

神奈川県西部地域における 2009 (平成 21) 年の地殻変動観測結果

原田昌武・板寺一洋 (神奈川県温泉地学研究所)

はじめに

温泉地学研究所では神奈川県西部地震に対する調査研究の一環として、また箱根火山の火山活動をモニタリングするため、県西部地域に地震・地殻変動観測網を展開しています。地殻変動観測については、傾斜観測 (7 観測点)・GPS 測量 (8 観測点)・光波測量 (2 観測網・14 基線)・地下水水位観測 (6 観測点) の連続観測を行っています (図 1)。ここでは、2009 (平成 21) 年に観測されたこれらの地殻変動観測結果について報告します。

傾斜観測結果

傾斜観測は箱根カルデラ内にある駒ヶ岳、小塚山、湖尻をはじめ、塔の峰、裾野、岩倉、寄と県西部地域の広範囲に設置しています (図 1 の□印)。各観測点では、深度約 100m の観測井内に傾斜計を設置し、南北方向および東西方向の傾斜変化を観測しています。観測計器類の仕様やテレメータ手法など、観測方法の詳細については既報 (神奈川県温泉地学研究所、1999 など) のとおりです。また、これまでの傾斜観測の結果や傾斜のデータの見方については、原田ほか (2005) や本多ほか (2006) をご覧ください。

図 2 に 2009 (平成 21) 年 1 月から 12 月における傾斜観測結果を示します。これらのグラフは、毎時 0 分から 59 分までのデータを平均した 1 時間値のデータを用いて作

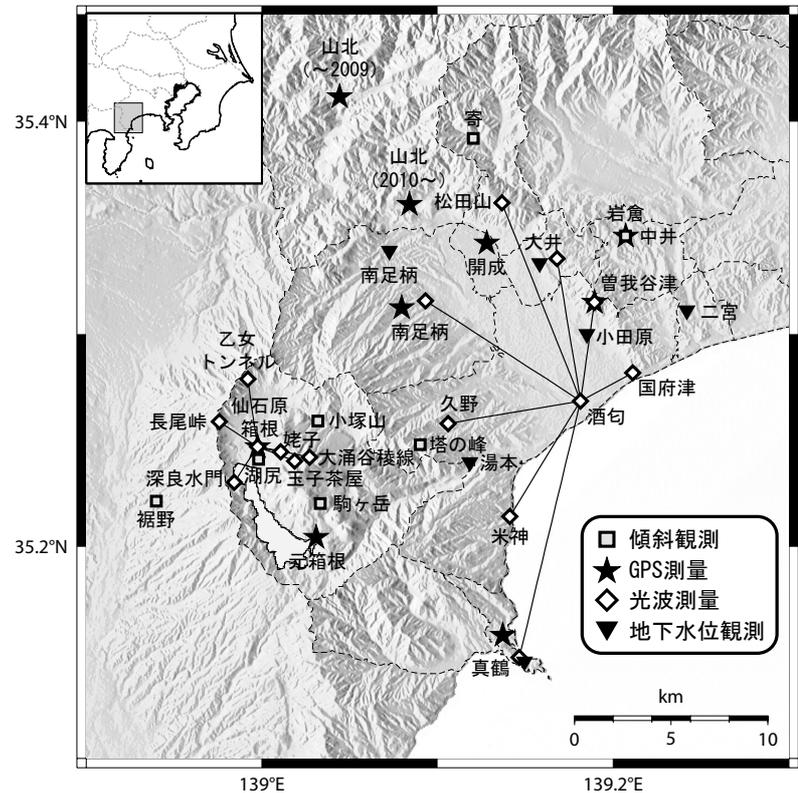


図 1 地殻変動観測点分布図。

成したものです。また、傾斜の南北成分の変化、東西成分の変化を示すとともに、箱根町芦ノ湯 (気象庁によるアメダス観測点) における日降水量を示してあります。傾斜の方向は、図中の下向きの変化が南北成分では地盤の南下がり、東西成分では地盤の西下がりを示します。

当所では平成 20 年度より地震・地殻変動観測施設の強化・更新を進めているため (詳細については伊東, 2009 参照)、これに関連して湖尻観測点 (2008 年 10 月 22 日から)、駒ヶ岳観測点 (2008 年 10 月 30 日から)、岩倉観測点 (2008 年

11 月 18 日から) において 2009 (平成 21) 年 2 月 10 日まで欠測になっています。これらの 3 観測点ではデータ伝送系 (テレメータシステム) を従来の NTT 専用回線から常時伝送方式 (イーサネット) にしました。これ以外の 4 観測点については従来通りのため、現在は新テレメータシステムと旧テレメータシステムが混在しています。また、湖尻観測点では 7 月中旬から数時間程度の不規則な変動が見られるようになりました。この短期間の変動は特に 9 月中旬に顕著に現れています。これらの原因については本当の地殻変動

