

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」

令和3年度年次報告

【成果の概要】

（案）

令和4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3年度の成果の概要】

1. はじめに.....	
2. 令和3年度に発生した重要な地震・火山噴火と本研究計画の活動について.....	
2-1. 2020年末から続く能登半島群発地震活動と地殻変動.....	
2-2. 2021年3月20日(M6.9)と5月1日(M6.8)の宮城県沖の地震.....	
2-3. 2021年8月13日に発生した福徳岡ノ場噴火.....	
2-4. 2021年10月20日の阿蘇山噴火.....	
2-5. 2022年1月15日のトンガの火山噴火と津波.....	
3. 令和3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.....	
3-2. 地震・火山噴火の予測のための研究.....	
3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究.....	
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.....	
3-5. 研究を推進するための体制の整備.....	
4. まとめ.....	
用語解説.....	
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.....	
災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次) 令和3年度研究課題一覧.....	

【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.....	
1 (1) 地震(現象解明).....	
1 (2) 地震(長期予測).....	
1 (3) 地震(中短期予測).....	
1 (4) 火山.....	
1 (5) 災害誘因評価・即時予測.....	
1 (6) 防災リテラシー.....	
1 (7) 史料・考古.....	
1 (8) 観測研究基盤.....	
2 (1) 南海トラフ沿いの巨大地震.....	
2 (2) 首都直下地震.....	
2 (3) 千島海溝沿いの巨大地震.....	
2 (4) 桜島大規模火山噴火.....	
2 (5) 高リスク小規模火山噴火.....	
3 拠点間連携共同研究.....	

[令和3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社会素因*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*での滑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総合研究グループであり、このグループでは、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3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170の実施計画（個別課題）及び公募による17の実施計画（個別課題）、拠点間連携共同研究²としての29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3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。

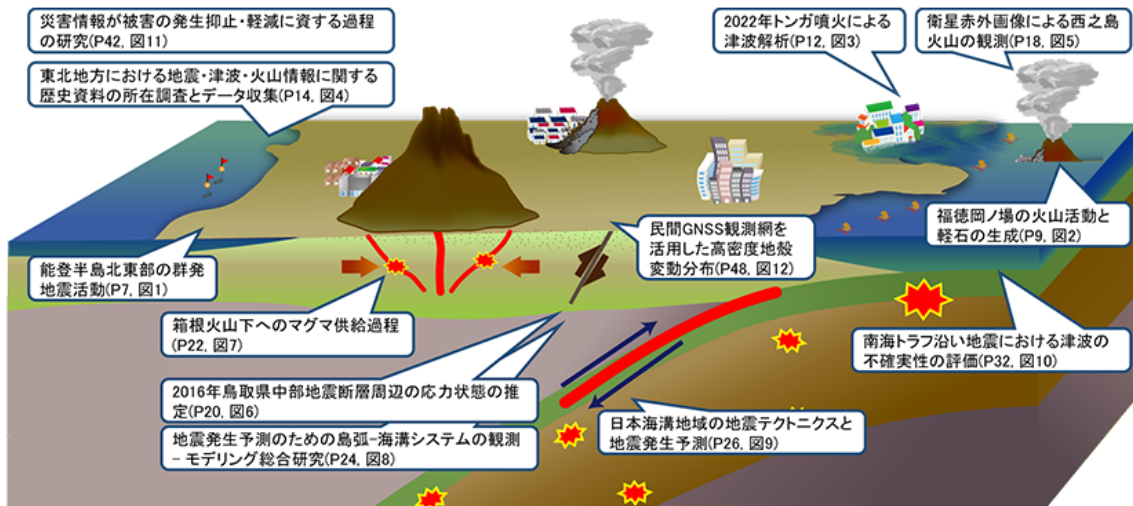
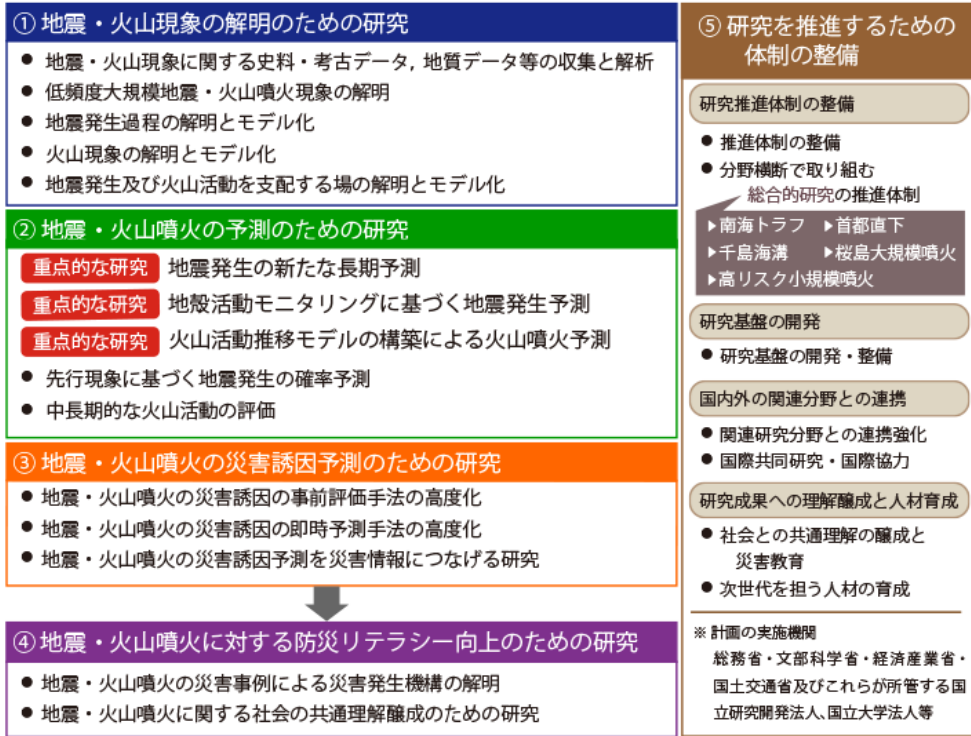
⁴ 用語解説に掲載している用語に、下線（破線）と*を付記している。

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3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。これは上記の中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3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. 令和3年度に発生した重要な地震・火山噴火と本研究計画の活動について

2-1. 2020年末から続く能登半島群発地震活動と地殻変動

能登半島（石川県）の北東端部では、過去1年以上に亘り群発地震*活動が続き、それに伴う地殻変動が観測されている（図1）。地震活動を遡ると、2018年頃から地震数が増加し始めていた。2020年12月頃からは地震活動が急激に活発になった。地震は北側・西側領域でも起こるようになり、2020年7月頃からは東側へも範囲を広げた。地震活動も一段と高まり、有感地震も数多く観測されるようになった。地震活動の範囲は、地下10-20 km程度にあり、水平には15 km四方ほどにまで広がった（図1上）。また、地震活動の活発化とともに地殻変動が観測され、2020年12月頃から珠洲を中心に隆起が開始した。このような活動の中、2021年9月16日にはM5.1の地震が発生し、最大震度5弱を記録した。この後も地震活動は高い状態で推移し、2022年3月末の時点で、2020年12月から数えて累計4000個を超える地震が能登地方で発生し、104回もの有感地震が観測された。珠洲における地殻*の隆起量は約4 cmにも達した（図1下）。

地震活動は、大きく分けて東西南北の4領域で固まりを作って発生している。しかし、それらの発生に対応付けられる断層面は不明瞭で、活断層*との関係も明らかでない。能登半島の北西部では2007年能登半島地震(M6.9)が発生しており、今回の活動はその北東延長部に位置しているが、関連性は不明である。地殻変動においては、地震が発生している領域を中心に放射状に広がる変動が観測されており、地下に変動源が存在することを示唆している。このように地震活動や地殻活動について暫定的な状況把握ができているものの、調査すべき課題が残されている。

過去に日本で発生した有名な群発地震現象として、1965年から年単位で活動の続いた松代群発地震がある。この時とは異なり、現在では様々な近代的観測機器が整備されている。能登半島の群発地震発生域では、基盤観測網*による地震観測が続けられているほか、GEONET*や大学の臨時観測点を利用したGNSS*連続観測、電磁気探査*、測地学的観測が進められている。一般的に、このような群発地震は活動の推移予測が極めて困難である。しかし、今なお活動が続いている現象である事にも留意しつつ、それらの記録の解析や、新たな調査を通じて、群発地震活動や地殻隆起の原因解明が進むことが期待される。

能登半島北東部の群発地震活動

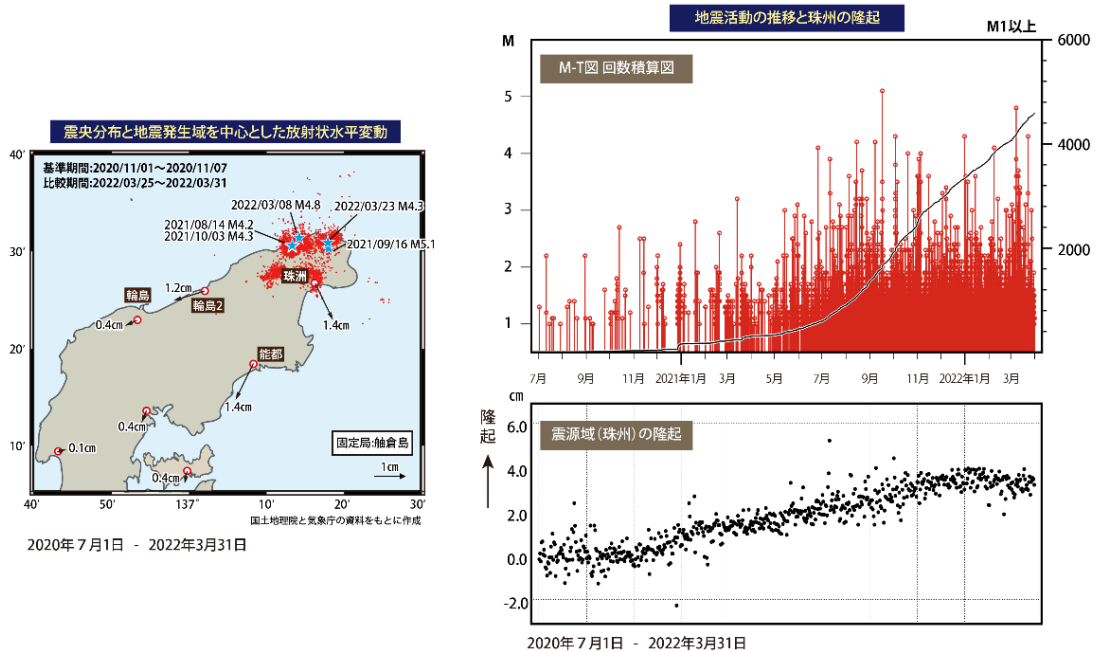


図1. 能登半島北東部の群発地震活動

能登半島北東部の群発地震活動と地殻変動。能登半島（石川県）の北東部端では、2020年12月頃から地震活動が急激に活発化し（右上）、震源域周辺を中心とする放射状の水平変動（左）と、隆起（右下）が見られた。地下での変動源が地震活動の要因として考えられるが、未だ状況の詳細は判明していない。

2-2 . 2021年3月20日（M6.9）と5月1日（M6.8）の宮城県沖の地震

2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0、以下東北沖地震）からおよそ10年経った2021年3月と5月に、宮城県沖でM7クラスの地震が発生し、それぞれ最大震度5強を観測した。両地震ともプレート境界（深さ50-60 km）で発生した地震であり、震源*は東北沖地震の滑り域の西縁付近（深部延長側）に位置する。プレート境界の深さ50-60 kmの領域では、繰り返し地震*とGNSSデータの解析から活発な余効滑り*が発生していたと考えられており、東北沖地震以降活発な地震活動も継続している。一方、精密な震源決定によると、3月の地震の破壊開始点*はプレート境界型地震*の発生する深さの下限付近に位置し、ここでは東北沖地震後に比較的規模の大きなM5クラスの繰り返し地震が発生していた。この繰り返し地震は東北沖地震前には発生しておらず、それまで非地震的にすべっていた領域が、東北沖地震後地震的にすべるようになったと考えられる[1]。この繰り返し地震と3月の地震のP波*初動部分はとてもよく似ており、3月の地震はM5の繰り返し地震から始まり、さらに広い範囲へと破壊が進展したものと考えられる[1]。

その後、5月の地震は3月の地震の南東で発生した。5月の地震の破壊開始点は3月の地震によるクーロン応力変化* (ΔCFS) が正である場所であり、東北沖地震以前から地震活動が比較的活発であった場所に対応していた。このことは、先行する地震の引き起こした応力*変化とプレート境界固有の性質の両方が地震の発生に影響を及ぼしていることを示唆する[1]。

さらに地震波形インバージョン* [1][2]によると、これら2つの地震の滑り域は、1978年のプレート境界型地震である宮城県沖地震 (M7.4) の滑り域の概ね西半分 (深部側) に重なることがわかった。このことは、東北沖地震後の余効滑りにより、東北沖地震震源域の深部延長側で地震が発生しやすくなっていることを示唆する。このプレート境界深部領域は、震源が人口の多い陸域に近く、被害が出やすいこと、1978年の宮城県沖地震の滑り域の東半分がまだ破壊されずに残っていると考えられることから、今後も地震活動の推移を見守っていく必要がある。

[1] Yoshida et al. (2022) JGR

[2] 久保・他 (2021)

https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/MiyagikenOki_20210320/inversion/inv_index.html

2-3. 2021年8月13日に発生した福徳岡ノ場噴火

2021年8月13日に、小笠原諸島に属する海底火山である福徳岡ノ場において大規模な噴火が発生した (図2)。噴煙高度は16 km以上に達し、大量の噴出物により一時的に新島が出現した。福徳岡ノ場では1904年、1914年、および1986年の活動でも新島が形成されたがいずれも浸食により海没している。今回の噴火で生じた新島も浸食により数ヶ月で消滅した。

福徳岡ノ場は最も近い有人島である硫黄島からでも約50 km離れており、当初はこの噴火に伴う大きな被害は無いと考えられていた。しかし、8月15日に撮影された衛星画像では300 km²に及ぶ漂流軽石 (軽石いかだ) が観測され、約2ヶ月後の10月上旬以降、沖縄県や鹿児島県の奄美地方の沿岸に軽石の漂着が始まった。港湾に大量の軽石が漂着することで漁業や海運に大きな被害を及ぼした。1986年噴火でも沖縄などへの軽石漂着が報告されているが、今回の噴火による漂着軽石は規模が遥かに大きい。

この噴火に関しては様々な機関が観測を実施しており、噴火の詳細が徐々に明らかになりつつある。噴火の推移は気象衛星ひまわり等の衛星データ、海上保安庁による空撮、父島における地震・空振*観測等により捉えられている。産業技術総合研究所は噴煙高度に基づく噴火規模の推定を行い、海洋研究開発機構はハイドロフォン観測により噴火を早期に検知するとともに、軽石の採取・分析や、海流に伴う軽石移動のシミュレーション*を実施し

た。国土地理院は衛星画像*による新島の消長を追跡し、大学は観測データと数値シミュレーションに基づく噴火メカニズムの推定を進めている。

噴火に伴って生じた新島や漂流軽石の体積は衛星画像や航空機の画像から見積もられており、少なくとも 0.1 km^3 に達すると考えられている。この体積は衛星から観測された SO_2 量とも調和的である。この噴出物体積に基づくと噴火の規模は $\text{VEI}^*=4$ 以上と推定されるが、噴煙中に含まれる噴出物の量によっては、規模が更に上振れする可能性もある。衛星からの可視・赤外画像や火山ガス*の観測値、噴煙高度に関する数値シミュレーション結果等を総合した結果、軽石は噴煙柱からの降下軽石ではなく、噴火の最盛期に火口から直接生じたものと推定されている。

福徳岡ノ場の火山活動と軽石の生成



図 2. 福徳岡ノ場の火山活動と軽石の生成

a) 福徳岡ノ場の位置 b) 海上保安庁により 2021 年 8 月 13 日 15 時に撮影された噴煙柱*の様子。c) 気象衛星ひまわりの画像による、漂流軽石の分布。d) 噴火最盛期の模式図。水に富んだ噴煙柱の崩壊により火口近傍で火砕物密度流が発生するとともに、低密度火砕物の集積が急速に進み、漂流軽石が大量に生じた (Maeno et al., under revision に加筆・修正)。

2-4. 2021 年 10 月 20 日の阿蘇山噴火

2021年10月20日11時43分（日本標準時）に阿蘇山の中岳第一火口において小規模な噴火が発生した。この噴火により、多数の噴石が放出され、噴煙は火口縁上3500 mの高度に達し、火砕流*も発生し最大で火口の北側1.6 kmまで流下した。この噴火をうけ、気象庁は11時44分に噴火速報*を公表し、11時48分に噴火警戒レベル*を2（火口周辺規制）から3（入山規制）に引き上げた。

中岳第一火口では、2019年7月から2020年6月にかけての小規模なマグマ活動（191火孔*からの灰放出）以降、火山性微動*振幅は概ね小さい状態で経過するとともに、火山ガス放出量も200～1100トン/日程度であるなど、火山活動は比較的穏やかな状況となっていた。しかし、活動静穏期に見られる湯だまりは復活していなかった。このような状況のもと、2021年6月18日には191火孔の北東側に直径50 m、深さ50 mの円柱状の陥没孔が形成された。その後、8月下旬には同陥没孔内と191火孔内に湯だまりが認められ、その水位は10月4日までに20 m程度上昇していた。

阿蘇火山周辺での多項目観測によれば、2021年9月頃から、マグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じ、同時期に、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化が観測された。そして、長周期の火山性地震（LPT）の発生回数が急増するとともに火山ガス放出量が増大したことが捉えられている。そして、10月13日に火山性微動の振幅増大が観測され、噴火警戒レベルが2に引き上げられたのち、10月14日の4時43分頃にごく小規模な水蒸気噴火*が発生した。その後、10月18日に微動振幅増大が観測され、気象庁は火山の状況に関する解説情報*（臨時）を公表した。解説情報（臨時）は19日にも発表されたが、20日の噴火前に噴火警戒レベルが3に上げられることはなかった。このことは、噴火規模の予測がまだまだ困難であることを示している。

10月20日の噴火後、熊本大学や防災科学技術研究所などにより降灰調査が行われた。この調査は、火山観測データ一元化共有システム（JVDN システム*）を活用した複数機関の連携調査としては初となるものであった。この調査の結果得られた降灰量は約15,000トンであった。ただし、この量には火口周辺域の降灰や火砕流堆積物は含まれていない。また、火山灰には本質物質*がほとんど含まれていなかったことから、この噴火は水蒸気噴火であると判断された。一方、火山機動観測実証研究事業*により、ドローンによる噴石の飛散状況調査が実施され、噴出主軸は南～南東側と北西側の二方向であること、噴石の最大飛距離は火口中心から南へ900 mであることが明らかになった。

