

神奈川県西部地域における 2020 (令和 2) 年の地殻変動観測結果

原田昌武・道家涼介・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(9 観測点、臨時観測 6 観測点)・光波測量(1 観測網・8 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、2020 (令和 2) 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(2021)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 2020 (令和 2) 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成したものです。また、各観測点における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所)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。

図中の灰色矢印は停電等による欠測や、傾斜計の機器調整による影響を示しています。特に、3 月 2 日から 12 月 10 日の裾野観測点における欠測はセンサー等の機器の入れ替

え・更新作業によるもので、設置後の急激な変動は初期ドリフトだと考えられます。

2020 (令和 2) 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。この 1 年間では次の地震によってコサイスマミックな傾斜ステップが観測されました。

- (a) 10 月 4 日 04:48 神奈川県西部での地震 (M2.5, 深さ 3km)

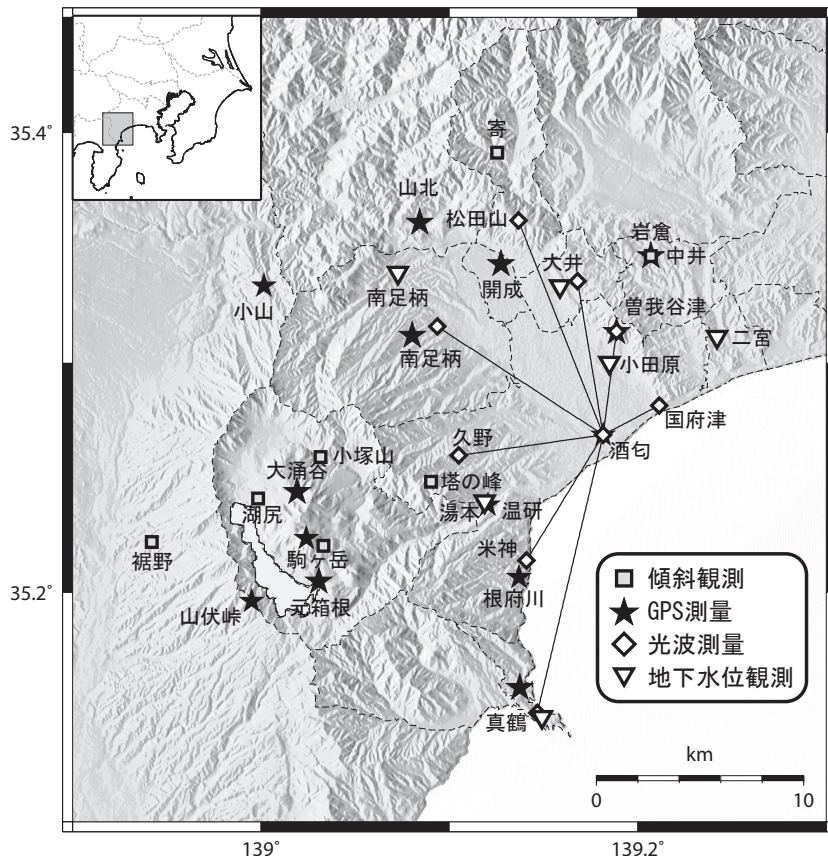


図 1 地殻変動観測点分布図。

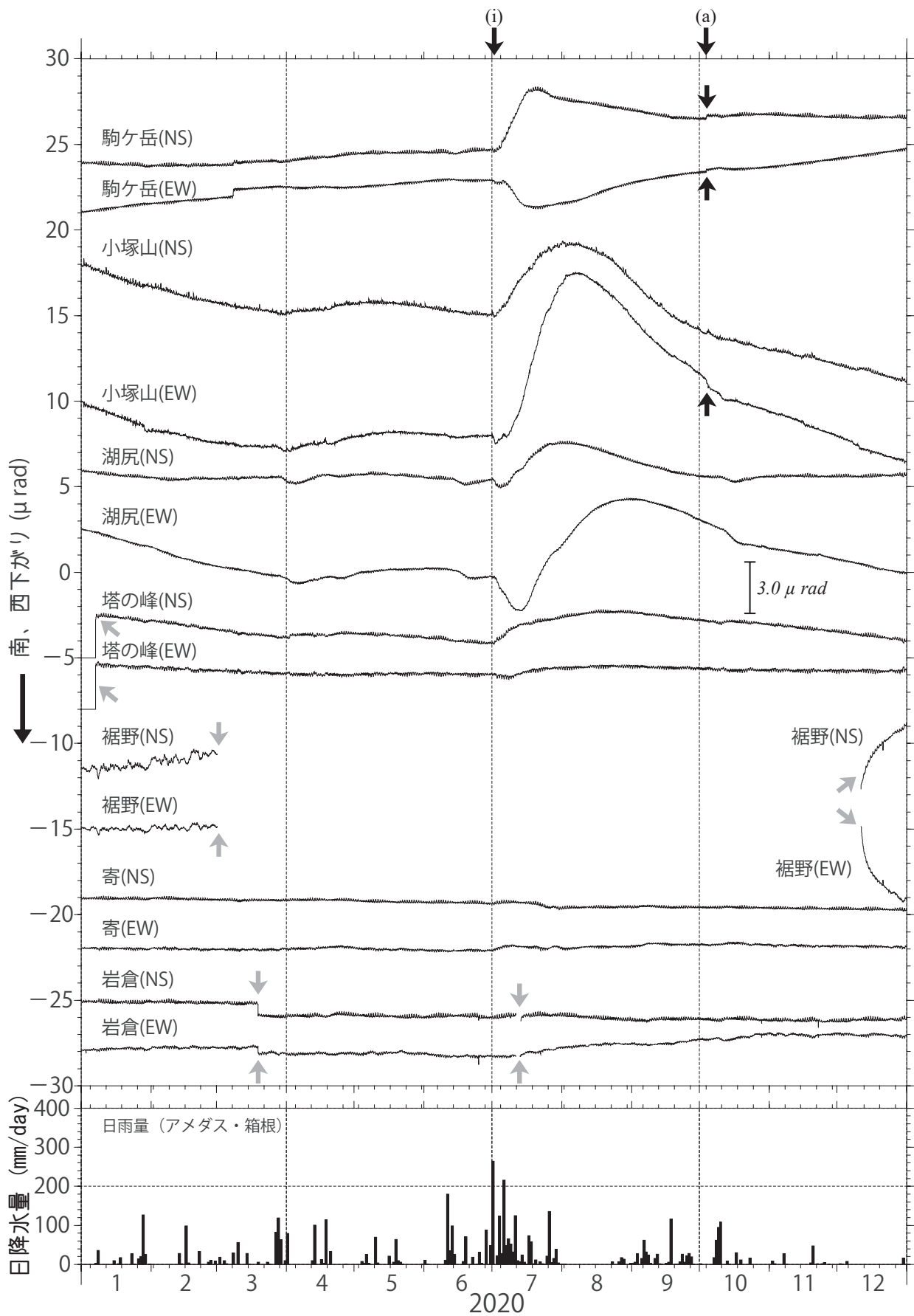


図2 2020年の傾斜観測結果。図は上から各観測点の南北成分、東西成分、箱根（気象庁アメダス観測点）における日降水量を示す。(a)は地震に伴う傾斜変動（本文参照）、(i)は降雨による影響（本文参照）、灰色矢印は欠測や傾斜計の機器調整によるステップを表す。

この地震は箱根火山で発生した地震で、その後もいくつかの地震が発生し、ごく小規模な群発地震活動になりました。これは、その群発地震活動の中で最大の地震で、箱根町（湯本）、小田原市（久野）で震度1が観測されています。これにより、駒ヶ岳観測点でステップが生じています。また、小塚山観測点の東西成分には、少しだけ西下がりの傾斜変動がみられており、この活動に伴った変動である可能性があります。

