

〔研究ノート〕

キャンパス内での低コスト GNSS 受信機を用いた干渉測位の精度*

石川 拓海^{*2}, 岡本 尚也^{*3}, 阿南 壘^{*3}, 池見 洋明^{*4}

Accuracy of the Relative Positioning with Carrier Phase Observation using low-cost GNSS Receivers on campus*

Takumi ISHIKAWA^{*2}, Naoya OKAMOTO^{*3}, Rui ANAN^{*3}, Hiro IKEMI^{*4}^{*2,*4}Department of Architecture, School of Engineering, Nippon Bunri University^{*3}Department of Architecture, School of Engineering, Nippon Bunri University (Graduate, AY2021)

Abstract

In this study, using low-cost GNSS receivers and the RTKLIB baseline analysis package, we performed the relative positioning with carrier phase observation at 20 stations of our survey training and examined the accuracy in the basis of standard deviation of the calculated position coordinate. Next, a sky factor based on a photograph was calculated and compared with the standard deviation in horizontal and vertical directions in each station. As a result, it was found that an accurate survey result can be obtained if the sky factor is approximately 60% or more.

キーワード：低コスト GNSS 受信機, 相対測位, 天空率

Keywords : low-cost GNSS receiver, relative positioning, sky factor

1. はじめに

日本文理大学工学部建築学科では測量実習用に TOPCOM 社製 GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機 GP-SX 1 (図1) を3台所有しているが, メーカーの保証対象外となっていることや2016年以降にロールオーバー状態¹⁾になっていることから教育や研究での活用が不可能となっている。そのため, 例えば, ドローン等による空中写真から SfM (Structure from Motion)



図1. 日本文理大学所有 TOPCOM 社製 GP-SX 1 (信頼性の高いメーカーの機種, 現在はロールオーバー状態, サポート対象外のため使用不可¹⁾)

^{*}2022年4月19日受理^{*2}日本文理大学工学部建築学科 学部生^{*3}日本文理大学工学部建築学科 (2021年度卒業)^{*4}日本文理大学工学部建築学科 教授

技術によりデジタル標高モデルを作成するといったことが不可能となっていた。また、大手の測量機器メーカーが販売する GNSS 受信機は一般に高価であり、容易に機器を更新できないという問題もあった。

一方、近年、低コストで高精度な GNSS 受信モジュールを使用した製品が入手できるようになってきた。これらの製品は、機器や解析ソフトの使い易さ、実績や信頼性という点で大手測量メーカーの機器に対して見劣りがする。しかし、測量自体が本来の目的ではない教育や研究の分野では、機器の精度や確度がその要求性能を満たすのであれば、遂行上、特に問題はない場合が多い。

そこで、本報告では測量学実習を想定し、Drogger 社製の低コスト GNSS 受信機 DG-PRO 1 RWS (図2) を使用して干渉測位を行い、機器の運用や測量精度の確認・検証を行う。具体的には、日本文理大学のキャンパス内において、測量学実習で使用している測点(ローカル基準点を含め合計20点)を使用し、スタティック法による GNSS 測量及び基線解析を実施して、その精度と角度について検討する。次に、測点の天空率を求めて基線解析結果を比較し、GNSS 測量の運用について検討する。

2. 研究方法

2-1 低コスト GNSS 受信機

Drogger 社製 DG-PRO 1 RWS は GNSS 受信モジュール u-blox F9P を搭載しており、アンテナには u-blox 2 周波 GNSS アクティブアンテナを使用している。また Bluetooth を介して Android 端末より操作、データ保存を行う仕様となっている。現在の価格は本体とアンテナを含め 6 万円弱であるが、2021 年度にはバッテリーケース、Android スマートフォンなどの他の付属品を含めて 1 台 15 万円弱で購入した。また、アンテナをより高精度にした DG-PRO 1 RWX が出ており、これは国土地理院 1 級 GNSS 測量機として登録されている。本報告では標準アンテナ装備 (u-blox ANN-MB-00) を使用した DG-PRO 1 RWS の測量結果を報告する。

2-2 GNSS 測量法 (干渉測位法)

GNSS 測量は単独測位法と干渉測位法 (相対測位) の 2 つに大きく分類される。単独測位は 1 つの受信機で複数の衛星からの搬送波を受信し 3 次元座標を求める方法であり、一般的にカーナビゲーションやスマートフォンで利用され、精度は 1~10m 程度である。一方、干渉測位は基準局を含む複数の受信機で衛星からの搬送波を



図2. 低コストの Drogger 社製 GNSS 受信機 (円盤部に受信機とアンテナ、円筒部分にバッテリーを内蔵)

