

小型 GNSS 測量機による測位精度の向上に関する研究（第 4 年次）

実施期間 平成 28 年度～令和元年度
地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室 小門 研亮

1. はじめに

国土地理院は日本全国に約 1,300 点の電子基準点を整備し、その観測データ及び解析結果を提供することで正確な位置の基準を与えている。電子基準点の平均間隔は約 20km であり、測量の位置の基準や大規模地震等に伴う変動監視に対しては十分な配点密度を持っている。しかし、空間スケールが小さい内陸型地震やスロースリップ等の地殻変動については、電子基準点が近傍に整備されていない場合があり、ごく少数の観測点において小さな変動シグナルしか得られないことがある。

電子基準点の平均間隔よりも小さなスケールの地殻変動を検出するには、より高密度に GNSS 連続観測局を設置することが必要であるが、測量用の GNSS アンテナや受信機を搭載した連続観測点の設置と運用には、多大なコストや労力がかかり、GNSS 連続観測局数を劇的に増加させることは難しい。一方で近年、GNSS 測位技術の進展により、測量用の GNSS アンテナや受信機以外にも、数千円～数万円で購入可能な低価格の小型 GNSS アンテナ（以下「低価格アンテナ」という。）や GNSS 受信機モジュール（以下「低価格受信機」という。）が普及し始めており、これらの機器を用いた民間等による GNSS 連続観測局の整備も進んでいる。現在、国土地理院では、民間等の GNSS 連続観測局を測量や測位、地殻変動監視等の分野で有効に活用するための取組を進めている。

低価格アンテナ及び受信機を用いた観測局は、設置や運用に係るコストを抑えることができるため、今後、さらに整備されることが見込まれる。これら民間等の GNSS 連続観測局を観測網に取り込むことが可能となれば、大幅に観測点数を拡大することができる。このため本研究ではこれまで、測位性能を維持した簡易型 GNSS 連続観測装置及び観測データの解析手法を開発することを目的とした技術開発として、測位性能評価を実施している。低価格アンテナ及び低価格受信機の測位性能評価として、複数のメーカーの低価格アンテナに対して、各々スイス u-blox 社製の低価格受信機を組み合わせで連続観測局を構築し、国土地理院構内において測量用の GNSS 機器との同時観測を実施することで測位性能を確認した。

2. 研究内容

平成 30 年度は、平成 29 年度までに試作した小型 GNSS 観測装置として、u-blox 社製の 1 周波対応低価格受信機「NEO-M8T」と付属の移動体測位用の低価格アンテナを用いた測位試験を実施し、測量用の GNSS アンテナ及び受信機による測位結果と比較したが、アンテナ位相特性や電離層遅延に起因する測位誤差を解消することができなかった。この結果を受け、令和元年度は電離層遅延の補正が可能な多周波対応の低価格アンテナと u-blox 社製の低価格受信機「ZED-F9P」を用いて測位性能を評価した。また、アンテナ位相特性の影響を確認する必要があることから、アンテナ位相特性も計測し、その補正効果を確認した。

測位性能評価は、国土地理院構内のアンテナ位相特性検定用架台（以下「検定架台」という。）で実施した。検定架台の 5 つのピラーに測量用アンテナ（Trimble Zephyr Geodetic）と 4 種類の低価格アンテナを設置し、同一環境下で GNSS 観測（2019/11/28 09:00～11/30 09:00（JST）の 2 日間）を行った。

