

地中レーダの空中測定による土壌水分推定の検証

Validation of soil moisture estimation by ground-penetrating radar airborne measurements

大野龍一¹・斎藤広隆¹・及川航貴¹・宮谷耕太郎¹

¹東京農工大学

要旨(Abstract) :

本研究では、通常は地表面に設置される地中レーダ (GPR) アンテナを空中に配置して測定を行い、その手法の有効性および土壌水分推定の可能性について検討した。数値解析には有限差分時間領域法 (FDTD 法) を用いた gprMax を適用し、異なる土壌条件下での電磁波伝播をシミュレーションした。実験では、砂と水の条件下での反射波を測定し、各条件下の比誘電率を推定した。解析結果は、定量的に評価するための有効な指標となることを示した。

キーワード：地中レーダ，比誘電率分布，反射波，土壌水分

Key words: GPR, relative permittivity distribution, reflected wave, soil water

1. はじめに

地中レーダ(GPR)は、非破壊で地中構造の探査が可能で、水分センサーや農業や土壌物理学の分野で広く用いられている。GPR の送信アンテナから電磁波を地中に照射し、伝播してきた電磁波の信号を受信アンテナが記録する。アンテナ間の電磁波伝播速度から土壌の電気特性の一つである比誘電率分布を得ることができる。土壌の比誘電率は、土壌の体積含水率分布と相関があることから、適正な校正により体積含水率に変換することが可能である。しかし、GPR による周囲環境や測定条件に依存するため、数値解析や実験による検証が不可欠である。そこで、本研究では、地中レーダ(GPR)の空中計測により、反射波の振幅を用いた土壌の比誘電率を推定すること目的とした。

2. 方法

(1) 数値解析

パルス電磁波が、媒質中を伝わる様子をシミュレーションするオープンソースのソフトウェアである gprMax を用いた。gprMax は、有限差分時間領域法(FDTD 法)を用い GPR のシミュレーションに特化している。解析を行うにあたり、幅 3.0 m×高さ 3.0 m×奥行 0.002 m

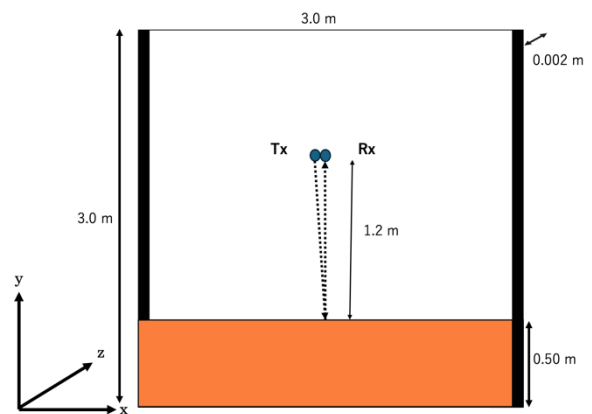


図 1 gprMax の解析条件

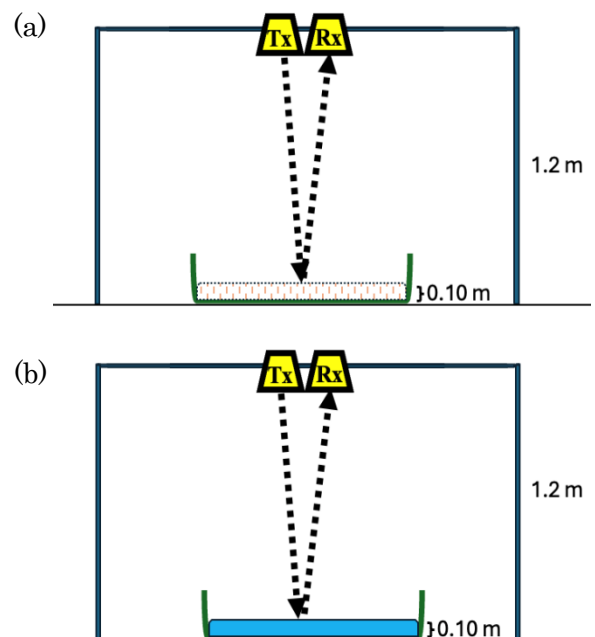


図 2 GPR の反射波計測 (a)河砂 (b)水

の領域を設定した。領域の縁から 0.50m の高さで土層を設定し、送信アンテナ(Tx)と受信アンテナ(Rx)を図 1 のように配置し、土層の反射波の計測を行った。また、領域の縁は、境界での反射を考慮しない吸収境界条件とした。