その他の期間については、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。2020（令和2）年については、次の降雨による影響が見られます。

(i) 令和2年7月豪雨（7月3日頃から31日）に関連した降水

(i) は、7月3日頃から梅雨前線が西日本から東北地方の広い範囲に停滞し、特に九州地方において記録的な大雨を降らせました。これに先立ち、7月1日には箱根町で日雨量が264.5mmを記録しています（その後、7月6日にも216.0mmを記録）。この大雨による影響が各観測点、特に小塚山観測点と湖尻観測点、駒ヶ岳観測点と塔の峰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3ヶ月程度継続し、10月以降はほとんど収まっています。

GNSS 測量結果^(注)

GNSS 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ヶ所に新たにGNSS 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GNSS 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ヶ所（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 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。

GNSS による観測方法の詳細については、神奈川県温泉地学研究所（1999）をご覧ください。また、データの解析手法については、2020年に見直しを実施しました。その詳細については道家ほか（2020b）を

ご覧ください。

図3に2020（令和2）年1月から12月におけるGNSS 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。駒ヶ岳観測点では、7月1日～9月13日にかけて、データが欠測しています。また、山伏峠観測点では、前年10月1日～1月22日にかけて、データが欠測しています。いずれも受信機の異常によるもので、現地での再設定により復旧しています。その他の観測点については、データの取得遅延や短期間の欠測はありますが、大きな欠測なくデータを取得できました。

2020（令和2）年のGNSS 測量結果では、周辺地域における地震活動および箱根火山の活動に伴う地殻変動は認められませんでした。小山—真鶴基線や大涌谷—真鶴基線においては、過去の定常時の観測結果と同傾向の短縮が認められます。前者については、この地域における定常的な地殻変動、後者については大涌谷における局所的な変位（地すべりなど）を見ているものと考えられます。2020（令和2）年7月には多くの観測点において変位の乱れが認められますが、これについては、大気遅延などの気象要素に起因するものと考えられます。

(注)

GNSS は、アメリカ合衆国が運用するGPS や、ロシア航空宇宙軍が運用するGLONASS などの衛星測位システムの総称です。昨年までGPS 測量結果としていたものを、本報告よりGNSS 測量結果と表記を改めて報告するものです。

