

資料1-2

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（第61回）
R7.10.23

[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

「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3次）」（建議）に示された実施内容について、令和6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、地震火山観測研究推進協議会¹⁾に設置された8の計画推進部会と6の総合研究グループ、及び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。

この報告の中から代表的なものを抜粋して、可能な限り平易でわかりやすい文章と図で書き直したものが、本編の「令和6年度の成果の概要」である。本編の「令和6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 地震火山観測研究推進協議会

【計画推進部会】

「地震（現象解明）」計画推進部会長	望月公廣（東京大学地震研究所）
副部会長	寺川寿子（名古屋大学大学院環境学研究科）
副部会長	安藤亮輔（東京大学理学系研究科）
副部会長	大園真子（北海道大学大学院理学研究院）
「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	後藤和久（東京大学理学系研究科）
「地震（中短期予測）」計画推進部会長	川方裕則（立命館大学理工学部）
副部会長	中谷正生（東京大学地震研究所）
「火山」計画推進部会長	山本 希（東北大学大学院理学研究科）
副部会長	前野 深（東京大学地震研究所）
副部会長	森 俊哉（東京大学理学系研究科）
副部会長	伊藤順一（産業技術総合研究所）
「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	木村玲欧（兵庫県立大学環境人間学部）
副部会長	高橋 誠（名古屋大学大学院環境学研究科）
「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）

【総合研究グループ】

「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループ長	伊藤喜宏（京都大学防災研究所）
「首都直下地震」総合研究グループ長	加藤愛太郎（東京大学地震研究所）
「千島海溝沿いの巨大地震」総合研究グループ長	高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院）
「内陸で発生する被害地震」総合研究グループ長	岡田知己（東北大学大学院理学研究科）
「大規模火山噴火」総合研究グループ長	中道治久（京都大学防災研究所）
「高リスク小規模火山噴火」総合研究グループ長	寺田暁彦（東京科学大学総合研究院）

○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観測研究推進協議会（令和6年度末までの名称は地震・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。地震火山観測研究推進協議会には、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6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。

地震（現象解明）

「地震（現象解明）」計画推進部会長 望月公廣

（東京大学地震研究所）

副部会長 寺川寿子

（名古屋大学大学院環境学研究科）

副部会長 安藤亮輔

（東京大学大学院理学系研究科）

副部会長 大園真子

（北海道大学大学院理学研究院）

本計画では、地震・火山現象の根本的な理解を深化させるための基盤的研究を推進する。地震及び火山活動は多様であり、広範な時空間スケールで発生する。特に、甚大な被害をもたらす大規模な地震や火山噴火は低頻度現象であることから、近年のデジタル観測記録に加えて、地形・地質等のデータを統合的に活用しながら比較分析を行い、現象の多様性を支配する仕組みやその発生メカニズムの解明を進めている。また、観測・実験・理論モデリングといった多角的手法により、地震・火山活動の発生場の解明とそこで進行する物理・化学過程のモデル化を行い、これらを地震・火山災害の発生機構や災害誘因の把握とその予測技術の高度化へとつなげることを目指している。以下に、各研究の具体的な取り組みと成果を報告する。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

（2）低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明

プレート境界型巨大地震の地震サイクルにおける断層の固着状態、および過去の大規模地震の発生履歴を詳細に把握することにより、低頻度大規模現象の発生予測の高度化への貢献目的とした研究を進めている。

海陸の測地観測データと繰り返し地震データの統合的な解析を行い、2011年東北地方太平洋沖地震（以降、東北沖地震）後のプレート境界断層すべり・固着の時空間発展および現状の把握を目指している（東北大学理学研究科[課題番号：THK_01]）。海域での測地観測については、空白域であった房総沖においてGNSS-A観測点2点を設置し、観測を開始した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_01]，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。既存のGNSS-A観測点についてはキャンペーン観測を実施し、確度の高い測位成果を得られるように改良したGNSS-A測位手法（Tomita, 2024）を適用することによって、東北沖地震に伴う余効変動が減衰していく様子を捉えた。繰り返し地震の効率的なモニタリングに関しては、地震データ取得および解析手法の高度化の検討を行うとともに、既存手法により統合解析用の2020年までの繰り返し地震カタログの整備を行なった。このようにして得られた海陸の測地観測データおよび繰り返し地震データからなる統合データに対して、マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法によって各データの事前分布形状（各データの正規分布の分散）が最適化可能なTomita et al. (2021)のインバージョン手法を適用し、2015年2月16日に発生したMw6.7三陸沖の地震に伴う非地震性すべりのすべり分布推定に成功した（図1）。今後、入力するデータセットの精緻化に加

え、モデルパラメータの事前分布設定について改良を加えていく。

1 年単位で年代が特定可能な年縞ができる閉塞湖である秋田県の男鹿半島の一ノ目潟から湖底堆積物コアを採取し、1964 年男鹿半島沖地震、1983 年日本海中部地震と考えられるイベント堆積物を確認した（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

（３）地震発生過程の解明とモデル化

地震発生過程の解明に向けて、海域・陸域での多様な観測とそのデータ解析、実験、数値シミュレーションを通じて、震源周辺域の応力・ひずみの蓄積過程、破壊進展過程、断層摩擦特性、地殻流体の挙動、断層構造、地殻やマントル内の構造の不均質性の理解などを対象とした研究を進めている。さらに、先進的な観測手法及びデータ解析手法の開発を行い、これらの成果を総合的に取り入れて、地震発生サイクルモデルの高度化を図ると共に、地震発生サイクル内で発生する様々な地震現象の物理モデルの構築に取り組んでいる。

摩擦構成則は、断層面における応力とすべり速度またはすべりの関係を定量的に表現するものであり、断層面上のすべり現象である地震がどのように始まり、進展し、停止するか、また、断層のすべり速度が速く通常地震すべりを起こすのか、あるいは速度が遅くスロースリップのような非地震性すべり（スロー地震）となるのかなど、断層運動の物理的性質を理解する上で重要である。この摩擦構成則のなかで、摩擦強度が時間の経過やすべりの大きさとともにどのように変化していくかを表す発展則は、様々なものが提案されてきた。しかしいまだに、摩擦現象を完全に表現できるものは見つかっていない。強度発展則で代表的なものとして、Aging law と Slip law が挙げられるが、それぞれ、時間の経過によって接触面の結合が強くなる効果、およびすべり量に応じて状態が変化する効果を表すものである。

そもそも実験室スケールで経験的に成り立つ摩擦法則が断層スケールにそのまま適用できるかは、保証の限りではない。実験室スケールで成立する摩擦法則が依拠する物理過程を特定し、その物理過程がスケールを変えた際にどう変わるかを定量的に議論しなくてはならない。その際問題になるのは、断層面の不均質性である。空間不均一性を粗視化する理論的根拠を与えるため、連続体断層において摩擦パラメータが不均一に空間分布している場合における、一様定常すべりの不安定化条件を考えた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_03]）。速度状態依存摩擦法則を摩擦「力」について書き直して空間的に加算すると、摩擦の速度依存性と状態依存性を表す係数 a と b については算術平均、状態変数も係数 b の分散が小さければ通常重みつき平均でよく近似できることが分かった。Slip law は加算しても式の形は変わらずに適用が可能であり、Aging law についても粗視化された領域でもよく成り立つことが示された。

既往の実験では、Slip law が成り立つ定常すべり近辺の摩擦強度変化を測る場合と、Aging law が成り立つ静止状態からの摩擦強度変化を測る場合の間に、探られていない領域がある。この領域に着目し、強度の時間変化がその時々すべり速度と摩擦面の強度だけの関数であるという仮定のみを制約条件として、Aging law と Slip law をその時々すべり速度と摩擦強度との差に応じて切替えることによってのみ、既存の実験で挙動が押えられている範囲で完全に記述できることを示した（図 2, Sato et al., 2025, 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。また、Aging law と Slip law の中間

的な性質を持つものとして Nagata law がある。動的地震サイクルシミュレーションにおいて、断層運動の不安定化から震源核形成の過程が、これらの発展則にどう依存するかを調べた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。Nagata law では、すべり速度が急に変わるパルスの伝播による地震性パッチへの剥がれが生じ、Aging law 的な小さい領域での加速フェーズへの遷移が見られる。地震発生時点での剥がれ域サイズ、高速すべり域サイズ、および後者の前者に対する割合はどれも Slip law に近いほど小さくなることがわかった（Kaneki & Noda, 2024）。

粘土鉱物などの母岩流動による応力緩和が速い断層が永久固着となることについて、バネーブロック・ダッシュポットによる粗視化モデルを構築し、これが連続体モデルでの永久固着条件を定量的によく再現することを確認した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。粘弾性緩和時間は固着域のサイズが大きいほど短いため、地震発生域深部で脆性から延性へ遷移するにつれ、大きい地震から先に起こらなくなることが予想される（Noda & Yamamoto, 2024）。

断層を格子状の多数の破壊要素で表し、単純な規則を適用した離散的計算モデルである OFC モデルでは、外側境界でだけエネルギーの散逸が大きいという不均質性があることで、様々な大きさの破壊が発生し、そのサイズ分布に GR 則が成り立つ。不均質が中程度の場合には、系サイズの $1/3$ 前後が破壊する 3 つの大地震が毎回全く同じ破壊域で順に繰り返す周期的な挙動となることが発見された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。不均質の強さに応じて、固有地震の繰り返し挙動と、GR 則の成り立つ複雑な挙動が相転移するこの系は、GR 則のメカニズムを理解する重要な手掛かりとなることが期待される（Otani & Kame, 2024）。

スロー地震と高速地震（通常地震）という、見かけが異なる 2 つの地震の違いを、断層すべり開始時の亀裂面上の流体圧と空隙率の値のみで説明できることを、バネーブロック・モデルで明らかにした（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）。スロー地震を生じ易い条件は、流体圧が大きく空隙率が小さい場合であることが示され、定性的には流体の流れが低空隙率によって阻害されることで流体圧が高くなり、断層すべりが安定的になると理解される。

沈み込み帯の深部スロー地震発生域におけるプレート境界断層帯の変形挙動の解明を目的として、海洋地殻や泥質堆積物などの低温・中圧の変成作用により形成されるアクチノライト-緑泥石片岩ガウジを用いて、温度 500°C 、封圧 1GPa の乾燥条件下で変位速度を $0.15\ \mu\text{s}$ 、 $0.05\ \mu\text{s}$ 、 $0.15\ \mu\text{s}$ 、 $1.5\ \mu\text{s}$ と変化させて摩擦実験を行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。その結果、アクチノライト-緑泥石片岩はピーク強度（摩擦係数は約 0.4）に達して以降すべり弱化を示し、最小摩擦係数は 0.33 であった。速度ステップテストの結果としては、速度強化挙動を示すことがわかった。

海洋プレートの主要構成物質である玄武岩質岩石を用いた摩擦実験を実施した。実験試料には、南海トラフにて掘削採取された粘土鉱物含有量の異なる 2 種類の玄武岩試料を用い、実験は地下数キロ程度にあたる有効圧 50MPa 、温度 $25\sim 200^{\circ}\text{C}$ 、軸変位速度 $0.1\sim 10\ \mu\text{m/s}$ の条件下で実施した。南海トラフ玄武岩と同じ岩種ではあるが鉱物組成の大きく異なる拓洋第三海山由来玄武岩試料、さらに玄武岩質岩石が変質変成を受けた秋吉台の緑色岩の結果と比較した。その結果、断層の安定性を表すパラメータ（ $a-b$ ）は全試料で共通して温度が上昇するにつれて正から負へと変化し、高温になるほど不安定なすべりと

なる一方、断層の物性が非地震性から地震性へと遷移する温度は、粘土鉱物の種類によって異なることが明らかになった。これらは、同じ岩種であっても、鉱物組成が異なれば、沈み込み帯の地震活動の不均質の要因となる可能性があること、さらには粘土鉱物の種類が重要である可能性を示唆している（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。

内陸断層の脆性－塑性遷移付近で生じた、nm～mmオーダーの強い塑性変形に伴う空隙化と、それによる延性破壊の発生範囲を明らかにするための地質調査、及び露頭産状と微細構造の比較を実施した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01]）。空隙や破壊面は、断層中心部に発達する、非常に強く変形・粉砕されたウルトラマイロナイトに密に伴われ、これらが断層の走向方向に最低30m連続し、ウルトラマイロナイトのうち最大のものは走向方向に1.2km以上連続することを確認した。これらの結果を組み込んだ三次元地質モデルの構築に向け、地質データのデジタル化を進めた。

2024年1月1日に発生したMj7.6に及ぶ能登半島地震に関して、震源過程、余震活動、および津波の伝播状況などから、地震発生メカニズムの解明に向けた研究を進めている。

能登半島地震の余震分布の全体像を明らかにすることを目的として、3次元地震波速度構造を考慮したMCMC法による震源位置の再決定を実施した（椎名ほか, 2024, Shiina et al., 2024）。本震発生から約1か月間に発生した余震は概ね10～15kmよりも浅い深さで発生しており、津波波源域（例えば, Fujii and Satake, 2024）とも整合的であることから、本震発生時に海底直下の断層ですべりが生じたことが明らかになった（産業技術総合研究所[課題番号：AIST06]）。

地震予知総合研究振興会が新潟県長岡地区に展開している観測網（AN-net）を用いてバックプロジェクション解析を行ったところ（今西ほか, 2024, Imanishi et al., 2024）、能登半島の南西端から北東端の浅部をP波速度近くで伝搬する高速破壊（supershear 破壊）が発生し、これが広域の甚大な被害と関係している可能性があることが示された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST06]）。

能登半島地震について、グリーン関数の誤差を明示的に取り入れた PDTI（Potency Density Tensor Inversion）法を用いて震源過程を推定した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。その結果、初期破壊が10秒ほどかけて静かに成長し、その後東西約150kmに渡って複数の断層を次々と破壊する複雑な震源過程が明らかとなった。また、2024年能登半島地震に先立つ同地域での群発地震活動は地下深部からの流体によって引き起こされたと考えられているが、東北沖地震後の大規模な余効変動による伸張的運動により流体の上昇が容易となる環境が整えられていたことを指摘した。

能登半島地震による浸水深と津波堆積物の調査を実施し、珠洲市～能登町にかけての沿岸では陸域に直接遡上した津波は第二波のみで、津波堆積物の層厚も最大で5cm程度であったのに対し、能登町の九里川尻川の河道内では、第一波による津波堆積物も認められ、トータルの層厚は55cmであることを確認した。また、堆積構造や粒度分析、珪藻化石分析などから3つのユニット（第一波遡上流れ、第一波戻り流れ、第二波遡上流れ）に区分できた（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

能登半島地震発生域における断層構造と微小地震のマイグレーションを明らかにし、本震発生への流体関与の可能性を示した（図3, 京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02], Yoshida et al., 2024）。

（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

プレート境界域、海洋・大陸プレート内部、火山地域など、地質環境の特性に応じて、震源分布、構造、応力・ひずみ場、物質分布を観測・調査・実験により明らかにし、地震・火山活動を支配する場の構造の解明とそのモデル化を進めている。プレート境界浅部から内陸部にかけて、通常地震活動からスロー地震まで、多様な断層すべりの時空間分布を詳細に捉え、歪・応力の蓄積過程を把握し、地震学的構造や物質構造との比較を通して断層すべり現象の発生条件や要因の理解を深める。火山地域では、火山性流体やマグマ供給系の構造の解明、および地震活動の把握を通して、火山活動のモデルの構築を進める。これらの知見に加え、地震発生の数値シミュレーションや強震動予測の高度化を念頭に、海域から陸域を対象とした標準的な断層モデルの整備にも取り組む。

日向灘から奄美大島にかけて、プレート境界域での小繰り返し地震（相似地震）を用い、小領域ごとの準静的すべり速度のモニタリングを継続している（図４）。トカラ列島南東沖を除き、すべり速度は 2000 年代前半頃から 2015 年前後にかけて一定値をとっており、2015 年前後から増加に転じ、2020 年頃以降はさらに増加する傾向にあった。2023 年頃から一部の領域（日向灘中部～南部、都井岬南東沖、種子島東方沖、トカラ列島東方東沖、トカラ列島北東沖、奄美大島付近）で速度は頭打ち、あるいは減少傾向にある。トカラ列島南東沖では、2000 年頃から 2010 年頃にかけては約 2.0cm/年で、これ以降はさらに速度が低下していることがわかった（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）。

2006～2007 年に日本海溝北部で実施した稠密海底地震観測網のデータに常時微動表面波トモグラフィ手法を適用し、深さ 30km 程度までの詳細な 3 次元 S 波速度構造モデルを推定した（図 5，東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）。テクトニック微動の分布は、沈み込む海洋プレート上の堆積層から脱水した流体による間隙圧に起因するプレート境界付近の低速度領域と良い相関を示すことから、堆積層厚の流体供給量の不均質が、海溝に沿った間隙流体圧と断層すべりの挙動の変化の要因と考えられる。

日本海溝沖 S-net 観測点の速度計記録に適切な周波数特性の補正をすることで、減衰した低周波側の振幅も復元できることを確かめた上で、福島県沖や茨城県沖の海域で発生した地震について震源決定と発震機構解の推定を行った（産業技術総合研究所[課題番号：AIST06]）。その結果、S-net データを加えて解析することで解の精度が向上し、少なくとも Mj2.0 までの微小地震の発震機構解を推定できることを確認した。また、プレート境界から陸側に向かって延びる分岐断層に関連する地震活動が確認され、分岐断層周辺の応力場が正断層すべりを促進する状態にあることも明らかになった。

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いる。海洋モデルに対してマルチチャンネル特異スペクトル解析を用いて、2018 年に発生したスロースリップによる変動を抽出し、すべり分布を求めた。すべり分布は陸域 GNSS データだけ用いて得た結果と比べて海側に張り出すとともに、全体のすべり量が小さくなる傾向を示した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。

南西諸島北部域の種子島南東沖において実施した海底地震観測網データを用いて、浅部テクトニック微動の解析を実施したところ、沈み込むプレート上面の深さ約 10～15km の領域に分布する複数のエピソードを確認できた。このうち最も顕著なエピソードは 2023 年 12 月～2024 年 1 月にかけて発生し、南側から始まった活動が北方向へマイグレ

ーションした後、12月下旬に再び南側から北側へのマイグレーションがあった。その後、1月には主に北側で活動が認められた。本領域が喜界島東方沖から続く一連の活動領域の北限であり、地震断層セグメント境界のような場所であることが示唆される（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）。

2024年7月より試験運用を開始したN-net 沖合システムの記録を用い、同地域で発生する微動活動のエンベロープ相関法によるモニタリング手法の開発を進めた。この手法を用いることで、日向灘の地震後、同地域で発生する微動を検出することに成功した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）。

沈み込んだスラブ内で発生する地震に関しては、スラブ内物質の物性や、沈み込みに伴う物性の変化、さらに断層分布や地震活動を把握し、地震発生場の理解を目指した研究を進めている。

地下300km付近（～10GPa）の沈み込むスラブ内で発生する深発地震の発生メカニズムの解明を目的として、含水鉱物の一つであるPhase A+カンラン石多結晶体の変形実験を行った（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]）。変形中のAE（Acoustic emission）計測の結果、Phase Aのみ（100%）の場合にはAEの発生が少なくなることが明らかになった。このことは、規模の大きな地震の発生には、高い強度をもつカンラン石のような鉱物の存在が必要であることを示す。また、カンラン石多結晶体試料の応力緩和試験により、高圧下におけるカンラン石の遷移クリープがバーガース粘弾性モデルにより記述できることが確認された。このことは、大地震後の余効変動を同モデルで予測できる可能性を示唆している。

スラブ表面での屈折を考慮したレーザースキャンイメージングを用いて、東北日本沈み込み帯における太平洋スラブ内部の地震波速度不連続構造を調査した。その結果、1）海洋地殻の脱水脆化に整合的なエクロジャイト相転移（二重深発地震面上面と一致）に伴う速度コントラストの消失、2）深発地震の発生位置と空間的に相関し、相転移断層とも整合的なオリビン準安定領域の上面と下面にあたる、明瞭な負振幅と正振幅、3）深発地震の分布限界とも一致し、マントル遷移層でオリビン準安定領域が存在しないことを示唆する深さ450km付近でのオリビン準安定領域の速度コントラストの消失、さらに4）未知の脱水反応あるいは相転移反応の存在の可能性を示唆する、稍深発地震発生帯付近の海洋モホ面にける負のコントラストが検出された（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]）。これらの検出された特徴は、地震活動とも良い対応を示した。

2011年東北沖地震後に、2003年5月26日に宮城沖で発生したM7.1スラブ内地震の直上のプレート境界で繰り返し地震が出現した。東北沖地震の余効変動に伴う载荷速度の増加に伴って、スラブ内地震直上のプレート境界で不安定性が増加したことが示唆された。周辺域で2003年から2023年までに発生した地震の断層サイズを推定したところ、典型的サイズの半分より小さく、その発生深度に伴う高い法線応力により、発生する地震の応力降下量が大きくなっている可能性が示唆される。一方、スラブ内では繰り返し地震は見つからず、プレート境界とスラブ内で断層の分布や物性が大きく異なっている可能性が示唆される（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]）。さらに、CMT解が決まっている地震を用いて減衰構造と観測点補正值を推定した上で、短周期の直達P波の波形モデリングにより、M2～4の地震のモーメント・テンソル解を推定する手法を開発した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_03]）。本手法により上記2003年宮城沖スラブ内

地震周辺域で発生した地震のモーメント・テンソル解を推定したところ、プレート境界面における逆断層すべり、その直下から 20km までの範囲のスラブ内における沈み込み方向に圧縮型の応力場、それ以深では沈み込み方向伸張型の応力場とよく整合した(図 6)。

2021 年 2 月 13 日および 2022 年 3 月 16 日に発生した 2 つのスラブ内地震 (M7.3 と M7.4) の余震分布から、複数の明瞭な構造を検出した。これらは、それぞれ断層が 4 枚と 2 枚の面構造であった。これらの地震はスラブ内の既存の弱面の破壊により発生したと考えられるが、2022 年の断層の深部では、2011 年東北沖地震発生直後から集中的に顕著な地震活動の活発化があったことが確認された。このことから、2022 年の地震では、スラブ内の既存の弱面において本震の破壊に先行する地震活動があったと考えられる (東北大学理学研究科[課題番号: THK_03])。

最新の海域・陸域地震観測網で得られた地震波形から大量の到着時刻データを読み取り、東日本前弧域を含む日本列島全域下の深さ 700km までの地殻とマンツルの詳細な 3 次元 P 波速度構造モデルを得た (東北大学理学研究科[課題番号: THK_04])。その結果、プレート境界やスラブ内の地震発生に影響を及ぼすと思われるマンツル深部からの熱い上昇流を反映する、沈み込んでいる太平洋スラブ下に顕著な低速度異常体を検出した。

2000 年鳥取県西部地震や 2016 年熊本地震、さらには 2024 年能登半島地震など、内陸部でも大きな被害を及ぼす直下型の地震が発生してきた。その発生メカニズムの理解に向けて、断層周辺における地震学的・電磁気学的構造を明らかにし、断層運動との関係を理解するための研究を進めている。

定常・臨時観測点に加えて、日奈久断層南部周辺の 0.01 満点 (約 100 点) 観測の記録を使って求められた発震機構解から、熊本地震周辺域における背景応力場を推定し、2016 年熊本地震の本震時のすべり分布から計算される応力変動場を合わせたところ、本震後には震源断層端と断層深部に応力集中が確認され、余震活動や余効すべりが駆動されたことが示唆される結果を得た (九州大学[課題番号: KYU_01])。また、M3~5 の 418 個の地震に対して破壊伝播方向の推定を行なったところ、約 40%が一方向への破壊を示した。そのうちの日奈久断層中部で発生した地震では約 60%が、2016 年熊本地震により破壊が促進される方向に破壊が伝播する様子が見られた。また、高 V_p/V_s 領域を避けるような伝播方向の分布も見られ、破壊伝播方向には応力場だけでなく、構造の不均質が影響している可能性が示唆された。

日奈久断層南部の断層近傍において、断層と並行する国道 3 号沿いで DAS 観測データの解析を行い、4m 間隔に深さ 180m までの 1 次元 S 波構造を推定し、河川による堆積構造が顕著であることを明らかにした (九州大学[課題番号: KYU_01])。

未発表のデータも含め既存の広帯域 MT データを統合し、さらに 2024 年 10 月 29 日から 12 月 12 日にかけて既存点の隙間をうめる様に配置した 35 点の観測点で、広帯域 MT もしくは地電位データの取得して、2000 年鳥取県西部地震周辺域の 3 次元比抵抗構造解析を行った。その結果、本震震源直下に低比抵抗体が分布していることがわかった (九州大学[課題番号: KYU_02])。

2024 年 4 月 2 日から 5 月 8 日まで、既存点の隙間をうめるように 22 点の観測点を配置し、1997 年鹿児島県北西部地震において、広帯域 MT もしくは地電位データの取得を行った。既存点も合わせた 86 観測点のデータを用い 3 次元比抵抗構造解析を行い、1997 年鹿児島県北西部地震のすべり分布 (Horikawa, 2001) と比較した結果、3 月の本震 (M6.3)

は低比抵抗体の端部で破壊が開始したのち西側に進行、最終的に別の低比抵抗体で停止したことが分かった（図 7）。5 月の地震（M6.2）についても、すべり量は 3 月の地震に比べ小さいものの同様の結果を示した。この結果は 2016 年熊本地震で得られた結果（Aizawa et al., 2011）と同様であり、内陸大地震の破壊の開始と停止が低比抵抗体に支配されている事例と考えられる（九州大学[課題番号：KYU_02]）。

大きな構造線沿いにあたる、岐阜県高山～白川郷にかけて分布する代表的な湧水・泉源の主要溶存成分濃度分析およびヘリウム同位体比分析を行い、高い NaCl 濃度（～3%）およびマントル由来のヘリウム成分を含む湧水が広く分布することを見出した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。当該地域には深部流体のフラックスがあると推定される。これらを先験的情報とし、すでに公表されている地震波速度構造と電気伝導度構造に基づき、ベーズ統計に基づく同時解析・インバージョンを行ない、当該地域の 2 次元断面（北西－南東方向～70 km、深さ 40 km の断面）における地殻流体の分布の予察的な結果を得た。

2024 年能登半島地震の余震について、3 次元地震波速度構造に基づく CMT 解析を実施し、佐渡島西方沖の領域で北西方向に深くなる既存の断層モデルと整合的な断層の形状、および能登半島北西部の浅部では南北に近い走向を持ち、P 軸が東西に近い方向の、本震のすべり過程解析と整合的な応力場に関する知見を得た（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）。

能登半島地震を対象に、SAR の後方散乱強度画像における変化から、同地震による海岸線の変化の抽出をおこない、海岸線が隆起した範囲の可視化をおこなった。干渉 SAR 解析の結果から、同地震に伴う大規模盛土造成地における局所的な沈降箇所の検出もおこなった（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

能登半島地震（M7.6）で津波を引き起こした海底活断層の実態解明にむけ、令和 6 年 3 月に能登半島の北東沖で実施された学術研究船「白鳳丸」緊急調査航海でマルチチャンネル反射法地震（MCS）探査データを取得し、高精度地殻構造イメージング解析を行った。また、海底地形調査や、海底表層地層探査を実施し、海底活断層群の一部が津波の波源域で海底付近まで到達し、鉛直変位が 3～5m に達していることを確認した（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI01]）。

能登半島地震、および能登半島周辺におこっていた群発地震も含めて、逆断層の活動に地下の流体が関与したと言われている。その流体の起源に関して、能登半島を形成する漸新世から中新世の火山岩は日本海形成時に噴出したものであり、そのときの海水が地殻やマントル上部まで到達してマントルの部分融解を促し、マグマを生成し、さらに化石海水として地殻やマントル中に現在も残っている可能性がある、という作業仮説をもとに、これまでの能登半島における地質調査をレビューし、12 月に現地の漸新世-中新世火山岩である穴水層群の地質調査と岩石採取をおこなった（海洋研究開発機構 [課題番号：KOB001]）。

地殻変動や重力の観測を通して、地殻・マントルの変形場を把握し、構造との比較から、地殻活動のメカニズム解明のための研究を進めている。

北海道東部の広域・大局的な変形モデルの構築を目的として、駆動力となるプレート運動の影響を定量化するため、GEONET およびソフトバンク独自基準点における GNSS 観測点の太平洋プレートの収束方向（N66° W）への変位速度を求め、海溝軸直交方向を横軸

とする速度プロファイルを作成した（図 8，北海道大学[課題番号：HKD_04]）。厚岸～屈斜路カルデラ～稚内を通過する速度プロファイルでは，火山地域を除いた屈斜路カルデラの周辺約 200km の範囲で定常的に短縮を示しており，震源メカニズムを用いて推定した P 軸方向と調和的であることが分かった。一方，屈斜路カルデラ周辺の地震は P 軸の向きがばらつき，周辺と異なる応力場になっている可能性が示唆された。

2021年半ばから2023年半ばまで屈斜路カルデラ周辺で発生した膨張性の非定常地殻変動について，北海道大学，GEONET，ソフトバンク独自基準点からなる超稠密GNSS観測網のデータを解析して，変動源の推定を行った（北海道大学[課題番号：HKD_04]）。推定変動源の深さは約5kmに求まり，体積変化量は $1.1 \times 10^7 \text{m}^3$ となる。これは1993～1995年に発生した膨張イベントとほぼ同じ場所で若干小さい規模で発生しており，普段定常的に収縮場である屈斜路カルデラの地下が，時々繰り返して膨張イベントを生じる可能性を示唆する。また，この変動源はマグマ溜まり本体ではなく，その最上部における低比抵抗領域の最上端部（本多・他，2012）にあたる，脆性－塑性境界（高橋・他，2017）で発生していると推察される。

GNSS 観測のほか，屈斜路カルデラ周辺で水準測量，および屈斜路カルデラ，阿寒カルデラ周辺で繰り返し相対重力観測を実施した（北海道大学[課題番号：HKD_04]）。水準測量は屈斜路湖畔沿い約 15km の路線で 2023 年 9～10 月，2024 年 9 月に実施し，今年度初めて約 1 年間の上下変動を得た。膨張変動はほぼ終息したタイミングではあるが，推定震源域の近傍では 4mm の隆起が発生していたことが明らかになった。近年の屈斜路カルデラ周辺の重力値の時間変化はほぼなく，安定していることが分かった。

海底地殻変動も含む広域の地殻変動データ，衛星重力観測や光格子時計による重力ポテンシャル計測などの先進的な測地データを有効活用するため，広域地殻変動と重力場変化を正確に計算できる球体地球モデルについて，粘弾性変形の計算手法の確立を目指している。3次元水平不均質を取り入れた計算手法をさらに発展させ，非線形レオロジーを考慮した粘弾性変形による重力変化の計算手法を開発した。計算の結果，線形レオロジーの場合に比べて短波長の変動が増幅されることが分かった（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_01]）。

GEONET 観測点における日々の座標値（F5 解）を用いて，変位速度場，歪速度場の計算について自動処理を行い，列島スケールにおける地殻変動を可視化する仕組みについて検討した。その結果として，奥羽脊梁山脈における短縮場の他に，火山周辺における局所的な膨張現象など，局在する歪集中域の存在も明らかとなった（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

物理法則を組み込む深層学習（Physics-Informed Neural Network, PINN）による地震時地殻変動解析を，プレート沈み込み境界などの記述に用いられる面内問題に応用した（Okazaki et al., 2025）。地表の地殻変動データから地下の断層運動を推定する逆解析に取り組み，従来法と異なり数学的正則化なしで安定解が得られた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。これは PINN を用いることで，物理的要請に基づき合理的な推定を行える可能性を示唆している。

GNSS データから地殻のひずみ速度を推定するうえで，通常は速度場の局所的な一様性を仮定した上で平滑化制約を適用してきたため，ひずみ速度が過小評価される傾向にあった。平滑化制約に加え，スパース性制約も事前情報として課したスパースモデリング

による方法を定式化し、模擬データに適用してその有効性を確かめ、実際の観測データに適用した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]，Nozue & Fukahata, 2025）。歪み速度が急変する場所において解像度の向上が期待できる。

火山周辺域では、火山性地震活動の特徴を明らかにするとともに、地震学・電磁気学的構造の把握から、火山性流体・マグマの供給系の把握のための研究を進めている。

御嶽山周辺域の約71,000個の地震（2012年5月～2025年1月処理分まで）について震源の属する構造を調べたところ、99%がユーラシアプレートの上部地殻内で発生していることがわかった。0.3%にあたるフィリピン海プレート内で発生した地震のほとんどが深さ60kmより浅く、御嶽山直下には分布していない。一方、0.1%にあたる太平洋プレート内で発生した地震は御嶽山直下の深さ250～300kmに分布していた。これらの分布は、スラブからの脱水と火山活動の形成メカニズムの関係や、御嶽火山活動におけるフィリピン海プレートの役割の解明などに重要な情報として寄与する。一方、ユーラシアプレートの上部地殻内で発生した地震の震源データにクラスター解析を実施し、地震を単独型とクラスター型に分類した（図9）。クラスター型地震については、1つのクラスター内の地震の規模の分布から、本震－余震型、前震－本震－余震型、群発地震型に分類した。M2.5以上の地震594個の地震を調べてみると、御嶽山の北麓－東麓にかけて群発型の地震活動が集中する領域があること、また、この東麓域の南西端で2017年長野県南部の地震（群発型）が発生したことがわかった。近代的な地震観測網が整備された1980年以降、この地域で発生した最大地震である1984年長野県西部は、2017年長野県南部の地震の震源域に隣接して発生しているものの、群発地震発生域には含まれないことがわかった（名古屋大学 [課題番号：NGY_02]）。

御嶽山直下の火山性地震活動は、2014年噴火以降減少傾向にあった中、2024年12月9日ごろより活発化し、2025年1月16日には御嶽山噴火警戒レベルが1から2へと引き上げられ、1月21日には傾斜変動を伴う火山性微動が観測された。名古屋大学では、2024年7月より独自の山頂連続地震観測網のデータを取り入れた準リアルタイム震源決定システムを整備し、2024年1月～2025年1月の期間で1376個の火山性地震の震源を決定することができた。2024年12月前後で震源の深さが浅部から深部に遷移した後、火山性微動発生とともに活発化した地震活動は一気に低下し、震源も浅部に移動した。2014年噴火前後で、火山性地震のメカニズム解が大きく変化したことがわかっており（Terakawa et al., 2016）、今回の地震活動の変化について、火山性地震のメカニズム解の推定を進めている（名古屋大学 [課題番号：NGY_02]）。

北海道の阿寒カルデラで観測された電磁気探査（MT法）データを用いて、3次元比抵抗構造の推定を行った結果、雌阿寒岳と雄阿寒岳の間に西方深部に斜めに傾く低比抵抗異常体を確認した。加えて、2016年から2017年にかけて発生した地盤膨張の推定シル状圧力源、準定常的に発生している深部低周波地震や浅部火山性地震の空間的關係から、阿寒カルデラのマグマ供給系の構造をモデリングした（九州大学 [課題番号：KYU_03]）。また、MT法探査で観測されるPOQ（異常位相、Phase out of quadrant）現象について、斜め良導柱（柱状の低比抵抗体）の上端が地表近くまで到達し、直径に関わらず良導柱が深部まで伸びていることが現象発現条件であることが分かった（Inoue and Hashimoto, 2024）。

別府－由布院周辺で取得した153点の広帯域MT観測データの3D解析を行い、鶴見、

伽藍，由布の3火山に向かって，北側の深部から斜めに上昇してくる低比抵抗体をイメージした（九州大学 [課題番号：KYU_03]）。深さ 20～30km で発生している深部低周波地震は低比抵抗体の端部で発生しているとともに，深さ 5km 付近の水平断面では，地表の鶴見，伽藍，由布の3火山の位置は低比抵抗体の端部に位置している。近隣の九重火山，阿蘇火山（Aizawa et al., 2022）と同様，低比抵抗体の端部がマグマ性流体の上昇経路であることを示唆している。

地震火山活動が活発な日光・足尾地域で MT 法観測を実施した。3次元電気比抵抗構造を推定した結果，日光白根山と男体山の下の地殻内に，地震波の低速度，高減衰域に一致して低比抵抗域が分布することを明らかにし，日光白根山と男体山のマグマ供給系を示している可能性があることを示した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。この低比抵抗域の上端付近では 2013 年に M6.3 の内陸地震が起きているが，低比抵抗域に含まれる流体が地震の発生に関与した可能性を示唆する。

ニュージーランド（NZ）の北島から南島北部にかけたヒ克蘭ギ沈み込み帯は，プレート境界における通常の地震活動からスロー地震まで多様な断層すべりが高頻度で発生しており，また内陸部でも複雑に配列した断層で大規模な地震が発生している。プレート間固着強度が沈み込み帯中部で大きく変化しており，それがタウポ火山帯の南端に一致している。このようなテクトニクスの特徴は，西南日本とよく似ている。ヒ克蘭ギ沈み込み帯と南海トラフから日向灘にかけた沈み込み帯との比較研究として，多様な断層すべりのメカニズムや地殻・マントル構造を明らかにするための研究を進めている。

世界の様々な沈み込み帯の構造と日本の沈み込み帯との比較研究の一環として，ヒ克蘭ギ沈み込み帯下の構造を調べた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）。千島沈み込み帯にもみられるように，スラブに開いた穴を通して，下部マントルからの熱いマントル上昇流が島弧マグマと混合することで，タウポ火山等の巨大噴火が発生する可能性を明らかにした。

約 1.8 年周期でスロースリップが発生しているヒ克蘭ギ沈み込み帯北部の Gisborne 沖において，日本・NZ・アメリカの国際共同によって，2022 年 10 月から本海域で実施している大規模な海域地球物理観測を継続している。2024 年 11 月終わりから 12 月にかけて，大規模なスロースリップが観測網直下で発生し，これの活動の直接観測に成功した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_06]）。

2016 年カイクウラ地震震源域において，トモグラフィー解析により地震の震源再決定と地震波速度構造推定を行ない，既往の断層モデルを再構築する必要性を指摘した。地震波速度構造からは，震源域中央部・カイクウラ半島付近の上部地殻に地震波速度高速度域が確認され，カイクウラ地震の断層すべりに対するバリアとして当初の破壊の進展を妨げた一方で，破壊過程を複雑にした要因であると考えられる。さらに，震源域深部およびそのプレート境界付近に高間隙圧流体の分布に対応すると考えられる地震波速度低速度域・高い V_p/V_s 領域を確認し，上部地殻内での断層の連動破壊や，それに伴って発生したプレート境界での地震時・地震後すべりの発生に高間隙圧流体が関わる可能性を示した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_05]）。

地震発生場のより詳細な理解に向け，室内・数値実験や観測・解析手法の開発を進めるとともに，地震発生の数値シミュレーションや強振動予測の高度化を目的として，海域から陸域までを包括した標準的なコミュニティ断層モデルの整備にも取り組んでいる。

封圧増加に伴う含水岩石の弾性波速度および電気伝導度の変化について、クラック閉鎖に伴うアスペリティ接触の増加およびクラック開口の減少を定量的に評価した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。弾性変形の場合は少数の大きなアスペリティ接触状態となるが、接触面積の割合が 20%程度に達するとクラック内の液相連結は保たれつつ、ほぼ固相の弾性波速度を示すようになる。したがって、弾性波速度に対しては閉鎖状態であっても、電気伝導度に対しては閉鎖していないという状態がクラックの閉鎖状態であり、地殻内部で観測されている小さな地震波速度変化（ $<10\%$ ）と大きな電気伝導度変化（数桁）を同時に説明することができることがわかった。

連結した亀裂内に（流体などの）低比抵抗物質が存在する場合について、岩石のバルク比抵抗を与える mixing モデルを解析的に導出した。弾性波速度の理論モデルも導出されている横等方性に従う任意の選択配向に適用可能であり、地震波速度と電気比抵抗の異方性について理論的な比較を可能とした（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。

弾性歪エネルギーの蓄積および解放を司る岩石の弾性的特性を理解する目的で、四万十帯から採取された、沈み込み帯の地震発生帯深度におけるプレート境界を構成する岩石コア試料を用いて、P 波および S 波速度の測定を行った。その結果、沈み込み帯の巨大地震の開始を支配する断層の最小サイズが数 m 以下であることを明らかにした。また、得られた P 波速度は、大きなスケールの構造に感度がある地震波による観測結果よりも有意に高いことが分かった。これは地震発生帯には大きなスケールの亀裂が存在する可能性を示している。またこのような亀裂は流体の通り道となるため、巨大地震の発生に寄与する流体移動も同時に司っていることが考えられる（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。

地震計の特性が異なる、下北半島を中心に青森県北部から北海道南端部に展開する AS-net、全国を一様に覆う Hi-net、および青森県による微小地震観測網に対して時間領域フィルタを開発し、低周波においてこれらを統合した高感度広帯域地震計観測網として活用できることを確認した。その上で、Hi-net と AS-net の長期間にわたる連続観測記録に地震波干渉法を適用し、表面波の群遅延時間の周波数依存性を求めた。その空間分布は、地盤の特徴に対応する速度空間変化が明瞭にあらわれており、今後のトモグラフィ解析と非線形 S 波速度インバージョンから高精細な地盤構造の推定につながると期待される（弘前大学[課題番号：HRS_01]）。

日奈久断層南部の断層近傍における表層構造を調べるために、断層と並行する国道 3 号沿いで実施された光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測データの解析を行った（九州大学[課題番号：KYU_01]）。交通ノイズが卓越しているため、常時微動を用いた地震波干渉法を用いることで、伝播するレイリー波を抽出した。分散曲線を用いて各区间における深さ 180m までの 1 次元 S 波構造をインバージョンし、断層に沿った構造を推定した。DAS を用いることで、交通量の多い地域においても浅部構造の推定が可能であることが示された。

地震波エネルギーの伝播を記述する輻射伝達理論において、地震波の波長に応じた散乱パターンを適用することで、短波長不均質中を伝播する地震波をモデル化する手法を高度化し、これを実装するモンテカルロ・シミュレーションコードを作成した（九州大学[課題番号：KYU_01]，Sato and Emoto, 2024）。

地震波形の振幅比を用いた解析により、2011 年と 2016 年に Mw5.9 地震が繰り返し発

生した茨城県北部地域において、約 30,000 個の中小地震のモーメントテンソル解の推定に成功した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]，Yoshida et al.，2024）。

能登半島地震本震発生後の短時間の地震計データに基づき、その後の揺れの予測を行う解析手法（Sawazaki, 2021）において、モーメントマグニチュードと最大振幅に関する非線形な関係式を新たに提案し、予測能力の改善がみられることを確認した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）。

活断層の地表トレースを地下に延長する形で、地震本部の認定する約 100 の主要活断層帯についての 3 次元断層形状モデルを作成している（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_02]）。産業技術総合研究所の活断層データベースに収録の活断層地表トレースを、できるだけ客観的な基準を用いて単純化し、主断層のみを抽出することを完了した。比較的小さな断層については、作業者の判断による単純化を行う必要があったが、作業ログに記録して専門家による評価の資料とすることとした。次に、J-SHIS モデルで採用された各断層セグメントごとの傾斜角の値を用いて、地表トレースを地下まで延長して 3 次元形状を構築した。対象のうち約半数の断層について作業が完了した。

玄武岩質マグマの組成を化学プローブとして用い、「日本列島下のマントルの含水量とポテンシャル温度」を推定するための岩石学と機械学習の手法開発を開始した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）。中部日本下では沈み込んだ 2 枚のプレート（太平洋、フィリピン海）が覆い重なるため、流体量が多く、かつ低温の場が出現し、沈み込んだスラブ、特に太平洋スラブの脱水が深部にずれ込むことが確認された。このため、中部日本では火山帯が大きく背弧に向かって折れ曲がり、かつ幅が広くなることが説明される。さらにこの深部脱水の一部は能登半島下で起こり、2020 年以来継続する地震・地殻変動活動に寄与している可能性が示唆された（岩森・中村，2024，Iwamori and Nakamura, accepted）。

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、地殻構造や地震活動、断層物性、地震発生履歴等に係る調査を実施するとともに、既存の日本列島沿いで取得された反射法・屈折方データの解析も進めた（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、地震・火山現象の根本的な理解を深め、地震や火山災害の予測精度を高めることによって災害軽減に資することを目的として、観測・理論・実験・モデリングの多角的手法を取り入れた基盤的研究を推進している。

低頻度大規模地震現象の解明にむけた研究では、海陸の測地観測データと繰り返し地震データの統合的な解析により、プレート境界断層すべり・固着の時空間発展および現状を把握するための研究が進められている。今後、入力するデータの精緻化および先験的情報の改良により、断層すべり分布をより精度良く把握することが可能となることが見込まれる。

地震発生過程の解明とモデル化に向けた研究では、海域・陸域での観測や実験、数値シミュレーションを通じて、断層摩擦特性や地殻流体の挙動を明らかにするとともに、応力場、ひずみの蓄積・解放や破壊過程の理解を通して、地震現象の物理モデル構築を目

指している。

断層面での速度状態依存摩擦則における摩擦強度の発展則は発見的・経験的に提案されてきたが、決定的なものの導出には至っていない。実験的アプローチと数値計算による地震サイクル・シミュレーションからのアプローチによって、摩擦強度発展則の普遍的理解を目指した研究を進めており、既存の実験範囲において完全に結果を説明するための発展則の適用方法や、地震発生時点での断層すべりの特徴に関する発展則への依存性が明らかになりつつある。パラメータ範囲を拡張した実験を行い、発展則適用の普遍性が確認されれば、地震サイクル・シミュレーションなどの数値計算に取り込むことにより、地震現象の物理モデルの高度化が期待できる。さらに、断層面における粘土鉱物の挙動による断層固着状態に関する定量的な考察や、流体圧と空隙率を変化させた時の断層すべりの特徴、あるいは断層の不均質性と地震サイズとの関係など、断層の粗視化により、その物理的性質を考慮した数値モデルによる調査がなされており、地学的条件における断層すべりの挙動の理解につながる成果が得られている。

一方、深さ 30 km 程度の深部スロー地震発生域や数 km のプレート境界浅部の環境下における岩石摩擦実験によって、断層物質の摩擦特性が調べられており、多様な断層すべりの発生メカニズムの理解や、地震サイクル・シミュレーションの高度化への貢献が期待できる。こうした実験室スケールでの物理過程が、断層スケールではどのように変わるかを定量的に理解するという重要な課題に関して、摩擦パラメータが不均質に分布していた時の、摩擦強度発展則の統計的な挙動が調べられた。今後数値シミュレーションにより摩擦法則の一般的な指針が与えられることが期待される。実際の内陸地震断層の観察からは、過去の地震の履歴の確認と、強い塑性変形に伴う空隙化による断層面の不安定化および延性破壊の発生範囲が調べられ、変形の不均質が破壊や摩擦に及ぼす影響を明らかにするための地質モデルの構築に向けた研究が進んでいる。

地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化に向けた研究では、日本列島周辺に整備された稠密地震・地殻変動観測網のデータを活用し、地震学的構造、地震活動、発震機構、および断層すべり運動について高解像度での把握が進み、流体の分布と地震活動との関係や、断層の分布と応力場との関係について研究がされている。沈み込んだスラブ内で発生する地震に関しては、岩石実験やレシーバー関数解析から、スラブ内物質の組成・物性および地震活動に関する研究が進み、スラブ内地震の発生環境や、プレート境界地震との相互作用などが明らかになってきた。内陸地震については、稠密なキャンペーン地震観測、および電磁気観測から、断層周辺の地震学的・電磁気学的構造が高解像度で明らかにされた。これに加え、地震の発震機構解や断層すべり分布との比較から、地震時の断層すべりの特徴や、低比抵抗体から推測される流体の分布との関係が明らかとなり、断層すべりを規定する構造的要因の解明が進んでいる。北海道では、内陸地震・火山活動地域の地殻変形のモデル化を目的として、広域・大局的な変形場のモデル構築が進んでいる。東北地方の奥羽脊梁山脈の短縮場での、ひずみ速度場計算の自動処理や、物理法則を組み込んだ深層学習による地殻変動解析の適用など、地震や火山周辺での膨張現象などのモニタリングについて検討が進んでいる。御嶽山周辺における地震の時空間分布の詳細な把握、および火山性地震活動のモニタリングが導入され、また阿寒カルデラ周辺や別府―由布院周辺、および日光・足尾地域では、電磁気学的構造と火山性地震との関係から、マグマ供給系のモデリングが構築されるなど、火山と地震との相互作用

に関する研究も進んでいる。日本周辺の沈み込みに伴う地震・火山噴火現象との比較研究を目的として、沈み込みテクトニクスが類似しているニュージーランドにおける観測研究も、国際共同の枠組みで進められており、より多く、多様な事例を対象とした現象の把握を通して、そのモデル化に向けた研究に取り組んでいる。

このほか、岩石内のクラックの状態に関する比抵抗と地震波速度との関係に関する基礎的研究や、異なる地震観測網の統合解析、光ファイバーを用いた超稠密地震観測による地震波速度解析、さらに不均質媒質中を伝播する地震波形のモデリングなど、新たな観測・解析手法の開発や、数値シミュレーションや強振動予測の高度化を目的としたコミュニティ断層モデルの整備にも取り組んでいる。

2024年1月1日発生した能登半島地震では、それ以前の群発的な地震活動も含め、地殻内流体の関与が指摘され、地震発生メカニズムの理解は重要な課題と位置付けられる。本部会でも、本震の震源過程、余震活動の解明や、断層形状と応力場との関係、海底活断層と津波波源域との関係、さらには地殻内流体の起源の解明を通して、地震発生場の解明に向けた研究を進めた。

以上のように、地震発生メカニズムを解明し、予測技術の高度化を目的として、稠密な地震・地殻変動観測網の利用、および新しい観測技術や解析手法の開発を通じた高解像度での現象の解明を進めている。また、実験スケールの物理過程のスケールアップなど、新しい課題にも取り組んでいる。今後、これらの研究をさらに発展させ、地震発生現象および地震と火山噴火の相互作用に関して、より高精度なモデルの構築に向けた研究を促進していく。

成果リスト

- Agata, R., K. Shiraishi and G. Fujie, 2025, Physics-informed deep learning quantifies propagated uncertainty in seismic structure and hypocenter determination, *Sci. Rep.*, 15, 1846, doi:10.1038/s41598-024-84995-9
- Akamatsu, Y., H. Okuda, M. Kitamura and M. Sawai, 2025, Mesoscale fractures control the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones, *Tectonophysics*, 896, 230606, doi:10.1016/j.tecto.2024.230606
- Arai, R., K. Shiraishi, Y. Nakamura, G. Fujie, S. Miura, S. Kodaira, D. Bassett, T. Takahashi, Y. Kaiho, Y. Hamada, K. Mochizuki, R. Nakata, M. Kinoshita, Y. Hashimoto and K. Okino, 2024, Thick slab crust with rough basement weakens interplate coupling in the western Nankai Trough, *Earth Planets Space*, 76, 73, doi:10.1186/s40623-024-02025-4
- 浅野陽一, 2024, 日本周辺における浅部超低周波地震活動（2023年11月～2024年4月）, 地震予知連絡会会報, 112, 5-7
- 浅野陽一, 2025, 日本周辺における浅部超低周波地震活動（2024年5月～2024年10月）, 地震予知連絡会会報, 113
- Brossard, V. P., K. Nishida, B. Enescu and R. Takagi, 2025, Ocean Microseisms Recorded by the Cuban Seismic Network: Time Variation, Spectral Features, and Source Directionality Characteristics, *Seismol. Res. Lett.*, doi:10.1785/0220240351
- 道家涼介・安江健一, 2024, SAR強度画像の比較による令和6年能登半島地震に伴う海岸線の変

- 化 , 第四紀研究 ,63, 163-168 , doi: 10.4116/jaqua.63.2405
- 道家涼介・黒澤英樹 ,2025, 干渉SARによる岩木山西側斜面の変位と追子森断層 , 東北地域災害科学研究 ,61, 印刷中
- Fuchizaki, K., H. Naruta, F. Sato, T. Ohuchi and A. Suzuki,2025,Crystalline state in a pressure region of proceeding amorphization of SnI₄,High Press. Res., doi:10.1080/08957959.2025.2449692
- Fujiwara, T., K. Imai, M. Obayashi, K. Yoshida, N. Tada, K. Obana, G. Fujie, S. Ono and S. Kodaira,2024,The Sofu Seamount submarine volcano present in the source area of the October 2023 earthquakes and tsunamis in Japan,Geophys. Res. Lett.,51, doi:10.1029/2024GL109766
- Hamanaka, S. and K. Emoto,2024,Estimation of shallow structure along the hinagu fault by applying seismic interferometry to DAS observations conducted along national route 3 in Kumamoto prefecture, Japan,Earth Planets Space,76,145, doi:10.1186/s40623-024-02088-3
- Hu, C.-Y., M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara and K. Mochizuki,2024,Seismic activity around shallow plate boundary near westernmost Nankai Trough revealed by ocean bottom seismometer observation,Earth, Planets Space,168,doi:10.1186/s40623-024-02122-4
- Inoue, T. and T. Hashimoto,2024,The inclined conductive column effect: a new simple model for magnetotelluric anomalous phases,Geophys. J. Int.,238(3),1825-1839
- Ishizu, K., T. Goto, Y. Fukahata, K. Koike, C. Vachiratienchai and W. Siripunvaraporn, 2025,Inversion algorithm determining sharp boundaries in electrical resistivity tomography,Geophysics,in press,doi:10.1190/geo2024-0385.1
- Iwamori, H. and H. Nakamura,2025,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- (Springer),accepted
- 岩森光・中村仁美,2024,冷たい沈み込み帯としての中部日本と能登半島下でのスラブ深部脱水, 地震ジャーナル,78,45700,doi:10.60191/ej.2024.78_2
- Kanagawa, K., J. Fujimori, T. Nakanishi, S. Sagano and M. Sawai,2024,Fault strength, healing and stability in the Nankai Trough accretionary prism off Kii Peninsula, Japan, as illustrated by friction experiments on gouge of a cored sample, Tectonophysics,893,230526,doi:10.1016/j.tecto.2024.230526
- Kanamatsu, T., J. Ashi and K. Shiraishi,2024,Controlling factors of a submarine landslide on the Kumano-nada continental slope, West Japan,Tectonophysics,883, 230370,doi:10.1016/j.tecto.2024.230370
- 片山藍貴・前田拓人・高野智也 ,2024, 日本海東縁で発生する地震の周波数特性—規模を考慮したFrequency Index 解析に基づく検討 , 東北地域災害科学研究 ,60, 13-17
- Kimura, G., K. Shiraishi, Y. Nakamura, S. Kodaira, G. Fujie, R. Arai and G. F. Moore,2024, Frontal thrust ramp-up and slow earthquakes due to underthrusting of basement high in the Nankai Trough,Geochem. Geophys. Geosyst.,25,

doi:10.1029/2024GC011468

木村武志, 2024, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2023年11月~2024年4月), 地震予知連絡会会報, 112, 410-418

木村武志, 2025, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2024年5月~2024年10月), 地震予知連絡会会報, 113

Kitamura, M., M. Takahashi and N. Shigematsu, 2024, Slow failure during faulting and formation of a porous framework under hydrothermal conditions: Role of feldspar sintering in granitoids, *Geothermics*, 120, 102995, doi:10.1016/j.geothermics.2024.102995

Kondo, Y., M. Obayashi, H. Sugioka, H. Shiobara, A. Ito, M. Shinohara, H. Iwamori et al., 2024, Seismic image of the central to southern Andean subduction zone through finite-frequency tomography, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 129, e2024JB028844, doi:10.1029/2024JB028844

Kubota, T., O. Sandanbata, T. Saito and T. Matsuzawa, 2024, Accelerating seafloor uplift of submarine caldera near Sofugan Volcano, Japan, resolved by distant tsunami recordings, *Geophys. Res. Lett.*, 51, doi:10.1029/2024GL108415

Liang, X., D. Zhao, Y. Hua and Y. Xu, 2024, Big mantle wedge and intraplate volcanism in Alaska: Insight from anisotropic tomography, *J. Geophys. Res.*, 129, e2023JB027617, doi:10.1029/2023JB027617

Lin, Z.-Y. and T. Hatano, 2024, Rheology and structure of model smectite clay: Insights from molecular dynamics, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 129, doi:10.1029/2024JB028850

Liu, D., Z. Wang, D. Zhao, H. Hu and R. Gao, 2024, Accretionary wedge, arc magmatism and fluid migration in northern Sumatra: Insight from seismic attenuation tomography, *J. Geophys. Res.*, 129, e2024JB029777, doi:10.1029/2024JB029777

Matsumoto, R. and K. Yoshida, 2024, Quasi-Real-Time Earthquake Relocation and Monitoring in the Northeastern Noto Peninsula, *Earth, Planets Space*, 76, 131, doi:10.1186/s40623-024-02079-4

Matsumoto, S., Y. Iio, S. Sakai and A. Kato, 2024, Strength dependency of frequency-magnitude distribution in earthquakes and implications for stress state criticality, *Nat Commun*, 15, 4957, doi:10.1038/s41467-024-49422-7

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成, 2024, 西南日本における深部低周波微動活動 (2023年11月~2024年4月), 地震予知連絡会会報, 112, 401-409

松澤孝紀・田中佐千子・小原一成, 2025, 西南日本における深部低周波微動活動 (2024年5月~2024年10月), 地震予知連絡会会報, 113

Miyazaki, K. and J. Nakajima, 2025, Flat 410 and 660 discontinuities beneath northeastern Japan: Implication for a sub-slab wet plume hypothesis, *Phys. Earth Planet. Inter.*, doi:10.1016/j.pepi.2025.107316

中小路一真, 2025, 非線形レオロジーを考慮した球体地球モデルによる余効変動計算手法の開発, 東京大学大学院理学系研究科 修士論文, ,

西澤達治・吉本充宏・亀谷伸子・岩森光・安田敦, 2024, 富士山のマグマ供給系解明に向けた基礎研究, 山梨県富士山科学研究所年報, 27, 42-43

- No, T., S. Kodaira, K. Imai, K. Obana, G. Fujie, Y. Nakamura, K. Shiraishi, R. Miura and M. Nakanishi, 2024, Mapping normal faults on the outer slope of the western Kuril Trench based on recent seismic reflection and bathymetric data, *Earth Planets Space*, 76, 143, doi:10.1186/s40623-024-02076-7
- Noda, H. and M. Yamamoto, 2024, Homoclinic bifurcation of a rate-weakening patch in a viscoelastic medium and effect of strength contrast, *Earth Planets Space*, 76, 155, doi:10.1186/s40623-024-02100-w
- Nozue, Y. and Y. Fukahata, 2025, Geodetic data inversion to estimate a strain-rate field by introducing sparse modeling, *Earth Planets Space*, 77, 12, doi:10.1186/s40623-024-02115-3
- Ohuchi, T., Y. Higo, N. Tsujino, Y. Seto, S. Kakizawa, Y. Tange, Y. Miyagawa, Y. Kono, H. Yumoto, T. Koyama, H. Yamazaki, Y. Senba, H. Ohashi, I. Inoue, Y. Hayashi, M. Yabashi and T. Irifune, 2024, Transient creep in olivine at shallow mantle pressures: Implications for time-dependent rheology in post-seismic deformation, *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2024GL108356, doi:10.1029/2024GL108356
- Ohuchi, T., 2024, Olivine' s trembling transformations, *Nat. Geosci.*, 17, 958, doi:10.1038/s41561-024-01547-6
- Okada, T., M. Matsuno, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, A. Tagami, S. Hirahara, S. Kimura, S. Bannister, J. Ristau, M.K. Savage, C.H. Thurber and R.H. Sibson, 2024, Complexity of the 2016 M 7.8 Kaikōura, New Zealand, earthquake from seismic observation: Inferences of overpressured fluid involvement, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 348, 107155, doi:10.1016/j.pepi.2024.107155
- Okazaki, T., K. Hirahara, T. Ito, M. Kano and N. Ueda, 2025, Physics-informed deep learning for forward and inverse modeling of inplane crustal deformation, *J. Geophys. Res.: Machine Learning and Computation*, accepted
- Okuwaki, R., Y. Yagi, A. Murakami and Y. Fukahata, 2024, A multiplex rupture sequence under complex fault network due to preceding earthquake swarms during the 2024 Mw 7.5 Noto Peninsula, Japan, earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2024GL109224, doi:10.1029/2024GL109224
- Otani, T. and N. Kame, 2024, Emergence of self-organized criticality and phase transition in the Olami-Feder-Christensen model with a single defect, *Phys. Rev. E*, 110, 54129, doi:10.1103/PhysRevE.110.054129
- Plata-Martinez, R., T. Iinuma, F. Tomita, Y. Nakamura, T. Nishimura and T. Hori, 2024, Revisiting slip deficit rates and its insights into large and slow earthquakes at the Nankai subduction zone, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 129, e2023JB027942, doi:10.1029/2023JB027942
- Pétrélis, F. et al., 2024, , *J. Stat. Mech.*, , 43404, doi:10.1088/1742-5468/ad2dd6
- Qin, Y., J. Chen, S. Singh, N. Hananto, H. Carton and P. Tapponnier, 2024, Assessing the Risk of Potential Tsunamigenic Earthquakes in the Mentawai Region by Seismic Imaging, Central Sumatra, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 25, doi:10.1029/2023GC011149
- Ren, X., X. Liu and D. Zhao, 2024, Subduction transforms azimuthal anisotropy in the Juan

- de Fuca plate, *Tectonophysics*, 877, 230272, doi:10.1016/j.tecto.2024.230272
- Sato, T., S. Shibata, K. Murata, N. Usui, H. Shiobara, T. Yamada and M. Shinohara, 2024, Estimating vertical movement and slip distribution during the 2018 Boso, Japan, slow slip event from ocean bottom pressure gauge data and an oceanic model, *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2024GL110406, doi:10.1029/2024GL110406
- Sato, D. S., M. Nakatani and R. Ando, 2025, Reconciling aging and slip state evolutions from laboratory-derived canons of rate-and-state friction, *Geophys. J. Int.*, 240, 1855-1899, doi:10.1093/gji/ggae464
- Sawaki, Y., H. Asanuma, S. Sakata, M. Abe, H. Ueda, W. Fujisaki and T. Ohno, 2024, Zircon Trace - Element Compositions in Cenozoic Granitoids in Japan: Revised Discrimination Diagrams for Zircons in I - Type, S - Type, and A - Type Granites, *Island Arc*, 33, e12539, doi:10.1111/iar.12539
- Shinohara, M., R. Hino, K. Mochizuki, T. Sato, K. Nakahigashi, T. Yamada, Y. Murai, H. Yakiwara, Y. Ito, R. Azuma and T. Kanazawa, 2025, Spatiotemporal variation of aftershock activity in northern source region of the 2011 Tohoku-oki earthquake by long-term ocean bottom seismometers, *Prog Earth Planet Sci.*
- Shiraishi, K., G. Fujie, R. Arai and Y. Nakamura, 2025, Potential fluid migration process inferred from integrated active-source seismic imaging in the Nankai Trough subduction zone off Cape Muroto, Japan, *Mar. Pet. Geol.*, 173, 107258, doi:10.1016/j.marpetgeo.2024.107258
- Suzuki, M., D. Zhao, G. Toyokuni and R. Takagi, 2025, Teleseismic evidence for structural heterogeneity in East Japan forearc from seafloor S-net data, *Tectonophysics*, 895, 230579, doi:10.1016/j.tecto.2024.230579
- 田中愛幸, 2024, 衛星重力観測で捉えられた巨大地震数カ月前の重力変化（解説）, *地震ジャーナル*, 77, 69-75
- Terakawa, T., K. Asano and Y. Urata, 2025, Constraint on the background stress in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence based on temporal changes in elastic strain energies and coseismic stress rotation, *Geophys. J. Int.*, 240, 174-188
- 東郷洋子・森川徳敏・高橋正明・高橋浩・清水徹・中村仁美・風早康平・清水日奈子・都井美穂・瀬口寛樹・福田和幸・朝川暢子・清水裕子・常木俊宏・森田澄人, 2025, 地質標本館特別展「プレートテクトニクスがつくるなぞの温泉『深部流体』」開催報告, *GSJ 地質ニュース*, 14, 35-37
- Tomita, F., 2024, Enhanced GNSS-acoustic positioning method implementing with constraints on underwater sound speed structure, *Earth Planets Space*, 76, 178, doi:10.1186/s40623-024-02120-6
- Tonegawa, T., K. Shiomi and R. Takagi, 2024, Anisotropic structure at shallow depths across the Japan Trench, *Earth, Planets Space*, 76(1), doi:10.1186/s40623-024-02059-8
- Tonegawa, T. and E. Araki, 2024, High-frequency tsunamis excited near Torishima Island, Japan, observed by distributed acoustic sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 51, doi:10.1029/2024GL108714

- Toyokuni, G. and D. Zhao, 2024, Slab - plume interactions beneath Australia and New Zealand: New insight from whole - mantle tomography, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 25, e2024GC011739, doi:10.1029/2024GC011739
- Toyokuni, G., D. Zhao and D. Takada, 2025, Whole-mantle isotropic and anisotropic tomography beneath Japan and adjacent regions, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, in press
- Tsunashima, R., D. Zhao and G. Toyokuni, 2025, Three-dimensional ray tracing in P-wave azimuthal anisotropic media, *Geophys. J. Int.*, 240, 160-173, doi:10.1093/gji/ggae374
- Usui, Y., 2024, Electrical conductivity model for transversely isotropic rocks with interconnected cracks, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 354, 107226, doi:10.1016/j.pepi.2024.107226
- Wang, X., S. Xia, H. Yang, H. Chen and D. Zhao, 2024, Structure and dynamics of southern Mariana margin: Constraints from seismicity, tomography and focal mechanisms, *Tectonophysics*, 878, 230300, doi:10.1016/j.tecto.2024.230300
- Watanabe, T., A. Tomioka and K. Yoshida, 2024, The closure of microcracks under pressure: inference from elastic wave velocity and electrical conductivity in granitic rocks, *Earth, Planets Space*, 76, 153, doi:10.1186/s40623-024-02103-7
- Xie, F., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao and X. Chen, 2024, Tilting axis anisotropic tomography and subduction dynamics of the Java-Banda arc, *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2023GL107720, doi:10.1029/2023GL107720
- Yamaya, L., H. Kubo, K. Shiomi and S. Takemura, 2024, Impact of the offshore seismograph network and 3-D seismic velocity structure model on centroid moment tensor analysis for offshore earthquakes: Application to the Japan Trench subduction zone, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 129, doi:10.1029/2024JB029944
- Yamaya, L., H. Kubo, K. Shiomi and T. Kimura, 2024, Aftershock characteristics of the 2024 Noto Peninsula earthquake (Mw7.5) through centroid moment tensor analysis using a 3-D seismic velocity structure model, *Research Square*, doi:10.21203/rs.3.rs-5618048/v1
- Yoshida, K., R. Takagi, Y. Fukushima, R. Ando, Y. Ohta and Y. Hiramatsu, 2024, Role of a Hidden Fault in the Early Process of the 2024 Mw7.5 Noto Peninsula Earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 51, 16, doi:10.1029/2024GL110993
- Yoshida, K., K. Emoto, S. Takemura and T. Matsuzawa, 2024, Near-Source Waveform Modeling to Estimate Shallow Crustal Attenuation and Radiated Energy of Mw 2.0-4.5 Earthquakes, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 129(9), e2023JB028523, doi:10.1029/2023JB028523
- Yoshida, K., 2024, Direct Evidence for Diverse Source Complexity in Small Earthquakes (Mw 3.3-5.0) Obtained from Near-Source Borehole Seismic Data, *Seismol. Res. Lett.*, 95(4), 2409-2421, doi:10.1785/0220230431
- Yuan, T., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao and X. Chen, 2024, Seismic evidence for break-off of the Molucca Sea slab, *Tectonophysics*, 874, 230218, doi:10.1016/j.tecto.2024.230218
- Yuan, T., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao and X. Chen, 2024, Multiple slabs and complex mantle

flows in the Molucca Sea subduction zone, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 25,
e2024GC011500, doi:10.1029/2024GC011500

Yuan, T., Z. Wang, D. Zhao, R. Gao and X. Chen, 2024, Seismic evidence for break-off of
the Molucca Sea slab, *Tectonophysics*, 874, 230218, doi:10.1016/j.tecto.2024.230218

Yuguchi, T., K. Endo, S. Suzuki, Y. Ogita, S. Sakata, T. Yokoyama, T. Imura, T. Ohno
and E. Sasao, 2025, Growth processes of zircon crystals in a granitic magma chamber,
variation in U Pb age, titanium concentration, and Th/U in relation to internal
texture, *Lithos*, 494-495, 107909, doi:10.1016/j.lithos.2024.107909

Yuguchi, T., T. Kato, Y. Ogita, M. Watanabe, H. Yamazaki, A. Kato, D. Itoh, T. Yokoyama,
S. Sakata and T. Ohno, 2024, Crystallization processes of quartz in a granitic magma:
Implications for the magma chamber processes of Okueyama granite, Kyushu, Japan, *J.
Asian Earth Sci.*, 265, 106091, doi:10.1016/j.jseaes.2024.106091

Zhao, D., X. Liang, G. Toyokuni, Y. Hua and Y. Xu, 2024, Cause of enigmatic upper-mantle
earthquakes in central Wyoming, *Seismol. Res. Lett.*, 95, 2497-2505,
doi:10.1785/0220230333

Zhao, D., X. Liu, D. Zhao, Q. Qiao and L. Zhao, 2024, Subduction-driven mantle flow
beneath active back-arc basins inferred from seismic anisotropy tomography, *Earth
Planet. Sci. Lett.*, 643, 118890, doi:10.1016/j.epsl.2024.118890

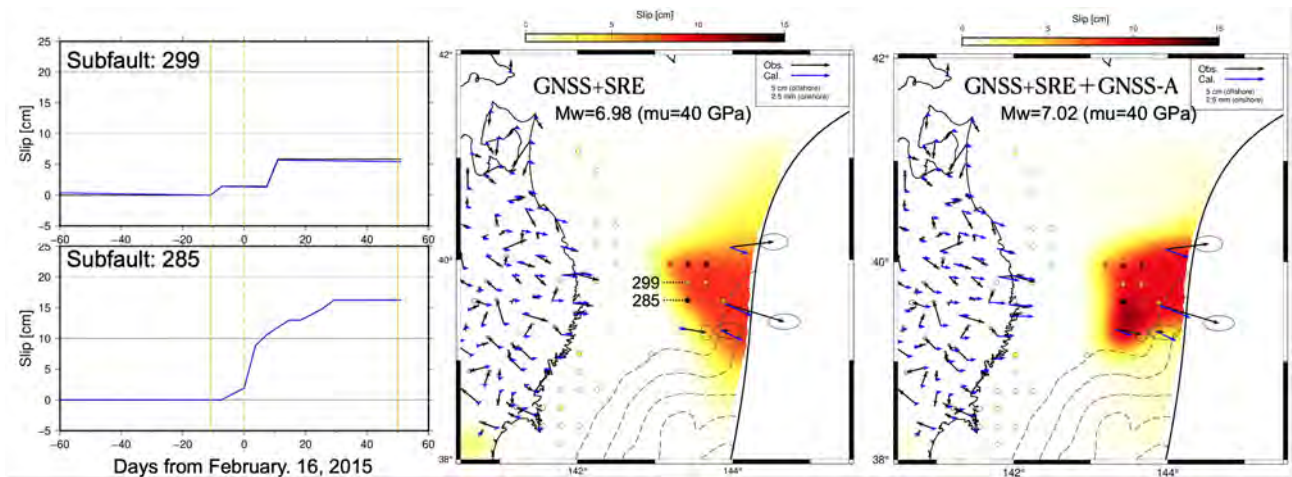


図 1．2015年 2 月16日三陸沖の地震に伴う非地震性すべり分布の推定結果（東北大学理学研究科〔課題番号：THK_01〕）

（左）繰り返し地震カタログから算出した小断層285番・299番における平均累積すべりの時間変化。（中央）陸上GNSSデータと繰り返し地震データから推定されたすべり分布。（右）陸上GNSSデータ，GNSS-Aデータ，および繰り返し地震データから推定されたすべり分布。

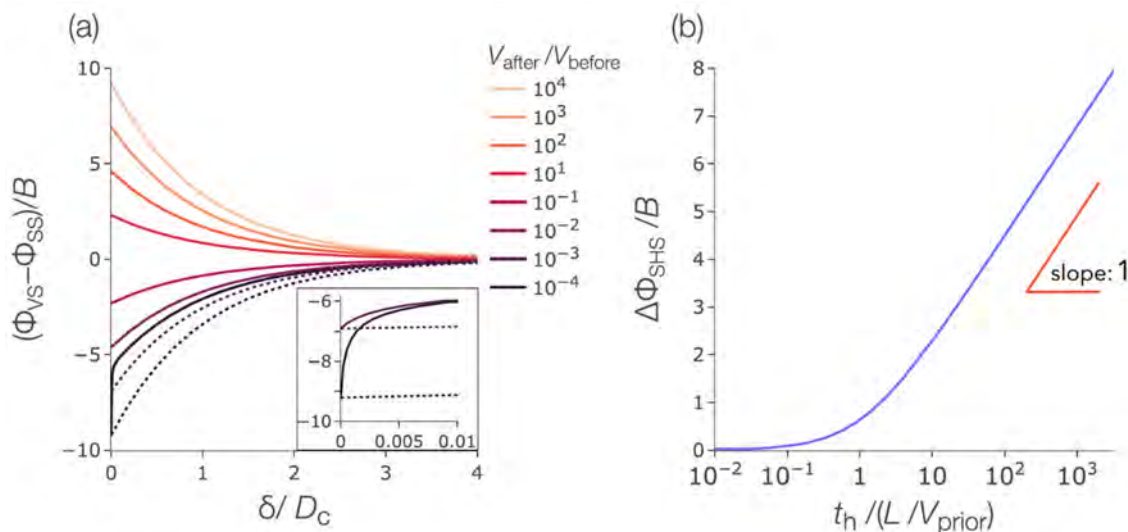


図 2．2015年 2 月16日三陸沖の地震に伴う非地震性すべり分布の推定結果（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_03〕）

新たに導いた発展則（Modified composite law）による，速度と状態変数に依存する摩擦則の挙動。（a）すべり速度ステップ試験における摩擦強度とすべり量の関係。（b）すべり静止-すべり試験における摩擦強度と静止時間の関係。実験的に知られた，速度依存するすべり弱化効果（a）と強度回復効果（b）を，従来は別々の発展則で表現していたが，一つの発展則で表す定式化に成功した。

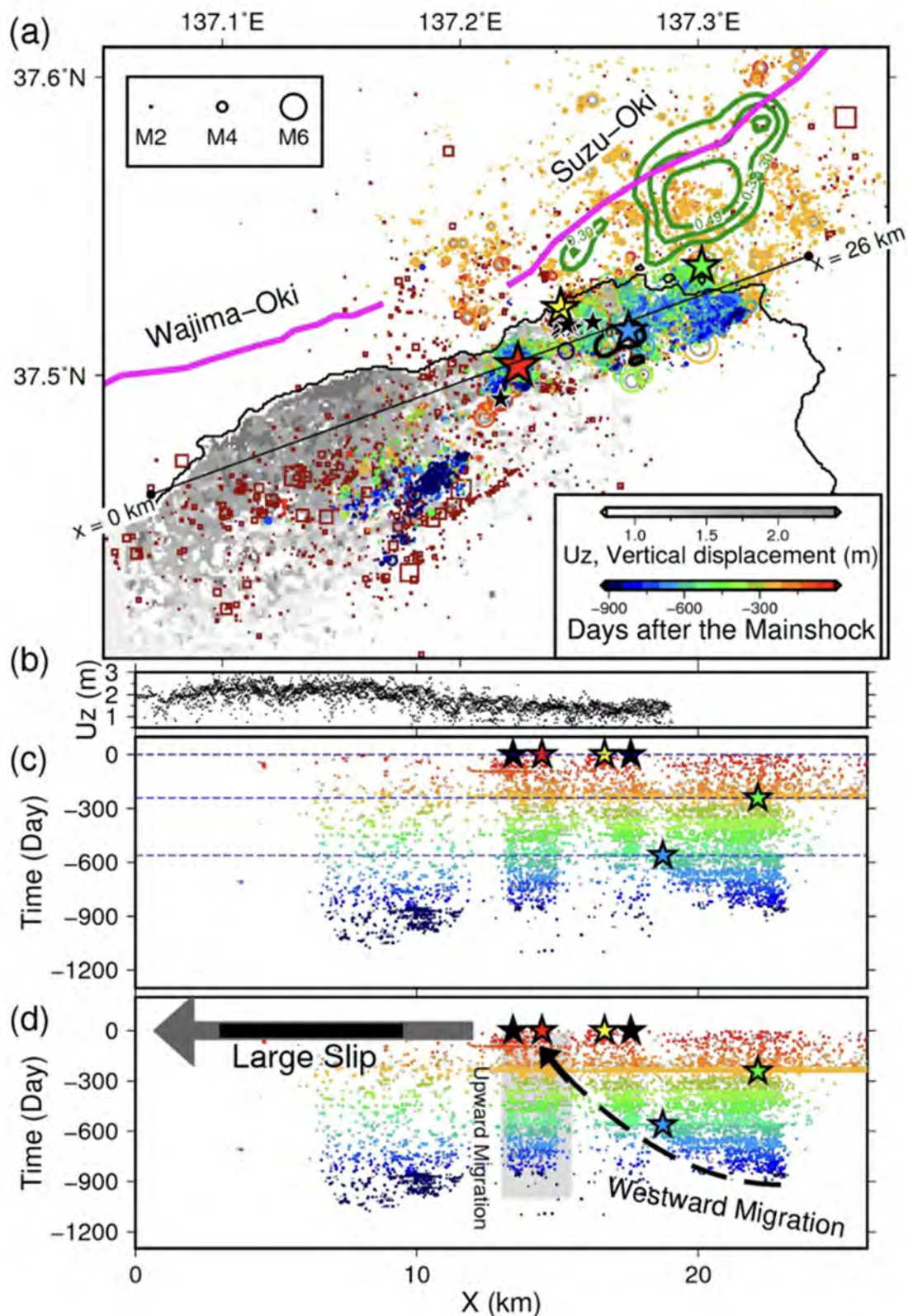


図 3．能登半島地震発生域における断層構造と微小地震のマイグレーション（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI02]）

(a) 本震破壊が開始した断層（珠洲伏在断層）上での微小地震の移動と本震時準鉛直変位（Yoshida, Takagi et al., 2024）。円は本震発生前の地震の震源を示し、色は発生時を表す。濃赤色の四角は余震を示す。背景色は本震時準鉛直変位を、緑と黒のコンターは、それぞれ

2023年Mw6.2地震と 2022年Mw5.2地震の地震時すべり分布を表す。赤、緑、シアン、黄、黒の星印は、それぞれ本震、2023年Mw6.2地震、2022年Mw5.2地震、本震直前の前震、および本震発生1日以内の前震の震源を示す。(b) x 軸から1km以内の本震時準鉛直変位。(c) および (d) x 軸方向 (aに示す) における SBF上での微小地震の移動。(d) には解釈を示す。