この噴火に先立つ2021年2月に、阿蘇山における観光客の火山認知度、噴火警戒レベルの理解度に関するWebアンケート調査が実施されていた。その結果によると、阿蘇山が活火山であることをはっきりと認識していたのは約7割であり、観光や登山前に噴火警戒レベルを確認していた人は約4割にすぎなかった。そして、噴火速報に対応したスマートフォンの防災アプリの利用者は3割に満たなかった。

この噴火による死者・負傷者は報告されていないが、火山活動の状況や噴火発生時の情報

を正確かつ迅速に登山客や観光客に伝達するうえでの多くの課題が明らかになった。気象庁は火山の状況に関する解説情報（臨時）を発表したが、噴火警戒レベルの理解度（約6割）から判断すると、解説情報（臨時）のもつ意味が正しく理解されていたとは言い難い。また、阿蘇火山防災会議協議会*は、10月19日に解説情報（臨時）が発表されたことを受け20日8時30分から中岳に通じる登山道を閉鎖したが、早朝から活動する登山客を止めることは出来ず、噴火時には16名が中岳周辺にいた。そして、噴火直後に発表された噴火速報は、それらの登山客の多くには届かなかった。

これらの課題を受け、気象庁は噴火警戒レベルの判定基準の見直しに着手し、阿蘇火山防災会議協議会は、分かりやすい看板の設置、登山道封鎖手順の見直しを実施している。今後は、噴火速報をエリアメールの様な形で一斉配信する方策も検討されるべきである。

2-5. 2022年1月15日のトンガの火山噴火と津波

2022年1月15日4時14分（世界時）にトンガの海底火山フンガトンガ・フンガハアパイで大規模な爆発的噴火が発生した。一連の噴火は2021年12月20日に始まり、約4週間後に巨大な噴煙柱を伴うプリニー式噴火*のクライマックスに至った。この噴火では、近隣の島々に大量の火山灰が降り、津波によって海岸付近の建物が押し流されて壊滅的な被害をもたらされた地域も多い。また、海底通信ケーブルが断絶したり、トンガ国外からの救援が滞って島民が一時孤立状態になったりするなど、深刻な状況が生じたと報じられている。

1月15日の噴火の爆発性を表すVEIは少なくとも5に達し、20世紀最大級の噴火とされる1991年のピナツボ噴火に匹敵する規模の噴火だった可能性がある。人工衛星の画像解析によれば、噴火開始からわずか30分程度で噴煙の最高高度は約58kmの中間圏にまで到達し[1]、噴煙の傘の半径は200kmを超えたとの報告がある[1][2]。このような急速な噴煙の発達には、マグマの噴出率が高かったことや、マグマが多量の海水と接触することで噴煙柱への水蒸気の取り込みが促進されたことが原因ではないかと考えられている[2]。

この爆発的噴火に伴って大きな気圧変動（空振）が発生した。この気圧変動が海面を揺さぶることで波が励起され、それが何千kmも離れた太平洋沿岸まで伝播しながら発達したと考えられている[3]（図3）。気圧変動に伴う海面変動は従来から「気象津波」として知られていたが、噴火に伴う空振による海面変動の励起・伝播の過程が詳細に観測された例はこれまでなく、気象庁の津波警報*発出にもこうしたメカニズムはこれまで考慮されていなかった。しかし、実際にはこの噴火に伴って日本でも最大1m程度の潮位のゆらぎが観測された。今回のような大規模噴火による海面変動は、低頻度ではあるものの、火山がもたらすハザード*のひとつとして備えるべき事象であり、そのための研究の必要性も認識された。

日本海溝沿いの海底に設置されている圧力計の観測網（S-net*）によって、空振および海面変動に起因する水圧変動が克明に記録された（図3）。この水圧計記録は、南東方向から北西方向へ伝播する大気圧力波を仮定したモデリングで説明できる（図3右）。また、東京湾

アクアラインの海底トンネルに東京大学が設置している「ミュオグラフィ」装置でも同様の海面変動が記録されたことが報告されている[2]。本研究計画において今後これらのデータを精査することで、大規模噴火に伴う津波の予測と警報の精度向上に資する研究がさらに進むことが期待される。また、今回の噴火によって、海域の火山一般を対象とした新たな研究のシーズも見いだされつつある。

[1] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/149474/>

[2] <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/news/15712/>

[3] Tanioka et al. (2022) EPS

2022年トンガ噴火による津波解析

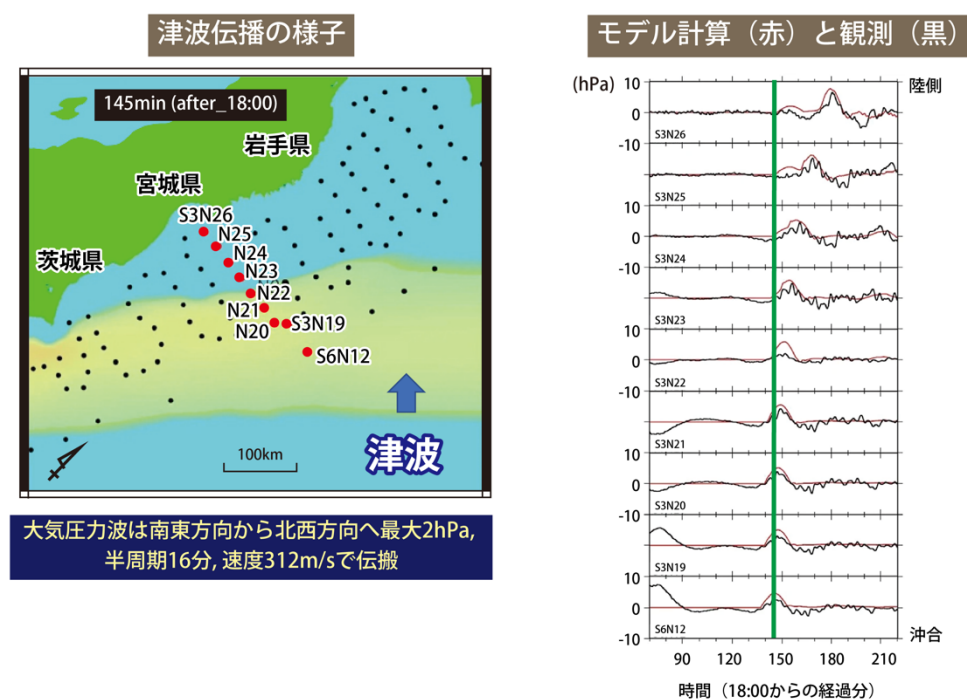


図3. 2022年トンガ噴火による津波解析

2022年1月15日のトンガの海底火山フンガトンガ・フンガハアパイでの大規模な爆発的噴火による津波の解析。日本海溝沿いの海底に設置されている圧力計の観測網 (S-net) により記録された、海面変動に起因する水圧変動 (右黒線) とモデル結果 (右赤線および左) を示す。左図は、右図の緑線の時刻の海面変動を示す。右図の観測点は、左図の9つの赤丸の位置(Tanioka et al., 2022 に加筆・修正)。

3. 令和3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

文化元年(1804年)象潟地震について、由利郡関村(現、秋田県にかほ市象潟町関地区)に伝来する古文書・古地図を解読し、詳細な被害状況について復元調査したところ、関村の家屋被害率は80%を超えることが確認された(図4)^[IRID01]。既刊地震史料集全33冊の全文デジタル化を完了させた。そして、デジタル化した地震史料データベースを活用しやすいものにするために、様々な検索方法を整備し、Webによる公開を開始した^[UTH_01]。史料を効率的に理学的解釈に活用することを目的に、フリーのGISソフトを用いて情報を面的に整理する仕組みを構築した。このシステムを用いて、三重県を例に、南海トラフ巨大地震史料が含む地域情報を面的に整理し、その効果を確認した^[NGY_01]。1707年富士山宝永噴火に関して、復興途上の様子を描いた村絵図の分析を行った^[HMEV01]。

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

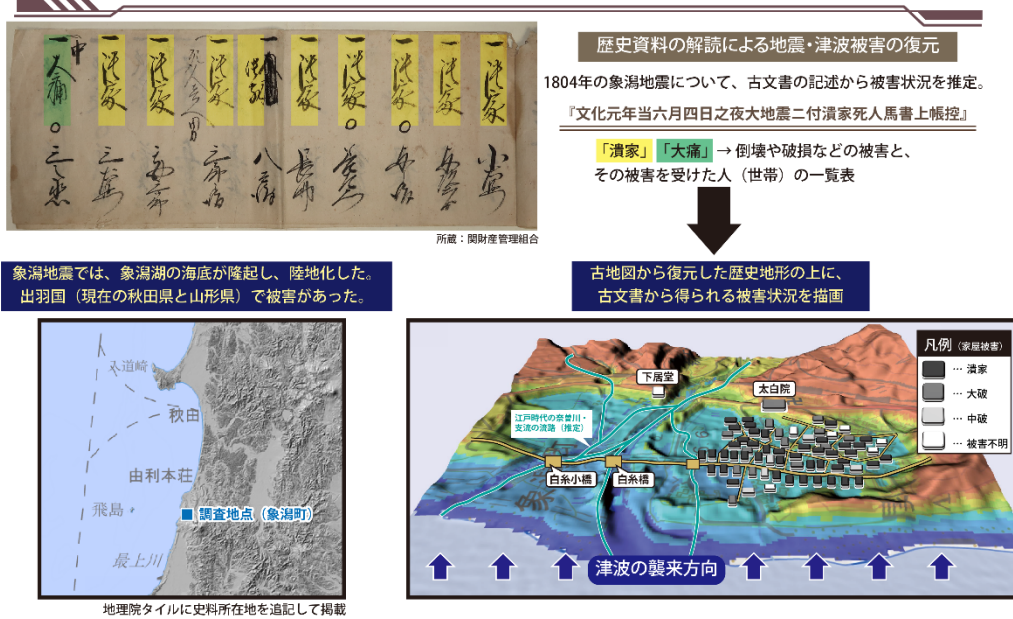


図 4. 東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史史料の所在調査とデータ収集
文化元年(1804年)象潟地震について、由利郡関村（現在のにかほ市象潟町関地区）に伝来する古文書・古地図を解読し、詳細な被害状況について調査した。象潟地震における関村の家屋被害について記した『当六月四日夜大地震ニ付潰家死人馬書上帳控』では、当初は「潰家」「大痛」と判定されていたものが、後に「潰家」「大痛」「中痛」と評価が細分化されて判定されており、これらを含めて計算すると関村の家屋被害率は80%を超えることが確認された。また、古絵図から当時の関村の家屋配置、歴史地形を復元し、関地区では地震動による家屋倒壊や耕作地の被害が大きいことが確認された。

イ. 考古データの収集・集成と分析

縄文時代中期(紀元前 3500~2500 年頃)に発生した三陸地震津波の発生後に着目し、海岸部低平野集落の高台移転の状況や、集落、集落域の大規模整地、家屋遺品の投棄、特異な人骨集積埋葬があったことを確認した^[NGT_01]。これにより、この津波が少なくとも現在の岩手県から宮城県まで東日本太平洋沿岸部を広く襲った大規模な地震によるものであることがわかった。地震痕跡調査と調査結果のデータベース化が進められ、断層帯からの距離と共に痕跡の検出数が減少することや、地形との対応などが明らかとなった^[NAB_01]。

鹿児島湾を中心に遺跡の分布とそれぞれの成立時期について情報をまとめ、さらに史料に残る近世以降の桜島噴火情報と、発掘調査で検出される被災痕跡を集成することで、過去の火山噴火災害についてデータベース化が進められた。その結果、近世以降の桜島噴火の降下火山灰がみられることが示された^[NAB_01]。

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

17 世紀に千島海溝で発生した巨大地震による津波浸水時の地形復元が行われた [AIST08]。北海道十勝地方の当縁川河口域において、従来津波堆積物*が確認されていた海岸線付近に加えて内陸側の湿地や段丘上の調査を実施したところ、湿地域では 1739 年と 1856 年のテフラ*の間の期間に離水したことが明らかになった。このことから、17 世紀の巨大地震に伴う隆起が余効変動*として 200 年以上続いたことが示唆された [HKD_01]。

内陸地震の発生履歴に関する調査として、活断層の地震履歴に関する調査も進められた。中央構造線断層帯の讃岐山脈南縁区間鳴門南断層において実施された 3 次元的トレンチ調査*及び年代測定から、縄文時代から鎌倉時代以降に発生したと考えられる 3 回の地震の発生間隔は、600 年から 2500 年以上とばらつきがあることが認められた [AIST02]。糸魚川—静岡構造線断層帯では北部の白馬地区と南部の白州地区での調査が行われた結果、9000 年間に 4 回の活動が生じた可能性があり、断層変位の観察に基づく活動間隔は従来考えられてきた約 5000 年よりも短い可能性が示された [NGY_03]。

富士火山の爆発的噴火の噴出物の解析からはマグマ中の初期含水量が低い必要があること、より深部からのマグマ注入が必要であることが示唆された [ERI_02]。草津白根山本白根火砕丘群に見られる小火口の活動履歴調査から、計 4 ヶ所の火口の活動年代 (2700 年前、1700 年前、700 年前、400 年) や、火砕丘群本体の形成後も VEI 1 程度の水蒸気噴火が頻発していたことが示された [TYM_01]。

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、恵山火山地質図が出版された。また、大規模火砕流分布図シリーズとして「始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図」が Web 公開された。そして、日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理するため、日本の火山データベースに桜島と富士山の完新世噴火イベントのデータが追加されるとともに、20 万分の 1 日本火山図が更新・拡充された [AIST03]。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

近代的な観測データと史料・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。

日記史料有感地震データベース (<http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>) の改良を継続した。近世後半の日本各地の有感記録と、1900 年代以降の震度観測データとを比較し特徴を調べたところ、一例として、1835 年 5 月に西日本で広く感知された地震の震度分布が、1968 年 4 月 1 日の日向灘地震 (M7.5) と類似していることが分かった [HMEV02]。

伊豆大島では、中規模噴火から小規模噴火への長期的推移において斜長石斑晶量がしだいに増加していることが示された。西之島については 2019-2020 年噴火における噴火様式

や化学組成の劇的変化が、より深部に由来する苦鉄質マグマ*の上昇に起因していることが示された [ERI_03]。支笏カルデラではU-Th 放射非平衡*の解析から、二成分マグマ混合によって生成された珪長質噴出物のうち、一方の端成分マグマの生成率が 15 km³/万年程度であると推定された。阿寒カルデラでは、阿寒富士のマグマ生成の温度圧力条件が推定された [UTH_01]。鬼界カルデラや周辺の島において研究航海が行われ堆積物・岩石試料の物質科学的解析が進められた。ピストンコア試料*とドレッジ試料*について全岩化学組成*分析および火山ガラス*の化学組成分析が行われ、鬼界火山全体のマグマの多様性および噴火活動ステージにおける特徴が明らかにされた [KOBE01]。

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

多様な断層滑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、地震断層滑りの物理・化学モデルの構築を行った。

ア. 地震発生機構の解明

大規模地震を対象として次のような研究が行われた。1896 年明治三陸津波地震の破壊過程*を解明するために、速度構造探査から明らかにされている付加体*の存在を考慮した動的破壊のモデルを構築した。付加体により破壊速度は遅くなり、また地震動は付加体の外側の陸域などで弱くなることがわかった [ERI_05]。2011 年東北沖地震の際に日本海溝南部で見つかった、地震後の顕著な余効滑りに着目した数値シミュレーションを行った。海山の沈み込みに起因する構造を考慮した M9 級巨大地震の発生サイクルをモデル化することに成功した [ERI_05]。ニュージーランドで 2016 年に発生した Mw7.8 カイコウラ地震の震源では、周辺域における地震波速度トモグラフィ*の結果、震源域とその周辺域の地殻内断層深部やプレート境界に高い間隙流体圧が存在する可能性があることがわかった。流体の存在が連動破壊や地震後の滑りを促進する効果等が示唆された [THK_01]。

地震の破壊開始点と大きな滑り域を同時推定する手法を開発し、東北地方の沈み込み帯で発生する繰り返し地震を解析した。同じ地点からの破壊であっても、様々な大きさの地震へと成長し得る複雑性が明らかになった [UTS_03]。また、コア試料のような複雑な滑り特性を持つ物質に関しても、理論的な研究により断層強度特性の理解が進んだ [ERI_04]。

イ. 地震断層滑りのモデル化

箱根火山内において 2019 年 5 月に発生した群発地震活動期間中の傾斜変動記録は、開口成分とせん断成分の両方を考えた断層で説明することができた。またこの活動には非地震性滑りを伴い、その拡大が群発地震震源の移動様式に影響を与えた可能性が示唆された [THK_02]。

マントル起源の蛇紋岩体に発達している炭酸塩脈に着目し、その形成メカニズムを調べ

た。この結果、蛇紋岩の炭酸塩化は、固体体積が収縮しながら脱水する反応で、間隙水圧*の上昇に伴い、き裂形成・物質移動・反応が自己促進的に進行することがわかった [THK_02]。

(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

三宅島では2014年に実施された無人ヘリコプターによる空中磁気測量と同じ範囲でドローンを用いた空中磁気測量が行われた。これは、電動ドローンでも、内燃式エンジンを持つ無人ヘリと同等の観測ができることを示すものである。磁化構造を求めたところ、カルデラリム下の強い磁性と、カルデラ内側の弱い磁性が推定され、2000年カルデラ崩壊によるカルデラ内の磁性の弱化もしくは磁化方向のランダム化と解釈された。さらに、2021年と2014年のデータを比較して磁化の時間変化を調べたところ、浅部では天水による冷却を示唆する磁化強度の高まりが検出され、深部では亀裂群に沿って上昇する熱水による加熱を示唆する磁化低下が局所的に見られた [ERI_07]。西之島では2019年から2020年の噴火活動に対して、衛星赤外画像と地形変化から噴出率・噴出量の推定および噴出状況が明らかにされ、3ステージからなる噴火活動モデルが提案された (図5) [ERI_07]。阿蘇山では空中電界変動観測が行われ、2021年10月14日および20日の噴火に伴う空中電界変動が観測された [THK_03]。空中電界変動は噴出量の即時把握の新たな観測手法として期待される。火山灰自動採取・可搬型分析装置および自動火山灰分類システムが開発・改良された。機械学習を用いて火山灰の構成物の割合を自動把握し、マグマ性噴火*および非マグマ性噴火を即時判定する技術の有効性が確認された [NIED01]。