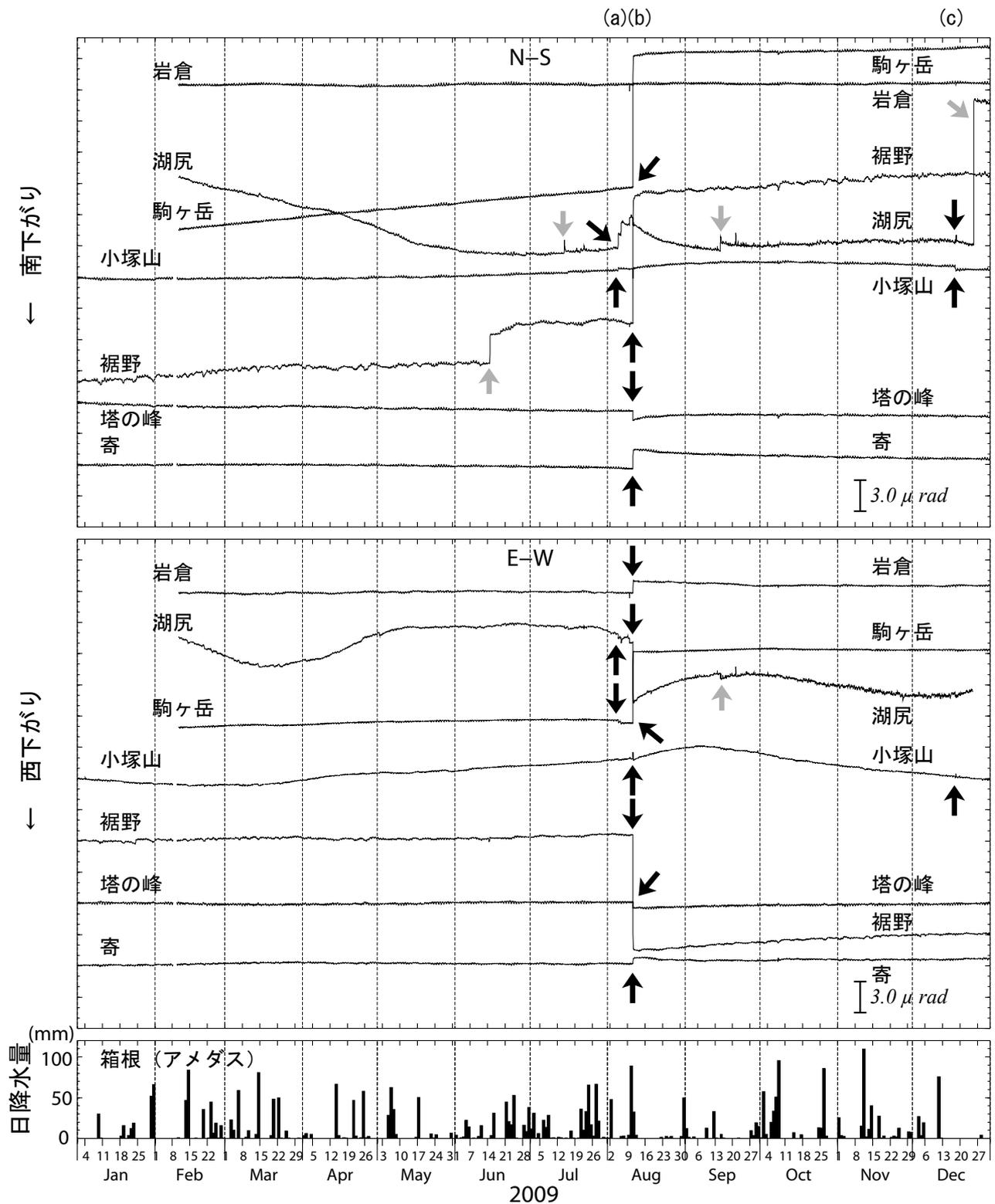


図2 2009年の傾斜観測結果。図は上から南北成分、東西成分、箱根（気象庁アメダス観測点）における日降水量を示す。(a)から(c)および黒色矢印は地震・火山活動に伴う傾斜変動（本文参照）、灰色矢印は傾斜計自体の機械的な変化を表す。

