

## TDR 法による点源灌漑下の土壌水分特性の推定 Estimation of Soil Hydraulic Properties under a Surface Point Source Using a Multi-Purpose Time Domain Reflectometry Probe

○鈴木隆文\* 登尾浩助\*\*

Takafumi Suzuki, Kosuke Noborio

### 1. 背景・目的

畑地において、適切な用水管理を行うには土壌の不飽和透水係数  $K(\phi)$  を推定する必要がある。 $K(\phi)$  の推定には、飽和透水係数  $K_s$  やマトリックポテンシャル  $\phi$  の係数  $\alpha$  といった土壌水分特性を推定する必要がある。Gardner(1958)は、 $K_s$  と  $\alpha$  から  $\phi$  を推定する式と、 $K_s$ 、 $\alpha$ 、 $\phi$  から  $K(\phi)$  を推定する式を提案した。Baumgartner ら(1994)は体積含水率  $\theta$  を測定する TDR(Time Domain Reflectometry)プローブに、 $\phi$  を測定するテンシオメーターを組み込むことで  $\theta$  と  $\phi$  を同時に計測することが可能な多目的 TDR プローブを開発した。Zhang ら(2000)は多目的 TDR プローブにより測定した  $\theta$  と  $\phi$  から二次元的土壌水分流れにおいて  $\alpha$  と  $K_s$  を推定した。そこで本研究では、点源の存在する三次元的土壌水分流れにおいて、不飽和透水係数  $K(\phi)$  の推定に用いる飽和透水係数  $K_s$  とマトリックポテンシャル  $\phi$  の係数  $\alpha$  を多目的 TDR プローブを用いて推定することを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 圃場実験

本研究は明治大学生田キャンパス南圃場(関東ローム)で行い、実験期間は 2018 年 12 月 8 日から 12 月 9 日であった。実験土壌の乾燥密度と、土粒子密度を測定し、風乾残留体積含水率と飽和体積含水率を求めた。体積含水率  $\theta$  と電気伝導度の測定は TDR100(Campbell Scientific Inc.)を使った。多目的 TDR プローブは、先端部が多孔質体になっている中空ステンレス鋼製ロッド(長さ 12.5cm)による 2 線式とした。マトリックポテンシャル  $\phi$  を測定するための圧力計(HTVN-001, 株式会社センシズ)から TDR のロッド先端までを脱気水で満たした。点滴用水には水道水を調整した高濃度 KCl 溶液(2 g/L)と低濃度 KCl 溶液(0.2 g/L)を用いた。電気伝導度の変化により、土壌水の動態を明らかにするために高濃度 KCl 溶液をトレーサーとして用いた。ペリスタポンプ(SJ-1220-3, ATTO CORPORATION)を用いて、点滴速度約 1.68 (mL/min)でロッド間隔の真ん中に KCl 溶液を点滴灌漑した。電気伝導度の測定値より、低濃度 KCl 溶液の点滴開始から 300 分で準定常状態と判断し、高濃度 KCl 溶液の点滴に切り替えた。切り替え後、1200 分で高濃度 KCl 溶液の準定常状態と判断した。多目的 TDR プローブは土壌の地表面に垂直に 12cm 挿入して設置した。比誘電率と電気伝導度、負圧は データロガー(CR3000, Campbell Scientific Inc.)を用いて 1 分間隔で測定及び記録した。

#### 2.2 解析

Russo ら(1991)の式(1)を用いて準定常状態になった実測値の平均値  $\theta_f$  と  $\phi_f$  から  $\alpha$  の値を求めた。平均値は、 $\phi_f$  と  $\theta_f$  がどちらも準定常状態であった点滴開始から 500 分から 1000 分の実測値

\*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: 水分移動

から求めた。

$$\theta(\psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[ \exp\left(-\frac{\alpha}{2} |\psi|\right) \left(1 + \frac{\alpha}{2} |\psi|\right) \right]^{\frac{2}{m+2}} \quad (1)$$

