

12-3 関東地域の活構造への東北地方太平洋沖地震の影響について

The effect of stress changes from the M 9 Tohoku-oki earthquake on seismogenic source faults in the Kanto region of central Japan

佐藤比呂志・橋間昭徳・石山達也 (東京大学地震研究所)

Hiroshi Sato, Akinori Hashima, Tatsuya Ishiyama

(Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(以後、東北沖地震とよぶ)に伴う地殻変動は数十年にわたって継続し、広範な地域の地震活動に影響を及ぼす。東北沖地震の震源域に隣接する関東地方においても、地殻変動や地下の応力状態が大きな影響を受けることは想像に難くない。日本列島は日本海の拡大期(2500~1500万年前)に大陸から分離して形成されたが、関東地方は本州の中でも移動距離が大きく、また伊豆-小笠原弧と南関東で衝突し、現在の関東平野下にも多くの断層が形成された。こうした断層の一部は、活断層として再活動している。これらの活断層は東北沖地震後の応力変化で、動き易くなるのか。この課題に対して、広域的な三次元粘弾性有限要素モデルを構築し、東北沖地震後の応力変化を求めた。また首都圏の震源断層のモデル化を行い、それらに作用するクーロン応力変化を求めた。

2. 関東地方の伏在活断層

厚い堆積層が分布する関東平野下には、伏在活断層が分布することが、反射法地震探査や地質・地形学的な検討により、明らかに becoming¹⁾。多くは、C級(0.1-0.01 mm/年)の平均変位速度を示し、その活動は低頻度であるが、M7クラスの甚大な地震災害を引き起こす可能性がある。こうした伏在活断層については、詳細な活動履歴を求めることは極めて困難であり、数10年スケールの活動性の評価では、震源断層の特性と上盤プレートの応力変化などからその活動性を検討していく必要がある。関東平野下では、綾瀬川断層のように北西-南東走向の逆断層で、日本海形成時に正断層として形成された断層が再活動したものが多¹⁾。伊豆衝突帯周辺も含め、反射法地震探査や地質構造形成特性などの資料をもとに関東地域の震源断層の矩形モデルを作成した^{2,3)}(図1)。

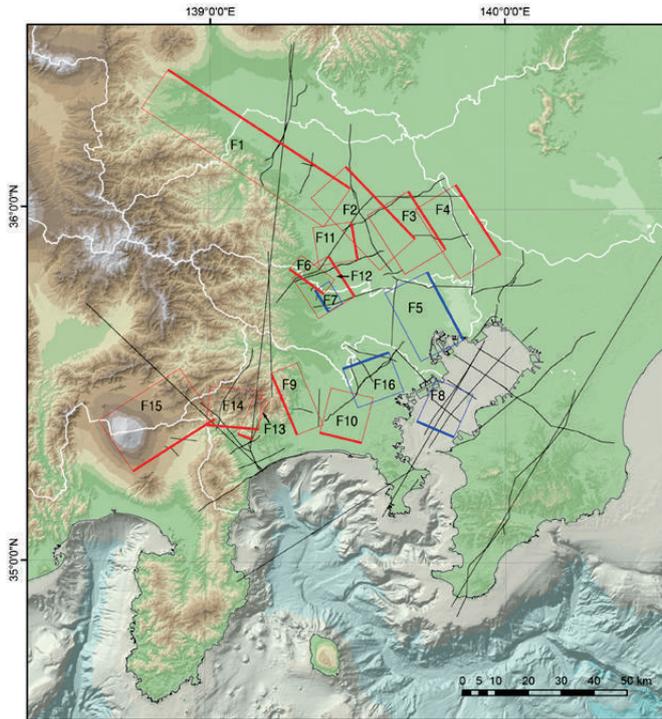
3. 東北沖地震によるクーロン応力変化

一般に、巨大地震後の地殻変動はアセノスフェアにおける粘弾性流動と本震の延長部で起こる余効すべりによって引き起こされる。したがって、GPS観測網によってとらえられた東北沖地震後の地殻変動データを解析することによって地下の粘性構造および余効すべりを解明することが可能となる。得られた粘性構造と余効すべり分布を用いれば、粘弾性モデルにより日本列島の応力変化の予測計算を行うことが可能である。このため日本列島の現実的なプレート構造(ユーラシア、太平洋、フィリピン海プレート)とアセノスフェアの粘弾性流動を考慮した三次元有限要素モデルを構築した。この有限要素モデルを用いて、東北沖地震による地殻変動を説明できる粘性構造と余効すべりを求めた。日本列島の粘弾性構造は、地震後三年間のGPS観測による測地データにもとづいて推定した³⁾。このモデルに対して、東北沖地震に伴う本震すべり⁴⁾と余効すべり分布を与え、粘弾性緩和を考慮した100年間の応力変化について検討した。余効すべりの時間変化については、指数関数状に減衰し、三年間の積算すべりがFreed et al. (2017)³⁾によるすべり量に一致すると仮定した。

