年～2017年の多項目連続観測データの推移



Takeo et al. (2022)

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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）N型地震の出現と地磁気変化異常が同期している。

三宅島磁化強度分布



Koyama et al. (JDR, 2022)

図2. 三宅島磁化強度分布（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）
 左上：様々な深さ断面における磁化強度分布。右：磁化強度分布の鉛直断面図。左下：三宅島の浅部構造の概念モデル。

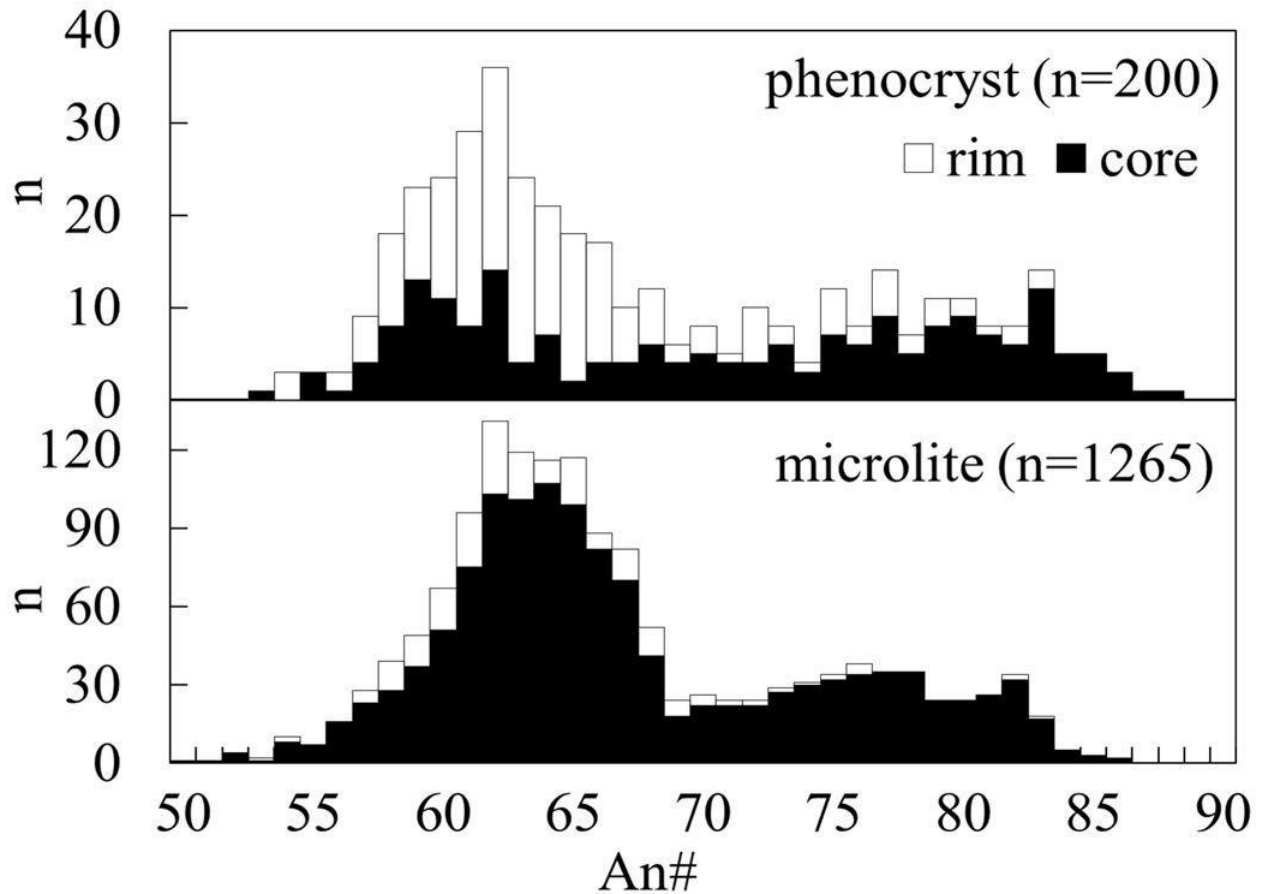


図 3. 斜長石斑晶とマイクロライトの An 値頻度分布 (東北大学理学研究科 [課題番号: THK_04])

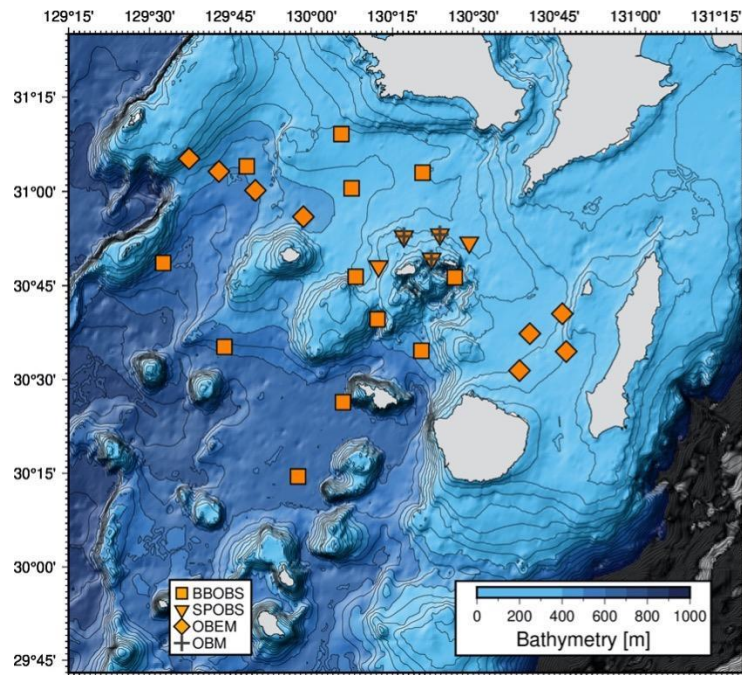


図 4. 鬼界カルデラ周辺の広帯域海底地震計 (BBOBS), 海底電位差磁力計 (OBEM), 短周期海底地震計 (SPOBS) および海底磁力計 (OBM) の分布 (神戸大学 [課題番号: KOBE1] および海洋研究開発機構 [課題番号: JAMS03])

BMSVO (+2.5 ± 0.8 μGal/yr)

S110 (+3.6 ± 1.1 μGal/yr)

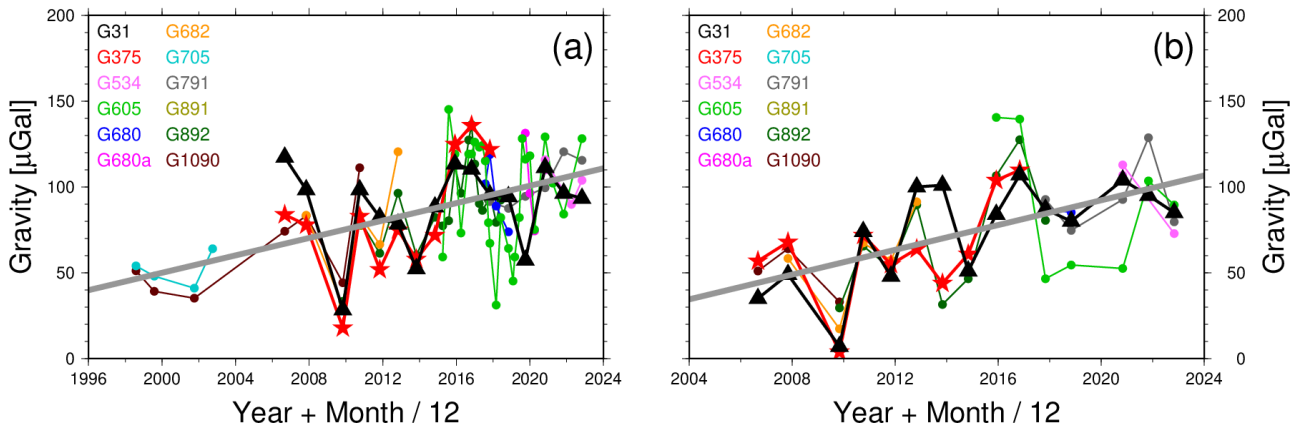


図 5. 桜島火山における相対重力変化（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）

左図：ハルタ山重力点における 1998 年～2022 年の重力変化

右図：大正噴火火口至近の重力点における 2006 年～2022 年の重力変化

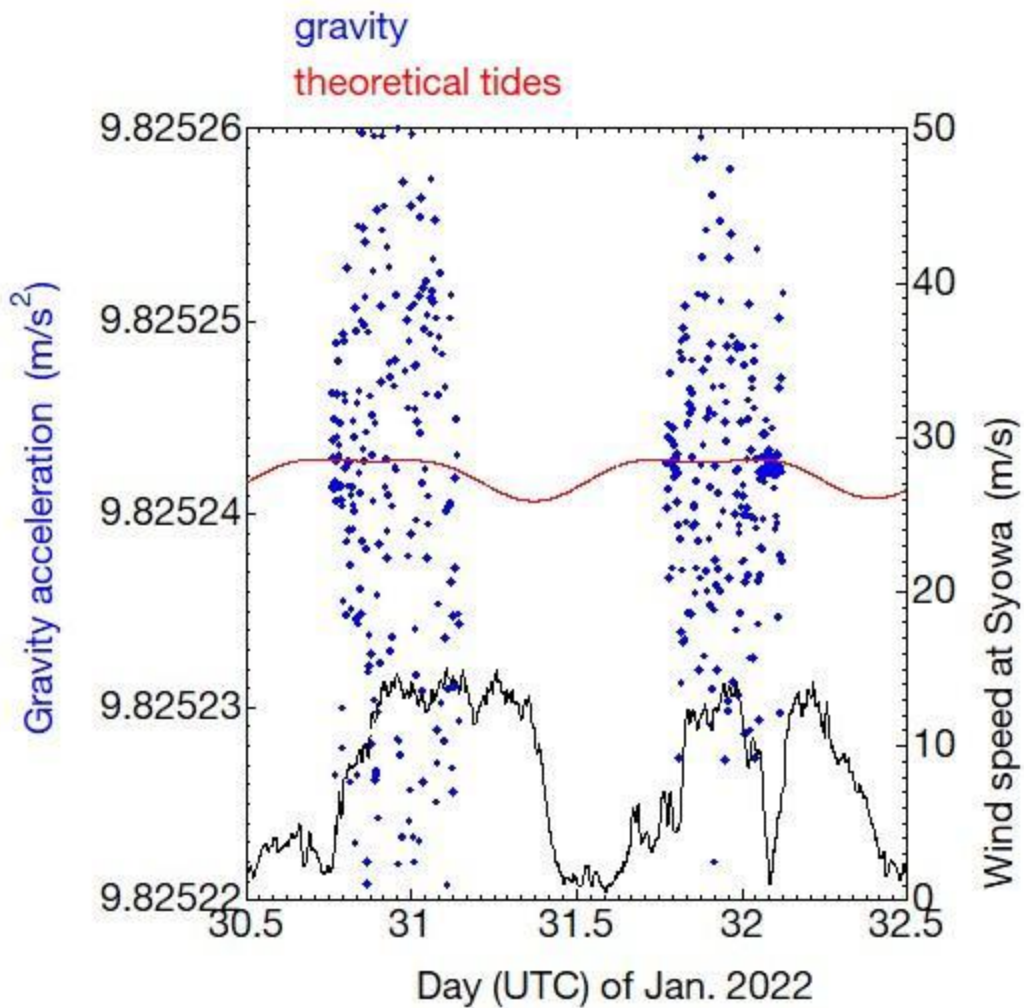


図 6. 昭和基地の屋外において測定された重力値（青点）および昭和基地での風速（黒線）（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_20]）

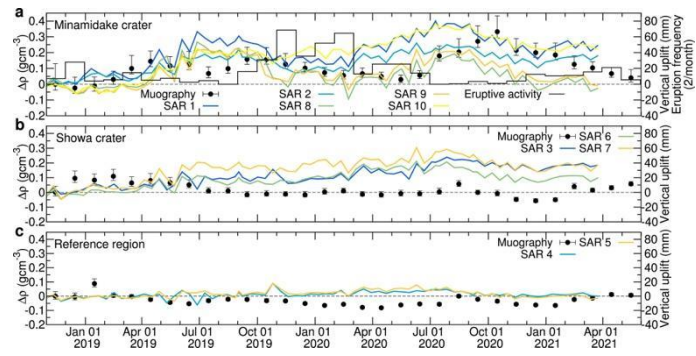


図7. 桜島火口近傍における密度変化，噴火頻度，SAR で求めた変位との比較（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_21]）

1 (5) 災害誘因評価・即時予測

「災害誘因評価・即時予測部会」計画推進部会長 太田雄策

(東北大学大学院理学研究科)

副部会長 為栗 健

(京都大学防災研究所)

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊等の災害誘因は自然や社会に潜在的に存在する脆弱性等の災害素因に働きかけ、これらの相互作用に応じて様々な規模の災害が発生する。すなわち災害誘因評価の高度化は、災害軽減を果たすために有効な手段である。こうした観点から、「災害誘因評価・即時予測部会」では災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」ならびに地震や火山噴火が発生した直後に高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を推進するとともに、それら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「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」を進める。

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

A. 強震動の事前評価手法

○震源モデルの高度化

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。1)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、2)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、のどちらか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震源モデルを収集した。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。その結果、すべり角の標準偏差の平均値は地殻内地震で 21 度±5度、プレート境界地震で 18 度±5度、すべての地震で 20 度±5度と求められた(図1, 京都大学防災研究所[課題番号: DPRI09])。

琉球海溝沿いのスラブ内(深さ 36—260 km)で発生する地震によって生じる、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じた屈折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(図2)。これらのS波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内地震の地震動予測では注意が必要である。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 波反射面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 (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])。

野外調査により地表地震断層を詳細にモデル化して強震動計算に反映させ、断層近傍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。具体的には 1) 屏風山・恵那山断層を対象とした詳細な地形データにもとづく活断層トレースデータの作成と、2) それと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、3) 強震動予測の試算を実施した。また、地震断層近傍における被害集中の有無を 1891 年濃尾地震の際の震度分布から再検討した。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 (名古屋大学 [課題番号: NGY_05])。

○地下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。新たなデータを用いた地質構造モデルの改良では、鍵層である海成粘土層の Ma10 層とそれよりも浅い Ma12 層が相似的な変形形状を示すことに着目し、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 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 層の形状の変化をモデル化することに成功した。堆積層の Q 値モデルの再検討では、大阪平野の平均的な振幅比を用いて合成波形のエンベロープを補正し、観測との比較により最適 Q 値を得た (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI08])。

2020 年末より地震活動が継続している能登半島北部における 2022 年 6 月 19 日 15 時 8 分に発生した $M_{JMA}5.4$ の地震について、K-NET 正院 (ISK002) では震度 6 弱を記録した。このとき、同観測点における水平動の卓越周波数は約 1 Hz であったが、それよりも規模の小さい地震においても同様の卓越周波数を持っていた。この理由を調べるために、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明らかになった (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

○強震動評価の高度化

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。日本海溝沿いで起きた 60 個の地震の

地震により学習済みの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ところ、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 つの評価指標において、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(東京大学地震研究所 [課題番号:ERI_14])。

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。最新コード (Ver 5.3.0) を 2023 年 2 月に GitHub において公開した (東京大学地震研究所 [課題番号:ERI_14])。

イ. 津波の事前評価手法

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を対象として、津波シミュレーションソフトウェア 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 JAGURS に切り替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明らかになった (北海道大学[課題番号:HKD_05])。

2018 年アナク・クラカタウ島火山噴火 (インドネシア) では、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。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。具体的には、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する枠組みを構築した。開発した手法の適用事例として 2018 年アナク・クラカタウ島火山噴火を対象とし、その津波が適切に再現できることを明らかにした。さらに、周辺の諸島の 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。具体的には 1) クラカタウ諸島周辺を 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、2) 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ために、様々な体積を持った地すべりを 4 方向に発生させ、3) 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。検証のために、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、高い精度で予測できることが明らかになった (図 3, 北海道大学[課題番号:HKD_05])。

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

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。具体的には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 における、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基づく Validation を行う広帯域地震動プラットフォーム (SCEC Broadband Platform) に対して、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

(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_16])。

鳥取県内で実施している独自の地震観測網を継続し、例えば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。また、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。さらに、同地域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4)。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することができた(鳥取大学[課題番号：TTR_01])。

鳥取県内34計測震度観測点から1秒パッケージ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た(鳥取大学[課題番号：TTR_01])。

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。また、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(北海道立総合研究機構[課題番号：HR0_02])。

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

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について、20世紀以降発生した深層崩壊地を中心とした調査を継続した。その結果、それら崩壊地が、(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で特徴付けられることを明らかにした。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。すなわち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。これら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・斜面観測を継続している。今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を明らかにした(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10])。

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、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を明らかにした。具体的には、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強い相関を持つことが分かった。また、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ものに対して、横浜市においては1桁から2桁大きなオーダーを持つことが分かった。これらは、盛土の材質などの影響が示唆される結果であり、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を示す(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI10])。

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、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る結果が得られた。同結果は、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を実現できることを示唆する(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI10])。

2011年11月に設置した宮城県栗原市での地滑りモニタリングを継続し、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の公開を開始した。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た。これらの検討のために、79GHzおよび17GHzの同時計測による崖面計測を実施した(図5)。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(東北大学災害科学国際研究所[課題番号:IRID03])。

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

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。具体的には、噴火直前に見られる地盤変動の膨張継続時間、前駆地震の発生頻度と振幅の増加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、火砕流の発生危険度判定ロジックを構築した(図6, 京都大学防災研究所[課題番号:DPRI11])。

(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

地震波動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の利用を検討した。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明らかになった(気象庁[課題番号:JMA_06])。

深層学習によって、単独観測点の地震波形から地震波動の伝播方向の観測情報を得る手法の開発を行った。開発した手法によって、連続して地震が発生するケースでもP波検測をせずに波形形状から直接伝播方向を推定可能であることが分かった(気象庁[課題番号:JMA_06])。

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、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(気象庁[課題番号:JMA_06])。

イ. 津波の即時予測手法

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による精度検証を実施した。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持つ。そのため、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新しい手法を開発した。開発した手法の精度検証のために、等間隔の観測網に外部から津波が入射する状況での数値実験を行った。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することに成功した（図8，弘前大学理工学研究科[課題番号:HRS_02]）。

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。技術開発では、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、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。また、すべり分布推定において先験情報にもとづいて安定的に解を求めるための正則化拘束として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イ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、相関距離をその誤差の幅とともに正しく推定できることを初めて実証した（東北大学大学院理学研究科[課題番号:THK_12]）。

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、令和5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（東北大学大学院理学研究科[課題番号:THK_12]）。

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。また同地震において、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（気象庁[課題番号：JMA_06]）。

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（気象庁[課題番号：JMA_06]）。

ウ．火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

土石流の発生頻度の変化の背景には、豪雨の発生場所と降雨特性のほかに、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ポテンシャル減少、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。具体的には昨年度までに開発した土砂動態モデルの水移動過程について改良を加え、土石流が発生する溪流源頭部において堆積物諸係数が土石流発生に及ぼす影響を検討した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_12]）。これに際し、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改良を実施した（図9）。具体的には、斜面で発生した表面流は河道部の表流水に加え、斜面での浸透流は溪床堆積物の浸透流に加えた。また溪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溪流源頭域について、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足洗谷流域の支流であるヒル谷流域を対象として実施した。その結果、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一方、マニングの粗度係数による影響はほとんど表れなかった（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_12]）。

火山泥流を対象として、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。その結果、粘着力の増加に伴い、平衡勾配が大きくなること、つまり、粘着力の増加によって溪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った。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す一方、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す結果である（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_12]）。

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。また、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）の量が多いことがわかった（気象庁[課題番号：JMA_07]）。

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。また、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（気象庁[課題番号：JMA_07]）。

（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の構築のために、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。また、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。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）を継続した（北海道大学[課題番号：HKD_06]）。

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った。具体的には内閣府（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」の前後で行った、縦断型のアンケート調査結果を解析した。調査1として、「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、調査対象者がどの程度の確率で遭遇すると感じるかを聞いた。調査2として、8つのリスク事象に対して、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か」など、8つの尺度をSD法（7点尺度）で確認した。これらの調査の結果、まず、「パラレル東京」を視聴したことの効果として、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上がった。さらに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が維持された。さらに調査2の結果から、これら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、被害想定の情報に刺激したということが分かった（東京大学大学院情報学環[課題番号：III_01]）。

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（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID04]）。

これまでの課題と今後の展望

「災害誘因評価・即時予測部会」では災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」ならびに地震や火山噴火が発生した直後に高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を推進するとともに、それら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「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」を進めている。計画4年目である本年度においては、それぞれの研究課題において既往研究の高度化や新たな取り組みに関して成果が着実に得られ、論文出版、学会発表等の対外的な成果発表も活発に行われた。以下に、各小項目において取り組むべき事項および展望について特に令和4年度に焦点を当てて示す。

（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

断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究を震源モデルの高度化の観点から継続する。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。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。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を行う。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。

強震動生成に関する研究の高度化を地下構造モデルの観点から進める。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。

イ. 津波の事前評価手法

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する。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。

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性の定量化を進める。具体的には、大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害の脆弱性の研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。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。「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。

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

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発展させ、地震動の地すべり内の伝播特性について明らかにする。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。

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

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の完成を目指す。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。

(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

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。

イ. 津波の即時予測手法

アジョイント方程式に基づく波動場推定方法について、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。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を継続して進める。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。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。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、計算手法を改良して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。

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

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す。焼岳火山に適用する。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。

(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

高度化を進めている準リアルタイム火山情報表示システム内の力源推定アルゴリズムについて、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）を進める。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。

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、南海トラフ地震における「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。

成果リスト

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.

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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, 2022, 日本地震学会 2022 年度秋季大会, S14-02.
- Furumura, T. and 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.
- Furumura, T. and 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 B.L.N., 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>.
- 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.
- 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.
- 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.
- 林 豊, 2022, 1780 年ウルップ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.
- Hino R., T. Kubota, N. Chikasada, Y. Ohta, and H. Otsuka, 2022, Assessment of S-net seafloor pressure data quality in view of seafloor geodesy, *Prog*

- Earth Planet Sci, 9, 73, doi:10.1186/s40645-022-00526-y.
- 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.
- 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)土木学会中国支部研究発表会, I-17.
- 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.
- Ishii, K., A. Nishijo, T. Koyaguchi, and Y. J. Suzuki, 2022, A physics-based source model for realtime tephra-dispersal forecasting for weak eruption plumes, J. Appl. Volcanol., 11, 15, doi:10.1186/s13617-022-00127-w.
- 石丸 聡・小木曾仁・伊藤陽司・榎納智裕, 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, doi:10.3313/jls.59.41.
- 岩田知孝・浅野公之・宮本英・緒方夢頭, 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・緒方夢頭, 2023, 2022年6月19日能登地方の地震(M5.4)時に震度6弱を記録したK-NET正院の地震動特性と地盤構造, 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会, B309.
- 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.
- Kagawa, T. and T. Noguchi, 2022, Issues related to velocity structure estimation in small coastal sedimentary plains: case of Tottori plain facing the Sea of Japan, Earth Planets Space, 74, DOI:10.1186/s40623-022-01640-3.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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).
- 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』.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, doi:10.3390/geohazards302000.
- 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.
- 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—火山噴出物の積雪層への貫入実験—, 令和 4 年度砂防学会研究発表会, 77-78.
- 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.
- Nishimura, I., T. Noguchi, and T. Kagawa, 2022, Construction of Web-GIS for integrating geophysical survey data with geotechnical information in the San'in region, southwest Japan, *Earth Planets Space*, 74, DOI:10.1186/s40623-022-01707-1.
- 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—鳥取市佐治地区—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.
- 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.
- 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—鳥取市若葉台の事例—, 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.

