

11-3 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動の対数関数近似について

Logarithmic function fit to postseismic crustal deformation of the 2011 Tohoku Earthquake

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

[はじめに]

2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動について、第191回地震予知連絡会（2011年6月13日）以降、基線変化グラフの時系列に対数関数による近似曲線を当てはめた図をモニタリング資料に掲載してきた。この図は、例えば、対数関数的な減衰傾向の仮定の下で地震時に沈降した観測点の高さが元に戻るために要する期間を推量したり、近似曲線による予測からのずれを元に現象の変化の有無を検出するために有用と思われる。しかしながら、対数関数の適用は、一次元摩擦モデルに基づいたものであり（Marone et al., 1991）、一つの仮定に基づいて現象を単純化したものである。データの期間が長くなるにしたがってその適合性に変化が生じることは大いにありうることであり、それによって予測の妥当性も変化するであろう。

本稿においては、地震後1年を超えるデータの蓄積を踏まえ、データの近似や外挿による予測の妥当性を評価するとともに、近似曲線の推定に用いるデータの期間や手法を再検討する。検討には、山田（950167）を取り上げ、福江（固定点：950462）に対する変動ベクトル三成分のデータを評価に用いた。

[関数形の検討]

これまでの資料においては、第191、192回地震予知連絡会において、近似曲線として対数曲線と指数曲線を用いて当てはめを行ない、地震後数ヶ月の地殻変動が対数関数で良く近似できることを報告した（会報第86巻）。それ以後は、この結果に基づいて対数曲線による当てはめのみを行い、それからの大きなずれが無い旨を報告してきた（会報第87巻および第88巻）。今回改めて、関数形を変えることによって予測が改善するかどうか、特に関数の推定期間後に近似曲線を外挿した際にどの程度データを説明（予測）しうるかを、対数関数に線型項を加えた場合、および指数関数を用いた場合について調査した。第1図に、近似曲線の推定に用いるデータを地震発生翌日から100日間、200日間、300日間、400日間と変化させたときの、近似曲線の変化をデータと共に示す。まず、指数関数（第1図(b)）は推定期間の終端付近でデータへの適合が悪く、早期に予測が大きくずれることがわかる。一方、対数関数による予測曲線（第1図(a)）は、上下成分を除き、実際の観測データよりも若干早めに減衰する傾向が見られるが、指数関数に比べて適合はよく、推定期間後100日程度は大きく観測値から外れないことが分かった。また、データ期間による近似曲線の変化も指数関数にくらべて小さい。対数関数に線型項を加えた場合（第1図(c)）については、多少の改善はあるものの、単純な対数関数の場合に比べて劇的な改善は見られない。データ期間が長くなるにしたがって線型項の有効になる可能性はあるが、計算期間による線形項のばらつきが大きく予測が不安定になるおそれがある。以上により、単純な対数関数を近似曲線として用いることは現時点において概ね妥当と考えられる。

[時定数の推定方法の検討]

対数関数の時定数については、Marone et al.で(1991)は、全観測点共通の値として推定しているが、これまでの資料では、すべり域の変化する可能性などを念頭に置き、各観測点で独立に推定してきた。さらに、これまでは、3成分とも同じと仮定し、水平成分を元に推定し、上下成分に適用していた。これは、特に、上下成分のノイズが水平成分に比べて大きいこともあり、推定に用いるデータの期間が短い場合に、より安定に解を求めることを意図した措置であったが、本来、プレート面上のすべり分布が変化する可能性を想定すれば、全成分の変化の時定数が同じである必然性はないし、1年半近くのデータが蓄積された現在この制約条件が妥当とも限らない、そこで、3成分の時定数を独立に推定を行ない、その結果を、水平成分から推定した時定数を上下成分に適用した場合の結果(第1図(a))と比較した。

