

Ⅲ-A339

脱窒菌の分配係数の検討と硝酸態窒素の移行モデル

岩手大学 正 小林 晃

○学 一坪満美子

1. はじめに

筆者らは既に、地下水汚染の一原因となっている硝酸態窒素の流出を予測するために、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を未知数とした地下水中の窒素の移動をシミュレートするコードを開発してきた¹⁾。その変化において重要な土壌微生物の微生物反応はモノ式²⁾によって考慮されるが、脱窒菌の特性についてはよくわかっていない。そのために筆者らは、脱窒菌とアンモニア酸化細菌の土中分布を測定し、さらにその温度特性、pH特性について実験を行った^{3) 4)}。その計測結果によると、脱窒菌の土中分布に2つのピークが見られ、脱窒菌が土中を移動した可能性が見受けられたので、その分配係数を求めることも試みた³⁾。その結果、脱窒菌の分配係数は $1.85\text{cm}^3/\text{g}$ となった。これらの知見をもとに、菌の移動・増殖も考慮した解析手法へとさらに発展させた。その解析例を紹介する。

2. 脱窒菌とアンモニア菌の鉛直分布の計測

脱窒菌とアンモニア酸化細菌の計測としてMPN (Most Probable Number) 法を用いた。通常行われる菌数の計測手順に従い実験をおこなった。サンプリングは期間を2か月あけて2度行った。脱窒菌は地下40cmで最大値が現われ、2か月後最大値は50cmで観測された。アンモニア酸化細菌については土壌表面において最大値を観測しそれ以深で減少し、90cm以降では菌の生育は認められなかった。この2か月間の平均降水量は $4.34\text{mm}/\text{day}$ であった。本地点での詳細な透水係数など土質定数は現時点では不明であるが、平均体積含水率を0.3、乾燥密度を $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ と仮定すると、脱窒菌の遅延係数は8.4程度になる。したがって、脱窒菌の約二か月間の移動脱窒菌の移動距離は平均実流速 ($4.34/0.3/8.4(\text{mm}/\text{day})$) に60日を乗じると約10cmが求められる。これは図-1の実測値とほぼ整合がとれている。

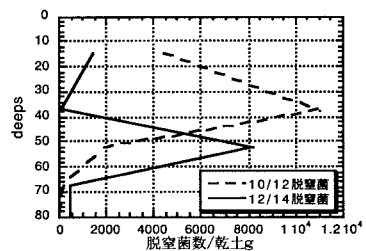


図-1 脱窒菌の鉛直分布変化

3. 硝酸態窒素の移行シミュレーション理論

窒素の存在形態は土中の菌の働きにより変化する。微生物活動による各窒素態の増殖速度を NH_4^+-N から NO_2^- -Nへの酸化速度を R_{NS} 、 NO_2^- -Nから NO_3^- -Nへの酸化速度を R_{NB} 、 NO_3^- -Nから NO_2^- -Nへの還元速度を R_{DA} 、 NO_2^- -Nから N_2 への還元（脱窒）速度を R_{DI} とする。各反応速度式はモノ式を用いた⁴⁾。窒素の変化過程を考慮して、アンモニア態窒素濃度 C_{NH_4} 、亜硝酸態窒素濃度 C_{NO_2} 、硝酸態窒素濃度 C_{NO_3} およびアンモニア酸化菌濃度 X_{NS} 、硝化菌濃度 X_{NB} そして脱窒菌の水中濃度 C_D を未知数として、移流分散方程式を以下のように立てる。この際、 X_{NS} 、 X_{NB} は地盤への吸着が大きいので移流分散は生じないものと仮定している。

$$\theta R_{\text{ANH}_4} \frac{\partial C_{\text{NH}_4}}{\partial t} = V \frac{\partial C_{\text{NH}_4}}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_{\text{NH}_4}}{\partial x^2} - R_{\text{NS}} - \frac{CR_{\text{NO}_2}\theta}{\Delta T} \quad (1)$$

$$\theta \frac{\partial C_{\text{NO}_2}}{\partial t} = V \frac{\partial C_{\text{NO}_2}}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_{\text{NO}_2}}{\partial x^2} + R_{\text{NS}} - R_{\text{NB}} - R_{\text{DI}} + R_{\text{DA}} - \frac{CR_{\text{NO}_2}\theta - CR_{\text{NO}_3}\theta}{\Delta T} \quad (2)$$

$$\theta \frac{\partial C_{\text{NO}_3}}{\partial t} = V \frac{\partial C_{\text{NO}_3}}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_{\text{NO}_3}}{\partial x^2} + R_{\text{NB}} - R_{\text{DA}} + \frac{CR_{\text{NO}_3}\theta}{\Delta T} \quad (3)$$

$$\theta R_{\text{dD}} \frac{\partial C_D}{\partial t} = V \frac{\partial C_D}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_D}{\partial x^2} + R_{\text{DI}} Y_{\text{DI}} + R_{\text{DI}} Y_{\text{DI}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial X_{\text{NS}}}{\partial t} = R_{\text{NS}} Y_{\text{NS}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial X_{\text{NB}}}{\partial t} = R_{\text{NB}} Y_{\text{NB}} \quad (6)$$

