

## 12 - 2 余効変動の予測能力評価

### Evaluation of forecast performance of postseismic displacements

飛田 幹男, 赤司 貴則 (国土地理院)

Mikio Tobita and Takanori Akashi (Geospatial Information Authority of Japan)

#### 1. はじめに

第 193 回地震予知連絡会以降, 毎回報告されてきた平成 23 年東北地方太平洋沖地震の余効変動の観測データと, 曲線近似について, その実力を振り返る. (1) 毎回提示してきた対数関数近似による余効変動各成分の外挿予測が 2014 年 7 月時点でのどの程度当たっているかという実測値による評価, 及び (2) 地震時沈降の回復時間予測結果はどう変わったかという最新予測値による当初予測値の評価と当初予測の信頼性の評価を紹介する.

#### 2. 対数関数外挿予測の評価

第 1 図は, 岩手川崎 A 観測点の余効変動時系列で, 黒で示した地震後 234 日間の水平成分と上下成分の時系列データに対し対数関数近似を行い, 赤の曲線で外挿予測を行ったものである. 235 日から 1212 日までの実測値 (青) が評価結果であり, 1212 日時点で水平は 16cm, 上下は 8.4cm のプラスの予測誤差が生じた. 参考のため, 235 日から 1212 日までの予測期間の地殻変動に対する予測誤差 (水平 33%, 上下 71%), 及び 1 年あたりに換算した年予測誤差率を示した. 年予測誤差率は水平が +12%/yr, 上下が +26%/yr であり, 予測より速く地殻変動が進行し, 過小予測であったことを示す. 岩手川崎 A では, 地震後 30 日から 590 日のデータを使った予測でも, 366 日から 1120 日のデータを使った予測でも, 過小予測傾向であるということは変わらない. M 牡鹿や相馬観測点でも, 過小予測傾向は同様である. 一方, 銚田の水平成分は予測誤差 -3.3cm の過大予測であった.

速度・状態摩擦構成則に基づく対数関数 fitting の外挿による余効変動予測は第一次近似として有効であり, 近似期間内はよく fit しているが, 外挿予測には最大, 16cm, 6cm/yr, 40%/yr 程度のずれが生じることもあることがわかった. 水平変動予測誤差は, 多くの観測点で +2 ~ +12%/yr の過小予測, 銚田では -20% の過大予測であった. 上下変動予測誤差は, ほとんどが過小予測で, 実際の隆起速度は予測より 11~42% 速い.

#### 3. 地震時沈降の回復時間予測の評価

上下変動の時系列に対数関数近似を行うことにより, 太平洋沖地震によって生じた沈降が回復するために要する年数を計算することができる. これまで, 第 2 図の横軸に示した 13 の時期 (近似データ最終日) に, 回復年数の推定を行ってきた. 第 2 図の右端の最新の回復年数を見ると, 沈降から隆起に転じた岩泉 2 は長期的に回復する可能性が高まり, 岩手川崎 A, M 牡鹿, 相馬の回復年数は大幅に短縮した. また, 銚田の予測値変化は小さく, 銚子の予測値は伸びた.

第 3 図に, 2014 年 7 月現在における地震時沈降の回復率と予測回復年を示した. 例えば, 銚子観測点では, 地震時に 16cm 沈降し, 1210 日後には隆起により -2cm まで 85% 回復した. 対数関数近似により 2037 年頃に地震前の地盤面に回復する見込みであることを示す. 岩泉 2 を除く他の観測点でも既に 31% から 67% 回復しているものの回復までには時間がかかることを示している. 岩泉 2 観測点では, 地震後沈降が隆起に転じているもののその量が小さいことを示している.

#### 4. 考察

2節では、対数関数は近似に有効であっても、地殻変動予測には系統的なずれが生じることを示した。3節では、沈降回復時間の推定値がデータ期間によって大きく変化してしまうことを示した。これは、時定数相当の係数（以下、「時定数」と呼ぶ） $b$ の推定値が、データ期間や観測点により大きく異なる値となり、安定していないことに対応していると考えられる。こうしたずれや不安定の理由として、対数関数近似の限界、及び地殻活動の状況の変化の可能性が考えられる。そのどちらの可能性が高いかを探るため、対数関数と指数関数による寄与を同時推定する混合モデルによる近似を試みた。

