

# TDR を用いた圃場条件での溶質輸送測定

## Measurement of solute transport under field conditions using TDR

吉岡尚寛<sup>1</sup>, 佐藤直人<sup>1</sup>, 登尾浩助<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 明治大学農学部

### 要旨(Abstract)

土壌汚染などの環境問題への関心の高まりから、現場土壌中の溶質移動パラメーターの開発が求められている。過去に発表された原位置で非破壊的に溶質移動を測定する手法は、再現性の評価が為されていない。本研究では圃場のトレーサー処理区と無処理区に TDR プローブを鉛直に設置し、溶質輸送測定法の評価を行った。両処理区ともに体積含水率は $\theta_L > 0.1$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )であったため、体積含水率とバルク電気伝導度の経時変化を用いてトレーサーの移動を評価できることが明らかになった。

キーワード: TDR, 溶質輸送, 電気伝導度

Keywords: TDR, Solute transport, Electrical conductivity

### 1. はじめに

近年、環境汚染とそれに伴う植物や地下水への影響に関する報告が増加し、土壌中の水分および溶質移動に対する関心が高まっている(Wang and Horton, 2007)。

溶質移動を調べる方法は多岐にわたるが破壊を伴うことや多くの時間と労力がかかるといった課題がある。そのため原位置で非破壊的に溶質移動を調べる方法が求められてきた。Kachanoski ら(1992)は、土壌水分量と電気伝導度を非破壊的に同時測定可能な TDR 法(Time Domain Reflectometry)を用いて、定常水分フラックス条件下における室内および圃場での溶質移動測定手法を開発した。さらに、Noborio ら(2006)はこの手法を改良し、非定常水分フラックス条件下でも圃場で溶質移動の測定が可能であることを示した。

しかしこの実験方法は広く検証が行われておらず、再現性を評価する必要がある。そのため本研究では、圃場に 2 線式 TDR プローブを鉛直に設置し、溶質輸送の測定可能性を検討した。

### 2. 理論

定常状態の TDR ロッド長さ $L$ (cm)内に存在するトレーサー質量 $M_L$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )は(1)式で求められる(Kachanoski ら, 1992)。

$$M_L = \frac{L\theta_L}{\alpha}(\sigma_w - \sigma_w^0) \quad (1)$$

ここで $\theta_L$ は測定深さ内の平均体積含水率( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )、 $\sigma_w$ はトレーサー適用後の液相電気伝導度(S/m)、 $\sigma_w^0$ は適用前の液相電気伝導度(S/m)、 $\alpha$ は実験定数である。

非定常状態のトレーサー質量は時間によって変化するため(2)式に変換することができる(Noborio ら, 2006)。

$$M_L(t) = \frac{L\theta_L(t)}{\alpha}(\sigma_w(t) - \sigma_w^0(t)) \quad (2)$$

また液相の電気伝導度は $\theta_L > 0.1$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )の土壌に対して(3)式で求められる(Hilhorst, 2000)。

$$\sigma_w = \frac{\epsilon_p \sigma_b}{\epsilon_b - \epsilon_0} \quad (3)$$

ここで $\epsilon_p$ は土壌液相中の比誘電率(=80)、 $\sigma_b$ は土壌のバルク電気伝導度、 $\epsilon_b$ は TDR 法で測定する土壌の比誘電率、 $\epsilon_0$ は $\sigma_b = 0$ の時の土壌の比誘電率である。

原位置に設置した TDR プローブの形

状態係数の決定は困難であるので、Noborioら(2006)は(4)式で示すインピーダンス $R(\Omega)$ の逆数の使用を提案している。

$$M_R(t) = \frac{\theta_L(t)f_T}{\beta} \left( \frac{R(t)^{-1} - R^0(t)^{-1}}{\varepsilon_b(t) - \varepsilon_0} \right) \quad (4)$$

