

1 (1) 地震 (現象説明)

「地震 (現象説明)」計画推進部会長 飯高 隆

(東京大学・大学院情報学環)

副部会長 望月公廣

(東京大学・地震研究所)

副部会長 岡田知己

(東北大学・理学研究科)

地震や火山噴火が多発する我が国において、地震、火山噴火及びこれらによる災害を科学的に解明することにより、災害軽減に貢献することを目指して、地震・火山の観測研究を推進することは非常に重要である。地震が、どこで、いつ、どのようなメカニズムで、どのような頻度で発生したかについての解明は基本的な情報となる。地震現象の根本的な理解を深めるためには、低頻度大規模現象を含む地震現象の多様性について特性を理解し、それらの現象が発生する仕組みや発生する場について観測研究・理論研究・実験研究の多方面からアプローチすることが大切である。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

日本海溝に沿った約250kmの範囲で取得された海底堆積層コアから、2011年の東北地方太平洋沖地震の影響を放射性同位体元素の濃縮度から特定した(海洋開発研究機構[課題番号: JAMS02])。地震時に形成された音響的に透明で均質な層は、通常起こる高周波の地震動、および上盤プレートの物性に起因する低周波かつ長時間の地震動に関連して堆積した可能性を明らかにした。また、琉球海溝における海底堆積物の解釈を目的として、水深6,147 mから採取したコアに対して解析を行った。XRFコアスキャナーによる1 mm間隔の化学組成データから、36枚のタービダイトを識別した。さらに、Zr/Rbピークが主に粒径を反映すること、半遠洋性泥はタービダイトに比べて全有機炭素と全窒素の含有量がやや高いという特徴、また磁気測定結果から、台湾からの堆積物の供給が高い時期があった可能性があることを明らかにした。

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度で大規模な地震現象の発生履歴、規模、場所の解明は重要な課題である。2011年東北地方太平洋沖地震発生域周辺の地震波構造調査の結果から、非常に大きな浅部滑りがあった箇所には逆断層とそれによる変形構造が見られ、浅部滑りが小さかった場所にはそのような構造は見られないこと、さらに主破壊域北側海溝軸付近で報告されている津波波源域では海溝軸陸側の海底で斜面崩壊が認められることがわかった(海洋開発研究機構[課題番号: JAMS02])。沈み込み帯浅部の構造的な特徴は、巨大地震の浅部滑りと関連している可能性があることを示唆していると考えられる。

17 世紀に超巨大地震が発生し、近い将来にも巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖で実施された地震波構造調査のデータを用いて、走時トモグラフィ解析を行った（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）。海溝軸周辺に海底地震計を展開することにより、先行研究より陸側プレート最前縁部の構造モデルの分解能が改善され、断層すべりが海溝軸まで達した、日本海溝北部に類似した低 V_p の堆積物ウェッジが存在することが明らかとなった。このウェッジの分布が、17 世紀超巨大地震の津波堆積物分布を再現するためのモデルに設定された海溝沿いの断層の位置と概ね対応することがわかった（図 1）。

この構造調査と同じ根室沖の海域にて、GNSS/A (GPS/A) 観測が実施された。2 回の測距の結果を比較すると、いずれの観測点においても 9cm/a 以上の速度で北西に変位していることを示す結果となった（図 2）（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]、東北大学災害科学国際研究所[課題番号：IRID02]）。根室沖に設置した 3 箇所の GNSS-A 観測点（G21, G22, G23）のうち、プレート運動より大きな速度となった G21 では誤差が大きいものと見られる一方で、太平洋プレート上に設置した G23 はプレート運動に近い速度が得られ、G22 からは全体としての強い固着が覗かれる結果となった。上下変位速度については、中心海底局設置によって大幅な精度の向上が確認できたが、現段階では固着について言及できる精度ではない。観測データがもつ誤差を考慮すると、今後同様の観測を継続することで、プレート境界浅部における固着状態を明らかにすることが期待できる。

一方、日本海溝沿い、および南海トラフ沿いの海溝型地震震源域海底においても、GNSS-A による地殻変動観測を継続している（海上保安庁[課題番号：JCG_03]）。日本海溝沿いでは、東北地方太平洋沖地震の余効変動が続いていることが明らかとなり（図 3）、南海トラフ沿いでは、プレート境界固着の影響による地殻変動がとらえられている（図 4）。観測データ誤差の共分散項の導入や事前分布を制御するハイパーパラメータを ABIC で選択するなど、統計学的に適切な手法を用いることで、GNSS-A の最大の誤差要因である音速変動を適切に推定することを可能とした。一方、観測の効率化に向け、海上における測量船の観測範囲及び海底局アレイのサイズが測位精度に与える影響についてシミュレーションによる検証を行った結果、これまでの観測アレイのサイズが最適であることが確認された。このように海底地殻変動観測の高度化を進めており、大地震発生ポテンシャルの把握に向けた海域下プレート境界における固着状況のモニタリングが可能になりつつある。

低頻度大規模地震は国内での発生回数も限られるため、このような地震を理解するためには海外での観測も重要である。メキシコ・ゲレロ州沖合で回収された地震計記録を解析し、微小地震活動および低周波微動の分布を求め、海底地形（残差地形）と比較した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）。結果として、ゲレロ空白域内の浅部プレート境界の一部では、通常地震や低周波微動のいずれも発生しない領域が存在し、これらの領域はプレート境界面上の窪みに起因すると考えられる残差地形の負の領域に対応することが分かった。この窪地に蓄積して沈み込む海洋性堆積物がゲレロ地震空白域の要因となっている可能性が考えられる。

また、1964 年 3 月 27 日に $M_w9.2$ の巨大地震が発生したアラスカにおいては、アラスカ南部地域の地殻および上部マントルの地震波速度とポアソン比の 3 次元微細構造を明

らかにし、2018年11月30日に起こった Anchorage 地震 (Mw7.1) と 1964年アラスカ巨大地震の震源域の構造と発生メカニズムについて調べた (東北大学[課題番号: THK_05])。その結果、2018年 Anchorage 地震 (Mw 7.1) は沈み込んでいる太平洋スラブの中で起こった正断層型の地震であったことがわかった。震源の上下に顕著な低速度・高ポアソン比の異常体が存在し、スラブの脱水による流体を反映するものと考えられる。一方、1964年アラスカ巨大地震 (Mw9.2) の震源は megathrust zone における構造の急変部に位置し、震源真上の北米プレートに顕著な高ポアソン比の異常体が存在することがわかった。太平洋スラブの脱水と震源域の構造不均質がこれらの大地震の発生に影響を及ぼしたと考えられる。

海陸地殻変動観測に加え衛星による重力観測のデータの利用も視野に入れた広域粘弾性変形モデルを構築し、低頻度の巨大地震発生サイクルにおける地殻変動のふるまいを理解するための理論的研究も進められている (東京大学理学系研究科[課題番号: UTS_02])。M9 規模の矩形断層が引き起こす地震時の弾性変形について、半無限モデル (Okada) と球体モデル (PREM) に対するフォワードモデリングを行った結果、震央付近から最大変位が生じる地点までの変動量はほぼ一致するものの、その外側 (海溝側、陸側) では半無限モデルの振幅が非常に大きくなることが分かった。また、球モデルにおいて弾性定数の水平不均質を考慮して地震時の弾性変形を計算する手法を開発した。2次元モデルにおける予備的な計算を行ったところ、震源での弾性定数の水平不均質の効果が大きいことが分かった。

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

日本海溝に沈み込む海洋プレートの基盤岩から被覆層堆積物までの試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度・封圧・間隙水圧条件下で三軸摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化について再検討した (東京大学地震研究所[課題番号: ERI_05])。実験の結果、定常摩擦係数 μ_{ss} は粘土鉱物含有量の増加に伴い系統的に低下し、また温度上昇に伴い増加する傾向が認められた。一方、 $a - b$ 値は温度上昇に伴い減少し、チャート試料は50~100 °C、玄武岩試料は約100 °C、半遠洋性粘土試料は100~150 °C、遠洋性粘土試料は150~200 °Cでそれぞれ正から負へと変化し、負になる温度は粘土鉱物含有量が多いほど高くなった (図5)。この実験結果は、同一温度 (深度) でも断層帯構成物質 (粘土鉱物含有量) の相違によって非地震性~地震性の多様な断層運動が起こることを意味しており、日本海溝沈み込み帯で観察される南北方向の地震活動の不均質が断層帯構成物質 (粘土鉱物含有量) の不均質を反映していることを示唆している。

中下部地殻での岩石破壊にともなう水理学パラメータを制約するために、天然の岩石一流体反応帯から流体活動時間・流体圧・浸透率を制約する新たな手法を確立した (東北大学[課題番号: THK_02])。未破壊の地殻の浸透率は $10^{-22} - 10^{-20} \text{ m}^2$ と非常に低く、き裂を含む破砕された地殻の浸透率は $10^{-16} - 10^{-10} \text{ m}^2$ と数桁上昇することを示した。従来の地殻浸透率見積り (10^{-18} m^2 ; e.g., Ingebritsen and Manning, 2010) は百万年スケールの時間平均であったが、本研究によってその平均浸透率が、未破壊地殻 ($10^{-22} - 10^{-20} \text{ m}^2$)

の破壊による時間～年スケールでの浸透率上昇によって説明できるとともに、中下部地殻における地殻流体圧・浸透率変動の物質科学的な証拠をつかむことにも成功している。これらのことから、地震発生と流体のエピソディックな振る舞いの時空間分解が期待できる。一方、立ち上がりが類似した地震波の検出法を改良し、震源（破壊開始点）の精密決定法を開発した（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_03]）。この手法により、破壊開始点およびセントロイドの相対位置それぞれを独立に、高精度で決定できるようになった。小地震では破壊開始点とセントロイドの位置は同一とみなすと、地震発生域に小地震からなる座標系を設定して、その上に大地震の破壊開始点とセントロイドをマップすることが可能になる。この手法を常陸那珂沖ほか数地域の繰り返し地震を含む地震活動に適用した。常陸那珂沖では異なるサイズの地震の破壊開始点が集中する場所が数か所発見され、これらの場所が特に地震の開始しやすい場所になっていることが分かった。

イ. 地震断層滑りのモデル化

アスペリティでの応力集中による塑性変形は、摩擦面の原子格子構造を大きく乱す要因として挙げられ、微小なアモルファス系の剪断に伴う構造緩和が摩擦の原子論的過程であると考えてよいという背景と動機から、アモルファス系のレオロジーとその微視的素過程に関する研究が行なわれた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_04]）。従来知られていた速度弱化メカニズムは接触面積の拡大だったが、剪断変形におけるアモルファス系特有の遅い構造緩和過程によって接触面積が一定の場合でも速度弱化が発生する可能性が示された。また簡単な分子動力学シミュレーションによって、構造緩和の時系列特性を幅広い密度領域で確認し、臨界密度においては応力の緩和挙動がベキ的になることが確かめられた。

空間ドメインでの境界積分法については、摩擦法則に基づいて断層の滑りの時空間発展を計算するシミュレーションにおいて広く用いられている。この方法において、従来の手法に比べて圧倒的に広い条件で数値的に容易な時間発展計算手法を見つけた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_06]）。このことにより計算メッシュが柔軟に設定できるので断層の不均質をとりこんだ動的シミュレーションが容易になり、また、破壊モードが混在していても安定に計算できるので、非平面な断層を扱うにも有利になると考えられる。さらに、タイムステップを大きくとることができて計算速度も改善することができるようになった。

昨年度、水と塩の二成分流体の二面角を調べ、わずか1～数 wt. %の塩が加わるだけで、二面角が純水の場合よりも大きく低下し、カンラン石の表面を良く濡らすようになることを明らかにした（東北大学[課題番号：THK_02]）。これは、沈み込み流体が蛇紋岩として固定される前弧域と、流体がマントルを融解させる領域の間に、マントル岩の粒間に流体が共存する領域があり、沈み込んだ流体がマントルを浸透して前弧域に直接抜けている可能性を示している。しかし、もう一つの重要な副成分である二酸化炭素は、塩とは反対に二面角を増加させるため、塩と二酸化炭素の効果の競合関係を理解する必要がある。このような問題意識の下、多成分流体の実験を行った結果、二酸化炭素と比べて塩の方が二面角に効果的に作用するため、多成分流体がカンラン石表面を良く濡らすこ

とを突き止めた（東北大学[課題番号：THK_02]）。さらに、沈み込み帯相当の低温高压条件下では、カンラン石の炭酸塩化反応により、流体中の二酸化炭素濃度が大幅に低下するとともに、生成した直方輝石と菱苦土石の影響により、さらに二面角が低下することが明らかになった（図6）。また、多成分流体は二面角が小さく、岩石の溶けた融液に近い分布形態を示す一方で、流体と融液では、弾性的性質に差があることから、地震波トモグラフィデータに基づいて、楔形マントル内の流体と融液を区別してマッピングできる可能性がある。

南アフリカ金鉱山での観測研究もすすみ、M5.5の地震断層が確認された Lamprophyre dyke の Intact 部分では、XRD 分析によってタルクや黒雲母などが確認されていた（立命館大学[課題番号：RTM_01]）。その Intact 部分の高知コアセンターでの V_p 、密度、磁化率の非破壊分析結果と比較したところ、タルクを多く検出した Lamprophyre dyke の密度と磁化率が有意に高く、 V_p が有意に低いことが明らかになった（立命館大学[課題番号：RTM_01]）。

（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

海溝の海側には、一般的にアウターライズ（海溝外縁隆起帯）と呼ばれる地形的高まりが認められる。これはプレートの沈み込みに伴う屈曲によって形成され、海洋プレート浅部は伸張応力場となる。そのため海洋性地殻を断ち切る正断層群が発達するとともにホルスト・グラベン（地塁・地溝）構造が形成され、正断層型の地震（アウターライズ地震）が海洋プレート内部で発生する。巨大津波を引き起こす大規模なアウターライズ地震は海溝型巨大地震の発生後に連動して発生することが知られている。宮城沖と三陸沖のアウターライズで反射法地震探査を実施し、ホルスト・グラベン構造を形成する多数の海底活断層（アウターライズ正断層）の高解像度構造をイメージングした（東京大学大気海洋研究所[課題番号：AORI01]）。その結果、三陸沖と宮城沖のアウターライズで正断層の発達様式が著しく異なることが明らかになった。fault offset の場合、三陸沖の方が宮城沖より大きい。三陸沖では主に海溝近傍でプレートの折り曲げによって形成した新しい断層が発達しているのに対し、宮城沖では新しい断層と古い断層が混在して存在する。また、宮城沖では堆積層の基本層序（遠洋性堆積物、チャート層、玄武岩）が維持されながら正断層が発達するが、三陸沖では海溝海側約 75 km 付近から海溝側へチャート層が不明瞭となり、層厚が著しく減少する。このように三陸沖と宮城沖のアウターライズで正断層の発達様式が異なる要因はプチスポット火山活動の有無が考えられる。

S-net で観測された常時微動記録に地震波干渉法を適用し、観測網全域にわたる表面波トモグラフィを行った（東北大学[課題番号：THK_02]）。特に、マルチモードの表面波分散曲線の推定手法を開発し、レイリー波基本モード・1次高次モードおよびラブ波基本モードの位相速度マップの推定に成功した（図7）。三陸沖北部の前弧最先端部において周期 14 秒のラブ波位相速度が低速度となっており、Tsuru et al. (2002) によって構造探査から得られている沈み込む堆積層厚の空間分布と調和的である。また、2011年東北沖地震の大すべり域（Iinuma et al., 20012）と根室沖の微小地震空白域（Takahashi

and Kasahara, 2007) では高速度であり、プレート境界におけるすべり様式と S 波速度構造の対応関係が示唆される。

房総半島沖では自己浮上式海底圧力計 2 台を今年度新たに設置し、計 6 台での観測を続けている。また、2018年に発生した房総沖スロースリップについて、海底圧力計データの解析を行った(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_05])。4 台の圧力計データ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成分に分け、海洋変動と思われる成分を除去し、残りの成分にパラメトリックモデルを当てはめてスロースリップによる変動の抽出を試みた。その結果、全 4 地点で 1-2 cm の隆起が見られた。

四国南東部の徳島県海陽町から 2000 年鳥取県西部地震の震源域の北端付近に位置する米子市まで南南東-北北西に延びる測線において、南東部で 2014 年~2017 年に行われたリニアアレイ観測で得られたレシーバ関数と北西部で 2002 年~2004 年の合同観測で得られたレシーバ関数(Ueno et al., 2006)を用いて、レシーバ関数イメージを作成した(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI02])。その結果、フィリピン海スラブ内の海洋モホ面とフィリピン海スラブの上面が明瞭にイメージされ、四国東部下に沈み込むフィリピン海プレートはとても緩やかな傾斜(約 6 度)で、少なくとも中国地方の中ほどまで存在していることがわかった。また、大陸モホ面は測線北端の深さ 30 km から南端の深さ 15 km まで南南東上がりにフィリピン海スラブの上方に位置していると考えられるが、測線の両端部以外では明瞭にイメージされなかった。徳島市から愛媛県西予市まで東北東-西南西に延びる測線においてもレシーバ関数を追加して、レシーバ関数イメージが更新された(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI02])。

日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に、その地震発生前 2 年間の準静的すべり速度を求め、時間変化について調べた(鹿児島大学[課題番号:KGSM01])。その結果、日向灘中部から奄美大島にかけての広域で準静的すべり速度が概ね全般的に増加していること、この中でも M6.3 が発生した日向灘中部、M6.0 が発生した種子島東方、奄美大島付近と大隅半島南東沖は周囲に比べて準静的すべり速度の増加が相対的に大きいことがわかった。これとは逆に、奄美大島北東沖では準静的すべり速度が明瞭に低下していることがわかった(図 8)。

