

3-9 本震による最大主応力軸の回転 – 2011年東北沖地震により応力はどの程度解放されたか？

Rotation of the maximum principal stress axis by the 2011 Tohoku-oki earthquake – To what extent was the background deviatoric stress released by the earthquake?

東北大学大学院理学研究科
Graduate School of Science, Tohoku University

2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴う応力場の変化を、本震前後に震源域周辺に発生した地震のメカニズム解の応力テンソルインバージョンにより検出し、得られた σ_1 軸の回転角の値から、東北地方太平洋沖地震の発生によりそれを惹き起こした応力が殆ど解放されたことを見出した(Hasegawa et al., 2011).

用いたメカニズム解は、防災科学技術研究所のF-netデータによるモーメントテンソル解(<http://www.bosai.go.jp/e/index.html>)である。1997年～本震前の期間に図1の挿入地図の領域Aおよび領域Bに発生した地震のメカニズム解を用いて応力テンソルインバージョンを行い、得られた σ_1 , σ_2 , σ_3 軸を図1(b)および(d)に示す。同様に、本震後～4月6日の期間のそれを図2(b)および(d)に示す。ここで、震源断層近傍の地震を選択するため、プレート境界(Nakajima et al., 2009)を中心にして深さ方向に25kmの幅を持つ領域内に発生した地震に限定し、かつ M_w 4.0以上で、モーメントテンソル解のvariance reductionが70%以上の地震を応力テンソルインバージョンに用いた。図から、本震に伴って σ_1 , σ_3 軸が回転したことがわかる。 σ_1 軸と本震の断層面(プレート境界面)となす角の時間変化を図3に示す。ただし、ここでプレート境界面の傾斜角を20度と仮定している。かつ、本震前の期間は1997年～2004年、2000年5月～2007年5月、2004年～2011年3月10日の3つの期間についてそれぞれ応力テンソルインバージョンを行い、その結果を図にプロットしている。 σ_1 軸がプレート境界面となす角は、本震前はほぼ45度程度であったのが、本震の発生に伴って約80度と高角になったことがわかる。

このような主応力軸の回転は、本震の断層運動によりもたらされたものであると考えられる(図4)。Hardebeck and Hauksson(2011)は、地震前の σ_1 軸と断層面となす角 θ と地震発生による σ_1 軸の回転角 $\Delta\theta$ との関係式を、2次元の場合について求めた。それを図5に、 $\Delta\tau/\tau$ をパラメータとして示す。ここで、 $\Delta\tau$ は本震のストレスドロップ、 τ は本震前の偏差応力である。この図の上に、図1, 2で求められた結果を重ねてプロットすると(図5赤丸)、 $\Delta\tau/\tau$ はおおよそ0.9～0.95となる。すなわち、地震前の応力は、東北地方太平洋沖地震の発生によってほとんど解放された(応力降下はほぼ完全だった)と推定される。地震後、太平洋下の浅い地震の中に、正断層型の余震が多数発生しているのは、それが原因である。GPSデータに基づくslip modelから推定されたaverage stress drop $\Delta\tau$ はおおよそ20MPaである(Iinuma et al., 2011)。従って、地震前の偏差応力 τ は～22MPa、すなわち強度は～22MPa程度となる。震源断層の深さの平均的な被り圧が約600MPaであることを考慮すると、プレート境界面はweak faultであると言える。その原因がoverpressured fluidsによると仮定すると、間隙流体圧比 $\lambda = P_f / \sigma_n$ (間隙流体圧と法線応力の比)は、 $\lambda = \sim 0.94$ と推定される。(ただし、 $c = 0$, $\mu = 0.6$ と仮定した。)

(長谷川昭・吉田圭佑・岡田知己)

参 考 文 献

- 1) Hardebeck, J., and E. Hauksson, Crustal stress field in southern California and its implications for fault mechanics, *J. Geophys. Res.*, 106(B10), 21859-21882, 2001.
- 2) Hasegawa, A., K. Yoshida, and T. Okada, Nearly complete stress drop in the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, in press, 2011.
- 3) Iinuma T., M. Ohzono, Y. Ohta, and S. Miura, Coseismic slip distribution of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) estimated based on GPS data -- Was the asperity in Miyagi-oki ruptured?, *Earth Planets Space*, in press, 2011.
- 4) Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa, Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *J. Geophys. Res.*, 114, B08309, doi:10.1029/2008JB006101., 2009.

