

6－7 東海地方の地殻変動 Crustal Movements in the Tokai District

国土地理院
Geographical Survey Institute

[験潮 東海地方]

第1図は東海地方各験潮場間の月平均潮位差である。最近、目立った傾向の変化は見られない。

[水準測量 御前崎周辺]

第2～5図は年4回の繰り返しによる東海地方（森町～御前崎間）の水準測量結果である。

第2図最上段は、最新の観測2008年4月の結果を前回2008年1月の値と比較した各水準点の上下変動である。今回は森から見た掛川(140-1)は隆起で、掛川(140-1)に対して菊川市(2600)や御前崎市(2595)がわずかな隆起を示す結果となった。

第3図は、御前崎地区水準測量の代表的データとされている掛川(140-1)からみた御前崎市浜岡(2595)の変動である。下のプロットが年周補正後のものである。前回と比較しても、去年の4月と比較しても、今回はわずかに沈降の結果である。2000年夏以前のスロースリップ開始前の沈下速度と比較して、スロースリップ進行期である2000年秋頃から2005年夏頃までは沈下速度が速かった。2005年夏以降の沈降速度は、2000年夏以前に戻っているが、今回のプロットは、2005年夏以降の最近のトレンド上にあるように見える。

第4図は、森町(5268)を基準とした掛川(140-1)と御前崎市(2595)の変動時系列グラフである。グラフ上段のプロットにおいて、掛川が森に対して、2001年以降わずかに沈降している傾向が見られていたが、今回もそのトレンドの延長上にあるように見える。グラフ下段のプロットにおいて、森に対する御前崎の先端側は、長期的な傾向の延長上にあるように見える。

第5図は、今回のような変化が有意なのか、見かけ上のものなのか判断するために昨年末に導入した試みである。前ページの従来の年周補正では、トレンドを全期間で推定して、残りを年周推定していたが、本ページでは、2000年秋～2005年夏のスロースリップイベント(SSE)進行期とその前後の期間の3つの期間に分けて、トレンド（傾き）を推定した後、年周を推定した。本ページ上段の時系列は、前ページの年周補正前の1995年以降のものである。破線が、3期間に分けて推定した回帰曲線である。2段目の表に回帰モデルの数値を示した。期間(2)のSSE進行期は、傾きが約-8mm/年と沈降速度が速くなったが、その後、期間(3)に約-4mm/年と期間(1)の沈降速度にはほぼ戻っている。年周変動の振幅は、5.4mm, 3.8mm, 2.4mmと小さくなっている。同時に、回帰の標準偏差も小さくなっている。

一番下の段に、最近の時系列の拡大図を示した。回帰モデルからの残差を細い破線で示してある。これを見ると、最新のプロットは、標準偏差の範囲内である。このような統計的な分析の信頼度は、期間(3)のデータ数が少ない現段階では高くなないが、今後、データが蓄積され信頼度が増せば、有効な判断材料になるかもしれない。

第6図は、掛川から御前崎検潮所に至る各水準点の時系列上下変化である。前回全ての水準点が沈降だったため前回との比較では、多くの水準点が隆起となっているが、長期的な元のトレンドに戻ったように見える。

第7~8図は、御前崎先端部の変動を見るために小さな環で行っている水準測量の結果である。最近は概ね半年に1回の頻度で実施している。

第7図の上段は、今回2008年1月の最新の結果を前回2007年7月の結果と比較した結果で、御前崎先端側がごくわずか沈降している。

第8図は、網平均を行った結果で、左上の短期的な傾向は、長期的な先端側沈降の傾向と調和的である。

[水準測量 2週間毎 静岡県菊川市]

第9~11図は静岡県が2週間毎に実施している菊川市、掛川市付近の水準測量の結果である。最新データは、2008年5月7日である。

第10図上段のSF2129から2602-1に至る南北の路線(約100m)、及び中段のSF2129から2601に至る北北西-南南東方向の路線(約2km)の上下変動は、従来の南側沈降の傾向が長期的に鈍る傾向も見られるが、最近は特段の傾向の変化は見られない。

第11図の傾斜ベクトルの時間変化では、全体としては、ゆらぎを伴いながらも、従来からのトレンドの延長に沿った変動であるようにみえる。

[GPSと水準測量の比較 御前崎]

第12図は、電子基準点間の比高変化について、水準測量による取り付け観測結果と、GPS連続観測結果を比較したものである。2005年1月の観測を除いては数mm以内の較差でよく一致している。

第13図は、GPS高精度比高観測点間の比高変化について、水準測量による取り付け観測結果と、GPS連続観測結果を比較したものである。2005年1月を除いて、1ヶ月平均のGPSの観測値と水準測量の観測値とは良く一致している。GPSと水準測量の時系列からも、御前崎側の沈降は、揺らぎを伴いながらも、従前の傾向で続いていると見られる。

第14図下段左は、電子基準点掛川(93052)と浜岡2(960625)に取り付けた水準測量結果(最近は年2回)とGPS観測結果の比較である。全般的に、両者は良く一致している。ただし、2005年1月の水準測量はやや先端下がりが大きめにでており、観測に起因する見かけ上のものと考えられる。2007年夏の結果の比較では、水準測量のみ隆起で、わずかな違い

が見られたが、2007年末は、両者とも従来からの沈降の傾向で一致している。

第14図下段右は、電子基準点掛川(93052)と御前崎(93101)に取り付けた水準測量結果とGPS観測結果の比較である。全般的に、両者は良く一致している。

[GPS 上下 高精度比高観測 御前崎]

第15～19図は、掛川一御前崎間において1999年4月から観測を開始した高精度比高観測点(GPS連続観測)の結果である。第15図上段に示した観測点配置でGPS連続観測を実施している。第15図下段のGPS連続観測上下成分の時系列では、2007年春以降、沈降が停滞しているようにも見えていたが、その後従来の沈降の傾向に戻った。約2cmのばらつきが見られるが、これらを1ヶ月・10日間平均したものが次ページ・次々ページである。

第16図は全点の1ヶ月毎の移動平均値、第17図は全点の10日間毎の移動平均値を表示したものである。図の右に各点の上下変動速度(マイナスは沈降)が表示されている。高精度比高観測点のデータを解析する際に、電離層遅延の影響を周辺の電子基準点の2周波データにより推定している。アンテナ交換により位相特性が変わってしまったために生じた計算値のギャップは、トレンドを連続したものとなるように補正值を調整した。2003年5～6月でのグラフの乱れは、アンテナ交換等の時期が観測点により違うため、補正を十分行えなかつことによるものである。御前崎側の沈降は、揺らぎを伴いながらも、従前の傾向で続いていると見られる。

第18図は最近3年間の比高の3ヶ月平均の変化を前3ヶ月との比較で示したもので、第19図は最近1年間の比高の1ヶ月平均の変化を前月との比較で示したものである。最新の最上段の図では、特段の変化は見られない。

[GPS 御前崎]

第20～22図は御前崎地方のGPS連続観測結果である。三ヶ日から榛原(はいばら)に至る東西方向の基線も併せて示している。それぞれ短い基線であるため紀伊半島南東沖の地震の影響は見られず、従来からの傾向に変わりがない。なお、第21図(6)、(7)に見られる2008年1月下旬頃の時系列の飛びの原因は、2008年1月30日に静岡相良1観測点で行った北方向の再設定及びアンテナ固定ボルトの締め直しである。

[GPS 駿河湾]

第23～24図は、駿河湾周辺のGPS連続観測結果である。第23図に観測点毎のアンテナ交換等による補正を行った時期を示している。なお、戸田(へだ)B観測点は、2005年11月に戸田A観測点から移転したもので、時系列グラフはその前後の観測値を接続したものである。

どの基線でも、最近の変動は、ゆらぎの範囲内におさまっており、顕著な傾向の変化は見られない。

[長距離水管傾斜計 御前崎]

第25図は、御前崎長距離水管傾斜計の月平均結果と傾斜計端点間の水準測量結果である。上側□印の水準測量の今回の結果は、東側沈降である。下側○印の水管傾斜計では、同じ傾向は見られない。

第26図は御前崎及び切山の長距離水管傾斜計観測値の日平均値データおよび時間平均値データである。従来の年周変化に変わりはないようである。

第27図は、切山水管傾斜計に平行な切山基線の光波測距結果である。基線長は約900mであるが、長さの変化は1mm以内で非常に安定している。

[深井戸 歪み・傾斜 御前崎]

第28～30図は御前崎の地下約800mの深井戸で実施している地殻変動（歪み及び傾斜）連続観測結果である。2008年になってから傾斜Xと傾斜Yの傾きが増加傾向にある。これは、御前崎先端の沈降速度が速くなるセンスであるが、長距離水管傾斜計には同じ傾向は見られない。今後引き続き見ていく必要がある。第29図の時系列において、傾斜X成分とY成分には、2008年1月20日と27日に静岡県西部で発生した地震動の影響が見られる。また、歪み・傾斜成分の一部に2008年5月9日の茨城県沖の地震(M7.0)、2008年5月12日の中国・四川省の地震(M7.9)による地震動の影響が見られる。

第30図には、連続観測結果から計算した歪みの主軸と傾斜計から見た傾斜ベクトルを示す。水平歪みは北西一南東圧縮であり、ほとんど変化がない。第30図下段は傾斜観測から計算した傾斜ベクトルの変化を2001年1月1日を基準にプロットしたもので、南東方向へ傾き下がる方向への傾斜速度が2008年1月以降速くなっている。

[絶対重力変化 御前崎]

第31～33図は、御前崎における絶対重力測定の結果である。最新の2007年12月の測定結果では、重力値の増加傾向が見られる。潮位データに基づく沈降速度7.8mm／年から予想される重力増加速度と比べて、小さめの結果となっている。

[非定常地殻変動 東海地方]

第34～59図は、GPS連続観測結果に基づいた東海地方の最近の地殻変動と非定常地殻変動の解析結果である。

[非定常地殻変動 東海地方 最近1年間の地殻変動]

第34～35図は、最近1年間の東海地方の地殻変動の水平成分と上下成分の図である。水平成分、上下成分共に、スロースリップ開始以前の状態に戻っているように見えるが、左下のスロースリップ開始以前の地殻変動速度に比べると、水平変動で

はわずかに南向きにふれている。

[粘弾性緩和の推定]

第36図には、2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震の余効変動のメカニズムとして、粘弾性緩和による変動量を見積もる解析の大まかな流れを記載している。

第37～39図は、粘弾性緩和による変動量の見積もりに関する資料である。第37図は、想定した地震時の断層モデル、粘弾性緩和の変動の見積もりに使用した三次元有限要素メッシュ、媒質に与えた物性値を示したものである。第38図上段の図は、三次元有限要素法により計算した地震時の変位を観測値と比較したものである。観測値をよく再現している。下段の図は、地震発生後から3年間の粘弾性緩和による変動量である。粘性率の値によつて変動量は大きく変化するが、ここでは粘性率 $1.0 \times 10^{19} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の時の変動量を図示している。志摩半島周辺で南方向に1cm強、静岡県西部から愛知県東部にかけて南西方向に5mm弱の変動が推定された。また上下変動は、紀伊半島先端部で隆起、東海地方で沈降が推定されているが、その変動量は1mm以下である。

第39図は、志摩観測点と浜松観測点の粘弾性緩和による変動時系列と非定常地殻変動時系列を表示している。上段の図は、粘性率を変化させた時の粘弾性緩和による変動時系列で、粘性率を $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の範囲で変化させた結果である。中段は、粘性率が 5.0×10^{18} 、 $1.0 \times 10^{19} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の時の粘弾性緩和による変動時系列を、地震発生から3年後の非定常地殻変動の時系列を基準に図示している。下段の図は、粘性率を $1.0 \times 10^{19} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ として、粘弾性緩和による時系列を非定常地殻変動時系列から除去したものである。

[余効すべりによる余効変動の推定]

第40～59図は、2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震の余効変動のメカニズムとして、余効すべりによる変動量を見積もり、東海スロースリップの解析において、前回報告した粘性緩和による変動も併せて、余効変動を除去しない場合、粘性緩和のみを除去した場合、粘性緩和と余効すべりを除去した場合を比較した結果である。第40図に、時系列解析の流れ、第41図に余効すべりによる変動の推定方法を記載している。

[余効すべりの推定]

第42～46図は、余効すべりによる変動量の推定に関する資料である。

第42図は、緩和関数 ($u(t) = a_1 + a_2 \times \exp(-t/a_3)$) を粘性緩和による変動を除去した時系列データにフィッティングした結果である。このうち時定数に関するパラメータ(a_2)の推定結果を第43図に示している。

第44図は、余効すべりによる変動の時定数を推定するための条件を記載している。上段左図は、2001年1月～2004年7月までの非定常地殻変動速度、下段の図は、2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震時の地殻変動である。上段右図は、余効すべりによる変

動の時定数を推定するために使用した観測点（緑丸）分布である。

第45図は、上段から仮の余効変動量、推定した余効すべりモデルによる変動量、残差（観測値－計算値）である。第46図は、推定した余効すべりによる変動時系列と余効すべりによる変動を除去した時系列である。

以下、第47～59図では、前回報告した粘性緩和による変動も併せて、余効変動を除去しない場合（左図）、粘性緩和による変動のみを除去した場合（中図）、粘性緩和と余効すべりによる変動を除去した場合（右図）を図示している。

[非定常地殻変動 余効変動除去後]

第47～48図は時系列、第49～50図は累積の変動量、第51～52図は2004年以降1年ごとの変動量、第53～54図は2ヶ月ごとの変動量を表示している。余効すべりによる変動を除去することで、(1)志摩、(2)渥美の南北成分で顕著に見られた2004年9月～2005年初頭までの南向きの変動が消えているのが分かる。

第51図の(4)2004年1年間の変動ベクトルでも、余効すべりによる変動を除去することで、三重県で南向きの成分が消えているのがよく分かる。最近2ヶ月ごとの変動ベクトル図には、余効すべりによる変動を除去した影響はほとんどない。水平変動では、余効変動（粘性緩和と余効すべり）の影響が見られるが、上下変動にはその影響はほとんど見られない。

[推定すべり分布 余効変動除去後]

第55～59図は、スロースリップのすべり分布の推定結果の図である。第55図は、モーメントの時系列図と2001年、2005年、2006年以降の累積のすべり分布である。

第56～57図は、それぞれ1年間および最近2ヶ月ごとの推定すべり分布である。また観測値と計算値の比較の時系列は第58～59図に示している。

第56図（4）2004年1年間のすべり分布で、余効すべりによる変動を取り除くことで、紀伊半島で南向きに推定されていたすべりが消えているのが分かる。プレート境界面上のすべりに起因しない別の変動を説明しようとしていたため、すべりが推定されていたのである。そのため推定モーメントもやや過大評価していた。

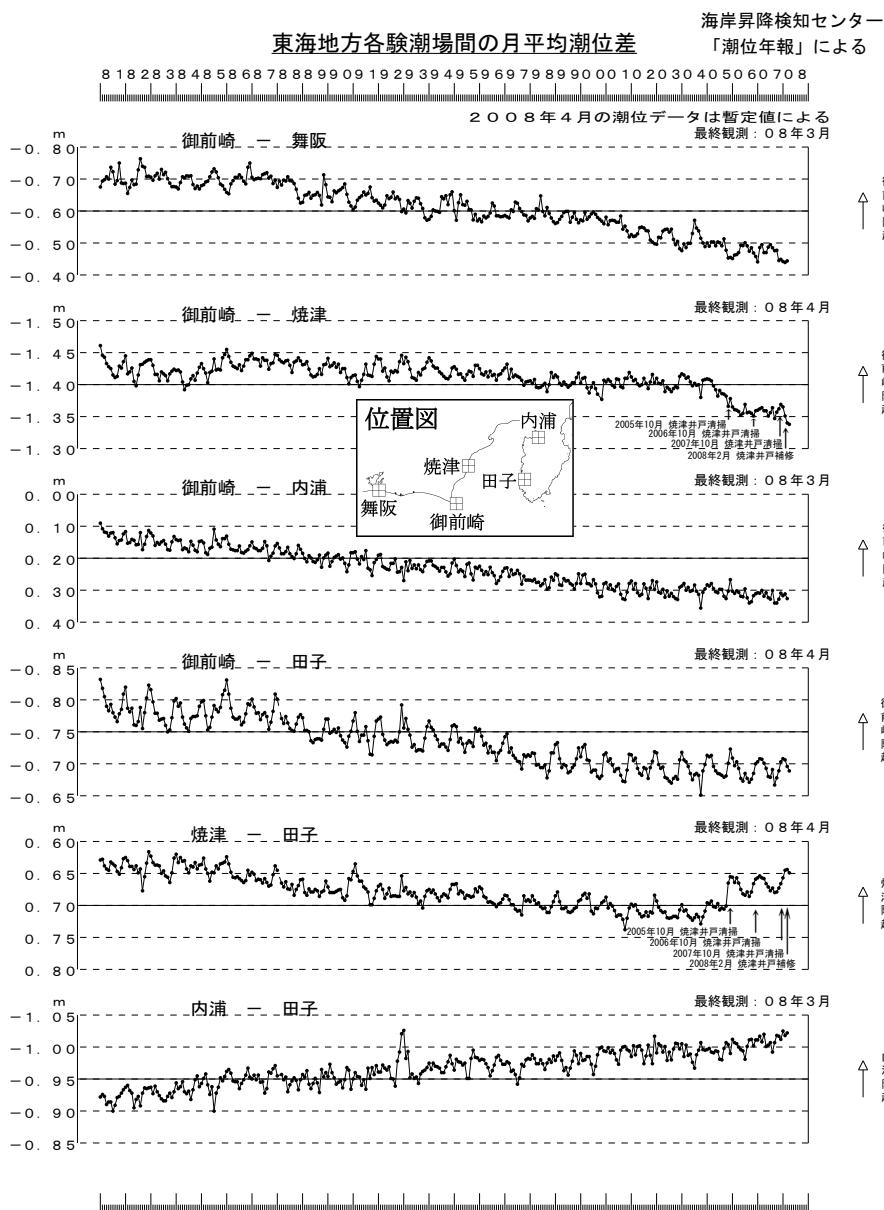
[GPS 静岡県西部の地震活動]

第60～61図は、2007年11月から2008年1月にかけて静岡県西部で発生した地震活動前後の地殻変動を確認するための資料である。顕著な変動は見られない。

参考文献

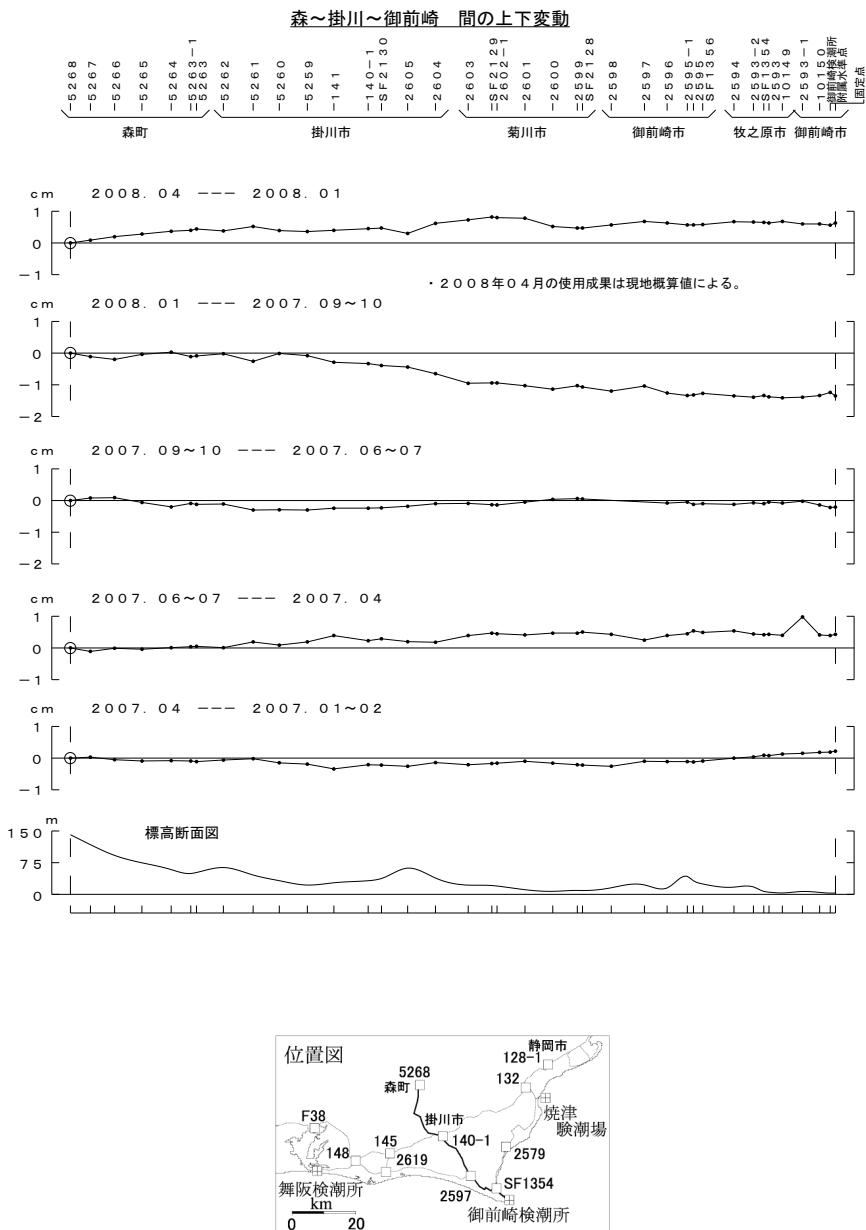
- 1) 国土地理院, 2004, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 71, 481-583.
- 2) 国土地理院, 2004, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 72, 311-412.

- 3) 国土地理院, 2005, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 73, 166-227.
- 4) 国土地理院, 2005, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 74, 227-283.
- 5) 国土地理院, 2006, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 75, 288-374.
- 6) 国土地理院, 2006, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 76, 306-382.
- 7) 国土地理院, 2007, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 77, 229-312.
- 8) 国土地理院, 2007, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 78, 247-303.
- 9) 国土地理院, 2008, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 79, 244-323.



第1図 東海地方各駿潮場間の月平均潮位差

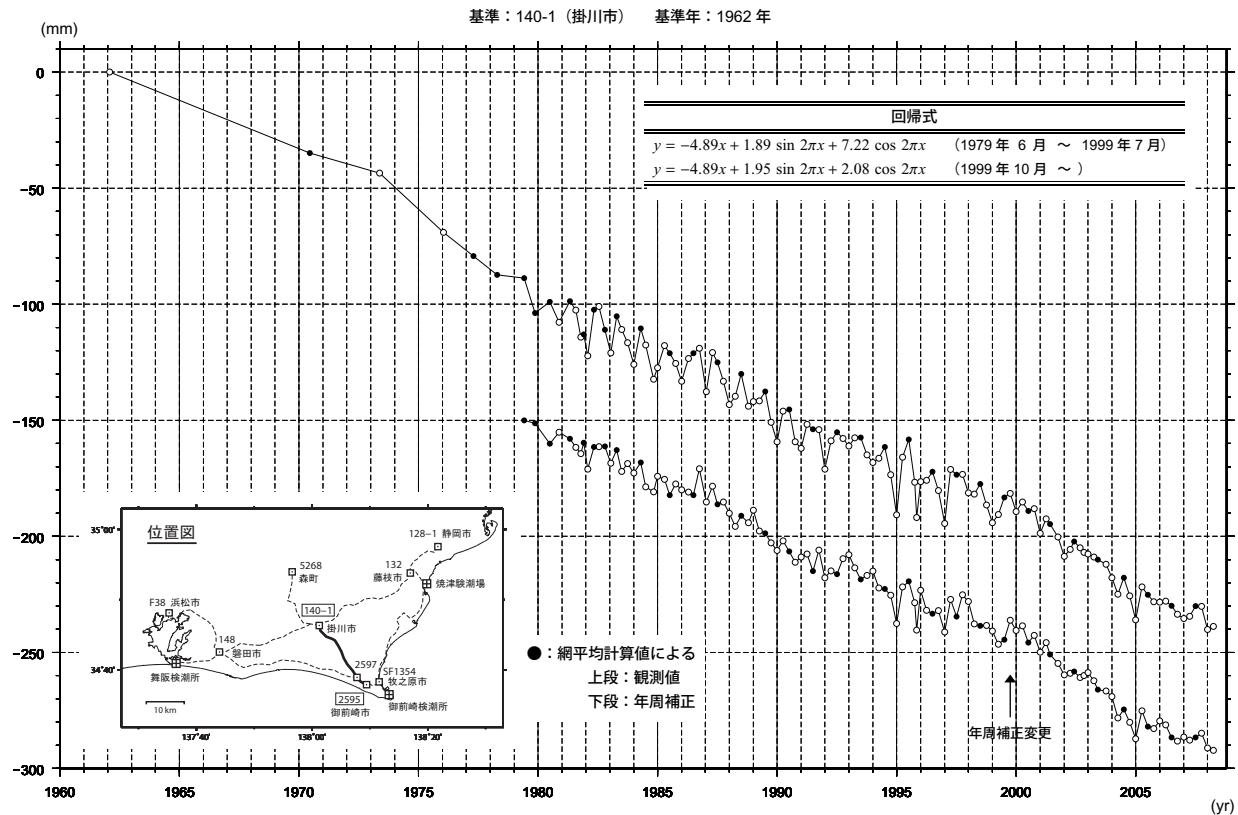
Fig. 1 Plots of differences between monthly mean values at tidal gauges in the Tokai region.



第2図 水準測量による森町～掛川市～御前崎市間に
おける上下変動

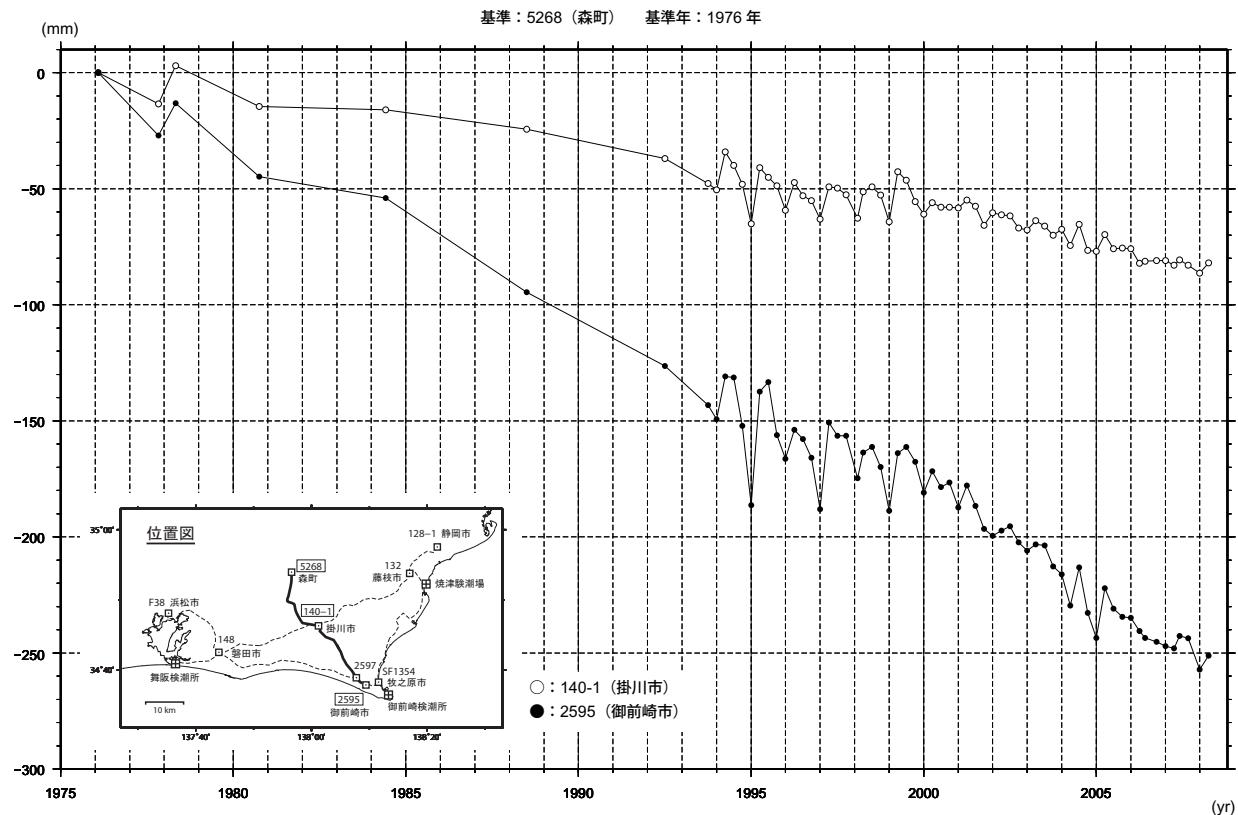
Fig. 2 Vertical crustal movement from Mori town to Omaezaki city via Kakegawa city.

水準点2595（御前崎市）の経年変化



第3図 水準点140-1（掛川市）を基準とした2595（御前崎市浜岡）の高さの経年変化
Fig. 3 Time series of height change of BM2595 (Hamaoka) as referred to BM1401 (Kakegawa).

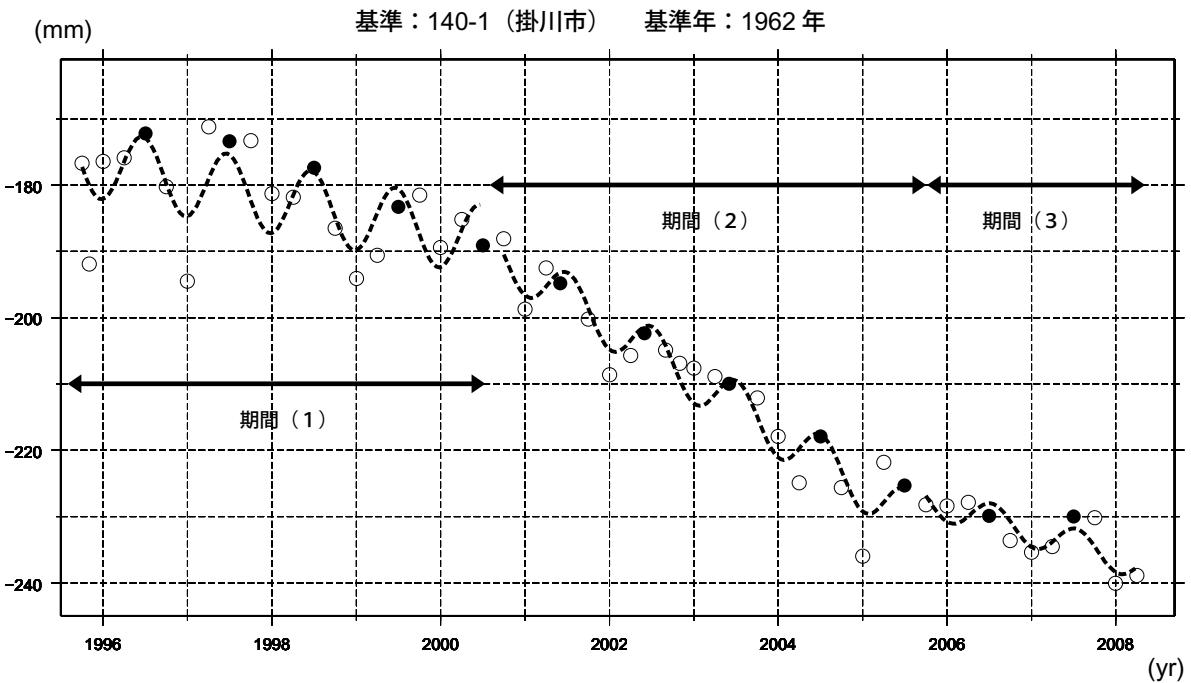
水準点（140-1・2595）の経年変化



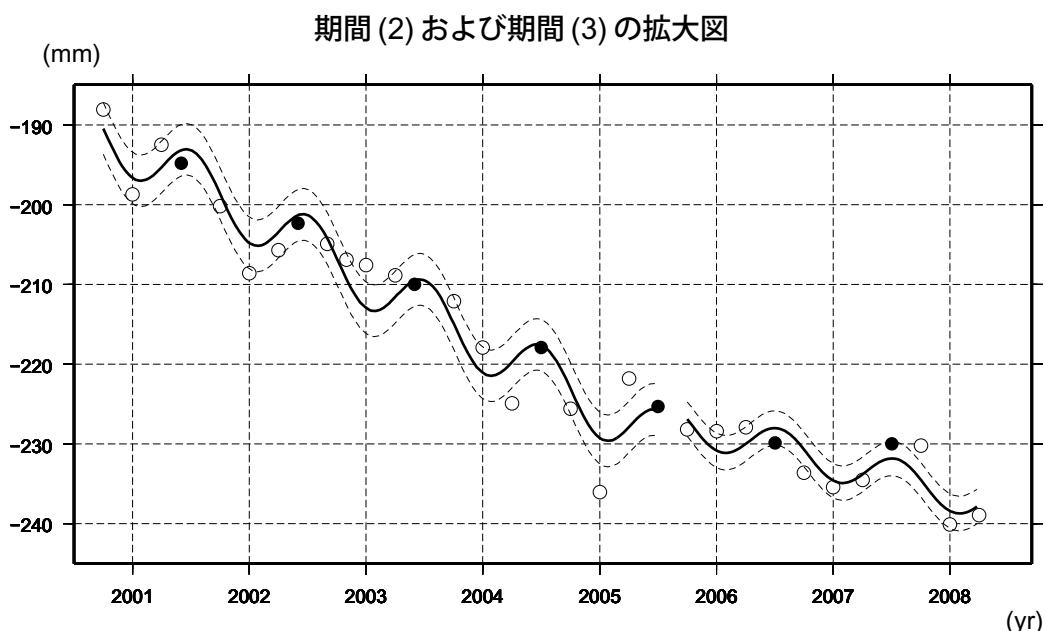
第4図 水準点5268（森）を基準とした140-1（掛川）と2595（御前崎市浜岡）の上下変動時系列

Fig. 4 Time series of height change from BM 5268 (Mori) to BM140-1 (Kakegawa) and BM2595 (Hamaoka).

