

12 - 6 地殻変動予測：東北沖地震の余効変動

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

宗包 浩志・藤原 智 (国土地理院)

Hiroshi Munekane and Satoshi Fujiwara (Geospatial Information Authority of Japan)

1. はじめに

国土地理院では平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の時系列に対し、ある期間を選んで関数近似を行いその後の余効変動の予測力を評価する予測実験に取り組んでおり、その結果について地震予知連絡会でも報告してきた¹⁾²⁾。その基本的な考え方は、余効変動がすべての観測点・成分で共通な時定数を持つ対数関数・指数関数の混合時空間モデルで表現できる、というものである (Tobita, 2016)³⁾。構築した時空間モデルは、その単純さにも関わらず、複雑な余効変動の振る舞いをよく近似することが示されている¹⁾²⁾³⁾。

最近、Fujiwara et al. (2022)⁴⁾により、Tobita (2016)³⁾の手法に基づき時空間モデルを構築し、その予測と 2020 年までの地殻変動を比較したところ、2015 年 2 月以降に広域でほぼ一定速度で進行するずれが見いだされた。また、この一定速度成分も新たな補正項として追加した改良時空間モデルを用いることで、予測精度が向上することも示されている。

本稿では、Fujiwara et al. (2022)⁴⁾に従って構築した時空間モデルについて、予測精度を定量的に評価するとともに、予測からのずれをプレート境界でのすべりとして解析した結果についても紹介する。

2. 改良時空間モデル

Tobita (2016)³⁾の時空間モデルは以下の式で表される。

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

ここで、 $D(t)$ は余効変動時系列の東西、南北または上下成分、 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。緩和時定数は、Tobita(2016)³⁾と同じ 4 観測点のデータを用い、地震後 3.9 年までのデータから決定している。また、 V は Tobita (2016)³⁾と同じく 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。係数 a 、 d 、 f は観測点、成分毎に地震後 3.9 年までのデータのフィッティングにより決定している。

第 1 図 (上) は、電子基準点宮古の東西成分の観測値 (黒) と予測値 (赤) の比較、(下) が残差である。2015 年に入ってから、残差が大きくなり始め、7 月頃から直線的に増加していることがわかる。そこで、この残差を説明するため、式 (1) を以下のように改良する。

$$D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt+(c'+vt)H^2(t-t_0). \quad (2)$$

ここで H はステップ関数であり、 t_0 としては 2015 年 7 月とする。ただし、2015 年 2 月から 2015 年 7 月の間は直線で接続する。第 1 図 (上) (下) において、それぞれ式 (2) の予測値、残差を緑で示す。式 (2) の予測値は観測値をよく説明していることがわかる。

3. 予測力の評価

式 (2) の予測力を評価するため、中部～北海道南部の電子基準点 340 点を用いた検証を行った。まず地震後 3.9 年のデータを用いて係数 a, d, f を推定した。さらに 2015 年から 2019 年のデータを用いて係数 c', v を推定した。予測期間として 1 年 10 ヶ月を取り、2021 年 10 月 1 日～7 日におけるずれの平均値を計算した。

第 2 図に、ずれの水平成分、上下成分の空間分布を示す。多くの観測点で、水平 1cm、上下 1.5cm 以下に収まっていることが分かる。ずれが大きい観測点は、牡鹿半島の周辺および福島・宮城～山形の範囲に集中して分布している。なお、水平成分で房総半島にもずれが集中している領域があるが、これは房総スロースリップの影響により、係数の決定がうまくいっていないためであると考えられる。ずれの平均値は、東西成分で 7.2mm、南北成分で 6.5mm、上下成分で 12.4mm であった。

