

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14570

研究課題名（和文）稠密地震計アレイで捉える奇妙な地震源の解明

研究課題名（英文）Unraveling unconventional seismic sources using dense seismic arrays

研究代表者

奥脇 亮（Okuwaki, Ryo）

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：10860091

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者は、非地震性の震源を効果的に検出する三組アレイ震源検出手法を開発し、日本全国に稠密に展開・整備される高感度地震観測網の地震波形記録に対して適用し、非地震性震源の検出を行った。その結果、台風の上陸に伴って静岡県の上陸部で発生した地震学的未記載の地すべり源の発見をはじめ、従来手法・アプローチでは見逃されていた震源の新たな検出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題によって得られた研究成果は、迅速な現地調査が困難な山間部で発生する地すべり現象や、その実態の多くが不明な海底活火山で発生する噴火現象の検出を、地震波形データの効果的な解析アプローチの開発により、リモートかつ準リアルタイムに実現させたことを示している。ときに甚大な被害をもたらすこれらの現象は、従来手法では捕捉が困難であったが、本研究課題のアプローチはその検出を実現し、固体地球表層で発生する変動現象の理解の深化をもたらす点で学術的意義が大きく、また、ときに災害をともなうイベント検出に伴う意思決定や周辺の災害リスクを検討する上で基礎的な情報を提供するため、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：We developed a method for effectively detecting unconventional seismic sources using triad-array detection strategy, and applied it to the continuous seismic records of a highly sensitive seismic observation network deployed and maintained densely throughout Japan. We conducted detection of unconventional seismic events occurring in Japan. As a result, we successfully discovered previously unidentified landslide sources in the mountainous areas of Shizuoka Prefecture accompanying strong typhoon, and achieved novel detection strategy of seismic sources that had been overlooked by conventional methods and approaches.

研究分野：地震学

キーワード：地震波形データ解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震波形データには、地震時に震源から放射される莫大なエネルギーだけでなく、大気・海洋の摂動に呼応した固体地球の揺れが雑微動として常時記録される。雑微動には、台風・低気圧の発達により海底下で誘発される微小地震や海底地すべりなど、大気・海洋の運動と密接に関連した固体地球変動現象に励起される奇妙な地震波シグナルの存在が指摘され始めているが、その大部分は依然として地震波形データの「ノイズ」として埋もれてしまい、その実態はほとんど不明である。そこで本研究は、地震波形データを用いて、海底下や地球表層で生じる特徴的なシグナル励起源の新たな検出法の開発を行うことで、その励起メカニズムを明らかにできると考えた。

2. 研究の目的

本研究課題は、日本全国に展開する地震観測点分布を震源決定に効果的な三組アレイ (3つの観測点で構成される三角形型の観測点配置) の集合体としてドロネー三角形分割し、波形同士の相関をもとに励起源の位置・時刻・強度を決定する震源決定手法の開発を行う。これは従来の震源決定手法と異なり、波相の読み取りや地球内部構造の仮定といった不確定要素を廃することで、とくに励起源の特性がわからず、波の伝播様式が不明なシグナル源を確度よく推定できる。既存の観測点分布を震源決定に効果的な三組アレイの集合体として構成する新たな観測デザインの提案により、地上の地震計記録を使いながら、大気・海洋変動現象に起因する未知の地震波励起源を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

手法開発および手法の解像限界の検証: 日本全国に稠密に分布する地震観測点を、ドロネー三角形分割し、独立した三組アレイの集合体を構成する。各三組アレイにて観測された3つの波形同士の相互相関係数と時間遅れを計算し、シグナルの到来方向、到達時刻、位相速度が直接計算できる。仮想的な励起源を全球的に分布させ、各仮想励起源より放射されたシグナルの到来方向と、三組アレイにて計測した到来方向の損失関数を最小化するような仮想励起源を、シグナル励起源として特定する。気象庁により震源の位置、時刻、規模の決定されている通常地震を検証用の励起源とすることで、本研究手法によって得られる励起源情報の不確定性を検証する。

シグナル励起源の運動学的モデリングとその検証: 通常地震以外として検出された励起源の励起メカニズムを明らかにするために、励起源の運動学的モデリングを行う。励起源の力源としてまずは点震源を仮定し、観測波形を説明しうる合成波形を計算する。モデル化した励起源のスペクトルを計算し、モデルに卓越する周期域やモデルの破壊継続時間を算出することでその励起メカニズムを明らかにする。陸域の地すべりや氷河の亀裂・移動現象であれば衛星画像解析を通じてその検証を行う。海底地すべりや海洋波浪に伴う励起現象は、海洋波浪や台風・低気圧の擾乱に起因する海底圧力分布のモデリングから励起の力源を明らかにする。

