

## 12-5 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 Resolving viscosity structure and afterslip from displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake

橋間昭徳<sup>1</sup>・Andrew M. Freed<sup>2</sup>・Thorsten W. Becker<sup>3,4</sup>・David A. Okaya<sup>3</sup>・佐藤比呂志<sup>1</sup>・畑中雄樹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>東京大学地震研究所・<sup>2</sup>パーデュー大学・<sup>3</sup>南カリフォルニア大学・

<sup>4</sup>現、テキサス大学オースティン校・<sup>5</sup>国土地理院

Akinori Hashima<sup>1</sup>, Andrew M. Freed<sup>2</sup>, Thorsten W. Becker<sup>3,4</sup>, David A. Okaya<sup>4</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>,

Yuki Hatanaka<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>Purdue University,

<sup>3</sup>Now at University of Texas at Austin, <sup>4</sup>University of Southern California, <sup>5</sup>GSI of Japan

### 1. はじめに

巨大地震は周辺領域に大きな応力変化をもたらす。この応力変化は地震後に数年～数十年スケールの時間をかけてゆっくり解消される。その地表での表れが余効変動である。では、この応力の解消のメカニズムとはどのようなものであろうか。これまで余効変動の主要なメカニズムとして、本震の延長部における余効すべりとアセノスフェアにおける粘弾性緩和の2つが提唱されてきた。余効変動の水平成分についてはどちらのメカニズムでも説明しうる。一方、上下成分の十分な説明はまだなされていない。したがって水平・上下成分をともに説明することが余効変動メカニズム解明の鍵となる。しかし、沈み込み帯の粘性構造もまた詳しくはわかっていない。本研究では、現実的なプレート境界形状を取り入れた有限要素モデルにより2011年東北沖地震の余効変動を解析し、余効すべりと粘弾性緩和の寄与を明らかにした。

### 2. 有限要素モデルによる地殻変動解析

本研究では、太平洋・フィリピン海プレートの上面の現実的な形状を取り入れた有限要素モデルを構築した<sup>1)</sup>。境界条件の影響を取り除くために、モデル領域は計算対象領域の外側1000 kmまで含むように設定した。境界条件はモデル領域の側面と底面で変位固定条件とした。弾性構造は地震波トモグラフィーの結果により定めた。すべりとして断層面の上面と下面に相対変位を与える拘束条件を課した。

このモデルを用い、様々な粘性構造を仮定して粘弾性緩和による3年間の変位を計算する。東北沖地震後3年間の観測変位データから計算変位を差し引いた残差変位をインバージョンし、プレート境界面上の余効すべりを求める。そして、粘弾性緩和と余効すべりによる計算変位と観測変位の残差の自乗和を最小にするようなモデルを最適モデルとする。粘性構造としては、簡単な一様粘性構造から出発し、既存研究の知見<sup>2,3,4)</sup>にもとづき陸側マンテルウェッジの成層構造、海側マンテル、陸側マンテルの先端の低温部(Cold nose)、フィリピン海プレートの深さの下限、太平洋プレート下部の低粘性領域の効果を段階的に追加した構造モデルを検討した。余効すべりインバージョンの際には、陸上データの水平成分・陸上データの上下成分・海域データのそれぞれの重みについて様々な組み合わせを試みた。

### 3. 結果

解析の結果得られた最適粘性構造では、低粘性領域が大陸側の深さ 150-300 km ( $2 \times 10^{18}$  Pa s) と沈み込む海洋プレートの屈曲部分の下部に存在し、大きな粘性緩和を起こす。大陸側の弾性層の厚さは 25 km, Cold nose の存在領域は海溝から 200 km まで、フィリピン海プレートの沈み込みの下限は 100 km となった。海域で観測されている西向きの変位は、太平洋プレート下部の低粘性層における粘弾性緩和を考慮しなければ説明できない<sup>4)</sup>。また、得られた余効すべりは本震すべり域の北端と南端に過去の津波地震の波源域との間に挟まれるように存在する。

粘弾性緩和と余効すべりによる地震後の変動の大きさは同程度だが空間分布が異なる。粘性緩和は東北地方南部, 余効すべりは関東地方と東北地方北部の変位に寄与する。両者の寄与は相補的で、両者を合わせると全域の観測変位を水平・上下成分ともに説明することができる。

### 4. 議論・結論

観測変位の水平と上下成分両方を説明するためにはマントルウェッジの深さ依存の粘性分布を取り入れなければならない。このことは深さにともなって変化する温度, 圧力, 水分含有量に粘性率が依存するという実験結果<sup>2)</sup>と調和的である。一方, 水平方向の粘性不均質は考慮する必要はなかった。また, 沈み込む太平洋プレート内部の粘性率については, 粘性層の厚さとトレード・オフの関係にあるために観測データからは制約できなかった。この粘性層が存在する原因については, リソスフェア-アセノスフェア境界に熔融層が存在するという説<sup>5)</sup>と, 太平洋プレートの曲げによる圧縮にともないリソスフェア下部で起こる低温の塑性クリープ (パイエルス・クリープ) のためであるという説<sup>6)</sup>がある。仮に粘性層が薄く  $\sim 10^{17}$  Pa s の低粘性だとすれば, 海底の西向きの変動は高々5年くらいしか持続しないだろう。これは今後観測により確かめられなければならない。

これまで, 地震後数年の変動では余効すべりが支配的であり粘弾性緩和はその後に効いてくると考えられてきたが, 本研究の結果は余効すべりと並び粘弾性緩和が重要であることを示す。

### 参考文献

- 1) Freed, A. M., A. Hashima, T. W. Becker, D. A. Okaya, H. Sato, and Y. Hatanaka, (2016) Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki, Japan Earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, in press.
- 2) Hirth, G., and D. L. Kohlstedt (2003), Rheology of the upper mantle and the mantle wedge: A view from the experimentalists, in *Inside the Subduction Factory*, *Geophys. Monogr. Ser.*, Vol. 138, edited by J. Eiler, pp. 83–105, AGU, Washington, D. C.
- 3) Syracuse, E. M., P. E. van Keken, and G. A. Abers (2010), The global range of subduction zone thermal models, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 73–90.
- 4) Sun, T., K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu (2014), Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature*, 514, 84-87.
- 5) Kawakatsu, H., P. Kumar, Y. Takei, M. Shinohara, T. Kanazawa, E. Arai, and K. Suyehiro (2009), Seismic evidence for sharp lithosphere-asthenosphere boundaries of oceanic plates, *Science*, 324, 499-502.
- 6) Buffett, B. A., and T. W. Becker (2012), Bending stress and dissipation in subducted lithosphere, *J. Geophys. Res.*, 117, B05413, doi:10.1029/2012JB009205.