

8km)
この地震は熱海市の沖で発生し、県内でも最大震度3が観測されています。これにより、岩倉観測点や湖尻観測点、小塚山観測点でステップが生じています。

このような傾斜ステップが発生しましたが、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。2019（平成31・令和元）年については、次の降雨による影響が見られます。

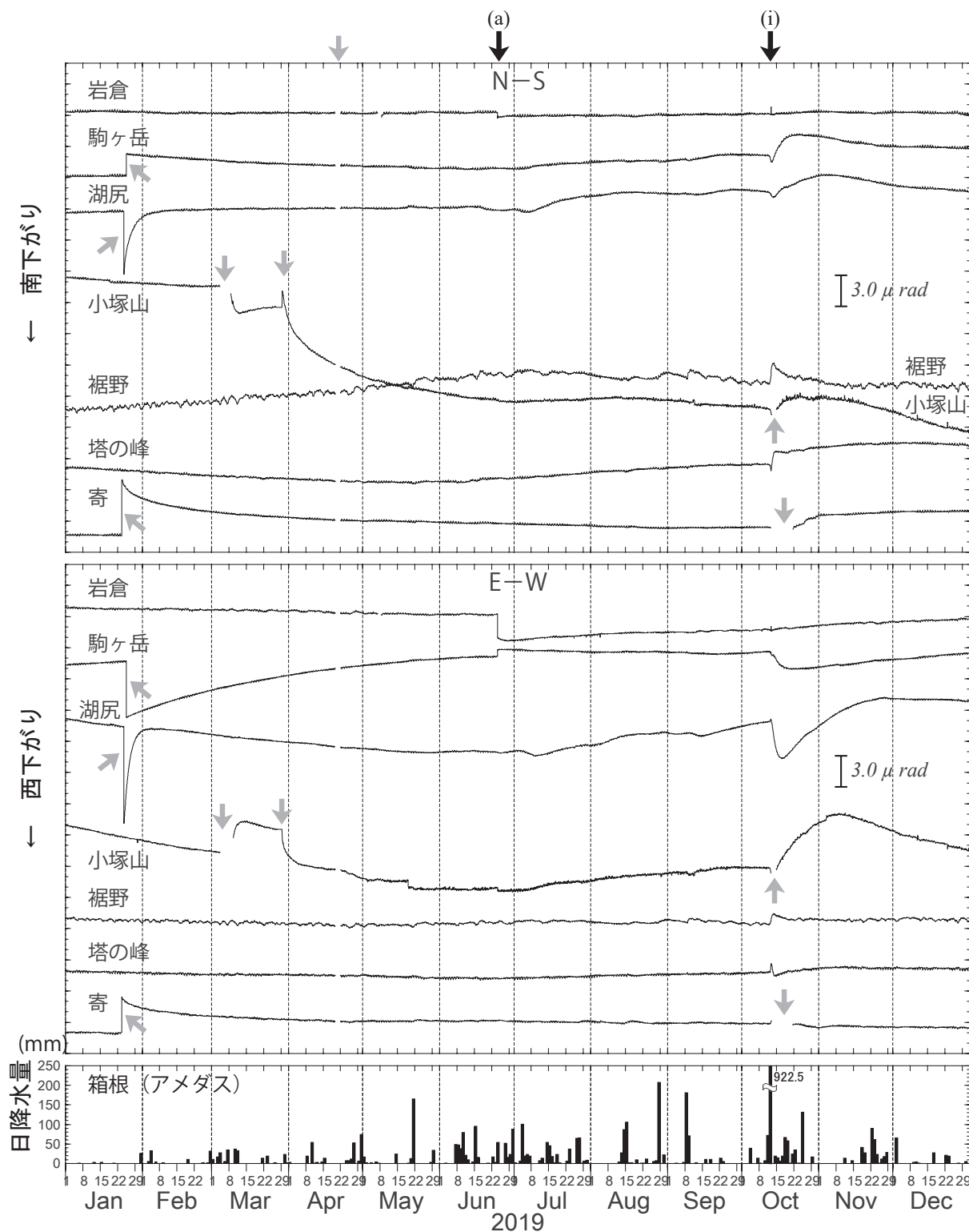


図2 2019年の傾斜観測結果。図は上から南北成分、東西成分、箱根（気象庁アメダス観測点）における日降水量を示す。
(a) は地震に伴う傾斜変動（本文参照）、(i) は降雨による影響（本文参照）、灰色矢印は欠測や傾斜計の機器調整によるステップを表す。