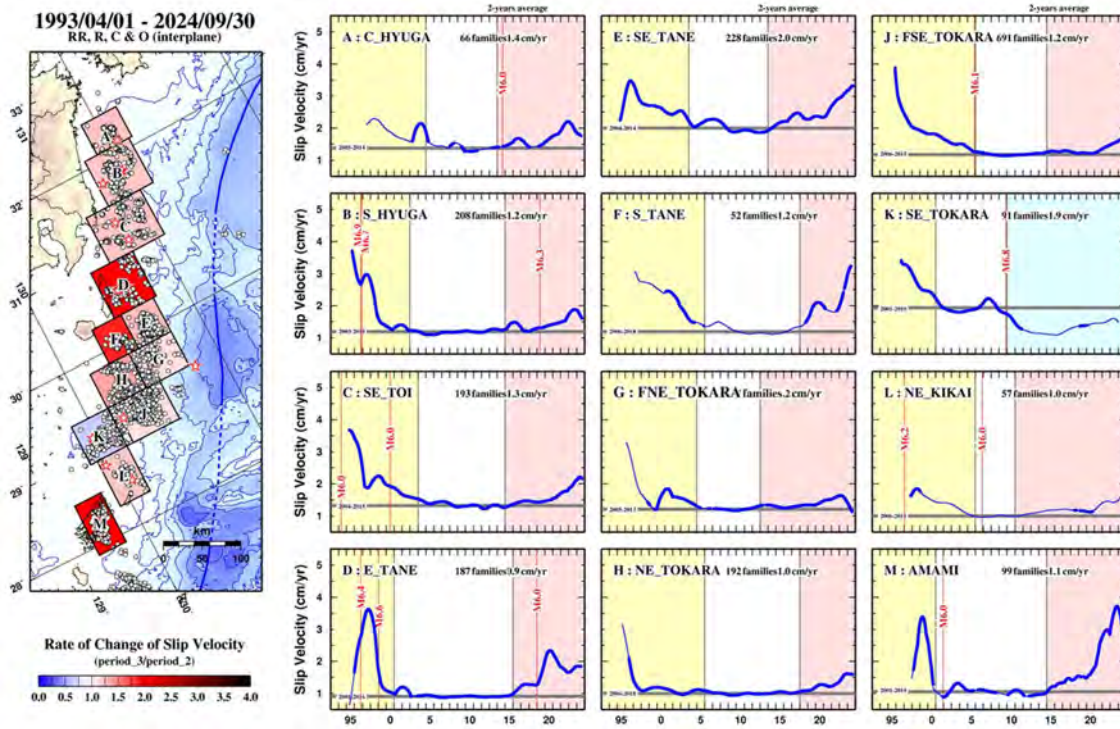


図4. 日向灘中部一奄美大島にかけての各小領域における準静的すべり速度の時間変化（鹿児島大学[課題番号：KGSM01]）

陸域地震観測データを用い1993年4月～2024年9月の期間における小領域（A～M）の位置と範囲（左）と領域毎の準静的すべり速度の時間変化（右）である。各領域に示された白色の期間は、速度が最小と判定した期間（Period2）を示し、それ以前と以降をそれぞれ、Period1, Period 3 とした。左図の各領域の色は、Period 2 と Period 3 の速度比を表す。

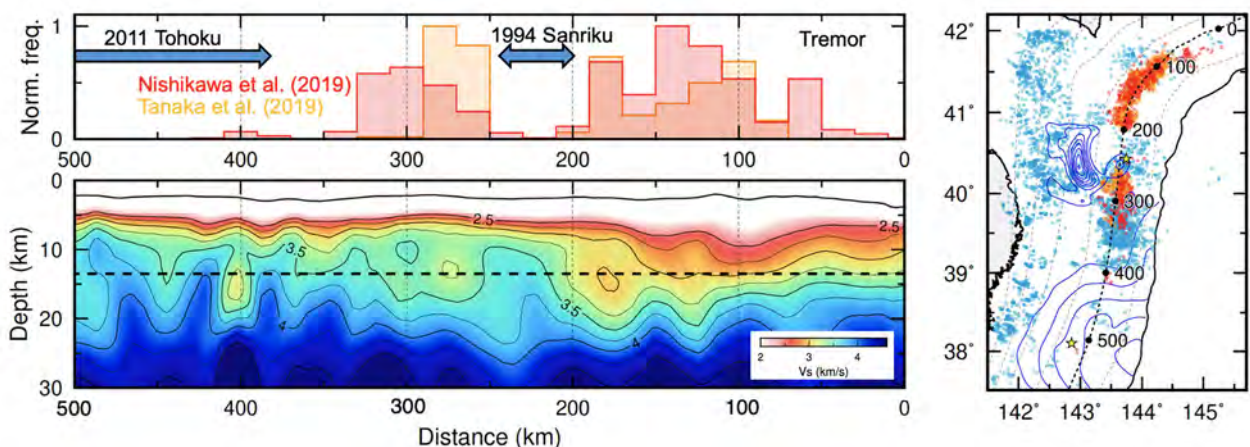


図 5．日本海溝北部における微動と S 波速構造の空間相関（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）

（右）東北沖日本海溝沿いのプレート境界地震（青点）とテクトニック微動（赤点，橙点）活動と，1994年三陸はるか沖地震および2011年東北沖地震の断層すべり量分布。（左上）右図点線に沿った，深さ30kmまでの S 波速度構造。

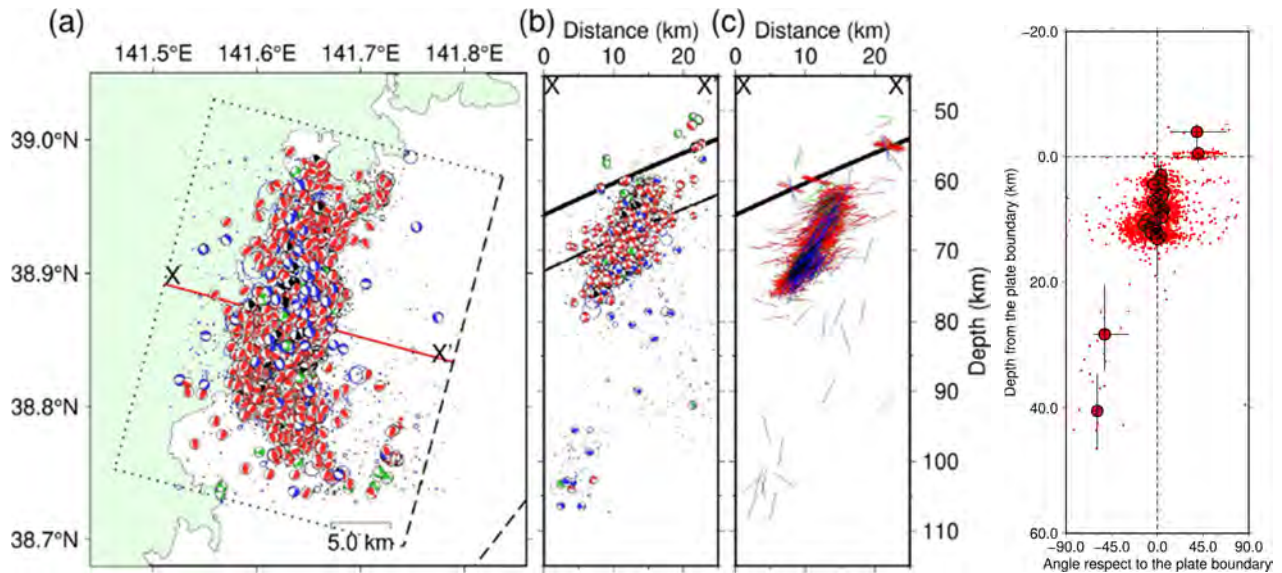


図 6．短周期モーメント・テンソルインバージョンによるプレート境界およびスラブ内地震のメカニズム解の分布（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）

推定したメカニズム解により得られた最大主応力軸の空間変化

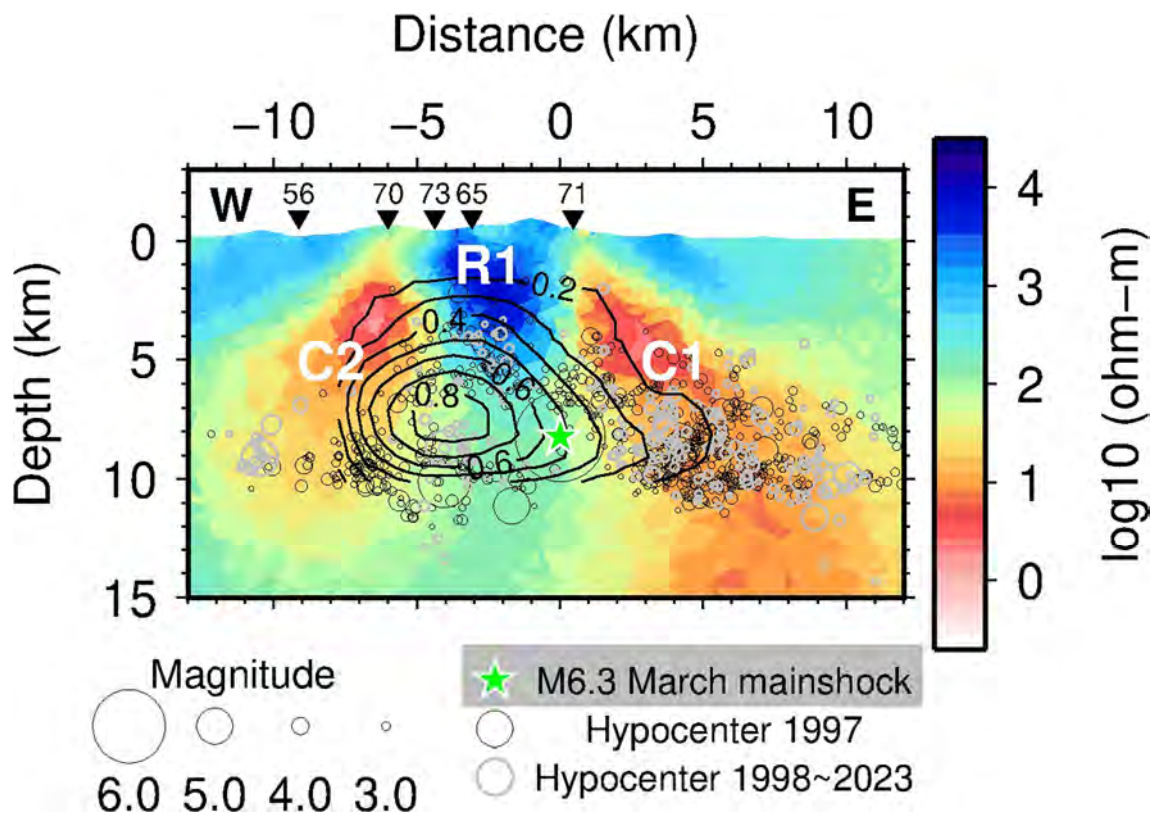


図 7．1997 年 3 月の鹿児島県北西部地震の破壊面に沿った比抵抗断面（九州大学[課題番号：KYU_02]）
 R1 は高比抵抗体，C1 および C2 は低比抵抗体を示す。コンターは Horikawa（2001）による断層すべり分布（単位は m）。地表の逆三角は断面近傍の観測点の位置を示す。

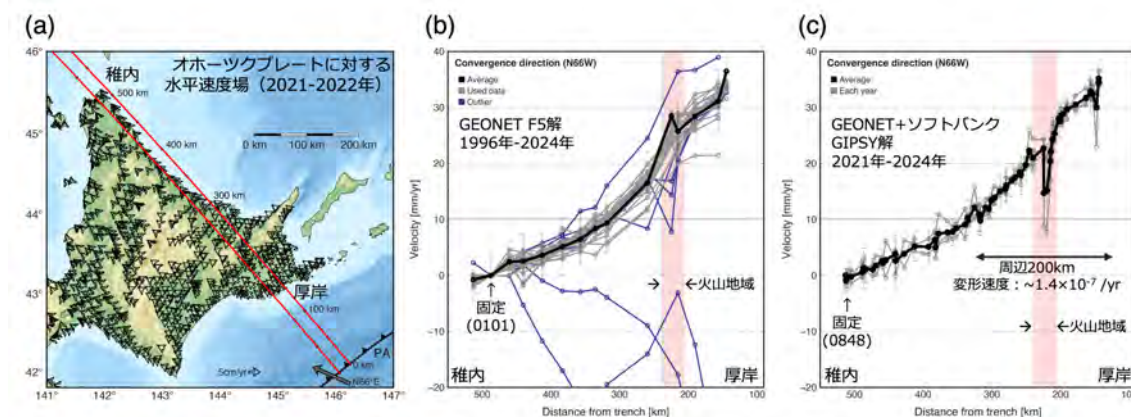


図 8．水平変位速度場とプレート収束方向の速度プロファイル（北海道大学[課題番号：HKD_04]）
 (a) 速度場の例（ベクトル）とプロファイルの測線（赤線で囲んだ地域の 20km）。プレート運動モデル GSRM v1.2（Kreemer et al., 2014）を使って，プレート運動の影響を除いている。(b) 1996 年から 2024 年までの GEONET F5 解による 1 年ごとの変位速度のプロファイル（灰色）と，その平均（黒）。青線は地震時・地震後の影響を受けた期間のプロファイルで，平均の算出に使用しなかったもの。(c) 2021 年から 2024 年までの GEONET およびソフトバンク独自基準点の 1 年ごとの速度プロファイル（灰色）とその平均（黒）。日座標値は東北大学のルーチン解析（Gipsy-X

Ver. 2.2 による精密単独測位解) による。

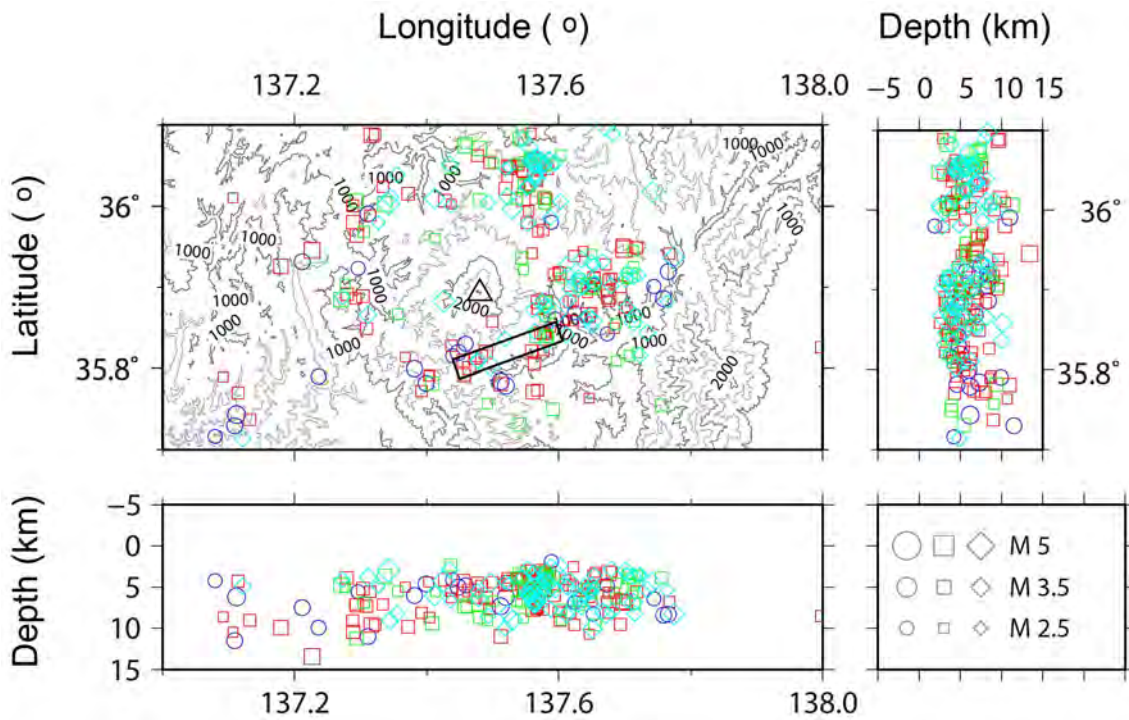


図 9．御嶽山周辺域で発生した地震のクラスター解析（名古屋大学 [課題番号：NGY_02]）

本震・単独地震の規模が 2.5 以上のものを示している。△は御嶽山，矩形は 1984 年長野県西部地震。青い○は単独地震，赤い□は本震・余震型の本震，緑の□は前震・本震・余震型の本震，水色の◇は群発地震の中で最も規模の大きい地震を示す。

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 後藤和久

（東京大学理学系研究科）

大地震の長期予測は、地震に関する観測研究から各地域における大地震の規模や深さ、発生頻度や発生時期を数年以上の長期的な観点から予測するもので、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。このような長期予測は、地震調査研究推進本部地震調査委員会により、主要な活断層で発生する地震や海溝型地震を対象に地震発生可能性の長期評価という形で実施され、社会に公表されている。しかし、大地震の発生は極めて低頻度な現象であるため、主に過去の大地震の発生履歴に基づく統計モデルにより行われてきた現状の長期評価には、データが少ないために不確定性が大きいことや統計モデルの高度化などの課題がある。本部会では、前計画から引き続き、地質・地形データや史料・考古データを活用した大地震の発生や地殻変動の履歴を明らかに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、過去の履歴データの蓄積から大地震の長期予測精度の向上を目指した観測研究と、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・数値シミュレーションを活用した「新たな長期予測」を推進する。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

（1）史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合

ア. 史料の収集・分析とデータベース化

明応の南海トラフ地震では、東海側での地震動被害は明らかになっているのに対し、南海側では明確な地震動の被害がわかっていない。そこで、静岡県域において寺社の修造件数と明応東海地震による被害との関係を調べ、寺社の修造件数が被害の指標となり得ることを検証した上で、和歌山県および高知県域において、明応七年前後の寺社の修造件数を調べた。その結果、この時期に修造件数の増加が認められ、これらの地域で明応南海地震による地震動の被害があったことが明らかになった（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV02]）。江戸時代後期の文政十三年七月二日（グレゴリオ暦：1830年8月19日）に発生して京都とその周辺に被害を及ぼした地震（以下、1830年文政京都地震）について、史料に基づく震度分布図の作成と地震の規模や震央（震源断層）の再検討を行った。史料を厳選し、再解釈を行なって京都盆地及び遠地での震度分布を検討した結果、有感となった範囲は、富山県氷見市、島根県出雲市、三重県伊勢市よりも内側であり、近地の震度は、京都盆地北東部で震度5強～6強、亀岡盆地で震度5弱～6弱となった。地震動予測式を用いて、これらの震度分布の説明を試みた結果、1830年文

政京都地震は、京都西山断層帯の神吉断層・越畑断層付近で発生した M6.5 程度の地震であった可能性が示唆される（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_02]）。

ウ．地形・地質データの収集・集成と文理融合による解釈

海溝型地震の発生履歴に関する観測研究として、沿岸での津波堆積物の調査や古地形の復元、数値計算による津波波源域の評価が行われた。また、海底地形データに基づく詳細な地形判読に基づく断層変位地形の認定が行われた。

千島海溝・日本海溝周辺域では、北海道十勝地方当縁湿原の段丘面で津波堆積物の調査を実施した。津波堆積物の分布範囲と津波数値計算による浸水範囲を比較し、断層モデルを検討した。その結果、13世紀頃の地震では、十勝沖セグメントより根室沖セグメントのすべり量が大きい可能性が示唆された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01]）。北海道胆振地方（厚真町・白老町）では、地下レーダー（GPR）による地層構造探査と、ジオスライサーによる地層掘削で沿岸湿地の津波堆積物および古地形を高精度に追跡する調査を行った（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID02]）。厚真町では、既存トレンチとその周辺で800MHzのアンテナを用いたGPR探査を実施し、Ta-bおよびUs-bテフラと1611年慶長奥州地震によると推定される津波堆積物の下面に対応する反射面を掘削結果と照合した上で特定・追跡した（図1）。GPRによる反射面の間隔の変化は地層掘削による津波堆積物の層厚変化（5-20 cm）にほぼ対応しており、GPRによる調査手法の有効性が確認できた。

相模トラフ周辺域では、マルチビーム測深調査によって得られた点群データを海洋研究開発機構から収集、整理した。また、相模トラフと南海トラフ周辺の既得データを含め、点群データからエラーの除去などの調整を行い、1秒間隔のDEMの作成作業を行った。相模トラフ周辺ではステレオ実体視可能な海底地形画像を作成し、判読を行った。その結果、東京海底谷の北岸には、三崎海丘基部より西に地形面を変位させる相模湾断層の直線状の低断層崖が認められたため、右ずれ変位の可能性がある。さらに、その南東の沖ノ山の基部の西には、地形面を横切って延びるリニアメントでも右ずれ変位の可能性があることがわかった。これらはフィリピン海プレートの北西進を反映したものと考えられる（広島大学[課題番号：HRD_01]）。

南海トラフ周辺域では、高知県南国市の海岸砂丘を対象として、GPR探査や光ルミネセンス（OSL）年代測定を用いて地形発達調査を行った。砂丘の成長過程と内陸の低地の浸水記録を比較した結果、砂丘の上方への成長が内陸への浸水を妨げたことが示唆された（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01]）。和歌山県那智勝浦町の沿岸低地において津波堆積物を目的とした追加コア掘削調査を実施し、観察・分析を進めた。その結果、約5千年前頃に砂質干潟～浅海環境に形成されたと考えられる4層の級化構造を持つイベント堆積物が認められた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01]）。

南西諸島海溝沿いでは、石垣島東岸においてトレンチ調査を実施し、3層の津波堆積物を発見した。このうち、最下層の津波堆積物中から合弁の二枚貝が発見され、年代測定を実施したところ、約1500年前頃であることが明らかになった。この年代結果は、既往研究より確度の高いイベント年代であり、当該地域における津波再来間隔を推定する上で重要な知見と言える（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、各断層における変動地形調査や掘削調査、ドローンや地表型の LiDAR を用いた詳細地形計測や宇宙線生成核種年代測定などの最新技術を用いた調査が各地で行われた。

2024 年 1 月 1 日に能登半島地震 (M7.6) が発生した能登半島では、地震前に高度を計測していた地点の再測量により、海岸での正確な隆起量を計測した (産業技術総合研究所 [課題番号: AIST01])。また、過去の地震性隆起を記録した完新世海成段丘 (低位段丘) の形成年代を解明するため、掘削調査を行い、年代測定試料を採取した (産業技術総合研究所 [課題番号: AIST01])。さらに、石川県珠洲市において津波堆積物の分布に関する野外調査を実施し、地震後の海岸線から内陸約 70 m まで津波堆積物があることが確認された (産業技術総合研究所 [課題番号: AIST01])。一方、更新世海成段丘の発達・保存が悪いため、長期的な隆起速度が得られていない能登半島北西岸地域 (猿山岬〜大長崎周辺) において、隆起速度を明らかにするための予察的調査を実施した。詳細な地形判読から更新世海成段丘面と考えられる地形が断片的に確認され、現地で予察的地層採取を実施した。その結果、これらは侵食性段丘面であることが明らかになったが、基盤岩は礫岩で石英がほとんど含まれないため、十分な量の石英が必要な ^{10}Be による宇宙線生成核種年代測定法の適用は難しいことがわかった (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_01])。

糸魚川―静岡構造線活断層帯北部において、高分解能地形データによる変動地形の詳細分布の把握と古地震調査を行った。姫川右岸の白馬村蔵平では、2014 年長野県北部の地震 (神城断層地震) で出現した地表地震断層が完新世後期に多段化した姫川の河成段丘上を横断している。松多ほか (2016) によって指摘されたこれらの段丘に見られる変位の累積を明らかにするため、地表 LiDAR を用いた精密測量を行い、従来より細かい地形面を認定することに成功した。その地形から縦ずれ量、横ずれ量を見積もった結果、3 パターンの地震活動履歴の可能性を見出し、少なくともこの地域で 2 種類の地震が発生することを明らかにした (図 2, 東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_09])。中央構造線断層帯の石鎚山脈北縁西部区間 (川上断層) と石鎚山脈北縁区間 (岡村断層) のセグメント境界付近において、ドローン LiDAR, トレンチ調査, ボーリング調査を実施した。トレンチ調査の結果、最新活動に伴う古地震イベントを認定した。放射性炭素同位体年代測定とともに、イベント後の堆積物から産出した金属製のかんざしやキセル、正保 1648 年伊予国絵図に記載された古地理図等を参照とした年代推定により、発生時期は江戸時代以前であることが推定できた (産業技術総合研究所 [課題番号: AIST02])。

(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

南海トラフ沈み込み帯の熊野灘において、2024 年 6 月に海底電位磁力計 (OBEM) を 5 か所に設置し、同年 10 月に回収した。観測期間は地磁気嵐を含んでおり、今後の解析により高精度な地下の比抵抗分布が得られると期待される (名古屋大学 [課題番号: NGY_03])。また、取得済みの OBEM 観測データを用いて、熊野海盆付近の三次元比抵抗構造の解析を実施した。高品質 MT データの選択手法を用いて高精度な MT レスポンスを推定し、最新のインバージョン手法 (Usui et al., 2024) を適用することで、信頼性の高い三次元比抵抗構造が得られた (図 3)。得られた比抵抗構造と先行研究による地震波反射断面及び地震発生域を比較し、デコルマ面 (プレート境界面) 上における通常の地震の

発生域，スロー地震発生域，定常すべり域の間で比抵抗に有意な差があることを明らかにした（名古屋大学[課題番号：NGY_03]）。

イ．内陸地震

2024 年 1 月 1 日の能登半島地震の発生を受けて，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を実施した。この観測は，東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構の共同研究観測であり，本研究経費と科学研究費補助金特別研究促進費により実施した。海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」による KH-24-JE01 緊急調査航海（2024 年 1 月 16 日東京出港～1 月 23 日富山入港）により，計 34 台の OBS を設置した。設置した OBS のうち，26 台の短期収録短周期型 OBS を白鳳丸 KH-24-JE02C 航海により，2 月 22 日から 24 日にかけて回収した。その後，約 40 台の長期観測型 OBS を用いて，約 1 年間のモニタリング観測を行った。2025 年 1 月には，学術研究船「白鳳丸」KH-25-JE01 航海により，長期観測型 OBS を回収して，観測を終了した。2024 年 2 月に回収したデータを用いて，本震発生 1 か月後から約 1 か月間の余震震源分布と発震機構解を求めた。震源決定の結果，震源は深さ約 17 km までに決定され，深い地震は震源域最東部に多く位置している。これらは余震活動が上部地殻内において活発であることを示している。観測域では過去の研究により震源断層モデルが構築されており，余震分布は断層モデルとよく一致するが，最東部の断層モデルの北側半分に対応する領域では地震活動が活発でない（図 4）。発震機構解を見ると，逆断層型が多いが，横ずれ断層型の地震も決定された。どちらのタイプも，北西-南東方向に圧縮軸を持つ点は共通している（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08], Shinohara et al., 2025）。

前計画に引き続いて，日本海地震・津波調査プロジェクトの一環として実施された東北地方中部を横断する地震探査のデータを用いて，屈折・広角反射法データ解析により速度構造モデルの詳細な解析を行なった。これまでの解析によって，地殻最上部の堆積層部分の構造が測線に沿って大きく変化し，下部地殻及び上部マントルにおいても反射体が分布する複雑な構造が明らかになっているが，今年度は更に測線下の構造変化を明らかにする目的で S 波速度構造を求め，測線周辺の地震活動と得られた構造の関連性の解明を重点的に行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08]）。測線東部では深さ 12km 以浅の地殻内地震活動が活発である。2003 年宮城県北部地震（M6.4）の余震は，北上山地下の高速度体内に集中しており，この高速度体西縁の西傾斜構造境界周辺に沿って地震が分布している。一方，北上河谷帯側地殻浅部では地震活動が殆ど認められない。このことから，両者の構造には地震波速度構造の違いだけでなく，その物理（力学的）特性の差があるものと思われる。奥羽脊梁山地下では，地震活動が深さ 10 km 以浅に限られており，火成活動による温度構造を反映しているのであろう。一方，測線西部では地震活動が深さ 20 km にまで及んでいる。このような地震活動域の差は，上述の反射体分布の差とともに，測線最西部とより内陸側の物性・温度構造の差を反映している可能性がある。また，低周波地震は下部地殻の反射体に富む部分で発生している。更にその下の上部マントル（深さ 38 及び 46 km）には反射面が存在している。このような対応関係を

考えると、マントルからの流体の上昇と滞留が反射面・反射体の形成と低周波地震の発生に大きく関与している可能性が高い。

エ．地震発生と火山活動の相互作用の理解とモデル化

津波計記録・地震波形記録の観測データの解析による震源過程・津波波源の推定手法の開発に取り組んだ。2023 年 10 月に伊豆諸島南部で大地震が発生していないにもかかわらず、津波が発生した。これは、海底カルデラが数時間のうちに何度も小規模な隆起を繰り返すことで、津波が発生したと考えられている。連鎖的な隆起を想定した津波波形逆解析手法を新たに開発し、津波観測データに適用して、海底隆起の時空間変動を推定した。その結果、経過時間の増大に伴い、カルデラ隆起の発生時間間隔は短くなり、隆起量は大きくなるといったカルデラ隆起の加速度的な成長を明らかにした（防災科学技術研究所[課題番号：NIED03]，Kubota et al., 2024）。

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（重点研究）

ア．プレート境界巨大地震の長期予測

地震調査研究推進本部が行っている「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」の高度化に向けて、地震サイクルシミュレーションに基づいた地震活動の予測の試行を試みた。過去の大地震の震源分布に加え、プレート境界上のスロー地震活動の指標となる小繰り返し地震やテクトニック微動などの分布と活動度時間変化、海底地殻変動や津波波形の解析に基づく 2011 年東北沖地震の地震時すべりおよび応力降下量の分布、地震探査や重力異常に基づく海底下構造の空間変化なども考慮した結果、対象範囲は 9 つ（海溝走向方向に 3 × 直交方向に 3）の領域に分割することが適当と判断した。この 9 領域について、速度・状態依存摩擦則を用いた地震サイクルシミュレーションにより得られたすべり速度の履歴と、各領域を特徴づけるすべり挙動とを定性的に比較した結果、これまでの研究で地震活動の再現を目指してきた宮城県沖や福島県沖では比較的良い再現性が見られる一方、北部（岩手県沖・青森県沖）では不十分で、再現性向上にむけた検討を進める必要があることがわかった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_07]）。

イ．内陸地震の長期予測

地震発生前から得られていた観測データに基づいて断層の動的破壊シミュレーションを実施し、地震時の観測データやすべりインバージョン結果と比較することで、再現性や予測性能を検証した。2011 年の福島県浜通りの地震（M7.0）については、その特徴的なハの字形状をした二枚の断層面上の動的な破壊の乗り移り過程を再現することに成功した。また、インバージョンで得られたすべり過程を、シミュレーションが定量的に再現できることが示された。2024 年能登半島地震（M7.6）についても、シミュレーション結果と本震時に得られた SAR による地殻変動分布及び地震波形記録とを比較した。その結果、地殻変動分布の特徴である半島北西部の 5 m の隆起ピークと北東部の 2 m 程度の比較的小規模な隆起ピークがともに再現できることを示した。また、近地の強震動波形記録及び震源時間関数を比較したところ、破壊過程初期の小さなピークと中期の大きなピーク、初期の西向きの破壊伝播と中期から後期の東向きの破壊伝播という観測された特

徴をシミュレーションで再現できることが分かった（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_04]）。

測地データから内陸（地殻内）地震の発生ポテンシャル評価を行う手法の高度化のため、GNSSデータを用いた3次元空間での非弾性変形の速度分布を推定する手法を開発した。実際のGNSS観測データを適用するにあたり、西南日本のGNSS観測で得られた変位速度からフィリピン海プレートの沈み込みによる影響を除去したデータを使用した。非弾性ブロックは水平方向に10 km間隔で配置し、深さ方向にも10 km間隔で、最も浅い部分を除いて3次元の非弾性ひずみ速度分布の推定を実施した。解析の結果、非弾性変形の空間分布は活断層や地震の分布と強い相関を持ち、深さが増すにつれて非弾性ひずみ値の空間的不均質性が減少することが明らかとなった（図5）。特に、新潟―神戸ひずみ集中帯では、30-40 km以浅に非弾性変形が集中し、短縮と剪断ひずみが卓越している。また、中央構造線沿いにも大きな非弾性ひずみが確認され、20 km以浅の領域に変形が集中しているが、主に剪断ひずみが卓越している。これらの結果は、地域による非弾性変形の深さの違いを示しており、地殻内地震の地域性に関する新たな知見を提供する可能性がある（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。また、日本全国を対象として、GNSSデータから地下の非弾性変形の速度分布を推定することも実施され、新潟―神戸ひずみ集中帯に剪断変形が集中する様子などが捉えられた（公募研究、東北大学災害科学国際研究所[課題番号：KOB002]）。

前計画から引き続き、南海トラフや日本海溝のプレート境界断層からの载荷による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（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08]）。今年度は、相模トラフにおける固着と伊豆半島の衝突の影響について広域応力場と能登半島周囲の震源断層における応力を計算した。相模トラフでは、約3 cm/yrのすべり欠損速度を一律に仮定し、伊豆半島の衝突については、プレート境界面の傾斜方向のすべり運動が一律に永年的に固着していると仮定した。計算の結果、相模トラフの固着による剪断応力分布は北西への指向性を示し、能登半島でも1 kPa/yr程度の応力蓄積が見られた。能登半島周囲の震源断層に対する ΔCFS は、正の値を示した。伊豆半島の衝突の影響についても、概ね ΔCFS は正值となった。これらのことから、能登半島の応力場における相模トラフの固着、伊豆の衝突の重要性が示唆される。

測地データから高空間解像度のひずみ速度場を推定するために、InSARとGNSSの変位データを融合させたひずみ速度場推定の高度化の研究を行った。新潟―神戸ひずみ集中帯において、GEONETおよびSoftBank株式会社のGNSS観測網から得られたひずみ速度場とInSARによる歪速度場を統合し、面的ひずみ速度場を導出した。その暫定的結果から、糸魚川―静岡構造線北部のひずみ速度がとりわけ大きいこと、GNSS観測点が疎である山岳地域ではInSARの寄与が大きいこと、InSARが積雪の影響を受ける冬季はGNSSが有利であることがわかった（図6、京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度は第3次の観測研究計画の初年度であり、長期評価部会では複数の新規課題と公募課題を含めて17課題で観測研究をスタートした。各課題は、地震学、測地学、地球電磁気学、地質学、地形学、歴史学などの多様な学問分野をベースにしているが、地震の長期予測の高度化に貢献するという同一の目標のもと、情報交換を行いながら観測研

究を実施してきた。今年度は、GNSS観測などによって得られた地表の地殻変動データから、地下の非弾性変形の分布を3次元的に推定する手法が開発され、日本列島のデータに適用され、新潟―神戸ひずみ集中帯の地下などに変形が集中する様子がイメージされた（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]、公募研究、東北大学災害科学国際研究所[課題番号：KOB002]）。下部地殻やマントルにおける非弾性変形が上部地殻内の震源断層に応力を載荷して、地殻内地震を発生させていることを考えると、その分布を明らかにすることは、地殻内地震の長期予測に貢献するあらたな知見を提供することになる。上部地殻での応力載荷速度は、深部での非弾性変形の集中度によって大きくことなると考えられるので、詳細な分布の解明が待たれるところである。また、本計画から、日本海溝沿いの海溝型地震の長期評価の高度化を目的として、過去の大地震の発生履歴だけでなくスロー地震や小繰り返し地震の発生分布や地下構造などの地球物理学的知見を取り込んだ地震サイクルシミュレーションを実施する研究課題（東北大学理学研究科[課題番号：THK_07]）が実施されている。シミュレーションを活用した長期予測の高度化は、「新たな長期予測」の中心的な内容であり、他の課題も含めて今後の成果が待たれる。

過去の地震発生履歴を明らかにする研究課題においても、各種 LiDAR を用いた地形計測技術、宇宙線生成核種や光ルミネッセンスを用いた年代測定技術、地下レーダーを用いた地下構造の探査技術などの新技術の活用が進み、新たなイベントの同定が進みつつある。また、活断層のセグメント間の連動の条件などを明らかにすることを目的とした課題（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_09]、産業技術総合研究所[課題番号：AIST02]）が新たに実施されており、将来発生する地震の規模の予測に貢献することが期待される。2023年のトルコ・シリア地震や2024年能登半島地震では、セグメント間の連動破壊によるM7後半の大地震であったが、その被害はM7前半の地震と比較してはるかに激甚・広域化した。このような連動破壊がどのような条件で発生するのかは、防災上重要な課題であり、本計画がその解明の端緒となることが期待される。

成果リスト

- 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, *Geophysical Journal International*, 237(1), 271-287, <https://doi.org/10.1093/gji/ggae039>.
- Ding, X., S. Xu, E. Fukuyama, and F. Yamashita, 2024, Back - Propagating Rupture: Nature, Excitation, and Implications, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2024JB029629, <https://doi.org/10.1029/2024JB029629>.
- 後藤秀昭, 2024, 海底活断層の認定手法の転換を迫る能登半島地震, *科学*, 94, 626-630.
- 後藤秀昭・鈴木康弘, 2024, 地震後に書き加えられた能登半島北岸沖の海底活断層 ― 反射断面による活断層認定の問題 ―, *科学*, 94, 950-955.
- Hainzl, S., T. Kumazawa, and Y. Ogata, 2024, Aftershock forecasts based on incomplete earthquake catalogs: ETASI model application to the 2023 SE Türkiye earthquake sequence, *Geophysical Journal International*, 202, doi: 10.1093/gji/ggae006.

- Hu, C.-Y., M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara, and K. Mochizuki, 2024, Seismic activity around shallow plate boundary near westernmost Nankai Trough revealed by ocean bottom seismometer observation, *Earth, Planets and Space*, 76, 168, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02122-4>.
- Kubota, T., O. Sandanbata, T. Saito, and T. Matsuzawa, 2024, Accelerating seafloor uplift of submarine caldera near Sofugan volcano, Japan, resolved by distant tsunami recordings, *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL108415, <https://doi.org/10.1029/2024GL108415>.
- Kumazawa, T., and Y. Ogata, 2024, Non - Stationary ETAS Model: How It Works for External Forcing, *Seismological Research Letters*, 95(6), 3331-3342, <https://doi.org/10.1785/0220240166>.
- 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2024, 「長大な活断層帯で発生する地震の評価手法の高度化に関する調査研究 令和5年度成果報告書」, 1-92.
- 森木ひかる・中田高・後藤秀昭・杉戸信彦・徳山英一・隈元崇, 2024, 変動地形学的手法による海底活断層の認定と意義, *活断層研究*, 61, 17~42.
- Murakami, S., A. Hashima, T. Iinuma, K. Fujita, T. Ichimura, and T. Hori, 2024, Detectability of low-viscosity zone along lithosphere-asthenosphere boundary beneath the Nankai Trough, Japan, based on high-fidelity viscoelastic simulation, *Earth, Planets and Space*, 76, 89, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02008-5>.
- Ogata, Y., 2024, Estimating Real Seismicity Rates from Nonhomogeneously Recorded Earthquake Catalogs, *Seismological Research Letters*, 95(6), 3604-3616, <https://doi.org/10.1785/0220240153>.
- Ogata, Y., 2024, How the ETAS models were created, used, and evolved -- Personal views and perspectives, *Annals of Geophysics*, 67(4), S428, <https://doi.org/10.4401/ag-9153>.
- Ogata, Y., and T. Kumazawa, 2024, Inverse analysis of seismic activity rate changes for severely incomplete sequences: comparison of aftershock activity patterns immediately following the 2023 M6.5 and 2024 M7.6 Noto Peninsula earthquakes, *Earth, Planets and Space*, 76, 112, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02057-w>.
- 尾形良彦, 2024, 大きな地震連鎖の確率予測をどう求めるか, *日本地震学会モノグラフ「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」*, 第7号, 20-23.
- 尾形良彦, 2024, 地震データの欠測率を考慮したトカラ列島および鳥島近海の地震活動の解析, *地震予知連絡会会報*, 111, 497-504.
- 尾形良彦・熊澤貴雄, 2024, 2024年M7.6能登半島地震前後の地震活動の逆解析, *地震予知連絡会会報*, 112, 697-705.

- 尾形良彦・熊澤貴雄, 2024, 系統的な欠測を伴う地震カタログから実際の活動率変化の推定: M6.5 能登半島地震の余震活動について, 地震予知連絡会会報, 111, 292-298.
- 尾形良彦, 2024, 地殻活動の予測実験(1) — 内陸地震の短期確率予測と評価について, 地震予知連絡会会報, 111, 584-588.
- Okubo, K., B. G. Delbridge, and M. A. Denolle, 2024, Monitoring velocity change over 20 years at Parkfield, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2023JB028084, <https://doi.org/10.1029/2023JB028084>.
- Plata-Martinez, R., T. Iinuma, F. Tomita, Y. Nakamura, T. Nishimura, and T. Hori, 2024, Revisiting slip deficit rates and its insights into large and slow earthquakes at the Nankai subduction zone, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2023JB027942, <https://doi.org/10.1029/2023JB027942>.
- Romanet, P., T. Saito, and E. Fukuyama, 2024, The mechanics of static non-planar faults in infinitesimal strain theory, *Geophysical Journal International*, 239(3), 1664-1693, <https://doi.org/10.1093/gji/ggae337>.
- Shinohara, M., T. Hino, T. Takahashi, *et al.*, 2025, Precise aftershock activity in the marine source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake by rapid response observation using ocean bottom seismometers, *Earth Planets Space*, 77, 43, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02171-3>
- Usui, Y., M. Uyeshima, H. Hase, H. Ichihara, K. Aizawa, T. Koyama, S. Sakanaka, T. Ogawa, Y. Yamaya, T. Nishitani, K. Asamori, Y. Ogawa, R. Yoshimura, S. Takakura, M. Mishina, and Y. Morita, 2024, Three-dimensional electrical resistivity structure beneath a strain concentration area in the back-arc side of the northeastern Japan Arc, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, <https://doi.org/10.1029/2023JB028522>.
- 宍倉正展, 2024, 沿岸の隆起痕跡からわかる能登半島地震の履歴, 岩波「科学」, 94(7), 608-614.
- 宍倉正展・越後智雄・行谷佑一・立石 良・後藤玲奈・前壱英明, 2024, 令和 6 年能登半島地震に伴う隆起で生じた海岸の離水と海成段丘, *第四紀研究*, 63, 169-174.

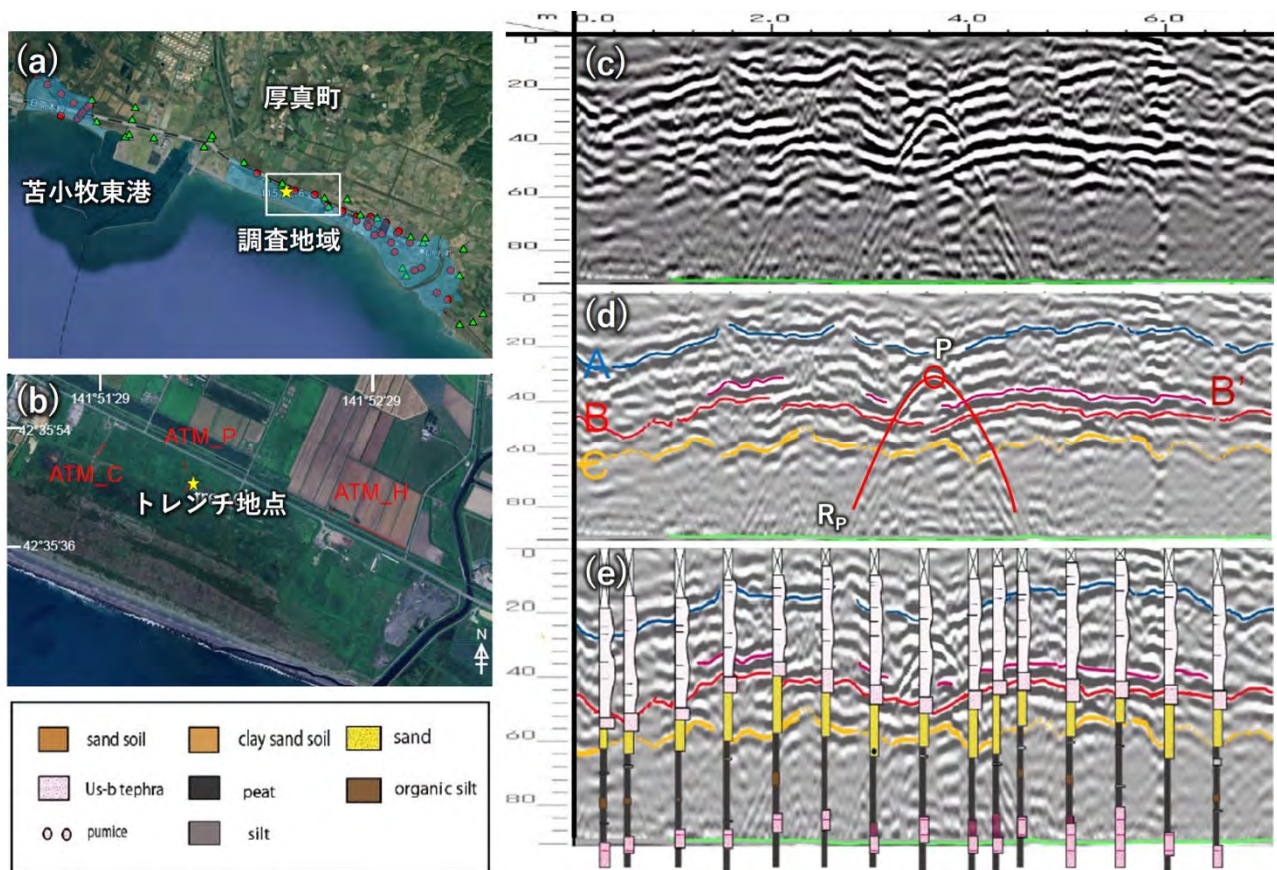
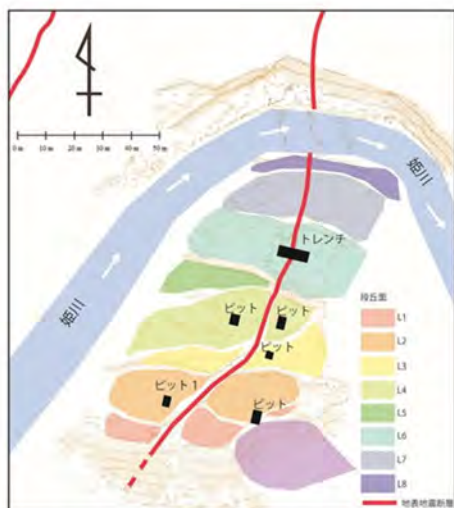


図1．北海道厚真町のトレンチ地点における調査結果（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID02]）。（a）調査地域（☆）。○および△は既往の津波堆積物調査地点（清水，2007 など）。（b）トレンチ地点（☆）。（c）地中レーダ（GPR）による反射面の画像。アンテナ周波数は 800MHz。（d）解釈線 A, B, B', C を入れた反射面の画像。掘削結果との比較から，A は Ta-b テフラ上面，B' および B は Ta-b 下面および Us-b 下面，C は砂層下面に対応すると考えられる。R_P はトレンチ壁面から Ta-b 内に貫入した杭（P）からの反射面。（e）GPR 測定ライン上の地層掘削結果。



計測機器：LiVox社 Avia
 取得点数：228,281,205点
 地表点数：26,133,559点



段丘面	縦ずれ(m)	横ずれ量(m)	
L8	0.25(±0.05)	1.1	グループ1
L7	0.40(±0.1)	1.1	
L6	0.37(±0.1)	-	
L5	-	-	グループ2
L4	1.06(±0.1)	5.2(±0.2)	
L3	1.68(±0.05)	7.7(±0.3)	グループ3
L2	2.06(±0.05)	8.9(±1.3)	グループ4
L1	2.10(±0.1)	-	

グループ	発生時期	パターン①	パターン②	パターン③
グループ1	2014年	0.3 / 1.1	0.3 / 1.1	0.3 / 1.1
グループ2	1714年 (小谷正徳地震)		0.3 / 1.1	0.3 / 1.1
	1400~1500年?			0.3 / 1.1
	762年の地震 (固有地震)	0.66-0.86 / 3.9-4.3	0.36-0.56 / 2.8-4.2	0.06-0.26 / 1.7-2.1
グループ3	255年~595年の間に 1回以上	0.47-0.77 / 2.9-3.6	0.3 / 1.1	0.47-0.77 / 2.9-3.6
		0.17-0.47 / 0.9-1.9	0.17-0.47 / 0.9-1.9	0.17-0.47 / 0.9-1.9
グループ4	紀元前105年~415年の間に 1回以上	0.28-0.48 / 0-2.8	0.28-0.48 / 0-2.8	0.28-0.48 / 0-2.8

図2. 糸魚川—静岡構造線活断層帯神城断層における変位量が累積した河岸段丘の稠密地形計測調査（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_09]）。

鉛直断面

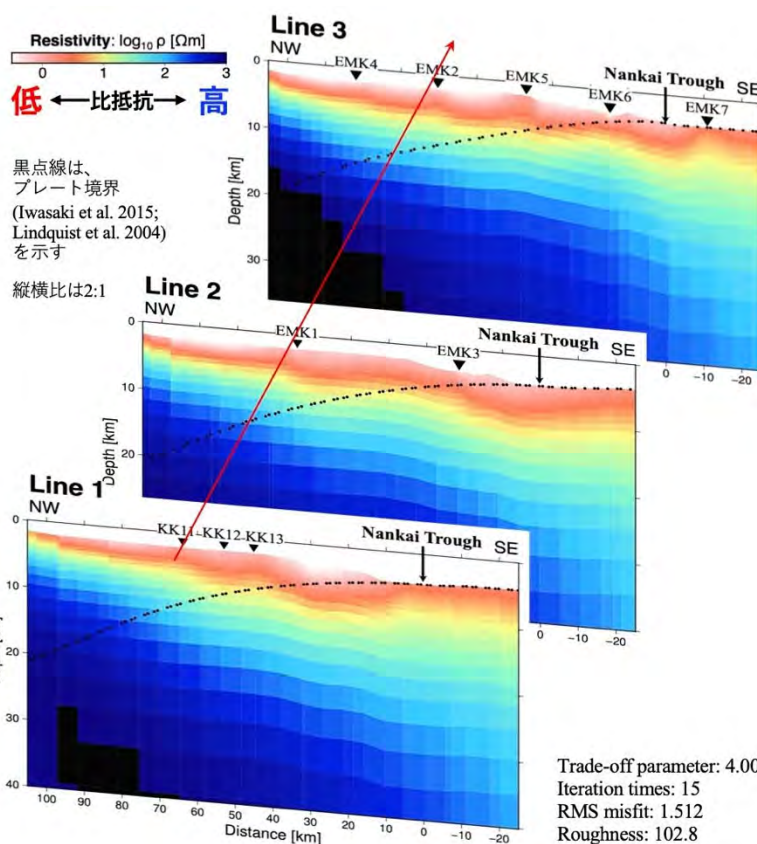
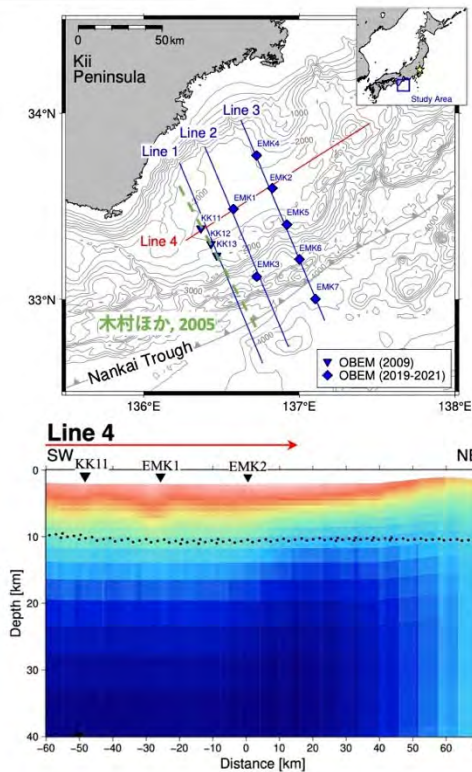


図3. 熊野灘における比抵抗断面（名古屋大学[課題番号：NGY_03]）。4つの測線上の鉛直断面図を示す。

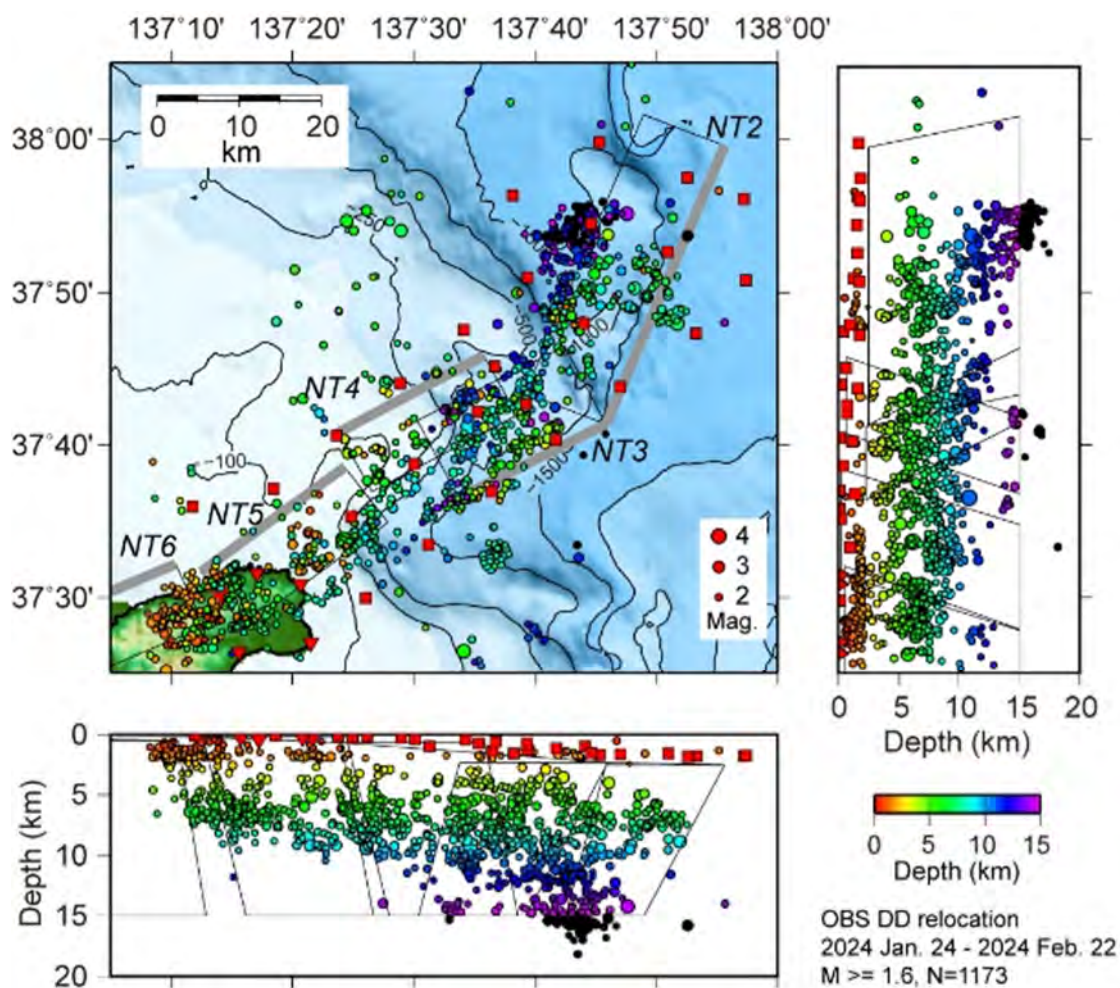


図4．2024年に発生した能登半島地震の震源域東部での海域観測による余震の震源分布（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08]，Shinohara et al., 2025）。解析期間は，2024年1月24日から2月22日までで，マグニチュードが1.6以上の気象庁震源リストにある地震を再決定した。

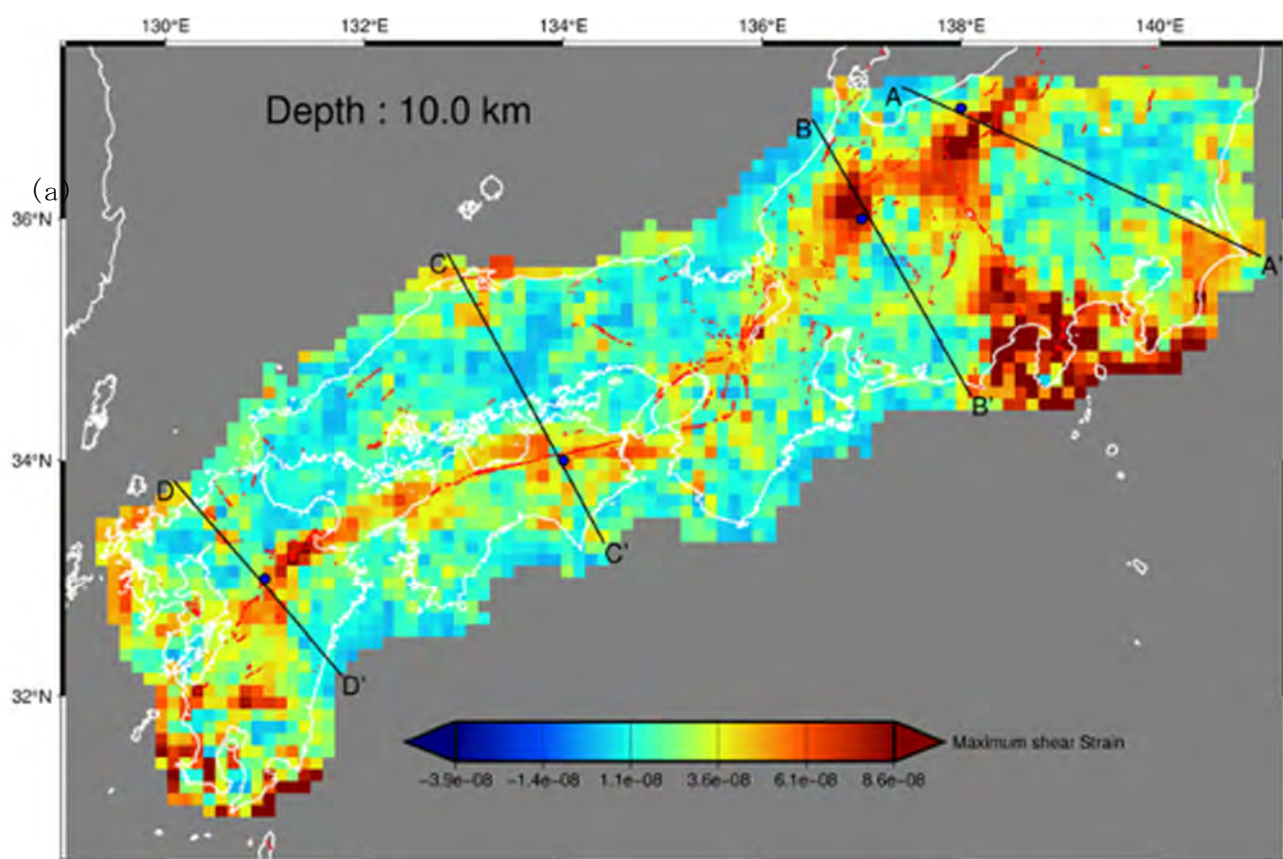


図 5 . GNSSデータから推定した深さ10 kmでの非弾性変形(最大せん断ひずみ)の分布 (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI03])。新潟―神戸ひずみ集中帯や中央構造線の北側に非弾性変形の集中域が見られる。

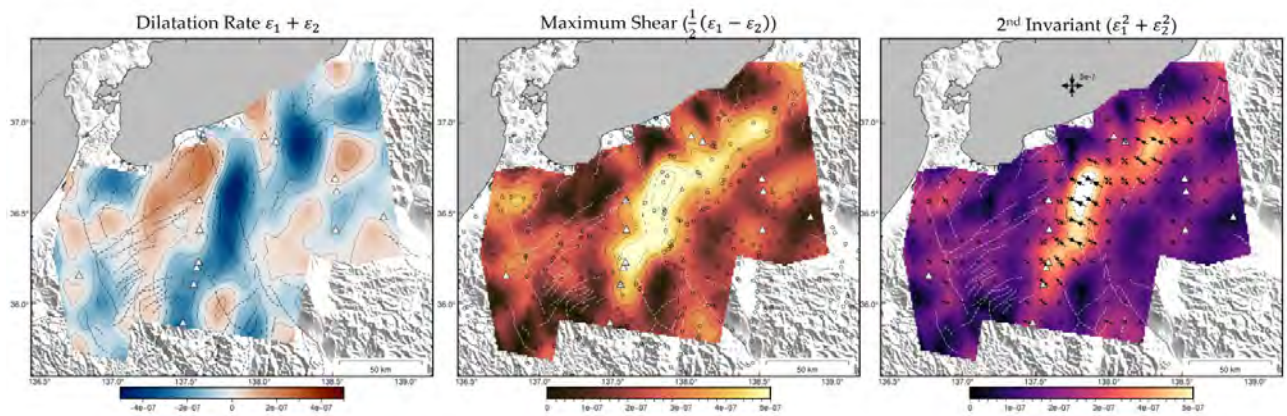


図 6 . InSAR時系列解析とGNSSを統合して得られた中部地方のひずみ速度場（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。（左）面積ひずみ速度。（中）最大剪断ひずみ速度。（右）ひずみ速度の2次不変量。推定されたひずみ速度は空間変化が大きく，特に糸魚川-静岡構造線 (ISTL) の北東側で短縮ひずみが集中している。また，火山帯や断層に沿ったひずみの集中域が見られる。

地震（中短期予測）

「地震（中短期予測）」計画推進部会長 川方裕則

（立命館大学総合科学技術研究機構）

副部会長 中谷正生

（東京大学地震研究所）

予測の対象となる大規模地震の発生確率を時空間的に求める手法を開発し、その手法を時間更新させながら適用することで、中短期レベルでの予測可能性を調査し、精度の向上を図ることを大きな目標として課題ごとに研究をおこなっている。令和6年度は主として、予測モデルの構築・適用において欠かせない観測の維持と拡充、物理モデルの構築・改善に資する研究、経験的な確率予測モデルの構築・改善に資する研究をおこなった。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

（2）地震発生確率の時間更新予測

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

物理モデルに基づくアプローチでは、物理モデル構築・改善に不可欠な観測を維持・拡充し、様々な地殻活動観測データからプレート境界や断層の状態を推定するとともに、個別の地震の予測可能性について研究がすすめられた。

○繰り返し地震

日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、日本列島周辺で発生した繰り返し地震活動の検出をおこなった（図1）。能登半島北東部では、2020年1月から2024年1月1日のM7.6までの間に発生したM2~4の地震を対象としてDouble-Difference法を用いて震源再決定をおこなった上で、波形相似性と震源域の重複度の評価により繰り返し地震を同定した。その結果、解析した地震の12.8%にあたる236個の地震を含む、102系列の繰り返し地震が見つかった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10]）。

能登半島北東部の繰り返し地震では、気象庁マグニチュード差が1以上の繰り返し地震ペアが存在していたが、スペクトル振幅から計算されたモーメントマグニチュード差は最大でも0.9であった。一定の断層サイズを仮定した場合、この差は応力降下量が20倍程度異なることに対応する。群発活動域の中で北西に位置するクラスター内の繰り返し地震の空間的な特性を評価した結果、繰り返し地震の震源域は他の繰り返し地震を含む周囲の地震と重なっていることが多く、繰り返し地震パッチは従来解釈されてきたように孤立してはいないことがわかった（小松，中島，2024a, b, 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10]）。

○スローイベント

産総研と防災科研および気象庁との共同研究に基づき、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり（SSE）を

解析するシステムの運用を継続した。2023 年 11 月～2024 年 10 月の間に短期的 SSE の断層モデルを 32 個決定した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。

大分県佐伯市に新規地下水等総合観測施設を設置し、観測を開始した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。

東海地方 2 点でのキャンペーン重力観測を実施し、石垣島の連続重力観測を継続した。2023 年奥能登地震、2024 年能登半島地震前後に観測した震源域近傍の重力変化を解析した。四国西部と九州東部域におけるネットワーク MT 観測を継続した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。

地震学的スロー地震の長周期側シグナルである超低周波地震を観測するため、前計画から四国・紀伊・東海地域に維持している 17 観測点について地震計やモバイル通信に関する保守作業をおこないつつ観測を継続した。また科研費プロジェクトと合同で 2 観測点を追加した。定常観測網による超低周波地震の検知下限（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]，Takemura et al., 2024a）に加え、本計画の準定常広帯域観測点（17+2 観測点）を加えることによる超低周波地震の検知能力を評価し、微小な超低周波地震検知に寄与することを確認した。

検出されたスロー地震の震源特性の把握を高度化すべく、南海浅部あるいは日本海溝沿いの地震波伝播特性を評価した。その結果、浅部微動記録に含まれる堆積層による伝播増幅効果（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]，Takemura, et al., 2024b）の評価、標準的な海域の地震動予測式（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]，Nakanishi and Takemura, 2024）の構築が実現した。

高精度に震源決定されたテクトニック微動の震源分布、反射法地震探査、海底地形のデータを活用することで、スロー地震発生域に特徴的な地質構造を調査した。その結果、テクトニック微動の分布と地質構造には良い対応関係が見られ、微動は覆瓦スラスト帯で発生し、より海溝に近い前縁スラスト帯ではほとんど発生していないことが明らかとなった。とくに発生域の上端はデコルマ面が高角度に立ち上がる場所と一致するなど、背景のスロースリップの進展が断層面の幾何形状によって妨げられている可能性が示唆された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]，Akuhara et al., 2024）。

テンプレートマッチング手法を連続波形データに適用し、2022 年 4 月から 2024 年 8 月までの深部低周波地震活動の様子を明らかにした。2024 年豊後水道のスラブ内で発生した M6.6 の地震の発生直前に着目すると、北東方向へ移動する低周波地震活動の主要なエピソードが起きていたことがわかった。主要なエピソードの移動方向とは逆方向の移動（RTR）が M6.6 の震源域を通りこした後に、M6.6 の地震が発生した。さらに、M6.6 地震後には豊後水道で低周波地震の活動が活発化し、高速移動を示す筋状の活動（Streak）が多数発生した。この結果は、スロー地震とスラブ内地震の間に相互作用が働いていた可能性を示唆する（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11]）。

断層すべりは岩石の摩擦実験から得られた速度状態依存摩擦則（RSF 則；Dieterich, 1979；Ruina, 1983）に基づいてモデル化され、現実の断層で見られる不均質なすべりは通常、摩擦特性や断層形状の不均質性により解釈される。数値計算において、非地震性のすべりイベントであるスロースリップイベント（SSE）は、地震と同様に速度弱化ではあるが、走向方向に長い断層においては断層面上の不均質がなくても、地震とは異なりセグメントに分裂して発生することが報告されている（大畠, 2023）。速度弱化領域で発生

する SSE の発生様式を網羅的に調べる数値実験を実施し、数値計算における初期値依存性が地震と SSE で異なることを見出した。地震の場合とは対照的に、SSE ではイベントの発生による緩やかな応力変化は初期条件を打ち消すには不十分であると考えられる（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

○応力場

地震波データを元にした応力インバージョンから得られた応力場の空間的な不均質、特に主応力軸の空間的な差異（応力回転）に着目することで、すべり分布の推定精度・分解能向上に寄与できる可能性がある。その基礎的な試みとして、2000 年鳥取県西部地震の余震域において推定された応力回転とすべり分布から地中の背景応力場推定をおこなった（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_01]）。

○地震発生場の階層的構造

地震発生場の階層的構造の特徴を評価する手法の開発と適用、および Ide & Aochi (2005, IA05) モデルのサイクル計算への拡張を重点的におこなった。前者では、Chang and Ide (2021) の手法を東北地方全域に適用し、繰り返し地震を含む約 40 の領域において、震源とセントロイドの同時推定をおこなった。多くの地域で震源、セントロイドはそれぞれが集中的に起きる場所が限られており、震源破壊プロセスの限定的予測可能性を示す。また海外データへの適用に向けて、カリフォルニアの地震について、Ide (2019) のように大きさの異なる地震が同じ波形を持つ例を調査した。後者では、三陸沖をターゲットとして、過去の地震履歴に基づいて 4 階層の円形パッチの分布を仮定し、IA05 のルールに基づいてそれぞれのパッチにパッチサイズに依存した D_c を持つすべり弱化摩擦則を与える。このシステムに一定のローディングを与えて、準動的地震サイクルシミュレーションをおこなった。このシステムでは M6 弱から M8 までの様々なサイズが発生し、M8 の地震はほとんどが M6 以下の地震のパッチのどれかから始まる。一方で内部に多数の階層性を持っていても、巨大パッチが孤立して存在する場合には、その周期は小スケールの不均質にあまり影響されない（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_05]）。

イ．観測データに基づく経験的な予測と検証

観測データに基づく経験的アプローチでは、観測データを入力とする客観的アルゴリズムによる試行予測と検証をおこない、予測アルゴリズムを改善する。先行現象を網羅的に検出する方法を開発するほか、機械学習等のデータ駆動科学の導入により、人間の直感では気付きがたい先行現象も探索する。

○スローイベント検出

測地データと深層学習を用いた SSE 検出手法についての検討と、ゆっくりすべり (SSE) 検出における各種データの現状能力と今後の潜在力（利用可能なデータの期間・量・質、今後の見込み等）の整理をおこなった。SSE 検出手法については、別プロジェクトと連携で開発中の CNN（畳み込みニューラルネットワーク）を用いた手法を検討した結果、検知能力、安定性、複数のデータ種類や解析領域に対する応用性などの観点でこの手法が適していることがわかった。各種データの現状能力と潜在力について検討した結果、当面

は GNSS 変位データを柱として SSE 検出手法を開発し、その後に他種データを組み込むように拡張するのが妥当であるという結論を得た（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID03]）。

○地震カタログ

地震カタログの作成、地震活動の解析、地震動の予測、地殻変動に関係した測地データ解析に関する機械学習の応用をレビューした論文を出版した（（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12], Kubo et al., 2024）。深層学習を用いた有名な地震波検測ツールである PhaseNet を、2013～2022 年の日本の定常観測データによって再訓練した。カリフォルニアのデータで訓練されたモデルで見えていたバイアス等がなくなり、性能が改善したことが確認できた。気象庁のデータ処理に使われる PF 法を使ってカタログを作成したところ、内陸の小さい地震をより多く検出できるようになった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10], Naoi et al., 2024, 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12], 立命館大学[課題番号：RTM_01]）。

○プレスリップ

多数の GNSS 観測点での 5 分間隔の GNSS 記録から、プレスリップで期待される方向の成分をスタックしたところ、2011 年 3 月 11 日の M9 東北地方太平洋沖地震の 2 時間前から Mw6.9 相当の加速的なプレスリップが見い出されたという報告（Bletery & Nocquet, 2023, 以下 BN2023）は大いに注目されたが、Bradley & Hubbard (2023) は、GNSS 観測特有の同相ノイズを補正すると BN2023 のみつけたプレスリップ状の変化は見えなくなると反論した。そこで、GNSS 以外の地殻変動観測手段である傾斜計を用いて BN2023 と同様の手法で東北地震から 500km 以内にある Hi-net の傾斜記録をスタックしたところ、2 時間前に加速するような変化はみられなかったため、当該時期の傾斜記録ノイズレベルに相当する Mw6.4 を超えるような直前数時間のプレスリップはなかったと結論できる（図 2, 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11], 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12], Hirose et al., 2024b）。

○地震活動

大きな地震等をきっかけに、真の b 値が不連続に変化したと思われる例は多いが、 b 値の時間変化を追跡するときに、（重みつき）移動平均を使う従来の方法は追従が悪いと考えられる。そこで、真の b 値の遷移を状態空間モデルで表して、それを粒子フィルターで推定する手法を開発した。2011 年 M9 東北地方太平洋沖地震の震源域に適用したところ、2015 年から 2022 年にかけて b 値が 1.1 から 1.3 に上昇しており、Tormann et al. (2015) が指摘したような大地震のリスク上昇は示唆されない。他方、2016 年の M7 熊本地震の後 2019 年末までの周辺領域の b 値の解析で唯一 b 値が低下しており大地震のリスクを警告していた布多川断層中部の 10km 程度の領域（Nanjo et al., 2019）について、新しい解析法で 2023 年半ばまで b 値の推移を調べたところ、現在も 0.7 程度の低い値が維持されているため、相変わらず心配な状況と考えられる（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12], Iwata & Nanjo, 2024）。

○前震

能登半島北部の地震活動について、2020 年 11 月からの活発な群発活動が始まる前の 2018 年初頭から 2024 年 1 月 1 日 M7.6 能登半島地震後の 2024 年 2 月 19 日まで、能登半島地震の余震域（北西～南東走向、160km 程度）を対象に、25,711 個の地震（気象庁カタログ：M1.3 以上）の相対震源位置を hypoDD により決定した。2024 年 1 月 1 日の M7.6 地震の余震分布は、走向 160km におよび、南東傾斜の F43 断層（内閣府，2014）と一致するが、最北部は北西傾斜の F42 断層の南端部にかかっている。M7.6 地震の破壊開始点を含む群発活動域では、深さ 15km 程度からスプレー状に 3 枚にわかれる南東 45° 前後に傾斜した断層が推察され、深さ 15km 以深では、群発活動をもたらした高圧流体の侵入による開口と非地震性すべりが推定されている傾斜の浅い断層 (Nishimura et al., 2023) に続くようである。3 枚の断層のうち最も上位にあるのは F43 断層の中央部 (珠洲沖セグメント) で、M7.6 地震の主要なすべりはこの断層で起きた。いっぽう、M7.6 地震の破壊開始、240 秒前の M5.5 前震、14 秒前の M5.9 前震、2023 年 5 月の M6.5 地震の破壊開始はいずれも中位の断層で、120 秒前の M4.6 前震と 2022 年 6 月の M5.4 の地震は最下位の断層で起きた。いずれも 12～17km と深く、上述の深部低角断層からの高圧流体の影響が考えられる。水平位置も 10km 以内に集まっており、M7.6 地震に至る一連の活動は、近接した複数枚の断層間での応力および間隙水圧を介した複雑な相互作用によるものだと推察される。さらに、本震破壊開始点直近の地震計では 240 秒前の M5.5 前震から 14 秒前の M5.9 前震の間に、多数の小さな前震が連発しており、非地震性プレスリップの可能性を示唆する。実際、3 つの直前前震のうち最初に起きた 240 秒前の M5.5 によるすべりは、本震や 14 秒前の M5.9 の破壊開始点に地震が起きにくくなる向きの応力を加えており、前震～本震の因果関係を単純なカスケード破壊として理解することはできない。さらに、M7.6 地震の遠地波形のバックプロジェクションは、最初の 11 秒程度は破壊開始点周辺での勢いの弱い破壊であり、そのあと南東および北西に勢いの強い破壊が伝播したことを示している。本震 14 秒前の M5.9 前震を既に本震の一部とみれば、低調な初期破壊フェーズは 25 秒も続いたことになる。強い破壊が始まるまでに時間がかかったのは、先述した複数枚の近接断層間での破壊の乗り移りや流体圧の再分配に加えて、F43 断層の走向が 10° 弱折れ曲っているところから始まった地震であることが寄与したかもしれない（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Peng et al., 2025）。

○地震の動的トリガ

短期的な応力擾乱による地震の誘発現象として、(大)地震からの地震波によって地震が誘起される動的トリガリングと呼ばれる現象がある。日本では動的トリガリングを起こすのに振幅 30kPa 以上の地震波が必要と指摘されていた (Van der Elst & Brodsky, 2010) が、2016 年 M7 熊本地震からの地震波による動的トリガリングは遠く離れた中部地方から北海道にかけて数 kPa の波動で起きたことがわかり、2011 年 3 月 11 日の M9 東北地震によって、東北日本の地殻状態が変わって動的トリガが起きやすくなったのではないかと提唱され、また、動的トリガが見られたのは火山地域が多かったため、流体圧の増加を介した効果だろうと推察された (Enescu et al., 2016)。そこで、東北地震後に群発活動が起きた 5 つの地域（山形～福島県境、秋田駒ヶ岳南西、飛騨、いわき、山形中央；いわき以外は火山地域）において、東北日本に 1～50 kPa 程度の表面波を届けた 49 個の

遠地地震（東北地震より前が 25 個，東北地震より後が 24 個）それぞれについて，表面波の振幅と，それによって誘発された地震の有無を調べた。山形～福島県境，秋田駒ヶ岳南西，飛騨で誘発事例数は東北地震の（前→後）でそれぞれ（4→8），（3→6），（7→10），誘発に成功した表面波の振幅の最低値はそれぞれ（8.7kPa → 1.1kPa），（8.7kPa → 1.5kPa），（3.8kPa → 1.3kPa）と，東北地震より後の方が誘発が起きやすいように見える。有意水準 5% の K~S テストで誘発応力の分布が変わったとは言えなかったが，それはサンプル数が足りないだけのこともかもしれない。一方，山形中央の誘発事例は東北地震より前の 1 つだけで，1.6kPa の表面波で起きた。それよりずっと大きい表面波が来ていた多くの例で一度も誘発されなかったので，この 1 例も誘発ではなく，偶然のタイミングの一致だったのかもしれない。いわきは，火山もなく地熱地帯でもないが，誘発事例数が（0→4）と増加し，また最低誘発応力は（31.6kPa でも誘発できなかった → 1.6kPa）と大きく下がったので，M9 によってトリガされやすくなったように思われる（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]，Takeda et al.，2024）。

○微小地震検出

微小地震を発見するために，膨大な連続地震波形データの中から，既知の地震波形（テンプレートと称する）と類似する波形を探索する方法がある。波形相関法と呼ばれるこの方法は，しかしながら計算コストが高く，これまで多くの研究では探索対象となる連続地震波形の期間が数週間程度に留まる。唯一，米国カリフォルニア州において 10 年分の連続波形に対し波形相関法の適用事例があるが，これには大規模な GPU クラスタが利用されており，コストの高さゆえに多数の研究者が容易に真似できるものではない。そこで今回，市販のワークステーション程度でも数年分以上の連続データに波形相関法を適用可能なアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムに基づき DiallelX と称するプログラムを開発した（立命館大学[課題番号：RTM_01]）。

これまでに検出されているよりも小さい微小地震・破壊を検出することに加え，それらの震源を決定し，破壊現象解析の時空間分解能を向上させることで，より多くの知見を得られることが繰り返し確認されている。室内水圧破碎実験で得られた弾性波連続記録を対象として，近年活発に研究されている深層学習による走時検測をおこない，それを元に検出された微小破壊（AE）の波形をテンプレートとして DiallelX を活用した Matched Filter 解析をおこない，古典的な STA/LTA 法や AR-AIC 法で作成したカタログよりも 10 倍多くの震源を含むカタログを作成することに成功した。上記の深層学習検測器は古典的手法による自動処理結果を元に訓練することで，手動によるラベル付けを必要としない解析ルーチンを構築している。非常に多くの震源決定をおこなうため，検出走時をイベントに関連付ける Phase Association のプロセスでは，従来使われていたグリッドサーチによる手法を差分進化アルゴリズムで解くことによって高速化し，現実的な処理時間で震源カタログを作成することができた。得られたカタログでは，水圧破碎の主亀裂造成過程を従来より明瞭に示すとともに，破碎後に現れる低周波微動のようなシグナルの中に，ほぼ同位置に震源が求まるイベントが多数存在することを明らかにした（立命館大学[課題番号：RTM_01]，直井ほか，2024）。

