

土壌の水分状態が溶質移動パラメーターのスケール依存性に与える影響

Effect of soil moisture condition on scale dependency of solute dispersion coefficient

石川 重徳*, 西村 拓**, 加藤 誠**

Shigenori Ishikawa*, Taku Nishimura**, and Makoto Kato**

はじめに

2003年の土壌汚染対策法の施行により、近年土壌汚染に対する関心が社会で急速に高まりつつある。土壌汚染については、進行状況の予測と修復技術の確立が最優先課題とされている。これらの課題に着手する時、土壌内において汚染物質がどのように移動しているのかを正確に把握することが重要である。土壌内の溶質移動を検討・予測する場合、いくつかの溶質移動パラメータを用いる。近年、これら溶質移動パラメータの値が測定スケールに応じて変化するという報告がされている。スケール依存性と呼ばれるこの現象は、土壌内の溶液の流れ方が位置により変化することが原因とされている(Zhang, 1994)。

既往の溶質移動のスケール依存性に関する研究の多くは飽和状態の土壌を扱ったものであり、不飽和状態について検討したものは少ない。また、実験試料においても、間隙径(粒径)分布の幅が狭い砂質土壌を用いたものが多く、間隙径分布の幅が広い、構造を持った土壌を使用した例は少ない。

そこで、本研究では土壌が飽和から不飽和に移行する過程において、水分状態が溶質移動パラメータのスケール依存性にどのように影響するのかを観察した。実験試料に砂質土壌と黒ボク土壌を用い、間隙径分布幅の違いがスケール依存性に与える影響についても検討した。尚、溶質移動パラメータの検討には、分散係数(D)に注目した。

実験方法

供試土として豊浦砂と黒ボク土壌(東京農工大FSセンター内)の2種類の土を用いた。黒ボク土壌は、採取後、3mm篩いを通過したものをを用いた。豊浦砂は、実験前に蒸留水で十分に洗浄したものを供試した。

各試料は内径4cm・高さ46cmのアクリルカラムに乾燥密度がそれぞれ 1.55g/cm^3 と 0.60g/cm^3 となるように均一に手で充填した。

カラムには土壌内における溶液の電気伝導度(EC)を測定するために、4電極センサーをカラム上端より4.5cm, 16.5cm, 28.5cm, 40.5cmの位置に挿入した。また、土壌内の水分状態を測定するためのテンシオメーターを、4電極センサーの反対側の位置に各々1cm下方に挿入した。4電極センサーおよびテンシオメーターの出力値はデータロガー(Campbell Science 製 CR10X)に蓄積し、その後PCを用いてデータを処理した。

初め、各試料を 0.01mol/L の CaCl_2 溶液で下方から徐々に水位を上昇させることにより飽和させた。その後、カラム上端より定量ポンプで 0.01mol/L の CaCl_2 溶液を所定のフラックスで流下させ、土壌内に定常流れが生じた後、溶液濃度を 0.1mol/L に切り替えた。溶液の供給速度は、豊浦砂で $1.1 \sim 6.4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 、黒ボク土で $1.2 \sim 6.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であった。切り替え直後からのEC値と予め作成した校正曲線をもとに溶液濃度の経時変化を求め、濃度と時間の関係を、STANMOD(US Salinity Lab.)を用いて解析し、分散係数(D)および間隙流速(V)を求めた。

実験結果

1. 試料の特性

図1に豊浦砂($\rho_b=1.55\text{g/cm}^3$)と黒ボク土壌($\rho_b=0.60\text{g/cm}^3$)の水分特性曲線を示した。水分特性曲線の作成には、Van Genuchten式を用いた。豊浦砂は短いテーリングを示し、黒ボク土壌においては長いテーリングを示した。曲線の長いテーリングは、任意のサクション下において、水分を保持することが可能な間隙径が広範囲に分布していることを意味している。また、サクション $100\text{cmH}_2\text{O}$ におい

*日本技研 Nihon-giken Inc. **東京農工大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード: 溶質移動, 溶質分散係数, 不飽和, 間隙径分布, スケール依存性