(i) 令和元年台風第 19 号（令和元年東日本台風）（10 月 12 日頃）
 (ii) は、10 月 12 日に大型で強い勢力のまま伊豆半島に上陸し、箱根町芦ノ湯にある気象庁のアメダスでは、10 月 10 日に 7mm、11 日には 72mm、12 日は 922.5mm の日雨量が観測され、3 日間で雨量が 1000mm を越えました。これにより芦ノ湖の氾濫や土砂災害等が発生し、箱根登山鉄道などに大きな被害が出ています。この台風による影響が各観測点、特に駒ヶ岳観測点と湖尻観測点、小塚山観測点にあらわれています。顕著にあらわれている東西成分を見ると、それらの降雨による影響は、いったん西下がりの変動をした後に、ゆっくりと大きく東下がりの変化を記録しています。これらの変化は概ね 1 ヶ月程度で収まっています。

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）、2019（令和元）年に発生した群発地震活動においては火山性と考えられる顕著な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（2018（平成 30）年 1 月に観測終了）、山北、中井において観測を開始しました（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 ケ所に新たに 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。これらの観測点では、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用いて観測を行っています。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-G3 受信機、同社製 CR-G5 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 ケ所（温地研、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 NET-G3

受信機および同社製 CR-G5-C アンテナを、温地研観測点では Topcon 社製 NET-G5 受信機および同社製 CR-4 チョークリングアンテナを、それ以外の 2 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。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

