

GEONET による想定東海地震の前兆すべりの検知の可能性 Possibility of Detection of Preslip for Anticipated Tokai Earthquake by GEONET

地理地殻活動研究センター 水藤 尚
Geography and Crustal Dynamics Research Center Hisashi SUITO

要 旨

想定東海地震の前兆すべりが発生した際に、その発生を国土地理院が運用する GPS 連続観測網 (GEONET) で検出可能であるかを調べるために、前兆すべりの大きさと発生する場所、予想される地殻変動についての検討を行った。対象とする東海地域の GEONET 観測点は 179 点とした。前兆すべりの候補点は気象庁が使用している東海地域のプレート境界モデルを使用した。前兆すべりに伴う地殻変動を検出しやすい前兆すべりの発生場所は、御前崎周辺、御前崎沿岸、駿河湾北部、駿河湾北部の内陸といった、いずれもプレート境界面が浅く内陸もしくは陸に近い場所である。GPS によって検出できる地殻変動の閾値を 5 mm と考えると、前兆すべりに伴う地殻変動を捉えられる可能性があるのは、前兆すべりの大きさが少なくとも Mw5.6 以上の場合である。逆に前兆すべりの大きさが Mw5.5 以下であった場合、GEONET で前兆すべりに伴う地殻変動を捉えるのはかなり難しい。GEONET のリアルタイム化が進んでいる中で、前兆すべりの時間発展の検討も行っていくことが今後実行すべき課題である。

1. はじめに

東海地震は、現在日本で唯一予知できる可能性があると考えられている地震である。東海地震の予知の可能性があるとされている根拠は、①前兆現象を伴う可能性が高いこと、②前兆現象を捉えるための観測・監視体制が震源域直上に整備されていること、③捉えられた異常な現象が前兆現象であるか否かを判断するための、「前兆すべりモデル」に基づく基準があること、という 3 つの条件が挙げられている (気象庁 web ページ)。中でも東海地震の予知の鍵となるのは、前兆現象の把握である。そしてこの前兆現象の把握の根拠となっているのは、1944 年東南海地震の直前に掛川付近で実施されていた水準測量によって地盤の傾斜変動が観測されたという報告である (佐藤, 1970; 茂木, 1982)。前兆すべりを捉えることが東海地震の予知のすべてといっても過言ではない。

東海地震の予知に関する判断のために、地震防災対策強化地域判定会 (以下、「判定会」という。) が気象庁長官の諮問機関として設置されている。そして、判定会の召集を要請する基準は、東海地方の歪

み観測点のうち、3 箇所以上でそれぞれの地点の検出可能レベルの変化が観測された場合とされている (気象庁地震火山部地震予知情報課, 2000)。また、この基準のほか、地震防災対策強化地域に係る観測データに有意な異常を認めた場合についても、召集を要請するとされている。

本稿では、想定東海地震の前兆すべりの発生に伴い、国土地理院が運用する GPS 連続観測網 (GEONET) で予想される地殻変動量と前兆すべりの大きさ・発生場所についての検討の結果を報告する。前兆すべりは時間とともに進行する現象であるが、本稿では時間発展は考慮していない。

