

「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5年度年次報告

【成果の概要】

令和6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5年度の成果の概要】

1. はじめに	1
2. 5年間の成果の概要	6
2-1. 地震・火山現象の解明のための研究	6
2-2. 地震・火山噴火の予測のための研究	10
2-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究	13
2-4. 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	16
2-5. 研究を推進するための体制の整備	20
3. 令和5年度に発生した顕著な地震に関して得られた重要な成果	27
能登半島の地殻変動と地震活動	27
4. 令和5年度の成果の概要	31
4-1. 地震・火山現象の解明のための研究	31
4-2. 地震・火山噴火の予測のための研究	39
4-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究	44
4-4. 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	49
4-5. 研究を推進するための体制の整備	53
5. まとめ	57
用語解説	60
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	96
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5年度研究課題一覧	97
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） 建議項目	103
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） 研究課題建議項目一覧（機関別）	105

【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	108
1（1）地震（現象解明）	110
1（2）地震（長期予測）	136
1（3）地震（中短期予測）	154
1（4）火山	208
1（5）災害誘因評価・即時予測	227
1（6）防災リテラシー	248
1（7）史料・考古	260
1（8）観測研究基盤	271
2（1）南海トラフ沿いの巨大地震	283
2（2）首都直下地震	290
2（3）千島海溝沿いの巨大地震	294
2（4）桜島大規模火山噴火	298
2（5）高リスク小規模火山噴火	303
3 拠点間連携共同研究	315

[令和5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きた。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した。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きた。

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、成果を将来にわたって社会の課題解決につなげることを目指すとともに、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、人文学、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た。

令和5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11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16の実施計画（個別課題）からなっている。令和元年度から令和5年度までの個別課題の成果は、各年度の年次報告【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5年度の成果を取りまとめたものが本報告書である。また、令和5年度は5か年計画の最終年度に当たることから、令和元年度から5年度までの成果を改めて概観し、併せて本報告書に記載した。

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。

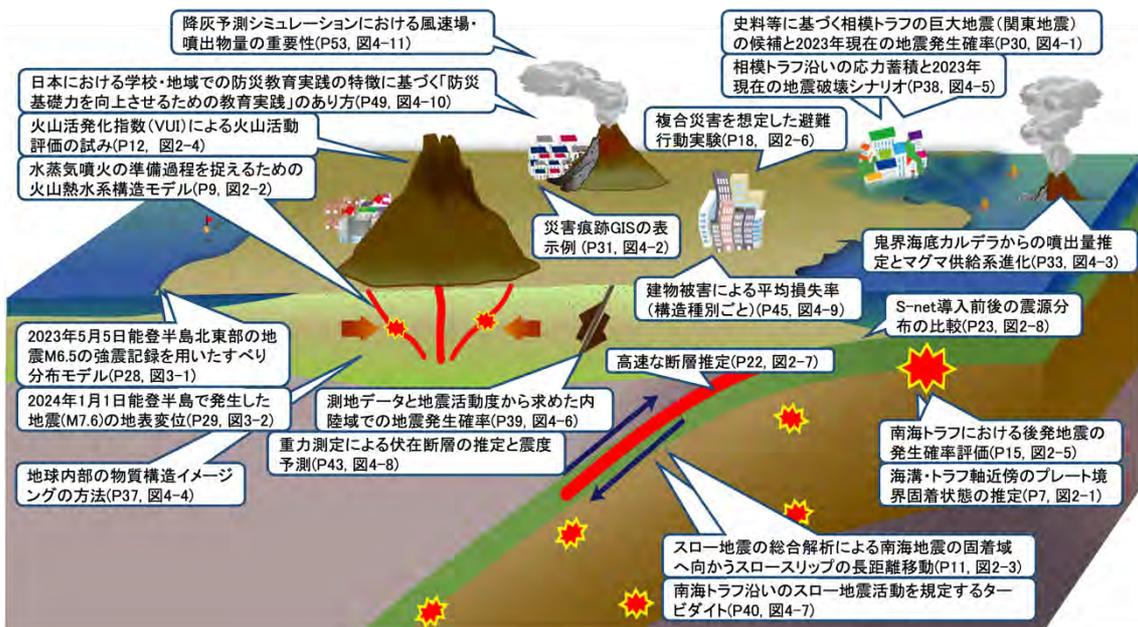
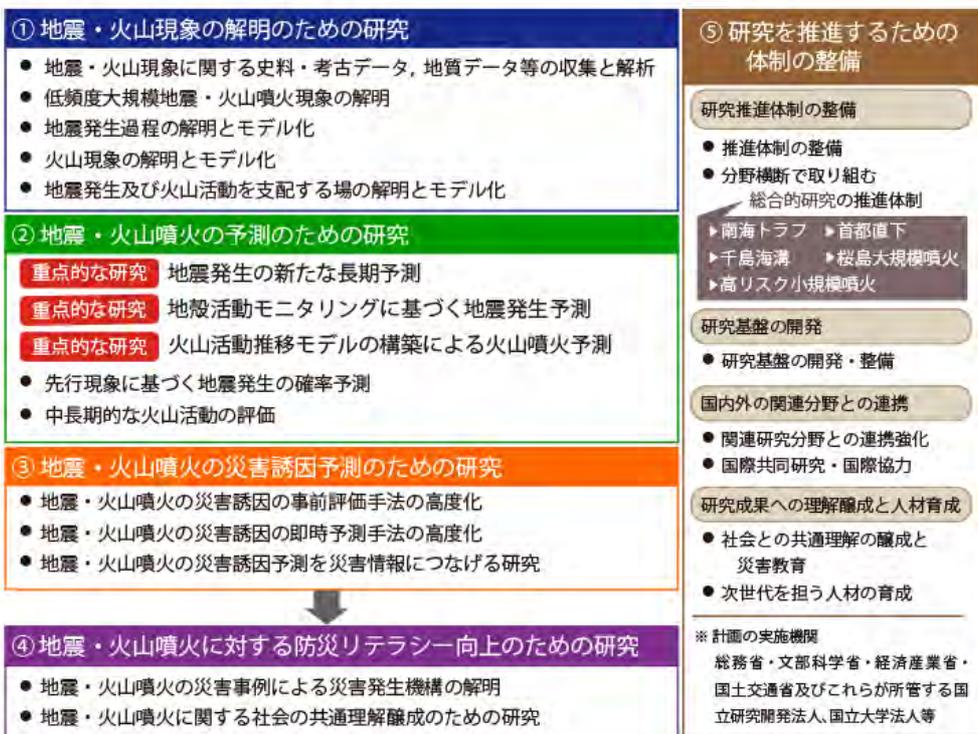
⁴ 用語解説に掲載している用語に、下線（破線）と*を付記している。

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5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5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. 5年間の成果の概要

2-1. 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、考古、地質データに基づき、過去の事象の特徴が把握されるようになり、その情報も充実した。日本各地の地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開を行い、これらの情報を効率的に利用することが可能となった。さらに、史料を地震研究に活用する方法について検討し、研究コミュニティの構築・教育・市民への普及を図った。考古・史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を行った。その結果として、縄文時代前期に東北の三陸では津波を伴う大地震が、また関東地方では房総半島先端部の隆起を伴う大地震が、それぞれ発生していたことが推測された。また、北海道沿岸や南海トラフ沿いでは、海溝型地震*の地質学的手法に基づく津波堆積物*の調査が行われ、千島海溝沿いの13世紀と17世紀の巨大地震の津波波源*域の推定や、1662年日向灘地震の規模の見直しを行った。南西諸島の海溝沿いでは、津波堆積物やサンゴ礁上の巨礫から、過去に発生した津波の特性と津波の最大規模の絞り込みを行った。陸域の活断層*調査については、断層地表トレースの複雑な形状や地震の活動履歴を明らかにした。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度大規模地震の解明に関する研究を、千島海溝、日本海溝、南海トラフにおいて進めた。日本海溝及び南海トラフにおける定常的なGNSS-A*観測による地殻変動モニタリングの実施結果は、地震活動の評価に活用された。また他の地域においても継続的なGNSS-A観測の実施により、プレート境界の固着*状況が海溝軸付近まで把握されるようになった(図2-1)。特に17世紀の巨大地震時に大きくすべったとされる千島海溝沿い根室沖では、海溝軸付近も固着していることがわかってきた(図2-1右)。また、日本海溝の海溝軸付近の地震探査*の解析から、2011年東北地方太平洋沖地震(東北沖地震)の発生域において間隙水圧*が異常に高いことが、大きなすべりと津波をもたらした原因である可能性を示唆した。日向灘から南西諸島北部では、小繰り返し地震*の解析によりプレート境界の固着状態の時空間的な変化を把握した。このほか、巨大地震の発生が懸念されているメキシコ・ゲレロ州沖においても、地震・測地観測により、プレート境界におけるスロー地震*の検出や地震空白域の特徴を把握するなどの研究を進めた。

火山噴出物の分析から活動様式の変化やマグマ*供給についての理解が進んだ。西之島2019~2020年噴火では、噴火様式*や化学組成*の変化が深部に由来する苦鉄質マグマ*の上昇に起因することを明らかにした。浅間山18世紀天明噴火では、噴火様式の遷移がマグマの減圧率(上昇速度)に強く影響を受けたことを明らかにした。支笏・屈斜路・洞爺・十和田・

始良のカルデラ*火山のいずれにおいても、噴火直前に蓄積された膨大な量の珪長質マグマ*が、40万年以上前から存在した主要マグマと新しい時期に断続的に生成した付加的マグマから構成されることが明らかになり、カルデラ噴火に関わるマグマ供給系*の発達過程の理解が進んだ。



図2-1 海溝・トラフ軸近傍のプレート境界固着状態の推定。左図はアムールプレート*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。右図は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

地震発生過程に関する研究では、地震波形記録を網羅的に調べることで、大規模地震と小規模地震の破壊の始まりが同じであることがわかり、地震破壊に階層性*があることを発見した。室内岩石実験と野外調査から、高間隙水圧下での微動*は亀裂が開くパターンの破壊（開口破壊）に伴って発生し、短期的スロースリップ*イベント（Slow Slip Event, SSE）

は粘性^{*}的な特徴を持つせん断帯の活動に対応していることがわかった。また、海底掘削試験を用いた実験から、地震性・非地震性を決める岩石の摩擦特性^{*}が温度に大きく依存することがわかり、プレート境界の物性を知る上で有効な情報を提供した。

(4) 火山現象の解明とモデル化

多項目観測や、地下構造を考慮した地震波形解析により火山現象についての新たな知見を得た。桜島では人工地震探査による地震波速度構造を用いた震源^{*}の再決定によって、桜島の爆発的噴火^{*}の励起源が火口底下の数100 mにあることを明らかにした。霧島新燃岳における爆発的噴火は、ナノライト^{*}の晶出によりマグマの粘性が上昇し、気泡過剰圧が溶岩ドーム^{*}の破壊強度を超えることで発生すると推定した。霧島山と阿蘇山では、噴火前にマグマの上昇によると考えられる微動の振幅増大や発生位置の変化を捉えた。

積極的に新しい観測手法を導入して火山観測を行った。吾妻山では、光ファイバーケーブルを用いた分散型音響センシング (DAS) ^{*}観測にて火山性地震^{*}の震源決定と浅部地盤構造推定に成功した。伊豆大島、三宅島、霧島山では、無人航空機の繰り返し観測により浅部の詳細な磁化構造^{*}推定とその時間変化の検出に成功した。西之島では、赤外画像など複数項目の衛星観測によって2019年から2020年の一連の噴火プロセスを推定した。阿蘇山・桜島では、噴火に伴う電界変化の観測に成功し、噴火の即時把握にむけた電界観測の応用可能性を示した。火山灰^{*}自動採取・可搬型分析装置及び自動火山灰分類システムの開発・改良を行い、さらにマグマ性噴火^{*}及び非マグマ性噴火を機械学習^{*}により火山灰の色から即時判定する技術の有効性を確認した。

(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

地震発生場を理解するために、プレートの沈み込み帯^{*}を対象として、大地震を発生させるプレート境界の詳細な構造調査、地震発生場の近くで発生するスロー地震の解析、スラブ内地震^{*}の起源に関する研究を行った。日本国内やニュージーランドでは、内陸地震^{*}の発生場について、地殻内流体^{*}の分布が地震発生に強く関係することを明らかにした。大地震の断層面の形状やすべり域と、比抵抗^{*}分布の特徴が空間的によく対応することがわかった。また、大地震の破壊開始点の特徴が調べられ、内陸地震が発生する場の空間的な関係の評価につながる可能性を示唆した。

稠密及び広域の観測から、地震波速度構造や比抵抗構造の高精度推定が進み、推定された地下構造と各種観測から推定された流体^{*}移動との関係が議論された。箱根山では、深部低周波地震^{*}活動の活発化による流体上昇の影響がマグマ溜まり^{*}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モデルが提案された。雲仙火山では、ほぼ固結したマグマ溜まりの上面をなぞるようにマグマが上昇し、そして1991～1995年噴火が引き起こされたと推定した。草津白根山では、地下浅部に釣鐘状に広がるキャップロック^{*}と、その下部の流体貯留域、及びマグマ溜まりに対応す

る領域を、比抵抗構造の推定により見だし、流体移動の経路のモデルを提示した。海域の鬼界カルデラでは、地震波反射構造、比抵抗構造を推定し、噴出物の分析から鬼界アカホヤ噴火以降の珪長質マグマと苦鉄質マグマの混合によるマグマ供給系モデルを提示した。

草津白根山では、湯釜火口北側噴気の火山ガス* (希ガス) 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を反映していることが提案され、さらに発泡度の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わかった (図 2-2)。

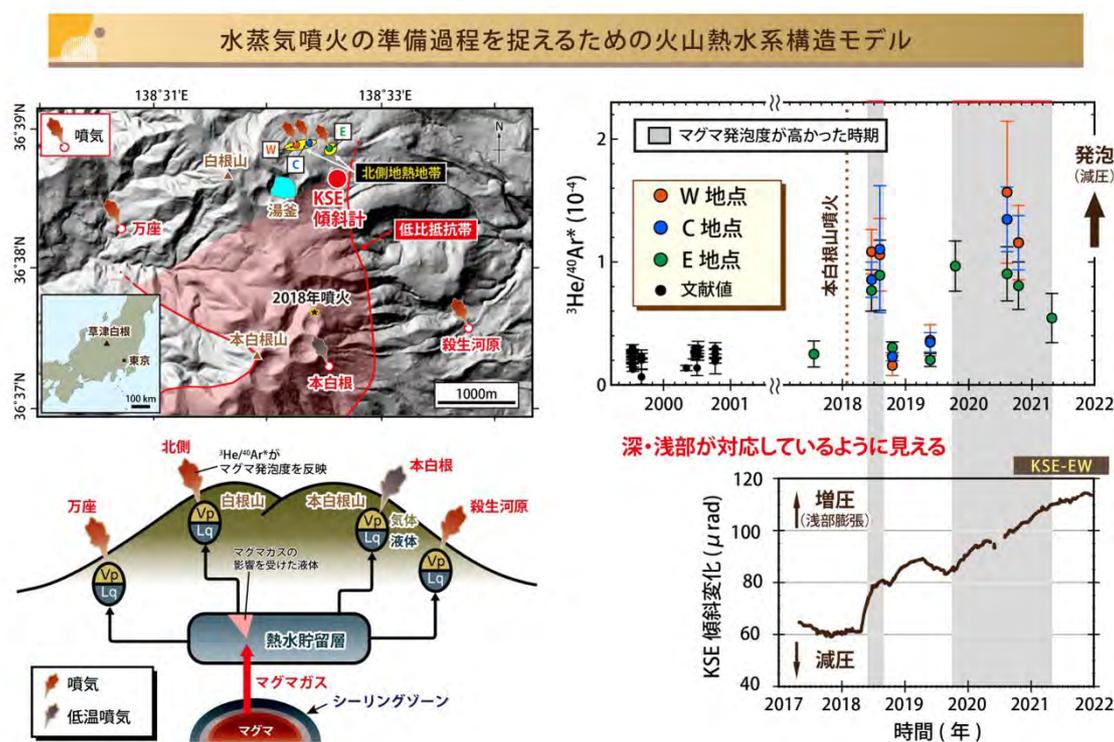


図2-2. 水蒸気噴火*の準備過程*を捉えるための火山熱水系構造モデル。草津白根山の湯釜火口北側の噴気について、 $^3\text{He}/^{40}\text{Ar}$ 比に基づきマグマ発泡度の変化が検出された。発泡度変化のタイミングは浅部熱水だまりの膨張・収縮とよく一致しており、同火山の活動の活発化を駆動するマグマ～浅部活動の物質科学的*なつながりが確認できた。 $^3\text{He}/^{40}\text{Ar}$ 比 ($^{40}\text{Ar}^*$ はマグマ由来の ^{40}Ar を意味する) というこれまで使われていなかった指標が火山活動活発化と関係していること、さらにマグマの発泡で説明できることを示した。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。

2-2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

地震発生長期評価手法の高度化のために、史料・考古・津波堆積物・地形地質等の調査に基づく過去の大地震の発生履歴に関するデータ収集に加えて、地震活動・測地データの解析、数値シミュレーション*研究などを進めた。海溝型巨大地震に関しては、GNSS*の地殻変動データに基づいて、相模トラフや南海トラフ沿いのプレート境界面上における力学的固着を応力*蓄積速度として表現し、大地震発生シナリオを構築する研究が進展した。内陸地震については、GNSS 測地データや背景地震活動度を用いて日本列島全域における M6 以上の地殻内地震の発生確率モデルを新たに提案し、地震調査研究推進本部*（以下、地震本部）と情報交換を通して連携を深めた。

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

地殻活動モニタリングに関しては、陸海の地震・測地観測網のデータを用いたスロー地震検出手法の高度化により、新たなスロー地震や震源の移動が検出された。また、数値シミュレーション研究や構造探査*が行われ、スロー地震の発生様式の理解が大きく前進した(図 2-3)。西南日本では、固着域浅部と深部で起きるスロー地震の発生パターンに違いを見いだし、様々な種類のスロー地震が空間的に相補的に分布していることを明らかにした。一方、日本海溝沿いでは、スロー地震と通常地震活動が近接して発生していることを示した。また大地震発生後の余震*活動の推移を、従来の震源カタログ*を用いずに予測する手法として、大地震発生直後数時間程度の連続波形記録から計算できる新たな手法を開発し、1観測点の地震波形のみからでも推定可能であることを示した。

スロー地震の総合解析による南海地震の固着域へ向かうスロースリップの長距離移動

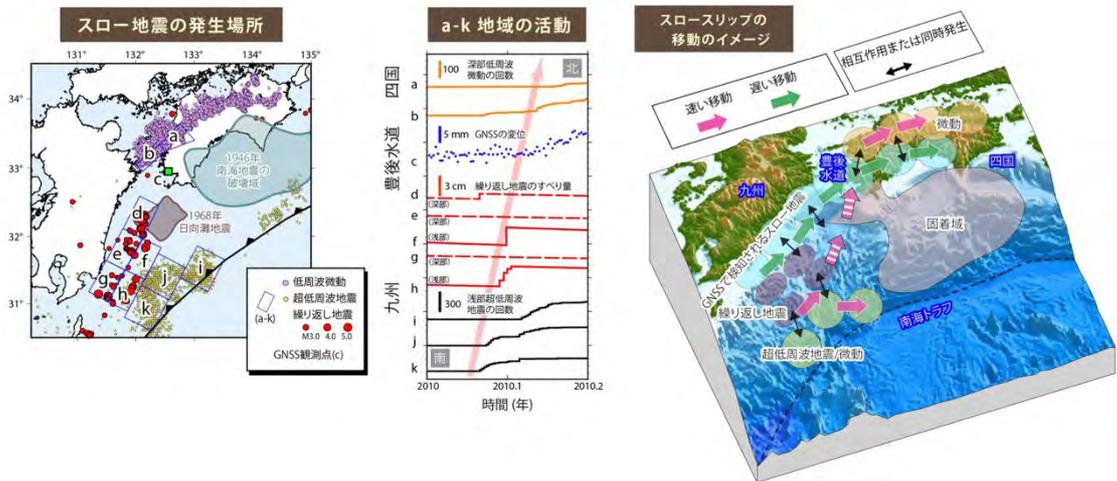


図 2-3 スロー地震の総合解析による南海地震の固着域へ向かうスロースリップの長距離移動。左で示すように鹿児島沖から四国沖にかけての南海トラフのプレート境界で複数の種類のスロー地震を捉え、それらが深部と浅部、別々の時間スケールで長距離移動する様子がわかった。左の図で示す a~k の領域について、深部低周波微動^{*}、GNSS 観測から得られた変位、繰り返し地震のすべり量、浅部超低周波地震^{*}の回数を時間変化として中央の図のように並べると、1 ヶ月程度で南から北に向かって移動している様子がみえる。これらの南海トラフ沿いのスロースリップの移動についてまとめたイメージを右に示す。

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

統計的特徴に基づいた経験的な前震^{*}識別法に関する研究により、群発的な地震活動が前震になりやすい傾向を見出すとともに、地震活動の特徴量に基づく前震確率予測モデルを開発した。また、大地震の発生前に b 値^{*}が低下するという報告例が増えており、b 値のモニタリングは地震活動の推移を予測する上で重要な知見となる可能性を示した。

(4) 中長期的な火山活動の評価

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を整理して、火山活動推移のモデル化、噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成、分岐判断事象の理解が進んだ。富士山の噴火履歴を精緻化するための噴出物層序^{*}の確立、年代測定、富士山のマグマ組成の特徴を把握するための噴出物の化学組成分析、及び既存文献に基づいた噴出物データベースの作成を行った。

国内のいくつかの火山を対象とした火山活発化指数 (VUI) ^{*}の試験的導入を通じて、多項目モニタリングに基づく火山活動の定量的評価にひとつの道筋を示した (図 2-4)。

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

観測データの解析結果とマグマからの熱及び物質の供給との関係の議論を深化させ、火山性地震の活発化の数値モデリングや火口湖の湖底熱活動の評価を行った。さらに、国内外の噴火に至った火山活動の推移について、マグマ貫入速度、脱ガス、周囲の地盤の破壊に着目したモデルを提案した。また、桜島昭和火口の2023年噴火再開に前駆した、火口熱及び微動活動のモデル化を進めた。

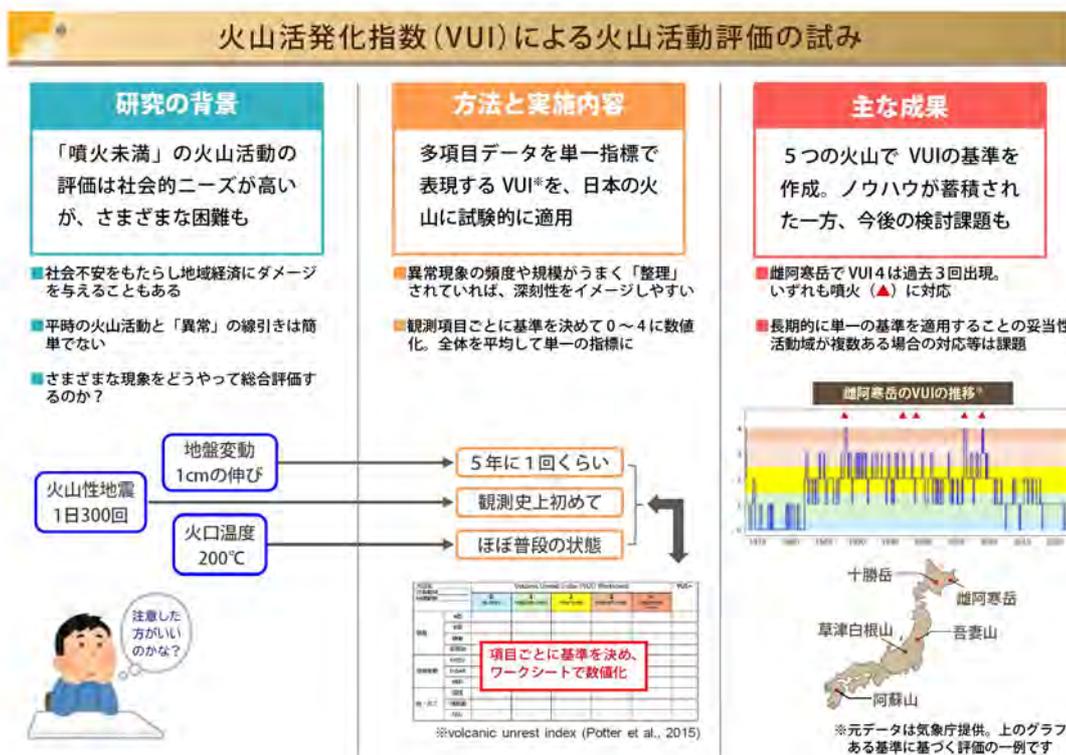


図 2-4 火山活発化指数 (VUI) による火山活動評価の試み。観測データに基づいて火山活動を定量的に評価する方法のひとつとして、火山活発化指数 (VUI) を十勝岳、雌阿寒岳、吾妻山、草津白根山、阿蘇山に適用した。多項目のデータを統合するため特定の観測に評価が偏重せず、算出方法が単純であるため自動化も可能である。

2-3. 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

地震・火山噴火の災害誘因予測の事前評価手法の高度化を行った。強震動*に関しては、大阪・京都・奈良盆地の地盤構造モデルの妥当性の検証や改善点の洗い出しを実施して、強震動予測のための震源断層モデル*や広帯域地震動特性に関係する浅部・深部地盤構造モデルの検証と改良を行った。また、平成30年北海道胆振東部地震(M6.7)など近年の顕著な地震の震源過程を強震記録*を用いて求め、強震動予測のための震源断層モデルの統計的特徴と比較することで、現状の耐震基準を上回る規模の地震動(極大地震動)の特徴について震源過程や地盤構造の観点から検討した。加えて、広域応力場と複雑な断層形状を取り入れた動的破壊シミュレーション研究の進展により、地震動の事前予測手法の高度化につながる成果が得られた。このほか、西日本の地殻内地震で観測された、気象庁マグニチュード*の過大評価の原因となる Love 波*パルスの生成メカニズムや、深発地震*で太平洋岸での震度*が大きくなる異常震域*に関する研究を行った。オープンソースである地震波伝播シミュレーションコード Open SWPC について、国内外からのフィードバックを受けて機能拡張を行った。また、シナリオ地震*の強震動評価として、日本で開発された強震動予測手法を国際的なプラットフォームに実装した。低次元有限要素法*コードを GPU*上に実装することで高速に地盤構造を推定する手法を開発した。2003年十勝沖地震時に北海道の KiK-net*厚真観測点で記録されたような、2秒よりやや長い周期が卓越する地震動は、表層30mの平均S波速度が小さい軟弱地盤で発生していることがわかった。1830年文政京都地震の際の京都盆地東縁部に沿った被害の集中については、盆地端部におけるエッジ効果*が原因となつたと推察された。液状化*推定の低コスト化に向けてGPUを用いた3次元液状化シミュレーションコードを開発した。

地殻変動に関して、ソフトバンク株式会社が運用する独自GNSS観測網データの精度評価を行い、このデータが地殻変動の研究で利用できる精度を保持することを確認した。これに基づき、地震学・火山学を含む幅広い地球科学用途でのデータの利活用を目的とした「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」を設立し、内陸活断層や活火山周辺など、各地の高空間分解能での地殻変動監視を可能にした。

津波に関しては、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を開発し、検潮記録と海底ケーブルの切断時間を再現できる海底斜面崩壊モデルを推定することに成功した。火山島の山体崩壊*による津波の即時予測手法の開発を行い、インドネシアのジャワ島西岸やスマトラ島東岸での津波予測に適用した。日本海の60断層を想定した7万通り以上のシナリオによる確率論的津波高を計算した。南海トラフ地震を想定した津波計算を行い、断層すべりの深さ方向の多様性が津波高推定の不確実性の要因となり得ることを示した。高速に沿岸域の津波水位を求める目的で、地形効果による津波増幅率を推定し、沿岸域の津波水位に対する、波源情報と沿岸地形による津波増幅率とを分離することが可能とな

った。この津波増幅率は、地域ごとの波源に依存しない津波ハザード指標としても有用であることが示唆された。

災害リスク評価手法に関しては、サロゲートモデル*と数値解析を組み合わせることで自然災害による被害を低計算コストで確率論的に評価する枠組みを開発した。平成30年北海道胆振東部地震の負傷率を推定し、建物被害との相関に基づく人的被害推定は十分でない可能性を示した。RC造*建物を対象として、従来の最大速度に代えて振動速度に基づく被害率関数を検討し、その有効性を確認した。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、京都の木造住宅密集地を対象とした地震と火災のマルチハザードリスク評価を実施し、シングルハザード評価では過小評価が起きることを示した。斜面崩壊に関しては、1m-LiDAR*DEM*を活用する手法開発を進めたほか、斜面崩壊に影響するテフラ*の分布や強度低下の調査を行うとともに、斜面崩壊を起こしやすい地形的特徴を明らかにした。

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

強震動に関しては、鳥取県内の計測震度観測点から受信したデータをリアルタイムで県内各地の震度に変換するシステムを構築し、鳥取県庁に設置した。また、強震観測*波形データと地震波伝播シミュレーションのデータ同化*に基づく、未来の時刻の揺れの広がりや長周期地震動*の即時予測に向けた研究開発を行った。地殻変動に関しては、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考慮した推定手法として、単一の矩形断層モデルを対象とした方法(RUNE)を開発した。津波に関しては、最適内挿法*に基づくデータ同化手法の津波即時予測への応用を検討し、次世代に向けた高精度な手法の開発とその準備を進めた。

火山における主な災害誘因のなかでも、防災上重要なものとして土石流*と泥流*が挙げられる。火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生及び噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して、その危険度や規模を予測する手法の確立を目的とし、観測と予測モデル開発を行った。時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や規模を予測する手法を検討するとともに、融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させた。

(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

世界の地震カタログ*を用いて、M8クラスの地震が近傍で連発する(半割れ*ケース)の確率と、M7クラスの地震のあとに近傍でM8クラスの地震が発生する(一部割れケース)の確率の評価を行い、南海トラフに適用した(図2-5)。また、地震本部が作成している地震動予測地図では「30年確率」を用いているが、受け手側の世代や年齢層によって対策の必要性の意識が高まる「x年確率」の値が異なることを明らかにした。

桜島の大規模噴火を想定し、円滑な避難を行うための体制づくりを目指した専門家と住民による実践的研究を実施した。文化財等の災害の予測や被災状況の把握を目的とし、都道府県の指定文化財、登録文化財、指定外の文化財約23,000件について位置情報を入力した文化

遺産災害情報マップを作成した。地震ハザードシナリオの不確実性とそのハザード評価結果に対する自治体の受け止め方を表示するシステムを改良した。火山災害誘因（ハザード）について住民の認知度を調べるオンライン調査を実施した。

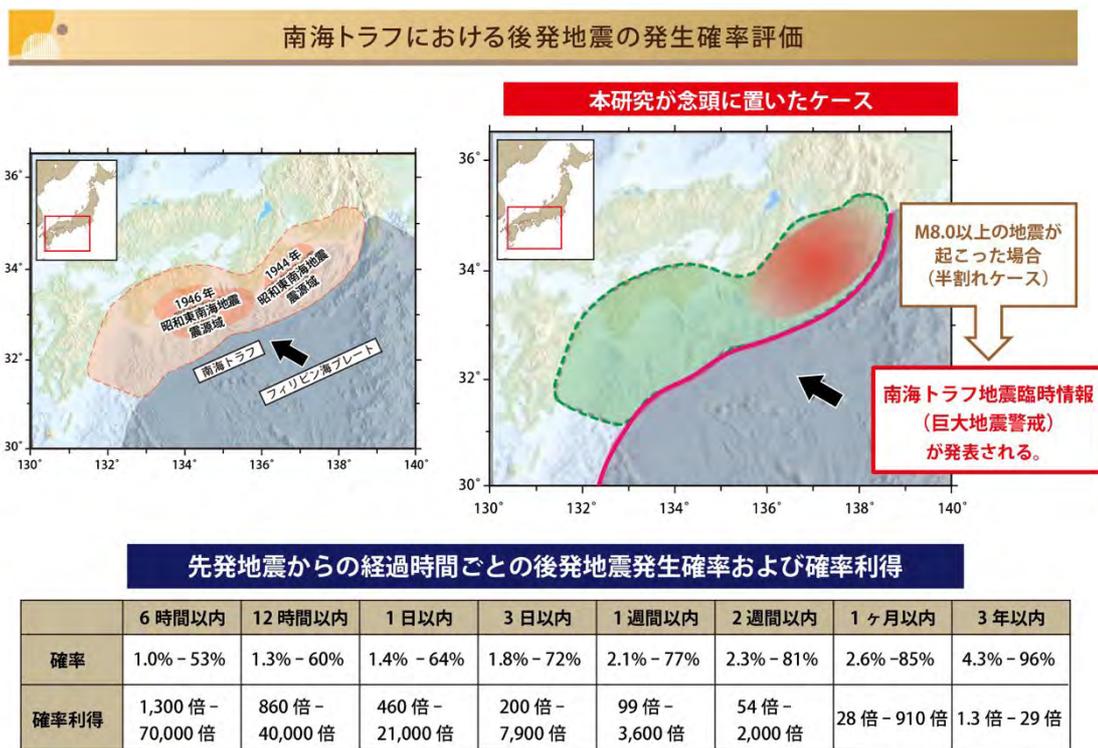


図 2-5 南海トラフにおける後発地震の発生確率評価。M8 クラス以上（半割れ）及び M7 クラス（一部割れ）の地震発生後に後発する地震の発生確率を、南海トラフにおける地震発生履歴を考慮し、評価を行った。例えば M8 クラス以上の地震発生から 1 週間以内に、M8 以上の後発地震が発生する確率は約 2%～77%，平時の約 100～3,600 倍と算出される。

2-4. 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し、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た。具体的には、近世・近代の史料を批判的に検討し、1855年安政江戸地震や1640年北海道駒ヶ岳噴火など、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、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続けてきた。とりわけ、自治体の応急対応や防災計画に加え、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。

これまで運用されてきた地震ハザードステーション(J-SHIS*)や津波ハザードステーション(J-THIS)*及びJ-SHIS Map Rの基盤の整備・拡充も進められた。そこで作られた地震発生の多様性・不確実性を考慮したモデルや、新しい微地形区分及び関東地方の「浅部・深部統合地盤モデル」は、地震本部の全国地震動予測地図2020年版や南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価に取り入れられた。また、地震及び津波ハザードステーションにリスク評価のための基盤データを加え、ハザード・リスクステーションとして提供することができた。関係機関と連携し、津波警報*、緊急地震速報*、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報*、噴火警報*、降灰予報*などの気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果の共有と、気象庁から発表する地震・津波及び火山に関する防災情報の高度化を図った。国、地方自治体等の防災関係機関、報道機関、教育機関、大学等研究機関の連携により、地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災情報(津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報など)に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に取り組んだ。

(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

社会が地震・火山噴火災害による被害の発生を抑止、あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識体系の解明、実効性のある防災対策に必要な知識要素を特定するとともに、社会の共通理解醸成と防災リテラシー向上のためのマイクロジオデータ*やオープンサイエンス*の活用方策の確立を推進した。

実践的な防災リテラシー向上のための仕組みとして、2017年3月に閣議決定された地理空間情報*活用推進基本計画(第3期)に基づき、地理空間情報、GIS*、衛星測位に現代的ICT技術、AI、IoTなどを統合し、防災・減災に関して社会的有効性の高い情報システムと避難時における被災・避難の想定可視化への活用を進めた。具体的には、「避難困難地域の空

間分析法の開発」「集団避難実験と地理的可視化」「WebVR 技術による疑似避難訓練システムの開発」を行うとともに、これらをすでに開発されていた情報システムとあわせて利用することで「津波避難ビル*の階段上昇シミュレーション」「中学校・高校と連携した防災リテラシー向上」を実施した（図 2-6）。また、情報技術を活用し情報管理を効果的に運用し、潜在的に防災リテラシーを向上させる取組として、「防災リテラシー向上に資するタイムライン*作成支援ツールの整備」「生活再建支援の相談対応に関するデータ分析」「住家被害認定調査・罹災証明書交付の効果的な運用方法検討」に取組み、生活再建支援といった復興期に至るまでの防災リテラシー向上のための仕組みを整備した。一方で、災害情報活用の社会・心理学的枠組みの構築を目指し、文献調査に加えて、津波避難意思決定の心理実験、脳計測実験を行うことで、認識しているリスクの大小に関わらず「まず避難」する意思決定に、脳内の感情反応抑制が重要であることを示した。この結果により、被災リスクや避難行動に対する忌避感情を抑制することが防災リテラシー向上に不可欠であること、また、災害情報活用において災害リスクを不適切に恐怖感情に訴求することなく学術知見に基づいて災害リスクを適切に提示する工夫が必要であることを、心理学的・脳科学的に明らかにした。

火山の防災リテラシーに係る知識・技術・態度の定着化に向けては、各地域に共通する主な課題として「噴火災害経験の継承」、「地域住民への火山防災啓発」、「登山者・観光客への火山防災啓発」、「観光と防災の両立」の4つを挙げ、御嶽山を事例としてマイスター制度*の継続実施により、登山者だけでなく地域住民への火山防災啓発を試みた。一方、桜島火山に対しては、鹿児島市と連携して火山防災勉強会を桜島の各地区において複数回実施し、火山観測情報の発信と並行して、火山情報についての理解に関する住民向け調査も行うことで、火山岩塊の飛散距離によって噴火警戒レベル*が引き上げられること自体は住民に認識されているが、基準となる飛散距離についての認識は高くないことを明らかにした。火山観測や火山現象の理解を進める試みとして、京都大学防災研究所桜島火山観測所にサイエンスミュージアムとしての機能を付与するためのコンテンツ作りを行った。リスクコミュニケーション*の観点から、地震・火山の観測情報に基づく潜在的リスクと社会的に想定される被害を、正しい理解と行動に結びつけて発信することで、観測情報の有用性に対する社会側の理解が向上すること、及び、過去の噴火対応から得られる知見を生かした市町村の政策判断をサポートする仕組みの整備が重要であること明らかにした。また、桜島の住民の火山情報のアンケート調査及び桜島火山観測所の一般公開参加者のアンケート調査から、地震や火山の観測情報を防災リテラシーに活用するためには、多様な団体とのコミュニケーションを通じて情報公開プロセスを市民（非専門家）に対してより開かれたものとする必要性が示された。

社会の防災力を向上させる取組としては、京都大学防災研究所阿武山観測所を拠点に「サイエンスミュージアム『阿武山観測所』の運営による地震リテラシーの向上」「地震・津波避難訓練支援ツール『逃げトレ*』の導入による市民参画型地震・津波訓練の推進」「自然災害に関する歴史資料の解説を行う『みんなで翻刻*』プロジェクトの推進」「内陸地震観測『満

