

開成 GPS 観測点の移設に伴う移動量の推定

道家涼介^{*1}

Estimation of the offset parameter caused by the relocation of Kaisei GPS station

by

Ryosuke DOKE^{*1}

1. はじめに

神奈川県温泉地学研究所では、地震計、傾斜計、GPS、光波測量、地下水位観測などからなる観測網を神奈川県西部地域に展開し、同地域の地震・地殻変動の監視を行っている。このうち、GPS 観測では、2017 年末時点で、常設観測点 9 点、臨時観測点 6 点（機動観測点を含む）からなる観測網を構築している（道家ほか、2018）。これらのデータは、神奈川県温泉地学研究所にてルーチンの日々の座標値の決定、結果の可視化がなされ、地震・火山活動の観測・監視に用いられている（道家ほか、2013 ; Doke *et al.*, 2018）。

GPS 常設観測点の一つである開成観測点（観測点コード：KAIS、図 1）では、2008 年より神奈川県足柄上郡開成町にある神奈川県足柄上合同庁舎の屋上にて、TOPCON 社製の NET-G3 受信機と CR-4 チョークリングアンテナを用いて観測を行っている。この度、足柄上合同庁舎の建替えに伴い、取り壊し予定の旧庁舎から新たに建設された新庁舎へ、2018 年 3 月 1 日に GPS 観測点の移設が行われた。これによりアンテナが物理的に移動し、移設前後の観測結果にギャップが生じたが、移設前に蓄積されたデータも生かし、地殻変動観測の連続性を維持する観点から、この移設に伴う移動量を推定し、解析結果を補正する必要がある。本稿は、推定した移動量およびその推定方法を資料として提示するものである。

2. 方法

2.1. 基本方針

GPS 観測点の解析結果に生じる人的要因（アンテナ交換など）によるオフセット量の補正方法を紹介したものとしては、国土地理院の GEONET 観測点による事例がある。国土地理院では、人的要因が生じた前後 10 日分

のそれぞれの平均を取って、その差をオフセット量としている（岩下ほか、2009）。10 日分の平均値を取る理由としては、数日程度の短期間の平均値ではデータのノイズが十分除去できず、あまりに長期間の平均値では定常的な地殻変動の影響があるためとしている（岩下ほか、2009）。本報告では、この方法を参考に、開成観測点の移動の前後 10 日間のデータを使用することとした。なお、岩下ほか（2009）では、オフセットが生じた日に加えて、念のためその前後 1 日分のデータは除外することとしているが、本報告では、それは適用しなかった。その理由として、観測点移設日（2018 年 3 月 1 日）のデータは、観測点移設後の観測データしかないことに加え、30 秒サンプリングで 18 時間以上の十分な観測データがあり、解析による座標値の決定には問題がないと判断したためである。また、移設日の前後 1 日のデー

