

### 12 - 3 南海トラフ周辺におけるスロースリップイベントと地震発生準備過程の数値モデリング：近年の観測研究を踏まえて

#### Numerical modeling of slow slip events in the earthquake preparation process around the Nankai region, based on the recent advance in observational studies

松澤 孝紀 (防災科学技術研究所)

MATSUZAWA Takanori (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

南海トラフにおける長期的スロースリップイベント（以下、SSE）は、プレート間地震時に大きなすべりが予想される固着域の深部延長上で発生しており、大地震発生との関係を理解することは重要な課題である。これまで豊後水道および東海地域において、長期的 SSE が繰り返し発生していることがよく知られ、研究されてきた。これらの地域の長期的 SSE は地震波速度構造の解析結果における高  $V_p/V_s$  の領域と対応することから、高い間隙水圧によりその発生場所が規定されている可能性を示唆されていた。しかしながら近年の観測研究の進展に伴い、日向灘、四国西部・中部、紀伊水道、志摩半島付近でも長期的 SSE の発生が報告されている<sup>1-3)</sup>。また、日向灘地域では 2～3 年間隔の短い周期で長期的 SSE が繰り返していることも指摘されている<sup>4)</sup>。このような観測結果に基づき、南海トラフにおける長期的 SSE を、限られた領域で発生する現象ではなく、広く分布する現象として捉えるとともに、地域的な特徴の差異も含めた SSE のモデル構築を行うことが、プレート間地震の準備過程と SSE の関係を理解する上で、重要と考えられる。

我々はこれまでカットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存摩擦則を用いた数値シミュレーションにより、短期的および長期的 SSE の発生をモデリングしてきた<sup>5,6)</sup>。以下では、先に述べたような長期的 SSE に関する新たな観測結果を踏まえたモデリング<sup>7)</sup>について簡単に紹介する。

本数値モデリングにおいては、これまでの研究<sup>6)</sup>と同様のアプローチを適用することで、どこまで特徴を再現できるかを検討した。まず沈み込むフィリピン海プレート上面の 3 次元形状を観測研究<sup>8-10)</sup>から設定し（第 1 図）、これを約 17 万個の三角形要素で表現した。半無限弾性媒質を仮定して要素上のすべりに対する各要素の応力変化を計算し<sup>11)</sup>、弾性媒質の影響を考慮した。摩擦パラメータについては、我々の既往の研究<sup>6)</sup>による四国の SSE の数値モデルと同様に、豊後水道、東海、および日向灘に、有効法線応力が固着域と短期的 SSE 領域の間の一定の値をもつような長期的 SSE 領域を、第 1 図のように設定した。また、短期的 SSE 領域については、実際の微動の分布<sup>12,13)</sup>に基づきすべり速度・状態依存則のパラメータ a-b 値を設定した（第 1 図）。

本モデルによって再現された日向灘の長期的 SSE の例を、第 2 図に示す。長期的 SSE 領域において、バイラテラルに滑りの伝播する様子がみられる。第 3 図には、紀伊水道付近および日向灘付近での地震サイクルの時間スケールでのすべり速度の時間発展を、それぞれ深さ断面で示す。紀伊水道付近の長期的 SSE のすべり域は、時間の進展に伴う固着域の削剥に対応し、徐々に浅い方向に広がる傾向がみられた。その後大規模 SSE が発生し、長期的 SSE 領域のすべり速度は遅くなり、次のプレート間大地震発生までの間に明瞭な長期的 SSE はみられなかった。このように長期的 SSE のすべりの発生間隔があまり一定でなく、固着域の削剥過程に伴って滑り域が浅くなるような特徴は、四国、潮岬付近、志摩半島付近でも同様にみられた。