点計画・0.1満点計画』によるオープンサイエンス型地震学の試行」を実施した。実務者の理解を深める取組としては、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」と、実務者が「理解したいこと（疑問に思っていること）」のそれぞれを分析することで要素の洗い出しを行った。その上で「研修項目ごとに学習目標を検討」「地震研究者による研修スライドの作成ならびに指導上の留意点を作成」「育成フレームにおける知識を評価するために確認テストの作成」の3つを整理枠組みの要件と位置づけた。これらの結果に基づき、現場とWeb環境を適切に組み合わせた研修体系を構築し、地震の基礎知識習得にかかる研修プログラム1編、火山の基礎知識取得にかかる研修プログラム8編を開発した。また、関東地震/関東大震災100周年にかかる報道やイベント等の機会をとらえ、科学的研究によって得られた知見を社会発信し、自然誘因から社会素因・被害発生との対応といった災害過程の一連の理解を進め、過去災害を事例として学ぶための理解枠組みについての醸成を推進した。

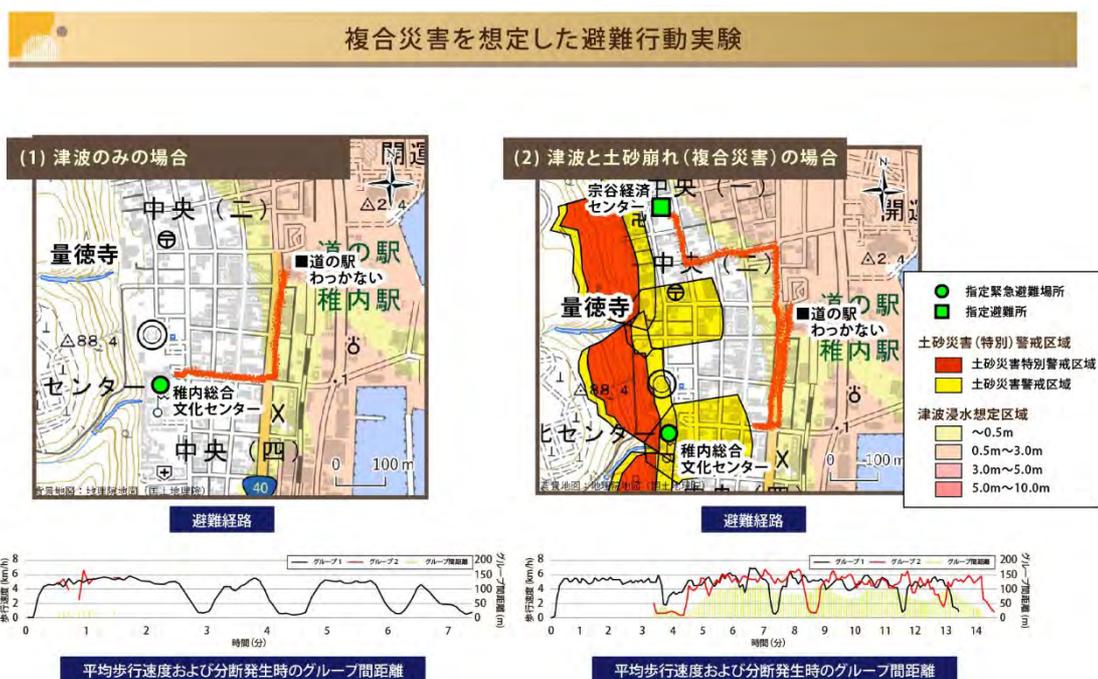


図 2-6 複合災害を想定した避難行動実験。北海道稚内市を対象地域として、地震による津波と土砂災害との複合災害を想定した避難行動実験の結果。地図上の赤点があらかじめ指定された避難経路を示し、グラフは平均歩行速度及び分断発生時のグループ間距離を示している。津波のみを想定した場合、道の駅わっかないから避難場所（地図中の緑丸）へ8分以内に移動が完了し、津波到達までの時間的余裕がある（左の地図とグラフ）。一方、地震により土砂崩れが発生し、当初目標としていた避難場所へ移動できないことを想定した場合、歩行速度は津波のみの場合と大きくは変わらず、A地点で二つのグループに分かれ、グループ間の差はB地点でさらに広がった。そして、その差は別の避難所（地図中

の緑四角)へ移動するまでに縮まらなかった。最終的に、遅い方のグループの避難完了までに14分以上を要した。

2-5. 研究を推進するための体制の整備

(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、人文学・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した。また、地震本部や行政機関等と連携を強化し、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た。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努めた。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、密接に情報交換しながら計画を推進した。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。3年次にあたる令和3年度には、大学の課題に対する中間評価を実施した。また、本研究計画期間は、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。地震予知連絡会*は、年4回定期的に会議を開催し、地震活動・地殻変動等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た。火山噴火予知連絡会*は、年2回定例会を開催し、全国の火山活動の状況について取りまとめた。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5年度から新たな体制で活動を開始した。

・ 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、「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及び地震・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及び自然災害研究協議会とが連携を図り、共同研究を進めた。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、災害誘因予測の高度化のための研究を公募する「一般課題型研究」を実施した。重点推進研究のうち総括研究では「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」と題し、南海トラフ沿いで巨大地震が発生した際の地震リスクの評価の方法論や、実際のリスク評価やその影響について検討を行った。(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) ステークホルダーの参画に関する研究グループ及び(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、理学、工学、人文学・社会科学等の分野の研究者が協働して研究を推進した。

(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た。

- ・ **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、人工地震波を用いたプレート境界の位置情報等、最新の地球物理学研究の知見に基づき、南海トラフ沿いの巨大地震の広帯域震源モデルを構築した。また、地震波及び津波の伝播モデルに基づき、西南日本地域の強震動及び津波浸水モデル*の構築を進めた。また、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。成果の社会実装・ステークホルダーへの成果の還元を目的とした活動を実施した。

- ・ **首都直下地震**

首都直下地震として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た。相模トラフ沿岸を襲った津波の歴史記録について整理を行い、それに関連した野外調査を実行することで、当時の津波の高さについて検討を行った。現代の地震観測で得られる知見を用いて、歴史地震*の震度を検証及び定量化する狙いで、東京都文京区と千葉県成田市周辺で稠密観測を実施した。文献資料に基づき、安政2年の江戸地震の被害場所の境界地域を検討した。住民の災害に対する意識調査・分析を実施した。

- ・ **千島海溝沿いの巨大地震**

超巨大地震の発生が切迫している可能性が高い千島海溝沿いにおいて、巨大地震による災害の軽減を目指し、地域防災力の向上を目指した総合的研究を実施した。津波避難に焦点を当てた地理空間情報を活用した研究が行われ、津波避難困難区域の空間分析法の開発、集団による津波避難の実証実験、VR 技術を活用した疑似避難訓練システムの開発等を実施した。津波堆積物の調査から、十勝地方沿岸部の約千年間にわたる長期間の地殻上下変動時系列が解明された。根室沖での海底地殻変動観測*の実施により、プレート境界が浅部まで強く固着している可能性が示された。北海道全域の遺跡発掘報告書にある地震波液状化痕跡と考える記述を調査し、過去数千年にわたる強震動履歴に関する情報を収集した。また、自治体・インフラ産業・報道機関の防災施策への助言を行ったほか、職員向け・一般住民向けのセミナーや公開講座、勉強会を主催した。

- ・ **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、住民避難を視野に入れた総合的研究を推進した。大規模噴火現象を解明するため、過去の噴火履歴調査及びマグマ圧力源のモデル化を行い、マグマのダイク*貫入が大規模噴火の前駆過程として重要であることが提起された。また、地盤変動*等から見積もられるマグマの貫入速度は、噴火規模と様式を予測する指標となり得ることを明らかにした。火山灰ハザード

予測について多くの知見が得られた。降下火山灰・軽石の拡散範囲と降下域については、シミュレーションにより予測する手法が開発された。火山岩塊、火砕流*、土石流の予測についても研究が進んだ。大量降灰災害が予想される鹿児島市街地側住民の事前避難の実現を目指し、専門家と住民との対話を通じて避難における課題の解決策を共創するため、ワークショップを開催した。

・ 高リスク小規模火山噴火

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研究を行った。災害情報の発信に関する研究に関しては、VUI を日本の火山に適用するための具体的な試みが進展した。また、火山防災において有効な火山情報発信方法に関する知見の蓄積が進んだ。小規模噴火の発生する場の把握に関しては、土壌ガス観測に基づく側噴火*リスクの評価や地質図の試作と各火砕丘*の活動年代推定を実施した。多項目観測による火山活動の把握が多くの火山で進められた。観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理することで、予測に資する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が進んだ。ドローンの小型化と高性能化を受けて災害発生時の被害情報把握へ応用するための研究を進めた。

(3) 研究基盤の開発・整備

・ 観測基盤の整備

日本全国の陸域・海域に展開された地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気等の観測基盤からデータを取得し、本研究計画で高度化された解析技術を用いることにより調査研究を進めた。解析結果は、地震調査委員会*、地震予知連絡会や Web 等に随時提供した。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) の安定的な運用に加え、南海トラフ海底地震津波観測網 (N-net*) の整備を進めた。関係機関の地震観測データを一元的に処理した震源カタログを作成した。電子基準点*リアルタイム解析システム (REGARD*) の高度化を進めた (図 2-7)。さらに、汎用的な GNSS 機器を用いた小型 GNSS 観測装置の開発を進めた。高頻度観測データを用いた 干渉 SAR* 時系列解析を可能とするための解析手法の高度化やシステム構築を進めた。重力*観測網を構築し、火山のモニタリング体制を整えた。継続的な地球物理学的・地球化学的モニタリングを実施し、気象庁や大学と結果を共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供した。

高速な断層推定

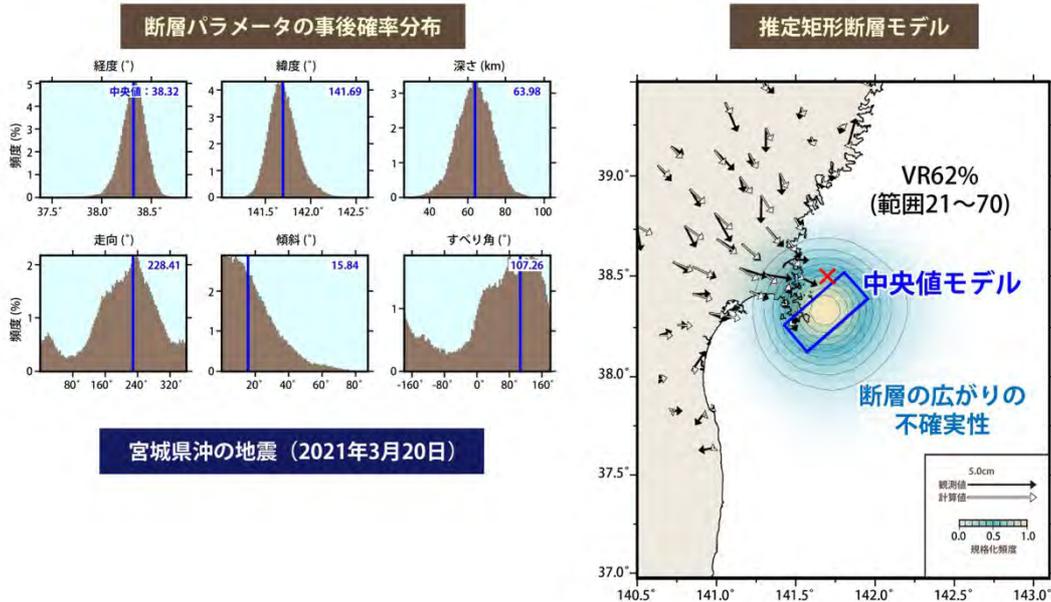


図 2-7 高速な断層推定。REGARD による 2021 年 3 月 20 日に発生した宮城沖地震の地殻変動から断層パラメータを推定したもの。左は断層パラメータの事後確率分布、右は推定された矩形断層モデルの位置とその広がり不確実性を示す。左の青線は中央値で、右上にその数値を示す。東北大学で開発された推定パラメータの不確実性を評価できるプログラムを国土地理院に技術移転した。従来法からの置き換えに向け、試験運用中である。

・ 観測・解析技術の開発

DAS 計測, GNSS-A 観測や海底孔内観測などを統合する観測システムの開発が進められた。Pi-SAR X3*による 15 cm 分解能での火山観測に成功し、新たな火山の観測体制を整備した。新たな無線通信帯域・技術を活用した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た。また、携帯電話事業者による独自の GNSS 観測網データの地殻変動解析への応用可能性を検証し、地殻変動場の議論が可能であることを示した。

・ 地震・火山現象のデータ流通

地殻変動連続観測等の多項目観測データの全国流通・一元化によりデータの蓄積・公開を実施し、気象庁のひずみ計観測網データのリアルタイム流通を実現した。全国規模の地震観測データ流通網 JDXnet* (Japan Data eXchange network) の運用を安定的に行うとともに、データ処理で広く用いられているプログラム (WIN*) について、その近年の状況に合わせ

た使用の更新と機能向上を着実に進められるよう、伝送プロトコル*の検討を進めた。

・ 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

地震の一元化処理*において、2020年9月から海域観測網（S-net*, DONET2）のデータの活用を開始し、自動震源決定の際にノイズとなるエアガン*起源のシグナルの除去手法についても2021年7月から適用を始めた（図2-8）。Digital Object Identifier（DOI*, 論文等の永続的識別子）の適切な利用の検討を進め、幾つかのデータを機関リポジトリに登録し、DOI付与を実現した。研究成果共有システムは、そのデータフォーマットやポリシー等が検討され、令和3年度から観測や開発したソフトウェア等のメタ情報を収集・整理し、閲覧可能とした。

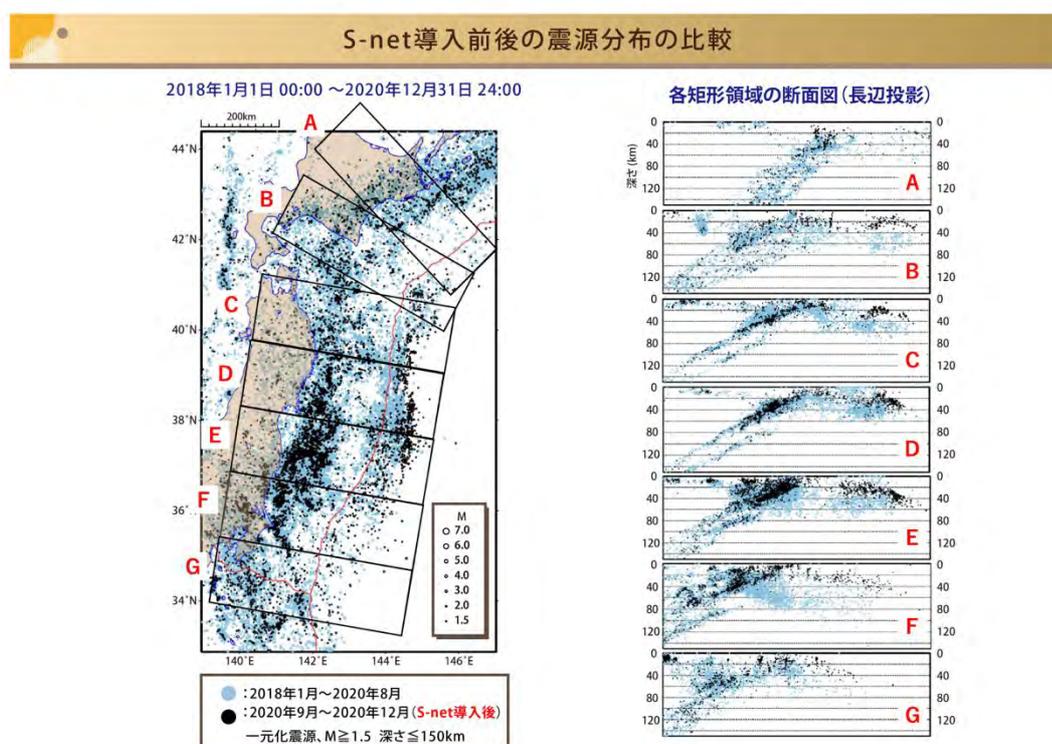


図 2-8 S-net 導入前後の震源分布の比較。気象庁の一元化震源処理のルーチン業務に S-net の地震観測データが取り込まれた。東北日本を例に、S-net のデータ導入前（2018 年 1 月から 2020 年 8 月まで、薄青）と S-net 導入後（2020 年 9 月から 2020 年 12 月まで、黒）を比較すると、S-net データを用いた場合に震源の深さが系統的に浅くなる傾向があることがわかった。S-net 導入により海域の地震観測点が増え、従来よりも精度よく震源の推定ができるようになったと考えられる。

（4）関連研究分野との連携強化

理学，工学，人文学，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られるようにした。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，歴史学・考古学と連携して計画を進めた。拠点間連携共同研究の一般課題型研究では，これまで本研究計画に参画していなかった機関・研究者の参画が更に増え，関連研究分野との連携強化の一翼を担った。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た。

(5) 国際共同研究・国際協力

本研究計画期間は，新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けた。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たが，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。ニュージーランドでは，地震発生機構の解明のための国際共同研究が実施され，2016年カイクウラ地震震源域*の詳細な構造等を推定した。また，ヒクランギ沈み込み帯中部に設置した海底観測機器により，2021年5月の短期的SSEの観測に成功した。インドネシアでは，火山活動推移モデルの構築に向けた国際共同研究を実施し，噴火に至るまでの地震活動，地盤変動，火山ガス等の活動推移を検討した。そのほか，メキシコ，アメリカ，南アフリカ，フランス，ハンガリー等の研究機関と共同研究を行い，地震活動や地盤構造の推定，高精細ミュオグラフィ*の開発等の研究が実施された。

(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本研究計画や，これを推進するための組織を紹介するためのパンフレットを作成し，本計画に参画している関係機関を通じ，関係機関への訪問者に対して配布し，またオンラインによって配布するなどして広報活動をした。また各機関では，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公開講義，セミナー，ラボツアー等を行った。

(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

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努めた。地震・火山噴火予知研究協議会は，毎年度特任研究員を雇用し，人材育成の一端を担った。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。熊本県では火山博物館やジオパークのガイドを対象とした地震・火山噴火災害に関する勉強会を実施した。自治体職員を対象とした防災

リテラシー向上のため，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，研修プログラムを構築した。

3. 令和5年度に発生した顕著な地震に関して得られた重要な成果

能登半島の地殻変動と地震活動

能登半島では、2020年12月から顕著な地震数の増加と局所的な非定常地殻変動*が始まり、この地震活動に高い社会的関心が向けられていた。そのような中で、2023年5月5日にM6.5の地震、2024年1月1日にはM7.6の地震が発生した。本研究計画では、既存予算に加え令和5年度に新たに6つの研究課題への追加予算を配分し研究を進めた。また、多くの本研究計画参加者が科学研究費助成事業（特別研究促進費）「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」にも参加した。2024年3月12日には地震・火山噴火予知研究協議会企画部*戦略室主催で「令和6年能登半島地震ワークショップ」を開催し、気象庁、国土地理院、産業技術総合研究所、海上保安庁海洋情報部、海洋研究開発機構、東京大学、東北大学、京都大学等の各代表機関からの報告を行って、情報共有を図った。

令和5年度までの研究により、能登半島での群発地震活動とその震源の時空間的な移動、非定常地殻変動の詳細やそれに基づく変動源の変化、及び地下構造推定によって、一連の活動を説明する地下の流体移動が関与するモデルが提案されてきた。その後の研究から、群発地震が複数の面に沿って南部から北部、深部から浅部に移動していたこと、震源移動の開始部付近に地震波反射面*が存在していたことが示され、2020年以降の群発地震活動と2023年5月5日のM6.5の地震が、流体移動とそれに誘発された非地震性変形により生じた可能性が高いことを示した。また群発活動が開始した南部の地震波速度構造からは、活動域の深部に高 V_p 、高 V_p/V_s *の領域を確認し、この原因は、古いマグマ溜まりと高圧の水の存在によるものと考えられた。広帯域地磁気地電流(MT)観測*による3次元比抵抗構造推定からは、群発活動開始域である南部から北側に至る低比抵抗領域の存在を明らかにした。群発地震活動は、この低比抵抗領域の上端に位置し、流体の移動・拡散との関連を強く示唆する。

2023年5月5日に発生したM6.5の地震については、能登半島周辺の強震波形を用いた解析により、主破壊が破壊開始点より北の浅部に進行したことが明らかとなった。この地震では逆断層*すべりが卓越し、最大すべり量は約1.0 m、平均すべり量は約0.3 mであったと推定された。このM6.5の地震の震源断層は、2022年6月19日のM5.9と同じ断層面（南東に下がる断層面）に位置し、2022年6月19日のM5.9の地震よりも浅い部分を破壊したことを示唆した（図3-1）。また、M6.5の断層破壊過程モデルを参照し、震源近傍の観測点の広帯域シミュレーションに基づく強震動生成モデルを求めた。このモデルを参照すると、震源より浅い場所に3 km四方の強震動生成域をおくことで広帯域波形の再現ができた。この位置は波形インバージョンによるすべりの大きい領域に対応することがわかった。

このようななか、2024年1月1日に海域の長大な活断層帯を震源域とするM7.6の大地震が発生した。この震源域周辺では、国土交通省の「日本海における大規模地震に関する調査検討会」や、文部科学省の「日本海地震・津波プロジェクト」で東傾斜の逆断層の存在が

想定されていた。また 2024 年 1 月 1 日の地震の 1.5 時間前からは局在化した地震活動の活発化がみられた。これらの前震活動は南東傾斜の面上構造の上で発生しており、本震を含む領域へ時間とともに広がっていた。また 1 月 1 日の地震の余震分布からは、観測点密度が高い領域で、断層面の傾斜が地表付近でやや高角になる特徴も見られた。海域に伸びた震源域での地震活動を調べるために、自己浮上式海底地震計による観測を行った。この観測により、能登半島北東沖の地震の震源の深さは、陸域観測網による推定よりも浅く推定された。また陸域でも今回震源域が拡大した能登半島西部を中心に地震の臨時観測点を設置し、より広域の構造及び精密震源決定のためのデータを蓄積している。地殻変動の観測においては、干渉 SAR を用いた解析から能登半島北岸での大きな隆起を観測した (図 3-2)。この観測結果は沿岸の海岸隆起調査の結果とよい一致を示す。海岸の現地調査により、今回の地震で隆起が認められた海岸では少なくとも 3 段の完新世海成段丘が認められ、過去にも同様の隆起イベントがあった可能性が高いことを示した。また海底地形調査は、能登半島北部における海底隆起を確認した。

2021 年夏から開始した陸域の GNSS 臨時観測、国土地理院の GEONET 及びソフトバンクの GNSS 観測点のデータによる地殻変動場は、2023 年 5 月の M6.5 の地震から 2024 年 1 月 1 日の地震までの間に、それ以前の陸上を中心とする放射状のパターンから、海域に存在する M6.5 の震源域を中心とするパターンに変化していたことを明らかにした。また 1 月 1 日には、空間密度の高い地震時変位分布を得て、地震時すべり分布の推定などを行った。1 秒サンプリングの GNSS データや珠洲市での光ケーブルを利用した超高感度地殻変動観測も前震や本震に対応した地殻変動を捉え、今後震源過程の推定に大きな制約を与えることができる可能性がある。GNSS 観測による余効変動は能登半島の南東部で大きく、余効すべりで説明できる変位場よりも影響が広範囲に及ぶことから、粘弾性緩和の寄与も考える必要がある。また、群発地震が発生した時期から行っていた重力観測では、1 月 1 日の地震に伴って珠洲市から輪島市にかけての複数点で、地殻変動量から期待されるものよりも大きな重力減少を捉えた。このことは地震時、あるいはその前に震源域に水が流れ込んだことを示している可能性がある。津波データ及び GNSS データを用いた 1 月 1 日の地震時すべり分布推定では、能登半島沖の南東傾斜の断層で 2~4 m のすべりが推定されたのに対し、佐渡沖の北傾斜の断層ではほとんどすべりが見られなかった。地震時すべり分布についてはこのほか、遠地寒体波、強震動波形や GNSS データを用いた解析が行われており、主に 2 つの大すべり域が存在することがわかった。また 1 月 1 日の地震に対応する断層形状と応力場に基づく動的破壊シミュレーションにおいても 2 つの大すべり域が予測され、地震発生前のすべり域推定の高精度化に向けた進展があった。被災地では、被災文化遺産レスキューも重要な課題となっている。能登半島では e-コミマップを活用した文化遺産防災マップの作成と被災の可能性のある文化財の迅速な同定も進めた。

2023年5月5日能登半島北東部の地震M6.5の強震記録を用いたすべり分布モデル

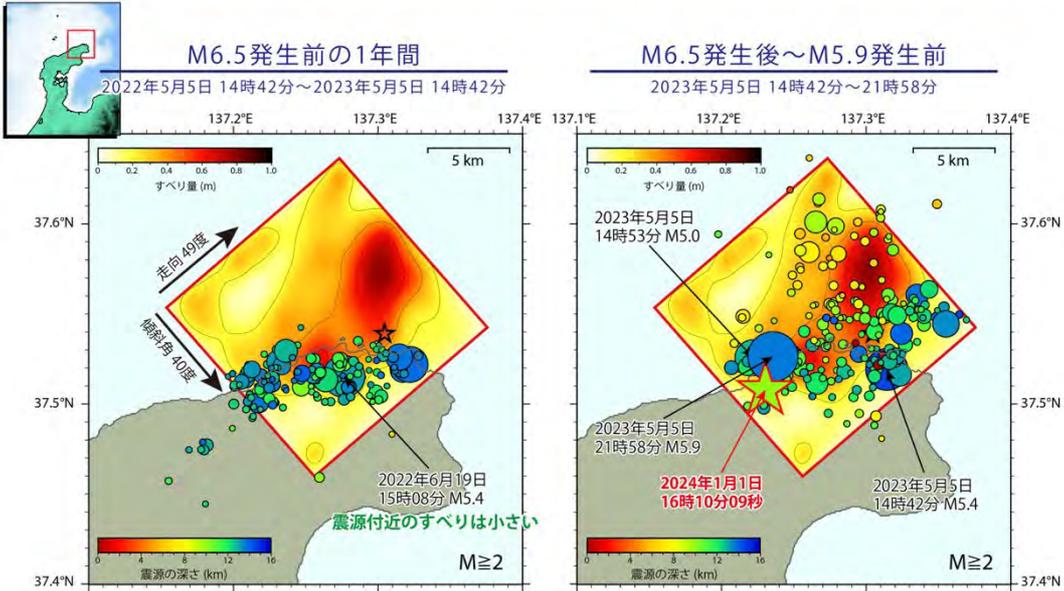


図 3-1 2023年5月5日能登半島北東部の地震M6.5のすべり分布モデル（南東方向に傾斜した矩形内のカラーコンター）。左は2023年5月5日に発生したM6.5の地震より前1年間の震源分布を丸で示す（丸の大きさはマグニチュードに対応し、M2.0以上を示す。また、丸の中の色は深さに対応している）。M6.5の地震の主破壊（コンターの赤色が濃い部分）は破壊開始点（星）より北の浅部に進行した。この地震以前の群発地震活動は、深さ10～14 kmで発生していた。右はM6.5の地震発生後から同日に発生したM5.9の地震発生前まで約7時間の震源分布を丸で示す。M5.9の地震はM6.5の地震と同じ面上の、約5 km下で発生した。

2024年1月1日能登半島で発生した地震(M7.6)の地表変位

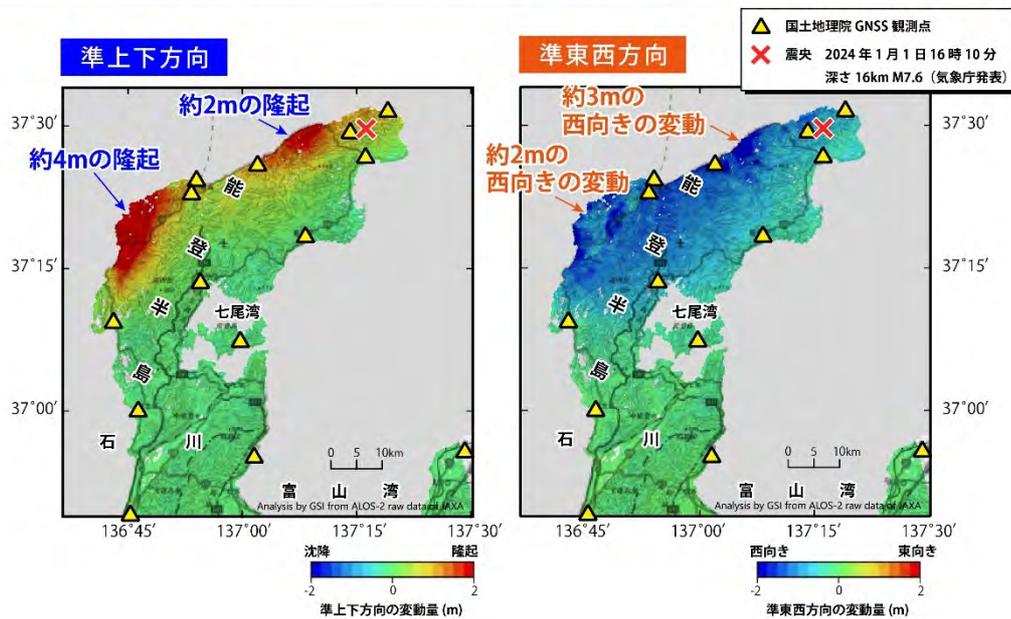


図 3-2 2024 年 1 月 1 日能登半島で発生した地震 (M7.6) の地表変位。干渉 SAR の 2.5 次元解析により求められており, 左は準上下方向, 右は準東西方向の成分を示す。能登半島北部の広い範囲で隆起が検出され, その値は輪島市西部では約 4 m となった。

4. 令和5年度の成果の概要

4-1. 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

古代～中世の史料に基づき過去の関東地震の候補について検討し、繰り返す地震の組み合わせを変えながら、今後30年間の発生確率及びその時間変化を計算した^[HMEV02](図4-1)。日本海沿岸地域で発生した1828年越後三条地震について史料原本を精査し、同年春以降繰り返す豪雨・台風の被災と大飢饉の中で発生した多重複合災害により、復興に多年を要したことを明らかにした^[NGT_01]。東北地方で発生した1611年慶長奥州地震により、関東地域で震度4以上の地震動が発生していたことや、その地震動による落下物や建物被害の程度がわかった^[IRID01]。

安政南海地震の前に内陸で発生し被害をもたらした安政伊賀上野地震(1854年7月9日)の史料の記載内容をWeb-GISを用いて可視化し、表層地盤と被害の関係を確認した^[NGY_01]。

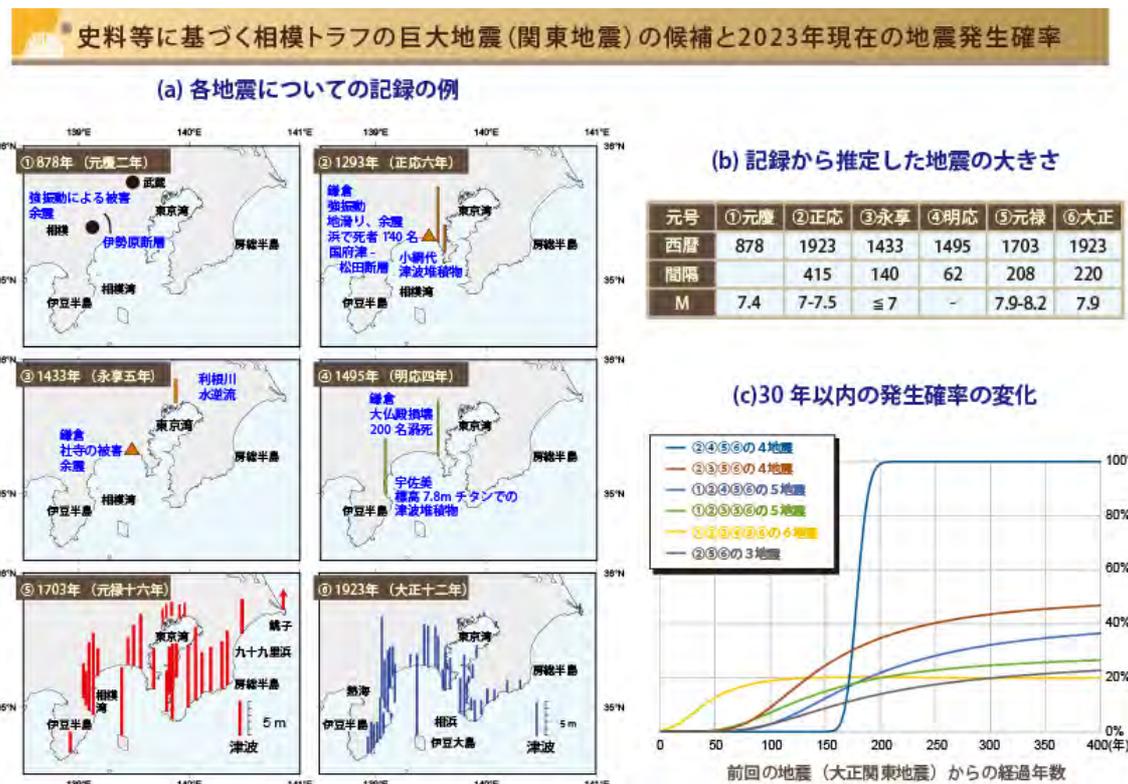


図4-1 史料等に基づく相模トラフの巨大地震(関東地震)の候補と2023年現在の地震発生確率。(a)史料ならびに古地震学的証拠から得られた1703年元禄関東地震以前に発生した関東地震の候補の詳細(1～4)、1703年元禄関東地震及び1923年大正関東地震の際の津波

の高さ（5～6）。(b)関東地震の候補とその地震規模。(c)関東地震の可能性のある地震の候補の組み合わせを変えて、Brownian Passage Time (BPT) 分布*を仮定し、今後30年間の関東地震の発生確率及びその時間変化を計算した結果。例えば、②正応、④明応、⑤元禄、⑥大正の4地震の組み合わせを考えると、平均発生間隔は 210 ± 7 年となり、最も規則的に発生していることになる。この場合、今後30年間の発生確率は、前回地震から160年間はほとんど0%であるが、その後急に増加し、前回地震から204年（西暦2127年）頃にはほぼ100%となる。6地震全てを考慮した場合、発生間隔は 209 ± 117 年とばらつきが大きい。この場合の今後30年間の発生確率は、現時点(地震発生後100年)で既に19%とポアソン過程*(13%)よりも高い。

イ. 考古データの収集・集成と分析

全国の考古発掘調査に伴って検出される災害痕跡を集成した「歴史災害痕跡データベース (Historical Disaster Evidence Database: HDE-GISdb)」の一般公開を開始した (<https://hde-gis.nabunken.go.jp/>)。またこのデータベースに、災害に関わる史料データを表示する機能を搭載した (図4-2) [NAB_01]。

縄文時代前期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い、地震を伴う隆起活動と、集落動向からよみとれる津波を伴う大地震の発生時期とを推測した [NGT_01]。

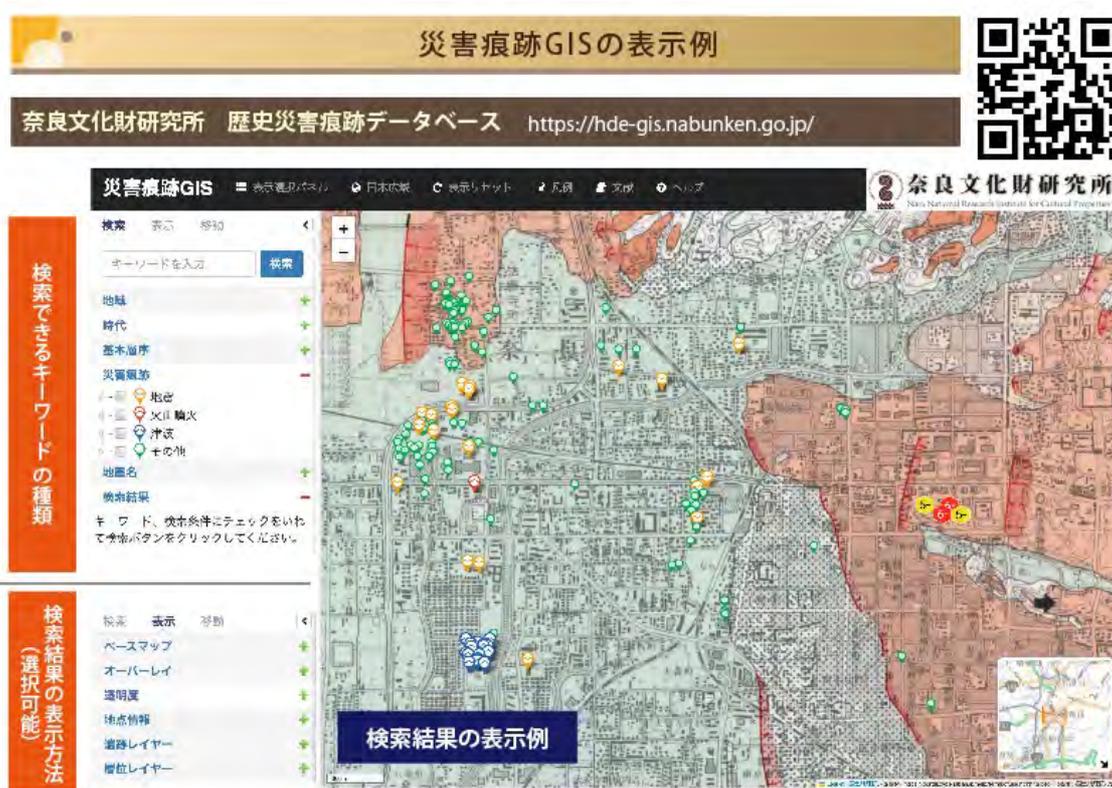


図 4-2 災害痕跡 GIS の表示例。地震・火山噴火・水害に関わる災害痕跡地点（橙・赤・青のピン）と、災害痕跡が検出されなかった地点（緑ピン）、及び、史料から推定した震度（数字のアイコン）を表示している。

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

千島海溝・日本海溝周辺域の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^[AIST08, HKD_01]。南海トラフ周辺域では、珪藻化石分析による地震性地殻変動の検討、津波堆積物の調査を行ったほか、湖底堆積物の火山灰分析・年代測定を行い、形成要因と堆積年代を推定した^[AIST08]。南西諸島海溝沿いの先島諸島及び奄美諸島において、LiDAR 等の測量機器を用いた地震、津波の地形学痕跡の測定と、津波石*等の過去の津波・地震の地質痕跡の年代測定を実施した。琉球列島南部では、歴史記録や地質記録をもとに、1771 年明和大津波と先史時代の津波波源を検討し、いずれも津波地震*による可能性が高いことを明らかにした^[UTS_01]。

2016 年熊本地震のトレンチ掘削調査*から、布田川断層と日奈久断層高野一白旗区間においては、一つ前の活動時（約 2,000 年前）には 2016 年熊本地震と同様の変位が同時期に生じたが、二つ前の活動時（約 4,000 年前）では、各断層での地震発生は同時期でなかった可能性があることがわかった^[NGY_03]。