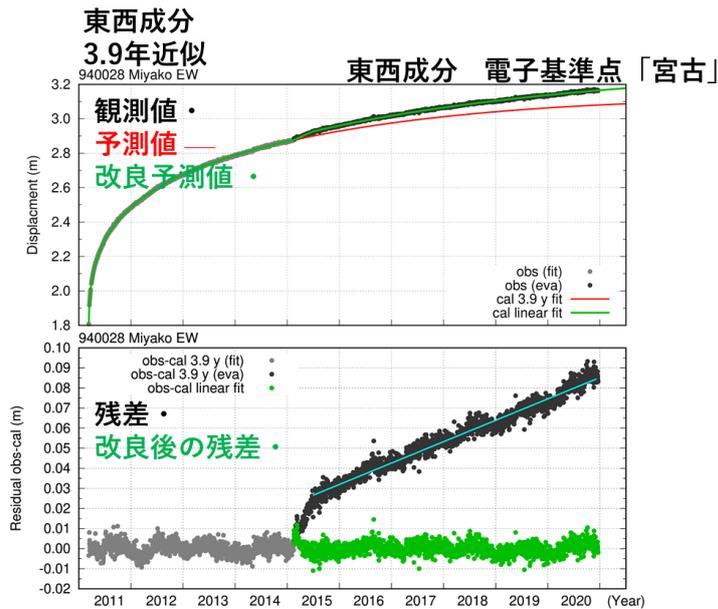
第 3 図に、予測値からのずれをプレート境界でのすべりであると解釈した場合のすべり分布およびすべりの時系列を示す。すべりは、主に 2021 年 3 月および 5 月に発生した宮城県沖の地震の南側に広がっている。あわせてすべりが大きかったグリッドにおけるすべり時系列を示す。2021 年 3 月以降急激なすべりが推定されており、このすべりが宮城県沖の地震の余効すべりである可能性を示唆する。このように、時空間モデルを用いて時系列を補正することで、余効変動に隠された、より小さな現象の評価に役立つ可能性が示唆される。

(宗包 浩志)

