

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）海陸プレート境界における海域観測によるプレート間滑りの把握と多様なプレート間すべりのモデル構築

（英文）Diversity of slip between plates by marine observation in the plate boundary regions and modelling of slip between plate boundaries

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (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

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明
地震

- (3) 地震発生過程の解明とモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）
ア. プレート境界巨大地震の長期予測

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

- (1) 南海トラフ沿いの巨大地震
(2) 首都直下地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

- (1) 観測研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 本課題の5か年の到達目標：

近年の観測より、沈み込み帯では多様な滑り現象が発生していることが明らかとなっており、スロー地震を含む地震活動、スロースリップに代表される地殻変動などの地殻活動の詳細を現在最先端の海底観測技術をもちいた長期のモニタリングを用いて明らかにする。観測の実施対象域は、地震発生サイクルにおいて、様々な状態に位置していると考えられる沈み込み帯とする。日本海溝南部は、巨大地震である東北沖地震の震源域に属していると考え、伊豆小笠原海溝北部は東北沖地震震源域に隣接する地域である。一方、相模トラフでは、1923年の関東地震が発生しており、その後海溝型の巨大地震は発生していない。南海トラフ東部から中部は、巨大地震の発生が予想されている領域である。このような沈み込み帯において、海底観測測器を用いた長期モニタリングを実施し、プレート境界の状態を把握する。一方、海底から得られた試料を用いて沈み込み帯浅部条件の摩擦実験を行うことにより、多様なすべり現象の条件・要因を明らかにする。得られた観測結果と実験結果を併せて、多様なプレート間すべりをモデル化する。本課題の5か年の到達目標は、プレート境界の状態の把握および多様なすべり現象の条件・要因の解明であり、これらから多様なプレート間すべりをモデル化することである。本課題は、沈み込みプレート境界における地震発生機構に関する理解を進めるために必要不可欠であり、さらに、将来的には地震サイクルのモデル化により、大地震発生の長期予測の信頼性を高めることに資することをめざす。さらに、起こりうる地震の最大規模、プレート運動による歪み

の蓄積量などを推定し、さらに他の沈み込み帯と比較することにより、沈み込み帯における巨大地震の発生の理解をめざす。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

東北沖地震震源域南部にあたる日本海溝南部（福島県沖から千葉県沖）と伊豆小笠原海溝域北部において、自己浮上式長期観測型海底地震計（広帯域地震計を含む）による観測を実施する。観測期間は約2年弱とし、その設置と回収を隔年で繰り返し行うことにより、約5年間の観測を実施する。日本海溝南部では、海底ケーブル式日本海溝地震・津波観測網(S-net)とも連携して、なるべく広域かつ高密度な観測が行えるように配慮する。2011年東北沖地震発生後に発生するプレート境界ならびに太平洋プレート内で発生する多様なすべり現象の規模および頻度の時空間的な分布を明らかにする。伊豆小笠原海溝域北部では、これまでに准モニタリング的な観測が実施されたことがあまりないため、まずは地震発生帯である浅部プレート境界の形状と構造、地震発生の様式とその深さ変化、地震発震機構解の決定、さらには、広帯域観測による様々なスロー地震の検出を目的とする。

房総半島沖相模トラフにおいてはスロースリップが発生することが知られており、自己浮上式海底精密水圧計による観測を引き続き、実施する。水圧計による観測では、観測期間を長期化することによる安定な観測の実施により、スロースリップなどの大規模なすべりイベントの時空間発展の推定を行う。加えて、GNSS/A海底地殻変動観測を実施して、上下変動だけではなく、水平変動も把握し、すべりイベントの時空間発展の推定精度の向上を図る。さらに、S-netと自己浮上式海底地震計の組み合わせによる高密度観測をおこない、スロースリップ前後の地震波速度構造変化の検出を試みる。同様に南海トラフ東部においても、同様の目的で、海底ケーブル観測システム(DONET)と自己浮上式海底地震計の組み合わせによる高密度海底地震観測を行う。

実験・モデル研究では、これまでに深海掘削により得られた試料を用いて沈み込み帯浅部条件の摩擦実験を行い、沈み込み帯浅部の多様なすべり現象の条件や要因を明らかにし、そのモデル化を行ってきた。今後は沈み込み帯浅部条件に加えて深部条件の摩擦実験も行って地震発生域周辺のプレート境界の挙動を明らかにすると共に、観測により得られた知見と併せて、日本海溝、相模トラフおよび南海トラフにおけるプレート境界断層の多様なすべりを明らかにするモデルの高度化を行う。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

沈み込み帯では多様な滑り現象が発生しており、スロー地震を含む地震活動などの地殻活動の詳細を海底観測の長期モニタリングを用いて明らかにするために、岩手県沖海溝付近と北海道沖えりも海山付近で長期観測型海底地震計（LTOBS）と小型広帯域海底地震計(CBBOBS)を用いた観測を実施していた。2024年7月から8月にかけて、備船により、三陸沖と襟裳沖に設置していたこれらの海底地震計(OBS)の回収作業を実施した(図1)。回収されたOBSのデータによりプレート境界浅部における地震活動の詳細把握を目的として、微小地震・微動活動の時空間的な関係を明らかにする解析を開始した。日本海溝・千島海溝南部においてGNSS-A海底地殻変動を継続して実施した。2012年に20観測点の観測網が完成し、広域観測を開始した。2019年には根室沖・三陸沖の観測網を拡張した。2020年からは無人機により観測頻度が向上した。2024年4月から6月のWave Gliderによる無人機観測は、観測機器の不良により、全体的に測位精度が低く、いくつかの観測点では測位に十分な観測精度を得ることができなかった。根室沖では、プレート収束速度と同程度の陸向きの変動が得られ、海溝近傍までの強い固着を示唆する結果が得られた。2024年10月には、THK_01課題に関連して房総沖に新規観測点を設置し、初回の観測を実施した(図2及び図3)。

2011年10月から約1年間および2013年10月から1年間の観測を行った東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの詳細解析を行った。この観測は東北沖地震発生後から約3年後までの宮城県沖、岩手県沖の震源域北部の地震活動の時空間的特徴を把握することを目的としている。また、東北沖地震発生前の2007年から2008年にかけて実施した長期観測型海底地震計による観測データによる震源分布との比較を行った。詳細な震源分布(図4)が得られており、発震機構解を含めた地震活動の時空間的な変化が求められている。

房総半島沖において、自己浮上式海底圧力計（OBP）6台での観測を続けている。2024年度は、6月に東京海洋大学「神鷹丸」を用いて5台の回収、再設置、7月にJAMSTEC「新青丸」を用いて1台の回収、再設置を行った。回収したOBPには、2024年2月から3月に発生した房総沖スロースリップのデータが

