## 12-5 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験

# Experimental forecast of postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake

藤原 智・飛田 幹男 (国土地理院)

Satoshi Fujiwara and Mikio Tobita (Geospatial Information Authority of Japan)

#### 1. はじめに

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の余効変動の時系列に関数近似を行うという予測実験を通して、余効変動予測力の実力・限界・課題を示す。東北沖地震の余効変動は、主にプレート境界面上の余効滑りと上部マントルの粘弾性緩和により生じていると考えられており、余効変動予測は、こうした物理現象のより正確な推定のためにも有効と考えられる。飛田(2015;2016)及びTobita(2016)により、対数・指数関数の混合モデルを用いることで、場所によって異なる複雑な余効変動の振る舞いを近似できるようになり、また短期予測の見通しが立ちつつある。前回の報告から使用できるデータが1年増えたことにより、追加期間の短期予測力の検証を行う。また、20年後の予測を試みることを通して、中長期予測における課題を明らかにする。なお、今回の結果の各図については国土地理院(2017)(本号)を参照されたい。

### 2. 地震後2年時点の余効変動予測力の検証

2016年2月の第210回地震予知連絡会の重点検討課題「予測実験の試行02」の中で飛田(2016)は余効変動予測の検証を行った.これは、地震後2年間(2011年3月12日から2013年3月11日まで)のデータのみを用いた近似関数を外挿した予測を固定し、その後の修正は行わないという方針で、実データによる予測力の検証を実施している。予測式は、次式で表される、いわゆるダブル対数+指数モデルである。

$$D(t) = a\ln(1+t/b) + c + d\ln(1+t/e) - f\exp(-t/g) + Vt,$$
(1)

ここで、D(t) は余効変動時系列の東、北または上成分、t は地震後の日数、 $\ln$  は自然対数、b, e, g は対数関数または指数関数の緩和時定数、V は定常速度である。

第1図は、余効変動の予測実験の試行に用いている4つの観測点の配置図である。宮城県の矢本観測点、千葉県の銚子観測点、岩手県の宮古観測点及び秋田県の皆瀬観測点では、ノイズ(バラツキや季節変化等)に対する余効変動シグナルの比であるS/Nが極めて高く高品質なデータが得られている。これらの観測点では、地震直後とその後の上下変動が特徴的であり、グローバル解算出に有効であるため、関数近似と余効変動予測の計算のために前回に引き続き使用した。また、定常速度Vは、1997年4月1日から2000年3月31日の観測値の近似直線の傾きの値で固定している。

第2図に、予測式による近似と短期予測の例を示した(他の図は国土地理院(2017)を参照). (1) 式における時定数b (対数関数), e (対数関数), g (指数関数)の推定値は、それぞれ、1.4日、82.0日、3217.0日である。これらの時定数は、第1図の4観測点で共通であり、かつ、東西・上下・南北成分に共通としている。観測点や成分ごとに異なるのは、振幅a, d, fとオフセットcと定常速度Vである。なお、これらの値は前回から変更はない。予測期間(地震後2.0年から5.8年)における赤の計算予測値とグレーの観測値を比較し、短期予測について検証すると、今回新たに加わった2016年12月までの5.8年間の短期的予測は依然良好である。

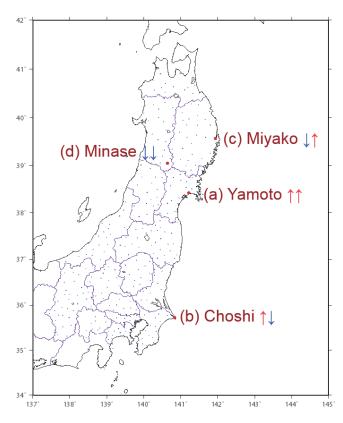
第3図に、宮古観測点の東西成分の観測値と予測値の残差を示した。予測値は観測値に対して2015年初めまでは1cm以内で一致していたが、その後、2015年2月17日に発生した三陸沖の地震(M6.8)及び岩手県沖の地震(M5.8)をきっかけとするように傾向が合わなくなっており、他のイベント発生による擾乱のために予測の限界が存在することがうかがえるが、このことから逆に残差の推移は他のイベントの影響等の検出に利用できることを示している。

#### 3. 余効変動の20年予測

上記予測モデルを用い、t を延長することで将来(ここでは地震後 20 年間)の予測結果が計算できる。地震後 2016 年 12 月までの 5.8 年間の最新データを使用して、計算式(1)の各パラメータを推定した。時定数 b(対数関数)、e(対数関数)、g(指数関数)の推定値は、それぞれ、1.98 日、128.7 日、450000 日である。矢本・宮古(第 4 図)・皆瀬観測点の東向きの変動は 20 年後(2031 年)も継続するとの予測になったが(国土地理院、2017)、近似期間が 2.0 年の予測結果では、2024 年以降に西向きに反転するとの予測になっていた。こうした違いは、主に長期の時定数 g が大きく異なることに起因している。このことは、第 3 図にも示されているように、近似期間中や予測期間中に大きな余震等の別のイベント等による擾乱の影響が含まれているかどうかが原因となっていることが考えられる。このことは、期間が長くなればなるほど別の地震等の影響を受けやすくなることを示している。直感的には近似期間を長く取れば取るほど長期予測には有利のように感じられるものの、実際には、「別の地震」等が含まれるような期間を取ってしまうことで、予測期間を必要以上に長く取ることが長期予測にとって有利に働かないことを示唆するものである。

