

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	キ リ ル ミ ロ ノ ビ ッ チ ゲ ル ケ Kirill Mironovich GERKE
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 20 年 11 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
(学 位 論 文 題 目) Visualization and Quantification of Preferential Flow Paths in Forested Hillslopes 森 林 斜 面 に お け る 選 択 的 透 水 経 路 の 可 視 ・ 定 量 化	
論 文 調 査 委 員	(主 査) Roy C. Sidle 教 授 千 木 良 雅 弘 教 授 石 川 裕 彦 教 授

(論文内容の要旨)

土壌中に存在する選択的透水経路は、土壌中の水移動に重要な役割を果たすものとして注目されてきており、河川の水flow発生機構、洪水軽減、斜面安定度の評価時などには重要な検討項目となる。本研究では、水文学的に重要な機能を有する土壌表層部不飽和帯の選択的透水経路を可視化しその形態を定量化するために、蛍光染料であるウラニンをを用いた各種実験・調査を行っており、その内容は室内実験、野外調査、および浸透現象のモデル化の3部から構成されている。

まず、室内実験では、pH に対する蛍光強度を正しく補正できる溶液 pH に対する最大吸収波長の時にウラニンの蛍光強度を計測しなければならないこと、0~2g/L のときのウラニン溶液では森林土壌での吸着平衡がフロインドリッヒの等値線によく一致すること、ウラニンの吸着は土壌の下部より表層部で大きいこと、溶液 pH の上昇により吸着率が大きく減少すること、すなわちウラニン吸着率の減少をモデル化するためには補正を最小にする必要があることなど、ウラニンの挙動に関する基本的な特性を明らかにし、以下の野外観測結果を理解するための基礎知見とした。

野外調査では、ウラニン溶液を 1×1 m の斜面に散布した後、断面を掘削して夜間に紫外線を当てデジタルイメージを作成・解析することで、不飽和帯における選択的透水経路の可視化と定量化を行った。また、透水経路の3次元分布パターンを見出すため、ウラニン散布域を 1~20cm ごとに掘削してその分布を調査した。これらの調査方法は安価で簡易であることが利点であり、透水経路を定量化するための適用度や正確性を改良するものである。また、これらの方法は、選択的透水経路を明らかにするだけでなく、土壌中でのウラニンの集積の評価にも用いることが可能である。野外調査ではさらに、ウラニン染色域と非染色域の土壌サンプルを採取し、透水係数を計測したが、大きな差は見出せなかった。また、土壌表層 5~10cm には斜面に平行なバイオマットフローが確認された。

浸透現象のモデル化では、リチャーズ式と移流・拡散方程式を組み合わせて、計測されたウラニンの吸着パラメータを用いて、ウラニン運搬の3次元モデルを作成した。このモデルは溶液侵入の最大深と溶液の集積現象をかなりよく表現したが、土壌中の不均質な染色パターンやバイオマットフローについては表現することが不可能であった。

本研究は野外土壌中でのウラニン運搬に関しては最初の試みであり、実際の染色パターンとは異なる結果である。染色域と非染色域の透水係数になぜ大差がないのかということも含めて、複雑な染色パターンとバイオマットフローをいかにモデル化する化という問題に直面したが、浸透理論は斜面土層における選択的透水経路を明らかにするための可能性がある手法である。

氏 名

キ リ ル ミ ロ ノ ビ ッ チ ゲ ル ケ

Kirill Mironovich GERKE

(論文審査の結果の要旨)

Kirill Gerke 氏の研究は、環境地球科学と不飽和帯水文学の分野に新しい幾つかの重要な貢献をしたものとして評価される。この研究は、土壌における不均質な水流動経路の空間的パターンを明確にただけでなく、様々な選択的透水経路の相対的な透水強度を評価するために、土壌に散布した蛍光トレーサーの濃度分布の定量に関して新しい方法を開発した。まず、室内実験により、土壌での吸着によるトレーサーの損失量が定量され、散布溶液の pH における蛍光強度（最大吸光波長で測定）を正確に更正する必要があることが判明した。この更正手法の発見に到達するまでには多大な労力を要している。野外での土壌染色試験では、森林土壌における斜面に平行な選択的透水経路に関して興味深い流動パターンが示された。すなわち、近年、野外水文学の観測から報告されている、地表面付近におけるバイオマットフローの存在の可能性を示唆するとともに、バイオマットフローと鉛直または深部の斜面方向への選択的透水経路との強い関連を示す結果でもあった。選択流の不均質な分布パターンはほんのわずかに目視確認できる程度の土壌間隙により生じており、より大きな土壌間隙は選択流の発生には影響していなかった。これらの流れの土壌深部方向と斜面側方への相対的な流動状態は、リチャーズ式および移流・拡散モデルを融合させたモデルからよく再現された。一方で、流れのパターンの複雑さはモデルでは表現できなかった。つまり、土壌が染色された部分とされなかった部分では、異なるであろうと考えられていた透水係数がほぼ同じであったため、土粒子サイズまで低下するような小さいスケールの水文過程が選択流の挙動を規定している可能性があるということが、モデルの結果から示唆された。すなわち、詳細な選択流のパターンを捉える際には、典型的なリチャーズ式に基づいたモデル化の手法が必ずしも有効ではない可能性があることが示された。このことは、水文学における不飽和帯水流動のモデル化においてもきわめて大きな意味を持つという、重要な指摘になっている。

総括すると、研究構成の独創性、発表の能力とこの件に関連した質問に対する回答、まとめられた論文内容に基づき、Kirill Gerke 氏の論文は博士の学位論文としてふさわしい水準に達している。論文に対しては、幾つかの修正要望が出されたが、修正はすでに終了しており、最終提出前に調査委員会によりチェックされている。

以上の理由により、調査委員会は全会一致で Kirill Gerke 氏の論文が博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。また、論文内容とそれに関連した事項についての諮問も合格と認めた。