ここで、 R_d は各物質の遅延係数、 V はダルシー流速、 D は分散係数、 θ は体積含水率である。また、 CR は添え字物質の化学作用による生成量である。本モデルでは脱窒菌は土粒子への吸着を伴いながら水中を移動し、菌の増殖は土粒子に付着した状態で生じるものと仮定する。したがって X_D は次式により計算する。

$$X_D = \theta K_{\text{dD}} C_D \quad (7)$$

上式を有限要素法で離散化して、三次元場での問題を解く。

4. 解析例

初期に NH_4^+-N が土壌表面から20cmの深度に10ppm存在し、 NO_3^- 、アンモニア酸化菌、硝化菌、脱窒菌の分布

硝酸態窒素 脱窒菌 土壌微生物 地下水汚染

〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8 岩手大学農学部 TEL019-621-6194

は図-2に示す。流速V、pH、温度Tは全領域、全時間一定とする。

DOとDOCも全領域、全時間1ppmとする。この様な状態で $\text{NH}_4\text{-N}$ から NO_2 、 NO_3 が微生物による酸化・還元作用によってどのように発生・分布するかを表-1の5ケースについて検討した。

5. 解析結果

標準ケースのケース1は弱酸性土壌である。pHが7より下回る状況では硝化菌、脱窒菌とも活動度は極めて低く、上層部にあるアンモニアからの酸化もすくないが、脱窒による還元も活発ではない。図-4はややアルカリ性である土壌のケースである。pH7付近が硝化菌の活動度のピークであるので上層部のアンモニアが盛んに酸化され、 NO_3 濃度が高くなっている。また、脱窒菌はpHが高くなるに連れ活動度が高くなるので始め深度50cmの所にあった NO_3 は還元され濃度が低くなっている。ケース3は温度が高い夏期の状態であるが、酸性土壌でも温度が高くなると菌の活動度が高くなるのでアンモニアの酸化、初期の NO_3 の還元も盛んになっている。ケース4は流速が小さい降雨量のすくない時期のケースである。酸性土壌であるので菌の活動は活発ではないが、流速が遅いと分散も小さくなるので初期の NO_3 が濃度の高い状態で流下している。

6. 考察

まず脱窒菌の移動を測定することにより、筆者らが計測した脱窒菌の分配係数が妥当な値であることがわかった。そして、実際の畑地の菌の状態に近い解析を行い、土中の硝酸態窒素の移動における菌の活動度の影響をみた。その結果、アルカリ土壌や高温時には施肥によって供給されたアンモニアから NO_3 が多く発生しており、始めに存在する NO_3 よりも大きな濃度になること、および菌の活動度が硝酸態窒素の分布に影響を与えることなどがわかった。

参考文献 1) 小林、一坪：計算工学会論文集：853-856、1995 2) 楠田哲也ら：自然の浄化機能の強化と制御 技峰堂出版、1994
3) 小林、一坪、藤居：環境地盤シンポジウム論文集 1997 4) 小林、一坪：H8 農業土木学会講演要旨集pp60-61、1996

表-1 解析ケース一覧

	V (cm/day)	pH	T	KdNH4
ケース1	1	6	15	0.8
ケース2	1	7.5	15	0.8
ケース3	1	6	25	0.8
ケース4	0.5	6	15	0.8

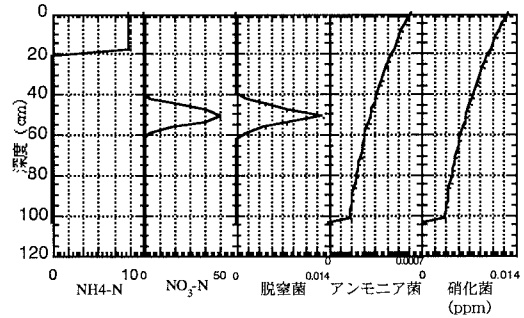


図-2 初期状態

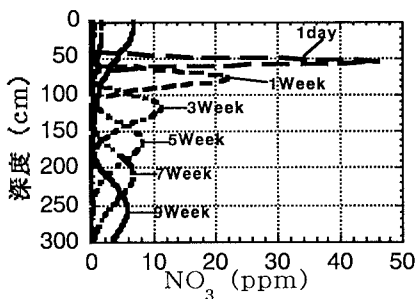


図-3 ケース1の NO_3 分布

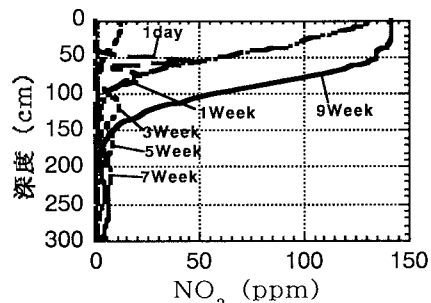


図-4 ケース2の NO_3 分布

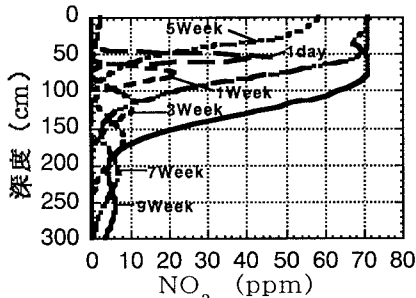


図-5 ケース3の NO_3 分布

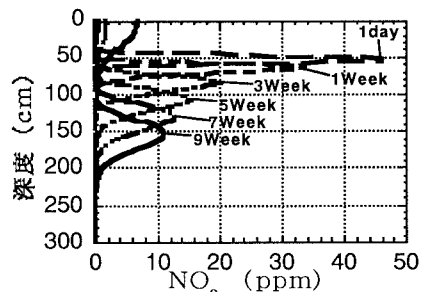


図-6 ケース4の NO_3 分布