

(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) 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の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。

(7) 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。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

年次計画に基づいた機動的調査観測を実施するとともに、南海トラフ沿いにおけるスロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行なった。また、スロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データ解析手法の開発を進め、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式、スロー地震発生域の構造・流体挙動の把握、スロー地震と地震発生との関連性に関する研究を進めた。

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・新学術領域研究「スロー地震学」で構築したスロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データベースへのカタログ登録を継続的に呼びかけ、現在では約100のカタログが登録されている。また、紀伊半島南東沖でこれまでに発生した浅部超低周波地震の震央位置やすべり過程の再評価を行い、詳細な発生様式を明らかにした（Takemura et al., 2022a）。主な特徴としては、沈み込んだ古銭洲海嶺の西端で浅部超低周波地震のモーメント解放が大きく、主要な浅部超低周波地震エピソードはその活発域全体で繰り返し発生しているのに対して、小規模なエピソードは活発域の一部のみで発生し、必ずしも場所が固定されていないことなどが挙げられ、スロー地震活動の多様性が改めて示された（図1）。また、それぞれの浅部スロー地震エピソードの震源パラメータスケーリング則を明らかにした（Takemura et al., 2022b）。

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

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において展開された機動的広帯域地震観測点（四国西部6点、紀伊半島4点、東海4点）と準定常観測点（四国西部5点、九州1点）のうち機材調整などの都合で四国西部の機動的観測点3点を撤収した。残り17点を維持するため現地作業を行なったとともに、深部超低周波地震の検出手法の改良を継続的に実施している。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

南海トラフ沈み込み帯の深部低周波地震（LFE）の移動現象を解明するために、四国西部に展開された稠密な短周期地震計アレイにより取得された連続波形記録の解析を継続した。LFEの大規模活動が生じた2020年2月下旬前後約1カ月間の波形データを用いて、センブランス値に基づいてLFE震源の時空間発展を推定した。低周波地震は、2020年2月18日から約10日間にわたって活発化し、海溝軸に平行な方向に移動を示した。また、低周波地震の震央分布は、現在のフィリピン海プレートの収束方向と平行な西北西－東南東の走向に加えて、過去の収束方向に平行な北西－南東走向の2つで特徴づけられ、低周波地震はプレートの沈み込みにより生成された構造に規定されていると解釈される。

4. GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

前計画・科研費等で構築してきた、豊後水道周辺地域におけるGNSS連続観測および座標値解析を継続して実施した。そのこれまでの観測データに基づき、2015～2016年頃および2018～2019年頃に豊後水道で発生した2つのスロースリップイベント（SSE）のすべり域を推定した。2015～2016年のSSEでは顕著な微動活動が伴わなかったのに対し、2018～2019年のSSEでは明らかな深部微動を伴った。推定されたすべり過程から、前者ではSSEのすべりが微動発生域に達しなかったのに対し、後者では微動発生域まですべりが伝播していた。このことより豊後水道では微動発生域にすべりが達することによって微動が誘発されることが強く示唆される。

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

常時微動表面波トモグラフィー手法を高度化し、海底地震計データを用いて水平・深さ方向ともに高分解能な3次元S波速度構造を推定できる手法を開発した。開発手法をS-netデータに適用し、日本海溝沈み込み帯前弧最先端部の付加堆積物や海洋性地殻に対応する低速度領域のイメージングに成功した。この手法開発は当初の計画とは異なるが、近年急速に発展する海底観測網をスロー地震発生場の解明に活用するために必要不可欠なものである。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

本年度は、世界の地震波形のデータを用い、繰り返し地震を抽出するプログラムの開発を行った。データのダウンロードおよび解析条件の設定を容易にできるシステムを作成した。また、解析を高速化するために、解析の途中段階のスペクトルおよびコヒーレンスデータのデータベース化を行えるプログラムを作成した。

