

団粒構造が発達した農地土壌の水分特性曲線の回帰

Regression of water retention curves for highly-aggregated agricultural soils

○ 関勝寿\*・岩田幸良\*\*・柳井洋介\*\*・亀山幸司\*\*

○ Katsutoshi\* Seki, Yukiyoshi Iwata\*\*, Yosuke Yanai\*\* and Koji Kameyama\*\*

1. はじめに

土壌の水分特性曲線の近似では van Genuchten の VG モデルが広く使われているが、団粒構造が発達した黒ボク土のような土壌では、VG モデルを足し合わせる Durner の dual-VG モデルがより適している。本研究では、土壌物理性データベースの作成を見据えて、SWRC Fit (Seki, 2007) の dual-VG モデルによる非線形回帰のアルゴリズムを改良し、その精度を検証した。

2. 方法

日本全国のアスパラガス圃場を中心とした試験圃場から 82 個 (測定継続中) の土壌試料を採取した。供試土壌の土性を図 1 に示す。水分特性 (サクシオン  $h$  と体積含水率  $\theta$  の関係) については、未攪乱試料の毛管飽和から F1.5 までを砂柱法、pF1.8~3.0 を加圧板法、攪乱試料の pF3.5~4.2 を鏡面冷却露点計 (Meter 社, WP4T もしくは WP4C) で測定した。

水分特性の測定データから非線形回帰で表 1 の 3 つのモデルのパラメータを決定した。dual-VG-CH モデルは dual-VG モデルで  $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$  としたモデルである (Seki et al., 2022)。Dual-VG モデルでは、従来は dual-VG-CH モデルのパラメータを初期値とする「CH 法」を用いていたが、水分特性全体を高水分領域と低水分領域に分割し、それぞれの領域を VG モデルで回帰して初期パラメータとする「分割法」を開発し、CH 法と分割法でより誤差が小さい方を dual-VG モデルの解とした。AIC (赤池情報量規準) で標本サイズが有限であることによる修正をした修正 AIC が 3 つのモデルで最小のモデルを最適なモデルとした。

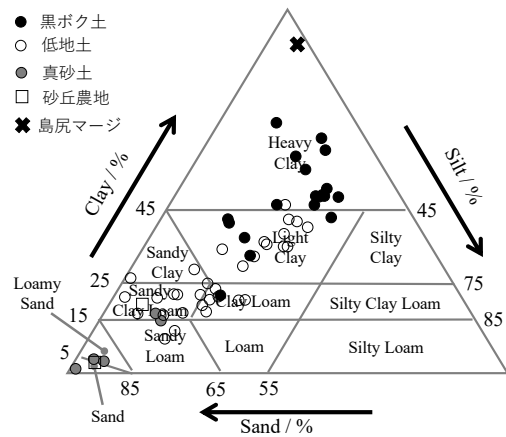


図 1. 供試土壌の土性

Fig. 1. Texture of the soils

表 1. モデル (Table 1. Models)

モデル	式	自由パラメータ数
VG	$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-1/n}$	4
dual-VG-CH	$\theta = \theta_s \left[ w [1 + (\alpha h)^{n_1}]^{-1/n_1} + (1 - w) [1 + (\alpha h)^{n_2}]^{-1/n_2} \right]$	5
dual-VG	$\theta = \theta_s \left[ w [1 + (\alpha_1 h)^{n_1}]^{-1/n_1} + (1 - w) [1 + (\alpha_2 h)^{n_2}]^{-1/n_2} \right]$	6

\*東洋大学 Toyo University, \*\*農研機構 NARO. キーワード: 保水性, 黒ボク土, 非線形回帰

### 3. 結果

全試料の71%にあたる58個の土壌において、dual-VGモデルが最適（修正AIC最小）となった。特に、黒ボク土では35個の中のほとんど（34個）でdual-VGモデルが最適となった。dual-VGモデルが最適な土壌において決定係数は $0.99890 \pm 0.00087$ であり、いずれもきわめて良い近似曲線となった。

