

TDR を用いた水平浸潤実験による迅速で簡易な水分拡散係数測定 Rapid and simple measurement of water diffusivity using horizontal infiltration experiment with TDR

○吉岡尚寛*, 土井俊弘**, 佐藤直人***, 丸尾裕一****, 登尾浩助***, 青木伸輔*****

○Takahiro YOSHIOKA, Toshihiro DOI, Naoto SATO, Yuichi MARUO, Kosuke NOBORIO,
Shinsuke AOKI

1.はじめに

適切な灌漑や施肥管理の実現には、土壌の水理特性の把握が重要である。土壌の水理特性のパラメータの1つとして水分拡散係数 $D(\theta)$ があり、Bruce and Klute (1956)に倣った水平浸潤実験 (Bruce and Klute 法)により直接決定可能であることが広く知られている。しかし Bruce and Klute 法は煩雑な作業や1回の実験に多くの時間を必要とする。本研究ではTDR 土壌水分計を用いた定点観測による水平浸潤実験 (定点観測法)による、 $D(\theta)$ 決定法を評価した。

2.方法

実験は明治大学生田キャンパスの室温 24°Cに設定した実験室内で行った。実験カラムは長さ 6.2 cm, 内径 2.4 cm のアクリルパイプを用いて作成した。TDR 土壌水分計のプロブ部分となる長さ 3.8 cm, 幅 0.5 cm の銅箔テープをアクリルパイプ内壁の水源側端から 2.0 cm の位置に貼り付けた (図 1)。50Ω の同軸ケーブルを銅箔テープにはんだ付けし、TDR 装置 (TDR100, Campbell Scientific Inc.)と接続し、データロガー (CR1000, Campbell Scientific Inc.)で TDR 波形を 2 秒間隔で記録した。

実験カラムに乾燥密度 $1.62 \pm 0.01 \text{ Mg m}^{-3}$ で豊浦砂を充填した。浸潤溶液には水道水を使用し、マリオット管を用いて給水した。実験カラムを水平に設置し、水源と試料の間に接続したシリンジを引いて空気を抜き、浸潤を開始した。銅箔テープはアクリルカラム内壁に貼り付けたため、土壌の比誘電率を求める際には、アクリルの比誘電率を考慮する必要がある (宮本・筑紫, 2006)。そこで(1)式を用いて土壌の真の比誘電率 ϵ' を決定した。

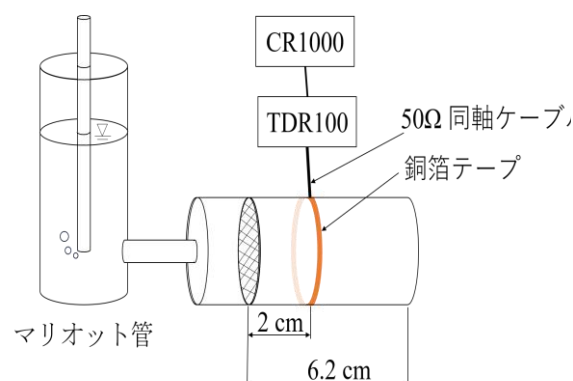


図 1. 実験装置図

Fig. 1 Experimental apparatus diagram

* 香川大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kagawa University

** 明治大学研究・知財戦略機構 Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University

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

**** 香川大学イノベーションデザイン研究所 Innovation Design Research Institute, Kagawa University

***** 香川大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagawa University

キーワード: TDR, 比誘電率, 水分移動

$$\varepsilon = a\varepsilon' + b\varepsilon_{ac} \quad (1)$$

ここで ε は見かけのプローブ長さから算出した見かけの比誘電率、 ε_{ac} はアクリルの比誘電率、 a 、 b は実験定数である。

決定した ε' を(2)式を用いて体積含水率 θ を求め (Topp et al., 1980), $D(\theta)$ を(3)式から決定した (登尾・佐藤, 2022)。

$$\theta = -5.3 \cdot 10^{-2} + 2.92 \cdot 10^{-2} \varepsilon' - 5.5 \cdot 10^{-4} \varepsilon'^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} \varepsilon'^3 \quad (2)$$

$$D(\theta) = -\frac{1}{2} \frac{d\lambda}{d\theta} \bigg|_{\lambda_t} \int_{\theta_{t=0}}^{\theta_t} \lambda d\theta \quad (3)$$

ここで、 λ_t は時刻 t (s)におけるボルツマン変数 ($\lambda = x t^{-0.5}$) ($\text{cm s}^{-0.5}$), x は水源側端から TDR プローブまでの長さ (cm), θ_t は時刻 t における体積含水率 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), $\theta_{t=0}$ は初期体積含水率 ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)である。

3.結果と考察

Bruce and Klute 法, 定点観測法で決定した $D(\theta)$ を図 2 に示す。 $\theta \leq 0.3 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ ではそれぞれの方法で決定した $D(\theta)$ は一致したが, $\theta > 0.3 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ では Bruce and Klute 法>定点観測法であった。この原因として従来法で θ を過小評価した可能性が考えられる。

Bruce and Klute 法では浸潤終了後カラムを鉛直に立てて 1 cm ごとに乾燥側から切り分け, 土壌の水分分布を求める必要がある。本研究において, カラムの解体時に土壌カラム内の水分の再分布が生じ, 一部は下端から流出した。そのため Bruce and Klute 法で測定した θ は浸潤終了直後の θ より低い値を示したと考えられる。TDR を用いた定点観測法では, 非破壊で水平浸潤実験を行ったため, $D(\theta)$ を精度よく推定できた。本実験では供試土壌として豊浦砂のみを使用したため, 異なる土性を用いた実験を行うことで定点観測法の汎用性を評価する必要がある。

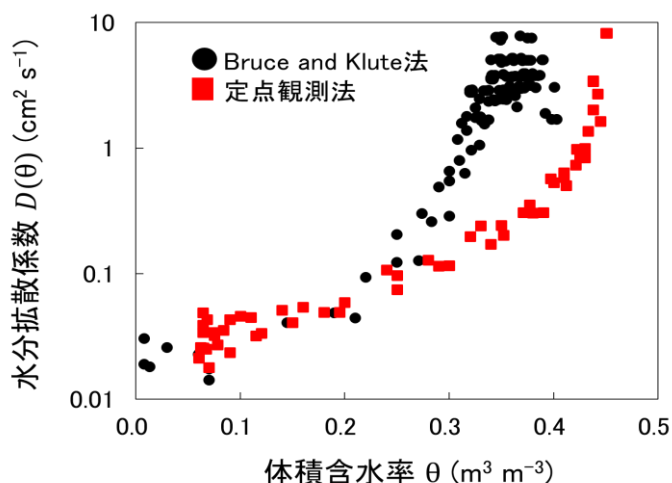


図 2. Bruce and Klute 法と定点観測法による水分拡散係数の比較

Fig. 2 Comparison of soil water diffusivity using Bruce and Klute and fixed-location observation methods.

参考文献

- Bruce, R.R., and Klute, A. (1956): The measurement of soil moisture diffusivity. Soil Science Society of America Journal, 20(4):458-462.
- 宮本英揮・筑紫二郎(2006):誘電混合モデルによるカラム内壁面接着型 TDR プローブのキャリブレーション. 土壌の物理性, 104:5-12
- 登尾浩助, 佐藤直人(2022):非定常体積含水率の定点観測による土壌水分拡散係数測定. 土壌物理学会大会要旨集 SP64, P21:66-67
- Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan, A.P.(1980):Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resour. Res., 16:574-582