

# 低コスト GNSS 受信機システムによる可降水量推定精度検証

## Validation of Precipitable Water Estimation by Using Cost-Effective GNSS Receiver System

竹田大騎 今岡啓治 新銀秀徳 小河原加久治  
Taiki Takeda Keiji Imaoka Hidenori Shingin Kakuji Ogawara

山口大学  
Yamaguchi University

### 1. 緒言

GNSS は高精度・高頻度の可降水量観測手段としても利用されており、国土地理院の GEONET データから推定された可降水量は既に気象庁の数値天気予報に用いられている。固定観測点の増設や移動体への搭載によってさらに高密度な観測網を構築する場合、コストは現実的な問題であり、低コスト受信機の活用が期待される。本研究では、ラジオゾンデによる高層気象観測が実施されている松江地方気象台に低コスト受信機システムを設置し、可降水量推定精度の直接的な検証を行った。

### 2. 測定機器及び使用データ

#### (1) 低コスト GNSS 受信機システム

2 周波・マルチ GNSS 対応である u-blox ZED-F9P モジュールを Raspberry Pi に接続し、30 秒間隔でデータを取得した。アンテナは小峰無線電機の QZG12fQ を用いた。システムは松江地方気象台の庁舎屋上に設置し、3G 回線により遠隔で機器監視とデータ取得を行った。

#### (2) 国土地理院電子基準点データ

国土地理院が提供する電子基準点「松江」の観測データを使用した。電子基準点「松江」と本研究で設置した受信機の直線距離は約 2.8km である。

#### (3) 高層気象データ・過去の気象データ

可降水量の検証に松江地方気象台ラジオゾンデ自動放球装置により世界時 00・12 時に行われている高層気象観測のデータを用いた。天頂大気遅延量 ZTD から可降水量の算出時に必要な地上気温・気圧は同気象台における測定値を用いた。データは共に気象庁のホームページから取得した。

### 3. 解析方法

ZTD 算出には RTKLIB (Version 2.4.3) を使用し、測位モードを PPP-static、迎角マスクを 10 度とした。使用衛星は GPS と GLONASS とし、GPS 解析には IGS 精密暦、マルチ GNSS 解析には欧州軌道決定センターが MGEX に提供する精密暦を用いた。ZED-F9P が受信できる L2 信号は L2C のみであるため、比較のため電子基準点についても L2C 信号を送出する GPS 衛星のみで解析を行った。解析期間は 2021 年 12 月 18 日から 2022 年 8 月 18 日である。2 月 26 日から 4 月 25 日は松江地方気象台の設備メンテナンスのため高層気象データが欠損している。

### 4. 結果と考察

GNSS とラジオゾンデによる可降水量の時系列変化を図 1 に示す。解析期間における可降水量は 5~65mm の値を取

り、国内で観測される可降水量の範囲をほぼ網羅した。ラジオゾンデとの比較結果を表 1 および図 2 に示す。L2C を送出する GPS のみを用いた解析 (GPS L2C) では、低コスト受信機の結果は電子基準点に比べてバイアス、RMSE 共に大きいことがわかる。しかし、マルチ GNSS 利用時の低コスト受信機の結果 (GPS+GLO) では、バイアスは変わらないが、バイアス除去後の RMSE に関しては電子基準点に匹敵する値が得られた。GPS のみを用いた解析において低コスト受信機と電子基準点の推定誤差に違いが生じる理由として、障害物による可視衛星の減少が考えられる。低コスト受信機の北西方向に受信状況の悪い場所が確認されており、これは気象台の観測棟の方向と一致している。利用できる衛星が少ない状況で、このような障害物によりさらに補足衛星が減少したことが推定精度に大きく影響したと考えられる。バイアスが生じる原因についてはさらに調査が必要だが、低コスト受信機による可降水量推定は十分に実用的であることが直接的に検証できたとと言える。

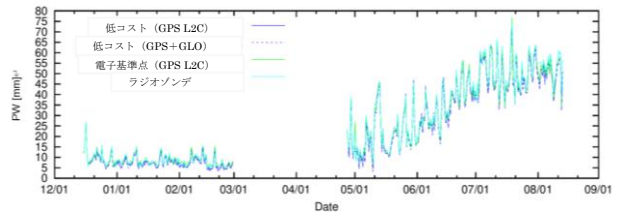


図 1. GNSS とラジオゾンデによる可降水量の時系列変化。

表 1. ラジオゾンデとの可降水量比較結果

	RMSE [mm]	Bias [mm]	Bias-removed RMSE [mm]
低コスト (GPS L2C)	2.19	-1.33	1.74
低コスト (GPS+GLO)	1.84	-1.33	1.27
電子基準点 (GPS L2C)	1.27	-0.01	1.27

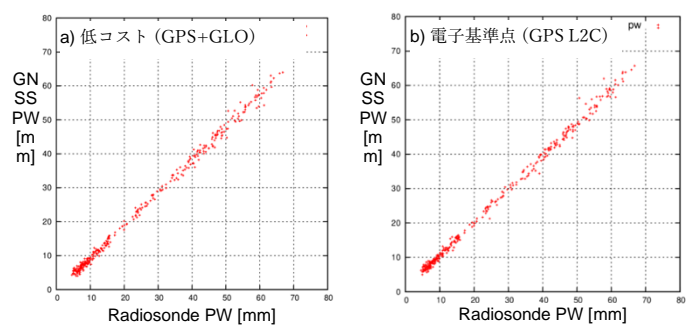


図 2. ラジオゾンデ (横軸) と GNSS (縦軸) 可降水量の散布図. a) 低コスト (GPS+GLO), b) 電子基準点 (GPS L2C).