○大規模地震間の過渡的地震活動

能登半島北部沿岸域断層帯の 10 年超の長期のデータにも適用し、2007 年能登半島地震の余震活動から 2024 年能登半島地震の発生に至る過程の微小地震活動について、DiallelX を利用した Matched Filter 解析をおこなった。2024 年能登半島地震の際に大すべりが推定された猿山沖セグメントの西側において、互いに相似な波形を示す特徴的なイベント群が見つかった。一つ目は 2007 年能登半島地震の余震活動期から 2024 年能登半島地震に発生に至るまで継続的に活動が見られるもの、二つ目は震源分布域をオーバーラップさせるが 2018 年ごろを境にして異なるイベント群に分かれるもの、三つ目は 2007 年能登半島地震余震活動期に遅れる形で 2009 年ごろからやや定常的な活動を見せたのちに 2023 年から活発化を見せるものである。なお、三つ目の再活動に関連する $M_j \geq 2.5$ の地震の発生は確認されていない（立命館大学[課題番号：RTM_01], Sasaki et al., 2024）。

○大気中ラドン

1995 年兵庫県南部地震に関しては、神戸薬科大学が提供する排気モニターの大気中ラドン濃度データを用い、1984 年から 1988 年の期間を平常期として学習し、1990 年から 1995 年の予測期間における実測値との比較をおこなった。その結果、1994 年末から観測値が予測値を上回る傾向が継続し、地震発生の 25 日前において観測値と予測値の差分が 3σ を超える異常が確認された。2011 年東北地方太平洋沖地震に関しては、福島県立医科大学において、排気モニターで観測された電離電流値をラドン濃度と線形関係にある指標として利用して、2002 年から 2007 年を平年変動として教師データに設定し、2008 年から 2011 年の期間における電離電流値を予測した。その結果、2010 年 10 月末において観測値と予測値との差分が 3σ を超える異常が検出された（東北大学理学研究科[課題番号：THK_08], Tsuchiya et al., 2024）。

排気モニタで室内のラドン濃度を測定し、そのラドン濃度をラドン簡易モニタの PicoRad という活性炭コレクターにより決定する方法で、排気モニタの作動確認をおこなった。PicoRad のカットオフ値は 80Bq m^{-3} であり、この値以下であれば、ラドン濃度が安全範囲にあると判断できることが示された。本研究により得られた簡易計測器のカットオフ値は、ラドン濃度の事前調査やリスク管理において役立つ指標となり、PicoRad を用いた断層からのラドン散逸の空間変化などの解析にも資することが期待される（東北大学理学研究科[課題番号：THK_08], Yasuoka et al., 2024）。

○電磁気的な地震先行現象

地震に関連した ULF 電磁場を発生させる電流強度を、震源に流れる電流を起源とし、すべてのケースで同じ周波数依存性を持つと仮定して推定した。電流強度を推定するために、本研究で開発した吸収境界条件を用いて、地殻の導電率分布を考慮した ULF 電磁場シミュレーションをおこなった。ロマ・プリエタ、スピタク、グアム、ビアク、鹿児島、岩手県内陸北部、伊豆諸島、ジャンムー・カシミール、アルムロック、汶川、ラクイラで発生した 11 の地震を解析した。その結果、11 事象のうち 9 事象において、電流強度と地震マグニチュードの間に正の相関があることが示され、測定された ULF 場が地震活動に由来することが示唆された（千葉大学[課題番号：CBA_01], Kimura et al., 2024）。

2024 年 M7.5 能登半島地震の約 9 分後に電離圏総電子数の正の異常が出現した。最初

の鋭いピークは、約 100km にわたる断層の両端で励起された 2 つの音波パルスで構成され、その後の一連のより小さな振幅の広いピークが続き、そのうち最大のピークは、本震の約 8 分後に断層の北東端付近でゆっくりとした断層破壊によって励起された可能性があることがわかった。これらの信号は、波面が中規模の移動性電離層擾乱の波面と重なる場所で大きくなり、電離圏内の高電子密度領域の下方への変位によって coseismic 信号が増強される可能性があることを示唆している(千葉大学[課題番号:CBA_01], Heki et al., 2024)。

2023 年のトルコ南部の Mw7.8 カフラマンマラシュ地震とその直後の Mw7.5 地震について電離圏総電子数変動を調査したところ、最初の地震の約 23 分前に TEC の正の変化が始まり、異常が背景の約 2%に達したことがわかった。この値は過去の経験値と一致していた。一方、2 回目の地震直前の変化は移動性電離層擾乱活動により検出できなかった(千葉大学[課題番号:CBA_01], Muafiry et al., 2025)。

地震先行現象検証超小型衛星 PRELUDE (Precursory Electric field observation CubeSat demonstrator) の打ち上げモデル(フライトモデル)開発を主眼として、以下の成果を得た。

1. 衛星バス部分の設計・評価の進捗: データ処理系・電源系・通信系・姿勢制御系・熱系・構造系を含むバス技術のフライトモデル設計を実施し、一部コンポーネントにおいては製造を完了した。エンジニアリングモデル統合で得られた改良点を反映させるために、各サブシステム間のインターフェースを見直し、振動試験や熱真空試験などの環境試験に向けた設計評価をおこなった。
2. 電場・プラズマハイブリッドセンサユニットの設計・製造・評価: 地震先行電離圏変動現象を観測するための電場・プラズマハイブリッドセンサユニットに関して、伸展部(ブームなど)の展開メカニズム・耐久性評価を実施した。センサ部の性能評価を進め、ノイズ特性や感度の測定を通じて、フライトモデルとしての改良点を明確化した。
3. 運用準備の具体化: 打ち上げ後の運用体制構築を進めるため、国際周波数調整の手続きを継続するとともに、クラウド型地上局運用会社との運用計画の詳細化をおこなった。宇宙航空研究開発機構(JAXA)の革新的衛星技術実証プログラム 4 号機に搭載が決定していることから、2024 年度の衛星引き渡し(納品)スケジュールに合わせた進捗管理を継続している(公募研究, 日本大学[課題番号: KOB004])。

○宏観現象

2024 年能登半島地震で前兆ではないかと一部で言われたイワシの大量死・大量漂着について、過去の同様な事例を調べ、大地震との対応を検証した。2012 年 6 月 4 日から日向灘の地震があった 2024 年 8 月 8 日までの 4449 日間に記録された異常は 31 回であり、同期間に日本周辺で発生したマグニチュード: M6.5 以上、深さ 100km 以浅の地震 32 個(気象庁一元化地震カタログ)との対応を調べた。異常(Anomaly)による地震検出可能な時空間で警報(Alarm)が出ている時空間の割合 $P(A)$ が概ね 0.7 より小さい範囲ではランダム予知と同等であることがわかった。地震前兆は「震源付近を中心に地震発生直前に顕著に現れる」と仮定すると、先行時間が 80 日以内かつ震央距離 350km 以下の組み合わせが 1 つもないイワシ大量死・大量漂着は、大地震の前兆とは考えにくいといえる(公募研究, 東京学芸大学[課題番号: KOB003], 織原, 2024)。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、予測の対象となる大規模地震の発生確率を時空間的に求める手法を開発し、その手法を時間更新させながら適用することで、中短期レベルでの予測可能性を調査し、精度の向上を図ることを大きな目標として、全国の大学、研究機関が協力して地殻活動のみにとどまらない多岐にわたる観測、研究を実施した。その結果、数多くの重要な知見が加えられたが、一方で様々な環境で発生する多くの地震に対して、その普遍性と個性を見極めることと、その個性が環境によって定められているものであるか、確率的な偶然性を持つものであるかを明らかにすることも望まれる。これを明らかにするためには、高品質の観測データをもつ大規模地震の数が少ないという課題が見えてきた。この課題は、正攻法では克服は困難であるため、今後は、これまでの研究を更に進めるとともに、機械学習などを活用しつつ、人間の眼では気づくことができない関係性の抽出などを通して、中短期的な大規模地震の発生確率の推定精度向上に資する研究をおこなうことが重要である。

成果リスト

- Akuhara, T., K. Shiraishi, T. Tsuji, Y. Yamashita, H. Sugioka, A. H. Farazi, S. Ohyanagi, Y. Ito, R. Arai, E. Araki, G. Fujie, Y. Nakamura, T. Tonegawa, R. Azuma, R. Hino, K. Mochizuki, S. Takemura, T. Yamada, and M. Shinohara, 2024, Geometrical barrier determines the updip limit of slow earthquake slip, Research Square, doi:10.21203/rs.3.rs-4591362/v1.
- An, L., B. Enescu, Z. Peng, M. Miyazawa, H. Gonzalez-Huizar, and Y. Ito, 2024, Dynamically triggered seismicity in Japan following the 2024 Mw7.5 Noto earthquake, Earth Planets and Space, 76:181, doi:10.1186/s40623-024-02127-z.
- An, L., F. Grigoli, B. Enescu, M. Buttinelli, M. Anselmi, I. Molinari, and Y. Ito, 2024, Offshore Fault Geometry Revealed from Earthquake Locations Using New State-of-Art Techniques: The Case of the 2022 Adriatic Sea Earthquake Sequence, Seismological Research Letters, 95, 2779-2790, doi:10.1785/0220230264.
- Ariyoshi, K., A. Nagano, T. Hasegawa, T. Iinuma, M. Nakano, D. M. Saffer, H. Matsumoto, S. Yada, E. Araki, N. Takahashi, T. Hori, and S. Kodaira, 2024, A physical explanation for an unusually long-duration slow slip event in the Nankai Trough, Tectonophys., 887, 230439, doi:10.1016/j.tecto.2024.230439.
- Bantidi, T.M., T. Ishibe, G.M. Tuluka, and B. Enescu, 2024, Estimating spatio-temporal variable parameters of Epidemic Type Aftershock Sequence model in a region with limited seismic network coverage: a case study of the East African Rift System, Geophysical Journal International, 239, 882-900, doi:10.1093/gji/ggae299.
- Bernabeu A., J. Zhuang, and J. Mateu, 2024, Spatio-temporal Hawkes point processes: a review, Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, doi:10.1007/s13253-024-00653-7.
- Chen H., P. Han, and K. Hattori, 2024, Ultra-low frequency Geomagnetic Signal Extraction: An Interstation Transfer Function Method based on Multivariate Wavelet

- Coherence, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 5926711, doi:10.1109/TGRS.2024.3456433.
- Enomoto R., H. Nakata, R. Song, K. Hattori, K. Hosokawa, and H. Ohya, 2024, Analysis of Concentric Traveling Ionospheric Disturbances associated with typhoon Faxai in 2019 using HF Doppler Soundings, *J. Atmospheric Electricity*, 43, 1-7, doi:10.1541/jae.43.1.
- Fujimoto, T., M. Furuya, and K. Heki, 2024, Fine structure of a daytime mid-latitude sporadic-E revealed by GNSS TEC, InSAR, and MAI, *Earth Planets Space*, 76, 138, doi:10.1186/s40623-024-02086-5.
- Gentili S., P. Brondi, M. Sukan, G. Petrillo, J. Zhuang, and S. Campanella, 2024, Seismic clusters and fluids diffusion: a lesson from the 2018 Molise (Southern Italy) earthquake sequence, *Earth Planets Space*, 76:157, doi:10.1186/s40623-024-02096-3.
- Gulia, L., S. Wiemer, E. Biondini, B. Enescu, and G. Vannucci, 2024, Improving the Foreshock Traffic Light Systems for Real - Time Discrimination Between Foreshocks and Aftershocks, *Seismological Research Letters*, 95, 3579 - 3592, doi:10.1785/0220240163.
- Guo Y., J. Zhuang, and H. Zhang, 2024, Statistical modeling of 3D seismicity and its correlation with fault slips along major faults in California, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 638: 118747, doi:10.1016/j.epsl.2024.118747.
- Hammond C. R., J. Zhuang, C. LeBlanc, S. Rahimi-Ardabili, T. Zhang, R. Good, and F. J. Loge, 2024, Conceptual Water Main Failure Risk: Self-Excitation, Pipe Age, and Statistical Modeling Performance, *J. Water Resources Planning and Management*, 150: 04024042, doi: 10.1061/JWRMD5.WRENG-6432.
- Heki, K., 2024a, Decoding multiple source signatures in coseismic ionospheric disturbances of the 2024 January Mw7.5 Noto-Peninsula earthquake, Central Japan, *Earth Planet. Sci., Lett.*, 640, 118796, doi:10.1016/j.epsl.2024.118796.
- Heki, K., 2024b, GNSS applications for ionospheric seismology and volcanology, Chapter 8 of "GNSS Monitoring of the Terrestrial Environment: Earthquakes, Volcanoes, and Climate Changes" edited by Y. Aoki and C. Kreemer, Part I Monitoring earthquakes and volcanoes, Elsevier, doi:10.1016/B978-0-323-95507-2.00014-1.
- Heki, K., M. Nakatani, and W. Zhan, 2024, Ionospheric Changes Immediately before the 2008 Wenchuan Earthquake, *Advances in Space Research*, 73, 4539 - 4545, doi:10.1016/j.asr.2024.02.011.
- 平野史朗・直井 誠, 2024, DiallelX: ネットワーク関連法のための fortran コード, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SSS04-P05.
- Hirose, F., K. Tamaribuchi, A. Kobayashi, and K. Maeda, 2024a, Relation between Earthquake Swarm Activity and Tides in the Noto Region, Japan, *Earth Planets and Space*, 76, 37, doi:10.1186/s40623-024-01985-x.
- Hirose, H., A. Kato, T. Kimura, 2024b, Did Short-Term Preseismic Crustal Deformation Precede the 2011 Great Tohoku-Oki Earthquake? An Examination of Stacked Tilt Records,

- Geophys. Res. Lett., 51, 12, <https://doi.org/10.1029/2024GL109384>.
- Hirose, F. and A. Kobayashi, 2025, Tidal correlation of deep tectonic tremors increases during long-term slow slip events in the Bungo Channel, southwest Japan, *Earth Planets and Space*, 77, 18, doi:10.1186/s40623-025-02145-5.
- 本庄悠成, 三浦諒馬, 山崎政彦, 鴨川仁, 2024年, 地震先行電離圏変動現象検知衛星PRELUDEの電場・プラズマハイブリッド観測ユニットの模擬観測実験による性能評価及び検証, 日本機械学会 第33回スペース・エンジニアリング・カンファレンス.
- Ishibe, T., T. Terakawa, A. Hashima, 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*, 76:26, doi:10.1186/s40623-023-01955-9.
- 石辺岳男・寺川寿子・橋間昭徳・望月将志・松浦律子, 2024, 三次元広域応力場から将来発生する大地震のすべり方向(すべり角)を予測可能か?, *地震ジャーナル*, 78, 54-66.
- Iwata, D. and K. Z. Nanjo, 2024, Adaptive estimation of the Gutenberg-Richter b value using a state space model and particle filtering, *Scientific Reports*, 4, 4630, doi:10.1038/s41598-024-54576-x.
- Iwata, T., 2025, Mixture of linear and non-linear Hawkes processes and its application to real earthquake sequences, *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, doi:10.1007/s13253-025-00681-x.
- Iwata, T., The background stress estimated from stress rotation using a Bayesian approach, *The 4th International Conference on Mathematics and Statistics (ICMS25)*, 2025.
- Kimura R., Y. Ando, L. Kukiya, T. Masuzawa, K. Hattori, and M. Hayakawa, 2024, A Numerical Consideration on the Correlation Between Magnitude of Earthquakes and Current Intensity Causing ULF Electromagnetic Wave Emission, *Radio Science*, 59(7), e2023RS007923, doi: 10.1029/2023rs007923.
- 北出明嗣, 金子柊, 吉野千恵, 服部克巳, 2024, ひまわり8号AHIデータを用いた溶岩噴出前の地表面温度変化の検知, *大気電気学会誌*, Vol.18(1) (No.104), 48-49.
- 小松真喜・中島淳一, 2024a, 能登半島群発地震における繰り返し地震の時空間分布, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P16.
- 小松真喜・中島淳一, 2024b, 能登半島群発地震における繰り返し地震分布の時空間的特徴, 日本地震学会2024年度秋季大会, S08-14.
- Kubo, H., M. Naoi, and M. Kano, 2024, Recent Advances in Earthquake Seismology using Machine Learning, *Earth Planets and Space*, 76:36, doi:10.1186/s40623-024-01982-0.
- Li Y., J. Zhuang, C. Shi, Y. Guo, and Z. Xiong, 2024, A 3D spherical ETAS model: A case study in the Alaska-Aleutian region, *Seism. Res. Lett.*, 95(6): 316103173, doi:10.1785/0220230440.
- Liu Y., J. Zhuang, Y. Guo, C. Jiang, Q. Tain, Y. Zhang, and F. Long, 2024, Background and clustering characteristics of recent seismicity in Southwestern China, *Geophys. J. Int.*, 238: 1291-1313, doi:10.1093/gji/ggae211.
- Mizrahi, L., I. Dallo, N. J. van der Elst, A. Christophersen, I. Spassiani, M. J.,

- Werner, P. Iturrieta, J. A. Bayona, I. Iervolino, M. Schneider, M. T. Page, J. Zhuang, M. Herrmann, A. J. Michael, G. Falcone, W. Marzocchi, D. Rhoades, M. Gerstenberger, L. Gulia, D. Schorlemmer, J., Becker, M. Han, L. Kuratle, M. Marti, and S. Wiemer, 2024, Developing, Testing, and Communicating Earthquake Forecasts: Current Practices and Future Directions, *Reviews of Geophysics*, 62:e2023RG000823, doi:10.1029/2023RG000823.
- Mizuno A., M. Kao, and K. Umeno, 2024, A capacitive coupling model between the ionosphere and a fault layer in the crust with supercritical water, *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.*, 18, e01003, doi:10.34343/ijpest.2024.18.e01003.
- Muafiry, I. N., I. Meilano, D. D. Wijaya, E. Sentürk, and K. Heki, 2025, Ionospheric changes immediately before the 2023 February Kahramanmaraş earthquakes, Turkey, *Adv. Space Res.*, 75, 3150–3158, doi:10.1016/j.asr.2024.11.011.
- 長尾年恭, 2024, 地震予知研究の最前線, *Ocean Newsletter*, 570, 6–7.
- Nakanishi, R., S. Takemura, 2024, Development of an offshore ground motion prediction equation for peak ground acceleration considering path effects based on S-net data. *Earth Planets Space* 76, 146, doi:10.1186/s40623-024-02078-5.
- 中田令子・堀高峰・青地秀雄・井出哲, マルチスケール円形パッチモデルを用いた準動的地震発生サイクルシミュレーションで得られた大地震の繰り返し, 日本地震学会秋季大会, S08-20
- 楠城一嘉, 2024, 富士山直下で発生する低周波地震, *金属*, 94, 44–46.
- Nanjo, K. Z., Y. Yamamoto, K. Ariyoshi, H. Horikawa, S. Yada, and N. Takahashi, 2024, Earthquake detection capacity of the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET), *Journal of Seismology*, 28, 787–810, doi:10.1007/s10950-024-10219-2.
- Naoui, M. and S. Hirano, 2024, Efficient similar waveform search using short binary code obtained by deep hashing technique, *Geophys. J. Int.*, 237, 604–621, doi:10.1093/gji/ggae061 (preprint ver.: arXiv:2310.02653).
- 直井 誠・平野史朗・陳友晴, 2024, 深層学習とMatched Filter analysisによる水圧破砕に伴う微小破壊活動の解析, 日本地震学会2024年度秋季大会, S08-31.
- Naoui, M., K. Tamaribuchi, K. Shimojo, S. Katoh, and S. Ohyanagi, 2024, Neural phase picker trained on the Japan Meteorological Agency unified earthquake catalog, *Earth Planet Space*, 76, 150, doi:10.1186/s40623-024-02091-8.
- 西村卓也, 田部井隆雄, 松島健, 廣瀬仁, 2024, 測地観測に基づく九州の地殻変動分布と活断層との関係, *活断層研究*, 60, 39–44.
- 織原義明, 2024, イワシの大量死および大量漂着と大地震との関連性の調査, 東海大学海洋研究所研究報告, 46, 1–11.
- Peng, Z., X. Lei, Q. Wang, D. Wang, P. Mach, D. Yao, A. Kato, K. Obara, and M. Campillo, 2025, The Evolution Process between the Earthquake Swarm beneath the Noto Peninsula, Central Japan and the 2024 M 7.6 Noto Hanto Earthquake Sequence, *Earthquake Research Advances*, 5:100332, doi:10.1016/j.eqrea.2024.100332.
- Petrescu, L. and B. Enescu, 2025, Seismicity of a relic slab: space-time cluster analysis in the Vrancea Seismic Zone, *Earth Planets and Space*, in press,

doi:10.1186/s40623-025-02136-6.

- Petrillo G., T. Kumazawa, F. Napolitano, P. Capuano, and J. Zhuang, 2024, Fluids-Triggered Swarm sequence supported by a non-Stationary Epidemic-like description of Seismicity, *Seism. Res. Lett.*, 95(6): 3207-3220, doi:10.1785/0220240056.
- Petrillo, G. and J. Zhuang, 2024, Bayesian earthquake forecasting approach based on the Epidemic Type Aftershock Sequence model, *Earth Planets and Space*, 76, 78, doi:10.1186/s40623-024-02021-8.
- Poveda-Brossard, V., K. Nishida, B. Enescu, and R. Takagi, 2025, Ocean microseisms recorded by the Cuban seismic network: time variation, spectral features and source directionality characteristics, *Seismological Research Letters*, 96 (2A): 758-771, doi:10.1785/0220240351.
- Ray, S., B. Senapati, B. Kundu, and K. Heki, 2024, A global perspective on the interaction between Earth's magnetic field and ionospheric disturbances, *Adv. Space Res.*, doi:10.1016/j.asr.2024.06.072.
- Sasaki, M., H. Kawakata, S. Hirano, 2024, Spatio-temporal variation of seismicity in the Noto Peninsula region using long-term continuous seismograms of nearby stations, 2024 AGU Fall Meeting, NH31G-2176.
- Schoenberg F., W. Werner, Y. Rong, D. Marsan, and J. Zhuang, 2024, Preface to the focus section on statistical seismology, devoted to the memory of the late Yan Kagan, Dave Jackson, and Ilya Zaliapin", *Seism. Res. Lett.*, 95(6): 3156-3160, doi:10.1785/0220240370.
- Shen X., and J. Zhuang, 2024, Residual analysis based model improvement for state space models with nonlinear responses, *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 8: 1728-1743, doi:10.1109/TETCI.2024.3355813.
- Si, Z., J. Zhuang, S. Gentili, C. Jiang, and W. Wang, 2024, A Bayesian merging of earthquake magnitudes determined by multiple seismic networks, *Seismological Research Letters*, 95, 3221-3233, doi:10.1785/0220230404.
- Si Z., J. Zhuang, C. Jiang, S. Gentili, and W. Wang, 2024, A Bayesian merging of earthquake magnitudes determined by multiple seismic networks, *Seism. Res. Lett.*, 95:3221-3233, doi:10.1785/0220230404.
- Sone, N., M. Yamazaki, M. Kamogawa, 2024, DESIGN OF THE PRELUDE CUBESAT FOR OBSERVING ELECTROMAGNETIC PERTURBATIONS ASSOCIATED WITH SEISMIC ACTIVITY, 2024 International Astronautical Congress, Minan IAC-24,B4,4,10,x86372.
- Spassiani I., G. Petrillo, and J. Zhuang, 2024, Distribution related to all samples and extreme events in the ETAS cluster, *Seism. Res. Lett.*, 95: 3234-3242, doi:10.1785/0220230324.
- Takeda, Y., B. Enescu, M. Miyazawa, and L. An, 2024, Dynamic Triggering of Earthquakes in Northeast Japan before and after the 2011 M 9.0 Tohoku - Oki Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114, 1884-1901, doi:10.1785/0120230051.
- Takemura, S., S. Baba, S. Yabe, Y. Yamashita, K. Shiomi, T. Matsuzawa, 2024a, Detectability analysis of very low frequency earthquakes: Methods and application

- in Nankai using F-net and DONET broadband seismometers, *Geophysical Journal International*, 237 (1), 49-63, <https://doi.org/10.1093/gji/ggae033>.
- Takemura, S., K. Emoto, and S. Yabe, 2024b, Revisiting seismic energy of shallow tremors: Amplifications due to site and propagation path effects near the Nankai Trough. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2024JB029168, <https://doi.org/10.1029/2024JB029168>.
- 田中愛幸, 2024, 衛星重力観測で捉えられた巨大地震数カ月前の重力変化 (解説), *地震ジャーナル*, 77, 69-75.
- Tanaka, H. and K. Umeno, 2024a, Bayesian Updating on Time Intervals at Different Magnitude Thresholds in a Marked Point Process and Its Application to Synthetic Seismic Activity, *J. the Physical Society of Japan*, 93, 024001, 1-26, doi:10.7566/JPSJ.93.024001.
- Tanaka, Y., R. Nishiyama, A. Araya, H. Sakaue, K. Nakakoji, T. Takata, T. Nishimura, Y. Hiramatsu, A. Sawada, 2024b, A possibility of fluid migration due to the 2023 M6.5 Noto Peninsula earthquake suggested from precise gravity measurement, *Earth Planets and Space*, accepted.
- Ueda, T., A. Kato, C.W. Johnson, and T. Terakawa, 2024, Seasonal modulation of crustal seismicity in northeastern Japan driven by snow load, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2023JB028217, doi:10.1029/2023JB028217.
- 上嶋誠, 2024, 比抵抗構造研究の内陸地震発生科学への貢献と今後の展望, *地震ジャーナル*, 77, 2-10.
- Varotsos, P. A., N. V. Sarlis, and T. Nagao, 2024, Complexity measure in natural time analysis identifying the accumulation of stresses before major earthquakes, *Scientific Reports*, 14:30828, doi:10.1038/s41598-024-81547-z.
- Wang Y., R. Wang, P. Han, T. Zhao, M. Miao, L. Su, Z. Jin, and J. Zhuang, 2025, Statistical characteristics of strong earthquake sequence in northeastern Tibetan plateau, *Entropy*, 27:174, doi:10.3390/e27020174.
- Yoshida, K., Y. Fukushima, and Y. Kaneko, 2025, Near-Field Imaging of Near-Identical Mw5.9 Earthquakes in the Crust of Ibaraki, Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, accepted.
- 太田悠一郎, 吉野千恵, 三浦健伸, 服部克巳, 2024, 波形解析によって同定した非対地雷LF帯電磁パルス数の時間変化の特徴について, *大気電気学会誌*, Vol.18(1) (No.104), 77-78.
- Zhuang J., 2024, Earthquake predictability and forecast evaluation using likelihood based marginal and conditional scores, *Seism. Res. Lett.*, 95(6): 3593-3603, doi:10.1785/0220240256.

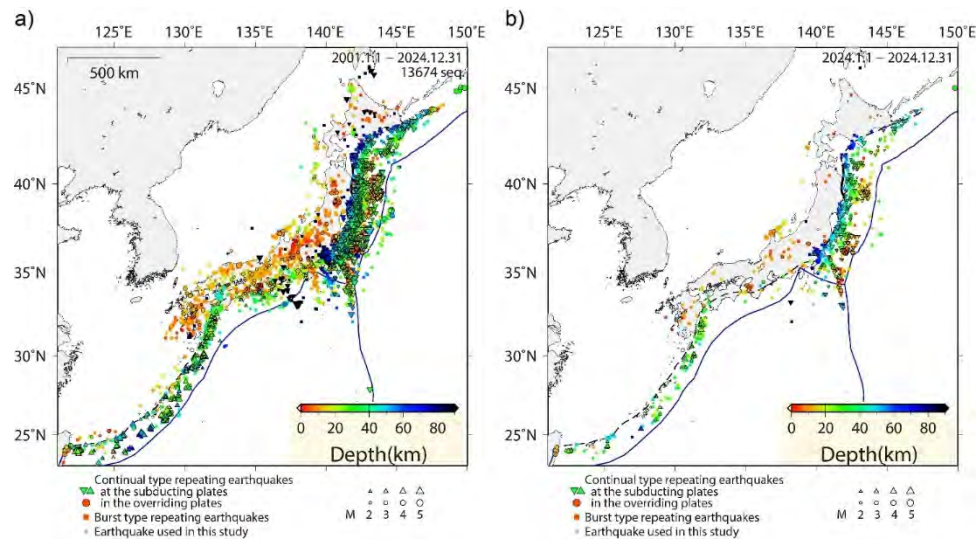


図 1．日本列島周辺で発生した小繰り返し地震の空間分布（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10]）。

(a) 2001年 1 月～2024年12月。 (b) 2024年 1 月～2024年12月。

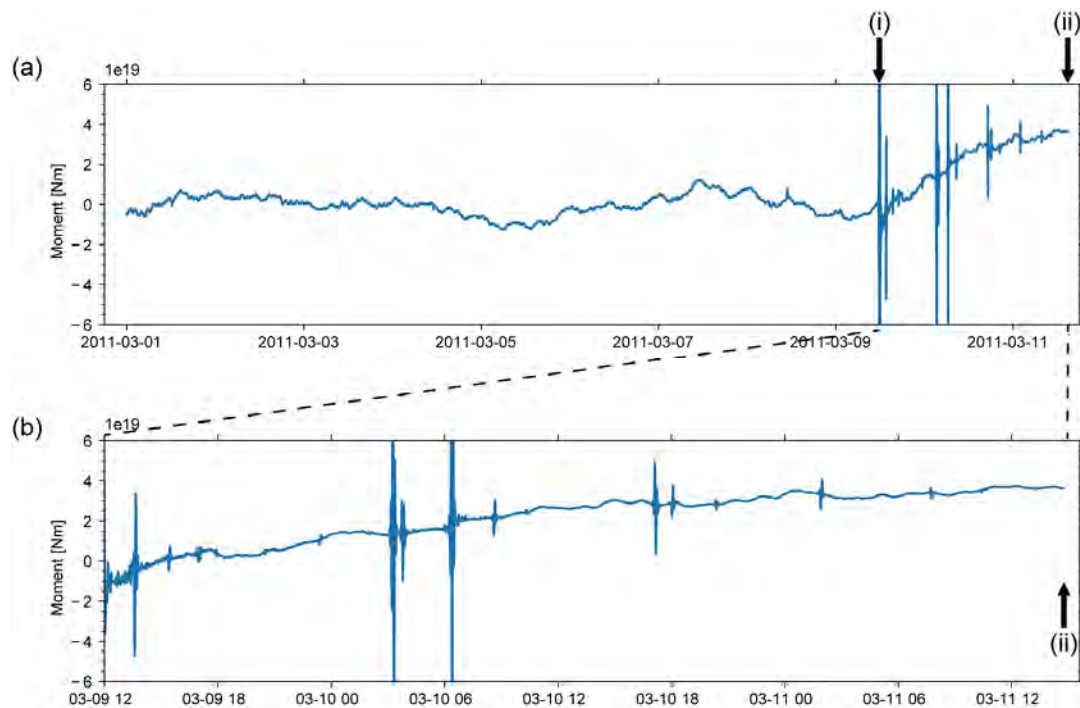


図 2．2011年東北地方太平洋沖地震発生直前の傾斜記録に対するスタッキング処理の結果。震源での地震モーメント相当量に換算したもの（Hirose et al., 2024bを改変，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_11, ERI_12]）。

(a) 2011年 3 月 1 日から本震発生直前まで。 (b) 本震発生前約51時間。図中の矢印は (i) 3 月 9 日最大前震； (ii) 本震発生時；をそれぞれ示す。

火山

「火山」計画推進部会長 山本 希

(東北大学理学研究科)

副部会長 前野 深

(東京大学地震研究所)

副部会長 森 俊哉

(東京大学理学系研究科)

副部会長 伊藤順一

(産業技術総合研究所)

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

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合

ウ. 地形・地質データの収集・集成と文理融合による解釈

火山活動の中長期的な評価と予測を行うためには、噴火履歴等の基礎データを蓄積することが重要である。また、高分解能の噴火履歴情報を得るためには年代測定手法等の開発も必要である。

今年度は、将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のために、秋田焼山及び御嶽火山の地質図を出版したほか、大規模火砕流である洞爺カルデラ洞爺火砕流の堆積物分布図を公表した(南・他, 2025, 及川・他, 2025, 宝田・他, 2025)。また、日光火山群の一つである三岳火山の活動年代を明らかにするためのトレンチ調査を行い、三岳火山の南北の岩体を構成する光徳溶岩と刈込湖溶岩の年代測定を行った。その結果、光徳溶岩は約3.3~5.6 kaの間、刈込湖溶岩は約4.6~17 kaの間に噴出したことが明らかになった。さらに、三岳火山の東側では降下テフラ層が確認され、この年代は約5 ka頃と推定され、三岳火山の完新世噴火履歴が明らかになった(草野・他, 2025)。また、活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、御嶽山・雌阿寒岳等の岩石試料を対象とした感度法 K-Ar 及び Ar/Ar 年代測定を実施し、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした。これらの、最新の知見に基づいて収集・整理された日本列島の火山の地質情報を基に、日本の火山データベースの更新・拡充を行い、「大規模噴火データベース」、「噴火推移データベース」、「火山灰データベース」の拡充が行われた(産業技術総合研究所[課題番号:AIST03])。

（２）低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明

低規模で大規模な火山噴火現象の発生履歴・推移及びマグマ供給系の進化過程を解明するためには、史料・考古データ、岩石・地質等の物質科学的データの分析を着実に進める必要がある。そこで桜島については、完新世のマグマ系の起源と進化の解明を目的に、全岩化学組成などの物質科学的な解析を行い、徐々に高い融解度の下部地殻起源のマグマが地殻浅部へ間欠的に上昇することによって、完新世のマグマ系の進化は大局的には説明できることを明らかにした。さらに、始良カルデラ噴火の珪長質マグマの残存物やそれらのソースである下部地殻物質は桜島の完新世のマグマ系には関与していないことも明らかにした（北海道大学[課題番号：HKD_01]）。また、鮮新世から更新世にかけての火砕流堆積物が分布する北海道中央部（富良野～旭川地域）では、地質調査とその岩石試料の解析によって火砕流堆積物が複数のグループに分類できることを明らかにし、各火砕流堆積物の岩石学的特徴から分布範囲や噴出源を推定することができた（図１，公募研究，北海道教育大学旭川校[課題番号：KOB009]）。超巨大カルデラ噴火である阿蘇４噴火を対象とした研究では、火砕流堆積物の地質学的・岩石学的・古地磁気学的な対比が行われ、これまで短時間で堆積したと考えられていたカルデラ東側に広く分布するユニット４Aには堆積が休止する時間があったことを明らかにした。この堆積の休止がみられた地点では溶結相の上端が侵食間隙を挟んで非溶結相に直接覆われているが、溶結相と非溶結相の古地磁気方位は良い一致を示しているため、休止時間は地磁気の永年変化に比べて短いと考えられる（公募研究，東京大学地震研究所[課題番号：KOB005]）。

（４）火山活動・噴火機構の解明とモデル化

火山活動や噴火を定量的に把握しモデル化を進めるためには、地球物理学・地球化学・物質科学を総合した多項目の観測・調査・分析を行うとともに、マグマの流動・破碎・脱ガス・結晶化等の素過程の実験研究や数理モデルによる理論解析を行い、噴火様式の分岐条件を推定することが重要である。

火口付近における多項目観測は、雌阿寒岳，十勝岳，樽前山，有珠山，北海道駒ヶ岳，吾妻山，伊豆大島，浅間山，弥陀ヶ原，焼岳，御嶽山，九重山，霧島，口永良部島等を対象に実施された（北海道大学[課題番号：HKD_03]，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04]，富山大学[課題番号：TYM_01]）。観測項目は、地震，GNSS，傾斜，重力，地磁気，空振，火山ガス，土壌ガス等の多岐にわたるが，ドローンを活用した観測が特筆すべきものの一つである。例として，十勝岳においては，62-2 火口周辺一帯においてドローン用の磁気観測装置を用いた空中磁気測量が行われ，2023 年の測量結果との差分から浅部磁化構造の時間変化が推定された（図２）。さらに，ドローン用のマルチガス観測装置を用いた噴気観測では火山ガスの組成比に関する情報が得られた。同様の観測は，雌阿寒岳においても実施されている。また，焼岳においては，山頂域や主要噴気孔一帯においてドローンによる可視光観測と熱赤外観測が行われ，可視光観測のオルソ画像から作成した地形情報の差分を取ることで地形変化を抽出したほか，熱赤外観測を用いた主要噴気孔一帯での熱異常の確認が行われた（北海道大学[課題番号：HKD_03]）。弥陀ヶ原においては，地獄谷内において水準測量が実施され，GNSS 観測との統合解析を行うことで，地獄谷極

浅部に帯水層に対応すると考えられる開口割れ目が存在することが明らかになった（富山大学[課題番号：TYM_01]，Hotta，2025）。このほか，可搬型レーダー干渉計（SCOPE）による地殻変動観測や空撮用持ち型赤外カメラシステム（STIC-P）による地温観測等も技術開発と並行して全国の火山において実施された（防災科学技術研究所[課題番号：NIED01]）。

取得された観測データを解析する手法の高度化も進められた。地震観測データの解析については，微弱な連続振動を抽出する SBL（Seismic Background Level）解析を草津白根山，伊豆大島，霧島山等に対して適用し，SBL の盛衰と他の観測項目が示す火山活動推移が調和的な事例が複数確認できた（図 3）。また，自然言語処理等で利用されている機械学習の一つである Transformer Encoders を用いた火山性地震のタイプ分類のための手法も開発し，浅間山で過去 20 年間にわたり整備された火山性地震のデータを用いた訓練と検証を行い，従来の畳み込みニューラルネットワーク（CNN）に基づいた手法と比較して大幅に性能が向上する結果が得られた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04]）。また，御嶽山においては，2014 年噴火前後の期間における特徴的なタイプの地震（各期間で 3 つ）をテンプレートとした Matched Filter 法の解析が行われ，地震タイプの時間変化が明らかにされた（北海道大学[課題番号：HKD_03]）。地殻変動観測データの解析については，多孔質弾性体の不均質を考慮した熱水系の力源モデルについての検討が行われ，九重山の 1992 年～1998 年の地盤変動に適用が行われた（図 4，北海道大学[課題番号：HKD_03]）。また，衛星観測データの解析についても，RealVOLC によるアジア太平洋域の火山の熱異常モニタリングを継続するとともに，ひまわり及びしきさいによる赤外面像と TROPOMI のデータを用いた熱異常・二酸化硫黄放出量の評価が西之島の 2021 年以降の活動を対象に行われた。さらに，火山ガスのモニタリングシステム構築のために，GEMS のデータを用いて浅間山・十勝岳・桜島等の二酸化硫黄放出量の解析を実施し，GEMS は日本域においては S/N 比が悪い事例が多く，二酸化硫黄放出量の準リアルタイム解析には TROPOMI の使用が好ましいこと等が分かった。二酸化硫黄の測定については，南西諸島の海域離島火山のフェリーによる測定についても装置の更改を行うとともに，この観測手法の社会実装に向けた技術移転の検討を開始した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04]）。

物質科学的な手法による火山活動・噴火機構の解明も進められた。鬼界カルデラにおける地球深部探査船「ちきゅう」を用いた表層科学掘削プログラムでは，9.5 万年前（葛原噴火）と 7,300 年前（アカホヤ噴火）の 2 回のカルデラ噴火の噴出物に加えて，その間に起きた噴火によると考えられる噴出物も含むコア試料がカルデラ北東側の海域で得られた。このコア試料の分析の結果，葛原噴火では流紋岩質の噴出物が卓越するが，一部に安山岩質の噴出物が含まれており，流紋岩質のマグマにマフィックなマグマが注入することでカルデラ噴火を誘発した可能性が示唆された。また，少なくとも 4.3 万年前には葛原噴火のマグマとは異なる新たなマグマの供給が開始し，その化学組成は時間とともに変化することがわかった。特に後のアカホヤ噴火と同じ化学組成を持つ流紋岩は 1.6 万年前を境に割合が変化することから，この時期から約 9,000 年間かけて本格的な流紋岩質マグマの蓄積が起こり，次のカルデラ噴火へ至ったことなど，長期的な火山活動の変遷の理解に資する結果が得られた（図 5，海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01]，Hanyu

et al., 2024)。放射光分析に基づく火砕流発生過程についても研究が進められた。雌阿寒岳では、14,000 年前から始まった中マチネシリ火砕噴火期 1 のステージⅡに火砕流と降下火砕物を繰り返し噴出している。火砕流発生に至るまでの軽石の気泡組織、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{\text{tot}}$ 比の変化を明らかにするために、地質調査によって得た降下火砕物及び火砕流堆積物の放射光分析が行われ、雌阿寒岳中マチネシリ火砕噴火期の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{\text{tot}}$ 比は概して低い値を示すことなどが明らかになった（兵庫県立大学[課題番号：K0B007]）。

噴火様式の分岐条件を検討するためのマグマの流動や脱ガス等の素過程の実験研究や理論解析も進められた。一旦開始した爆発的噴火が収束するまでの過程において、マグマだまりの状態やマグマ上昇過程がどのように変化するかを岩石学的解析で明らかにする研究が、有珠山1977年噴火を対象にして行われた。メルト包有物の含水量と斜長石マイクロライトの数密度・サイズを分析した結果、繰り返し発生した爆発的噴火ごとに系統的な変化があることが見いだされた。減圧結晶化実験の結果も踏まえると、有珠山1977年噴火の一連の活動では、最初のサブプリニー式噴火はマグマだまりから直接上昇したのに対して、2回目以降のサブプリニー式噴火では火道内に滞留していたマグマが噴出したことが示唆され、火道の形成と閉塞やマグマの上昇、浅部・深部マグマだまりの連結度等の知見が得られた（東北大学理学研究科[課題番号：THK_02]）。上昇するマグマの中で起こる脱ガス過程についても、伊豆半島皮子平火山の降下火砕物、火砕流堆積物に含まれる黒曜石を用いた分析が行われた。組織観察、 $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ 濃度分析、水の化学種の分析の結果、1つの黒曜石の中で含水量の分布は概ね均質である一方で CO_2 の濃度は不均質であり、非平衡な脱ガスが記録されていることが明らかになった（図6）。また、 CO_2 濃度の高いところではマイクロライト結晶度が高く、マグマの破断面を通じたガスの流動とヒーリングが脱ガスを支配していることが示唆された（北海道大学[課題番号：HKD_02]）。そのほか、霧島山新燃岳2018年噴出物中の白色包有物の岩石学的解析により、同噴火時のマグマだまりの含水量と噴火前駆過程を制約した。雲仙火山において、過去50万年間の噴出物中の鉱物の岩石学的・地球化学的解析及びその結果を使った年代測定を実施し、マグマ供給系の化学組成とその時間変化を推定した。伊豆大島1986年噴火のB火口からの噴出物について噴出物表面の微細組織の形成メカニズムを解明し、B火口噴火における噴煙挙動との対応について議論した（松本・川崎，2025）。有珠火山1977-78年噴出物の岩石学的解析と熱力学モデル計算により、1977年の準プリニー式噴火は130 MPa（深さ約5 km）のマグマだまりから直接上昇した高温マグマがもたらしたのに対し、1978年マグマ水蒸気噴火は低圧（<100 MPa）の浅所貫入岩体で冷却されたマグマがもたらしたことを示した。熱力学モデル計算と高温高压岩石融解実験の結果を比較し、モデルの妥当性を検証した。また、火山ガス中の水素の精密測定機器を開発し、霧島硫黄山・焼岳・草津などで火山ガス観測を実施した。これにより、従来法では検知できなかった低濃度の水素が検出可能となり、火山ガス中の気相化学平衡の議論の適用範囲を広げることに成功した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST05]）。

（5）地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ．火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

火山地域において、火山活動を支配する場を明らかにすることは、火山活動・噴火を

定量的に把握しモデル化を進めるうえで不可欠である。そのため、地震学的観測や電磁気学的観測等の多様なデータの解析と物質科学的研究、水文学的研究等を総合し、熱水系及び火山性流体・マグマの供給系の概念モデルの精緻化や定量化を目指した研究が進められた。

伊豆大島においては、既存の広帯域 MT データを用いた比抵抗構造の推定が行われ、海水準以高は不飽和層とみられる高比抵抗層があり、その下には飽和層と考えられる低比抵抗域が広がることが推定された。また、伊豆大島直下の深度数 km~15km 以深の広い範囲に渡って $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が検出された。火山性地震の震源はこの低比抵抗領域の外側に対応し、この低比抵抗領域が火山性流体により脆性破壊を起こせない領域である可能性が示された（図 7，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）。御嶽山においては、地下浅部の構造解明の一環として山頂部を中心に重力観測が実施され、既存データと統合してブーゲー異常の解析が行われた。その結果、山頂域には低ブーゲー異常域が存在しない可能性が明らかになり、従来指摘されていた新期御嶽山火山活動（0.09Ma~）初期のカルデラ噴火の有無を検討するための情報が得られた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）。阿蘇山においても相対重力と絶対重力の繰り返し測定が行われ、山麓（京都大学火山研究センター）と山上の 2 地点で行われた絶対重力測定では、それぞれ前回測定時に比べて $6\ \mu\text{Gal}$, $22\ \mu\text{Gal}$ の重力増加が観測された。これらの重力増加は、火口湖・湯だまりの水位変化や火口直下の熱水貯留域における熱水流動では説明が困難であり、火口域の直下における質量増加を反映していると考えられる。また、阿蘇山においてはカルデラ内外及び山体中央部における GNSS 観測も継続して実施され、2021 年 10 月に発生した噴火の前駆的な地殻変動について解析が行われた。この結果、噴火の前後約 3 ヶ月間に中岳を中心とする膨張性の地殻変動が広域で検出されるとともに、中岳近傍の観測点においては南向きの変位が卓越する特徴が見いだされた。これらは、やや深部の圧力源から火口付近の浅部圧力源への流体供給を示唆する（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。吾妻山においては、大穴火口周辺における地震観測が実施され、火山性流体の流動に伴う振動現象の解析や表面波解析による構造推定に必要なデータの蓄積が進められた。その結果、調和型微動が火口直下浅部における流体流動に伴う非線形振動によるものであり、流動による駆動圧の変動が周期倍分岐等の調和型振動の複雑な振動を引き起こしている可能性が示された。また、地震波干渉法解析により、大穴火口付近の極浅部に低速度領域が存在し、その領域の地震波速度が降雨量に相関して変動することが明らかになった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。

海域の火山についても、マグマ供給系の解明が進められた。鬼界カルデラでは、海底電位差磁力計で得られた電磁気観測データの 3 次元解析に新たなインバージョン手法を導入した結果、カルデラ直下に低比抵抗領域が存在し、その低比抵抗領域が 20 km 以深では海溝の反対側に広がる特徴が明らかになった。また、海底地震計データによる地震波トモグラフィ解析では、カルデラ直下の 25 km 以浅と沈み込むスラブ直上付近に低速度領域の存在が推定された。鬼界カルデラでは、カルデラ周辺における地震活動の把握等を目指し、通信用の海底光ケーブルを利用した光ファイバ分布型計測手法（DAS）の適用とその広帯域化・長距離化を目指した開発も進められ、2024 年 8 月 8 日に発生した日向灘地震に伴う複数の長周期津波の検出に成功するなど、広帯域化の実効性が確認できた。

(神戸大学[課題番号：KOB001])。

火山活動の活発化に伴って発生する群発的な地震活動と構造や応力場との関係を調べるために、火山近傍で発生する地震活動についてのデータベースの作成と解析も進められた。今年度は、始良カルデラを含む桜島で発生した過去の群発的な地震活動のデータベースが作成され、地震活動域の範囲やメカニズムの推定が行われた。その結果、始良カルデラにおける膨張性の地盤変動のあとにカルデラ北東部と桜島南西部の領域で地震活動が増加し、その後に桜島の噴火活動が活発化する傾向が示された。桜島南西部で発生する地震の震源メカニズムは正断層型が多く、始良カルデラのマグマだまりから桜島へのマグマ貫入によって桜島南西部が引張場となることで地震が発生していることが示唆される(京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01])。

地下熱水系の動的変動と火山活動との関係を検討するために、火口湖を対象とした水文学的手法による研究も進められた。鳴子火山の潟沼においては、水・熱・化学物質収支を評価するための水温、電気伝導度や気象の観測が行われ、地下熱源に対する応答が推定された。潟沼では、水温は冬季に向けて低下する一方で 25℃電導度は増加する傾向が見られることなどから地下熱水が継続して潟沼に流入していることが明らかになった(公募研究, 北海道大学[課題番号：KOB006])。また、カルデラ大深湖である田沢湖と十和田湖においても同様の研究が進められ、田沢湖においては水温・水質プロファイラーによる水温・電導度・DO・濁度・クロロフィル濃度の鉛直測定、十和田湖においては水温の鉛直測定が行われた(公募研究, 秋田大学[課題番号：KOB008], Chikita et al., 2024)。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行(重点研究)

火山活動の状況を総合的・定量的に評価するためには、地球物理学的観測データや過去の火山噴出物の物質科学的分析データを基にした評価指標を導入し、それらの指標の時系列から噴火発生予測を含む火山活動の推移予測手法を検討する必要がある。そのためには、まず活動的な火山における各種観測データの精査を進め、時間的あるいは火山間で比較しうる定量的で客観的な情報を得ることが求められる。

多項目観測が継続的に行われてきた阿蘇山では、過去の一連の噴火活動期間について既存データの精査が行われた。特に磁場データについて再解析を行い、データの質の向上が図られた。磁場の観測データには、各観測点下の電気伝導度の違いに起因するローカルな変動が含まれる。そこで、磁場3成分データを用いる補正法を応用するとともにベイズ的手法でデータを分解する解析手法を開発し、京都大学が中岳火口周辺で実施している3成分磁力計による連続観測データに適用した。その結果、2014年のマグマ噴火活動、2021年の水蒸気噴火の前後で噴火活動に関連すると考えられる磁場の時間変化を検出することができた(図8, 京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02])。噴気や温泉水を主な対象とした長期的な地球化学的データについても、データの蓄積と精査が進められた。1980年代から継続的な地球化学的観測が行われている十勝岳においては、1988～1989年噴火の前に急激に上昇した温泉水の化学成分や温度がその後火山活動に相関して変化しており、火山活動の状況把握に有用であることが示された。さらに、十勝岳大正火口では2018年頃から噴気温度の低下や凝縮水の酸素・水素同位体比やSO₂/H₂S比の低下、

H₂O 濃度の増加が続いており、マグマ由来ガスの影響が低下傾向であることが示唆された（北海道立総合研究機構[課題番号：HRO_01]）。同様に長期的な地球化学的観測とそれに基づく活動状況の評価は、御嶽山、箱根山、アトサヌプリ等でも行われ、ヘリウム同位体比や炭素同位体比、ガス組成が火山活動状況の有用な指標となることが確認された（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI02]）。また、多項目データの整理・解析に基づく監視・評価技術の高度化及び火山活動評価技術の高度化は、気象庁においても進められた。今年度は、地球物理学的データ、地球化学的データの観測データと解析結果のデータベース化が行われるとともに、地殻変動計算手法やガス分析手法等の高度化が行われた。また、30 分大気解析 GPV を使用した準定常ガス拡散モデルによる二酸化硫黄放出率値と機動観測で得られる実測データを用いた精度の評価が行われ、風速による階級区分が信頼度指標として有用であることなどを示した。そのほか、先験的情報を統合した逆推定手法による熱源位置推定や全磁力観測データのリアルタイム DI 補正など、火山活動状況の評価に資する開発が行われた（気象庁[課題番号：JMA_01, JMA_02]）。

火山噴火時の表面現象や噴出物の分布等の地質学的データや物質科学的データも、噴火の規模や様式を決定するために必要な情報であり、活動推移や災害の性質にも密接に関係する。そのため、噴出物の迅速なマッピング、噴出量・噴出率の高精度推定を目指した噴火堆積物解析手法の高度化を目指した研究や噴出物の化学組成、微細組織、色等の物質科学的な時系列データの解析・分析手法の高度化が進められた。例えば、噴火規模の基礎データとなる噴出量については、客観的な方法での推定と信頼度等の指標で誤差を定量的に評価することが望ましい。そこで、今年度は既存手法のレビューを行いその問題点を整理するとともに、近年提案されている統計学に基づき推定量の信頼度評価を行う手法について日本国内の広域テフラ（阿蘇 4 や鬼界アカホヤ）への適用性を検討した（図 9）。鬼界アカホヤを対象にした検討では、人間が作成した等層厚線図を分布関数のフィッティングとモンテカルロ法を用いて得た噴出量の確率的分布、層厚データのみを用いてベイズ推定や機械学習により推定した噴出量の両者の比較を行うことで手法適用性の確認を進め、二次的な層厚変化に関する捉え方の違いや層厚データの地理的偏りを考慮することが重要であるなどの示唆が得られた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]）。また、桜島、霧島、阿蘇、硫黄島、富士山、浅間山等の個別の火山について、火山活動の推移や事象の分岐判断に資する地質学的・物質科学的情報の蓄積と着目すべき噴火物理化学パラメータの検討が進められた。桜島においては、火山灰等の噴出物試料の分光学的特性による活動推移の評価のために、火山灰色のシステムティックスの構築を目指し、比較的迅速に得られるバルク試料の測色値の主成分分析によってデータの持つ特性が明らかになった。また、非噴火収縮（Non-Eruptive Deflation）イベントに関して、連続降灰試料採取によって得られた火山灰の解析に基づき解釈が行われた（公募研究、鹿児島大学[課題番号：KOB010]）。霧島火山群においては、完新世の噴火履歴を整理するとともに、一回の噴火の規模や噴火様式の変化の共通性等を考慮して噴火推移パターンを 7 タイプに分類した。そして、この噴火推移パターンと近年や歴史時代の観測・観察事例（新燃岳、えびの高原硫黄山、御鉢）、噴火時に注目すべき観察量及び観測量、マグマ供給系モデルに基づき、火山群全体に対する火山活動推移モデルの試案が作成された。また、18 世紀新燃岳享保噴火については、堆積物中の本質物タイプ比やみ

かけ密度が主要ユニット内で系統的に変化していることを見いだしたほか、2011 年噴火と同様のマグマだまり条件であったことや、噴火直前に 2 段階のマグマ混合があったことなどを岩石鉱物学的分析や磁鉄鉱斑晶のゾーニングから明らかにした（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]）。

4. 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

（2）地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

火山噴火の被害を軽減するためには、社会の共通理解を醸成する必要がある。そのために、降灰調査データや降灰のモニタリングデータ、シミュレーションを活用した情報プロダクツの作成方法について研究を進めるとともに、JVDN（Japan Volcanological Data Network）システムに噴火やハザード等の火山災害に関するデータを登録する機能を新たに追加した。また、噴火発生前後における防災関係機関による災害対応を時系列的に整理して「災害対応タイムライン」を作成し、那須岳と御嶽山においてタイムラインの実効性検証を目的とした訓練や演習を地元自治体及び火山防災協議会と協力して実施した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED01]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、「火山」計画推進部会は、火山の噴火発生・活動推移に関する定量的な評価と予測の試行を目標として、全国の機関が協力して火山活動・噴火機構及び火山活動を支配する場の解明とモデル化等、現象理解と予測に資する研究を実施してきた。「火山」計画推進部会では、前計画までに多項目観測による「火山噴火シナリオ」の作成、多項目観測と火山比較による「火山噴火事象系統樹」の作成、多項目パラメータの比較による「火山活動推移モデル」の構築が進められてきたが、現計画では時間軸の情報をより取り込んだ「火山活動推移モデルの改良と予測試行」を上位目標に掲げて、20 の研究計画課題と公募研究 6 課題が多面的な研究を進めている。現計画から「大規模噴火総合研究グループ」「高リスク小規模火山噴火総合研究グループ」が本部会とは独立した位置付けとなったが、少数の火山を対象に防災リテラシーや災害誘因の研究まで総合的に研究を進める総合研究グループと本部会は密接な連携をもち、相互のフィードバックを行いつつ計画を推進することが望ましい。このような観点から、令和 6 年度には、2 月 18 日・19 日に本部会と「高リスク小規模火山噴火総合研究グループ」が合同でハイブリッド形式での研究集会を開催し、成果の共有と議論を行った。また、12 月 16 日・17 日に開催された「大規模噴火総合研究グループ」の研究集会には、本部会担当者も多く参加し、最新の知見の共有を行った。

上述のように現計画では活動推移の定量的な評価と予測の試行を目標としているが、統一的な物理化学モデルが確立していない火山現象について予測を実現するためには未解決の課題が多く存在する。一方で、これまでの計画及び現計画における観測研究では地球物理学的、地球化学的、物質科学的な多項目観測が着実に進められており、火山活動やその分岐・遷移を表すパラメータ間の相互関係が明らかになりつつある。また、各課題の研究の深化に伴い、それぞれの観測データや諸パラメータの精度や分解能が向上し、時空間的なダイナミックレンジも広がった。今後も、これまでの研究を更に進展させる

とともに、多変量相関解析等による定量的なパラメータ間の相互関係の解明や火山噴火の推移の把握や予測を行う上で鍵となる物理化学パラメータの推定手法の改良を進め、火山現象と活動推移の迅速な理解に役立てられる基礎研究を進めることが重要であると考えられる。また、これまで主に類型化として進められてきた火山間の比較研究を一層推進するためには、客観的な解析手法・指標を用いた系統的で定量的な情報の蓄積も進めることが必要である。これらを踏まえて、鍵となるパラメータを状態変数とした火山活動推移の確率論的モデルを構築し、データ同化等の手法も用いた予測を試行していくことが現計画の目標にむけたアプローチとして適切であると考えられる。

令和6年度は、活動火山対策特別措置法の法改正により、火山の観測や調査の計画の策定や研究を一元的に進める火山調査研究推進本部が新たに発足するとともに、「火山防災の日」が制定された。本部会担当者の多くは、「火山防災の日」にあたってイベントやマスコミを通じて火山現象や活動火山対策について国民への周知・啓蒙に関わってきたが、このような活動は、これまでの計画における火山災害軽減のための観測研究が下支えとなっているものである。今後も、本部会と総合研究グループの協働により、火山災害軽減に向けた活動とそのための基礎研究を進めていくことが望まれる。また、火山調査研究の推進についての総合的かつ基本的な施策の中間取りまとめが令和7年3月28日に火山調査研究推進本部から公表され、火山活動評価や火山活動の状態把握及び予測に関する当面10年間に推進すべき調査及び研究の方向性が示された。本部会ではボトムアップの基礎研究を着実に進め、火山調査研究推進本部で実施する事業への技術移転を目指すとともに、新たな観測・解析手法等の芽を創出していくことが肝要であろう。

成果リスト

- 安部祐希・板寺一洋・高木朗充・長岡優・難波あゆみ・二宮良太・外山浩太郎・栗原亮, 2024, 箱根火山大涌谷における二酸化硫黄放出率 -2024年6月までの推移-. 神奈川県温泉地学研究所報告, 56, 35-40.
- Akamatsu, Y., T. Suzuki, N. Tada, K. Sawayama, H. Ichihara, I. Katayama, G. Sakamoto, Y. Yamamoto, F. Maeno, and K. Yoshi, 2025, Variations in pore structure in subaerial lava flows at Nishinoshima, Japan, inferred from physical properties, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 458, 108262, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2024.108262.
- Chikita, K.A., H. Oyagi, and K. Amita, 2024, A thermal regime and a water circulation in a very deep lake: Lake Tazawa, Japan, *Hydrology*, 11, 40, doi: 10.3390/hydrology11030040.
- Fujiwara, T., K. Imai, M. Obayashi, K. Yoshida, N. Tada, K. Obana, G. Fujie, S. Ono, and S. Kodaira, 2024, The Sofu Seamount submarine volcano present in the source area of the October 2023 earthquakes and tsunamis in Japan, *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL109766, doi: 10.1029/2024GL109766.
- Hanyu, T., N. Seama, K. Kaneko, Q. Chang, R. Nakaoka, K. Kiyosugi, Y. Yamamoto, T. Matsuno, K. Suzuki-Kamata, and Y. Tatsumi, 2024, Submarine cores record magma evolution toward a catastrophic eruption at Kikai Caldera, *Communications Earth &*

- Environment, 5, 428, doi: 10.1038/s43247-024-01591-5.
- Hirai, Y., Y. Tamura, T. Hanyu, Q. Chang, C. Timm, and K. Hoernle, 2024, Why are oceanic arc basalts Ca-rich and Ni-poor? Insights from olivine-hosted melt inclusions from Kibblewhite Volcano in the Kermadec arc, Chemical Geology, 662, 122218-122218, doi: 10.1016/j.chemgeo.2024.122218.
- Hotta, K., 2025, Ground deformation in and around Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan, during the period of 2021-2022 revealed from combined data of leveling surveys and GNSS observations, Earth Planets Space 77, 47. doi: 10.1186/s40623-025-02152-6.
- Ishii, K. and Y. Iriyama, 2024, Do seasonality and latitude dictate the formation of strong or weak volcanic eruption plumes?, Geophysical Research Letters, 51, e2023GL106674, doi: 10.1029/2023GL106674.
- Kawai, T., Y. Yukutake, R. Doke, and R. Honda, 2024, Contribution of aseismic slips to earthquake swarms at the Hakone volcano, Earth, Planets and Space, 76, 152, doi:10.1186/s40623-024-02098-1.
- Kim, H., H. Lee, J.-H. Song, W. Lee, J. Hong, T. Kagoshima, N. Takahata, Y. Sano, and T.P. Fischer, 2024, Latent magmatism beneath the Korean Peninsula caused by asthenosphere upwelling, Communications Earth & Environment, 5, 427, doi: 10.1038/s43247-024-01592-4.
- 草野有紀・山元孝広・石塚吉浩・及川輝樹・中村洋一, 2025, 日光火山群三岳の完新世火山活動, 火山, 70, 13-28, doi: 10.18940/kazan.70.1_13.
- Lin, Y.-S., W.-J. Huang, L.-H. Lin, T. Lan, H.-J. Shao, C.-C. Su, K.-H. Fu, H.-F. Lee, C.-C. Huang, B.-S. Wang, N. Takahata, Y. Sano, S.-C. Chen, Y. Wang, and I.-H. Lee, 2024, Sources and Flux of Dissolved Inorganic Carbon in the Hydrothermally Active Corner of a Backarc Basin (Southwestern Okinawa Trough), Journal of Geophysical Research: Oceans, 129, e2023JC020429, doi: 10.1029/2023JC020429.
- Maeda, Y., 2024, A numerical model for precursory time sequences of the phreatic eruptions of Mt. Ontake, central Japan. Earth Planets Space, 76, 63, doi: 10.1186/s40623-024-02013-8.
- 松本恵子・川崎誠二, 2025, 虹色スコリアの構造色を生む微細組織：伊豆大島 1986 年噴火における成因, 岩石鉱物科学, 54, 240806, doi: 10.2465/gkk.240806.
- 南裕介・山崎誠子・伊藤順一・大場司, 2025, 秋田焼山火山地質図, no. 23, 産総研地質調査総合センター, 8p.
- Numanami, N, T. Ohba, and M. Yaguchi, 2024, Principal component analysis for the elemental composition of sedimentary sands in the Hayakawa River of Hakone Caldera, Japan. Geochemical Journal, 58, 155-168, doi: 10.2343/geochemj.GJ24013.
- 沼波望・大場武・谷口無我, 2025, 箱根火山の河川水と温泉水の統計的手法による火山活動評価. 東海大学理学部紀要, 60, 15-32, doi: 10.18995/24352640.60.15.
- 及川輝樹・山崎誠子・竹下欣宏, 2025, 御嶽火山地質図, no. 24, 産総研地質調査総合センター, 8p.

- 高木朗充, 2024, 衛星から見積もられた日本の火山周辺の二酸化硫黄分布, 月刊地球, 46, 483-490.
- 高橋良, 2024, 活火山内部の熱水変質帯の物質科学的検討, 月刊地球, 46, 499-505.
- 宝田晋治・中川光弘・宮坂瑞穂・後藤芳彦・金田泰明, 2025, 洞爺カルデラ洞爺火砕流堆積物分布図, 大規模火砕流分布図, no.5, 産総研地質調査総合センター.
- Tanaka, S., M. Nakano, T. Nakajima, J. Yoshimitsu, M. Obayashi, and D. Metz, 2025, Monitoring submarine volcanic activities in the Izu-Bonin-Mariana arc using the International Monitoring System hydrophone array signals, *Seismological Research Letters*, 96, 7212-730, doi: 10.1785/0220240341.
- Toki, T., K. Yasumura, N. Takahata, Y. Miyajima, H. Miyaki, K. Oohashi and M. Otsubo, 2024, Origin of helium in basement rocks and carbonate veins in Yonaguni Island, *Geochemical Journal*, 58, 293-303, doi: 10.2343/geochemj.GJ24024.
- Shimano, T., Y. Suzuki, A. Yasuda, F. Maeno, T. Miwa, M. Nagai, S. Nakada, and M. Nakamura, The color systematics of volcanic ashfall samples in estimating eruption sequences: a case study of the 2017-2018 eruption at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Southwest Japan. *Earth, Planets and Space*, 76, 103, doi: 10.1186/s40623-024-02040-5.
- Yaguchi, M. and T. Ohba, 2024, Development of a new device for CO₂ microdiffusion analysis of fluid samples from volcanic areas without using a fixative, *Earth, Planets and Space*, 76, 144, doi: 10.1186/s40623-024-02062-z.
- Yanagisawa T, S. Takano, D. Noto, M. Kameyama, and Y. Tasaka, 2024, Quasi-steady transitions in confined convection, *Journal of Fluid Mechanics*, 1000, A44, doi: 10.1017/jfm.2024.1043.

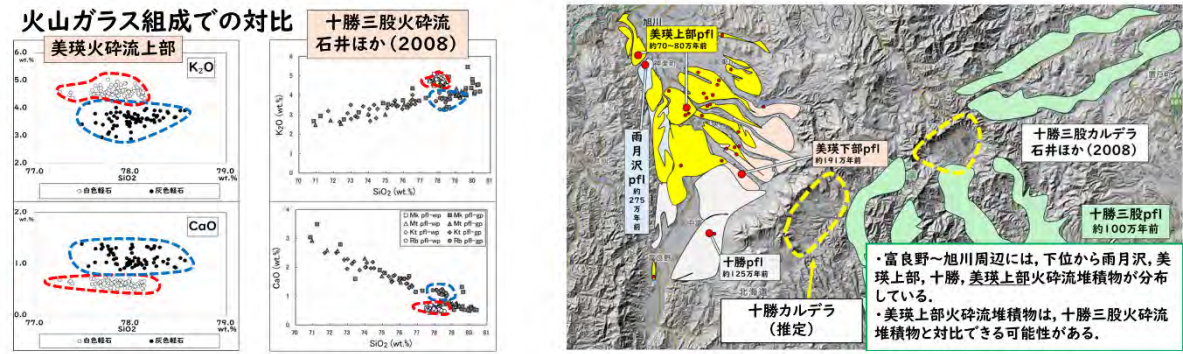


図 1. 富良野-旭川地域に分布する大規模火砕流堆積物の岩石学的な対比と分布範囲の推定（公募研究，北海道教育大学旭川校〔課題番号：KOB009〕）

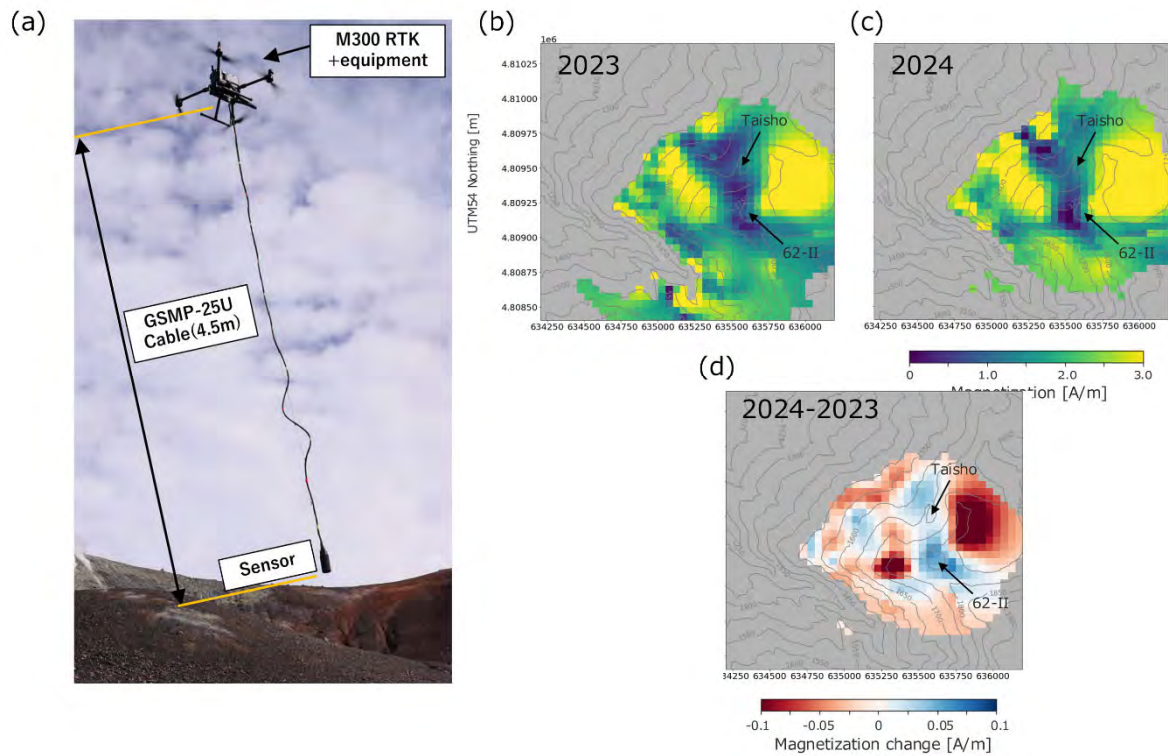


図 2. 十勝岳における空中磁気測量と磁化構造解析（北海道大学〔課題番号：HKD_03〕）
 (a) ドローンをを用いた空中磁気測量。(b) 2023 年の空中磁気測量結果から推定した 3 次元磁化構造の標高 1,500 m における断面。(c) 2024 年の同標高における磁化構造断面。
 (d) 2023 年と 2024 年の磁化変化。

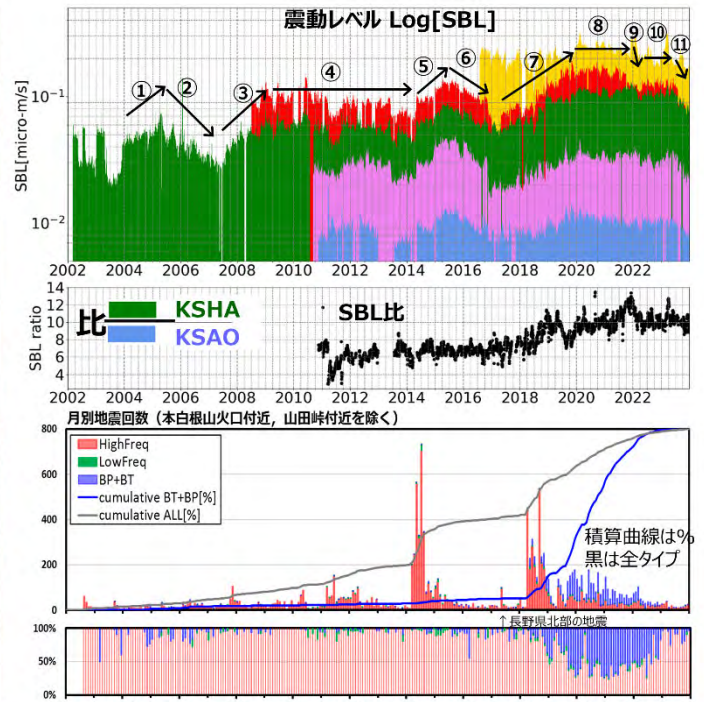


図 3. SBL (Seismic Background Level) を用いた火山活動評価：草津白根山の例（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04]）

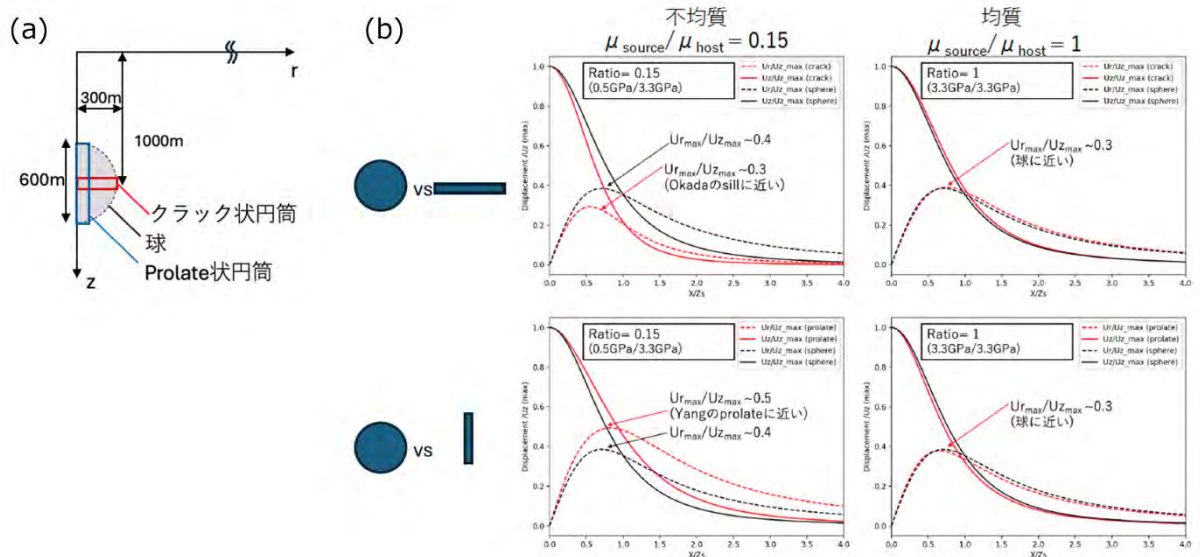


図 4. 多孔質弾性体の不均質を考慮した熱水系の力源モデルについての検討例（北海道大学[課題番号：HKD_03]）

(a) 仮定した圧力源の形状。(b) 圧力源の内部・外部の物性を変化させた場合の変位場の比較。

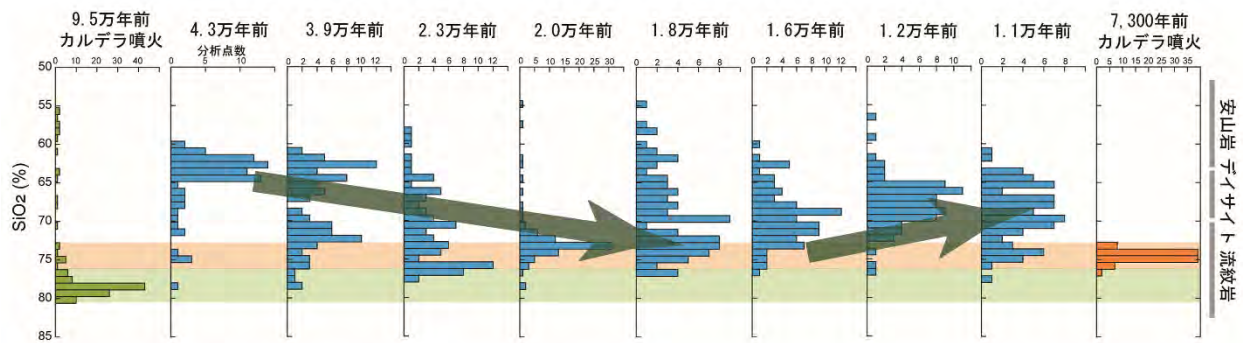


図5．鬼界カルデラにおけるマグマの化学組成の時間変化（海洋研究開発機構〔課題番号：JAMS01〕）

地球深部探査船「ちきゅう」を用いた表層科学掘削プログラム（SCORE）により採取されたコアに含まれる火山ガラスの SiO_2 の時間変化。

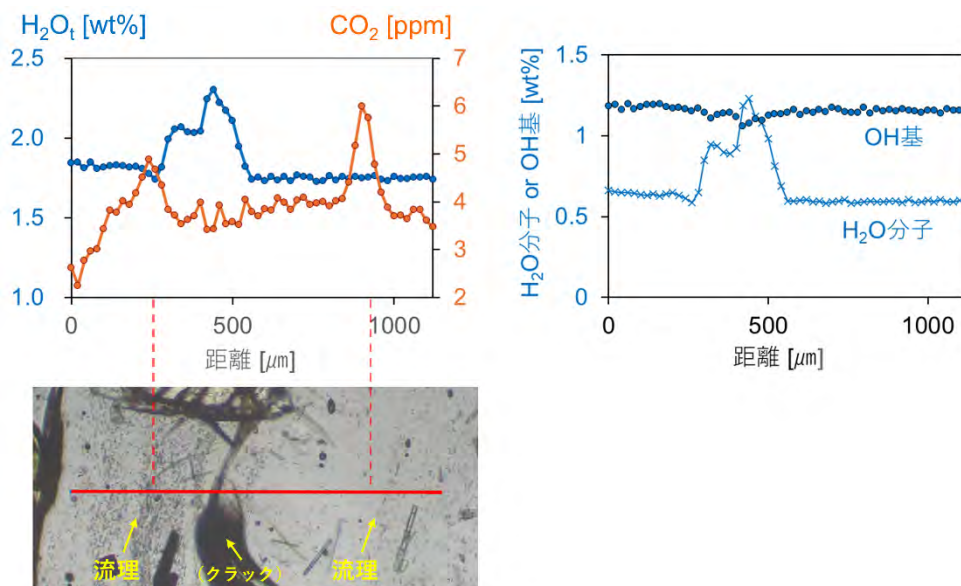


図6．伊豆半島皮子平火山における火砕流堆積物中の黒曜石の組織及び H_2O ・ CO_2 濃度，水の化学種の分布（北海道大学〔課題番号：HKD_02〕）

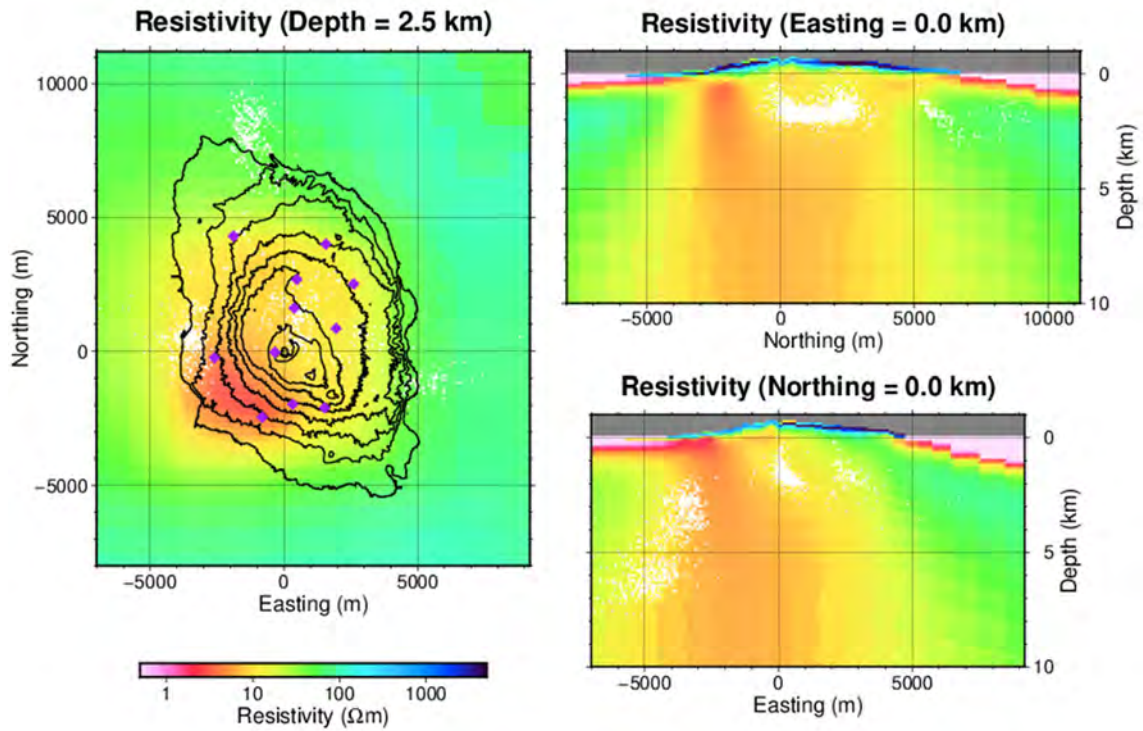


図 7. 伊豆大島の比抵抗構造（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_07]）
 （左）深度 2.5 km の比抵抗平面図。（右上）三原山を通る比抵抗南北鉛直断面図。
 （右下）三原山を通る比抵抗東西鉛直断面図。
 図中の紫印と白点は、それぞれ陸上 MT 観測点と気象庁による震源。

