

不飽和土壌中の土壌溶液の電気伝導度推定への概念モデルの適用 Applicability of a Conceptual Model for Estimating Electrical Conductivity of Soil Solution in Unsaturated Soils

○宮本輝仁*, 亀山幸司*, 濱田康治*, 岩田幸良*

○MIYAMOTO Teruhito*, KAMEYAMA Koji*, HAMADA Koji*, IWATA Yukiyooshi*

1. はじめに

土壌溶液の電気伝導度は土壌中の塩類総量の評価手法として広く用いられている。近年、電磁波を用いたセンサーにより体積含水率と土壌の電気伝導度の同時測定が可能となり、これらの測定値から土壌溶液の電気伝導度を推定して土壌中の塩類動態を評価できるようになった。土壌溶液の電気伝導度の推定モデルがいくつか提案されている (Rhoades et al., 1976; Hilhorst 2000) が, Mualem and Friedman (1991) のモデルのように土壌水分特性と関連付けたものは少ない。黒ボク土では団粒土特有の土壌水分特性が土壌物理性に影響を与えることが多く、土壌水分の存在形態を考慮した土壌溶液の電気伝導度の推定が有効であると考えられる。そこで、Mualem and Friedman (1991) モデルの黒ボク土への適用性を検討した。さらに比較のため、砂と粘土についても同モデルの適用性を評価した。

2. 方法

2.1 概念モデル

Mualem and Friedman (1991) は、水移動と電気伝導の類似性を仮定し、間隙径分布に基づく不能和透水係数モデルから土壌の電気伝導度 (σ_b) と土壌溶液の電気伝導度 (σ_w) の関係を表現する概念モデルを導出した。彼らの概念モデルでは、土粒子表面の電気伝導度は無視し、屈曲した流路と直線の毛細管中の透水性の比を基に幾何係数 (F_g) を定義している。

$$\theta_e = \theta - \theta_r \quad (1)$$

$$\sigma_b = \sigma_w \theta_e F_g(\theta_e) \quad (2)$$

ここで、 θ_r は残留水分量である。幾何係数 F_g は土壌水分特性と関連付けられている。

$$F_g(\theta_e) = \frac{K_{soil}(\theta_e)}{K_{cap}(\theta_e)} = \theta_e^\beta \frac{\left[\int_0^\theta \frac{1}{h(x)} dx \right]^2}{\int_0^\theta \frac{1}{h(x)^2} dx} \quad (3)$$

ここで、 h は圧力水頭、 $\theta = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ で有効飽和度、 θ_s は飽和体積含水率である。 β は土壌間隙の相関と屈曲度の影響を表現するパラメータである (Mualem, 1976)。土壌水分特性を冪関数と仮定すると、

$$\sigma_b = \sigma_w \frac{\theta^{\beta+2}}{\theta_s} \quad (4)$$

を得る。Mualem and Friedman (1991) は、土壌水分特性データが得られていない場合、 $\beta = 0.5$ を使用することを勧めている。

2.2 実験方法

供試土として黒ボク土、豊浦砂、島尻マージの攪乱土を用いた。2mm 篩通過分を 3 ポアポリリウムの脱イオン水で洗浄した後、風乾して供試した。

* 農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：土壌溶液、電気伝導度、土壌水分特性、間隙構造

電気伝導度を 4~6 段階に調整した KCl 溶液を加えて、土壌水分量を 3~6 段階に変化させた供試土を用意した。各供試土を内径 6.3cm、高さ 13cm のアクリル円筒容器に高さ 11cm まで、出来るだけ均等になるように詰めた。作成した土壌カラムの重量から体積含水率を求めるとともに、TDR 法で σ_b を測定した。その後、遠心分離機を用いて各供試土から土壌溶液を採取し、電気伝導度計を用いて σ_w の測定を行った。

また、黒ボク土は、電気伝導度を 5 段階に調整した KCl 溶液を加えて、土壌水分量と土壌の電気伝導度の関係を求めた。

3. 結果と考察

黒ボク土では、体積含水率が $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ を超えると土壌の電気伝導度の値が増加した (Fig.1)。土壌水分特性曲線から、この水分量は黒ボク土の団粒内間隙と団粒間間隙で水分保持形態が変わる付近に相当することが分かった。このことから、水分量が $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ を超えると団粒間の水が団粒内間隙中の水をつなぎ、液相の連続性が生じたために、電気伝導度が急激に増加したと考えられる。