か傾斜計自体の機械的な不具合かを現在調査中で、まだ明らかになっていません。ただし、1年間を通した経年的な変化（長期的なトレンド）

については、概ね安定した観測が継続していると思われます。
2009（平成21）年の傾斜観測結果からは以下の特徴がみられます。

(1)地震による傾斜変化(図2a～c) 傾斜計は有感地震や遠地での規模の大きな地震によって影響を受け、ステップや一時的なデータの飛びを

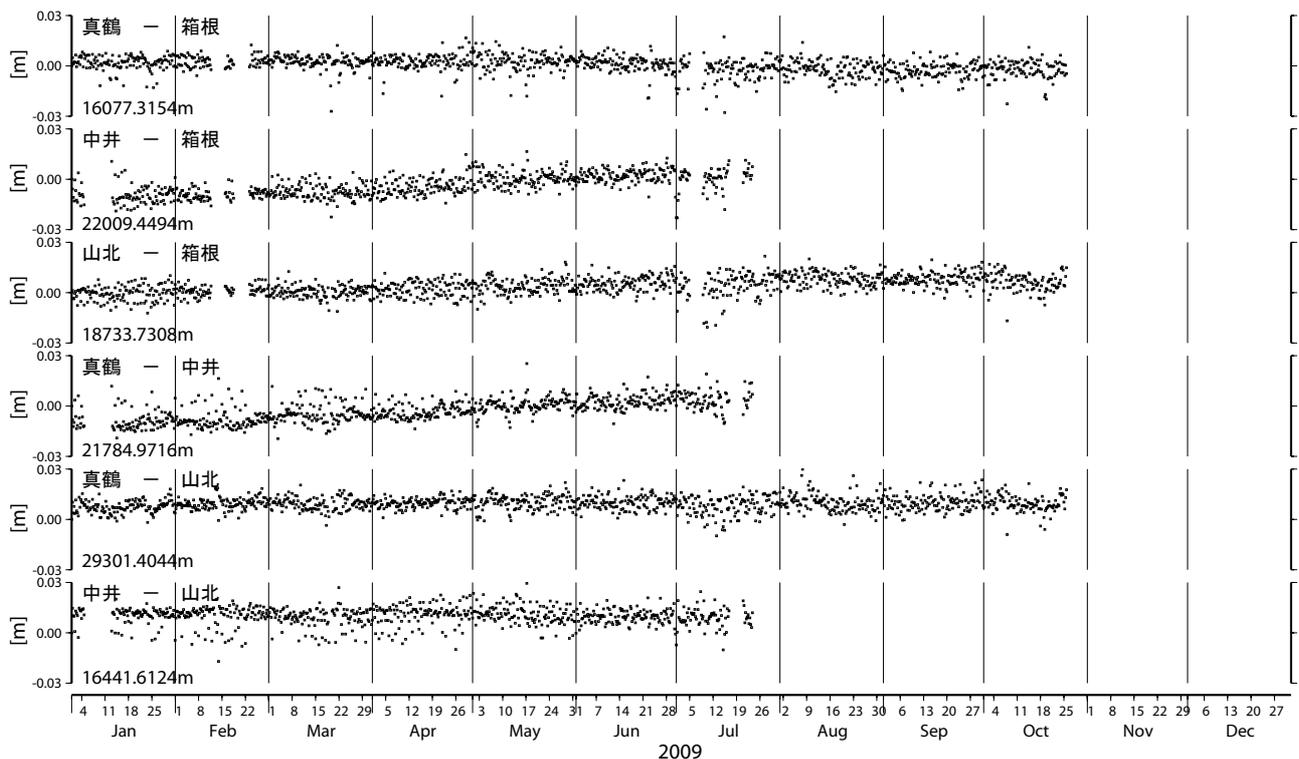


図3 2009年のGPS測量結果(基線長成分)。縦軸は1月1日を基準にして、その相対変化量(m)で示している。また、数値は基準となる距離(0mmにおける絶対値)を示している。

生じます。2009(平成21)年は次の地震によりコサイスマックな傾斜変動が観測されました。

- (a) 8月4日～8月10日 箱根群発地震活動(最大地震;8月6日06:03, M3.2)
- (b) 8月11日05:07 駿河湾の地震(M6.5, 深さ23km)
- (c) 12月18日08:45 伊豆半島東方沖の地震(M5.1, 深さ5km)

(a)の箱根群発地震については(詳しくは本多・伊東, 2010参照)、震源域のごく近傍にある湖尻観測点でこの群発地震に伴う傾斜ステップが観測されました。また、駒ヶ岳観測点でも、同様な傾斜ステップが観測されています。これらの傾斜ステップは地震動によって観測機器が揺れたために発生したものと思われます。

(b)の駿河湾の地震については、震源域から傾斜計の観測網までのおおよそ60～70km離れています。しかしながら地震の規模が大きく、そ

の揺れにより全ての傾斜観測点でステップが発生しています。

(c)は、12月17日から12月20日にかけて伊豆半島東方沖で活発化した地震活動における最大地震です。この震源から箱根まではおおよそ30km離れていますが、湖尻観測点や小塚山観測点においてステップや飛びが発生しました。

このように地震時には傾斜ステップや飛びが発生していますが、それらに先行するような異常な傾斜変動はありませんでした。

(2) 降雨などによる影響

傾斜計は高感度かつ高精度であるため、降雨や気圧などの気象条件にも影響を受けます。2007(平成19)年は台風9号による傾斜変化が顕著に現れていましたが(原田ほか, 2008)、2009(平成21)年は大きな台風の接近もなく比較的安定した観測記録が得られています。

(3) 年周変化

湖尻観測点の東西成分では、3月

くらいに西下がりのピークになり、9月くらいに東下がりのピークになるような年周変化(1年間の周期的な変化)が見られます。また、小塚山観測点でも振幅が小さいものの、湖尻観測点と同様の傾向が見られます。一般的に年周変化を引き起こす原因は、①気温や気圧の年周変化、②(降水量に起因する)地下水位の年周変化、などが考えられます。

(4) その他

これまで湖尻観測点では南北成分についても年周変化がみられていましたが、2月から6月にかけて南下がりの傾向が続いた後、それと同程度の北上がりの傾斜変動が2009(平成21)年の観測結果には見られません。また、駒ヶ岳観測点の南北成分では、(b)の駿河湾の地震までは経年変化が大きく、その地震以後は経年変化が小さくなっています。これらは傾斜計自体の更新に伴う初期ドリフト、つまり、新たに設置した傾斜計が周辺の環境に安定す

