

GPS 東海地域 6 時間解析値の面的監視

Spatial Monitoring of GPS Coordinates Using 6-hour Analysis in the Tokai Area

小林 昭夫¹

Akio KOBAYASHI

(Received July 11, 2006 : Accepted September 11, 2006)

1 はじめに

国土地理院では 1998 年度から東海地域を対象とした GPS の 3 時間解析システムの運用を開始し、解析された座標値は気象庁に送られて東海地震予知のための監視が行われている。しかし、3 時間解析値の精度は 1 日解析値と比較してかなり劣っており、特に外れ値が多いことが指摘されていた(小林・他, 2002)。国土地理院では 2004 年に新しい GPS 連続観測システム (GEONET) の運用を開始し、定常解析として 6 時間データを用いた解析を 3 時間ごとに実施している(測地観測センター, 2004)。これを受け、2005 年度末には気象庁における GPS の監視対象が 3 時間値から 6 時間値に変更になった。ここではこれらの座標値と、最終的な 1 日解析の座標値の精度について比較する。また小林 (2005) による GPS の面的監視手法を 6 時間値にも適用し、監視基準についての検討を行う。

2 GPS データの精度

GPS では数ヶ月から数年かけてゆっくりと変化するような地殻変動から、地震などに伴う急激な変位まで観測できる。東海地震の直前予知のための監視に必要なのは、想定震源域周辺で発生する前兆すべりに伴う数時間から数日で進行する時間スケールの現象をできるだけ早期に検出することである。このためにはデータの短期再現性(ばらつき具合)を把握しておくことが必要となる。小林・他 (2002) では 3 時間解析値と 1 日解析値の短期再現性について調査されているが、ここではあらためてこれらに 6 時間解析値を加えて調査する。

2.1 調査対象データ

調査対象期間は、原則として 3 種類全ての解析値がある 2004 年 4 月から 2005 年 3 月の 1 年間、調査対象観測点は 3 時間値の存在する東海地域の約 130 点(図 1)とした。調査対象期間中に東海地域で GPS により変位が観測された地震は、2004 年 9 月の紀伊半島南東沖の地震(5 日 19 時 07 分 M7.1, 5 日 23 時 57 分 M7.4, 7 日 08 時 29 分 M6.5)である。また、2004 年春の新 GEONET 運用開始に伴って基準となる座標系が切り替えられているが、2004 年 6 月までの 3 時間値には新旧の座標系に基づく座標値が日によって混在している。

2.2 データの短期再現性

まず座標平均値からの偏差の頻度分布を調べた。2004 年 9 月には紀伊半島南東沖の地震による座標値のとびがあり、更に 3 時間値には 2004 年 6 月まで座標系の違いによる座標値のとびが全点に存在するた

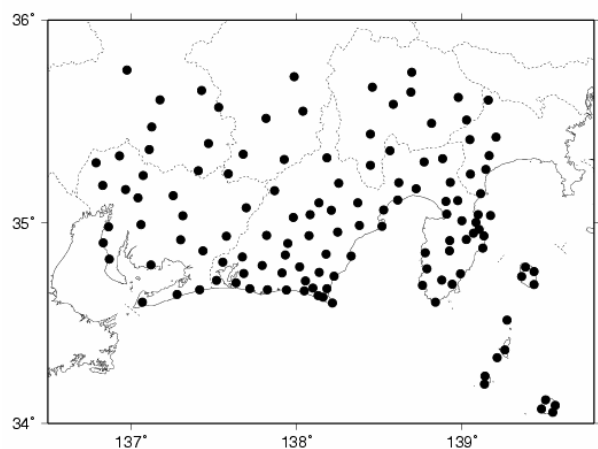


図 1 調査対象 GPS 観測点の分布

¹ 気象研究所地震火山研究部, Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

め、調査期間は 2004 年 10 月から 2005 年 3 月までの半年間とした。各観測点の緯度、経度、高さ成分について期間中の一次トレンドを除去した。トレンドの決定には外れ値に強い最小絶対偏差法（残差の絶対値の合計を最小化）を用いた。図 2 は各成分の平均値からのずれの分布を全観測点について示したも