南西諸島海溝において、令和元年度に設置した 20 km スパンの海底地震計アレイデータを用いて、期間中に発生した浅部低周波微動(以降、浅部微動)の震源決定を実施した(鹿児島大学[課題番号:KGSM01])。最も活発な活動は令和元年(2019 年)9 月から 10 月にかけて発生した。また、マイグレーションを伴う活動も複数回確認されたが、マイグレーション方向は南北両方向に存在している。また、断続的な活動ながらゆっくりとした速度でマイグレーションしている様な活動も見られ、この地域において複数のスロー地震活動パターンがあることが示唆された。浅部微動の分布は、前計画中に実施された臨時観測から求められている分布とも非常によく似ており、観測点数や配置が全く異なる観測網で同じような分布が得られたことから、浅部微動の分布形状の特徴は、この領域において普遍的なものである可能性が高い。

南海トラフ熊野灘での浅部低周波地震(VLFE)については、既存三次元地震探査データの再解析に基づき、地質構造と発生分布の関係を明らかにした(海洋研究開発機構[課題番号:JAMS02])。沈み込む海洋地殻の上面には地殻内断層に起因する起伏に富み、その

上に位置する付加体には覆瓦衝上断層が発達しており、半遠洋性泥質物を主体とする厚い底付けされた堆積層の内部に衝上断層群のデタッチメントが複数確認された。さらに、衝上断層群を切る横ずれを伴う共役な断層群が認められ、プレート沈み込み方向と斜交する最大水平圧縮応力の方向が特定された。また、最大水平圧縮応力の方向は、局在する VLFE と海洋地殻隆起部との位置的關係および低角逆断層型 VLFE のすべり方向と調和的であった。以上から、南海トラフ熊野灘では海洋地殻上面の起伏が上載堆積物内の応力場に影響を与え、堆積層内の既存すべり面に沿う VLFE の発生に寄与していると考えられる。

日向灘では、浅部低周波微動震源域下端と小繰り返し地震発生領域上端の境界付近に観測網を構築し、スロー地震と通常地震の境界領域における地震活動、特にそれらの震源の位置関係や深さの議論を進めるための観測を開始した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI01]）。一方、これまでの観測で得られたデータの解析を進め、2017年～2018年にかけて発生した浅部微動活動の時空間発展を明らかにした。2013年と2015年にもマイグレーションを伴う比較的規模の大きな浅部微動活動が確認されているが、2017～2018年の活動はそれらに匹敵する活動であった。南から北へのマイグレーションと RTR を伴っていること、間を空けて複数回マイグレーションが発生していたこと、さらには観測網が全く異なっているにもかかわらず震央位置がほぼ同じ場所に決まっていることから、2017～2018年の活動は2013年活動の再来であったとも考えられる。この微動活動の南限が種子島東方沖まで連続的に広がっていることが確認されるとともに、その分布や活動度が九州パラオ海嶺の沈み込み構造によって規定されていると想定される。

日向灘ではさらに、3年間に3回にわたって発生した浅部超低周波地震活動の震央分布を調べたところ、沈み込んだ九州パラオ海嶺上の活動は深さ10 kmより深く、それから東に外れた活動は10 kmよりも浅いプレート境界で発生していることが明らかとなった（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS02]）。低周波地震の活動に関しても、九州パラオ海嶺の沈み込み構造が影響していることが示唆される。

このようなプレート境界浅部におけるスロー地震については、海外における観測研究も進められている。2018年10月にヒクランギ沈み込み帯北部のギズボーン沖に設置し、2019年10月に回収された5台の海底地震計で取得したデータの解析がおこなわれた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_08]）。この観測期間中の2019年3月から4月にかけて、観測網直下で大規模なスロースリップ（SSE）が発生し、これに伴って活発な微動も観測された。この領域では、2014年にSSEが発生し、そのすべりは沈み込む太平洋プレート上の海山を避けるように分布しており、またそれに伴う微動がその海山上に限って活動していることがわかっていた。2019年3月のSSEに伴う微動活動は、2014年の微動活動と同様、SSEのすべりが終息する時期に活動が活発化し、およそ3週間にわたって継続したことがわかった。その活動規模は2014年の活動を遥かに凌ぐものではあるが、活動分布は2014年と同様に沈み込む海山上で発生していることが明らかとなった。本海域では国際協力で3次元屈折法地震波構造調査を実施しており、3次元P波速度構造とその方位異方性構造を推定した（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS02]）。付加体内P波速度の速い軸はプレート沈み込み方向におおむね一致し、クラックの偏向と断層に沿って発達する粘土鉱物の層構造を反映していると考えられる。沈み込む海山の本体と考えら

れる高速度体も3次元的にイメージングされた。これらの結果から、海域下プレート境界における低周波地震の発生様式には、沈み込むプレートの表面形状が影響している可能性が示されている。

プレート内地震の研究では、東北地方・北海道下の上面地震帯の深さ 100-130 km で発生する6つの地震クラスターについて、波形相関走時差 DD 法による精密震源推定およびメカニズム解を推定した（東北大学[課題番号：THK_06]）。その結果、どのクラスターも1-2 km 四方の領域で主に逆断層型の地震活動であることがわかった。5つのクラスターでは正断層型地震も伴い、逆断層震源より浅い側で多く発生した。こうした downdip compression 場にもかかわらず発生する正断層地震は、地殻物質のエクロジャイト化による引張場が原因であると解釈した。このことから、エクロジャイト化に伴う引張場の形成は極めて局所的であることが示唆される。

冷たい沈み込み帯における稍深発地震の原因の1つは、主要な含水鉱物であるローソナイトの脱水である可能性が提案されている。しかし、実験的研究は限られており、ローソナイトの脱水を伴う変形メカニズムは不明である。そこで、スラブ内地震の発生条件を模擬した、沈み込みに伴う加熱と変形が同時進行する変形実験をおこなったところ、ローソナイトの安定領域（500-550°C）内で、断層形成と応力降下を伴うすべりのイベントが観察された（東北大学[課題番号：THK_06]）。微細組織観察からは、断層に沿って極細粒の非晶質物質が存在することが明らかになった。一方、脱水条件での変形実験では、脱水に伴い歪軟化するものの、急激な応力降下は見られなかったため、今後は実験で形成された断層物質の比較を行い、摩擦不安定性のメカニズムを明らかにしていく必要がある。

イ. 内陸地震

内陸地震発生に関しては、地殻内流体の影響が大きいと考えられている。そのため、地球電磁気学的観測研究による地震発生場の研究が多くなされた。中国・四国地方の MT 観測予備調査ならびに四国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施した（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。三瓶山周辺域では全般的に地殻は高比抵抗領域として推定された。北部日本海側地点ならびに、三瓶火山直南地点の地殻浅部以外には低比抵抗領域はみられない。これらの構造は、北部の地殻浅部低比抵抗領域の位置などを除けば塩崎（1993）の研究結果と調和的である。浅野・他（1986）が指摘した中野原から三川を通り北西-南東方向に伸びる地震帯とこれに直交するように三瓶山から海岸線に平行して西南方向に伸びる二つの地震帯の交差するあたりで、2018年島根県西部地震（M6.1）が発生したが、今回推定された北部の高/低比抵抗境界は、この地震の震源と関連するものかもしれないが、これまで山陰地方で指摘された $10 \Omega \cdot \text{m}$ 以下の地殻深部低比抵抗領域がみられないなどの相違点がある。また、三瓶山周辺から南東方向に伸びる地震活動は高比抵抗領域に対応している（図9）。島根県東部地域は山陰地方の地震活動の帯の中にあって無地震域を形成している場所であり、既存研究からこの地域では、三瓶山周辺域と比べ低比抵抗な地殻構造が示されている（例えば、Shiozaki et al, 2006）。二つの地域の地震活動にみられる違いと比抵抗構造の違いがどのように関連するのか、水平方向の連続性を明らかにする本観測を実施することは、同地域の地震活動や応力の集中・緩和を

考える上で重要である。島弧の軸方向の面的な基盤的比抵抗構造研究の必要性が示された（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。

地震メカニズムトモグラフィ法（FMT法，Terakawa et al., 2010）による間隙流体圧場の推定と地震時応力変化による ΔCFS の計算を通じて、2016年熊本地震前後の地震活動度の変化における応力と間隙流体圧場の影響を定量的に調べた（Nakagomi et al., 2021）（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。図10は、地震時応力変化による ΔCFS 及び熊本地震発生前の間隙流体圧係数 C と地震活動度の変化の関係を表している。ここで、間隙流体圧係数 C は、間隙流体圧の静水圧からのずれを静岩圧と静水圧の差で規格化した無次元量である。図11は、地震活動度の顕著な変化（10倍以上の増減）があった領域を ΔCFS の分布上に表示したものである。これらの結果から、大きな特徴として、 $\Delta CFS > 0$ の領域では地震活動度が増加し、 $\Delta CFS < 0$ の領域では地震活動度が減少する傾向が捉えられた。このことは、観測された地震活動度の変化は概ね地震時応力変化で説明できることを意味する。一方、本震前の C 値が高い地域ほど、本震後に地震活動度が増加する傾向があることがわかった。図12は、地震活動度の増加があった領域を間隙流体圧分布上に表示したものである。とくに、熊本地震の震源断層の南側のセグメント付近の高圧間隙流体圧域では、熊本地震後に地震活動度が大きく増加する傾向があった。これは、 ΔCFS だけでなく、本震前の間隙流体圧場も地震活動度の変化に影響を与えていることを示している。 $\Delta CFS < 0$ にも拘わらず熊本地震後に地震活動度が増加した地域で発生した地震は、全体の約14~39%（評価点から3 km及び5 km以内で発生した地震の割合）を占めた。このような ΔCFS からの予想に反して地震活動度が増加する傾向は、 ΔCFS の負の影響が小さいほど、 C 値が高いほど顕著になる（図10）。これらの結果は、応力変化で説明できる余震活動の中に、間隙流体圧の上昇による断層強度の影響を受けて発生したものもあることを示唆する。

北茨城 - いわき地域は、前計画で地震の多発域の下15 kmから25 kmにおいて顕著な反射面の存在が示された。この反射面からの反射波の振幅等から、この反射面は地殻内流体を含む層であることが示された。地殻内流体が存在するのであれば、低比抵抗領域となっている可能性があるため、この反射面が存在する領域の比抵抗構造を調べた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_09]）。反射面が存在する深さ14 km~16 kmでの深さの比抵抗構造は、反射面の中心部分で低いことが分かった。また、比抵抗構造は深さが浅くなるにつれて構造が変化し、地震の多発域では筋状の低比抵抗構造が見られるようになり、活発化した地震の活動はその筋状の低比抵抗域に沿って発生していることを示した。さらに、これらの領域において水の体積分率の推定を行った。福島県浜通り地震（Mj7.0）の震源域の直下の反射面が存在する14 km - 16 kmの深さでは、水の体積分率が1%から数%の、非常に大きな値を示すことが分かった（図13a）。一方、福島県浜通り地震（Mj7.0）の震源域の深さ6 km周辺での水の体積分率は、0.001%から0.01%と非常に小さな値を示した（図13b）。

東北地方の地殻3次元比抵抗構造推定のため、これまで取得されている広帯域MTデータのコンパイルと解析を実施した（東北大学[課題番号：THK_07]）。秋田市雄和地区の秋田空港付近から、仙北市角館町にかけてのほぼ北緯39°36'の緯線に沿う東西測線で、新たに得られたデータを加えた計17測点のデータを用い、2次元比抵抗断面モデルを得

た(図 14)。地震活動は、測線中央部の地殻内に存在する高比抵抗部内部から低比抵抗部の境界にかけて顕著であることが分かった。

2011 年東北沖地震後に山形-福島県境付近に発生した群発地震において、様々なパラメータが 50 日ないし 100 日程度の時定数で急変していることが示されてきたが、今年度、震源域内の詳細な減衰構造 (Q^{-1} 値) の時間変化を調べた結果、やはり同様の時定数で変化していることがわかった(図 15)(東北大学[課題番号: THK_02])。この減衰の時間変化が間隙流体圧の変化に起因しているのであれば、この手法により断層帯内の間隙流体圧の時間変化を調べられる可能性がある。

物質科学的観点から地殻内流体について調べる研究もおこなわれた。岩相-水-マグマの地殻および上部マントル条件での地震波速度および電気伝導度を再現するフォワードモデルを作成した(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI04])。上部および中部地殻には、粒界(mm スケール)から断層(km スケール)まで、様々なスケールのクラックが存在している。観測された電気伝導度構造から地殻の流体分布を推定するためには、様々なスケールのクラックが、それぞれ高圧下でどのような伝導経路として機能するかを理解することが必要である。粒界スケールのクラックについて理解するため、封圧下での含水岩石(庵治花崗岩)の弾性波速度・電気伝導度測定を行ってきた。開いた粒界においては、粒界の開口の大きな部分が高圧下でも開いた状態を維持すること、それが連結して伝導経路として機能していることが分かった。

地下深部の断層の位置を推定する研究もおこなわれた。大阪府北部の地震の余震データを用いて、有馬高槻断層帯(ATL)の深部の位置の推定を行った(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI03])。今年は ATL の深部と余震域の相対的な位置関係の推定を試みた。このことは、大阪府北部の地震がどの活断層に関係した地震であるのかという未解決の問題や、今後の地震活動の推移を考える上で、重要な基礎的な知見を提供するものである。大阪府北部の地震の震源断層は、ATL の断層帯の北端に、その北側を限られた可能性が高い。断層帯の南端の位置については、そもそも明瞭な端があるのかも含めて今後の課題であるが、大阪府北部の震源断層は、ATL の断層帯の内部で発生した可能性が示唆される。特に、震源断層の北限が ATL によって限られていることは、この地震が、最深部から始まったにも関わらず、深さ 10 km 程度以深に断層が限られ浅部に破壊が進展しなかった M6 クラスの地震となったことと関係しているものと考えられる。

地震が発生した際に、地震断層の破壊の停止がどのような理由によって起こるかという問題は重要な課題である。断層の破壊の停止と地下構造の関係の研究も進められた。2016 年熊本地震合同地震観測データおよび 2016 年熊本地震以前のデータをもとに震源域の三次元地震波速度構造を決定し、震源再決定および震源メカニズムの推定を行った(九州大学[課題番号: KYU_01])。この研究で得られた速度構造と、MJ 7.3 の地震のすべり分布(Asano and Iwata, 2016)とを比較すると、すべりの大きかった領域は、 $V_p=6.0$ km/s、 $V_s=3.5$ km/s 程度の中庸な速度を持つ領域に対応している。また、より鮮明にイメージングされた阿蘇山西側にある低速度領域は、すべりの大きかった領域の端に分布しており、低速度領域の存在により主要な破壊が停止したと解釈できる(図 16)。

熊本地震震源域周辺の比抵抗構造からは内陸地震ポテンシャル評価をする上で重要な結果が得られた(九州大学[課題番号: KYU_01])。前震、本震を含め M5 以上の規模の大き

い地震は低比抵抗体の近傍で破壊が開始する一方で、M5 より規模が小さい地震は低比抵抗領域から離れた場所でも破壊が開始することが示唆された。また、低比抵抗体内部でも破壊は開始するが、それらはすべて規模が小さい地震であることが示された。低比抵抗体の端部付近から破壊が開始すると規模の大きい地震に成長しやすいことを示した結果であり、高温、高間隙水圧領域から外側に向かって破壊が開始すると破壊が成長しやすいと解釈された。一方、破壊の停止については、熊本地震の本震および前震の破壊停止位置が低比抵抗体の端部に相当することから、高温、高間隙水圧領域に向かって破壊が進展すると、破壊が停止しやすいことが示唆された。しかしながら、本震の大すべり域近傍にもやや低比抵抗な領域が存在し、高温（200–400 °C）、高間隙水圧領域に向かって破壊が進展しても、かならずしも破壊は停止せず、場合によっては破壊が加速されることも示唆された。

断層に対する応力载荷も重要な問題である。地震発生ポテンシャルを評価するうえで重要な要素の一つは下部地殻から地震発生層への応力载荷が挙げられる。そこで地震発生層での応力場が応力の連続性から下部地殻に影響していると考え、下部地殻の非弾性ひずみを検出する手法を開発した（九州大学[課題番号：KYU_01]）。その結果、地震活動が活発な別府一島原地域において下部地殻の非弾性ひずみレートが高いことが見いだされた。特に別府一阿蘇地域においては顕著であり、この領域は地温勾配が高く、低速度異常が下部地殻にあり、地震発生層が薄い領域であった。このことから、この領域の下部地殻においては相対的に粘性が低く、高いひずみレートで変形し、その結果として上部地殻に応力が载荷され、高い地震活動がみられると解釈できる。さらに、緑川断層など、別府一島原地域の西部の断層領域においては上部地殻の主応力方向と地表での主ひずみレート方向が斜交していることから、断層強度が弱いことが示唆された。このように、変形レート・応力を統合的に解釈することによって、下部地殻の非弾性ひずみの不均質によって、地震発生層である上部地殻に応力場が形成される様子をモデリングすることが可能となった(図 17)。

平成 28 年（2016 年）熊本地震による余効変動について、Tomita et al. (2020)の手法に倣い、余効すべりと粘弾性変形それぞれの寄与を同時に推定する手法を試験的に導入した（国土地理院[課題番号：GSI_01]）。厚さ 25 km の弾性層及びその下の Maxwell 粘弾性層の 2 層からなる半無限媒質を仮定し、Fukahata and Matsu'ura (2005)のプログラムを用いて、弾性及び粘弾性グリーン関数を計算した。地震時のすべり量については、3 枚の矩形断層（矢来・他, 2016）を仮定した。地震後 1 年間の水平方向の変位から粘弾性変形を考慮した余効すべりの推定を、MCMC 法を用いて行ったところ、粘弾性層の粘性率が 2×10^{18} Pa s 程度であれば観測データを最もよく説明できることが分かった(図 18)。また、同様の解析を地震後 3 年間の変位を用いて行ったところ、観測データを最もよく説明する粘性率は 5×10^{18} Pa s 程度であった。これらの結果は、粘弾性層における粘性率の時間変化を反映している可能性がある。