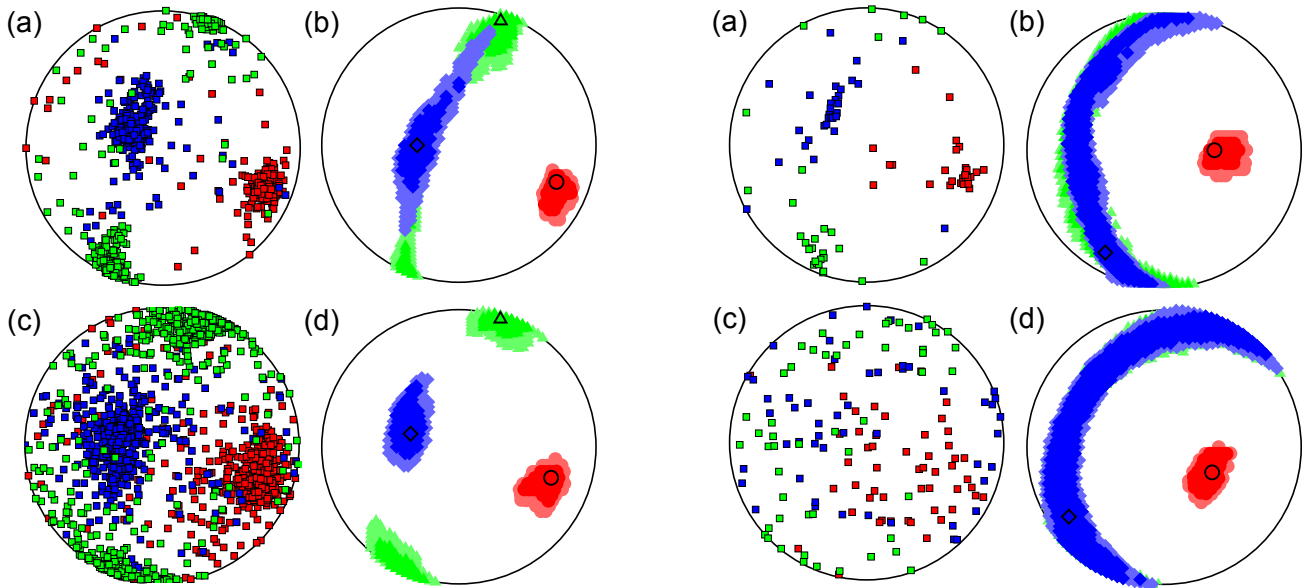


図2 本震後の期間(本震~4月6日)における(a),(c)メカニズム解のP軸(赤), B軸(緑), T軸(青)の分布と(b),(d)応力テンソルインバージョンで得られた σ_1 軸(赤), σ_2 軸(緑), σ_3 軸(青)の分布. 他は図1と同じ.
 Fig. 2 (a)P, B and T axes of focal mechanisms and (b) best fit principal stress σ_1 , σ_2 and σ_3 for earthquakes that occurred after the East off Tohoku earthquake in region A. (c) and (d) show those for events in region B. Focal mechanisms for the period of March 12 - April 6 2011 are used for the inversions. Others are the same as in Fig. 2.

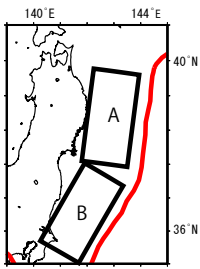


図1 本震前の期間(1997年~本震)における(a),(c)メカニズム解のP軸(赤), B軸(緑), T軸(青)の分布と(b),(d)応力テンソルインバージョンで得られた σ_1 軸(赤), σ_2 軸(緑), σ_3 軸(青)の分布. 挿入図の領域A内の地震のそれを上図((a),(b))に, 領域Bのそれを下図((c),(d))に示す.

Fig. 1 (a)P(red square), B(green) and T (blue) axes of focal mechanisms and (b)best fit principal stress σ_1 (red circle), σ_2 (green triangle) and σ_3 (blue square) projected on the lower focal hemisphere by equal area projection for earthquakes that occurred before the Tohoku earthquake in region A. (c) and (d) show those for events in region B. In (b) and (d), principal stresses falling within 68% and 95% confidence levels are shown by lighter colors. Focal mechanisms for the period of 1997-March 10 2011 are used for the inversions.

