

神奈川県西部地域における 2016（平成 28）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（9 観測点、臨時観測 6 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、2016（平成 28）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ほか（2017）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 2016（平成 28）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

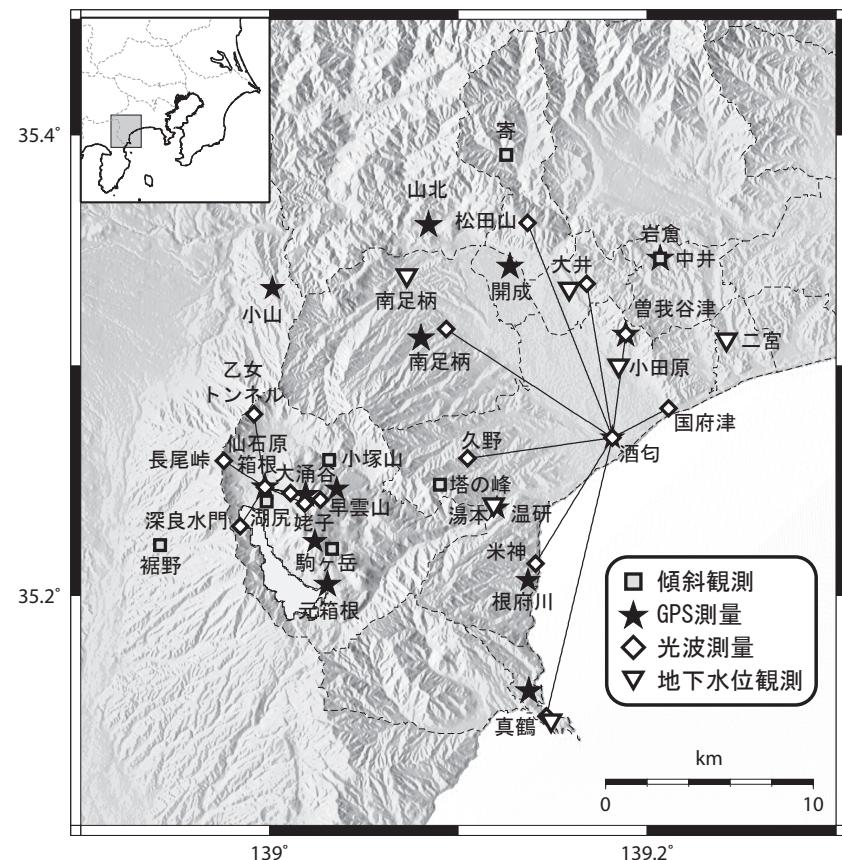


図 1 地殻変動観測点分布図。

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いるものの、東西成分では現在も月に 2 回程度

の原因不明な変動が見られています。ただし、1 年間を通じた経年的な変化（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。

2016（平成 28）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。2016（平成 28）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) 11 月 22 日 05:59 福島県沖

の地震（M7.4、深さ 25km）

この地震は、福島県沖で発生しましたが地震の規模（マグニチュード）が 7.4 と大きく、神奈川県内でも各地で有感となっています（県内最大

震度 3）。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。2016（平成 28）年については、次の降雨によ

