

12 - 10 余効変動の推移と今後の隆起・沈降の見通しについて

Transition of postseismic displacements and outlook of vertical displacements

飛田 幹男, 木村 久夫 (国土地理院)

Mikio Tobita and Hisao Kimura (Geospatial Information Authority of Japan)

1. はじめに

第 193 回地震予知連絡会の重点検討課題として、「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3）」が議論された。本稿ではその中の「2）陸上モニタリング結果」の「2）- 2 余効変動の推移と今後の隆起・沈降の見通しについて」の概要を記述する。

岩手県から千葉県に至る太平洋沿岸では、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴って 0.1 ~ 1.2m の沈降が観測されたが、地震後に隆起が観測されている地域もあり、減衰しながらも余効変動が継続している。GEONET の余効変動時系列データを用いて、現状の減衰傾向が続いたと仮定したとき、地震時の沈降分が地震後の隆起で回復できるのか、できるとすると回復に要する時間はいくらか、推定を試みる。地震後には余震・誘発地震・粘弾性緩和に伴う地殻変動も生じ、余効変動だけで隆起が生じるわけではないが、余効変動の寄与分だけでも分析することは、地質学的な長期的隆起と測地的な最近の沈降との不一致という謎を解く上で、また、沿岸部の復興に必要な標高変化を予測する上でも、有効であると考えられる。

2. 地震時上下変動と余効上下変動

第 1 図に示したように、地震時には岩手県から千葉県に至る太平洋沿岸で沈降が観測されたが、余効変動では岩手県北部では沈降が続く一方、岩手県南部から千葉県に至る太平洋沿岸で隆起に転じている。

3. 地震時上下変動の回復率

地震時の上下変動が、2011 年 10 月 31 日までの 234 日間に、余効変動で何%回復したかをみるため、地震時上下変動に対する余効上下変動の百分率として回復率を計算した。第 2 図が回復率分布を示す。上下変動が反転した場所は赤で示した。次の 4 点が見てとれる。

- (1) 地震時沈降が地震後隆起で完全回復した場所は東京都の一部のみ（8 月頃）である。
- (2) 宮城県から茨城県北部の太平洋岸の回復率は約 20%。
- (3) 関東地方では 20% ~ 120% 程度の回復率で、南ほど大きい。
- (4) 岩手県北部の沈降は、地震時の最大半分程度である。

なお、回復率の計算及びこの後の関数近似の計算においては、以下の誘発地震の影響は取り除いた：

- ・ 2011 年 3 月 23 日福島県浜通りの地震（M6.0, 深さ約 8km, 西傾斜の正断層, 地殻変動 GPS で約 5.7cm 水平, SAR で約 10cm, 3 つの M5.8 ~ M6.0 の地震発生）
- ・ 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震（M7.1, 深さ約 66km, 逆断層・スラブ内地震, 地殻変動 GPS で水平約 3cm 西南西と約 5cm の隆起）
- ・ 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震（M7.0, 深さ約 6km, 正断層, 地殻変動 GPS で約 30cm

水平と約 50cm の沈下, SAR で約 2m)

- 2011 年 4 月 12 日千葉県東方沖の地震 (M6.4, 深さ約 26km, 右横ずれ, 地殻変動約 1cm)
- 2011 年 6 月 23 日岩手県沖の地震 (M6.9, Mw6.7, 地殻変動東方向に約 1.5cm)
- 2011 年 9 月 29 日福島県浜通りの地震 (M5.4, 北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型, 地殻変動 13mm)

4. GPS 時系列の関数近似と検討

GEONET の余効変動時系列データに対数関数近似と指数関数近似を行い, フィッティングの良否を検討したところ, 現状では対数関数の方がフィッティングが良く, かつ予測精度が高いことが確認されたため, 今回は対数関数を使用することとする.

次に上下時系列の時定数相当の係数 (以下, 時定数と呼ぶ) の推定を行う際, 水平成分で推定した場合と上下成分で推定した場合を比較したところ, 上下成分時系列はバラツキが大きいため, 水平成分で推定した方が良い結果が得られることが判明した.

また, データ期間を地震後 50 日, 100 日, 150 日, 200 日と変えて, 回復時間推定値の安定性について検討したところ, 上下成分で推定した時定数や回復時間は推定誤差が大きいが, データ期間を長くとるほど, 水平成分で推定した回復時間と上下成分で推定した回復時間が漸近することが判明した (第 3 図). このことから, 次の 3 つのことが言えそうである.

- (1) 誤差の小さい水平成分で時定数 b を推定して良い.
- (2) 水平と上下の変動機構は同一の可能性が高い.
- (3) 余効滑りの場所は大きく変化していない.