3成分の時定数を独立に推定を行った結果を第2図に示す。これを第1図(a)と比較すると、上下成分については、時定数を独立に推定した場合の近似曲線の方が、当然ながら適合が若干よいが、両者の差は小さく、現時点ではどちらの方法も大差ないと考えられる。当面の間は従来の方法を適用しても特段の問題はないであろう。

[推定に用いるデータの期間の検討]

第1図(a)の基線変化時系列を見ると、上下成分の変化が本震後の1ヶ月を過ぎたあたりから急激に小さくなっており、水平成分とは異なる傾向を示している。このことは、プレート境界面上の滑りの減衰のし方が空間的に一様ではなく、本震直後の1ヶ月間と最近とで滑りの空間分布に多少の違いがあることを示している可能性がある。関数形の検討の項に記述したように、水平成分については対数曲線が実際のデータに比べて変化がやや早く減衰する傾向が見られるが、このことも、長期にわたる複雑な現象を単純な対数関数で近似することの困難さを示しているものと思われる。

データ全体を単純な関数でうまく近似できない場合、近似曲線の推定を関数が適合するより短い区間のデータに対して行う方が有益である場合がある。そこで、本震直後の30日分のデータを使用せずに近似曲線を推定した結果を第3図に示す。本震直後のデータも用いた結果(第1図(a))に比べ、本震直後のデータを用いない方が予測値の安定性がより高いことがわかる。

現象の変化を予測からの外れによって検出することを、近似曲線との比較に求められる要件の一つと考えるならば、関心の的は、本震直後の変化を説明することにはなく、最近の余効変動に予測から外れる変化傾向が見られないかどうかにある。その趣旨から考えても、対数関数の適合が全期間について良好でない場合に、初期のデータを除いた残りの期間に対して適合されることは妥当と考えられる。

なお、第3図の上下成分については、水平成分に比べて、最近のデータへの適合が必ずしもよいとは言えない。これは、評価対象とした観測点の最近の上下変動が以前に比べて直線的であり、水平成分と異なる傾向を示しているためであり、このデータ期間における長期的な変動傾向の変化が検出されているものと考えられる。

[まとめ]

