

湿潤土壌での GNSS-IR による土壌水分量の推定 Estimation of soil moisture content by GNSS-IR for wet soil

○小林大樹*, 青木伸輔**, 小平俊介***, 丸尾裕一**, 佐藤直人****, 登尾浩助****

KOBAYASHI Daiki, AOKI Shinsuke, KODAIRA Shunsuke, MARUO Yuichi, SATO Naoto,
NOBORIO Kosuke

1. 背景

土壌水分計測は、灌漑の最適化、干ばつの監視、洪水の予測、植物の成長の把握、水資源の保全に有用である。広範囲での土壌水分量を計測するために、近年ではリモートセンシングによる研究が盛んである。そのひとつに GNSS (Global Navigation Satellite System) の信号を活用した GNSS-IR (GNSS interferometric reflectometry) による土壌水分量の推定がある。測位用アンテナを用いることで、汎用の GPS 機器や既設の電子基準点により土壌水分量を推定可能であり、低コストで広範囲の土壌水分量推定することができる。しかし、既往研究では、体積含水率 $\theta < 0.3(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$ の乾燥領域における成功例しか報告されておらず、湿潤土壌での適用性は不明である。そこで、既往研究の GNSS-IR 手法が湿潤土壌に対しても適用可能であるか検証した。

2. 方法

実験は茨城県つくば市(36.12786° N, 140.09118° E)の裸地で行い、計測期間は 2022 年 3 月 25 日から 2022 年 4 月 14 日までとした。実験対象区間は 21 m × 21 m の範囲とし、1 つの GNSS アンテナ、64 個の TDR 土壌水分量センサーを 3 m 間隔で設置した(図 1)。GNSS 受信機は Trimble Alloy、GNSS アンテナは Trimble GNSS Ti-V2 Choke Ring antenna (共に Trimble Inc., Westminster, CO, USA)、TDR 土壌水分計には True TDR (Acclima, Inc., Meridian, ID, USA) を使用した。TDR プローブは表層から 5 cm の深さが測定範囲となるように、治具を使って一定の角度で斜めに土へ挿入した。さらに TDR により得た比誘電率と実際の θ とのキャリブレーション式を作成し、観測期間中における θ を求めた。

一連の GNSS の信号処理は Larson et al. (2010) にならった。具体的には信号雑音比 SNR (signal-noise to ratio) を 1 Hz のサンプリングレートで連続計測して、衛星仰角 E が 8° から 25° の範囲を切り出した。そして、2 次回帰式によるトレンド除去後、式 (1) に示す余弦波の曲線回帰式に当てはめて ϕ を求めた。

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

ここで、 A は振幅、 h は地表面からのアンテナ高さ (cm)、 λ は信号波長 (cm)、 E は GNSS の仰角 (degree)、 ϕ は位相 (degree) である。既往研究では ϕ が θ と相関があると報告されている (Larson et al., 2010)。なお、本研究では既往研究との比較のために GNSS は GPS のみを採用した。

3. 結果と考察

図 2 に TDR 計測による θ と GPS で取得した SNR から式 (1) により求めた ϕ の関係を示す。PRN (Pseudo-Random Noise Code) は GPS の識別番号であり、それぞれの信号反射点の近傍を通る TDR の値を採用した。乾燥土壌の研究例である Larson et al. (2010) では ϕ と θ の決定係数 R^2

*NTT アクセスサービスシステム研究所, NTT Access Network Service Systems Laboratories

明治大学研究・知財戦略機構, Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University, *明治大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Meiji University, ****明治大学農学部, School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 土壌水分計測, GNSS-IR, GPS-IR, マイクロ波

は少なくとも 0.76 以上を示したが、本研究では最大でも $R^2=0.55$ と小さかった。また、同じく乾燥土壌を対象に ϕ と θ の傾きを研究した Chew et al. (2014) は、傾きを 65° 一定として ϕ から θ を推定することを提案している。しかし、本研究ではすべての PRN の傾きが負を示し、ばらつきも大きかった。