Dual-VGモデルでは多くの土壌でCH法よりも分割法でRMSEが小さい解が得られた。CH法と分割法の $\alpha_1/\alpha_2$ を比較すると(図2)、分割法よりCH法で $\alpha_1$ と $\alpha_2$ が近い値になっている。すなわち、CH法では初期値( $\alpha_1 = \alpha_2$ )に近い局所最適解に収束し、 $\alpha_1$ と $\alpha_2$ が離れた解を探索できていない。そのことを、CH法と比べて分割法が良い近似が得られている大仙黒ボク土(図3)の感度解析(図4)によって示す。上の図は $\alpha_1$ と $\alpha_2$ を変化させたときのRMSEの等高線で、CH法と分割法の解を結んだ直線上のRMSE変化を下図に示している。CH法から分割法の解へRMSEが上昇する勾配があり、勾配降下によって分割法の解に到達できないことが分かる。

分割法によってCH法のような適合度の低い局所最適解に収束していないことを確かめるために、それぞれの土壌で24,000通りの初期値から大域的な解の探索をして比較したところ、いずれの土壌においても本研究の手法で大域解とほぼ同様の適合度の曲線が得られることが確かめられた。

### 4. おわりに

本研究の成果はSWRC Fitに実装されているため、Web上で水分特性データからdual-VGモデルの適合度が高いパラメータを簡便に得ることができる。

謝辞：本研究は生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097、代表：柳井洋介)の支援及びJSPS科学研究費補助金(22K05917、代表：岩田幸良)の助成を受けた。

文献：Seki (2007) *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, **4**: 407-437.

Seki et al. (2022) *Vadose Zone J.*, **21**: e20168.

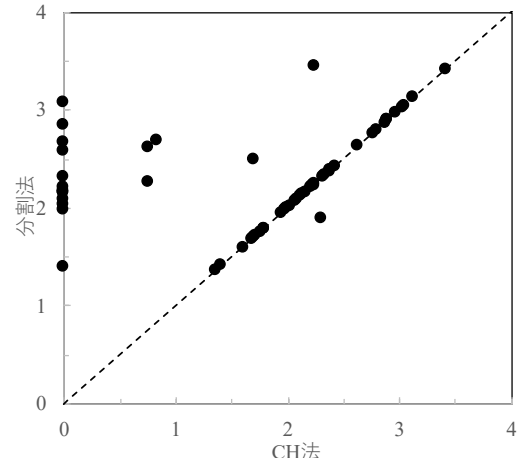


図2. CH法と分割法の $\log_{10}|\alpha_1/\alpha_2|$ 比較.

Fig. 2. Comparison of  $\log_{10}|\alpha_1/\alpha_2|$ .

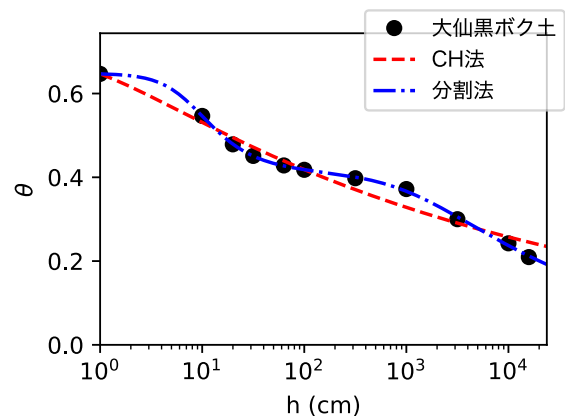


図3 大仙黒ボク土の水分特性曲線

Fig. 3. Water retention curve

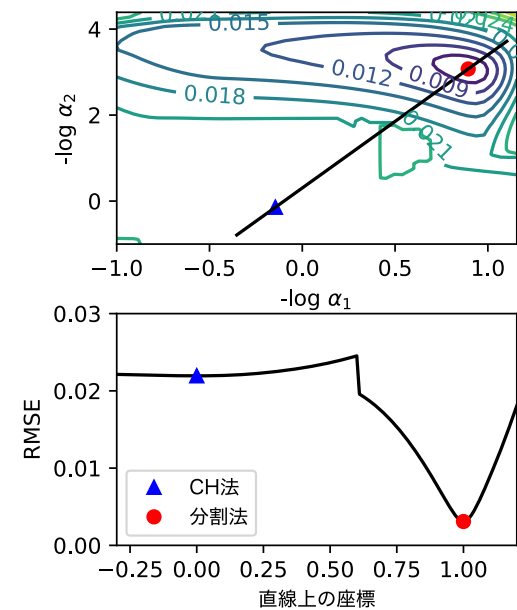


図4 Dual-VGモデル近似の感度解析

Fig. 4. Sensitivity analysis