Mualem and Friedman (1991)が推奨する $\beta = 0.5$ として概念モデルで推定を行うと、水分量が少ない範囲で過小評価、多い範囲では過大評価する結果となった (Fig.2)。 β の値を適切に決めて推定を行うと実測値を再現できた。

本研究で供試した 4 種類の土壌について、有効水分量と概念モデルのパラメータの値を比較すると、黒ボク土と豊浦砂では有効水分量の増加に伴い β の値が増加した。これに対して、島尻マージでは、 β の値が一定でも実測値を再現できた。

今後、土壌水分と β の関係について更に検討する予定である。

[引用文献]

Hilhorst (2000) SSSAJ, 64, 1922-1925. Mualem Y. (1976) WRR, 12, 513-522. Mualem Y. and S.P.

Friedman (1991) WRR, 27, 2771-2777. Rhoades et al. (1976) SSSAJ, 40, 651-655.

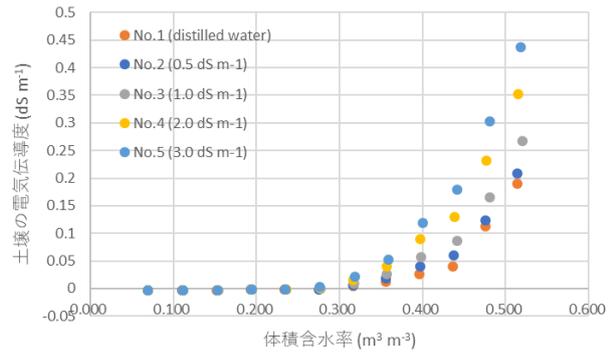


Fig.1 黒ボク土(表層)の体積含水率と土壌の電気伝導度の関係

Relationship between volumetric water content and bulk electrical conductivity for Andisol.

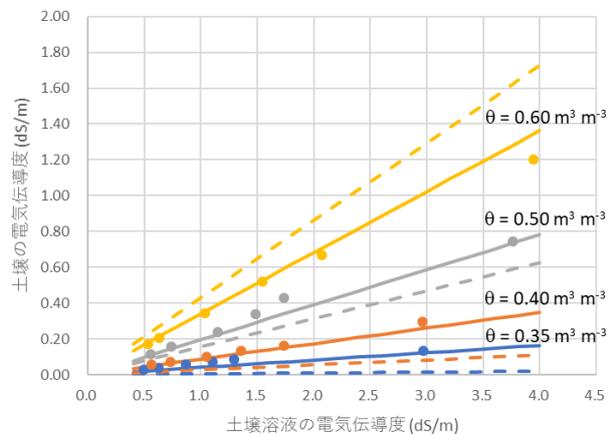


Fig.2 黒ボク土(表層)への土壌溶液の電気伝導度推定のための概念モデルの適用例。点線は $\beta=0.5$ での推定結果、実線は β の最適化を行った結果

Performance of the conceptual model for estimating electrical conductivity of Soil Solution. Estimates with $\beta=0.5$ (dash line) and optimized β (solid line) are shown.

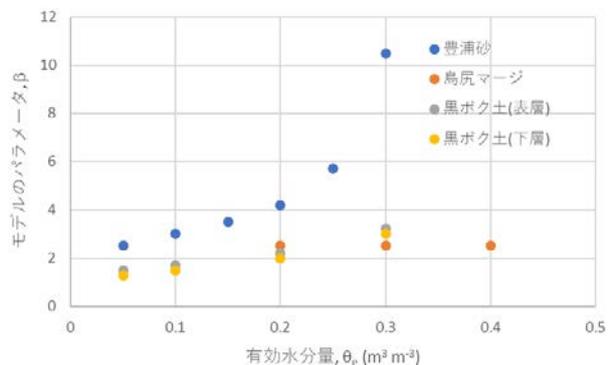


Fig.3 有効水分量と概念モデルのパラメータの関係 Relationship between effective water content and model parameter, β for four soils.