- 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－鳥取市大塚地区－, 日本地球惑星科学連合大会 2022, SSS11-P12.
- 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.
- 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.
- 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 Space*, 74, 49, doi:10.1186/s40623-022-01601-w.
- 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*, doi:10.1785/0220220151.
- 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.
- 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, doi:10.3313/jls.59.146.
- 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活用」, (5).
- 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.
- 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.
- 小木曾 仁, 2022, 地震波伝播の即時把握へ向けた Wave gradiometry 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.
- 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).
- 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.
- Otsuka, H., Y. Ohta, R. Hino, T. Kubota, and D. Inazu, 2022, An attempt of transient tectonic signals detection from DONET seafloor pressure record using principal component analysis, AGU Fall Meeting 2022.
- 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.
- 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.
- 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, 82, <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01627-0>.
- Saunders, J. K., S.E. Minson, A.S. Baltay, J. J. Bunn, E. S. Cochran, D. L. Kilb, C. T. O'Rourke, M. Hoshiba 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, doi:10.1785/0120220022.
- 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一初期解析結果一, 日本火山学会, A3-07.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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, 0-4.
- 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.
- 為栗 健・井口正人, 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.
- 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.
- 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, doi:10.1186/s40645-022-00514-2.
- 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.
- 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.
- 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.
- 田屋大輝・古村孝志, 2022, 1次元量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.
- Timur E., K. Haneda, A. Kuribayashi, and Y. 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.
- Timur E., K. Haneda, A. Kuribayashi, and Y. 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.
- 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.
- 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.
- 対馬弘晃, 2022, 沖合の津波観測による近地津波の即時予測ー津波波源推定とデータ同化を中心にー, *月刊地球*, 515, 381-388.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, doi:10.1186/s40623-022-01645-y.
- 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.
- 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.
- 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, doi:10.11483/mritechrepo.86.
- Yamasaki, S., 2022, Pelitic schist with epigenetic deformation, as a geological factor of deepseated 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

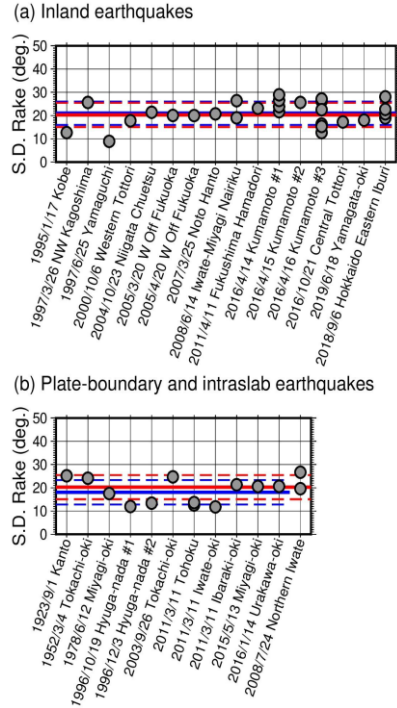


図 1. 既往地震の震源断層モデルのすべり角のばらつきの程度を示した図。赤線が全データの平均と標準偏差，青線が地震タイプ毎の平均と標準偏差をそれぞれ示す（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI09]）。

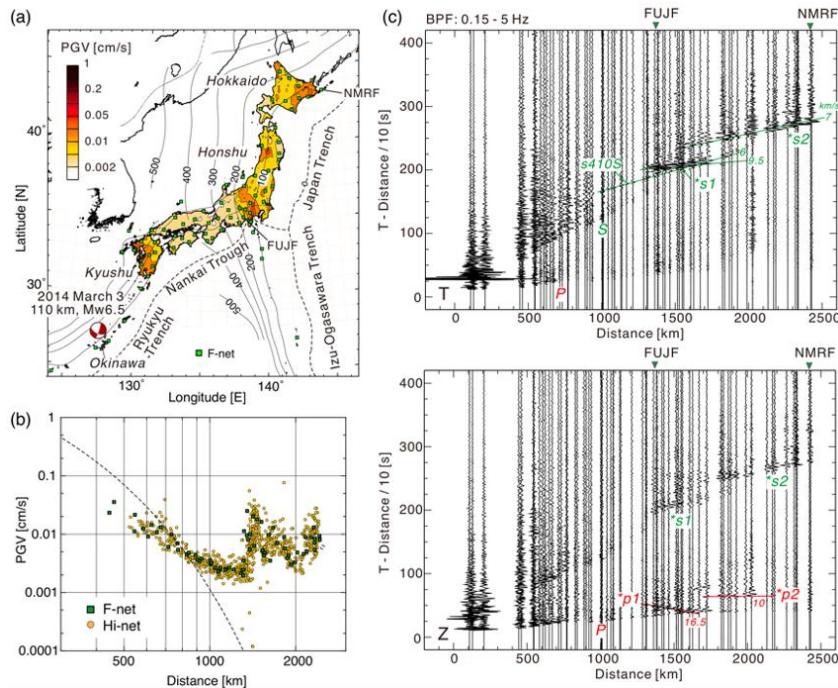


図 2. (a) 琉球海溝のやや深発地震（110 km）における日本列島の地動速度分布 (PGV)，(b) PGV の距離減衰特性と距離減衰式 (Si & Midorikawa, 1999) との比較。(c) F-net 観測点記録の記録セクション Transverse (T)，Vertical (Z) 成分に見られる大振幅の S 反射波 (*s1, *s2)（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_14]）。

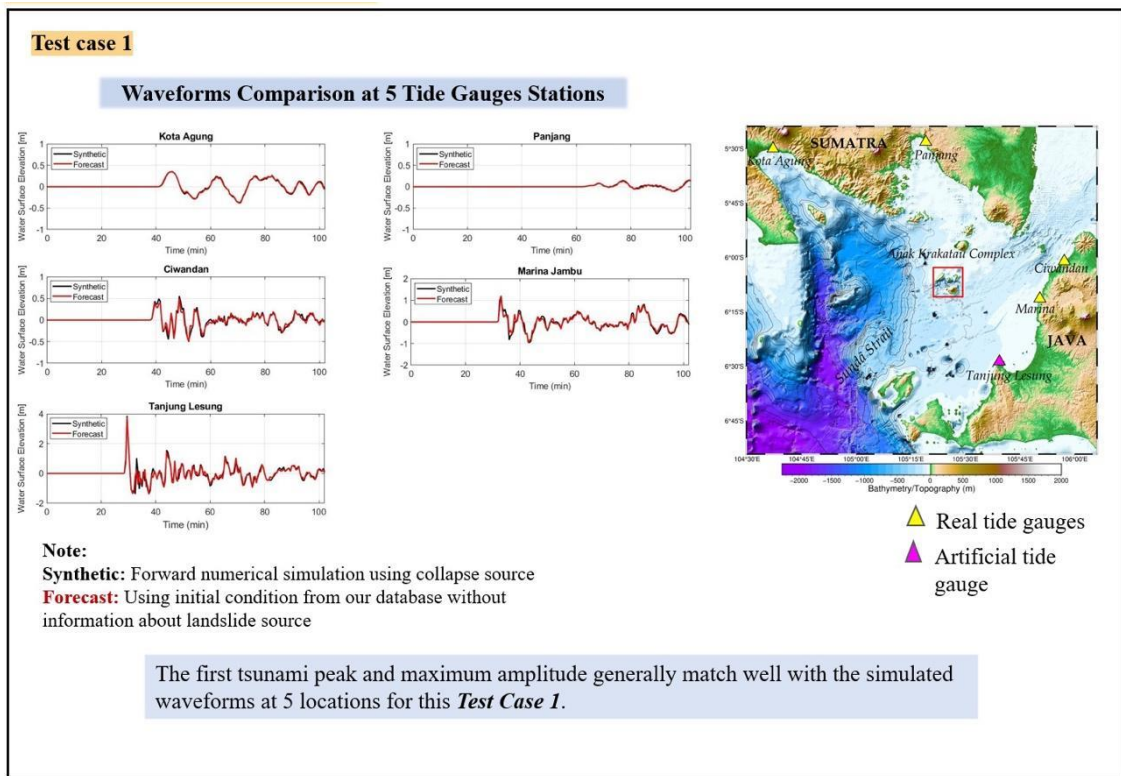


図 3. 2018 年アナク・クラカタウ島火山噴火を模した地すべりに対して，3 分後の津波（波高・速度分布）を予測する手法を適用した結果の例（北海道大学[課題番号：HKD_05]）。

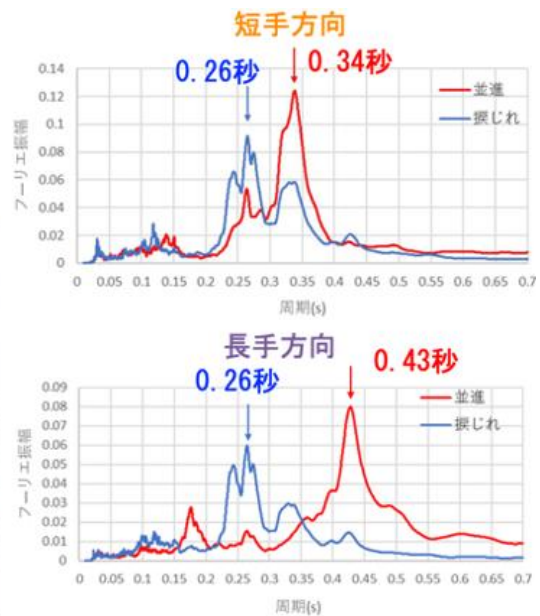


図 4. 微動観測による北栄町由良宿における伝統的木造建物の固有周期。赤はそれぞれの方向の固有周期，青は揺れ振動の周期をそれぞれ示す（鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。



図 5. 17GHz GB-SAR と 79GHz MIMO レーダの同時計測実験の様子 (東北大学災害科学国際研究所 [課題番号: IRID03])。

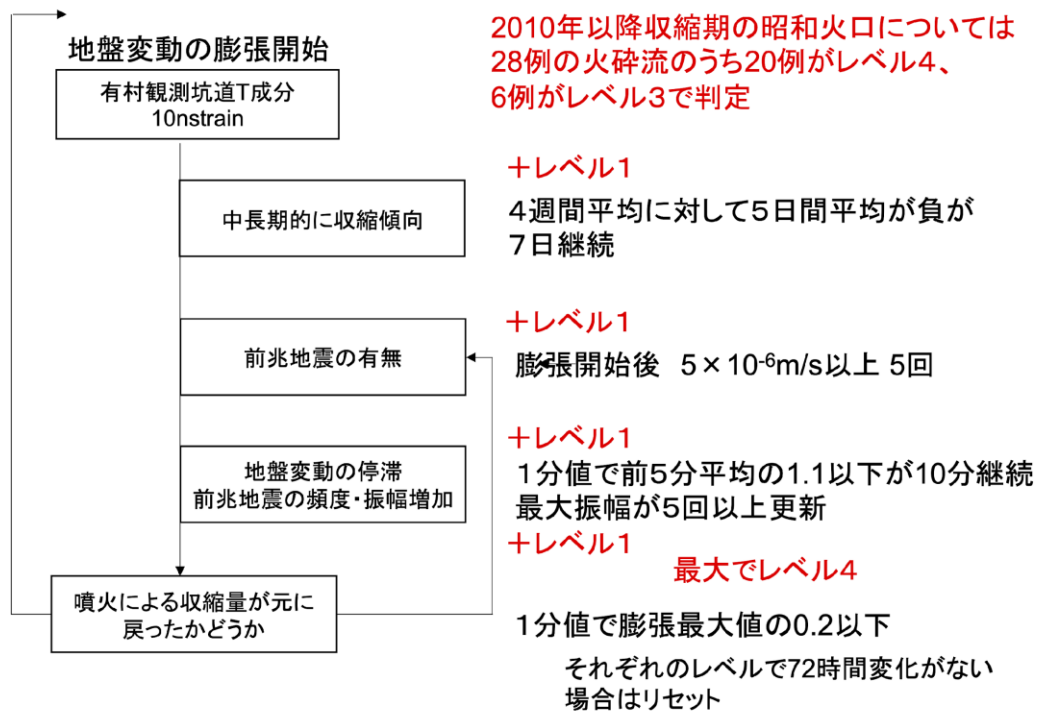


図 6. 構築した桜島における火砕流の発生危険度判定ロジック (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI11])。

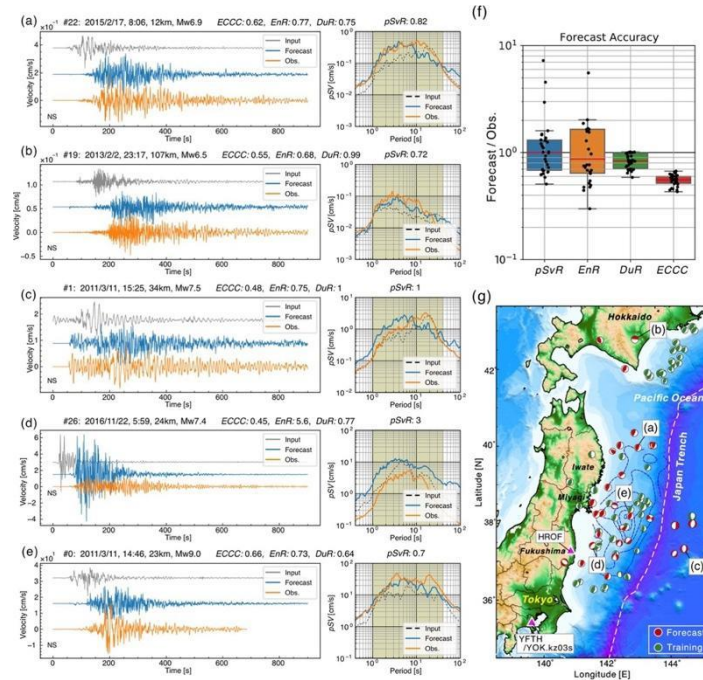


図 7. (a)-(e) 深層学習 (TCN) による関東 (YFTH, YOK. kz03 地点) での長周期地震動波形の予測結果 (5 地震) と速度応答スペクトルの比較。グレーは入力波形 (HFOR), 青が予測波形, オレンジが観測波形。(f) 予測を行った 30 地震について観測の一致度を, 速度応答スペクトル比 (pSVR), 弾性エネルギー累積量比 (EnR), 継続時間比 (DuR), エンベロープ相互相関係数 (ECCC) について, 四分位図で評価。(g) 学習に用いた地震 (緑) と予測に用いた地震 (赤), および入力 (HROF) と予測地点 (YFTH/YOK. kz03s) (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])。

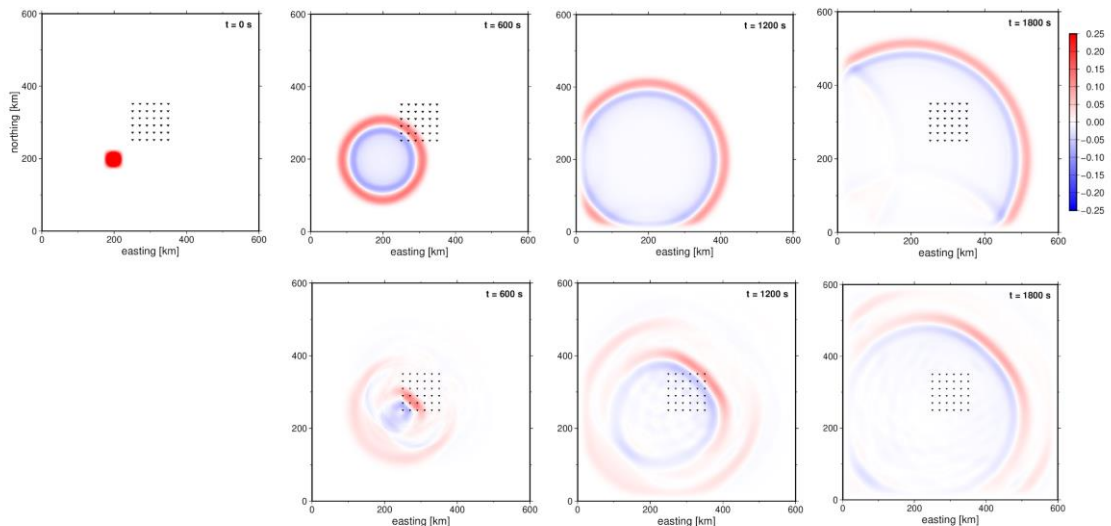


図 8. アジョイント方程式に基づくあらたな波動場現況推定手法の数値実験による検証結果。上段が仮定した津波波動場, 下段が同手法によって推定された津波波動場 (弘前大学理工学研究科 [課題番号: HRS_02])。

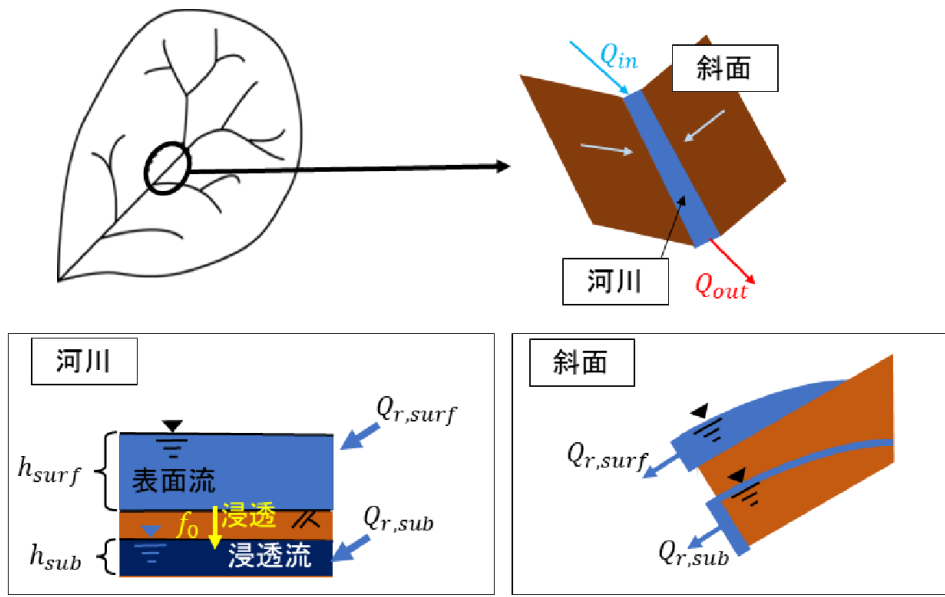
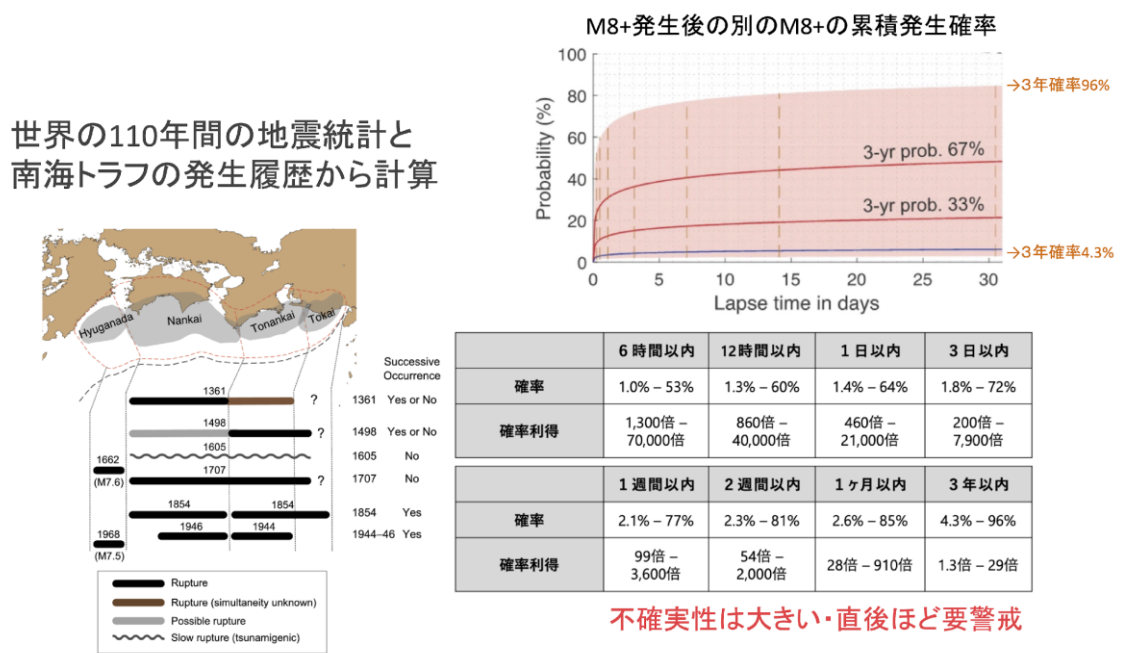


図 9. 山地源頭部の降雨流出および浸透流モデル (京都大学防災研究所 [課題番号 : DPRI_12])。



Fukushima, Y., T. Nishikawa, and Y. Kano, "High probability of successive occurrence of Nankai megathrust earthquakes", Scientific Reports, 10.1038/s41598-022-26455-w, 2023.

図 10. 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を, 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結果 (東北大学災害科学国際研究所 [課題番号 : IRID04])。

1 (6) 防災リテラシー

「防災リテラシー」計画推進部会長 高橋 誠

(名古屋大学大学院環境学研究科)

副部会長 井ノ口 宗成

(富山大学都市デザイン学部)

地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるためには、地震・火山噴火といった自然現象に起因する災害誘因（外力）だけでなく、地形・地盤などの自然環境や、人間の持つ特性や社会の仕組みといった災害素因（自然素因と社会素因）を理解し、地震・火山噴火による災害の発生機構を総合的に解明することが必要であり、また、それらの研究成果を社会に対して適切に還元することが求められる。そのためには、社会が地震・火山噴火災害による被害の発生を抑止したり軽減したりするために必要とされる知識体系を明らかにすることが必要である。

現時点における研究成果に鑑みると、災害誘因としての自然事象に関する理解や予知・予測、災害誘因と災害素因との結び付きによって災害が発生する要因や機構に関する理解から、被害が発生した場合の対応にかかわる方策を得ることによって、災害の軽減を図ることが目指されている。とりわけ災害素因については、構造物や土地利用にとどまらず、人間の認知や行動、企業やコミュニティなどにおける脆弱性の理解といった災害予防の側面に重点が置かれる。また、過去の地震・津波・火山災害事例の被害・応急・復旧・復興といった災害過程、あるいは、将来の地震・火山噴火災害への備えに焦点を当てた研究が行われている。一方、社会における防災リテラシーの実態やニーズに関する調査に基づいてその向上のために必要とされる知識要素を探り、研修プログラムや教材の開発につなげるような実践的な試みも行われている。その際、大学の研究施設のみならず、行政機関や地域社会、広く市民社会との連携も試みられている。

防災リテラシー部会は、基本部分を前計画における地震・火山災害部会から引き継ぎながら新たに設置された。防災・減災に対する社会の要請を意識し、理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって、災害事例に基づき、災害の発生要因を災害誘因と災害素因とに関連づけて解明する研究を従前どおり推進する。また、マイクロジオデータやオープンサイエンスの手法なども活用し、産業界や行政機関、一般市民などのステークホルダーとの連携を深めつつ、社会における防災リテラシーの実態調査や災害軽減に効果的な知識体系要素の探求などを通して、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行う。

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

地震・火山噴火災害の発生機構を理解するためには、災害事象を、それが生じる場所や地域の歴史的・地理的・社会的特性と関連づけて分析することが重要である。

近代以前の歴史災害の場合、現存する記録の信頼性についての史料批判が不可欠である。とりわけ近世初期の蝦夷地（北海道）に関係する史料は限られるが、1640年北海

道駒ヶ岳噴火の関係史料を書誌学的に整理するとともに（図1）、火山学の知見と照らし合わせながら内容を精査した。その結果、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が確認され、降灰で暗くなった時間や降灰の範囲など、従来の理解とは異なる噴火当時の状況や認識が判明した（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_02]）。

津波災害はとりわけ地形環境とその変化に大きく影響を受ける。岩手県宮古市を対象として、幕末・明治の絵図史料や旧版地形図をもとに、Generic Mapping Tools（GMT）を用いて地形復元を行い、2011年東北地方太平洋沖地震における津波浸水範囲と、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1896年明治三陸地震津波の浸水範囲を重ね合わせ、明治三陸地震当時の家屋や道路の配置情報を可視化した。その結果、2011年の津波浸水範囲は、1896年のそれに含まれない市街地を多く含み、それらは戦後から高度経済成長期に拡大した市街地部分に当たることが明らかになった（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID05]）。

ひとたび災害が発生すると被災者は様々な財産を失う一方で、生活再建にかかる公的な支援策が多岐にわたるために、被災自治体にとって被災者ニーズを的確にとらえることが迅速な復興に向けた課題となる。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、生活再建に関する相談データ（主として仮設住宅入居者）について共起ネットワーク分析を行い、被災者自身の抱える生活再建上の課題を抽出した結果、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、公営住宅への入居希望が強い共起を示し（図2）、被災者の再建を推進する上で住宅再建の方法や方針についての情報を提示する必要性が明らかになった（富山大学[課題番号：TYM_03]）。