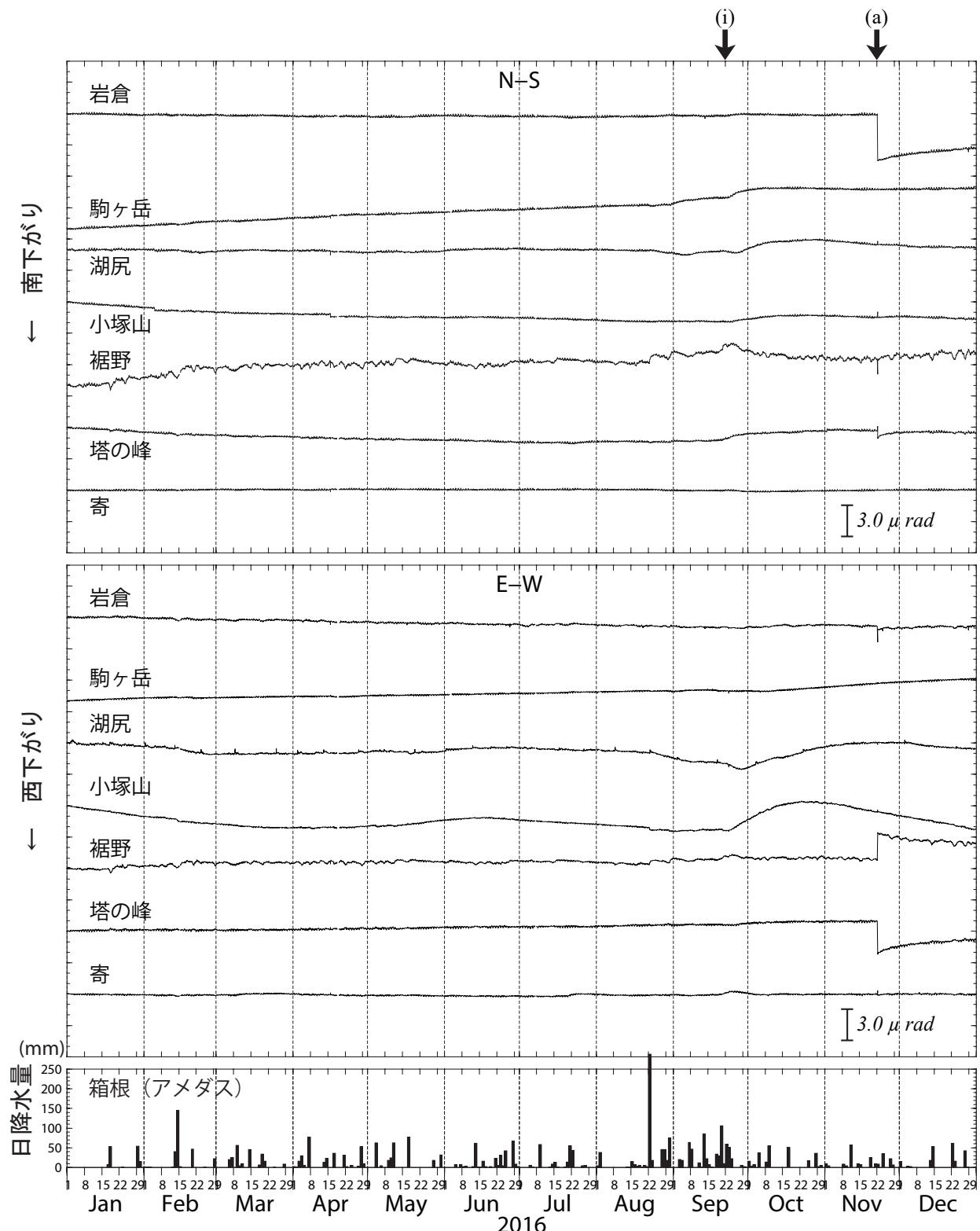


図2 2016年の傾斜観測結果。図は上から南北成分、東西成分、箱根（気象庁アメダス観測点）における日降水量を示す。
(a) は地震に伴う傾斜変動（本文参照）、(i) は降雨による影響（本文参照）を表す。

る影響が見られます。

(i) 9月18～24日にかけての降雨と平成28年台風第16号（9月20日頃）

この台風は、鹿児島県に上陸したのち北東に進み、静岡県周辺で温帯低気圧になりました。箱根町芦ノ湯では、その前から降っている雨を含めてこの期間中、310mm（9月18～24日の合計雨量）の降水量を観測しています（期間中の最大日雨量は9月20日の105.5mm）。この降雨による影響が各観測点、特に湖尻観測点や小塚山観測点にあらわれています。

2015（平成27）年の4月下旬から、箱根火山では群発地震活動が発生し、6月下旬にはごく小規模な水蒸気噴火が発生しましたが（原田ほか, 2015）、2016（平成28）年は火山性と考えられる傾斜変動は観測されませんでした。

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。2015（平成27）年の12月には、箱根火山の活動の観測を強化するため、大涌谷に新たな常設のGPS観測点を設置しました。機種は、Topcon社製NET-G5受信機、同社

製CR-5チョークリングアンテナを使用しています。

さらに、現在は臨時観測を4ヶ所（湿地研、酒匂、根府川、小山）で行っています。機種は、小山観測点では、Topcon社製LEGACY-E受信機および同社製PG-A1アンテナ、それ以外の3観測点では、Topcon社製NET-G3受信機、同社製CR-4チョークリングアンテナを使用しています。加えて、2016（平成28）年11月に、新たに機動観測用の機器（機種は、測位衛星技術株式会社製GEM-2UB受信機、Septentrio社製PolaNt-x MFアンテナ）を導入しました。これは、箱根火山の活動などの状況に応じ、観測が必要な場所に観測点を機動的に展開し観測を行うことを想定し、導入したものです。そのため、ソーラー発電による独立した電源と、無線データ通信によるデータ転送機能を有しています。現在は、2015（平成27）年に活発化した、箱根火山浅部の活動の監視およびメカニズムの解明のため、駒ヶ岳と早雲山に機動観測点を設置しています（写真1）。

GPSによる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、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3.1に2016（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14測線）の基線長を1日毎に解析し表示しています。大涌谷観測点では、06月22日～06月26日にかけて、観測施設の電源工事のため、データが欠測しています。また、根府川観測点では、6月下旬以降、断続的に通信のトラブルが発生し、データの取得遅延がありました。ただし、観測データ自体は、現地の受信機に保存されていた為、データの欠測はありませんでした。その他の観測点については、欠測なくデータを取得できました。

図3.2には、2016（平成28）年における各観測点の一年間の変位の大きさおよび方向を、湿地研観測点を固定とした場合のベクトル（矢印）で示しています。青丸で示した



写真1 機動用観測点の設置状況（駒ヶ岳観測点の例）。

観測点が温泉地学研究所による観測点、黒丸で示した観測点が国土地理院による観測点を示します。なお、早雲山観測点と駒ヶ岳観測点については、観測期間が1年に満たないことから、ベクトルを図示していません。

