GEONET の次世代化（第 3 年次）

実施期間	令和元年度～令和 3 年度	
測地観測センター電子基準点課	村松　弘規	髙松　直史
	影山　勇雄	阿部　聡
	熊谷　光起	多田　直洋
	大野　圭太郎	
測地観測センター地殻監視課	三浦　優司	佐藤　明日花
	大脇　温子	中浴　広樹
	神宮　章克	小川　拓真

1. はじめに

測地観測センターでは，GNSS 衛星からのデータを 24 時間，1 秒間隔で受信する電子基準点を全国に約 1,300 か所設置している．電子基準点で観測したデータは，国土地理院内にある GEONET 中央局に集められ，ホームページより提供される．一連のシステムは GNSS 連続観測システム（GEONET）と呼ばれ，1996 年の運用開始から約 25 年にわたり絶え間なく観測を継続し，測量，地殻変動の監視，各種位置情報サービス等において広く活用されている．GEONET は我が国の測位基盤を支える根幹を担う一方，近年，GPS の次世代衛星の打上げ開始や民間等による GNSS 連続観測局の設置等，測位を巡る環境は変化していて，新しい衛星及び信号の電子基準点での受信・解析や，民間が設置した観測局の利活用といった課題がある．また，GEONET は運用コストが大きく，持続的に運用していくために維持管理の効率化を図っていく必要もある．

これらの課題を解決し，高精度測位環境の構築に寄与するため，GEONET の次世代化を図り，その一環として「新たな衛星系，測位信号に対応するための研究開発」，「民間基準点を GEONET に取り込むための研究開発」を実施している．

2. 新たな衛星系，測位信号に対応するための研究開発

2.1 新たな電子基準点日々の座標値の公開

全ての電子基準点の観測データは日々解析され，毎日の各点の位置を「電子基準点の日々の座標値」としてホームページで公開している．このデータは，地殻変動監視やセミ・ダイナミック補正に用いるパラメータの作成に活用されている．この座標値を求める解析ストラテジについて，令和 3 年 4 月 1 日より，新しい解析ストラテジに基づく電子基準点日々の座標値の提供を開始した．従来は「電子基準点日々の座標値（F3 解）」（以下「F3 解」という.）と呼ばれていた解析結果についてはストラテジの更新により第 5 版となることに合わせて「電子基準点日々の座標値（F5 解）」（以下「F5 解」という.）という名称で提供を開始した．解析ストラテジの詳細については，古屋ほか（2021）及び村松ほか（2021）に掲載されているため，本報告では省略する．

F5 解は，解析手法を変更したことにより，IGS 解（IGS が公開する ITRF2014 の実現値として高い確度がある座標値）と±1cm 程度の精度で整合するものとなった．令和 3 年 4 月 1 日の運用開始後も，高い精度で整合している（図-1）．

