

地震発生サイクルの数値シミュレーションから期待されるプレート境界面上の固着やすべりの時空間発展

課題責任者

中田 令子

東京大学大学院理学系研究科

著者

中田 令子*¹, 堀 高峰*²

*¹ 東京大学大学院理学系研究科, *² 海洋研究開発機構海域地震火山部門地震津波予測研究開発センター

キーワード: 地震発生サイクル, 階層パッチモデル, 余効すべり, 長期的スロースリップイベント

1. はじめに

本課題では、南海トラフおよび日本海溝を対象として、沈み込むプレート境界面上の固着やすべりの時空間発展の逐次予測に用いる物理モデルである地震発生サイクルの数値シミュレーションを行っている。日本海溝や南海トラフなどの沈み込み帯で発生しているマグニチュード(M)8以上の巨大地震サイクルにおいて、その周辺で発生している中～大規模地震やスロー地震を準動的な数値シミュレーションで再現し、各イベントの相互作用について時空間的に明らかにすることによって、海溝型大地震の長期評価や発生過程の理解につながる知見を得る。

R4年度は、R3年度に引き続き、日本海溝を対象として、2011年東北地方太平洋沖地震クラスの巨大地震、宮城県沖地震、中～大規模地震、スロー地震をモデル化した計算を実施した。日本海溝全域の計算では、M7宮城県沖地震の発生間隔の変化とその要因を明らかにするために、プレート間の固着やすべり分布の時空間変化に着目した。日本海溝北部におけるM5～M8クラスの地震を対象とした計算では、経験的に知られている地震の規模別頻度分布を再現するための物理モデルについて検討した。南海トラフでは、南海トラフ地震震源域の深部で発生している豊後水道長期的スロースリップイベント(L-SSE; Long-term Slow Slip Event)のみを対象としたシンプルなモデルを用いた計算に着手した。

2. 手法

先行研究 [1]と同様に、プレート境界で発生する地震や非地震性すべりが、プレート相対運動からのずれによって蓄積したすべり欠損を解放するという過程をモデル化する。プレート境界面を構成する各小断層での摩擦は、すべり速度・状態依存摩擦則 [2]に、断層の構成則はNakatani [3]に従うと仮定した。強度の時間発展則は、slowness (aging) law [2, 4]を用いた。地震波の放射によるエネルギーの減衰は、準動的に近似する項を導入して計算した [5, 6]。すべり応答関数は、均質な半無限弾性媒質中で計算した [7]。

プレート沈み込み速度は、日本海溝の太平洋プレートで8.4 cm/year、南海トラフのフィリピン海プレートで6.5 cm/yearとした [8, 9]。摩擦パラメータA($=a\sigma$)、B($=b\sigma$)、L (特徴的すべり量) は、構造探査にもとづいて設定

された3次元のプレート境界面 [10, 11]を離散化し、各小断層に、先行研究 [1, 9, 12]を基にしたモデルや、階層構造 [13]を取り入れたモデル等で計算した (図1)。

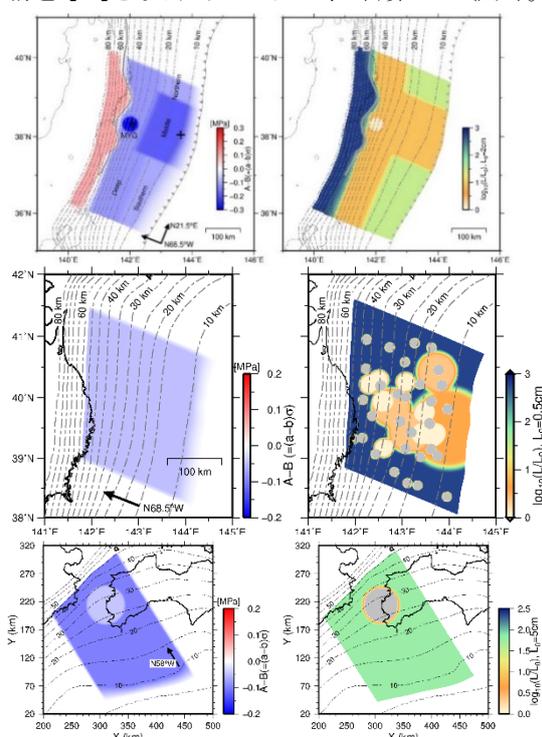


図1 摩擦パラメータ分布 (各段左: A-B (MPa)、各段右: L (m))。 (上) 宮城県沖に着目したモデル。 (中) 日本海溝北部の階層構造モデル。 (下) 豊後水道 L-SSE のモデル。

3. 結果および議論

宮城県沖の解析結果は、ES4VE 約200リソースセット時間の計算を複数行い、国際学術誌に投稿するとともに、結果の一部は国内外の学会において発表した [i. e., 14, 15]。日本海溝北部についても、国内学会や国際研究集会において暫定的な結果を発表した [i. e., 16]。