水準点2595（御前崎市）の経年変化 スロースリップイベント期間で分けた回帰モデル

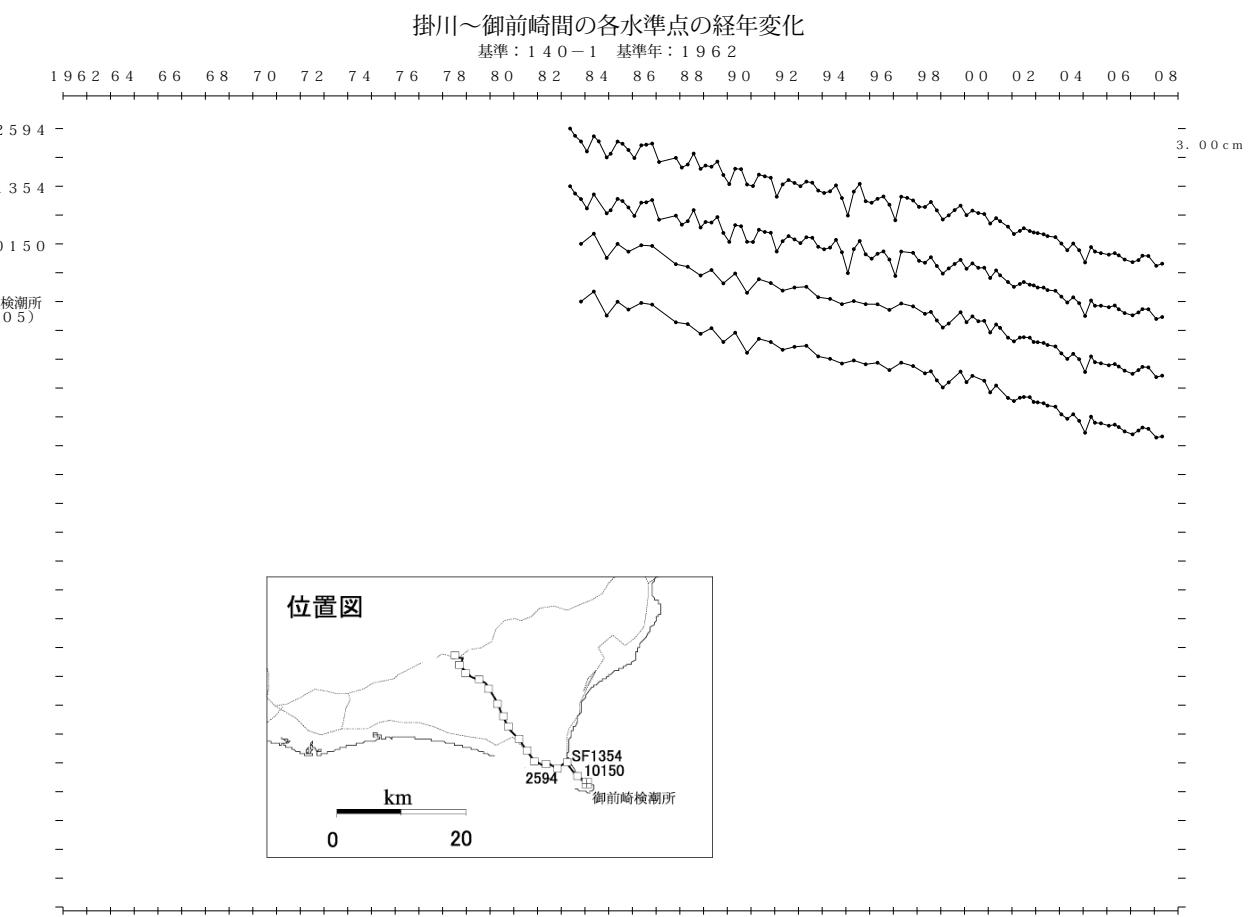
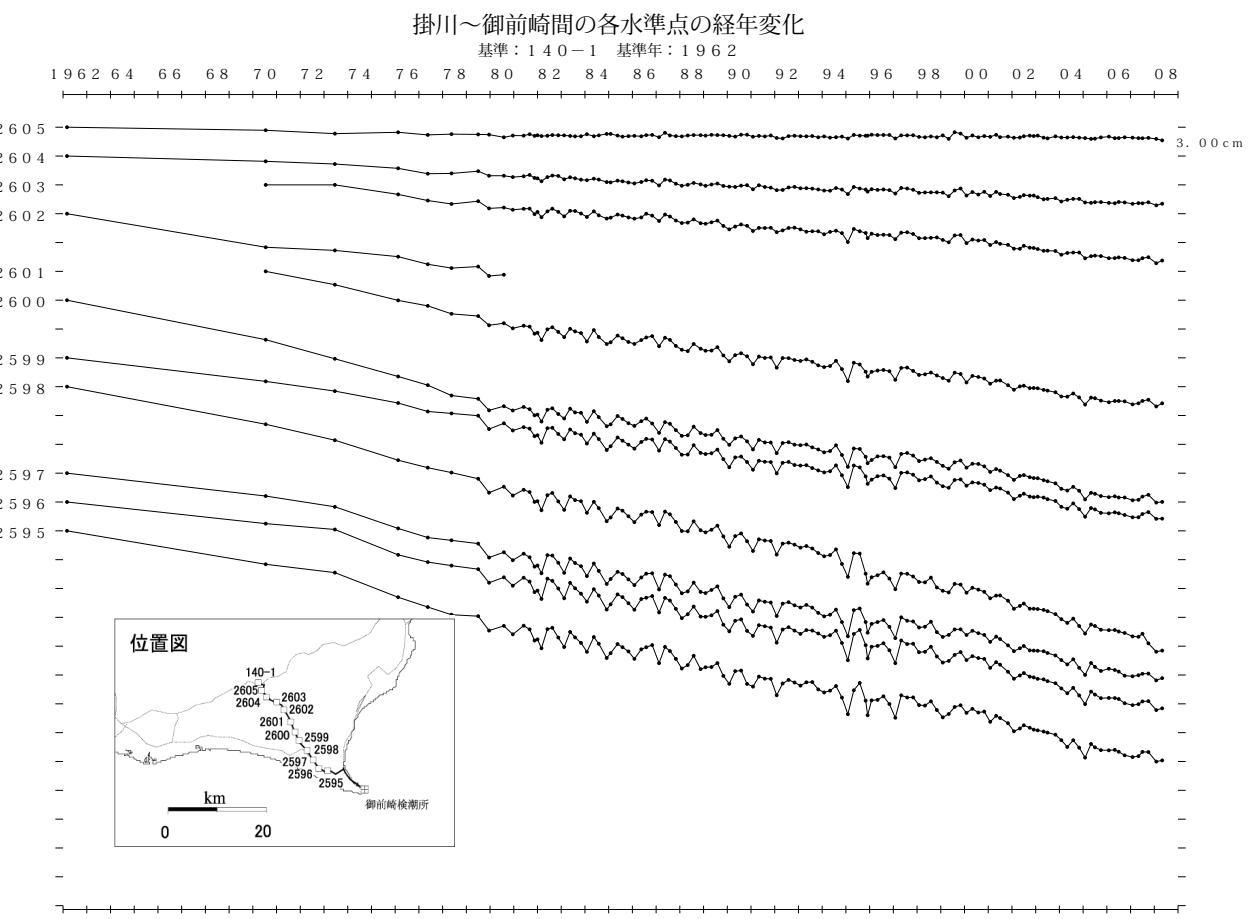


No.	期間	傾き (mm/yr)	振幅 (mm)	位相 (deg)	標準偏差 (mm)
期間(1)	1995.10 - 2000.7	-2.57	5.37	-79.0	5.39
期間(2)	2000.10 - 2005.7	-8.15	3.80	-95.7	3.24
期間(3)	2005.10 - 2008.4	-3.81	2.42	-104.3	2.16



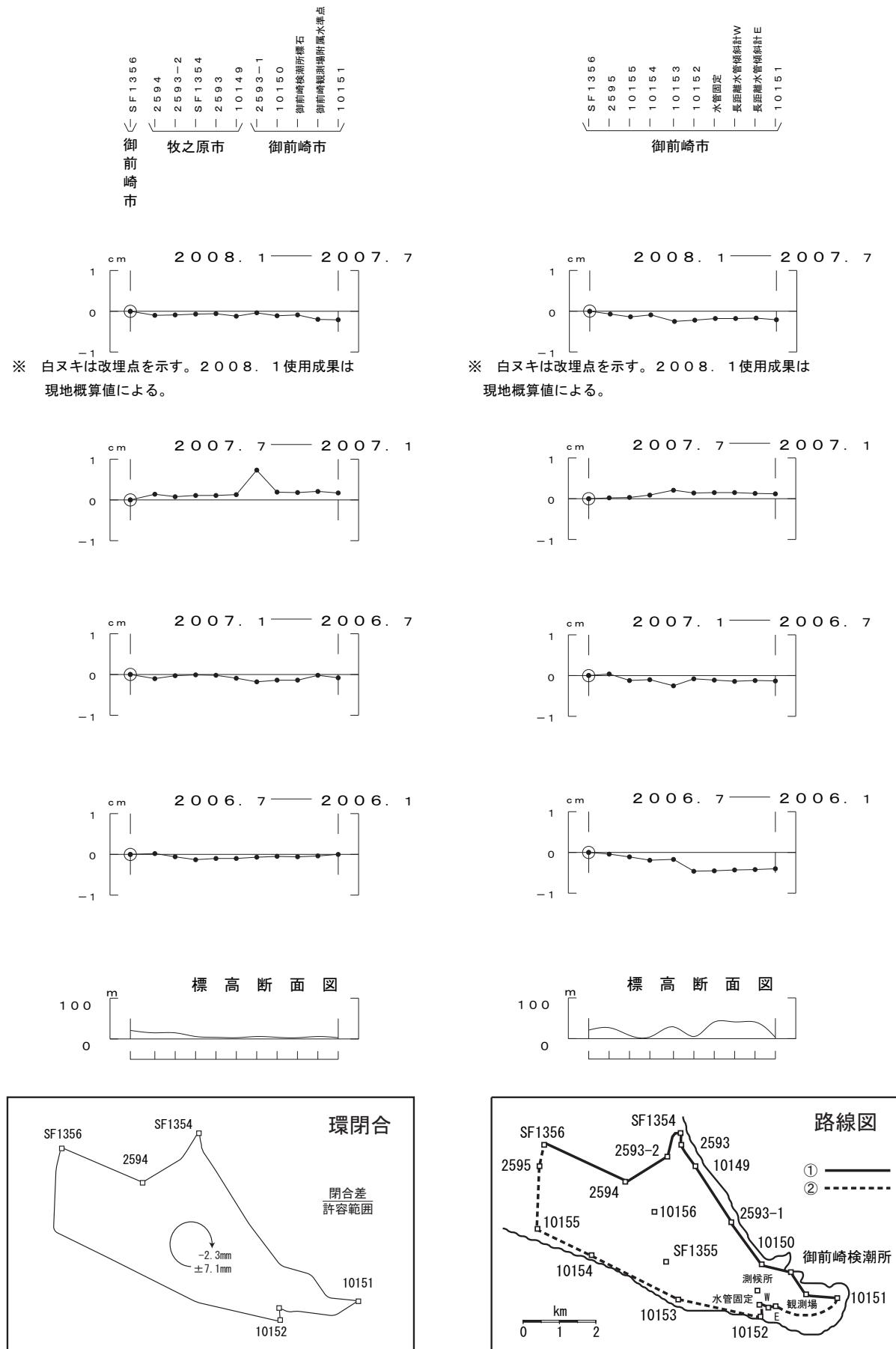
第5図 水準点2595（御前崎市）の経年変化 スロースリップイベント期間で分けた回帰モデル

Fig. 5 Time series of height change from BM 5268 (Mori) to BM140-1 (Kakegawa) and BM2595 (Hamaoka). Regression model before, during and after the slow slip event between 2000 autumn and 2005 summer.



第6図 水準点140-1（掛川市）を基準とした掛川～御前崎間の各水準点の高さの経年変化
Fig.6 Time series of height changes of benchmarks along the route between Kakegawa and Omaezaki as referred to BM1401 (Kakegawa).

御前崎の上下変動



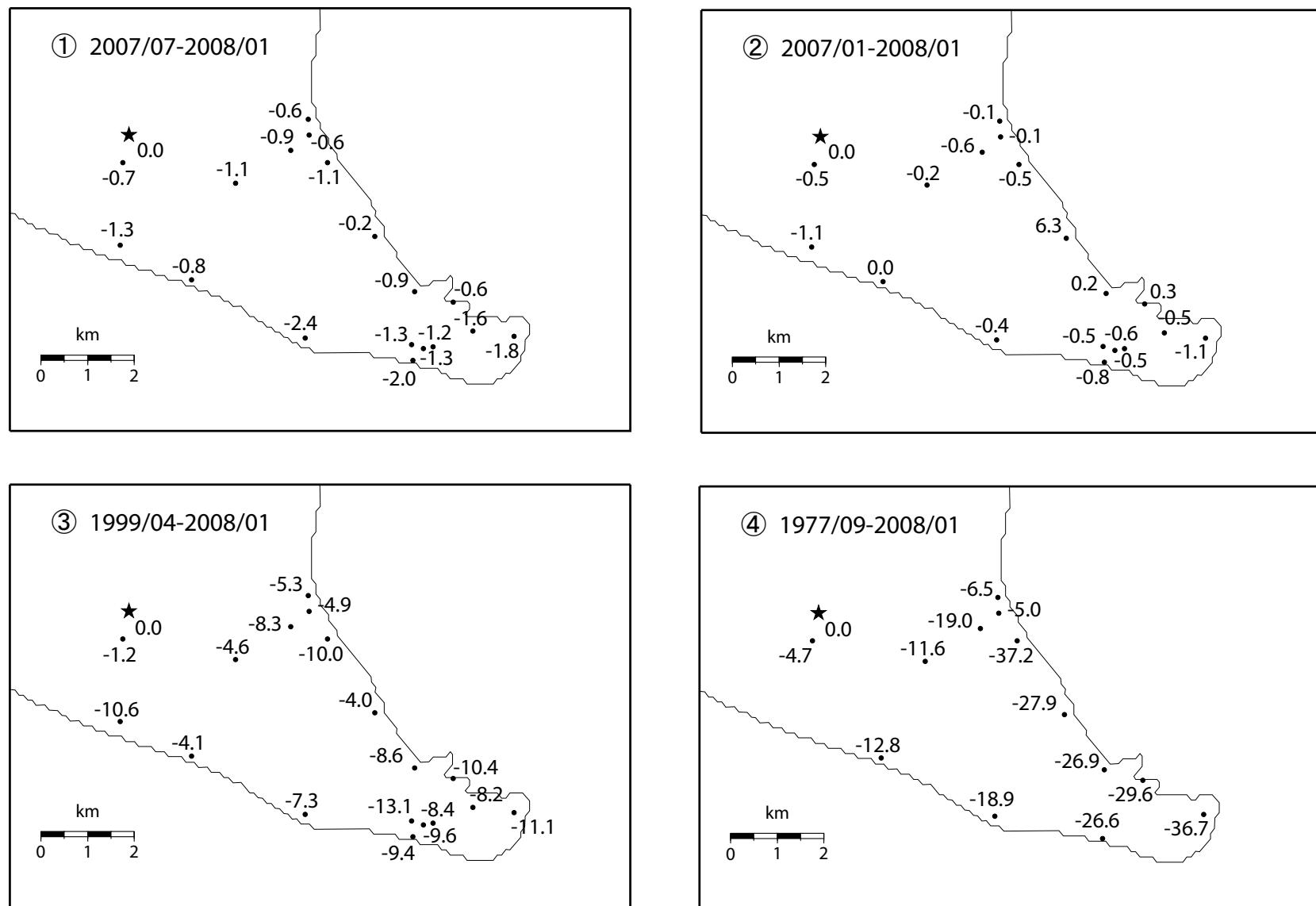
第7図 水準測量による御前崎先端部の上下変動

Fig. 7 Vertical crustal deformation by the precise Leveling Survey around Omaezaki.

御前崎地方の上下変動

基準：★S F 1 3 5 6

単位：mm



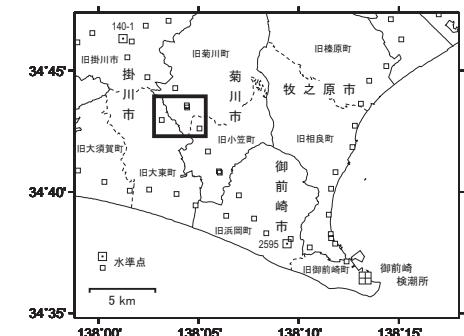
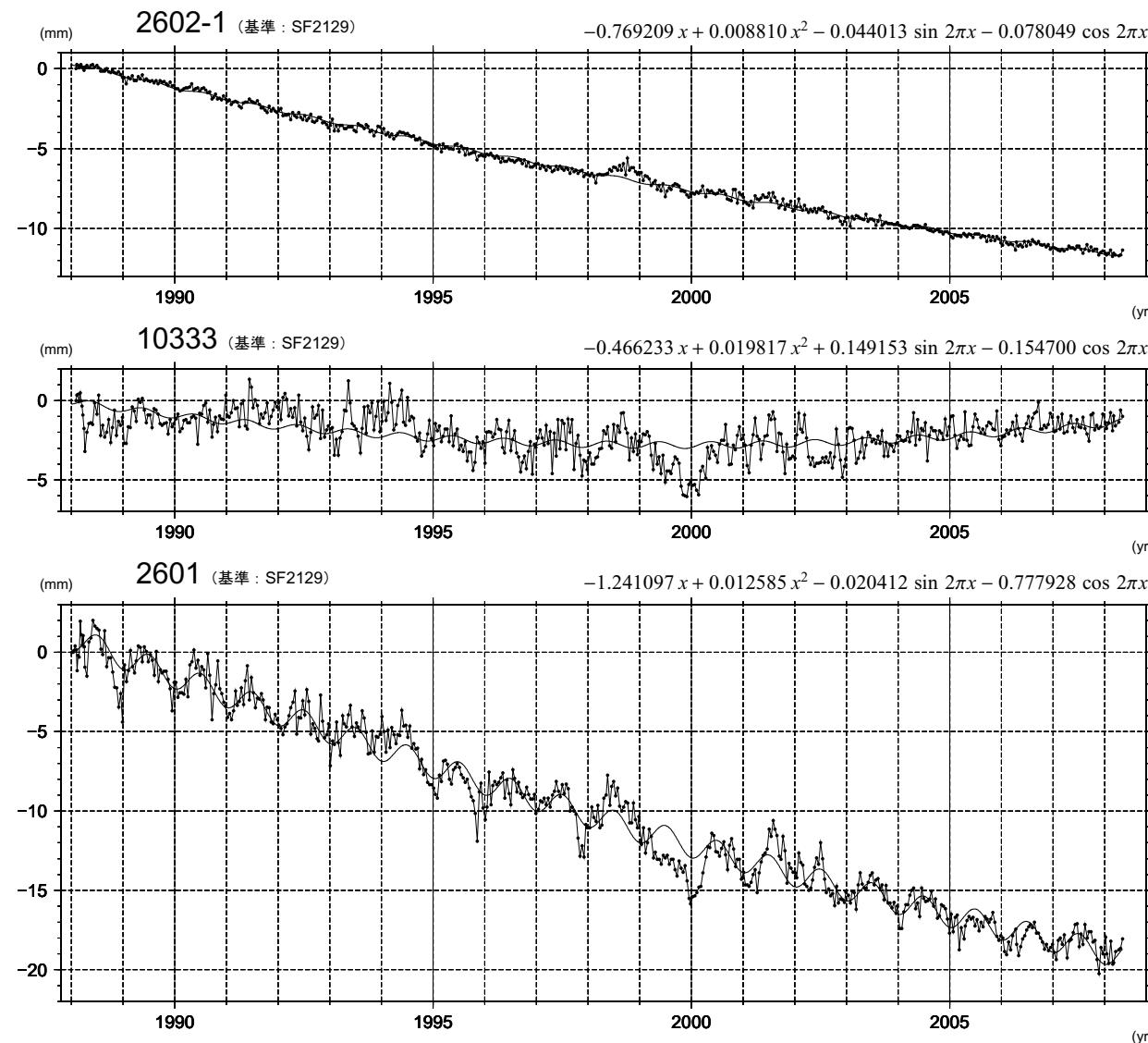
第8図 水準測量による御前崎先端部の上下変動

Fig. 8 Vertical crustal deformation by the precise Leveling Survey around Omaezaki.

水準点2602-1と10333及び2601の経年変化

最新データ：2008年5月7日

静岡県



第9図 静岡県による短距離水準測量結果（1）：準基2129を基準とした2602-1, 10333及び2601の高さの経年変化

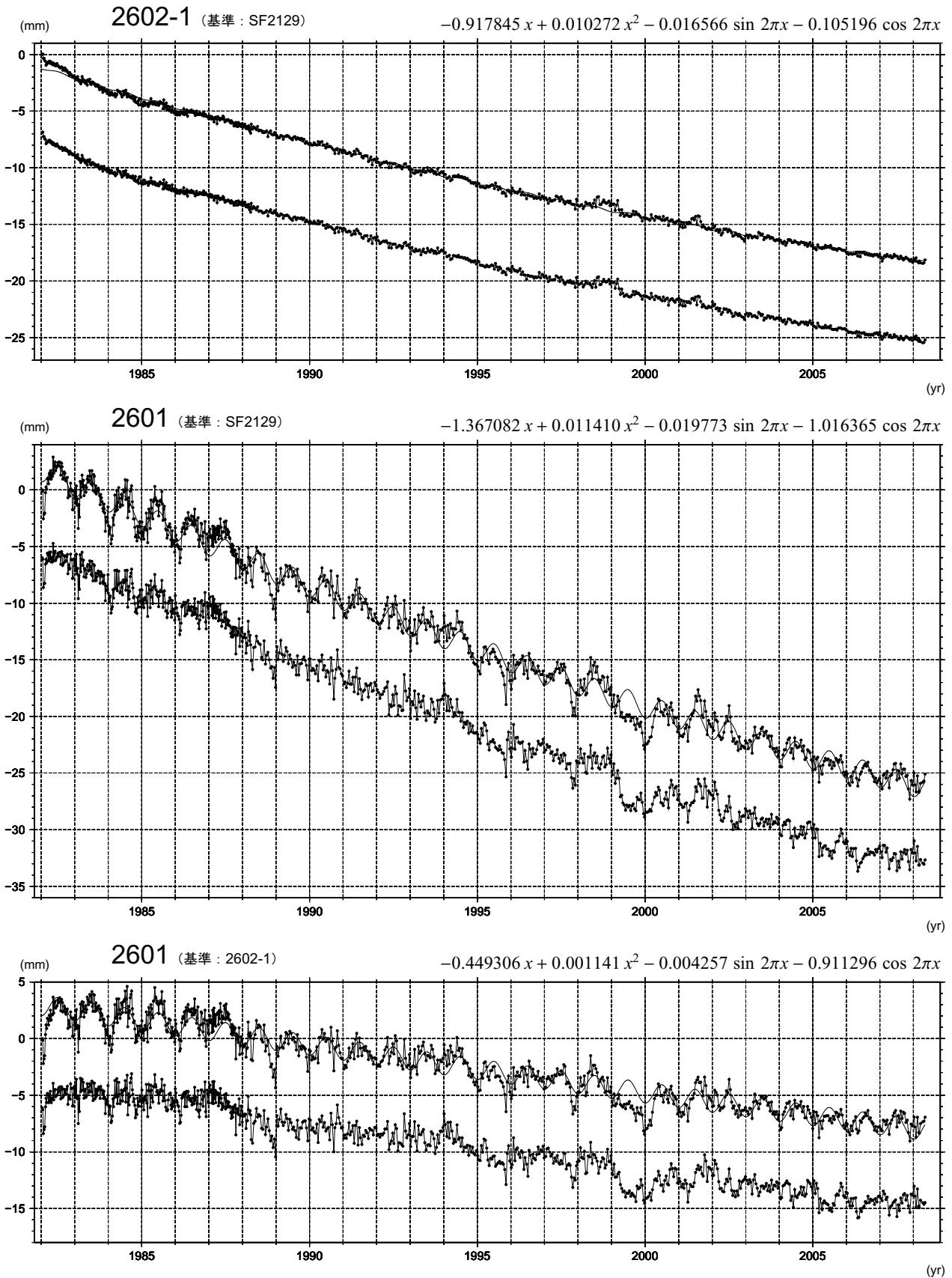
Fig. 9 Results of short distance leveling (1): Time series of height changes of BM2602-1, BM10333 and BM2601 as referred to SF2129. Original data are provided by the Prefectural Government of Shizuoka.

水準点2602-1と2601の経年変化

最新データ：2008年5月7日

静岡県

上段：観測値および近似曲線 下段：年周補正後



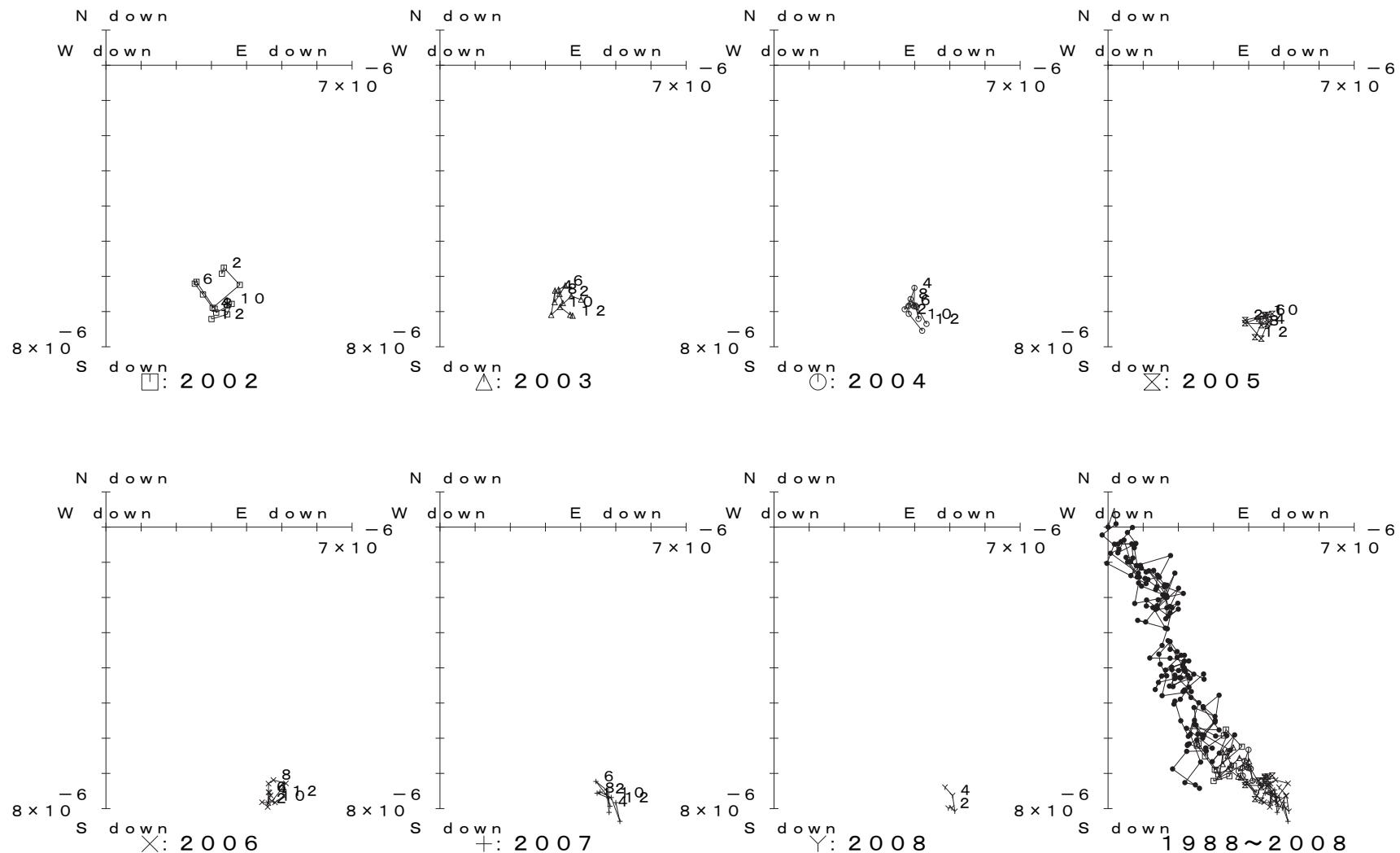
第10図 静岡県による短距離水準測量結果（2）：準基2129、2602-1 及び2601 間の比高の経年変化

Fig. 10 Results of short distance leveling (2): Time series of height changes of benchmarks, SF2129, BM26021andBM2601 as referred to SF2129. Original data are provided by the Prefectural Government of Shizuoka.

水準測量（10333及び2601）による傾斜ベクトル（月平均値）

基準: SF 2129

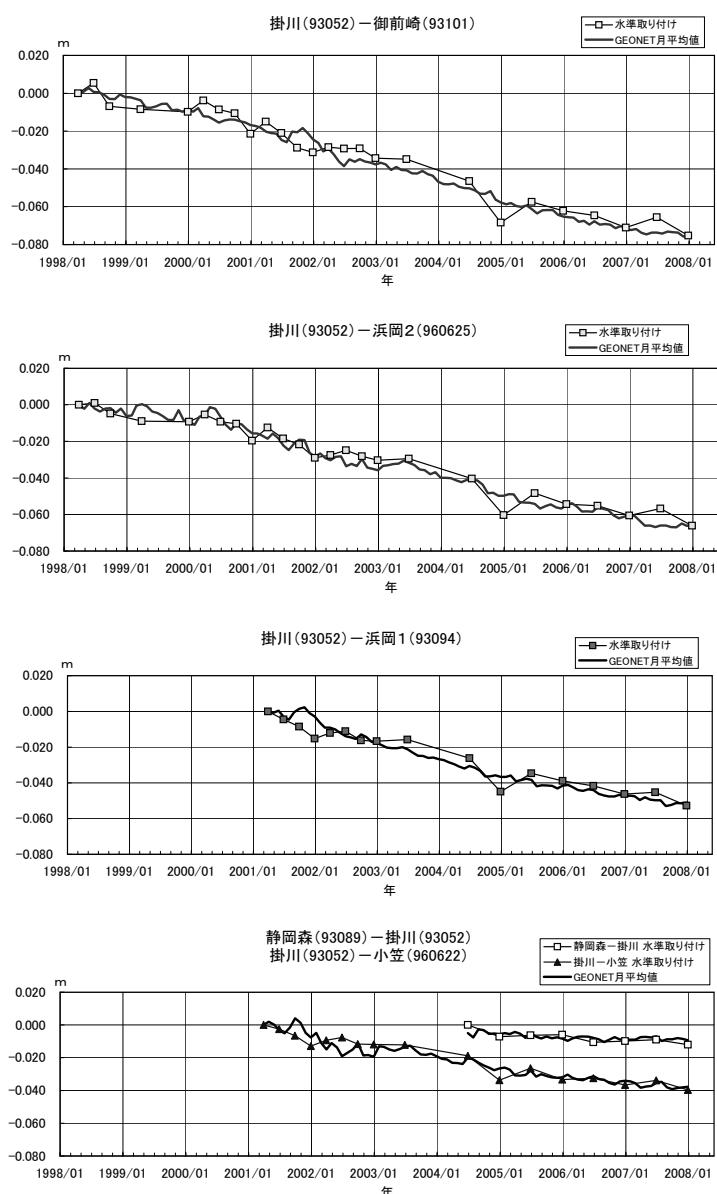
基準年: 1988. 05



第11図 静岡県による短距離水準測量結果（3）：月平均傾斜ベクトル

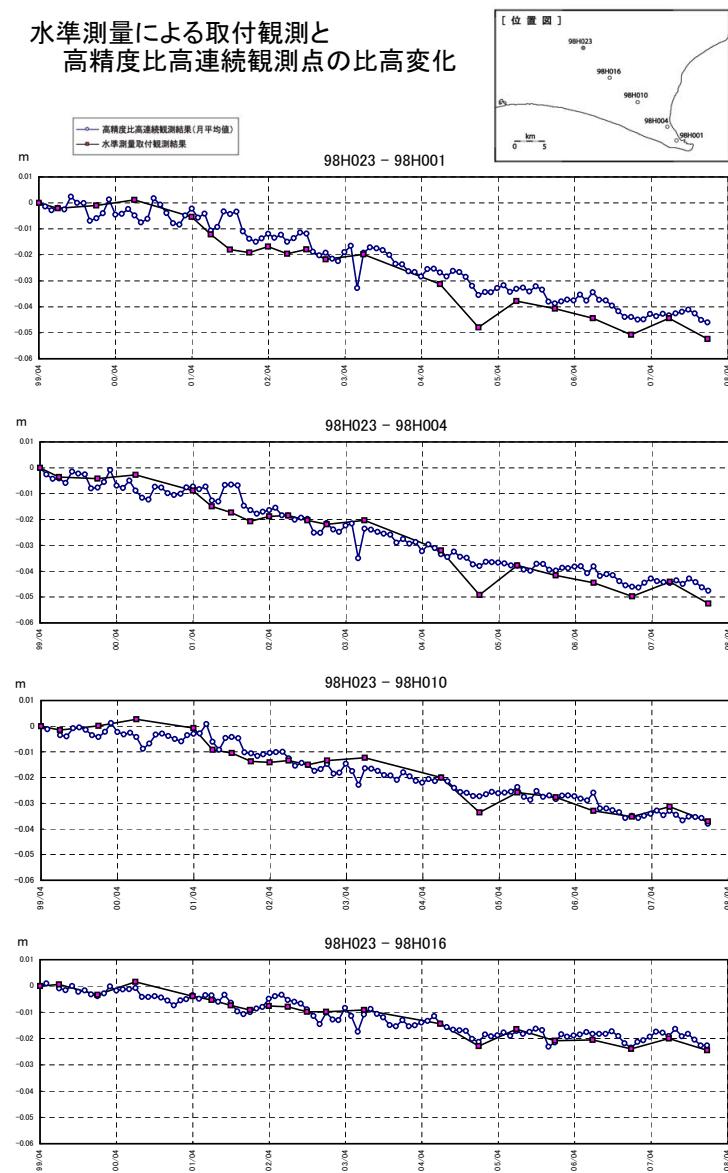
Fig. 11 Results of short distance leveling (3): Vector representations of time series of monthly means of tilt derived from leveling data in (1) and (2). Original data are provided by the Prefectural Government of Shizuoka.

水準測量による取付観測と電子基準点の比高変化



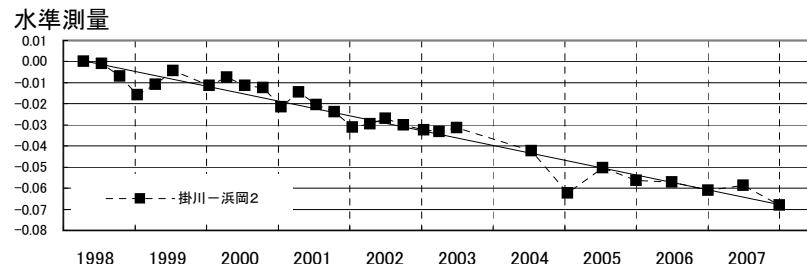
第12図 水準測量による取付観測と電子基準点の比高変化
Fig. 12 Comparison of heights between the Leveling Survey and GPS.

水準測量による取付観測と高精度比高連続観測点の比高変化

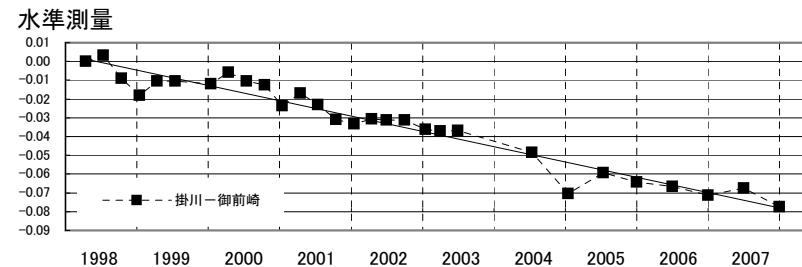


第13図 水準測量による取付観測と高精度比高観測点の比高変化
Fig. 13 Comparison between leveling and high precision vertical GPS measurements.