2016（平成28）年のGPS測量結果では、大涌谷観測点で顕著な変位が観測されました。真鶴観測点を固定とした図3.1では、1年間で2cm以上の基線長の短縮が認められます。また、温地研観測点を固定とした図3.2においても、大涌谷観測点が、南南西方向に2cm以上変位していることが分かります。この変位は、周囲の観測点の変位と異なることから、広域的な地殻変動ではなく、大涌谷における局所的な変位を見ていると考えられます。2015（平成27）年4月末からの火山活動の活発化に伴い、大涌谷では、人工衛星だいち2号に搭載された合成開口レーダーにより、局所的な隆起が観測されました（例えば、道家ほか、2015）。同年6月末の水蒸気噴火以降は、隆起していた箇所が沈降に転じるほか、地すべりと考えられる変位も観測されています。したがって、大涌谷観測点において観測されている変位は、これらの火山活動や地すべりに起因しているものと考えられます。詳細な変位の原因については、他の観測データも合わせて、引き続き検討していく必要があります。

他の観測点では、大涌谷程の顕著な変位は生じていませんが、温地研観測点を固定とした図3.2では、全体として、東方向に変位していることが分かります。この変位は、近接する観測点同士で同じ傾向となることに加えて、連続的に変化することから、この地域の大規模な地殻変動の傾向をみていると考えられます。

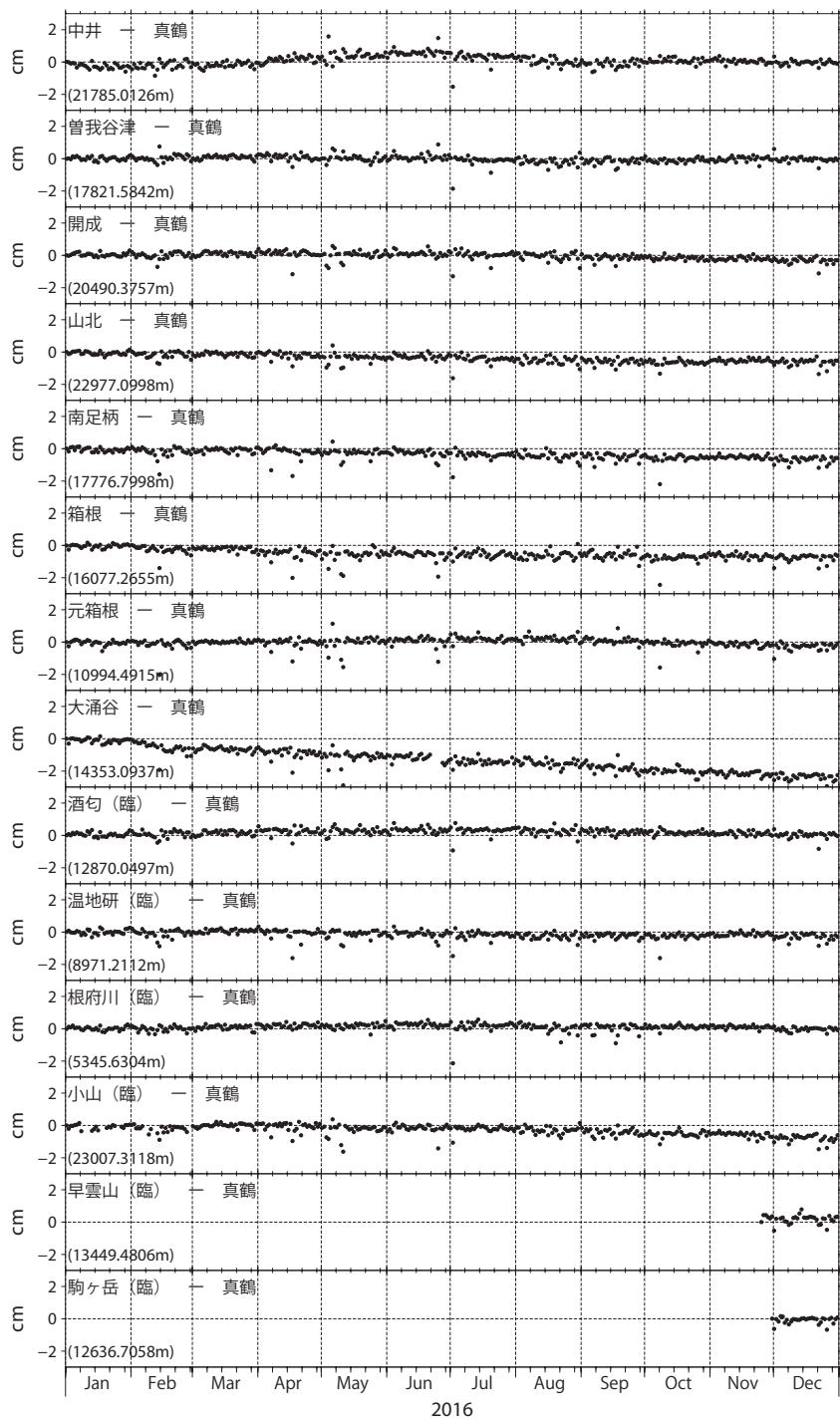


図3.1 2016年のGPS測量結果（基線長成分）。真鶴観測点を基点とした各観測点の基線長変化を示す。縦軸はデータの最初の日を基準にして、その相対変化量(cm)で示している。また、数値は基準となる距離を示している。