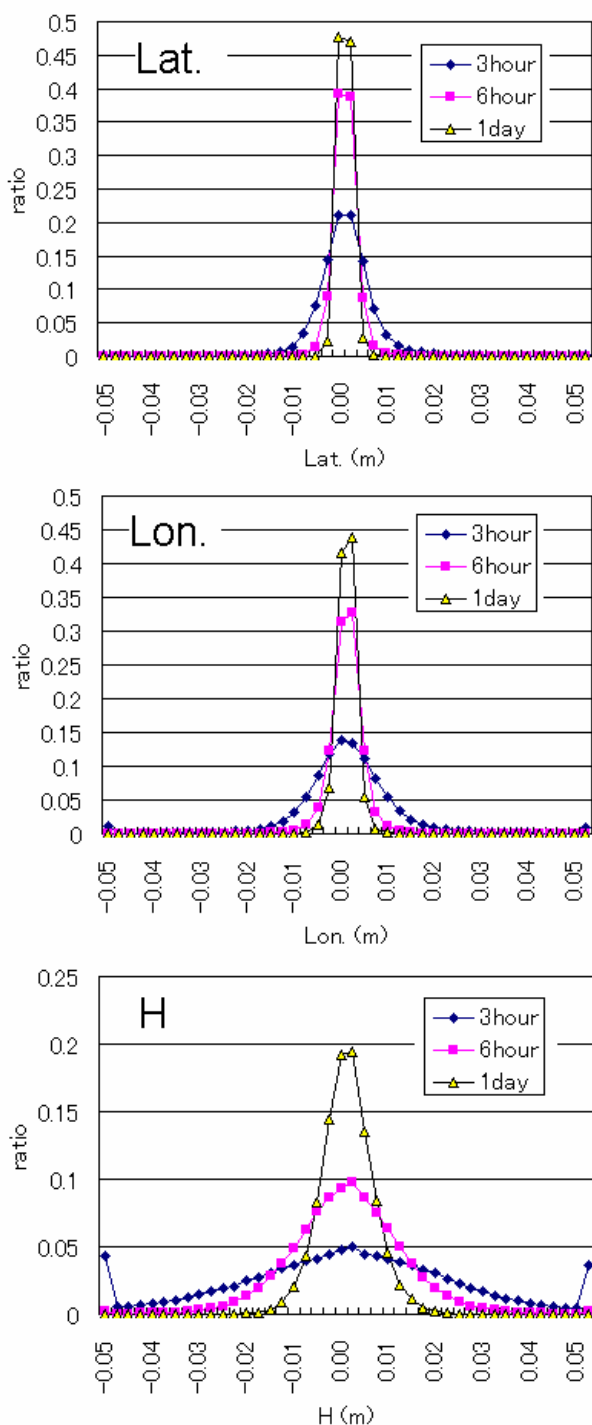


図 2 各成分の平均値からのばらつき分布

のである。6 時間値の分布は 3 時間値と 1 日値の中間的なものであるが、3 時間値の高さ成分で特に顕著に見られる外れ値が 6 時間値では見られなくっていることがわかる。図 3 は緯度、経度、高さ成分について 3 時間値と 6 時間値の標準偏差値を観測点ごとに示したもので、横軸には観測点を番号順に並べてある。また、成分別の標準偏差の平均値（3 時間値は 50mm 以上の外れ値を除いた値）を図 5 上段に示