含まれる。房総沖スロースリップのOBPデータの解析を引き続き行った。昨年度までに開発した海洋モデルに対してマルチチャンネル特異スペクトル解析を用いて成分に分け、圧力計データと海洋モデルの相関がよい成分のみを用いて海洋モデルを再合成し、それを圧力計データから除去し、その後、季節変動等を表すパラメトリックモデルを当てはめ、スロースリップによる変動を抽出した。その結果を用いて、2018年のスロースリップのすべり分布を求めた。すべり分布は、圧力計データを入れた結果は、GNSSデータだけの結果と比べて全体のすべり量が下がり、すべりが海側に張り出すようになった(図5)。また、圧力計データから上下変動を抽出する従来の方法(深さの近い圧力計の差を取る方法)と我々の新しい方法を比較した(図6)。その結果、両者は隆起・沈降の傾向は同じであり、決定精度は我々の方法が勝っていることが示された。異なる方法で同じ傾向の変動が得られたことは、OBPで推定された変動の現実性を高め、OBPの有用性を示しているといえる。2024年に発生したスロースリップについては、現在解析途中である。

沈み込み帯の深部スロー地震発生域におけるプレート境界断層帯の変形挙動を明らかにするべく、アクチノライト-緑泥石片岩ガウジを用いて、温度500℃、封圧1 GPaの乾燥条件下で摩擦実験を行った。その結果、アクチノライト-緑泥石片岩はピーク強度(摩擦係数は約0.4)に達して以降、すべり弱화를示した。ピーク強度以降の最小摩擦係数は0.33であった。さらに、速度ステップテストの結果、速度強化挙動を示すことがわかった(図7)。

プレート境界面の摩擦は地震発生と密接に関係することから、海洋プレートの主要構成物質である玄武岩質岩石を用いた摩擦実験を実施した。実験試料には、南海トラフにて掘削採取された粘土鉱物含有量の異なる2種類の玄武岩試料を用い、実験は有効圧50 MPa、温度25~200℃、軸変位速度0.1-10 $\mu\text{m/s}$ の条件下で実施した。前計画「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)」で得られた、南海トラフ玄武岩とは鉱物組成の大きく異なる拓洋第三海山由来玄武岩試料、さらに玄武岩質岩石が変質変成を受けた秋吉台の緑色岩の結果と比較し、同じ岩種でも鉱物組成が異なると摩擦特性にどのような影響を与えるのかを検討した。その結果、断層の安定性を表すパラメータ(a-b)は、全4試料で温度が上昇するにつれて正から負へと変化し、高温になるほど不安定なすべりとなる可能性が明らかとなった。一方、正から負へと遷移する温度、つまり断層運動が非地震性から地震性へと遷移する温度は、粘土鉱物の種類によって異なることが明らかになった。これらは、同じ岩石種であっても、鉱物組成が異なれば、沈み込み帯の地震活動の不均質の要因となる可能性があること、さらには粘土鉱物の種類が重要である可能性を示唆している(図8)。

沈み込み帯における巨大地震の発生過程には断層の摩擦特性だけでなく、弾性歪エネルギーの蓄積および解放を司る、岩石の弾性的特性も重要である。そこで高知県須崎市の四万十帯から採取された、沈み込み帯の地震発生帯深度におけるプレート境界を構成する岩石コア試料に対し、P波速度およびS波速度の測定を行い、巨大地震発生帯における岩石の弾性的特性を調べた。その結果とこれまで得られてきた摩擦実験の結果を組み合わせ、沈み込み帯の巨大地震の開始を支配する断層の最小サイズが数m以下であることを明らかにした。また、得られたP波速度は地震波による観測結果よりも有意に高いことが分かった。これは地震波観測では実験室での測定スケールを超える大きなスケールの亀裂に感度があるためである。そこで大きなスケールの亀裂が存在する場合に実際にどのようにP波速度が変化するかを有効媒質理論に基づきモデリングしたところ、使用した岩石コアの採取時に測定された坑内計測のデータをよく説明した。これは地震発生帯には大きなスケールの亀裂が存在する可能性を示している。またこのような亀裂は流体の通り道となるため、巨大地震の発生に寄与する流体移動も同時に司っていることが考えられる(図9)。

3次元スペクトル要素法(Galvez et al., 2014)に基づく、3次元のプレート境界構造(Iwasaki, 2015)と、すべり弱化則(Ids, 1972)を考慮した、南海トラフにおける海溝型巨大地震の動的破壊のシミュレーションを行った。応力降下量は、Noda et al. (2021)で推定された応力蓄積率に発生間隔(100年)を乗じることにより求めた。強度超過は、応力降下と同じ値にした。浅部および深部ではすべり強化型の摩擦則を与え、それ以外の応力蓄積率が0以下の領域では、応力降下量を0およびSEを0.3MPaとした。このような条件下で、紀伊半島沖を破壊開始点とした場合(Case 1)に、南海、東南海、東海の3つのセグメントを破壊するMw8.55の巨大地震を再現することができた。このモデルでは、四国沖から日向灘沖にかけて大きなすべりが再現された。また、1968年日向灘地震周辺を破壊開始点とした場合(Case 2)の動的破壊のモデル化も行ったところ、日向灘、四国沖、紀伊半島沖、東海沖と破壊が伝播することが示された(図10)。

関東地域における、フィリピン海プレート上面で発生する大地震およびスロースリップイベント(SSE)の発生サイクルに関する数値モデリングを試みた。モデリングにおいては、Matsuzawa et al. (2013)

と同様に、プレート境界での摩擦則についてはカットオフ速度を考慮したすべり状態依存摩擦則を使用し、SSE発生領域において低い有効法線応力を仮定した。またSaito & Noda (2023)によるGNSSを用いた応力蓄積レートの解析結果をもとに、一定の応力蓄積レートが推定された領域の周辺で摩擦パラメーター (a-b) が負となる分布を仮定することで、大地震およびSSE領域を設定した。シミュレーション結果においては、房総沖で発生するSSEおよび、1703年元禄関東地震（元禄型地震）や1923年大正関東地震（大正型地震）に類似した地震・スロー地震の発生が再現された。大地震の発生間隔は200~300年程度であり実際と類似する一方、元禄型地震が多く発生する傾向があり、さらなるパラメーターの検討が必要である（図11）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

海洋プレート沈み込み帯におけるスロー地震を含む海底地震観測およびスロースリップを含む海底地殻変動観測、さらには、沈み込み帯から得られた実際の試料を用いた物性実験は、プレート境界の多様な滑り現象を明らかにするために必要不可欠である。本年度は、前計画を引き継ぎつつ、様々な観測、実験、解析を実施してきた。例えば、スロースリップは、プレート境界での応力蓄積・解放過程の一形態であり、これを解明することはプレート境界でおこる現象の理解に重要である。これらの観点から、本課題は「関連の深い建議の項目」の目的達成に大きく貢献しているといえる。また、本課題は観測事実、実験事実からプレート沈み込みの理解をめざしている。例としては、スロースリップがその周辺の巨大地震に関連しているという研究もあり、スロースリップの理解は、巨大地震発生予測につながる可能性がある。本課題は、最終的にはプレート境界のモデル化をめざしており、モデルにより大規模地震発生時の地震動や津波の予測、さらには、発生時期の制約など、災害の軽減に貢献できると考えられる。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

