



## van Genuchten 博士のウルフ賞受賞を祝して

取出伸夫<sup>1</sup>

Celebrating Dr. van Genuchten's Wolf Prize

Nobuo TORIDE<sup>1</sup>

本年度のウルフ賞 (Wolf Prize) の農学分野に van Genuchten 博士が選出された (<https://wolffund.org.il/2023/02/07/martinus-th-van-genuchten/>)。本年度は、医学 1 名、農学 1 名、数学 1 名、化学 3 名、芸術 2 名の計 8 名の受賞であった。本学会員の多くの皆さんもお世話になっている van Genuchten 博士には、この場を借りて心から祝福したい。日頃、農学のメインストリームから少し外れた立ち位置の土壌物理学をむしろ好んでいる私にとっては、正直、農学のノーベル賞とも言われるウルフ賞に土壌物理学から選出されたこと自体が驚きである。それほど van Genuchten 博士の業績が傑出していて、また周辺分野の方々にも認められている証なのだと思う。受賞理由は上記サイトに記載されている。本来ならば、van Genuchten 博士から受賞に際してのメッセージを頂きたいところであるが、150 号記念特集では土壌物理学への思いを書いて頂いた (van Genuchten, 2022)。そのエッセイを私なりに解釈しながら、van Genuchten 博士 (以下、博士は省略) の業績を振り返り、研究の特徴や土壌物理学への貢献などの私見を述べる。多くの業績は、<http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?rien-van-genuchten> から得られる。また、関連して取出 (1996; 2015) も参照頂ければ幸いである。

van Genuchten の研究は、New Mexico 州立大学の博士時代の土中の溶質移動、Princeton 大学の George Pinder 博士のポストドク研究員時代の不飽和水分移動モデル、その後の U.S. Salinity Laboratory (USSL) 時代の水分・溶質移動モデルの発展に大別される。Princeton 時代の Mualem - van Genuchten モデル (以下 VG モデル) があまりに有名であるため、相対的に溶質移動研究はあまり知られていないが、ご自身の研究としては溶質移動に最も時間を割かれている。博士論文では、農薬の土カラムの移動実験に対して、移流分散式 (CDE) と非平衡 CDE の動相・不動相モデル (MIM) の解析解を用いた解析を行った。溶質の吸着特性を把握するためのトレーサーとしてトリチウム濃度を測定したこと、また MIM

による解析、さらに吸着に時間を要する非平衡吸着の検討を行ったことは、特筆すべき業績である (取出, 2015; 2023)。

Princeton 時代は 3 年間と短い、van Genuchten の当時を知る旧友と話す機会に同席すると、夕方になるとビールを飲みはじめ、夜中までコンピュータの前に座っていたという話を何度か聞いた。研究テーマは不飽和土中の水分移動モデルの構築であったが、その副産物が VG モデルである。当時は、ご自身も水分保持曲線の空気侵入圧付近を滑らかな曲線で表現できる関数に対して、Mualem の不飽和透水係数モデルの解析解を得たくらいの認識であったようである。不飽和透水係数モデルの積分を解く過程で、導出を難しくしている項の指数部をゼロにする仮定を置いているが、物理的な根拠はなく、論文にはそれ以上の新しいアイデアは見当たらない (関・取出, 2023, (18) 式)。ただし、もし私が導出する過程でこの仮定を思いつけるかと言えば、おそらく難しいと思う。van Genuchten (2022) では、Jacob Dane 博士の強い勧めで van Genuchten (1980) として論文とすることができ、その後の研究生活が大きく変化したことを、「I became the presumed expert about multiphase soil hydraulic properties, Pc-S curves, residual water contents, pore-size distribution models, and so-on (which I never felt relative to the pesticide transport work I did for my PhD.）」と書かれている。もちろん、van Genuchten (1980) は、論理の展開が明解で、閉形式解の誘導過程のみならず、van Genuchten の研究志向を知る上でもすばらしい論文である。

