

領域略称名：スロー地震学
領域番号：2804

平成30年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「スロー地震学」

(領域設定期間)

平成28年度～平成32年度

平成30年6月

領域代表者 (東京大学・地震研究所・教授・小原 一成)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	5
2. 研究の進展状況	7
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	10
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	12
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	15
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	20
7. 若手研究者の育成に関する取組状況	22
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	23
9. 総括班評価者による評価	24
10. 今後の研究領域の推進方策	26

研究組織 (総：総括班，支：国際活動支援班，計：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究，公：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総	JP16H06472 スロー地震学	平成 28 年度～ 平成 32 年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・教授	6
Y00 支	JP16K21728 スロー地震学の国際展開	平成 28 年度～ 平成 32 年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・教授	6
A01 計	JP16H06473 海陸機動的観測に基づく スロー地震発生様式の解 明	平成 28 年度～ 平成 32 年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・教授	8
A02 計	JP16H06474 測地観測によるスロー地 震の物理像の解明	平成 28 年度～ 平成 32 年度	廣瀬 仁	神戸大学・都市安全研究センター ・准教授	9
B01 計	JP16H06475 スロー地震発生領域周辺 の地震学的・電磁気学的 構造の解明	平成 28 年度～ 平成 32 年度	望月 公廣	東京大学・地震研究所・准教授	6
B02 計	JP16H06476 スロー地震の地質学的描 像と摩擦・水理特性の解 明	平成 28 年度～ 平成 32 年度	氏家 恒太郎	筑波大学・生命環境系・准教授	7
C01 計	JP16H06477 低速変形から高速すべり までの地球科学的モデル 構築	平成 28 年度～ 平成 32 年度	井出 哲	東京大学・大学院理学系研究科 (理学部)・教授	7
C02 計	JP16H06478 非平衡物理学に基づくス ロー地震と通常の地震の 統一的理解	平成 28 年度～ 平成 32 年度	波多野 恭弘	東京大学・地震研究所・准教授	4
総括・支援・計画研究 計 8 件					

A01 公	17H05414 発生間隔及び振幅分布に 基づくスロー地震数理モ デル構築	平成 29 年度～ 平成 30 年度	竹尾 明子	東京大学・地震研究所・助教	
A02 公	17H05411 海底水圧連続観測に基づ く 2011 年東北沖地震震 源域のスロースリップイ ベント活動	平成 29 年度～ 平成 30 年度	太田 雄策	東北大学・大学院理学研究科・准教授	
A02 公	17H05410 群発地震に伴う内陸スロ ー地震の検出	平成 29 年度～ 平成 30 年度	大園 真子	北海道大学・大学院理学研究院 地震火山研究観測センター・講師	
A02 公	17H05418 GNSS データを用いた SSE のグローバル探索	平成 29 年度～ 平成 30 年度	西村 卓也	京都大学・防災研究所・准教授	
A02 公	17H05422 西南日本の海陸地殻変動 場の空間勾配解析に基づ くプレート間固着の時空 間変化の検出	平成 29 年度～ 平成 30 年度	飯沼 卓史	海洋研究開発機構・地震津波海域観測 研究開発センター・研究員	
B01 公	17H05416 プレート間カップリング と流体の 3 次元分布の解 明—ヒ克蘭ギ沈み込み 帯での検証	平成 29 年度～ 平成 30 年度	小川 康雄	東京工業大学・理学院火山流体研究セ ンター・教授	
B02 公	17H05413 沈み込み帯地震発生域上 限付近の多様な断層運動 に関する実験的研究	平成 29 年度～ 平成 30 年度	金川 久一	千葉大学・理学研究院・教授	
B02 公	17H05423 岩石変形実験から考察す る珪質泥岩の続成作用と 超低周波地震発生域との 関連	平成 29 年度～ 平成 30 年度	岡崎 啓史	海洋研究開発機構・高知コア研究所・ 研究員	
C01 公	17H05419 沈み込む堆積物における 間隙流体圧の時空間変化 の解明	平成 29 年度～ 平成 30 年度	森重 学	海洋研究開発機構・数理科学・先端技 術研究分野・ポストドクトラル研究員	

C02 公	17H05417 スロー地震に伴う微動を 実験室で聴く	平成 29 年度～ 平成 30 年度	隅田 育郎	金沢大学・理工研究域・ 准教授	
C02 公	17H05420 多時間スケールの競合す る非線形応答：雪崩的な 崩壊現象	平成 29 年度～ 平成 30 年度	大槻 道夫	島根大学・総合理工学研究科・講師	
C02 公	17H05421 スロー地震および通常の 地震と滑り摩擦、地震モ デルとの関係の理論的数 値的研究	平成 29 年度～ 平成 30 年度	松川 宏	青山学院大学・理工学部・教授	
公募研究 計 12 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ以内）

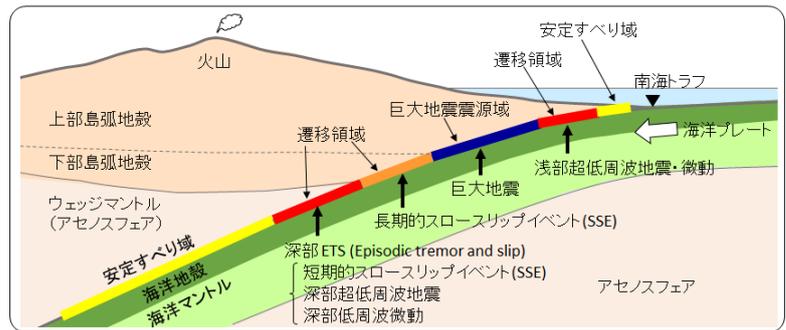
研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

本領域の目的及び全体構想

近年相次いで発見されてきた地震現象である「スロー地震」の謎を解明する。そのために、従来の地球物理学（地震学、測地学）だけでなく、地質学、非平衡物理学等を融合したアプローチを用い、スロー地震の発生様式、発生環境、発生原理を明らかにすることで、「低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解」を飛躍的に進め、かつ同時に地震研究の再構築を目指すことを目的とする。

研究の学術的背景

20 世紀末から日本の最先端の地殻変動観測網、地震観測網によって、次々と奇妙な現象が見つかった。まず 1999 年にプレート境界のゆっくりとしたすべり、「スロースリップイベント (SSE)」が、2002 年に非常に微弱な地震波源、「微動」が発見された。これらの現象はきわめて頻繁に発生しており、また過去の巨



様々なスロー地震と巨大地震発生域

大地震の発生域を取り囲むように発生している。その後、SSE や微動は、世界各地（カナダ、米国、メキシコ、コスタリカ、エクアドル、ペルー、チリ、ニュージーランド、台湾など）で発見が相次いでいる。SSE や微動は地震同様プレート境界のすべり運動で、しばしば SSE と微動はほぼ同じ場所と時間に起きる。SSE と微動の中間的サイズの現象「超低周波地震」と合わせて、これらすべての現象を「スロー地震」と呼ぶ。スロー地震のスケール法則は普通の地震とかなり異なる。一方、2011 年に東北沖地震が発生した。この地震の発生によって、地震発生の物理プロセスが十分に理解できていないことが痛感された。理解できていない一要素がスロー地震である。巨大地震発生域の周辺で微動や SSE が頻発し、地震発生場を変え続けている。ある意味で普通の地震、つまり高速のすべりを準備しているのは様々な低速の変形である。低速変形と高速すべりの統一的な理解から、地震研究の再構築を目指すことが、本研究領域の目的である。

本研究領域の主要メンバーはスロー地震研究の世界的第一人者である。領域代表者小原は微動の発見者、計画研究代表者廣瀬は SSE の発見者、井出はスロー地震の物理的理解で重要な貢献をしてきた。本研究領域には、その他多くのスロー地震研究のエキスパートを含む。しかし我々領域メンバーは、地震研究の再構築が従来の地球物理学のアプローチのみで可能だとは考えない。スロー地震研究も「発見の時代」は過ぎ、「理解の時代」を迎えつつある今、従来のアプローチのみでは限界が近い。他方、近年の海洋底掘削や陸上付加体研究によって地質学的にスロー地震を理解することが現実的になった。また非平衡物理学・非線形力学の一分野として地震とスロー地震の関係が注目されている。これらの分野間の交流はこれまで十分だったとは言えず、その理由は主に交流の枠組みがなかったためである。本研究領域は、スロー地震というターゲットに地質学から物理学までの異分野を結びつける枠組みを提供し、より徹底した地震研究の再構築を目指すものである。

どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか？

対象とする学術分野

自然界に起きるスロー地震を観察するための基礎データは、「地震観測」、および地殻変動、重力などの「測

地学的観測」からもたらされる。そしてこれらのデータを解釈するためには「地震発生科学」や「テクトニクス」の知識が必要となる。また発生場を理解するために地殻から上部マントル程度の「地球内部構造」や「地球内部物性」の知見も欠かせない。これらのキーワードで構成される固体地球惑星物理学が本研究の中心軸となる。

地球内部変動の理解のためには、地球内部の物質に関する情報が不可欠である。これらは地質学、岩石鉱物学的なアプローチによってもたらされることが多い。本研究領域においては、特にスロー地震の痕跡が多く観察される「付加体」や「活断層」における「構造地質学」的な研究が重要となる。一方、スロー地震を発生させるのは地下での岩石や鉱物の温度圧力変化に伴う構造変化だと考えられている。これらの情報は「地殻・マントル物質」および「変成岩」の岩石鉱物学からもたらされる。

スロー地震は地球内部に起きる現象であり、本研究領域は地球惑星科学の諸学問分野からなるが、対象となる現象と場だけに焦点を絞ることが、最良の道とは限らない。現象を俯瞰的にとらえ、数理物理の本質に立ち戻って考えることも必要である。そのために本研究領域では分科の異なる物理学の「非平衡物理学・非線形動力学」や、「ソフトマターの物理」に関連する分野とも連携をはかる。

領域内の研究の有機的結合による新たな研究の創造への期待

スロー地震の研究は、上に述べたように、地質学を含む固体地球惑星科学の広い学術分野で行われている。さらに、本研究では、非平衡物理学・非線形動力学関連分野とも連携融合をはかる。しかしながら、これらの学問分野は、固有の伝統やものの考え方を有しており、これまでもある程度の交流はあるものの、とても融合といえる状態にはない。そこでスロー地震という現象の周辺に分野融合状態を作り出すことが本研究領域の目指すところである。分野融合によってスロー地震の理解が進むことはもちろんのこと、スロー地震についての知見をそれぞれの分野で別の大きなテーマへの足掛かりにすることも期待している。例えば地質学においては日本列島形成史へ、物理学からの応用として新材料開発につながる可能性がある。そして究極的には本研究によるスロー地震の理解が、地震研究を新たなステージに導くことを狙っている。近年の地震に関する研究では、より防災減災に焦点が当たるようになり、分野間融合を目指すような基礎研究へのサポートは十分でない。多様なバックグラウンドの研究者が、多角的に現象を捉えることが重要であり、そのための交流の枠組みを整備するのが本研究である。本研究領域では、地球物理学、地質学、物理学等の様々な分野の研究者により、スロー地震という現象を分野融合的に理解し、地震の理解における格段の発展・飛躍的な展開を目指す。

