

7-1 1891年濃尾地震の余効変動から推定した中部日本地域のレオロジー構造 Rheological structure of central Japan inferred from postseismic deformation of the 1891 Nobi earthquake

名古屋大学大学院環境学研究科
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

地殻・マンツルの粘性構造は、地球表層付近における応力蓄積やそれに伴う内陸地震の発生過程を考える上で大変重要である。粘性構造の推定には、後氷期における氷床荷重の除荷に伴う隆起運動や、ダムや湖水の荷重変形に伴う地盤の隆起・沈降、さらには大地震の余効変動などのように、通常成立しているアイソスタシーが崩れた時に生じる過渡的な変形が利用されている。日本列島においては、内陸大地震に伴う余効変動を用いた推定が殆どであり、これまでに1896年陸羽地震 (Thatcher et al., 1980)、1993年北海道南西沖地震 (Ueda et al., 2003) などの余効変動を用いて東北日本の粘性構造が推定されていた。一方、中部日本地域では、粘性構造を仮定した余効変動のモデル計算は行われていたものの、粘性構造そのものの推定を試みた例は無かった。

我々は1891年濃尾地震後の余効変動を利用して、この地域における粘性構造を推定した。解析にあたっては、震源域周辺で地震後約50年間に得られた水準測量データを利用した。この期間中、図1に示す水準路線毎にそれぞれ2-4回の測量が行われている。当地域は1944年に発生した東南海地震で顕著な地殻変動を生じたため、それ以降のデータは解析対象から除外した。

濃尾地震の余効変動のモデル計算にはPollitz (1997)によるVISCO1Dを使用した。地球内部の弾性構造はPREM (Dziewonski and Anderson, 1980)を仮定し、弾性的なリソスフェアの厚さ(H)およびマックスウェル粘弾性を持つと仮定したアセノスフェアの粘性係数(η)を変えて余効変動の計算を行い、計算値が観測値と最も良く一致するような粘性構造のパラメータを推定した。断層モデルのパラメータはMikumo and Ando (1976)およびNakano et al. (2007)によるモデルの2種類を仮定し、これら2つのモデルの違いである岐阜—宮断層についても余効変動の観点から検討を行った。

解析例として水準路線216における観測値と計算結果の比較を図2に示す。観測値と計算値で概ね変動の傾向が一致しており、水準測量データが濃尾地震に伴う余効変動を記録していること、余効変動の計算が正しく行われており、こうした解析を通して粘性係数の推定が可能であることが理解される。

様々なHおよび η について、全データについての残差分布をまとめた結果が図3である。これより、濃尾地震の断層モデルについては、Nakano et al. (2007)が提唱した東傾斜の岐阜—宮断層モデルを仮定することにより、この断層を導入しない場合およびMikumo and Ando (1976)のモデルを仮定した場合よりもより良く観測データを説明できることが分かる。また、この場合の最適な粘性構造パラメータは、 $H=37\text{km}$, $\eta=10^{19}\text{Pa}\cdot\text{s}$ と推定された。

次に、この結果に基づいて、1995年に発生した兵庫県南部地震における粘弾性緩和による余効変動の可能性について検討した。上記で得られたレオロジー構造を仮定し、Hashimoto et al. (1996)の断層モデルを与えて、地震発生後数年分の余効変動を計算したところ、姫路から神戸に至る瀬戸内海沿いの水準路線において、加古川市や明石市付近に隆起が予想されたが、実際に、国土地理院による水準測量結果(1995年-2000年)では2cm程度の隆起が検出されていた。しかし、この隆起量を粘弾性緩和モデル説明するためには、粘性係数を上で求めた値の約1/10の $1\times 10^{18}\text{Pa}\cdot\text{s}$ と仮定する必要があることも分かった。また、このように低い粘性係数を仮定すると、地震発生後3、4年以内にGPSで検出可能な水平地殻変動が起きると予想される。震源域周辺のGPS観測点について、2006年から2008年の座標変化に

基づいて定常的な地殻変動速度を計算し、1996年以降の座標値データから差し引いたところ、震源域周辺で2-3cmの指数関数的に減衰するような変化を検出された(図4)。これらは、粘性緩和による兵庫県南部地震の余効変動だと考えられる。しかし、その空間パターンを詳細に検討すると、震源域の南東側では粘弾性緩和による計算結果と観測結果が一致するものの、震源域の北西側では変動の向きが異なっている(図5)。このように、兵庫県南部地震の余効変動については、まだ未解決の問題があることが明らかになった。こうした変動の原因として、マントル深部からの上昇流やマントルウェッジ内の流動によって生じる温度構造の不均質性や、余効すべり等の他の余効変動メカニズムなどが考えられ、これらの原因を検討していくことが今後の課題である。

