

神奈川県西部地域における 2014（平成 26）年の地殻変動観測結果

原田昌武・板寺一洋・道家涼介（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、臨時観測 4 観測点）・光波測量（2 観測網・14 基線）・地下水位観測（6 観測点）の連続観測を行っています（図 1）。ここでは、2014（平成 26）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。地震活動については行竹・本多（2015）をご覧ください。

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）をご覧ください。

図 2 に 2014（平成 26）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

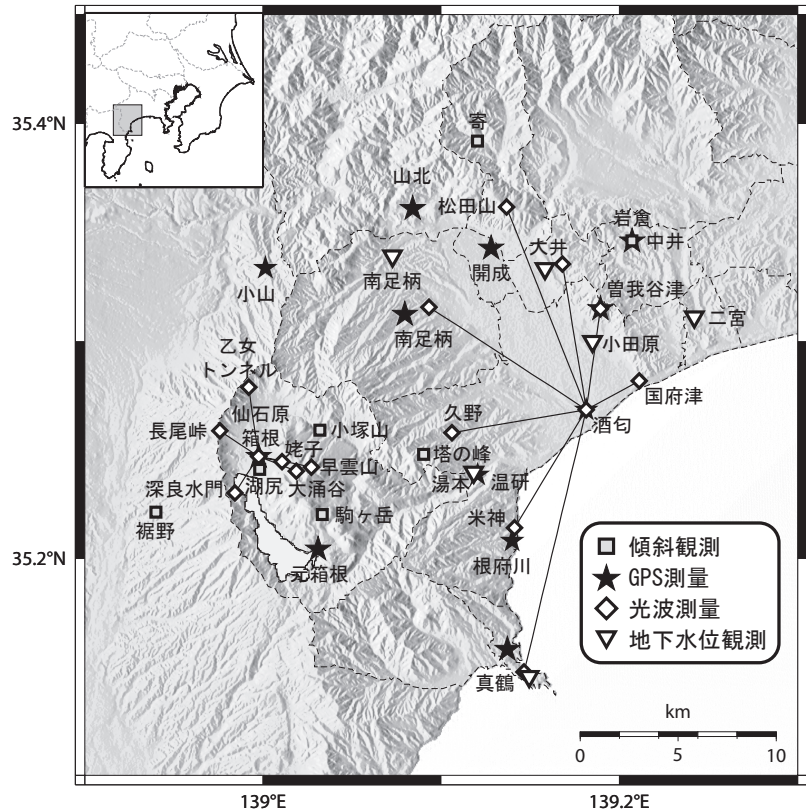


図 1 地殻変動観測点分布図。

した 1 時間値のデータを用いて作成したものです。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（気象庁による気象観測点）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。

湖尻観測点では 2009（平成 21）年 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（原田・板寺，2010）。南北成分は多少良くなってきているものの、東西成分では現在も原因不明の不規則な変動が見られています。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。

2014（平成 26）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

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生じます。2014（平成 26）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) 5 月 5 日 05:18 伊豆大島近海の地震（M6.0, 深さ 156km）
- (b) 7 月 12 日 04:22 福島県沖の地

