

1 (1) 海溝型地震

「海溝型地震」計画推進部会長 小原一成（東京大学地震研究所）

副部会長 西村卓也（京都大学防災研究所）

海溝型地震の発生機構を科学的に解明することは、海溝型地震の発生予測ならびに地震に伴う地震動、津波などによる災害に備えるための基本として重要である。海溝型地震計画推進部会では、主としてプレート境界で発生する海溝型地震を対象に、地震現象に関する過去データの収集と整理、地震現象の解明、地震発生場の解明、地震現象のモデル化、モニタリングによる地震活動予測、先行現象に基づく地震活動予測、及び観測・解析技術の開発を進めてきた。加えて、海洋プレート内部で発生するスラブ内地震についても発生機構の解明に関する研究を行っている。以下では、これらの項目において、本計画の4年目である平成29(2017)年度の成果の概略を述べる。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料、考古データ、地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

日本海溝・千島海溝、相模トラフ、南海トラフ、南西諸島海溝で発生した巨大地震の履歴と発生様式を明らかにするため、津波堆積物、地形地質調査などに基づいたデータ収集と整理が行われた（北海道大学〔課題番号：1002〕、名古屋大学〔課題番号：1703〕、海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕、産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕）。

千島海溝沿いの北海道十勝地域において、古津波の堆積物と地殻変動の痕跡を抽出した。当縁川下流域に広がる湿原の17地点においてGPS測量及びジオスライサー掘削を行い、珪藻化石分析などの解析を実施した（北海道大学〔課題番号：1002〕）。テフラ層との対比から過去約1000年間の地層に砂～泥層が2層認められ、上位が17世紀に起こった巨大地震に伴う津波堆積物、下位が12世紀に発生した地震に伴う津波堆積物に相当すると考えられる。珪藻化石の分析から17世紀の巨大地震後に隆起が生じたと考えられ、巨大地震から1667年樽前山噴火によるTa-bテフラの堆積後までの隆起量は少なくとも54～72cm程度と見積もられた。その後現在までの堆積物からは、沈降傾向は認められていない。一方、12世紀の巨大地震による地殻変動は、地震後に隆起した後に沈降に転じ、17世紀のイベントまで沈降が継続したと考えられ、17世紀のイベント前後の地殻変動とは異なっている。また、地震時の地殻変動量は17世紀比べて小さかったことも示唆された。

日本海溝域の過去の超巨大地震の履歴を把握するため、海底に形成されたタービダイトを精密かつ広範囲な対比のための地磁気永年変化標準曲線を確立した（海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕）。これによりタービダイトの年代取得が大深度まで且つ過去7000年前まで可能となった。相模トラフ沿いでは、房総半島南部の海岸段丘について、詳細DEMの解析とボーリングコア試料の解析から段丘の分布パターンと離水年代の再検討を行った（産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕）。その結果、段丘の区分と年代が更新され、再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった。南海トラフ沿いでは、熊野灘において

海底地形の高解像度データ（1秒メッシュ）を取得し、得られた詳細な地形イメージに基づいて、海底活断層の位置形状に関する検討が実施された(名古屋大学[課題番号:1703])。

イ. プレート境界巨大地震

（東北沖）

東北沖地震の震源域やその周辺では、主に海底での地震・地殻変動観測から東北沖地震以降の様々な地震活動・地殻変動・地下構造の変化が引き続き捉えられている（東北大学[課題番号:1210]，東京大学地震研究所[課題番号:1503]，東京大学地震研究所[課題番号:1510]，海洋研究開発機構[課題番号:4002]，国土地理院[課題番号:6003]，海上保安庁[課題番号:8001]）。

GNSS-音響測距結合方式(以下,GNSS-A)海底地殻変動観測(海上保安庁[課題番号:8001])により、昨年度までと同様にマンツルの粘弾性効果の影響を含んだ余効変動が継続していることが観測されている(図1)。時間変化に注目すると、2015年以降は福島沖の観測点などで変動速度がやや鈍化する傾向が見られる。2012年から2016年の間に観測された地殻変動と本震発生時の地殻変動と併合して、地震時滑りと地震後滑りを同時に推定したところ(東京大学地震研究所[課題番号:1503])、地震時滑り分布は、地震時変動データのみを弾性媒質モデルを使って解析した場合に推定された滑り分布に比べて海溝軸に沿って北側にまで広がった。しかし、津波波源解析の結果が要請するほどの広がりではなく、北緯39度以北の津波波源はプレート境界断層の滑りとは異なる変動によるものである可能性がある。一方、推定された余効滑り分布の大部分は地震時滑り域より深部側プレート境界で見られたが、地震時滑りが及ばなかった北緯37.5度以南の海溝軸に近いプレート境界浅部でも余効滑りが発生していることがわかった。この浅部の余効滑り域では、低地震波速度層がプレート境界面に沿うように広がっていることが明らかとなっており、こうした構造が滑り挙動を規定している可能性がある。また、地震後に大幅に拡張されたGNSS-A海底地殻変動観測網による地震後変位データには地震時滑りが励起した粘弾性緩和による変動成分が含まれることから、こうした地震後データも地震時滑り分布の推定精度向上に資することが明らかとなった。

（南海トラフ）

GNSS-A海底地殻変動観測により、南海トラフ周辺域での地殻変動観測も継続されており、昨年度までと同様にプレート境界固着の影響による地殻変動が観測されているが、時間的な変化はまだ明瞭には観測されていない(海上保安庁[課題番号:8001])。

海陸の地殻変動観測データから、ブロック断層モデルとブロック境界の断層を空間的な推定誤差を最適化した小断層分割を用いてプレート間固着の空間分布を推定した(名古屋大学[課題番号:1703])。固着分布(図2)を大局的に見ると、トラフ軸沿いの深さ0~25km付近までの固着が強い傾向があるが、日向灘や室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部領域など、部分的に固着が弱い領域が存在する。このことは、海域のプレート間固着が非常に不均質であることを意味している。また、深さ30km以深は固着が弱いことが推定された。一方、類似した解析方法を用いた研究(海上保安庁[課題番号:8001]，Nishimura et al., 2017)におけるプレート間カップリングの推定結果は、先行研究(Yokota et al., 2016)

において示された分布と概ね調和的であるが、先行研究での推定誤差と思われる深部での不自然な固着が推定されなくなった。しかし、現状の海底地殻変動観測データを用いても、トラフ軸近傍の浅部の分解能不足は解消されていないことがわかった。

南海トラフ巨大地震の想定震源域近傍の岐阜県土岐市・愛知県豊橋市・静岡県森町に設置してある ACROSS 震源装置の稼働を継続して行った（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。複素領域での解析を考案することで、森町の震源の周辺 12 点の Hi-net 観測点で観測した伝達関数から 2004～2017 年全期間について徐々に地震波速度が速まる傾向と、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に地震波速度が遅くなる現象が確認された（図 3）。

（3）地震・火山噴火の発生場の解明

ア．プレート境界地震

千島海溝沿いの日高衝突帯からその海域延長部に至る領域を地震波トモグラフィー法で解析することによって P 波及び S 波速度構造を推定した（北海道大学〔課題番号：1002〕）。用いたデータは、平成 11～13 年に北海道・日高山脈付近で行われた大学合同の陸上稠密地震観測と、平成 11 年と平成 12 年に北海道南方沖で気象庁と共同で行われた海底地震観測で得られたものである。その結果、千島弧の下部地殻の深い部分が日高山脈直下で分離（デラミネーション）して、1982 年浦河沖地震（M7.1）の震源域直下の太平洋プレート上面の深さまで達しているという結果（図 4）が得られた。このようなデラミネーション構造は、反射法地震探査によって陸域の短い測線で断片的に確認されているものの、陸域で行われた屈折法地震探査や、陸上観測点のデータのみを用いた地震波トモグラフィー法ではイメージングされておらず、陸上のデータのみからはイメージングできないことがわかった。

房総沖で行われた人工地震探査データを解析し、スロースリップイベント（SSE）発生領域での反射波強度についての解析を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，Kono et al., 2017）。データは、2009 年に白鳳丸を用いて行われ、海底地震計とエアガンを使用した測線長 216km の東西測線（図 5）である。解析の結果、地震波速度約 5 km/s の部分が東にゆるやかに傾斜していて、この部分がフィリピン海プレート上面であることが示された。Travel time mapping 法を用いて反射点を 2 次元断面に投影すると、フィリピン海プレート上面では、反射波が見える部分と見えない部分があり、見える部分は SSE 発生領域と一致することがわかった。

イ．海洋プレート内部の地震

伊豆半島の約 100 km 北方で発生している孤立した 42 個の地震（深さ 40-90 km）（図 6）の震源決定及びメカニズム解の推定を行った（東北大学〔課題番号：1201〕，Nakajima, 2018）。その結果、プレート境界地震と解釈される低角逆断層地震よりも深いところで 37 個の地震が発生していることが明らかになった。それらの地震は沈み込むフィリピン海スラブ内の地震と考えられる。地震発生域の温度や応力状態が周囲の非地震的なスラブと大きく異なることは考えにくいことから、この孤立した地震活動はスラブの局所的な含水化が原因であると推測できる。

（4）地震現象のモデル化

イ．断層滑りと破壊の物理モデルの構築

（摩擦実験）

高速せん断中の接触点温度と強度の関係を明らかにするために、高時空間分解能での温度分布の直接測定に取り組み、発熱による発光を高速カメラで撮影し、2色温度法で温度を推定することに成功した（東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕，Kuwano, 2017；桑野, 2018）。高速せん断される摩擦面の真実接触点の発熱による発光（図7）を、2つの波長での輝度の比によって温度を推定する（2色法）ことにより、輝度そのものに頼る1色法とは違い、撮影データの分解能の限界からくる平均化効果に邪魔されずに、局所的瞬間的発熱（フラッシュヒーティング）によって発生した温度の絶対値を正しく捉えることができた。接触点の最高温度は常圧での試料の融点を越え、2500℃程度まで上昇していたが、これは真実接触点が数GPa程度の高圧であることを考えれば合理的である。