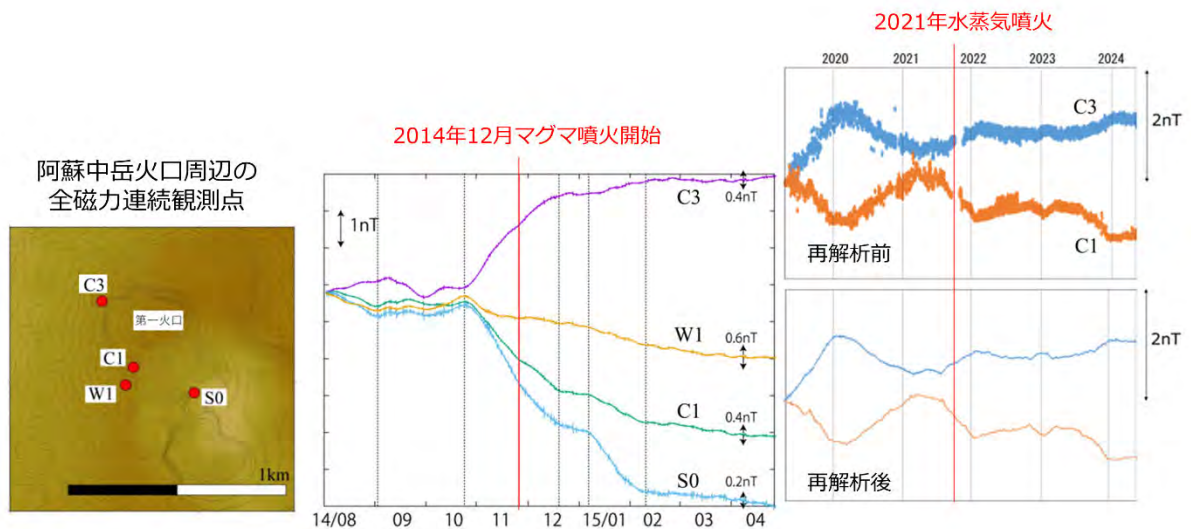


図 8. 阿蘇中岳火口周辺の全磁力連続観測データの再解析による S/N 比の改善と噴火に先立つ磁場変化の例（京都大学理学研究科[課題番号：KUS_02]）

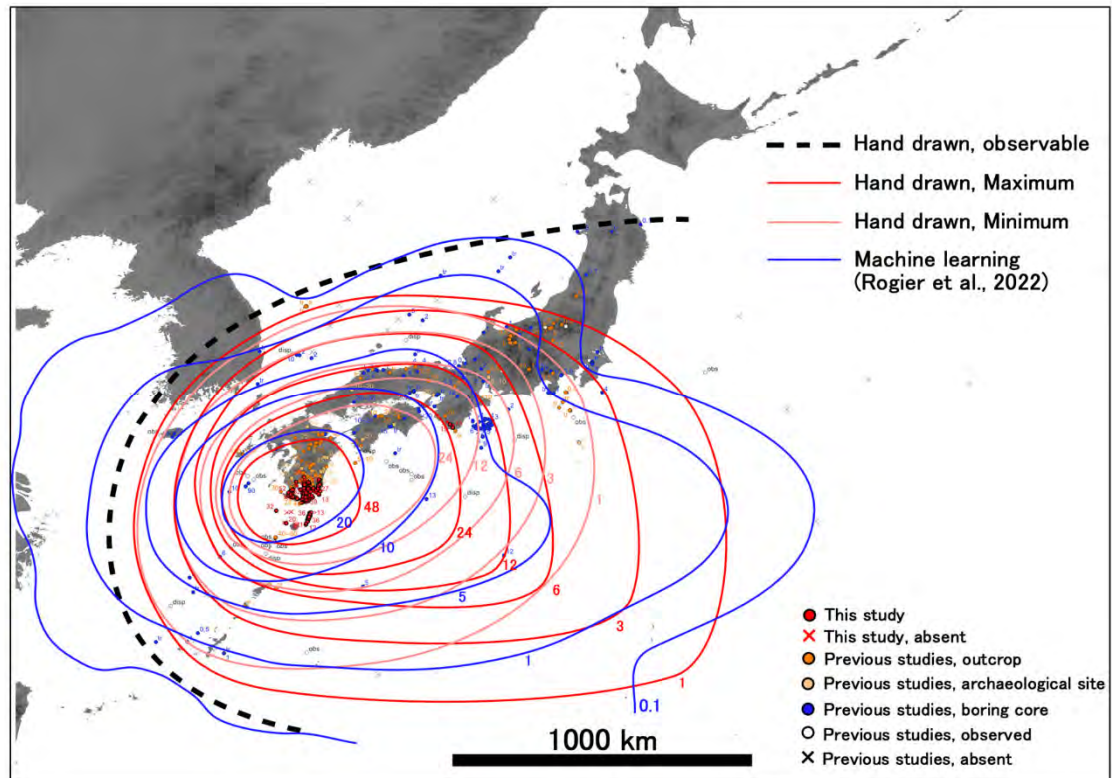


図 9．機械学習を用いた層厚分布と噴出量推定：鬼界カルデラ 7,300 年前噴火におけるアカホヤ火山灰の噴出量の例（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_13]）

災害誘因評価・即時予測部会

「災害誘因評価・即時予測部会」計画推進部会長 太田雄策

(東北大学大学院理学研究科)

副部会長 為栗 健

(京都大学防災研究所)

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊等の災害誘因は自然や社会に潜在的に存在する脆弱性等の災害素因に働きかけ、これらの相互作用に応じて様々な規模の災害が発生する。すなわち災害誘因評価の高度化は、災害軽減を果たすために欠かせない。こうした観点から、「災害誘因評価・即時予測部会」では強震動、津波、地震動に起因する斜面変動・地盤変状、さらに大地震に対する災害リスクの高い精度での事前評価手法を開発する「地震の災害誘因の事前評価手法の高度化」、地震動や津波、火山噴火の即時予測手法を開発する「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」ならびに「火山噴火による災害誘因評価手法の高度化」、さらにこれら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究」を進める。以下では本年度の成果を網羅的に示す。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震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

○震源モデルの高度化

時空間的に複雑な断層破壊過程と地震被害に直結する震源域の強震動特性の関係解明やその事前評価手法の高度化や震源断層破壊の物理解明のため、強震記録を用いた大地震の断層破壊過程の解析を、前計画から引き続き継続した。令和6年度は主として、前計画の最終年度内の2023年5月5日に能登半島で発生した地震($M_{JMA}6.5$)及び2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震の本震($M_{JMA}7.6$)の断層破壊過程の解析とそれらの結果の検討を重点的に行った。2023年5月5日の地震については、三次元速度構造モデル(JIVSM)によるGreen関数を用いた震源インバージョン解析結果(使用した強震波形の帯域0.05~1 Hz)では、深さ8~11 kmの範囲に最大すべり量0.8 mのすべりの大きな領域が見られている(Asano and Iwata, 2025)。この最終すべり量分布とMatsubara et al. (2022)の走時トモグラフィによる不均質地殻速度構造を比較したところ、すべりの大きい領域と低 V_P/V_S 比の領域が空間的に対応し、すべりの大きな領域の周囲は比較的高い V_P/V_S 比の領域で取り囲まれていることが分かった(図1)(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05])。

2024年能登半島地震本震については、地震後に各機関から公表されている余震分布や海域活断層分布などの情報をもとに、傾斜角が深さで異なる断層も含む複数の断層面で構成される震源断層モデルを仮定し、強震波形(0.03~0.4 Hz)による震源インバージョン解析を実施した結果、能登半島北西岸付近と禄剛崎北東沖海底下の2カ所にそれぞれ最大8m程度のすべりの大きな領域が存在することが分かった。富山トラフ西縁付近の西

傾斜の断層では、浅部にすべりの集中が見られるものの、すべり量は他の断層面に比べると相対的に小さかった。それぞれのすべりの強震波形への寄与を確認したところ、能登半島北西部～南部にかけて観測された強震波形には、能登半島北西岸沿いの震源断層を南西に向かって進展した破壊の寄与が支配的であった。一方、能登半島北東部の珠洲市や佐渡島の強震波形には、珠洲市付近から北東沖に向かって遅れて開始した破壊の寄与が大きいことが確認された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。

動力学的破壊特性と強震動生成メカニズムの関係に関する知見を得るため、海外での先行研究を参考にしつつ、強震波形記録を用いた動力学的震源インバージョン手法の解析コードの開発を進めた。すべりの時空間分布を未知数として解く運動学的震源インバージョン解析と異なり、動力学的震源インバージョンでは、震源断層面上の初期せん断応力、ピーク摩擦係数、臨界すべり量の空間分布を MCMC 法によって解く。平成 28 年熊本地震の最大前震 ($M_{JMA}6.5$) を模擬したテスト用動力学震源モデルから生成した波形データを入力して、手法のテスト及び改良を実施した。その結果、断層が破壊し地震波を放射した領域については、与えた動力学的震源パラメータを一定の精度で復元できることを確認した。一方、既往の研究でも指摘されていることではあるが、限られた周波数帯域の波形から臨界すべり量を精度よく拘束することには困難性があることを確認した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。

○地下構造モデルの高度化

大阪盆地の 3 次元地盤構造モデルの精緻化を目的として、物理探査・地震動観測データに基づき、モデルを構成する速度変換式の空間不均質に関する検討を行った。本課題では、文科省委託・上町断層帯重点観測（文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所，2013）で作成された大阪盆地の 3 次元地盤構造モデル（Sekiguchi et al., 2016）の改良を進めている。このモデルの作成においては、複数の鍵層を設定し、反射法地震探査とボーリング、地表地質から得られた鍵層の深度データから 3 次元の地質構造モデルを作り、それを経験式を使って物性値に変換することで 3 次元速度構造モデルを構築している。地質構造モデルのパラメータである堆積年代とその地点の深さから P 波速度に変換する変換式（ V_p 変換式）については、反射法探査の解析時に得られる区間 P 波速度を用いて経験式が作られている。しかし、一部の反射法探査測線の区間 P 波速度データについて、 V_p 変換式の観点で周辺のデータとずれているものの、既往 3 次元モデルではその空間変化が考慮されていなかった。そこで、そのようなデータのうち、大津川測線の湾岸部の区間 P 波速度データに注目し、同地域の微動観測データや周辺の反射法探査データと比較することにより、 V_p 変換式の空間不均質の度合いや速度構造への影響、地盤構造モデルへ反映させる方法について検討した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI04]）。

○表層地盤の強震動応答のモデル化

強震動による表層地盤の弾性波応答特性の変化を調べるための実験装置の整備を実施した（図 2）。強震動は模擬砂層地盤の下に設置された振動板により水平方向成分が与えられ、これとは別にモニタリング用の微弱な振動が埋設された振動スピーカーより断続的に放射される。これらに対応する振動は同じく埋設されている加速度計によって記録され、連続収録される。この装置を用いることにより、定量的に模擬砂層地盤の弾性波応

答特性，ならびにその強震動による影響を評価できるようになった（立命館大学[課題番号：RTM_02]）。

強い不均質を持つ媒質として，セメントモルタル中に人工的に空隙を埋設した単純な円柱形の模擬媒質を作成し，この媒質に弾性波を透過させ，その応答を計測した。空隙は中空の PP 球によって実現させ，ある円柱断面に約 45 度間隔で 8 個の PP 球をほぼ円周状に配置し，中心のものと合わせて 9 個を配置した。弾性波計測は正確な波動を計測するために，レーザードップラー速度計（LDV）を採用した。LDV は正確かつ振動方向が明確な波動を計測することができる反面，ノイズの影響を受けやすい。そのため得られた弾性波を確認したところ，硬質岩よりも有意に信号強度が低く，600kHz 程度までしか信号強度が十分ではないことが判明した。これはセメントモルタルを硬化させる際に PP 球以外の小規模な空隙が形成されてしまい，散乱減衰の影響が大きくなったことが原因であると推定される。そこでセメントモルタルの硬化方法について再検討し，低空隙率で透過率を向上させたセメントモルタル媒質の作成手順の目途を立てることができた（立命館大学[課題番号：RTM_02]）。

イ．津波の事前評価手法

2024 年能登半島地震において，陸域で観測された地震時の地殻変動を最も良く説明することができる断層モデルのひとつである国土地理院モデル（2024 年 2 月 29 日版）を用いて津波予測を実施した。その結果，第一波目の主要な津波に先行して観測された比較的小さな水位変動は，急峻な海底地形が水平方向に変位したことに起因する可能性があることがわかった。一方，同断層モデルによる津波では観測津波波形を十分に再現することができないことがわかった。これを踏まえて詳細な分析を実施した結果，観測された津波を説明するためには国土地理院モデルよりもさらに北東域に波源が必要であることがわかった。さらに，津波被害が最も大きかった能登半島飯田湾では，津波の第一波目ではなく後続波が最大水位を形成したことがわかった。後続波は様々な方向から伝播する複数の津波の重合により特徴づけられていたことがわかった（図 3）（北海道大学[課題番号：HKD_05]）。

ウ．地震動に起因する斜面変動・地盤変状の事前評価手法

静岡県森町における地すべり地域において 2020 年 10 月から 2022 年 5 月まで実施した地震計アレイによる観測記録の解析を行った。常時微動を用いた SPAC 法による地すべり地域の地下構造変化モニタリングについて検討した。地震計アレイで記録した常時微動データに対し，前処理を適用した後，各地震計間の SPAC 係数を算出し，高次モードを考慮したマルチモード SPAC 法（MMSPAC 法）により基準となる一次元地震波速度構造モデルを構築した。次に，観測期間全体の平均に対する日々の SPAC 係数の時間変化を算出した（図 4）。クラスター分析によって人間活動による週周期の変動やサイトに隣接する沢起源の影響を同定し，これらの非構造的要因による変動を除去した。また，SPAC 係数の変動の速度構造の感度解析から速度構造変化の推定手法を開発した。その結果，極浅部（深度約 5 m）および深部（深度約 20 m）に環境要因に敏感な速度構造を検出した。この構造の変化は降雨に伴う地下水面の変動との関連が示唆され，潜在的なすべり面の位置と対応する可能性を示した（名古屋大学[課題番号：NGY_04]）。

ACROSS を用いた降雨に対する地震波速度変化のモニタリングについて検討した。アレイ観測サイトは静岡県森町の ACROSS 震源から約 3 km に位置しており、この ACROSS 震源からの信号を用いた解析を行った。ACROSS の伝達関数を算出し、アレイ解析およびパーティクルモーショ解析によって、P 波、S 波、表面波（Rayleigh 波と Love 波）の時間窓を決定し、それぞれの波群の日々の走時変化を求めた。Rayleigh 波と Love 波の走時変化を降雨の日変化の時系列でデコンボリューションすることで降雨に対する各波群の走時の応答関数を求めた。その結果、降雨の影響は 10 日から 20 日程度持続するという結果を得た。同様に、近隣の河川水位とサイトの地下水位の応答の降雨に対する応答を求めた。河川水位の応答の時定数は降雨後 5～10 日、地下水位は 20 日から 50 日程度であった。降雨に対して、地震波速度はそれぞれ地下水位より速い応答、河川水位より遅い応答を示すことが明らかとなった（名古屋大学[課題番号：NGY_04]）。

地震時地すべりに特徴的な地質構造の抽出として、四国地域の地震によって崩壊したと考えられている深層崩壊地の調査と令和 6 年能登半島地震で発生した地すべり地の地質構造、地形を重点的に調査し、国土地理院が公表している干渉 SAR 時系列解析結果において移動速度を持つ四国地方の斜面は仁淀川および吉野川の中流域・変成付加体地域に集中していることを明らかにした。また、令和 6 年能登半島地震で発生した崩壊地の地形・地質特性について現地踏査を行った。その結果、表層崩壊の崩壊深は、風化帯や熱水変質により形成された脆弱な土層の厚さと関係があることを指摘した。また、最大の崩壊である大久保崩壊地は、流れ盤構造をもつ珪質シルト岩が分布し、その下部に実質不透水層かつ膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含む凝灰岩が分布することが崩壊の素因であることを明らかにした（図 5）。斜面内部の地下水環境を明らかにするために、これまで被災した谷埋め盛土において屈折波探査を実施し、2018 年北海道胆振東部地震や 2018 年大阪府北部の地震などで被災したいくつかの谷埋め盛土で深さ数 m に地下水位が形成されていることを見出した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI06]）。

エ．大地震に起因する災害リスクの事前評価手法

強震動による地震災害誘因の分析のため、定常観測に加え臨時観測を含めた堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの整備を実施した。また、強震観測記録の非エルゴード解析に続き、広帯域地震動シミュレーション（詳細法）の非エルゴード解析を行った。シミュレーション地震動の非エルゴード項は、堆積平野の増幅特性や、破壊シナリオの依存性が大きく、観測の非エルゴード項と乖離がみられた（図 6）。すなわち、現状のシミュレーション結果を観測記録と混ぜる研究は、ハザード利用の観点から注意が必要である。一方、強震観測記録から機械学習で得られた地震動予測式は、既往研究と良い一致を示した。今後、簡便法による強震動予測の非エルゴード解析も行うことで、両者の乖離の定量化が必要である（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14]）。

令和 6 年能登半島地震の現地調査を実施し、地下構造と被害の関係について検討した。具体的には、砂丘地の末端部にあたる河北郡内灘町の液状化および側方流動の被災域、日本海沿岸の平地である輪島市内などを対象とした。特に輪島市内では、被害の様相が異なる 3 地点で地震計 5 台によるミニアレイ観測を実施した結果、H/V スペクトルによるピーク周期はほぼ同じであるものの表層 S 波速度が大きく異なり、被害の大きかったビル倒壊地点付近に旧河道のような軟弱層が分布していることが示唆された（図 7）（鳥取

大学[課題番号：TTR_01])。

沖縄県宜野湾市及び沖縄県中頭郡西原町を調査対象地域とし、始めに地震被害リスクの高い建築物がどの程度存在するのかを調査した。ここで、地震被害リスクが高い建築物とは、1981年の耐震基準（新耐震基準）以前に建てられた建築物で、既存不適格建築物と呼ばれている建物である。それら既存不適格建築物は地震に対する危険性が極めて高いとされている。本調査によると令和6年現在、宜野湾市内全32,570棟のうち約21%（6,730棟）は既存不適格建築物である。その後さらに2000年には耐震性能強化基準が制定され、1981年から2000年の間に建てられた建物は約42%（13,560棟）であった。結果、約63%を占める建物が現行の基準以下であることが本年度の調査で分かった（琉球大学[課題番号：RKD_01]）。

（2）地震の災害誘因の即時予測手法の高度化（重点研究）

ア．地震動の即時予測手法

Temporal Convolutional Network（TCN）による長周期地震動波形の予測モデル（Furumura & Oishi, 2023）を用いて、1）震源域から関東平野への揺れの予測、2）平野の観測点から建物への揺れの予測、の2段階予測に基づいて、都心の超高層ビルの揺れの即時予測実験を行った。東北沖の大地震における都心の超高層ビルの揺れ予測を目的として、まず1段階目のTCNモデルに対して、福島県F-net（HROF）強震計2成分を入力として、200キロ離れたMeSO-net銀座観測点（GNZM）の水平動2成分の揺れを予測する学習を行った。次に、2段階目のTCNモデルでは、GNZMの揺れを入力として、5キロ離れた合同庁舎7号館（CG7）の最上階（37階）の水平2方向の揺れを予測する学習を、建築研究所強震観測データベースを用いて行った。そして、学習済みの2つのTCNモデルを用いて、東北沖のM6級の地震における超高層ビルの揺れを予測し、建物の揺れの時系列、応答スペクトル、揺れの継続時間などの特徴が適切に予測できることを確認した（図8）。今後、入力観測点を多点化して、内陸地震や南海トラフ沿いの地震などの大地震の長周期地震動予測へと適用範囲を拡大する（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

S波より早く到達するP波を利用する仕組みをPLUM法に組み込んでPLUM法の迅速性を向上させる研究について、従来はP波検知をした後でP波相当の上下動リアルタイム震度からS波相当の震度の予測を行っていたが、P波検出処理を経ずにS波相当の震度を常時予測する手法を開発した。P波検出処理のスキップは実用化を図るうえで有利であり、手法の精緻化や予測精度の検証を進めた（気象庁[課題番号：JMA_03]）。

イ．津波の即時予測手法

地震時すべりを適切な正則化拘束とともに、推定誤差も含めて迅速かつ正確に把握するための技術開発を実施した。具体的には、2024年度能登半島地震を対象として、事後解析ではあるが、断層幾何、特に断層傾斜角の仮定による推定結果の変化を調べることを目的とした解析を実施した。データにはソフトバンク独自基準点データ（GNSS観測点データ）を含めた複合稠密測地観測データを使用した。その結果、能登半島直下の断層では傾斜角が45度を仮定した際に、観測された水平・上下成分をバランスよく説明できることを明らかにした。また、過去に発生した地震断層等の情報より、断層浅部が高角、深部が低角のリストリックな断層形状を考慮したすべり分布推定も実施し、同断層幾何でも

観測データをよく説明できることを示した(図 9) (東北大学理学研究科[課題番号: THK_09, THK_12])。

2024 年 1 月 1 日の能登半島地震について、日本海沿岸で観測された津波の到達時刻から逆算した津波波源域の推定結果から、能登半島を含む波源域は長さ約 100 km にわたって能登半島の東北東方向の沖合まで及ぶこと、富山検潮所の早い津波到達時刻を説明するためには富山湾内にも波源が存在した可能性を考える必要があることがわかった。2024 年 1 月 1 日の能登半島地震について、富山湾沿岸にある放送局所有のライブカメラの映像を解析し、検潮所以外の海岸での水位時系列データの抽出に成功した。ライブカメラがリアルタイム津波観測のための機器として活用しうることを示した (気象庁[課題番号: JMA_03])。

(3) 火山噴火による災害誘因評価手法の高度化

有村川流域において、火山噴出物堆積量と雨の地中への浸透能の月ごとの変化を観測した。また、ピーク流量の再現度を重視して、降雨流出波形の再現度の評価法を再考し、浸透能の逆解析を行った。その結果、月別降灰量が増大するほど透水係数が減少する傾向が示された。さらに、土石流の発生条件について、従来の堆積物のすべりによる移動に加え、河道の表面流が河床堆積物を侵食することで発生する条件も考慮した。その結果、いずれの条件でも、表面流による河床堆積物の侵食を考慮することで、弱い降雨強度、少ない積算降雨で土石流が発生することが明らかとなった(図 10) (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI07])。

融雪型火山泥流発生機構に関する検討として、火砕流や熱水による融雪について水路実験で検討を行った。火砕流による融雪については、火砕流に含まれる礫の粒径が融雪特性に与える影響を明らかにした (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI07])。

過去の火山噴火における地震・地盤変動データの収集・解析を行い、膨張量と降下火砕物、火砕流、溶岩流の配分比の検討を行った。その際、1955 年から噴火が継続している南岳・昭和火口における小規模噴火と 1914 年の大正噴火や 1946 年の昭和噴火のような溶岩流を流出する大規模噴火に分けて配分比を見積もった。南岳や昭和火口の小規模な噴火の際に発生する火砕流については前課題において検討を行っており噴出物のうち 3 割程度が火砕流として流下する結果が得られている。昭和、大正、安永、天平宝字の大規模噴火時においては地質調査などから噴出物総量の 7 割程度が溶岩流となっている。これらを元に火砕流の流下シミュレーションを改良して溶岩流の流下予測と危険度判定のロジック作成を進め、次年度に行う数値シミュレーションのデータセットの作成の準備を行った (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI08])。

(4) 地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究

言語表現に着目をして、2024 年 8 月 8 日に発表された「南海トラフ地震臨時情報 (巨大地震注意)」を事例として調査を実施した。まず、「南海トラフ地震臨時情報 (巨大地震注意)」の直後に気象庁が行った緊急記者会見中に、NHK がどのようなテキストを表示したのか、分析を行った。その結果、「日ごろからの地震への備え 再確認を 1 週間続けてほしい」と「1 週間たてば安全というわけではない」という矛盾しているメッセージが交互に、繰り返し表示されていた。次に、この情報に対してどのような対応をとったの

か、情報が発表された翌日の夜 22 時から、全都道府県を対象としたインターネットを用いた調査を実施した。その結果、約 8 割の人が臨時情報を見聞きしていた。だが、呼びかけられていた「備えの確認」はほとんど見られなかった(図 11)。これらの結果から、矛盾するメッセージを発した結果、「備えの確認をしてほしい」という住民に対するメッセージが伝わっていなかったと考えられる(東京大学大学院情報学環[課題番号:III_01])。

部会長による部会の活動・成果の総括

部会研究集会を 2025 年 1 月 29 日および 2 月 14 日にオンラインで開催し、課題間相互の理解を深める契機とした。

今年度の主要な成果の一つとして、重点研究である「地震の災害誘因の即時予測手法の高度化」において、Temporal Convolutional Network (TCN) による長周期地震動波形の予測モデルを用いた試行によって東北沖の M6 級の地震における超高層ビルの揺れを予測し、建物の揺れの時系列、応答スペクトル、揺れの継続時間などの特徴が適切に予測できることを確認されたこと(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_15])が挙げられる。同様に、すべりを適切な正則化拘束とともに、推定誤差も同時に、迅速かつ正確に把握するための技術開発結果を 2024 年能登半島地震に対して適用した結果については、民間 GNSS 観測点を活用した超稠密 GNSS 観測網を用いているという観点も含め、その重要性は高い(東北大学理学研究科[課題番号:THK_09, THK_12])。

また、2024 年能登半島地震について、観測された津波を説明するためには国土地理院モデルよりもさらに北東域に波源が必要であることを指摘した結果も、その地震像を理解し、他の地域の津波の事前予測に活用するという観点で重要である(北海道大学[課題番号:HKD_05])。

今計画から参画した機関からも重要な成果が得られている。沖縄県宜野湾市及び沖縄県中頭郡西原町を調査対象地域とし、地震被害リスクの高い建築物がどの程度存在するのかを調査した結果等、地域毎の特殊性等を考慮した現状把握は、地震リスクの事前把握の上で重要である(琉球大学[課題番号:RKD_01])。

また、言語表現に着目をして、2024 年 8 月 8 日に発表された「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」を事例とした調査によって、約 8 割の人が臨時情報を見聞きしていたにもかかわらず、呼びかけられていた「備えの確認」をした比率が低かったことは、災害情報の伝達方法の重要性とその改善の必要性を改めて認識させるものである(東京大学大学院情報学環[課題番号:III_01])。

火山噴火による災害誘因評価手法の高度化に関する成果では、土石流・泥流の発生ポテンシャル評価に河床堆積物の浸食を考慮したり、融雪型泥流の発生機構に関する研究では水路実験を用いた検討を行う等、シミュレーションや実験を行うことで災害誘因評価手法の高度化が進んでいる(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI07])。

また、火山噴出物のうち溶岩流、火砕流の流下シミュレーションにおいて流下距離・範囲を予測するためには適切な噴出物量と配分比を想定する必要があるが、今後、事例数を増やしていくことが流下シミュレーションの高度化において重要である(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI08])。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、それぞれの個別課題において順調に研究を進展させることができたと考えられる。特に地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究については、前計画から開始された課題から継続して成果を得られている。今後は、さまざまな手段で推定される災害誘因予測の情報をよりの確に災害情報につなげるための研究を加速させるとともに、事前・即時予測技術のさらなる底上げが重要になると考える。

成果リスト

- 青木 元・南 雅晃・対馬弘晃・中田健嗣・桑山辰夫・山田安之・笹部忠司・大嶋健嗣, 2024, カメラ映像を用いた令和6年能登半島地震の輪島港における津波波形の推定, 地震 2, 77, 23-29, doi:10.4294/zisin.2024-3.
- Asano, K. and T. Iwata, 2025, Source Rupture Process of the Mw 6.2 Earthquake in the Noto Peninsula, Central Japan, on May 5, 2023, Earth Planets Space, 77, 54. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02186-w>.
- Asano, K. and T. Iwata, 2024, Source Rupture Process and Its Strong Ground Motions During the 2024 Noto Peninsula Earthquake, Japan, AGU 2024 Fall Meeting, N51B-05.
- 浅野公之, 2024, 令和6年能登半島地震の地震動, 日本地震工学会誌, 52, 6-9.
- 浅野公之, 2024, 令和6年能登半島地震の震源モデル, 第52回地盤震動シンポジウム, pp. 3-12.
- 浅野公之, 2025, 内陸地震の地震ハザード評価のための震源像の理解, 日本地震学会広報誌なみふる, 140, 4-5.
- 浅野公之・岩田知孝, 2024, 強震波形による2024年能登半島地震の震源破壊過程, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P20.
- 浅野公之・岩田知孝, 2024, 2024年能登半島地震(M7.6)の強震動と震源過程, 日本地震学会2024年秋季大会, S22-07.
- 浅野公之・関口春子・岩田知孝, 2024, 強震記録の自己相関関数を用いた京都一奈良盆地深部地盤構造モデルの検証, 日本地震工学会論文集, 24(5), 45-57, doi:10.5610/jaee.24.5_45.
- 跡邊陽太・谷岡勇市郎・山中悠資, 2024, 令和6年能登半島地震における富山湾北東部に襲来した津波第一波の励起過程, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17-06.
- 馬場俊孝・佐竹健治・P. Cummins・S. Allgeyer・齊藤竜彦・対馬弘晃・今井健太郎・山下 啓・近貞直孝・南 雅晃・水谷 歩・加藤季広, 2024, 高性能・多機能津波計算コードJAGURSの開発, 日本地震学会2024年度秋季大会, S20-09.
- 土井一生・松浦純生・大澤 光・岡本 隆・土佐信一・柴崎達也・澤田麻沙代, 2024, Ultra-dense seismic observation in and around a seashore landslide, 2024 Japan Geoscience Union Meeting, HDS08-P19.
- Ersöz, T. and Y. Gonda, 2024, The role of volcanic ash thickness on the hydraulic conductivity of the ground and the initiation of debris flows, Natural Hazards, 120(12), p.10969-11007, <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06654-6>.
- Feng, C., K. Yamaoka, R. Ikuta, T. Watanabe, and S. Tsuji, 2024, Surface wave monitoring using ambient noise for detecting temporal variations in underground structures in landslide area, Engineering Geology, 341, 107706, doi:10.1016/j.enggeo.2024.107706.

- 馮 晨・渡辺俊樹・生田領野・山岡耕春・辻 修平, 2024, ACROSSを用いたコーダ波干渉法による時間変化の推定, 公益社団法人物理探査学会第151回 (2024年度秋季) 学術講演会講演論文集, 204-207.
- 権田 豊・松田梨里, 2024, 航空測量データを用いた桜島・有村川流域における地形変化および土砂動態の分析, 令和6年度砂防学会研究発表会.
- 荻野將樹・山中 稔・林 宏一・中田 卓・嘉村哲也, 2024, 常時微動探査による地層区分と熊本城三次元地盤図を援用した石垣被災要因の検討, 地盤工学ジャーナル, 19, 143-156, <https://doi.org/10.3208/jgs.19.143>.
- 花川和宏・末武晋一・松澤 真・木村一成・下村博之, 2025, 令和6年度能登半島地震における安山岩質火山岩類分布域で発生した斜面崩壊の地形・地質的特徴, 令和6年度能登半島地震災害調査団報告書, 66-70.
- Hayashi, K., 2024, S-wave velocity changes associated with rainfall observed by continuous seismic ambient noise measurements, Society of Exploration Geophysicists of Japan 150th annual meeting.
- Hayashi, K., 2024, Near-surface shear-wave velocity monitoring using seismic ambient noise, 2024 Japan Geoscience Union Meeting.
- Hayashi, K., T. Suzuki, T. Inazaki, C. Konishi, H. Suzuki, and H. Matsuyama, 2024, Estimating S-wave velocity profiles from horizontal-to-vertical spectral ratios based on deep learning, Soils and Foundations, 64, 6, 101525, ISSN 0038-0806, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101525>.
- Hayashi, K., M. Matsuzawa, T. Kikuchi, and S. Sakaki, 2024, Seismic response at a gravitational slope deformation based on geophysical measurements and numerical simulation, American Geophysical Union 2024 annual meeting.
- Hayashi, K., T. Suzuki, T. Inazaki, K. Mima, C. Konishi, and H. Suzuki, 2024, Estimating regional 3D S-wave velocity model from active/passive surface wave methods and horizontal-to-vertical spectral ratios based on deep learning, 3rd Edition Workshop on Geophysical Aspects of Smart Cities.
- Hayashi, K., T. Suzuki, T. Inazaki, K. Mima, C. Konishi, and H. Suzuki, 2024, Estimating shallow S-wave velocity structure at the Kyoto Basin by deep learning, 64th symposium on geotechnical engineering.
- Hayashi, K., M. Matsuzawa, T. Kikuchi, and S. Sakaki, 2024, S-wave velocity profiles obtained from active and passive surface wave methods at gravitational slope deformation and their effect on surface ground motion from earthquakes, The Japan Landslide Society 63rd annual meeting.
- Hayashi, K., T. Suzuki, C. Konishi, H. Suzuki, and H. Matsuyama, 2024, Predicting Vs profile from horizontal-to-vertical spectral ratio by supervised machine learning, 18th World Conference on Earthquake Engineering.
- Hayashi, K., T. Suzuki, T. Inazaki, C. Konishi, H. Suzuki, and H. Matsuyama, 2024, Estimating S-wave velocity profile from horizontal-to-vertical spectral ratio based on supervised machine learning, 6th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering.

- 林 宏一, 2024, 表面波を用いる探査法の原理とその応用, 基礎工, 2024-3, 18-24.
- 林 宏一, 2024, 地盤工学と物理探査の架け橋 –空間的な補間と時間的な補間–, 地盤工学会誌, 72, 6, 7-12.
- 林 宏一・鈴木 徹・横澤航生・坂西啓一郎・稲崎富士・美馬健二・小西千里・鈴木晴彦, 2024, 京都盆地における表面波探査・微動アレイ探査および単点三成分常時微動の測定, 物理探査学会第150回学術講演会.
- Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the Precomputed Tsunami Database for Real-time Tsunami Forecasting by JMA: Response to the 2016 off Fukushima Earthquake by the Unexpected Mechanism, Journal of JSCE, 12(2), 24-17054, doi: 10.2208/journalofjsce.24-17054.
- Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the Precomputed Tsunami Database for JMA's Real-time Tsunami Forecast in Response to the 2016 off Fukushima Earthquake, 14th United States-Japan Natural Resources (UJNR) Panel for Earthquake Research, 0-25.
- Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the pre-computed tsunami database for real-time tsunami forecasting by the JMA: Response to the 2016 off-Fukushima earthquake by the unexpected mechanism, 第71回海岸工学講演会, 54.
- 林 豊・南 雅晃・対馬弘晃・中田健嗣, 2024, 富山湾沿岸で測定した2024年能登半島地震による津波, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P74.
- 干場充之, 2024, 速度計波形から震度をリアルタイム演算するフィルターの設計について, 日本地震学会2024年度秋季大会, S15P-17.
- 干場充之, 2025, 速度計波形から計測震度をリアルタイム演算するフィルタの設計について, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用, 15.
- Ichibe, Y., H. Kawakata, and S. Hirano, 2024, Relationship between the source time function and imaging reliability in synthetic receiver function analysis, 2024 AGU Fall Meeting, S53E-3376.
- 市部悠斗・川方裕則・平野史朗, 2024, 2次元の数値シミュレーションにおける仮定する震源時間関数とレシーバ関数の関係, 日本地震学会2024年度秋季大会, S01P-07.
- 石橋真帆・安本真也・入江さやか・鍵 慶和・関谷直也, 2024, 令和6年能登半島地震における津波避難の実態 –住民調査による検討–, 自然災害科学vol.43(3), pp. 689-708.
- 石橋真帆・関谷直也, 2024, 関東大震災証言データにもとづく災害観の抽出, 日本災害情報学会第29回学会大会.
- 石橋真帆・安本真也・入江さやか・鍵 慶和・関谷直也, 2024, 令和6年能登半島地震における津波避難の実態, 第43 回日本自然災害学会学術講演会.
- 岩井智哉・宮田秀介・山野井一輝・藤田正治, 2024, 溪床堆積物が土石流下する場の条件に関する感度分析—改良版SiMHiSの神通川水系ヒル谷への適用—, 砂防学会誌, 77(1), 17-24.
- 岩井智哉・宮田秀介・山野井一輝, 2024, 火山噴出物の土石流発生に対する影響評価, 日本火山学会2024年度秋季大会, P151, DOI: 10.18940/vs.j.2024.0_252.
- 岩井智哉・宮田秀介・山野井一輝・藤田正治, 2024, 足洗谷流域源頭部における土石流発生ポテ

ンシャルの変動，令和6年度砂防学会研究発表会，P-211.

香川敬生，2024，令和6年能登半島地震による上越市域の被害と地盤震動特性，土木学会第44回地震工学研究発表会，D22-250.

香川敬生・吉田昌平・宮腰 研，2024，2024年能登半島地震で観測された強震動とスペクトル距離減衰式の比較，地震学会2024年度秋季大会，S15-08.

鍵 慶和・安本真也・石橋真帆・関谷直也，2024，令和6年能登半島地震における被災世帯の居住意向に関する研究—2024年6月時点仮設住宅居住者を対象に一，日本災害情報学会第29回学会大会.

鍵 慶和・安本真也・石橋真帆・入江さやか・関谷直也，2024，令和6年能登半島地震における避難生活での困難に関わる調査研究，第43 回日本自然災害学会学術講演会.

Kawakata, H., 2024, Frequency dependence on propagation manner of elastic waves traveling through porous media, 2024 AGU Fall Meeting, NS41B-1142.

川方裕則，2024，不均質媒質を透過する弾性波のふるまい（2）～不均質強さによる差異を明らかにするために～，日本地震学会2024年度秋季大会，S01-02.

Kodera, Y., 2024, A machine learning-based classification for tectonic tremors, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024, P148.

Kodera, Y., 2024, P-wave-based earthquake early warning without P-wave detection: Investigation of a P-wave-based PLUM algorithm, 14th United States-Japan Natural Resources (UJNR) Panel for Earthquake Research, 0-31.

小寺祐貴，2024，地震動伝播に基づく実践的な地震動即時手法の開発とその実装，日本地震学会2024年度秋季大会，S20-07.

小寺祐貴，2024，上下動リアルタイム震度の常時モニタリング：波動伝播に基づく地震動即時予測の迅速化に向けて，日本地震学会2024年度秋季大会，S15P-13.

小寺祐貴，2024，P波検出処理をせずにP波を地震動即時予測に活用する：P波PLUM法の検討，日本地球惑星科学連合2024年大会，SCG53-P02.

小寺祐貴，2025，よりロバストなP波PLUM法の検討：上下動リアルタイム震度の常時モニタリング，次世代のリアルタイム監視予測システムの探求：固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用，18.

Matsuzawa, M., 2024, Effects of Fault Fracture Zones on the Formation of Gravity-Deformed Slopes ~A case study of Jurassic accretionary complexes~, American Geophysical Union 2024 annual meeting.

松澤 真，2024，重力変形斜面の素因となる美濃帯の断層破碎帯の比較，日本地すべり学会 第63回（2024年度）研究発表会講演要旨集.

松澤 真・下村博之・花川和宏・末武晋一・木村一成・渡壁卓磨・佐藤昌人，2025，令和6年能登半島地震により発生した崩壊の地質的特徴，令和6年度能登半島地震災害調査団報告書，37-44.

松澤 真・渡壁卓磨・佐藤昌人・下村博之・花川和宏，2025，令和6年能登半島地震により発生した大久保崩壊の地形・地質的特徴，令和6年度能登半島地震災害調査団報告書，71-77.

松澤 真・菊地輝行，2024，表層傾斜計による重力変形斜面の観測～長野県辰野町的美濃帯分布域の例～，令和6年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集.

南 雅晃・対馬弘晃・林 豊，2024，ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時

- 系列データ, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 80, 17, doi: 10.2208/jscej.24-17075.
- 南 雅晃・青木 元・対馬弘晃・林 豊・中田健嗣・桑山辰夫・山田安之・笹部忠司・大嶋健嗣, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ ~輪島港と富山湾沿岸, 日本地震学会2024年度秋季大会, S22P-18.
- 南 雅晃・林 豊・対馬弘晃, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の高岡市雨晴海岸における津波時系列データ, 日本地球惑星科学連合2024年大会, HDS11-11.
- 南 雅晃・対馬弘晃・林 豊, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ, 第71回海岸工学講演会, 75.
- Miyake, H., 2024, Earthquake source characterization for broadband ground motion simulation, International Conference in Commemoration of the 25th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake.
- 三宅真太郎・佐藤翔輔・吉本充宏・石峯康浩・秦 康範・安本真也・関谷直也, 2024, 遠地津波発生時の津波情報の伝達と避難行動の喚起に関する課題-トンガ海底火山噴火に伴う潮位変化に対する住民対応の質問紙調査-, 土木学会論文集 (海岸工学), 80巻17号 (論文ID: 24-17101), <https://doi.org/10.2208/jscej.24-17101>.
- Miyamoto, T., K. Asano, and T. Iwata, 2024, Investigation on Generating Mechanisms of Strong Ground Motion through Dynamic Source Inversions, AGU 2024 Fall Meeting, S41G-3393.
- 宮本 英・浅野公之・岩田知孝, 2024, 強震動生成メカニズムの理解に向けた動的震源インバージョン手法の性能検証, 日本地震学会2024年秋季大会, S15-10.
- 森田寅靖・古村孝志・前田拓人, 2024, アジョイント方程式に基づく地震波動場のデータ同化と震源メカニズム推定, 日本地球惑星科学連合2024年大会, 幕張, SSS07-03.
- 森田寅靖・古村孝志・前田拓人, 2024, アジョイント方程式に基づく地震波動場のデータ同化と震源メカニズム推定: MeSO-net観測データへの適用, 日本地震学会 2024年秋季大会, 新潟, S01P-10.
- 中島康介・藤岡一頼・上野慎也・八嶋 厚・山崎 充・沢田和秀・村田芳信・小西千里・林 宏一・町島祐一, 2024, 交通規制を伴わない高速道路土工構造物ヘルスマonitoringへの挑戦, 土木学会論文集, 80, 5, <https://doi.org/10.2208/jscej.23-00249>.
- Nakayama, M., H. Kawakata, and I. Doi, 2024, Changes in slowness before and after rainfall by active seismic monitoring on a slope, 2024 AGU Fall Meeting, S11E-3442.
- 西本壮汰・香川敬生・野口竜也, 2024, 微動探査による鳥取市浜坂及び湯山地域の地盤震動特性と地盤構造の推定, 土木学会中国支部大会, I-15.
- 野口竜也・西村武・香川敬生, 2025, 1943年鳥取地震における吉岡断層近傍の地盤震動特性と地盤構造, 日本地震工学会論文集, 印刷中.
- 野口竜也・香川敬生・西川隼, 2024, 令和6年能登半島地震の被害地域 -珠洲市・能登町・七尾市・輪島市・内灘町- における微動観測, 土木学会第44回地震工学研究発表会, A12-375.
- 小木曾仁, 2024, 地震動エネルギーの逆伝播を用いた面的震度分布の事後推定, 日本地震工学会論文集, 24, 108-118, doi:10.5610/jaee.24.5_108.
- 小木曾仁・対馬弘晃, 2024, Feasibility study of wave gradiometry for real-time monitoring of tsunamis, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SCG53-P06.
- 岡庭信幸・土井一生・松浦純生・大澤 光・岡本 隆・土佐信一・柴崎達也・大石怜生・澤田麻

沙代, 2025, 地すべり内部構造と地震動の特徴との関係性把握に向けての試みー北海道釧路町仙鳳趾地すべりを例としてー, 日本地すべり学会第63回研究発表会, 1-14.

Ohno, K., Y. Ohta, N. Takamatsu, H. Munekane, and M. Iguchi, 2024, Real-time modeling of transient crustal deformation through the quantification of uncertainty deduced from GNSS data. *Earth Planets Space* 76, 140. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02068-7>.

大澤 光・土井一生・松浦純生・土佐信一・柴崎達也・岡本 隆, 2025, 急崖裸地斜面の土砂侵食量を観測する試み, 日本地すべり学会第63回研究発表会, 2-33.

大園真子・高橋浩晃・奥山 哲・太田雄策・大野圭太郎, 2024, 超稠密 GNSS 観測網による屈斜路カルデラ周辺の非定常地殻変動, 日本火山学会2024年度秋季大会.

尾身頌吾・CASTRO Juan Jose, 2024, 地域係数が振動特性に与える影響に関する研究ーその 1 学校施設を対象としてー, 21243, 本建築学会大会学術講演梗概集 (関東).

作間 敦・安本真也・石橋真帆・荒木優弥・関谷直也, 2024, 南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)の確率論的な情報としての受け取られ方, 日本災害情報学会第29回学会大会.

関口春子・浅野公之・岩田知孝, 2024, 地震動再現シミュレーションによる京都盆地地盤構造モデルの検証, 日本地震学会2024年秋季大会, S16P-02.

関谷直也, 2024, 災害情報はいのちを救えるかー南海トラフ地震臨時情報から考える, 世界, 2024年11月号, 岩波書店, pp.155-162.

関谷直也, 2024, 南海トラフ地震臨時情報の課題ーメッセージのあいまいさとエリートパニックー, 日本災害情報学会第29回学会大会.

Shiozaki, I., T. Uto, M. Uyeshima, Y. Iio, H. Murakami, and N. Oshiman, 2024, Magnetotelluric investigations in the Chugoku and Shikoku regions, southwestern Japan: close relationships between resistivity structure and seismic activities, The 26th Electromagnetic Induction Workshop (EMIW2024), 4P08.

Someya, M., S. Watada, and T. Furumura, 2024, 2D FDM Simulation of Seismic Waves and Tsunamis Based on Improved Coupling Equations Under Gravity, *Pure Appl. Geophys.*, 181, 1053-1073, <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03468-2>.

染矢真好・古村孝志, 2024, Physics-Informed Neural Network (PINN) による津波のデータ同化, 日本地球惑星科学連合2024年大会, 幕張, HDS11-P08.

染矢真好・古村孝志, 2024, Physics-Informed Neural Network (PINN) による津波のデータ同化, 日本地震学会2024年度秋季大会, 新潟, S17-10.

Sugawara, H., and Y. Gonda, 2024, Relationship between occurrence of lahar and thickness of ashfall on ground surface in the Arimura River basin of Sakurajima volcano, Japan, 11th International Workshop on Multimodal Sediment Disaster in Niigata Japan.

菅原隼斗・Timur ERSÖZ・権田 豊, 2024, 流出解析モデルを用いて推定した桜島有村川流域における土石流発生時の透水係数と火山灰の堆積厚の関係, 令和6年度砂防学会研究発表会.

Sung, C., N. Morikawa, A. Iwaki, N. Abrahamson, and H. Miyake, 2024, Ground-Motion Models Incorporating Non-Ergodic Effects from 3-D Numerical Simulations in the Miyagi-Fukushima and Kanto Regions, *JpGU2024*, SSS10-12.

対馬弘晃・林 豊・山本剛靖, 2024, 沖合津波波形で拘束した津波波源を用いた沿岸津波波形逆解析の評価, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17P-09.

- 対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2025, 海底水圧波形の逆解析に基づく津波即時予測手法の改良, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用, 19.
- 対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17-12.
- 対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定手法の開発, 第14回巨大津波災害に関する合同研究集会, 1.
- 対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定手法の構築, 大気・海洋・固体地球の波形解剖学: 新たな海陸高密度観測に基づく高分解能イメージングと震源過程解析, S24-04.
- 対馬弘晃・南雅晃・林豊, 2024, 沿岸津波観測記録から推定した2024年1月1日の能登半島の地震における津波の波源域, 日本地球惑星科学連合2024年大会, HDS11-12.
- Yamada T., Y. Ohta, T. Nishimura, K. Yoshida, Y. Hiramatsu, and Y. Kinoshita, 2025, Coseismic slip distribution of the 2024 Noto Peninsula earthquake deduced from dense global navigation satellite system network and interferometric synthetic aperture radar data: effect of assumed dip angle. *Earth Planets Space* 77, 19. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02154-4>.
- 山田太介・太田雄策・西村卓也・平松良浩・木下陽平・吉田圭佑, 2024, 稠密測地観測にもとづく2024年能登半島地震の地震時すべり分布と断層幾何の定量評価, 日本測地学会第142回講演会.
- 山田太介・太田雄策・西村卓也・平松良浩・木下陽平・吉田圭佑, 2024, 稠密GNSS観測網に基づく2024年能登半島地震のすべり分布および断層幾何の網羅的評価, 日本地震学会2024年度秋季大会.
- 山田太介・太田雄策・西村卓也・平松良浩, 2024, 稠密GNSS観測網に基づく2024年能登半島地震のすべり分布の推定, *JpGU* 2024.
- 山田太介・太田雄策・西村卓也・平松良浩・木下陽平・吉田圭佑, 2024, 稠密測地観測データにもとづく2024年能登半島地震におけるすべり分布とその断層幾何の関係, *JpGU* 2024.
- 山田太介・太田雄策, 2024, 南海トラフにおけるプレート境界および分岐断層上の地震時すべりの同時推定に関する検証, 日本測地学会第142回講演会.
- Yamanaka, Y. and Y. Tanioka, 2024, Tsunami waveform inversion using Green's functions with advection effects: application to the 2003 Tokachi-Oki earthquake, *Earth Planets Space*, 76, 71, doi: 10.1186/s40623-024-02006-7.
- Yamanaka, Y., Y. Matsuba, T. Shimozone, and Y. Tajima, 2024, Nearshore Propagation and Amplification of the Tsunami Following the 2024 Noto Peninsula Earthquake, Japan, *Geophysical Research Letters*, 51(19), doi:10.1029/2024gl110231.
- 山中悠資・谷岡勇市郎, 2024, 沿岸津波波形を用いた線形インバージョンの不確実性と高度化, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17-02.
- 山中悠資・松葉義直・下園武範・田島芳満, 2024, 石川県珠洲市飯田町に來襲した津波の伝播・増幅特性の推定, 第71回海岸工学講演会, 83.
- Yamasaki, S., 2024, Mineralogy of Pelitic schist relating to Landslide and Weathering,

XIVth International Symposium on Landslides (France, Chambéry), A10397SY.

Yamasaki, S., 2024, Wide-Area Landslide Observation Monitoring Using JAXA/GSI Interferometric SAR Analysis and Distribution Characteristics of Active Landslides in Shikoku Mountains, Japan, 2024 American Geophysical Union, Annual Meeting, 1541737.

山崎新太郎, 2024, 国土地理院・干渉SAR時系列解析結果を用いた四国山地の斜面変動推定領域の抽出, 日本地すべり学会誌, 62巻1号 pp.20-25, DOI <https://doi.org/10.3313/jls.62.20>.

山崎新太郎, 2024, 斜面災害場所評価のための地域地質特性の把握の重要性, 2024年日本地すべり学会研究発表会(仙台), 4-16.

山崎新太郎, 2024, 地質構造に起因する崩壊が多発する付加体砂岩地域, 日本応用地質学会令和6年度研究発表会(高松), 84.

山崎新太郎, 2024, 四国山地の深層崩壊と地すべり, 2024年日本応用地質学会中四国支部総会(招待講演).

山崎新太郎・渡邊達也, 2024, 令和5年および令和6年能登半島地震前後の干渉SAR解析と現地調査で確認された斜面変動事例, 日本応用地質学会, 令和6年能登半島地震災害調査団報告書, III-8.

安本陵巧・川方裕則・平野史朗, 2024, 湾地形におけるLg波の伝播特性 -数値解析的アプローチ-, 日本地震学会2024年度秋季大会, S01-03.

Yasumoto, R., H. Kawakata, and S. Hirano, 2024, Effect of bay topography on an Lg wave -Numerical approach-, 2024 AGU Fall Meeting, S41E-3356.

安本陵巧・川方裕則・平野史朗, 2024, 湾地形におけるLg波の伝播特性 -数値解析的アプローチ-, 日本地震学会2024年度秋季大会, S01-03.

安本真也, 2024, 令和6年能登半島地震とコミュニケーションの課題, Nextcom, vol.60, KDDI総合研究所, pp.24-33.

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也, 2024, 首都直下地震に関する防災啓発番組の説得的コミュニケーション: 補強効果の検証, 社会情報学, 13巻1号 pp.51-64, https://doi.org/10.14836/ssi.13.1_51.

安本真也・石橋真帆・作間 敦・荒木優弥・関谷直也, 2024, 令和6年8月8日南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)発表直後の住民の反応, 日本災害情報学会第29回学会大会.

安本真也・石橋真帆・入江さやか・鍵慶和・関谷直也, 2024, 令和6年能登半島地震の被害状況と今後の生活に関する意向, 第43回日本自然災害学会学術講演会.

吉田昌平・宮腰研・香川敬生, 2024, 震源インバージョン解析および経験的グリーン関数法を用いた2024年能登半島地震(Mw7.5)の広帯域震源モデルの構築, 地震学会2024年度秋季大会, S22P-10.

吉光奈奈・松田航洋, 2024, 計測波形と数値計算波形の比較を通じた実験試料内の不均質場が波形に与える影響の評価, 日本地球惑星連合2024年大会, SSS07-11.

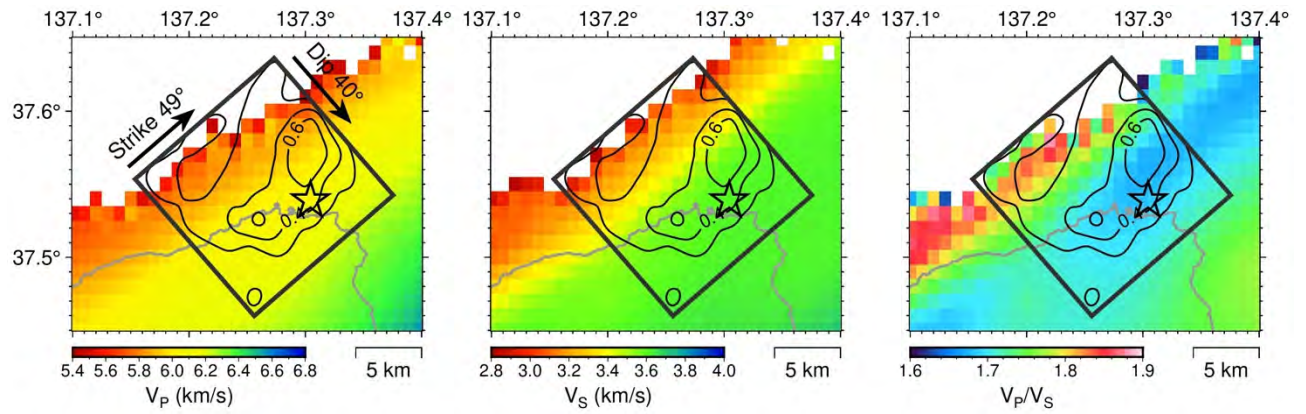


図 1．2023年 5 月 5 日能登半島の地震 (M_{JMA}) の最終すべり量分布と Matsubara et al. (2022) の速度構造モデルから抽出した P 波速度 (左), S 波速度 (中), V_p/V_s 比 (右) の比較 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI05]) 。

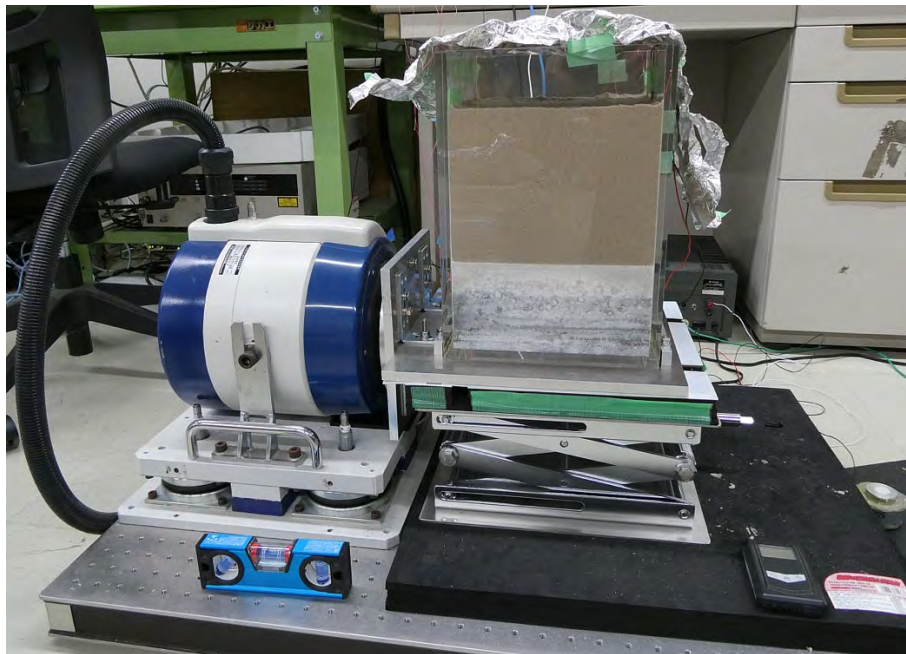


図 2．強震動による表層地盤の弾性波応答特性の変化を調べるための実験装置。強震動はアクリル容器内に作成された模擬砂層地盤の下に設置された振動板により水平方向成分が与えられ、これとは別にモニタリング用の微弱な振動を与える振動スピーカーが模擬砂層地盤内に埋設されている (立命館大学 [課題番号: RTM_02]) 。

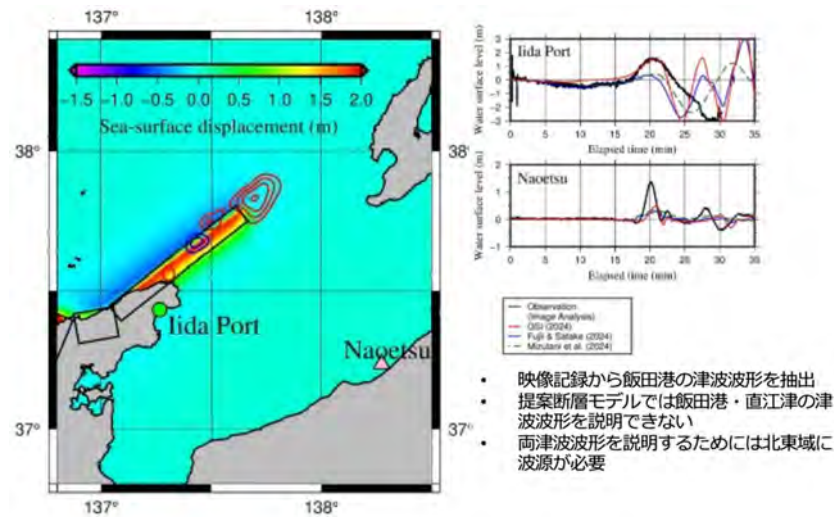


図 3．2024年能登半島地震における飯田港，直江津の津波波形を説明するための追加波源の推定結果（北海道大学[課題番号：HKD_05]）。

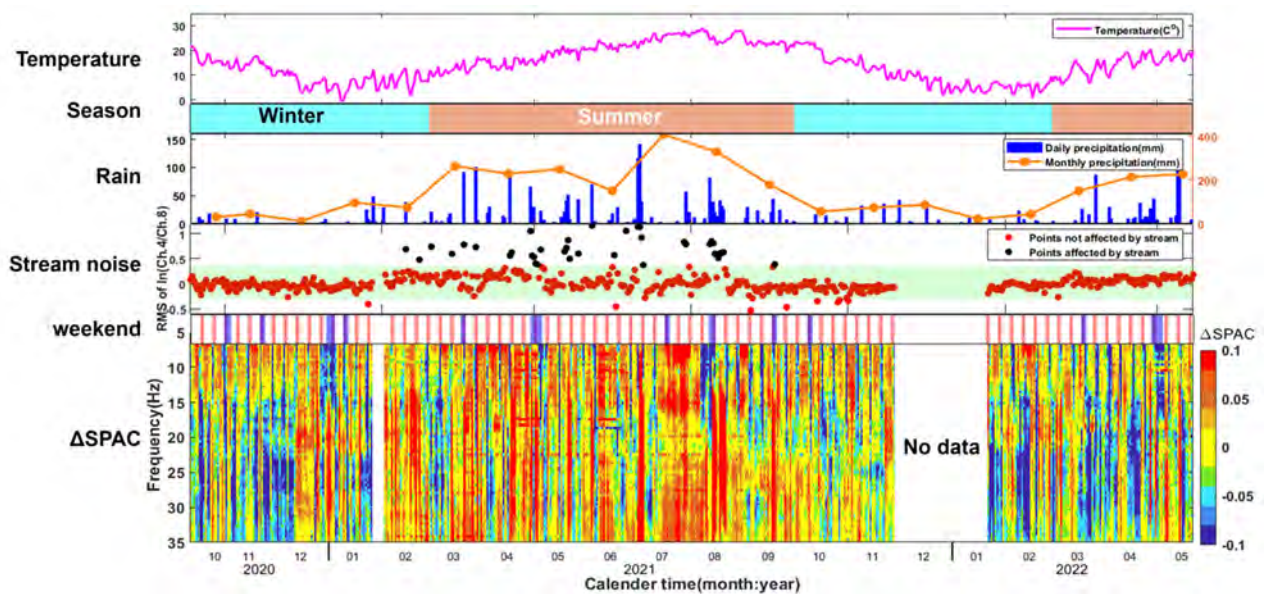


図 4．観測期間全体の平均に対する日々の SPAC 係数の時間変化と環境変動との比較（名古屋大学[課題番号：NGY_04]）。

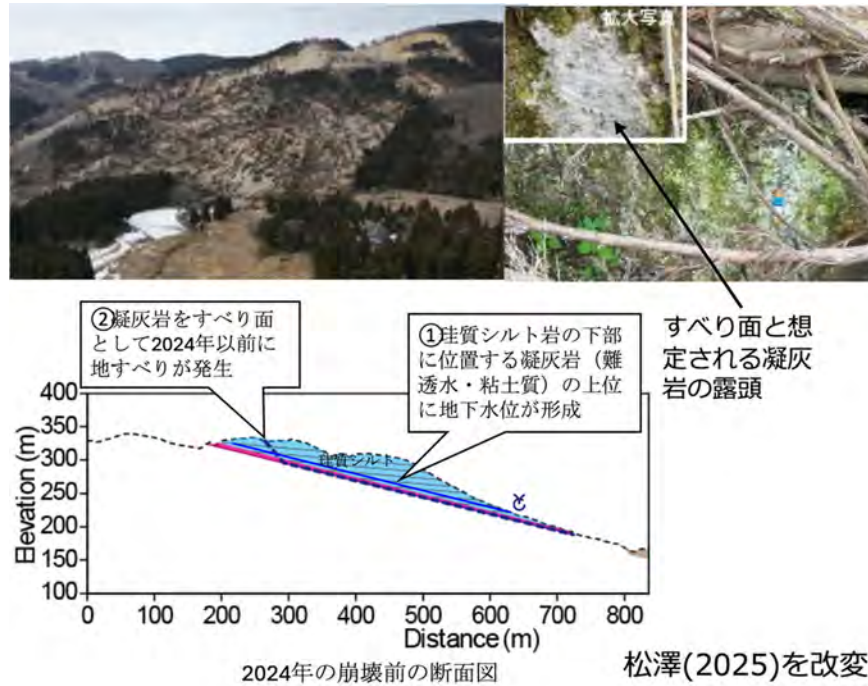


図 5．令和 6 年能登半島地震の大規模地すべりの地質的背景。2024 年の崩壊は、地震によって過去の地すべりが再移動し、拡大したものである。すべり面に膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含む凝灰岩が分布し、崩壊の素因と推定した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI06]）。

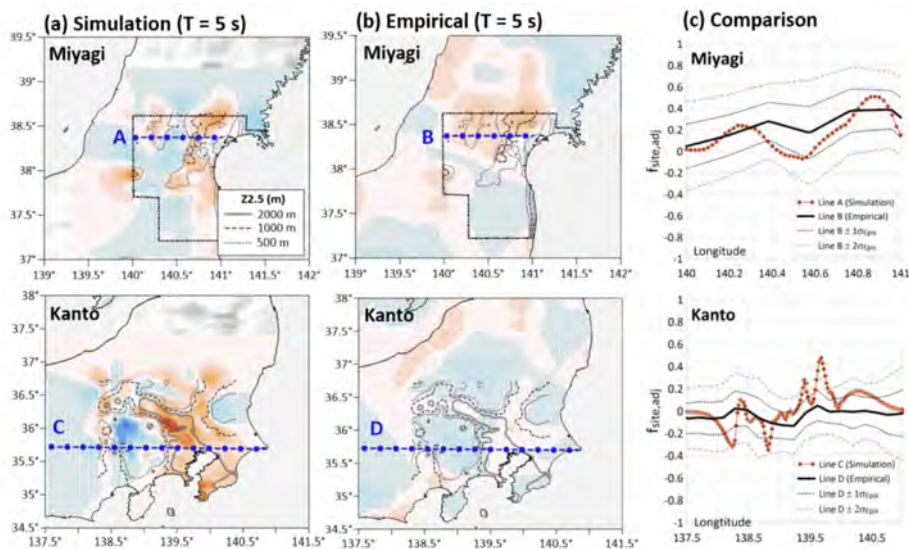


図 6．広帯域地震動シミュレーションの非エルゴード解析の結果（Sung et al., 2025, 東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14]）。

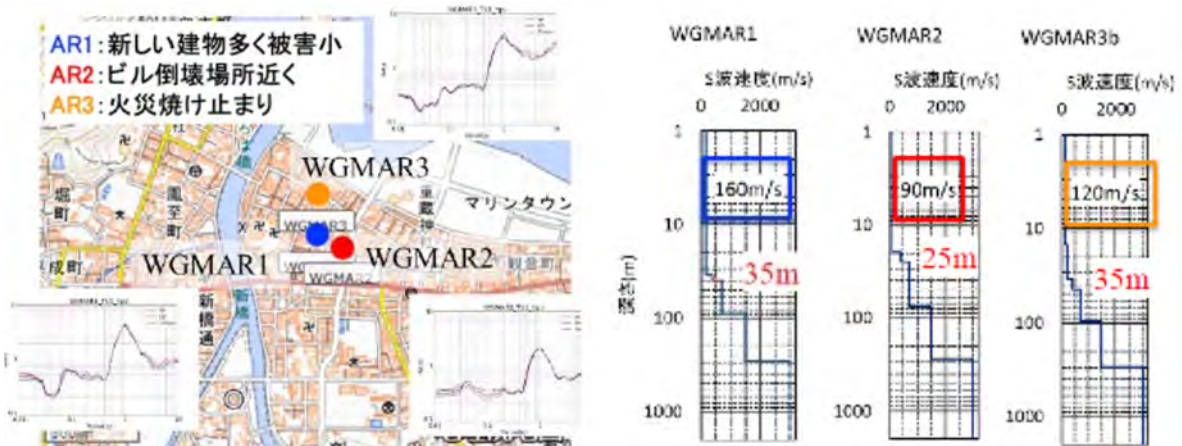


図7．能登半島地震で強震動が観測された地域における，常時微動を用いた地盤震動特性と地下構造に関する調査結果。輪島市街では被害の軽重にかかわらず約周期1秒が卓越するが，被害の大きい場所(倒壊ビル近傍)では表層 V_s が 100m/s 以下となり，軟弱な旧河道であることが推察される（鳥取大学[課題番号：TTR_01]）。

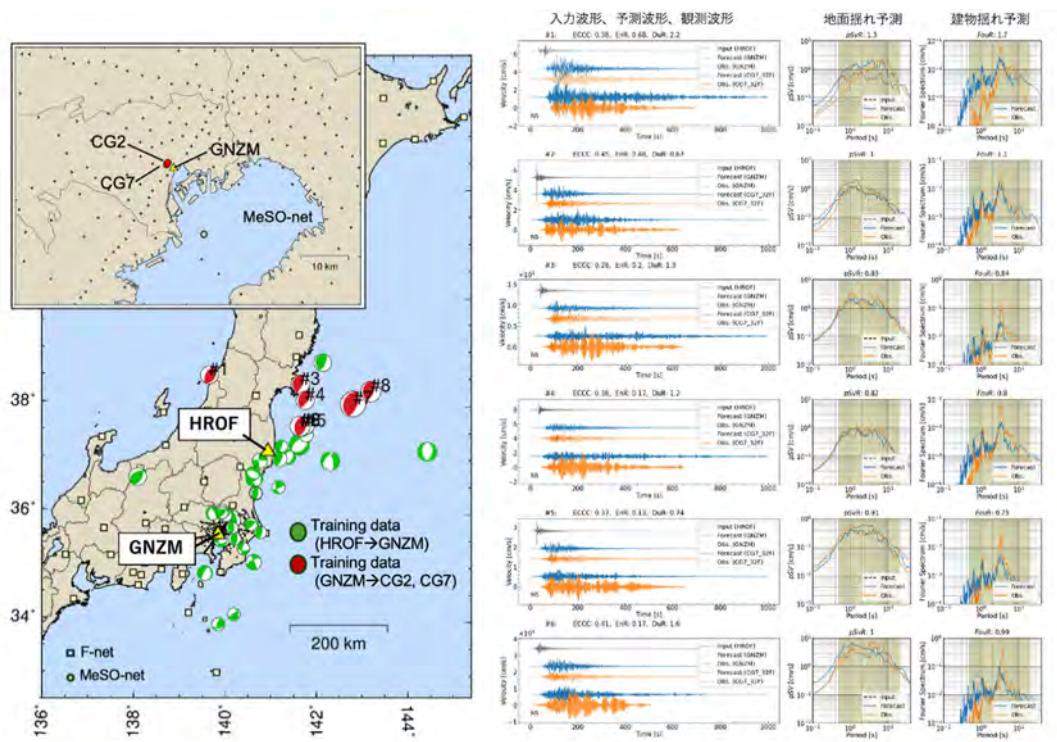


図8．TCNモデルに基づく長周期地震動による建物の揺れの即時予測（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

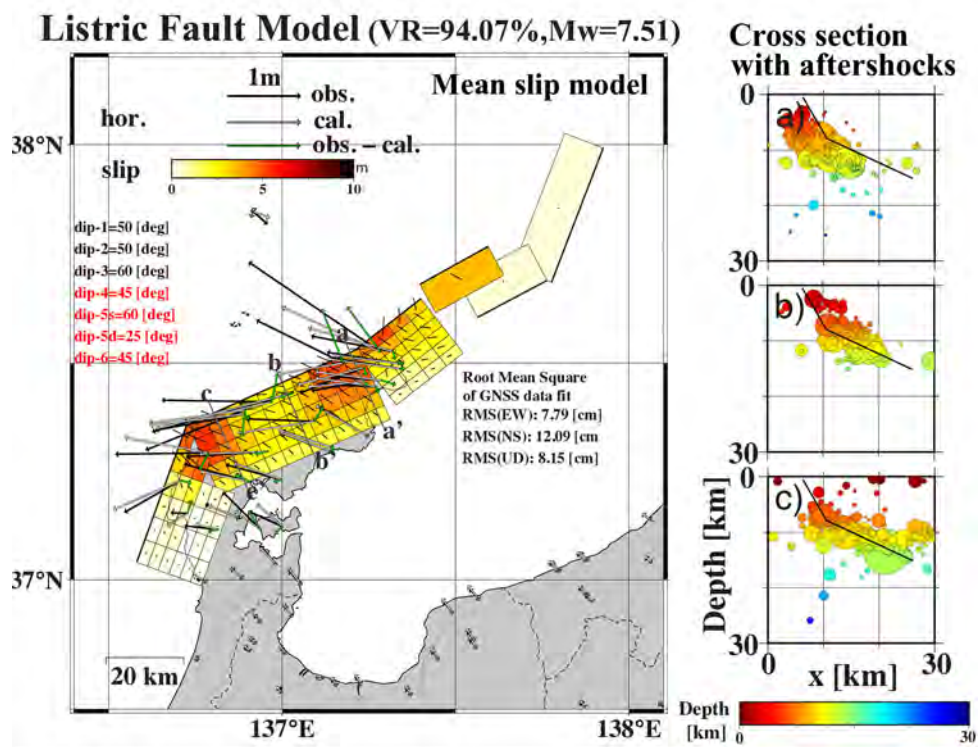


図 9．2024 年能登半島地震の地震時すべり分布推定結果。浅部が高角，深部が低角のリストリックな断層面を仮定した結果（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09，THK_12]）。

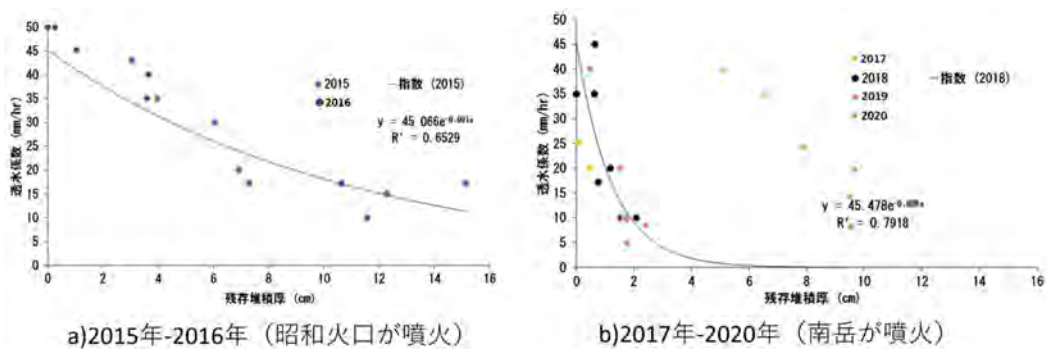


図 10．侵食を考慮した残存堆積厚と透水係数の関係（有村川流域）（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）。

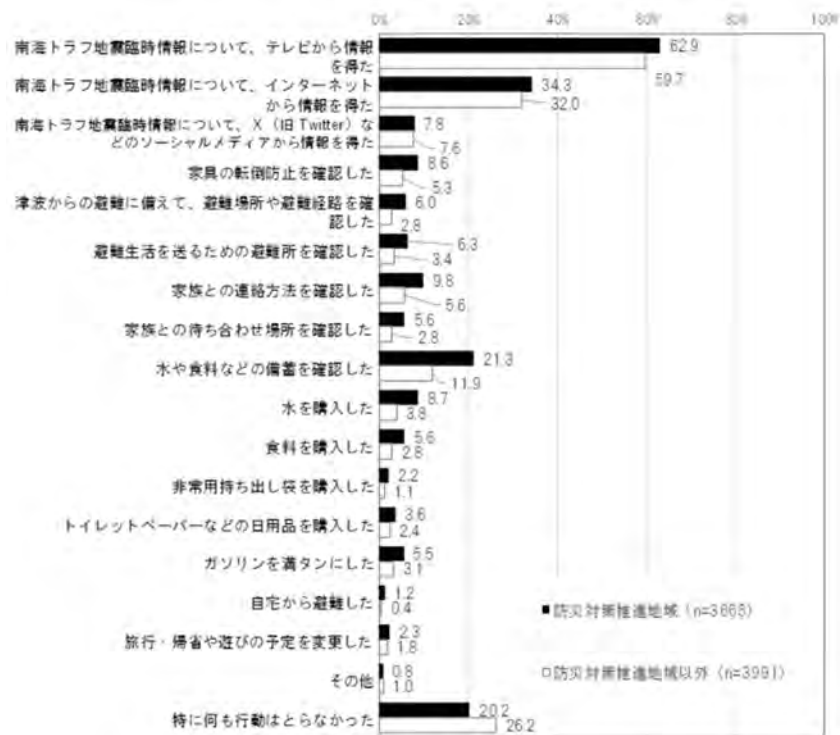


図 11. 8 月 8 日に発表された「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」において住民が情報入手後に取った行動（東京大学大学院情報学環〔課題番号：III_01〕）。

防災リテラシー

「防災リテラシー」計画推進部会長 木村 玲欧

(兵庫県立大学環境人間学部)

副部会長 高橋 誠

(名古屋大学大学院環境学研究科)

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

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

防災リテラシー部会は、基本部分を前々計画における地震・火山災害部会から引き継ぎながら、前計画によって新たに設置された。防災・減災に対する社会の要請を意識し、理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって、過去に発生した地震・火山災害の事例に対して、地震・火山噴火によって引き起こされる地震動や津波、降灰などの災害誘因が避難・防災行動、社会的脆弱性や暴露人口等の社会素因へ与える作用に焦点を当てながら、災害が発生した仕組みや要因を解明する。さらに、社会が被害の発生を抑止、あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識要素・知識体系を探索的に検討する。それに基づいて、防災リテラシー向上に資する実践的な教育・研修プログラムを開発し、フィールドでの実践を基に検証する。これらの研究においては、地域の行政機関やステークホルダーなどとも協働しながら、社会の共通理解の醸成と防災リテラシーの向上を図るものである。

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

被害誘因としての災害リスク情報の精緻化による土地利用計画や、防災リテラシーへの影響を国内外の事例調査や参与観察によって明らかにした。1999年に発生したトル

コ・マルマラ地震では、被災者に提供される住宅に関して、地盤条件を重視した立地が選定・建設された。これは日本における災害復興計画等の検討時には考慮されることが少ない条件である。また、トルコでは事前防災のガイドラインとしての TARAP「トルコ災害リスク軽減計画」を策定し、各自治体への実装を進めようとしている。トルコにおいて実施されている地盤調査に基づく復興土地利用計画への反映が、現在は事前防災対策にも活用されている状況について整理した（図1）（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_01]）。

東海地域において南海トラフ地震などの巨大地震に関して、地域レベルでも事前復興対策が進められている。三重県度会郡大紀町錦地区で行政や住民を対象に地域の歴史的沿革や地域防災の現状に関するヒアリング調査を行った。また、町が2023年に錦地区の後期高齢者を対象に実施した高齢者高台移転事業に関するアンケート調査のデータを入手して分析を行った（図2）。その結果、東日本大震災後、大紀町では津波に対する構造物対策がさらに強化され、防災は津波避難に特化したものとなったが、その一方で生活・生業との結びつきは希薄化した。最近では高齢者の事前高台避難が計画されているが、自力避難困難者や津波リスクが高い地区の住民が必ずしも高台移転を希望しているわけではなく、防災は強化される一方で、地域の持続可能性が危機に瀕するというジレンマに直面していることが明らかになった（名古屋大学[課題番号：NGY_05]）。