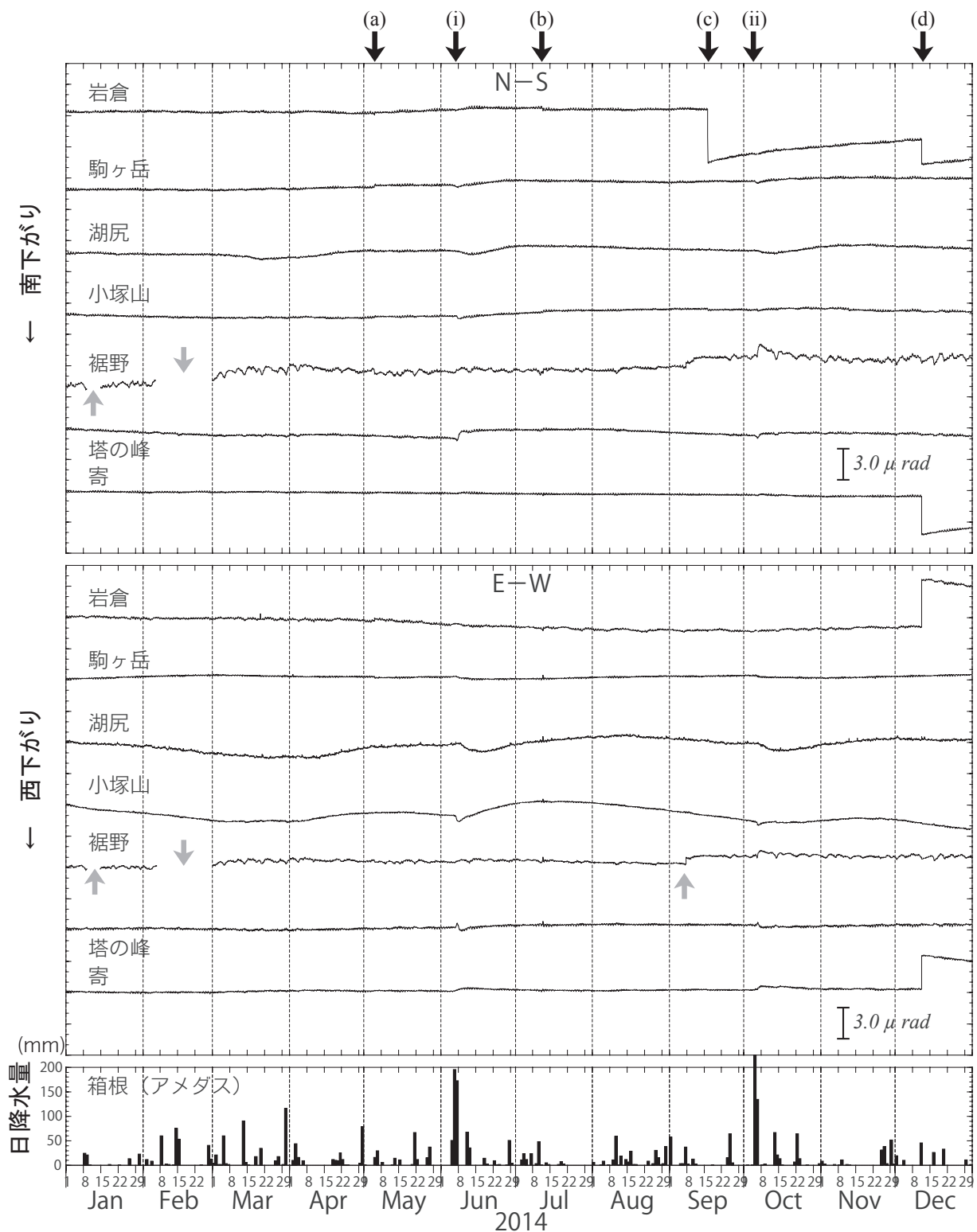


図2 2014年の傾斜観測結果。図は上から南北成分、東西成分、箱根(気象庁アメダス観測点)における日降水量を示す。(a)～(d)は地震に伴う傾斜変動(本文参照)、(i)～(ii)は降雨による影響(本文参照)、灰色矢印は傾斜計自体の機械的な変化や装置の一時的な不具合を表す。

震 (M7.0, 深さ 33km)	23km)	まり、震源付近よりも遠方で大きく揺れる“異常震域”が観測された地震です。これにより岩倉観測点や駒ヶ岳観測点において少しか傾斜ステップが生じています。また、(b)
(c) 9月16日 12:28 茨城県南部の地震 (M5.6, 深さ 47km)	(a) の地震は、伊豆大島近海で発生しましたが震源の位置が深く、県西部よりもむしろ横浜市や川崎市、東京都などで大きく揺れました。つ	
(d) 7月12日 04:22 山梨県東部・富士五湖の地震 (M4.3, 深さ		

の地震は当所の傾斜観測網からは震源距離が遠いのですが、地震の規模が大きく、その揺れが傾斜計データの東西成分にスパイク状に記録されています。さらに、(c)の地震は岩倉観測点の南北成分のみに、(d)の地震は岩倉観測点と寄観測点に傾斜ステップを生じさせています。このように地震時には傾斜ステップや一時的な飛びが発生していますが、それらの地震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（原田ほか、2008）。2014（平成26）年については、次の降雨による影響が見られます。

(i) 6月6～7日頃の降雨

(ii) 平成26年台風第18号（10月5～6日頃）

(i) は、低気圧が発達し西日本から関東で大雨が発生しました。箱根町芦ノ湯（気象庁による気象観測点）では、6月6日と7日の1日当たりの降水量はそれぞれ196mm、172.5mmの大雨が観測されており、傾斜変動を引き起こしています。(ii)の台風は、南の海上から九州・四国地方の太平洋沿岸を通過し、静岡県浜松市付近から上陸、神奈川県を横断したのち、茨城県沖に抜けていきました。この時、箱根町芦ノ湯では225.5mm（10月5日）、135mm（10月6日）の降水量を観測しています。これらの降雨による影響が、各観測点にあらわれています。

