

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82706

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2019

課題番号：15KK0218

研究課題名（和文）海底地殻変動と海水温変動の高精度検出に向けた統合解析：高密度海域観測網の新活用（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Integrated Analysis of dense ocean observation network data toward precise estimation of seafloor crustal deformation and ocean fluctuation(Fostering Joint International Research)

研究代表者

有吉 慶介 (Ariyoshi, Keisuke)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震津波予測研究開発センター)・研究員

研究者番号：20436075

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：海溝型巨大地震が発生した後、その周辺では時間遅れを伴ってゆっくりとしたすべりが伝播し、余震が発生する要因の一つとなっている。この現象について、A.摩擦特性に基づく条件の絞り込み、B.海底地震津波観測網のデータを用いた海底地殻変動の検出、という2つの観点から国際共同研究を行った。Aとして、カリフォルニア大学バークレー校およびカリフォルニア工科大学（コートダジュール大学へ異動）との共同研究として共著で国際学術誌上で発表した。Bとして、マサチューセッツ工科大学およびロードアイランド大学と海洋変動成分の解析手法について議論すると共に、米国地質調査所およびワシントン大学との共同研究締結へと繋がった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1944年の東南海地震～1946年の南海地震や、1854年の安政地震のように30時間差で発生した事例のように、どうして時間差を伴った海溝型巨大地震が発生するのか、その時間差が異なる要因として地質的にどのような条件の違いがあるのか、について、地震・地質・海底掘削などの観点から検証できる可能性を新たに示した。これを事前に海底地殻変動として直接検知するために、海底観測網のデータから海洋変動成分をどのようにして分離するのかについて、今後の観測計画を米国研究者と話し合い、米国海洋大気庁（NOAA）をはじめ、当初予定していなかったかたちで共同研究が発展する機会となった。

研究成果の概要（英文）：Afterslip propagation process of megathrust earthquake is one of major factors about aftershocks. To investigate it as this international collaboration research, we did (A) constrain the frictional condition and (B) detect crustal deformation by using seafloor dense network for earthquake and tsunami.

(A) We have published a paper on an international scientific journal by collaborating with California University Berkeley and Cote d'Azur University (moved from California Institute of Technology).

(B) We have discussed the method to remove ocean fluctuation component by visiting to Massachusetts Institute of Technology and The University of Rhode Island, which brought another opportunity to launch another collaboration research with US Geological Survey and the University of Washington.

研究分野：地殻物理学および海洋物理学

キーワード：海溝型巨大地震 黒潮蛇行

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

基課題研究「海底地殻変動と海水温変動の高精度検出に向けた統合解析：高密度海域観測網の新活用」では、海洋変動に起因する海底圧力擾乱の定量的評価を試みるものである。一方で、過去の数値シミュレーション研究成果により、海溝型巨大地震震源域付近の固着の剥がれに伴い、スロー地震の移動速度が増大することが示されている。このことは、海洋擾乱に伴う応力場の変化によっても、余効すべりなども含めた移動速度および余震活動などに影響を与える可能性を示唆するものである。一方で、そのような応力擾乱に対する移動速度の変化に関する理論的考察は世界的に見ても実施されていない。本国際共同研究では、そのような理論的考察を実施するため、地震学の世界的権威である Roland Burgmann カリフォルニア大学バークレー校地震研究所教授と、Jean-Paul Ampuero コートダジュール大学教授との議論をすることになった。また、海底圧力計の有効活用を進めるため、Randy Watts ロードアイランド大学教授への訪問を行った。



図 1. 室戸沖に投入された圧力計(PIES)

2. 研究の目的

有効法線応力が変化した場合に、スロー地震の伝播速度がどれだけ変化するかを定量的に見積もり、海洋モデルなどを活用することによって海底圧力変化に対するスロー地震の伝播速度などに起因した地震活動の応答を明らかにする。

3. 研究の方法

沈み込みプレート境界面に速度・状態依存摩擦構成則を適用した地震サイクル数値実験を行い、構成則の近似条件を抽出した。その得られた近似解析解について、妥当性を評価するために数値実験で得られた余効すべり伝播速度を真値として、解析解との比較を定量的に行った。海底圧力計については、ロードアイランドが開発した PIES と呼ばれる観測装置のデータと室戸沖の海底ケーブル式圧力計を用いて、海面高度変化との時系列比較をすることにより、黒潮大蛇行について定量評価を行った。

