

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14582

研究課題名（和文）波形相関を用いた微動の高精度モニタリングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a high-resolution monitoring system for tectonic tremor using waveform correlation techniques

研究代表者

太田 和晃（Ohta, Kazuaki）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波火山ネットワークセンター・特別研究員

研究者番号：20758586

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：波形相関を利用した微動のモニタリングシステムを開発し、それによって南海トラフに発生する微動をリアルタイムに検出できるようになった。特に、海底地震計データを利用し、巨大地震発生領域の近傍で発生する海底下の微動活動を捉えられるようになったことは特筆すべき成果である。また、微動のエネルギーを算出することで背景にあるスロースリップによるすべり量を概算し、プレート境界におけるひずみ蓄積の速さを推定することが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、南海トラフ浅部に発生する微動活動の全容が明らかになり、浅部スロー地震と地下構造に対する理解が深まった。また、浅部スロー地震領域におけるプレート間の歪み蓄積レートが測定できるようになったことで、巨大地震発生の物理モデルをより現実的なものに発展させることができると期待される。また、これらの成果は、南海トラフ巨大地震発生時の規模や推移を予測するシナリオの作成や、発生リスクの評価への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：We have developed a monitoring system for tectonic tremors using waveform correlation techniques, which enables us to detect and locate tremor events occurring along the Nankai Trough. In particular, it is noteworthy that the system has made it possible to detect shallow tremor activity in the vicinity of the megathrust seismogenic zone by using ocean-bottom seismometer data. We further calculate the energy of the tremor to estimate the amount of slip due to background slow slips and the strain accumulation rate on the plate boundary.

研究分野：地震学

キーワード：南海トラフ スロー地震 微動 モニタリング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スロー地震は強い揺れを伴わない断層すべり現象で、巨大地震発生域周辺の歪み解放プロセスである。様々な規模で発生する一連のスロー地震の中で最も規模の小さい地震は微動と呼ばれ、その活動の把握は地震の災害リスク評価において極めて重要である。スロー地震のモニタリングの一環として微動のモニタリングが行われているが、検出精度が低く、歪み状態の評価には十分でない。

2. 研究の目的

本研究では、高精度の微動モニタリングシステムを構築する。このシステムによって検出される微動を用いてスロー地震発生域の歪み状態を即時評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) GPU 計算と波形相関に基づいた深部微動検出システムの構築

マッチドフィルター法に基づいた波形相関技術を用いて微動の検出および震源決定を行うプログラムコードを開発する。プログラムを実行可能な GPU 搭載機において、チューニングを行う。西南日本の限定地域において Hi-net の地震計連続記録に手法を適用し、手法とプログラムコードの性能評価をする。開発したアルゴリズムをシステムとして実装し、試験運用を行う。新しいデータが入る度にカタログを全て更新するのは現実的でないため、一次カタログ構築と更新の差分処理に分割する。試験運用としては、観測データが豊富で微動の活動頻度が高い西南日本の四国地域の深部微動を対象にする。

(2) 海底地震計データに基づく浅部微動モニタリングシステムの構築

波形相関に基づく微動検出・震源決定法を海底地震計データに適用し、南海トラフ浅部の微動をリアルタイムにモニタリングするシステムを開発する。微動のエネルギーをスロースリップの歪み解放量に換算する処理を実装する。構築した微動カタログの地震波エネルギーを計算し、地殻変動観測から推定されるスロースリップのモーメントへの換算式を導く。その式を用いて、検出される微動をスロー地震発生域の歪み解放レートに換算する。

4. 研究成果

(1) GPU 計算を用いた深部微動検出システムの構築

微動検出・震源決定の高精度化と高速化に取り組み、GPU 計算と波形相関に基づいたアルゴリズムの開発を行った。イベント検出には、波形相関を用いて連続波形からイベント探索を行う計算コードを開発した。コードには GPU 高速演算処理を施し、科研費課題で購入した GPU 計算サーバにて最適化を行った。また震源決定には、イベント同士の波形のネットワーク相関を利用した精密相対震源決定処理を行う計算コードを開発し、同様に GPU 演算を用いた高速化処理を導入することに成功した。これら微動検出・震源決定コードの改良と実データへの適用を行った。自己相関を用いたイベント検出は未だ計算コストが大きく、所要時間がかかりすぎたため、既存の波形から作成したテンプレートとの相互相関を用いた探索手法を開発することで代替とした。試験的に陸域の Hi-net データに適用し、微動の網羅的検出ができることを確認した。

