

小型 GNSS 機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発（第 5 年次）

実施期間	令和 3 年度～令和 7 年度
地理地殻活動研究センター	田中 優介 中川 弘之
宇宙測地研究室	服部 晃久

1. はじめに

国土地理院が整備・運用する電子基準点網（GEONET）は日本全国に約 1,300 点の GNSS 観測点を有し、地殻変動の常時監視において中核的な役割を果たしている。GEONET の平均観測点間隔は全国で約 20 km と比較的高密度ではあるものの、地盤沈下や局地的な地殻変動といった小スケールの現象を高精度に把握するには、なお不十分な場合がある。

宇宙測地研究室では、こうした既存の観測網で捉えきれない局所的な地殻変動、地盤沈下、地震後の余効変動、さらには火山活動の兆候などを、より高い空間分解能で検出することを目的として、小型かつ可搬性に優れた GNSS 観測装置の開発及び実証的な運用を進めてきた。本装置は近年普及が進む小型の GNSS アンテナ及び受信機を活用したものであり、必要な地域に対して機動的に観測点を展開し、高密度なデータ取得を可能とすることが期待されている。

これまでに実証実験の一環として、千葉県房総半島に合計 30 基の小型 GNSS 観測装置を設置し連続観測を実施してきた（古屋，2023；松本，2024；服部，2025）。本年度は取得した 3～5 年間の座標時系列の品質・特性を網羅的に評価し、観測の総括を行った。これらの観測については当初の目的を達成したため、令和 7 年度末までに観測を終了し全点の機器の撤去を完了した。

一方で、山口県北部で発生した群発地震活動による地殻変動を捉えるために、令和 7 年 6 月に萩市の内陸地域にソーラーパネルを備えた独立電源型の小型 GNSS 観測装置 1 基を設置した。さらに、トカラ列島近海で令和 7 年 6 月下旬から活発化した地震活動に対応するために、7 月中旬にトカラ列島の小宝島にもソーラーパネルを備えた独立電源型の小型 GNSS 観測装置 1 基を設置した。

本稿では、これまでの房総半島における観測の成果を紹介するとともに、萩市と小宝島の小型 GNSS 観測の状況について順に報告する。

2. 千葉県房総半島

2.1 前年度までの観測・研究成果の概要

房総半島は、千葉県が実施する水準測量等で局所的な地盤沈下が観測されているほか、スロースリップイベントも複数回観測されてきた地域である。こうした多様な時空間スケールの地殻変動の把握に対する、小型 GNSS 観測装置の適用可能性を検証するため、令和 2 年度に 10 基、令和 4 年度に 20 基の計 30 基の観測装置を配置して高密度な観測を実施してきた（図-1）。

これらの観測により、地盤沈下が報告されている地域では継続的な沈降傾向が確認された。加えて、房総半島沖で令和 6 年 2 月末から発生したスロースリップイベントの際には電子基準点により通常とは異なる地殻変動が検出されたが、いくつかの小型 GNSS 観測点においても電子基準点の結果と整合的な非定常地殻変動が捉えられ（松本，2024，服部，2025）、小型 GNSS アンテナ及び受信機を活用した地殻変動観測の有効性が示された。また、地殻・地盤変動推定における観測網の稠密性向上の効果を評価するため、GEONET のみを用いた場合と小型 GNSS 観測点も含めた場合の両方について地表変動の空間内挿を行い、地盤沈下範囲の推定結果を比較した。その結果、小型 GNSS 観測装置を加えた

場合の方がより短い空間波長の変動を捉えられ、衛星 SAR 解析から得られる上下方向の変位成分との整合性も高いことが確認された（服部，2025）。これにより，局所的な地殻・地盤変動を捉えるのに稠密な観測網が効果的であること，それを実現するために小型 GNSS 観測装置が有効であることが示された。

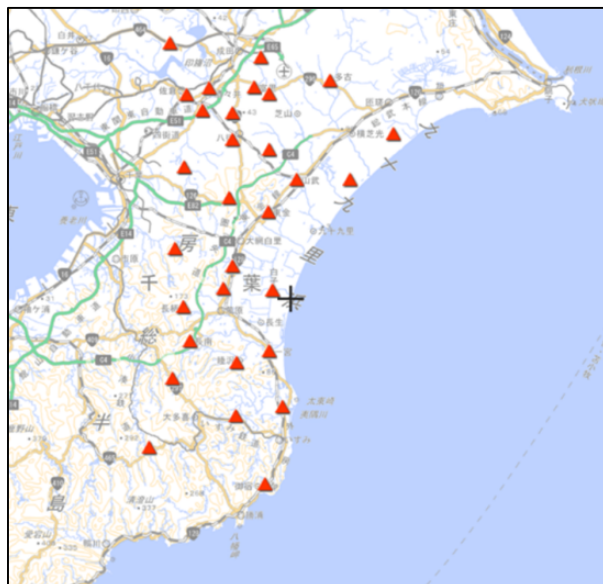


図-1 房総半島の小型 GNSS 観測点の配点図（赤三角）。

2.2 観測データのノイズ特性・品質評価

これまでの観測の総括として，取得した 2～4 年程度の座標時系列について，近隣の電子基準点との比較も含めた網羅的なノイズ特性・品質評価を行った．評価では PPP with ambiguity resolution（以下「PPP-AR」という．）により，小型 GNSS 観測点 30 か所と千葉県内の電子基準点 24 か所の日々の座標時系列を取得した．解析ソフトウェアは PRIDE PPP-AR（Geng et al., 2022）を用い，衛星系は GPS，GLONASS，Galileo の 3 者を用いた．座標時系列から 30 日移動平均を差し引いて長周期成分を除いた上で，観測期間全体での標準偏差を算出した結果が図-2 である．水平成分は 1～2 mm，上下成分は 4～5 mm で電子基準点と遜色ないノイズレベルであり，また観測点間の差異もほとんど見られなかった．