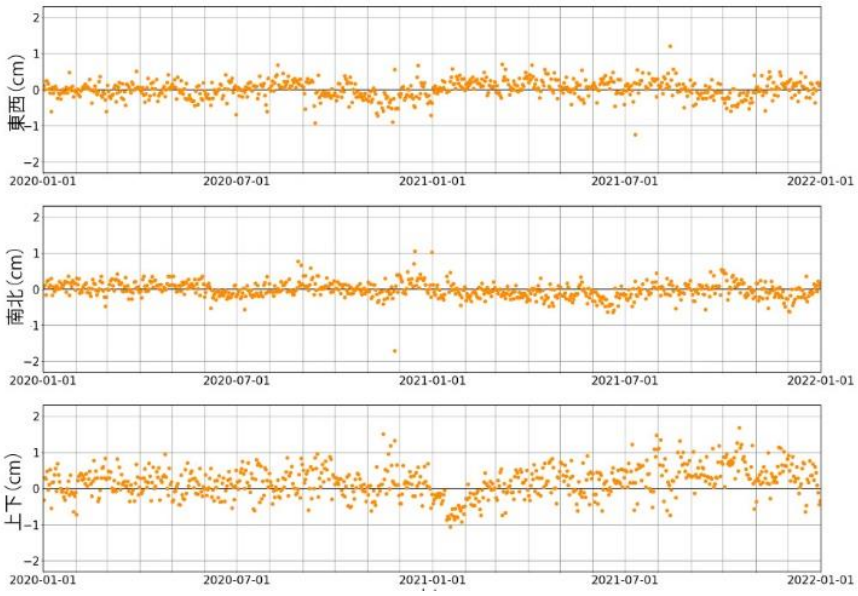

図-1　IGS 点「ISHI」（石岡）における第 5 版（F5 解）の IGS 解に対する較差

2.2 電子基準点日々の座標値（F5 解）の地殻変動監視への適用

2.2.1 電子基準点保守作業に伴うオフセット量の算出

電子基準点日々の座標値には，地震等の地殻変動による時系列変化の他に，電子基準点保守作業により生じる人為的な座標値の飛び（以下「オフセット」という.）が含まれている．地殻変動を的確に把握するためには，オフセット前後の座標値の差（以下「オフセット量」という．）を適切に推定した上で，補正する必要がある（図-2）.

F5 解の算出にあたっては，アンテナ位相特性モデル等の様々な解析設定を従来の F3 解から変更している．F5 解への移行に伴い，解析設定変更の影響でオフセット量が F3 解とは異なるものが確認されたため，GEONET の運用が開始された 1996 年から 2020 年まで，全国の電子基準点でオフセットが発生する可能性のある保守作業約 6,000 件のオフセット量を再計算し，確認及び数値の更新を行った.

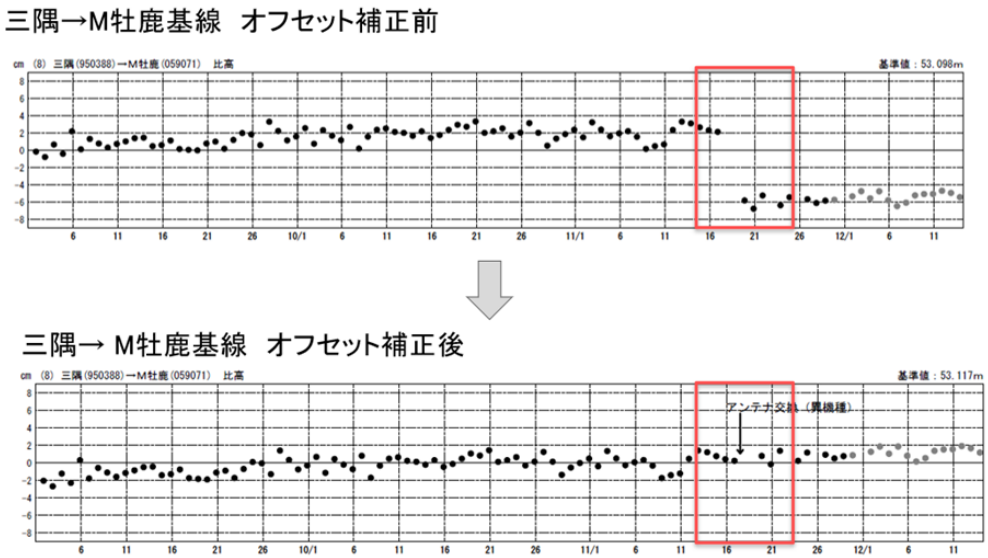

図-2　オフセット補正の例

新しいオフセット量を適用した F5 解と従来のオフセット量を適用した F3 解との差分を取り，ヒストグラムによる精度検証を行ったところ，F5 解と F3 解の差分は，1 年ごとの分布ではほぼ 5mm 以内であり，特に水平成分では 2mm 以内にほぼ収まっていた(図-3)．また，オフセット量を適用した F5 解による地殻変動資料は，従来の F3 解の資料と比較しても変動量等に大きな違いは見られず，これまでの地殻変動の評価に影響は見受けられなかった．なお，今回の取組で作成した，F5 解に適用する新オフセット補正ファイルは，ホームページ（国土地理院）からダウンロードすることができる．