近い将来に予測される南海トラフ地震への備えに関しては、被害が想定される尼崎市内の中小企業における災害対策の実情を把握するために、無作為に抽出した市内事業所に対して質問紙調査（回答者数754）を行った。その結果、被災によって事業活動中断に至る事由としては、建物（事業拠点）損傷やライフラインの寸断のみならず、従業員の被災や通勤困難と考えている企業が多く（図3）、一方で、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施策の可能性が示唆されるにもかかわらず、主として資金面の課題により多くの企業が現在の立地場所での事業継続しか考慮していない状況が明らかになった（兵庫県立大学[課題番号：HGY_02]）。

南海トラフ地震に関しては、地域レベルでも事前復興対策が進められている。甚大な津波被害が予測される高知市では、南海トラフ地震の新想定によって津波浸水想定地域からの人口転出が顕著になったが、小地域統計データを用いて、どのような事業所や住民がどこに移転したのかを検証した。その結果、災害リスクを逃れるための人口・事業所の移転が階層的格差と関連し、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、防災リテラシーにとって重要である科学知が脱文脈化し、予期しないネガティブな社会的影響をもたらすことがあるために、防災リテラシーを生活構造や災害文化、土地利用といったローカルの文脈と関連づけてとらえる必要性を指摘した（名古屋大学[課題番号：NGY_06]）。

(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

社会における防災リテラシーの実態の把握については、本年度も、応急期を想定したシナリオに基づいて、個人および集団レベルにおけるリスク認知や避難行動の量的分析を行う研究が蓄積された。

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に、苫小牧市において、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て、集団の疑似的津波避難に関する移動軌跡データを収集した。避難距離・歩行速度・避難時間に着目した分析を行った結果、歩道の狭さや歩道脇の植物の繁茂、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）など、ミクロな地物が集団による円滑な歩行を妨げており（図4）、豪雪や凍結といった冬季の路面状況によっては、比較的短距離であっても、津波到達までに全員の避難が完了しないことが示唆された（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。

また、災害予測情報等を災害対応に効果的に活用できるか否かを考えるためには、意思決定にかかるメカニズムを理解することが重要である。こうした観点から、災害情報が被害の発生抑止に資する過程についての認知仮説に基づいて、健常大学生を対象に、津波避難意思決定課題にかかる機能的MRIを用いた脳活動計測実験を行った。その結果、定量シナリオでは、より高い脳活動が右大脳半球優位に頭頂間溝周囲皮質において、定性シナリオでは、より高い脳活動が両大脳半球の側頭頭頂接合部および腹外側前頭前野においてそれぞれ認められ（図5）、定量シナリオと定性シナリオがそれぞれ異なる思考処理を特徴とするために、避難意思決定過程や教育介入過程において戦略を区別することにメリットがあることがわかった（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID06]）。

2014年に深刻な御嶽山噴火被害を経験した長野県木曾地域のように、日本の多くの火山地域では、登山客や観光客を対象とした防災・減災策が課題となっており、併設されるジオパーク・博物館・ビジターセンターの学習施設としての役割が期待されている。昨年度に引き続き各火山地域における学習施設を調査し、比較表を完成した（図6）。その結果、火山防災教育に関する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っていること、子供に対する啓発教育を通じて、周囲の大人の火山防災意識の向上をねらっていることがわかった（名古屋大学[課題番号：NGY_06]）。

日本の火山地域の中でも、桜島や阿蘇には大学の観測研究施設が所在し、地域の火山防災に対する基幹的な役割が期待されている。京都大学防災研究所桜島火山観測所は、鹿児島市と連携して桜島住民を対象とする火山防災勉強会を開催してきた。2020年6月4日未明の噴火による火山岩塊（噴石）の居住地近傍への着弾に関連して、噴石飛散による噴火警戒レベル引き上げの認知度に関する質問紙調査（回答340名）を行った結果、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明らかになった（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI13]）。また、人文社会系の研究者や京都大学防災研究所阿武山観測所と連携して、桜島火山のジオガイドも巻き込んだアクション・リサーチを実施し、歴史的に貴重でかつ稼働中の観測装置に着目して防災リテラシー向上のための説明資料の作成を進めた

(図7, 京都大学防災研究所[課題番号: DPRI13, DPRI14], 兵庫県立大学[課題番号: HYG_01])。

一方, 全国的な火山観光地に位置する京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センターでは, 阿蘇ジオパークや阿蘇火山博物館といった地域の様々な学習施設と連携して, 火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための実践的な研究を進め, 2016年熊本地震によって被災した研究センター本館の復旧作業の一部をジオパークガイドと協力して行うことによって, 地震観測の歴史や災害復旧過程などについての知識を地域社会と共有した。また, 昨年度総合研究グループ「小規模・高リスク噴火」とも連携して実施した「阿蘇への観光客に対する火山防災に関する意識調査」を分析した結果, 火口周辺での火山ガスの危険性に関する音声ガイド・掲示板の存在や噴火の痕跡が, 観光客が退避壕に入るという安全確認行動を促進することが明らかになった(京都大学理学研究科[課題番号: KUS_03])。

京都大学防災研究所阿武山観測所は, 科学者と一般市民との連携手法としてオープンサイエンス手法(市民参画型科学, 市民参画型データ収集・管理)を取り入れながら先端的な取り組みを行ってきた。とりわけ本年度は, 地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ View」のパイロット版を完成させるとともに, 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)を主として市民参加で解読する「みんなで翻刻」について, 向こう1150日間安定的に運用できるようにシステム更新をおこない, 登録者数が当初目標(1万人)に迫る8350人に到達した(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI14])。

最後に, 本部会の最重要課題として, 対象・目標を明確化した上で内容を精選し, 方法の吟味, 評価・検証とフィードバックからなる一連の研修プログラムの作成を行っている。これまでの評価検証において, それぞれの知識項目について説明できる人と説明できない人の割合に研修前後で統計的に有意な差が見られ, この研修によって参加者の理解が促されたことがわかっている。本年度は, 要素化した「地震・火山研究者が理解してほしいこと」を, 自治体職員のニーズをもとに再構成し, 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(図8)。また, 関東地震(関東大震災)100周年に向けて, 特に津波を伴った地震災害としての側面に着目し, 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たコンテンツを作成した(新潟大学[課題番号: NGT_02])。

これまでの課題と今後の展望

第2次の観測研究計画では, 地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるための災害科学の確立を目標として, 防災・減災に対する社会の要請を意識しながら, 全国の大学における理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって, 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究と, 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実施してきた。

具体的に, 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては, 近世・近代の史料を批判的に検討し, 災害の具体像を復元するとともに社会の対応を分析し

た。また東日本大震災などの近年の災害を事例にしながら、災害復興や防災対策、防災教育などの社会対応の課題に関する検討を蓄積してきたが、とりわけ本年度では、企業やコミュニティが南海トラフ地震などの将来の災害に備えるための課題に関する示唆を得た。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に関しては、GISなども利用しながら、災害の社会素因である脆弱性を個人レベルで評価・可視化する手法を開発するとともに、様々な地域や集団を対象に社会の防災リテラシーの実態把握を進めてきた。また、オープンサイエンスやリスクコミュニケーションなど新しい手法を取り入れ、行政機関や一般市民などと連携しながらリスク認知能力を涵養したり知識レベルを向上させたりする取り組みを展開し、具体的に研修プログラムの体系化と教材コンテンツの作成をほぼ完成させた。これらの取り組みの中では、人文社会科学の研究者が地震学や火山学の研究者と連携して研究を進め、行政機関や地域の学習施設などと協働に本格的に乗り出してきた。

今後は、過去4年間における検討をさらに深化させながら、研究まとめとしての防災リテラシーの理論的な体系化を目指したい。地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては、史料データベースといった歴史資料などに基づき過去の地震・津波・火山災害などの自然災害事例を蓄積し、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて総合的な理解を図る。また、災害誘因の事前評価と災害素因、とりわけ地域社会の脆弱性概念とを結び付けて災害発生機構の理論を洗練させ、災害の予測や予防、災害対応にかかわる知識要素と結び付けて検討することによって実践的な防災リテラシーを獲得する。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おいては、これまで把握してきた防災リテラシーの実態やニーズに基づき、他の計画推進部会や総合研究グループと連携しながら、行政職員やボランティアなど、対象を明確化した講習・研修プログラムの完成を目指す。その際、マイクロジオデータやGISを利用した空間分析法の構築、地震・火山情報の配信システムの整備、オープンサイエンスやワークショップといった市民参加型リスクコミュニケーションなど、新しい手法の開発を継続させることが重要である。

成果リスト

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.

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-02-4.

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.

橋本雄一編著，2022，六訂版GISと地理空間情報：ArcGIS Pro3.0の活用，古今書院.

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，
doi.org/10.18940/vsj.2022.0_163.

Matsuzaki, Y., R. Ishibashi, M. Yasuda, A. Tanabe-Ishibashi, A. Honda, T.

Abe, M. Sugiura, 2022, Does the eight-factor "power to live" in disaster

- exist since childhood? *Frontiers in Public Health*, 10, 1022939,
doi:10.3389/fpubh.2022.1022939.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, 土木学会西部支部, 都市水害に関するシンポジウム講演論文集, 21, 21-26.
- Muroi, K. 2022, Post-disaster reconstruction in the rural-urban fringe following the Great East Japan Earthquake, *E3S Web of Conferences* 340, 03001, doi.org/10.1051/e3sconf/202234003001.
- 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.
- 中道治久, 2022, 火山災害: 噴火のメカニズム, 日本自然災害学会編: 自然災害科学・防災の百科事典, 丸善出版, 154-155.
- 中道治久, 2022, 火山災害: 地殻変動, 日本自然災害学会編: 自然災害科学・防災の百科事典, 丸善出版, 166-167.
- 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.org/10.18940/kazan.67.2_207.
- 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, doi.org/10.18940/vsj.2022.0_1
- 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-02-3.
- 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.
- Rahadiano, H., H. Tatano, M. Iguchi, H.L. Tanaka, T. Takemi, 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.org/10.5194/essd-14-5309-2022.
- Sasaki, D., Y. Jibiki, 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, doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103142.
- 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.
- 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.

Sugimori, R., K. Ariizumi, K. 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.org/10.20965/jdr.2022.p0409.

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, doi.org/10.3389/fnbeh.2022.943809.

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 むかわ町立鵜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.

Yamori, K., Y. Iio, H. Shiroshita, 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, doi.org/10.5595/001c.35742.

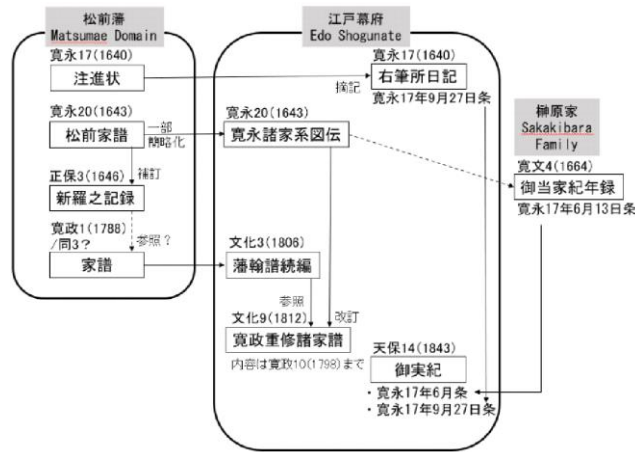


図1. 1640年北海道駒ヶ岳噴火関係史料の所在と相互の関連 (東京大学史料編纂所 [課題番号: UTH_02])

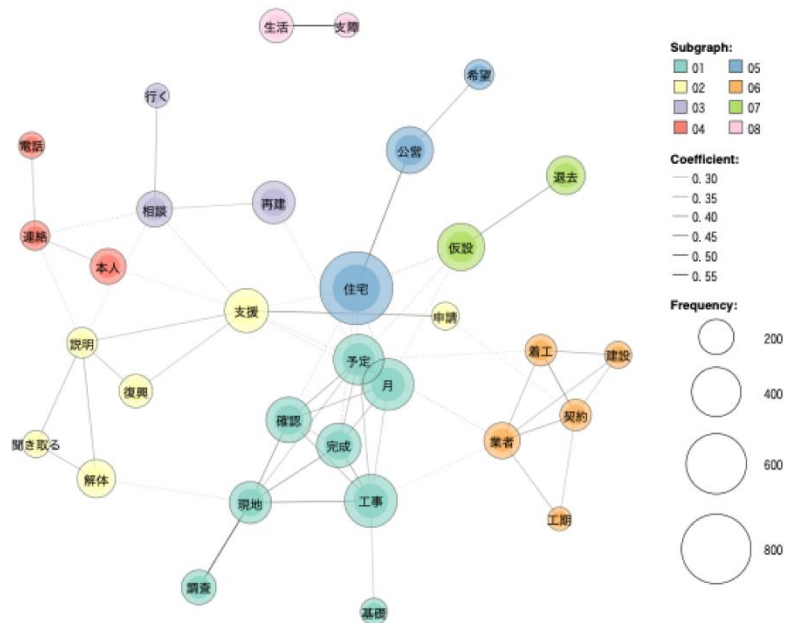


図2. 生活再建のかかる相談内容の共起ネットワーク (富山大学 [課題番号: TYM_03])

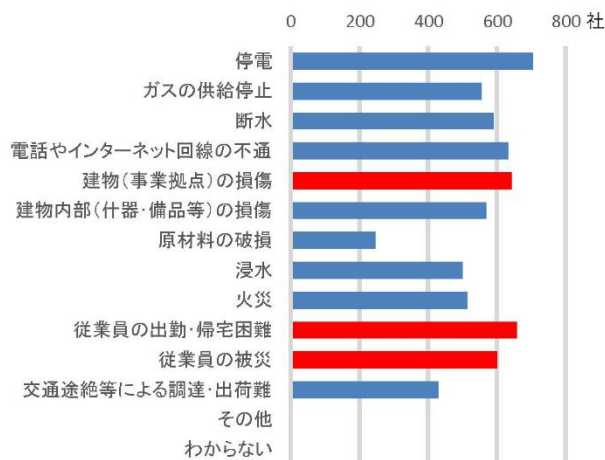
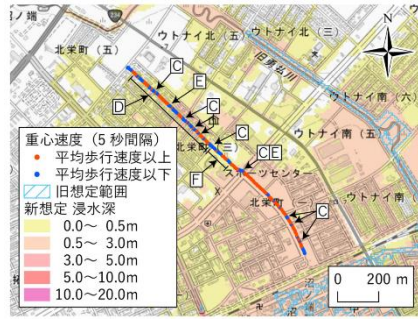


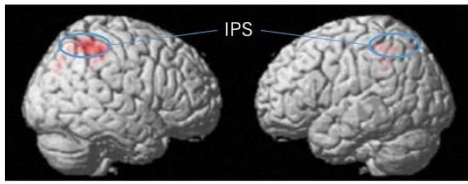
図3. 尼崎市内の中小企業において将来の地震災害によって事業活動中断に至ると考えられた事由 (兵庫県立大学 [課題番号: HGY_02])



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)

図4. 北海道苫小牧市の設定された経路における疑似的津波集団避難に関する移動軌跡 (北海道大学[課題番号: HKD_07])

A 定量シナリオ > 定性シナリオ



B 定性シナリオ > 定量シナリオ

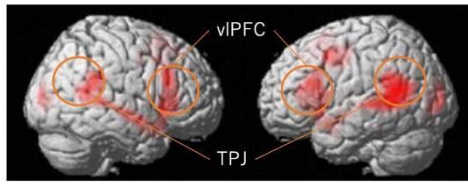


図5. 避難意思決定課題中の脳活動の高い領域: 定量シナリオと定性シナリオの比較 (それぞれ左図が右大脳半球, 右図が左大脳半球を横から見たもの) (東北大学災害科学国際研究所[課題番号: IRID06])

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	桜島	阿蘇山	富士山	箱根	
拠点施設担い手	御嶽山火山マスター	洞爺湖・有珠山火山マスター	磐梯山噴火記念館	磐梯山災害記念館	桜島ミュージアム	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 本管地域特有の魅力や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 災害を経験した知恵を語り継ぐ 洞爺湖や有珠山地域の魅力発信 洞爺湖・有珠山地域の自然や特性について学び伝える 地やまず続ける人づくりの仕組み	地震・火山に対する防災・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 雨天時の観望場所 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「桜島デジタルセンター」の運営 桜島をまるごと博物館と考えて現地でも物を見て楽しみながら学ぶ地域を作ることを目指し、観光や街づくりに取り組み	火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)資料や情報収集 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 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、地域の連携	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)資料や情報収集 噴火災害を経験するための噴火履歴や予備知識の提供 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、地域の連携	火山の不思議や噴火の歴史、自然の魅力を「3R」味わうことができる 全国から来訪する、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	率先して避難行動を行う地域の防災リーダー	情報発信は専門家に任せ、現地の様子を伝える程度	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	レベル3の際には阿蘇火山博物館が現地情報本部となる。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、噴火の防災講習会を開催している。防災局員として活躍する。	
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、地元の人々の火山との共生意識・防災意識が高い。マ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・啓発の比重が高い。	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。	当初は観光客目当ての施設だったが、経営が厳しくなり、2009年に経営者が変わって再開した。方針が転換され、地域の教育や防災に果たす役割が大きくなった。	県立の研究施設なので、がらがらの研究機関も少くない。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多い。博物館でもよいが、展示もある。	内外から観光客が多く、修学旅行客も多い。展示の展示、観光の展示が多いため、展示スペースが狭い。展示スペースが狭い。

図6. 各火山地域における火山リテラシー向上に関わる取り組みの特色および御嶽山地域との比較 (名古屋大学[課題番号: NGY_06])

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



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7. 京都大学桜島火山観測所所蔵の現在稼働中の地震計および微気圧計の一般向け説明図 (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI13])

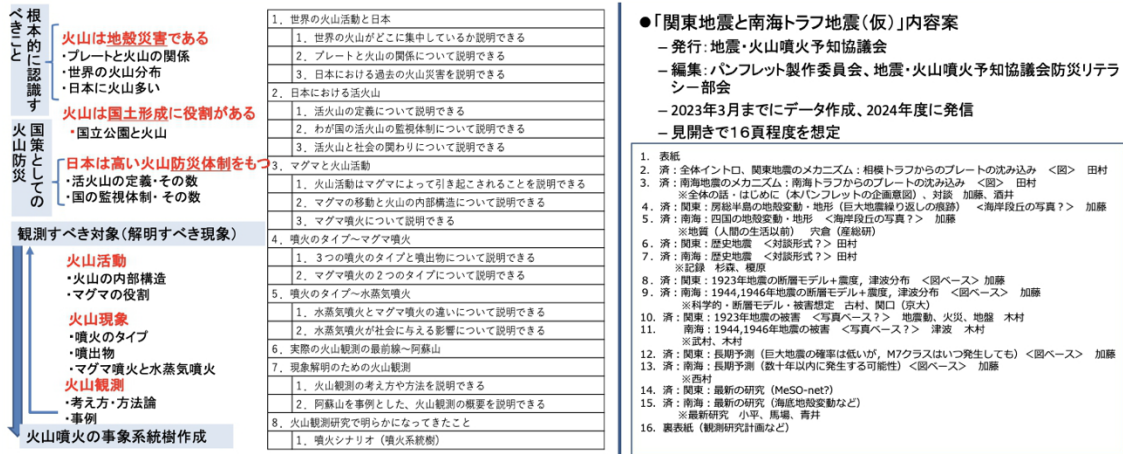


図8. 火山学の基礎知識習得のフレームと学習目標(左), 関東地震100周年を契機とした防災リテラシー向上のためのコンテンツ作成(右)(新潟大学[課題番号: NGT_02])

1 (7) 史料・考古

「史料・考古」計画推進部会長 榎原雅治

(東京大学史料編纂所)

副部会長 山中佳子

(名古屋大学大学院環境学研究科)

日本列島において近代的な観測機器による地震観測が開始されたのは明治時代前期以降であり、それ以前に発生した地震・火山噴火現象、またはそれらによる災害に関する知見を得るためには、史料や考古資料に基づく地震や火山噴火に関するデータが必要不可欠である。そのため、日本における地震火山関連史料の収集・編纂とそれらを用いた地震や火山噴火の研究は、明治時代後期より実施されており、各種の地震史料集や火山噴火史料集が刊行されている。

史料や考古資料に基づく地震火山関連のデータは、人間の感覚に基づく記録や地中に残された痕跡に基づくデータであるために、近代的な観測機器を用いた地震・火山の観測データと比較して、その精度が格段に劣るのは当然である。そこで重要になってくるのが、歴史学の手法を用いた史料とその記述の正確な分析・解釈や、地質学的な手法を活用した考古遺跡における災害痕跡の分析といった、これまでの地震・火山噴火の研究において積極的に用いられてこなかった手法の導入である。地震・火山噴火関連の史料データ・考古データのデータベースの構築や統合と共に、これらのデータを活用した新たな研究手法の検討や利用も重要な研究課題である。このような新たな研究への取り組みは、史料や考古資料に関する読解や分析が十分とは言えなかった従来の研究手法を改善し、それぞれの分野の学術研究に裏打ちされた精度と確度の高い研究を目指すものである。この取り組みによって、地震学や火山学の分野から信頼性が問題視されてきた史料・考古データや、それらに基づく研究成果について、これまで以上の信頼性を確保できると考える。

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

史料や考古資料の分析に基づいて、近代的な機器観測が開始される前に発生した低頻度かつ大規模な地震・火山噴火やそれらによる災害を調査・研究することは、今後発生するそれらの現象や災害の様相を予測し、その被害の軽減することに貢献できると考えられる。百数十年から数百年の期間において同一地域で発生する低頻度大規模地震や火山噴火は、明治時代に開始された近代的な機器観測を用いて、それぞれ数回の事象に関して観測データが取得されているのみである。しかし、低頻度の現象や災害は機器観測の開始以前にも発生しており、機器観測によるデータは皆無であるが、歴史学や考古学で用いられる史料や考古資料には、地震や火山噴火に関連した記述や災害痕跡が含まれている。このような史料や考古資料を地震学や火山学の研究に役立てるためには、従来のような史資料の収集・編纂のみに止まらず、観測データや数値計算との比較・検討を目的としたデジタルデータ化とデータベースの構築が必要になってくる。これによって、地

震学や火山学の研究に史料や考古資料を活用する際の利便性が向上するだけでなく、信頼性の高い史料・考古データをデータベース化することで、歴史地震や火山噴火の研究における信頼性を高めていけると考える。

ア. 史料の収集とデータベース化

・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

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 ROIS-CODH の歴史的行政区域データセットβ版を活用してデータ化した。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（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV01]）。地震史料検索システムのDBの更新、システムのバグの修正・改良をおこなった（名古屋大学[課題番号:NGY01]）。

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や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』を用いた試行から、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。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（東京大学史料編纂所[課題番号:UTH_01]）。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（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV01]）。

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」の翻刻集をまとめた。新たな史料である「違変記」を購入し、デジタル画像化し、目録を作成した（名古屋大学[課題番号:NGY01]）。

1854年安政東海地震に際して発生した、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（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV01]）。

・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資料調査と解析

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、および解析を実施した。成果を年代順に記す。（1）年代記の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）前記（1）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、1454年12月12日（享徳三年十一月二十三日）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、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。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、地震により形成された山崎新湖の形状がかなり正確に表現されていることを明らかにした。(4) 1828年(文政十一年)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の子細な検討から、地震のような大災害に際し、各大名家の留守居は、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) 明治・大正期の教育者の渡辺敏が1847年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、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年安政江戸地震の江戸より東方の被害の境界地域を検討するため、『石河明善日記』から水戸街道沿い、『渡辺東淵雑録』から千葉街道地域の被害の状況・違いについて検討した。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。(7) 1923年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。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る。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(新潟大学[課題番号:NGT_01])。

・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

1616年(元和二年)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ことがわかった。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。これは『大槌古城由来記』などの大槌地方の史料に元和二年に津波が発生したという記述が存在するためであるが、盛岡藩の史書などとの比較から、実際は1611年(慶長十六年)の慶長奥州地震津波の記事であると判断できる。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、『増訂大日本地震史料』にも掲載された。さらに、これと宮城県塩竈市浦戸における永禄年間の津波伝承とが混同された『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1616年(元和二年)に浦戸を襲った津波として記載されることになった(東北大学災害科学国際研究所[課題番号:IRID01])。