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

昨年度に引き続き、四国南西部、宮崎で重力観測を実施し、重力異常のデータを蓄積した。石垣島では、時間分解能を絶対重力観測から大幅に改善した連続観測可能な重力計を用い、比較的規模の大きいSSEの発生中に、地殻上下変動では説明できない重力変化を検出することに成功した（図2）。負の重力異常が観測された事実は東海やカスカディアと共通する。また、微動が潮汐に対して時間遅れで発生する観測事実を、流体挙動を考慮した物理モデルで説明することで、プレート境界の摩擦特性や透水構造が制約できることを示し論文で公表した。

能登半島で活発化している群発地震の原因として、流体またはSSEが関わっていることが指摘されているため、昨年度より当初計画にはなかった絶対・相対重力観測を実施している。重力観測は3月上旬に実施予定で、昨年度の重力値と比較することで流体移動の可能性を探る。

豊後水道周辺域でNetwork-MT観測を実施し、広域深部比抵抗構造を推定することで、普通地震、スロー地震の発生域と電気の流れやすい領域(流体の存在を示唆)との関連性を明らかにした。東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を継続し、データを蓄積中である。地磁気変化の異常場をデータから同定するために、地磁気変化の全国規模の標準場モデルの構築を進めた。また、四国西部域におけるNetwork-MT観測のデータから得られた3次元比抵抗構造に基づいて構造変化検知可能性の検討を行った。さらにスロースリップ域の空間的特性を明らかにするため、四国地方全域にわたる従来の広帯域MT法観測データをコンパイルし、そのデータに基づいた3次元比抵抗構造推定のための準備を継続している。

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

令和3年12月から開始した、四国東部地域におけるスロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出を目的とした稠密地震観測を継続して実施した。臨時地震観測点の配置を図3に示す。本観測では、徳島県阿波市から海陽町に至る「南北測線」（測線長：約70 km）上の70か所（観測点間隔：約1 km）、三好市から神山町に至る「東西測線」（測線長：約60 km）上の30か所（観測点間隔：約2 km）に観測点を設置している。令和4年6月までは、すべての観測点で固有周波数4.5Hzの地震計によって上下動及び水平動の3成分観測を実施し、6月以降は、深部低周波地震の活動域直上に設定した東西

測線上の地震計を固有周波数1Hzに変更して、観測を実施している。観測は、令和5年3月上旬まで継続する予定である。気象庁一元化震源カタログによると、令和5年1月31日までの観測期間中に、図3で示す範囲で629個の地震（マグニチュード1.0以上）の震源が決定されている。また、深部低周波地震の発生も報告されている。観測で得た連続記録から、これら地震の震源時刻に従って、イベント毎へのデータ編集を実施した。東西測線上の観測点で収録した地震の波形例を図4に示す。明瞭なP波初動のあとに、地下深部からの反射波と思われるフェイズを確認することが出来る信号対雑音比の良好な観測データが取得できた。

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

南海トラフで浅部スロー地震を引き起こす「浅部プレート境界断層」（＝デコルマ）の断層強度やすべり挙動を評価するために、比較対象となる日本海溝の反射法地震探査データを解析し、海底下のP波速度構造と間隙水圧を求め、有効応力比（Effective stress ratio = calculated vertical effective stress ÷ expected vertical effective stress under normal consolidation conditions）を推定した（Jamali Hondori and Park, Scientific Reports, 2022）。有効応力比が低いほど断層強度は弱く、滑りやすい。過剰間隙水圧の状態が考えられる四国室戸岬沖南海トラフ（Tobin and Saffer, Geology, 2009）と宮城沖日本海溝（本研究）デコルマの有効応力比の比較を図5に示す。海溝軸に近いZone Iにおいて、南海トラフの有効応力比が日本海溝より著しく低く、南海トラフのデコルマがもっと滑りやすい、浅部スロー地震発生の容易な状態が考えられる。沈み込む太平洋プレート上面のグラーベン構造の発達域にあたる、日本海溝のZone Iには付加体内部の複数のスラスト断層がグラーベン構造内部まで発達し、スラスト断層の優れた排水作用が相対的に高い有効応力比をもたらした可能性が考えられる。一方、南海トラフのZone Iでは、透水性の低い泥岩層が沈み込み、排水作用が劣ることで、低い有効応力比が維持されていると考えられる。なお、令和4年度の成果は本課題の5か年計画と概ね一致する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

