

南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための 高精度な地殻活動把握手法の研究開発（第4年次）

実施期間

令和元年度～令和5年度

地理地殻活動研究センター

水藤 尚

小沢 慎三郎

地殻変動研究室

桑原 將旗

1. はじめに

南海トラフでは、プレート境界を震源とする大規模な地震が100～150年の間隔で繰り返し発生しており、前回の地震から70年以上が経過し、次の巨大地震の発生が切迫している状況にある。本研究は、南海トラフ周辺の地殻活動をより正確に把握し、プレート間の固着状態の変化に関する正確な情報を提供することによって、南海トラフの巨大地震等の発生に備えることを目的としており、そのために、以下の3つの内容を通して、海溝型地震発生直後を含むプレート間の固着状態の変化に関する正確な情報の提供を可能とすることを目標とする。

- 1) 南海トラフでの海溝型地震発生後の粘性緩和による変形を正確に予測できる地下構造モデルを構築し、地震後の余効すべりを正確に推定できるようにする
- 2) 短い時間スケールの現象を含めたプレート間固着変化のモニタリング手法の高度化を行い、短期的ゆっくりすべり（以下「短期的SSE」という。）等のモニタリングに貢献する
- 3) 内陸活断層周辺の地殻変動を詳細に把握し、内陸のブロック運動等のプレート内変形のモデルを高精度化して、プレート間固着の推定精度を向上させる

2. 研究内容

2.1 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

粘性緩和による変動に関して、粘弾性構造のどの領域が地表のどの場所の変動に影響するのかについて、1944年昭和東南海地震及び1946年昭和南海地震の断層モデルを参考に検討を行った。粘弾性構造は、水平二層、プレート構造を入れた場合、海洋アセノスフェアの粘性率を大きくした場合、プレート下に弱面を入れた場合の4通りを検討した。

2.2 プレート間すべりの時空間変化の推定

ネットワークインバージョンフィルター（以下「NIF」という。）を、GNSS観測点144点の東西、南北、上下時系列に対して適用した。GNSSの座標時系列データは、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震、平成28年（2016年）熊本地震の粘弾性変形をSuito（2017）、水藤（2017）に基づき補正した。2020年から2022年のデータから周期成分を推定し、解析期間全体から補正している。2006年から2009年の直線トレンドを全体のデータから除いた。NIFの解析期間は2012年から2022年としている。

2.3 干渉SAR時系列解析を用いた平成28年（2016年）熊本地震の余効変動の検出

平成28年4月14日21時26分に熊本県熊本地方で発生したM6.5の地震以降、一連の地震に伴う余効変動を把握するため陸域観測技術衛星2号（ALOS2）のSARデータを用いて干渉SAR時系列解析を実施した。解析には、南行右観測及び北行右観測の軌道から撮像したStripMapモードのデータを

使用した。今回は時系列解析を行うため、地震発生後から解析時点までの期間において、繰り返し撮像されているパスとフレームを解析に用いた。南行右観測ではパス 23, フレーム 2950 から 2960 で 2016 年 4 月 18 日から 2021 年 9 月 13 日の 45 枚を使用した。また、北行右観測ではパス 131, フレーム 640 で 2016 年 4 月 26 日から 2021 年 6 月 15 日の 25 枚を使用した。参照点の位置を両方ともに共通の電子基準点 960700 (鹿本) に設定した。解析に使用したプログラムは国土地理院で開発した干渉 SAR 時系列解析システム GSITSA (小林ほか, 2018) であり、干渉 SAR 時系列解析の手法として SBAS 法 (Berardino et al., 2002) を用いた。干渉画像の誤差低減として、Range Split-Spectrum 法 (Gomba et al., 2016) を利用した電離層遅延誤差低減処理を適用した。また、位相連続化処理では MCF 法 (Costantini, 1998) を適用した。

3. 得られた成果

3.1 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

西南日本にはフィリピン海プレートが沈み込んでいるために、上部マントルは陸域下のマントルウェッジと海域下の海洋アセノスフェアの 2 つに分けられる。マントルウェッジの粘性緩和は、南東向きの変動、陸域でわずかな隆起を引き起こす (図-1)。一方、海洋アセノスフェアの粘性緩和は、マントルウェッジの粘性緩和とはほぼ逆のパターンを引き起こす。すなわち、北西向きの変動、海域の沖合で隆起、沿岸から陸域にかけて沈降を引き起こす (図-1)。