受信し、位置座標が既知の基準局から各側点までのベクトル (基線) を求めて 3 次元座標を求める方法である。精度は数 mm から数 cm と高く、この方法は測量にも採用されている。また受信機の利用方法によりスタティック法とキネマティック法に分けられ、さらにキネマティック法の中でリアルタイムに測位を行う方法を RTK 法と呼ぶ。

各方法の詳細については省略するが、本報告では、佐賀関の電子基準点を基準局としたスタティック法により各側点 (測量学実習用 19 測点 + ローカル基準点) を移動局として測量を実施する。各測点の観測時間は 1 時間以上とし、衛星システムには GPS、QZSS、Galileo、BeiDou を使用する。なお観測の詳細 (オプション) は Android 端末の Drogger GPS アプリで設定し、Advanced Option では RAW (観測) と Nav (航法記録) データの記録オプションをチェックして観測を実施する。

2-3 基線解析

GNSS 測量では測位衛星の位置、搬送波の位相と時間から衛星と受信機の距離を求めることができる。基本的に 3 つ以上の衛星からの距離が得られれば 3 次元座標を得ることはできる。しかし、大気などによる遅延、衛星と受信機の時間誤差、建物や山からの反射、ノイズなどを起因とした誤差が発生するため、単独測位では十分な精度はなく、測量には適さない。一方、干渉測位法では 4 機以上の衛星からの搬送波の位相を差分すること (二重位相差) により時間誤差を解消でき、また座標値が既知の基準局との相対的な位置を求める基線解析により、両局において同じ原因で発生する誤差を取り除くことができる。この効果は基準局と移動局との直線距離が近いほど高くなり、計測時間の短縮にもつながる。これらの

表 1. 各測点の GNSS 測量結果

測点	平均値			標準偏差 (σ)			
	緯度 度	経度 度	標高 m	緯度 度	経度 度	水平方向 m	鉛直方向 m
A1	33.231028821	131.722974448	48.890	3.8E-08	1.7E-08	0.007	0.004
A2	33.230667346	131.723240086	48.892	7.9E-07	1.1E-06	0.220	0.140
A3	33.230886769	131.723683743	48.816	3.0E-08	4.4E-08	0.006	0.006
A4	33.231130671	131.724088073	54.685	1.9E-05	1.4E-05	4.769	2.313
A5	33.231521011	131.723924989	48.791	3.5E-07	7.0E-07	0.268	0.084
A6	33.231266304	131.723452236	54.703	7.2E-05	3.1E-05	15.620	7.584
B1	33.230627121	131.723303866	33.231	2.3E-08	2.3E-08	0.000	0.003
B2	33.230439254	131.723404789	47.358	2.2E-04	2.6E-04	14.402	35.662
B3	33.230258028	131.723532238	49.921	8.1E-07	1.5E-06	0.106	0.180
B4	33.230374504	131.723741963	49.842	2.7E-06	1.7E-06	0.990	0.314
B5	33.230471990	131.723945036	48.834	2.7E-08	2.4E-08	0.006	0.004
B6	33.230674289	131.723802214	51.095	1.9E-05	7.9E-06	1.570	1.990
B7	33.230844817	131.723625300	48.786	3.2E-08	6.0E-08	0.007	0.007
C1	33.231006337	131.723888292	49.202	2.2E-08	5.4E-08	0.012	0.006
C2	33.230817107	131.723978405	52.612	5.9E-06	1.8E-05	3.237	2.045
C3	33.230647840	131.724160344	48.600	2.8E-08	3.6E-08	0.006	0.005
C4	33.230839938	131.724509766	47.951	2.8E-08	3.2E-08	0.010	0.004
C5	33.231113322	131.724391130	48.571	2.3E-07	2.6E-07	0.638	0.036
C6	33.231227153	131.724205768	49.010	3.8E-08	1.7E-08	0.007	0.004
ローカル基準点	33.229526432	131.725694973	38.755	5.2E-09	2.9E-08	0.007	0.003

理由から干渉測位は、数 mm から数十 mm 程度の精度を確保でき、測量にも適用できる。なお、一般に電子基準点を用いたスタティック測位では基準局と移動局の距離が長くなるため、精度良く測量を行うためには移動局において1時間以上の観測が必要となるが、近くにローカルの基準局を設置するキネマティック測位ではより短時間での測量が可能となる。

本報告では RTKLIB を用いたスタティックあと解析による基線解析を実施する。RTKLIB は GNSS 観測データを解析するオープンソースの測位演算アプリケーションである²⁾。加えて解析手順やパラメータなど、インターネットの様々なサイトで事例³⁾が紹介されており、誰もが高精度な干渉測位を行えるような環境を実現している。以下に今回実施した解析手順を示す。