また、より西にある静岡県側の観測点ほど、東向きの変位が大きいことから、東西方向の短縮が生じていると考えられます。

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（2016）をご覧ください。

図4に2016（平成28）年1月

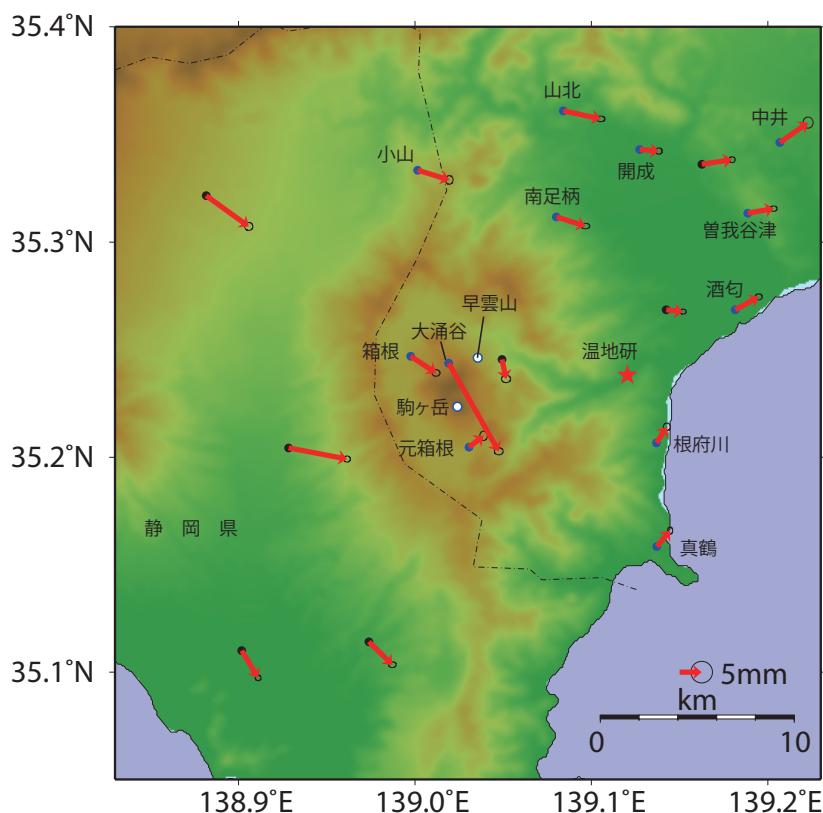


図 3.2 2016 年の GPS 測量結果（水平変位ベクトル）。湿地研観測点を固定とした場合の、各観測点の水平変位量を示す。青丸は温泉地学研究所による観測点、黒丸は国土地理院による観測点を示す。早雲山観測点、駒ヶ岳観測点については、観測期間が短いことからベクトルを示していない。

