

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06472

研究課題名（和文）スロー地震学

研究課題名（英文）Science of slow earthquakes

研究代表者

小原 一成（Obara, Kazushige）

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：40462501

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,000,000円

研究成果の概要（和文）：これまで観測が困難でギャップとされていた海域や脈動ノイズと重なる周波数帯域において新たなスロー地震の発見に成功し、スロー地震は、プレート境界固着域の浅部や深部を問わず、低周波微動帯域からスロースリップイベント帯域まで広がる「超広帯域現象」であり、その発生には「不均質」及び「水」が重要な役割を果たす、という基本的理解に達した。また、地質学との連携により、スロー地震の地質学の実態に迫ることが可能になったとともに、スロー地震の様々な特徴を説明するためのモデル化が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スロー地震と巨大地震との関連性については、スロー地震の広域な移動による固着域に対する応力载荷の可能性やスロー地震発生時における固着域底部での固着の剥がれの発見など、新たにいくつかの重要な知見が得られた。国は2019年よりこれまでの東海地震予知体制から南海トラフ巨大地震の発生可能性に関する臨時情報を発出する体制へと転換し、その情報発出における評価項目にスロー地震が加えられたことは、本領域の研究成果が国の防災行政に貢献したものである。

研究成果の概要（英文）：We succeeded in discovering a new type of slow earthquakes in the offshore area, which was difficult to observe until now, and in the frequency band that overlaps with microseism noise. We have reached the basic understanding that the slow earthquake is an "ultra-broad band phenomenon" that extends from the band of low frequency tremor to the band of slow slip event, and that "inhomogeneity" and "water" play important roles in its occurrence. In addition, in collaboration with geology, the geological reality of slow earthquakes has been clarified, and modeling has progressed to explain various characteristics of slow earthquakes.

研究分野：地震波モニタリング・スロー地震学

キーワード：スロー地震 低周波微動 超低周波地震 スロースリップイベント 小繰り返し地震 沈み込み帯

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

20 世紀末から日本に展開されている世界最先端の地殻変動・地震観測網によって、次々と奇妙な現象が見つかった。1999 年にプレート境界のゆっくりとしたすべりである「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である「深部低周波微動」が発見された。これらの現象はその後も頻繁に発生し、その発生源は過去の巨大地震の震源域を取り囲んでいる。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) で相次いで発見された。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。スロー地震は普通の地震と同様のメカニズムを有するプレート境界のすべり運動であるが、そのスケール法則は普通の地震とかなり異なる。一方、2011 年東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震は、あれほどの巨大地震を想定できていなかった地震学の未熟さを露呈させ、地震研究者たちは、地震発生の物理プロセスを十分に理解できていなかったことを痛感させられた。その理解できていない大きな要因がスロー地震なのであろう。巨大地震発生域の周辺でスロー地震が頻発し、地震発生場を絶えず変え続けている。もしかしたら、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タイプのスロー地震であるのかもしれない。

本研究領域が開始される当時、スロー地震研究は「発見の時代」から、「理解の時代」を迎えつつあり、従来のアプローチのみでは限界が近い状況であった。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り、また非平衡物理学・非線形動力学の一分野として普通の地震とスロー地震の関係が注目され始めていた。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。そこで、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非平衡物理学までの異分野を結びつける枠組みを提供し、スロー地震に関するより徹底した理解をもとに、低速変形を解明することにより、最終的には、高速すべりまで含めた地震現象を統一的に理解し地震研究そのものの再構築を目指すまでを、本研究領域の全体構想とした。

2. 研究の目的

近年、国内で奇妙な現象である「スロー地震」が相次いで発見され、その後世界各地で同様な現象が発見された。スロー地震は普通の地震とかなり異なり、また巨大地震の発生地域を取り囲むように起こることが多い。一方で 2011 年の東北地方太平洋沖地震の発生は、地震発生の物理プロセスがまだ十分に理解できていないことを明白にした。スロー地震のような低速変形から巨大地震の高速すべりまで統一的な理解し、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。

そのために本領域研究は従来の地球物理学的アプローチに加えて、物質科学や非平衡統計物理学のアプローチも採用する。スロー地震というターゲットに物質科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。より具体的な目標として、本領域研究では、スロー地震の (A) 発生様式、(B) 発生環境、(C) 発生原理の解明を挙げる。

総括班は、本領域研究のすべての計画研究が円滑に遂行されるようにマネジメントを行うことを目的とする。また領域外他プロジェクトや国外の研究者との連絡調整を行い、領域の研究成果の充実を図る。スロー地震の社会的な認知度はまだ低いと見られるため、総括班として広報活動を積極的に行う。その中では、スロー地震の実態だけでなく、一般的な地震関連現象の予測可能性についても広く知識の普及をはかる。

