# 神奈川県西部地域における 2021(令和 3)年の地殻変動観測結果

道家涼介・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)・GNSS 測量(8 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、2021(令 和3)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。 前年の観測結果については、原田ほ か(2021)をご覧ください。また、 地震活動については、安部・本多 (2022)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2021(令和3)年1月から12月における傾斜観測結果を示



図1 地殻変動観測点分布図。

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、テレメータの不具合による欠 測を示しています。 2021(令和3)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ミックな傾斜ス テップが観測されました。

(a) 2月13日23:07 福島県沖の
地震(M7.3、深さ55 km)
この地震は福島県の沖合で発生し、
県内でも最大震度4がいくつかの
地点で観測されています。これにより、全観測点でステップや一時的な

飛びが生じています。

(b) 3月20日18:09 宮城県沖の 地震(M6.9、深さ59 km) この地震は宮城県の沖合で発生し、 県内でも最大震度4(横浜市中区) が観測されています。これにより、 全観測点でステップや一時的な飛び が生じています。

(c) 10月7日22:41 千葉県北西部の地震(M5.9、深さ75km)
この地震は千葉市付近で発生し、県内でも最大震度5弱(横浜市、川崎市

の一部)が観測されています。これに より、塔の峰観測点(東西成分)や岩 倉観測点(東西成分)でステップが生 じているほか、その他の観測点でも一 時的な飛びが見られています。 (d) 11月17日02:54 神奈川県西 部の地震(M4.4、深さ23km) この地震は神奈川県西部にある丹沢山 地(鍋割山のやや南方)で発生し、県 内で最大震度3が観測されています。 これにより、岩倉観測点ではステップ や一時的な飛びが生じています。



## (e) 12月3日06:37 山梨県東部・ 富士五湖の地震(M4.8、深さ19km) この地震は丹沢山地の北側、山梨県 都留市の周辺で発生し、県内で最大 震度4(松田町、厚木市)が観測さ れています。これにより、寄観測点 や岩倉観測点でステップが生じてい ます。

(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、観測結果は降雨や気圧な どの気象条件にも影響を受けます。 2021(令和3)年については、次 の降雨による影響が見られます。

(i) 7月1日から3日にかけての東海地方・関東地方南部を中心とした大雨

7月1日から3日にかけて、梅 雨前線が西日本から東日本の広い範 囲に停滞し、特に東海地方・関東地 方南部において記録的な大雨を降ら せました。これにより静岡県熱海市 では土石流が発生しています。この 大雨による影響が各観測点で観測さ れており、特に小塚山観測点と湖尻 観測点、駒ヶ岳観測点で顕著にあら われています。それらの降雨による 影響は、いったん西下がり・南下が りの変動をした後に、ゆっくりと大 きく東下がり・北下がりの変化を記 録しており、特に東西成分の変動が 顕著だったことがわかります。これ らの変化は概ね1ヶ月程度継続し た後、次の雨の影響を受けています。

(ii) 前線による大雨

8月11日から19日にかけて、日 本付近に停滞した前線により西日本か ら東日本の広い範囲で大雨となりまし た。神奈川県では8月15日に1時間 降水量(解析雨量)が約100mmにな るなど(松田町・山北町)、短時間で 記録的な大雨を降らせました。この大 雨による影響も、(i)の大雨の際より 変化量は小さいものの、同じような変 動が各観測点で観測されています。

## 図 2 2021 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)~(e)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)、灰色矢印は欠測や傾斜計の機器調整による ステップを表す。

### GNSS 測量結果<sup>(注)</sup>

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月からは曽 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 [い ずれも 2011 年 (平成 23) 年に観 測開始]。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 受信 機、Septentorio 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、道家ほか (2020)をご覧ください。

図3に2021(令和3)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。大涌 谷では、2月17日~3月1日、5 月25日~6月15日、7月8日 ~7月11日の期間にデータが欠測 しています。また、5月中は断続 的にデータの欠測が発生しています。 これは通信の不具合とそれによ る受信機内のファイルシステ ムの異常によるものと考えられます。 6月中に実施した機器の交 換により通信状況が安定して以降は、 ファイルシステムの異常が発生する頻



図 3 2021 年の GNSS 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。

度が減少しています。駒ヶ岳観測点で は、7月1日~7月5日、8月13日~16 日の期間にデータが欠測しています。 現地ではソーラー発電により電源を賄っ ているため、日照不足により観測ができ なかったことが原因と考えられます。 また、山伏峠観測点では、11月26日以 降、データが欠測しています。これは通 信機器の不具合を修理するために受 信機を回収し観測を中断したためで、 2022(令和4)年1月18日には観 測を再開しています。

2021(令和3)年においては、 国土地理院が設置している小田原 および裾野の各 GNSS 観測点を結ん だ基線で、5~8月にかけて僅かな 伸びの傾向が認められました。図3 に示した時系列グラフでは、小山-真鶴基線において、同期間に僅かな 短縮の鈍化が認められます。ただし、 その変位の空間的な広がりは、これ までに箱根火山の活動に伴い生じた 山体膨張を示唆する放射状の地殻変 動のパターンとは異なり、南北方向 の剪断を示唆することから、変動そ のものが小さいか、もしくは別の原 因が考えられます。その原因につい ては、今後検討が必要と考えられます。

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。5~7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。

#### 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)をご 覧ください。

図4に小田原地域における2021 (令和3)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、雨や霧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。国府津観測点(11月7~19 日)や大井観測点(8月25日~9 月13日、11月4~19日)、久野 観測点(2月17日~3月2日)は、 測距儀から見た反射器の方位角や仰 角がズレてしまい、それらのパラ メータを再設定することにより復旧 しています。また、松田山観測点(8 月12~22日)も同様に欠測した



