

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3年目である平成28(2016)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、日本海東縁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〕、公募研究〔課題番号：2938〕、公募研究〔課題番号：2939〕、産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕、北海道立総合研究機構地質研究所〔課題番号：9101〕）。

日本海溝沿いでは、1611年慶長三陸津波地震の震源モデルを信頼できる歴史史料の全てに基づき推定した結果、三陸沖の長さ250 kmの断層が動いたとすると説明できることがわかった。よって、2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）で大きく滑った場所は、慶長三陸地震でも滑っていた可能性がある（北海道大学〔課題番号：1002〕）。

北海道南西部における津波堆積物から13世紀頃に発生したと考えられる津波は、地質学的証拠（奥尻島における陸上の大規模山体崩壊の発生年代）から地震性と推定される（Kawakami et al., in press）。その波源モデルとして、北海道防災会議地震専門委員会（2016）による断層モデル（剛性率を30 GPaと仮定するとM_w7.8）を選定し、津波シミュレーションを行ったところ（図1）、計算された遡上域は津波堆積物の分布と概ね整合的であった（北海道立総合研究機構地質研究所〔課題番号：9101〕）。

過去の地震履歴を知るための新しい手法開発も試みられている。公募研究〔課題番号：2939〕では、2004年スマトラ地震を経験したインドネシアのサンゴ骨格試料を用いて、地震隆起によるサンゴが受ける日射量の変化が骨格中の炭素同位体比組成に記録されていることを発見した（伊藤・他，2016）。喜界島及び奄美大島の化石及び現生サンゴを同様な手法で解析することによって、地震による地殻変動と津波の履歴調査が試みられており、現生サンゴ骨格試料から、1911年及び1995年の喜界島沖地震発生時にサンゴの骨格成長が減衰していることが明らかになった（公募研究〔課題番号：2939〕）。

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・地下構造の変化が捉えられている。

2012年から2016年5月までに実施した6回のGNSS-音響測距結合方式海底地殻変動観測により、日本海溝近傍における東北沖地震後の地殻変動(図2)が明らかになった(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。観測された地殻変動の変位速度ベクトルは、海溝沿いに南北で大きく異なっており、東北沖地震で大きな地震時滑りがあった中部では粘弾性緩和による顕著な西向き変位が観測されたが、南部の広い範囲では逆に東向き変位が観測され、プレート境界浅部で余効滑りが進行していることを示唆する。これに比べ、北部では地震後の変位速度は非常に小さい。

海底のGNSS-音響測距結合方式、水圧計、陸上のGNSS観測網によって得られた東北沖地震後8か月間の余効変動データから、プレート境界上での東北沖地震後の余効滑り分布を高分解能で推定した(海洋研究開発機構[課題番号:4002]、Iinuma et al., 2016)。得られた分布は東北沖地震時の滑り領域とはほぼ重ならないことが示された。

北緯39度付近の日本海溝陸側斜面では、同一測線での構造探査実験が東北沖地震発生前の1996年と2001年、東北沖地震後の2013年と2014年に実施されており、プレート境界の特性変化を抽出する目的で実験取得データの解析を行った(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。東北沖地震前後において、ほぼ同じ記録断面を得ることができており、速度構造に大きな変化がないことが推定される。一方、プレート境界からの反射強度については、暫定的ではあるが、東北沖地震発生前に強度が強かった場所では発生後に強度が低下し、地震前に弱かった場所では発生後に強度が上がる傾向があるように見える。

統合国際深海掘削計画第343次研究航海(JFAST)によって採取された、日本海溝付近のプレート境界断層試料の高温高圧摩擦実験により、断層の摩擦特性が温度や変位速度によってどのように変化するか調べた(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。有効圧50 MPa、間隙水圧50 MPa、温度20~200 °C、変位速度0.3~100 $\mu\text{m/s}$ の条件で、摩擦滑りの安定性の指標である(a-b)値の温度・変位速度依存性を調べると、(a-b)値は50~100 °Cでのみ0に近い負の値を取り、150 °C以上では正となることがわかった。スロー地震^{注1}は(a-b)値が負でかつ小さな値をとるような条件で発生しやすいと考えられており、東北沖では50~100 °Cの温度でスロー地震が発生しやすい条件となることが明らかとなった。東北沖地震前に観測された、スロー地震の発生域の温度は、この範囲内と考えられており、摩擦実験結果はスロー地震の観測結果と調和的である。(注1:スロー地震とは、通常の地震に比べ断層滑り・破壊伝播速度が遅い現象の総称であり、時定数の短い方から順に、低周波微動、超低周波地震、短期的ゆっくり滑り(スロースリップイベント、またはSSE)、長期的SSEなどが既に認識されている。)

(南海トラフ)

南海トラフ巨大地震想定震源域及びその周辺でも、海底での地殻変動観測から沈み込むプレートの運動が初めて実測され、プレート間の固着状態が推定された。

GNSS-音響測距結合方式海底地殻変動観測により、熊野灘及び南海トラフ軸近傍の地殻変動(図3)が明らかになった(名古屋大学[課題番号:1703])。トラフ軸のフィリピン海プレート上の観測点(TOA)の動きは、モデルから推定したフィリピン海プレートの運動と整合的であり、フィリピン海プレートの運動を実測することに成功した。また、トラフ軸の陸側の2観測点(TCA、TCB)では変動方向が異なっており、TCA直下のプレート間の固着率は少なくとも40%程度であることがわかった。またTCBは、誤差も考慮するとフィリピン海プレートの動きに近く、TCB直下の固着率が高いことを示唆している。平成27年6月までの海上保安庁による海底地殻変動観測データと陸域の国土地理院の電子基準点データから、Yabuki and Matsu'ura(1992)の手法を用いた測地学的インバージョンを行い、プレート境界面上の滑り欠損速度の分布(図4)を推定した(海上保安庁[課題番号:8001]、Yokota et al., 2016)。東北沖地震の観測結果への影響は先行研究のモデルを用いて取り除いた。内閣府(2012)による南海トラフ巨大地震の想定震源域全体で、ある程度の

滑り欠損速度が推定され、滑り欠損速度の大きな領域は、1940年代の東南海・南海地震の震源域よりも外側まで広がっている。また、滑り欠損速度が比較的小さい領域は、超低周波地震の分布と整合的であった。この領域の周辺では海山が沈み込んでおり、これらの現象とプレート境界の固着が弱い状態は何らかの相関を持つことが初めて示された。

熊野沖南海トラフにおいて浅部プレート境界断層（デコルマ）の発達過程に影響する、沈み込む堆積物の役割を解明するため、MCS データと深海掘削データとの統合解析を行い、沈み込む堆積層の3次元間隙率と間隙水圧を推定した（東京大学大気海洋研究所〔課題番号：2801〕）。四国海盆のIODP 掘削サイトを参照点として設定し、南海トラフ軸近傍の2か所において、中部四国海盆堆積層を対象に過剰間隙水圧比を求めたところ、2か所とも上部よりも下部において過剰間隙水圧比が増加し、堆積層の透水率が低いことが示された。中部四国海盆堆積層において過剰間隙水圧が最大で有効応力が最少となり、断層挙動に必要な剪断応力が最少となると考えられることから、将来、デコルマは中部四国海盆堆積層で発達することが推定された。

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(プレート境界滑り現象を規定する構造的特徴)

紀伊半島では、2004年3月から2013年3月まで延べ6測線においてリニアアレイ観測が行われ、これらのデータを全て用いてトモグラフィの再解析を行った（京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕）。得られた3次元地震波速度構造では、スラブ上面の深さ30~40 kmあたりの深部低周波微動が発生する海洋地殻の周辺で、P波速度 (V_p) とS波速度 (V_s) はともに5%以上の低速度異常を示し、 V_p/V_s 比は1.8を超える値を取る。これは、海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解が進み、流体が放出されたためと考えられる。また和歌山県北部において、上部地殻に微小地震が多発する領域下の下部地殻に V_p が10%にも及ぶ非常に強い低速度異常域がやや東西に広がる形で存在する。この領域では V_s も低速度異常を示すが、その程度は V_p よりも小さく、その結果、 V_p/V_s 比は1.6を下回る。この低速度異常域から流体が浅部の脆性領域に上昇し、岩石中の間隙水圧を上げ、摩擦力を下げるため、この地域で微小地震が多発すると考えられる。そしてこの低速度異常域は、 V_p/V_s 比が非常に小さいことから、シリカの沈殿物ではないかと考えられる。

また、2015年度に紀伊半島北東部の深部低周波微動が活発な領域を通る甲賀 - 南伊勢測線（図5）で取得した稠密自然地震観測データを使用し、プレート間の滑り現象を規定する構造不均質を明らかにする目的で、地震波速度構造解析、地震波減衰構造解析が行われた（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕）。甲賀 - 南伊勢測線で得られたデータに加えて、過去に紀伊半島で実施された稠密自然地震観測（Kurashimo et al., 2014; Kato et al., 2014）と定常観測点で得られている波形データを加えて推定された3次元地震波減衰構造から、甲賀 - 南伊勢測線下の減衰構造を図5に示す。深さ15 km付近まで Q_p が200~600程度を示しやや減衰が強い傾向が見られる。その下の深さ15~25 kmでは Q_p が800程度となり地震波は減衰しない。そして、深部低周波微動が群発している領域では、 Q_p が400程度になり減衰する傾向が確認できる。これら得られた地震波速度構造、減衰構造から、プレート間の滑り現象を規定する地下構造の異常が、低周波微動の発生域やその近傍に存在することが明らかになった。また、それらの地震学的特徴から、低周波微動の発生域には流体の存在が示唆され、沈み込むプレートの脱水作用によって生成された流体が低周波微動の発生に寄与していると考えられる。