相対質量 $M_R(t)$ の経時変化を測定することで不飽和土壤中での溶質移動を把握可能である。

### 3. 方法

本実験は明治大学生田キャンパス南圃場で行った。1.5 m×1.5 mの区画を2区画使用し、一方をトレーサー溶液( $K_2SO_4$ 溶液)施与の処理区、一方を無処理区とした。各区画に長さ30 cm、プローブ間隔5 cmの2線式TDRプローブを鉛直に挿入し、6時間ごとにデータロガー(CR1000, Campbell Scientific)で波形を記録した。

また電気伝導度は溶液温度の影響を受けるため、T型熱電対を用いてプローブ近傍の表層5 cm地点の温度を測定し、温度補正を行った。2024年8月9日に $K_2SO_4$ 溶液(0.69 mol/L)を1 L、処理区の表層に散布し、実験を開始した。

### 4. 結果と考察

両処理区における2024年8月9日から2024年9月14日までの体積含水率 $\theta_L$ の変化をそれぞれFig.1に示す。両区画とも、測定期間を通して(3)式が適用可能である $\theta_L > 0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ を満たしていることを確認した。また両区画の $\theta_L$ は $K_2SO_4$ 溶液施与直後の8月13日から15日を除き同じように推移した。Fig.2はTDRセンサーで得た波形の変化である。処理区の反射係数は時間経過に伴い、無処理区より大きく低下した。即ち $\sigma_b$ が上昇した。

処理区と無処理区の $R(t)$ を使って $M_R(t)$ の経時変化を測定することでトレーサーの移動を評価することができる。今後は波形データの解析を進め、トレーサーの

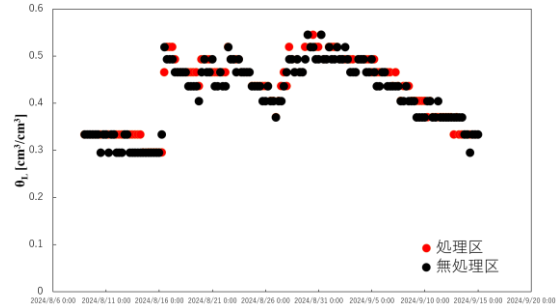


Fig.1 各処理区における $\theta_L$ の日時変化

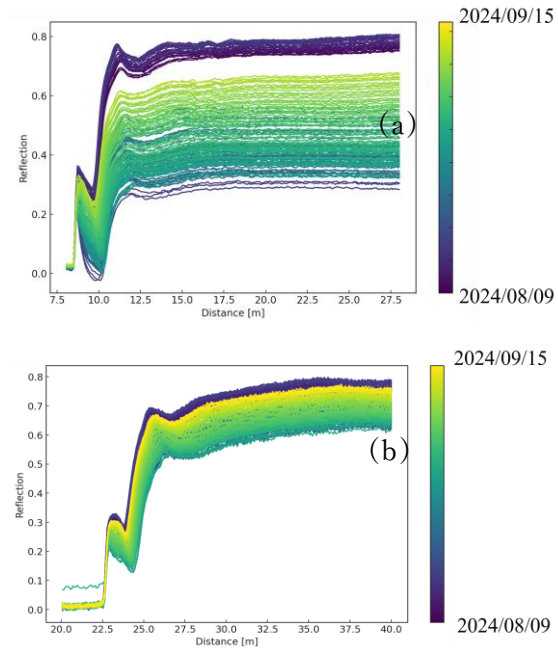


Fig.2 処理区(a)および無処理区(b)の波形の経時変化

移動から、原位置での溶質拡散係数 $D$ と平均間隙流速 $v$ を求める。

#### 参考文献

- Hilhorst, M.A. (2000): A Pore Conductivity Sensor. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1922-1925.
- Kachanoski, R.G., E. Pringle, and A. Ward (1992): Field Measurement of Solute Travel Times Using Time Domain Reflectometry. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:47-52.
- Noborio, K., R. G. Kachanoski, and C. S. Tan (2006): Solute Transport Measurement Under Transient Field Conditions Using Time Domain Reflectometry. Vadose Zone Journal 5:412-418.
- Wang, Q and R. Horton (2007): BOUNDARY LAYER THEORY DESCRIPTION OF SOLUTE TRANSPORT IN SOIL. Soil Sci. 172:835-841.