

C会場 | 一般セッション：S03. 地殻変動・GNSS・重力

■ 2022年10月26日(水) 11:00 ~ 12:00 | ㊦ C会場 8階 (820研修室)

[S03] AM-2

座長:岡田 悠太郎(京都大学)、中村 優斗(海上保安庁海洋情報部)

11:00 ~ 11:15

[S03-12] 日本海溝及び千島海溝における短期的スロースリップイベントの系統的検出

*岡田 悠太郎¹、西村 卓也² (1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所)

11:15 ~ 11:30

[S03-13] 南海トラフ及び日本海溝におけるプレート境界すべりの検出能力

*石川 直史¹、横田 裕輔² (1. 海上保安庁海洋情報部、2. 東京大学生産技術研究所)

11:30 ~ 11:45

[S03-14] 南海トラフの巨大地震による粘弾性変形に対するリソスフェア-アセノスフェア境界の低粘性領域の影響

*村上 颯太¹、橋間 昭徳²、飯沼 卓史²、藤田 航平¹、市村 強¹、堀 高峰² (1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構)

11:45 ~ 12:00

[S03-15] 南海トラフ沿いで発生する大規模地震の粘性緩和による変動と粘弾性構造

*水藤 尚¹ (1. 国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室)

日本海溝及び千島海溝における短期的スロースリップイベントの系統的検出

Systematic detection of short-term slow slip events along the Japan and Kuril Trenches

*岡田 悠太郎¹、西村 卓也²

*Yutaro OKADA¹, Takuya NISHIMURA²

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

スロースリップイベント（SSE）は低速の断層すべりが数日間から数年間継続する現象であり、通常の地震と比べ時間スケールが長いスロー地震の一種である。オホーツクプレートの下に太平洋プレートが沈み込む日本海溝及び千島海溝では、活発なスロー地震活動が報告されている（e.g., Baba et al., 2020; Nishikawa et al., 2019）。一方で日本海溝ではいくつかの先行研究によってSSEの観測事例が報告されているものの（e.g., Ito et al., 2013; Nishimura, 2021）、千島海溝を含む領域全域におけるSSEの規模・継続期間や時空間分布といった活動様式は依然として不明である。本研究では継続期間が数日間から数週間である短期的SSE（S-SSE）に着目し、陸域のGNSSデータを用いた系統的検出を行うことで、この地域のS-SSEの活動様式の解明を試みる。本研究では国土地理院、海上保安庁、国際GNSS事業により東北日本に設置された529のGNSS連続観測局の1996年12月1日から2021年11月30日までの期間の日座標値を検出に用いた。ノイズを低減するための事前処理として、保守作業等に起因する人為的なオフセット、通常の地震に起因する地表変位、季節変動成分、及び共通誤差成分を取り除いた（Cleveland et al., 1990; Tobita, 2016; Wdowinski et al., 1997）。本研究ではS-SSE系統的検出手法（Okada & Nishimura, in prep.; Okada et al., 2022）を用いてイベントの検出を行った。この手法では、初めに測地マッチドフィルター（Rousset et al., 2017）をGNSSデータの水平成分に適用することでS-SSEの候補となる非定常変位イベントを検出する。続いて、非定常変位イベントの矩形断層モデルと継続期間を推定し（Matsu'ura & Hasegawa, 1987; 宮岡・横田, 2012; Rousset et al., 2017）、これらの推定結果に基づき非定常変位イベントをS-SSEへと分類する。本研究ではS-SSEの可能性の高いイベントをclass 1 SSE、S-SSEの可能性のあるイベントをclass 2 SSEとそれぞれ分類した。また本研究では上記の分類条件に加えて、M6.5以上の通常地震と時空間的に近接する変位イベントを地震に関連するイベントとして取り除いた。

予備解析の結果、25年間で114個のS-SSEの検出に成功した。検出したイベントの多くは関東地方東部の直下及び沖合に分布している（図1）。この地域では先行研究（e.g., Nishimura, 2021）で活発なS-SSEの活動が報告されており、浅部側と深部側に分かれてS-SSEが分布するといった特徴もNishimura (2021)と共通している（図1b）。2017年5月に関東沖合で検出されたイベントは、テクトニック微動（Nishikawa et al., 2019）との間の時空間的同期が確認された。また関東地方ほど活発ではないものの、小規模なS-SSEクラスターが宮城県沖と十勝沖に分布している。このうち、十勝沖で検出されたS-SSEの中には、超低周波地震（Baba et al., 2020）やテクトニック微動（Nishikawa et al., 2019）と時空間的に同期するイベントが確認された。本解析では十勝沖におけるS-SSEは必ず超低周波地震と時空間的に同期するという仮定の下、14件の超低周波地震のバーストを基準にGNSS座標時系列をスタックし矩形断層を推定した。その結果、平均的な断層モデルは2003年十勝沖地震の震源域（Yamanaka & Kikuchi, 2003）の浅部延長に推定された。