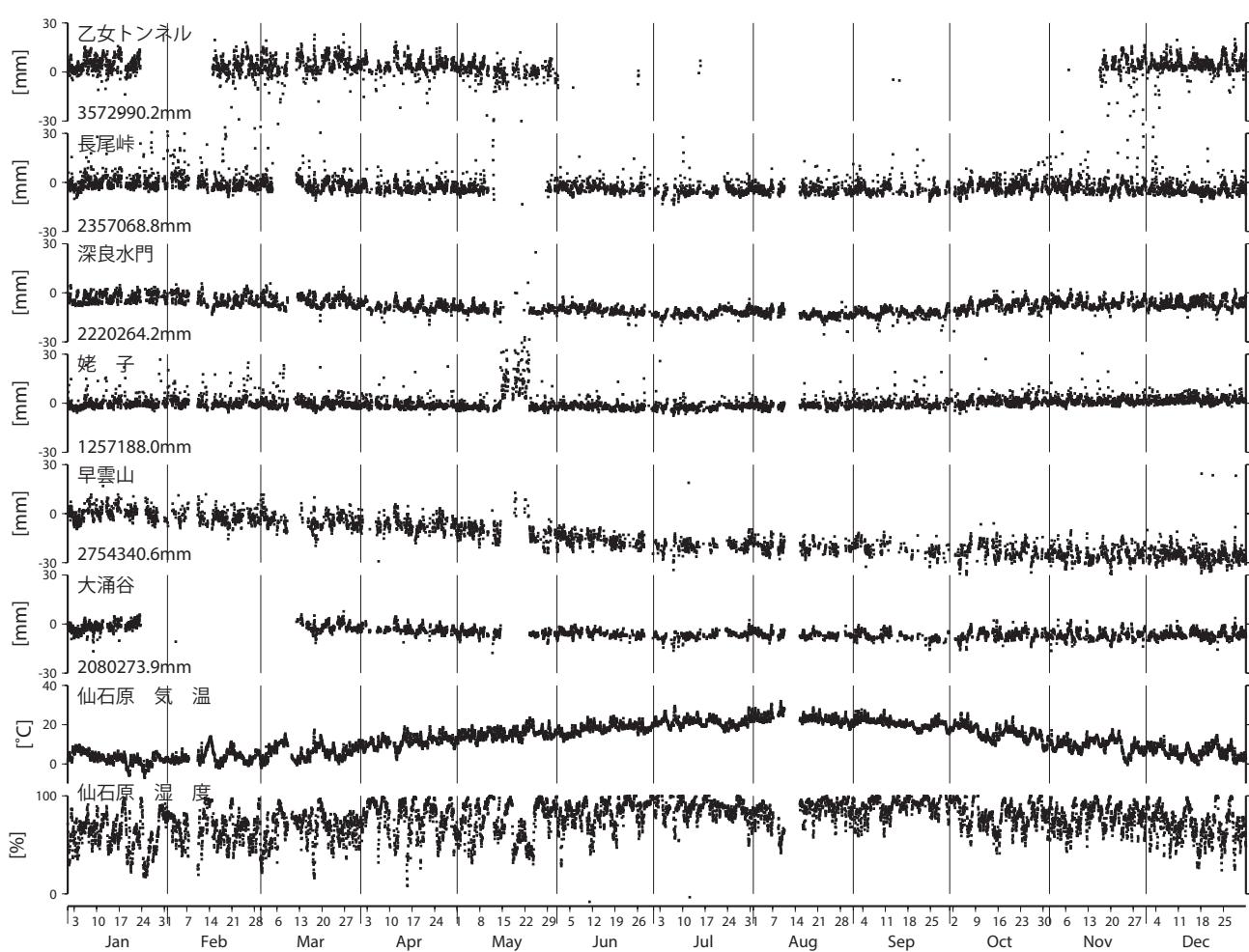


図 4.1 2016 年の光波測量結果(箱根観測網)。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量 (mm) で示している。また、数値は基準となる距離 (0mm における絶対値) を示している。

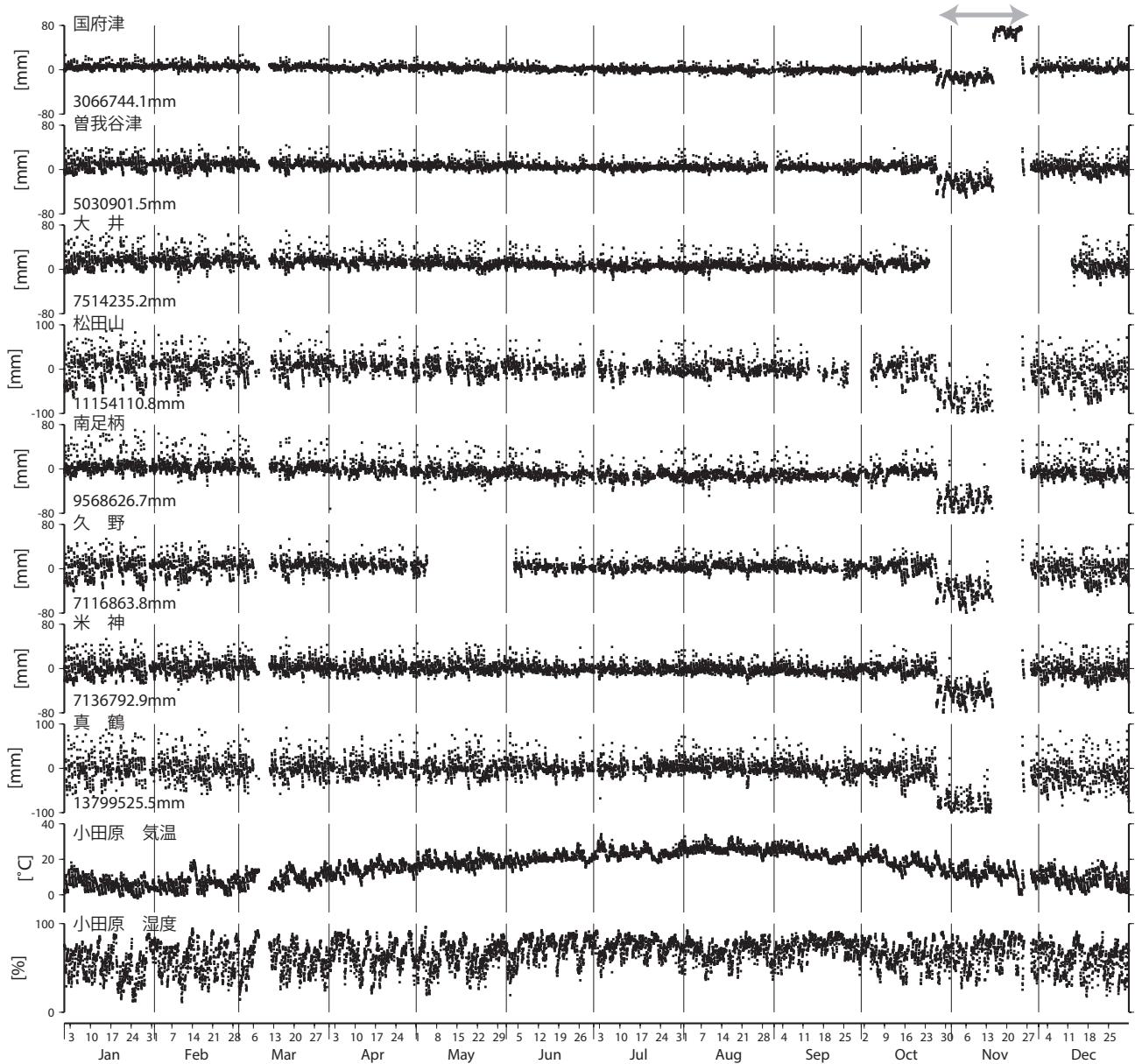


図 4.2 2016 年の光波測量結果（小田原観測網）。縦軸は 1 月 1 日を基準にして、その相対変化量 (mm) で示している。また、数値は基準となる距離 (0mm における絶対値) を示している。灰色矢印は気圧計が故障していた期間を表す。