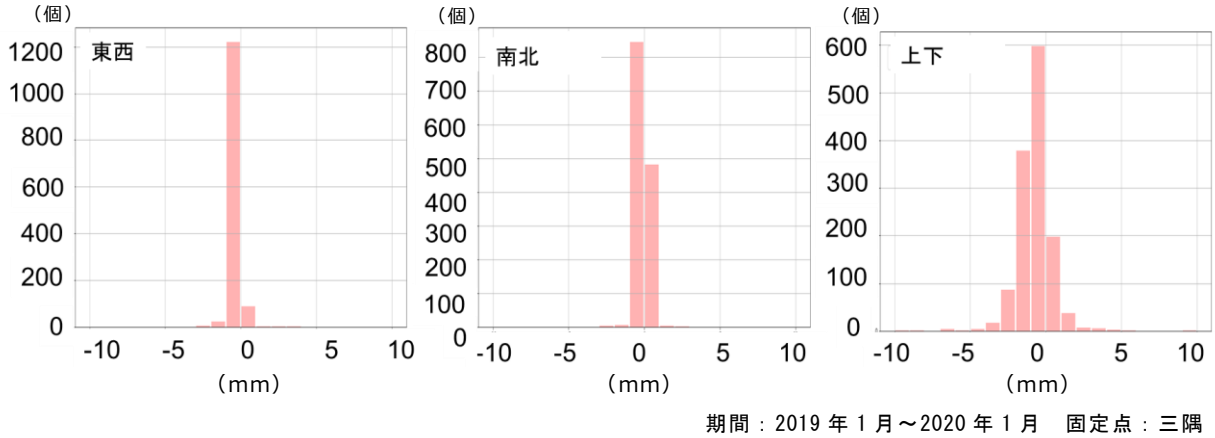

図-3　オフセット補正済み F3 解と F5 解の差分ヒストグラム

2.2.2 他機関の GNSS 連続観測点を利用した火山地域での地殻変動監視への対応

国土地理院では，関係する機関のデータを有効に活用し，火山活動に伴う地殻変動をより詳細に監視するため，気象庁や防災科学技術研究所等の他機関の観測データを活用した GPS 統合解析を実施している．国土地理院が実施する火山地域での GPS 統合解析では，GEONET 定常解析と同等の 2 周波解析に加えて，電子基準点から電離層遅延量をモデリングした 1 周波解析も可能である．つまり，1 周波受信機の観測点があっても，電子基準点から推定した電離層遅延量を補正することにより，2 周波受信機と同等の高精度な解析結果を得ることができる．

GPS 統合解析についても，F5 解と同基準で解析結果を算出するよう改修を行った．解析システムの改修版への移行にあたっては，改修版を用いて過去のデータを再解析し，それぞれの解析結果を比較検証し，変動の傾向と大きさに顕著な違いがないことを確認した．F5 解で見られた効果（村松ほか，2021）と同様に、改修前と比べて高さ成分のばらつきが小さくなり，1cm 程度の微少な変動の傾向を注視する火山活動に伴う地殻変動モニタリングでの効果が期待できる．2021 年 12 月に開催された第 149 回火山噴火予知連絡会から，国土地理院提出の資料は全て改修版によるものとなった．

2.2.3 験潮場の GNSS 連続観測データを用いた海面変動トレンドの算出

国土地理院及び気象庁の一部の潮位観測施設（以下「験潮場」という.）の屋上又は脇には，2002年頃からGNSS連続観測点（以下「GNSS-P点」という.）が取り付けられ，GEONETの一部として，日々の座標値を連続的に算出している．験潮場で取得した潮位データには，潮位の変動と験潮場の地盤上下変動の2つの影響が混在しており，長期的な海面変動を把握するためには，潮位データからGEONETで得られた地盤上下変動（日々の楕円体高の変化）を差し引くことにより，準拠楕円体を基準とした潮位変化を得ることができる．国土地理院では，験潮場で取得した潮位データとGNSS-P点の日々の座