一方で予備的な検出結果の中には、明らかに誤検出と考えられる断層すべりで変位パターンを説明し難いイベントや、M6以上の通常地震の地震時変位またはその余効変動をSSEとして検出したと考えられるイベントが多数含まれている。地震に関連する地殻変動の補正とSSEとその他の非定常イベントの分類を解析の中で行ってはいるものの、S-SSEとそれ以外の非定常変位イベントの正確な分類は今後の課題である。

謝辞

本研究では国土地理院、海上保安庁、国際GNSS事業より提供されたGNSS RINEXファイルを使用した。本研究で用いたプレート境界モデル(Iwasaki et al., 2015)は、国土地理院の数値地図250mメッシュ（標高）、日本海洋データセンターによる500mメッシュ海底地形データ(J-EGG500, http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intro_j.html)及びアラスカ大学アラスカ地理情報ネットワークの地形・水深データ(Lindquist et al., 2004)から作成したものである。

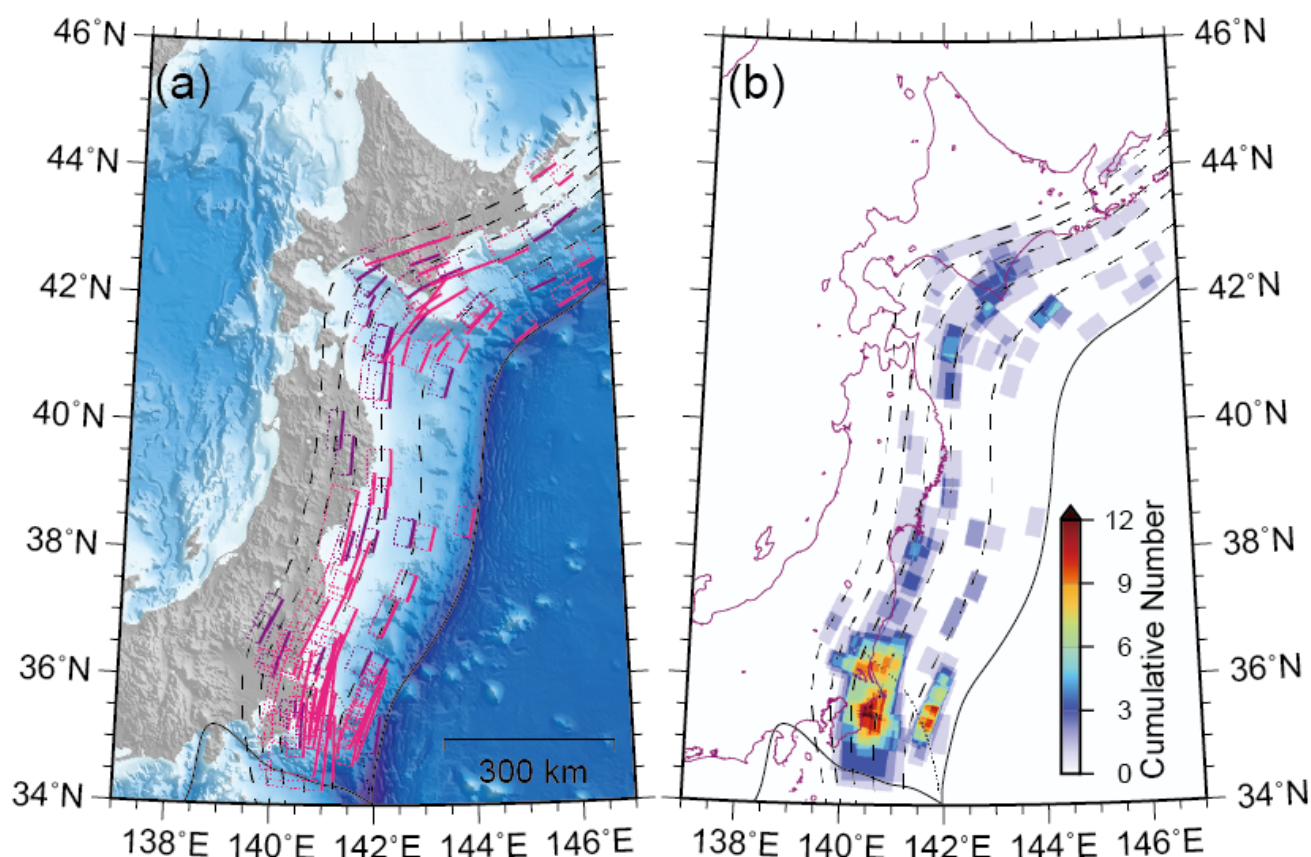


図 1. 予備解析により検出された S-SSE の分布。黒い実線と破線は海溝および 20 km ごとのプレート等深線を示す (Iwasaki et al., 2015)。(a) 検出された S-SSE の断層分布。ピンク色と紫色の長方形はそれぞれ class 1 SSE と class 2 SSE を示す。(b) 検出された S-SSE の累積個数分布。

南海トラフ及び日本海溝におけるプレート境界すべりの検出能力

Detectability of plate boundary slip at the Nankai trough and the Japan trench

*石川 直史¹、横田 裕輔²

*Tadashi ISHIKAWA¹, Yusuke Yokota²

1. 海上保安庁海洋情報部、2. 東京大学生産技術研究所

1. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 2. Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

地殻変動観測は、地震の発生サイクルにおける断層すべりや固着状態の把握のために重要な情報を提供する。ひとくちに地殻変動観測といっても、対象とする時間スケールを異にする様々な手法がある。その中でも宇宙測地技術を用いた陸上のGNSS観測や海底のGNSS-A観測は、プレートの沈み込みやブロック運動などによる長期的な変動や地震時の永久変位、地震後の余効変動の把握に有効ほか、近年はスロースリップイベントのような短期の変動も重要なターゲットになってきている。現在、国土地理院GEONETによるGNSS観測網や海上保安庁SGO-AによるGNSS-A観測網などの定常観測によって、南海トラフ及び日本海溝の地殻変動場の詳細が把握され、政府の地震調査委員会等の関連会議における地震・地殻活動の現状評価に役立てられている。