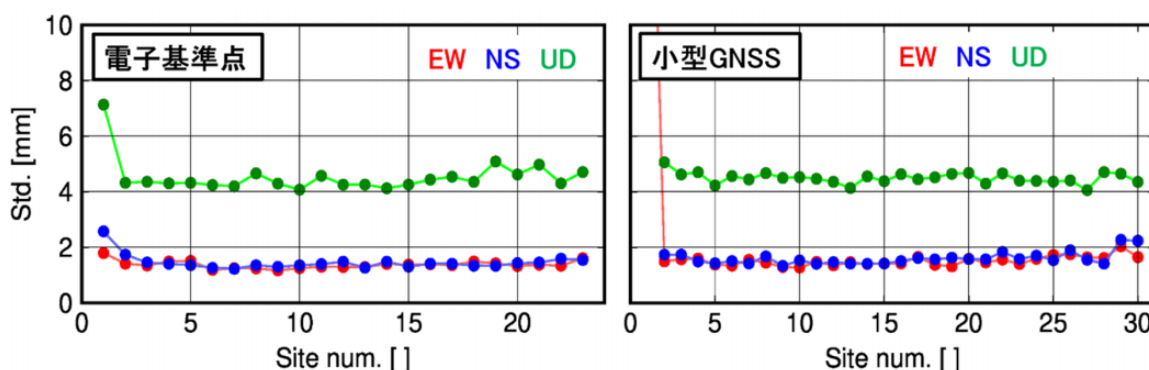


図-2 房総半島に設置した小型 GNSS 観測点の座標時系列のばらつき。

次に全 30 観測点が同時に存在した令和 5 年 3 月から令和 6 年 1 月の期間について、座標時系列同士の相関を算出した。図-3 に結果を示す。図の縦軸・横軸は観測点に南から北の順に振ったインデックスで、観測点間の相関をカラースケールで表示している。水平成分の相関パターンはおおむね不規則であった。一方で上下成分は対角から遠ざかるほど、すなわち南北に離れるほど単調に相関が低くなる傾向があり、離れた観測点ほどノイズ挙動の類似性が下がるという傾向を示している。これ以外の明瞭な傾向は見られず、ノイズ特性に特段の地域性はないことがわかった。

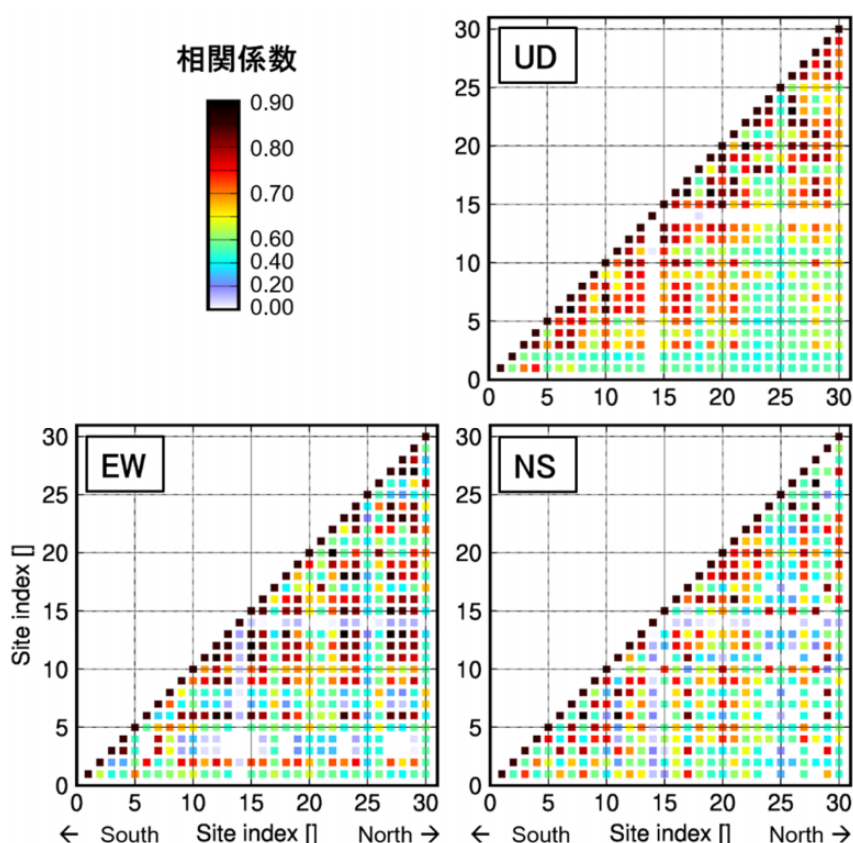


図-3 小型 GNSS 観測点の座標時系列同士の相関。水平・上下 3 成分それぞれについて観測点間の相関をカラースケールで表示している。観測点のインデックスは南から北の順。

最後に小型 GNSS 観測点と電子基準点の座標時系列のスペクトルの比較を図-4 に示す。上下成分のスペクトルはよく類似しているが、水平成分については小型 GNSS の方が 1 か月以上の長周期側のパワーが若干高い傾向にある。房総半島の小型 GNSS 観測点は簡易な金属製のアンテナ架台を用いているため熱変形しやすい。また、全て建物屋上に設置されており、建物自体の応答も加わる可能性がある。このような設置方式の違いから、電子基準点に比べて長周期の変動が生じやすいと考えられる。特に水平成分のみで違いが見えることから、主に建物・架台の傾斜に影響されている可能性がある。