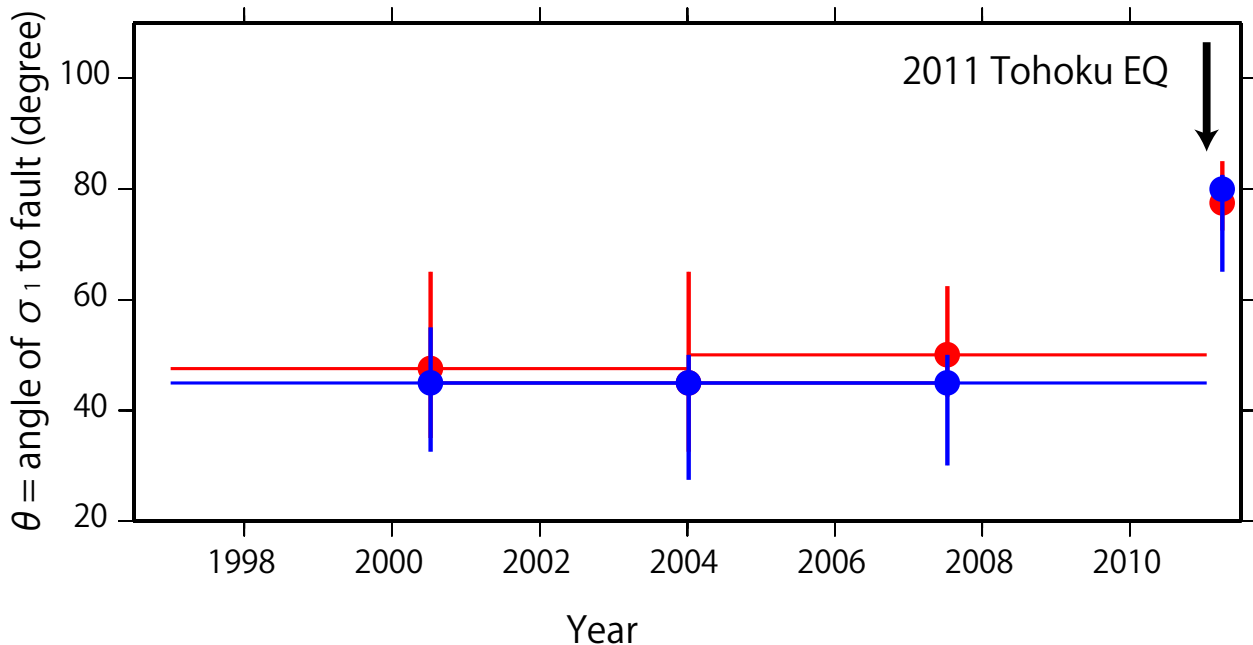


図3 σ_1 軸と本震の断層面となす角の時間変化. 領域Aのそれを青丸で, 領域Bのそれを赤丸で示す.
 Fig. 3 Temporal change of angle of σ_1 to the mainshock fault plane. Those for regions A and B are shown by red and blue circles, respectively. Vertical lines show the confidence range.

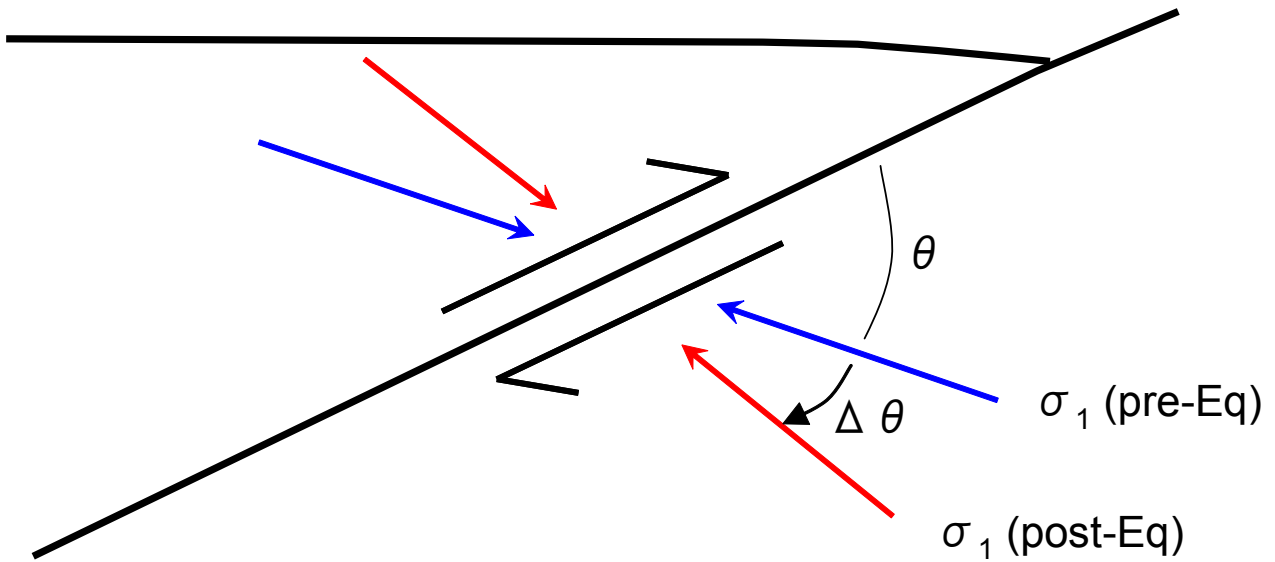


図4 断層面でのすべりに伴う σ_1 軸の回転.
 Fig. 4 Assumed geometry of stress rotation due to slip on the fault.