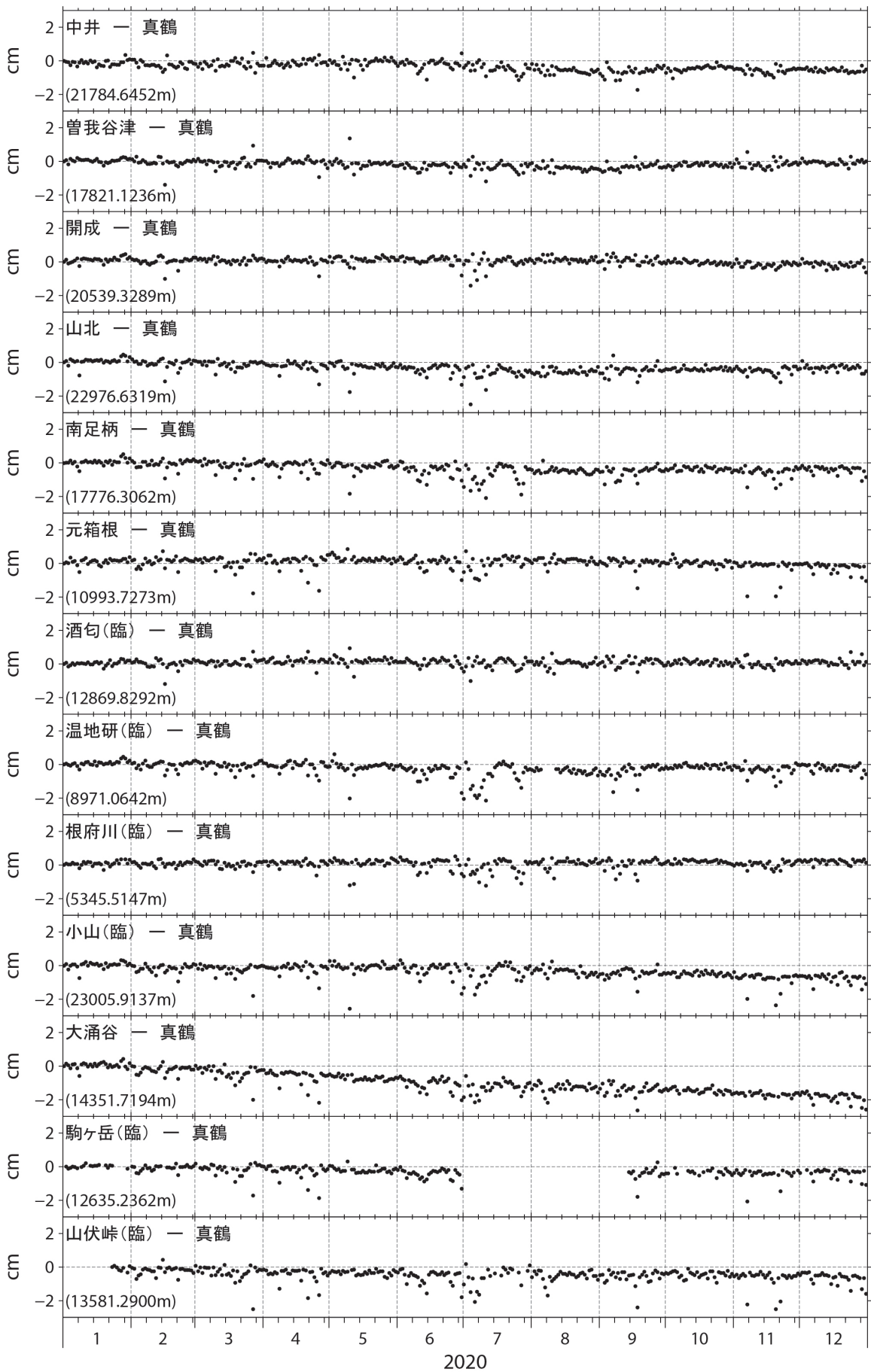


図3 2020年のGPS測量結果。真鶴観測点を基点とした各観測点の基線長変化を示す。縦軸はデータの最初の日を基準にして、その相対変化量 (cm) で示している。また、数値は基準となる距離を示している。

光波測量結果

光波測量は、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（2020a）をご覧ください。

図4に小田原地域における2020（令和2）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。なお、箱根地域の光波測量は2018（平成30）年1月16日をもって観測を終了しています。

この1年間の測量結果をまとめると、次のとおりです。

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、2020（令和2）年の初めまで続きました。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ってしまったためです。順次復旧していきましたが、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。

また、7月25日から8月3日にかけて、および、9月4日から16日にかけては、現地のデータ収録システムの不具合・故障により、全基線で欠測しています。なお、真鶴観測点は4月21日より、測量システムの故障により長期間の欠測になっていましたが、2021年3月23日に復旧し観測を再開しました。

2020（令和2）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、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。2020（令和2）年は、1月下旬と5月下旬にサーバーのメンテナンスなどにとまなう短期間の欠測がありましたが、概ね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、雨量はアメダス箱根観測