日向灘においては、数年間隔で長期的 SSE が繰り返し発生する結果が得られた (第 3 図)。これは観測結果とよく対応している<sup>4)</sup>。またすべり速度がやや高い領域が徐々に浅くなり、固着域の削剥がみられる一方で、長期的 SSE のすべりはほぼ一定の領域で発生しており、地震サイクルにおける変化は顕著でなかった。このようにほぼ一定の領域で長期的 SSE のすべりが繰り返す特徴は、豊後水道、東海地域についても同様にみられた。これらの領域では、前述のように有効法線応力の分布により長期的 SSE の領域を設定しており、再現された長期的 SSE はそれに特徴づけられ発生している。我々のモデルは、南海トラフで普遍的に発生する長期的 SSE を説明するとともに、長期的 SSE の地域的な特徴についても、摩擦パラメーターの分布を仮定することで、ある程度説明できることを示した。また、とくに前者の四国や紀伊水道付近、志摩半島付近のタイプの長期的 SSE については、数十年以上の時間スケールで発生挙動の変化がみられる可能性が示唆された。

シミュレーション結果から予測されるような SSE の発生挙動の変化の有無を議論し、モデルを検証するためには、スロー地震の長期間の活動状況の把握が必要となる。将来にわたってスロー地震のモニタリングを継続していくことはまず重要であるが、過去のスロー地震活動を明らかにすることも有用である。例えばアナログ記録の活用<sup>14)</sup>なども、その一つの可能性であろう。

(松澤 孝紀)

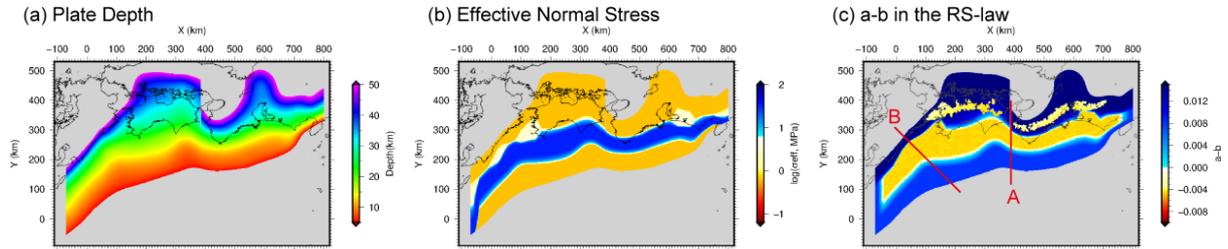
MATSUZAWA Takanori

#### 謝辞

三角形要素上のすべりによる応力変化を計算するグリーン関数については、R. Simpson 博士および W. Stuart 博士のプログラム<sup>11)</sup>を利用させていただいた。本稿で紹介した研究の一部は科研費 (16H06477, 19K04044, 20H01987) により補助された。

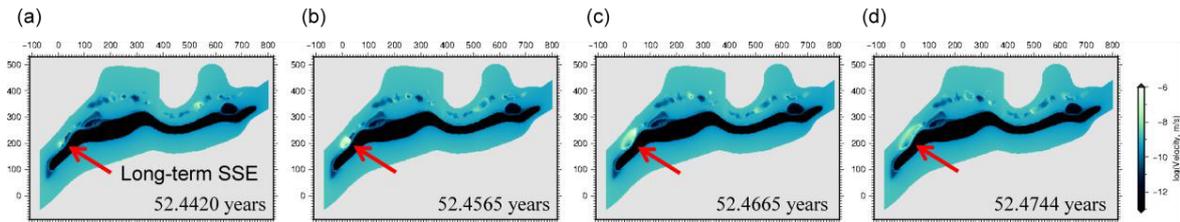
#### 参考文献

- 1) Ozawa et al. (2017), *Earth Planets Space*, **69**:56.
- 2) 国土地理院 (2021), *予知連会報*, **105**, 402-413.
- 3) Kobayashi & Tsuyuki (2019), *Earth Planets Space*, **71**:60.
- 4) Takagi et al. (2019), *J. Geophys. Res.*, **124**, 3853-3880.
- 5) Matsuzawa et al. (2010), *J. Geophys. Res.*, **115**, B12301.
- 6) Matsuzawa et al. (2013), *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 5125-5130.
- 7) 松澤・芝崎 (2020), 日本地震学会 2020 年秋季大会, 南海トラフおよび日向灘におけるスロースリップイベントの数値モデリング —近年の観測研究との比較—.
- 8) Baba et al. (2006), *Tectonophysics*, **426**, 119-134.
- 9) Shiomi et al. (2008), *Geophys. J. Int.*, **173**, 1018-1029.
- 10) Ide et al. (2010), *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L21304.
- 11) Stuart et al. (1997), *J. Geophys. Res.*, **102**, 27623-27633.
- 12) Maeda & Obara (2009), *J. Geophys. Res.*, **114**, B00A09.
- 13) Obara et al. (2010), *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L13306.
- 14) 松澤・武田 (2021), 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 関東東海地殻活動観測網アナログ地震計記録の微動解析に向けた自動デジタル化の試み.