・史料を地震研究に活用する方法についての検討

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い、さらに愛知県についても入力した。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、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)。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記録されている。さらに紀北以南での津波到来時刻については、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、安政地震では揺れがおさまってからすぐに到来している。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が、時間差があることから、宝永の方が規模は大きかったと想像される。昭和東南海地震でもこの地域には地震発生後5～20分程度で津波が到来している。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よう。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 and Kikuchi, 2004)に基づき、Yokota et al. (2016)で求められたアスペリティ分布を考慮すると、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。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ということである(名古屋大学[課題番号：NGY_01])。

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アプリを改良した。歴史地震IDに基づくポータルサイトを試作した(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_01])。

・研究コミュニティの構築・教育・市民への普及

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)(新潟大学[課題番号：NGT_01])。

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—」の報告書を「歴史文化資料保全ネットワーク叢書」として刊行した(東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01])。

古文書解読のための定期的な勉強会(週1回、京都とつくばの2か所、オンラインまたはハイブリッド)を継続的に開催している。また、合宿形式の勉強会(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(東京大学地震研究所[課題番号：ERI_01])。

イ. 考古データの収集・集成と分析

・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

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2)。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。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。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。上記の結果、表層地質（沖積層上部）にみられる災害痕跡は、地震や火山活動による被害様相が地形要素によって多様に変化するだけでなく、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。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，奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

・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（7050-5415 calBP）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伴う隆起活動（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ともなう大地震は、いずれも考古年代前期後葉の大木3-諸磯a式古段階の時期であると推測した（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

（2）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

近代的な機器観測による観測データ取得開始以前に発生した地震・火山噴火について知るためには、歴史学や考古学で用いる史料や考古資料に基づいて、調査・研究を実施していく必要がある。これらの史料や考古資料をデータベース化し、位置情報や時間情報を付与して被害分布図等を作成することによって、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になる。このような被害分布図等を活用して、前近代に発生した低頻度大規模地震や火山噴火現象とそれらによる災害の実態を解明することは、長期的な災害対策の策定に寄与できると考える。

・史料を用いた地震・火山現象の分析

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、次の新知見を得た。（1）1844年6月24日（弘化元年五月九日）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き、この地震の震源は日向灘付近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き、同日のうちに二つの地震が前後して発生していた可能性がある（図4）。（2）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（十一月五日）の安政南海地震と、12月26日（十一月七日）の豊予海峡地震による、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（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

成果リスト

・論文・報告書等

- Ebara M., 2022, Development of Farmland in a Lagoon and Damage Caused by Storm Surge in 17th Century Japan, *J. Disast. Res.*, 17, 390-398, doi:10.20965/jdr.2022
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 堀健彦, 2022, 1828年三条地震と平安越後古岡—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
- 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, doi:10.4294/zisin.2021-5
- 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
- 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
- Murata, T., 2022, The Construction of the Historical Disaster Evidence Database and its Effectiveness, *J. Disast. Res.*, 17, 420, doi:10.20965/jdr.2022
- 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
- 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
- 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資料・予稿集, 67-72
- 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
- Sugimori, R., K. Ariizumi, K. Satake, 2022, Origin Time of the 1854 Tokai Earthquake Recorded in the Logbook of the Russian Frigate Diana, *J. Disast. Res.*, 17, 409-419, doi:10.20965/jdr.2022

- 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
- 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
- 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

・学会・シンポジウム等での発表

- 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,
 日本地球惑星科学連合2022年大会, MIS22-P02
- 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—」
- 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,
 0-16
- 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, 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—, 第10回歴史地震史料研究会,
 8
- 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,
 0-09
- 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
- 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
- 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」
- Kano Y., 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., 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, 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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—，第10回歴史地震史料研究会，1
- 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，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
- 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—」
- 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，0-29
- 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，0-13
- 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
- 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
- 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

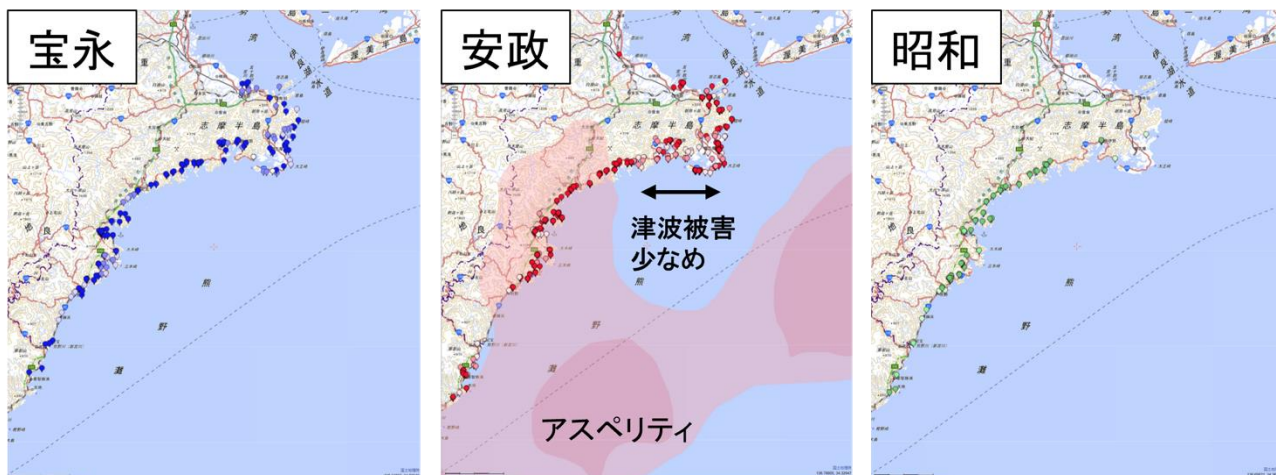


図1. e-コミマップで整理した宝永地震、安政東海地震、昭和東南海地震における津波被害に関する史料。マークで示した場所での津波被害の史料が存在する。e-コミマップではこのマークをクリックすると元史料がみえるようになっている。色の濃さは大まかな津波被害の程度を示す。安政東海地震に描かれたピンクの塗りつぶしはYokota et al. (2016)のアスペリティを示す。ここでは津波被害のみを示したが、このほかに揺れの被害、地殻変動や液状化などの情報も見えるようになっている（名古屋大学[課題番号：NGY01]）。

独立行政法人国立文化財機構
奈良文化財研究所
「歴史災害痕跡データベース」

独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所
歴史災害痕跡データベース 利用規定

1 ご利用にあたって

独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所「歴史災害痕跡データベース」（以下、当Webサイトという）で公開しているコンテンツ（地図・記号・地質データ・文書・画像・意匠等のデジタルデータ）の著作権は、独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所（以下、当機関という）または当機関の関係者が有しております。ご利用に際しては、次の条件に従ってください。

【サイトポリシー】

当機関では、活動を広く皆さまにご理解いただけるよう、運営・提供をしています。
当サイトの閲覧・利用においては下記内容をご確認ください。

1 著作権について

特に明示のない限り、本サイトの文書、画像等の著作権は当機関にあります。
サイトの内容を無断で複写・複製・改変することはできません。ただし、原典を明示したうえで貴組織の内部限りの利用のために複写・複製することは差支えありません。

2. ページへのリンクについて

本サイトの各ページへのリンク、URL の雑誌等媒体への掲載については原則として自由ですが、貴ホームページの内容等によりお断りする場合があります。リンクされる場合は下記についてご留意下さい。
本サイトにリンクしていることを、貴ホームページ等の広告・営業とする方法は禁止いたします。
当機関のサイトへのリンクであることがわかるようにしてください。
貴ホームページのフレーム内に当サイトのページを表示する方法は禁止いたします。
※リンクを張られた場合や雑誌等に掲載した場合に、当機関への通知は不要です。
※なお、予告なく当該ページの URL を変更、または掲載を停止することなどがありますので、予めご了承ください。

3. 外部へのリンクについて

本サイトに掲載している外部へのリンクに関し、リンク先の内容について当協議会は責任を負いません。また、外部へのリ

上記に同意して利用する

図2. 歴史災害痕跡データベースのα版の入り口画面（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

データベースを用いた研究事例

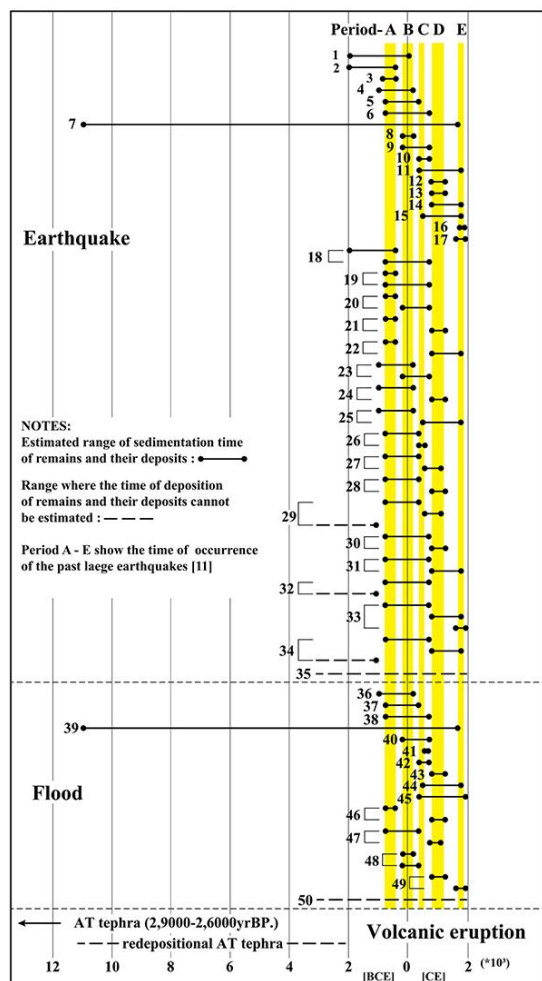


図3 長岡宮・京跡および周辺から発見された災害痕跡の形成時期

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垂発見された地震、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(奈良文化財研究所[課題番号:NAB_01])。

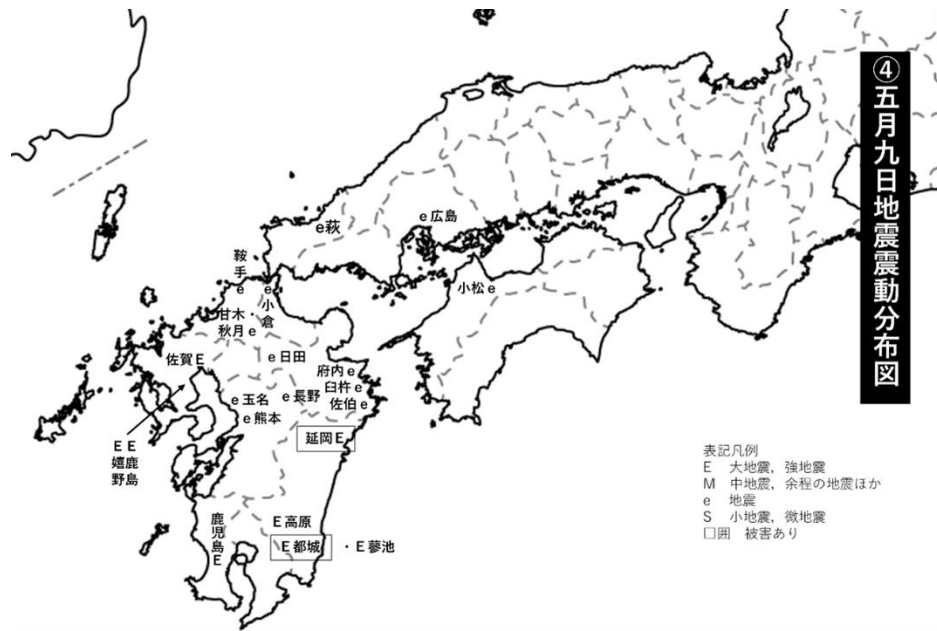


図4. 弘化元年5月9日地震の震度分布（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

1 (8) 観測研究基盤

「観測研究基盤」計画推進部会長 鶴岡 弘
(東京大学地震研究所)
副部会長 青山 裕
(北海道大学)

観測研究部会においては、地震火山研究にとって不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得するために、1)日本全国に展開されている陸域および海域の地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気、重力等の観測基盤の維持(観測基盤の整備)、2)これらの観測データの解析技術等の開発・高度化(観測・解析技術の開発)の進展、3)観測データをリアルタイムに効率的に流通する基盤(地震・火山現象のデータ流通)の維持と、4)観測データの公開や研究成果を共有するシステムの開発(地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開)を引き続き粛々と進めている。以下に令和4年度の成果の概要をまとめた。

観測基盤の整備

防災科学技術研究所においては、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)及び首都圏地震観測網(MeS0-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。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、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、噴火からの1週間で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。この活動域において、比較的地震活動が低調であった場所でMj5.4の地震が発生し、その東側でMj5.0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、活動域がその東西から高速度域に挟まれていることが示された。活動域では、2020年11月以前は地震活動が低調で地震発生層の下限深さ(D90)は10.0~14.0 kmであったが、2020年12月以降は活発化し、D90は13.0~17.5 kmと深くなった。Mj5.4の地震は、2020年12月以降の活動から推定されたD90(14.5 km)よりも浅部(12.6 km)で発生した。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に位置する城里町小勝において、茨城県の震度計で震度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、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試験を実施し、宮崎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た（防災科学技術研究所[課題番号：NIED05]）。

気象庁は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（気象庁[課題番号：JMA_09]）。

国土地理院は、全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、国際GNSS事業（IGS）へ参画し、観測データの提供を行った。加えて、最新のGPS衛星およびITRF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（国土地理院[課題番号：GSI04]）。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（国土地理院[課題番号：GSI_08]）。2022年9月17日と18日（UTC）に発生した台湾の地震では、「だいち2号」SAR干渉画像により、最大1m程度の衛星に近づく変動が検出された（図1、国土地理院[課題番号：GSI_07]）。

大学は、観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_19]）。高知大学においては、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時間雨量5mm程度の降雨に対応して変動が抽出された。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た。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にくわえ、変動周波数帯が12Hz付近と高周波にあるため、雨水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った（高知大学[課題番号：KOC_01]）。

気象庁、国土地理院及び海上保安庁は、潮位連続観測を継続した（気象庁[課題番号：JMA_10]、国土地理院[課題番号：GSI_05]、海上保安庁[課題番号：JCG_02]）。気象庁は、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、高精度な地磁気基準値を提供した。データの引用・追跡を容易にするため、令和3年度から地磁気観測所のデータに、DOI (Digital Object Identifier) が付与され、地磁気観測所ホームページで確認できる(気象庁[課題番号: JMA_11])。国土地理院は、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(国土地理院[課題番号: GSI_06])。山梨県富士山科学研究所は、富士山5合目における絶対重力測定を実現し、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を実施した(山梨県富士山科学研究所[課題番号: MFRI02])。北海道立総合研究機構地質研究所は、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続して行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った(北海道立総合研究機構[課題番号: HRO_01])。

気象庁は、全国の50活火山について、全国4カ所の火山監視・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。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(気象庁[課題番号: JMA_12])。

観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、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)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回の観測を行った。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月末から2日程度の試験観測を実施し、10月には約2週間の観測を行うことで多数の地震が記録された。どちらの観測も、測定全長は100 km、観測点間隔は2 m、ゲージ長は100 mとした。長いゲージ長を設定することにより、感度の高い計測を試みた。今回導入したDAS計測器は、S/N比が高く、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、東京大学地震研究所[課題番号: ERI_22])。

大学は、新たな無線通信帯域・技術を活用した地震火山データ伝送システムの開発及びこれを利用した地震・火山活動状況を高精度かつ迅速に把握可能なシステムの開発を進めている。VHF帯(V-High 周波数:207.5-222 MHz)での通信試験が実施された。仙台で行われた八木アンテナおよびオムニア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、オムニアアンテナでも、20 km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84 kmの通信が可能であることがわかった(図3、東北大学理学研究科[課題番号: THK_13])。名古屋大学においては、小電力、小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発を実施した。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た(名古屋大学[課題番号: NGY_08])。

情報通信研究機構においては、富士山、浅間山、草津白根山、焼岳の Pi-SAR X3 を用いた試験観測を実施し、15 cm 分解能での火山観測に成功した（図 4、情報通信研究機構[課題番号：NICT01]）。

地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、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可能な機能付加を行ったほか、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（北海道大学[課題番号：HKD_08]）。

東京大学地震研究所は、前年度に引き続き、次世代の対話観測処理系システムについて試作を進めた。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_24]）。高知大学においては、VPN トンネルを用いた現状の WIN パケットの伝送実験を実施した（高知大学[課題番号：KOC_02]）。

地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

東京大学地震研究所は、DOI 等の永続的識別子付与と公開を進めた。外部で公開しているデータベース等のメタデータを東京大学の機関リポジトリ（UTokyo Repository）へ登録し、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ことを確認した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]）。

気象庁は、地震月報（カタログ編）2020 年 9 月～2021 年 3 月号を公開した。なお、2020 年 9 月より、S-net と DONET2 のデータを一元化処理に活用しており、公開予定の月報には、これらのデータが用いられた震源情報が記載されている（気象庁[課題番号：JMA_14]）。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（気象庁[課題番号：JMA_13]）。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、及び鹿児島地方气象台において、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（気象庁[課題番号：JMA_15]）。

産業技術総合研究所は、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の取りまとめを進めている。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を掲載した（図5，産業技術総合研究所[課題番号：AIST11]）。

国土地理院は，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（国土地理院[課題番号：GSI_10，GSI_09]）。

研究成果共有システムの運用方針については，昨年度以下を定めた「運用責任は戦略室とし，戦略室が中心となってポリシーの検討，コンテンツの調整，課題や部会への関係情報収集や依頼，周知広報を実施する。システム運用は企画部の学術支援職員と戦略室教員及び課題担当者で実施する。収集する情報は，課題間連携及び部会間・総合研究グループ間連携で必要となるメタ情報を中心とし，課題間連携や部会間・総合研究グループ間連携で活用可能な関係情報の所在を示すハブ的な役割を果たす。」。今年度はこのテスト的な運用を実施した。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_25]）。

今後の展望

観測基盤については関係機関によって適切に維持がなされ，データが着実に蓄積されている。また，データ流通基盤も同様に維持がなされリアルタイムでの配信が実現できている。解析システムについても着実に高度化がなされ整備が進んだ。また，データベースについても粛々と整備が進められているところである。さらに，研究成果についても戦略室による方針の実施が開始され，本計画において取得されたデータや開発されたソフトウェアの公開が始められた。来年度にむけて，これらの公開をさらに進めて，データベースの統合化や研究成果共有システムの構築の実現が期待される。

成果リスト

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)

- 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/>
- Spica, Z.J., J.C. Castellanos, L. Viens, K. Nishida, T. Akuhara, M. Shinohara, T. Yamada, 2022, Subsurface Imaging With Ocean-Bottom Distributed Acoustic Sensing and Water Phases Reverberations, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2021GL095287, doi:10.1029/2021GL095287
- 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*, 4, 37-43
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, 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
- Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, 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 Planet. Space*, 74, 92, doi:10.1186/s40623-022-01652-z
- Viens, L., L.F. Bonilla, Z.J. Spica, K. Nishida, T. Yamada, M. Shinohara, 2022, Nonlinear Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL100122, doi:10.1029/2022GL100122
- 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)*
- 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
- Kubo, H., T. Kubota, W. Suzuki, S. Aoi, O. Sandanbata, N. Chikasada, 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, Planet. Space*, 74, 104, doi:10.1186/s40623-022-01663-w
- 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
- Ogburn, S.E., D. Charlton, D. Norgaard, H.M. Wright, E.S. Calder, J. Lindsay, J.E. Ewert, S. Takarada, Y. Tajima, Y., 2023, The Volcanic Hazard Maps Database: an initiative of the IAVCEI Commission on Volcanic Hazards and Risk, *J. Appl. Volcanol.*, 12, 2, doi:10.1186/s13617-022-00128-9
- 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
- Matsumoto, S., T. Nakakuki, T. Yutsudo, H. Ueshiba, Y. Takagi, K. Hayashi, K. Mori, Y. Sato, 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, T. Kobayashi, 2022, An effective approach for accurate estimation of VLBI-GNSS local-tie vectors, *Earth Planet. Space*, 74, doi:10.1186/s40623-022-01703-5

Nakamura, Y., S. Watanabe, Y. Yokota, A. Suzuki, H. Ueshiba, N. Seo, 2022, Shimosato Co-Location of the SLR and GNSS Stations, *International Association of Geodesy Symposia*, 1-7, doi:10.1007/1345_2022_156

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, doi:10.18940/kazan.67.4.453

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, doi:10.5026/jgeography.131.585

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

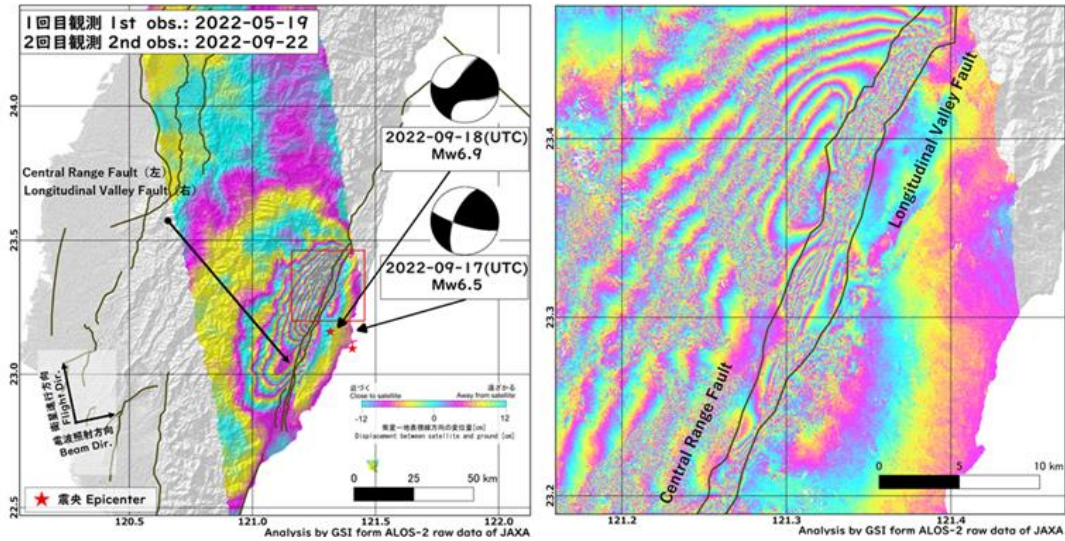


図1. 「だいち2号」SAR干渉画像による台湾の地震に伴う地殻変動。左図は広域の干渉画像，右図は左図の一部を拡大した図。断層帯の西側で変動が大きく，最大1 m程度の衛星に近づく変動が見られる。断層線はStyron et al. (2010)より（国土地理院[課題番号：GSI_08]）。

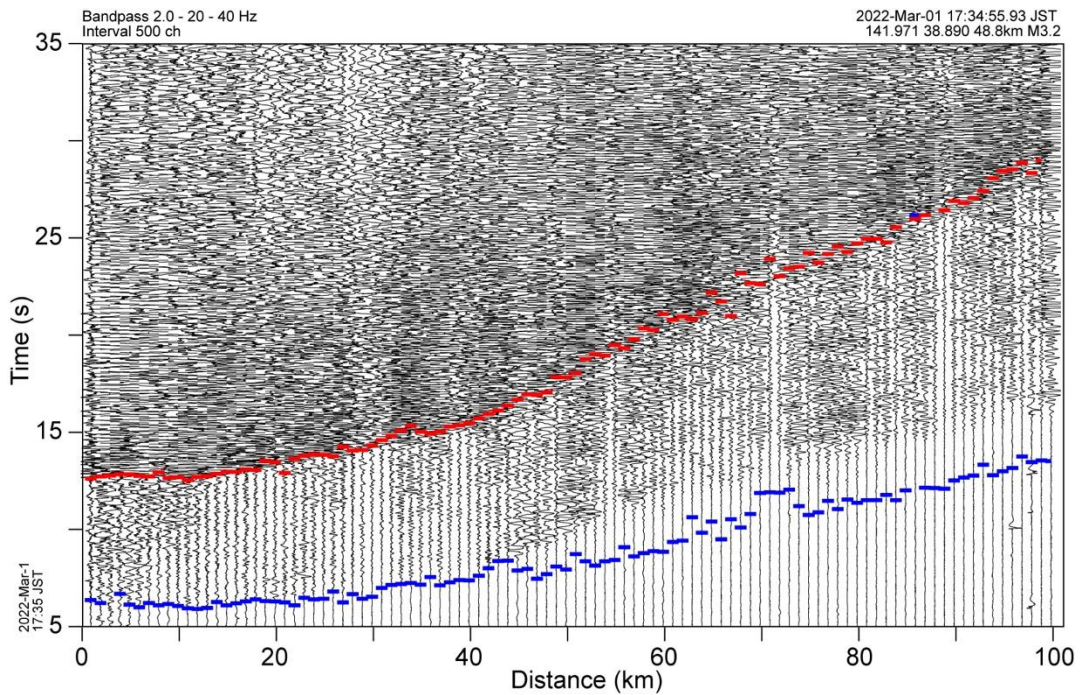


図2. 三陸沖光ケーブル観測システムに新しく導入されたDAS計測器により収録された地震波形記録例。横軸は陸上局からの距離，縦軸は時間を示す。青線と赤線は読み取ったP波・S波の初動をそれぞれ示す（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_22]）。