島弧全体の構造を考慮した研究もおこなわれた。3 次元余効変動解析から、2011–2016 年までの余効変動解析を実施した（東北大学[課題番号：THK_07]）。GEONET と東北大の持つ宮城–山形、福島–新潟の稠密観測から島弧に沿う南北方向での余効変動の変化を明らかにし、モデル計算から地下のレオロジー構造の不均質性を調べた(図 19)。2 つの測線

での観測を、海溝平行成分、直交成分、垂直成分に分け、モデルとの詳細比較を行い、福島測線に比べ、宮城測線の方が、前弧の高粘性領域（コールドノーズ）が狭いことが明らかになった。

重力の観測量を用いた研究も進められた。長野県松代における超伝導重力計 iGrav (28号機)の観測を維持するとともに、各地で稼働している超伝導重力計の観測点において、絶対重力測定を実施した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_10]）。弟子屈の超伝導重力計（iGrav、17号機）は機械的ドリフトが検定された。国立天文台水沢 VLBI 観測所（岩手県）において、ここ数年続いている重力減少の傾向が引き続き見られた。気象庁松代地震観測所（長野県）においては、2019年までの重力減少の傾向と反して、重力増加を示す結果が得られた。

重力の観測値から伏在断層を検出する研究も進められた（東北大学[課題番号：THK_07]）。仙台平野南部は、長町—利府線断層帯の南方に位置し、また双葉断層の北部延長域でもあり、活断層が隣接する複雑な地域である。宮城県名取市から亘理町を経て南部へ連続すると考えられる伏在活断層と双葉断層帯との関係を明らかにするために、仙台平野南部の宮城県山元町周辺において、重力探査を実施し、伏在活断層の連続性を明らかにすることを試みた。調査測線の北側2本では、微小ではあるが伏在活断層に関連する重力変化を捉えたが、南側の2本の測線では、その延長部分に有意な重力変化はなかった(図20)。このことから、愛島丘陵から南方へ連続する伏在活断層は、宮城県亘理郡山元町付近が南端となっていると判断した。

海外での陸上観測の研究もおこなわれ、カイクウラ地震に関係した応力再配分を確認することを目的に、定常地震観測網と本課題で実施した臨時観測網のデータを用いて、カイクウラ地震震源域のS波スプリッティング解析を行った（東北大学[課題番号：THK_01]）。期間は2013年から2018年である。得られた速いS波の振動方向には空間変化が見られ、原因について検討をした結果、断層などの構造的異方性や応力による異方性など複数の要因が考えられた。S波スプリッティング解析と V_p/V_s 比の時間変化の検討を行ったが、震源分布の違いに応じ異なる異方性領域を通過したことが原因として考えられた。また、多様なテクトニック環境下でのスロー地震発生メカニズムを理解するために、カイクウラ地震震源域を含むマルボロ断層系において、微動活動の検出と震源決定を行った。その結果、高精度化された震源位置決定により、微動発生域が領域内の特定の位置にクラスター状に存在している様子が明らかとなった。

地球化学的手法を用いた観測研究も進められ、装置を再設置して、和歌山県の本宮観測点での観測を再開することを目指して作業を行った（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS_04]）。 4He , N_2 , Ar の計測精度を向上させるために、スペクトルの解析を面積積算法に変更することで、質量数決定精度を改善した。

物質科学的研究も進められた。内陸断層の深部、脆性-塑性遷移付近の岩石変形の物理的性質の3次元構造モデルを地質調査から明らかにし、地震の破壊開始と断層深部の塑性流動との関わりを明らかにするために、調査範囲を断層の走向方向に7km程度に拡大し、この範囲の調査を開始した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST05]）。一方、断層内部構造形成・発展・力学挙動の物理過程を岩石変形実験で明らかにするための準備段階として斜長石の粒成長実験を実施した。まず、斜長石のNa端成分である曹長石の焼結

体合成に成功し、この焼結体を用い融点（1100 °C）に比較的近い 1065 °C、1050 °C、1030 °Cにおいて粒成長実験を実施し、粒成長の活性化エネルギーを含む基本パラメータを決定した。この結果、曹長石の粒成長は 1050 °Cという高温においても 1 μm から 10 μm に成長するのに 1 世紀かかるという非常に遅い粒成長カインेटクスが明らかになった。曹長石は地殻の幅広い条件で安定に存在する主要構成鉱物である。今回の実験結果は、曹長石の粒径依存クリープが地殻の幅広い条件で発現しうる地殻のレオロジーを考える上でも重要な変形機構であることが示唆された。

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

地殻浅部での低周波地震活動が見られる可能性がある地域として、北海道雌阿寒岳周辺で発生した地震を対象に、Frequency Index を用いて低周波地震の識別を行なった（弘前大学理工学研究科[課題番号：HRS_01]）。その結果、地殻浅部の低周波地震の中で火山活動との対応が見られない地震群が、雌阿寒岳北方で発生していたことがわかった。また、地殻深部低周波地震の中で、波形がよく似た地震が 1 週間程度の間隔で繰り返したことを見いだした。この繰り返し低周波地震とも呼ぶべき現象は、深部低周波地震の発生メカニズムを考える上での有用な観測例である。

オ. 構造共通モデルの構築

中国地域の地殻内応力マップを作成するため、過去12年間にわたるマグニチュード 1.5以上の地震の発震機構解を決定した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST07]）。気象庁一元化カタログもコンパイルし、10 kmメッシュの応力マップとして纏めた。この応力マップをもとに、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2016）が評価対象とした30の活断層の活動性評価を行ったところ、28断層が現在の応力場、一般的な摩擦係数のもとで再活動する条件を満たしていることがわかった。残りの 2 断層が再活動するためには、異常間隙水圧の発生や隣接する活断層の破壊に伴う応力変化でトリガーされるなどの外的要因が必要になると考えられる。また、島根県・鳥取県の日本海側になると応力方位が時計回りに約20° 回転して西北西－東南東方向を示すようになる原因について、先行研究で提案されている下部地殻における非地震性変形のほか、地震発生層深部の高重力異常帯に引き起こされる応力擾乱にある可能性を示した。

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

（1）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震学における震度の検証ならびにその定量化を図るため、根津周辺における稠密観測を開始した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。観測点は 1855 年安政江戸地震の被害史料の分析から被害場所が特定できた地点とその近隣地点に設置し観測点数は 19 点となった。暫定的な結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できている。

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

海底において空間的に高密度でやや広帯域である地震観測の実施をめざして、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発や固有周期120秒を用いた小型広帯域地震計を製作してきた（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_23]）。120秒計を用いた台数の確保に努め、今年度には20台規模で観測に用いることができるようになった。海底での記録の蓄積から雑微動レベルについての知見が蓄積され、上下動成分ではセンサー帯域において低いレベルにとどまるが、水平動成分の雑微動レベルが上下動成分よりも高いことが確認されつつある。しかし、海底における雑微動レベルは一般的な地震観測としては低いレベルであり、スロー地震だけではなく、遠地地震・深発地震なども明瞭に記録された。

海底光ファイバー歪計や海底傾斜計による観測技術の開発を継続しておこなった（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS02]）。掘削孔内の間隙水圧や傾斜計では2020年12月～2021年1月にかけて起こった南海トラフの近傍で発生したゆっくり滑りの検出に成功した。その変動量はトラフ近傍のごく浅い断層でのスロースリップによりモデル化されることが示され、その領域はこの期間中での低周波微動の発生域と整合的であることが分かった。

これまでの課題と今後の展望

低頻度で大規模な地震現象の発生履歴、規模、場所の解明は重要な課題である。近い将来発生が懸念される根室沖においてGNSS-Aを用いた海底地殻変動の観測研究が進み、データが取得できるようになった。安定した結果が得られるようになるとプレート間の固着状況についての情報が得られることが期待される。また、日本全体のプレート境界での固着状況の把握に対して、東北沖を含む日本海溝や南海トラフにおけるGNSS-Aを用いた海底地殻変動の観測も継続され、プレート間固着状況がモニタリングできるようになってきている。低頻度で大規模な地震現象の理解に向けて、メキシコやアラスカなど海外における低頻度巨大地震発生域における観測研究も進み、現象の包括的な理解が進んでいる。地震発生過程の解明とモデル化においては、アスペリティの階層性についても研究が行われ、理解が進展している。日向灘や南西諸島については微動現象やスロースリップについての観測による理解が進み、ニュージーランド等海外での観測事例のデータも積み重ねられ、沈み込みの多様性の理解についても進展がみられる。実験室でのサンプリング物質を用いた研究など、観測研究に加え物質科学的見地からの研究も進み、地震現象に対して包括的な理解が進んでいる。内陸地震に関しては、断層形状/微細構造・応力・強度の3要素の把握が順調に進んでおり、特に強度低下の原因として注目されてきた地殻内流体の関与については、2016年熊本地震などにおいてこの考えを支持する多くの成果が得られつつある。また、次のステップとして、地殻内流体の量や圧力の定量化が重要な課題であるが、水の体積分率の推定など定量的理解も進んでいる。前計画から続けられている粘弾性構造を含めた島弧モデルによるシミュレーションを用いた研究もなされ、列島規模での応力場・地殻変動・ひずみ場の時空間変化の理解が進みつつある。

このように様々な沈み込み帯での構造の解明や特徴の抽出が進んでいる。今後、得られた成果を予測に生かすためには、モデル化に向けた研究が必要であると考えられる。また、スロー地震や微動活動の現象解明にもとづき、プレート境界地震に関しての滑りの多様性の理解を進めていく必要がある。内陸地震においては、地殻内流体の関与を裏付ける成果が得られつつあるので、今後は定性的な理解の事例を加えていくとともに、定量的解析の研究も進めていく必要がある。さらに、地殻内流体の理解も踏まえた各地震・各地域の内陸地震発生過程のモデル化も重要なテーマである。このように、多様性の理解やその普遍性の抽出など、現象を理解する研究は進んでいるが、今後予測につなげるためには、モデル化をどう進めていくかが重要な課題となると考えられる。

成果リスト

- Abdallah, S., M. Utsugi, K. Aizawa, M. Uyeshima, W. Kanda, T. Koyama, and T. Shiotani, 2020, Three-dimensional electrical resistivity structure of the Kuju volcanic group, Central Kyushu, Japan revealed by magnetotelluric survey data, *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, 400, 106898, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.106898.
- Aizawa, K., S. Takakura, H. Asaue, K. Koike, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Utsugi, H. Inoue, K. Tsukamoto, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Yoshinaga, N. Matsushima, K. Uchida, Y. Tsukashima, T. Matsushima, H. Ichihara, D. Muramatsu, Y. Teguri, A. Shito, S. Matsumoto and H. Shimizu, 2021, Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kyushu Island, Japan, *Earth Planet. Space*, 73, 12, doi:10.1186/s40623-020-01340-w.
- Arai, R., S. Kodaira, S. Henrys, N. Bangs, K. Obana, G. Fujie, S. Miura, D. Barker, D. Basset2, R. Bell, K. Mochizuki, R. Kellett, V. Stucker, B. Fry and NZ3D Team, 2020, Three-dimensional P-wave velocity structure of the northern Hikurangi margin from the NZ3D experiment: Evidence for fault-bound anisotropy, *J. Geophys. Res.*, 125(12), e2020JB020433, doi:10.1029/2020JB020433-NA.
- Assah, A.N.E., T. Yokoyama, F.T. Aka, H. Iwamori, T. Kuritani, T. Usui, M.G. Dedzo, J. Tamen, T. Hasegawa, E.M. Fozing, M.J. Wirmvem, and A.L. Nche, 2020, Major/trace elements and Sr-Nd-Pb isotope systematics of lavas from lakes Barombi Mbo and Barombi Koto in the Kumba graben, Cameroon volcanic line: Constraints on petrogenesis, *J. African Earth Sci.*, 161, 103675, doi:10.1016/j.jafrearsci.2019.103675.
- Azuma, R., S. Kodaira, R. Hino, G. Fujie, K. Obana, F. Tomita, and Y. Ohta, 2020, Crustal structure of the incoming Pacific Plate off Hokkaido, the southern Kuril Trench subduction zone, by an active-source seismic survey using dense linear OBS array, AGU Fall Meeting 2020, T018-0004.
- Chang, J-H., J-O. Park, T-T. Chen, A. Yamaguchi, T. Tsuru, Y. Sano, H-H. Hsu, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, and C. Tamura, 2020, Structural-morphological and

sedimentary features of forearc slope off Miyagi, NE Japan: implications for development of forearc basins and plumbing systems, *Geo-Marine Lett.*, doi.org/10.1007/s00367-020-00636-w.

Farazi, A.H., E.S.M. Garcia, and Y. Ito, 2020, Stability of ambient noise H/V spectra obtained from OBS near the Japan Trench, Events, EGU General Assembly 2020, EGU2020-3999, doi:10.5194/egusphere-egu2020-3999.

Fukahata, Y., A. Meneses-Gutierrez, and T. Sagiya, 2020, Detection of plastic strain using GNSS data of pre- and post-seismic deformation of the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Earth Planet. Space*, 72:18, doi:10.1186/s40623-020-1144-1.

Fukahata, Y., K. Oohashi, Y. Takada, and A. Tanaka, 2020, Overview of the special issue Crustal dynamics (Part I): Toward the integration of geology and Geophysics, *地学雑誌*, 129(4), 443-445, doi:10.5026/jgeography.129.443.

深畑幸俊・大橋聖和・高田陽一郎・田中明子, 2020, 特集号「地殻ダイナミクス (Part II) -地質学と地球物理学の融合に向けて-」巻頭言, *地学雑誌*, 129(4), 447-450, doi:10.5026/jgeography.129.447.

Fukai, M., Y. Ogawa, S. Takakura, and M. Mishina, 2020, 3D imaging of NE Japan forearc: implications for fluid distribution and transport, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SEM21-05.

Garcia, E.S.M. and Y. Ito, 2020, Incoming Plate Faulting at the Outer Slope of the Middle America Trench offshore Mexico, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SCG62-P01.

Gou, T., D. Zhao, Z. Huang, and L. Wang, 2020, Structural heterogeneity in source zones of the 2018 Anchorage intraslab earthquake and the 1964 Alaska megathrust earthquake, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 21, e2019GC008812, doi:10.1029/2019GC008812.

Graham, K.M., M.K. Savage, R. Arnold, H.J. Zal, T. Okada, Y. Iio, and S. Matsumoto, 2020, Spatio-temporal analysis of seismic anisotropy associated with the Cook Strait and Kaikoura earthquake sequences in New Zealand, *Geophys. J. Int.*, 223(3), 1987-2008, doi:10.1093/gji/ggaa433.

Hamada, M., H. Iwamori, P.A. Brandl, T. Ushikubo, K. Shimizu, M. Ito, H. Li, and I.P. Savov, 2020, Temporal evolution of proto-Izu-Bonin-Mariana arc volcanism over 10 Ma: Constraints from statistical analysis of melt inclusion compositions, *J. Petrol.*, 61(1), egaa022, doi:10.1093/petrology/egaa022.

Hashimoto, T.M., K. Aizawa, Y. Hayashida, Y. Yuasa, T. Matsushima, Y. Yamamoto, K. Tsukamoto, K. Miyano, S. Matsumoto, and H. Shimizu, 2020, Joint seismological-magnetotelluric investigation of shallow and implosive non-DC and DC earthquakes beneath the gravitationally unstable Heisei-Shinzan Lava Dome, Unzen Volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 406, 107066, doi:10.1016/j.volgeores.2020.107066.

Henry, S., D. Eberhart-Phillips, D. Bassett, R. Sutherland, D. Okaya, M. Savage, D. Evanzia, T. Stern, H. Sato, K. Mochizuki, T. Iwasaki, E. Kurashimo, A. Sewarc, and A. Wech, 2020, Upper plate heterogeneity along the southern Hikurangi margin, New Zealand, *Geophys. Res. Lett.*, 47(4), e2019GL085511, doi:10.1029/2019GL085511.