災害に対する人々の意思決定のモデルを検討するために、地震後に一時的に高まる防災意識が時間とともに薄れるという人間社会の性質に着目し、防災リテラシーの持続的な向上を支える社会基盤の構築を目的とした2つの観測研究を実施した。1つめは、生活場面ごとのリアルタイム観測により、安全確保行動の選択が周囲の人の有無や時間帯といった状況要因に大きく影響されることを明らかにし、状況に応じた行動モデルの必要性を示した（図3）。もう1つは、日本全国を対象とした社会調査で、初年度は調査枠組みの構築に重点を置いた。地震発生への認識は高い一方で、防災行動の実行は少なく、意識と行動にギャップがあることが判明した。また、能登半島地震や南海トラフ地震臨時情報により防災行動が活性化する傾向が見られたが、地域差も存在することが示された。（関東学院大学[課題番号：KGU_01]）。

地震ハザード評価については、過去の経験や知見が十分でない低頻度の大規模災害に対して、不確実さを適切に考慮できるハザード・リスク評価手法の高度化のため、南海トラフ地震を対象に、認識論的不確実性を考慮するための枠組みの構築を進めた。また、地震ハザードの基盤情報として、地震活動モデルの改良と、東海地域の浅部・深部統合地盤構造モデルを反映した、2025年起点の確率論的地震動予測地図を作成し、強震動データフラットファイル2023年版をJ-SHIS Labs から公開した。津波ハザード評価については、日本海溝沿い・千島海溝沿いを対象に、地震発生の多様性をさらに考慮した2海域統合確率論的評価を進めた。また、防災科研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から、英語版の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、リスク指標を特徴量とした類型化手法を適用して抽出した代表的な地震パターンの広域災害シナリオを作成した（防災科学技術研究所[課題番号：NIED04]）。

（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

不確かさを含む災害誘因に関する情報が住民等に与える影響について、令和6年能登半島地震における富山県の避難行動に焦点をあて、「避難開始判断」だけでなく「避難解除判断」に注目し、住民の避難継続の実態を分析した。地震発生後、津波警報が9時間続いたにもかかわらず、多くの住民が2～3時間で避難を終えた行動が人流データから確認され、避難情報の意義が理解されていない可能性が指摘された。加えて、富山県全域で行ったアンケートでは、避難先が安定した場所であるほど長時間の避難が可能であること、一方で一時的避難先では早期帰宅傾向があることが明らかとなった。また、避難解除判断には同調性バイアスや正常性バイアスが影響し、加えて疲労や生理的要因も判断に関与していた(図4)。これらより、正しい避難情報の提供とともに、長時間避難を支える環境整備が求められることが示唆された(富山大学[課題番号:TYM_02])。

非合理的な認知・意思決定過程の概念モデル化のために、災害における「適切」な認知・意思決定について、実際の災害事例分析結果と合わせ、バイアスや防衛機制といった無意識的過程との関係を検討した。地震発生時の津波避難に関する意思決定過程と「感情制御」という性格特性との関連を、fMRIを用いて脳活動から可視化することを目的とした。20代成人53名を対象に、感覚的および数値的な津波リスクシナリオに基づく課題を実施し、脳反応と感情制御得点の関係を分析した結果、左島皮質および内側前頭前野において負の相関が確認された(図5)。これにより、感情制御が迅速な避難行動に寄与する無意識的な心理過程と関係している可能性が示唆された。特に、面倒くささに基づく回避傾向(心理防衛機制)に対して、内側前頭前野が感情制御を通じて作用しているとの仮説が支持された(東北大学災害科学国際研究所[課題番号:IRID04])。

防災リテラシー向上のための知識要素を体系化し、教育・研修プログラムの設計に資する基礎データを得るために、日本全国を対象にインターネット調査(n=1,599)を行い、備えの実態を把握した。その結果、身近で具体的な備えが一定程度進んでいることが明らかになった。また、内閣府の郵送による世論調査と比較し、インターネット調査の方が年齢やバイアスの点で実態に近いと考えられる可能性を指摘した。さらに、災害への備えを促進する要因として、年齢、婚姻状況、被災経験、ハザードマップ認知度、災害の切迫感、地域交流の6項目が有意であると分析された(図6)。特に、ハザードマップの理解度が備えの推進に大きな影響を与えることから、教育・訓練を通じて地域や自宅のリスクを具体的に把握させることの重要性が提言された(兵庫県立大学環境人間学部[課題番号:HYKN01])。

災害対策基本法の改正に伴い導入された地区防災計画制度も、施行から10年を迎え、各地で多様な取り組みが進められている。一方で、行政による策定支援を受けている場合などでは、内容の形骸化などの懸念も高まっている。地区防災計画の策定と検討、そして実践を継続的に実施することによって、地域住民の防災リテラシーの向上度合を計測するために神戸市中央区港島地区の全世帯対象のアンケートを実施し、意識や防災対策の変化について整理した。その結果、リスクへの理解度にとどまらず、その対応をどのように図るのかを継続的に議論し対策へと活かしていくことが防災リテラシーの向上につながることを明らかにした(兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号:HGY_01])。

具体的な防災リテラシー向上のために、まず大学生や中学生を対象に火山・地震災害の危険情報に対する感度を調査し防災学習の効果を検討した。研修を通じて災害を具体

的にイメージすることで、防災意識は向上し、不安傾向は有意に上昇した。さらに地域学習を通じた防災教育の実践とその効果について検証した。まず、地図学習アプリ「フィールドオン」を活用した防災学習を長野、熊本、鹿児島複数の小中学校で実施し、災害危険箇所の調査や防災マップ作成を行った。また、岡山市の中学生を対象に地域防災ボードゲームの開発ワークショップを実施し、地域の被災経験を題材にしたマス目の問題作成を通して地域理解を深めた（図7）。実施前後の比較では、防災意識は維持され、不安傾向は有意に低下し、地域イメージの習得が不安軽減に寄与したことが示された。さらに、白馬村では地域住民や行政と連携した授業を通じて防災意識向上と災害記憶の継承の効果が見られた（信州大学[課題番号：SSU_01]）。

また、中学校での火山防災ワークショップを通じて、富士山版クロスロードを活用した噴火警戒レベルやハザードマップ、避難行動に関する防災学習を実施した。さらに、富士北麓地域の小中学校での富士山噴火を想定した防災訓練において、行政と学校が連携して防災訓練を実施することで、富士山噴火への理解の促進に活用できることや地震と火山噴火とで対応が異なることへの理解の促進が必要なことを確認した。小中学校での防災訓練を通じて、地域社会に地震災害と火山災害とでの対応が異なることへの周知を行うことができ、さらに行政を巻き込んだ防災訓練により、火山災害時における情報伝達の手段などを確認することができた（図8）（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI01]）。

また地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有のため、関係機関と連携し、気象庁の発表する防災情報の改善を図った。特に今年度の新たに実施したものとして、防災科学技術研究所が高知県沖から日向灘に整備した「南海トラフ海底地震津波観測網（N-net）」沖合システムの津波観測データの活用を開始し、津波警報等の更新、津波情報の発表の迅速化や精度向上を実施したり、長時間継続する津波に関する情報提供のあり方を踏まえた解説の充実を実施したり、広域降灰対策に資する降灰予測情報に関する検討会を開催した（気象庁[課題番号：JMA_11]）。

防災・減災に関する知識の普及啓発について、関係機関と連携し、地震・津波・火山に関する知識や防災行動の普及啓発を継続的に実施した。今年度は新たに「火山防災の日」を契機とした啓発活動や郵便局との連携広報を実施した。加えて、昨年度からの継続として、過去の災害の節目を活用した啓発、巨大地震対策のオンライン講演、自治体や教育機関との連携による訓練・教育支援、出前講座や地域講演会、防災番組やSNSを通じた情報発信などを行い、南海トラフ地震や火山灰情報にも焦点をあてた（気象庁[課題番号：JMA_12]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、前計画から引き続き、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・研究機関における理学・工学・人文社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究と、地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を実施してきた。特に防災リテラシー部会では、地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上を目的として、全国の大学・研究機関が協力をして、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・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を実施してきた。

具体的に，地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては，災害リスク情報の高度化が土地利用計画や防災リテラシーに与える影響を，日本各地の事例やトルコ・マルマラ地震などの事例から明らかにした。日本では南海トラフ地震への備えとして，地域の歴史的背景や住民意識を踏まえた調査が行われ，大紀町では高齢者の高台移転が進むものの，地域の継続性とのジレンマが浮き彫りとなった。その一方，トルコでは，地盤調査を基にした住宅再建や災害リスク軽減計画（TARAP）の策定が進み，事前防災に活用されていることも明らかになった。また，防災意識が一時的に高まっても継続しづらいという人間の性質を踏まえた意思決定モデルが検討され，日常生活の状況要因が安全確保行動に大きく影響することが観測された。さらに，全国調査により防災意識と行動にギャップがあること，防災行動は地震情報の発信により活性化するが，地域差があることが示された。ハザード評価では，確率論的地震動予測地図や津波ハザード情報の整備が進められ，南海トラフ地震の多様なシナリオ分析とリスク指標による類型化が行われた。これらにより，科学的根拠に基づいた地域の防災対策や社会的備えの重要性が再認識された。

地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究においては，災害時の不確実な情報が住民の避難行動に与える影響や，防災リテラシー向上の方策について多角的に検討がなされた。令和6年能登半島地震の富山県では，多くの住民が津波警報中にもかかわらず早期に避難を終了していたことが人流データから明らかとなり，避難情報の理解や受け止めに課題があることが示された。加えて，避難継続の可否は避難先の環境に左右され，同調性・正常性バイアスや身体的負荷が避難解除判断に影響を与えていた。また，fMRIによる脳活動分析から，感情制御が迅速な避難行動に寄与することが示唆された。全国調査では，備えの実態把握と行動促進要因（年齢・被災経験・地域交流等）が特定され，特にハザードマップ理解の重要性が強調された。さらに，地区防災計画制度の検証や学校での防災教育の実践を通じて，防災リテラシーの継続的向上の必要性が確認された。具体的な取り組みとして，地域防災ボードゲームや地図アプリの活用，小中学校での防災訓練が実施され，災害に対する地域理解や不安軽減につながった。また，防災科学技術研究所や気象庁との連携により，防災情報の精度向上や津波・火山情報の改善も図られ，社会全体での共通理解の醸成が進展したことが成果として示された。

今後は，本年度の検討をさらに深化させながら，防災リテラシーの理論的な体系化を目指したい。例えば，地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明については，三重県大紀町錦地区を中心に高台移転事業に関する課題を，地理的特性や住民の意向を踏まえたヒアリング調査により明らかにし，持続可能な防災とまちづくりの在り方を検討する。また，県南漁村地域全体の災害リスクや人口動態をデータ分析し，地域間のリスクの可視化を進める。さらに，水害リスクを含む土地利用と行政施策の実態を把握し，海外事例（トルコ）と比較する。併せて，防災行動に見られる「単純化癖」などの社会的バイアスや地域差に着目し，地震情報が人々の行動に与える影響を明らかにするため，エリアサンプリング調査を実施する。低頻度だが大規模な災害に対応できるハザード評価の高度化にも取り組み，2026年を起点とする地震動予測地図や津波リスク評価を整備することが重要である。

地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究については、避難行動と地震データの関係を多変量解析により解明し、時間や地域差に応じた行動モデルの構築を目指す。また、防災動画を用いて自己効力感や関連性の異なる介入効果をfMRIで検証し、防災教育に有効な認知過程の抽出を進める。教育面では、防災リテラシー向上に向けて知識要素の体系化と教材開発を行い、地域アプリやGIS活用、モデル地域での試行を通じて教育プログラムを検証し、富士山噴火を想定した訓練の継続やクロスロード教材の活用も推進する。さらに、防災情報の改善成果を関係機関と共有し、気象庁と連携して津波警報や緊急地震速報などの防災情報を強化し、住民の意識向上に戦略的に取り組むことが重要である。

成果リスト

- 廣内大助・佐々木克敬（編著），2024，今すぐできる学校の防災管理―少しの工夫でこんなに改善！―，東京法令出版。
- 井ノ口宗成・田村圭子，2024，GISを用いた津波避難困難区域内の既存施設活用にかかる効果分析－岩手県久慈市を事例として－，電子情報通信学会 ソサイエティ大会 論文集，pp.1.
- KIMURA, R., SATO, S., Yi, T., NAKAZAWA, K., MATSUKAWA, A., TSUJIOKA, A. and OHTSUKA, R., 2024, Elucidations of Present Situation of Preparedness for Natural Disasters at Home in Japan and its Effective Factors, Journal of Disaster Research, Vol.19, No.5, pp.818-828.
- 木村玲欧，2024，学校での防災教育，朝倉書店，pp.136-137（地域安全学会（編），2024，防災と福祉ガイドブック～誰一人取り残さない福祉防災の視点，朝倉書店，168pp.）
- 木村玲欧（監修），2025，明日のキミを震災から守る10の質問～1巻 地震前にどう備える？，学研，48pp.
- 木村玲欧（監修），2025，明日のキミを震災から守る10の質問～2巻 地震時にどう動く？，学研，48pp.
- 木村玲欧（監修），2025，明日のキミを震災から守る10の質問～3巻 地震後をどう生きる？，学研，48pp.
- 木村玲欧，2025，80年前の災害をイメージし，未来の防災へつなげる～1945年三河地震，なみふる（日本地震学会 広報誌），No.140（2025年2月号），pp.6-7.
- 気象庁，2024，長時間継続する津波に関する情報提供のあり方（報告書）
- 気象庁，2024，緊急地震速報の利活用の予備調査（2024年1月1日16時10分頃の石川県能登地方の地震（最大震度7））（速報版）
- 室井研二，2024，地域と「自然」―環境変動への適応，地域社会学会ジャーナル，18，pp.4-11.
- NAGATA, T., Yi, T., KIMURA, R. and IKEDA, M., 2024, Development of the Volcanic Disaster Risk Reduction Education Program Using the ICT Tool “YOU@RISK Volcanic Disaster Edition” -Practical Verification at a Junior High School in the Mt. Nasu Area-, Journal of Disaster Research, Vol.19, No.5, pp.793-807.
- 中谷茉樹・井ノ口宗成，2024，新聞記事の名詞出現実態からみる地域防災計画の評価手法の開発―令和6年能登半島地震と富山県地域防災計画を事例として―，地域安全学会論文集，No.55，pp.435-436.
- 中谷茉樹・井ノ口宗成，2024，新聞記事の名詞出現実態から見る令和6年能登半島地震の時系列

状況 分析, 第23回情報科学技術フォーラム, No.23, pp.441-442.

Nakazawa, K. Ohtomo, S., Kimura, R. 2024, Study on the Implementation Status of Business Continuity Plan (BCP) Training and Exercises in Companies. 18th World Conference on Earthquake Engineering Conference Proceedings, TNM7, 9pp.

小田隆史, 2024, 2023年学界展望 自然環境・災害, 人文地理, 76, pp.286-292.

Ohtomo, S., Kimura, R., Nakazawa, K. 2024, Applying NPS Assessment to Residents' Evaluation of Earthquake-Resistant City in Japan. 18th World Conference on Earthquake Engineering Conference Proceedings, TNM7, 9pp.

大友章司・木村玲欧・中澤幸介 (印刷中) リスク・リテラシーおよび地震への認識や心理属性が防災行動に及ぼす影響 月刊地球特集「防災リテラシー」

SATO, S., KIMURA, R., NAKAZAWA, K., Yi, T., MATSUKAWA, A., TSUJIIOKA, A. and OHTSUKA, R., 2024, The National Trend of Data of the Scale of Attitude Toward Culture of Living with Disaster Risk (SAC-LDR), Journal of Disaster Research, Vol.19, No.5, pp.808-817.

澤田雅浩, 2024, 大規模マンションにおける耐震補強工事の実現プロセス 神戸市中央区港島地区での取り組みから, 地区防災計画学会誌, 29, pp.78-81.

澤田雅浩, 2024, 視点 防災 能登半島地震, 能登半島以外で起こっていること, 東京消防, 東京消防編集室 編, 103(3), pp.42-45.

澤田雅浩, 2024, 中越地震から20年を振り返る, 自然災害科学, 43(3), pp.277-280.

澤田雅浩, 2024, マルチハザードリスクがもたらす建築・都市の姿 災害復旧がもたらす「復興のジレンマ」, 建築雑誌, 139, p.1788.

澤田雅浩, 2025, 人口減少社会における復興事業のあり方を問う-特集 震災復興を問う:「創造的復興」とは, 都市問題, 116(1), pp.99-107.

内山琴絵, 2024, 災害に対する社会的脆弱性指標に関する研究動向と日本における導入の課題—Social Vulnerability Index (SoVI) を事例に一, 人文地理, 76, pp.111-126.

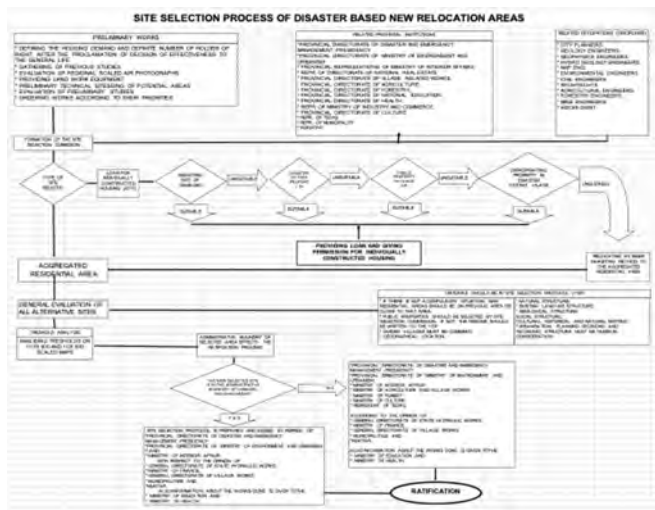


図1. トルコ・マルマラ地震時の公共住宅等の敷地選定プロセス（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_01]）

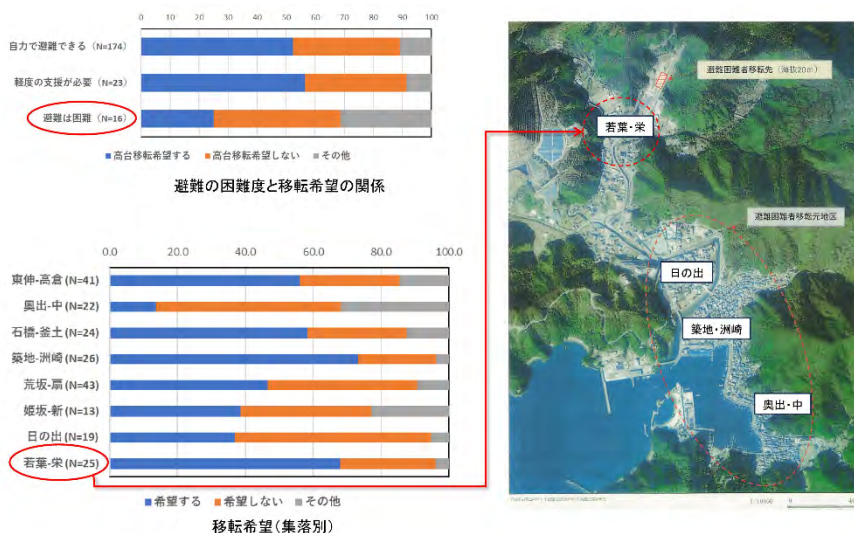


図2. 高台移転事業に関するアンケート結果（名古屋大学[課題番号：NGY_05]）

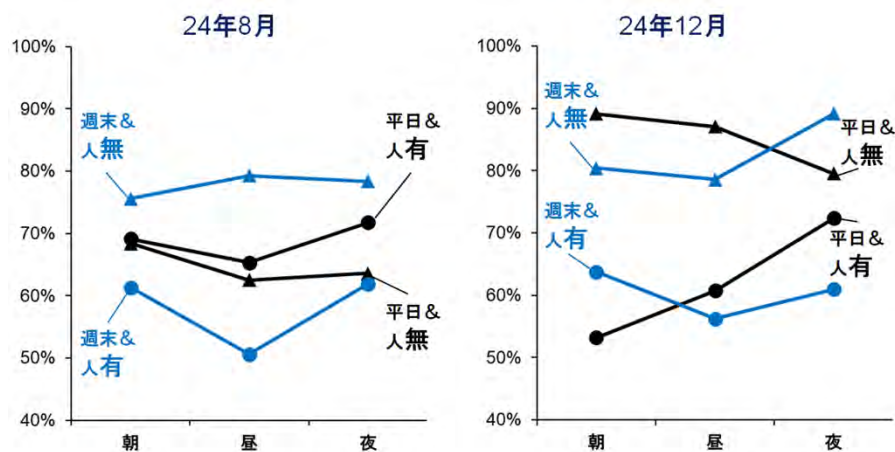


図3. リアルタイムのサンプリング観測研究(2024年8月と2024年12月調査)の地震発生直後の情報確認行動の結果（関東学院大学[課題番号：KGU_01]）

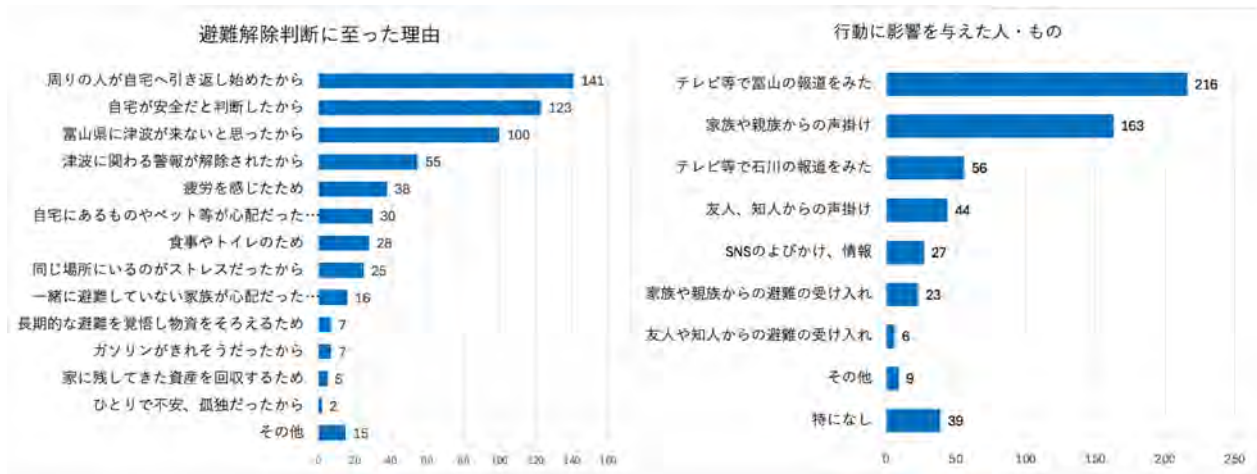


図 4. 令和 6 年能登半島地震時において避難行動解除にかかる要因（富山大学[課題番号：TYM_02]）

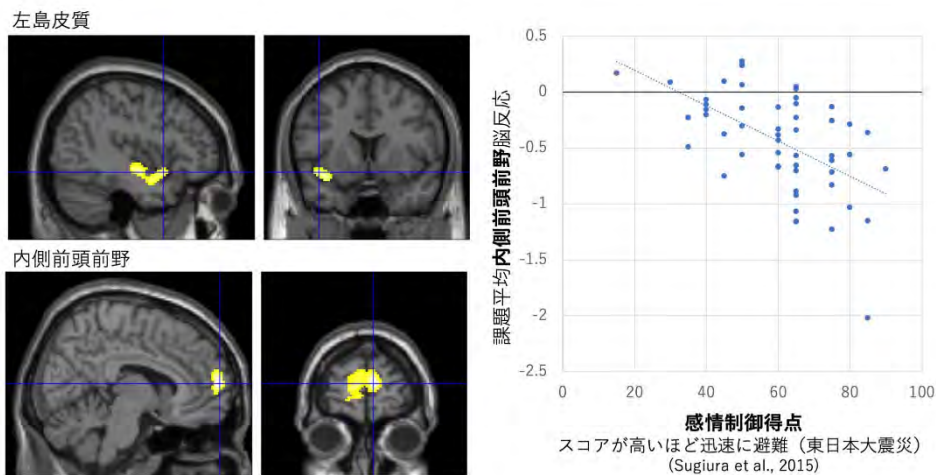


図 5. 避難意思決定課題の 2 種類のシナリオにおける脳活動計測実験データの分析結果（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID04]）

	b	SE	β	95%LCI	95%HCI	VIF
(定数)	-1.241 **	.427		-2.077	-.404	
年齢	.022 **	.008	.086	.006	.037	1.951
性別	-.096	.200	-.011	-.489	.296	1.048
結婚	.674 *	.302	.076	.081	1.267	2.334
子ども	-.476	.302	-.052	-1.069	.116	2.223
収入	.369	.211	.041	-.045	.784	1.14
持ち家	.288	.223	.031	-.149	.726	1.161
地域居住年数	-.090	.237	-.010	-.554	.374	1.322
被災経験	1.340 **	.239	.127	.871	1.809	1.043
人的被害	.366	.313	.027	-.248	.979	1.05
ハザードマップ認知度	3.320 **	.243	.317	2.844	3.797	1.09
災害切迫度	.958 **	.201	.108	.563	1.353	1.055
地域交流度	1.327 **	.202	.150	.932	1.723	1.061
R ²	.213					
F(12, 1586)	37.01 **					

**：p<.01, *：p<.05

図 6. 防災における備え行動を促進させる原因（兵庫県立大学環境人間学部[課題番号：HYKN01]）

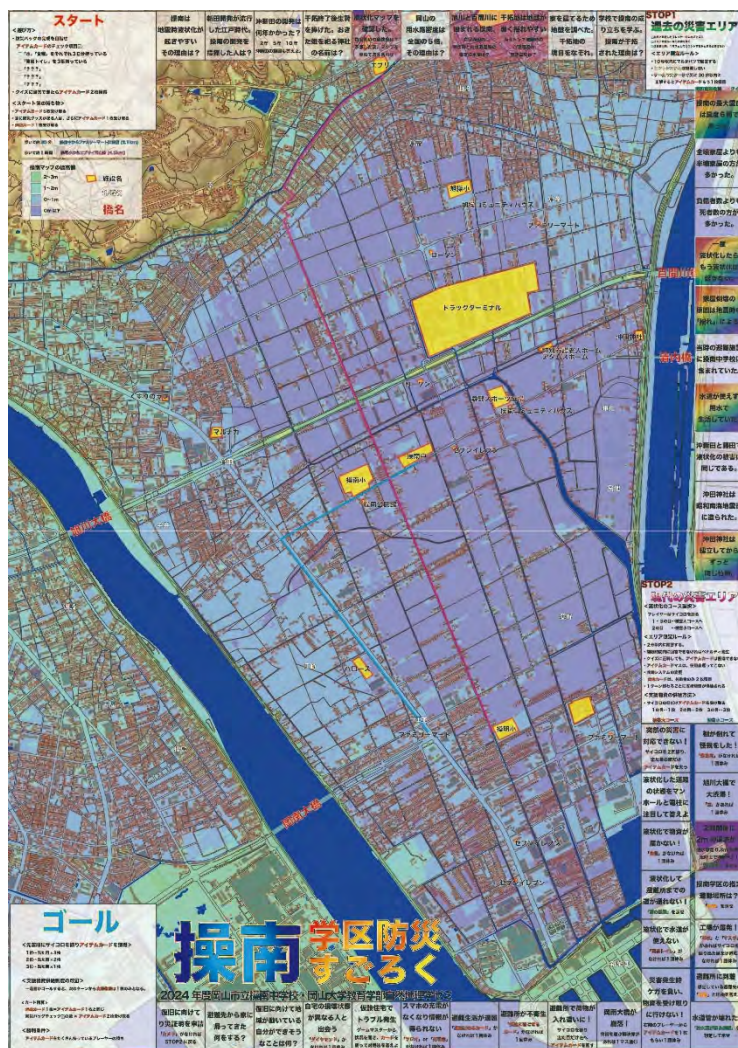


図7. 中学生が作成した岡山市操南学区のすごろくボードゲーム（信州大学[課題番号：SSU_01]）

▶Jr防災士講座(2025年1月)での事前学習

富士河口湖町のJr防災士講座(小4～6年生)の事前学習でアプリを使い、自宅の避難エリアと避難のタイミングを確認。



富士河口湖町
防災アプリ

事前学習シート

避難エリアと回答数(n=17)

避難エリア	避難のタイミング
第2次	噴火前
第3次	噴火警戒レベル1
第4次(1人)	噴火警戒レベル4 (高齢者等避難)
第5次(13人)	噴火直後に町から避難指示が出た地域
第6次(2人)	町からの避難指示がでたタイミング

●ハザードマップの理解

アプリの利用によって17人中16人が回答できた。避難のタイミングは14名が正しく回答していた。

●噴火警戒レベルの理解

アプリにより避難マップを理解することが可能。しかし、噴火警戒レベル(避難のタイミング)の理解は難しい。

図8. Jr. 防災士講座での事前学習効果（山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI01]）

「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 村田泰輔

(奈良文化財研究所)

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

しかし、史料や考古資料に基づく地震火山関連のデータは、当時の人間の感覚による記録や地中に残された痕跡に基づくものであり、近代的な観測機器を用いた地震・火山の観測データによる調査分析に直結させて活用することは困難である。そこで重要になってくるのが、歴史学の手法を用いた史料とその記述の正確な分析・解読や、地質学的な手法を活用した考古遺跡における災害痕跡の分析といった、歴史学や考古学の専門的見地からのアプローチである。また、今日高まりつつある災害・防災へのオープンサイエンスの一環として、地震・火山噴火関連の史料データ・考古データのデータベースの構築や統合とともに、これらのデータを活用した新たな研究手法の検討や利用も重要な研究課題である。

このような新たな研究への取り組みは、史料や考古資料に関する読解や分析が十分とは言えなかった従来の研究手法を改善するとともに、それぞれの分野の学術研究に裏打ちされた精度と確度の高い文理融合による学際研究を目指すものである。この取り組みによって、かつては地震学や火山学の分野から信頼性が問題視されてきた史料・考古データや、それらに基づく研究成果について、これまで以上の信頼性を確保できると考える。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合

ア. 史料の収集・分析とデータベース化

○史料による近代以前の地震・火山活動の調査・分析とその公開

前計画に引き続き、地震史料集テキストデータベースの原典による史料校訂、およびデータ修正の作業を進めた。これまで別々に行っていた史料校訂とデータ修正を一体の作業として行うこととし、増訂3および新収3の史料校訂・データ修正を進めた(東京大学史料編纂所[課題番号: UTH_01])。

史料と史料に登場する地名の関係を、Web GISベースのシステムを介して可視化(地図上に表示)するために、自然言語処理を専門とする情報工学研究者との連携により、新収3・4・4別を対象に、学習データの追加、および実践的な自動地名付与を行い、これまで

以上の性能を得た。F値（＝適合率×再現率）の評価は約0.775（令和4年度）から0.839に向上し、人手で修正したデータを追加して学習させた場合は、0.840へと改善がみられた（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

①「宇和島伊達家文書」（宇和島伊達文化保存会）のうち『国元日記』（原題：大控，日記ほか）の分析から，日向灘を震源とする歴史地震の分析時に，宇和島の記録の有無は，震源判断の一助となり得る可能性があることが判明した。②「小松藩会所日記」「高鴨神社日次記録」（西条市立小松温芳図書館）を調査し，「高鴨神社日次記録」からは，伊予での地震記事のほか，各地の地震伝聞情報などが得られた。③「荒木（登志夫）家文書」（熊本県立図書館）のうち『日記 大地震有之等諸事書付』は，昨年度調査した「東海道地震記録」を記した坂本淳蔵と同行していた人物が嘉永七年十一月四日の東海地震後の東海道の様子を記録したもので，同じ被害状況を別人が見た記録として比較が可能である。④阿蘇大宮司家文書『日記』（熊本大学附属図書館）は，19世紀前半における阿蘇山の火山活動履歴構築の一助となる史料であることが判明した。⑤奈良県吉野山の桜本坊文書を調査し，家光・家綱期の老中松平乗寿らが寺社・公家とやりとりした書状の控のうちに，慶安二年六月二十一日（1649年7月30日）の江戸大地震に関する記述を発見した。⑥昨年度に引き続き「佐伯藩郡方町方御用日記」（佐伯市歴史資料館）の地震記事を確認した。⑦「伊達家文書」（仙台市博物館）を調査し，これまで未校訂であった『大日本地震史料』の該当部分の校訂を実施した。⑧「高鍋城明和六年大地震破損覚書絵図」（高鍋町歴史総合資料館）および「高鍋城図」（東京大学史料編纂所）により，明和六年七月二十八日（1769年8月29日）の日向灘地震における高鍋城の被害について検討した。⑨「立花家文書」（柳川古文書館），⑩都城島津家文書「山田有長雑集」（都城島津邸）等を調査した。⑪「浦日記」（山口県文書館所蔵毛利家文庫）について，史料の画像公開と記事の分析を行った。既刊史料集に示された記主の所在地（震動の記録された場所）の誤りと未採録の地震事例が多数判明した。⑫所蔵のCaptains' logs, including BLOSSOM（The National Archives, UK）等の分析によって，小笠原諸島父島での1826年の津波とされる事象には気象災害の可能性が含まれていることが判明した。「小笠原島日記」（国立公文書館）等の史料の分析と数値計算によって，小笠原諸島父島に1854年安政東海・南海地震による津波が到達した時刻に関する史料の記述は概ね正しく，数値計算で求められる津波の振幅は史実を再現できることが判明した（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

○東北地方を中心とする歴史災害の文献・絵図史料収集および地形復原による分析

1611年慶長奥州地震津波をめぐって，評価が分かれている次の点について検討した。

①地震規模について，『言緒卿記』の作者の山科言緒が「大地震」と記述する例を検討した結果，山科言緒の「大地震」は，一定度の身の危険がともなう震度4以上とするのが妥当である。②1611年慶長奥州地震津波の震源・波源を千島海溝とする論拠のひとつが，地震発生と津波到達時刻に4時間の差があるという指摘である。しかし，そもそも，地震発生と津波の到達時刻に時間差があったことを明記した史料は存在しておらず，気仙町の『古新手鑑』などは地震まもなく津波が到達したという記述をしている。ゆえに，地震発生と津波到達時刻の不自然な時間差を設定する必要は無い（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01]）。

○日本海沿岸地域を中心とした地震・火山噴火関連災害の解明のための史料収集と解析

日本海沿岸地域を中心とした各地の史料保存機関に所蔵される史資料の調査と分析、既刊の地震・火山噴火史料集に所収される史料の原本調査に基づく校訂作業を実施した。

(1) 1361年南海トラフ地震の東海地震に関連して、三河国渥美郡の常光寺(愛知県田原市)伝来の『常光寺王代記并年代記』の康安元年地震記事「自六月一日、迄廿一日、大地震、地破」の出典について史料学的に検討した。その結果、14～15世紀前半の記事は著者樹王が遠江国浜松庄普濟寺(静岡県浜松市)で得た出典に基づいており、当該記事の地震は遠江でおきた可能性が高い。(2) 現在の新潟市西区を描いた近世絵図「西川筋道上山付近絵図(断簡3点)」(新潟市歴史博物館所蔵)について現地比定を行い、新田の「亥砂入」の範囲が海岸砂丘と氾濫原との境界域に位置することを明らかにした。その形状が砂丘列に平行して細長く伸びること(2024年能登半島地震による被災地と同じ)などから、液状化現象(噴砂)により砂入として年貢減免地を示すために作成され、その地震は年貢減免される亥年の前年戌年の1802年佐渡小木地震の可能性がある。(3) 1828年のシーボルト台風・越後三条地震の被害情報などを記す史料の写本が各地に残ることについて、新たに翻刻分析した越後国古志郡種苧原村(現長岡市山古志)庄屋坂牧家の写本2点を含む4点の写本の内容を比較検討することにより、伝写の系統や原典を探り、台風・地震等の複合災害に対する「災害知」集積の一環として書写された側面があったことを示した。(4) 1833年庄内沖地震における能登半島の被害を記した「秀藤日記」の記事について原本(石川県珠洲市飯田、春日神社所蔵「葛原秀藤日記」)コピーにより確認したところ、『新収日本地震史料 補遺続』等に記載される輪島の津波被害者数は100人でなく200人であった。(5) 2024年能登半島地震により新潟市西区で被害を受けたかつて潟のあった地域を知るため、近世に作成された坂井郷麓絵図と享保4年(1719)北場・亀貝・小新野手場書上絵図(新潟市文書館所蔵亀貝・坂井家文書)を調査しトレース図を作成した。また『西蒲原郡全図』(1914年)について、新川(悪水を海に流す堀割、1820年通水)が描かれる以前の近世絵図には、二枚目潟などの名称が記され、潟名のない潟が白鳥潟であることを確認した(新潟大学[課題番号:NGT_01])。

○史料の可視化から解明する南海トラフ巨大歴史地震像

三重県、愛知県、静岡県、和歌山県を中心に地方史・郷土史等の史料収集を行うとともにそれらの情報についてGISに入力を行った。昭和南海地震では紀伊半島南部で、震源域に近いにもかかわらず当時の体験談等を読むと軟弱地盤地域を除いて家屋倒壊もなく、家の中も大した被害になっていないことがわかった。紀伊半島南部の被害はほとんどが津波によるもので揺れによる被害はほとんどない。安政南海地震でも同じようなことが言えることがわかった。これは東南海地震での被害の状況とは大きく異なる。なぜ揺れが小さく津波が大きいのか、今後検討が必要である。内閣府の予測震度分布をみても和歌山県南部は震度6強～7が想定されているが、南海地震での和歌山県南部では揺れによる被害よりも津波による被害が重要になる可能性がある(名古屋大学[課題番号:NGY_01])。

令和5年度以前から実施している『大沢家本願寺関係文書』(安政東海・南海地震に関する西本願寺関係者の記録)と『違変記』(1790-1855年の地震、火山噴火、気象災害、

異常現象，事件の記録の集成。福岡藩士の編纂物）の解説を継続し，新たに『鳥羽御城石垣惣躰高サ式尺築足一件他』の解説を開始した。新出史料『三戸御与力石井綱盈要録』（1843-1868年の南部家の代官所与力を務めた石井綱盈の公私留書。1856年安政十勝沖地震の記録を含む）を入手した（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

○歴史地震・噴火に関する分野横断的なデータベースとコミュニティカタログの構築

地震史料集テキストデータベースにおいて，収録された史料全体について，過去の収録作業における年月日誤りや，文字の変換誤りを修正した。データベースに実装した「問い合わせ」機能が有効であった。関東地方で発生した地震に関連する史料について，被害や有感地点を推定しGISデータ化を進めた。可視化には「れきちず」や「『日本歴史地名大系』地名項目データセット」など最新の情報基盤を活用した（図1）。考古データ（「歴史災害痕跡データベース」）との連携のため，アイコンの共通化を検討した。1729年能登半島の地震の際の有感地震数について検討した。1830年京都地震の際の，上賀茂神社での被害や神社の対応について詳細に分析した。また，歴史地震の震度判定を生成AIによって半自動化する試みを行った。震度判定表を生成AIに学習させ，それをもとに入力した地震史料テキストから震度判定させ，震度のほか判定の信頼度や根拠を出力させることができた。既刊の地震史料集の中間的・根拠データである写真帳（東京大学地震研究所の共同利用の対象）のデジタル化を進めた（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01]）。

○研究コミュニティの構築・教育・社会への普及

「東海道地震記録」は上記の調査の成果をふまえて，熊本博物館で常設展示されることになった（2025年2月～）。調査・研究によって，地域に所蔵される史料の存在とその内容が広く紹介されるに至ったことは，災害に関する市民の理解や防災への意識を高めるうえでもきわめて重要な成果である（東京大学史料編纂所[課題番号：UTH_01]）。

災害時における文化遺産防災として，各地の文化遺産の位置情報と災害情報を重ねた文化遺産防災マップについて，2024年1月能登半島地震の際にこれを活用した文化遺産の被災推定を実施した（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID01]）。

2024年11月10日に第12回歴史地震史料研究会をオンラインにて開催し，本課題研究者メンバーを中心とした歴史学者7人・地理学者2人・考古学者1人・地震学者1人による研究発表・討議を行った（参加者33人）（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

兵庫県立大学・名古屋大学・他のメンバー共同による「減災古文書研究会」を組織して令和6年度の研究活動を実施した。防災関係行事における出展・ワークショップ3件（名古屋大学減災連携研究センター夏休みスペシャル減災教室（名古屋市）・ぼうさいこくたい2024（熊本市）・あまおだ減災フェス（兵庫県尼崎市））においてかわら版『諸国大地震大津波末代噺』を利用したすごろくゲームを実施した。その際，ワークショップ実施の前後で質問紙調査を行うことにより学習効果を測定し，統合指標「災害に対する興味関心と知識」が向上したことが明らかになった。減災古文書研究会のインスタグラムを新たに開設し，研究成果の社会還元を推進した（名古屋大学[課題番号：NGY_01]）。

イ. 考古データの収集・集成と分析

○考古・地質・歴史資料による地形発達と地質表層部-深層部応答にみる災害発生メカニズム分析と歴史災害痕跡データベースの拡充構築

奈良文化財研究所が有する「全国遺跡報告総覧」 (<https://sitereports.nabunken.go.jp/ja>) に掲載される全国131,972件の発掘調査報告を精査し、地震痕跡の記載（キーワード：地震・断層・液状化）がある1,670件の情報を抽出し、そこに地震痕跡の検出調査地点の緯度・経度情報、災害痕跡種別、地震発生想定時期等を付記した「全国大規模地震痕跡データセット」を構築し、データ活用が容易となるようCSV形式で一般公開 (<https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/cultural-data-repository/75>) を始めた（図2，図3，奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

東京大学地震火山史料連携機構（地震研究所・史料編纂所）の有する歴史資料データベースとの統合検索を行うために「歴史災害痕跡データベース」 (<https://hdegis.nabunken.go.jp/>) に実装しているAPI機能の改修・拡充を行った。「歴史災害痕跡データベース」へのデータ入力インターフェースの試験運用を始めた。一部入力方法に課題があるが、次年度には通常運用を進められる段階まで到達した（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

BIM/CIM技術の導入を進め、地質情報の基盤となるボーリング・コアや、発掘調査で行われる層相記載について、デジタル情報化し空間情報システムとして一元的に取り扱うために、初期的な調査フローの構築を行った。西日本における「地殻活動の機動観測を通じた内陸地震に伴う災害の軽減に関する総合的研究(DPRI10)」の、光リモートセンシングによる表層地質の揺れやすさ観測と、発掘調査で検出した地震痕跡との相関性についての検証を進めた（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

○考古学による弥生時代に発生した津波災害の検討

仙台市杳形遺跡で判明した弥生中期中葉（2000 calBP）の大規模な三陸地震津波が発生する以前の弥生時代の集落遺跡の消長分析を行った。その結果、広域的な一斉衰退現象（廃絶を含む）が中期初頭のとくに三陸沿岸～大崎平野で顕著で確認できた（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

これまでの課題と今後の展望

令和6年度においては、地震・火山現象に関係する史料の調査・収集を全国各地で実施、それらの情報を活用しながら地震・火山現象の詳細な事例研究や既往研究に対する史料の見地からの見直しを進めた。また、データベースの分野では、地震史料集テキストデータベースのブラッシュアップおよびGISデータ化、東南海地震に関する史料情報のGIS入力による南海トラフ地震の個別分析を進めた。特に、今年度は考古調査による地震痕跡の検出調査地点の緯度・経度情報、災害痕跡種別、地震発生想定時期等を付記した「全国大規模地震痕跡データセット」を構築し、これを令和7年1月24日より一般公開した。あわせて、当部会の課題代表者による研究会を実施し、本年度の成果を共有するとともに、整備されつつあるデータベースを利活用した新たな研究展開について協議した。

今年度の史料研究の活動から、既往研究で定説が固まりつつある事例であっても、精

緻な分析から見直すことで、修正点や新たな実相が浮かび上がっており、今後もさらなる史料の収集・分析を展開することが継続的な課題である。一方、考古資料の調査研究からは、特に地震の災害痕跡の分布から、これまでに認識されなかった表層地質の揺れやすさの粗密が「見える化」した。これは地殻活動が引き起こす災害発生メカニズムを明らかにするだけでなく、現在の私たちの社会インフラを評価していく重要な情報基盤となる。今後は、地震のみならず火山噴火、さらにそれらによって引き起こされる2次災害以降の多様な災害について、継続的に情報を収集・集成していくことが必要である。また、各種データベースの一般公開や情報の拡充が進む一方で、これらを活用した新たな研究はまだ十分には展開できていない。データベースを活用した研究について、当部会の史料分析はもちろんながら、今後は他部会とも連携した研究の展開を模索することにした。

成果リスト

・論文・報告書等

- 榎原雅治, 2024, 東海の災害・環境と交通路, 杉山一弥編『東海の中世3室町幕府と東海の守護』, 吉川弘文館, 192-219.
- 蝦名裕一, 2024, 元和二年(1616)仙台地震における津波被害はあったのか?, 歴史地震39, 187-202.
- 原直史, 2024, 文政十一(一八二八)年複合災害の様相—豪雨・飢饉・台風・地震—, 災害・復興と資料, 16, 1-13.
- 原直史, 2024, 1828文政11年複合災害の情報伝播—越後国を中心に—, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 28-30.
- 原田和彦, 2024, 安政江戸地震における松代藩邸の被害, 災害・復興と資料, 16, 88-98.
- 原田和彦, 2024, 前近代における長野県大北地域の地震活動, 第41回歴史地震研究会(木曽御嶽大会)講演要旨集, 3-3.
- 原田和彦, 2024, 江戸時代における長野県北部の地震活動, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 22-23.
- 林晃弘・水野嶺, 2025, 熊本博物館所蔵「東海道地震記録」, 東京大学史料編纂所研究紀要, 35.
- 堀健彦・片桐昭彦, 2024, 近世期における新潟市西区を描いた絵図と2024年能登半島地震による被害, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 4-5.
- 加納靖之, 2025, 歴史地震研究におけるデータのオープン化の現状, 国立歴史民俗博物館研究報告, 印刷中.
- 加納靖之, 2025, 歴史地震IDについて, 国立歴史民俗博物館研究報告, 印刷中.
- 片桐昭彦, 2024, 災害記録としての『新選和漢合図』写本, 災害・復興と資料, 16, 59-67.
- 片桐昭彦, 2024, 年代記の地震記事と出典—『常光寺年代記』の康安元年地震記事—, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 19-21.
- 北村昌卓, 弘田尚也, 浦川豪, 平井敬, 2025, 劣化した石碑の簡易な判読技術の開発と市民参加型石碑データベースの構築に向けた検討, 中部「歴史地震」研究年報, Vol.13.
- 村田泰輔, 西口顕一, 関口洋美, 2024, 歴史災害痕跡データベースの表示デザインの研究. 奈

文研論叢5, pp. 1-14.

水野 嶺, 2025, 十九世紀前半肥後国下の地震—中小地震記録の集積と分析—, 月刊地球, Vol. 47, No. 1, 6-14.

小野映介, 2024, 令和6年能登半島地震によって生じた越後平野における地盤災害, 2024年日本地理学会春季学術大会要旨集, 57-57, DOI:10.14866/ajg.2024s.0_57.

小野映介, 平安京左京南部における地形環境変遷, 災害・復興と資料, 16, 30-37.

小野映介・佐藤善輝, 2024, 地形環境史研究—地理学と考古学・歴史学の接点, 古今書院, 1-183.

大邑潤三, 2025, 地震史料のGISデータ化の意義と課題, 月刊地球, 184-194.

齋藤瑞穂・鈴木正博, 2024, 先史三陸地震津波概論—縄文時代篇—, 災害・復興と資料, 16, 1-29.

齋藤瑞穂・鈴木正博, 2024, 弥生三陸地震津波研究—弥生時代中期中葉以前の環境変動—, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 12-15.

杉森玲子, 2025, 小笠原諸島父島における「1826年1月の津波」の再検討, 月刊地球, Vol. 47, No. 1, 15-24.

柳井七海, 福島栄寿, 北村昌卓, 平井敬, 2025, 新聞の比較から見る報道管制—東南海地震の報道を例に一, 中部「歴史地震」研究年報, Vol. 13.

矢田俊文, 2024, 八戸藩における1843年・1856年の地震による津波被害, 災害・復興と資料, 16, 68-75.

矢田俊文, 2024, 新潟県西蒲原郡の地図と渦—20世紀初頭—, 第12回歴史地震史料研究会講演要旨集, 6-8.

・学会・シンポジウム等での発表

蝦名裕一, 2024, 文化遺産防災マップによる文化遺産の災害リスク評価について, JpGU Meeting 2024 防災地球科学(DS), HDS10-P05

原直史, 2024, 1828文政11年複合災害の情報伝播—越後国を中心に—, 第12回歴史地震史料研究会, 10.

原田和彦, 2024, 前近代における長野県大北地域の地震活動, 第41回歴史地震研究会(木曽御嶽大会), 0-03.

原田和彦, 2024, 江戸時代における長野県北部の地震活動, 第12回歴史地震史料研究会, 8.

堀健彦・片桐昭彦, 2024, 近世期における新潟市西区を描いた絵図と2024年能登半島地震による被害, 第12回歴史地震史料研究会, 2.

加納靖之・大邑潤三, 2024, 『新収日本地震史料』の編纂時資料のデジタル化, 第41回歴史地震研究会, P-04.

Kano, Y., M. Ebara, and K. Satake, 2024, Damages and Aftershock Sequence of the August 1, 1729 Earthquake Occurred in the Noto Peninsula, AOGS2024, SE02-A013.

加納靖之, 2024, 1729年能登半島の地震の際の被害と有感地震数, 日本地球惑星科学連合2024年大会, MIS17-P03.

片桐昭彦, 2024, 歴史地震記録としての年代記, 巨大地震・巨大津波に関する国際研究集会—2004年スマトラ・アンダマン地震から20年間の進歩と今後の展望—, 9-2.

片桐昭彦, 2024, 前近代における地震と史料, 日本地震学会強震動委員会第43回研究会.

片桐昭彦, 2024, 年代記の地震記事と出典—『常光寺年代記』の康安元年地震記事—, 第12回歴史地震史料研究会, 7.

北村昌卓（平井敬），2024，減災古文書研究会の活動報告，第5回関西歴史災害研究懇談会
楠本 聡・今井健太郎・杉森玲子・堀 高峰，小笠原諸島父島の1854年安政東海・南海地震津波，
日本地震学会秋季大会，S17-09
森脇美沙（平井敬），2024，歴史フェスにおける減災古文書研究会の活動報告，第24回中部「歴史地震」研究懇談会。
水野 嶺・加納靖之・榎原雅治，2024，日向灘を震央とする近世の地震，日本地震学会秋季大会，
S23P-13
村田泰輔，2024，考古・歴史資料による潜在したハザードの見える化～今ある情報を見直し，私たちの将来の安心・安全へ～． 阪神・淡路大震災30年事業令和6年度 防災特別講演会（防災エキスパート研修会），公益財団法人 兵庫県まちづくり技術センター主催
中村元，2024，1964年新潟地震とその復興の歴史的意味―「開発の時代」における意味と課題を考える―，新潟市地震60年・新潟県中越地震20周年公開シンポジウム「そなえる・すくう・たちあがる」，6.
小野映介，2024，令和6年能登半島地震によって生じた越後平野における地盤災害，2024年日本地理学会春季学術大会，731，DOI:10.14866/ajg.2024s.0_57
大邑潤三・北本朝展・加納靖之・橋本雄太，2024，対話型生成AIを用いた歴史地震の震度判定の試み，日本地震学会2024年度秋季大会，S10-08.
大邑潤三・加納靖之，2024，賀茂別雷神社「社記仮附」にみられる文政京都地震の余震記録の検討，第41回歴史地震研究会，0-25.
大邑潤三・加納靖之・岩橋清美・草山菜摘・濱野未来・北井礼三郎・山本宗尚・玉澤春史・堀川晴央，2024，1830年文政京都地震による賀茂別雷神社の被害と震度について，日本地球惑星科学連合2024年大会，MIS17-P05.
大邑潤三，地震被害のマルチスケール要因分析，日本地球惑星科学連合2024年大会，MIS17-P06.
齋藤瑞穂・鈴木正博，2024，弥生三陸地震津波研究―弥生時代中期中葉以前の環境変動―，第12回歴史地震史料研究会，5.
杉森玲子，2024，小笠原諸島父島における「1826年の津波」の再検討，日本地球惑星科学連合2024年大会，MIS17-03
杉森玲子，2024，小笠原諸島を襲った1854年の津波，巨大地震・巨大津波に関する国際研究集会―2004年スマトラ・アンダマン地震から20年間の進歩と今後の展望―
杉森玲子，2024，1769年明和日向灘地震における高鍋城の被害，第12回歴史地震史料研究会
山中佳子，2024，GIS（e-コミマップ）を用いた歴史地震史料整理の重要性，日本地球惑星科学連合大会，MIS17-06.
山中佳子，2024，歴史史料の可視化で南海トラフ地震を検討する，第5回関西歴史災害研究懇談会
柳井七海，福島栄寿，北村昌卓，平井敬，2024，戦時下の新聞は昭和東南海地震をいかに伝えたか，第41回歴史地震研究会（木曾御嶽大会）.
矢田俊文，2024，新潟県西蒲原郡の地図と潟―20世紀初頭―，第12回歴史地震史料研究会，3.

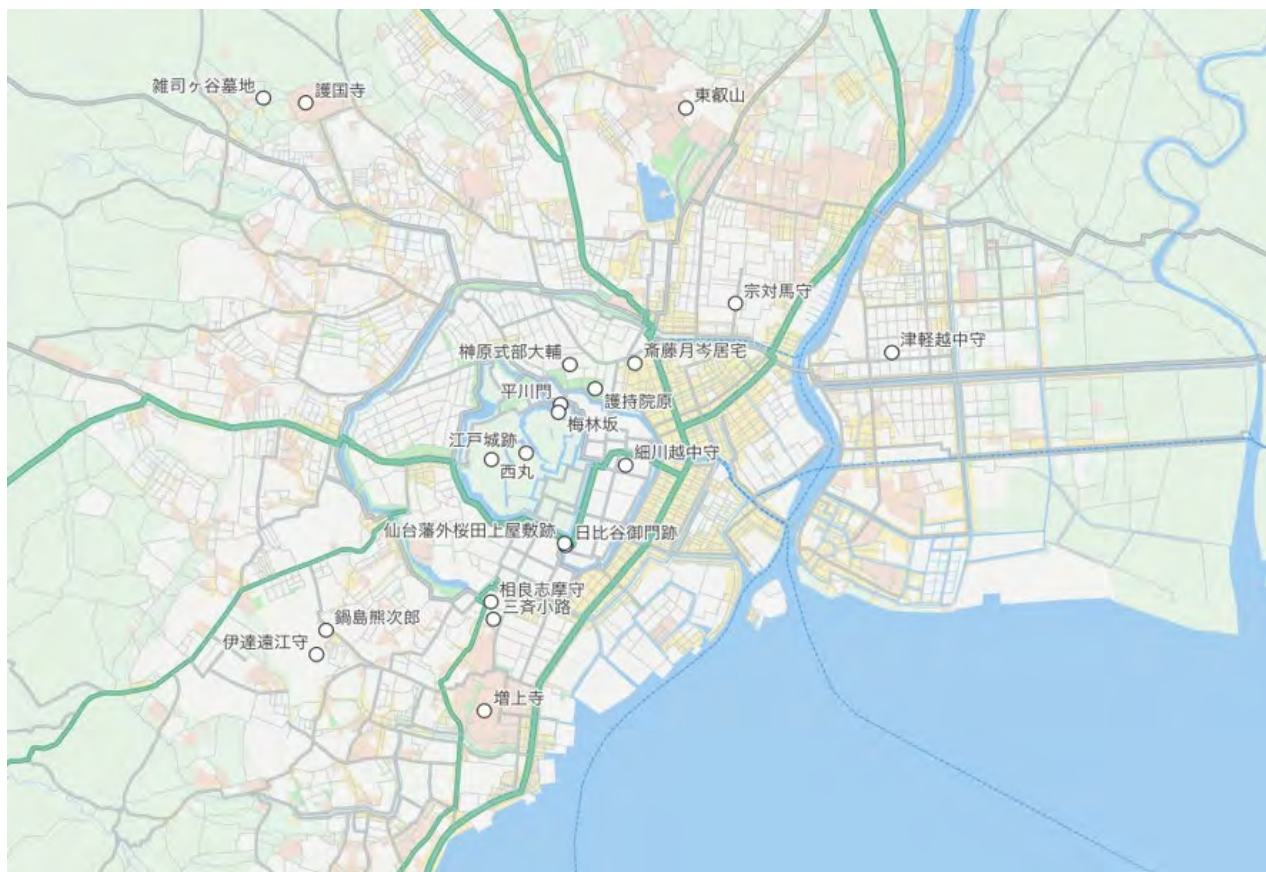


図1. 「れきちず」上に表示した関東地方の地震史料の記録地点（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01]）

データセットの概要①【データセットの構成内容】

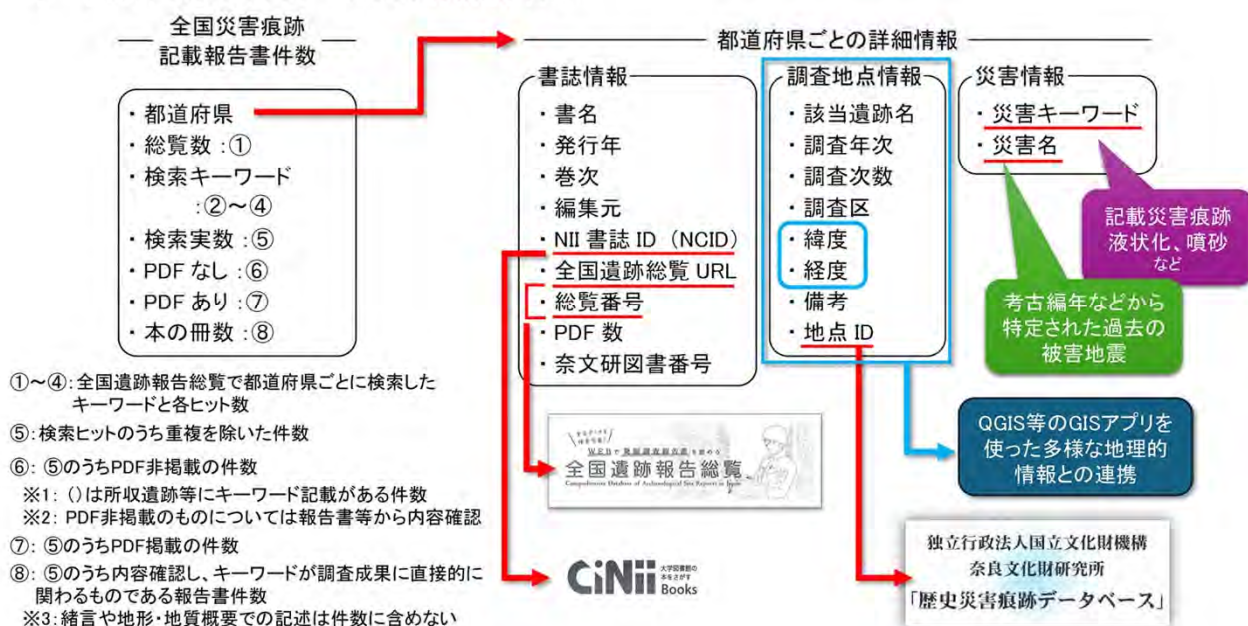


図2. 全国大規模地震痕跡データセットのモデル図（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）

「全国大規模地震痕跡データセット」が掲載する1レコードの項目、データリンクの解説。

「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)

6. 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

防災科学技術研究所は、陸海統合地震津波火山観測網(MOVLAS)及び首都圏地震観測網(MeSO-net)を安定して運用することにより、地震・低周波地震・超低周波地震・スロースリップイベントについてイベント検出、震源位置・震源メカニズム解・断層モデルの推定、余震活動の予測等を継続して行った。2024年8月8日16時13分頃に日向灘で発生したMj7.1の地震は、Hi-net初動解及び3D CMT解析の結果から逆断層型であり、沈み込むフィリピン海プレートに沿う低周波地震(VLF)活動域深部に位置する地震活動域で発生していることを示し、強震波形記録を用いた震源過程のインバージョン解析から、最大すべり量は3.9mで、主たる破壊は破壊開始点から南西へ進行したことを示した。N-netおよびDONETで観測された水圧記録において、最大振幅は2~3cmであり、Global CMT解に基づく津波理論波形と概ね一致した。一方、Hi-netの3成分合成波形エンベロープから地震発生後10日間のエネルギー輻射量(4~20 Hz)を推定したところ、本震のエネルギー輻射量に対する余震からの積算エネルギー輻射量の割合は2.2%であることがわかった。N-netにおいては、沖合システムと沿岸システムの2つのシステムのうち、沖合システム18台については昨年度に海底への敷設工事を終了し、今年度7月より試験運用を開始した(防災科学技術研究所[課題番号:NIED05])。気象庁は、地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持し、関係機関の地震観測データの一元的処理結果を関係機関に提供を行った。南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。震源データについて2023年3月までの精査後の震源データ(確定値)を公開した(気象庁[課題番号:JMA_05])。

また、潮位の連続観測を継続して実施し、約1/3の地点の観測装置を更新した(気象庁[課題番号:JMA_06])。柿岡、女満別、鹿屋及び父島での地磁気4成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供し、地磁気観測所ホームページで公開している(https://www.kakioka-jma.go.jp/info/kmo_datadoi.html) (気象庁[課題番号:JMA_07])。全国4か所の火山監視・警報センター(以下、各センターという)において、常時観測火山(50火山)に対して、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等により、連続的な監視観測を継続しており、11月に火山監視・情報センターシステム(VOIS※)を更新し、火山監視等の機能強化を図った(気象庁[課題番号:JMA_08])。国土地理院は、平均20km間隔でのGNSS連続観測が可能となるよう、電子基準点の維持・管理を行った。令和6年8月8日の日向灘の地震等、複数の地震で地殻変動を検出するとともに、硫黄島、岩手山など複数

の火山において火山活動に伴う地殻変動等を検出した。また、南海トラフ地震想定震源域のプレート境界において発生するゆっくりすべり（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動を検出した。これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山調査委員会等に報告した（国土地理院[課題番号：GSI_02]）。日本全域の定常的な地殻・地盤変動を把握するため、ALOS-2の観測データを用いてSAR干渉解析及び干渉SAR時系列解析を行った。国内の火山を対象とした解析結果（干渉解析8火山、干渉SAR時系列解析91火山）は、火山調査委員会において火山活動の評価に活用された。さらに、2024年7月に打ち上げられたALOS-4の観測データの活用に向け、宇宙航空研究開発機構（JAXA）と協力して観測データの検証を行った。2024年5月頃から火山活動が活発化した岩手山において解析を実施した。その結果、大地獄谷周辺に膨張を示す衛星に近づく変動が検出された（図1）。この結果は、気象庁において火山噴火警戒レベルの引き上げの判断に活用され（国土地理院[課題番号：GSI_03]）。また、全国の活動的な火山について、航空機SARによる観測を2火山で実施し、噴火前の状況を把握した（国土地理院[課題番号：GSI_04]）。海上保安庁は、下里水路観測所においてSLRの国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた（海上保安庁[課題番号：JCG_01]）。全国20カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開した（海上保安庁[課題番号：JCG02]）。

イ．観測・解析技術の開発

弘前大学において、並列差分法地震波動場計算ソフトウェアOpenSWPCの高度化を継続的に実施し、標準Fortran文法を用いたGPU化についてその性能を検証した。この方法は計算コード中の多重doループをFortran2018の標準文法 `do concurrent` に置き換えることで、そのループ内の計算をGPUにオフロードするというものである。OpenSWPCの時間発展計算のカーネル部分を切り出したテストコードにおいてこの方法を実装して速度評価を行ったところ、ワークステーションにおけるCPU（Intel Core i9）に対するGPU（NVIDIA RTX4070 Ti）と、東京大学情報基盤センターのWisteria/BDEC-01シミュレーションノード群CPU（Fujitsu A64FX）に対する学習ノード群GPU（NVIDIA A100）で、それぞれCPU対GPU比で5倍から10倍の計算性能を達成した（弘前大学[課題番号：HRS_02]）。東北大学においては、2024年能登半島地震の震源断層モデルを国土地理院GEONETデータ、SB点データ、大学のキャンペーン点データおよびInSARデータを併用して推定した。SB点を用いることで特にInSARデータでは感度がない南北成分の変位を含めて高い空間分解能で得ることに成功し、それらから地震時断層すべりを推定することで能登半島北岸下の2箇所到大すべり域が存在することをあらためて示した。さらに震源分布等との比較から、断層面がリストリックな形状をしている可能性を考慮した断層モデルも構築し、それらによっても観測データをよく説明できることを示した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_12]）。ウェーブグライダーの長期安定運用のためには、転覆時にGNSSアンテナが水没し位置データが途切れる問題を、加速度データを積分することで内挿し、転覆時の詳細なウェーブグライダーの挙動の再現に成功した。また、ウェーブグライダーは波による推進速度が海流より小さくなければ、時間はかかっても指示した通りの航跡で進むことが可能であるが、海流が強い場合ヘディングは必ずしも進行方向を向かず、荒天時に

転覆しづらいとされる波向に対して直交させるコース取りが有効に機能していないことを示した（図 2，東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID06]）。東京大学地震研究所においては、地震計・小型絶対重力計のセンサに関して、複数のセンサを光ファイバで接続し信号取得や長距離伝送を行うための技術開発を光通信分野の研究機関やメーカーと連携して実施した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_20]）。三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバおよび新潟県粟島周辺に設置されている海底ケーブル地震観測システムのファイバに、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引き続き実施し、仏国FOSINA社のDAS観測装置を用いた観測を実施した（図 3，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_21]）。これまで国内で行われたDAS観測の多くはリジッド海底ケーブルを用いており、ルース光海底ケーブルを用いたDAS観測は余り行われていない。そのため、N-netシステムはシステム全体を考慮してルース光海底ケーブルが用いられている。このような背景の元で、N-net沖合システム串間局側においてDAS計測を実施し観測データの評価を行った（図 4，東京大学地震研究所[課題番号：ERI_22]）。能登半島に設置した臨時テレメータ観測点を維持し、定常観測点で得られるデータも使用した自動地震検出処理による群発地震活動モニタリングシステムの構築を開始した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_25]）。超大容量データ・超大規模モデル時代に即したデータ解析技術およびモデリング技術開発の準備として(A)深層学習に基づく地震波形連続データからの地震・微動検出技術，(B)深層学習による画像認識技術に基づく地震波形画像データからの地震・微動検出技術，(C)機械学習に基づく地震・微動の時空間分布推定技術，(D)転移学習とデータ同化に基づく地球内部構造モデリング技術という，本課題の 4 つの目標を実現するためのアルゴリズムの検討およびそれを具体的に実装するための準備研究を実施した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_24]）。WIN形式データのリアルタイム伝送が機関の枠を超えた全国規模のデータ流通の基盤となっていることを踏まえ，伝送系システムの課題抽出，対話検出処理系ソフトウェア群の機能強化を行なった（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_23]）。東京海洋大学においては，令和 6 年度は10月16～19日にかけて東京海洋大学練習船汐路丸を使用し，房総半島沖に 2 点（G26，G27）の新規海底地殻変動観測点の設置を行った（東京海洋大学[課題番号：TKU_01]）。東京科学大学は，拡散放出CO2自動測定における長時間の観測を可能にするために小型可搬式自動観測装置をベースに電力供給システムの改良を行い，実装テストを行った（東京科学大学[課題番号：TTT_02]）。名古屋大学は，4G/LTEを用いた小電力・軽量小型テレメータ地震観測装置の改良開発において，充放電モジュールの追加作成，充放電モジュールを搭載した開発機（試作機）の継続・仕様検証，防水筐体への組み込み方法の検討を行い，開発機の実地運用に向けた準備を開始した（名古屋大学[課題番号：NGY_08]）。

ウ．地震・火山現象のデータ流通

東北大学は，各大学で保存されている火山観測 1 次データ（主に地震・測地の地球物理学的データ）の現状調査とその集約・共有と将来的な JVDN での公開とそれを基にした共同研究の成果の活性化を目標として，東北大学の火山観測網の連続地震波形データのフォーマットの調査を行った。1995 年から 1998 年の期間は独自フォーマット，1998 年以降は WIN フォーマットを用いて収録・保管が行われてきた。これまでにデータの読み出

しを完了していた分に加えて、読み取りエラー等で保留していたメディアの読み出しを行い、保管されていた連続地震波形データのほぼ全てについてハードディスクへの保存と整理を完了した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_12]）。東京大学地震研究所は、観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用を継続し、地震データ流通において利用されているデータ交換の MQTT プロトコルのテストを実施した。柏にて接続された東京大学情報基盤センターの大規模並列計算機を利用したリアルタイム地震データ解析の開発を引き続き継続した。令和 7 年 3 月 26 日にデータ流通ワークショップを開催した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_26]）。

エ．地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

北海道大学は、地殻変動連続観測などの多項目観測データサーバを安定的に運用し、大学・気象庁等の関係機関からのデータの全国流通・一元化・データ収集・データ公開を行った（北海道大学[課題番号：HKD_08]）。産業技術総合研究所は、活断層データベースに表示される活断層図について、従来の縮尺約 20 万分の 1 からより詳細な縮尺約 5 万分の 1 で表示するための作業と入力システムの改良に関する検討を実施した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。国土地理院は、「アトサヌプリ」、「樽前山」、「三宅島」、「青ヶ島」の火山基本図を刊行するとともに、画像データ及び数値データを公開した。さらに、東北から九州地方にかけての 43 地区の土地条件図（数値地図 25000（土地条件））を公開するとともに、九州・沖縄地方や関東地方の一部のほか、能登地方などの平野部約 3,400 平方キロメートルの地形分類情報を整備した（国土地理院[課題番号：GSI_05]）。気象庁は、地震カタログ（震源、発震機構解）を令和 4 年 10 月から令和 5 年 3 月まで作成し、地震月報（カタログ編）として気象庁ホームページに公開した。南海トラフ沿いの深部低周波地震カタログの作成では、Matched filter 法を用いているが、テンプレートの追加および閾値の調整を行った（気象庁[課題番号：JMA_09]）。海上保安庁は、西之島や須美寿島等の南方諸島の火山の監視観測を行い、調査結果は火山噴火予知連絡会及び火山調査研究推進本部に報告するとともに、海域火山データベースに掲載し公表した（海上保安庁[課題番号：JCG_04]）。

（２）推進体制の整備

気象庁は、三宅島の噴火警戒レベル判定基準について、最近の火山活動の状況を踏まえた基準に見直すとともに、住民の避難等が必要になる山腹噴火について、警戒が必要な範囲の考え方を整理した。令和 6 年 1 1 月から、火山活動に関する科学的助言を得るための火山情報アドバイザー会議の運営を開始した。本会議の定例会において、噴火警報発表について事後検証を行った（気象庁[課題番号：JMA10]）。

（６）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

九州大学は、地震観測における簡便な設置、データ利用をできる観測システムをより活用するための改修整備、共用するための環境整備を実施し、システムの活用の重要性の理解と、従来観測を実施しなかった人材のアクセスを容易にするための貢献を行った（九州大学[課題番号：KYU_08]）。

これまでの課題と今後の展望

観測研究基盤については関係機関による継続的な努力によって適切に維持がなされ、質の高いデータが連続かつリアルタイムで流通するとともに着実に蓄積され、公開が進められている。解析システムについても計算機性能等の向上とともにAI技術なども導入され、着実に高度化がなされ、その整備が進んだ。また、個々のデータベースについても着実に整備が進められている。今後は、研究成果を有機的に結合した共有・統合データベースの構築とともに、昨今の情報化技術を活用したデータ連携の仕組み等の構築が期待される。

成果リスト

- Akiyama, K., K. Ohno, N. Takamatsu, K. Kawate, T. Igarashi, T. Sasaki, H. Takiguchi, M. Okeya, S. Kogure, C. Shodai, T. Wakasugi, and B. Miyahara, 2024, GSI and JAXA, IGS Technical Report 2023, 89-96.
- Aoi S., T. Takeda, T. Kunugi, M. Shinohara, T. Miyoshi, K. Uehira and M. Mochizuki, 2024, Observation Network of MOWLAS: N-net --- Starting Observation of the Offshore System ---, AGU Fall Meeting, S41H-3396Eighth.
- Yamada, T., Y. Ohta, T. Nishimura, Y. Hiramatsu, Y. Kinoshita, and K. Yoshida, 2024, Coseismic Slip Distribution and Fault Geometry Evaluation of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Deduced from Very Dense GNSS Networks, AGU Fall Meeting 2024, 2024.
- Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada and K. Yomogida, 2024, Retrieval and precise phase-velocity estimation of Rayleigh waves by the spatial autocorrelation method between distributed acoustic sensing and seismometer data, Geophys. J. Int., 237, 1174-1188. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae103>
- Hashimoto, K., M. Ishigaki, S. Matsumoto, K. Hori, H. Furui, M. Honda and S. Kurihara, 2024, Progress of Process Automation at Tsukuba Correlator / Analysis Center, 9th International VLBI Technology Workshop.
- Hattori, A., 2024, ALOS-4 Cal/Val progress and plan in GSI, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2024.
- Himematsu, Y., 2024, Post-emplacement contraction and loading deformation of lava during the 2013-2020 eruptions of Nishinoshima Island (Japan) detected by InSAR, AGU Fall Meeting 2024.
- Kobayashi, T., K. Matsuo, R. Ando, T. Nakano and, G. Watanuki, 2024, High-resolution image on terminus of fault rupture: relationship with volcanic hydrothermal structure, Geophys. J. Int., 240, 1196-1214, doi:<https://doi.org/10.1093/gji/ggae435>.
- Koshimura, S., Adriano, B., Mizutani, A., Mas, E., Ohta, Y., Nagata, S., Takeda, Y., Vescovo, R., Wiguna, S., Abe, T., and Suzuki, T.: The Impact of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-22523, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-22523>, 2024.

- Kusui, T., H. Nagao, S. Ito, S. Katoh and T. Tokuda, 2024, Acquiring a stochastic differential equation representation to characterize low-frequency tremors from seismic waveform data using deep learning, American Geophysical Union Fall Meeting, S23B-3508.
- Mendo-Pérez, G., H. Nagao, S. Katoh and M. Shinohara, 2024, Use of sequential models to detect seismic event detection and phase identification using Distributed Acoustic Sensing records of seafloor cable in Sanriku, Japan, American Geophysical Union Fall Meeting, S21G-3492.
- Miao, Y., A. Salaree, Z. J. Spica, K. Nishida, T. Yamada and M. Shinohara, 2025, Assessing the Earthquake Recording Capability of an Ocean-bottom Distributed Acoustic Sensing Array in the Sanriku region, Japan, *Seismol. Res. Lett.*, 96 (2A) , 631-650, <https://doi.org/10.1785/0220240120>
- Miku Ootate, Yusaku Ohta, Yuta Mitsui, 2024, Viscoelastic Relaxation and Afterslip Contribution to Postseismic Crustal Deformation After the 2024 Noto Peninsula Earthquake: Verification Using Very Dense GNSS Observations, AGU Fall Meeting 2024.
- Minami, H. and K. Tani, 2024, Morphological evidence of an explosive eruption event in October 2023 at Sofu Seamount in the Izu-Bonin Arc, *Marine Geology (Elsevier)* , 477, 107405, doi:10.1016/j.margeo.2024.107405
- Nagao, H., 2024, Four-dimensional variational method for data assimilation and its applications to models in solid Earth science, 2024 Japan-Taiwan Joint Workshop on Inverse Problems and Related Topics.
- Nagao, H., R. Kaneko, S. Ito, H. Tsuruoka and K. Obara, 2024, Detection of deep low-frequency tremors from continuous paper records at a station in southwest Japan about 50 years ago based on convolutional neural network, American Geophysical Union Fall Meeting, S21B-03
- Nishimura, T., Hiramatsu, Y., and Ohta, Y.: Deformation of the 2020-2024 Noto Peninsula earthquake sequence revealed by combined analysis of multiple GNSS observation networks in central Japan, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-22539, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-22539>, 2024.
- Norimichi Mashiko, Shingo Nagamachi, Kenji Morinaga, Takayuki Yamazaki, Seiki Asari, Junpei Ogi, Tohru Araki, Masahito Nose, 2024, Digitization project of historical analogue magnetograms in Japan, 2024, Space Climate 9 Symposium
- Shinohara, M., Innovative seafloor seismic observations with distributed acoustic sensing technology, ERI-IPGP Workshop, WG1 Innovative observation & data, 12 Nov. 2024.
- Shinohara, M., S. Aoi, S. Fukushima, T. Yamada, T. Takeda, T. Kunugi, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Akuhara, K. Mochizuki, and S. Sakai, Seismic observations by DAS using seafloor cable systems around Japan, SZNet Ocean Floor Observational Technology Workshop, Session 4 - coseismic rupture & tsunamis, landslides, and other hazards, 15 Jan. 2025. doi:10.23919/FUSION59988.2024.10706506
- Shinohara, M., S. Sakai and T. Yamada, Long-Term Continuous Seafloor Observation for

- Earthquake and Tsunami Using Developed ICT Cable Observation System off Sanriku, Japan, OCEANS 2024 – Halifax, Halifax, NS, Canada, 1–6, 2024.
doi:10.1109/OCEANS55160.2024.10753809,
- Shinohara, M., S. Sakai, and T. Yamada, Long-term continuous seafloor observation for earthquake and tsunami using developed ICT cable observation system off Sanriku, Japan, OCEANS 2024 Halifax, AL1, 24 Sep. 2024.
- Shinohara, M., T. Yamada, S. Fukushima, and H. Yamahana, Distributed acoustic sensing observation using seafloor cable observation system in the Japan Sea, 2025 IEEE Underwater Technology (UT) , Taipei, Taiwan, 2025, pp. 1–5, doi: 10.1109/UT61067.2025.10947411.
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Yagi, M. Masuda, T. Hashimoto, H. Abe, S. Fukushima, and H. Yamahana, Seismic observation using the seafloor optical fiber cable with distributed acoustic sensing in the Japan Sea, Japan Geoscience Union Meeting 2024, STT36-03, 17 May, 2024.
- Shinya, K., H. Nagao, M. Imaizumi and Y. Iio, 2024, Enhancement of phase picking models using deep learning by addressing the label imbalance problem, American Geophysical Union Fall Meeting, S13B-3469.
- Takayama, A., Y. Sawaki, Y. Ruan, Y. Ito, T. Maeda, and T. Shibutani (2024) . Relationship between shear-wave velocity anomalies and spatial variations in deep tectonic tremor activity around the plate interface in the Nankai trough subduction zone, AGU Fall Meeting 2024, S43D-3480.
- Takemura, S., Emoto, K., & Yabe, S. (2024) . Revisiting seismic energy of shallow tremors: Amplifications due to site and propagation path effects near the Nankai Trough. *Journal of Geophysical Research*. 129 (6) , e2024JB029168,
<https://doi.org/10.1029/2024JB029168>
- Takemura, S., Kubota, T., & Sandanbata, O., 2024, Successive tsunamigenic events near the Sofu Seamount inferred from high-frequency teleseismic P and regional T waves. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 129 (10) , e2024JB029746,
<https://doi.org/10.1029/2024JB029746> (Editor's Highlight)
- Tokuda, T. and H. Nagao, 2024, Seismic detection based on unsupervised combination of station-wise phase picks by deep learning, American Geophysical Union Fall Meeting, S11A-06.
- Tomita, F., 2024, Enhanced GNSS-acoustic positioning method implementing with constraints on underwater sound speed structure, *Earth Planets Space*, 76, 178.
<https://doi.org/10.1186/s40623-024-02120-6>
- Tomita, F., M. Kido, T. Iinuma, Y. Ohta, 2025, GNSS-Acoustic positioning error in the vertical component considering the uncertainty of a reference sound speed profile, *Marine Geophysical Research*, 46 (3) , doi: 10.1007/s11001-025-09563-w
- Yamaya, L., Kubo, H., Shiomi, K., Takemura, S., 2024, Impact of offshore seismograph network and 3-D seismic velocity structure model on centroid moment tensor analysis for offshore earthquake: Application to the Japan Trench subduction zone. *Journal*

Yamaya, L., S. Takemura, H. Kubo, T. Saito, & K. Shiomi, 2024, Advances in Centroid Moment Tensor Inversion for Shallow Offshore Earthquakes Using Ocean-Influenced Rayleigh Wave, AGU Fall Meeting 2024, S31A094.