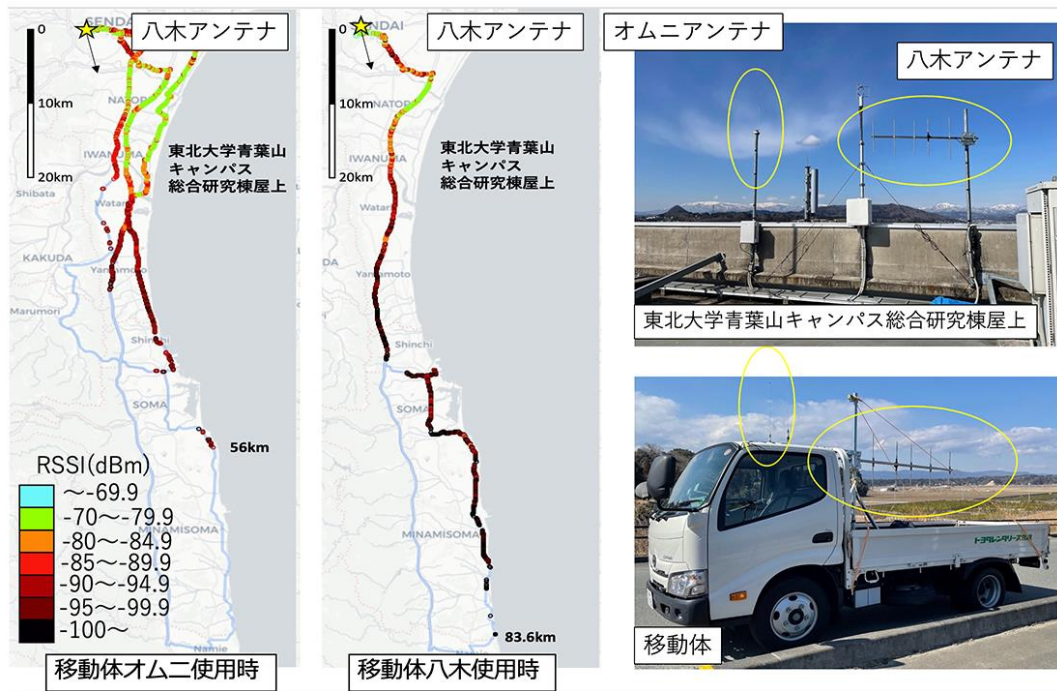


図 3. VHF帯通信試験における発信点・受信点の様子と信号受信強度(RSSI) (東北大学理学研究科[課題番号: THK_13], 大和田・他(2022)に加筆修正)。

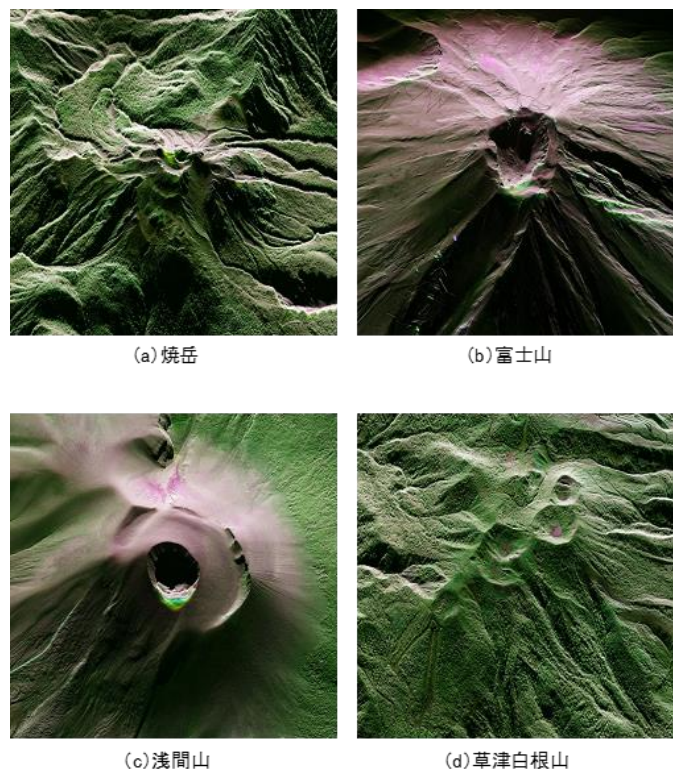


図 4. Pi-SAR X3による火山観測結果 (空間分解能15 cm) (情報通信研究機構[課題番号: NICT01])。

大規模噴火データベース

本データベースでは、後期更新世以降（過去約13万年間）に発生した大規模噴火のうち、数10~1,000 km³クラスの火砕物を噴出し、カルデラ形成を伴った噴火を対象に、その噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、後カルデラ活動をまとめています。カルデラ形成を伴う大規模噴火では、火砕流や降下テフラ等により、火山周辺地域から数1,000km離れた地域まで被害が発生する可能性があります。このため、大規模噴火の推移、長期・短期的前駆活動は、近年多くの分野で注目されています。大規模噴火の推移、数万年程度の長期的前駆活動・数千年~数百年程度の短期的前駆活動には、多様性が認められ、その詳細を明らかにし、大規模噴火の総合的理解を深めるためには、複数の火山の事例について比較検討することが重要です。そのため、産総研地質調査総合センターでは、複数の火山の事例について比較検討するため、統一的な基準でデータを収録した大規模噴火データベースの構築を進めています。



図5．大規模噴火データベース。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（産業技術総合研究所[課題番号：AIST11]）。

2 (1) 南海トラフ沿いの巨大地震

「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー 伊藤喜宏
(京都大学防災研究所)

目的

内閣府および地震調査推進本部により南海トラフ沿いの巨大地震の地震シナリオおよび強震動予測はすでに実施され、公開されている。しかしながら、これまでに示された地震シナリオおよび強震動予測は過去の観測記録および歴史資料に基づいて構築されたものであり、現状の測地・地震観測により得られた知見を十分反映したものでない。南海トラフ巨大地震総合研究グループ（以下、南海総合G）では、南海トラフ巨大地震に関連した50課題の成果に基づき、地震・測地観測網で得られたプレート間固着やスロー地震の知見に基づき南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデルを構築する。その上で地震波および津波の伝播モデルに基づき、西南日本地域の強震動および津波浸水モデルを提示することを目的とする。

拠点間連携のフレームワークの利用

前5カ年計画の地震研究所—防災研究所拠点間連携（H26-H30）では、地震時のリスク評価の高精度化を目的として、震源モデル・シナリオ、地震波速度・減衰構造、浅部地盤応答、および構造物の脆弱性の各モデルを総合的に考慮したリスク評価の手法の提案、および高精度化に関する研究が進められた。特に各課題が提案する複数の最適なモデルを組み合わせる不確実性を含む地震リスク評価の計算手法が提案された。南海総合Gでは、前計画の拠点間連携で得られた成果を取り入れて、各課題で得られた成果を実際を使用して、震源モデル・シナリオ—地震波伝播—工学的基盤までの地震動を計算することを目的とする。その上で、必要なアウトプットを関連課題の要請に基づき情報を提供することとする。前5カ年計画の拠点間連携で研究対象とした大阪府および高知県について、浅部地盤応答も含めた地震動を求めて、構造物の脆弱性評価や地すべりのリスク評価などに活用する。

津波浸水モデル及び地盤応答の高度化に向けた今年度の取り組み

今年度は特に津波浸水モデリングと地盤応答に関する研究の進捗状況について情報を収集した。その上で1662年日向灘地震（外所地震）による津波浸水モデルについては関連課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）から、地盤応答については課題（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC27]）による石川県邑知潟平野の地盤応答調査と強震動シミュレーションの実施状況に着目した。さらに関連課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI08]）と令和元～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」により京都盆地と奈良盆地で得られた浅部地盤構造モデルに着目した。

日向灘では、30-35年間隔で繰り返しM7クラスのプレート境界型地震が発生している。また、プレート内でもM6-7の地震が度々発生する。1968年にはM7.5の地震が発生し、

津波も観測された。1662年にも M7.6 の日向灘地震（外所地震）が発生したことが知られている。この地震による被害は現在の宮崎市南部で特に大きく、宮崎市青島と並んで海側に突き出た位置にあった外所村が海中に没したとの記録が残されている。課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）では、宮崎県沿岸部での津波堆積物の調査結果に基づき、1662年日向灘地震の震源モデル及び津波波源モデルを構築し、津波浸水シミュレーションにより観察された津波堆積物の分布を説明した。得られた震源モデルは1968年日向灘地震の震源域とは重ならず、その南西に位置し、海岸線下の深さ25 km付近からトラフ軸に向かって深さ10 kmの範囲にプレート境界に沿って幅70 km、長さ70 kmの範囲に広がる。この震源モデルには1996年10月と12月にそれぞれ発生した M6.9 と M6.7 の地震の震源域がほぼ含まれる。また、震源モデルの浅部側は、その一部が浅部スロー地震発生域と重なり、すべり量も8 mと深部側の2 mと比べて大きい。

石川県の邑知潟平野は邑知潟断層帯の北西に位置する。邑知潟断層帯は今後30年の地震発生確率が日本の主な断層帯の中でもやや高いグループに属しており、その規模は地震調査研究推進本部により M7.6 程度と推定されている。課題（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC27]）では、邑知潟平野で常時微動観測を行い、単点観測による微動 H/V スペクトルとアレイ観測による位相速度分散曲線から3次元地盤構造モデルを構築した。その上で邑知潟断層帯による想定地震ケース（地震調査研究推進本部）を用いて、新たに得た3次元地盤構造モデルと J-SHIS 深部地盤構造モデルによる強震動シミュレーションの結果を比較することで強震動シミュレーションにおける地盤構造の影響を調べた。結果、新たな3次元地盤構造モデルを用いたシミュレーションでは、J-SHIS モデルと比べて、邑知潟平野内で PGV が 0.6 m/s を超える範囲が広がること、特に邑知潟平野の中部から南西部の盆地南東端に沿って PGV が大きくなることを確認した。

関連課題（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI08]）と令和元～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」では南海トラフ大地震を含む将来の大地震の強震動評価の高度化のため、西南日本の堆積平野や堆積盆地の地盤構造モデルの高度化を進めた。特に奈良盆地・京都盆地に関して、反射法地震探査・ボーリング・微動観測のデータが多数用いることで、水平方向250 mメッシュ、深さ方向1 mメッシュでの新たな浅部地盤構造モデルを構築した。奈良盆地中央付近を流れる大和川付近では、その南側で層厚が相対的に厚く40 mに達する。ここでは工学的基盤面（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求めた。結果、浅部地盤構造による地盤増幅率は、周波数1 Hzでは調査対象領域全体で小さく、大阪平野で先に得た結果と異なることがわかった。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、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た。

津波浸水モデル及び地盤応答の高度化へのインパクトと今後の展望

1662年日向灘地震に関して新たに得た震源モデルは、直近100年の地震活動のみからの大地震の発生予測は難しいが、より長期間のデータが得られる津波堆積物の調査と津波浸水シミュレーションを活用することにより得られた知見として注目すべき成果と言

える。さらに、得られた知見を宮崎県の防災担当者らと地震・津波防災の見直しに向けた取り組みを開始し、得られた津波浸水モデルに基づき小中学校等での津波避難訓練を検討するなど、成果の社会実装・アウトリーチ・ステークホルダーへの還元に向けた取り組みも実施されており、本成果の大きな波及効果も期待できる。

平野部における高度な地盤構造モデルが、邑知潟平野や京都及び奈良盆地で得られた。これらのモデルを用いて地盤応答を調べた結果、J-SHISモデルと比べて、盆地による地盤増幅特性についてより確からしいものが得られている。これらの結果は、将来発生の恐れのある地震の揺れによる建物・人的被害等の地震リスク評価における地盤構造の調査及びモデル化の重要性を示す。今後、浅部地盤構造モデルの高度化を強力的に推進する必要がある。

成果リスト

特になし

2 (2) 首都直下地震

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一
(東京大学大学院情報学環・学際情報学府)

はじめに

首都直下地震に関しては、『災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第二次)の推進について(建議)』の中で、「分野横断で取り組む総合的研究」の一つとして、位置づけられている。この総合研究は、前計画から始まった新しいカテゴリーで、「地震学・火山学的な見地のみならず災害科学的な重要性も鑑みて、複数の実施項目を横断する総合的な研究として推進する。総合的な研究を通して、専門分野の枠を超えた学際連携を現状よりも一層進め、地震学・火山学の成果を災害の軽減につなげるための方策を提案する。」とされ、他の8つの計画部会とは違った観点から結び付けた体制で研究が進められている。

第5章「研究を推進するための体制の整備」(2)分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制の項では、「首都直下地震は、一旦発生すれば首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高い。想定される多様な震源について、発生メカニズムや発生可能性を評価する研究を進める。詳細な地盤構造や多様な震源モデルによる揺れの予測に、稠密観測データや地震史料の情報を反映し、新たな地震動予測手法の開発を目指す。また、複雑な地殻構造を用いた大規模数値シミュレーションに基づいて、地震動を高精度に予測する手法を高度化する。さらに、各項目の研究成果を有機的に結び付け、高度に集約化された社会環境下での防災リテラシー向上に資する総合的研究を実施する。」と書かれ、首都直下地震ならではの総合的な成果が期待されている。

しかし、地震・火山現象の解明のための研究、地震・火山噴火の予測のための研究、地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究、地震・火山噴火に対する防災リテラシーの向上のための研究の4分野に、広くまたがるような総合的な研究課題は存在しない。そのため、それぞれの研究課題の中から、首都直下地震の発生による被害の推定に必要なものを集め、それら同士をつなげていくことを、本総合研究グループの目標としてきた。今年度は、被害の軽減を目的としたときに必要になってくるもの、という観点で課題を選んでみた。

令和4年度の成果

まず、首都直下地震の課題の一つに地震像が明確でないことがあげられる。首都圏下にはフィリピン海プレートと太平洋プレートの2つのプレートが沈み込み、その運動方向が異なるため、過去の地震活動が必ずしも一定であるとは言い切れない。そのため、一連の歴史地震を調査しても、次に発生する地震が、プレート境界の地震なのか沈み込むプレート内の地震(スラブ内地震)なのかは、明らかになっていない。そもそも、どこでスラブ地震が起きやすいのか、その特徴に関する理解は不十分である。そこで東北大は、スラブ内地震の発生メカニズムを解明するため、高密度配置であるS-netを用いた地震波

トモグラフィーにより、最近発生したM7級のスラブ内地震の余震分布に沿うように低Vp域が局在することを明らかにした。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考えられる（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。

次に首都直下地震の発生前後における課題として、地震活動の変化があるのかどうかがある。大地震が発生する際に地震活動に変化があったとする報告はいくつかあるが、それらが首都圏にも適応可能かどうかは不明である。また、繰り返し地震の挙動は、プレート境界の地震活動の変化のメカニズムを解明する上で重要な示唆を与える。そこで東北大は、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（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]）。

次に首都直下地震の課題として、揺れの不均質さがあげられる。一般に震源距離に応じて地震動の強さは変化するが、地盤構造や地下構造などの要因によっても変わりうる。その構造も一定ではなく時間変化する可能性もあり、揺れの予測や揺れの把握を行う際には慎重な検討が必要である。そこで東京大学地震研究所は、首都圏で発生した地震の波形を比較し、同程度の規模でも揺れの強さに違いがあることを示した。2021年千葉県北西部の地震は、2005年千葉県北西部の地震と震源特性は似ているが、震度5弱を観測した高震度3観測点（東京都足立区、埼玉県川口市、埼玉県宮原町）の強震動は、概して2021年が大きかった。違いが顕著な周期0.5～2秒の帯域には、S波主要動および埼玉県の後続動が含まれる。近年、大地震後の速度低下とその回復過程の議論もあり、大地震後の震度が若干大きめとなる可能性も検討が必要である（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_16]）。一方、東京大学地震研究所は、現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震の震度を検証および定量化したいと考え、2020年9月から東京都文京区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（11点で観測継続中）。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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

最後に首都直下地震の課題として、暴露人口が莫大であるという点があげられる。ひとたび首都圏で大地震が発生すると、けた違いに多くの人々に影響が及び、それが新たな二次災害を引き起こしかねない。多くの人口（群衆）が勝手な行動をとらないためには、適切な情報を与え、冷静に行動するよう促すことが必要だと考える。そこで東京大学大学院情報学環は、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法を開発することを目的として、地震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

な影響を及ぼすのか、アンケート分析を行った。内閣府（2013）が公表した被害想定を基に、NHKドラマ「パラレル東京」視聴の前後で、自分も地震被害に巻き込まれるかもしれないと感じる割合が上がっていた。これは、元々恐ろしいと思っていた事象は、ドラマを見ることでより身近で具体的な事象になり、自分の心情を強く刺激したと言えるのかもしれない。本研究の成果に基づけば、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たことになる。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。

そのほか、2023年2月24日に首都直下地震に関する意見交換会をオンラインで行った。関連する課題の研究者たち6名が集まり、それぞれの研究成果を紹介した。今後の総合研究としての研究計画の進め方を議論し、まずは、連携できる課題同士を探すところから始めることとしたが、コロナ禍で上手くいかない点もあったことが報告された。

これまでの課題と今後の展望

首都直下地震が発生した場合には、我が国の首都機能や経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高いことから、分野横断的に取り組む総合的な研究として推進するテーマの一つとされてきた。関連があると思われる課題で、総合研究グループが構成されているため、それぞれの課題は独立している。そのため、課題ごとの成果があったとしても、その成果は総合研究グループに対する関与が薄く、何をこのグループの成果とすべきかが曖昧である。網羅的に構成された研究課題群ではないので、首都直下地震に対して全体を通したストーリーを描けず、成果の寄与が不十分な研究課題に対する対応ができない体制であった。次期計画を策定する際には、総合研究グループとしての目標を掲げ、何をどこまで達成するのかを明確にし、それを実行するための課題群とそれらを運用する体制づくりが必要ではないだろうか。今後は、首都直下地震が発生した際にその被害の軽減を目的とした総合的な課題、という観点で全体を組み立てる必要があると感じている。

成果リスト

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.

野村俊一，内田直希，尾形良彦，2022，プ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.

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.

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.

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.

2 (3) 千島海溝沿いの巨大地震

「千島海溝沿いの巨大地震」総合研究グループリーダー 高橋浩晃
(北海道大学大学院理学研究院)

1. はじめに

千島海溝南部では、国の地震本部が 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。国の中央防災会議は、最大クラスの地震により最大約 10 万人の死者が発生すると被害想定を公表し、特に冬季間は積雪寒冷条件のため約 2 万人の低体温症要対処者も生じるとした。人的被害の大半は津波によるものとしており、被害想定最大の死者数は早期避難率が低い場合の数値であるため、対策を進めることで被害量を減じることが出来るとしている。

千島海溝南部の巨大地震による被害軽減には、早期かつ確実な津波避難を行うことが重要となる。このような観点から、気象庁と内閣府は、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の想定震源域とその周辺で Mw7 以上の地震が発生した場合に、大地震の発生可能性が平時よりも相対的に高まっているとして、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」を発信し、後発地震への注意を促すことを 2022 年 12 月 16 日から開始した。

早期避難を実現するためには、冬季積雪凍結による歩行困難化や、地震動による橋梁や急傾斜地崩壊による避難路の閉塞も考慮した避難計画の事前評価が重要である。北海道の地方部では車避難が一般的に行われている実態があり、そのレギュレーションに向けた実現性評価も必要となる。

現在行われている被害想定は、最大規模の津波を発生させる特性を持った断層モデルに基づき行われている。一方、沿岸の津波浸水は震源断層上の不均質なすべり分布や局所的な地形の影響を大きく受ける。同様に、地震動も断層破壊過程や強震動生成域の空間分布、地域的な地下構造、局所的な地盤改変履歴で大きく変化する。ハザード事前予測の空間精度を高め、地震動や津波浸水域の振幅の評価を目指すには、ハザード予測の基盤となる観測・調査データを着実に蓄積して行くことが重要である。現在の最大クラスの地震に対する被害想定に加え、ハザードの発生頻度や予測幅も指標に入れた想定を目標に研究を進めていくことが求められている。総合研究グループでは、ハザード予測や、それに基づくリスク評価につながる研究成果を整理統合し、地域防災力の向上に資する成果を生成することを目標としている。

2. 令和 4 年度の主な成果

津波避難計画は、避難路が確実に確保されることが前提となる。避難路は、地震動による橋梁の破損や斜面崩壊、冬季には積雪や凍結等で利用が制限されることが予見されることに加え、避難者や避難車両で交通が輻輳する可能性が高い。これらの避難路条件を考慮した津波避難シミュレーションを釧路管内や根室市で実施したところ、避難時間が大幅に増加もしくは困難となる地域が発生することが明らかになった。また、昼夜人口の違いや路面状態、道路網などの社会環境の違いが、避難困難人口の増加率に大きく関係することが実証された。現地での避難実験を通じて徒歩避難時の歩道混雑が歩行速

度の大幅な減速を生じさせることが立証され、先行避難者がいない場合での歩行速度を利用した避難困難判断は適切でないことが示された（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。

自動車避難のレギュレーションを検討するため、マルチエージェント解析を用いた避難シミュレーションと現地での実避難訓練を北海道むかわ町で行った。シミュレーションでは、避難経路を分散指定した場合には、避難経路を主要路に限定した場合に比べ、10分程度の時間短縮が見込まれることが明らかになった。また、現地での避難実験を行ったところ、徒歩避難者の存在が車避難の渋滞発生要因となることが確認された（北海道立総合研究機構[課題番号：HRO_02]）。

十勝地方沿岸部の17世紀津波イベント前後の地殻上下変動について、珪藻の垂直分布特性を利用して時間変化を検討したところ、地震時変動は小さく、地震後に時間をかけて最大1.5 m程度隆起したことが明らかになった。厚真町と苫小牧市で面的な津波堆積物調査を実施し、津波浸水は標高5 m程度までであること、年代測定では1611年付近にピークを持つこと、17世紀以前では2,500年間津波堆積物が見つからないことが明らかになった。今回明らかにされた津波堆積物の分布範囲は、国の津波浸水想定範囲よりも有意に海寄りであるが、浸水は津波堆積物を残さずに内陸部にまで及ぶことに留意する必要がある（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

1611年慶長三陸津波時に岩手県山田町小谷島で記録された局所的な大きな津波高を励起可能な断層モデルの推定を行った。この場所だけに高波高を生じさせるためには、三陸沖のプレート境界2か所の大すべりから同位相の相対的に短い周期の津波が入射することが必要条件であり、千島海溝のすべりでは説明が困難であることが明らかになった。これは、この地震の大すべりが三陸沖で発生していたことを示す結果であるが、震源域が千島海溝まで伸びていた可能性は依然として残されている。また、潮位変化を映像から抽出する手法の改善が進んだほか、津波波形の長時間平均を用いて津波波形を規格化することで、津波即時予測時に海底圧力計波形に重畳する短周期の地震波の影響を低減する技術の開発が行われた（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

根室沖の構造探査データについて浅部堆積層を考慮した解析を実施し、高精細イメージングを行った。得られた構造は、2011年東北沖地震の大すべり域の構造に類似しており、プレート境界浅部の深さ10–15 kmには反射強度の高い部分が見られた。えりも沖に設置された広帯域海底地震計の波形解析から、超低周波～低周波帯域のスロー地震の発生が示唆された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。千島～カムチャツカ海溝の広域的な地震活動度の時空間変化を1977年以降の長期間震源データに基づき調査し、1963年と1975年に津波地震が発生した色丹島沖～択捉島沖の海溝軸に近い部分のみで地震活動の静穏化が見られることが明らかになった。また、地殻構造の時間変化をモニタリングするため、釧路根室沖において昨年と同じ場所で海底地震観測を行った（北海道大学[課題番号：HKD_09]）。