- 平出裕博, 2021, 仙台平野南部における伏在活断層の南方への連続性, 岩手大学卒業論文.
- Hirauchi, K., Y. Yoshida, Y. Yabe, and J. Muto, 2020, Slow stick-slip failure in halite gouge caused by brittle-plastic fault heterogeneity, *Geochem., Geophys., Geosyst.*, 21(9), e2020GC009165, doi:10.1029/2020GC009165.
- Hirauchi, K., I. Katayama, and Y. Kouketsu, 2020, Semi-brittle deformation of antigorite serpentinite under forearc mantle wedge conditions, *J. Struct. Geol.*, 140, 104151, doi:10.1016/j.jsg.2020.104151.
- Honsho, C., M. Kido, T. Ichikawa, T. Ohashi, T. Kawakami, and H. Fujimoto, 2021, Application of phase-only correlation to travel-time determination in GNSS-Acoustic positioning, *Front. Earth Sci.*, 9:600732, doi:10.3389/feart.2021.600732.
- 本莊千枝・木戸元之・富田史章・太田雄策・市川俊人・大橋徹・川上太一, 2020, GNSS-Acoustic 測位精度向上にむけた解析手法の改良—位相相関を用いた走時決定と地球潮汐の影響評価—, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG66-04.
- Hsiung, K-H., T. Kanamatsu, K. Ikehara, K. Usami, C-H. Horng, N. Ohkouchi, N-O. Ogawa, S. Saito, and M. Murayama, 2021, X-ray fluorescence core scanning, magnetic signatures, and organic geochemistry analyses of Ryukyu Trench sediments: turbidites and hemipelagites., *Prog. Earth Planet. Sci.*, 8:2, doi:10.1186/s40645-020-00396-2.
- Hua, Y., D. Zhao, G. Toyokuni, and Y. Xu, 2020, Tomography of the source zone of the great 2011 Tohoku earthquake, *Nat. Commun.*, 11, 1163, doi:10.1038/s41467-020-14745-8.
- Huang, Y., T. Nakatani, M. Nakamura, and C. McCammon, 2020, Experimental constraint on grain-scale fluid connectivity in subduction zones, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 552, 116610, doi:10.1016/j.epsl.2020.116610.
- Hutchinson, J., H. Kao, M. Riedel, K. Obana, K. Wang, S. Kodaira, T. Takahashi, and Y. Yamamoto, 2020, Significant geometric variation of the subducted plate beneath the northernmost Cascadia subduction zone and its tectonic implications as revealed by the 2014 Mw 6.4 earthquake sequence, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 551, 116569, doi:10.1016/j.epsl.2020.116569.
- Ichiki, M., T. Kaida, T. Nakayama, S. Miura, M. Yamamoto, Y. Morita, and M. Uyeshima, 2021, Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan as inferred from three-dimensional electrical resistivity image by magnetotellurics, *Earth Planets Space*, submitted.
- Iio, Y., S. Matsumoto, Y. Yamashita, S. Sakai, K. Tomisaka, M. Sawada, T. Iidaka, T. Iwasaki, M. Kamizono, H. Katao, A. Kato, E. Kurashimo, Y. Teguri, H. Tsuda, and T. Ueno, 2020, Stationarity of aftershock activities of the 2016 Central Tottori Prefecture earthquake revealed by dense seismic observation, *Earth Planet. Space*, 72:42, doi:10.1186/s40623-020-01161-x.
- 加納靖之, 2020, 紀伊半島における土地傾斜ブロマイド記録のデジタルアーカイブ構築, 東京大学地震研究所技術研究報告, 26, 印刷中.
- 今西和俊・内出崇彦・椎名高裕・松下レイケン・中井未里, 2020, 中国地域の地殻内応力マップ

の作成，地質調査研究報告，受理.

- Imanishi, K., M. Ohtani, and T. Uchide, 2020, Driving stress and seismotectonic implications of the 2013 Mw5.8 Awaji Island earthquake, southwestern Japan, based on earthquake focal mechanisms before and after the mainshock, *Earth Planet. Space*, 72:158, doi:10.1186/s40623-020-01292-1.
- 今西祐一・西山竜一, 2020, 弟子屈における絶対重力測定(2019年および2020年), 東京大学地震研究所彙報, 95(1-4), 9-13.
- Iwamori, H., H. Nakamura, Q. Chang, N. Morikawa, and S. Haraguchi, 2020, Multivariate statistical analyses of rare earth element compositions of spring waters from the Arima and Kii areas, Southwest Japan, *Geochem. J.*, 54(4), 165-182, doi:10.2343/geochemj.2.0583.
- Kanagawa, K., H. Murayama, A. Sugita, M. Takahashi, M. Sawai, N. Furukawa, and T. Hirose, 2020, Weakening of quartz rocks at subseismic slip rates due to frictional heating, but not to lubrication by wear materials of hydrated amorphous silica or silica gel, *Tectonophys.*, 784, 228429, doi:10.1016/j.tecto.2020.228429.
- Kanagawa, K., S. Sagano, T. Nakanishi, J. Fujimori, and M. Sawai, 2020, Frictional properties of incoming sediments and rocks at shallow conditions of the Japan Trench subduction zone, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SCG61-03.
- 金川久一・杉田明日郁・高橋美紀・澤井みち代, 2020, 準地震性変位速度における石英質岩石の摩擦発熱による弱化, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SSS15-12.
- Kaneki, S. and H. Noda, 2020, On approximations of EASY%Ro solutions to estimate maximum temperature from vitrinite reflectance, *地質学雑誌*, 126(11), 655 - 661, doi:105575/geosoc.2020.0035.
- 亀伸樹, 2020, 地震発生を重力でとらえる—P波到着前の地震シグナル検知—, *地震ジャーナル*, 69, 55-58.
- Kame, N., 2021, Pre-p gravity signals from dynamic earthquake rupture: modelling and observations, *Phill. Trans. A*, 379, 1-13, doi:10.1098/rsta.20200136.
- Kashiwagi, H., J. Nakajima, Y. Yukutake, R. Honda, Y. Abe, and S. Sakai, 2020, Seismic constraint on the fluid-bearing systems feeding Hakone volcano, central Japan, *J. Geophys. Res.*, 125, e2020JB020341, doi:10.1029/2020JB020341.
- 川畑亮二・宗包浩志, 2021, MCMC法を用いた震源断層及びすべり分布モデル推定のためのプロトタイププログラムの開発, *国土地理院時報*, 134.
- Kawakubo, S., R. Azuma, R. Hino, H. Takahashi, K. Ohta, and M. Shinohara, 2020, Shallow low-frequency tremor activity off Erimo, Hokkaido from 2006 to 2007 revealed from pop-up type ocean bottom seismometers, *Slow Earthquakes Workshop 2020*, P-A01-04.
- 河村優太・松本 聡・岡田知己・松野弥愛・飯尾能久・佐藤 将・Stephen Bannister・John Ristau・Martha Savage・Clifford Thurber・Richard Sibson, 2020, 高精度震源決定による2016年ニュージーランドカイコウラ地震におけるプレート境界面と断層形状の関係, *日本地震学会2020年度秋季大会*, S09-20.
- 木戸元之, 移動観測・海上多点観測を含むGNSS-音響観測の観測条件について, *日本測地学会第*

134 回講演会, 47.

- Kimura, M., 2021, Detection and quantification of pre-P gravity signals from the 2011 Tohoku-Oki earthquake—Proposal of pre-P gravity seismology through observation and theoretical modeling—, Doctoral Dissertation, University of Tokyo, Japan.
- 木村友季保・木戸元之・太田雄策・本荘千枝・富田史章, 2020, 根室沖の水平・鉛直地殻変動検出のための中心海底局を加えたアレイを用いた GNSS-音響観測, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, MIS13-P01.
- Kumazawa, T., Y. Ogata, and S. Toda, 2020, Wide-area seismicity anomalies before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. J. Int.*, 223(2), 1304-1312, doi:10.1093/gji/ggaa356.
- 熊澤貴雄・尾形良彦, 2020, 群発地震活動の非定常 ETAS モデルによる検出と測地学データに基づく予測可能性について, *地震予知連絡会会報*, 103(12-12), 378-384.
- Machida, Y., S. Nishida, T. Kimura, and E. Araki, 2020, Mobile pressure calibrator for the development of submarine geodetic monitoring systems, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 125, e2020JB020284, doi:10.1029/2020JB020284.
- Matsumoto, H. and E. Araki, 2021, Drift characteristics of DONET pressure sensors determined from in-situ and experimental measurements, *Front. Earth Sci.*, 8:600966, doi:10.3389/feart.2020.600966.
- Matsumoto, H., E. Araki, T. Kimura, G. Fujie, K. Shiraishi, T. Tonegawa, K. Obana, R. Arai, Y. Kaiho, Y. Nakamura, T. Yokobiki, S. Kodaira, N. Takahashi, R. Ellwood, V. Yartsev, and M. Karrenbach, Detection of hydroacoustic signals on a fiber-optic submarine cable, *Sci. Rep.*, 11, 2797, doi:10.1038/s41598-021-82093-8.
- Matsumoto, S., T. Okada, T. Terakawa, M. Uyeshima and Y. Iio, 2020, The advancement of research on inland earthquake generation 2014-2018, *J. Disast. Res.*, 15, 96-105, doi:10.20965/jdr.2020.p0096.
- 松本 聡・河村優太・岡田知己・松野弥愛・飯尾能久・Rick Sibson・Martha Savage・Kenny Graham・鈴木真奈美・Stephen Bannister, 2020, 2016 年カイクウラ地震震源域下の S 波反射面の検出およびその本震・余震活動との関連, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SSS11-03.
- 松野弥愛, 2020, 2016 年ニュージーランド・カイクウラ地震震源域における応力場の時空間変化, 東北大学修士論文.
- Matsushima, N., M. Utsugi, S. Takakura, T. Yamasaki, M. Hata, T. Hashimoto, and M. Uyeshima, 2020, Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, from electrical resistivity structures, *Earth Planet. Space*, 72:57, doi:10.1186/s40623-020-01180-8.
- McHugh, C., M. Seeberb, L. Rasburyc, T. Strasserd, M. Kioka, A. Kanamatsu, T. Ikehara, and K. Usami, 2020, Isotopic and sedimentary signature of megathrust ruptures along the Japan subduction margin, *Marine Geology*, 428, 106283, doi:10.1016/j.margeo.2020.106283.
- Mindaleva, D., M. Uno, F. Higashino, T. Nagaya, A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2020, Rapid fluid infiltration and permeability enhancement during middle-lower crustal

- fracturing: Evidence from amphibolite-granulite-facies fluid-rock reaction zones, Sør Rondane Mountains, East Antarctica, *Lithos*, 372-373, 105521, doi:10.1016/j.lithos.2020.105521.
- Mitogawa, T. and T. Nishimura, 2020, Coulomb stress change on inland faults during megathrust earthquake cycle in southwest Japan, *Earth Planet. Space*, 72:60, doi:10.1186/s40623-020-01174-6.
- Nishimura, T., 2020, Slow slip events in the Kanto and Tokai regions of central Japan detected using GNSS data during 1994-2020, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 22(2), e2020GC009329, doi:10.1029/2020GC009329.
- Mitsuoka, A., A. Shito, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto, S. Sakai, Y. Iio, H. Shimizu, K. Goto, T. Okada, M. Ohzono, Y. Yamanaka, M. Kosuga, M. Yoshimi and Y. Asano, 2020, Spatiotemporal Change in the Stress State Around the Hypocentral Area of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 125, e2019JB018515, doi:10.1029/2019JB018515.
- Mitsuoka, T., A. Toramaru, A. Harijoko, and H.E. Wibowo, 2021, Eruption types and conduit dynamics of Kukusan and Genteng volcanoes of the Ijen volcanic complex, Indonesia, *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D Earth and Planetary Sciences, Volume XXXV, 1*, 1-17.
- 水田達也・岡田知己・Savage Martha・高木涼太・吉田圭佑・八木原寛・松島 健・片尾 浩・山中佳子・小菅正裕・勝俣 啓・大園真子・中山貴史・平原 聡・河野俊夫・松澤 暢・2011年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ, 2020, S波スプリッティング解析による東北地方の地震波速度異方性測定(2), 日本地震学会2020年度秋季大会, S06P-03.
- Mngadi, S., A. Tsutsumi, Y. Onoe, M.S.D. Manzi, R. Durrheim, Y. Yabe, H. Ogasawara, S. Kaneki, N. Wechsler, A. Ward, M. Naoi, H. Moriya, and M. Nakatani, 2020, The effect of a gouge layer on rupture propagation along brittle shear fractures in deep and high-stress mines, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 137, doi:10.1016/j.ijrmms.2020.104454.
- Motoyama, A., M. Ichiki, Y. Ogawa, M. Uyeshima, K. Asamori, T. Uchida, T. Koyama, S. Sakanaka, H. Hase, K. Aizawa, and Y. Yamaya, 2020, A three-dimensional electrical conductivity model of the crust beneath the southern Tohoku district, NE Japan, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SIT24-P03.
- 村田耕一・佐藤利典・塩原 肇・篠原雅尚・山田知朗, 2020, マルチチャンネル特異スペクトル解析とパラメトリック関数のフィッティングを併用した海底圧力計データの解析, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SSS14-P15, 2020.
- 永田広平・中谷正生・吉田真吾, 2020, 透過弾性波を用いたガウジ層内を含む断層内部状態の観察, 日本地震学会2020年度秋季大会, S12-P04.
- Nakagomi, K., T. Terakawa, S. Matsumoto, and S. Horikawa, 2021, Stress and pore-fluid pressure control of seismicity rate changes following the 2016 Kumamoto earthquake, Japan, *Earth Planet. Space*, 73:11, doi:10.1186/s40623-020-01329-5.
- Nakamura, H., A. Sano, S. Kagami, T. Yokoyama, A. Ishikawa, T. Komiya, and H. Iwamori,

2020, Compositional heterogeneity of Archean mantle estimated from Sr and Nd isotopic systematics of basaltic rocks from North Pole, Australia, and the Isua supracrustal belt, Greenland, *Precambrian Res.*, 347, 105803, doi:10.1016/j.precamres.2020.105803.

Nakamura Y., T. Fujiwara, S. Kodaira, S. Miura, and K. Obana, 2020, Correlation of frontal prism structures and slope failures near the trench axis with shallow megathrust slip at the Japan Trench, *Sci. Rep.*, 10:11607 doi:10.1038/s41598-020-68449-6.

Nakata, R., T. Hori, and R. Hino, 2020, Modelling of spontaneous and periodic slow slip in the northern part of the Japan Trench, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG61-P04.

仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・中尾 茂・宮町宏樹・小林励司・山下裕亮・清水 洋・松島 健・内田和也・中東和夫・阿部英二・山田知朗・篠原雅尚, 2020, 南西諸島海溝北部の準定常海底地震観測網により検出された相似地震の発生間隔と空間分布, *日本地震学会 2020 年度秋季大会*, S22-05.

Nakatani, Y., H. Yakiwara, S. Hirano, R. Kobayashi, H. Miyamachi, S. Nakao, Y. Yamashita, K. Uchida, T. Matsushima, H. Shimizu, K. N., T. Yamada, H. Abe, and M. Shinohara, 2020, Similar earthquake activity in the northern part of the Ryukyu subduction zone observed by onshore and offshore seismic data, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SSS03-P10.

Noda, H., D.S.K. Sato, and Y. Kurihara, 2020, Comparison of two time-marching schemes for dynamic rupture simulation with a space-domain BIEM, *Earth Planet. Space*, 72:76, doi:10.1186/s40623-020-01202-5.

Noda, H. and K. Okazaki, 2020, A fault constitutive law in a brittle-plastic transitional regime accounting for geometry of deformation in a shear zone, *JpGU-AGU Joint Meeting*, SSS15-08.

Noda, H., 2021, Shear strength of a shear zone in the brittle-plastic transition based on tensorial strain partitioning, *J. Struct. Geol.*, in press.

野村俊一・尾形良彦, 2020, 多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価, *地震予知連絡会会報*, 103 (12-8), 361-366.

小笠原宏, 2020, 南アフリカ大深度金鉱山の地震リスク低減 - 2010~2015 年度 SATREPS 研究成果の概要 -, *地震ジャーナル*, 70, 32-41.

Ogasawara, H., B. Liebenberg, Y. Yabe, Y. Yokoyama, T. Hirono, D.M. Nisson, T.C. Onstott, T.L. Kieft, E. van Heerden, T. Wiersberg, T. Noda, M.S.D. Manzi, S.B. Mngadi, R.J. Durrheim, Y. Yamamoto, T. Ito, A. Funato, M. Ziegler, J.J. Mori, C. Dinske and the DSeis team, 2020, The seismogenic zones of an M2.0-5.5 earthquakes successfully recovered in deep South African gold mines: the outcomes and the follow-up plan, *EGU General Assembly 2020*, EGU2020-12094, doi:10.5194/egusphere-egu2020-12094.

Ogata, Y., K. Katsura, M. Tanemura, D. Harte, and J. Zhuang, 2021, Bayesian seismicity analysis based on Delaunay triangle nets: Hierarchical Space-Time Point Process Models (HIST-PPM; including HIST-ETAS model) *Computer Science Monograph No. 35*,

- Institute of Statistical Mathematics, <https://www.ism.ac.jp/editsec/csm/index.html>.
- Ogata, Y., 2021, Visualizing heterogeneities of earthquake hypocenter catalogs: modeling, analysis, and compensation, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 8:8, doi:10.1186/s40645-020-00401-8.
- Ogata, Y. and T. Omi, 2020, Statistical monitoring and early forecasting of the earthquake sequence: Case studies after the 2019 M 6.4 Searles Valley earthquake, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 110(4), 1781-1798, doi:10.1785/0120200023.
- 尾形良彦, 2020, 階層的時空間 ETAS モデルによる短期・中期予測, 地震予知連絡会会報, 103(12-13), 385-387.
- Ohtani, M., M. Nakatani, and N. Kame, 2021, Time to seismic failure induced by repeating SSEs in a single-degree-of-freedom spring-slider model, *Geophys. J. Int.*, 224(2), 1242-1255, doi:10.1093/gji/ggaa489.
- Okada, T., M. Matsuno, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Bannister, J. Ristau, M. Savage, C. Thurber, and R. Sibson, 2020, Possible involvement of overpressured fluid in multi-fault rupture inferred from seismic observations of the 2016 Kaikoura earthquake, Annual Conference of Geoscience Society of New Zealand, Christchurch, New Zealand.
- 大橋聖和・竹下 徹・平内健一, 2020, 断層帯と断層レオロジーの進化, 地学雑誌, 129(4), 473-489, doi:10.5026/jgeography.129.473.
- 大竹和機・亀 伸樹・大谷真紀子, 2020, 構造不均質中の2次元地震サイクルシミュレーションで必要となる静的XBIEM核関数の全導出, 日本地震学会2020年度秋季大会, S08P-11.
- Ootani, Y., J. Xu, N. Takahashi, K. Akagami, S. Sakaki, Y. Wang, N. Ozawa, T. Hatano, K. Adachi, and M. Kubo, 2020, Self-Formed Double Tribolayers Play Collaborative Roles in Achieving Super-Low Friction in Aqueous Environment, *J. Phys. Chem. C*, 124, 15, 8295-8303, doi:10.1021/acs.jpcc.0c02068.
- Plata-Martinez R.O., S. Ide, M. Shinohara, E.S.M. Garcia S., N. Mizun, L.A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J.A. Real, V.M. Cruz-Atienza, A. Husker, and Y. Ito, 2020, First detection of shallow tremor at the Guerrero gap, Mexico, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, S-CG58.
- Plata-Martinez R.O., Y. Ito, and V.M. Cruz-Atienza, 2020, Explorando nuestro planeta para descifrar sus secretos: ejemplo de un proyecto multidisciplinario entre México y Japón, Reunión Anual de la Union Geofísica Mexicana 2020, SE12-01.
- Plata-Martinez R.O., S. Ide, M. Shinohara, E.S.M. Garcia S., N. Mizun, L.A. Dominguez, T. Taira, Y. Yamashita, A. Toh, T. Yamada, J.A. Real, V.M. Cruz-Atienza, A. Husker, and Y. Ito, 2020, Shallow slow earthquakes and mechanical properties at the Guerrero seismic Gap, Mexico, AGU Fall Meeting 2020, S027-0013.
- Romanet, P., F.A. Antoniow, R. Ando, S. Bannister, C. Chamberlain, Y. Iio, S. Matsumoto, T. Okada, R.H. Sibson, A. Toh, and S. Ide, 2021, Detection of tremor in the Marlborough region and its relationship with the 2016 Mw 7.9 Kaikoura (New Zealand) earthquake, EGU General Assembly 2020, EGU21-637, doi:10.5194/egusphere-egu21-637.