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、夏場は欠測となってしまい、また、バラツキが多い期間があります。小田原観測網は基線長の気象補正をするために気

象観測（気温・気圧・湿度）を行っているのですが、気圧計の不具合により、10 月 26 日から 11 月 28 日の期間は、気象補正が適切に解析処理されていないデータになっています。

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

早雲山観測点は例年、1 年間でそれぞれ約 1cm 程度基線長が縮んでいます（原田ほか, 2015）。しかし、2016（平成 28）年は、2015（平

成 27）年に引き続き年間約 3cm 程度の短縮が見られています（道家ほか、2016）。また、大涌谷観測点も昨年と同様に 1cm 未満の縮みが観測されています。GPS の大涌谷観測点の変動も考慮すると、これらは、火山活動に伴う変化や地すべりによる変化が考えられます。他の観測点では、年周変化や日周変化は見られるものの、火山活動に伴う明瞭な変化は観測されていません。

(2) 小田原地域

2016（平成 28）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、気圧計が故障していた期間を除き、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、これらの影響だと考えられます。

期間中の小田原観測網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。観測点

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。2016(平成28)年は、二宮と真鶴で9月初頭から下旬にかけて、また湯本で11月上旬に欠測がありました。これらは、いずれも観測点に設置したUPS(無停電電源装置)の故障により、観測装置本体への電力供給が損なわれたことによるものでした。それ以外の期間については、概ね順調に観測を行うことが出来ました。

2016(平成28)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で示してあ

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。気圧は大井観測点における毎日0時の気圧、雨量も大井観測点における日雨量を用いて作図しました。

図5において、地表面に近い順に年間の地下水位の推移について見てみると、二宮観測点では、気圧の上昇・低下に対応したわずかな水位の低下・上昇が見られます。一方、日雨量50mmに及ぶような雨が降っても、その影響による水位上昇は見られません。