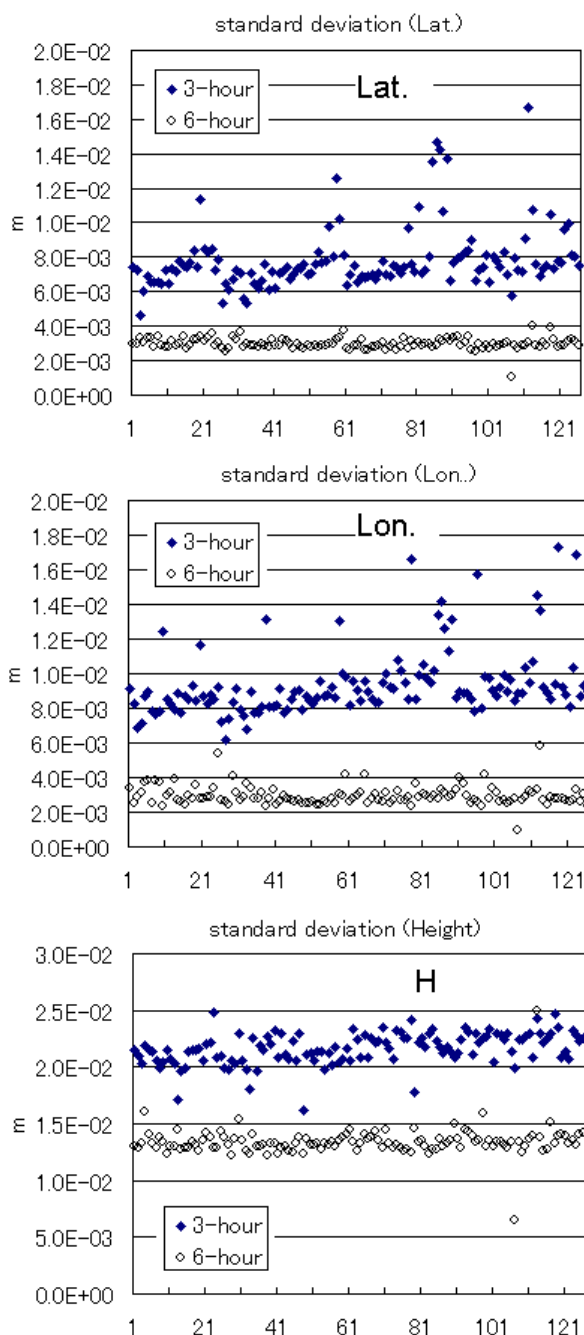


図 3 観測点ごとの標準偏差

す。3 時間値と比較して 6 時間値の標準偏差値は、緯度については約 1/2.6，経度については約 1/3.2，高さについては約 1/1.6 となっており，上下成分より水平成分の改善度が高い。

観測量からの誤差が正規分布すると仮定した場合，統計的に推測される解析結果の標準偏差は，観測時間の逆数の平方根にほぼ比例する。図 4 に観測時間と解の標準偏差との関係を両対数軸で示す。図中斜めの線は，観測時間の逆数の平方根に対応する傾き $-1/2$ の直線である。緯度，経度については 3 時間解析値が 1 日値や 6 時間値と比較して，統計的に推測されるより精度が悪くなっていることがわかる。高さについてはそれぞれの解が統計的に推測される標