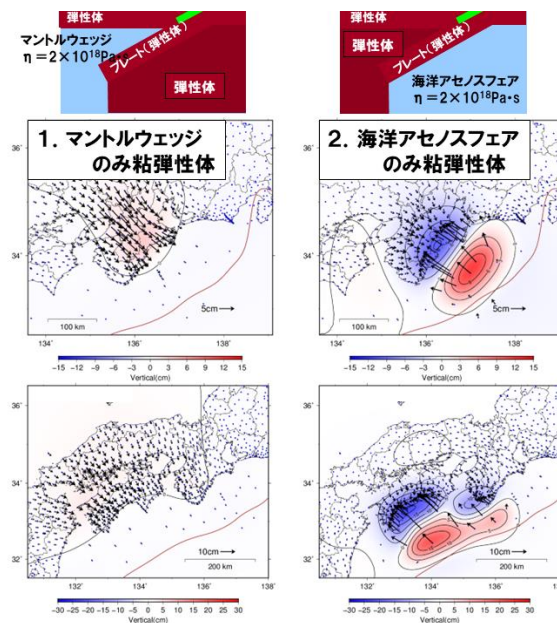


図-1 地震後 1 年間の粘性緩和による変動。上段：与えた粘弾性構造と粘性率。中段：1944 年昭和東南海地震の粘性緩和による変動の計算値。下段：1946 年昭和南海地震の粘性緩和による変動の計算値。

次に異なる 4 つの粘弾性構造からどの領域が地表のどの場所に対して影響するのかについて報告する (図-2)。水平二層構造では、断層を挟んで海域側で北西向き、陸域側で南東向きの変動が見られる。また、断層下端を中心に沈降が生じ、その海域側では隆起が卓越し、陸域側ではわずかな隆起が見られる。沈み込むプレート構造を入れると、陸域側のわずかな隆起が見えなくなる。海洋アセノスフェアの粘性率を大きくすると、海洋アセノスフェアの影響が小さくなる。すなわち、海域の北西向きの

変動が小さくなり、海域沖合の隆起と沿岸の沈降が小さくなり、逆に陸域の隆起が顕著になる。最後にプレート下に弱面を入れた場合には、海洋アセノスフェアの影響が若干強くなり、海域の北西向きの変動が若干大きくなり、海域沖合の隆起と沿岸の沈降が若干増加する。