以上の検討結果から、近似曲線の推定方法としては、当面の間、次の方式を用いるのがよいと考えられる。

- ・ 近似曲線の推定には対数関数を用いる。
- ・ 時定数の推定は水平成分を用いて行なう。

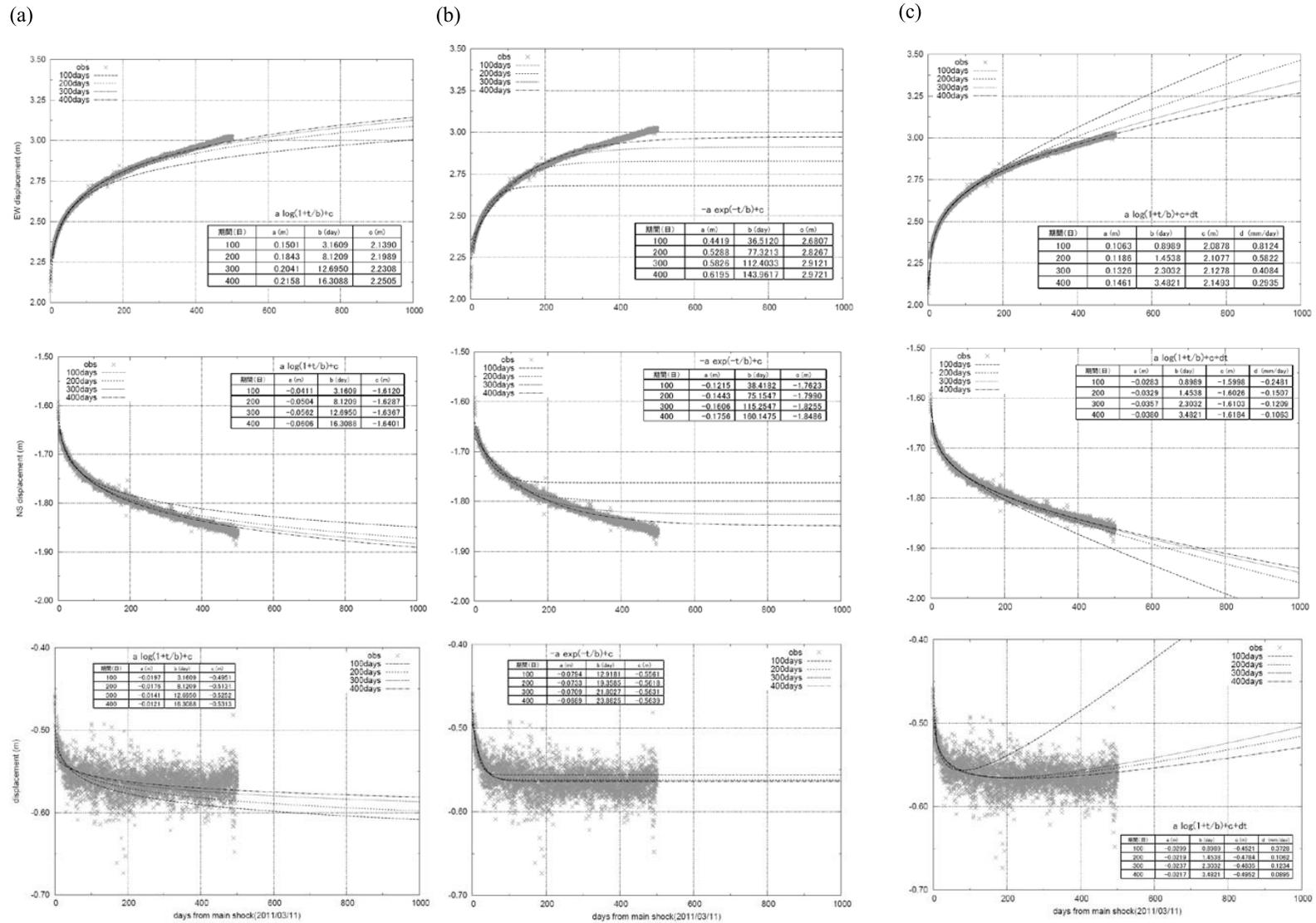
- ・最初の 30 日分のデータは近似曲線の推定に用いない。

ただし、これらはいくまでも現時点で妥当と考えるものであり、データが蓄積するにしたがって、最適な方法やパラメータは変化するものと考えられるため、現象の変化、データの適合性、予測値の安定性などを見極めながら、適宜見直しを行なう必要がある。

なお、3ヶ月ごとに開催される地震予知連絡会におけるモニタリング資料においては、前回の近似曲線による予測のずれを評価できるようにするため、直近までのデータを用いて推定した近似曲線だけではなく、その 100 日前（おおむね前回資料までの期間）までのデータを用いて推定した近似曲線を合わせて表示するとともに、前回予測からのずれの評価として、予測部分 100 日間の残差平均を示すこととする。

