

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710212

研究課題名(和文)海溝型巨大地震の事前検知能力を高める観測点配置と対策：十勝沖・宮城沖の事後検証

研究課題名(英文)Effective observation distribution toward higher detectability of megathrust earthquakes focusing on off Tokachi and off Miyagi

研究代表者

有吉 慶介 (ARIYOSHI, Keisuke)

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研究プロジェクト・技術研究副主任

研究者番号：20436075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：東北地方太平洋沖地震を受けて、アスペリティが連動した地震や浅部ゆっくり地震を想定した数値モデル検証を行った。

(i) 複数のアスペリティが隣接し、時間差が短い場合には、地震性すべりが増幅し、前駆すべりは単独時とほとんど変わらない。(ii) 海溝付近で発生する浅部ゆっくり地震は、前駆すべりに敏感であり、巨大地震発生後には、強い固着域の縁辺部で活発化する。(iii) 浅部ゆっくり地震に伴う地殻変動は、海底圧力計で検知可能なレベルであり、リアルタイムモニタリングから前駆すべりに伴う活発化を捉えられることが期待される。

以上の結果を、国際学術論文や招待講演などを通じて発表した。

研究成果の概要(英文)：We performed numerical modeling of megathrust earthquakes with chain reaction of multiple asperities including slow earthquakes.

From this study, (i) we found that the following earthquake of a coupled earthquake is amplified for coseismic slip in case of short time delay and for pre- and post-seismic slip in case of long-time delay. (ii) We also pointed out that shallow slow earthquake is expected to be active on the outer rim of strong coupling generating megathrust earthquake. (iii) Levelling change of shallow slow earthquake may be detectable for seafloor pressure gauge by subtracting stack among observation points of the same node from original data at each point.

These results have been published in the international geoscience journals and presented for the several international meetings as invited talk.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害予測・分析・対策

キーワード：海溝型巨大地震 海底地殻変動 浅部ゆっくり地震

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、M7~M8クラスの複数のセグメントが連鎖的に破壊したと考えられており(たとえば, Lay et al., 2011; Ide et al., 2011 など), 海溝付近で大きなすべりが生じたのも津波が大規模になった原因であると考えられている(たとえば, Maeda et al., 2011 など).

一方で, 東南海地震の震源域の直上にあたる熊野灘沖において, DONET (Dense Oceanfloor Network system for Earthquake and Tsunamis) と呼ばれる, 地震・津波観測監視システムが, 2011年8月から稼働を開始し, 現在は DONET-II として南海沖にまで展開を進めている.

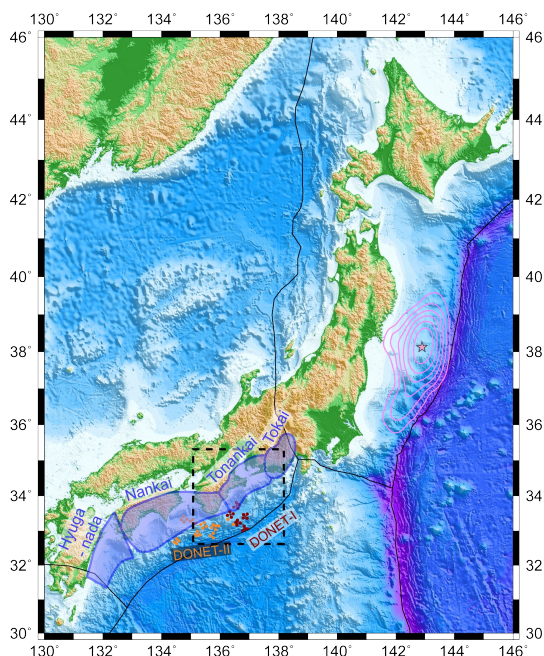


図1. 東北地方太平洋沖地震のすべり分布(桃色線)と南海トラフ沿いの海溝型巨大地震の想定震源域(青色枠). 東南海~南海沖の海底観測網(DONET-I, II)も併記した. この図は, Ariyoshi et al. (2014 MGR) による.