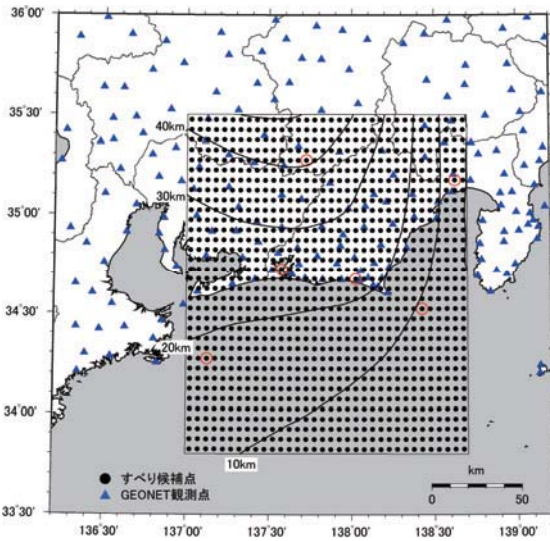
2. 計算条件

2.1 使用した観測点

本稿では、東海地域 (北緯 33.5 度~36.0 度, 東経 136.2 度~139.2 度) に設置されている GEONET 観測点 179 点 (2006 年 4 月現在) を前兆すべりに伴う地殻変動の検出に用いる観測点とした (図-1)。場所によって観測点間隔が大きく異なってしまうため、この地域に設置されている GEONET 観測点の中で高精度比高観測点 (H 点)、駿潮取り付け点 (P 点)、および地殻変動観測点 (S 点, R 点) は、対象外とした。前兆すべりに伴う地表および観測点での地殻変動の計算には、Okada (1985) の計算式を使用した。前兆すべりの候補点は、気象庁の東海地域のプレート形状モデル (原田ほか, 1998) のグリッド (34×34) を使用した (図-1)。

2.2 断層パラメータ

前兆すべりは矩形断層を想定した。この場合、地殻変動の計算に必要な静的断層パラメータは、断層の位置 (緯度, 経度, 深さ)、断層の大きさ (長さ, 幅)、断層の向き (走向, 傾斜, すべり角) およびすべり量の 9 つである。断層の位置および断層の向きに関する 6 つのパラメータは、気象庁の東海地域のプレート形状モデル (原田ほか, 1998) を使用した。断層の大きさおよびすべり量に関する 3 つのパラメータは、以下の手順で決定した。前兆すべりの大きさをモーメントマグニチュード (以下、「Mw」という。) で想定し、地震のスケーリング則に基づいて (佐藤, 1989), Mw から断層の長さ, 幅, すべり量を推定した。この時、断層は長方形を仮定しその長さとの幅の



図一 東海地方のプレート境界面モデル（原田ほか，1998）と前兆すべりを想定した断層の位置と観測点分布. 黒丸は断層の位置，黒線はプレート境界面の等深線を 10km 間隔で表示している. 青三角は GEONET 観測点. 赤丸は，図 2 に例として示す前兆すべりによる地殻変動の断層面の位置.

比は 2 : 1 とした. 表一に想定した Mw と推定した断層の長さ，幅，すべり量を示す. 断層パラメータの定義は，「日本の地震断層パラメータ・ハンドブック」の定義に従っている. ただし，断層の位置座標に関しては，断層上盤側から見て左上端の点ではなく，断層上端の中心の点としている.

3. 計算結果

3.1 前兆すべりに伴う地殻変動

Mw6.5 の前兆すべりを想定した場合を例として，前兆すべりに伴う地殻変動の計算結果を図二に示す. 図二 (a) ~ (c) は，検出がされやすい場所，(d) は検出されにくい場所，(e) は 2000 年の東海スロースリップの発生場所とほぼ同じ場所，(f) は 1944 年東南海地震発生直前に前兆すべりが発生したと推定されている場所である. 検出がされやすい 3 箇所はいずれもプレート境界面が浅くそして陸に近い，もしくは陸の直下に前兆すべりが発生する場所である. 逆に，検出がされにくい場所は，長野県南部，岐阜県南部，愛知県北東部辺りで，観測点は適度にあるが，プレート境界面が深く地表での変動量が小さい領域である. またこの地域は，ちょうど低周波地震やそれに伴う短期的スロースリップの発生が報告されている場所に当たる (小林ほか，2006 ; Hirose and Obara, 2006).

表一 想定したモーメントマグニチュード (Mw) と断層の長さ，幅，すべり量.