- Sato, T., S. Shibata, K. Murata, N. Usui, H. Shiobara, T. Yamada and M. Shinohara, 2024, Estimating vertical movement and slip distribution during the 2018 Boso, Japan, slow slip event from ocean bottom pressure gauge data and an oceanic model. *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2024GL110406. <https://doi.org/10.1029/2024GL110406>, 査読有, 謝辞有
- Shinohara, M., R. Hino, K. Mochizuki, T. Sato, K. Nakahigashi, T. Yamada, Y. Murai, H. Yakiwara, Y. Ito, R. Azuma, and T. Kanazawa, Submitted, Spatiotemporal variation of aftershock activity in northern source region of the 2011 Tohoku-oki earthquake by long-term ocean bottom seismometers, *Prog Earth Planet Sci.*, 査読有, 謝辞無
- Kanagawa, K., J. Fujimori, T. Nakanishi, S. Sagano, and M. Sawai, 2024, Fault strength, healing and stability in the Nankai Trough accretionary prism off Kii Peninsula, Japan, as illustrated by friction experiments on gouge of a cored sample. *Tectonophysics*, 893, 230526. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230526>, 査読有, 謝辞無
- Akamatsu, Y., H. Okuda, M. Kitamura, and M. Sawai, 2025, Mesoscale fractures control the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones, *Tectonophysics*, 896, 230606. doi: 10.1016/j.tecto.2024.230606., 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

- 佐藤利典、柴田早希、村田耕一、碓氷典久、塩原肇、山田知朗、篠原雅尚、海底圧力計データを用いた房総沖スロースリップのすべり分布の推定、JpGU2024, 千葉、SCG48-P06, 5月29日、2024.
- 佐藤利典、柴田早希、村田耕一、碓氷典久、塩原肇、山田知朗、篠原雅尚、海底圧力計データと海洋モデルへのマルチチャンネル特異スペクトル解析の適用によるスロースリップでの海底上下変動の抽出、日本地震学会2024秋季大会, 新潟、S03-06, 10月22日、2024.

- 金澤志旺、佐藤利典、碓氷典久、中東和夫、山田知朗、篠原雅尚、海底圧力計と海洋モデルを用いた2024年房総スローリップによる海底上下変動の抽出、海と地球のシンポジウム2024、東京、3月13日、2025.
- 澤井みち代, 平松知也, 和田壮又(2024), Frictional properties of basalt under hydrothermal conditions: implications for the seamount subduction and fault motion, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SSS05-P18, 千葉
- Kanagawa, K., Sagano, S., Nakanishi, T., Fujimori, J. and Sawai, M. (2024), Temperature-dependent frictional properties of oceanic basalt and pelagic sediments, and their implications for earthquakes at the shallow Japan Trench subduction zone, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SCG40-12, Makuhari, Chiba, Japan
- Akamatsu, Y., Okuda, H., Kitamura, M. and Sawai, M. (2024), Multiscale crack distribution in subduction zone and its implication for scale dependence of seismic velocity, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SCG40-16, Makuhari, Chiba, Japan.
- 木下正高, 荒木英一郎, 仲田理映, 土岐知弘, 横田裕輔, 山下裕亮, 橋本善孝, 濱田洋平, 澤井みち代 (2024), 日向灘のスローリップ検出の試み: 海底光ファイバー歪計設置に向けて, 日本地質学会第131年学術大会, T17-O-3, 山形
- Akamatsu, Y., Okuda, H., Kitamura, M. and Sawai, M. (2024), Role of mesoscale fractures in the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024, P116, Oita, Japan.
- 木下正高, 荒木英一郎, 仲田理映, 土岐知弘, 橋本善孝, 濱田洋平, 横田裕輔, 山下裕亮, 澤井みち代 (2024), 日向灘のスローリップ検出の試み: 海底光ファイバー歪計設置に向けて (Toward detection of slow slips in Hyuga-Nada: Challenge with seafloor optical-fiber strainmeter), 日本地震学会2024年秋季大会, S04-05, 新潟.
- Kinoshita, M., Shiraishi, K., Nakata, R., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Araki, E. and Sawai, M. (2024), Heat flow in the western Nankai forearc, SW Japan, derived from BSR, surface probe and drilling: Implication for the effect of seamount subduction on earthquakes, American Geophysical Union, Fall Annual Meeting, S43D-3465, Washington, D.C., USA.
- 奥田花也, 赤松祐哉, 北村真奈美, 澤井みち代 (2024). 四万十帯須崎地域の付加体岩石の物理特性: 地震発生帯上盤の実態解明に向けて. JpGU Annual meeting, MGI31-P01, 千葉.
- Hanaya Okuda, Jumpei Yoshioka (2024). Influence of silica diagenesis on frictional behavior: possible controlling factor for seismic activities in the Japan Trench. International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024, P035, Oita, Japan.
- 奥田花也, 吉岡純平 (2024). 石英および珪質堆積物の摩擦強度回復特性の解明に向けた直接剪断型摩擦実験機構の構築. 日本地質学会. 山形
- Hanaya Okuda, Jumpei Yoshioka (2024). Slide-hold-slide experiments on siliceous sediments toward understanding shallow slip processes in the Japan Trench. Gordon Research Seminar/Conference. Maine, USA
- 奥田花也, 吉岡純平 (2024). 三軸試験機への直接剪断機構の導入: 珪質堆積物のslide-hold-slideテストの例. JpGU Annual meeting. 千葉
- Hanaya Okuda, Wataru Tanikawa, Yohei Hamada, Keishi Okazaki, John Bedford, Takehiro Hirose (2024). Abrupt host rock fragmentation induced by fluid phase transition during fault slip and its impact on earthquake energy partitioning. JpGU. Chiba, Japan
- 津田健一, 芝崎文一郎, 野田朱美, (2024), Simulating Long-Period Ground Motions based on a Dynamic Rupture Simulation for the Nankai Trough Megathrust Earthquake, 日本地球惑星科学

連合2024年大会SSS05-P12.

Shibazaki, B., Tsuda, K., Noda, A. (2024), On dynamic rupture modeling of megathrust earthquakes based on estimated coupled regions in the Nankai Trough, The 14th Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake Research, P-09.

津田健一, 芝崎文一郎, 野田朱美, Ampuero Jean-Paul, (2024), Evaluating Ground Motion Scenarios for the Nankai Trough Megathrust Earthquake based on the Dynamic Rupture Simulation, 日本地震学会2024年秋季大会, S08-17

Matsuzawa, T. & Shibazaki, B. (2024), Preliminary numerical modeling of slow and fast earthquakes on the subducting Philippine Sea Plate in the Kanto region, 日本地球惑星科学連合2024年大会SCG40-P46

Matsuzawa, T. & Shibazaki, B. (2024), Numerical modeling of megathrust earthquakes and slow slip events on the Philippine Sea plate in the Kanto region, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes, P078.