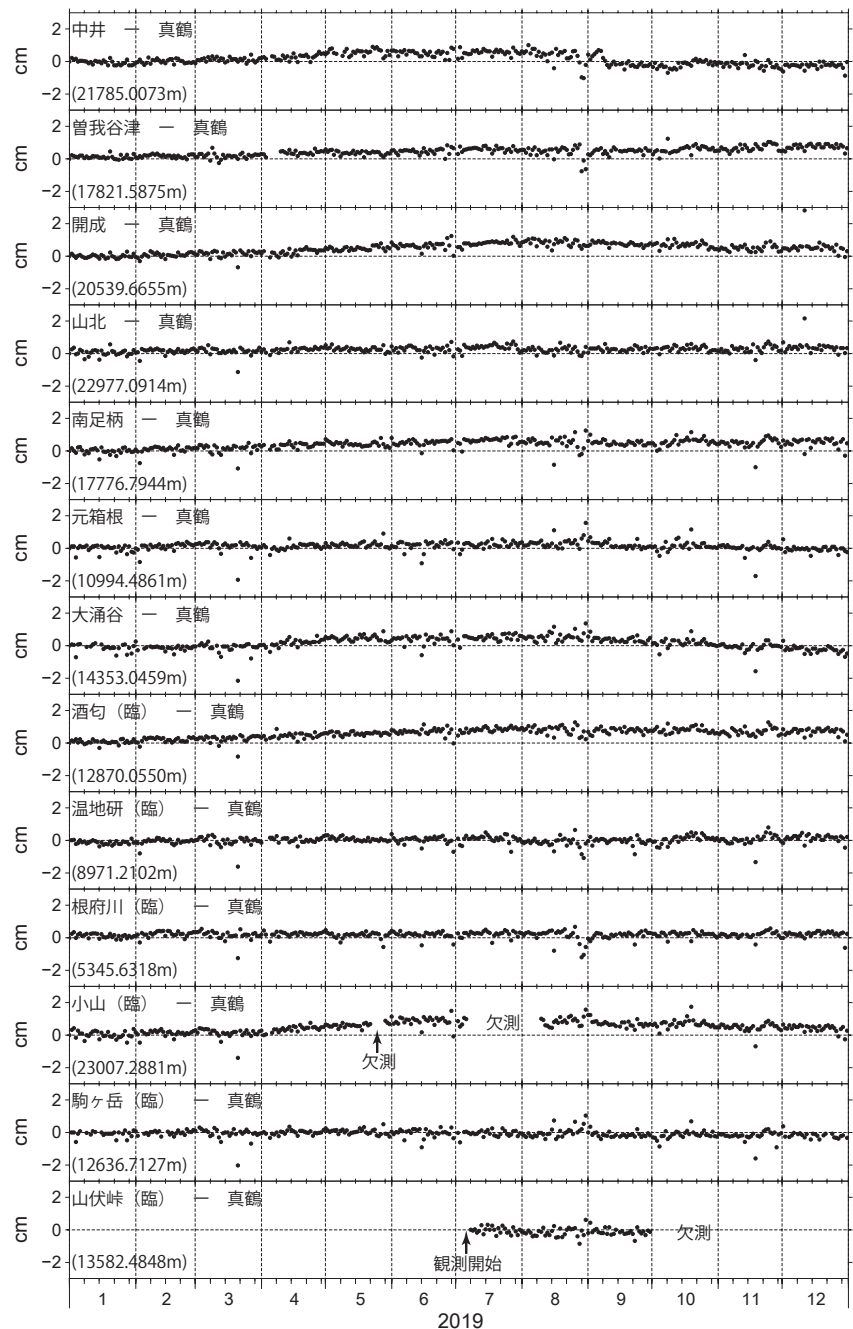


図 3 2019 年の GPS 測量結果。真鶴観測点を基点とした各観測点の基線長変化を示す。縦軸はデータの最初の日を基準にして、その相対変化量（cm）で示している。また、数値は基準となる距離を示している。

受信機、Septentrio 社製 PolaNt-x MF アンテナ)を導入し、現在は、駒ヶ岳と山伏峠に機動観測点を設置しています。このうち、山伏峠については、2019(令和元)年7月に同年の箱根火山の活発化を受けて設置をしたものです(道家、2019)。

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)およびDoke et al. (2018)をご覧ください。

図3に2019(平成31)年1月から2019(令和元)年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13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、5月23日～5月28日と7月7日～8月9日にかけて、データが欠測しています。5月の欠測の原因は不明ですが、7～8月の欠測は観測施設の停電によるもので、原因は漏電でした。山伏峠観測点は、7月8日に設置以降、順調に観測をしていましたが、10月1日から欠測となっています。これは、無線データ通信機器の不具合によると考えられます。本稿執筆時点において、現地での観測は復旧しており、現地にて受信機に収録されたデータを取得することは可能ですが、無線データ通信による準リアルタイムでのデータ取得はできていません。その他の観測点については、大きな欠測なくデータを取得できました。