イ. 海洋プレート内部の地震

2012年12月7日にアウターライズ域で発生したスラブ内ダブルプレート地震（逆断層型地震、深さ59 km；正断層型地震、深さ20 km）の震源断層モデルを震源近傍の海底に設置された圧力計で捉えた津波波形の解析

から推定した(図6)(東北大学[課題番号:1201];久保田(2016))。その結果、スラブ浅部で発生した正断層型地震の断層下端は35~40 km、深部で発生した逆断層型地震の断層上端は45~50 kmとなった。それぞれの深さは、2011年東北沖地震前における正断層型地震活動域の下端と、逆断層型地震活動域の上端よりも深く、太平洋プレート内の応力場が東北沖地震により変化したことが示唆される。しかし、東北沖地震による静的応力変化の大きさは、地震発生層の深さ変化を定量的に説明するには不十分であり、破壊強度の低下による地震活動の活発化が起こっている可能性がある。

太平洋スラブ内の上面及び下面地震帯の間(面間)の地震活動が活発である、北海道東部下で発生した面間地震55個についてメカニズム解の決定を行った結果、面間地震のメカニズム解は多様であり特徴的な分布を示さないことが明らかになった(東北大学[課題番号:1201])。こうした面間地震のメカニズム解の多様性は、面間地震発生深さにおける起震応力場が小さいことを示唆する。

(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

防災科学技術研究所が所有する大型振動台を利用した岩石摩擦実験の観測データを数値シミュレーションで再現することにより、岩石の摩擦パラメータを推定し、摩擦パラメータが累積変位と载荷速度に依存することを明らかにした(防災科学技術研究所[課題番号:3001], Urata et al., 2016)。

摩擦パラメータの実験条件(温度・圧力・変位速度など)依存性を考慮した摩擦構成則を定式化し、日本海溝付近のJFAST試料の摩擦実験から得られた摩擦の性質及び、実測された水理的性質と摩擦発熱による間隙水圧上昇を考慮した動的地震サイクルシミュレーションを行った(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。平時の有効垂直応力分布に関するパラメータスタディから、スーパーサイクル挙動、海溝まで達する巨大地震の頻度、深部のみの大規模地震の頻度、巨大地震時の滑り量と発熱量、長期的摩擦発熱量の全てにおいて観測結果と良く一致するケースを実現することに成功した。またこのモデルでは、最浅部のみがcm/s程度の速度で滑る津波地震に相当するイベントが確認できた。

スロー地震や大地震の発生において根本的に重要な役割を果たすと考えられている、脆性-塑性遷移領域(BDT)における断層の剪断強度への間隙流体圧の力学的影響を調べるため、アナログ物質として岩塩ガウジを用いた実験を温度・封圧・間隙流体圧をそれぞれ独立に変えて行った(東京大学地震研究所[課題番号:1507], Noda and Takahashi, 2016a)。BDTでは塑性領域に近づくにつれ剪断強度の法線応力依存性が消滅するが、有効法線応力に対する間隙圧の負の効果は、断層の真実接触面積の増加によって徐々に消滅するはずであるという従来の説(Scholz, 1990; Hirth and Beeler, 2015)は全くデータにあわず、真実接触面積の割合が高い場合でも、封圧から間隙圧をそのまま減じたものを有効法線応力として採用すべきであることとその理論的な解釈を提案した。また、実験データによりBDTの強度プロファイルを構築すると、従来の説が予測する顕著なピーク強度は見られない。このなだらかな強度プロファイルを説明するには、上記の有効応力についての修正に加えて、真実接触面積と有効応力の関係の非線形性や真実接触の周辺バルク部分の流動が無視できない(加藤, 東大修論, 2009)ことが必要なことを指摘した。

東北沖地震の震源域で、前震による余効滑りと本震による高速滑りが重なっている領域があることから、プレート境界における摩擦強度の滑り速度依存性の実証的な評価を行った(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。インバージョン解析により求めた滑りの履歴から応力変化を計算し、滑り速度と応力変化の関係に着目すると、顕著な動的弱体化現象を確認することができた。この結果は、従来の高速摩擦実験の結果(例えば, Di Toro et al., 2011)と調和的である。

スロー地震や繰り返し地震には卓越した活動周期が存在することが報告されており、地球・海洋潮汐などの周期的外力及び単独の繰り返し間隔を持つアスペリティの相互作用より生じる同期現象である可能性があ

る。そこで、標準線形固体（三要素固体）を組み込んだ、バネ・ダッシュポット・スライダーからなる固着滑り振動子への、周期的外力の応答を、数値シミュレーションにより調べた（京都大学理学研究科〔課題番号：1801〕）。標準線形固体を構成するマックスウェル粘弾性要素の緩和時間（TM）の、固着滑り振動子の繰り返し間隔（Tr）への影響を調べたところ、TM が無限大の場合に Tr が 111.95 年となるような設定では、Tr は TM の減少とともに減少していき、TM が 1～5 年で最少となり、それより小さい TM では増大する現象が見られた。この原因やその地震サイクルへの影響評価については今後検討を要する。

大地震後の余効変動について、摩擦構成則に従う余効滑りと地震時の滑りに加え、余効滑りによるマン托ルの粘弾性応力緩和を考慮した余効変動モデルを構築した（京都大学理学研究科〔課題番号：1803〕）。このモデルでは地震時の応力変化によって粘弾性緩和と余効滑りが駆動され、余効滑りの時間発展は速度・状態依存摩擦構成則に従うと仮定している。従ってこのモデルのパラメータは摩擦パラメータやマン托ルの粘性率などであり、初期条件は地震時の滑り分布で決まる。これらのパラメータの推定手法について検討するために、東北沖地震の余効変動にこのモデルを適用し、パラメータと初期条件が余効変動に与える影響について調査した（図 7）。地震時の滑り分布によっては、モデルが観測された上下変動を説明できないことや、摩擦パラメータの推定値が地震時滑り分布によって異なることが明らかになり、余効変動の観測データから余効滑り域の摩擦パラメータを推定する際には、地震時の滑り分布も同時推定する必要があることがわかった。

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)

地殻変動速度場を、ブロックの剛体回転運動とブロック境界における固着と滑りによる弾性変形の和でモデル化するブロック断層モデルを、時間変化も含めて解析できるように拡張し、東北沖地震前の日本列島の地殻変動解析を行った（図 8）（国土地理院〔課題番号：6003〕）。その結果、2003 年十勝沖地震の余効滑りや 2005 年宮城県沖の地震後の 2006 年に宮城県沖合の滑り欠損が小さくなる様子が捉えられた。また 2008 年の茨城県沖、福島県沖の地震後の余効変動のために、2008 年以降、茨城県沖、福島県沖でのプレート境界の滑り欠損が小さくなっていることが推定された。

相似地震カタログを用いた固着状態の時空間変化の推定は、日本列島の様々な地域で行われているが、本稿では日本海溝・千島海溝沿いと南西諸島海溝沿いの結果について記す（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕、鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。

Brownian Passage Time (BPT) 分布更新過程から拡張した時空間更新過程モデル (Nomura et al., 2017) を用いて、2011 年東北沖地震までの太平洋プレート境界における準静的滑りの時空間的变化が推定された（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。その結果、十勝沖～釧路沖において 2003 年十勝沖地震後の滑り速度が長期にわたって以前より高い水準にあること、三陸はるか沖地震の余効滑りの減衰期間が深さにより異なること、三陸沖や福島沖では間欠的に M6 クラスの地震や群発地震に伴う滑り加速が見られることなどが考察された。さらに、GPS インバージョンによる同地域の滑り欠損速度分布 (Hashimoto et al., 2012, Ozawa et al., 2004) の推定結果と比較を行い、推定された滑り量のスケールに差があるものの、全体的に同じ傾向が捉えられていることを示した。

(相模トラフ)

房総沖スロースリップイベント (SSE) 領域において、水圧計のデータ解析を進めた (図 9) (東京大学地震研究所 [課題番号:1503], Sato et al., 2016)。水圧計の時系列を線形成分 (機器トレンドと地殻の永年変動に対応)、1年と半年周期の周期成分 (地殻の年周変動に対応)、対数成分 (2011年東北沖地震の余効変動に対応)、ギャップ成分 (房総沖 SSE による変動に対応) の4つの成分からなる関数をフィッティングすることにより、水圧計による海底の上下変動は、深さに換算して約 1 cm の精度で観測できることが示された。2013年12月から2014年1月の房総沖 SSE に近い観測点 (KAP3) で 2 cm を超える有意な隆起が認められ、房総沖 SSE から遠い観測点 (BOS02) では有意な隆起はなかったことがわかった。

(南海トラフ)

東海地方で2013年頃から始まったと言われる長期的 SSE に関して、Fukuda et al. (2008) によって開発された改良型時間発展インバージョンを用いた解析を実施した (図 10) (東京大学地震研究所 [課題番号:1509])。2013~2015年の最大積算滑り量は約 6.5 cm、長期的 SSE に解放されたモーメント (図 10a 赤色矩形領域) は約 M_w 6.5 相当と推定された。また、この領域での解放モーメントの時間発展 (図 10b 赤線) には、急激に加速した期間が2回見られ、2014年1月と2015年4月の短期的 SSE の発生に対応しており、長期的 SSE と短期的 SSE の両方の滑り分布の推定に成功した。長期的 SSE の滑りの中心付近での解放モーメントの時間変化は、短期的 SSE の発生領域での解放モーメントにかかわらずほぼ一定であることがわかった (図 10b)。また、本研究で推定された結果から、短期的 SSE による滑りの加速に伴って低周波微動 (LFT) の発生が誘発されたことが示唆される。

