

GNSS 干渉反射法による電子基準点公開データを用いた積雪深の推定 Estimation of snow depth by GNSS-IR using open data of GNSS-based Control Stations

齊藤忠臣¹・小谷豪大²・吹春やよい³・門田直哉⁴・猪迫耕二¹

¹鳥取大学農学部・²鳥取大学大学院・³西谷技術コンサルタント株式会社・⁴ゲルフ大学大学院

要旨(Abstract)

積雪深の観測網の拡大が望まれている。本研究では、積雪の顕著な地方の電子基準点の公開データに GNSS 干渉反射法を適用し、積雪深の推定の可能性を検討した。結果として、北海道枝幸郡中頓別町の場合、約 5 年間の積雪深を決定係数 0.96 の精度で推定できた。

キーワード：GPS 衛星，マルチパス，GEONET，SNR，積雪深

Key words: GPS satellites, multipath, GEONET, SNR, snow depth

1. はじめに

雪は気象や防災、水循環、農業、気候変動など多くの分野において重要なパラメータである。しかし全国約 1300 箇所の気象観測所のうち、積雪深、降雪深を観測している観測所は北国を中心とした約 340 箇所と限られている。特に、人口の多い平野部での積雪は交通機関等へ深刻な影響を与えるが、このような場所での観測設備の設置は非常に限定的である。このような中、GNSS 信号のノイズ情報 (Signal to Noise Ratio : SNR) に現れる干渉反射波の波形解析から地表面付近の環境をモニタリングする GNSS 干渉反射法 (GNSS-Interferometric Reflectometry : 以下 GNSS-IR) が注目されている。本国では全国約 1300 箇所に電子基準点が設置されており、その内部データが公開されている。したがって、GNSS-IR と電子基準点公開データを用いて積雪深の推定が可能になれば、既存の積雪深モニタリング網を大幅に広げられる可能性がある。本研究では、積雪の顕著な地方の電子基準点の公開データに GNSS-IR を適用し、積雪深の推定の可能性を検討した。

2. 方法

(1)対象電子基準点の選定と気象データ：まず、

対象とする電子基準点の選定を行った。GNSS-IR ではアンテナで取得される衛星信号のうち地表面反射波の影響により SNR に現れる干渉反射波を利用する。干渉反射波は衛星仰角が低い (5 度~30 度) 範囲で明瞭なため、対象とする基準点の立地条件は周囲約 100 m に遮蔽物が少ない地点とした。積雪が顕著である北海道、東北地方を中心に Google Map の航空写真およびストリートビューから候補地を 32 地点に絞り、その中でも後述する周期性解析により積雪深の推定に利用される明瞭な卓越周波数が得られた 5 地点を選定した。本要旨ではその中でも最も精度良く積雪深を推定できた、北海道枝幸郡中頓別町立寿公園敷地内に設置されている電子基準点「中頓別町」について紹介する。この基準点で使用されている受信機は TOPCON NETG3, アンテナは TPSCR.G5 GSI, アンテナ高さは約 5 m である。解析範囲は周辺環境を考慮して Fig. 1 で示した方位角 70° ~170° とした。推定積雪深と



Fig. 1 GNSS-based Control Stations “Nakatonbetsucho”

比較する積雪深の実測値には、電子基準点「中頓別町」から南西約 2.7 km に位置する気象庁観測所「中頓別」のデータを使用した。

(2) 解析方法：解析にはオープンソフトウェアである gnssrefl を用いた。また、本研究では GNSS 衛星群の中でも GPS 衛星の L1 帯 (1.5 GHz) のデータを解析に使用した。解析期間は 2018 年 11 月 1 日から 2023 年の 4 月 30 日とした。まず、国土地理院が公開している電子基準点の RINEX (Receiver Independent Exchange Format) データから上記の解析対象データを取得し、SNR、衛星仰角、方位角などのデータを抽出した。次に、SNR 値のスケールリングを行った上で、干渉反射波形を明瞭化するため直接信号成分のトレンドを除去した。このトレンド除去後の SNR と仰角の波形関係に対し、周期性の解析手法である Lomb-Scargle periodogram (LSP) を適用して、卓越周波数 (f_m) を導出した。この f_m を式 (1) に代入することで、アンテナからの反射体高さ H_R (m) を算出した。