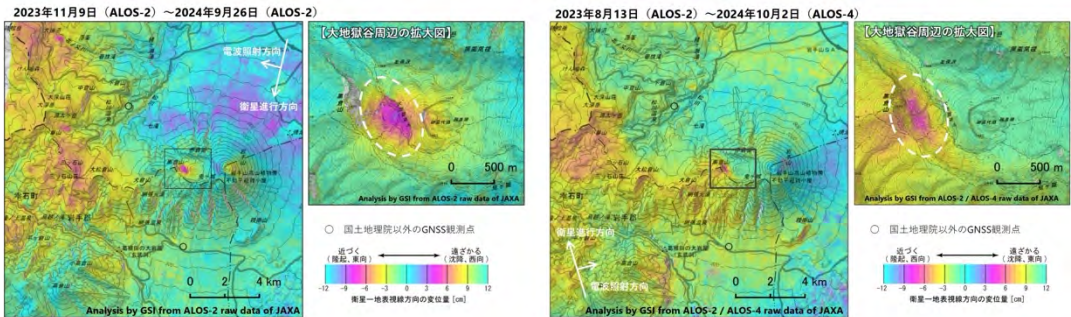


図1．ALOS-2及びALOS-4観測データを用いた岩手山の火山活動に伴う地殻変動（国土地理院[課題番号：GSI_03]）

（左：ALOS-2観測データを用いた解析結果，右：ALOS-2及びALOS-4観測データを用いた解析結果）

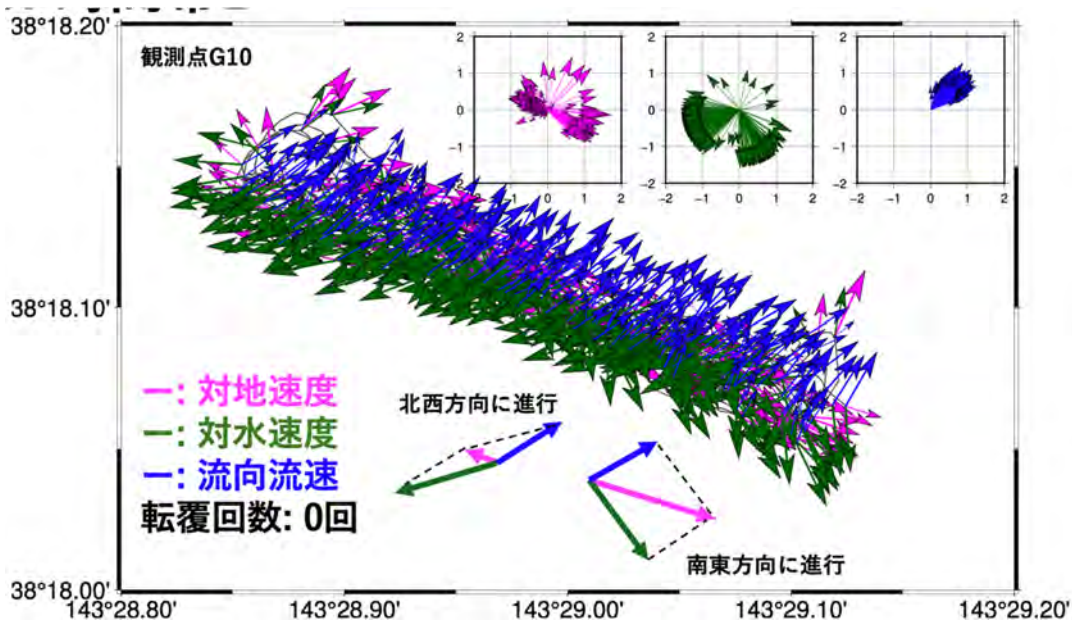


図2．ウェイグライダーの航跡・ヘディング・対水速度から推定した海流との関係（東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID06]）

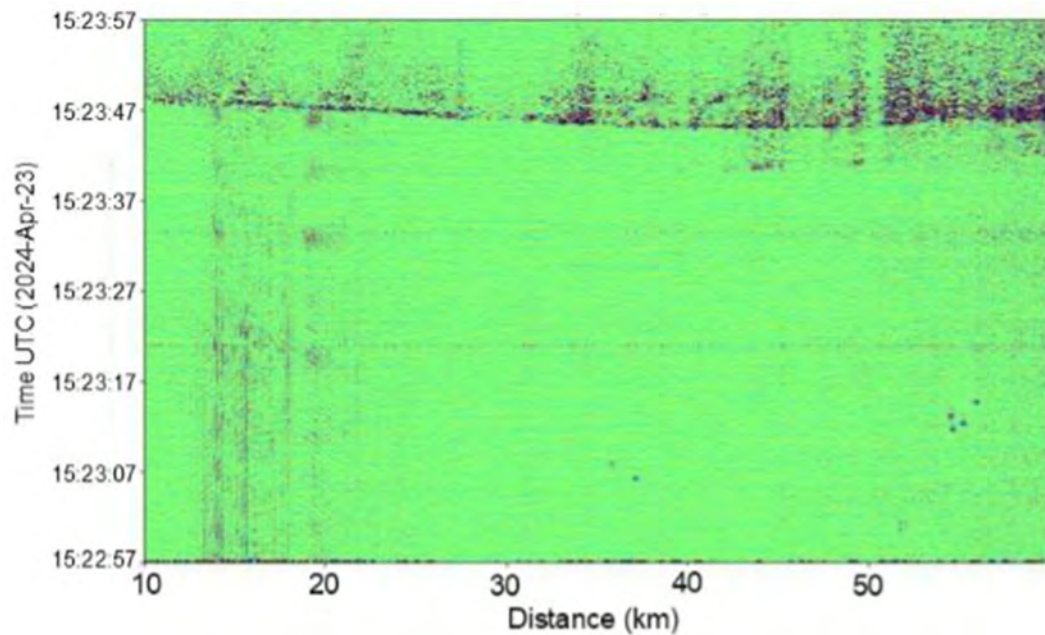


図 3．仏国FOSINA社の観測装置による三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバを用いたDAS記録（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_21]）

この観測装置は、観測後のデータ処理の段階でゲージ長を変更できることが特徴であり、この記録はゲージ長を300mとしている。震央距離が30km程度のマグニチュード1.0の地震の記録である。9～50 Hzのバンドパスフィルターを適用した。

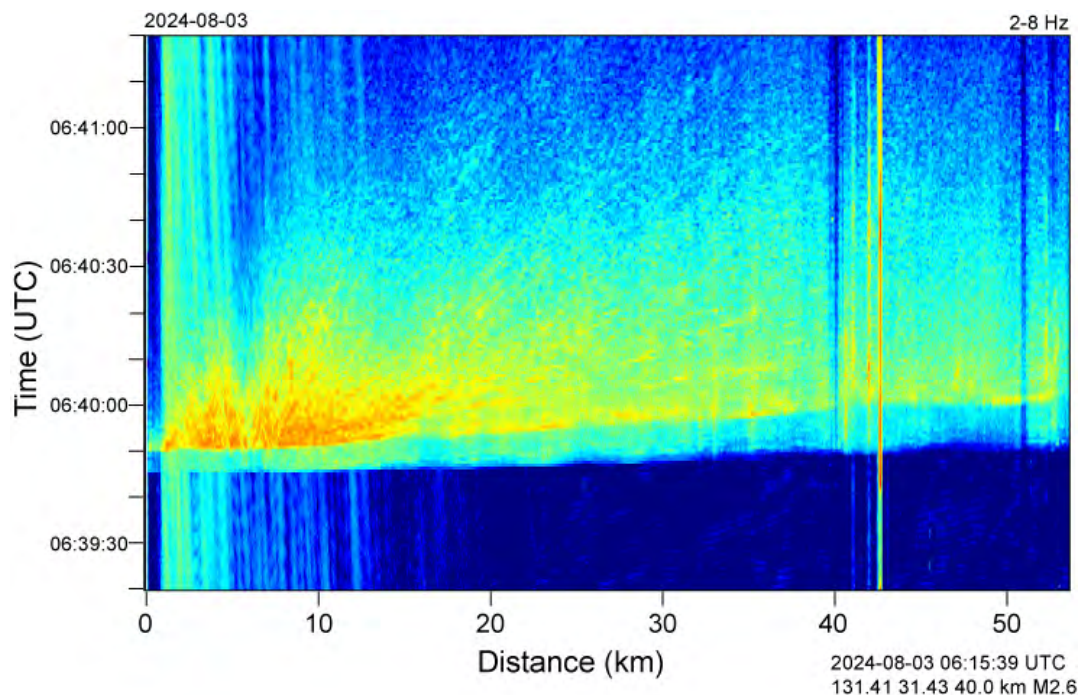


図 4．日向灘に設置されているN-net沖合システムによるDAS観測で記録された地震の例（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_22]）

地震は2024年8月3日に日向灘で発生した地震の周波数帯抽出データ。深度とマグニチュードはそれぞれ40kmと2.6である。図の横軸は串間局からの距離、縦軸は時間である。暖色は振幅が大きいことを示している。観測点間隔は10m, ゲージ長は100mである。また、レーザーパルスの発振周波数は800Hz, であり、記録は200Hzとしている。P波とS波を明瞭に見ることができる。

南海トラフ沿いの巨大地震

「南海トラフ沿いの巨大地震」総合的研究グループ長 伊藤喜宏
(京都大学防災研究所)

本計画に参加する多様な専門分野の研究者らが連携して、南海トラフ沿いで将来発生が危惧される巨大地震とそれに伴う津波災害の軽減を学際的研究として実施する。

5. 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

○背景及び目的

南海トラフ巨大地震に関する分野横断型総合的研究の連携をより一層強化し、巨大地震に伴う複合型災害の軽減に向けた学際研究を進める。具体的には、海陸の地震・測地観測網で取得される記録を用いた状態監視の高度化、巨大地震の新たな長期予測手法の開発、中短期における巨大地震の発生可能性の相対的な高まりを評価する手法の開発、巨大地震発生後の地震像の即時的把握手法の構築を進める。また、災害軽減に向けて、地震発生から災害誘因予測・被害予測・リスク評価に至るまでのスキームを、分野を横断して強力に連携しつつ構築する。さらに、目的に応じた防災情報の社会への発信及び広域避難計画の策定までの道筋を検討する。これまでに国内外でなされてきた地震・津波防災研究の成果にも着目して、理学、工学、人文学・社会科学を総合した「比較沈み込み帯防災科学」として地域間の比較研究を行い、地域ごとの課題・問題点を整理し、その解決方法を検討する。

○令和6年度の成果

将来発生が危惧されるM8級の巨大地震の地震像の理解と、それに伴う地震・津波災害の軽減に向けて、国際比較研究を含む以下の4つの研究テーマを設定して研究に取り組んだ。

- (ア) 地震・測地観測によるモニタリングに基づくプレート間固着状況の解明
- (イ) 地震・津波モデリングに基づく地震・津波シナリオの構築
- (ウ) リスク評価と自治体の要望に即した地震・津波減災教育プログラムの開発と実施
- (エ) 比較研究としての地震・津波防災科学の推進

(ア) 地震・測地観測によるモニタリングに基づくプレート間固着状況の解明

日向灘は、過去に繰り返し巨大地震の発生場となった南海トラフの西端に位置する。日向灘の東方の南海トラフ沿いは固着が比較的強く、その南方の琉球海溝は南海トラフと比較すると固着の弱い地域である。このプレート間の固着強度が遷移する領域に日向灘は位置する。さらに日向灘は九州パラオ海嶺が沈み込む地域としても特徴づけられる。いくつかの研究から、この海山列の沈み込みが日向灘の地震発生場に大きな影響を与えている可能性が指摘されている。海山に代表されるプレートの凹凸（形状）は、摩擦係数・岩質・温度圧力条件と同様に重要なパラメータである。特に沈み込む海山は巨大地震発生時の破壊のバリアになる可能性が示唆されており、茨城沖、南海トラフの熊野灘や

室戸沖、ニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯、メキシコ太平洋沖など、日本のみならず、世界的に研究が行われている。その中でも、沈み込む海山がその上盤側に亀裂を生じさせ、結果として応力・流体挙動が局所的に著しく変化することが、海山の沈み込みによる固着強度の変化を引き起こす要因として考えられているが、その全容は不明である。

（アー１）日向灘の掘削計画に向けた取り組みと周囲のテクトニック微動活動

日向灘は九州パラオ海嶺が沈み込む場であり、周囲で繰り返し発生するスロー地震と海山沈み込み現象との比較において最適な地域である。近年、同海域では、地殻地震探査をはじめとする地球物理探査が実施され、海山の位置、プレート境界断層の形状、上盤内部の構造が解明されつつある。また、地震モニタリングおよび原位置での物理物性把握を目指した国際的な掘削計画の実施が目前に迫っている。

特に掘削計画の最適化に向けて、これまでに蓄積されてきた地球物理探査データの再解析・地質構造再解釈および岩石実験を実施し、海山沈み込みの実態（海山の形状、上盤の変形・断層発達、間隙水圧異常・流体挙動）の解明を目指した研究を実施する。これを元にした応力・温度場モデリングから３次元的な地震活動場を描像し、スロー地震発生状況と合わせることで、固着・すべりへの影響を考察する。こうした地震学・岩石物理学・地質学を横断する研究を実施し、海山沈み込みと巨大地震を含む地震活動、ひいてはプレート形状と固着との関係をより明瞭にすることで、防災計画立案に貢献することを目指す。

本年度は、構造探査データの反射法イメージング再解析、波形インバージョンの適用、および新たに解析が終了した反射断面の構造解釈・構造解析を実施し、沈み込む九州パラオ海嶺とテクトニック微動活動の関係について検討した。反射法イメージングはプレート境界や断層など地下の構造境界を明らかにすることに主眼をおき、波形インバージョンは地震波速度を推定することに注力した。この二つを合わせることで、地震断層を描写し、その活動を規定する物性値（例えば間隙水圧分布）を把握することが可能となる。これらの結果は次年度に予定される日向灘における科研費や JAMSTEC プロジェクト・国際科学掘削計画などを通じた光ファイバーによる孔内および海底モニタリング海底流体・熱計測計画のサイト選定時に重要な情報をもたらす。

具体的には、2000 年代に海上保安庁によって取得された 2 本の構造探査測線（KPr1, KPr2）に対し、最新の反射法解析技術を適用し、海山と上盤の再解析イメージングを実施した。イメージの周波数帯域を拡張するブロードバンド処理および詳細な反射速度トモグラフィを適用することで、構造イメージが大幅に改善された。さらに沈み込むプレートおよび堆積物の形状が明瞭になるとともに、上盤の変形、断層の発達が、海山の前方・後方で大きく異なることがわかった。特に海山直上ではテクトニック微動の活動が極めて低調なことを確認した。また、海底広域研究船「かいめい」により 2021 年にマルチチャンネル反射法地震探査で取得された日向灘沖の地震反射断面のデータ 3 測線について構造地質学的な観点から新たな構造解釈・構造解析を行った。まず、測線における沈み込む海山の位置を特定した。その後、海山を基点とした巨大分岐断層の存在が確認された。さらに上盤の変形構造が海山海側と陸側で異なること、陸側では海盆が形成され泥火山による貫入構造などが見られること、海側では付加体の逆断層帯と沈み込む堆積物の層などが確認された。これらの構造地質的な特徴は流体移動として特徴づけら

れるものであり，特にテクトニック微動は陸側に多いことから，微動の発生を促進するとされる高間隙流体圧を高めるプロセスの議論に資すると期待できる。

近年着目される波形インバージョンを反射法データおよび JAMSTEC によって取得された海底地震計記録への適用に着手した。波形インバージョンは波形情報を最大限活用することで高解像度の地震波速度構造が得ることができ，海底地震計データを用いた場合には 15～20km までの速度構造を，反射法データを用いた場合には 10km 程度までの詳細な速度構造の取得が期待できる。本年度の成果として，特にプレート上面および九州パラオ海嶺内で構造が極めて不均質であり，さらに海山付近に低速度帯が分布することがわかった。これまで反射法波形インバージョンは資源探査において頻繁に適用されているが，プレート境界付近を調査対象とした適用事例は多くない。そこで本年度は，解析に用いた前処理・パラメータ設定を用いて，浅部のガスハイドレートに関連する速度異常の検知の可否を検証し，その妥当性が確認された。

豊後水道で発生する深部テクトニック微動と潮汐との関係を調査した。特に深部微動の浅部側では，潮汐せん断応力や ΔCFF (0.1) が大きいほど発生しやすいことが分かった。また，潮汐感度は長期的スロースリップの発生期の方が大きいことが分かった。これらの結果は，スロースリップの発生による断層弱化を反映しているのかもしれない。

（アー 2）海陸地震・測地データを用いた日向灘のプレート間固着の把握

日向灘周辺のプレート間固着状況の理解に向けて，海陸両方で地震・測地観測を実施した。日向灘沿岸に設置した 14 ヶ所での GNSS 連続観測を継続している。得られたデータの解析により，日向灘で 2024 年 8 月 8 日に発生した M7.1，2025 年 1 月 13 日に発生した M6.6 に伴う地震時と地震後の地殻変動を検出した。観測された地殻変動から震源断層モデルの推定を行った結果，両者の主なすべり域は南北に重複せずに隣接すること，2025 年の地震については，1996 年 10 月と 12 月に発生したプレート間地震のすべり域と重なっていることが示された。

大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理について，2024 年 8 月 8 日の日向灘の地震の地殻変動記録に適用し，その有効性を検証した。地震発生から 1 か月程度の時点では，余効変動が GNSS 日座標値を用いた非定常変位の検知に与える影響は小さい。また，同様の手法を GNSS の迅速解への適用を検討し，地震発生直後の解析を行う上での問題点についても検証を進めた。

（アー 3）南海トラフ沿いのプレート境界すべりのモニタリング手法の高度化

震源決定において機械学習を導入することで，地震波形の識別能力の向上と自動震源の震源精度の向上に向けた研究に取り組む。特に南海トラフ域の超低周波地震の検出手法の開発を進めるとともに，固着域浅部のテクトニック微動の検出精度の向上を図る。さらに他の海域を監視対象とするための技術開発も進める。近地地震波形を用いた即時震源過程解析手法の改良を進める。

令和 6 年度は，深層学習を用いた地震波形の初動極性分類の試行を行った。評価指標はいずれも 9 割程度の良好な結果を示した。また地震波形から位相分類，到達時刻，震央距離，震源の深さ，マグニチュードの推定を行う深層学習モデルを構築した。近地地震波形を用いた震源過程解析の自動化のため，現行解析では手動で設定している複数のパラ

メータについて、速報解析値から自動的に設定できるよう現行解析に基づいた経験式を求めた。M7 以上の地震前後の地震計速度連続波形に PhaseNet を適用し、局所的な地震を 1 点検知し、大地震直後の地震波通過に伴う一時的な応力変化によって発生する動的誘発地震の検知を行った。これにより、有意な地震の活性化が繰り返し見られる観測点を抽出することができた。

具体的な適用事例として、2016 年熊本地震の表面波到達前後の波形を PhaseNet により検出した。有意な地震活動の活性化が見られる観測点を、目視での結果と比較し、先行研究で目視で動的誘発地震が観測された観測点の分布と自動検知による β 値が高まった観測点の分布がよく似ていることが分かった。また、2023 年 1 月 1 日から 2024 年能登半島地震 (M7.6) 発生時までの地震データについて地震活動と潮汐との関係を調査した。結果として 2023 年 5 月 5 日の地震 (M6.5) 前、2024 年 1 月 1 日の地震 (M7.6) 前の地震活動に潮汐相関が認められないことを示した。解析した主な地震活動域である北部クラスタの浅部の断層強度は、2022 年以前と同様に潮汐応力が断層に影響を及ぼせるほどは低下していない可能性が考えられる。

日向灘で将来発生しうる巨大地震の予測手法の開発に向けた新たな取り組みとして、韓国の国立数理科学研究所 (NIMS)、東京大学地震研究所との共同研究として超伝導重力計を用いた早期地震警報の開発に着手した。今年度は韓国の NIMS の地下実験場 Yemi Lab に設置される超伝導重力計の隣に広帯域地震計を設置して重力計と地震計の並行観測を開始した。

(イ) 地震・津波モデリングに基づく地震・津波シナリオの構築

日向灘で想定される巨大地震の震源像に基づき、地盤モデルや水深データを用いて、特に宮崎市の強震動予測地図および津波浸水予測地図、地震・津波シナリオおよびこれらをもとにした強震動・津波浸水による被害の結合ハザードマップの作成を自治体と連携して進めた。特に、津波伝播・遡上シミュレーション高精度化に関して都市を解像する津波氾濫モデルの開発を行った。また、確率震源モデルにより南海東南海を対象とした津波の伝播・遡上シミュレーションと強震動評価を実施し、津波・建物災害の被害評価を行った。加えて、能登半島地震津波の調査を行い被害特性を明らかにした。

日向灘沿岸における津波堆積物調査を継続して実施した。今年度はハンディジオスライサーを使用した試料採取を宮崎県新富町、都農町、宮崎市において実施した。県の遺跡調査で見出されていた砂層の採取等に成功しており、今後成因等について明らかにするため炭素年代測定や化学的分析等を行う。

地震発生シミュレーションにおいて、速度・状態依存摩擦構成則の発展則にカットオフ時間を導入した平面モデル及び 3 次元モデルについて、観測結果と整合的な短期的 SSE を発生させるためのパラメータを検討した。

(ウ) リスク評価と自治体の要望に即した地震・津波減災教育プログラムの開発と実施

(ウー 1) 南海トラフ臨時情報と避難計画

地震・津波シナリオ及びハザードマップに基づき、建築構造物や地形情報を考慮したリスクシナリオおよびリスクマップの作成に向けた準備を開始した。特に、今後の防災

教育プログラム開発のため、地震計を用いた防災教育手法の調査、過去に宮崎市向けに開発した防災教育冊子のレビュー、南海トラフ臨時情報時の住民対応等の基礎的情報収集を行った。

宮崎県門川町において小中学生に対して例年実施されている下校時一斉避難訓練について、避難経路の閉塞等を想定した訓練を実施した。門川高校のボランティア生徒や地元消防団員の協力を得て、町内に障害箇所を設け、児童らにその場で新たな避難ルートを判断させた。障害箇所を回避し避難をできた児童が多かったが、実施に際して多くの課題も見出された。

宮崎公立大学と協力し、2024年11月に宮崎市青島で実施された宮崎市総合防災訓練において、津波避難訓練アプリ「逃げトレ」を活用した観光客を模した避難行動調査を実施した。学生100名以上が参加し、避難の傾向が見える化した。得られたデータは宮崎市に提供されると共に、地域住民と共有し避難計画の見直しを今後行う予定である。

（ウー2）地震・津波のリスクに対する行動変容の促進

南海トラフの巨大地震のリスクに対する、住民の行動変容の促進に向けた方法論の研究を行った。特に、「行動変容」と「介入」というキーワードに着目して、行動変容のための理論や実践・実績の積み重ねがあるヘルスコミュニケーション学と対比させて、防災コミュニケーションの取り組みの体系的な整理を進めて、地震津波リスクを抜本的に減らすための方法論の確立を目指す。

今年度は行動変容を阻害する要因やこれまでの行動変容を意図した介入方法の研究について、2回のワークショップを行うとともに、1996年以降に出版された査読付き論文の系統的調査を行い、該当論文および介入内容や効果測定方法を整理した。また、静岡県とのワークショップも実施し、今後の連携を前提に介入試行における課題や保健師等の介入者としての潜在的可能性などの意見交換を行った。今後、介入試行で使用するための家具類の地震安全対策に関するリーフレットの開発を行った。静岡県と連携体制を構築した。同県内の複数の基礎自治体とは協力の同意も得られており、次年度以降、静岡県内の自治体で介入試行を実施する目処がついた。

ここでは南海トラフ沿いの巨大地震を主な対象とするが、国内外の他地域との比較を通じてより実効的な方法論の検討を計画する。また、本計画の全体趣旨を考慮し、科学的知識（ハザードマップ、地震の発生確率等の情報）が行動変容に寄与する度合いについても今後明らかにする予定である。

（エ）比較研究による地震・津波防災科学の推進

理学—工学—人文・社会科学を総合した「比較沈み込み帯防災科学」として情報を集約するための環境整備を進めた。京都大学では海外機関等と活発な研究交流を行い、世界をリードする最先端研究を推進することを目的に、世界各地に現地運営型研究室（On-site Laboratory）を設置している。学際的な視点から様々な地域における地震・津波災害を比較し、普遍性や地域性を調査する「比較地震・津波災害科学」の研究拠点として「地震・津波未災学国際Lab（iLETs）」の設置を令和6年度に申請し認可された。メキシコ国立自治大学と京都大学宇治キャンパス内に11月にiLETsのラボを設置して活動を開始した。iLETsでは、メキシコとの国際共同研究の発展に加えて、チリ、エルサルバドル

などの中南米の研究機関との新たな共同研究も含めて地震・津波災害とリスクの理解の高度化を進める。

総合研究グループ間の相互理解を目的として、第43回自然災害学術講演会（2024年9月20日：千葉大学西千葉キャンパス工学部講義室）においてスペシャルセッションを開催した（図1及び図2）。本スペシャルセッションでは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」の中で実施される分野横断型の総合的研究の6つの課題間での情報や問題が共有された。セッションを通じて、共通の課題の解決に向けた課題間連携の必要性が確認された。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された本観測研究では、将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震および津波、さらにはそれらに伴う複合型災害のリスク軽減に向けて、分野横断型の総合的かつ学際的な研究の推進を目的として全国の大学が連携し、観測研究を展開してきた。特に、地震・測地観測に基づくプレート間のモニタリングや、日向灘下に沈み込む九州・パラオ海嶺がプレート間固着に果たす役割の理解に加えて、社会科学的視点に基づいたリスクコミュニケーションの方法論構築および地域社会での実践的調査が行われてきた。その結果、前計画と比較してリスクコミュニケーションに関連した研究課題の推進および成果の創出が顕著となっており、本課題の将来的な社会実装の観点から重要な進展と評価できる。

プレート境界における海山等の地形的な不均質性の影響は、南海トラフの室戸沖や熊野沖に加えて茨城沖などの他地域でも強く示唆されている。本研究の成果は広く地震災害リスク軽減に貢献する知見となる。ただし、プレート間固着における海山の役割については、スロー地震の詳細分布との関連性が改めて示唆された一方、固着強度の定量的評価には未だ至っておらず、今後の研究課題である。機械学習等を活用した観測データからの地震検出・識別手法では一定の成果が得られているが、震源過程解析の迅速化に向けた応用は開発段階にあり、プレート境界の固着状況の時空間変化を高精度に把握するためにも、引き続き手法の高度化が求められる。

2024年8月8日に発生した日向灘の地震に伴い発出された南海トラフ地震臨時情報については、その発出のあり方や受け手側の行動に関する実態調査が進行中である。これまでに行われてきたリスクコミュニケーションの体系的整理を通じて、より効果的な災害情報発信の方法論を構築することが求められており、宮崎市内を中心とした住民対応の実態把握と分析、ならびにそれに基づく情報発出手法の検討が今後の重要課題である。

さらに、南海トラフと類似したテクトニクスを有し、同様の防災課題を抱える環太平洋の他地域との比較研究の展開に向けて、メキシコ国内における研究拠点が新たに形成された。南海トラフ地震のような低頻度・高被害型の巨大地震の災害軽減を目指す上で、他地域との比較研究は観測データの蓄積や解釈の幅を広げる点から極めて有用である。今後は既存の研究をさらに発展させるとともに、国際共同研究および共同観測の連携体制を一層強化することが求められる。観測基盤と研究推進体制の整備に関する「国際共同研究・国際協力」の観点からも、新たな国際連携の構築が重要な展望として位置づけられる。

成果リスト

・論文・報告書等

- An, L., F. Grigoli, B. Enescu, M. Buttinelli, M. Anselmi, I. Molinari, and Y. Ito, 2024, Offshore Fault Geometry Revealed from Earthquake Locations Using New State-of-Art Techniques: The Case of the 2022 Adriatic Sea Earthquake Sequence, *Seismological Research Letters*, 95, 2779-2790, doi:10.1785/0220230264.
- Ching-Yu Hu, Masanao Shinohara, Yusuke Yamashita, Takashi Tonegawa, Tomoaki Yamada, Takeshi Akuhara, Kimihiro Mochizuki, 2024, Seismic activity around shallow plate boundary near westernmost Nankai Trough revealed by ocean bottom seismometer observation, *Earth Planets Space*, 76, 168, doi: 10.1186/s40623-024-02122-4.
- De Luca, F., A. Muhammad, R. De Risi, A. Hargono, N. Mori, T. Yasuda, and K. Goda, 2024, Integrated tsunami risk framework considering agent-based evacuation modelling: the case of Saga, Kochi Prefecture, Japan, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 104193, doi:10.1016/j.ijdr.2023.104193.
- 福島 洋・栗山進一, 2025, 行動変容に着目した地震防災の取り組みの試行的体系整理と地震警戒・注意情報の有効活用へ向けた検討, *日本地震工学会論文集*, 25 (4), 189-195.
- Ito, Y., 2025, Toward Disaster Mitigation of Future Nankai Trough Megathrust Earthquakes and Tsunamis: An Overview, *J. Disaster Res.*, 20, 170-176, doi: 10.20965/jdr.2025.p0170.
- 伊藤喜宏, 2024, 南海トラフ沿い巨大地震の地震像とスロー地震の関係ーその巨大地震への備え日に向けてー, *消防防災の科学*, 155, 5-12.
- 気象研究所, 2024: 全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化. *地震予知連絡会会報*, 112, 19-23.
- 気象研究所, 2024: 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知. *地震予知連絡会会報*, 112, 354-356.
- 気象研究所, 2024: 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測. *地震予知連絡会会報*, 112, 374-377.
- Ma, Y., Nakata, R., Mochizuki, K., Hashimoto, Y., Hamada, Y., 2024, Structural control on the shallow tremor distribution linked to seamount subduction: insights from high-resolution seismic imaging in Hyuga-nada, *Earth Planets Space*, 76, 133, doi:10.1186/s40623-024-02082-9.
- Mukherjee, P., Y. Ito, K. Borah, A.P. Mpuang, E.S. Garcia, and R. Plata-Martinez, 2024, Along-strike forearc and subducted upper slab structure beneath north Chile: Slow slip implications, *J. S. America Earth Sci.*, 148, 105064, doi:10.1016/j.jsames.2024.105064.
- Naoki, M., Tamaribuchi, K., Shimojo, K., Katoh, S., and S. Ohyanagi, 2024, Neural phase picker trained on the Japan meteorological agency unified earthquake catalog, *Earth Planets Space*, 76, 150, doi:10.1186/s40623-024-02091-8.
- Shirai, T. Y. Enomoto, K. Haga, T. Tokuta, T. Arikawa, N. Mori, and F. Imamura, 2024, Potential for tsunami detection via CCTV cameras in northeastern Toyama Prefecture,

Japan following the 2024 Noto Peninsula Earthquake, *Geoscience Letters*, 11, 28, doi: 10.1186/s40562-024-00343-9.

田中昌之, 2024, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2024), 地震予知連絡会会報, 112, 504-509, 査読無

Woods, K., L. M. Wallace, C. A. Williams, I. J. Hamling, S. C. Webb, Y. Ito, N. Palmer, R. Hino, S. Suzuki, M. K. Savage, E. Warren-Smith, and K. Mochizuki, 2024, Spatiotemporal Evolution of Slow Slip Events at the Offshore Hikurangi Subduction Zone in 2019 using GNSS, InSAR, and Seafloor Geodetic Data, *JGR:Solid Earth*, 129, e2024JB029068, doi:10.1029/2024JB029068.

山下裕亮, 2024, ICTを活用した地震津波防災教育, みやぎん経済研究所 調査月報, 375, 2-10.

山下裕亮, 2024, 日向灘最大級の巨大地震復元の試みと推定された津波高, 西部地区自然災害資料センターニュース, 70.

山下裕亮, 2024, 「南海トラフ地震臨時情報」ご存じでしたか?, みやぎん経済研究所 調査月報, 376, 2-10.

山下裕亮, 2025, 日向灘における大地震の発生履歴と特徴, 日本地震学会広報誌「なみふる」, 140, 2-3, 査読無, 謝辞無

山下裕亮, 2025, 南海トラフ地震の特徴と南海トラフ地震臨時情報, 全建宮崎, 60, 印刷中.

山下裕亮, 伊尾木圭衣, 加瀬善洋, 2024, 1662年日向灘地震(外所地震)の新たな断層モデル構築, 地震ジャーナル, 77, 48-59, doi:10.60191/eqj.2024.77_48.

Yuhi, M., S. Umeda, M. Arita, J. Ninomiya, H. Gokon, T. Arikawa, T. Baba, F. Imamura, A. Kawai, K. Kumagai, S. Kure, T. Miyashita, A. Suppasri, H. Nobuoka, T. Shibayama, S. Koshimura, and N. Mori, 2024, Post-event Survey of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami in Japan, *Coastal Engineering Journal*, 66, 405-418, doi:10.1080/21664250.2024.2368955.

・学会・シンポジウム等での発表

Adachi, M., Hamada, Y., Hashimoto Y., Shiraishi, K., Ma, Y., Nakata, R., Kinoshita, M., 2024, Structural description and interpretation of the seismic reflection image along subducting seamount in Hyuga-nada, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会.

福島 洋, 2024, 防災コミュニケーション学の創成, 日本リスク学会第 37 回年次大会, B5-3.

福島 洋・栗山進一・佐藤 健・ゲルスタ ユリア・佐藤翔輔・尾島俊之・小杉素子・岩本 萌・大類真嗣・北村美和子, 2024, 「防災コミュニケーション」による災害リスク大幅低減の方略, 第 43 回日本自然災害学会学術講演会, B-7-2.

平田一聖・山下裕亮・松島健・仲谷幸浩・平野舟一郎・八木原寛・中東和夫・江本賢太郎・松本聡・大柳修慧・伊藤喜宏・山田知朗・篠原雅尚, 2024, 日向灘の通常の地震と浅部スロー地震の発生領域境界部における地震活動, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, SSS08-P15

平田一聖・山下裕亮・松島健・仲谷幸浩・平野舟一郎・八木原寛・中東和夫・江本賢太郎・松本聡・大柳修慧・伊藤喜宏・胡靚好・山田知朗・篠原雅尚, 2024, 日向灘の通常の地震と浅部スロー地震の発生領域境界部における地震活動, 日本地震学会 2024 年度秋季大会, S09-07

Hirata, I., Y. Yamashita, T. Matsushima, Y. Nakatani, S. Hirano, H. Yakiwara, K.

Nakahigashi, K. Emoto, S. Matsumoto, S. Oyanagi, Y. Ito, C.Y. Hu, T. Yamada, and Masanao Shinohara, 2024, Seismic activity in the transition zone between the ordinary earthquake and shallow slow earthquake in Hyuga-nada, southwest Japan, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024, P126.

弘瀬冬樹, 溜渕功史, 小林昭夫, 2024, 石川県能登地方の群発地震と潮汐との関係: 2023 年~2024 年 1 月 1 日 M7.6, JpGU meeting 2024, 2024 年 5 月.

Hu, C.Y., M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, 2024, Seismic activity around plate boundary near westernmost Nankai trough revealed by ocean bottom seismometer observation, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, SCG40-P20.

Hu, C.Y., M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, 2024, Seismicity in shallow part of Hyuga-nada subduction zone by ocean bottom seismometer from 2015 to 2022, 日本地震学会 2024 年秋季大会, S09-14.

Hu, C.Y. M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, 2024, Earthquake distribution by OBS observation in Hyuga-nada region and comparison with slow earthquake activities, AGU fall meeting 2024, S41C-03.

石原祐太郎・伊藤喜宏, 2025, 波形相関を用いた紀伊半島南東沖における超低周波地震の検出, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P52.

伊藤喜宏, 2024, 「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループの 5 ヶ年計画と目指すもの, 第 43 回日本自然災害学会学術講演会, スペシャルセッション 2 「分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究 ―災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 3 次) での取り組み―」.

伊藤喜宏・中野元太, 2025, 京都大学 On-site Laboratory「地震・津波未災学国際 Lab (iLETs)」の開設, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, A106.

勝間田明男, 宮岡一樹, 露木貴裕, 板場 智史, 田中 昌之, 伊藤 武男, 高森 昭光, 新谷 昌人, Temporal slip slip increases during short-term SSE, JpGU meeting.

勝間田明男, 宮岡一樹, 露木貴裕, 板場 智史, 田中 昌之, 伊藤 武男, 高森 昭光, 新谷 昌人, 短期的スロースリップにおけるひずみ変化と微動活動の相関, 日本地震学会 2024 年度秋季大会.

Kinoshita, M., Shiraishi, K., Nakata, R., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Araki, E., Sawai, M., 2024, Heat flow in the western Nankai forearc, SW Japan, derived from BSR, surface probe and drilling: Implication for the effect of seamount subduction on earthquakes, AGU Fall Meeting.

小松理子・西村卓也・松島健・廣瀬仁, 2025, GNSS データを用いた日向灘におけるプレート間固着状況の推定, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P41.

小杉素子, 2024, リスクコミュニケーションと防災, 日本リスク学会第 37 回年次大会, B5-1.

小山凱・西川友章・西村卓也, 2025, 統計モデルを用いた大地震前の前震活動加速現象に関する全世界的調査, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P49.

久我知弘・宮下卓也・森信人・志村 智也, 2025, 確率過程を導入した津波遡上の不確実性評価, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, A102.

国吉健太郎・伊藤喜宏・大柳修慧・Raymundo PLATA-MARTINEZ・西川友章・伊藤悠太・Ketzallina

FLORES・Yanhan CHEN・Emmanuel Soliman GARCIA・Victor Manuel CRUZ-ATIENZA, *ゲレロ地震空白域南東部におけるテクトニック微動の震源決定と手法の比較, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P46.

Ma, Y., Nakata, R., Mochizuki K., Hashimoto Y., Hamada, Y., 2024, Full Waveform Inversion for Seamount Subduction Imaging in Hyuga-nada, Japan: Implications for Shallow Tremor Activity, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会.

中村雅基, 深層学習モデルによる震源直上に観測網がない場合の震源深さ推定, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用.

中野元太・伊藤喜宏, 2025, メキシコとの国際共同研究の発展— SATREPS・オンサイトラボ・共同声明 —, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, A107.

Nakata., R., Mochizuki, K., Nakta, N., Kinoshita, M., Hashimoto, Y., Hamada, Y., Nakamura, Y., Miura, S., Arai, R., 2024, P- and S-wave velocity imaging from active and passive seismic data for seamount subduction at Hyuga-Nada, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会.

西川友章・Vladimir KOSTOGLODOV・西村卓也, 2025, 中米沈み込み帯における群発地震検出: 地震活動とスロースリップイベントの関係に関する示唆, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P04.

西宮隆仁, 様々な断層面モデルを仮定した令和 6 年能登半島地震の震源過程解析, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会

西宮隆仁, 複数の断層モデルを設定して行った令和 6 年能登半島地震の近地震源過程解析, 震源インバージョンワークショップ ~多様なデータと解析手法で明らかにする「ほんとうの」震源像~, 2024 年 7 月, 東京都文京区

小木曾仁, 地震波振幅を用いた相対震源決定法による地震活動の早期把握, 日本地震学会 2024 年度秋季大会

Ohyanagi, S, Y. Yamashita, T. Akuhara, Y. Sawaki, Y. Ito, T. Yamada, and M. Shinohara, 2025, Long-duration Signal Generated by Volcanic Activity at Nishinoshima Detected by Dense OBS Array Observation at Hyuga Nada, 京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会, P42.

尾島俊之, 2024, ヘルスコミュニケーションと防災, 日本リスク学会第 37 回年次大会, B5-2.

Panayotopoulos, Y., H. Baba, and T. Nishimiya, Evidence of a shear zone inside the Philippine Sea plate slab in Suruga Bay, provided by long term OBS observations., 日本地球惑星科学連合 2024 年大会, 2024 年 5 月.

Shimojo, K., Detection of dynamically-triggered earthquakes using CNN for seismic phase discrimination, 14th United States-Japan Natural Resources (UJNR) Panel for Earthquake Research, 2024 年 9 月, 小田原市

下條賢梧, 位相検知用 CNN モデルを用いた動的誘発地震の検知, 日本地震学会 2024 年度秋季大会, 2024 年 10 月

田中昌之, 分布型音響センシング (DAS) を用いた東南海沖ケーブルでの振動観測 (2), 日本地球惑星科学連合 2024 年大会

田中昌之, 吉田康宏, 東南海沖ケーブルでの DAS 観測で見られる特徴, 日本地震学会 2024 年度秋季大会

露木貴裕，小林昭夫，大地震発生後に地殻変動監視を継続するための余効変動除去手法について の検証：2024 年 8 月 8 日日向灘の地震発生後の事例，日本地震学会 2024 年度秋季大会，2024 年 10 月

山下裕亮・杉山高志・新村拓也・辻 利則，2025，宮崎県における地震津波防災への取り組み，京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会，A108.

山下裕亮・篠原雅尚・山田知朗・仲谷幸浩・平野舟一郎・八木原寛・中東和夫・松島健・伊藤喜宏，2024，日向灘における 2023 年 4 月～7 月の浅部微動活動，日本地震学会 2024 年度秋季大会，S09P-10.

矢守克也・杉山高志・岡田夏美，2025，9 津波避難戦略検討システム「逃げトレ View」の開発と社会実装，京都大学防災研究所 令和 6 年度研究発表講演会，A109.

首都直下地震

「首都直下地震」総合研究グループ長 加藤愛太郎
(東京大学地震研究所)

関東地方に沈み込む太平洋プレート上面では、深さ 60～70km の範囲で高頻度に地震が発生し、「地震の巣」と呼ばれる複数のクラスタを形成している。高精度な震源決定手法を適用した結果、震源分布はプレート境界から上に凸な形状を示すことが明らかとなった (Nakajima, 2025)。さらに、地震の巣内部の数 km スケールのクラスタ内において V_p/V_s 比を精度高く推定することに成功し、値は約 1.4 と低いことが判明した (Huang et al., 2025)。これらの結果は、沈み込む海山や流体の存在が地震の巣の形成に関与している可能性を示唆している。

また、相模トラフ沿いで過去に発生した大地震および定期的に生じるスロー地震による応力解消を考慮したひずみエネルギー蓄積プロセスのモデル化に取り組み、海溝型巨大地震の破壊シナリオ構築手法を高度化した。さらに、関東地域の地震ハザードについては、フィリピン海プレートおよび太平洋プレートに起因する海溝型地震が主要な寄与因であること、また 2011 年東北地方太平洋沖地震以降の地震活動モデルの変化によりハザードが増大していることを確認した。

他にも、丹沢東部から三浦半島および房総半島における機動的な地震観測の実施、茨城県におけるネットワーク MT 観測の時系列データの解析、三浦半島海岸線沿いにおける長期的な地殻変動調査の実施、歴史地震史料を用いた地震発生履歴の調査研究、東京湾舞浜沖における浅層メタンガス滞留域の検出、発災時の揺れ分布を高密度に計測するための観測技術の開発などをおこなった。

これまでの課題と今後の展望

今年度より開始された総合研究グループ「首都直下地震」においては、各テーマにおいて活発な研究活動が展開されている。一方で、各テーマの研究が開始段階にあることから、テーマ間の連携が十分に構築されていない点が課題として認識される。今後は、各テーマの研究を当初の計画に沿って着実に進展させるとともに、グループ内を対象とした研究集会を開催するなど、テーマ間の連携を促進するための取り組みを継続的に実施していくことが重要である。

成果リスト

- Huang, Y., S. Ide, A. Kato, K. Yoshida, C. Jiang, P. Zhai, 2025, Fault material heterogeneity controls deep interplate earthquakes, *Science Advance*, 11 (9), eadr9353.
- Nakajima, J., 2025, The Tokyo Bay earthquake nest, Japan: Implications for a subducted seamount, *Tectonophysics* 906, 230728.

千島海溝沿いの巨大地震

「千島海溝沿いの巨大地震」総合研究グループ長 高橋浩晃
(北海道大学大学院理学研究院)

はじめに

千島海溝は地震活動が活発な地域であり、M8クラスの巨大地震が多く発生してきた。津波堆積物の調査から、17世紀前半のM8.8程度の地震をはじめ、巨大な津波を伴う超巨大地震が繰り返し発生してきたことが知られている。地震本部は、千島海溝でのM8.8程度以上の超巨大地震の発生が切迫していると評価している。また、中央防災会議の被害想定では、最大で約10万人の死者を推定している。

前計画から始まった千島海溝沿いの巨大地震を対象とした総合研究グループは、今年度から開始された第3次計画においても研究が継続されることとなった。総合研究グループには6つの研究課題が関係しており、災害の軽減を下支えするような、地震現象の解明・地震や津波の災害誘因予測・地震発生予測及び防災リテラシーに関する研究が総合的に行われている。

令和6年度の成果

函館市の観光地であるバイエリア西部地区を対象に、観光客を含めた避難困難地域の分析を行ったところ、観光客が屋外を散策している昼間と、観光客が高層のホテル等に滞在している夜間では、昼間の方が避難困難人口が2000人程度多いことが明らかになった。また、同地区を対象とするVR津波避難訓練を実施し、率先避難者の行動が他の避難者に与える影響の分析を行った。日高管内新冠町において、観光客などの地理不案内者を想定した津波避難集団実験を実施し、情報通信端末によって避難場所の位置などの地理情報を取得できたとしても、適切な避難ルートを選択できないことが明らかにされた。これは、たとえスマホの避難用アプリがあったとしても、その効果は限定的である可能性を示す重要な結果である。地理不案内者が多い観光地においては、むしろ誘導員や地域住民による率先避難が効果的であると考えられる(北海道大学[課題番号:HKD_06])。

北海道・三陸沖後発地震注意情報に関する社会調査を北海道内の主要都市で継続的に実施し、情報の認知度は30%程度であり、経年変化が見られないことが明らかになった。また、この情報が発表された場合、6割近い人が50%以上の確率で後発の大地震が起これと考えている状況についても経年変化が見られないことが示された。国から公表されている後発地震の発生確率(約1%)から大きく乖離している状態が続いている。また、2024年8月に出された南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)に関して行われた社会調査との比較から、実際に情報が発出されると多くの人がかなり正しい知識を持てるようになることも明らかにされた(公募研究、関西大学[課題番号:KOB013])。

千島海溝沿いの巨大地震が地域の基幹産業である農業に与える経済被害の推計を実施した。直接被害・間接被害及び非農業分野への波及効果を合わせると、数千億円規模の被害が想定されることが明らかになった。また、畜産・酪農分野においてヒヤリング等を実施し事前投資の費用対効果を推計した結果、事前対策が経済的な防災投資であることを確認した(北海道立総合研究機構[課題番号:HR0_02])。

2019年から継続している根室沖でのGNSS音響結合式海底地殻変動を船舶とウエーブグラライダーで実施し、これまで得られたデータを含めて解析を行い、各観測点での変位ベクトルを推定した。昨年度までと同様に、プレート相対運動と概ね一致する変位ベクトルが検出され、一定のレートで地殻変動が継続していることが明らかになった。海域と陸域の地殻変動データを統合してプレート境界面でのすべり欠損の予備的推定を実施し、海溝軸に近いプレート境界浅部においても強く固着している可能性が示された。また、A-0-A方式による海底水圧計での観測を開始したほか、圧力媒体容量を小さくする技術開発を行った（北海道大学[課題番号：HKD_07]，東北大学理学研究科[課題番号：THK_10]）津波浸水予測の不確実性評価に向けて、データ同化を組み込んだ津波伝播・氾濫予測手法の開発を開始した。移流効果を考慮した津波波形解析手法を開発し2003年十勝沖地震を対象として性能評価を実施した。地震動予測の高度化に向け、千島海溝周辺で発生する地震の地震波放射特性の影響を検討し、地震動のフーリエスペクトルを予測するプロトタイプモデルの作成を行った（北海道大学[課題番号：HKD_07]）。岩手・青森沖のプレート境界浅部の地震活動と地下構造の関係を精査し、繰り返し地震の発生数などが沈み込む堆積物の厚さの海溝沿い分布に対応していることを明らかにした（東北大学理学研究科[課題番号：THK_10]）。

今後の展望

前計画に引き続き、千島海溝沿いの巨大地震総合研究グループの研究が行われた。観光業が重要な産業となっている地域での防災対策バリューを高める観点で、函館市観光地での津波困難人口分析やVR避難実験は重要な取り組みである。これまで情報の発表が行われていない北海道・三陸沖後発地震注意情報については、現在では北海道内での認知度は低いものの、2024年8月に出された南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）の社会反応調査から、情報発表時の社会への伝え方が重要である可能性が示された。社会活動とのバランスを考慮し、適切な対応行動の事前準備について検討を行う必要がある。一方、後発地震の発生頻度は世界的な地震発生状況から計算されたものであり、千島海溝の地域的な地震活動特性は反映されていない。地殻活動を監視する技術的な側面での研究開発を進め、統計的・経験的な評価手法を調査し、適切な防災情報としての発表方法とともに検討を行う必要がある。

北海道という地理的に独立した農業が産業基盤となっている地域の経済被害についての試算が行われた。千島海溝の巨大地震による津波で港湾に被害が出ると、北海道の物流の9割を占める海運に支障が発生し、発災直後の支援活動をはじめ、農業分野をはじめ全道のサプライチェーンに長期的な影響が出る可能性がある。産業連関分析等に基づく経済被害の分析を進め、日本海側港湾の活用を含めた代替輸送や、高規格道路網の循環化などの影響回避策を検討する必要がある。

根室沖での海底地殻変動観測の結果から、津波を効率的に励起するプレート境界浅部での強い固着が明らかになりつつある。今後、十勝沖や青森県東方沖での固着状況の把握を進めるとともに、被害想定観点からも千島海溝南部と日本海溝北部が連動するシナリオの可能性を検討する必要がある。また、津波避難を確実なものにするため、地震動や津波浸水の事前想定の高高度化を着実に進めるとともに、現在のハザード想定の妥当性を再点検し、津波避難計画のロバスト化を進めることが望ましい。

千島海溝沿岸では現在、津波避難タワーなどの整備が進んでおり、ハード対策には進捗が見られている。今後は、整備されつつある施設を最大限に生かすためのソフト対策が一層重要になってくる。災害は稀にしか起こらないため、大津波警報や北海道・三陸沖後発地震注意情報を実際に経験する機会は極めて少なく、情報の伝え手側も受け手側も双方が、それらの情報に初見で接するなかで対応を迫られる。大津波警報のような、人生で一度あるかないかの情報に遭遇した場合、住民は避難という普段の生活からの思い切った行動変容を瞬時に起動する必要がある。緊急時の情報の伝え手側である放送事業者とアナウンサーも、これまで経験したことがない中で住民に「ことば」を打ち込み、津波避難を促すことが求められる。津波避難という行動変容には、伝え手側、受け手側双方のファクターが影響する。一発勝負である緊急時の情報の伝え方については、あらゆる年齢や立場の住民に対して、アナウンスの言葉やテレビのテロップなどにおいて、誤解や齟齬・勘違いが生じないように、細心の注意と周到な準備が必要である。情報の受け手側である地域の住民と、伝え手側である放送事業者との直接的なリスクコミュニケーションが必要であり、「減災のテトロヘドロン」を実践するアクションリサーチを通じて地域防災力を継続的に高めていく取り組みが望まれる。

成果リスト

- Katsumata K., 2024, Not trench-parallel but trench-normal source fault of the 1994 Hokkaido Toho-oki earthquake as revealed by the aftershock relocation using HypoDD, Earth Planet. Space, 76:126, doi:10.1186/s40623-024-02069-6.
- 小野塚仁海, 橋本雄一, 2024, 携帯電話データを用いた地震と大規模停電による人口分布変化の地域間比較, 地理情報システム学会講演論文集, 33, 1-4.
- 大谷竜・林能成, 2025, 2024年8月の南海トラフ地震臨時情報の効果—1年前のアンケート調査結果との比較—, 社会安全学研究, 15.
- 塩崎大輔, 橋本雄一, 2024, GNSS を用いた地理的制約のある地域における津波集団避難に関する行動分析, 情報処理学会研究報告, 2024-IS-170(9), 1-6.
- 塩崎大輔, 橋本雄一, 2024, GPSを用いた非日常空間における避難行動分析, 日本地理学会発表要旨集, 106, 67-67.
- 塩崎大輔, 橋本雄一, 2024, VR津波避難訓練における率先避難による避難行動の変化, 情報処理学会研究報告, 2024-IS-167(14), 1-4, 査読無.
- Shiozaki D, Y. Hashimoto, 2024, System Development for Tsunami Evacuation Drill Using ICT and Tsunami Inundation Simulation Data, Journal of Disaster Research, 19, 72-80, <https://doi.org/10.20965/jdr.2024.p0072>.
- Yamanaka, Y., Y. Tanioka, 2024, Tsunami waveform inversion using Green's functions with advection effects: application to the 2003 Tokachi-Oki earthquake. Earth Planets Space 76, 71, doi:10.1186/s40623-024-02006-7.

後発地震注意情報の認識状況(地域別・時間変化)

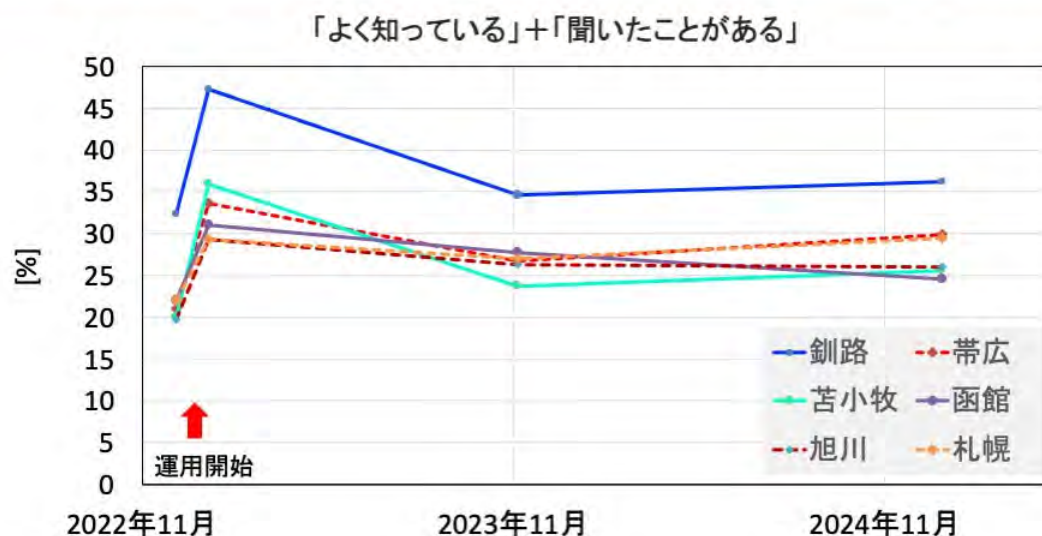


図 1. 北海道・三陸沖後発地震注意情報の認知度

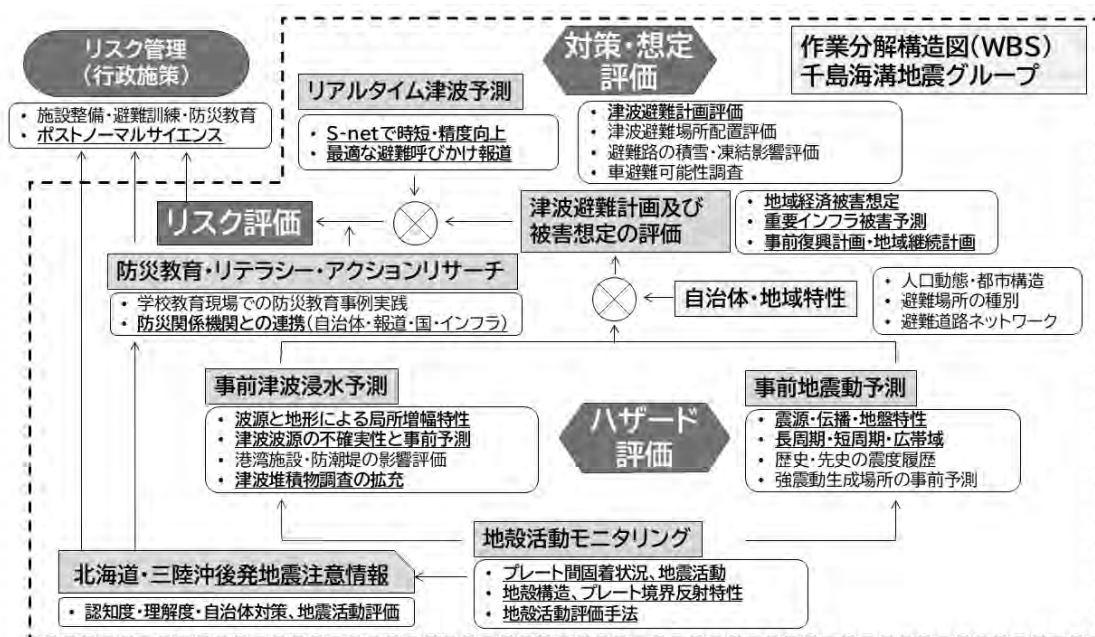


図 2. 千島海溝総合研究グループの作業分解構造図

内陸で発生する被害地震

「内陸で発生する被害地震」総合研究グループ長 岡田知己
(東北大学理学研究科)

内陸の地震は、人間の生活圏の近くで発生するため被害が大きくなりやすく、過去にも多くの被害地震が内陸で発生している。そこで本計画では、陸域で発生する被害地震を新たな総合的研究の対象とする。内陸域の大規模地震や群発地震の発生要因、強震動発生メカニズム、歴史地震の研究を通じて、いくつかの地域において今後発生が想定される地震像を提示し、それに基づく強震動等の災害誘因予測を目指す。また、浅部地盤構造調査や構造物モニタリング調査に基づき、リスク評価手法の研究にも取り組む。さらに、社会との情報共有によるリスク低減の方法も検討する。

5. 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(4) 内陸で発生する被害地震

内陸やプレート境界上盤、日本海東縁地域で発生する大規模地震や群発地震を対象として、文理融合の取組を含めた総合的研究を実施した。地震に伴う災害について、応力や地殻内流体の時空間変化と地震活動との関連性の研究、断層近傍の強震動発生メカニズムの研究、歴史地震の研究とその成果を考慮しつつ、リスク評価手法の確立を目指した。都市圏、近年の大規模地震の発生域周辺、群発地震など活発な地震活動域、プレート境界大地震の発生前後の内陸地震活動域など、高いリスクを生じうる領域において、それぞれの特色に合わせた重点的な観測研究が行われた。さらに、内陸地震を対象とした長期予測、中短期予測、災害誘因予測手法の開発に向けた研究が行われた。また、計画期間に発生した内陸被害地震として、2024 年能登半島地震の各種調査が機動的に実施された。2025 年 1 月 29 日にグループの研究集会を行い、2024 年能登半島地震についての各課題の成果や各地域での研究成果と手法を共有することで、現象の包括的理解を図った。

1) 2024 年能登半島地震に関する成果

1-1. 能登半島地震に関する臨時観測の実施

能登半島における臨時観測 (GNSS 地殻変動観測、電磁気観測、地震観測、ひずみ観測) を継続して行った (図 1, 京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI10], 平松・他, 2024, 東北大学理学研究科 [課題番号: THK_11])。電磁場連続観測については、磁場参照点の整備を進めた (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI10], Yoshimura et al., 2024)。

1-2. 余震分布や先駆的活動の震源分布

2024 年能登半島地震は、群発地震が微小亀裂を通じて深部から浅部に移動し、大断層に侵入した周辺から開始したことが示された (図 2, 東北大学理学研究科 [課題番号: THK_11], Yoshida et al., 2024)。

計算コストの高い高精度震源再決定を、低計算コスト・準リアルタイムで行うアルゴリズムを作成し、能登半島の群発地震に適用した (図 3, 東北大学理学研究科 [課題番号:

THK_11], Matsumoto and Yoshida, 2024)。

1－3．断層モデルおよび余効変動

臨時観測点，GEONET 観測点，ソフトバンク観測点記録を用いた GNSS 地殻変動観測により，M7.6 能登半島地震後の余効変動を粘弾性緩和と余効すべりにより説明し，将来の変動を予測した（図 4，京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）。

ソフトバンク独自基準点データを含めた稠密 GNSS データの有効性の検証のための研究を進めた。その一例として，2024 年能登半島地震後の余効変動において，佐渡島西方において余効すべりが卓越している可能性を指摘した（図 5，図 6，東北大学理学研究科[課題番号：THK_11，THK_12(観測研究基盤部会)]，大館・他，2024）。

1－4．地表地震断層の考察

能登半島地震の際の地表地震断層を考察した。令和 5 年度に実施した熊本地震の地表変位の再検討の結果，地震後に現地調査により確認された地震断層変位量が，周辺数百メートルの変形を捉えておらず，過小評価になっていたことを再確認した。その割合は最大 2 倍に及ぶ可能性があることを念頭においた。能登半島北岸沖断層は海底にあるため地形調査をすることができないが，20 km 程度南方の志賀町の，富来川南岸断層に沿って地震断層が現れたことを確認した。地震直後に変位が確認された場所は限定的で，盛土の変形を地震断層と誤認しているとの批判もあったが，5 月までの再調査により，3 km 以上の範囲に南方隆起で左横ずれを伴う変形が生じたことが確実であることが判明した（名古屋大学環境学研究科[NGY_06]，鈴木・渡辺，2024）。ずれの量は縦ずれ・横ずれとも見かけ最大 30～40 cm である。また注目に値することは，この断層線近傍の建物被害が激しいことであり，この程度の地震断層でも何らかの強震動発生に寄与した可能性がある。富来川南岸断層はこれまで北陸電力による反射法地震探査で南方へ 45 度程度で傾下する逆断層であることが判明している。またその後の写真判読調査により，その北東方では従来富来川断層と呼ばれていた断層に続くことがわかり，総延長は 10 km を超える可能性が高いことが判明した。なおこの断層の地震時の活動は，活断層固有の変位ではない。断層面に沿う余震活動は乏しく，本震時のみの付随的な活動であったと考えられる。

1－5．震源域の応力場と断層のすべりやすさの関係

2024 年能登半島地震（M7.6）やそれに関連する断層群の応力場に対するすべりやすさの評価を行なった。M7.6 地震や関連する断層群は，いずれも高い Slip Tendency の値を示すことから，M7.6 地震前の応力場に対してすべりやすい傾向にある。能登半島地震は複数の断層が連動破壊した地震であると推察される。各断層のすべり履歴などの他の要因を考慮する必要があるが，連動破壊や余震としての遅れ破壊を起こしても不自然でない条件（例えば，カイクウラ地震：Matsuno et al., 2022）にあった/あると推察される（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]，田上・岡田，2024）。

1－6．震源域陸域の地震波速度構造

Okada et al. (2024) の地震波速度構造を用いて 2024 年能登半島地震および関連する地震の震源決定を行った。低ブーゲー重力異常域の直下・2024 年 M7.6 地震震源や 2023 年

M6.5地震震源及びそれらの余震・断層モデルの深部に、高 V_p 、(低 V_s)、高 V_p/V_s 領域が確認できる。また震源域付近は低 V_p 、低 V_p/V_s となっている。高 V_p 、(低 V_s)、高 V_p/V_s 領域の原因として第三紀に形成されたカルデラの古いマグマ溜まりが考えられる。それを經由し、周囲への水の移動により、地震活動が発生するとともに、震源域付近に長期の地震活動と関連した水と共に移動した SiO_2 が濃集した低 V_p 、低 V_p/V_s の領域が示唆される(図7, 東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], 岡田・2024年能登半島地震陸域余震観測グループ, 2024)。

能登半島の群発地震発生域において、2023年に実施した地震計ノードを用いた稠密地震観測データに常時微動表面波トモグラフィを適用し、2024年能登半島地震及び先行した群発地震を規定した不均質構造を明らかにした。また、能登半島地震陸域余震域をカバーする稠密地震観測を新たに実施した(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], 高木・他, 2024)。

1-7. 応力降下量や応力テンソル解析による流体の影響の評価

能登半島北東部の群発地震の静的応力降下量の時空間分布や震源メカニズム解および応力テンソルの解析から群発地震活動における流体の影響を評価した(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI10], Fukuoka et al., 2024, Takano et al., 2024)。

1-8. 地震に伴う地震波速度構造の時間変化

臨時観測網のデータも用いて常時微動に伴う地震波速度の時間変化について検討を行った(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], Paris et al., 2024)。

1-9. 地震による誘発地震

M7.6 能登半島地震による日本列島での誘発地震活動を調査したところ、火山地帯を中心に広域にわたり誘発地震が確認された(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI10], An et al., 2024)。

1-10. 人材育成と内陸地震発生時への対応

これまで余震観測の経験のない若手研究者に、M7.6 能登半島地震の臨時余震観測調査に同行してもらい、地震計設置に関する技術を現場で継承した。なお、余震観測は他機関と協力して行った(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI10], 平松・他, 2024)。

1-11. 能登半島地震を対象としたリスクコミュニケーションモデル構築

能登半島北東部の群発地震の群発地震および令和6年能登半島地震に関する総合調査の成果を被災自治体および地方気象台と共有し、意見交換を行なった(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI10], 平松, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d; 平松・他, 2024)。

能登半島地震で被災した学校及び地域を訪問し、地震発生時の避難行動、避難所運営、心のケアに関するヒアリングを実施した。これは、住民らの地震活動に関する理解を醸成するためのリスクコミュニケーションモデル構築に向けた基礎資料となる。

1-12. その他関連する他部会の成果

史料・考古部会では、1729 年能登半島の地震の余震について地震後 2 週間は有感の余震（気象庁震度 2 以上）が継続した可能性を示した（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01, HMEV02]）。

現象解明部会では、以下の成果があった。事前情報をもとに構築したモデルを用いて、動的破壊シミュレーションを実施し、本震時観測記録と比較検証した（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_04]）。能登半島地震の余震について三次元速度構造を考慮した CMT 解析、および地震直後の短時間（1 時間程度）の地震動からその後の揺れを予測する手法の改良、が実施された（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02]）。能登半島地震の解析として（1）三次元速度構造を用いた震源際決定、（2）アレイデータを用いたバックプロジェクション解析、を実施した（産業総合技術研究所[課題番号：AIST06]）。

観測研究基盤部会では、能登半島東端に設置した臨時地震観測により、直前の前震活動と本震との関係の検討が行われた（九州大学[課題番号：KYU_04]）。

2) 東北地方における成果

2-1. 東北地方から北海道にかけての日本海東縁地域および内陸地域の応力場と断層のすべりやすさとの関係

日本海東縁地域の断層は応力場に対してすべりやすい面である一方、内陸地域の断層は応力場に対してすべりにくい面であるが高間隙圧流体によりすべりを起こしている可能性を指摘した（図 8，東北大学理学研究科[課題番号：THK_11], Tagami et al., 2024）。

2-2. 浅部構造の把握に基づく断層の描像の高度化

前計画に引き続き、宮城県仙台平野南部の重力異常探査から得られた断層の構造について仙台湾を含む周辺の断層分布を含めて考察・精査を行なった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。

2-3. 東北地方南部の比抵抗構造

山形-福島群発地震域を含む広域的地殻比抵抗構造の再解析を行い、山形-福島群発地震域が Fault-Valve モデルで調和的に解釈できることを突き止めた。それを反映して群発地震に直接到達するような流体イメージは確認できなかった（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11], 若尾・他, 2024）。

2-4. 2011 年東北沖地震の余効変動からみた、日本東北地方の第四紀火山周辺における低粘性層（LVZ）の 3 次元レオロジー推定

地質学的・地球物理学的研究により、日本東北地方の第四紀火山の地下には低粘性層（LVZ）が存在することが示唆される。そのような LVZ は、2011 年東北沖地震の前後に局所的な地殻変動を引き起こす可能性がある。5 つの第四紀火山（秋田駒ヶ岳、栗駒山、蔵王山、吾妻山、那須岳）周辺の低粘性層（LVZ）のレオロジーを理解することを目的として研究を行った。その結果、これら 5 つの火山周辺で、約 80 km 幅の局所的なひずみ収縮が確認された（図 9，図 10，東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。

1) LVZ は深さ 15 km 付近で狭く（幅 20-40 km）、深さ 55 km 付近で広く（幅 80-100 km）なる。

2) LVZ の粘性:

遷移粘性: 10^{17} Pa・s

定常粘性: 約 10^{18} Pa・s

3) LVZ の形状と粘性の変動は、火山フロントに沿った弧に平行なレオロジーの不均質性を示唆する。また、Cenozoic (新生代) のカルデラ分布および熱流量の分布と整合性を示すとともに、短波長のひずみ速度の観測結果と整合する。

2-5. その他関連する他部会の成果

史料・考古部会からは、1894 年庄内地震の被害の検討が行われた（東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号：HMEV01, HMEV02]）。

3) 京都府南部を対象とした調査

3-1. DAS を用いた研究

分布型音響センシング技術である DAS を用いて測定した地震記録を解析した。下部地殻に存在すると考えられている地震波反射帯の構造を推定（図 11, 京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10], Miyazawa, 2024）したほか、DAS の振幅記録から震源メカニズムを求めることに成功した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10], 船曳・宮澤, 2024）。

3-2. その他関連する他部会の成果

史料・考古部会において、京都府南部をはじめとした全国の発掘調査で検出した「地震痕跡」について、「全国遺跡大規模地震痕跡データセット」の公開が 2025 年 1 月 24 日より始められた（奈良文化財研究所[課題番号：NAB_01]）。

4) 震源の物理や断層形成に関わる成果

4-1. 観測に基づく震源物理に関する成果

近地地震波形の単純な時間積分に基づき、直接的に中小地震（Mw3.3-5.0）地震の破壊過程の複雑性・多様性を明らかにした（図12, 東北大学理学研究科[課題番号：THK_11], Yoshida, 2024）。

近地波形と合成波形の比較により、地殻浅部の減衰を評価。深さ 4 kmに、従来考えられていたよりも強い減衰を検知した。改訂した減衰構造により中小地震の放射エネルギーに成功した（図13, 東北大学理学研究科[課題番号：THK_11], Yoshida et al., 2024a）。

4-2. 室内実験および数値シミュレーションによる摩擦・破壊過程

室内実験結果より、摩擦特性に対する間隙水の影響は、間隙圧のような力学的なものだけでなく、岩石-水反応による化学的な過程も重要であることが、摩擦すべりに伴う AE 活動の解析から明らかとなった（図 14, 東北大学理学研究科[課題番号：THK_11], Yabe, 2025）。

深部スロー地震発生域に存在すると考えられる泥質片岩の高温高压変形実験をおこなった（図 15, 東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）。実験条件は温度 480°C, 封圧 1000 MPa と 1250 MPa, ひずみ速度 3×10^{-4} /s, 間隙水圧は 0 MPa（乾燥条件）から 800 MPa

である。間隙水圧の上昇とともに泥質片岩の強度は減少し、ピーク応力から定常応力にいたる応力降下速度も減少した。

接触面の凝着状態を表す「構造」発展則パラメータを変化させることで「安定すべり」から「stick-slip」までを表現できる上下負荷面摩擦モデルを、接触力境界条件として導入した動的一相系微小変形弾性解析法を開発した。これを単純せん断場に適用した結果、法線応力の非一様化に伴う局所的すべりの促進／抑制により、すべり伝播過程が現れ波動が生成されること、初期値境界値問題の帰結として局所的な摩擦力変動／応力再配置が評価可能であることなどを示した（名古屋大学環境学研究科[課題番号：NGY_06]，安池・他，2024）。

4－3．その他関連する他部会の成果

中短期予測部会からの成果として、 b 値を用いた大地震確率の短期予測について、大きな地震が発生した直後から、さらなる大地震の短期的な発生確率を迅速に自動更新評価するスキームが提案された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_12]）。

5）災害誘因評価・強震動予測に関する成果

5－1．断層の浅部形状やパラメータ決定の効果に関する研究

変動学的知見等を踏まえた詳細な地表地震断層の属性を組み入れたモデルに基づく強震動計算の高度化に資するため、今年度は地震調査委員会「2016 年熊本地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検討について（中間報告）」で検討された断層モデルに対して、断層浅部に詳細な地表断層形状を反映させ、強震動の試算を行った。さらに、断層モデルのパラメータの不確実性が断層近傍強震動に与える影響を見積もるため、断層パラメータ（断層面積、地震モーメント、アスペリティ面積比）を確率変数として確率密度関数によって表現した断層パラメータの設定方法を検討した。単純なケースについての強震動試算によりパラメータの分布が強震動のばらつきに与える影響を調べた（名古屋大学環境学研究科[NGY_06]）。

5－2．その他関連する他部会の成果

災害誘因評価・即時予測部会では、静岡県森町における地すべり地域において 2020 年 10 月から 2022 年 5 月まで実施した地震計アレイによる観測記録の解析が行われた（名古屋大学環境学研究科[課題番号：NGY_04]）。

6）アウトリーチ活動

アウトリーチ活動は総合的研究グループの活動として重要であると捉えている。1－11. において述べた京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]による能登半島地震関連の活動以外に以下の活動を行った。

東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]では、2024 年青森県陸奥湾の地震に関し、青森県からの要望を受けて、仙台管区气象台と共同で、青森県知事立会いのもと地震活動に関する解説を行なった。内陸の有感地震が頻発した場合には地方气象台・管区气象台への問い合わせも多く寄せられており、対応を協力して行なっている。これまで、仙台管区气象台との定期的な意見交換をメール等で月 1 回程度実施してきたが、今年度からは

年3回の対面での意見交換を開始した。教員・学生等の研究発表も行い、本課題による成果も適宜、仙台管区气象台に提供しているとともに研究者育成の機会としている。また、2024年12月3日に東京大学地震研究所サイエンスカフェにおいて、「内陸地震」に関する話題提供を行った。

名古屋大学環境学研究科[課題番号:NGY_06]では、屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯(恵那山-猿投山北断層帯)が活動した場合に被害が発生し得ると考えられる東濃地域および尾張・西三河地域を対象に実施した不確実性を有する活断層情報の提供のあり方を検討するためのアンケート調査結果を解析し論文化した(橋富・鷺谷, 2024)。また、同断層帯が活動した場合の震度予測をもとに、電力と石油燃料の供給について検討した。電力については、当該地域に立地する基幹送電網(公称電圧500kVおよび275kV)を構成する鉄塔の位置データ(別プロジェクトで作成)をもとに震度別曝露基数を既存の地震シナリオ別に明らかにした。また、石油燃料については、住民拠点SSの震度別曝露数を確認した。

これまでの課題と今後の展望

当グループにおいては、2024年能登半島地震を「被害を伴う内陸地震」として、グループや関連する部会の課題において精力的に研究が行われた。その結果、2024年能登半島地震が複数枚の断層の連動破壊であることやその先駆的群発地震活動も含めて流体が関与することが指摘された。一方で、先駆的群発地震活動と本震との関わりや長期的な地殻変動・地殻構造形成と地震活動や地震時すべり・余効すべり等の短期的地殻変動の関連など未だ不明な点が多い。

引き続き、2024年能登半島地震発生前の前駆的活動の特徴を詳細に調べる。2024年度に実施した能登半島地震余震域の稠密地震観測データを活用し、2024年能登半島地震の複雑なすべり分布・余震分布を規定した地下の不均質構造を明らかにする。比抵抗構造と地震波速度構造はそれぞれ地下の流体の分布・状態を知るための重要な情報である。再解析した比抵抗構造と地震波速度構造の相互比較から定量的な流体量の推定を試み、地殻のレオロジー構造についての足掛かりとする。一方、ソフトバンク独自基準点データを含めた稠密GNSSデータを活用した能登半島地震の余効変動や注目すべき領域やさらに全国的な高精細なひずみ分布マップの推定とともに、内陸のレオロジー不均質性を考慮した地殻変動解析及びモデル化を進めることで、内陸の時空間変動場の理解を進めるとともに、地震活動との関係も探っていく必要がある。

観測に加えて、実験でも間隙水圧の影響を検討していく必要がある。泥質片岩の強度・すべり速度と間隙水圧との関係について、来年度は、より幅広い有効圧力下での泥質片岩の高温高压変形実験をおこなう予定である。特に高封圧下(>1250 MPa)や高間隙水圧下(>900 MPa)での変形実験を実施する予定である。高温高压下での岩石の変形挙動を理解することにより、地球内部で発生している多様な断層すべり挙動についての理解を深めたい。

地震断層近傍の強震動は内陸地震の被害原因として重要であり、そのメカニズムを解明して事前予測可能にすることは被害軽減に大きく貢献するものである。予測の不確実性に関する検討やその防災への反映方法も含め、分野連携で取り組む。

対話的・双方向的リスクコミュニケーション・モデルを提案するために、能登半島にお

いて地球科学的観測を継続し、現象の解明と市民シンポジウムの開催をいくつか時期・場所・会場等でおこなう予定である。また、リスクコミュニケーション・モデルの検証とフィードバックを、阿武山地震・防災サイエンスミュージアム等の他地域でも、それぞれの調査研究結果を活用して行い、災害の軽減に貢献することを目指す。

