

面的土壌水分・電気伝導度測定のための大型多線式プローブの開発

Application of TDR measurement system to measure soil water content in a fixed area

○長 裕幸* 田川堅太* 西村 洋人* 宮本英揮** 井上光弘***

Hiroyuki CHO Kenta TAGAWA Hiroto NISHIMURA Hideki MIYAMOTO Mitsuhiro INOUE

1. はじめに

近年、衛星データを利用した広域の土壌水分観測が広く行われるようになった一方で、地上観測では、複数の地点に関しネットワークを用いて、鉛直方向に設置した土壌水分センサーの測定値を収録し、平均化し、それを面代表値として衛星データのキャリブレーションに用いている。しかし、こうした点データから面データへの変換には物理的な脈略が欠如しており、平均値を代表値とすることは、これまで繰り返し議論されてきたところである。そこで、本研究では、衛星データと地上観測データとの接点を見出すことにより、リモートセンシングによる広域土壌水分観測の高精度化を図ることを目的とし、大型の多線式プローブを用いて、従来の TDR 測定値と同程度の精度で、地上部において直接、面的な土壌水分および電気伝導度(EC)の計測を行うための基礎実験を行ったので報告する。

2. 実験方法

多線式プローブは、電磁プローブに隣接するアース用プローブを共用して複数の TDR プローブが連続的に装備された構造を持つ(Fig.1)。ここで、単位プローブの長さは 1.0m とした。本研究では、基礎実験として、多線式プローブの最小単位である、1.0 m の感知部長を持つ 3 線式プローブ(ロッド間隔 0.1 m, 直径 5 mm)を自作(以後、1m 長プローブと称す)し、その特性を調べた。

実験装置の概要を Fig.2 に示すが、蒸留水を混合して体積含水率(θ)を調整した砂(粒径 0.15 ~ 0.6 mm)を、縦 0.42 m, 横 1.07 m, 高さ 0.17 m の木箱に高さ 0.10 m まで充填し、その中間の高さに 1m 長プローブを水平に埋設した。マルチプレクサー(SDMX50, Campbell Scientific社)を介してプローブをケーブルテスター(TDR100, Campbell Scientific社)に接続し、波形解析ソフトウェア・PCTDR(Campbell Scientific社)を利用して TDR 波形の取得・解析を実施することにより、砂の比誘電率(ϵ)とバルク EC(σ_b)を決定した。また、溶液 EC(σ_w)の異なる CaCl₂ 溶液(0.10, 0.20 Sm⁻¹)と混合した砂に対しても、同一手順で ϵ と σ_b の計測を反復することにより、異なる水分・電気伝導度条件における値を検証した。

3. 結果と考察

0.20 Sm⁻¹ 溶液と混合した $\theta = 0.29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の場合を除き、1m 長プローブで計測した砂の TDR 波形には、プローブ先端部におけるステップパルス信号の反射を表す立ち上り点(上向きの矢印)が観察された(Fig.3)。 σ_w の大小によらず、立ち上り点の位置は、高 θ の条件ほど右方にシフトしたことは、一般的な TDR プローブの挙動と共通している。

多くの土壌の ϵ - θ 関係は、Topp式¹⁾で表される

が、1m 長プローブで測定した TDR 波形から求めた ϵ 値も、混合溶液の σ_w によらず Topp 式上に分布したこと

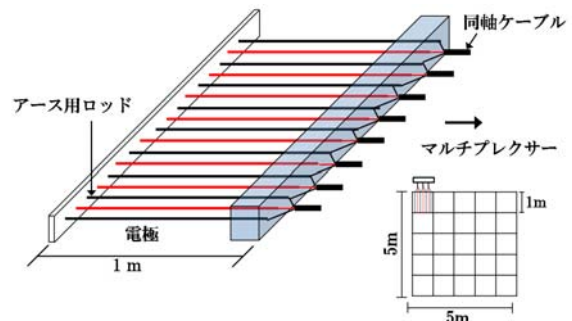


Fig. 1 多線式プローブの配置図

Outline of multi-wire probe arrangement

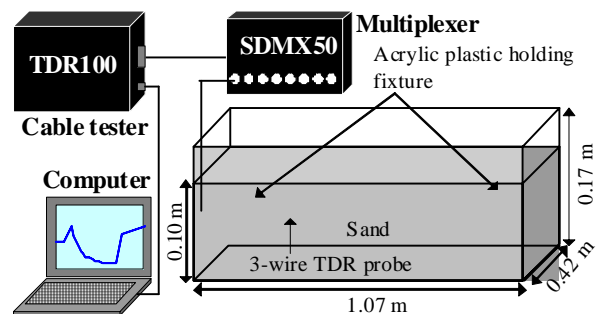


Fig. 2 実験の模式図

Schematic diagram of experimental set up

*佐賀大学農学部 Faculty of Agriculture, Saga Univ., **明治大学研究・知財戦略機構 Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Property, Meiji Univ. ***鳥取大学乾燥地研究センター Tottori Univ., Arid Land Research Center.

