

サーモ TDR を用いた代かき後における水田土壌物理性の経時変化測定 Measurement of Temporal Changes in the Physical Properties of Paddy Soil after Puddling using Thermo-TDR

○磯貝好輝*・吉岡尚寛**・青木伸輔***・登尾浩助****

Koki ISOGAI・Takahiro YOSHIOKA・Shinsuke AOKI・Kosuke NOBORIO

1. はじめに

サーモ TDR は土壌への影響を最小限に抑えながら、迅速かつ経時的な現場乾燥密度測定が可能である。このため、野外土壌における乾燥密度の動態を評価するための有効な手段である (Liu et al., 2014)。灌漑や耕起といった人為的作業の影響を受ける局所スケールでの一時的な土壌物理プロセスを観測するために、特定の水文観測ネットワークに適応したサーモ TDR 技術を設計・統合することにより、クリティカルゾーンの土壌に対する人間活動の動的な影響について新たな知見が得られる可能性がある (Lu et al., 2025)。Zhang et al. (2023) はプラスチック箱内の水田土壌の収縮と膨張の過程をサーモ TDR による乾燥密度の測定から評価した。しかし、栽培環境下における水田土壌の乾燥密度の動態は調べられていない。また、代かき後の経時的な水分動態について評価した事例は少ない。本研究では代かき後の水田土壌の沈下に注目し、サーモ TDR を用いて水田黒ボク土の土壌物理性の経時変化を明らかにする。

2. 理論

土壌の体積熱容量 C_h [$\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$] は、固相と土壌水それぞれの体積熱容量と体積分率で表されることから、乾燥密度 ρ_b [Mg m^{-3}] は(1)式で表される (Ochsner et al., 2001)。

$$\rho_b = \frac{C_h - C_w \theta}{c_s} \quad (1)$$

ここで、 C_w ：水の体積熱容量 [$\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$]、 θ ：体積含水率 [$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$]、 c_s ：固相の比熱 [$\text{MJ Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$] である。また、ヒートパルス法の適用中において両端のロッドのうち一方からもう一方へ垂直に流れる水フラックス J_w [m s^{-1}] は(2)式で表される (Wang et al., 2002)。

$$J_w = \frac{\lambda}{r_0 C_w} \ln \left(\frac{T_d}{T_u} \right) \quad (2)$$

ここで、 λ ：土壌の熱伝導率 [$\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$]、 r_0 ：プローブの間隔 [m]、 T_d ：下流側の温度変化 [$^\circ\text{C}$]、 T_u ：上流側の温度変化 [$^\circ\text{C}$] である。

3. 材料および方法

明治大学生田キャンパスにある、一区画 2 m 立方のライシメータ水田の黒ボク土区画を使用する。実験期間は 5 月 12 日から 5 月 19 日である。5 月 12 日に代かき

*明治大学大学院農学研究科 **香川大学大学院農学研究科 ***香川大学農学部 ****明治大学農学部

*Graduate School of Agriculture, Meiji University **Graduate School of Agriculture, Kagawa University

Faculty of Agriculture, Kagawa University *School of Agriculture, Meiji University

キーワード：Thermo-TDR, 乾燥密度, 水分フラックス

を行った後、サーモ TDR センサー (Fig. 1) 3 本を、土壌表面から 7.5 cm の深度に、ロッドが鉛直方向に並ぶようにして水平に設置する (Fig. 2)。実験期間中は湛水深を 5 cm にし、地下排水は行わない。ヒートパルス法による熱的性質の測定および TDR 法による θ の測定を 30 分ごとに行い、 ρ_b と J_w を経時的に得る。また、5 月 12 日を 1 日目として 3 日目と 8 日目に 100 cc サンプラーで土壌表面から 5–10 cm の土壌を採取し、重量法から乾燥密度を求め、ヒートパルス法から決定される ρ_b を評価する。