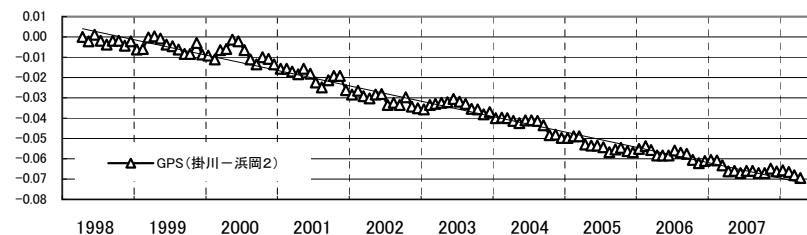
GPS連続観測および水準測量による
電子基準点 掛川(93052)－浜岡2(960625)間の比高変化



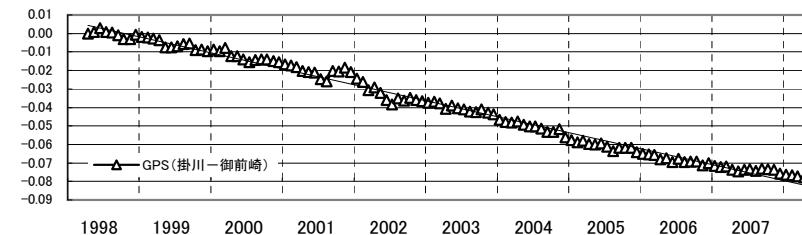
GPS連続観測および水準測量による
電子基準点 掛川(93052)－御前崎(93101)間の比高変化



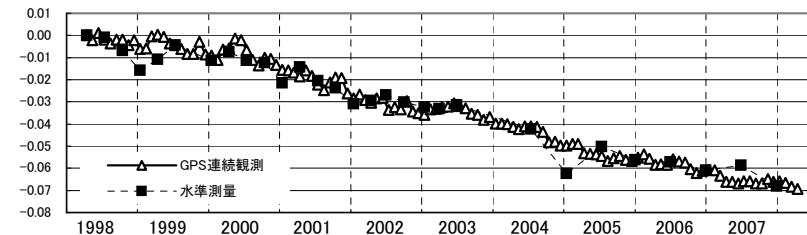
GPS連続観測(1ヶ月平均)



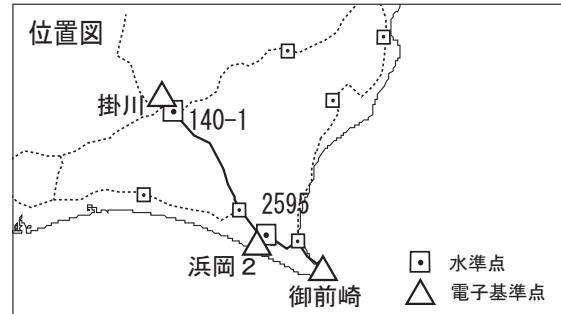
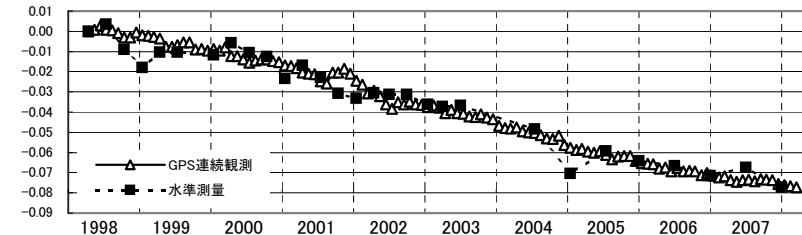
GPS連続観測(1ヶ月平均)



水準測量およびGPS連続観測



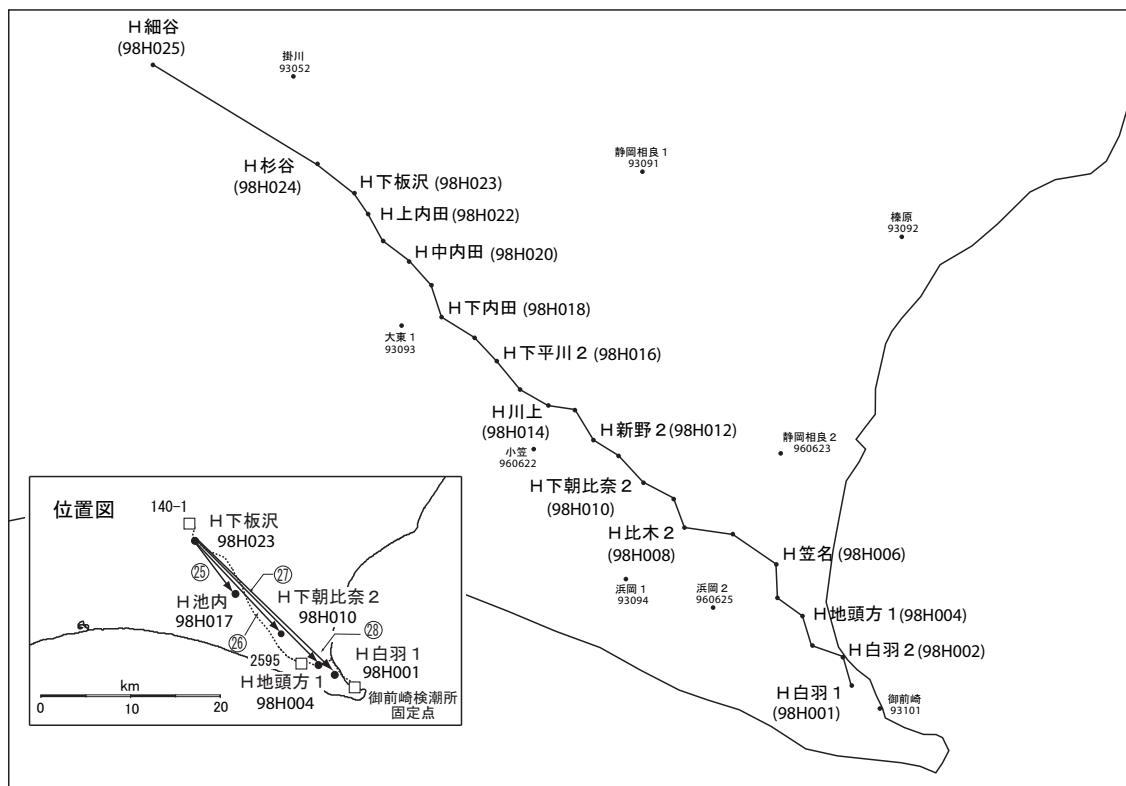
水準測量およびGPS連続観測



第14図 東海地方のGPS観測結果及び水準測量結果の時間変化

Fig. 14 Temporal variation the crustal deformation measured by GPS and precise leveling in Omaezaki region.

高精度比高観測点（G P S 連続観測） 基線図

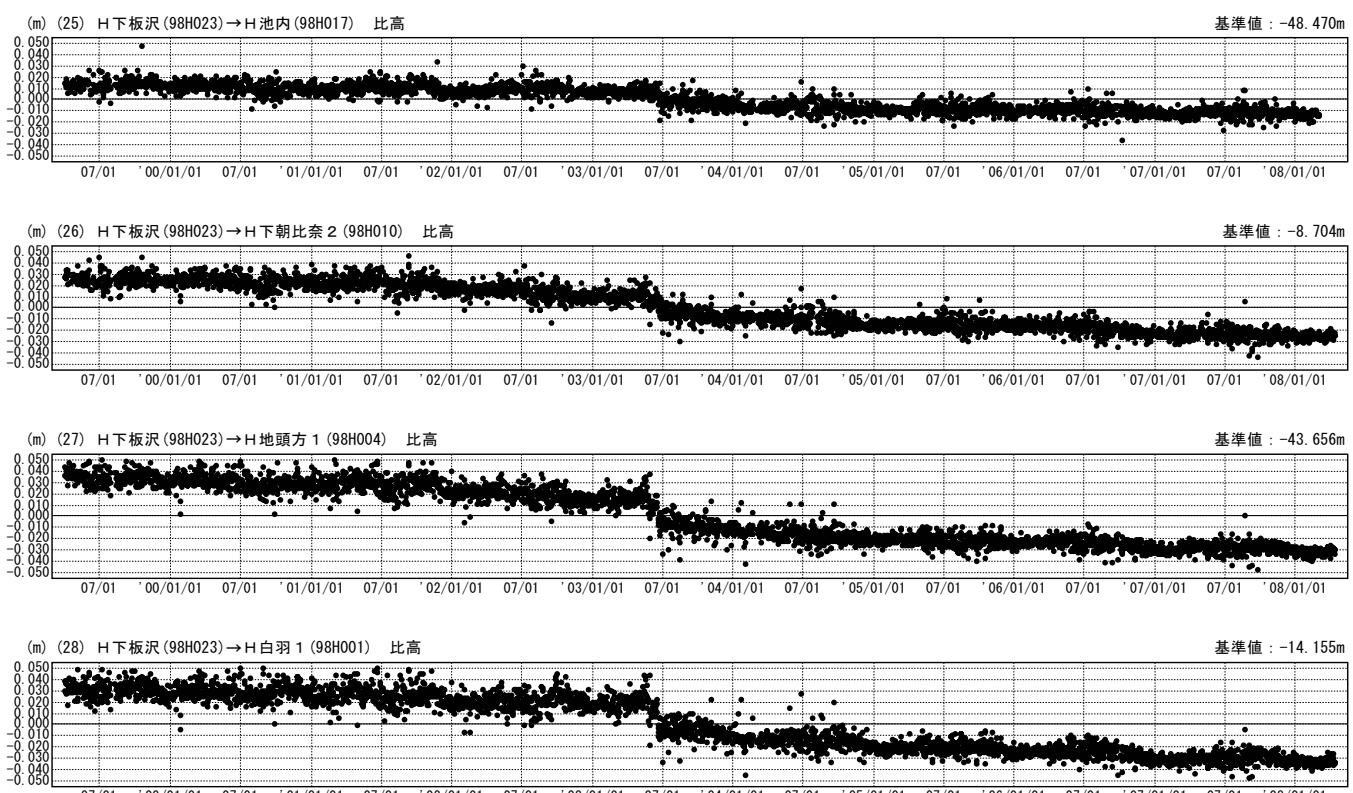


第15図a 御前崎地域の高精度比高観測GPS 観測結果（基線図）

Fig. 15a Results of high precision vertical GPS measurements in Omaezaki region (Baseline map).

期間：1999/04/01～2008/04/12 JST

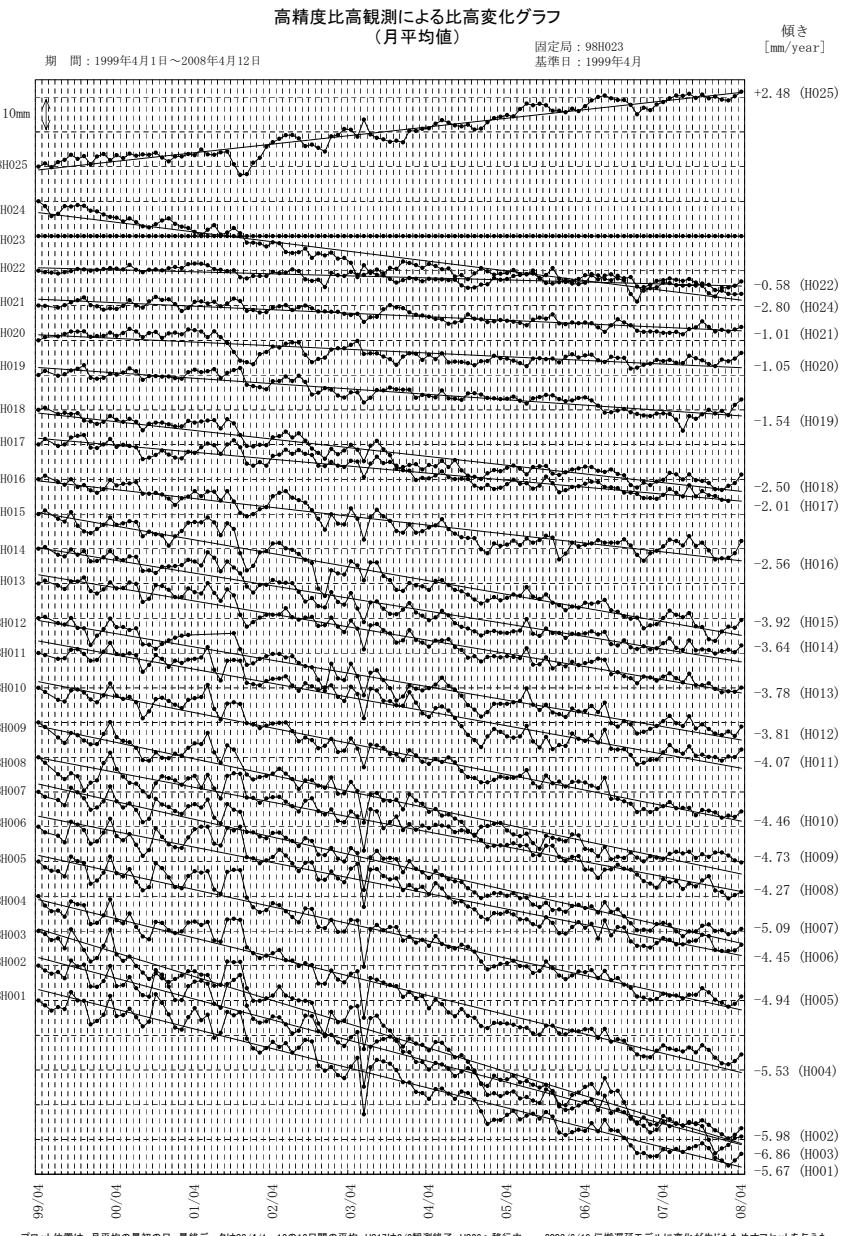
比高変化グラフ



● ---[HI:最終解]

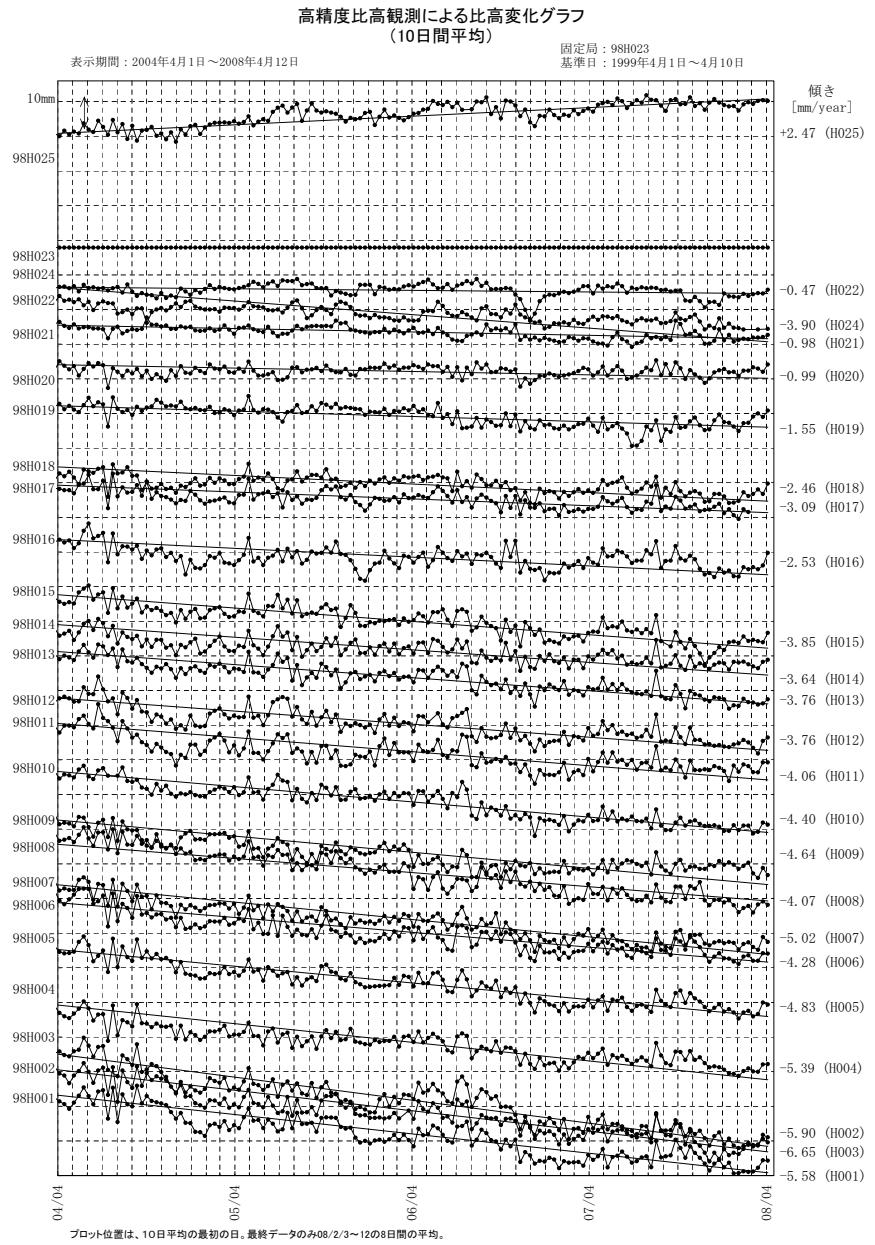
第15図b 御前崎地域の高精度比高観測GPS 観測結果

Fig. 15b Time series of the height change in precision vertical GPS measurements sites in Omaezaki region.



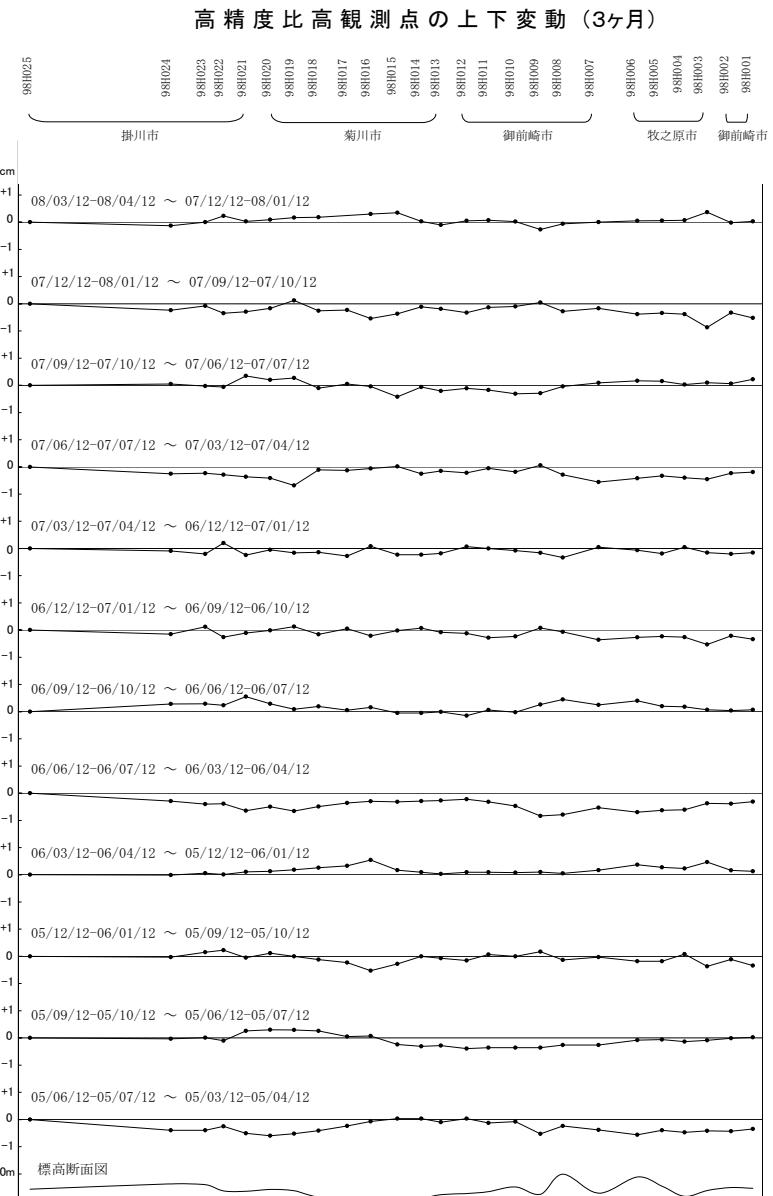
第16図 御前崎地域の高精度比高観測GPS 観測結果（1ヶ月間移動平均・時系列）

Fig. 16 Results of high precision vertical GPS measurements in Omaezaki region (Time series a month running mean).



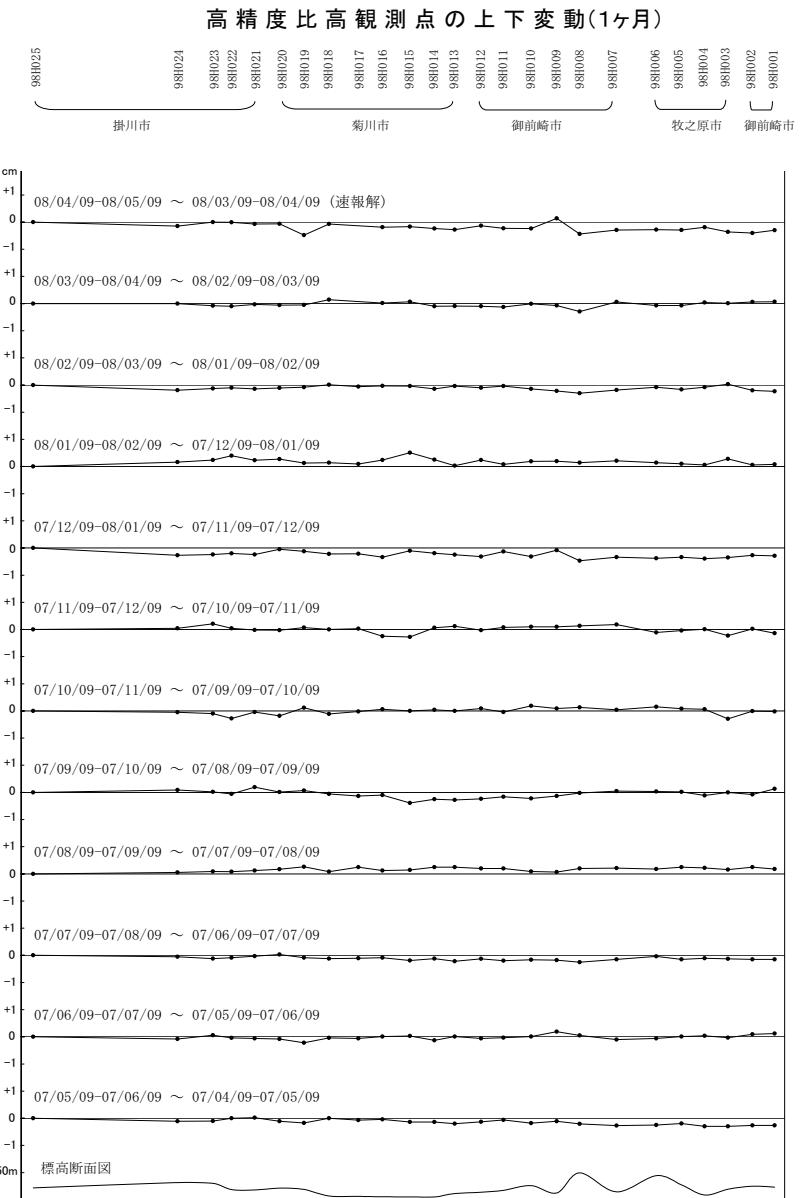
第17図 御前崎地域の高精度比高観測GPS 観測結果（10日間移動平均・時系列）

Fig. 17 Results of high precision vertical GPS measurements in Omaezaki region (Time series of 10 days running mean).



第18図 御前崎地域の高精度比高観測GPS観測結果（点毎の3ヶ月間の変動量）

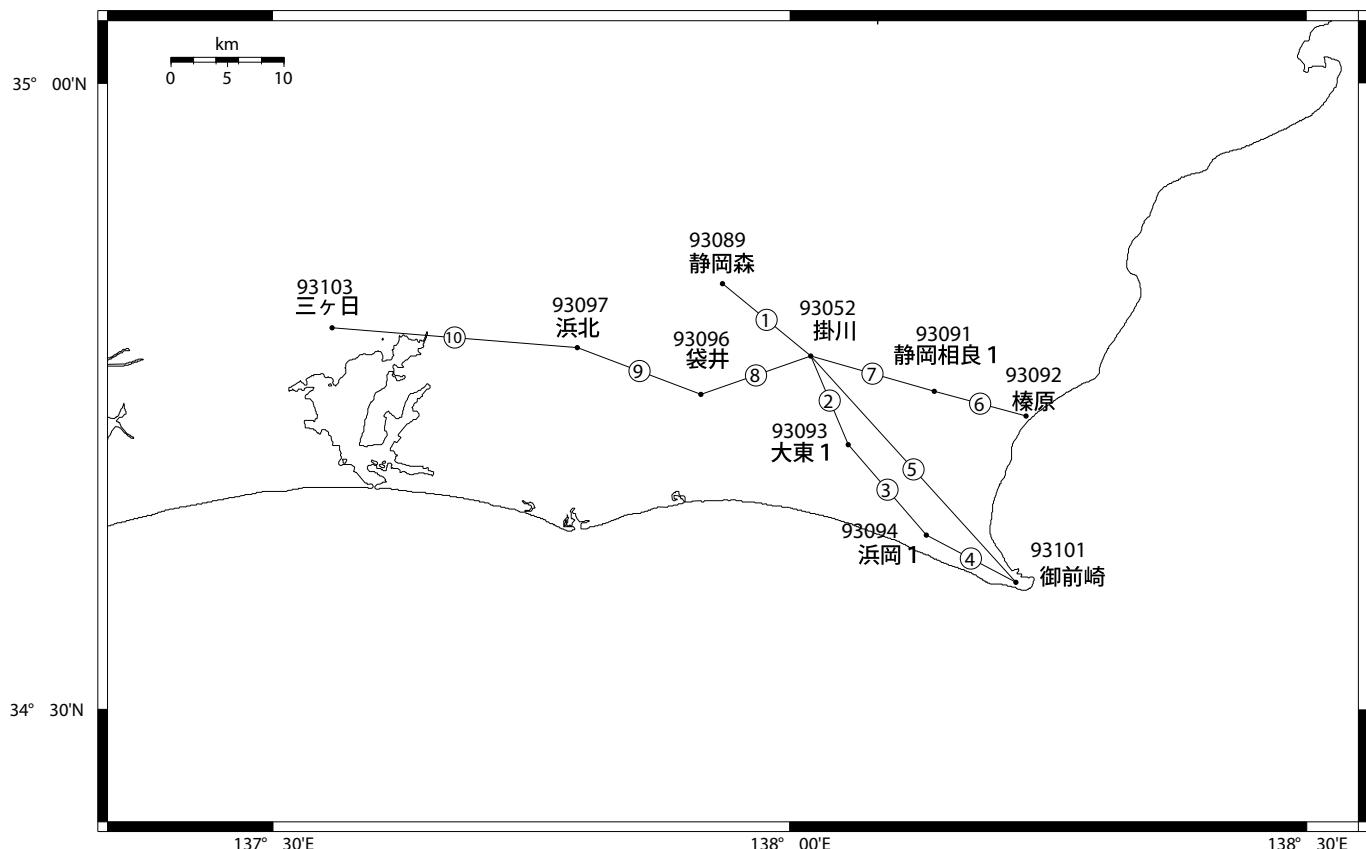
Fig. 18 Results of high precision vertical GPS measurements in Omaezaki region (Height change per 3 months at each site).



第19図 御前崎地域の高精度比高観測GPS観測結果（点毎の1ヶ月間の変動量）

Fig. 19 Results of high precision vertical GPS measurements in Omaezaki region (Height change per month at each site).

御前崎周辺地区 GPS 連続観測基線図



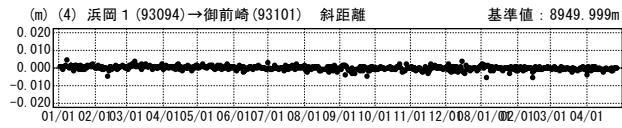
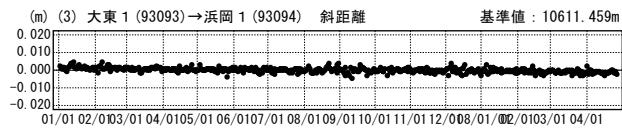
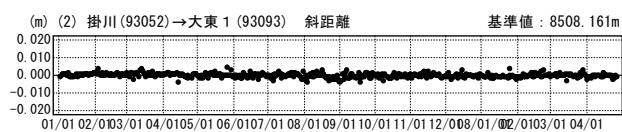
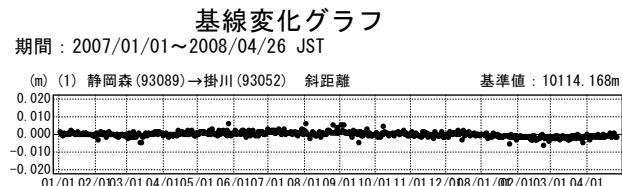
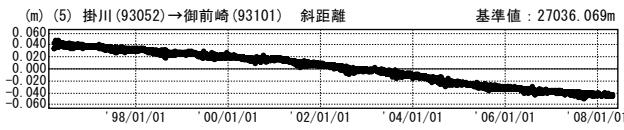
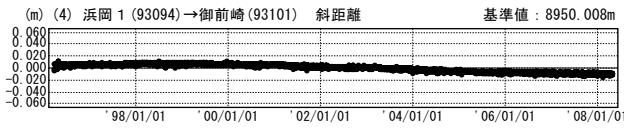
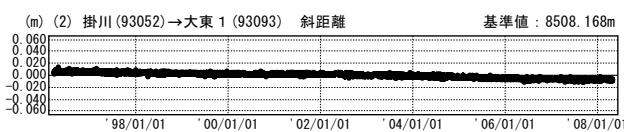
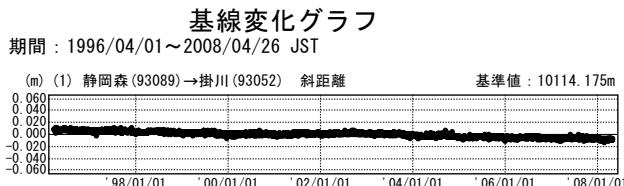
御前崎周辺地区的各観測局情報

点番号	点名	アンテナ交換	レドーム設置	アンテナ変更	周辺伐採
93052	掛川		2003/5/12	2003/2/12	
93089	静岡森		2003/5/15	2003/2/13	2003/9/9
93091	静岡相良1	2001/3/21	2003/3/6	2003/2/12	
93092	棚原	2001/3/21	2003/3/3	2003/2/11	2002/10/7 2003/9/9
93093	大東1		2003/3/4	2003/2/10	
93094	浜岡1		2003/5/16	2003/2/10	
93096	袋井		2003/3/3	2003/2/15	2003/5/20 2003/11/21
93097	浜北		2003/2/28	2003/2/14	
93101	御前崎		2003/2/28	2003/2/11	
93103	三ヶ日		2003/5/19	2003/2/15	

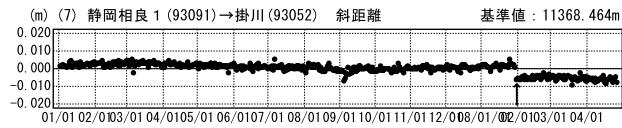
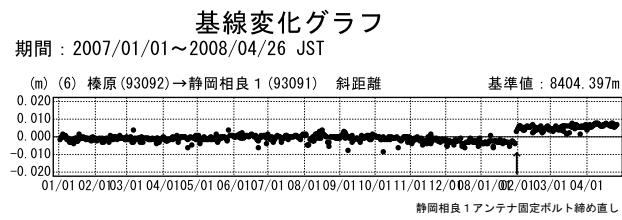
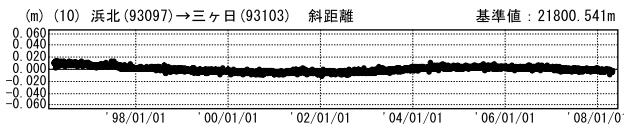
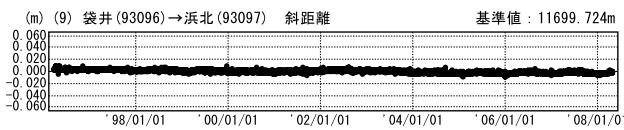
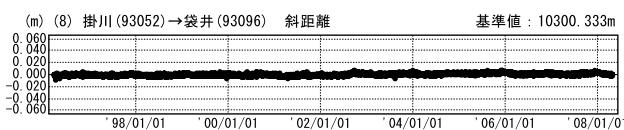
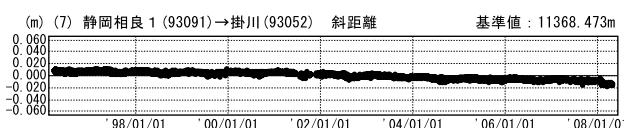
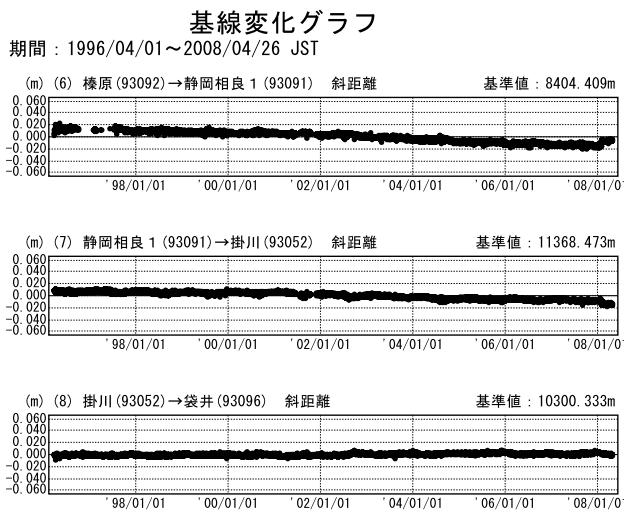
※2003/3/5に基準局92110(つくば1)のアンテナおよびレドームの交換を実施し解析値に補正をしています。

第20図 御前崎周辺GPS 連続観測点観測結果（基線図および保守状況）

Fig. 20 Results of continuous GPS measurements around the Omaezaki (Baseline map and history of maintenance).



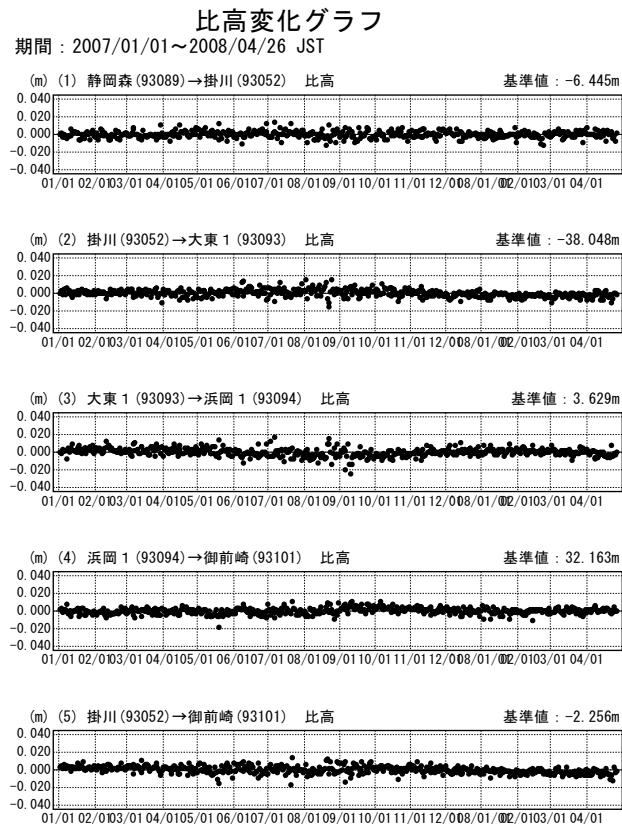
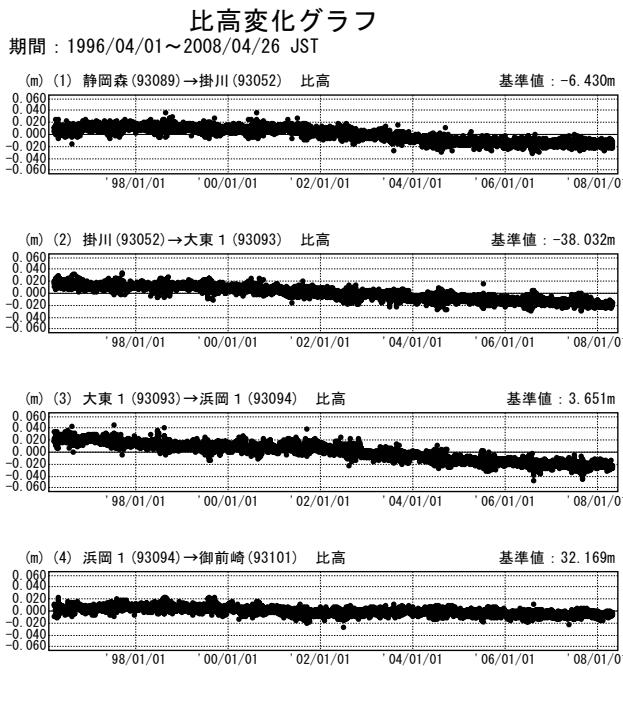
● ---[F2:最終解]



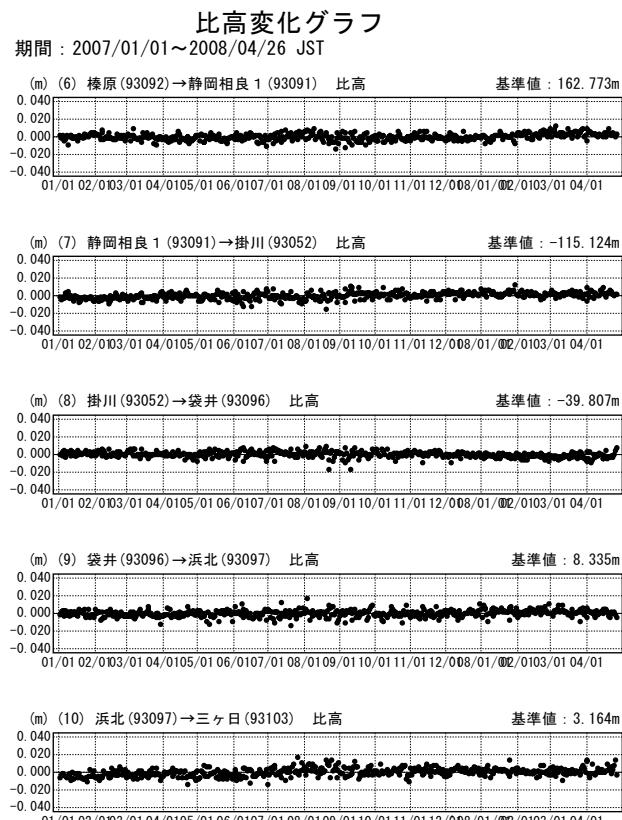
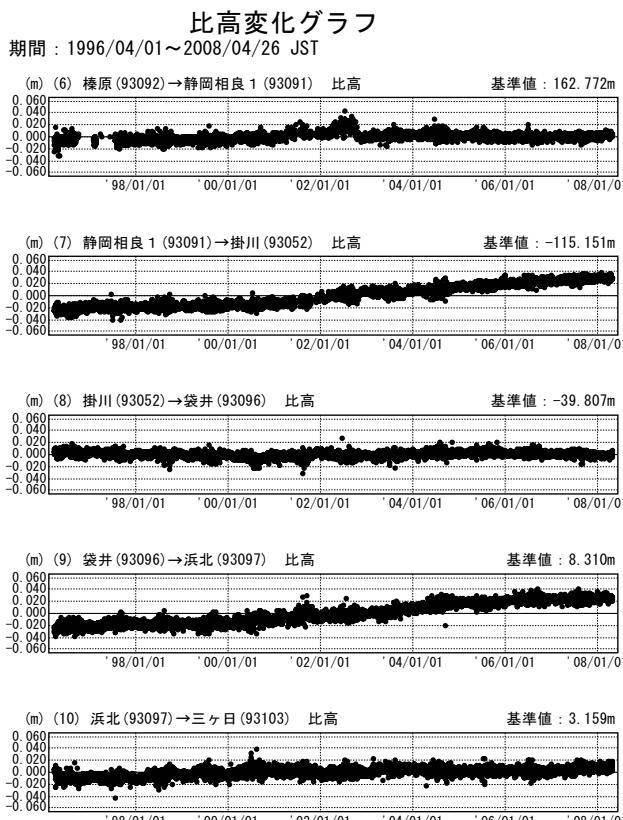
● ---[F2:最終解]

第21図 御前崎周辺G P S連続観測点観測結果(斜距離)

Fig. 21 Results of continuous GPS measurements in the Omaezaki region (distance).