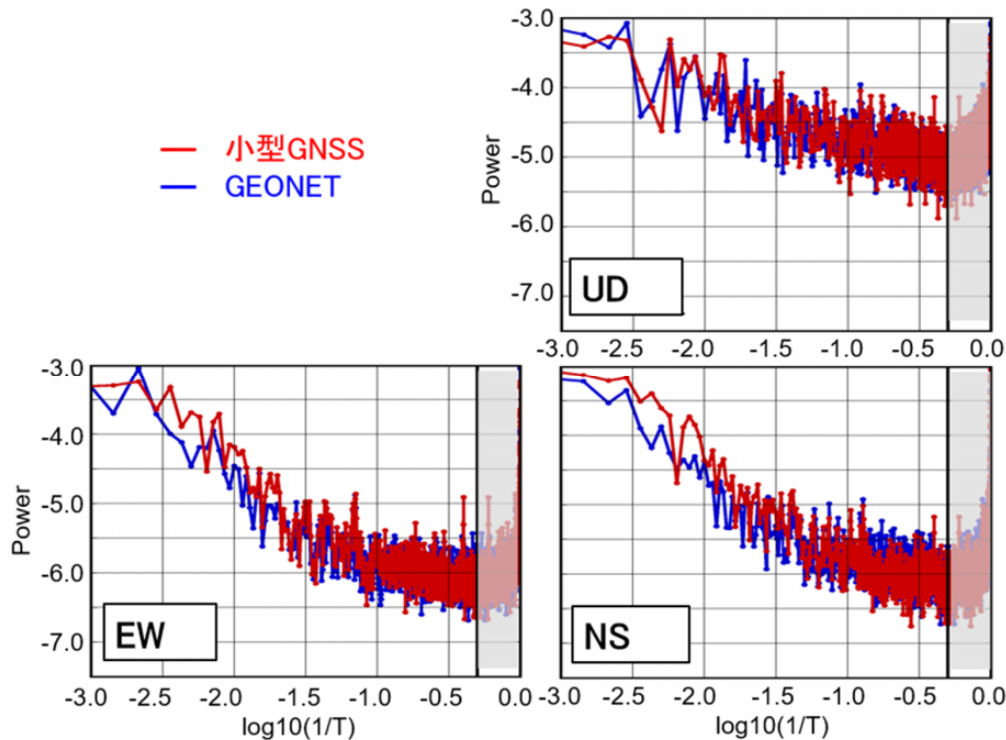


図-4 小型 GNSS 観測点と電子基準点の座標時系列のスペクトル特性の比較。十分な時間長を確保するため、小型 GNSS 観測点については各点の全観測期間の時系列を、電子基準点については小型 GNSS 点の最長観測期間の時系列を使用。小型 GNSS 観測点 30 点、電子基準点 24 点のスペクトルの中央値を、それぞれ赤色・青色で表示。

以上のように、小型 GNSS 装置で均質かつ安定した地殻変動観測が可能なことを確認した。房総半島での観測で得られた座標時系列は短周期のノイズレベルについては電子基準点と比べて遜色なく、またノイズ挙動に地理的不均質も見られなかった。一方で長周期成分についてはややパワーが高いことが判明し、架台や設置方式に起因する特性について引き続き考察の余地がある。

2.3 観測の終了と観測データの公開

これまでの成果により房総半島での実証実験は当初の目的を達成したため観測を終了し、令和 7 年度末までに全観測点の撤去が完了した。

これら 30 点の小型 GNSS 観測点でこれまでに取得された観測データについては、2025 年 7 月から国土地理院地理地殻活動研究センターの研究データ公開サイト（小林ほか、2026；Kobayashi et al., 2026）の Web ページから、RINEX 形式でオープンデータとして公開されている（国土地理院、2025a）。

3. 山口県萩市

山口県北部の萩市、山口市、阿武町にまたがる地域では令和 7 年 2 月ごろからまとまった微小地震活動が発生し、この地震活動と同期して GEONET 定常解析により最大数ミリ程度（5 月初めまでの量）の非定常な地殻変動が検出された（地震調査研究推進本部、2025a）。このような非定常な地殻変動は令和 6 年能登半島地震の前にも発生しており、詳細な把握や原因特定が求められる。しかし、最も地殻変動が大きいと予想される震源域の直上やその近傍には電子基準点が存在せず、観測体制が不十分であった。

そこで 6 月 25 日に，山口県萩市の内陸地域にソーラーパネルを備えた独立電源型の小型 GNSS 観測装置 1 基を設置し地殻変動観測を開始した．観測点（以下この小型 GNSS 観測点を「C 萩福井上」という．）の概略位置を図-5 に，写真を写真-1 に示す．



図-5 小型 GNSS 観測点「C 萩福井上」及び周辺の電子基準点の概略位置．



写真-1 小型 GNSS 観測点「C 萩福井上」．商用電源を使用できない山間部の野外であるため，独立電源型装置構成とした．

今回の臨時観測は地理地殻活動研究センター単独での研究開発業務ではなく，測地観測センターと連携した地殻監視業務も兼ねて行われた．このため取得したデータは測地観測センターにも転送・共有され，日々の座標値が算出されている．現在までの装置の稼働状況は良好であり，通信障害によるデータ転送の失敗は稀に発生しているものの，観測データ自体の欠損は令和 8 年 2 月の時点で一度も起きていない．

C 萩福井上の基線変化時系列を図-6 に示す．水平成分については設置から現在までに明瞭な変動は見られず，座標値のばらつきは水平が概ね数 mm～1 cm 以内，上下が 1～2 cm で安定している．また上下のばらつきは夏季から秋季にかけて低減しており，水蒸気量の低下による大気遅延ノイズの減少が見えてると推測される．加えて，10 月から 11 月にかけて若干の隆起傾向が見られる．地震活動に伴う地殻変動を捉えた可能性があり，引き続き確認・調査を進める予定である．

