

# スラブ内地震、海溝型巨大地震とスロー地震

国際地震工学センター 主任研究員 北 佐枝子

## 目次

- I はじめに —スラブ内地震研究の意義—
- II 紀伊半島下のスラブ内地震、海溝型巨大地震（南海トラフ地震）とスロー地震
  - 1) ゆっくりすべり（スロー地震）について
  - 2) ゆっくりすべりとスラブ内地震との連動
  - 3) ゆっくりすべり前後での地震活動の変化
  - 4) ゆっくりすべり前後での応力場の変化
  - 5) スラブ内地震を用いた解析による南海トラフ地震発生域「固着のはがれ」検出の意義
- III おわりに
- 参考文献

## I はじめに —スラブ内地震研究の意義—

日本列島周辺域では、世界の地震のうち 15%ほどが集中して発生し、その発生タイプは主に 4 つに分類される。スラブ内地震はそのうちの 1 つで、沈み込む海洋性プレート内部で発生する（図 1）。スラブ内地震は、プレート境界型や内陸地震型と比べて周波数特性が異なり、短周期地震波を励起する性質を持つ[Morikawa and Sasatani 2003; 笹谷ほか 2006]。スラブ内地震の応力降下量も、プレート境界型や内陸地震型と比べて大きい傾向を持つことも報告されている[浅野ほか 2004; 佐藤 2004 など]。

特に首都のある関東平野は、3 つのプレートが重なり合っていることにより、周辺域と比較して地下深部が低温状態であるため地震の発生ピークの下限が局地的に深くなっているため[Omuralieva et al. 2012]、関東平野下では周辺域と比べてスラブ内地震が最も深部まで活発に発生している。しかしながら、このようなスラブ内地震の性質・空間分布の特徴等も、地震工学・土木・建築分野等から必ずしも深く理解されてはいない状況にあると思われる。スラブ内地震は、2021 年 M7.3 福島沖地震でも構造物の被害を引き起こしており、海外でも被害地震となる事例は多くあり、地震防災の観点でもスラブ内地震への総合的理解がすすむことが重要である。

今回の発表では、スラブ内地震を用いた最先端研究について紹介する。2021 年 12 月に英国誌の Nature Communications にて発表

し[Kita et al. 2021]、その際のプレスリリース資料（建築研究所ニュース 2021）参照にしつつ、南海トラフ地震と絡めた、発展的なスラブ内地震研究について紹介する。

## II 紀伊半島下のスラブ内地震、海溝型巨大地震（南海トラフ地震）とスロー地震

### 1) ゆっくりすべりについて

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震や想定される南海トラフ地震など、大きな地震災害を引き起こす海溝型巨大地震の震源域では、「ゆっくりすべり（別名：スロー地震、スロースリップ）」と呼ばれる、数日から数年の継続時間を持つ地殻変動現象が報告されてきている。ゆっくりすべりは、海溝型巨大地震同様にプレート境界にて発生し、海溝型巨大地震の想定震源域の縁で発生する。またシミュレーション研究からは、海溝型巨大地震の準備過程を担うことが指摘されている（図 1）。

### 2) ゆっくりすべりとスラブ内地震との連動

ゆっくりすべりは、大陸プレートと海洋性プレートが接する場所（プレート境界）にて発生するが、その下側に位置する海洋性プレート内部の地震（スラブ内地震）と、ゆっくりすべりの発生との連動の報告はあるものの[Warren-Smith et al. 2019]、詳細なメカニズムについては十分に検証・理解されていなかった。

そこで本研究では、日本列島に配備された基盤的地震観測網により収録された南海トラフ・紀伊半島の17年分の地震観測データを使い、スラブ内地震と海洋性プレート内の応力場の時空間変化を詳しく調べた結果を報告する。

### 3) ゆっくりすべり前後での地震活動の変化

本研究では、基盤的地震観測網の高感度地震計により観測された約17年分の気象庁一元化震源データ、防災科学技術研究所による深部低周波微動カタログ等を用い、ゆっくりすべり（周期6ヶ月の短期的スロースリップ）の発生時からの相対的な時間に対してスラブ内地震の活動が時間的にどのように変化を調べた。すると、全40回程度のゆっくりすべり発生の約1ヶ月半～1ヶ月前には、1) 地震活動を表す指標のb値の急上昇、2) 地震発生数の急上昇という、ゆっくりすべりとスラブ内地震の連動を見出すことに成功した（図2）。地震前の微小地震活動やb値の急上昇の特徴は、地下深部での誘発地震等にも見られる特徴である[Yoshida et al. 2017]。西南日本に分布する岩石（付加体）の特徴や、地下深部構造（地震波減衰構造・速度構造、例えば Kita and Matsubara 2016; Shibutani and Hirahara 2017）の解析結果も踏まえると、本研究によるスラブ内地震とゆっくりすべりの発生時期の連動は、スラブからその上のプレート境界への地殻流体の移動が原因と推測される。

