

GNSS データを用いた短期的スロースリップイベントの検出手法の開発と
南海沈み込み帯への適用

Development of the detection method for short-term slow slip events using GNSS data and
its application to the Nankai subduction zone

○岡田悠太郎・西村卓也・田部井隆雄・松島健・廣瀬仁

○Yutaro OKADA, Takuya NISHIMURA, Takao TABELI, Takeshi MATSUSHIMA, Hitoshi HIROSE

Short-term slow slip events (S-SSEs) in the Nankai subduction zone, southwest Japan have been detected by using geodetic measurements [e.g., Obara et al., 2004; Nishimura, 2014], but their duration has not been estimated systematically. In this study, we developed a method to detect S-SSEs and estimate their source parameters including duration, and applied it to 23-year-long GNSS data in the Nankai subduction zone. We detected 280 S-SSEs in the period from 1997 to 2020. Several S-SSE detected in Kyushu spatial-temporally related to activities of very low-frequency earthquakes [Baba et al., 2020] and repeating earthquakes [Uchida et al., 2020]. Estimation of duration and slip in the developed method enables us to clarify a variation of average slip rates along the Nankai Trough. Average slip rates in western Shikoku are roughly twice faster than those in eastern Shikoku. This is possibly related to the geometry of the subducting Philippine Sea plate.

1. はじめに

西南日本の南海沈み込み帯において、測地学的時間帯域で観測されるスロー地震である短期的スロースリップイベント（以降、S-SSE）は傾斜計やひずみ計、GNSS といった測地学的機器を用いて観測されてきた [e.g., Obara et al., 2004; Kobayashi et al., 2006; Nishimura, 2014]. 本研究では、南海沈み込み帯で発生する S-SSE の継続期間に着目する。傾斜計を用いた研究において、継続期間は同期する深部低周波微動の活動を基に決定されてきた [e.g., Sekine et al., 2010]. 一方で GNSS を用いた研究では、座標時系列に記録される S-SSE のシグナルが小さいため、継続期間は推定されてこなかった。そこで本研究では、GNSS データを用いた既存の S-SSE 検出手法 [Nishimura et al., 2013; Rousset et al., 2017] を基に、S-SSE の継続期間が推定可能である新検出手法を開発し、南海トラフ沿岸域の GNSS データに適用した。

2. データと手法

本研究では南海トラフ沿岸域の GEONET 観測局 681 点、大学独自観測局 44 点、DGPS 局 8 点、IGS 局 1 点の RINEX データから、GIPSY/OASIS ver 6.4 の精密単独測位法により推定した日座標値を解析

に使用した (図 1)。また、S-SSE の検出期間は 1997 年 2 月 1 日から 2020 年 1 月 31 日までの 23 年間とした。

本研究で開発した手法は、非定常変位イベントの検出と、検出した非定常イベントを S-SSE へ分類するという 2 つの処理に大別される。初めに、非定常イベントの発生したおおよその日付を抽出するために、121 日間の座標値と S-SSE の変位を模したテンプレートの間の相関係数を、時間窓を

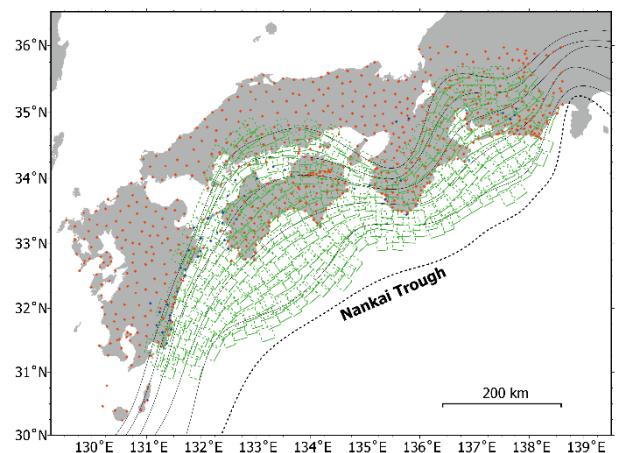


図 1 使用した観測点と仮定した小断層の分布。橙色、紺色、水色、紫色の菱形はそれぞれ GEONET 観測局、大学独自観測局、DGPS 局、IGS 局を示す。緑色の四角は仮定した小断層の位置を示す。

動かして全観測点の水平成分について計算した。続いて、プレート境界面上に仮定した小断層(図1)から期待される変位[Okada, 1992]を重みとして用いて相関係数の加重平均を計算した。この処理によって、より大きな変位が期待される観測点・成分を重視して検出を行うことができる。最後に、加重平均に対して閾値を適用して、非正常変位イベントを検出した。