(2) 南海トラフ中央部における微動空白域を囲む微動の複雑な相互作用・線状配列・周期性

本研究では、南海トラフ中央部における微動の空白域を取り囲む深部微動の活動を詳細に調べた [1]。その結果、空白域を挟んで四国東部の微動と紀伊半島西部の微動が時間的に相互作用して発生していたことがわかった。このことは空白域においてこれまで検知されて来なかったスロースリップが発生していたことを示唆している (図 1)。また、これらの微動の活動度はより浅部側に発生する長期的スロースリップにも影響を受けていることがわかった。震源分布の解析からは微動が沈み込みの方向に沿って線状に配列しており、その方向が空白域を挟んで四国と紀伊半島で異なっていることがわかった。このことはフィリピン海プレートの沈み込み方向が過去に急変したことや現在のプレート形状と対応している。さらに、周期性の解析からは微動活動の周期性の空間分布にはっきりとした境界があり、この境界が地下のマントルウェッジやフィリピン海プレートの折れ曲がり位置と整合的であることがわかった。

1. Ohta, K., Shiomi, K., and Matsuzawa, T., Complex interaction, striations, and periodicity of deep tremor surrounding a tremor gap in the central Nankai Subduction zone, Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128(3), e2022JB025373 (2023).

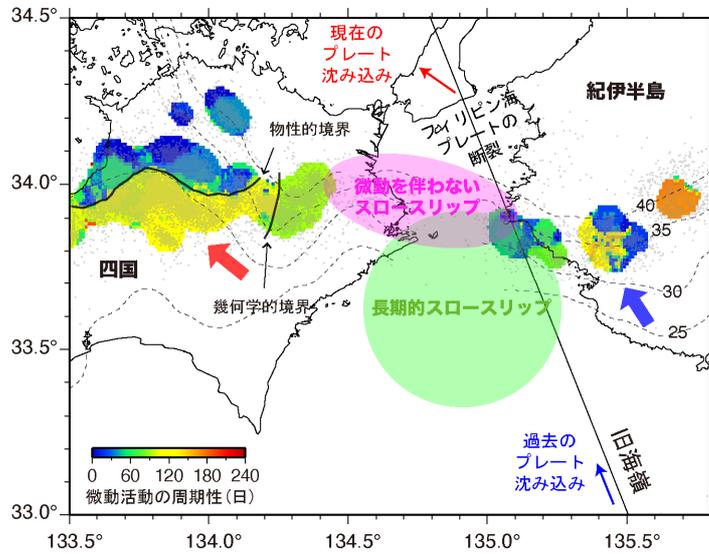


図 1：南海トラフ中央部の深部微動

(3) 南海トラフ浅部の微動モニタリングシステムの構築

本研究では、波形相関に基づく微動の検出法を海底地震計データに適用して、南海トラフ浅部域における微動のモニタリングシステムを構築することに成功した [2]。防災科学技術研究所の運用する地震・津波観測監視システム DONET1 および DONET2 の広帯域地震計記録を使用し、スペクトル解析によるエアガンノイズ除去とカタログ照合による遠地地震除去を施したエンベロープ相関法を適用して、南海トラフ浅部域の微動活動の網羅的なカタログを構築した。その結果、2015 年 10 月から現在にかけて、室戸～紀伊水道沖と三重県南東沖のそれぞれの領域において、数年おきに大規模な微動活動が発生していることがわかった (図 2)。

さらに、海底地震計のサイト増幅特性および地震波減衰を補正して、微動の周波数帯域における地震波輻射エネルギーを推定した。この地震波輻射エネルギーと対応する超低周波地震の地震モーメントから、背景に発生するスロースリップのすべり量に換算し、浅部プレート境界の歪み蓄積レートを概算できるようになった。

