

( 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：

スロー地震モニタリングに基づく南海トラフ域の地震発生可能性評価手法に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 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

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(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

オ. 構造共通モデルの構築

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

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

## 南海トラフ沿いの巨大地震

### (6) 平成 30 年度までの関連する研究成果 (または観測実績) の概要 :

本計画は、モニタリングや地下構造調査を主とした観測研究から構成されている。サブテーマ毎に研究成果の概要を記述する。

#### 1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

西南日本で発生するスロー地震の活動様式などに基づいて、スロー地震が巨大地震に対して果たす役割を 3 つの観点 (類似性、応力状態を反映する指標、周囲への応力载荷) から取りまとめ (Obara and Kato, 2016) 今後のスロー地震モニタリングの方向性を示した。また、微動エネルギーの定量的評価を目的とした新たな微動検出手法を開発し (Annoura et al., 2016)、そのデータに基づいてプレート境界の不均質パッチモデルを提示する (Kano et al., 2018) など、深部低周波微動活動に関する新たな描像を得ることができた。これらのカタログは現在、科研費新学術領域「スロー地震学」で構築中の全世界的なスロー地震データベースに登録され、多くの研究者に活用されている。

#### 2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

広帯域地震計臨時観測点を 6 箇所まで増やし、超低周波地震の検知能力向上を図った。その結果、南海トラフ近傍で発生する浅部超低周波地震と内陸下で発生する深部超低周波地震の累積振幅分布は指数関数的であり特徴的なサイズが存在すること、及びその特徴的なサイズには地域性があり、浅部超低周波地震は深部超低周波地震の約 10 倍の振幅を持つことを明らかにした。また、四国西部において深部超低周波地震の網羅的検出を行い、豊後水道長期的スロースリップイベントの規模や発生位置に応じた相互作用の違いを明らかにした。

#### 3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

南海トラフの深部遷移領域沿いで発生する深部低周波地震の長期的な活動について、連続波形記録を用いて網羅的な調査を実施してきた。新たに構築された深部低周波地震のカタログに基づくと、低周波地震の高速移動現象が明瞭に捉えられるとともに、既往の活動よりも更に高速な移動現象の存在が示唆された。

#### 4. GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング

豊後水道周辺・島嶼部の 22 か所において、科研費等の予算も活用し、機動的 GNSS 連続観測点を設置し、周囲の国土地理院 GEONET 観測点や海上保安庁のデータと合わせて基線解析を行うことで、長期的スロースリップイベント (SSE) による地殻変動を捉えるためのモニタリング体制を構築した。その結果、機動的 GPS 観測点の測位精度は GEONET と遜色なく安定していることが分かった。2015 年 12 月ごろから 2016 年 3 月ごろにかけて、四国南西部を中心として小規模な SSE による地殻変動を観測し、そのすべり領域を推定したところ、この地域で 6-7 年間隔で発生している大規模 SSE の領域に内包され、深部低周波微動の領域までは達していないことが示唆された。また 2018 年後半から、2010 年以來の大規模 SSE によると思われる地殻変動を捉えている。

#### 5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

長期的 SSE を系統的に検出する手法を開発し、日向灘から四国西部の領域における長期的 SSE 活動を明らかにした。また、長期的 SSE 活動と固着域との空間相関性と長期的 SSE の大規模マイグレーションを発見し、長期的 SSE と巨大地震の関連性の理解を進展させた (Takagi et al., 2019, JGR)。

#### 6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

東北日本において、周期的な SSE と比較的大きな地震の発生タイミングの関係を明らかにした。

#### 7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

東海地方の約 20 年間の重力観測により、長期的 SSE 中の重力変化を捉えることに世界で初めて成功した (Tanaka et al., 2018) 。この変化は流体移動モデルに基づいて定量的に解釈できることを示した。また、四国西部の豊後水道に面した地域で、長基線地電位差観測を主体としたネットワーク MT 観測

