

1 (1) 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の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の意味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定常すべりでの摩擦強度との差に応じて切替えることによるのみ、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 μ/s 、0.05 μ/s 、0.15 μ/s 、1.5 μ/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 25~200°C、軸変位速度 0.1-10 $\mu m/s$ 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関数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ヤイト相転移(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）。

別府一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て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ての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 年カイコウラ地震震源域において，トモグラフィ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・カイコウラ半島付近の上部地殻に地震波速度高速域が確認され，カイコ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な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一由布院周辺、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. Vachirastienchai 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

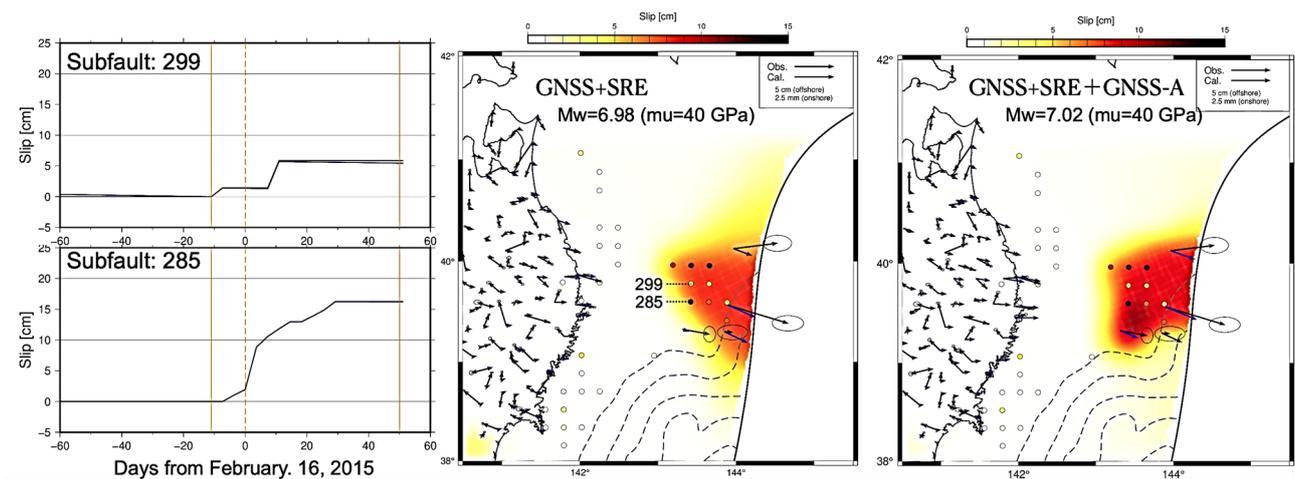


図 1. 2015年 2 月 16 日三陸沖の地震に伴う非地震性すべり分布の推定結果（東北大学理学研究科 [課題番号：THK_01]）

（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。

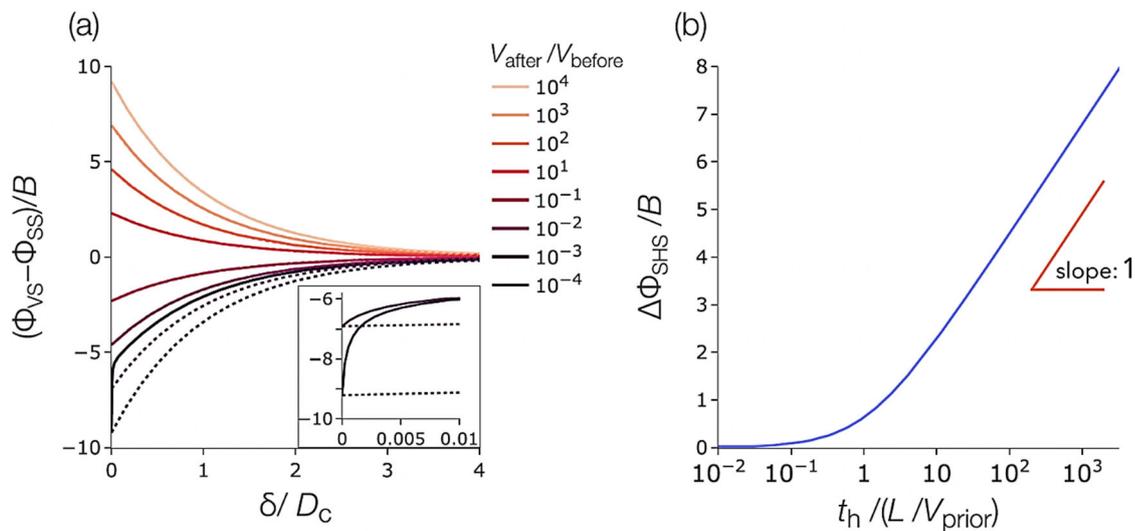


図 2. 2015 年 2 月 16 日三陸沖の地震に伴う非地震性すべり分布の推定結果（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI_03]）

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。

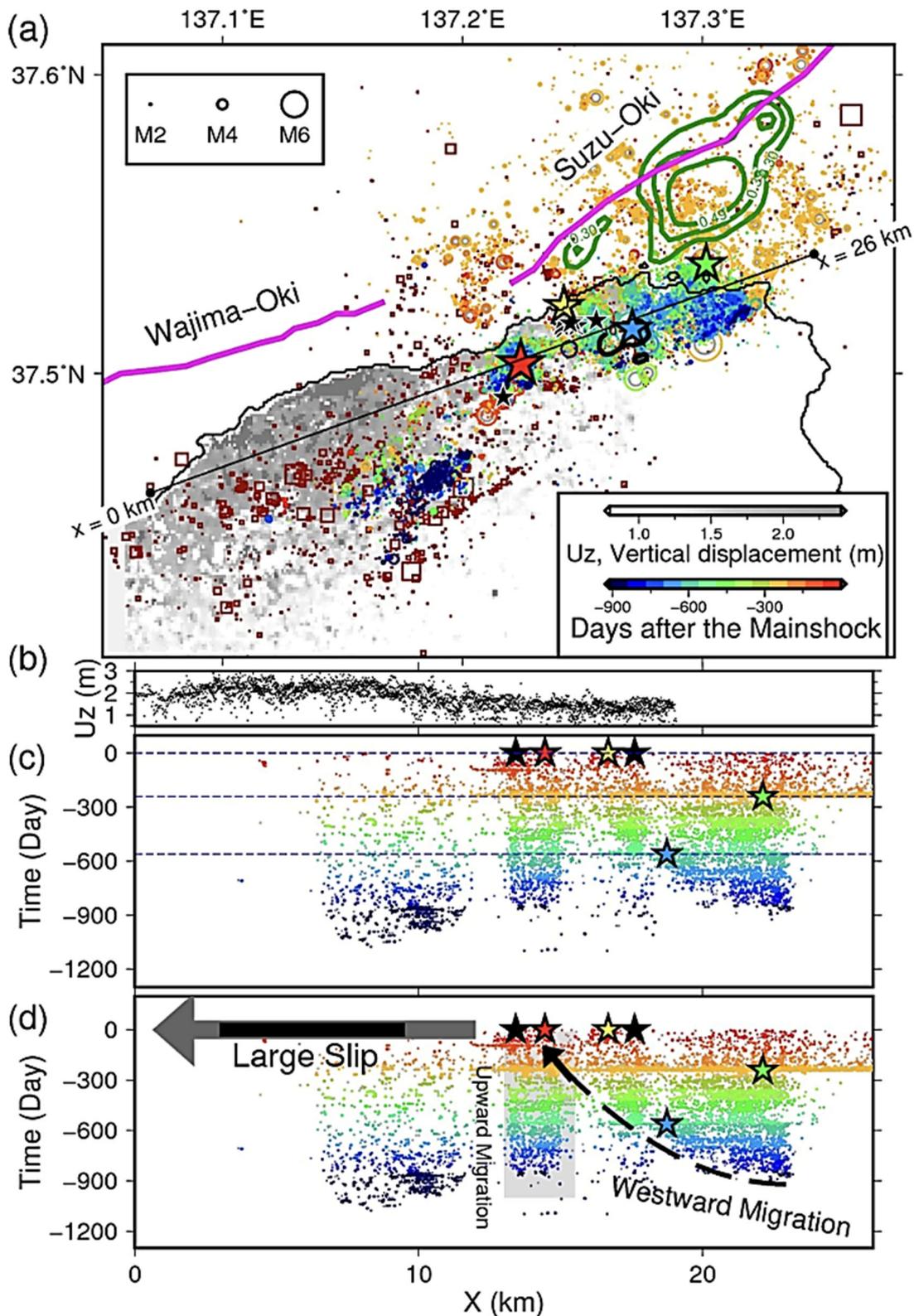


図3. 能登半島地震発生域における断層構造と微小地震のマイグレーション (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI02])