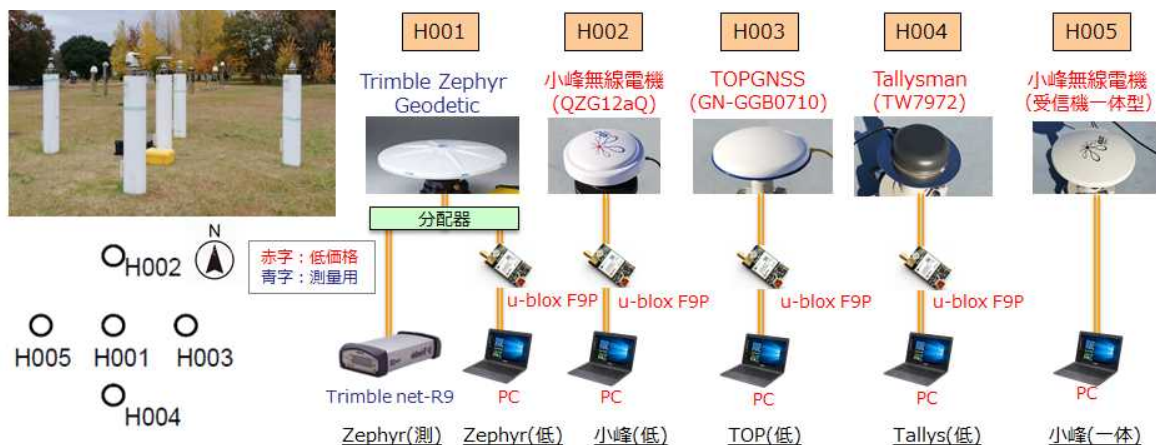


図-1 性能評価におけるアンテナ及び受信機構成

観測では、測量用受信機（Trimble NetR9）と低価格受信機（u-blox ZED-F9P）を使用し、測量用アンテナでは信号を測量用受信機と低価格受信機に分配して記録し、低価格アンテナでは低価格受信機のみで記録した（図-1）。観測後、RTKLIB2.4.3（高須ほか，2007）を用いて下記の解析を実施した。

- ① 近傍の電子基準点を基準局としたキネマティック解析を実施し、短距離基線（1km 以内）と長距離基線（20km 以上）での測位解の FIX 率や標準偏差，検定架台の測量成果（毎年，測量用機器を用いて測量を実施した際の成果座標値）との較差を確認。解析設定条件は表-1 のとおり。
- ② 最寄りの電子基準点「つくば1」を基準局とし，検定架台の各ピラーの座標値をスタティック解析で決定した後，当該座標値を固定して，各アンテナ及び受信機で取得した観測データの搬送波位相残差を算出。仰角毎の搬送波依存残差の RMS を計算し，マルチパスの影響を確認。

アンテナ位相特性の計測については、測位性能評価と同じ検定架台で行い、中央のピラー（H001）に位相検定用の標準アンテナ（チョークリングアンテナ「AOA Dorne Margolin T」），周囲の4つのピラーに4種類の低価格アンテナをそれぞれ設置した上で4日間のGNSS観測（2019/11/14 09:00～11/18 09:00（JST））を実施した。受信機には Trimble NetR9 を使用したが，小峰無線電機製の受信機一体型アンテナについてはアナログ信号の出力がないため，内蔵されている低価格受信機（u-blox ZED-F9P）の出力データを解析に使用した。解析には Bernese5.0 を使用し，検定架台の測量成果を既知としてアンテナ位相特性のオフセット値（PCO）及び変動量（PCV）を計算した。

表-1 RTKLIB によるキネマティック解析の設定条件

	短距離基線	長距離基線
基準局（基線長）	電子基準点「つくば3」 (0.23km)	電子基準点「三和」(27.2km)
使用衛星	GPS+GLONASS	GPS+GLONASS（F9P 使用時は GPS BLOCK II -A, II -R を除外※）
使用周波数（解析モード）	L1+L2（combined）	
解析レート	30 秒	
暦（軌道＋クロック）	Broadcast	
大気遅延推定	ON（est-ztdgrad）	
電離層補正	OFF	ON（est-STEC）

※u-blox ZED-F9P は L2P 信号に対応しておらず，GPS BLOCK II 及び II -R については 2 周波解析ができないため除外

(以下、アンテナと測量用受信機あるいは低価格受信機との組み合わせをアンテナ略称に(測)または(低)をつけて、また小峰無線電機製受信機一体型アンテナについては「小峰(一体)」と表す.)

