

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～

【研究の概略と成果のポイント】

国立研究開発法人 建築研究所が、他機関と共同して2013年～21年にかけて実施したものです。研究論文は、12月21日(イギリス時間午前10時、日本時間同日19時)、英国 Nature Publishing Group のオンライン科学雑誌「Nature Communications」に掲載されます。

研究論文タイトル:

Effects of episodic slow slip on seismicity and stress near a subduction-zone megathrust

(仮訳) 沈み込み帯で発生する巨大地震付近の地震活動度合いと応力に及ぼすスロースリップの影響

- ・海溝型巨大地震の準備過程といわれるゆっくりすべり(スロースリップ)*1の発生が、スラブ内地震(沈み込む海洋性プレート内部で発生する地震)*2と連動して起きることを解明した。
- ・その連動の原因は、地下深部の水(地殻流体)の移動であることを、世界で初めて、長期的かつ継続的に収録されたスラブ内地震の観測データの検証により示した。
- ・また、これまで、測地学的手法で捉えられてきたゆっくりすべりとプレート間での固着はがれの様子を、世界で初めてスラブ内地震の観測データを用いてより詳細に捉えることに成功した。

(用語解説)

- *1 ゆっくりすべり: スロースリップまたはスロー地震と呼ばれる、継続時間が数日から時に数年に及ぶゆっくりとした地殻変動現象。日本列島では海溝型巨大地震の縁のプレート境界にて発生する。通常の地震と比べ、解放される応力や地震動は著しく少ないが、海溝型巨大地震の準備過程を担うと考えられている。
- *2 スラブ内地震: 沈み込む海洋性プレート(スラブ)内部で発生する地震。時に被害地震となることがあり、1994年 M7.8 釧路沖地震 2001年 M7.0 芸予地震なども該当する。

詳細情報

1. 研究の概要

南海トラフ・紀伊半島下にて 17 年分の地震観測データを調べたところ、M6 程度のゆっくりすべり(スロースリップ)が起きるたびに、沈み込む海洋性プレート内部の応力状態(力のバランス)と地震活動のパターンが変化することを見つけました。さらに、その原因が海洋性プレート内部からプレート境界(大陸プレートと海洋性プレートとの境界)への水(地殻流体)の移動であることを長期観測データ解析により明らかにしました。また、地下深部(約 30-40km)だけでなく、プレート境界伝いに南海トラフ地震の想定震源域(深さ 20-30km)までゆっくりすべりが伝搬していく様子も、地震観測データから世界で初めて捉えることに成功しました。今回提案する解析手法では、気象条件の良し悪しに左右されない基盤的地震観測網の地震観測データを使用しており、海溝型巨大地震の準備過程に関する安定した新たな監視手法の研究開発が可能となりました。

この研究成果は、国立研究開発法人 建築研究所、カリフォルニア大学バークレ校、南カリフォルニア大学、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、国立研究開発法人防災科学技術研究所、京都大学防災研究所、広島大学先進理工系科学研究科による共同研究の成果です。研究論文は、12 月 21 日(イギリス時間午前 10 時)、英国 Nature Publishing Group のオンライン科学雑誌「Nature Communications」に掲載されます。

2. 論文情報

研究論文タイトル:

Effects of episodic slow slip on seismicity and stress near a subduction-zone megathrust

(仮訳) 沈み込み帯で発生する巨大地震付近の地震活動度合いと応力に及ぼすスロースリップの影響

著者名: 北 佐枝子^{1,2}、Heidi Houston³、矢部 優⁴、田中 佐千子⁵、浅野 陽一⁵、
澁谷 拓郎⁶、須田 直樹⁷

所属:1. 国立研究開発法人 建築研究所 国際地震工学センター、2. カリフォルニア大学バークレ校、3. 南カリフォルニア大学、4. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター、5. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター、6. 京都大学 防災研究所、7. 広島大学 先進理工系科学研究科