日本海溝北部で階層構造を取り入れたところ、複数のパッチが運動することですべり分布が複雑になり、経験的に知られている規模別頻度分布に相当する結果が得られたが、海溝寄りでは中規模地震がほとんど発生しなかった。孤立したパッチを除いて、各パッチの地震発生間隔は一定ではなく、周囲のパッチのすべりの影響を受けて

変化した。ただし、ES4VE 約 3000 リソースセット時間で M8 クラスの地震が一度しか発生しておらず、さらに計算時間を延ばし、各地震の発生間隔のゆらぎやすべり分布の複雑性に関して検討する必要がある。豊後水道では、ES4VE 約 4 リソースセット時間で M6.1~6.4 の L-SSE が約 11 年間隔で 27 回発生した。今後、観測されている繰り返し間隔約 7 年に近づくようにモデルを修正し、得られた結果を用いて、逐次予測の研究を進めていく。

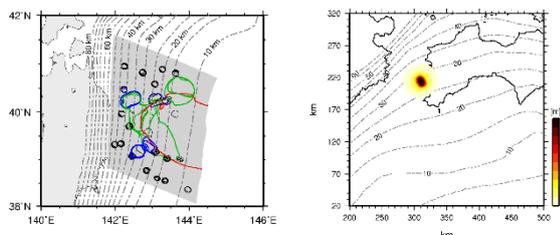


図2 すべり分布。(左)図1中段のモデルで得られた M5 地震。最大すべり量の半分のエリアを線で囲んだ。線はすべり域の広さによって色分けした。(右)図1下段のモデルで得られた豊後水道 L-SSE (M6.4)。

謝辞

数値計算には海洋研究開発機構の地球シミュレータおよび東北大学サイバーサイエンスセンターの大規模科学計算システムを利用しました。本研究の一部は、JSPS 科研費 Grant Number JP21K04604、JP19H05596、JP21H05206 の助成を受けて行われました。

文献

- [1] Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi, “Possible scenarios for occurrence of M \sim 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation”, *Sci. Rep.*, 6, 25704 (2016).
- [2] Dieterich, J. H., “Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations”, *J. Geophys. Res.*, 84 (B5), 2161–2168 (1979).
- [3] Nakatani, M., “Conceptual and physical clarification of rate and state friction: Frictional sliding as a thermally activated rheology”, *J. Geophys. Res.*, 106 (B7), 13347–13380 (2001).
- [4] Ruina, A., “Slip instability and state variable friction laws”, *J. Geophys. Res.*, 88 (B12), 10359–10370 (1983).
- [5] Rice, J. R., “Spatio-temporal complexity of slip on a fault”, *J. Geophys. Res.*, 98 (B6), 9885–9907 (1993).
- [6] Thomas, M. Y., N. Lapusta, H. Noda, and J.-P. Avouac, “Quasi-dynamic versus fully dynamic simulations of earthquakes and aseismic slip with and without enhanced coseismic weakening”, *J. Geophys. Res.*, 19, 1986–2004 (2014).
- [7] Hyodo, M., T. Hori, Y. Kaneda, “A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan”, *Earth Planets Space*, 68, 6, 1–17 (2016).
- [8] Ohtani M., K. Hirahara, T. Hori, and M. Hyodo, “Observed change in plate coupling close to the rupture initiation area before the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake: Implications from an earthquake cycle model”, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1899–1906 (2014).
- [9] Nakata, R., M. Hyodo, and T. Hori, “Possible slip history scenarios for the Hyuga-nada region and Bungo Channel and their relationship with Nankai earthquakes in southwest Japan based on numerical simulations”, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 6, 4787–4801 (2014).
- [10] Baba, T., A. Ito, Y. Kaneda, T. Hayakawa, and T. Furumura, “3-D seismic wave velocity structures in the Nankai and Japan Trench subduction zones derived from marine seismic surveys”, *JpGU Meeting*, S111-006. Makuhari, Japan (2006).
- [11] Baba, T., Y. Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira, “The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model”, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 132, 59–73 (2002).
- [12] Nakata, R., T. Hori, S. Miura, and R. Hino, “Presence of interplate channel layer controls of slip during and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake through the frictional characteristics”, *Sci. Rep.*, 11, 6480 (2021).
- [13] Ide, S. and H. Aochi, “Historical seismicity and dynamic rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake”, *Tectonophysics*, 600, 1–13 (2013).
- [14] Nakata, R., N. Uchida, T. Hori, and R. Hino, “Recurrence intervals for M > 7 Miyagi-ken-Oki earthquakes during an M \sim 9 earthquake cycle”, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2035979/v1> (September, 2022, in review).
- [15] Nakata, R., N. Uchida, T. Hori, and R. Hino, “Recurrence interval Intervals for M>7 Earthquakes Through a Cycle of M \sim 9 Earthquake in the Middle Segment of the Japan Trench”, *AGU Fall Meeting*, T46A-08, Chicago, USA (December, 2022).
- [16] Nakata, R., T. Hori, H. Aochi, and S. Ide, “Numerical simulation with a multiscale circular patch model in the northern segment along the Japan Trench”, *International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022*, P111, Nara, Japan (September, 2022).