

団粒構造の発達した黒ボク土中の溶質移動について

大石雅人(土壌圏循環学教育研究分野)

はじめに 近年、畑地への過剰な施肥による硝酸態窒素の地下水汚染問題対策のため、土中の溶解物質の移動予測の重要性が増している。我が国の畑地の40%程度を占める黒ボク土は、乾燥密度が低く、団粒構造が発達しやすい。そのため、階段状の水分特性曲線 (Fig. 1) を持ち、また圧密されやすい特徴を持つ。本研究では、黒ボク土中の溶質移動特性を検討するために、団粒構造が溶質移動に及ぼす影響を調べた。まず、三重県内の黒ボク土を用いて水分飽和流れの溶質分散実験を行い、土カラム内の濃度変化から移流分散式(CDE)の分散長 λ を推定し、分散長 λ の間隙流速 v への依存性を調べた。そして、他の3種類の黒ボク土を用いた既往のデータと併せて、動相・不動相モデル(MIM)を用いた解析により、団粒構造の溶質移動に対する役割を考察した。また、塩溶液を用いた水分不飽和の非定常浸潤実験を行い、カラム内の体積含水率 θ と溶液濃度 c の変化を測定した。

分散実験 試料は三重県野菜茶業研究所の圃場から採取し、2mm 篩いした攪乱土を用いた。乾燥密度を0.76, 0.86, 0.91(g/cm³)でカラムに充填した。CaCl₂ 溶液で毛管飽和させ、マリオット管または定送流ポンプを用いて水分フラックスを調整し、数種類の水分フラックスの飽和定常流れを作製した。浸透溶液濃度を変化させ、カラム内部の土中水濃度として電気伝導度(EC)の経時変化(BTC)を4極塩分センサーで測定した。土中の溶質移動は移流分散式(CDE)が用いられる。測定したBTCに対して、次式のCDEの平均間隙流速 v と分散係数 D を非線形最小二乗法により推定した(Fig. 2)。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v \frac{\partial c}{\partial z}$$

ここで、 c は溶質濃度、 v は平均間隙流速(= J_w/θ , 水分フラックス J_w , 体積含水率 θ)、 z は位置、 t は時間である。そして、 D/v で与えられる分散長 λ (cm)は、溶質の混合スケールを与える尺度である。

結果と考察 乾燥密度が0.76(g/cm³)の実験においてCDEはよく適合し、測定深さによらずほぼ等しい v と D が得られ、既往の黒ボク土と同様に分散長 λ は v に比例して増加した(Fig. 3)。この λ と v の関係に対して、水分特性曲線から推定される団粒内水分を不動水とみなして動相・不動相モデル(MIM)のパラメータを決定したところ、団粒内外の溶質交換は100 sec程度と速いことが推定された。また、乾燥密度が0.86, 0.91(g/cm³)の三重黒ボク土ではCDEの適合しないBTCやBTCの交差が測定され、分散長 λ は格段に大きく、また深さ方向に増加するスケール依存性を示した(Fig. 4)。これは、圧密し試料を充填することで土が不均一に詰まり、特に飽和流れにおいて局所的な水分流れが生じたためと考えられた。

浸潤実験 試料は三重黒ボク土を、2mm 篩いし乾燥密度0.75(g/cm³)の攪乱土を用いた。0.01(mol/l)のCaCl₂ 溶液で毛管飽和させ、定送流ポンプと降雨装置を用いて一定水分フラックスの不飽和流れを作製した。そして浸透溶液濃度を0.05(mol/l)に切り換えると同時に水分フラックスを増加させ、カラム内の土中水圧力をテンシオメータ、体積含水率 θ と土の電気伝導度 EC_e をテンシオメータとTDRセンサーで同時測定した。そして、測定した EC_e から土中溶液濃度 c を推定した。

結果と考察 Fig.5 は、浸潤過程の体積含水率と土中溶液濃度の分布である。濃度前線の進行は水分前線の進行に比べて遅れ、180分でカラム全体の水分が一定になるのに対し、濃度がカラム全体に0.05(mol/l)となるのに1380分を要した。これは、浸潤する溶液中の溶質は、初期水分の団粒内へと拡散しながら移動するためである。Fig.6 は、深さ17.5cmの体積含水率と土中溶液濃度の経時変化の測定値とリチャーズ式とCDEによる計算値である。飽和に比べて間隙流速 v の小さな不飽和流れにおいては、団粒内外の溶質交換は相対的に速く、分散実験における λ と v の関係を用いたCDEがよく適合することが確認された。