松澤孝紀, 芝崎文一郎 (2024), 関東地域における応力蓄積レート解析を考慮したフィリピン海プレート境界のすべりの数値モデリング, 日本地震学会2024年秋季大会, S08-P09.

Matsuzawa, T. & Shibazaki, B. (2024), Numerical modeling of megathrust earthquakes and slow slip events on the Philippine Sea plate in the Kanto region, Japan, American Geophysical Union 2024 Fall Meeting, S43D-3464.

Tomita, F., T. Sun, T. Iinuma, M. Kido, Y. Ohta, N. Uchida, R. Hino, K. Wang, 2024, Postseismic deformation following the 2011 Tohoku earthquake revealed by onshore geodetic, offshore geodetic, and small repeating earthquake observations, The 2024 AGU Annual Meeting, G23B-3585.

富田史章・Sun Tianhaozhe・飯沼卓史・木戸元之・太田雄策・内田直希・日野亮太・Wang Kelin, 2024, GNSS・GNSS音響・小繰り返し地震観測によって捉えられた2011年東北沖地震に伴う余効変動の全体像, 日本地震学会2024年度秋季大会, S03P-03.

富田史章・太田雄策・木戸元之・大園真子・高橋浩晃・日野亮太・飯沼卓史, 2024, GNSS音響観測から示唆される根室沖でのすべり欠損, 日本測地学会第142回講演会, 41.

富田史章・木戸元之・飯沼卓史・太田雄策・日野亮太, 2024, GNSS音響測位における不確定性を考慮した東北沖における上下変動場評価, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SCG48-P04.

富田史章・太田雄策・木戸元之・飯沼卓史・黒須直樹・大園真子・高橋浩晃・日野亮太, 2024, 根室沖でのGNSS音響観測から示唆されるプレート境界浅部でのすべり欠損, 日本地球惑星連合2024年大会, SGD02-02.

飯沼卓史・木戸元之・福田達也・太田雄策・富田史章・日野亮太・高橋浩晃・堀高峰・佐藤大祐, 2024, ウェーブグライダーを用いたGNSS-音響測距結合方式の海底地殻変動観測(その5), 日本地球惑星連合2024年大会, SCG48-P01.

東龍介, 日野亮太, 鈴木秀市, 佐藤真樹子, 齋藤和男, 酒主美樹雄, 荻原宏之, ガラス球海底地震計の長期観測と広帯域観測対応化, JpGU2024, 千葉, STT37-P02, 5月29日, 2024

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 地震: 地殻変動: GNSS音響結合方式海底地殻変動観測

概要: KS-24-07航海: 根室沖・三陸沖における船舶によるGNSS-A観測の実施, およびGNSS-A観測を自走して実施するWave Gliderの投入を実施。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: G25 40.6936 143.5192

調査・観測期間: 2024/4/11-2024/4/21

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：KS-24-20航海：三陸沖における船舶によるGNSS-A観測の実施
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：G04 39.5662 143.8971
調査・観測期間：2024/10/12-2024/10/17
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：KM24-04航海：茨城沖における船舶によるGNSS-A観測の実施
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：G19 36.4963 142.6708
調査・観測期間：2024/5/26-2024/6/8
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定） <https://doi.org/10.17596/0003912>

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：東京海洋大練習船・汐路丸航海：房総沖における新規GNSS-A観測点の設置、および船舶によるGNSS-A観測の実施
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：G26 35.7276 142.0469
調査・観測期間：2024/10/16-2024/10/19
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地殻変動：GNSS音響結合方式海底地殻変動観測
概要：海洋研究開発機構備船・第三開洋丸航海：宮城沖における船舶によるGNSS-A観測の実施
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：G14 37.8916 142.7747
調査・観測期間：2024/12/25-2024/12/26
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：海底掘削調査
概要：東北沖日本海溝におけるInternational Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 405 JTRACK
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：
調査・観測期間：2024/9/6-2024/12/20
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：その他：海底地質調査
概要：北西太平洋における大気海洋研究所 共同利用研究航海 よこすか・しんかい YK24-10S航海
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：
調査・観測期間：2024/6/20-2024/6/29
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(10) 令和7年度実施計画の概要：

2024年に回収した岩手県沖海溝付近と北海道沖えりも海山付近における長期海底地震観測のデータ解析を継続する。また、東北沖地震震源域にあたる日本海溝において、自己浮上式長期観測型海底地震計（広帯域地震計を含む）による観測を実施する。海底ケーブル式日本海溝地震・津波観測網(S-net)とも連携して、なるべく広域かつ高密度な観測が行えるように配慮する。GNSS-A観測や広帯域海底地震観測により、2011年東北沖地震発生後に発生するプレート境界ならび

に太平洋プレート内で発生する多様なすべり現象の規模および頻度の時空間的な分布を明らかにする。房総半島相模トラフにおいてはスロースリップが発生することが知られており、自己浮上式海底精密水圧計による観測を引き続き、実施する。

南海トラフ東部においても、スロースリップ前後の地下s津活動を把握することを目的として、海底ケーブル観測システム(DONET)と自己浮上式海底地震計の組み合わせによる高密度海底地震観測を行う。前弧マントルウェッジの基底で発生するepisodic tremor and slip (ETS)の発生機構の解明を目指して、ETS発生域に相当する温度圧力条件下においてアクチノライト-緑泥石片岩の変形実験を行い、摩擦・破壊強度や摩擦の速度依存性(a - b)について明らかにする。

沈み込む海山と地震発生について引き続き検討する。特に、海山を構成する石灰岩を使用した三軸摩擦実験を実施し、海山由来玄武岩の摩擦特性と比較検討することで、地震発生に対する物質依存性についても明らかにしていく。

高温油圧三軸試験機および熱水低～高速剪断試験機を用い、陸上アナログ試料や海洋掘削等によって採取された、日本海溝に沈み込む物質の摩擦特性の測定に取り組む。また沈み込みに伴う物質変化の再現実験を行い、さらに変形実験を行うことで岩石の反応と断層すべりの関連性を実験的に明らかにする。

南海トラフにおける海溝型巨大地震の動的破壊過程について、様々な仮定に基づくシミュレーションを行う。さらに放射される長周期地震動の性質を調べる。また、準動的地震サイクルモデルの結果や実験で得られた摩擦則を参考にした相模トラフにおける巨大地震の動的破壊過程伝播モデル、さらには千島海溝の浅部スロースリップを考慮した巨大地震サイクルモデルを構築する。

関東地域で繰り返す大地震のモデリングにおいては、元禄型地震に類似する広域なすべりが多い結果となっており、パラメータ分布を検討することで、より現実的なモデルの構築を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）,塩原肇（東京大学地震研究所）,望月公廣（東京大学地震研究所）,一瀬建日（東京大学地震研究所）,山田知朗（東京大学地震研究所）,悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