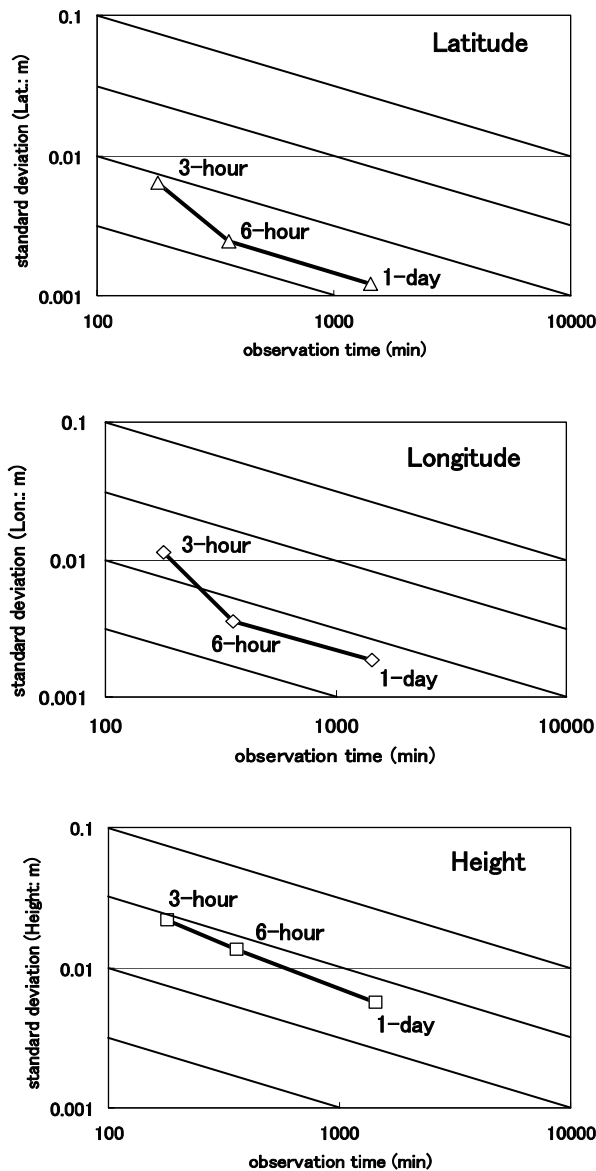


図 4 観測時間と標準偏差

準偏差になっているが，3 時間解析値の標準偏差は 50mm 以上の外れ値を除いた値なので，外れ値を含めた場合は統計的に推測されるより精度が悪化していることになる。6 時間解析値は 1 日値から統計的に推測される精度であり，速報性と精度の両立をはかるのに適した解析時間といえる。この結果は畑中・他 (2003) による新 GEONET システム導入前の調査と同じである。

以上は冬期半年間のデータについてであったが，夏期 (6 時間値と 1 日値は紀伊半島南東沖の地震の影響を避けて 2004 年 4~8 月，3 時間値は新旧座標系の混在している期間を避けて前年の 2003 年 4~9 月) についても緯度，経度，高さ成分について標準偏差の平均値 (3 時間値は 50mm 以上の外れ値を除いた値) を求めた。その結果を図 5 下段に示す。夏期については冬期と比較して全体的に標準偏差が大きくなるが，解析時間による精度の相対的な関係は冬期と変わらない。

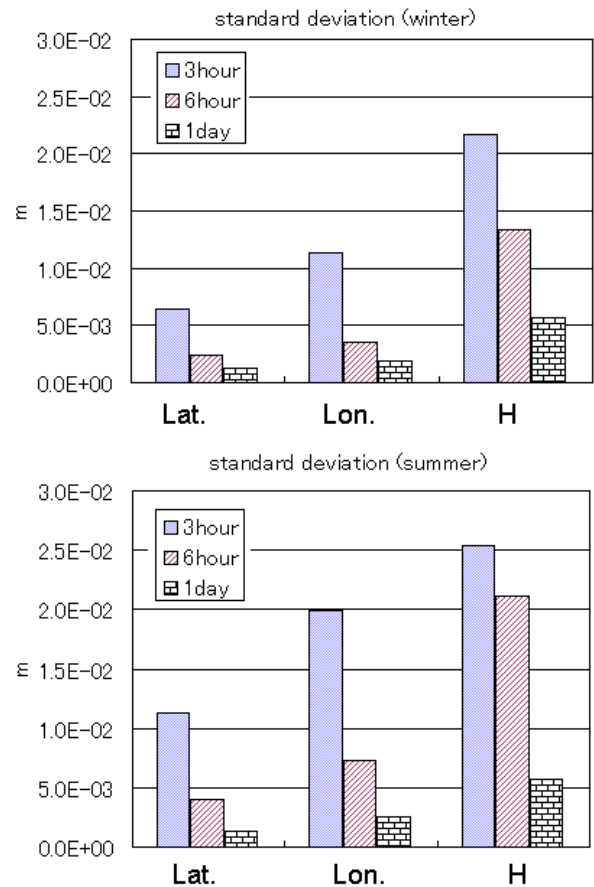


図 5 冬期と夏期の標準偏差

3 6 時間値の面的監視

小林 (2005) は 3 時間解析値に対して面的監視手法を適用し、この手法が 3 時間値だけではなく 1 日値に対しても有効であったことを示した。このため、解析対象時間が両者の間に入る 6 時間値に対しても同手法を適用してみる。面的監視手法の手順を以下に示す。

