

# 南海トラフプレート境界断層の現場再現実験から断層のすべり特性を解明

## —スロー地震と巨大地震の発生メカニズムの解明に貢献—

奥田 花也<sup>1)2)3)</sup>・北村 真奈美<sup>4)</sup>・高橋 美紀<sup>5)</sup>・山口 飛鳥<sup>2)3)</sup>

※本稿は、2023年9月21日に行ったプレス発表 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2023/pr20230921\\_2/pr20230921\\_2.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2023/pr20230921_2/pr20230921_2.html)) を転載したものです。

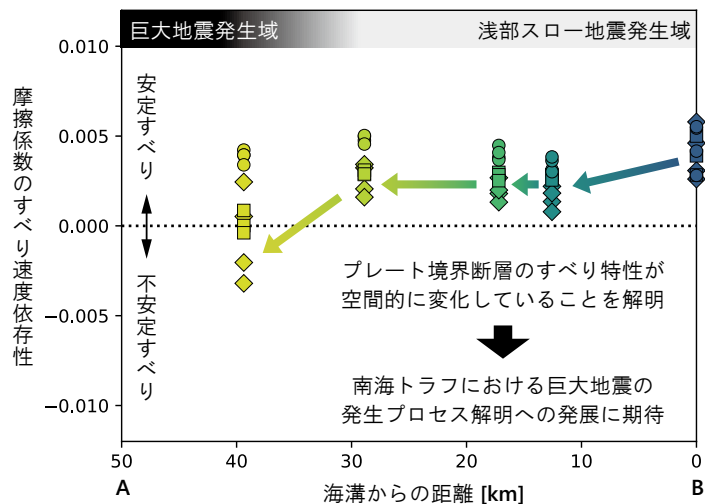
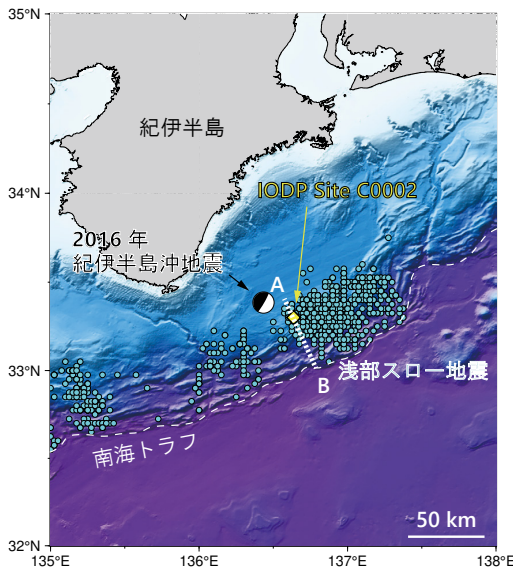
### ポイント

- 南海トラフのプレート境界断層のすべり特性を、プレート境界における温度・圧力・鉱物種条件を再現した摩擦実験によって明らかにした。
- スロー地震域から巨大地震発生域では、沈み込みに伴う鉱物種変化および温度上昇に伴ってすべり特性が変化することがわかった。
- 近い将来起こると予想される南海トラフでの巨大地震の発生プロセス解明への発展が期待される。

### 概要

海洋研究開発機構高知コア研究所の奥田花也研究員(研

究当時：東京大学大学院理学系研究科博士課程)、産業技術総合研究所の北村真奈美研究員と高橋美紀研究グループ長、東京大学大気海洋研究所の山口飛鳥准教授らによる研究グループは、産業技術総合研究所活断層・火山研究部門所有のガス圧式高温高压変形試験機を用いて、紀伊半島沖の南海トラフのプレート境界の温度・圧力・鉱物種条件を再現し、プレート境界断層のすべり特性を実験的に調べました(第1図)。その結果、沈み込みに伴う鉱物種の変化によって、プレート境界断層の摩擦係数(注1)が増加することがわかりました。一方、沈み込みに伴って形成された鉱物種(イライト)がもつ特性によって、温度上昇にしたがって摩擦係数のすべり速度依存性(注2)が正から負へと変化していき、結果としてプレート境界断層での地震が発生しやすくなっていくことがわかりました。



第1図 南海トラフの地震活動とすべり特性の空間分布

1) 海洋研究開発機構 〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル 23階 キーワード：地震、南海トラフ、沈み込み帯、摩擦特性  
 2) 東京大学大気海洋研究所 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号  
 3) 東京大学大学院理学系研究科 〒113-0033 東京都文京区本郷7丁目3-1  
 4) 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門  
 5) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