日野亮太（東北大学理学研究科）,木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）,太田雄策（東北大学理学研究科）,東龍介（東北大学理学研究科）,富田史章（東北大学災害科学国際研究所）,村井芳夫（北海道大学）,佐藤利典（千葉大学）,伊藤喜宏（京都大学防災研究所）,山下裕亮（京都大学防災研究所）,八木原寛（鹿児島大学）,仲谷幸浩（鹿児島大学）,澤井みち代（千葉大学）,奥田花也（海洋研究開発機構）,平内健一（静岡大学）,芝崎文一郎（建築研究所）,松澤孝紀（防災科学技術研究所）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

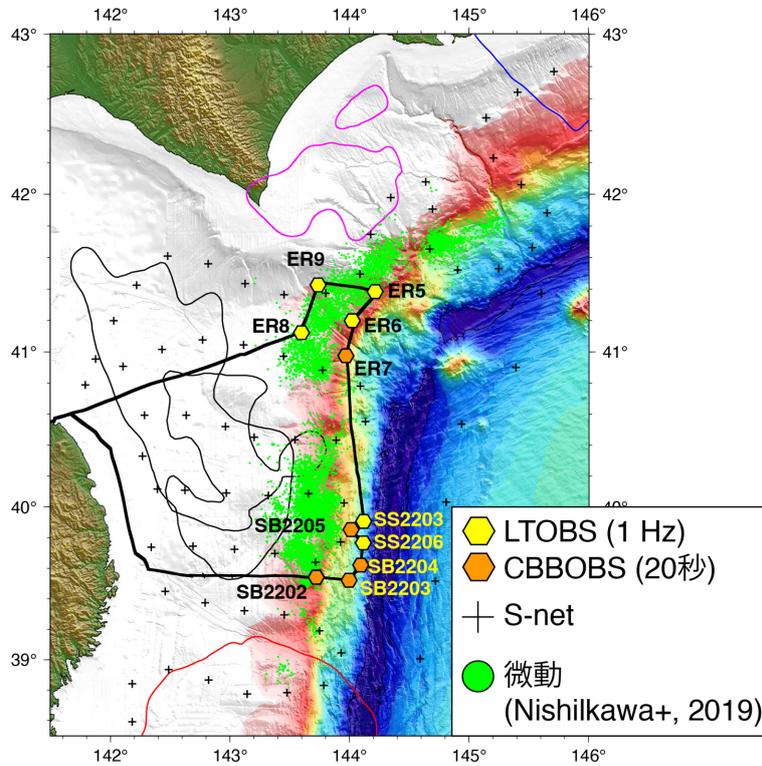


図1 岩手県沖海溝付近と北海道沖えりも海山付近に設置した海底地震計位置

2024年7月から8月にかけて、備船により、三陸沖と襟裳沖に設置していたOBSの回収作業を実施した。回収されたOBSから観測データが得られ、プレート境界浅部における地震活動の詳細から、微小地震・微動活動の時空間的な関係を明らかにする。

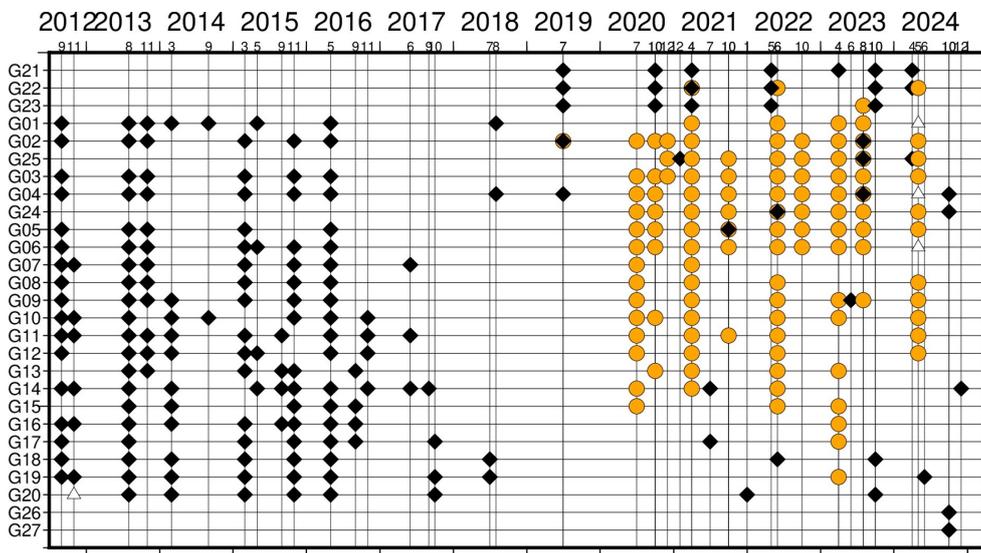


図2 これまでのGNSS-A海底地殻変動観測概要

2024年度には、4月に船舶を用いた3点の観測、4月から6月に、Wave Gliderによる14点の無人機観測、6月および10月にそれぞれ船舶を用いた1点と2点の観測、10月に船舶により、房総沖に2点の新規観測点設置および観測、12月に船舶を用いた1点の観測を行った。

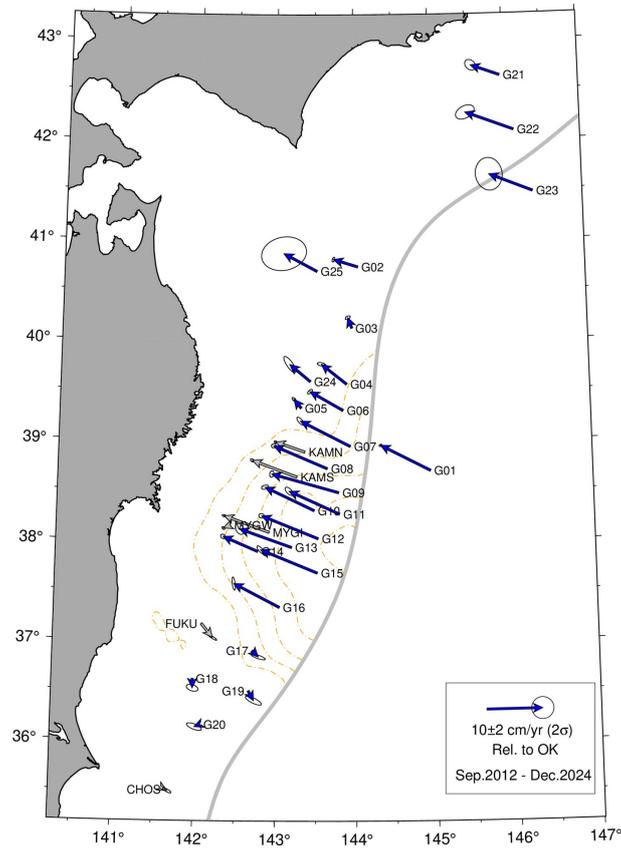


図3 2012年9月から2024年12月までのGNSS-A海底測地観測による水平変位速度
 オホーツクプレート (MOVEL) を固定している。橙色コンターは、Kubota et al. (2022)による2011年東北沖地震時すべりモデルを示している。