地震研究への多角的視点と国際的卓越性の強化

本研究領域では大小の研究集会を通じて、これまで独立性の高かった地球物理学、地質学、物理学の研究者間で、スロー地震というひとつの現象について多角的な議論が行われる。分野で異なる専門用語や概念の共有を通じて、一つの現象からより普遍的な地震現象の理解のための共通のプラットフォームが出来上がる。このプラットフォームを持つ研究者集団は、今後我が国の地震に関わる研究や政策立案に多角的な視点を提供する。スロー地震は日本中で頻繁に起きており、また普通の地震に比べると予測がしやすい。ある意味、地震現象の予測可能性のフロンティアを示す。この現象を良く把握・理解し、わかりやすく説明することで、一般的な地震現象の予測の困難さと可能性を広く広報し、不確かな情報や疑似科学と距離を保ち、正しく地震を恐れる姿勢を醸成するために役立つ。本研究では国際的なネットワークを構築・強化する。現在すでに世界トップレベルにある我が国のスロー地震研究をさらにレベルアップすることで、類似現象の研究が進む諸外国とリーダーシップをとって共同研究を進めることができる。本研究で構築したネットワークは、今後各国の地震防災政策へ活用することができる。これは日本のなしうる国際貢献の一つの形である。

2. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する〕（3 ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

計画研究 A01：地震観測

本計画研究では、スロー地震が世界的に最も活発な地域のひとつである西南日本・南海トラフ西部から南西諸島を対象に、スロー地震を構成する各現象の発生様式、現象間の相互作用を明らかにするため、(A) 浅部スロー地震、(B) 深部スロー地震、(C) 繰り返し地震について、定常的・機動的な地震観測データを用いた研究を実施する。これまでに日向灘沖の海底地震・圧力計、南西諸島域での広帯域地震計の設置を予定通り行い、蓄積されたデータを用いて予備的解析を行なうとともに、既存データを用いて以下の進展があった。

- ・浅部低周波微動や超低周波地震活動の時空間分布や潮汐応答性などを明らかにした。特に琉球海溝では超低周波地震とスロースリップイベント（SSE）が棲み分けていること、潮汐応答性に地域性や季節変化が存在することが分かった。このことは、スロー地震が発生する場の摩擦特性に関する重要な情報を示している。
- ・C01 班との共同研究により、微動エピソードの輻射エネルギーと移動速度の相関性から、微動発生が応力拡散によるパッチの連鎖破壊で説明でき、さらにパッチ強度の空間的不均質分布が B01 班の成果である流体分布と調和的であり、スロー地震の発生様式が発生環境で特徴付けられていることを明らかにした。
- ・国際共同研究により、新たな検出手法に基づく深部低周波微動カタログの自動構築システムを整備した。
- ・四国西部の深部超低周波地震活動の長期的経年変化から一部地域での活動低下が明らかとなり、プレート間カップリングが変化していることを示唆するものとして、領域が解明すべき新たな課題を提示した。
- ・小繰り返し地震から推定される日向灘のプレート境界すべり速度の変化が、その周囲の浅部超低周波地震や SSE と相関し、更にこれらの活動が深部と浅部で異なる速度で北に移動したことを明らかにした。これは、広範囲にわたるスロー地震間の相互作用の存在を示しており、A01・A02 班の総合的研究成果として評価できる。

以上の通り、スロー地震間の相互関係性や発生環境・発生原理との関連性を明らかにしたとともに、今後解決すべき課題を提示することができ、計画は当初の予定どおり順調に進展している。

計画研究 A02：測地観測

本計画研究では、各種スロー地震のなかで最も規模が大きく、それゆえ他のスロー地震の大局的な活動パターンやプレート間のすべり様式を規定すると考えられる SSE の活動様式を、発生頻度の高い西日本の複数地域にて、GNSS・傾斜・ひずみ・重力等の測地学的観測手段によって詳細に捉え、地域毎のプレート間すべり特性、それを規定する地球科学的要因、隣接地域との相互作用、SSE 発生と地殻流体との関連性等を明らかにする。

SSE を含む地殻変動のより詳細な把握のため、四国・九州・沖縄本島周辺・八重山諸島に 25 か所の GNSS 連続観測点を設置し、順調にデータを蓄積している。過去約 20 年間の GNSS 記録に基づき、SSE の系統的な検出手法の開発とそのデータへの適用を行い、日向灘から四国西部にかけて未報告のものを含む 24 の長期的 SSE を検出し、長期のプレート間すべり挙動の理解が進んだ。陸域でのボアホールひずみ観測により、観測点から距離の離れた南海トラフ沿いでの浅部 SSE を検出し活動域の推定に成功した。東海地方において 20 年以上におよぶ重力観測により、SSE に伴う重力変化を検出し、C02 班との共同研究により開発された間隙流体移動モデルを用いてデータのモデル化を行うことで、断層帯の流体移動による重力変化の可能性を示した。

各種の観測はほぼ計画通り順調に進展し、重要な成果も数多く得られてきている。研究目的や研究計画・方法に照らして順調に進展している。

計画研究 B01：地球物理学的構造調査

スロー地震から通常の地震まで、プレート境界面で発生する断層すべりの多様性は、境界面の形状、そこに

存在する物質の物理的性質（物性）や、水の分布などの構造・環境的要因を反映していると考えられる。本計画研究では、A01・A02 班の観測から得られる詳細なスロー地震発生領域、及び B02 班から得られるプレート境界物質の物性に関する情報との比較検討を通して、スロー地震の発生メカニズムを理解すべく、その発生領域周辺の構造・環境を明らかにする。さらに、断層すべりに伴う構造内の時空間変化を捉えることにも挑戦する。

陸域基盤的地震観測網の記録を利用したトモグラフィ解析によって、西南日本の 3 次元地震波速度・減衰構造を求めた結果、低周波地震非発生域直上にも、水による変成作用を受けた構造があることがわかった。この結果、プレート境界の非排水性による高間隙水圧が低周波地震の発生要因であるという、新しいモデルを提案した。また、繰り返しスロースリップが発生する茨城県南西部において、その発生に伴うプレート境界周辺構造の時空間変化、およびそれに誘発される上盤側プレート内の地震を明らかにした。これはスロースリップ発生に伴う水の動きをとらえたと考えられる、重要な結果である。一方、レシーバ関数のデータベース構築により、プレート境界面構造の高解像度での把握を進めている。A01 班による海域地震観測の記録も活用すべく、新しいレシーバ関数解析手法の開発も進めており、予察的な解析では、その有効性を示すことに成功している。構造内の水の分布を直接的に把握すべく、豊後水道周辺域における電磁気観測網の整備を進めており、当海域では初めてとなる海底電位差磁力計を設置し、観測を継続している。予察的な比抵抗構造解析では、沈み込みに伴う水の分布を示す構造を確認した。このほか、比較対象地域として、ニュージーランドでの国際共同研究では、海域観測データの解析、陸域電磁気観測を進めている。

地震学的構造解析では、新たなモデルの提案や重要な知見の獲得など、目覚ましい進展がみられている。電磁気観測網の構築も順調に進んでおり、全体として当初の計画よりもやや進んでいる。

計画研究 B02：地質

本計画研究では、スロー地震を引き起こす物質、低速変形の特徴、変形メカニズムを明らかにし、スロー地震の発生挙動を決定づける摩擦・水理特性を決めるため、(A) スロー地震発生域で形成された付加体・変成岩の地質調査・試料分析、(B) 地質・模擬試料を用いた摩擦・透水実験を実施しており、以下の進展があった。

・A01、A02、B01 班と連携し、スロー地震の地震・測地・地球物理観測結果を満たす地質学的な証拠（クラックシール脈と粘性剪断帯の共存）を見出した。クラックシール脈は、静岩圧に近い間隙水圧下で低角逆断層センスを示す剪断破壊が数年以下の間隔で繰り返し起こっていたことを記録しており、圧力溶解クリープを主要な変形メカニズムとする粘性剪断と共存することが示された。これにより、沈み込み帯で発生する Episodic Tremor and Slip (ETS) に関する地質学的描像が得られた。

・プレート境界沿いに形成されたメランジュにおいて、シリカやナトリウムを含む流体の流入が見出され、高間隙水圧の発生や反応帯とそれに伴う粘性剪断帯の形成に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。これにより、深部スロー地震の発生条件に制約を与える地質学的候補が見出された。これに伴い、C01 班と長期的スロースリップ発生の温度条件を探る共同研究をスタートさせた。

・2011 年東北地方太平洋沖地震震源域掘削で採取された浅部プレート境界断層物質（スメクタイトに富む遠洋性粘土）を用いた摩擦実験を行い、すべり速度増加に伴う摩擦のすべり依存性を調べ、すべり弱化に伴って巨大地震震源域でもスロースリップが発生しうること、及びスロースリップが更なるすべり弱化を引き起こし高速すべりへと至る可能性があることを明らかにした。

以上のように、他班との連携・融合を活かし順調に研究が進展する一方、当初想していなかった新たな知見が見出されており、今後更なる他班との連携・融合研究の促進の必要性が出てきている。

計画研究 C01：地球科学的モデル構築

スロー地震のモデル構築を以下の 3 つのカテゴリーに緩く分類して推進中である。(A) 「スロー地震諸現象

の時間空間的な関連性の解明」では、南海トラフ（紀伊半島沖、豊後水道）の重点領域を中心に、各種スロー地震のカタログを作成、超広帯域スロー地震の全容を明らかにする一方で、ブラウン運動モデルや摩擦不均質線断層モデルなどのモデルの開発改良を進めている。(B)「巨大地震を含むプレート運動システムの予測可能性の検討」では、岩石実験や巨大地震のデータ分析によって、前震や余効滑りを含めてスロー地震と巨大地震の関係を定量化している。巨大地震に先行するスロー地震活動についての精査を進め、一般的に巨大地震前の前震存在確率を定量化し、30-40%という値を得た。(C)「現実的プレート運動システムにおけるモデル化」では、南海、カスカディア、ニュージーランド等を対象とし、沈み込みプレート形状、流れ場、温度場、含水量分布、含水鉱物の相転移、潮汐の効果を取り入れた現実的モデルを開発、スロー地震の発生様式の時間空間的な多様性を説明することに成功している。特に潮汐の影響がSSEの発生に与える影響について検討したところ、潮汐によってSSEの周期的発生が安定化されるという結果が得られた。

計画は当初の予定通りか、それをやや上回るペースで順調に進展している。主要な学術会議における本計画研究のメンバーによる講演は量質ともに極めて高い水準にある。これまでに公表された論文は約50件と、順調に成果が公表されていることを裏付けている。国際共同研究も盛んに行われ、国際共著論文も多数出版されている。新たな共同研究の提案も生まれており、今後の見通しも明るい。

計画研究 G02 非平衡物理・非線形動力学

本計画研究では、スロー地震に関して「モデルに基づいた定量的理解」を積み重ね、それらを統合・抽象化していくことで数理的・包括的な理解を目指す。このため、以下の3つを柱とした研究体制を構築している。

(1) **弾性体・粘弾性流体を用いた摩擦・変形実験** ここでは、物性や境界条件を自由に制御できる室内実験のメリットを生かし、安定性の異なる複数の運動機構が出現する過程やそれらの競合・協同現象を詳細に解明する。これまでの結果：ゲルを用いた摩擦実験においては、摩擦面の凹凸を制御することで摩擦特性が精密に調整され、安定と不安定どちらの滑り挙動も再現でき、様々な地震サイクル（高速滑り発生の繰り返し）挙動も再現できることを発見した。流体実験においては、化学物質の濃度を調整することで脆性から塑性まで幅広い変形・破壊挙動を制御する手法を確立し、流体移動における様々な振動現象を発見した。