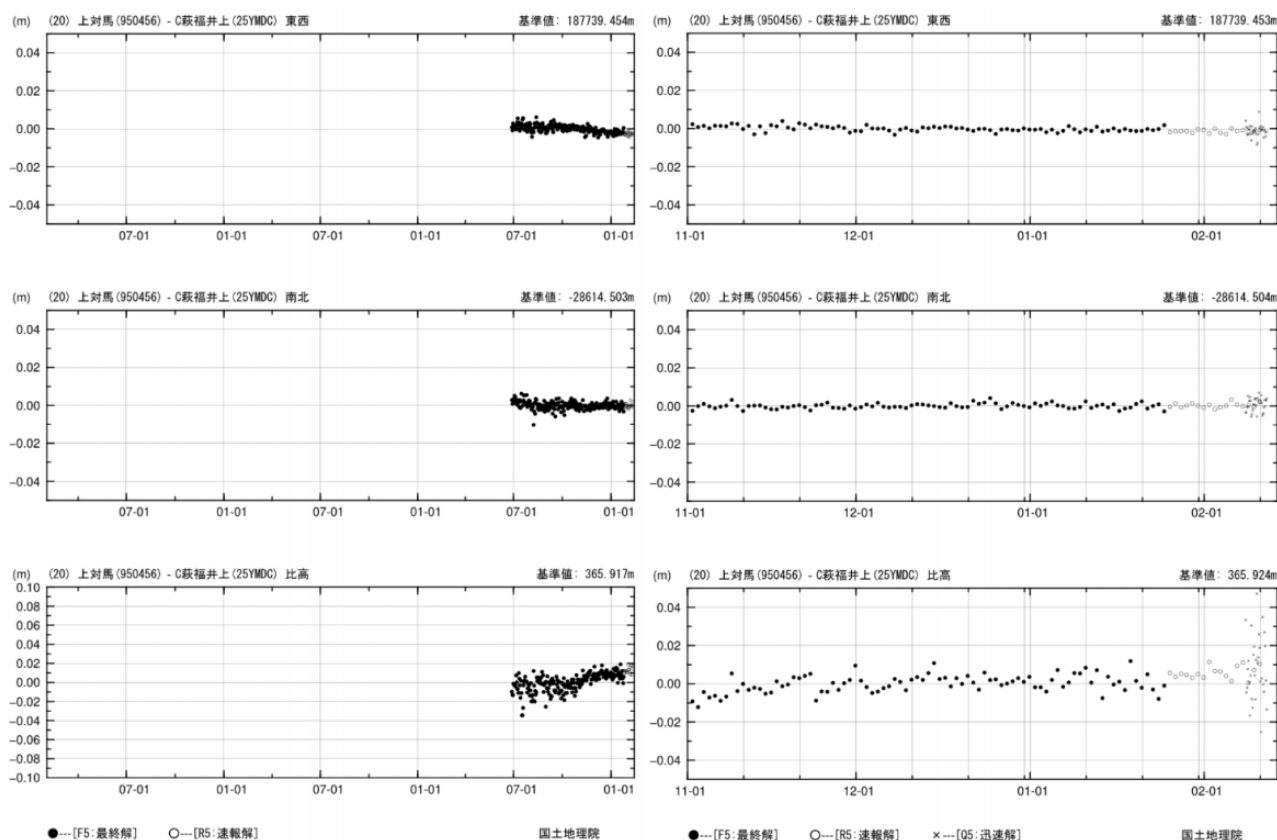


図-6 「C 萩福井上」の基線変化（固定点は電子基準点「上対馬」）。左が 2025 年 6 月の設置時点から 2026 年 2 月までの時系列の全体，右が 11 月以降の拡大図で，いずれも黒丸が最終解（F5），白丸が速報解（R5），×が迅速解（Q5）を表す。

「C 萩福井上」の装置には電力状況の監視機能も備わっており，バッテリーの電圧や充電残量等の推移を 1 時間ごとに記録し，情報を携帯電話回線を通じて国土地理院本院に転送している．これにより装置の電力の持続性について知見を得ることができた．図-7 にバッテリー残量の時系列の一例を示す．山陰地方は特に冬季の日照時間が短く，独立電源の装置には比較的厳しい環境といえる．図のように 12 月 24 日から 5 日間にわたって日照時間ゼロが続いたため，バッテリーを継続的に消費し 29 日に残量ゼロとなった．しかしながら残量ゼロの時間帯についても観測・データ通信いずれも問題なく行われており，実際の残量は表示上の値よりも高かった可能性がある．また 30 日以降も日照時間が 1 日 1～2 時間程度の状態が続いたが，最大で残量 40%前後まで回復して稼働を保っている．その後は年明け 1 月 6 日の晴天により，数時間で残量 100%に復帰している．

これらの事例から，現状の装置は悪天候による日照不足に 1 週間から 10 日程度まで連続で耐えられることがわかった．また低電力状態でも観測・通信機能はほぼ保たれており，ある程度の堅牢性を有することが確認された．一方，これまでの観測中に顕著な降雪がなかったため，積雪・着雪の影響については現状不明であり，今後の他地域での観測経験の蓄積が期待される．