深部低周波微動の輻射エネルギーを定量的に評価する目的で新たな手法を開発し、西南日本における時空間分布など、微動活動全体像に関する評価を行った (図 11) (東京大学地震研究所 [課題番号:1509]、Annoura et al., 2016)。その結果、微動エネルギーレートは豊後水道域で2010年と2014年に定常時に比べて値が2~3倍程度に増加しており、豊後水道長期的 SSE の発生に伴う応力擾乱の影響を定量的に明らかにした。また、微動エネルギーレートとプレートの沈み込み速度を沈み込むフィリピン海プレートの走向方向で比較すると、いずれも紀伊水道を境とした西側の四国で高く、東側の紀伊半島、東海地方で低いという対応関係を見出した。一つの解釈としては、プレート沈み込み速度が速い地域ではプレート境界でより多くひずみが蓄積し、微動活動も活発となることが考えられる。

2016年4月1日に発生した三重県南東沖の地震 (M_w 6.0) は、南海トラフ巨大地震想定震源域内で発生した海溝型地震で、この地震の地震像や周囲への影響に関する研究が行われた (防災科学技術研究所 [課題番号:3002]、海洋研究開発機構 [課題番号:4002])。熊野灘の海底掘削孔 C0010 の孔内計測装置を DONET への接続を行いリアルタイム計測を開始したことにより、この地震に伴い発生した、SSE に対応した孔内間隙水圧の変動がリアルタイムに観測できるようになった (海洋研究開発機構 [課題番号:4002])。DONET のデータの解析によると、この地震の余震群や超低周波地震は本震の発生域とは空間的に離れた場所で発生しており、深部側と浅部側双方にひずみが伝播したことが示唆されるとともに、SSE は周辺で発生した超低周波地震の活動を伴うことがわかった。

(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 12) (鹿児島大学 [課題番号:2301])。解析対象領域・解析期間中に発生した M 6.5 以上のプレート境界型地震4個のうち、3個について地震発生の少し前から準静的滑り速度の増加が認められたが、2009年10月30日の M 6.8 の地震については、同様の変化は認められない。地震発生後は4ケースともに相似地震発生数が減少し、準静的滑り速度も遅くなっている。規模の大きな地震の発生前後にお

ける準静的滑り速度の時間変化が示唆されたが、さらに観測事例を増やしていく必要がある。また、M6.5以上の地震発生前後を除くと準静的滑り速度は大きな時間変化はなく安定していたが、2015年頃から半数以上の小領域で準静的滑り速度が増加する傾向を示しており、注目すべき変化である。

(断層摩擦パラメータのデータ同化)

過去に発生した房総 SSE のメカニズムの理解に向けて、GNSS データから推定された SSE 発生時の滑りや応力の時空間発展を、速度・状態依存摩擦構成則に基づいてモデル化した(東京大学地震研究所 [課題番号: 1503])。1996年の SSE の滑りの推定結果に基づきプレート境界面上における応力の時空間変化を計算し、速度・状態依存摩擦構成則の式において、滑り速度をインバージョン解析からの推定値に固定し、摩擦パラメータ L , $a \times \sigma$, $(b-a) \times \sigma$ (σ は有効法線応力) 及び状態変数の初期条件を未知パラメータと仮定した。この仮定の下で摩擦構成則の式を数値的に計算し、インバージョン解析から求められた応力の時空間変化を再現できるような未知パラメータを推定した結果を図 13 に示す。応力の時空間変化は速度・状態依存摩擦構成則で良く説明でき、SSE 発生域における臨界断層長(半径)は 30~50 km 程度と見積もられた。GNSS データから推定された SSE の滑り域の半径は臨界半径と同程度かそれよりもやや小さく、SSE の発生が条件付安定の摩擦特性に支配されていることが示唆された。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

地震活動の時間変化をモニタリングし、超巨大地震の先行現象を検知する手法を開発するために、ISC の地震カタログから実体波マグニチュード 5.0 以上、深さ 60 km 以浅の地震を選択し、Zhuang et al. (2002) の方法でデクラスタリング処理した後、ZMAP で地震活動の長期変化を解析した(北海道大学 [課題番号: 1002])。2001年ペルー巨大地震 (M_w 8.4) と 2010年チリ巨大地震 (M_w 8.8) 震源域近傍での地震活動を解析したところ、ペルーでは、11年間の静穏化が発生しその直後に巨大地震が発生したと、チリでは約 13.8年間の静穏化の後、5.8年間は通常地震活動に戻った後、巨大地震の発生に至ったことがわかった(図 14)。これまでの静穏化の結果を総合すると、 M_w 8.8 以上の地震は、静穏化が 10年程度続いたのち、地震活動が復活して 10年程度経過すると巨大地震が発生することがわかった。上記の静穏化は 1952年カムチャツカ、1957年アリユーション、1962年アラスカ、2004年スマトラ、2011年東北沖でも見られた。また、M8クラスの巨大地震にも 10年程度の静穏化が起こる場合があり、1994年北海道東方沖や 2003年十勝沖のように静穏化直後に巨大地震が発生した。

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、3回目の海底間音響測距観測を 2015年から実施した(東北大学 [課題番号: 1210])。今回の観測機器は、従来の機器に比べて (1)ユニバーサルジョイントを廃止し姿勢の安定性を重視した脚形状、(2)音響コマンドで観測頻度の設定変更や計測データの随時吸い上げが可能、(3)高精度な外付け圧力・温度センサー搭載、という点で改良が加えられている。設置した 5台のうち 2台を回収し、ほぼ 1年間の連続データを得ることに成功した。データの補正を行うことにより、最終的にばらつきで $\pm 1 \sim 2$ cm、1年間の変位速度で ± 2 cm/yr の精度で計測できる見込みがたった。また、開発した大深度型の圧力計は水深 7000 m を超える海溝軸付近でも正常に動作しており、定期的な入れ替えにより圧力と温度の時系列データを取り続けている。

ケーブル式海域観測網の高度化に関して、復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システム及び2015年に設置した新規海底光ケーブル式地震津波観測システム(OBCSTシステム)の併行観測を実施し、OBCSTシステムで得られたデータ特性の評価を地震学的雑微動スペクトルにより行った(東京大学地震研究所[課題番号:1521])。その結果、OBCSTシステムにおけるノイズは、2 Hzより高い帯域及び10秒よりも長い帯域で十分に低く、海底における典型的なノイズレベルとほぼ同じであり、1996年に設置された既設システムともほぼ同レベルであった。埋設された観測ノード(YOBI)については、他の観測ノードよりも低い雑微動レベルであり、地震計の埋設がノイズ軽減に有効であることが確かめられた。

(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5台、海底地震・圧力計10台、海底圧力計17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SSEが発生し、この期間の海底圧力計のデータを調べたところ、SSEに伴う1.5~5.4 cmの海底上昇を記録していることがわかった。この海底上昇は陸上のGNSS観測網における変化よりも数日前から開始しており、SSEの滑りはプレート境界の浅部から深部へと進行したことが示唆される。最大の隆起量は、海岸線よりも30 km沖合の圧力計で記録され、その大きさは5.4 cmであった。海溝軸から5~10 kmの圧力計でも1.5~2 cmの隆起が認められており、SSEによる断層滑りはほぼ海溝軸まで達したことを示唆している(図15)(Wallace et al., 2016)。また、SSEに伴う断層滑りについて、反射法地震波構造調査によって得られているプレート境界の形状と比較すると、沈み込んだ海山を避けるように分布していることがわかった。

これまでの課題と今後の展望

今期の本部会の成果の中でも特筆すべき点として、海底観測技術の進展により陸域観測だけでは難しかった沖合の固着と滑りが検出できるようになった点が挙げられる。本観測研究計画の3年目である平成28年度においても、GNSS音響測距結合方式地殻変動観測により、南海トラフや日本海溝沿いにおいて地殻変動速度場が明らかになり、それぞれ固着分布の不均質や余効変動メカニズムの多様性についての研究が進められている。また、海底水圧計を用いた地殻変動観測により、房総半島沖やニュージーランドにおいてSSEに伴う地殻変動が検出された。ニュージーランドにおいては、SSEの滑り領域が海溝軸まで達していることが初めて明らかになり、房総半島沖の解析結果からは、様々なノイズを含む観測データからSSEに関連するシグナルを抽出するために、解析手法を工夫することの重要性も示された。また、従来は難しかった海溝軸近傍の深海域における観測に関する技術開発も進められており、海底間音響測距や水圧計、広帯域地震計において、長期的な観測を行う実証実験段階に入りつつある。

相似地震を用いたプレート境界での滑りのモニタリングからは、過去に発生した大地震の前後にプレート間固着状態が大きく変化したことが明らかになり、地下構造の研究からは、プレート境界面及びその近傍における間隙圧などの物理化学状態により、プレート間滑り特性がある程度規程されている可能性が高いことも明らかになってきた。数値シミュレーションを用いた地震発生予測を試行するために重要である断層摩擦パラメータの推定についても、海底掘削による実際の試料を用いた摩擦実験や測地データのデータ同化による成果が挙げられている。以上のことから、本計画は概ね計画通りに着実に成果を挙げてきたといえる。

Obara and Kato(2016)は、スロー地震が巨大地震に対して果たす役割を(1) Analog(類似現象)、(2) Stress meter(応力状態を反映するインジケータ)、(3) Stress transfer(周囲への応力転荷)という3

つの点に整理した。中南米では近年、SSEによって载荷された応力によりトリガーされた大地震の報告例が相次いでいることや、スロー地震の活動様式や発生原因の解明は未だに十分でないことから、今後もスロー地震の活動を継続的にモニタリングして発生機構の解明を進めることが、巨大地震の発生過程に関する理解の進展にも繋がることが期待される。これらスロー地震研究を中心とした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を両輪として、地震発生予測に向けた研究を今後も続けていくことが重要である。