#### 5. 混合モデル（log+exp）による地殻変動予測（暫定）

第4図は、

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

で表される対数関数と指数関数による混合モデルを岩泉2観測点の東西成分時系列に適用した暫定結果である。ここで、余効変動成分  $D$  の単位はメートル、時定数  $b$ ,  $e$  と時間  $t$  の単位は day, 係数  $a$ ,  $c$  の単位はメートル、定常速度成分  $V$  の単位は m/day である。第4図や他の観測点の混合モデルによる近似の暫定結果から、次のことがわかってきた：

- (1) 指数関数（粘弾性緩和）の寄与が増加しつつある。
- (2) 2017年7月時点で、太平洋岸の観測点への寄与は、対数（余効滑り）が主。
- (3) 対数の時定数は1~10日程度、指数の時定数は1000日から2000日程度。
- (4) 時定数  $b$  と  $e$  は、従来の対数関数近似と比較して、データ期間・観測点・成分によらず安定した推定値が得られる。
- (5) 対数関数モデルより予測能力が高い。

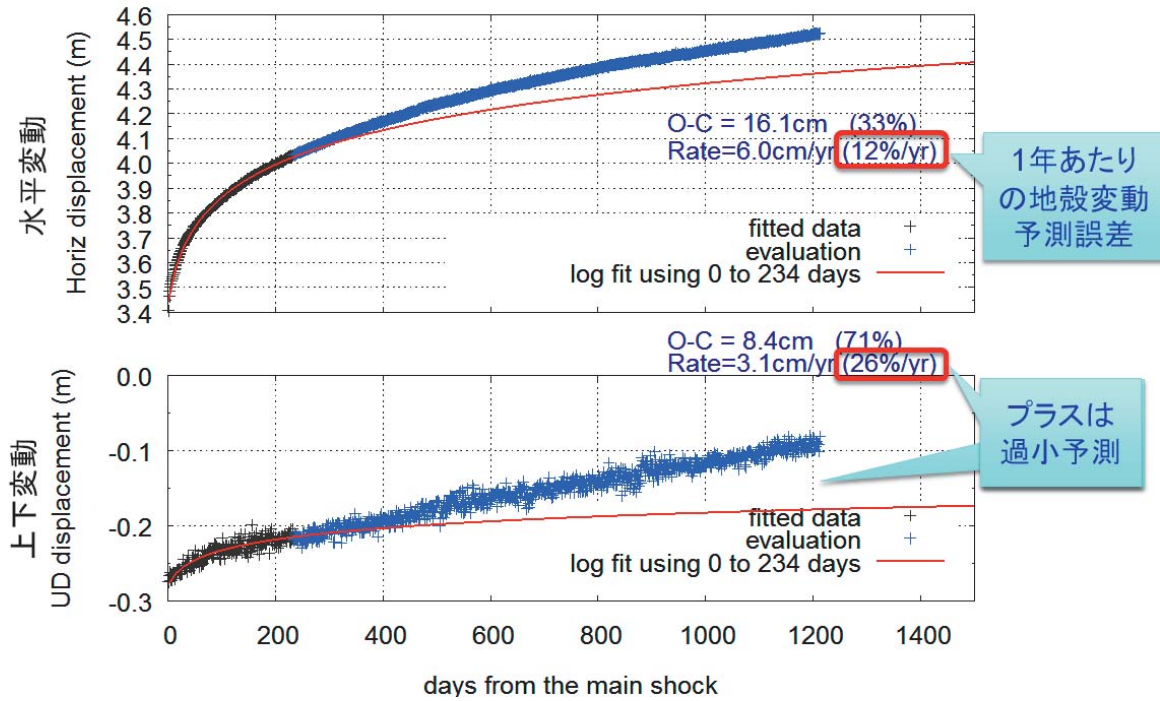
以上のことから、地殻活動の状況の変化よりむしろ、対数関数近似の限界である可能性が高いことが判明した。つまり、2つの時定数の異なる現象（おそらく余効滑りと粘弾性緩和）がその寄与の割合を変えながら進行していると推測される。

#### 6. まとめ

対数関数近似による余効変動予測の実力は、地震後234日間のデータによる1212日の予測のずれが最大16cm（この間の地殻変動は49cm）であり、多くの観測点で過小予測であった。また、地震時沈降が回復するまでの年数予測はデータ期間によって大きく変化してきたことが確認された。