● ---[F2:最終解]

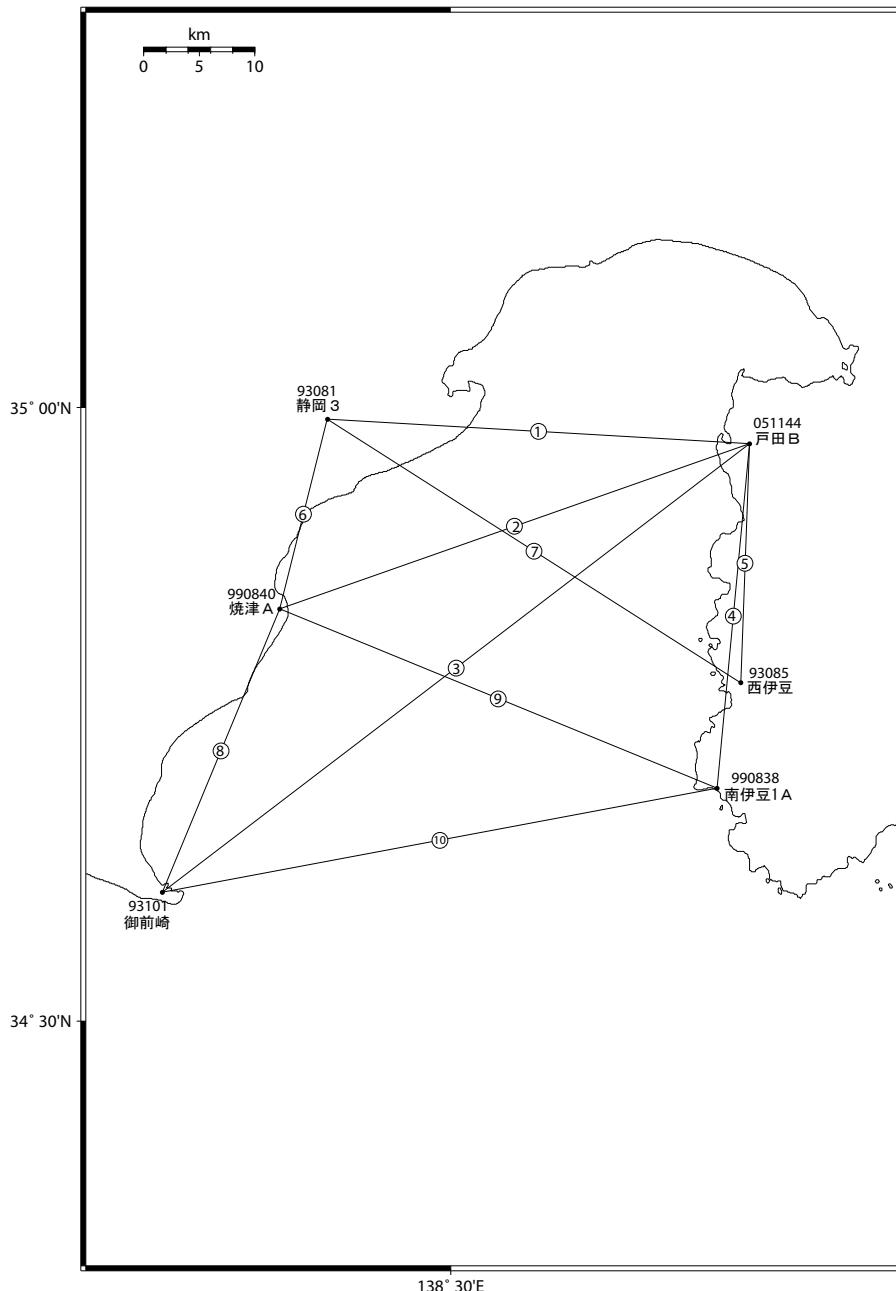


● ---[F2:最終解]

第22図 御前崎周辺G P S 連続観測点観測結果（比高）

Fig. 22 Results of continuous GPS measurements in the Omaezaki region (relative height).

駿河湾周辺 GPS 連続観測基線図



駿河湾周辺の各観測局情報

点番号	点名	アンテナ交換		レドーム取り付け	アンテナ高更	周辺伐採
93081	静岡3	2001/3/20	2003/3/20	2003/3/13		2002/6/21 2003/10/24
93085	西伊豆	2001/3/19	2003/2/26	2003/2/26	2003/5/22	
93101	御前崎		2003/2/28	2003/2/11		
990838	南伊豆1A		2003/3/12			
051144	戸田B					
990840	焼津A		2003/6/18			

※2003/3/5に基準局92110(つくば1)のアンテナおよびレドームの交換を実施し、解析値に補正をしています。

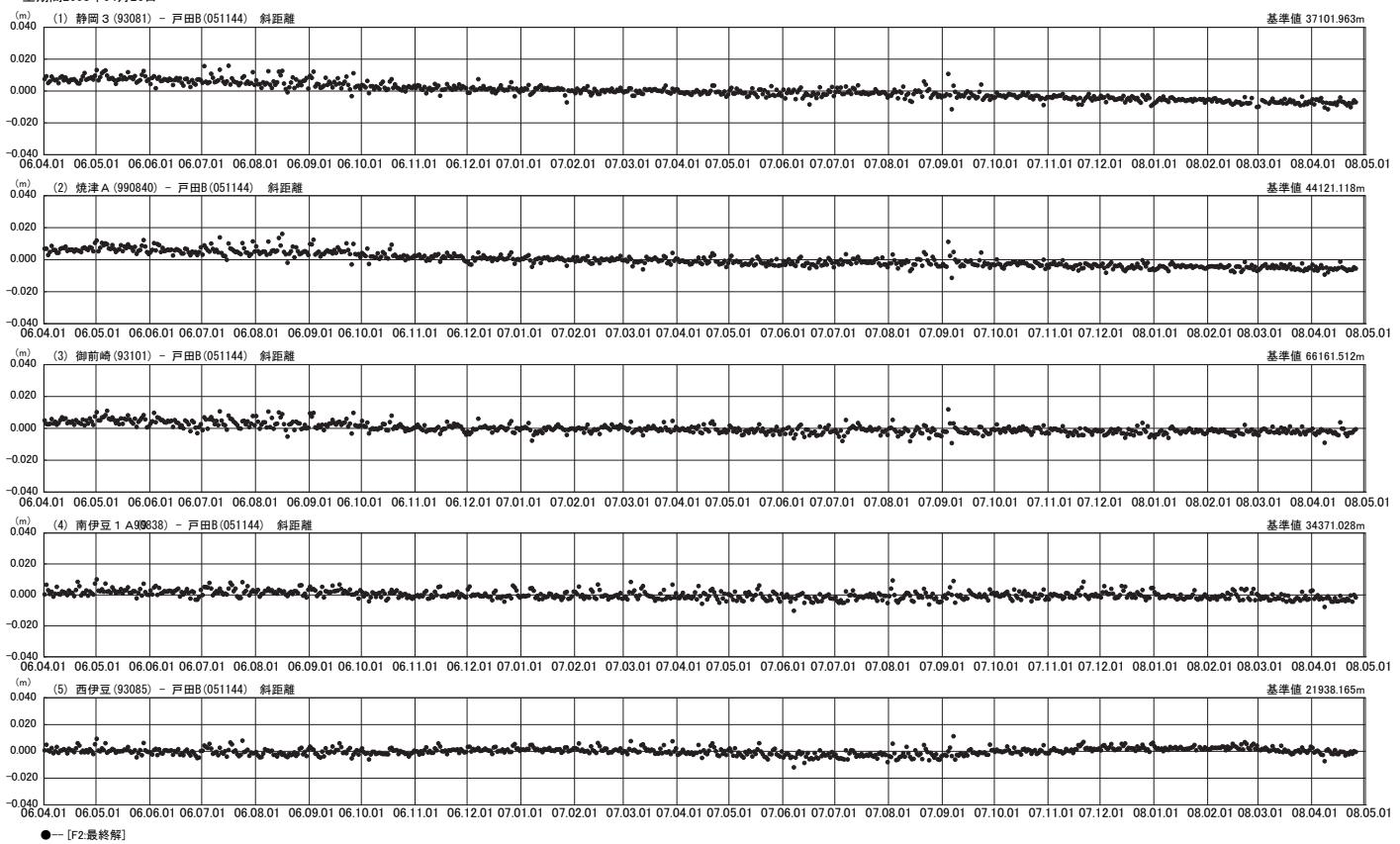
※戸田Bは2005/11/15移転(戸田A→戸田B)。戸田Aアンテナ交換: 2003/5/20

第23図 駿河湾周辺GPS連続観測点観測結果(基線図および保守状況)

Fig. 23 Results of continuous GPS measurements around the Suruga Bay (Baseline map and history of maintenance).

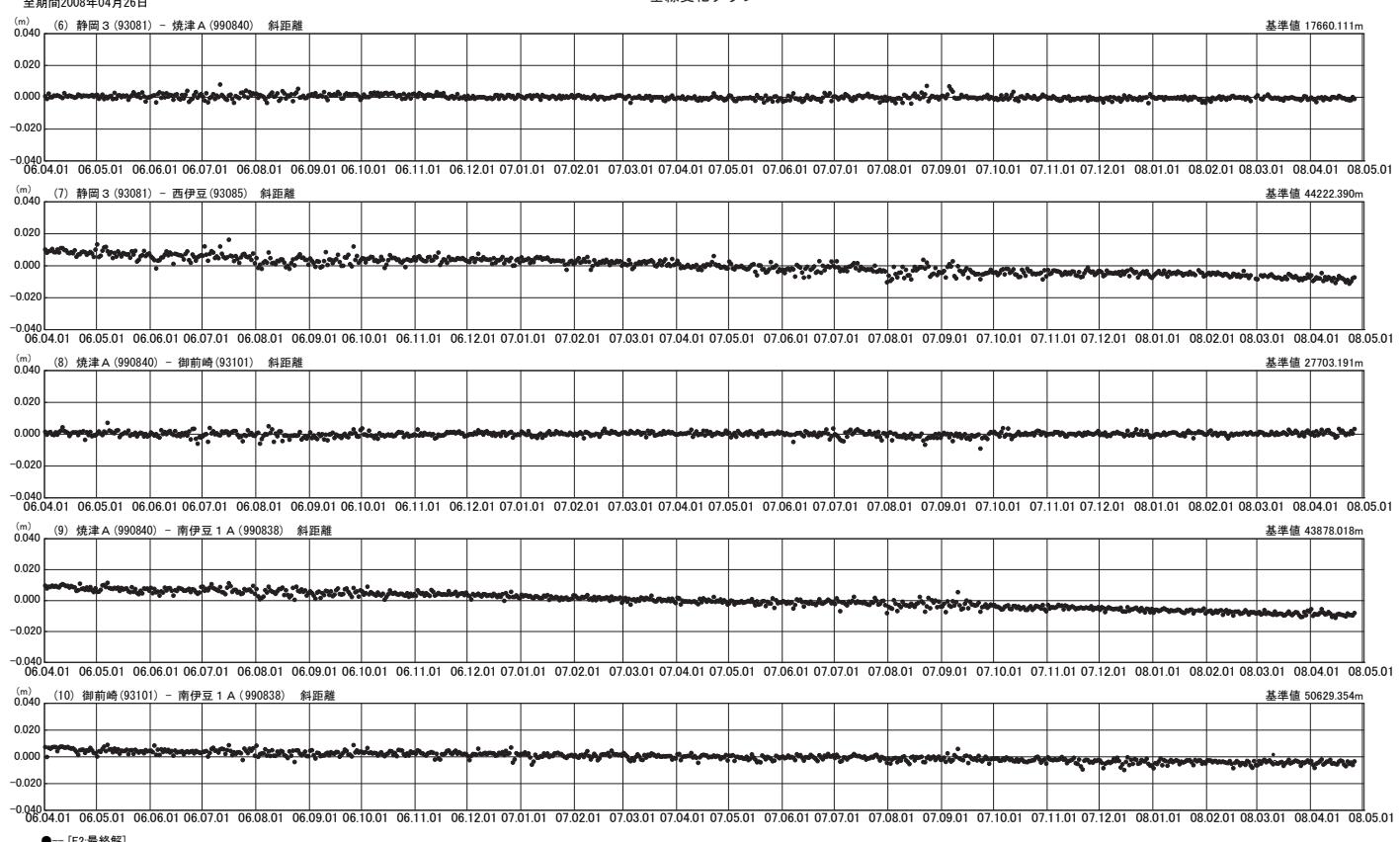
自期間2006年04月01日
至期間2008年04月26日

基線変化グラフ



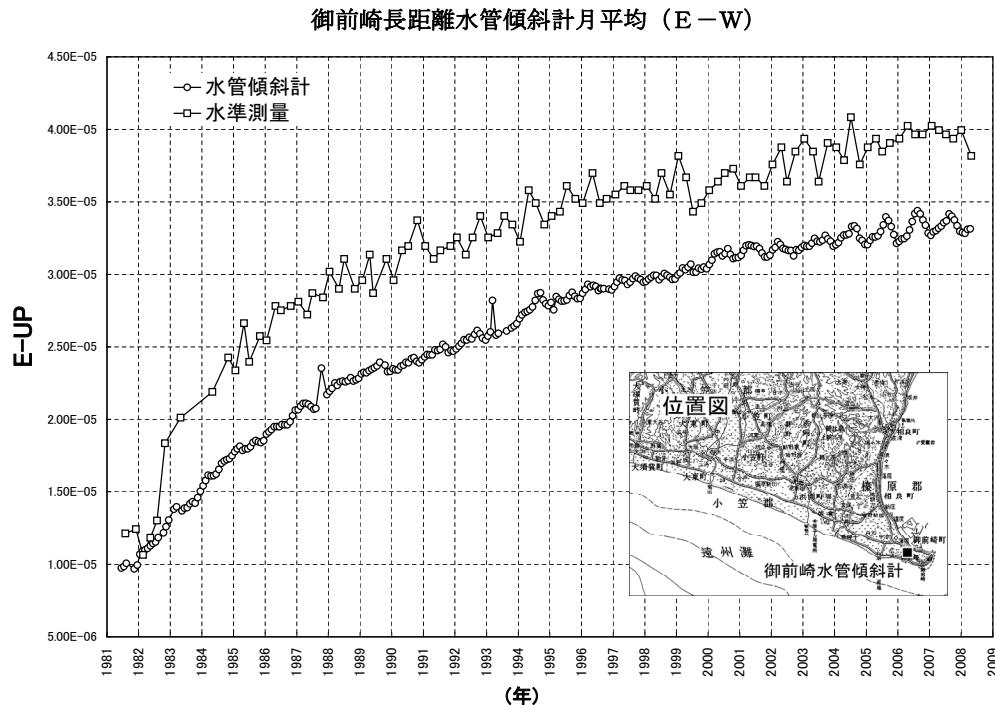
自期間2006年04月01日
至期間2008年04月26日

基線変化グラフ



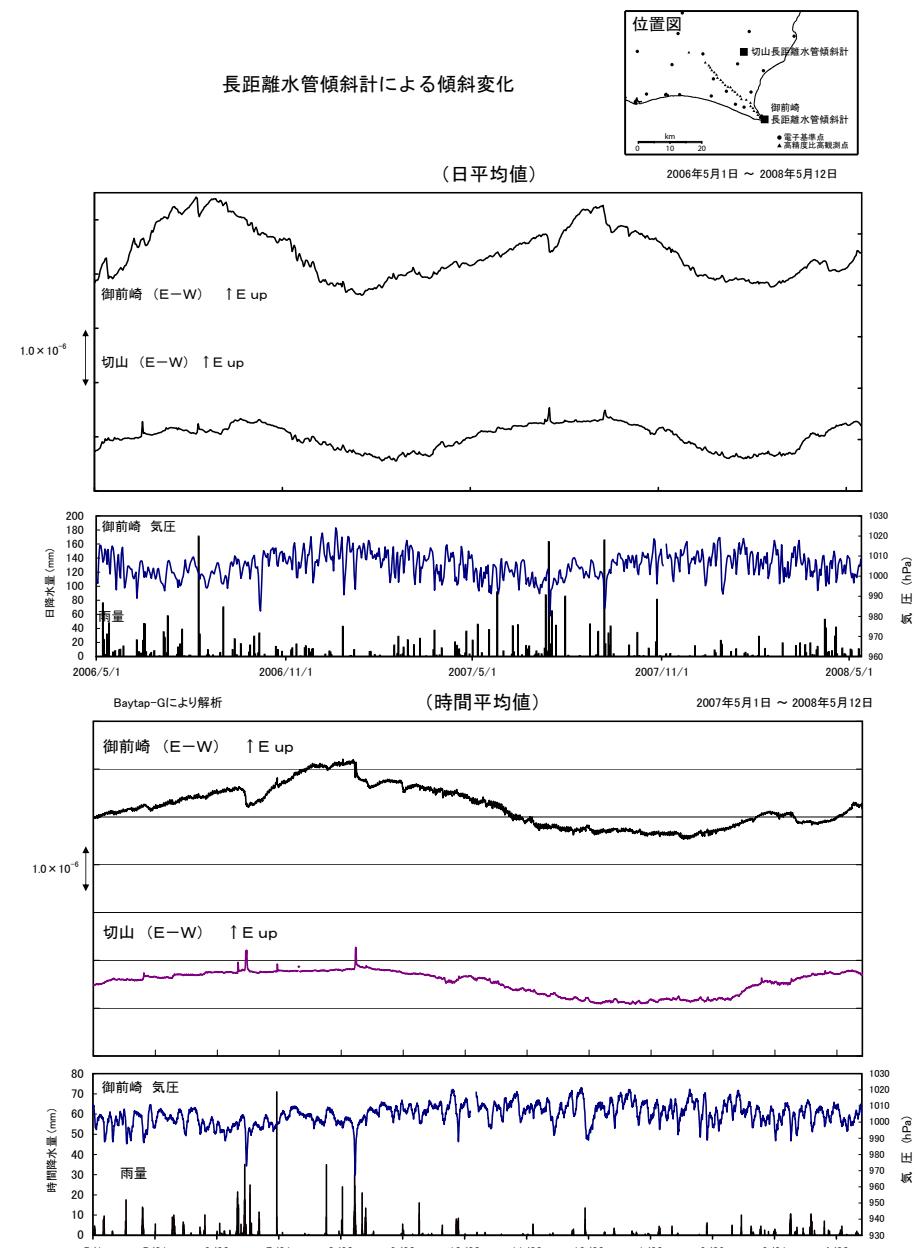
第24図 駿河湾周辺G P S連続観測点観測結果(斜距離)

Fig. 24 Results of continuous GPS measurements around the Suruga Bay (distance).



第25図 御前崎長距離水管傾斜計による傾斜観測結果

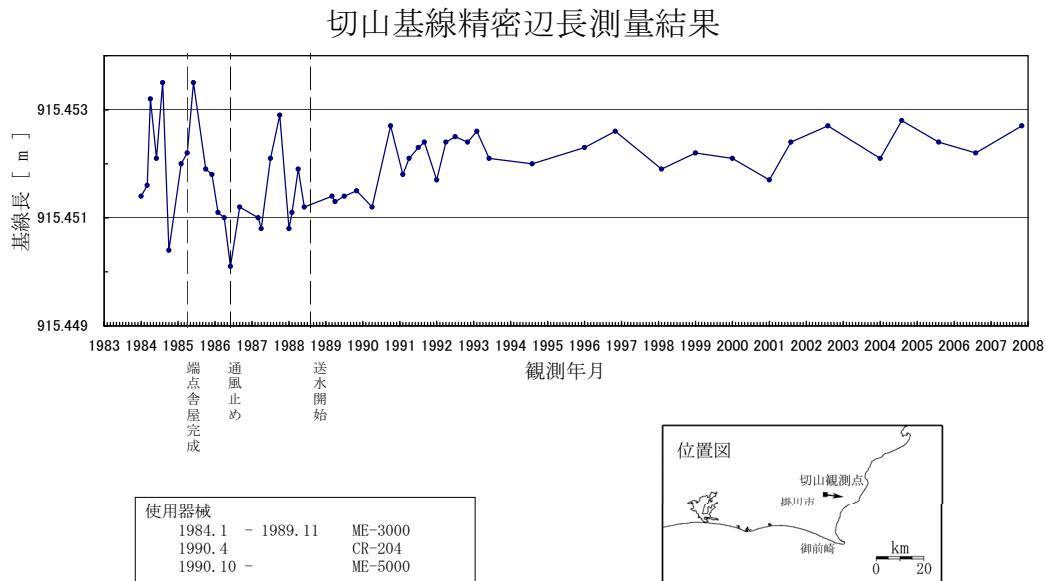
Fig. 25 Results of tilt observation by long water tube tiltmeter at Omaezaki.



第26図 御前崎長距離水管傾斜計及び切山長距離水管傾斜計による傾斜観測結果

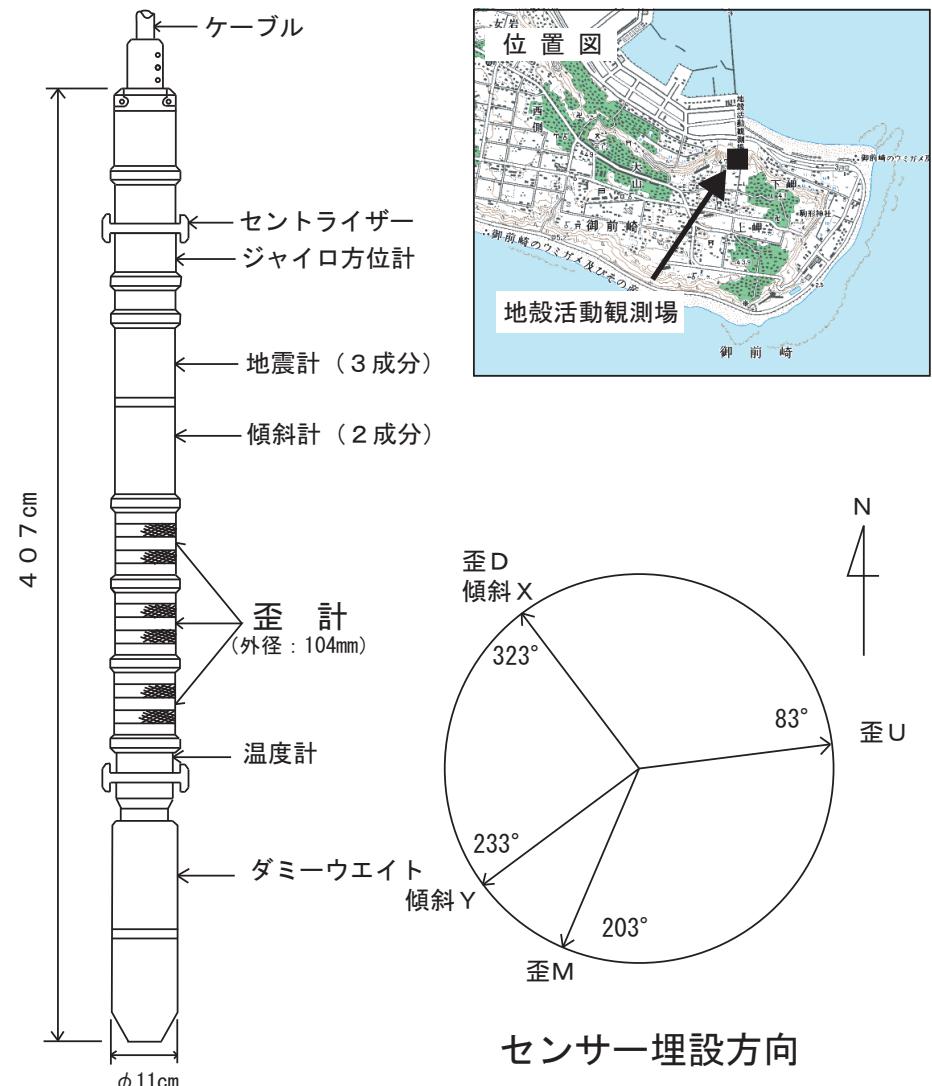
Fig. 26 Results of tilt observation by long water tube tiltmeter at Omaezaki and Kiriyama.

御前崎地中地殻活動観測施設

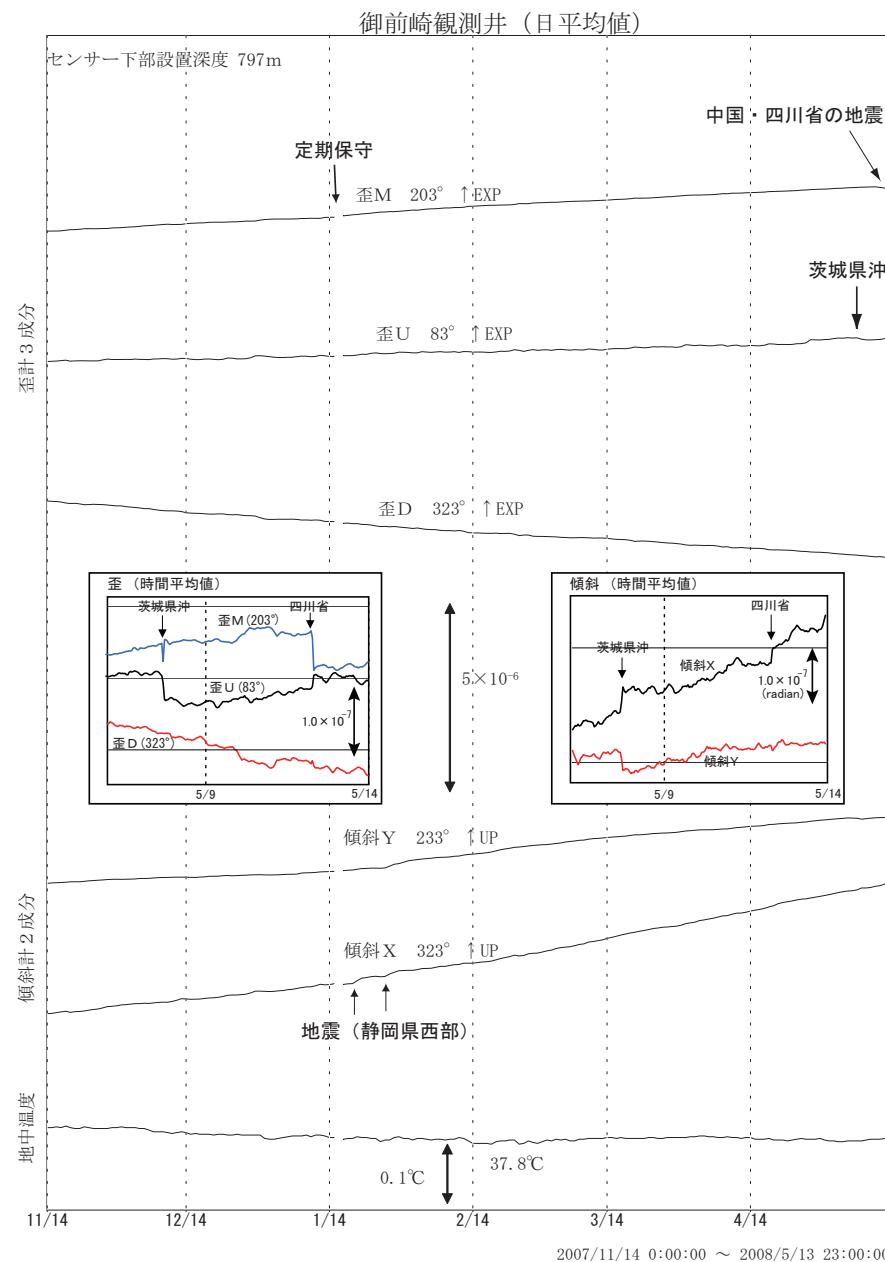


第27図 光波測距による切山地区精密辺長測量結果
Fig. 27 Results of repeated precise measurements of baseline distance by EDM at Kiriyama.

観測装置

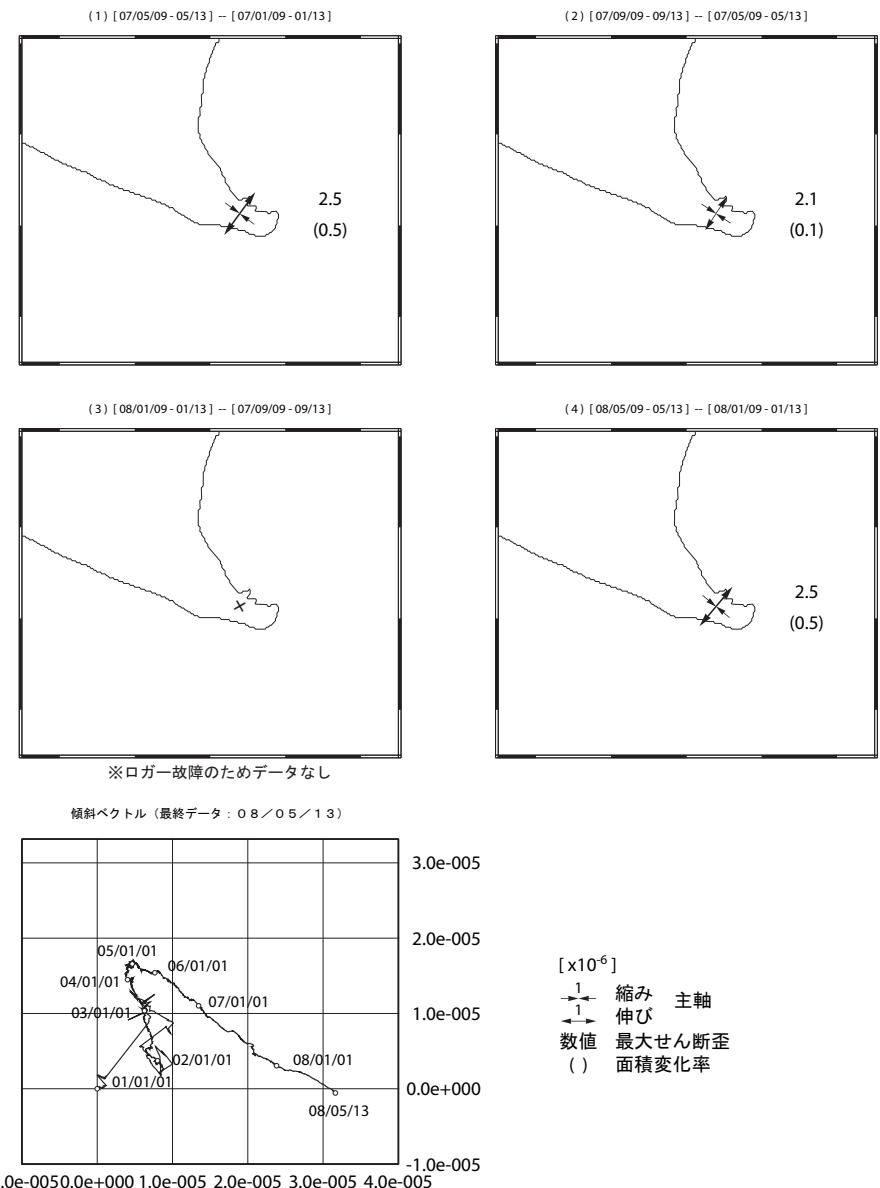


第28図 御前崎地中地殻活動監視装置による連続観測結果(観測点概観)
Fig. 28 Results of continuous measurements of tilt and strain in the Omaezaki deep borehole (General view of observation site and sensor).



第29図 御前崎地中地殻活動監視装置による連続観測結果（日平均値）
Fig. 29 Results of continuous measurements of tilt and strain in the Omaezaki deep borehole (Daily mean value).

御前崎地中地殻観測施設による水平歪および傾斜ベクトル



第30図 御前崎地中地殻活動監視装置による連続観測結果（水平歪および傾斜ベクトル）

Fig. 30 Results of continuous measurements of tilt and strain in the Omaezaki deep borehole (Horizontal strain and tilt vector).

御前崎における絶対重力変化
Absolute Gravity Change at Omaezaki

国 土 地 理 院
東 京 大 学 地 震 研 究 所
Geographical Survey Institute
Earthquake Research Institute, University of Tokyo

[1] はじめに

駿河湾地域の重力変化の監視を目的として、国土地理院と東京大学地震研究所は協力して、御前崎市において繰り返し絶対重力測定を実施している。今回は1996年7月以降、2007年12月までに行った測定について報告する。

[2] 測定について

測定地点は、国土地理院・御前崎地殻活動観測場へ1996年7月に移設した御前崎基準重力点(OMZ-FGS)である。図1に測定地点の位置を○で示す。

使用器械は、Micro-g LaCoste社製の絶対重力計 FG5(シリアル番号は国土地理院が#104, #201または#203、地震研究所が#109または#212)である。

表1および図2に測定結果、表2には各種補正に関する情報をまとめた。絶対重力実測値の誤差は1例を除いていずれも0.001mGal以下である。ばらつきが大きいものの、長期的に重力値は増加傾向にあるように見える。重力値に回帰直線をあてはめて計算すると、重力の変化率は約0.0005mGal/年となる。一方、加藤&津村(1979)の解析方法による御前崎験潮場の上下変動によれば、御前崎の沈降速度は7.78mm/年である。この沈降速度から期待される重力変化は、フリーエア勾配(0.003mGal/cm)を仮定した場合約0.0023mGal/年、ブーゲー勾配(0.002mGal/cm)を仮定した場合約0.0016mGal/年であり、実測値から推定された約0.0005mGal/年より大きい。

図表中GSIとは国土地理院、ERIとは東京大学地震研究所を表す。また、絶対重力値は金属標の130.0cm直上における値である。



図1 御前崎基準重力点の位置

Fig. 1 Site Location of OMZ-FGS

第31図 御前崎における絶対重力変化
Fig. 31 Absolute gravity change at Omaezaki.