また、社会に貢献するという本計画の目標に関して、史料や地質データに基づく日本海溝・千島海溝における大規模地震に関して得られた知見は、地震本部が行う海溝型地震の長期評価の基礎データとして取り入れられつつあり、一定の貢献が行われている。一方、課題であった災害誘因の予測研究に向けた他部会・総合研究グループとの連携については、各課題レベルでの連携が行われている。今後は、部会としての有効な連携の方向性について他部会・総合研究グループ及び戦略室と議論を行っていくことが重要であろう。

成果リスト

- Ando, R., 2016, Fast Domain Partitioning Method for dynamic boundary integral equations applicable to non-planar faults dipping in 3-D elastic half-space, *Geophys. J. Int.*, 207, 833-847.
- Arai R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura, and Y. Kaneda, 2016, Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench, *Nature Communications*, doi:10.1038/ncomms12255.
- Arai R., S. Kodaira, Y. Kaiho, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda, 2016, Crustal structure of the southern Okinawa Trough: Symmetrical rifting, submarine volcano and potential mantle accretion in the continental back-arc basin, 2016, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, doi: 10.1002/2016JB013448.
- Annoura, S., K. Obara and T. Maeda, 2016, Total energy of deep low-frequency tremor in the Nankai subduction zone, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2562-2567, doi:10.1002/2016GL067780.
- Burgmann, R., N. Uchida, Y. Hu, and T. Matsuzawa, 2016, Tohoku rupture reloaded?, *Nature Geosci.*, 9, 183-184.
- Fukuyama, E. and W. Suzuki, 2016, Near-fault deformation and Dc'' during the 2016 Mw7.1 Kumamoto earthquake, *Earth Planets Space*, 10.1186/s40623-016-0570-6.
- Fukuyama, E., S. Xu, F. Yamashita, and K. Mizoguchi, 2016, Cohesive zone length of metagabbro at supershear rupture velocity, *J. Seismology*, 20(4), 1207-1215, doi:10.1007/s10950-016-9588-2.
- Gerasimenko M. D., N. V. Shestakov, A. G. Koromuets, G. N. Gerasimov, H. Takahashi, D. V. Svisoev, G. V. Nechaev, 2016, Vertical crustal movement of the south of Primorsky Krai and their relationship with the subduction zone geodynamic processes, *Geodesy and Cartography*, 33-37.
- Harris, R., L. Wallace, S. Webb, Y. Ito, K. Mochizuki, H. Ichihara, S. Henry, A. Tréhu, S. Schwartz, A. Sheehan, R. Lauer, and D. Saffer, 2016, Investigations of shallow slow slip offshore of New Zealand, *Eos*, 97, 701-704, doi:10.1029/2016E0048945.
- Hata, M., M. Uyeshima, S. Handa, M. Shimoizumi, Y. Tanaka, T. Hashimoto, T. Kagiya, H. Utada, H. Munekane, M. Ichiki and K. Fuji-ta, 2017, 3-D electrical resistivity structure based on geomagnetic transfer functions exploring the features of arc magmatism beneath Kyushu, Southwest Japan Arc, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2016JB013179.

- Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsushima, T. Kono, S. Hirahara, and T. Nakayama, 2016, Variation in high-frequency wave radiation from small repeating earthquakes as revealed by cross-spectral analysis, *Geophys. J. Int.*, 207, 1030–1048, doi:10.1093/gji/ggw313.
- Hirono, T., Tsuda, K., Tanikawa, W., Ampuero, J. P., Shibazaki, B., Kinoshita, M. and Mori, J., 2016, Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions. *Scientific Reports*, 6, 28184, doi:10.1038/srep28184.
- Ide, S., S. Yabe and Y. Tanaka, 2016, Earthquake potential revealed by tidal influence on earthquake size-frequency statistics, *Nature Geoscience* 9, 834–837, doi:10.1038/ngeo2796.
- Ioki, K., and Y. Tanioka, 2016, Rupture Process of the 1969 and 1975 Kurile Earthquakes Estimated from Tsunami Waveform Analyses, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-016-1402-0.
- Iinuma, T., R. Hino, N. Uchida, W. Nakamura, M. Kido, Y. Osada, and S. Miura, 2016, Seafloor observations indicate spatial separation of coseismic and postseismic slips in the 2011 Tohoku earthquake, *Nature Comm.*, 7, doi:10.1038/ncomms13506.
- Inagakim F., K. Hinrichs, Y. Kubo, and Expedition 337 Scientists, 2016, IODP Expedition 337: Deep Coalbed Biosphere off Shimokita –Microbial processes and hydrocarbon system associated with the deeply buried coalbed in the ocean, *Scientific Drilling*, 21, 17–28.
- Inazu, D., N. Pulido, E. Fukuyama, T. Saito, J. Senda, and H. Kumagai, 2016, Near-field tsunami forecast system based on near real-time seismic moment tensor estimation in the regions of Indonesia, the Philippines, and Chile, *Earth Planets Space*, 68:73, doi:10.1186/s40623-016-0445-x.
- 伊藤早織, 渡邊剛, 山崎敦子, Teddy Eka Putra, 西村裕一, 2016, サング骨格に記録される地震イベント, 月刊海洋 号外, 56, 60–71.
- 加瀬善洋・他, 2016, 北海道南西部奥尻島で発見された津波堆積物, *地質学雑誌*, 122, 587–602.
- Kato, A., J. Fukuda, T. Kumazawa and S. Nakagawa, 2016, Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.2 Earthquake, *Scientific Reports*, 6, 24792, doi: 10.1038/srep24792.
- Kato, N., 2016, Earthquake cycles in a model of interacting fault patches: Complex behavior at transition from seismic to aseismic slip, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 106, doi: 10.1785/0120150185.
- Kawakami *et al.*, in press, Stratigraphic records of tsunamis along the Japan Sea, southwest Hokkaido, northern Japan. *Island Arc*.
- Kim, S., T. Saito, E. Fukuyama, and T.-S. Kang, 2016, The Nankai Trough earthquake tsunamis in Korea: numerical studies of the 1707 Hoi earthquake and physics-based scenarios, *Earth Planets Space*, 68:64, doi:10.1186/s40623-016-0438-9.
- 久保田達也, 2016, 近地津波観測による2011年東北地方太平洋沖地震震源域周辺における地震発生過程に関する研究, 東北大学博士論文, 東北大学.
- Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, Y. Ito, T. Iinuma, Y. Ohta, S. Suzuki, and K. Suzuki, 2016, Coseismic slip model of offshore moderate interplate earthquakes on March 9, 2011 in Tohoku using tsunami waveforms, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 458, 241–251.
- Mizoguchi, K. and Hirose, T., 2016, Transient water adsorption on newly formed fault gouge and its relation to frictional heating, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7921–7927.
- Nakamura, W., N. Uchida, and T. Matsuzawa, 2016, Spatial distribution of the faulting types of small earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: A comprehensive search using template event, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 2591–2607.

- Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi, 2016, Possible scenarios for occurrence of $M \sim 7$ interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, *Scientific Rep.*, 6, 25704, doi:10.1038/srep25704.
- Noda, H. and M. Takahashi, 2016a, The effective stress law at a brittle-plastic transition with a halite gouge layer, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL067544.
- Noda, H. and M. Takahashi, 2016b, Technical note: Correction of output from an internal load cell in a high-pressure triaxial deformation apparatus without a split-piston, *J. Geol. Soc. Japan*, 122, 12, 653-658, doi:10.5575/geosoc.2016.0047.
- 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.
- Obara, K. and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, 353, 253-257, doi:10.1126/science.aaf1512.
- Obayashi, J. Yoshimitsu, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, H. Shiobara, D. Reymond, and D. Suetsugu, 2016, Mantle plumes beneath the South Pacific superswell revealed by finite frequency P tomography using regional seafloor and island data M, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070793
- Ono, S., T. Kikegawa, Y. Higo, Y. Tange, 2016, Precise determination of the phase boundary between coesite and stishovite in SiO₂, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 264, 1-6, doi:10.1016/j.pepi.2017.01.003.
- Otsubo, M., Miyakawa, A., Kawasaki, R., Sato, K., Yamaguchi, A., Kimura, G., 2016, Variations in stress and driving pore fluid pressure ratio using vein orientations along megasplay faults - example from the Nobeoka Thrust, southwest Japan. *Island Arc*, 25, 421-432. doi: 10.1111/iar.12155.
- Ozawa S., M. Tobita, H. Yarai, 2016, A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan, *Earth Planets Space*, 68:54, doi:10.1186/s40623-016-0430-4.
- Palazzin, G., Raimbourg, H., Famin, V., Jolivet, L., Kusaba, Y., Yamaguchi, A., 2016, Deformation processes at the down-dip limit of the seismogenic zone: the example of Shimanto accretionary complex. *Tectonophysics*, 687, 28-43. doi: 10.1016/j.tecto.2016.08.013
- Saito, T. and H. Tsushima, 2016, Synthesizing ocean bottom pressure records including seismic wave and tsunami contributions: Towards realistic tests of monitoring systems, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi:10.1002/2016JB013195.
- Sakai T., H. Kumagai, N. Pulido, J. Bonita, and M. Nakano, 2016, Discriminating non-seismic long-period pulses and noise to improve earthquake source inversion, *Earth Planets Space*, 68:50, 1-14, doi:10.1186/s40623-016-0426.
- Sato, T., S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, and N. Usui, 2017, Detection of vertical motion during a slow-slip event off the Boso Peninsula, Japan, by ocean bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2710-2715, doi:10.1002/2017GL072838.
- Sawai, M., Niemeijer, A. R., Plu"mper, O., Hirose, T. and Spiers, C. J., 2016, Nucleation of frictional instability caused by fluid pressurization in subducted blueschist, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 2543-2551.
- Sawazaki, K., T. Saito, T. Ueno, 2016, Estimation of seismic velocity changes at different depths associated with the 2014 Northern Nagano Prefecture earthquake, Japan (M_w 6.2) by joint