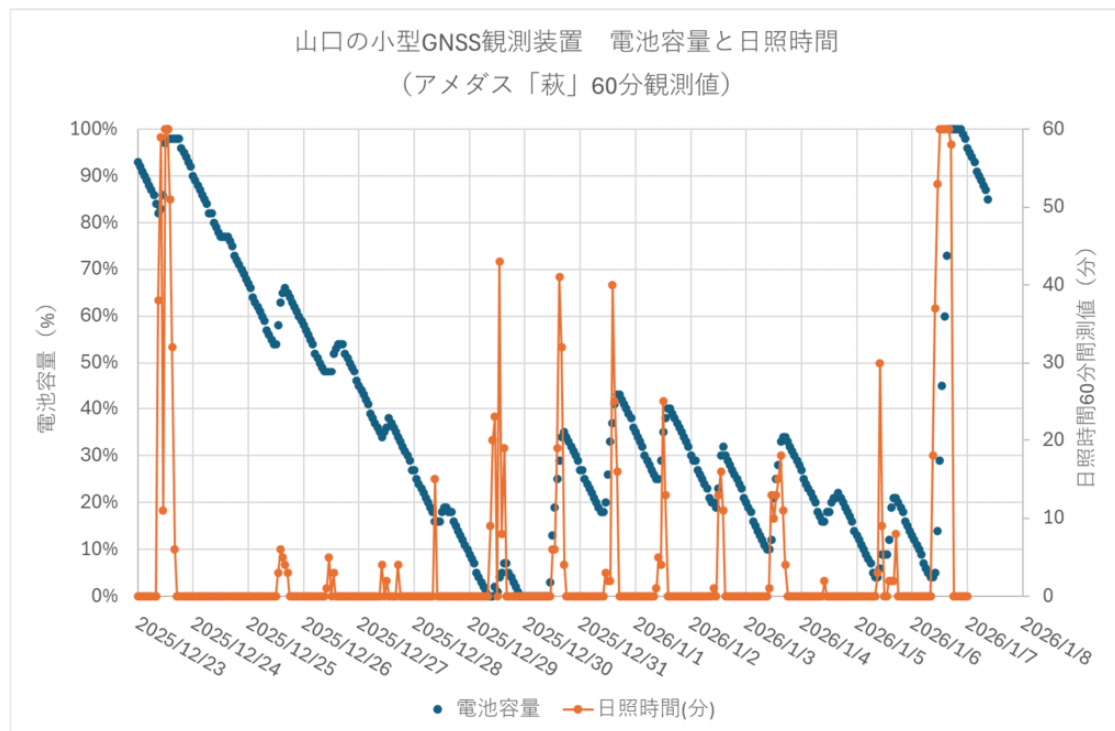


図-7 「C 萩福井上」のバッテリー充電残量の推移（紺色シンボル）と日照時間の推移（橙色シンボル）。日照時間は最も観測点に近いアメダス「萩」のデータ。

4. トカラ列島小宝島

4.1 観測の概要

鹿児島県のトカラ列島近海では令和7年6月下旬から地震活動が活発化し、7月3日に十島村（悪石島）で震度6弱を観測した地震をはじめとして、7月7日までの間に最大震度5弱以上を観測した地震が8回発生した（地震調査研究推進本部，2025b）。トカラ列島の宝島に設置された電子基準点「宝島」ではこれらの地震活動に伴う地殻変動が観測されている（国土地理院，2025b）。同地域ではこれまでも数年間隔で度々群発地震活動が発生しているが、今回の地震活動は過去のものを大幅に上回る規模である。

このような状況の下で地殻変動をより詳しく捉えるための観測の強化が求められた。そこで、7月12日に、より震源域に近い悪石島に可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）を設置したのに加えて、宝島に隣接する小宝島にソーラーパネルを備えた独立電源型の小型GNSS観測装置1基を設置した（以下この小型GNSS観測点を「C 小宝島」という。）。「C 小宝島」ほかトカラ列島にあるGNSS観測点の概略位置を図-8に、「C 小宝島」の写真を写真-2に示す。トカラ列島は台風が頻繁に接近・通過する地域のため、設置に当たっては特に強風による部品の飛散防止を念頭に、杭とワイヤー金具を併用して架台を強固に固定している。

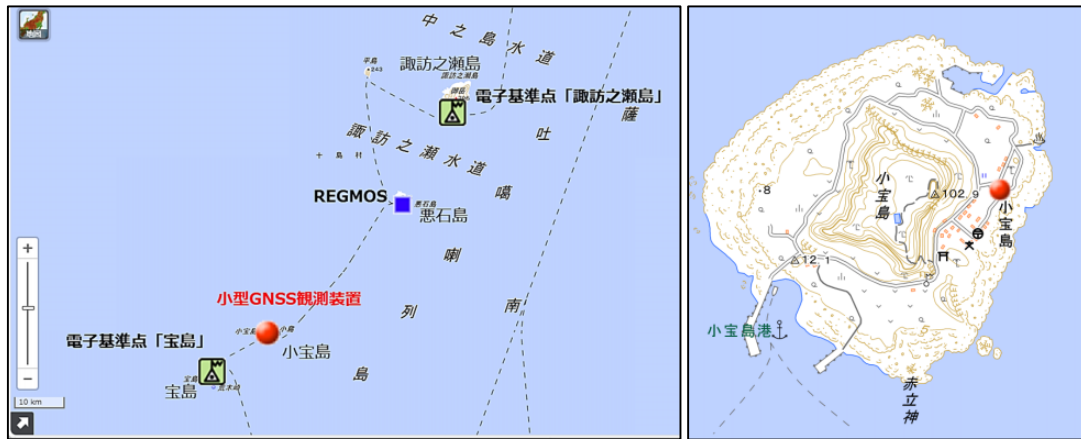


図-8 (左図) トカラ列島の電子基準点、小型 GNSS 観測点「C 小宝島」及び REGMOS の概略位置。(右図) 小宝島の拡大図と「C 小宝島」の概略位置。



写真-2 小型 GNSS 観測点「C 小宝島」。写真は南側からの撮影であり、背後の北東側の建物によって上空視界が制限される環境である。

4.2 観測データの仰角マスク処理

小宝島は周囲約 4 km の小規模な離島であり、用地や通信環境の制約のため装置の設置に適した場所が限られている。さらに、地震活動が継続する中で観測態勢の迅速な強化が求められたこと、事前の現地調査の実施が困難だったことから、限られた準備時間内で観測点の図上選点を余儀なくされた。このような経緯により、写真-2 でも示されているように、上空視界が狭まる建物の真横という特殊な立地条件での観測となった。そのため、「C 小宝島」の観測開始後にデータを解析したところ、北東側の建築物による上空視界の遮蔽やマルチパスの影響が顕著で、座標値が大きくばらつくことが判明した。実際の測位解析の結果を図-9 に示す。この図は PRIDE PPP-AR (Geng et al., 2022) を用いた 30 秒間隔のキネマティック PPP 解を示しているが、座標値は数時間おきにスパイク状のばらつきを示し、水平成分については建物と直交する北東～南西方向のばらつきが卓越している。建物によるマルチパス・遮蔽の影響が周期的に現れている可能性がある。