$$H_R = \frac{1}{2} f_m \lambda \quad (1)$$

ここで λ は GNSS 信号の波長である。この H_R は衛星信号の反射点からアンテナまでの高さを示しており、信号が積雪の表面で反射していると仮定することで、積雪深の推定に利用可能となる。高精度のデータのみを利用するため、ピークの不明瞭な f_m から得られる H_R を除外した上で、各日において衛星軌道が少なくとも 10 軌道以上捕捉されており、かつ H_R の中央値より ± 0.25 m の範囲に収まっているデータを使って H_R の日平均を算出した。さらに、積雪深の推定のためには H_R からアンテナ高さを引いて、地表面からの反射体高さ H_S (m) を算出する必要がある。電子基準点

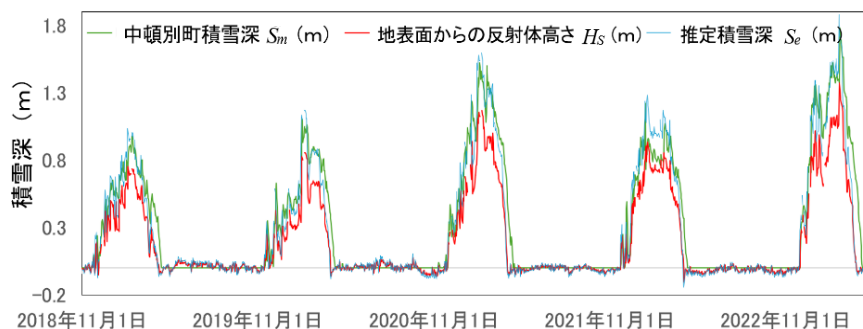


Fig. 2 Comparison between H_S , S_e and S_m

の正確なアンテナ高さについては公開されていないため、解析期間中の無積雪・無降雨時の H_R の平均値 4.691 m をアンテナ高さとし、 H_R から差し引いたものを H_S とした。

3. 結果と考察

Fig. 2 に中頓別町の積雪深データ S_m 、地表面からの反射体高さ H_S を示している。 H_S は、 S_m と連動して変化しているが、 S_m よりも基本的に低い値となっている。両者の関係を Fig. 3 で確認すると、両者の間には強い正の相関 ($R^2 = 0.96$) があるものの、切片を 0 とした線形近似式の傾きが 1.3693 となっていた。そこで、この傾きの値を補正係数として H_S に乗じて推定積雪深 S_e を算出したところ、Fig. 2 で示すように S_m の値とよく一致していた。

H_S が S_m より小さな値となった要因としては、まず今回利用した S_m データは電子基準点から約 2.7 km 離れた気象台で取得されたものであり、気温、日照条件、周辺環境などの違いにより、両地点で積雪・融雪量がそもそも異なっていた可能性が考えられる。また、電波が雪内に浸透し、積雪表面よりも深いところで反射した可能性や、アンテナドームへの着雪による影響の可能性なども考えられる。

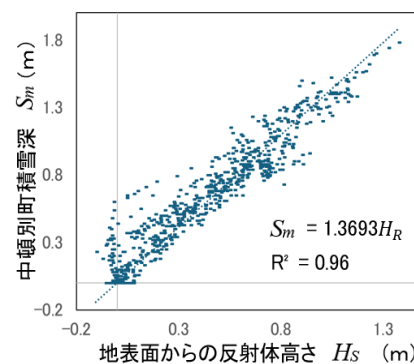


Fig. 3 Relationship between H_S and S_m