地震の発生サイクルを詳細に把握するためには、各サイクルにおいて地下の断層でどのようなすべりが発生しているかを正確に推定する必要がある。そのため、現状の観測技術・観測網でどこまで微小なシグナルが検出可能かその検出能力を評価することは、得られた観測データの妥当性やそれに基づく政府機関における地殻活動の現状評価、さらには今後の観測網の展開を検討するにあたっての重要な指針となる。水藤

(2016)は、GEONETによる日本周辺の海溝におけるプレート境界すべりの検出能力を調査した結果について報告している。震源域となるプレート境界の大部分は海底下にあるため、陸上のGNSS観測のみでは、検出能力が低下する。海上保安庁はその欠点を補うため、日本海溝及び南海トラフ周辺の海底にGNSS-A観測網

(SGO-A)を展開しており、Yokota et al. (2021)は、同様の調査をSGO-Aに適用し、海域における検出能力の向上を定量的に示した。

こうした、地表の地殻変動と地下の断層すべりを結びつける解析の際には、Okada (1992) のような地球を均質な半無限弾性体と仮定したモデルによるグリーン関数がよく使われている。こうしたモデルは簡易でありながら、多くの場合に有用な結果を得ることが可能である。一方で、プレート境界型の巨大地震の震源域を対象とする場合、領域が陸上から海底までの広範囲にわたるため、地下構造の不均質性、観測点の標高差、地球の曲率などの効果が無視できなくなると考えられ、半無限均質弾性体モデルが妥当な近似とならないおそれがある。しかしながら、こうした効果を取り入れようとする、非常に高い計算コストや複雑な計算が要求され、容易には計算できない。Hori et al. (2021) は、日本海溝及び南海トラフにおいて、これらの効果を考慮したより現実的なモデルによるグリーン関数をあらかじめ計算しライブラリ化した。

このライブラリを用いることで、ユーザーはスーパーコンピュータ等が必要になる複雑な計算と同じ結果を通常のPCで容易に再現可能となる。このグリーン関数ライブラリを用い、Yokota et al. (2021)と同様の検出能力の調査を行った結果、(本原稿執筆時では暫定的な結果ではあるが)陸域からの検出能力が低下する傾向があるなど、半無限均質弾性体モデルとの違いが見えてきている。こうした違いは今後の地殻活動の評価にとっても重要であり、詳細な検討が必要である。