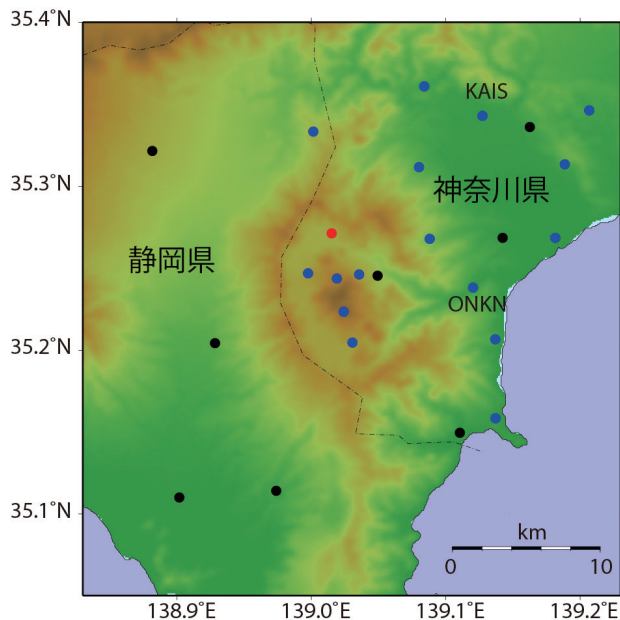


図 1 観測点位置図。青丸は温泉地学研究所、黒丸は国土地理院、赤丸は気象庁による観測点を示す。

^{*1} 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

報告，神奈川県温泉地学研究所報告，第 50 巻，61-64，2018

表 1 移設前後の開成観測点の座標値

日付	地心直交座標系 (ITRF2005)			緯度 (度)	経度 (度)	楕円体高 (m)	局地水平座標系 *1			
	X (m)	Y (m)	Z (m)				N (m)	E (m)	U (m)	基線長 (m)
2018/2/19	-3938563.0827	3408397.8218	3669038.6559	35.3430	139.1274	109.1610	-0.0001	-0.0007	0.0029	0.0030
2018/2/20	-3938563.0813	3408397.8197	3669038.6543	35.3430	139.1274	109.1581	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018/2/21	-3938563.0875	3408397.8236	3669038.6583	35.3430	139.1274	109.1663	-0.0009	0.0011	0.0082	0.0083
2018/2/22	-3938563.0841	3408397.8209	3669038.6565	35.3430	139.1274	109.1618	0.0001	0.0009	0.0036	0.0038
2018/2/23	-3938563.0789	3408397.8184	3669038.6518	35.3430	139.1274	109.1545	-0.0005	-0.0006	-0.0036	0.0037
2018/2/24	-3938563.0843	3408397.8233	3669038.6579	35.3430	139.1274	109.1640	0.0003	-0.0008	0.0059	0.0059
2018/2/25	-3938563.0782	3408397.8180	3669038.6525	35.3430	139.1274	109.1543	0.0005	-0.0007	-0.0039	0.0040
2018/2/26	-3938563.0800	3408397.8213	3669038.6546	35.3430	139.1274	109.1584	0.0002	-0.0021	0.0002	0.0021
2018/2/27	-3938563.0773	3408397.8162	3669038.6518	35.3430	139.1274	109.1523	0.0010	0.0000	-0.0058	0.0059
2018/2/28	-3938563.0853	3408397.8302	3669038.6708	35.3430	139.1274	109.1757	0.0077	-0.0053	0.0176	0.0200
2018/3/1	-3938579.3531	3408346.8689	3669086.7202	35.3435	139.1279	119.8033	51.3768	49.1752	10.6448	71.9103
2018/3/2	-3938579.3508	3408346.8574	3669086.7146	35.3435	139.1279	119.7925	51.3776	49.1824	10.6340	71.9142
2018/3/3	-3938579.3482	3408346.8545	3669086.7118	35.3435	139.1279	119.7877	51.3775	49.1829	10.6292	71.9137
2018/3/4	-3938579.3428	3408346.8474	3669086.7085	35.3435	139.1279	119.7787	51.3799	49.1847	10.6202	71.9154
2018/3/5	-3938579.3390	3408346.8546	3669086.7021	35.3435	139.1279	119.7765	51.3736	49.1768	10.6180	71.9051
2018/3/6	-3938579.3524	3408346.8617	3669086.7160	35.3435	139.1279	119.7966	51.3764	49.1802	10.6381	71.9124
2018/3/7	-3938579.3481	3408346.8570	3669086.7128	35.3435	139.1279	119.7896	51.3774	49.1809	10.6310	71.9126
2018/3/8	-3938579.3512	3408346.8587	3669086.7079	35.3435	139.1279	119.7896	51.3714	49.1817	10.6310	71.9088
2018/3/9	-3938579.3526	3408346.8592	3669086.7126	35.3435	139.1279	119.7934	51.3745	49.1822	10.6349	71.9119
2018/3/10	-3938579.3444	3408346.8538	3669086.7077	35.3435	139.1279	119.7826	51.3761	49.1809	10.6241	71.9106

*1 局地水平座標系における座標値は便宜上2018/2/20を基準として算出した相対的な座標変化を示す。

タについても、移設に伴う影響はないと考え、使用することとした（ただし、後述する外れ値は除く）。これは、可能な限り短期間のデータを用い、定常的な地殻変動の影響を最小限に抑えるためである。したがって、本報告では、2018年2月19～28日の10日間を移設前、3月1～10日の10日間のデータを移設後として、その間に取得されたデータを計算に使用した。なお、岩下ほか（2009）では複数の基線を組んだ上で、各基線でステップ量を推定しその平均を求めているが、本研究は、開成観測点の座標値を対象にステップ量を推定した。