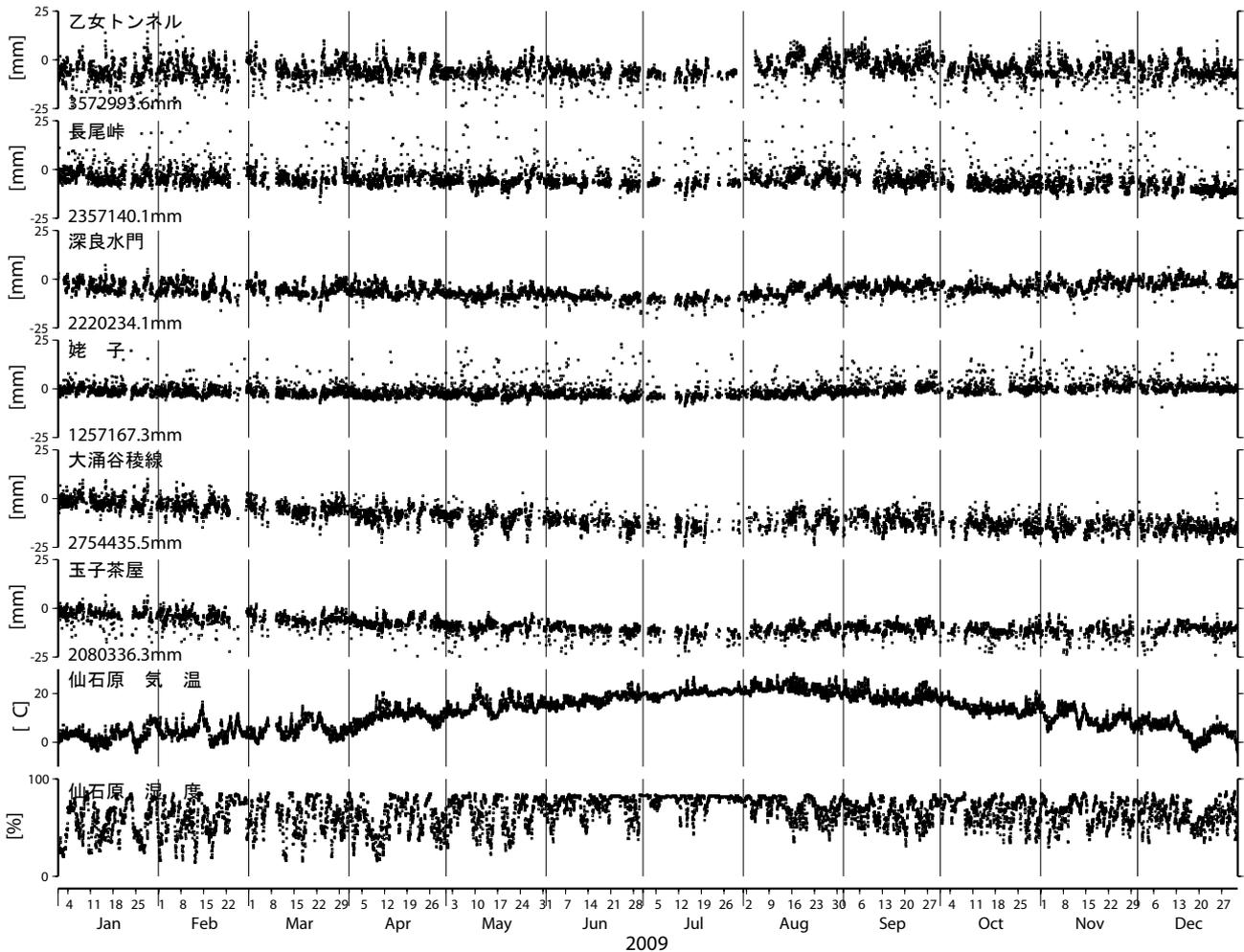


図 4.1 2009 年の光波測量結果（箱根観測網）。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量（mm）で示している。また、数値は基準となる距離（0mm における絶対値）を示している。

るまでの変化で、地震や火山活動に伴う地盤の傾斜変動ではないと考えられます。

GPS 測量結果

GPS 測量の観測点は神奈川県西部地震の想定震源域を取り囲むように考慮し、真鶴、箱根、山北、中井において観測を行っています（図 1 ☆）。2008（平成 20）年 10 月からは曾我谷津（小田原市）、開成、南足柄、元箱根の 4ヶ所に新たに GPS 測量機器を設置し、計 8 観測点による観測を開始しました。また、2009（平成 21）年 10 月からは既存の 4 観測点（真鶴、箱根、山北、中井）の GPS 受信機も平成 20 年に新設した GPS 測量機器と同じ機種

（Topcon 社製 NET-G3 受信機、同社製 CR-4 チョークリングアンテナ）に統一するための作業を行っています。なお、観測方法の詳細やこれまでの観測結果については、神奈川県温泉地学研究所（1999）や原田ほか（2007）をご覧ください。

2009（平成 21）年はこのような GPS 観測網の変更の過渡期にあり、ここでは旧観測網（真鶴、箱根、山北、中井）における 2009（平成 21）年 1 月から 12 月における GPS 測量結果を示します（図 3）。4 観測点 6 測線の基線長を 6 時間毎に解析し表示しています。この 1 年間、各観測点では受信機の不調などにより 1 週間程度の短期的な欠測はありましたが、長期間の変動を見るの

には問題とはなりません。また、中井観測点では、機器を更新する前に受信機が故障してしまったため 7 月 24 日以降、欠測となっています。その他の 3 観測点については 10 月下旬に機器の更新を行ったため、それまでの観測結果を示しています。

2009（平成 21）年の GPS 測量結果では、1 月から 7 月にかけて中井観測点を含む基線長（中井－箱根、真鶴－中井）で約 1.5cm 程度の伸びが見られます。2008（平成 20）年の測量結果を見ると（原田・板寺，2009）、同基線長は年周変化が顕著であり、2009（平成 21）年前半の伸びも年周変化の一部であると思われる。また、真鶴－箱根の基線長は 2009 年 6 月から 7 月にかけて