富士火山の溶岩*及びスコリア*を対象として、かんらん石斑晶*と斜長石斑晶とメルトとの平衡からマグマの温度と含水量を算出し、算出結果と噴火様式との関連を調べた結果、噴火前のマグマ含水量が高い方が爆発的な噴火となる傾向が見られた。また、噴出物組成や噴出量、噴火間隔の時間発展についてマグマ供給モデルをもとに検討することで、噴出量の大きな変化には、マグマ溜まりの粘弾性変形によるマグマと周辺物質との密度差による浮力の効果が関与していることを示した^[ERI_02]。火砕丘群の長期間における噴火発生時期と規模を示す積算マグマ噴出量階段図*を草津白根火山について作成し、約 5000 年前の殺生溶岩の噴火後は活動が低調化したこと、約 2000 年前には白根火砕丘群と本白根火砕丘群が相次いでマグマ噴火を起こしたこと、約 1200 年前には本白根火砕丘群と逢ノ峰火砕丘群が相次いでマグマ噴火を起こしたことが明らかになるなど、火砕丘群間でマグマ噴火の連動があったことを覗わせる知見を得た^[TYM_01]。秋田焼山・御嶽山・雌阿寒岳では、火山地質図の取りまとめを進め、秋田焼山については完新世噴火史を公表した^[AIST03]。阿蘇火山では、阿蘇 4 火砕流堆積物分布図、阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図を整備した^[AIST03]。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

日本海溝北部における海底地震観測記録から、浅部テクトニック微動*の活動に同期して通常の地震が活発化しており、これらは短期的 SSE により励起されている可能性が高いことがわかった^[ERI_05]。東北地方では、新しい余効変動モデルに基づく数値シミュレーションにより、2011 年東北沖地震後の GNSS 時系列を正確に再現することに成功した^[THK_07]。また、

2011 年東北沖地震前後の浅部プレート境界断層付近の構造を比較することにより、地震に伴い流体が上昇していた可能性が示唆された^[AORI01]。

反射法地震探査のデータ解析と試料分析により、鬼界カルデラにおける大規模火砕流の噴出量と流動堆積過程を推定した。物質科学的分析により鬼界アカホヤ噴火とその後に活動した溶岩ドームのマグマ供給系の変遷過程を推定した(図4-3)^[KOBEO1]。霧島火山群の噴出物の全岩主要元素、微量元素、Sr-Nd-Pb同位体比の組成分析から、新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山は共通の起源物質に由来する一方、御池は地殻物質の混染の影響を強く受けた起源物質に由来することなどを明らかにした^[ERI_03]。十和田カルデラ噴出物の基礎分析及びU-Th放射非平衡*分析から、約15,000年前のカルデラ噴火によりマグマ溜まりからマグマが全て放出され、その後5,000年ほどの時間をかけてマグマ溜まりにマグマが蓄積していったと推定した^[HKD_02]。

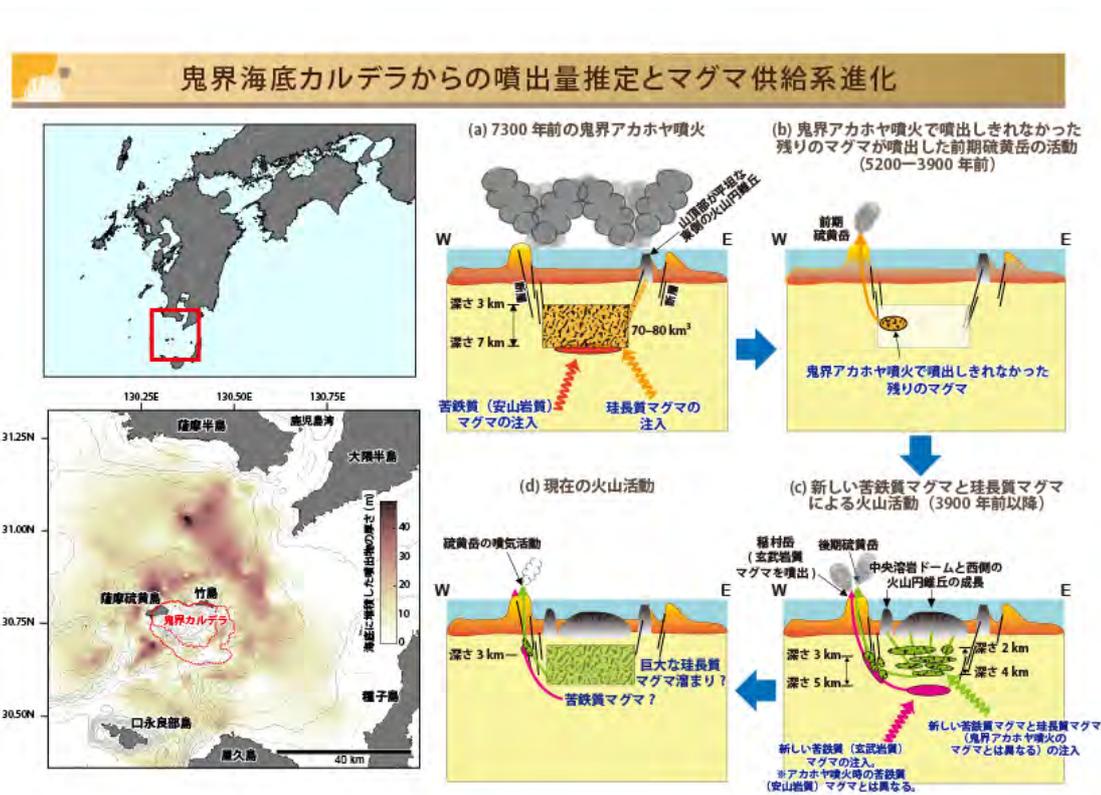


図 4-3 鬼界海底カルデラからの噴出量推定とマグマ供給系進化。反射法地震探査により得られた層構造と噴出物との対比から、2回の大規模火砕流噴火に相当する堆積物が海底に厚く堆積しており、噴出量は71 km³以上であると推定された。噴出物の分析からは、(1) マグマの起源物質の変化が起きたこと、(2) 鬼界アカホヤ噴火直後には出残りマグマが活動し、その後に新たな珧長質マグマと、より深部からの苦鉄質マグマによる供給系が形成され、海底の巨大溶岩ドームや薩摩硫黄島の活動を引き起こしていること、(3) 海底の溶

岩ドームではマグマ混合はほとんど起こっていないことなどが明らかになった。

(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

広域応力場を踏まえた中央構造線活断層帯の地震サイクル*シミュレーションにより、地震本部の長期評価において両論併記されている鉛直断層モデルと北傾斜断層モデルのうち、前者の方が地質学的に推定されている平均すべり速度をよく説明できることを示した [UTS_05]。

S波速度の異方性*の調査により、四国北部下のほぼ全域でウェッジマントル*が蛇紋岩*化していることがわかった [DPRI01]。広島県西部直下の下部地殻*では、狭い範囲内で複数の異なるメカニズムを持つ地震が起きていて、この領域内での高間隙水圧により様々な姿勢の既存クラック*が破壊している状況が示唆された [AIST07]。地震とスロー地震について、それぞれのスケール則を見直すことにより、これらは異なる物理の支配法則に従うことがわかった [UTS_03]。

蛇紋岩試料を用いた室内実験とフィールド調査から、間隙水圧変化に起因する間欠的微動は開口破壊に、短期的 SSE は粘性せん断帯の活動に対応すると考えられることがわかった [ERI_05]。

イ. 地震断層滑りのモデル化

室内摩擦実験により、試料サイズの違いから理論的に予測されるすべり速度の10倍程度の速度で動的弱化を示すことを、幅広い試料サイズに対して確認した [ERI_06]。熱水条件下では、流体の相変化に伴う急激な減圧によって岩石に多数の微小き裂が造成され、岩石強度が大幅に減少することで、断層面で摩擦係数が大幅に減少するとともに、連続的なゆつくりすべり*が起きやすくなることを発見した [THK_02]。岩石実験結果から、スラブ*流体に含まれる塩成分 (NaCl) が、界面エネルギーの異方性の効果によって流体の連結度を大きく下げることが見出され、地震波・電磁気観測*の結果から示される島弧下マントル*の流体分布の特徴を理解するための情報が得られた [THK_02]。2014年 Orkney M5.5 地震 (南アフリカ) の余震が面状分布する場所で見られる物性異常は、接触熱変性や熱水変質に起因する可能性があることがわかった [RTM_01]。

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、地震発生層*最深部で形成した断層構造が見られる三重県の中央構造線で地質調査を実施した。また、岩石変形実験も併せて行い、塑性変形した岩石中の石英の動的再結晶微細構造から応力とひずみを読み取る手法を確立し、断層の力学的挙動を明らかにした [AIST05]。

(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

霧島火山の地震・空振観測データにより、新燃岳近傍で発生するバックグラウンド微動の振幅が新燃岳2018年3月の噴火に先行して増大したことが、微動源の移動の後に2018年4月の硫黄山噴火が発生したことがわかった^[ERI_07]。これらの結果は微動の活動把握が噴火発生予測に有用であることを示している。桜島の爆発的噴火に伴う地震・空振・傾斜の解析、噴出物の物質科学分析、火道流モデルに基づく数値計算から、爆発的噴火は火口底下深さ0.5-1 km付近の数十 mの領域における増圧によって開始し、噴出時には南岳A火口直下が減圧し、大きな噴火の場合は減圧が深さ数 kmにまで及ぶことが明らかになった^[THK_03]。海底火山の活動に伴う変色海水を再現する岩石-酸性化海水反応実験を行い、火山活動の活発化に伴って生成される熱水は強酸性であるためFeの割合が高くなる。一方、沈静化に伴って酸性度が低下するとFeとAlの割合が低くなることでSiの割合の高い熱水が生成されることがわかった^[TIT_01]。

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

溶岩ドーム内のマグマにおいて、多孔質組織が形成されることによって過剰圧が増加し溶岩ドームの爆発を引き起こすことが推定されていたが、多孔質組織の形成は、ソリダス近傍の水飽和条件下において4日から8日で完了することを室内実験により明らかにした^[THK_04]。マグマ上昇から噴火に向かう最終段階において、多孔質組織によって浸透的な脱ガスが効果的に行われるため、噴火の爆発性を制御する可能性がある。よって、多孔質組織形成の時間スケールから、爆発性の異なる噴火に遷移する時間の推定ができる可能性が示唆された。

(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

南西諸島北部域において、海底地震計アレイデータを用いた浅部低周波微動の解析から、2022年6月と2022年8月～9月にかけて浅部微動エピソードが確認され、地震活動も活発化していることがわかった^[KGS01]。また、プレート境界域での小繰り返し地震(相似地震)を用い、日向灘から奄美大島にかけてのプレート境界の準静的すべり速度を求めたところ、2015年前後以降南西諸島北部は全般的に準静的すべり速度が増加しており、特に一部地域では、2022年頃から顕著な加速が見られることがわかった^[KGS01]。

中国大陸の地殻と上部マントルの3次元P波速度構造を高分解能で求めた結果、インドプレート、太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みが、中国大陸内部の地震・火山活動や造山運動に重要な影響を与えたことがわかった^[THK_05]。

イ. 内陸地震

潮汐に起因する地震波速度の時空間変化を全国で推定したところ、S波速度が遅い領域では潮汐ひずみに伴う応答が大きい傾向が見られ、高間隙水圧やクラックの存在が示唆さ

れた^[HRS_01]。

中国地方中北部・東部地域の次元比抵抗構造解析により、深さ約 20～40 km にかけて分布する低比抵抗領域の規模やつながりが明らかになった。また、浅部の高比抵抗領域の空間分布とこの深部低比抵抗領域のつながりから、山陰地方の地震活動や第四紀火山の活動に、深部低比抵抗領域の存在が重要な役割を担っている可能性を示唆した^[DPRI03]。

2016 年熊本地震震源周辺域での実効摩擦係数は、従来の応力インバージョン*からは 0.1 以下と推定されていたが、再解析の結果、それより有意に大きくなることがわかった^[DPRI03]。一方、地震観測による応力場の推定を通じ、日奈久断層帯では断層を挟み主応力軸の方向に違いがみられ、断層面が弱い可能性が示唆されたほか、日奈久断層帯がせん断帯として働くことにより、この地域の不均質な応力場を生み出す要因となっていることが示唆された^[KYU_01]。

令和 6 年能登半島地震に関する調査が行われた（第 3 章を参照）。

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

地震波の相関解析から、御嶽山の山頂の地表面から深さ方向に 5 km にかけて反射面を見出し、震源分布との対応から反射面は固結したマグマ溜まり上面や低透水層の境界面に対応すると解釈することで、火山性流体や熱輸送に関するモデルを提示した^[THK_08]。鹿児島湾奥の海底火山である若尊カルデラにおける定期的なヘリウム観測から、2015 年の桜島の火山活動活発化の時期に若尊カルデラの活動度は変化していなかったことを明らかにした^[AORI02, KOB032]。2018 年草津本白根山噴火後に実施した稠密 AMT 観測から、本白根火砕丘の浅部には白根火砕丘のような釣鐘状のキャップロック構造がないことを明らかにした^[TIT_03]。2018 年草津本白根山噴火に伴う地震波解析により鉛直開口クラックの上部にシール*状の圧力変動源の存在を推定し、開口クラックを通じて上昇してきた流体が一時的に停留した可能性を指摘した^[TIT_03]。

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2016 年熊本地震後に顕著に見られた阿蘇カルデラ内の沈降を、粘性変形を考慮して調べたところ、阿蘇カルデラ内の 2 枚の断層面における正断層*成分を伴う余効すべりで説明できることを明らかにした^[GSI_01]。

オ. 構造共通モデル*の構築

地殻及び上部マントル条件での岩石（岩相-水-マグマ）の地震波速度及び電気伝導度*を再現するモデルの構築を進め、インバージョンにより安定的に各種パラメータ推定を行う手法を開発した^[DPRI_04]（図 4-4）。

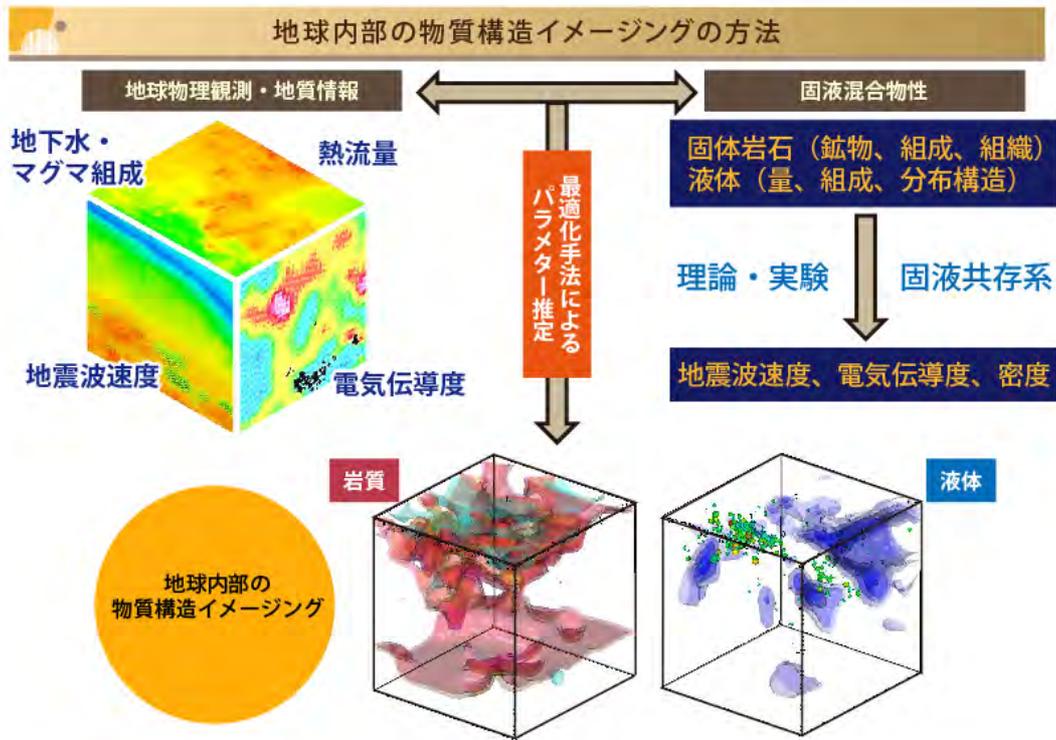


図 4-4 地球内部の物質構造イメージングの方法。地球内部の地震波伝播速度と電気伝導度を統合解析することにより、岩石と液体の種類、量比、分布形状を推定する手法を開発した。この手法を用いることにより、地殻とマントル最上部の構造イメージングが大きく進み、地震・火山活動のしくみの理解に資すると期待される。

4-2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生 of 新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

沖縄本島と宮古島の上に設置された海溝軸付近の2点の海底地殻変動観測により、プレート沈み込み方向への変動速度が小さいことが示され、現時点でこの地域がプレート間固着を示す積極的証拠はないことを明らかにした^[NGY_02]。すべり速度状態依存摩擦則*を仮定したプレート境界地震サイクルのシミュレーションによって、東北地震タイプのM9級地震の1サイクルにおける宮城県沖地震タイプのM7級地震の繰り返し間隔を調べ、M9地震のアスペリティ*周辺ではM7地震の発生間隔がプレート間すべりの時空間変化に起因して変動することが確認された^[JAMS01]。関東地方のGNSSデータの解析から、1703年元禄関東地震、1923年大正関東地震の震源域、および房総スロースリップすべり域では応力蓄積速度が大きく、房総半島南部域で大きな応力が蓄積していることが示された(図4-5)^[NIED03]。

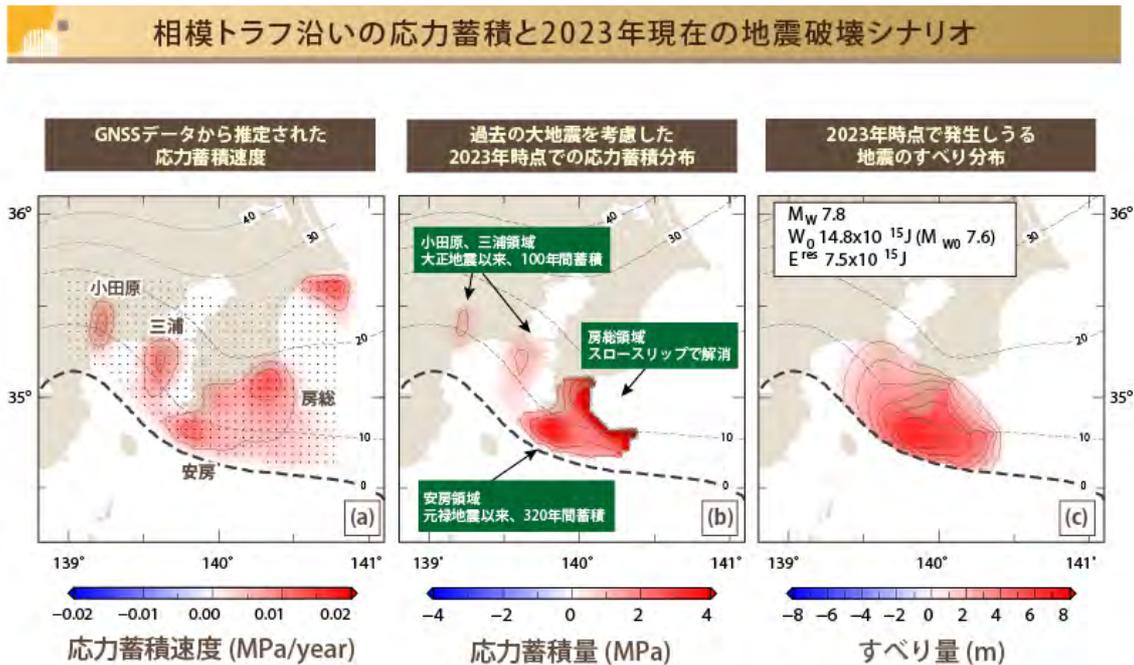


図4-5 相模トラフ沿いの応力蓄積と2023年現在の地震破壊シナリオ。(a) GNSSデータから推定された応力蓄積速度。(b) 過去の大地震を考慮した2023年時点での応力蓄積分布。元禄地震以来320年経過している安房パッチに応力が蓄積している。(c) 2023年時点で発生しうる地震のすべり分布。房総半島沖の安房パッチでは、2023年時点でもMw7.8程度の大地震が発生しうる。

イ. 内陸地震の長期予測

GNSS 観測によるひずみ速度*分布に基づいて、日本列島全域を対象に地殻内で発生する $M_{JMA}6.0$ 以上の地殻内地震の 30 年発生確率を試算した (図 4-6) [DPRI05]。2023 年トルコ東部の地震と 2024 年 1 月 1 日に能登半島で発生した地震 ($M7.6$) の動的破壊シミュレーションを行い、破壊過程*に対する断層形状と広域応力場の効果を調べた [UTS_05]。相模トラフや日本海溝のプレート境界地震によるクーロン破壊応力*変化 (ΔCFS) の計算を行ったところ、関東地方北部と南部で想定されている断層では、変化量は小さいものの、東北地震前後で異なる応力変化の挙動を示す。東北沖地震前は、関東地方北部では促進的、南部では抑制的であるのに対し、東北沖地震後その逆の傾向を示し、北部は東北地方で観測された断層の挙動と似た結果となった [ERI_11]。1944 年東南海地震 ($M7.9$) 及び 1946 年南海地震 ($M8.0$) 後の内陸震源断層に対する応力載荷*について、粘弾性緩和を考慮して計算し、1944 年からの 4 年間の間に西日本の内陸域で広範囲に 0.1 MPa 以上の応力変化が引き起こされることを示した [JAMS01]。SAR 時系列解析と GNSS 変位場の融合により、電離圏擾乱の大きい場合でもロバストな補正項推定が可能な手法が開発され、GNSS 観測網だけでは捉えることができなかった高精度かつ高空間分解能な地震間ひずみ速度場の検出に成功した [DPRI05]。

測地データと地震活動度から求めた内陸域での地震発生確率

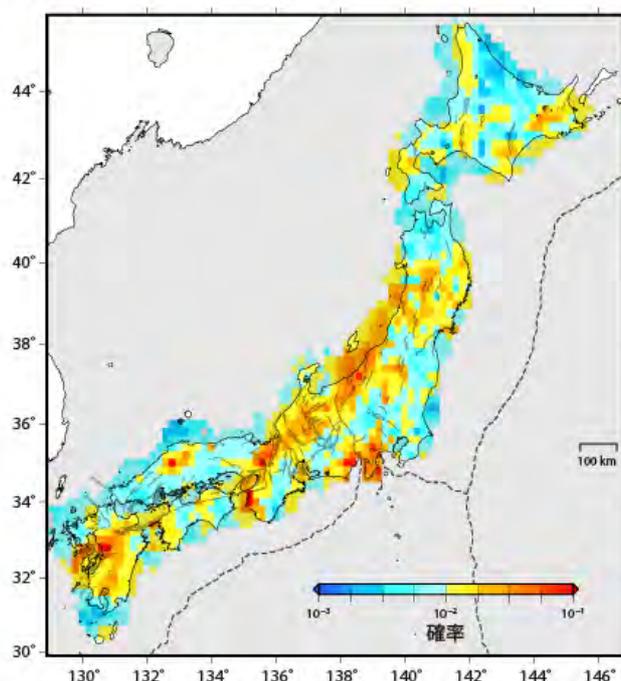


図 4-6 測地データと地震活動度から求めた内陸域での地震発生確率。2005 年～2009 年に観測された GNSS データに基づくひずみ分布から推定した内陸地殻に蓄積されるモーメント率と、過去の地震活動記録に基づく各地の背景地震活動データから、 $M_{JMA}6.0$ 以上の地殻内地震の 30 年発生確率を求め、その分布を色で示した。赤い色の地域ほど、発生確率が高く見積もられた。平均変位速度*が速い活断層では、余震の継続時間が短い傾向が見られた。

(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

GNSS 等地殻変動観測データを用い、南海トラフ及び東北沖のプレート境界での固着状況の推定及び SSE の検出を進めるとともに、新潟-神戸歪み集中帯における非弾性*変形構造を推定した[AIST09, GSI_02, JMA_01, THK_09]。Hi-net 高感度加速度計(傾斜計*)記録に基づく、東北地震に先行して発生した加速的な先駆すべりに関する検証し、ノイズレベルを超える数時間の加速的変動がなかったことを確認した[ERI_12]。機械学習等の手法により、東北沖における地震活動や低周波地震活動の震源カタログのアップデートを進めた[THK_09, ERI_12]。プレート間非地震性すべり*の時空間変化の推定を進め、スラブ内地震の余震にも繰り返し地震活動があることを確認した[THK_09]。プレート境界周辺部での構造探査を行い、SSE や深部低周波微動活動域、大地震すべり域と構造不均質との関係の理解を進めた[ERI_12]。構造探査データと深海掘削データを組み合わせた解析により、タービダイト*が SSE 静穏域に集中して分布しており、透水性の高いタービダイトがプレート境界断層の間隙水圧を低下させているために SSE 活動が抑制されている可能性が示された(図 4-7)[ERI_12]。群発地震の解析から、流体に駆動されたスロースリップが群発地震に関与している可能性を示唆した[ERI_12]。Physics-Informed Neural Networks (PINN*)を用いた断層すべりモニタリング手法の開発を進め、プレート境界での摩擦特性の推定と SSE すべりの推移予測の試行を行った[KUS_01]。

南海トラフ沿いのスロー地震活動を規定するタービダイト

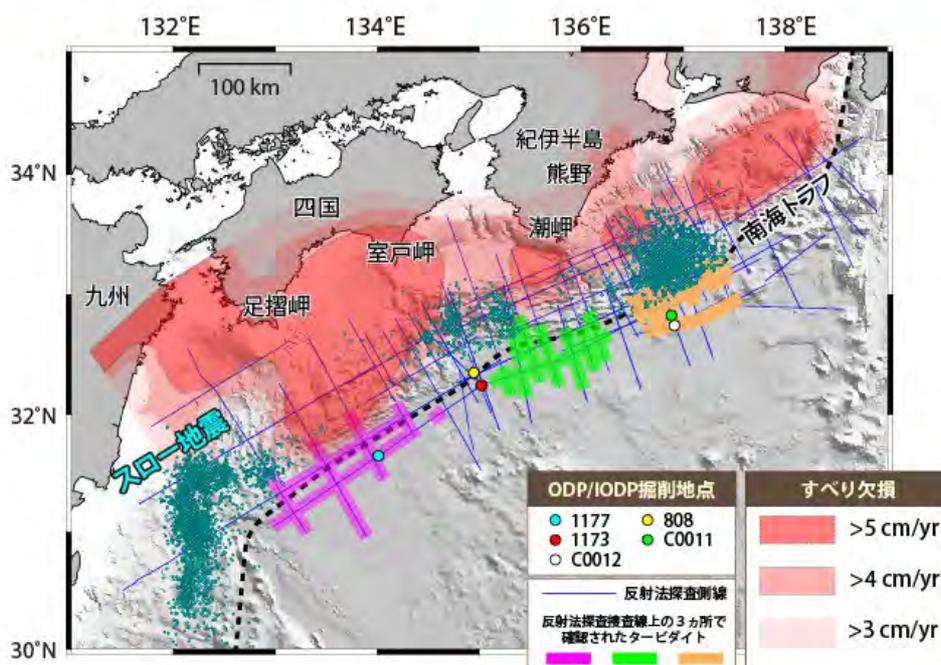


図 4-7 南海トラフ沿いのスロー地震活動を規定するタービダイト。南海トラフに沿って沈み込む深海堆積物を調査した結果、砂層に富むタービダイト（反射法探査測線上の桃、緑、橙色の領域）が、スロー地震活動の静穏域（水色の丸がない領域）、すなわちプレート間固着の強い領域（赤のグラデーションが濃い領域）に集中して分布することを発見した。透水性の優れたタービダイトがプレート境界断層の間隙水圧を低下させることで、断層面のせん断強度が大きくなり、スロー地震活動が静穏化した可能性を示唆する。

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

静岡県御前崎沖から沖合の南海トラフに沿った海域で DAS を用いた試験観測を開始し、浅海域における波浪などの振動現象の観測を行なった^[JMA_01]。また、南海トラフにおいて DONET の地震検知能力を評価し、観測網内であれば M1 以上、観測網の外周数十 km では M2 以上の地震については検知漏れがないことを確認した^[ERI_13]。深層学習*とアンサンブル学習*を組み合わせ、地震の自動検出手法の改良を進めた^[JMA_01]。富士山下の火山性低周波地震活動の解析により、2011 年東北沖地震後に低周波地震の発生頻度は増加し、その後低下していないことから地震後のマグマ供給系の変化を示唆した^[ERI_13]。P 波初動極性から応力場を推定する手法開発により、2000 年鳥取県西部地震域での高空間分解能応力場の推定を行った^[KUS_01]。2016 年鳥取県中部地震及び 2023 年モロッコハイ・アトラス地方での地震の観測データをもとに断層破壊停止要因に関する検証を進めた^[ERI_13]。ETAS モデル*に基づく予測地震数と観測地震数の比を GNSS による地殻変動データから計算した最大せん断ひずみ速度と比較し、正の相関が高いことを示した^[JMA_01]。余震活動の背景応力の時間変化を ETAS モデルとすべり速度状態依存摩擦則に基づく余震物理モデルを組み合わせ推定する手法を開発した^[ERI_13]。

（3）先行現象に基づく地震発生の確率予測

2024 年 1 月 1 日能登半島で発生した地震 (M7.6) の約 1 時間前からの前震活動について、M3 未満の前震が震央*近傍約 1 km 以内の範囲に集中していたことを明らかにした^[ERI_12]。開発を進めている、現在進行中の群発的な地震活動がより大きな地震の前震である確率の予測モデルと、実際に前震である確率が高い活動の特徴を併せたモデルを、日本の 1926~1999 年の地震で作成し、2000~2017 年 10 月末までの地震活動で検証したところ、本震発生確率の予測値と実際に本震が発生した割合は同程度によく一致していることを示した^[ERI_13]。2017 年以降の地震の連続波形記録同士の正規化相互相関関数の全チャンネル平均値の計算を高速化する手法を開発し、能登半島群発地震活動前にカタログ未記載の相似地震が発生した可能性を示した^[RTM_02]。室内実験において前震的微小破壊*（アコースティック・エミッション）イベントの発生状況を調べるために、人為的に低摩擦面を試料内部に配置する手法を検討した^[RTM_02]。2013 年 Lushan 地震（中国）に先行した大規模な地殻流体の移動に伴う顕著な重力の時間変化を検出した^[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

富士山のマグマ全体の化学的な特徴を把握するために、文献などから計 1,417 の噴出物の全岩主要元素組成を収集し、このデータセットに対して統計分析を行い、3つの噴火年代と2つの宝永噴火の噴出物に分けられることを明らかにした。また、富士山の北麓から東麓で地表露頭調査及びトレンチ調査を実施し、時間的な連続性が保存される山中湖の湖底堆積物コア試料も活用して地層対比を行ったところ、比較的規模の大きなテフラ層が6枚あることを見出し、これらの噴火年代推定も行った^[MFRI01]。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、岩石鉱物化学組成・組織など物質科学的情報の収集を実施し、テフラ層の区分や特徴を明確化した。特に伊豆大島では、大規模噴火に共通する性質及び、噴火推移やマグマ溜まり条件に制約を与える研究を進めた^[ERI_03]。御嶽山・秋田焼山等の岩石試料を対象とした年代測定を実施し、10万年より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした^[AIST03]。

イ. モニタリングによる火山活動の評価

人工衛星と地上観測による十勝岳の二酸化硫黄放出率の比較観測を行い、人工衛星データから推定された二酸化硫黄放出率が、冬季には噴火中の火山に相当するほどの大きな値となる原因を明らかにした。そして人工衛星データに対する誤差補正方法に関する検討を行い、地上観測が困難な冬季においても高頻度かつ高確度の二酸化硫黄放出率を衛星観測から推定する方法を構築した^[HKD_04]。雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球化学的モニタリングを継続し、活動活発化を示唆する変化がみられないことを確認した。また、雌阿寒岳の温泉・噴気観測の結果をもとに熱水系の概念モデルを構築した^[HRO_01]。

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

十勝岳では浅部の地殻変動源の膨張収縮とマグマからの熱及び物質供給の関係を、阿蘇山では噴火前駆地震と噴火様式及び規模との関係をそれぞれ議論し、吾妻山では長周期地震による深部からの流体収支推定を行った。御嶽山や草津白根山については数値モデリングによって、高圧流体による火山構造性地震*活発化を説明し、火口湖の湖底熱活動を表す湖水濃度変化を説明した^[THK_11]。また、日本国内外の噴火に関連する火山活動の推移について、1) 噴火前駆過程において地殻変動のみが起こる非破壊性マグマ貫入から、火山構造性地震を伴う破壊性マグマ貫入への移行、2) マグマ貫入速度と噴火の爆発力が比例、3) 古い噴出物を排出して新鮮なマグマを放出、4) マグマ噴火は揮発性成分が卓越する噴火、5) 脱ガスしたマグマ物質が卓越する噴火へ移行するという5段階からなる基本モデルを提示した^[DPRI06]。

4-3. 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

京都盆地及び奈良盆地内を対象に、強震観測点・震度観測点の波形記録を収集、整理、解析した。盆地基盤面で反射する地震波について、奈良盆地の多くの地点では観測往復走時と理論往復走時の差異は20%以内となったが、山科盆地と京都盆地の境界付近の狭窄部や基盤形状急変部などでは顕著な差異がみられた^[DPR108]。

双葉断層北方の仙台平野南部に存在する伏在断層の形状や断層長の推定を、浅部構造・重力探査や地震観測により行った。また、仙台平野南部の伏在断層の長さを25 km、幅を18 kmと仮定して、簡便法による震度予測を求めた結果、断層の浅部延長と山地に挟まれた帯状の領域では震度7程度と推定された(図4-8)^[THK_07]。

地表付近の強震動計算の高度化に資するため、2016年熊本地震を例として、既往調査に基づくすべり時間関数形状・すべり量・立ち上がり時間などのパラメータやこれまでのモデルの特徴を整理し、変動地形調査の結果を取り入れた震源断層浅部の破壊進展について、新たなモデル化に取り組んだ。また、震源断層が地表に達する断層モデルを想定し、断層浅部モデルのパラメータスタディを行って断層近傍強震動の計算結果に与える影響について調べた^[NGY_05]。

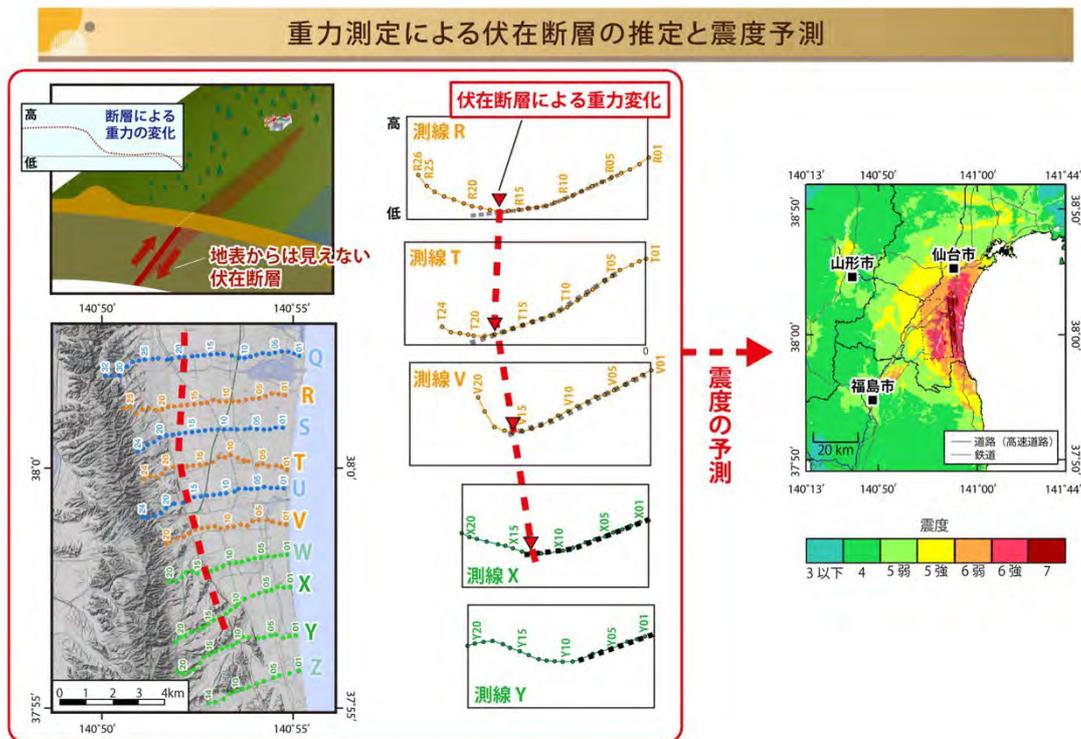


図4-8 重力測定による伏在断層の推定と震度予測。仙台平野南部において、反射法地震探査で確認されている伏在活断層に伴った重力変化を追跡した結果、伏在活断層による重力変化の分布が明らかになり、この断層の連続性が明らかになった。また、この断層の活動から各地の震度分布を予想したところ、断層の浅部延長と山地に挟まれた帯状の領域では震度7程度が推定された。

イ. 津波の事前評価手法

海底地すべりによる津波の事例である1929年Grand Banks（カナダ）の津波を対象とした再現実験を行った。震源近傍の海底の急斜面で地震動により誘発された斜面崩壊が徐々に深海域へと進展するモデルにより、海底ケーブルの断線時刻を再現した。また崩壊量をおよそ540 km³と仮定すると、検潮記録を再現できることがわかった^[HKD_05]。

南海トラフ沿いで発生する巨大地震の津波によって引き起こされる災害について、震源パラメータの不確実性を考慮した確率論的評価を実施した。南海・東南海地震津波を対象として、断層パラメータの不確実性の津波波高のばらつきに対する感度解析を実施した。津波によって発生する漂流物の挙動について水槽実験と数値計算結果との比較を行い、津波漂流物モデルの改良とその精度評価を行った^[CTOC01]。また、確率論的な津波浸水シミュレーションで予想されるハザードに基づいて、想定される避難モデルの結果から、そのリスクを推定する、といった、津波に対する一連の流れからリスク推定を行う統合的な枠組みを開発した^[CTOC32]。

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

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ともに、地震動予測式の非エルゴード性*に関する日米比較を取り入れた国際共同研究を行った。国際的に構築された沈み込み帯の地震動フラットファイル（データベース）に比べ、日本の強震観測網による地震動フラットファイルが、地震動のばらつきの認識論的不確実性*を排除するために有効であることを定量的に確認した^[ERI_16]。

鳥取市鹿野町に立地し、1943年鳥取地震を経験した伝統的木造建築物を対象として、そこでの微動観測結果に整合する建築物の稠密モデルを作成し、個別要素法による震動の数値実験をおこなった。その結果、この伝統的木造建築物は現在の住宅に適用される簡易判定の評価よりも高い耐震性を有することが示唆された^[TTR_01]。