本研究によるモニタリングの結果は、防災科学技術研究所の Web サイトからの提供を予定している。

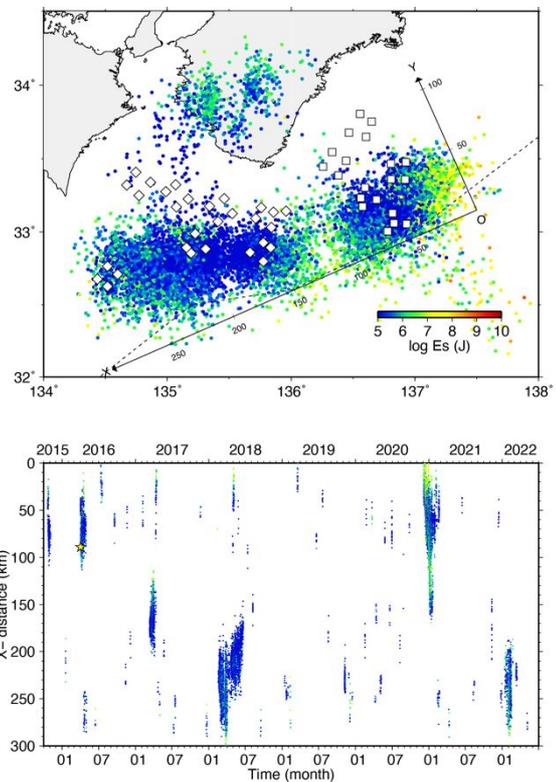


図 2：南海トラフの浅部微動活動

2. 太田和晃, 松澤孝紀, 汐見勝彦, 紀伊半島南東沖の微動活動 (2020 年 12 月～2021 年 1 月), 地震予知連絡会会報, 108, 495–497 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Yasunori Sawaki, Yoshihiro Ito, Kazuaki Ohta, Takuo Shibutani, Tomotaka Iwata | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Seismological Structures on Bimodal Distribution of Deep Tectonic Tremor | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GL092183 | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 太田和晃, 松澤孝紀, 汐見勝彦 | 4. 巻 106 |
| 2. 論文標題 紀伊半島南東沖の微動活動（2020年12月-2021年1月） | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 地震予知連絡会会報 | 6. 最初と最後の頁 460-462 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| 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 - |

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 Inoue Tomohiro, Ito Yoshihiro, Wallace Laura M., Yoshikawa Yutaka, Inazu Daisuke, Garcia Emmanuel Soliman M., Muramoto Tomoya, Webb Spahr C., Ohta Kazuaki, Suzuki Syuichi, Hino Ryota | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Water Depth Dependence of Long Range Correlation in Nontidal Variations in Seafloor Pressure | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 GL092173 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GL092173 | 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 該当する |

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Ohta Kazuaki, Shiomi Katsuhiko, Matsuzawa Takanori | 4. 巻 128 |
| 2. 論文標題 Complex Interaction, Striations, and Periodicity of Deep Tremor Surrounding a Tremor Gap in the Central Nankai Subduction Zone, Japan | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 e2022JB025373 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022jb025373 | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 太田和晃, 松澤孝紀, 汐見勝彦 | 4. 巻 108 |
| 2. 論文標題 室戸沖-紀伊水道沖の微動活動(2021年12月-2022年3月) | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 地震予知連絡会会報 | 6. 最初と最後の頁 495-497 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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 - |

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kazuaki Ohta |
| 2. 発表標題 Comprehensive detection of shallow tremor activities in the Nankai subduction zone, Japan |
| 3. 学会等名 Slow Earthquakes WS (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 太田和晃 |
| 2. 発表標題 DONETデータを用いた南海トラフ浅部微動の網羅的検出 |
| 3. 学会等名 日本地震学会 秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kazuaki Ohta |
| 2. 発表標題 Comprehensive detection of shallow tremor activities in the Nankai subduction zone, Japan. |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 太田和晃, 汐見勝彦, 松澤孝紀 |
| 2. 発表標題 稠密地震観測に基づく四国東部と紀伊水道の微動活動 |
| 3. 学会等名 日本地震学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ohta K, K. Shiomi, T. Matsuzawa |
| 2. 発表標題 Detailed tremor activity beneath the eastern Shikoku and Kii Channel, southwest Japan, revealed by dense seismic observation |
| 3. 学会等名 Slow Earthquakes WS |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 太田和晃, 汐見勝彦, 松澤孝紀 |
| 2. 発表標題 南海トラフにおける浅部微動の地震波エネルギーの空間分布 |
| 3. 学会等名 日本地震学会 秋季大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kazuaki Ohta, Katsuhiko Shiomi, Takanori Matsuzawa |
| 2. 発表標題 Spatial variation of shallow tectonic tremor energy radiation in the Nankai trough |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2022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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

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0件

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|