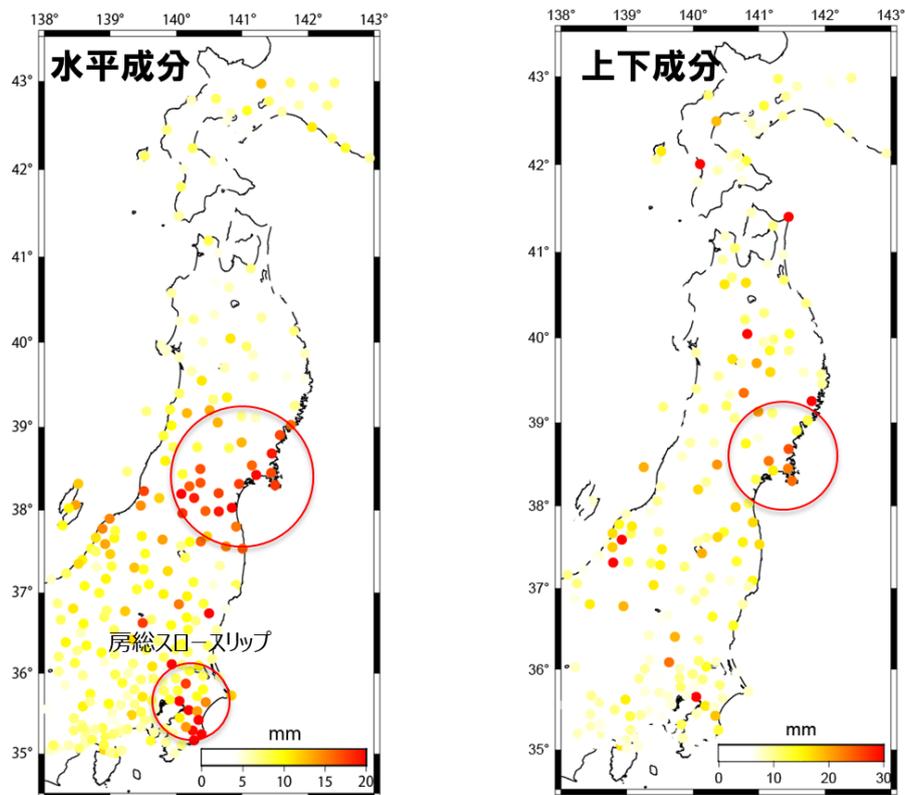
MUNEKANE Hiroshi

参考文献

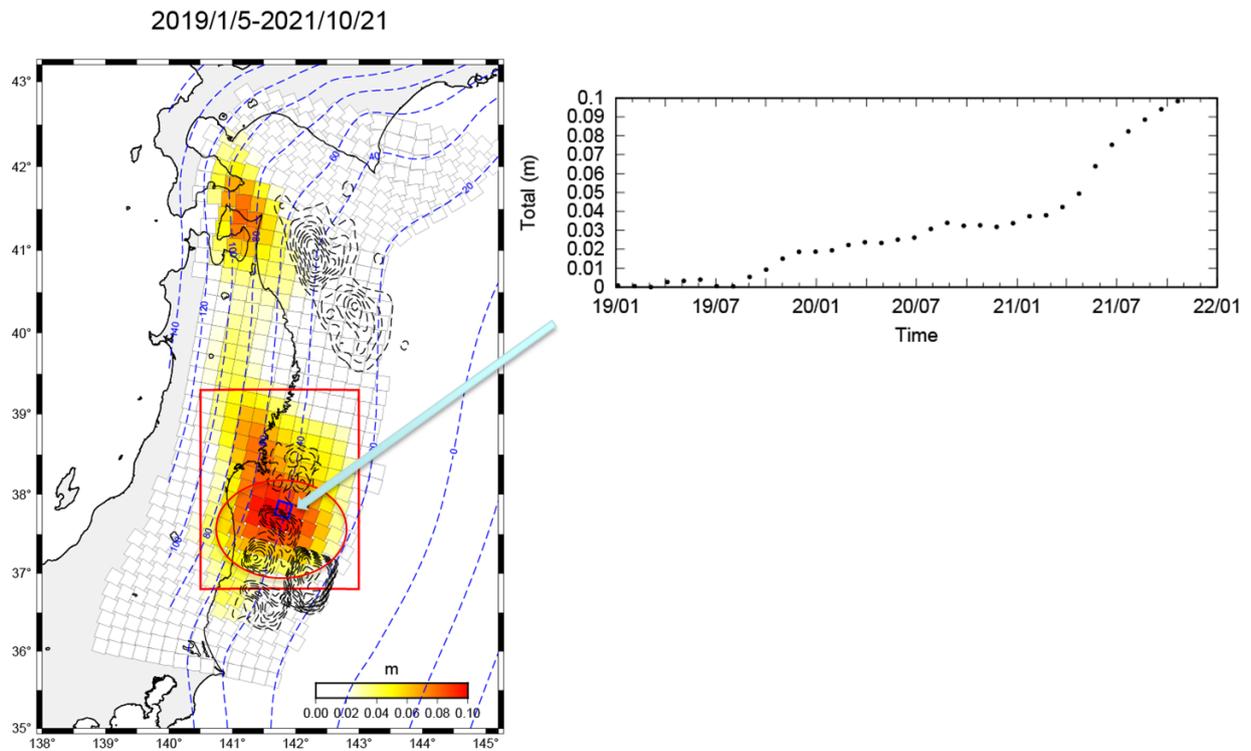
- 1) 飛田幹男 (2015), *予知連会報*, **95**, 12-5, 420—424.
- 2) 藤原智・飛田幹男 (2017), *予知連会報*, **97**, 12-5, 481—485
- 3) Tobita (2016), *Earth Planet Space*, 68:41, <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0422-4>
- 4) Fujiwara et al. (2022), *Earth Planet Space*, 74:13, <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01568-0>



第 1 図 (上) 電子基準点宮古における、座標時系列（東西成分）および時空間モデルによる予測値。黒が観測値、赤が式 (1) による予測値、緑が式 (2) による予測値を表す。
 (下) 残差時系列。黒が式 (1) による予測値からの残差、緑が式 (2) による予測値からの残差を表す。
 Fig. 1 (Upper) Observed GNSS coordinate time series and predicted coordinate timeseries at Miyako station. Black, red, and green dots represent observation, prediction by equation (1), prediction by equation (2), respectively.
 (Lower) Residuals. Black and green dots represent those obtained with equation (1) and (2), respectively.



第 2 図 予測値からのずれの空間分布。赤丸がずれの大きい観測点が集中している領域を示す。
 Fig. 2 Distribution of the differences between observed and predicted coordinates. Red circles denote the areas where notable differences are observed.



第 3 図 予測値からのずれから推定したプレート間すべりおよび顕著なすべりが推定された代表的なグリッドにおけるすべり時系列。

Fig. 3 Slip distribution estimated with the differences between observed and predicted coordinates, and of slip history at a representative grid where notable slip is observed.