(2) **経験的構成法則の物質科学的基礎とスケーリング特性の解明** ここでは、室内実験で得られた経験的法則をプレート境界という巨大スケールへ適用するために、経験的構成法則の物質科学的基礎とスケーリング特性を解明する。これまでの結果：室内岩石実験で得られている経験的摩擦法則の理論的導出を行い、法則のスケーリング特性を解明できた。それに加え、摩擦面の状態の時間発展に関しても理論的な導出を可能にし、従来知られている経験則が依拠する物理的条件も明らかにした。

(3) **スロー地震と通常の地震を統一的に記述する数理モデル** ここでは、上記(1)(2)で得られた知見を総合した数理モデルを構築し、スロー地震と通常の地震が共存し相互作用する仕組みを定量的に解明する。これまでの結果：まず流体効果や摩擦発熱を含まない単純な系の摩擦挙動を記述する数理モデルについての解析的研究を行った。安定滑りから不安定滑りに遷移する分岐点近傍に着目することで、より簡素な方程式系に帰着できることを解析的に示した。同時に、法線応力が深さ方向に増大していくモデルのシミュレーションも行い、東北地方の沈み込み帯で観測されている現象に類似した長周期の振動現象を再現できた。これと並行して、プレート境界の滑りを「応力と滑りに依存して温度・流体圧・空隙率が変化するフィードバック系」としてモデル化し、非線形偏微分方程式系として定式化した。この方程式系を解析し、初期滑り速度と最終滑り量の間で普遍的な関係式が成り立つことを発見した。

以上のように、当初の計画が順調に進展しているのに加え、意図していなかった他班との共同研究も生まれてきており、学際的新分野創生へ向けての息吹が確かに感じられるようになってきた。

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2 ページ以内）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

（留意事項）「非平衡物理学や地質学などの異分野の研究者との共同研究を推進するに当たっては、より深く実質的に連携するための工夫や仕組み作りが必要である」。

非平衡物理学分野との連携が表面的なものに留まらないようにするため、研究者個人の努力に任せるのではなく、それを組織として可能にする仕組みを作ることが総括班の役目である。その目的のために、これまで以下の仕組みを作ることによって学際的連携を促進してきた。

1. 研究会における共同研究マッチング

物理班の会合では毎回必ず他班メンバーにも参加してもらい、地震学・測地学・地質学など各専門分野におけるスロー地震研究の進展に関するレビュー的講演を設けている。これは、地震発生「現場」研究の実態を物理学者にも理解してもらうために重要であると同時に、他班メンバーにとっても物理班でどんな研究が行われているのか知る機会ともなっている。これによって異分野間の相互理解を促進することはもちろんだが、それに加えて講演後には「どのような共同研究が可能か」「このような切り口なら A さんのこの研究と結びつくのではないか」などの観点から議論し、異分野間共同研究のマッチングを公開形式で行なっている。

2. スロー地震カフェ

異分野間相互理解と共同研究促進の一助とするため、分野外の研究者向けに研究を紹介し議論を深める「スロー地震カフェ」を開催している。これは領域全体を対象としたイベントであるが、物理班メンバーの出席をマストとし、物理班とその他の班の交流促進を大きな目的としている。このイベントにはコーヒーやお菓子を用意してざっくばらんな雰囲気づくりを行っており、上記の研究会よりもさらに風通しの良い気軽な雑談から新たな共同研究のアイデア出しに繋げる機会として設けている。

3. 合宿形式による地質巡検

もう一つの異分野である地質学分野との連携を主軸として領域全体の連携を図ることを目的とし、B02 班と C02 班が主催し、他班メンバーも含めて領域全体の交流を深めるための地質巡検をこれまで2回にわたり開催した（第1回徳島県・第2回沖縄県）とともに、平成29年の松山で開催された国際研究集会後にも領域全体としての地質巡検を行なった。物理学と地質学は、物理学と地震学以上にお互い遠い存在であったが、3回に及ぶ巡検での議論を通じて「パターン形成の動力学」という観点から両者の接点を見いだせることが明らかになってきた。実際にこの観点での共同研究が粉体剪断帯におけるパターン形成に関して B02 班と C02 班の間で行われつつある。また、巡検では大部屋で合宿形式になることが多いため、異分野間の気軽な議論を促進しやすいという面もあり、思いもよらぬ共同研究が萌芽する場として重視し、今後も定期的に続けていく予定である。なお、これらの巡検を契機として B02 と C02 の研究者が放送大学の講師を担当することとなり、巡検の効果は一般市民を対象とした教育活動にも発展した。

4. 物理班交流セミナー

物理班だけでなく他の班へも開かれた議論の場を多く持つことが重要であるという観点から、物理班主催による非専門家向けのセミナーを開催し、地震学・地質学研究者が物理学的アプローチと物理班での研究成果を理解するための機会として設けている。

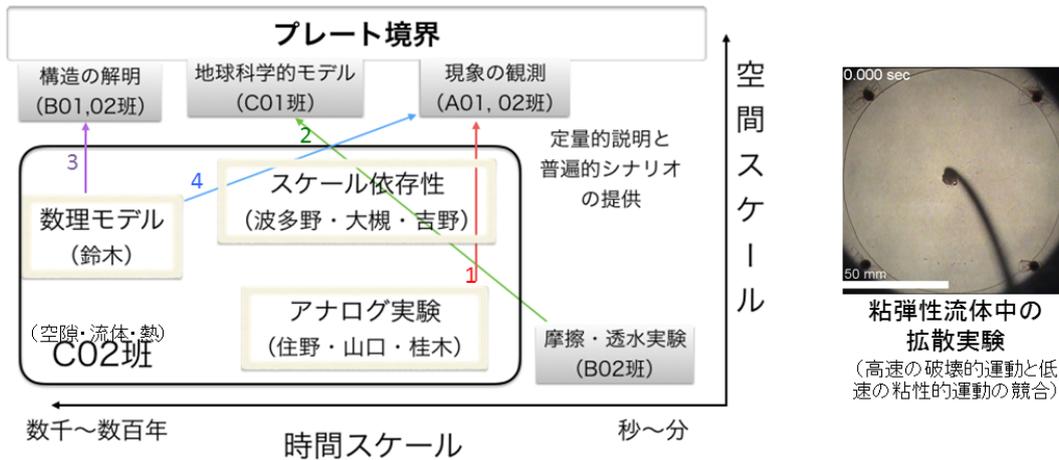
以上4種類の企画の成果として、いくつかの具体的な共同研究が開始している。すでに A02 班と C02 班の共著論文として発表されている成果（水の移動と重力異常）に加えて、多孔媒質中の流れに関する地質学との共

同研究 (B02 班・C02 班)、微動の潮汐応答性に関するモデル研究と観測データの比較 (A01 班・A02 班・C01 班・C02 班) などが新たに開始されている。これらの融合研究は着実に進展しており、1~2 年後には異分野融合論文として具体的成果が結実する見込みである。

これ以外でも、物理学会における関連シンポジウム開催 (平成 29 年日本物理学会年次大会) などを通じて、本領域メンバー以外の物理学研究者へ学際的地震研究への導入となる機会を設けており、異分野間の垣根を下げる努力を続けている。

「スロー地震学」分野融合の要としてのC02班

数理による深い理解(物理学的アプローチ)「プレート境界」と「実験室」を数理でつなぐ



1. アナログ実験で現象の本質をつかむ
2. 実験室での結果をプレート境界のスケールまで変換する
3. 数理モデルで沈み込み帯の水理学的・地質学的構造形成過程を説明する
4. 数理モデルでスロー地震現象の本質をつかむ

(採択時ヒアリングの事前質問事項)「広く研究者を集めて研究体制を組織していることは見て取れるが、領域代表者をはじめ計画研究の代表者の多くが東大地震研の研究者であり、本研究を推進する際にいわゆる共同利用・共同研究拠点としての役割がどのようにしてその中に織り込まれるのかについてご説明いただきたい。」

審査結果には記載されていなかったが、共同利用・共同研究拠点の有効活用について、ヒアリングの事前質問で上記の指摘があったため、対応状況を以下に述べる。

もともと、東大地震研の共同利用制度を活用し、研究集会を重ねて研究者コミュニティの醸成を図り、本領域研究を開始したものであるが、領域研究開始後の平成 28 年 (東大地震研)、29 年 (愛媛県松山市) の国際研究集会では、更に領域の拡大を図るため、東大地震研及び京大防災研の共同利用制度の枠組みを利用すべく申請を行ない、無事に採択されたことで、国内外からの研究者、招待講演者の参加数を増加させることができた。また、これらの共同利用研究集会との同時開催することで、関連する研究分野の研究者との連携を深め、領域に参加する機会を提供した。さらに、平成 29 年度から、東大地震研の共同利用特定共同研究 A の枠組みを用いて、年間あたり 10 名程度の、スロー地震に関わる領域外の研究者の研究集会参加や観測のための旅費を支援することで、領域の拡大を図っている。共同利用制度を活用して萌芽研究から大型外部資金研究プロジェクトへと発展した本領域研究は、共同利用における一つのモデルケースとして、研究所の各種評価調書にも取り上げられており、JpGU2018 では共通ブースを出展するなど、新学術領域と研究所との連携も強化されている。

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

(3 ページ以内)

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

研究項目 A01 地震観測

A01 計画(1) 琉球海溝の超低周波地震の潮汐応答性とスロースリップ(SSE)との棲み分け：琉球海溝で発生する超低周波地震の潮汐応答に地域性や季節変化が存在するとともに大気・海洋圧力が影響する可能性があること (Nakamura & Kakazu, 2017, JGR)、深さ 15~20 km のプレート境界面付近で発生し、SSE や普通のプレート間地震の震源分布とは相補的であることを明らかにした (Nakamura, 2017, EPS) [図 1]。

A01 計画(2) 深部低周波微動パッチ強度の空間的不均質性 (C01 計画・安藤との共同研究)：短期的 SSE を伴う微動の活動様式と輻射エネルギーの特徴から、微動パッチ強度が空間的に不均質であり、応力拡散により連鎖的に破壊するモデルで説明できることを示した。この結果は、B01 の成果である微動発生域の上盤の流体分布とも調和的である (Kano et al., 2018, Scientific Reports) [図 2]。

A01 計画(3) 深部超低周波地震活動の時空間変化 (C01 計画・松澤との共同研究)：連続波形データから四国西部の深部超低周波地震を検出し、豊後水道では 2010 年と 2014 年の長期的 SSE に対応する活動増加、愛媛県西部では 2014 年以降の顕著な活動低下を捉えた (Baba et al., 2018, GRL)。

A01 計画(4) 南海トラフ域西方で移動する 2 種類の SSE (A02 計画・高木との共同研究)：九州・四国沖合の小繰り返し地震や各種スロー地震との比較の結果、プレート境界型地震発生域の深部で数年かけて北進した現象と、浅部から深部に約 1 ヶ月の短時間で移動した 2 種類の移動現象を捉えた (Uchida et al., 2017, AGU)。

A01 公募(1) 超低周波地震の特徴的サイズの推定：西南日本 4 地域の超低周波地震を検出し、それら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、また地域性を有し、海溝付近の浅部超低周波地震は内陸下の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 (Takeo & Obara, 2018, AGU)。