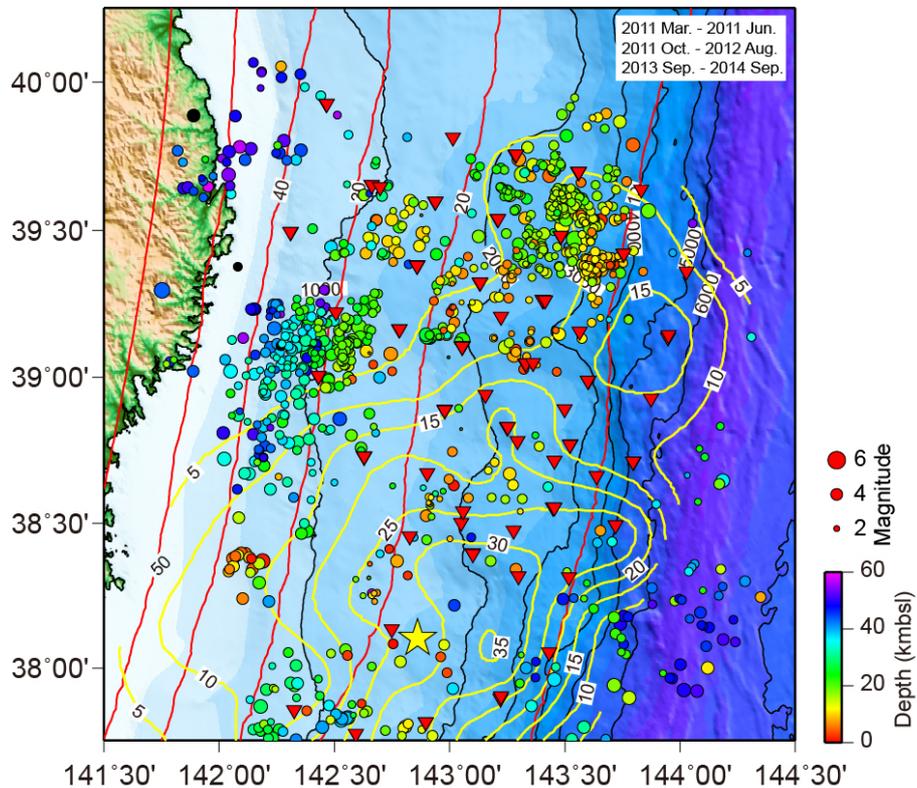


図4 海底地震観測による2011年東北沖地震の2014年までの余震分布

逆三角が海底地震計の位置、丸が余震位置を占めている。丸の大きさと色は、余震のマグニチュードと震源の深さを示している。黒コンターは等深線、赤コンターはプレート境界の等深度線である。黄色のコンターは、Yokota et al., 2011による東北沖地震時のすべり量を示している。

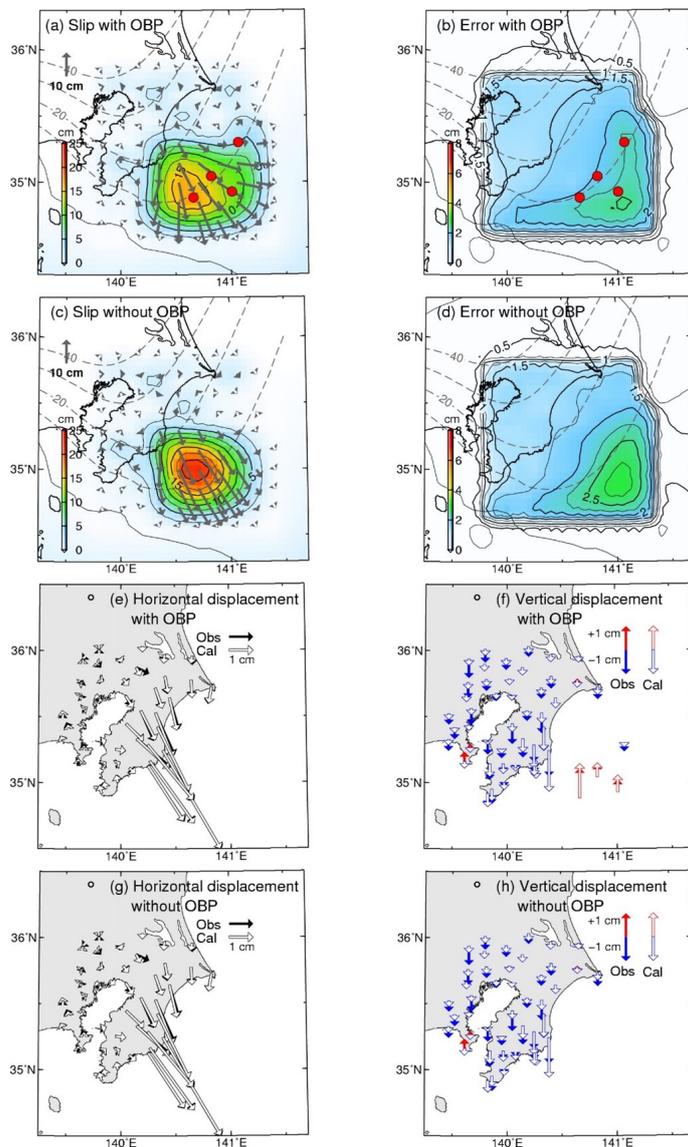


図5 2018年6月から7月に発生したスロースリップのすべり分布（コンター2.5cm間隔）とその推定誤差（コンター2.5mm間隔）
 (a), (b) OBPデータも含めたデータから求めたもの。(c), (d) GNSSデータのみから求めたもの。(e), (f) GNSSとOBPの観測値（黒矢印）と(a)に対応した計算値（白矢印）。(g), (h) GNSSの観測値と(c)に対応した計算値。

