P04

中米沈み込み帯における群発地震検出：地震活動とスロースリップイベントの関係に関する示唆
Earthquake Swarm Detection in the Middle America Subduction Zone: Implications for the Relationship between Seismicity and Slow Slip Events

○西川　友章・Vladimir KOSTOGLODOV・西村　卓也
○Tomoaki NISHIKAWA, Vladimir KOSTOGLODOV, Takuya NISHIMURA

At subduction plate boundaries, in addition to regular earthquakes, intermittent and slow fault slip phenomena known as slow earthquakes occur. It is known that large slow earthquakes, or slow slip events (SSEs), can trigger major earthquakes or swarms of earthquakes in their surrounding regions. In the Middle America subduction zone, slow slip events are known to occur frequently; however, their relationship with seismic activity remains unclear. Here, using a spatiotemporal epidemic-type aftershock-sequence model, we analyzed earthquake swarm activity in the Middle American subduction zone for the period from 2000 to 2024. The analysis revealed the presence of three regions with concentrated earthquake swarm activity in the subduction zone. Furthermore, slow slip events and transient crustal deformation were observed around the epicenters during the same periods as the detected swarm activity, suggesting that the swarm activity may have been triggered by slow slip events.

１．はじめに

スロースリップイベント（SSE）は、主にプレート境界で発生する、低速で過渡的な断層すべり現象である。SSE は、ときに大地震の発生や、小中規模の地震の群発活動を伴う（例えば、Nishikawa et al., 2023）。中米沈み込み帯では、SSE がメキシコのゲレロ州、オアハカ州、コスタリカのニコヤ半島等で観測されており、同沈み込み帯で発生する大地震（M 7 以上）との関連性が、盛んに研究されてきた（例えば、Voss et al., 2018; Cruz-Atienza et al., 2021）。それに対して、中米沈み込み帯で発生する中規模地震（M4 から M6 程度）の活動と SSE との関係については、未だわかっていないことが多い。この関係の解明は、中米沈み込み帯における地震活動を支配するメカニズムの解明や、同沈み込み帯の地震活動確率予測の精度向上に不可欠である。そこで、本研究は、2001 年から 2024 年までの ANSS 地震カタログを使用し、中米沈み込み帯における中規模地震の群発活動を網羅的に検出した。そして、群発地震活動と SSE の時空間的関係や、群発地震発生期間に周囲の GNSS 観測点で記録された過渡的変位を調べた。

２．手法・データ

群発地震の検出には、時空間 ETAS モデル（Zhuang et al., 2002）に基づく Nishikawa & Ide (2018) の方法を用いた。まず、中米沈み込み帯を、海溝軸に沿って、（１）メキシコ・コリマ州からオアハカ州、（２）オアハカ州からグアテマラ、（３）エルサルバドルからニカラグア、（４）ニカラグアからパナマの 4 領域に分割し、各領域内の M 4.3 以上の地震活動に対して、時空間 ETAS モデルの 8 つのパラメータ（K, α, c, p, d, γ, q, ν）を推定した。ETAS パラメータの推定には、Omi et al. (2015) のベイズ的アプローチを採用した。マルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC 法）によって、事後確率分布をサンプリングし、事後確率を最大化するパラメータセットを得た。パラメータの事前確率分布には、十分に広い区間で一様な確率分布を、各パラメータに対して仮定した。そして、各領域において、半径 30 km の検出円を、緯度・経度方向に 15 km の間隔で配置し、推定した ETAS パラメータを用いて、各検出円内における地震発生数の ETAS モデルによる予測値を計算した。最後に、実際に観測された地震発生数と予測値を比較することで、ETAS モデルが説明できない地震活動の活発化を、群発地震として検出した。活発化の検出基準は、Nishikawa & Ide (2018) と同一の基準を用いた。

次に、検出された群発地震活動を、先行研究（Cruz-Atienza et al., 2021; Xie et al., 2020 など）で報告されている SSE の活動と比較した。

SSE が未報告の地域では、群発地震活動の震央付近の GNSS 観測点の日座標値を確認し、未報告の SSE に起因する可能性のある過渡的な変位の有無を調べた。ゲレロ州における GNSS 日座標値は Cruz-Atienza et al. (2021) に、他の地域の日座標値は Nevada Geodetic Laboratory (Blewitt et al., 2018)による。また、小さな過渡的な変位の検出には、Nishimura et al. (2013)の方法を用いた。