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、1993（平成5）年から真鶴、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）に更新しました。さらに、現在は臨時観測を4ヶ所（温地研、酒匂、根府川、小山）で行っています。このうち、温地研観測点については、昨年発生した受信機の故障の影響で、2013（平成25）年12月17日から2014（平成26）年2月3日まで、Topcon社製LEGACY-E受信機を用いて観測を行っていました。修理完了後の2月4日からは、他の観測点同様、同社製NET-G3受信機に戻っています。また、臨時観測点のうち、小山臨時観測点については、独立行政法人防災科学技術研究所との共同研究による観測点です。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。また、昨年より、Bernese 5.0というソフトウェアで、GPSデータの解析を行っています。データの解析手法の詳細については、道家ほか（2013）をご覧ください。

図3に2014（平成26）年1月から12月におけるGPS測量結果を示します。これらは、真鶴観測点を基点とした各観測点（臨時観測点を含めて11測線）の基線長を1日毎に解析し表示しています。小山観測点では、8月1日よりデータの取得が不可能になりました。これは、観

測点の直近で落雷があり、それによりアンテナが故障してしまったためです。このアンテナの修理は困難であったため、10月1日から、観測機器をTopcon社製LEGACY-E受信機および同社製PG-A1アンテナに切り替え、観測を継続しています。そのため、アンテナ交換の前後で基線長の値に変化が認められます。また、10月23日～12月3日の間は、通信機器のトラブルによりデータの取得ができませんでした。曾我谷津観測点では、12月17日～12月23日の間欠測となっています。これは、観測点に併設している無停電装置に、自動車が衝突するという事故が発生したことによります。アンテナ・受信機には影響がなく、現在は無停電電源装置を介さずに、電源より直に電気をとることにより観測を継続しています。しかし、無停電電源装置は、大規模地震発生時などの有事の際に、継続して観測を行うための非常用の電源であるため、その復旧は急務と言えます（注：2015年3月24日復旧）。また、箱根観測点においては、6～9月にかけて、観測した衛星の数が極端に少なくなり、データから座標値を計算することができなくなる状態が、断続的に発生しました。この原因については、よく分かっていませんが、おそらく受信機の不具合によるものと考えられます。小山観測点で使用していた受信機と入れ替えたことにより、その現象は発生しなくなっています。