- Roy R. and T. Hatano, 2020, Creep failure in a threshold activated dynamics: Role of temperature during a sub-critical loading, *Phys. Rev. Res.*, 2, 023104, doi:10.1103/PhysRevResearch.2.023104.
- Saitoh, K., T. Hatano, A. Ikeda, and B.P. Tighe, 2020, Stress Relaxation above and below the Jamming Transition, *Phys. Rev. Lett.* 124, 118001, doi:10.1103/PhysRevLett.124.118001.
- Sano, Y., T. Kagoshima, N. Takahata, K. Shirai, J-O. Park, G.T. Snyder, T. Shibata, J. Yamamoto, Y. Nishio, Ai-Ti Chen, S. Xu, D. Zhao, and D.L. Pinti, 2020, Groundwater Anomaly Related to CCS-CO2 Injection and the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake in Japan, *Front. Earth Sci.*, 8:611010, doi:10.3389/feart.2020.611010.
- Sato, Y., S. Shinzato, T. Ohmura, T. Hatano, and S. Ogata, 2020, Unique universal scaling in nanoindentation pop-ins, *Nat. Commun.*, 11, 4177, doi:10.1038/s41467-020-17918-7.
- Sawai, M., J. Fukaumi, M. Takahashi, Y. Hayasaka, and K. Kanagawa, 2020, Frictional properties of greenstone: Effects of the seamount subduction on faulting at the subduction zone, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG57-P03.
- Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, accepted, Strain-induced partial serpentinization of germanate olivine with a small amount of water, *Am. Mineral.*, doi:10.2138/am-2021-7735.
- Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, 2020, Strain-induced partial serpentinization of germanate olivine under unsaturated, limited amount of water, *The 61st High Pressure Conference of Japan*.
- Sawa, S., N. Miyajima, J. Muto, and H. Nagahama, 2021, Microstructure evolution of olivine-spinel phase transformation under differential stress for deep-focus earthquakes by phase field method, *ICOTOM 19 (March 1-4, 2021)*.
- Sawaki, Y., Y. Ito, K. Ohta, T. Shibutani, and T. Iwata, 2020, A new approach to clarify slow earthquake source regions: Multi-band receiver function analysis including local deep-focus events, *EGU General Assembly 2020*, EGU2020-4921, doi:10.5194/egusphere-egu2020-4921.
- Sawaki, Y., Y. Ito, K. Ohta, T. Shibutani, and T. Iwata, 2020, Multi-band receiver function analysis including Local Deep-focus Events in Northeastern Kii, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SCG58-14.
- 佐脇泰典・植村美優・片山郁夫・伊藤喜宏, 2020, 室内摩擦実験におけるレシーバ関数法の適用, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020*, SSS15-P16.
- Seki, K., W. Kanda, K. Mannen, S. Takakura, T. Koyama, R. Noguchi, Y. Yukutake, M. Ishikawa, M. Fukai, M. Harada, and Y. Abe, 2021, Imaging the source region of the 2015 phreatic eruption at Owakudani, Hakone Volcano, Japan, using high-density audio-frequency magnetotellurics, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091568, doi:10.1029/2020GL091568.
- 澁谷拓郎・中川潤・長岡愛理・三浦勉・山下裕亮・山崎健一・小松信太郎, 2020, 四国下に沈

み込むフィリピン海プレートのレシーバ関数イメージング (3) , 日本地震学会 2020 年度秋季大会, S06-08.

Shito, A., S. Matsumoto, T. Ohkura, H. Shimizu, S. Sakai, Y. Iio, H. Takahashi, H. Yakiwara, T. Watanabe, M. Kosuga, T. Okada, M. Yoshimi, and Y. Asano, 2020, 3-D intrinsic and scattering seismic attenuation structures beneath Kyushu, Japan. *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 125, e2019JB018742, doi:10.1029/2019JB018742.

志藤あずさ・光岡郁穂・松本 聡・松島 健・相澤広記・清水 洋・内田和也・神菌めぐみ・手操佳子・中元真美・宮町凜太郎・一柳昌義・大園真子・岡田和見・勝俣 啓・高田真秀・高橋浩晃・谷岡勇市郎・山口照寛・小菅正裕・東 龍介・内田直希・江本賢太郎・太田雄策・岡田知己・海田俊輝・小園誠史・鈴木秀市・高木涼太・出町知嗣・中原 恒・中山貴史・平原 聡・松澤暢・三浦 哲・山本 希・今西和俊・内出崇彦・吉見雅行・青井 真・浅野陽一・上野友岳・藤田英輔・阿部英二・飯高 隆・岩崎貴哉・加藤愛太郎・蔵下英司・酒井慎一・椎名高裕・芹澤正人・田中伸一・中川茂樹・平田 直・増田正孝・宮川幸治・八木健夫・渡邊篤志・後藤和彦・伊藤武男・奥田 隆・寺川寿子・堀川信一郎・前田裕太・松廣健二郎・山中佳子・渡辺俊樹・飯尾能久・片尾 浩・加納靖之・津田寛大・三浦 勉・村本智也・山下裕亮・大久保慎人・山品匡史・大倉敬宏・中尾 茂・平野舟一郎・宮町宏樹・八木原寛, 2020, 2016 年熊本地震合同地震観測データ —地震学的解析の基礎的資料として—, *地震* 2, 73, 149-157, doi:10.4294/zisin.2019-11.

清水以知子・岡本あゆみ・A. Niemeijer・中谷正生・荒井 駿・C. Spiers・竹下 徹・上田匡将, 2020, 中央構造線の断層強度と脆性-延性遷移, *JpGU-AGU Joint Meeting*, SCG63-12.

Shimizu, K., Y. Yagi, R. Okuwaki, and Y. Fukahata, 2020, Development of an inversion method to extract information on fault geometry from teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, 220, 1055-1065, doi:10.1093/gji/ggz496.

Shimizu, K., Y. Yagi, R. Okuwaki, and Y. Fukahata, 2021, Construction of fault geometry by finite-fault inversion of teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, 224, 1003-1014, doi:10.1093/gji/ggaa501.

Shinohara, M., T. Yamada, K. Uehira, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, 2021, Development and operation of an Ocean Bottom Cable Seismic and Tsunami observation system (OBCST) in the source region of the Tohoku-oki earthquake, *Earth Space Sci.*, 8(3), e2020EA001359, doi:10.1029/2020EA001359.

Shiobara, H, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, and T. Sato, 2021, Tilt observations at the seafloor by mobile ocean bottom seismometers, *Front. Earth Sci.*, 8:599810, doi:10.3389/feart.2020.599810.

塩原 肇・杉岡裕子・太田豊宣・大西信人, 2020, -自律型新方式海底地震計の開発試験に向けた深海用-小型ビデオカメラの開発, *東京大学地震研究所技術研究報告*, 26, 1-9.

Shiraishi K., Y. Yamada, M. Nakano, M. Kinoshita, and G. Kimura, 2020, Three-dimensional topographic relief of the oceanic crust may control the occurrence of shallow very-low-frequency earthquakes in the Nankai Trough off Kumano, *Earth, Planet. Space*, 72:72, doi:10.1186/s40623-020-01204-3.

Shiraishi, R., J. Muto, A. Tsunoda, S. Sawa, and A. Suzuki, 2020, Semi-brittle behavior

of lawsonite in high pressure deformation experiments, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SCG69-02.

白石令・武藤潤・久保友明・森悠一郎・本田陸人・肥後祐司・丹下慶範, 2020, 高温高圧下におけるローソナイトの変形挙動, 第61回高圧討論会, 2P28.

Suzuki, T., 2020, Introducing linear marginal stability hypothesis for obtaining slip-front-propagation velocity with the slip- and slip-velocity-dependent friction law, AGU Fall Meeting, S31-0012.

Suzuki, T. and H. Matsukawa, 2020a, Systematic understanding of slip-front-propagation velocity with the slip-velocity-dependent friction law, Slow Earthquakes Workshop, P-C2-07.

Suzuki, T. and H. Matsukawa, 2020b, Slip-front-propagation velocity with non-vanishing friction stress at infinitely large slip velocity, JpGU-AGU Joint Meeting, SCG58-31, 12-15 July, online.

鈴木岳人, 2020, 2種類の滑り端伝播と線形臨界定性解析によるその伝播速度の解析, 日本地震学会2020年度秋季大会, S08-16.

Suzuki, T., 2021, Characteristic sensitivity of turbulent flow within a porous medium under initial conditions, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 90, 024401, doi:10.7566/JPSJ.90.024401.

Tanaka, Y., V. Klemann, and Z. Martinec, 2020, Estimating the effects of laterally heterogeneous elasticity on coseismic deformation -a rotationally symmetric case, AGU Fall Meeting 2020, G53B-0615.

Takagi, R., G. Toyokuni, and N. Chikasada, 2021, Ambient noise correlation analysis of the S-net records: extracting surface wave signals below instrument noise levels, *Geophys. J. Int.*, 224, 1640-1657, doi:10.1093/gji/ggaa548.

Takahashi, H., R. Hino, N. Uchida, K. Ohta, and M. Shinohara, 2020, Low-frequency tremor activity along northern Japan Trench before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, AGU Fall Meeting 2020, T003-0013.

田上綾香, 2020, 日本海東縁地域の応力場と発生した地震の断層面との関係, 東北大学修士論文.

Terakawa, T., W. Seo, K.H. Kim, and J.H. Ree, 2020, 3D pore-fluid pressures in source region of 2017 Pohang earthquake inferred from earthquake focal mechanisms, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2019GL085964.

寺川寿子・中込広大・松本聡・堀川信一郎・2016年熊本地震合同地震観測グループ, 2016年熊本地震の余震発生における間隙流体圧の影響, JpGU-AGU Joint Meeting, SSS15-14.

寺川寿子・Wooseok Seo・Kwang-Hee Kim・Jin-Han Ree, 2017年韓国浦項地震の発生メカニズム, 日本地震学会2020年度秋季大会, S08-03.

Tomonaga, Y., K. Yagasaki, J.-O. Park, J. Ashi, S. Toyoda, N. Takahata, and Y. Sano, 2020, Fluid dynamics along the Nankai Trough: He isotopes reveal direct seafloor mantle-fluid emission in the Kumano Basin (southwest Japan), *ACS Earth Space Chem.*, 4(11), 2105-2112, doi:10.1021/acsearthspacechem.0c00229.

Tonegawa, T., Y. Yamashita, T. Takahashi, M. Shinohara, Y. Ishihara, S. Kodaira and Y.

- Kaneda, 2020, Spatial relationship between shallow very low frequency earthquakes and the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region of the Nankai subduction zone, *Geophys. J. Int.*, 222, 1542-1554, doi:10.1093/gji/ggaa264.
- Tonegawa, T., T. Kimura, and E. Araki, 2021, Near-field body-wave extraction from ambient seafloor noise in the nankai subduction zone, *Front. Earth Sci.*, 8, 699, doi:10.3389/feart.2020.610993.
- 土山 絢子・中島 淳一, 2020, 深発の相似地震における震源パラメータの多様性, 日本地震学会 2020 年度秋季大会, S09-24.
- Tsuru, T., J.-O. Park, K. Amakasu, T. No, K. Arai, T. Inoue, S. Furuyama, K. Uchida, and Y. Nakamura, 2020, Possible fluid discharge associated with faults observed by a high-resolution dense-2D seismic reflection survey in Uchiura Bay off Numazu, Japan, *Earth Planet. Space*, 72:121, doi:10.1186/s40623-020-01242-x.
- Uchide, T., 2020, Focal mechanisms of small earthquakes beneath the Japanese islands based on first-motion polarities picked using deep learning, *Geophys. J. Int.*, 223(3), 1658-1671, doi:10.1093/gji/ggaa401.
- Ueda, T., A. Kato, Y. Ogata, and L. Yamaya, 2021, Spatial Variations in Seismicity Characteristics in and Around the Source Region of the 2019 Yamagata-Oki Earthquake, Japan, *Earth Planet. Space*, doi:10.1186/s40623-020-01325-9.
- Ueki, K., T. Kuwatani, A. Okamoto, S. Akaho, and H. Iwamori, 2020, Thermodynamic modeling of hydrous-melt-olivine equilibrium using exhaustive variable selection, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 300, 106430, doi:10.1016/j.pepi.2020.106430.
- Wang, Z.W., and D. Zhao, 2021, 3D anisotropic structure of the Japan subduction zone, *Sci. Adv.* 7, eabc9620, doi:10.1126/sciadv.abc9620.
- Yabe, Y., M. Kanematsu, M. Higashi, R. Tadokoro, S. Yoshida, K. Sugimura, H. Ogasawara, T. Ito, A. Funato, M. Ziegler, B. Liebenberg, B. Watson, S. Mngadi, M. Manzi, and R. Durrheim, 2020, Stress state in the upper margin of the aftershock zone of the 2014 Orkney earthquake (M5.5), South Africa, estimated from analyses of drill cores and borehole breakouts of ICDP-DSeis drillings, EGU General Assembly 2020, EGU2020-3288, doi:10.5194/egusphere-egu2020-3288.
- Yabe, S., Y. Hamada, and T. Suzuki, 2020, Competing thermal pressurization and dilatancy hardening realizes coexistence of fast and slow slip on the shallow plate boundary fault, AGU Fall Meeting, S31-0004.
- 矢部 優, 鈴木 岳人, 2020, スロー地震と巨大地震が共存する浅部デコルマの断層破壊メカニズム: 掘削試料を用いた断層破壊数値計算による検討, JpGU-AGU Joint Meeting, SSS15-18.
- Yamasaki, T., H. Takahashi, M. Ohzono, T. J. Wright, and T. Kobayashi, 2020, Time influence of elastic thickness non-uniformity of viscoelastic crustal response to magma emplacement: application to the Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, *Geophys. J. Int.*, 224, 701-718, doi:10.1093/gji/ggaa440.
- Yamashita S. and A. Toramaru, 2020, Control of magma plumbing systems on long term eruptive behavior of Sakurajima volcano: Insights from CSD (Crystal Size

Distribution) analysis, Dynamic Magma Evolution, Geophysical Monograph 254, First Edition, Edited by Francesco Vetere, doi:10.1002/9781119521143.ch4.

山下裕亮・仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・中尾 茂・宮町宏樹・小林励司・清水 洋・松島 健・内田和也・中東和夫・阿部英二・山田知朗・篠原雅尚, 2020, 喜界島東方海域における浅部低周波微動活動(その1), 日本地震学会2020年度秋季大会, S22P-04.

Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Sugioka, and A. Ito, 2020, Shallow low-frequency tremor at Hyuga-nada (2017-2018), Slow Earthquakes Workshop 2020, P-A01-16.

Yamashita, Y., K. Mochizuki, M.K. Savage, E. Warren-Smith, and L.M. Wallace, 2020, Ocean bottom seismological observation of slow earthquake activity in the northern part of the Hikurangi subduction margin, New Zealand, AGU Fall meeting 2020, T017-0001.

Yamaguchi, Y., S. Biswas, T. Hatano, and L. Goehring, 2020, Failure processes of cemented granular materials, Phys. Rev. E 102, 052903, doi:10.1103/PhysRevE.102.052903.

Ye, T., X. Chen, Q. Huang, L. Zhao, Y. Zhang, and M. Uyeshima, 2020, Bifurcated crustal channel flow and seismogenic structures of intraplate earthquakes in western Yunnan, China as revealed by three-dimensional magnetotelluric imaging, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 125, e2019JB018991, doi:10.1029/2019JB018991.

Yoshida, K., T. Taira, Y. Matsumoto, T. Saito, K. Emoto, and T. Matsuzawa, 2020, Stress release process along an intraplate fault analogous to the plate boundary: A case study of the 2017 M5.2 Akita-Daisen earthquake, NE Japan, J Geophys. Res.: Solid Earth, 125(5), e2020JB019527, doi.10.1029/2020JB019527.

