J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 159, p.103～104 (2025)

水分特性曲線の回帰手法に関する研究を振り返る

関 勝寿 [1]

1. はじめに

土壌の物理性 155 号に掲載された「団粒構造が発達した土壌の水分特性曲線の回帰手法の改良 — dual-van Genuchten モデルのパラメータ決定の自動化に向けた取り組み —」（関ら, 2023）に対して土壌物理学会賞（論文賞）を受賞したご縁で，本稿を執筆することとなった．そこで，名誉ある賞を受賞できたことに感謝し，この研究に至るまでの経験を振り返る．

2. 水分特性曲線回帰プログラムの開発

本研究のきっかけを振り返ると，2006 年に土壌の水分特性曲線を回帰するためのプログラムを開発した時にまでさかのぼる．開発しようと思ったきっかけは，大学院生が van Genuchten（VG）式の回帰に苦労しているのを見たことである．一般に非線形回帰において，適切な初期値を決めることが，経験と勘を要する技となっていた．ここを自動化できないかと考えてそれが可能となるプログラムを作成して，土壌の物理性 105 号に掲載した（関, 2007）．回帰の初期パラメータを与えることなく，VG モデル等の最適なパラメータを自動的に決定できるアルゴリズムは，画期的であると自己評価していた．

その後，Web から簡単に実行できるプログラム SWRC Fit を開発し（Seki, 2007），ユーザーからの要望を取り入れてバージョンアップを重ねた．たとえば，アメリカの地盤工学エンジニアからの要望により，Fredlund and Xing モデルを取り入れた（関, 2019）．水分特性のデータを Web フォームに入れるだけで水分特性パラメータを決定して回帰曲線を確認できるという利便性から，次第に多くの人に使われるようになり，Google Scholar によれば．Seki（2007）は 300 件以上の論文から引用されることとなった．

3. 不飽和透水係数推定の共同研究

SWRC Fit を公開した翌年の 2008 年に東洋大学経営学部に着任した．国立大学から私立大学へ，また理系から文系への環境の変化は大きく，当初は戸惑うことも多かったものの，次第に環境に適応した．授業は環境科学（教養科目）や Python プログラミング，数学や統計学などを担当しているが，学生は私と専門が異なるためゼミや卒論指導は担当せず，一人でマイペースに研究活動を継続していた．その中で，SWRC Fit に関する解説論文を 3 本，本学の紀要に掲載した．1 本目は水分特性関数と透水性関数の関係についてまとめたものである（関, 2017）．

この論文を読んだ取出伸夫氏から，2021 年初めに式の導出過程について詳しい説明を求めるメールを受け取った．これを契機に，メールと Web 会議を通じた共同研究が始まり，議論は白熱し，途中から van Genuchten も加わり（Photo 1），水分特性関数から不飽和透水係数の導出に関する 2 本の論文を国際誌に掲載することができた（Seki et al., 2022; Seki et al., 2023）．また，不飽和透水係数の計算過程については，詳しく記述しておくことが土壌物理学を学ぶ人たちに対して教育的に価値が高いとの取出氏のすすめにより，土壌の物理性 154 号に解説を寄稿した（関・取出, 2023）．取出氏との議論開始から 3 年間でこれほどの成果をあげられたことは，非常に有意義な経験となり，研究を深めるための議論の重要性を再確認した．

この研究過程で，様々なモデルと条件で効率的に不飽和透水係数のパラメータを決定するために，従来の Octave のプログラムから，Python へと開発環境を移して，Python ライブラリの unsatfit を開発した（Seki, 2024）．SWRC Fit は，unsatfit を利用して水分特性曲線を Web でフィッティングするプログラムとして書き直して公開を続けた．



Photo 1 Dr. Rien van Genuchten との記念撮影.

[1] Natural Science Laboratory, Toyo University, 5-28-20 Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112- 8606, Japan. Corresponding author. 関 勝寿, 東洋大学自然科学研究室
2025 年 1 月 8 日受稿　2025 年 2 月 3 日受理

4. dual-VG モデルの共同研究

柳井洋介氏のアスパラガス生産に関わるプロジェクトで，岩田幸良氏が日本各地のアスパラガス圃場の土壌の水分特性を測定して，SWRC Fit の dual-VG モデルで解析をしていたところ，一部の土壌で不自然な曲線が得られることがあり，なぜこのようなことになるのかという問い合わせを受けた．それをきっかけとして共同研究がスタートした．