2014（平成26）年のGPS測量結果では、地震活動や火山活動に対応すると思われる顕著な地殻変動は観測されませんでした。

各観測点においては、1年間のスケールで基線長が伸びたり縮んだりする年周変化が見られます。この変動は、中井観測点や元箱根観測点で

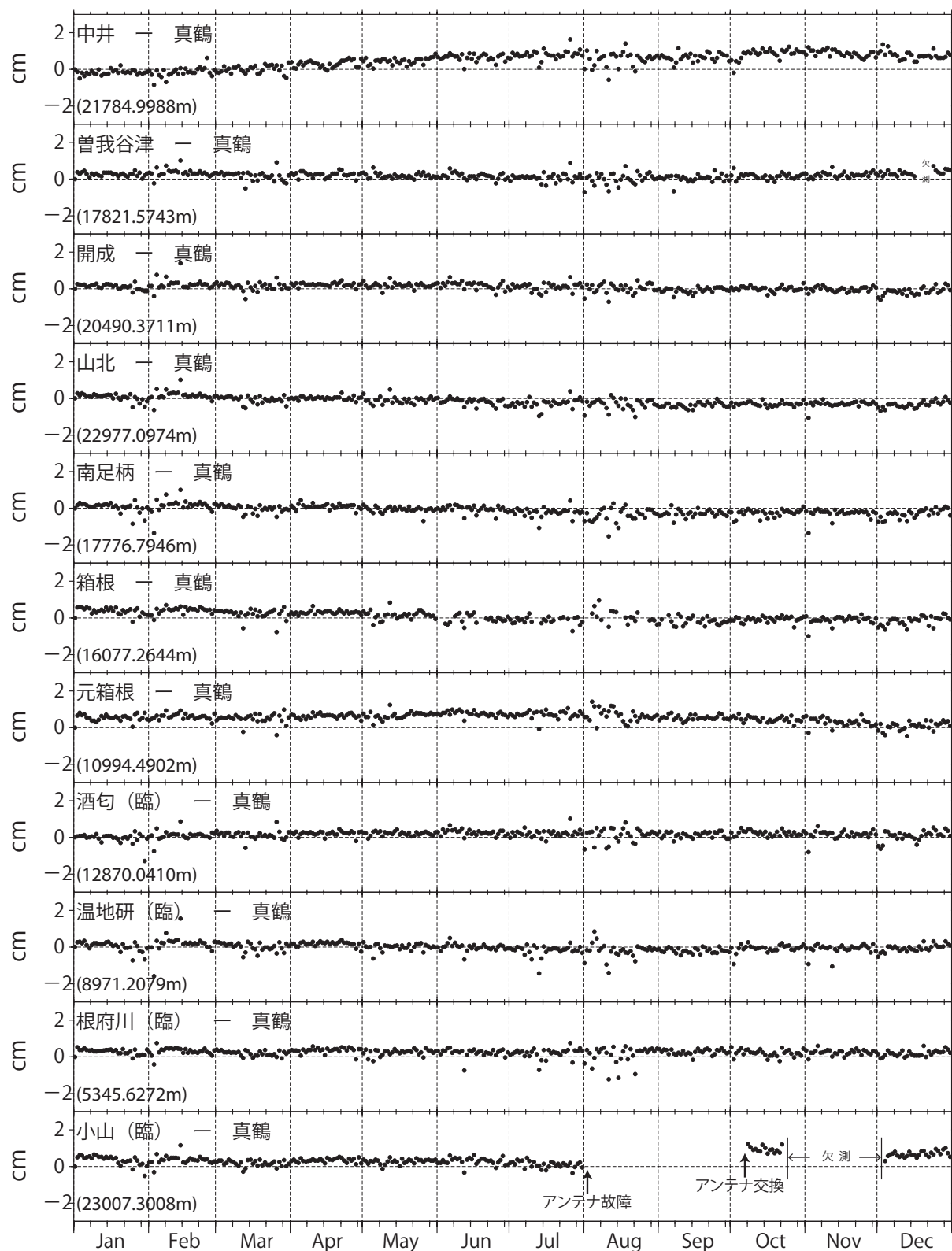


図3 2014年のGPS測量結果（基線長成分）。真鶴観測点を基点とした各観測点の基線長変化を示す。縦軸はデータの最初の日を基準にして、その相対変化量（cm）で示している。また、数値は基準となる距離を示している。小山（臨時）観測点は、（独）防災科学技術研究所との共同研究による観測点である。

顕著であり、設置している環境や土台によるところが大きいと考えられます。また、中井観測点では、年周変化を考慮した上でも真鶴観測点と

の間で伸びが認められます。気象条件や積雪の有無などにより、年周変動の現れ方が年により異なることもあるので、この変動の原因について

は、より長期間のデータを継続して見ていく必要があります。

光波測量結果

光波測量は、仙石原（箱根町）を基点とした箱根地域（6 基線）と酒匂（小田原市）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）、道家ほか（2014）をご覧ください。

図 4 に 2014（平成 26）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。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。乙女トンネル観測点では周辺の樹木が成長し、測距儀からのレーザー光が遮ら

れてしまったため、欠測やバラツキが多い期間があります。また、酒匂の気圧計は 8 月 19 日に一時的な電源断により設定値がリセットされ、気象補正された基線長（図 4.2）ではステップが生じています。これについては 10 月 29 日に気圧計のパラメータを再設定し、元に戻しました。

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

1 年間を通して見ると、深良水門観測点や姥子観測点ではほぼ元の基線長の長さに戻っており年周変化や日周変化は見られるものの、箱根火山活動に伴う明瞭な基線長変化はありませんでした。早雲山、大涌谷観測点は経年的に（1 年間でそれぞれ約 1cm 程度）基線長が縮んでいま

す。この縮み傾向は、これまでの観測結果と同様で（例えば、原田・板寺，2012 参照）、経年変化であると考えられます。

（2）小田原地域

2014（平成 26）年の光波測量結果では、日周変化や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や曾我谷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。