近年の地震観測網の発達に伴い、プレート境界では津波を引き起こすような巨大地震だけでなく、揺れをほぼ引き起こさないスロー地震という現象も観測されています。スロー地震は巨大地震の引き金になる可能性が指摘されていますが、地震の発生メカニズムや発生条件の観点から巨大地震とスロー地震の関連性の解明が望まれてきました。しかしながら、スロー地震と巨大地震のいずれも、どのようなプレート境界のすべり特性によって引き起こされているかは未解明でした。

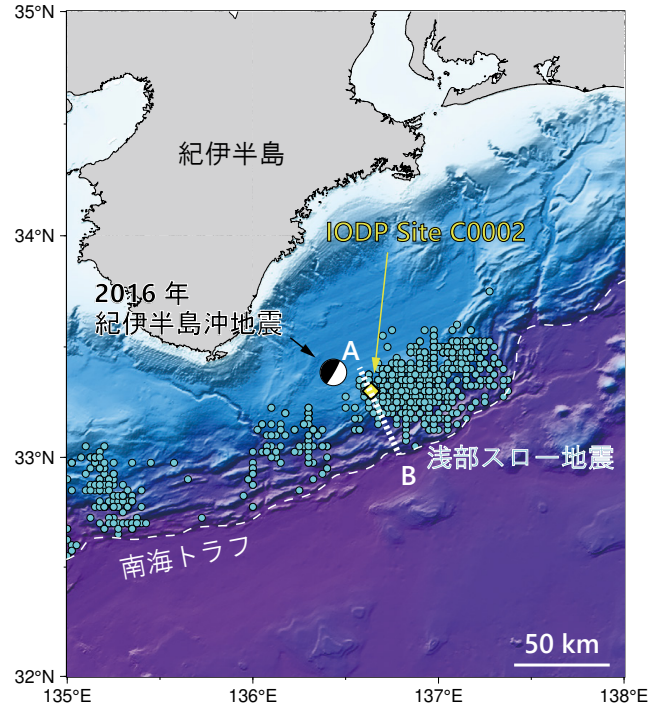
本研究は、スロー地震域から巨大地震発生域に至るまでのプレート境界断層の地震発生条件として、すべり特性を支配するパラメータの空間分布の実態を解明し、論文として発表しました。これまでの地震観測の結果との比較や、本実験結果を用いた数値シミュレーションを行うことで、南海トラフで発生する地震の波動伝播や津波発生過程のより詳細な検討が可能になると期待されます。

## 研究の背景

南海トラフではフィリピン海プレートがアムールプレートの下に沈み込み、1944年に起きた昭和東南海地震や1946年に起きた昭和南海地震など、巨大地震が起きることが知られています。また近年の詳細な地震観測によって、巨大地震が発生する領域(巨大地震発生域)よりも浅部に、地震波をほとんど放出しないスロー地震と呼ばれる地震が発生する領域(スロー地震発生域)が存在することも明らかになり、スロー地震と巨大地震との関連性が指摘されてきました(第2図)。将来の巨大地震の発生過程の解明のためには、プレート境界断層が巨大地震やスロー地震の時にどのようにすべるのかの理解が望まれています。プレート境界断層では、深くなるにつれて温度および圧力が上昇し、また化学反応による鉱物種の変化が起こります。スロー地震や巨大地震の発生域は、これらの温度・圧力・鉱物種の移り変わりに対応しているという仮説が提唱されてきました。しかしこれまで実験的な裏付けはなく、地震時の振る舞いを支配するプレート境界断層のすべり特性はよくわかっていませんでした。

## 研究の内容

本研究グループは、近年の国際深海科学掘削計画(International Ocean Discovery Program, IODP)によって、海底下深部の岩石の採取や地震観測用機器の導入などが行われ、温度・圧力・鉱物種の空間変化がよくわかっている紀