表 1 御前崎基準重力点における絶対重力値

Table.1 Absolute Gravity Value at OMZ-FGS, obtained by using FG5 Absolute Gravimeters

測定年月	機器番号 (実施機関)	絶対重力値 [mGal]	有効落下数	標準偏差*
1996年 7月	#201 (GSI)	979752.0770± 0.0002	16,611	0.0272
1996年 11月	#109 (ERI)	979752.0830± 0.0006	6,467	0.0451
1997年 2月	#201 (GSI)	979752.0852± 0.0003	10,142	0.0304
1997年 5月	#201 (GSI)	979752.0809± 0.0002	21,758	0.0230
1997年 7月	#109 (ERI)	979752.0865± 0.0005	15,937	0.0684
1997年 10月	#201 (GSI)	979752.0824± 0.0002	17,895	0.0277
1997年 12月	#109 (ERI)	979752.0862± 0.0010	5,585	0.0733
1998年 2月	#203 (GSI)	979752.0803± 0.0006	28,437	0.0929
1998年 7月	#203 (GSI)	979752.0823± 0.0004	39,339	0.0710
1998年 9月	#109 (ERI)	979752.0887± 0.0008	7,564	0.0667
1998年 12月	#203 (GSI)	979752.0854± 0.0004	11,693	0.0457
1999年 3月	#109 (ERI)	979752.0848± 0.0003	6,813	0.0255
1999年 7月	#203 (GSI)	979752.0850± 0.0002	26,038	0.0327
1999年 9月	#109 (ERI)	979752.0863± 0.0003	8,318	0.0232
2000年 1月	#109 (ERI)	979752.0905± 0.0002	11,468	0.0256
2000年 3月	#203 (GSI)	979752.0905± 0.0006	5,956	0.0438
2000年 3月	#109 (ERI)	979752.0913± 0.0004	6,809	0.0340
2000年 6月	#203 (GSI)	979752.0866± 0.0003	12,042	0.0331
2000年 12月	#201 (GSI)	979752.0882± 0.0001	13,699	0.0155
2001年 9月	#201 (GSI)	979752.0895± 0.0001	12,542	0.0161
2002年 1月	#212 (ERI)	979752.0824± *****	8,299	*****
2004年 3月	#109 (ERI)	979752.0953± 0.0002	11,263	0.0232
2004年 9月	#212 (ERI)	979752.0910± 0.0001	11,892	0.0122
2005年 2月	#109 (ERI)	979752.0926± 0.0002	11,455	0.0018
2005年 3月	#201 (GSI)	979752.0925± 0.0002	13,826	0.0231
2005年 7月	#109 (ERI)	979752.0900± 0.0004	10,072	0.0043
2005年 10月	#201 (GSI)	979752.0933± 0.0001	6,701	0.0110
2006年 3月	#201 (GSI)	979752.0926± 0.0003	8,761	0.0241
2006年 8月	#109 (ERI)	979752.0913± 0.0004	10,563	0.0038
2007年 12月	#201 (GSI)	979752.0958± 0.0001	7,474	0.0127

(*): 有効落下データ(ERI:2005年からは有効セット重力)の標準偏差をあらわす.

(****): 統計的に見積もった誤差は 0.0001mGal(#212)であるが, レーザー周波数の不安定のため,

0.005mGal 程度を見込む.

第32図 御前崎における絶対重力変化
Fig. 32 Absolute gravity change at Omaezaki.

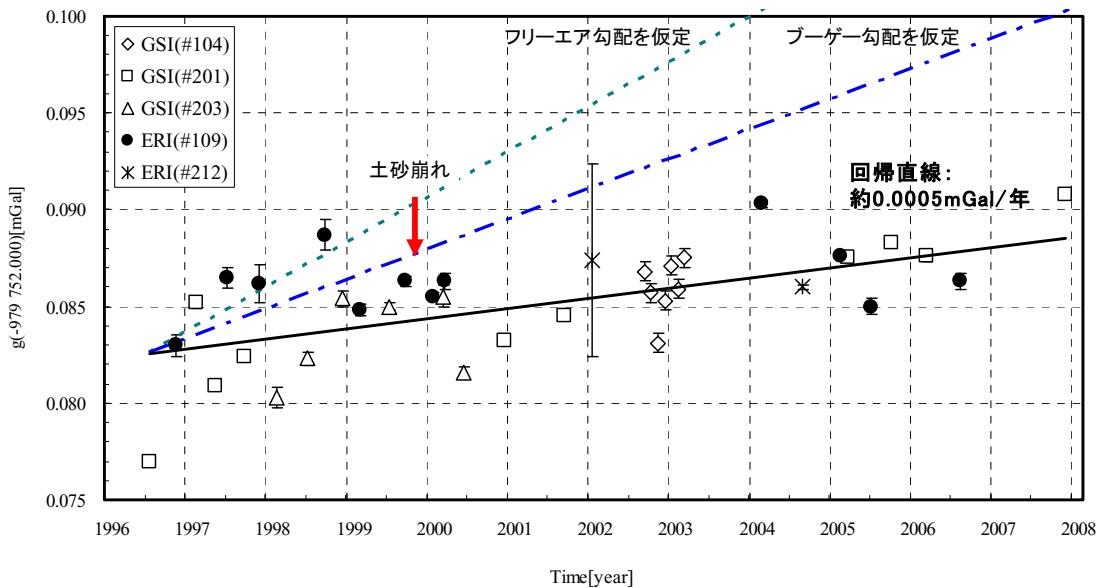


図2 1996年7月以降の御前崎基準重力点における重力変化

Fig. 2 Absolute Gravity Change at OMZ-FGS since July 1996

説明: 1999年10月27日, 豪雨により土砂崩れが発生した. 観測地点から20m離れた場所で, 高さ10m幅5mの土砂が崩落した. この影響をモデル計算から0.005mGalの重力増大効果と推定した. 図中の土砂崩れ以降の重力値にはこの影響を補正している. 2002年1月のデータの統計的な誤差は0.0001(#212)であるが, レーザ一周波数の不安定のため, 0.005mGal程度を誤差として見込む.

表2 各種補正情報

Table. 2 Auxiliary Information

測定点の緯度・経度・標高	34.6006° N, 138.2289° E, 6m
器械高の化成	重力値は金属標の上面から130.0cm直上に化成 重力鉛直勾配 $dg/dh = -0.2545 \text{mGal/m}$
固体潮汐 δ ファクター	処理ソフト既定値(ただし, 永久潮汐については1.0)
気圧補正	アドミッタンスは0.0003mGal/hPa 標準大気圧は標高にもとづき1012.53hPa
極潮汐補正	IERS Bulletin Bによる極位置を使用, δ ファクター=1.164
海洋潮汐補正	ERI値はSchwiderskiもしくはGOTIC2で補正 GSI値は2004年までは補正なし(最終重力値への影響は0.001mGal以下), 2005年以降はSchwiderskiで補正
処理ソフト	1996年から2001年はOlivia Ver.2.2 2002年から2004年はFG5#109,#212はOlivia Ver.3.14, FG5#104はg Ver.3 2005年からFG5#109はg Ver.5, FG5#201はg Ver.4

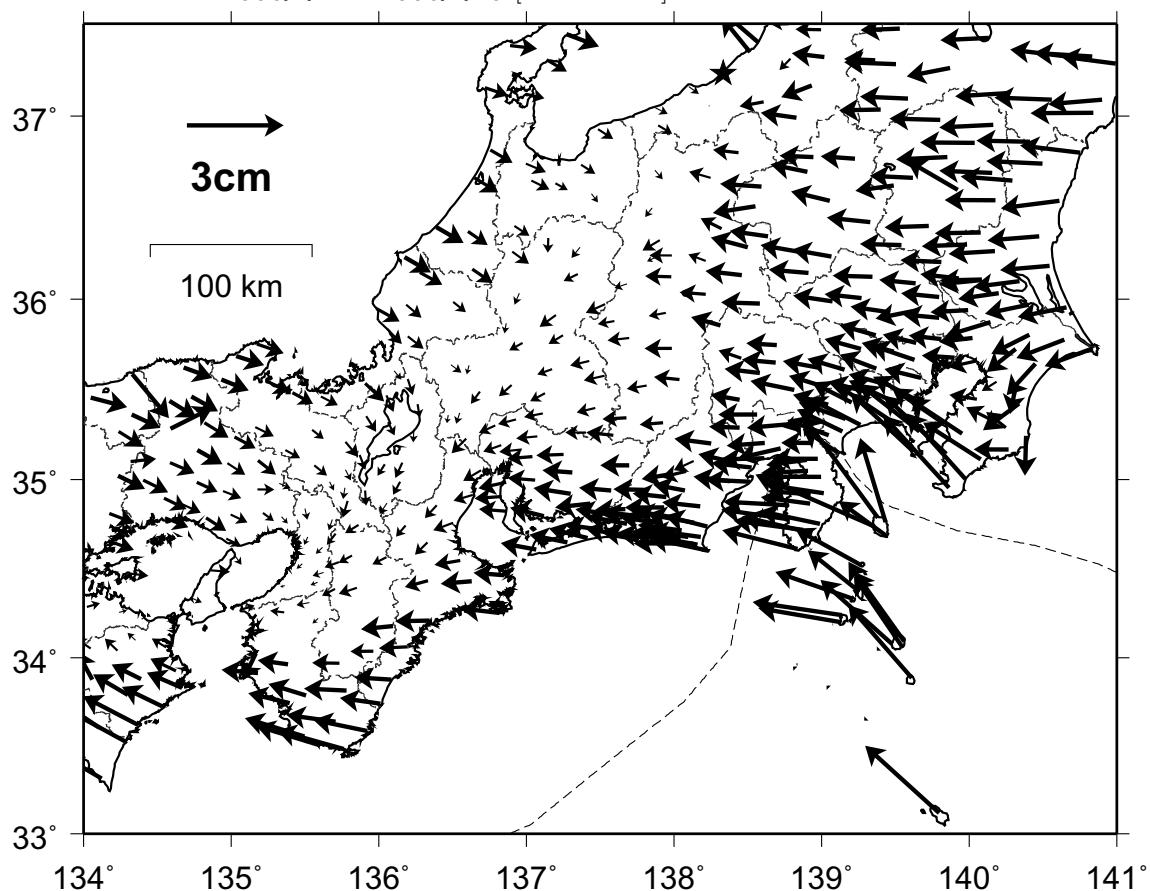
第33図 御前崎における絶対重力変化
Fig. 33 Absolute gravity change at Omaezaki.

東海地方の最近の地殻変動（水平変動）【大潟固定】

(2007 年 4 月～ 2008 年 4 月)

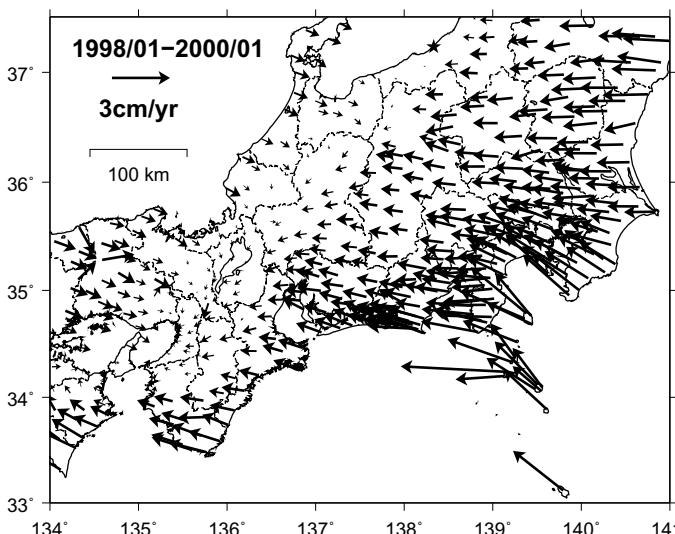
基準期間： 2007/4/17 - 2007/4/26 [F2 : 最終解]

比較期間： 2008/4/17 - 2008/4/26 [F2 : 最終解]

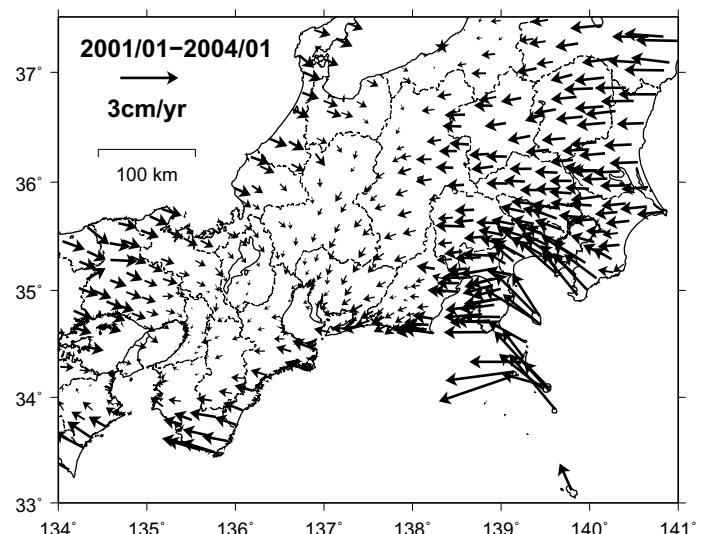


・ 2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震による固定点大潟の地殻変動の影響は取り除いている。

スロースリップ開始以前の地殻変動速度
(1998 年 1 月～ 2000 年 1 月)



スロースリップ進行期の地殻変動速度
(2001 年 1 月～ 2004 年 1 月)



第34図 GPS 観測による東海地方の最近 1 年間の水平変動及びスロースリップ開始前・進行期との比較（大潟固定）

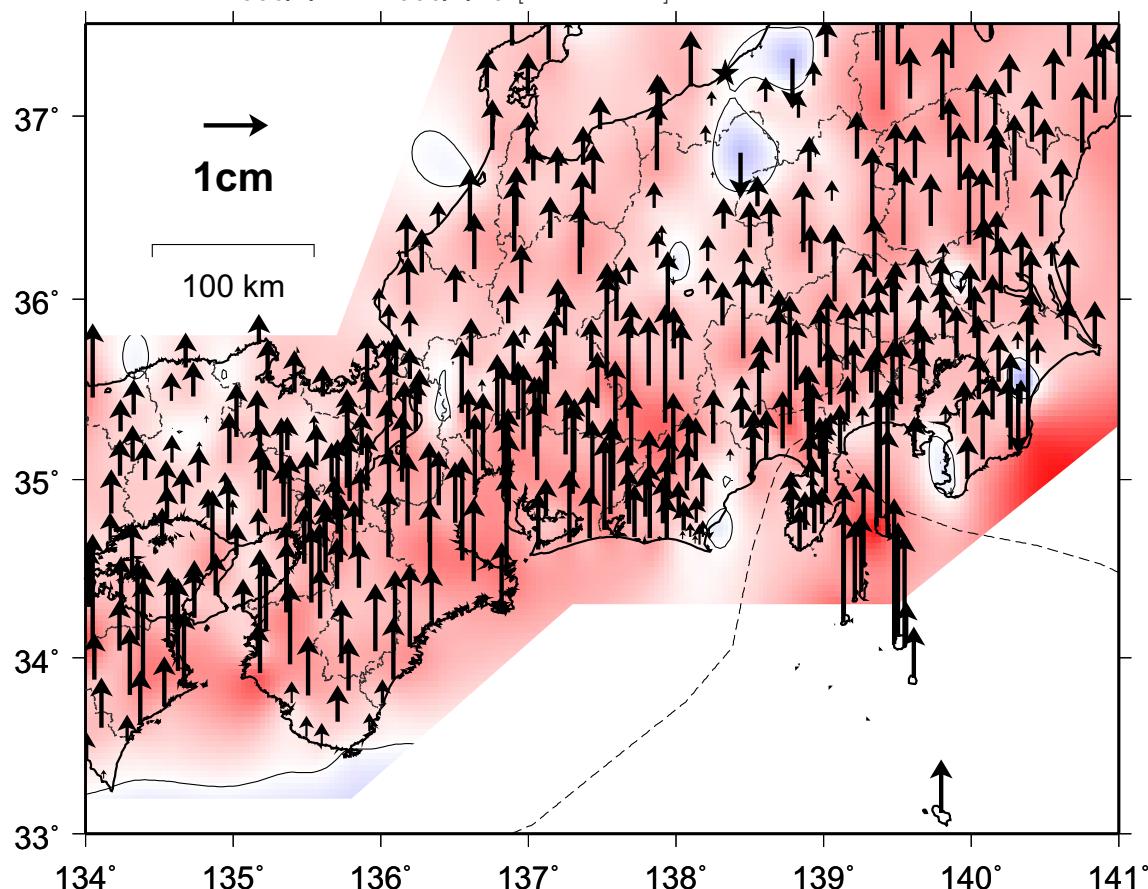
Fig. 34 Horizontal Movements of Tokai Region by GPS Continuous Measurements (1 year) with the comparison of before (lower left) and during (lower right) the slow slip (Ohgata fixed).

東海地方の最近の地殻変動（上下変動）【大潟固定】

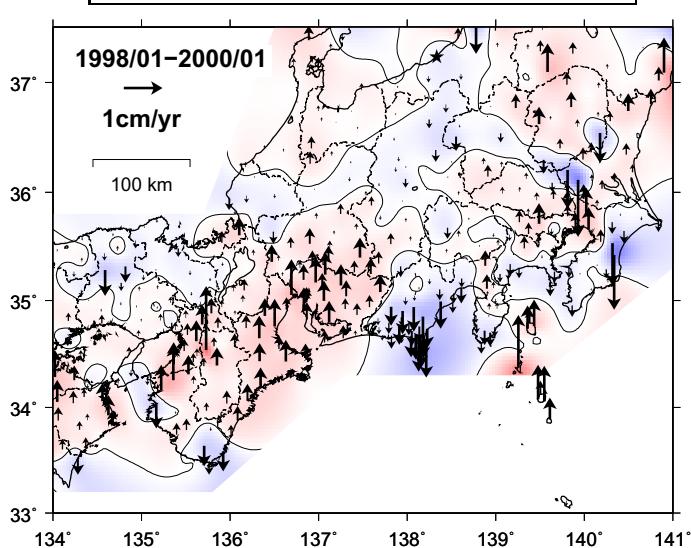
(2007 年 4 月～ 2008 年 4 月)

基準期間： 2007/4/17 - 2007/4/26 [F2 : 最終解]

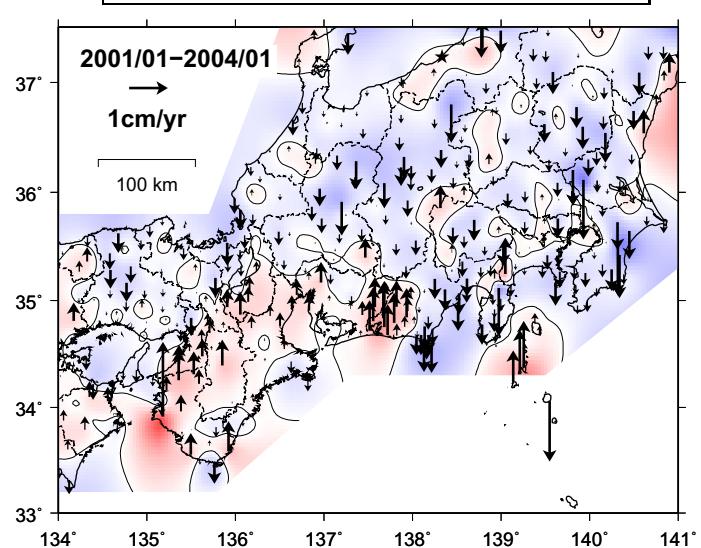
比較期間： 2008/4/17 - 2008/4/26 [F2 : 最終解]



スロースリップ開始以前の地殻変動速度
(1998年1月～2000年1月)



スロースリップ進行期の地殻変動速度
(2001年1月～2004年1月)



第35図 GPS 観測による東海地方の最近 1 年間の上下変動及びスロースリップ開始前・進行期との比較（大潟固定）

Fig. 35 Vertical Movements of Tokai Region by GPS Continuous Measurements (1 year) with the comparison of before (lower left) and during (lower right) the slow slip (Ohgata fixed).

東海スロースリップの推定における
2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震の余効変動の除去について

2008年2月

●今回の報告事項

2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震の余効変動のメカニズムとしては、粘性緩和・余効すべりの2つが考えられる。今回は粘性緩和による余効変動を見積もり、観測された時系列データからその影響を取り除き、東海スロースリップの推定を行った。

●東海スロースリップの推定における時系列解析の流れ

Z. 元の観測データ時系列（大潟固定）

0. 一次トレンド、年周・半年周成分の除去

一次トレンド成分（1997年1月～2000年1月から推定）

年周・半年周成分（1998年1月～2000年1月から推定）

A. 非定常地殻変動時系列 → a：スロースリップの推定（従来通り）

以下の3つのメカニズムが含まれると考えられる。

・2004年紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による変動

・2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる変動

・東海スロースリップによる変動

1. 2004年紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による変動の除去

→ 3次元有限要素法による推定

粘性緩和による変動の推定に影響を与えるもの

・地下構造 . . . 沈み込むプレートの構造

・地震時の変動 . . . 既存の断層モデルを参照し、地震時の変動を再現

・粘性率 . . . 粘性率を変化させ、時系列データに合うものを選択

B. 粘性緩和の影響を取り除いた時系列 → b：スロースリップの推定

以下の2つのメカニズムが含まれると考えられる。

・2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる変動

・東海スロースリップによる変動

第36図 東海スロースリップの推定における2004年紀伊半島南東沖の地震の余効変動の除去について

Fig. 36 Estimation of the postseismic deformation caused by the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake (Part 1).

1. 2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去（1） 【断層モデル・有限要素メッシュ・物性定数】

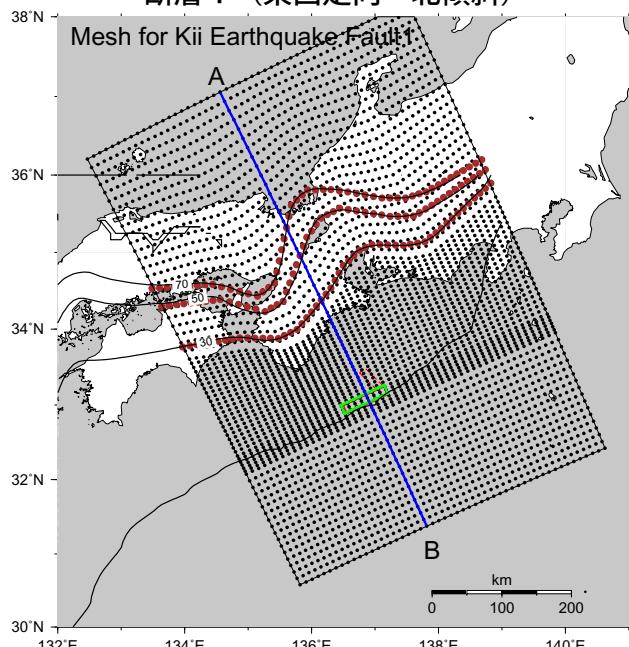
【想定した断層モデル】

	緯度 deg	経度 deg	深さ km	走向 deg	傾斜 deg	すべり角 deg	長さ km	幅 km	すべり量 m
断層 1	33.14	137.21	6.3	245	57	61	66.4	23.6	3.27
断層 2	33.49	136.84	10.6	135	40	131	46.4	13.9	2.14

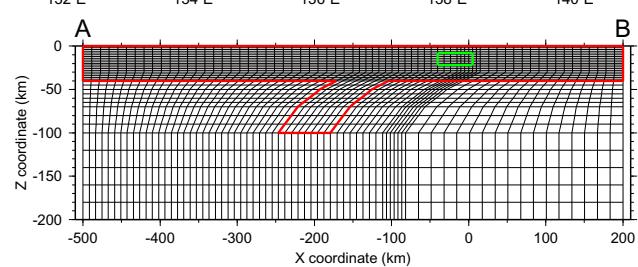
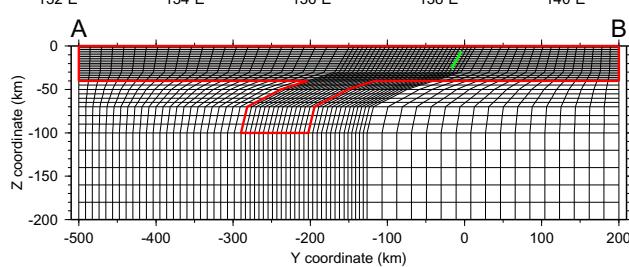
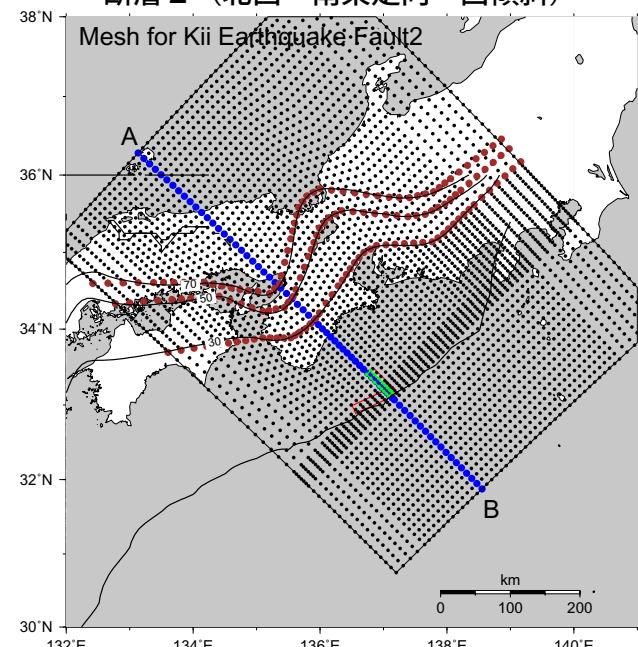
国土地理院（2005）中部・近畿地方の地殻変動、427-463、地震予知連絡会会報第73巻。

【有限要素メッシュ（平面図・断面図）】

・断層1（東西走向・北傾斜）



・断層2（北西-南東走向・西傾斜）



黒線は CAMP モデル (Hashimoto et al., 2004) によるプレート上面の等深線で、参照したのは 30, 50, 70km で、対応する有限要素メッシュの等深線を茶色でしめす。黄緑線は断層の投影面で、断層モデルは国土地理院 (2005) を参考にした。青線は、下の断面図の位置。赤線で囲まれた部分がプレート・地殻を想定して弾性体。厚さは 40km。それ以外の部分は上部マントルを想定して粘弹性体。

【物性定数】

	剛性率 Pa	ポアソン比	粘性率 Pa·s
弹性体	3.30×10^{10}	0.226	—
粘弹性体	5.89×10^{10}	0.273	1.0×10^{19}

・上の断面図で、赤線で囲まれた部分が弾性体、それ以外の部分が粘弹性体（マクスウェル）を想定した。

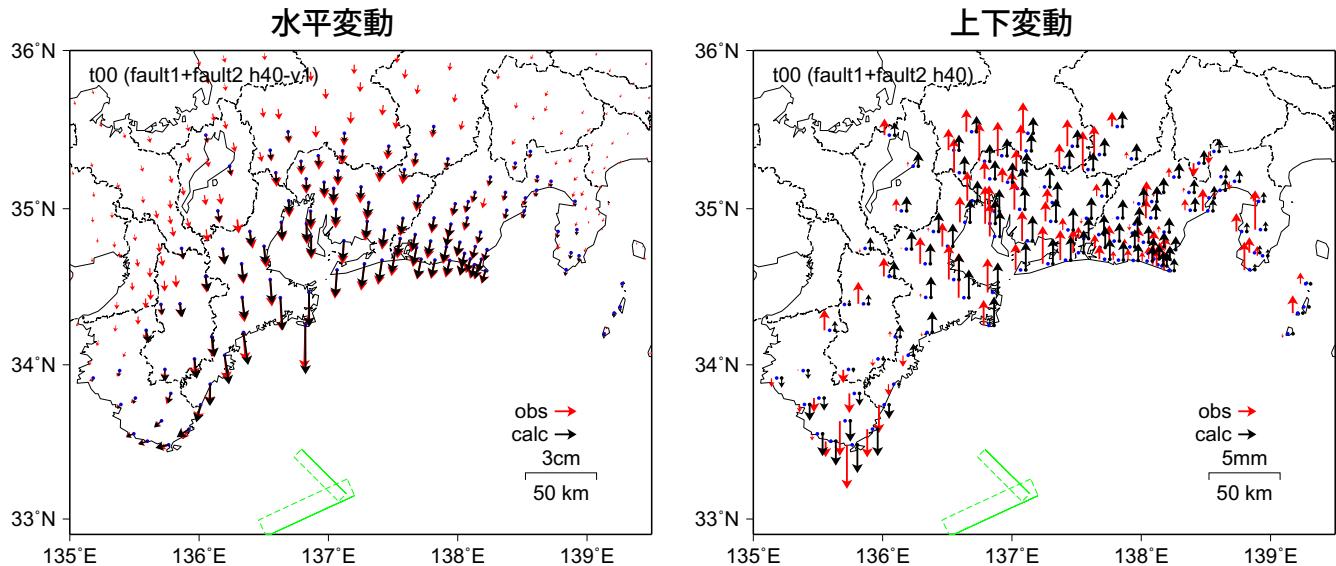
・物性定数は、Suito and Hirahara (1999) を参照。ただし、粘性率は暫定値。

第37図 紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去(1 / 3)

Fig. 37 Estimation of viscoelastic relaxation following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake.
(1/3)

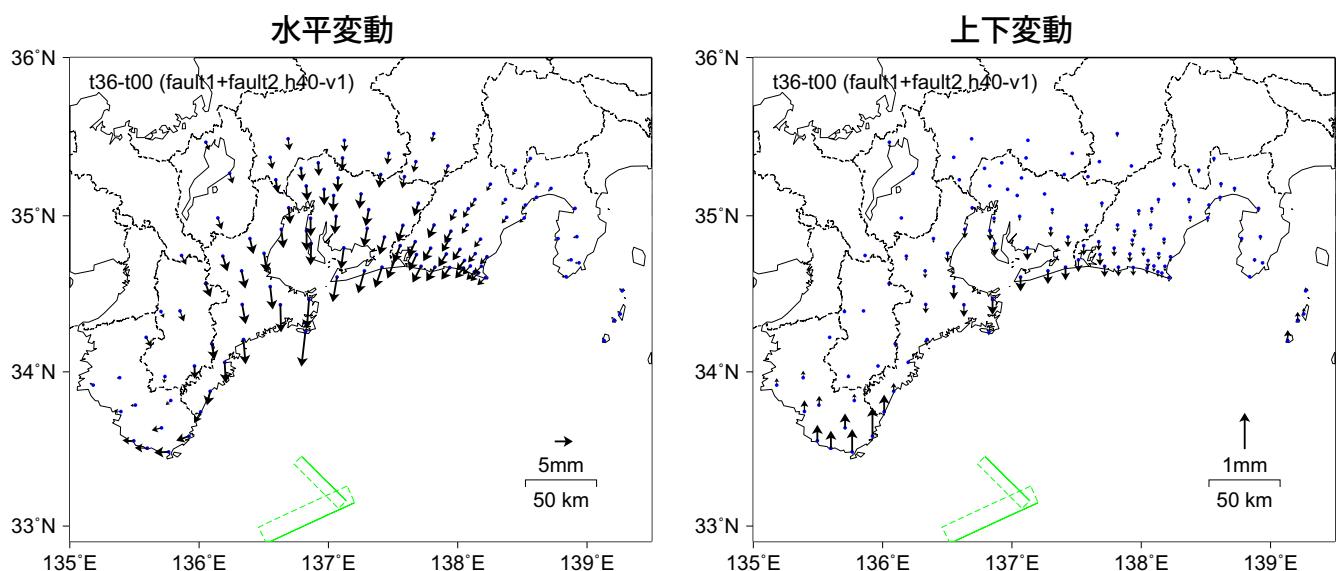
1. 2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去（2） 【地震時と地震後3年間の変動量】

【地震時の変動】



赤矢印は観測値、黒矢印は計算値。緑線は断層の地表への投影面。

【地震後3年間の変動量】

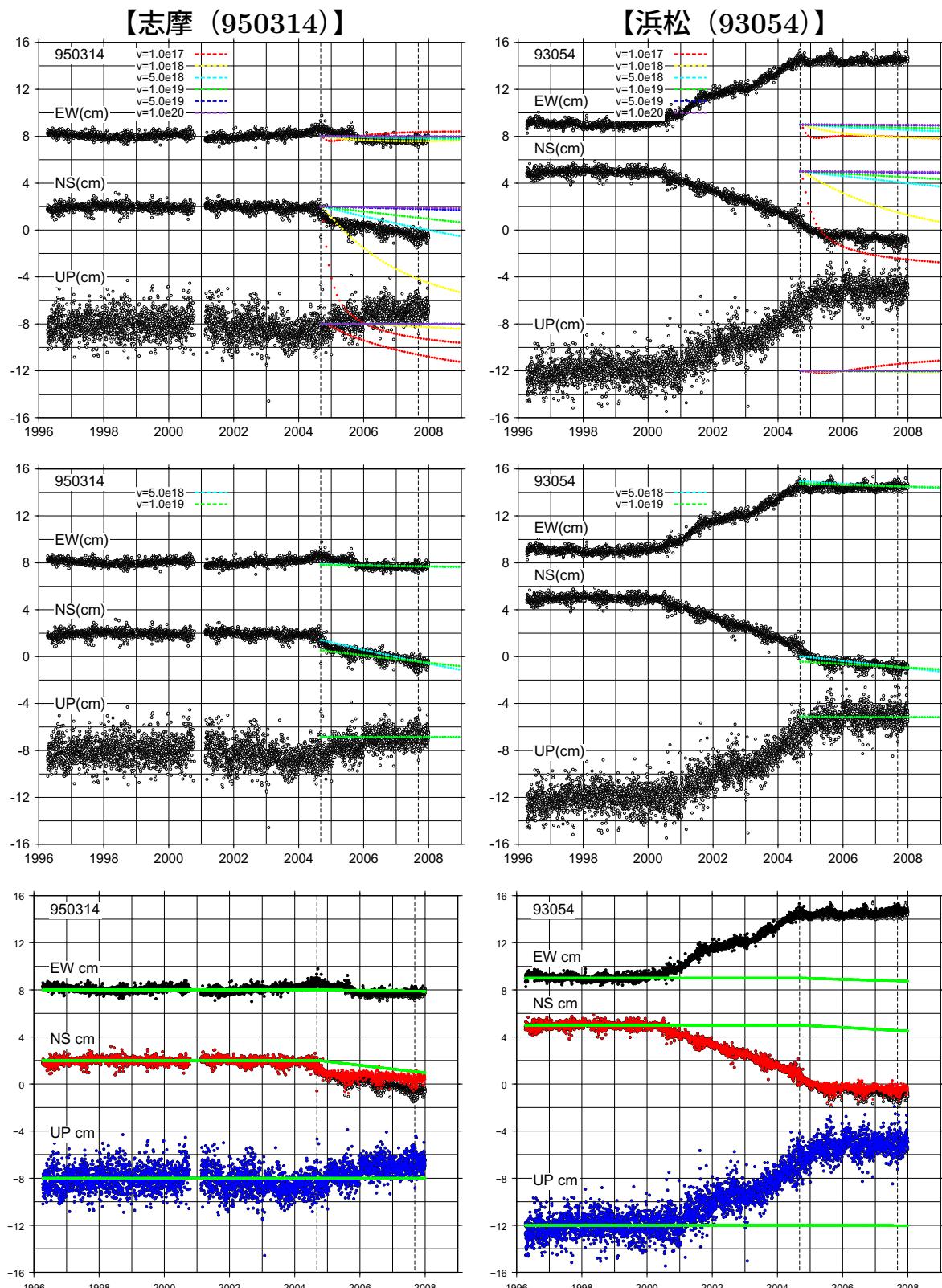


粘性率は、 $1.0 \times 10^{19} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の時の変動量。

第38図 紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去(2/3)

Fig. 38 Estimation of viscoelastic relaxation following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake.
(2/3)

1. 2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去（3） 【非定常地殻変動時系列との比較】



【全図共通】白抜きの点は非定常地殻変動時系列（観測値）。左側の黒点線は紀伊半島南東沖の地震の発生日、右側の黒点線は地震発生から3年後。地震時の変動は取り除いている。

【上段】：色の点線は粘性緩和による変動時系列（計算値）。

【中段】：黄緑、水色線は粘性緩和による変動時系列（計算値）。地震発生から3年後（右側点線）の変動量を基準として表示している。

【下段】：黄緑線は、粘性率 $1.0 \times 10^{19} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の時の粘性緩和による変動時系列（計算値）。色付きの点は、非定常地殻変動時系列（観測値）から粘性緩和による変動時系列（計算値）を取り除いた時系列（観測値 - 計算値）。

第39図 紀伊半島南東沖の地震の粘性緩和による余効変動の除去(3 / 3)

Fig. 39 Estimation of viscoelastic relaxation following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake (3/3)

東海スロースリップの推定における
2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震の余効変動の除去について（その2）

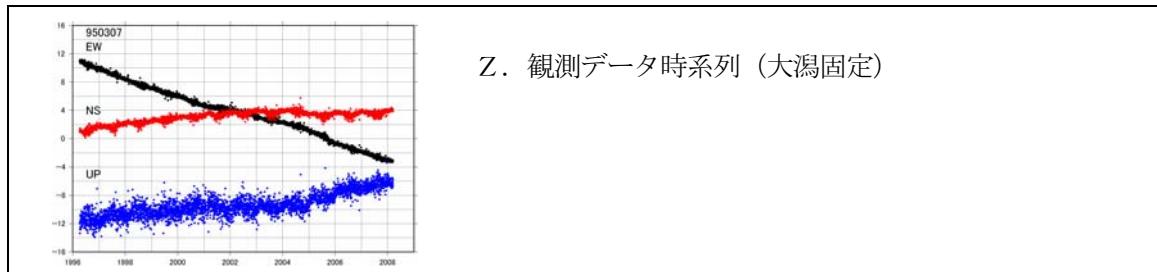
2008年5月

●今回の報告事項

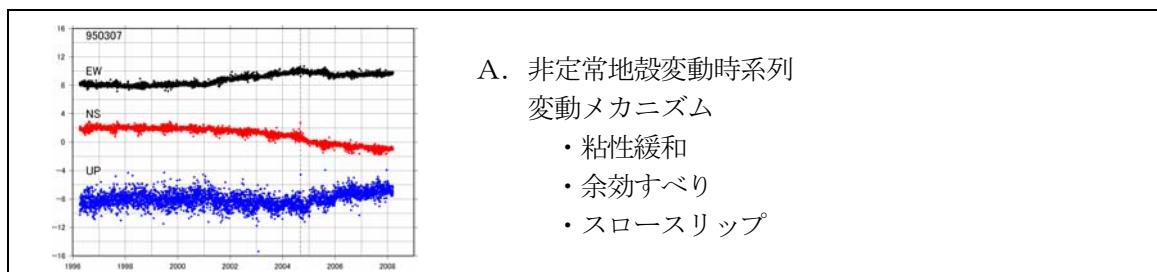
2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震の余効変動のメカニズムとしては、粘性緩和・余効すべりの2つが考えられる。前回（2008年2月の報告）は、粘性緩和による余効変動を見積もり、非定常地殻変動時系列データからその影響を取り除き、東海スロースリップの推定を行った。

今回は、余効すべりによる余効変動時系列（緩和関数で近似）を作成し、粘性緩和除去後の時系列データからその影響を取り除き、東海スロースリップの推定を行った。

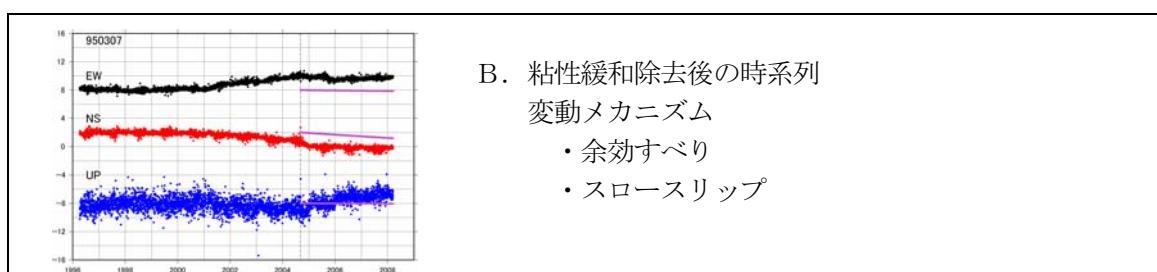
●東海スロースリップの推定における時系列解析の流れ



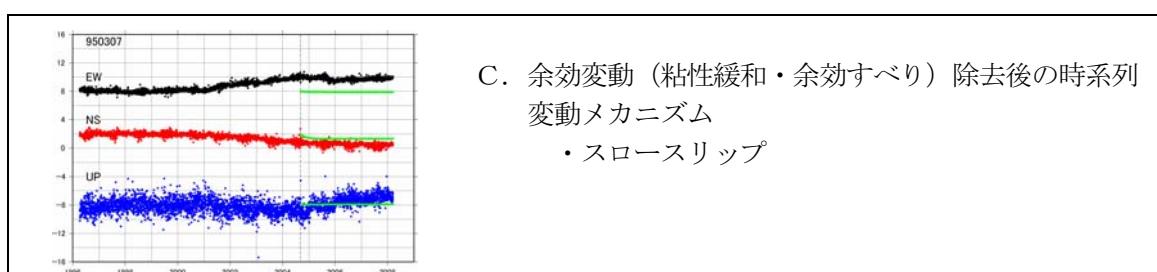
↓ 0. 一次トレンド、年周・半年周成分の除去



↓ 1. 粘性緩和による余効変動の除去



↓ 2. 余効すべりによる余効変動の除去



第40図 東海スロースリップの推定における紀伊半島南東沖の地震の余効変動の除去について
その2

Fig. 40 Estimation of the postseismic deformation caused by the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake (Part 2).