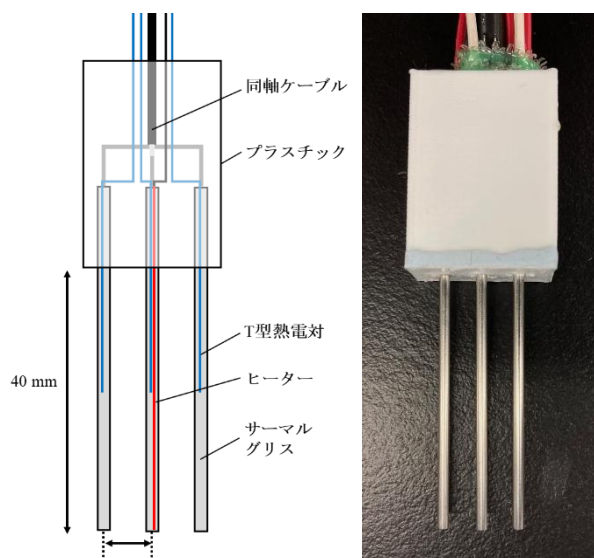


Fig. 1 : 実験で使用するサーモ TDR センサー
Thermo-TDR sensors using in this experiment.

4. 予想される結果

足立ら (1989) が代かき前と中干し前の火山灰土壌で ρ_b の深度プロファイルを比較した結果、表層は 0.2 Mg m^{-3} 程度減少したのに対し、深さ 7.5 cm は 0.15 Mg m^{-3} 程度増加した。本研究において、代かき直後は深さ 7.5 cm の ρ_b が表層と同程度になると考えられる。足立 (1990) のカラム実験では、土壌の攪拌後、土壌表面の沈下が、中粒質の土壌では 20 分程度、細粒質の土壌では数時間程度継続し、最終的に数 cm 低下した。この実験では底面排水があったのに対し、本研究では排水を行わない。下方への水の浸透による土粒子輸送が生じないため、地表面の沈下に伴った ρ_b の変化はより時間をかけて起こることが予想される。また、土壌の沈下によって上方へ押し出される水が上向きの J_w として計測されることが予想される。Zhang et al. (2023) がプラスチック箱で行った野外で乾燥と湿潤を繰り返す実験では、深さ 5–10 cm の ρ_b が 1 週間で $\pm 0.1 \text{ Mg m}^{-3}$ 程度変化した。本研究では湛水状態を維持するため、代かきで一時的に減少した ρ_b が大きく増加した後は彼らの実験より小さな変化になると考えられる。

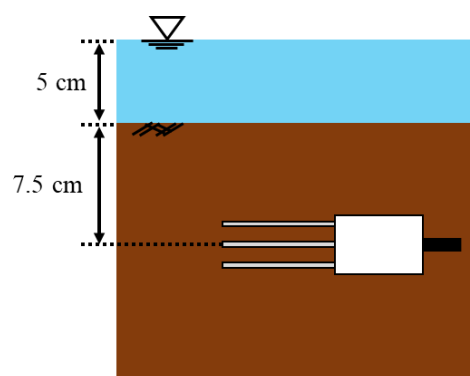


Fig. 2 : サーモ TDR センサーの設置
向きおよび深度。
Installation orientation and depth of
thermo-TDR sensors.

参考文献

足立ら (1989). 輪換田の代かきによる浸透抑制について一輪換田の水移動に関する研究一. 農土論集 (140), 19-26. 足立 (1990). 代かき土壌の沈下特性とその流出水量の変化について一輪換田の水移動に関する研究一. 農土論集 (148), 67-73. Liu et al. (2014). In Situ Monitoring of Soil Bulk Density with a Thermo-TDR Sensor. *SSSA J.*, 78, 400-407. Lu et al., (2025). Monitoring dynamic water content, bulk density, and heat and water fluxes in the critical zone with thermo-time domain reflectometry sensors. *Vadose Zone Journal*, 24, e20390. Ochsner et al. (2001). Simultaneous water content, air-filled porosity, and bulk density measurements with thermo-time domain reflectometry. *SSSA J.*, 65(6), 1618-1622. Wang et al. (2002). Mathematical analysis of heat pulse signals for soil water flux determination. *Water resources research*, 38(6), 27-1. Zhang et al. (2023). In-situ assessment of soil shrinkage and swelling behavior and hydro-thermal regimes with a thermo-time domain reflectometry technique. *Soil and Tillage Research*, 227, 105617.