5. 地震時上下変動の回復時間

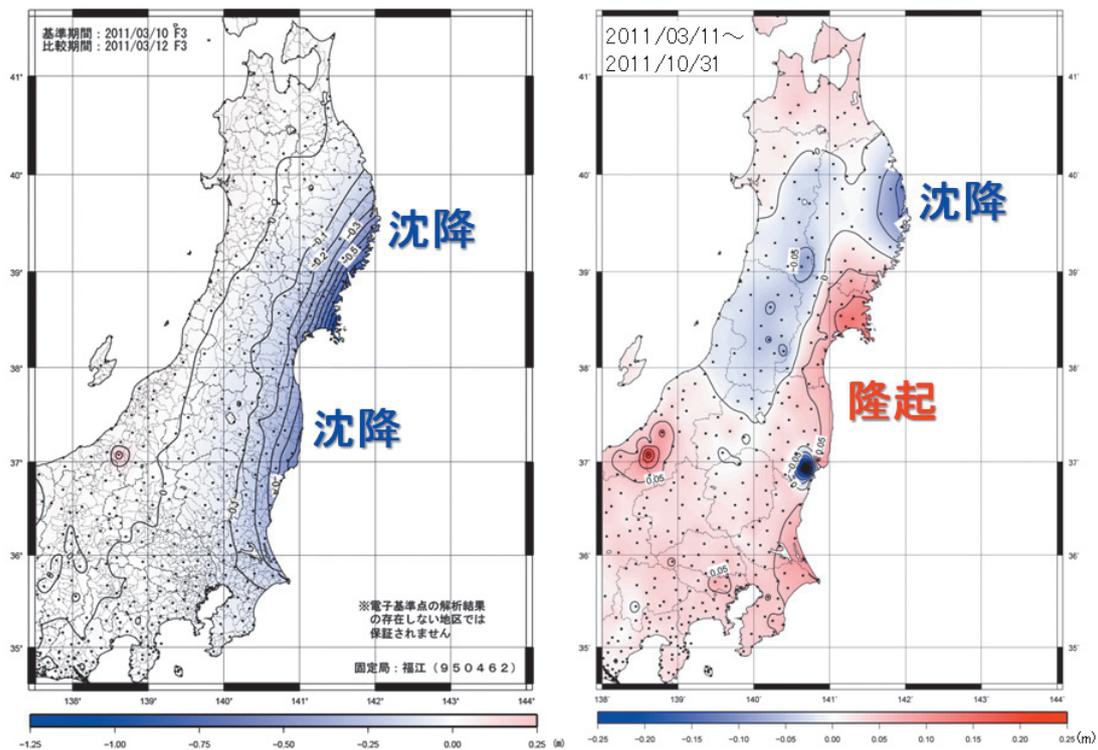
第 1 表は, GEONET の 200 日間のデータを対数関数近似し推定した地震時沈降の回復時間である. あくまで, 現状の減衰傾向が続いたと仮定したとき, 第 2 列に示した地震時の沈降分が地震後の隆起で何年で回復できるかを推定した最確値 (第 3 列) と漸近標準誤差から計算した誤差範囲 (第 4 列) を示した. 千葉県~茨城県南部では 1 ~ 1000 年で回復すると推定されたが, 茨城県北部以北では千年以上の数字となった.

6. 考察

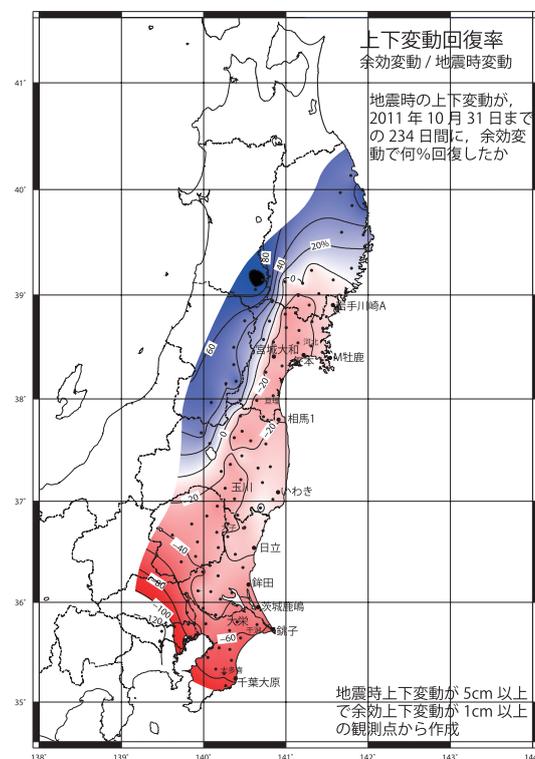
第 4 図は, 牡鹿半島を通る日本海溝に垂直な測線の断面図とプレート境界面上の滑りによる上下変動のプロファイルである. 赤い破線が地震時, 水色の破線が地震後の上下変動プロファイルの計算値である. 牡鹿半島や宮城県の沈降を相殺する隆起が生じるシナリオの 1 つとして, 海岸の直下付近つまりプレート境界面の深い場所で約 3m の滑りが生ずれば, 地震時沈降の回復が可能と試算される.