沈み込む海洋プレートの基盤岩や表層堆積物を用いた摩擦実験が行われ、摩擦係数の速度依存性（ $a-b$ 値）の温度依存性や有効圧依存性が求められている（東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕，東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕）。日本海溝沈み込み帯深部に分布すると考えられる藍閃石片岩試料についての摩擦実験（東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕）から、藍閃石片岩は温度100～300℃の間で $a-b$ 値が負となり、200℃で最低値をとり、地震を引き起こすポテンシャルを持つことが明らかになった。東北地方太平洋沖地震の震源域温度が約160℃程度と推測されていることから、藍閃石片岩の摩擦特性は震源核形成に関与しうると考えられる。また、 $a-b$ 値が正の温度条件においても、有効圧が低下するにつれて $a-b$ 値が負に遷移する傾向が確認された。この結果は、間隙水圧が上昇（有効圧が低下）すると、 $a-b$ 値が正から負に変化する点でスロー地震が発生する条件が現れることを示唆しており、東北地方太平洋沖地震に先行して発生したスロー地震も間隙水圧の上昇に起因している可能性がある。

防災科研が所有する大型振動台を利用した岩石摩擦実験の歪みデータを解析し、スティックスリップイベント発生時の断層破壊過程を調査した（防災科学技術研究所〔課題番号：3001〕，Yamashita et al., 2018）。その結果、載荷速度が大きくなるにつれて震源核の時空間サイズが減少し、より不安定で高速な破壊が励起されることを明らかにした。また、断層が粗くなるにつれ前駆的スロースリップが始まる時間及び場所の再現性が低下していき、断層面の粗さが初期及び主破壊過程に大きく影響することを確認した。

（シミュレーション）

地球潮汐等の外部擾乱の影響を取り入れたSSE発生サイクルの数値シミュレーション研究を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。短期的SSE領域周辺域で、長期的SSEのような滑りが発生することによる影響については、平板のプレート形状と円形パッチを仮定したモデルにおいては、領域全体の滑りが発生した後、SSEの発生がしばらく見られない状況が発生する。しかし、潮汐の効果を導入した場合には、周辺域での滑り後、より早く短期的SSEの発生が見られるようになった。さらに、四国の形状を考慮したMatsuzawa et al. (2013)と同様のモデルに潮汐による影響を導入したところ、長期的SSEの発生後、潮汐がない場合より早く短期的SSEが繰り返し発生する状況に戻る傾向が見られた。これらの結果より潮汐は、周辺域の滑りに

よる応力擾乱に対し、短期的 SSE の繰り返し発生を安定化させる役割を持つ可能性が示唆される。

不均質弾性媒質における速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクル (EQC) シミュレーションにおいては、従来鉛直の横ずれ断層のみのシミュレーションが行われていた。本計画においては、これまで鉛直の逆断層への拡張が実現してきたが、今年度実施した計算アルゴリズムの改良により、傾斜断層での動的破壊、全無限媒質及び半無限垂直断層での動的破壊過程を含む EQC シミュレーションコードの開発に成功した (京都大学理学研究科 [課題番号: 1801])。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(日本海溝・千島海溝)

断層面上の滑りの履歴推定には、主に地殻変動データが用いられてきたが、海域における空間的分解能は必ずしも高いとは言えない。この点を改善するために地殻変動データと地震活動データとを組み合わせ、滑り分布を推定する予備的な解析を試みた (京都大学理学研究科 [課題番号: 1803])。地震活動については、応力変化と摩擦構成則から地震活動度を得るモデル (Dieterich, 1994) から期待される地震活動の空間分布が、実際に観測された地震 (余震) 活動と合うよう、必要な応力変化を引き起こすような滑り分布を地殻変動データとともに評価し、2005 年宮城県沖地震へ適用した例を図 8 に示す。地殻変動データのみから推定された滑り分布 (図 8 a) は、同心円的な単純な分布となっているのに対し、地震活動データを加えると、その情報をある程度反映し、地震波データに基づく滑りインバージョンの結果 (Yaginuma et al., 2006) と似通った特徴を持つ複雑な空間分布が得られた (図 8 b)。

(南海トラフ)

SSE に伴う流体移動の検出のために、東海地方、豊後水道、宮崎県において重力観測を継続した (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509], Tanaka et al., 2018)。東海地方では、2001 年と 2013 年頃から長期的 SSE が発生していることが知られているが、この時期を含む、これまでの約 20 年間の重力観測により、SSE による重力変化を観測することに成功した (図 9)。スロースリップ域の浅部に位置する御前崎、菊川では、スロースリップ中に重力変化が小さく、スロースリップの発生していない時期に重力が増加している。スロースリップ中の重力減少が断層破碎帯内の流体移動で説明しうることを示した。

西南日本で発生するスロー地震のうち、深部超低周波地震のマッチドフィルター法による自動検出システムを構築し、2004-2017 年の活動推移や長期 SSE への応答性を解明した (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509], Baba et al. 2018)。豊後水道で長期 SSE が発生した時に豊後水道での深部超低周波地震活動が活性化すること、その活性化領域が 2010 年と 2014 年では異なり、長期 SSE の大きさや活動範囲を反映することなどがわかった (図 10)。また、豊後水道から愛媛県西部にかけて、2014 年後半以降に深部超低周波地震活動が低下しており、プレート間の固着強度が長期的に変化している可能性を示した。

同様の解析を紀伊・東海地方でも行ったが、超低周波地震の検出数自体が少なく、明瞭な活動度の時間変化は見られなかった。

GNSS データを用いたプレート間固着分布の推定では、内陸のブロック運動を考慮したブロック断層モデルを用いて、2014 年以降の解析を行った（国土地理院〔課題番号：6003〕）。東海地方と九州東岸の SSE に加え、紀伊半島東岸での固着が 2014-2015 年に比べて若干小さくなる結果が得られた（図 1 1）。この紀伊半島東岸の固着の弱化は、紀伊半島東岸で 2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震（M6.5）に加え、一連の短期的 SSE の発生による地殻変動の変化を受けたためであると考えられる。なぜ、2014-2015 年に比べて短期的 SSE の発生に伴う地殻変動がトレンドを変えるほど大きくなったのかは不明であり、今後注視していく必要がある。

（南西諸島海溝）

日向灘から奄美大島にかけてのフィリピン海プレートの沈み込みプレート境界において、相似地震から準静的滑り速度を求めた（図 1 2）（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。喜界島北部（領域 K）を除く 9 領域で、2015 年頃から準静的滑り速度がほぼ同期して変化している。しかしながら、滑り速度の増減は一致しておらず、6 領域が増加しているのに対し、3 領域では減速している。2015 年以降の変化を詳細に見ると都井岬沖付近の領域で、準静的滑り速度が最も増加し、種子島の南東沖や北東沖、トカラ列島東方域でも増加の傾向が認められる。一方、減速したのは屋久島の南東沖であるが、減速の程度は大きくない。1993 年以降にこの地域のプレート境界で発生した M6.4 以上の地震発生時の前後で準静的滑り速度が速くなっており、2015 年以降に準静的滑り速度が速くなったことは「固着が剥がれ始めた」可能性を示唆する。

4. 研究を推進するための体制の整備

（2）研究基盤の開発・整備

ウ．観測・解析技術の開発

（海域観測機器）

東北沖地震の最大滑り域付近の日本海溝において、2013 年、2014-2015 年、及び 2015-2016 年にかけての 3 回にわたり、海溝軸を跨ぐ形での海底間音響測距観測を行いプレート境界の収束状態を計測し、3 回目の観測のデータ解析を進めた（東北大学〔課題番号：1210〕）。海溝軸を跨ぐ 151A-153B の基線（基線長：7620 m）では、走時データに、音速を規定する海中温度と海底圧力及び機器の姿勢補正を施した結果、平均 3 mm/yr の基線長変化の検出精度を達成し、精度の範囲内で有意な海溝軸の基線長変化は見られないことを実測により示した（図 1 3）。このことは、太平洋プレート側の観測点も含む広域 GNSS-A 観測結果とも調和的である。また、GPS-A 観測から海溝軸付近での余効滑りが予想されている福島県沖の海溝軸でも、2017 年 3 月から同様の観測を開始し、さらに 2017 年 10 月には、音響パスを確実に通すための中継局を追加設置し、現在も観測中である。

次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）において自律展開設置・自己浮上方式を改良した新型機（NX-2G）の長期試験観測を 2017 年 4 月の研究船航海時に実施した（東京大学地震研究所〔課題番号：1521〕）。また、同航海では、宮城沖の海溝斜面に 2015 年 9 月に設

置した BBOBST-NX（傾斜観測機能付き BBOBS-NX）も回収し、海底下での長期間の傾斜データを取得することに成功した。観測期間の途中から、機器トラブルとは考え難い大きな傾斜変動が記録されていたが（図 1 4），同時期に近傍で海底水圧計などの記録が無く，その原因はいまのところ不明である。

（6）国際共同研究・国際協力

2014 年 5 月 10 日から 2015 年 6 月にかけて，ニュージーランド（NZ）北島ギズボーン沖合にて日・NZ・米 3 か国共同で行った大規模海域地球物理観測 HOBITSS（Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip）では，海底地震計と圧力計の合計 22 台を設置し，全台の回収に成功した（東京大学地震研究所〔課題番号：1524〕）。2014 年 9 月から 10 月にかけて観測網直下において，これまでに観測されている中で 2 番目に大きい規模のスロースリップが発生し，このスロースリップの観測に成功した。ヒ克蘭ギ沈み込み帯では，これまで微動の活動については必ずしも明らかとなっていなかったため，海底地震計の記録を用いて，目視による微動の検出，さらにはエンベロープ相関法による微動の震源決定を進めたところ，これまでにスロースリップに伴った微動と考えられる活動が 1 日あたり 0～12 個程度，特にスロースリップ活動の後半から 2 週間程度の期間に認められた。その震源はスロースリップの断層滑りが及ばない沈み込んだ海山の基底部周辺に集中しているように見える（図 1 5）。

1906 年 Colombia-Ecuador 巨大地震の滑り量分布を津波波形インバージョンにより推定し，同じ場所で発生した 1942 年・1958 年・1979 年の大地震のシーケンスとの違いを議論した（北海道大学〔課題番号：1002〕，Yamanaka et al., 2017）。1906 年の超巨大地震は 1958 年や 1979 年の震源域も破壊しているが，大滑り領域はそれらより北東側に位置していることがわかった（図 1 6）。つまり 1906 年超巨大地震の破壊域は 1958 年・1979 年の破壊域を含んで広がっているが，大滑り域は 1942 年・1958 年・1979 年地震とは違っており，巨大地震の多様性を示す結果となった。

