

# GNSS データに基づく 2013 年以降の東海地方スロースリップイベントの時空間発展の推定 Estimation of the Spatiotemporal Evolution of the Slow Slip Event in the Tokai Region, Central Japan, Since 2013 as Seen from GNSS Data

○坂上啓・福田淳一・加藤照之・西村卓也

○Hiromu SAKAUE, Jun'ichi FUKUDA, Teruyuki KATO, Takuya NISHIMURA

We applied a time-dependent inversion method to GNSS data to obtain the spatio-temporal evolution of a long-term slow slip event (L-SSE) and short-term slow slip events (S-SSEs) in the Tokai region, central Japan, since 2013. The moment magnitude and maximum cumulative slip of the SSEs are estimated to be  $M_w \sim 6.5$  and about 6.5 cm from January 1, 2013 to December 30, 2015, respectively. In addition to the L-SSE from early 2013 to December 2015, two large S-SSEs were detected near the Ise Bay in the down-dip area of the L-SSE. Our results suggest that the slip peaks of the L-SSE and S-SSEs do not overlap and that the temporal variation of moment evolution in the central area of the L-SSE is smooth and is not affected by the S-SSEs.

## 1. はじめに

海洋プレート沈み込み帯における巨大地震の発生域周辺ではスロースリップイベント (SSE) と呼ばれる非常にゆっくりとした非地震性の断層すべりが観測されており、東海地方では 20000 年から 2005 年にかけて長期的 SSE (L-SSE) の発生が報告されている [例えば[1]]. また、L-SSE の発生領域よりも深い領域で深部低周波微動 (LFT) を伴った短期的 SSE (S-SSE) が数ヶ月程度の間隔で繰り返し観測されている [例えば[2]].

2013 年以降、前回の L-SSE が発生した領域で SSE が発生したことが報告された [3]. 本研究では、東海地方で観測されている L-SSE と S-SSE の時空間的な関係や発生メカニズムの解明を目指し、GNSS のデータを用いて 2013 年以降に東海地方で発生した SSE のすべりの分布や時空間発展を推定し、その結果を検討する。

## 2. 解析

### 2-1. GNSS 時系列モデル

2008 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 30 日の期間の東海地方にある GEONET の 222 点観測点の GNSS データに対し、GIPSY OASIS II [4] を用いて日々の座標値を推定した。推定された日々の座標値の時系列データには SSE のシグナルと同等かそれよりも大きいノイズが含まれており、前処理によってこれらを時系列から取り除き、インバージョン解析により SSE のすべりの時空発展の推定を

行う。GNSS 時系列モデルは式 (1) に示す。

$$\mathbf{d}_k = \mathbf{x}_0 + \mathbf{v}_0 \mathbf{t}_k + \mathbf{Y}_k^{(S)} + \sum_{i=1}^{N_A} f_i \mathbf{H}(\mathbf{t}_k - \mathbf{D}_i) + \sum_{j=1}^{N_S} \mathbf{g}_j \mathbf{H}(\mathbf{t}_k - \mathbf{T}_j) + \mathbf{Y}_k^{(P)} + \int_A \mathbf{G}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\xi}) \mathbf{s}(\boldsymbol{\xi}, \mathbf{t}_k) d\boldsymbol{\xi} + \mathbf{L}(\mathbf{r}, \mathbf{t}_k) + \mathbf{f}(\mathbf{t}_k) + \mathbf{e}(\mathbf{r}, \mathbf{t}_k) \quad (1)$$