(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。

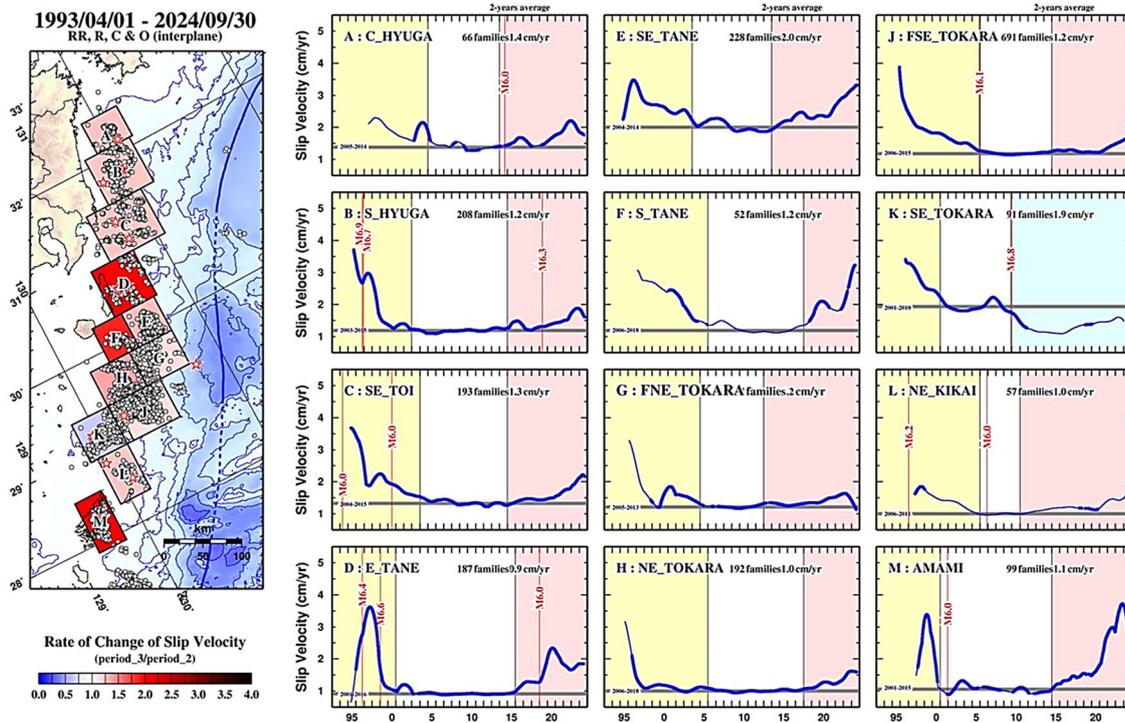


図4. 日向灘中部一奄美大島にかけての各小領域における準静的すべり速度の時間変化 (鹿児島大学[課題番号: KGSM01])

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, Period3とした。左図の各領域の色は、Period2とPeriod3の速度比を表す。