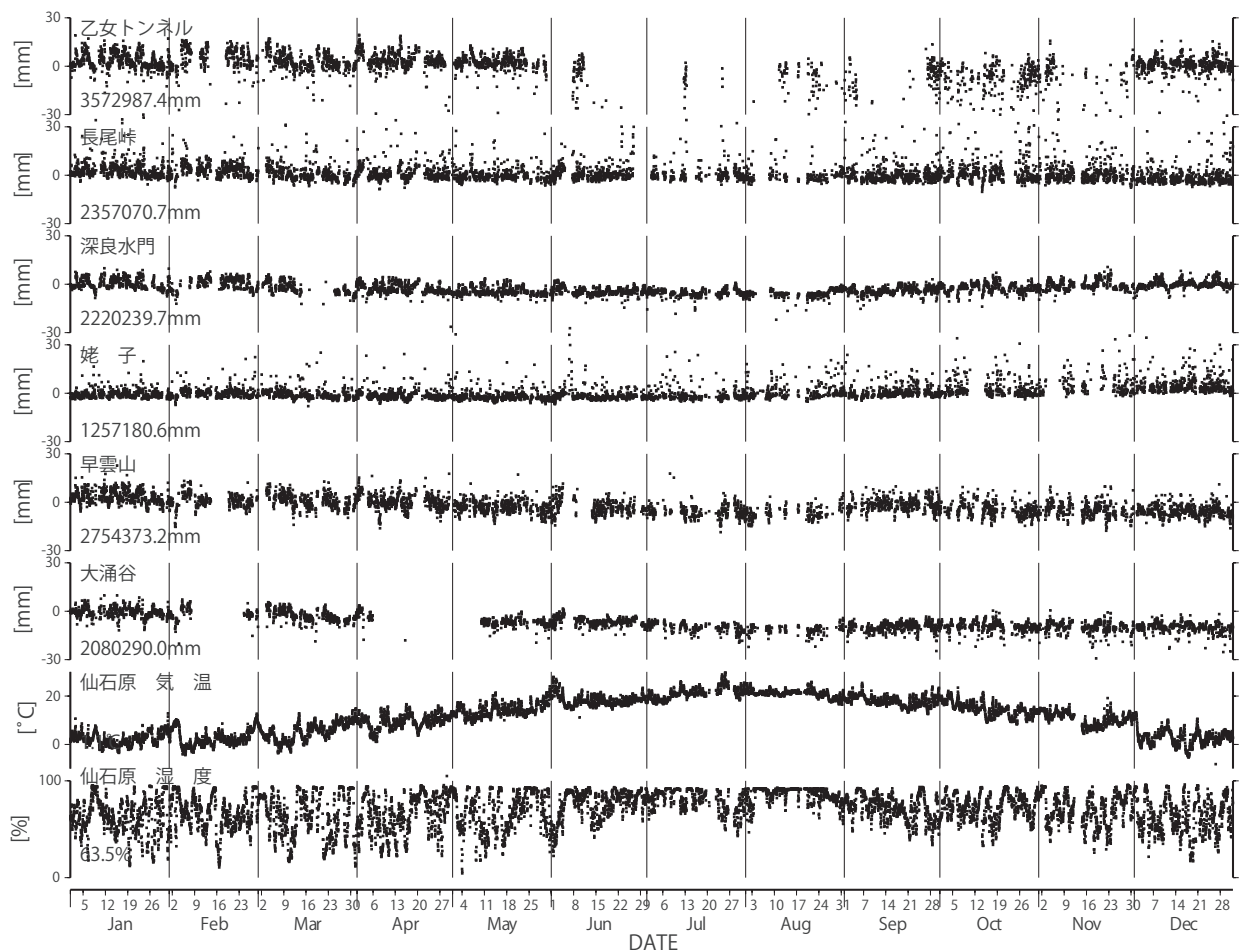


図 4.1 2014 年の光波測量結果（箱根観測網）。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量（mm）で示している。また、数値は基準となる距離（0mm における絶対値）を示している。