そこで本研究では, 東北地方太平洋沖地震と南海トラフ沿いの海溝型巨大地震に共通する, 浅部ゆっくり地震と海底ケーブル式観測網という2つの観点から考察を行い, 東北地方太平洋沖地震から見出された特徴を南海トラフ沿いに応用するかたちで進めることにした.

## 2. 研究の目的

上記で述べた経緯と状況を踏まえて, 海底観測網を含めた効果的な観測点配置を考える上で, (1) 連動して地震が発生する場合の特徴, (2) 浅部ゆっくり地震の活動とプレ

ート間固着との関係, (3) 浅部ゆっくり地震に伴う海底地殻変動の検出可能性, の3つにテーマを絞ることにした.

(1) については, 前駆すべり・地震性すべり・余効すべりのそれぞれについて, 単独地震との比較を行い, すべり量の増幅という観点から検知のしやすさを評価した.

(2) については, 近年の稠密観測網から捉えられている海溝付近の浅部ゆっくり地震の活動の時空間パターンや局所性という観点から, プレート間固着の状況を測地観測とは独立したかたちで推定する方法を見出す.

(3) については, 海底圧力計を用いた地殻変動観測データに注目し, 実際の観測データと数値シミュレーションに基づく予測変動量との定量的な比較を行い, 検出可能性について評価した.

## 3. 研究の方法

構造探査などの結果を考慮した沈み込みプレート境界面を設定し, その面上で摩擦力とプレート運動に伴うせん断応力が準静的に釣り合う条件から, 長期的な地震サイクルの数値シミュレーションを行う. ゆっくり地震については, 小アスペリティの連鎖破壊によって再現した.

ゆっくり地震と海溝型巨大地震の時空間スケールは大きく異なるため, 本研究のモデルのように両者が共存したモデルでは, 計算量が膨大となる. そこで, 地球シミュレータと呼ばれるスーパーコンピュータを利用すると共に, 断層の走行方向については, 周期境界条件を課して計算量の軽減を図った.

得られたプレート運動履歴から, 分割されたプレート境界面の小区域断層のすべり量を入力値とし, 解析解として得られているグリーン関数との積によって, 海底面での地殻変動量を算出し, 観測データと比較した.

## 4. 研究成果

浅部ゆっくり地震は, 深部ゆっくり地震よりも, 海溝型巨大地震の固着の影響を受けやすいことが示された. これは, 固着の剥がれに伴って, 発生頻度や伝播速度の増加率が相対的に大きいことを意味する. 従って, 東北沖および東南海・南海沖の海溝付近に設置された海底観測網は, 浅部ゆっくり地震の活動変化を監視する上で有用であるといえる.

浅部ゆっくり地震の活動変化は, 海溝型巨大地震の前駆的なすべりを反映したものである. その前駆すべりは, 隣接した場所で先行して発生する巨大地震との距離や時間差が短いと, 前駆すべりはあまり増幅されないが, 地震の規模は破壊領域と共に増幅される. 一方で, 距離や時間差が大きいと, 地震の規模は固有的だが, 前駆すべりや余効すべりは

増幅される。

これを南海トラフに当てはめると、東海→東南海と大地震が数日程度の時間差を伴って連動する場合、東南海地震が単独で発生するよりも、浅部ゆっくり地震の活発化が顕著になりやすい可能性があり、それに伴う地殻変動量や変化率も増大することが期待される。

海溝型巨大地震の発生後については、強い固着域の周辺では浅部ゆっくり地震が不活発となり、縁辺部では余効すべりの影響で活発化することが示された。

この結果を東北沖に当てはめると、東北地方太平洋沖地震の後における浅部ゆっくり地震の活動は、宮城沖では不活発、岩手・福島・茨城沖では活発化したことから、宮城沖付近に強い固着域があり、余効すべりは岩手・茨城沖付近にまで及んでいることが推察される。これらの結果は、測地観測とは独立して得られたものであり、海溝型巨大地震を事前に評価する上で、有用な手法になり得ると考えられる。