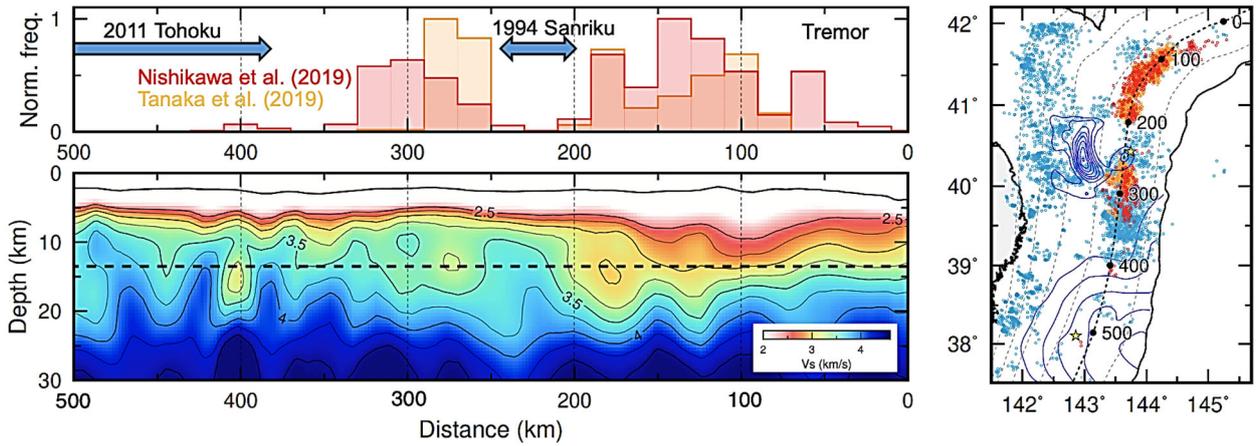


図 5. 日本海溝北部における微動と S 波速構造の空間相関（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）