キーワード: 面的土壌水分量, 面的電気伝導度, 時間領域反射法, 比誘電率, 多線式 TDR プローブ

(Fig.4)は、感知部長が長大な場合にも、同式に基づく θ の評価が有効であることを示している。ただし、 $\sigma_w = 0.0 \text{ S m}^{-1}$ では $\theta = 0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、 $\sigma_w = 0.10 \text{ S m}^{-1}$ では $\theta \geq 0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、 $\sigma_w = 0.20 \text{ S m}^{-1}$ では $\theta \geq 0.17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ などの条件の大半で、TDR波形には立ち上がり点が認められたものの(Fig.3),Topp式から大きく乖離した ε 値が得られたことは(Fig.4, Fig.5), 高導電性条件における自動解析の不安定性を示している。一方、同一システムによる計測であっても、バルクEC(σ_b)については、全実験条件において良好な数値が得られ、自動計測の安定性が確認された(Fig.6)。

多線式プローブのロッド間隔・直径が3線式プローブのそれと一致する場合には、両者は類似したセンサー特性を示すと考えられる。そのため、本実験結果より、1m長プローブの多線式化を図り、適切な計測条件を選定すれば、既存のシステムを利用して縦1m×横1mの面的な $\theta \cdot \sigma_b$ の自動計測は、十分に可能であると考えられる。

今後は、自作した大型多線式プローブの実地テストを行うとともに、同プローブの測定値に基づくリモートセンシングデータのキャリブレーションを実施し、広域土壌水分・塩分観測技術の確立を目指す予定である。

引用文献:

- 1) Topp ら(1980): Water Resour. Res., 16: 574-582.
- 2) Dalton and van Genuchten(1986): Geoderma, 38: 237-250.

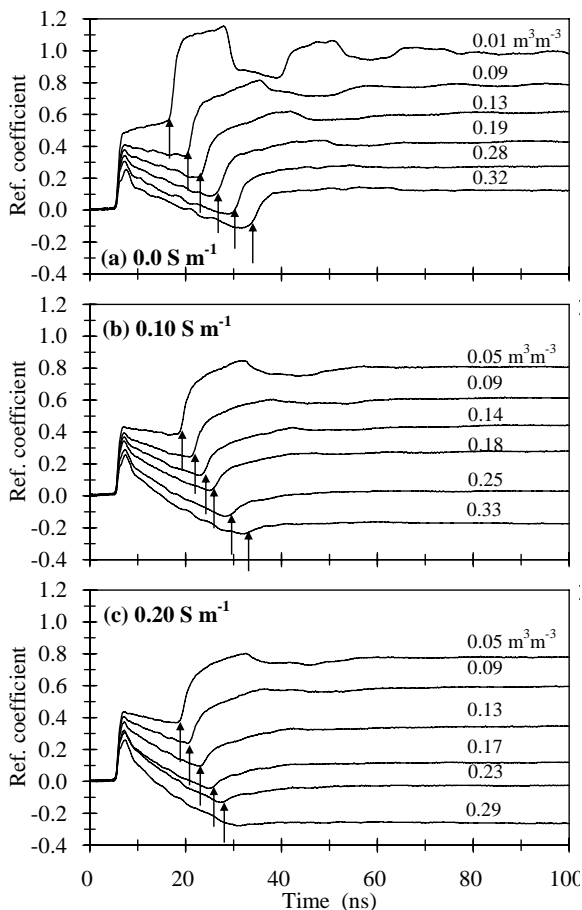


Fig. 3 (a)0.0 S m^{-1} , (b)0.10 S m^{-1} , (c)0.20 S m^{-1} 溶液と混合した砂のTDR波形TDR Waveforms for sand mixed with (a)0.0 S m^{-1} (b)0.10 S m^{-1} and (c)0.20 S m^{-1} solutions.

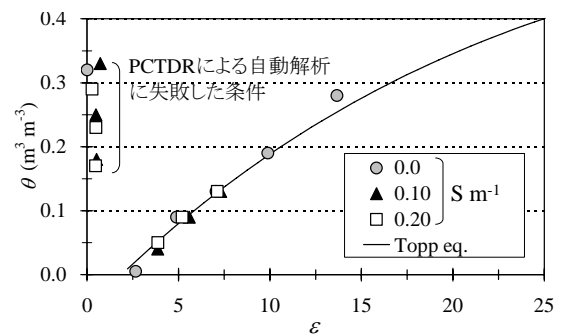


Fig. 4 比誘電率(ε)と体積含水率(θ)の関係。 Relative permittivity(ε) vs. volumetric water content(θ).

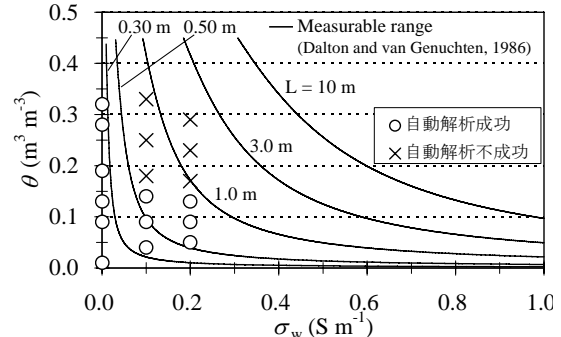


Fig. 5 PCTDRによる自動解析の成功(○印)・不成功(×印)条件.実線は計測限界の理論値⁴⁾. Successful and unsuccessful conditions of automatic analyses using PCTDR.

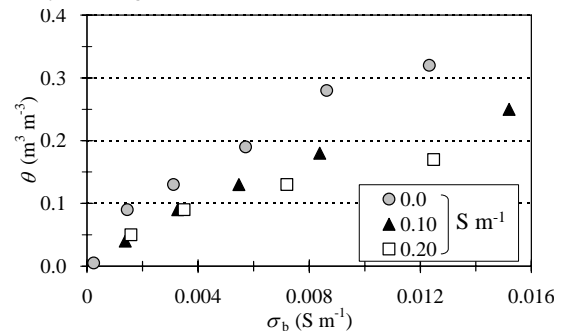


Fig. 6 バルクEC(σ_b)と体積含水率(θ)の関係。 Bulk EC(σ_b) vs. volumetric water content(θ).