J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 163, p.57 ～ 58 (2026)

書　評
Book review

豪雨災害の水文学：流域治水に必要な流出モデルのパラダイムシフト

谷 誠［著］
鹿島出版会　2026 年 5 月 25 日発行
A5 判 272 頁 ISBN978-4-306-02528-8 定価 3,300 円［本体 3,000 円＋税］

本書は，森林水文学を専門とする著者が長きにわたる自身の研究を振り返り，「流域全体の流出現象を微視的な物理法則に基づいて整合性をもって理解する（p. 17）」ことを目的に書かれている（以下，括弧内は本書の該当箇所）．そのため，流出現象のメカニズムに関する総説というより，著者の長年の研究に基づく主張の性質が強い．冒頭に，流出モデルに関するパラダイム変換を要請する本書に対して，「違和感を持たれたり，反論したりしたい方も多いのではないか」と述べられ，そこから始まる議論を期待されている（p. 6）．言い換えれば，本書は，将来を担う水文学の研究者，技術者，学生への著者からのメッセージと宿題である．また，「豪雨災害」に対する水文学の重要性が増す現在，様々なタイムリーな題材の提供である．とりわけ，土中の飽和 · 不飽和水分移動の重要性に関しては，今後，土壌物理学が向き合うべき課題である．

複雑な自然現象を対象にする研究において，モデルとメカニズムに対して 3 種類の対応がある（p. 263）．1 番目は，メカニズムは複雑なので，割り切ってモデル開発に専念する，2 番目は，できる限りの現場の観測を行い，その説明にモデルを用いる，そして 3 番目は，モデルとメカニズムの整合性を目指す立場である．3 番目は優等生であるが，建前で終わったり，中途半端に終わると，「不要に複雑なモデル」と批判されたりもする．著者は 2 番目の立場で現場の観測に向かいながら，常に 3 番目の立場を追い求めて来られたのかと思う．私も 3 番目の立場を目指しているつもりだが，いつも複雑な現象から主要なプロセスを見極める難しさを痛感している．

2 部構成の第 1 部の「水害 · 土砂災害をもたらすメカニズムとその発生予測」では，洪水流出予測とメカニズム解明に挑戦してきた水文学を振り返り，鉛直不飽和浸透の重要性を示す．そして，流出モデルと流出メカニズムの整合性を目指した VZ（vadose zone）モデルが提案される．第 2 部の「水文学的定常論序説」では，雨水の流出現象における定常状態に注目し，タンクモデルの物理的根拠や，流域条件の流量に及ぼす影響に関する最新の研究が示される．示されている個々のモデルに関する理解には多くの原著論文の参照が必要であり，現段階では私の理解が及ばない点も多い．しかし，以下，私の理解に基づく範囲で印象に残った点を，順に示させて頂く．

第 1 章は，洪水流と基底流からなる流量の時間変動であるハイドログラフから始まる．このハイドログラフは，どこをどのように水が流れたかを示していない．雨水が流れる空間の構造が把握できていない上，その空間が不均質であることが，流出のメカニズムの解明を難しくしている．一方，自然に形成された山地小流域の空間不均質性は，ランダムに不均質ではなく（p. 27），長い時間をかけて形成された「必然性のある構造」である（p. 137）ことが指摘される．この洞察力が，著者の一連の研究の根底にあると感じさせられる．

2.2 節では，流出モデルにおける「割り切った発想」の重要性を指摘する．戦後我が国では，大規模台風による水害をたびたび経験したことより，精度の高い流出応答に特化した研究が進められた．そして，世界的にも先駆的な役割を果たしたタンクモデル，貯留関数法，キネマティックウェーブ法が進展したことが紹介される．前述の典型的な 1 番目のアプローチである．特に土壌物理の方々は，タンクモデルは単純な構造で，陽には土中水分移動を考慮しないにもかかわらず，流出曲線によく適合することに違和感を覚えているのではないかと思う．著者にとっても，タンクモデルが流量予測の国際コンクールで優秀な成績を収めた理由を考えることが，研究の出発点となる．すなわち，本著の目的である「流出現象を微視的な物理法則に基づいて整合性をもって理解すること」が著者のライフワークとなる．

2.12 ～ 14 節に示される鉛直不飽和流の重要性を示す観測と考察，また不飽和流れでは大きな間隙は水で満たされず，選択流は起こりにくいこと（p. 66）を踏まえ，一次元飽和浸透量で流出強度を与える VZ モデルを提案