後から、データの取得率が悪く、他 の観測点に比べてデータ数が少なく なっています。これは、反射器を収 納しているボックス内に結露が多量 に発生したことにより、測距儀から のレーザー光が反射しづらくなった ためです。

なお、真鶴観測点は 2020 (令和 2) 年 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 (令和 3)年 3 月 23 日に復旧し観測を再開しました。一 方、10 月 11 日からは湿度計が故障 しており、現在、修理を行っています。 2021(令和3)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・気圧・湿 度の影響だと考えられます。

### 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。2021(令和 3)年は、5月中旬と7月上旬にデータ登録に関わる時刻管理上のトラブルなどにともなう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



図 5.1 2021 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。

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、6月末から 7月初頭にかけては梅雨前線の影響 により、8月中旬には相次いで日 本列島と周辺を通過した台風9号、 10号の影響により、それぞれ多量 の雨が降り、それらに伴う地下水位 の変化が顕著だったことがわかり ます。また、通常は渇水期である2 月の中頃に、低気圧の影響による大 雨があり、気圧変化の影響も相まっ て比較的大きな水位の上昇がみられ ました。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。

小田原観測点は上述した2月、7 月、8月の大雨の際の水位の上昇が 顕著でした。一方、例年、ゴールデ ンウィーク期間や夏休み期間などに 見られる付近の事業所の操業・休業 の影響による水位上昇はそれほど目 立ちませんでした。ちょうどその期 間、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、その影響 により、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 えられます。

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。2021(令和3)年は2月、 5月、7月、8月の降雨の際にそう した変化が見られます。7月の大雨 時に水位が2m程度上昇し、徐々 にそれ以前の水位に戻りつつある中 で、8月の大雨により再び1m程 度の水位上昇があったことにより、 年の後半は水位の高い状態が続いて いました。

大井観測点の水位には、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



図 5.2 簡易な気圧・潮汐補正後の地下水位変化(2021年1月1日0時の水位を基準とする)。

節変化を示しながら、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。年間を通した季節的 な水位変化の幅が1m強であった のに対して、2月、7月、8月など の大雨により10~20 cm程度の 短期的な水位上昇がみられました。

南足柄観測点の水位にも、例年同 様、大井観測点と同様の季節変化の パターンが見られますが、7月や8 月の降雨により、数十から50 cm 程度の大きく、ゆっくりとした水位 の上昇があったため、ピークの出現 時期は異なっています。

図 5.2 は、各観測点における 2021 (令和 3)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2021(令和 3)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2月中頃、7 月初旬、8月中旬などに降雨の影響 による変化が目立ちます。

大井では表1に示した6回の地 震の際にコサイスミックな水位の上 昇が観測され、中でも福島県沖の地 震(2月13日、M7.3)にともなう 水位の上昇は約13 cmと最も顕著 でした。この地震時には南足柄で約 1 cm、小田原では僅かな水位の上 昇が観測されました。また、山梨県 東部・富士五湖の地震(12月3日、 M4.8)により、大井で約2 cm、南 足柄で僅かな水位の上昇が観測され ました。

#### おわりに

2021(令和3)年の地殻変動観 測結果では、GNSS測量により、箱 根火山の山体膨張を示唆する地殻変 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 スミ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、大雨に よる影響が、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 (Doke et al, 2018; Harada et al., 2018; Honda et al., 2018)。 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

- 安部祐希・本多亮(2022)神奈川 県内およびその周辺における 2021(令和3)年の地震活動, 神奈川県温泉地学研究所観測だ より,72,61-64.
- Doke, R., M. Harada, and K. Miyaoka (2018) GNSS Observation and Monitoring of the Hakone Volcano and the 2015 Unrest, Journal of Disaster Research, 13(3), 526-534, doi:10.20965/ jdr.2018.p0526.
- 道家涼介・原田昌武・板寺一洋・加 藤照之・中村康弘(2020)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,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.

#### 表1 2021年に観測された地震発生後のコサイスミックな地下水位変化

	地震発生日	時刻	震央地名	深さ	M	コサイスミックな地下水位変化(cm)			
				(km)		大井	小田原	南足柄	その他の観測点
1	2021/2/13	23:07	福島県沖	55	7.3	13 ↑	僅か↑	1 ↑	_
2	2021/5/1	10:27	宮城県沖	51	6.8	1 ↑	—	—	—
3	2021/9/29	17:37	日本海中部	394	6.1	2 ↑	_	—	—
4	2021/10/7	22:41	千葉県北西部	75	5.9	6 1	—	—	—
5	2021/11/17	2:54	神奈川県西部	23	4.4	1↑	_	—	_
6	2021/12/3	6:37	山梨県東部·富士五湖	19	4.8	2 ↑	_	僅か↑	_

M:マグニチュード、↑:水位の上昇、--:変化が認められない

- Harada, M., R. Doke, K. Mannen, K. Itadera, and M. Satomura (2018) Temporal changes in inflation sources during the 2015 unrest and eruption of Hakone volcano, Japan, Earth, Planets and Space, 70, 152, doi:10.1186/s40623-018-0923-4.
- 原田昌武・道家涼介・板寺一洋(2021) 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, 神奈川県温泉地学研究所観測だ より,71,43-50.
- Honda, R., Y. Yukutake, Y. Morita, S. I. Sakai, K. Itadera, and K. Kokubo (2018) Precursory tilt changes associated with a phreatic eruption of the Hakone volcano and the corresponding source model, Earth, Planets and Space, 70, 117, doi:10.1186/s40623-018-0887-4.
- 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.