- interferometric analysis of NIED Hi-net and KiK-net records, *Progress in Earth and Planetary Sci.*, doi:10.1186/s40645-016-0112-7.
- Suzuki W., N. Pulido, and S. Aoi, 2016, Rupture Process and Strong-Motion Generation of the 2014 Iquique, Northern Chile, Earthquake, *J. Earthquake and Tsunami*, 10(3), 1-19, doi:10.1142/S17934311640008X.
- 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 Planets Space*, doi:10.1186/s40623-016-0527-9.
- Uchida, N., Y. Asano, and A. Hasegawa, 2016, Acceleration of regional plate subduction beneath Kanto Japan, after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 9002-9008, doi:10.1002/2016GL070298.
- Uchida, N., S. Kirby, N. Umino, R. Hino, and T. Kazakami, 2016, The great 1933 Sanriku-oki earthquake: reappraisal of the mainshock and its aftershocks and implications for its tsunami using regional tsunami and seismic data, *Geophys. J. Int.*, 206, 1619-1633.
- Urata, Y., F. Yamashita, E. Fukuyama, H. Noda, and K. Mizoguchi, 2016, 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.*, doi:10.1007/s00024-016-1422-9.
- Wada, J., Kanagawa, K., Kitajima, H., Takahashi, M., Inoue, A., Hirose, T., Ando, J. and Noda, H., 2016, Frictional strength of ground dolerite gouge at a wide range of slip rates, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 2961- 2979, doi:10.1002/2015JB012013.
- Wallace, L., S.C. Webb, Y. Ito, K. Mochizuki, R. Hino, S. Henrys, S.R. Schwartz, and A.F. Sheehan, 2016, Slow slip near the trench at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, *Science*, 352, 701-704, doi:10.1126/science.aaf2349.
- Xu, S., E. Fukuyama, H. Yue, and J.-P. Ampuero, 2016. Simple crack models explain deformation induced by subduction zone megathrust earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 106(5), 2275-2289, doi:10.1785/0120160079.
- Yamaguchi, A., Hina, S., Hamada, Y., Kameda, J., Hamahashi, M., Kuwatani, T., Shimizu, M., Kimura, G., 2016, Source and sink of fluid in pelagic siliceous sediments along a cold subduction plate boundary. *Tectonophysics*, 686, 146-157. doi: 10.1016/j.tecto.2016.07.030.
- Yamaguchi, A., Fukuchi, R., Hamahashi, M., Shimizu, M., 2016, UAV-based mesoscale lithologic distribution map of a large shear zone in Jurassic accretionary complex (Ohwaki outcrop in the Mino Belt, central Japan). *Island Arc*, 25, 436-438. doi: 10.1111/iar.12158
- Yamamoto, Y., Y. Hamada, N. Kamiya, T. Ojima, S. Chiyonobu, S. Saito, 2016, Geothermal structure of the Miura-Boso plate subduction zone, central Japan, *Tectonophysics*, 10.1016/j.tecto.2016.11.004
- Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada, 2016, *Nature*, doi:10.1038/nature17632.
- Yoshida, K., A. Hasegawa, T. Saito, Y. Asano, S. Tanaka, K. Sawazaki, Y. Urata, and E. Fukuyama, 2016, Stress rotations due to the M6.5 foreshock and M7.3 main shock in the 2016 Kumamoto, SW Japan, earthquake sequence, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2016GL070581.
- Yoshida, M., 2016, Formation of a future supercontinent through plate motion-driven flow coupled with mantle downwelling flow, *Geology*, 44, 9, 755-758, doi:10.1130/G38025.1.

- Yoshida, S., 2016, Earthquakes in Oita triggered by the 2016 M7.3 Kumamoto earthquake, *Earth Planets Space*, 68, doi:10.1086/s40623-016-0552-8.
- Yoshida, S., N. Kato, and J. Fukuda, 2016, Forecast experiment on the Kamaishi repeating earthquakes based on numerical simulations using friction law, *Earth Planets Space*, 68, doi:10.1186/s40623-016-0448-7.

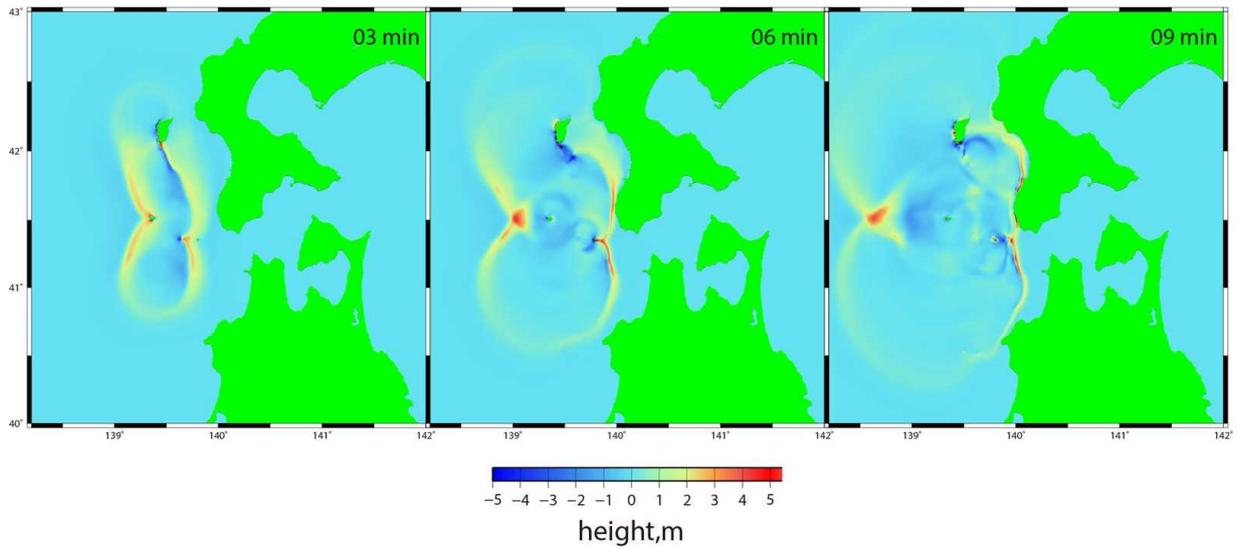


図1. 13世紀頃に発生した日本海東縁の地震の津波伝播図（北海道立総合研究機構地質研究所 [課題番号：9101]）。奥尻島から青森県西方沖に至る領域においた震源断層モデルを用いて計算した津波の3分、6分、9分後の津波伝播図。

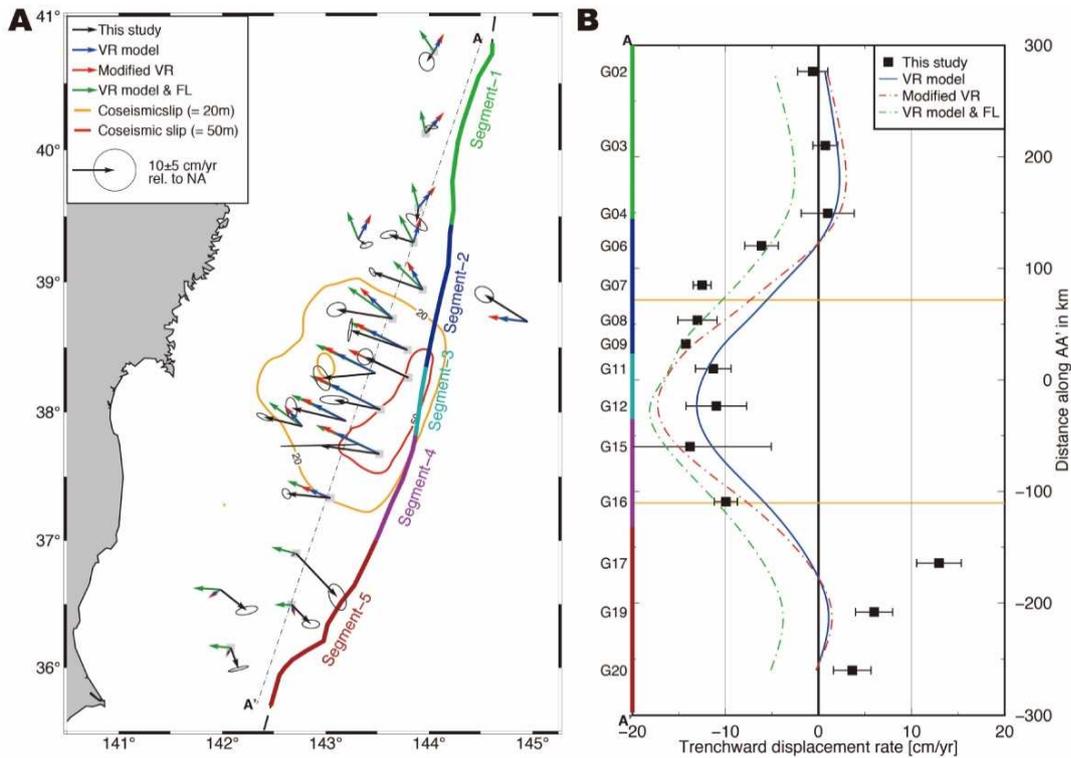


図2. 日本海溝近傍における2011年東北沖地震後の地殻変動（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）。A：変位速度ベクトル。Iinuma et al. (2012)による本震時滑りの等値線（20 m と 50 m）とともに示す。B：変位速度の海溝と直交する成分の南北変化。Sun et al. (2014)による粘弾性緩和と変形モデル（青）、粘性係数を小さくしたモデル（赤）、粘弾性緩和に加えてプレート境界全面での100%固着を仮定した場合（緑）、のそれぞれにおける変位速度の計算値をあわせて示す。