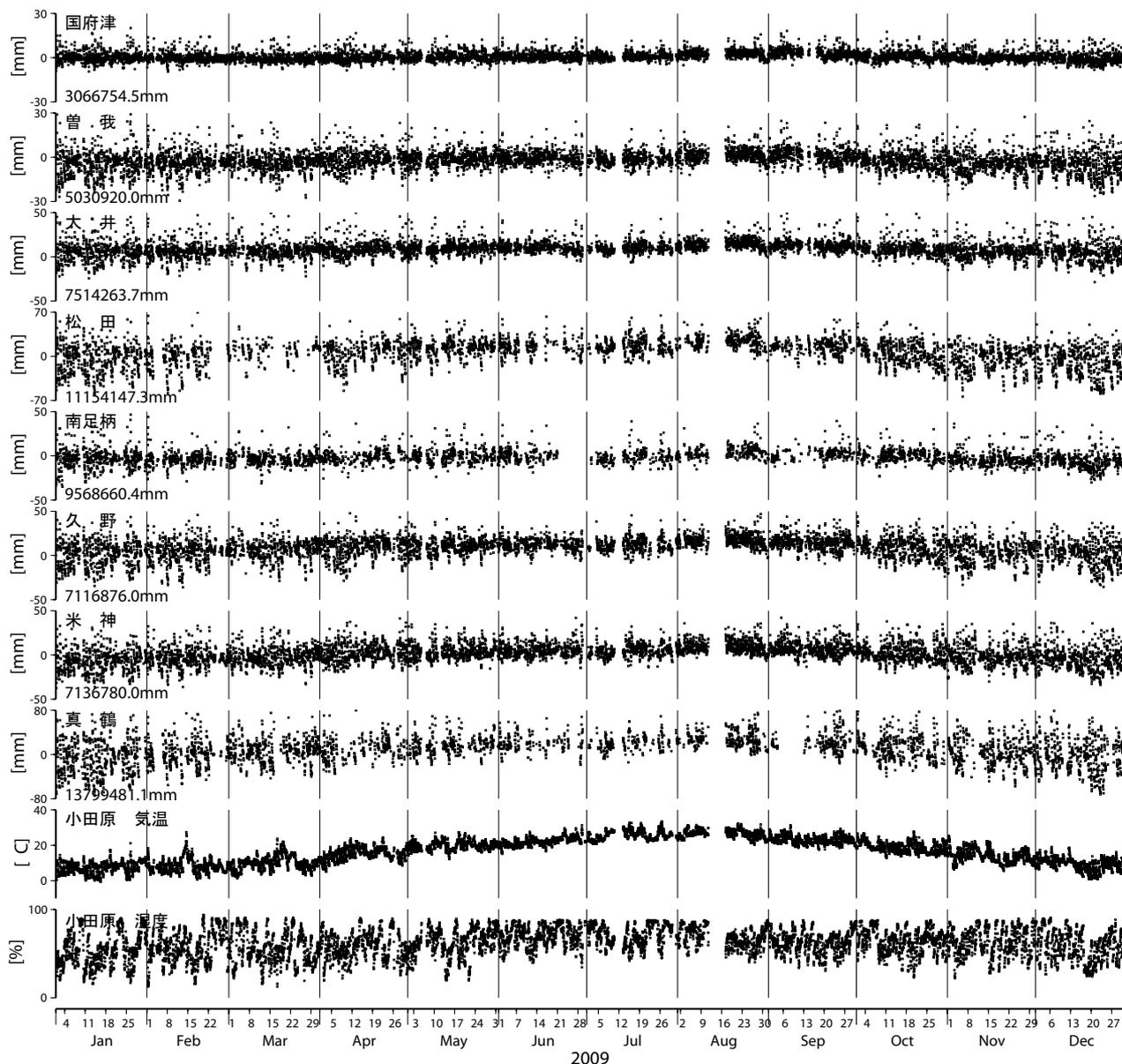


図 4.2 2009 年の光波測量結果（小田原観測網）。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量（mm）で示している。また、数値は基準となる距離（0mm における絶対値）を示している。

約 0.5cm 程度縮んでいることが観測されています。これは同年 8 月に発生した箱根群発地震の前に、群発地震の震源域のより深部で膨張しており、それを捉えた変動かもしれません。なお、箱根火山における地殻変動の変動源と地震活動の関係については、原田ほか（2009b）をご覧ください。

光波測量結果

光波測量は、仙石原を基点とした箱根地域（6 基線）と酒匂を基点と

した小田原地域（8 基線）で行っています（図 1 ◇）。観測方法の詳細やこれまでの観測結果については、神奈川県温泉地学研究所（1999）や原田ほか（2007）、原田・板寺（2009a）をご覧ください。

図 4 に 2009（平成 21）年 1 月から 12 月における箱根地域および小田原地域の光波測量結果を示します。この 1 年間の測量結果をまとめると、次のとおりです。

(1) 箱根地域

全ての基線で数日程度の欠測が発

生しています。これらについては、雨や曇りなどの天候によって光波測距儀からのレーザー光が遮られて測量ができなかったためです。

期間中の光波測量結果では、乙女トンネルや長尾峠、深良水門では 8 月前半に若干伸びる変動が見られます。これらは 2009（平成 21）年 8 月の箱根群発地震に伴う変動の可能性があります。しかし 1 年間を通して見ると、ほぼ元の基線長の長さに戻っており年周変化の可能性もあります。これについては丹保ほか