これまでの課題と今後の展望

以上の個別の成果に代表されるように，平成 29 年度における海溝型地震に関する観測研究は，前年度までの成果を踏まえてさらに発展させる研究成果やプレート間の固着や滑りに関するモニタリング結果が得られ，概ね計画通りに着実に成果を挙げたと言える。平成 28 年度の特筆すべき成果として，海底観測技術の進展により沖合の固着と滑りが検出されるようになったことを記したが，今年度はこれらの観測技術の継続的発展のみならず，沖合の観測データを活かすためのモデリング手法の高度化も実施され，現時点での地殻変動データに基づく南海トラフ沿いや日本海溝沿いの固着と滑り分布が詳細に推定されるようになった。また，相似地震や低周波微動・超低周波地震などのモニタリングの継続的発展とモニタリング手法の高度化も実施され，南海トラフや南西諸島海溝，日本海溝沿いなどでプレート間滑りの時間変化が検出されている。また，過去の実施された地震波構造探査データの再解析も複数の地域で試みられており，最新の解析手法とスロー地震などの近年発見された現象を踏まえた新たな解釈を通じて，地震発生場の理解に貢献している。

これらのプレート間滑りのモニタリングの高度化とシミュレーションや実験を中心とした断層摩擦特性の理解が本部会における研究の両輪と言えるが、シミュレーション研究については、潮汐などの微少な応力擾乱が SSE の発生有無や発生時期に大きく関わる可能性が示されたことや、地震間の応力蓄積過程から地震時のダイナミックな破壊過程までを統一的なスキームで取り扱う研究が行われつつあり、今後の進展が期待される。

また、社会に貢献するという本計画の目標に関しては、主に南海トラフ巨大地震総合研究グループの研究集会に参加する形で部会間や各課題レベルでの連携が行われている。本計画中での組織的な貢献という意味では、まだ発展途上の段階ではあるが、課題担当者や他の研究プロジェクトに関連したものとして、地域での講演会や地方公共団体の防災政策への参画など様々な形で、地震学の社会に対する貢献は行われるようになった。以上のことから、本計画は平成 30 年度で最終年度を迎えるが、地震現象の理解と予測そして地震災害の軽減に貢献するという目標を進めるために、現計画での研究の方向性を保ちながら観測研究を継続することが望ましい。

成果リスト

- Aldam, M., S. Xu, E. A. Brener, Y. Ben-Zion, and E. Bouchbinder, 2017, Non-monotonicity of the frictional bimaterial effect, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 8270-8284, doi:10.1002/2017JB014665.
- Ando, R., K. Imanishi, Y. Panayotopoulos, and Kobayashi, T., 2017, Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth Planets Space*, 69, 130, doi:10.1186/s40623-017-0715-2.
- Araki, E., D.M. Saffer, A.J. Kopf, L. Wallace, T. Kimura, Y. Machida, S. Ide, E. Davis, and IODP Expedition 365 shipboard scientists, 2017, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, *Science*, 356, , 1157-1160, doi:10.1126/science.aan3120.
- Baba, S., A. Takeo, K. Obara, A. Kato, T. Maeda, and T. Matsuzawa, 2018, Temporal activity modulation of deep very low frequency earthquakes in Shikoku, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 45, doi:10.1002/2017GL076122.
- Barth, A.P., K. Tani, S. Meffre, J.L. Wooden, M.A. Coble, R.J. Arculus, O. Ishizuka, and J.T. Shukle, 2017, Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi:10.1002/2017GC006948.
- Chao, K., Z. Peng, Y.-J. Hsu, K. Obara, C. Wu, K.-E. Ching, S. van der Lee, H.-C. Pu, P.-L. Leu, and A. Wech, 2017, Temporal Variation of Tectonic Tremor Activity in Southern Taiwan Around the 2010 ML6.4 Jiashian Earthquake, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2016JB013925.
- Chiyonobu, S., Y. Yamamoto, and S. Saito, 2107, Calcareous nannofossil biostratigraphy and geochronology of Neogene trench-slope cover sediments in

- the south Boso Peninsula, central Japan: Implications for the development of a shallow accretionary complex, *Tectonophysics* 710-711, 56-68.
doi:10.1016/j.tecto.2016.11.030.
- Cho, I. and T. Iwata, 2018, Development and numerical tests of a Bayesian approach to infer shallow velocity structures using microtremor arrays, *Exploration Geophysics*, doi:10.1071/EG18011.
- Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Burgmann, 2017, Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44(8), 3580-3590, doi:10.1002/2017GL072876.
- Emoto, K., T. Saito, and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method. *Geophys. J. Int.*, 211, 1575-1584.
- Fujiwara T., F. C. dos Santos, A. K. Bachmann, M. Strasser, G. Wefer, T. Sun, T. Kanamatsu, and S. Kodaira, 2017, Seafloor Displacement after the 2011 Tohoku-oki Earthquake in the Northern Japan Trench Examined by Repeated Bathymetric Surveys, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL075839.
- Fukuchi, R., A. Yamaguchi, Y. Yamamoto, and J. Ashi, 2017, Paleothermal structure of the Nankai inner accretionary wedge estimated from vitrinite reflectance of cuttings, *G-Cubed*, doi:10.1002/2017GC006928.
- Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.
- Fukuda, J. and I. Shimizu, 2017, Theoretical derivation of flow laws for quartz dislocation creep: Comparisons with experimental creep data and extrapolation to natural conditions using water fugacity corrections, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 5956-5971, doi:10.1002/2016JB013798.
- Fukuyama, E., F. Yamashita, and K. Mizoguchi, 2017, Voids and rock friction at subseismic slip velocity, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1728-2.
- Fukuyama, E., K. Tsuchida, H. Kawakata, F. Yamashita, K. Mizoguchi, and S. Xu, 2018, Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.023.
- Hamada, Y., M. Kitamura, Y. Yamada, Y. Sanada, T. Sugihara, S. Saito, K. Moe, and T. Hirose, 2018, Continuous depth profile of the rock strength in the Nankai accretionary prism based on drilling performance parameters, *Scientific Report*, 8, 2622, doi:10.1038/s41598-018-20870-8.
- Hamahashi, M., E. Screaton, W. Tanikawa, Y. Hashimoto, K. Martin, S. Saito, and G. Kimura, 2017, Normal faulting and mass movement during ridge subduction inferred

- from porosity transition and zeolitization in the Costa Rica subduction zone. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 2601-2616, doi:10.1002/2016GC006577.
- Hashimoto, Y. and K. Ujiie, Normal faults at depth with thrust faults in an exhumed accretionary complex, Kayo Formation, Okinawa islands, Japan, GSA Books, in press.
- Hashimoto, Y., S. Abe, H. Tano, M. Hamahashi, S. Saito, G. Kimura, A. Yamaguchi, R. Fukuchi, J. Kameda, Y. Hamada, Y. Kitamura, K. Fujimoto, S. Hina, and M. Eida, 2017, Acoustic properties of deformed rocks in the Nobeoka thrust, in the Shimanto Belt, Kyushu, Southwest Japan, *Island Arc.*, 26, e12198, doi:10.1111/iar.12198.
- Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, 2017, Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122(7), 5160-5180, doi:10.1002/2016JB013914.
- 林 為人・廣瀬丈洋・谷川 亘・濱田洋平, 2017, 科学掘削による地震断層の応力状態・物性・すべりパラメーターの評価, *地学雑誌*, 126, 223-246.
- Heidarzadeh, M., S. Murotani, K. Satake, T. Takagawa, and T. Saito, 2017, Fault size and depth extent of the Ecuador earthquake (Mw 7.8) of 16 April 2016 from teleseismic and tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2017GL072545.
- Hirono, T., K. Tsuda, W. Tanikawa, J.-P. Ampuero, B. Shibazaki, M. Kinoshita, and J. J. Mori, 2016, Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions, *Scientific Report*, 6, 28184; doi:10.1038/srep28184.
- 廣瀬丈洋, 2017, 実験室から探る南海トラフ地震断層運動, *地盤工学会誌*, 65, 70-77.
- 五十嵐俊博, 2017, 日本列島周辺の地震クラスター検出および時間・空間的特徴一, *地震 第2輯*, 70, 183-194, doi:10.4294/zisin.2017-4.
- Iinuma, T., 2018, Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field, *Geophysical J. Int.*, 213, 30-47, doi:10.1093/gji/ggx527
- Ito, K., K. Ujiie, and H. Kagi, 2017, Detection of increased heating and estimation of coseismic shear stress from Raman spectra of carbonaceous material in pseudotachylyte, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 1749-1757, doi:10.1002/2016GL072457.
- 伊藤喜宏, 2018, 講座「南海トラフ巨大地震・津波発生の真実にせまる～強靱な社会の構築に向けて～」5. 南海トラフのスロー地震と断層活動, *地盤工学会誌*, 66(1), 54-60.
- Ito, Y., M. J. Ikari, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2017, Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8749-8756, doi:10.1002/2017GL074307.
- Kameda, J., S. Inoue, W. Tanikawa, A. Yamaguchi, Y. Hamada, Y. Hashimoto, G. Kimura, 2017, Alteration and dehydration of subducting oceanic crust within subduction

- zones: Implications for décollement step-down and plate boundary seismogenesis, *Earth Planets Space*, 69, 52, doi:10.1186/s40623-017-0635-1.
- Kameda, J., A. Okamoto, K. Sato, K. Fujimoto, A. Yamaguchi, and G. Kimura, 2017, Opal-CT in chert beneath the toe of the Tohoku margin and its influence on the seismic aseismic transition in subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 687-693, doi:10.1002/2016GL071784.
- Kaneko Y., E. Fukuyama, and I. J. Hamling, 2017, Slip-weakening distance and energy budget inferred from near-fault ground deformation during the 2016 Mw7.8 Kaikōura earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL073681.
- Katakami, S., Y. Yamashita, H. Yakiyama, H. Shimizu, Y. Ito, and K. Ohta, 2017, Tidal Response in Shallow tectonic tremors, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 19, doi:10.1002/2017GL074060.
- 川上源太郎・加瀬善洋・ト部厚志・高清水康博・仁科健二, 2017, 日本海東縁の津波とイベント堆積物. *地質学雑誌*, 123, 857-877.
- 川村喜一郎, 金松敏也, 山田泰広, 2017, 海底地すべりと災害-これまでの研究成果と現状の問題点-. *地質学雑誌*. 123(12), 999-1014.
- 木村 学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦 寿一郎・斎藤実篤・廣瀬丈洋・山田泰広・荒木英一郎・江口暢久・Sean Toczko, 2018, 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像, *地質学雑誌*, 124, 47-65.
- Kitajima, H., D. Saffer, H. Sone, H. Tobin, and T. Hirose, 2017, In-situ stress and pore pressure in a deep interior of the Nankai accretionary wedge, IODP Site C0002, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL075127.
- Kitamura, M. and T. Hirose, 2017, Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical indenter, *Journal of Structural Geology*, 98, 1-11, doi:10.1016/j.jsg.2017.03.009.
- Komori, J., M. Shishikura, R. Ando, Y. Yokoyama, and Y. Miyairi, 2017, History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 471, 74-84.
- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, and R. Azuma, 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 709, 44-54.
- Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki, and R. Hino, 2017, Estimation of seismic centroid moment tensor using ocean bottom pressure gauges as seismometers. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 10907-10915. doi:10.1002/2017GL075386.
- Kusakabe, T. and N. Kame, 2017, Derivation of 2-D XBIEM kernels and their application to a rupture crossing a bimaterial interface, *Geophys. J. Int.*, 210, 1374-1387, doi:10.1093/gji/ggx240.