吉田圭佑・松澤 暢, 2020, 近年の地震観測により得られた東北日本の応力場の不均質性と断層強度および地震発生機構の関係, 地学雑誌, 129(4), 451 - 471, doi:10.5026/jgeography.129.451.

Yoshida, K., 2021, Detection of temporal change in near-source attenuation during intense fluid-driven seismicity following the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. J. Int., 224, 138-150, doi:10.1093/gji/ggaa421.

Yoshida, K., A. Hasegawa, S. Noguchi, and K. Kasahara, 2020, Low-frequency earthquakes observed in close vicinity of repeating earthquakes in the brittle upper crust of Hakodate, Hokkaido, northern Japan, Geophys. J. Int., 223, 1724-1740, doi:10.1093/gji/ggaa418.

Yoshida, K., N. Uchida, S. Hirahara, T. Nakayama, T. Matsuzawa, T. Okada, Y. Matsumoto, and A. Hasegawa, 2020, 2019 M6.7 Yamagata-Oki earthquake in the stress shadow of 2011 Tohoku-Oki earthquake: Was it caused by the reduction in fault strength?, Tectonophys., 793, 228609, doi:10.1016/j.tecto.2020.228609.

Yu, Z. and D. Zhao, 2020, Seismic evidence for water transportation in the forearc off Northern Japan, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 125, e2019JB018600, doi:10.1029/2019JB018600.

行竹洋平, 2020, 箱根火山の深部低周波地震, 地震ジャーナル, 69, 31-41.

- Yukutake, Y., T. Iwata, and Y. Iio, 2020, Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms. *Tectonophys.*, 290, 228553, doi:10.1016/j.tecto.2020.228553.
- Zhao, D., 2021, Seismic imaging of northwest pacific and east Asia: New insight into volcanism, seismogenesis and geodynamics, *Earth Sci. Rev.*, 214, 103507, doi:10.1016/j.earscirev.2021.103507.

根室沖17世紀地震震源域周辺のプレート境界構造

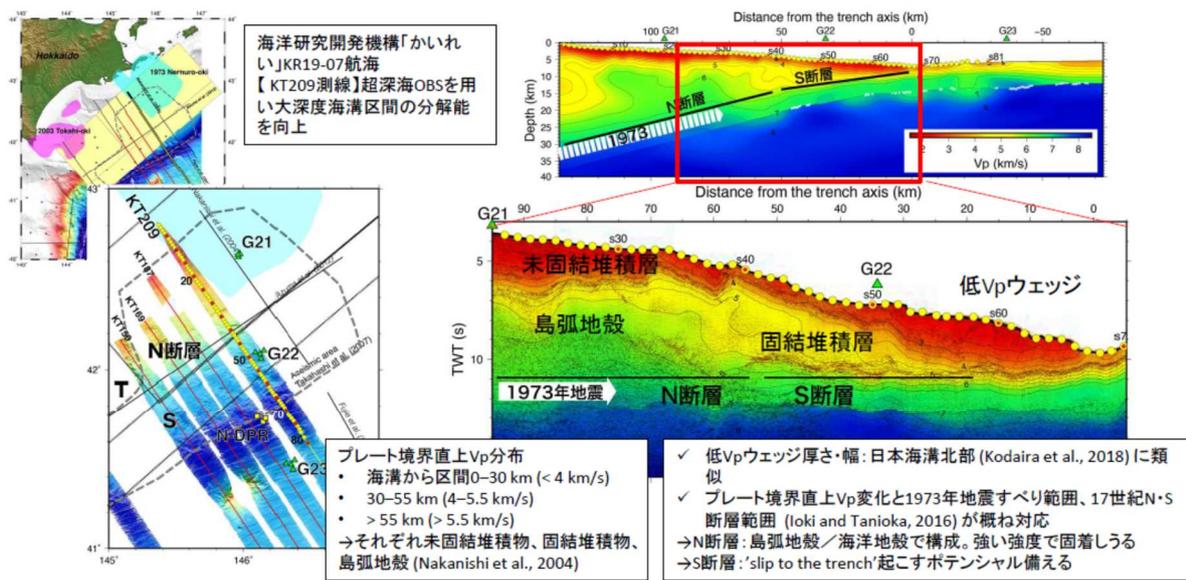


図1. 根室沖17世紀地震震源域周辺のプレート境界構造 (東京大学地震研究所[課題番号: ERI_05])。

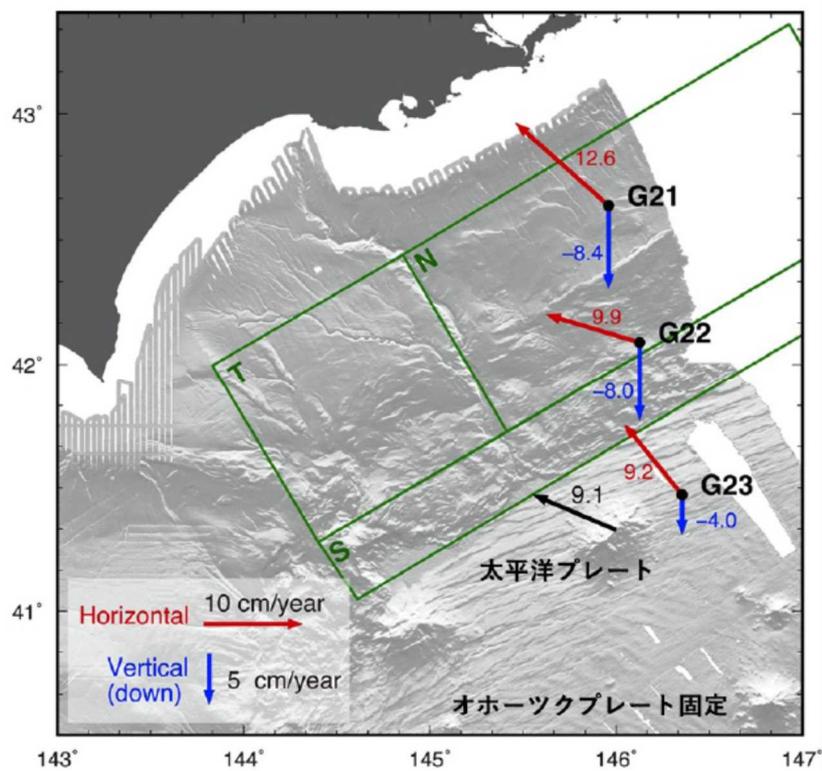


図 2 . GNSS-A による地殻変動の暫定推定結果 (東京大学地震研究所 [課題番号 : ERI_05]、東北大学災害科学国際研究所 [課題番号 : IRID02])
 15 ヶ月の間をあけた 2 回の GPS-A 観測から得られた地殻変動速度の暫定的な推定結果。水平動を赤、上下動を青ベクトルで示す。緑の矩形は Ioki and Tanioka (2016) による 17 世紀型超巨大地震の想定断層。

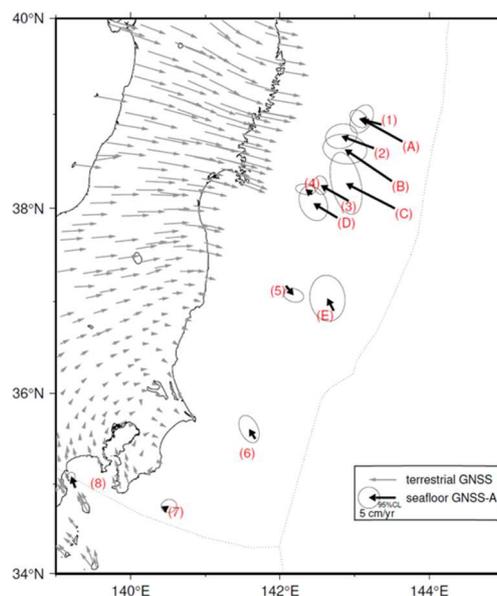


図 3 . 日本海溝沿いの直近約 4 年間の水平移動速度 (海上保安庁 [課題番号 : JCG_03])
 北米プレートを固定している。

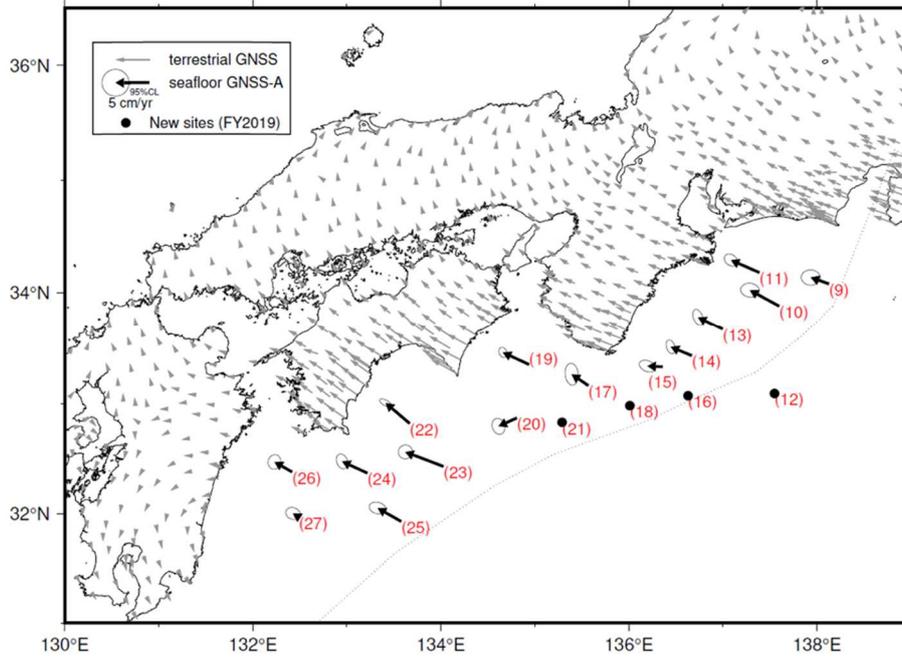


図4. 南海トラフ沿いの直近約4年間の水平移動速度（海上保安庁[課題番号：JCG_03]）アムールプレートを固定している。

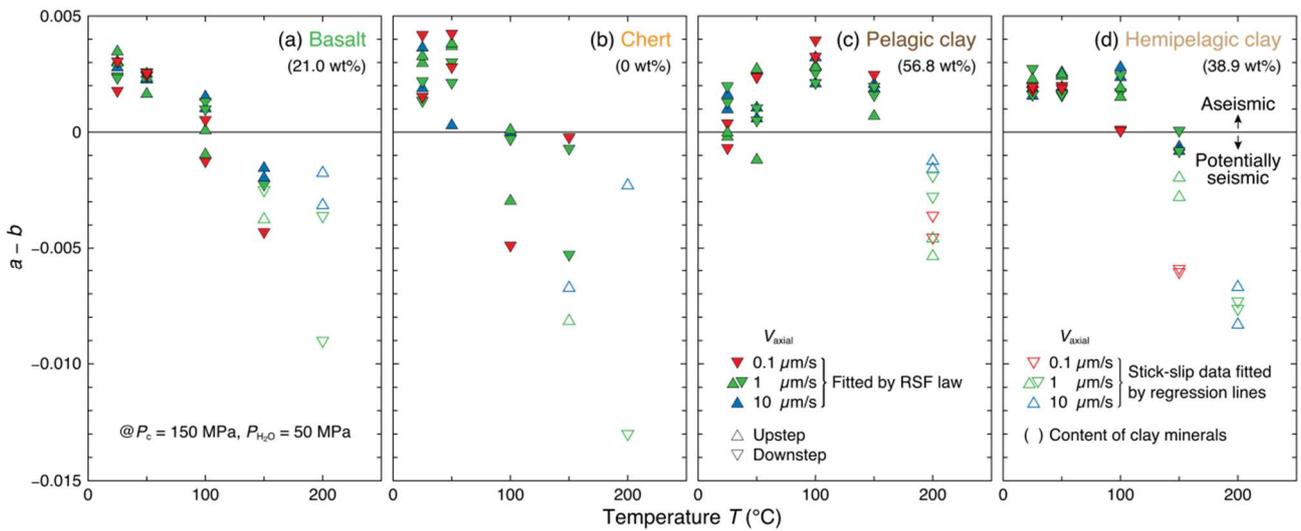


図5. 玄武岩試料 (a)、チャート試料 (b)、遠洋性粘土試料 (c) および半遠洋性粘土試料 (d) の $a - b$ 値の温度変化（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_05]）

() 内の数値は各試料の粘土鉱物含有量。

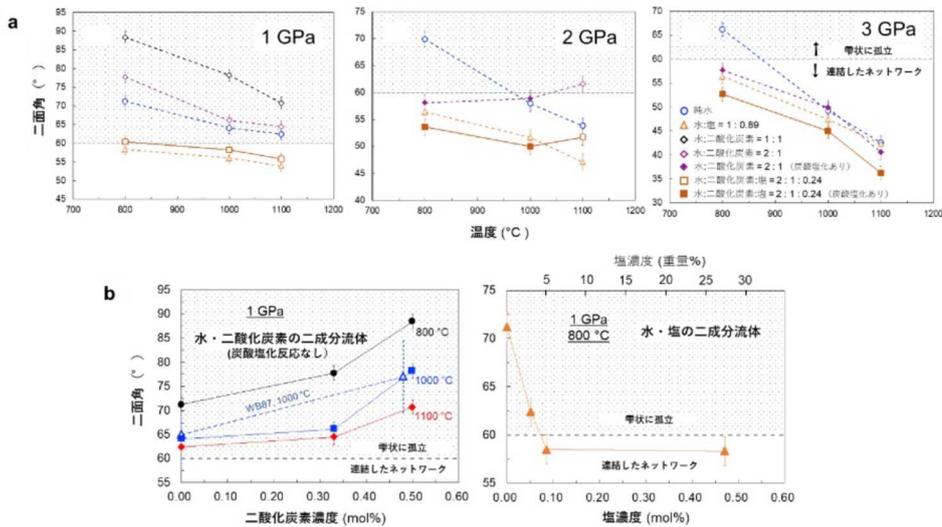
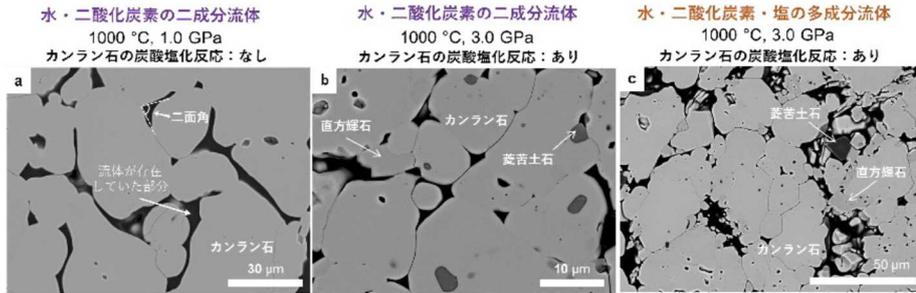


図 6. カンラン石の粒間における超臨界流体（東北大学[課題番号：THK_02]、Huang et al., 2020）

上) 超臨界流体を粒間を含んだカンラン石（マントルの主要構成鉱物）の多結晶体（実験産物）の電子顕微鏡写真。暗い部分が高温高压下で流体が存在していた部分。(a)水・二酸化炭素の二成分流体では、カンラン石の炭酸塩化が起こらない低压条件下で、図の二面角が 60° より大きくなり流体は孤立して存在する。(b)高压条件になると、炭酸塩化が起こり、直方輝石と炭酸塩鉱物の菱苦土石が生じる。炭酸塩化の効果で、二面角が 60° より小さくなり、3次元的に鉱物の稜に沿って連結した流体ネットワークが形成される。(c)水・二酸化炭素・塩の多成分系になると、カンラン石の炭酸塩化の効果に加え、流体中の塩の効果で二面角がさらに小さくなる。

下) 超臨界流体-カンラン石間の二面角（実験結果）。(a) 温度圧力依存性。水・二酸化炭素・塩からなる多成分流体の二面角（濃いオレンジ色の凡例）は、カンラン石の炭酸塩化が起こらない高温低压条件では、 800°C 、 1.0 GPa の条件を除き、二面角が 60° より小さくなるが、水・塩の2成分流体の二面角（黄色い凡例）よりは大きい。一方、カンラン石の炭酸塩化が起こる低温高压条件では、常に二面角が 60° より小さくなり、すべての実験系の中で、二面角が最も小さくなる。流体中の成分比はモル数で表している。(b)二面角の二酸化炭素濃度および塩濃度依存性。純水に二酸化炭素が少量加わっても、二面角は緩やかにしか上昇しない一方、塩が少量加わると二面角は急激に減少する。ゆえに、二酸化炭素および塩を少量含む多成分流体では、塩の二面角を減少させる効果が、二酸化炭素の二面角を増加させる効果を上回る。

