

地震学的・測地学的手法に基づくスロースリップイベントの検出 in コスタリカ
Detection of Possible Slow Slip Events Using Seismic and Geodetic Approaches in Costa Rica

○西沢貴志・西川友章

○Takashi NISHIZAWA, Tomoaki NISHIKAWA

Slow slip events (SSEs), spontaneous transient aseismic slip lasting from days to years, are common in subduction zones. Stress perturbations associated with SSEs can increase background seismicity, inducing earthquake swarms and disturbing repeating-earthquake cycles. While such seismic activity provides indirect indicators of transient aseismic slip, GNSS displacement time series records slow fault slip more directly. In this study, we integrate analyses of earthquake swarms, repeating earthquakes, and GNSS time series to detect transient aseismic slip offshore Costa Rica in the Central America subduction zone. Earthquake catalogs from 2015 to 2020 were constructed using deep-learning-based phase picking and event association. Earthquake swarm activity was identified using the spatiotemporal ETAS model, and repeating earthquakes were detected based on waveform cross-correlation. SSEs were extracted from GNSS data using AIC-based model selection. Preliminary results show clustered seismic activity offshore the Nicoya Peninsula, partly coincident with geodetically detected SSEs.

1. はじめに

世界の多くの沈み込みプレート境界では、定常的なプレート収束運動に加え、数日から数年程度継続する自発的で非定常な断層滑り（スロースリップイベント）が繰り返し発生することが知られている（e.g., Obara & Kato, 2016）。このような非定常滑りに伴う応力擾乱は背景地震活動度を一時的に上昇させ、群発地震活動を誘発することがある。また、そのような応力変化により、繰り返し地震の発生サイクルが乱されることも報告されている（Uchida et al., 2019）。これらの地震活動は、非地震性滑りの時空間的な特性を反映する間接的な指標として有用である。例えば、群発地震や繰り返し地震活動をモニタリングすることで、プレート境界におけるスロースリップイベントの発生を推測できる（e.g., Nishikawa & Ide, 2018）。その一方、GNSSの変位時系列には、スロースリップイベントの緩やかな断層運動に起因する地殻変動シグナルが記録されており、地震活動とは独立した情報を提供する。

そこで本研究では、群発地震活動および繰り返し地震活動の解析に加え、GNSS時系列解析を行うことで、スロースリップイベントの検出を試みる。3つの異なる指標において時空間的な重なり

が認められる場合、それらはスロースリップイベントの発生を示唆する有力な証拠となり得る。

繰り返し地震は、世界中の沈み込み帯で研究されてきたが（Uchida & Bürgmann, 2019）、その詳細な空間分布は、依然として多くの地域で未解明である。中米沈み込み帯に位置するコスタリカ沖もその一つである。さらに、同地域では遅いものから速いものまで多様な断層滑りイベントの発生が報告されている（e.g., Dixon et al., 2014）。以上を踏まえ、本研究ではコスタリカ沖を研究対象とした。

2. データ・手法

解析期間は、安定して広帯域地震計ネットワークの地震波形記録が存在する2015年から2020年の期間とした。地震カタログを、深層学習ベースの地震波検出ライブラリ PhaseNet（Zhu & Beroza, 2019）および GaMMA 法（Zhu et al., 2022）によるアソシエーションによって構築した。この際、震源決定は hypomh（Hirata & Matsu'ura, 1987）で行った。

群発地震活動は、構築した地震カタログに対して時空間 ETAS モデル（Zhuang et al., 2002）を適用し、モデル予測地震数と観測地震数の差の時

間変化に基づいて検出した (Nishikawa & Ide,

2018)。繰り返し地震は、イベント波形に適切な帯域のフィルターを施したのち相互相関解析を行い (Uchida et al., 2019)、2 観測点以上で相関係数が 0.95 を超えるイベントペアとして同定した。

最後に、スロースリップイベントに起因する可能性のある地殻変動を、GNSS データから検出した。まず、前処理として、変位時系列から M5.0 以上の地震に伴うオフセットを除去し、共通誤差を補正した。そして、プレート収束方向成分の変位時系列 (90 日時間窓) に対して、ステップ付き一次関数とステップなしの一次関数をフィッティングし、これらの AIC 差に基づき、過渡的変位を検出した (Nishimura et al., 2013)。検出された変位から、スロースリップイベントの滑り量および位置をインバージョンした。その際、応力降下量一定の円形クラックモデル (Eshelby, 1957; Madariaga & Ruiz, 2016) を仮定した。

3. 結果

予察的な結果として、ニコヤ半島沖の東・南・西において群発地震系列および繰り返し地震が集中的に分布することが明らかとなった (図 1)。これらの地震活動は、ニコヤ半島東部および南部において検出された非定常イベントと良好な時空間的対応を示した。具体的には、いくつかの群発地震活動および繰り返し地震が、GNSS データに基づいて検出されたスロースリップイベントと時空間的に隣接して分布することが確認された。

図 1. Nicoya 半島周辺の繰り返し地震と群発地震活動の震央分布。

解析領域内 (黒線) の丸は群発地震を示し、色は 2015 年からの経過時間を表す。星は繰り返し地震を示し、色で繰り返し回数を示す。水色の逆三角は解析に使用した広帯域地震計の位置を示す。