ここで、 $\theta_r$ は残留体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $\theta_s$ は飽和体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $\psi$ は準定常状態になったマトリックポテンシャル  $\psi_f$  (-cm) であり、それぞれ実測値を代入した。 $\alpha$ は適当な初期値とし、 $m$ は実験定数 0.5 とした。次に、Wardら(1995)の式(2)と Raats(1971)の式(3)を連立させ、 $\alpha$ と実測値  $\psi$ を代入する事で  $K_s$ を推定した。

$$\psi(R, Z) = \frac{1}{\alpha} \ln \left[ \frac{\alpha \varphi(R, Z)}{K_s} + \exp(\alpha \psi_i) \right] \quad (2)$$

$$\varphi(R, Z) = \frac{\alpha Q}{4\pi} \left\{ \frac{\exp(Z - \sqrt{R^2 - Z^2})}{\sqrt{R^2 - Z^2}} + Ei[Z + \sqrt{R^2 - Z^2}] \exp(2Z) \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\psi(R, Z)$ は  $\psi_f$  (-cm)、 $\psi_i$ はトレーサー点滴開始時のマトリックポテンシャル (-cm)、 $R = \alpha r / 2$ 、 $Z = \alpha z / 2$ 、 $r$ は水平方向距離 5 (cm)、 $z$ は鉛直方向距離 12 (cm)、 $Q$ は点滴量 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )である。計算は Mathcad(Mathsoft, 2000)を使用した。

### 3. 結果・考察

推定結果は  $\alpha = 0.0524$  (cm/1)、 $K_s = 0.006793$  (cm/s) となった。この  $\alpha$ を用いて Russo の式(1)で水分特性曲線を描いた。本研究で算出した水分特性曲線は、 $\alpha$ の値をどんなに変動させても始点と終点が変わらない。その為、比較用である van Genuchten モデルの関東ロームのグラフの始点に描いたグラフを合わせた(図1)。その結果、体積含水率  $0.66$  ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、マトリックポテンシャル  $40$  (-cm) までは一致した。しかし、それ以降は一致しなかった。

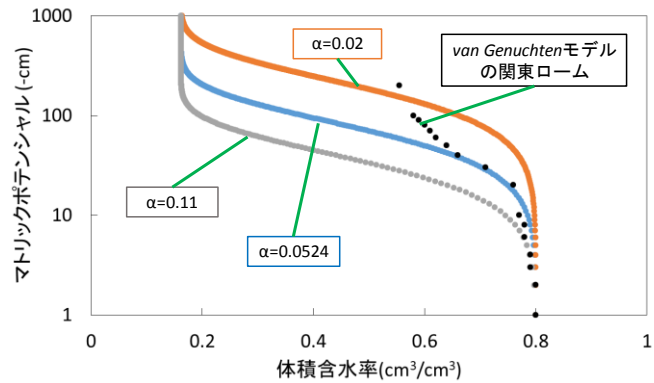


図1 水分特性曲線 ( $\alpha = 0.0524$ )  
Moisture characteristic curve

Ishida(2010)によって Gardner-Russo モデルは砂以外の土壌で適合具合が悪いことが報告されており、これが原因だと考えられる。推定した  $K_s$ は、同じ実験地における耕起状態の  $K_s$ 、 $4.23 \times 10^{-3} \pm 2.84 \times 10^{-3}$  (cm/s) (Noborio et al., 2018)と近かった。

### 4. 参考文献

- [1] Baumgartner, N., G.W. Parkin, and D.E. Elrick. 1994. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:315-318. [2] Gardner, W.R. 1958. Soil Sci. 85:228-232. [3] Raats, P.A.C. 1971. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:689-694. [4] Russo, D., E. Bresler, U. Shani, and J.C. Parker. 1991. Water Resour. Res. 27:1361-1373. [5] Ward, A.L., R.G. Kachanoski, and D.E. Elrick. 1995. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:699-706. [6] Zhang, Z.F., R.G. Kachanoski, G.W. Parkin, and B. Si. 2000. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1563-1569. 5\*