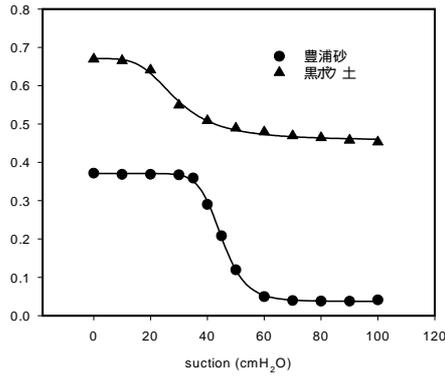


図 1 供試土の水分特性曲線

て、豊浦砂はほとんどの間隙が空気に満たされているが、黒ボク土は逆に依然として高い水分飽和度を示している。

2. 分散係数のスケール依存性

図 2 に豊浦砂の各水分状態における、分散係数 (D) の深さ方向に対する変化を示した。ここで、相対分散係数 (RDC) とは、各深さにおける分散係数を、深さ 4.5cm の位置で得られた分散係数 ($D_{4.5}$) で除したものである。豊浦砂においては、飽和・不飽和状態で溶質供給フラックスの大小に関係なく、RDC の深さ方向に対する変動性はほとんど確認されず、カラム全体を通して RDC はほぼ一様な値を示した。豊浦砂においては、土壌の水分状態に関わらずスケール依存性は小さいと言える。

図 3 に黒ボク土における相対分散係数 (RDC) の変化を示した。飽和黒ボク土においては、RDC は深さに対して線形的に増加 ($R^2=0.972$) した。一方、水分不飽和状態における RDC の変動性は飽和状態の時に比べて小さいことが確認できた。以上のことから、黒ボク土においては、土壌の水分状態によりスケール依存性が変化する傾向にあることが確認された。すなわち、飽和状態において、溶質分散係数のスケール依存性が大きいと言える。

考察

豊浦砂において飽和および不飽和状態でスケール依存性が顕著に現れなかった原因として、豊浦砂の間隙径分布幅が狭いことが考えられる。間隙径分布幅が狭ければ、間隙間における溶液の流れ方の違いは比較的緩やかになる。そのため、豊浦砂では飽和状態においても、局所的な流れの不均一が発生し難く、そのためにスケール依存性は抑制されると考えられた。

一方、飽和黒ボク土においてスケール依存性

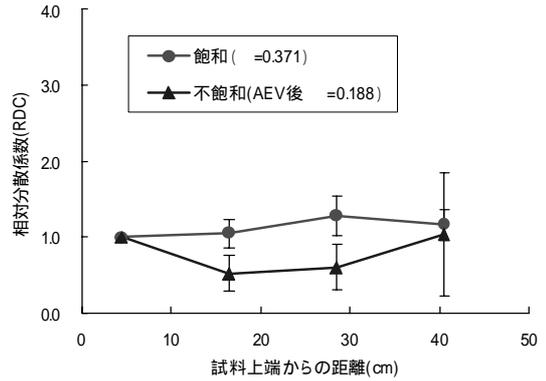


図 2 水分状態と分散係数のスケール依存性(豊浦砂)

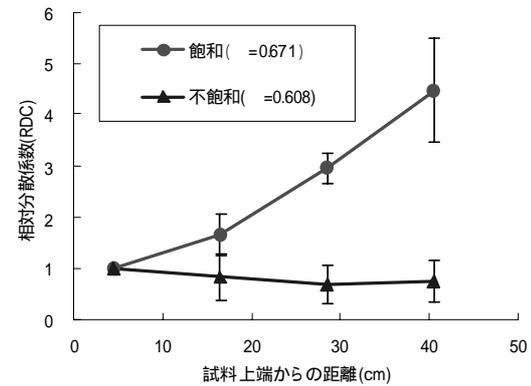


図 3 水分状態と分散係数のスケール依存性(黒ボク土)

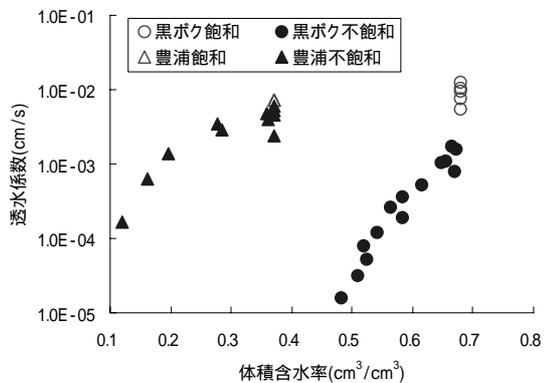


図 4 豊浦砂・黒ボク土の飽和透水係数体積含水率と透水係数の関係 (流束制御法、圧力制御法)

が顕著に現れた原因としては、黒ボク土の間隙径分布幅が広いことが考えられる。間隙径分布幅が広ければ、径の異なる間隙間において不均一な流れが生じ易くなる。特に飽和時の水・溶質の移動に大きく寄与する(図-4 印部分)団粒間の大きな間隙により溶質の局所的な移動が発生し、その結果、測定スケールに応じて分散係数が変化するスケール依存性が現れたと考えられる。

参考文献: Zhang, R. (1994) Adv. Water Resour. 17:317-324