

研究課題中間評価表

(課題実施者が記入)

1. 研究課題名：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

2. 研究期間：平成 31 年 4 月 ～ 令和 6 年 3 月 (5 年間)

3. 予算科目名：特別研究

4. 中間評価時点における成果の概要

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 年程度の間隔で繰り返して発生している。前回の地震 (1944 年東南海地震、1946 年南海地震) 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。そのため、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研究を実施している。その結果、現在までに以下のような成果が得られた。

1) 南海トラフ周辺の地下構造モデルの構築

オープンソースの有限要素法解析ソフトウェアである PyLith を用い、東北地方の地下構造を取り入れた、東北地方太平洋沖地震に伴う粘弾性緩和による変動の計算を試行し、計算結果の妥当性を確認した。また、南海トラフ地震に伴う粘弾性緩和による変動の計算に必要な西南日本の地下構造モデルを想定した有限要素メッシュの作成を行った。

2) 短い時間スケールの現象も含めたプレート間固着変化の把握

南海トラフで発生する短期的ゆっくりすべりについて、従来実施している長期間のプレート間すべりの推定に用いるプログラムの設定を、短期間のプレート間すべりの特性 (すべり速度) に合わせて調整することにより、規模が大きい場合については、GEONET による短期間のプレート間すべりの推定が可能であることを示した。この結果を受けて、四国域において、定常的に短期的ゆっくりすべりの推定を自動で行えるようにした。

短期間のすべり現象の把握精度を向上させるため、上記推定プログラムを改良し、GNSS に加えて気象庁ひずみ計記録を用いた短期間のプレート間すべりの推定を可能とした。実際の短期的ゆっくりすべりの発生時に観測されたデータに対し、開発した手法を適用し、GNSS と気象庁ひずみ計記録を同時に用いた短期的ゆっくりすべりの推定が可能であることを示した。

南海トラフ沿いにおいて短期的ゆっくりすべり、長期的ゆっくりすべりの推定を実施した。その結果、短期的ゆっくりすべりについては四国域において 2012 年以降 2021 年までに 25 件検知することができた。長期的ゆっくりすべりについては、2018 年以降に豊後水道、志摩半島、紀伊水道、四国中部、日向灘で発生したことを明らかにした。推定されたゆっくりすべりについて、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震調査委員会などで報告した。

3) プレート内部変形の詳細な把握

2016 年 4 月に発生した熊本地震の余効変動が豊後水道・日向灘におけるプレート間の固着状態の推定に与える影響を評価するため、熊本地震の余効変動モデル (水藤他, 2017) を用い、熊本地震の余効変動を補正した上でプレート間の固着状態の推定を試行した。その結果、熊本地震の余効変動を考慮しなかった場合、プレート間の固着が過剰に強く推定されることを明らかにした。また、水平二層構造を仮定した MCMC 法インバージョンプログラムを作成し、熊本地震の余効変動に適用した。粘性率および余効すべりを推定した結果、既存研究 (水藤他, 2017) と整合する結果を得た。また、余効変動モデルの改良のため、干渉 SAR 時系列解析により、熊本地震の余効変動を面的に把握した。

5. 中間評価時点における当初目標の達成度

[当初目標]