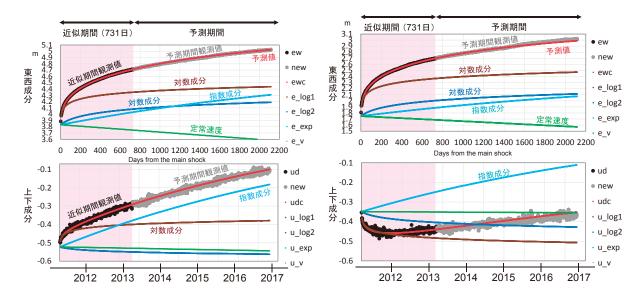
#### 参考文献

- 1) 飛田幹男 (2015) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験, 地震予知連絡会会報, 95, 12-5, 420-424.
- 2) Tobita M (2016) Combined Logarithmic and Exponential Function Model for Fitting Postseismic GNSS Time Series after 2011 Tohoku-Oki Earthquake. Earth Planets Space. doi: 10.1186/s40623-016-0422-4
- 3) 飛田幹男 (2016) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験, 地震予知連絡会会報, 96, 12-5, 481-485.
- 4) 国土地理院(2017) 東北地方の地殻変動、地震予知連絡会会報、98、3-3、



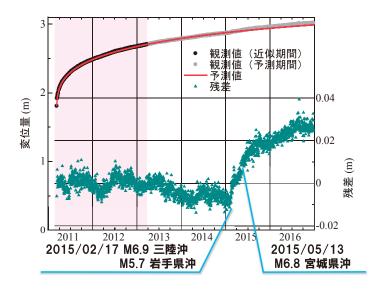
第1図 東日本の GONET 観測点配置図. 青点は国土地理院の GEONET 観測点を示す. 宮城県の (a) 矢本観測点, 千葉県の (b) 銚子観測点, 岩手県の (c) 宮古観測点, 秋田県の (d) 皆瀬観測点を, 関数近似と余効変動予測の計算のために選抜した. 観測点名に続く上下の矢印「↑」と「↓」は, 地震直後の上下変動及びその後の上下変動を表す.

Fig.1 Location map of GNSS stations. The dots denote the permanent GNSS stations in the GEONET of GSI. The Yamoto, Choshi, Miyako, and Minase stations have observed extremely high quality GNSS data, which were mainly used in this study. The up and down arrows denote the uplifts and subsidences immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake (first arrow) and afterwards (second arrow), respectively.



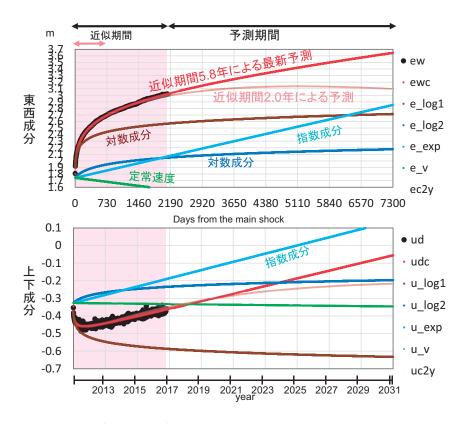
第2図 「矢本」観測点(左)と「宮古」観測点(右)のGNSS 余効変動時系列に(1)式のダブル対数+指数モデルを適用した結果の例. 横軸は地震後の日数,縦軸は地震直前からの地殻変動量で単位はメートル. 地震後731日(2年)のデータを用いた関数近似により得られた予測曲線(計算値)は,その後2016年12月までの5.8年間の予測期間観測値の予測を行っている.予測曲線の内訳として,対数成分1,対数成分2,指数成分,定常成分も表示している.

Fig.2 GNSS time series after the 20110311 earthquake, and the time series calculated using equation (1) of the log+log+exp model. The black closed circles denote the observed GNSS positions two years after the main shock with respect to the position just before the main shock. The red line was fitted to the positions observed in the two-year fitting period (indicated by the purple background area) between March 12, 2011 and March 11, 2013. The red line was extended to 5.8 years after the main shock based on the calculations using the model. The brown, blue, light blue, and green lines respectively indicate the logarithmic, logarithmic, exponential, and steady velocity components, and have been drawn so that their intercept would be the same as that of the red line. The summations of these components using certain offsets correspond to the calculated positions indicated by the red line. The grey closed circles denote the observed GNSS position during the prediction period after the fitting period.



第3図 「宮古」観測点の東西成分観測値及び予測値. 下段には双方の残差を示す.

Fig.3 EW component of GNSS time series after the 20110311 earthquake, and the time series calculated using equation (1) of the log+log+exp model at Miyako station. The green triangles show the residual. The trend of the residual shows changes after occurrence of large earthquakes on February 17 and May 13, 2015.



第4図 「宮古」観測点の GNSS 余効変動時系列及び地震後20年の長期予測. 上図が東西成分で下図が上下成分である. ピンク色の線が近似期間を2年間としたもので,赤色の線が近似期間を最大の5.8年としたもの.

Fig.4 GNSS time series at Miyako after the 20110311 earthquake, and the time series calculated using equation (1) of the log+log+exp model. The upper figure shows EW component and the lower figure shows UD component. The black closed circles denote the observed GNSS positions two years after the main shock with respect to the position just before the main shock. The pink lines are fitted to the positions observed in the two-year fitting period between March 12, 2011 and March 11, 2013, and the red lines are fitted to them in the 5.8 year fitting period. The fitted lines are extended to 20 years after the main shock based on the calculations using the model.