2013年2月25日に発生した栃木県北部地震M6.3の前震活動の再解析をおこなった。本震発生前後に発生した地震1193個に対して波形相関による相対走時差データを用いて、震源再決定を行った。これらをテンプレートとして、2013年1月～2月の連続波形記録を用いて、テンプレートマッチングによりイベント検出を行った。その結果、合計15786個の地震を検出した。前震活動は、約1カ月前から発生数が徐々に増え、数日前に発生率が一時的に増加し、約1時間前にはさらに活発になった。このように、複数の時間スケールにおいて前震活動の段階的な活発化が確認された。また、本震が起きる約1時間前にM3.6の地震が発生した以降、前震活動域が本震の断層面の走行方向に加えて深さ方向にも拡大した。活動域の拡大速度は約10 km/日で拡散的な様式を示した。時空間スケールは異なるが、2011年東北沖地震の発生前に見られた前震活動域の拡大の様子と類似性が見られ、スロースリップが本震の発生を促した可能性が考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究課題と関連の深い建議の項目（2(2)ア プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測）の目的達成に貢献するために、スロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行っている。また、解析手法の開発も進め、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式、スロー地震発生域の構造・流体挙動の把握、スロー地震と地震発生との関係に関する研究を進めている。

スロー地震活動は沈み込むプレート境界におけるすべりを反映すると考えられるため、その活動の詳細な描像を解明することは、プレート間すべりを把握しその物理的メカニズムを理解する上で重要である。特に、浅部スロー地震活動が多様であることについては、巨大地震発生域に隣接した浅部プレート境界のせん断応力あるいは流体の時空間変化に対応していると考えられ、巨大地震発生域周辺の不均質性がスロー地震活動によって明らかにされたことは、スロー地震と巨大地震との関連性を議論する上で重要である。今後も、スロー地震モニタリングを継続的かつ詳細に実施することにより、巨大地震発生の切迫度評価に向けた研究に貢献するものと期待される。

地殻変動観測に基づき、プレート境界におけるSSEの時空間変化を把握し、地震現象の一つである微動活動の発生にSSEが影響を与えていることを示した成果は、プレート間すべりの把握による地震発生予測に向けた重要な観測事実を示すものである。

常時微動表面波トモグラフィ手法を高度化し、浅部スロー地震が発生する日本海溝沈み込み帯におけるプレート境界付近のS波不均質構造を広域かつ高分解能で推定できるようになった。今後、スロー

地震分布や通常地震の分布と詳細に照らし合わせることで、スロー地震の発生メカニズムや大地震すべり域を規定する構造要因の解明につながると期待される。

SSEの発生時期と同期する重力異常の検出結果が徐々に蓄積されてきており、その結果を定量的に解釈するための流体移動に基づく物理モデル構築も初期段階のものが完成した。今後、複数地域の観測データを蓄積するとともにモデルを改善してデータの説明を試みることで、他のサブテーマから明らかになっているSSEの多様性と流体移動との関係を解明することが期待できる。

南海トラフと日本海溝のデコルマに沿った有効応力比を比較し、浅部スロー地震発生について考察したことで、「関連の深い建議の項目」の目的達成に貢献している。今後、浅部スロー地震を引き起こすデコルマの物性解析を継続することで、「災害の軽減に貢献する」とともに、巨大地震とスロー地震との関連性を解明する研究への貢献が期待できる。

このような研究を継続して実施し、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研究に貢献し続けることで災害の軽減に貢献する。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

平松祐一,2023,相対重力計gPhoneXによる連続観測で捉えた石垣島のスロースリップ域における重力異常の短期的なふるまい,修士論文,東京大学大学院地学系研究科

Jamali Hondori, E. and J.-O. Park,2022,Connection between high pore-fluid pressure and frictional instability at tsunamigenic plate boundary fault of 2011 Tohoku-Oki earthquake,Sci. Rep.,12,12556,doi:10.1038/s41598-022-16578-5,査読有,謝辞有

Koge, H., J. Ashi, J.-O. Park, A. Miyakawa, and S. Yabe,2022,Simple topographic parameter reveals the along-trench distribution of frictional properties on shallow plate boundary fault,Earth Planets Space,74,56,doi:10.1186/s40623-022-01621-6,査読有,謝辞無