研究項目 A02 測地観測

A02 計画(1) 重力観測による SSE に関連した地殻流体移動の検出 (C02 計画・鈴木との共同研究)：SSE 発生域に存在する地殻流体が、SSE や大地震の発生とどう関わっているか解明するため、東海地方で高精度な重力観測を実施し、SSE 発生・進展に伴う流体移動の検出を試みている [図 3]。SSE の発生期間に比べ、SSE 中にはトレンドが減少していることが分かった。C02 班鈴木と共同でモデル化を行い、SSE に伴う流体移動を重力観測で捉えたという可能性を示す結果が得られた (Tanaka et al., 2018, EPS)。

A02 計画(2) 陸上ひずみ観測による紀伊半島沖浅部 SSE の検出：紀伊半島南部の産総研ひずみ 3 観測点において、平成 28 年 4 月 1 日の紀伊半島沖での M6.5 の地震に引き続いて、5 日間ほど続くゆっくりとした地殻変動が観測され、このデータ解析により、紀伊半島沖において本震直後から浅部 SSE が発生していたことが分かった [図 4]。

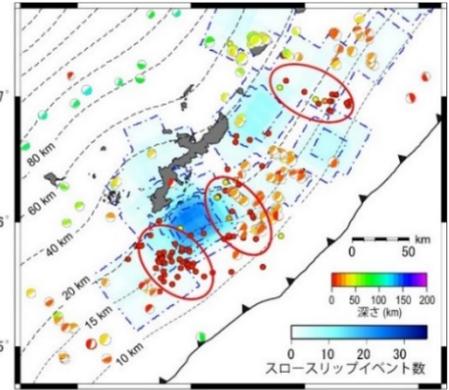


図 1. 琉球海溝で発生する低周波地震, SSE, 普通のプレート間地震の相補的分布。

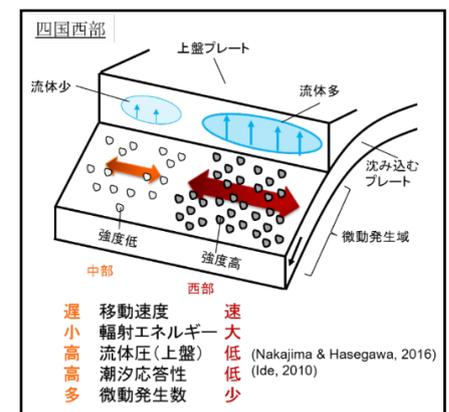


図 2. 四国西部における微動パッチ強度の空間的不均質性と上盤プレートの流体分布の解釈図。

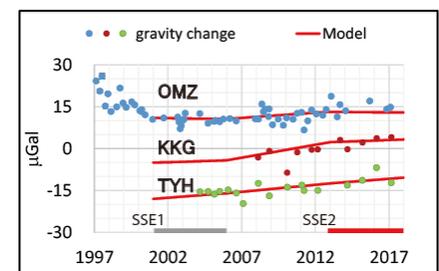


図 3. 重力観測結果とモデル値との比。

沈み込み帯浅部での SSE を陸上のひずみ観測から検出した、初めての成果である (Itaba et al., 2017, JpGU-AGU)。

A02 公募(1) GNSS データを用いた SSE のグローバル探索 (西村) : GNSS データから短期的 SSE を検出し、推定された各地域の SSE の活動度と、沈み込むプレート間の固着度とを比較したところ、両者に良い対応があった。(Nishimura et al., 2018, Geosphere)

研究項目 B01 地球物理学的構造調査

B01 計画(1) 広域的な構造およびその時空間変化の把握 (A01 計画・内田との共同研究) : SSE 発生に伴う構造の時空間変化および誘発される地震活動を捉え、プレート境界周辺の水の動きを明らかにした

(Nakajima & Uchida, 2018, Nature Geoscience) [図 5]。南海トラフ沿いの西南日本の 3 次元地震波速度・減衰構造を求め、プレート境界の非排水性によって維持される高間隙水圧がスロー地震の発生要因であるという新しいモデルを提案した (Nakajima & Hasegawa, 2016, Nature Comm.)。

B01 計画(2) プレート境界周辺の高解像度不均質構造 : 四国西部の基盤的地震観測網に加え、A01 班による臨時地震観測点の記録を利用したレーザ関数データベースを構築し、プレート境界面構造の高解像度把握を進めた。この結果、沈み込みに伴う構造変化、またスロー地震の活動分布との対応関係を明らかにした。

B01 計画(3) 電磁気学的構造 : 豊後水道周辺の陸域の電磁気観測点の整備を進め、NTT 通信回線を用いた長基線地電位差観測を行っている。また、豊後水道沖合で初となる海域電磁気観測網を構築し、観測を継続している。これまでに回収された記録を使って、予察的な比抵抗構造解析を行い、沈み込みに伴う水の分布を示す構造を確認した [図 6]。

B01 公募(1) プレート間カップリングと流体の 3 次元分布の解明 : 国際共同研究により、ニュージーランド北島陸域で電磁気観測を行い、3 次元比抵抗構造を求め、プレート間カップリングと比抵抗分布が良い相関を示すことを明らかにした。この結果、本地域におけるプレート間カップリングが、水の分布に支配されていることを示した。

研究項目 B02 地質

B02 計画(1) ETS の地質学的描像 : スロー地震の地震・測地・地球物理観測結果、すなわち低角逆断層メカニズム解、低剪断強度、高間隙水圧、短い発生周期を満たす地質学的証拠が見出され、ETS に関する地質モデルが得られた (Ujiie et al., 2018, GRL) [図 7]。

B02 計画(2) 摩擦実験からみたスロースリップが巨大地震発生に与える影響 : 2011 年東北地方太平洋沖地震震源域掘削で採取された浅部プレート境界断層物質を用いて摩擦実験を行い、すべり弱化に伴って巨大地震震源域でもスロースリップが発生しうること、及びスロースリップが更なるすべり弱化を引き起こし、高速すべりへと至る可能性があることを明らかにした (Ito et al., 2017, GRL) [図 8]。

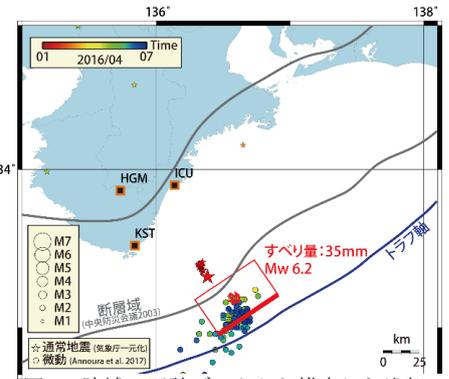


図 4. 陸域の歪計データから推定した浅部 SSE の断層モデルと微動・地震の時空間分布。

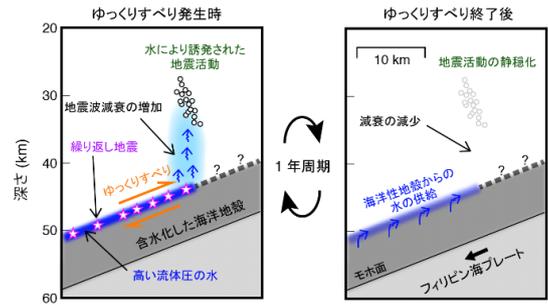


図 5. 約 1 年周期で発生する SSE と、それに同期するプレート直上の地震波減衰の増加、および数か月遅れで活発化する上盤内地震活動について、SSE に伴うプレート境界での排水によるモデル。

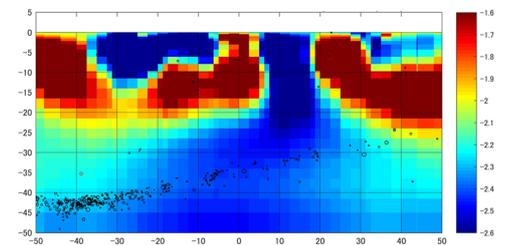


図 6. 3 次元解析によって推定された比抵抗構造断面図。黒点はプレート境界周辺の地震活動。

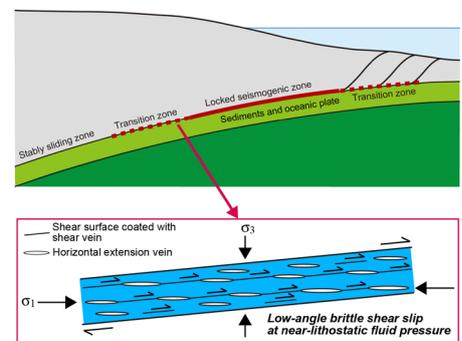


図 7. 静岩圧に近い間隙水圧下での低角逆断層剪断破壊に関する地質学的描像。

B02 公募(1) 付加体構成岩石の温度上昇に応じた摩擦特性変化：摩擦実験により、付加体構成岩石は温度上昇に伴って摩擦の速度依存性が正から負に遷移し、遷移する温度は構成岩石により異なることが明らかとなった。このことは、同一温度でも断層帯を構成する岩石によって地震性～非地震性の多様な断層運動が起こることを示唆する。

研究項目 C01 地球科学的モデル構築

C01 計画(1) スロー地震諸現象の時間空間的な関連性の解明

(A01、A02 との共同研究を含む)：南海トラフ（紀伊半島沖、豊後水道）の重点領域を中心に、各種スロー地震のカタログを作成する一方で、ブラウン運動モデルや摩擦不均質線断層モデルなどの各種モデルの開発改良を行った。

C01 計画(2) 巨大地震を含むプレート運動システムの予測可能性の検討：岩石実験や巨大地震のデータ分析によって、前震や余効滑りを含めてスロー地震と巨大地震の関係を定量化した。一般的に巨大地震前の前震存在確率を定量化し、30-40%という値を得た。

C01 計画(3)、公募(1) 現実的プレート運動システムにおけるモデル化 (A02 との共同研究を含む)：南海、カスケード [図9]、ニュージーランド等を対象とし、沈み込みプレート形状、流れ場、温度場、含水量分布、含水鉱物の相転移、潮汐の効果を取り入れた現実的モデルを開発、スロー地震の発生様式の時間空間的な多様性を説明することに成功した。

研究項目 C02 非平衡物理・非線形動力学

C02 計画(1) 弾性体・粘弾性流体を用いた摩擦・変形実験：加工された凸凹をゲル表面に多数配置することで、断層の複雑形状を模擬した摩擦実験系を構築した。その結果、摩擦力の安定性を決める「動摩擦力の滑り速度依存性」が凸凹の突起部の曲率半径に依存することを発見した。曲率半径が大きくなると摩擦面はより不安定化する。この結果は、地球科学にとどまらず工学的な応用なども可能である(Yamaguchi et al., 2017, JpGU)。

C02 計画(2) 経験的構成法則の物質科学的基礎とスケーリング特性：室内岩石実験で得られている経験的摩擦法則の理論的導出を行い、法則に含まれる固有長さ定数のスケーリング特性を解明した。加えて、摩擦面の状態の時間発展法則についても理論的な導出を可能にし、従来知られている経験則が依拠する物理的条件も明らかにした(Hatano, 2017, JpGU)。

C02 計画(3) 統一の数理モデル：プレート境界の滑りを、応力と滑りに依存して温度・流体圧・空隙率が変化するフィードバック系として捉えたモデル化を行い、非線形偏微分方程式系として定式化した。この方程式中では共通のヌルラインが現れることを発見し[図10]、その特性を考察することで、初期滑り速度と最終滑り量の間に臨界指数 1/2 が成立し、この値が空隙発展則の詳細には依存しないことを見出した(Suzuki, 2017, PRE)。

C02 公募(1) 粉体の非線形剛性率：高密度の粉体系では、微小ひずみ領域での応力ひずみ関係の線形関係が破れる。この非線形性をせん断によるネットワーク崩壊と粒子間摩擦力の变化というミクロスケールの物性変化と結びつけた(Otsuki et al., 2017, PRE)。