(朝日友香・鷺谷威)

参考文献

- Dzievonski, A. M., and D. L. Anderson, Preliminary reference Earth model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 25, 297-356, 1981.
- Hashimoto, M., T. Sagiya, H. Tsuji, Y. Hatanaka, and T. Tada, Coseismic displacements of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, *J. Phys. Earth*, 44, 255-279, 1996.
- Mikumo, T., and M. Ando, A search into the faulting mechanism of the 1891 great Nobi earthquake, *J. Phys. Earth*, 24, 63-87, 1976.
- Nakano, M., J. Miyakoshi, and K. Yamaoka, A new model for the fault beneath the sedimentary basin in the 1891 Nobi earthquake, *Earth Planets Space*, 59, 13-19, 2007.
- Pollitz, F. F., Gravitational-viscoelastic postseismic relaxation on a layered spherical Earth, *J. Geophys. Res.*, 102, 17921-17941, 1997.
- Thatcher, W., T. Matsuda, T. Kato, and J. B. Rundle, Lithospheric loading by the 1896 Riku-u earthquake, northern Japan: Implications for plate flexure and asthenospheric rheology, *J. Geophys. Res.*, 85, 6429-6435, 1980.
- Ueda, H., M. Ohtake, and H. Sato, Postseismic crustal deformation following the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake, northern Japan: Evidence for a low-viscosity zone in the uppermost mantle, *J. Geophys. Res.*, 108, doi:10.1029/2002JB002067, 2003.

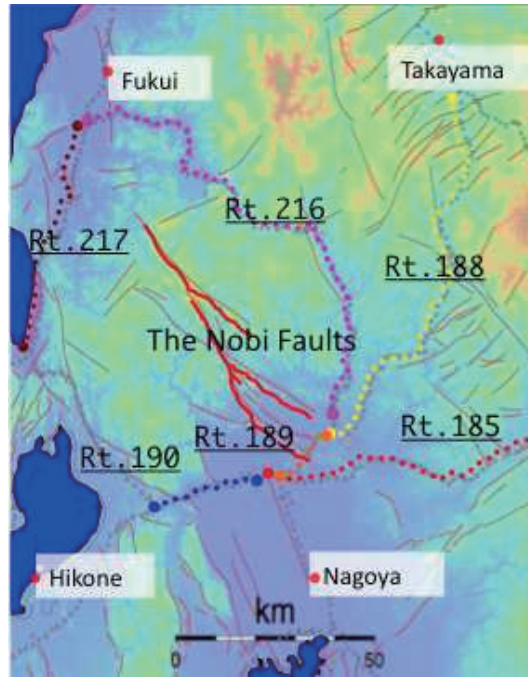


図1 濃尾地震震源域周辺の水準路線図

Fig.1 Leveling route map around the source region of the 1891 Nobi earthquake.