（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。

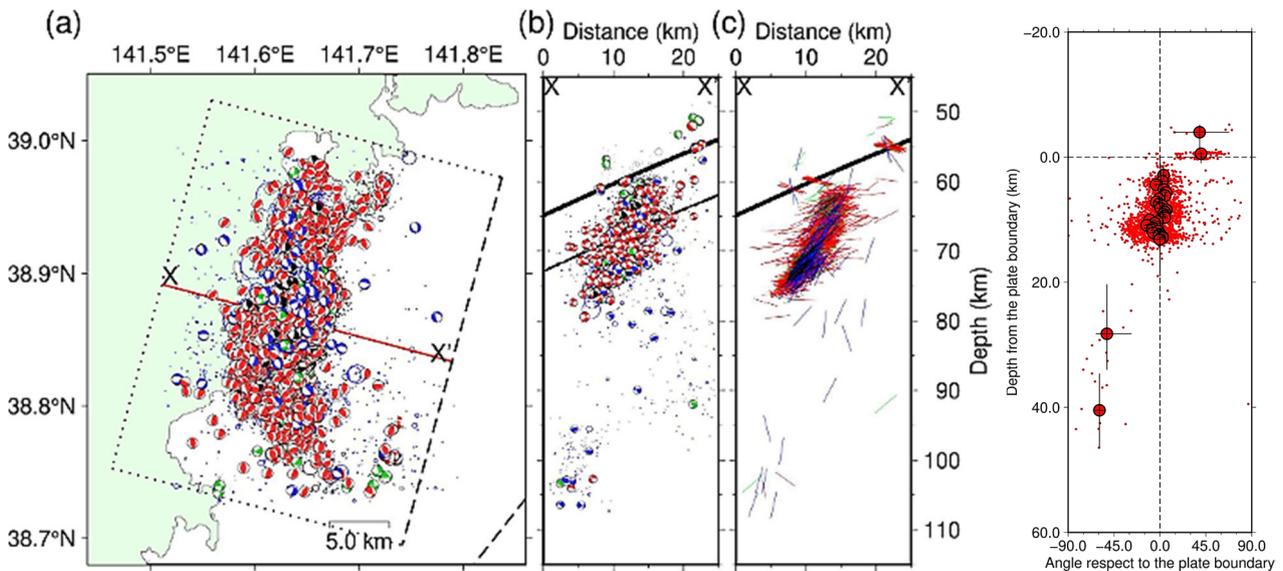


図 6. 短周期モーメント・テンソルインバージョンによるプレート境界およびスラブ内地震のメカニズム解の分布（東北大学理学研究科[課題番号：THK_04]）

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

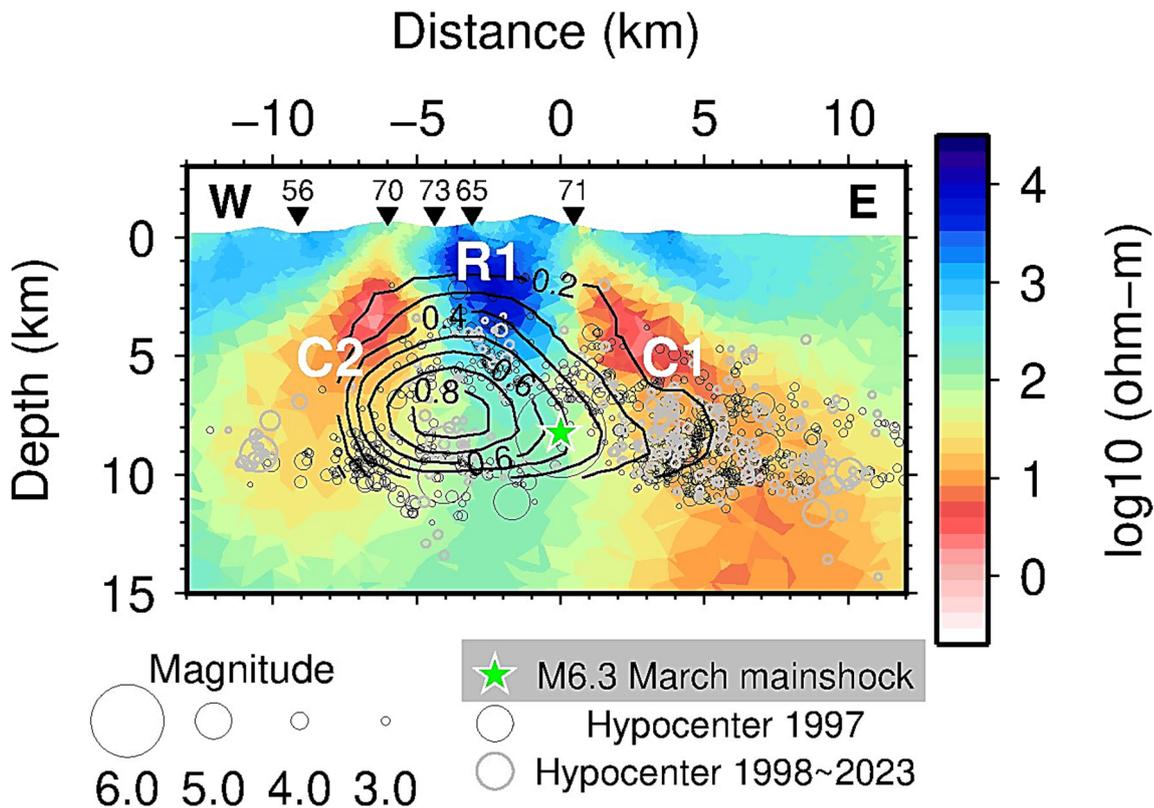


図 7. 1997 年 3 月の鹿児島県北西部地震の破壊面に沿った比抵抗断面（九州大学[課題番号：KYU_02]）
 R1 は高比抵抗体，C1 および C2 は低比抵抗体を示す。コンターは Horikawa (2001) による断層すべり分布（単位は m）。地表の逆三角は断面近傍の観測点の位置を示す。