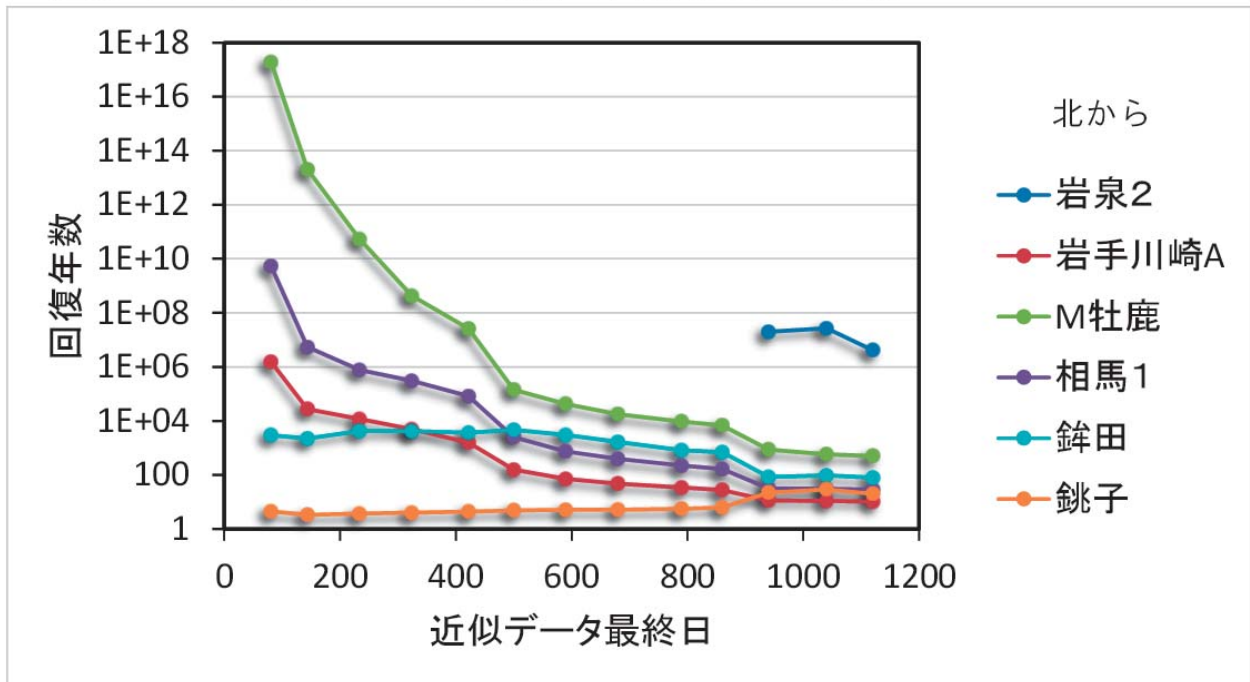
対数関数と指数関数を組み合わせた混合モデルにより、こうした予測のずれや時定数の不安定さが生じる理由が説明できる可能性が示された。また、「岩泉2」観測点が地震後沈降から隆起に転じた理由、牡鹿半島及び周辺の観測点で直線的な隆起が生じた理由等の謎が解かれつつある。さらに、第4図は余効滑りと粘弾性緩和の寄与を分離できる可能性をしめしている。しかし、混合モデルでは推定パラメータ間の相関が非常に高く、基本的に解は初期値に依存し、残差平方和の最小値ではなく極小値しか求まらないことも多いため、最小値をもつグローバル解を得る方法及びモデルの検証を行う必要がある。