熊野海盆～南海トラフ軸での観測結果

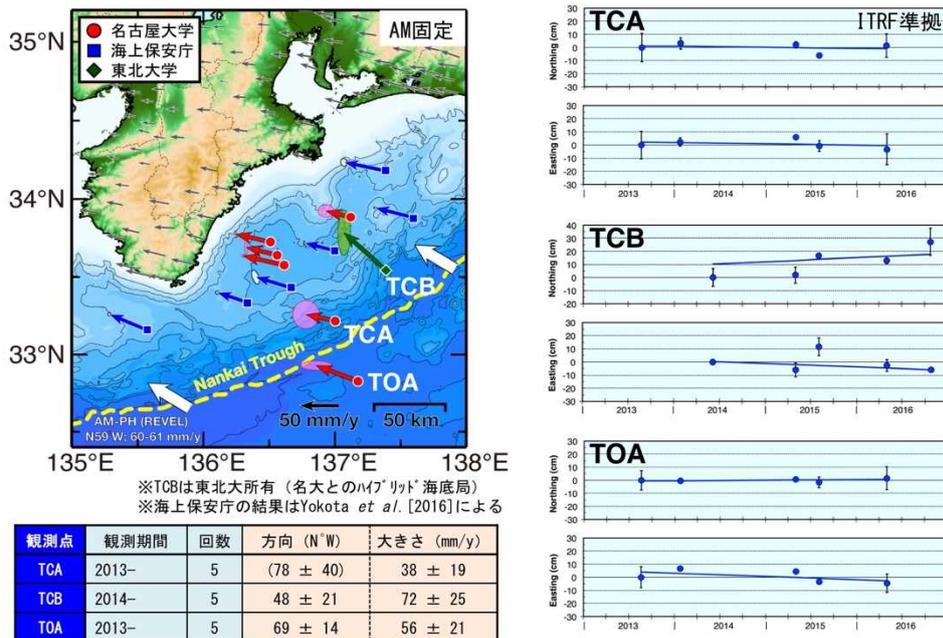


図3. 熊野灘～南海トラフ軸での海底地殻変動観測結果 (名古屋大学 [課題番号: 1703])。

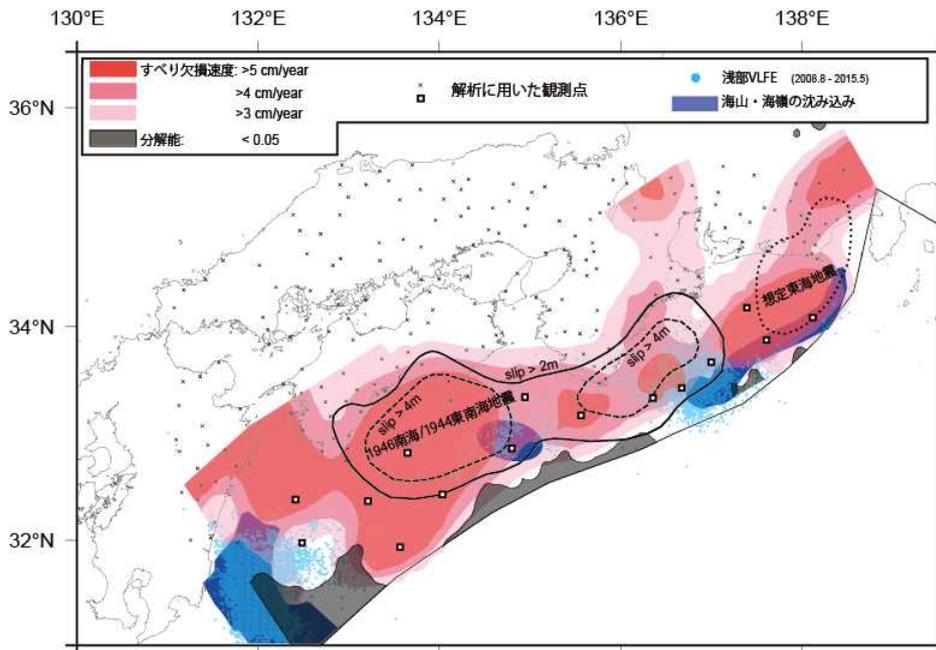


図4. 陸上及び海底の地殻変動データから推定された南海トラフ沿いプレート境界面における滑り欠損分布 (海上保安庁 [課題番号: 8001])。

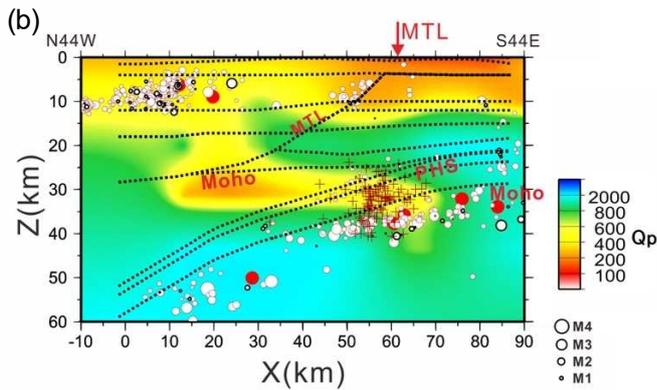
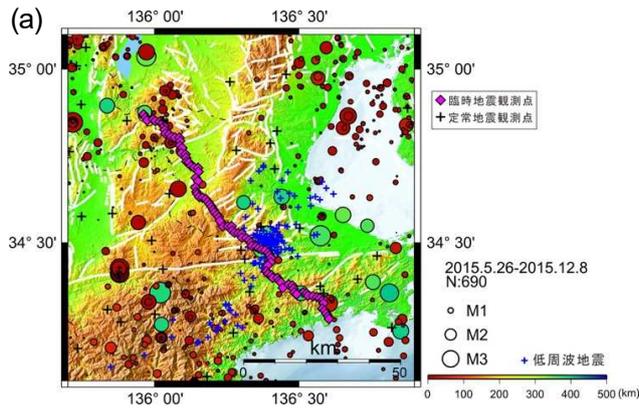


図5. 甲賀 - 南伊勢測線における地震波減衰構造（東京大学地震研究所 [課題番号 : 1509] ）。

(a) 丸印及び青色十印は、それぞれ観測期間中の気象庁一元化処理による通常の震源と低周波微動（低周波地震）の震央を表す。(b) 測線下の Q_p 鉛直断面図。赤丸は、減衰構造の推定に使用した地震の震源を示す。黒縁丸印は、本研究で使用した地震波形データの検測値を用いて再決定した地震の震源を示す。2000年1月1日から2015年5月25日までの気象庁一元化処理震源の検測値を用いて再決定した通常の地震の震源を赤縁丸印、低周波地震の震源を十印で示す。波線は、Iwasaki et al. (2008) によって示された測線下の速度境界面を示す。PHS: フィリピン海プレート、MTL: 中央構造線。

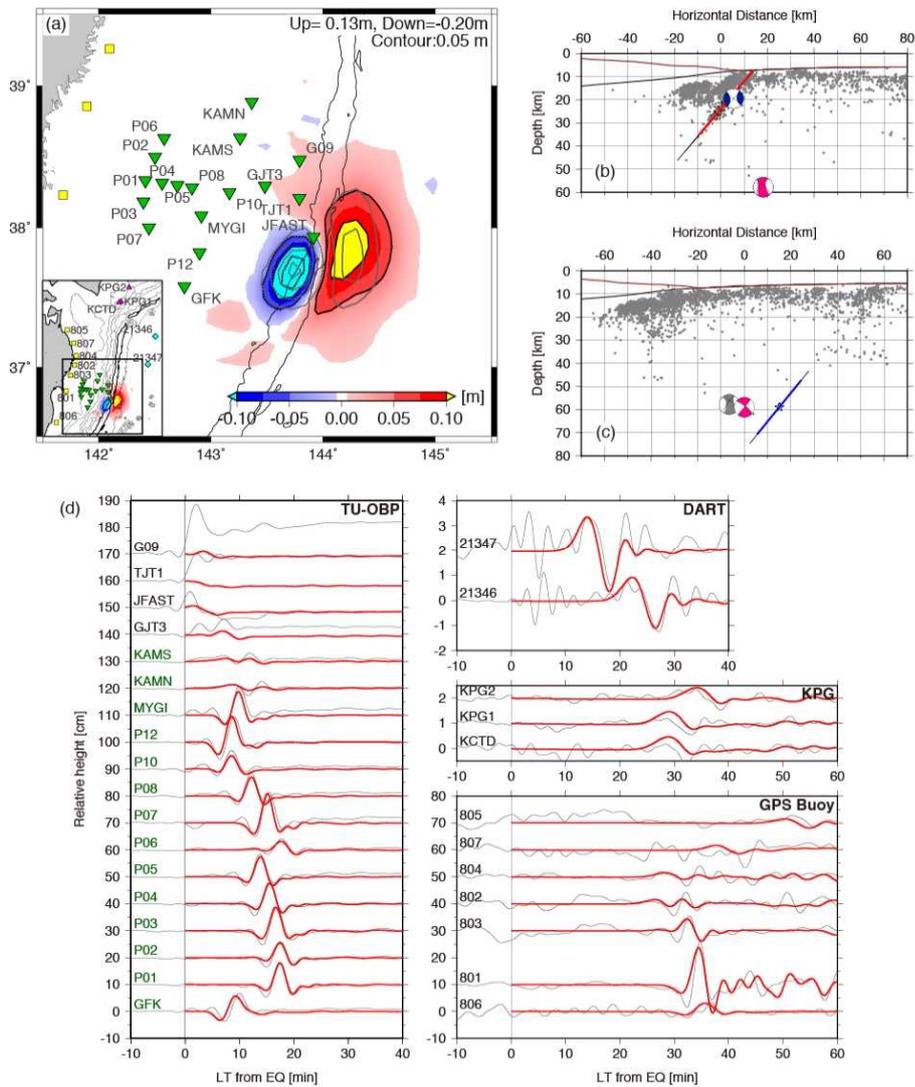


図6. 2012年12月7日にアウターライズ域で発生したスラブ内ダブルット地震の震源モデル（東北大学〔課題番号：1201〕）。

(a) 震源断層モデルから期待される初期海面高分布。(b) 正断層型サブイベントの断層モデル。(c) 逆断層型サブイベント。(d) (a)から計算された津波波形と観測波形の比較。(a)内の逆三角が海底圧力計の観測点。(b)と(c)には、Obana et al. (2015)による余震分布（灰色）、各サブイベントのGCMT解（赤と青）と、遠地P波波形の最初15秒部分だけで逆断層型サブイベントのCMT解を求めた結果（灰色）を示す。(d)に示した津波波形は、黒が観測波形、赤が計算波形。