- 桑野修, 2018, 高速せん断される摩擦接触面の発熱の可視化, 可視化情報学会誌, 38(149) (印刷中).
- Lin, W., O. Tadai, M. Kinoshita, J. Kameda, W. Tanikawa, T. Hirose, Y. Hamada, and O. Matsubayashi, 2017, Thermal conductivity changes of subducting basalt, Nankai subduction zone, SW Japan: An estimation from laboratory measurements under separate high-pressure and high-temperature conditions, in *Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura*, Geolog. Soc. Am., doi:10.1130/2018.2534.
- McLaskey, G. and F. Yamashita, 2017, Slow and fast ruptures on a laboratory fault controlled by loading characteristics, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 3719-3738.
- Mizutani, T., K. Hirauchi, W. Lin, and M. Sawai, 2017, Depth dependence of the frictional behavior of montmorillonite fault gouge: Implications for seismicity along a décollement zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5383-5390.
- 望月公廣, 2017, 沈み込み帯におけるプレート境界面の不均質と地震活動—日本海溝およびヒクランギ沈み込み帯を例として— (総説), *地学雑誌*, 126(2), 207, DOI:10.5026/jgeography.126.207.
- 森下知晃・藤江剛・山野誠・中西正男・尾鼻浩一郎・中村恭之・斎藤実篤・小平秀一・木村純一・黒田潤一郎・小野重明, 2017, 古い海洋プレートの沈み込み直前での屈曲断層形成に伴う加水作用解明に向けた海洋掘削計画概要. *地学雑誌*, 126(2)247-262. doi:10.5026/jgeography.126.247.
- Morishita, T, B. Ghosh, Y. Soda, T. Mizukami, K. Tani, O. Ishizuka, A. Tamura, C. Komaru, S. Arai, H. C. Yang, and W. S. Chen, 2018, Petrogenesis of ultramafic rocks and olivine-rich troctolites from the East Taiwan Ophiolite in the Lichi mélange, *Mineralogy and Petrology*, doi:10.1007/s00710-017-0547-6.
- Nakajima, J., 2018, Isolated intermediate-depth seismicity north of the Izu peninsula, Japan: implications for subduction of the Philippine Sea Plate, *Earth Planets Space* 70:11, doi:10.1186/s40623-018-0779-7.
- Nakamura, H., H. Iwamori, O. Ishizuka, and T. Nisizawa, 2017, Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.004.
- Nakata, R., H. Hino, T. Kuwatani, S. Yoshioka, M. Okada, and T. Hori, 2017, Discontinuous boundaries of slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Scientific Reports*, 7, doi:10.1038/s41598-017-06185-0.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14, doi:10.1130/GES01529.1.
- Noda, A., T. Takahama, T. Kawasato, and M. Matsu'ura, 2018, Interpretation of offshore crustal movements following the 2011 Tohoku-Oki earthquake by the combined

- effect of afterslip and viscoelastic stress relaxation, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1682-z.
- Noda, H., M. Sawai, and B. Shibazaki, 2017, Earthquake sequence simulations with measured properties for JFAST core samples, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A375, doi:10.1098/rsta.2016.0003.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida, and M. Matsu'ura, 2017, Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208, 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
- Obana, K., Y. Nakamura, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Kaiho, Y. Yamamoto, and S. Miura, 2018, Seismicity in the source areas of the 1896 and 1933 Sanriku earthquakes and implications for large near-trench earthquake faults, *Geophys. J. Int.*, 212, 2061-2072, doi:10.1093/gji/ggx532.
- Riaño A.C., J. C. Reyes, L. E. Yamin, J. S. Montejó, J. L. Bustamante, J. Bielak, N. Pulido, C. E. Molano, and A. Huguet, 2017, Development of a first 3D crustal velocity model for the region of Bogotá, Colombia, *Ingeniería e Investigación*, 37, 42-51.
- Saito, T., 2017, Tsunami generation: validity and limitations of conventional theories. *Geophys. J. Int.*, 210, 1888-1900, doi:10.1093/gji/ggx275.
- Sandanbata, O., S. Watada, K. Satake, Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, and H. Shiobara, 2017, Ray tracing for dispersive tsunamis and source amplitude estimation based on Green's law: Application to the 2015 volcanic tsunami earthquake near Torishima, South of Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1746-0.
- Sato, T., S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, and N. Usui, 2017, Detection of vertical motion during a Boso slow-slip event by ocean-bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2710-2715, doi:10.1002/2017GL072838.
- Sawai, M., A.R. Niemeijer, T. Hirose, and C.J. Spiers, 2017, Frictional properties of JFAST core samples and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8822-8831.
- Shiraishi K., G. Fujie, T. Sato, S. Abe, E. Asakawa, and Kodaira, S., 2017, Interferometric OBS imaging for wide-angle seismic data, *Geophysics*, 2017, 82(5), Q39-Q51. doi:10.1190/geo2016-0482.1.
- Sutherland, R., G. R. Dickens, P. Blum, and the Expedition 371 Scientists, 2018. Expedition 371 Preliminary Report: Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate, International Ocean Discovery Program, doi:10.14379/iodp.pr.371.2018.
- Suzuki, T., 2017, Emergence and seismological implications of phase transition and universality in a system with interaction between thermal pressurization and dilatancy, *Phys. Rev. E*, 96, 023005, doi:10.1103/PhysRevE.96.023005.

- Takemura, S., K. Shiomi, T. Kimura, and T. Saito, 2016, Systematic difference between first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes due to a low-angle dipping slab, *Earth Planet Space*, 68, 149, doi:10.1186/s40623-016-0527-9.
- Takemura, S., K. Shiomi, and T. Saito, 2017, Sequence of deep-focus earthquakes beneath the Bonin Islands identified by the NIED nationwide dense seismic networks Hi-net and F-net, *Earth Planets Space* 69, 38. doi:10.1186/s40623-017-0625-3
- Tanaka, H. and T. Hatano, 2017, Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Eur. Phys. J. B* 90: 248, doi:10.1140/epjb/e2017-80295-0.
- 田中昌之・岡田正実・内田直希, 2018, 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証, *地震 第2輯*, 70, 195-213, doi:10.4294/zisin.2016-17.
- Toki, T., M. Kinoshita, S. Morita, H. Masuda, H. Rashid, H. Yoshinishi, T. Nakano, and T. Noguchi, 2017, The vertical chloride ion profile at the IODP Site C0002, Kumano Basin, off coast of Japan, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.029.
- Tomita, F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017, Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake, *Sci. Adv.*, 3, e1700113.
- Tonegawa, T., E. Araki, T. Kimura, T. Nakamura, M. Nakano, and L. Suzuki, 2017, Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low frequency earthquake clusters, *Nature Communications*, 8:2048, doi:10.1038/s41467-017-02276-8.
- Tonegawa, T., Y. Fukao, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, and M. Yamashita, 2017, Excitation Location and Seasonal Variation of Transoceanic Infragravity Waves Observed at an Absolute Pressure Gauge Array, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, doi:10.1002/2017JC013488.
- Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports* doi:10.1038/s41598-017-03048-6.
- Tsuru T., J. Park, T. No, Y. Kido, and K. Nakahigashi, 2018, Visualization of attenuation structure and faults in incoming oceanic crust of the Nankai Trough using seismic attenuation profiling, *Earth Planets Space*, 70:31, doi:10.1186/s40623-018-0803-y
- 内田直希, 2018, くり返し発生する地震と地震の準備過程, *パリティ*, 33(1), 84-88.