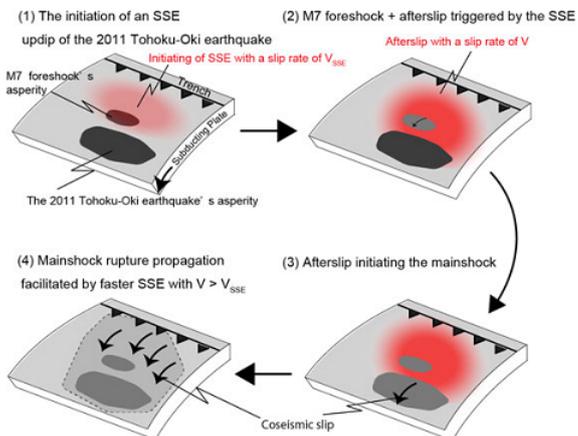


図8. スロースリップから2011年東北地方太平洋沖地震に至る破壊モデル。

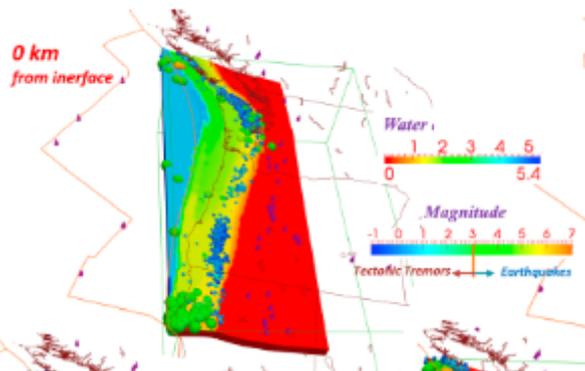


図9. カスケードの3次元プレート運動モデル。

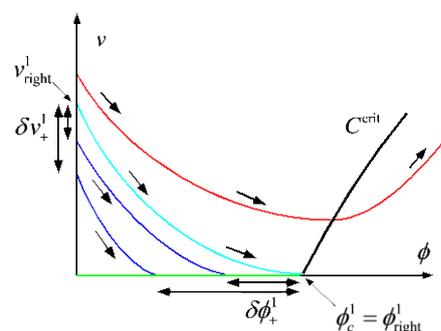


図10. 滑りを表す非線形偏微分方程式系の定性的挙動。横軸は空隙率、縦軸はすべり速度。

5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したもののについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください。）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

総括班（査読有 1 篇）

◎▲Development of a Slow Earthquake Database, *M. Kano, N. Aso, T. Matsuzawa, S. Ide, S. Annoura, R. Arai, S. Baba, M. Bostock, K. Chao, K. Heki, S. Itaba, Y. Ito, N. Kamaya, T. Maeda, J. Maury, M. Nakamura, T. Nishimura, K. Obana, K. Ohta, N. Poiata, B. Rousset, H. Sugioka, R. Takagi, T. Takahashi, A. Takeo, Y. Tu, N. Uchida, Y. Yamashita, and K. Obara, *Seismological Research Letters*, 2018, accepted. 査読有

計画研究 A01（査読有 23 篇、査読無 1 篇）

- ◎▲Strength of tremor patches along deep transition zone of a megathrust, *Kano, M., A. Kato, R. Ando, and K. Obara, *Scientific Reports*, 8, 3655, 2018. 査読有
- ▲Migration of deep low frequency tremor triggered by teleseismic earthquakes in the southwest Japan subduction zone, *R. Kurihara, K. Obara and A. Takeo, *T. Maeda*, *Geophysical Research Letters*, 45, 3413-3419, 2018. 査読有
- ◎▲Temporal Activity Modulation of Deep Very Low Frequency Earthquakes in Shikoku, Southwest Japan, *Baba, S., A. Takeo, K. Obara, A. Kato, T. Maeda, and T. Matsuzawa, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 733-738, 2018. 査読有
- ▲Multiband array detection and location of seismic sources recorded by dense seismic networks, *N. Poiata, C. Satriano and J.P. Vilotte, P. Berbnard, K. Obara, *Geophysical Journal International*, 205, 1548-1573, 2018. 査読有
- ▲Tidal sensitivity of shallow very low frequency earthquakes in the Ryukyu Trench, *Nakamura, M., and K. Kakazu, *J. Geophys. Res.*, 122, 1221-1238, 2017. 査読有
- ▲Distribution of low-frequency earthquakes accompanying the very low frequency earthquakes along the Ryukyu Trench, *Nakamura, M., *Earth, Planets and Space*, 69, 49, 2017. 査読有
- ▲Tidal sensitivity of shallow very low frequency earthquakes in the Ryukyu Trench, *Nakamura, M. and K. Kakazu, *Journal of Geophysical Research*, 122, 1221-1238, 2017. 査読有
- ◎Hidden Markov modelling of sparse time series from non-volcanic tremor observations, *Wang, T., J. Zhuang, K. Obara, and H. Tsuruoka, *Royal Statistical Society*, 66, 691-715, 2016. 査読有

計画研究 A02（査読有 10 篇、査読無 1 篇）

- ◎▲Temporal gravity anomalies observed in the Tokai area and a possible relationship with slow slips, *Tanaka, Y., T. Suzuki, Y. Imanishi, S. Okubo, X. Zhang, M. Ando, A. Watanabe, M. Saka, C. Kato, S. Oomori, Y. Hiraoka, *Earth Planets Space*, 70:25, 2018. 査読有
- ◎重力観測点におけるルビジウム発振器の周波数測定, *望月一磨・名和一成・鈴山智也, *測地学会誌*, 63(3), 187-191, 2018. 査読有
- ◎▲Two long-term slow slip events around Tokyo Bay found by GNSS observation during 1996-2011, *Tanaka, Y. and S. Yabe, *Earth Planets Space*, 69:43, 2017. 査読有

Transient rheology of the oceanic asthenosphere following the 2012 Indian Ocean Earthquake inferred from geodetic data, *Cecep, P., T. Ito, R. Sasajima, T. Tabei, F. Kimata, E. Gunawan, Y. Ohta, T. Yamashina, N. Ismail, I. Nurdin, D. Sugiyanto, U. Muksin, and I. Meilano, *J. Asian Earth Sci.*, 147, 50-59, 2017. 査読有

▲傾斜データを用いたスロースリップイベントのすべりのインバージョン, *田村和華子, 木村武志, 廣瀬仁, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 21, 16-26, 2017. 査読無

Asthenosphere rheology inferred from observations of the 2012 Indian Ocean earthquake, *Hu, Y., R. Burgmann, P. Banerjee, L. Feng, E. M. Hill, T. Ito, T. Tabei, and K. Wang, *Nature*, 538, 368-372, 2016. 査読有

◎Earthquake potential revealed by tidal influence on earthquake size-frequency statistics, *Ide, S., S. Yabe, and Y. Tanaka, *Nature Geosci.*, 9(11), 834-837, 2016. 査読有

GNSS 観測による豊後水道周辺でのプレート間すべりの分解能, *竹内里紗, 廣瀬仁, 松島健, 田部井隆雄, 西村卓也, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 20, 9-17, 2016. 査読有

計画研究 B01 (査読有 19 篇、査読無 0 篇)

◎▲Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip, *Nakajima, J., and N. Uchida, *Nat. Geosci.*, **11**, 351-356, 2018. 査読有

◎▲Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Bürgmann, *Geophys. Res. Lett.*, 44(8), 3580-3590, 2017. 査読有

▲Dissimilar receiver functions observed at very close stations in the Kii Peninsula, central Japan: features and causes, *Shiomi, K., *Earth, Planets and Space*, 69, 48, 2017. 査読有

◎Uplift of the Central Transantarctic Mountains, *Wannamaker, P.E., G. Hill, J. Stodt, V. Maris, Y. Ogawa, K. Selway, G. Boren, E.A. Bertrand, D. Uhlmann, B. Ayling, A.M. Green, and D. Feucht, *Nat. Comm.*, 8:1588, 2017. 査読有

▲沈み込み帯におけるプレート境界面の不均質と地震活動 —日本海溝およびヒクランギ沈み込み帯を例として—, *望月公廣, *地学雑誌*, 126, 207-221, 2017. 査読有

◎▲Tremor activity inhibited by well-drained conditions above a megathrust, *Nakajima, J., and A. Hasegawa, *Nat. Commun.*, 7:13863, 2016. 査読有

◎Slow slip near the trench at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, *Wallace, L., S.C. Webb, Y. Ito, K. Mochizuki, R. Hino, S. Henrys, S.R. Schwartz, and A.F. Sheehan, *Science*, **352**, 701-704, 2016. 査読有

◎Variation in high-frequency wave radiation from small repeating earthquakes as revealed by cross-spectral analysis, *Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsushima, T. Kono, S. Hirahara, and T. Nakayama, *Geophysical Journal International*, 207, 1030-1048, 2016. 査読有

計画研究 B02 (査読有 52 篇、査読無 0 篇)

▲An explanation of episodic tremor and slow slip constrained by crack-seal veins and viscous shear in subduction mélange, *Ujije, K., H. Saishu, A. Fagereng, N. Nishiyama, M. Otsubo, H. Masuyama, and H. Kagi, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 2018. 査読有

▲Effects of humidity and interlayer cations on the frictional strength of montmorillonite, *Testsuka, H., I. Katayama, H. Sakuma, and K. Tamura, *Earth, Planets and Space*, 70:56, 2018. 査読有

▲Geological studies in tsunami research since the 2011 Tohoku earthquake, *Wallis, S. R., O. Fujiwara, and K. Goto, *Geological Society, London, Special Publications*, 456, 39-54, 2018. 査読有

- ▲Detection of increased heating and estimation of coseismic shear stress from Raman spectra of carbonaceous material in pseudotachylytes, Ito, K., *K. Ujiie, and H. Kagi, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 1749–1757, 2017. 査読有
- ▲Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Ito, Y., M. J. Ikari, K. Ujiie, and A. Kopf, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8749–8756, 2017. 査読有
- Acoustic properties of deformed rocks at the Nobeoka thrust in the Shimanto Belt, Kyushu, Southwest Japan, *Hashimoto, Y., S. Abe, H. Tano, M. Hamahashi, S. Saito, G. Kimura, A. Yamaguchi, R. Fukuchi, J. Kameda, Y. Hamada, Y. Kitamura, K. Fujimoto, S. Hina, and M. Eida, *Island arc*, 26, e12198, 2017. 査読有
- Past seismic slip-to-the-trench recorded in Central America megathrust, *Vannucchi, P., E. Spagnuolo, S. Aretusini, G. Di Toro, K. Ujiie, A. Tsutsumi, and S. Nielsen, *Nature Geoscience*, 10, 935–940, 2017. 査読有
- Nucleation of frictional instability caused by fluid pressurization in subducted blueschist, *Sawai, M., A. R. Niemeijer, O. Plümer, T. Hirose, and C. J. Spiers, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 2543–2551, 2016. 査読有

計画研究 C01 (査読有 47 篇、査読無 1 篇)