式 (1) の左辺は時刻  $\mathbf{k}$  における観測値である。右辺第 1 項、第 2 項は定常トレンド、第 3 項は季節成分、第 4 項は時刻  $\mathbf{D}_i$  における GNSS アンテナ等の交換によるオフセットで  $\mathbf{H}(\mathbf{t}_k)$  はステップ関数、第 5 項は時刻  $\mathbf{T}_j$  における地震時変位で、第 6 項は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北沖地震 ( $M_w 9.0$ ) の余効変動を示し、第 1 項から第 6 項は前処理で取り除く。第 7 項は SSE による変位で  $\mathbf{G}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\xi})$  はグリーン関数、 $\mathbf{s}(\boldsymbol{\xi}, \mathbf{t}_k)$  は断層でのすべり、第 8 項は観測点固有の変動、第 9 項は共通誤差、第 10 項は観測誤差を示し、第 7 項から第 10 項はインバージョン解析における観測方程式である。

### 2-2. 前処理

東北沖地震の影響を考慮し、2008 年 1 月 1 日から 2011 年 3 月 10 日の期間のデータを用いて定常トレンドを推定し、2011 年 3 月 11 日以降の期間に外挿し取り除いた。

次に東北地方太平洋沖地震の余効変動の除去を試みた。余効変動の時間変化が指数関数と対数関数の和によって近似できると仮定し、2011 年 3 月 12 日から 2012 年 12 月 31 日の期間のデータを用いて推定を行い、2013 年 1 月 1 日以降の期間に外挿し取り除いた。

また、時系列データには定常トレンドや東北地方太平洋沖地震の余効変動の他に、季節成分も見

られ、年周成分と半年周成分は三角関数を用いてモデル化されることが多い。本研究では季節成分が GNSS のアンテナ、受信機、レドームの交換や伐木の作業の際に変化することに着目し、これらの作業が行われた日で三角関数の振幅を可変とする様に改良し、より効果的に季節成分の推定と除去を行った。

### 2-3. インバージョン手法

前処理を行った 2013 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 30 日の期間の時系列に対し [5, 6] によって開発された改良型の Network Inversion Filter (NIF) を用いてフィリピン海プレート上でのすべりを推定した。この手法は、[7] によって提案された NIF を改良したものである。NIF では推定されるすべりに過度なスムージングがかかるという問題点があったが、改良型の NIF ではこの問題点を改善し、すべりの時空間発展をより高い解像度で推定することが可能となった。

### 3. 結果と考察

2013 年の 1 ~ 2 月頃から浜名湖の西側で L-SSE

による非常にゆっくりとしたすべりが推定され、2013 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 30 日の期間の最大積算すべり量は約 6.5cm (図 1(A)), モーメントマグニチュード (図 1(A) 赤色四角内) は約  $M_w6.5$  と推定された。また、この領域での解放モーメントの時間発展は図 1(B) 赤線で示され、急激に加速した期間が見られた。

この期間は、L-SSE と同時推定に成功した複数個の S-SSE の中で、特に規模の大きかった 2014 年 1 月と 2015 年 4 月の S-SSE (図 1 C, D) の発生した期間と一致した。図 1 A, C, D より、L-SSE と S-SSE のすべりの中心が重ならないこと、L-SSE のすべりの中心付近 (図 1 A の青色四角内) での解放モーメントの時間変化 (図 1 B の青色線) は、S-SSE の発生領域 (図 1 A の桃色四角内) での解放モーメント (図 1 B の桃色線) にかかわらずほぼ一定であることがわかった。また、本研究で推定された結果から、S-SSE によるすべりの加速に伴って LFT の発生が誘発されたことも示唆される。S-SSE と LFT [8] の時空間発展の詳細については本発表で紹介する。