- Umino, S., K. Kanayama, K. Kitamura, A. Tamura, O. Ishizuka, R. Senda, and S. Arai, 2017, Did boninite originate from the heterogeneous mantle with recycled ancient slab? *Island Arc*, doi:10.1111/iar.12221.
- Urata, Y., K. Yoshida, E. Fukuyama, and H. Kubo, 2017, 3-D dynamic rupture simulations of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, *Earth Planets Space*, 69, 150, doi:10.1186/s40623-017-0733-0.
- Urata, Y., F. Yamashita, E. Fukuyama, H. Noda, and K. Mizoguchi, 2017, Apparent dependence of rate- and state-dependent friction parameters on loading velocity and cumulative displacement inferred from large-scale biaxial friction experiments, *Pure Appl. Geophys.*, 174, 2217-2237, doi:10.1007/s00024-016-1422-9.
- Vannucchi, P., E. Spagnuolo, S. Aretusini, G. Di Toro, K. Ujiie, A. Tsutsumi, and S. Nielsen, 2017, Past seismic slip-to-the-trench recorded in Central America megathrust, *Nature Geoscience* 10, 935-940, doi:10.1038/s41561-017-0013-4.
- Voropaev P., H. Takahashi, and V. Saltykov, 2018, Statistical Estimation of the Seismicity Level Change around Hokkaido, Northern Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-018-1776-2.
- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, K. Mizoguchi, S. Takizawa, and H. Kawakata, 2018, Strain rate effect on fault slip and rupture evolution: Insight from meter-scale rock friction experiments, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.11.039.
- Xu, S. and Y. Ben-Zion, 2017, Theoretical constraints on dynamic pulverization of fault zone rocks, *Geophys. J. Int.*, 209(1), 282-296, doi:10.1093/gji/ggx033.
- Yamada, T., Y. Sato, Y. Tanioka, and J. Kawahara, 2017, Spatial pattern in stress drops of moderate-sized earthquakes on the Pacific Plate off south-east of Hokkaido, Japan: implications for the heterogeneity of frictional properties, *Progress in Earth and Planetary Science*, 4:38, doi:10.1186/s40645-017-0152-7.
- 山田泰広・Jim Mori・氏家恒太郎・林為人・小平秀一. 2018. 東北地方太平洋沖地震後の緊急調査掘削 (IODP第343次航海:J-FAST) の成果. *地質学雑誌*. 124(1), 67-76.
- Yamanaka, Y., Y. Tanioka, and T. Shina, 2017, A long source area of the 1906 Colombia-Ecuador earthquake estimated from observed tsunami waveforms, *Earth Planets Space*, 69:163, doi:10.1186/s40623-017-0750-z.
- Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, K. Mizoguchi, H. Kawakata, and S. Takizawa, 2018, Rupture preparation process controlled by surface roughness on meter-scale laboratory fault, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2018.01.034.
- Yoshida, K., T. Saito, Y. Urata, Y. Asano, and A. Hasegawa, 2017, Temporal changes in stress drop, frictional strength, and earthquake size distribution in the 2011 Yamagata-Fukushima, NE Japan, earthquake swarm, caused by fluid migration, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi:10.1002/2017JB014334.
- Yukutake, Y., R. Honda, M. Harada, R. Doke, T. Saito, T. Ueno, S. Sakai and Y. Morita, 2017, Analyzing the continuous volcanic tremors detected during the 2015

phreatic eruption of the Hakone volcano, Earth Planets Space, 69:164,
doi:10.1186/s40623-017-0751-y.

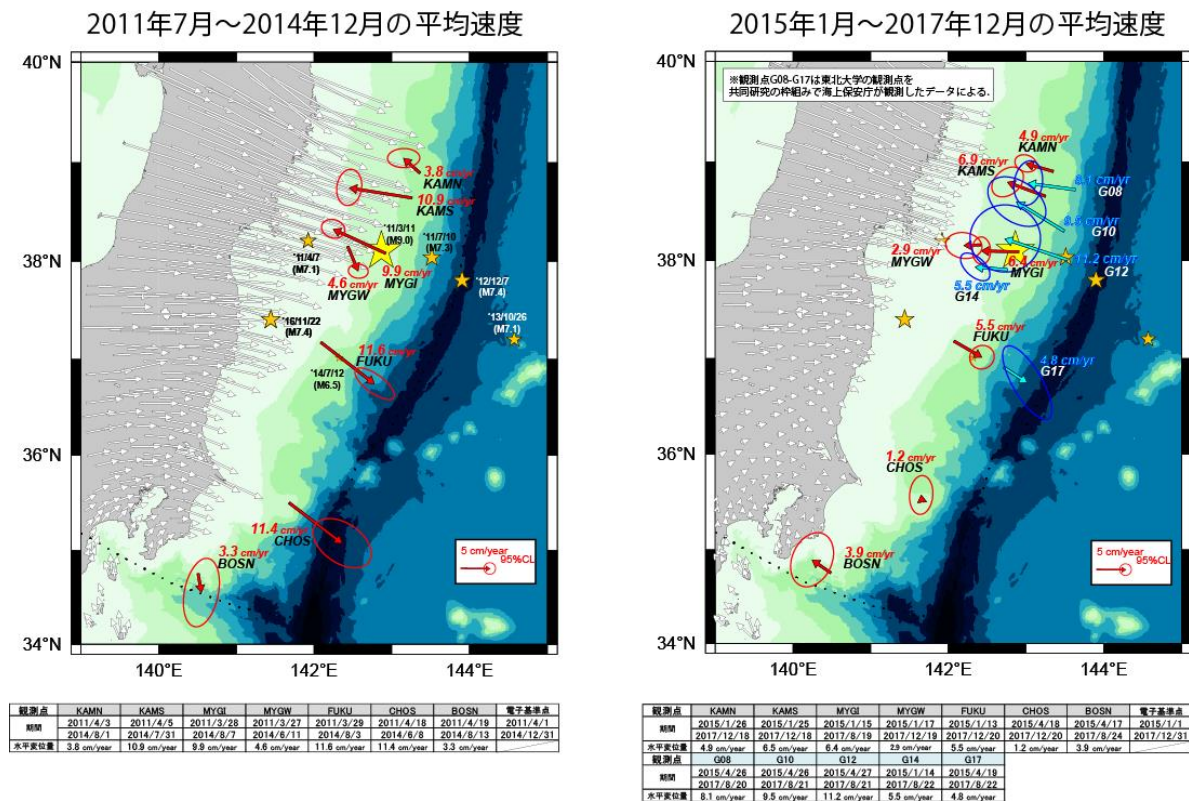


図1. 日本海溝沿いの海底の水平地殻変動（海上保安庁〔課題番号：7002〕）。GNSS-A観測で得られた海底の地殻変動速度。陸上の変動ベクトルはGEONETのF3解による。黄色の星は2011年東北地方太平洋沖地震の本震, オレンジの星は海底の観測点において1cm以上の地殻変動変動が推定される余震を示す。

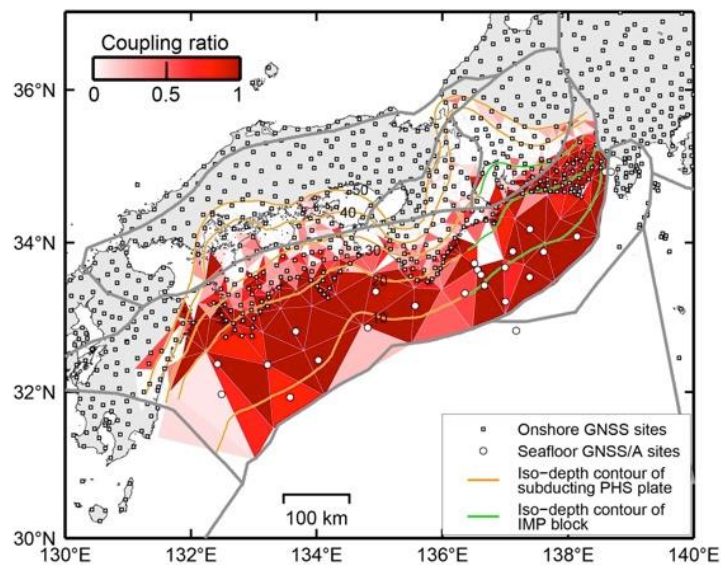
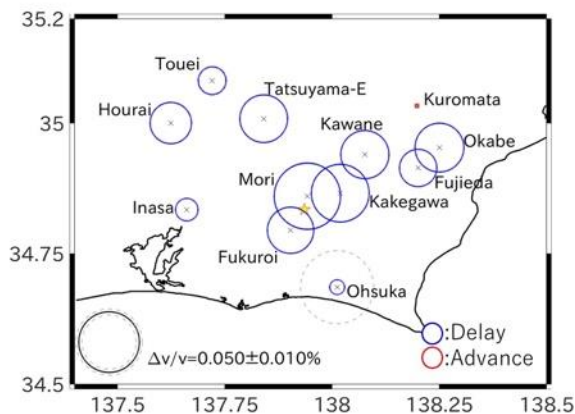


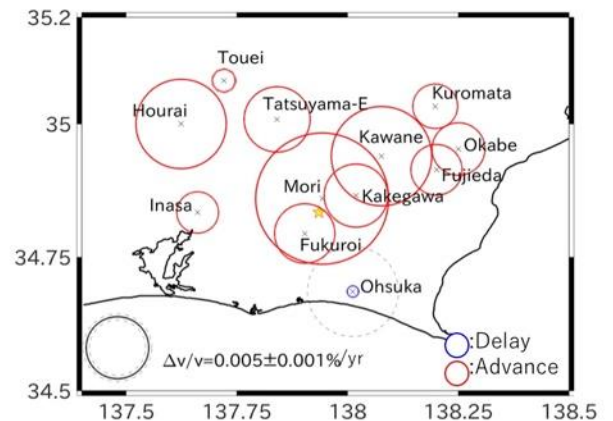
図2. ブロック断層モデルを用いて海陸地殻変動データから推定したプレート間固着の空間分布（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。プレート境界面の等深線は10kmごとに示してある。図中に示したブロック略称は、PHS：フィリピン海プレート、IMP：伊豆マイクロプレートである。灰色太線はブロック境界を示す。

地震時の変化量



伝播速度が遅れる傾向

経年変化率



伝播速度が速まる傾向

図3. ACROSS震源を用いた東海地方における地震波速度の変化（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。

地震時には地震波速度が遅れるのに対し、それ以外の時期には徐々に早くなる傾向が見られた。

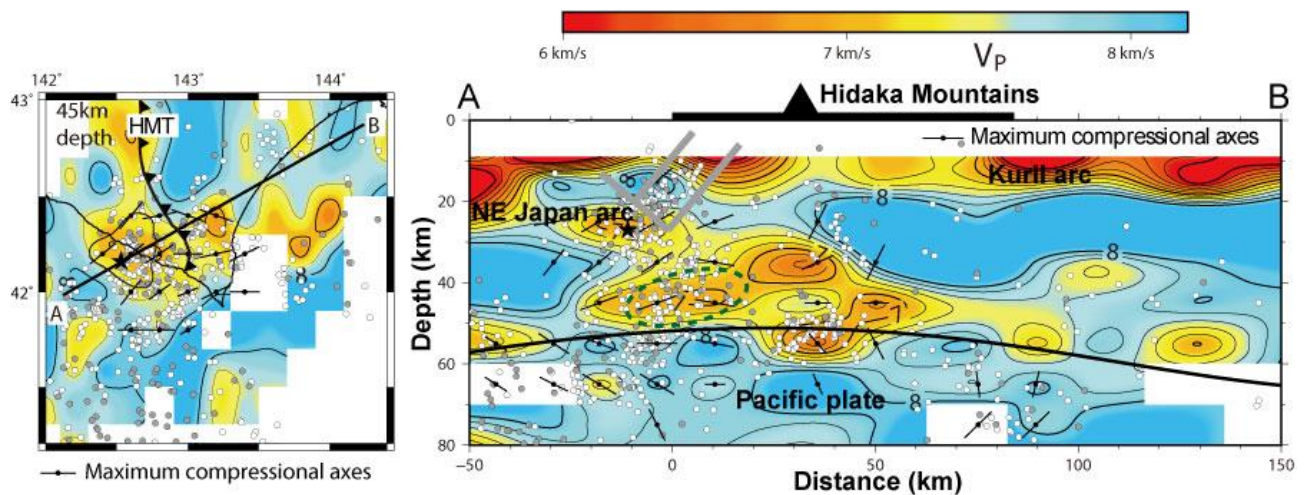


図4. 海陸データを使用したトモグラフィー解析から得られた北海道南部のP波速度構造（北海道大学〔課題番号：1002〕）。

（左）深さ45 kmでの水平断面図。左図中の星印と曲線で囲まれた領域は、1982年浦河沖地震の鈴木・本谷（1983）による震央とMoriya et al.（1998）による余震域をそれぞれ示す。白と灰色の丸は深さ40～50 kmの微小地震の震央。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが水平な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。チェッカーボードテストでモデルが復元できた領域の速度のみを示す。（右）左図中の直線A-Bでの鉛直断面図。Miyamachi and Moriya（1987）による1982年浦河沖地震の余震域を太い直線で、Katsumata et al.（2003）による太平洋プレート上面を黒い曲線でそれぞれ示す。微小地震の震源は、断面の両側それぞれ10 kmの範囲で発生したものが投影されている。緑色の破線の部分の低速度領域が陸上のデータのみからではイメージングされていない。