それぞれの実施項目に対し、以下の目標を達成する。

- 1) 南海トラフ周辺の地下構造モデルの構築
 - ・観測されている大地震の余効変動に基づき、地下の粘弾性構造及び粘性率を推定し、南海トラフ周辺の地下構造モデルを構築する。
 - ・構築した地下構造モデルに基づき、過去の大地震及び想定巨大地震の粘弾性緩和による変動のモデル計算を行う。
 - ・地震直後の粘弾性緩和を考慮した余効すべりの推定を行う仕組みを構築する。
- 2) 短い時間スケールの現象も含めたプレート間固着変化の把握
 - ・GEONETの定常解析結果（F3解、R3解、Q3解）等を用いて、空間フィルターや平滑化フィルター等を用いた時系列データのノイズ低減を行い、数日～数週間の短期的ゆっくりすべり等に伴う地殻変動の検出と、プレート間すべりの推定のための手法開発を行う。
 - ・短期的ゆっくりすべり等の現象の検出精度を高めるため、GNSSに加え、ひずみ計、傾斜計等のデータを含めたプレート間すべりの推定手法の開発を行う。
 - ・短期的・長期的ゆっくりすべりの推定を実施する。
- 3) プレート内部変形の詳細な把握
 - ・内陸のブロック運動等のプレート内変形の推定精度向上のため、干渉 SAR 時系列解析により内陸活断層周辺の地殻変動の把握を行う。
 - ・ブロック運動を考慮したプレート間の固着状態の推定を行い、時間的推移を把握する。

[達成度]

- 1) 南海トラフ周辺の地下構造モデルの構築

オープンソースの有限要素法解析ソフトウェアである PyLith を用い、東北地方の地下構造を取り入れた東北地方太平洋沖地震に伴う粘弾性緩和による変動の計算を試行し、計算結果の妥当性を確認した。また、南海トラフ地震に伴う粘弾性緩和による変動の計算に西南日本の地下構造モデルを取り入れるための有限要素メッシュの作成を行った。

今後は、地下の粘弾性構造及び粘性率の違いによる変動の違いを数値計算により明らかにしつつ、過去の測地データに照らして妥当な地下構造モデルを構築する。また、構築した地下構造モデルに基づき、過去の大地震および想定巨大地震の粘弾性緩和による変動のモデル計算を行う。また、地震直後の粘弾性緩和の影響を考慮した余効すべりの推定を行う仕組みを実現する。
- 2) 短い時間スケールの現象も含めたプレート間固着変化の把握

従来実施してきた長期的ゆっくりすべりの推定プログラムの設定を短期間のプレート間すべりの特性（すべり速度）に合わせて調整することにより、GEONETの定常解析結果を用いて南海トラフで発生する短期的ゆっくりすべりの推定が可能な場合があることを示した。また、四国域において自動で定常的に短期的ゆっくりすべりの推定を行えるようにした。

プレート間すべり推定プログラムを改良し、GNSS および気象庁ひずみ計のデータを同時に使用しプレート間すべりの推定をできるようにした。実データに適用した結果、妥当な推定結果を得ることができた。

南海トラフにおいて短期的・長期的ゆっくりすべりの推定を行い、明らかになったゆっくりすべりについて、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震調査委員会などで報告した。

今後は、GNSS および気象庁ひずみ計データを同時に使用したすべり推定について、実データへの適用を通じた推定手法の改良を行う。また、短期的、長期的ゆっくりすべりの推定を継続するとともに、得られたゆっくりすべりの情報について国の委員会等に資料を提出し、地震発生可能性の評価に貢献していく。
- 3) プレート内部変形の詳細な把握

熊本地震の余効変動が豊後水道・日向灘におけるプレート間の固着状態の推定を困難にし

ているため、余効変動のモデルを用い、熊本地震の余効変動を補正した上でプレート間の固着状態の推定を試行した。その結果、プレート間の固着が過剰に推定されていたことを示した。また、干渉 SAR 時系列解析を行い、熊本地震の余効変動の時空間分布について詳細な把握を行った。

今後は、干渉 SAR 時系列解析の結果などを取り入れつつ熊本地震の余効変動モデルの精緻化を行う、また、ブロック運動モデルとして Loveless and Mead (2010) の改良を行う、などの工夫によりプレート間の固着状態の推定の高度化を図る。

上記の通り、1) ~ 3) それぞれ当初の目標に対して一定の成果が出ている。1) については有限要素メッシュデータ作成の困難さから、当初想定したスケジュールよりもやや遅れているが、有限要素メッシュデータが作成されたことから、残りの期間で目標を達成できる見込みである。2) については予定通り進捗している。3) については、プレート内部変形の詳細の把握のうち、熊本地震の余効変動の影響評価については予定通り進捗しているが、干渉 SAR 時系列解析による内陸活断層周辺の地殻変動の把握やブロック運動の推定において、9. に記載した通り、その困難さが明らかになっている。