根室沖で4回目の海底地殻変動観測を実施した。プレート間相対運動量に近い変位速度が得られ、プレート境界浅部での固着率が高い可能性が高まった（北海道大学[課題番号：HKD_09]、東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。十勝根室沖の中規模地震を用いた震源特性を調査し、プレート境界の地震では相対的に短周期成分の励起が弱い傾向が見られた。遺跡の液状化痕跡も網羅的調査から、道東の液状化回数は古津波回数に比

べ少なく、強震動の励起が弱かった可能性が示唆された（北海道大学[課題番号:HKD_09]）。

津波浸水や地震動予測等のハザード予測情報をリスクの評価や管理で活用することを目指し、地方自治体の被害想定・津波避難計画策定・津波対策緊急事業計画策定での助言や、住民向け防災講習会への講師派遣、ライフライン事業者（電力・ガス）や報道関係との意見交換を実施した（北海道大学[課題番号:HKD_09]）。

3. 今後の展望

17世紀初頭に発生した超巨大地震に関するデータの蓄積が進み、断層モデルの推定や、強震動・津波浸水の事前予測につながる情報になりつつある。起こりうるハザードの想定は、津波避難計画や被害想定等の事前防災対策に直結するため、歴史史料や考古資料を含め今後も基礎的なデータの収集を続けることが重要である。観測から得られる地殻活動の現況に関する情報からは、定常的に地震活動が低いプレート境界浅部の高い固着率がほぼ確実なものとなった。根室沖のプレート境界浅部と2011年東北沖地震の大すべり域が類似した地下構造である事実も、地震発生時に津波励起が効率的に起こる可能性を予見する重要な観測事実である。

国の被害想定は、最大クラスの震度分布・津波浸水とされているが、留意点として各局所的な地先における最大値を示しているものではないことが記されている。1611年慶長三陸地震の局所的な高津波事例のような現象は今後も起こりうるリスクであり、その発生要因の更なる調査と、事前予測への応用が必要である。国が示した地震動分布の予測では、想定されるM8.8程度と比べ一桁以上モーメントが小さい2003年十勝沖地震の実測値と同等かそれ以下の場所が存在しており、過小評価となっている可能性がある。地震動による建物や道路等の被害は、早期津波避難を阻害する要因であり、地震動予測の確度を上げる取り組みも重要である。

国は、北海道・三陸沖後発地震情報が発表された場合でも、世界的事例を踏まえると、Mw7.0以上の地震発生後7日以内にMw8.0クラス以上の後発地震が発生する確率は概ね100回に1回程度としている。この情報は、先発地震による被害が甚大な場合に加え、先発地震による揺れが小さな場合でも対象になるなど、様々なパターンで発表されることが予想される。不確実性が高い情報が発表されたときに、住民はどのように行動するのか、また、同様な情報が繰り返されると、社会の対応がどのように変化していくのかは、防災情報を検討するうえで重要な基礎資料となるため、アンケート調査等を用いたモニタリングを適宜実施していただくことが望ましい。

成果リスト

特になし

2 (4) 桜島大規模火山噴火

「桜島大規模火山噴火」総合研究グループ グループリーダー 井口正人
(京都大学防災研究所)

本総合研究グループでは、活発な噴火活動を60年以上続け、今後大規模噴火の発生が予想される桜島を対象に、各研究項目間で緊密な連携と成果の共有を図り、住民避難を視野に入れた総合的研究を以下のとおり推進することとなっている。1)観測研究を通じて、マグマの動きとマグマ供給系への理解を深め火山活動推移モデルを高度化することで、噴火発生予測研究を進展させる。2)噴火発生前の規模の予測と、噴火発生直後の噴出物の把握を即時的に行うことで災害予測研究を進める。3)災害予測に基づき、住民への情報伝達などの火山災害情報に関する研究と、避難や交通網の復旧などの対策に資する研究を行う。4)他の火山における類似研究と連携し、都市、中山間地域、離島などの地理的、社会的環境による対策の違いなど幅広い研究を目指す。

本総合研究グループには異なる部会に属する27の研究課題が参画している。令和4年度も、12月に対面とオンラインによるハイブリッド研究集会を開催し、グループに参画している課題の成果から大規模噴火研究に資する知見を取りまとめた。本研究集会には、次世代火山研究・人材育成プロジェクト課題D火山災害対策技術の開発、京都大学防災研究所火山防災連携研究ユニットからも研究発表を行い、総合研究グループにおける議論を活性化させた。

本総合研究グループにおける発表は以下の4つに分けられる。1)現象解明のための観測、過去の噴火履歴・火山の基本場、モデル化など現象の理解、2)火山噴火発生予測の研究、3)ハザード予測、4)リスクコミュニケーション、対策である。1)においては桜島の南岳における噴火活動期における諸現象に対して観測からのアプローチにより新たな知見を得た。2)においてはビッグデータを取り扱うことにより、統計的な処理と確率的発生予測の考え方が進んだ。3)においては、火山灰ハザード予測について多くの知見が得られるとともに、火山岩塊、火砕流、土石流など他のハザードについても研究が進んだ。4)においては大規模噴火とそれからの避難について様々な取り組みが行われた。また、災害やハザードについての情報提供ツールの開発が進んだ。

令和4年度研究集会の議論の要点は以下の4点に集約される。

① 現在の南岳山頂噴火活動から得られた知見を如何に大規模噴火へ適用できるか。現在想定される大規模噴火は歴史時代の大規模噴火と同様にプリニー式噴火に始まり、火砕流の発生を経て、溶岩流出に至ると考えられている。一方、南岳山頂噴火の最盛期(1970年代から1990年代前半)には、地盤沈降から予測される以上に重力値が増大し、マグマの質量の増加があった。このことから、マグマからの揮発性成分の分離が進行し、脱ガスした重いマグマの蓄積が進行したことが推定される。次に、多量のマグマの貫入があったとしても最初に噴出するのは脱ガスした重いマグマに相当する溶岩であり、プリニー式噴火から始まるシナリオではない。噴火シナリオの多様化が望まれる。実際、セントビンセント島のLa Soufriere火山噴火は2020年12月に溶岩流出で始まり、翌年4月にプリニー式噴火に移行・拡大した。

② 大規模噴火にレジリエントな災害対応戦略，特に情報の重要性。2022年7月24日の桜島南岳の爆発的噴火では，火山岩塊が2.4 kmを超えて飛散したとして気象庁は噴火警戒レベルを5（避難）に引き上げ，桜島の一部住民の避難が行われた。火山岩塊の飛散距離推定値に疑念はあるが，それ以上に重要な点は，この噴火において警報とその後の避難指示等の防災対策に関わる情報に複数の大きな問題があることが顕在化したことである。情報の問題の1つは情報発表までの意思決定の遅さである。爆発が発生したのは20:05であるが，レベル5の特別警報が発表されたのは45分後の20:50，さらに，鹿児島市から避難指示が発令されたのは，その90分後の22:20であった。もう一つの問題は，速報メールの内容が不十分だった点である。特別警報を伝える速報メールは即時に情報を伝える優れたツールであるが，レベルが5に引き上げられたことだけを端的に伝えるのみで警戒を要する範囲に言及していなかった。このことから，レベル5の発表が大規模噴火の発生もしくはその切迫性を示すものと解釈され大きな混乱を招いた。レベル5は噴火の影響が居住地域に及ぶことを表しているだけで範囲の情報を含まない。避難の対象に考慮されるべき警戒を要する範囲は必ず付加すべき情報である。むしろ，レベルよりも警戒を要する範囲を前面に出した警報発表とすべきである。

③ モニタリングデータからリアルタイムでハザードを評価することにより，ハザード予測の高度化が図られた。例えば，降灰であれば，火山性微動と地盤変動のデータを用いた火山灰放出率の推定値を移流・拡散モデルと結合させることにより，降下火山灰の予測が可能となった。また，シミュレータの連続稼働化が図られることにより，常に火山灰ハザードを評価できるようになった。また，レーダーやディスドロメータなどの気象観測機器は火山灰ハザードをナウキャスト的に把握するのに大いに役立つことも示され，これらの機器は監視の実装段階にあるといえる。一方，噴火発生前の警戒を要する範囲（ハザード予測）の設定は依然として重大な問題である。

④ リスクコミュニケーションの重要性。鹿児島市は桜島の大規模噴火を想定し，多量の降灰によりインフラと物流が機能不全に陥ることが予想される場合は，噴火警戒レベル5の対象範囲外（例えば鹿児島市街地）であっても避難指示を出す事検討している。この場合の避難は，気象災害や地震災害のように住民の居住区域内に指定された避難所への避難ではなく，市町村の境界をまたぐ広域避難である。広域避難計画については今後改善の余地は大いにあるが，広域避難そのものについての認知度はほとんどないため，まずは周知のための長期的な視野の取り組みが必要である。これまでに鹿児島市街地のパイロット地区を対象としたワークショップや模擬避難などの試みを行ってきたが，今後も継続して大規模噴火の実態と避難の必要性について認知度を上げていく必要がある。

これまでの課題と今後の展望

先に示した①～④が課題としてあげられるが，観測・研究の立場からは噴火発生前の警戒を要する範囲（ハザード予測）の設定が最大の課題である。ハザード予測のためのシミュレーション手法が妥当だとすれば，この課題は火山噴火予知が長年課題としてきた発生の時期，場所，規模，様式を本質的に含むものであり，前駆現象に応じたシミュレーションの初期値の設定が必要である。過去の噴火史に学んで噴火シナリオを整理するだけで済む問題ではなく，今一度，火山噴火予知研究の原点に立ち戻る必要がある。

「大規模噴火総合研究グループ」ではなく「桜島大規模噴火総合研究グループ」である理由は、リスクコミュニケーションの重要性にある。火山噴火において最も重要とされる対策である避難は人によってなされるものであり、リスクコミュニケーションは単なるテクニックではない。今後も住民の顔が見える研究計画とすべきである。

成果リスト

特になし

2 (5) 高リスク小規模火山噴火

「高リスク小規模火山噴火」総合研究グループリーダー 大湊隆雄
(東京大学地震研究所)

目的

火山では、噴気地帯や山頂火口近傍に、多くの観光客や登山客が訪れたり、観光施設が設けられていたりする場合が多く、平成26年の御嶽山噴火や平成30年の草津本白根山噴火のように、規模が小さくても人的・物的被害等が生ずる場合がある。また、小規模な噴火は発生頻度が相対的に高いことから、観光客や登山客等の災害リスクの低減という観点から重要な研究対象である。そこで、噴火災害に関する資料の収集、地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査、各種観測による活動把握、災害誘因である噴石や土石流などの予測研究、災害情報の発信に関する研究等を実施する。これらの成果を総合的に検討し、研究の課題や方向性を明らかにする。

実施方法

(1) 既存課題の成果を活用

- ・噴火災害資料の収集、災害発生状況の整理、災害発生時の火口からの距離等の文献調査、災害関連学会での情報収集
- ・地質調査による水蒸気爆発等の噴火履歴調査
- ・地球物理・地球化学的各種観測による活動把握
- ・比抵抗調査等による熱水系の構造探査による水蒸気噴火ポテンシャルの評価
- ・災害情報の発信に関する研究（御嶽、本白根の事例研究など）

(2) 建議の研究の枠外（社会科学、災害科学分野など）の成果を活用

- ・災害関連学会等からの情報収集
- ・社会科学、災害科学分野等の研究者に、火山分野への応用を検討してもらうための方策（集会・セミナー等）の検討

(3) 既存研究成果を精査し、研究分野の過不足の有無を洗い出し、あらたな研究課題や研究の方向性の提案につなげる。

(4) 上記に関連する研究集会の企画

本年度の実施内容

本研究グループに関連する課題は、大きく次の5つの項目に分類することができる。

1) 災害情報の発信に関する研究、2) 小規模噴火の発生する場の把握、3) 観測による火山の活動把握、4) 噴火の予測に関する研究、5) 小規模噴火災害の資料収集。

今年度は2023年2月8日にオンラインで研究集会を実施し、関連課題代表者による研究成果発表および議論を行った。以下では、研究集会における報告を中心として項目

毎の成果を紹介する。各課題の成果はその課題が属する部会報告でも報告されており、内容的に重なる部分もあるが、本総合研究グループの目標への寄与という視点に立って紹介する。

1) 災害情報の発信に関する研究

東北大学は、観測データを火山災害リスクの低減につなげるための試みとして、吾妻山を対象としてVUI (Volcanic Unrest Index; 火山活発化指数) の試作を進めており、今年度は、中長期的に安定したデータソースとして気象庁や国土地理院のデータを活用し、ワークシートを試作した。

北海道大学からは、予測可能性とリスク評価に関するいくつかの提言がなされた。VUIの活用について、専門外の人々にとって理解し易そうであること、何がunrest (活発化状態) なのかは火山によって異なること、事例を増やすことにより判断基準が次第に形成されること、活動シナリオの想定や火山活動の評価はそれほど自明な課題ではないことなどの指摘があった。本総合研究の名称にある「高リスク」とはどの程度のリスクを指すのかもわかっていないことから、リスク評価の前にまずは現場作業者のリスク管理に関する考え方の整理が必要であること、観光客や登山客に対する情報提供のあり方は社会からの要請が強いテーマであり、確率的な評価・予測の枠組み作りと予測の精度向上に取り組むと良い等の提言もあった。

名古屋大学は、御嶽山地域の火山防災に関する知識の効果的普及・啓発や火山と共生する地域のすばらしさを内外に伝える役割を持つ御嶽山火山マイスターの活動を支援しており、御嶽山火山マイスター制度の向上を目指して他火山における火山防災に関する先進的な取り組みとの比較を進めている。今年度は阿蘇火山博物館、山梨県富士山科学研究所、箱根ジオミュージアムを対象として火山防災に関する取り組みに対する調査・比較を進めた。これまでの調査に基づいて、御嶽山地域と他地域の共通点として以下の点を挙げるができる。火山地域は噴火以外にも豪雨による土石流や地震による山体崩壊などの危険性が高く、土地の成り立ちを住民に理解してもらうことが防災につながることで、防災を前面に出すより土地の成り立ちや火山の恵みを知ってもらうことが防災意識の向上につながることで、子供に対する防災教育が効果的であること。他地域との比較により見えてきた御嶽山地域の特徴としては、研究施設と火山マイスターの拠点と同じ場所にあり、データや専門家の意見にアクセスしやすいことや関係者同士が定期的に会うことによる顔の見える関係が構築できていることが挙げられる。課題としては、マイスター活動の周知がまだ十分でないことや、ビジターセンターへの集客、防災や地域振興への活用、学区学習需要の開拓などが挙げられる。

兵庫県立大は、御嶽山噴火の事例から、市町村の災害対応のボトルネックとなる事項の抽出と対応策の検討を行った。噴火時に対応すべき事項は多岐にわたるが、マンパワーが限られている小規模な市町村レベルでは全ての事項に対応することは容易ではない。噴火の影響範囲に応じて、「市町村」→「県」→「国」と対応主体を拡大すべきと考えられがちだが、噴火規模が小さく影響範囲が狭い場合であっても対応すべき項目数は多岐にわたるため、「市町村」の少数の職員では対応が困難な場合があることがわかった。また、噴火の影響が複数の「市町村」にまたがる場合、自治体間の連携をどこがコント

ロールすべきかも課題として挙げられることがわかった。

2) 小規模噴火の発生する場の把握

東工大は、土壌ガスに基づく側噴火リスクの評価を進めている。土壌ガスとは地下起源のガスが透水係数の高い領域で検出されるものである。破碎帯は透水係数が高い領域であり、地下の熱水貯留域から上昇する火山性流体の通路となり得る。地下の熱水貯留域は水蒸気爆発の発生場となり得ることからマグマ起源ガスが含まれる土壌ガスの放出域を把握することは、将来の噴火発生場所の予測につながる可能性がある。草津白根山の湯釜周辺で土壌ガスのサンプリングの成分を分析したところ、高いガスフラックスを示す場所が複数見つかかり、その中にマグマ起源ガスが多い場所と少ない場所があることが分かった。マグマ起源ガスが卓越する場所は、破碎帯でありかつそれがマグマから分離したガスの上昇経路と接続していることを示唆しており、将来の側噴火の可能性が比較的高いと考えられる。ガスフラックスは高いがマグマ起源ガスが少ない場所は、破碎帯に対応しているものの、マグマガスの上昇経路とは接続しておらず側噴火の危険度は必ずしも高くはないと考えられる。

3) 観測による火山の活動把握

東北大学は、火山活動の中心と観光の対象が 1 km 程度と至近距離にある吾妻山を観測の対象としている。地震・地殻変動の連続観測を継続的に実施し、火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動の解明を進めることにより活動把握の高度化を進めている。これまでの観測から、吾妻山の活動は、深さ 10~15 km の深部における膨張が先行し、深さ 4 km の地殻変動源での膨張加速、浅部地震活動や浅部地殻変動・熱・ガスの変化という経緯をたどること、また、地震波形には流体の関与を示唆する特徴があることが分かった。吾妻山での観測情報に関しては、大学から現地の関係者に直接活動状況を伝えることもあるが情報過多気味であり、伝えるべき情報を工夫する必要があることが分かった。

東北大学では、噴火の早期検知手法として空中電界変動を活用する手法の開発を引き続き進めている。今年度は、2022 年 6 月から東京大学地震研究所霧島火山観測所において霧島硫黄山をターゲットとする観測を開始した。2022 年 11 月に硫黄山において新たな噴気孔が形成されたが、空中電界変動には顕著な信号は認められなかった。泥噴火が電荷を帯びていない可能性と、活動規模がそもそも小さかった可能性が考えられる。本課題で想定する小規模水蒸気噴火は、地震・地殻変動・空振などの既存の地球物理的観測手段では見落とされるおそれがあり、新たな噴火検出手法の開発には大きな期待を寄せている。

富山大では、弥陀ヶ原火山において、活動状態を把握するための多項目地球物理観測を継続して実施している。観測項目は、弥陀ヶ原火山全体の活動状況把握を目指す広域地震観測、地獄谷における浅部熱水・ガスだまりの活動推移の把握を目指した水準測量・GPS 観測、噴気活動の定量化を目指す微動観測、熱水流動経路の把握を目指す熱活動観測である。水準測量結果によると 2017 年から 2020 年にかけては沈降が卓越していたが、2020 年以降は隆起が卓越している。現在は、地表から噴気として放出されるよ

りも地下への流体供給量が上回る状況であることが示唆される。また、熱活動域と隆起域・沈降域の対応が明瞭に見られた。火山性地震は全く観測されなかった。噴気地帯に隣接する観光地は本総合研究グループの重要な研究対象であり、弥陀ヶ原における多項目観測により貴重な観測データの蓄積が進むことが期待される。

4) 噴火の予測に関する研究

富山大学は、極小規模噴火を含めた見逃がしのない「真の噴火履歴」解明を目指した取り組みを進めている。平成30年草津本白根山噴火など VEI1 クラスの小規模噴火では、火口近傍を除いてテフラは地表からほぼ消失し、噴出物は地表に地層として残らないため、そのような噴火は存在しなかったと見なされることになる。このように、地表露頭のみの観察からは把握できない小規模噴火が多数存在し「真の噴火履歴」の解明はほぼ不可能である。火口内や火口近傍の湖沼堆積物が新たな情報源として有望であり、弥陀ヶ原で実施した予備調査では、地表露頭観察では把握できない規模の噴火によると見られる火山灰層が湖沼堆積物中から検出できた。次期計画では、草津白根山や志賀火山で同様の調査を行うことを計画している。

5) 災害発生状況の調査・整理

今年度は、本項目に関する報告は無かった。

これまでの課題と今後の展望

・これまでの課題

火山活動による人的被害の程度は必ずしも噴火規模に依らない。噴火が発生する場所からの「距離」が人的被害の規模を大きく左右する。大規模噴火であっても十分な距離まで避難できれば人的被害は生じない。逆に小規模噴火であっても近くで発生すれば人的被害はまぬがれない。

マグマ噴火等の大規模噴火の場合はほとんどの場合明瞭な先行現象があり、噴火前に避難し人的被害が少ない場合が多い。また、噴火規模が大きくても周囲に人がいなければ被害が無い。これに対し、水蒸気噴火、ガス噴出、ガスの滞留等の比較的規模の小さい火山活動については、先行する現象が弱いあるいは無いために事前把握が難しく、危険性がわかりにくい。噴気地帯などはそのまま観光スポットになっていることも多く、観光客や登山客が危険性がわからないまま接近し、被害が出る場合がある。

小規模噴火にもかかわらず高リスクである理由の一つは、上記で述べたように発生場所や時期が予測困難だという点である。また、高リスクであるもう一つの理由として社会的要因も考えられる。各自治体が発行する防災マップや、噴火に関する情報発信を担う気象庁が設定している噴火警戒レベルを見ると、防災マップの多くは噴火がある程度予測できることを前提とした記述となっており、高リスク小規模噴火に関する記述はほとんど見られず、危険性の存在が周知されにくい。噴火警戒レベルについても、非専門家が正確にその内容を理解しているとは考えにくく、専門家と非専門家の認識が大きく乖離している可能性がある。例えば、レベル1であれば安全であると考え、火口付近に

無防備に接近して突発的な噴火に巻き込まれるという事が起こり得る。

・今後の展望

本課題のターゲットである小規模火山噴火は、データの収集が難しく、科学的な研究の対象とするためには困難を伴うため、観測研究計画の中でこれを明示的にターゲットとする研究は限られていた。しかしながら、小規模ゆえに発生頻度が高く人的被害も少ない現象に対して、被害低減につながる具体的な方策を探るための研究は本観測研究計画の中で実施されてしかるべきものであった。そこで、2019年度に始まった観測研究計画において「高リスク小規模火山噴火研究グループ」を立ち上げ、その活動を開始した。

本総合研究は、予測困難性と社会的要因に着目して研究の方向性を検討し、将来の研究課題のシーズを育てることを目標とする。予測困難性に関しては、これまでの知見を活用することで予測可能性を高めることはできないか、あるいは、予測可能性を高めるためにはどのような研究を新たに立ち上げるべきか、という観点から検討を進める。社会的要因に関しては、専門家と非専門家の認識のギャップを埋め、どうすれば非専門家が危険性を正しく理解することができるのか、そのためには何をすべきか、という観点から社会科学的、防災科学的研究の方向性に関して検討を進める。

4年目となる今年度は、関連する研究課題の整理と問題点の洗い出しを継続して進めた。本総合研究で実施すべき研究項目は1) 災害情報の発信に関する研究、2) 小規模噴火の発生する場の把握、3) 観測による火山の活動把握、4) 噴火の予測に関する研究、5) 小規模噴火災害の資料収集、の5つに整理されるが、今年度は昨年度同様、1)に関する社会学的、情報学的な成果報告および2)～4)に関する継続的な研究の成果が報告されたが、昨年あった5)に関する報告は今年度は無かった。来年度以降も、それぞれの項目に関する成果の掘り起こしと整理を進める予定である。昨年度末に実施したアンケート調査結果については引き続いて整理を進めており、高リスク小規模火山噴火に関する効果的な情報発信を検討するための情報抽出を目指したい。

成果リスト

特になし

成果報告会 発表タイトル

発表者	タイトル
大湊	総合グループ成果 取りまとめの方向性について
山本	吾妻山の火山活動とVUIの検討
橋本	「高リスク小規模噴火」の予測可能性とリスク評価について
石崎	火口内及び火口近傍の湖沼堆積物を用いた”真の噴火履歴”解明の試み
寺田	地中ガスのヘリウム同位体に基づく側噴火リスクの評価
大倉	阿蘇火山での取り組み
西村	空中電界変動観測による噴火の検知
堀田	富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学観測
山岡	他地域と比較した御嶽山地域の火山防災教育の特徴について
阪本	火山噴火をめぐる自治体間連携

3 拠点間連携共同研究

東京大学地震研究所・京都大学防災研究所 拠点間連携共同研究研究代表者 松島信一
(京都大学防災研究所)
研究代表者 加藤尚之
(東京大学地震研究所)

これまでの地震火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきた。しかし、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の発生により多くの犠牲者が出たことを踏まえ、地震や火山噴火の科学的な予測が極めて困難であっても、現在の地震学や火山学には災害軽減に役立てられる多くの知見が集積されていることから、平成 26 年度から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」(建議)において大きく方針を変更し、「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)」(建議)でもその方針が継続された。即ち、地震や火山噴火の発生予測の実現を重点とした方針から、それらの予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究に重点を置いて組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核とするものの、災害予測や防災を目的とした研究に注力するために関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになった。