3. 得られた成果

3.1 キネマティック解析による比較結果

短距離基線及び長距離基線でのキネマティック解析のFIX率及び標準偏差を図-2、検定架台の測量成果との較差を図-3に示す。解析の結果、短距離基線では低価格のアンテナ及び受信機でも標準偏差は水平5mm、上下15mm以下に収まり、測量用のZephyr(測)とほぼ同等の精度を得られることを確認した。一方、長距離基線では、低価格アンテナ及び受信機を使用すると2倍以上標準偏差が大きくなる傾向が見られた。受信機のみが異なるZephyr(測)とZephyr(低)を比較しても、低価格受信機を使用した場合に標準偏差が大きい。これは、u-blox ZED-F9Pでは一部GPS衛星のL2信号を受信できず、RTK-GPS用プログラムライブラリ「RTKLIB」で解析すると解がFIXしないため、当該衛星を解析から除外したことが要因と考えられる。また、TOP(低)以外の低価格アンテナではZephyr(測)よりもFIX率、標準偏差ともに大幅に悪化する傾向が見られたことから、マルチパスや位相特性の影響を受けている可能性が考えられる。

検定架台の測量成果との較差についても、低価格アンテナを用いた場合に較差が大きくなる傾向が見られた。位相特性モデルが公表されていない小峰(一体)とTOP(低)については、位相特性を別途計測し、キネマティック解析に適用する必要がある。また、既に位相特性モデルがNGS(National Geodetic Survey)により登録・公表されているTallys(低)や小峰(低)についても長距離基線で較差が大きくなっており、マルチパスが影響している可能性が高い。

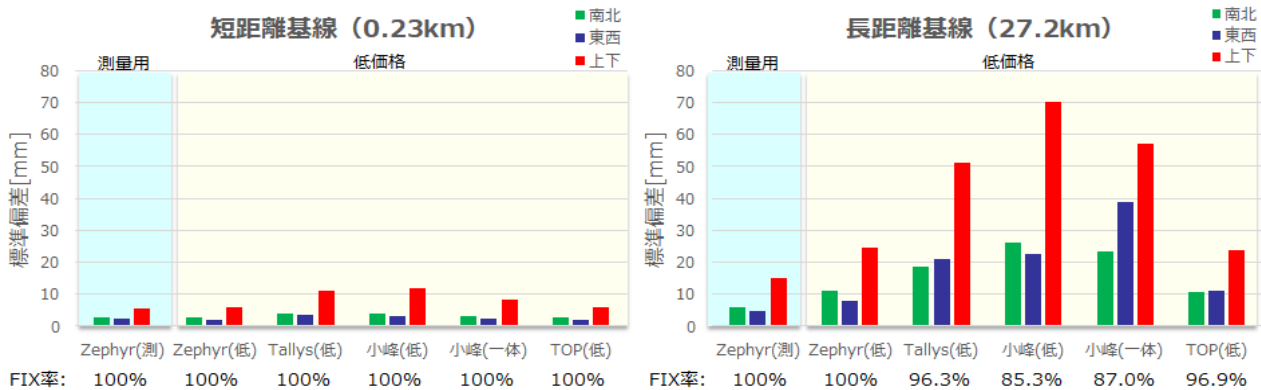


図-2 キネマティック解析のFIX率及び標準偏差



図-3 キネマティック解析結果と測量成果の較差

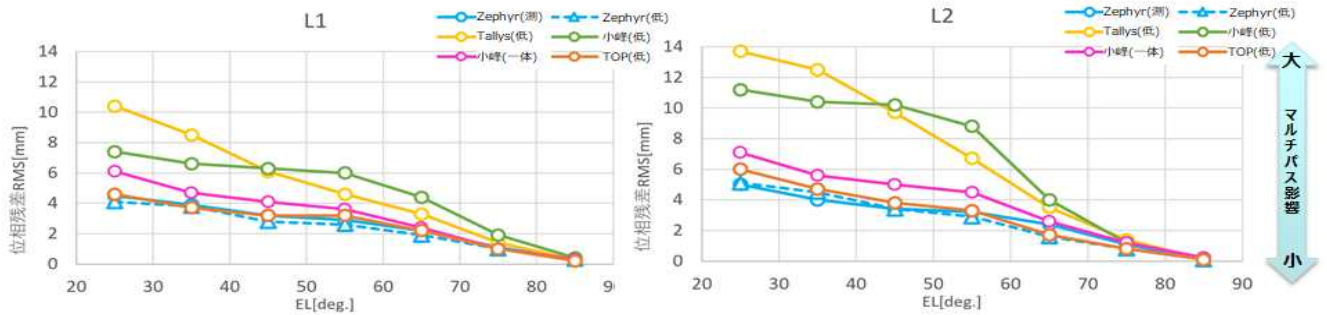


図-4 仰角毎の搬送波位相残差 (RMS)