3. 研究の方法

総括班においては、領域内のすべての研究活動の調和と流れが機能するよう、領域全体の活動を調整し、各計画研究および公募研究の進捗状態を常時点検するとともに、各研究項目の研究結果を取りまとめ、「低速変形から高速すべりまでの総合的理解」という本領域の目的達成を強くリードするために、以下の方法で領域内において各事業を実施する。

・総括班、国際活動支援班、各計画研究の参加者との連絡調整を行う。他の関連プロジェクトの研究者、および海外のスロー地震研究者に対する連絡を行う。適宜総括班会議を開催する。ウェブページ、メーリングリストなどを整備、管理する。

・毎年、国内において国際研究集会を企画、開催する。領域全体および各計画研究の状況を把握するとともに、領域内の議論や共同研究を活性化させる。領域における研究成果や研究集会等の活動の紹介を中心とするニュースレターを出版し、領域の内外に送付する。総括班主導でウェブ等を用いた広報活動を展開するとともに、学会や所属機関を通じた広報活動、アウトリーチを活発に展開し、広く内外にスロー地震についての情報を普及させる。

- ・公募研究の募集要項の作成に関わり、採択された公募研究が領域内の既存の各計画研究と調和的に成果を挙げられるように連絡調整を行う。
- ・日本地球惑星科学連合大会、日本地震学会、日本地質学会、日本物理学会、米国地球物理学会などの学会におけるセッション、シンポジウムの計画を立てる。これらのセッション、シンポジウムを軸として、各学会においてもスロー地震に関する議論を活発化させる。

4. 研究成果

本領域は、スロー地震が2000年前後に発見されから約15年が経過し、多様なスロー地震の存在が明らかとなり、巨大地震との関連性が指摘されてきた段階において、スロー地震に関する理解を一層深める目的で、スロー地震研究の先駆者・世界的第一人者たちを中心に開始された。特に、地質学や非平衡物理学などとの異分野連携に基づいてスロー地震に関する新たな理解を得ること、及び、我が国のスロー地震研究における国際的卓越性をさらに強化し、世界的にこの研究分野をけん引する立場を明確にしつつ、併せて国際的な視野を備えた若手研究者を育成することも含めて、領域研究を進めた。

その結果、これまで観測が困難でギャップとされていた海域や脈動ノイズと重なる周波数帯域において新たなスロー地震の発見に成功し、スロー地震は、プレート境界固着域の浅部や深部を問わず、低周波微動帯域からスロースリップイベント帯域まで広がる「超広帯域現象」であり、その発生には「不均質」及び「水」が重要な役割を果たす、という基本的理解に達した。これは、本領域における海陸における観測網の展開や解析手法の高度化によるものであるとともに、付加体・変成岩露頭の地質学的観察による「レオロジー不均質性」及び「水がもたらす変形」に基づいて、非平衡物理学的モデルによるスローな現象の再現や、スロー地震発生様式の系統的遷移性を説明する地球物理学的モデル化に成功したこと、さらに、海陸における地震学および電磁気学的構造探査や地質学的調査・実験により、スロー地震発生域における「水」の存在を明らかにしたことなど、本領域のすべての計画研究による成果を総合して得られたものである。

また、スロー地震と巨大地震との関連性については、スロー地震の広域な移動による固着域に対する応力載荷の可能性やスロー地震発生時における固着域底部での固着の剥がれの発見など、新たにいくつかの重要な知見が得られた。国は2019年よりこれまでの東海地震予知体制から南海トラフ巨大地震の発生可能性に関する臨時情報を発出する体制へと転換し、その情報発出における評価項目にスロー地震を加えており、これは、本領域の研究成果が国の防災行政に貢献したものである。

国際交流事業としては、毎年開催した年次国際研究集会に多数の海外研究者を招聘し、また領域採択期間中2回実施した海外押しかけワークショップにて多くの領域関係者を派遣するなど、国際交流を積極的に推進し、国際共同研究の基礎を確立した。さらに、若手研究者の海外派遣を積極的に実施し、本領域の採択期間中に10名に対し総計で318人日に及ぶ在外研究支援を行った。また、領域内外で構築された様々なスロー地震のカタログを共通フォーマットで利用可能なスロー地震データベースを英語で作成した。これにより、様々なスロー地震の比較が容易となり、国際的にも利用されるようになるなど、スロー地震研究の国際的な研究推進基盤を構築し、スロー地震研究の世界的な発展に大きく貢献した。