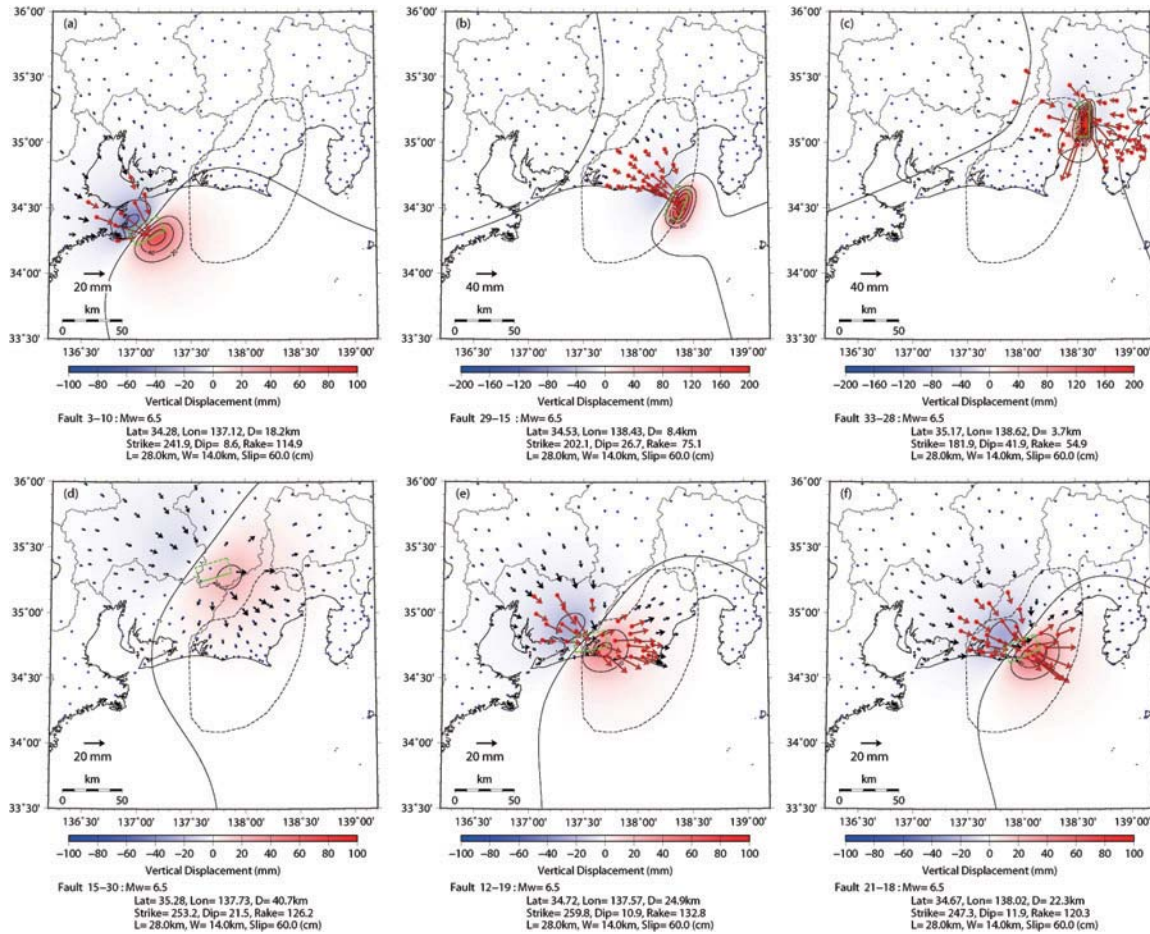
| Mw | すべり量 (cm) | 断層の長さ (km) | 断層の幅 (km) |
|-----|-----------|------------|-----------|
| 6.5 | 60.0 | 28.0 | 14.0 |
| 6.4 | 53.0 | 25.0 | 12.6 |
| 6.3 | 50.0 | 22.0 | 11.0 |
| 6.2 | 42.0 | 20.0 | 10.0 |
| 6.1 | 37.0 | 18.0 | 9.0 |
| 6.0 | 33.5 | 16.0 | 8.0 |
| 5.9 | 30.5 | 14.0 | 7.0 |
| 5.8 | 26.5 | 12.6 | 6.3 |
| 5.7 | 24.0 | 11.2 | 5.6 |
| 5.6 | 21.1 | 10.0 | 5.0 |
| 5.5 | 19.0 | 9.0 | 4.5 |

3.2 予想される地殻変動量と発生場所

図三に示すのは，Mw6.5，6.0，5.5 の前兆すべりを想定した場合に，各断層位置での前兆すべりによって 3 点以上の GEONET 観測点で予想される変動量の最大値を示したものである. 図三 (a) ~ (c) は，変動量として水平変動のみを考えた場合，(d) ~ (f) は，変動量として水平+上下の変動を考えた場合である.

Mw6.5 の前兆すべりを想定した場合 (図三 (a)，(d))，予想される地殻変動量 (以下，「閾値」という.) が水平変動のみの場合 10~20mm，水平+上下変動の場合は 20~30mm 程度であった場合，前兆すべりの発生場所は広範囲に分布する. 水平変動のみを考えた場合 (図三 (a))，前兆すべりの発生場所は，閾値 30mm では御前崎の沿岸と駿河湾内から内陸にかけての一部に限られ，閾値 50mm では駿河湾北部から内陸のわずかな数ヶ所だけである. 一方，水平+上下変動の場合 (図三 (d))，閾値 50mm であっても御前崎周辺や駿河湾内から内陸にかけて前兆すべりの発生場所が見られる.