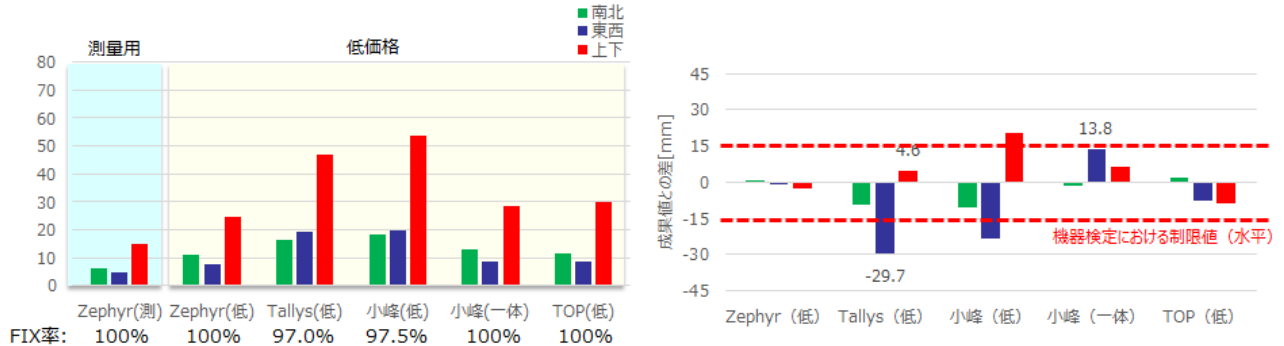


図-5 アンテナ位相特性計測後の解析結果 (左: FIX 率と標準偏差、右: 測量成果との較差)

3.2 搬送波位相残差とアンテナ位相特性の考慮

図-4 に示す計測結果を見ると小峰 (低) と Tallys (低) の搬送波位相残差が大幅に大きくなった。これらのアンテナは移動体測位で主に用いられる小型のアンテナ (直径 10cm 未満) であるため、マルチパスの影響を受けやすく、それにより搬送波位相残差が大きくなったものと思われる。一方、小峰 (一体) と TOP (低) は、測量用の Zephyr (測) とほぼ同等の結果となった。これらのアンテナは、マルチパスの影響が小さく、アンテナ位相特性を考慮することで測量用アンテナと同等の性能を得られる可能性がある。このため、各アンテナの位相特性を計測し、補正モデルを作成して、再度キネマティック解析を実施した。長距離基線におけるキネマティック解析結果を図-5 に示す。全てのアンテナで FIX 解と標準偏差、測量成果との較差が改善したが、特に TOP (低) と小峰 (一体) については、標準偏差、測量成果との較差ともに良好な結果が得られることを確認した。

4. 結論

本研究により、多周波対応の低価格アンテナ及び受信機の性能を評価することができた。低価格アンテナの場合、移動体測位を対象とした小峰 (低) と Tallys (低) はマルチパスの影響を受けやすいことが判明したが、小峰 (一体) や TOP (低) は、低価格受信機と組み合わせて測量や地殻変動監視等に活用できる可能性がある。解析に適用した位相特性モデルは、測位精度の改善に明瞭な効果があったが、今回の試験は位相特性の計測とキネマティック観測を同じ架台で実施しており、試験環境固有のマルチパスの影響が位相特性モデルで補正されている可能性が高い。このため、位相特性モデルの有効性については、異なるマルチパス環境で試験を行うなど、独立した条件下での評価が必要である。

参考文献

高須知二, 久保信明, 安田明生 (2007): RTK-GPS 用プログラムライブラリ RTKLIB の開発・評価及び応用, GPS/GNSS Symposium 2007, Tokyo, Japan, November 20-22 2007.