重点推進研究「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」を総括研究として実施した。これまでに震源過程や地盤構造等の各分野におけるリスク評価の不確かさの知見を統合し、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による建築物被害推定を、木造を対象に行ってきたが、令和5年度は鉄筋コンクリート造（RC造）と鉄骨造（S造*）の建築物被害推定を同時に行った。これにより、それぞれの構造形式に与える影響を比較検討できるようになった（図4-9）^[CTOC01]。

建物被害による平均損失率(構造種別ごと)

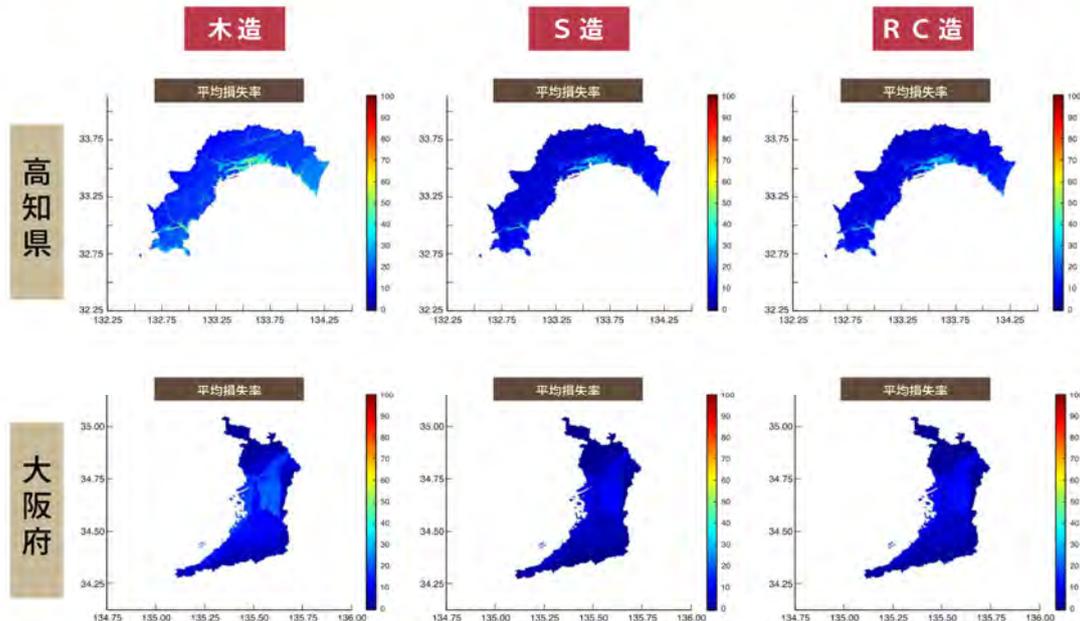


図 4-9 建物被害による平均損失率(構造種別ごと)。南海トラフ沿いの巨大地震が発生した際に生じる高知県及び大阪府における構造種別ごとの建物損失率の期待値を示す。最大値は、高知県では木造で 60 %、RC 造と S 造で 30 %、大阪府では木造で 35 %、RC 造と S 造で 20 %程度である。

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・九州内における過去の災害履歴を検討し、付加体*地域内に分布する砂岩領域において地すべり*・深層崩壊が多発していることを明らかにした。特に砂岩地域の中でもメランジュと呼ばれる変形帯の砂岩は深部まで亀裂が形成されており、さらには断層破碎作用によって中小角礫化している場所も分布していることを明らかにした^[DPRI10]。

インドネシアのメラピ火山は、過去に溶岩ドームの崩落が頻繁に発生し、大規模な被害を引き起こしてきた。2020 年頃から、メラピ山の溶岩ドームの一部が十数メートル変位しており、将来的には崩落し火砕流を引き起こす危険性が懸念されている。この背景から、地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR*)の高精度化アルゴリズム*を用いた溶岩ドームの計測を提案し、実現に向けた準備を進めた^[IRID03]。

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

地盤変動、火山性地震、空振、火山ガス、映像等の観測データをもとに、火砕流の発生危険度をリアルタイム判定するロジックを高度化し、過去の火砕流発生時の前駆現象から危険

度を判定するパラメータの調整を行い、より適切な火砕流発生危険度の評価を可能にした [DPRI10]。

(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

鳥取平野を対象に、鳥取県の地震被害想定に用いられた地下構造モデル*を新たな視点で更新した。まず、平野内の地震観測点における地震基盤までの地下構造モデルを、拡散波動場理論を介して推定し、物性の標準値を設定した。その標準値に基づいて、大アレイの微動観測点における観測された地震波形の特徴を満足する地下構造を推定した。これら地震波解析に基づく地下構造の層境界と、重力異常に基づく密度層境界の対応を吟味して、観測結果を満足する3次元地下構造モデルを構築した [TTR_01]。

強震波形データから2観測点間の地震波伝播を表す伝達関数をあらかじめデータベース化し、大地震の強震観測記録に適用することで、震源から離れた地点の揺れを即座に予測する手法の有効性を検討した。2004年新潟県中越地震の関東平野を代表する横浜地点の長周期地震動をこの手法により予測した結果、観測された長周期地震動の波形と良く一致することを確認した [ERI_14]。

イ. 津波の即時予測手法

新たなデータ同化手法に基づく津波の波動場現況推定手法の定式化をさらに拡張し、波動方程式に類する一般の方程式に対してもこの手法が適用できるよう、一般的な方法論を検討した。またその応用として、津波のみならず地震波を記述する弾性体の運動方程式と異方性を含む一般的な線形構成関係式に対する方程式も導出した [HRS_02]。

津波の即時予測に必要な断層推定の高度化に関係する、国土地理院で運用している REGARD の1枚矩形断層推定手法について、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC*法) によってリアルタイムで実現するアルゴリズムの精度評価を継続した。2024年1月1日に発生した能登半島の地震 (M7.6) 発生時に、RUNE によって断層モデルを自動推定することに成功した [THK_12]。

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

霧島火山群全体に対する火山活動推移モデルを作成するとともに、各噴火事象の分岐確率についての評価を行った [ERI_17]。

焼岳火山北西の足洗谷流域を対象として、土砂動態シミュレーションモデルを用いて土石流発生ポテンシャルの変動に関する検討を行った。毎年の冬期から夏季にかけて凍結・融解作用で生産された土砂によって河床堆積土砂が増加し、豪雨を受けると土石流が発生し、堆積物が全て流出することでポテンシャルがリセットされ、生産土砂による河床堆積土砂増加により経年的にポテンシャルが増加するサイクルを再現することができた [DPRI12]。

(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

高知県において、南海トラフで発生する M8 クラスの地震の連発の発生確率等に関する研究成果を報告し、南海トラフ地震臨時情報の実効的活用に向けた課題に関する意見交換を行った。静岡県とも連携し、臨時情報に関する啓発セミナーの講師を務めるなど社会発信をしつつ、自治体やメディア関係者等と意見交換を行った^[IRID04]。

首都直下地震に関する認知体系について、都民に対するアンケート調査をもとに明らかにした。国や地方公共団体の公表している被害想定の内容に対する認知が低く、またそれらを住民が認知したとしても、その被害想定の内容に沿った地震対策が行われるわけではないということがわかった。これを踏まえ、地震に関する認知構造を把握したうえで、住民が理解しうる情報(被害想定)体系を考案した^[III-01]。

4-4 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、災害事象の発生場所を地域の歴史的・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。1855年安政江戸地震において怪我人が出た状況について整理し、同地震の際の薩摩藩の芝屋敷や支柱のようすを描いた『江戸大地震之図』（東京大学史料編纂所蔵島津家文書、令和元年度に検討済み）にも『安政大地震絵巻』（三康図書館蔵）と同様の描写があることを確認するとともに、地震対策となる「地震口」がその後の1910年代にも東京で採用されていた事例を検討した。東京帝国大学では、1923年大正関東地震によって図書館等の蔵書が焼失し、貴重書としての史料の保管場所が、震災時の搬出に不便であった点が災いしたことなどを明らかにし、史料の防災対策の難しさを指摘した^[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。歴史地形の痕跡や、2011年の東日本大震災における被害状況に関する岩手県宮古市での野外調査の結果、市街地の南岸を流れる閉伊川の河口に前近代まで存在した砂州が埋め立てられた状況や、山口川で前近代の流路が変更され旧河道が暗渠化されている現状を確認した。また、砂州を埋め立てた場所に建設されていた当時の宮古市役所庁舎が津波で被災し、山口川の旧河道に沿って津波が侵入しており、歴史地形と2011年の津波被害に明確な因果関係があることを確認した^[IRID05]。

2011年東日本大震災に関して、復興後の被災地の防災力の強化について、宮城県女川町を事例に検証した。高台移転や低地の土地利用規制などによって津波に対する安全性は向上したが、人口の著しい流出により震災前と比較して世帯の分解・縮小が顕著に進んだこと、コミュニティの近隣関係・地域活動・生活条件が顕著に衰退・悪化したこと、地域の防災活動も著しく停滞した状態にあることなどを明らかにした。南海トラフ地震対策に関する高知市の調査も踏まえ、ハザードに対する科学的な理解や制御と、社会的な観点に立った災害・防災の捉え方とを組み入れた防災計画の必要性を指摘した^[NGY_06]。兵庫県による南海トラフ地震の被害想定のうち被害想定小さい兵庫県北播磨地域において被災者受け入れの意向を把握し、広域避難に伴う問題点を検討した。その結果、空き家活用特区制度について、かなり前向きな意見が多く、とりわけ人口減少・高齢化・空き家増加が課題となる地区において、地域活性化の仕組みとしての制度への期待が高いことが明らかになった。一方、都市部から人が流入する際の懸念を高齢世代の多くが持っているため、二地域居住といった、新規居住者と旧来からの住民との間に軋轢を生まないためには、平時からの両者の関係を構築する必要があることがわかった^[HGY_02]。

2021年10月20日の阿蘇山噴火は災害に至らなかったが、噴火発生時に火口から1~2kmの登山道に10名を超える登山者がおり、人的被害につながっていた可能性のあるインシデントである。これまでの阿蘇山での火山活動とそれによる災害、防災対策、火口周辺の利活用などに関する文献調査を行うとともに、このインシデントの発生過程を現地調査に基

づいて整理した。その結果、火山活動の活発化に伴い、気象庁からの情報は段階的に発表されていたが、それが速やかで効果的な登山道閉鎖にはつながらなかったこと、また、登山者の火山情報収集にも課題があったことが明らかになった^[KUS_03]。

南海トラフ地震を対象としたハザード・リスク評価における認識論的不確実性を考慮するための枠組みの構築に着手するとともに、地震ハザードの基盤情報として、2024年起点の確率論的地震動予測地図を作成し、基盤となる強震動観測記録、地下構造、活断層のデータベース群へのデータの追加を行った。津波ハザードステーション(J-THIS)に防災科学技術研究所の津波ハザード評価に関する研究成果を紹介するWebサイトJ-THIS Labsを新設し、南海トラフ沿いで発生する地震の最大クラスを含む多様性を考慮した確率論的津波ハザード情報を公開した。南海トラフ巨大地震のリスク評価として、被害評価に基づく特徴量を用いた地震像の類型化を実施した^[NIED04]。関係機関と連携し気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を共有した。緊急地震速報の震源推定手法について、従来法を含む複数の手法の併用から改良を加えたIPF法*に一本化する運用を開始するなどの情報内容の改善を行った^[JMA_16]。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。とくに、地震本部と連携した地域講演会等の普及啓発を実施した^[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

令和4年度に引き続き、社会における防災リテラシーの実態の把握については、応急期を想定したシナリオに基づき、個人及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、以下の成果が得られた。

災害後の被災者行動・行政対応についての現象解明にかかる研究、及び研究成果として得られた知見の社会還元を推進した。北海道太平洋沿岸部では、津波浸水想定区域が更新されることで、災害リスクの高い対象者・対象地域が変化することにより新たな浸水想定区域が指定された。これにより、津波避難行動において、地域性や対象者の属性等が既往の想定と異なるために津波避難上で発生する課題が変化する。これを踏まえ、災害リスク軽減のために国・地方自治体・住民組織・住民個人の間で流通させるべき情報種別の同定、避難開始や避難場所選定などに関する住民の意思決定要因の解明と、現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して避難移動の特性についての解明を試みた^[HKD_07]。災害情報が被害の発生抑止・軽減に資する過程を明らかにすることを目的に脳科学にかかわる実験・分析が行われた。その結果、リスクに関わらず「まず避難」する意思決定特性と、脳内の感情反応抑制特性の間に、正の相関があることが確認された。これは、被害リスクや避難行動に対する忌避感情が避難行動を阻害する要因になりうることを意味しており、「怖がらせれば逃げるだろう」という旧来の災害心理学的発想を否定する知見である^[IRID06]。災害後の生活再建にかかる公的な支援のあり方を研究するために、過去災害の生活再建支援相談対応に関するデータ分析を実施し、対話型での相談対応システムの基礎を整備した。あ

わせて、令和6年能登半島地震の発生を受け、被災地である富山県氷見市をフィールドとして、生活再建支援の礎となるデータ管理の基本要件を再整備するとともに、応援・受援を合わせた現場支援のあり方について実地研究を推進し、状況認識の統一を実現するためのツールとなる「共通方針」「共通実施計画」の基本テンプレートを整備・検証した^[TYM_03]。

日本の多くの火山地域で課題となる登山客や観光客を対象とした防災・減災策として、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について、各火山地域における観光施設の調査データを分析し、各火山地域に共通する主な課題として「噴火災害経験の継承」、「地域住民への火山防災啓発」、「登山者・観光客への火山防災啓発」、「観光と防災の両立」の4つを指摘した^[NGY_06]。桜島を対象とした研究では、一般公開行事として実施される観測施設を巡るバスツアーの参加者にアンケート調査を継続的に実施し、10年前の調査と比較することで、毎年開催されることによってイベントの認知度が上がったことがわかった。また、参加者が最も関心を持った展示や施設は観測坑道であり、そこに立ち入ることについての希少性と非日常性が理由であると考えられた^[DPRI13]。また、地震火山観測に関する科学的知見を、事前復興や防災リテラシーに生かすための方策について、京都大学防災研究所桜島火山観測所による観測データの公開や施設公開等のオープンサイエンスの実践から検討し、様々な団体との連携を通して、科学的な研究が市民（非専門家）に対して、より開かれた活動へと変革する過程を明確化した^[HYG_01]。

防災のために獲得すべき能力を8つに分類し、現在の学校や地域において実践されている防災教育の内容がそのどれを向上させるものであるのかを調査、分析することで、現状で何が不足しているのかを明らかにして、望ましい防災教育の在り方を提唱した。その内容は文部科学省が発行した「実践的な防災教育の手引き（小学生編）」にも活用され、社会に実装された（図4-10）^[NGT_02]。

防災リテラシー向上に寄与する知見の社会発信の一環として、京都大学防災研究所阿武山観測所では、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を取り入れた「サイエンスミュージアム運営による地震リテラシーの向上」「地震・津波避難訓練支援ツールによる市民参画型地震・津波訓練の推進」「自然災害に関する歴史資料の解説プロジェクトの推進」「内陸地震観測にかかるオープンサイエンス型地震学の試行」といった先端的な取組を継続した^[DPRI14]。また、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・検証を進め、研修プログラムを構築し、研修体系の整備を進めた。関東地震100周年として開催されるイベント等の機会をとらえ、これまでの観測研究計画における研究で抽出・体系化された知見を再整理し、啓発コンテンツの発信を推進した。特に関東地震と南海トラフ地震の共通性と独自性を整理することで、地震現象の理解枠組みの整理を実施した。令和6年1月1日の能登半島での地震の発生後には、既往研究の成果として得られた理解枠組みと研究コンテンツ開発の技術に基づき教材を整備し、ハイブリット型での研究環境を活用した短期間で効率的な研究プログラムを構成した。この研修プログラムは、被災県内外からの多くの職員が断続的に応援活動を実施する中で、これらの職

員に対する研修として実装し、確実に災害対応実績があげられたことから、その効率性と有用性が確認された^[NGT_02]。

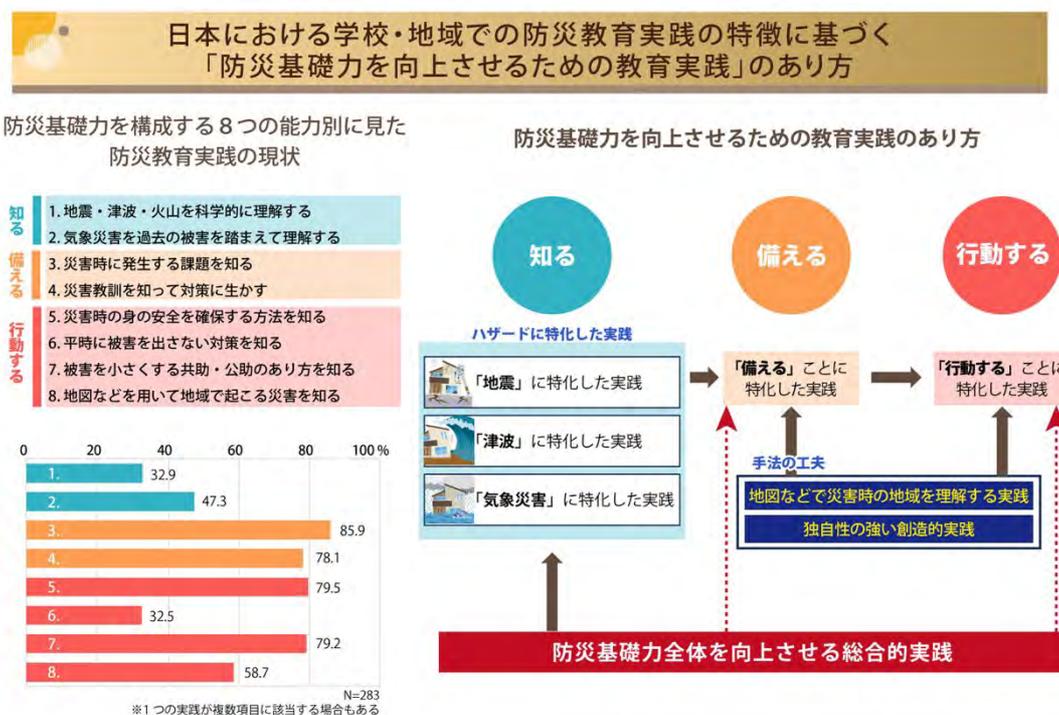


図 4-10 日本における学校・地域での防災教育実践の特徴に基づく「防災基礎力を向上させるための教育実践」のあり方。防災の基礎となる 8 つの能力について、現在学校や地域で実践されている防災教育がどの能力を向上させるものであるかを調査した（左図）。その結果、「地震・津波・火山を科学的に理解する」「気象災害を過去の被害を踏まえて理解する」「平時に被害を出さない方法を知る」、及び「地図などを用いて地域で起こる災害を知る」を向上させるための教育が相対的に少ししか実践されていないことが明らかとなった。この結果を体系的に整理することで、防災基礎力を向上させるための教育実践のあり方を提案した（右図）。本研究の成果は、文部科学省が発行した「実践的な防災教育の手引き（小学生編）」※に活用され、社会実装・社会普及を実現した。

※ <https://anzenkyouiku.mext.go.jp/mextshiryou/data/jissenbousaisyougakukou.pdf>

4-5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

本研究計画の適切かつ効果的な推進のため、測地学分科会は計画の進捗を把握し、参加機関間は密接に情報交換しながら計画の推進につとめた。年度末には地震・火山噴火予知研究協議会主催で成果報告シンポジウムを開催し、研究成果を取りまとめた。今年度、測地学分科会は地震・火山噴火予知研究協議会とともに、地震本部との連携を強化して対応することとなった。本計画の成果が地震本部施策へ活用されるための具体的な議論を進めた。

・拠点間連携共同研究

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」を総括研究^[CTOC01]とし、その中でリスク評価の不確かさの要因を検討する各分野の6グループ、それらの知見を統合する3グループ、の計9グループを構成して活動した。令和5年度はこのグループのうち、4つを特定研究として実施した^[CTOC31, CTOC32, CTOC41, CTOC42]。一般課題型研究としては、災害軽減に関する新たな研究課題の創出や新規参画者の開拓のため、新規と継続を合わせて11課題を実施した^[CTOC34, CTOC35, CTOC38~CTOC40, CTOC43~CTOC48]。令和元年度から令和5年度までの各年度において申請された研究提案について、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により審査され、拠点間連携共同研究の趣旨に適合するものが採択された。

(2) 分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

成果の社会実装・ステークホルダーへの成果の還元を目的とした活動を実施した。2023年8月に宮崎県との共催で南海トラフ地震臨時情報に関する自治体向けのセミナーを実施し、臨時情報が発表された場合の自治体対応とその問題点の共有を図った。また、2024年2月にメキシコで国際ワークショップを開催し、南海トラフ及びメキシコにおける地震・津波研究成果の社会への実装と還元について議論を進めた。

イ. 首都直下地震

相模トラフ沿岸を襲った津波の歴史記録について整理を行い、それに関連した野外調査から津波の高さを検討した^[AIST08]。震源域近傍で記録された強震波形データを入力して、都心部での長周期地震動の速度応答スペクトル及び地震波形を予測する深層学習(CNN*)モデルを開発した^[ERI14]。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^[ERI15]。

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

GISを用いた津波浸水被害や津波避難行動解析の成果に基づき、災害情報流通に関する

分析を実施した。また、高校「地理総合」での防災リテラシーの向上に向けたシンポジウムを開催し、学校現場での課題を検討した^[HKD_07]。根室沖で船舶及びウェーブライダー*での観測を実施した。プレート相対運動方向の変位が検出され、プレート境界浅部まで強く固着している可能性を示した^[ERI_05, HKD_09]。

エ. 桜島大規模火山噴火

大規模噴火の前駆現象としてのダイク貫入の重要性を再確認した。桜島南岳噴火の地盤変動に関する大量のデータから、噴火規模と噴火時間に関する確率モデルを構築し、発生予測モデルの検討を行った。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、土石流についても研究が進んだ。大規模噴火とその後の避難に関わる様々な取組のひとつとして、大規模噴火を想定した場合の噴出量と風速場に基づき、市街地への降灰危険度を予測した（図 4-11）^[DPRI13]。

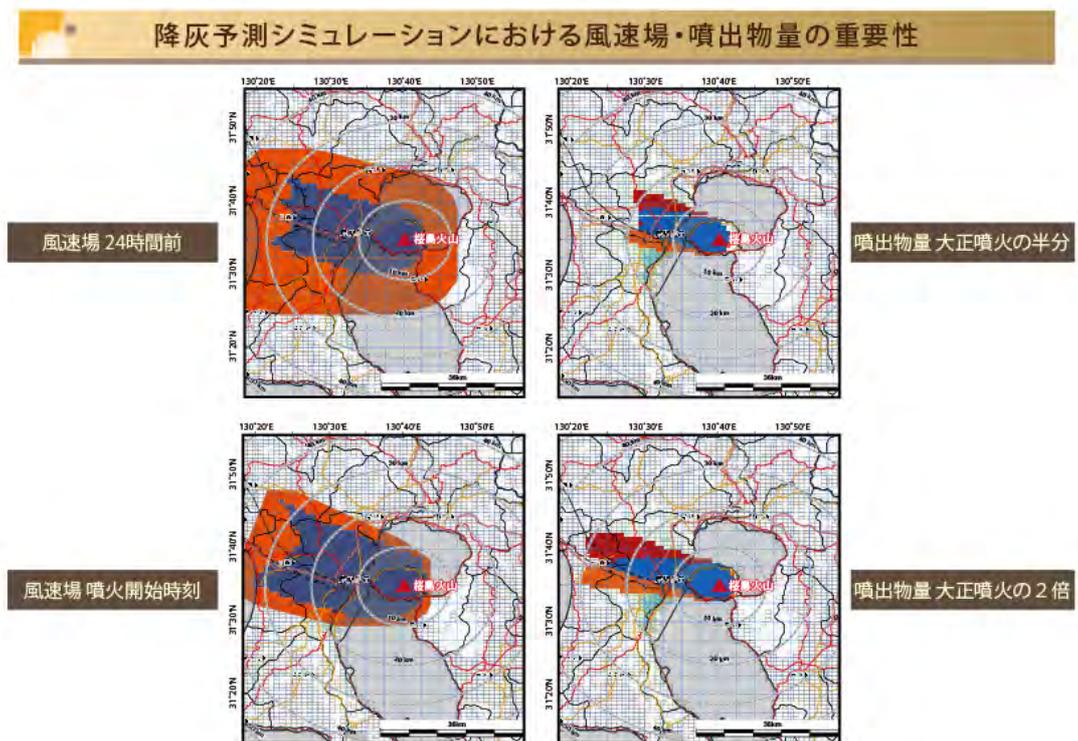


図 4-11 降灰予測シミュレーションにおける風速場・噴出物量の重要性。鹿児島市街地に影響が及ぶ風速場（2018年7月15日）において桜島南岳山頂火口において大規模噴火が発生した場合における降灰危険度予測（右上，右下）。降灰危険度予測を基に避難すべき範囲の余長の持たせ方の変化（左上，左下）。噴火の24時間前予測では余長域が広いが、現時点予測では余長域が狭くなるように設定されている（左図の赤色の範囲）。

オ. 高リスク小規模火山噴火

各地域の火山防災に関する先進的な取組を比較し、火山防災啓発における課題と対応を図にまとめた^[NGY_07]。火山活動に関する効果的な情報伝達手段をアンケート調査により調査した^[KUS_03, THK_11]。富士山周辺、阿蘇山、弥陀ヶ原火山等で様々な地球物理的観測を実施した^[MFRI02, KUS_02, TYM_02]。地震・噴火の国際的なデータベースを統計的に評価し、大地震の影響による火山噴火発生確率の変化等の知見を得た^[THK_11]。

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持・運用するとともに、地震観測データを一元的に処理した結果を公開し、関係機関に提供した^[JMA_09, NIED05, GSI_04, GSI_08]。N-net においては、海底へ観測機材とケーブルを敷設し、海底からのデータ取得が可能になった^[NIED05]。全国の地盤・地殻変動を把握するため干渉 SAR 時系列解析を実施した^[GSI_07]。地震観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用を継続した^[ERI_19]。

イ. 観測・解析技術の開発

三陸沖及び新潟県粟島周辺に設置されている海底地震観測システムの光ファイバーに DAS 計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測を実施した^[ERI_22]。広域火山観測網について観測・伝送装置を低消費電力化・DC 駆動に切り替え、非常時でも蓄電池で長時間の観測継続を可能にした^[THK_13]。機械学習を用いて Pi-SAR 観測データから津波等の浸水領域を抽出するモデルを構築するなど、データ解析手法の開発を行った^[NICT01]。

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

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ーを安定的に運用し、大学・気象庁等関係機関データの充実を図った^[HKD_08]。試作してきた次世代の対話検出処理ソフトウェアに、ランニングスペクトルの表示や波形の選択部分のスペクトルの表示機能を追加した^[ERI_24]。WIN 波形データ伝送プロトコルの課題整理及び次世代における波形フォーマットや伝送プロトコルの策定・提言を行った^[KOC_02]。

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

地震カタログを作成してホームページに公開した^[JMA_14]。全国の 50 活火山*^[注]について、地震計、空振計、GNSS 等の観測データを常時収集して解析を行った^[JMA_15]。大規模噴火データベースの構築及び噴火推移データベースの構築を進めた^[AIST11]。いくつかのデータを機関リポジトリに登録し、DOI 付与を実現した^[ERI_18]。観測や開発したソフトウェア等のメタ情報を収集・整理し、研究成果共有システムで公開した^[ERI_25]。

(4) 関連研究分野との連携強化

近代観測以前の地震・火山現象の解明を目指し、e.ユミマップ*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、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

ニュージーランドや南アフリカで国際共同研究を進めた。ニュージーランド北島のヒ克蘭ギ沈み込み帯で発生する地震を、その発生場所毎に分類することに成功した^[THK_01]。また、この海域で発生する微動のエネルギーは、日本周辺域と比較して1桁以上小さく、海域観測によって初めてその活動が確認できることがわかった^[ERI_08]。

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

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の取組を継続的に行った。

(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

地震・火山噴火予知研究協議会は、令和5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。

5. まとめ

令和元年度から5か年計画で推進されてきた「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）」は、令和5年度をもって最終年度となった。本研究計画は前計画の基本方針を踏襲した地震・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の実施に加え、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掲げて取り組んだ。その結果、この5年間で、前計画のこれまでの研究の進展による成果はもちろん、実践的な防災リテラシー向上のための仕組みづくりや整備、また社会の共通理解の醸成と防災リテラシーの向上のための様々なデータ、手法の活用方策の確立が進んだ。

「地震・火山噴火の予測のための研究」の中で掲げられた3つの重点研究についても5年間で新たな取り組みやそれに基づく成果が得られた。「地震発生の新たな長期予測」では、測地データによる地殻ひずみ場や背景地震活動度を用いて、日本列島全域における内陸のM6以上の地震発生確率モデルを新たに提案するとともに、全国の地震活動に関する評価の担い手である地震本部との連携を深めた。「地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測」では、陸海の地震・測地観測により、スロー地震検出手法の高度化やそれによる新たな現象の把握がなされるとともに、数値シミュレーションや構造探査などを通して、スロー地震の発生様式についても理解が大きく前進した。また「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」では、多項目観測データから求めた火山活発化指数による火山活動度評価の試み、さらに物質科学的データの解析・分析結果も取り入れて火山活動推移のモデル化、噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成、分岐基準判断事象の理解を進めた。これらの地震発生予測及び火山噴火予測に関する研究は次期の研究計画でも継続し、実用化を出口に見据えた研究として、さらなる進展が期待できる。

本研究計画では、地震火山現象の観測に軸足をおいた研究と人文学・社会科学研究との連携強化が図られ、分野間の融合研究も進んだ。現象解明の研究では、史料・考古・地質データの整理・分析により、過去の事象を裏付ける情報が充実し、その確度を高めた。また、防災リテラシー向上のための研究では、史料からの地震・火山噴火災害の復元、近年の災害事例に基づく社会的課題の整理、自治体などとの連携による今後の災害に備えるための情報共有などが行われた。また、観測データをもとに発信される地震・火山情報に対する受け手の調査が進んだ。これらも分野の枠を越えた活動であり、英文査読誌の特集号に成果がまとめられた。今後は、地域社会が持つ脆弱性*の特徴を土地利用計画に反映させる研究や、防災施策及び計画の策定につなぐ研究や、心理・脳科学の観点から災害予測や対応に関する知識と結び付けた防災リテラシー向上の研究が進むであろう。分野間連携を促進するために構成された5つの総合的研究においても、成熟度や達成度の違いはあるが、それぞれにおいて現象の理解、それに基づく災害誘因予測やリスク評価、災害軽減を意識した防災対策の提案や実践的取組など、各分野の英知を持ち寄った研究が進められた。分野間連携のさらなる

強化、防災リテラシー向上研究の目標・出口の明確化については、本研究計画の2年目終了段階時点で実施された外部評価（令和4年7月）でも指摘されていたが、本研究計画終了までに得られた成果とともに、次期研究計画にも引き継がれ、分野横断で実施する複数課題の総合研究などによって各分野間の連携、融合研究が進むと予想される。

本研究計画期間中には、被害を生じる大地震が複数発生した。2021年2月、2022年3月には福島県沖でそれぞれM7.3、M7.4の地震が発生した。これらは2011年東北沖地震がもたらした応力変化の影響を受けたものであると考えられ、東北沖地震から10年以上経過した現在でも潜在的な影響が及ぶことを認識させられた。また、2020年12月からは能登半島において、「令和6年能登半島地震」と呼ばれる一連の群発地震活動と非定常地殻変動が始まり、その後のM6クラスの地震、M7.6の地震といった一連の地震活動が発生した。群発地震活動・非定常地殻変動の詳細な時空間変化と地下構造の研究成果を対応させることで、流体移動が一連の活動に関与したとするモデルが提案され、その後の地震活動との関係も議論された。M7.6の地震は、震源域が海域にも及んだため、測地観測による震源断層推定に加え、陸海域での臨時地震観測による詳細な地震活動分布の把握、沿岸部の地形変化や津波痕跡調査などが進められた。被災地では、人命救助・生活再建の負担軽減と被災文化遺産レスキューも重要な課題となっており、文化遺産防災マップの作成など、文化財保護に本計画の研究を役立てる活動も迅速に進められた。被災地では現在も避難生活が続いており、他の被災地へのアクセス手段が限られる地理環境下での防災対策は、今後他の地域でも課題にもなると思われる。

火山活動については、海域及び遠地で発生した噴火が日本列島に影響を及ぼす事例が複数あった。2021年8月に小笠原諸島の海底火山、福德岡ノ場で発生したVEI4級の大噴火は、大量の軽石が沖縄や奄美など日本列島の沿岸部に達した。また、2022年1月に発生したトンガの海底火山噴火はVEI5を越えていたと推測され、日本列島沿岸部でも爆発的噴火に伴う気圧変動に起因する海面変動が伝播し、船舶などに被害が生じた。これらの火山活動については、大量の軽石や海面変動を生成した噴火がどのようなものであったかの推定に衛星画像解析が大いに活用された。海域など遠隔地の噴火活動における衛星モニタリングの重要性が示されたといえる。陸域の火山では、規模は小さかったものの、防災対応の課題となる噴火が複数あった。2021年10月に阿蘇山中岳第一火口において小規模噴火が発生し、多項目観測により噴火前後の火山活動について詳しく調べられた。桜島においては2020年6月に33年ぶりに居住地近傍に火山岩塊の落下が確認され、2022年7月には火山岩塊の飛散により噴火警戒レベル5が発表された。また、この噴火を機に、噴火警戒レベルの理解度に関する意識調査も行われ、噴火現象によって噴火警戒レベルが引き上げられることが認知されつつあることが明らかになった。今後は、火山現象の理解が進むとともに、研究成果の一般への周知や防災情報の発表などの社会の受け止め方の研究も進むことが期待される。

本研究計画では、基盤観測網の整備・増強も行われ、精度の高い観測データが得られるようになった。例えば、海域観測網の地震データが一元化処理に取り入れられたことによ

り、特に海域の震源分布の特徴が明瞭になった。また、GEONET のリアルタイム解析システムによる震源断層即時推定手法は高度化と実用化が進んでいる。これらを含め、本研究計画の成果の多くが、基盤観測網を適切に維持・管理・更新するための不断の努力の上に成し遂げられていることを忘れてはならない。また、観測研究の成果を災害の軽減に結び付けるための研究者間の連携、研究を効果的に遂行するための体制整備、持続的な取組を可能にするための人材育成についても、今後も工夫しながら継続していくことが不可欠である。

この5年間は、新型コロナウイルス感染症の世界的流行により、国内外の人的交流や野外調査に制限が生じ、本研究計画の遂行にも少なからず影響が及んだ。しかし、その中でもオンラインやテレワークを活用した新しい研究・交流スタイルも普及し、計画全体の運営においても、各課題の実施においても、臨機応変な対応が取られたことにより、多くの成果を得ることができた。令和6年度からは第3次となる次期の研究計画も開始した。現計画で明らかになった課題に対応しつつ、新技術の導入や分野横断で実施する総合的研究を積極的に取り組むことで、災害の軽減に貢献する成果が多く得られることを期待する。

用語解説

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。

異常震域

震度が地震の規模や震源直上からの距離（震央距離）に比して著しく高くなる地域。震源の深さが深い地震（深発地震）の際に出現することが多い。原因は主に海洋プレート内を伝わってくる地震波の減衰が小さいためと考えられている。

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異なることをいう。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。

ウェッジマントル

沈み込む海洋プレートと直上の陸側プレートに挟まれた、くさび形状のマントルの領域。

エアガン

水中で圧縮空気を瞬間的に放出し、その衝撃波を震源とすることで水底に向けて地震波を発生させる装置のこと。発生した地震波が地下の地質境界で屈折・反射して海底地震計等の観測機器に伝わってきた波形のデータを解析することによって地下の構造を推定できる。

衛星画像

人工衛星で取得される画像。その一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。

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。

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、3 つの主応力の平均値からのずれを偏差応力と呼ぶ。

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、断層面にかかるせん断応力が増加すること。

オープンサイエンス

科学的な知を社会に対して公開・共有し社会での理解・活用を推進する活動。

海溝型（巨大）地震

プレート の項を参照。

（地震破壊の）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。

階段図

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。

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。

海洋プレート

プレート の項を参照。

化学組成

ある物質を構成する元素や化合物などの化学成分が、それぞれどのくらいの比率で含まれているかを示したもの。

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。

火山構造性地震

火山性地震のうち、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、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（断層すべり）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。

火山灰

火山噴出物 の項を参照。

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。また、火山砕屑物のうち、多孔質で淡灰色のものを軽石、暗色のものをスコリアということもある。

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

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。

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），GNSS 電子基準点（国土地理院のGEONET），ケーブル式海底地震計（防災科学技術研究所のS-net，DONET，N-net，気象庁及び大学）の観測網のことをいう。

逆断層

断層面に沿って主として上下方向にずれた断層のうち，浅い側の岩盤がずり上がる場合を逆断層という。

キャップロック

熱水やガスの上部を覆い，流体の上方への移動を防いでいる不透過性の岩石からなる地層のこと。帽岩ともいう。地下水がマグマ溜まりからの熱により熱水となり，この熱水が地表に向かうに従って温度が下がり，溶け込んでいた成分が再結晶化して周辺の岩の隙間を塞ぐことにより形成すると考えられている。

強震観測

被害を及ぼす強い揺れの地震波形を，振り切れることなく記録できる強震計を用いる地震観測。これらの観測網のデータ等は，地震ハザード・被害リスク評価などに役立てられている。

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。

緊急地震速報

地震の発生直後に、観測されたごく初期の地震波をわずかな時間で分析し、各地での強い揺れの到達時刻や震度を予想し、可能な限り素早く知らせる情報のこと。気象庁が発表する緊急地震速報は、テレビ、ラジオ、携帯電話（緊急速報メール）等により伝達される。

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。

クーロン破壊応力

クーロン破壊応力（Coulomb Failure Stress, CFS）。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。

苦鉄質マグマ

マグネシウム（苦土）や鉄を多く含むマグマのこと。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。

クラック

岩石中の裂け目、ひび割れのこと。

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

シリカ（SiO₂）や長石成分に富み、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。

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。

構造探査

爆薬などを震源として人工的に地震波を発生させ、地下で屈折や反射してきた波を多点で観測することにより、地震波の伝播速度や減衰、反射面の分布などの地下の構造を明らかにする調査手法。特に構造内で異なる物質が接する場所は構造境界と呼ばれ、構造調査によって、地震波伝播速度や物質の密度が不連続に変化する場所として把握される。

降灰予報

噴火により、どこにどれだけの量の火山灰が降るか（降灰量分布）や、風に流されて降る小さな噴石の落下範囲の予測を伝える情報。気象庁では平成 20 年から発表を始め、現行の降灰量を含んだ降灰予報は平成 27 年から発表を行っている。