● 2. 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去について

粘性緩和による変動を取り除いた時系列データには、“東海スロースリップ”と“余効すべり”の 2 つのメカニズムによる変動が混在していると考えられる。最終的に求めたいのは、東海スロースリップによる変動である。ここでは、以下に述べるような方法で、余効すべりによる変動時系列(緩和関数で近似)を作成し、粘性緩和による変動を取り除いた時系列データから余効すべりによる変動を取り除き、東海スロースリップによる変動のみを取り出した。余効すべりによる変動時系列の作成において重要なパラメータは、余効すべりによる変動の“時定数”とその“変動量”の 2 つである。

(1) 余効すべりによる変動の時定数の推定(余効すべりの推定 1 ~ 3)

粘性緩和による変動を取り除いた時系列データに対して、緩和関数 “ $u(t)$ ” をあてはめ、係数 a_1, a_2, a_3 を求めた。

$$u(t) = a_1 + a_2 \times \exp(-t/a_3)$$

$u(t)$: 変位, t : 時間

a_1, a_2, a_3 : 係数 (a_1 : オフセット, a_2 : 変動量, a_3 : 時定数)

断層面上で一様な時間変化をする余効すべりによる余効変動のみであれば、どの観測点・成分でも変動の時定数 (a_3) は同じになる。しかし、粘性緩和による変動を取り除いた時系列データには、余効すべりによる変動以外に東海スロースリップによる変動も含まれるため、観測点・成分によって変動の時定数 (a_3) は大きく異なる。そのため以下の 3 つの条件から余効すべりによる変動が支配的であると考えられる観測点を選んだ。

- ①東海スロースリップによる変動が小さい観測点 (115 点中 41 点)
- ②余効すべりによる変動が大きいと考えられる震源域近傍の観測点
- ③余効すべりによる変動が大きいと考えられる南北成分の時定数 (a_{3n}) が 180 日以下の観測点 (115 点中 74 点)

以上の 3 つの条件を満たす観測点は 21 点。この観測点 21 点の南北成分の時定数の平均値 (61.04 日) を余効すべりによる変動の時定数と設定した。

(2) 余効すべりによる変動量の推定(余効すべりの推定 4)

粘性緩和による変動を取り除いた時系列データには、余効すべりによる変動と東海スロースリップによる変動の 2 つが混在している。余効すべりによる変動の時定数は 61.04 日程度((1) の結果)に対して、東海スロースリップによる変動は、少なくとも地震発生後 300 日以上(2005 年夏ごろ)継続していると考えられる。つまり、変動量の推定の期間を長くとると余効変動を過大評価してしまい、逆に短いと過小評価することになる。ここでは、(1) で求めた変動の時定数 (61.04 日) の 2 倍の期間、地震発生後 122.08 日間の変動量を余効すべりによる仮の変動量とした。しかしながら、ここで求めた仮の変動量には、少なからず東海スロースリップによる変動も含まれている。

そこで、この仮の変動量を基に、インバージョンにより余効すべりモデルを作成し、余効すべりで説明できる変動量を推定した。余効すべりモデルの作成にあたって、初期モデルは地震時と同じ断層パラメータを仮定し、走向・傾斜・すべり角を強く拘束し、断層の位置、大きさ、すべり量を求めた。

(3) 余効すべりによる変動時系列の作成(余効すべりの推定 5)

以上の解析から求まった余効すべりによる変動の“時定数 (b_3)”と“変動量 (b_2)”を次式の緩和関数 “ $v(t)$ ” にあてはめ、余効すべりによる変動時系列を作成した。

$$v(t) = b_2 \times \exp(-t/b_3)$$

$v(t)$: 変位, t : 時間, b_2 : 変動量, b_3 : 時定数

(1) で推定した変動の時定数 (b_3 : 61.04 日, 全点・全成分共通) と (2) で推定した余効すべりモデルから計算される変動量 (b_2 : 全点・全成分異なる) から、各観測点・各成分の余効すべりによる変動時系列を作成した。

第41図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去について

Fig. 41 Explanation for estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake.

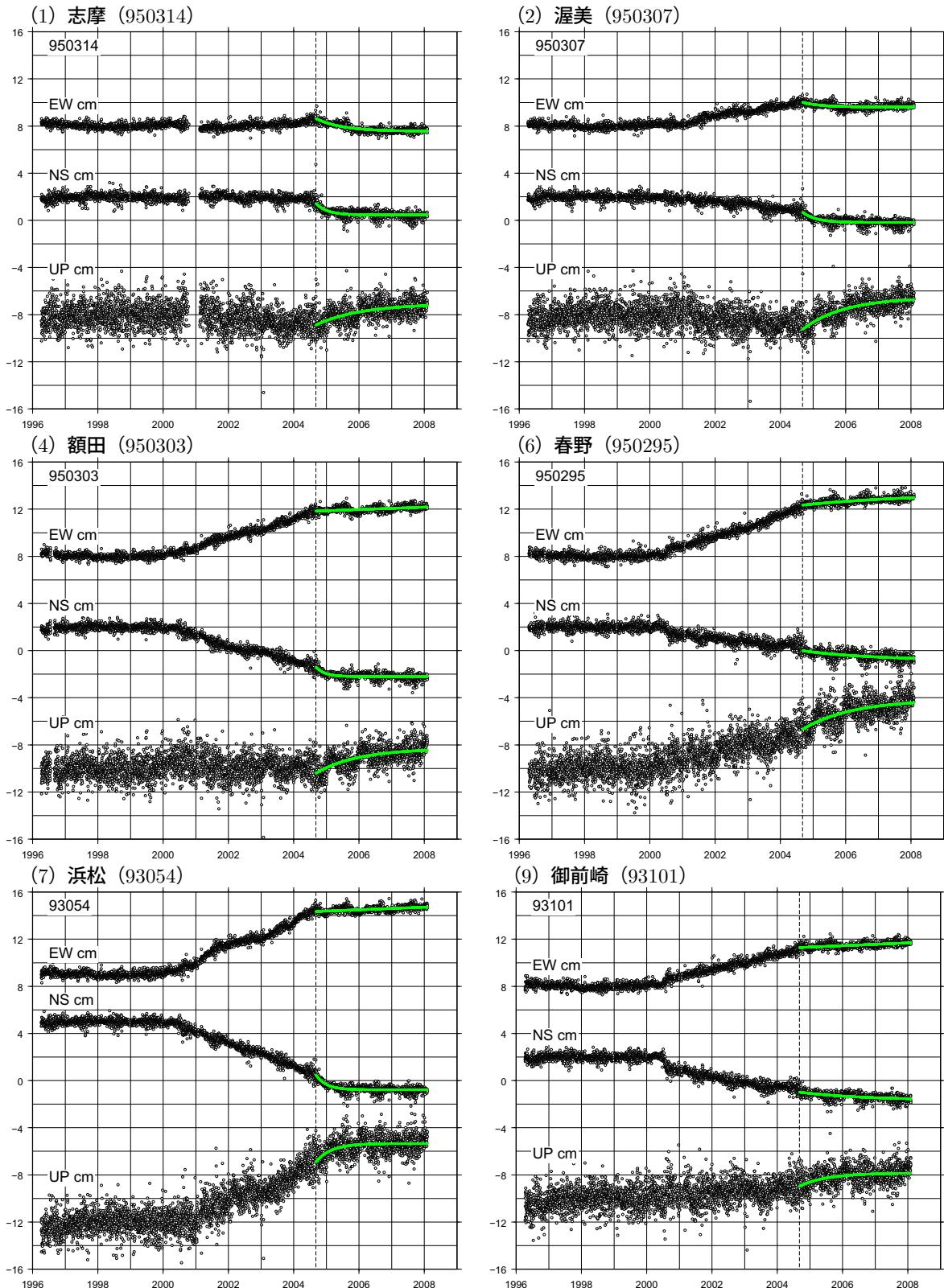
2. 2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（1） 【粘性緩和除去後の時系列への緩和関数のフィッティング】

【想定した緩和関数】

$$u(t) = a_1 + a_2 \times \exp(-t/a_3)$$

$u(t)$: 変位, t : 時間, a_1, a_2, a_3 : パラメータ

【粘性緩和除去後の時系列への緩和関数のフィッティング】

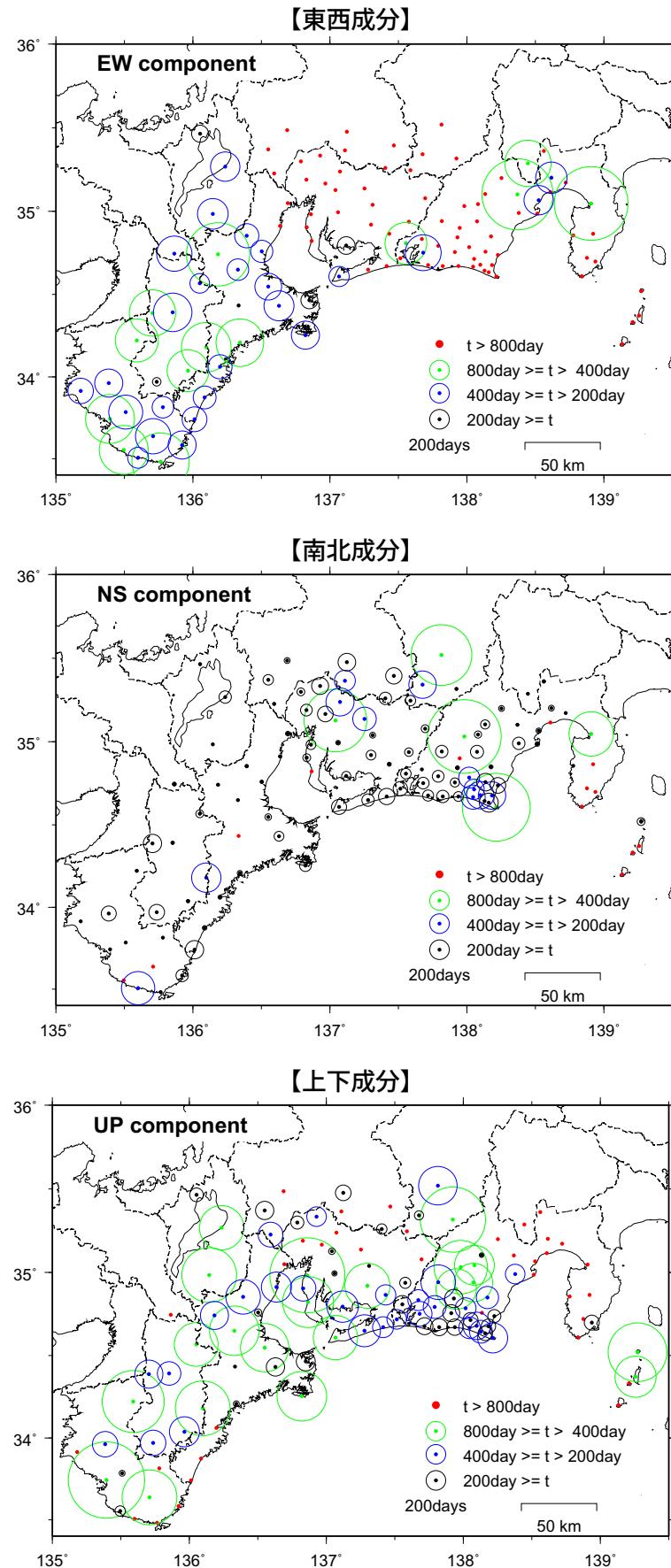


白抜きの点は粘性緩和除去後の時系列。黄緑線は求めた緩和関数 ($u(t)$)。黒点線は、紀伊半島南東沖の地震の発生日。

第42図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（1 / 5）

Fig. 42 Estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake. (1/5)

2. 2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の推定（2） 【推定した緩和関数の時定数】

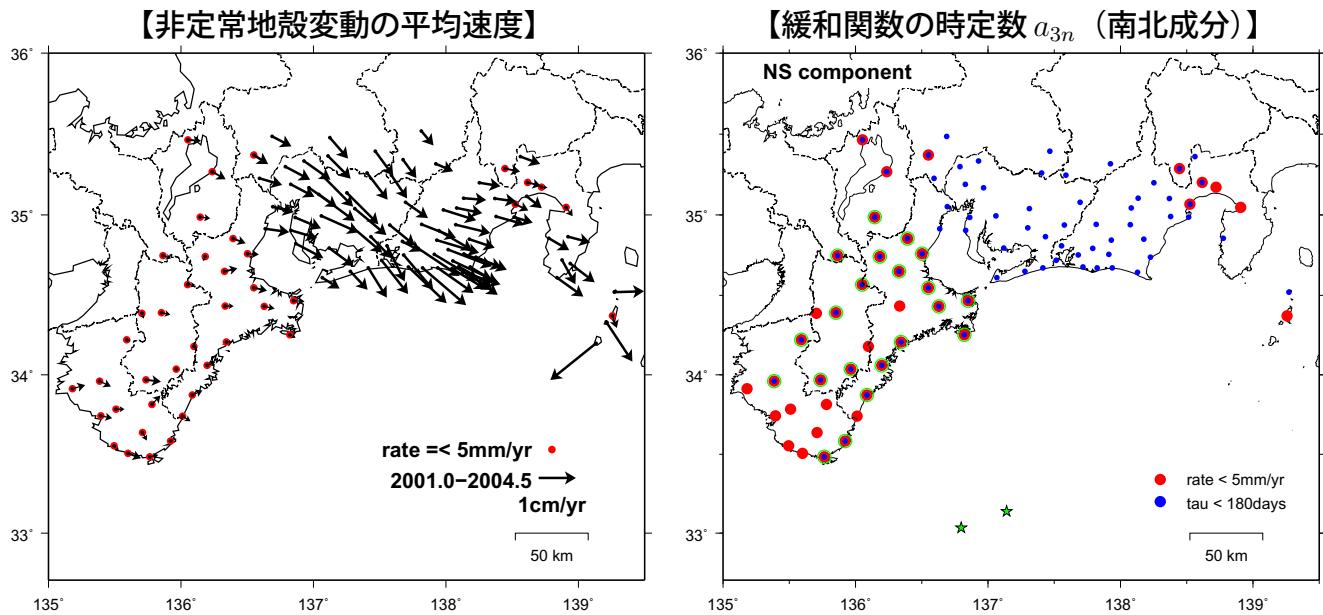


第43図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（2 / 5）

Fig. 43 Estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake. (2/5)

2. 2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（3） 【余効変動の時定数の推定】

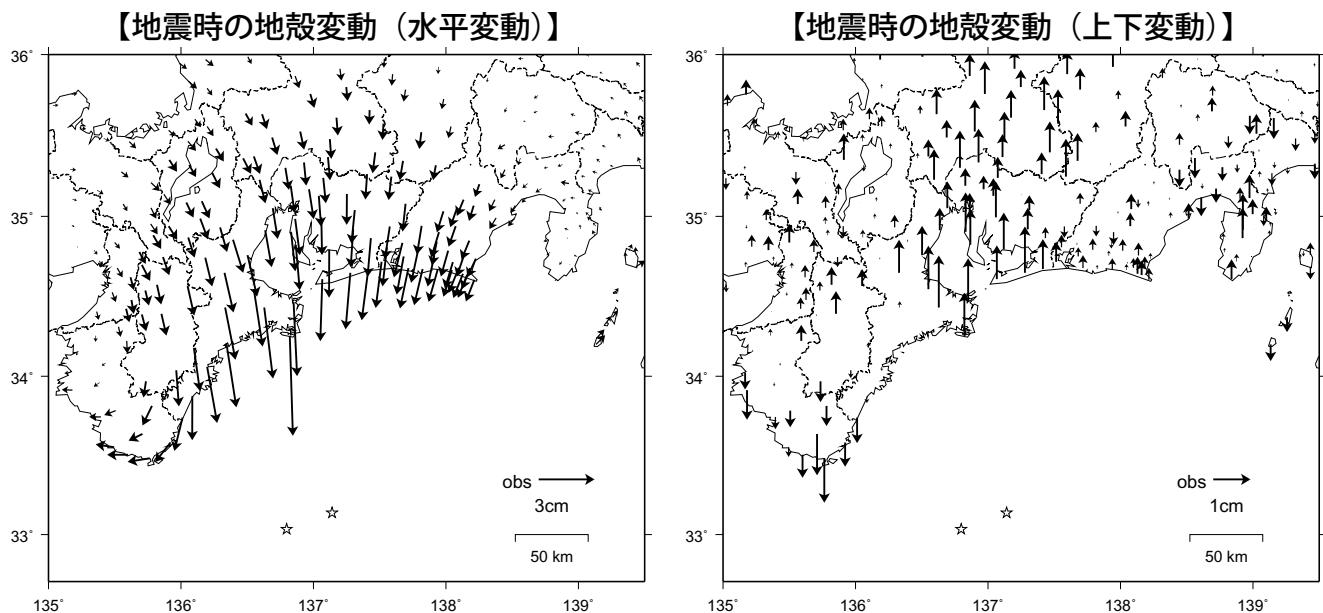
- ・東海スロースリップによる影響が小さい観測点。
- ・余効すべりによる変動が大きいと考えられる震源域近傍の観測点
- ・余効すべりによる変動が大きいと考えられる成分



(左図) 赤丸：東海スロースリップ進行期（2001年1月～2004年7月）での非定常地殻変動の平均速度が5mm/yrの観測点。

(右図) 赤丸：非定常地殻変動速度が5mm/yr以下の観測点。青丸：求めた緩和関数の南北成分の時定数(a_{3n})が180日以下の観測点。緑丸：時定数の推定に用いた観測点。判断基準は、非定常地殻変動速度が5mm/yr以下（赤丸）でかつ南北成分の時定数が180日以下の観測点（青丸）かつ震源域に近い観測点。

緑丸の観測点の南北成分の時定数の平均値は、61.04日。この値を余効すべりによる余効変動の時定数と設定した。

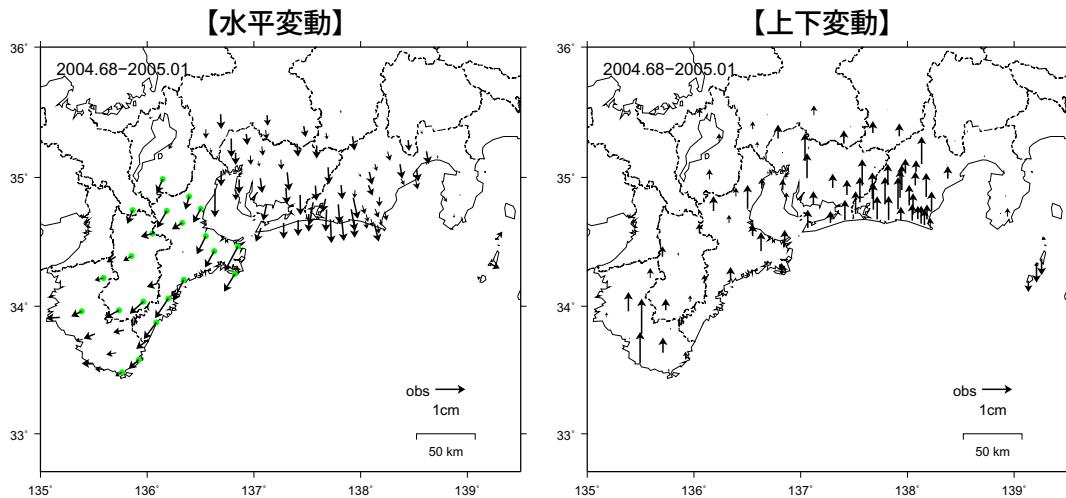


第44図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（3 / 5）

Fig. 44 Estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake. (3/5)

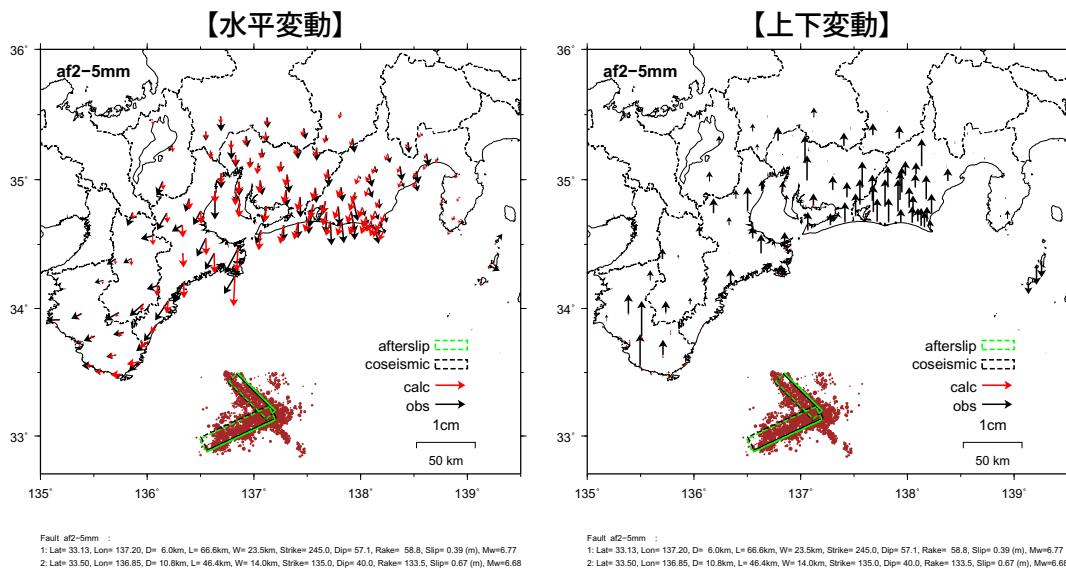
2. 2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（4） 【余効変動量の推定】

・仮の余効変動量



地震発生後から 122.08 日間（推定した時定数 61.04 日の 2 倍）の変動量。

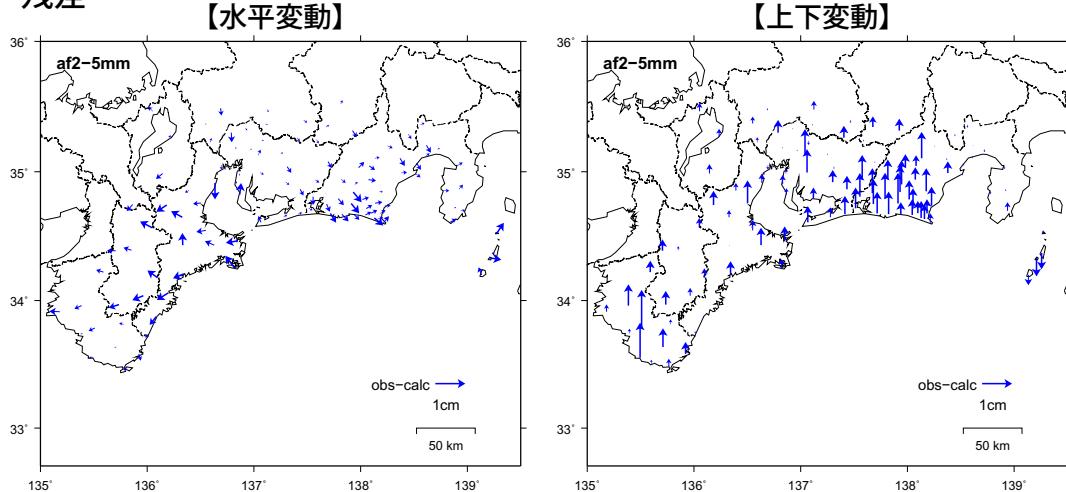
・推定した余効すべりモデル



Fault af2-5mm :
1:Lat= 33.13, Lon= 137.20, D= 6.0km, L= 66.6km, W= 23.5km, Strike= 245.0, Dip= 57.1, Rake= 58.8, Slip= 0.39 (m), Mw=6.77
2:Lat= 33.50, Lon= 138.85, D= 10.8km, L= 46.4km, W= 14.0km, Strike= 135.0, Dip= 40.0, Rake= 133.5, Slip= 0.67 (m), Mw=6.68

茶色の点は、2004 年 9 月 5 日～10 月 5 日までの震央分布（気象庁一元化震源より）。

・残差

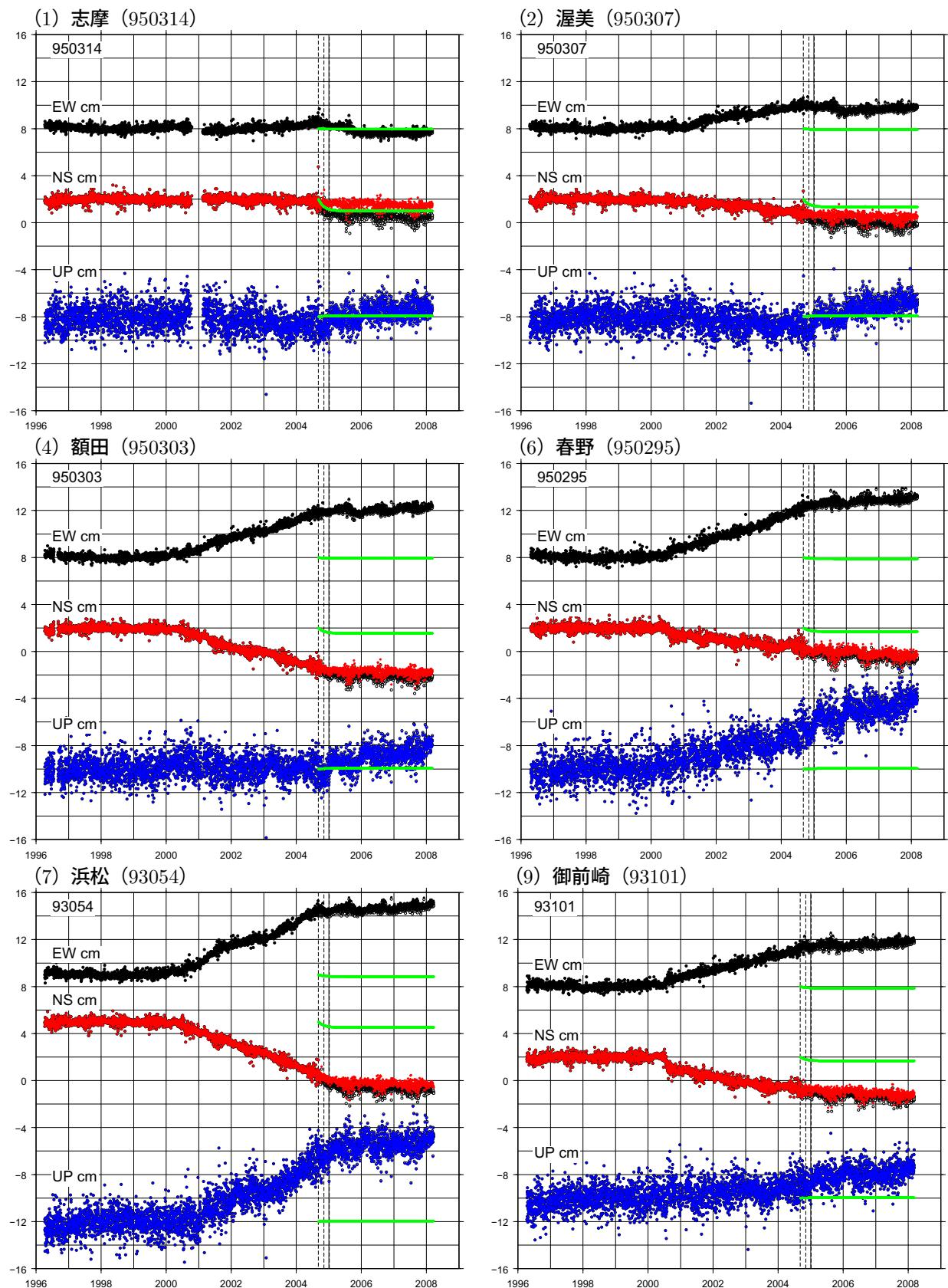


中段の図の観測値（黒矢印）から計算値（赤矢印）を引いた残差。

第45図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（4 / 5）

Fig. 45 Estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake. (4/5)

2. 2004年紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（5） 【余効すべりによる余効変動時系列と余効すべりの影響除去後の時系列】

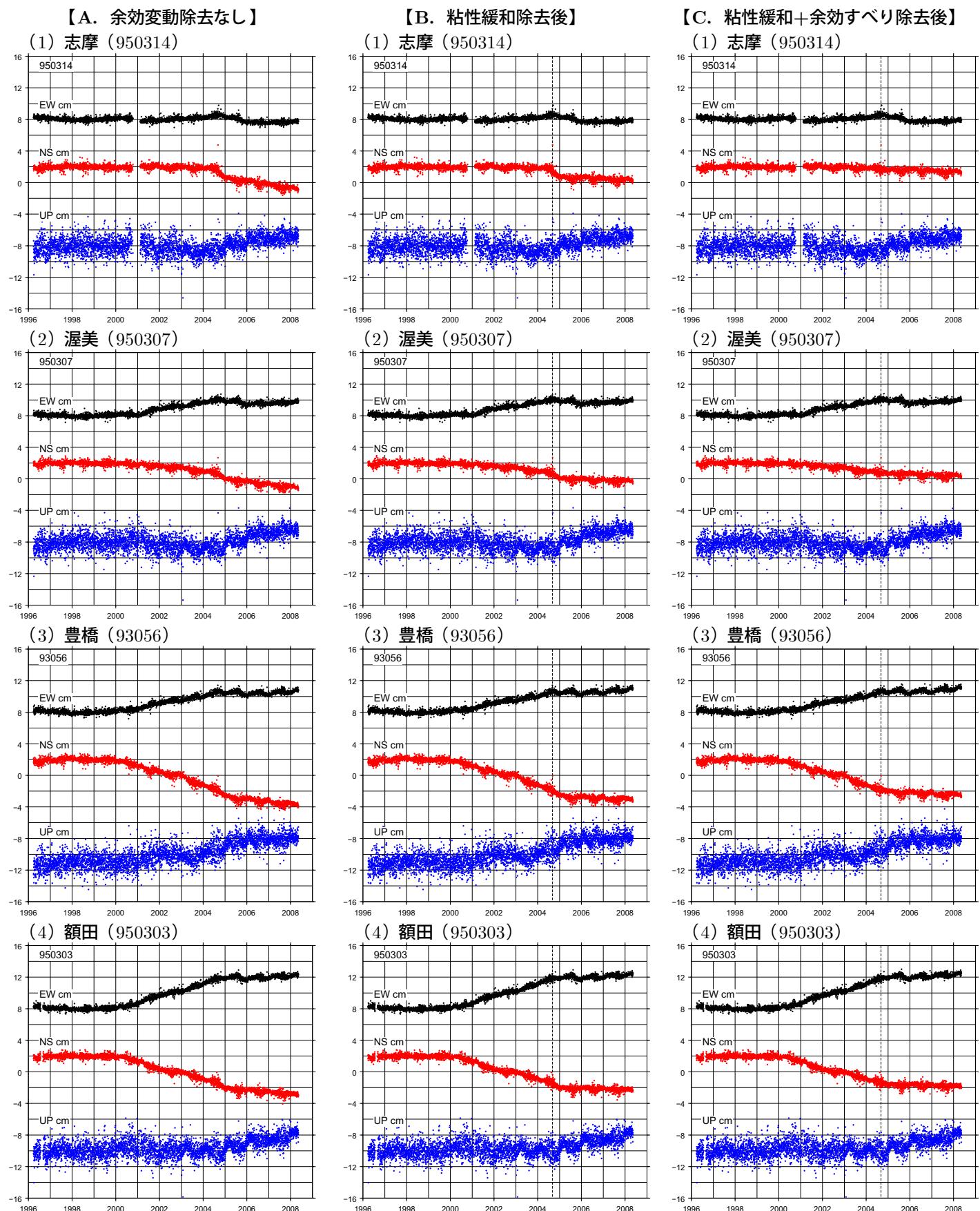


白抜きの点は粘性緩和除去後の時系列。色付きの点は、余効すべりの影響除去後の時系列。黄緑線は取り除いた余効すべりによる変動時系列。 $v(t) = b_2 \times \exp(-t/b_3)$: b_2 は余効すべりモデルから推定した変動量, b_3 は、時定数 (61.04 日) を使用した。黒点線は、左から紀伊半島南東沖地震の発生日、紀伊半島南東沖の地震発生日から、61.04 日後、122.08 日後。

第46図 紀伊半島南東沖の地震の余効すべりによる余効変動の除去（5/5）

Fig. 46 Estimation of afterslip effect following the 2004 southeast Off-Kii Peninsula earthquake. (5/5)