(1) 観測点ごとに二期間の座標値の中央値から変位を求める。ある程度平均的な状態からの最近のずれを検出するため、期間は直近の短期間とそれ以前の長期間の組み合わせとし、一日間と一週間、一週

間と一ヶ月間、一ヶ月間と六ヶ月間を採用した。

(2) 観測点ごとの変位を南北, 東西, 上下の成分別に, GMT (Wessel and Smith, 1995) の機能を使用して, 緯度経度 0.5 度ごとの中央値を求めるとともに 0.02 度ごとに格子点化し, スプライン関数を用いて平滑化する。また水平二成分から発散 (面積歪) と回転成分を計算し, 同様に平滑化する。

(3) 平滑化後の格子点値のうち最大, 最小値が基準値を超えていた場合に異常と判断する。

2004 年 4 月から 2005 年 3 月まで 1 年間の 6 時間解析値について, 1 日間隔で平滑化後の格子点値の

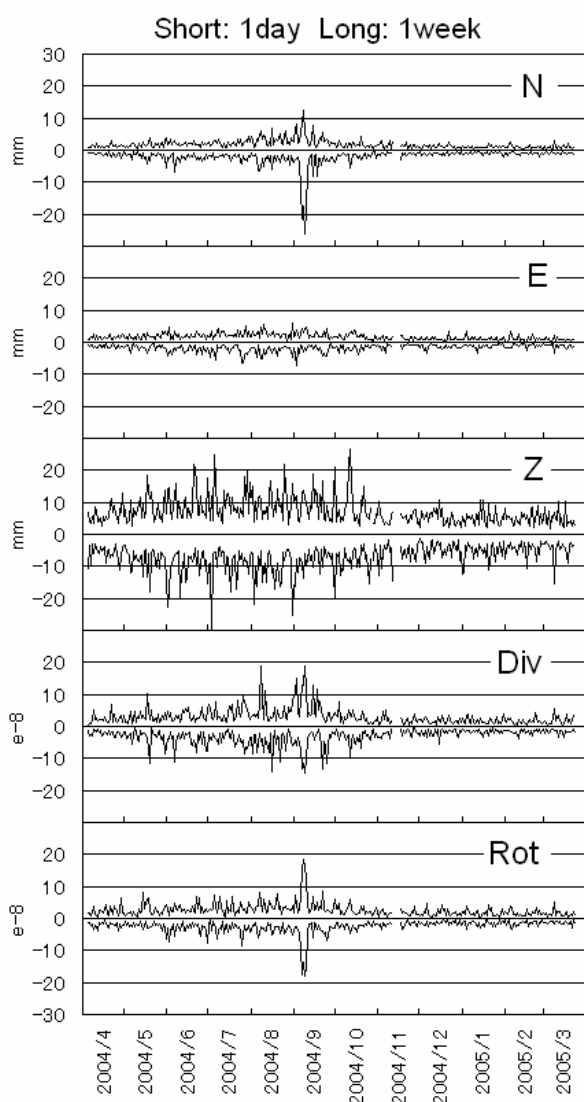


図 6a 1 年間の面的監視結果の最大, 最小値の変化。短期は一日間, 長期は一週間。上から順に NS, EW, 上下, 発散, 回転成分。

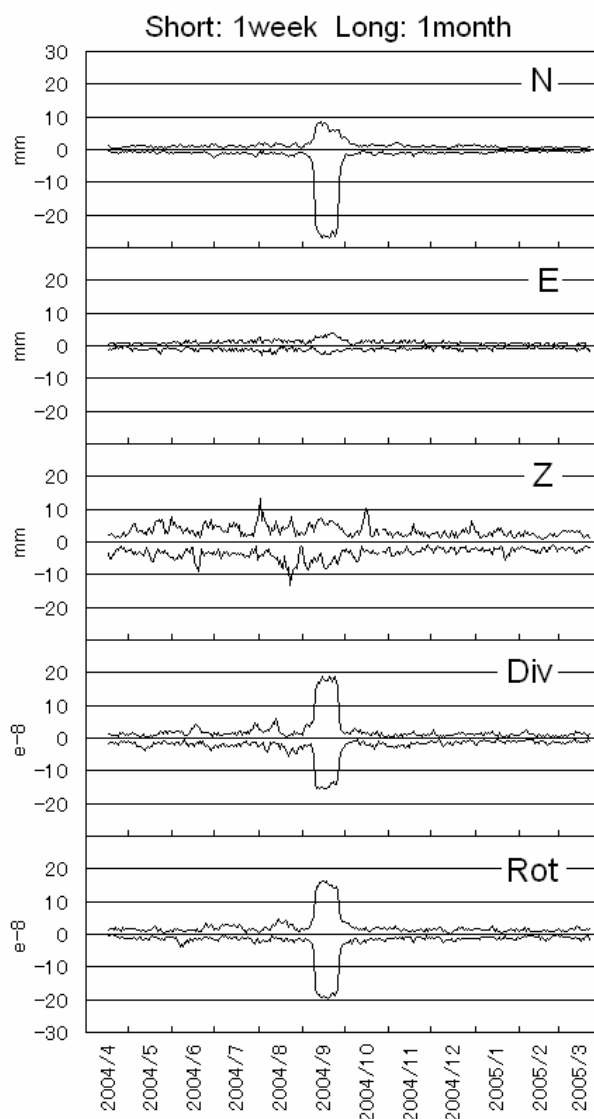


図 6b 1 年間の面的監視結果の最大, 最小値の変化。短期は一週間, 長期は一ヶ月間。上から順に NS, EW, 上下, 発散, 回転成分。

表 1 調査期間内に 1 回だけ発生する変化レベルを検出する最小の値

| | NS (mm) | EW (mm) | UD (mm) | Divergence (10^{-8} strain) | Rotation (10^{-8} strain) |
|-------------------|------------|------------|------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 day – 1 week | 9 | 6 | 26 | 15 | 9 |
| 1 week – 1 month | 3 | 4 | 11 | 6 | 5 |
| 1 month – 6 month | 3 | 4 | 9 | 5 | 7 |

最大、最小値を求めたものを図 6 に示す。調査対象期間の先頭で、長期のデータ数が短期の 2 倍以下の場合には計算を行わなかったため、例えば短期が一ヶ月間のときは 6 月まで値が求められていない。南