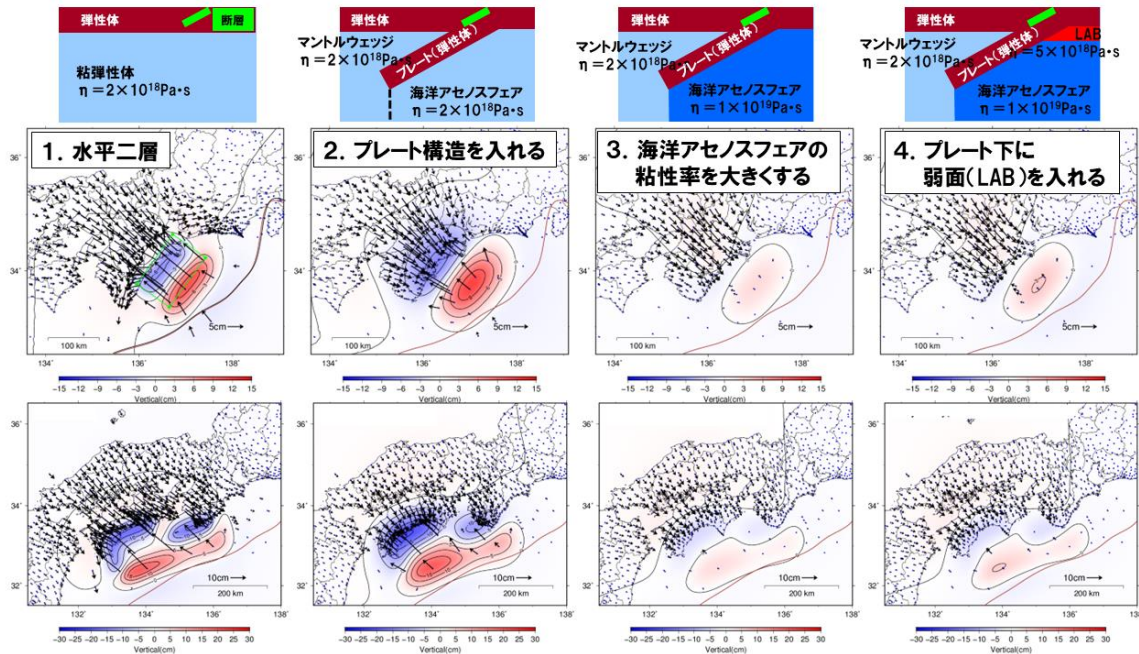


図-2 地震後1年間の粘性緩和による変動。上段：与えた粘弾性構造と粘性率。中段：1944年昭和東南海地震の粘性緩和による変動の計算値。下段：1946年昭和南海地震の粘性緩和による変動の計算値。

3.2 プレート間すべりの時空間変化の推定

2012年から2022年で39個の短期的SSEを検出した。短期的SSEはMw5.7~Mw6.4の範囲にあり、Mw6.3の1つのイベントについて図-3に示す。図-3に示されるとおり、このイベントは、単一のすべりではなく、いくつかのサブイベントからなっていることがわかる。Mw6.3以上の短期的SSEは、四国ではいくつかのセグメントから成り立っている可能性が示唆される。

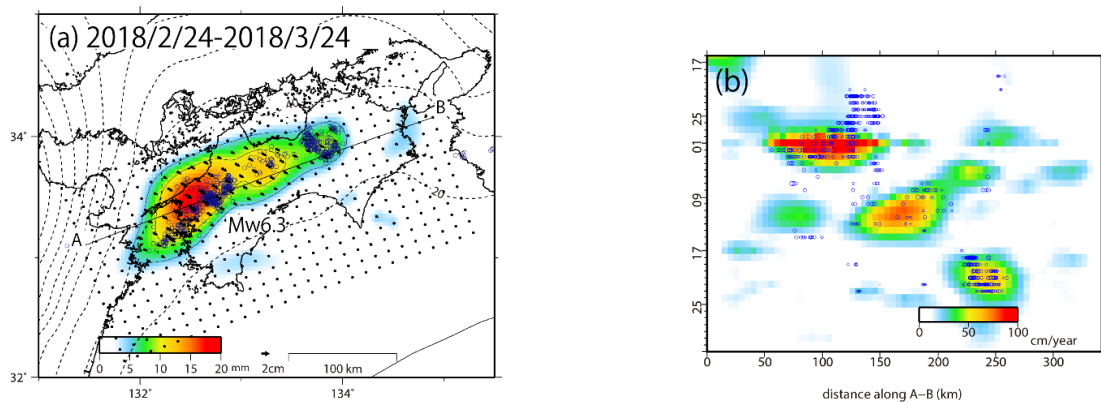


図-3 (a) Mw6.3の短期的SSE。(b) A-Bに投影した最大すべり速度。青○は低周波微動。

3.3 干渉 SAR 時系列解析の結果

南行右観測及び北行右観測で時系列解析を実施した結果をそれぞれ図-4 に示す。解析期間での累積変動量(cm)を示す。両者とも衛星に近づく方向を赤、衛星から遠ざかる方向を青で表している。南行右観測の解析結果から、布田川断層帯周辺や阿蘇山の外輪山内部では衛星から遠ざかる方向、その周囲では衛星に近づく傾向があることがわかる。その累積変動量は衛星視線方向で最大で 15cm に及んでいることが確認できた。