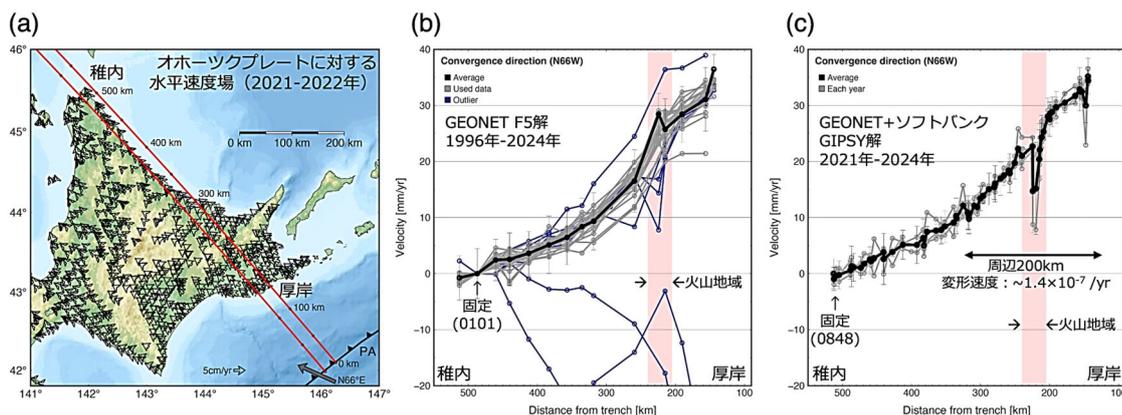


図 8. 水平変位速度場とプレート収束方向の速度プロファイル（北海道大学[課題番号：HKD_04]）
 (a) 速度場の例（ベクトル）とプロファイルの測線（赤線で囲んだ地域の 20km）。プレート運動モデル GSRM v1.2 (Kreemer et al., 2014) を使って，プレート運動の影響を除いている。(b) 1996 年から 2024 年までの GEONET F5 解による 1 年ごとの変位速度のプロファイル（灰色）と，その平均（黒）。青線は地震時・地震後の影響を受けた期間のプロファイルで，平均の算出に使用しなかったもの。(c) 2021 年から 2024 年までの GEONET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

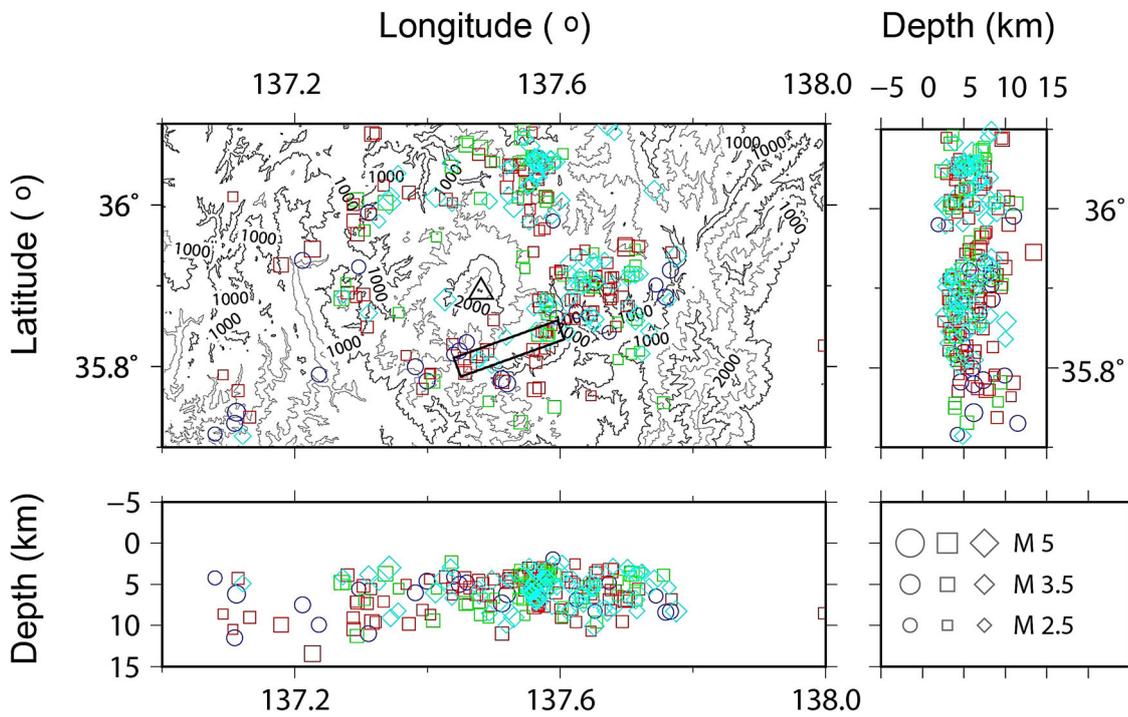


図 9. 御嶽山周辺域で発生した地震のクラスター解析 (名古屋大学 [課題番号: NGY_02])
 本震・単独地震の規模が 2.5 以上のものを示している。△は御嶽山、矩形は 1984 年長野県西部地震。青い○は単独地震、赤い□は本震・余震型の本震、緑の□は前震・本震・余震型の本震、水色の◇は群発地震の中で最も規模の大きい地震を示す。