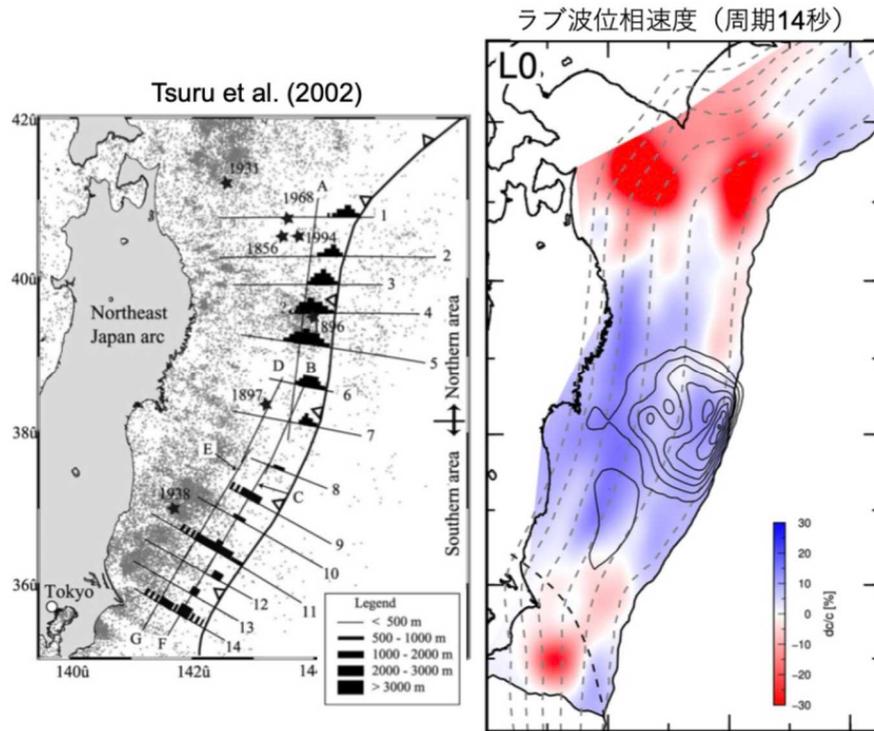


図7. Tsuru et al. (2002) による低速度物質の空間分布 (左) と S-net 常時微動データから推定したラブ波位相速度マップ (右) (東北大学[課題番号: THK_02])
 点線のコンターはプレート境界等深線 (Kita et al., 2010、 Nakajima and Hasegawa, 2006)、実線コンターは 2011 年東北沖地震のすべり分布 (Iinuma et al., 2012) を示す。

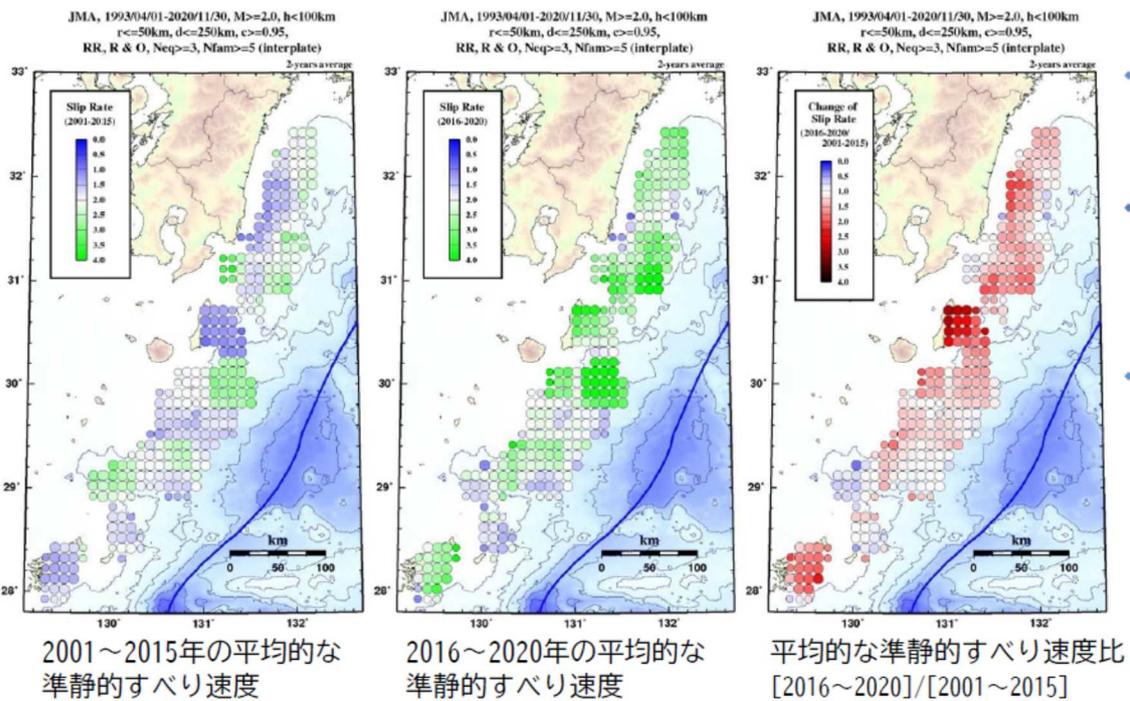


図8. 日向灘 - 南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化 (鹿児島大学[課題番号: KGSM01])。

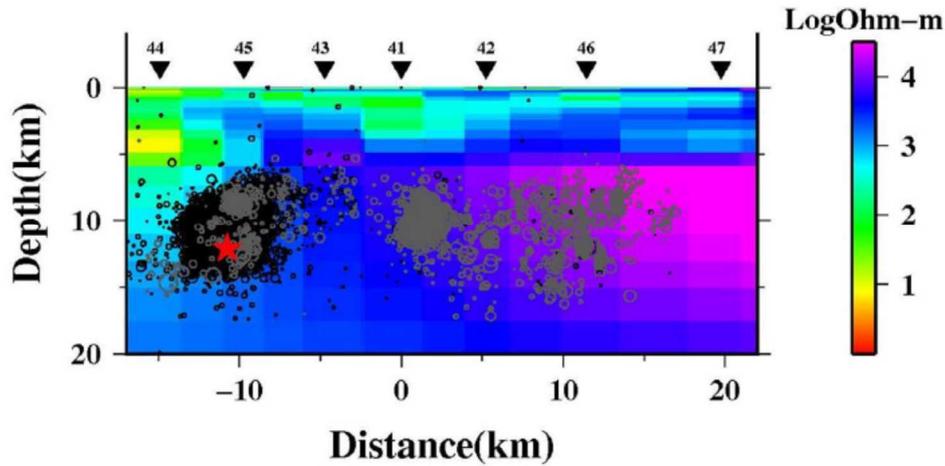


図9. 三瓶山周辺域の2次元比抵抗構造断面図(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03])
 測線を中心として幅±5kmの範囲に含まれる震源データ(灰色:2000年1月1日~2018
 年3月31日、黒色:2018年4月1日~2018年12月31日)を気象庁ホームページ「地
 震月報」よりダウンロードして描画した。2018年島根県西部地震の震源を赤星印★でプ
 ロットした。

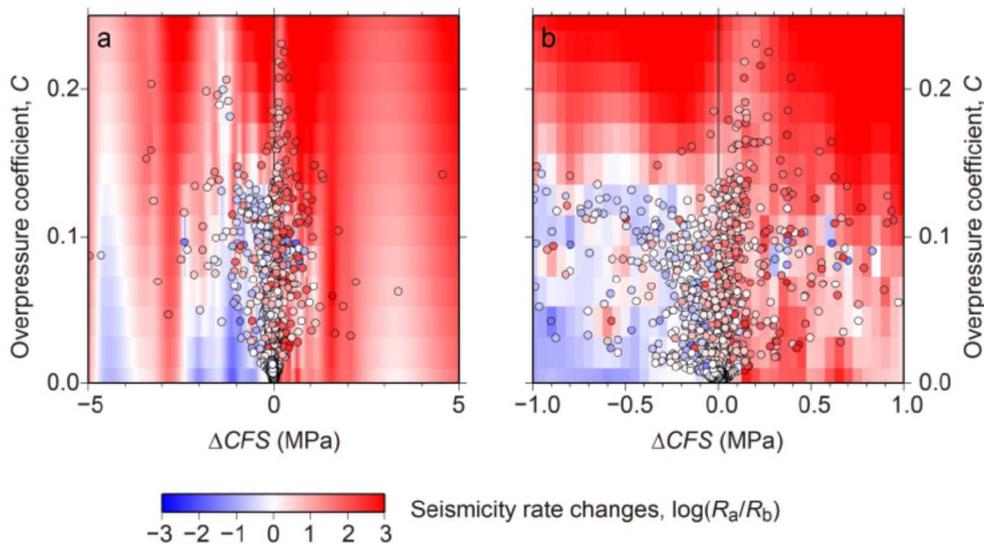


図10. 2016年熊本地震による ΔCFS 及び地震前の間隙流体圧と地震活動度の変化の関係
 (京都大学防災研究所[課題番号:DPRI03]、Nakagomi et al., 2021)

a. $-5 \text{ MPa} \leq \Delta CFS \leq 5 \text{ MPa}$ 、b. $-1 \text{ MPa} \leq \Delta CFS \leq 1 \text{ MPa}$ 。間隙流体圧係数Cは、 $C = (P_f - P_H) / (P_L - P_H)$ で定義される無次元数である(P_f : 間隙流体圧, P_H : 静水圧, P_L : 静岩圧)。地震活動度の変化は、地震前3年間(2013年4月14日~2016年4月13日)の地震数(R_b)に対する地震後3年間(2016年4月14日~2019年4月13日)の地震数(R_a)の比で表現した。○は各評価点での結果で、○のカラーは地震活動度の変化を示す。背景のカラーは、これらの結果を補間したものである。

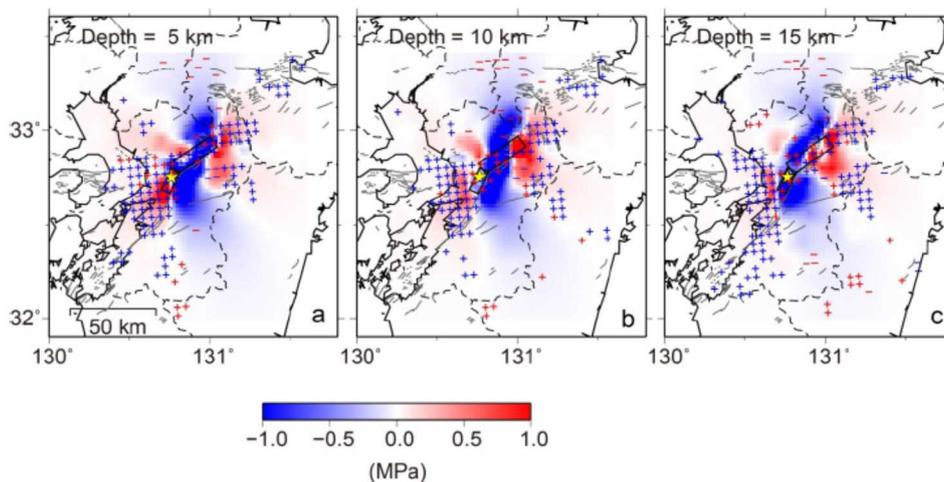


図 11. Δ CFS と地震活動度の変化の関係（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）。
 a-c は、それぞれ、深さ 5 km、10 km、15 km の結果を示す。青と赤の+は、 Δ CFS > 0 及び Δ CFS < 0 の領域で、熊本地震後に地震活動が 10 倍以上に増加した領域である。青と赤の-は、 Δ CFS > 0 及び Δ CFS < 0 の領域で、熊本地震後に地震活動が 1/10 以下に減少した領域である。 Δ CFS の値は、-1 MPa~1 MPa までの範囲内で打ち切って表示している。☆は 2016 年熊本地震の震源、矩形は熊本地震震源断層の北部及び南部セグメント（Asano and Iwata, 2016）、点線は県境、グレーの線は活断層を表す。

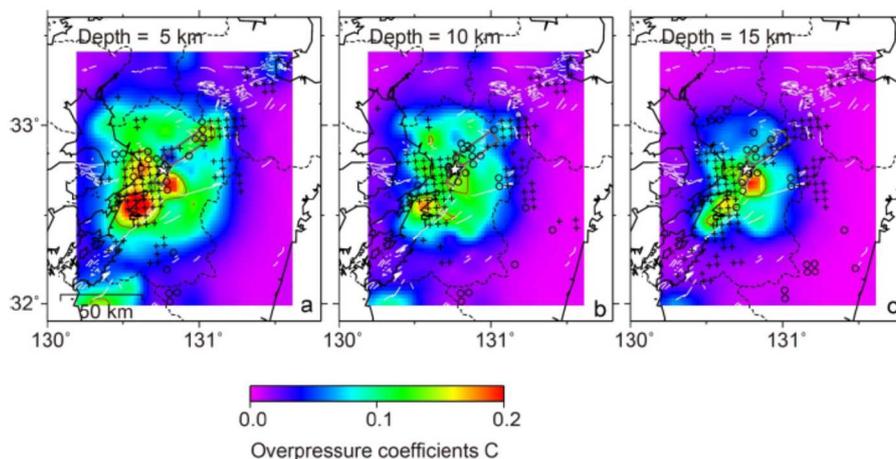


図 12. 間隙流体圧係数と地震活動度の増加の関係（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI03]）
 a-c は、それぞれ、深さ 5 km、10 km、15 km の結果を示す。+及び○は、 Δ CFS > 0 及び Δ CFS < 0 の領域で、熊本地震後に地震活動が増加した領域を示す。カラーは間隙流体圧係数 C の値を示す。赤い線は、C=0.13 のコンター線を示す。☆は 2016 年熊本地震の震源、矩形は熊本地震震源断層の北部及び南部セグメント（Asano and Iwata, 2016）、点線は県境、グレーの線は活断層を表す。

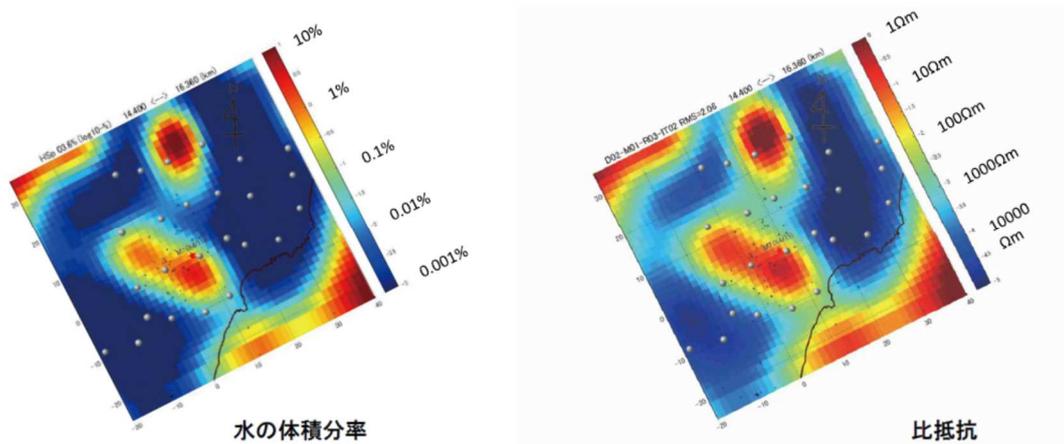


図 13 a . 比抵抗構造と水の体積分率(15 km 周辺)(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_09])

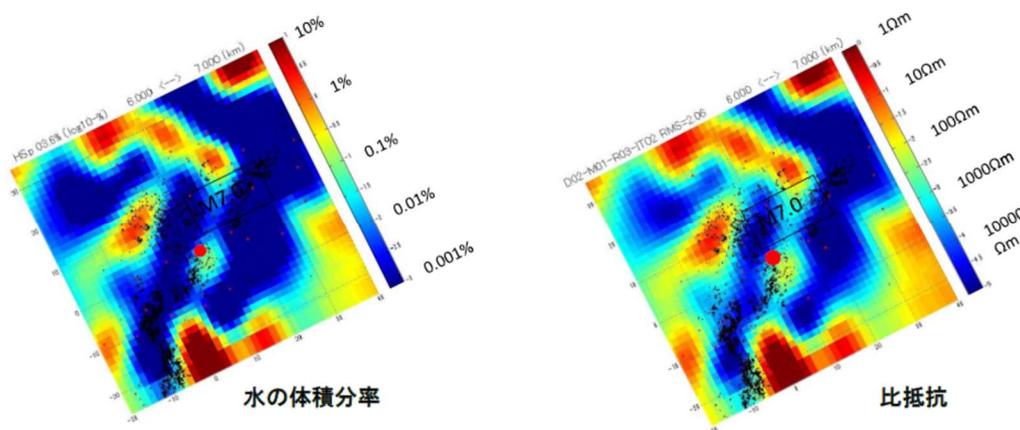


図 13 b . 比抵抗構造と水の体積分率(7 km 周辺)(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_09])

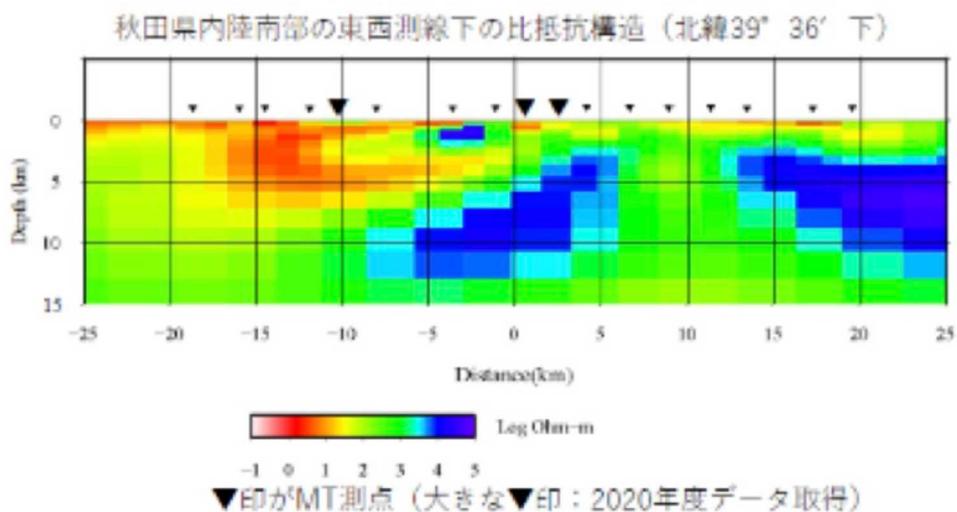


図 14. 秋田市雄和地区の秋田空港付近から、仙北市角館町にかけてのほぼ北緯 39° 36' の緯線に沿う東西測線での比抵抗構造 (東北大学[課題番号:THK_07])