2019(平成31・令和元)年のGPS測量結果では、同年に発生した箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動が観測されました。図3に示した真鶴観測点を基点としたグラフでは、大涌谷観測点との基線で顕

著な変位が認められています。同基線は、平常時は短縮の傾向を示しますが、3月頃から伸張の傾向が認められました。また、同基線が元の短縮の傾向に戻ったのは9月に入ってからでした。箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動は、地下のマグマ溜まりや熱水溜まりにおける膨張を見ていると考えられます。同活動に伴いGPSで観測された地殻変動の解析結果については、道家ほか(2019)をご覧ください。小山―真鶴基線の基線長変化グラフでは、4月頃から伸張の傾向が認められます。これについては、当初、箱根火山の活動の影響を考えましたが、周囲の変位よりも明らかに大きいことから、火山活動以外の影響が考えられます。過去の小山観測点の変位を見てみると、大きさの違いはありますが毎年春頃に同様の傾向が認められています。原因についてははっきりしませんが、アンテナ周辺の植生の影響などが可能性として挙げられます。中井―真鶴の基線では9月8日～10日にかけてステップ的に基線長の短縮(1cm程度)が認められます。これは、同時期に通過した台風15号によるもので、アンテナを設置している基台が動いてしまった可能性があります。今後、安定的に地殻変動の観測を継続する上では、アンテナの設置状況を確認し、補強や修理などが必要と考えられます。