を実施した。その電磁場データから3次元インバージョンによって地域の広域深部比抵抗構造を求め、すべり発生時の構造の変化を検出するためのベースとなる基本構造を得た。

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

紀伊半島の深部低周波微動活動度が異なる地域で稠密自然地震観測、制御震源地殻構造探査を実施した。取得したデータや既存データに対して地震波速度構造解析・地震波減衰構造解析・反射法解析を実施し、深部低周波微動発生域やその近傍に流体の存在が示唆される構造不均質が存在することを明らかにした。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

南海トラフの反射法地震探査データと深海掘削データを調べ、南海トラフの西部から東部にかけてデコルマの反射極性が負と正を繰り返していることを発見し、デコルマの内部に存在する流体の分布が異なることを明らかにした。

#### 10．スロー地震と地震発生との関連性

地震活動を基に2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後に房総沖スロースリップの発生可能性を指摘するとともに、東北地方太平洋沖地震や2014年チリ北部地震などの巨大地震発生前の前震活動中にゆっくり滑りが起きていたことを明らかにした。

### (7) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフ域を中心とし、沈み込みプレート境界で発生する多様な滑り現象をモニタリングすることで、それらの時空間変化を高精度に把握し、スロー地震間の相互作用、スロー地震と地震発生との関係、これらの現象の発生環境としての地下構造異常・流体挙動との関係の解明を通じて、プレート境界すべり特性やプレート境界現象間の相互作用の理解を深める。これら新たに得られる知見に基づき、スロー地震が隣接する巨大地震領域に与える影響、すなわち、スロー地震と同じプレート境界で発生する大地震発生可能性の相対的な変化を評価する手法の開発に貢献する。

サブテーマ毎の到達目標を以下に記す。

#### 1．スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費から引き継いでスロー地震データベースを更に拡充し、本地震火山観測研究計画内での利用に留まらず、国内外のスロー地震研究基盤としてその存在価値を高め、地震研究分野におけるわが国の国際的リーダーシップの強化に貢献する。また、これらのカタログを活用しスロー地震の活動特性を正確に把握することで、シミュレーションによる現象再現性の精度向上を通じ、長期的及び中短期的な大地震発生可能性の評価に貢献する。

#### 2．陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

これまでの本地震火山観測研究計画や科研費等で展開した四国西部・九州東部の広帯域地震観測データ等を用いて、南海トラフ域に発生する超低周波地震のモニタリングを行ない、その活動様式を解明すると共に、他のスロー地震との相互作用などを明らかにする。得られた超低周波地震カタログはスロー地震データベースに登録し、国際的スロー地震研究の推進に貢献する。

#### 3．深部低周波地震の高速移動現象の解明

スロー地震は、短い長さスケールほど滑りの継続時間が短くなる拡散現象としての性質を有しており、既知のものより高速且つ短い伝播距離で特徴づけられる新たな高速移動現象が存在することが予想される。この新たなモードは、ゆっくり滑りから通常地震による速い滑りへの遷移的な挙動を知る上で重要である。特に、中短期的な時間スケールにおいて、ゆっくり滑りと地震発生との関連性を考える上で根本的な理解の促進に貢献すると期待される。これまでの機動観測によって取得された地震波形データを用いて、深部低周波地震の高速移動現象の新たなモード検出を目指し、既存の活動様式との比較検討を行う。

#### 4．GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域において、これまでに構築してきたGNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせて解析することで、長期的SSEをはじめと

する、より長期的なプレート間すべりの動態を把握しスロー地震間の相互作用について理解を深める。同時に、この領域でのすべり特性・プレート間相対運動による歪蓄積と解放の収支を推定し、その発生様式の理解を通じて巨大地震発生様式の解明を目指すことで、地震の長期的予測の高度化に資することを目的とする。