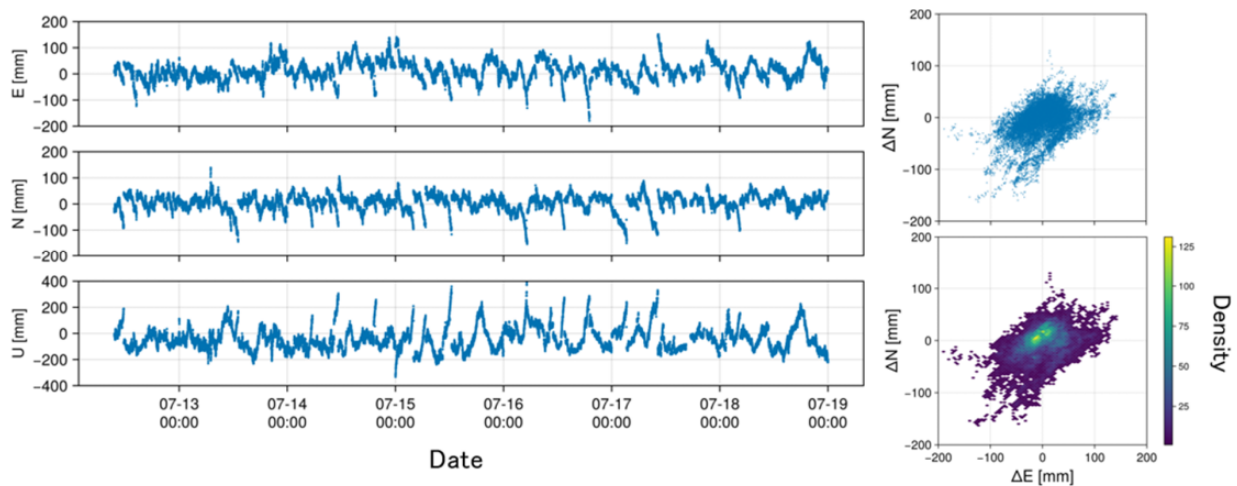


図-9 (左図)「C 小宝島」の未処理の観測データから得られる、観測開始直後 1 週間のキネマティック測位時系列. 上から順に東西・南北・上下成分. (右図) 座標値の水平方向の散布図と頻度分布.

前述の測位解析で得られた GPS, GLONASS, Galileo についての搬送波位相残差マップを図-10 に示す. 観測点の北東側で上空視界が悪く, 正の位相残差が集中していることが分かる. そこで, 北東側の観測量を除外するような仰角マスク (以下「試作版」という.) を設定し, これを適用した RINEX データで再度測位解析を行った. その結果, 位相残差は大幅に縮小したものの, 仰角の低い一部領域で引き続き大きな残差が見られたため, これらを仰角マスク領域に追加するよう調整を加えた. これを適用すると位相残差の分布がほぼ対称となったため, 十分に解析の品質が改善されたと判断して最終的な設定として採用した (以下「最終版」という.).

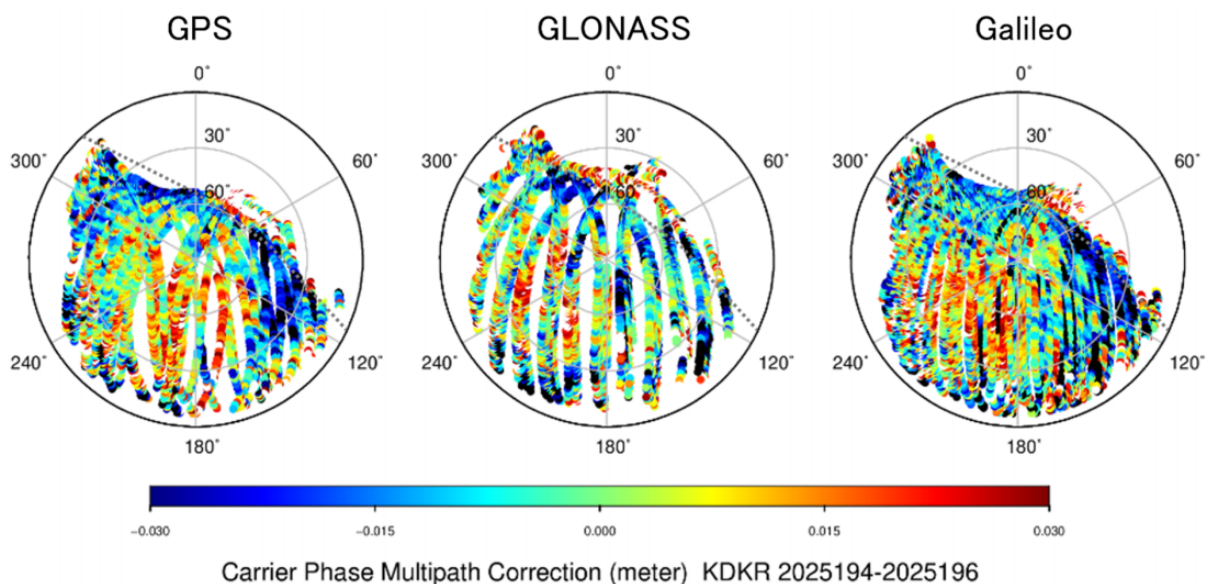


図-10 「C 小宝島」における搬送波位相残差マップ. 観測期間は 2025 年 7 月 13 日～15 日で, 灰色の破線が最終版の仰角マスク領域の境界を表す (破線より北東側 (図の右上側) の観測量が除外される).