標値から，準拠楕円体を基準とした各験潮場での海面変動トレンドを算出し，結果をホームページ（国土地理院）で公開している．

GEONETから得られる日々の座標値がF3解からF5解に変更となったことによる本手法での海面変動トレンド算出への影響について比較したところ，両者から得られる海面変動トレンドの差は，±1mm/year以内に収まる程度であり，解析ストラテジの変更が海面変動トレンドの算出値に与える影響はほとんど見られなかった．国土地理院の験潮場の2004年から2020年までの海面変動トレンドは，概ね上昇傾向で，最大は「田子」での9mm/yearであった．地域的な分布としては，太平洋側の近畿から関東にかけての沿岸部の領域で5mm/year以上の海面上昇の系統的な分布が見られる．それに対して，日本海側では0mm/yearから5mm/yearの範囲内で海面変動トレンドの違いはあるものの，地域的な偏りは明確には見られない．上記の太平洋側で見られる地域的な傾向について，気象庁験潮場から求めた海面変動トレンドでも同様の傾向が見受けられた（図-4）．海面高度計（アルチメトリー）から求められた地域分布（The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation : CSIRO）では，太平洋側の近畿から関東にかけての沿岸部の領域において，5mm/yearを超える海面上昇の領域が見受けられており，今回の結果はアルチメトリーとも調和的なものとなっている．

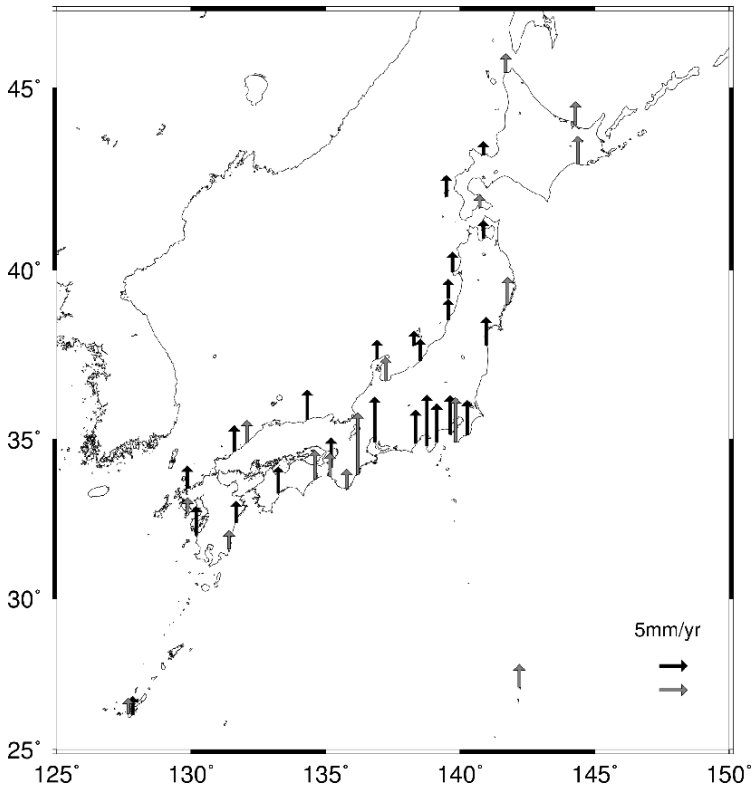

図-4　験潮場の潮位データと GNSS-P 点の日々の座標値から求めた海面変動トレンド
国土地理院 25 験潮場（黒矢印）及び GNSS-P 点のある気象庁 16 験潮場（灰色矢印）

3.民間等による GNSS 連続観測局を GEONET に取り込むための研究開発

国土地理院では，民間等が設置した GNSS 連続観測局の性能を評価し，級別に登録する制度として，令和元年 10 月に「民間等電子基準点の性能基準及び登録要領」を制定し，令和 2 年 4 月から登録の受付を開始した．測地観測センターでは，民間等が設置した GNSS 連続観測局の観測データの品質確認

を実施していて，令和 4 年 1 月末時点で，75 件の観測データを評価，確認した．一方で，登録後に定期的に送付される民間等電子基準点の観測データを地殻変動監視等に役立てるためには，GEONET 定常解析と同様の手法で解析を実施する必要がある．