古地震学

近代的な計測器を用いた地震観測が開始される以前に発生した地震について、史料や考古データ、遺跡に残された証拠などを用いて調査する学問。

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。

最適内挿法

観測データの第一推定値からの観測値のずれを，観測誤差や予報誤差の統計情報を考慮して第一推定値の格子に内挿し，第一推定値を修正する手法。

サロゲートモデル

ある現象を表現する数理モデルを構成する数式に含まれるパラメータの値を適切に設定（最適化）するためには，試行計算を繰り返し，その結果が，実際に起きた現象（観測データ）と一致するように調整する必要がある。しかし，数式が複雑であったり，パラメータ数が膨大であったりすると，このための計算コストが非常に高くなり，現象の定量的な理解の妨げとなることがある。そこで，少数の試行計算の結果を学習データとした機械学習によって，パラメータの最適化を行う手法が提案されている。この手法をサロゲートモデル，あるいは代理モデルという。

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。

磁化構造

物質が磁石の性質を帯びる現象を磁化といい，地下における物質の磁化の強さの3次元的な分布を磁化構造という。

事象系統樹

時間ととも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。

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。震源カタログともいう。

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。地震発生サイクルともいう。

地震探査

爆薬やバイブ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。

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 か年のプロジェクト。<https://www.kazan-pj.jp/>



実体波

地球内部を伝わる地震波のこと。体積変化を伴う P 波と、進行方向に対して直交した方向に運動する S 波に分類される。

シナリオ地震

位置や規模等の地震源情報と発生確率を特定した地震。

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。

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。

蛇紋岩

蛇紋石を主成分とする岩石で、通常多少の磁鉄鉱・クロム鉄鉱等を含む。肉眼で黒～暗緑色を呈している。約 600° C 以下の温度条件で、かんらん岩に含まれているマグネシウムに富むカンラン石や輝石が水と反応することで蛇紋石に変化してできる。岩石が蛇紋岩となることを蛇紋岩化という。

重力

重力（重力加速度）を測定することによって、地球内部及び大気を含む地球全体の質量の分布や移動等を推定することができる。地表付近の重力値は約 980 Gal（Gal は重力加速度の単位で cm/s^2 ）であるが、測定点の緯度や標高によって異なる。また、地下の密度不均質による重力異常は数ミリ Gal の程度である。また、月や太陽の引力に伴う潮汐変化は数百マイクロ Gal、地殻変動や地下水移動、火山活動に伴う変化は数～数十マイクロ Gal 程度である。その緯度における標準重力値に対する重力の実測値との差を重力異常という。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 か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/>

準静的すべり

スロースリップ の項を参照。

(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。

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。

シル

岩床ともいい、地層面にマグマがほぼ平行に貫入し固まったもの。

震央

震源 の項を参照。

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。震源を、直上の地表に投影した点を震央という。

震源域

地震時に破壊された領域全体のこと。

震源カタログ

地震カタログ の項を参照。

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。

深層学習

人間の神経回路をモデル化した、多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習法の一つ。ディープラーニングとも言う。

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>

深発地震

地下深いところで発生する地震で、明確な定義はないが、およそ200 km以深で発生する地震のことをいう。

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。

スコリア

火山噴出物 の項を参照。

すべり速度状態依存摩擦則

摩擦係数が、すべり速度と接触面の状態によって規定されるとする法則。

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

通常の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

断層面に沿って主として上下方向にずれた断層のうち、浅い側の岩盤がずり落ちる場合を正断層という。

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こることがあり、これを前震という。

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。

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

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。

ソリダス

固相線ともいう。固体のみが存在する領域と、固体と液体が共存する領域の境界を示す線のこと。

タービダイト

土砂を大量に含んだ流れによって運ばれた砂や泥の堆積物のこと。

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。

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。

地磁気地電流（MT）観測

物理探査の手法の一つで、電気伝導度など地下の電氣的性質を調査する手法。地磁気地電流（Magnetotelluric）観測の略。地表で電場と磁場を測定し、地表に入射する電磁場とそれによって地中で誘導される電磁場との関係を用いて、地中の比抵抗構造を算出する。AMT（Audio-frequency Magnetotelluric）観測は、可聴周波数帯域を利用するMT法の一つで、地下数百mから数kmまでの構造探査に利用されている。

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。

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を含む天文学的な要因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。

地理空間情報

空間上の特定の地点又は区域の位置を示す情報，及びそれに関連づけられた情報。

津波石

津波の高い水圧により海底や沿岸部から陸上に打ち上げられた巨大な石。

津波警報

地震等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等の情報が併せて発表される。

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。

津波浸水モデル

津波があった場合に浸水する区域及び水深を想定したモデルのこと。

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。

津波ハザードステーション（J-THIS）

津波防災に資することを目的として、多様な津波ハザード情報を利活用できることを目指して開発された 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-this.bosai.go.jp/>

津波避難ビル

津波警報や大津波警報が発表され、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）。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。

（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。

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。

電気伝導度

物質の電気の伝わりやすさを表す物性値。電気伝導率，導電率ともいう。

電磁気観測

地下の構造を調べる観測手法の一つで，電氣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。

電子基準点

GEONET の項を参照。

伝送プロトコル

コンピュータなどのネットワークにつながる機器間でデータをやりとりするためのルールや手順のこと。

土石流

(火山) 泥流 の項を参照。

トレンチ（掘削）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

陸のプレートの地殻内で発生する地震。

ナノライト

火山岩や火山噴出物中の石基に見られる鉱物の結晶のうち、数十ナノメートルよりも大きく、概ね1～2マイクロメートル以下のもの。マイクロライトやウルトラナノライトとともにマグマの粘性を高めるはたらきをすると考えられている。

南海トラフ地震に関連する情報

気象庁が、南海トラフ全体を対象にした地震発生の可能性の高まりについて発表する情報。南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合などに発表される「南海トラフ地震臨時情報」と、「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」の定例会における調査結果を公表する場合などに発表される「南海トラフ地震関連解説情報」がある。

逃げトレ

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評価・診断するためのスマートフォンのアプリのこと。

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

認識論的不確実性

不確実性は、「偶然的な不確実性」と「認識論的不確実性」に分類できる。前者はデータの本質的なばらつきに起因するものであり、データの統計的処理により正規分布等の確率分布として表現される。後者は情報や知識の不足に起因するものであり、専門家判断により確率分布として表現できる。

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。

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。

破壊過程

断層が応力を受けて変形し，最終的にすべりに至る過程のこと。塑性変形を伴って破壊に至る現象は延性破壊過程という。

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。

斑晶

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。

反射面

地震波が反射する，地下の音響インピーダンスの変化する境界面。

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。

非エルゴード性

ある系の時間平均と位相空間平均が一致しない性質のこと。

微小破壊

岩石や金属などに応力や熱が加えられることで内部に生じた局所的な応力集中によって引き起こされる部分的な破壊。このときに励起される高周波数の弾性波のことをアコースティックエミッションという。

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。火山性微動は、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。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は、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。

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の。

物質科学的（分析）

物質の組成、構成鉱物種、同位体比等を、組成分析や同位体分析などの科学的な手法に基づいて明らかにすること。

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。特に、冷たくて重い海洋プレートが、大陸プレートなどのより軽いプレートの下へ沈み込む地帯を沈み込み帯といい、沈み込み始める境界線を海溝軸という。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。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。海溝型地震はプレート境界地震の一種。

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砕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定期的に繰り返す。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。

分散型音響センシング (DAS)

Distributed Acoustic Sensing の略。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ごとに計測できる。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。

噴出物層序

層序とは、地層の重なっている順序のこと。この場合は火山噴火による噴出物が地表に堆積し重なっている順序のことを指す。それを解析することにより、噴火の様式や規模の変化を明らかにすることができる。

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。

ポアソン過程

事象の発生確率が時間に依存せずに常に一定（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。

本震

比較的大きな地震が発生すると、その近くで最初の地震より小さな地震が直後から続発する。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。

マイクロジオデータ

個々の人の動きや建物の状態を扱える程度に詳細な地理空間情報。

マイスター制度

火山に対する正しい知識を身につけ、社会への普及活動を適切に行える人材に対して能力

を認定する制度。

マグニチュード (M)

地震の規模を表す指標。略号はM。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が異なることがある。気象庁によって推定されたマグニチュードをMjmaあるいはMjと表記することがある。

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 (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。

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。

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。

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。

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。

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/>

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

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。

余震

本震 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か所、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、高知県沖から日向灘に設置された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。

（火山性）流体

マグマに起源を持つ熱水や火山ガスの総称。マグマそのものや，マグマ起源の熱で加熱された天水も含まれる。

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。

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。

Brownian Passage Time (BPT) 分布

逆ガウス分布とも呼ばれる。ブラウン運動における最初の通過時間を表す確率分布。地震の発生間隔のばらつきを表現し，地震の長期的な発生確率を評価する際に利用される。

CNN

Convolutional Neural Network（畳み込みニューラルネットワーク）の略。機械学習の一手法。特徴を抽出する「畳み込み層」，畳み込んだデータの解像度を下げる「プーリング層」，分類を行う「全結合層」の3つの主要な層で構成されている。これらの層が協調してデータの特徴を学習し，データを区別することができる。

DEM

数値標高モデル (Digital Elevation Model) の略。航空レーザ測量など、各種測量法によって計測し、建物などの高さを取り除いた地表面の標高データを数値的に表現したモデルのこと。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。

DOI

Digital Object Identifier の略。Web 上の電子データに付与される国際的な識別子。URL と異なりリンク切れなどの問題が無い。科学論文などで広く用いられているが、データなどに付与することもできる。

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・プラットフォームの一連の製品のうちの一つ。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>



ETAS モデル

Epidemic Type Aftershock Sequence の略で、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のこと。

GB-SAR

地表設置型合成開口レーダ (Ground Based Synthetic Aperture Radar) の略。計測原理は、衛星や航空機に搭載された SAR と同じであるが、レーダー装置を地表面に固定して利用する。レーダー干渉技術により、地すべりや火山の地表面の動き等を高精度でモニタリングすることができる。

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 か所の電子基準点 (観測点) 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。

GNSS-A

海底地殻変動観測 の項を参照。

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。

IPF 法

Integrated Particle Filter 法の略称。多種の異なる物理量のデータ (走時残差, 振幅値等) を用いてベイズ推定により震源推定する手法。

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/>



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 の略で、光を用いたリモートセンシング技術の一つ。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。

Love 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。

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、変数を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-net

陸海統合地震津波火山観測網 の項を参照。

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。

PINN

Physics-Informed Neural Networks の略称。データセットを支配する物理法則の情報を組み込んでニューラルネットワークの学習を行う手法。

Pi-SAR X3

Polarimetric and interferometric airborne Synthetic Aperture Radar の略。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こと。Pi-SAR X3 は、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 15 cm が定常的に得られることが実証された。

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。

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。干渉 SAR 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。

S 造

鉄骨を柱や梁などの骨組みに用いた造りのこと。

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。

Vp/Vs

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。

WIN

東京大学地震研究所が 1980 年代に開発した、観測波形データを伝送・収録・管理するためのバイナリデータフォーマットの名称。各成分（例えば、ある地震観測点の上下動成分など）ごとのデータが 1 秒長のブロックで管理されており、必要な成分のデータ抽出や他の成分とのデータ結合が容易である。また、秒ブロック内では差分データが収録されるためデータ容量の圧縮が図られている。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（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	
東京工業大学科学技術創成研究院	
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5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載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	森口周二
	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
	ERI_01	歴史地震史料を活用した地震学的解析	加納靖之

東京大学地震研究所	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ング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
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	及川亘
	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	佐竹健治
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	宮澤理稔
	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	竹林洋史
	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	児島正一郎
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	藤江剛
	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	露木貴裕
	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	若生勝
	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	坂井孝行
	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	碓井勇二
	JMA_09	地震観測, 地殻変動観測	下山利浩
	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	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	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	MFR01	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
	MFR02	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	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
	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
	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
	KOBO29	蔵王・御釜と鳴子・湯沼における地下熱水系の動的変動に関する比較研究	知北和久
	KOBO30	Web 情報から探る地震雲などの宏観異常現象と地震との関係	織原義明
	KOBO31	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 のフライトモデル開発	山崎政彦
	KOBO32	北海道摩周周辺の火山活動と災害ポテンシャルに関する地球化学的観測研究	鹿児島渉悟
	KOBO33	歴史時代の地震活動解析に向けた有感記録の完全性・均質性の検討	石辺岳男
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
	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
	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
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
CTOC41	巨大地震・津波を起因とする火災リスク評価の高度化	西野智研
CTOC42	地震ハザードにおける地下構造の影響の定量的評価の研究	飯高隆
CTOC43	コミュニティ断層モデルの試作	安藤亮輔
CTOC44	確率論的津波漂流物評価手法構築に向けた数値的検討	千田優
CTOC45	地盤と建物特性を考慮した建物被害分析と後発地震への応答予報モデルの構築	倉田真宏
CTOC46	土砂災害のサイレントキラーとなる地震による地表変状の研究 2022年12月31日山形県鶴岡市西目の斜面崩壊に与えた2019年山形県沖地震の影響評価	齊藤隆志
CTOC47	社会の要請に基づく首都圏における災害の誘因予測のための官民連携のフレーム検討・構築	田端憲太郎
CTOC48	長寿命化改修を実施した高経年建物の被害把握のための地盤と建物の地震観測に関する基礎的検討	中村友紀子

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） 建議項目

1. 地震・火山現象の解明のための研究
(1)地震・火山現象に関する史料・考古データ, 地質データ等の収集と解析
ア. 史料の収集とデータベース化
イ. 考古データの収集・集成と分析
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
(2)低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明
(3)地震発生過程の解明とモデル化
ア. 地震発生機構の解明
イ. 地震断層滑りのモデル化
(4)火山現象の解明とモデル化
ア. 火山現象の定量化と解明
イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化
(5)地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震
イ. 内陸地震
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解
オ. 構造共通モデルの構築
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(1)地震発生の新たな長期予測
ア. 海溝型巨大地震の長期予測
イ. 内陸地震の長期予測
(2)地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測
イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験
(3)先行現象に基づく地震発生の確率予測
(4)中長期的な火山活動の評価
ア. 火山噴火の長期活動の評価
イ. モニタリングによる火山活動の評価
(5)火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
(1)地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
ア. 強震動の事前評価手法
イ. 津波の事前評価手法
ウ. 大地震による災害リスク評価手法
エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法
オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法
(2)地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
ア. 地震動の即時予測手法
イ. 津波の即時予測手法
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法
(3)地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
4. 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究
(1)地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
(2)地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5. 研究を推進するための体制の整備
(1) 推進体制の整備
(2) 分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制（総合研究グループ）
ア. 南海トラフ沿いの巨大地震
イ. 首都直下地震
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震
エ. 桜島大規模火山噴火
オ. 高リスク小規模火山噴火
(3) 研究基盤の開発・整備
ア. 観測基盤の整備
イ. 観測・解析技術の開発
ウ. 地震・火山現象のデータ流通
エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開
(4) 関連研究分野との連携強化
(5) 国際共同研究・国際協力
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
(7) 次世代を担う研究者, 技術者, 防災業務・防災対応に携わる人材の育成

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)研究課題建議項目一覧(機関別)

●最も関連の深い建議項目 ○その他関連する建議項目

建議項目区分	1-(1)		1-(2)		1-(3)		1-(4)		1-(5)		2-(1)		2-(2)		2-(3)		2-(4)		3-(1)		3-(2)		3-(3)		4		5-(2)総合研究		5-(3)		5	5	5	5				
	ア	イ	ウ	(火)	(地)	ア	イ	ア	イ	ウ	エ	オ	ア	イ	ア	イ	ア	イ	ア	イ	ウ	エ	オ	ア	イ	ウ	エ	オ	ア	イ	ウ	エ	(7)					
HKD.01	●																																					
HKD.02																																						
HKD.03			●																																			
HKD.04																																						
HKD.05																																						
HKD.06																																						
HKD.07																																						
HKD.08																																						
HKD.09																																						
HRS.01																																						
HRS.02																																						
THK.01																																						
THK.02																																						
THK.03																																						
THK.04																																						
THK.05																																						
THK.06																																						
THK.07																																						
THK.08																																						
THK.09																																						
THK.10																																						
THK.11																																						
THK.12																																						
THK.13																																						
IRID01																																						
IRID02																																						
IRID03																																						
IRID04																																						
IRID05																																						
IRID06																																						
NGT.01																																						
NGT.02																																						
ERI.01																																						
ERI.02																																						
ERI.03																																						
ERI.04																																						
ERI.05																																						
ERI.06																																						
ERI.07																																						
ERI.08																																						
ERI.09																																						
ERI.10																																						
ERI.11																																						
ERI.12																																						
ERI.13																																						
ERI.14																																						
ERI.15																																						
ERI.16																																						
ERI.17																																						
ERI.18																																						
ERI.19																																						
ERI.20																																						
ERI.21																																						
ERI.22																																						
ERI.23																																						
ERI.24																																						
ERI.25																																						
UTS.01																																						
UTS.02																																						
UTS.03																																						
UTS.04																																						
UTS.05																																						
UTS.06																																						
JI.01																																						
UTH.01																																						

[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5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5年度の成果の概要」である。本編の「令和5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	蝦名裕一（東北大学災害科学国際研究所）
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	松島 健（九州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・学術審議会測地学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は非常に重要である。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となる。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。

5年間の成果

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、それに応じた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低頻度大規模地震の解明は重要な課題である。今期の計画において、17世紀のM9級巨大地震時に千島海溝沿いのプレート境界浅部で大きなすべりが発生した可能性が指摘されている根室沖において、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-音響測距結合方式(GNSS-A)による地殻変動観測が継続して行われた。この観測による5年間のデータについて音速水平勾配を同時に推定することによりアレイ変位速度の推定精度が向上し、海溝軸海側1点、陸側2点のいずれにおいても、太平洋-オホーツクプレート間の相対速度に近い向き・絶対値の変位速度が得られた(図1)。これにより、根室沖では大きなすべり欠損率が海溝軸近くにまで及んでいることを示唆する結果が得られた。これらの研究では、観測手法の改良もなされ、海底局の構成の形状の改良により、精度のよいデータが得られるようになった。また、GNSS-A観測における自立型水上船Wave Gliderの導入が行われ、観測頻度の向上がみられた。そのためより良い精度でデータが得られるようになり、今後は安定運用に向けたリアルタイムでの状態確認が可能になった。

2011年の東北沖地震（M 9.0）では、地震に伴う断層すべりが「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。東北沖の日本海溝に発達しているデコルマの物理物性を解明するため、反射法地震探査データを高精度で解析した。海底下のP波速度構造モデルを用い、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が発見された。デコルマに沿った間隙水圧の異常は、断層面に対する有効法線応力の低下、さらに地震性すべりをもたらし2011年東北沖地震（M 9.0）の巨大津波を引き起こした可能性が高いことがわかった。

日本海溝・南海トラフ周辺の海底においてGNSS-A観測が定常的に実施されており、それらの観測結果は、地震調査研究推進本部地震調査委員会や気象庁南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会に定期的に報告され、地殻活動の現状評価の資料として活用されている。

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、小繰り返し地震を用いることにより、累積すべり量の時間変化の検出が進み、固着の状況の把握がなされている（図2）。

また、海外での観測も進められ、メキシコ・ゲレロ州沖合で海底地震・測地観測が実施され、海底地震計記録を解析した結果、ゲレロ地震空白域におけるテクトニック微動および低周波地震の活動が確認された。特にゲレロ地震空白域の西部でテクトニック微動の活動は活発であり、東部は主に周囲で発生する大地震により誘発されたものが主である。なお、ゲレロ地震空白域内のスロー地震活動の報告は初めてである。

（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のために、地震発生の物理的性質や物性を明らかにする研究もなされた。

地震の破壊課程において、階層的な地震現象のイメージングからスタートし、北海道から東北沖の沈み込み帯において、M4.5以上の大地震と、M4以下の中小地震の波形の立ち上がりを網羅的に比較した結果、大地震についても多くの組の立ち上がりが小地震と同じであることが発見され、階層的な地震破壊を示唆する証拠を示した。また、スロー地震と普通の地震は何が違うかについては、異なるスケール法則に現れていることから、両者が異なる物理プロセス（波動と拡散）であることが示された。

蛇紋岩試料を用いた高間隙水圧下における高圧変形実験とフィールド調査に基づいて、間隙水圧変化に起因した間欠的微動・スリップ（ETS）発生サイクルの地質学的モデルを構築し、微動は岩石全体に発達する開口破壊および開口・剪断破壊に、短期的スリースリップイベント（SSE）は局所的に発達する粘性剪断帯の活動に、それぞれ対応すると考えられることがわかった。さらに、日本海溝に沈み込む海洋プレート基盤玄武岩および被覆層堆積物のチャート、遠洋性粘土および半遠洋性粘土の4試料について、摩擦特性の温度変化を総括した。どの試料でも摩擦構成則定数 a は温度変化が小さいのに対し、定数 b は100℃以上で温度上昇に伴って大きく増加する傾向を示した。この結果、 $a - b$ （正ならば断層運動は安定＝非地震性で、負の場合に断層運動が不安定＝地震性になり得る）正から負への遷移温度が岩質により大きく異なりプレート境界の物性を知るうえで有効な情報となった。

(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

プレート境界については、様々な地域で空間的高密度の観測が進み詳細な構造がわかってきた。S-net を用いた研究も進み、日本列島を取り巻くプレート境界の詳細な構造が明らかになってきた。また、さまざまな地域でのスロー地震の解析も進められてきた。プレート境界での微動の活動の解析が進み、微動の移動等、微動の活動の現象を詳細に捉えることができるようになってきた。

海外における研究も進められ、ニュージーランドではプレート境界を研究対象とした国際研究や、陸域では内陸地震の解明を目指した観測研究も多く実施され、重要な成果が得られた。

スラブ内地震の発生については、アウターライズでできた含水正断層がスラブと一緒に沈み込み、前弧域下でその断層が破壊してスラブ内の大地震を引き起こす可能性が強く示唆される結果が示されるようになった。

また、内陸地震の発生の場の理解も進んだ。地殻内流体と地震発生の関係を裏付ける研究が多く進んだ。比抵抗構造の解像度もあがり、断層面の形状やすべり分布と比べることができるようになってきた。さらに、内陸地震の空間ポテンシャル評価について、大地震の破壊開始点となる可能性が高い場所について調べられた。その結果、大地震の破壊開始点となる可能性が高い場所は、b 値が低い場所（規模の大きな地震が相対的に多く起こる場所）、モーメント比が高い場所（最適面な地震が多く起こる場所）、低比抵抗体の端部（高温高压の fluid-rich な領域の端部）、群発地震活動が過去に見られた場所（地殻に傷がある場所）であり、破壊が停止する場所は、高温高压の fluid-rich な領域の端部、または破壊強度が強い深成岩体の端部であることが提案されるようになった。

島原半島全域で 2017-2021 年にかけて得た 70 点の広帯域 MT 観測データの解析から、雲仙 1990-1995 年噴火のマグマの移動経路は、深さ 5 km より深部に存在する 100-3000 Ωm 程度の高比抵抗体、およびその上部に位置する 1-10 Ωm 程度の低比抵抗体、の境界付近と一致することが分かった。これらの結果は、高比抵抗体、低比抵抗体、いずれも流体が移動しやすい場所ではなく、その構造境界に流体が多く存在し、その移動が様々な地殻活動を発生させるという結果を示すものである（図 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

双葉断層北方の仙台平野南部に存在する伏在断層について浅部構造・重力探査や地震観測を行い、その形状・断層長と震度予測が行われた。10 本の東西方向の測線を設定し、相対重力測定が行われ、現在は活動していない断層による重力変化の 2 つを追跡することが可能となり、仙台平野南部の伏在活断層は、名取市から山元町までの約 25.5 km 連続した構造を持つことが分かった。この双葉断層北方の仙台平野南部に存在する伏在断層について簡便法による震度予測が行なわれた（図 4）。断層の浅部延長と山地に挟まれた帯状の領域では震度 7 程度が推定された。

5. 計画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

観測機器の技術開発の研究も行なわれている。海底地震計の開発では、1. 次世代型広帯域海底

地震計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化，2．超深海域で長期（広帯域）地震観測の実用化，3．面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化，4．長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発，5．小型長期観測型海底地震計の機能高度化，6．各種次世代センサーの開発，が行われた。

令和5年度の成果

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

日本海溝および千島海溝根室沖での低頻度大規模地震の解明は重要な課題である。そのため、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 観測が継続して行われている（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。この観測により5年間のデータを音速水平勾配の同時推定によりアレイ変位速度の推定精度が向上し、海溝軸海側1点、陸側2点のいずれにおいても、太平洋-オホーツクプレート間の相対速度に近い向き・絶対値の変位速度が得られた。これにより、根室沖では大きなすべり欠損率が海溝軸近くにまで及んでいることを示唆する結果が得られた。これらの研究では、観測方法の改良もなされた（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID02]）。

また、日本海溝北部における浅部テクトニック微動と通常地震の活動の関係について、S-net および自己浮上式海底地震計(OBS)による地震観測データにもとに解析が進められた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。その結果、微動活動のごく近傍のプレート境界上で、微動バーストに同期して通常地震が活発化する現象が繰り返し起こっていることが認められた。微動と連動して活発化する通常地震は群発的に発生する傾向があるほか、連動活動の期間中には微動と地震の震央分布が共通の時空間パターンに沿って拡大する様子がしばしば確認されたことから、こうした連動活動は短期的SSEにより励起されている可能性が高いことがわかった。房総半島沖において、自己浮上式海底圧力計6台での観測を続けており、房総沖スロースリップの海底圧力計データの解析を引き続き行なった。陸上GNSSデータのみによる結果と比較して、圧力計データを入れた結果のほうが、すべりの推定誤差が海側で小さくなり、より精度よく求められていることがわかった。圧力計データを入れた結果では、GNSSデータだけの結果と比べて全体のすべり量が小さくなり、すべり分布が海側に張り出すようになった。

北海道沖千島海溝の海溝軸から海溝海側アウターライズにおける地震活動について、海底地震計による臨時観測とS-netのデータを用いた解析がなされた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。解析の結果から、千島海溝の海溝軸海側（南側）約100km程度の範囲で地震活動が見られた。千島海溝にほぼ平行なホルスト・グラベン構造に沿う線状分布や、T軸が千島海溝にほぼ直交する正断層型の震源メカニズムが得られており、千島海溝からの沈み込みに伴う海洋プレートの変形を反映していると考えられることがわかった。一方2012年3月にMw6.9の地震が発生した襟裳海山周辺では、日本海溝にほぼ平行な線状分布や、T軸が日本海溝に直交する正断層型の震源メカニズムが推定された。千島海溝と日本海溝の接合部において、海洋プレート内で複雑な変形が生じていることが示唆された。また、日本海溝中北部の太平洋スラブ内では二重深発地震面の下面の活動がアウターライズ域から始まっており、周辺は島弧下の活動域と同様の低地震波速度異常

になっていることが明らかになった。

東北地方では、計算機を用いたシミュレーションの研究もおこなわれ、2011年東北地方太平洋沖地震後のGNSS時系列について、過去10年間の力学的な余効変動モデルで利用されていたべき乗流動則や速度強化摩擦を組み込んだ新しい関数モデルが提案され、この関数モデルにより現在も顕著な地震後の隆起が続いている沿岸地域を含む内陸のGNSS観測点の10年にわたる時系列を正確に予測することに成功した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_07]）。

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。デコルマに沿った断層滑りは、上盤プレートの内部構造やデコルマ形状の変形をもたらした可能性が考えられるが、その証拠はこれまで殆ど得られていない。そのため、2011年東北沖地震のデコルマに沿った地震性すべりの影響を解明するために、東北沖地震前後に宮城沖でJAMSTECが同じ測線上（1999年の測線名MY101と2011年の測線名D13）で取得した反射法地震探査データを再解析し、両結果を比較するTime-lapse MCSデータ解析を実施し、高精度の地殻構造断面図を得た（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI01]）。地震前に比べて、地震後のBackstop interface 浅部反射面の連続性が著しく高くなっていることが認められた。これは、東北沖地震に関連し、Backstop interface に沿った深部流体の上昇を示唆するものである。一方、デコルマでは、地震後のデコルマ反射面が不明瞭となり、デコルマ上下の音響インピーダンスが著しく低下したことが示唆された。その原因として、東北沖地震に伴う上盤プレートの変形（主に、スラスト断層）がデコルマ下部まで影響したため、デコルマ下部の堆積物の流体がスラスト断層に沿って脱水した可能性が考えられる。

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として南海トラフや日本海溝域にて3次元的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が実施されるとともに、これまでに取得したデータの解析が進められた（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS02]）。東南海および東海海域において集中的な2次元反射法地震波構造探査を実施するとともに、稠密にOBSを設置して屈折法観測が実施されたほか、日本海溝北部域において沈み込む前の海洋プレートから沈み込み帯深部にかけて、長大な反射法探査が実施された。南海トラフ日向灘から熊野灘までの反射法や屈折法データの解析結果を発表したほか、千島海溝や日本海溝のデータ解析や、ニュージーランド・ヒ克蘭ギ沈み込み帯についても論文化が行なわれた（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS02]）。

海溝型地震震源域海底において、GNSS-A 観測が継続して実施された（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や、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が観測されている（海上保安庁[課題番号：JCG_03]）。

海外における観測研究も実施された。メキシコ・ゲレロ州沖合に設置された海底地震計の記録を解析した結果、これまでに報告したゲレロ地震空白域の西部のテクトニック微動の活動に加えて、低周波地震が存在すること、ゲレロ地震空白域の東部では西部と比べてテクトニック微動の活動が低調なことを確認した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）。

（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のために、地震発生の物理的性質や物性を明らかにする研究もなされた。レシーバ解析とS波スプリッティングを組み合わせ、S波速度の異方性が四国下で調べ

られた(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI01])。その結果、フィリピン海プレート上面の深度 30 km の等深線に沿って、北部と南部で異なるパターンの異方性を検出した。四国南部では、S 波速度の速い偏光方位は沈み込むスラブの最大傾斜方向と垂直であるのに対し、北部ではスラブ最大傾斜方向と一致することがわかった。特に、四国中東部のテクトニック微動が発生していない領域では、異方性の強度が大きいのと比べて、テクトニック微動の発生域付近では異方性の強度が小さく、観測された異方性の強度をウェッジマントルの蛇紋岩化で説明する場合、四国北部下のウェッジマントルのほぼ全てが蛇紋岩化している必要があることがわかった。

沈み込み帯浅部の断層物質はスメクタイトなど粘土鉱物を多く含むことが掘削調査から明らかになっており、特に、粘土鉱物特有の平たい粒子形状は内部構造形成に大きな影響を与えることが予想されるが、その微視的機構は検証されていない。粘土鉱物粒子を回転楕円体として扱う数値計算コードを開発し研究が実施された(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_04])。摩擦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し、その指数が圧力に対して系統的に小さくなることが発見された。これらの結果は、実効圧力が低くなると摩擦係数の絶対値が増加するのみならず、速度強化の度合いも増すことを意味している。この結果は高い流体圧の条件でスロー地震的な遅いすべりが発生しうることを示唆している。しかし、その定量的条件は速度状態依存摩擦法則の結論とは異なるはずであるため、今後の更なる研究が必要であることがわかった。

蛇紋岩試料を用いた高間隙水圧下における高压変形実験とフィールド調査に基づいて、間隙水圧変化に起因した間欠的微小・スリップ (ETS) 発生サイクルの地質学的モデルを構築した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_05])。微動は岩石全体に発達する開口破壊および開口・剪断破壊に、短期的 SSE は局所的に発達する粘性剪断帯の活動に、それぞれ対応すると考えられることがわかった。日本海溝に沈み込む海洋プレート基盤玄武岩および被覆層堆積物のチャート、遠洋性粘土および半遠洋性粘土の 4 試料について、これまで温度 25~200°C、封圧 150 MPa、間隙水圧 50 MPa、軸方向変位速度 0.1~10 $\mu\text{m/s}$ の三軸摩擦実験を行ってきたが、補完実験を行い、これら 4 試料の摩擦特性の温度変化を総括した。どの試料でも摩擦構成則定数 a は温度変化が小さいのに対し、定数 b は 100°C 以上で温度上昇に伴って大きく増加する傾向を示した。この結果、 $a - b$ (正ならば断層運動は安定=非地震性で、負の場合に断層運動が不安定=地震性になり得る) は 100°C 以上で温度上昇に伴って大きく減少し、正から負へと転じた。 $a - b$ の正から負への遷移温度を T_{tr} とすると、チャート試料で $50^\circ\text{C} < T_{tr} \leq 100^\circ\text{C}$ 、玄武岩試料で $T_{tr} \approx 100^\circ\text{C}$ 、半遠洋性粘土試料で $100^\circ\text{C} < T_{tr} < 150^\circ\text{C}$ 、遠洋性粘土試料で $150^\circ\text{C} < T_{tr} < 200^\circ\text{C}$ となった。一方、遠洋性粘土試料の定数 b は他の試料と異なり 100°C で最小となり、この結果、 $a - b$ も 100°C で最大となった。

断層の高速すべりを模した室内摩擦実験における動的弱化について、近年試料サイズの依存性(大試料が低速で弱化)が指摘された。昨年度、不均質な摩擦発熱および熱膨張がすべり面における垂直応力の不均質を助長・増大する熱弾性不安定 (TEI) の発生条件が岩石の室内摩擦実験に合致することが指摘され、これによる局所的な温度上昇で動的弱化が起きている可能性を示唆した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_06])。TEI は試料サイズに反比例するすべり速度 V_{cr} で発生すると予測される。これを確認するために、本年度は、2.9 mm-100 mm まで 2 桁にわたる試料サイズの動的弱化データを比較したところ、これらが全て、試料サイズから理論的に予測される TEI 条件 V_{cr} の 10 倍程度の速度で動的弱化を示すことが確認された。

地震波速度変化の地球潮汐歪み応答に関する研究成果が示された(弘前大学[課題番号:HRS_01])。

この研究では、日本全域に展開されている Hi-net 観測点を用いて、地震波速度変化の潮汐応答の空間分布を推定した。状態空間モデルに基づきカルマンフィルタと最尤法を組み合わせた新手法により、地震波速度変化の潮汐応答を広域に推定した。大局的に浅部の S 波速度が遅い領域で潮汐歪み応答が大きい傾向が見られた。歪み感度の大きい地域は、高い間隙流体圧やアスペクト比の低いクラックの存在を示唆するものであると考えられる。

2014 年 Orkney M5.5 地震の、余震の筋が密集する領域において、波形相互相関を用いて、より小さな余震の Double Difference 法による精密震源再決定に成功した（立命館大学[課題番号：RTM_01]）。余震が面状分布する場所で回収された超苦鉄質ダイクは、南東に約 20 度で傾斜する母岩層や、そこに貫入するドレライト質シルと交差している。ダイクは、上部マントルが大深度で部分熔融したマグマが起源であり、母岩層やシル層の化学・鉱物組成が深さによって異なるために、ダイクと母岩の境界面（すなわち余震面）の上に、接触熱変成や熱水変質による、母岩層の層境界に平行な筋状の物性異常を生じ得ることがわかった。

地震に伴う流体相変化（流体圧変化）が、断層面の力学的特性に与える影響の解明を目的とした熱水条件における室内実験から、流体の相変化に伴う急減な減圧によって、岩石に多数の微小き裂が造成され、岩石の強度が大幅に減少することが明らかにされた（東北大学学理学研究科[課題番号：THK_02]）。また、断層面が急減圧破碎を受けることで、摩擦係数が大幅に減少すると同時に、連続的なゆっくりすべりが起きやすくなることが発見された。

楔形マントル最上部条件での間隙流体の形態と連結度は、地震・電磁気観測によって流体の存在（量）を調べるために不可欠な情報である。カンラン石-多成分系流体の界面エネルギー異方性に注目し、スラブ流体に含まれる塩成分 (NaCl) が、等方的な場合より流体の連結度を大きく下げることが見出された（東北大学学理学研究科[課題番号：THK_02]）。またマントルの流動によって結晶格子定向配列 LP0 が形成されている場所では、流体の連結度とそれに関する物性値にも異方性が生じることが予想された。

普通の地震とスロー地震のスケール法則の見直しが行なわれた（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_03]）。その結果、地震とスロー地震は異なるスケール則に従い、その違いは支配法則（波動方程式と拡散方程式）の違いであることがわかった。そして地震とは、地震波動によって階層的な破壊成長が促進されるプロセスであることを明らかにした。

3 次元的な密度・弾性構造を取り入れた重力場変化の計算手法を公表した（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_02]）。現実的なプレート境界形状を考慮した 1 次元球対称モデルと半無限モデルを用いて、地震時の断層すべりを GNSS 地殻変動データのインバージョンで推定した。その結果、層構造、曲率、自己重力を取り入れることで ABIC、RMS とも減少することが分かった。また、均質な半無限モデルでは、海溝軸付近のすべりの不確かさを過小評価していることが明らかになった。

2022 年 9 月から 2023 年 9 月は三重県度会郡大紀町の大紀観測点で地下水・噴気観測が行なわれた（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_04]）。大紀観測点の溶存ガスは、酸素濃度で大気量を見積もると 40%が大気起源であり、60%近くの深部起源ガスが含まれていることが分かった。観測期間中の通常の地震は 0 回、深部低周波地震は 6 回あったが、これらに応答するような溶存ガス組成の変化は検出できなかった。

内陸断層の深部における地震発生と塑性流動の関わりとして、地震発生層の最深部における延性破壊過程を見出すとともに、その断層挙動への影響、地震発生の物理過程としてのポテンシャルの

評価が行われた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST05]）。

内陸活断層への応力載荷機構を探る一環として、広島県西部直下の深さ約 30km で概ね 10 km×10 km×10 km の空間範囲において下部地殻で発生する地震の性質が調べられた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。ダブルカップル成分に着目すると、逆断層型、横ずれ型、正断層型と様々なタイプが含まれることがわかった。このような狭い領域で多様なタイプの地震が起きていることは珍しく、高間隙水圧により様々な姿勢の既存クラックが破壊している状況が示唆される。また、非ダブルカップル成分に着目すると、微小ではあるものの、推定精度を有意に超える開口と閉口成分を持つ地震が起きていることがわかった。クラックの開口と閉口は約 9 年の周期性を持っていることから、クラスタ内に流体が周期的に注入されている可能性が示唆された。

（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の研究も多くなされた。四国におけるレシーバ関数解析を行い、測線断面における S 波速度不連続面のイメージングが行われた。スラブ上面（ST）は、南東側の須崎市の海岸付近で深さ約 26 km にあり、北西側の今治市の海岸付近で約 37 km の深さに達していて、スラブの傾斜は、測線の南東部で約 5°、深部低周波地震の発生域より北西側で約 9° であり、緩いことがわかった（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_02]）。