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)で観測をおこなっていましたが(図1◇)、箱根地域については、2018(平成30)年1月16日をもって観測を終了しています。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)、原田ほか(2019)をご覧ください。

図4に小田原地域における2019(令和元)年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。

この1年間の測量結果をまとめると、次のとおりです。

小田原地域の光波測量では、いくつか長期間の欠測が発生しています。前年の2018年10月30日から2019年2月27日まで真鶴観測点で、2019年5月5日から17日の松田山観測点、8月14日から23日の大井観測点などでは、測距儀が反射器の方位や位置を見失ったために、欠測しています。また、令和元年台風第19号(令和元年東日本台風)の影響が小田原周辺でピークだった10月12日以降は、全ての観測点でしばらく欠測しました。台風の影響が大きかったため(特に強風の影響だと思われる)、測距儀自体の基準位置が回転してしまい、測距儀から見た反射器の方位角や仰角が全てズレてしまったためです。再設定には時間がかかり、2020年2月3日に全基線での測量が復活しました。なお、真鶴観測点はその基線長が約13.8kmととても長く、光波測量による測定限界距離に近いことから欠測(測定不可)が多くなっています。

2019(令和元)年の測量結果では、日周変化や年周変化が見られるものの、比較的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。各観測点の詳細については横山ほか（1995）を参照してください。2019（平成31・令和元）年は、1月上旬にデータベースへのデータ登録に関わるトラブルがありましたが、それ以外の

期間については順調に観測を行うことが出来ました。図5.1に1年間の気圧、地下水位、雨量の推移を示します。気圧は大井観測点における毎日0時の観測値を、雨量は大井観測点における日雨量の値をそれぞれ用いました。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からの水面の深さに換算し、観測点どうしの比較がしやすいように同じスケールで示してあります。

年間を通してみると、各観測点とも10月12日に神奈川県西部を通

過した台風19号の影響による水位変化が目立ちます。以下、観測点ごとの水位変化の状況について述べていきます。

二宮観測点の水位は年間を通してほぼ横ばい傾向にありましたが、低気圧や台風の通過前後の気圧変化に対応して細かく上下しており、特に台風19号の通過時の変化が目立ちます。

小田原観測点の水位には、気圧変化に対応した上下変動のほか、春先（3月下旬から4月中旬）に向かってわずかに低下、その後夏場（7月下旬から8月中旬）に向かってわずかに上昇する季節変化がみられま