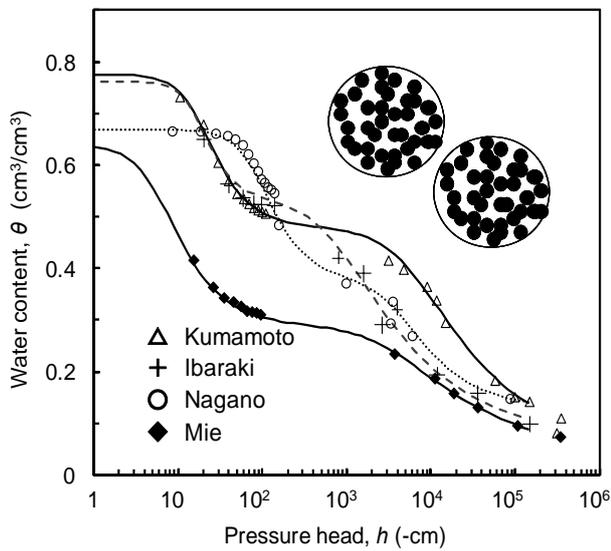


Fig1 黒ボク土の水分特性曲線

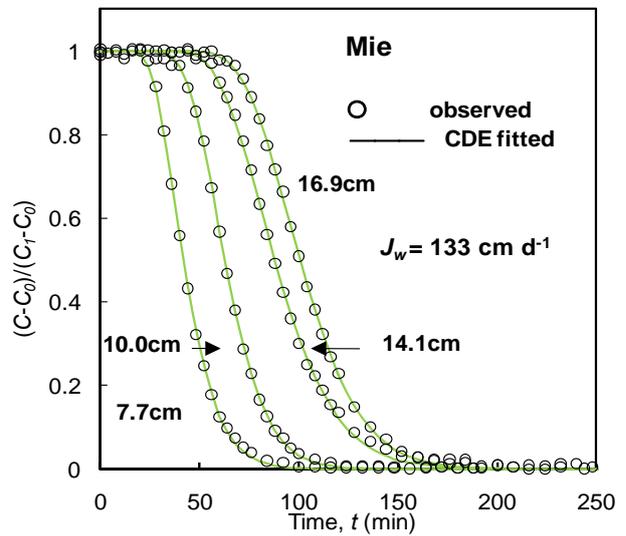


Fig2 測定された濃度変化曲線(BTC)と CDE による推定値

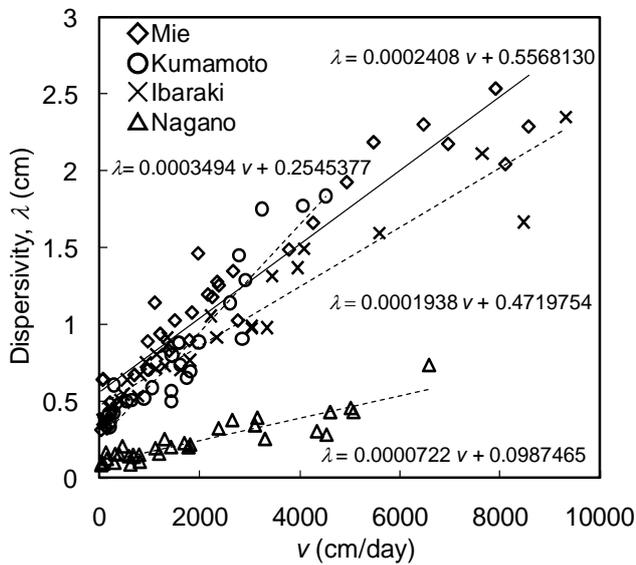


Fig3 黒ボク土における間隙流速 v と分散長 λ の関係

