

研究課題終了時評価表

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. 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 代表担当者:地殻変動研究室 宗包 浩志
3. 研究期間	平成31年4月～令和6年3月(5年間)
4. 予算	特別研究経費 96,013千円 (5年間の総額)
5. 分科会委員	(主査)高橋 浩晃、大坪 俊通、青木 陽介
6. 研究開発とその成果の概要	<p>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)から既に 80 年近く経過し、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。</p> <p>1)粘性緩和を考慮した余効すべり推定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・南海トラフ地震に伴う粘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。 ・西南日本の地下構造モデルとして、2004 年紀伊半島南東沖の地震の余効変動から推定したモデル(南海モデル)と東北地方太平洋沖地震の余効変動から推定したモデル(東北モデル)の二つを構築し、それぞれについて、想定南海トラフ巨大地震による粘性緩和を評価した。 ・半割れ、一部割れを想定した、地震直後の粘性緩和を考慮した余効すべり推定を行う仕組みを構築した。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・2012 年以降に発生した四国の短期的ゆっくりすべりについて、網羅的に GNSS 解析を行い、短期的ゆっくりすべりのカタログを作成した。また、すべりの時空間的な特徴を明らかにした。 ・2018 年以降に発生した長期的ゆっくりすべりについて、短期的ゆっくりすべりによる変位および地震による粘性変形を補正したうえで網羅的に GNSS 解析を行い、豊後水道、志摩半島、紀伊水道、四国中部、日向灘南部、東海地方で長期的ゆっくりすべりが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た。

	<p>3)プレート内部変形の詳細な把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・熊本地震の余効変動を補正したうえで、海底地殻変動データも加えてプレート間固着の時間変化を推定した。その結果、長期的ゆっくりすべりの発生に対応したプレート間固着の変化が確認された。 ・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。
<p>7. 終了評価時点における当初目標の達成度</p>	<p>【当初目標】</p> <p>それぞれの実施項目に対し、当初以下の目標を掲げた。</p> <p>1)粘性緩和を考慮した余効すべり推定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・観測されている大地震の余効変動に基づき、地下の粘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性緩和による変動のモデル計算を行う。 ・地震直後の粘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。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・改良した手法を適用して短期的・長期的ゆっくりすべりの推定を実施する。 <p>3)プレート内部変形の詳細な把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・干渉 SAR 時系列解析を活用して内陸活断層周辺の変動を把握する ・干渉 SAR 時系列解析を活用してブロック運動モデルを高度化する ・内陸活断層周辺の変動および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。 <p>【達成度】</p> <p>1)南海トラフ周辺の地下構造モデルの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2004年紀伊半島沖地震の余効変動および東北地方太平洋沖地震の余効変動に基づき、西南日本の地下構造モデルを二種類構築した。それぞれのモデルについて、内閣府による南海トラフ沿いの巨大地震の想定ケースに対し、粘性緩和による変位を試算した。 ・半割れ、一部割れ時に、上記地下構造モデルにより計算される粘性緩和を考慮して余効すべりの推定を行う仕組みを構築した。 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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