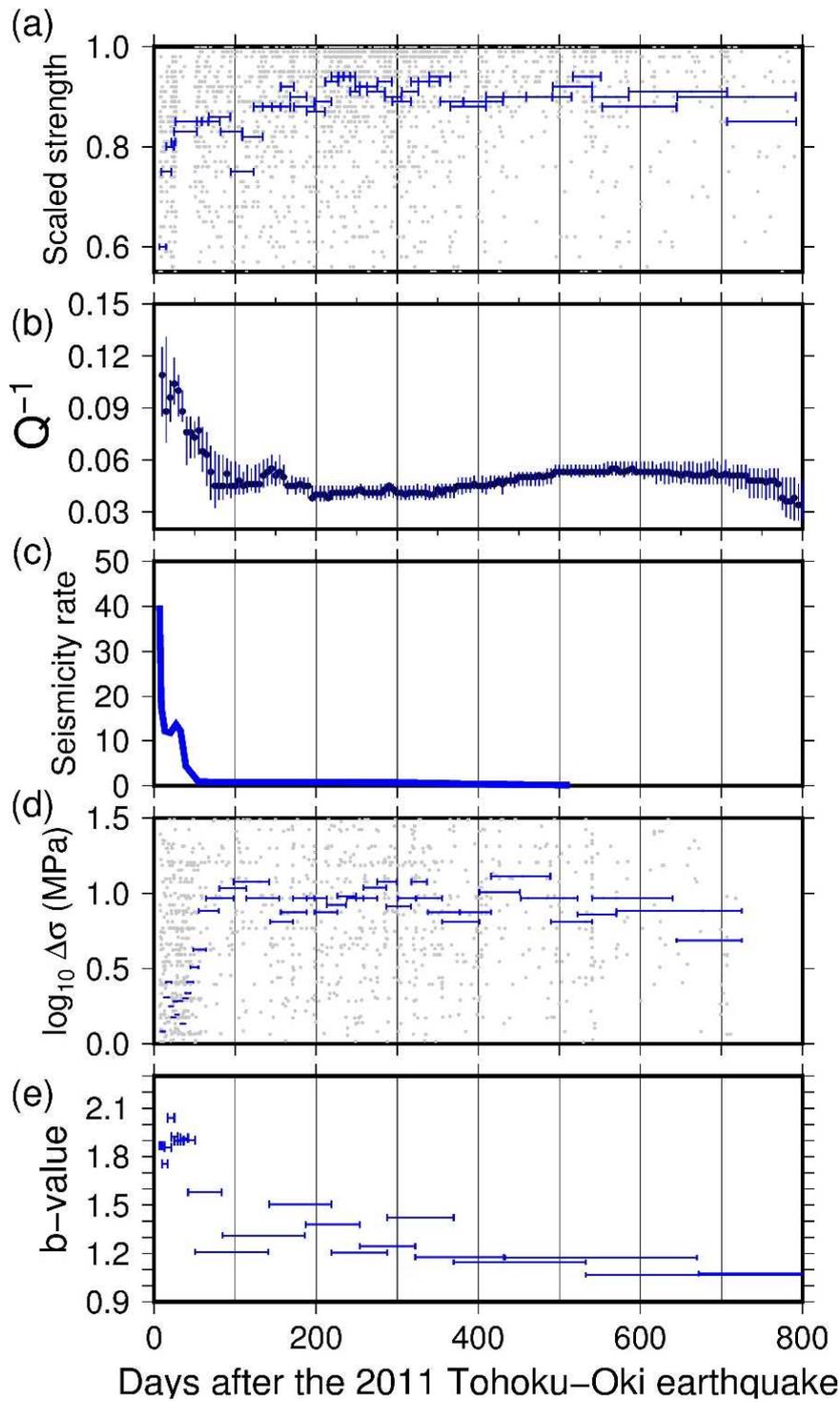


図 15. 2011 年東北沖地震後に山形-福島県境で発生した群発地震およびその地震発生域の様々なパラメータ（東北大学[課題番号：THK_02]、Yoshida, 2021）

(a) Scaled Strength, (b) Q^{-1} , (c) Seismicity Rate, (d) $\Delta \sigma$, (e) b 値)の時間変化。

地震波速度構造 (熊本)

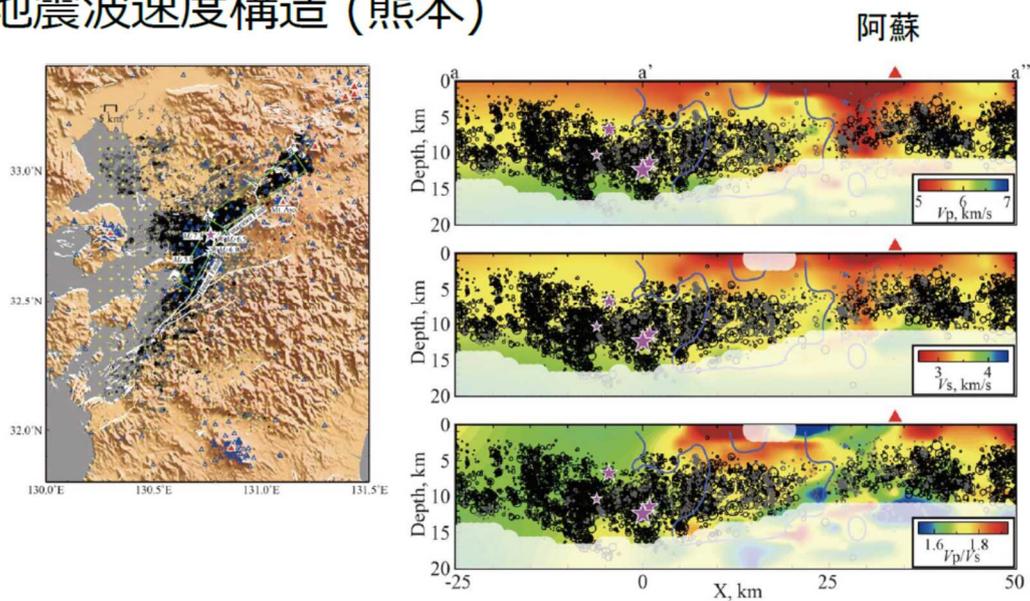


図 16. 地震波速度構造と滑り分布 (九州大学[課題番号: KYU_01])

(左図) 震源分布図、(右図上) 震源分布断面図とP波速度構造、(右図中) 震源分布断面図とS波速度構造、(右図下) 震源分布断面図と V_p/V_s 構造。

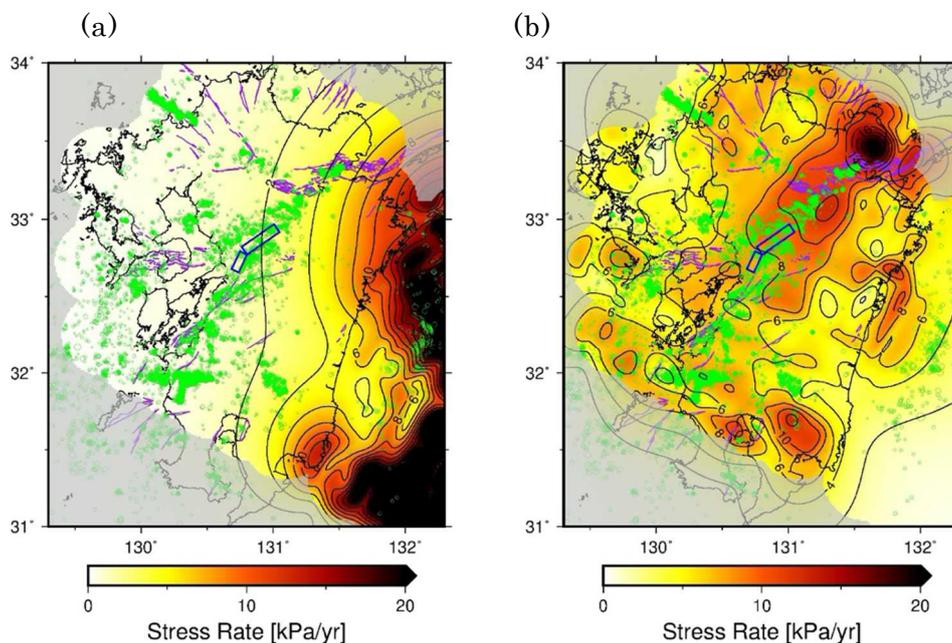


図 17. 深さ 7km での応力変化速度と地震活動 (九州大学[課題番号: KYU_01]、Yuasa and Matsumoto, submitted)

(a) プレート間固着による応力変化と震源分布(緑丸)、(b) 下部地殻の非弾性変形による応力変化と震源分布(緑丸)。

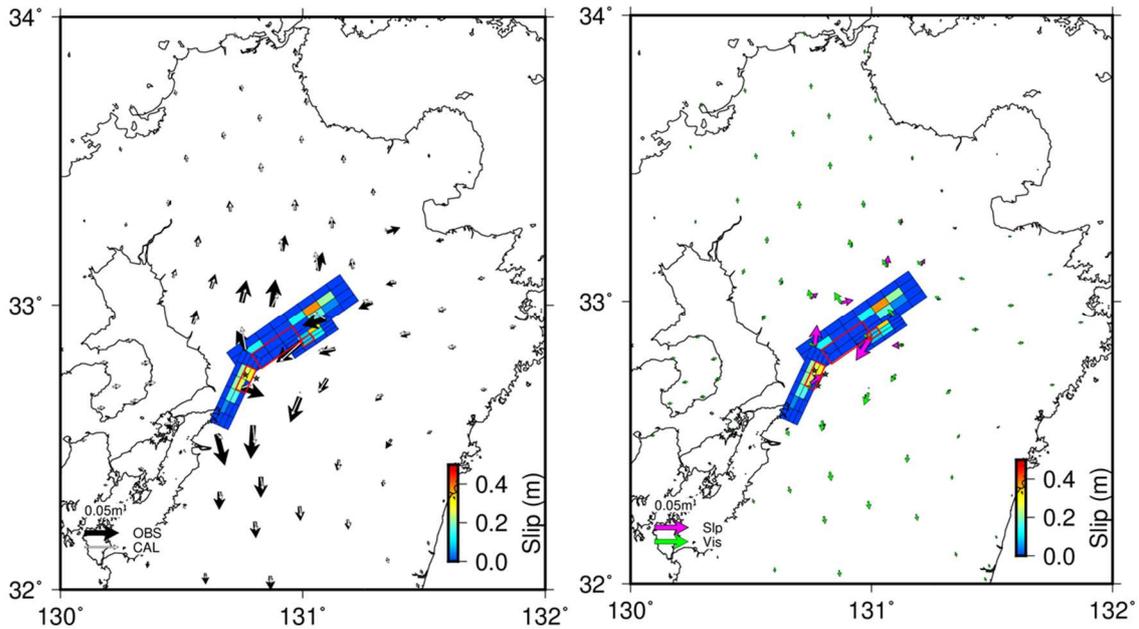


図 18. 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震後 1 年間の変動量から推定した余効すべり分布 (国土地理院[課題番号: GSI_01])。

(左) 水平方向の変位の観測値 (黒) 及び計算値 (白)。(右) 水平方向の変位の計算値のうち、余効すべり (マゼンタ) 及び粘弾性変形 (緑) の寄与。地震時のすべりを与えた断層パッチ (矢来ほか 2016) を赤枠で囲っている。なお、上端を除く断層端のすべり量は 0 に固定している。粘性率は 2×10^{18} Pa s を使用した。

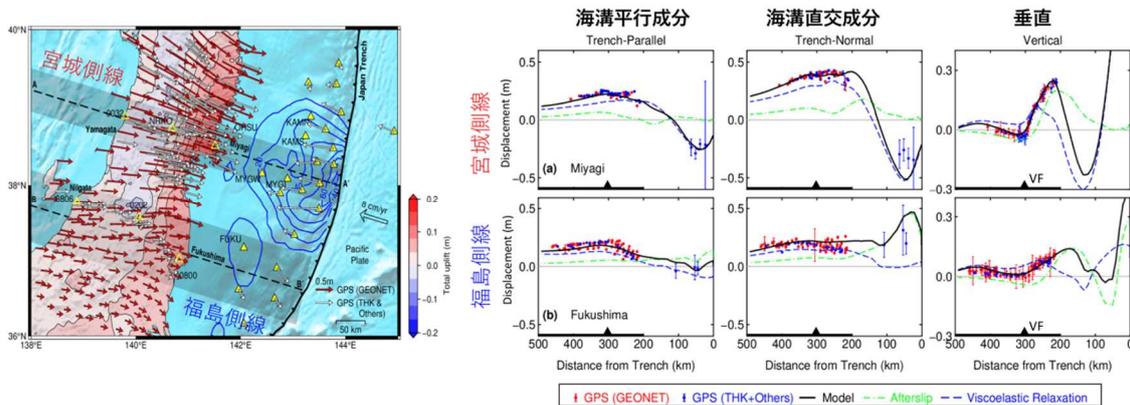


図 19. 2011-2016 年までの東北沖地震の余効変動解析 (東北大学[課題番号: THK_07])
 GEONET と東北大の持つ宮城-山形、福島-新潟の稠密 GNSS 観測から島弧に沿う南北方向での余効変動の変化を解明。2 つの側線での観測を、海溝平行成分、直交成分、垂直成分に分け、モデルとの詳細比較 (右)。上段が、宮城測線、下段が、福島測線。線の色は計算値を表す。緑: 余効滑りによる変位、青: 粘弾性緩和による変位、黒: 余効滑りと粘弾性の合算変位 (モデル計算)、赤シンボル: GEONET 観測値、青シンボル: 東北大の稠密観測値。

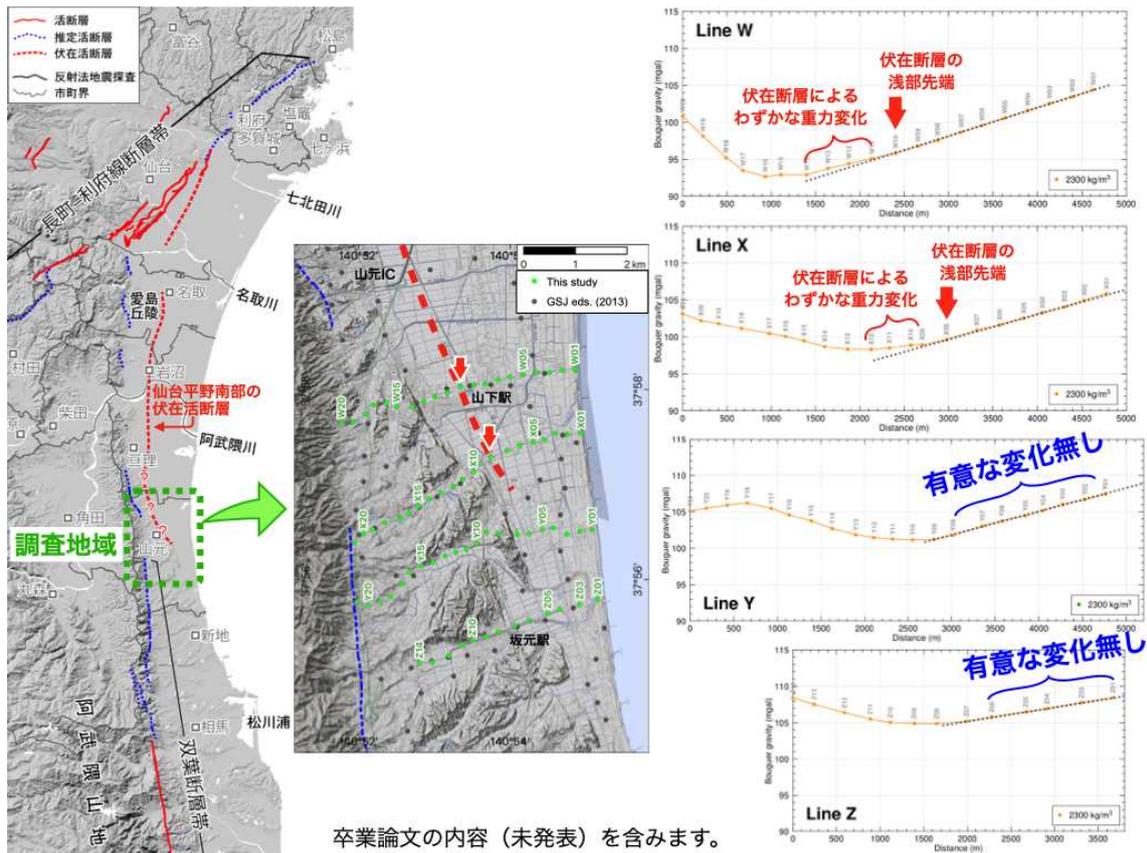


図 20. 仙台平野南部，宮城県山元町付近でのブーゲー重力異常の結果（東北大学[課題番号：THK_07]、平出，2021）。

仮定密度は 2300 kg/m^3 を適用した。4 測線のうち北側 2 本では、微小ではあるが伏在活断層に関連する重力変化を捉えたが、南側の 2 本の測線では、その延長部分に伏在活断層によると考えられる有意な重力変化はなかった。測線西側の高ブーゲー重力異常は、阿武隈山地の頂部付近に分布する白亜紀後期の花崗閃緑岩に伴う重力変化であり、伏在活断層に伴う重力変化は、その東側に検出される。