7. まとめ

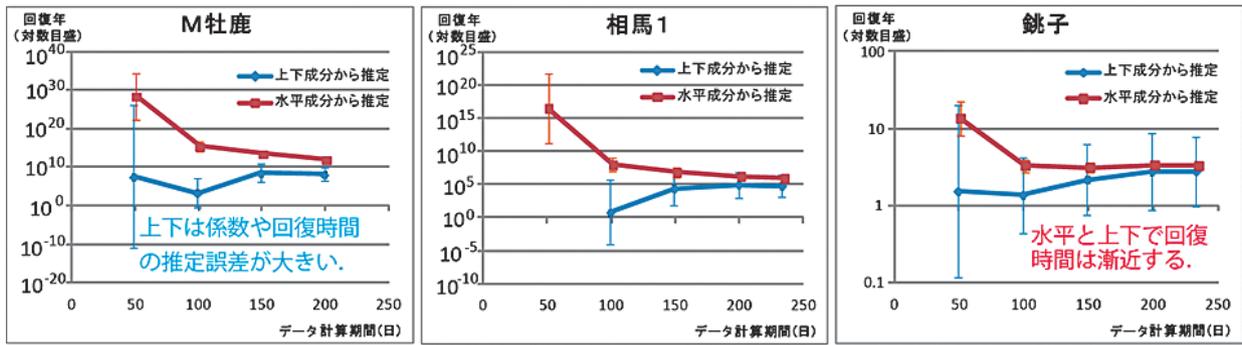
現状の減衰傾向が続くと仮定すれば, 地震時の沈降が小さい銚子周辺を除いて, 数十年以内に太平洋沿岸の沈降が回復するのは余効変動では難しいとの結論になる. 海岸の直下付近つまりプレート境界面の深い場所で約 3m の滑りが生じれば, 地震時沈降の回復が可能と試算される. こうした滑りが地震波を伴って生じるかどうかは科学的にも防災上も重要と考えられる.



第1図 地震時上下変動と余効上下変動
Fig. 1 Coseismic and postseismic vertical displacements.



第2図 2011年10月31日までの上下変動回復率
Fig. 2 Vertical recovery rate until October 31, 2011.

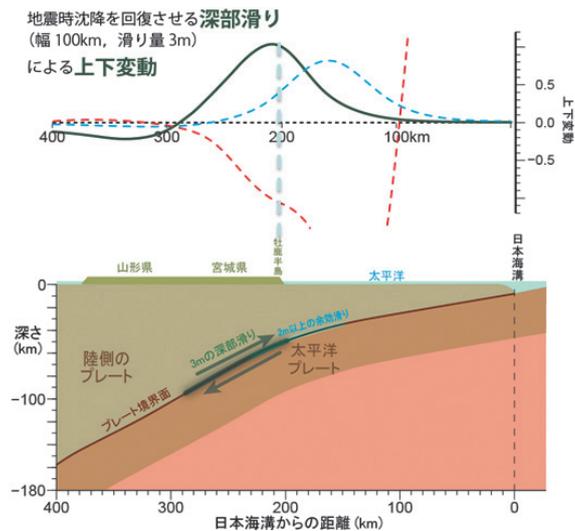


第3図 データ期間による回復時間推定値の安定性
 Fig. 3 Stability of estimated vertical recovery time.

GPS 連続観測点	地震時上下 変動(m)	回復時間(年)	
		最確値	誤差範囲
岩手川崎A	-0.28	1.3E+04	9,700~18,000
M 牡鹿	-1.10	9.9E+11	5.8E+11~1.7E+12
矢本	-0.51	6.3E+04	50,000~79,000
宮城大和	-0.18	4,149	2,800~6,100
相馬 1	-0.31	1.7E+06	1.0E+06~2.9E+06
いわき	-0.50	2.2E+12	8.3E+11~5.9E+12
日立	-0.31	1.6E+14	2.6E+13~9.9E+14
銚田	-0.23	3,329	2,600~4,200
茨城鹿嶋	-0.26	840	720~980
銚子	-0.16	3.3	3.1~3.5
大栄	-0.12	14	12~15
千葉大原	-0.06	1.4	1.3~1.5

※現状の減衰傾向が続いたと仮定し、対数関数近似により推定。
 時定数bは水平成分から推定。

第1表 200日間のデータ期間から推定した地震時沈降の回復時間
 Table 1 Vertical recovery time estimated from 200-day GEONET data.



第4図 岩手県～茨城県の太平洋岸を隆起させる断層運動
 Fig. 4 A faulting that uplifts coastal areas of Iwate to Ibaraki prefectures.