Sakamoto, R.and Y.Tanaka,2022,Frictional and Hydraulic Properties of Plate Interfaces Constrained by a Tidal Response Model Considering Dilatancy/Compaction,J. Geophys. Res. (Solid Earth),127,e2022JB024112,https://doi.org/10.1029/2022JB024112,査読有,謝辞無

Takagi, R., and K. Nishida,2022,Multimode dispersion measurement of surface waves extracted by multicomponent ambient noise cross-correlation functions,Geophys. J. Int.,231,1196–1220,https://doi.org/10.1093/gji/ggac225,査読有,謝辞有

Takahashi, H., R. Hino, N. Uchida, T. Matsuzawa, Y. Ohta, S. Suzuki, M. Shinohara,2022,Tectonic tremors immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake detected by near-trench seafloor seismic observations,Prog. Earth Planet. Sci.,9,66,doi:10.1186/s40645-022-00525-z,査読有,謝辞無

Takemura, S., K.Obara, K. Shiomi, and S. Baba,2022a,Spatiotemporal Variations of Shallow Very Low Frequency Earthquake Activity Southeast Off the Kii Peninsula, Along the Nankai Trough, Japan,J. Geophys. Res. (Solid

Earth),127,e2021JB023073,https://doi.org/10.1029/2021JB023073,査読有,謝辞無

Takemura, S., S. Baba, S. Yabe, K. Emoto, K. Shiomi, and T. Matsuzawa,2022b,Source characteristics and along-strike variations of shallow very low frequency earthquake swarms on the Nankai Trough shallow plate boundary,Geophys. Res.

Lett.,49,e2022GL097979,https://doi.org/10.1029/2022GL097979,査読有,謝辞無

Tonegawa, T., R., Takagi, K. Sawazaki and K. Shiomi,2023,Short-term and long-term variations in seismic velocity at shallow depths of the overriding plate west of the Japan Trench,J. Geophys. Res. (Solid Earth),128,e2022JB025262,https://doi.org/10.1029/2022JB025262,査読有,謝辞無

Yoshida, K., T. Matsuzawa, N. Uchida,2022,The 2021 Mw7.0 and Mw6.7 Miyagi-Oki earthquakes nucleated in a deep seismic/aseismic transition zone Possible effects of transient instability due to the 2011 Tohoku earthquake,J. Geophys. Res. (Solid

Earth),127,e2022JB024887,https://doi.org/10.1029/2022JB024887,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Chujo, N., H. Hirose, T. Kimura,2022,Changes in long-term activity patterns of interplate slip

from short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula, Japan, JpGU Meeting 2022, SCG44-P25

平松祐一, 田中愛幸, 小林昭夫, 2022, スロースリップ信号の検出に向けた石垣島地方気象台における連続重力データの解析 (第二報), 日本測地学会第138回講演会, 61

Hirose H., N. Chujo, T. Kimura, 2022, Periodic changes in activity pattern of short-term slow slip events in the northern Kii Peninsula, Japan, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022, P048

Kato, A., A. Takeo, K. Obara, 2023, Striations of tectonic tremor and implication for fluid channels based on a dense seismic array in western Shikoku, Japan, 11th ACES (APEC Cooperation for Earthquake Science) International Workshop

小原一成, 2022, 通常とは異なるスロー地震活動とは何か, 日本地震学会2022年度秋季大会, S09-09

高木涼太・西田究, 2022, 常時微動トモグラフィによる日本海溝・千島海溝沿い前弧海域下の3次元S波速度構造, 日本地震学会2022年度秋季大会, S22P-03

Tanaka, Y., H. Sakaue and Y. Hiramatsu, 2022, Temporal gravity anomalies in long-term slow slip areas along the Nankai Trough and Cascadia, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022, O-30

Ukawa, T., H. Hirose, 2022, Stress changes caused by Boso slow slip events inferred from seismicity data, JpGU Meeting 2022, SCG44-P24