大規模な余効すべりの影響は、浅部ゆっくり地震だけでないと考えられる。そこで、固有地震についてもモデル化を行ったところ、非固有的な地震が発生することも数値シミュレーションから明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, T. Hori, R. Nakata, Y. Kaneda (2014), A trial derivation of seismic plate coupling by focusing on the activity of shallow slow earthquakes, *Earth, Planets and Space*, doi:10.1186/1880-5981-66-55, in press. (査読有)

有吉 慶介・松澤 暢・日野 亮太・金田 義行 (2014), 超低周波地震の活動に基づくプレート間固着の推定, *SENAC*, vol. 47, No. 1, 29-34. (査読なし)

Ariyoshi, K., R. Nakata, T. Matsuzawa, R. Hino, T. Hori, A. Hasegawa, Y. Kaneda (2014), The detectability of shallow slow earthquakes by the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET) in Tonankai district, Japan, *Marine Geophysical Research*, ISSN 0025-3235, doi: 10.1007/s11001-013-9192-6, in press. (査読有)

Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, Y. Kaneda (2013), A trial estimation of frictional properties from perturbed repeating earthquakes, *Proceedings of the 11th Society of Exploration Geophysicists of Japan International Symposium*, 415-417, doi:10.1190/segj112013-105. (査読有)

Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, J.-P. Ampuero, R. Nakata, T. Hori, Y. Kaneda, R. Hino, A. Hasegawa (2012), Migration process of very

low-frequency events based on a chain-reaction model and its application to the detection of preseismic slip for megathrust earthquakes, *Earth, Planets and Space*, vol. 64, No. 8, 693-702, doi:10.5047/eps.2010.09.003. (査読有)

有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・Jean-Paul Ampuero・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2011), 海溝付近で発生する浅部ゆっくり地震の特徴, *SENAC*, vol. 44, No. 4, 33-46. (査読なし)

Ariyoshi, K., T. Hori, J.-P. Ampuero, Y. Kaneda, T. Matsuzawa, R. Nakata, A. Hasegawa (2011), Effect of Small Asperities on Tremor Migration at the Edge of Large Asperities Investigated by 3-D Numerical Simulation of a Subduction Plate Boundary, *Advances in Geosciences*, vol. 26, in press. (査読有)

有吉 慶介・松澤 暢・矢部 康男・加藤 尚之・日野 亮太・長谷川 昭・金田 義行 (2011), 東北地方太平洋沖地震・スマトラ島沖地震における連動型地震の考察, *JAMSTEC Report of Research and Development*, vol. 13, doi:10.5918/jamstec.13.17. (査読有)

〔学会発表〕(計 14 件, 招待講演 4 件)

Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, T. Hori, R. Nakata, Y. Kaneda (2013), A trial estimation of seismic coupling and crustal deformation by focusing on shallow slow earthquakes, *Geofluid-3*, O1-05, 2014年2月28日, 東京, 東京工業大学大岡山キャンパス. (**invited**)

Ariyoshi, K., R. Nakata, T. Hori, Y. Kaneda, T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa (2013), The detectability of slow earthquakes in shallower part of subduction zone around Tonankai earthquake by the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET), *American Geophysical Union Fall Meeting*, G14A-02, 2013年12月9日, Moscone Center, San Francisco, USA. (**invited**)

Ohta, Y., R. Hino, K. Ariyoshi (other 8 co-authors) (2013), Geodetic characteristic of the postseismic deformation following the interplate large earthquake along the Japan Trench, *American Geophysical Union Fall Meeting*, G31C-05, 2013年12月9日, Moscone Center, San Francisco, USA. (**invited**)

Ariyoshi, K., Y. Kaneda, T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa (2013), A trial estimation of frictional properties and generation process of temporal activity change based on perturbed repeating-earthquakes, *The 11th Society of Exploration Geophysicists of Japan, International Symposium*, P26, 2013年11月18日, 横浜, 新横浜プリンスホテル.

有吉 慶介・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2013), 小繰り返し地震震源域における地震活動の変化から推定された摩

擦構成則と地震発生過程, 2013 年度日本地震学会秋季大会, P3-44, 2013 年 10 月 8 日, 横浜, 神奈川県民ホール .