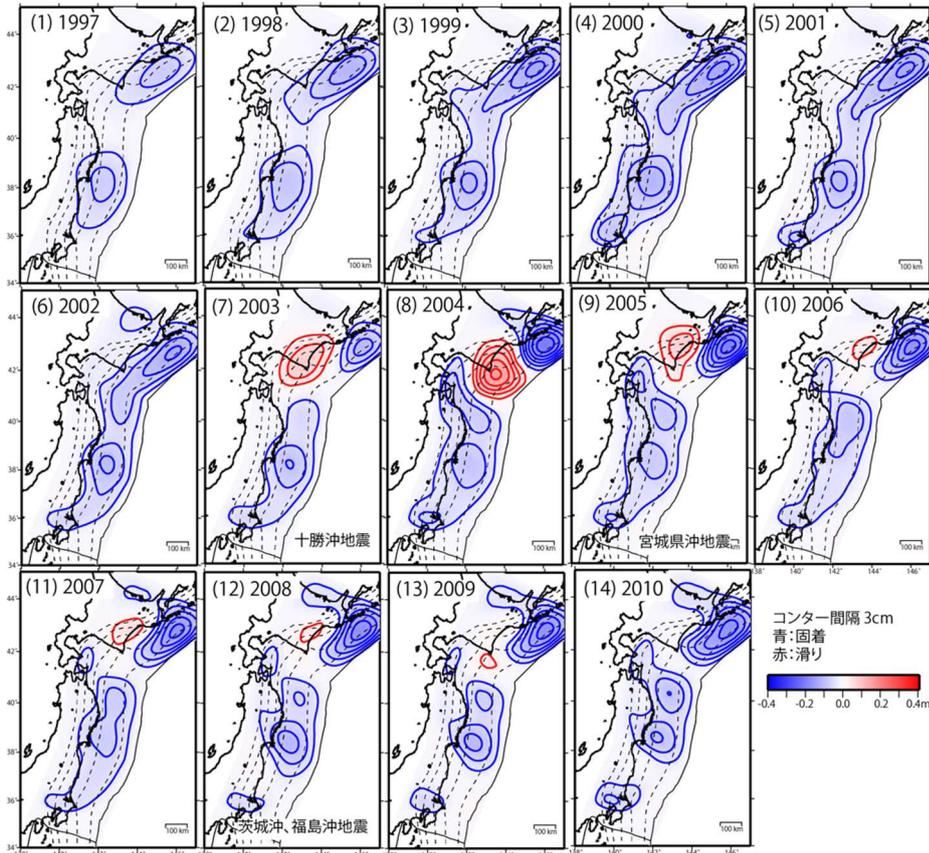


図8. 千島海溝・日本海溝沿いプレート境界面における滑り欠損及び滑り速度分布の時間変化（国土地理院 [課題番号：6003]）。

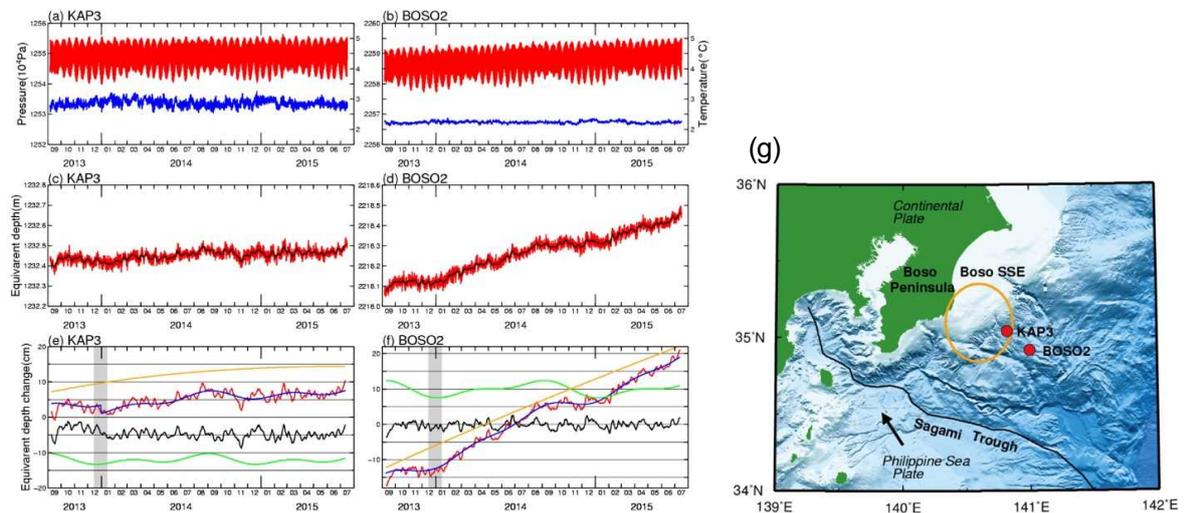


図9. 房総沖海底水圧計データの解析結果（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]、Sato et al., 2016）。(a)、(b)観測された圧力（赤）と温度（青）。(c)、(d)潮汐成分と温度相関線分を除いたもの（赤）。黒線は7日間の移動平均。(e)、(f)フィッティング結果。赤線は7日間移動平均、青線は最適なフィッティング曲線、オレンジ線は線形成分と対数成分、緑線は年周成分。黒線は7日間移動平均から線形、対数、年周成分を引いたもの。房総スロースリップイベント（SSE）発生時（グレー部分）KAP3に変動が見られる。(g)観測点配置図。赤丸が観測点、オレンジ円は房総SSEの滑り領域。

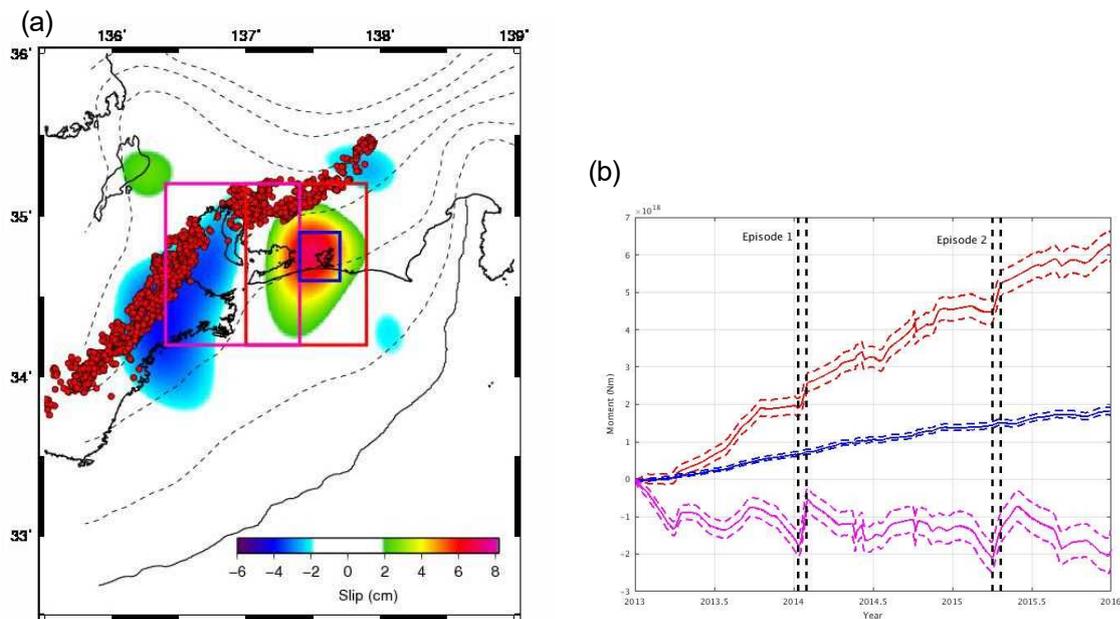


図 10. 東海地方における SSE の時空間変化の推定結果（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。(a)プレート境界面における 2013 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 31 日の積算滑り分布と LFT の震央分布。(b) (a) の赤色、桃色、青色の領域における解放モーメントの時間変化。Episode 1、Episode 2 はそれぞれ 2014 年 1 月と 2015 年 4 月に発生した短期的 SSE の期間を示す。