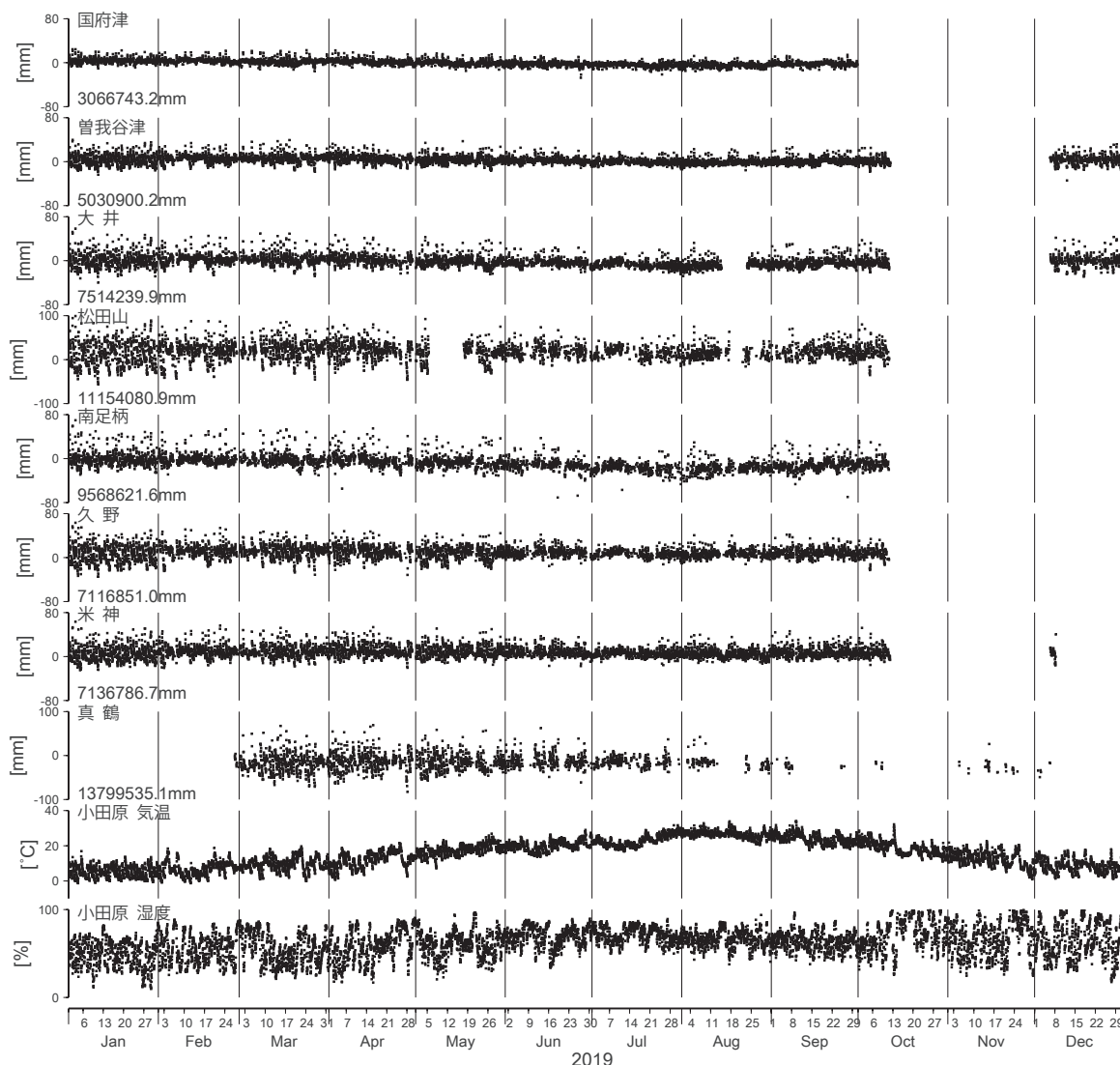


図4 2019年の光波測量結果（小田原観測網）。縦軸は1月1日を基準にして、その相対変化量（mm）で示している。また、数値は基準となる距離（0mmにおける絶対値）を示している。

す。さらに、例年よりも休日が長期間続き、工場などの地下水の使用が減った4月末から5月上旬にかけての水位上昇や、台風19号およびその後の低気圧による大雨の影響を受けた10月中下旬の水位上昇が顕著でした。

湯本観測点の水位には大雨の後に数日かけてゆっくりと上昇した後、数日かけて元の傾向に戻る特徴があります。特に、AMeDASの箱根観測所で922.5mmの日雨量が観測されるなど、台風19号により箱根全域に記録的な降雨がもたらされたことにより、10月中下旬には20日程かけて2mも水位が上昇し、そ

の後も水位の高い状況が続きました。

大井観測点の水位は4月中旬ごろが最低、8月下旬ごろが最高となる例年通りの季節変化を示しつつ、水位が低下傾向となる秋以降に台風19号の影響による一時的な水位上昇や、その後の大雨による傾向の変化が認められます。

南足柄観測点の水位は、大井観測点と比べて振幅は大きいものの概ね同様のパターンで季節変化していましたが、10月中旬から下旬にかけての水位上昇が顕著でした。

真鶴観測点の水位は潮位の影響を受けて大きく変化しますが、日平均

処理によりその影響が取り除かれるため、気圧の上昇時に低下、気圧の低下時に上昇しているほか、降雨の影響とみられるわずかな水位上昇も観測されています。

図5.2は、各観測点における2019年の観測データ(時間値)について簡易的な気圧補正を行った結果を示しています。補正方法の詳細については板寺(2003)を参照してください。補正後水位は観測点ごとに2019年1月1日午前0時の値を基準とした相対的な変化を表示しています。