### 4) ゆっくりすべり前後での応力場の変化

ゆっくりすべり発生に伴う海洋性プレート内の応力場の時空間変化も、防災科学技術研究所により発震機構解（震源メカニズム解）データを用いて応力インバージョン法を適用することにより詳しく調べた。すると、ゆっくりすべりの発生前後で、ゆっくりすべりの発生域直下で応力場の開放が見られた。これは、ゆっくりすべりの発生と関連した、深さ30-40kmのプレート境界での固着のはがれが示唆する（図3）。

一方で、ゆっくりすべり発生域（深さ30-40km）からプレート境界を浅い方に伝った地域である、南海トラフ地震の想定すべり域（同20-30km）では、ゆっくりすべりの発生直後には固着が弱まらず、小さなゆっくりすべり（別名：相似地震）が遅れて発生することにより固着の解消が遅れて伝搬することも見つけた（図4）。なお、上記の固着の解消は、紀伊半島における測地学的研究では見つかっておらず、スラブ内地震を用いたプレート境界での固着の解消の把握は世界で初めての成果である。

### 5) スラブ内地震を用いた解析による南海トラフ地震発生域「固着のはがれ」検出の意義

前項目までにおいて、本研究では、海溝型巨大地震発生域のプレート境界における固着の時間的・空間的な変化を、スラブ内地震を用いて世界で初めて把握できたことを記した。この事実は、以下の理由から地震防災上も極めて重要である。これまで、ゆっくりすべりなどの海溝型巨大地震の準備過程に伴う地殻変動の監視には、GPS（GNSS）・傾斜計・歪計と呼ばれる測地学的観測データが主に用いられていた。しかし、それらの測地学的手法は、海岸線より海側では分解能が低くなり、気象条件の変化の影響を受けやすく、調査地域の紀伊半島では豪雨や台風通過の際にゆっくりすべりの発生を十分に把握できないケースもあったからである。

## III おわりに

本研究は理学的な視点で見ると、スラブ内地震を用いて海溝型巨大地震の想定すべり域での「固着のはがれ」のサイクルを検出できただけでなく、地球内部での地殻流体（水）の循環の理解を前進させた面でも重要である。ゆっくりすべりを引き起こした地殻流体が、プレート境界伝いに徐々に浅い方に伝わっていくことで、南海トラフ地震の想定震源域まで固着の解消が伝播したと考えられるが、地殻流体の行方についても今後解き明かされるべき重要な謎の1つである。

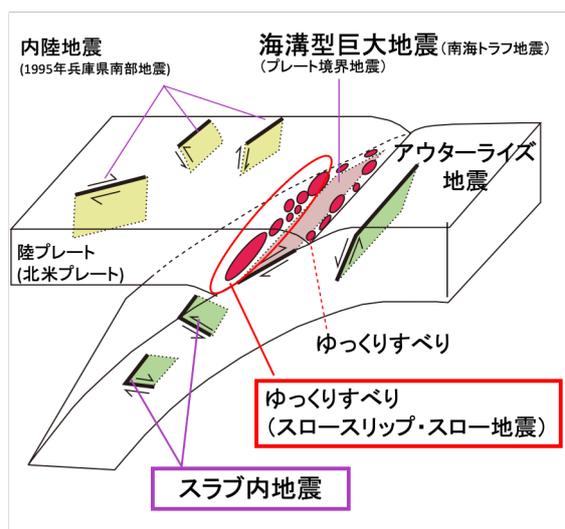


図1：日本列島下で発生する地震のタイプとゆっくりすべりの位置関係（東西断面図）。ゆっくりすべりは海溝型巨大地震の縁で発生し、共にプレート境界で発生。プレート境界よりも下の海洋性プレート（スラブ内）で発生する地震が、スラブ内地震。

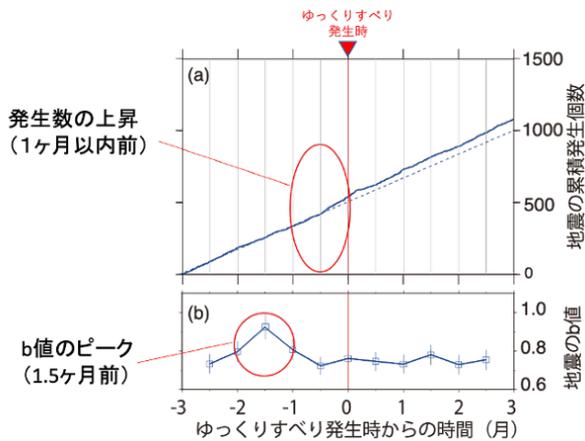


図2: ゆっくりすべりの発生時に対するスラブ内地震の地震活動の時間変化 (約17年分のデータを、ゆっくりすべり発生時からの時間で並び替えたもの)。(a) スラブ内地震の発生数の時間変化、(b) 同地震のb値 (発生した地震の平均マグニチュードと関係する指標。b値が大きいと、大きな地震に比べて小さな地震の割合が高い。) の変化。