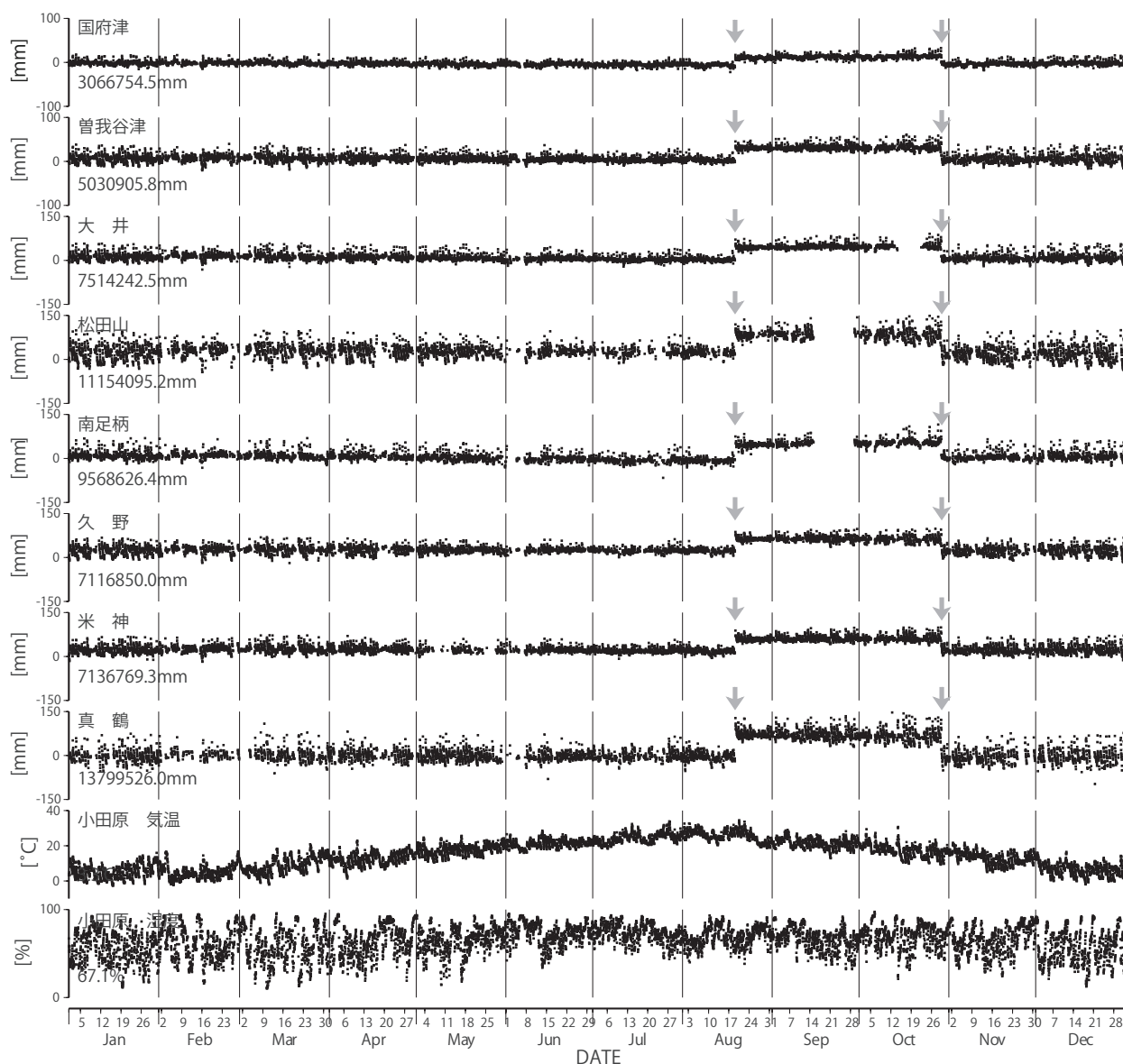


図 4.2 2014 年の光波測量結果(小田原観測網)。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量(mm)で示している。また、数値は基準となる距離(0mm)における絶対値)を示している。灰色矢印は気圧計の不具合によるステップを表す。

地下水位観測結果

地下水位観測は、図 1 (▼) に示した 6 ケ所で行っています。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。2014(平成 26)年は、すべての観測点について、大きなトラブルもなく、年間を通して順調に観測を行うことができました。

2014(平成 26)年の地下水位観測結果を図 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 によれば、二宮、真鶴の地下水位は、気圧の増減や日量数十 mm を超えるような雨に対応してわずかに上下しながらも、年間を通してほぼ一定だったことがわかります。その他の観測点については、6

月上旬と 10 月上旬に観測された日量 100mm を超える降雨(大井)による水位の変動が、年変化のパターンに影響しています。特に、南足柄と湯本では、これら 2 回の多雨に伴い、ともに大きく地下水位が上昇し、その影響が 2 カ月程度継続しているように見えますが、水位の立ち上がり方を比べると、湯本では数日間ピークに達していたのに対して、南足柄では半月程度かけ、ゆっくりと上昇しています。大井の地下水位は、3 月に最低、8 月に最高となるような緩やかな年変化を示していま