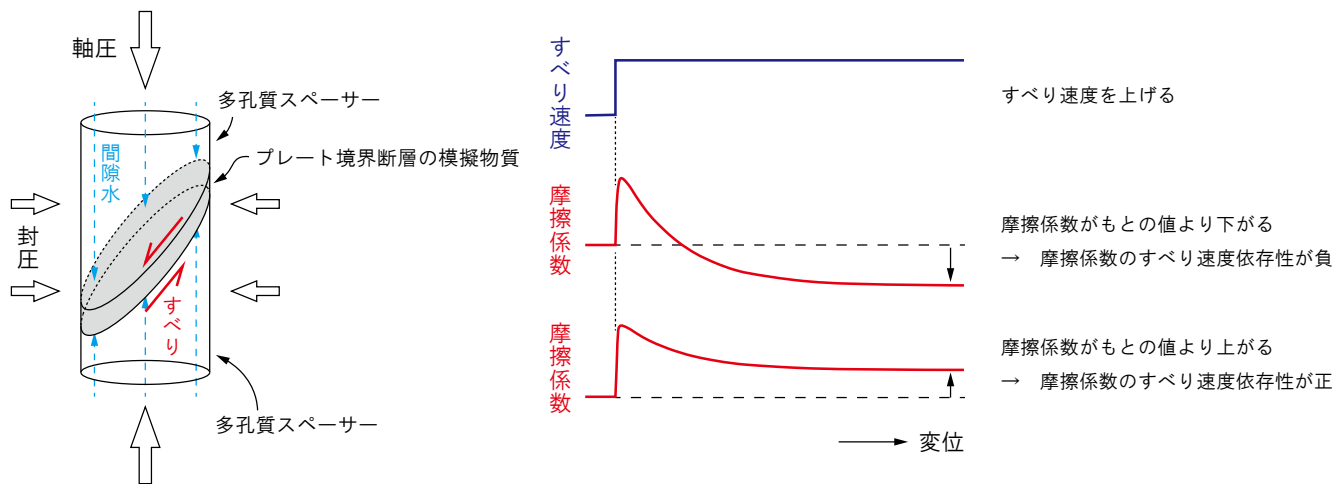


第2図 紀伊半島沖の南海トラフにおける地震活動の分布

本研究で対象とした紀伊半島沖南海トラフ。白線 AB に沿った断面でのすべり特性の空間分布を調べた。青緑色の点は浅部スロー地震を示し(Takemura et al., 2022a, b)、IODP の掘削地点(C0002)と2016年の紀伊半島沖地震の震源がそれぞれ示されている。

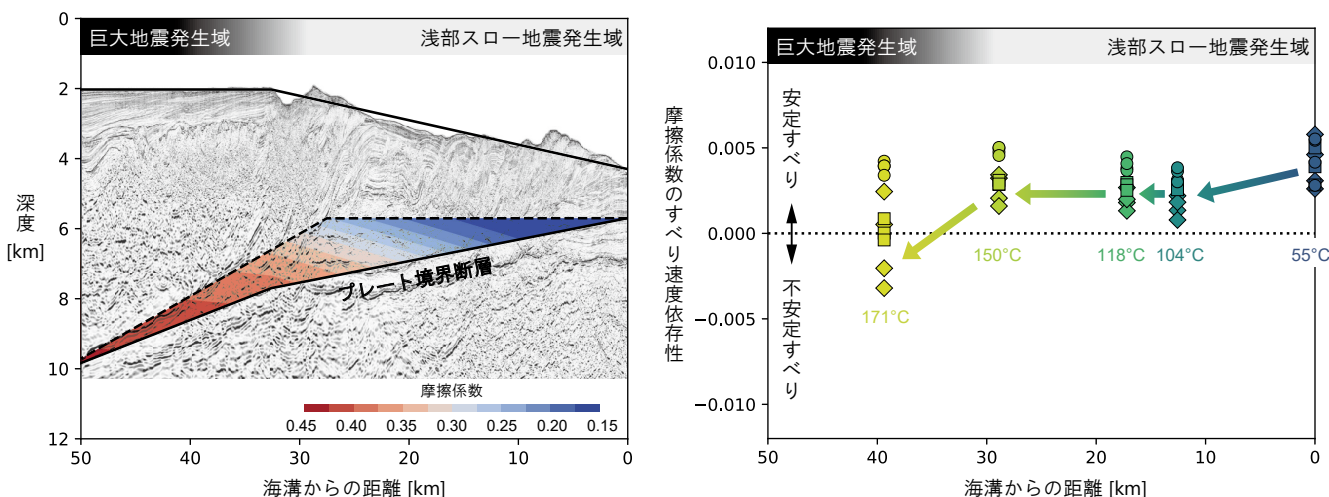
伊半島沖に着目しました。南海トラフにおけるスロー地震発生域から巨大地震発生域にかけてのプレート境界断層の試料を直接採取することは難しいため、プレート境界断層の環境を実験室で再現した摩擦実験を行うことで、プレート境界断層がもつすべり特性の空間変化を実験的に調べました(第3図)。実験には石英・曹長石・正長石・スメクタイト・イライトの粉末を混合したプレート境界断層の模擬物質を使い、鉱物の量比と温度・圧力を変化させてさまざまな深度のプレート境界断層の環境を再現し、断層強度を支配する「摩擦係数」と、断層が地震を起こすポテンシャルを表す「摩擦係数のすべり速度依存性」を調べました。

実験の結果、プレート境界断層の摩擦係数はスロー地震発生域から巨大地震発生域に向けて徐々に増加することがわかりました(第4図左)。これは蓄積される歪がプレート境界の深度によって異なり、スロー地震発生域よりも巨大地震発生域のほうが地震と地震の間により多くの歪を蓄えていられることを示しています。この摩擦係数の増加は、岩石に含まれるスメクタイトという粘土鉱物がイライトという粘土鉱物に変化することが原因であることもわかりました。また、摩擦係数のすべり速度依存性は、スロー地震発生域では正であるのに対し、巨大地震発生域では負に変