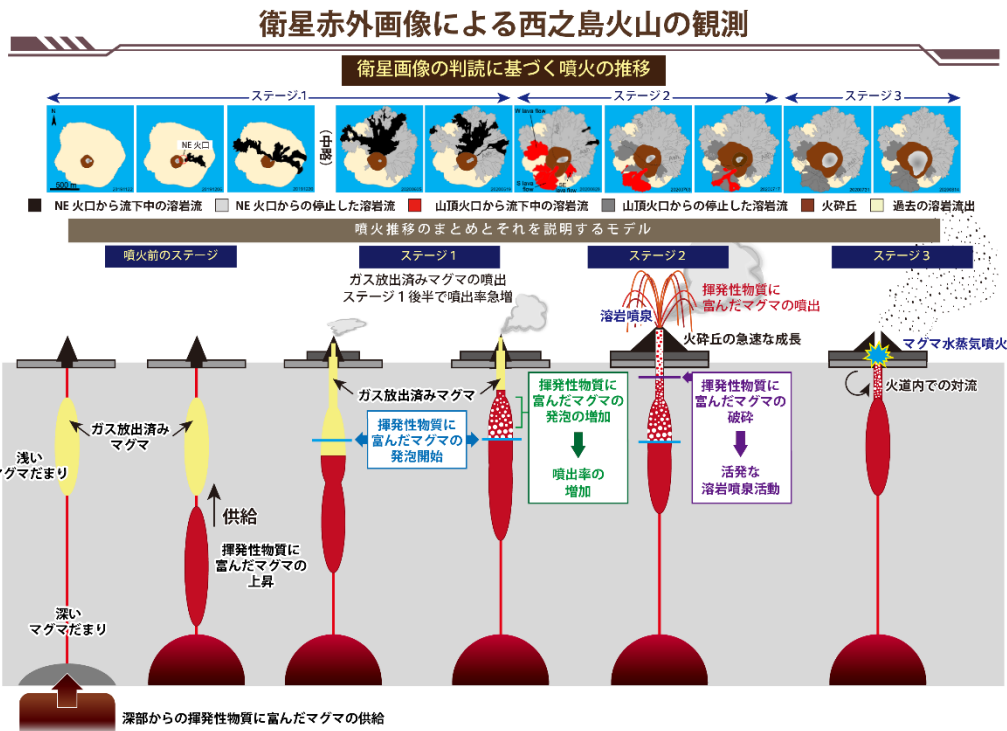


図5. 衛星赤外画像による西之島火山の観測

ひまわり8号の赤外画像による熱異常観測とALOS-2画像から判読した2019-2020年の西之島の噴火状況の推移(上)から推定された噴火様式の時間変化のモデル(下)。この期間の高い平均噴出率、ドラスティックな活動変化、激しい溶岩噴泉による火砕丘*の急成長は、ステージ2において、ガス成分に富むマグマが火道*浅部に達するようになったため、活発な噴泉活動が起き、同時に蓄えられていたマグマが連鎖的に発泡して噴泉として短期間で大量に放出されたとするモデルで説明することができる(Kaneko et al., 2022に加筆・修正)。

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

火道内をマグマが上昇する際に発生する現象の再現実験により、マグマ中の塩素の濃度分布パターンの変化が明らかにされ、天然の溶岩の塩素濃度分析結果と比較することで、溶岩内部の脱ガス*様式が推定された^[HKD_03]。十和田火山・御蔵山溶岩ドーム試料の岩石記載と浸透率*測定実験からは、石基*は微小な斜長石を骨格とした多孔質構造で、大量のシリカ鉱物が気相成長した痕跡が認められた。また、空隙率に対して高い浸透率が得られたことから、空隙率に対する浸透率の高さが溶岩ドームの爆発性の支配要素であることが示唆された^[THK_04]。衛星データからは福徳岡ノ場2021年噴火の二酸化硫黄放出率の時系列変化が推定された^[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、応力や変形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

S-net と Hi-net*で記録された大規模地震記録を用いて、東北日本前弧域のP波異方性*トモグラフィ解析を行ったところ、P波異方性の向きは海溝軸の走向と平行且つスラブ*表面に対して高角に分布することがわかった。このような構造により、2011年と2021年福島沖地震(M7.1)のようなスラブ内地震が起こったと考えられる^[THK_05]。

アウターライズ域*における潜在断層の位置、走向、傾斜等に関する情報を把握するため、日本海溝南部(福島・茨城沖)の海底地震観測記録を解析したところ、海溝軸に並行または斜交する帯状の地震のかたまりが複数分布することがわかった。これらは海底地形に見られるホルスト・グラベン構造によく一致し、特徴的な地形を形成する正断層がアウターライズ域での地震活動と深く関係していることを示している。また、アウターライズ域の地震活動が低地震波速度の海洋マントル内に及んでおり、正断層が海洋マントルにまで達していることを示唆している^[THK_06]。

南西諸島北部域における海底地震計アレイデータを用いて、プレート境界浅部で発生する低周波微動の暫定的な解析を実施した。主な活動は観測網内で2つに分かれていると考えられ、明瞭な低活動領域には海山が沈み込んでいる可能性が高い^[KGS01]。

沖縄トラフ南部において、過去20年間の地震活動の震源分布と地震規模の頻度分布を調べたところ、M5以上の比較的大きな地震が発生する八重山地溝帯等のリフト中軸部では、周囲より低いb値*(<0.8)を示し、火山フロントが形成されている石垣海丘や鳩間海丘周辺では大きなb値(>1.2)を示していた^[JAMS02]。

イ. 内陸地震

2016年鳥取県中部地震(Mj6.7)の余震観測により、詳細な余震分布の推定や応力逆解析*による応力場の向きの推定が行われた(図6)。地震前後の応力場の向きの時間変化は、地震時応力変化に対する地震前の応力レベルと関係があるため、直接測定することの難しい地震前の応力レベルを推定するための情報となる。分析の結果、この地震の震源断層の両端と深部端において、地震前に差応力*が小さかった可能性があることがわかった。この結果は、余震が断層端付近で急激に減少することとも調和的である^[DPR103]。

地震と地殻内流体*の関係について多方面から研究が進んだ。2011年東北沖地震で誘発された東北地方各地の群発地震について系統的な方法で調査したところ、拡散係数と群発地震の継続時間との間に負の相関があることを発見した^[HRS_01]。2017年鹿児島湾でのM5.3の地震の前震*-本震*-余震*系列の震源を高精度に決定したところ、地震活動の発生場所が

徐々に移動したことが分かり、深部から浅部への流体移動が関与していた可能性が考えられることがわかった^[THK_07]。比抵抗分布や地震活動に基づき、葛根田や湯沢の地熱地域の海拔下約 2 km 以深に存在する低比抵抗体は石英脈にシールされた 380~400 °C 以上の超臨界地熱貯留層*であると解釈された。更に、地震波速度構造も考慮すると、この領域の流体の体積分率は 0.1~4.2 % であると推定された。吾妻山でも比抵抗構造、地震波速度構造両者からマグマ+熱水の体積分率が 6 % 以下であることが明らかになりつつある^[THK_07]。

大量の微小地震に対し、深層学習による P 波初動極性の自動検出システムと震源メカニズム解決プログラムを組み合わせることで解析し、日本全国の地殻内応力マップを作成した。今後、地震発生予測や日本のテクトニクス研究の基礎的な情報として活用されることが期待される^[AIST07]。

2016 年熊本地震の余効変動のモデルを構築し、これを補正した上で阿蘇山マグマだまりの体積変化の抽出を試みた。推定されたマグマだまりの体積は、地震直後に大きく増加したあと、減少傾向を示した^[GSI_01]。

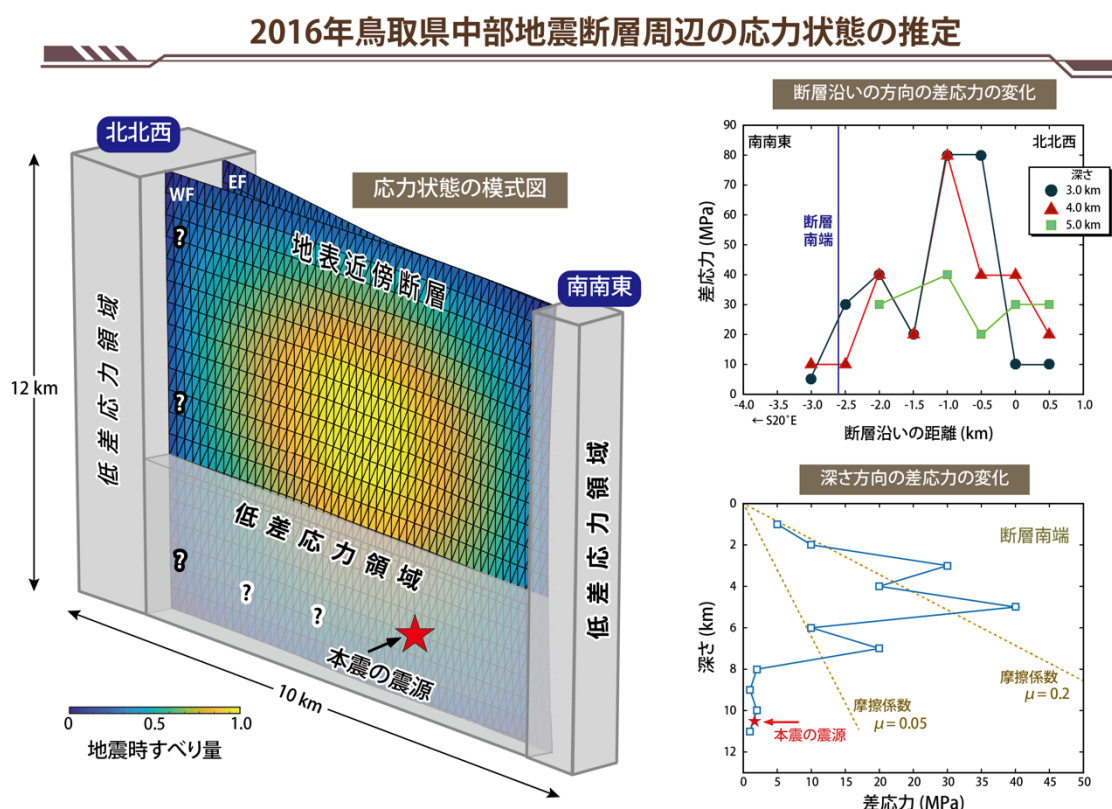


図 6. 2016 年鳥取県中部地震断層周辺の応力状態の推定
 2016 年鳥取県中部の地震について、地震前の差応力分布を応力逆解析の結果をもとに推定した。その結果、断層走向方向での断層端での差応力の低下 (右上) と、断層南端付近における断層下端での差応力の低下 (右下) が見出された。これらは、左の模式図に示すように、地震時の大滑り域の端では差応力が小さく、地震前に応力緩和*が起こっていたことを示す

と考えられる。またこのことから、本震後、その断層の延長部において同程度以上の地震が発生する可能性は極めて低いと考えられる。図中の本震震源は、一元化震源によるもの。 $\mu = 0.1, 0.4$ の点線は、それぞれの摩擦係数に対応する最も滑りやすい断層に加わる差応力の計算値。

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

研究船「かいめい」による調査・探査航海が鬼界カルデラを対象に行われ、比抵抗構造推定のための海底磁力計の回収と海底電位差磁力計の設置が実施された。また、海底掘削および無人探査機による海底観察および地質試料採取が行われ、鬼界アカホヤ噴火による大規模火砕流堆積物の分布が推定された^[KOBE01, JAMS03]。本白根火山においては2018年水蒸気噴火に伴う傾斜記録の初動付近の解析から、Terada et al. (2021)が推定した開口割れ目の下端部に、新たな増圧源が見出された^[TIT_03]。雲仙火山では自然地震を用いた速度構造トモグラフィ解析が行われ、雲仙火山を頂点とした円錐状の低 V_p 領域（深さ3–16 km）が推定された。S波*速度、 V_p/V_s 、1990–1995年噴火時の震源分布、地殻変動源も考慮して、ほぼ固結しつつあるマグマだまりの上面をなぞるようにマグマが上昇していくという新しいマグマ供給系のイメージが提案された^[KYU_01]。

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

箱根火山では、地震波速度構造推定により、深さ9 km付近のマグマ溜まりや、深部低周波地震発生域（深さ20 km付近）からマグマ溜まりへつながる流体供給経路が推定された。深部低周波地震活動による流体上昇の影響がマグマだまりに伝播し、さらにマグマ溜まりからの脱水脱ガスが促進され、浅部の群発地震や地殻変動が活発化する、という考えが提案された（図7）^[DPR104]。GNSS観測データと地震データから下部地殻の非弾性*ひずみを推定する手法が改良され、九州においては非弾性ひずみ速度は九重、阿蘇などの火山周辺に沿って高いことが分かった。この結果は、深部由来の流体によって弱化された下部地殻における非弾性変形の集中が九州中央部に存在していることを示唆する^[KYU_01]。

箱根火山下へのマグマ供給過程

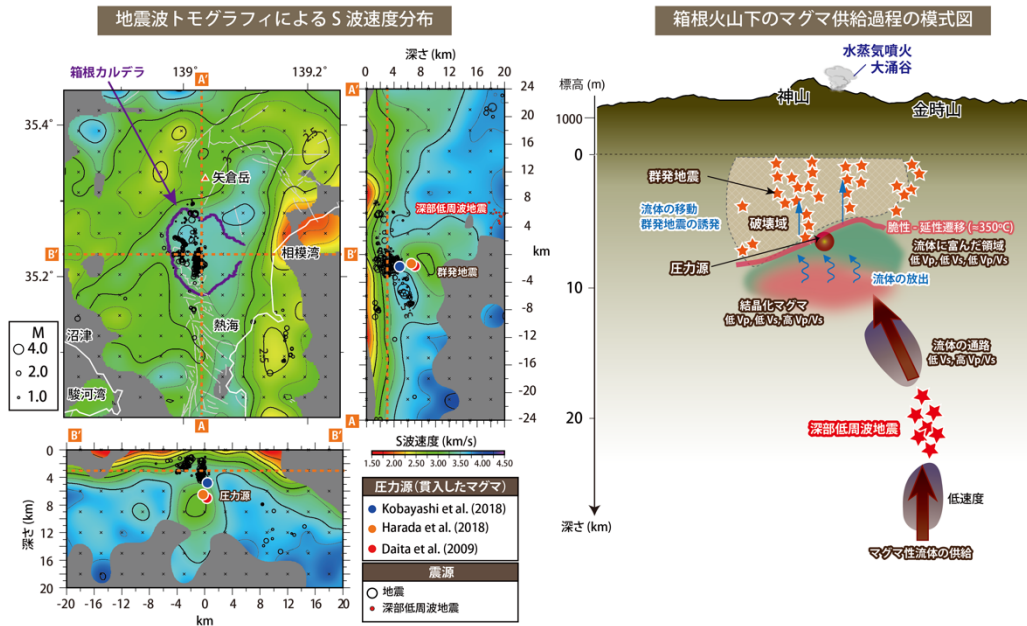


図7. 箱根火山下へのマグマ供給過程

箱根火山下のS波速度構造と地震や深部低周波地震の活動・圧力源の推定（左）とそこから推定された、箱根火山下でのマグマ供給過程を示す模式図（右）。深部からのマグマ供給に伴い深さ20 km付近で深部低周波地震が活発化する。流体は、より浅部の深さ9 km付近のマグマ溜まりに蓄積する。マグマ溜まりから放出された流体が更に浅部に移動し、群発地震や地殻変動などを引き起こす（Yukutake et al., 2021 に加筆・修正）。

オ. 構造共通モデルの構築

空間的に離散的なGNSS測地データから、空間的に連続なひずみ速度場を推定する新たな方法を開発した。この解析結果により、新潟－神戸ひずみ集中帯や、奥羽脊梁ひずみ集中帯、茨城県北部から北関東を経て愛知県北部に至る前弧域の低ひずみ帯などが明確になった[DPR104]。前弧域の低ひずみ帯については、当初計画では想定していなかったものであり、流動－変形場を再現する構造共通モデルの構築と検証にあたって重要な成果である。

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、想定される火山活動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

過去 10 年間の GNSS 時系列データから、琉球海溝八重山諸島の南側のプレート境界面上のすべり欠損^{*}レートを推定した。同地域では 1771 年に津波地震が発生しており、それ以降一定のすべり欠損レートで応力を蓄積していると仮定すると、すでに Mw7.5 に相当するエネルギーが蓄積されていることが明らかになった^[KUS_01]。一方で、1771 年の津波の波源^{*}域とされるプレート境界浅部においては、すべり欠損を陸域の測地観測から推定することが難しいため、巨大地震発生ポテンシャルをより正しく評価するためには、海域観測の継続的な実施と観測点の拡充が必要である。

超低周波地震^{*}の検知能力が低かった沖縄本島-宮古島間において、臨時観測による地震波形データを用いて超低周波地震の震央決定を行った。宮古海峡では、超低周波地震はプレート境付近の深さ 10~15 km の範囲でスポット的に発生する一方、沖縄本島南東海域では、SSE^{*}の発生域と固着域の隙間に沿って帯状に発生していることが明らかになった。両海域ともに超低周波地震の発生域と低角逆断層型地震の発生域は相補的であり、南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の摩擦特性^{*}の不均質性を示していると考えられる^[NGY_02]。

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^{*}分布に基づいて内陸地震の発生確率を評価するために、前年度までに構築した西日本の確率予測モデルの再検討及び再評価を行なった。地表のひずみ蓄積レートから地震モーメント^{*}の蓄積を評価する方法については、水平方向の主ひずみ速度と面積ひずみ速度のそれぞれ絶対値のうち最大のものを用いるモデルが、過去の地震活動を最もよく説明することが分かった。一方で、地震モーメントの蓄積を評価するためには、地震発生層^{*}の厚さと剛性率を仮定する必要があるが、これらについては、一様モデルと可変モデルで過去の地震活動を説明する度合いに大きな差は見られないことが示された^[DPRI05]。

地震活動に基づく内陸地震の長期予測手法の開発に向けて、過去に発生した地震を対象にして、階層型時空間 ETAS* (HIST-ETAS*)モデルの背景活動度と、時空間ポアソン過程*モデルによる予測性能を評価した [DPRI05]。予測対象を中規模以上の地震とした場合、HIST-ETAS モデルの背景活動度に基づく長期予測が最も予測性能が高いことが示された。

