

黒ぼく畑地における硝酸態窒素の物質輸送解析

宮崎大学工学部 正会員 杉尾 哲、○学生会員 壽本 裕一

1. まえがき

近年、地下水汚染の問題が大きな関心を集めている。その中に窒素系肥料による地下水汚染問題がある。窒素系肥料には、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素があり、その中で硝酸態窒素の輸送を理解することは、窒素系肥料による地下水汚染問題を解明する上で重要な事項であると考えられる。そこで、本研究では、一昨年の実験¹⁾ について硝酸態窒素の数値シミュレーションを行い、この解析値と鉛直コラムでの肥料溶出実験で得られた実験値とを比較検討したものである。

2. 数値シミュレーションモデル

物質輸送解析において、式-1に示す物質輸送方程式²⁾ を用いた。この方程式を、差分法により算定するが、流れは飽和状態で定常状態を想定している。さらに、土壌内には数多くの微生物が存在していて、細菌の活動が、輸送にも影響を及ぼすと考えられるので、生物化学モデル³⁾ を考慮した。生物化学モデルでは、酸素、有機炭素、硝酸態窒素、細菌の反応を考え、Monod式を用いて硝化・脱窒作用を表現している。生物反応式を式-2に示す。また流速は、以下の様に与えた。一次元鉛直コラムによる肥料成分溶出実験では、4日に1回の頻度で1.15mm/hrの降雨を24時間与えたが、黒ぼく土について行った不飽和浸透解析結果では、ある程度降雨が繰り返されると流速の非定常変動は少なくなり、ほぼ定常流が発生しているとみなせた。そこで、コラム内の流速がほぼ一定になった時点の流速の平均値を与えることとした。さらに、実験では実験開始後12日目に堆肥を、28日目に化学肥料を施肥し、堆肥では7回の降雨、化学肥料では2回の降雨で完全に溶解したので、輸送解析でも同じ時間帯でコラム上端の境界濃度を与えた。なおこの場合の堆肥と化学肥料の境界濃度は表-1に示す様に設定している。この値の内、窒素の供給濃度は、これまでにアンモニア態と亜硝酸態の窒素の存在が極めて短く、すぐに硝化されて硝酸態に変わることが分かっているので、3態窒素の実測値の合計を与えた。なお、表

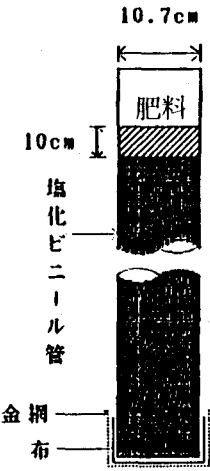


図-1 鉛直コラム実験

表-1 解析に用いた主なパラメータ

$$n_s \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = - n_s \cdot \frac{U}{R} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} + n_s \cdot \frac{D}{R} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \lambda C + Y \quad (1)$$

D: 分散係数(m²/d)、n_s: 有効空隙率、U: 実流速(m/d)
C: 基質濃度(mg/l)、Y: 湧き出し吸着項(mg/l*d)
R: 遅れ係数、λ: 減衰定数(1/d)

$$r_s^{den} = \mu_{max}^{den} \cdot X \cdot \{1 - F(O_2)\} \cdot \frac{C_{org}}{K_c^{den} + C_{org}} \cdot \frac{NO_3}{K_N^{den} + NO_3} \cdot \frac{O_2}{K_o^{den} + O_2}$$

$$r_s^{den} = \mu_{max}^{den} \cdot X \cdot F(O_2) \cdot \frac{C_{org}}{K_c^{den} + C_{org}} \cdot \frac{NO_3}{K_N^{den} + NO_3} \quad (2)$$

r_s^{den}: 好気性細菌増殖速度(mg/l*d)、r_s^{den}: 脱窒細菌増殖速度(mg/l*d)、X: 細菌濃度(mg/l)
μ_{max}^{den}: 好気性細菌最大比増殖速度(1/d)、μ_{max}^{den}: 脱窒細菌最大比増殖速度(1/d)

実流速	9.85*10 ⁻²	(m/d)
分散定数	0.01	(m)
有機炭素初期濃度	50.0	(mg/l)
有機炭素供給濃度(12日目)	15.1	(mg/l)
有機炭素供給濃度(28日目)	5.27	(mg/l)
窒素初期濃度	50.0	(mg/l)
窒素供給濃度(12日目)	149.925	(mg/l)
窒素供給濃度(28日目)	122.7115	(mg/l)
溶存酸素初期濃度	10.0	(mg/l)
溶存酸素供給濃度(12日目)	10.0	(mg/l)
溶存酸素供給濃度(28日目)	10.0	(mg/l)
脱窒細菌最大比増殖速度	4.8	(1/d)
好気性細菌最大比増殖速度	0.64	(1/d)
内生分解係数	0.2	(1/d)
細菌濃度	0.3	(mg/l)