平成 25 年までの建議に基づく観測研究計画では、自然現象である地震発生や火山噴火現象の理解に基づきそれらの科学的な予測を目指すという考え方から、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所が中核となって計画を推進してきた。しかし、災害予測や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには、東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とが連携して、計画を進めることが有効であるとの結論に至り、両研究所が協働し、それぞれの分野の共同利用・共同研究拠点として、連携して共同研究を進めることとなった。具体的には、両拠点の研究者が中核となって建議に沿った大テーマを決め、それを実現するための研究について全国の研究者からの研究提案を公募して全国規模の共同研究を進める「重点課題研究」と両拠点がそれぞれ関連が深い地震火山研究コミュニティと自然災害研究コミュニティの2つの学術コミュニティに呼びかけ建議の主旨を踏まえた研究を公募する「一般課題型研究」を実施している。

1. 重点推進研究

(1) 総括研究

総括研究は「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」と題し、2020 年度に引き続き、(1)震源過程、(2)伝播・深部地盤構造、(3)強震動予測、(4)浅部地盤構造、(5)構造物被害予測、(6)リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための(7)プラットフォーム構築グループ、(8)ステー

クホルダの参画に関する研究グループおよび(9)大規模計算のためのコンピュータサイエンスグループの9グループで実施した(拠点間連携共同研究 [課題番号:CT0C01], Miyazawa et al., 2022, Fujita et al., 2022, 上田・他, 2023)。

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

浅部地盤構造に関しては、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(図1)。

構造物被害予測の高度化のために、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。

リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャ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路、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2)。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に関して、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、それぞれの災害を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。

コンピュータサイエンスでは、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3)。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に関して、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、地表における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。

(2) 特定型(その3)

「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」では、以下の成果が得られた(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C20], 浅見・他, 2022)。

(i) 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。

(ii) 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方向入力が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。

(iii) 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。

（3）特定研究（その5）

「即時建物被害予測技術の高度化」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C21]，Huang et al, 2022，岸本・他，2022）。

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を用いて被害程度を推定する。この指標値と被害率の関係は「フラジリティ曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度（PGA）や最大地動速度（PGV）の関係から経験則として求められてきた。最近でも2016年熊本地震や2011年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物のフラジリティ曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法でフラジリティ曲線を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い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。

（4）特定研究（その6）

「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」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C31]，齊藤，2022，齊藤，2023）。

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として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。この段差周辺の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。

（5）特定研究（その7）

「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」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C32]，Nishino, 2023, 大邑, 2022a, 大邑, 2022b）。

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4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の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。

2. 一般課題型研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動，津波，火山噴出物，斜面崩壊などの災害誘因が，自然や社会に潜在的に存在する脆弱性などの災害素因に働きかけ，これらの誘因と素因の組み合わせと相互作用の状態に応じて様々な規模の災害が発生する。そのため災害誘因予測の高度化は，災害の軽減に結びつく有効な手段の一つである。このような視点から，一般課題型研究では，災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「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」，地震や火山噴火が発生した直後に，高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化の研究」，災害誘因予測を防災対策の推進に効果的に結びつけるための「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」に関連する研究を公募した。

2022年度は新規8課題と継続4課題が東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会の審査を経て採択された。

（1）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

「津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価」では，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用い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 10 m 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、津波の波線追跡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 (拠点間連携共同研究 [課題番号: CT0C22], Chida et al., 2023, Fukui et al., 2022, Miyashita et al., 2022a, Mori et al., 2022, 宮下・他, 2022a, 菅沼・他, 2022a, Miyashita et al., 2022b, 宮下・他, 2023, 宮下・他, 2022b, 菅沼・他, 2022b, Miyashita et al., 2022c)。

「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」では、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 2022 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 (拠点間連携共同研究 [課題番号: CT0C26], 齊藤, 2022, 齊藤, 2023)。

「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-」では，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5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5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5，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6 a）。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 6 b）。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、大鷲小池の形成は、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、大鷲池や大鷲小池は 1858 年の鷲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鷲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鷲小池を形成する山体重力変形が発生し、その後、7700～8500 年前に大鷲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、大鷲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）、鷲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鷲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（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]，福井・金田，2022）。

「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」では、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。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稻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 7)。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(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C35], 松島・他, 2022)。

「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」では, 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取した。図 8 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 ~ 20 Hz 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 9 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, ESG 6 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10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10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(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C37], 津野・他, 2023)。

「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」では、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。MHVR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(図11), 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一次元の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(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C39])。

「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」では、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、これらとVs30(表層30mの平均せん断波速度)

の対応関係を図 12 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 13）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 14 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（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]、境・他，2022，汐満・他，2022）。

（2）地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化の研究

「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」では、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令和 3 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、令和 3 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 15 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、② 3D-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 16 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（拠点間連携共同研究[課題番号：

CTOC23]]。

「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」で得られた成果の概要は以下の通りである（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC36]，王，2022，Wang，2022）。

（i）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。

（ii）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，異なる載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。

（iii）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，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。

（iv）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。

（v）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。

（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

「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」では、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における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。

本研究では地表面における速度を用いて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、60 cm/s を超える最大速度が多く算出された。また 200 cm/s を超えるような地点も多く、最大の地表最大速度（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 240 cm/s、2011 年東北地方太平洋沖地震では約 100 cm/s であり、第一段階として観測上の最大値である約 240 cm/s を地表最大速度（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 17）。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 18、拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC30]）。

「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」は、大量軽石火山灰降下による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を構築し、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。

令和 3 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。令和 4 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 19 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20の通りである（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C34]，Onishi et al.，2022，大西，2022）。

「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」では、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。

調査結果の一部として、「火山ガス」，「大きな噴石」，「降灰」を図21～図23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、同じもの差し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24，図25）。ハザードマップを見たことがあるのは、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。

詳細な分析は今後行う必要があるが、設計した調査票は火山に関する標準的な質問紙として機能すること，本調査票を用いることにより，地域間の火山に関する住民意識の比較が可能であることが確認された（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）。

これまでの課題と今後の展望

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきたが、災害の軽減への貢献が限定的であることから、前計画から地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究を新たに組織的・体系的に進める方針に転換した。このため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになり、主に全国の工学，人文・社会科学の分野の研究者が拠点間連携共同研究を推進してきた。

拠点間連携共同研究の重点推進研究は、「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」を主要テーマとして推進し、総括研究において震源から被害予

測及びそのステークホルダまでの伝達までを一貫して行い、さらにステークホルダとの協働の成果をフィードバックすることで、研究の方向性を議論している。また、総括研究において見いだされた課題や新たな展開を特定型において掘り下げて詳細に検討するとともに新しい技術や考え方について検討し、その成果を総括研究にフィードバックする。さらに総括研究で新たに出た課題を特定型で掘り下げる、という循環により研究の高度化を目指している。

今後は、重点推進研究の中での循環による研究を進めることと並行して、一般課題型研究で提案され、実施されてきた研究課題による成果や手法などを取り込む枠組みを構築することで、災害の軽減に貢献するための研究を高度化しながら継続し、高度化した成果を供出することを目指す。そのためには、実際に被害を受ける構造物や社会システムに直接携わっている工学、人文・社会科学の分野が理学分野の成果を咀嚼して活用出来るような体制を整える必要がある。つまり、観測計画において、これまでの理学的な観測網の維持のみならず、工学、人文・社会科学の研究の発展に必要な観測計画の立案が必要になると考えられる。

成果リスト

- 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)
- Chang, Chengrui and G. 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
- 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
- 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
- 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，0-15
- Fukui, N., Mori, N., Miyashita, T., Shimura, T., and 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
- Liu, B. and G. Wang, 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
- 松島信一・劉之偉・宮腰淳一，2022，盆地端部の複雑な基盤段差構造の形状と地盤増幅特性の関係，日本地震工学会大会第17回年次大会梗概集，A-22-6

- 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
- Miyashita, T., Mori, N., and Gómez-Ramos, O., 2022a, 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
- Miyashita, T., Ho T.C., Mori, N., & Shimura, T., 2022b, Tsunami Responses along the Japanese Coast Due to Bathymetry Effect, *Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 19th Annual Meeting*, OS17-A005
- 宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也, 2022a, 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
- 宮下卓也, HO, T.C., 森信人, 志村智也, 2022b, 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
- Miyashita, T., Suganuma, R., Mori, N., and Shimura, T., 2022c, SEISMIC AND TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT OF COASTAL BUILDINGS IN WEST COAST OF JAPAN, 37th International Conference on Coastal Engineering
- 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
- 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., and 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
- 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
- 大邑潤三, 2022a, 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
- 大邑潤三, 2022b, 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
- 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
- Onishi, M., M. Iguchi, G. Nakano, K. Takenouchi, Y. Yama, and K. 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

- 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
- 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
- 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
- 菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人, 2022a, 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
- 菅沼亮輔, 宮下卓也, 志村智也, 森信人, 2022b, 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
- 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
- 上田恭平・芹川由布子・井上和真, 2023, 液状化に伴う直接基礎建物の沈下・傾斜被害に及ぼす地盤物性の空間的不均質性の影響, 土木学会論文集, 79(13)
- 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
- 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
- Wang, G., 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
- Wang, G., B. Liu, I. Doi, T. Kamai, T. 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
- Wu, S., G. Wang, 2022, Shear rate-dependent frictional properties of nanomaterials and implication for high mobility of rock avalanches, JpGU2022, HDS07-14

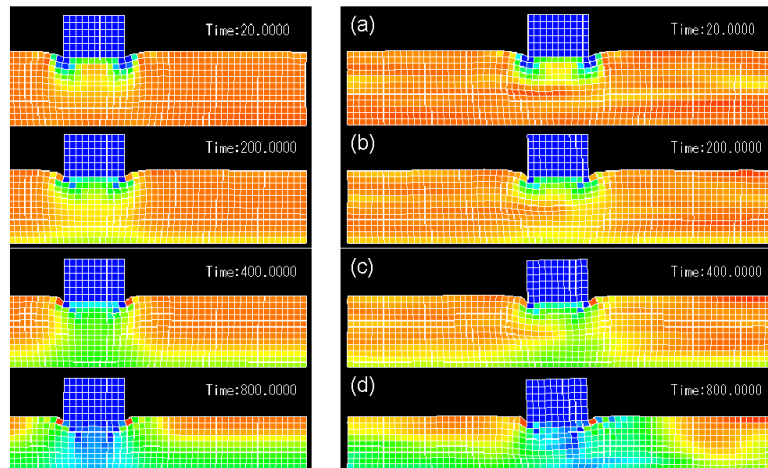


図1. 液状化の可能性のある地盤上に構築された直接基礎建物を対象に地盤物性の空間的不均質性を考慮した有効応力解析による過剰間隙水圧比の分布（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C01]，上田・他，2022）

- ・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ない。
- ・基盤面や地表面に傾斜がなく，地震動が正負対称であったとしても，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。

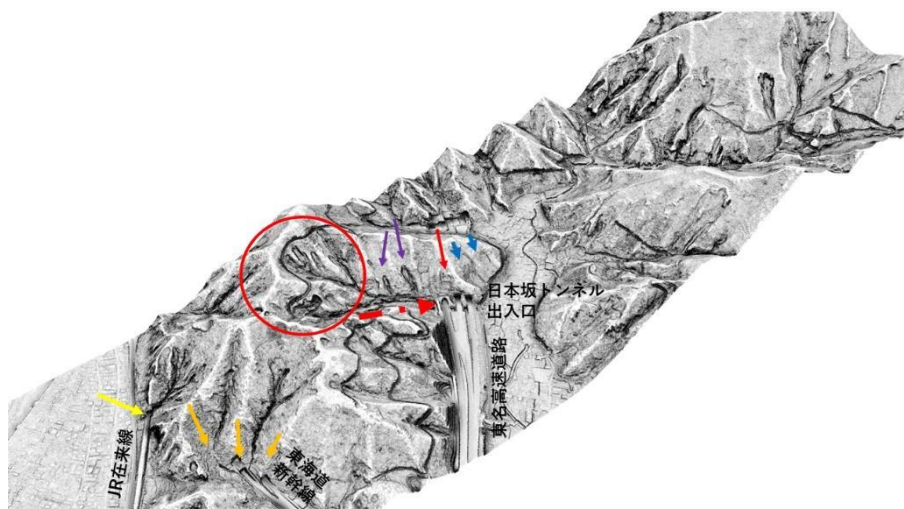
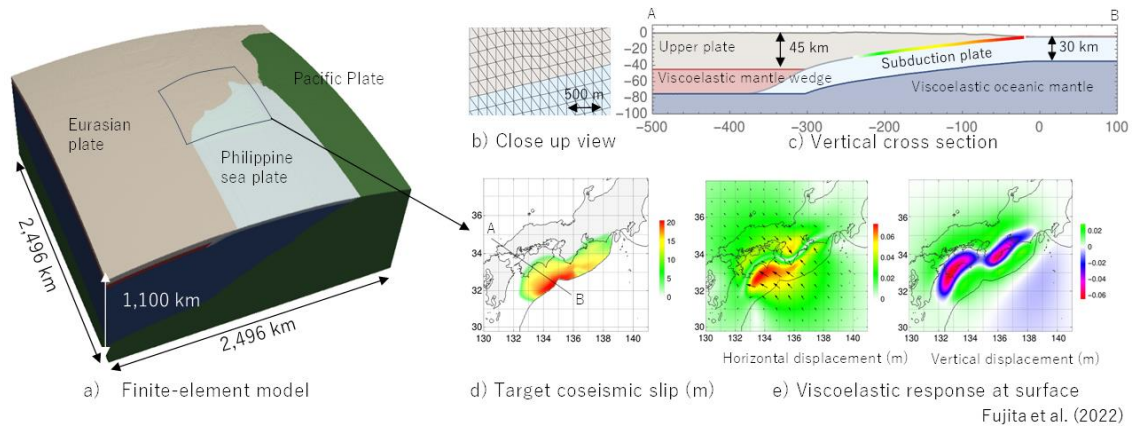


図2. 地震と豪雨による斜面崩壊に対する高速道路・新幹線などの社会インフラの危険度評価（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C01]）

- ・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。



Fujita et al. (2022)

図 3. Data-driven method を活用した高詳細粘弾性地殻変動解析（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC01], Fujita et al., 2022)

- ・ 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。

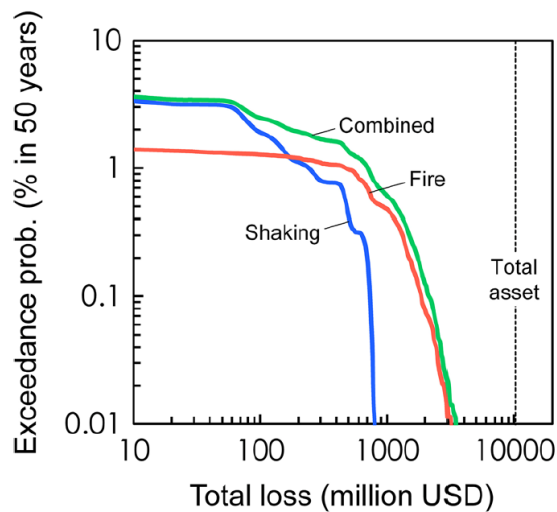


図 4. 京都市上京区の木造密集市街地における地震動とそれに伴う火災の複合効果を考慮したマルチハザードリスク（建物損失額の 50 年超過確率）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC32], Nishino, 2023)

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。

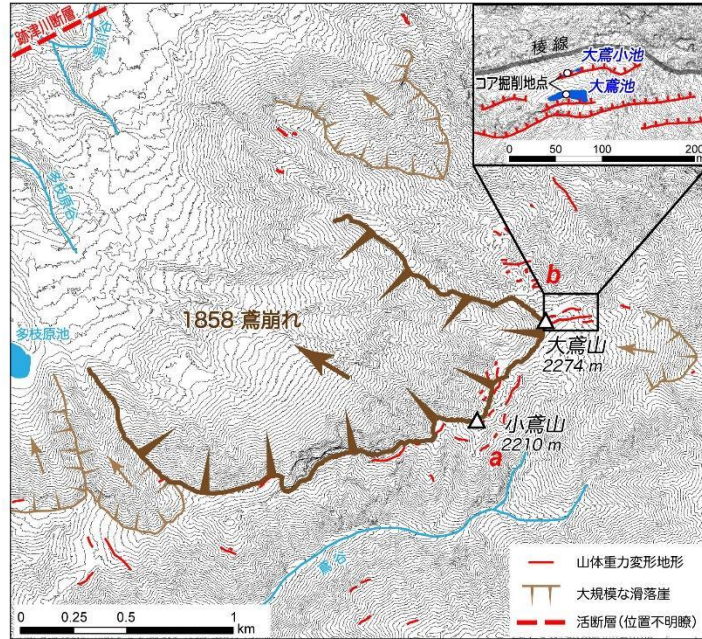


図 5. 鷲崩れ周辺の山体重力変形地形・大規模滑落崖の分布と本研究のコア掘削地点（挿入図，拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]）

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。

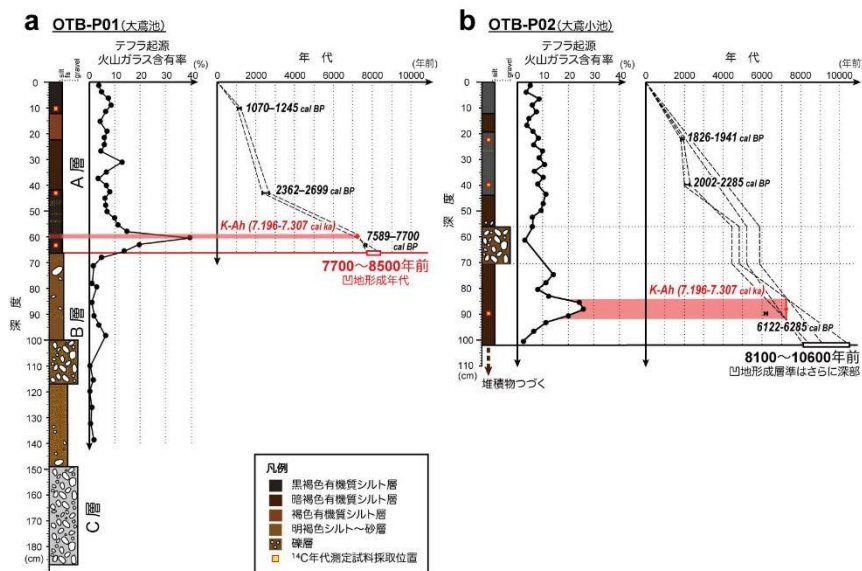


図 6. 大鷲池コア（a）および大鷲小池コア（b）の柱状図，テフラ分析結果および深度-年代曲線（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC33]）

最初に掘削を行った大鷲池では，深度 187 cm までのコアが採取された（図 6 a）。大鷲小池では，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 6 b）。

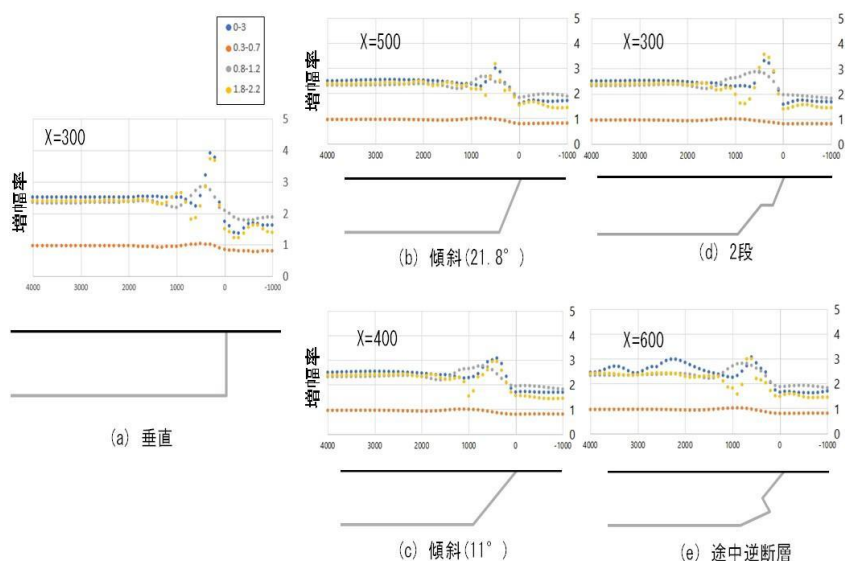


図 7. 平面波入射により計算される盆地端部における地盤による速度増幅率（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC35]，松島・他，2022）

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，灰，黄の●で示す。

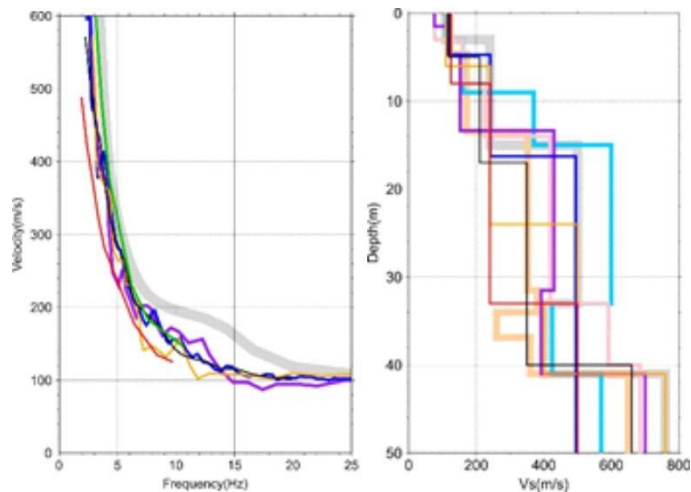


図 8. 2016 年熊本地震の発生後に行われた KiK-net 益城強震観測点での微動アレイ観測の結果（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]，津野・他，2023）

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）。

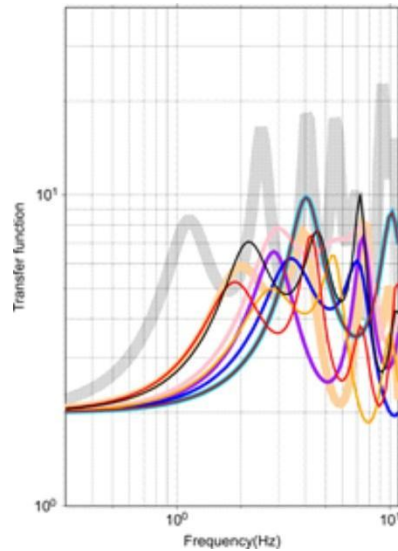


図 9. 図 8 の地盤構造モデルの S 波の 1 次元増幅特性（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]，津野・他，2023）
 増幅特性は類似しており，各地盤モデルが位相速度で拘束されているために，モデルの波動的特徴（増幅倍率やピーク周期など）が類似することを示唆している。

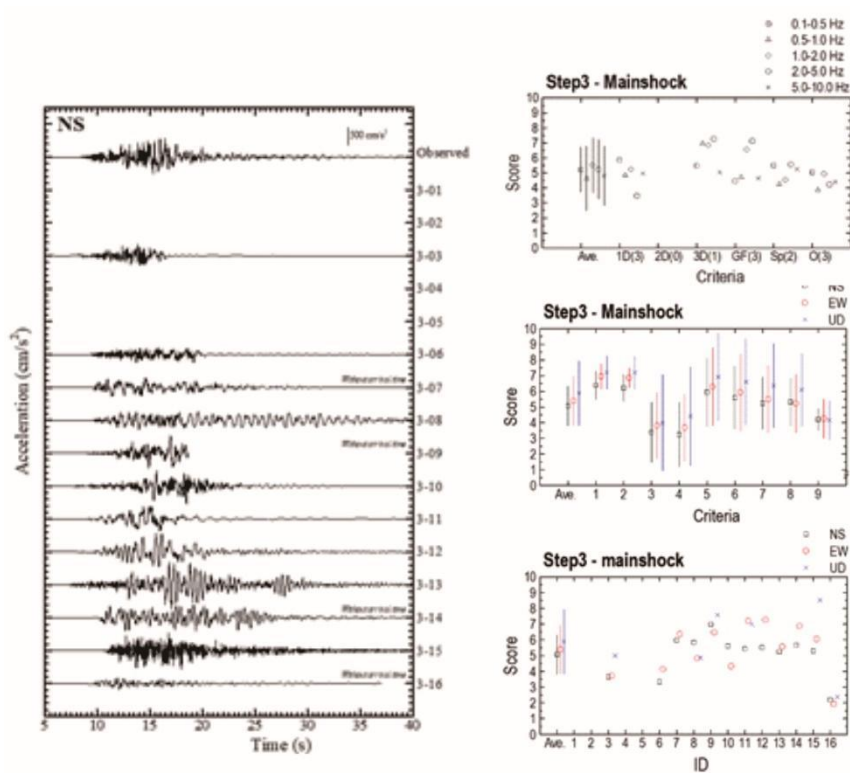
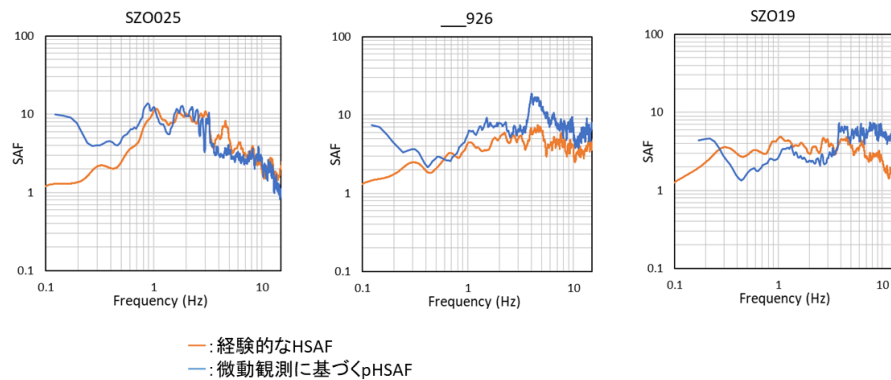