2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）の発生後10年間の粘弾性緩和*に伴う地震活動の評価のために、東北沖地震の地震時・余効滑り分布に千島海溝沿いのプレート境界における固着状況を含めた応力蓄積計算を行い、東北地方陸域および日本海沿岸域の活断層に作用するクーロン応力変化を評価した（図8）。東北沖地震の影響は数十年程度残ること、東北沖地震により多くの活断層において地震活動は抑制されることが示された。しかし、福島県の沿岸部の断層については、この地域の一般的な傾向とは異なる挙動をすることが分かった。これらの断層については、すべり角も含め、より詳細な推定が必要である。また、青森県周辺の活断層では、千島海溝での固着の影響で地震を促進する方向に転ずる場所があることがわかった [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

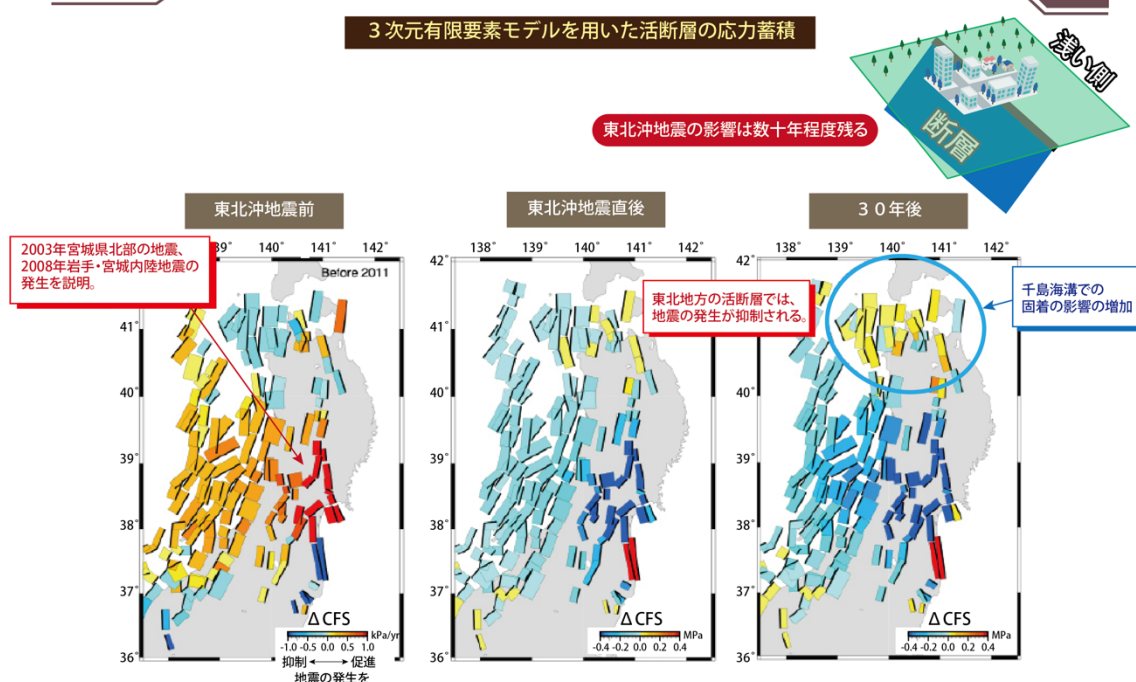


図8. 地震発生予測のための島弧-海溝システムの観測-モデリング統合研究

東北地方の内陸の活断層での地震の起こりやすさについて、プレート境界での固着や東北沖地震の余効変動によるクーロン応力変化（ ΔCFS ）の影響を調べた。東北沖地震前は、宮城県沖を中心とするプレート境界での強い固着により、東北地方中部からその日本海側について地震発生を促進させる応力変化が起きていたことがわかった（左下）。一方、東北沖

地震後は、東北地方全域で地震を抑制する応力変化が確認された(中)。この傾向は、東北沖地震から30年後も残るが、千島海溝での固着の影響で青森県周辺の活断層では地震を促進する方向に転ずる場所もある。右上図は、下図での活断層の表現方法(黒線が断層の浅い側で、断層を真上から見た様子を示す)。

(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

繰り返し地震(相似地震)は、プレート境界・断層の滑り速度の情報を有する。アメリカ地質調査所(USGS)のカタログに掲載された世界の地震のうち、国内の地震観測網で捉えられた比較的規模の大きな地震を用いて相似地震の検出を行い、相似地震の発生状況からプレート境界滑りの時間発展を調べた。その結果、プレート境界型巨大地震の発生直後の10年程度の間は余効滑りが支配的で、約30年以降においては滑り速度が徐々に増加する傾向が見出された^[ERL12]。これは、巨大地震サイクル*間における滑り速度変化に対する新たな知見である。

日本海溝沈み込み帯前弧海域においてS-netデータを用いた地震波干渉法*解析を実施し、スロー地震*発生域が低速度異常域内に位置するのに対し、2011年東北沖地震や根室沖の巨大地震発生域は高速度異常域に対応することを明らかにした^[ERL12]。

測地データ等から南海トラフ沿いの深部短期的SSEの自動検出に成功し、新たな活動の抽出に加えて、四国西部における平均滑り速度が四国東部よりも約2倍大きいという特徴が見出された^[ERL12]。また、南海トラフ浅部のスロー地震の検出及び震源域の位置決定に関して新たな手法を開発し、低周波地震*や超低周波地震の移動現象、SSEの把握がより確実にできるようになった^[JMA_01、JAMS01]。

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

前震活動の群発性の統計的特徴に基づき、一定時間内に本震が発生することを知らせる経験的な前震識別法(Maeda, 1996)を実際の地震カタログ*に適用し、ETASモデルに比べて、予測成績が優れていることを示した。また、前震の識別が成功する場所の特徴として、スロー地震発生域の付近や、群発地震が活発なところ、プレート上面の低速度異常域の縁付近という特徴があることがわかった(図9)^[ERL13]。

大地震直後の余震による地震波形記録に極値統計解析を適用することで、各観測点における最大振幅の将来予測を行う手法を開発した。2008年岩手・宮城内陸地震の本震後3時間以内の波形記録に基づいた予測を行った結果、4日後までの余震による最大振幅を高い精度で推定することができた。この手法には、地震波の重なり合いの影響を受けにくい、マグニチュード*ではなく揺れの予測を行えること等、従来の手法にはない長所があり、余震活動の早期予測に向けて重要な進展をもたらすことが期待される^[NIED02]。

地震のマグニチュード頻度分布は時間的に不変であるという仮定のもと、大地震後の地震カタログの欠測を補う手法を近年発生した5つのM6級の内陸地震に適用した。その結果、大地震直後の地震活動予測に必要なパラメータを迅速且つ信頼性のより高いものとして推定できることを示した [ERI_13]。

東北地方の深さ30~60 kmのプレート境界型地震の破壊過程を調べたところ、約8割の地震において、破壊がプレート境界の深部側から浅部側へ伝播する特徴を示すことがわかった。このことは、プレート境界深部からの定常的な応力载荷*や深部からの流体移動が地震の発生に関与している可能性を示す [THK_09]。

日本海溝地域の地震テクトニクスと地震発生予測

地震の発生パターンから前震を識別する方法について、本震発生の予測が的中する場所の特徴を調査

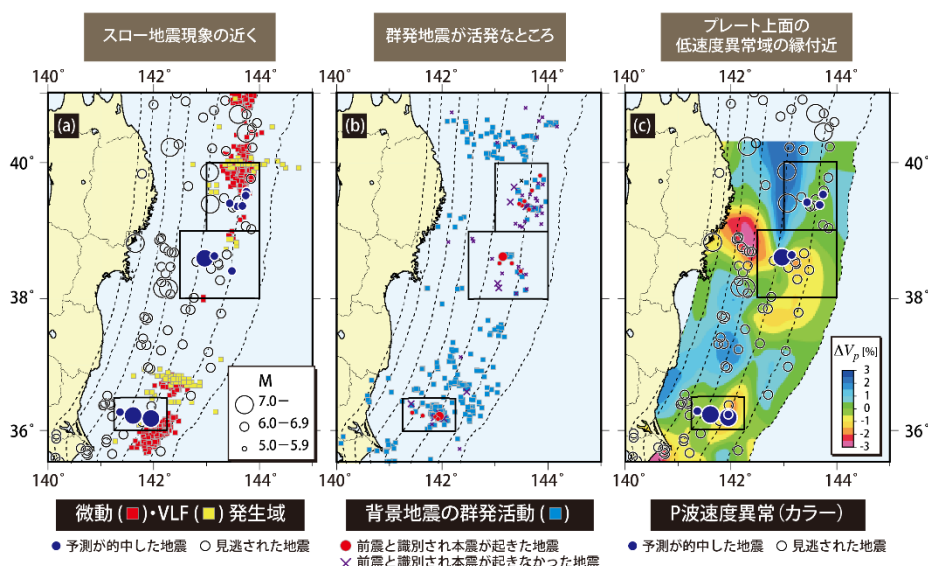


図9. 日本海溝地域の地震テクトニクスと地震発生予測

微動やVLF(超低周波地震)などのスロー地震(左)、群発地震(中)およびプレート上面付近のP波速度異常(右)とMaeda(1996)による前震を識別する方法が的中する場所(主に図中の3つの矩形領域)の関係。前震の識別が成功する場所の特徴として、スロー地震発生域の付近、群発地震が活発なところ、プレート上面の低速度異常域の縁付近という特徴があることがわかった(Hirose et al., 2021に加筆・修正)。

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

トンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界型地震(1977-2020年、Mw5.5以上、深さ70 km以浅、729個)を対象に、中期的先行現象として指摘されている背景地震活動と地球潮汐との相関について統計的な検証を行った。予測対象の地震をM6.5以上とした場合は、99%の有意水準で両者の相関が見られた。しかし、確率ゲイン*の値は低く実用性に乏しいのが現状である [JMA_01]。

日本の内陸に位置する5地域のひずみ集中帯*において、背景地震活動度と測地データにもとづくひずみ速度には正の相関があることが明らかになった。同様な相関は、米国のサンアンドレアス断層の周辺域や中国全土においても確認されている。ひずみ速度情報が地震活動度の予測のさらなる向上に資すると考えられ、測地データを取り込んだ新たな内陸地震長期予測手法の開発が重要である^[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

火山噴火の長期活動を評価するために、火山ごとの噴火履歴やその特徴を調べている。また、年代測定精度の向上や階段ダイアグラム*の高精度化、物質科学的解析に基づく評価方法の構築を進めている。

テフラの気泡組織および鉱物組織の解析環境を整備し、岩石組織のデータをこれまでに取得したテフラの化学組成・粒子形状データと組み合わせることで、テフラ層の同定を進めた^[MFR101]。霧島山では、13世紀御鉢噴火の噴出物の粒子物性および岩石組織の定量解析を進め、噴火推移に応じた系統的变化を明らかにした^[ERI_03]。白根火砕丘群噴出物のうち噴出年代が不明な溶岩群について、古地磁気年代や放射性炭素年代の測定を実施した^[TYM_01]。白山火山及び御嶽火山の岩石試料にK-Ar*およびAr/Ar*年代の測定を行い、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を高分解能で明らかにした。また、中長期的活動の評価と予測のため、雌阿寒岳、秋田焼山、御嶽山では地表踏査による噴火履歴調査を継続して実施した^[AIST03]。

イ. モニタリングによる火山活動の評価

多項目の地球物理学的・地球化学的な観測データを用いて、火山の状態をできる限り系統的に把握するために、火山活発化指数* (VUI) による活動評価の試行を行った。VUIの評価項目として熱消磁(地磁気変化)の導入を進め、阿蘇山と吾妻山を対象にVUI策定作業を行った^[HKD_04, KUS_02]。

GNSSデータに対する時間依存インバージョンの手法を用いて、草津白根山の火山性圧力源の時間変化を推定したところ、2017年後半から続いていた体積膨張が2021年から停滞していることが分かった^[GSI_03]。火山ガス放出率観測のための簡易型トラバース測定装置を定期船(フェリー)に搭載し、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率の観測を行った。その結果、口永良部島の二酸化硫黄放出率は2020年5月頃から指数関数的に減少し、2021年後半には数10トン/日以下にまで低下していた。このことは、火山活動の低下を示しているものと考えられる^[UTS_06]。草津白根山の湯釜火口湖の湖水採取・分析を行い、1982年以降の全ての噴火の前後で上昇した湖水のMg/Cl比が2019年以降にわずかに上昇して増減を繰り返していることを明らかにし、この火口湖の化学成分の変動を説明するマグマ-熱水系モデルを作成した^[JMA_05]。

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

火山噴火予測の精度向上に向けて、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る火山活動推移モデルの構築を進めた。

インドネシア・グントール火山において、直近の噴火（1847年）から現在までの地震活動が最近30年間の活動と同様であると仮定して見積もられた火山性地震のエネルギー放出量は約220 GJであった。一方、同じインドネシアのメラピ山では、噴火に前駆する火山性地震のエネルギー放出量と噴火規模の関係が経験式として求められており、これに当てはめると、グントール火山で今後起こりうる噴火の最大規模はVEI4であると推定された。

2021年12月4日にインドネシア・スメル火山で発生した大規模火砕流の発生前には、岩石崩落もなく、また前駆する火山構造性地震*の発生頻度は低かったことから、マグマの急速な貫入によって溶岩ドーム崩落（火砕流）が発生したとは考えづらい。溶岩ドームの不安定性による自己崩壊で火砕流が発生する可能性があることがわかった^[DPRI06]。噴火をトリガーする要因として、大地震の発生が考えられてきた。世界の地震・噴火事象の系統的な解析から、大地震の発生により0.5 micro strain以上の膨張場となる火山においては、VEIが2以上の噴火発生数が、大地震発生から5-10年間までは2-3倍程度高まることが明らかになった^[THK_11]。蔵王山について、テフラ層内の岩相変化および噴出物の岩石学的特徴をもとに噴火推移の類型化を進めた^[KOB015]。

3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊などは、災害を引き起こす直接的な原因となる。これらの災害誘因を高精度に事前・即時予測することを目指して、観測、探査、実験等に基づく災害誘因生成メカニズムの解明に関する研究や、災害誘因予測計算の高精度化と高速化の研究を進めた。また、災害誘因に加え、自然や社会に潜在する脆弱性などの災害素因を考慮した災害リスク評価手法の高度化の研究、災害誘因情報の効果的発信方法を模索する研究を進めた。

(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行った。

安政江戸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の計17ヵ所で地震観測を継続した。これらの地震観測点で得られた記録には、観測点ごとの卓越周波数*や振幅の違いが確認された。デジタル記録のない歴史地震像を把握するためには、現代の観測技術で得られたサイト特性*を史料の分析結果と結びつけて検討することが重要であると考えられる [ERI_15]。

2004年から2021年に北陸地方周辺で発生した201地震について、自治体震度計を含む185観測点の強震波形データを用いてスペクトルインバージョンを実施し、震源特性*を推定した。地殻内の地震に対して、応力降下量*が深さと共に大きくなる傾向が確認された [DPRI09]。

2016年熊本地震の震源周辺域を対象に、地表地震断層*の分布と変位の詳細情報を考慮した断層モデルによる強震動計算を行った。この計算のために、任意の地表地震断層形状を震源断層モデル*として組み込むツールを開発し、熊本地震発生直後から行っている野外調査で得られた地表断層と地中断層モデルを組み合わせた断層モデルを用いてその周辺域の地震動を計算し、地表断層に沿った変位分布の精度が向上することを確認した [NGY_05]。

大阪堆積盆地3次元構造モデルの高度化のために、堆積年代および深さとP波速度の関係を表す経験式の空間変化を調べた。湾岸域の反射法地震探査のP波速度データを用いて経験式を求めた結果、上町断層帯久米田池断層の上盤側と下盤側で明らかに異なる経験式が得られた [DPRI08]。

強震時の地盤の非線形応答特性*に関して、2021年2月福島県沖の地震におけるKiK-net*山元町(MYGH10)観測点での地表の加速度及び震度が大きい原因を調べるために、強震(本震)及び弱震(余震)の地表と地中振幅スペクトル比を取ったところ、弱震時に比べて強震時の卓越周波数が低下したことが明らかになった。これは、強震時にこの地点の表層数 m の厚さ

の粘土層の剛性率が低下したことに起因する可能性があり、極大地震動の分析における主要因として考慮する必要がある^[DPRI09]。

強震動の生成メカニズムの評価においては、海洋スラブの形状と物性が重要である。そこで、日本列島の高密度強震観測データの逆伝播計算に基づき、海洋スラブ形状をイメージする時間反転逆伝播計算* (Reverse-time migration) の実用性を数値実験から検証した。時間反転逆伝播計算では、プレート境界面で生成されるSP変換波に着目し、これを観測点から変換点に戻すことでプレート境界をイメージすることを試みる。東北地方の東西断面において数値実験を行った結果、異なるS波入射角を持つ疑似地震波形を用いたイメージング結果を多数重ね合わせてS/N比を上げることで、現行のHi-net観測点の配置と間隔でも太平洋スラブの上面、下面、及び海洋性地殻、陸側地殻の形状が推定可能であることを確認した^[ERI-14]。また、熊野灘の海溝軸付近のスロー地震発生域には、定常地震観測網ではカバーしきれず、地下構造のモデル化が困難な領域が存在する。このため、2019年6月に紀伊半島沖南海トラフ沿いに15台の海底地震計を機動的に設置し、海底下地震波速度構造及び震源決定の精度向上を目指す取り組みを始めた^[CTOC03]。

震源過程および強震動予測について、プレート間大地震・巨大地震に伴う強震動の距離減衰を調べるために、2003年十勝沖地震、2011年東北沖地震の強震動を解析した。個別の強震動生成域に対する地震動の距離減衰式*と、地震毎の強震動生成域に対する距離減衰式を比較したところ、前者の方が距離に対する予測震動分布の偏りが少なく、実用的であることがわかった。また、液状化*の可能性のある地盤上に構築された盛土構造物を対象に逐次非線形地盤応答解析を実施し、盛土沈下量を評価した。解析では、地盤物性を均質としたケースに加え、地盤物性の空間分布の不確実性を考慮したケースを取り扱った。その結果、地盤物性の不確実性による盛土沈下量のばらつきは、均質なケースで地盤物性を推定誤差内に設定した解析結果の範囲に収まることがわかった。さらに、GPU*を活用し、有限要素法による液状化現象の大規模3次元シミュレーションプログラムを開発し、膨大な回数の計算結果による液状化の大規模データセットを学習してサロゲートAIを構築することで、液状化推定の低コスト化の可能性を示した^[CTOC01]。

中空ねじりせん断試験装置を用いて液状化試験を実施することで、豊浦標準砂の液状化強度や繰返しせん断特性の評価を行った。この際、供試体の密度やせん断応力といった定量化しやすい物理量の違いに加えて、実験者の個体差が試験結果に及ぼす影響についても分析した。その結果、すべての実験者の平均的な傾向と実験者毎の個体差とを適切に考慮することで、試験結果に基づく液状化強度等の予測区間を従来よりも合理的に評価できることが示された^[CTOC20]。