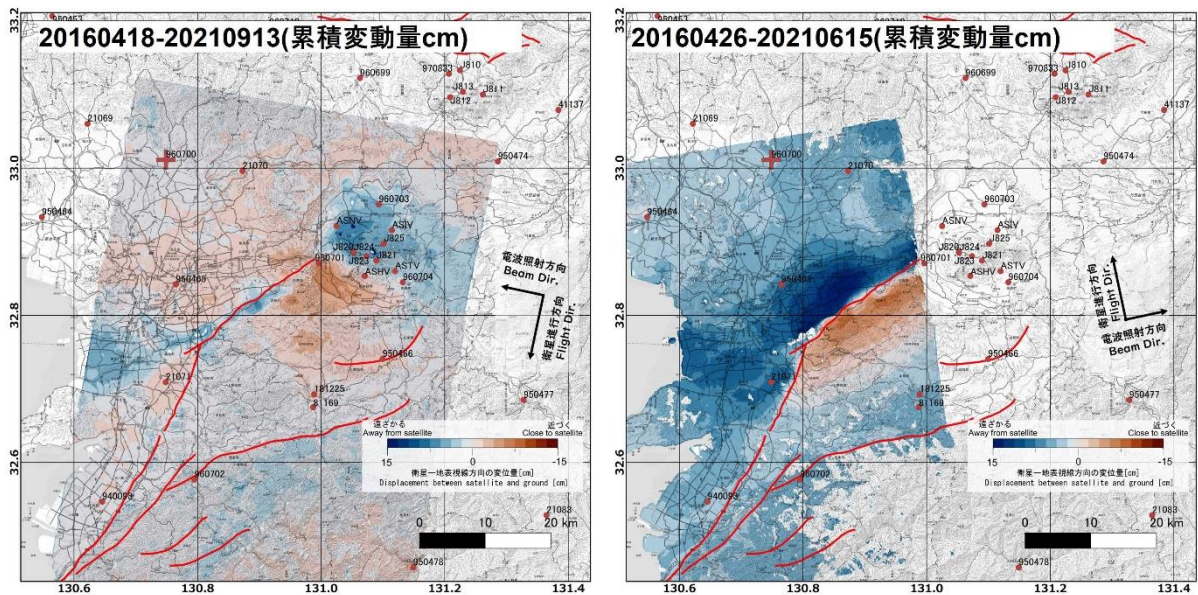


図-4 干渉 SAR 時系列解析の結果。左図が南行右観測、右図が北行右観測に対応。解析期間での累積変動量 (cm)を示す。衛星に近づく方向を赤、衛星から遠ざかる方向を青で表している。断層線(赤線)は Styron et al. (2020)を利用。十字は参照点の位置(電子基準点 960700(鹿本))。

4. 結論

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について、西南日本では、沈み込むプレートによって粘弾性領域がウェッジマントルと海洋アセノスフェアの2つに分けられるため、ウェッジマントルと海洋アセノスフェアの影響はほぼ真逆のパターンを引き起こすことが分かった。また、粘弾性構造と粘性率の値によって得られる変動パターンは大きく異なることが分かった。プレート間すべりの時空間変化の推定については、2012年から2022年の間に39個の短期的SSEのカatalogを作成することができた。また四国域のセグメント構造を示唆する結果が得られた。干渉 SAR 時系列解析に結果については、平成28年(2016年)熊本地震の余効変動の累積量を詳細に確認することができた。

参考文献

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. and Sansosti, E. (2002): A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2375-2383.
- Costantini, M. (1998): A novel phase unwrapping method based on network programming, *IEEE Trans. Geosci.*

Remote Sens., 36, 813 – 821.

Gomba, G., Parizzi, A., Zan, F.D., Eineder, M. and Bamler, R. (2016): Toward operational compensation of ionospheric effects in SAR interferograms: The split-spectrum method, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 54, 1446-1461.

小林知勝, 森下遊, 山田晋也 (2018) : 干渉 SAR 時系列解析プロトタイプシステムの開発, 国土地理院時報, 130, 123-133.

Suito, H. (2017): Importance of rheological heterogeneity for interpreting viscoelastic relaxation caused by the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Earth Planets Space.*, 69, 21 <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0611-9>.

水藤尚 (2017) : 2016 年熊本地震の余効変動モデル, 日本地震学会 2017 年度秋季大会.

Styron, R., and Marco P. (2020): The GEM Global Active Faults Database. *Earthquake Spectra*, vol. 36, no. 1_suppl, pp. 160–180, doi:10.1177/8755293020944182.