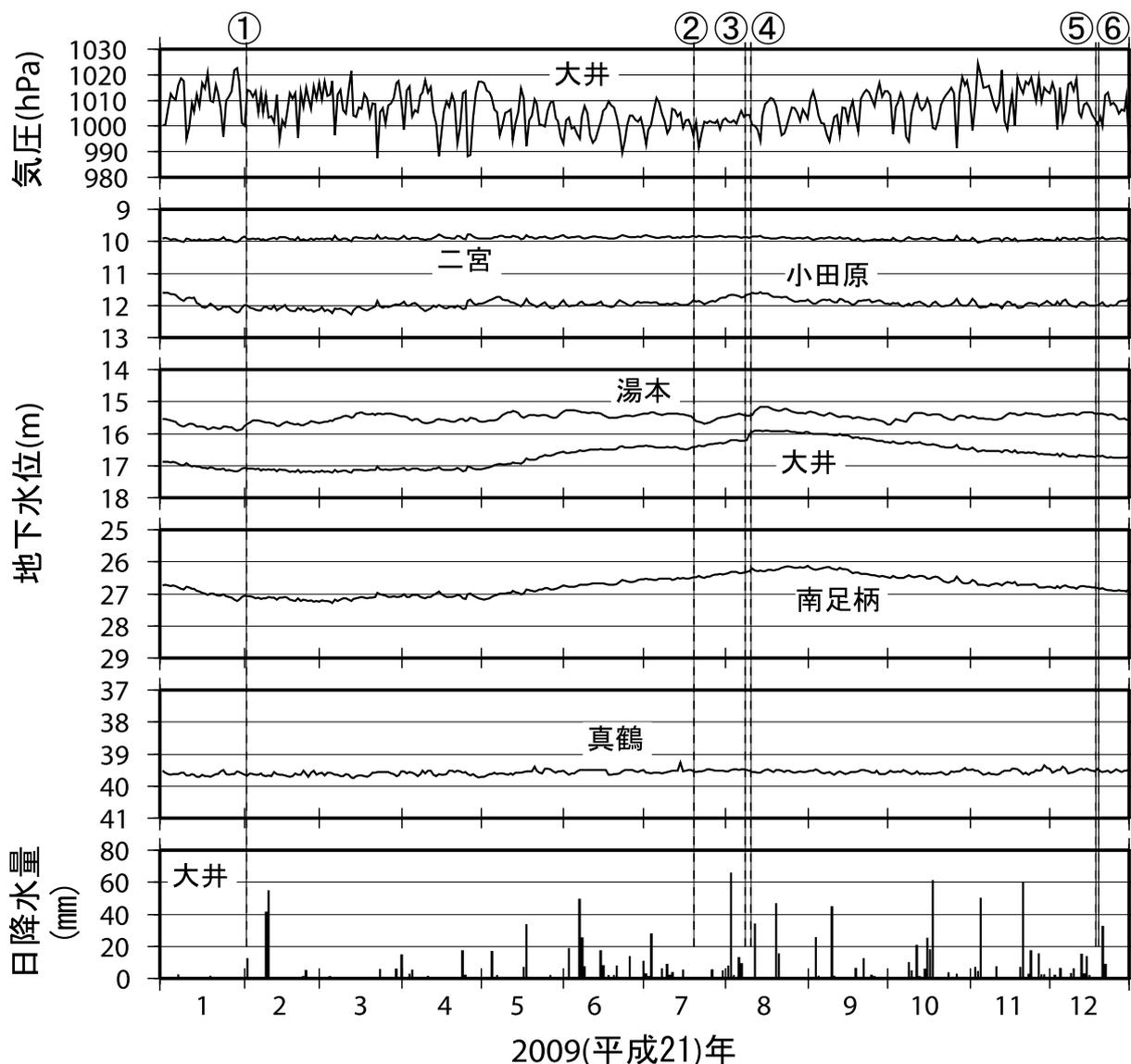


図5 2009年の地下水位観測結果。

地下水位は地表面からの深さで表示している。図上の数字は、表1に掲げた番号の地震発生日を示す。

(2005) のような解析処理を行うことによって明確に分離できると考えられます。

その他では、日周変化や年周変化が見られるものの、箱根火山活動に伴う異常な基線長変化はありませんでした。

(2) 小田原地域

2009 (平成 21) 年の光波測量結果では、8月くらいに基線長が伸び、1月くらいに縮むような年周変化が見られるものの、1年間を通して安定した記録が得られています。また、基線長の短い国府津観測点を除いた各基線では、冬の時期の基線長のバ

ラつきが大きくなっています。光波測量による基線長の測定に影響を及ぼす気温・湿度のデータを見ると、特に冬場の湿度のバラつきも大きいため、これらの影響かもしれません。期間中の光波測量結果では、地震活動に伴う異常な基線長変化はありませんでした。

地下水位観測結果

地下水位観測は、図1 (▼) に示した6ヶ所で行っています。観測施設の位置や観測方法の詳細については横山ほか (1995) を参照してください。地下水位観測においては、

現行のシステムが整備されてからすでに20年以上が経過しており、老朽化した機器によるトラブルが日常的に発生します。2009年10月から11月にかけては、真鶴観測施設に設置した通信用モデムの故障が発生しました。通信用モデムは既に生産・販売が終了しており、ここ数年、代替モデムの調達も課題の一つとなっていました。同一メーカーの後継機種が設定変更により使用できることが判明し、手動のデータ回収を頻繁に行ったこともあり、欠測を最低限に抑えることができました。