図 10. ESG6 のブラインドテストの結果（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC37]，津野・他，2023）
 左は 2016 年熊本地震の本震の加速度波形の予測結果，右は予測値と観測値を用いて得られる Anderson(2004) の比較指標である。右下：各強震動ブラインド予測結果に対する GOF，右中：各クライテリアに対する GOF，右上：各手法に対する GOF。

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。

図 11. 微動と地震動の増幅の比較 (拠点間連携共同研究[課題番号: CT0C39])
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。

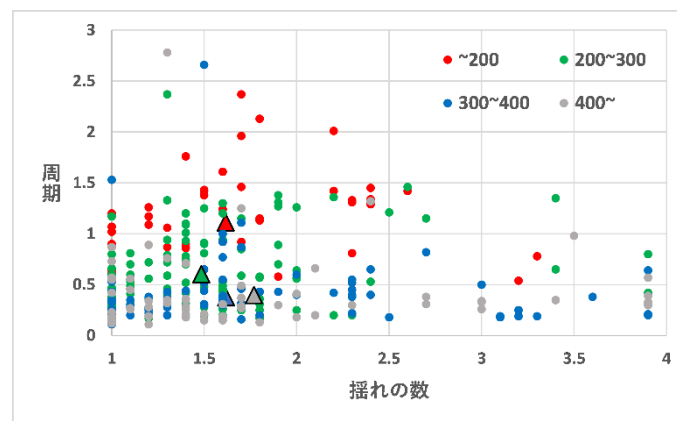


図 12. 過去に発生した地震動の揺れの数と周期と V_{s30} の対応 (拠点間連携共同研究[課題番号: CT0C40])

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、これらと V_{s30} (表層 30m の平均 S 波速度) の対応関係 (凡例: V_{s30} (m/s))。

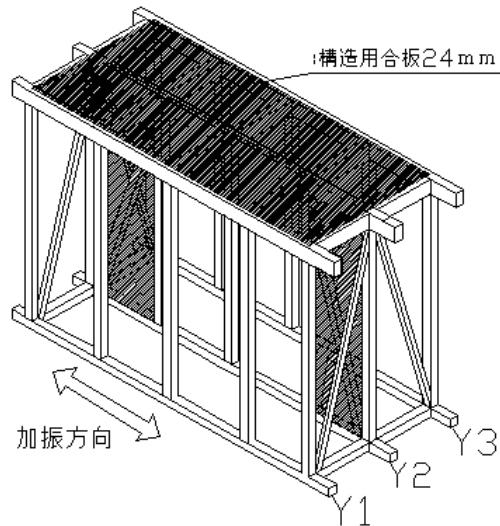


図 13. 本研究で開発した実大 1 層縮約試験体鳥瞰図（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]，境・他，2022）

最低限の筋かいの入った建物を想定した「軸組のみ 2 構面分と筋かい+面材 1 構面分」を用いた試験体。

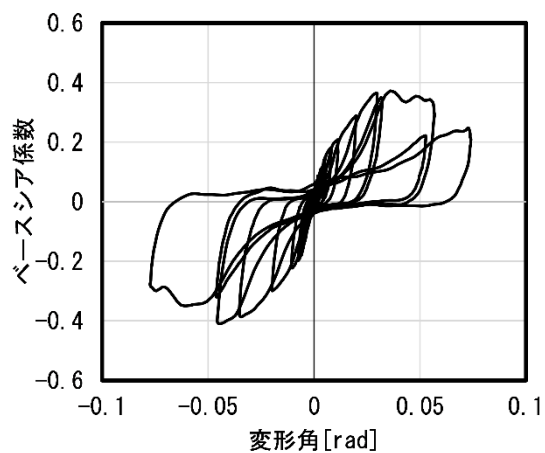


図 14. 実大 1 層縮約試験体を用いた振動実験結果の変形角－ベースシア係数関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC40]）

KiK-net 厚真の強震記録を開発した実大 1 層縮約試験体に入力した振動実験の結果，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。

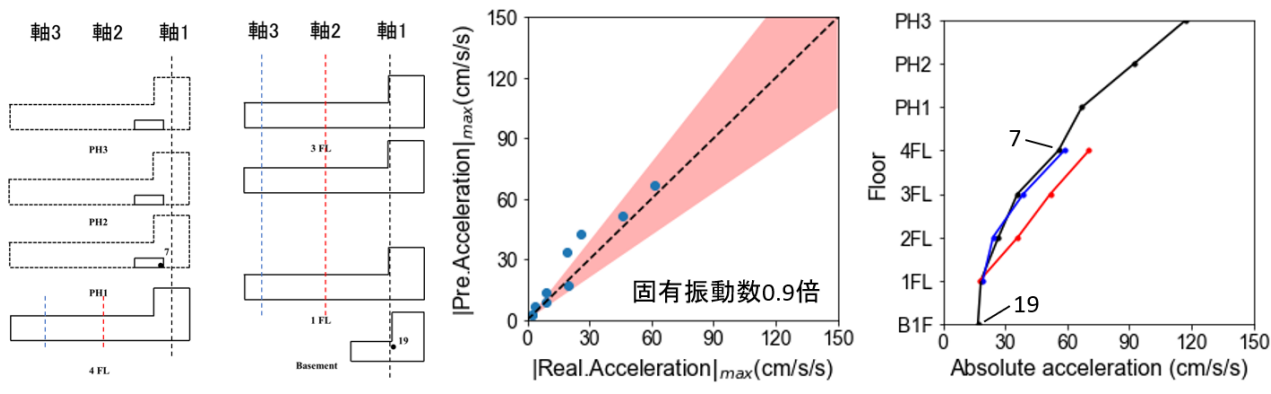


図 15. 微動観測から構築した振動モデルを利用した建物各部の応答予測（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC23]）

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。

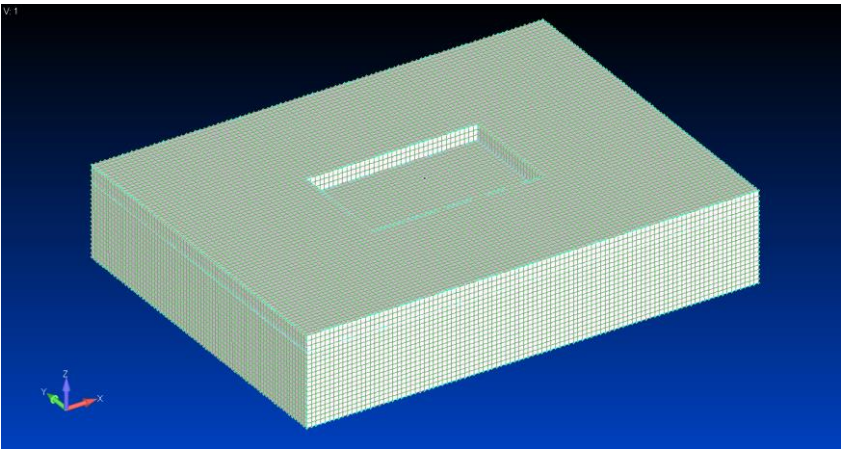
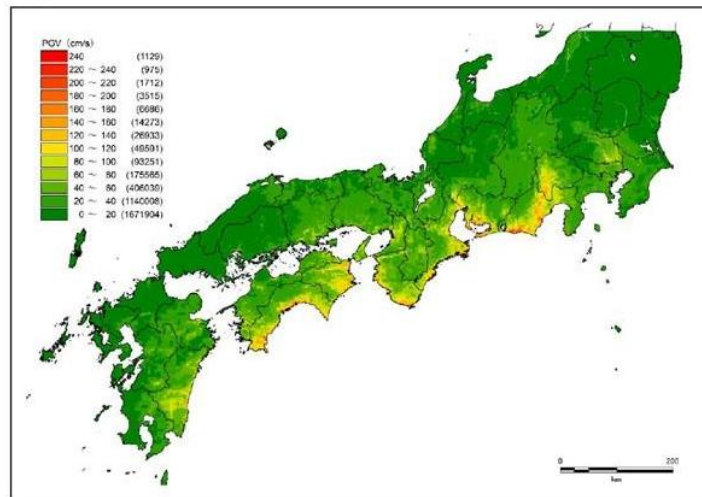


図 16. 地盤の FEM 解析モデルの検討例（直接基礎）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC23]）

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質点系のスウェーローキングモデル、②3D-FEM 解析モデルの 2 種類を検討した。

(基本ケース)



240cm/sを最大値としたPGV分布図

図 17. 240 cm/s を最大値とした PGV 分布図（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC30]）
観測上の最大値である約 240 cm/s を PGV の上限値として内閣府（基本ケース）による地震動シミュレーション結果の変換を行った。

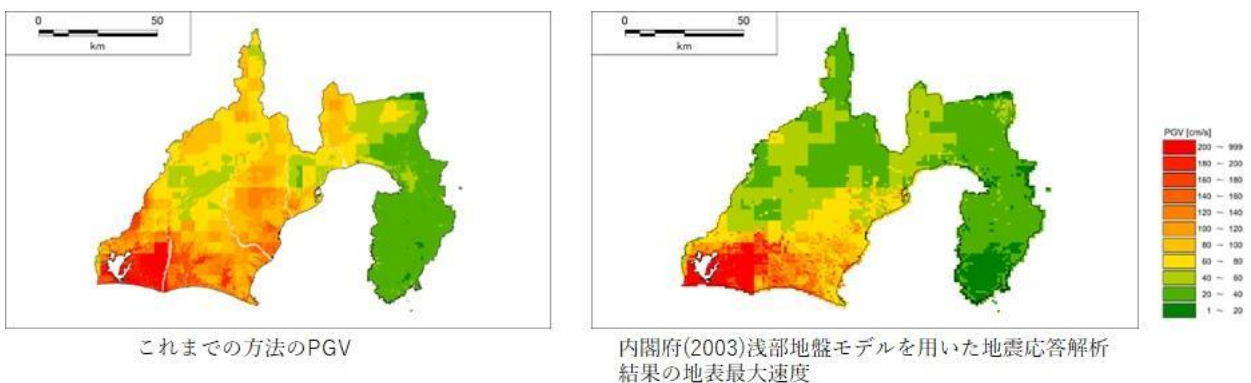


図 18. 内閣府(2003)浅部地盤モデルを用いた地震応答解析結果の地表最大速度（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC30]）
内閣府(2012)の前身である内閣府(2009)による表層地盤モデルを用いて南海トラフ巨大地震に対して地震応答解析を実施。



図 19. 指定広域避難集合場所の視察（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC34]）
鹿児島市街地の八幡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の様子。

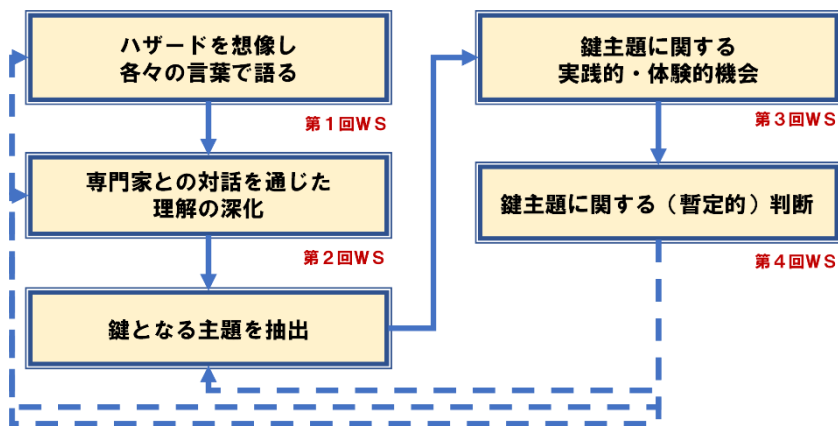


図 20. リスクコミュニケーションのプロセス（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC34]，大西，2022）
鹿児島市街地の八幡校区の広域避難先に指定されている南さつま市の現地視察の様子。

1.火山ガス

・全体では、「ある程度知っている」が44.6%で最も高く、次いで「言葉だけは聞いたことがある」が36.6%で続く。
 ・「割付」では、「森町、七飯町」で「言葉だけは聞いたことがある」、「軽井沢町、御代田町」で「ある程度知っている」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「由布市」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「別府市」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「阿蘇市、高森町、南阿蘇村」で「内容を含めてよく知っている」が全体

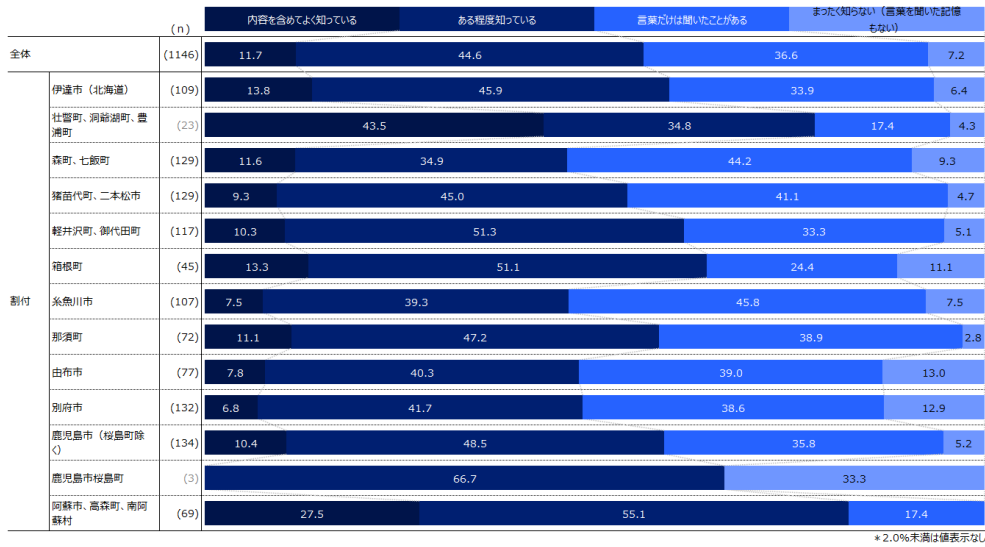


図 21. オンライン調査に基づく噴火現象の理解（火山ガス）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）

常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象として、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た。

3.大きな噴石

・全体では、「ある程度知っている」が50.2%で最も高く、次いで「内容を含めてよく知っている」が24.3%で続く。
 ・「割付」では、「伊達市（北海道）」で「内容を含めてよく知っている」、「箱根町」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「那須町」で「ある程度知っている」、「別府市」で「言葉だけは聞いたことがある」、「鹿児島市（桜島町除く）」で「内容を含めてよく知っている」、「阿蘇市、高森町、南阿蘇村」で「内容を含めてよく知っている」が全体と比較して高い。

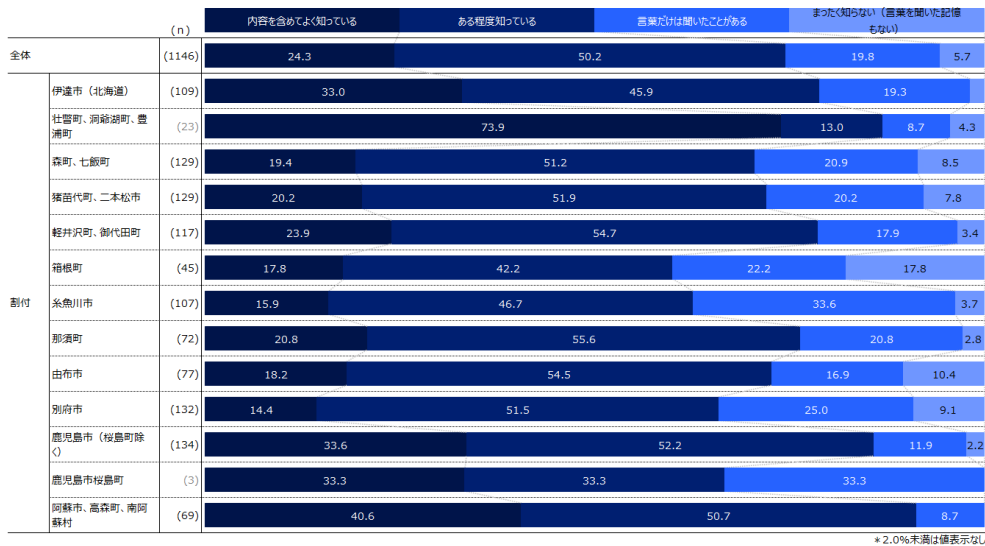


図 22. オンライン調査に基づく噴火現象の理解（大きな噴石）（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）

常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象として、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た。

5.降灰
 全体では、1.ある程度知っているが45.5%で最も高く、次いで1.内容を言めよく知っているが36.0%で続く。
 ・「割付」では、「伊達市（北海道）」で「内容を言めよく知っている」、「森町、七飯町」で「ある程度知っている」、「猪苗代町、二本松市」で「ある程度知っている」「言葉だけは聞いたことがある」、「軽井沢町、御代田町」で「ある程度知っている」、「箱根町」で「まったく知らない（言葉を聞いた記憶もない）」、「糸魚川市」で「言葉だけは聞いたことがある」「ある程度知っている」、「那須町」で「ある程度知っている」、「由

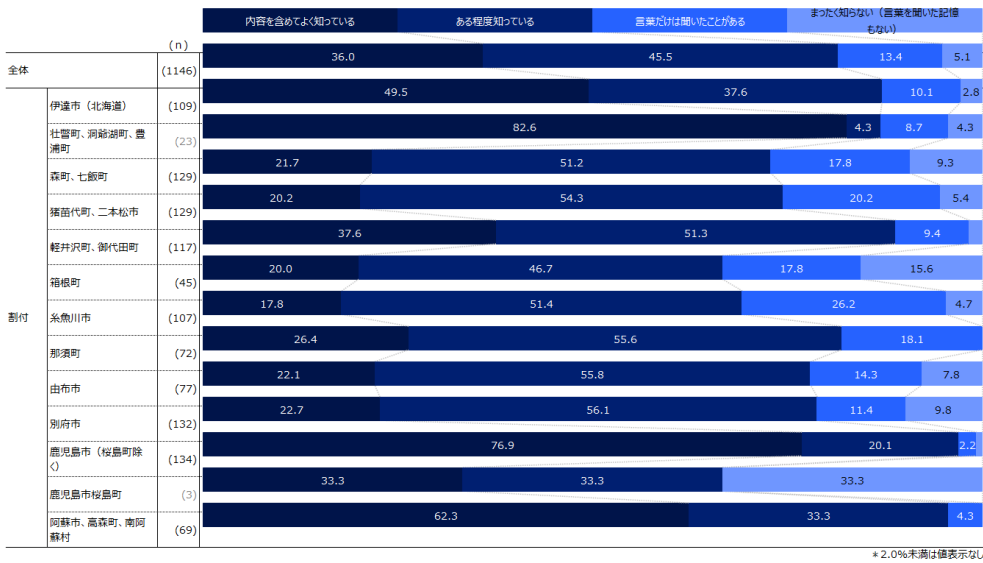


図 23. オンライン調査に基づく噴火現象の理解（降灰）（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）

常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象として、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た。

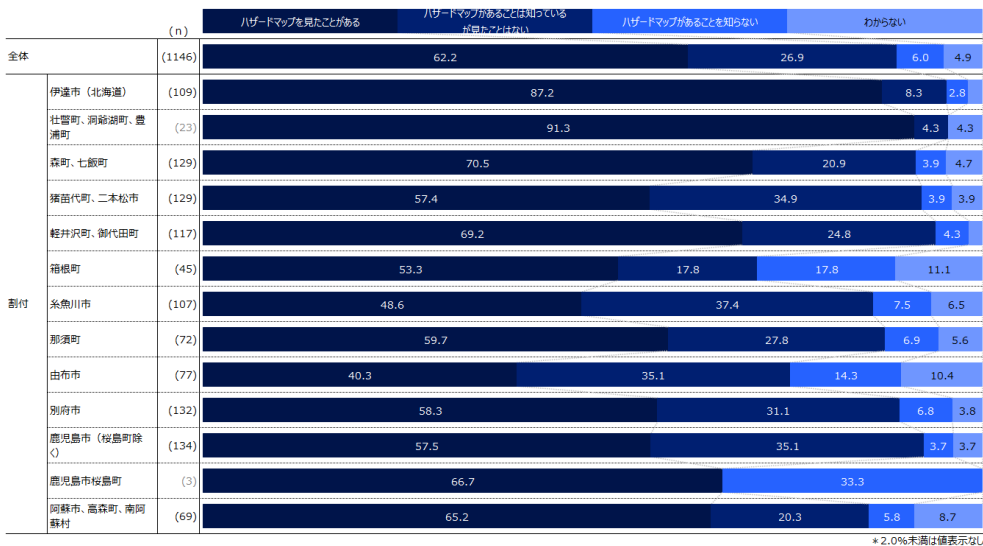


図 24. ハザードマップの閲覧状況(%)（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC38]）
 常時観測火山の近くに立地する9道県15市町村を対象としたハザードマップの認知と保管状況についての調査結果。ハザードマップを見たことがあるのは、もっとも高い地域で約9割、低い地域で約4割に留まるなど、地域ごとにかかなりの差が見られた。

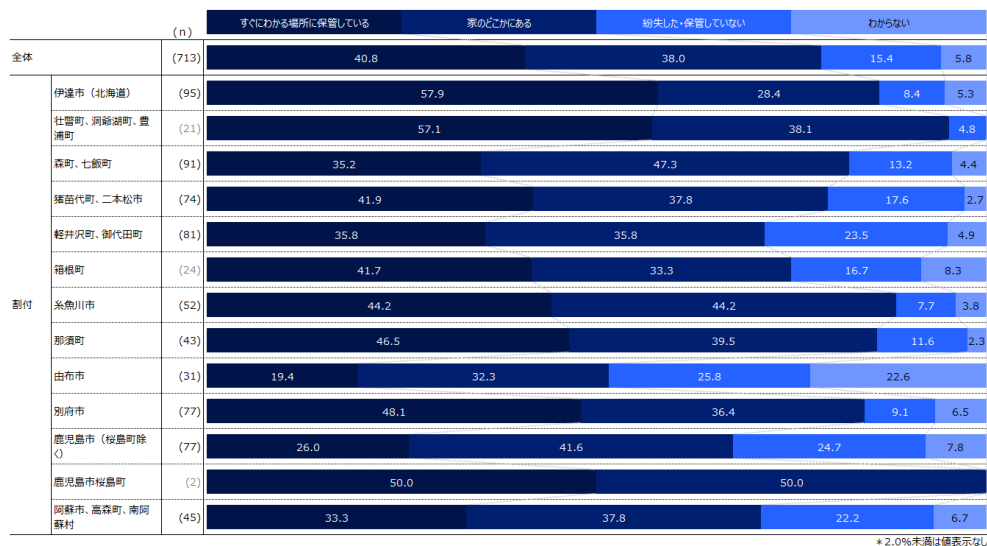


図 25. ハザードマップの保管状況(%)（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C38]）
 常時観測火山の近くに立地する 9 道県 15 市町村を対象としたハザードマップの認知と保管状況についての調査結果。