

選択流の発生と浸潤現象の不安定化



佐賀大学 農学部 教授
長 裕幸

研究の背景

土壌内への水の浸潤は、自然界における最も基本的な現象の一つですが、「選択流」と呼ばれる不均一な流れの存在は、解析結果が観測値と整合しない一つの理由を形成し、その現象の多様性、局所性、非視覚性等により、研究者にとっては検証が難しい問題として位置づけられています。その中で、一見、安定した流れが起こりやすそうな均質な土壌ほど生じやすいとされる「フィンガー流」の不思議に魅せられ、1990年代から研究に取り組んできました。「フィンガー流」は一般的な物理現象ですが、特に土壌においては、水分が手の指のように選択的に水ミチを形成して流れる現象のことで、現在、6種類の発生条件が明らかにされています。すべての発生の原因は、浸潤が不安定化することであり、そのときに現れる圧力の逆転現象に関する理論的な説明は非常に限定的なものでした。

研究の成果

様々な実験条件の下でフィンガー流を発生させ、土壌内部の圧力分布を測定していくうちに、圧力の逆転現象は、ある条件下においては、再現的に安定して生じることが明らかになり、基本的な浸潤現象の一つであるとの確信を得ました。そこで、既存の浸潤方程式からの導出を試行し、最終的に最もシンプルな鉛直次元のダルシー則¹⁾を用いて表すことに成功しました。この理論式は、過去、海外で報告されてきた実測値を正確に再現することができました。この式で使われているパラメータは、地表における浸潤フラックスの

値、浸潤域内の透水係数及び浸潤前線の動的水分浸入圧の3個であり、解のシンプルさからその適用範囲は非常に大きいと思われ、現場における不安定化した浸潤時におけるフィンガー流の観測、予測、コントロールといった展開を可能としています。

今後の展望

選択流は、土壌内部の目の見えないところで発生する研究者にとっては厄介な現象です。しかし、実際に問題となるのは水分そのものではなく、それに伴って移動する溶質、ガス、微生物といった中身です。現在、溶質に焦点を絞って、面的な水分・溶質の測定値に及ぼす選択的な流れの影響評価や、圃場においては、植物根による選択的なイオンの吸引が存在したときの浸潤に伴うイオンの移動といったテーマについて、選択流の知見に基づき、研究を進展させようと考えています。

関連する科研費

平成18-20年度 基盤研究(C)「不安定な浸潤とフィンガー流の発生に関する総合的な理論の構築に関する研究」

平成21-23年度 基盤研究(C)「圃場における面的土壌水分に関する測定法の開発及び物理的推定法の提案」

平成25-27年度 基盤研究(B)「塩害農地のファイトレメディエーションに対する土壌物理学的展開に関する研究」

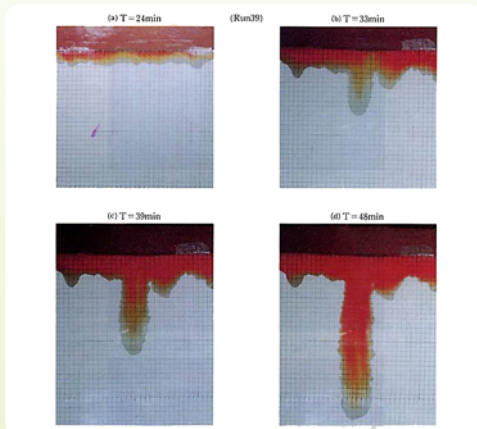


図1 上層が細土、下層が粗土の成層土壌条件下におけるフィンガー流発生の写真。溶質は赤インクを使用、Tは浸潤開始後の時間。

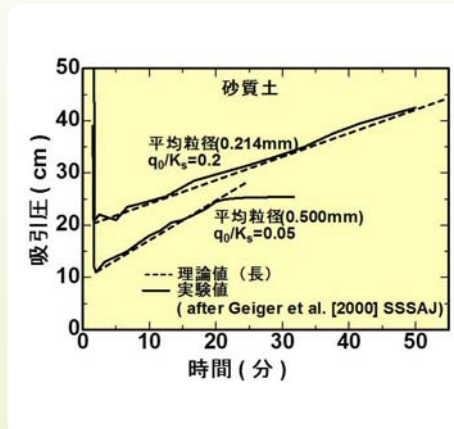


図2 砂質土における、不安定化した浸潤中の実験値と理論値との比較。吸引圧は負圧で、浸潤が進行するにつれて土壌中のある測点における負圧が大きくなる様子が表されている。図中 q_0 は浸潤フラックス、 K_s は飽和透水係数。

1) 1856年H.Darcyによって実験的に発見された粒子層中の透過水量に適用される法則。浸潤フラックスが圧力勾配に比例し、その比例係数を透水係数と定めた。

(記事制作協力:科学コミュニケーター 上田 裕美子)