

12-11 南海トラフの固着による西南日本の震源断層における応力蓄積 Stress accumulation rate on the source faults in Southwest Japan due to the locking of the Nankai trough

橋間昭徳¹・佐藤比呂志¹・石山達也¹・Andrew M. Freed²・Thorsten W. Becker³

¹ 東京大学地震研究所・² パーデュー大学・³ テキサス大学オースティン校

Akinori Hashima¹, Hiroshi Sato¹, Tatsuya Ishiyama¹, Andrew M. Freed², Thorsten W. Becker³

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Purdue University, ³University of Texas at Austin

1. はじめに

近年、九州を含む西南日本においては、1995年神戸地震以降、2000年鳥取県西部地震、2005年福岡西方沖地震、2015年薩摩西方沖地震、2016年熊本地震と、M7級の被害地震が頻発している。近畿地方における上盤プレート内の地震の発生と南海トラフの巨大地震との関連は古くから指摘されてきた。一方、九州には琉球海溝と南海トラフから性質の異なるプレートが沈み込み、変形モードが異なる二つの島弧の遷移領域としての特徴を持つ。この特徴は地殻変動パターンによく表れているが、これまでの地殻変動解析では、もっぱら南海トラフのみに着目することが多く、琉球海溝の影響は考慮されてこなかった。

本研究は、プレート境界における力学的な過程がプレート内の震源断層におよぼす影響を定量的に明らかにし、震源断層の活動性評価につなげることを目的とする。そのため、琉球-西南日本の地殻変動データを統一的に解析し、三次元有限要素モデルを用いて、同地域の震源断層に蓄積される応力を計算した。

2. 有限要素モデルを用いた地殻変動解析

本研究では、琉球-西南日本弧の問題に適用するため、著者らが過去に構築した有限要素モデル^{1,2)}を拡張したモデルを用いる。フィリピン海プレート上面の形状は既存研究により定めた^{3,4,5,6)}。内部構造は弾性リソスフェア-粘弾性アセノスフェア構造を考える。沈み込む海洋リソスフェアの厚さは70 kmに固定し、陸側の弾性リソスフェアの厚さ T_e は可変とした。アセノスフェアの粘性率は標準的な値 10^{19} Pa sとした。すべりを与える断層面は80 km以浅のプレート境界を8×27（深さ方向×海溝沿い）の小断層面に分割した。断層すべりは、断層面の上面と下面の相対変位の拘束条件で与える。モデル領域の側面と底面には変位固定の境界条件を課した。

本研究で解析対象とした地殻変動データは、東経138°以西、北緯36.5°以南の国土地理院GNSS観測網の電子基準点の日々の座標値（F3解）を用いた。西南日本の地殻変動時系列には2011年以降に東北沖地震とその後の粘弾性緩和の影響が見られるが、それ以前はほぼ線形である。従って、1998年1月1日から2010年12月31日までの13年間を対象とし、その期間のデータが存在する404観測点の時系列を用いた。

解析期間においては、前回の巨大地震（1944年東南海、1946年南海地震）の粘性緩和は完了し、定常的なすべり運動あるいは固着が進行していると考えられる。近年の研究によれば、このような定常状態においても、同時進行する粘性緩和の影響が特に遠地で重要である。そこで、本研究では粘性緩和を用いて解析を行う。この場合、粘性構造の詳細は計算結果に影響を及ぼさないが、弾性層の厚さ T_e が計算結果を左右するパラメーターとなる。

インバージョン解析に用いるため、各小断層面上の単位すべりによる粘性緩和後（100年後）の変位応答を計算する。定常的な剛体プレート運動による変形は無視できるほど小さいので、インバージョンによって得られるすべり速度成分は、定常的なプレート運動によるすべり速度を差し引いた余剰／欠損分である。

震源断層面上の応力を計算するためには断層面形状が必要である。本研究では、地震調査研究推進本部によるモデルを修正し、日本海プロジェクトにより推定された日本海沿岸域のモデル^{7,8)}を追加したものを用いる。各震源断層のすべり方向は、モーメント・テンソル解により推定された広域応力場⁹⁾が各断層面に最大剪断応力を及ぼす向きと同じ方向であると仮定した。

3. 結果・議論

インバージョンにより得られたすべり速度余剰／欠損は、大局的には南海トラフで 8 cm/yr 程度の欠損、琉球海溝では 3~6 cm/yr の余剰となった。この分布は弾性層の厚さ T_e に関わらず見られるが、観測データとのフィッティングの精度を考え、 $T_e = 50$ km を最適モデルとした。南海トラフにおけるすべり速度欠損は、巨大地震を引き起こすプレート間の固着を表し、これまでの研究と調和的な結果である。一方、琉球海溝におけるすべり速度余剰は、沖縄トラフの拡大方向や背弧の応力場とも調和的であり、沈み込むスラブの後退運動の存在を示唆する。南九州の地殻変動に見られる特徴的な回転運動は、ブロック運動を想定せずともスラブ後退により説明可能である。

この最適すべり速度モデルを用いて、プレート内部の応力蓄積レートを計算した。得られた応力蓄積場は、それぞれのプレート境界過程に対応して、琉球弧は南北方向の伸張場、西南日本弧は北西-南東方向の圧縮場により特徴づけられる。また、震源断層面上の応力が断層運動に対して促進的であるか抑制的であるかを示す指標となるクーロン応力レートを計算した。得られた結果のうち、M7 級であった 2005 年福岡県西方沖地震、2015 年薩摩半島西方沖地震の震源断層、2016 年熊本地震が発生した布田川断層において促進的であったことが注目に値する。日本海南部では大局的に、島根-山口沖が促進的、鳥取沖、九州沖が抑制的となるが、同じ応力蓄積場にある断層でも走向・傾斜の違いにより異なる結果を取りうる。また、個々の断層におけるクーロン応力レートは剪断応力成分と見かけの摩擦係数 μ' を乗じた法線応力成分の兼ね合いで決まる。本研究では、 μ' は断層によらず一定の値 (0.4) としたが、実際は個々の断層の運動パラメータや物性に依存すると考えられる。今後、断層の活動性評価の信頼性を向上させるためにも、 μ' の値について詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) Hashima, A., T. W. Becker, A. M. Freed, H. Sato, and D. A. Okaya (2016), Coseismic deformation due to the 2011 Tohoku-oki earthquake: influence of 3-D elastic structure around Japan, *Earth Planets Space*, 68:159.
- 2) Freed, A. M., A. Hashima, T. W. Becker, D. A. Okaya, H. Sato, and Y. Hatanaka (2017), Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 459, 279-290.
- 3) Baba, T., Y. Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira (2002), The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 132, 59-73.

- 4) Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa (2008), Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274.
- 5) Nakajima, J., and A. Hasegawa (2007), Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, 112, B08306, doi:10.1029/2006JB004770.
- 6) Hayes, G. P., D. J. Wald, R. L. Johnson (2012), Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *J. Geophys. Res.*, 117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524.
- 7) 佐藤比呂志, 石山達也, 加藤直子, 橋間昭徳, Anne Van Horne, 野徹雄, 石川正弘, 松原誠, 越谷信, 豊島剛志 (2017), 断層モデルの構築, 平成 28 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 199-218.
- 8) 佐藤比呂志, 石山達也, J. S. Claringbould, 加藤直子 (2019), 日本海南部の震源断層, 予知連会報, (本巻).
- 9) Terakawa, T., and Matsu'ura, M. (2010), The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, *Tectonics*, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626.