

窒素肥料の溶脱に伴う硝酸態窒素の物質輸送解析

宮崎大学工学研究科 学生員○山下 直紀
宮崎大学工学部 正 員 杉尾 哲

1. はじめに

宮崎県南西部では硝酸態窒素による地下水汚染が発生している。この汚染原因の一つは、畑地における窒素肥料の溶脱であると考えられる¹⁾。ここに、肥料窒素が溶脱する機構をモデルによって表現できれば、汚染防止対策のための有効な情報を得ることができる。そこで筆者らは、窒素肥料の溶脱によって硝酸態窒素が地下へ輸送される過程について数値モデルを構築した。モデルでは、有機態窒素（きゅう肥）の硝化およびアンモニア態窒素（化学肥料）の硝化過程を簡略化した形で湧き出し項として移流分散方程式に導入している。本報では、構築したモデルをカラムによる室内実験結果に適用することによってその妥当性を検討した。

2. 解析モデル

土壤中における溶質の移動については①の移流分散方程式を用い、不飽和浸透流の計算には②式を用いるものとし、不飽和浸透特性については van-Genuchten 式で表現した。

畑地に肥料を施肥した後の土壤中における窒素の動態は、有機態窒素の無機化、無機態窒素の有機化、硝化・脱窒、土壌との吸・脱着などである。これらの機構を詳細に表現することは困難であるので、本モデルでは、硝化と脱窒反応を湧き出し吸着の項で計算する。地表付近においては③、④式によって脱窒反応、化学肥料の硝化反応による湧き出し N_{NH_4} 、有機質肥料の硝化反応による湧き出し N_{org} を考え、下層部においては⑤式の脱窒反応を考慮した。

化学肥料の硝化反応については、細菌によるアンモニア態窒素の消費速度が Monod モデルに従うものとして⑥式を用いた²⁾。また、有機質肥料の硝化反応については、⑦式の一次反応速度式を用いた³⁾。ここで、肥料の硝化反応につい

$$\frac{\partial qC_{w,i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(qC_{w,i}) - \frac{\partial}{\partial x}\left(qD(v)\frac{\partial qC_{w,i}}{\partial x}\right) = S_i, \quad i=1,2,3 \quad \dots \textcircled{1}$$

$C_{w,i}$: 溶質濃度、 $q (=vq)$: 流速フラックス、 v : 実流速(cm/s)、 q : 体積含水率、 $D (=av + d_m)$: 分散係数、 a : 分散定数(cm)、 d_m : 分子拡散定数(cm²/s)、 S_i : 湧き出し吸着項、 $i=1,2,3$: それぞれ硝酸態窒素、酸素、有機炭素

$$C_s(j)\frac{\partial j}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(k_u(j)\frac{\partial j}{\partial z} - k_d(j)\right) \quad \dots \textcircled{2}$$

j : サクシヨン(cm)、 C_s : 比水分容量、 k_u : 不飽和透水係数(cm/s)

地表付近において

$$S_1 = -a(C_{w,1} - C_{bio,1}) + N_{NH_4} + N_{org} \quad \dots \textcircled{3}$$

$$S_2 = -a(C_{w,i} - C_{bio,i}), \quad i=2,3 \quad \dots \textcircled{4}$$

深層部において

$$S_i = -a(C_{w,i} - C_{bio,i}), \quad i=1,2,3 \quad \dots \textcircled{5}$$

a : 交換係数(s⁻¹)、 $C_{bio,i}$: bio-phase 中の化学種の濃度(mg/l)、 N : 肥料からの硝酸態窒素の単位時間、単位面積当りの湧き出し量

$$\frac{dN_{NH_4}}{dt} = \frac{m_{NH_4}^{\max}}{Y_{NH_4}} \frac{N_{NH_4}}{K_{NH_4} + N_{NH_4}} X_{NH_4} \quad \dots \textcircled{6}$$

m : 細菌の最大比増殖速度(日⁻¹)、 K : 飽和定数(mg)、 X : 細菌量(mg)

$$\frac{dN_{org}}{dt} = m(N_0 - N_{org}) \quad \dots \textcircled{7}$$

N_0 : 反応前の有機態窒素含有量(mg)、 m : 速度定数(日⁻¹)

キーワード：地下水汚染、硝酸態窒素、窒素肥料、硝化脱窒反応、Monod モデル

〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 宮崎大学大学院工学研究科 TEL0985-58-7343

ては、反応物質の単位を質量(mg)で計算している。これは、肥料を固体の状態で施肥することを考慮したためである。しかし、実際には移流分散方程式を濃度(mg/l)で解いているので、⑥および⑦式によって肥料から湧き出す質量を濃度に変換する必要があり体積含水率の関数となる。脱窒反応については、有機炭素、酸素との相互作用を考慮した Monod モデルを用い、反応式は Kinzelbach らの研究^{4), 5)}を参考にした。