次に，Mw6.0 の前兆すべりを想定した場合 (図三 (b)，(e))，前兆すべりの発生場所が広範囲にわたるのは，水平変動のみの場合 3~5mm，水平+上下変動の場合は 5~10mm である. 水平変動のみの場合 (図三 (b))，閾値 10mm 以上では，御前崎沿岸の数ヶ所と駿河湾北部とその内陸のわずかな場所に前兆すべりの発生場所が見られる. 閾値 30mm 以上と考えると，前兆すべりの発生場所はない. 一方，水平+上下変動の場合 (図三 (e))，閾値 10mm 以上であっても，御前崎周辺，御前崎沿岸や静岡市北東部に前兆すべりの発生場所が見られる. しかし，水平変動のみの場合と同じく閾値 30mm 以上では前兆すべりの発生場所はない.



図ー2 想定した前兆すべり (Mw6.5) による地殻変動。矢印は GEONET 観測点における水平変動量で、大きさが 10mm 以上のもを赤矢印で表示している。色は上下変動を表し、赤色は隆起、青色は沈降を示し、20mm 間隔で等量線を黒線で表示している。青丸は GEONET 観測点を示している。緑色の矩形は、想定した前兆すべりの断層の地表への投影面で、実線が断層面上の上部である。黒点線は、東海地震の想定震源域を示す。黒の細線は県境。それぞれの図の欄外に表示している断層パラメータは、「日本の地震断層パラメータ・ハンドブック」の定義に従っている。ただし、断層の位置座標に関しては、断層上盤側から見て左上端の点ではなく、断層上端の中心の点としている。(b)、(c) の 2 つは、他の 4 つの図とはスケールが異なる。

最後に Mw5.5 の前兆すべりを想定した場合 (図ー3 (c), (f)), 水平変動のみ、水平+上下変動を考えた場合であっても、閾値 1mm の場合にのみ、前兆すべりの発生場所が広範囲に見られる。閾値 3~5mm であっても、前兆すべりの発生場所はあるが、駿河湾北部の内陸のわずか数点あるのみである。閾値 5mm より大きいとすると前兆すべりの発生場所はない。

3.3 前兆すべりの大きさと発生場所

図ー4 に示すのは、前兆すべりによって 3 点以上の観測点で一定量以上の変動量が予想される各断層位置での最小の Mw を示したものである。図ー4 (a)~(c) は、変動量として水平変動のみを考えた場合、(d)~(f) は、変動量として水平+上下の変動を考えた場合である。

予想される変動量を 20mm 以上と想定した場合 (図ー4 (a), (d)), 水平変動のみの場合、水平+上下変動の場合、両者とも Mw6.5 以上であれば前兆すべりの発生場所はかなり広範囲である。水平変動のみの場合、Mw6.3~6.4 であれば前兆すべりの発生場所は御前崎周辺や駿河湾から内陸にかけて見られるが、Mw6.0~6.2 ではわずか数点である。一方、水平+上下変動の場合、Mw6.2~6.4 であれば前兆すべりの発生場所はかなり広範囲に分布するが、Mw6.0~6.1 では駿河湾北部の内陸付近のみに分布する。Mw5.9 以下の前兆すべりであった場合、20mm 以上の変動量が予想される前兆すべりの発生場所はない。

予想される変動量を 10mm 以上と想定した場合 (図ー4 (b), (e)), 水平変動のみの場合、前兆すべりの発生場所が広範囲に分布するのは、Mw6.2 以上である。Mw6.1 以下の場合、前兆すべりの発生場所は、