第3図 実験の概要

実験試料の模式図(左図)。斜めにカットした円柱状多孔質スパーサーにプレート境界断層の模擬物質を挟み、上下から力を加えることで試料にすべりを加える。摩擦係数のすべり速度依存性はすべり速度を急変させたときの挙動から計算できる(右図)。摩擦係数のすべり速度依存性が負のとき、地震が起こりやすい。



第4図 本研究で得られたプレート境界断層のすべり特性南海トラフのプレート境界断層における摩擦係数の空間分布(左図)と摩擦係数のすべり速度依存性(右図)

右図のシンボルの違いはすべり速度の条件の違いを表し(○:10-100 μm/s, □:1-10 μm/s, ◇:0.1-1 μm/s), 図中の温度はプレート境界断層上の、南海トラフの海溝軸からの距離における温度条件である。安定すべりは地震が起こりにくい条件、不安定すべりは地震が起こりやすい条件を示している。

化していくことが明らかになりました(第4図右)。この摩擦係数のすべり速度依存性の空間変化は温度条件に支配されていることもわかりました。これらの結果は、スロー地震および巨大地震の発生過程を解明する上で考慮すべきプレート境界断層のすべり特性を、実験により直接決定したことになります。

今後の予定

今回明らかとなったプレート境界断層のすべり特性は、

地震の発生過程のシミュレーションなどに用いるための定量的な指標となります。摩擦係数や摩擦係数のすべり速度依存性は、地震の発生サイクルを支配しており、南海トラフにおける巨大地震の発生過程についての研究の進展に貢献できると期待されます。またスロー地震は未だその発生過程が不明でしたが、本研究結果によってスロー地震発生域のすべり特性が分かったため、今後さらにスロー地震の発生機構の解明が進展し、沈み込み帯の地震活動の包括的な理解が進む手がかりが得られたといえます。本研究で得られた結果を数値シミュレーションに組み込むことによ

て、南海トラフのスロー地震や巨大地震の発生シナリオの詳細な検討が進み、結果として地表での震度分布や津波の想定高さなどがより正確に推定できるようになると期待され、防災・減災に貢献できると考えています。

## 論文情報

〈雑誌〉 Earth and Planetary Science Letters

〈題名〉 Frictional properties of the décollement in the shallow Nankai Trough: constraints from friction experiments simulating in-situ conditions and implications for the seismogenic zone

〈著者〉 Hanaya Okuda, Manami Kitamura, Miki Takahashi, Asuka Yamaguchi

〈DOI〉 10.1016/j.epsl.2023.118357

〈URL〉 <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118357>

## 研究助成

本研究は、科研費「特別研究員奨励費(課題番号: JP20J20413)」, 「新学術領域研究(課題番号: JP19H04621)」, 「基盤 B(課題番号: JP21H01189)」, 「学術変革領域研究 A(課題番号: JP21H05202)」の支援により実施されました。

## 用語解説

### (注 1) 摩擦係数

物質のすべりやすさを表すパラメータ。摩擦係数が高いと断層はより多くの歪(ひずみ)を蓄積できる。

### (注 2) 摩擦係数のすべり速度依存性

すべり速度を急変させる実験を行い、その際に摩擦係数がどう変化したかによってわかる。摩擦係数がすべり速度に応じて上がっていくと(摩擦係数のすべり速度依存性が正)、地震は起こりにくくなる(安定すべり)。一方ですべり速度に応じて下がっていくと(摩擦係数のすべり速度依存性が負)、断層すべりが加速されるため、地震を起こしやすくなる(不安定すべり)。

## 文献

Takemura, S., Obara, K., Shimoi, K. and Baba, S. (2022a) Spatiotemporal variations of shallow very low frequency earthquake activity southeast off the Kii Peninsula, along the Nankai Trough, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **127**, e2021JB023073.

Takemura, S., Baba, S., Yabe, S., Emoto, K., Shimoi, K. and Matsuzawa, T. (2022b) Source characteristics and along-strike variations of shallow very low frequency earthquake swarms on the Nankai Trough shallow plate boundary. *Geophysical Research Letters*, **49**, e2022GL097979.

---

OKUDA Hanaya, KITAMURA Manami, TAKAHASHI Miki and YAMAGUCHI Asuka (2023) Frictional properties of the décollement in the shallow Nankai Trough: constraints from friction experiments simulating in-situ conditions and implications for the seismogenic zone.

---

(受付: 2023年10月13日)