東海非定常地殻変動 時系列（1）【大潟固定】



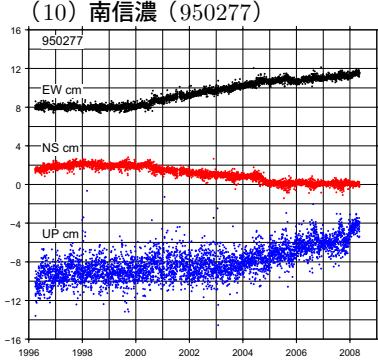
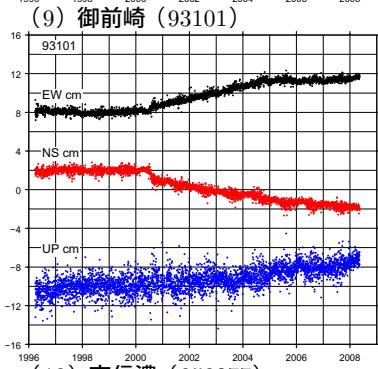
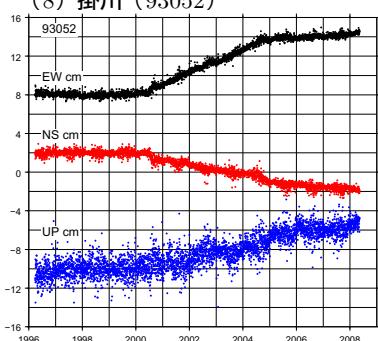
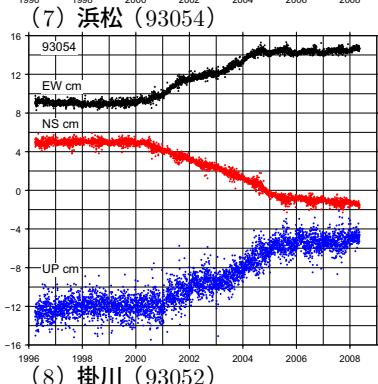
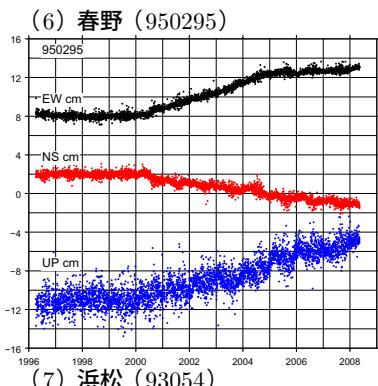
・2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震（黒点線）による地殻変動の影響は取り除いている。

第47図 東海非定常地殻変動 時系列（1/2）（大潟固定）

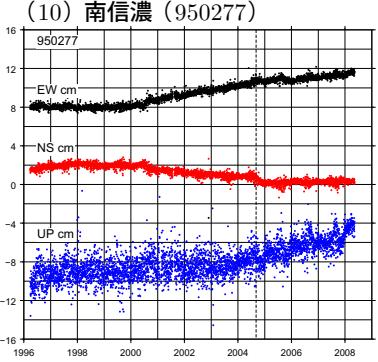
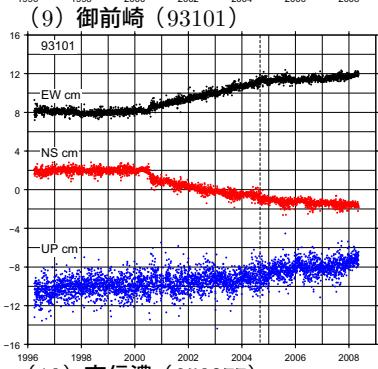
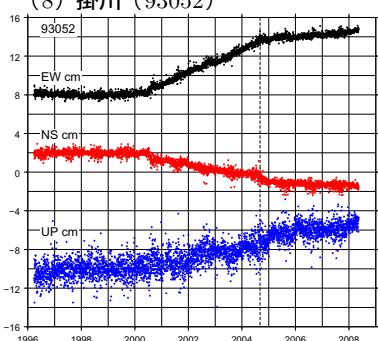
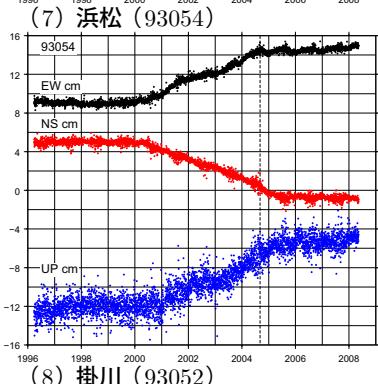
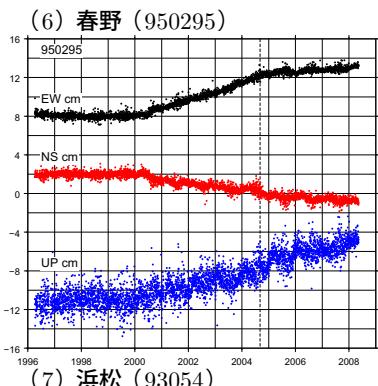
Fig. 47 Time series of transient movement (1/2). A: Original time series B: Removed viscoelastic effect C: Removed viscoelastic and afterslip effects

東海非定常地殻変動 時系列（2）【大潟固定】

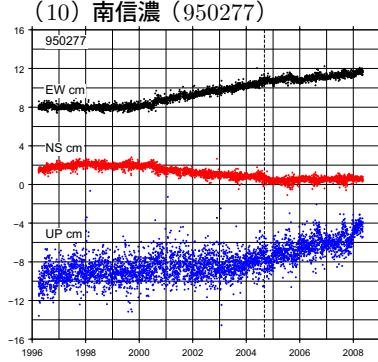
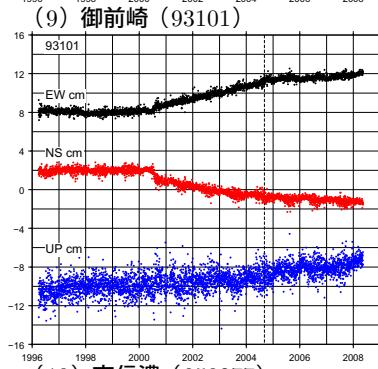
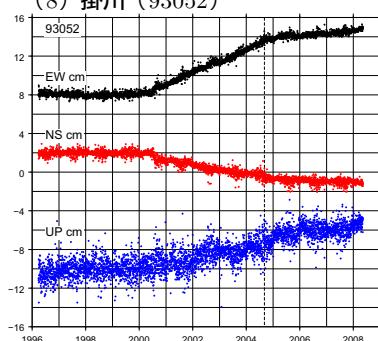
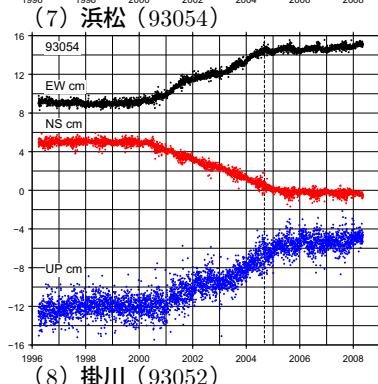
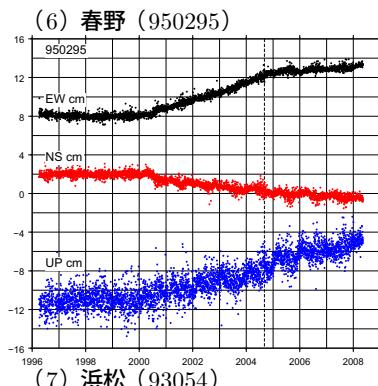
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】



【C. 粘性緩和＋余効すべり除去後】



・2004年9月5日に発生した紀伊半島南東沖の地震（黒点線）による地殻変動の影響は取り除いている。

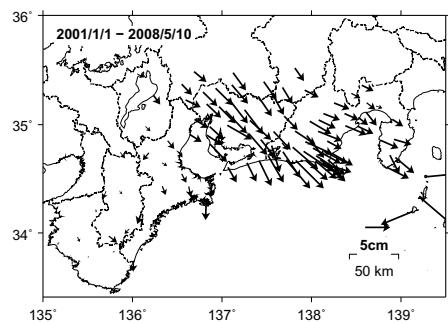
第48図 東海非定常地殻変動 時系列（2/2）（大潟固定）

Fig. 48 Time series of transient movement (2/2). A: Original time series B: Removed viscoelastic effect C: Removed viscoelastic and afterslip effects

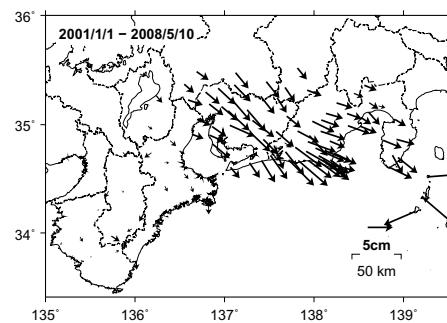
累積の東海非定常地殻変動（水平変動）【大潟固定】

・2001年1月以降

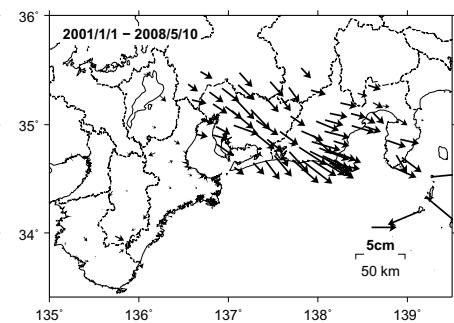
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】

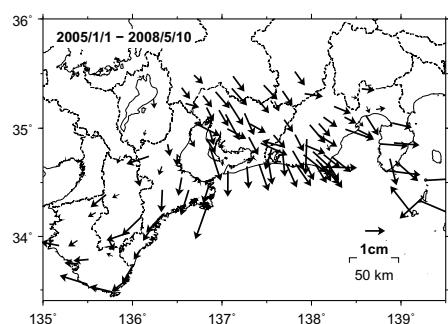


【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】

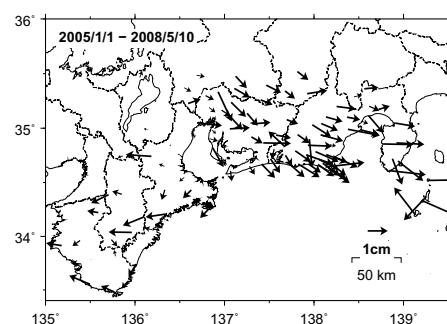


・2005年1月以降

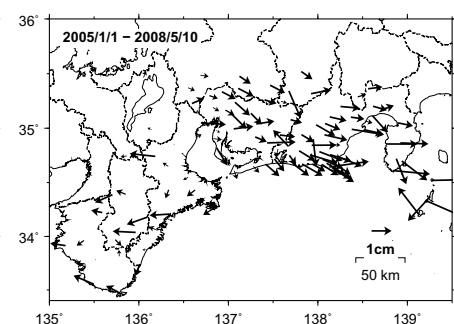
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】

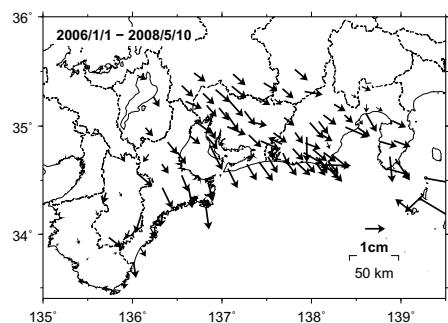


【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】

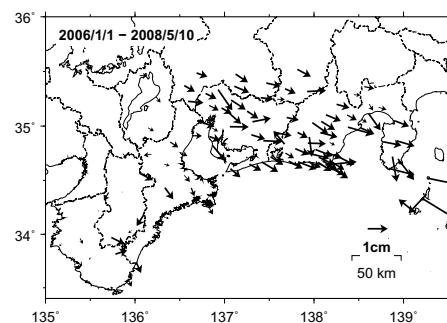


・2006年1月以降

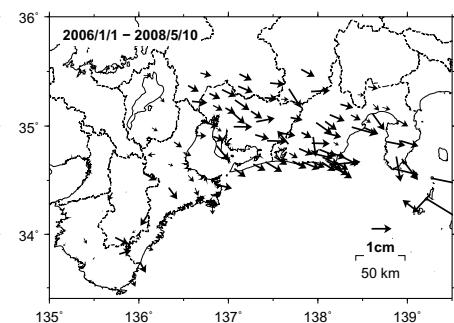
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】



【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】



・平滑化した非定常地殻変動について、1年間の変動量を表示している。

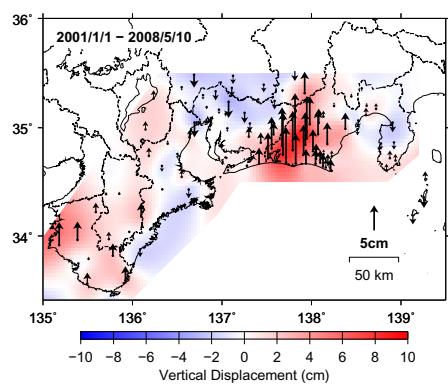
第49図 累積の東海非定常地殻変動（水平変動）（大潟固定）

Fig. 49 Cumulative transient movement (Horizontal Movement) by the Slow Slip in Tokai Region.

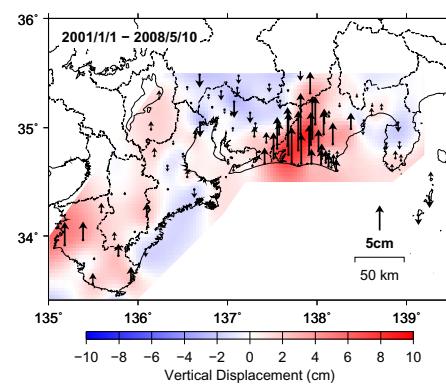
累積の東海非定常地殻変動（上下変動）【大潟固定】

・2001年1月以降

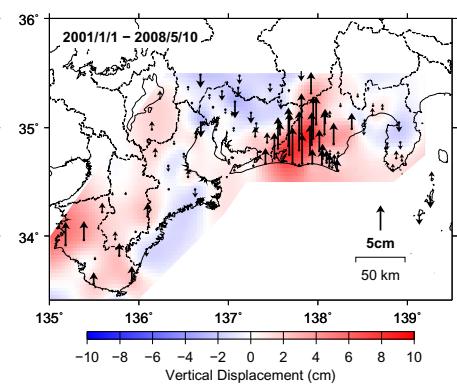
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】

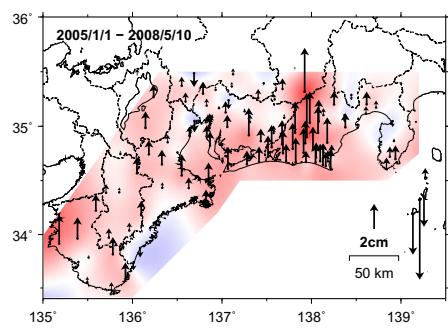


【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】

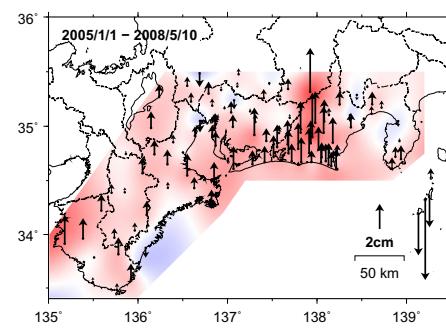


・2005年1月以降

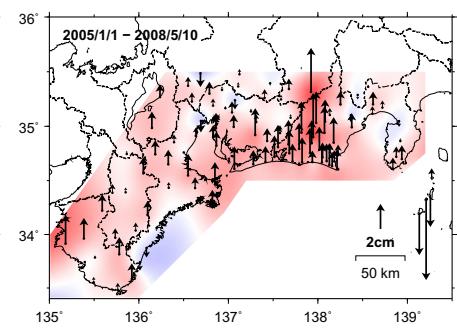
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】

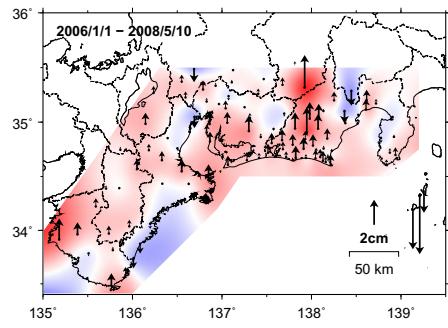


【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】

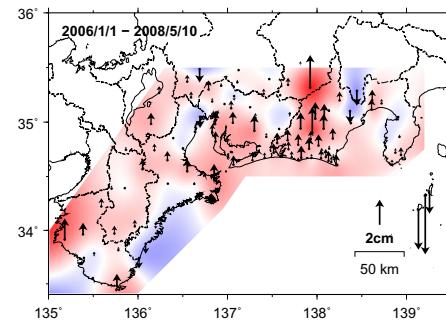


・2006年1月以降

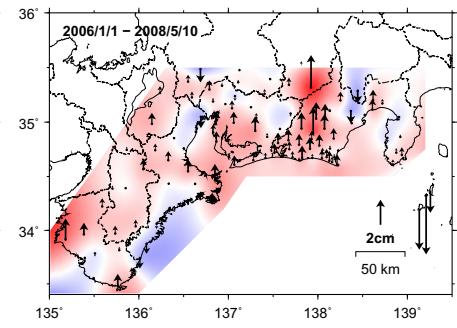
【A. 余効変動除去なし】



【B. 粘性緩和除去後】



【C. 粘性緩和+余効すべり除去後】

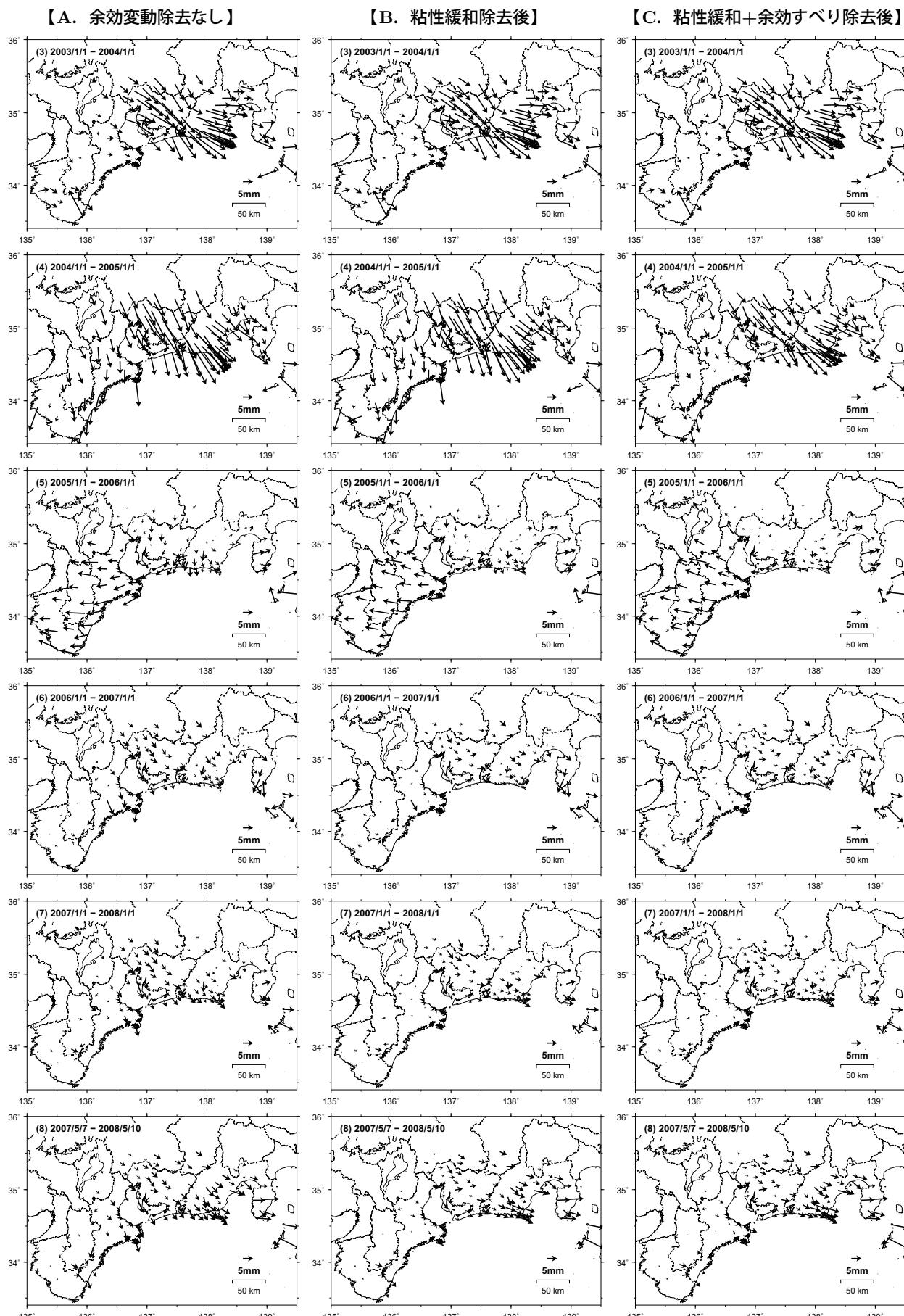


・平滑化した非定常地殻変動について、1年間の変動量を表示している。

第50図 累積の東海非定常地殻変動（上下変動）（大潟固定）

Fig. 50 Cumulative transient movement (Vertical Movement) by the Slow Slip in Tokai Region.

1年間で見た東海非定常地殻変動（水平変動）【大潟固定】

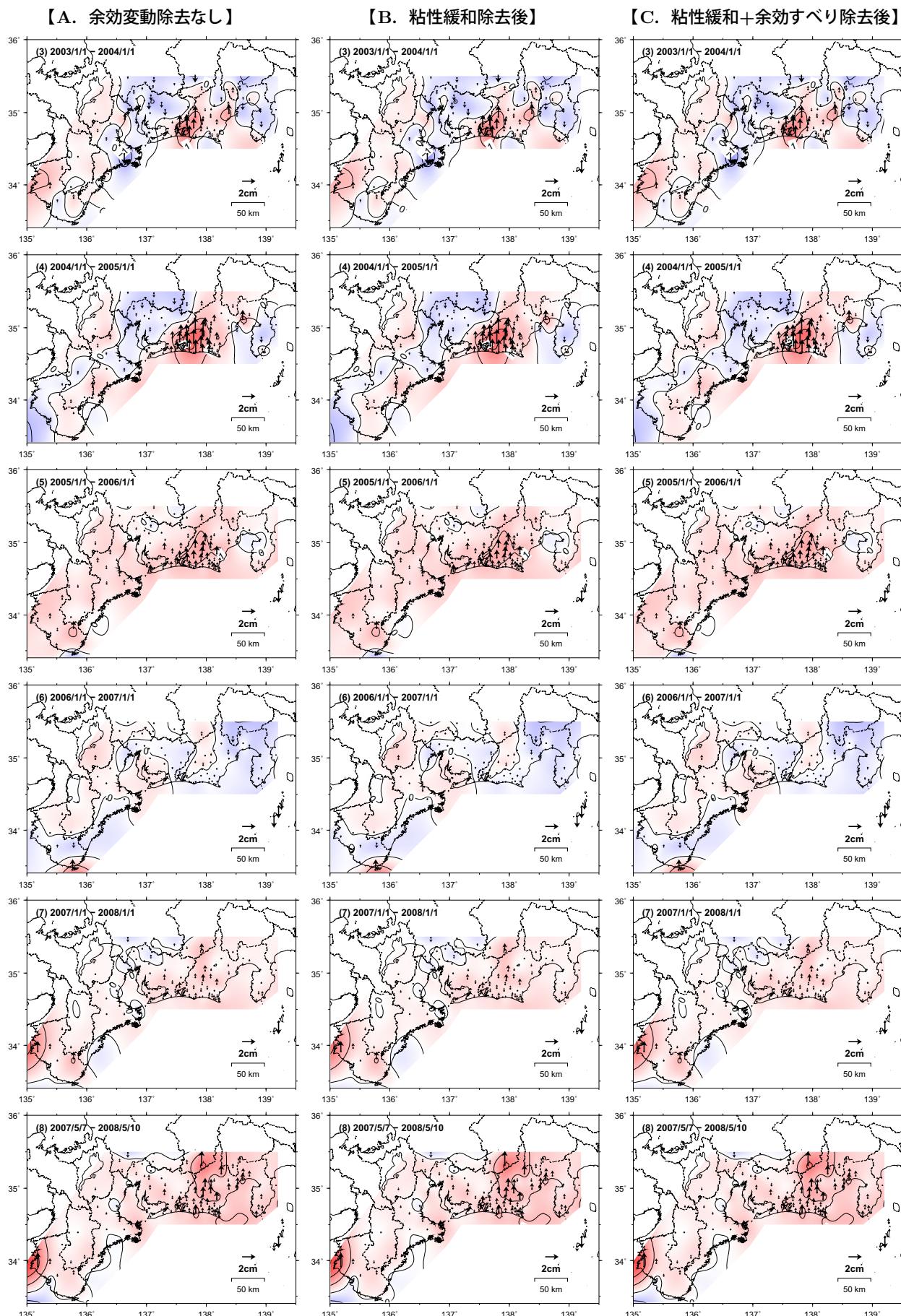


・平滑化した非定常地殻変動について、1年間の変動量を表示している。

第51図 1年間で見た東海地方非定常地殻変動（水平変動）

Fig. 51 Transient movement (Horizontal Movement) by the Slow Slip in Tokai Region for every one year.

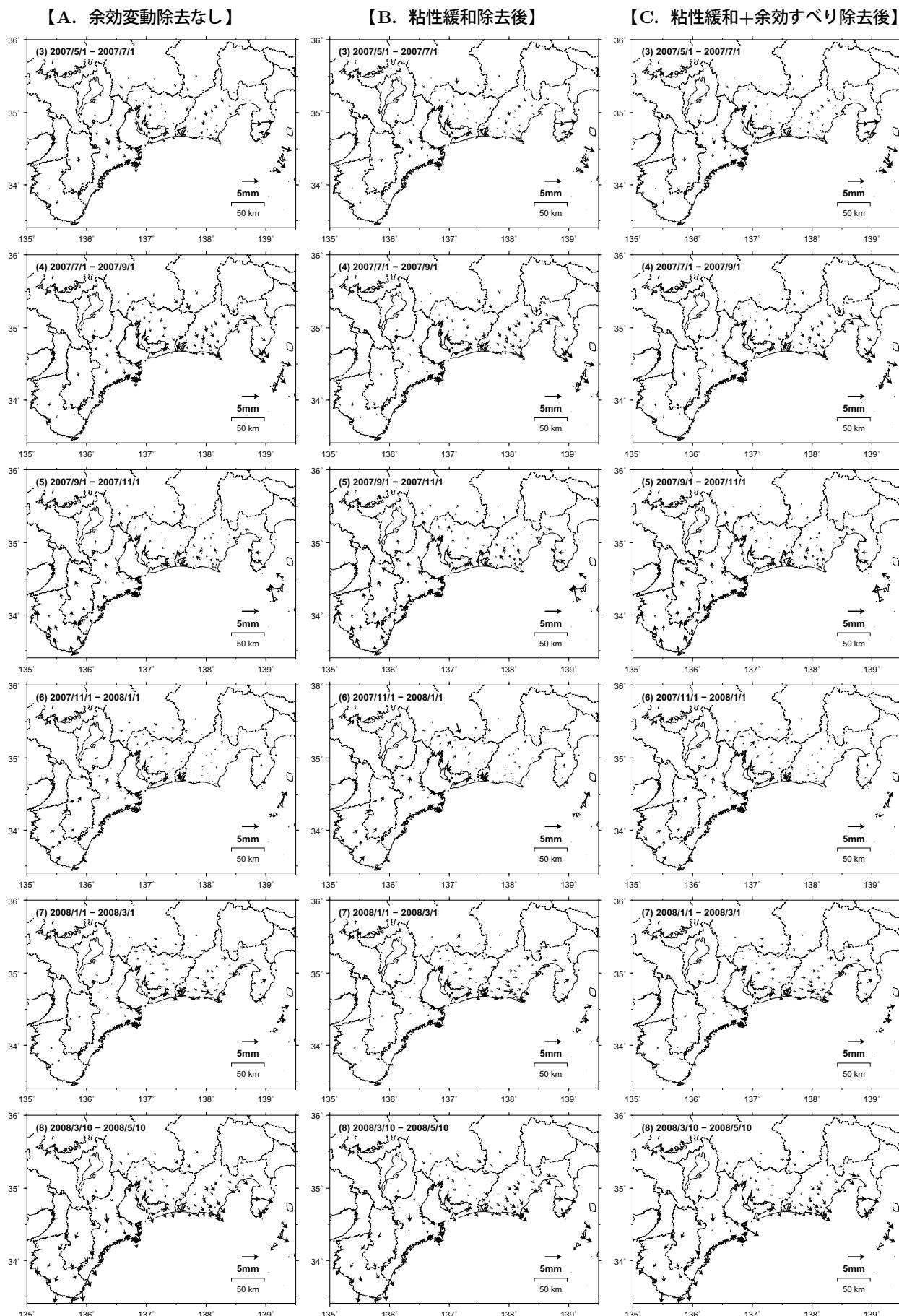
1年間で見た東海非定常地殻変動（上下変動）【大潟固定】



第52図 1年間で見た東海地方非定常地殻変動（上下変動）

Fig. 52 Transient movement (Vertical Movement) s by the Slow Slip in Tokai Region for every one year.

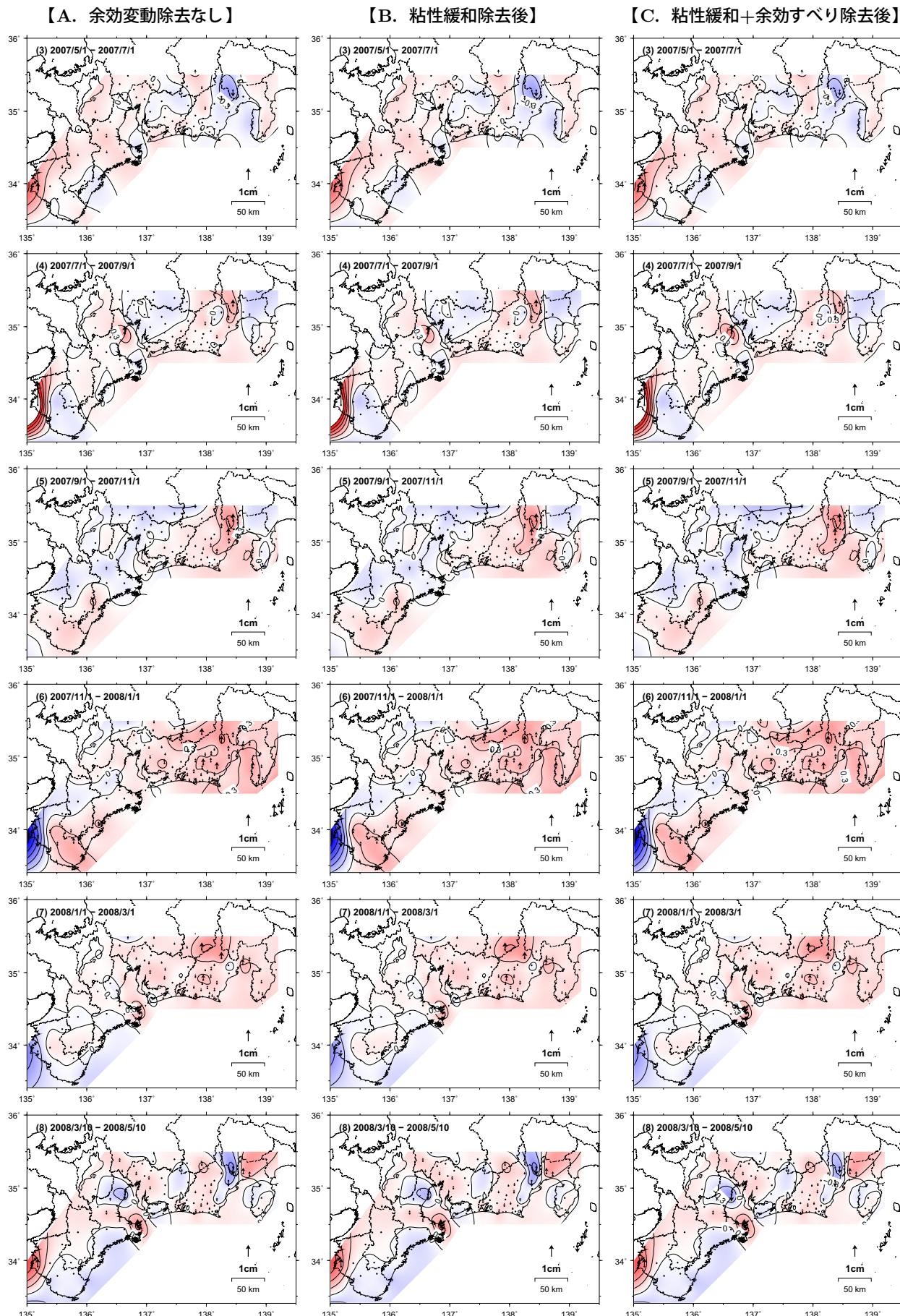
2ヶ月ごとの東海非定常地殻変動（水平変動）【大潟固定】



第53図 2ヶ月ごとの東海非定常地殻変動（水平変動）

Fig. 53 Transient movement (Horizontal Movement) s by the Slow Slip in Tokai Region for every two months.

2ヶ月ごとの東海非定常地殻変動（上下変動）【大潟固定】

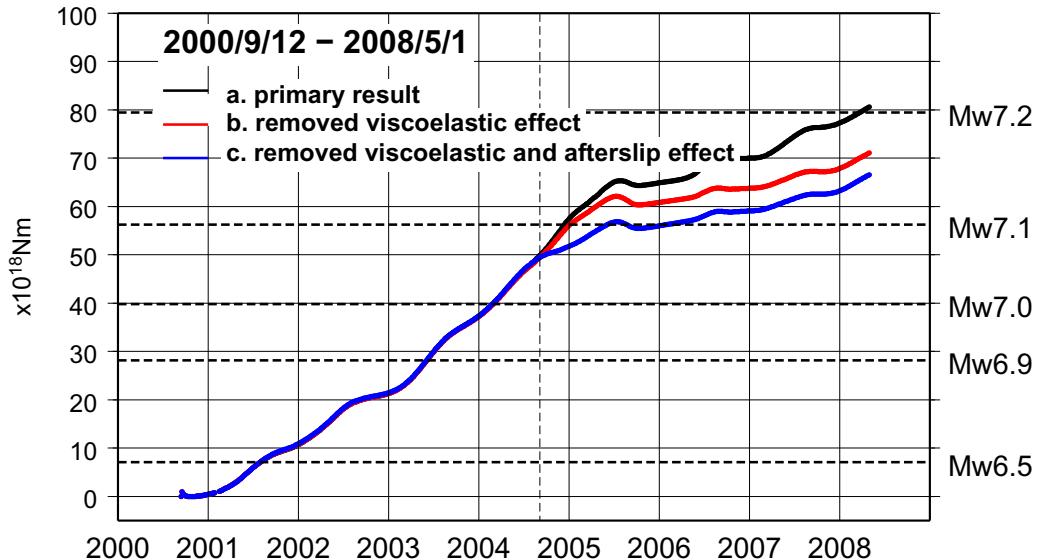


・平滑化した非定常地殻変動について、1年間の変動量を表示している。

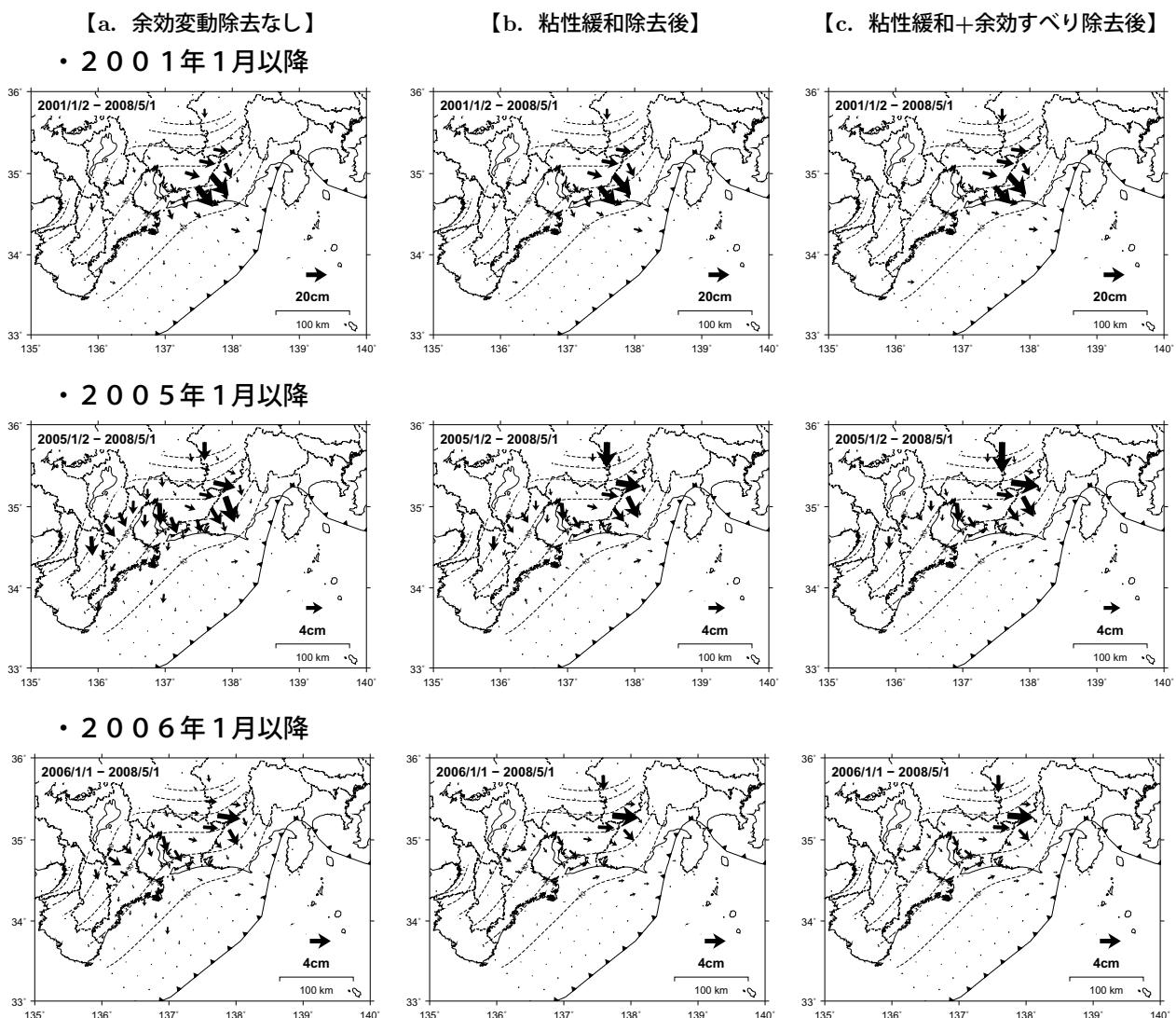
第54図 2ヶ月ごとの東海非定常地殻変動（上下変動）

Fig. 54 Transient movement (Vertical Movement) s by the Slow Slip in Tokai Region for every two months.