表層地盤が地震動に及ぼす影響を調べるため、熊本平野のテストサイトの1次元S波速度構造モデルを参考に、表層地盤1層と地震基盤を含めた深部地盤5層から成る6層モデルを用いて地盤増幅特性*の特徴を検討した。各地層の影響を理解するために、増幅特性を計算するモデルの最下層を順に浅くしてS波の1次元増幅特性を計算した。この結果、周波

数3Hzで震動のピークがみられ、最下層のS波速度を低下させると、この周波数の増幅倍率は徐々に小さくなり、S波速度が1.1 km/s以上となる層の影響が大きくなった。また、より高周波数のピークは、表層地盤のみのモデルの増幅特性でも同様に認められ、表層地盤の影響が支配的であることが分かった〔CTOC24〕。また、テストサイト周辺200 m程度の範囲においては、周期0.3秒以上の地震動の特性は、ほぼ同じであると考えられる。すなわち、周期0.3秒以上の地震動特性を評価する際に、1次元速度構造モデルの仮定が成り立ち、地下構造の不整形性の影響は小さいと考えられる。しかし、周期0.3秒以下に影響を与える極表層部については、地盤構造に空間的に変化がある可能性もあり、短周期地震動の評価に際しては注意が必要であることを明らかにした〔CTOC07〕。

微動*観測により得られた推定地盤構造モデルをもとに、邑知潟断層帯の強震動シミュレーションを行った。推定地盤構造モデルを用いたシミュレーションでは、既存モデルに比べて、邑知潟平野内の最大速度が大きくなる範囲が広くなり、中部から南西部の盆地南東端に沿って最大速度が大きくなることが分かった。推定地盤構造モデルは邑知潟平野の盆地境界部の構造についてより詳しい調査結果に基づいてモデル化したことで、盆地による地盤増幅特性がより確からしいものとなった〔CTOC27〕。

イ. 津波の事前評価手法

南海トラフ巨大地震を想定した津波計算を行い、人工的な滑り分布を生成する確率津波モデルと、内閣府中央防災会議*モデルの2種類の津波高の特性を比較した。人工的な滑り分布は、地震のスケーリング則や乱数等を用いて計算した。確率津波モデルでは、中央防災会議のモデルと同じ地震規模 (Mw9.1) の津波シナリオを200ケース生成した。全シナリオ中の平均的な津波高は、外洋に面した高知県沿岸などは確率津波モデルの方が大きいですが、大阪湾湾奥部では中央防災会議モデルの津波高さが相対的に高い傾向にあった (図10)。この差異は、評価地点に対する支配的な断層領域の平均滑り量で説明され、断層滑りの深さ方向の多様性が津波高の不確実性の大きな要因となりうることを示す〔CTOC04〕。

メキシコ太平洋沿岸と日本の駿河湾を対象に、確率津波モデルによる多数の津波計算結果から、沿岸地点の津波のスペクトルと波源のスペクトルの比から応答スペクトルを求め、外洋・陸棚・湾と3つの異なる空間スケールの応答スペクトルの抽出を行った。求めた応答スペクトルの卓越周期は、観測データや湾の形状を考慮して概算した固有周期と概ね一致した。確率津波モデルでは、応答スペクトルの評価を通じて任意の地点での波の応答特性を求めることが可能であり、その結果を津波の地域特性評価に役立てることができそうである〔CTOC22〕。

南海トラフ沿い地震における津波の不確実性の評価

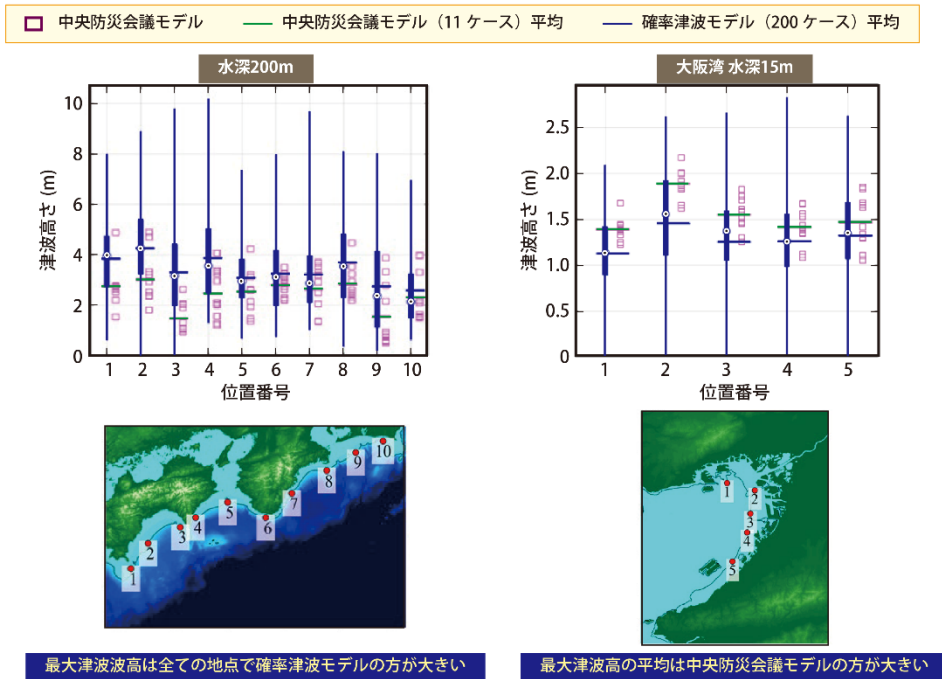


図 10. 南海トラフ沿い地震における津波の不確実性の評価

想定南海トラフ巨大地震についての2つの津波モデルによる津波高の特性を比較した。全シナリオ中の平均的な津波高（横棒）は、外洋に面した高知県沿岸などについては確率津波モデルの方が大きい（左上）が、大阪湾湾奥部では中央防災会議モデルの津波高さが相対的に高い（右上）傾向にあった。この傾向の差異は、評価地点に対する支配的な断層領域の平均滑り量で説明できることがわかった。この結果は、断層滑りの深さ方向の多様性が津波高の不確実性の大きな要因となりうることを示している。（上図）箱ひげの範囲は確率津波モデルの200ケースの範囲を表し、箱の下端・丸・上端はそれぞれ第一・第二・第三四分位数を示す。（下図）津波高の計算をした地点（宮下・他、2021をもとに作成）。

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のため、堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強を行った。2021年千葉県北西部の地震の首都圏で観測された強震記録を限定公開した。この地震は、2005年千葉県北西部の地震との類似性が指摘されているため、観測記録の相関係数を計算し、2011年東北沖地震をはじめとする大振幅地震動による地盤増幅変化の影響を見積もった^[ERI_16]。

地盤震動特性および地下構造モデルが把握されていない山間部、丘陵部造成地、地滑り地形で微動観測を実施し、堆積層と基盤層のコントラストによる卓越周期の分布と、表層地震波速度を用いた層厚モデルを得た。また、鳥取県内においてこれまでに実施した微動探査の利活用を促進するために、同観測データのデータベース化およびGISを用いた表示システ

ムの構築を継続した。さらにシステムの利便性について鳥取県内のコンサルタントおよび県庁で地盤防災に係わる職員にアンケート調査を実施し、今後の改良等への参考意見を得た^[TTR_01]。

津波避難経路の使用可能性の検証精度を高めることを目的として、地盤ボーリングデータに基づき、強震動および地盤液状化の面的予測のベースデータとなる広域的な3次元地盤モデルを新たに構築した。防災情報伝達では、避難情報の認知の訓練を提案すると共に、自治体を対象に実測調査や数値解析を実施し、伝達状況を改善する技術的課題や解決方法を整理した^[HRO_02]。

構造物被害予測のために、RC造建物*を対象に、地震波速度応答に基づく被害率関数について検討し、最大速度を利用した既往の被害率関数と比較し、その有効性を確認した。リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャー情報*の精密化が必要不可欠であり、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、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、一次情報として建物フットプリントと建物高さ、二次情報として建物固有周期を取り入れることを検討した。また、ステークホルダ参画では、様々な地震動想定を表示可能なシステムについて、過大評価、過少評価等で推定結果を示すことが可能なシステムの改良を行った^[CTOC01]。

内閣府の地震動想定では、地表面での速度推定が行われていないため、公開されている震度データを簡易的に速度データに変換し、ばらつき表示の試行を行った。また、地表面での速度データをより厳密に得るための方法論についての検討を行った^[CTOC02]。

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*の作成方法の開発を目的として、一質点系モデルの地震応答解析による被害関数の構築手法を検討した。地震応答解析による最大応答値が閾値を超えるものを大破と判定することとして、解析ケースの半数が大破となるとき被害率50%であるとして被害関数を構築し、既往の被害率関数に概ね対応した結果が得られた^[CTOC21]。

建物の地震レジリエンス性能*を火災リスクの観点から定量的に評価するための枠組みを構築した。こうした観点を事業継続計画の中に盛り込むことを目指し、建物が極めて稀に発生する地震動を受ける場合の評価が可能であること、火災性状や避難行動の予測によらず簡易に評価が可能であること、建物の地震対策が地震後の火災リスクや地震レジリエンス性能に与える効果を考慮できることを重視した枠組みを整備した^[CTOC25]。

将来発生する地震動が木造建物にどの程度の被害を引き起こすかを調べるために、実大木造建物の復元力特性を再現する簡易試験体の開発を行い、実際の被害を再現できることを確認した。これにより、被害予測にかかるコストや労力の削減が期待できる^[CTOC28]。

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

波浪を原因とした浸食により不安定化が促進している北海道東部の海岸地滑り土塊*において、観測された地震動記録と地滑り土塊の変位量から、地滑り土塊の抵抗力に比例する臨

界加速度を推定したところ、汀線に押し出された末端部の土塊の浸食が進むにつれてこの土塊が担っていた斜面にある地すべり土塊をすべり落ちないように止めているストッパーの効果が減じ、抵抗力が下がっていくことが分かった^[DPR110]。

横浜市内の谷埋め盛土における地震動、間隙水圧の同時観測データを解析した。過剰間隙水圧の発生が認められた地震に対して、間隙水圧と地震動との関係について調べたところ、横浜市内の谷埋め盛土は、間隙水圧の上昇時間が前計画より観測・解析を実施している目黒区内の谷埋め盛土よりも10倍程度長く、同程度の最大速度に対して間隙水圧の上昇量が大きくなる特徴があったことが分かった^[DPR110]。

GB-SAR*（地表設置型合成開口レーダ）の実験を進め、100 m四方程度の大きさのSAR画像の中から任意の地点について変位のリアルタイム計測が可能であることを示した。また、宮城県栗原市荒砥沢におけるGB-SARによる斜面監視を継続するとともに、栗駒山麓ジオパークビジターセンターにて地滑りモニタリングの結果をリアルタイム表示することを開始した^[IRID03]。

斜面崩壊・地滑りなどの初期過程は、地殻変動・断層運動を含む地表の振動方向、地表の傾斜量とその方向、最大傾斜方向の斜面下部直上を支持する構造が存在しない地形的特徴があること、母材を構成する物質の強度などが主に寄与していることが明らかになった^[CTOC14]。

2016年熊本地震前後で得られた1m-LiDAR* DEM*に、地形を見やすく表現する手法を適用し、立野地区の地滑り土塊の範囲を抽出・図化した。地滑り土塊は、斜面上方では沈降しながら斜面下方に移動したこと、斜面下方では約8 m斜面に沿って下方に移動し隆起していることが明らかになった。また、現地での観察により、地滑り土塊の末端部では、谷状地形の部分に斜面崩壊が多発していることも明らかになった^[CTOC26]。

オ. 火山噴火による災害誘因の事前評価手法

桜島火山における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、火山ガス放出量、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とりまとめた。その結果、火砕流を伴う噴火の約1時間前から山頂近傍の浅部において微小地震が群発することが多く、地盤変動で見られる噴火前の膨張の時間は30分以上継続することが多いこと、噴火直前には膨張が停止すること、火砕流を伴う噴火は噴出物量が多いことが明らかになった^[DPR111]。

（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

強震観測データの時間反転逆伝播計算による震源モデルの即時推定手法を開発し、P波とS波エネルギーの相関に基づく震源イメージングの高分解能化を進めた。開発した手法により2008年及び2011年の茨城県沖の地震時の断層滑り分布の即時推定実験を行い、正し

く太平洋プレート上面の滑り分布を推定できることを確認した^[ERI_14]。

鳥取県内の計測震度観測点のデータを鳥取大学で受信し、緊急地震速報で用いられているPLUM法^{*}に震度の距離減衰と全予測点を二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1 kmメッシュの震度分布を把握するシステムを開発した。また、前年度に開発した「250mメッシュのリアルタイム震度をWebベースで配信できるシステム」を、県庁とも共有できる仕組みを構築した^[TTR_01]。

周期10秒程度までの長周期地震波による地盤増幅特性を、限られた時間の波形から精度よく推定する手法を検討した。具体的には、自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価を行い、高速フーリエ変換(FFT)を使用したものと比較した。その結果、周波数特性評価にはFFTを使用する方が適当であることが分かった。また、緊急地震速報等のリアルタイム処理で用いる観測機器の品質管理を目的として、教師なし学習^{*}による連続波形記録の自動分類手法の開発を進め、階層的クラスタリング^{*}の導入により、柔軟な形で波形分類を行う手法を提案した^[JMA_06]。

京都市の医療施設地震時応答観測網の対象建物2件において、微動観測により地盤特性を推定した。対象建物の形状や建設状況によってはその応答が複雑になるため、無線式小型微動系による多点常時微動計測も実施した。これまでのところ、地盤特性による地震動増幅の可能性は認められていないが、敷地内で盛土造成されたとみられる一部の地盤は比較的柔らかいことが周辺ボーリングデータから確認できた^[CTOC23]。

地震震源情報を早期に得る新たな手法として、P波前の地震重力変化^{*}が注目されている。2011年東北沖地震に対し、理論モデルの予測と観測記録との比較から、傾斜角とマグニチュードを妥当に推定できることを示した^[ERI_06]。

イ. 津波の即時予測手法

2022年1月15日にトンガで発生した大規模噴火にともなう気圧パルスの伝搬による津波の再現を大気・海洋結合の数値計算実験から試みた。日本での気圧観測データをもとに、線状気圧パルスが南東から速度312 m/sで伝搬したと仮定し、大気・海洋結合の数値計算を実施したところ、S-netで観測された波形を比較的良く説明できることが分かった(図3)。また、気圧パルスの伝搬速度と津波の伝搬速度が近づくことにより生じるプラウドマン共鳴^{*}現象等の津波の挙動が明らかになった。このような津波を即時予測するためには気圧パルスの観測が重要であることが示された^[HKD_05]。

データ同化^{*}による津波波動場の現況把握ならびにそれに基づく津波即時予測の実データへの適用として、2016年福島県沖の地震への適用を試みた。その結果、津波の来襲より前の地震発生から35分の時点で、三陸海岸における津波潮位計の記録を適切に予測できることが示された。また、従来型の潮汐除去とローパスフィルタによるデータ処理に比べて経験的モード分解を用いた新規提案手法による津波検知が、同時刻においてより高い津波予測スコアを示すことを確認した^[HRS_02]。

リアルタイムGNSSデータによる震源断層即時推定について、1枚矩形断層をその不確定性の定量評価と共に推定するアルゴリズム(RUNE)を開発し、同技術を国土地理院リアルタイム地殻変動監視システム(REGARD*)に取り入れることを進めた。その性能評価を、2021年2月福島県沖の地震と2021年3月宮城県沖の地震において実施し、変位場がきわめて小さい(1-2 cm)にもかかわらず、比較的高精度で断層モデルを推定できることを確認した。また、ハミルトニアンモンテカルロ法*(HMC法)による1枚矩形断層推定アルゴリズムの開発も実施した。HMC法を2016年熊本地震時のリアルタイムGNSSデータに適用し、一般的に用いられているメトロポリス-ヘイスティングス法*(M-H法)と比較した結果、両者の結果はほぼ一致し、HMC法でも断層推定が可能であることが明らかになった [THK_12]。

また、海底水圧計に含まれる長期ドリフトをゼロ点(圧力の印加がない状態での出力)でのドリフト実測値より把握するA-0-A方式による海底水圧観測システムについて、その実海域試験を行った。開発した試験機と既存のケーブル式水圧計との比較のため、2020年9月にDONETのごく近傍に同観測システムを自由落下で設置し、2021年8月に音響通信による錘切離によって回収した。A-0-A適用後の水圧時系列から、長期的ドリフトを大幅に減少させることを明らかにした [THK_12]。

2016年福島県沖の地震津波の波源について津波伝播計算を行い、沿岸で観測された津波波形を再現した。遡上を伴う津波伝播計算において、水がある状態とない状態との境界の流束を取り扱う際に、従来の方法では計算が不安定になる原因を検討し、全水深の取り扱いを工夫することによって、計算安定性を高められる可能性があることを確認した [JMA_06]。

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

噴火後の短期的な土石流・泥流の発生ポテンシャル変化を調べることを目的として、新規の火山灰堆積土層表面に形成されるクラスト*を模擬した表層を持つ斜面に対する人工降雨実験と数値実験を継続した。その結果、降雨強度の強い場所でクラストが破壊されることで洗掘*孔が形成され、洗掘孔が形成されると急に土砂流出量が大きくなる傾向がみられた。このことが噴火後大規模な土石流が発生しやすくなる原因の一つと考えられる。また、噴火後の中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの変化を調べることを目的として、焼岳における凍結融解作用による土砂生産によるポテンシャルの回復について検討した。土砂動態モデルを用いた数値計算の結果、土石流の発生がなかった17年間では、足洗谷全域における貯留土砂が 10^4 m^3 のオーダーに及ぶことが示された。また、融雪型火山泥流発生メカニズムの中の積雪層の融雪過程について、積雪層の中に高温の石礫を挟む形態で融雪過程の実験を行った。その結果、積雪層と石礫が混合した場合に融雪が促進されること、また石礫の粒径が小さい場合、融雪速度が速いことが明らかになった。これらの過程は、円筒座標系を使った熱伝導モデルによって解析され、実験値との比較からその妥当性が検証された [DPRI12]。

気象研究所XバンドMPレーダー*(MRI-XMP)による噴煙観測と二次元ビデオディストロメー

タ* (2DVD) による降灰観測を行い、噴煙に含まれる火山灰等を定量的に推定する手法の開発に着手した。また、火山灰データ同化・予測システムにおいて、噴火直後の気象庁移流拡散モデル* (JMA-ATM) の初期値を作成するための噴煙モデルに関して、各種保存則や大気との相互作用を考慮した新たな噴煙モデル (NIKS-1D) の作成と実事例実験による検証に着手した [JMA_07]。