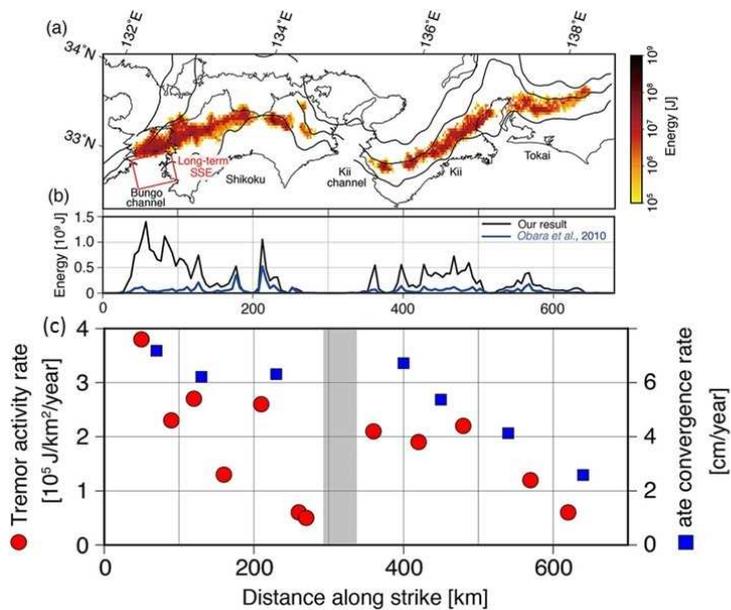


図 11. 南海トラフ沿いの深部低周波微動の累積エネルギーの推定と考察結果（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]、Annoura et al., 2016）。(a) 11 年間(2004 年 4 月～2015 年 3 月)に発生した微動による累積エネルギーの空間分布。(b) 沈み込み帯の走向方向に対するエネルギー量のプロファイル。(c) フィリピン海プレートの走向方向に対する微動エネルギーレートとプレート沈み込み速度 [Heki and Miyazaki, 2001] の比較。

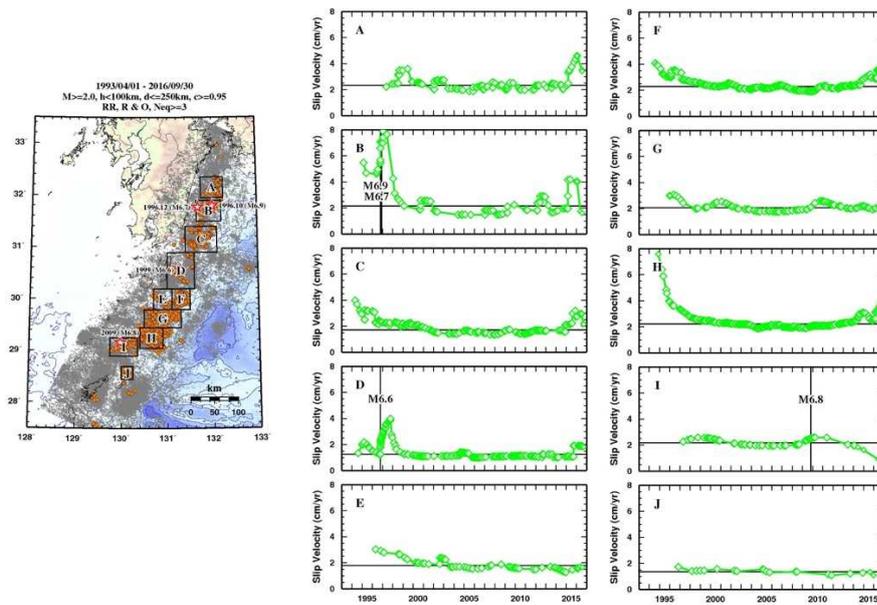


図 12. 日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとの準静的滑り速度の時間変化（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。左図が領域区分、右図が領域ごとの準静的滑り速度の時間変化を示す。図中の横太線、縦太線はそれぞれ、全期間のデータを用いた当該領域の準静的滑り速度、M6.5以上の地震発生時である。

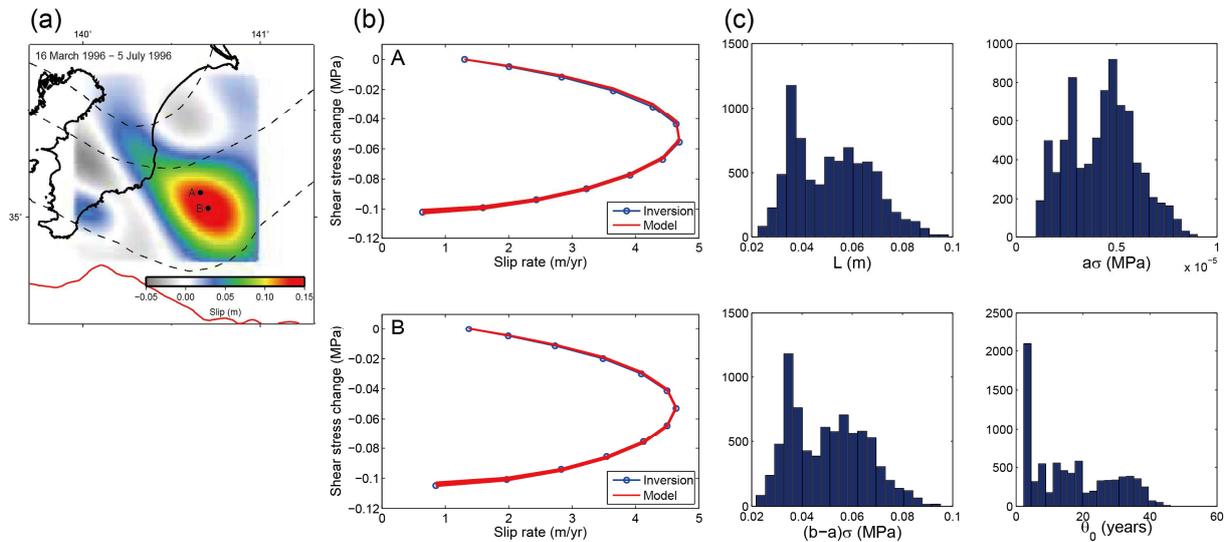


図 13. 房総 SSE における滑りの時空間変化から推定される断層摩擦パラメータ（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕）。(a) 1996年に発生した房総 SSE の滑り分布。(b) (a)に示したプレート境界面上の2点 A、B における剪断応力と滑り速度の関係。青線はインバージョン解析、赤線は摩擦構成則に基づくモデルによる応力と滑り速度の関係を示す。(c) 推定されたパラメータの分布。

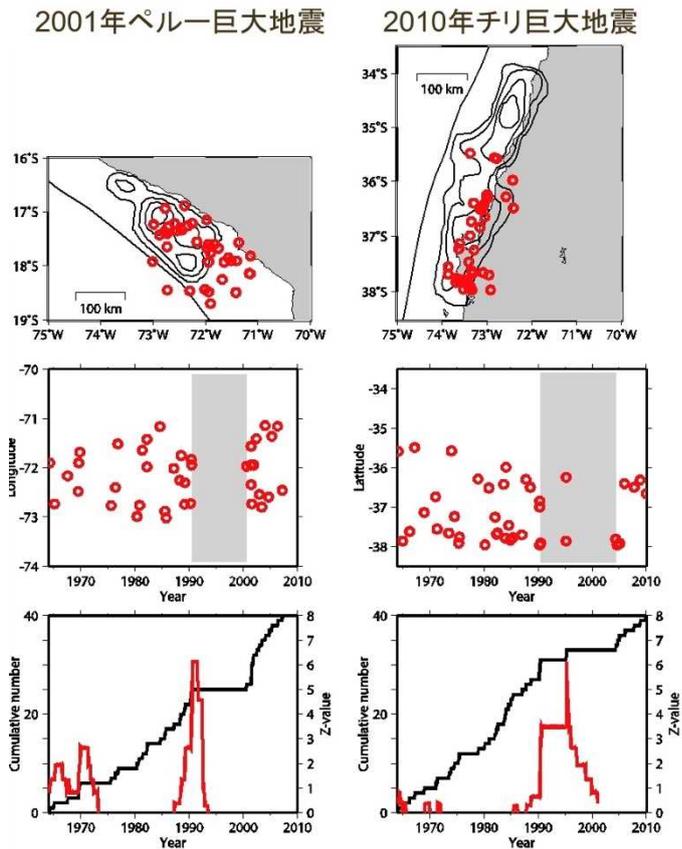


図14. 巨大地震と地震活動静穏化の関係（北海道大学〔課題番号：1002〕）。左) 2001年ペルー巨大地震前の静穏化。右) 2010年チリ巨大地震前の静穏化。上) 巨大地震の滑り域とM5以上の地震活動。中) それらの地震の時空間分布。灰色が静穏化の期間。下) 地震数積算とZ値の時間変化。

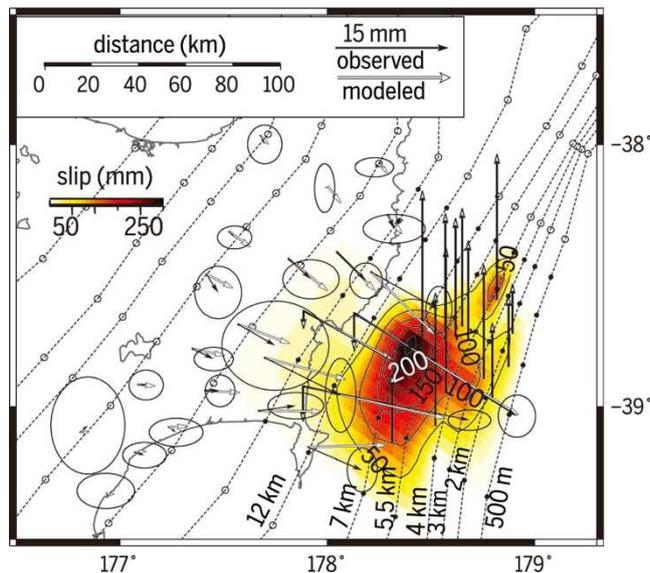


図15. ニュージーランド・ヒクラング沈み込み帯における海底圧力計による海底上下変動成分と陸域GPS観測による水平動成分を用いたインバージョン解析で得られた、2014年9～10月に発生したSSEにおけるプレート境界断層滑り量分布（東京大学地震研究所〔課題番号：1524〕）。