2.2. 座標変換

神奈川温泉地学研究所では、バルン大学が開発した Bernese ソフトウェア ver. 5.0 (Dach *et al.*, 2007) により GPS のルーチン解析を行っている（道家ほか、2013；Doke *et al.*, 2018）。この Bernese ソフトウェアの解析結果における各観測点の座標値の出力は、地心直交座標系 (ITRF 座標系) における XYZ の各座標値と、地理座標系 (WGS-84 座標系) における緯度・経度・楕円体高である。一方、Bernese の入力情報となる観測点ファイルには、アンテナの移動量は南北、東西、上下の距離で入力する必要がある。このため、地心直交座標から平面座標系における距離に座標変換を行う必要がある。本報告では、観測点の移動が同一の敷地内という狭い範囲であることから、座標変換は局地座標（もしくは局地水平座標）（例えば、Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2001；久保、2010）への変換とし、変換の際の基準点は便宜的に 2018 年 2 月 20 日における開成観測点の座標値とした。

表 2 移設に伴う観測点の座標変化

	移動量(m)	標準誤差(m)
北向き成分	51.3761	±0.0008
東向き成分	49.1811	±0.0010
上向き成分	10.6297	±0.0030

2.3. 移動量の推定

座標変換により得られた、南北、東西、上下の各日の座標値（表 1）について、移設前後の各期間で平均値を算出した。しかし、GPS 測量では、大気の状態や電離圏の影響を十分に補正できていないことなどに起因する外れ値が生じることがある。このような外れ値は、多数のデータから長期間の地殻変動のトレンドを求める際には殆ど影響はないが、今回のような 10 日程度の座標の平均値を求める際には、その結果に影響を与えうる。したがって、データの中から外れ値を除去する必要があるが、本報告では、座標の平均値 $\pm 2 \times$ 標準偏差を超える値を外れ値とみなし、南北、東西、上下のいずれかで外れ値と判定された日のデータを除去した。その結果、2018 年 2 月 28 日の座標値が外れ値と判断されたため、計算から除去した。

3. 計算結果とルーチン解析システムへの反映

計算の結果、開成 GPS 観測点の移動量は表 2 のように見積もられた。この移動量を Bernese ソフトウェアの観測点情報ファイルに入力し、2018 年 3 月 1 日以降のデータを再解析したところ、観測点移設の前後で顕著なステップ状の変化を伴うことのない、連続的な変位の