すが、10月上旬の降雨の影響により、わずかに、水位変化の傾向が変わっています。小田原の地下水位には、近隣事業所の多くが休業すると見られる大型連休や、夏季休業、年末年始などの時期に顕著に上昇するという特徴があります（横山ほか、1995；板寺、1999）が、年始の水位低下と年末の水位上昇以外は明瞭ではありません。それよりも、6月上旬と10月上旬の多雨の影響によると見られるわずかな水位上昇により、南足柄で観測されたのに近いパターンを認めることができます。

板寺（2003）は地下水位観測データの簡易な補正法について述べています。その概要は、①地下水位および気圧の階差の相関関係から求めた見かけの気圧効率により、地下水位データから気圧の影響を補正する、②さらに、気圧補正後の水位の25時間階差を計算することにより、潮汐の影響を取り除いた傾向を把握するというものです。

図6は、各観測点における2014年の観測データ（時間値）について、この補正を行った結果を示しています。地下水位に主に影響を及ぼす要因や、その影響の度合いは、観測点によって異なっている（板寺、1999）ため、うまく補正できているところ（二宮）と、そうでないところ（湯本や真鶴）があることがわかります。しかしながら、年間を通して眺めみると、大雨の影響を受けたと考えられる6月上旬と10月上旬を除くと、日常のばらつきを超えるような特異な変動は認められません。こうした検討により、地震発生に先行するような異常な地下水位の変化は観測されなかったと判断しました。