推定モーメントの時間変化【大潟固定】



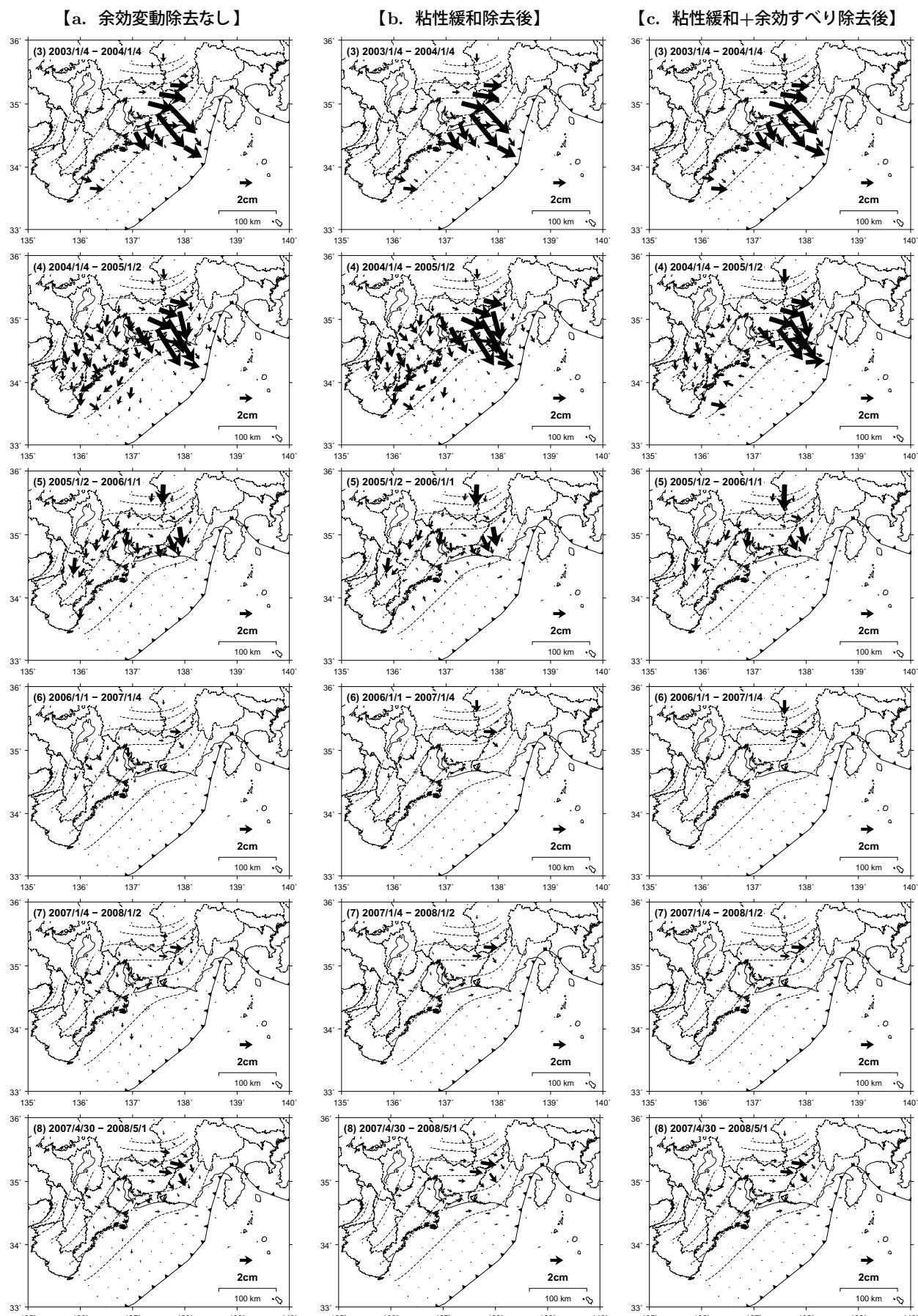
累積の推定すべり分布【大潟固定】



第55図 推定モーメントの時間変化（大潟固定）（上段）と東海地方スロースリップの滑り分布（大潟固定）（下段）

Fig. 55 Development of Estimated Moment (Upper panel) and Slip Distribution on the Plate Boundary (Lower panel) for of the Slow Slip (Ohgata fixed).

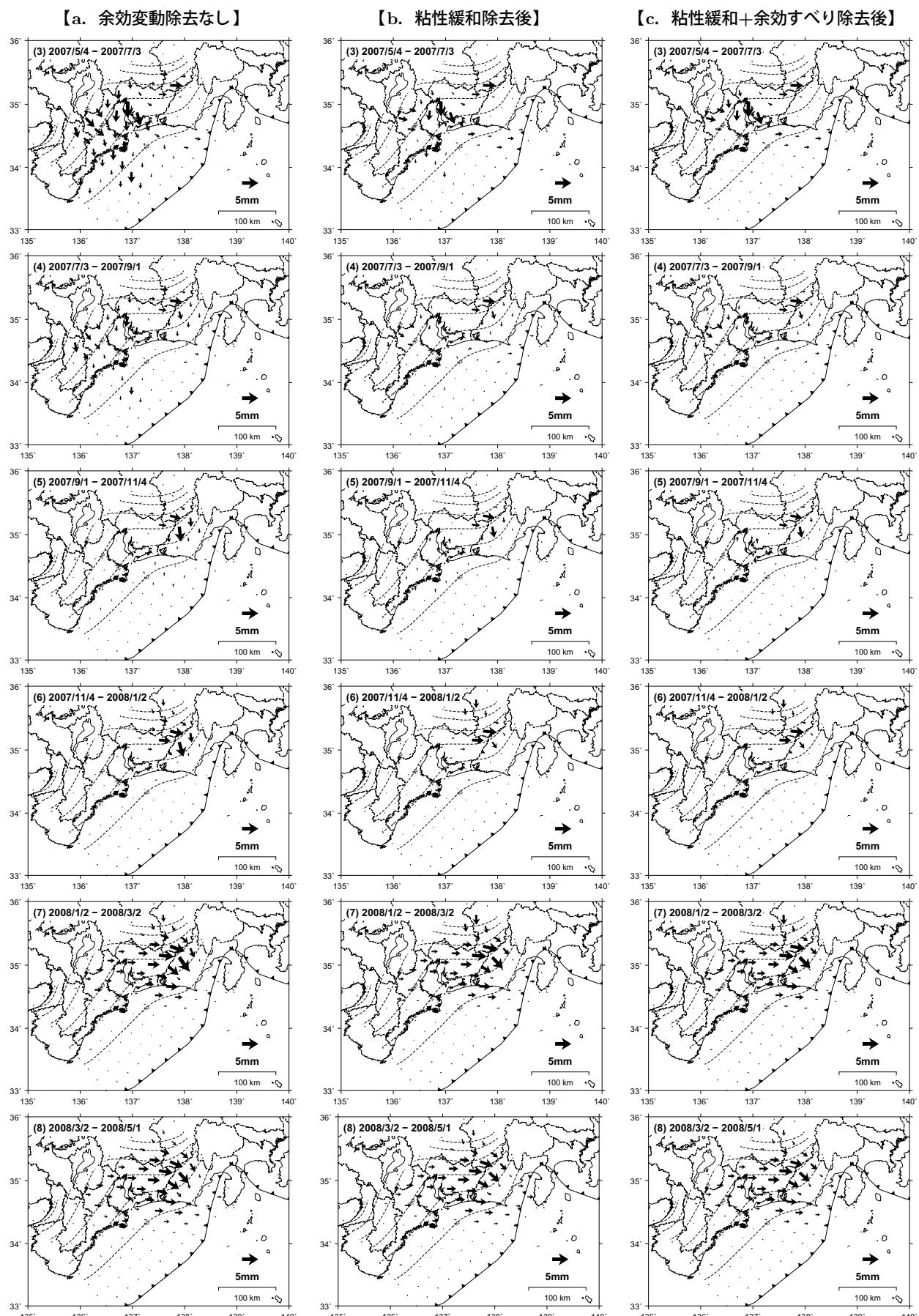
1年間の推定すべり分布の時間変化【大潟固定】



第56図 時間発展インバージョン解析による1年ごとの東海地方スロースリップの滑り分布（大潟固定）

Fig. 56 Estimated slip distribution of the slow slip for every one year. Slip on the plate boundary for every year from 2001 to 2008 estimated by time dependent inversion for the slow slip event in Tokai region. (Ohgata fixed)

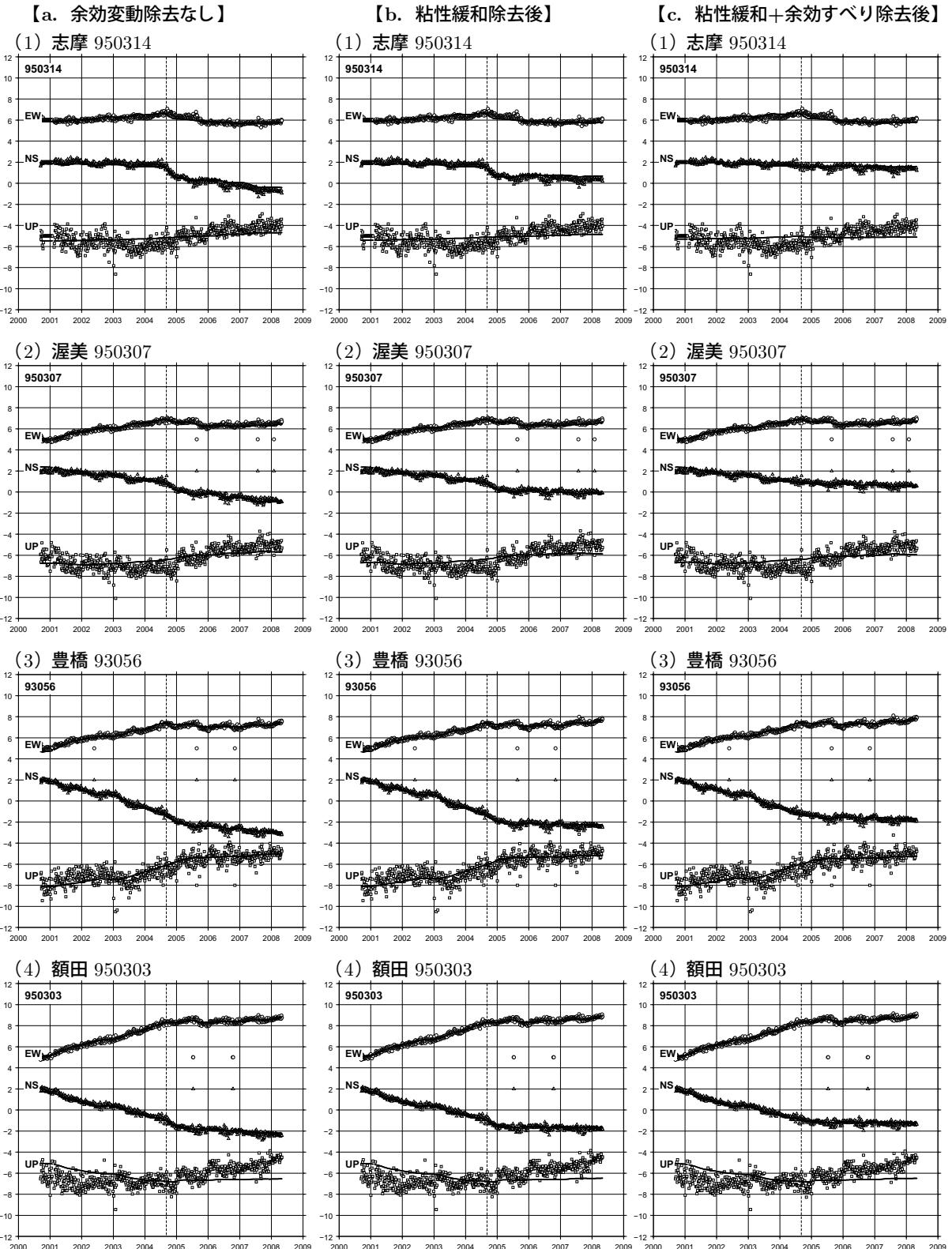
最近2ヶ月ごとの推定すべり分布の時間変化【大潟固定】



第57図 時間発展インバージョン解析による最近2ヶ月ごとの東海地方スロースリップの滑り分布（大潟固定）

Fig. 57 Slip on the plate boundary for every 2 months recently estimated by time dependent inversion for the slow slip event in Tokai region. (Ohgata fixed) Estimated slip distribution of the slow slip for every two months.

観測値と計算値の比較（1）【大潟固定】



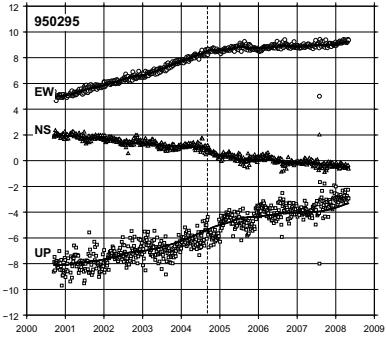
第58図 観測された異常非定常地殻変動とモデルによる計算値とを比較した時系列（1/2）

Fig. 58 Time Series of Observed Transient Crustal Movement Compared with Estimated movement by the Slow Slip Model. (1/2)

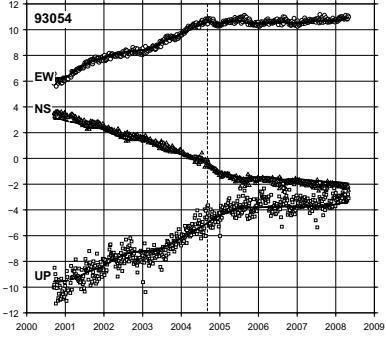
観測値と計算値の比較（2）【大潟固定】

【a. 余効変動除去なし】

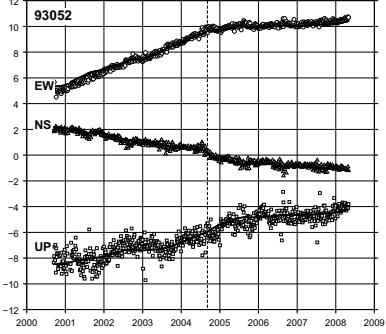
(6) 春野 950295



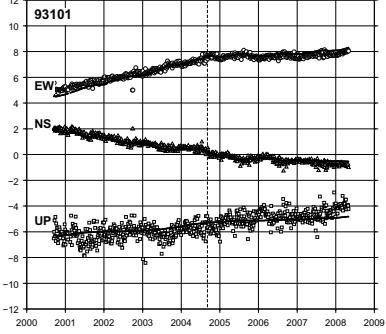
(7) 浜松 93054



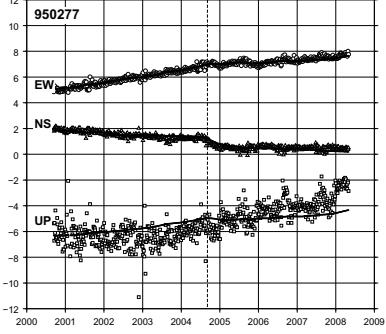
(8) 掛川 93052



(9) 御前崎 93101

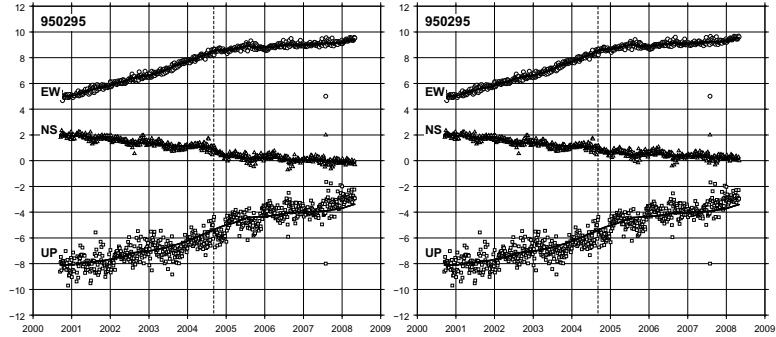


(10) 南信濃 950277

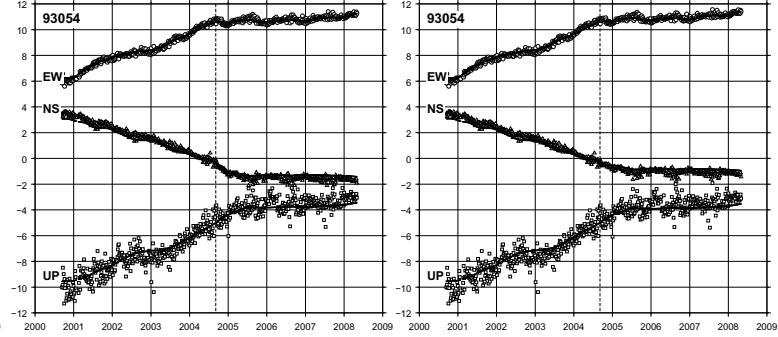


【b. 粘性緩和除去後】

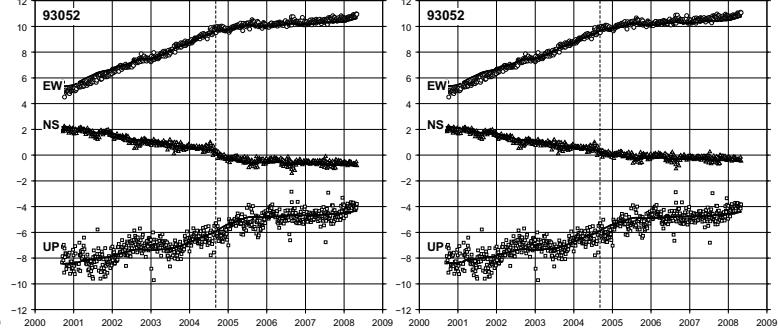
(6) 春野 950295



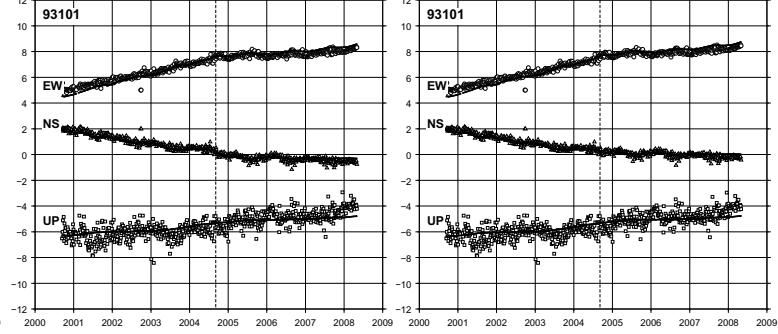
(7) 浜松 93054



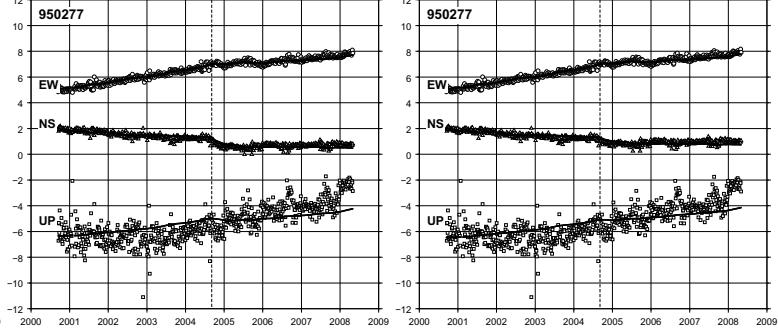
(8) 掛川 93052



(9) 御前崎 93101

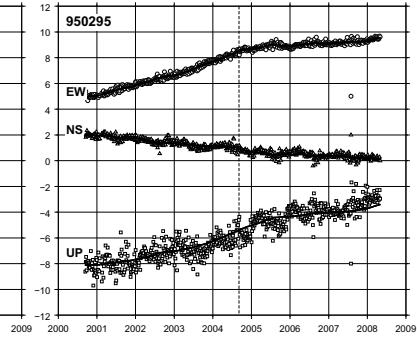


(10) 南信濃 950277

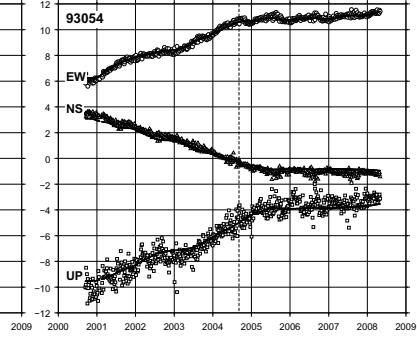


【c. 粘性緩和+余効すべり除去後】

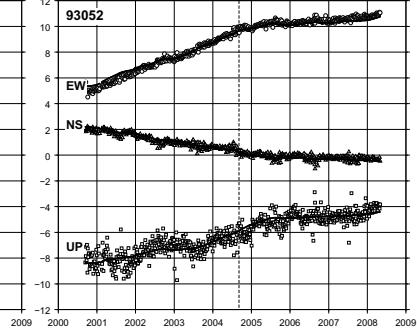
(6) 春野 950295



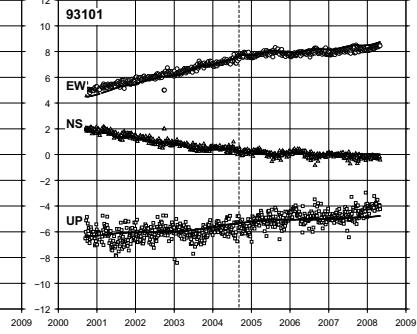
(7) 浜松 93054



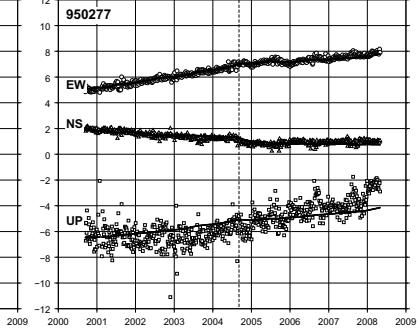
(8) 掛川 93052



(9) 御前崎 93101



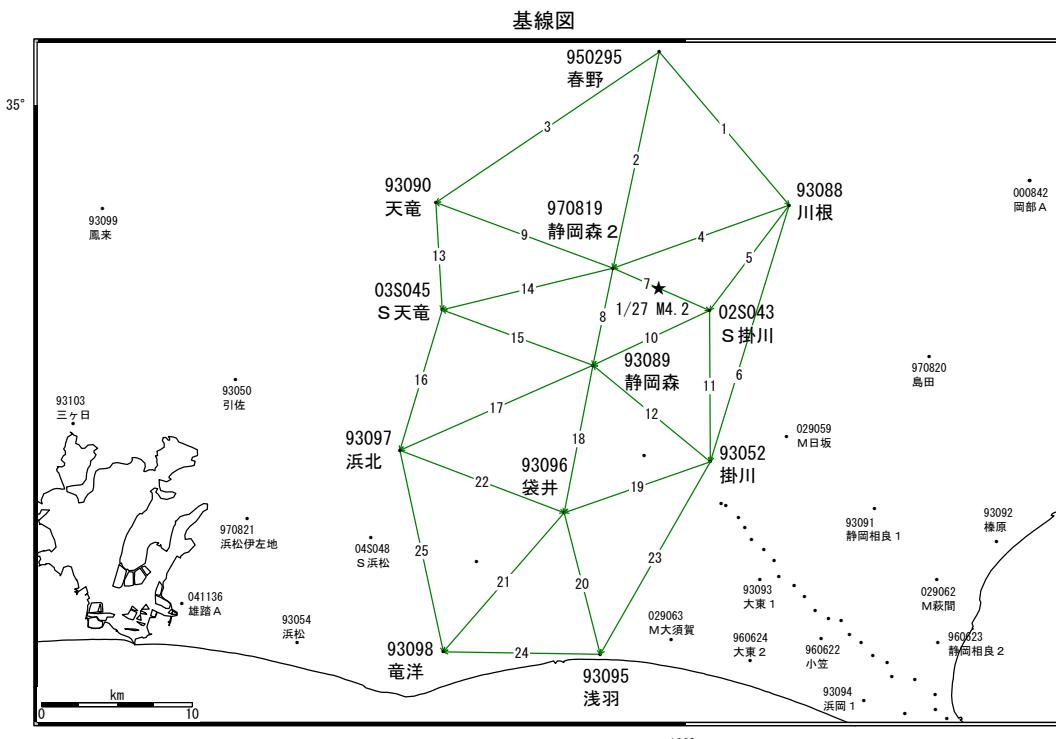
(10) 南信濃 950277



第59図 観測された異常非定常地殻変動とモデルによる計算値とを比較した時系列（2/2）

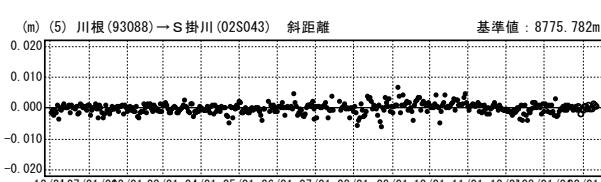
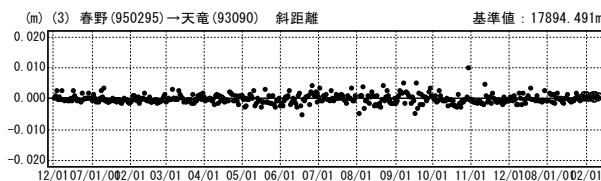
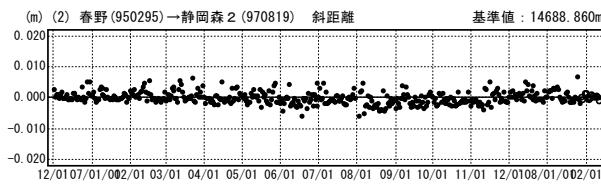
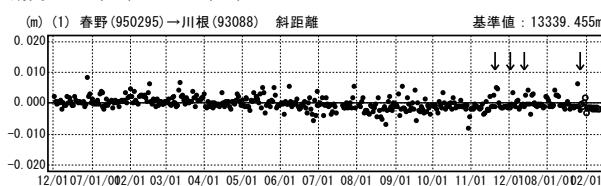
Fig. 59 Time Series of Observed Transient Crustal Movement Compared with Estimated movement by the Slow Slip Model. (2/2)

静岡県西部の地震活動前後の地殻変動（1）

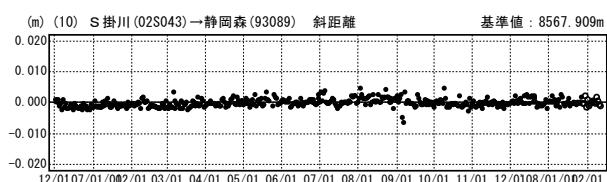
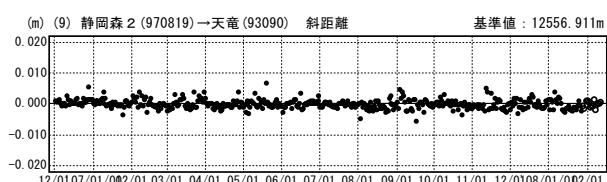
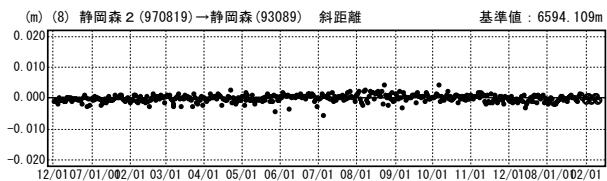
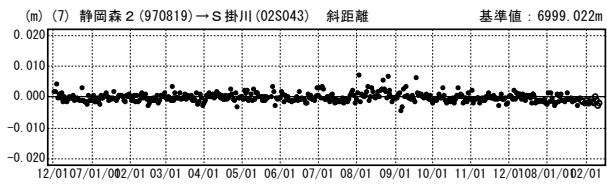
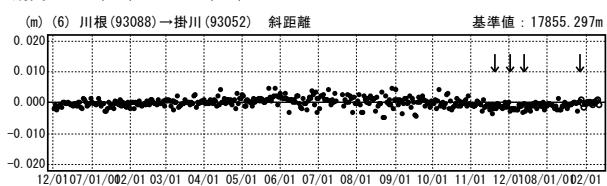


基線変化グラフ

期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

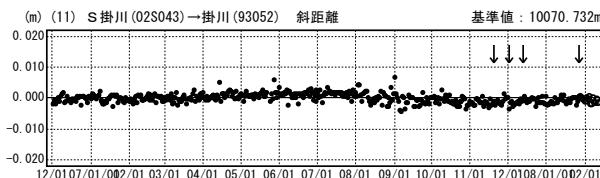
第60図 静岡県西部の地震に伴う地殻変動（1/2）

Fig. 60 Crustal deformation associated with the earthquake in the eastern part of Shizuoka prefecture. (1/2)

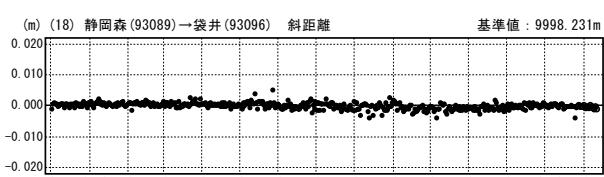
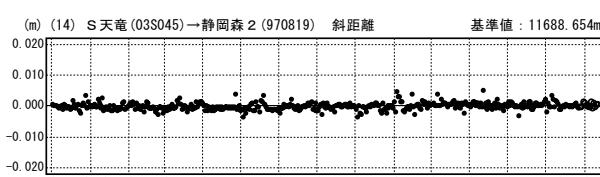
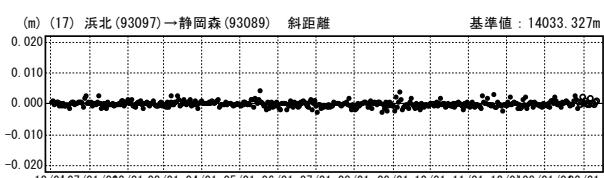
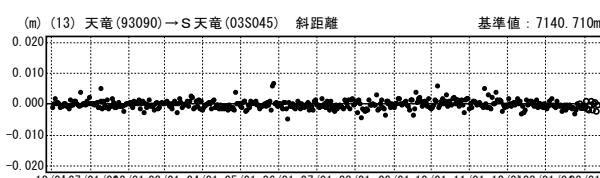
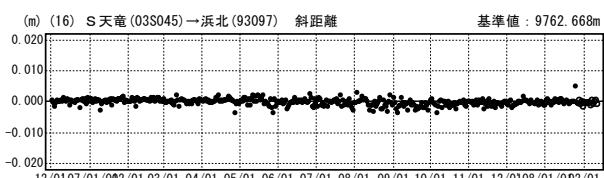
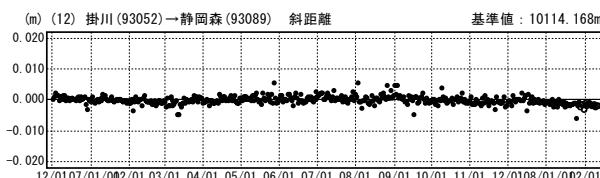
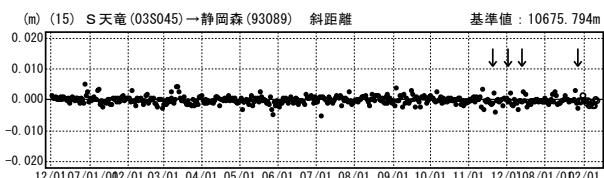
静岡県西部の地震活動前後の地殻変動（2）

基線変化グラフ

期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



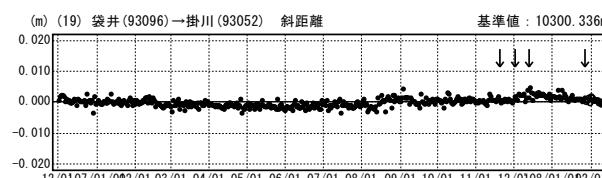
期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



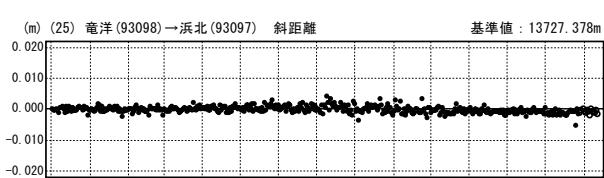
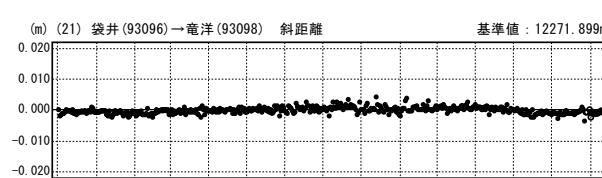
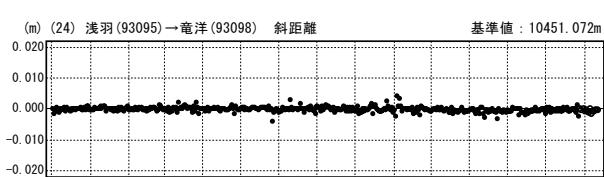
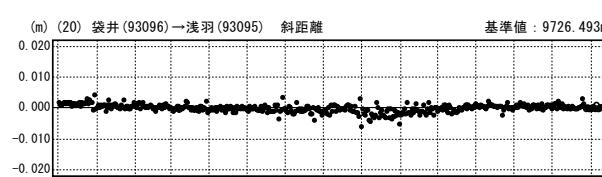
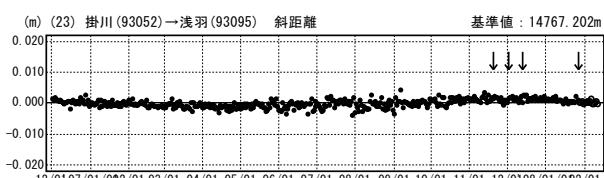
● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

基線変化グラフ

期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



期間：2006/12/01～2008/02/11 JST



● ---[F2:最終解] ○ ---[R2:速報解]

第61図 静岡県西部の地震に伴う地殻変動（2/2）

Fig. 61 Crustal deformation associated with the earthquake in the eastern part of Shizuoka prefecture. (2/2)