2009 (平成 21) 年の地下水位観

表1 2009年に観測されたコサイスマミックな地下水位変化

地震発生日	時刻	震央地名	深さ (km)	M	コサイスマミックな地下水位変化(cm)						
					大井	小田原	南足柄	湯本	真鶴	二宮	
①	2009/02/01	06:52	茨城県沖	30	5.8	3.2 ↑					
②	2009/07/16	05:19	神奈川県西部	20	4.2	0.1 ↑		0.2 ↑		○	
③	2009/08/09	19:55	東海道南東沖	340	6.8	18.0 ↑					○
④	2009/08/11	05:07	駿河湾	20	6.5	5.0 ↑	0.2 ↓	0.2 ↓	約20 ↑		○
⑤	2009/12/17	23:45	伊豆半島東方沖	ごく浅い	5.3	○					
⑥	2009/12/18	08:45	伊豆半島東方沖	ごく浅い	5.3	3.0 ↑					

M: マグニチュード、↑: 水位の上昇、↑↓: 水位の上下動、↓: 水位の低下、○: 影響が認められる

測結果を図5に示します。地下水位は、潮汐の影響が強く現れる真鶴観測点と二宮観測点については日平均値、それ以外の施設については毎日0時の観測結果をもとに、地表面を基準とした水面の深さを求めて示してあります。この図上で上に推移する場合は水位の上昇を、下に推移する場合は水位の低下を示します。気圧、雨量については、大井観測点における毎日0時の気圧、日雨量を用いて作図しました。

図5に示した観測結果について、

気圧・潮汐補正等の処理(板寺, 2003)を行うなどして、異常変化の有無について検討した結果、地震発生に先行するような異常な地下水位の変化は認められませんでした。コサイスマミックな水位変化は6回の地震の際に観測されました(表1)。8月中旬には東海地方を震源とする地震が多発しました。特に、8月9日の東海道南方沖の地震(M6.8)と8月11日の駿河湾の地震(M6.5)では、神奈川県を含む広い範囲で有感となり、地下水位に

もその影響が認められました(図6)。この2回の地震は、震源の位置や規模、発生のメカニズムが全く異なっており、地下水位への影響の表れ方も異なっていました。湯本では、8月11日の地震発生直後から始まった水位上昇が2日程度続いていました。同様の水位の上昇は、2007(平成19)年10月1日に神奈川県西部(箱根付近)で発生した地震(M4.9)後にも観測されています(原田ほか, 2008)。11日の地震後には、気象庁から東海地震観測情報が発表され、有感となる余震も複数回発生しました(気象庁, 2009)が、これらの余震に関わるコサイスマミックな水位変化は認められませんでした。

12月17日から21日にかけては、伊豆半島東方沖で地震活動が活発化し多数の有感地震が発生しました(気象庁, 2009)。この活動中規模の大きな地震は17日(M5.0)と18日(M5.1)に発生し、大井観測井の水位にその影響が認められました(図7)。この2回の地震の震源の位置や発生のメカニズムは似通っていましたが、それぞれの地震後に大井観測井で観測されたコサイスマミックな水位変化の様子は異なっていました。