① H(37km)一定, η による比較

② $\eta(10^{19})$ 一定, Hによる比較

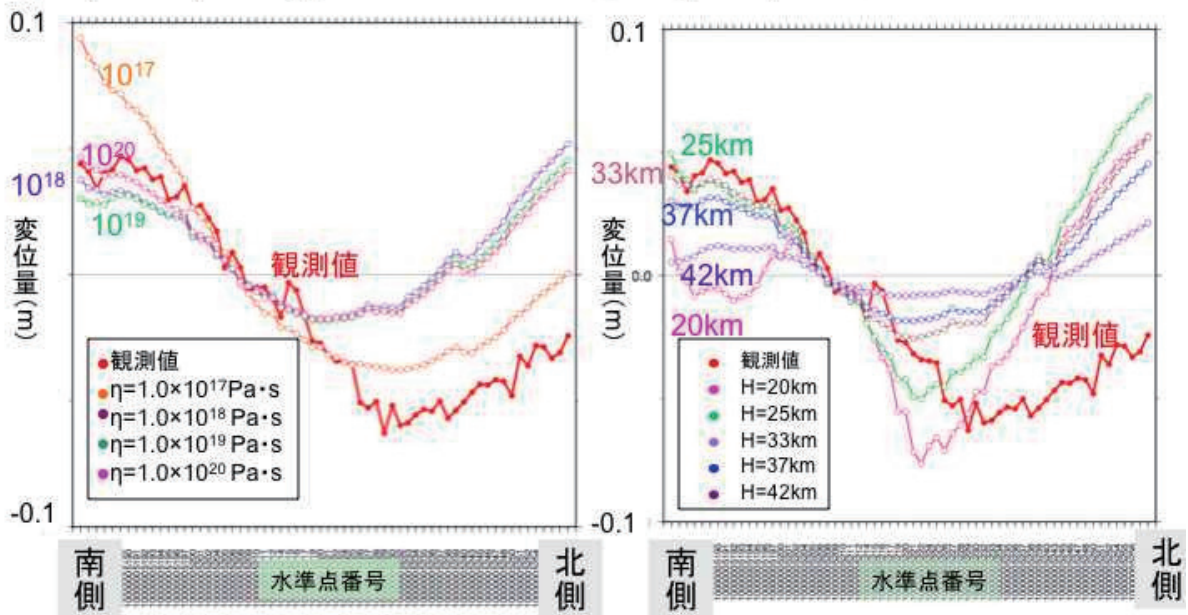


図2 水準測量データと余効変動モデル計算を比較した例。水準路線 216 の 1901-1929 年の変動量。左は H を一定として η を変化させた場合、右は η を一定として H を変化させた場合。

Fig.2 An example of comparison between leveling data and calculation of postseismic deformation. Data of the leveling route 216 during 1901-1929. Left: constant H(=37km) and variable η , Right: constant η (=1019Pa · s) and variable H.

Variance distribution

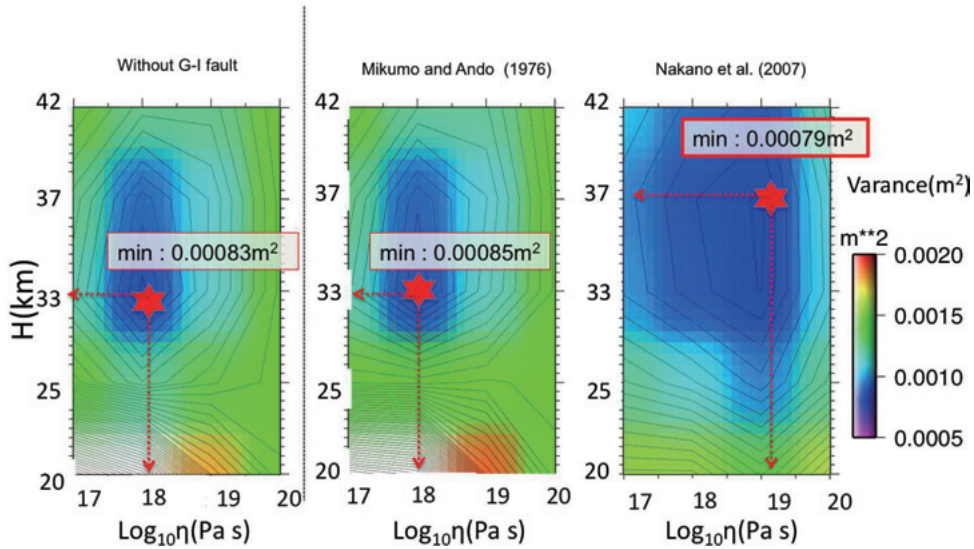


図3 濃尾地震の余効変動データに対する粘弾性モデルによる計算の残差二乗和分布. (左) 岐阜—宮断層を除いたモデル (中) Mikumo and Ando(1976)モデル, (右) Nakano et al.(2007)モデル. 東傾斜した Nakano et al. (2007)のモデルで残差が最小となる.

Fig.3 Variance distribution obtained for viscoelastic relaxation models for postseismic deformation of the Nobi earthquake. (left) without Gifu-Ichinomiya Fault, (center) Mikumo and Ando (1976) model, (right) Nakano et al. (2007) model.