- ① GNSS 受信機 (Android) より解析 PC に Bluetooth を介して観測データをダウンロードする。
- ② ①の観測データ (ubx 形式) から Rtkconv アプリケーションを用いて、Rinex 形式に変換する。この時オプションの設定では、RINEX のバージョンを 3.02 に設定、Satellite Systems を GPS, Galileo, QZSS, BeiDou にチェック、Observation Types をすべてチェック、Frequencies の L1 + L2 にチェックする。デフォルトの設定では3つ

の拡張子のファイルが出力されるが、そのうち使用するのは obs (観測) と nav (航法記録) データである。

- ③ Rtkplot アプリケーションを用いて、受信衛星の数、配置、SNR (Signal to noise ratio) を確認して、観測データの品質を評価する
- ④ Rtkpost アプリケーションを用いて、電子基準点 (基準局) と GNSS 受信機 (移動局) の観測データを元に基線解析を実施する。電子基準点のデー

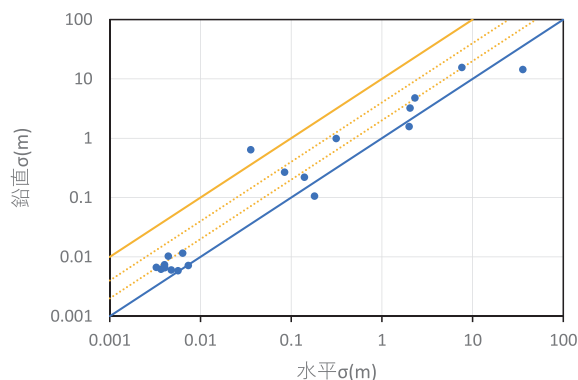


図 3. 水平方向と鉛直方向の標準偏差 (σ) の関係 (青線は水平：鉛直の σ が 1 : 1, 黄色は 1 : 10)



図4. 各測点のFix解及びFloat解の分布（地理院タイルの標準地図に測量結果を記載）

タは、電子基準点データ提供サイト⁴⁾より2時間以上前の観測データからダウンロード可能である。なお観測データは衛星がGRJE、バージョンはRINEX ver3.02を選択する。解析は「Execute」ボタンで実施され、拡張子「pos」でテキストファイルに出力されたものをExcel等を用いて緯度、経度、標高の平均値と標準偏差を求める。また地理情報システム（GIS）で出力結果を表示できる拡張子「.gpx」ファイルにもコンバートできる。なおアプリケーションの主なオプション設定は次のとおりである。Positioning Mode：Static, Frequencies / Filter Type：L1 + L2, Elevation Mask：10, SNR MASK：35, Integer Ambiguity Res/GPS：Continuous, BDS：ON, Datum / Height：Geodetic, Geoid Model：GSI2000, Roverのアンテナ高さは実測値、佐賀関電子基準点の位置及び楕円体高には以下の値を入力する。

X（緯度）：33.229526472°

Y（経度）：131.725695160°

楕円体高：70.1799m

Sattellite / Receiver Antenna PCV Fileには電子

基準点データ提供サイト⁴⁾より入手できる電子基準点の補正データ⁴⁾、Geoid Data Fileには国土地理院よりダウンロード可能なジオイドモデルのファイルを指定する。

3. 各測点におけるGNSS測量の精度と確度

表1には各測点の測量結果として、経度、緯度、標高の算術平均と標準偏差（ σ ）を示した。 σ については、緯度（X）方向と経度（Y）方向に加え、それらを合成した水平方向及び鉛直方向（標高）のものを示した。また水平方向の σ は単位を距離（m）に換算した値とした。なお平均と σ の計算には整数値バイアス（衛星とGNSS受信機の間の波数）が決定されたFix解を用いた。一方、整数値バイアスが決定できていない値をFloat解という。図3には水平方向と鉛直方向の標準偏差の関係を示した。水平方向に比べ鉛直方向の σ は概ね2倍から10倍程度大きい結果となった。図4には各測点のfix解とfloat解の分布を示した。Fix解のプロットでばらつきが少なく良好な測点での σ は0.01m以下を示した。一方、ばらつきが大きく、Fix解がなかなか得難かった