4. 研究成果

摩擦構成則に基づいた、余効すべり伝播速度と摩擦パラメーターとの関係式を導出した [1]。この関係式から示唆されることとして、余効すべり伝播速度は、摩擦パラメーター b, dc に対してそれぞれ比例・反比例し、摩擦パラメーター a の逆数 ($1/a$) および有効法線応力 (σ) で規格化されたせん断応力変化 (τ/σ) に対しては指数関数的に増加することが示された。このことは、海洋擾乱が海底地震活動に影響を及ぼし得ることを示唆するものである。

地震・津波観測監視システム (DONET: Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis) に向かって上流側にある四国沖に 2004 年-2006 年に設置した海底圧力計 (PIES) データの解析では、黒潮大蛇行の形成に伴う海面高度の上昇に約 1 ヶ月遅れて海底圧力が増加することが分かった。そのような傾圧変化のモデル化として、海底地形によって蛇行が安定化されたという観点から説明した [2]。さらに、スロー地震の時空間スケールが中規模渦の海洋変動と重なることが示された [3]。

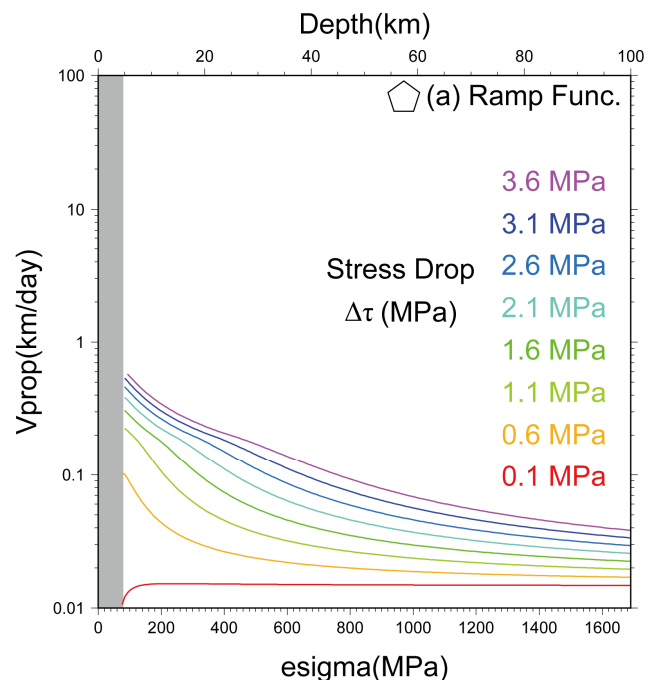


図 2. 有効法線応力 (sigma) に対する伝播速度の一例。カラーはせん断応力変化量を示す。

これらの成果は、滞在先のカリフォルニア大学バークレー校、ロードアイランド大学、マサチューセッツ工科大学をはじめとする大学のセミナーで議論した。また、応募当時にはカリフォルニア工科大学に所属していた Jean-Paul Ampuero 氏は、フランスのコートダジュール大学へ異動したことやコロナ禍の影響により、本研究での訪問滞在を断念したが、欧州地球科学連合大会 (EGU)にて Ampuero が主催するセッションへの投稿、Ampuero が招待された日本国内での国際 WS (ACES)などを通じて研究議論を行い、共著で論文をまとめることが出来た。

これらの研究活動を通じて、国際学術誌に特集号として成果をまとめた [4]。研究代表者が所属する海洋研究開発機構と米国海洋大気庁(NOAA)との MOU の中に本研究課題が反映され、米国地質調査所(USGS)およびワシントン大学(UW)との共同研究が始まるなど、当初の計画以上に日米共同研究事業が発展することになった。

参考文献

- [1] Ariyoshi, K., Ampuero, J.-P., Bürgmann, R., Matsuzawa, T., Hasegawa, A., Hino, R., Hori, T. (2019). Quantitative relationship between aseismic slip propagation speed and frictional
- [2] Nagano, A., Hasegawa, T., Matsumoto, H., Ariyoshi, K. (2018) Bottom pressure change associated with the 2004–2005 large meander of the Kuroshio south of Japan. *Ocean Dynamics* 68, 847–865. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1169-1>
- [3] K. Ariyoshi et al. (2016) "Extraction of crustal deformations and oceanic fluctuations from ocean bottom pressures," *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/OCEANS.2016.7761035.
- [4] Ariyoshi, K., Kuwano-Yoshida, A. Chi, W. (2019) Preface of "Earthquake, volcanism, and physical oceanography". *Mar Geophys Res* 40, 451. <https://doi.org/10.1007/s11001-019-09397-3>