小田原観測点では、近隣の事業所の操業・休業の影響により水位が変化し、年末年始の事業所休止から操業開始にともなう水位低下や、4月末から5月上旬のゴールデンウイー

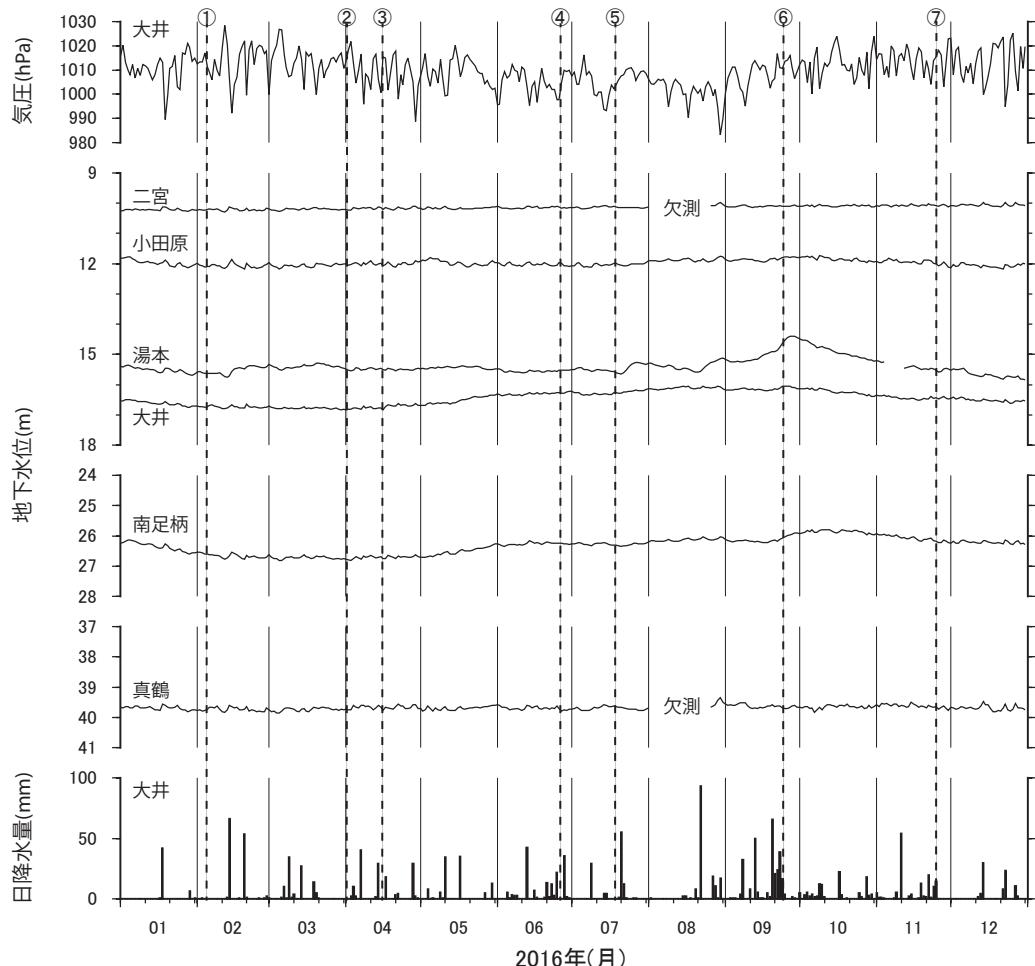


図5 2016年の地下水位観測結果。地下水位は地表面からの深さで表示している。図上の数字は、表1に掲げた番号の地震発生日時を示す。

ク時期にかけた水位上昇・低下が見られます。さらに詳しく見ると、10cm程度の振幅で水位が週変化していることがわかります。

湯本観測点の地下水位には、一日数十mmを超えるような降雨に対して、数日後にピークに達し、ゆっくりともとの傾向に戻る特徴があり、雨量の多い日が続いた9月下旬以降、特に顕著でした。

大井観測点の地下水位は、4月中旬ごろが最低、8月下旬ごろが最高となるような季節変化とともに、二宮観測点の地下水位と同じように、気圧変化に対応してわずかに上下していることがわかります。

南足柄観測点の地下水位は、季節変化により、3月下旬から4月上旬にかけて最低となり、その後上昇に転じています。9月上旬以降、低下傾向となりかけましたが、9月下旬

の雨の影響により一旦上昇した後、10月中旬から、再び低下傾向となりました。

真鶴観測点の地下水位は、気圧変化に対して二宮観測点の地下水位よりも大きな応答を示しながら、年間を通してほぼ一定だったことがわかります。

図6は、各観測点における2016年の観測データ(時間値)について、板寺(2003)による簡易的な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ます(板寺、1999)。そのため、簡易な補正処理の有効性は観測点によって異なっています。二宮観測点の水位は、簡易的な補正だけでも、処理後の水位のばらつきが小さくなっています。通常と異なる変動があれば、その見極めが容易である

と期待されます。真鶴観測点の水位については、簡易な補正では潮汐の影響が除き切れず、20cm程度のばらつきが残っています。湯本観測点の補正後水位には、大雨の影響による変動が、さらに、小田原観測点や南足柄観測点の補正後水位には週変化と見られる細かな上下が見られます。このような特徴を踏まえて、年間を通して検討した結果、地震発生に先行するような異常な地下水位の変化は観測されなかったと判断しました。なお、4月20日前後に真鶴観測点で日常のばらつきを超えるような変化が見られます。その原因は不明です。

一方、地震の発生後に、その影響を受けたと見られる水位変化は表1に示した7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り、図6