論文掲載 URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-27453-8>

3. 研究の背景

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^{*1}の(想定)震源域では、ゆっくりすべり(スロースリップ)^{*2}と呼ばれる、継続時間が数日から数年の地殻変動現象の発生が報告されてきました。ゆっくりすべりは、海溝型巨大地震の想定震源域の縁で起きることが知られており、シミュレーション研究結果を根拠に、海溝型巨大地震の準備過程の 1 つを担うことが指摘されています(図 1)。

海溝型巨大地震やゆっくりすべりは、大陸プレートと海洋性プレートが接する場所、すなわちプレート境界にて発生します。そのプレート境界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）^{※3}が、ゆっくりすべりの発生と連動することは知られていましたが、その詳細なメカニズムについては、これまで十分に検証されてきませんでした。

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^{※4}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って、海洋性プレート内部の地震（スラブ内地震）と応力場（力のバランス）の時空間変化を詳しく調べました。

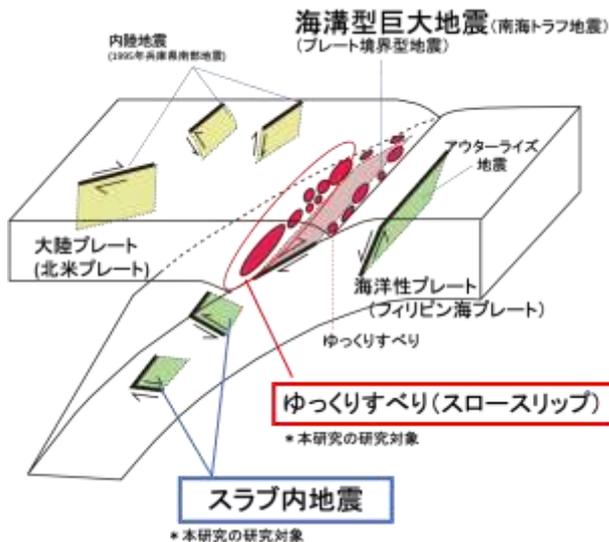


図1：日本列島下で発生する地震のタイプとゆっくりすべりの位置関係（鉛直断面図）。ゆっくりすべりは海溝型巨大地震の縁で発生し、共にプレート境界で発生する。プレート境界よりも下の海洋性プレート（スラブ内）で発生する地震が、スラブ内地震と呼ばれる。

4. 研究成果の内容

紀伊半島にて観測された約17年分の地震データを用い、ゆっくりすべりの発生時からの時間に応じて地震活動がどのように変化するかを調べました。すると、全40回程度のゆっくりすべり発生時の約1ヶ月半～1ヶ月前には、地震活動を表す指標のb値^{※5}の急上昇と、微小地震発生数の急上昇が見られるという、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ました（図2）。

