

## TDR と色素を用いた黒ボク土畑における浸透形態の把握

Using time domain reflectometry and dyes for identifying soil water pathways in a field

○宮本輝仁\*・小林政広\*\*・樽屋啓之\*・塩野隆弘\*

○Teruhito Miyamoto, Masahiro Kobayashi, Hiroyuki Taruya, and Takahiro Shiono

### 1. はじめに

野外条件下で生じる浸透形態の主な把握手法として、色素を用いる方法が多く用いられる。その際、色素が表層土壤中に吸着され下層まで到達しない場合が少なくない(例えば, Flury and Flühler, 1995)。そこで、TDR による土壌水分・EC 測定を併用して浸透形態の把握・評価を行なったので報告する。

### 2. 材料と方法

#### 2.1. TDR による電気伝導度の測定

Topp et al. (1988)は Giese and Tiemann (1975)が導出した次式を TDR 波形解析結果に適用することにより、土壌の見かけの電気伝導度( $\sigma_a$ )が測定できることを示した。

$$\sigma_a = \frac{\epsilon_0 c}{L} \frac{Z_0}{Z_u} \left( \frac{2V_0}{V_f} - 1 \right) = \frac{K}{Z_u} \left( \frac{2V_0}{V_f} - 1 \right) \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_0$ は真空中での誘電率、 $c$ は光速、 $L$ はプローブ長、 $Z_0$ はプローブの特性インピーダンス、 $Z_u$ は TDR ケーブルテストの出力インピーダンス、 $V_0$ は入射パルス電圧、 $V_f$ は多段反射後の反射パルス電圧である。右辺中の  $K$  はプローブ係数で、プローブ固有の値となる。プローブ係数は脱イオン水に TDR プローブを浸した時の波形解析をもとに算定した。

#### 2.2. TDR システム

TDR ケーブルテスター(Tektronix 1502B) をノートパソコンで制御するシステムを用いた。TDR 波形解析をもとにした誘電率( $\epsilon_a$ )と  $\sigma_a$  の測定は WinTDR99 (Or et al., 1999)を用いて行なった。TDR プローブには 3 線式のもの(ロッド径 3mm, ロッド長 10cm, ロッド間隔 1.5cm)を用いた。 $\epsilon_a$  の水分量( $\theta$ )への換算には、Miyamoto et al. (2001)が求めた次式を用いた。

$$\theta = -0.0356 + 4.35 \times 10^{-2} \epsilon_a - 1.23 \times 10^{-3} \epsilon_a^2 + 1.48 \times 10^{-5} \epsilon_a^3 \quad (2)$$

#### 2.3. 圃場実験

圃場実験は九州沖縄農業研究センター内のパヒアグラスが栽培されている黒ボク土の圃場(以下、パヒアグラス区)で行なった。8月と10月の二回、重機による刈り取りが行われている。

圃場実験は、深さ、幅ともに 1m の範囲の土壌断面が観察できるように観測孔を掘り、グリッド間隔 0.1m で領域分割した。グリッド交点を測定位置として TDR で初期状態の  $\theta$  と  $\sigma_a$  の分布を測定した。TDR 測定終了後、トレーサの散布を行なった。土壌断面より約 5cm 離れた 1m×0.6m の区画内に、ブリリアントブルー FCF を 2.5g L<sup>-1</sup> と CaCl<sub>2</sub>・H<sub>2</sub>O を添加して EC 値を 6.8dS m<sup>-1</sup> に調整した溶液を 20L トレーサとして散布した。自然降雨を想定して、噴霧器で散布区画内に出来るだけ均一に 2時間かけて行なった。散布終了後、試験区画の中心線に沿った土壌断面が観察できるように土壌断面を掘り、浸透形態の把握と TDR による  $\theta$  と  $\sigma_a$  の分布測定を再度行なった。

\*九州沖縄農業研究センター National Agricultural Research center for Kyushu Okinawa Region,

\*\*森林総合研究所九州支所 Kyushu Research Center, FFPRI

キーワード TDR (Time Domain Reflectometry), 色素, 浸透現象

各グリッド交点における $\theta$ と $\sigma_e$ の測定値は、深さごとに平均値と分散係数を求め、トレーサ散布前後で比較を行なった。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. TDR と色素による浸透形態の把握

重機による表層の転圧と地表面の傾斜により、散布したトレーサの多くは地表面に沿って流れた。そのため、地表面から 3cm までの範囲が主に着色された。しかし、土壤断面内の比較的流れやすい部分を通じた深部浸透も観察された (Photo 1)。

TDR による $\theta$ と $\sigma_e$ の分布測定から、色素で着色された部分を中心に $\theta$ がより深部まで到達していることがわかる (Fig. 1)。更に色素で着色された部分が極端に大きな EC 値を示すことや、色素で着色されていない 70cm よりも深い部分にも高い $\sigma_e$ を示す部分が存在することがわかる (Fig. 2)。このように TDR と色素を用いることにより、より深い部分の浸透形態把握が可能となる。