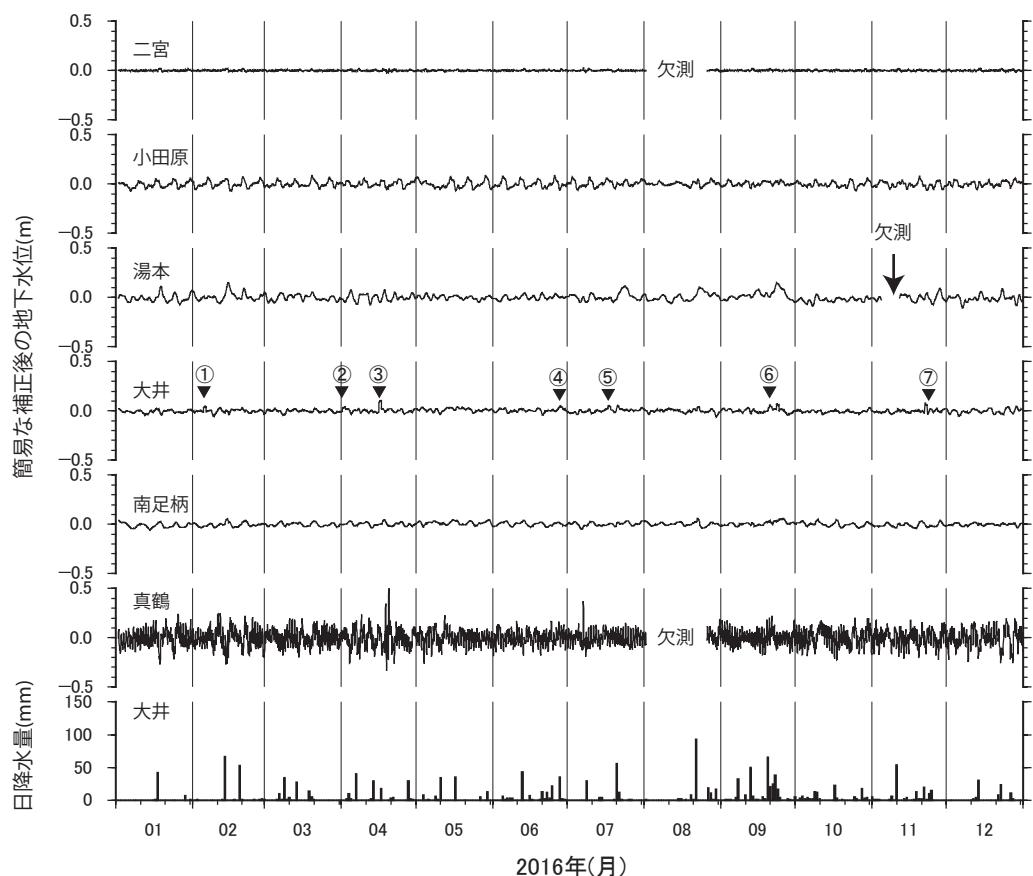


図6 簡易な気圧・潮汐補正後の地下水位変化(2016年1月1日0時の水位を基準とする)。

表1 2016年に観測された地震発生後に影響を受けたと見られる地下水位変化。

地震発生日日	時刻	震央地名	深さ (km)	M	コサイスミックな地下水位変化(cm)	
					大井	その他の観測点
① 2016/02/05	07:41	神奈川県東部	26	4.6	4↑	—
② 2016/04/01	11:39	三重県南東沖	29	6.5	3↑	—
③ 2016/04/16	01:25	熊本県熊本地方	12	7.3	10↑	—
④ 2016/06/27	07:57	福島県沖	19	5.9	2↑	—
⑤ 2016/07/17	13:24	茨城県南部	42	5.0	3↑	—
⑥ 2016/09/23	09:14	関東東方沖	32	6.7	6↑	—
⑦ 2016/11/22	05:59	福島県沖	25	7.4	10↑	—

M:マグニチュード、↑:水位の上昇、—:変化が認められない

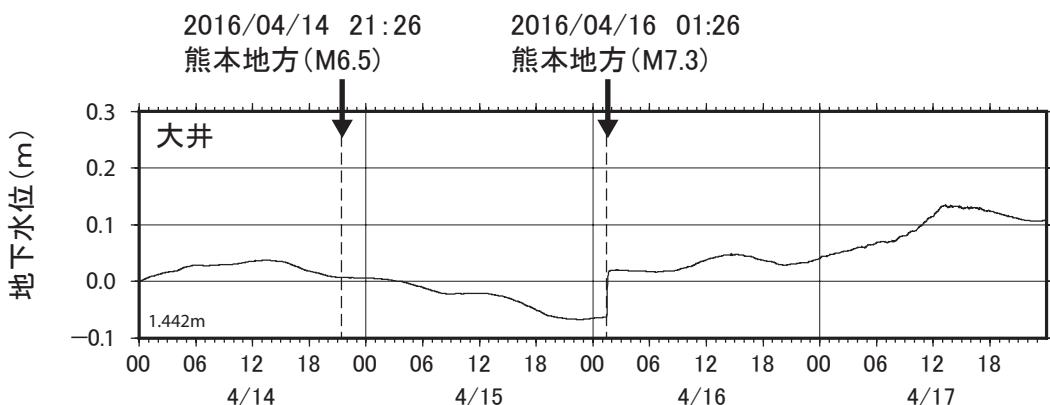


図7 熊本地方の地震（2016年4月16日 M7.3）の影響とみられる地下水位の変化（大井）。

に示した簡易補正後の水位でも、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。

2016(平成28)年4月中旬以降、熊本地方で地震活動が活発化し、4月14日に発生した前震と16日に発生した本震により、それぞれ震度7の揺れが観測されました。図7は4月14日から16日までの大井観測点における地下水位変化を1分ごとの観測データをもとに示しています。14日の前震の際には、特段の変化が認められないのに対して、16日の本震時には0.1m程度水位が上昇していることが分かります。一連の地震活動において、本震とそれ以外の地震で地下水位の応答が異なった事例は過去にもありました。その原因については、地震規模の違いのほか、震源の位置や発震機構の違いなど様々な可能性が考えられま

すが、詳細は明らかになっていません。

おわりに

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）変化が起こると期待されます。2016(平成28)年の地殻変動観測結果では、傾斜計と地下水位でコサイス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急激な地殻変動は認められませんでした。

また、2015(平成27)年には、箱根火山で観測史上初めて水蒸気噴火が発生し、それに伴う地殻変動が観測されました。2016(平成28)年の観測結果では、噴火口となった大涌谷周辺でのGPS測量や光波測量の観測結果に、若干その余韻が感

じられます。しかし火山活動の活発化を示すような変動は観測されませんでした。

このような地震や火山の変化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、普段との違いを知るためには、普段の状況をも知らなければなりません。我々は地震・火山活動をモニタリングするため、長期間安定した観測を維持し必要に応じて更新できるように努めてまいります。

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、安部祐希さんをはじめ地震・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・原田昌武・竹中潤（2015）干渉 SAR による 2015 年箱根火山の活動に伴う大涌谷の地表面変位, 神奈川県温泉地学研究所報告, 47, 23-29.
- 道家涼介・原田昌武・板寺一洋（2016）神奈川県西部地域における 2015（平成 27）年の地殻変動観測結果, 観測だより, 66, 75-84.
- 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（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・道家涼介（2015）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, 観測だより, 65, 55-62.
- 原田昌武・板寺一洋・本多亮・行竹洋平・道家涼介（2015）2015 年箱根火山活動に伴う地震活動と地殻変動の特徴（速報), 温地研報告, 47, 1-10.
- 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・安部祐希（2017）神奈川県内およびその周辺における 2016（平成 28）年の地震活動, 温地研観測だより, 67, 57-66.