計算の結果, 10 年後には0.1 MPa の剪断応力(ミーゼス応力)変化が西日本や北海道南部に及び, 100 年後には日本海の対岸にも及ぶ(図2). 等方応力は東北地方で伸張的, その北側と南側で圧縮的になる. 伸張的な領域は時間と共に拡大する. フィリピン海プレート上面におけるプレート相対運動方向のクーロン応力変化(図3)は, 銚子沖で大きく, ここを中心に断層運動を促進する応力が時間とともに広がる. 関東地方で多く見られる北西走向の逆断層においては, 東北沖地震の影響は断層運動を抑制する方向に働く. しかし高傾斜の断層の場合は, 法線応力増大による強度低下により断層運動が促進される結果となる. 富士山東麓など北東走向の断層に対しては, 剪断応力が直接断層運動を促進するように働く(図4).

参考文献

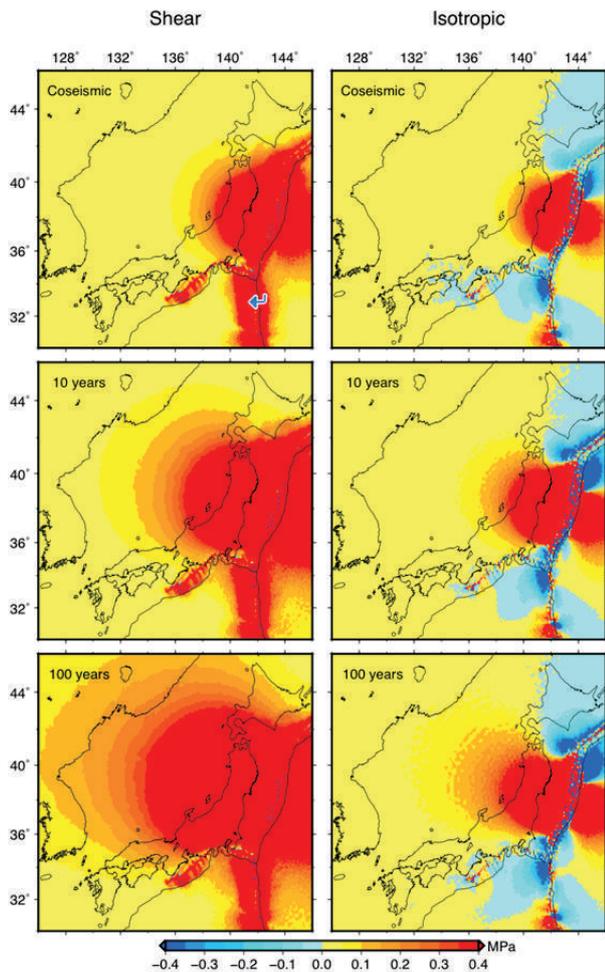
- 1) Ishiyama, T., H. Sato, N. Kato, T. Nakayama, S. Abe, Active blind thrusts beneath the Tokyo metropolitan area: seismic hazards and inversion tectonics, *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 2608, doi:10.1002/grl.50487, 2013.
- 2) 佐藤比呂志, プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明. 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト総括成果報告書, 38-40, 2017.
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/toshi/houkoku/soukatsupdf/soukatsu170323_subpro1.pdf
- 3) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也・蔵下英司・橋間昭徳・廣内大助, 構造探査とモデリングに基づくプレート構造・変形過程と地震発生過程の解明, 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト平成 28 年度成果報告書, 54-79, 2017.
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/toshi/houkoku/28houkokupdf/3.1.2.1_p054_079.pdf
- 4) Freed, A. M., Hashima, A., Becker, T. W., Okaya, D. A., Sato, H., Hatanaka, Y., Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **459**, 279-290, 2017.
- 5) Hashima, A., Becker, T. W., Freed, A. M., Sato, H., Okaya, D. A., Coseismic deformation due to the 2011 Tohoku earthquake: influence of 3-D elastic structure around Japan, *Earth, Planets and Space*, **68**, DOI: 10.1186/s40623-016-0535-9, 2016.
- 6) 橋間昭徳・Freed A. M.・Becker T. W.・Okaya, D. A.・佐藤比呂志・畑中雄樹, 2011 年東北沖地震後の地殻変動データを用いた粘性構造と余効すべりの推定, 地震予知連絡会報, **97**, 519-520, 国土地理院, 2017.



