

地殻変動補正パラメータの高度化の調査・検討（第7年次）

実施期間	令和元年度～令和7年度
測地部測地基準課	山田 直輝 岩下 知真子 多田 直洋 高築 晶 山下 達也
測地部宇宙測地課	雨貝 知美
地理地殻活動研究センター	石本 正芳
宇宙測地研究室	

1. はじめに

近年、準天頂衛星システム「みちびき」のセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）や精密単独測位（PPP）などを活用し、高精度な位置情報を誰もがリアルタイムで取得できるような高精度測位社会が実現しつつある。しかし、衛星測位技術によって得られる現在（今期）の位置情報は、複雑な地殻変動が生じている日本において、ある基準日（元期）における国家座標を基に作成した高精度な3次元地図とのズレが生じてしまう。そこで、国土地理院では、測位と地図とのズレを整合させる地殻変動補正モデルを構築し、2020年3月31日から「定常時地殻変動補正サイト（POS2JGD）」を運用し、補正に使用するグリッドモデル（地殻変動補正パラメータ）及びweb上での補正計算機能の提供を行っている（国土地理院，2020）。また、国土地理院では令和7年4月1日に衛星測位を基盤とする標高体系へと移行し、新たに標高の元期を2024年6月1日に定めている（古屋ほか，2025）。本移行に伴って公共測量に新たに導入されたGNSS標高測量では、地殻変動補正を実施することとなっており、高さ方向においても従来よりも高精度な地殻変動補正が求められる。

現行の地殻変動補正パラメータは、配点間隔約20kmの電子基準点のデータのみを用いて作成されているため、その配点間隔よりも短波長の変動は捉えることができない。山下ほか（2022）は、局所的な地盤沈下が発生している利根川中流域を対象として、電子基準点データと干渉SAR時系列解析データを組み合わせたモデリング手法を試行することで、空間分解能が向上しモデルの精度向上に有効であることを示した。また、山下ほか（2023）や深谷ほか（2024）など近年の調査研究では、最大約2cm/yrの局所的な地盤沈下が生じている千葉県房総半島周辺で同様の検証を行い、モデルの精度向上に取り組んできた。本研究では、従来の検証対象地域以外においても干渉SAR時系列解析データを組み入れた地殻変動補正モデルが有効かを検証するため、新潟県越後平野周辺の地盤沈下域を対象とすることとした。

2. 研究内容

2.1 使用した干渉SAR時系列解析データ

本研究では、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）によって捉えられた日本全国の地殻・地盤変動を対象とした干渉SAR時系列解析結果（以下「全国時系列解析結果」という。）（石本ほか，2024）の2023年度成果を使用した。全国時系列解析結果では、観測データは2014年8月6日から2024年1月1日能登半島地震以前までのALOS-2の北行及び南行軌道のものを利用し、干渉SAR時系列解析（小林ほか，2018）を実施している。このとき、電子基準点「大潟」（950241）付近は変動がないと仮定して位相最適化処理を行い、最適化された観測日の変位量から変位速度を求めている。さ

らに、プレート運動等に伴う広域的な地殻変動の影響を除去するため、同じ点を参照点として電子基準点の F5 解（村松ほか，2021，Takamatsu et al., 2023）を用いて得られた変位速度を時系列解析結果から差し引いている．本研究では上下方向の地殻変動補正にこの結果を取り込むため，全国時系列解析結果の 2.5 次元解析（Fujiwara et al., 2000）により得られた準上下方向の変位速度を使用した．

2.2 全国時系列解析結果と電子基準点データを組み合わせた地殻変動補正パラメータの構築

全国時系列解析結果を組み入れた地殻変動補正パラメータの構築に当たっては，主に以下の手順でデータ処理を行った．

- (1)…電子基準点データを用いた地殻変動量の算出とグリッドモデルの構築
- (2)…全国時系列解析結果の電子基準点データに基づく地殻変動モデルへの合わせ込み
- (3)…全国時系列解析結果のグリッド（約 90 m 間隔）から地殻変動補正のグリッド間隔（約 1 km 間隔）へのフィルタリング