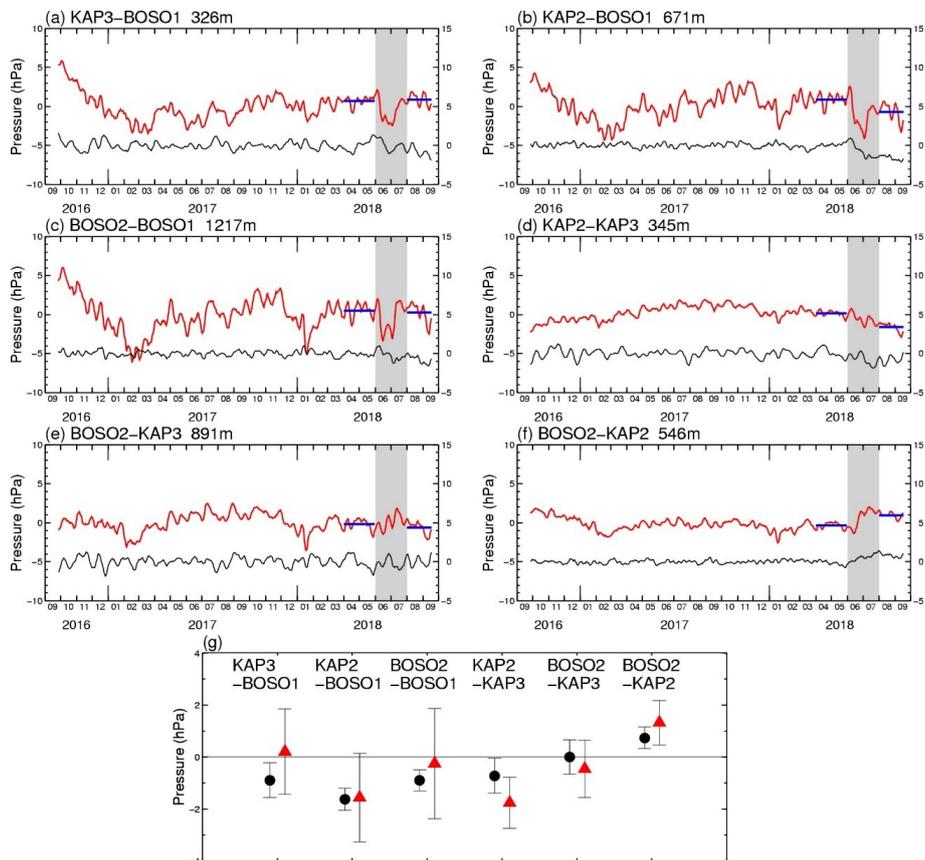


図6 OBPの差を取る従来の方法と今回の新しい方法の比較

(a)-(f) 赤線はOBPデータから潮汐のみを除いたものを用いて差を取ったもの。スロースリップの前後2か月の平均（青線）の差を取っている。黒線は、今回の新しい方法で求めた変動（MSSAを用いて海洋変動を除去し、パラメトリックモデルで季節変動等を除いたもの）の差をとったもの。(g) 変動値の比較。赤は従来の方法、黒は今回の新しい方法。誤差はそれぞれのデータのばらつきの標準偏差。