- ◎▲Slow Earthquakes in the Microseism Frequency Band (0.1 – 1.0 Hz) off Kii Peninsula, Japan, *Kaneko, L., S. Ide and M. Nakano, *Geophysical Research Letters*, 45, 2018. 査読有
- ◎▲Spatiotemporal Variations in Slow Earthquakes Along the Mexican Subduction Zone, *Maury, J., S. Ide, V. M. Cruz - Atienza and V. Kostoglodov, *Journal of Geophysical Research*, 123, 1559-1575, 2018. 査読有
- ◎▲Shallow very-low-frequency earthquakes accompany slow slip events in the Nankai subduction zone, *Nakano, M., T. Hori, E. Araki, S. Kodaira and S. Ide, *Nature Communications*, 9, 2018. 査読有
- ▲Rupture preparation process controlled by surface roughness on meter-scale laboratory fault, *Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, K. Mizoguchi, H. Kawakata and S. Takizawa, *Tectonophysics – Special Issue "Physics of Earthquake Rupture Propagation"* *Tectonophysics*, 733, 193-208, 2018. 査読有
- ▲Role of multiscale heterogeneity in fault slip from quasi-static numerical simulations, *Aochi, H., and S. Ide, *Earth, Planets and Space*, 69, 94, 2017. 査読有
- ◎▲Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, *Araki, E., D.M. Saffer, A.J. Kopf, L.M. Wallace, T. Kimura, Y. Machida, S. Ide and E. Davis, *Science*, 356, 1157-1160, 2017. 査読有
- ◎▲Possible correlation between annual gravity change and shallow background seismicity rate at subduction zone by surface load, *Mitsui, Y. and K. Yamada, *Earth Planets Space*, 69 (166), 2017. 査読有
- ▲Seismogenesis of dual subduction beneath Kanto, central Japan controlled by fluid release, *Ji, Y., S. Yoshioka, V.C. Manea and M. Manea, *Scientific Reports*, 7, 2017. 査読有

計画研究 C02 (査読有 26 篇、査読無 1 篇)

- ▲Relaxation Dynamics of a Granular Pile on a Vertically Vibrating Plate, *D. Tsuji, M. Otsuki, H. Katsuragi, *Phys. Rev. Lett.*, 120, 128001, 2018. 査読有
- ▲Rheology of dilute cohesive granular gases, *S. Takada and H. Hayakawa, *Phys. Rev. E* 97, 042902, 2018. 査読有
- ▲Relationship between the size of a camphor-driven rotor and its angular velocity, *Yuki Koyano, Marian Gryciuk, Paulina Skrobanska, Maciej Malecki, Yutaka Sumino, Hiroyuki Kitahata, and Jerzy Gorecki, *Phys. Rev. E* 96, 012609, 2017. 査読有
- ▲Discontinuous change of shear modulus for frictional jammed granular materials, *Otsuki, M. and Hayakawa, H., *Phys. Rev. E*, 95, 062902, 2017. 査読有
- ▲Slip Morphology of Elastic Strips on Frictional Rigid Substrates, *T.G. Sano, T. Yamaguchi, H. Wada, *Physical review letters* 118 (17), 178001, 2017. 査読有
- ▲Emergence and seismological implications of phase transition and universality in a system with interaction between

thermal pressurization and dilatancy, *Suzuki, T., Phys. Rev. E, 96, 023005, 2017. 査読有

▲Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Tanaka, H., and T. Hatano, Euro. Phys. J. B, 90, 248, 2017. 査読有

▲Pattern of a confined chemical garden controlled by injection speed, *Shu Wagatsuma, Takuro Higashi, Yutaka Sumino, and Ayumi Achiwa, Phys. Rev. E 95, 052220, 2017. 査読有

公募研究 (査読有 18 篇、査読無 0 篇)

◎ ▲Fluid migration in a subducting viscoelastic slab, *Morishige, M. and P.E. van Keken, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 19,337-355, 2018. 査読有

招待講演 (36 件)

計画研究 A01 (7 件)

Kato, A., Episodic unlocking of fault leading up to earthquake, EARTHQUAKES: nucleation, triggering, rupture, and relationships to aseismic processes, Cargèse, Corsica (France), 2017 年 10 月 2 日

Obara, K., Monitoring of slow earthquakes –Possible connection to huge earthquakes, Symposium on French-Japanese cooperation on Disaster Risk Reduction, 日仏会館 (東京都), 2017 年 10 月 2 日

Obara, K., Meaning and prospect for science of slow earthquakes, IAG-IASPEI 2017, 神戸国際会議場 (兵庫県神戸市), 2017 年 7 月 31 日

Obara, K., Slow earthquakes as a member of subduction earthquakes, European Geosciences Union General Assembly 2017, Vienna, Austria, 2017 年 4 月 23 日

計画研究 A02 (1 件)

計画研究 B01 (3 件)

計画研究 B02 (8 件)

氏家恒太郎, プレート境界のすべりダイナミクス, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 (大阪府豊中市), 2017 年 3 月 17 日

Ujiie, K., H. Tabata, K. Ito, H. Kagi, and W. Lin, Coseismic deformation and shear stress derived from pseudotachylytes in exhumed accretionary complexes, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ (千葉県千葉市), 2017 年 5 月 24 日

計画研究 C01 (7 件)

Ide, S. Diversity and universality of slow earthquakes, カルジェース (フランス), 2017 年 10 月 4 日

計画研究 C02 (10 件)

Sumino, Y. Confined chemical garden inspected by the change of flow rate-detailed analysis and modeling of filament pattern, ブリュッセル (ベルギー), 2017 年 4 月 19-21 日

新聞・TV 等 (63 件)

計画研究 A01 (35 件)

小原一成, Slow Earthquake Are a Thing, Smithsonian.com, 2016 年 8 月 30 日

山下裕亮, シリーズMEGA CRISIS 巨大危機～脅威と闘う者たち～ 第 2 集 地震予測に挑む～次はいつどこで起きるのか～, NHK, 2016 年 9 月 11 日

中村衛, 沖縄×科学 最先端研究をのぞく「大地の”生きた姿”知る」ゆっくり地震データで検証, 琉球新報, 2017 年 4 月 28 日

計画研究 A02 (6 件)

田中愛幸, Kan een volle maan een aardbeving veroorzaken?, de Volkskrant, www.volkskrant.nl 2016年12月10日
西村卓也, 南海トラフ地震に迫る(上), 日本経済新聞, 2016年12月18日

計画研究 B01 (9 件)

望月公廣, Hikurangi tsunami warning system: Is it possible?, NZ Herald, 2018年3月7日
中島淳一, Gentle 'slow slip' earthquakes belie hidden danger, Nature Research Highlights, 2018年4月10日
中島淳一, Shaking up megathrust earthquakes with slow slip and fluid drainage, ScienceDaily, 2018年4月9日
中島淳一, プレート「ゆっくり滑り」 水が移動し地震誘発, 日本経済新聞, 2018年4月15日

計画研究 B02 (10 件)

濱田洋平, Scientists Find New Way to Measure Rock Strength Below Seafloor, Subsea World News, 2018年2月14日

計画研究 C01 (3 件)

井出哲, 大潮の前後は巨大地震の頻度高い, 朝日新聞, 2016年9月13日

計画研究 C02 (0 件)

アウトリーチ活動 (14 件)

小原一成, 「スロー地震の発見とその意義～四国から世界へ発展した奇妙な「揺れ」の研究～」, 新学術領域研究
「核-マントルの相互作用と共進化」ならびに「スロー地震学」共催一般公開講演会「物理で明かす地球の
深部、化学でひも解く地球の歴史、地震で探る日本の地下」, 愛媛大学南加記念ホール, 愛媛県松山市, 2018
年3月25日
望月公廣・伊藤喜宏, Talks Offer Opportunity To Learn From Japan, East Coast LAB, 2018年3月1日
望月公廣・伊藤喜宏, Measuring and warnings for earthquakes in Japan and New Zealand, Victoria University of Wellington,
2018年2月28日
小原一成, 新学術領域研究 「スロー地震学」— 地震現象の統一的理解をめざして, JGL, 13 (4), 5-7, 2017.

受賞 (31 件)

内田直希, 日本地球惑星科学連合 第2回地球惑星科学振興西田賞, 「小繰返し地震解析の広範な地震学への応用
に関する研究」, 2017
内田直希, 東北大学泉菰会 第12回森田記念賞, 「小繰返し地震を用いたプレート境界の非地震性すべりに関
する研究」, 2016
太田雄策, 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞, 2017
太田雄策, 新技術開発財団 第49回 市村学術賞 貢献賞, 2016
望月公廣, New Zealand Geophysics Prize, 2016
北佐枝子, 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞, 2018
市原寛, 地球電磁気・地球惑星科学会 大林奨励賞「地震・津波発生過程の解明に関する地球電磁気学的研究」,
2017
ウォリスサイモン, 日本地質学会賞, 2017
井出哲, American Geophysical Union Fellow, 2016
井出哲, 読売テクノ・フォーラム第23回ゴールドメダル賞, 2017
金子りさ, AGU2017 Outstanding Student Paper Awards (OSPAs), 2017

周知活動の一環として、米国地球物理学連合（AGU）においてスロー地震データベース構築に関する研究発表を行なった。また国内の学会や政府系委員会においてカタログの紹介を行なったとともに、データジャーナルにカタログ紹介の論文を出版した。

今後は国内外、特に海外におけるスロー地震カタログの収集を進め、データベースとしての質・量を充実させるとともに、カタログのデータベース登録手法の効率化を図り、カタログ活用・提供をともに促進させていく。

Region	LFE	Tremor	VLF	SSE	Repeater
Japan	GMA Asano2016[ECM] Asano2017[ECM] Nakamura2017[ECM-SR] Ono2017	Annoura2016 NIED Obama2009 WTD-Nepesin Yoshimoto2015 Yoshimoto2015 Matsuda2009 AIST Imanishi2016	Yoshimoto2009 Nishimura2013 Nakamura2015 Sugoku2012 Taka2010 Taka2010 Taka2010 Taka2010 AIST	Sekine2010 Tsu2017 Nishimura2013 Nishimura2014 Yoshimoto2015 Yoshimoto2015 AIST	Uchida2013
Cascadia		WTD-Cascadia			
San Andreas		WTD-Parkfield			
Mexico		WTD-Mexico		Roussel2017	
Chile		WTD-Chile			
New Zealand		WTD-NewZealand			
Taiwan		WTD-Taiwan Chao2017[TPM] Chao2017[TPM]			

Individual Policy (Roussel2017-SSE)

- Users cite the following paper when using the data downloaded from this website.
 - Roussel, B., Campillo, M., Lasserre, C., Frank, W. B., Coire, N., Wapensdorf, A., Socquet, A., & Kostoglodov, V. (2017). A geodetic matched filter search for slow slip events application to the Mexico subduction zone. J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 10498–10514. <https://doi.org/10.1002/2017JB014448>.
- Notices:
 - Period of the data is from 2005 to 2014.

3. Map View

図2. カタログの選択画面.