補正後の水位は、観測点ごとにばらつきの大きさに違いはあるものの

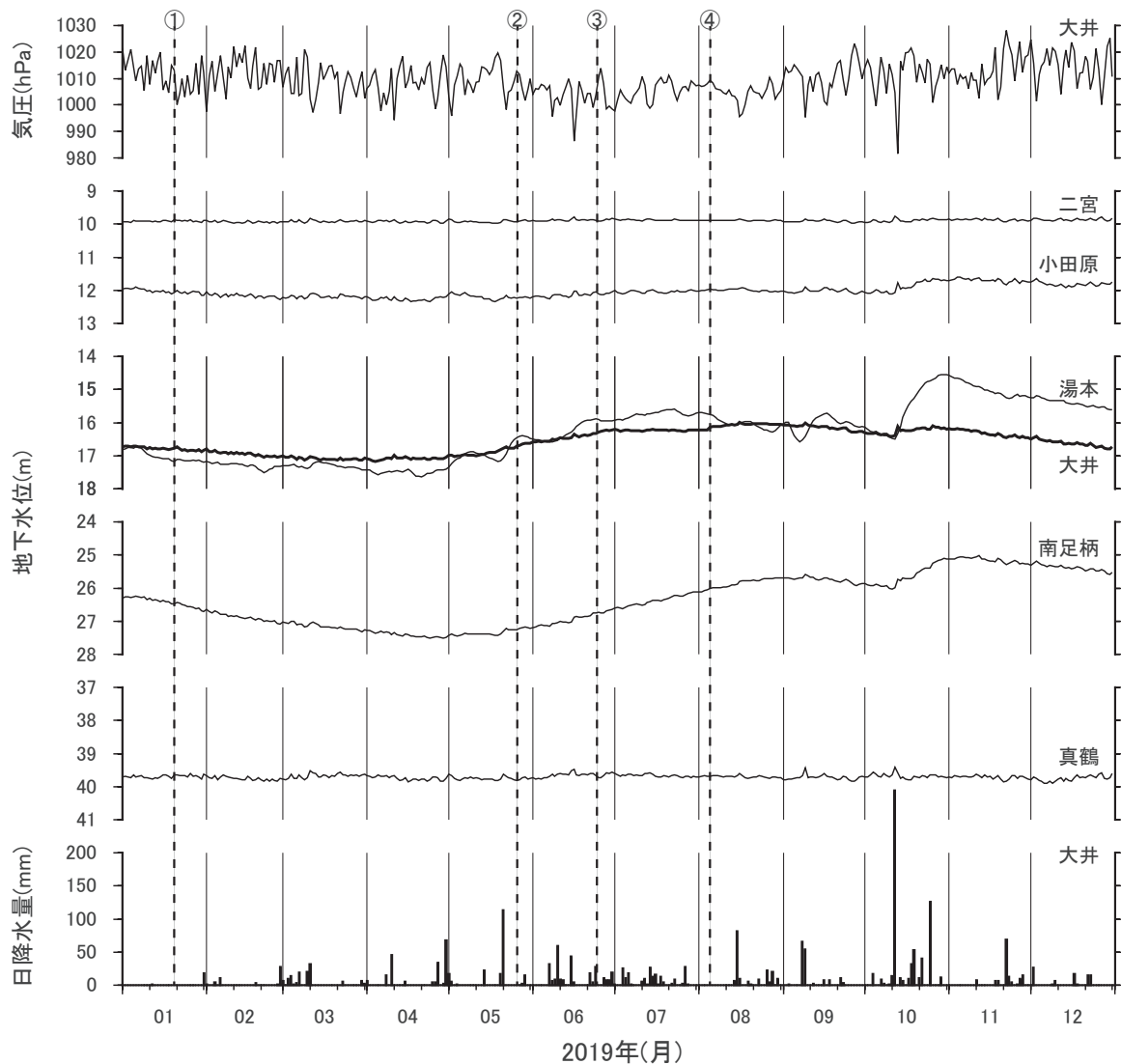


図5.1 2019年の地下水位観測結果。地下水位は地表面からの深さで表示している。図上の数字は、表1に掲げた番号の地震発生日時を示す。

年間を通してほぼ一定の状況にありました。一方、真鶴を除くすべての観測点で、台風 19 号に伴う 10 月 12 日の大雨による変化が顕著でした。また、南足柄、湯本、二宮では 5 月 21 日、9 月 8 日の雨の影響とみられる変化を認めることが出来ます。大井観測点では表 1 に示した 4 回の地震の際にコサイスマックな水位の上昇が認められました。同様の变化は 4 月 6 日にも見られますが、遠地地震を含めてこれに関連したと見られる地震の発生は確認できませんでした。湯本の補正後水位には 6 観測点の中で最も不規則な変動がみられます。特に 9 月 8 日の降雨の

前に著しい低下がみられますが、その原因は不明です。以上のような検討の結果、2019 年は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。

おわりに

2019（平成 31・令和元）年の地殻変動観測結果では、GPS 測量により、箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動が観測されました。また、傾斜観測および地下水位観測では、コサイスマックな変化が観測されました。その他に顕著なものとして、日本列島に大きな被害をもたらした

台風の影響が、様々な観測項目によって捉えられています。

箱根火山では 2001（平成 13）年の群発地震活動以降、数年に一回の頻度で群発地震活動が発生しています。多項目の地殻変動観測により、群発地震活動に関連した地殻変動（山体膨張）の原因や、2015（平成 27）年の水蒸気噴火の発生メカニズムについての理解が進んできました。これは静穏期を含め長期間にわたり連続的なデータが取得できたことによります。今後も地殻変動観測網を維持・管理していくことにより、箱根火山の状態を適切に判断し評価していくことが重要な課題と認