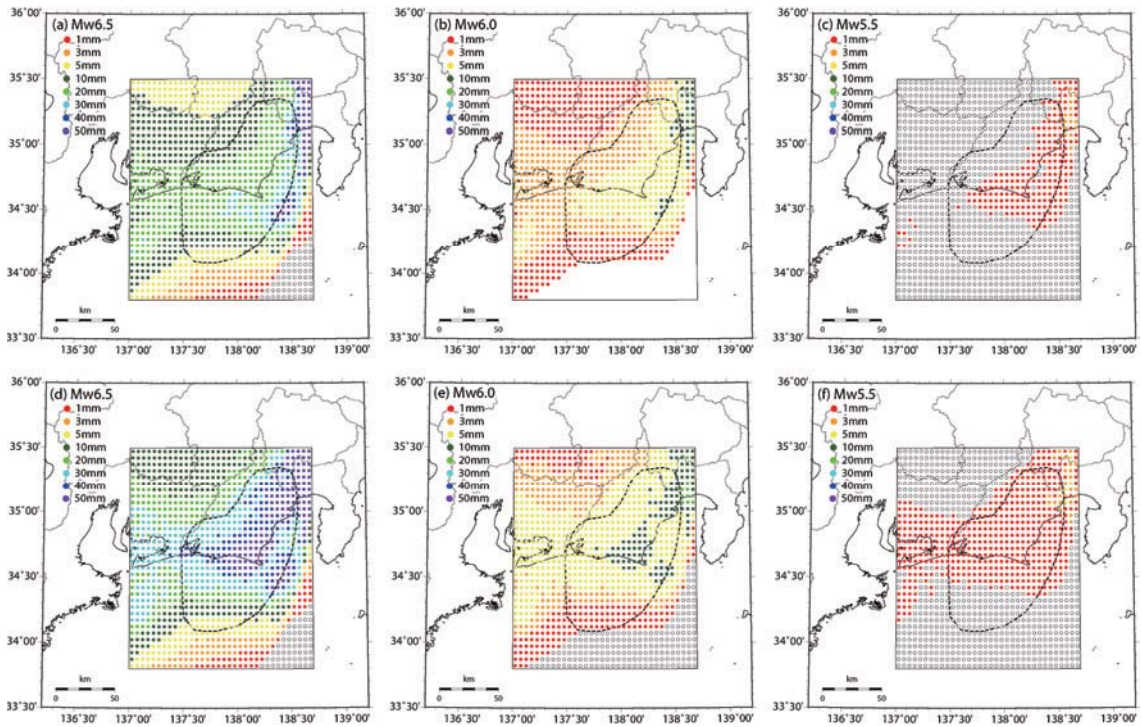


図-3 Mw5.5, 6.0, 6.5 の前兆すべりを想定した場合に、各断層位置での前兆すべりによって3点以上の GEONET 観測点で予想される変動量の最大値を示したものの、白丸は断層の位置を示し、その断層位置でのすべりにより検出が予想される最大の変動量を色分けして表示している。黒点線は東海地震の想定震源域を示す。(a) ~ (c) 水平変動量のみで、前兆すべりの大きさがそれぞれ Mw6.5, 6.0, 5.5 の場合。(d) ~ (f) 水平+上下変動量で、前兆すべりの大きさがそれぞれ Mw6.5, 6.0, 5.5 の場合。