2021年10月阿蘇中岳噴火の際には、火山観測データ一元化共有システム (JVDNシステム) を活用した複数機関の連携による降灰調査をはじめて実施し、降灰分布や噴出量の迅速な推定を行うとともに、システムの有用性と問題点の洗い出しを行った。西之島で採取した噴出物の化学組成分析により、2020年噴火の際の安山岩から玄武岩質安山岩への劇的な化学組成変化のタイミングに制約を与えることができたほか、2021年も玄武岩質安山岩による活動が継続していることなどが明らかになった [ERI_17]。

(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開発と、振幅を用いた震源推定コンテンツを表示システムに取り込む作業を行った [HKD_06]。

これまで「30年確率」で示されていた地震発生確率の表現について、全体的に見ると「10～20年確率」で示した場合より、対策の必要性の意識を高めることがわかった。年齢が高いほどこの意識を高める年確率が短くなることや、地震発生確率が相対的に低い日本海沿岸地域の住民において対策の意識が低いこともわかった。この結果は、地震動予測地図に示される地震の発生確率について、対策の必要性を示す相手の属性 (年代や居住地) を考慮した表現を用いることで、より効果的に防災意識を高められる可能性を示している。地震の発生確率情報など災害に関する科学的知見の成果を公表する際には、科学的表現の正確性のみならず受け手の受け止め方を考慮し、最大の効果を発揮するような情報デザインの工夫が、地震・火山噴火による災害軽減のための情報の高度化、災害情報有効に活用されるための情報コミュニケーション手法として求められることがわかった [III_01]。

南海トラフにおける地震発生様式を念頭に置き、M8クラス以上 (半割れ) および M7クラス (一部割れ) の地震発生後に後発する地震の発生確率計算結果に関して検討を進めた。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の開発に着手した。具体的には、高知市周辺をテストフィールドとし、シナリオ断層約660通りについて浸水計算を行った上、想定先発地震震源域ごとに後発地震の発生確率を空間分布モデルに基づいて見積もり、津波浸水・建物被害等のリスクを試算した [IRID04]。

鹿児島市街地における桜島の大規模噴火に伴う大量軽石火山灰降下による被害軽減に資する事前広域避難の実現に向けて、住民自身がいざという時に、避難行動を実際に行い、円滑に避難が実現するための体制作りを専門家と避難主体である住民が協働して目指す実践的研究を実施した。生き残れるかどうかという不安、避難、事前の備えの必要性、高齢者・

身障者支援の必要性などの問題意識が住民自身から提起され、専門家側からのフィードバックを行った〔CTOC16〕。

地震に代表される被害想定の目的は、減災目標の設定と目標達成のための対策検討に資することであり、そのために国や地方公共団体により想定ハザードに対する被害評価が実施され、結果が公表されている。しかし、その有効性の検証は十分になされているとは言えない。本来あるべき被害想定と被害想定方法を提案し、胆振東部地震の被害実態と検証することで、中央防災会議が提唱する被害想定標準方法が抱える問題点を明らかにした〔CTOC17〕。

文化財の防災対策および災害時の文化遺産レスキュー活動に活用することを目的として北海道・東北地方の市町村が指定する文化財、総数約18000件の位置情報を収集し、文化遺産マップへの登録作業を進めた。その結果、国指定・都道府県指定の指定文化財35000件に収集した情報を加えた約5万件のデータベースを収集し、eコミマップ*をプラットフォームとした文化遺産マップを構築した。また、神戸大学の資料ネットと連携し、神戸市域の指定文化財を登録した文化遺産マップを作成した〔CTOC29〕。

地震ハザードシナリオの不確定性、さらにはそのハザード評価結果に対する自治体の受け止め方を示すことが可能なシステムシステムを改良した。また、災害シナリオの多様性を深く理解してもらうため、自治体職員へのヒアリング時に利用する内閣府による地震動想定を表層での速度シミュレーション結果についての見直しを実施した〔CTOC30〕。

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

地震・火山現象の理解・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、理学、工学、人文・社会科学の研究者が連携して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が実施された。また、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を醸成するための研究が実施された。

(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・地理的特性と関連づけ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ているが、1640年北海道駒ヶ岳噴火について、同時代に作成され伝来の経緯が確かなくつかの史料群を精査し、火山学で従来参照されてこなかった記述内容を検討した。その結果、内浦湾の対岸への津波の到達、出来瀧崎の形成を示唆する記述など、火山活動に伴って生じた諸現象と整合的な内容が含まれていることを明らかにした^[UTH_02]。津波災害はとりわけ地形環境に大きく影響を受けるため、歴史津波災害の詳細を検討するためには、近代以前の地形を測量地図上に復元する必要がある。岩手県野田村から福島県相馬市に至る東北地方太平洋沿岸の明治期の歴史地形を詳細に復元し、特に宮城県多賀城市に焦点を置いて1611年慶長奥州地震津波の浸水範囲や流速を明らかにした^[IRID05]。

近現代の事例についても研究を進めた。2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）の復興過程における集落・人口構造の変化という観点から、宮城県南三陸町・女川町・山元町でアンケート調査を実施し、高台移転という住宅復興政策をとった自治体において世帯の分解と縮小が顕著に進み、災害の記憶の世代間継承の基盤となる家族的条件が脆弱化する傾向を明らかにした^[NGY_06]。大規模火山噴火災害の場合も、住宅復興政策と地域の社会構造とに強い関連性が指摘されている。火山噴火後の警戒区域の設定という土地利用規制に着目し、警戒区域の解除に関わる政策決定プロセスについて、桜島（大正噴火）、雲仙普賢岳、口永良部島の過去の噴火災害を事例に検討した。噴火活動が終息し、復旧・復興の着手までに多くの時間を要するなか、市町村当局が直接経験を持たない過去の火山噴火災害事例に関する科学的知見を蓄積し、火山活動の状況判断や警戒区域設定に対する政策判断に活かすような仕組みが必要である^[HYG_01]。災害誘因予測が精緻化・高度化され、それに基づいて土地利用規制や建築制限が施されても、実態として建物移転が進まない状況にある。1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の被災地である兵庫県神戸市・尼崎市・西宮市・明石市在住者を対象にアンケート調査を実施し、地震リスクが居住地選択に及ぼす影響は他の種類のハザードに比較して大きいこと、災害リスクが利便性に比して明らかな場合に住宅・土地購入を見合わせる傾向があること、現住地からの移転は補償がないと進まない

可能性が大きいことなどを明らかにした^[HYG_02]。

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。地震ハザード評価のための情報基盤として強震動統一データベースや地震動予測モデルの研究開発を実施した。また、地震ハザードステーション（J-SHIS*）で地震動予測地図 2021 年 NIED 作成版を公開した^[NIED04]。気象庁ホームページの改善等を通じて、発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を関連機関と共有した^[JMA_16]。地方自治体、教育機関および報道機関等と連携して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^[JMA_17]。

（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・火山噴火災害に着目し、社会における防災リテラシーの実態を調査した。また調査結果に基づき、社会が被害の発生を抑止、あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識体系を明らかにすることを目指した。また、知識体系を明らかにする過程で、必要な知識要素を特定し、それらの要素を組み合わせることで、実践的な研修プログラムを構築した。さらに、研修プログラムを特定の地域で実装し、実効性を高めるためにその効果の検証も行った。

北海道釧路市中心市街地を事例に、津波避難ビル*を避難場所とする場合の有効性と課題をシミュレーションにより検討した。その結果、平地の歩行速度と避難ビル内の階段上昇速度に差異があるために避難ビル入口で滞留が生じるといった、津波避難ビルによる垂直避難*を防災計画に取り入れる際の基礎的な課題が明らかになった^[HKD_07]。

地震・火山噴火等の自然現象や社会の仕組みに関する知識、また災害予測情報等を災害対応に活用できるか否かは個人差が大きく、この個人差をよく理解して活用することで、より効果的な防災対策が可能になると期待される。防災教育が避難行動に結びつく脳プロセスについて、津波のメカニズムを伝える動画および津波からの避難行動を推奨する動画（津波防災教育動画）の効果を調べ、そのいずれもが、自己関連性（「地震後の津波避難をわがことと感じる」）、自己効力感（「地震後に自分から津波避難行動がとれると感じる」）および避難意思（「地震後にすぐに避難しようと思う」）に効果的に作用することが明らかになった。また、津波防災教育動画の説得効果（視聴後の避難行動の実施率向上）を評価する実験の前段階として、動画の視聴は行わず、主観的な津波発生リスクの程度が異なる架空の地震遭遇シナリオを数多く用意し、避難意思決定課題（避難する／しない）を行わせ避難率を評価した。その結果、実際の実験に用いるシナリオの選定や調査の精度の推定に役立つ結果を得た（図 11）^[TRID06]。

これまで大規模災害による被害を経験していない富山県において、住民がどのような情報を頼りに避難行動を意識しているか、避難時にどれほど迅速な行動を想定しているかを調査した。富山県氷見市の一地区において全戸配布のアンケート調査を実施した結果、避難

のきっかけとして「揺れを体感すること」が最も多く、外部からの情報では、緊急地震速報よりも行政からの公的な情報発信（呼びかけ）が多く、「近所の人からの声かけ」は予想よりも少なかった。また、避難開始時間については、5分～10分で開始できると考える住民がほぼ半数であり、信頼できる公的機関からの適切な情報発信が災害被害の軽減につながることを示唆された^{〔TYM_03〕}。

一方、日本の多くの火山地域では、観光客を対象とした防災・減災策が図られる必要があり、そのために一般の人々の地震や火山活動などに関する科学的な知識レベルの向上が重要な課題である。本年度は、総合研究グループ「小規模・高リスク噴火」とも連携して、阿蘇を訪れた観光客に対して火山防災に関するアンケート調査を実施した。その結果、阿蘇山が活火山であることをはっきりと知っていた人は70%、2014年御嶽山噴火災害のことをはっきりと記憶している人は約40%にそれぞれとどまり、また、阿蘇火山火口規制情報、入山ゲートで配布されるパンフレット、火口周辺の注意喚起の看板や放送に対する認知率も低いなど、阿蘇火山防災会議協議会、国立公園ビジターセンターおよび阿蘇火山博物館などの地域の防災を担う組織にとっての基礎的な課題が明らかになった^{〔KUS_03〕}。

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でも事情は同じであり、大学と自治体とが共同して、地元地域の火山防災力の向上を図る担い手として火山マイスターの制度に対する期待は高い。本年度は、全国の類似制度や活動の拠点施設の実態を調査し、比較表を作成した。その結果、どの地域においても、施設運営側の低頻度大災害への防災意識は高いが、観光収入の大きさゆえに火山噴火の負の側面を強調しておらず、知識普及活動の具体的方法や運営資金などに問題を抱えていることがわかった。そして、この問題の解決のためには、全国的なネットワーク形成による課題の共有が必要であると指摘した^{〔NGY_07〕}。

これらのうち、桜島では、すでに本部会の研究グループが主導して桜島火山観測所ミュージアム構想の立案に着手している。この活動は、長年にわたる火山学者と地元ステークホルダーとの連携の成果であり、本年度は、大規模噴火を想定した広域避難を対象に、地元自治体に対するリアルタイム意思決定支援システムの検討を行った。火山灰の移流拡散*の数値計算コードを用いて、季節毎に想定される火山灰堆積量を見積り、建物にダメージが及ぶ閾値や、安全域および避難域の設定の基準の想定を検討した。その結果、台風や前線停滞、冬季の高気圧停滞など特徴的な気象条件では、安全域にも噴火によるハザードが生じることがわかった^{〔DPRI13〕}。

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）が期待されている。その手法に沿って、地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」の導入・運用について、南海トラフ地震の臨時情報発表時の事前避難を念頭に「逃げトレ」を改変し、避難訓練に参加した一般市民の行動データを事前避難の要不要の診断に活用するシステムのパイロット版を完成させた^{〔DPRI14〕}。

社会の防災リテラシー向上のためには、科学的研究成果の広報にとどまらず、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

研修プログラムの完成が急がれる。本年度は、コロナ禍の影響を考慮し、行政職員対象の非対面型研修を見据えた映像コンテンツづくりに着手した。本観測研究計画の枠組みと計画推進部会体制に基づいて研究成果を利活用し、行政職員が減災のために学ぶべき地震や火山噴火に関する知識体系を整理した上で、地震火山観測研究セミナー（仮称）として再構成した。昨年度までに完成していた10シナリオのうち3本を映像コンテンツ化、新たに2本のシナリオ化を実施するとともに、行政職員を目指す学生が多い兵庫県立大学の防災関連授業において評価検証を試行的に実施した。その結果、研修の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地震に関する理解が促されたことがわかった^[NGT_02]。

災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程の研究

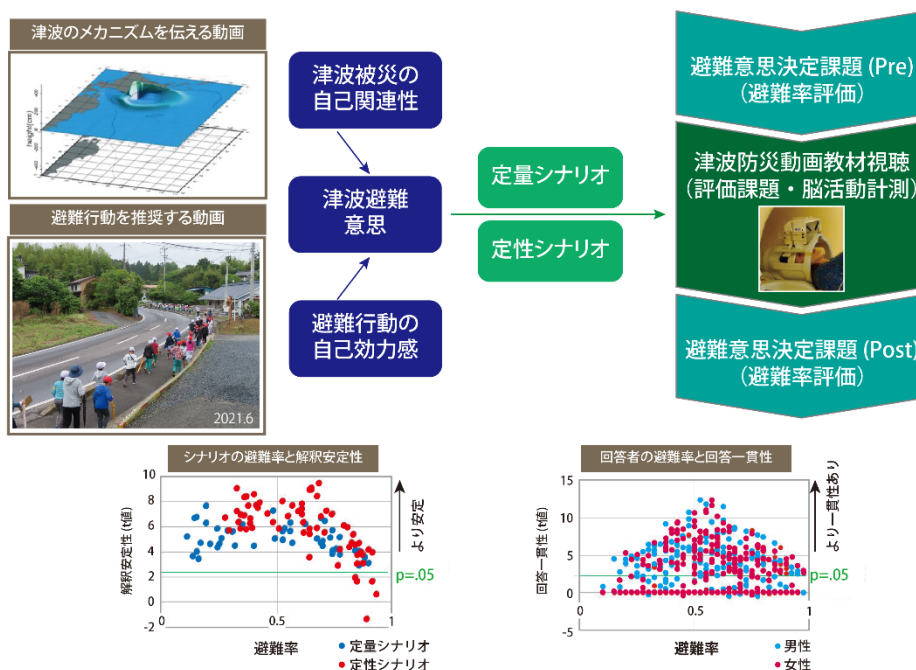


図 11. 災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程の研究

災害情報が緊急時避難意思決定に結びつく心理過程の仮説と実験デザイン（上）と準備実験 web 調査の結果（下）。健康教育（喫煙・反薬物）の分野で提唱されている、（問題の）自己関連性と（向健康行動の）自己効力感が向健康行動意思に結びつくという 2 経路モデルを災害情報活用の文脈に援用可能と考え、実験デザインをおこなった。今回この実験の準備実験として、動画視聴は行わず、主観的な津波発生リスクの程度が異なる架空の地震遭遇シナリオを数多く用意し、避難意思決定課題（避難する／しない）を行わせ、その避難率を評価し、実際の実験に用いるシナリオの選定や調査の精度の推定に役立つ結果を得た（下図）。

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ことを目指し、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

地震学・火山学の成果を災害軽減に活用するために、本研究計画は、地震学と火山学を中核としつつ、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推進されている。また、地震調査研究推進本部*（以下、「地震本部」という。）や行政機関等と連携し、基礎研究の成果を発展させ、社会実装につなげ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、大学の課題に対する中間評価を実施するとともに、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環として、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、地震・測地観測データに基づく長期評価手法についての検討会を実施した。

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、関係各機関で情報共有を図っている。

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、口永良部島部会、霧島山部会と草津白根山部会でそれぞれの火山活動を検討した^[JMA_08]。なお、霧島山部会と草津白根山部会については、両火山の活動状況を踏まえ、定例会にて検討を行うこととし、部会は廃止することとした。

・ 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。このため、前研究計画から両研究所が各分野で連携し、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、「ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討^[CTOC02]」、「定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化^[CTOC03]」、「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]」、「巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討^[CTOC14]」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

ひとたび発生すれば社会への影響が甚大である5つの地震・火山現象について、研究分野横断による総合的な研究として研究を進めている。

・ 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。令和3年度は主として、長期予測を行うためには不可欠な、プレート形状の高精度化に関する研究を実施した。

・ 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することを目標とする。これまでのところ、現代の地震観測で得られる知見を用いて、安政江戸地震の震度を検証および定量化することを目指し、東京都文京区本郷地区（根津周辺）に17観測点による稠密観測を実施中である。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、これらのサイト特性を史料の分析結果と結びつけて検討することが重要であると考えられる^[ERI-15]。また、地震・火山災害の発生確率に関するアンケート調査・分析を実施した^[HIL-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年東北地方太平洋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。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。

千島海溝沿いで発生する巨大地震による災害の軽減を目指し、令和3年度は、津波による低体温症者数を予測するため、低体温症ポテンシャルを有する都市を世界中から抽出した結果、そのほとんどが北日本に集中していることが明らかになった^[HKD_09]。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3回目の測定を実施し、2019年及び2020年の観測で得られた太平洋プレートとの固着域の存在を示す地殻変動と調和的な結果が得られた。海中音速の時空間不均質の補正などによる詳細解析を通して、この海域におけるプレート境界浅部における固着状態を明らかにすることができる^[ERI_05]。えりも町百人浜で津波堆積物調査を実施し、標高8 mにある悲恋沼では津波堆積物は検出されず、これまでに津波が到達したイベントがない可能性が示された^[HKD_09]。根室から日高管内の遺跡から噴砂*や地滑りを抽出し、最大で8回のイベントがあった可能性が示された^[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3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。

世界各地で発生した噴火には、火山体深部から溶岩を流出した火口に向かう火山構造性地震の移動が観測された事例が多く、火山構造性地震の発生が避難の意思決定のトリガーとなった事例もある。また、桜島の大正噴火に前駆して火山構造性地震が群発したことを踏まえ、噴火発生予測における火山構造性地震の研究の重要性が再確認された。

大規模噴火では、降下火山灰・軽石、火砕流、溶岩流、地震、津波、土石流など様々な現象が災害を引き起こしており、その災害要因の複合性は極めて高い。ハザード予測は初期条件を与えれば可能となる段階まで進んできているが、初期条件の与え方とハザードの順序に関する研究をさらに進める必要がある。