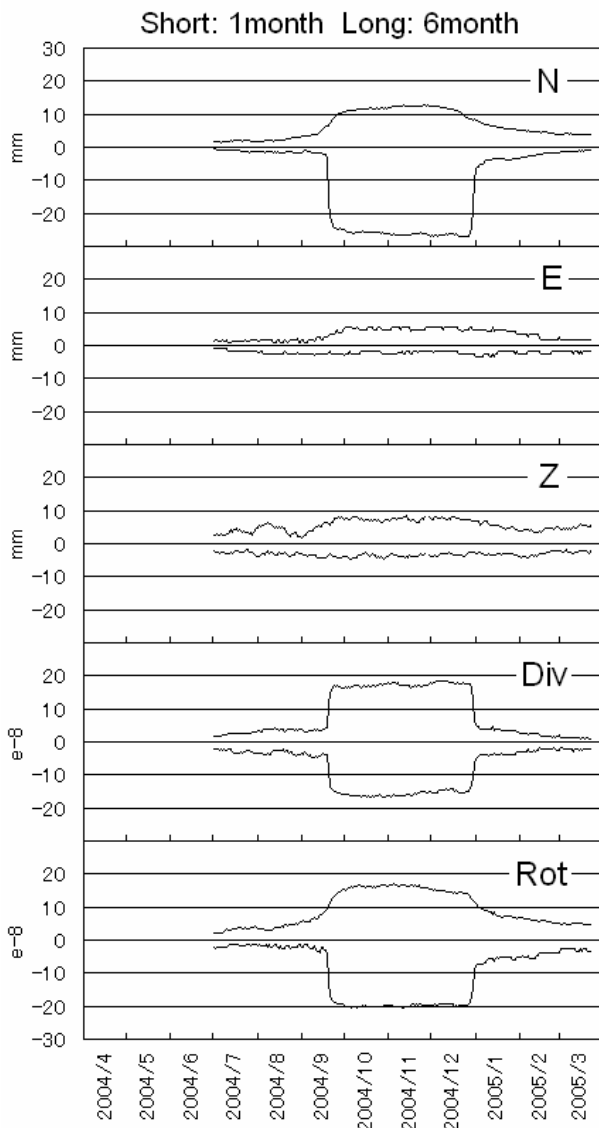


図 6c 1 年間の面的監視結果の最大、最小値の変化。短期は一ヶ月間、長期は六ヶ月間。上から順に NS, EW, 上下, 発散, 回転成分。

北, 発散, 回転の成分では 2004 年 9 月から最大, 最小値とも絶対値が大きくなっている。これは 2004 年 9 月に発生した紀伊半島南東沖の地震による影響で、東海地域では主に地震による変位が南向きだったために東西成分では小さい。また図 6a の短期一日の上下成分には、夏期に値が大きく冬期に小さい様子が見えている。

ここで地震活動等総合監視システム (EPOS) の歪計の監視に用いられているノイズレベル (小林・松森, 1999) と同様に、調査期間内に 1 回だけ発生する変化レベルを検出する最小の基準値を表 1 に示す。変化レベルが連続して基準値を超えている場合は発生を 1 回としているので、紀伊半島南東沖の地震のために図 6c の短期一ヶ月間、長期六ヶ月間では基準値を三ヶ月余り超えている。このため基準値が地震を含まない期間より高くなっていることはない。

4 おわりに

東海地震監視に用いられている GPS6 時間解析値について、短期再現性を 3 時間解析値および GEONET 最終 1 日解析値とともに調査した。この結果、6 時間値のばらつきは観測時間の長さから統計的に推測される範囲内であり、監視の精度と速報性の両立に適していることがわかった。また、GPS3 時間解析値に有効であった面的監視手法を 6 時間値にも適用し、ノイズレベルに相当する基準値を求めた。現在 EPOS においてこの基準値を設定して面的監視手法の監視試験を行っている。

謝辞

国土地理院による GPS 東海地域 3 時間解析値、6 時間解析値と GEONET の定常解析値を使わせていただいた。また、地震予知情報課の原田智史氏には査読に際し適切な助言をいただいた。以上、記して感謝します。

文献

国土地理院測地観測センター(2004): 電子基準点
1,200 点の全国整備について, 国土地理院時報,
103, 1-51.

小林昭夫(2005): GPS 東海地域 3 時間解析値の面的
監視, 験震時報, **68**, 99-104.

小林昭夫・松森敏幸(1999): 埋込式体積歪計のノ
イズレベル調査及び異常監視処理, 験震時報,
62, 17-41.

小林昭夫・山本剛靖・畑中雄樹・丸山一司・竹中
潤・緒方誠(2002): GPS 東海地域 3 時間解析値
のグループ化と補正, 気象研究所研究報告, **53**,
75-84.

畑中雄樹・松村正一・山際敦史・丸山一司・菅富
美男・石本正芳(2003): GEONET 解析システム
の高度化に関する研究, 平成 14 年度調査研究
年報 (国土地理院技術資料 A・4-No. 1),
113-114.

Wessel, P. and W.H.F. Smith (1995): New version of
the Generic Mapping Tools released, EOS Trans.,
AGU, **76**, 329.