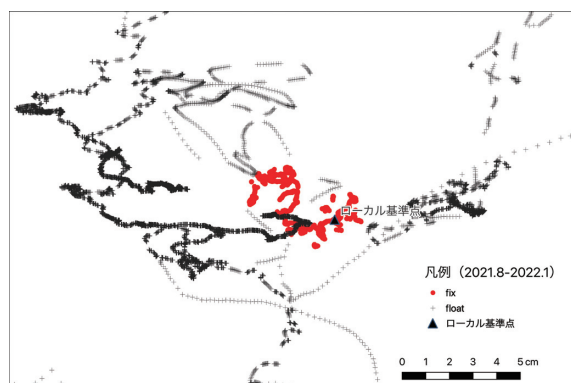


図5. 約半年間のローカル基準点の計測値分布

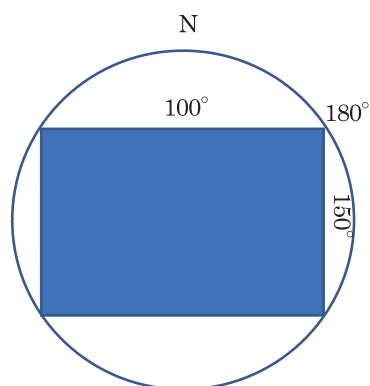


図6. 対角180°とした天空写真（青色）の範囲

測点での σ は1 m 以上となった。なおB1測点の σ が小さいのはFix 解の数が極端に少ないためであり、信頼できる値というわけではない。図5には第4駐車場の東端に設置したローカル基準点の2021年8月から2022年1月にかけて測量した結果を示した。今回の報告ではキネマティック測位の結果は示さないが、将来的に利用する目的としてローカル基準局を設置している。この測量結果から、良好な観測点において、GNSS 測量の確度はおよそ5 cm 以内であろうことが予測された。

なお図中の測点のラベル位置は、測量学実習のトラバース測量で得られた相対位置に基づくプロットであり、GNSS 測量結果と異なるところがいくつか確認できた。これはトラバース測量で計算に用いる既知点位置及び方位角について再度検討する必要があることを示している。

4. 天空率と GNSS 測量結果との比較

一般的に GNSS 測量の精度は測点周辺の環境に大きく依存するとされている。そこで、GNSS 測量の標準偏差と観測の環境を比較するために各測点における天空率を求めた。天空率の算出は測点1 m 直上から撮影した写真から行った。写真には、一眼レフカメラ Pentax KP に魚眼レンズ HD PENTAX-DA FISH-EYE10-17 mmF3.5-4.5ED を装着し、コンパスを用いてカメラ上部を北に合わせて、広角側10mm で上空を撮影したものを使用した。魚眼レンズの設計から撮影範囲は対角線が180°、長辺が150°、短辺が100°の天空を撮影していることになる（図6）。図7には天空写真の例として、測点B1の例を示した。この写真から Adobe photoshop を用いて空の面積を求め、その値を全体の面積で除した値を



図7. 天空率50.57%となった測点B1の天空写真

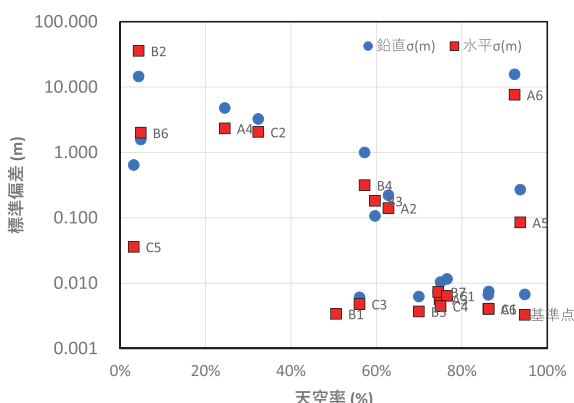


図8. 天空率と水平・鉛直方向の標準偏差との関係（縦軸は対数、ラベルは測点名、基準点はローカル基準点のこと）

天空率とした。図8には天空率と水平・鉛直方向の標準偏差の関係を示した。ローカル基準点など天空率が高い測点では標準偏差が小さくなる傾向を示し、概ね60%前後で標準偏差の値が変化することがわかった。しかし、A5、A6測点など天空率が高いにも拘わらず、標準偏差が大きい箇所も確認でき、天空率と標準偏差の関係は明確ではないことがわかった。今後、測量の精度向上には、パラメータを変えるなどして基線解析を再度実施し、その原因を特定する必要があると考えられる。なお、このA5、A6については観測当時、銀杏並木が測点近傍にあり、その影響が考えられたが、現在は工事に伴って伐採されているため、再度測量を実施する必要があると考えている。

5. まとめ

本報告では、Drogger社製の低コストGNSS受信機DG-PRO1RWS及びRTKLIBを使用して、測量学実習で使用している19測点について、スタティック法による干渉測位を実施し、その精度と確度について検討した。

次に、各測点の天空率を求めて水平・鉛直方向の標準偏差と比較した。その結果、天空率が概ね60%以上であれば良好な測量結果が得られることがわかった。

参考文献

- 1) TOPCON サポートサイト
<https://www.topcon.co.jp/topics/4381/> (2022. 6. 7 閲覧)
- 2) RTKLIB ダウンロードサイト
<http://www.rtklib.com/rtklib.htm> (2022. 6. 9 閲覧)
- 3) 農研機構 (2019) : 小型 GNSS 受信機を用いた高精度測位マニュアル (ドローン用対空標識編)
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130441.html (2022. 6. 9 閲覧)
- 4) 電子基準点データ提供サイト
<https://terras.gsi.go.jp>