## 12-6 東北地方太平洋沖地震の粘性緩和による変動と粘性構造の不均質の重要性 Importance of rheological heterogeneity for interpreting the viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earhtquake

水藤 尚(国土地理院)

Hisashi Suito (Geospatial Information Authority of Japan)

大地震の後に観測されるゆっくりとした地殻変動は、余効変動と呼ばれている.この余効変動の 発生メカニズムには、余効滑り、粘性緩和、間隙弾性緩和の主に3つが考えられている.震源域周 辺での数年以内の比較的短期間の変動に対しては、余効滑りもしくは間隙弾性緩和の影響が大きい と考えられてきた.それに対して、粘性緩和による変動は小さいながらも数年以上の長期間継続し、 広範囲に及ぶと考えられてきた.しかしながら、東北地方太平洋沖地震の余効変動の解釈において は、地震発生後数年以内の短期間であっても粘性緩和による変動の寄与は大きく、短期間の余効変 動であっても粘性緩和による変動は無視できないことが指摘されている<sup>1,2)</sup>.東北地方太平洋沖地震 の余効変動に関して、粘性緩和の影響を考慮した多くの研究が報告されている.しかしながら、粘 性緩和のモデルにおいて、なぜ複雑な粘性構造が必要なのか、またそれらの粘性構造がどの観測量 に対して効くのか、が明らかになっていない.本研究では、粘性構造のどの部分がどの観測量に対 して影響するのかについて報告する.この結果の一部は、参考文献<sup>3)</sup>にまとめられている.

東北日本下には太平洋プレートが沈み込んでいるために、上部マントルは陸域下のマントルウェ ッジと海域下の海洋マントルの2つに分けられる.粘性緩和による変動を考えるにあたっては、こ れら2つの粘弾性媒質によって異なる変動パターンが引き起こされることが重要である.すなわち、 マントルウェッジの粘性緩和は、広域的に東向きの変動、海域を含む太平洋側で隆起、日本海側で 沈降を引き起こす(第1図 a).一方、海洋マントルの粘性緩和は、マントルウェッジの粘性緩和と はほぼ逆のパターンの変動を引き起こす.すなわち、海域を中心に西向きの変動、広域的に沈降を 引き起こす(第1図 b).

次に異なる4つのモデルから粘性構造のどの部分がどの観測量に対して影響するのかについて報告する.地震後5年間の累積の水平・上下変動を第2図に示す.粘性率をすべて一定としたモデル 1では、水平変動のパターンはほぼ説明できるものの、上下変動、特に太平洋側の隆起が説明でき ない(第3図 a).過去の研究<sup>40</sup>から太平洋プレート下のアセノスフェアの粘性率は少なくとも 10<sup>19</sup> Pa·s 以上であると報告されている.海洋マントルの粘性率を 10<sup>19</sup> Pa·s にしたモデル2では、陸域の 水平・上下変動ともに概ね観測値を説明できるが、海域の水平・上下変動は全く説明できない(第 3図 b).海域の変動を説明するために沈み込むプレート下面に LAB (Lithosphere asthenosphere boundary) に相当する低粘性層を仮定した.このモデル3では、震源域に近い東北地方の水平・上 下変動、海域の水平・上下変動共に概ね観測値を説明できる(第3図 c).しかしながら震源域から 離れた中日本の水平変動の方向に差異がみられる.これら遠方の変動は、深い場所の粘性緩和が影 響していると考えられる.岩石学的研究<sup>5)</sup>からは粘性率の深さ依存性が指摘されている.モデル4 では、粘性率の深さ依存性を考慮した結果、モデル3の問題点である遠方の変動も概ね説明できた (第3図 d).余効変動の解釈における粘性率の深さ依存モデルは、最近の研究<sup>6)</sup>でも報告されてい る.

粘性緩和による変動の算出には、マントルウェッジと海洋マントルの粘性率の違い、プレート下

面の低粘性層の存在,粘性率の深さ依存性等の粘性構造の不均質が重要であることが分かった.東 北地方太平洋沖地震の余効変動には,粘性緩和の寄与がかなり大きいが,粘性緩和のみではすべて の観測値を説明することはできない.余効変動のモデル構築には,粘性緩和と余効滑りの両者を考 慮する必要がある.

参考文献

- 1) Sun, T. et al. (2014), Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, Nature, 514, 84-87, doi:10.1038/nature13778.
- 2) Hu, Y. et al. (2016), Stress-driven relaxation of heterogeneous upper mantle and time-dependent afterslip following the 2011 Tohoku earthquake, J. Geophys. Res., 121, 385-411, doi:10.1002/2015JB012508.
- 3) Suito, H. (2017), Importance of rheological heterogeneity for interpreting viscoelastic relaxation caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake, Earth Planets Space, 69, 21, doi:10.1186/s40623-017-0611-9.
- DeMets, C. et al. (2014), A new GPS velocity field for the Pacific Plate –Part 1: constrains on plate motion, intraplate deformation, and the viscosity of Pacific basin asthenosphere, Geophys. J. Int., 199, 1878-1899, doi:10.1093/gji/ggu341.
- 5) Hirth G. and D. L. Kohlstedt (2003), Rheology of the upper mantle and the mantle wedge: a view from the experimentalists, Geophys. Monogr., 138, 83-105.
- 6) Freed et al. (2017), Resolving depth-dependent subduction zone viscosity and afterslip from postseismic displacements following the 2011 Tohoku-oki earthquake, Earth Planet. Sci. Lett., 459, 279-290, doi:10.1016/j.epsl.2016.11.040.



第1図 粘性緩和による5年間の変動.(a)マントルウェッジのみの寄与.(b)海洋マントルの みの寄与.

Fig.1 Computed displacements, cumulative for five years due to viscoelastic relaxation (a) mantle wedge only and (b) oceanic mantle only.



第2図 東北地方太平洋沖地震後の累積5年間の余効変動. Fig.2 Postseismic deformation caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake for five years.



第3図 粘性緩和による5年間の変動. (a) モデル1. (b) モデル2. (c) モデル3. (d) モデル4. Fig.3 Computed displacements, cumulative for five years due to viscoelastic relaxation (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 and (d) Model 4.