GNSS-IR 以外にマイクロ波を使用した土壌水分量の計測手法には、SAR(Synthetic Aperture Radar)が挙げられる。Holah et al. (2005)は $\theta > 0.35$ の湿潤領域では、土壌から反射されたレーダー信号と土壌水分との相関が低いと報告している。したがって、同じマイクロ波帯を使用する GNSS-IR においても、乾燥土壌に適用可能な手法を湿潤土壌にも適用するのは困難であることが想定される。式 (1) には ϕ 以外にも SNR のフィッティングパラメータが存在することより、 A や h にも着目して解析することが今後の課題である。

4. まとめ

研究例の存在しない湿潤土壌への GNSS-IR の適用を試みた。乾燥土壌の研究例の通りに GNSS で計測した SNR から位相 ϕ を求めて体積含水率 θ との関係を検証した。その結果、湿潤土壌では、 ϕ と θ の相関は低く、 ϕ と θ の傾きも一定ではなかった。 ϕ 以外のパラメータから θ を推定することも含めて、湿潤土壌への GNSS-IR 適用に向けては解析手法の見直しが必要であることがわかった。

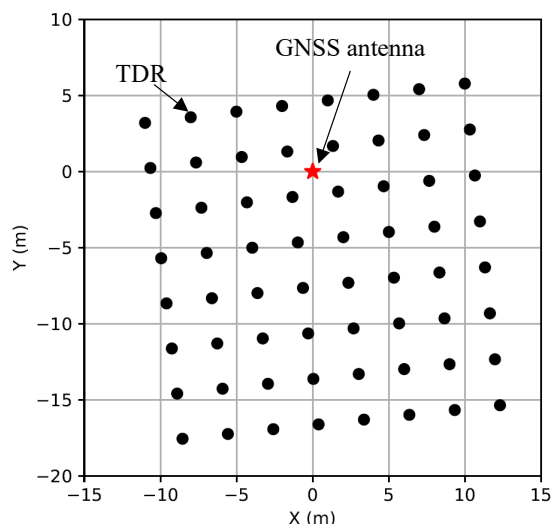


図1 GNSS アンテナと TDR の配置
Fig.1 GNSS antenna and TDR placement

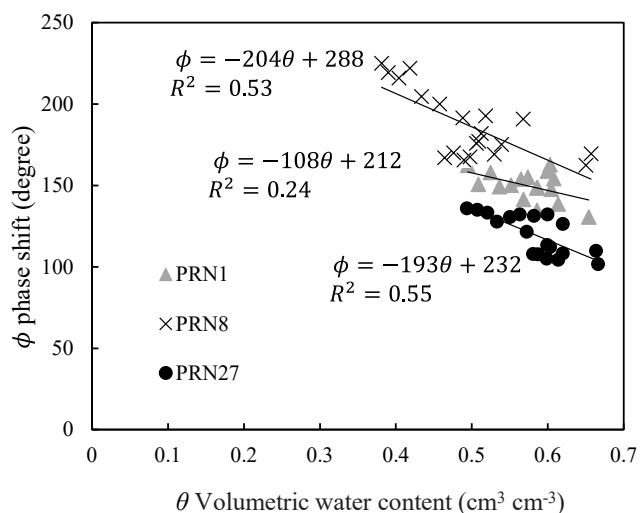


図2 体積含水率 θ と位相 ϕ の関係
Fig.2 Relation between volume moisture content θ and phase shift ϕ

参考文献

- Chew, C., Small, E., Larson, K., & Zavorotny, V. (2014). Effects of Near-Surface Soil Moisture on GPS SNR Data: Development of a Retrieval Algorithm for Soil Moisture. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 52, 537-543
- Holah, N., Baghdadi, N., Zribi, M., Bruand, A., & King, C. (2005). Potential of ASAR/ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*, 96, 78-86
- Larson, K.M., Braun, J.J., Small, E.E., Zavorotny, V.U., Gutmann, E.D., & Bilich, A.L. (2010). GPS Multipath and Its Relation to Near-Surface Soil Moisture Content. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3, 91-99