Princeton 時代に習得した技法に最適化手法の Levenberg-Marquardt 法がある。パンチカードで Fortran を書いていた時代に、土壌物理学の分野で最初に最適化手法を導入したのは van Genuchten と思われる。おそらく、博士時代の溶質移動実験の MIM による解析の際に、パラメータ推定手法の必要性を痛感したことが理由なのであろう。その後、VG モデルのパラメータ推定プログラム RETC、CDE のパラメータ推定プログラム CXTFIT、また HYDRUS における VG モデルのパラメータ推定にはこの最適化手法が用いられた。

<sup>1</sup>Graduate School of Bioresources, Mie University.  
2023 年 6 月 29 日受稿 2023 年 7 月 3 日受理

このように振り返ると、van Genuchten の研究の方向と手法は、博士時代とポスドク研究員時代に培われたと感じる。ご自身も研究者としてスタートする時期の重要性を痛感されていて、van Genuchten (2022) では、現在の若い研究者が常に忙しく、その上、多くの論文を書くことが求められる状況を憂えて、「Still, one thing that worries me is the stress that all this causes on especially young scientist in the academic world. When I started my career, one good peer-reviewed publication per year was thought to be sufficient in many places.」と書かれている。

私は、ポスドク研究員として非平衡 CDE の解析解の整理を行った際に、van Genuchten の博士時代の手書きのノートを書き写すことを行った。私にとってこの作業は、ラプラス変換を用いた CDE の解法を学んだこと以上に、van Genuchten の研究姿勢を知ったことが収穫であった。van Genuchten (2022) には、このノートの作成に対して「I remember needing a lot of time and patience to mathematically verify and program those functions correctly.」と書かれている。私は、van Genuchten が天才肌の人ではなく、毎日の努力の人であることを知ることで、私でも貢献できることがあると前向きになれた (取出, 2015)。解析解の導出と確認の作業は、周囲の人から見れば単調で地味な作業に見えると思うが、「I was extremely fortunate in that I could work nearly always on the conceptual-mathematical part of things, with lots of help from others. I enjoyed things so much that there was no difference for me in working and studying a particular topic at work, or playing with the problems at home on my free time.」とも書かれている。人それぞれ研究テーマと手法は異なるが、この楽しく夢中になれることを見つけることが、研究者としての発展には必要不可欠なのであろう。

USSL 時代の 1980 年代は、van Genuchten 自身が水分・溶質移動モデルを発展させた。そして 1990 年以降は、ポスドク研究員や訪問研究員との共同研究が増え、その後は、現在に至るまで、生涯現役として活躍されている。これは、ご本人の能力、人柄、研究志向や土壌物理への思いなどの賜物なのだと思うが、私が考える特筆すべき点を以下に挙げてみる。

van Genuchten の特徴は、研究論文のみならず、多くのレポート、プログラムのマニュアルを書いている点である。この点は、ウルフ賞の受賞理由にも、「He not only published hundreds of scientific journal papers but wrote user manuals of his many computer programs now being used worldwide.」と書かれている。今でも引用されることが多い CDE の解析解をまとめた van Genuchten and Alves (1982) は、文章、数式のすべてがタイプライターの手打ちであるが、私がほぼすべての解を確認したところ、小さなミスも見つけられなかった。van Genuchten (2022) には、数学の公式集で最も広く用いられている Abramowitz and Stegun (1970) のミスプリントを見つ

けたエピソードが書かれているが、几帳面で丁寧な姿勢が質の高いレポートを生み、それが信頼されて広く利用されるのだと思う。

研究論文に用いるプログラムは、論文に用いた特定の条件に対応すれば良いが、汎用化して公開するプログラムは、幅広い条件に対して高い完成度が求められる。加えて、マニュアル作りは、非常に手間のかかる作業であるが、通常は業績にはならない。しかし、1980 年代に van Genuchten が書いたマニュアルは、モデル、パラメータ、プログラムなどが丁寧に整理されていてとても読みやすい。また、すべてがハードコピーであった時代に、リクエストがあれば世界中にマニュアルを送る経費も大変であったと思う。こうした努力が実を結び、USSL のプログラムは広く用いられるようになった。その後、ポスドク研究員らによりプログラムやマニュアルは改訂されていき、Jirka Šimůnek に引き継がれた HYDRUS は、土中の水分・溶質移動プログラムの標準ツールへと発展した。そして、水分移動特性モデルとしての VG モデルは、さらに広く用いられるようになった。