3. モデルの適用と考察

本モデルの検証のために、内径 10.7 cm の円筒カラムに土壌を充填して化学肥料と有機質肥料を施肥して実施した降雨による肥料成分の溶出実験⁶⁾の結果を用いた。実験では、40 mm/day の降雨を 4 日に一度の頻度で降らせている。施肥条件を表-1 に示した。実験はカラム下端を大気中に開放した状態で行われている。解析領域は土壌表面から最下部までの 500 cm を 1 cm でメッシュ分割した。浸透パラメータは実験から同定した値を用い、硝化反応のパラメータは文献^{2), 3)}を参考にした。また、実験では有機質肥料の施肥後に地表から深さ 20 cm までを耕起しているのので、肥料によって硝酸態窒素が湧き出す地点を土壌表面から 20 cm までとし、施肥した有機質肥料と化学肥料に含まれる窒素量を深度 20 cm までの単位体積ごとに分配させて施肥後の各節点で硝化可能な窒素量を決定した。

実験値と解析値を図-1 および図-2 に示している。図-1 が土壌表面から深さ 50 cm 地点の濃度変化で、図-2 が 100 cm 地点の濃度変化である。ここで、解析 1 は脱窒反応を考慮していない場合の結果で、解析 2 は考慮した場合の結果を示している。図のように、脱窒反応を考慮した方が実験値をよく再現できていることが分かる。このことから、土壌中では脱窒反応や無機態窒素の有機化が起こっていたと推測される。これは、有機質肥料の施肥によって脱窒細菌が生息するために必要な有機炭素が土壌中に豊富に存在していたためであると考えられる。

以上から、肥料から溶脱した硝酸態窒素が地下へ輸送される過程を本モデルによって概ね再現できたと思われる。しかし、今回の解析では、硝化脱窒反応で重要な炭素や酸素は地表において一定量が無限に湧き出すように設定している。また、実フィールドでの反応では温度による影響も無視できないと考えられる。このことから、さらに改良していく必要がある。

表-1 施肥条件

	施肥日 (実験開始から)
化学肥料	12 日目
有機質肥料	28 日目

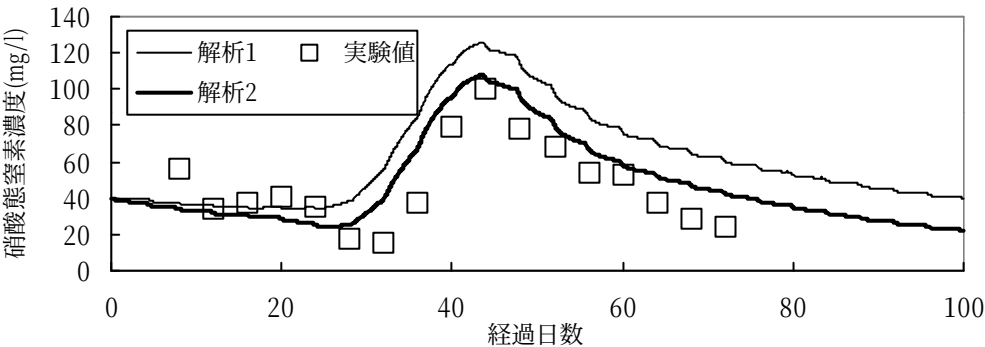


図-1 深さ 50 cm 地点における実験値と解析値の比較

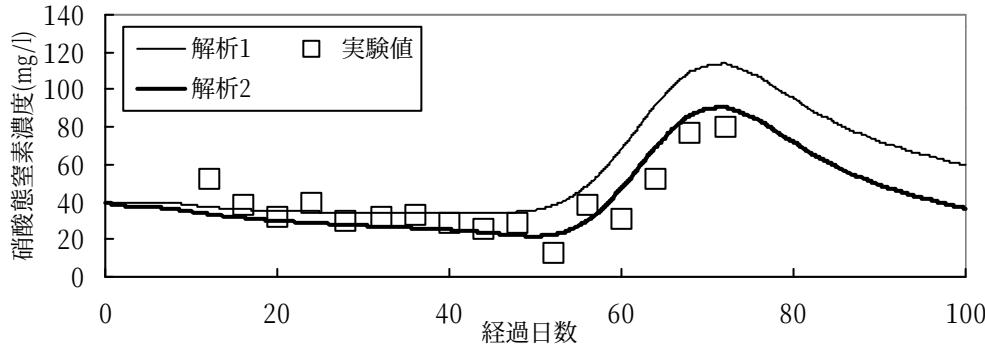


図-2 深さ 100 cm 地点における実験値と解析値の比較

<参考文献> 1) 杉尾 哲ほか：都城盆地地下水連絡協議会, 1999. 2) 西尾 隆ほか：日本土壌肥科学雑誌, 63-4, 428-435, 1992. 3) 杉原 進ほか：農業環境技術研究報告, 1, 127-166, 1986. 4) Kinzelbach W et al.: Water Resour. Res., 27-6, 1123-1135, 1991. 5) 山下 直紀ほか：第 54 回次学術講演会講演概要集, II, 678-679, 1999. 6) 杉尾 哲ほか：地下水学会誌, 33-3, 155-164, 1991.