まず，電子基準点データについては検証期間の各電子基準点の変動量を，日々の座標値（F5 解）に対して定常変動（一次関数），余効変動（対数関数）及び年周変動（三角関数）を考慮したフィッティング関数を適用して算出した．次に得られた各電子基準点上における変動量をクリギング法により空間補間してグリッド化し，地殻変動補正パラメータとしてモデル化する．なお，検証期間は，後述する水準測量のデータ期間と一致させるため，2014 年 9 月 1 日から 2022 年 9 月 1 日とした．

前述したとおり全国時系列解析結果は変動の長波長成分を除去しているため，そのまま推定される変動量を地殻変動補正パラメータの入力値として適用すると，電子基準点により捉えられた広域変動が考慮されないおそれがある．そのため，全国時系列解析結果で得られた変動量を電子基準点データによる変動量に合わせ込むことで，電子基準点で捉えられる広域変動も含んだ変動量とする補正処理を行った．まず全国時系列解析結果は変動の短波長成分のみを含むと考え，全国時系列解析結果で得られた変動量 $\Delta\hat{H}_{SAR}$ は，

$$\Delta\hat{H}_{SAR} \approx \Delta\hat{H}_S$$

と書ける．ここで， $\Delta\hat{H}_S$ は変動の短波長成分を示す．また，電子基準点における F5 解を用いて得られた変動量 $\Delta\hat{H}_{GNSS}$ は，

$$\Delta\hat{H}_{GNSS} \approx \Delta\hat{H}_S + \Delta\hat{H}_L$$

と書ける．ここで， $\Delta\hat{H}_L$ は変動の長波長成分を示す．したがって，電子基準点において変動の長波長成分 $\Delta\hat{H}_L$ は，

$$\Delta\hat{H}_L \approx \Delta\hat{H}_{GNSS} - \Delta\hat{H}_{SAR}$$

と書ける．以上の考え方から，電子基準点における F5 解に基づく変動量と全国時系列解析結果に基づく変動量の差を長波長成分の補正量として空間内挿して全国の長波長成分を求め，元の全国時系列解析結果の変動量に足し合わせることで電子基準点データによる広域変動（長波長成分）と全国時系列解析結果の局所変動（短波長成分）を両立した変動量を算出した．なお，全国時系列解析結果のオリジナルデータは変位速度であるため，変位速度に検証期間の年数を乗じることで全国時系列解析結果の変動量を算出している．

全国時系列解析結果を組み入れた地殻変動補正パラメータのグリッド間隔は，山田ほか（2025）と同様，約 1 km とした．全国時系列解析結果のグリッド間隔は約 90 m 間隔であるため，高木ほか（2024）や山田ほか（2025）と同様に中央値フィルタによる平滑化を行って，地殻変動補正パラメータのグリ

ッドの値としている。なお、フィルタリングをかける範囲はパラメータのグリッド間隔と同じ約 1 km とした。

2.3 水準測量結果から得られる越後平野周辺の地盤沈下

本研究では、新潟県越後平野周辺で毎年実施されている公共水準測量の観測比高データを使用し、網平均計算を実施して得られた変動量を真値とみなし、モデルからの推定値との比較に使用した。図-1 に 2014 年度と 2022 年度の 2 期間の水準測量により得られた 8 年間の変動量分布を示した。図-1(a)からは、新潟市阿賀野川河口付近の沿岸部や新発田市周辺で大きな地盤沈下量が見られる。変動量を算出した 189 点の水準点の中で最大の変動量は約-11.0 cm であり、図-1(b)で示したように最大約 1 cm/yr 以上の局所的な地盤沈下が見られることが分かる。