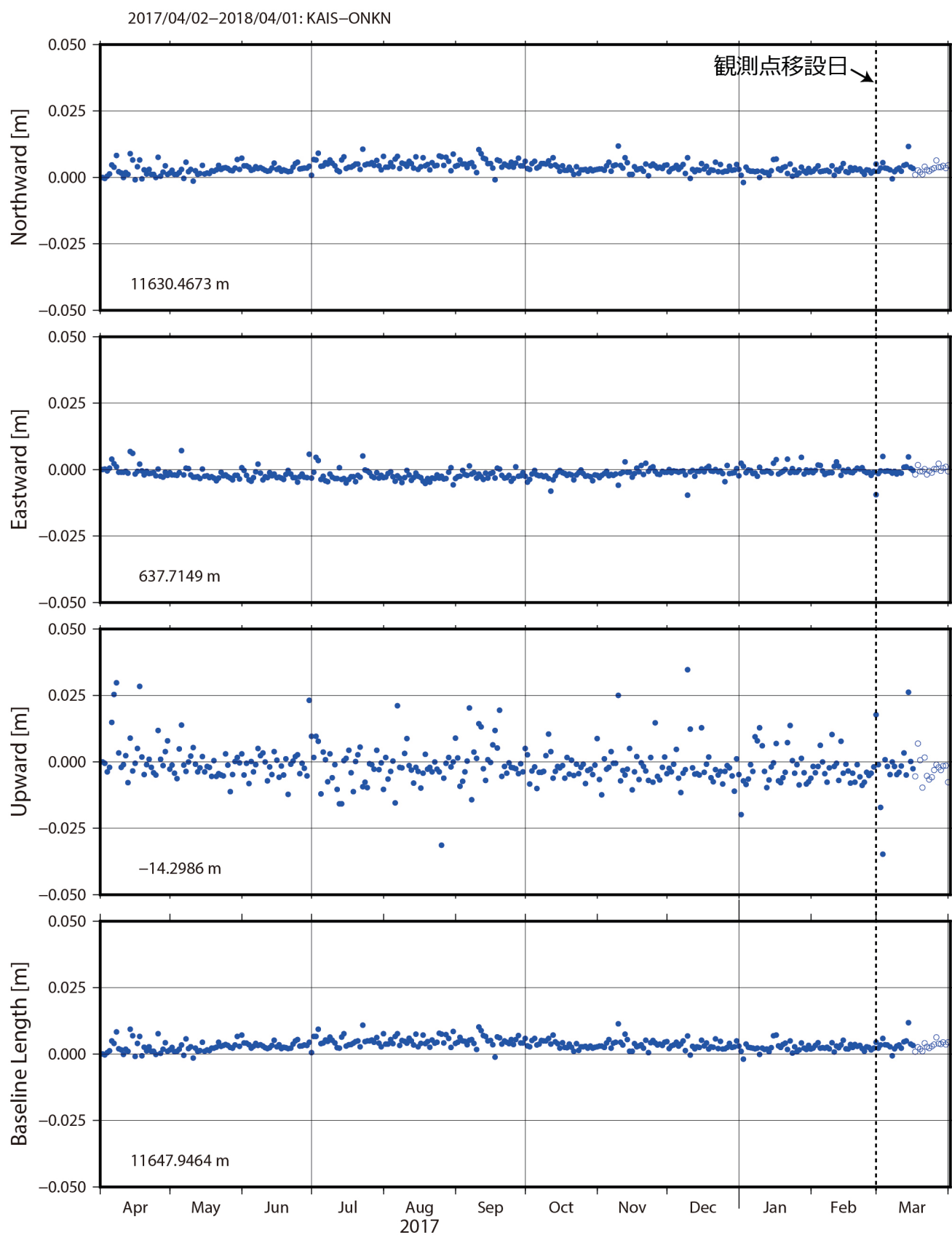


図2 開成観測点（KAIS）における時系列グラフ。上から順に、温泉地学研究所屋上の観測点（ONKN）を固定とした場合の、北向き、東向き、上向きの距離および基線長の変化を示す。グラフ中の数字は、グラフの縦軸の値が0の時の距離の値を示す。青丸は精密暦、白抜きの○は超速報暦による解析結果を示す。表示期間は2017年4月2日～2018年4月1日。

データを得ることができた（図 2）。

なお、計算した移動量に基づく観測点情報ファイルの更新は、2018 年 3 月 28 日に実施し、以降のルーチン解析ではこの移動量が反映された結果を自動的に出力するようになっている。

4. まとめ

本稿では、神奈川県足柄上郡開成町にある神奈川県足柄上合同庁舎に設置している GPS 観測点について、移設に伴う移動量の推定方法および結果を報告した。これにより、ステップのない連続的な地殻変動のデータを得ることが可能となった。

謝辞

2 名の査読者のコメントにより、本稿は改善されました。開成 GPS 観測点の維持・管理については、原田昌武氏に依るところが大きく、ここに記して感謝します。

参考文献

Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. (2007) Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Inst. Univ. Bern.
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（2018）神奈川県西部地域における 2017（平成 29）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，68，38-46.

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

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (2001) Global Positioning System: theory and practice, Springer-Verlag Wien New York（ホフマン-ウェレンホフ B.・リヒテネガー H.・コリンズ J., 西 修二郎（訳）（2005）GPS 理論と応用，シュプリンガー・フェアラーク東京）.

岩下知真子・梅沢 武・川元智司・野神 懋・畑中雄樹・石倉信広（2009）GPS 連続観測システム（GEONET）解析結果に生じる人為的要因によるオフセットの補正手法について，国土地理院時報，118，23-30.

久保幸弘（2010）WGS-84 などの座標系と変換，“杉本末雄・柴崎亮介（編）GPS ハンドブック”，朝倉書店，414-421.