有吉 慶介・中田 令子・堀 高峰・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2013), 浅部ゆっくり地震に伴う地殻変動の検出可能性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SCG63-P12, 2013 年 5 月 22 日, 千葉, 幕張メッセ .

有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2013), 海溝型巨大地震震源域における浅部ゆっくり地震の特徴, 研究集会「スロー地震の発生メカニズム解明を目指して」, 2013 年 3 月 29 日, 東京, 東京大学地震研究所 .

有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2013), 海溝型巨大地震震源域で予想される浅部ゆっくり地震の特徴, 地殻流体研究会, 2013 年 3 月 4 日, 地殻流体研究会 2013, 伊豆, ラフォーレ修善寺 .

有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2012), 海溝型巨大地震震源域における浅部ゆっくり地震の特徴, 2012 年度日本地震学会秋季大会, P3-44, 2012 年 10 月 19 日, 函館, 函館市民会館 .

有吉 慶介・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭・金田 義行 (2012), 摩擦特性に依存する小繰り返し地震の揺らぎ, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SCG74-P01, 2012 年 5 月 24 日, 千葉, 幕張メッセ .

K. Ariyoshi (2012), Application of vector-type super computer to understanding giant earthquakes and aftershocks on subduction plate boundaries, 15<sup>th</sup> Workshop on Sustained Simulation Performance, 2012 年 3 月 22 日, 仙台, 東北大学. (招待講演)

有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・Jean-Paul Ampuero・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2011), 海溝型巨大地震震源域周辺における浅部ゆっくり地震の特徴, 2011 年度日本地震学会秋季大会, P3-44, 2011 年 11 月 14 日, 静岡, 静岡県コンベンションアーツセンター .

有吉 慶介・松澤 暢・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・Jean-Paul Ampuero・日野 亮太・長谷川 昭 (2011), 数値シミュレーションから予測される浅部低周波イベントの特徴, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SCG060-20, 2011 年 5 月 25 日, 千葉, 幕張メッセ .

有吉 慶介, 松澤 暢, 矢部 康男, 加藤 尚之, 日野 亮太, 長谷川 昭, 金田 義行 (2011), すべりと応力場に及ぼす断層セグメント間の相互作用, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SS035-38, 2011 年 5 月 24 日, 千葉, 幕張メッセ .

{図書}(計 4 件)

Ariyoshi, K. and Y. Kaneda (2014), Practicality of monitoring crustal deformation processes in subduction zones by seafloor and inland networks of seismological observations, *Earthquakes and their impact on societies*, Sebastiano D'Amico (Ed.), Springer International Publishing AG, in press.

Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, Y. Yabe, N. Kato, A. Hasegawa, Y. Kaneda (2013), Application of Vector-Type Super Computer to Understanding Giant Earthquakes and Aftershocks on Subduction Plate Boundaries, *Sustained Simulation Performance 2012*, Michael M. Resch, Xin Wang, Wolfgang Bez, Erich Focht, Hiroaki Kobayashi (Ed.), ISBN: 978-3-642-32453-6 (Print) 978-3-642-32454-3 (Online), doi: 10.1007/978-3-642-32454-3, Springer Berlin Heidelberg, p. 67-80.

Ariyoshi, K. and Y. Kaneda (2013), Characteristics of Interaction between Interplate Earthquakes from the view of Multi-scale Simulations, *Earthquakes: Triggers, Environmental Impact and Potential Hazards*, Kostas Konstantinou (Ed.), ISBN:978-1-62081-883-1, Nova Publication, pp. 329, p. 89-108.

Ariyoshi, K. and Y. Kaneda (2012), Frictional Characteristics in Deeper Part of Seismogenic Transition Zones on a Subduction Plate Boundary, *Earthquake Research and Analysis - Seismology, Seismotectonic and Earthquake Geology*, Sebastiano D'Amico (Ed.), ISBN: 978-953-307-991-2, InTech, pp. 402, p. 105-124, doi:10.5772/28884.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

有吉 慶介 (ARIYOSHI, Keisuke)

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研究プロジェクト・技術研究副主任

研究者番号 : 20436075