桜島の大規模噴火を想定した島内からの避難に関しては、防災リテラシーはかなり高いレベルにある一方で、鹿児島市街地側への大量降灰災害についてのリテラシーは低い。鹿児島市が想定する38万人の事前避難を実現するためには、火山噴火の予知・予測情報が適切

な避難へと結びつくような情報の作成と、不断の対話を通じて専門家と住民との共創が必要である。

・ 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、VUI（火山活発化指数）を吾妻山について試算した^[HKD_04, KUS_02]。また、外国人への情報提供方法を検討した^[HYG_01]。御嶽山火山マイスター制度の向上を目指し、島原半島・雲仙ジオパーク、桜島・錦江湾ジオパーク、磐梯山噴火記念館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]。阿蘇山において、観光客の安全確認行動を促進する要因を明らかにするためのアンケート調査を実施した。その結果、火口周辺の掲示板・音声ガイダンスが行動誘発に有効であった。また、登山客の火山認知度、噴火警戒レベルの理解度に関する課題も明らかになった^[KUS_03]。自治体における噴火時対応タイムライン*の作成と訓練及び研修の実施を進めている^[NIED01]。

小規模噴火の発生する場の把握に関しては、草津白根山湯釜の側噴火*によるリスク軽減を目指し、土壌拡散気体である水銀の検出、希ガスの同位体分析、光ファイバー温度計を用いた熱異常の検出などによるモニタリングを開始した^[TIT_03]。

観測による火山の活動把握に関しては、空中電界変動を活用する手法の開発を進めている^[THK_03]。また、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ては、噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究の一環として、地球物理的手法と地質学的手法を組み合わせることにより、水蒸気噴火を駆動した熱水量の見積を行った^[NIED01]。

災害の発生状況の調査・整理に関しては、ドローンの活用による被害情報の迅速な把握手法が検討された^[TYM_03]。

（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、震源位置、震源メカニズム解、断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った^[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GNSS連続観測（GEONET）の新しい解析ストラテジ（電子基準点日々の座標値の計算法）の運用を開始するとともに精度評価を実施した。また、口永良部島では従来の

SAR干渉解析では検出困難な微小な変動を検出するとともに、圧力源の位置と体積の時間推移を明らかにした^[GSI_04、GSI_07]。

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、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、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を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、福岡ノ場および西之島において監視体制を強化した^[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、大学と気象庁・防災科学技術研究所間のデータ交換を担うTokyo Data Exchange (TDX)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、常時微動アレイ観測点での観測と準リアルタイムの地震波速度構造解析を継続した^[KOC_01]。

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を活用して、新しく開発されたDAS計測^{*}装置の試験観測を約3日間行い、新型計測装置では自己ノイズが軽減され、観測可能距離100 kmまで地震波形を観測できることを確認した^[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、データ流通網への接続等の動作確認を行った^[THK_13]。また、近年発展している、携帯電話事業者による独自のGNSS観測網同観測網データの地殻変動解析への応用可能性を検証するための評価を実施した。図12に得られた地殻変動場を示す。GEONETおよびソフトバンクによるGNSS観測網の変位場は基本的に整合的であり、民間GNSS観測点によって地殻変動場の議論が可能であることを示した^[THK_12]。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、15 cm分解能での地表面画像取得に成功した^[NICT01]。

民間GNSS観測網を活用した高密度地殻変動分布

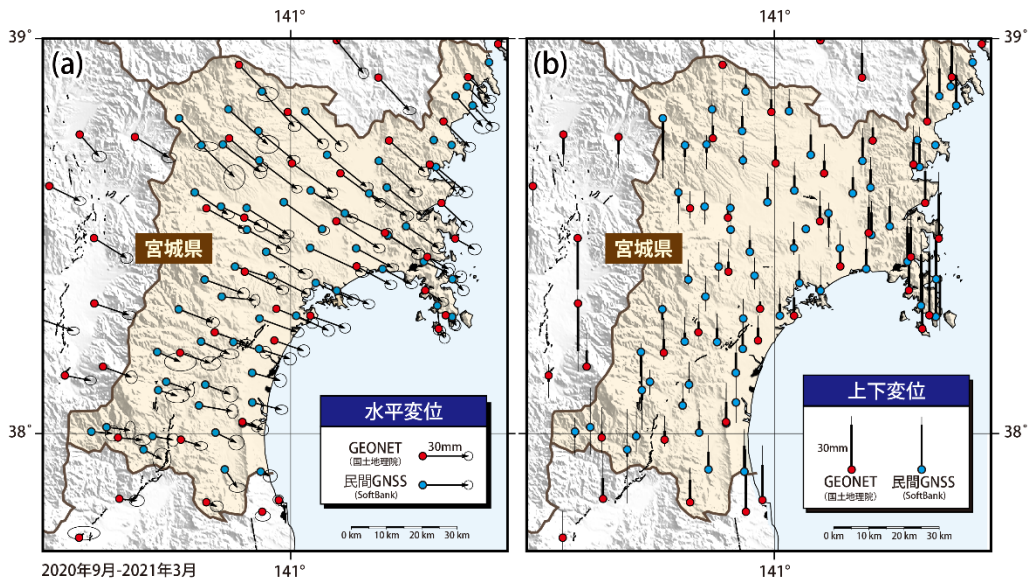


図 12. 民間 GNSS 観測網を活用した高密度地殻変動分布

民間 GNSS 観測網を用いて推定された宮城県周辺の約半年間の地殻変動。民間会社（ソフトバンク株式会社）の独自 GNSS 観測網を初めて地殻変動場の把握に用い、同観測網データの地殻変動解析への応用可能性を検証した。国土地理院 GEONET および民間 GNSS 観測網による変位場は基本的に整合的であり、民間 GNSS 観測点によってこれまでになく高密度の観測による地殻変動場の議論が可能であることが示された。左図は水平変位、右図は上下変位を示し、丸および細線で推定誤差を示す(Ohta and Ohzono, 2022 に加筆・修正)。

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、GNSSデータサーバに格納した1995年兵庫県南部地震の臨時観測データについて利用しやすいようにパッケージ化し、研究成果共有データベースからの公開を行った^[HKD_08]。東京大学地震研究所は、次世代の対話検出処理系システムについて試作を進め、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解析結果の地図表示機能を実装した^[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。日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の観測データを一元化処理業務へ取り組むためのシステム等の準備を進め、特にノイズとなるエアガン起源のシグナルの除去処理法を2021年7月に一元化処理システムに適用することを開始した^[JMA_14]。産業技術総合研究所は、大規模噴火の前駆活動と噴火推移について、白頭山10世紀噴火、三瓶-木次、ウルルン-隠岐、箱根-東京、御嶽第1、阿蘇3の火山噴火を取りまとめた。また、

屈斜路、三瓶、鬼界、十和田、鬱陵島、白頭山の大规模噴火の前駆活動と噴火推移の研究成果を地質調査総合センター研究資料集として公開した。また、大规模噴火データベースの閲覧検索システムの構築を進めた^[AIST11]。国土地理院は、楡形山脈断層帯、吉野屋断層、頓宮断層、木津川断層帯、大原湖断層及び地福断層、大原湖断層・小郡断層及び地福断層、小郡断層、糸魚川ー静岡構造線断層帯及び境峠・神谷断層帯など8面の1:25,000 活断層図を公開した。また、六日町断層帯、十日町断層帯、高田平野断層帯、阿寺断層帯、佐賀平野北縁断層帯、糸魚川ー静岡構造線断層帯の整備を実施した^[GSI_09]。また、「諏訪之瀬島」の火山土地条件調査及び「御嶽山」「神津島」「有珠山」「倶多楽」の火山基本図整備を実施するとともに、「浅間山」の火山土地条件図及び数値データ並びに令和2年度に作成した「十勝岳」「雌阿寒岳」「浅間山」「伊豆大島」の火山基本図及び数値データを公開した^[GSI_10]。地震・火山噴火予知研究協議会では、戦略室が主導して、研究成果共有システムに「地震史料集テキストデータベース」がリンクされたほか、オリジナルデータとして伊豆大島及び周辺部の地震波速度構造2009年構造探査実験、1995年兵庫県南部地震(M7.3) 臨時GPS観測データが公開された^[ERI_25]。

(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。低頻度大规模地震・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、引き続き歴史学・考古学と連携して計画を進めた。また、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つつ研究を進めた。

(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。

プレート沈み込み帯を対象とした国際共同研究として、ニュージーランドでの地震観測による地震発生機構の解明に関する研究を進めている。令和3年度は、2016年カイクウラ地震発生前より震源域に展開している稠密観測のデータに高精度震源決定法(HYPODD)を適用し、余震分布から断層の詳細形状やプレートの境界面について推定した^[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より、2021年5月に観測網直下で発生したSSEの直接観測に成功した。これを踏まえて2021年10月の航海で全機器を回収し、初期的解析を実施した^[ERI_08]。

この他に、メキシコ・ゲレロ州沖合で実施している海底地震・測地観測網のデータ解析により、テクトニック微動*の震源メカニズム解の多くが逆断層型として説明できることを示した。また、過去の大地震の震源域付近では微動の放射エネルギーが海溝近傍の微動と比べ

て大きいことを指摘し、プレート間固着の空間的な変化に対応して微動の放射エネルギーが変化する可能性を示唆した^[DPRI01]。また、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、 Cascadia 沈み込み帯の3次元P波速度構造と異方性分布を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムおよびマン托ルの対流パターンを調べた結果、海洋プレートの沈み込みはマン托ルの対流パターンを規制することがわかった^[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、グントール火山において過去30年間の火山性地震のエネルギー放出率を評価し、その放出率を約170年間の噴火活動休止期に外挿することにより、170年間のエネルギー積算値は220 GJ程度であり、ポテンシャルとしての最大噴火規模をVEI4と推定した。また、2021年12月4日にスメル火山で発生した火砕流について地震発生頻度を精査し、火砕流はマグマの急速な貫入による溶岩ドーム崩落ではなく、溶岩ドームの不安定性による自己崩壊で発生したと推定した^[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140回実施した^[GSL_07]。石岡局の水平速度は約22.1 mm/年(方位角134°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。

下里水路観測所においてSLR*の国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得した^[JCG_01]。

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

地震・火山噴火現象及び地震・火山災害に関する研究成果を社会に広く理解してもらうために、これら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、本研究計画や、これを推進するための組織である協議会を紹介するためのパンフレットを作成し、広報活動に活用した。また、東京大学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・火山噴火予知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、地震・火山現象の基礎的な理解を深めてもらうため、小中高生、住民、行政等の防災担当者、報道関係者等を対象とした公開講義、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

今年度は熊本地震震災ミュージアムで活動しているガイドを対象にした勉強会を開始した。また、火山活動に関する正確な知識をガイド経由で観光客に伝達するうえでの課題を検討するため、阿蘇山の火口周辺(概ね1 km範囲内)への観光客の火山防災に関する意識調査を実施した^[KUS_03]。また、自治体職員を対象とした防災リテラシー向上のための研

修プログラムについて、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」を自治体職員のニーズを元に再構成し、研修プログラムを引き続き構築した^[NGT_02]。

大学や研究機関は、それぞれにおいて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でも令和3年度に1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、本研究計画にも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。

4. 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3年目となり折り返し点を迎えた令和3年度は、昨年度に引き続き新型コロナウイルス感染症の影響を受けながらも、徐々にフィールドでの調査・観測が再開され、これまで通りの観測研究スタイルを取り戻す途上にある1年であった。いまだに海外での調査・観測が困難ではあったものの、オンラインによる会議や研究集会を取り入れた研究スタイルがほぼ定着し、観測研究を中心とした本研究計画においても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が得られた。

充実した多項目の観測網を背景に、観測データを理論・実験・数値計算に活かしながら、沈み込み帯で発生する多様な地震・火山現象の解明や予測法の検討・開発が進んだ。新しい観測技術や良質な観測データを解析するための新たな手法の開発も多く報告された。今後、これらの成果は、観測データを活用した地震発生モデルや火山噴火予測モデルの開発に活かされることが期待される。災害軽減に直結する研究としては、地震像の即時予測法の開発を始め、災害素因・誘因に関する地域特性の分析や、これらの中から普遍的な特徴を理解する試みもなされた。いずれの研究分野でも、最新のAI技術を用いた大量のデータ処理が研究基盤として組み込まれ始めている。一方で、デジタル観測以前の史料・考古データのデータベース化を通じて、過去の大地震・火山噴火の理解とこれらの現象と災害軽減を結び付ける研究も堅調であった。

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、令和2年度に設置されたワーキンググループの下で、測地・地震活動データを活用して、地震発生の長期予測に役立つ新たな手法の試行や中短期的な予測法の性能評価等が行われた。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、ドローンなどの無人機や人工衛星により得られたデータも合わせた多項目観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果の整理がさらに進められた。また、広い時間および空間スケールにおいて分解能が向上した地球物理学的・物質科学的な分析や解析結果に基づいて、火山活動推移のモデル化や噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成などにおいて着実な進展がみられている。

防災リテラシー向上を目指した研究の成果としては、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が積み重ねられ、南海トラフ地震などの将来の災害に備えるための防災計画や土地利用計画の課題に関する示唆が得られている。また、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、具体的な研修プロ

グラムの体系化と教材コンテンツの作成が行われるなど、地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成に関する研究も進展している。

5つの総合研究の1つである「高リスク小規模火山噴火」は、噴気地帯や山頂火口近傍における観光客や登山客等の災害リスクの低減を目指し、本研究計画から新たにスタートしたものである。このグループでは、災害情報の発信に関する研究、小規模噴火の発生する場の把握、観測による火山活動の把握、噴火の予測に関する研究、小規模噴火災害の資料収集に関する情報共有が進められており、火山災害全般に関する一般住民の知識や認識に関するオンラインアンケートも実施されるなど、順調なすべり出しが見られている。「千島海溝沿いの巨大地震」は、本研究計画から開始したものであるが、観測に基づく震源モデルの提示から災害予測、防災リテラシーの向上まで、分野融合研究として着実に進歩している。令和3年度末には、中央防災会議による千島海溝モデルの具体的な被害想定が示されたことを受け、津波や低体温症による死者数の最小化を目指した研究の成果が際立った。「南海トラフ沿いの巨大地震」では、長期予測に不可欠なプレート形状に関する研究に進展があった。「首都圏直下地震」は難航しているが、オンラインによる意見交換会を実施し、課題間の情報共有と連携強化により、具体的な目標の明確化を試みている。

令和3年度は、2011年の東北地方太平洋沖地震から10年が経過した年度であったが、2022年3月に発生した福島県沖の地震(M_{JMA}7.4)により震度6強の強震動が引き起こされ3名の方がなくなるなど、超巨大地震の影響はいまだ継続している。また、能登半島の群発地震が1年以上に亘り継続中であり、本研究計画でも臨時観測を計画実施中である。今後、現象を引き起こすメカニズムの解明が期待されている。一方、福岡ノ場やトンガで発生した海域での大規模な噴火では、大量の軽石漂流、気圧変動に伴う海面変動など、新たなハザードがクローズアップされた1年でもあった。

用語解説

アウターライズ域

海洋プレートが海溝から陸域下に沈み込む際にたわむことによって、海溝軸よりも海側（海溝軸からみた陸域の反対側）に形成される海底の高まりのこと。

異方性

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こと。前者は方位異方性、後者はS波偏向異方性と呼ばれる。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説明する手掛かりとなる。

移流拡散

移流拡散モデルの項を参照。

移流拡散モデル

噴火で放出された火山灰や噴石の挙動のシミュレーションで用いるモデルで、物質や温度などの物理量が流れによって移動する現象と拡散する現象を同時に考慮する。

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。

衛星画像

人工衛星で取得される画像。そのひとつである赤外面像は、地球表面の温度によって変化する。特に無人離島や大洋上の隔絶された火山島で発生した噴火活動の状況把握に有効である。

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、建物のフットプリント、建物の高さ、建物の固有周期などがある。

応力載荷

プレート運動や近傍での地震発生、非地震性すべりなどによって、断層面にかかる剪断応力が増加すること。

応力

岩盤等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。

応力降下量

地震発生時の断層滑りにより、断層面にかかるせん断応力が変化した量のこと。地震発生前に比べて低下した場合を正にとる。

応力緩和

一時的に断層面にかかっていたせん断応力が低下すること。

階層的クラスタリング

サンプルデータの、最も似ている、または最も似ていない組み合わせを探し出し、順番にグループ分けしていく手法のこと。

階段ダイアグラム

噴火履歴調査で得られた噴火の年代と噴出物量のデータに基づいて、噴出物量の積算量の時間変化を火山ごとに示した図。長期的な噴出率、噴出率変化の規則性、将来の噴火の規模や時期を議論する際に用いられる。

確率ゲイン

地震発生の物理モデルや先行現象の発生確率等に基づいた予測手法による大地震の予測確率が、平均再来間隔等の単純な統計モデルから見積もられるものに比べて何倍になるかを表す指標。確率利得ともいう。

火孔

火口内に形成された、さらに小さい火口をいう。噴火活動に伴い、その位置が変わる場合や、複数の火孔が同時に開くこともある。気象庁は、火口内で水蒸気や火山ガスのみを噴出している孔を「噴気孔」と呼び、火孔と区別している。

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。

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。

火山活発化指数

英語は Volcanic Unrest Index。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。

火山ガラス

マグマが急速に冷却された際に、鉱物（斑晶）が成長できずに非晶質のまま固結したものをいう。

火山機動観測実証研究事業

火山の噴火やその前兆と思われる現象が発生した際に、迅速かつ効率的に機動観測を行える体制を構築する実証研究を行うことを目的として、文部科学省の下で実施されている事業。

火山構造性地震

マグマ溜まりの圧力の増減やマグマの貫入・伸展に伴うひずみの変化などにより、火山体やその周辺の地下の岩盤が破壊して発生する地震。プレート運動による応力が原因で発生する一般的な地震同様に岩盤のせん断破壊（断層滑り）に伴って発生することから火山構造性地震と呼ばれる。A型地震と呼ばれることもある。

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等を目的として，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 64mm 以上を火山岩塊（噴石），直径 2mm～64mm を火山礫，直径 2mm 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等によって構成され，「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」等の一連の警戒避難体制について協議する。また，火山活動時には，関係者間の情報共有や避難勧告・指示，警戒区域の設定等に関する検討を行い，災害対策実施主体への助言を行う。

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。

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。

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（的地震）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。

逆解析

インバージョンの項を参照。

教師なし学習

機械学習において、予測や判定の対象である正解が存在しないとして学習させる手法。データの特徴からグルーピングするクラスタリングや正解・不正解が明確でない問題に対応できるほか、データの中に存在する未知のパターンを見つけ出すこともできる。