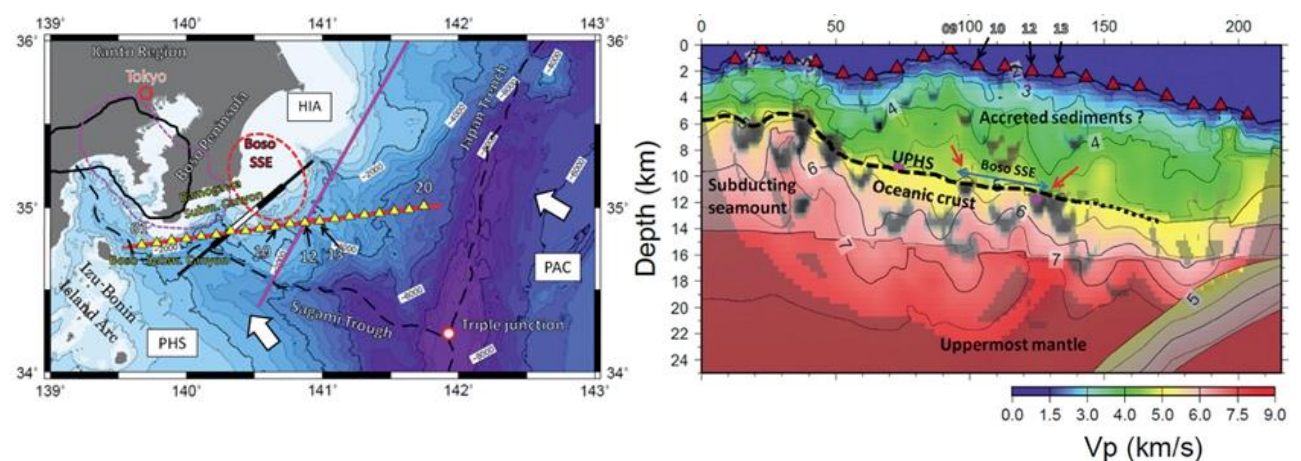


図5. 房総沖人工地震探査データを用いた反射波強度の解析（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，Kono et al., 2017）。

（左）構造解析に用いた東西測線（赤線）。三角は海底地震計を示す。（右）東西測線下の2次元地震波速度構造とTravel time mapping法による反射点の投影。図中の灰色の部分で観測された強い反射波の反射点を示す。破線はフィリピン海プレート上面。青矢印は房総沖SSE領域。赤矢印で示すように領域の両端に反射点があることがわかる。西側のプレート上面での反射は沈み込んだ海山に関係している。

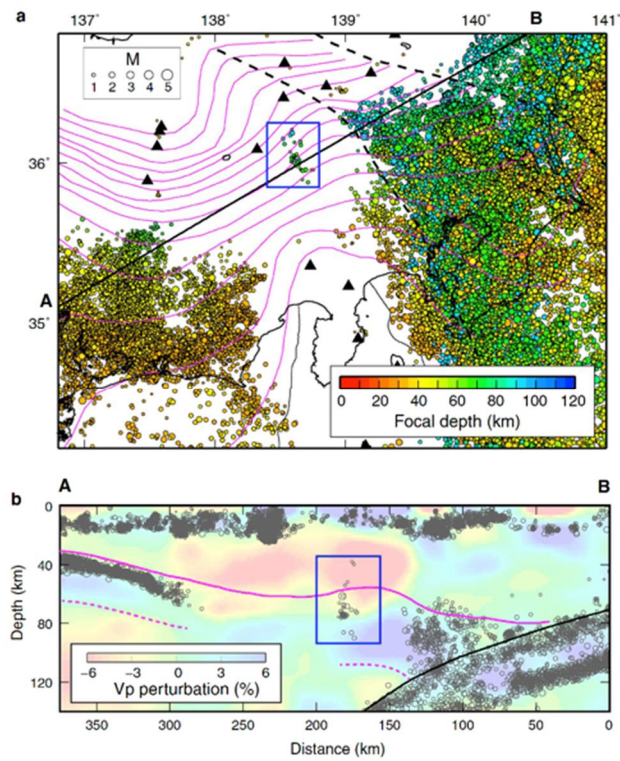


図 6. 伊豆半島北方に発生する孤立した地震活動（東北大学[課題番号:1201], Nakajima, 2018）。

(a) 中部日本の深さ 30-100 km の地震活動。青色四角の領域の地震を解析した。(b) 測線 A-B に沿う P 波速度構造と地震活動の鉛直断面図。ピンクの実線、ピンクの波線はそれぞれ沈み込むフィリピン海プレートの上境界面及び想定される下部境界面である。黒実線は太平洋プレートの上境界面を表す。

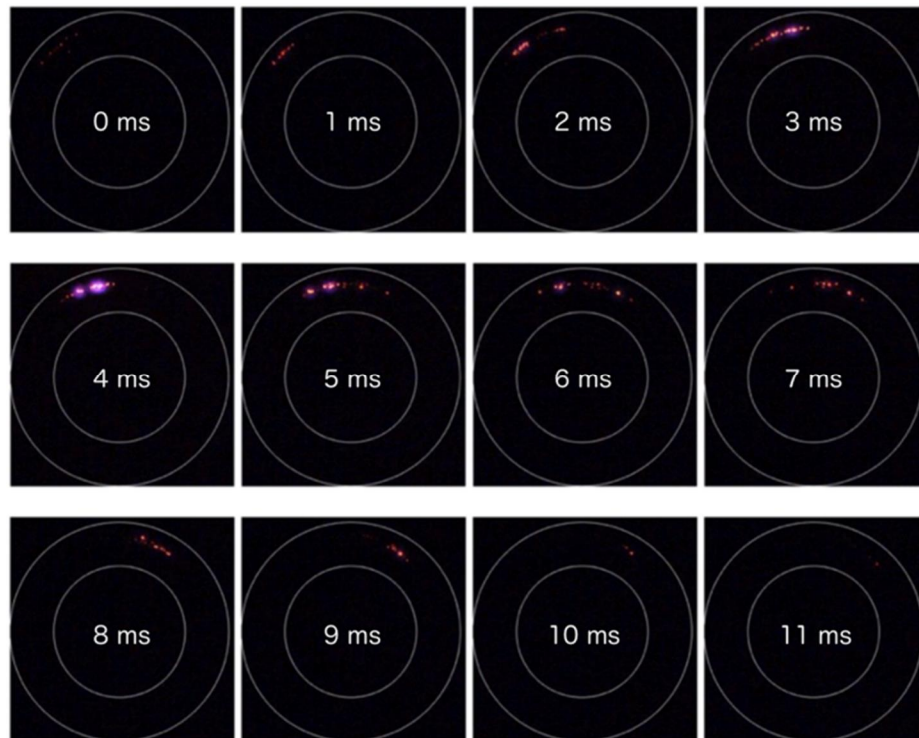


図 7. 高速せん断される摩擦面の可視画像のスナップショット（東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕，桑野(2018)を改変）。

カラー高速カメラで 1 ミリ秒ごとに撮影した。白い線による円輪は試料のみかけの接触面（内径 6mm 外径 10mm）。石英ガラスで作った円筒試料は，サファイアガラスの平板に押しつけられ，時計周りに 245rad/s （平均 1m/s の滑りに相当）で回転している。平均法線応力は 0.3MPa であるが，真実接触点はわずかで， GPa レベルの法線/剪断応力が作用し，フラッシュヒーティングを起こしている。