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 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Keisuke Ariyoshi, Hiroyuki Matsumoto, Takeshi Iinuma, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Motoyuki Kido, Naoki Uchida, Toshihiro Igarashi, Yusuke Yamashita	4. 巻 2016
2. 論文標題 Extraction of crustal deformations and oceanic fluctuations from ocean bottom pressures	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/OCEANS.2016.7761035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件／うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Roland Burgmann, Jean-Paul Ampuero, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, and Takane Hori
2. 発表標題 Quantitative relationship between slow slip propagation speed and frictional properties
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Roland Burgmann, Jean-Paul Ampuero, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, Takane Hori
2. 発表標題 Quantitative relationship between slow slip propagation speed and frictional properties
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 Keisuke Ariyoshi, Roland Burgmann, Jean-Paul Ampuero, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, Takane Hori
2. 発表標題 Quantitative relationship between slow earthquake migration speed and frictional properties
3. 学会等名 AOGS 15th Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Keisuke Ariyoshi, Roland Burgmann, Jean-Paul Ampuero, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, Takane Hori
2. 発表標題	Quantitative relationship between slow earthquake migration speed and frictional properties toward application to actual fields
3. 学会等名	10th ACES (APEC Cooperation for Earthquake Science) International Workshop - Toward Comprehensive Understanding of Earthquake Physics (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Keisuke Ariyoshi, Roland Burgmann, Jean-Paul Ampuero, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, Takane Hori
2. 発表標題	Quantitative relationship between slow earthquake migration speed and frictional properties
3. 学会等名	AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	有吉 慶介、藤 亜希子、町田 祐弥、西田 周平、宮澤 泰正、美山 透、吉田 聡、内田 裕、永野 憲、長谷川 拓也、脇田 昌英、桑谷 立、青池 寛
2. 発表標題	「ちきゅう」とDONETのトータル観測ステーション計画：海底～大気の同時貫通観測
3. 学会等名	JpGU-AGU joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Keisuke Ariyoshi, Hiroyuki Matsumoto, Takeshi Iinuma, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Motoyuki Kido, Naoki Uchida, Toshihiro Igarashi, Yusuke Yamashita
2. 発表標題	Extraction of crustal deformations and oceanic fluctuations from ocean bottom pressures
3. 学会等名	Zip: Long-vs short-term deformation (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Hiroyuki Matsumoto, Takeshi Iinuma, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Motoyuki Kido, Naoki Uchida, Toshihiro Igarashi, Yusuke Yamashita
2. 発表標題 Extraction of crustal deformations and oceanic fluctuations from ocean bottom pressures
3. 学会等名 European Geoscience Union General Assembly 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Hiroyuki Matsumoto, Takeshi Iinuma, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Motoyuki Kido, Naoki Uchida, Toshihiro Igarashi, Yusuke Yamashita
2. 発表標題 Extraction of crustal deformations and oceanic fluctuations from ocean bottom pressures
3. 学会等名 OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keisuke Ariyoshi, Hiroyuki Matsumoto, Takeshi Iinuma, Akira Nagano, Takuya Hasegawa, Motoyuki Kido, Naoki Uchida, Toshihiro Igarashi, Yusuke Yamashita
2. 発表標題 Extraction of Crustal Deformation from Seafloor Hydraulic Pressure Gauges: A trial collaboration study
3. 学会等名 Workshop on Faulting and Earthquake Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keisuke ARIYOSHI, Toru MATSUZAWA, Akira HASEGAWA, Ryota HINO, Takene Hori
2. 発表標題 Characteristics of frictional properties' dependency on afterslip propagation speed
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2016
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	バーグマン ローランド (Burgmann Roland)	カリフォルニア大学バークレー校・地球惑星科学部・教授	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	レイリンガー ロバート (Reilinger Robert)	マサチューセッツ工科大学・地球惑星科学部門・主任研究員	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ワッツ ランディ (Watts Randy)	ロードアイランド大学・海洋学部・教授	