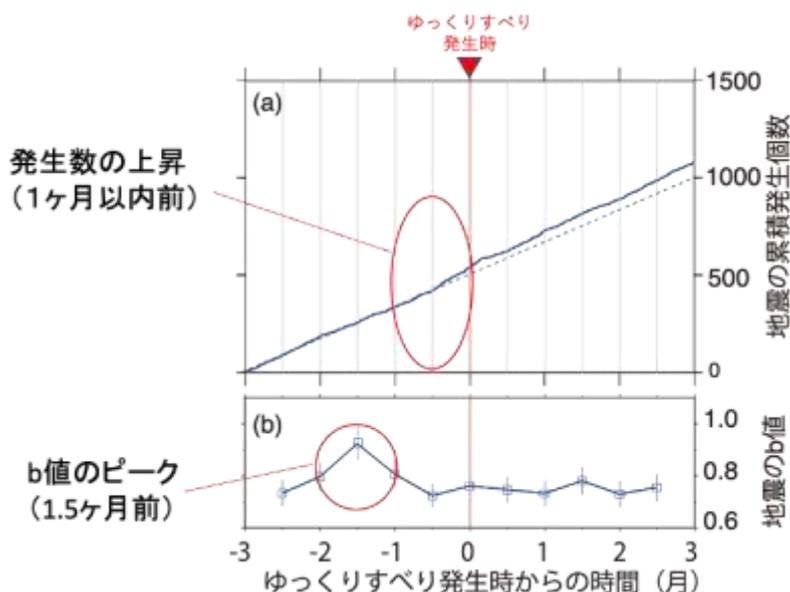


図2：ゆっくりすべりの発生時に対するスラブ内地震の地震活動の時間変化（約17年分のデータを、ゆっくりすべり発生時からの時間で並び替えたもの）。

(a) スラブ内地震の発生数の時間変化、
(b) 同地震のb値の変化。

本震前の微小地震活動や b 値の急上昇の特徴は、地下奥深くの水(地殻流体^{※6})の動きに連動して発生する地震活動(地殻変動現象)に見られる特徴です。西南日本で見つかる岩石の特徴や、地下深部構造の解析結果とも合わせて考えると、本研究で観測されたこの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ます。

これまで、ゆっくりすべりとスラブ内地震の発生時期の連動の原因に関しては、数少ない観測データから地殻流体移動や流体圧移動の関与が示唆されてきましたが、本研究のような約17年という長期間の観測データを用いた詳細な検証は世界初の事例です。

また、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地震観測データから詳しく調べました。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、ゆっくりすべりの発生による深さ 30-40km のプレート境界(海洋性プレートと、その上の大陸プレートとの境界)での固着のはがれが示唆されます(図3)。

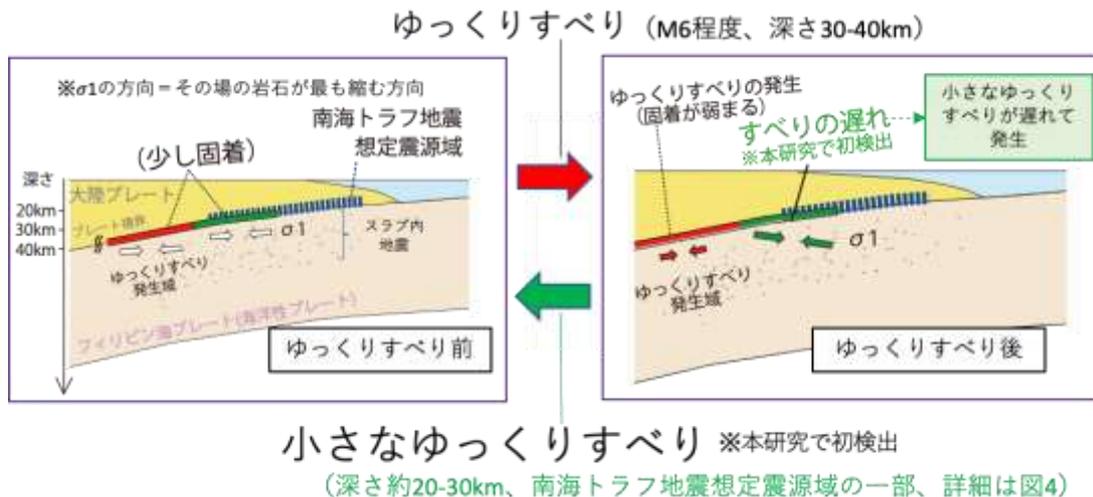


図3: ゆっくりすべりの発生前後での応力場の時空間変化(鉛直断面での概念図)

一方で、ゆっくりすべり発生域(M6程度、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(相似地震^{※7})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を、地震活動の監視により世界で初めて捉えることに成功しました(図4)。

