

# 砂丘砂と黒ボク土中の不飽和流におけるアンモニア態窒素の移動特性

## Transport property of ammonia nitrogen under unsaturated flow in dune sand and andosol

○岡田 徹朗\* 家田 浩之\*\* 塩沢 昌\*\* 佐藤 洋平\*\*  
 OKADA Tetsuro IEDA Hiroyuki SHIOZAWA Sho SATO Yohei

### 1. はじめに

畑地からの窒素肥料の流出量を予測し、流出防止対策を講じるためには、土の吸着と窒素移動の関係性を把握する必要がある。本研究では土壌中窒素成分のなかでも特にアンモニア態窒素の移動に着目し、日本の代表的な畑地土壌である火山灰土と単純構造である砂の不飽和流において、溶液濃度がアンモニア態窒素の移動速度に与える影響を、濃度置換実験により調べた。

### 2. 試料および実験方法

供試土壌には洗浄した庄内砂丘砂と宇都宮大農場表層の黒ボク土を用いた。2mm 篩通過分をアクリル製カラムに乾燥密度  $1.55\text{g/cm}^3$  (砂丘砂),  $0.73\text{g/cm}^3$  (黒ボク土) で充填した。図-1 に示すようにポンプで  $\text{NaN}_3$  (殺菌剤)  $15\text{mg/l}$  入りの  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液を一定フラックスで供給し、ドリップポイント位置で土壌内のサクションを調整し、カラム内全域で水分量が均一な不飽和定常流を作った。供給溶液濃度を切り替え、その後のカラム内土壌溶液の EC を 4 極センサーで、排水の EC を 2 極センサーで計測した。黒ボク土では流出溶液成分をイオンクロマト法で分析した。

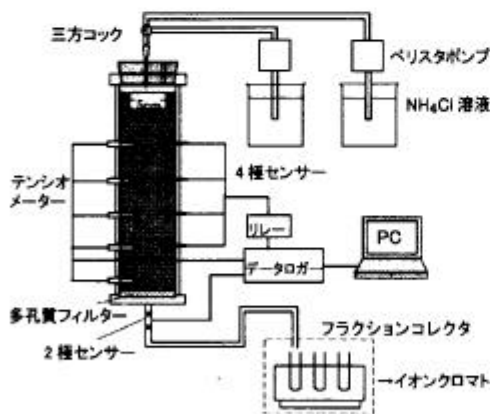


図-1 濃度置換実験装置  
 Fig.1 Outline of experimental equipment

### 3. 砂丘砂におけるアンモニア態窒素の移動

実験条件を表-1 に示す。フラックスはすべて約  $5 \times 10^{-4}\text{cm/s}$  とし、濃度は  $0.005, 0.02, 0.1\text{mol/l}$  の 3 種類を用いた。イオン交換のない砂の場合 EC の相対変化は土壌溶液濃度の変化と一致する。それぞれの測定点で EC 実測値が移流分散式の解析解と最もよく合うように分散係数  $D'$  と遅延係数  $R$  を求めた(体積含水率  $\theta$  は実測)。  $R$  は間隙流速と溶質移流の比で、 $R > 1$  であるほど溶質速度が水分子の平均速度より遅れることを表す。

図-2 に実験 S-2 における濃度変化曲線を示す。それぞれの深さで、4 極センサーによる濃度の実測値を移流分散式による理論解に当てはめて  $R$  を求めた。得られた遅延係数は  $0.91 \sim 0.98$  となり、わずかに 1 を下回った(図-3)。また供給溶液の  $\text{NH}_4\text{Cl}$  濃度が低いほど遅延係数が小さくなり、水分子に対する移動速度は速くなる傾向が見られた。

Table1 Experimental conditions (dune sand)  
 表-1 実験条件一覧(砂丘砂)

実験No.	S-1	S-2	S-3	S-4	
試料長	cm	44.5			
4極センサー	cm	深さ 11, 19, 27, 35			
乾燥密度	$\text{g/cm}^3$	1.55			
室温	$^{\circ}\text{C}$	20			
フラックス	$\text{cm/s}$	$5.08 \times 10^{-4}$	$5.19 \times 10^{-4}$	$5.09 \times 10^{-4}$	$5.17 \times 10^{-4}$
$\text{NH}_4\text{Cl}$ 濃度	$\text{mol/l}$	$0.005 \rightarrow 0.02$	$0.02 \rightarrow 0.1$	$0.1 \rightarrow 0.02$	$0.02 \rightarrow 0.005$

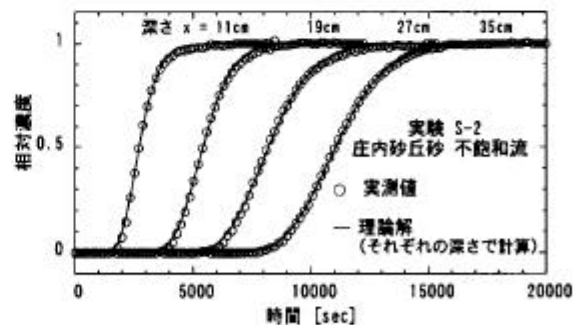


図-2 砂丘砂の不飽和流における濃度変化曲線  
 Fig.2 Breakthrough curve (dune sand)