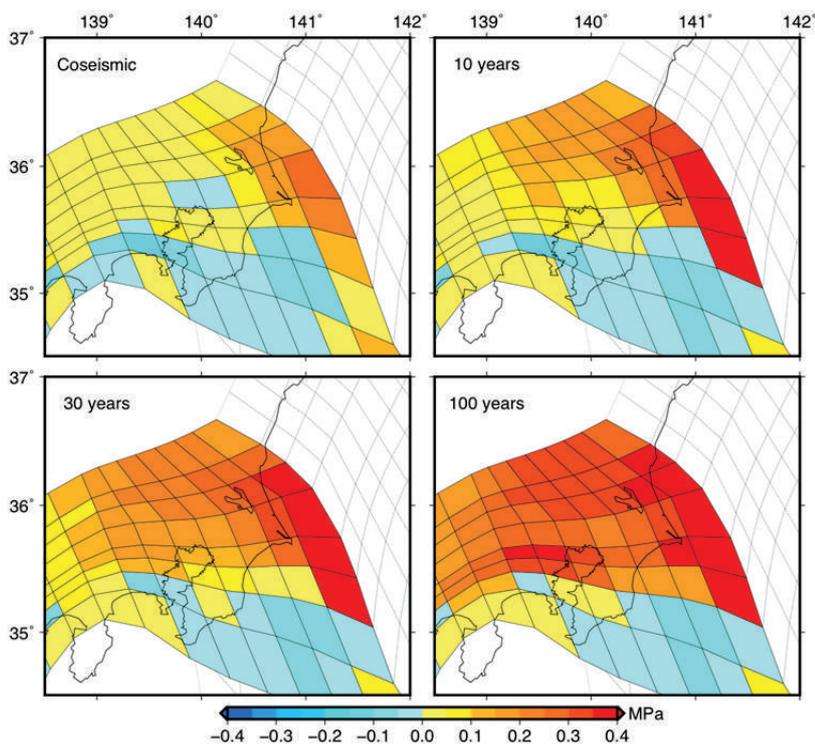
断層	名称	傾斜 (°)	すべり方向
F1	深谷断層	45	逆、左横ずれ成分
F2	綾瀬川断層	45	逆
F3	元荒川断層	45	逆
F4	野田隆起帯	45	逆
F5	(山手台地東縁)	45	逆
F6	箱根ヶ崎断層	70	左横ずれ
F7	(立川断層南部)	70	逆、左横ずれ成分
F8	(横浜沖)	45	逆
F9	伊勢原断層	60	逆
F10	高座丘陵南縁	45	逆
F11	武蔵野台地北東縁	45	逆
F12	狭山丘陵東縁	45	逆
F13	松田北断層	45	逆、右横ずれ成分
F14	神縄断層	45	逆、右横ずれ成分
F15	富士山東麓	30	逆
F16	(鶴川向斜)	45	逆

第 1 図 関東地域に分布する震源断層の矩形モデル^{2,3)}。黒線は検討した反射測線の位置を示す。太線は断層面上端位置を示す。赤い矩形は下総層群の堆積期ないしは第四紀後期に活動した可能性のある断層、青色は上総層群を変形させる断層を示す。