ー1に示した生物化学モデルに用いる細菌のパラメータは、一般的な好気性細菌、脱窒細菌の特性値を示したものである。

3. 物質輸送解析結果と検討

解析は、20cmと50cmのコラムを対象に、生物反応を考慮しない場合と考慮した場合の2ケースについて行った。なお、図-2～4に生物反応を考慮したものを実線で示し、考慮していないものを破線で示している。どの図とも、生物反応を考慮しない場合の解析結果は実測値より大きくなっていて、特に堆肥を施肥する以前の溶出濃度の初期低減現象を表現できていない。このことから、初期の濃度低減現象が細菌の活動によるものであることが考えられる。つぎに、応答の早い20cmコラムについて、脱窒細菌最大比増殖速度の値を変えることにより、解析結果にどのような違いが生じるのかを見ることにした。脱窒細菌最大比増殖速度は $0.5(1/d)$ と $4.8^{(4)}(1/d)$ の2種類の値を設定したが、前者は、好気性細菌最大比増殖速度とほぼ同程度の値に設定したものであり、後者は一般的な脱窒細菌の特性値である。図-2は0.5を用いた結果を示し、図-3は4.8を用いた結果を示している。これらの結果を比較すると、脱窒細菌の特性値を大きく変えて計算を行ったにもかかわらず、全体的な溶出濃度の時間的変化はあまり大きな変化を示さず、互いに似た傾向を示しているが、初期の濃度変化は傾向が多少異なり、図-2の方がよく一致していることが分かる。このことから、黒ぼく層内での脱窒細菌の増殖速度は制限されていて、好気性細菌程度の値になっていると推定される。次に、図-4に、脱窒細菌の特性値に0.5を用いた場合の50cmコラムでの濃度の時間的変化を示している。この場合は、初期の濃度低減を表現しえてないが、全体的には実験の濃度の時間的変化をよく再現していることがわかる。以上の事から、生物化学モデルを用いた輸送解析により、鉛直一次元コラムからの溶出濃度の時間的変化をほぼ再現できるモデルが確立されたものと考ええる。

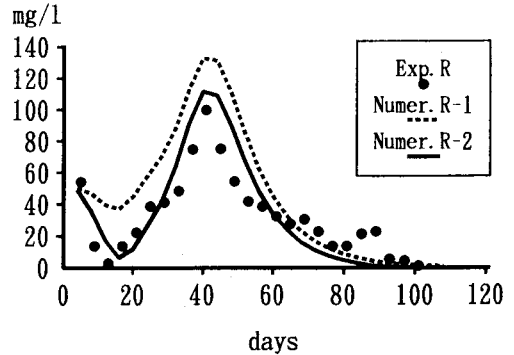


図-2 20cmコラムの溶出濃度変化 その1

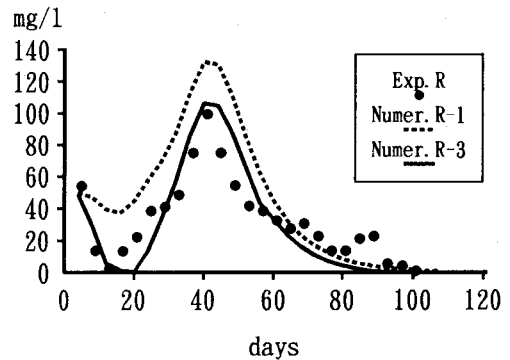


図-3 20cmコラムの溶出濃度変化 その2

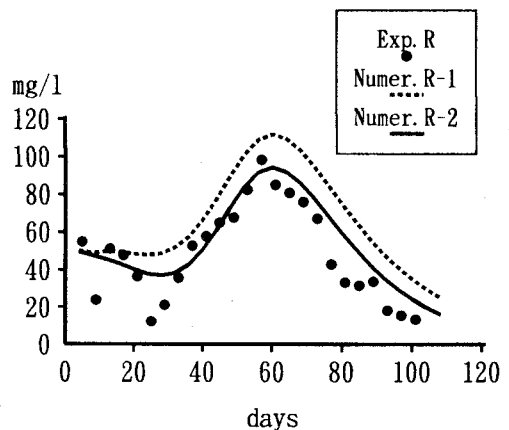


図-4 50cmコラムの溶出濃度変化

☆参考文献

- 1) 黒ぼく土壌における窒素系肥料の溶出、土木学会第47回年講、1992.
- 2) 上田監訳：パソコンによる地下水解析、森北出版、pp.217-230. 1990.
- 3) Kinzelbach, Schafer: Numerical Modeling of Natural Enhanced Denitrification Processes in Aquifers, Water Resources Research, Vol.27-6, pp.1123-1135, 1991.
- 4) O.Wanner and W.Guijer: Competition in Biofilms, Water Science Technology, Vol.17, Amsterdam, pp.27-44, 1984.