

# 黒ボク土中の $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ の移動速度の濃度依存性 Effect of Solute Concentration on Transport of $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ in Andisols

○家田 浩之 塩沢 昌  
Hiroyuki Ieda Sho Shiozawa

## 1. はじめに

肥料、塩類などの土壌中の溶質の移動を予測するためには、土粒子表面との相互作用による溶質移動の水移動に対する遅れの大きさを知る必要がある。日本の代表的な畑地土壌である黒ボク土は、イオン濃度依存の変異荷電をもっており、溶質移動に対して変異荷電による土粒子表面への吸着と表面付近からの排除が同時に起こると考えられる。黒ボク土中のイオンの移動については、変異荷電による吸着が多く報告されているが、イオン排除の影響に着目した研究は少ない。本研究では、黒ボク土中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  の移動速度の濃度依存性を調べることを目的として、さまざまな濃度の  $\text{CaCl}_2$  溶液、および  $\text{NaCl}$  溶液を用いて、実験室の土壌カラムで濃度置換実験をおこなった。また、土壌中の溶質濃度測定法として、土壌中の EC を測定する 4 極センサーを用い、流出液の EC およびイオン濃度変化と比較して、土壌中の EC 変化が何の動きを追っているのか検討した。

## 2. 実験と解析

### 3-1. 濃度置換実験

試料には、宇都宮大学農場の表層の黒ボク土を用いた。Fig.1 に実験装置の模式図を示した。内径 5 cm、高さ 37cm の円筒カラムをつくり、試料を均一に詰めた。土壌中の電気伝導度(EC)を測る 4 極センサーをカラムの 4 箇所の深さに設置し、カラムからの流出液の EC を測る 2 極センサーを流出口に設置した。濃度  $C_1$  の溶液を上端から一定の流量で与え、表面付近が負圧飽和になるようにカラム末端に適切な圧力を与えて排水し、水分飽和の定常流をつくる。その後、上からの溶液を濃度  $C_2$  に切りかえ、その直後からの各地点の EC 変化を測定した。また、流出液をフラクションコレクターで採水し、各イオンの濃度をイオンクロマトグラフ法で測定した。

実験は、まず、0.5N  $\text{CaCl}_2$  溶液を十分に流した後、濃度置換により濃度を変化させていった。 $\text{CaCl}_2$  溶液の実験終了後、0.5N の  $\text{NaCl}$  溶液を流出液に  $\text{Ca}^{2+}$  が確認されなくなるまで十分に流した。その後、濃度の低い  $\text{NaCl}$  溶液に置換していった。

### 3-2. 遅延係数 $R$ の決定

遅延係数  $R$  は、平均間隙流速  $v(\text{cm s}^{-1})$  の水移動に対する、溶質移動の遅れの大きさを表す。溶質の土粒子表面への吸着があるときは  $R > 1$  となり、表面付近からの排除があるときは  $R < 1$  となる。本研究では、 $R$  を求めるために下に示す移流分散方程式 (CDE) を用いた。

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}$$

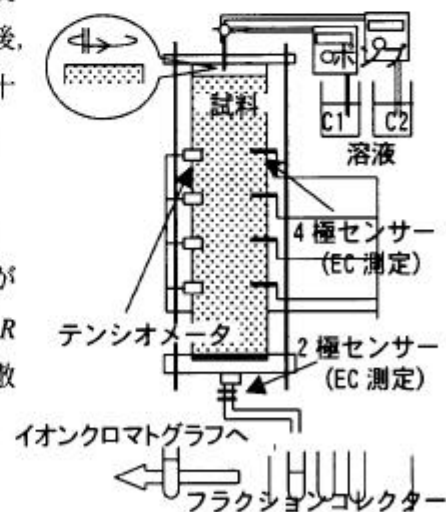


Fig.1 実験装置模式図

ここに、 $C$ は溶液中の溶質濃度( $\text{mol cm}^{-3}$ ),  $t$ は時間(s),  $x$ は距離(cm),  $D$ は分散係数( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )である。濃度置換のあと、土壌中の各測定点の濃度変化を CDE の解析解に当てはめて  $v/R$  を決め、 $v$  との比から  $R$  を求めた。 $v$  は、 $v = q/\theta$  より求めた。ここに、 $q$  は溶液フラックス( $\text{cm s}^{-1}$ ),  $\theta$  は体積含水率( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )であり、ここでは、飽和体積含水率  $\theta_s = 0.65$  を用いた。

### 3. 結果と考察

#### 4-1. カラム内および流出液の EC と濃度変化

Fig.2(a), (b) に土壌中の EC 変化、Fig.2(c) に流出液中の EC と各イオン濃度の変化を相対濃度で示した。相対濃度は、濃度  $C_1$  が 0, 濃度  $C_2$  が 1 となるように計算したものである。図中の縦の点線は、各測定点においてポアボリューム  $PV=1$  に相当する時間を示す。CaCl<sub>2</sub> 溶液の濃度置換では、どの深さでも、EC 変化の中心が  $PV=1$  よりも遅くあらわれたが、NaCl 溶液の場合は、逆に早くあらわれた。