Yu, F., E. Jamali Hondori, and J.-O. Park, 2022, Pore-fluid pressure estimation for the Nankai Trough plate-boundary fault: Implications for shallow very low frequency earthquakes, JpGU Meeting 2022, S-CG44-28

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 地震; 地震: 広帯域地震観測

概要: 四国西部、紀伊半島、東海の14点の機動的広帯域地震観測点で観測を実施した。スロー地震データベースを整備した。

既存データベースとの関係: スロー地震データベース

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sloweq/>

調査・観測地域:

調査・観測期間:

公開状況:

項目: 地震: 地殻変動: GNSS観測

概要: 四国、九州の独自GNSS観測点約30点での連続観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 四国、九州

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (協議のうえ共同研究として提供可)

項目: 地震: 地殻変動: 重力測定

概要: 宮崎、豊橋、足摺岬、能登で重力測定を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 宮崎、東海、四国西部、能登

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中 (論文・データジャーナル・報告書等)

<https://doi.org/10.1186/s40623-018-0797-5>

項目: 地震: 磁力観測 (全磁力・3成分)

概要: 東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 東海地方、石垣島、西表島

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：MT・AMT観測

概要：四国西部と九州東部においてNetwork-MT観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：四国西部、九州東部

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：地震：地震：短周期地震観測

概要：四国東部で100点の稠密地震観測を実施した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：徳島県

調査・観測期間：昨年度より継続-2023/3/3

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

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

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築されたスロー地震データベースの運用維持、カタログ追加登録等の事業を学術変革領域研究「Slow-to-Fast地震学」と協力して継続的に発展させるとともに、様々な種類のスロー地震の活動特性の解明を進める。

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

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において設置した機動的広帯域地震観測点の維持、データ収集を行い、深部超低周波地震の検出、活動特性や他のスロー地震との相互作用の解明を進める。

3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

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

豊後水道周辺地域においてこれまでに構築してきた機動的GNSS連続観測点での地殻変動観測および座標値解析を継続して実施する。またこれまで蓄積された観測データを活用し、SSE検知手法の開発、地域ごとのSSE活動様式の解明を進め、長期的なプレート間すべりの挙動を明らかにしていく。

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

3次元S波速度構造推定手法をさらに高度化させるとともに、通常地震・スロー地震活動等との詳細な比較を行うことで、日本海溝におけるプレート境界不均質構造とスロー地震活動の関係を明らかにする。

6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

繰り返し地震の解析プログラムを世界の様々な場所で適用し、非地震性すべりを推定し、スロー地震と中・大規模地震の関係について事例を増やし調査する。

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

5か年計画に基づき四国南西部、宮崎、石垣島での絶対・相対重力観測を継続するとともに、これまでの観測結果を解釈するための物理モデルを構築する。四国西部域におけるNetwork-MT観測を継続するとともに、四国全域にわたる3次元抵抗構造推定を試みる。

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

四国東部における稠密地震観測で取得したデータに地震波速度構造解析等を適応し、スロー地震発生域やその近傍の詳細な構造を明らかにする。紀伊半島等における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

紀伊半島の潮岬沖や日向灘沖南海トラフのMCSデータを用いたPSDM処理を行い、P波速度構造モデルを求め、浅部プレート境界断層の間隙水圧と有効応力比を推定する。これら間隙水圧と有効応力比を浅部スロー地震発生と比較し、浅部スロー地震発生のメカニズムについて考察する。

10. スロー地震と地震発生との関連性

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。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蔵下英司（東京大学地震研究所）,小原一成（東京大学地震研究所）,竹尾明子（東京大学地震研究所）,加藤愛太郎（東京大学地震研究所）,上嶋誠（東京大学地震研究所）,小河勉（東京大学地震研究所）,飯高隆（東京大学大学院情報学環/東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

加納将行（東北大学）,内田直希（東北大学）,高木涼太（東北大学）,井出哲（東京大学大学院理学系研究科）,田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）,朴進午（東京大学大気海洋研究所）,中東和夫（東京海洋大学）,津村紀子（千葉大学）,麻生尚文（東京工業大学）,廣瀬仁（神戸大学）,松島健（九州大学）,田部井隆雄（高知大学）,西村卓也（京都大学防災研究所）,松澤孝紀（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：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：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) 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