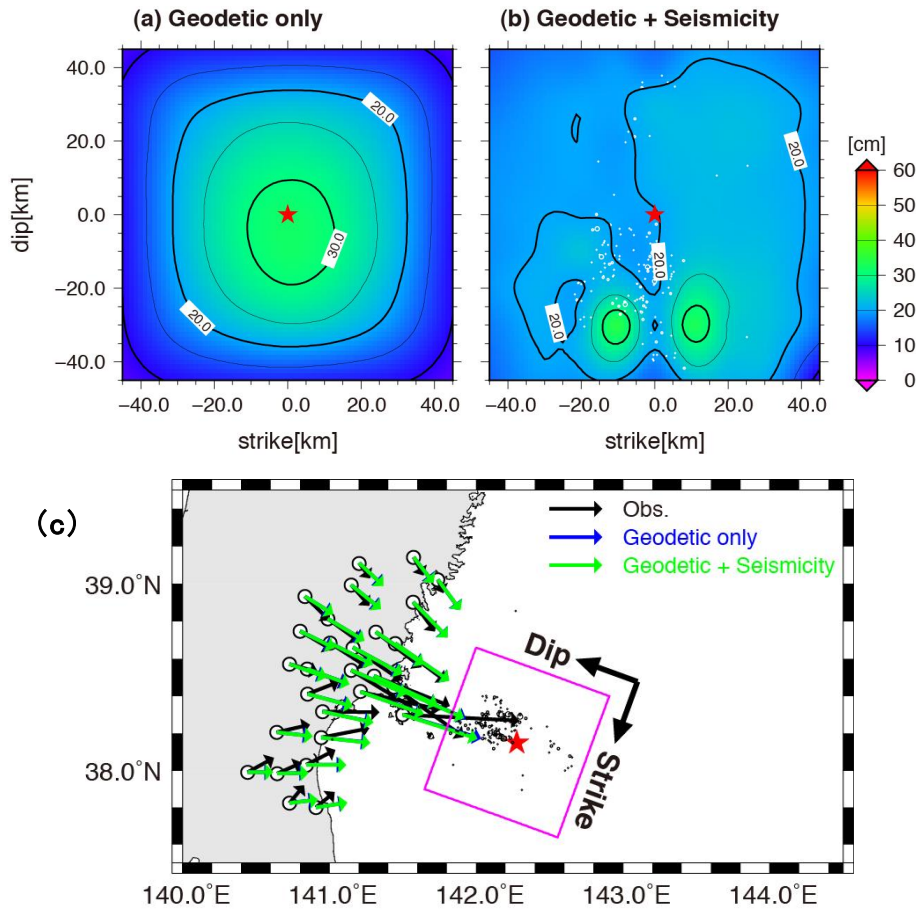


図 8. 地殻変動と地震活動データから推定された 2005 年宮城県沖地震の滑り分布（京都大学理学研究科〔課題番号：1803〕）。

(a)地殻変動データのみを用いて推定された滑り分布（MCMC によって得られた事後分布の平均）。(b)地殻変動データに地震活動データを加えた場合。赤星は気象庁による本震震央に対応する。(c) 解析に用いた GNSS 観測点と地殻変動データ（黒矢印）及び余震の震央分布。青及び緑の矢印は推定された滑り分布（図 8）から期待される地殻変動。紫の四角が断層モデルの位置を表す。赤星は気象庁による本震震央。

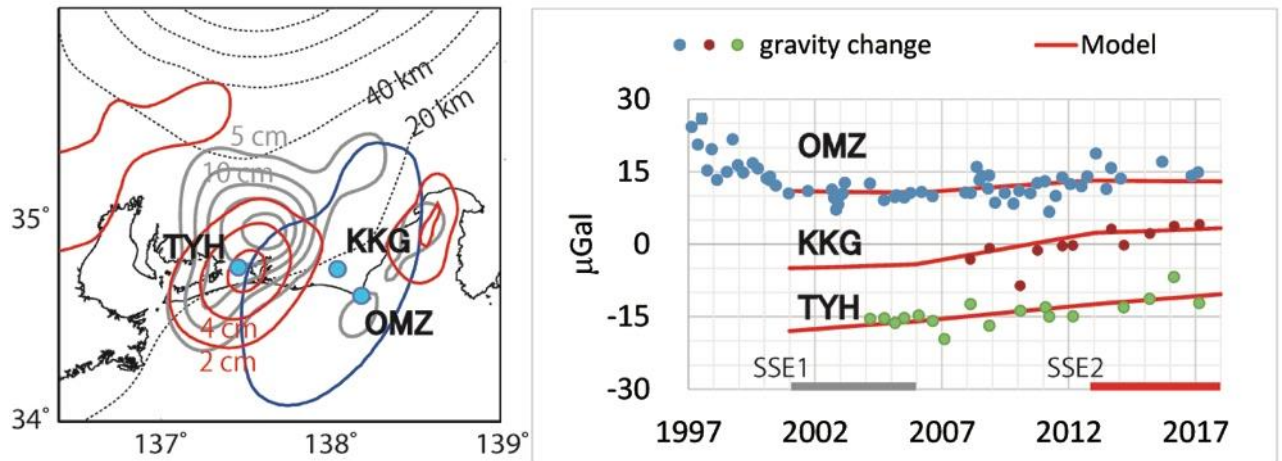


図 9. 東海地方で観測された異常な重力変化（東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕，Tanaka et al., 2018）。

左：観測点配置，右：観測結果。縦軸の単位はマイクロガル（1 マイクロガル＝10 億分の 1 G）。地殻上下変動と余効変動の影響は除去しているため，地下の質量変化を表す。

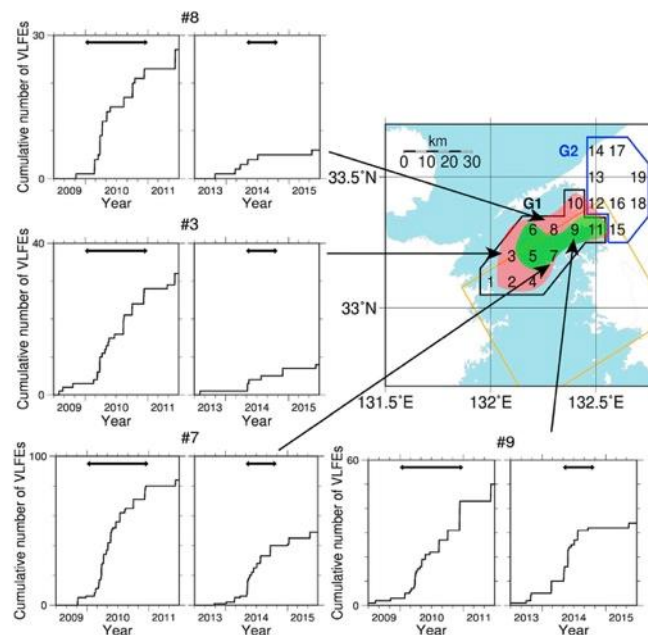


図 10. 豊後水道の各領域における 2010 年の長期 SSE，及び，2014 年の長期 SSE 発生時の深部超低周波地震の累積個数（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，Baba et al. 2018）。時系列グラフは，図右上の数字で示したグリッドの 4 箇所における地震数を表す。また，深部超低周波地震活動が増加した領域を地図中の赤（2010 年）と緑（2014 年）で示す。黄色い四角が長期 SSE の断層面を示しており，2010 年の方がより広範囲に深部超低周波地震活動が増加することがわかる。

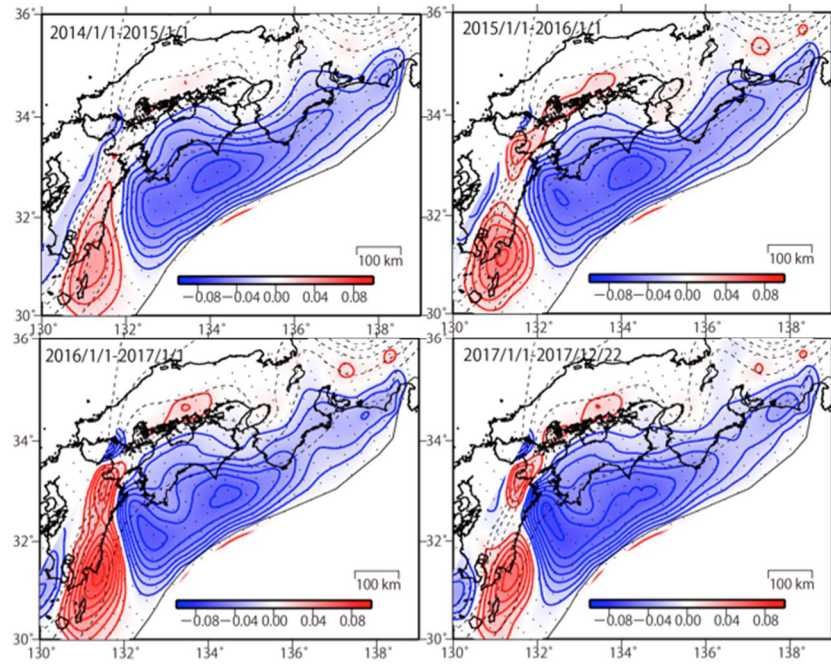


図11. ブロック断層モデルを用いてGNSSデータから推定された2014年以降の西南日本の固着（青）と滑り（赤）（国土地理院〔課題番号：6003〕）。コンター間隔は1cm。

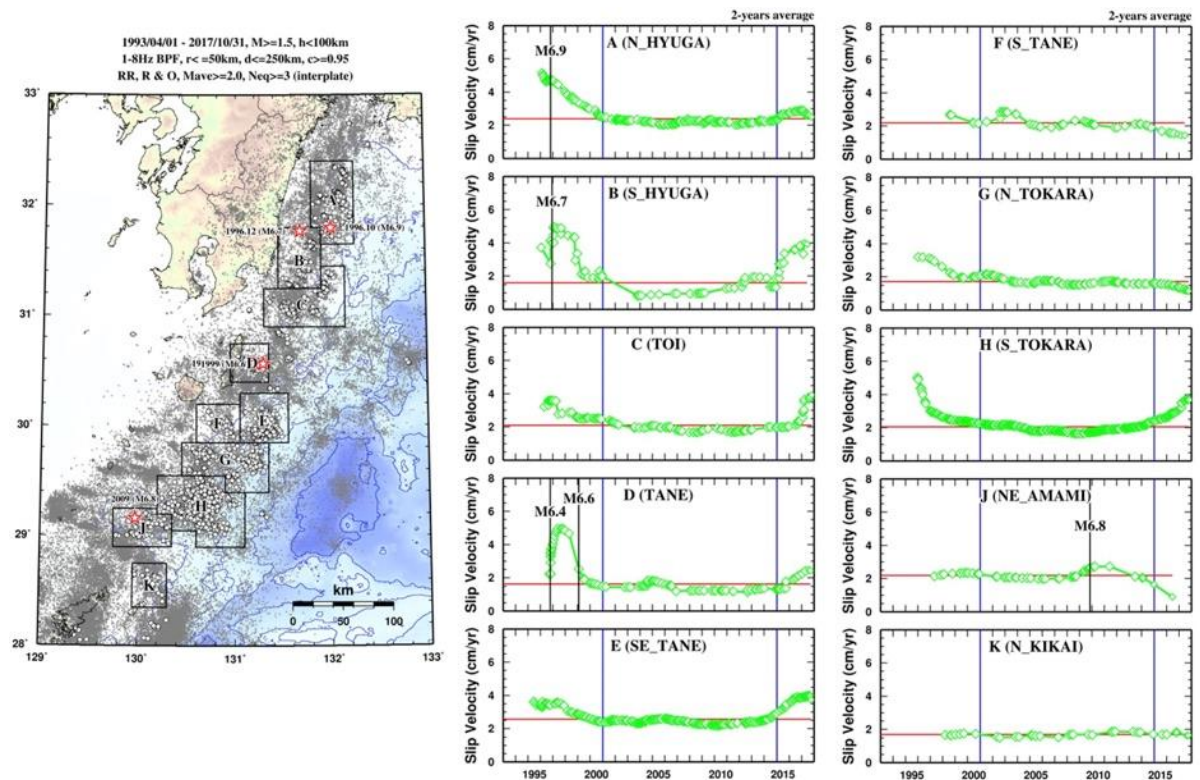


図12. 日向灘から奄美大島近海に至る10個の領域での準静的滑り速度の時間変化（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。