一方、コサイスマミックな水位変化は表1に示した5回の地震の際に観測されました。水位変化が観測されたのはいずれも大井観測点であ

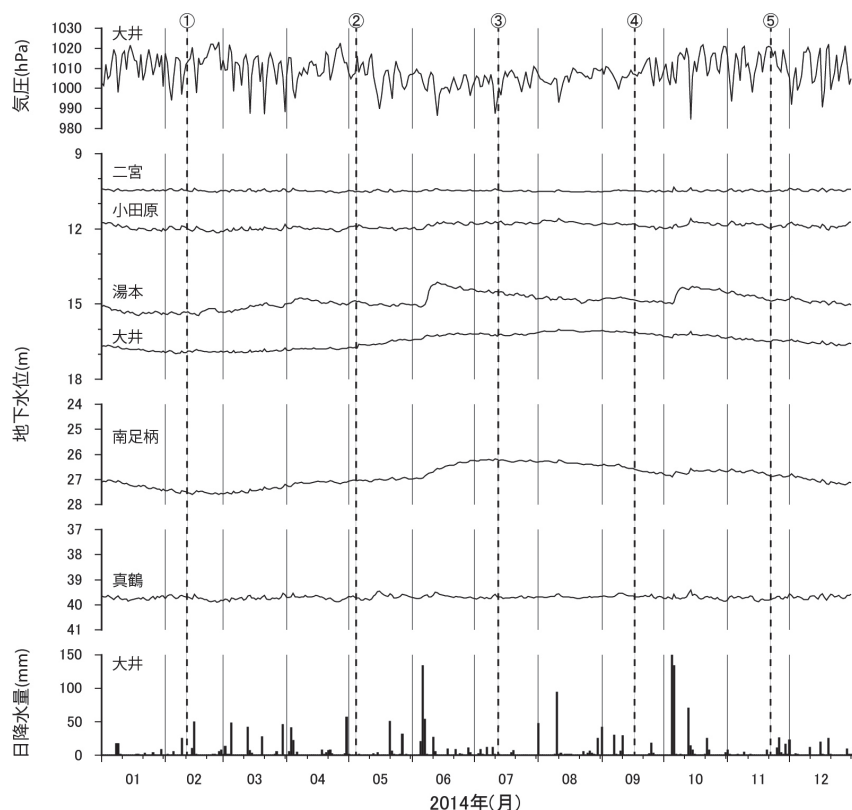


図5 2014年の地下水位観測結果。地下水位は地表面からの深さで表示している。図上の数字は、表5に掲げた番号の地震発生日時を示す。

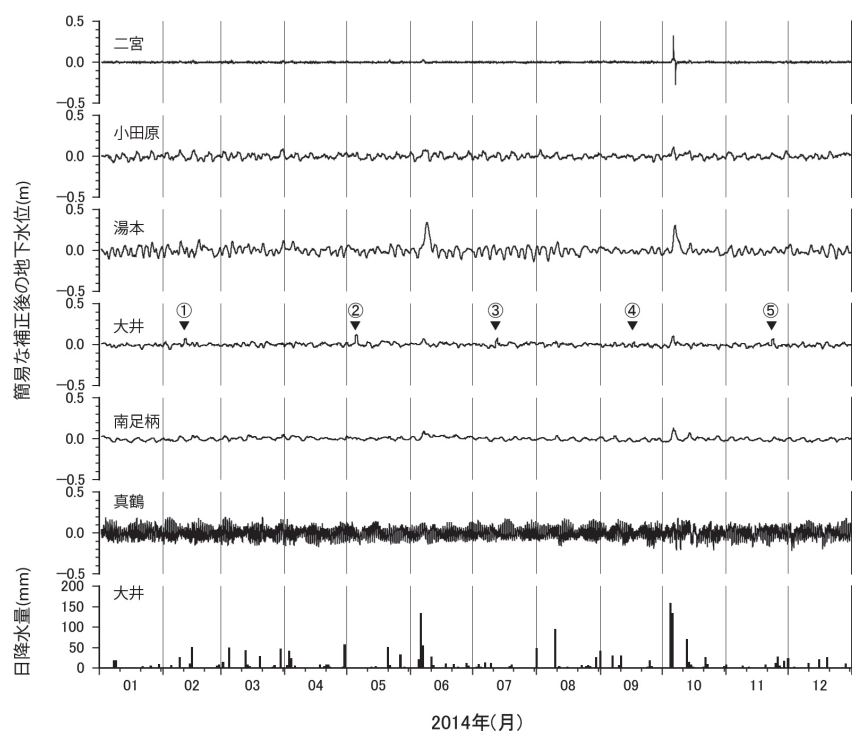


図6 簡易な気圧・潮汐補正後の地下水位変化（2014年 1月1日0時の水位を基準とする）。

り、地震発生とほぼ同時刻に5から10cm程度の水位の上昇が認められました。図6に示した補正後の

大井観測点の水位についても、これらの地震の際に、わずかな上下変動を認めることができます。このうち

表1 2014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	その他の観測点
①	2014/02/11	04:14	房総半島南方沖	91	5.3	4.5 ↑	—
②	2014/05/05	05:18	伊豆大島近海	156	6.0	10 ↑	—
③	2014/07/12	04:22	福島県沖	33	7.0	5.5 ↑	—
④	2014/09/16	12:28	茨城県南部	47	5.6	5.5 ↑	—
⑤	2014/11/22	22:08	長野県北部	5	6.7	6.5 ↑	—

M: マグニチュード、↑: 水位の上昇、—: 変化が認められない

最も大きな変化が観測されたのは、5月5日の5時18分ごろに伊豆大島近海で発生したマグニチュード6.0の地震です。この地震の震源の深さは156kmと深かったのですが、太平洋プレートの内部で発生し、プレートに沿って地震波が伝わることで、震源の真上よりも離れた場所が大きく揺れる「異常震域」という現象により、県西部地域でも最大震度4（湯河原町）が観測され（行竹・本多、2015）、大井観測点では水位がおおよそ10cm上昇しました。

おわりに

2014（平成26）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れました。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。

地震・火山活動に先行する地殻変動は、通常とは違った変動として現れることが期待されます。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。また、何が普段と違う変動なのかは、地震・火山活動のない静穏な期間のデータがなければわかりません。そのため、長期間にわたり安定した地殻変動の観測データが不可欠です。地震・火山のモニタリングのため、我々は今後も観測網を維持・更新できるよう

努めてまいります。

謝辞

観測装置を設置させていただいている関係各所、また、温泉地学研究所の本多亮さん、行竹洋平さんをはじめ地震・地殻変動観測網の維持・運営に携わる全ての方々に感謝します。

参考文献

- 道家涼介・原田昌武・宮岡一樹・里村幹夫（2013）神奈川県を対象としたBerneseによるGPS統合解析表示システムの構築，*温地研報告*，45，63-70.
- 道家涼介・板寺一洋・原田昌武（2014）神奈川県西部地域における2013（平成25）年の地殻変動観測結果，*温地研観測だより*，64，35-44.
- 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（2010）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，*温地研観測だより*，60，41-48.

原田昌武・板寺一洋（2012）神奈川県西部地域における2011（平成23）年の地殻変動観測結果，*温地研観測だより*，62，53-62.

板寺一洋（1999）温泉地学研究所の観測井における地下水位変化の特徴とその補正について，*温地研報告*，29，57-64.

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.

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.

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.

行竹洋平・本多亮（2015）神奈川県内およびその周辺における2014（平成26）年の地震活動，*温地研観測だより*，65，63-70.