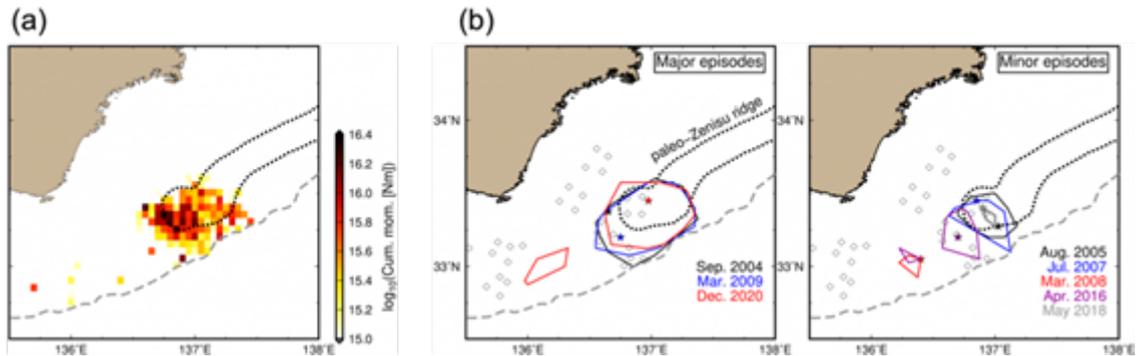


図1: (a)浅部超低周波地震による2004年4月～2021年3月の17年間の積算モーメントの空間分布と (b) 浅部超低周波地震活動の活動域。

図中の破線は南海トラフ、点線はPark et al. (2004)による古銭洲海嶺の位置を示す。

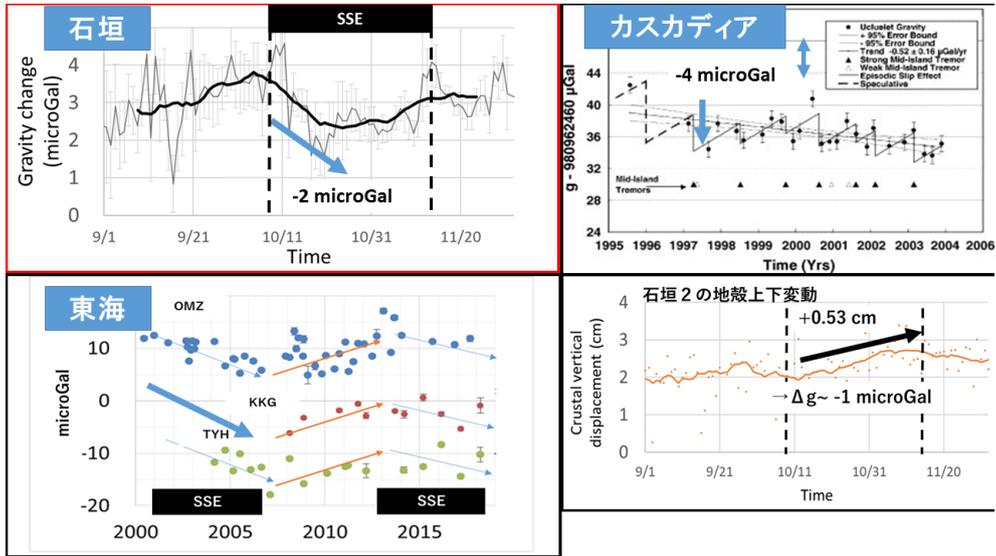


図2: 石垣島で観測されたスロースリップ中の重力変化。

スロースリップの開始と同時に重力が約2microGal減少する（左上）。東海（左下）やカスカディア（右上）の観測結果と異なり連続的な重力データを取得した。GNSSによる地殻上下変動の寄与は約-1 microGalで、スロースリップ期間全体にわたり一様な速度で生じるが（右下）、重力変化は期間の前半に起きている。