中国地方中北部・東部地域と四国地方の基盤的比抵抗構造観測データを用い I) 鳥取東部から中西部地域、II) 四国地方中央部地域、III) 島根県東部域、など地域毎の 3 次元比抵抗構造解析に着手するとともに、中国・四国地方の基盤的比抵抗観測の未測定エリアにおいて補観測のための予備観測を実施し、I) 鳥取-岡山東部から中西部地域ならびに II) 四国地方中央部地域において、実施された 3 次元比抵抗構造解析結果が得られた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_03]、図 5）。鳥取・岡山東部から中西部地域の深度別比抵抗モデルでは、地殻表層部は数百 Ωm 程度の構造がみられる中、深さ数 km から約 20 km にかけては全般的に数 $\text{k}\Omega\text{m}$ 以上の高比抵抗領域と推定された。東西方向ではこの高比抵抗領域の形態に変化がみられ、地震活動の下限と調和するようにみえる。また、地殻深部には（深度約 20 km から 40 km あたり）には 50 Ωm 以下の低比抵抗領域が共通して確認された。この低比抵抗領域は、鳥取・兵庫県境付近では北側海岸線付近から南方へ数 10km 伸びており、さらに西方向に延長するが、鳥取県中部から中西部では海岸線付近から約 30 km 南方へずれたところにその中心部がある。この深部低比抵抗領域の規模やつながりと、上述の地震活動の下限と高比抵抗領域の関連は、本年度の 3 次元解析を通して初めて示された特徴である。

2016 年熊本地震震源周辺域の絶対応力 6 成分のモデリングを通じて、剪断歪エネルギーの変化と地震前後の応力の向きの変化の両方を分析し、地震前の偏差応力の大きさを調べた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。剪断歪エネルギーと応力場の時間変化に基づく分析の結果は、どちらも偏差応力の大きい 2 つのモデル ($C = 0.0, 0.5$) の方が偏差応力の最も小さいモデル ($C = 0.9$) より合理的であることを示した。この結果、熊本地震震源周辺域の実効摩擦係数は、従来の応力インバージョンによる推定結果 ($\mu' < 0.1$) よりも有意に大きいと考えられることがわかった。

箱根火山深部で発生した火山性微動について、波形の特徴を再現できるような物理モデルの検討を行った（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI04]）。その結果、マグマを仮定した理論波形を見ると、片方向に卓越する振幅や尖った波形など、大まかではあるが観測された波形を再現できることが分かった。

ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部のギズボーン沖では、陸域 GNSS 観測網からおよそ 2 年周期で SSE が発生することが知られていた。この領域で海底地震観測を行い、海底地震計波形記録上の記録を再解析することにより、これまでに確認された微動よりも遥かに多くの微動を検出した。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ところ、 $10^2 \sim 10^6$ J の範囲にあることがわかった。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り、陸域地震観測網からでは海域に発生する微動の確認が困難であり、海域で実施した HOBITSS 観測によって初めてその活動が確認できることとなったと言える（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08]）。

内陸地震発生のパテンシャル評価の為、いわきの地震活動域南部の地殻内地震が発生していない地域から新潟に延びる測線に沿った地域の電磁気学的構造について、複数の測線を用いた 3 次元解析を行った。その結果、明瞭な比抵抗構造が得られた[課題番号：ERI_09]。深さ 5 km では、堆積盆地と平野において低比抵抗域が見られ、前中新世の岩石が露出している山岳地帯では高比抵抗域がイメージされた。さらに深さ 10 km では、那須岳や高原山等火山の周囲に低比抵抗域が存在し、それらの低比抵抗域は深さ 20 km まで続いていることがわかった。また、その一部の領域では深さ 60 km まで続いている地域も見られることがわかった。

また、重力の研究もおこなわれた。松代観測点（長野県）において、超伝導重力計観測を継続するとともに、絶対重力測定がおこなわれた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10]）。また、東日本各地での絶対重力測定に関しては、松代のほか、神岡（岐阜県）、蔵王（宮城県）、富士山（山梨県）、都留（山梨県）において測定を実施した。松代では、絶対重力計を用いて重力の鉛直勾配を測るという試みを行った。神岡では 2019 年以來、4 年ぶりの測定となったが、2019 年と比較して約 4 マイクロガルの増加となった。蔵王では、重力値はほぼ前年並みであった。富士山では、前年と比べて明らかな重力減少が見られた。

南西諸島北部域において、海底地震計アレイデータを用いて発生した浅部低周波微動の暫定的な解析が実施された（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）。エンベロープ相関法による震源決定の結果、2022 年 6 月と 2022 年 8 月～9 月にかけて浅部微動エピソードが確認された。その際に確認された、浅部微動の活動に伴って地震活動も活発化している点は、今後両者の関係を詳しく調べる必要があると考えられる。日向灘中部—南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化について、プレート境界域での小繰り返し地震（相似地震）を用い、日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に準静的すべり速度を求め、時間変化について調べられた（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]、図 2）。2015 年前後以降は日向灘や奄美大島付近までの南西諸島北部は全般的に準静的すべり速度が増加していることがわかった。この中で、日向灘南部（領域 B）、都井岬南東沖（領域 C）、種子島東方沖（領域 D）、トカラ列島北東沖（領域 H）、奄美大島付近（領域 M）は特に 2022 年頃以降の速度勾配が大きいことがわかった。

日奈久断層帯周辺の領域で応力場と歪み速度場を推定し、両者の主軸の向きが検討された（九州大学[課題番号：KYU_01]）。断層を挟んだブロックの一部では主応力方向に違いがみられ、断層面が弱い可能性が示唆された。また、推定された主応力、主ひずみ速度を比較したところ、日奈久断層帯の西側では両者ともおおよそ南北伸張・東西圧縮の傾向を示していたが、日奈久断層帯の東側の緑川断層帯周辺において両者の主軸の向きに大きな違いが見られた。これは、断層帯がせん断帯として働いている可能性を示し、地域の応力場不均質を生み出す要因となっていることが示唆された。

能登半島の北東部において、地震波速度構造が推定された（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。低ブーゲー重力異常域の直下の2023年M6.5地震及び、それらの余震や関係する群発地震域の深部の地震波速度構造は、高 V_p 、（低 V_s ）高 V_p/V_s となっており、その周囲は低 V_p 、低 V_p/V_s となっている。高 V_p/V_s 領域は第三紀に形成されたカルデラの古いマグマ溜まりで、そこから周囲への水の移動により地震活動が生じるとともに、 SiO_2 が濃集して低 V_p/V_s 域を形成したと考えられる。2020年末から継続する能登半島の群発地震を詳細に調べ、この群発地震が、地殻深部から複数の面構造を通して浅部に移動した流体により発生した可能性が高いことを示した（図6）。この活動中に2023年5月5日に珠洲で発生したM6.5の地震も、流体移動により引き起こされた可能性が高いことが示された。

2020年末から継続する能登半島の群発地震を詳細に調べ、この群発地震が複数の面構造を通して浅部に移動していたこと、その開始部付近の地震波反射面が存在していたことが示された（東北大学理学研究科[課題番号：THK_07]）。その結果から、この群発地震活動と2023年5月5日に珠洲で発生したM6.5の地震が流体移動とそれに引き起こされた非地震性変形により引き起こされた可能性が高いことが示された。また、群発地震震源域の地震波速度構造が推定された。その結果、群発活動が開始した南部においては、活動域の深部に高 V_p 、高 V_p/V_s の領域が確認された。この原因は古いマグマ溜まりと高い圧力の水が考えられ、この領域の地震活動と流体との関連が示唆された。

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。その結果、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余効すべりで説明できることを明らかにした（国土地理院[課題番号：GSI_01]）。

令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震について、電子基準点のGNSS解析および「だいち2号」のSARピクセルオフセット解析により地殻変動場を明らかにした（国土地理院[課題番号：GSI_01]）。その結果、輪島市周辺で、最大で4m程度の隆起が確認された。得られた地殻変動データを用い、矩形断層を仮定した震源断層モデルおよびすべり分布モデルを構築した。地殻変動からは、能登半島西岸にほぼ南北に延びる断層および能登半島北岸および北西沖に延びる二枚の断層が推定された。これらは地質調査から明らかになっている活動セグメントのトレースとほぼ一致することがわかった。

海外においても研究が行われ、ニュージーランド北島のヒ克蘭ギ沈み込み帯で発生する地震をオーストラリアプレート内の地震、太平洋プレート内の地震、プレート境界の地震に分類することに成功した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_01]）。沿岸で発生するオーストラリアプレート内地震は微動発生域に隣接していることが分かった。これらの地震の発生タイミングとSSEの発生を表すGNSSの過渡的な東向き変位の現れるタイミングとの比較が行われた。また、ニュージーランド南島北部に展開した臨時地震観測網のデータを用いて、応力場の推定が行われた。さらに推定された応力場に基づき、過去の大規模～中規模地震の断層や活断層との関係が検討された。

近地地震と遠地地震からの大量のP波走時データの同時インバージョンを行い、中国大陸の中部、南東部と南西部の地殻と上部マントルの高分解能3次元P波速度構造と異方性分布が求められた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_05]）。その結果、南西側からのインドプレートの沈み込みと東側からの太平洋プレートとフィリピン海プレートの深い沈み込みは中国大陸内部の地震・火山活動、断層運動、造山運動に重要な影響を与えたことがわかった。また、北スマトラ地域に設置

された定常地震観測点と臨時地震観測点で記録された大量の近地地震と遠地地震の走時データを使って地殻と上部マントルの3次元P波速度構造を調べた。その結果、沈み込んでいる India-Australian スラブの下にある熱いマントル上昇流がスラブ窓 (slab window) を通りマントルウェッジに侵入し、マントルウェッジ内の熱いマントル上昇流 (corner flow) と合流して Toba 火山の 7.4 万年前の巨大噴火を引き起こしたことがわかった。

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

谷中・根津・千駄木および上野周辺に設置した臨時観測点をすべて撤収し、この5年間で得られた観測データの解析を進めるとともに、首都直下地震総合研究グループ(参加者10名)で、オンラインの意見交換会が開かれた(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_15])。

双葉断層北方の仙台平野南部に存在する伏在断層について浅部構造・重力探査や地震観測を行い、その形状・断層長と震度予測が行われた(東北大学理学研究科[課題番号:THK_07])。10本の東西方向の測線を設定し、相対重力測定が行われた。これらの結果を詳細に検討した結果、伏在活断層による重力変化と、反射法地震探査で確認されている現在は活動していない断層による重力変化の2つを追跡することが可能となり、仙台平野南部の伏在活断層は、名取市から山元町までの約25.5km連続した構造を持つことが分かった。この双葉断層北方の仙台平野南部に存在する伏在断層について、簡便法による震度予測が行なわれた。断層の浅部延長と山地に挟まれた帯状の領域では震度7程度が推定された。

5. 計画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

観測機器の技術開発の研究も行なわれている。東京大学地震研究所の課題(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_23])では、1.次世代型広帯域海底地震計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化、2.超深海域で長期(広帯域)地震観測の実用化、3.面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化、4.長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発、5.小型長期観測型海底地震計の機能高度化、6.各種次世代センサーの開発、が行われている(図7)。超深海用広帯域海底地震計(UDBBOBS)の開発として、全体の大きさ(特に高さ)を抑えつつ、音響トランスポンダを含む動作制御機構の操作性を容易にする改修を、アンカー部の設計も併せて進めた。長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発においては、2022年度までに開発および試験観測を完了し、本年度は主に成果公表に努め、開発・評価を行った圧力センサーはリアルタイム海底観測システムにも実装されている。小型長期観測型海底地震計の機能高度化については、ほぼ開発・評価が完了し、観測に利用できるようになっているために、2021年度以降本年度にかけて実際の観測に応じて運用を行い、海底モニタリング観測における観測周波数帯域拡大を行うことができた。

成果リスト

- Agata, Ryoichiro, Kazuya Shiraishi, Gou Fujie, 2023, Bayesian seismic tomography based on velocity-space Stein variational gradient descent for physics-informed neural network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1-17, doi:10.1109/TGRS.2023.3295414
- Akuhara, T., Y. Yamashita, H. Sugioka, and M. Shinohara, 2023, Locating tectonic tremors with uncertainty estimates: time- and amplitude-difference optimization, wave propagation-based quality control and Bayesian inversion, *Geophys. J. Int.*, 253, 2727 - 2742, doi:10.1093/gji/ggad387
- Akuhara, T., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, Y. Sawaki, T. Yamada, and M. Shinohara, 2023, Shallow Low - Velocity Layer in the Hyuga - Nada Accretionary Prism and Its Hydrological Implications Insights From a Passive Seismic Array, *J. Geophys. Res:Solid Earth*, 128, e2022JB026298, doi:10.1029/2022JB026298
- Amezawa, Y., Y. Hiramatsu, A. Miyakawa, K. Imanishi and M. Otsubo, 2023, Long-living Earthquake Swarm and Intermittent Seismicity in the Northeastern Tip of the Noto Peninsula, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 50, <https://doi.org/10.1029/2022GL102670>
- Arai, R., S. Miura, Y. Nakamura, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Kaiho, K. Mochizuki, R. Nakata, M. Kinoshita. Y. Hashimoto, Y. Hamada, K. Okino, 2023, Upper-plate conduits linked to plate boundary that hosts slow earthquakes, *Nature Communications*, 14, 5101, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40762-4>
- Baba, S., S. Takemura, K. Obara, A. Takeo, Y. Yamashita, and M. Shinohara, 2024, Spatial variation in shallow slow earthquake activity in Hyuga-nada, southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, 237, 271-287, doi:10.1093/gji/ggae039
- Bangs, N. L., J. K. Morgan, R. E. Bell, S. Han, R. Arai, S. Kodaira, A. C. Gase, X. Wu, R. Davy, L. Frahm, H. L. Tilley, D. H. N. Barker, J. H. Edwards, H. J. Tobin, Tim Reston, S. A. Henrys, G. F. Moore, D. Bassett, R. Kellett, V. Stucker, B. Fry, 2023, Slow slip along the Hikurangi margin linked to fluid-rich sediments trailing subducting seamounts, *Nature Geoscience*, 16, 505-512, <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01186-3>
- Bassett, D., Fujie, G., Kodaira, S., Arai, R., Yamamoto, Y., Henrys, S., et al., 2023, Heterogeneous crustal structure of the Hikurangi Plateau revealed by SHIRE seismic data: Origin and implications for plate boundary tectonics, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL105674, <https://doi.org/10.1029/2023GL105674>
- Dhar, S., and J. Muto, 2023, Function model based on nonlinear transient rheology of rocks: An analysis of decadal GNSS time series after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL103259, 10.1029/2023GL103259
- Diba, D., M., Uyeshima, M., Ichiki, et al., 2023, On a large magmatic fluid reservoir oblique to the volcanic front in the southern part of NE Japan revealed by the magnetotelluric survey, *Earth Planets Space*, 75, 146, doi: 10.1186/s40623-023-01899-0
- Farazi, A. H., Md. S. Hossain, Y. Ito, J. Piña-Flores, A.S.M.M. Kamal, and Md. Z. Rahman, 2023, Shear wave velocity estimation in the Bengal Basin, Bangladesh by HVSR analysis: implications

- for engineering bedrock depth, *J. Applied Geophysics*, 211, 104967, doi:10.1016/j.jappgeo.2023.104967
- François Pétréllis, Kristel Chanard, Alexandre Schubnel, and Takahiro Hatano, 2023, Earthquake magnitude distribution and aftershocks: A statistical geometry explanation, *Phys. Rev. E*, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.107.034132>
- Fujie, G. S. Kodaira, K. Obana, Y. Yamamoto, T. Isse, T. Yamada, T. No, Y. Nakamura, S. Miura, 2023, The nature of the Pacific plate as subduction inputs to the northeastern Japan arc and its implication for subduction zone processes, *Progress in Earth and Planetary Science*, 10:50, <https://doi.org/10.1186/s40645-023-00578-8>
- Furuichi, M., J. Chen, D. Nishiura, R. Arai, Y. Yamamoto, 2023, Thrust formation using a numerical granular rock box experiment, *Tectonophysics*, 862, 229963, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229963>
- Gase, A., N. Bangs, D. Saffer, S. Han, P. Miller, R. Bell, R. Arai, S. Henrys, S. Kodaira, R. Davy, L. Frahm, D. Barker, 2023, subducting volcanoclastic-rich upper crust supplies fluids for shallow megathrust and slow slip, *Science Advances*, 9, eadh0150, <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0150>
- Guo, H., D. Zhao, Z. Ding, 2024, Anisotropic tomography and mantle dynamics of the North China Craton, *Geophys. J. Int.*, 236, 1455–1470, doi:10.1093/gji/ggad497
- Hainzl, S., Kumazawa, T. and Ogata, Y., 2024, Aftershock forecasts based on incomplete earthquake catalogs: ETASI model application to the 2023 SE Türkiye earthquake sequence, *Geophys. J. Int.*, 236, 1609–1620, <https://doi.org/10.1093/gji/ggae006>
- Hirauchi, K., Hibi, R., Shirahige, R. and Takemura, T., 2023, Effects of phyllosilicate content on the slip behavior of fault gouge: Insights from room-temperature friction experiments on quartz-talc mixtures, *Tectonophysics*, 857, 229845, 10.1016/j.tecto.2023.229845
- Hu, H., D. Zhao, J. Lin, S. Pilia, 2023, A slab window beneath North Sumatra revealed by P-wave mantle tomography, *J. Geophys. Res.*, 128, e2022JB025976, doi:10.1029/2022JB025976
- Hua, Y., D. Zhao, Y. Xu, 2023, P and S wave anisotropic tomography of the Banda subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, e2023GL105611, doi:10.1029/2023GL105611
- Huang, Y., T. Nakatani, S. Sawa, G. Wu, M. Nakamura, and C. McCammon, 2023, Effect of faceting on olivine wetting properties, *Amer. Mineral.*, 108, 2244–2259, doi:10.2138/am-2022-8808
- Huber C., Toramaru T., 2024, Increase in magma supply to Sakurajima volcano's (Japan) shallow magma chamber over the past 500 years, *Geology*, 52, 235–239, doi:10.1130/G51763.1
- Hutchinson, J., H. Kao, M. Riedel, K. Obana, K. Wang, S. Kodaira, T. Takahashi & Y. Yamamoto, 2023, Tectonic evolution of the Nootka fault zone and deformation of the shallow subducted Explorer plate in northern Cascadia as revealed by earthquake distributions and seismic tomography, *Scientific Reports*, 13, 7873, doi:10.1038/s41598-023-33310-z
- Ide, S. and G. C. Beroza, 2023, Slow earthquake scaling reconsidered as a boundary between distinct modes of rupture propagation, *PNAS*, 120, e2222102120, doi:10.1073/pnas.2222102120

- 今西祐一・西山竜一・本多亮, 2023, 絶対重力計を用いた重力鉛直勾配の測定, 測地学会誌, 69, 8-17, doi:10.11366/sokuchi.69.2
- Ito, A., Shiobara, H., Miller, M., Sugioka, H., Ojeda, J., Tassara, C., Shinohara, M., Kinoshita, M., Iwamori, H., 2023, Long-term array observation by ocean bottom seismometers at the Chile Triple Junction, *J. South Am. Earth Sci.*, doi:124, 10.1016/j.jsames.2023.104285
- Iwamori, H., Nakamura, H., 2024, Bend of volcanic front around Asama Volcano and deep dehydration beneath the Noto peninsula: constraints from regional magma geochemistry. In: *Asama Volcano: Portrait of the most active and hazardous andesitic volcano near the Tokyo metropolitan area* (eds. S. Aramaki et al.), Springer, in press
- Jia, R., D. Zhao, 2023, Anisotropic tomography of the East Japan subduction zone: influence of inversion algorithms, *Geophys. J. Int.*, 234, 2199-2213, doi:10.1093/gji/ggad197
- 寶川瑠璃・前田拓人・高野智也・野口科子, 2023, コーダ波振幅に基づく青森県周辺の複数観測網におけるサイト増幅特性空間分布の推定, *地震* 2, 76, 77-92, doi:10.4294/zisin.2022-18
- 海上保安庁, 2023, 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*, 110, 62
- 海上保安庁, 2023, 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*, 110, 281
- Kataoka S., in press, Site response at the Dobutsu station in Aomori prefecture, Japan during strong and weak earthquake ground motion, *Proceedings of the 8th International conference on geotechnical earthquake engineering*
- 片岡俊一, 印刷中, 青森県階上町道仏震度観測点の地盤震動特性, *東北地域災害科学研究*, 60
- 片岡俊一・佐藤俊明・宮腰淳一・岡田敬一・早川崇, 2024, 1923年関東地震の際の東京における今村式2倍強震計による本震記象とその復元波形の再評価に関する一考察, *地震* 2, 76, 303-361, doi:10.4294/zisin.2023-10S
- 片山藍貴・前田拓人・高野智也, 印刷中, 地震規模を考慮した地震波スペクトル形状による日本海東縁で発生する地震の特徴, *東北地域災害科学研究*, 60
- 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, 37-40
- 小菅正裕, 印刷中, 日本海東縁部における震源深さの再検討, *東北地域災害科学研究*, 60
- 小菅正裕, 印刷中, 内陸下の低周波地震の特徴と発生メカニズム, *東北地域災害科学研究*, 60
- 熊澤貴雄, 尾形良彦, 2023, 非定常 ETAS モデルから見える能登半島群発地震活動の地域的变化(続報 2), *地震予知連絡会会報*, 109, 321-325
- 熊澤貴雄, 尾形良彦, 2023, 最近の能登半島群発地震活動の時空間的特徴と 2023年5月5日 M6.5地震について, *地震予知連絡会会報*, 110, 443-450
- Kuwatani, T., Nagata, K., Sakai, T., Iwamori, H., 2023, Bayesian inversion of lithology and liquid phase parameters from seismic velocity and electrical conductivity in the crust and uppermost mantle, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128, e2023JB026836, doi:10.1029/2023JB026836
- Li, S., G. Jiang, D. Zhao, G. Zhang, Q. Lü, D. Shi, G. Chai, 2023, Deep geodynamics and metallogenic mechanism of the South China block: New insight from mantle tomography, *Tectonophysics*, 869,

- 230107, doi:10.1016/j.tecto.2023.230107
- Li, Y., I. Grevemeyer, S. Kodaira, G. Fujie, 2023, Seismic structure of the Izu Arc-Backarc system, *J. Geophys. Res.*, 128, e2023JB027213, <https://doi.org/10.1029/2023JB027213>
- Liang, X., D. Zhao, Y. Hua, Y. Xu, 2024, Big mantle wedge and intraplate volcanism in Alaska: Insight from anisotropic tomography, *J. Geophys. Res.*, 129, e2023JB027617, doi:10.1029/2023JB027617
- 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, 25-30
- Masuti, S., J. Muto, and E. Rybacki, 2023, Transient creep of quartz and granulite at high temperature under wet conditions, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 128, e2023JB027762, doi:10.1029/2023JB027762
- Miller, M., Priestley, K., Tilmann, F., Bataille, K., Iwamori, H., 2023, P wave teleseismic tomography of the subducted Chile rise, *J. South Am. Earth Sci.*, doi:10.1016/j.jsames.2023.104474
- Mindaleva, D., M. Uno, and N. Tsuchiya, 2023, Short-lived and voluminous fluid-flow in a single fracture related to seismic events in the middle crust, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2022GL099892, doi:10.1029/2022GL099892
- Muramoto, T., Y. Ito, A. Miyakawa, and N. Furuichi, 2023, Strain and Stress Accumulation in Viscoelastic Splay Fault and Subducting Oceanic Crust, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL103496, doi:10.1029/2023GL103496
- Muramoto, T., Y. Ito, A. Miyakawa, and N. Furuichi, 2024, Viscoelasticity modeling of clay minerals by dynamic viscoelasticity measurement and its implications for earthquake faulting, *Tectonophysics*, 872, 230208, doi:10.1016/j.tecto.2024.230208
- 長尾優樹・岡田里奈・梅田浩司・小林祐登・鎌滝孝信, 投稿中, 1804年象潟地震に伴う津波堆積物, *地質学雑誌*
- 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
- Nakamura, Y., Kodaira, S., Fujie, G., Yamashita, M., Obana, K., Miura, S., 2023, Incoming plate structure at the Japan Trench subduction zone revealed in densely spaced reflection seismic profiles, *PEPS*, 10:45, <https://doi.org/10.1186/s40645-023-00579-7>
- Nakata, R., N. Uchida, T. Hori, R. Hino, 2023, Recurrence intervals for $M > 7$ Miyagi-ken-Oki earthquakes during an M similar to 9 earthquake cycle, *PEPS*, 10, doi:10.1186/s40645-023-00566-y
- Nishida, K., R. Takagi, and A. Takeo, 2024, Ambient noise multimode surface wave tomography, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 11, 4, doi:10.1186/s40645-023-00605-8
- Nishimura, T., Y. Hiramatsu, and Y. Ohta, 2023, Episodic transient deformation revealed by the analysis of multiple GNSS networks in the Noto Peninsula, central Japan, *Scientific Reports*, 13, 8381, doi:10.1038/s41598-023-35459-z
- Noda, H., 2023, Thermoelastic instability on a frictional surface and its implication for size

- effect in friction experiments, *Earth, Planets, and Space*, 75, doi: 10.1186/s40623-023-01820-9
- Noda, H., and C. Chang, 2023, Tertiary creep behavior for various rate- and state-dependent friction laws, *Earth and Planetary Science Letters*, 619, doi: 10.1016/j.epsl.2023.118314
- 尾形良彦, 熊澤貴雄, 2023, 2023年2月6日に発生したトルコ中部地震の余震活動について, *地震予知連絡会会報*, 110, 426-431
- Ohara, K., Yagi, Y., Yamashita, S., Okuwaki, R., Hirano, S. & Fukahata, Y., 2023, Complex evolution of the 2016 Kaikoura earthquake revealed by teleseismic body waves, *Progress in Earth and Planetary Science*, 10:35, doi:10.1186/s40645-023-00565-z
- Ohuchi, T., et al., 2022, In situ X-ray and acoustic observations of deep seismic faulting upon phase transitions in olivine, *Nature Communications*, 13, 5213, doi:10.1038/s41467-022-32923-8
- 大内智博, 鳴瀬善久, 松浦雅, 2023, 高圧下におけるザクロ石角閃岩及びエクロジヤイトの一軸圧縮変形実験と微小破壊音測定, *高圧力の科学と技術*, 33
- Okada, T., M.K. Savage, S. Sakai, K. Yoshida, N. Uchida, R. Takagi, S. Kimura, S. Hirahara, A. Tagami, R. Fujimura, T. Matsuzawa, E. Kurashimo, and Y. Hiramatsu, 2024, Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm and their relation with earthquake swarm activity in the Noto Peninsula, central Japan, *Earth Planets Space*, 76, 24, doi:10.1186/s40623-024-01974-0
- 岡田知己・岡田真介, 2024, 仙台平野南部の伏在活断層の震度予測の試み, *東北地域災害科学研究*, 印刷中
- Okada, Y., and T. Nishimura, 2023, Systematic detection of short-term slow slip events in southcentral Alaska, *Geophys. Res. Lett.*, 50, doi: 10.1029/2023GL104901
- Otsuka H., Y. Ohta, R. Hino, T. Kubota, D. Inazu, T. Inoue, N. Takahashi, 2023, Reduction of nontidal oceanographic fluctuations in ocean-bottom pressure records of DONET using principal component analysis to enhance transient tectonic detectability, *EPS*, 75, doi:10.1186/s40623-023-01862-z
- Ozaki, T, Yukutake, Y. Ichihara, M., 2023, Linking the flow-induced tremor model to the seismological observation: application to the deep harmonic tremor at Hakone volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 75, doi: 10.1186/s40623-023-01865-w
- Park, Jin-Oh and Ehsan Jamali Hondori, 2023, Link between the Nankai underthrust turbidites and shallow slow earthquakes, *Scientific Reports*, 13, 10333, doi:10.1038/s41598-023-37474-6
- Quan, W., X. Liu, D. Zhao, S. Li, 2023, Seismic evidence for slab detachment beneath the Taiwan Orogen., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 610, 118131, doi: 10.1016/j.epsl.2023.118131
- Ruan, Y., Y. Ito, and Y. Sawaki, 2023, Anisotropic Velocity Structure Beneath Shikoku, Japan: Insights From Receiver Function and Shear Wave Splitting Analyses, *J. Geophys. Res:Solid-Earth*, 128, e2023JB027178, doi:10.1029/2023JB027178
- Sagae, K., H. Nakahara, T. Nishimura, and K. Imanishi, 2023, Fine structure of tremor migrations beneath the Kii Peninsula, Southwest Japan, extracted with a space-time Hough transform, *J. Geophys. Res.*, 128, <https://doi.org/10.1029/2022JB026248>

- Sawa, S., Muto, J., and Nagahama, H., 2023, Modeling of olivine-spinel phase transformation of germanate olivine (Mg₂GeO₄) by using the phase-field method, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, doi:10.1016/j.pepi.2023.107060
- Schottenfels, E., Regalla, C., Nakamura, Y., 2024, Influence of outer-rise faults on shallow décollement heterogeneity and sediment flux at the Japan trench, *Seismica*, 2, <https://doi.org/10.26443/seismica.v3i1.386>
- Semba, M., Hirauchi, K., Ohuchi, T., Okamoto, A. and Kouketsu, Y., 2023, Effects of hydrothermal alteration on shear localization and weakening in the mantle lithosphere., *Tectonophysics*, 868, 230081, doi:10.1016/j.tecto.2023.230081
- Shibazaki, B., 2023, Progress in modeling the Tohoku-oki megathrust earthquake cycle and associated crustal deformation processes, *Progress in Earth and Planetary Science*, 10, doi:10.1186/s40645-023-00575-x
- Takahashi, T., Nakanishi, A., Kodaira, S. & Kaneda, Y., 2023, Estimation of the Hurst exponents of irregularly sampled subsurface fault geometries by the lifting scheme, *Geophys. J. Int.*, 235, 1102-1116, doi: 10.1093/gji/ggad275
- Takano, T., & Nishida, K., 2023, Tidal response of seismic wave velocity at shallow crust in Japan, *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103011, doi:10.1029/2023GL103011
- Takano, T., Nishimura, T., & Nakahara, H., 2023, Anisotropic seismic velocity variations in response to different orientations of tidal deformations, *Geophysical Journal International*, 235, 2716-2726, doi:10.1093/gji/ggad386
- Takemura, S., S. Baba, S. Yabe, Y. Yamashita, K. Shiomi, and T. Matsuzawa, 2024, Detectability analysis of very low frequency earthquakes: Methods and application in Nankai using F-net and DONET broadband seismometers, *Geophys. J. Int.*, 237, 49-63, doi:10.1093/gji/ggae033
- Takenouchi, S., Tsuji, T., Shiraishi, K., Nakamura Y., Fujie, G., Kodaira, S., Mukumoto, K., 2023, Identification of active faults and tectonic features through heat flow distribution in the Nankai Trough, Japan, based on high-resolution velocity-estimated bottom-simulating reflector depths, *Earth Planets Space*, 75, 147, <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01890-9>
- Tamura, Y., T. Kazama, R. Nishiyama, K. Matsuo, Y. Imanishi, Y., 2023, Postseismic gravity changes after the 2011 Tohoku earthquake observed by superconducting gravimeters at Mizusawa, Japan, *Earth Planets Space*, doi:10.21203/rs.3.rs-2740378/v1
- Tanaka, Y., V. Klemann, Z. Martinec, 2023, An Estimate of the Effect of 3D Heterogeneous Density Distribution on Coseismic Deformation Using a Spectral Finite-Element Approach, *International Association of Geodesy Symposia*, doi:10.1007/1345_2023_236
- Terakawa, T., K. Asano and Y. Urata, Estimation of background stress in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence based on changes in shear strain energies and coseismic stress rotation, 投稿中
- Tonegawa, T., Fukao Y., 2023, Mesospheric pressure source from the 2022 Hunga, Tonga eruption excites 3.6-mHz air-sea coupled waves, *Science Advances*, 9, doi:10.1126/sciadv.adg8036
- Toramaru A., Kichise T., 2023, A New Model of Crystallization in Magmas: Impact of Pre-Exponential

- Factor of Crystal Nucleation Rate on Cooling Rate Exponent and Log-Linear Crystal Size Distribution, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128, e2023JB026481, doi:10.1029/2023JB026481
- Toyokuni, G., D. Zhao, 2023, Ancient slabs beneath Arctic and surroundings: Izanagi, Farallon, and in-betweens, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 10, 64, doi:10.1186/s40645-023-00595-7
- Triahadini A., Aizawa K., Hashimoto T. M., Chiba K., Uchida K., Yamamoto Y., Miyano K., Muramatsu D., Aniya S., Okubo A., Kawamura Y., 2023, Magma transport along structural boundaries in the upper crust: Insight from broadband magnetotelluric constraints on the structure beneath Unzen volcano, Japan, *Geophysical Journal International*, 234, 1268 - 1281, doi:10.1093/gji/ggad126
- Tsunomori, F., Morikawa, N. and Takahashi, M., 2024, Deep-Seated Fluids in Thermal Waters Before and After the 2016 Kumamoto Earthquakes, *Groundwater*, doi:10.1111/gwat.13394
- Uemura, K., S. Ide, H. Aochi, 2023, Dynamic nucleation as a cascade-up of earthquakes depending on rupture propagation velocity, *Earth, Planets and Space*, 75, 123, doi:10.1186/s40623-023-01866-9
- Uno, M., A. Okamoto, T. Akatsuka, and N. Tsuchiya, 2023, Continuous thermal structures of the present-day and contact-metamorphic geothermal systems revealed by drill cuttings in the Kakkonda geothermal field, Japan, *Geothermics*, 115, 102806, doi:10.1016/j.geothermics.2023.102806
- Wang, Z.W., 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
- 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, 1-6
- Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Nakamura and Y. Yokota, 2023, Full-Bayes GNSS-A solutions for precise seafloor positioning with single uniform sound speed gradient layer assumption, *Journal of Geodesy*, 97, 89, doi:10.1007/s00190-023-01774-6
- Xi, J., G. Jiang, D. Zhao, G. Zhang, L. She, Q. Lü, D. Shi, 2023, Hot mantle upwelling and Mesozoic mineralization in Southeast China, *J. Asian Earth Sci.*, 258, doi:105648, 10.1016/j.jseaes.2023.105648
- Xia, S., J. Lin, D. Zhao, J. Cao, C. Zhang, X. Wang, K. Wan, C. Fan, 2023, The 4 January 2020 offshore Pearl River Estuary earthquake sequence in South China: Implications for seismic potential of the NW-striking local faults, *J. Asian Earth Sci.*, 258, doi:105697, 10.1016/j.jseaes.2023.105697
- Xie, F., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao, X. Chen, 2023, Seismic imaging of the Java subduction zone: New insight into arc volcanism and seismogenesis, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2023.229810
- Yamaguchi, H., Kodaira, S., Fujie, G., No, T., Nakamura, Y., Shiraishi, K., Seama, N., 2024, Undulations in subducted oceanic crust correlate with shallow tremor distribution in the Kuril Trench off Hokkaido, *Geophysical Research Letters*, 51, e2023GL106815,

<https://doi.org/10.1029/2023GL106815>

- Yin, J., W. Zhu, J. Li, E. Biondi, Y. Miao, Z. J. Spica, L. Viens, M. Shinohara, S. Ide, K. Mochizuki, A. L. Husker, Z. Zhan, 2023, Earthquake magnitude with DAS: A transferable data-based scaling relation, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL103045, doi:10.1029/2023GL103045
- Yoshida, K., R. Oyanagi, M. Kimura, O. Plümer, M. Fukuyama, and A. Okamoto, 2023, Geological records of transient fluid drainage into the shallow mantle wedge, *Sci. Adv.*, 9, eade6674, doi:10.1126/sciadv.ade6674
- Yoshida, K., M. Uno, T. Matsuzawa, Y. Yukutake, Y. Mukuhira, H. Sato, and T. Yoshida, 2023, Upward earthquake swarm migration in the northeastern Noto peninsula, Japan, initiated from a deep ring-shaped cluster: possibility of fluid leakage from a hidden magma system, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 128, e2022JB026047, doi:10.1029/2022jb026047
- Yoshida, K., N. Uchida, Y. Matsumoto, M. Orimo, T. Okada, S. Hirahara, S. Kimura, and R. Hino, 2023, Updip fluid flow in the crust of the northeastern Noto peninsula, Japan, triggered the 2023 Mw6.2 Suzu earthquake during swarm activity, *Geophys. Res. Lett.*, 50, e2023GL106023, doi:10.1029/2023GL106023
- Yuan, T., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao, X. Chen, 2024, Seismic evidence for break-off of the Molucca Sea slab, *Tectonophysics*, 854, 229810, doi:10.1016/j.tecto.2024.230218
- Yukutake, Y., A. Kim, and T. Ohminato, 2023, Reappraisal of volcanic seismicity at the Kirishima volcano using machine learning, *Earth Planets Space*, 75, 183, doi:10.1186/s40623-023-01939-9
- Zhao, D., J. Wang, Z. Huang, X. Liu, Z. Wang, 2023b, Seismic anisotropy and geodynamics of the East Japan subduction zone, *Journal of Geodynamics*, 156, 101975, doi:10.1016/j.jog.2023.101975
- Zhao, D., X. Liang, G. Toyokuni, Y. Hua, Y. Xu, 2024, Cause of enigmatic upper-mantle earthquakes in central Wyoming, *Seismol. Res. Lett.*, 95, 印刷中
- Zhao, D., X. Liu, Z. Wang, T. Gou, 2023a, Seismic anisotropy tomography and mantle dynamics, *Surveys in Geophysics*, 44, 947–982, doi:10.1007/s10712-022-09764-7

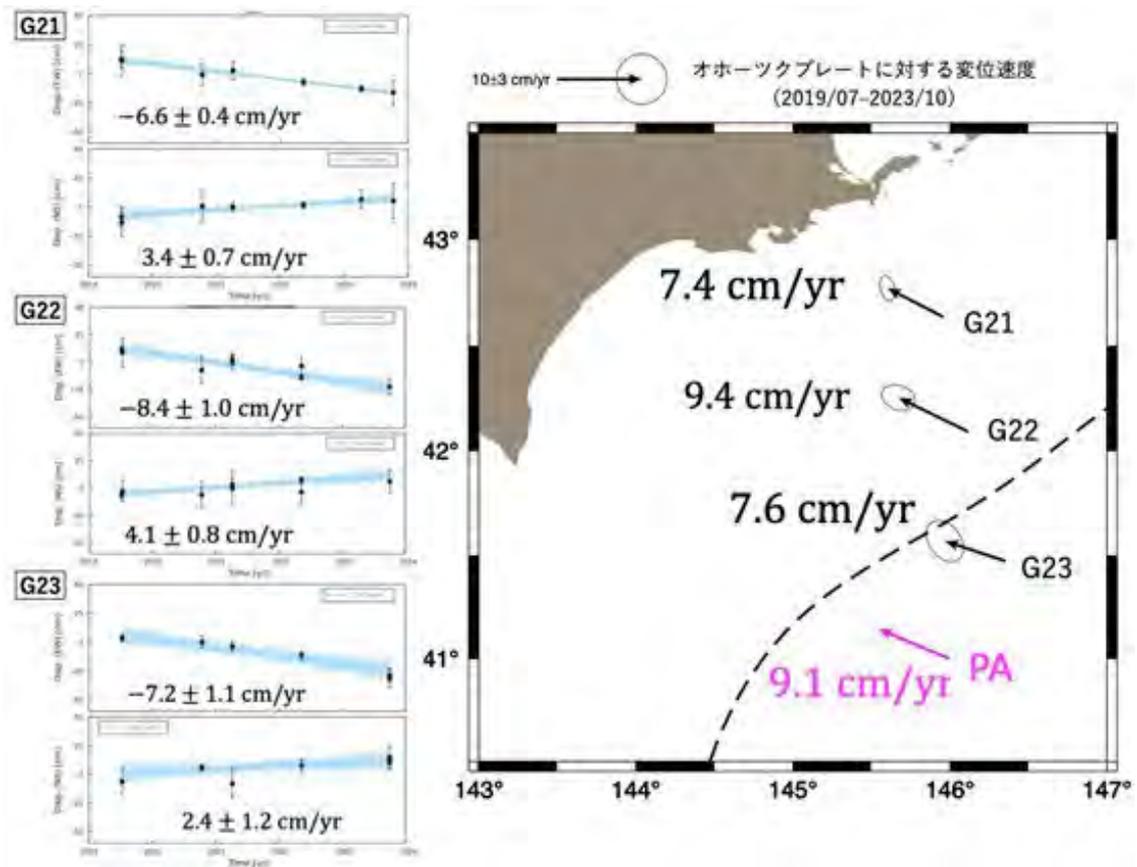


図1. 根室沖における GNSS-A 海底地殻変動観測の結果。左：2019年の観測開始以来の各点の変位時系列。上が東西成分，下が南北成分を示す。右：繰り返し観測から推定された変位速度の空間分布（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。