4. 研究成果

本研究課題の実施により、以下の成果を得た。

(1) 三組アレイ震源検出手法の開発

研究代表者は、研究実施計画に基づき、日本全国に稠密に展開・整備される F-net 広帯域地震観測網 (防災科学技術研究所) および、台湾・中国など日本周辺に分布する広帯域地震観測網を、ドロネー三角形分割した三組アレイの集合体に再構成し、震源を検出・決定する手法 (以下、三組アレイ震源決定手法) の開発を行った。これにより、従来の震源決定開発手法ではその検出が困難であった、地震以外の振動現象を効果的に検出する枠組みを整えた。

(2) 地震学的未記載の新たな地すべり源検出に成功

研究代表者は、国内外の共同研究者らとの国際共同研究により、(1) で開発した三組アレイ震源決定手法を、連続地震波形データへ適用し、2011年9月台風第12号の日本上陸・通過に伴う豪雨によって静岡県および三重県で発生した複数の地すべり源の発生位置と発生時刻を新たに特定することに成功した。特に浜松市天竜区で発生した天竜地すべりは、崩壊規模が100 mスケールの小規模な地すべりであるにもかかわらず、遠く台湾付近まで3000 kmにも渡って地震波を放射していたことが初めて分かった。検出された地すべりの励起メカニズムを明らかにするために、地震波形データを使って、地すべりに要した力の時空間履歴および質量移動の軌跡を推定すると、現地調査による地形変化とよく一致することが分かった。また、天竜地すべりは、小規模な地すべりであるにもかかわらず、地すべりの移動質量と地すべりにかかった力の関係といった力学特性が世界中で発生する大規模かつ破滅的な地すべりと類似しており、地すべりの規模によらない、スケーリング則が成り立つことも見出した。この研究実績を、査読付国際誌にて発

表した。

(3) 高感度加速度計および世界の広帯域地震観測網への拡張適用

研究代表者は、本研究課題にて開発した三組アレイ震源検出手法を、日本全国に稠密に展開・整備される高感度地震観測網 Hi-net (防災科学技術研究所) における高感度加速度計連続記録に拡張適用した。これは、高感度地震観測網 Hi-net が、2020 年度に同手法の適用を行った広帯域地震観測網 F-net (防災科学技術研究所) に比してより稠密な観測点密度を有しており、本研究課題にて開発した震源検出手法の検出限界を向上させ、より微弱なシグナルを発する震源を効果的に検出することを企図したものである。テスト解析として、1 週間分の Hi-net 高感度加速度計連続記録へ本手法を適用した。その結果、日向灘地域において、通常地震カタログに記載のない、未知の震源が多数検出された。検出された震源位置や推定される地震モーメント、震源メカニズムにより、これら未知の震源は、スロー地震の一種である超低周波地震であることが推測された。本成果の一部については、新学術領域研究「スロー地震学」International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021 (オンライン) にて学会発表を行った。さらに、本研究課題にて開発した震源検出手法を、日本周辺の地震観測網のみならず、全世界に展開する広帯域地震観測網に対して拡張適用し、世界で発生する非地震性イベントの検出を試みた。例えば 2022 年 1 月 15 日に発生したフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山の大規模噴火に伴って観測された地震波形記録に適用した結果、大規模噴火イベント前後に渡って、複数の未知の震源がフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山にて検出された。Hi-net 高感度加速度計記録や、全世界の広帯域地震観測網への実験的な拡張適用を実施することにより、日本のみならず世界の様々なテクトニック環境において、未知の震源を検出できることが明らかとなり、本研究課題をさらに発展させる萌芽を得た。

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 0件）

1. 著者名 Okuwaki Ryo, Fan Wenyuan, Yamada Masumi, Osawa Hikaru, Wright Tim J	4. 巻 -
2. 論文標題 Identifying landslides from continuous seismic surface waves: a case study of multiple small-scale landslides triggered by Typhoon Talas, 2011	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	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） 10.1093/gji/ggab129	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

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 奥脇 亮、Fan Wenyuan
2. 発表標題 フンガ・トンガ＝フンガ・ハアパイ火山における2022年噴火前・中・後のイベント検出 と大規模噴火の運動学的モデリング
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥脇 亮、Fan Wenyuan、松澤 孝紀、武村 俊介
2. 発表標題 稠密な三つ組サブアレーを用いた超低周波地震の検出
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryo Okuwaki, Wenyuan Fan, Shunsuke Takemura, and Takanori Matsuzawa
2. 発表標題 Using dense seismic arrays to detect and locate VLFs in Japan
3. 学会等名 International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥脇 亮
2. 発表標題 Detection and location of unconventional seismic sources using surface waves
3. 学会等名 東大地震研共同利用研究会 『地表・海底の振動記録から探る地震以外の諸現象』
4. 発表年 2021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			
米国	カルフォルニア大学サンディエゴ校			
英国	リーズ大学			