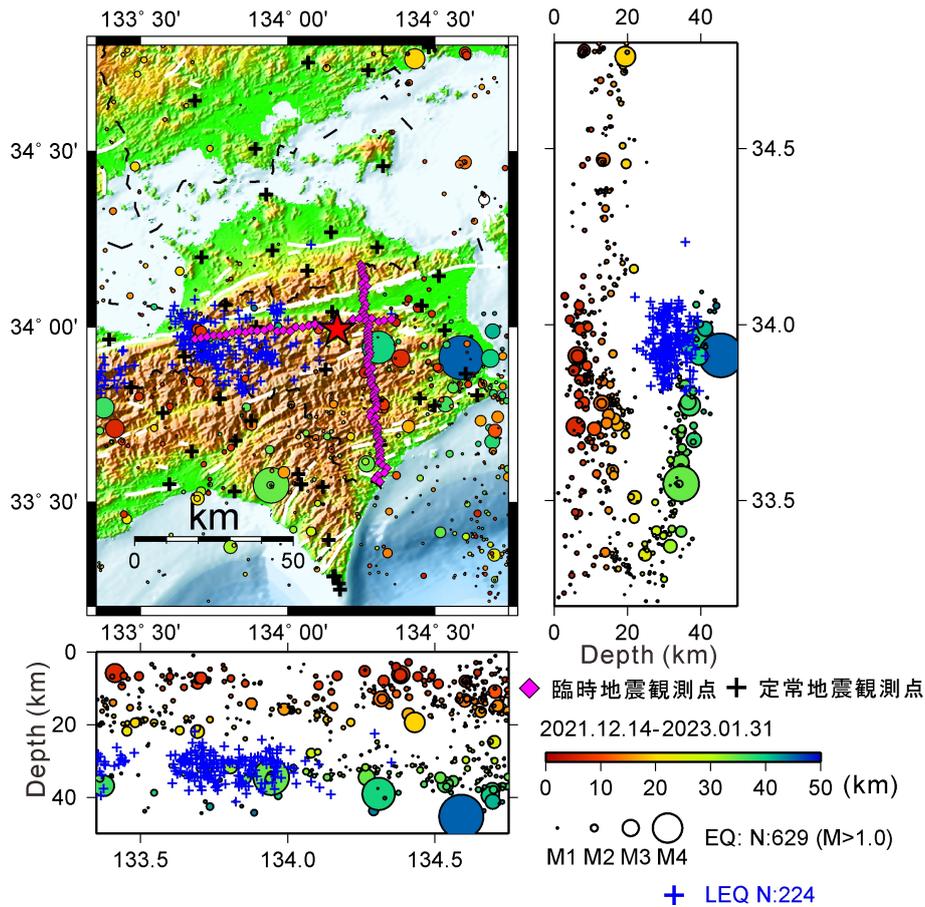


図3: 臨時地震観測点配置図。

○印は、令和5年1月31日までの観測期間中における気象庁一元化処理による震源を示し、その大きさがマグニチュード、色は震源の深さを表す。青色十印は、気象庁一元化処理による低周波地震の震源を示す。赤色星印は、観測波形記録（図4）の震央を示す。