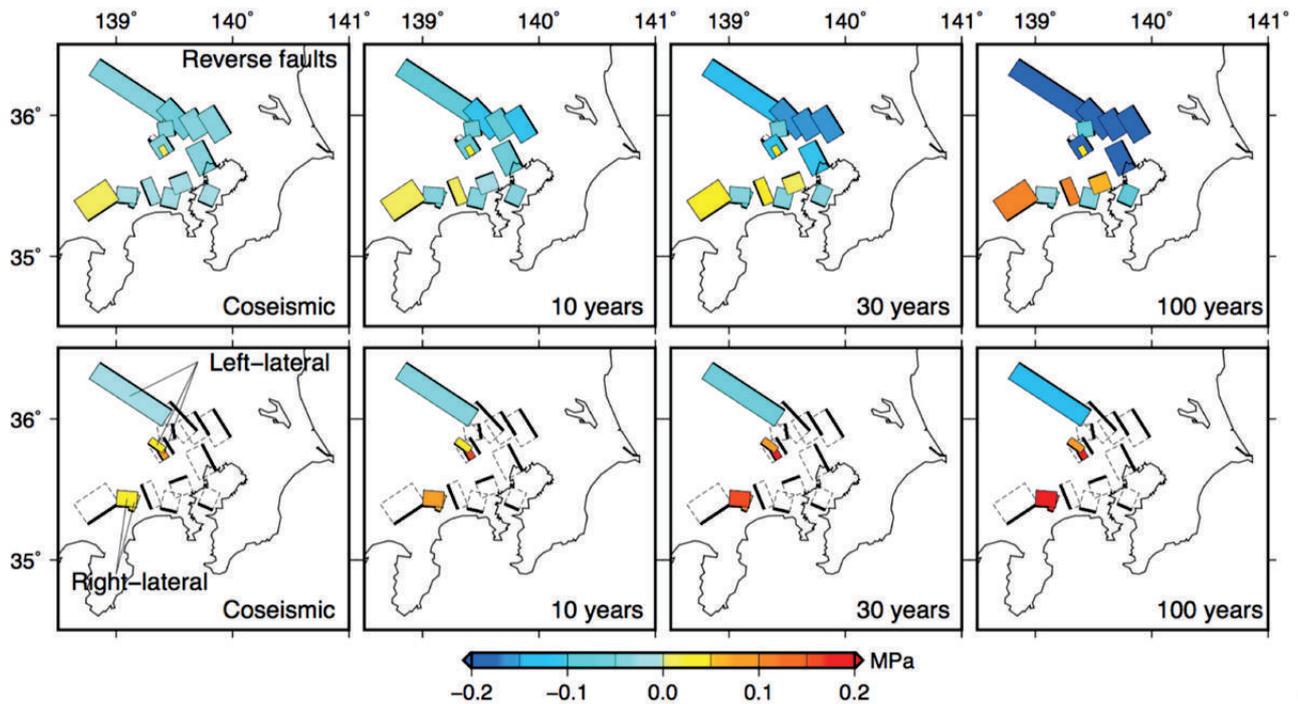
Fig. 1 Rectangular source fault models for the Kanto area. Black solid lines: seismic lines. Thick solid line of rectangle: top of fault. Faults in red have been active during/since deposition of the Shimosa Group and/or late Pleistocene. Faults in blue deformed the Kazusa Group.



第2図 地震時, 10年後, 100年後の応力場. (左) 剪断応力. (右) 等方応力.
 Fig. 2 Calculated stress field at three points in time: coseismic, 10 years, and 100 years after the Tohoku-oki earthquake. Left: shear stress. Right: isotropic stress.



第3図 地震時, 10年後, 30年後, 100年後のプレート境界上におけるクーロン応力変化. 剪断応力はフィリピン海プレートの沈み込み方向に沿って計算した. 摩擦係数 μ は0.4とした.
 Fig. 3 Coulomb stress change on the top surface of the Philippine Sea plate at four points in time: coseismic, 10 years, 30 years, and 100 years after the 2011 Tohoku-oki earthquake. Shear stress is calculated in the direction of subduction of the Philippine Sea plate. Frictional coefficient (μ) is 0.4.



第 4 図 関東地域の震源断層上における 2011 年東北沖地震による地震時, 10 年後, 30 年後, 100 年後のクーロン応力変化. 剪断応力成分は図 1 の表のすべり方向に対して計算した. 摩擦係数は 0.4 とした. (上) 逆断層成分に対するクーロン応力変化. (下) 左または右横ずれ運動に対するクーロン応力変化.

Fig. 4 Coulomb stress change on the seismogenic source faults in the Kanto area at the time of the 2011 Tohoku-oki earthquake and at 10, 30, and 100 years after. Shear stress calculated for slip shown in Table in Fig. 1. Frictional coefficient (μ) is 0.4. (Top) Coulomb stress for reverse faulting. (Bottom) Coulomb stress change for left/right-lateral strike-slip component.