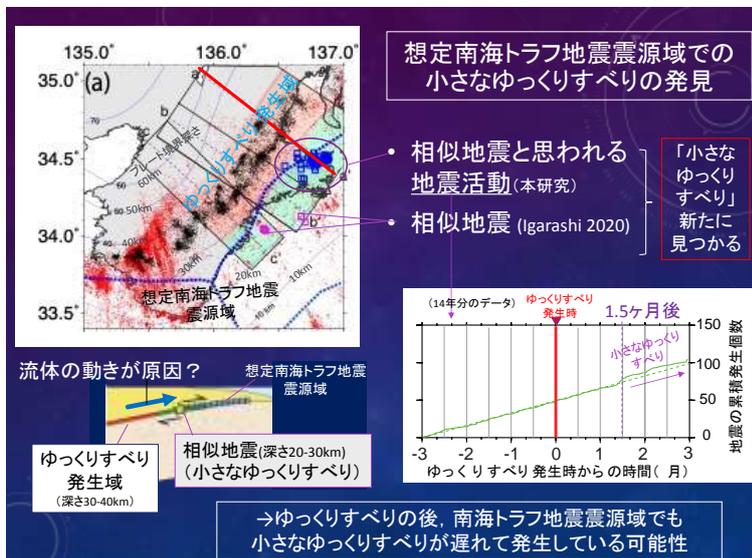


図4: 想定南海トラフ地震震源域での小さなゆっくりすべりの発見に関する説明スライド。小さなゆっくりすべりの発生指標の1つである相似地震活動(深さ約20-30km)が、ゆっくりすべり(深さ30-40km)発生から1.5ヶ月後から活発になっており、浅い方で遅れて小さなゆっくりすべりが起きていることがわかる。

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ました。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も受けやすく、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りました。

そのような状況の中、海溝型巨大地震の想定震源域における詳細な地殻変動現象(プレートの固着の時間的、空間的な変化)が、南海トラフ地震が想定される紀伊半島において測地学的手法よりも詳細に把握できたことは地震防災上も極めて重要です。また、世界的に見ても長期的かつ安定的に運用されている基盤的地震観測網が日本列島に配備されていることも、本研究の研究開発が可能となった理由の1つと言えるでしょう。

5. 今後の展望

本研究での成果は、地震防災上極めて重要な進展と認識しています。とはいえ、あくまで収録された過去の地震データを使った解析であり、今後のさらなる研究開発によりリアルタイムでの海溝型巨大地震の監視技術まで昇華させることが重要になってきます。一方で、地球科学的な視点で見ると、本研究の成果は、地球内部での地殻流体(水)の循環の理解を前進させたともいえます。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ますが、地殻流体の行方は今後解き明かされるべき重要な謎の1つです。

【用語解説】

- ※1 海溝型(巨大)地震: M9 東北地震など、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)で起きる地震のこと。海底下で2つのプレートが接し始める場所は、海溝にあたるためこの名称で呼ばれることが多い。別名プレート境界型地震。
- ※2 ゆっくりすべり: スロースリッパまたはスロー地震と呼ばれる、継続時間が数日から時に数年に及ぶゆっくりとした地殻変動現象。日本列島では海溝型巨大地震の縁のプレート境界にて発生する。通常の地震と比べ、解放される応力や地震動は著しく少ないが、海溝型巨大地震の準備過程を担うと考えられている。
- ※3 スラブ内地震: 沈み込む海洋性プレート(スラブ)内部で発生する地震。時に被害地震となることがあり、1994年 M7.8 釧路沖地震 2001年 M7.0 芸予地震なども該当する。
- ※4 基盤的地震観測網: 防災科学技術研究所を中心とした複数の国立研究開発法人、国立大学、地方自治体の持つ地震観測点の総称。M O W L A Sとも呼ばれ、収録された地震データを一元的に集めて活用することにより、国家規模では世界で最も高密度の高感度地震観測網となっている。兵庫県南部地震を契機に整備され、緊急地震速報などにも使われている。
- ※5 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ことを意味する。最新の研究結果では、岩石が含む水の割合が高いとb 値が大きくなることが指摘されている。
- ※6 地殻流体: 地下奥深くに存在する流体のこと。水やガスなどを含むことが多い。
- ※7 相似地震: 小繰り返し地震とも呼ばれ、規模の小さなゆっくりすべりの発生指標の1つ。小さなゆっくりすべりに引きずられ、プレート境界で発生する現象。