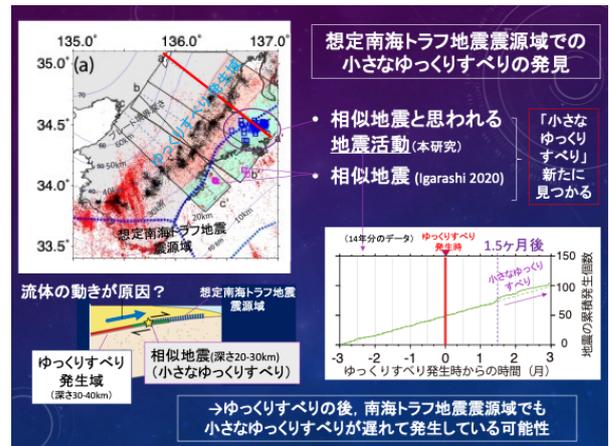


図4: 想定南海トラフ地震震源域での小さなゆっくりすべりの発見に関する説明。小さなゆっくりすべりの発生指標の1つである相似地震活動 (深さ約20-30km) が、ゆっくりすべり (深さ30-40km) 発生1.5ヶ月後から活発になっており、浅い方で遅れて小さなゆっくりすべりが起きていることがわかる。

#### 参考文献

浅野公之・岩田知孝・入倉孝次、2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション、地震 第2輯、57、171-185 (2004)。

建築研究所ニュース、南海トラフ地震の詳細な固着はがれの検出に成功! ~紀伊半島下の想定震源域でのスロースリップの”すべりの遅れ”を発見~、535号 (2021)。

Kita, S., Houston, H., Yabe, S. et al., Effects of episodic slowslip on seismicity and stress near a subduction-zone megathrust, Nature Communications, 12, 7253 (2021)。

Kita, S. and Matsubara, M. Seismic attenuation structure associated with episodic tremor and slip zone beneath Shikoku and the Kii peninsula, southwestern Japan, in the Nankai subduction zone. J. Geophys. Res. Solid Earth 121, 1962-1982 (2016)。

Morikawa, N., and T. Sasatani, Source spectral characteristics of two large intra-slab earthquakes along the southern Kurile-Hokkaido arc, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, 1-4, 67-80 (2003)。

Omuralieva, A.M. et al., Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, Tectonophysics, 518-521,

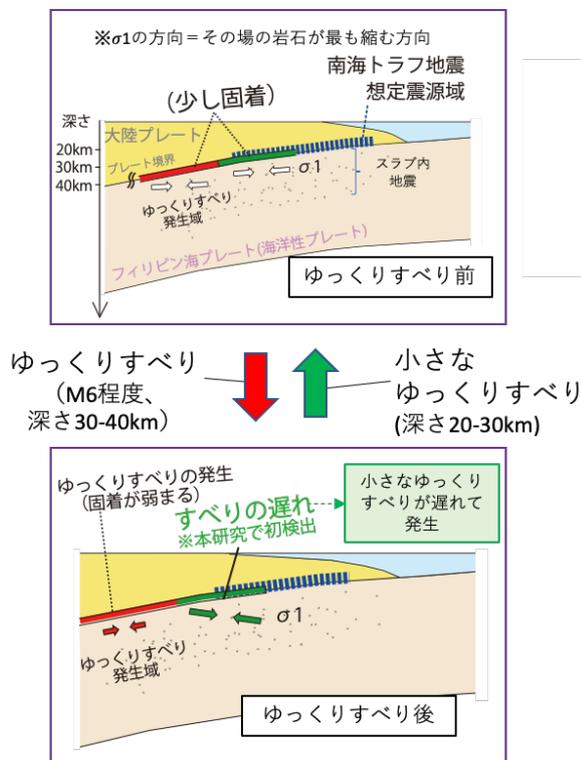


図3: ゆっくりすべりの発生前後での沈み込む海洋性プレート内での応力場の時空間変化 (鉛直断面での概念図)。

(2012).

笹谷努・森川信之・前田宜浩、スラブ内地震の震源特性北海道  
大学地球物理学研究報告、69、123-134 (2006).

佐藤智美、宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の短周  
期レベルの推定、日本地震工学会論文集、第4巻、第1号  
(2004).

Shibutani, T. and K. Hirahara, 3D seismic velocity structure  
beneath Kii Peninsula, southwestern Japan derived from  
receiver function analysis and seismic tomography, presented  
at IAG-IASPEI 2017, J08-P12, Kobe, Japan (2017).

Warren-Smith, E. et al., Episodic stress and fluid pressure  
cycling in subducting oceanic crust during slow slip, *Nature  
Geoscience*. 12, 475–48 (2019).

Yoshida, K. et al., Temporal changes in stress drop, frictional  
strength, and earthquake size distribution in the 2011  
Yamagata-Fukushima, NE Japan, earthquake swarm, caused  
by fluid migration, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 122, 10,379–  
10,397 (2017).