

GPS 干渉反射法による土壌水分計測における受信機アンテナ設置高さの検討
Investigation of receiver installation height for soil moisture content
with GPS interferometric reflectometry

○小平俊介*, 青木伸輔**, 丸尾裕一*, 登尾浩助***

KODAIRA Shunsuke, AOKI Shinsuke, MARUO Yuichi, NOBORIO Kosuke

1. 背景

日本国内において 2020 年に土砂災害は 1319 件発生し、各地で大きな被害を残している(国土交通省砂防部, 2021). 土砂災害の被害軽減のためには、発生予測の精度向上が重要であり、土壌水分状態の違いが斜面安定性に影響を与えていることから、広範囲の土壌水分量変化の継続的な測定を行うことが発生予測精度の向上につながる可能性がある。

GPS(Global Positioning System)を利用した干渉反射法は広範囲の土壌水分量の変化のモニタリング方法として注目されている。GPS 受信機は GPS 衛星から直接届く信号だけでなく、地面などに反射してから届く反射信号も受信する。受信機から出力されるデータのうち信号対雑音比(SNR)は反射信号の影響を受けるため、反射した地表面付近の土壌水分状態に関連付けられる(Larson et al., 2008)。

$$SNR = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin E + \phi\right) \quad (1)$$

ここで、SNR は反射信号の振幅 $A(V \cdot V^{-1})$ 、受信アンテナ高さ h (m)、仰角 E (deg)、信号の波長 λ (m)、反射信号の位相 ϕ (deg) を用いて理論式(1)で表される。受信アンテナ高さ h (m) は理論式(1)に含まれる重要な変数であるが、多くの先行研究では受信機アンテナを地表面から 1.8 m 前後の高さに設置しており、受信アンテナ高さ h (m) が土壌水分量の測定精度に与える影響を検討した報告例は少ない。そこで本研究では複数の高さに GPS アンテナを設置し、取得した SNR の位相 ϕ と土壌の体積含水率から受信機の最適な設置高さの検討を行うことを目的とした。

2. 実験方法

本実験は神奈川県川崎市に位置する明治大学生田キャンパス南圃場に裸地試験区を設定しおこなった。マイクロコンピュータ(Raspberry pi)に接続した 3 台の GPS アンテナ内蔵受信機(GYSFDMAXB, 太陽誘電)を 2021 年 11 月 7 日から 2021 年 11 月 15 日の間、地表面からそれぞれ $h=1.2, 1.8, 2.4$ (m)の高さに設置した。試験区内の体積含水率は土壌水分計(GS3, METER Group, Inc., ロッド長: 5.5 cm)を地表面に対して平行に深さ 3 cm に 5 地点設置し測定した。土壌水分計はデータロガー(ZL6, METER Group, Inc.)に接続し 5 分間隔でデータを取得した。GPS 受信機から出力された NMEA フォーマット GPGSV センテンスから衛星番号、仰角(E)、方位角、 SNR_{db} (dB)のデータを抽出した。整数値で出力された仰角、方位角は 2 次近似式を当てはめることで疑似的な仰角、方位角を生成した。 SNR_{db} (dB)は $SNR(V \cdot V^{-1})$ に変換後、直接信号

*明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University

**産業技術総合研究所, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

***明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 土壌水分計測, GPS 干渉反射法

の影響を除去するために仰角と SNR の関係に対して 2 次多項式を用いて SNR からトレンドを除去した。さらに SNR 理論式(1)を最小二乗法で位相 ϕ (deg)を決定した。

位相 ϕ が連続する 1 つ前の位相と比較して差が 360° 以上になる場合は、1 つ前の位相 ϕ との差が 180° 未満になるまで 360° を加算か減算をする処理(Ha, 2019)を行った。3 台の受信機間での結果を比較するために 2021 年 11 月 1 日の各受信機の位相 ϕ を基準 $\phi=0$ として、基準からの位相差を算出し、試験区内の体積含水率との関係を調べた。解析対象は試験区内に反射点があり、安定して設置期間中に SNR の波形が得られた衛星番号 9、仰角範囲は $20^\circ \leq E \leq 40^\circ$ とした。

3. 結果

図 1 は各高さの位相変化と体積含水率の関係を示している。h=1.2(m)では測定期間中に SNR の位相 ϕ に変化が見られなかった。h=1.8, 2.4(m)ではいずれも位相差の変化と体積含水率との間にそれぞれ $p<0.1$ と $p<0.05$ で有意な線形関係が見られたが、位相差の範囲が異なっていた。

4. 考察と課題

本研究では受信機アンテナを h=1.2, 1.8, 2.4(m)の高さに設置し、SNR の位相差の変化と土壌水分計で取得した体積含水率に有意な関係があるかを調べ、アンテナ高さ h=1.8, 2.4(m)では有意な関係があることが分かった。アンテナ高さの最も低い h=1.2(m)では SNR の位相 ϕ に変化が見られず、体積含水率との間に有意な関係は認められないことから、一定の高さより低いアンテナは GPS 干渉反射法による土壌水分測定に不適と考えられる。アンテナ高さの上限については、今回設置した h=2.4(m)より高いと考えられ、さらに高いアンテナ高さでの実験が必要である。また、アンテナ高さ h (m)が高いほど信号が土壌に反射する地点は受信アンテナから遠くなり、土壌水分の測定領域範囲が変動するため、測定領域範囲についても今後検討を進めていく。

参考文献

- ・Ha, M. C. (2019). Evolution of soil moisture and analysis of fluvial altimetry using GNSS-R. Ph. D. thesis of Paul Sabatier University.
- ・国土交通省砂防部 (2021) : 令和二年の土砂災害. <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/ji/rei/r2dosha/r2doshasaigai.pdf> (2021 年 12 月 28 日閲覧)
- ・Larson, K. M., Small, E. E., Gutmann, E. D., Bilich, A. L., Braun, J. J., & Zavorotny, V. U. (2008). Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies. Geophysical Research Letters, 35(24), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2008GL036013>

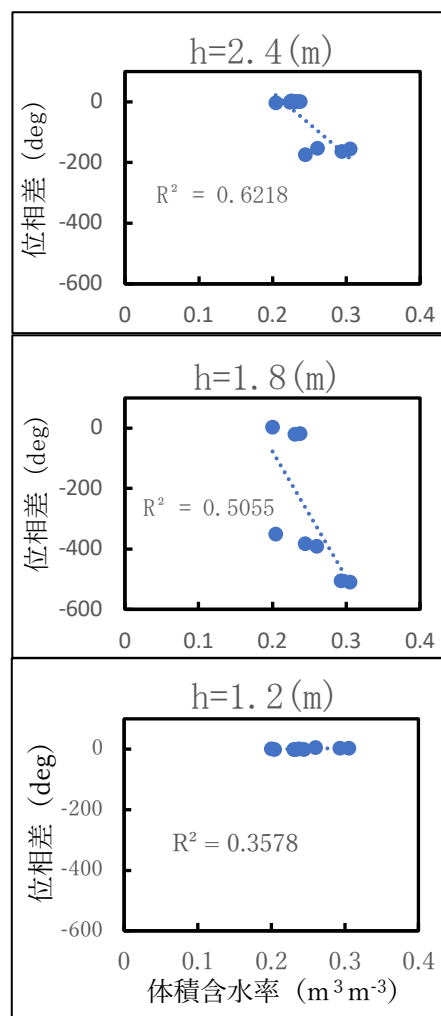


図 1. 各高さの SNR 位相変化と体積含水率の関係