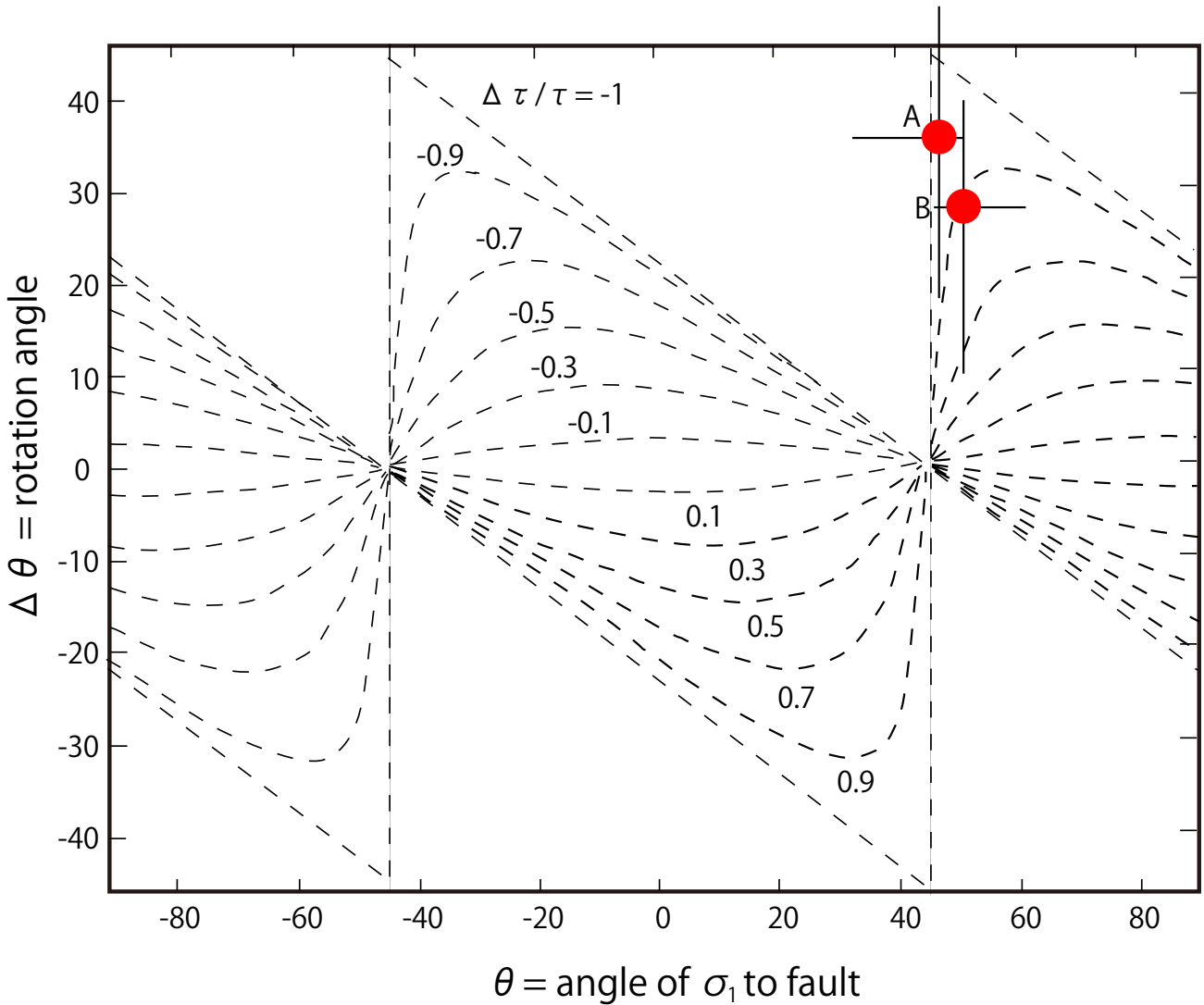


図5 σ_1 軸と本震の断層面となす角 θ と σ_1 軸の回転角 $\Delta\theta$ との関係 (Hardebeck and Hauksson, 2011). $\Delta\tau / \tau$ をパラメータとして表す. 領域 A, B の地震について推定された値を赤丸で示す.
 Fig. 5 Rotation of σ_1 axis ($\Delta\theta$) as a function of angle of σ_1 axis to the fault plane (θ) for various values of $\Delta\tau / \tau$, the ratio of stress drop to the deviatoric stress (Hardebeck and Hauksson, 2001). Presently estimated rotation angles for regions A and B are plotted by solid circles with the confidence ranges.