また、各実施項目において以下の課題が明らかになった。

1) について、地下構造モデルの構築において、一意的な決定に至っているかの検討が必要である。このため、異なるデータセット（昭和南海・東南海地震後の測量データ、2004 年紀伊半島沖後の GNSS データなど）に基づくモデルの比較・検討を行う必要がある。

2) について、短期的ゆっくりすべりの推定における、とりこぼし、誤検知の評価が必要である。また、すべり推定の時間分解能を向上するための高時間分解能 GNSS データの活用が必要である。

3) については、海底地殻変動のデータを取り込むことで、より詳細にプレート間固着の空間分布を把握することが必要である。

6. 中間評価時点における成果公表状況

研究報告書 2件
発表論文 4件（うち審査付き3件）
口頭発表 5件

7. 中間評価時点における成果活用の見込み

本研究の成果のうち、プレート間すべりの推定において検知した短期的・長期的ゆっくりすべりについては、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震調査委員会、地震予知連絡会等で引き続き報告を行う予定である。

また、今後南海トラフ周辺の地下構造モデルを用いて計算される過去の歴史地震及び想定巨大地震の粘弾性緩和による地殻変動のモデル計算値は、宇宙測地研究室で実施中の特別研究「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」のなかで基礎データとして活用される見込みである。

8. 中間評価時点における達成度の分析

（必要性の観点からの分析）

次の巨大地震の発生が切迫している南海トラフにおいて、プレート間の固着状態の変化を示唆する現象のモニタリングは重要である。モニタリングのさらなる高度化のためには短い時間スケールの変化の推定手法の改良や、地震直後の粘弾性緩和の考慮などが課題である。現時点でプレート間すべりの短期的な変化の推定には一定の目処が立っている。また、地震直後の粘弾性緩和の考慮に向けて、地下構造モデルの構築に向けた準備が着実に進んでおり、必要性は満たされている。

（有効性の観点からの分析）

南海トラフにおいては短期的、長期的ゆっくりすべりの解析ができており、一部地域では自

動で定常的な解析も実施している。得られた結果は南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震調査委員会などで報告しており、有効な成果が得られている。また、南海トラフ地震に伴う粘弾性緩和については、地殻変動解析用メッシュの作成が行われ、様々なシナリオに対応した粘弾性緩和計算の準備が整っており、宇宙測地研究室で実施中の特別研究「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」のなかで基礎データとして有効に活用される見込みである。

（効率性の観点からの分析）

地殻変動解析用メッシュ作成プログラムの開発およびメッシュの作成にあたっては、一部外注を取り入れ効率的に実施している。また、短期的・長期的ゆっくりすべりの推定の高精度化にあたっては、外部研究者との協力のもと効率的に実施する予定である。

9. 中間評価時点において残された課題と新たな研究開発の方向

- ・干渉 SAR 時系列解析による内陸活断層周辺の地殻変動の把握について

宇宙測地研究室によるだいち 2 号のデータを用いた全国の干渉 SAR 時系列解析の試行の結果、L 帯の SAR 時系列解析の結果に想定外のバイアス（大気遅延誤差の残留分も含む）が生じる場合もあることが明らかになってきた。中間評価の時点では、内陸活断層周辺の数 mm オーダーの微小な地殻変動を検出できるまでの精度には至っていない。今後だいち 4 号の打ち上げに伴う撮像頻度の向上などで改善が期待されるものの、現時点では、干渉 SAR 時系列解析の利用は熊本地震の余効変動のような、数 cm を超える現象の検出に注力すべきだと思われる。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

TEL : 029-864-6925 FAX : 029-864-2655 e-mail : munekane-h96nu@mlit.go.jp

代表担当者：地殻変動研究室 宗包 浩志