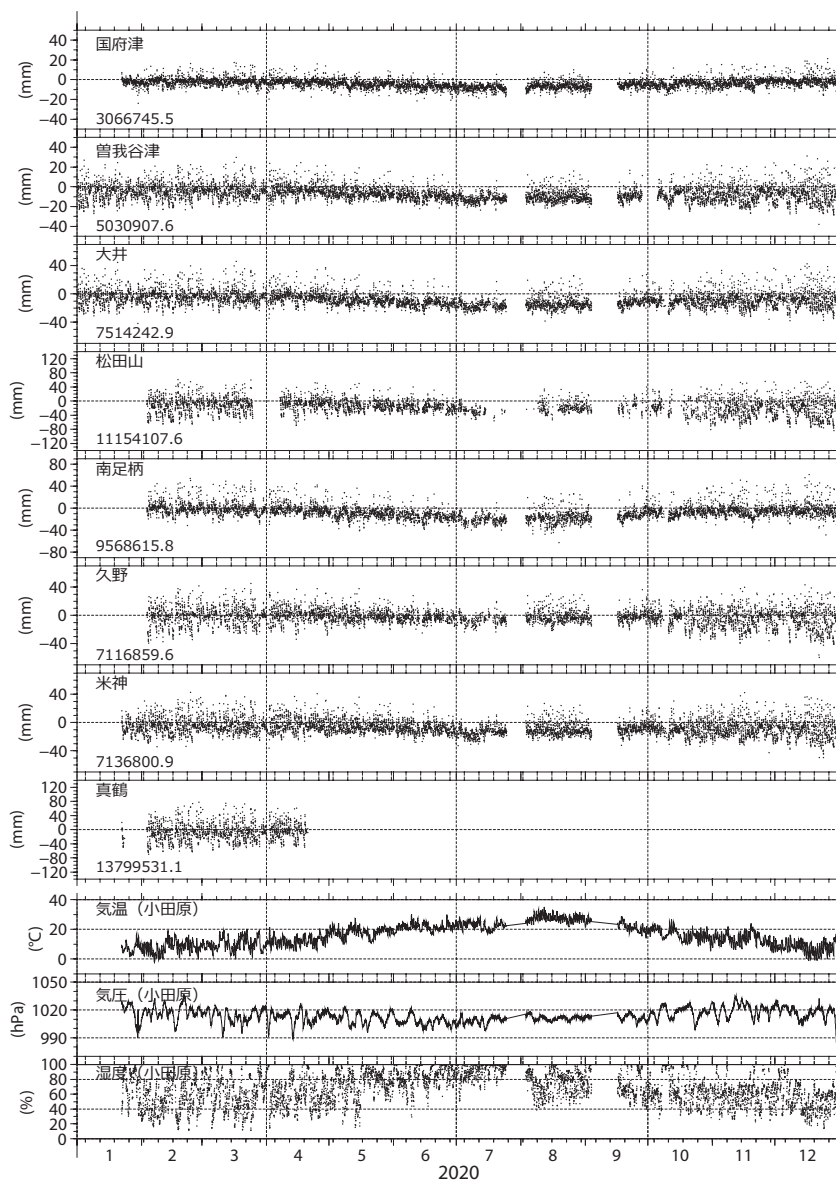


図4 2020年の光波測量結果(小田原観測網)。縦軸は1月1日を基準にして、その相対変化量 (mm) で示している。また、数値は基準となる距離 (0mm における絶対値) を示している。

点（気象庁）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、それ以外の観測点については毎日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、菜種梅雨といわれる3月下旬から4月にかけて、6月から7月の梅雨時期に特に雨量が大きかったのが目立ちます。

一方、気象庁によれば、台風の年間発生数は23個と少なく、日本に上陸した台風はありませんでしたが、それでも9月から10月にかけて、秋雨前線の活発化や台風の接近によりまとまった雨量が観測されています。一部の観測点の地下水位にはこうした降雨の影響が表れています。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。

二宮観測点と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を

取り除くと、気圧変化や降雨に対応した変動はあったものの、年間を通してほぼ横ばい傾向にあったことがわかります。

小田原観測点の水位には、気圧変化や降雨に対応した上下変動のほか、いくつか特徴的な変化が観測されました。まず、1月上旬に、年末年始の休業明けによる事業所の再開の影響とみられる水位の低下が見られます。また、7月から8月にかけて、梅雨時期の降雨量の影響による見られる水位の上昇が観測されま