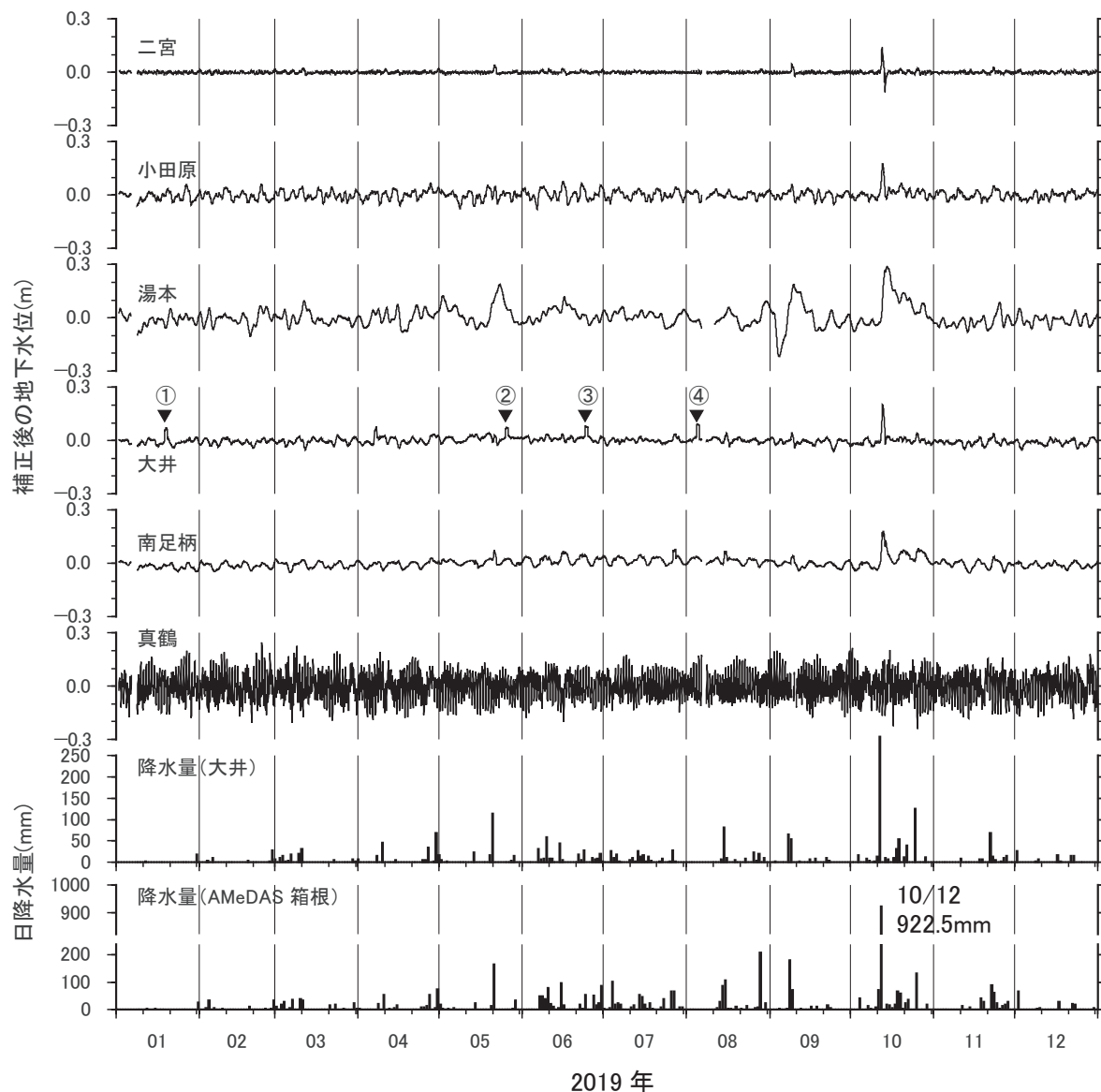


図 5.2 簡易な気圧・潮汐補正後の地下水位変化（2019 年 1 月 1 日 0 時の水位を基準とする）

表 1 2019 年に観測された地震発生後の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	2019/01/18	21:46	茨城県南部	54	5.3	5 ↑	—
②	2019/05/25	15:20	千葉県北東部	38	5.1	3 ↑	—
③	2019/06/24	09:11	千葉県南東沖	61	5.2	5 ↑	—
④	2019/08/04	19:23	福島県沖	45	6.4	8 ↑	—

M: マグニチュード、↑: 水位の上昇、—: 変化が認められない

識しています。加えて、新たな理解に基づく、情報発信や普及啓発活動を様々な形で行っていくことも課題と考えられます。

謝辞

観測装置を設置させていただいている関係機関の方々に、この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

道家涼介（2019）箱根火山緊急観測のための機動用 GNSS 観測装置の設置について，神奈川県温泉地学研究所報告，51，45-49.

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，神奈川県温泉地学研究所報告，45，63-70.

道家涼介・原田昌武・板寺一洋・加藤照之（2019）GNSS 観測による箱根火山 2019 年群発地震活動に伴う地殻変動，神奈川県温泉地学研究所報告，51，1-9.

Doke R, Harada M, Miyaoka K (2018) GNSS Observation and Monitoring of the Hakone Volcano and the 2015 Unrest. J Disaster Res 13:526–534. doi: 10.20965/jdr.2018.p0526.

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，神奈川県温泉地学研究所観測だより，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，神奈川県温泉地学研究所観測だより，57，13-18.

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），神奈川県温泉地学研究所報告，47，1-10.

原田昌武・板寺一洋・道家涼介（2019）神奈川県西部地域における 2018（平成 30）年の地殻

変動観測結果，神奈川県温泉地学研究所観測だより，69，39-48.

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，神奈川県温泉地学研究所報告，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，神奈川県温泉地学研究所報告，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，神奈川県温泉地学研究所報告，26，1・2 合併号，21-36.

行竹洋平・本多亮・安部祐希（2020）神奈川県内およびその周辺における 2019（平成 31・令和元）年の地震活動，神奈川県温泉地学研究所観測だより，70，45-50.