\* 和歌山県 Wakayama Prefecture

Keywords: アンモニア態窒素, 溶質移動, 吸着, イオン交換

\*\* 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The Univ. of Tokyo

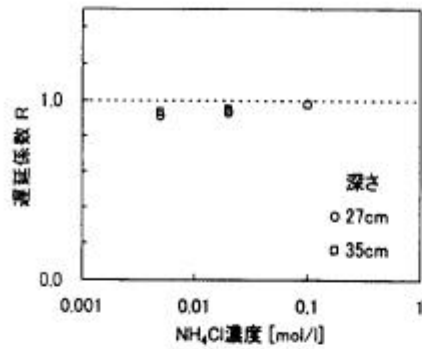


図-3 各深さの遅延係数と供給溶液濃度  
Fig.3 Relation between retardation factor and concentration

#### 4. 黒ボク土におけるアンモニア態窒素の移動

実験条件を表-2に示す。長さ38.5cmと11cmの土壌カラムを用意し、それぞれ4箇所と2箇所の深さに4極センサーを設けた。飽和流にて蒸留水を約4 pore volume流して残留肥料成分を除去した後、不飽和定常流を作りそれぞれ0.005mol/lと0.05mol/lのNH<sub>4</sub>Cl溶液で濃度置換した。

Table2 Experimental conditions (andosol)  
表-2 実験条件一覧 (黒ボク土)

実験No.		K-1	K-2
試料の長さ	cm	38.5	11
4極センサー位置	cm	11, 17, 23, 29	4.5, 8.5
乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>		0.73
室温	°C		20
フラックス	cm/s	$6.6 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-5}$
NH <sub>4</sub> Cl濃度	mol/l	0→0.005	0→0.05

##### (1) カラム内土壌溶液のEC変化

図-4は4極センサーで測定したカラム内土壌溶液のECと2極センサーで測定した排水のECの変化である。EC変化曲線の形状は砂丘砂の実験のものとは異なる。原因はカラムの全長が短いこと、そして土壌溶液中の陽イオンの組成が変化すると同じEq濃度でもECが変動するからである。

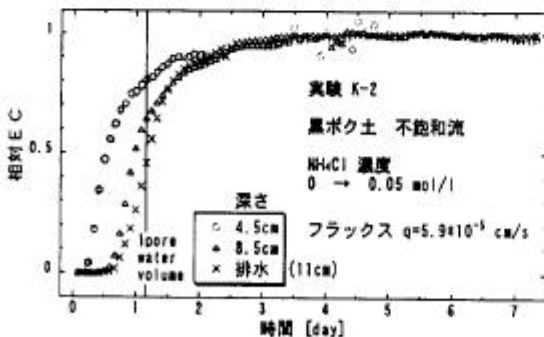


図-4 カラム内土壌溶液のEC変化  
Fig.4 EC of soil solution in column

##### (2) 流出溶液のイオン濃度

実験 K-2 の流出イオン濃度を図-5 に示す。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は土壌中でK<sup>+</sup>,Ca<sup>2+</sup>,Mg<sup>2+</sup>とイオン交換されて水分子より移動が遅れた。排水中のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が増加すると電気的中性条件を満たすように他の陽イオンは減少した。Cl<sup>-</sup>は吸着もイオン交換もほとんどされず水分子に対する移動の遅れも小さい。土壌溶液中の陽イオンと陰イオンの濃度をそれぞれ合計すると、最終的には供給濃度と等しい50meq/lとなった。pHは7.0から6.1まで徐々に低下した。NH<sub>4</sub>Cl濃度が10倍薄い実験K-1ではさらにNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の移動が遅れたが、Cl<sup>-</sup>の移動速度は実験K-1と大差がなかった。

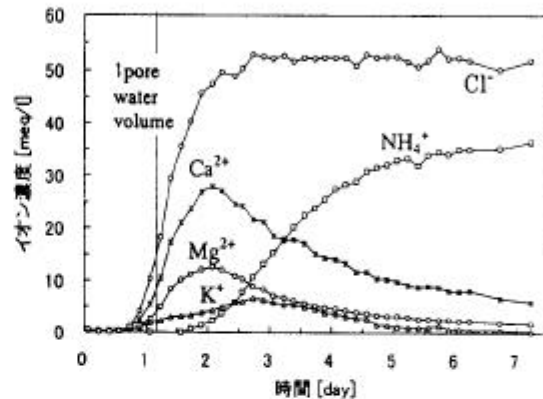


図-5 流出土壌溶液のイオン濃度変化 (実験 K-2)  
Fig.5 Ion concentrations of effluent (exp. K-2)

##### (3) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の遅延係数

カラムを2cmずつ解体して測定した含水比から1 pore water volumeを計算し、注目するイオンの相対濃度が0.5になる時間を水が1 pore water volume流れるのに要する時間で除して遅延係数Rを求めた。その結果を表-3に示す。溶液濃度が薄いほどNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の移動速度が遅く、遅延係数は大きくなることが分かった。一方Cl<sup>-</sup>は土壌に吸着しにくいいため濃度によらず遅延係数は約1.2であることが分かった。

Table3 Relation between retardation factor and concentration

表-3 遅延係数Rと供給溶液濃度 (黒ボク土)

	遅延係数 R		NH <sub>4</sub> Cl濃度 mol/l
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	
実験K-1	10	1.25	0→0.005
実験K-2	2.81	1.20	0→0.05

#### 5. まとめ

黒ボク土においては、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>イオンは事前に吸着している他の陽イオンと交換しながら移動し、水分子やCl<sup>-</sup>に比して遅れる。この移動速度への濃度の影響は大きく、濃度が薄いと10倍も遅れた。本実験ではアジ化ナトリウム(Na<sub>2</sub>N<sub>3</sub>)で硝酸化成を抑えたが、現実の畑地の酸化的条件下ではアンモニア態窒素の硝酸化が活発に起こるのであろう。