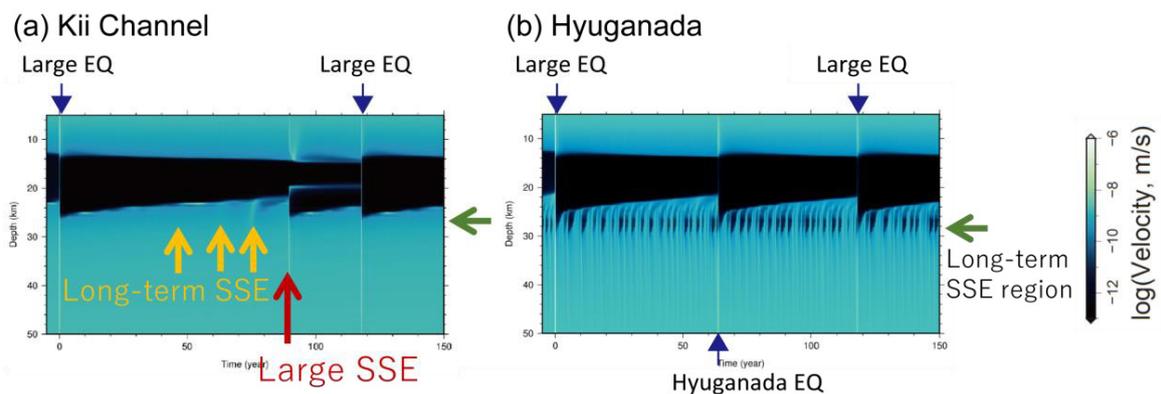
第 1 図 数値シミュレーションにおいて仮定したパラメータ分布。(a) プレート境界の深さ。(b) 有効法線応力の分布。(c) すべり速度・状態依存摩擦則における a-b 値の分布。赤線 A, B は第 3 図で示したすべり速度分布の位置を示す。

Fig. 1 Parameter distributions assumed in our numerical simulation. (a) Depth of plate interface. (b) Distribution of effective normal stress. (c) a-b value in the rate- and state-dependent friction law. Red lines show the location of cross sections shown in Fig. 3.



第 2 図 (a)-(d) 日向灘地域の長期的 SSE 発生時のすべり速度分布のスナップショット (赤矢印)。

Fig. 2 (a)-(d) Snapshots of slip velocity distribution during a long-term slow slip event in the Hyuganada region (red arrows).



第 3 図 すべり速度の時間発展。上部の青矢印は南海トラフにおける大地震発生時を示す。緑矢印は長期的 SSE の発生領域を示す。(a) 紀伊水道を通る測線 (第 1 図 (c) の赤線 A) における深さ断面。橙色矢印、および赤矢印は、それぞれ長期的 SSE、大規模 SSE を示す。(b) 日向灘を通る測線 (第 1 図 (c) の赤線 B) における深さ断面。図の下部の青矢印は、日向灘地域での地震発生時を示す。

Fig. 3 Temporal evolution of slip velocity. Blue arrows on the top of figures show the time of large earthquakes in the Nankai region. Green arrows show the regions of long-term slow slip events (SSEs). (a) Cross section at the Kii Channel region (A in Fig. 1(c)). Orange arrows and a red arrow show the time of long-term SSEs and a large SSE, respectively. (b) Cross section at the Hyuganada region (B in Fig. 1(c)). A blue arrow at the bottom of the figure shows the time of an earthquake at the Hyuganada region.