近似期間:地震後0~234日 予測期間:235~1212日  
 「岩手川崎A」(04 051145) GEONET F3解 固定局:福江

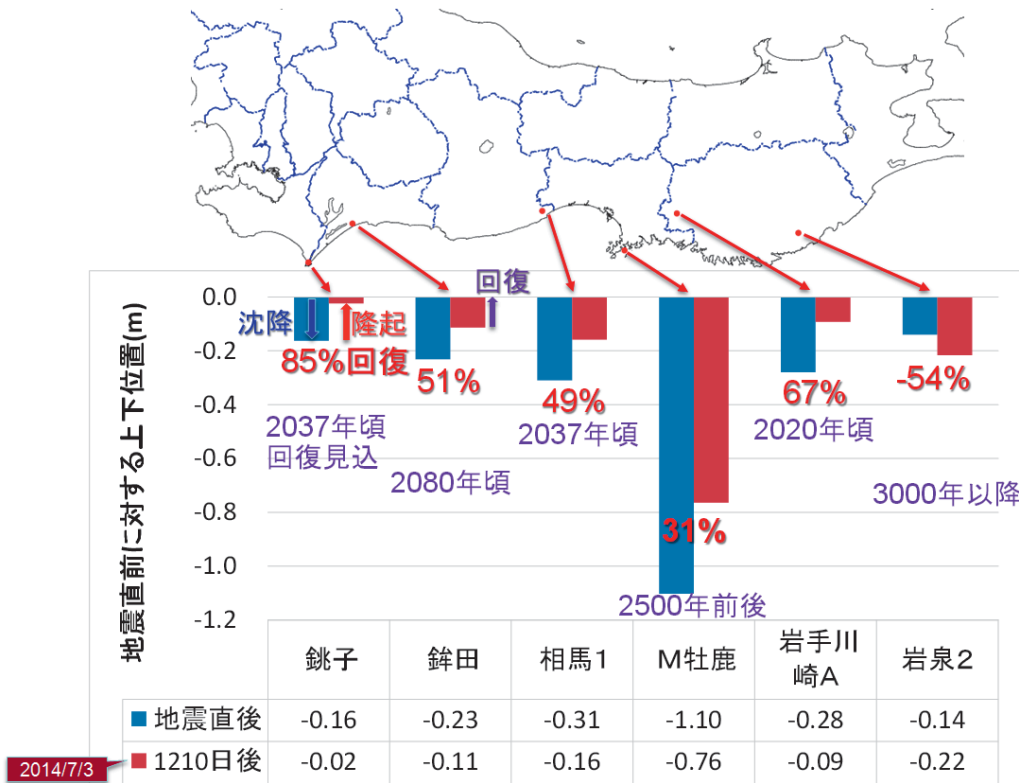


第1図 対数関数近似による予測結果の評価  
 Fig.1 Evaluation of forecast performance of postseismic displacements.

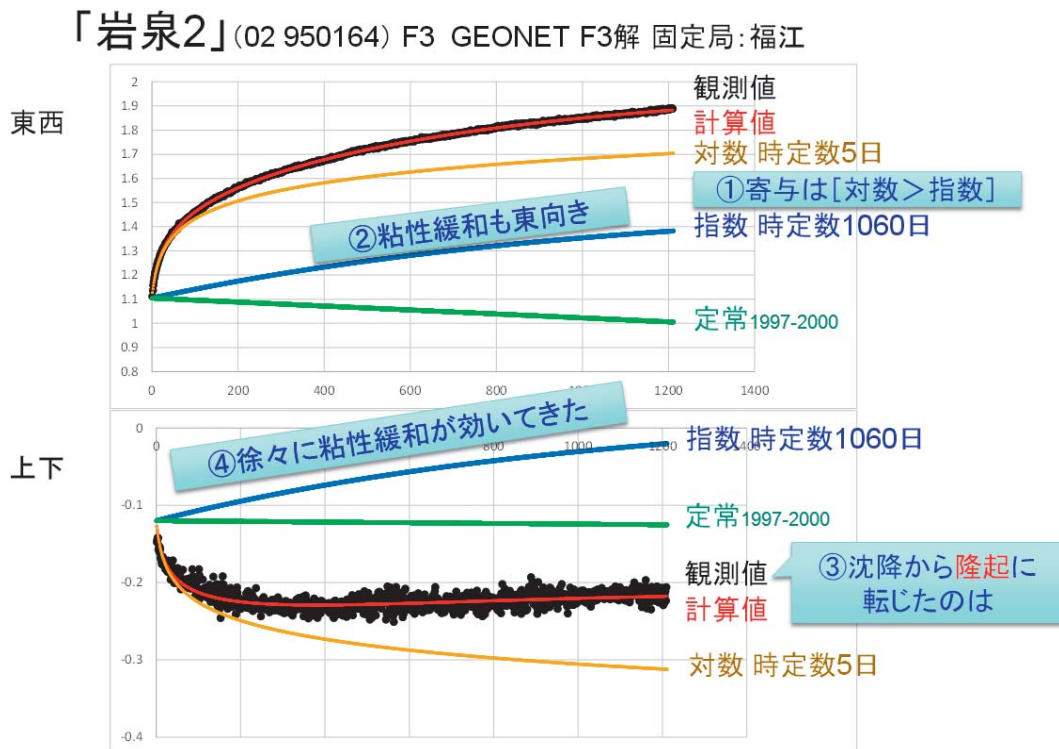
近似データ期間による回復時間推定値の変化 Q3解



第2図 沈降が回復する年数予測の評価  
 Fig.2 Evaluation of forecast performance of vertical recovery time.



第3図 地震時沈降の回復率と予測回復年（2014年7月時点）  
Fig.3 Recovery rate and time from the coseismic subsidence.



第4図 対数関数+指数関数の混合モデルによる近似結果（暫定）  
Fig.4 Fitting by combined model of logarithmic and exponential function.