(2) 比誘電率の推定実験

図 2 および 3 に示すように、GPR のアンテナを設置するために塩ビパイプで作製した測定台を使用し、地表面から一定の高さで測定した。測定台から GPR のアンテナを吊るし、容器内に砂と水の条件で、反射波の測定を行った。各条件下での電磁波の反射特性を評価し、比誘電率の違いや影響を検証する。測定によって得られた反射波のデータを解析し、各条件下における比誘電率を推定した。

3. 結果

数値解析の結果を図 3 に示した。反射波の解析により、土壤内部の物理的特性、特に誘電率の不均質性や水分含有量の変動が電磁波の伝播特性に与える影響を評価していく。

図 4 に示したように、推定実験では、最初の 23 トレースは河砂の条件で、24 トレース以降は水の条件で測定を行った。黄色の線で示した 9ns の位置は、各条件下で観測された反射波の時間を表しており、反射波の振幅は河砂で-18 A/m、水で-38 A/m で、明確な差が見られた。これらの振幅の違いを基に、各条件下の比誘電率の推定を進めていく。今後、振幅を用いた圃場での計測を行い、比誘電率の推定を行う。

4. おわりに

今後は、GPR のデータの解析をさらに進め、反射強度や伝播時間の変化をもとに、圃場における土壤の比誘電率や体積含水率の分布の推定を行っていく。特に、反射波形の特徴やその変化を考慮すること、大豆の生育段階に応じた比誘電率分布の推定を行う予定である。

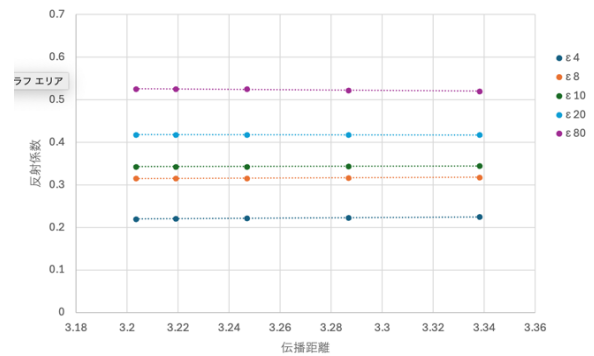


図 3 数値解析の結果

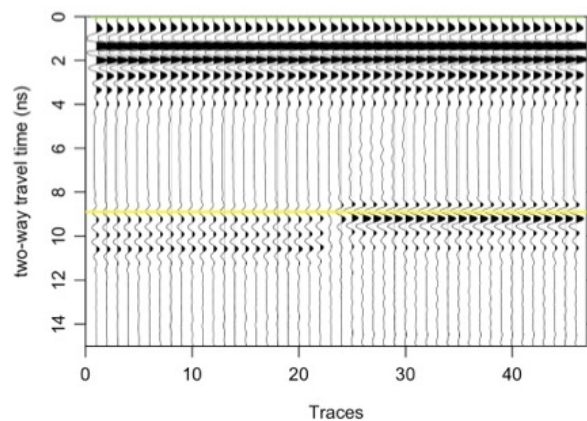


図 4 推定実験の GPR データ

参考文献

- Ridhia, F., et al. 2023. Soil Water Content Estimation over Plantation Area Using FMCW Radar. *Progress In Electromagnetics Research B*, 101, 155–173.
- Pramudita, A. A., et al. 2022. Soil Water Content Estimation with the Presence of Vegetation Using Ultra Wideband Radar-Drone. *IEEE Access*, 10, 85213-85226.