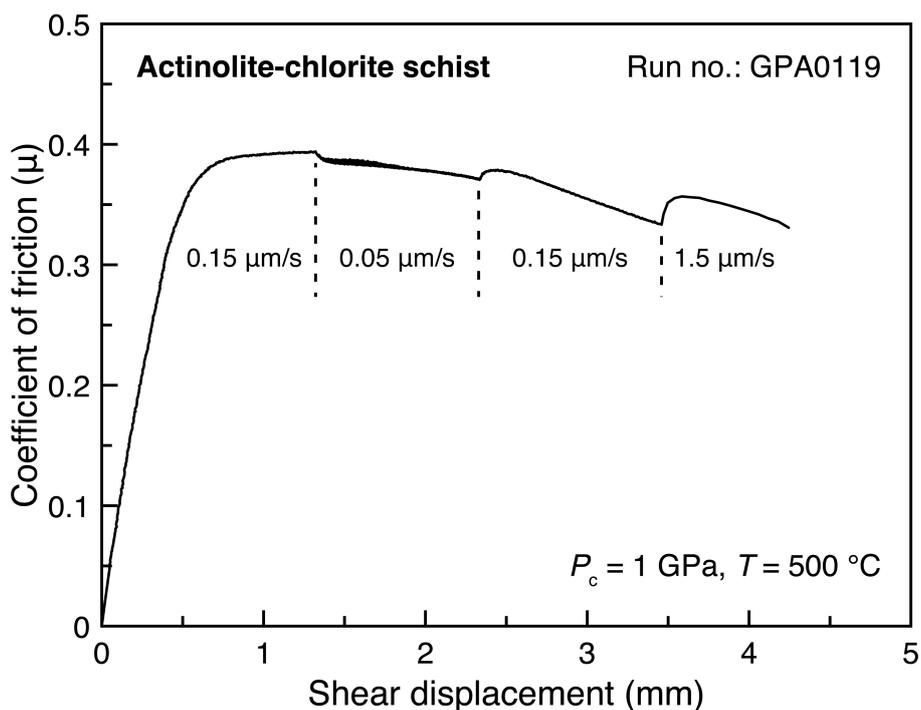


図7 アクチノライト-緑泥石片岩の摩擦特性

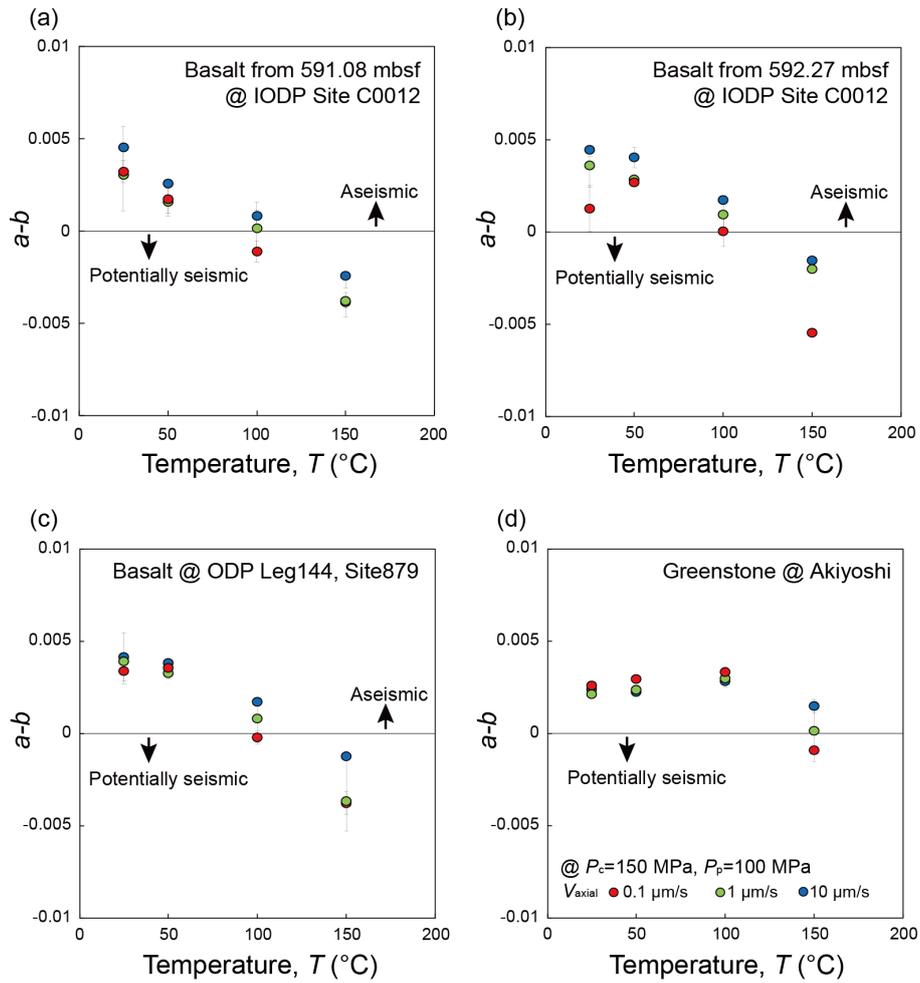


図8 海洋プレートを構成する玄武岩質岩石のa - b値の温度変化

実験試料は(a) 南海トラフで掘削された玄武岩（低摩擦な粘土鉱物であるサポナイト含有量22.5 wt%）、(b) 南海トラフで掘削された玄武岩（サポナイト含有量37.0 wt%）、(c) 拓洋第三海山由来玄武岩（サポナイト含有量12.4 wt%に加え、ガラス含有量が39.3 %）、(d) 秋吉台由来緑色岩（粘土鉱物である緑泥石含有量34.2 wt%、サポナイト含有量9.4 wt%）。凡例は(d)内に示している。

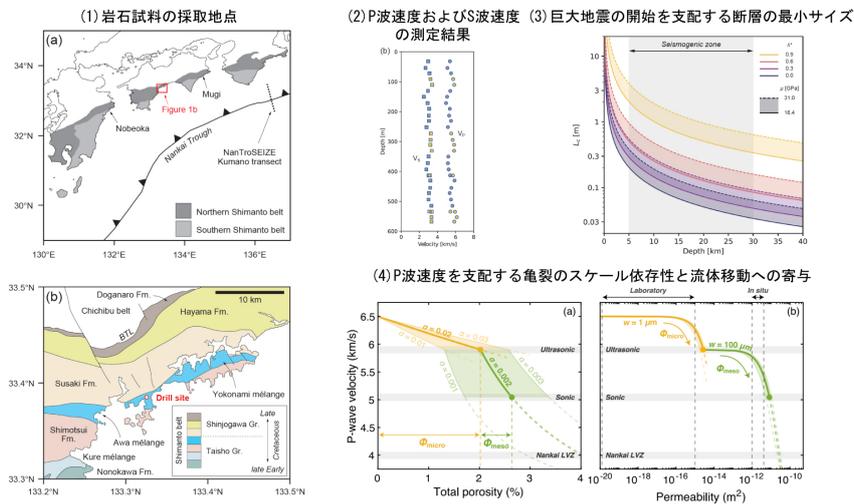


図9

(1) 高知県須崎市の四万十帯の岩石コア採取地点。(2) 掘削コア試料のP波速度およびS波速度の測定結果。(3) 沈み込み帯において巨大地震を発生させる断層の最小サイズの深度変化。色は間隙流体圧の違う場合を示している。グレーの網掛け部が地震発生帯の深度に対応し、この深度では巨大地震は数mの断層から始まることわかる。(4) 有効媒質理論によりモデル化された、大きなスケールの亀裂がある場合のP波速度。またこのような大きな亀裂がある場合には透水性も上がり、流体の通り道となる。

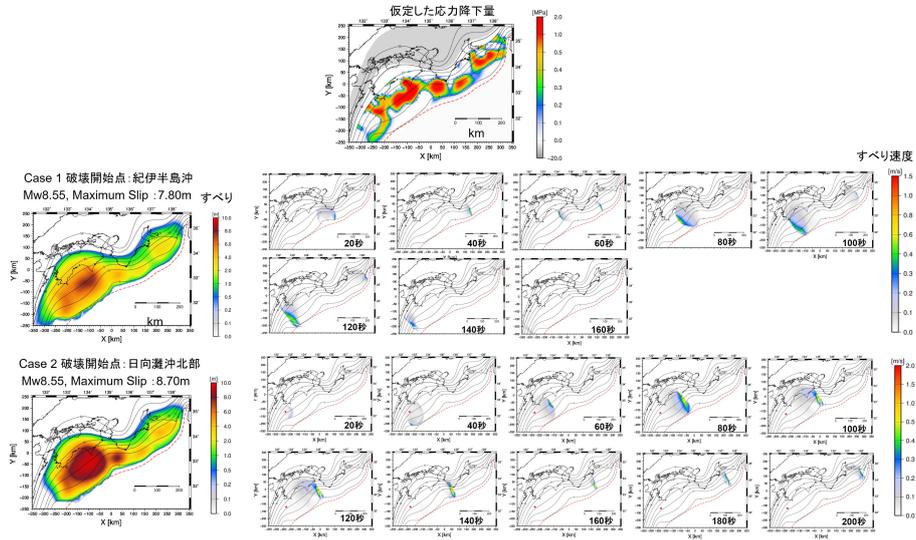


図10 南海トラフにおける海溝型巨大地震の動的破壊シミュレーション

破壊開始点を紀伊半島沖に設定した場合 (Case 1) と日向灘沖北部に設定した場合(Case 2)のすべり分布とすべり速度のスナップショットを示す。

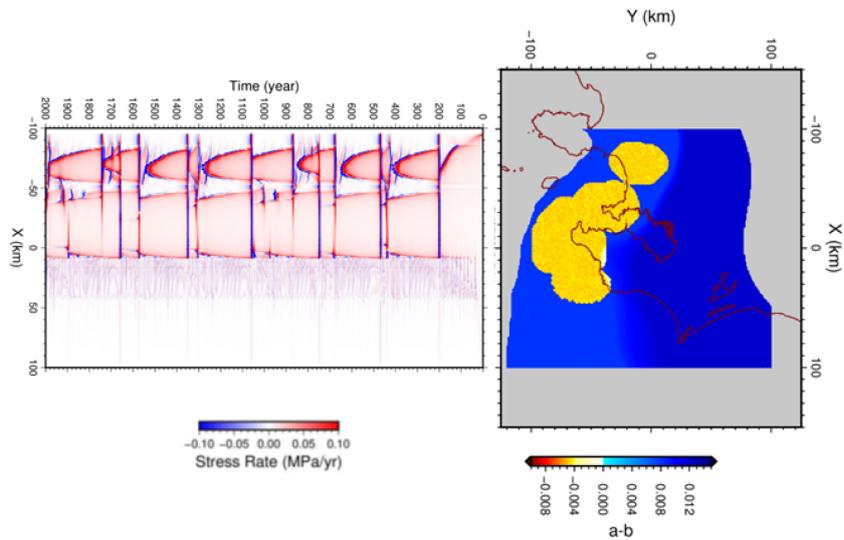


図11

関東地域のフィリピン海プレート上面で発生する大地震およびスロースリップイベント(SSE)の発生サイクルに関するシミュレーション結果