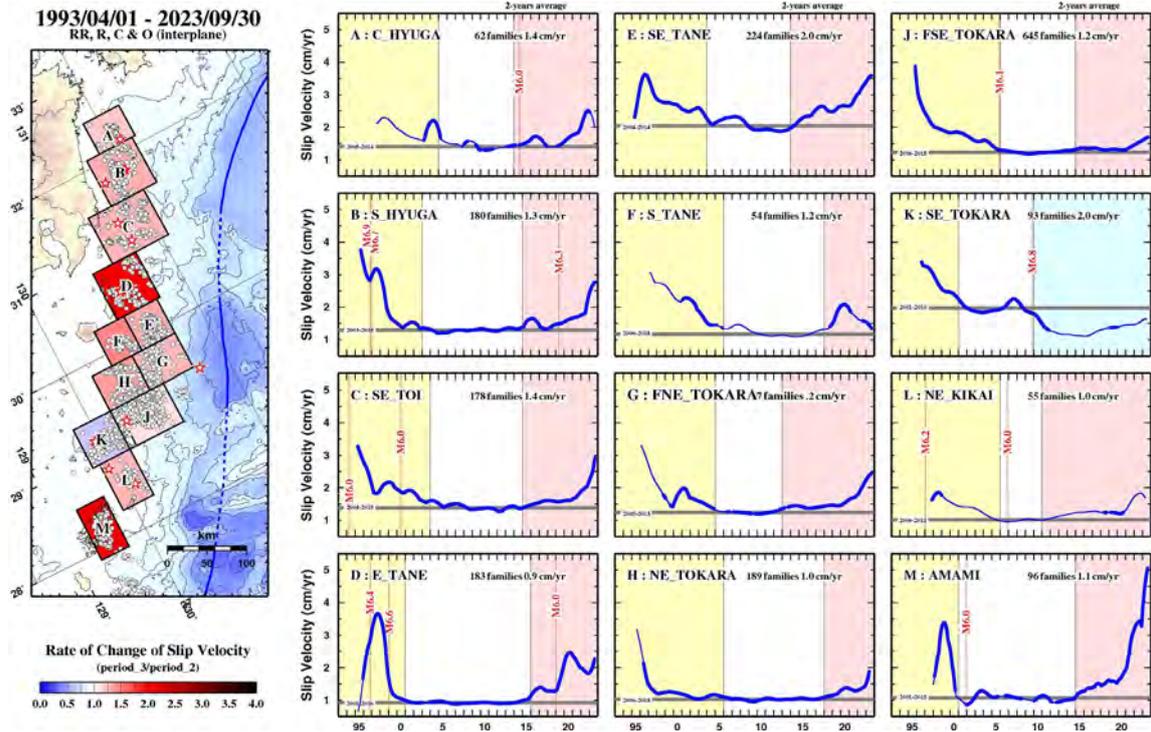


図2. 日向灘中部～奄美大島にかけての12領域に分けてそれぞれの各小領域における準静的すべり速度の時間変化。横軸に年、縦軸にすべり速度で示した（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）。

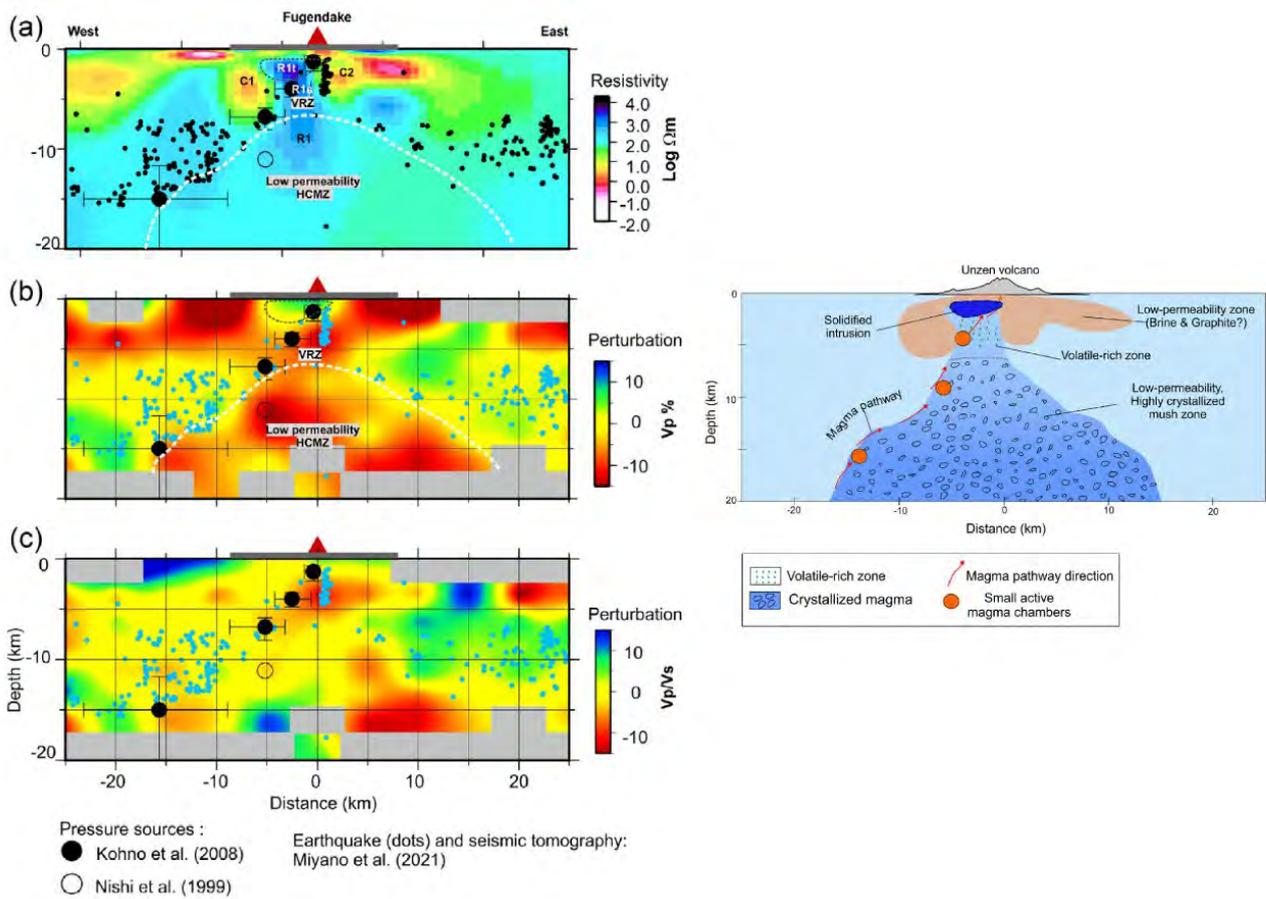
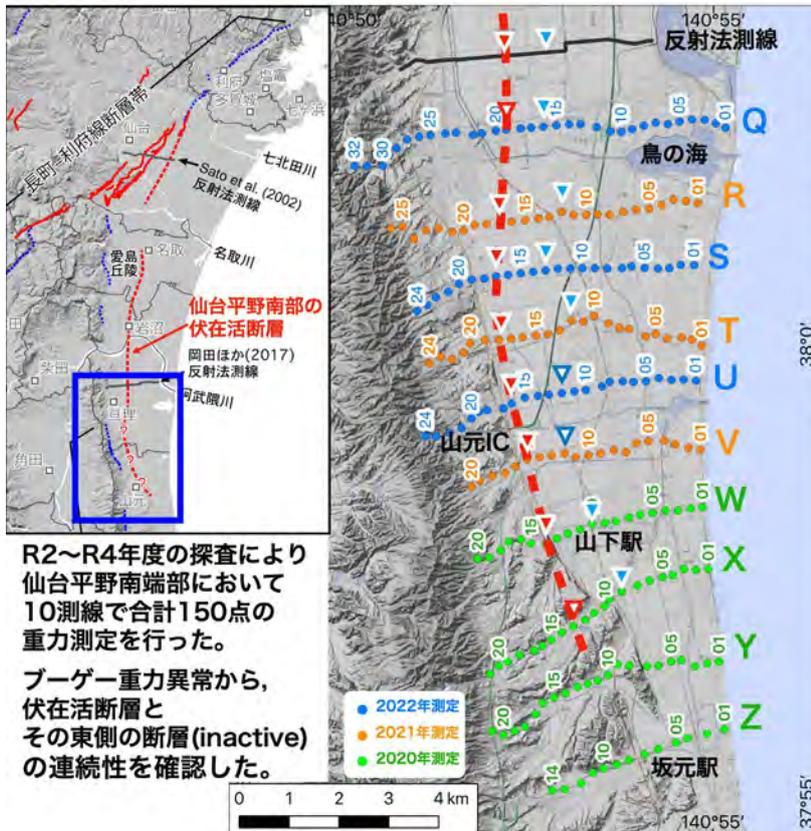


図3. 雲仙火山地下の地下構造とその解釈。(a)は比抵抗構造, (b) (c)は地震波速度構造 (V_p と V_p/V_s)。1991-1995年の噴火活動では構造境界をマグマが上昇したと考えられる。(九州大学[課題番号: KYU_01])。

伏在断層 南端部の連続性



R2~R4年度の探査により
仙台平野南端部において
10測線で合計150点の
重力測定を行った。
ブーゲー重力異常から、
伏在活断層と
その東側の断層(inactive)
の連続性を確認した。

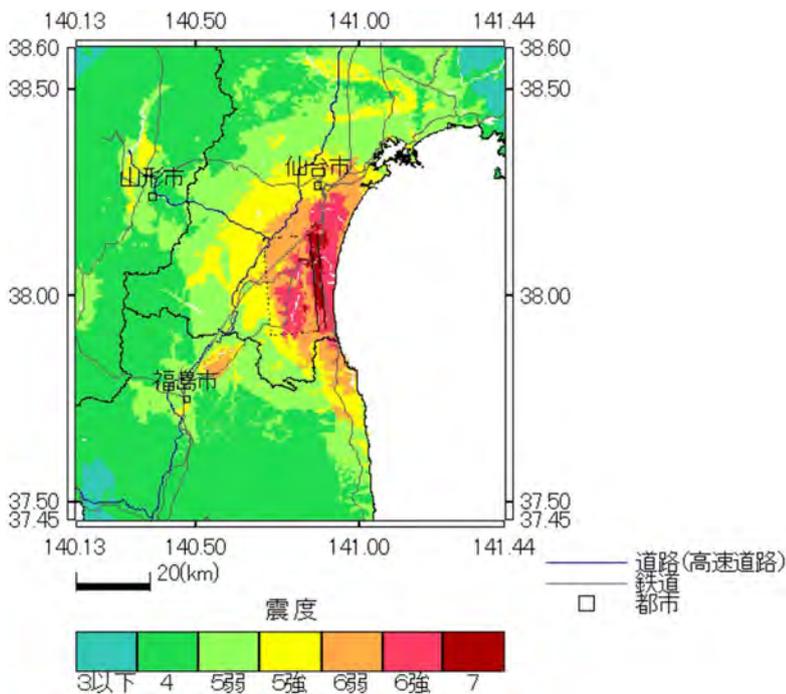
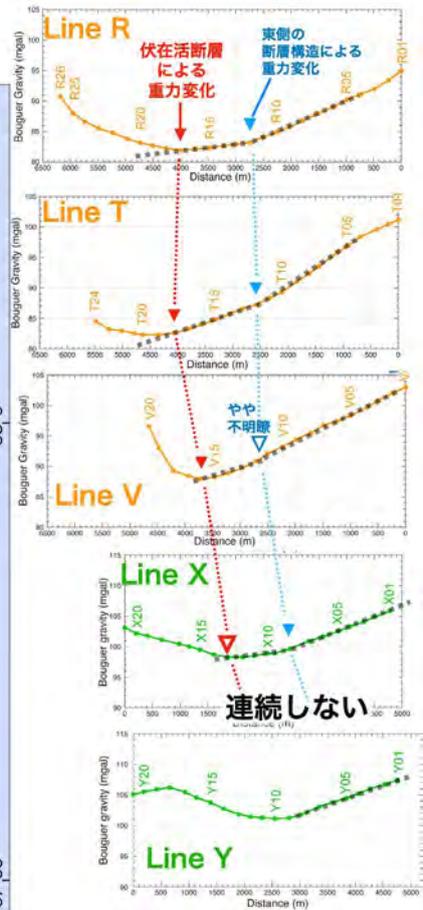


図4. 重力探査による仙台平野南部の伏在活断層の連続性 (岡田・他, 2023) (上図) と伏在断層による震度分布の予測 (下図) (東北大学 [課題番号: THK_07])。

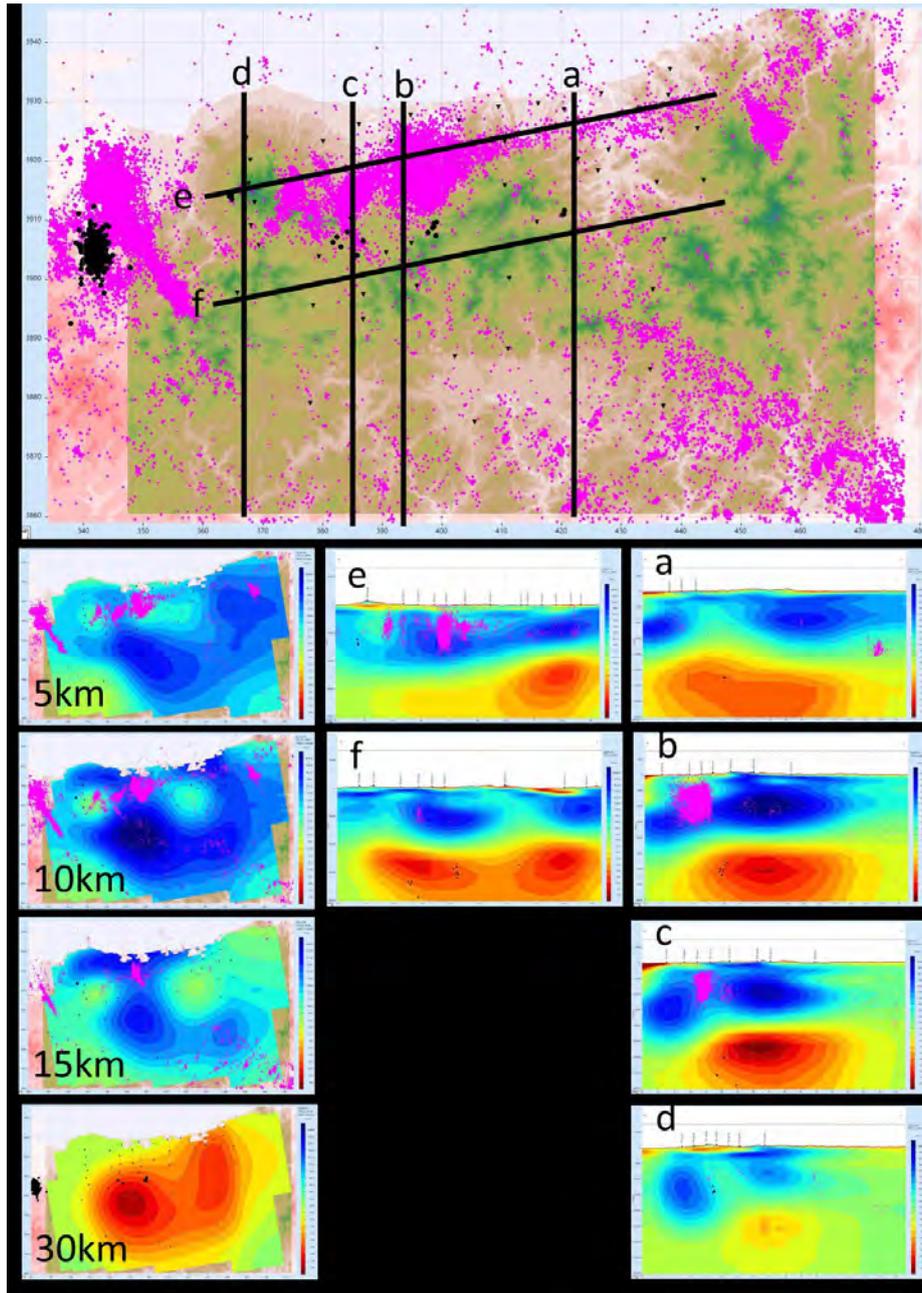


図5. 鳥取東部・中西部地域における3次元構造解析コア領域（上図）と3次元構造解析の結果得られた比抵抗構造図（下図）深度別比抵抗構造図（下左図）ならびに図2上図における測線名称a～fに対応する比抵抗構造断面図（下右図・中図）を示す。深度別比抵抗平面図には深度±2.5 kmの震源を、抵抗断面図には幅±2 kmの震央が描かれている。測線aは1943年鳥取地震（M7.2）地震域を横断する測線である。同様に測線bは2016年鳥取県中部の地震（M6.6）、測線cは鳥取県中西部の地震（2002, M5.3）の地震域、測線dは大山火山周辺域を横断する測線である。この図面において地震の震央は紅紫色●印、低周波地震は黒色●印で描かれている。（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI_03]）

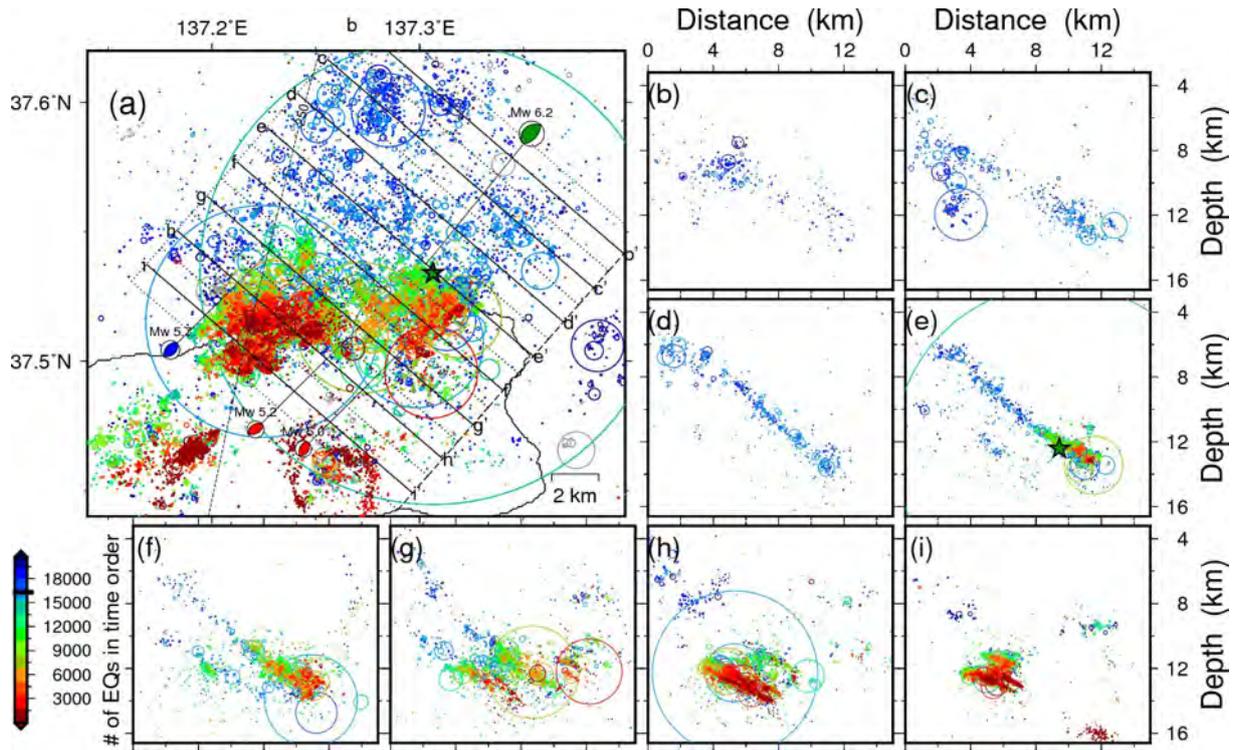


図6. 2023年に能登半島北東端で発生したM6.5の地震前後の地震活動 (Yosida et al., 2023, GRL)。(a) 震央分布。(b)-(i) 図aで示した各断面での震源分布。色はその地震が発生した順番を表す。(東北大学理学研究科[課題番号:THK_02])

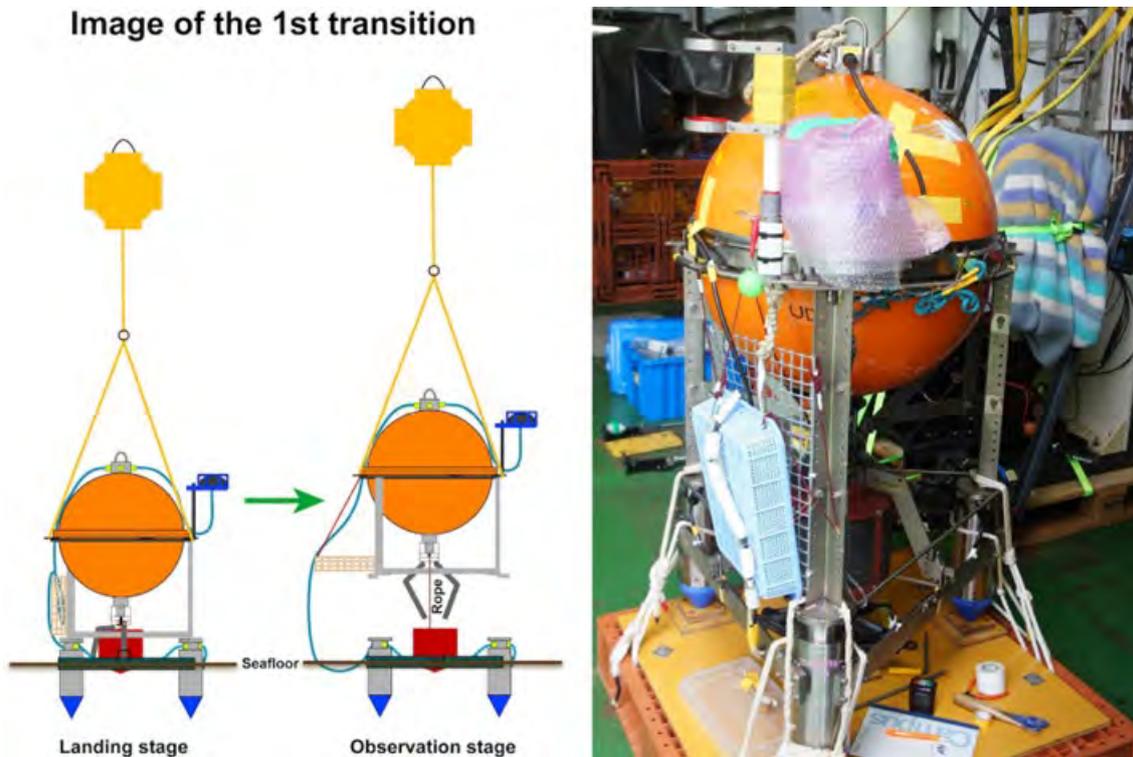


図7. 2019年8月に予定されていた長期試験観測に合わせて、水中ケーブルの自己展開方法への改修を行った。着底状態から観測状態への1回目の遷移に伴い、水中ケーブルの下部がセンサー部から離れて着底する構造とした（左図の観測状態〔右側〕を参照）。これにより、底層流による記録部の振動が水中ケーブルを伝搬しセンサー部へ伝わるのを抑制する効果が期待される。右画像は試験観測予定であった航海開始前での設置準備が完成した状態である。（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_23〕）

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。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、主に過去の地震の発生履歴に基づいて行われてきた長期予測には大きな不確定性が伴っている。本部会では、地質・地形データや史料・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、本計画では、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る「新たな長期予測」を重点課題とし、長期予測手法の高度化を目指した観測研究を行ってきた。

5年間の成果の概要と今後の展望

この5年間では、新型コロナウイルス感染症の蔓延という想定外の要因により、特にフィールドでの調査に大きな制約があったため、多くの研究でその影響を受け、研究計画の変更などを余儀なくされた課題もあった。一部の課題では当初の目標を変更せざるを得ないものもあったが、全体としては、適切な計画変更や過去データの解析などにより、概ね当初計画通りの成果を挙げることができた。以下に、5年間の主な成果の概要を記す。

海溝型地震に関する「新たな長期予測」として最も基本的な推定量と言えるプレート間相互作用の推定では、測地データからブロック運動とプレート間のすべり遅れの時間変化を同時推定する手法や、力学的固着(剪断応力速度)分布を直接推定する手法が新たに開発された。地殻変動からプレート間相互作用を推定するためには、地下構造の不均質性や粘弾性構造を導入することの重要性が指摘された。一方で、南海トラフ沿いの弾性不均質に関しては、プレート間すべりによる地殻変動のグリーン関数ライブラリが公開され、高性能の計算機やソフトウェアを保有しない研究者でも弾性不均質を扱えるようになった。これらのデータ解析手法に加えて、大地震の発生によるエネルギー収支の理論的研究も進められた。観測データから得られる現時点での固着分布と過去の大地震の発生履歴に関する知見を組み合わせ、南海トラフ及び相模トラフ沿いにおける力学的固着域の破壊による現時点での巨大地震発生シナリオが提示されたのは、特筆すべき成果である。

すべり速度状態依存摩擦則を用いた地震サイクルの数値シミュレーションは、前計画から沈み込み帯の各地域を対象に進められてきたが、現実的なシミュレーションのため

には、プレート境界断層での摩擦パラメータの分布を知る必要がある。この5年間においては、余効すべりやSSEの伝播速度等の観測量から摩擦パラメータを推定する手法が提案されたり、日本海溝において東北地方太平洋沖地震前後の約30年間のプレート間すべりや地震発生履歴などの観測データと調和的なモデルが構築されたりするなど、現実的な摩擦パラメータの範囲を絞り込むことができるような成果が得られている。さらに、余効すべりやSSE発生時などのGNSSデータのデータ同化により、直接摩擦パラメータを推定する研究も進められた。

過去の大地震の発生履歴を明らかにする研究として、地質・地形学的データに加え、史料・考古データの活用が広がった。特に、相模トラフ沿いで発生する海溝型巨大地震である関東地震について、史料・考古データの再検討により、古代以降の関東地震の可能性のある地震が整理され、発生間隔や現時点での30年発生確率が検討された。地震の組み合わせによっては発生間隔が大きくばらつき、今後30年間の発生確率が19%と高い確率になる可能性も示された。日本全国の各地域においても、日記や年代記に基づいて、従来認識されていなかった複数の大地震や有感地震の存在が明らかになったことは、史料データが有効活用されたことを示す一例である。

内陸地震に関する「新たな長期予測」としては、日本列島のGNSSデータから得られるひずみ速度場から地震発生確率を計算する手法が整理され、日本列島でのM6以上の地殻内地震の30年発生確率の試算が行われた。試算を通して非弾性変形の寄与の見積もりなどの課題も明らかになったが、過去の地震との比較により、GNSSデータに基づく予測モデルの統計的有意性が確かめられた点は評価できる。次期計画でも、さらなるモデルの改良や実用化に向けた他のデータを用いたモデルとの統合を進めることが期待される。測地観測データに基づくひずみ速度の計算においても、従来は基盤観測網のGNSSデータが主として用いられていたが、InSARデータを用いて計算する手法の開発が進み、一定の成果が得られた。次期計画では、GNSSデータについても民間基準点で得られたデータを活用し、さらにInSARデータと統合させることによって、数km以下の空間解像度でひずみ速度が明らかになることが期待される。数値シミュレーションを用いた内陸地震の予測研究も、摩擦則を用いた地震サイクルシミュレーションと地震時の動的破壊シミュレーションの両面から研究が進められた。断層の形状と応力場、GNSSのひずみ速度場などの観測情報を取り入れることにより、実際発生した地震の破壊過程や地震の繰り返しを再現することが可能となった。

地質学的手法に基づく海溝型地震の履歴調査では、北海道沿岸域における17世紀(1640年と1611年)や13世紀の巨大津波の堆積物の分布が詳細に調べられ、千島海溝沿いの巨大地震が再検討された。南海トラフ沿いでも各地で調査が実施され、三重県南伊勢町で過去3,000年間の海水の浸水イベントの年代が明らかになった。また、和歌山県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。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。南西諸島海溝沿いでは、津波堆積物やサンゴ礁上の巨礫を制約条件として津波の数値計算を行うことで、過去に発生した津波の特性を明らかにするだけでなく、これ以上の規模の津波はなかったという最大規模の絞り込みを行うことができた。日向灘や南西諸島海溝沿いでの研究成果は、

地震本部によるこの地域の海溝型地震の長期評価に反映され、本計画での研究成果が社会実装に至った例として高く評価できる。一方で、詳細な調査と年代測定などの事例研究を通して、津波堆積物分布の局所的な複雑性や保存と消失過程の特徴を考慮した認定、津波来襲当時の古地形の復元などが、津波評価において重要であることも明らかになった。

陸域の活断層に関する調査からは、複数のトレンチ掘削やLiDARを用いた詳細地形データに基づき、断層地表トレースの複雑な形状や地震の活動履歴が明らかになった。各セグメントでの活動履歴を詳細に調べると、周辺セグメントと連動する場合や単独で動く場合、複数のタイプの地震が発生し、かなり複雑な挙動を示している実例が、中央構造線断層帯や糸魚川―静岡構造線断層帯、布田川―日奈久断層帯などで明らかになった。特に、活断層の接続部や末端部において、地震による違いが出やすい可能性もあり、活断層調査に基づく過去の発生履歴は、従来考えられていた以上に詳細に検討する必要があることが示された。一方で、横ずれと縦ずれの両方に着目し、過去の地震が連動型か単独型かを判別する新しい手法も提案された。また、海域の活断層調査のために、銭洲海嶺西端とその延長部において海底地形詳細調査と浅層地質構造探査が行われ、伊豆マイクロプレートとフィリピン海プレートとの境界である可能性が高い撓曲崖が発見された。

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、予測モデルの計算手法も確立した。多くの地震活動において、この手法の妥当性が検証されており、次期計画では社会実装に向けた取り組みも期待したい。

日本全国の基盤観測網を用いた地殻活動のモニタリングの高度化も前計画に引き続き実施された。特に本計画では、S-netやDONETなどの海底地震観測網を利用したモニタリングの高度化が進められ、3次元不均質構造の影響などを適切にモデル化することにより、震源分布やメカニズム解の決定精度が向上するとともに、スロー地震の発生分布もより小規模なものまで明らかになった。これにより、岩手県沖や茨城県沖では、プレート境界型大地震の破壊領域はスロー地震の活動域とは空間的に相補的である一方、大地震の前震や余震の多くがスロー地震の活動域で発生していることが判明した。また、高精度な3次元地震波速度構造を用いて決定した震源カタログに基づき、日本列島内陸においてD90（90%の地震が発生する下限）の分布を求め、地下の温度が300℃となる深さと同傾向にあることを示した。これらの結果は、地震活動が少ない地域においても、地震発生層下限を見積もることができる可能性を示し、内陸地震の最大規模の見積もりに応用できる成果である。

南海トラフや南西諸島海溝においては、海底地殻変動観測や岩礁でのGNSS観測により、沈み込むプレート（下盤）側と陸側プレート（上盤）側の海溝（トラフ）軸近傍における地殻変動速度が明らかとなった。中でも、南海トラフ沿いの熊野灘ではトラフ軸まで、一定のプレート間固着があることが明らかになり、将来発生する巨大地震の地震像を制約するデータが得られた。

本計画においては、地震発生の素過程を解明するための岩石摩擦実験も続けられた。大型振動台を利用した大型の試料を用いた実験が精力的に行われ、断層面の不均質が断層破壊過程やその準備過程に与える影響が調べられた。その結果、断層面が均質な場合

では単純な震源核形成を経て本震に至るのに対し、不均質な場合ではその過程が複雑化し破壊伝播速度が4桁の範囲に及ぶことを明らかにした。断層面の不均質がさらに増加した場合では明瞭な震源核形成は確認されず、代わりに前震活動が加速して本震に至るカスケードアップが発生していることが明らかとなった。

データや研究成果を使いやすい形で公開することは、観測研究の進展において相乗効果をうみ、研究者コミュニティ全体の利益となる。観測データの公開は、防災科研のMOWLASに代表されるように各機関から進められており、研究成果のデータベースも本部会に関連するものだけで、活断層データベース、津波浸水履歴のデータベース、日記史料有感地震データベースがあり、それぞれ、データの拡充や機能拡張が行われた。次期計画でも、これらのデータ公開、データベースの充実は引き続き進められるべきである。

本計画の期間内に発生した2024年1月に発生した能登半島地震(M7.6)と、トルコで2023年2月に発生したカブラマンマラシュ地震(M_w7.8)は、それぞれ能登半島北方沖の活断層帯と東アナトリア断層系の複数の区間が連動して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大災害を引き起こした。これらの大地震は、事前に活断層であることが指摘されていた断層で発生した地震であり、活断層に基づく想定範囲内の大地震といえることができる。一方で、この二つの地震は、単一の区間の破壊ではM7程度の地震であっても、複数区間が連動してM7後半の地震になると、発生する地震災害も桁違いに大きくなることを示した。複数の区間からなる長大な断層帯で、どのような場合に連動破壊がおこり、将来発生する地震の規模の予測がどの程度可能であるのかは、次期計画でも詳しく検討されるべき課題である。

令和5(2023)年度の成果の概要

以下では、本計画の5年目である令和5(2023)年度の成果の概略を述べる。

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

古代～中世の史料に基づき、過去の関東地震の候補について検討を行った。その結果、関東地震の可能性のある878年(元慶二年)、1293年(正応六年、永仁元年)、1433年(永享五年)、1495年(明応四年)の地震、及び1703年(元禄地震)、1923年(大正地震)のうち、地震の組み合わせを変えて、今後30年間の発生確率及びその時間変化を計算した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV02])。正応、明応、元禄、大正の4地震の平均発生間隔は 210 ± 7 年となり、BPT分布のばらつきを示すパラメータである α が最も小さい(最も規則的である)。この場合、今後30年間の発生確率は、前回地震から160年(西暦2083年頃)まではほとんど0%であるが、その後急に増加し、西暦2127年(前回地震から204年)頃にはほぼ100%となる。一方で、すべての6地震を考慮した場合、発生間隔は $209 \text{年} \pm 117 \text{年}$ とばらつきが大きく、最短は62年(1433～1495年)である。そのため今後30年間の発生確率は地震後すぐに増加し、現時点(地震発生後100年)ですでに19%とポアソン過程(13%)よりも高い値を示すことがわかった。

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、浸水シミュレーションを行うための地形復元を行った（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。さらに、1611年慶長三陸地震津波による津波堆積物が広く分布している北海道胆振地方厚真町において、津波堆積物の観察を目的としたトレンチ掘削を行った（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。津波堆積物は主に淘汰の良い細粒砂で構成され、層厚は、9 m長の壁面中で1 cmから22 cmと大きくばらつくことが確認できた。また、17世紀の津波堆積物直下の20地点で放射性炭素年代測定を行った結果、年代は数千年の幅を持ち、17世紀よりも有意に古い年代を示すブロック状の堆積物が、17世紀津波堆積物直下に再堆積している例も確認できた。そのため、津波堆積物直下で年代測定をする際には注意する必要があることが明らかになった。

南海トラフ周辺域では、高知県須崎市で採取されたコア試料について、珪藻化石分析を行い、過去に発生した地震性地殻変動を検討し、高知県東洋町において津波堆積物調査を実施した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。三重県南伊勢町の湖底堆積物について、火山灰分析・年代測定を行い、イベント堆積物の形成要因と堆積年代を推定した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]，Shimada et al., 2023）。和歌山県那智勝浦町で採取されたジオスライサー試料について、粒度分析などの室内分析を行った（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。

南西諸島海溝沿いでは、南部の先島諸島（石垣島、西表島等）及び北部の奄美諸島（奄美大島）において現地調査を行った。具体的には、LiDAR等の測量機器を用いて、これらの地域で報告されている地殻変動の地形学的痕跡の定量化を行うとともに、津波石をはじめとする過去の津波、地震の地質痕跡の年代測定を実施した。琉球列島南部については、歴史記録や地質記録を制約条件として、1771年明和大津波とそれより前の先史時代の津波波源の検討を行い、いずれも津波地震による可能性が高いことを明らかにした（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・石鎚山脈北縁区間／北縁西部区間周辺のセグメント境界付近を対象に、横ずれ変位だけでなく、局所的に生じる上下変位を基に過去の連動型イベントを判別する手法の開発に着手した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST02]）。

2016年熊本地震や2014年長野県北部の地震の地震後に実施された調査と本課題で行ってきた調査結果を基に、内陸地震の長期予測の高度化に向けた検討を行った（名古屋大学[課題番号：NGY_03]）。2016年熊本地震後に実施された複数のトレンチ掘削調査の結果を総合すると、布田川断層における2016年熊本地震の一つ前の活動時期は約2,000年前であり、二つ前の活動時期は約4,000年前である可能性が高く、平均活動間隔は2,000年前後と推定される。一方、日奈久断層高野－白旗区間では、一つ前の活動は布田川断層と同時期に2016年熊本地震と同様な横ずれ変位が主体の変位が生じたと考えられる。一方、二つ前の活動は3,977-2,768 calBPと推定され、変位地形と調和的な東側が低下する変位

が主体であり、布田川断層の活動時期とは対応せず、高野－白旗区間単独の活動だった可能性がある。このように布田川断層と日奈久断層の接続部に位置する本区間は、両断層の影響下にあり、複雑な地下構造、地表形状、活動履歴を有するものと推定される。また、詳細は5(5)に記載するが、トルコの東アナトリア断層系で2023年2月26日に発生したカフラマンマラシュ地震(M_w 7.8)に関するトレンチ調査等の研究も行われた(産業技術総合研究所[課題番号:AIST02])。