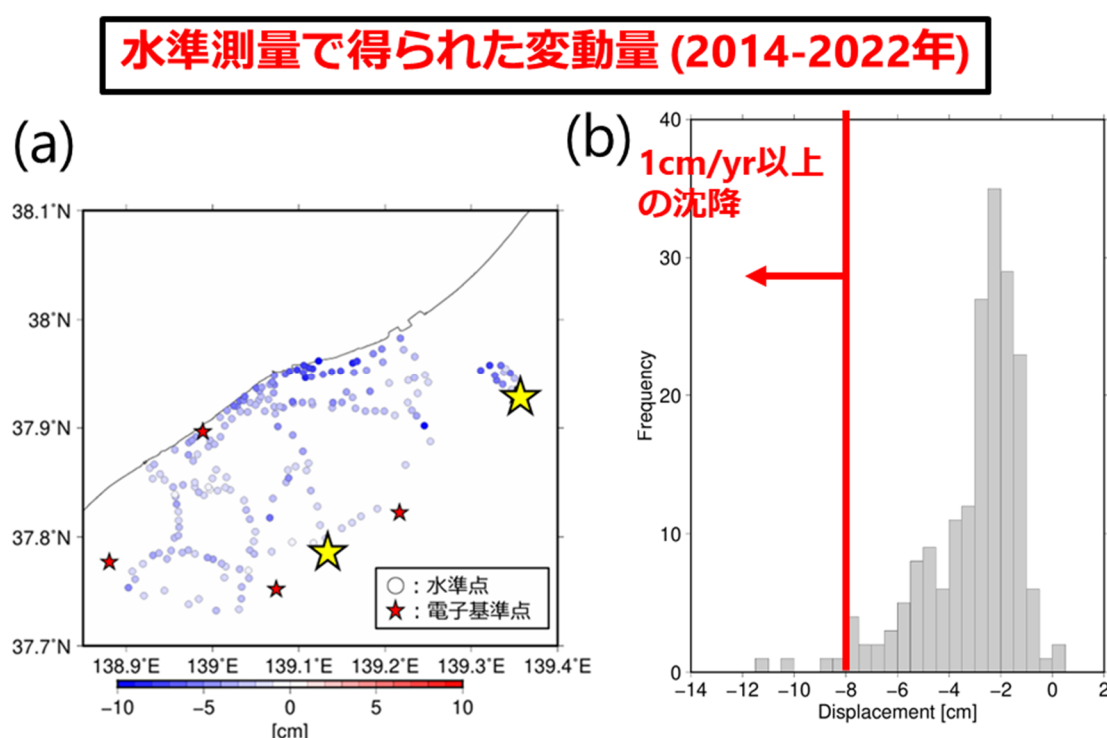


図-1 2014 年度と 2022 年度の 2 期間における公共水準測量によって得られた上下変動量

(a)は変動量の分布、(b)は変動量のヒストグラムをそれぞれ示す。なお、黄色の星印は変動がゼロと仮定した参照点を示す。

3. 結果

まず、水準測量により得られた実際の変動量と、電子基準点のみを用いた地殻変動補正パラメータにより得られた推定変動量との較差の分布を図-2 に示す。図-2(a)からは、水準測量による大きな地盤沈下量が観測された阿賀野川河口や新発田市周辺で大きな較差が見られることが分かる。これは、電子基準点データのみで構築したモデルではこれらの地域の地盤沈下量を再現することが難しいと解釈できる。図-2(b)のヒストグラムより、最大較差は-9.09 cm となっており、最大約 1 cm/yr の局所的な地盤沈下が発生している地点では 2 cm 程度しか補正できていないことが分かる。

次に、水準測量による真値と全国時系列解析結果を組み入れた地殻変動補正パラメータにより得られた推定変動量との較差の分布を図-3 に示す。図-3(a)からは、電子基準点のみでは大きな較差が見ら

れた地盤沈下域において、較差が小さくなっていることが分かる。図-3(b)では、最大較差が-5.41 cmに改善しており、局所的な地盤沈下の再現性が向上していることが分かる。較差のRMSについても、2.64 cm から 1.16 cm に改善している。