謝辞：本研究では、JAMSTECから提供いただいたHori et al. (2021)のグリーン関数ライブラリを使用してい

ます。記して感謝いたします。

参考文献：

Hori et al. (2021), EPS, <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01370-y>

Okada (1992), BSSA, <https://doi.org/10.1785/BSSA0820021018>

水藤 (2016), 測地学会誌, <https://doi.org/10.11366/sokuchi.62.109>

Yokota et al. (2021), PEPS, <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00453-4>

南海トラフの巨大地震による粘弾性変形に対するリソスフェア-アセノスフェア境界の低粘性領域の影響

Possible effect of low viscosity zone along lithosphere-asthenosphere boundary due to earthquake in the Nankai Trough

*村上 颯太¹、橋間 昭徳²、飯沼 卓史²、藤田 航平¹、市村 強¹、堀 高峰²

*Sota Murakami¹, Akinori Hashima², Takeshi Iinuma², Kohei Fujita¹, Tsuyoshi Ichimura¹, Takane Hori²

1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

プレート沈み込み帯における巨大地震後の地殻変動については、アセノスフェアにおける粘弾性応力緩和と余効すべりの影響が考えられる。2011年に発生した東北沖地震に際しては、海底測地観測点において、地震直後から陸向きの大きな地殻変動が主破壊域直上で観測されており、陸側プレート下のマントルウェッジや海洋プレート下のマントルの粘性を考慮するだけでは説明ができない。この海底観測データの説明として lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) と呼ばれるプレート沈み込み帯下の低粘性領域をモデル化することが提案されている。過去、2004年スマトラアンダマン地震や2010年チリ地震といったプレート沈み込み帯の巨大地震においてはLABの検出に足る海底測地観測はなされていない。しかし、将来の海底観測網の充実によりプレート沈み込み帯におけるLABの普遍的な存在が認められる可能性がある。プレート沈み込み帯の一つであり、今後数十年以内に巨大地震の発生が危惧されている南海トラフにおいては、日本海溝と同様な海底測地観測網が備わっている。しかしながら、過去の地震においては、LABに対する感度が高い海底測地観測はなされていない。そこで、本研究では、想定される南海トラフにおける巨大地震に対し、LABの低粘性が地震後の地殻変動にどのような影響を与えるかを定量的な評価を行った。本研究では、南海トラフの現実的な地下構造モデルを考慮した粘弾性応力緩和による地殻変動解析を実施した。現実的な地下構造を考慮するために、対象領域を2500km x 2500km x 1100kmとし、最小要素サイズを500mとした 4.2×10^9 自由度の大規模な有限要素モデルを作成した。このような大規模なモデルによる解析においては、多大な計算コストを要するため、計算コストを著しく削減可能な地殻変動解析手法 (Ichimura et al., 2016) を導入することで、粘弾性解析を実現している。マントルウェッジと海洋マントルにおいて粘性率が異なる場合やLABの粘性率の異なるケースにおける、地震時すべりに対する4年間の地表面応答を計算した。計算の結果、LABの粘性率が 2.5×10^{17} Pasと低粘性が著しい場合、2011年東北沖地震の場合と同様に、海域で陸向きの非常に大きい水平変位が生じた。また、鉛直変位については、ケースによって隆起と沈降の分布が変わる複雑な挙動が見られた。これらの変形は、時間経過とともに急速に減衰していくことから地震後初期での観測が有効であることが分かった。具体的には、地震後1年間に於いて、GNSS音響結合方式(GNSS-A)の海底観測点の観測精度を上回る非常に大きな値を持つことから、検知できる可能性が高いことがわかった。一方で、LABの粘性率が 2.5×10^{18} Pas程度である場合、LABが存在せず海洋マントルの粘性率を 1.0×10^{19} Pasで一様とした場合と似た変形パターンが見られた。この場合、現状の観測精度を上回る差が生じないことから、検知が難しいことがわかった。ただし、GNSS-Aにおける高頻度観測や、DONETにおける観測精度向上など、海底観測技術の進展により検知できる可能性がある。なお、今回は南海トラフのいわゆる全割れ破壊を想定した場合の地表面応答を計算したが、半割れでの地震が発生する可能性があることや、実際のより複雑なレオロジー構造によって応答が異なる可能性がある。こうした複数の地震シナリオやレオロジーによる応答の違いを調べることで、LABの検出可能性を検討することが今後の課題である。