成果リスト

- An, L., B. Enescu, Z. Peng, M. Miyazawa, H. Gonzalez-Huizar, and Y. Ito, 2024, Dynamically triggered seismicity in Japan following the 2024 Mw7.5 Noto earthquake. *Earth Planets Space* 76, 181, doi:10.1186/s40623-024-02127-z
- Fukuoka, Y., Y. Hiramatsu, and T. Yamada, 2024, Linking the spatiotemporal distribution of static stress drops to source faults in a fluid-driven earthquake swarm, northeastern Noto Peninsula, central Japan. *Earth, Planets and Space*, 76:125, doi:10.1186/s40623-024-02074-9.
- 橋富彰吾・鷺谷威, 2024, 不確実性を有する活断層情報の提供のあり方に関する研究, 災害情報 No.22-2, pp.207-218.
- 平松良浩, 2024a, 火山防災協議会を念頭に, 2年前からトップとの意見交換会や住民対象シンポジウム, 日本災害情報学会ニュースレター, 97, 3-3.
- 平松良浩, 2024b, 令和6年能登半島地震のメカニズム, 建築雑誌, 139, 1788, 3-3.
- 平松良浩, 2024c, 令和6年能登半島地震の背景とメカニズム, 日本地震工学会誌 52号, 2-5.
- 平松良浩, 2024d, 令和6年能登半島地震と群発地震と海底活断層, 消防防災の科学, 夏季(157)号, 21-28.
- 平松良浩・青木賢人, 2024, 石川県における被害想定と地域住民への啓発活動, 日本地震工学会誌 53号, 7-10
- 平松良浩・岡田知己・吉田圭佑・高木涼太・篠原雅尚・酒井慎一・蔵下 英司・西村卓也・太田雄策・木下陽平・宮崎真一・後藤忠徳・笠谷貴史・吉村令慧・田中愛幸・宮澤理稔・荒木英一郎・森下知晃・鹿兒島涉悟・石山達也・立石良・安江健一・廣内大助・松多信尚・穴倉正展・岩田知孝・浅野公之・大堀道広・村田晶・石川浩一郎・山岸邦彰・須田達・山崎新太郎・青木賢人・林紀代美・武田公子・田中純一・井口克郎・佐々木大輔・原裕太・吉田浩・松本聡・江本賢太郎・山中佳子・勝俣啓・前田拓人・石瀬素子・古谷元・小林俊一・高原利幸・金澤伸一・保坂吉則・王功輝・ト部厚志・片岡香子・高清水康博・永松伸吾・由比政年・犬飼直之・榎田真也・有田守・馬場俊孝・二宮順一・郷右近英臣・林豊・多々納裕一・梶谷義雄・中山晶一郎・藤生慎, 2024, 2023年5月5日の地震を含む能登半島北東部陸海域で継続する地震と災害の総合調査その1, 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集 61 1-16, <https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/290615>.
- 船曳祐輝・宮澤理稔 2024, 光ケーブル直下で観測された地震のDASによる震源メカニズム推定, JpGU, STT36-06
- 大舘未来, 太田雄策, 三井雄太, 2024, 2024年能登半島地震の地震後地殻変動における粘弾性緩和と余効すべりの寄与-超稠密 GNSS 観測網による検証-, 日本測地学会第142回講演会, 42.
- 岡田知己・2024年能登半島地震陸域余震観測グループ, 2024, 令和6年能登半島地震について

- (序報) (4) 能登半島北東部の地震波速度構造と震源分布との関係, 地震予知連絡会会報, 112, 693-696, https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou112/11_11.pdf
- Matsumoto, R. & Yoshida, K, 2024, Quasi-Real-Time Earthquake Relocation and Monitoring in the Northeastern Noto Peninsula, *Earth, Planets and Space* volume 76, 131, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02079-4>
- Miyazawa, M., 2024, Inclined bending seismic reflection layer in the crust illuminated by distributed fibre-optic-sensing measurements in western Japan, *Sci. Rep.*, 14, 25877, doi:10.1038/s41598-024-77024-2
- 有田上綾香・岡田知己, 2024, 令和 6 年能登半島地震について (序報) (3) 震源域の応力場に基づく各断層モデルの活動の評価, 地震予知連絡会会報, 112, 688-692, https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou112/11_11.pdf
- Nicolas Paris・伊東 優治・Florent Brenguier・Qing-Yu Wang・Quentin Higuieret・盛 一笑・高木 涼太・内田 直希・岡田 知己・平原 聡・木村 洲徳・酒井 慎一, 2024, 2024年能登半島地震 (Mw 7.5) に伴う地震時地震波速度変化, 2024年度日本地震学会秋季大会, S22-06
- 鈴木康弘・渡辺満久, 2024, 令和 6 年能登半島地震における富来川南岸断層の活動とその意義, 日本惑星科学連合, HDS09-10.
- Tagami, A., Matsuno, M., Okada, T., Sakai, S., Ohzono, M., Katsumata, K., Kosuga, M., Yamanaka, Y., Katao, H., Matsushima, T., Yakiwara, H., Hirahara, S., Kono, T., Hori, S., Matsuzawa, T., Kimura, S., Nakayama, T., 2024. Stress field in northeastern Japan and its relationship with faults of recent earthquakes. *Earth, Planets Sp.* 76, 39. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01986-w>
- 高木 涼太, 吉田 圭佑, 岡田 知己, 2024, 詳細な3次元S波速度構造に基づく先行した群発地震と2024年Mw7.5能登半島地震の関係, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P13
- Takano, S., Y. Hiramatsu, and Y. Yukutake, 2024, The role of fluids in earthquake swarms in northeastern Noto Peninsula, central Japan: insights from source mechanisms, *Earth, Planets and Space*, 76:151. doi:10.1186/s40623-024-02099-0.
- 若尾尚幸, 本山葵, 市來雅啓, 小川康雄, 上嶋誠, 浅森浩一, 内田利弘, 長谷英彰, 小山崇夫, 坂中伸也, 山谷祐介, 相澤広記, Boonchaisuk Songkhun, 海田俊輝, 2024, 東北地方南部広帯域MT観測網から推定した会津・米沢・吾妻地域地殻比抵抗構造, 日本地球惑星科学連合2024年大会
- Yabe, Y., 2025, Humidity dependence of AE activity in sheared quartz gouges and its implication for the micromechanics of friction, *Earth, Planets and Space*, 77:4, DOI: 10.1186/s40623-024-02132-2
- 安池 亮・豊田智大・野田利弘, 2024, 上下負荷面摩擦モデルによるstick-slip 現象および非一様なすべり伝播過程の数値解析, 第36回中部地盤工学シンポジウム, 87-94.
- Yoshida, K., 2024, Direct Evidence for Diverse Source Complexity in Small Earthquakes (Mw 3.3-5.0) Obtained from Near-Source Borehole Seismic Data, *Seismological Research Letters* (2024) 95 (4): 2409-2421, <https://doi.org/10.1785/0220230431>
- Yoshida, K., Emoto, K., Takemura, S., Matsuzawa, T., 2024a, Near-Source Waveform Modeling to Estimate Shallow Crustal Attenuation and Radiated Energy of Mw 2.0-4.5 Earthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129(9), e2023JB028523,

<https://doi.org/10.1029/2023JB028523>

Yoshida, K., Takagi, R., Fukushima, Y., Ando, R., Ohta, Y., Hiramatsu, Y., 2024b, Role of a Hidden Fault in the Early Process of the 2024 Mw7.5 Noto Peninsula Earthquake, Seismological Research Letters, 51, 16, <https://doi.org/10.1029/2024GL110993>

Yoshimura, R., Hiramatsu, Y., Goto, T., Kasaya, T., Miyamachi, R., Nakagawa, J., Yamashita, N., Amano, R., Fukata, M., Sugii, A., Inui, T., Yamazaki, K., Komatsu, S., Iwahori, T., Yoshikawa, M., Namigishi, A., Nagaoka, A., Tatsuyama, Y., Sawada, A., Zhang, C., Fukuoka, M., Jinde, Y., Oshima, Y., Kanazawa, M., 2024, Characteristics of the resistivity structure around the earthquake swarm activity leading up to the 2024 Noto (Mw7.5) earthquake, 26th Electromagnetic Induction Workshop, 4P11

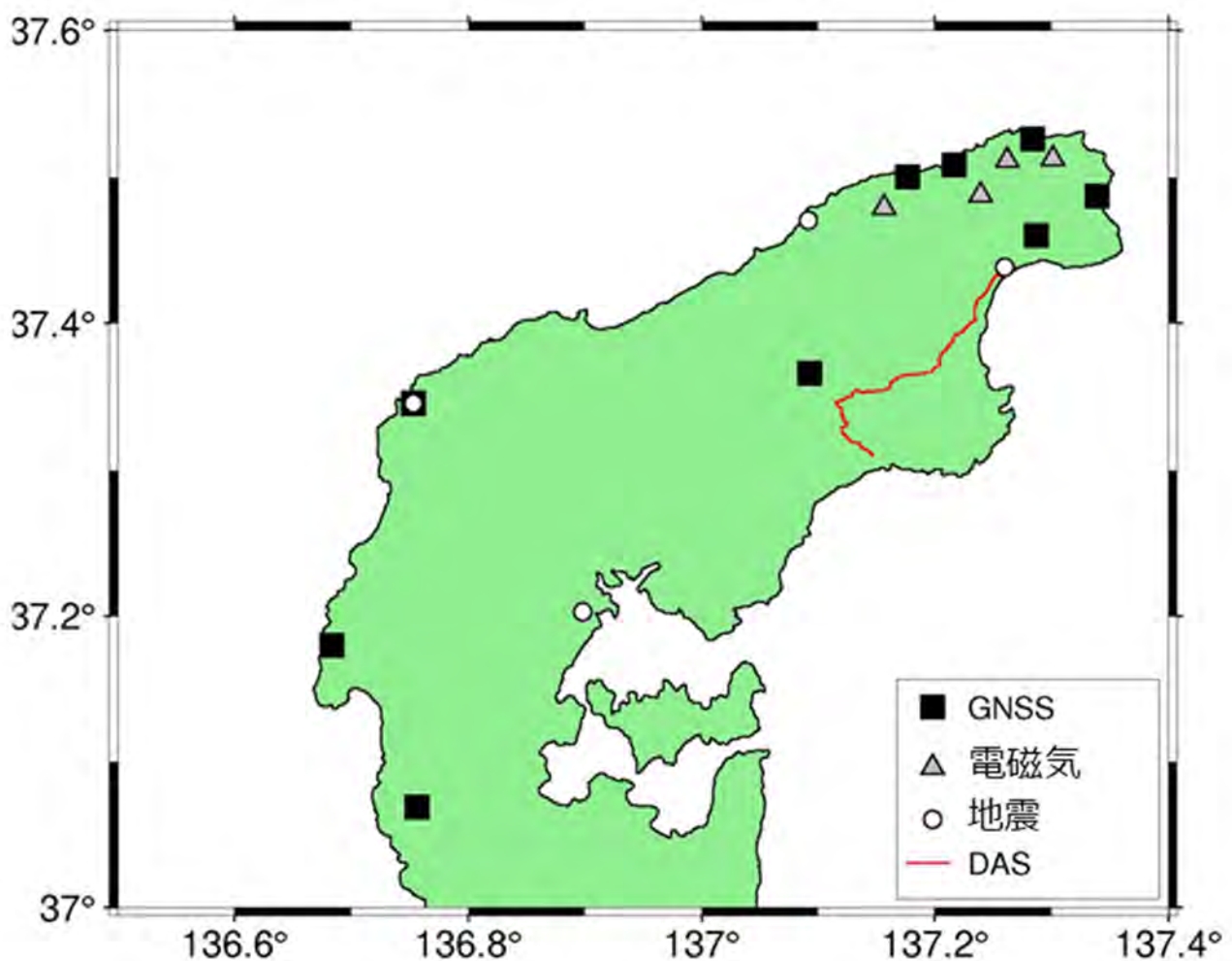


図1. 能登半島における臨時観測点地図（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）
令和6年度における本研究課題に関連する臨時観測点。

2024年能登半島地震は、群発地震が微小亀裂を通じて深部から浅部に移動し大断層に浸入した周辺で開始した (Yoshida et al., 2024, GRL)

このマイグレーションは先行研究でも報告されていた (Yoshida et al., 2023, JGR)

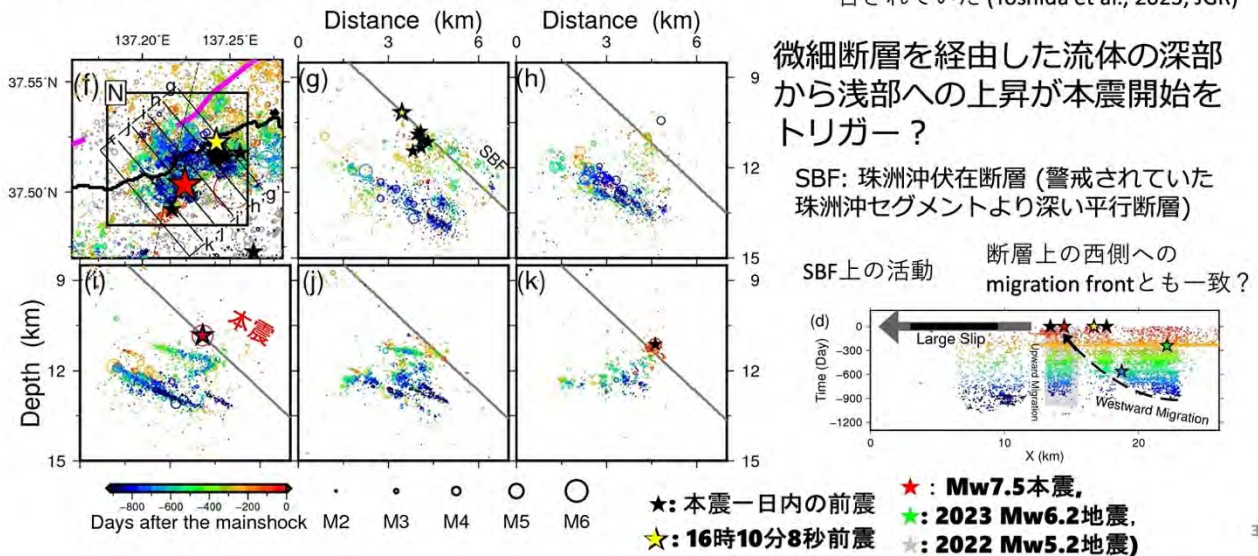


図 2. 2024年能登半島地震の震源時空間分布

(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], Yoshida et al., 2024b)

計算コストの高い高精度震源再決定を、低計算コスト・準リアルタイムで行うアルゴリズムを作成 (Matsumoto & Yoshida, 2024, EPS)

作成したアルゴリズムによる
準リアルタイム再決定震源分布

単純な時間分割で逐一再決定した震源分布

計算コスト削減のため、波形相関による到達時刻差データを使用した Double-Difference法 (Waldhaue & Ellsworth, 2000) の方程式を修正。

⇒ 気象庁一元化震源と似て、面構造の解像度は低い

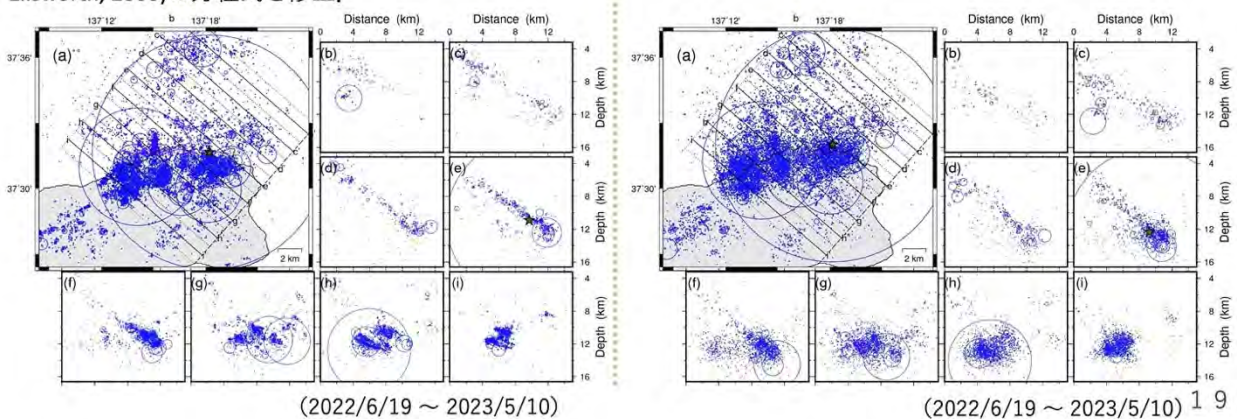


図 3. 準リアルタイム処理による2024年能登半島地震の震源分布

(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], Matsumoto and Yoshida, 2024)

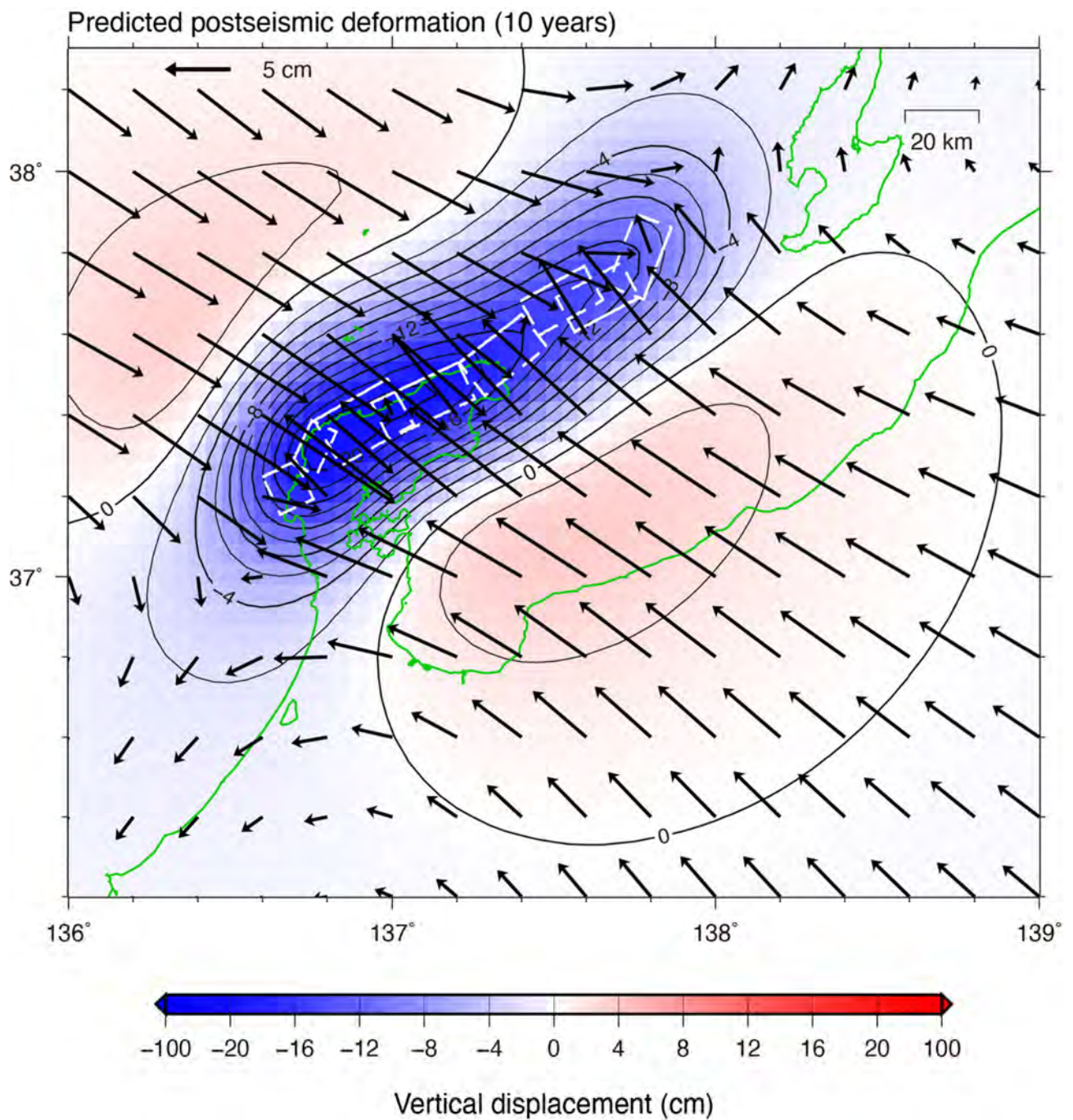
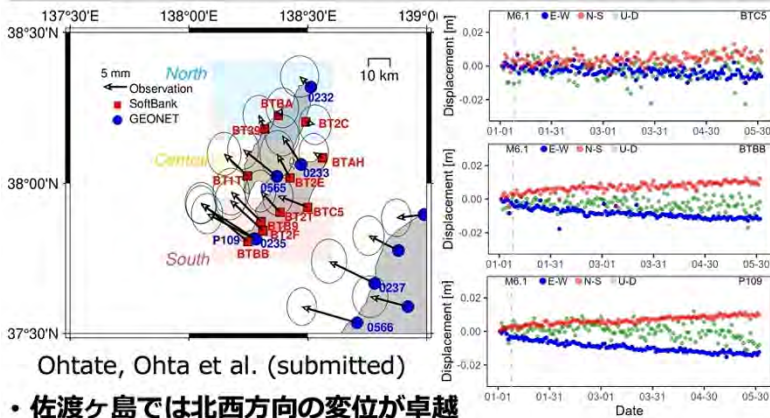


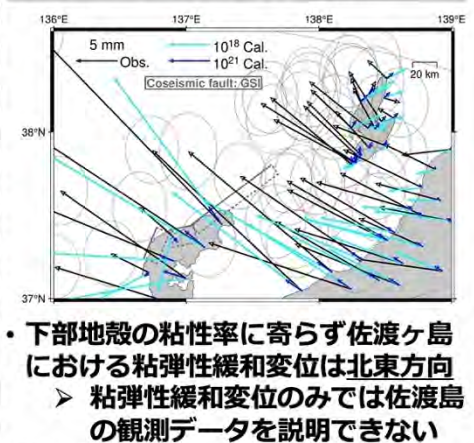
図4．能登の粘弾性緩和から予測される変動（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）
モデルに基づく10年後の変動の予測。全体的に北西方向への水平変動が見られるほか、地震時に隆起した能登半島北部全体がゆっくりと沈降する。

稠密GNSS観測網に基づく2024能登半島地震後の佐渡島西方沖における余効すべり

1. GNSSデータ | 地震後5か月間 (1/2 ~ 1/6) の余効変動変位



2. 粘弾性緩和変位の寄与を検証



- Gipsy-X Ver. 2.2. による精密単独測位法
- 固定局：
GEONETは0388, P209 1025, SBはBN13, BN7S, BN3Cの平均値
- 定常成分の除去：
地震前の定常期間 (GEONETは2019.1/1 ~ 2021.12/31, SBは2020.1/1 ~ 2022.12/31) の時系列に下記の関数をフィッティング
 $u(t) = at + b + c\sin(2\pi t) + d\cos(2\pi t) + e\sin(4\pi t) + f\cos(4\pi t)$

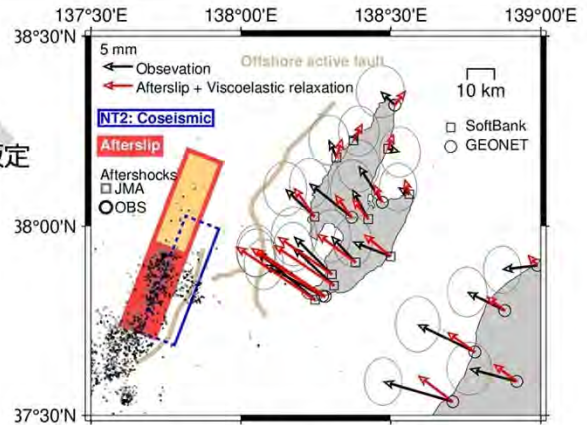
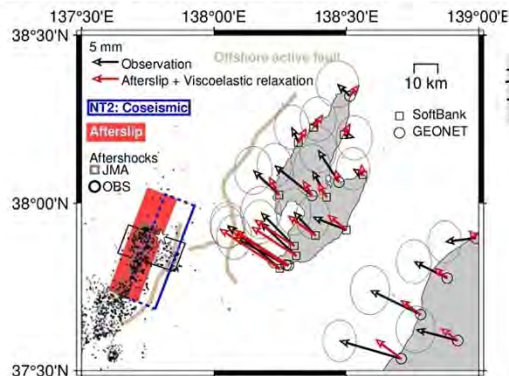
- 半解析的境界要素法 (Barbot and Fialko, 2010a; Barbot and Fialko, 2010b) を用いて、地震時の断層すべりによる応力擾乱から期待されるマクスウェル粘弾性媒質の緩和を計算
- 上部地殻・下部地殻・マンツルの3層構造を仮定
- マンツルの粘性率は 10^{19} Pa.sに固定し、下部地殻の粘性率を変えて計算 (ここでは 10^{18} と 10^{21} Pa.sの場合を示す)
- 剛性率30 GPa, 地殻密度 2.8×10^3 kg/m³, ポアソン比0.25

図5. 稠密GNSS観測に基づく2024能登半島地震後の佐渡島西方沖における余効すべり (1)
(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], 大館・他, 2024)

3. 佐渡ヶ島西方沖における余効すべりの寄与を検証

Ohtate, Ohta et al. (submitted)

地震時滑りの深部延長での余効すべりを仮定



- 観測データと同様の北西方向の変位を再現
余効すべりの発生を示唆
 - 中部での変位量が観測データと比較して小さい
 - 中央域での観測データを誤差の範囲で説明可能
特に、推定した余効すべりの主要部分は余震が周囲と比較して集中して発生している領域と一致
- Fujii and Satake (2024) による地震時断層モデルの北端パッチであるNT2の断層面を参考にしつつ、その深部延長に余効すべりが生じていたと仮定
 - JMAの震源カタログ□とOBSによる再決定震源○ (Shinohara et al., 2024, 2024.1/24 ~ 2/22, M >= 1.5)
 - 赤で塗りつぶした矩形の地震モーメントはMw換算でMw 6.56、その北部延長のオレンジ色の矩形はMw 6.16

図6. 稠密GNSS観測に基づく2024能登半島地震後の佐渡島西方沖における余効すべり (2)
(東北大学理学研究科[課題番号: THK_11], 大館・他, 2024)

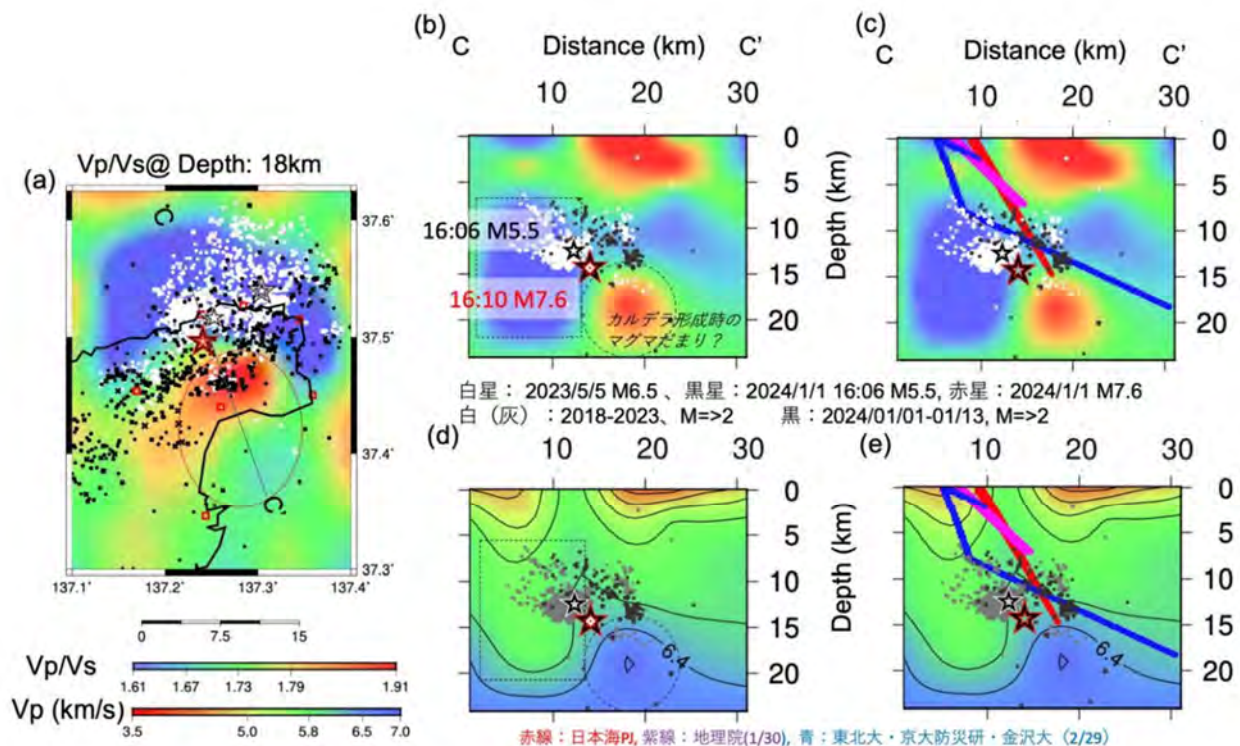


図7. 能登半島北東部の地震波速度構造（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]，岡田・2024年 能登半島地震陸域余震観測グループ，2024,）

(a) 深さ 18km の V_p/V_s 分布。赤点線の楕円は低重力異常域を示す。白星，黒星，赤星はそれぞれ 2023 のM6.5 の地震，2024/1/1 16:06 M5.5 の地震，16:10 能登半島地震の震央を示す。白は M7.6 発生前の地震，黒は 7.6 発生後の地震を示す。(b) V_p/V_s の C-C' 鉛直断面図。破線の丸は高 V_p ，高 V_p/V_s 領域，破線の四角は低 V_p ，低 V_p/V_s 領域を示す。(c) (b) に 3 つの断層モデルを重ねて示す。赤線は日本海プロジェクトによる断層モデル 5)，紫は国土地理院によるモデル（2024/1/30 付）。青は太田・山田（2024）による断層モデルを示す。(d) V_p の C-C' 鉛直断面図。灰色は M7.6 発生前の地震。黒は 7.6 発生後の地震を示す。(e) は (b) に 3 つの断層モデルを重ねて示す。(a) の赤四角は使用した観測点を示す。

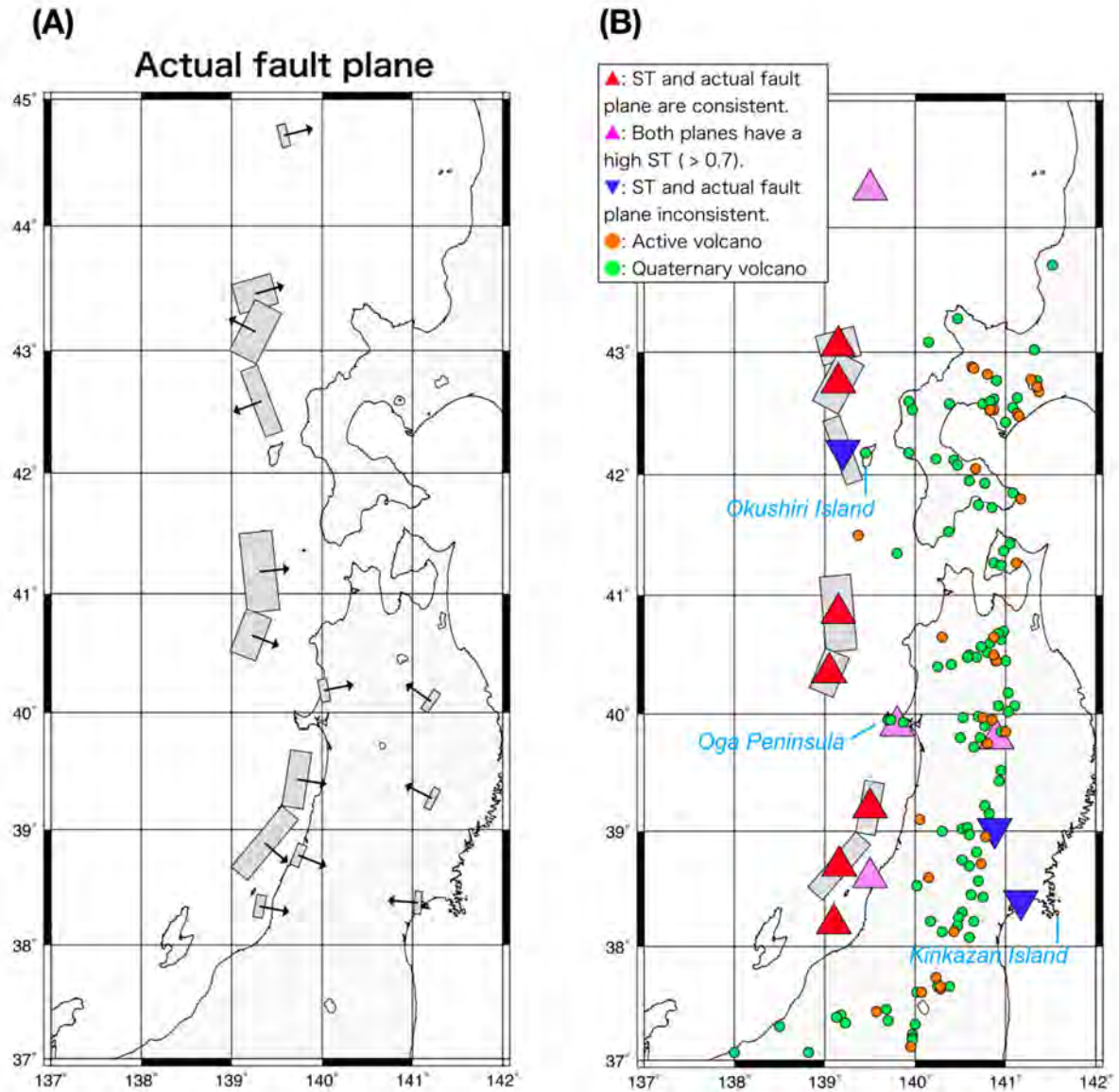


図 8．日本海東縁地域と東北地方内陸地域における断層面と応力場との関係（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]，Tagami et al., 2024）

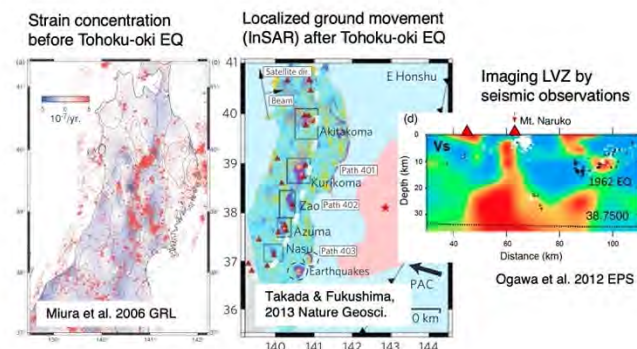
(A) 実際に地震を起こした断層面。矢印は傾斜方向を示す。(B) 赤三角はSlip Tendencyの大きな節面と実際の断層面が合うもの、桃三角はどちらの節面もほぼ同じSlip Tendencyを持つもの、青三角はSlip Tendencyの小さな節面と実際の断層面が合うもの。オレンジおよび緑の小丸は活火山と第四紀火山をそれぞれ示す。

2011年東北沖地震の余効変動からみた、日本東北地方の第四紀火山周辺における低粘性層（LVZ）の3次元レオロジー推定



背景

- ・地質学的・地球物理学的研究により、日本東北地方の第四紀火山の地下には低粘性層（LVZ）が存在することが示唆
- ・LVZは、2011年東北沖地震の前後に局所的な地殻変動を引き起こす可能性



Aim of the study:

5つの第四紀火山（秋田駒ヶ岳、栗駒山、蔵王山、吾妻山、那須岳）周辺の低粘性層（LVZ）のレオロジーを理解

短波長ひずみ速度の計算

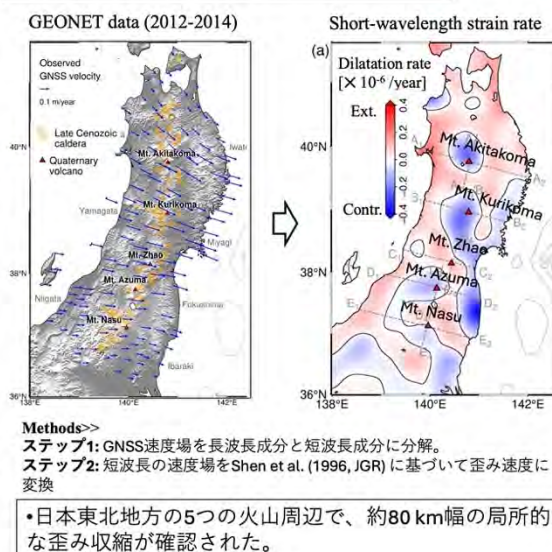
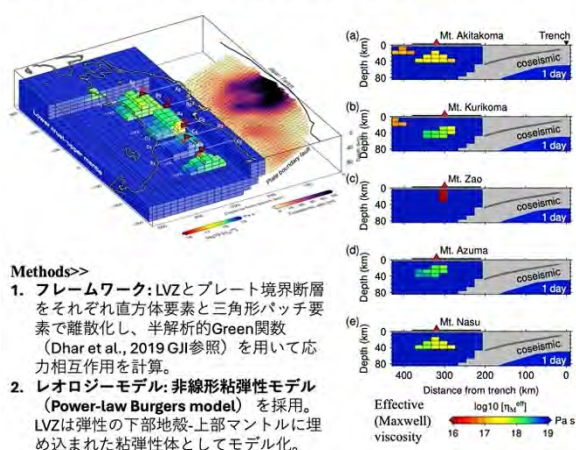


図9. 2011年東北沖地震の余効変動による3次元レオロジー推定（1）
 （東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）

LVZレオロジーの3次元数値モデリング

3-D rheological model of LVZ for five volcanoes

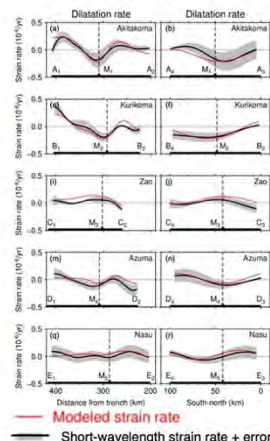


Methods>>

1. フレームワーク: LVZとプレート境界断層をそれぞれ直方体要素と三角形パッチ要素で離散化し、半解析的Green関数 (Dhar et al., 2019 GJI参照) を用いて応力相互作用を計算。
2. レオロジーモデル: 非線形粘弾性モデル (Power-law Burgers model) を採用。LVZは弾性の下部地殻-上部マントルに埋め込まれた粘弾性体としてモデル化。

- 1) LVZは深さ15km付近で狭く（幅20-40 km）、深さ55km付近で広く（幅80-100 km）なる。
- 2) LVZの粘性:
 遷移粘性: 10^{17} Pa s
 定常粘性: 10^{18} Pa s
- 3) LVZの形状と粘性の変動は、火山フロントに沿った弧に平行なレオロジーの不均質性を示唆

Modeled strain rate explains short-wavelength strain rate



3次元LVZモデルの重要性

Cenozoic（新生代）のカルデラ分布および熱流量の分布と整合性を示す。短波長の歪み速度の観測結果と整合する。

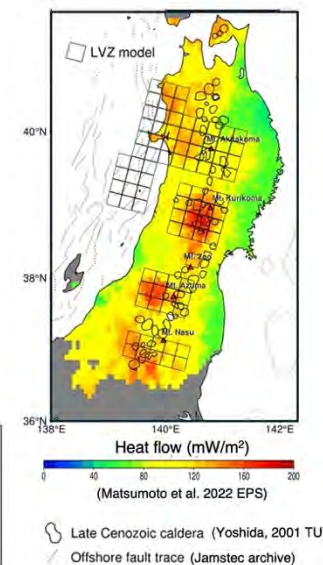


図10. 2011年東北沖地震の余効変動による3次元レオロジー推定（2）
 （東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]）

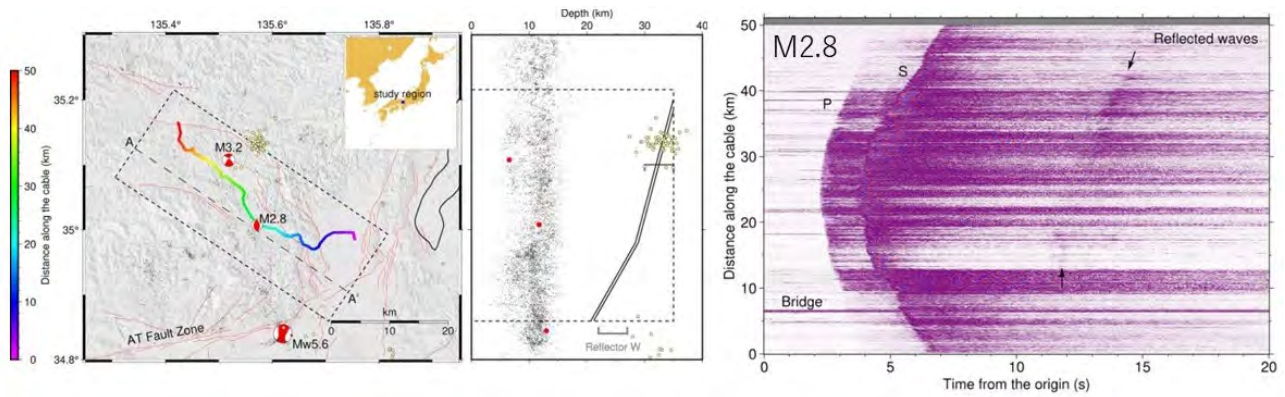
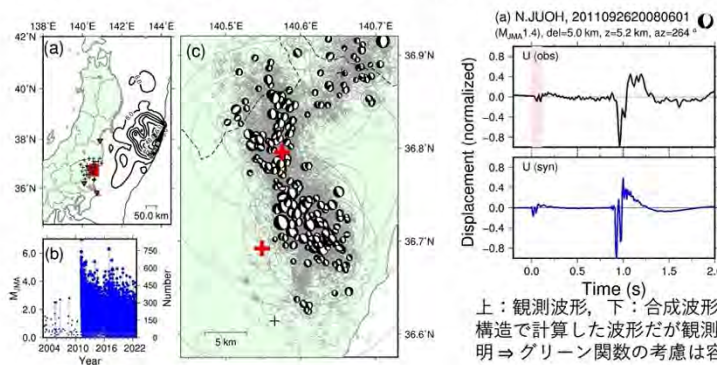


図11. 京都国道9号のDAS観測による地下構造推定（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）
 京都国道9号沿いの光ケーブル（左図）を利用したDAS観測によってとらえられたM2.8地震の記録（右図）。後続波として下部地殻からの反射波が記録されており、屈曲しながら北傾斜する低速度の反射帯（中図）によるものと考えられる。

近地地震波形の時間積分に基づき、直接的に中小地震 (Mw3.3-5.0)地震の破壊過程の複雑性・多様性を明らかにした (Yoshida, 2023, SRL)

オメガ二乗モデルなどの単純な Source model (e.g., Brune, 1970)ではモデル化できない中小地震が少ないことを示唆。

茨城県北部の Hi-net観測点における高品質(速度)波形：
 近傍で大量の地震が発生 & 硬い岩盤に囲まれたボアホール観測点



上：観測波形，下：合成波形。単純な構造で計算した波形だが観測をよく説明⇒グリーン関数の考慮は容易。

70個の地震の変位波形(元記録の時間積分)

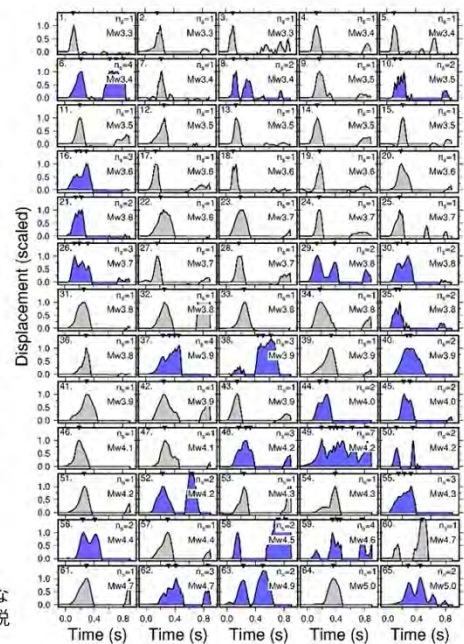
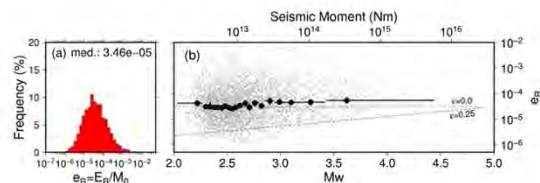
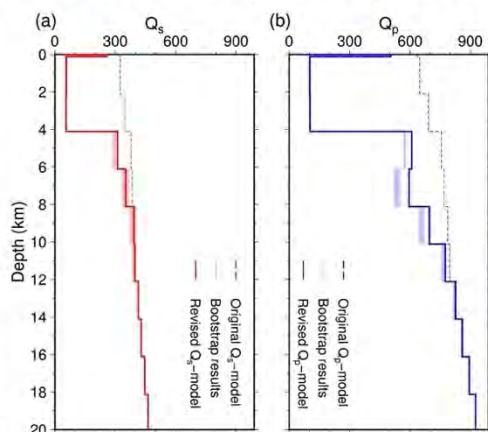


図12. 中小地震の破壊過程の複雑性と多様性

（東北大学理学研究科[課題番号：THK_11]，Yoshida, 2024）

近地波形と合成波形の比較により、地殻浅部の減衰を評価。深さ 4 km に、従来考えられていたよりも強い減衰を検知 (Yoshida et al., 2024, JGR).



適切な Q を用いることにより、中小地震に対して大地震と同程度の scaled energy を得た (上段). 経験的関係をそのまま用いた場合には、小地震の放射エネルギーを大きく過小評価してしまう (下段).

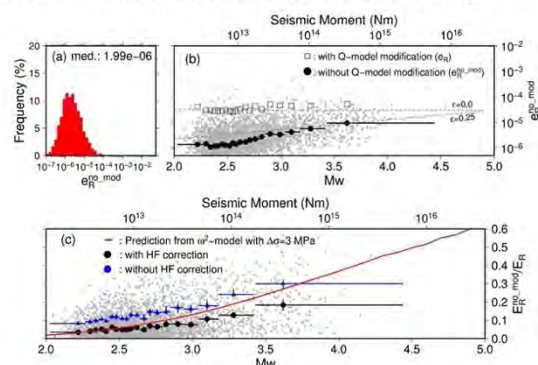


図13. 地殻浅部の減衰構造評価 (東北大学理学研究科
〔課題番号: THK_11〕, Yoshida et al., 2024a)

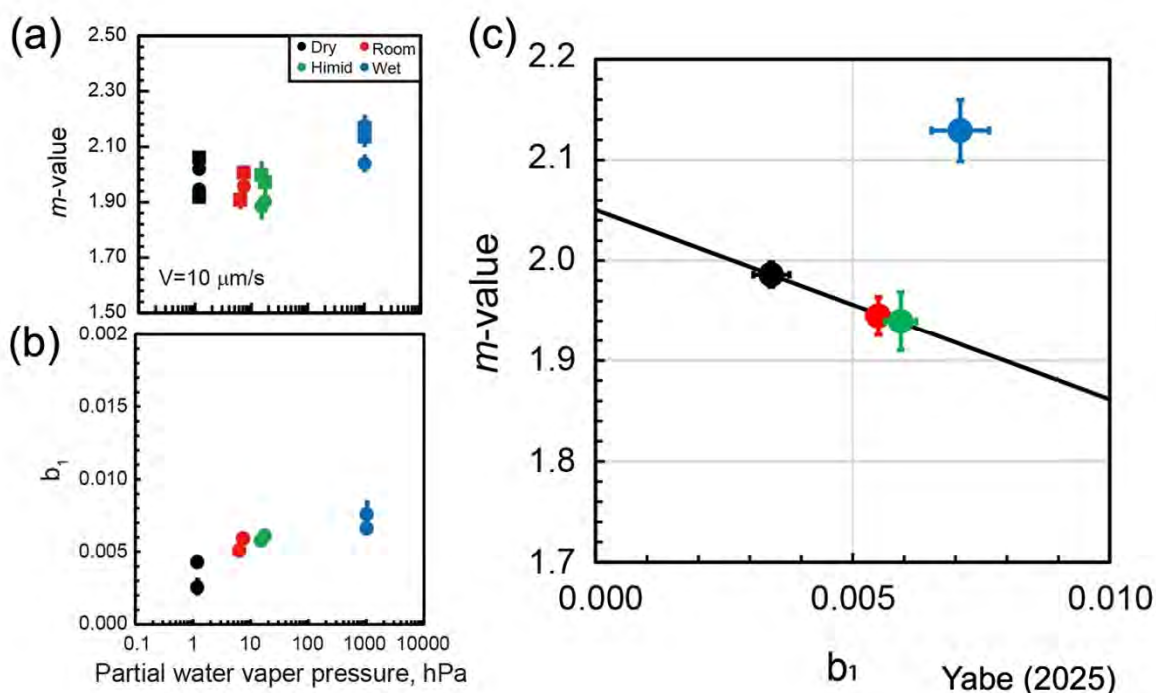
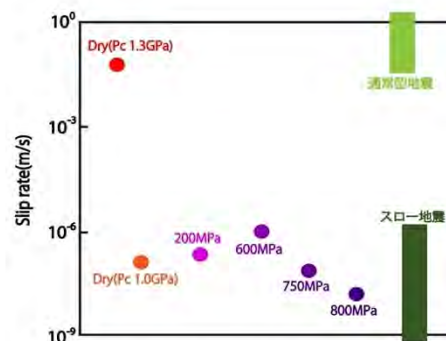
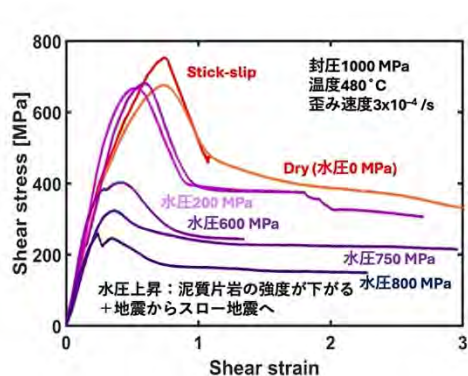


図14. 摩擦特性に対する間隙水の影響 (東北大学理学研究科〔課題番号: THK_11〕, Yabe, 2024)
(a) 石英ガウジの摩擦すべりに伴うAEの m 値と (b) ガウジ内の真実接触点の強度回復率 (速度状態依存摩擦則の発展項) b_1 の湿度依存性。湿度は水蒸気分圧で評価し、飽和濃度 (Wet) の水蒸気分圧は1013hPaとした。(c) AEの m 値と b_1 の関係。水が気相 (水蒸気) で存在しているときは m 値と b_1 は負の相関 (相関係数 -1) を示すが、液相の水があると、両者の関係は顕著に異なる。



臨界破壊サイズ: 物質の摩擦特性と弾性特性による。

今年度は深部スロー地震発生域に存在すると考えられる泥質片岩の高温高压変形実験をおこなった。実験条件は温度480°C、封圧1000MPaと1250MPa、歪み速度 3×10^{-4} /s、間隙水圧は0 MPa (乾燥条件)から800 MPaである。間隙水圧の上昇とともに泥質片岩の強度は減少し、ピーク応力から定常応力にいたる応力降下速度も減少した。
来年度は、より幅広い有効圧力下での泥質片岩の高温高压変形実験をおこなう予定である。特に高封圧下 (>1250 MPa) や高間隙水圧下 (>900 MPa) での変形実験を実施する予定である。高温高压下での岩石の変形挙動を理解することにより、地球内部で発生している多様な断層すべり挙動についての理解を深めたい。

$$L_c = \frac{GD_c}{(1-\nu)(b-a)(\sigma_n - \alpha P_p)}$$

図15. 深部スロー地震発生域に存在すると考えられる泥質片岩の高温高压変形実験 (東北大学理学研究科[課題番号: THK_11])

大規模火山噴火

大規模火山噴火総合研究グループ長 中道治久
(京都大学防災研究所)

大規模火山噴火の想定に基づき広域避難計画が立案されつつある桜島及び富士山を主対象として、現象解明から避難や帰還に関わる課題までを視野に入れた総合的研究を行う。大規模火山噴火の予測に重要なマグマの移動と蓄積を捉えるため、各種の観測・調査に基づくマグマ供給系の理解を深化させるとともに、活動推移モデルの構築を進める。噴火規模の予測と噴火発生直後の噴出物の即時把握を軸とした災害誘因予測の研究を進展させる。大規模火山噴火時の観測手法・通信手段の開発、広域避難時の自治体間連携や、避難後の被災地への帰還や移住のための意思決定のあり方などの研究に取り組む。なお、本研究で対象とする大規模火山噴火は、VEI で4から5程度を想定している。

本総合研究グループには8の研究課題があり、上記の研究について以下の項目毎に研究課題の成果の概要を述べる。

1) マグマ供給系の理解と活動推移モデルの構築

マグマが地下に蓄積して、上昇し、噴火に至るまでの現象の理解を進めるとともに、それに伴って火山活動が推移していくパターンから活動推移モデルの構築が必要である。そのために、火山活動と噴火機構の解明とモデル化、また火山噴火を支配する地下構造の解明を行う必要がある。

桜島では2022年12月以降に振幅の大きな火山性微動の発生が継続し、2023年1月には昭和火口において噴気が増大した。そして、2023年2月から8月には南岳山頂火口および昭和火口の双方の噴火が発生した。このような噴火活動の分岐現象を理解するには、双方の火口の下におけるマグマの挙動の理解が欠かせない。そこで、昭和火口の噴火が始まる前のミュオグラフィデータの解析を行い、2023年2月の噴火前に昭和火口直下の火道内の密度の上昇を明らかにし、マグマが昭和火口近傍に上昇してきたと解釈した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_19], Oláh et al., 2024)。また、南岳山頂火口直下の密度が高い時には昭和火口直下の密度が低く、南岳山頂火口直下の密度が低い時には昭和火口直下の密度が高くなっていることも分かった(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_19], Oláh et al., 2024)。

桜島の火山活動を評価するために各種観測データを整理した。2022年から2024年はそれ以前よりも火山構造成地震の頻度が増えていること、そしてGNSSおよび伸縮計の記録から、桜島へのマグマ供給の増加が示唆される。そして、2022年から2024年は南岳山頂火口の活動期であり、噴火回数および火山灰量ともに昭和火口噴火期(2009年~2016年)および2017年~2021年の南岳山頂火口噴火期より1桁少ないが、火山ガス量は同程度を維持していることから、マグマからのガス放出が卓越していることが分かった(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI11])。

桜島において、多項目の定常的およびキャンペーンの観測を及びデータ解析を行った（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。2014 年以降に継続的に海底地震観測を行っており、震源とメカニズム解の精度の向上が確かめられた。また、2024 年 8 月 8 日の日向灘地震（M7.1）直後に、若尊カルデラ域で群発地震が確認された。毎年秋に桜島で水準測量と重力測定を行っており、2007 年頃から桜島中央部にて顕著な地盤沈降とともに重力増加が継続していることから、年間約 10^{10} kg の質量増加が推定された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]，八木・他，2024，風間・他，2024）。また、噴火に前後する地盤変動と二酸化硫黄放出量の関係を精査することによって、噴火直前の単純な閉塞・ガス圧上昇モデルでは説明しきれず、深部からのガス供給や閉塞過程を含めた複雑なシステムの検討が必要であることが分かった（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。

マグマの蓄積，上昇そして噴火を理解するためには，マグマ溜まりから火口までにかけての地下構造の情報を知る必要がある。そこで，桜島島内 35 地点において広帯域 MT 観測を実施し，比抵抗構造を精緻に得るための高品質のデータを収集した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。

大規模火山噴火を駆動するマグマの蓄積条件や上昇過程およびそれらと地表面現象の対応関係に着目し，大規模噴火における噴火様式遷移の支配要因を明らかにする研究を進めている。浅間山天明噴火の噴出物の物性分析，組成分析，岩石組織の解析，そして石基ガラスの含水量の定量を行い，マグマ上昇過程と地表面現象との対応関係を考察した。そして，火砕流由来の噴出物で気泡数密度や石基ガラス含水量が顕著に大きな値を示すこと，すなわちマグマの減圧率が増加し破碎深度が増加した可能性を示し，噴火様式遷移がマグマの減圧率（上昇速度）や脱水プロセスに強く影響を受けていることを見出した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]）。

富士山の噴火事象系統樹を精緻化するために，詳細な噴火履歴およびマグマ供給系の描像が必要である。富士山において，テフラ層序を精緻化するために，馬伏川岩屑なだれ堆積物の調査から，堆積物の中にある多数の埋もれ木（木片を伴う空洞）の存在を明らかにし，方位分布から岩屑なだれの流下および定置における木片の集積プロセスを推定した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]，山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI02]）。

富士山の想定火口域は広域であるため，実際の噴火に前駆するマグマ貫入を検知することは重要である。そのため，多角的な地球物理学的観測を行っている。今年度は，超伝導重力計と絶対重力計の並行観測，相対重力計の検定観測，深部低周波地震の波形クラスタリング解析を実施した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]，山梨県富士山科学研究所[課題番号：MFRI03]）。

2）火山災害誘因ハザード評価手法の高度化

災害誘因となる火山噴出物の把握と予測を行うことは，火山噴出物による災害軽減に必須である。そこで，降下火砕物による土石流の把握手法の開発のために，2024 年の梅雨期に桜島の野尻川と有村川において DAS 観測を実施し，土石流監視に用いられているワイヤーセンサーにて検知されるよりも多くの土石流を検知することに成功した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。富士山を対象にして噴火口の即時特定のために空振アレイ観測を開始した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_18]，山梨県富士山科学研

究所[課題番号：MFRI03])。

3) 火山災害誘因とリスク認識向上と避難意思決定あり方検討

1955 年以降の桜島の噴火データにもとづいて、将来発生しうる大規模噴火シナリオを推測し、火山灰の輸送・拡散シミュレーションから、火山灰降下リスク評価を行った（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]，Rahadianto et al., 2024）。桜島火山観測所の一般公開参加者アンケート調査から火山観測施設が有する希少性と非日常性が参加者の興味を引きつけることを指摘した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]，Nakamichi, 2024, Sakamoto and Nakamichi, 2024）。

4) 火山噴火災害に伴う大規模広域避難に関する研究

大規模火山噴火に伴う避難は必然的に大規模広域避難となることが予想される。そして、桜島や富士山では大規模広域避難に関する研究は喫緊の重要課題となっている。火山噴火時の大規模広域避難に関する意思決定に伴うジレンマについて、地域住民が主体的に学ぶことができるゲーム型の教材「クロスロード（富士山噴火版）」のパイロット版を作成し、富士山北麓地域の学校などで施行した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。また、桜島の大規模噴火を想定しての大規模広域避難に関わる住民の意思決定を支援するためのガイドブックを、複数回実施してきた住民ワークショップの成果をもとにして作成し公開した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI12]）。

大規模火山噴火が発生した時に、複数の自治体が連携して広域的な対応が求められる政策課題について、桜島大正噴火の文献調査により検討した（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_02]）。その結果、噴火中に発生した桜島地震（M7.1）と毒ガス発生デマ情報によって、鹿児島市街地でパニックが起こり約 2 万人が広域避難し、災害対応が困難な状況になったことが分かった。また、深刻な被害のため鹿児島県が中心となり国と近隣県との調整によって移住政策が進められたことが分かった。日本では近年は大規模噴火が発生していないため、海外の大規模噴火事例としてインドネシアのレウオトビ・ラキラキ火山噴火を事例として、関係省庁と自治体の連携による災害対応について聞き取り調査をした（兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科[課題番号：HYG_02]）。そして、事前の防災計画に定められている機能別に関係機関が連携して対応し、災害対応情報はダッシュボードを活用して共有されていることが分かった。

火山噴火災害を軽減するには火山ハザードの理解とリスク認識が必要である。そこで、登山者のハザード理解とリスク認識を定量化するための標準的質問紙調査表を設計して、富士山の日本人と外国人の登山者を対象に質問紙調査をおこなった（山梨大学[課題番号：YAM_01]）。そして、火山情報を事前に確認していた登山者は日本人で 14%、外国人で 19%であり、噴火警戒レベルという用語を日本人の 7 割、外国人の 5 割が認知していたことが分かった。

5) 大規模火山噴火時の通信手段の開発

大規模火山噴火といった広域に影響のある災害時には、商用通信が途絶する可能性が高い。そこで、自前で災害時においても利用可能な通信手段を持つことは、大規模火山噴火時において観測を継続するためには欠かせない。今年度は、桜島において通信実験を

行い、低軌道衛星通信（Starlink）および 920MHz 無線 LAN（Wi-Fi HaLow）は大規模災害時の通信・データ伝送手段として実用化できる可能性があることを確認した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI11]）。

これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画において、はじめて大規模火山噴火総合研究グループが結成された。これまで 10 年の観測研究計画では、前身の総合研究グループは桜島を主対象としていた。しかし、国内外の火山の大多数が大規模火山噴火が起こる可能性のある火山であり、大規模火山噴火の研究対象は桜島だけではない。一方、大規模火山噴火に対する観測研究や災害対応における課題の抽出には、具体的な対象火山を設定することは重要である。そのため、大規模火山噴火への対応が社会的に検討されている桜島と富士山を対象とすることに意義がある。桜島および富士山では主に研究を実施してきた研究機関や研究者が異なるだけでなく、大規模火山噴火で想定されている噴火のタイプおよび対応が異なっている。さらに言うと、活発に噴火が継続し、そして地下でのマグマの蓄積が継続している桜島と、特段の表面現象はなく、地下へのマグマの蓄積の増加を示唆する観測結果のない富士山とは大きく状況が異なる。

そこで、桜島と富士山におけるこれまでの研究と課題を共有し、今後 5 ヶ年の展望をするために研究集会を 2 回実施した。1 回目は 2024 年 9 月中旬に山梨大学にて 8 つの研究課題の担当者と富士山を研究テーマとしている研究者が集まって 2 日間にて研究集会を行った。大規模火山噴火における主要な災害誘因は桜島は大量軽石火山灰降下であるが、富士山は溶岩流であるため、桜島は噴火の事前避難が必須で、富士山は噴火口が判明してからの避難という大きな相違点を参加者間で共有した。一方、大規模火山噴火は両方の火山がともに山腹噴火が想定されており、事前に噴火口が不明であることが共通しており、いかに早期に噴火口を把握するかが共通課題であることが参加者間で共有した。

2 回目の研究集会を 2024 年 12 月中旬に鹿児島市にて研究課題担当者と桜島を研究テーマとしている研究者が集まって 2 日間にて研究集会を行った。この研究集会には、大規模火山噴火研究を総合的に進めるため、前の観測研究計画の研究集会と同様に、次世代火山研究推進事業の課題 D「火山災害対策技術の開発」と京都大学防災研究所の火山防災連携研究ユニットのメンバーが参加した。

成果リスト

今西祐一・西山竜一・本多 亮・丸藤大樹・名和一成，2024，松代における絶対重力測定との比較による超伝導重力計 CT#036 および iGrav#028 の感度検定，測地学会誌，70，13-25，doi:10.11366/sokuchi.70.13.

風間卓仁・山本圭吾・岡田和見・大島弘光・大柳 諒・小濱瑞希・竹中悠亮・井口正人，2024，桜島における繰り返し相対重力測定（2023 年 10～11 月および 2024 年 3 月），京都大学防災研究所年報，67B，66-78.

南沢 修・秦 康範，2024，火山災害の総括支援チームの創設について，地域安全学会梗概集，54.

望月祐洋・西田純二・大西正光・水野真由己・丸山佳子・小林潔司，2024，スマートフォンブロードデータによる能登半島地震における交通状況モニタリング，自然災害科学，43，3，

459-470.

- Nakamichi, H., 2024, Open-door events of the Sakurajima Volcano Observatory, Kyoto University in the last ten years, *Journal of Disaster Research*, 19, 1, 147-153, doi:10.20965/jdr.2024.p0147.
- Oláh L., G. Hamar, T. Ohminato, H.K.M. Tanaka, and D. Varga, 2024, Branched conduit structure beneath the active craters of Sakurajima volcano inferred from Muography, *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 129, 9, e2023JB028514, doi:10.1029/2023JB028514.
- Rahadiano, H., M. Iguchi, and H. Tatano, 2024, Designating areas with debris flow potentials as secondary evacuation zones anticipating massive ash fallout from a large volcanic eruption, in “Proceedings of IP 2024: Natural hazards in a changing climate - How to manage risks under global warming?” ed. by Schneider et al., International Research Society INTERPRAEVENT.
- Sakamoto, M. and H. Nakamichi, 2024, Open science initiatives by Sakurajima Volcano Observatory, *Journal of Disaster Research*, 19, 1, 154-158, doi:10.20965/jdr.2024.p0154.
- 八木優明・風間卓仁・山本圭吾・大柳 諒, 2024, 桜島火山東部における局所沈降の定量化と物理的解釈, 京都大学防災研究所年報, 67B, 55-65.
- 矢守克也, 2024, 火山災害からの避難に関する考察—桜島と富士山とフィールドにして—, 地区防災計画フォーラム第47回・第48回研究会資料, 71-74.

5（6）高リスク小規模火山噴火

「高リスク小規模火山噴火」総合的研究グループ長 寺田暁彦
（東京科学大学総合研究院多元レジリエンス研究センター）

はじめに

火口周辺が観光地化されている火山が突然噴火した場合、たとえそれが小規模であっても大きな災害となり得る。しかし、そのような小規模噴火を観測に基づいて予測することは一般に困難である。また、このような高リスク小規模噴火の研究には様々な困難が伴う。例えば、火山により活動の特徴や噴火履歴が異なるうえ、火口周辺の土地利用状況、あるいは火山に対する知識・考え方も地域により様々である。すなわち、高リスク小規模噴火による被害を低減させるためには、各地域の実情をよく理解したうえで、各地域に合わせた観測方法および情報提供方法を研究する必要がある。そこで本グループでは、各火山にて物理観測に基づき現象理解を進めることを基軸に据えつつも、地球化学、地質学、および社会科学的な手法を分野横断的に適用することで、観測研究から社会への情報伝達までを研究対象とする。

本研究グループは6つの研究課題および4つの公募研究課題から構成される。これら成果を整理するために、草津白根山にて構築された概念モデル（Terada et al., 2025）を代表的モデルとして、深度別に説明する（図1）。最後に、社会に対する取り組みについて述べる。

本年度の実施内容

・ 1 階：深部から熱水貯留域

箱根火山では、定常観測網から得られる地震動振幅を図化し、そこへ画像認識技術を応用する新手法が開発された。また、機械学習に基づく地震波初動読取り技術の高度化が進んだ。以上により、深部から熱水貯留域周辺へ至る微小地震の活動度や発生位置を高精度かつ短時間で求めらえるようになった（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。

草津白根山では、現地採取した火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ や He 安定同位体を繰り返し測定することで、マグマ起源流体の関与が議論された（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。同様のガス採取および分析は硫黄山（霧島火山）や箱根山でも繰り返し実施され、マグマ起源流体の関与の増減が示された（気象研究所〔課題番号：KOB016〕）。

このように現地採取されたガスの組成分析には、専門的技術と時間が必要である。この課題を解決するために、新しい CO_2 濃度分析手法が開発された。この結果、収率 99% を達成しつつ、分析時間を従来の半分に短縮した（図2, Yaguchi and Ohba, 2024）（気象研究所〔課題番号：KOB016〕）。

これに対して、自動測定装置を用いた試みも実践された。箱根火山では $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ の現地自動連続観測装置が稼働し、その変化が深部膨張や浅部群発地震に関係していることが指摘された（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。

・ 2 階：熱水貯留域周辺

各火山で多項目モニタリング観測が実施された。例えば草津白根火山では、物理観測と火山ガス・温泉等の多項目観測を継続した結果、2024年5月以降、2014・2018年と同様

のマグマ起源流体の供給量増加が捉えられた（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。阿蘇火山では、ドローンを用いた地球化学的モニタリング測定が試行された。その結果、熱水系の化学的状態を反映する CO_2/SO_2 や $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ が求められ、現状は静穏期に相当すると評価された。また、ドローンで採取された火山ガスの $\delta^{18}\text{O}$ と δD 分析値は、地下熱水系で分岐したと思われる2種類の流体の存在を示していた（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS_03〕）。

新たな技術開発も進められた。人工電流による地下浅部比抵抗値の時間変化を検出する試みが草津白根山で実施された。本年度は、時間変化を計算するための参照モデルが示され、特に浅部の空間分解能が従来モデルよりも大幅に向上した（図3, Ishizu et al., 2025）（九州大学〔課題番号：KOB015〕）。同様に、比抵抗構造の時間変化を検出するために実績のある ACTIVE による繰り返し測定データが阿蘇火山で蓄積された（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS_03〕）。

蔵王火山では、特殊な火山弾に対する岩石学的検討がなされた。その結果、上昇してきたマグマが熱水系構成岩石を溶解させ、両者が混合するという従来まで想定されていなかったプロセスが示された。この知見は、噴火前に観測される物理・化学データの解釈にも影響するだろう（山形大学理学部〔課題番号：KOB017〕）。

・ 3 階：熱水貯留域から地表へ

蓄積された流体が地表へと至る過程について新知見が得られた。草津白根山では、Sentinel 衛星が取得した SAR 画像を解析した結果、同山でこれまでに知られていなかった圧力源が、熱水貯留域よりも更に浅部に求められた（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。

さらに、草津白根山にて試行された新しい観測手法として、土壌気体水銀放出率分布が測定された。その結果、破碎帯に相当すると思われる高水銀放出帯が見出された。これは、熱水貯留域から地表へと至る通路かも知れない（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。熱水系火山でよく認められる土壌拡散 H_2S 測定手法についても、測定ダイナミックレンジ改善などの改良が進んだ（東京大学理学系研究科〔課題番号：UTS_06〕）。

噴火前に進行すると思われる流体流路閉塞過程を解明する新しい試みが進められた。御嶽山では、2014年噴火で放出された岩塊に注目して、岩相や構成粘土鉱物、その3次元構造をCT撮影するなどの基礎分析が進んだ（名古屋大学大学院環境学研究科〔課題番号：KOB014〕）。

・ 大気：地表からの放出と運搬、堆積

阿蘇火山では、微動、空振観測等により地表面付近での諸現象がモニタリングされた。過去観測データを再検討することで、特に火口湖面の動揺が、微動・空振データとしてどのように現れるか理解が進展した（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS_03〕）。

ドローンを用いた MultiGAS 測定技術向上の取り組みが、十勝岳や阿蘇山をテストフィールドとして進められた。その結果、主要ガス成分5種を測定する高性能センサで構成された装置の重量を 1.5 kg まで軽量化させた。更に、 H_2S センサの鉛直アレーを組んでドローンに吊下することで、従来は困難だった H_2S 放出量測定を可能とした。今後、これらの技術は水蒸気噴火を起こす火山のモニタリングに活用されてゆくだろう（東京

大学理学系研究科〔課題番号：UTS_06〕）。

小規模噴火履歴を地質学的に復元するための新しい手法として、湖沼堆積物のコアサンプルが草津白根山で採取された。各元素の時間変動が分析されており、詳細な解析が待たれる。また、阿蘇火山でも新しい手法が適用されている。すなわち、マグマ噴火で放出されたテフラの熱磁気分析が行われ、岩石磁気学的特徴が噴火により異なることを見出した。その理由を解明できれば、噴火発生条件へ新たな拘束を与えられるだろう（富山大学〔課題番号：TYM_03〕）。

・ 社会との関わり

箱根山（神奈川県温泉地学研究所、およびオンライン）では、研究者と行政機関を一堂に会したシンポジウムを開催し、110名の参加者を集めた。草津白根山では草津町役場において草津町長自らが遠隔操縦型ドローンを飛行させ（図4、寺田・田村，2025），同火山の状況把握を行うとともに、情報共有方法の課題について意見交換した（東京科学大学〔課題番号：TIT_01〕）。

御嶽山では登山者を対象としたアンケート調査を実施した。その結果は、彼らに火山に関する基本的知識が不足していることを示していた。その一方で、登山者の多くは火山情報に関心を持ち、噴火警戒レベルの存在を認識している。効率的な情報伝達の仕組みの構築、開発が急務である（名古屋大学〔課題番号：NGY_07〕）。

阿蘇山では、地域のステークホルダーが火山状況を随時把握するための VUI（火山活発化指数）評価準備を進めた。本年度、従来の VUI 算出項目に全磁力データを加えたことで、自動化が可能な項目の実装は完了した（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS_04〕）。

アウトリーチ活動も盛んに行われている。本年度は、全課題で合計58件が実施され、のべ1,000人以上と関わることができた。内容は講演、現地見学、施設案内など多岐にわたり、その対象者も地域住民や小中学校生、行政、報道機関など多様であった（図5）（〔課題番号：全課題〕）。

これまでの課題と今後の展望

観測に基づき地下の状態変化が想像できるようになってきた。しかし、噴火発生に至る契機は何か、そのシグナルは何かという根幹部分には十分に迫られていない。また、各火山で状況が大きく異なり、火山ごとに担当研究者の構成が変わることも、本グループの研究体制を複雑にしている。

このような状況においては、情報共有を深め、各研究者の考え方を整理し、取り組むべき課題を整理することが有効であろう。例えば2025年1月に実施した研究集会では、専門分野の異なる研究者において、水蒸気噴火に関する認識や研究の方向性の違いが浮き彫りとなっている。

その一方で、火山の現状を把握する技術は着実に進展した。現状において到達できている成果を社会に伝え、いかに有効活用されるかまでを研究目標に含めることが、各研究者に求められる。各機関で実施されているアウトリーチ活動（図5）は、そのような取り組みの一助になるであろう。

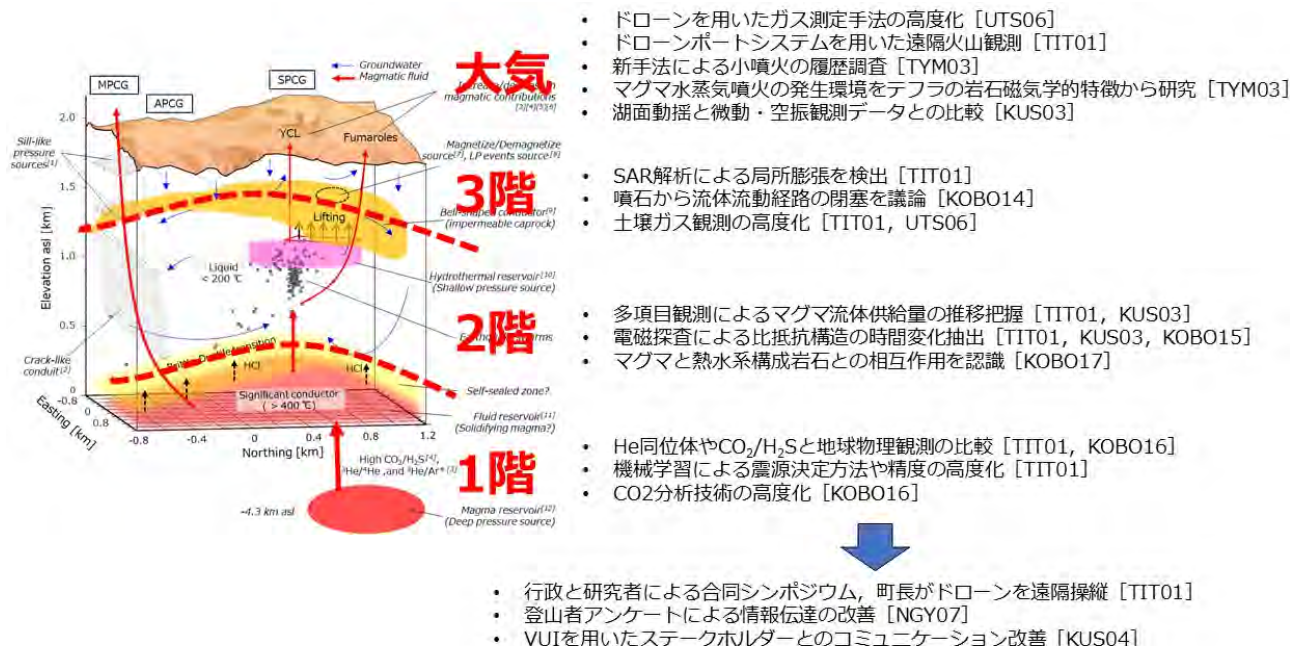


図 1. 本年度の主要な各研究成果を、水蒸気噴火発生場に関する概念モデルに表現したもの。概念モデルは各火山で異なるが、ここでは草津白根山 (Terada et al., 2025, 東京科学大学 [課題番号: TIT_01]) を用いた。

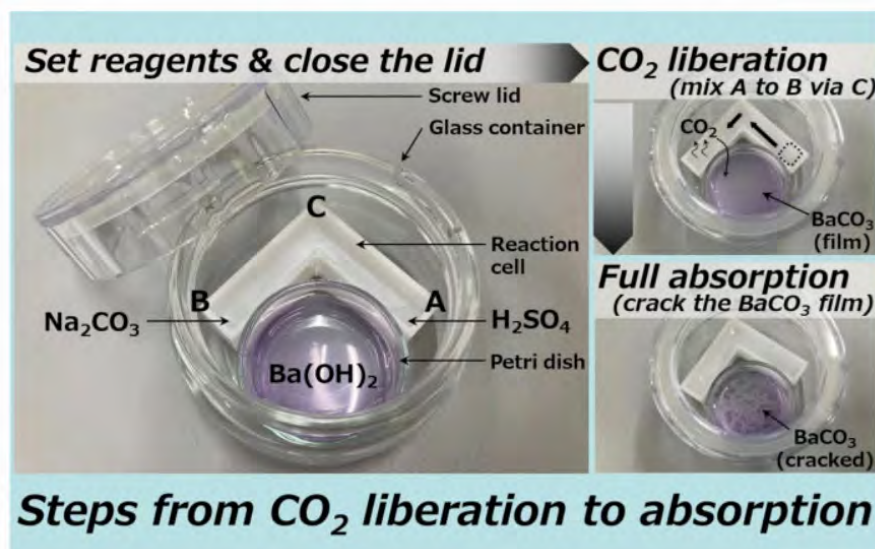


図 2. 新規開発された CO_2 濃度分析手法。従来の半分程度の時間で火山ガス分析が可能となった (Yaguchi and Ohba, 2024, 気象研究所 [課題番号: KOB016])。

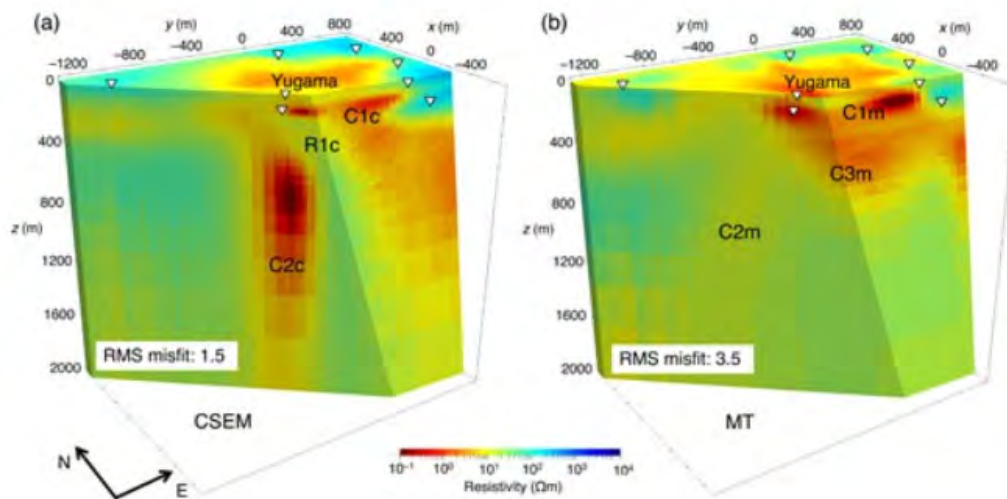


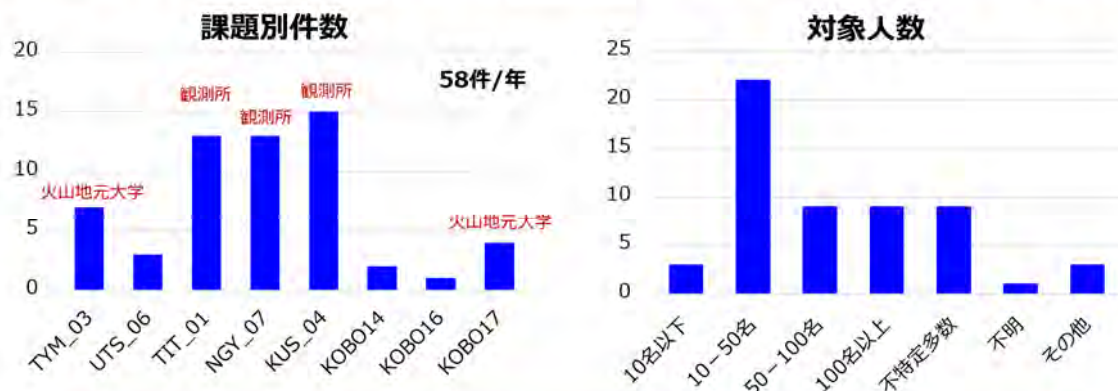
図 3．人工電流による草津白根火山の地下 3 次元比抵抗分布解析．同じ観測点で比較すると，新手法 (a) は，従来の方法 (b) と比べて詳細な構造が得られている (Ishizu et al., 2025, 九州大学 [課題番号: KOB015]) 。



図 4．ドローンポートを用いた観測試験．草津白根山上空のドローンを草津町役場から遠隔操縦した (寺田・田村, 2025, 東京科学大学 [課題番号: TIT_01]) 。

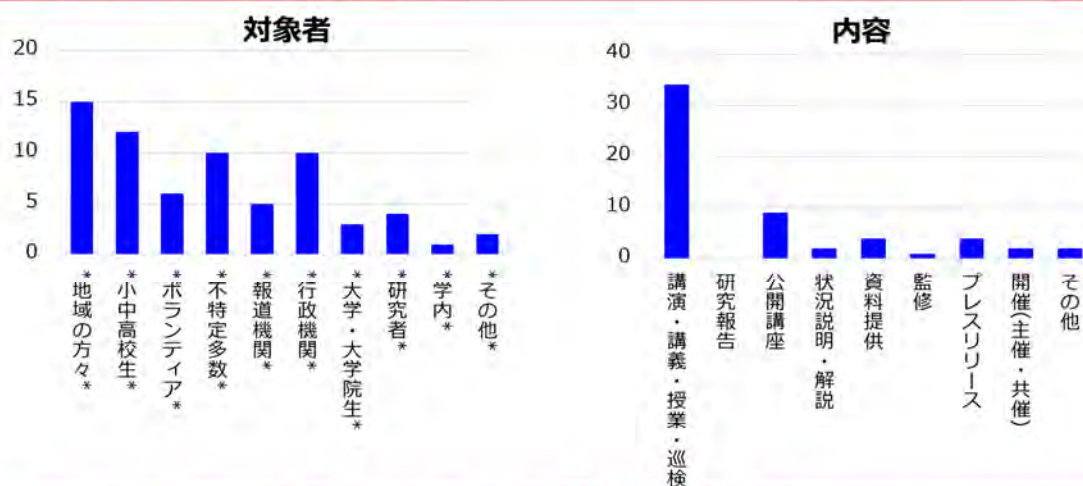
アウトリーチ活動の実態調査 全課題

各課題担当者の2024年度アウトリーチ活動を集計（課題に直接関係しない活動も含む）



- ・ 観測所や懇意の研究者のいない地域でも、需要が示唆される
- ・ 年間のべ 1000人規模の人々と交流している
- ・ 10人規模 < が大半。地域からの協力、もしくは各機関の自助・負担が相当程度ある

アウトリーチ活動の実態調査 全課題



- ・ 主な対象は一般の方々、行政機関へのアプローチを増やすべきか
- ・ ただし、求められている内容は地域防災や地史（地域学習）に関すること。その地域に詳しい研究者でないと、需要にこたえることが難しい

図 5. 2024年度に各課題で実施されたアウトリーチ活動のまとめ（「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」令和6年度成果報告シンポジウム発表資料より抜粋）。

成果リスト

伴 雅雄・北川 桐香, 2024, 蔵王火山山頂エリア, 地質学雑誌, 130, 329-335.
<https://doi.org/10.5575/geosoc.2024.0019>

Horii M., K. Yamaoka, H. Kim, S. Takewaki, and T. Kunitomo, 2024, Comparative Study on Literacy Enhancement on Volcanic Disaster Reduction for the Residents and Visitors in Mt. Ontakesan and Other Volcanic Areas, Journal of Disaster Research, 19, 159-172.