3. 他の大型プロジェクトとの連携

領域を取り巻く環境として、各種の基盤的地震・地殻変動観測網や、スロー地震に関連する大型プロジェクトがあり、本領域は関係する諸機関、プロジェクトとも連携をとって、国際的地球研究のリーダーシップをとることを目指している。本領域に参加している研究者の中には、メキシコで実施されている地球規模課題（SATREPS）やニュージーランド沖海底掘削計画等の大規模な国際共同研究を進めている者も多く、その人脈を生かすことで本領域の存在をアピールしている。実際、平成30年にニュージーランドで開催した「押しかけワークショップ」では第三国からの参加者もあり、これらの既存プロジェクトによる人脈を生かし、本領域に係る新たな国際共同研究が始まった。また、市民講座も行い、現地メディアに大きく取り上げられた。

4. 公募研究の役割

1年目と3年目に公募する研究によって、研究領域の裾野を広げることを目指している。1年目に採択された12課題は研究期間が平成29-30年度で、平成30年6月1日時点で研究協力者も含めて合計32名の研究者が研究に参画している。12課題は、「観測・調査・実験的研究課題」5課題と「理論的研究課題」7課題から構成され、計画班ごとの採択数は、A01班1課題、A02班4課題、B01班1課題、B02班2課題、C01班2課題、C02班3課題で、分野に偏りなく研究領域を拡充している。公募研究の進捗状況や研究成果についても、上述の「研究成果集」に収めることで、領域内で情報を共有している。

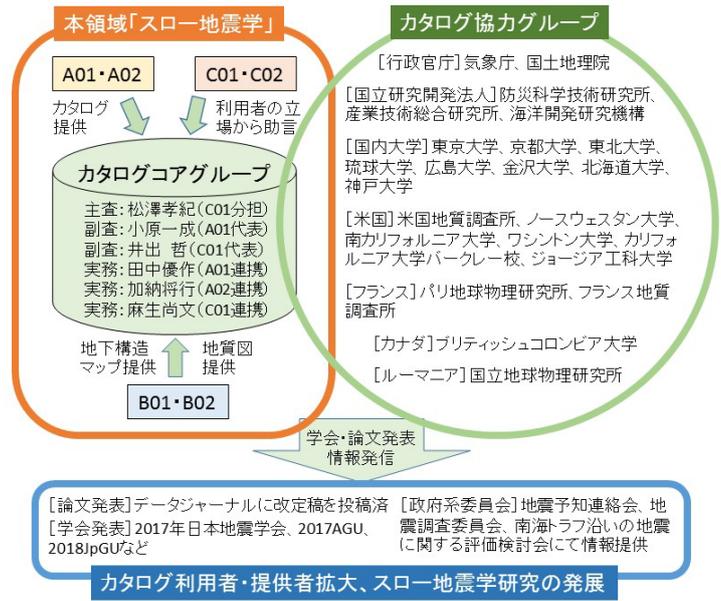
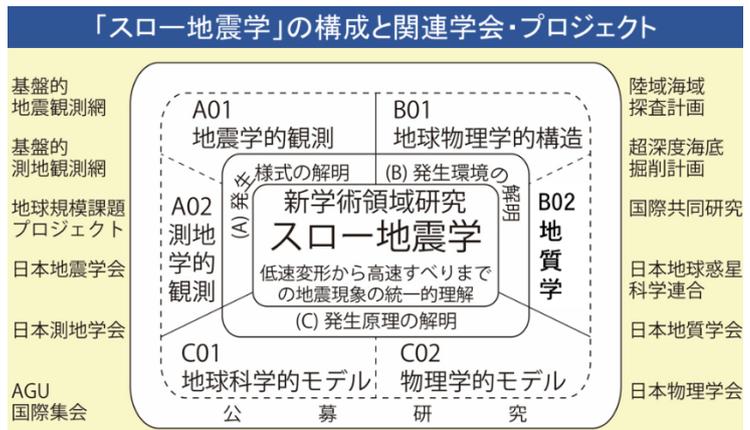


図3. カタログ班の組織構成とアクティビティ.



7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ以内）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

研究職への就職状況

・本科研費で雇用したポスト数：平成 28 年度 2 名、平成 29 年度 4 名。
・領域に關与したポスト・若手研究者の研究職への就職状況：平成 28 年度常勤 1 名・非常勤 1 名、平成 29 年度常勤 8 名・非常勤 1 名。うち、平成 29 年度雇用のポスト 2 名が他の大学の助教として、また大学助教 1 名が研究開発法人主任研究員に採用され、本領域での若手研究者育成が効果的であったことを示している。

海外短期派遣

・平成 28 年度に 1 名、29 年度に 2 名の若手研究者の海外派遣（3 週間～2 か月）を行った。

海外招聘

・長期（1-2 か月）2 名、短期（1 週間）1 名。

研究集会参加等の支援

・領域の国際研究集会において、平成 28 年度 5 名、平成 29 年度 32 名（うち海外招聘 11 名）の参加旅費の補助を行なった。平成 29 年度の集会では、タイムキーパーなどの研究会業務のため、大学院生・学部生 11 名をアルバイトとして雇用した。

・平成 29 年度ニュージーランド押しかけワークショップでは 8 名（うち大学院生 2 名）の旅費を補助した。

・JpGU2018 では、領域が出展したブースでの領域活動の紹介・説明要員として、大学院生・学部生 6 名をアルバイトとして雇用した。この取組は、他者に対する説明の仕方を現場で学ぶ機会を学生に提供し、また学生同士ならびに所属機関以外の領域研究者との研究交流を活発にする機会を与えたという点で、若手研究者育成に係る取組事例として挙げるができる。

託児システム構築

・平成 29 年度の国際研究集会（松山市）で若手研究者（特に女性研究者）の研究活動及びキャリア構築支援のため、託児システムの構築と運営、託児施設の選定、及び託児利用費用の補助を実施した（利用者 2 組）。

教育関係

・平成 29 年 10 月にフランスコルシカ島で開催された地震科学の国際サマースクールを共催し、領域の研究者が講師を務めるとともに、領域の研究協力者（大学院生）3 名の旅費を支援した。

・平成 30 年度地震学会夏の学校（9/4-6、於浜松市）を共催し、領域関係者がスロー地震関連講義を行うとともに、学部学生や大学院生が参加するための旅費を補助することになっている。

・「スロー地震学」教科書を平成 32 年度 JpGU で出版することを目指し、東大出版会と調整を開始している。

教育体制

・スロー地震を主たる研究テーマとする東大地震研地殻変動分野准教授として本領域研究分担者が採用され、さらに大学院研究科に転出した他とともに、東大地震研教授（領域代表）の研究分野として「スロー地震学」が教員任期規則に正式に明記され、スロー地震学の教育体制が一層強化された。

若手研究者受賞状況

・文部科学大臣表彰若手科学者賞 平成 30 年度 1 名（B01 研究協力者）

・地球電磁気・地球惑星科学会 大林奨励賞 平成 28 年度 1 名（B01）

・日本地震学会学生優秀発表賞 平成 28 年度 2 名（C01×2）、平成 29 年度 2 名（A01、C02）

・日本測地学会「学生による講演会優秀発表」平成 29 年度 1 名（C01）

・JpGU-AGU Joint Meeting 2017 学生優秀発表賞 8 名（B02、A02×2、C01×5）

・AGU2017 Outstanding Student Paper Awards (OSPAs) 1 名（C01）

受賞者は合計 16 名で領域内すべての班に存在し、領域全体で若手研究者育成が順調であることを示す。

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

本領域では、設備備品は各計画研究において必要に応じて導入している。総括班では主要な物品の購入は行っていないが、領域で共用する物品として、平成28年度にデータサーバを導入した。このデータサーバは、スロー地震の観測結果を領域内で共有し、観測データの標準化を行い、さらに世界へ発信することを目的とした「スロー地震データベース」を収録するために使用している。

総括班経費は、主に各計画研究班を連携させる目的で使用している。例えば、スロー地震カフェや巡検のサポートが挙げられる。領域の主要な活動の一つである国内研究集会の会議費や旅費の支援もこの経費が充てられている。なお、国内研究集会の開催に際しては、共同利用研究集会等と同時開催したり、他の海外シンポジウムと連続する日程で実施したりすることで、限られた経費の中で参加者を増やし、隣接分野との交流も深め、海外からの招待講演者の拡充を行っている。

このほか、海外への情報発信、国際共同研究推進のための海外研究者との連絡調整には、高度な語学力が必要なため、語学堪能な学術支援職員の雇用も総括班経費で行っている。

観測を行う計画研究班（A01、A02、B01）では、下記のように観測機器、得られたデータの共有を行っている。なお、いずれの班においても、利用可能な既存の観測機器・実験設備・計算機を積極的に活用し、それでは対応できない物品のみを購入している。

四国西部の深部スロー地震等のより詳細な活動を明らかにするため、A01班で広帯域地震計の購入・設置を行い、そこで得られるデータはB01班におけるプレート境界高解像度不均質構造のイメージングにも共有されている。また、南海トラフ西部域における浅部スロー地震把握のため備船を用いて海底地震計・圧力計などの観測機器の設置回収を行い、そこから得られるデータはA02班のスロースリップ解析、B01班の海域における構造調査などにも用いられる。

西南日本の各所で発生するスロースリップイベント（SSE）による地殻変動を観測し、SSEの活動様式やその地域性などを詳細に明らかにするために、A02班はGNSS受信機等の購入やその設置に係る費用を支出している。ここで得られるデータはA01班におけるスロー地震観測等と共有され、スロー地震の発生メカニズムのよりよい理解に役立てられている。

豊後水道沖合の海域及び四国西部での陸域電磁気観測のための機器をB01班が整備しつつ観測を進めることで、沈み込むプレート境界周辺の詳細な地震学的構造や水の分布が明らかになりつつある。特に、豊後水道沖合の海域電磁気は初めて行われ、平成29年度末時点で8地点における観測が継続されている。海域の2観測点では圧力計も装備しており、主にA02班とデータを共有して研究を進める。

以上の観測・解析を通じて得られるスロー地震カタログは、カタログ班によってスロー地震データベースに登録され、領域内での共同研究のみならず、領域外でのスロー地震研究推進に供される。

残りの計画班では、室内実験及び観察のための機器（B02、C02）、解析及び数値計算用サーバ（C01、C02）を導入し、地質学と非平衡物理学との本格的な融合研究のための実験的、理論的準備が完了するなど、いずれも有効に利用されている。

9. 総括班評価者による評価（2 ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

評価体制

本領域は、スロー地震を対象として地震学、測地学、地球物理学、地質学、物理学による融合研究を繰り返すことで、低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解を促進し、地震学の再構築につながるマイルストーンを築くことを目的とする。このため、古くから地震学のみならず広い分野での研究にかかわってきた鈴木貞臣（東濃地震科学研究所客員研究員、元九州大学教授）が総括班評価者として外部評価を行った。

評価コメント

全体を通しての印象

震度が小さい割には大津波を伴った低周波地震や火山周辺で発生する低周波地震・微動は既に知られていたが、非火山地域、特に海洋プレートの沈み込み帯で発生する深部低周波微動（地震）は2000年前後に日本で初めて発見され、また微動の発生とほぼ同時にスロースリップが起こっていることも観測された。その後、浅い所でも低周波微動（地震）やスロースリップが観測され、さらに沈み込み帯のみならず世界各地の色々な場所で同様の現象が見つかっている。これらの現象を総称してスロー地震と呼んでいるが、今、世界の研究を俯瞰すると、スロー地震の発見の現象論的段階が過ぎ、理解の本質論的段階へと進もうとしている。特に、2011年東北沖地震が単純な弾性論では説明できない非弾性的現象を表し、巨大地震を含む通常の地震とスロー地震とをどのように理解していくかは極めて重要な研究課題である。本領域研究はそのマイルストーンとなることを目指している。スロー地震の発見の段階においては、日本は世界を主導する立場にあったが、本領域研究は、理解の本質論的段階においてもリーダーシップを執り続けることを目標としている。本領域研究により得られたこれまでの研究成果はどの班においても高い国際水準を有しており、領域の研究集会には各分野で国際的に著名な研究者が数多く参加している。海外で行われたアウトリーチ活動や若手研究者の育成活動も、領域の研究活動が国際的に高い水準にあることを示している。このような状況から判断すると、当初の目的が予定を上回るスピードで達成されているといえる。また、従来の地震学に地質学、物理学といった異分野を融合させるという挑戦的な試みについては、各班の協力と工夫のもとに具体的になされている。領域研究が始まって間もないにもかかわらず、共同研究が開始され、すでに融合研究の成果で論文になっているものもある。今後もスロー地震研究のさらなる成果が期待できる。