民間等電子基準点の観測データから座標値を計算するために，電子基準点日々の座標値（F5 解）を計算する解析アルゴリズムを参考にした計算手法を開発した．解析ソフトには Bernese 5.2 を使用した．電子基準点日々の座標値を求める際には，比較的品質が良く，かつ長期的に運用されている電子基準点を放射基線中心点として選定し，その点を中心とした放射状の基線を作り各電子基準点の座標を求める．民間等電子基準点の解析では，最寄りの放射基線中心点を固定点として基線解析を実施する．固定点の座標は F5 解に固定して解析を実施するため， F5 解と整合した座標を計算することが可能である．

図-5 は民間等電子基準点（A 級）を試験的に解析した結果である．比較的高い安定性で観測が続けられていることが分かる．民間等電子基準点においても地殻変動への活用が期待される一方で，観測点の品質は点によって異なることが推測されるため，今後も様々な民間等電子基準点のデータを解析する必要がある．

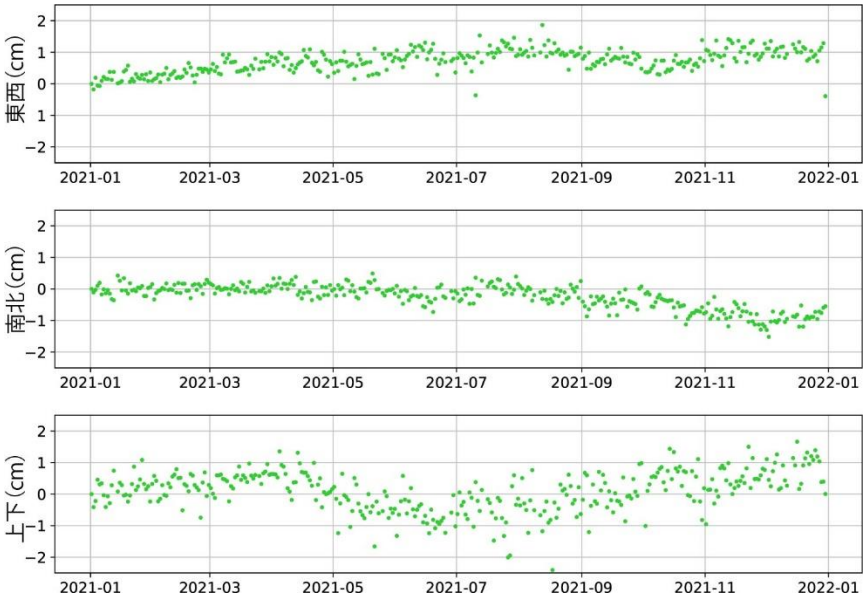

図-5　民間等電子基準点の座標変化グラフ例（2021 年 1 月 1 日を基準とした変化）

4．今後

本報告では割愛したが，上記のほかにも，電子基準点から GEONET 中央局に至るまでの新たな通信網の検討や電子基準点の電源機能の強化等，GEONET に関して様々な調査・研究を実施してきている．今後，GEONET を持続的に運用しつつ効率化し高精度測位を発展させるために，引き続き調査・研究を進めていくとともに，GEONET に対するニーズ等を踏まえた優先順位や課題等も整理していく必要がある．

参考文献

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)：Past sea level changes，https://research.csiro.au/slrwavescoast/sea-level/sea-level-changes/（accessed 18 Feb. 2022）．

古屋智秋，齋田宏明，村松弘規，髙松直史，影山勇雄，山中雅之，熊谷光起，都筑三千夫（2021）：GEONET の次世代化（第 2 年次），国土地理院令和 2 年度調査研究年報，102-106.

国土地理院：F5 用オフセット補正量ファイル，https://mekira.gsi.go.jp/JAPANESE/corrf5o.dat（accessed 18 Feb. 2022）.

国土地理院：地盤上下変動を補正した海面水位変化，https://www.gsi.go.jp/kanshi/tide_sl_trend_F5.html（accessed 18 Feb. 2022）

村松弘規，髙松直史，阿部聡，古屋智秋，加藤知瑛，大野圭太郎，畑中雄樹，撹上泰亮，大橋和幸（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.