各図中の赤線は、準静的滑り速度の平均値を示す。1993年以降に発生したM6.4以上のプレート境界地震の発生時が、該当する図中に縦太線で示されている。なお、図中の青線は、2001年と2014年を示し、地震活動度が変化した時期に対応する。

解析の例

- 2 局間の往復走時は、録音された波形と理論波形の相互相関により検出された。
- 海中音速の換算式は、Chen and Millero (1977) を用いた。

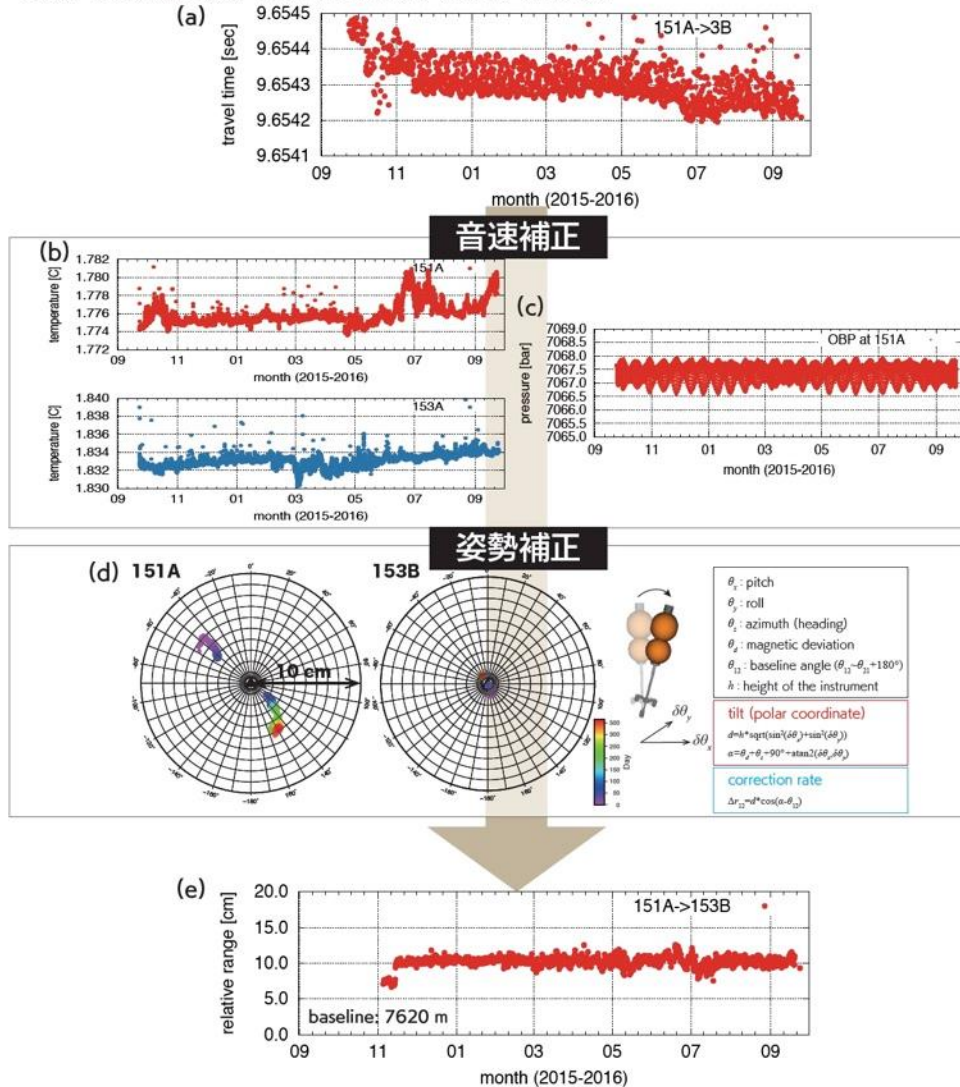


図 13. 宮城県沖の海溝軸を跨ぐ基線 151A-153B を例とした解析の手順（東北大学〔課題番号：1210〕）。

(a) 約 1 年間の音響往復走時。(b) 基線の両端の海中温度の時系列。(c) 基線の西端での海底圧力データの時系列。(d) 傾斜計データから推定した装置音響素子部分の水平位置変化。(e) 温度・圧力データによる音速補正、及び傾斜計データによる音響素子の位置の補正を施した基線長変化。有意な変化は見られない。2015 年 11 月の基線長ギャップは付近で発生した地震 (M5.1) によるものである。

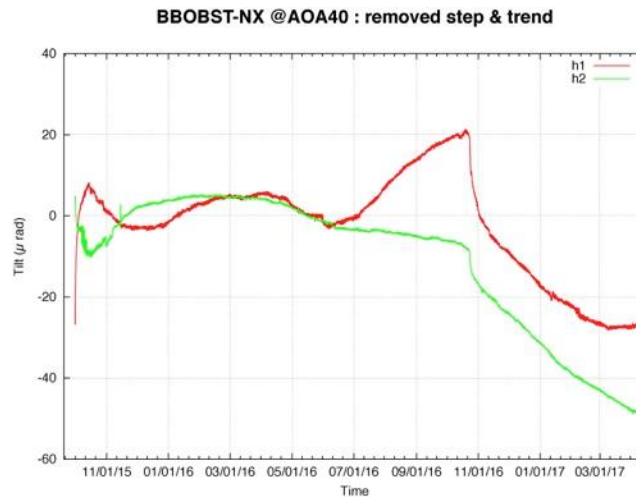


図 14. 宮城沖海溝斜面で長期試験観測した BBOBST-NX で得た傾斜変動記録（東京大学地震研究所〔課題番号：1521〕）。

2015 年 9 月から 2017 年 4 月までの水平動 2 成分のマスポジション(加速度)記録から求めた傾斜変動記録。マスのセンタリングなどによるステップ変化を可能な限り連続にした後、経年変化分を関数近似し取り除いた。時間平均を行い、1 時間間隔のデータとしてある。2016 年 7 月までは両成分とも安定していたが、その後 h1 成分のみ +20 μ rad への傾斜変化を示した後、両成分が負の傾斜へ大きく変化し続けた。Ito et al. (2013) で検出されたような SSE を仮定すれば、陸上観測点で検出されずこのような現象が見られる可能性はあるが、他の観測データが無いため検証は難しい。

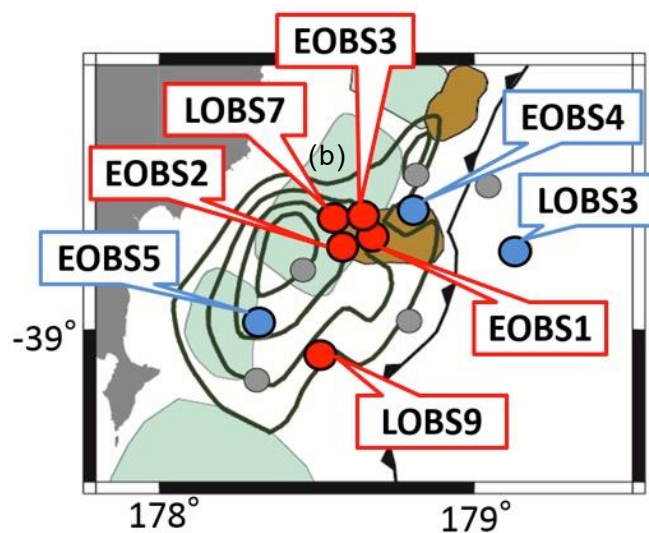


図 15. 微動が観測された海底地震計観測点分布（東京大学地震研究所〔課題番号：1524〕）。ニュージーランド北島東方沖の H0BITSS 海底地震観測点のうち、赤丸、青丸で示された観測点の連続波形記録を解析し、このうち赤丸で示された観測点でのみ、微動の発生が認められた。これは主として茶色で示される沈み込んだ海山の周辺に分布している。

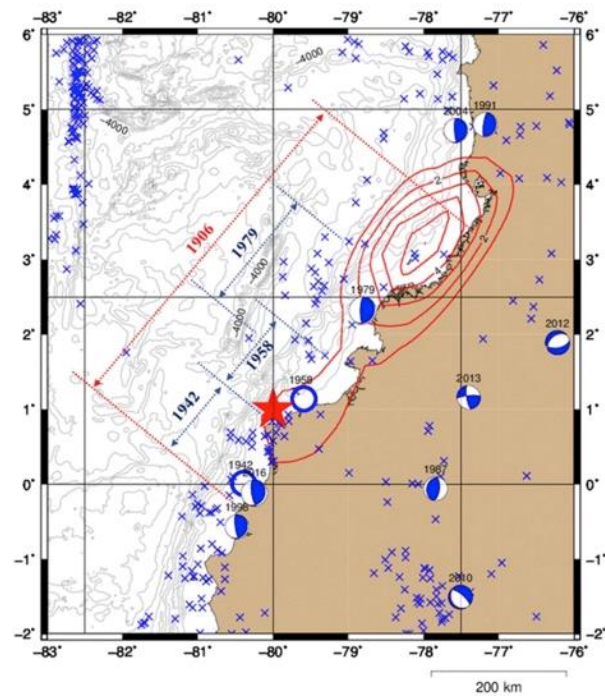


図16. 津波波形インバージョンにより推定された1906年Colombia-Ecuador巨大地震の滑り量分布（赤コンター，1m間隔）と1942年・1958年・1979年巨大地震の震源域の比較（北海道大学〔課題番号：1002〕，Yamanaka et al., 2017）。メカニズムはGlobal CMTカタログMw7.0以上。青+はMw4.0以上（1971年から2017年）を示す。