流出液中のイオンは Na<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> のみで、他のイオンとの交換は見られず、流出液の EC 変化は Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> の濃度変化と一致した (Fig.2(c))。CaCl<sub>2</sub> の系における流出液の EC 変化は、Ca<sup>2+</sup> と Cl<sup>-</sup> の濃度変化と一致した。土壌中の EC 変化は、Na<sup>+</sup> または Ca<sup>2+</sup>, および Cl<sup>-</sup> の濃度変化を追っているといえる。CaCl<sub>2</sub> の系では、Ca<sup>2+</sup> と Cl<sup>-</sup> の移動が同時に水移動よりも遅れ、NaCl の系では、Na<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> が同時に水よりも速く移動した。

#### 4-2. 濃度と遅延係数 $R$

Fig. 3 に各実験で深さ 22 (23.2) cm の EC 変化から求めた  $R$  を示す。CaCl<sub>2</sub> 溶液の場合は  $R \geq 1$  であり、高濃度では  $R=1$  で、濃度が低くなるほど  $R$  は大きくなり、Ca<sup>2+</sup> と Cl<sup>-</sup> の水移動に対する遅れが大きくなった。一方、NaCl 溶液の場合は  $R < 1$  で、濃度が低くなるほど  $R$  が小さくなり、 $v$  に対する Na<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> の相対的な速度が大きくなった。NaCl の系では、イオン排除の影響が大きくあらわれたと考えられる。

変異荷電による吸着とイオン排除が、それぞれ溶質移動速度にどの程度影響を与えているのか定量的に評価するためには、さらに研究が必要である。

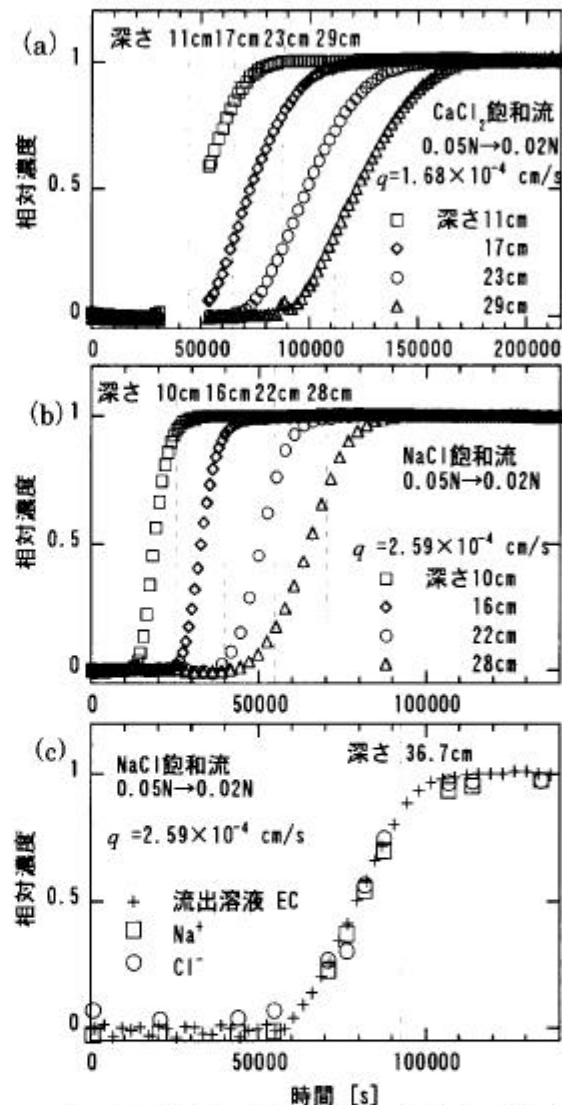


Fig.2 土壌中の EC 変化 (a) (b), 流出溶液の EC 変化とイオン濃度変化 (c)

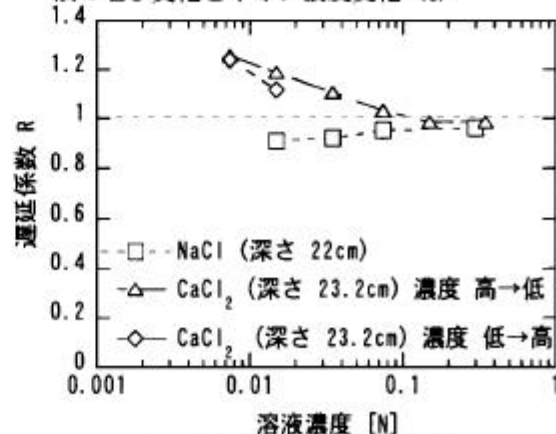


Fig.3 各濃度における遅延係数  $R$