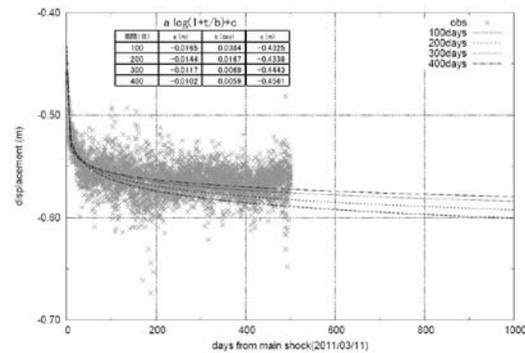
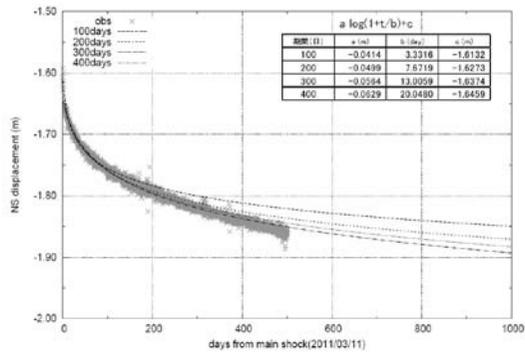
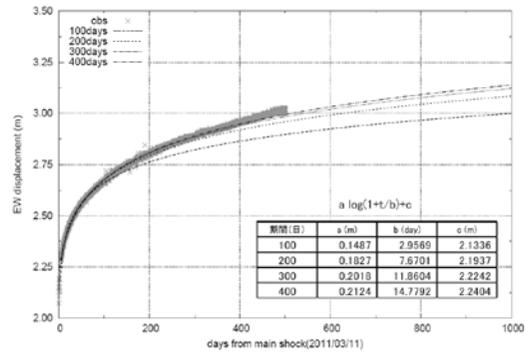
参 考 文 献

- 1) 国土地理院, 2011, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 86, 184-272.
- 2) 国土地理院, 2012, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 87, 101-153.
- 3) 国土地理院, 2012, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 88, 104-142.
- 4) Marone, C. et al., 1991, J. Geophys. Res., 96, 8441-8452.

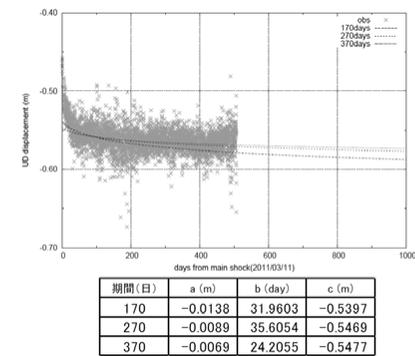
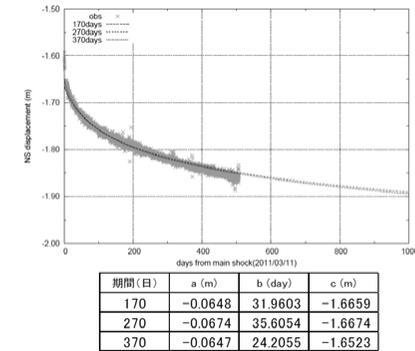
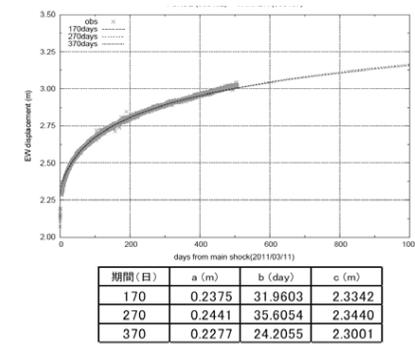


第 1 図 基線変化グラフとそれに適合させて推定した近似曲線。上から東西成分、南北成分および上下成分。(a)近似曲線に対数関数を用いた場合、(b)指数関数を用いた場合、および、(c)対数関数に線形項を加えたものを用いた場合。上下成分の時定数は、水平成分を元に推定されたものを適用した。

Fig. 1 Curve fitting to the plots of baseline change using (a) logarithmic function, (b) exponential function, and (c) logarithmic function combined with linear term. From the top to bottom, shows East, South and Up component. For each function type, the time constant is estimated based only on the data of horizontal component and of applied to the Up component.



第2図 対数曲線の推定において、各成分の時定数を独立に推定した場合の結果。上から東西成分、南北成分および上下成分。
 Fig. 2 Results of the logarithmic function fitting with estimating the time constant of each component independently. From the top to bottom, shows East, South and Up component.



第3図 本震後の30日間のデータを用いずに対数関数を推定した場合の結果。上から東西成分、南北成分および上下成分。
 Fig. 3 Results of the logarithmic function fitting without using the data of 30 days after the main shock. From the top to bottom, shows East, South and Up component.