#### 3.2. トレーサ散布前後の水分・EC 値の比較

トレーサ散布前後の $\theta$ と $\sigma_e$ の分散係数を比較すると、 $\theta$ は深さ 0.2, 0.3, 0.7, 0.8, 0.9m の分散係数がトレーサ散布前後で大きく増加したこと、これに対して $\sigma_e$ は、深さ 0.4, 0.5, 0.8m の分散係数がトレーサ散布前後で変化が大きいことが分かる。これらの結果は TDR と色素によって観察された浸透形態と良く一致している。また、 $\sigma_e$ の分散係数の変化は $\theta$ に比べて極端に変化しており、黒ボク土のような高い保水性を示す土壤では、プレファレンシャル流の有無を判断する指標として有効であると考えられる。

引用文献: Flury and Flüher, (1995) Soil Sci. Soc. Am. J. 59:22-27. Giese and Tiemann (1975) Adv. Mol. Relax. Processes 45-59. Miyamoto et al. (2001) Soil & Tillage Res. 91-99. Or et al. (1999) WinTDR99 User Guide. Topp et al. (1988) Water Resour. Res. 945-952.

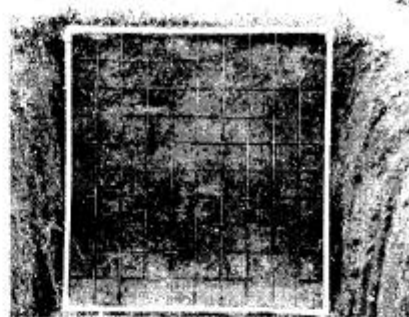


Photo 1 色素による着色部分の観察  
Dye pattern observed at a vertical profile of an Andisol.

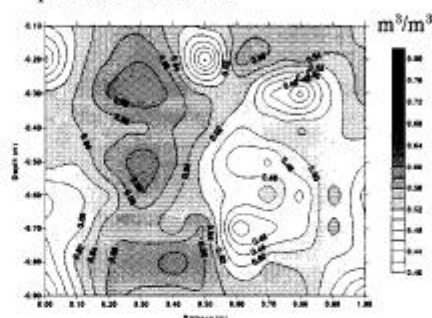


Fig.1 トレーサ散布後の土壤水分分布  
Soil water distribution at a vertical profile of an Andisol after a tracer application.

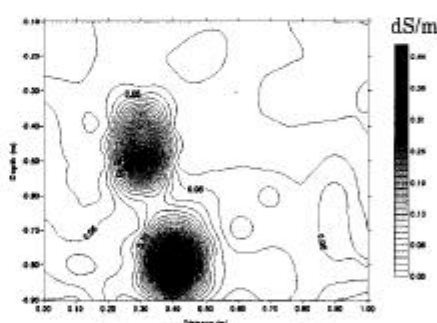


Fig.2 トレーサ散布後の EC 分布  
EC distribution at a vertical profile of an Andisol after a tracer application

Table 1 トレーサ散布前後における各深さごとの土壤水分量と土壤電気伝導度 (パヒアグラス区)  
Mean and coefficient of variation of soil moisture and electrical conductivity data

| 深度<br>(m) | 散布前                    |       |                       |       | 散布後                    |       |                       |       |
|-----------|------------------------|-------|-----------------------|-------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|           | 土壤水分量 ( $m^3 m^{-3}$ ) |       | 電気伝導度 ( $dS m^{-1}$ ) |       | 土壤水分量 ( $m^3 m^{-3}$ ) |       | 電気伝導度 ( $dS m^{-1}$ ) |       |
|           | 平均                     | 変動係数  | 平均                    | 変動係数  | 平均                     | 変動係数  | 平均                    | 変動係数  |
| 0.1       | 0.521                  | 0.025 | 0.0175                | 0.314 | 0.538                  | 0.033 | 0.0256                | 0.221 |
| 0.2       | 0.508                  | 0.056 | 0.0176                | 0.261 | 0.528                  | 0.109 | 0.0226                | 0.284 |
| 0.3       | 0.534                  | 0.043 | 0.0257                | 0.176 | 0.531                  | 0.117 | 0.0304                | 0.286 |
| 0.4       | 0.525                  | 0.037 | 0.0316                | 0.139 | 0.531                  | 0.034 | 0.0483                | 1.186 |
| 0.5       | 0.518                  | 0.061 | 0.0492                | 0.410 | 0.520                  | 0.085 | 0.0606                | 1.389 |
| 0.6       | 0.495                  | 0.076 | 0.0493                | 0.222 | 0.508                  | 0.071 | 0.0495                | 0.294 |
| 0.7       | 0.469                  | 0.068 | 0.0424                | 0.250 | 0.501                  | 0.093 | 0.0605                | 0.601 |
| 0.8       | 0.507                  | 0.066 | 0.0618                | 0.248 | 0.524                  | 0.080 | 0.1093                | 1.347 |
| 0.9       | 0.513                  | 0.056 | 0.0389                | 0.213 | 0.513                  | 0.099 | 0.0446                | 0.369 |