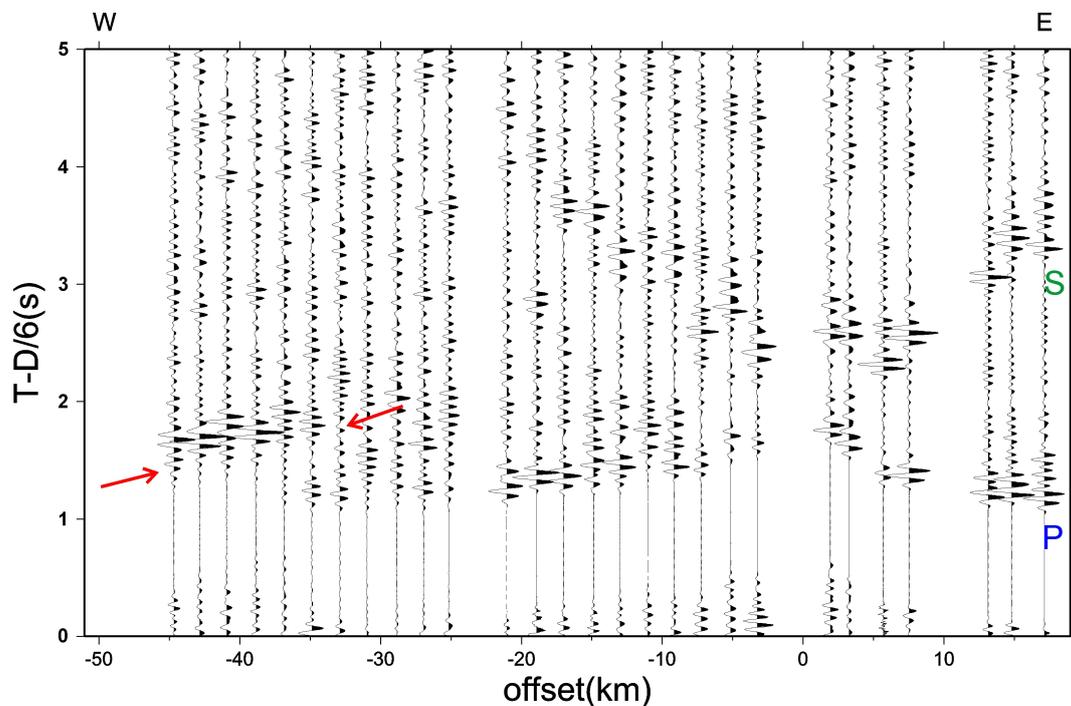


図4: 東西測線上の観測点で収録した地震の観測波形例（上下動成分）。
 (震源時: 2022/4/22 11:00:43.66, Latitude: 33.99367 °N Longitude: 134.16817 °E 6.6 km deep, $M_{JMA}=2.3$)。横軸は震央距離, 縦軸の時間は原点が震源時に対応する。振幅にはAGC処理を施している。リダクション速度: 6.0 km/s。Band pass filter: 5-20Hz。地下深部からの反射波と思われるフェイズ(赤色矢印)を確認することができる。

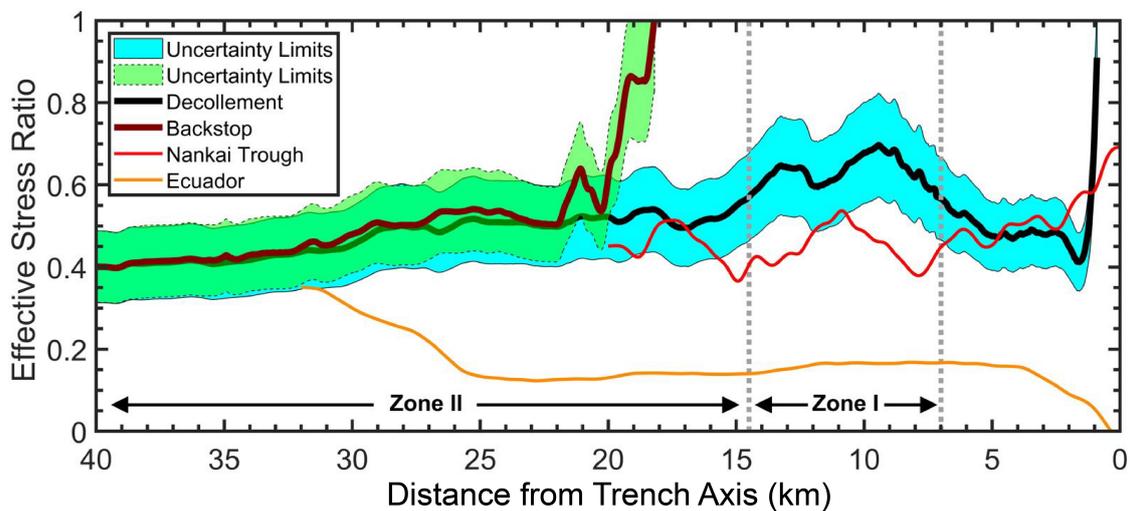


図5: 四国室戸岬沖南海トラフと宮城沖日本海溝におけるデコルマの有効応力比。
 赤線は南海トラフでの値を示し、黒線は日本海溝での値を示す。