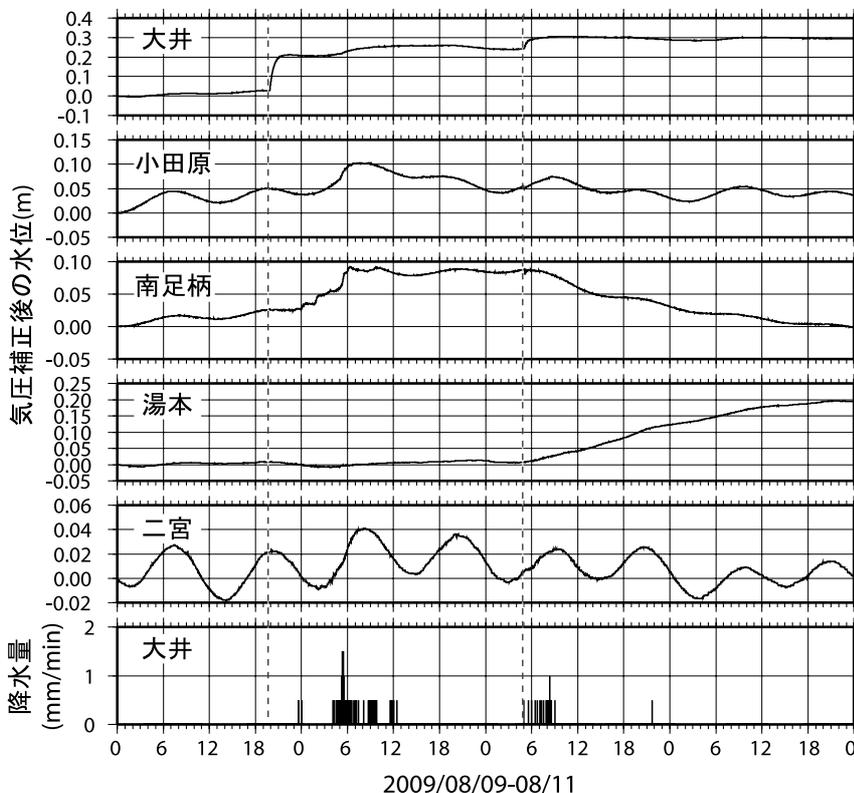


図6 東海道南東沖の地震(M6.8)および東海沖の地震(M6.6)に伴って観測されたコサイスマミックな地下水位変化(点線は地震発生時を示す)。

おわりに

2009(平成21)年の地殻変動観測結果では、傾斜観測と地下水位観測でコサイスマミックな変化が観測さ

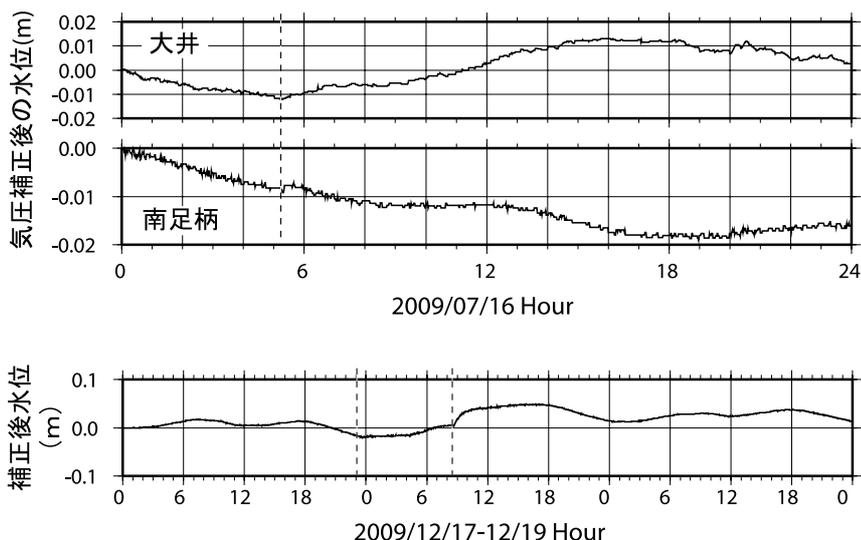


図7 地震に伴って観測されたコサイスミックな地下水位変化。(上) 神奈川県西部の地震、(下) 伊豆半島東方沖の地震。(点線は地震発生時を示す)。

れました。また GPS 測量や光波測量では、2009 (平成 21) 年 8 月に発生した箱根群発地震に関連した変動が観測された可能性があります。しかしながら、短期的にノイズレベルを超えるような異常な地殻変動は認められませんでした。

一般的にマグニチュード 7 以上の地震発生の直前には通常の地殻変動とは異なる急激な (先行するような) 変化が起こると考えられています。そのような変化は、定常的地殻変動とは違った変動として捉えられる可能性があります。このような変動を判断するためには、複数の観測点における観測データを参照するとともに、傾斜観測・GPS 測量・光波測量・地下水位観測を総合的に解析する必要があります。

神奈川県西部地域では M7 クラスの地震の発生が懸念されていますので (例えば、石橋、2003)、地震発生に至る過程を解明するためにも、非地震時の長期間安定した地殻変動観測が必要不可欠です。

参考文献

- 原田昌武・棚田俊收・伊東博・代田寧 (2005) 神奈川県西部地域における 2004 (平成 16) 年の傾斜観測結果, 温地研観測だより, 55, 7-10.
- 原田昌武・行竹洋平・棚田俊收・伊東博・本多亮 (2007) 神奈川県西部地域における 2006 (平成 18) 年の GPS・光波測量結果, 温地研観測だより, 57, 13-18.
- 原田昌武・板寺一洋・伊東博 (2008) 神奈川県西部地域における 2007 (平成 19) 年の地殻変動観測結果, 温地研観測だより, 58, 41-48.
- 原田昌武・板寺一洋 (2009a) 神奈川県西部地域における 2008 (平成 20) 年の地殻変動観測結果, 温地研観測だより, 59, 55-62.
- 原田昌武・小林昭夫・細野耕司・吉田明夫 (2009b) 2001 年箱根群発地震活動以後の箱根から富士山にかけての地殻変動, 温地研報告, 41, 7-14.
- 本多亮・棚田俊收・原田昌武・伊東博 (2006) 神奈川県西部地域における 2005 (平成 17) 年の傾斜観測結果, 温地研観測だより,

56, 7-10.

本多亮・伊東博 (2010) 神奈川県内およびその周辺における 2009 (平成 21) 年の地震活動, 温地研観測だより, 60, .

石橋克彦 (2003) 小田原地震は起こるのか?, 地震ジャーナル, 36, 8-13.

板寺一洋 (2003) 地下水位データの簡易な補正法と異常判定の基準について, 温地研報告, 35, 47-52.

伊東博 (2009) 温泉地学研究所における地震・地殻変動観測施設の整備について, 温地研観測だより, 59, 9-12.

神奈川県温泉地学研究所 (1999) 温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」の取り組み, 温地研報告, 29, 3-40.

気象庁 (2009) 東海地震に関連する情報 第 3 号.

気象庁 (2009) 伊豆半島東方沖の地震活動について (第 2 報).

丹保俊哉・棚田俊收・伊東博・代田寧 (2005) 光波測量基線網で捉えられた 2001 年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動, 測地学会, 51, 45-48.

横山尚秀・小鷹滋郎・板寺一洋・長瀬和雄・杉山茂夫 (1995) 神奈川県西部地震予知研究のための地下水位観測施設と地下水位解析, 温地研報告, 26, 1・2 合併号, 21-36.