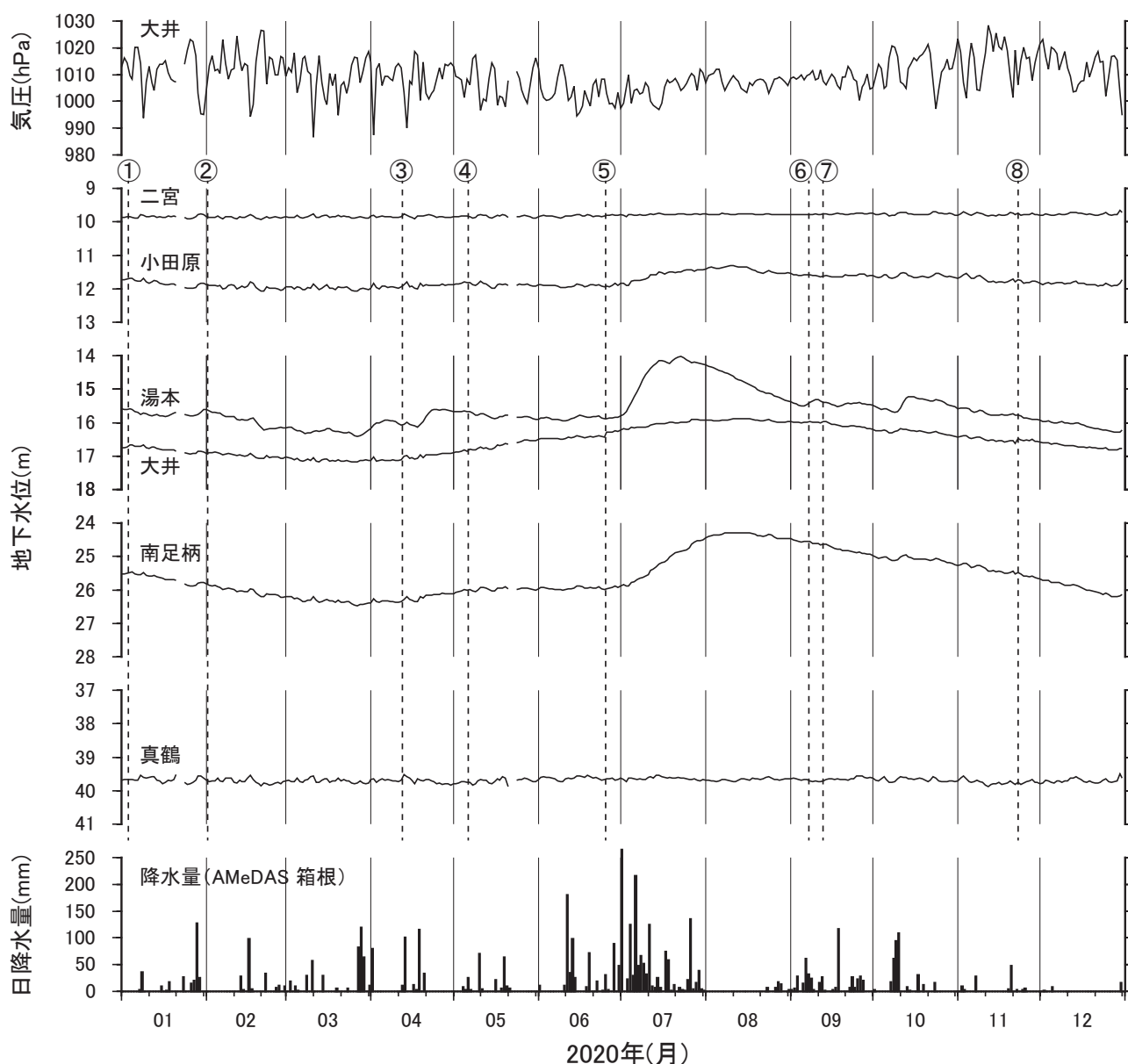


図 5.1 2020 年の地下水位観測結果。地下水位は地表面からの深さで表示している。図上の数字は、表 1 に掲げた番号の地震発生日時を示す。

した。一方で、例年、4月下旬から5月上旬のゴールデンウィーク期間に観測される水位の上昇は顕著ではありませんでした。2020年4月7日から5月21日まで、神奈川県内には新型コロナウイルス対策特別措置法に基づく緊急事態宣言が発出されており、この間、地下水の汲み上げを伴う事業活動も抑制されていた可能性が考えられ、これにより連休前後と連休期間中のコントラストが不明瞭になったのかも知れません。

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。2020年は7月、9月、10月の降雨の際にそうした変化が見ら

れ、特に7月の水位変化が顕著でした。

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比較的ゆるやかな季節変化を示しつつ、気圧変化や降雨に対応した細かな上下変動が観測されています。後述するように、千葉県東方沖の地震(6/25)にともない10cmを超える顕著な水位上昇が観測されており、後述の気圧補正前の水位でも容易に確認することができます。

南足柄観測点の水位は、大井観測点と同様の季節変化のパターンで推移しながら、降雨の影響がより大きく表れるため、ピークの時期や水位

変化の幅は大きく異なっています。

図5.2は、各観測点における2020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2020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、観測点ごとにはばらつき大きさに違いはあるものの年間を通してほぼ一定の状況にありました。南足柄、湯本では3月末、4月中旬、6月から7月、10月上旬などに降雨の影響とみられる変化が目立ちます。