水準測量(真値) - 推定変動量

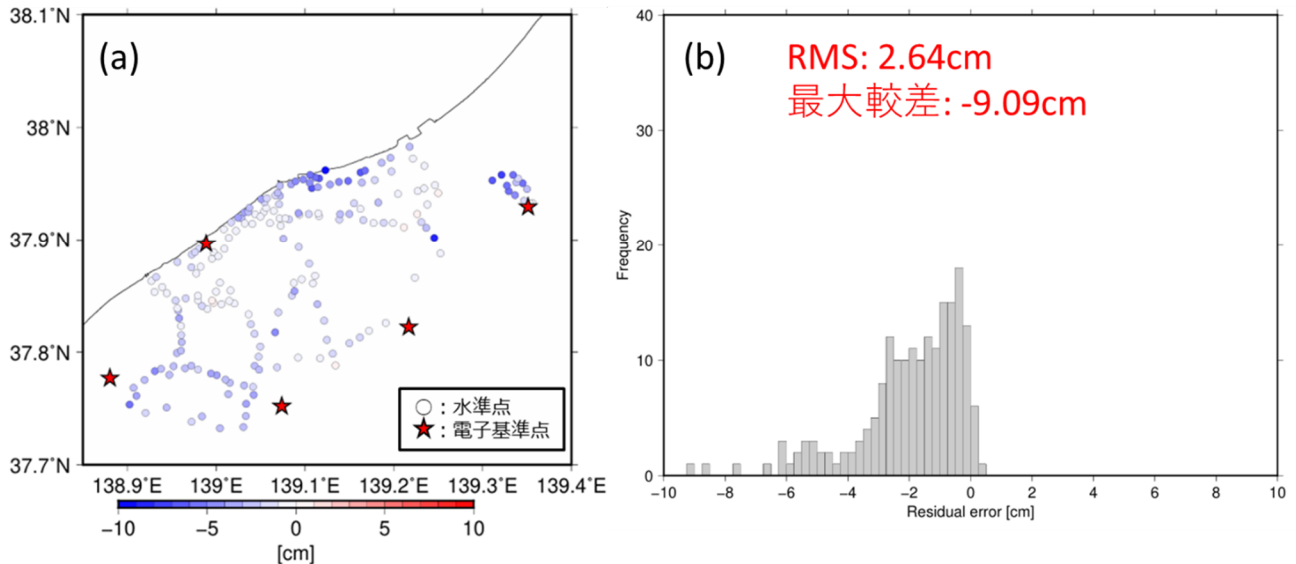


図-2 水準測量により得られた変動量（真値）と電子基準点データのみを用いて構築した地殻変動補正パラメータにより推定した変動量との較差
(a)は較差の空間分布、(b)は較差のヒストグラムを示す。

水準測量(真値) - 推定変動量

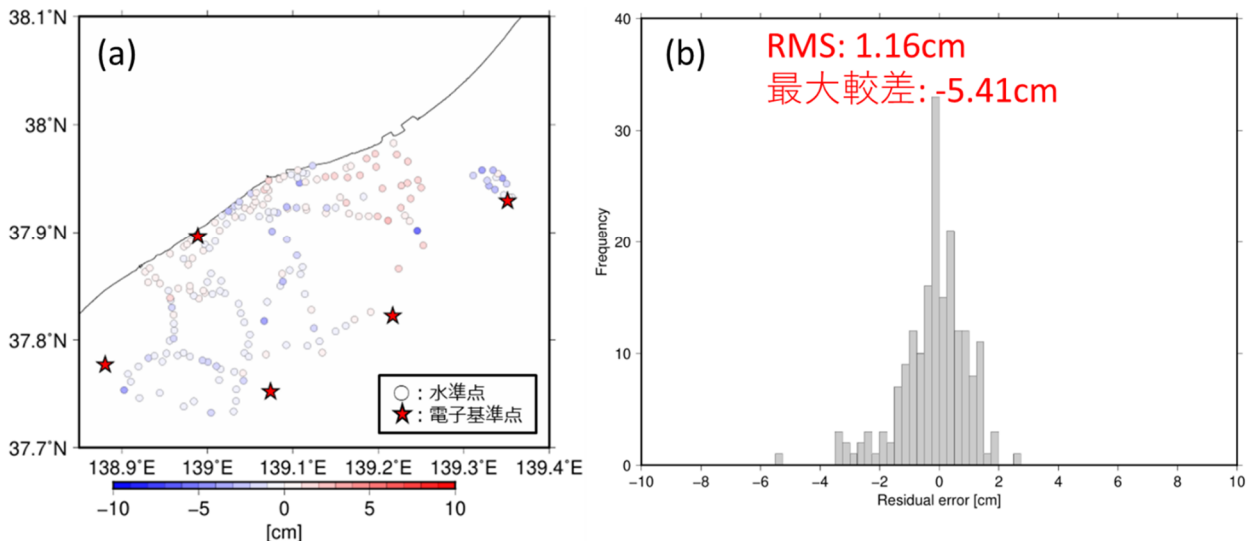


図-3 水準測量により得られた変動量（真値）と全国時系列解析結果を組み入れて構築した地殻変動補正パラメータにより推定した変動量との較差
(a)は較差の空間分布、(b)は較差のヒストグラムを示す。

