

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2016～2022

課題番号：16K21728

研究課題名（和文）スロー地震学の国際展開

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） 38,100,000円

研究成果の概要（和文）：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、スロー地震に関する様々な研究成果が得られたとともに、毎年開催の国際研究集会、海外押しかけワークショップ、若手研究者海外派遣、スロー地震データベース構築など、積極的に国際活動を展開し、本研究分野における我が国の国際的リーダーシップを強化した。研究成果は、Science誌7本、Nature誌2本など、高インパクトジャーナル等に合計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）とともに、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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究領域における分野融合研究の成果として、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、スロー地震と巨大地震との関連性についていくつかの重要な知見が得られたことは、今後国が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際に必要な評価検討において、これらの知見が大きく貢献するものであると言える。

研究成果の概要（英文）：Through this research area, a new interdisciplinary collaborative research community has been established with the aim of understanding slow earthquakes, and various research results regarding slow earthquakes have been obtained. and Japan's international leadership in this research field has been strengthened by aggressive international activities such as annual international workshops, oversea self-invited workshops in some countries, construction of a slow earthquake database, and so on. As a result of our research, we have published a total of 468 original papers in international peer-reviewed journals (159 of which are international co-authored papers) in high-impact journals such as 7 papers from Science and 2 papers from Nature. The number of invited talks reached 75 times, and it was highly evaluated worldwide.

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

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

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

スロー地震は2000年頃からまず日本で、それから世界各地で発見された現象である。発見から理解まで、我が国の研究者がリードしているものの、国際的な競争も激しい。これまで類似の現象が報告されている国・地域はカナダ、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、台湾と環太平洋のほとんどを含み、今後さらに増える可能性が高い。近年世界各地に発生した津波を伴う巨大地震の影響もあり、巨大地震の発生と関連する新現象、スロー地震は、極めて高い注目を集めている。注目度の高い論文が多数公表され、学会等でも多くの講演を集めている。

国際活動の前提として、国内で世界をリードできるような総合的な研究が行われていなければならない。スロー地震の研究対象は固体地球物理学、地質学、物理学分野に広がる。総合的研究のために、まず国内の研究者間で共同研究を促進し、情報流通を円滑にする。その上で海外の研究者もカウンターパートを通じて、本研究領域に取り込む。世界各地の断片的な現象、観察事実を、日本における総合的理解と比較することで、世界のスロー地震研究のハブ的な役割を果たす。

本国際活動支援班の参加者は、これまでに研究者交流や学会での活動を通じて、幅広い国際人脈を築いてきた。本新学術領域についてもすでに多数の海外研究者に協力を呼び掛けている。これらの人脈を生かし、さらに世界各地で展開されている関連プロジェクトとの連携を取りつつ、国際的にスロー地震研究を繰り広げることで、スロー地震から巨大地震までも含む、国際的地震研究のリーダーシップをとることを目的とする。

3. 研究の方法

国際活動支援班は各計画研究代表、事務局および国際活動経験豊富な連携研究者からなり、総括班および領域全体と連絡をとりつつ以下の活動を行う。

国際支援班会議の開催：随時参加者間で打ち合わせを行う。

海外研究者の招聘：毎年海外から研究者を1月程度招聘する。

若手研究者の海外派遣：毎年若手研究者を派遣する。2名×1月程度を予定する。

国際研究集会の開催：2年目と4年目には海外小集会、3年目と5年目には大規模国際集会を開催する。

国際学術誌における特集号の刊行：国際集会後に企画する。

関連国際プロジェクトとの連携：既存プロジェクトおよび新規プロジェクトと連携を取る。
国際活動に関する広報活動：ウェブを通じて広報する。

本領域に関連して、これまでに多くの海外研究者を招聘しており、それらの研究者は本計画の招聘、派遣、国際集会等の企画に参加してもらう予定である。。

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総計18名の大学院生、研究員、助教に対し総計約400日に及ぶ在外研究支援を行った。このことは、若手研究者の育成及び国際研究交流の促進において大変効果的であったと言える。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0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Science of Slow Earthquakes http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/en/ Project Overview http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/en/project-overview/ Achievements http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/en/project-overview/Events/Activities https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/en/events-activities/2020.html Newsletters/Leaflet http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/slowneq/en/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・教授 (12601)	

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
研究分担者	井出 哲 (Ide Satoshi) (90292713)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授 (12601)	

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9件

国際研究集会 スロー地震学国際研究集会2021	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 スロー地震学国際研究集会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2019	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 チリ研究集会	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 New Zealand-Japan Joint workshop on Slow Slip	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 Slow-to-Fast地震学国際合同研究集会2022	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Slow-to-Fast Earthquake Workshop in Taiwan	開催年 2023年～2023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 Washington	University of South California	Stanford University	他16機関
チリ	University of Chile			
ニュージーランド	GNS Science	Victoria University of Wellington	University of Otago	他1機関
フランス	The Ecole Normal Suprerieure	University Grenoble Alpes	Institut de Physique du Globe de Paris	他2機関

共同研究相手国	相手方研究機関			
スイス	ETH	EPFL		
カナダ	McGill University	University of Ottawa		
メキシコ	National University of Mexico	UNAM		
台湾	Academia Sinica	国立台湾師範大学	National Cheng Kung University	他2機関
イギリス	Imperial College London	カーディフ大学		
イタリア	OGS	CINECA		
インドネシア	シアクアラ大学	バンドン工科大学		
シンガポール	Earth Observatory of Singapore	シンガポール南洋理工大學		
ルーマニア	ルーマニア国立地球物理研究所			
ドイツ	ドイツ地球科学センター (GFZ)			
ネパール	産業省鉱山地質局			
インド	Indian Institute of Technology Roorkee			
中国	China Earthquake Administration			