次に、非正常変位イベントに対して半無限弾性体での矩形断層モデルのパラメータを推定した[Matsu'ura & Hasegawa, 1987; Nishimura et al., 2013]。その後、推定した断層モデルから期待される変位と観測座標値のノイズレベルで重みづけして、121日間の座標値を重合した[宮岡・横田, 2012; Rousset et al., 2017]。重合した時系列とテンプレートの間の相関係数が最大となる継続期間を、非正常イベントの継続期間として採用する。最後に、断層モデルのすべり方向, rake角, カイ二乗の減少量と, 継続期間推定の際に算出した相関係数に対し閾値を適用することで, 非正常変位イベントが S-SSE かどうかを判定した。更に, S-SSE に分類されたイベントに対して, ブートストラップ法を用いて継続期間の誤差を推定した。

3. 結果と考察

本研究では23年間で280個のS-SSEの検出に成功した(図2)。検出されたS-SSEは、陸域の地殻変動データを用いた先行研究[Sekine et al., 2010; Nishimura et al., 2013]でS-SSEが検出されている固着域[e.g., Yokota et al., 2016]の深部側のみならず、固着域の浅部側でもいくつかのS-SSEが検出された。特に九州地方の沖合で検出されたS-SSEのいくつかは、超低周波地震[Baba et al., 2020]や繰り返し地震[Uchida et al., 2020]の発生個数の急激な増加と同期している。

続いてSSEの地域特性を明らかにするために、S-SSEの累積すべりと累積継続期間を計算した後、累積すべりを累積継続期間で割ることで各グリッドにおける平均すべり速度を算出した(図3)。その結果、四国西部における平均すべり速度は四国東部と比べ約2倍速いことが明らかになった。このような地域性は沈み込む海洋プレートの形状と関連していると考えられる。

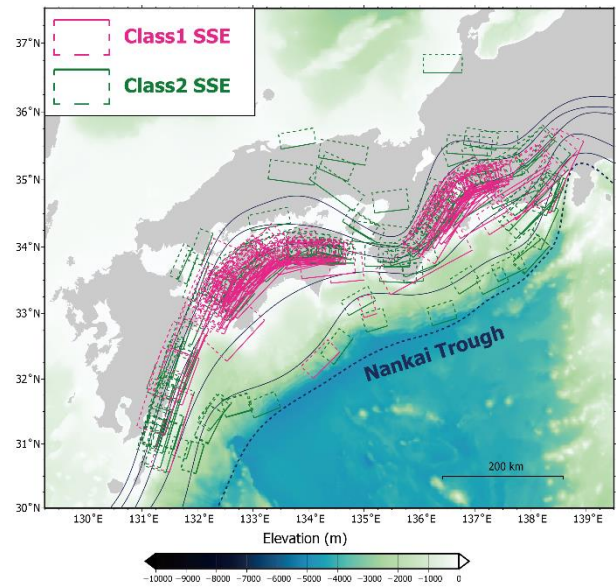


図2 1997年2月から2020年1月までに検出されたS-SSEの分布。桃色の断層はSSEの可能性が高いイベント(Class1 SSE)を、緑色の断層はSSEの可能性のあるイベント(Class2 SSE)をそれぞれ示す。

謝辞

本研究では国土地理院 GEONET, 海上保安庁 DGPS 局, GPS 大学連合, 国際 GNSS 事業の GNSS RINEX データを使用した。また, 防災科学技術研究所の微動カタログ (Maeda and Obara, 2009; Obara et al., 2010) を使用した。関係者の皆様に記して感謝申し上げます。

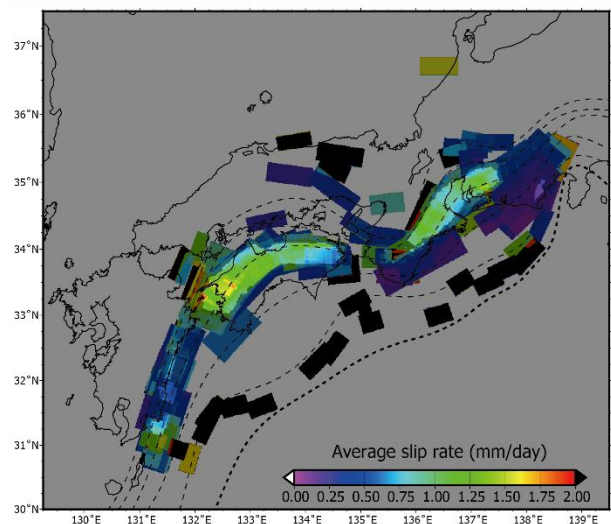


図3 検出したS-SSEから算出した平均すべり速度の分布。検出個数が10個未満のグリッドは暗く表示した。