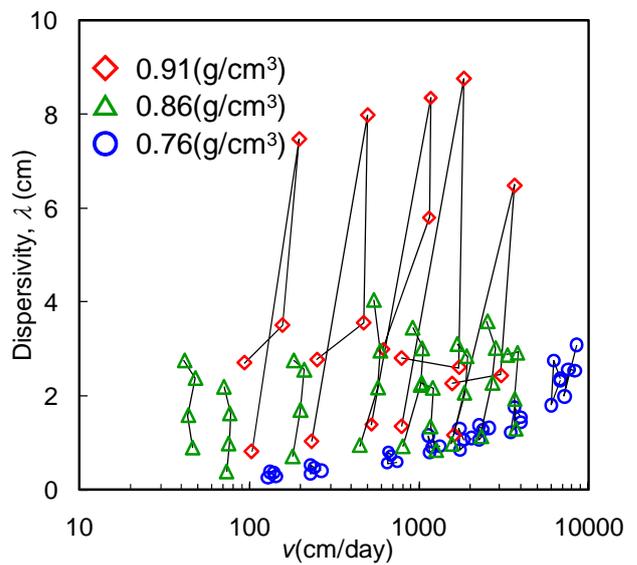


Fig4 乾燥密度の異なる三重黒ボク土における間隙流速 v と分散長 λ の関係

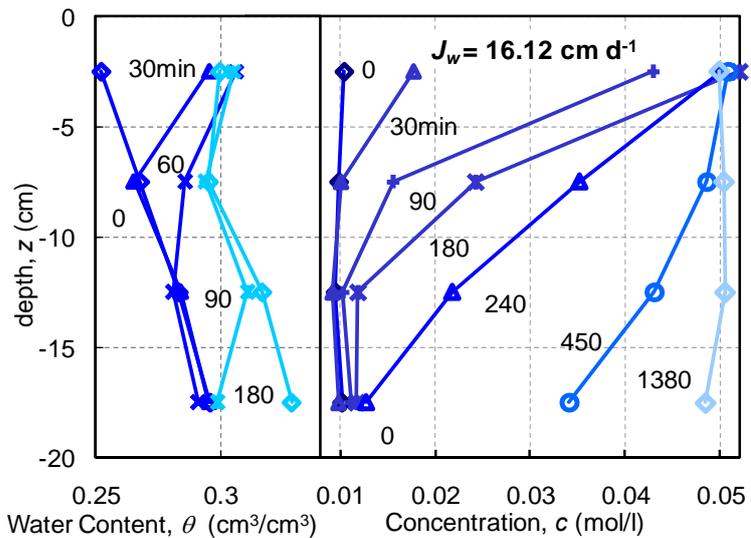


Fig5 土中水分量 θ と土中溶液濃度 c の各深さでの分布

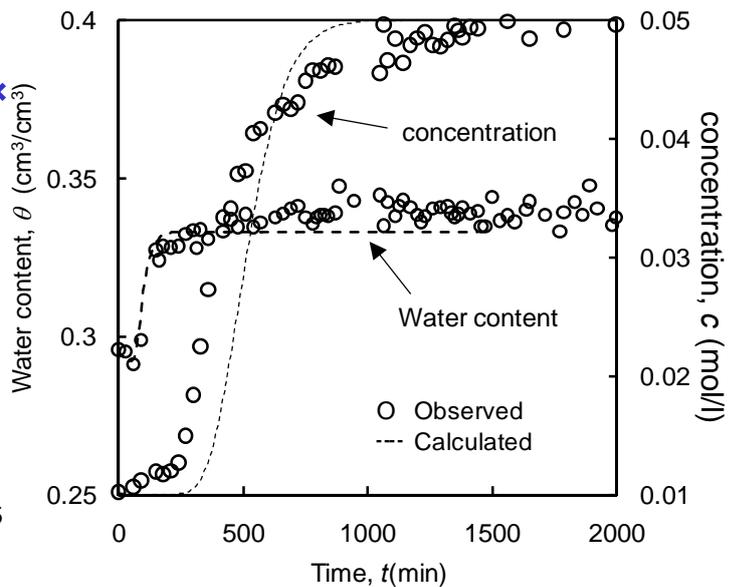


Fig6 土中水分量 θ と溶液濃度 c の経時変化と数値実験との比較