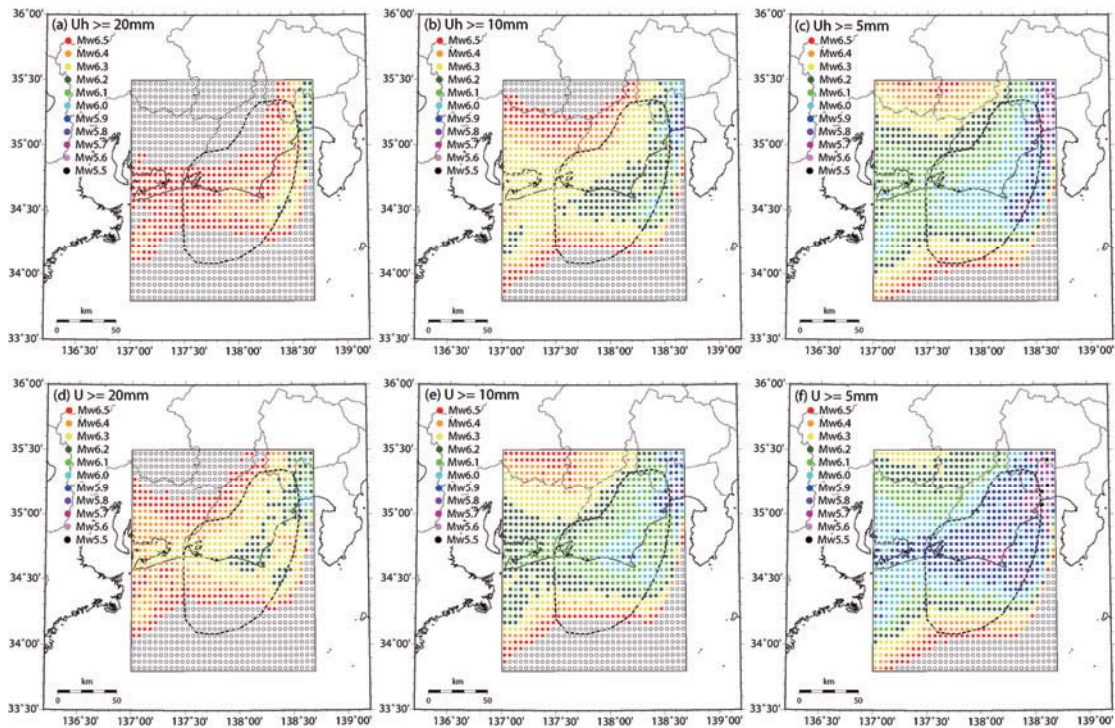


図-4 3点以上の観測点で一定量以上の変動量が予想される各断層位置での最小の Mw の大きさ分布。白丸は断層の位置を示し、その断層位置で一定量以上の変動量が予想される Mw の大きさを色分けして表示している。黒点線は東海地震の想定震源域を示す。(a) ~ (c) 水平変動量でそれぞれ 20mm, 10mm, 5mm 以上の場合。(d) ~ (f) 水平+上下変動量で、それぞれ 20mm, 10mm, 5mm の場合。

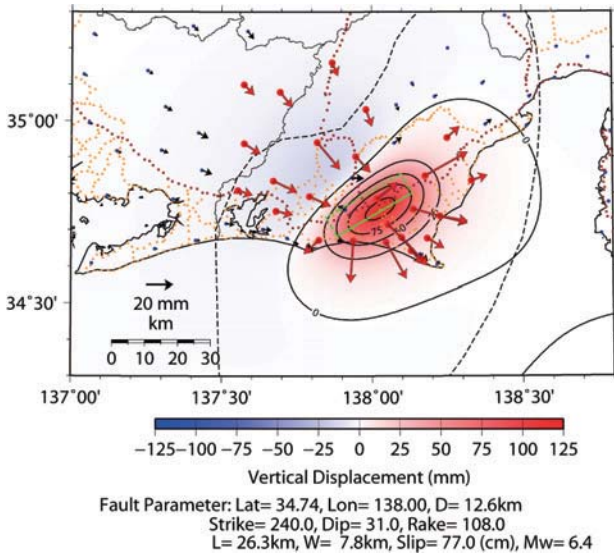


図-5 1944年東南海地震の前兆的地殻変動を説明するモデルによる地殻変動。鷺谷(2004)の矩形断層モデルを使用。矢印はGEONET観測点における水平変動量で、大きさが10mm以上のものを赤矢印で表示している。色は上下変動を表し、赤色は隆起、青色は沈降を示し、黒線は等量線を25mm間隔で表示している。青丸はGEONET観測点、茶色の四角は一等水準点、薄茶色の三角は二等水準点をそれぞれ示している。緑色の矩形は断層の地表への投影面で、実線が断層面上端部である。黒点線は、東海地震の想定震源域を示す。表示している断層パラメータは「日本の断層パラメータ・ハンドブック」の定義に従っている。ただし、断層の位置座標に関しては、断層上盤側から見て左上端の点ではなく、断層上端の中心の点としている。

御前崎沿岸と駿河湾から駿河湾北部の内陸に限られた場所のみである。一方、水平+上下変動の場合、Mw6.1以上の場合に前兆すべりの発生場所は広範囲に分布する。Mw5.7以下の前兆すべりであった場合、10mm以上の変動量を予想される前兆すべりの発生場所はない。

最後に予想される変動量を5mm以上と想定した場合(図-4(c), (f))、水平変動のみでは、Mw6.0以上であればかなり広範囲に前兆すべりの発生場所が分布する。しかし、Mw5.5以下では、どこで発生したとしても5mm以上の水平変動は期待できない。一方、水平+上下変動では、Mw5.9以上で前兆すべりの発生場所は広範囲に分布する。Mw5.6~5.8では、御前崎周辺や駿河湾北部内陸にかけて前兆すべりの発生場所が見られる。Mw5.5でも前兆すべりの発生場所がわずかに数ヶ所、駿河湾北部の内陸に見られる。