試作版と最終版の仰角マスクを適用したキネマティック PPP 解及び 24 時間のスタティック解を図-11 と図-12 にそれぞれ示す. いずれも観測期間は令和 7 年 7 月 12 日から 19 日で, スタティック解に

については電子基準点「口之島」の解に対する差分をとったものを示している。

キネマティック解の座標値のばらつきは、未処理の観測データを使用した場合には水平 3~4 cm, 上下 9 cm 程度であったが、マスク処理の適用で水平 1~2 cm, 上下 4 cm にまで低減した。またスタティック解については斜距離には処理前後の違いがほとんど見られないものの、座標値の差は明らかに安定化しており、特に東西成分で効果が大きいことが見てとれる。

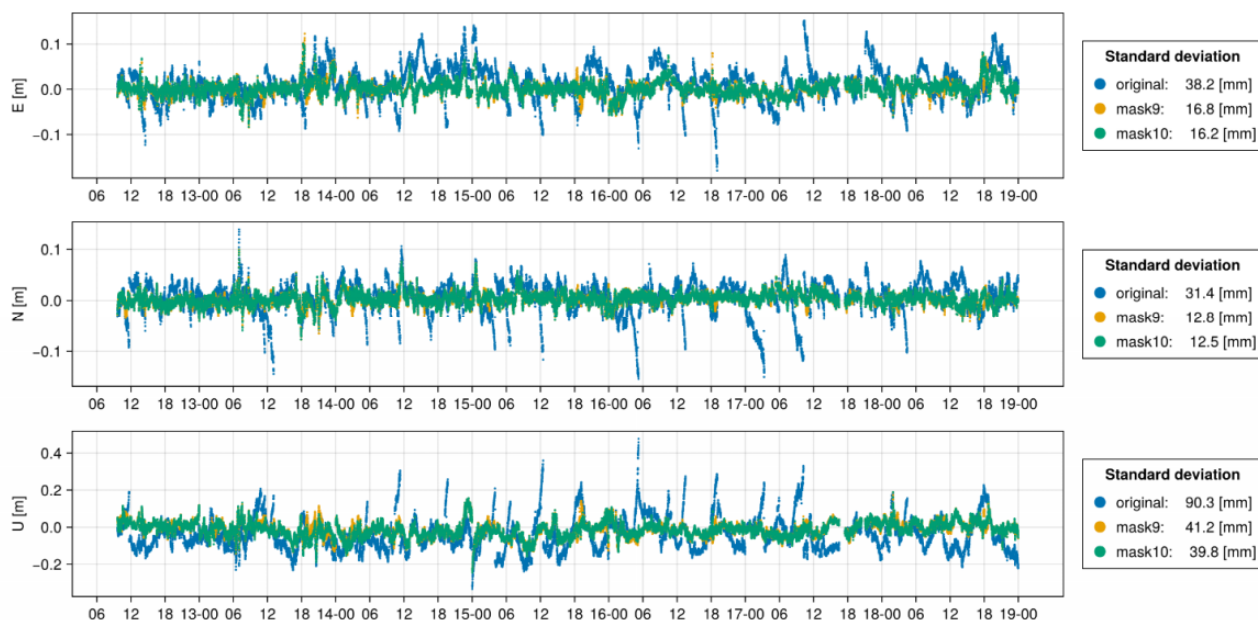


図-11 「C 小宝島」のキネマティック PPP 解. 上から東西成分, 南北成分, 上下成分. 青がマスク処理なし (図-9 と同じもの), 黄色が試作版の仰角マスクを適用した場合, 緑が最終版の仰角マスクを適用した場合.



図-12 「C 小宝島」の日々の PPP スタティック解の時間変化. 電子基準点「口之島」の PPP スタティック解に対する斜距離及び座標差 3 成分. 上から斜距離, 東西成分, 南北成分, 比高. 青がマスク処理無し, 黄色が試作版の仰角マスクを適用した場合, 緑が最終版の仰角マスクを適用した場合.

図-13 に令和 8 年 2 月までの「C 小宝島」の座標時系列を示す。12 月に植生の影響と見られる非定常な変動が生じているが、それ以外については座標値は安定しており、引き続き水平 1~2 cm 以内、上下 4 cm 程度のばらつきで推移している。