2026 年 6 月 15 日受稿　2026 年 6 月 16 日受理

する（p. 95，図 4. 2）．VZ モデルでは，流域における流出において，表層土層の鉛直不飽和浸透が支配的であると仮定する（図 2. 13）．そして，土層のローカルな不均質性は考慮せず，平均的な保水性，透水性を用いた一次元リチャーズ式で浸透を評価する．ただし，斜面位置により土層長さと初期水分は異なる．乾燥した土層への浸透に比べ，先行する降雨により初期水分の高い土層への大雨による浸透では，浸透前線がより速やかに下端に到達し，土層底面からの排出が始まる（図 3. 4）．さらに，この鉛直浸透による土層底面の排出量の合計が流出流を与えると仮定する．本書でも繰り返し述べられている流域の複雑さを考えると，VZ モデルの単純さには驚かされる．

4. 3 ～ 8 節では，VZ モデルの現場観測データに対する妥当性を確認し，4. 9 節では妥当性を与える理由が考察される．第 5 章では，VZ モデルの前提となる地下水の速やかな排水構造が形成される経過を考察する．水と土の移動は多様な時間スケールで様々な相互作用を及ぼし合っている．これらの相互作用を理解することで，山地斜面の崩壊発生現象がより的確に理解できる．しかし，残念ながら不飽和浸透の重要性以外の詳細は私には難解であった．

ところで，本書の初期水分量による浸透前線の違いを示す図 3. 4 は，「土壌の物理性」における取出ら（2010）の解説の Fig. 3 に等しい．厳密には表面の境界条件がフラックス一定と圧力一定で異なるが，初期水分量が大きくなると，ダルシーフラックスの重力成分が相対的に大きくなること，また前線の下方への移動速度が速くなることは同じである．森林土層の透水性が比較的高いこと，また降水の多い我が国では，土層が乾燥することは少なく，比較的水分量が高いことが，VZ モデルが適用できる理由と推察される．

関連して，流出水が雨の「新しい水」か土中に存在していた「古い水」かの議論がある（p. 32）．水文学では古くから有名な問題である．同位体測定から洪水流は「古い水」に占められていることが明らかになっていくが，雨の流出メカニズムの解明に至っていないため，その後も水文学において長く議論の対象となったことが紹介されている（2.11 節）．溶質移動から土壌物理に入った私にとっては，水分移動に対しても，水分子をトレーサーの移動と考える習慣があり，個人的にはこの議論は不思議に思えていた．すなわち，水の浸透も水分量のみならず，リチャーズ式と溶質移動式と合わせて考えるべき問題である．溶質移動に広く用いられる移流分散式は，「新しい水」と「古い水」の完全混合を仮定する（ジュリー · ホートン（2006）における図 7. 18）．もちろん現実には完全混合にはならず，不完全な場合は，分散係数が見かけ上観測スケールに依存して大きくなることが，1980 年後半から地下水学や土壌物理学における溶質移動の問題として議論されていた．分野が違えば視点も異なるのは当然だが，もし適切な交流があれば，違う展開もあったのではないかと感じさせられる．

後半の第 2 部では，著者の最新の研究が紹介される．図 6. 5，6. 6 の水分分布の変化を用いた貯留関数法に対する議論をみると，土壌物理的なアプローチの必要性が理解できる．また，斜面中の水移動に関する研究（たとえば宮崎，2000）など，土壌物理からの貢献の可能性を感じさせられる．第 2 部で頻繁に出る「定常」,「準定常」は，おそらく重力項が卓越した不飽和水分移動が要因であると推察されたが，厳密な定義はつかみきれなかった．今後，議論されるべき点なのかと思う．

その他，本書中で印象に残った表現に，「現場観測に基づくボトムアップ的研究」と「法則の一般性から観測の多様性を理解しようとするトップダウン的研究」がある（p. 51）．冒頭に示した，それぞれ 2 番目と 3 番目のアプローチが対応すると思う．複雑な現象に対するトップダウン的研究は，検証（validation）が困難な場合が多く，「いったもの勝ち」になりやすい（p. 51）．おそらく，自戒を込めて書かれた一文と思われる．私は，どんなに複雑なモデルも自然現象よりはるかに単純であり，厳密な検証は多くの場合において不可能であるが，モデルは複雑な因果関係を正しく理解するためのツールと考えている．また，VZ モデルが流出現象を的確に表現できるならば，その適用条件を明確にすることがモデルの役割であろう．皆さんには，著者の研究姿勢に刺激され，著者からの宿題を土壌物理の視点から大いに議論して頂きたい．

引用文献

ウィリアム ジュリー · ロバート ホートン（取出伸夫監訳）(2006): 土壌物理学 ～ 土中の水 · 熱 · ガス · 化学物質移動の基礎と応用, p. 377. 築地書館.

取出伸夫, 渡辺晋生, 森崎大樹 (2010): 土中への水の浸潤 2. 初期水分量の及ぼす影響. 土壌の物理性, 114: 71–79.

宮崎 毅 (2000): 環境地水学, p. 196. 東京大学出版会.

取出伸夫（三重大学生物資源学研究科）