3. 4 1944年東南海地震の前兆的地殻変動

東海地震予知の根拠となっている前兆すべりが観測されたとされている1944年東南海地震の前兆的地殻変動を、GEONETが存在していたならばどの程度の変動があったと考えられるかについての結果を報告する。図-5は、1944年東南海地震の前兆的地殻変動を説明するモデル(鷺谷, 2004)によるGEONET観測点での水平変位と上下変動である。1944年東南海地震の前兆的地殻変動を説明するモデルから計算した地殻変動によれば、同程度の前兆的すべりが発生した場合、10mm以上の水平変位が予想されるGEONET観測点は24点あり(図中赤矢印)、十分に検出が可能であると考えられる。しかし、鷺谷(2004)によれば、この推定した断層モデルは、この地域のプレート境界面より有意に浅い場所に位置し、プレート境界面上で発生が想定される前兆すべりとは異なるものであるとしている。確かに今回計算に用いた東海地域のプレート境界モデルでは、この付近での境界面の深さは20数kmであるが(図-1および図-2(f))、鷺谷(2004)のモデルでは、断層の上端の深さは12.6kmとかなり浅くなっている。

4. 終わりに

現在のGPSの精度は、おおよそ水平で数mm、上下で数cm程度と言われている。このGPSの精度から考えると前兆すべりに伴う地殻変動を検出できる閾値は、おそらく5mm程度だと考えられる。閾値を5mmと考えると、前兆すべりの発生場所が広範囲に分布するのは、水平変動のみの場合Mw6.0以上(図-4(c))、水平+上下変動ではMw5.9以上(図-4(f))であろう。また、GEONETの3点以上で5mm以上の地殻変動を捉えるためには、前兆すべりの大きさは少なくともMw5.6以上でないと捉えられない。逆に前兆すべりの大きさがMw5.5以下であった場合、GEONETで前兆すべりに伴う地殻変動を捉えるのはおそらく不可能であると考えられる(図-3(c), (f), 図-4(c), (f))。

今回検討した内容は一つの例に過ぎず、前兆すべりは、いつ、どこで、どのような形で発生するかは分からない。また、今回の報告では、現在のGEONETで前兆すべりが空間的にどこで発生した場合に、またどの程度の大きさであった場合にどの程度の変動が予想されるかについてのみ報告した。地震発生の予測において最も重要なのはその時間経過および地震発生までの猶予時間を予測することである。前兆すべりの時間経過についての仮定も含めた、前兆すべりの時間発展の検討も行っていくことが、GEONETのリアルタイム化が進んでいる中で、今後実行すべき課題である。

謝 辞

た. ここに記して感謝いたします.

本稿で使用した東海地域のプレート境界面モデルのグリッドデータは, 気象庁より提供して頂きまし

参 考 文 献

- 原田智史, 吉田明夫, 明田川保 (1998): 東海地域に沈み込んだフィリピン海スラブの形状と地震活動, 地震研究所彙報, 73, 291-304.
- Hirose, H. and K. Obara (2006): Short-term slow slip and correlated tremor episodes in the Tokai region, central Japan, *Geophysical Research Letters*, 33, L17311, doi:10.1029/2006GL026579.
- 気象庁, 東海地震に関する基礎知識, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/hantekai/index.html> (accessed 25 July 2007).
- 気象庁地震火山部地震予知情報課(2000): 地震防災対策強化地域判定会, 地震予知連絡会 30年のあゆみ, 338-340.
- 小林昭夫, 山本剛靖, 中村浩二, 木村一洋 (2006): 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ (1984~2005年), 地震2, 59, 19-27.
- 茂木清夫 (1982): 1944年東南海地震直前の前兆的地殻変動の時間的变化, 地震2, 35, 145-148.
- Okada, Y. (1985): Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75, 1135-1154.
- 鷺谷 威 (2004): 1944年東南海地震の前兆的地殻変動再考, 月刊地球, Vol. 26, No. 11, 746-753.
- 佐藤 裕 (1970): 1944年東南海地震に伴う地殻変動, 測地学会誌, 15, 177-180.
- 佐藤良輔 (1989): 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会.