	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・2012年以降に発生した四国の短期的ゆっくりすべりについて、網羅的にGNSS 解析を行い、カタログを作成した。またすべりの時空間的な特徴を明らかにした。さらに、2018 年以降に発生した長期的ゆっくりすべりについて、短期的ゆっくりすべりによる変位、地震による粘性変形を補正したうえで網羅的にGNSS 解析を行い、日向灘、豊後水道、四国中部、紀伊水道、東海などで長期的ゆっくりすべりが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た。 <p>3)プレート内部変形の詳細な把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 28 年(2016年)熊本地震について、GNSS で構築された既存の地下構造モデルを採用し、余効変動を計算した。一方、干渉 SAR 時系列解析を活用した内陸活断層周辺の変動の把握を試みたが、十分な精度には達せず、有意な結果を得ることができなかった。 ・干渉 SAR 時系列解析を活用したブロック運動モデルの高度化を試みたが、十分な精度には達せず、有意な結果を得ることができなかった。そのため、GNSS で構築された既存のブロック断層モデルを採用した。 ・平成 28 年(2016 年)熊本地震の余効変動を補正したうえで、新たに海底地殻変動データも取り入れ、ブロック運動を考慮したプレート間固着の推定を実施した。その結果、長期的ゆっくりすべりに対応する固着の変化をとらえることができた。 <p>上記の通り、1)および2)についてはほぼ当初の目的に対応した成果が得られている。3)については、十分な精度には達せず、干渉 SAR 時系列解析を用いた内陸活断層周辺の変動の把握およびブロック運動モデルの高度化には至らなかった。ただし、既存のブロック断層モデルに基づくものの、平成 28 年(2016年)熊本地震の余効変動の補正、海底地殻変動データの取り入れなどの工夫により、プレート間固着の推定の改良を行うことができた。</p>
8. 必要性、効率性、有効性等の観点からの評価	<p>(1)必要性の観点からの評価</p> <p>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、半割れ、一部割れが起こったあとの余効すべりの推定における粘性緩和の考慮や短い時間スケールのすべり変化の推定手法の改良が課題であった。本研究では、複数の地下構造モデルに対し、粘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とともに、短い時間スケールのすべり変化の推定において、すべりの特性にあわせた調整を行うことで、規模が大きい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。以上のように、本研究により、プレート間の固着状態のモニタリングにおいて重要な成果があげられた。</p>

	<p>(2)効率性の観点からの評価</p> <p>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た。また、粘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の構築においては、一部外注を取り入れるとともに、GUIの一部に地理院地図を使用するなど、既存の仕組みを活用することで効率的に開発をすすめた。</p> <p>(3)有効性の観点からの評価</p> <p>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性緩和については、過去の大地震及び巨大地震の粘性緩和による地殻変動のモデル計算がなされており、今後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。</p>										
<p>9. 研究成果の公表状況及び今後の利活用、課題</p>	<table border="0"> <tr> <td>研究報告書</td> <td>5編</td> </tr> <tr> <td>発表論文(査読付)</td> <td>6編(海外6編;うち査読中2件)</td> </tr> <tr> <td>発表論文(査読なし)</td> <td>1編(国内1編)</td> </tr> <tr> <td>口頭発表</td> <td>15件(国内13件、海外2件)</td> </tr> <tr> <td>特許等</td> <td>0件</td> </tr> </table> <p>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。特に短期的ゆっくりすべりの情報は、降雨ノイズ等の影響を受けるひずみ計、傾斜計による情報を補完するもので、上記委員会等における地殻活動モニタリングのより確実な実施に貢献するものである。</p> <p>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。</p> <p>今後の課題としては以下の二点があげられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレート内部変形の把握における干渉 SAR 時系列解析の活用を検討したが、十分な精度には達せず、プレート内部変形の検知には至らなかった。今後も最新のデータ環境や解析技術の進展を踏まえつつ、精度向上に向けた取り組みを継続する必要がある。 ・すべり推定の時間分解能向上のため高時間分解能 GNSS の活用を検討したが、座標時系列のばらつきが大きく、活用を断念した。現在国土地理院および宇宙航空研究開発機構により、GPS、GLONASS、GALILEO に対する新しい GNSS 暦が公表されるなど、世界的に暦の高精度化、マルチ GNSS 化がすすんでおり、それらを活用した高時間分解能 GNSS 時系列を使用するなど、引き続き高時間分解能 GNSS の活用に向けた取り組みを実施する必要がある。 	研究報告書	5編	発表論文(査読付)	6編(海外6編;うち査読中2件)	発表論文(査読なし)	1編(国内1編)	口頭発表	15件(国内13件、海外2件)	特許等	0件
研究報告書	5編										
発表論文(査読付)	6編(海外6編;うち査読中2件)										
発表論文(査読なし)	1編(国内1編)										
口頭発表	15件(国内13件、海外2件)										
特許等	0件										

<p>10. 総合評価 (測地分科会で記入)</p>	<ol style="list-style-type: none">1. 十分に目標を達成できた② 概ね目標を達成できた3. あまり目標を達成できなかった4. ほとんど目標を達成できなかった <p>社会的に重要な課題であるため、本研究で実施した手法や処理を用いて精度向上及び改善を図り研究を継続していただきたい。 研究を続けるために適切な人員配置をお願いしたい。</p>
--------------------------------	--