4. 結論

本研究では、全国時系列解析結果と電子基準点データを組み合わせた地殻変動補正パラメータについて、新潟県越後平野周辺の公共水準測量データを用いた比較・検証を行った。検証結果から全国時系列解析結果を組み入れた地殻変動補正パラメータが、新潟県越後平野周辺の地盤沈下域においても補正精度の向上に有効であると考えられる。今後は実装に向け、全国時系列解析結果を用いた地殻変動補正パラメータの適用範囲、グリッド間隔や適用範囲境界において生じる補正量のスムージング処理について検討を行う。

参考文献

- Fujiwara, S., Nishimura, T., Murakami, M., Nakagawa, H., Tobita, M., and Rosen, P. A. (2000): 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, 27, 2049–2052. doi:10.1029/1999GL011291
- 深谷俊太郎, 高木悠, 吉川忠男, 中久喜智一, マービット京湖, 三木原香乃, 古屋智秋, 小林知勝 (2024) : 地殻変動補正パラメータの高度化の調査・検討, 令和 5 年度調査研究年報, 16–21.
- 古屋智秋, 井上武久, 針間栄一郎, 檜山洋平, 岩下知真子, 多田直洋, 高築晶, 山田直輝, 田上節雄, 吉川忠男, 中久喜智一, 下平佳朱美, 飯尾研人, 松原柚季, 石川典彦, 山下達也, 高松直史, 宮崎隆幸, 橋本繭未, 村上真亮, 宗包晃子, 齋田宏明, 影山勇雄, 湯通堂亨 (2026) : 衛星測位を基盤とする標高体系への移行に伴う基準点の標高成果の改定, 国土地理院時報, 140, 1–22. doi:10.57499/JOURNAL_140_01
- 石本正芳, 三木原香乃, 市村美沙, 古居晴菜, 服部晃久, 雨貝知美, 佐藤雄大, 小門研亮, 小林知勝 (2024) : 干渉 SAR 時系列解析による全国変動分布図の公開とその活用, 国土地理院時報, 137, 13–20. doi:10.57499/JOURNAL_137_03
- 小林知勝, 森下遊, 山田晋也 (2018) : 干渉 SAR 時系列解析プロトタイプシステムの開発, 国土地理院時報, 130, 123–133. doi:10.57499/JOURNAL_130_12
- 国土地理院 (2020) : 定常時地殻変動補正サイト POS2JGD, <https://positions.gsi.go.jp/cdcs/> (accessed 16 Jun. 2025) .
- 村松弘規, 高松直史, 阿部聡, 古屋智秋, 加藤知瑛, 大野圭太郎 (2021) : 新しい GEONET 解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値 (F5 解・R5 解) の公開, 国土地理院時報, 134, 19–32. doi:10.57499/JOURNAL_134_03
- 高木悠, 石本正芳, 小林知勝, 宗包浩志 (2024) : 衛星 SAR 解析結果を用いた座標・標高補正パラメータ作成の試み, 国土地理院時報, 138, 75–81. doi:10.57499/JOURNAL_138_11
- Takamatsu, N., Muramatsu, H., Abe, S., Hatanaka, Y., Furuya, T., Kakiage, Y., Ohashi, K., Kato, C., Ohno, K., and Kawamoto, S. (2023): New GEONET analysis strategy at GSI: daily coordinates of over 1300 GNSS CORS in Japan throughout the last quarter century. *Earth Planets Space* 75, 49. doi:10.1186/s40623-023-01787-7
- 山田直輝, 岩下知真子, 多田直洋, 高築晶, 高木悠, 市村美沙, 石本正芳, 小林知勝 (2025) : 地殻変動補正パラメータの高度化の調査・検討 (第 6 年次), 令和 6 年度調査研究年報, 10–18.
- 山下達也, 深谷俊太郎, 上芝晴香, 中村見奈子, マービット京湖, 三木原香乃, 古屋智秋, 小林知勝 (2023) : 地殻変動補正パラメータの高度化の調査・検討, 令和 4 年度調査研究年報, 12–19.
- 山下達也, 田中もも, マービット京湖, 三木原香乃 (2022) : 電子基準点データ等による水準点の標高変動補正の検証 (第 6 年次), 令和 3 年度調査研究年報, 40–46.