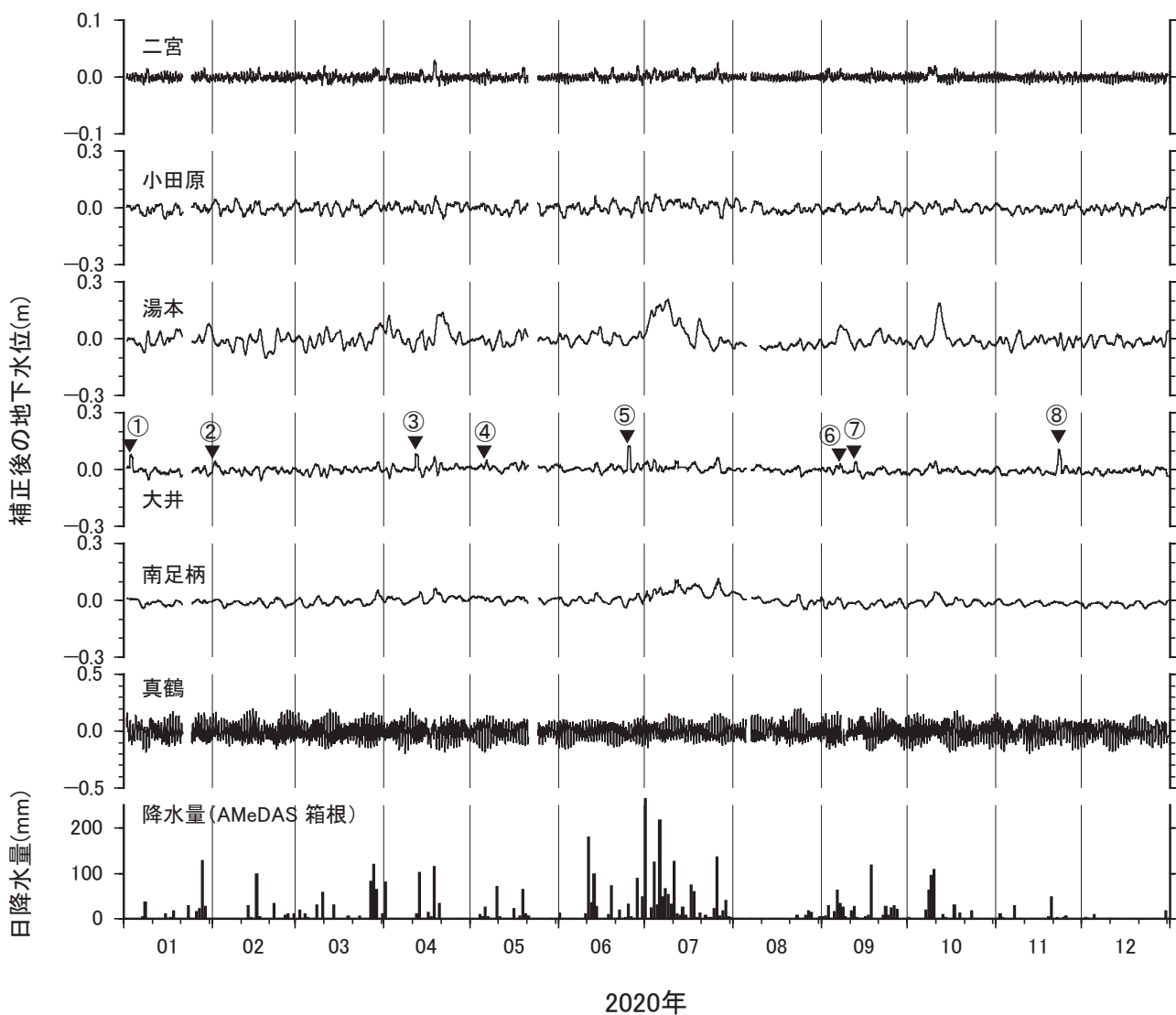


図5.2 簡易な気圧・潮汐補正後の地下水位変化(2020年1月1日0時の水位を基準とする)

表1 2020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	2020/1/3	3:23	千葉県東方沖	34	5.8	7↑	—
②	2020/2/1	2:07	茨城県南部	63	5.3	2↑	—
③	2020/4/12	0:44	茨城県南部	53	5.0	6↑	—
④	2020/5/6	1:57	千葉県北西部	68	5.0	2↑	—
⑤	2020/6/25	4:47	千葉県東方沖	36	6.1	11↑	—
⑥	2020/9/7	6:33	茨城県沖	38	5.2	1↑	—
⑦	2020/9/12	11:44	宮城県沖	43	6.2	4↑	—
⑧	2020/11/22	19:05	茨城県沖	45	5.7	8↑	—

M:マグニチュード、↑:水位の上昇、—:変化が認められない

大井では表1に示した8回の地震の際にコサイスマミックな水位の上昇が観測され、中でも千葉県東方沖の地震(6/25 M6.1)にともなう変化が最も顕著だったことがわかります。以上のような検討の結果、2020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

2020(令和2)年の地殻変動観測結果では、箱根火山での群発地震活動に伴う傾斜変動や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、その他の観測項目を含めて、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。しかし、その変動に気が付き、また、そうした変動を抽出することは、なかなか難しいことです。そのため、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し、地下で起こっていること

を見極めていくことが重要です。地震・火山活動のモニタリングのため、我々は今後も観測網を強化し、また、維持・運用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、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・板寺一洋(2020a) 神奈川県西部地域における2019(平成31・令和元)年の地殻変動観測結果、観測日より、70, 37-44.
道家涼介・原田昌武・板寺一洋・加藤照之・中村康弘(2020b) 温泉地学研究所における新たなGNSS解析戦略について、神奈川県温泉地学研究所報告, 52, 63-68.
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、湿地研観測日より、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、湿地研観測日より、57, 13-18.

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、湿地研報告, 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、湿地研報告, 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、湿地研報告, 26, 1・2合併号, 21-36.

行竹洋平・本多亮・安部祐希(2021) 神奈川県内およびその周辺における2020(令和2)年の地震活動、湿地研観測日より、71, 51-54.