<https://doi.org/10.20965/jdr.2024.p0159>

井村 匠, 2024, 蔵王火山西部蔵王沢上流部, 蔵王鉱山跡地周辺の火山・鉱床地質: かつて存在した火山熱水系の痕跡, 地質学雑誌, 130, 247-257.

<https://doi.org/10.5575/geosoc.2024.0016>

Imura T., T. Ohba, R. Takahashi. P. Manalo, H. Sato, M. Ban, A. Hirata, and A. Alvarez-Valero, 2024, Sulfur isotopic variations in the products of the 1895 CE eruption at Zao volcano (NE Japan): Implications for connecting eruption source and syn-eruptive magmatic-hydrothermal processes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 452, 108127. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108127>

Ishizu K., Y. Ogawa, KH, Tseng, T. Kunitomo, N. Kitaoka, G. Caldwell, and W. Heise, 2025, Controlled-source electromagnetic survey in a volcanic area: relationship between stacking time and signal-to-noise ratio and comparison with magnetotelluric data, *Geophysical Journal International*, 240, 1107-1121. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae431>

Kanda W., T. Koyama, and Y. Matsunaga, 2025, Geomagnetic observations at Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press

Kawai T., Y. Yukutake, R. Doke, and R. Honda, 2024, Contribution of aseismic slips to earthquake swarms at the Hakone volcano, *Earth, Planets and Space*, 76, 152. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02098-1>

Matsunaga Y. and W. Kanda, 2025, Critical factors that control hydrothermal circulation within active volcanoes: Constraints from numerical simulation based on a resistivity structure model, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 130, e2024JB029833, <https://doi.org/10.1029/2024JB029833>

Matsunaga Y. and W. Kanda, 2025, Magnetotelluric imaging of the magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press

宮縁育夫・長井雅史・中田節也・小澤 拓・古川竜太・石塚 治・南 裕介・コンウェイ クリス・伊藤順一, 2024, JVDNシステムを活用した降灰調査ー阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火の事例ー, *火山*, 69, 61-70. https://doi.org/10.18940/kazan.69.2_61

Miyagi Y., U. Tsunogai, K. Watanabe, M. Ito, F. Nakagawa, and R. Kazahaya, 2024, Estimating emission flux of H₂S from fumarolic fields using vertical sensor array system, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 450, 108090. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108090>

Mori A. and H. Kumagai, 2024, Explosive eruption processes inferred from high-frequency seismic waveforms of eruption tremor and explosion events, *Geophysical Journal International*, 240, 46-60. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae368>

森田雅明, 2024, Multi-GASによる火山ガス組成測定, *火山*, 69, 199 - 207. https://doi.org/10.18940/kazan.69.4_199

Namiki A., 2024, An Introductory Review of Complex Rheology of Magma for Rheologists, *J. Soc. Rheolog. Jpn.*, 52, 305-311. <https://doi.org/10.1678/rheology.52.305>

- Narita S., A. Yokoo, T. Ohkura, M. Morita, T. Mori, and S. Yoshikawa, 2024, Heat transport process associated with the 2021 eruption of Aso volcano revealed by thermal and gas monitoring, *Earth, Planets and Space*, 76, 62. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01984-y>
- 小田雄大, 風間卓仁, 加藤護, 2025, LaCoste型相対重力計の重力連続観測で検出された2022年トンガ火山噴火の大気圧変動に伴う重力変化, *測地学会誌*, 印刷中
- Ohba T. and M. Yaguchi, 2025, Volcanic activity cycles of the Kusatsu-Shirane volcano, Japan revealed by the geochemical monitoring of lake water in the Yugama crater and adjacent fumarolic gases, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Sumino H., 2025, Spatial and temporal variations in noble gas isotopic compositions of fumaroles and hot/cold spring gases at Kusatsu-Shirane volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- 寺田暁彦・小川康雄・金 幸隆・萬年一剛・石坂恒久・萬代洋信・石崎泰男・亀谷伸子・阪本真由美, 2024, 火山噴火と防災および観光シンポジウム2023ー草津白根山、御嶽山、箱根山ー：火山危機におけるコミュニケーションの改善へ向けて, *火山*, 69, 87-98. https://doi.org/10.18940/kazan.69.2_87
- 寺田暁彦・田村正義, 2025, 草津町役場から遠隔操作可能な全自動ドローンを用いた草津白根火山の監視試験, *火山*, 印刷中
- Terada A, H. Aoyama, T. Yamada, and M. Yamamoto, 2025, Geophysical observations of Kusatsu-Shirane volcano: Conceptual model of the hydrothermal system as a site of phreatic eruptions, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Terada A. and T. Kuwahara, 2025, Yugama crater lake: A sensitive window into the magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Yaguchi, M. and T. Ohba, 2024, Development of a new device for CO₂ microdiffusion analysis of fluid samples from volcanic areas without using a fixative. *Earth Planets Space*, 76:144, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02062-z>

拠点間連携共同研究

東京大学地震研究所・京都大学防災研究所 拠点間連携共同研究研究代表者 松島信一
(京都大学防災研究所)
研究代表者 加藤尚之
(東京大学地震研究所)

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきた。しかし、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生により多くの犠牲者が出たことを踏まえ、地震や火山噴火の科学的な予測が極めて困難であっても、現在の地震学や火山学には災害軽減に役立てられる多くの知見が集積されていることから、平成 26 年度から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（建議）において大きく方針を変更し、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」（建議）及び「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」（建議）でもその方針が継続された。即ち、地震や火山噴火の発生予測の実現を重点とした方針から、それらの予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究に重点を置いて組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核とするものの、災害予測や防災を目的とした研究に注力するために関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになった。

平成 25 年までの建議に基づく観測研究計画では、自然現象である地震発生や火山噴火現象の理解に基づきそれらの科学的な予測を目指すという考え方から、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所が中核となって計画を推進してきた。しかし、災害予測や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには、東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とが連携して、計画を進めることが有効であるとの結論に至り、両研究所が協働し、それぞれの分野の共同利用・共同研究拠点として、連携して共同研究を進めることとなった。具体的には、両拠点の研究者が中核となって建議に沿った大テーマを決め、それを実現するための研究について全国の研究者からの研究提案を公募して全国規模の共同研究を進める「重点推進研究」と両拠点がそれぞれ関連の深い地震火山研究コミュニティと自然災害研究コミュニティの 2 つの学術コミュニティに呼びかけ建議の主旨を踏まえた研究を公募する「一般課題型研究」を実施している。

1. 重点推進研究

重点推進研究のうち総括研究は「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」と題し、この内容に即した 6 つのグループが研究課題を提案し、9 つのグループ全体で実施した。一方、特定研究（その 1）～特定研究（その 3）では、総括研究のうち深掘りが必要と考えられる研究課題について募集し、研究を実施した。

（1）総括研究

総括研究は「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」と題し、2023 年度に引き続き、(1)震源過程、(2)伝播・深部地盤構造、(3)強震動予測、(4)浅部地盤構造、(5)構造物被害予測、(6)リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための(7)プラットフォーム構築グループ、(8)ステークホルダの参画に関する研究グループおよび(9)大規模計算のためのコンピュータサイエンスグループの9グループで実施した(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C01], Kai et al., 2024, 木佐貫, 他, 2024, 中田, 他, 2024, 王, 他, 2024, Yanxue et al., 2024a, Yanxue et al., 2024b, Zelin et al., 2024)。

震源過程について、プレート境界面における反射係数の違いから摩擦強度の分布を推定し、将来発生する南海トラフ地震の地震像に迫るために、四国西部において反射波の抽出作業を行った。津波予測に関しては、2022 年トンガ火山噴火による気象津波の具体的な増幅要因を明らかにするため、噴火に伴って発生した大気重力波をモデル化し、奄美大島を含む南西諸島に着目した気象津波の計算を行った。その結果、噴火時に放出された大気重力波を想定した 0.5hPa 程度の微気圧波で 1m 程度の振幅を再現した。深部地盤・伝播経路については、昭和南海地震震源域西端にあたる豊後水道沖合周辺で実施した地殻構造調査の解析を進めた。地震断層にあたるプレート境界面の物性を高解像度で把握するため、地震波反射法構造調査に対する全波形インバージョンの適用に取り組んでいる。浅部地盤構造に関しては、液状化の可能性のある緩傾斜地盤を対象に、2次元の有効応力解析を実施した。不確実性として、代表的な地盤物性値である相対密度の空間的な変動を考慮した。液状化に起因する地盤の側方流動量は、地盤物性の空間変動を考慮することで大きくなる傾向にあり、特に緩斜面の中央部でその傾向が顕著であることが明らかとなった。構造物被害予測については、等価線形化法における等価減衰定数および応答低減係数の算定に対する降伏後剛性の影響を解析的に検討した。等価線形化法を用いた被災度判定における解析精度の向上を目的として、高強度鉄筋を主筋に用いた鉄筋コンクリート造梁部材の降伏点変形評価法の精度向上に関する研究を行った。鉄筋コンクリート造建物の被害関数として汎用性の高い被害関数の構築手法として地震動強さを建物の固有周期帯での速度応答値とすること、建物固有周期と建物耐力を分布に沿ってばらつかせた建物群に対する地震応答解析によって被害を推定する手法を提案した。様々な PE 管の敷設割合(PE 管率)の1次元配管系の数値モデルを構築し、PE 管率とねじ継手鋼管の破断状況の関係性を評価した。リスク評価高度化に関しては、札幌市において1976年、1985年、2008年、2020年の航空写真から作成した点群データを用い3D都市モデルを作成した。また、作成したポリゴン情報と「PLATEAU」によるポリゴンデータとを比較することで、モデルの精度を向上させるための補正式を開発した。加えて、過去から現在までの3D都市モデルの建物ボリュームの変化量を用い、街区ごとに将来の建物ボリュームを予測する手法の構築を試みた。プラットフォーム構築に関しては、南海トラフ沿いで発生する巨大地震について、地震発生時の強震動によるリスク評価の他、長周期地震動や津波によるリスク評価を統一して実施することを目的として、震源モデルの在り方について検討した。コンピュータサイエンスについては、ランダム入力に対する動的応答を多数回実施し、その卓越振動数等を分析することで、三次元構造の内部状態の推定性能を向上させようと期待されるが、その解析コストを削減することを目的と

して開発した、「CPU と GPU を連成させ、シミュレーション内で生成される過去時間ステップにおける解析結果を学習しつつ、有限要素解析のカーネル部分の稠密化を行う手法」を三次元地盤構造の構造推定に適用し、その推定性能について検討した。災害リスク情報・ステークホルダ参画に関しては、これまでに構築してきた南海トラフ地震の震源モデル・強震動予測モデル・表層地盤増幅率の組み合わせをもとに作成した地表速度のばらつきのモデルの中で、行政が実施する地震動推定、研究者が新たに実施する地震動推定結果の位置づけを Web 上で簡易に評価、見える化を行うことが可能なシステムの構築を行った。

（２）特定型（その１）

「巨大地震・津波を起因とする火災リスク評価の高度化」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C02], 秋月, 2024a, 秋月, 2024b, Akizuki, 2024, Akizuki et al., 2024, 秋月, 他, 2024, 秋月, 山口, 2024, 北後, 2025, 川村, 他, 2024, 西野, 2024, 西野, 2025, 大江, 他, 2024, 吉田, 他, 2024）。

地震火災・津波火災のリスク評価手法の高度化に関し、石川県・富山県・新潟県の消防本部にアンケート調査を行い、2024 年能登半島地震に伴う個々の火災の正確な情報を収集した。この火災記録を分析し、次のことを明らかにした。（１）今回の地震で発生した 12 件の地震動起因の建物火災のうち、発火源が不明な 2 件を除けば、大半は電気器具・電気設備や電気配線を発火源とする火災で、その他は石油ストーブや工場の熔融金属などを発火源とする火災であった（図 1）。電気関連の火災が多いという点については、過去 30 年間に日本で発生した地震火災の傾向と同様である。（２）火災記録を用いて人口一人あたりの出火確率と地震動強さ指標の統計的な関係（以降では、出火モデルと呼ぶ）を推定した（図 2）。（３）今回の地震で発生した 2 件の津波火災の発生要因を 1993 年北海道南西沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震のデータと合わせて見ると、建物や自動車を大量に流失させるような強い津波を受けた地域では、津波ガレキが火災の発生に強く関与するが、建物や自動車がさほど流失しない弱い津波を受けた地域では、主に浸水した建物や自動車の電気系統（電気部品・電気設備や電気配線）が火災の発生に関与する。（４）ある地域における津波火災の出火確率は、その地域の建物流失率の関数として表現され、平均では浸水建物 1 万棟あたり約 2 件から約 6 件まで変動する。また、2014 年に国土交通省の調査検討会から報告された F43 断層モデルを用いて、輪島市中心部を対象に地震火災リスク評価を行った結果、（１）今回の地震の焼失棟数（約 240 棟）はリスク評価結果の条件付き超過確率 1.9%に相当し、想定される火災被害の中でもかなり大きなクラスに相当すること、（２）焼失確率の相対的に高い建物が集中する範囲がいくつか浮き彫りになり、今回の地震で焼失した範囲はそれらの一つと概ね対応すること（図 3）、が分かった。

地震後火災リスク軽減のための積極的避難誘導照明の有効性に関する研究について、実験空間の被験者観察位置での輝度分布を測定し、煙濃度や照明条件に応じて視野平均輝度や誘導灯との輝度対比の変動を把握した。また誘導灯や積極的誘導照明の光量が白煙に散乱することで、避難口誘導灯のピクトグラムが見にくくなることを輝度差の変化で捉えられることを示した。手すり位置に積極的誘導照明を配置する際、光源輝度 800cd/m^2 では散乱成分が多すぎて前方の誘導灯が識別しうる輝度対比を維持できないこ

とを把握し、積極的誘導照明の設置の際には光量や配置が重要となることを示した。さらに現在消防法施行規則で規定されている誘導灯の輝度値では濃煙下では識別できないことを、観察位置と輝度対比の関係で示した。現在光源として使用されている LED は消費電力が非常に低いため停電時に一定時間点灯させるバッテリー容量も小さくすむことを考慮すると、規定値の見直しを行うべきであることを示した。

地震火災の発生を抑制する出火パターン別に見た対応行動モデルの策定について以下のことが分かった。大規模火災が発生したのは輪島市中心部の日本海沿岸で、ハザードマップでは津波浸水地域となっており、周辺住民の約 7 割は地震直後に津波を恐れて避難している。出火した住宅の住民も地震直後に避難しており、火災覚知の遅れに繋がったと考えられる。他方で LP ガスの元栓をしめる、電気のブレーカーを落とす、火の元の確認や始末をしたのは 2 ～ 3 割程度であった。なお、地震直後の使用していた火気への対応は、1995 年の阪神・淡路大震災の時の住民の対応とほぼ同じであり、津波避難による影響は見られなかった。火災を知った時の行動については、「火の様子を見ていた」、あるいは、「何もしなかった」が非常に多く、次いで火災現場へ向かったのは約 15%、下敷きになった人の救助をしたのは約 7% あるが、延焼防止の活動はほとんど行われておらず、阪神・淡路大震災と大きく異なる。津波避難で遠くに離れていたことによる影響が大きいといえる。

（３）特定研究（その２）

「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」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC03]，南方，他，2024，野口，香川，他，2024，野口，佐々木，他，2024，野口，吉田，他，2024，高柳，他，2024，竹中，他，2024，Thinzar Yadanar et al.，2024，Thinzar Yadanar et al.，2025，上林，赤澤，他，2024，上林，岩田，他，2024，山田，竹中，2024,）。

徳島県美馬市，鳥取県鳥取市の地すべり地域，三野断層近傍にて微動探査と重力探査を実施した。微動探査の結果より，地すべり地域では滑落崖やその周辺で H/V の形状や卓越周期が変化すること，三野断層近傍では断層線上やそのごく近傍で破碎帯の影響とみられる H/V の卓越周期の変化や水平動成分の異方性があることが確認できた。また，地すべりの移動体と滑落崖の境界，断層のごく近傍で S 波速度構造が急変することがわかった。重力探査の結果より，地すべり地域内に地質の不均質性を反映した低重力異常域，断層の褶曲運動に伴う高重力異常域と断層破碎帯の影響を反映した低重力異常域が確認できた。また，強震観測網の波形記録とそのスペクトルインバージョンの結果を利用した自己相関関数解析によって観測点直下の地盤の疑似的な反射プロファイルを求める手法を開発し，それを岡山県内にある自治体の震度計観測網（岡山県震度情報ネットワーク），気象庁の震度観測点と防災科学技術研究所の K-NET，KiK-net などの稠密な強震観測点と岡山県周辺の K-NET，KiK-net 観測点で観測された地震の波形に適用した。その結果とボーリングデータをもとに岡山県内の沖積層と洪積層の境界，続く洪積層と新第三期以前の層（工学的基盤相当）との境界の深度分布を推定した。さらに，2024 年能登半島地震で震度 7 を観測した志賀町富来町香能 (ISK006) と領家 (JMA914) の 2 か所において微動アレイ探査を実施し，観測データを取得した。ISK006 ではレイリー波を用いて，JMA914 ではレイリー波とラブ波の両方の位相速度を求め，約 5 ～ 30Hz で両方を満足する

ような速度構造モデルを推定した。速度構造モデルの推定を試み、推定誤差の分布がラブ波・レイリー波で異なることが示された。さらに位相速度とレシーバー関数を同時に解析する方法を検討し、取得したデータに対する適用を試みている。また、近畿地方に展開されている関西地震観測研究協議会や防災科学技術研究所 F-net などの記録を用い、周期約 10～50 秒の表面波を用いて、レイリー波およびラブ波位相速度を推定した。推定した位相速度と地殻構造モデルから計算される理論位相速度との比較では、誤差の範囲内で両者が一致した。一方、京都盆地と花折断層帯を対象に、盆地端部等で地震基盤が不整形となっている場所を含む地盤構造モデルを考慮した地震動シミュレーションにより、定量的な地盤増幅特性を評価するために、盆地端部からの距離や盆地深さに応じたばらつきを評価する方法について検討した。その結果、計算領域全域では、既往の地震動予測式のばらつきと大きな違いがないことが分かったものの、盆地内の詳細な比較についてまだ検討が不十分である。

2. 一般課題型研究

(1) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化

「岩盤崩壊－河道閉塞－堰止湖決壊による複合連鎖災害の発生場予測：斜面地形発達史の理解に基づくハザード評価」では、直近に地震および豪雨による甚大な被害のあった能登半島での発災実態に関する踏査を行い、地盤構造の解析や物理化学分析のための試料採取を進めるとともに、デジタル地形情報に基づく崩壊発生場の空間解析を行った。これにより、地形条件や風化帯の構造と物性が斜面変動に与える影響が明らかになりつつある。また、西南日本外帯や中部山岳域における地形構造を解析し、隆起に対する応答としての地形発達の途上における不安定斜面の出現を検討した。河川の下刻による斜面の下部切断と起伏量の獲得が岩盤崩壊の素因となる過程についてモデルによる定量化を試みた。またそうした地形の進化に要する時間スケールを推定するため段丘の年代測定や斜面の削剥速度の推定を行った。（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C05], Matsushi, 2024a, Matsushi, 2024b, 松四, 2024a, 松四, 2024b, 松四, 2025）。

「既存在来木造建物に大きな被害を引き起こす地震動の発生要因に関する研究」では、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C08]）。

耐力が高い建物を対象とした検討を行うために、簡易な振動実験を行うことにより地震動の破壊力を測る箱形試験体として、壁量の多い試験体の開発、検証を行った。その結果、壁量の多い試験体も実大試験体と同様の復元力特性を再現でき、壁量が多いほど、最大耐力時の変形など靱性能が小さくなることを確認できた。ここで、箱形試験体の外観を図 4 に示す。壁が入る中央の 4 パネル全てに筋交が入っている（これまでは 4 パネルのうち 2 パネルのみに筋交）。入力地震動は、既存建物を想定して、2003 年宮城県沖の地震の JMA 大船渡 50%を入力した後、耐力が低い建物に大きな被害を与える 1～2 秒より短い 0.5～1 秒という成分が大きい 2016 年熊本地震の KiK-net 益城 EW 成分を 107%に拡大して入力した。試験体は、まずホールダウン（HD）金物を締めた状態で地震動を入力し、その後、補修、具体的には、中央の壁構面の筋かいの向きを変えて再設置し、HD 金物を緩めて入力した。即ち、耐力が高い試験体の 2 レベルのデータを得ることができた。補修後の写真を写真 1 に、補修前後の荷重変位関係を図 5～6 に示す。また、これまでの耐力が低い試験体と最大耐力時の塑性率を比較して図 7 に示す。建物の耐力（降伏ベ-

スシア係数)が大きくなるに従って、最大耐力時の塑性率、即ち、靱性能が低下している傾向を確認することができた。

「高精度な地盤増幅特性評価のための多様な地盤構造調査結果の統合化に関する共同研究」では、以下の成果が得られた(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C10], 神野, 他, 2024, 津野, 他, 2024, 神野, 他, 2025)。

輪島市街地を対象に余震観測を実施し、さらにこれらの観測点周辺で微動観測を実施し、対象地域の地盤震動特性について検討した。余震観測は、平野全体をカバーし、地盤震動特性の変化を把握できる高密度なアレイ配置を念頭に、市街地の東側を流れる河原田川に沿った測線とそれにおおよそ直交し ISK003 と JMA 輪島を結ぶ測線、西側を流れる鳳至川に沿った測線とそれに直交する 2 つの測線の計 5 つの測線を設け、合計 30 点で行われた。観測点の間隔は 50~800m 程度であった(図 8)。余震観測期間中に観測された 2024 年 11 月 26 日 22:47 の石川県西方沖の地震(Mj6.6)の速度波形によると、被害が大きかった市街地北部の ISK003 から JMA 輪島を結ぶ測線の周辺の観測点の最大速度は、比較的標高が高い地域や ISK003 の近傍などの他の地点に比べて大きく、加えて後続波の振幅も大きく、継続時間も長くなることが明らかになった。さらに、いくつかの余震観測点において、ISK003 で共通して記録が得られた地震の S 波 Transverse 成分を対象に、ISK003 の記録とのスペクトル比の観測点ごとの平均を求めた。被害が大きかった地域では、周期 1Hz 付近に明確なピークが見られた。一方、市街地の南側の地域では 3~6Hz にピークを持ち、2Hz よりも低周波数側では倍率は 1 以下となり、ISK003 に近接する点では増幅率が 1 程度以下になるなど、平野全体での地盤増幅特性に大きな変化があることが明らかになった。

余震観測点の周辺において浅部の地盤構造を推定するために微動アレイ観測を行った。河原田川に沿った測線とそれに直交する測線の観測点における微動アレイ観測(正三角形の辺長を 6m, 3m とした 7 点アレイ)によると、被害が大きかった地域における高周波数側の帯域の位相速度は 100m/s 程度で、本観測で検出された位相速度はほぼ平坦なものであり、表層は非常に軟弱であることが想定された。一方、それ以外の観測点は、高周波数側の位相速度は被害が大きかった地域よりも速い地点が多く、本観測で位相速度が検出された周波数範囲内で位相速度が増加する様子も見られるなど、平野内の表層地盤にも様々な変化があることが分かった。ISK003 のごく近傍では被害が全く生じていなかったが、西側や北西側に 100~200m 程度離れると甚大な被害が生じていた。これは本震時の地震動が ISK003 とその周辺で異なっていたことを示唆している。そこで、ISK003 を通る南北測線と ISK003 から JMA 輪島に向かう東西測線の 2 つの測線を設け、単点微動観測を行った。観測点間隔は 60~100m 程度であった。両測線とも H/V スペクトル比の形状は系統的に変化しており、特に被害が大きかった地域は 1Hz 付近で非常に明確なピークを持ち、H/V スペクトル比の特徴と建物被害は概ね良い対応を示した。

「1894 年庄内地震の詳細な建物被害分布に基づく地震動特性評価手法に関する研究」では、以下の成果が得られた(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C11], 石瀬, 他, 2024, 石瀬, 他, 2025, 松島, 他, 2024, 山本, 他, 2024a, 山本, 他, 2024b, 山本, 他, 2025)。

複数点における微動観測をおこない、表層地盤による地盤増幅特性を推定するためのデータ収集を行った。アレイ微動観測は中サイズの計 9 地点、小サイズの 11 地点の計 20

地点で Rayleigh 波位相速度を求めた。アレイの形状は原則、一辺が 135m, 45m, 15m, 5m, 2m である正三角形とした（1 アレイのみ別形状）。単点微動観測は主として東西方向に 7 測線、南北 2 測線で間隔が狭い所では 1km 間隔、広い所では 2km 間隔で観測点を配置した（図 9）。また、測線間を補完するように測線内外で単点微動観測を行い、アレイ観測点中心点と臨時強震観測点と合わせて計 132 地点となった。観測には主に加速度地震計 SMAR-6A3P と JU410 を用いた。サンプリング周波数は 200Hz とし、単点観測では 30 分以上、アレイ観測では大きさに応じて 10 分から 2 時間の計測を行った。微動水平上下スペクトル比（MHVR）については盆地構造に起因する方位依存性や卓越周期の変化を期待したが、空間的傾向を明確には確認できない地点が多く存在している。特に、ピークがほとんどみられない上に、高振動数域で振幅比が 1 を下回るような地点もあり、通常盆地内で観測される MHVR とは異なる様相を呈している。観測で得た MHVR と Rayleigh 波位相速度をターゲットにインバージョンを行い、観測結果と理論が合致する地下構造を同定した。推定した地下構造から地盤増幅率を計算し、1.0Hz での増幅率分布が 1894 年庄内地震の被害分布とよく対応することが分かった。

一方、庄内地震の被害に関する史資料を整理し、これらをデジタルデータ化した。被害記録は大字ごと（酒田町と松嶺町は町丁ごと）に残されており、それぞれの大字、および町丁の代表地点の位置情報を付与した。GIS を活用した当該地震被害（家屋被害、これに基づく震度分布、一戸あたりの死者数）の分布を可視化した。その結果、家屋全壊率が高い地域では 1 戸あたりの死者数も多くなる傾向がみられるが、平野の中央部ではその傾向が弱まることから、家屋倒壊率が高く、死者数も多い松嶺町の至近距離に 1894 年庄内地震の震源断層が存在することが示唆された。

（２）地震の災害誘因の即時予測手法の高度化

「日本近海における津波発生要因の多様性を考慮した沿岸地形による波高増幅機構の理解に向けて」では、2023 年鳥島近海津波の津波生成要因の素過程、2022 年トンガ噴火津波の振幅増幅のメカニズム、2024 年能登半島地震による津波の特性など、主に津波生成および海洋での伝播過程に着眼した研究調査を進め、以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CTOC04]、千田、他、2024、Kubota, et al., 2024、Miyashita, et al., 2025、Muhammad, et al., 2024、宮下、他、2024、三反畑、久保田、2024、Sandanbata and Saito, 2024、Sandanbata and Saito, 2025、三反畑、他、2024、Sandanbata, et al., 2024、Sandanbata, et al., 2025、Shirai, et al., 2024、Takemura, et al., 2024、錦田、2024、Yuhi, et al., 2024a、Yuhi, et al., 2024b）。

津波生成要因の素過程の研究として、日本沖合の津波観測網 S-net および DONET の海底圧力計記録を解析し、14 回繰り返し発生した津波それぞれの初期波源（海水面鉛直変位）分布を推定した。その結果、孀婦海山付近に確認された海底カルデラの周辺で繰り返した海水面を隆起させるような現象が繰り返したことが示され、海底カルデラでの火山活動に伴って津波が生成したことを提案した（Kubota et al., 2024）。また、津波発生イベントに伴って強い水中音波が観測されていたが、水中音波記録の解析および数値計算でのモデリングを行い、これらの現象が海底下 0.5km よりも浅い場所で発生したことを明らかにした（Takemura et al., 2024）。一方で、海底火山活動起因の津波生成過程の研究として、小笠原諸島・北硫黄島カルデラで 2017 年と 2019 年に発生した火山性地

震の震源過程を調べた。震源から約 1,000km 離れた DONET の海底圧力計記録から振幅 1～2mm の極小津波を高精度に検出し、その波形解析によって北硫黄島カルデラで数年ごとにトラップドア断層破壊が発生し、カルデラ隆起が繰り返し起きていることを確認した。また、2017 年と 2019 年の断層破壊が異なるセグメントで発生したことで、明瞭に異なる津波波形が観測され、カルデラ内断層が複数セグメントに分かれており、マグマ蓄積によってそれらが交互に破壊することで断層破壊および津波発生が高頻度に繰り返す可能性を提案した (Sandanbata & Saito, 2024)。

津波伝播過程における増幅機構の研究としては、奄美大島を含む南西諸島に着目した気象津波の計算を行い、噴火時に放出された大気重力波を想定した 0.5hPa 程度の微気圧波で 1m 程度の振幅を再現できることを示した。複数条件での数値実験の結果、奄美での増幅には海嶺等の深い海域での地形が大きく寄与した可能性があることを示した。また、2024 年能登半島地震で飯田港に來襲した津波の波状段波に関して、深海域における波数分散効果が浅海域の段波生成に及ぼす影響を調査した。波源域から分散を考慮することで浅海域における段波出現が 1km ほど陸に近づき、それによって防波堤に作用する津波波力が大きくなる可能性を示した。さらに、既往研究で提案されている段波化指標を使うことで水深 200m 程度の位置の津波振幅から浅海域の段波出現を簡易に予測できる可能性を示し、令和 6 年能登半島地震津波調査グループの一員として津波被害に関する調査結果をとりまとめた (Yuhi et al., 2024a, Yuhi et al., 2024b)。

「建物被害と後発地震への応答予測に地盤特性の時空間変化が与える影響の分析」では、以下の成果を得た (拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C07], Inoue et al., 2024)。

地震観測データを使用して既往の研究による評価フローに基づき病院室内被害を推定するシステムを開発した。病院室内被害指標は A～D の 4 段階である。機器が動き出す PFA の 150cm/s^2 、転倒が生じ始める PFA の 400cm/s^2 、移動により機器同士が衝突し転倒が増える CA150 の $300\text{cm/s}^2 \cdot \text{s}$ を閾値とした。医療継続性の判定については、設置機器の種類や配置状況に応じて異なるため条件に応じて判定することを基本とするが、PFV が 100cm/s を超えるような場合にはランク D とする。ただし、被害ランク B～D の場合においても、機器が移動および転倒しない措置や床免震など特別な対策が施されている場合はこの限りではない。2024 年 12 月に開催された京大病院の災害訓練では、花折断層を震源とした模擬地震動を入力して室内被害を計算し地震観測網のウェブサイトに表示した。また地震観測網に新たに京都医療センターを追加し、地震計を設置するとともに微動観測により振動モードを同定した。一方、2023 年度に構築した地盤－建物連成系モデルを利用して、軟弱地盤における基礎建物の応答と自由地盤応答の差異を評価した。具体的には、地震観測建物の基礎形式および規模を参照して、3D-FEM により建物基礎に対する地盤抵抗 (基礎インピーダンス) を評価し、基礎インピーダンスを利用したスエーローockingモデルによる地盤－建物連成系の動的相互作用解析を実施することによった。その結果、建物基礎で観測された記録から自由地盤の地表面応答をある程度合理的に算出できることを示した。2024 年 7 月に実施した能登半島地震後の病院訪問調査 (8 病院) において、病院敷地および建物の微動観測を実施し、病院から報告を受けた被害と地盤特性や建物特性の相関について分析を進めている (図 10)。

「震度の世界動向と即時性を有した真の強震動を反映した指標のあり方の検討」では、以下の成果が得られた (拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C09], 中澤, 他, 2024, 汐

満，他，2024，亀井，境，2024）。

はじめに，建物の大きな被害が想定される高震度では建物の全壊・大破と相関の高い周期 1～1.5 秒，低震度では人体感覚や物品の動きといった中小被害と相関のある 0.1～1 秒の弾性加速度応答を用いて，日本の震度階級を応答スペクトルから計算する式を構築した。次に，日本の震度階級と MM 震度階の説明文を対応付けることで，応答スペクトルを用いた MM 震度階の算定フローを図 11 のように定めた。表 1 に，過去の様々な強震記録と強震観測点周辺の被害状況，MM 震度階を示す。表 1 のうち推定した被害率である 1999 年台湾集集地震を除き，建物棟数が 100 棟以上の観測点を対象に MM 震度階による被害関数と実被害率の関係を図 12 に示す。PGA，PGV に基づく既存の算定式（図 12(a)）では実被害率の大きな観測記録でも震度が 10 以下であるが，提案する算定法（図 12(b)）では実被害率の大きな観測記録のいくつかで MM 震度階を 10 と判定できており，海外の強震記録の破壊力を MM 震度階という国際的な指標で表現することが可能となった。

（３）火山噴火による災害誘因評価手法の高度化

2024 年度は，本研究課題に関する研究課題は実施されなかった。

（４）地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究

「令和 6 年能登半島地震の震源域の強震動特性が建物被害に及ぼした影響の解明」では，以下の成果が得られた（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C06]，川瀬，他，2024a，川瀬，他，2024b）。

地盤の微動観測とそのデータを用いた強震動特性の評価に関し，大被害地域での建物被害と地盤特性の関係を把握すべく，強震観測地点（K-NET，Kik-net，JMA）13 地点に，空間的補完を考慮した 12 地点を加えた合計 25 地点で得られた微動から，微動水平上下スペクトル比（MHVR）を計算し，既往の手法で擬似地震動水平上下スペクトル比（pEHVR）を計算した。その上で，既往研究による上下動補正係数（VACF）を乗じることにより，擬似サイト増幅特性（pHSAF）を計算した。その結果，建物被害が大きかった地点周辺の観測地点の pHSAF は，概ね，やや短周期（周期 1 秒付近）の成分が大きいことが分かった。他方，被害が大きくなかった能登町内の，強震観測地点以外に追加した微動観測地点では，pHSAF のピーク振幅も輪島市内のそれと比べると低くなっていた。これらのことから，建物被害の高さと地盤の増幅特性の相関が示唆される。

一方，観測本震記録からの基盤入射波の逆算に関しては，上述した pHSAF を用いた剥ぎ取り解析を見据え，強震観測地点において既往のスペクトルインバージョン手法で得られたサイト増幅特性を用いて基盤波の計算を行った。

これまでの課題と今後の展望

2009 年～2013 年度に実施された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」までの，地震予知計画を起源とする地震・火山観測研究計画では，地震や火山噴火の発生の予知のみを目標とし，それにより地震や火山噴火による災害の軽減が達成できると考えられていたが，平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震や平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震により地震・火山観測研究計画により得られた研究成果は災害の軽減への貢献が限定的であることが判明した。このことから，2014 年度から開始された「災害の軽減

に貢献するための地震火山観測計画」から地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究を新たに組織的・体系的に進める方針に大転換した。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測計画（第2次）」に続き、今年度から開始した「災害の軽減に貢献するための地震火山観測計画（第3次）」でも引き続き、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者が参加して，協働して推進することになり，主に全国の工学，人文・社会科学の分野の研究者が拠点間連携共同研究を推進してきた。

拠点間連携共同研究の重点推進研究は，「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」を主要テーマとして推進し，総括研究において震源から被害予測及びそのステークホルダへの伝達までを一貫して行い，さらにステークホルダとの協働の成果をフィードバックすることで，研究の方向性を議論している。また，総括研究において見いだされた課題や新たな展開を特定型において掘り下げて詳細に検討するとともに新しい技術や考え方について検討し，その成果を総括研究にフィードバックするとともに，さらに総括研究で新たに出た課題を特定型で掘り下げる，という循環により研究の高度化を目指している。

今後は，重点推進研究の中での循環による研究を進めることと並行して，一般課題型研究で提案され，実施されてきた研究課題による成果や手法などを取り込む枠組みを構築することで，災害の軽減に貢献するための研究を高度化しながら継続し，高度化した成果を供出することを目指す。また，最近の地震後の災害では，地震発生にともない災害誘因は強震動に留まらず，津波，地盤変状，地すべり，火災，浸水などが相互に影響を与えたり，これらが連鎖的に起こったりするような，マルチハザードに対する災害リスクを評価することの重要性が明らかとなっている。さらに，地震発生前後の降雨状況が地盤変状や地すべりに与える影響は大きく，地震時の災害リスクを評価する上で重要となっていることも明らかとなっている。このため，これらのマルチハザードによる災害リスク評価を行うためにはより広範な研究領域の研究者と協働することと，災害の軽減のための対策を考えるそのためには，実際に被害を受ける構造物や社会システムに直接携わっている工学，人文・社会科学の分野が理学分野の成果を咀嚼して活用出来るような体制を整える必要がある。反対に，理学分野が工学，人文・社会科学の分野で成果を出すために必要なことを理解し，それに沿った研究方針を立案したり，研究成果をアウトプットしたりすることが重要となる。つまり，観測計画において，これまでの理学的な観測網の維持のみならず，工学，人文・社会科学の研究の発展に必要な観測計画の立案が必要になると考えられる。

成果リスト

秋月有紀，2024a，屋外避難経路の照明要件の現状と課題，照明学会誌，Vol.108，No.3，pp.126-127

秋月有紀，2024b，京都アニメーション火災の避難行動を読み解く，日本火災学会第63回火災科学セミナー，pp.57-69

Akizuki Y，2024，Visual environment planning for smooth evacuation in fire，15th Asia Lighting Conference 2024 proceedings，pp.38-53

Akizuki Y，Horii Y，Yamaguchi H，2024，Issues related to evacuation exit door's

specifications, 28th International Conference Association People-Environment Studies, Oral presentation

秋月有紀, 星野公花, 山口秀樹, 煙の影響による誘導灯周囲の輝度分布性状の調査, 照明学会 2024年度(第57回)講演論文集, 8-0-02, pp.138-139

秋月有紀, 山口秀樹, 2024, 輝度に基づく避難誘導設計に関する基本的検討(3) 一経路内の照明が避難出口付近の行動に及ぼす影響一, 2024年度日本火災学会研究発表会梗概集, pp.37-40

千田優, 鈴木高二朗, 高川智博, 鶴田修己, 2024, 3次元非静水圧モデルを用いた飯田港における 2024年能登半島地震津波の解析, 第71回海岸工学講演会

北後明彦, 2025, 阪神淡路大震災を振り返るー大地震が発生した場合の火災被害を防ぐー, 日本火災学会2024年度講演討論会

Inoue, R., M. Kurata, J. Gipson, K. Cho, S. Aida, S. Ohtsuru, 2024, DEVELOPMENT OF REGIONAL SEISMIC IMPACT MONITORING SYSTEM FOR HOSPITALS, the proceedings of 18th world conference on earthquake engineering

石瀬素子, 大邑潤三, 加納靖之, 飯野真帆, 長嶋史明, 吾妻崇, 松島信一, 2024, 1894年庄内地震の被害分布に関する検討, 第41回歴史地震研究会, P-08

石瀬素子, 大邑潤三, 飯野真帆, 加納靖之, 長嶋史明, 吾妻崇, 松島信一, 2025, 1894年庄内地震の被害記録のデジタルデータ化と被害分布に関する検討, 歴史地震

Kai Wu, Masashi Matsuoka, Haruki Oshio, 2024 Earthquake Damage Detection and Level Classification Method for Wooden Houses Based on Convolutional Neural Networks and Onsite Photos, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol.40, No.5, pp.674-694, <https://doi.org/10.1111/mice.13224>

亀井健司, 境有紀, 2004, 過去の震度計の記録を利用した地震発生直後における建物の被害推定に関する研究(その2) マグニチュードによる補正, 日本建築学会大会, 21129

神野達夫, 重藤迪子, 高井伸雄, 津野靖士, 山中浩明, 是永将宏, 三宅弘恵, 安部魁人, 中川尚郁, 青井優太郎, Fredrick Ouma, Bilal Ozaslan, 松田大幹, 大野登羽, 2024, 輪島市街地における2024年能登半島地震余震の臨時高密度強震観測, 日本地震学会2024年度秋季大会, S22P-02

神野達夫, 重藤迪子, 高井伸雄, 津野靖士, 山中浩明, 是永将宏, 三宅弘恵, 松島信一, 浅野公之, 山田伸之, 地元孝輔, 安部魁人, 中川尚郁, 青井優太郎, Ouma FREDRICK, 中村愛彩, Ozaslan BILAL, 松田大幹, 大野登羽, 2025, 輪島市街地における2024年能登半島地震の高密度余震観測および微動観測, 令和6年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P02

川村柊都, 秋月有紀, 吉田侑生, 吉澤望, 大江由起, 山口秀樹, 2024, 避難所の照明の在り方に関する一考察ーその2 教室空間での評価における年齢層の比較, 照明学会2024年度(第57回)講演論文集, 6-Y-17, pp.40-41

川瀬博, 仲野健一, 伊藤恵理, 王自謙, 孫紀凱, 2024a, 2024年能登半島地震で観測された強震動のサイト増幅特性と建物被害, 日本地球惑星科学連合2024年年次大会, パブリックセッション「能登半島地震」(招待講演), C004531

川瀬博, 仲野健一, 伊藤恵理, 宝音図, 王自謙, 2024b, 2024年能登半島地震の大被災域(珠洲・輪島)における特異な地盤増幅特性, 2024年度日本地震工学会大会, B-22-5, Paper No. 20240089

- 木佐貫康貴, 劉ウェン, 丸山喜久, 猪股渉, 2024, 異管種の混在状況を考慮した数値解析に基づく低圧ガス導管網の地震被害に関する検討, 土木学会論文集, Vol. 80, No. 13, 論文ID: 23-13096; <https://doi.org/10.2208/jscej.23-13096>
- Kubota, T., Sandanbata, O., Saito, T., & Matsuzawa, T., 2024, Accelerating seafloor uplift of submarine caldera near Sofugan volcano, Japan, resolved by distant tsunami recordings. *Geophysical Research Letters*, 51(12), e2024GL108415.
doi:10.1029/2024gl108415
- Matsushi Y., 2024a, Geomorphological consequences of the 2024 Noto Peninsula Earthquake: tectonic deformations, coseismic landslides, and their implications, European Geophysical Union Meeting 2024
- Matsushi Y., 2024b, Tectonic deformations and coseismic landslides in the 2024 Noto Peninsula Earthquake: their implications to long-term landscape evolution, Japan Geoscience Union Meeting 2024
- 松四雄騎, 2024a, 能登半島地震により発生した斜面変動, 日本地球惑星科学連合2024大会
- 松四雄騎, 2024b, 能登半島地震により発生した斜面変動と連鎖複合災害, 地理情報システム学会
- 松四雄騎, 2025, 2024年能登半島地震による斜面変動と連鎖複合災害—予察と展望—, 京都大学防災研究所年報 68A
- 松島信一, 山本耕平, 長嶋史明, 2024, 庄内平野での常時微動の単点観測とアレイ観測から推定される地盤構造, 日本地震学会2024秋季大会予稿集, S16-01
- 南方昭寛, 渡邊禎貢, 竹中博士, 金島亮次, 2024, サイト増幅特性の自己相関解析への適用: 岡山県を事例とした検証, 日本地震学会2024年秋季大会, S16-P08
- 宮下卓也, 福井信気, 安田誠宏, 森信人, 2024, 令和6年能登半島地震津波の再現計算および断層域と地形の特性評価, 第71回海岸工学講演会
- Miyashita, T., Nishino, A., Watanabe, S., Yasuda, T., Mori, N., Shimura, T., Ho, T.C., 2025, Contribution of Microtopography off the Ryukyu Islands to Coastal Sea-Level Amplification during the 2022 Tonga Meteotsunami, *Earth, Planets and Space*, 77, 20, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02148-2>
- Muhammad, A., De Risi, R., De Luca, F., Kongko, W., Mori, N., Yasuda, T., & Goda, K., 2024, Integrated tsunami risk framework considering agent-based evacuation modelling: The case of Saga, Kochi Prefecture, Japan, *International Journal of Disaster Risk Reduction: IJDRR*, 101(104193), 104193.
doi:10.1016/j.ijdr.2023.104193
- 中田健斗, 中嶋唯貴, 富永佳吾, 2024, 災害情報を有する画像群と3D都市モデルを使用した建物被害データベースの構築, 日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 43, pp. 35-36
- 中澤駿佑, 汐満将史, 境有紀, 2004, 2024年能登半島地震における建物被害と発生した地震動の破壊力(その1) 強震観測点周辺の被害状況と地震動の性質, 日本建築学会大会, 21004
- 西野智研, 2024, F43断層モデルを用いた輪島市中心部の地震火災リスク評価, 2024年度日本地震工学会大会
- 西野智研, 2025, 2024年能登半島地震に伴う火災と今後の巨大地震について～数値解析に基づく考察～, 日本火災学会2024年度講演討論会
- 野口竜也, 香川敬生, 河野勝宣, 2024, 島根県多伎町の地すべり地域における地震動予測のため

の地盤構造推定, 日本地震学会2024年度秋季大会, S16P-04

野口竜也, 佐々木祥太, 河野勝宣, 小野祐輔, 香川敬生, 2024, 中央構造線三野断層近傍における微動探査, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SSS10-P16

野口竜也, 吉田成道, 香川敬生, 河野勝宣, 2024, 微動観測による徳島県三次市の地すべり地域における地盤震動特性と地盤構造, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, CS10-59

大江由起, 山口秀樹, 秋月有紀, 吉澤望, 2024, 災害時の生活行為を想定した避難所照明環境の在り方に関する研究－教室での実空間実験に基づく年齢層間の比較－, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 環境工学40216, pp. 479-480

三反畑修, 久保田達矢, 2024, 2023 年 10 月に嬬婦海山近海で発生した津波: 連続的な津波発生と海底カルデラとの関係, 日本火山学会2024年秋季大会.

Sandanbata, O., & Saito, T., 2024, Segmented Trapdoor Fault in Kita-Ioto Caldera, Japan: Insights From Millimeter Tsunami Waves Captured by an Array Network of Ocean Bottom Pressure Gauges. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 129(12), e2024JB029755. doi:10.1029/2024JB029755

Sandanbata, Osamu and Tatsuhiko Saito, 2025, Segmented trapdoor fault in a submarine caldera revealed with milli-meter tsunami waveform record, AGU Chapman Conference 2025

三反畑修, 佐竹健治, 武村俊介, 綿田辰吾, 前田拓人, 久保田達矢, 2024, 2023年10月鳥島近海津波:連続的な津波発生プロセスによる波高増幅現象, 日本惑星科学連合2024年大会

Sandanbata, Osamu, Kenji Satake, Shunsuke Takemura, Shingo Watada, Takuto Maeda and Tatsuya Kubota, 2024, Enigmatic tsunami waves amplified by repetitive source events near the Sofu seamount, south of Japan, AGU Fall Meeting 2024

Sandanbata, Osamu, Kenji Satake, Shunsuke Takemura, Shingo Watada, Takuto Maeda and Tatsuya Kubota, 2025, Enigmatic tsunami waves amplified by repetitive source events near a newly-identified submarine caldera of Sofu Seamount in the Izu-Bonin arc, AGU Chapman Conference 2025

汐満将史, 中澤駿佑, 境有紀, 2004, 2024年能登半島地震における建物被害と発生した地震動の破壊力(その2) 非線形地震応答解析による地震動の破壊力の検証, 日本建築学会大会, 21005

Shirai, T. Y. Enomoto, K. Haga, T. Tokuta, T. Arikawa, N. Mori, F. Imamura, 2024, Potential for tsunami detection via CCTV cameras in northeastern Toyama Prefecture, Japan following the 2024 Noto Peninsula Earthquake, *Geoscience Letters*, 11, 28, doi:10.1186/s40562-024-00343-9

高柳芽依, 野口竜也, 錦織明日美, 河野勝宣, 2024, 中央構造線三野断層とその周辺における重力探査, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SSS10-P17

Takemura, S., Kubota, T., & Sandanbata, O., 2024, Successive tsunamigenic events near Sofu Seamount inferred from high-frequency teleseismic P and regional T waves. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 129(10), e2024JB029746. <https://doi.org/10.1029/2024jb029746>

竹中博士, 渡邊禎貢, 南方昭寛, 2024, 強震記録のスペクトルインバージョン結果を用いた自己相関解析法の提案: 原理と処理方法, 日本地震学会2024年秋季大会, S01-06

- Thinzar Yadanar, Shinichi MATSUSHIMA and Fumiaki NAGASHIMA, 2024, UNCERTAINTY OF ESTIMATED GROUND MOTION IN THE KYOTO BASIN BY EARTHQUAKES OCCURRING ON THE HANAORE FAULT, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Japan Association for Earthquake Engineering, Paper No. 20240099
- Thinzar Yadanar, Shinichi MATSUSHIMA and Fumiaki NAGASHIMA, 2025, Estimated Peak Ground Velocity Variability in the Kyoto Basin from Scenario Earthquakes on the Hanaore Fault, DPRI Annual Meeting
- 津野靖士, 山中浩明, 是永将宏, 三宅弘恵, 福元俊一, 2024, 2024年能登半島地震の石川県鳳珠郡穴水町における地震動特性, 日本地震工学会年次大会梗概集, 20240191
- 上林宏敏, 赤澤隆士, 岩田知孝, 2024, 周期10-50秒帯域の観測位相速度による近畿地方の地殻速度構造モデルの検証, 地震学会講演予稿集, S15-01
- 上林宏敏, 岩田知孝, 赤澤隆士, 2024, 超長周期地震動帯域(10-50秒)の観測位相速度による近畿地方の地震基盤以深速度構造モデルの検証 2011 年東北地方太平洋沖地震による関震協観測網記録を用いた検討, 建築学会学術講演梗概集 構造Ⅱ 95-06
- 王澤霖, 楠浩一, 毎田悠承, 坂田弘安, 2024, 等価線形化法を用いた応答変位算定に及ぼす降伏後剛性の影響に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集2024(関東), 構造Ⅳ, pp.491-492
- 綿田辰吾, 2024, T-phase震源決定に海水温が与える影響: 2023年嬌婦海山群発地震を例に, 日本地震学会2024年秋季大会
- 山田伸之, 竹中博士, 2024, 岡山大学津島キャンパスにおける微動探査, 岡山大学地球科学研究報告, 30(1), 13-20, doi:10.18926/ESR/66845
- 山本耕平, 松島信一, 長嶋史明, 2024a, 庄内平野の地下構造推定のための常時微動の単点観測とアレイ観測, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集B2, 21037
- 山本耕平, 松島信一, 長嶋史明, 2024b, 庄内平野での常時微動観測による水平上下スペクトルと推定位相速度, 日本地震工学会第18回年次大会梗概集, 20240107
- 山本耕平, 松島信一, 長嶋史明, 周宇廷, ティンザーヤダナー, 五熊大, 按田悠, 山中宏起, 2025, 庄内平野における地下構造推定のための微動水平上下スペクトル比とレイリー波位相速度の同時インバージョン解析, 京都大学防災研究所令和6年度研究発表講演会, P44
- Yanxue Ma, Rie Nakata, Kimihiro Mochizuki, Yoshitaka Hashimoto and Yohei Hamada, 2024a, Structural control on the shallow tremor distribution linked to seamount subduction: insights from high-resolution seismic imaging in Hyuga-nada, Earth Planets Space, 76, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02082-9>
- Yanxue Ma, Rie Nakata, Kimihiro Mochizuki, Yoshitaka Hashimoto and Yohei Hamada, 2024b, Reflection Full Waveform Inversion for Seamount Subduction Imaging in Hyuga-nada, Japan: Implications for Shallow Tremor Activity, AGU Fall Meeting, S43D-3479
- 吉田侑生, 吉澤望, 川村柊都, 秋月有紀, 大江由起, 山口秀樹, 2024, 避難所の照明の在り方に関する一考察—その1 青年被験者を対象とした教室空間での検討, 照明学会2024年度(第57回)講演論文集, 6-Y-16, pp.38-39
- Yuhi, M., Umeda, S., Arita, M., Ninomiya, J., Gokon, H., Arikawa, T., Baba, T., Imamura, F., Kawai, A., Kumagai, K., Kure, S., Miyashita, T., Suppasri, A., Nobuoka, H., Shibayama, T., Koshimura, S., & Mori, N., 2024a, Post-event survey of the 2024 Noto

Peninsula earthquake tsunami in Japan, Coastal Engineering Journal, 1 - 14.
doi:10.1080/21664250.2024.2368955

Yuhi, M., Umeda, S., Arita, M., Ninomiya, J., Gokon, H., Arikawa, T., Baba, T., Imamura, F., Kumagai, K., Kure, S., Miyashita, T., Suppasri, A., Kawai, A., Nobuoka, H., Shibayama, T., Koshimura, S., & Mori, N., 2024b, Dataset of Post-Event Survey of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami in Japan, Scientific Data, 11(1), 786.
doi:10.1038/s41597-024-03619-z

Zelin Wang, Koichi Kusunoki, Yusuke Maida, 2024, Performance-Based Seismic Design With Consideration of Safe Storage From Errors in Reinforced Concrete Member Estimated Yield Deformation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, DOI: <https://doi.org/10.1002/eqe.4280>

表1. 過去の様々な強震記録と強震観測点周辺の被害状況, MM震度階(拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC09])。

地震	観測点名	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	I _{JMA}	I _{MM}	I _{MM*}	d[%]
1993年御路沖	JMA御路	752.5	42.5	5.95	8.39	7.98	0.0
1995年兵庫県南部	JR鷹取	742.7	155.2	6.48	10.60	9.62	34.9
	大阪ガス釜合	834.0	129.3	6.49	10.26	9.61	15.3
	JMA神戸	848.0	105.7	6.44	9.24	9.14	2.5
2000年鳥取県西部	境港測候所	762.8	85.4	6.01	8.76	8.98	1.1
2003年十勝沖	K-NET標津	602.9	66.3	5.92	8.80	8.47	1.1
	K-NET広尾	985.6	48.9	6.07	8.44	8.05	0.0
2003年宮城県沖	Ofunato(JMA)	1106.9	35.4	5.85	8.00	7.68	0.0
	川口町震度計	1677.9	150.2	6.52	10.34	9.87	18.0
2004年新潟県中越	JMA小千谷	974.0	93.6	6.34	9.02	8.99	1.2
	十日町震度計	1337.1	56.5	5.93	8.39	8.25	0.0
2007年能登半島	K-NET八水	883.8	102.4	6.33	9.85	9.25	18.0
	JMA輪島	472.2	98.7	6.15	9.64	9.19	4.6
	K-NET能都	642.5	25.2	5.55	7.58	7.21	0.0
2007年新潟県中越沖	K-NET柏崎	812.0	127.0	6.37	9.91	9.41	4.2
	柏崎震度計	793.5	125.6	6.33	9.83	9.24	5.7
	長岡震度計	692.6	83.2	6.17	8.31	8.86	0.42
	K-NET糸館	2765.2	100.9	6.67	8.68	9.41	0.58
2011年東北地方太平洋沖	K-NET日立	1951.4	68.5	6.02	8.01	8.65	0.0
	K-NET益城	1313.8	138.4	6.50	10.00	9.73	6.2
2016年熊本(4/16)	西原村小森震度計	866.4	262.1	6.62	10.18	10.51	0.57
	K-NET熊本	843.2	95.2	6.09	8.95	9.05	0.0
	Santa monica city hall	866.8	41.6	5.41	7.75	7.97	1/23
1994年ノースリッジ	Tarzana cedar hill nurse y	1966.5	109.9	6.55	8.87	9.46	0/10
	LA county fire station	731.8	119.5	6.34	9.36	9.17	2/27
	068	530.9	300.1	6.04	9.01	9.87	*2.8
1999年台湾集集	072	464.5	72.8	5.85	8.17	8.70	*9.7
	074	608.4	79.0	6.04	8.89	8.78	*8.7
	129	992.6	69.1	5.98	8.34	8.18	*0.0
2011年クライストチャーチ	REHS	723.8	99.8	6.21	9.59	9.04	15/98
	CCCC	472.4	68.8	5.99	9.24	8.73	2/23
	HVSC	1708.2	101.7	6.45	8.54	9.27	2/21
	PRPC	737.1	123.1	6.11	9.43	9.18	0.0
2023年トルコ南部	3129	1615.0	172.2	6.47	10.09	10.09	**3/83
	3141	975.0	124.6	6.25	9.36	9.64	**1/27
	4615	643.3	152.8	6.20	9.03	9.67	**0/55

PGA:地動最大加速度(水平2方向ベクトル合成)

PGV:地動最大速度(水平2方向ベクトル合成, 加速度波形に0.1-10Hzのバンドパスフィルタをかけて積分)

I_{JMA}:気象庁計測震度, I_{MM}:提案するMM震度階, I_{MM*}:Wald(1999)によるPGA, PGVを用いた算定式

d:全壊・大破率(分数表示:建物棟数が100棟未満, *:崩壊した建物の割合から推定, **:衛星写真より判定)

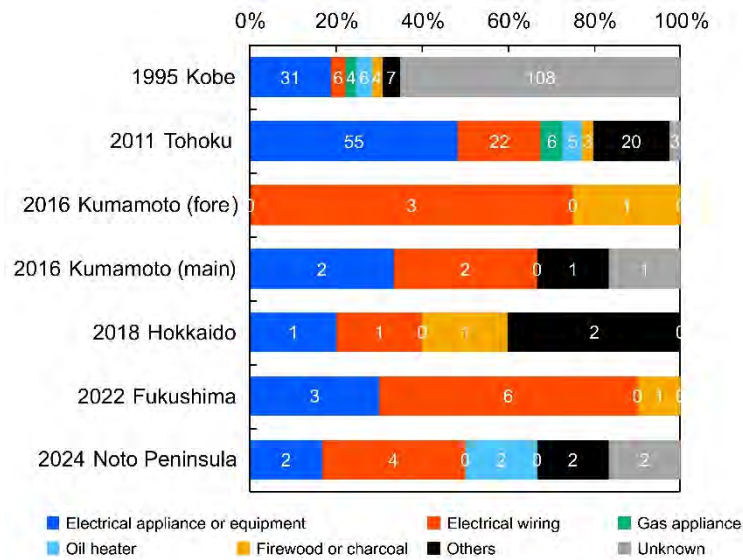


図 1 . 地震動に起因する火災の発火源の内訳 (Nishino(2023)に加筆) (2024年能登半島地震を含む近年の主要 7 地震について) (拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC02])

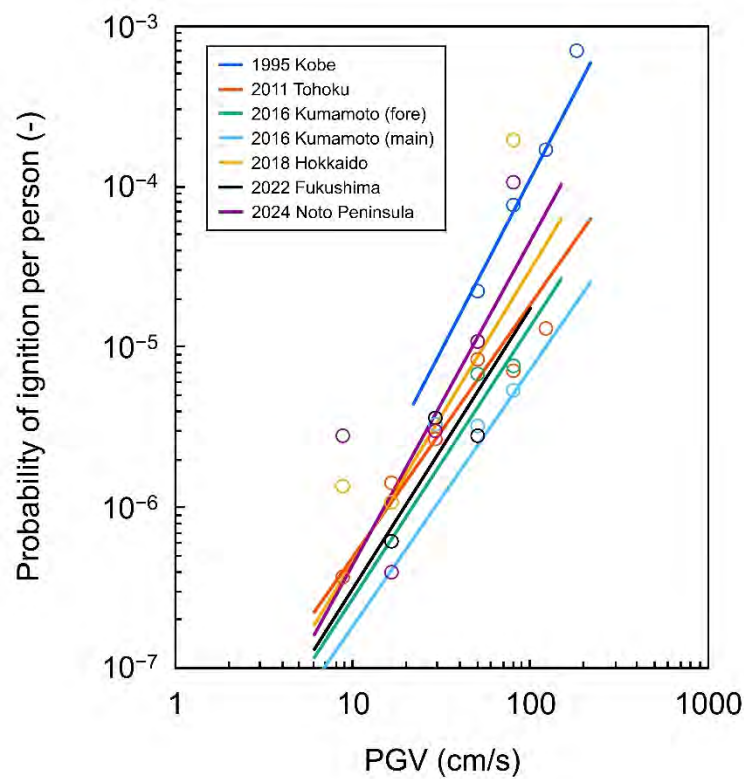


図 2 . 人口一人あたり出火確率と地震動強さ指標の統計的な関係 (Nishino(2023)に加筆) (2024年能登半島地震を含む近年の主要 7 地震について) (拠点間連携共同研究[課題番号:CTOC02])

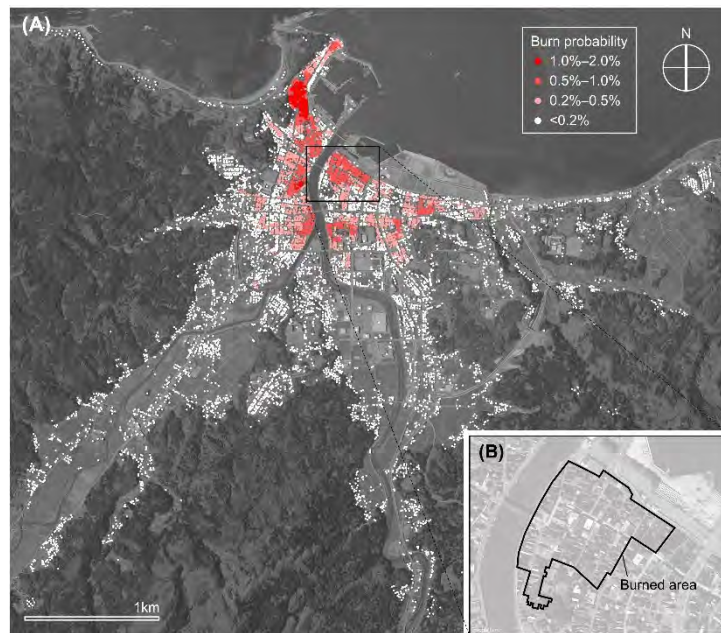


図 3．F43断層モデルを用いた地震火災リスク評価から得られた輪島市中心部の一棟一棟の建物の焼失確率と今回の地震の焼失範囲の関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C02]）

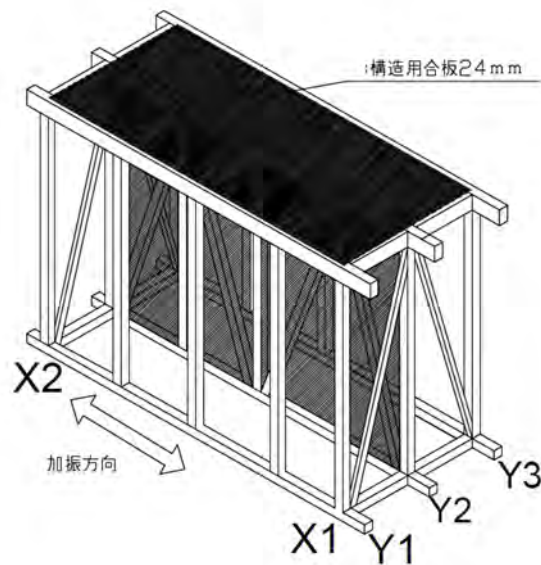


図 4．地震動の破壊力を測る箱形試験体の概要[課題番号：CT0C08]

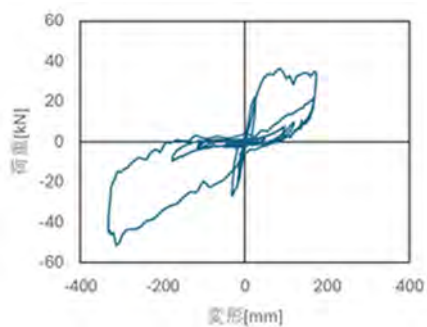


図 5．補修前試験体により得られた荷重変位関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C08]）

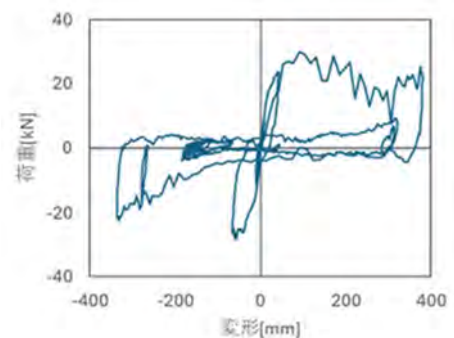


図 6．補修後試験体により得られた荷重変位関係（拠点間連携共同研究[課題番号：CT0C08]）

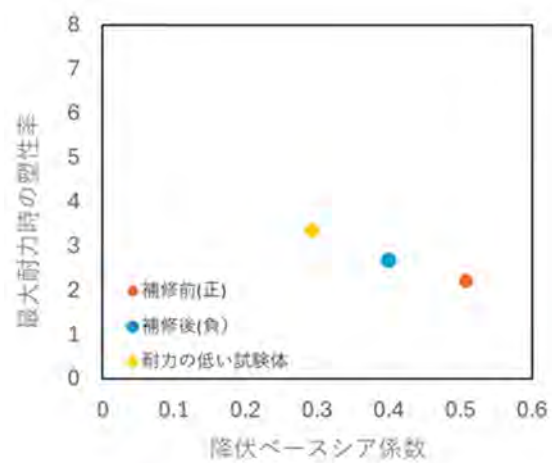


図 7．降伏ベースシア係数と最大耐力時の塑性率の関係[課題番号：CT0C08])

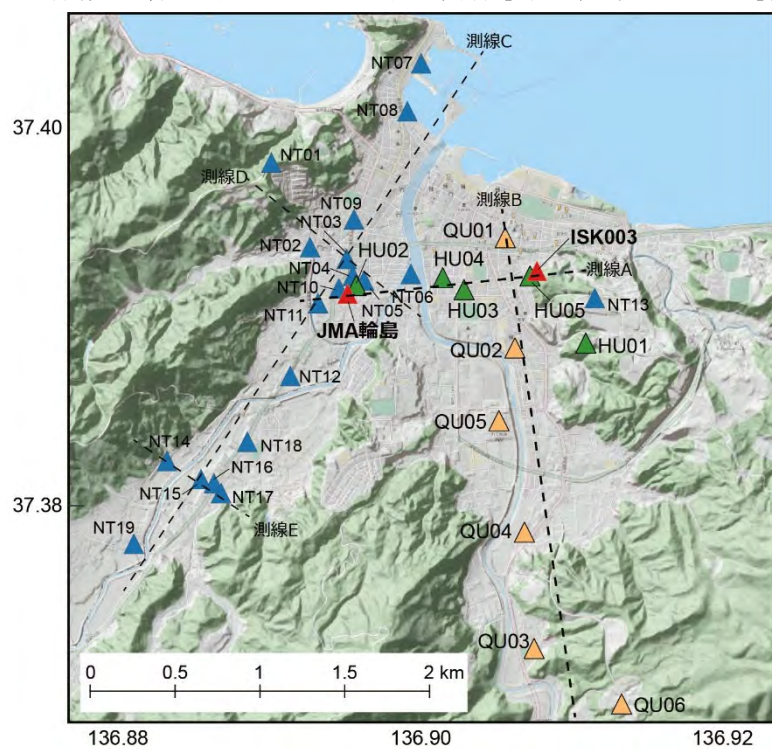


図 8．輪島市における余震観測点分布[課題番号：CT0C10])

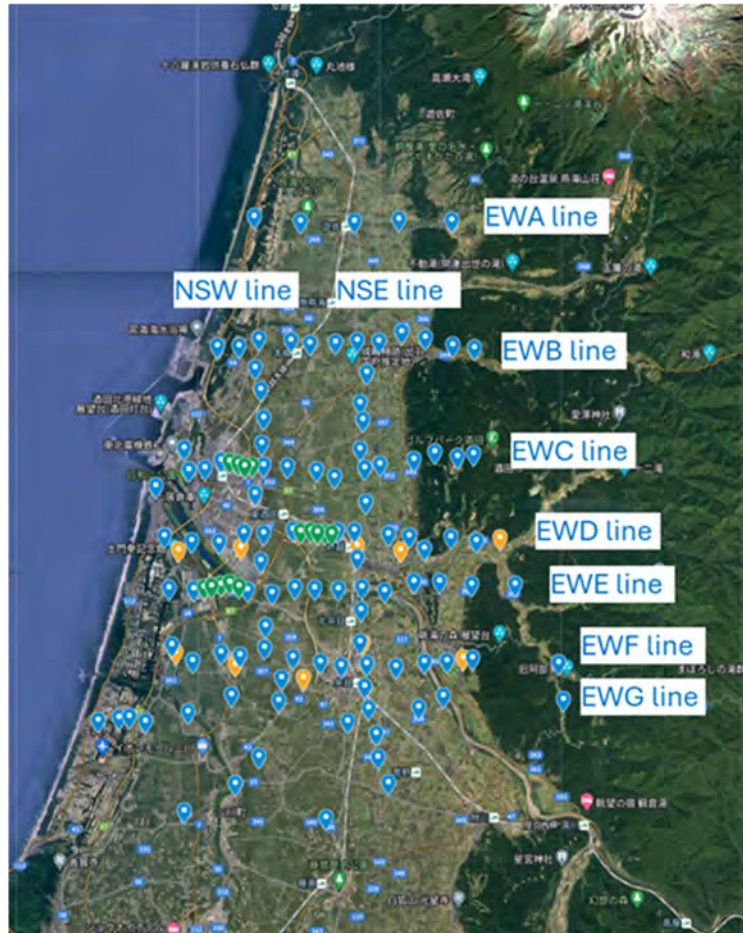


図9．庄内平野で微動観測を実施した観測点配置（Google Mapに加筆）（青：東西，南北測線，
緑：狭間隔測線，黄色：臨時地震観測点）[課題番号：CT0C11]

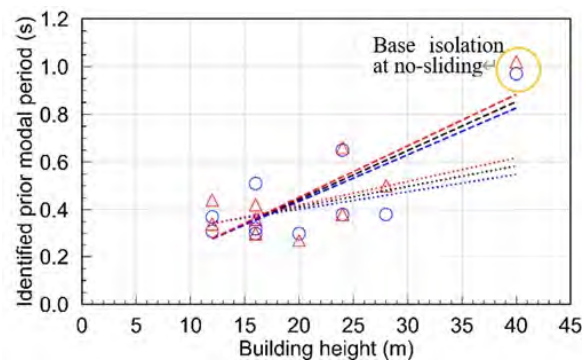


図10．能登半島地震後の病院微動観測結果[課題番号：CT0C07]

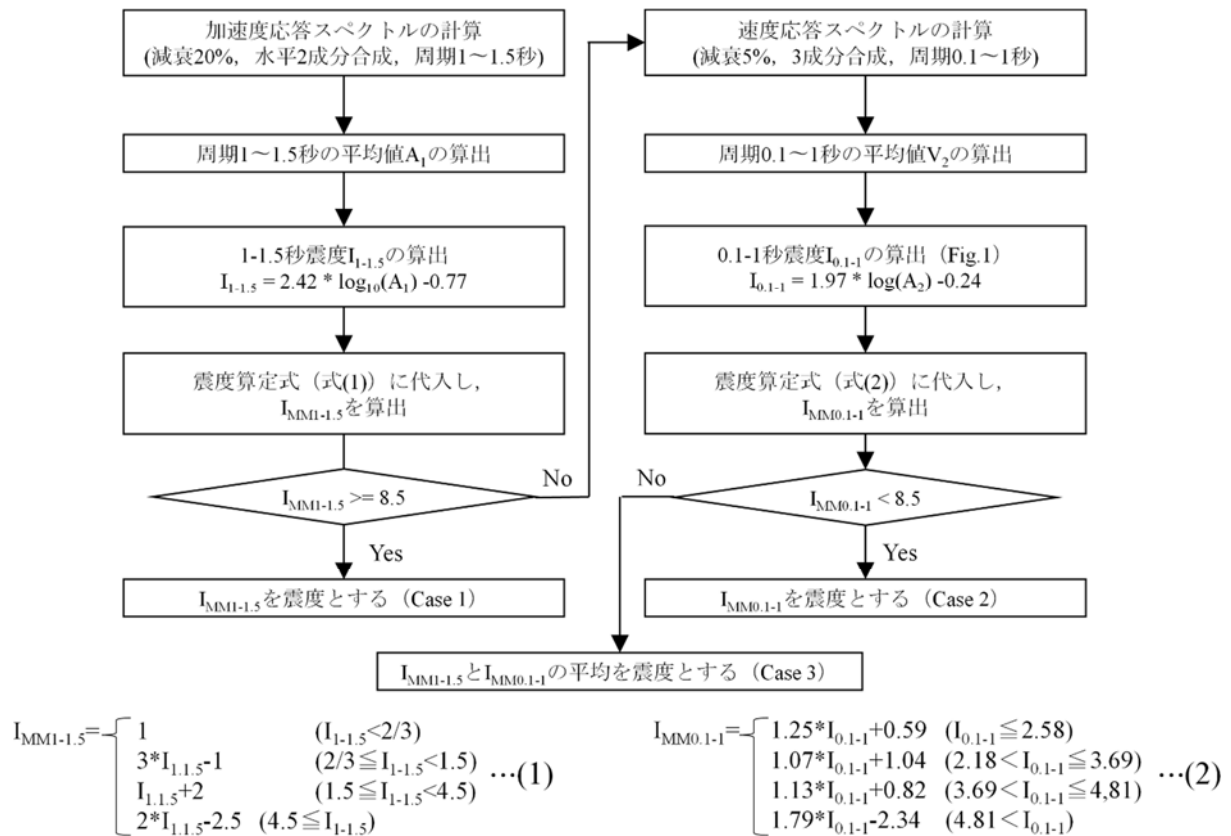


図11. 応答スペクトルを用いたMM震度階の算定フロー[課題番号：CTOC09]

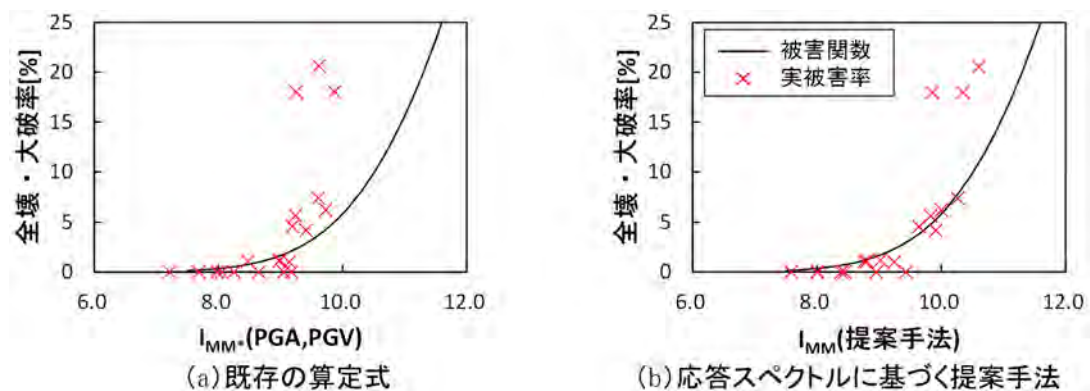


図12. MM震度階の被害関数と実被害率の対応 ((a)既存の算定式, (b)応答スペクトルに基づく提案手法) [課題番号：CTOC09]



写真 1 . 補修後試験体の最終破壊性状[課題番号：CT0C08])