南海トラフ沿いで発生する大規模地震の粘性緩和による変動と粘弾性構造

Study on viscous flow and rheological heterogeneity caused by large earthquake along the Nankai trough

*水藤 尚¹*Hisashi SUIITO¹

1. 国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

1. GSI of Japan

・はじめに

南海トラフ沿いでは、100～200年の間隔でプレート境界での大規模地震が繰り返し発生している。「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会（内閣府）」（平成29年8月）では、防災対応を検討するケースとして4つの典型的ケースに整理している。このうち、想定震源域の東側（片側）だけで大規模地震が発生しば場合（ケース1）、想定震源域で一回り小さいM7クラスの地震が発生した場合（ケース2）では、大規模地震の発生につながる可能性を検討するために、プレート境界の固着状態（＝余効すべり）の正確な把握が必要となる。従来、初期の余効変動の主要因は余効すべりに起因すると考えられてきた。しかし、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の余効変動に関する解析では、地震後の粘性緩和の影響を考慮した場合としなかった場合とで、推定される余効すべりの場所と大きさが大きく異なることが分かってきた。従って、余効すべりを正確に推定するためには粘性緩和の見積もりが重要であり、その見積もりには適切な地下の粘弾性構造と粘性率が必要である。最終的には粘弾性構造と粘性率の見積もりが重要であるが、本稿ではその前段階として、1944年東南海地震と1946年南海地震の断層モデルを参考に南海トラフ沿いで発生する大規模地震の地震時の変動を計算し、粘性緩和による変動が、粘性構造のどの領域が地表のどの場所の変動に、どのように影響するのかについて報告する。

・各粘弾性領域における変動の特徴

南海トラフ沿いの粘弾性構造は大きく2つの領域に分けられる。一つは陸域の大陸プレート下に位置するウェッジマントル、もう一つはフィリピン海プレート下の海洋アセノスフェアである。これら2つの粘弾性領域における粘性緩和は、ほぼ真逆の変動を引き起こす。1946年南海地震を想定した場合、ウェッジマントルの粘性緩和は、日本海側を中心として海溝軸に向かう南東方向の水平変動と日本海側を中心として陸域でわずかな隆起を引き起こす。一方、海洋アセノスフェアの粘性緩和は、ウェッジマントルの粘性緩和とはほぼ真逆で、太平洋側の海域から陸域の一部では海溝軸から離れる北西方向の水平変動、太平洋側の海域で隆起、陸域でわずかな沈降を引き起こす。ただし、日本海側の陸域ではウェッジマントルの粘性緩和と同じく、海溝軸に向かう南東方向の水平変動が生じる。太平洋側の陸域における水平変動の方向や隆起、沈降の境界は、地震時のすべり分布に強く依存し、太平洋側の陸域でも海溝軸に向かう南東方向の水平変動が引き起こされる場合もある。

次に1944年東南海地震を想定した場合、1946年南海地震の場合と概ね同じ傾向である。ウェッジマントルの粘性緩和は陸域を中心として海溝軸に向かう南東方向の水変動が卓越する。一方、海洋アセノスフェアの粘性緩和はほぼ海溝軸から離れる北西方向の水平変動が卓越し、太平洋側の海域で隆起、陸域でわずかな沈降を引き起こす。1946年南海地震の場合に見られた日本海側の陸域での南東方向の水平変動はほとんど見られない。

フィリピン海プレートは低角で沈み込んでいるために粘性緩和を引き起こすウェッジマントルの領域が狭い。そのため、海洋アセノスフェアの粘性緩和の影響の方が顕著であると考えられる。また、フィリピン海プレートの厚さが30～40kmと太平洋プレートに比べると薄いことも、海洋アセノスフェアの粘性緩和の影響が顕著になる一因であると考えられる。従って、南海トラフで発生する大規模地震の粘性緩和の影響を評価する上では、ウェッジマントルよりも海洋アセノスフェアの粘性率の方が重要と考えられる。今後、1944

年東南海地震および1946年南海地震後の地殻変動の観測データを精査し、適切な粘弾性構造と粘性率を推定していく。また、2004年紀伊半島南東沖の地震の余効変動データも粘性率を制約するには有効だと考えている。