#### 5．相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

準リアルタイム解析による長期的 SSE モニタリング手法の開発をするとともに、フィリピン海プレート上面における長期的 SSE 活動様式の全容を解明する。

#### 6．スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

プレート境界面上の巨大地震震源域周辺に分布するスロー地震域におけるすべり特性の理解をすすめる。

#### 7．重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

南海トラフ等のスロースリップ域において重力・地磁気観測を実施し、間隙流体の時間変動を捉えることを目指す。プレート境界の応力状態を変化させる間隙流体の移動を明らかにすることは、他のスロー地震及び巨大地震発生域とスロースリップ発生域とがどのように相互作用しているのか解明することに貢献し、中短期予測につながる。

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

スロー地震の活動様式に違いがある四国中部から東部にかけての地域で稠密地震観測を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震発生域における構造を明らかにする。豊後水道のほぼ中央に位置する水ノ子島に構築した観測点を維持し、取得データの解析から、豊後水道下のプレート形状を明らかにする。これら、明らかになったプレート境界面の形状や境界面近傍の構造不均質と、モニタリングされるスロー地震活動と対応させることで、滑り特性を規定する地下構造異常の特徴を把握する。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動を解明する。特に、浅部スロー地震の地域性（発生域 vs. 非発生域）を規定する要因を明らかにするとともに、デコルマや Out-of-sequence-thrust(OOST) 断層の構造と流体が浅部スロー地震にどのように影響するかを解明する。また、デコルマや OOST 断層の固着（強・弱）と挙動における沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体の役割を明らかにする。

#### 10．スロー地震と地震発生との関連性

スロー地震の時空間発展を詳細に調べることで、その周辺域への応力载荷の状況を把握し、地震の発生可能性の相対的变化を推定することを試みる。例えば、房総沖のスロースリップに伴う有感群発地震に関して、地震活動の詳細な時空間発展を把握し、滑りが引き起こす応力変化と比較することで、地震発生を引き起こす条件を探索する。また、大地震の発生に先行する前震活動の解析を行い、スロースリップとの関連性について検討する。

### (8) 本課題の5か年計画の概要：

#### 1．スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

2019年度は、2021年度に科研費から本計画にデータベースを移行するための準備を進め、2020年度は移行作業を実施する。2021から2023年度は、データベースの維持・拡充を継続するとともに、多様なスロー地震カタログを活用してそれぞれの時空間変化や相互作用などを明らかにする。

#### 2．陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021から2023年度は、科研費で展開された広帯域地震観測点の維持、データ収集、解析を行ない、既存の広帯域地震観測網のデータも活用して、超低周波地震の活動特性や他のスロー地震との相互作用を明らかにする。

#### 3．深部低周波地震の高速移動現象の解明

2019 から 2020 年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021 年度は、高密度な機動観測によって取得された地震波形記録に対して、アレイ解析手法等を適用することで、深部低周波地震の詳細な時空間発展を明らかにする。2022 から 2023 年度は、深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

#### 4．GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング

2019 年度においては、前計画・科研費等で構築してきた機動的 GNSS 連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせてモニタリングを行う。このための GNSS 基線解析環境を構築するとともに、過去の長期間のデータも活用し SSE の把握を進める。2020 年度においては、前年度の研究を継続する。2021 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、プレート境界面付近における歪収支について検討を進める。2022 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、SSE 同士の相互作用について検討を進める。2023 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、成果の取りまとめをおこなう。

#### 5．相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

2019 年度においては、これまで開発した手法を準リアルタイム解析へ拡張することを検討する。また、関東地方などを中心に SSE の系統的検出を行う。2020 年度は、引き続き手法の拡張と SSE の系統的検出を行う。2021 年度は、開発した手法に基づく準リアルタイムモニタリングの実施を目指す。2022 年度は、モニタリングを継続するとともに、相模トラフから琉球海溝までの領域における長期的 SSE のセグメント化や移動などの活動様式を明らかにする。2023 年度は、SSE 活動様式をさらに検討し、地震活動および微動活動との時空間的な関係性を検討する。

