

蒸発法による土壌クラスト層の不飽和水分移動特性の推定

516309 今井 翔馬 (土壌圏循環学教育研究分野)

1. はじめに

畑地では、耕耘後の雨滴によって土層表面の団粒が破壊され、生じた微細粒子が間隙に詰まることで土壌クラスト層が形成される。土壌クラストは浸潤・蒸発といった水の移動を阻害する。クラストを含む畑地土壌の水分移動を予測するためには、土壌クラスト層の保水性と透水性（不飽和水分移動特性）を把握する必要がある。しかし、クラスト層は数 mm 程度と薄いため、水分移動特性を推定する方法が確立されておらず、定量的に評価された例がない。そこで、土壌試料の蒸発過程における土中水圧力・積算蒸発量を測定し、数値計算で測定値を再現する水分特性曲線と不飽和透水係数を推定する蒸発法に注目した。本研究では、不攪乱土を用いた蒸発法によって、土壌クラスト層の不飽和水分移動特性を推定することを目的とした。

2. 試料と方法

2-1 試料

試料には三重大学附属農場のダイズ栽培圃場の表層土を利用した。試料採取には内径 8.4 cm、高さ 6.0 cm のサンプラーを使用し、クラストを含む不攪乱土（クラストあり試料）、表層土壌 2 cm を取り除いた不攪乱土（クラストなし試料）を採取した。

2-2 蒸発実験

クラストあり試料・クラストなし試料のそれぞれに同様の実験を行った。図 1 に実験概要図を示す。試料をカラム下端から毛管飽和後、上端から蒸発させた。このとき、

下端から挿入したテンシオメータで 2、4 cm 深の土中水圧力の変化を測定し、電子天秤で測定した重量変化から、積算蒸発量を求めた。実験終了後、1 cm ごとに試料を等分し、鏡面冷却式湿度計 (WP4) により土中水圧力を、炉乾法により体積含水率を求めた。

2-3 逆解析

リチャーズ式を用いた数値計算で、水分移動特性の逆解析を行った。6 cm の長さの土層に対し、上端境界条件に測定した蒸発速度を与えた。蒸発実験で測定した土中水圧力変化、積算蒸発量および実験終了時の土中水圧力・体積含水率を再現する水分特性曲線と不飽和透水係数を推定した。水分移動特性モデルには Durner モデルを用いた。水分特性曲線は (1) 式で、不飽和透水係数は (2) 式で表される。

$$\begin{aligned} S_e &= \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \\ &= w_1 [1 + |\alpha_1 h|^{n_1}]^{-m_1} \\ &\quad + w_2 [1 + |\alpha_2 h|^{n_2}]^{-m_2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} K(S_e) &= K_s \frac{(w_1 S_{e1} + w_2 S_{e2})^l}{(w_1 \alpha_1 + w_2 \alpha_2)^2} \\ &\quad \left(w_1 \alpha_1 \left[1 - \left(1 - S_{e1}^{\frac{1}{m_1}} \right) \right]^{m_1} \right. \\ &\quad \left. + w_2 \alpha_2 \left[1 - \left(1 - S_{e2}^{\frac{1}{m_2}} \right) \right]^{m_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 S_e は有効飽和度、 θ は体積含水率、 θ_r は残留体積含水率、 θ_s は飽和体積含水率、 h は土中水圧力、 K_s は飽和透水係数、 $w_1 (= 1 - w_2)$ 、 w_2 は曲線に重みを与え、 α 、 n 、 $m (= 1 - 1/n)$ は曲線の形状を与えるパラメータ

である。本研究では、 $\theta_r=0$ を仮定し、 θ_s は蒸発実験開始時の測定値を与え、 α_1 、 α_2 、 n_1 、 n_2 、 l 、 K_s 、 w_2 を推定した。まず6 cmの均一な土層でクラストなし試料の水分移動特性を推定した。次に上層1.3 cmはクラスト層、下層4.7 cmはクラストなし試料の成層土と仮定して、クラストあり試料の逆解析を行い、クラスト層のみの水分移動特性を推定した。

3. 結果・考察

図2に土中水圧力、積算蒸発量の変化を示す。実測のクラストあり試料の土中水圧力は、クラストなし試料よりも早く低下した。蒸発初期の一定速度で蒸発が進行する恒率蒸発は二つの試料で同じだった。蒸発速度はクラストあり試料の方が早期に低下した。

図3に数値解析により推定した水分移動特性を示す。推定した水分移動特性から計算した土中水圧力、積算蒸発量は、実測値を概ね再現した。飽和透水係数 K_s はクラスト層で0.0044 cm/hr、下層で0.15 cm/hrであり、 $h > -100$ cmで、クラスト層の透水係数は下層より低い値を示した。また、水分量が飽和体積含水率から低下し始める土中水圧力(空気侵入圧)は、クラスト層で-150 cm、下層で-10 cmであった。これは間隙の目詰まりにより小さい間隙が増加し、水分を保持しやすくなるクラスト層の特徴を反映している。空気侵入圧の変化に対応して、 $-1000 \text{ cm} < h < -100 \text{ cm}$ ではクラスト層の透水性が下層土よりも高い値を示した。

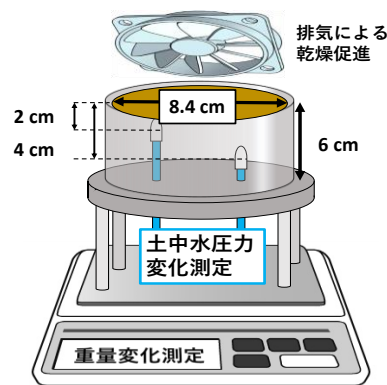


図1. 実験装置の概要図

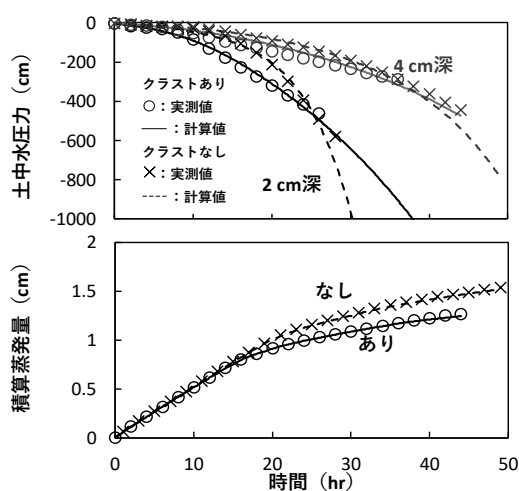


図2. 土中水圧力と積算蒸発量の変化

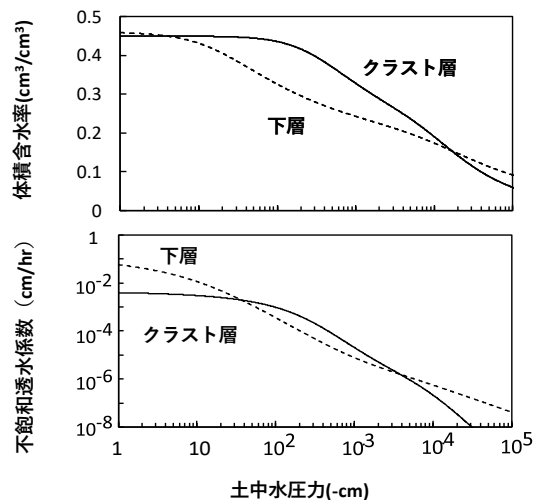


図3. 推定した不飽和水分移動特性