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。

距離減衰式

地震の揺れの強さと断層面からの距離との関係を式に表したもの。過去に発生した数多くの地震の観測データを統計的に処理して作成された経験的な式である。地震動予測式とも呼ばれる。

空振

空気振動の略で、空中を音波として伝わる振動のこと。耳に聞こえない低い周波数の音波をさす場合が多い。噴火に伴って火山ガスや噴煙が火口から大気中に放出される際に発生することがよく知られているが、地震、津波、雪崩等の発生時に放出されることもある。

苦鉄質マグマ

カンラン石や輝石など、Fe や Mg を主成分として含む苦鉄質鉱物に富むマグマのこと。SiO₂の量が少なく、温度が高く結晶量が少ないことから粘性が低く流動性に富む。地表に噴出して冷却固結すると玄武岩になる。

クラスト

土層の表面が硬化して形成される透水性の低い皮膜のこと。火山灰の表層では石膏成分（硫酸カルシウム+水）により形成されることが多い。

繰り返し地震

発生場所（震源）、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。

クーロン応力変化

クーロン破壊応力（Coulomb Failure Stress, CFS）は、ある断層に作用するせん断応力と、その断層の摩擦係数と法線応力の積で表現される断層強度（クーロンの破壊規準）の差をいい、その断層がどの程度破壊されやすい状態にあるのかを表す。周辺で発生した地震等の影響で生じたクーロン応力変化（ Δ CFS）が正のとき、その断層で地震の発生が促進されると考えられる。

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。

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。

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。

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。

サイト特性

増幅特性の項を参照。

差応力

応力の項を参照。

時間反転逆伝搬計算

波源（震源や地震波の反射面・変換面など）を再現（イメージング）する手法。波源を発生した地震波が観測点まで媒質を伝わってきて観測された波形をデータとして，運動方程式の時間反転計算により観測点から波源に向けてその波が発生した時刻まで逆に伝わらせるような計算を行う。観測点が多数あれば，逆に伝わらせた波が波源の位置で足し合されて強調されることで，波源を再現（イメージング）できる。

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。予知協あるいは予知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。

地震重力変化

規模の大きな地震が発生し、地表面や海水が大規模に急激に移動した際に生じる物質密度の分布の変化に伴うわずかな重力変化のこと。この重力変化は光の速さで地球内部を広がっていくため、観測できればタイムラグ無しに地震の発生などを検出できると考えられる。

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）や大学等の調査結果を収集、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/>



地震波干渉法

2つの観測点で記録された地動の波形を比較することで、それらの間を伝わる地震波を抽出する手法。地震探査と違い、人工震源を使わずに地下構造を探査することができる。

地震波速度トモグラフィ

多数の地震計で観測された、多数の地震からの地震波の到着時刻から、地球内部の地震波が伝わる速さの分布を推定する手法。また、この解析によって推定された「伝わる速さ」の分布図を指すこともある。一般に、高温あるいは、多くの流体または亀裂を含んでいる岩盤では地震波の伝わる速さが遅くなると考えられている。

地震発生層

地殻のうち地震の発生する深さの範囲。地殻深部になると高温になり、地震が発生しにくくなる。場所により地下の温度が異なると、地震発生層の厚さ

も異なる。一般に活火山周辺では、活火山に近くなるにつれて地震の発生する深さの下限が浅くなり、地震発生層の厚さが薄くなっている。

地震モーメント

地震の規模を表す最も基本的な量。震源断層の面積と滑り量及び剛性率（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・研究結果等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。

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト

平成 26 年の御嶽山の噴火等を踏まえ、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（予定）のプロジェクト。

<https://www.kazan-pj.jp/>



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

災害素因のうち、人口・建物・施設など人間・社会にかかわる素因。自然素因と対をなす。

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 MeS0-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/>

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。

震源過程

地震は震源域において断層面が滑ることで生じる。このとき断層面上で滑りが伝播する過程のことを震源過程という。断層面上の滑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滑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。

震源断層モデル

断層面上における滑り量の分布や滑り方向、破壊の伝播様式を表すモデルのこと。

震源特性

応力降下量や断層サイズ，破壊伝播速度など，震源で放射された地震波の特徴を再現するために必要なパラメータ。

浸透率

岩石などの多孔質媒質（小さな間隙がたくさんある媒質）内において，流体がどの程度流れやすいのかを表す指標。媒質に含まれる間隙の大きさや量，形状，間隙同士の連結状態を反映する。

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。

垂直避難

水害や津波などの発生時に，その建物や近くの建物の2階以上のなるべく上の方の階に移動する避難方法。

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。海洋プレートがマントル中に沈み込んだ部分をスラブという。

スロー地震

通常地震のように断層が急激に滑ることなく，ゆっくりと滑ることによって，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。

石基

火山岩を構成する組織のひとつ。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。

全岩化学組成

採取した岩石を化学分析して得られる、岩石を構成する主要元素と微量元素の濃度。主要元素の濃度は酸化物の重量パーセント濃度で表され、火山岩の多くでは 99 重量パーセント以上を占める。主要元素と微量元素の濃度は、マグマの生成・上昇・分化・混合・噴火のプロセスを理解する上で不可欠な情報である。

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，本震，余震

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。

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。

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

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。

タイムライン

防災行動計画ともいう。防災に関係する機関が連携して、災害時に発生する

と想定される状況を共有し、防災行動とその実施主体を時間順に並べて整理したもの。

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。

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、安定な大陸地塊等では 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。

地殻内流体

地殻の内部に含まれる水やマグマ等の流体。地殻内で水は、岩盤の亀裂や岩石の空隙（間隙）、鉱物の粒界などに存在していると考えられている。

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。

中央防災会議

内閣の重要政策に関する会議の一つ。防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行う。内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成されている。

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の。

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、20～200 秒程度の帯域に卓越した周期を持つもの。ゆっくり滑りや火山活動に伴って生じる。

超臨界地熱貯留層

374℃以上の温度，22.1 MPa（水の臨界点）以上の温度・圧力をもつ水を超臨界水といい、この水を利用した超臨界地熱発電の技術開発が行われている。将来，中長期に安定して地熱発電に使用できる量の超臨界水を蓄えている層を超臨界地熱貯留層という。火山地域の 5 km 程度の深さに存在すると考えられている。

津波警報

地震などの発生後に津波による災害の起こるおそれがある場合に気象庁が発表する警報。各津波予報区の予想される津波の高さや到達予想時刻などの情報が併せて発表される。

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。

津波の波源

津波が発生した領域，すなわち，津波の原因となる海底の隆起や沈降を起こした領域のこと。

津波避難ビル

津波警報や大津波警報が発表され，避難勧告や避難指示が出され，さらに高台などへの避難が困難になったときに緊急的に一時避難するための建物。

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）。プレート境界でゆっくり滑りに伴い発生する深部低周波地震、活火山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り、それぞれが異なる原因で発生すると考えられている。

テクトニック微動

プレート境界のゆっくりすべりに関係した微動。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。

データ同化

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、観測データを用いて各種パラメータを修正しモデルを改良すること。

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。

電磁気探査

地下の構造を調べる手法のひとつで、電気的性質を表す電気伝導度や比抵抗（比抵抗の項を参照。）の地下における分布などを調査すること。

ドレッジ試料

円筒形や箱型の容器を海底で引きずることで採取された試料。任意の距離の海底を引きずり採取されるため、試料に異なる底質が混合する可能性があるほか、採取位置や層厚の特定ができない。

トレンチ調査

地質調査法のひとつで、地表から溝状に掘り込み、地層を新たに露出させ、断面を観察する手法。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。

二次元ビデオディストロメーター

光学的な手法によって、降水粒子の粒径分布、3次元形状、落下速度を観測

する機器のこと。最近では、火山噴火時の降灰観測に利用する研究が進められている。

粘弾性緩和

マントルや下部地殻などは、地震等によって外部から応力・ひずみの変化が与えられると、短い時間の尺度では弾性体として振る舞い、一方、長い時間の尺度では粘性流体として振る舞い応力が緩和される。このような弾性と粘性の中間的な性質のことを粘弾性と呼び、それを特徴づける時定数を緩和時間という。粘弾性緩和とは、粘弾性体の緩和時間と同じくらいの時間尺度で生じる変形のこと。

破壊開始点

震源の項を参照。

（動的地震）破壊過程

震源過程の項を参照。

ハミルトニアンモンテカルロ法

多次元空間の確率分布のサンプリングを行うアルゴリズムであるマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）のひとつ。目標とする事後分布の勾配を利用した効率的なサンプリングが特徴であり、短いマルコフ連鎖で必要とする確率分布を得ることが可能とされている。

ピストンコア試料

ピストン機構を備えた重力自由落下方式の採泥器で採取された堆積物の柱状の試料（コア）をいう。採取時に擾乱を受けにくいほか、他の採泥器と比較して試料が圧縮されにくいいため、年代をより正確に測定できる。

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。

非線形応答特性

地盤の増幅特性について、地震基盤から入射する地震動の周波数だけに依存する場合のものを線形応答特性といい、振幅にも依存する場合のものを非線形応答特性という。

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。

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。地震等が起こらなくても、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。

付加体

海洋プレートが海溝で陸側プレート下に沈み込む際に、海洋プレートの表面にある堆積物が剥ぎ取られ、陸側プレートに付加したもの。

ブラウドマン共鳴

気圧の波が伝わっていく速さと、この圧力変動でつくられた海の波が同程度の速さで伝わっていくときに、伝わっていく距離が長くなるにつれてこの波の振幅が大きくなる現象のこと。

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

噴火の様式のひとつ。噴火を引き起こしたマグマの粘性が高い場合が多い。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。

プレート境界

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100km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。

プレート境界型地震

プレート境界で発生した地震。その発震機構がプレート境界での相対運動のものと同じタイプである地震をいう。

噴煙柱

火口から噴出した火砕物と火山ガスの混合物が、大気を取り込んで浮力を得ることで生じる上昇流。高度数百m～数km、巨大噴火時には30kmに達することがある。

噴火速報

気象庁から登山者や地域住民に対して発表される端的な情報。常時観測火山などが対象で、噴火が発生した事実を速やかに伝えるため、火山名と噴火の時刻のみが発表される。

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）」と防災機関や住民等の「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。

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。

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・火山活動等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。

本質物質

火山噴出物に含まれる物質のうち、その噴火に関係したマグマから直接的に由来した物質をいう。その噴火の前に形成されていた「類質物質」や火山活動とは関係しない堆積岩などの「異質物質」とは区別される。

マグニチュード (M)

地震の規模を表す指標。推定に使うデータやデータ処理の方法により、同一の地震でもマグニチュードの数値が異なることがある。

マグマ性噴火

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。

摩擦特性

断層に作用する応力や断層の滑り速度、周辺の温度、間隙流体圧等に対する、断層の摩擦強度の依存性。

ミュオグラフィ

宇宙線ミュオンを用いた地下の透過イメージング手法のこと。ミュオンは電子と同種の素粒子で、宇宙線が大気中の原子核と反応して生成される二次宇宙線として、地上に絶え間なく降り注いでいる。透過する物質の密度によって宇宙線ミュオンの減衰が異なることを利用して、X線の透視撮影のように地殻内部の密度分布を調べる試み（ミュオグラフィ観測）がなされている。

メトロポリスーヘイスティングス法

多次元空間の確率分布のサンプリングを行うアルゴリズムであるマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）のひとつ。未知パラメータに対して乱数によるゆらぎを与え、その候補をある確率で採択/非採択し、それらに基づき確率分布をサンプリングする手法。プログラム上の実装が比較的容易であることなどから一般的に用いられている。

余効滑り

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滑り。

余効変動

地震の後に震源域あるいはその周囲で発生する地殻変動。

余震

本震，余震の項を参照。

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20km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した，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5,700km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。

レジリエンス性能

災害の発生によって建物の性能が最低限必要な性能を下回った後、復旧作業によって性能が回復するまでの時間の短さに相当する。建物の災害に対する抵抗力を高めること、復旧力を高めることでレジリエンス性能が向上する。

Ar/Ar (法)

放射年代測定法のひとつのアルゴン - アルゴン法のこと。岩石・鉱物試料に中性子を照射することで試料中の ^{39}K の一部を ^{39}Ar に変換し、その量から試料中の K の量を推定する。この量と放射性崩壊起源の ^{40}Ar との同位体比から年代を求めるのは K-Ar 法と同じであるが、この手法には Ar 同位体比の測定のみで年代決定できる利点がある。

b 値

地震の規模別頻度を、横軸にマグニチュード、縦軸に地震の発生数の対数をとってプロットした際の傾きの大きさ。通常は 0.7~1.0 程度である。

DAS 計測

分散型音響センシング (Distributed Acoustic Sensing) 技術による計測。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のと同等のデータが得られる。

GPU

Graphics Processing Unit の略で、ディスプレイに画像を描画するのに必要な計算処理を行う装置のこと。並列処理能力に優れていて大規模で高速な計算が可能である。ただし、単純な計算を行うように設計されており、幅広い処理には向いていない。

DEM

数値標高モデル (Digital Elevation Model) の略。地表面を等間隔の正方形に区切り、それぞれの正方形の中心点の標高の数値データを与える。

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。地域の防災情報等を登録することで、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。

ETAS (モデル)

ETAS は、Epidemic Type Aftershock Sequence の略。すべての地震が余震を持つと考え、地震活動を数個のパラメータで定量化する統計的地震活動モデル。

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 1300 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>

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。

HIST-ETAS モデル

データに含まれる時空間的な不均質を考慮してモデルパラメータを推定できるように改良されたETASモデル。

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/>



JVDN

Japan Volcanological Data Networkの略。火山研究の発展と火山防災の推進のため，大学や研究機関，行政機関が持っている観測データの流通・共有を目的として開発されたデータベース。<https://jvdm.bosai.go.jp/portal/ja>



K-Ar（法）

放射年代測定法のひとつのカリウム - アルゴン法のこと。カリウムの放射性

同位体 ^{40}K が、半減期約 12.5 億年で ^{40}Ca と ^{40}Ar に放射性崩壊することから、岩石・鉱物試料に含まれる ^{40}K と ^{40}Ar の量比を求めて、鉱物が生成した年代を算出する。

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。

LiDAR

Light Detection and Ranging の略。光を用いたリモートセンシング技術のひとつ。パルス状に照射したレーザーの反射光や散乱光を観測して、測定対象物までの距離や対象物の性状を計測する技術。

P 波

Primary wave（第一波）または Pressure wave（圧力波）の略。波の伝播方向と平行に媒質が振動する弾性波。固体・液体・気体を伝わることができる。P波の伝播速度は、 v_p あるいは α と略記されることが多い。

PLUM 法

Propagation of Local Undamped Motion 法。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。

RC 造建物

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建物をいう。耐久性、耐震性、耐火性に優れる。

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。

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。

SINET

日本全国の大学・研究機関等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。

S-net

陸海統合地震津波火山観測網の項を参照。

S波

Secondary wave（第二波）またはShear wave（ねじれ波、たわみ波もしくはせん断波）の略。伝播方向と直交する面内で振動する弾性波。固体のみを伝わることができる。S波の伝播速度は、 V_s あるいは β と略記されることが多い。

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碎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まなう巨大噴火、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。

XバンドMPレーダー

Xバンド（9GHz帯、波長25～37mm）で、振動方向が異なる（鉛直偏波と水平偏波）の電波（マイクロ波）を使ったレーダー。MPはMulti Parameterの略。雨量観測に広く用いられている。火山監視においては、散乱強度と鉛直偏波と水平偏波の散乱強度比から噴煙と水滴（雲や雨）を識別でき、噴出物粒子の形状や量も見積もることができる。

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	<p>国立大学法人等</p> <p>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 鹿児島大学地震火山地域防災センター 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</p>
	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	<p>国土地理院</p> <p>気象庁</p> <p>海上保安庁海洋情報部</p>
都道府県	<p>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</p> <p>山梨県富士山科学研究所</p>

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次） 令和3年度研究課題一覧

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荷重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・調整に関わる研究	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・津波リアル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	釜井俊孝
	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	藤原広行
	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	宍倉正展
	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	森田雅明
	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	宍倉正展
	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	瀧沢倫明
	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	鎌谷紀子
	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	大賀昌一
	JMA_13	地磁気観測成果のデータベース化	有田真
	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	山本哲也
	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	福満修一郎
	JMA_17	防災・減災に関する知識の普及啓発	福満修一郎
海上保安庁	JCG_01	海洋測地の推進	渡邊俊一
	JCG_02	駿潮	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	藤原琢磨
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	MFRJ01	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
	MFRJ02	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	KOBO02	有感地震記述ならびに震度の距離減衰に基づく地震活動解析	石辺岳男
	KOBO06	古地磁気学を用いた火山活動推移の検討とマグマ供給系の変遷モデルの構築	佐藤鋭一
	KOBO07	地震先行VLF帯電磁波強度減少研究のための超小型衛星のエンジニアリングモデル及びフライトモデルの製作	児玉哲哉
	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
	KOBO09	地震先行VLF帯電磁波強度減少の多角的解析による評価と発生メカニズムの解明	鴨川仁
	KOBO11	水蒸気噴火が懸念される火山におけるマグマ起源流体の挙動解明と火山活動評価	大場武
	KOBO12	火山ガス観測による焼岳火山の活動評価とガス輸送システムの解明	齋藤武士
	KOBO13	北海道摩周周辺における火山活動の時間変化に関する地球化学的調査	鹿児島涉悟
	KOBO15	蔵王山、過去約800年間の活動の噴火推移の類型化	伴雅雄
	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
	KOBO20	海底電磁気観測による伊豆大島火山マグマ供給系の解明	多田訓子
	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氣的性質の時系列変化に関する研究	望月伸竜
	KOBO24	有珠山を事例とした住民自治組織の火山防災の基礎情報収集調査ー火山防災制度及び火山活動推移の理解度の解明ー	地引泰人
	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

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
	CTOC02	ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討	牧紀男
	CTOC03	定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化	望月公廣
	CTOC04	不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価	佐竹健治
	CTOC07	強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究	山中浩明
	CTOC14	巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討	齊藤隆志
	CTOC16	桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究	大西正光
	CTOC17	地震発生の切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～	岡田成幸
	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
	CTOC24	強震動のブラインド予測結果に基づく強震動予測技術の精度と信頼性に関する研究	山中浩明
	CTOC25	地震により被害を受けた事業継続建築物の火災リスク評価手法の開発	西野智研
	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
	CTOC27	邑知潟平野の推定地盤速度構造の非線形地盤応答を考慮した強震動予測	松島信一
	CTOC28	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
CTOC29	文化遺産の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化遺産災害情報マップの構築と活用	蝦名裕一	
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	