#### 6．スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

西南日本および南西諸島における繰り返し地震活動をモニタリングし、SSE や比較的大きな地震の活動状況との関係を調べる。またスロースリップの周期性に関する研究も行う。これらによりプレート境界での地震とスロースリップの関わりの仕方が明らかになれば、中短期予測の精度向上に寄与できる可能性がある。

2019 年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本でのスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2020 年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本での周期的なスロースリップについて解析を行う。2021 年度は、南西諸島における繰り返し地震を抽出および東北日本との比較を行う。2022 年度は、南西諸島におけるスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2023 年度は、スロー地震と中・大規模地震の関係についてモデル化を行う。

#### 7．重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

重力観測は西南日本のスロースリップ域で 2-3 年間に 1 回を行うことを標準とするが、スロースリップの発生に応じて観測頻度を地域間で調整する。

(2019～2022 年度) 絶対・相対重力観測(東海、四国、宮崎、八重山)、地磁気観測(八重山)、ネットワーク MT 観測(四国)、データ解析、ノイズ補正手法及び既存モデルの改良を行う。(2023 年度) 同上、成果とりまとめ

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

2019 から 2023 年度において、水ノ子島観測点の保守・データ回収作業を実施し、水ノ子島観測点と周辺観測点のデータを用いた解析を実施することで、豊後水道下のプレート構造を把握する。紀伊半島等で取得されている稠密地震観測データの再解析を実施し、スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにする。2021 年度は、2022 年度から四国で実施する地震観測の現地踏査を実施する。2022 から 2023 年度にかけて、稠密地震観測を実施する。取得した稠密地震観測データの解析を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常を抽出する。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

2019 年度と 2021 年度においては、既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査(Multi-channel Seismic:

MCS)データと深海掘削 (ODP/IODP) データを統合し、デコルマ・Out-of-sequence-thrust(OOST)断層や沈み込む四国海盆堆積物の構造的特徴、流体分布、摩擦係数を推定すると共に、海底地殻変動観測 (Yokota et al., 2016) から求めたデコルマの固着分布 (強・弱) と比較する。2020年度と2022年度においては、既存 MCS データが十分でない浅部スロー地震の発生域と非発生域で Time-lapse MCS 調査を行い、デコルマや OOST 断層の反射係数を比較することで、間隙水圧の時間変化を推定すると共に、その間の浅部スロー地震発生と比較する。2023年度は、デコルマや OOST 断層の構造的特徴と間隙水圧の時間変動に着目し、浅部スロー地震の活動様式との関連性を求め、浅部スロー地震発生に対する断層の地殻構造と流体挙動の影響を解明する。

#### 10. スロー地震と地震発生との関連性

2019 から 2021 年度は、房総沖スロースリップに伴う群発地震活動の震源再決定、Matched filter 法による地震活動の再検出を行う。また、小繰り返し地震のモニタリングに関する課題とも連携し、非地震性滑りの時間発展について調べる。2022 から 2023 年度は、房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目して検討する。5 か年の実施期間中に大地震が発生した場合は、先行した前震活動や地殻変動に関する解析を実施し、大地震発生に至る直前過程に関する知見を蓄積する。

#### (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蔵下英司・小原一成・竹尾明子・加藤愛太郎・上嶋誠・小河勉(東大地震研)・飯高隆(東大地震研・東大情報学環)

他機関との共同研究の有無：有

加納将行・内田直希・高木涼太(東北大)、井出哲・田中愛幸(東大理)、朴進午(東大大気海洋研)、中東和夫(東京海洋大)、津村紀子(千葉大)、麻生尚文(東工大)、廣瀬仁(神戸大)、松島健(九州大)、田部井隆雄(高知大)、西村卓也(京大防災研)、松澤孝紀(防災科研)

#### (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

#### (11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：蔵下英司

所属：東京大学地震研究所