３．結果

解析の結果、2001 年から 2024 年の間に、中米沈み込み帯全域では、合計 59 の群発地震系列が検出された。また、中米沈み込み帯のプレート境界には群発地震が繰り返し発生する地域が存在することが明らかとなった。具体的には、ゲレロ地震空白域、メキシコ・チアパス州の沖合、コスタリカとパナマの国境のブリカ半島付近である。これらの地域では、同一の検出円において、群発地震系列が 4 回または 5 回繰り返して検出された。

４．議論・結論

59 の群発地震系列のうち 4 系列は、2002 年、2006 年のゲレロ SSE と、2014 年のニコヤ半島 SSE の発生期間と時空間的に近接して発生していた。これらの群発地震活動は、SSE によって誘発された可能性がある。加えて、未報告の SSE 候補もいくつか見つかった。ニコヤ半島では、2022 年に発生した群発地震系列の期間中に、付近の複数の GNSS 観測点で数センチメートルの南向きの変位が観測された。同様に、ブリカ半島付近では、群発地震活動に伴い、付近の複数の GNSS 観測点で約 1 cm の南向き変位が観測された。また、チアパス州の沖合では、5 つの群発地震系列が同じ地域で繰り返し検出され、そのうち 4 系列では、沿岸の GNSS 観測点で数ミリメートルの南向き変位が観測された。本研究の結果は、中米沈み込み帯において、SSE が中規模地震の群発活動を誘発している可能性と、群発地震活動を伴う未報告の SSE が存在する可能性を示唆する。

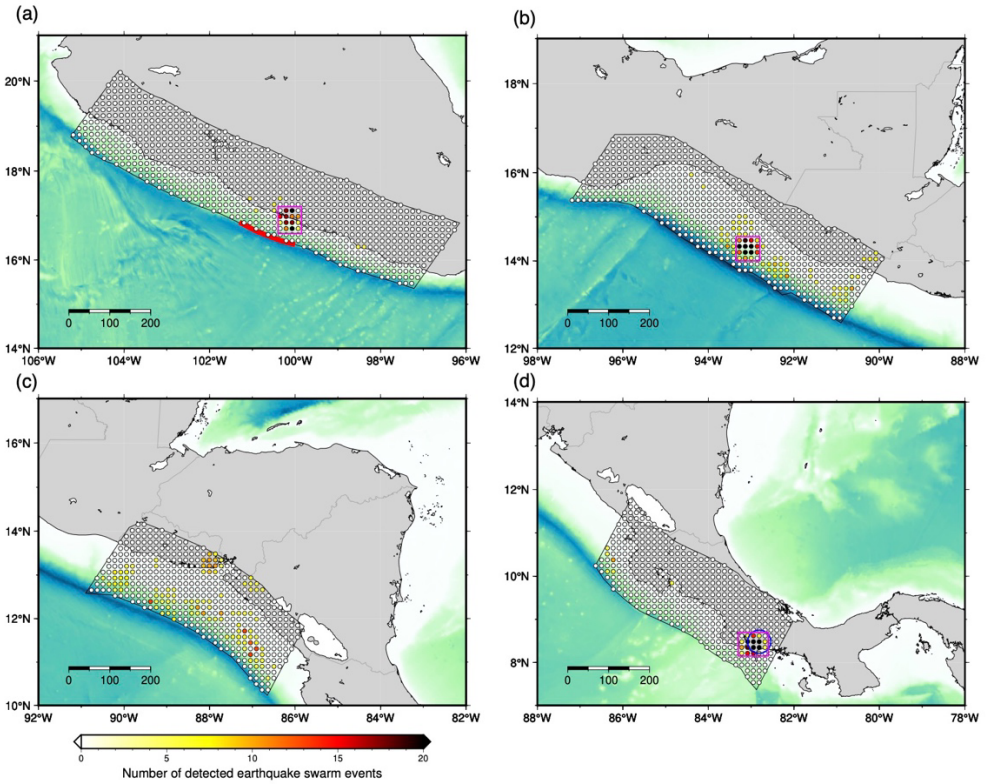

図 1. 各検出円内で検出された群発地震のイベント数。(a)から(d)はそれぞれ解析領域 1 から 4 に対応する。小さな円が各検出円の中心の位置を示しており、色がその検出円内で検出された群発地震のイベント数を示す。マゼンダ色の長方形は、群発地震集中域の位置を示している。