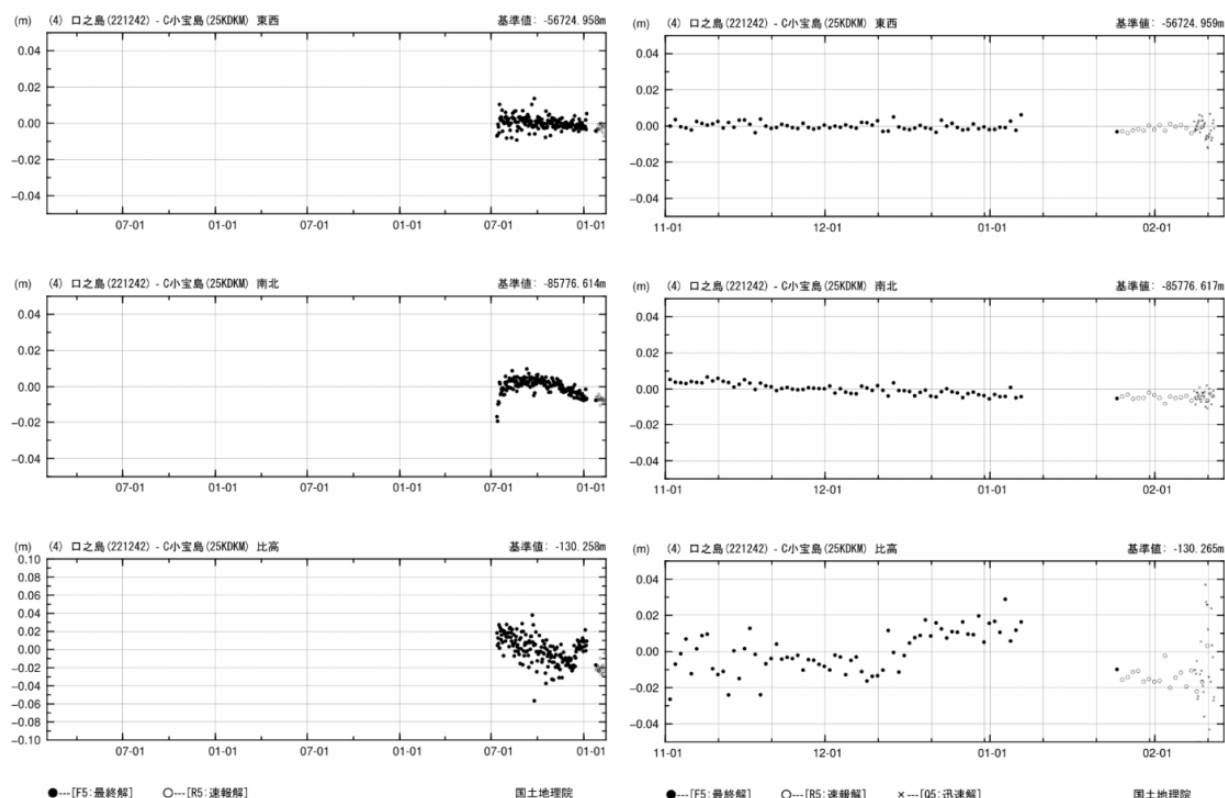


図-13 「C 小宝島」の基線変化（固定点は電子基準点「口之島」）。左が 2025 年 7 月の設置時点から 2026 年 2 月までの全体、右が 11 月以降の拡大図。凡例は図-6 と同様。

以上のように、適切なデータ処理によって特殊な立地条件での安定した観測が実現した。ただしマスク処理によって衛星数が平均で 3 割前後低減するため、例えば GPS のみでは時間帯によっては測位が困難となる。今回の処理がマルチ GNSS 化による観測衛星数の増加によって成り立っている点は注意を要する。「C 小宝島」のデータは「C 萩福井上」と同様に測地観測センターに転送・共有され、日々の座標値の算出が行われている。加えて、仰角マスク処理を行う前と行った後の RINEX 観測ファイルは、国土地理院 Web サイト内、電子基準点データ提供サービスの FTP サイト（国土地理院，2026）にて公開中である。

5. まとめ・結論

令和 7 年度は、房総半島の 30 か所で実施してきた小型 GNSS 観測装置によりこれまでに得られた観測時系列のノイズ特性・品質の網羅的な評価を行い、電子基準点に比肩し得る均質かつ安定した地殻変動観測が可能なことを確認した。これまでの観測成果により当初の目的が達成されたために、房総半島における実証実験を今年度で終了し、全ての観測点を撤去した。また、観測データについては、国土地理院地理地殻活動研究センターの研究データ公開サイトからオープンデータとして公開されている。

2 月から山口県北部で発生した微小地震活動の推移を詳細に把握するために、6 月下旬に山口県萩

市にソーラーパネルを備えた独立電源型の小型 GNSS 観測装置 1 基を設置し、観測を開始した。同点では電力状況のデータも併せて取得し、日照が少ない悪天候下での観測の継続性についての知見を得た。また、6 月下旬から地震活動が活発化したトカラ列島近海の地殻変動をより詳しく捉えるために小宝島にも独立電源型の小型 GNSS 観測装置 1 基を設置し、観測の強化を図った。同点は設置環境の制約によりマルチパスノイズの影響を強く受けたため、搬送波位相残差マップに基づく仰角マスク処理を試み、測位解の安定性を大幅に向上させることに成功した。

このように令和 7 年度は、小型 GNSS 装置が実際の地殻変動監視業務で複数の地域に新たに投入され、多様な環境での装置の運用・データ処理に関して様々な知見と教訓を得ることができた。萩市と小宝島の観測点は現在も安定した観測を継続しており、これらの地域の地殻変動の監視に活用されている。また小宝島については電子基準点データ提供サービスを通じて観測データの外部公開も行われている。

参考文献

- 古屋智秋 (2023) : 小型 GNSS 機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発 (第 2 年次), 国土地理院令和 4 年度調査研究年報, 140–146.
- Geng J., Zhang Q., Li G., Liu J. and Liu D. (2022): Observable-specific phase biases of Wuhan multi-GNSS experiment analysis center's rapid satellite products, *Satellite Navigation*, 3(1), 1–15.
doi:10.1186/s43020-022-00084-0
- 服部晃久 (2025) : 小型 GNSS 機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発 (第 4 年次), 国土地理院令和 6 年度調査研究年報, 180–184.
- 地震調査研究推進本部 (2025a) : 2025 年 6 月の地震活動の評価,
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2025/2025_06.pdf (accessed 10 Apr. 2026).
- 地震調査研究推進本部 (2025b) : 2025 年 8 月の地震活動の評価,
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2025/2025_08.pdf (accessed 10 Apr. 2026).
- 小林知勝, 中川弘之, 姫松裕志, 岩橋純子, 伊東欣英, 芹澤由尚, 高野和友, マービット京湖, 工藤直樹 (2026) : 研究データ公開サイトの構築, 国土地理院時報, 139, 23–28.
doi: 10.57499/JOURNAL_141_02
- Kobayashi, T., Nakagawa H., Himematsu Y., Iwahashi J., Ito Y., Serizawa Y., Takano K., Marvit K. and Kudo N. (2026): Development of the research data portal, *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, 69, 7–13. doi:10.57499/BULLETIN_069_02
- 国土地理院 (2025a) : 小型 GNSS 観測装置による観測データと観測結果,
https://research-opendata.gsi.go.jp/tech_data/2025-001-S/2025-001-S-lp.html (accessed 10 Apr. 2026)
- 国土地理院 (2025b) : トカラ列島近海の地震活動に伴う地殻変動 (暫定),
<https://www.gsi.go.jp/common/000271376.pdf> (accessed 10 Apr. 2026).
- 国土地理院 (2026) : 電子基準点データ提供サービス,
<https://terras.gsi.go.jp> (accessed 10 Apr. 2026).
- 松本紗歩 (2024) : 小型 GNSS 機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発 (第 3 年次), 国土地理院令和 5 年度調査研究年報, 134–139.