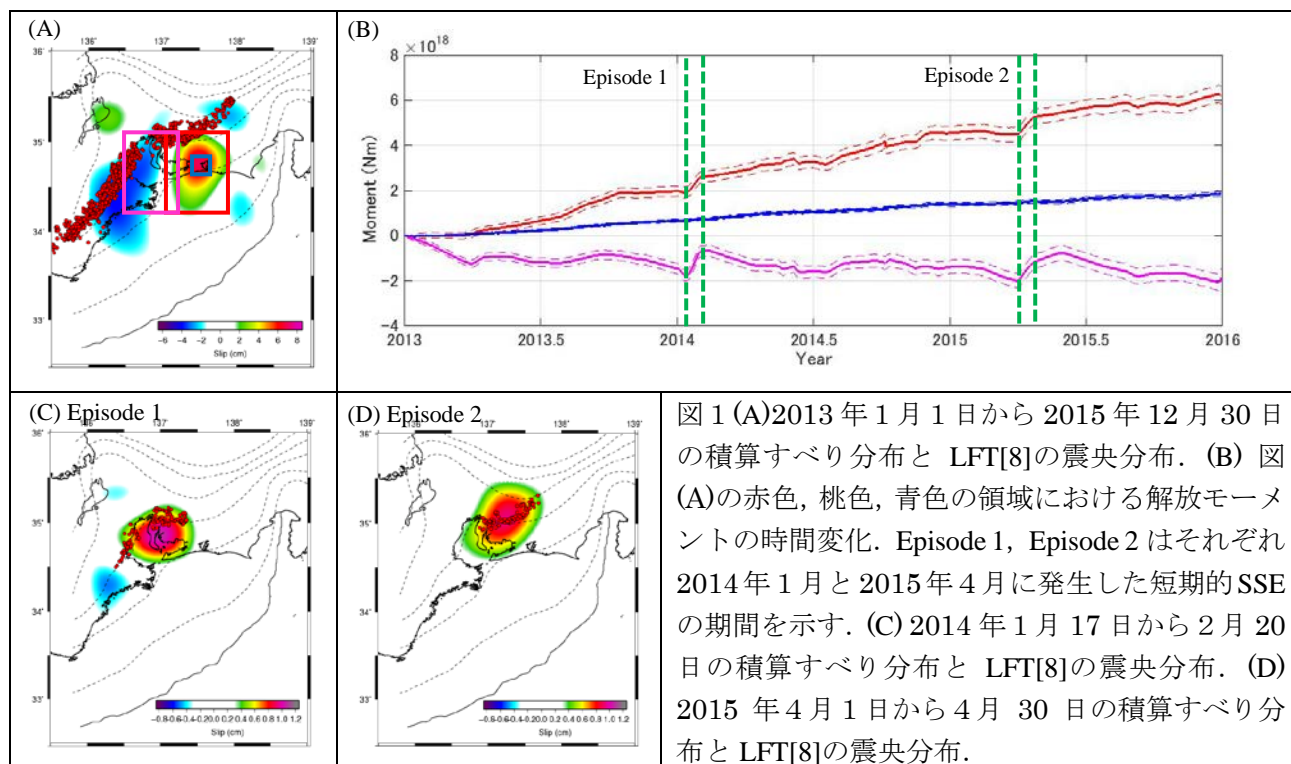


図 1 (A) 2013 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 30 日の積算すべり分布と LFT [8] の震央分布. (B) 図 (A) の赤色、桃色、青色の領域における解放モーメントの時間変化. Episode 1, Episode 2 はそれぞれ 2014 年 1 月と 2015 年 4 月に発生した短期的 SSE の期間を示す. (C) 2014 年 1 月 17 日から 2 月 20 日の積算すべり分布と LFT [8] の震央分布. (D) 2015 年 4 月 1 日から 4 月 30 日の積算すべり分布と LFT [8] の震央分布.

### 4. 謝辞

本研究では、東京大学地震研究所小原一成教授よりご提供頂いた深部低周波微動のカタログ及び国土地理院 GEONET データを使用しました。ここに記して感謝いたします。

### 5. 参考文献

[1] Ozawa et al., 2002 [2] Hirose & Obara, 2006 [3] Ozawa et al., 2016 [4] Zumberge et al., 1997 [5] Fukuda et al., 2004 [6] Fukuda et al., 2008 [7] Segall & Matthews, 1997 [8] Obara et al., 2010