その研究にあたっては，unsatfit を使った Python プログラムを書くことで，いくつかの回帰アルゴリズムを試行錯誤すること，大量の水分特性データをフィッティングして回帰曲線のグラフを作成すること，多くの初期条件を与える大域探索や感度解析をすること，などが可能となった．そして，dual-VG モデルのパラメータを決めるためのアルゴリズムを改良することに成功し，その研究成果を土壌の物理性に投稿した．閲読者からは多くの有益なコメントをいただいた．このアルゴリズムは SWRC Fit に実装されているため，誰でも簡単に Web から dual-VG モデルのパラメータを精度良く決められるようになった．このように，土壌物理学の基本的な性質である水分特性曲線に対して，より精度の高い推定ツールが提供されることを高く評価していただき，土壌物理学会賞をいただくこととなった．土壌の dual-VG パラメータを決める標準的な方法が確立されたことは，柳井氏のプロジェクトにおいても重要な結果となった．

このような研究成果が出たのは，岩田氏と亀山幸司氏による精度の高い豊富な実験データがあったためである．そして，その実験は柳井氏のプロジェクトの予算によって行われた．このように共同研究によってそれぞれが得意な能力を生かして研究を進めることが，非常に有効であることをこの研究によって確認できた．

また，最近では岩田氏との科学研究費による共同研究で水分特性曲線のヒステリシスを計算する hystfit を作成して Python ライブラリとして公開した．

5. おわりに

このように，水分特性曲線に関するこれまでの一連の研究成果は，公表した論文やプログラムに対する問い合わせがそのきっかけとなっている．公表したものが完全なものではなく，むしろ不完全であったからこそ，議論が生じてさらに良い研究成果が生まれたことを考えると，研究成果はたとえ不完全なものであっても速やかに世に公表することの重要性を認識するとともに，論文やプログラムは公表したところで終わりではなく，その後の議論にこそ楽しみがあることを知ることができた，

私の GitHub ページ https://github.com/sekika では，本稿で紹介した SWRC Fit，unsatfit，hystfit に加えて，UNSODA のデータを閲覧する UNSODA viewer，土壌水分量と EC のデータから Rhoades モデルのパラメータを推定する EC Fit（Seki et al., 2019）などの土壌物理学のプログラムを公開している．プログラムは基本的に MIT License というフリーソフトウェアのライセンスでソースコードを公開している．このたびの土壌物理学会賞受賞を機に，これらのプログラムがより広く活用され，研究や教育の現場で役立てられることで，土壌物理学の発展に寄与することを期待している．

引用文献

関 勝寿 (2007): 数値計算言語 Octave による土壌水分特性曲線の非線形回帰プログラム. 土壌の物理性, 105: 67–78.

関 勝寿 (2017): 水分特性曲線の回帰プログラム SWRC Fit (1) — 水分特性モデル —. 東洋大学紀要自然科学篇, 61: 41–65.

関 勝寿 (2019): 水分特性曲線の回帰プログラム SWRC Fit (3) — 回帰アルゴリズム —. 東洋大学紀要自然科学篇, 63: 29–39.

関 勝寿, 取出伸夫 (2023): 一般化透水モデルによる不飽和透水係数の閉形式解. 土壌の物理性, 154: 19–27.

関 勝寿, 岩田幸良, 柳井洋介, 亀山幸司 (2023): 団粒構造が発達した土壌の水分特性曲線の回帰手法の改良— dual-van Genuchten モデルのパラメータ決定の自動化に向けた取り組み —. 土壌の物理性, 155: 35–44.

Seki, K. (2007): SWRC fit — a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrology and Earth System Sciences Discussion, 4(1): 407–437.

Seki, K., Miyamoto, T. and Iwata, Y. (2019): Estimation of electrical conductivity of a soil solution from the monitored TDR data and an extracted soil solution. International Agrophysics, 33(1): 113–119.

Seki, K., Toride, N. and van Genuchten, M.Th. (2022): Closed-form hydraulic conductivity equations for multimodal unsaturated soil hydraulic properties. Vadose Zone Journal, 21(1): e20168.

Seki, K., Toride, N. and van Genuchten, M.Th. (2023): Evaluation of a general model for multimodal unsaturated soil hydraulic properties. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 71(1): 22–34.

Seki, K. (2024): SWRC Fit and unsatfit for parameter determination of unsaturated soil properties. 東洋大学紀要自然科学篇, 68: 57–79.