私は、1991 年から 1994 年に USSL に滞在したが、Jirka Šimůnek らの他のポスドク研究員が数値解析に取り組む中、Feike Leij と CDE の解析解に基づく逆解析プログラム CXTFIT の改良に取り組んだ。私の仕事の進展が遅かったこともあり、van Genuchten からは、「信頼できる解析ツールを提供することは、いくつかの論文を書くことよりも貢献は大きい」と何度も励まされることが思い出される。当時ですら「今さら解析解?」という雰囲気はあったが、その後、解析解に取り組んだことを自分自身の強みとすることができ、また CXTFIT を通して多くの研究仲間とも知り合うことができた。私にとっては、van Genuchten との出会いが財産である。

VG モデルに関連しては、不飽和透水係数に関する国際シンポジウムを 2 回、リバーサイドで開催している。1989 年に「Indirect Methods of Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils」と題して開催したシンポジウムは、15 カ国から 120 人、1997 年に「Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media」と題して開催したシンポジウムは、20 カ国から 220 人が参加した。それぞれのプロシーディングは、van Genuchten と Feike Leij が編集して、著者ともやりとりして校正を行ったが、非常に丁寧な作業に出版が遅れた記憶がある。こうした努力が、今でも不飽和水分移動特性に関する情報が van Genuchten に集まる理由なのであろう。このプロシーディングは貴重な資料であるが現在は手に入れることが難しいので、近いうちに pdf 化して冒頭に示した業績リストに加えてもらう予定である。改めて読み返してみると、今でも参考になるものが多いので、お時間のあるときに一読して頂きたい。また、卓越した編集能力は、2002 年に刊行された Vadose Zone Journal (VZJ) の初代編集長として 10 年近く発揮された (取出, 2015)。VZJ の現在は、van

Genuchten の貢献がなければ達成されなかったことは間違いない。

以上振り返ると、今更ではあるが、van Genuchten ならではの貢献を 50 年以上にわたり続けてきたことを再確認できる。土壌物理学からのウルフ賞には、van Genuchten しかいないと言い切っても良いと思う。私はお世話になった年月を通して、van Genuchten が好きなことに集中して取り組む姿をみてきた。また、若い研究者を育てながら究極的には土壌物理学に貢献することに重きを置かれていると感じてきた。その結果、自然と van Genuchten の周りには人が集まり、多くの業績が生まれてきたのだと思う。関連して、「大きなプロジェクトはトップに立つ研究者の業績にはなるが、若い人材を育てない」とよく言われていた。現在、我が国でも研究の重点化が進められていて、拠点となる研究機関に大型予算が配分されるようになってきている。土壌物理学学会だけでこの流れは止められないだろうが、大型予算が若い人材の育成に役立っているかは会員の皆で考えることはできると思う。van Genuchten (2022) に書かれている思いにそのヒントはあると思う。また、拙稿が少しでも参考になれば幸いである。

## 引用文献

- Abramowitz, M. and Stegun, I.A. (eds.) (1970): Handbook of mathematical functions. Dover, New York.
- 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.
- 取出伸夫 (1996): 南カリフォルニアでの 4 年間 Salinity Laboratory での滞在を振り返って. 土壌の物理性, 73: 59–61.
- 取出伸夫 (2015): Nielsen 博士と van Genuchten 博士との出会い. 土壌の物理性, 131: 1–4.
- 取出伸夫 (2023): 不均一な土中の溶質移動と動相不動相モデル. 地下水学会誌, 65: 167–176.
- van Genuchten, M.Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44(5): 892–898.
- van Genuchten, M.Th. and Alves, W.J. (1982): Analytical solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute transport equation. Techn. Bull. 1661, p. 151. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.
- van Genuchten, R. (2022): The evolving world of soil physics. 土壌の物理性, 150: 7–10.