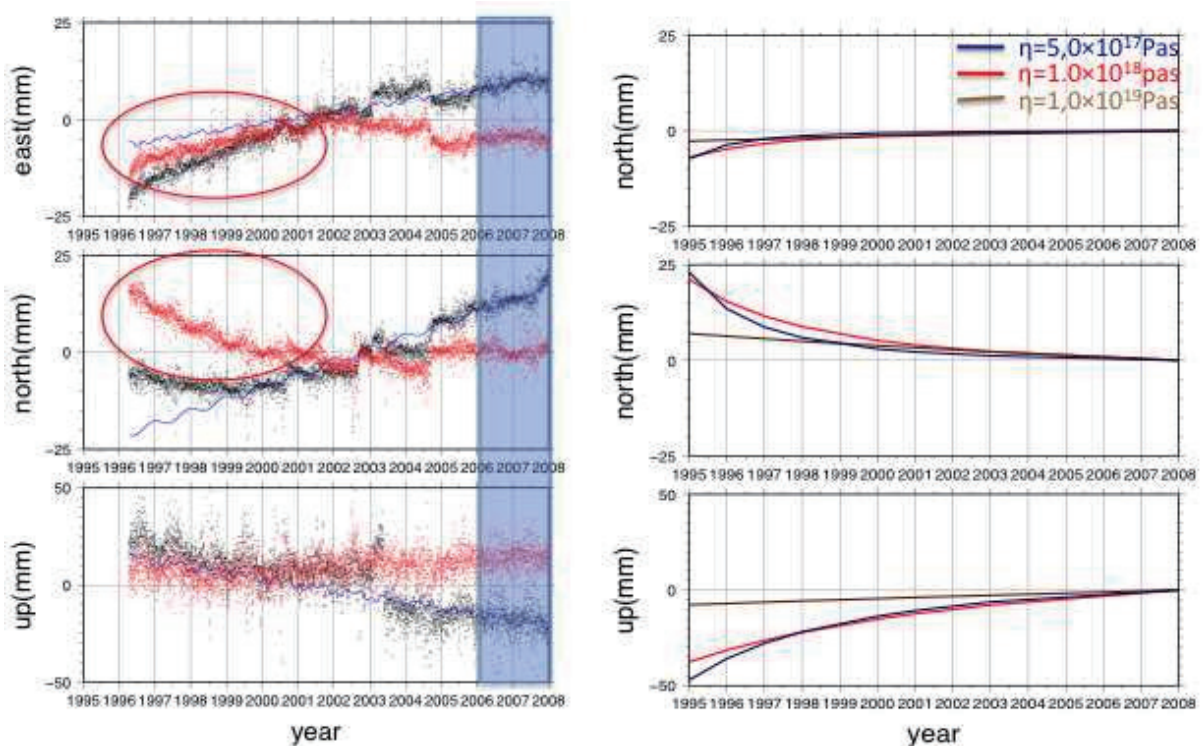


図4 (左) 洲本における GPS 日座標値 (黒), 2006-2008 年の座標値から推定した定常的な座標変化トレンド (青) および定常変化成分からの残差 (赤). 赤丸で囲った部分で緩和的な変化が認められる. (右) 粘弾性緩和モデルで計算される洲本の座標値の時間変化. $10^{18} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 程度の粘性係数が適当である.

Fig.4 (Left) Daily GPS coordinate change at Sumoto (black), steady trend inferred from coordinates during 2006-2008 (blue), and the residual (red). Relaxation change is identified as indicated by red circles. (Right) Coordinate changes calculated from viscoelastic relaxation model. Asthenospheric viscosity of $10^{18} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ is appropriate.

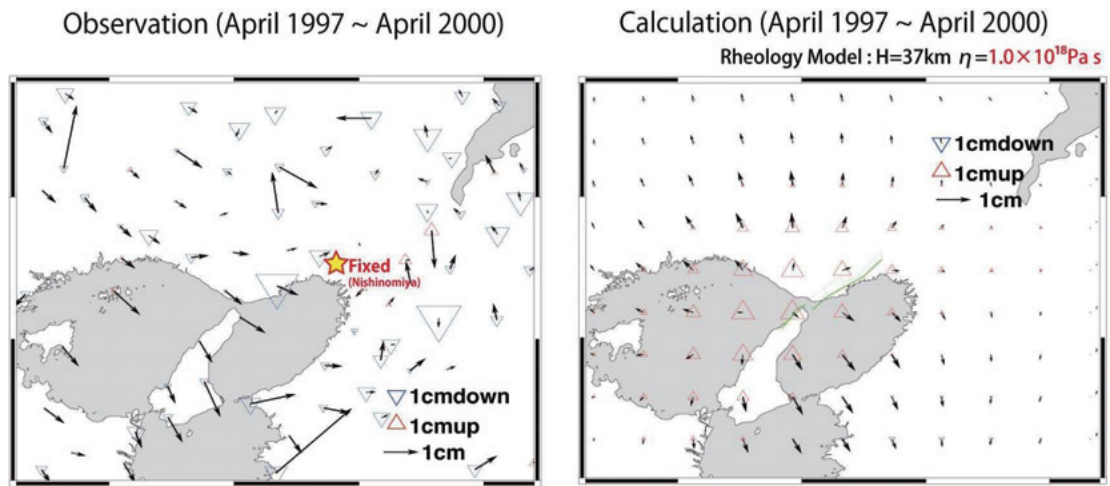


図5 (左) GPS 座標値から求められた 1997 年 4 月～2000 年 4 月の期間における定常地殻変動成分からのずれ. 兵庫県南部地震の余効変動がこの中に含まれていると考えられる. (右) 粘弾性緩和によるモデル計算値.

Fig.5 (Left) Residual displacements from steady deformation pattern inferred from GPS coordinates during April 1997 ~ April 2000. This pattern contains postseismic deformation signals. (Right) Calculated displacement pattern from viscoelastic calculation.