令和6年1月1日に能登半島地震(M 7.6)が発生した。この地震は、日本列島の内陸域や日本海側で発生する地殻内地震としては最大級の地震であり、この地震に関する調査も精力的に行われた。能登半島の北岸では、最大4 mにも及ぶ海岸の隆起が観測された。そのため、海陸境界部で発生する地震の地震発生・震源断層モデルの構築に資する海岸隆起データの取得と、上盤側にあたる陸上部で見られた変動地形についての調査を行った(名古屋大学[課題番号:NGY_03])。この地震に伴う津波に関しては、新潟県から石川県の沿岸で津波痕跡の予備調査を実施した。調査は市街地ではなく自然海岸の15地点で行い、津波の高さは2-4 m程度、遡上距離は10-200 m程度であった。多くの地点で、津波の遡上限界付近でも砂からなる津波堆積物が確認できた(北海道大学[課題番号:HKD_01])。この地震の発生以前からこの地域の地震活動や地殻変動の調査が進められており、能登半島北東部では、海底活断層による長期間の地殻変動量を推定するために、海成段丘面の年代推定を行うための掘削調査が3か所で実施された。ボーリングコアに含まれる風成層から火山灰分析試料を採取し、段丘面の離水年代を推定すべく広域テフラとの対比を目的とした火山灰分析を実施した結果、町田・小池編(2001)によってMIS9とされた地点(標高約168 m)では、MIS7eの可能性があると判明し、いずれの地点でも長期的な隆起速度は0.7 mm/yr以上と推定された(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_11])。

これらの古地震イベントに関する地質データを検索、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(産業技術総合研究所[課題番号:AIST01, AIST04])、「活断層データベース」では東北・関東地方の活断層の調査地(約1,300地点)及び活断層線(約60断層)に関するデータの位置精度を確認・更新を行った。津波浸水情報では、コンテンツ整備のため、千島海溝沿いや房総半島東方沖の波源に関するデータ収集と情報の整理を行った。

(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

地震サイクルシミュレーションでは、前年度に構築したGNSSデータ及び発震機構解による広域応力場という観測データを反映した物理モデル化手法を、中央構造線活断層帯に適用した(東京大学理学系研究科[課題番号:UTS_05])。地震本部の長期評価で両論併記された当該断層の鉛直と北傾斜の二つの断層形状モデルについて、平均すべり速度をシミュレーションで求めて比較したところ、鉛直断層モデルでは長期評価で示されたすべり速度とファクターで一致するのに対して、北傾斜断層モデルではオーダーで不一致となることを示した。

超大型岩石摩擦試験機で使用する岩石試料（模擬断層面：6 m×0.5 m）に局所的な現象をモニターするためのひずみゲージや弾性波センサー等を設置して測定環境を構築し、一定荷重・一定速度での基礎実験を実施して断層破壊伝播に関するデータを収録した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED03]）。

（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

陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）等の観測データを用いた地殻活動モニタリングが継続されるとともに、その高度化並びにモニタリング結果の評価が進められた（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）。東北地方太平洋沖を対象に、3次元地震波速度構造に基づくグリーン関数を使用し、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）及び広帯域地震観測網（F-net）観測波形を用いたセントロイド・モーメントテンソル（CMT）解析を行った。本解析により、従来の1次元速度構造及びF-net観測波形のみを用いた解析と比較して、CMT解の空間解像度が向上した。この海域の将来の地震動予測に向け、S-net観測点における非線形サイト応答特性を調査した結果、S-netサイトでは、陸域に設置された強震観測点のサイトに比べて小さな最大加速度においても大きな非線形性が生じることを確認した。これは、軟らかい海洋底堆積物の存在に起因すると考えられる（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]，Dhakal and Kunugi, 2023）。

モニタリング手法高度化の一環として、走時読取値について地震ごとのグルーピング及び位相の区別をすることなく、震源を決定する手法を開発した。大地震直後の地震活動の概要を把握する手法として活用可能である（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]，関口，2024）。また、海域で発生する大地震について、津波記録から求められる津波波源データを用いた断層モデル推定手法を開発した。これにより、陸上GNSSデータだけでは解像度が低くなる海域浅部の地震について、津波波源データを用いることで断層モデルをよりよく推定できること示した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]，Kubo et al., 2023）。

イ．内陸地震

2019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引き続き実施した。本年度は、特に地殻上部の構造に焦点を当て、データ処理・解析手法の見直しとモデルの修正を試みた（図1，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。測線西部（庄内平野—新庄盆地）では、基盤上部の深さ3-4 kmに局所的な速度不連続面が存在し、測線東端部（北上山地）の深さ5-6 kmまでの部分を構成する層の速度は5.8-6.2 km/sで、層境界における速度コントラストが0.1 km/s程度と推定される。

2024年1月1日に発生した能登半島地震に関して、さまざまな研究・調査も実施されている。強震波形記録を用いた震源過程解析（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）からは、破壊開始からしばらくは顕著な破壊は見られず、破壊開始15秒後に破壊開始点より浅い領域にて破壊が生じたのち、破壊開始30秒からは破壊開始点の北東側及び南西

側の大すべり領域において主たる破壊が起きていたことがわかった。また、余震域の半分は海域であり、陸域定常観測点だけでは震源分布の精度に課題があるため、自由落下自己浮上式海底地震計（OBS）を用いた海域緊急余震観測が実施された（図2，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。本観測は、科学研究費補助金特別研究促進費を受け、多数の大学及び海洋研究開発機構の共同研究観測として、実施された。地震計の一部は、速報的な解析のために2月下旬に行われた学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海により回収したが、残りの地震計と2月下旬に追加設置した地震計を用いて長期の余震観測を行う予定である。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

沖縄本島から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2観測点と波照間島沖の1観測点において海底地殻変動観測を実施した（名古屋大学[課題番号：NGY_02]）。Tadokoro et al. (2018)で示した沖縄本島沖の2観測点とは異なり、沖縄本島一宮古島間の2観測点については、沖縄本島などに対して変動速度が小さく、現時点ではプレート間固着を示す積極的な証拠は得られなかった。

すべり速度状態依存摩擦則を仮定したプレート境界地震サイクルのシミュレーションによって、M9東北地震タイプの1サイクル中におけるM7級の宮城県沖地震タイプの地震の繰り返し間隔を調べた。M7地震の間隔は、M9直後は平均的な再来間隔よりも短く、その次は一番長くなるが、その後はばらつきが小さく、平均的な間隔に落ち着く。このような再来間隔の変化は、M7地震のアスペリティ周辺におけるプレート間すべりの時空間変化によるものである。M9地震前後の約30年間における小繰り返し地震から推定された実際のすべりの時空間変化は、シミュレーションの結果と定性的には調和的であることがわかった（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01]，Nakata et al., 2023）。

関東地方のGNSSデータから相模トラフにおける応力蓄積速度分布を推定した。特に応力蓄積速度の高い領域である力学的固着域として、1703年元禄関東地震・1923年大正関東地震の震源域に対応する3か所と、房総スロースリップのすべり域に対応した1か所が見出された。1703年と1923年の関東地震から現在までの間に力学的固着へ蓄積される応力量を見積もると、房総半島南部の固着域では1703年から蓄積が続くため、より多くのひずみエネルギーが蓄積していると考えられる。力学的固着域の破壊の組み合わせから、6通りの破壊シナリオ（地震時すべり分布）を想定した。房総半島南部の力学的固着が現在連動破壊した場合、M7.8以上の大地震を引き起こすことが可能なひずみエネルギーが蓄積していると考えられる（Saito and Noda, 2023, 防災科学技術研究所[課題番号：NIED03]）。

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、GNSSデータのひずみ速度から地殻内地震の発生確率の試算を東日本とトルコ周辺で実施し、過去の地震活動と整合的であることを確認した。昨年度までに計算した西日本や北海道の試算

結果と統合して、日本列島全域の地殻内地震発生確率を試算するとともに、背景地震活動に基づく地震発生確率と同一グリッドで最大値をとることによって統合した試算も行った（図3，京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。試算結果では、秋田県沖から新潟-神戸ひずみ集中帯を経て和歌山県北部に至る領域や九州中部，伊豆半島周辺や山陰地方などでM6以上の30年発生確率が高い地域が見られた。

2023年トルコ東部の地震系列と2024年能登半島地震の動的破壊シミュレーションを行い，破壊過程に対する断層形状と広域応力場の効果を調べた。また，すべり分布の逆解析結果と比較することで，今までの解析で用いている応力場と摩擦係数及び断層形状の設定に関する標準化手法を検証した。その結果，破壊経路の時刻歴やすべり分布などの主要な特徴がパラメータ調整をすることなく再現できることがわかった（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_05]）。

昨年度から引き続き，相模トラフや日本海溝のプレート境界断層による関東地方や北陸地方の地殻内の震源断層においてクーロン破壊応力（ ΔCFS ）の計算を行った（図4，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。関東地方北部の断層は，東北沖地震前後で基本的に東北地方の断層と似たような応力を受ける。対して関東地方南部においては，東北沖地震前の固着時は東北地方の断層と異なり，断層にかかる応力は抑制的に働く。東北沖地震後は逆に断層活動に対しては促進的に働く。ただし，その応力の量は0.01 MPaのオーダーである。関東地方の南部の断層形状はフィリピン海プレートの沈み込みの影響をより強く受けているので，東北沖地震による応力も東北，北関東の断層とは異なる挙動を示すものと考えられる。

西日本においても，南海トラフ巨大地震による内陸の震源断層に対する粘弾性緩和を考慮した応力載荷計算を行った（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01]，Hashima et al., 2024）。粘弾性緩和の計算には，スラブ下部の低粘性層を考慮した大規模3次元有限要素モデルを用いた。計算の結果，西日本の内陸域で広範囲に0.1 MPa以上の応力変化が引き起こされた。しかし，粘弾性緩和の影響は4年間ではほとんど見られなかった。一方，スラブ内部の応力分布は，スラブ下部の低粘性層の粘性緩和の影響によって，低粘性層の影響が無視できないことが示された。また，地殻内の震源断層において ΔCFS を求めたところ， ΔCFS は東南海地震後には中部～近畿地方において正となり，南海地震後に近畿地方や中央構造線の周囲の断層で正となる傾向があることがわかった。九州の断層は一貫して負であった。このような ΔCFS の変化は，実際の西日本の歴史地震の発生と概ね調和的である。

2023年2月6日にトルコ南東部で発生したカフラマンマラシュ地震(M_w 7.8)に着目し，静的応力変化と地震応答との関係を調べた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]，Toda and Stein, 2024）。最初のパザルジュック地震(M_w 7.8)によって，チャルダック断層の M_w 7.7震源付近で剪断応力変化が+0.1 MPa程度になるが，法線応力の増加が著しい（+0.3 MPa）。一方で， M_w 7.8震源断層に近い北東側では，剪断応力は顕著に低下する。そのため，法線応力変化が震源核形成に寄与し，剪断応力低下は動的破壊過程にほとんど影響しなかったとみられる。地震後の ΔCFS を計算すると，2つの震源断層の周辺で ΔCFS が負の領域が大きく広がり，2つの震源断層の両端部延長で顕著な増加となった。断層端延長部で余震活動は集中するが，2020年のエラズー地震(M6.8)の震源では2023年

本震後の活動がほとんど認められない。これは、エラズー地震と2023年の地震の応力変化の合計が負となるため、余震が誘発されなかったという単純な見方ができる。

InSAR時系列解析とGNSS変位場の融合による高空間解像度のひずみ速度場推定手法の開発に関して、電離圏擾乱の大きい場合でもロバストな補正項推定が可能な手法を開発した。対流圏遅延補正なども併用することにより、GNSS観測網だけでは捉えることのできなかった高精度かつ高空間分解能な地震間ひずみ速度場の検出に成功した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。新潟-神戸ひずみ集中帯への同手法の適用からは、2014年長野県北部の地震（M6.7）の発生域周辺の高ひずみ速度、立山・白山・妙高山など火山近傍の伸長ひずみなどを捉えた。部分的にクリープしている断層周辺域のInSAR時系列解析結果からは、その変形場の詳細な解析により、固着域の時間変化の検出に成功した（図5，京都大学防災研究所[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. プレート境界すべりの時空間変化の把握に基づく予測

時間依存のブロック断層モデリングに海底地殻変動データを取り入れ、2014年以降の日本列島のプレート境界の固着状況の変化を調べた。九州南部でフォワードスリップが出ないような拘束をかけて推定した結果、海域でのすべり欠損がより明瞭になり、2018年頃から発生した豊後水道のSSE等の固着状況の変化を検出できた。東海地域の沖合での固着が2022年から弱化し、SSEの発生を示唆する結果が得られた（図6，国土地理院[課題番号：GSI_02]）。

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その発生頻度及び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、トルコの東アナトリア断層系で2023年に長さ約330 kmの地表地震断層を生じたカフラマンマラシュ地震（ M_w 7.8）を対象に、地震時変位量を復元する古地震学的調査を実施した。2014年にトレンチ調査を実施したカルタル地点において、地震後の2023年10月にトレンチを再掘削し、地震前後の断層の出現形態や過去の活動時期の精緻化、累積横ずれ変位量の計測等を実施した。カルタル地点における地表地震断層は、2014年トレンチで識別された断層が上方へ進展し、地表まで切断する様子が確認された。暫定的な年代測定結果では、2023年地震に先行する活動時期（2014年当時の最新活動）は西暦1054年以降に限定され、約3,000年前以降に2023年地震を含む5～6回のイベントが識別された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST02]）。

成果リスト

Ai, S., T. Akuhara, M. Morishige, K. Yoshizawa, M. Shinohara, and K. Nakahigashi, 2023, Layered evolution of the oceanic lithosphere beneath the Japan Basin, the Sea of Japan, *J. Geophys. Res.*, 128, doi:10.1029/2022JB025581.

- Albini, P. and Satake, K., 2023, Voices of Foreign Residents in Yokohama and Tokyo at the Time of the 1923 Kanto Earthquake, *J. Disaster Res.*, 18(6), doi:10.20965/jdr.2023.p059.
- Dhakal, Y. P., and T. Kunugi, 2023, Preliminary analysis of nonlinear site response at the S-net seafloor sites during three Mw 7 class earthquakes, *Frontiers in Earth Science*, 11, doi: 10.3389/feart.2023.1180289.
- Hashima, A., T. Hori, T. Iinuma, S. Murakami, K. Fujita, and Ichimura, T., 2024, Stress change in southwest Japan due to the 1944-1946 Nankai megathrust rupture sequence based on a 3-D heterogeneous rheological model, *Earth Planets Space*, in press.
- 伊尾木圭衣・行谷佑一・澤井祐紀・田村明子, 2023, 津波のシミュレーション, *GSJ 研究資料集*, 744.
- Ishibe, T., T. Terakawa, A. Hasihma, M. Mochizuki, and R. S. Matsu'ura, 2024, Can the regional 3D stress field according to the Wallace-Bott hypothesis predict fault slip directions of future large earthquakes?, *Earth, Planets and Space*, 76, doi:10.1186/s40623-023-01955-9.
- 近藤久雄, 2023, 糸魚川-静岡構造線断層帯における連動型巨大地震の発生可能性評価, *第四紀研究*, <https://doi.org/10.4116/jaqua.63.2219>.
- 近藤久雄, 2023, トルコ南部における活断層分布と地震時の変位, *日本地震工学会誌*, 50, 7-10.
- Kubo, H., T. Kimura, and K. Shiomi, 2023, Exploratory data analysis of earthquake moment tensor catalog in Japan using non-linear graph-based dimensionality reduction, *Pure Appl. Geophys.*, 180, doi: 10.1007/s00024-023-03296-w.
- Kubo, H., T. Kubota, W. Suzuki, and T. Nakamura, 2023, On the use of tsunami-source data for high-resolution fault imaging of offshore earthquakes, *Earth, Planets Space*, 75, doi: 10.1186/s40623-023-01878-5.
- Matsumoto, D., Sawai, Y., Tanigawa, K., Namegaya, Y., Shishikura, M., Kagohara, K., Fujiwara, O. and T. Shinozaki, 2023, Sedimentary diversity of the 2011 Tohoku-oki tsunami deposits on the Sendai coastal plain and the northern coast of Fukushima Prefecture, Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, 10, doi: 10.1186/s40645-023-00553-3.
- Miyake, H., J. J. Mori, D. J. Wald, H. Kawase, S. Toda, and P. M. Mai, 2023, Introduction to the special section for the centennial of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 113, doi: 10.1785/0120230200.

- Nakata, K., Yanagisawa, H., Goto, K., 2023, A new point cloud processing method unveiled hidden coastal boulders from deep vegetation, *Scientific Reports*, 13, doi:10.1038/s41598-023-37985-2.
- Nakata, R., N. Uchida, T. Hori, and R. Hino, 2023, Recurrence intervals for $M > 7$ Miyagi-ken-Oki earthquakes during an $M \sim 9$ earthquake cycle, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 10, doi:10.1186/s40645-023-00566-y.
- 太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦, 2023, 南海トラフ浅部の微動活動(2023年2月~2023年4月), *地震予知連絡会会報*, 110, 278-280.
- Ozawa, S., M. Munekane, H. Suito, 2023, Detection of long-term and short-term slow slip events by network inversion filter, using a very dense GNSS Network in Shikoku, Japan, during 2012-2022, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 128, doi:10.1029/2023JB026557.
- Ozawa, S., M. Munekane, H. Suito, 2024, Time-dependent modeling of slow-slip events along the Nankai Trough subduction zone, Japan, within the 2018-2023 period, *Earth Planets Space*, 76, doi: 10.1186/s40623-024-01970-4.
- Raharja, R., T. Ito, and I. Meilano, 2024, Evaluation of earthquake potential using a kinematic crustal block motion model in Java, Indonesia, based on GNSS observation, *Journal of Asian Earth Sciences X*, 11, doi: 10.1016/j.jaesx.2023.100171.
- Saito, T. and A. Noda, 2023, Mechanically coupled areas on the plate interface in the Kanto region, central Japan, generating great earthquakes and slow-slip events, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113(5), doi:10.1785/0120230073.
- Satake, K., 2022, Recurrence and Long-Term Evaluation of Kanto Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 113, 1826-1841, doi:10.1785/0120230072.
- 関口渉次, 2024, 観測点から逆伝播する波面の重複点検出による簡易震源決定法, *地震* 2, 76, 219-232, doi:10.4294/zisin.2023-12.
- Shimada, Y., Sawai, Y., Matsumoto, D., Tanigawa, K., Ito, K., Tamura, T., Namegaya, Y., Shishikura, M. and S. Fujino, 2023, Marine inundation history during the last 3000 years at Lake Kogare-ike, a coastal lake on the Pacific coast of central Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, 10, doi: 10.1186/s40645-023-00577-9.
- Shishikura, M., Namegaya, Y., Kaneko, H. and M. Koyama, 2023, Late Holocene tectonics inferred from emerged shoreline features in Higashi-Izu monogenetic volcano field, Central Japan, *Tectonophysics*, 864, doi: 10.1016/j.tecto.2023.229985.
- Tang, R. and R. Ando, 2024, A systematic scheme to develop dynamic earthquake rupture scenarios: a case study on the Wenchuan-Maoxian Fault in the Longmen Shan, China, thrust belt, *Earth Planet Space*, 76, doi: 10.1186/s40623-023-01932-2.

Toda, S., and Ross S. Stein, 2024, The Role of Stress Transfer in Rupture Nucleation and Inhibition in the 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, Sequence, and a One - Year Earthquake Forecast, *Seism. Res. Lett.*, doi:10.1785/0220230252.

山中 蛭・後藤秀昭, 2023, 糸魚川-静岡構造線活断層系白州断層の平均変位速度と完新世後半の古地震, *地理学評論*, 96, 291-315.

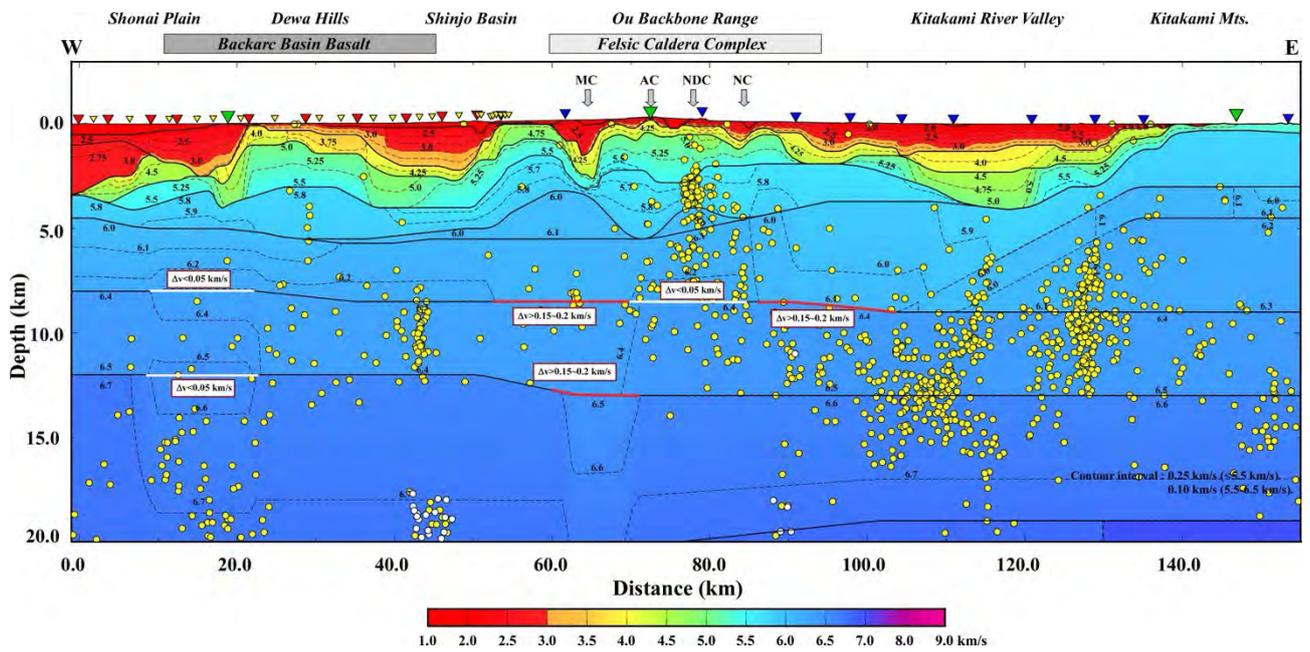


図1. 東北地方を横断する海陸統合構造調査測線における本年度の解析による地殻上部構造（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。速度値は、contourで示した。黄丸は、測線に沿って±20 km内で2014-2023年までに発生した地震の気象庁一元化震源である。また、白丸は低周波地震の気象庁一元化震源である。図上部の逆三角印は、発震点位置を示す。緑：ダイナマイト発震点。赤及び青：震源車多重発震。Sato et al. (2020a, b)の反射断面解釈に基づくカルデラの位置を図上端の矢印で示した。

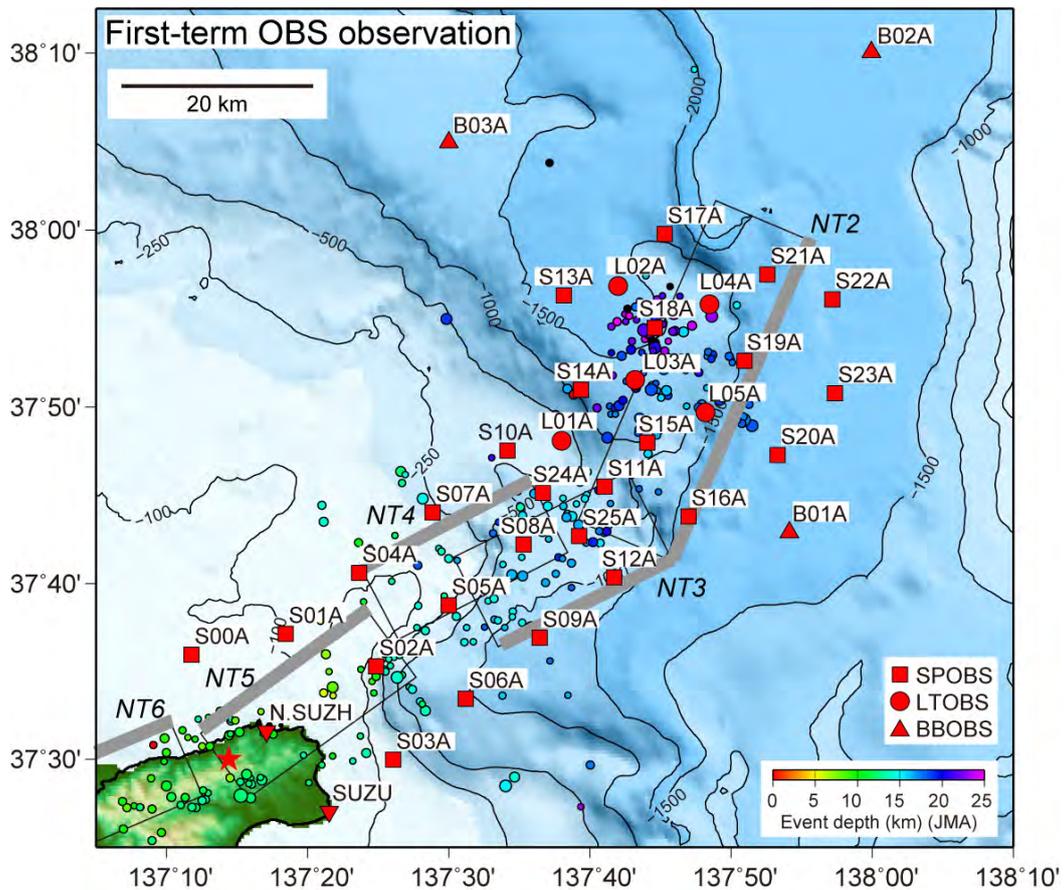


図 2. 令和 6 年能登半島地震の余震観測のための「白鳳丸」による緊急調査航海により設置された OBS の位置（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。気象庁による令和 6 年能登半島地震の震央（赤星）。海底観測を開始した 1 月 24 日から 2 月 5 日までに気象庁が決定したマグニチュード 2 以上の地震の震央を併せて示す。四角は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル（NT1 - NT6）であり、灰色太線が上端を示す。地形データは国土地理院及び海上保安庁による。

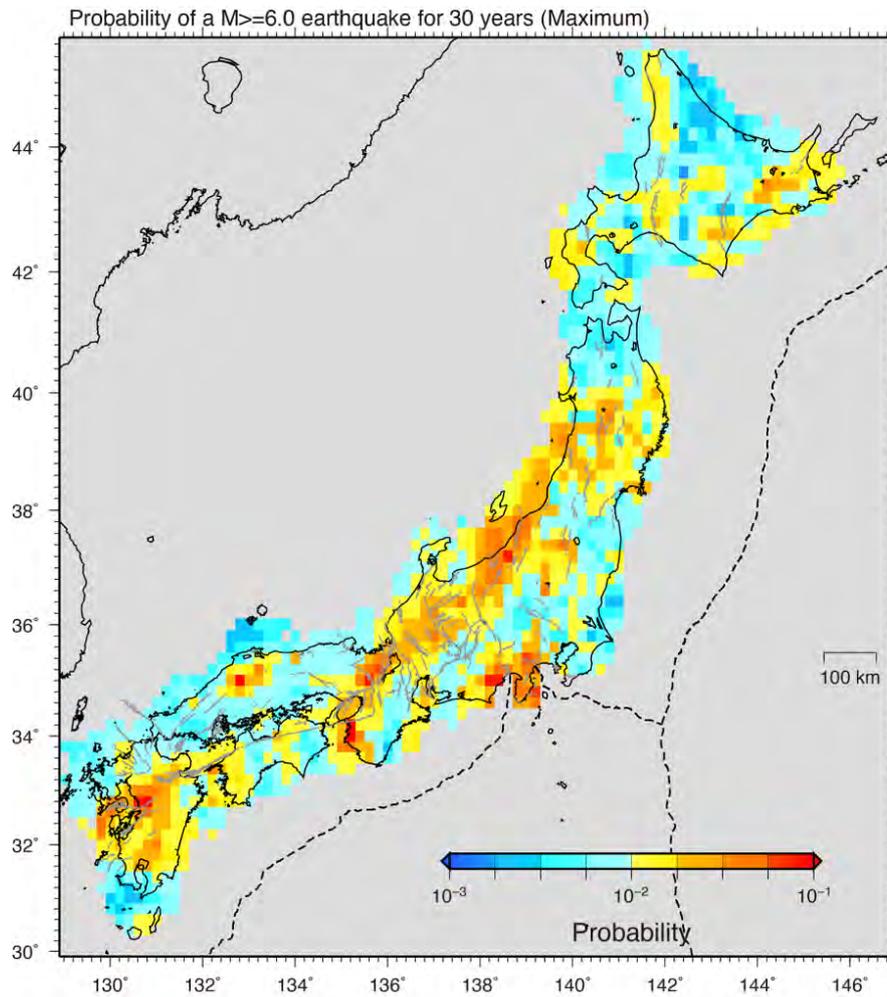


図 3. GNSSデータと背景地震活動データから計算した日本列島の $M_{JMA}6.0$ 以上の地殻内地震の30年発生確率（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。GNSSデータは日本列島を3地域に分割して計算したものを統合した。地殻内地震の背景地震活動度はOgata（2022）による。

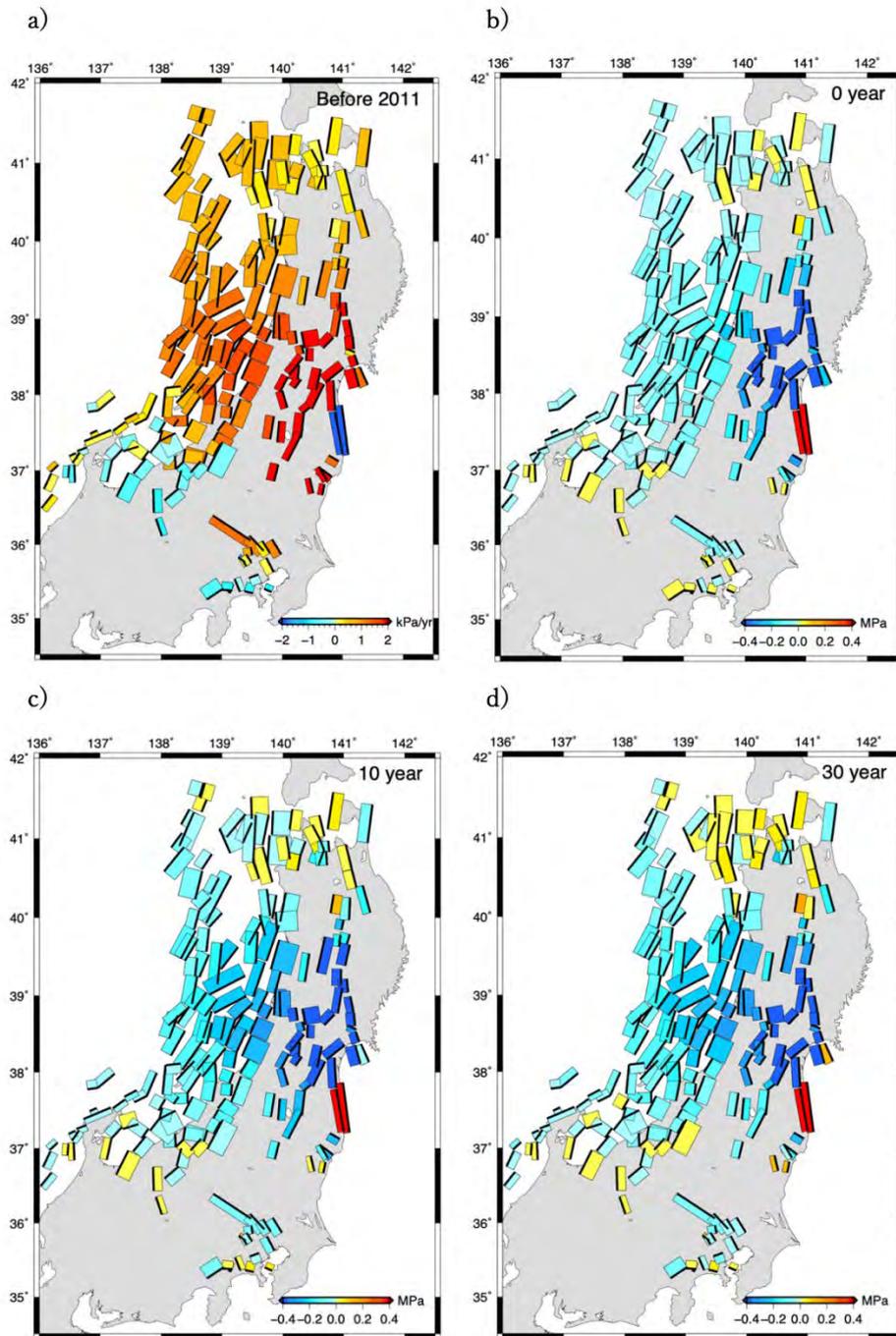


図 4. 東北・北関東地方の断層における2011年東北沖地震前後の応力 (ΔCFS) (東京大学地震研究所[課題番号: ERI_11])。実効摩擦係数の値は0.4とした。a) 東北沖地震前。b) 東北沖地震直後。c) 10年後。d) 30年後。

InSAR + GNSS, r : 20 km

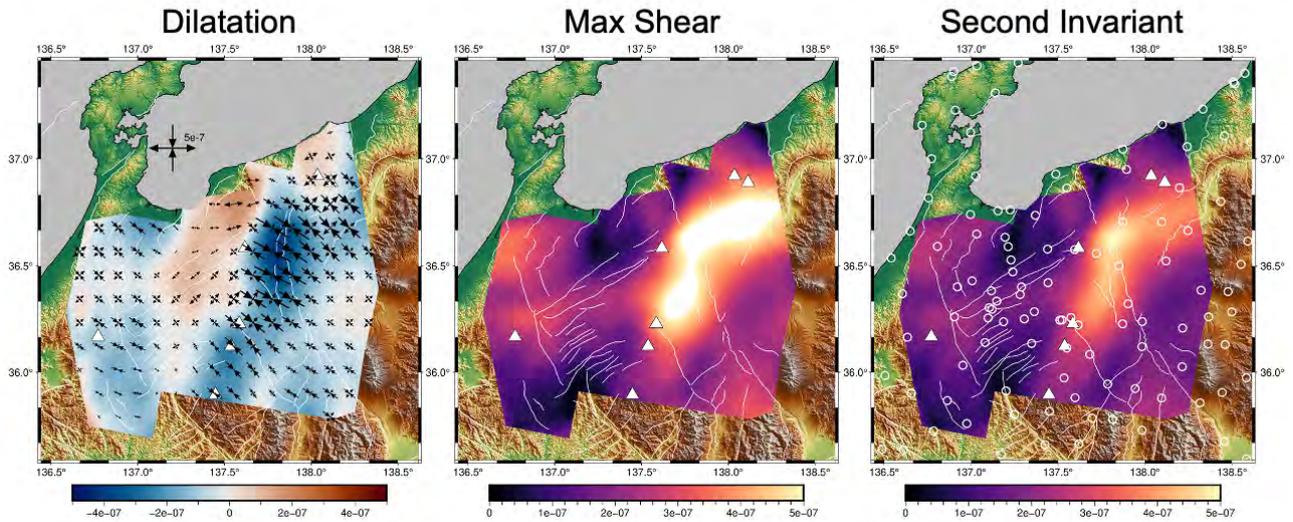


図 5. InSARとGNSSデータを統合した跡津川断層と糸魚川静岡構造線断層帯周辺のひずみ速度分布（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。（左）面積ひずみ速度。（中）最大剪断ひずみ速度。（右）ひずみの2次不変量。

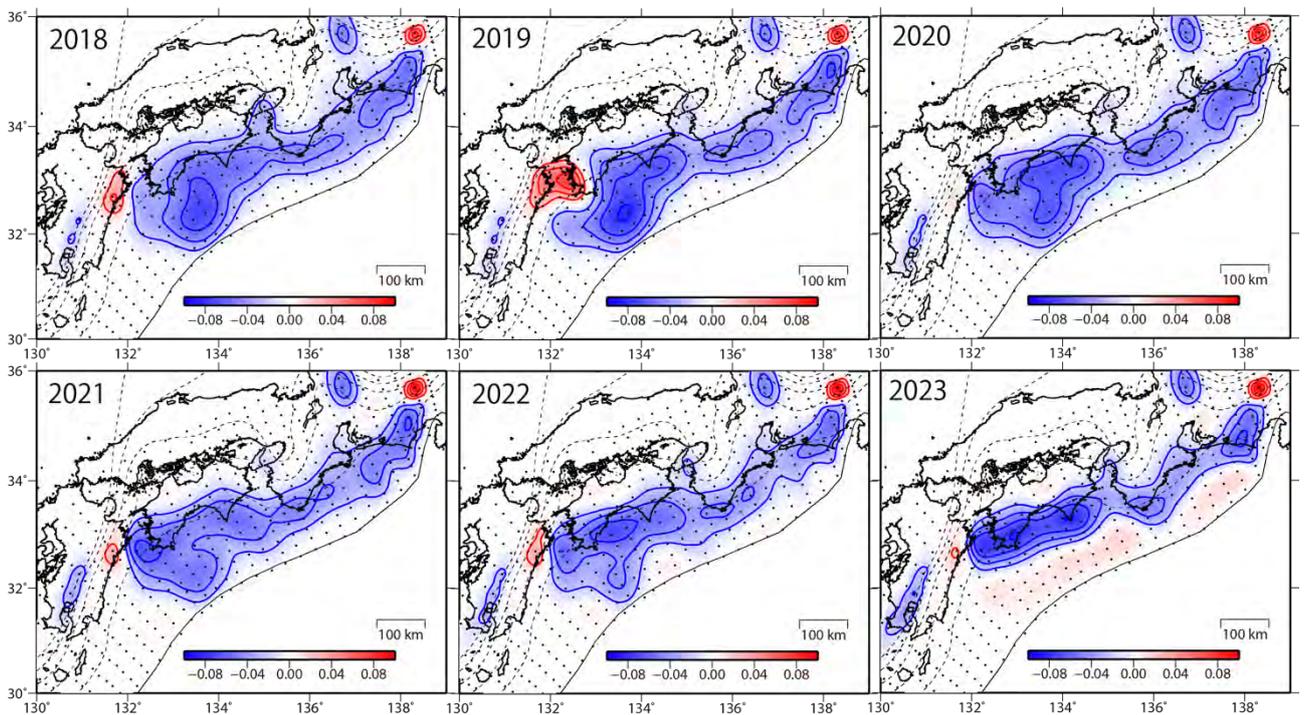


図 6. GNSS データから推定された1年毎の南海トラフ沿いのプレート境界の固着とすべり（国土地理院[課題番号：GSI_02]）。青色が固着（プレート相対運動よりすべり速度が遅い）領域，赤色がひずみを解放するすべり（プレート相対運動よりすべり速度が速い）領域を表す。