本研究領域によって、スロー地震の理解を目指した新たな分野融合連携研究体が構築され、様々な研究成果が得られた。それらの成果は、Science誌7本、Nature誌2本、Nature Geoscience誌8本、Nature Communications誌7本などの高インパクトジャーナルを含む、合計468編の原著論文を国際査読誌にて公表した（うち国際共著論文は159編）。また、国際学会における招待講演数は75回に及ぶなど、世界的に高い評価を得たことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Masayuki Kano, Naofumi Aso, et al.	4. 巻 89
2. 論文標題 Development of a Slow Earthquake Database	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 1566-1575
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1785/0220180021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 松澤 孝紀・加納 将行・田中 優作・麻生 尚文・井出 哲・小原 一成
2. 発表標題 「スロー地震データベース」の取り組み
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Kano, Naofumi Aso, et al.
2. 発表標題 Development of Slow Earthquake Database
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中優作・加納将行・麻生尚文・松澤孝紀・井出哲・小原一成
2. 発表標題 「スロー地震データベース」の構築と運用
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y.Tanaka, M.Kano, N.Aso, T.Matsuzawa, S.Ide, K.Obara
2. 発表標題 Recent Report on “Slow Earthquake Database”
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kano, M., N. Aso, S. Annoura, R. Arai, Y. Ito, N. Kamaya, J. Maury, M. Nakamura, T. Nishimura, K. Obana, H. Sugioka, R. Takagi, T. Takahashi, A. Takeo, Y. Yamashita, T. Matsuzawa, S. Ide, and K. Obara
2. 発表標題 Toward standardization of slow earthquake catalog -Development of database website-
3. 学会等名 2017 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加納将行・麻生尚文・案浦理・新井隆太・伊藤喜宏・鎌谷紀子・Julie Maury・中村衛・西村卓也・尾鼻浩一郎・杉岡裕子・高木涼太・高橋努・竹尾明子・山下裕亮・松澤孝紀・井出哲・小原一成
2. 発表標題 スロー地震カタログの標準化に向けて -データベースの整備-
3. 学会等名 日本地震学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>新学術領域研究「スロー地震学」トップページ http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/ 新学術領域研究「スロー地震学」領域概要 http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/project-overview/ 新学術領域研究「スロー地震学」総括班・国際班 http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/project-overview/international-team/ 新学術領域研究「スロー地震学」集会等トピックス http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/events-activities/ Slow Earthquake Database http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~slowneq/ ニュースレター/リーフレット http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/newsletters/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	廣瀬 仁 (Hirose Hitoshi) (00465965)	神戸大学・都市安全研究センター・准教授 (14501)	
研究分担者	波多野 恭弘 (Hatano Takahiro) (20360414)	大阪大学・理学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	氏家 恒太郎 (Ujiie Kotaro) (40359188)	筑波大学・生命環境系・准教授 (12102)	
研究分担者	望月 公廣 (Mochizuki Kimihiro) (80292861)	東京大学・地震研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	井出 哲 (Ide Saroshi) (90292713)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宮崎 真一 (Miyazaki Shinichi)		
研究協力者	田中 愛幸 (Tanaka Yoshiyuki)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鶴岡 弘 (Tsuruoka Hiroshi)		
研究協力者	竹尾 明子 (Takeo Akiko)		
研究協力者	伊藤 喜宏 (Ito Yoshihiro)		
研究協力者	小平 秀一 (Kodaira Shuichi)		
研究協力者	日野 亮太 (Hino Ryota)		
研究協力者	佐竹 健治 (Satake Kenji)		
研究協力者	木村 学 (Kimura Gaku)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計7件

国際研究集会 入口ー地震学国際合同研究集会2019	開催年 2019年～2019年
------------------------------	--------------------

国際研究集会 チリ押しかけワークショップ	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2018	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 Joint Workshop on Slow Earthquakes 2017	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 スロー地震学国際合同研究集会2020	開催年 2020年～2020年
国際研究集会 スロー地震学国際合同研究集会2021	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 ニュージーランド押しかけワークショップ	開催年 2017年～2017年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Illinois	University of Southern California	Pennsylvania State University	他1機関
英国	University of Oxford			
オーストラリア	Australian National University			
ニュージーランド	GNS Science	Victoria University of Wellington		
チリ	University of Chile			
カナダ	University of British Columbia			
フランス	BRGM	Institut de Physique du Globe de Paris	Sorbonne Paris Cite	他2機関
台湾	Academia Sinica			