総括班・国際活動支援班について

総括班は、6つの計画班の連携を促すために、研究集会の開催、学会でのセッション立案を初めとする種々の取り組みを活発に行っている。特に、毎年国内で開催する国際研究集会では、東大地震研、京大防災研の共同利用制度を活用し、隣接分野の研究集会と合同で開催することで、効率的に研究コミュニティの拡大を行っている。また、総括班の活動の具体的な成果として、複数の計画研究班の協力で構築された「スロー地震データベース」が、平成29年度に世界へ向けて公開されている。これは、観測データの標準化も含めて、日本が世界の期待に応えてスロー地震研究をリードしていることを表している。若手研究者の海外派遣、招聘、研究集会参加の支援が積極的に行われており、すべての計画研究班で若手研究者が受賞している。

国内研究集会、日本地球惑星科学連合大会、スロー地震カフェにおいて、計画研究班のそれぞれの分野の第一線で活躍している著名研究者を招聘している。また、国際地震学会夏の学校を共同開催し講師や学生を派遣した。ニュージーランドで開催した押しかけワークショップで海外市民講座を実施するといった事例は、教育、アウトリーチの具体的な成果であり、日本の地震研究の水準の高さを示している。

地質学、物理学を担当する計画研究班（B02、C02）と協力し、審査結果の留意事項に挙げられていた、地質学、物理学とより深く連携するための工夫、仕組み作りを実施している。当初計画にはなかったスロー地震カフェや、「百聞は一見にしかず」で、異分野の研究者をスロー地震の発生域へ招待する地質巡検、合宿式の小研

究集会など、刺激的で、かつ交流を深める仕組みも定着してきている。地質学、物理学とそれ以外の班との共同研究が一部で開始され、すでに論文となっているものもある。特に、物理学者を巻き込んだ地震研究が実現するのは画期的なことである。研究期間が開始して間もないが、すでに物理学会でのスロー地震関連シンポジウムの開催や、物理班と他班の共著による論文も出版されており、今後の成果が期待される。

各計画研究について

A01 地震観測

計画が当初を上回るペースで進んでいる。スロー地震の発生原理に関わる詳細な摩擦特性や応力や流体の拡散現象が明らかになってきた。また、スロー地震データベースの活用により、広範囲にわたるスロー地震間の相互作用の存在が確かめられたことは、巨大地震震源域に対する影響を評価する際、重要な知見となる。

A02 測地観測

スロー地震や通常地震の発生ポテンシャルの評価に必要な、スロースリップイベント (SSE) の検出方法の高度化やデータベースの作成が行われ、A01 班で得られる各種スロー地震の活動との比較が進められている。さらに、水の動きを解明するための重力観測において C02 班と共同研究が実施され、本計画研究の主目標の一つがすでに達成されている。今後の成果が期待される。

B01 地球物理学的構造調査

プレート境界深部での水の分布を把握するための観測と解析の高度化が行われ、プレート境界の非排水性による高間隙水圧がスロー地震の発生要因であるとの新しいモデルが提案された。そのような成果を踏まえ、ニュージーランドでの国際共同研究では、海域観測データの解析、陸域電磁気観測が進められている。さらに、スロースリップ発生に伴う水の動きをとらえたと考えられる重要な結果が得られている。このように観測網の構築に加え新たなモデルの提案や重要な知見の獲得など、目覚ましい進展がみられ、当初を上回るペースで計画が進んでいる。今後のさらなる成果が期待される。

B02 地質

B01 で指摘されているスロー地震発生と岩石中の水との係りは重要で、地震発生域の物質の挙動を探るため、高温・高圧・高間隙水圧条件下で摩擦実験が可能な装置の開発に努めている。既に高速すべり・高間隙水圧下での断層物質の透水性変化を評価できる装置、大変位・間隙水圧下で摩擦実験が可能な装置が完成し、今後の本格的な実験体制が整った。既存の装置を用いた研究成果も合わせ、結果はすでに国際誌に公表されている。C01 班との共同研究が開始されており、今後の融合研究の成果が期待される。

C01 地球科学的モデル構築

研究計画が当初を上回るペースで進んでいる。例えば、スロー地震諸現象の時空間的な関連性の解明が進んだ。これらの成果は主要な学術会議において講演され、高く評価されている。また公表された論文に国際共著も多い。C02 物理班との共同研究集会や、B02 班主催の地質巡検へ積極的に参加し、領域内の共同研究の計画も進めている。2018 年のアジア・オセアニア地球科学会議では、本計画研究が主体となって世界の研究者を集めて学術セッションを運営している。今後の研究も大いに期待される。

C02 非平衡物理・非線形動力学

弾性体・粘性流体を用いた摩擦・変形実験を行い、様々な地震サイクル挙動を再現できることを発見した。これら室内実験を用いて低速、高速破壊の再現に成功するとともに、実験結果を実際の地球に適用するための理論が構築され、スロー地震と通常の地震を統一的に記述する数理モデルが得られつつある。他班との共同研究が開始されており、今後の融合研究が期待される。

結論： 本領域研究が、全体を通して当初の計画を着実に実行し、成果を上げつつあり、組織全体に勢いが感じられる。よって今後もスロー地震の研究を大いに進めることを期待する。

10. 今後の研究領域の推進方策（2ページ以内）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

1. 物理学と地震学・地質学の連携の推進

物理との融合方策

異分野融合のために設けた仕組み（研究会における共同研究マッチング・スロー地震カフェ・合宿形式による地質巡検・物理班交流セミナー）はこれまでうまく機能しており、徐々に成果が出始めている。今後もこれら4つの企画を柱として、細部には随時改良を加えつつ異分野融合のための仕組みを充実させる。中でも共同研究マッチングは、各班代表者と総括班メンバーが「仲人」となる点でトップダウンとボトムアップの中間的な仕組みとして効果的に機能しており、今後重点的に推進する。

学際連携で世界をリードする

本領域を特徴付けている異分野間連携を国際的に打ち出していくことも今後の方策の柱である。当然だが、諸外国においても異分野間の垣根は決して低くはない。地震学と物理学の連携はイタリアなどの地震国かつ先進国においてすら盛んではなく、ほとんどの場合は全く没交渉である。本領域のような、物理学と地震学・地質学の緊密な連携は国際的に見ても稀であり、その点において今後の国際的な模範となりうるものである。したがって本領域での成果を国際的にアピールし、世界における地震研究の学際的な進展に日本が指導的役割を果たすことは本領域の重要な意義となる。その観点から、物理班はこれまで国際事業へ積極的に参加してきた。その一つの成果として、フランスにおける地震研究者と物理研究者の学際的共同研究をリードするプロジェクトが立ち上がっている。今後はフランスにおけるこの学際交流を強化すると同時に、この流れをフランスだけでなく他国へと展開していきたい。現時点では、日本・インド間において同様の学際的連携プロジェクトが立ち上がりつつある。

物理学会英文誌スロー地震特集号

日本物理学会が編集・刊行する英文誌である「Journal of Physical Society of Japan」の特集号企画の招待を受けている。この企画では本領域のメンバーを中心に海外の執筆陣も加えて平成31～32年度の刊行を目処にしており、本領域の学際的成果をまとめた形で世界に発信できる貴重な機会として活用する。物理学の雑誌に地震学の特集号が出ることは珍しいことで、本領域の学際的側面をよく象徴するものであろう。読者としては物理学者だけでなく、研究成果が一冊にまとまることで、今後スロー地震に興味を持つ全ての分野の研究者が参照できる良い教科書として活用されることを目指す。

2. カタログ班の活動

既にスロー地震データベース構築に関する論文が査読付国際誌に出版されたところであり、これを機に更に国内外に宣伝し、特に海外におけるスロー地震カタログの収集を進め、データベースとしての質・量を充実させる。さらに、カタログのデータベース登録手法の効率化を図り、カタログ活用・提供に関する利便性を向上させる。これらの活動を通じて、スロー地震データベースの国際的認知度を高め、これを利用した研究を推進するとともに、スロー地震カタログの国際標準フォーマットの周知を図り、スロー地震学の国際的発展に貢献する。

3. 国際活動の推進方策

大規模国際研究集会と押しかけワークショップを成功させるための工夫

領域の国際研究集会は採択時の平成 28 年度から毎年開催している。研究期間の 3 年目、5 年目となる平成 30 年度、32 年度の集会は、10～20 人規模の海外研究者を招聘し、国際研究交流を大規模に行なう。平成 30 年度集会は福岡県福岡市で実施するが、他の関連した国際会議と予め日程調整を行い、著名な研究者の参加が可能となるようにしている。具体的には、大規模国際研究集会の直後に、ACES (APEC Cooperation for Earthquake Simulation) (9/25-28) と東京大学の日本チリ・メキシコ学術フォーラム (9/24-28) が予定されており、それと関連付けて海外研究者の招聘を計画している。メキシコでは二国間プロジェクトである地球規模課題 (SATREPS) が実施されているが、日本側の代表者である伊藤は領域の国際班メンバーに入っており、本研究集会を通して同課題の研究者との連携もより強化される。

他の大きな活動として、平成 31 年度に海外で実施する小研究集会「押しかけワークショップ」がある。ワークショップはチリでの開催を予定しており、多くの研究者を派遣することで、より積極的な研究交流を行うことを計画している。ワークショップを成功に導くための人脈作りとして、東京大学チリ学術フォーラムへ、平成 28 年度の時点ですでに国際集会総括の井出が参加し、カウンターパートとの連携を強化しており、さらに、平成 30 年度に実施する上記の大規模国際研究集会へもカウンターパートの研究者を招待する。

押しかけワークショップを契機とした共同研究の推進

平成 29 年にニュージーランドで実施した第 1 回押しかけワークショップでは、領域研究者が参加している国際プロジェクトと連携することで、日本・ニュージーランド以外の研究者も参加するなど、本領域の研究を世界的にアピールし、国際的な研究交流を深める点で大きな成功を収めた。ここで深まった交流をもとに、より多くの共同研究に発展させていくためのフォローアップを実施していく。

平成 31 年度の押しかけワークショップでも、同様のフォローアップを実施する。ニュージーランド、メキシコに連なる第三の国際プロジェクト連携を開始するため、現地のプロジェクトと合同で研究集会を開催することを予定している。

4. 問題点と対応策

平成 29 年度の国際研究集会には、比較的小規模の研究集会を予定していたにもかかわらず、講演数が 100 件を越え、当初見込みの倍以上もの研究者が参加した。本領域採択時の査定に伴う国際研究集会の招聘経費削減のため、予算的にはこれ以上の参加者の増加は不可能である。このため、科研費以外の枠組みと連携するなど、より実り多い国際研究集会を開催できるよう取り組んでいる。具体的には、平成 30 年度の大規模国際研究集会において招聘経費を確保するため、平成 28 年度、29 年度と同様に東大地震研と京大防災研の共同利用制度の枠組みにおいて研究集会の企画申請を行なったほか、地震・火山噴火予知研究協議会における国際シンポジウム支援制度にも申請し、いずれの申請も採択されたことで、ある程度の数の海外研究者招聘が可能となっている。