

硝酸態窒素輸送モデルの生物化学パラメータの感度について

宮崎大学大学院 学生員○山下 直紀 宮崎大学工学部 正 員 杉尾 哲
宮崎大学工学部 学生員 西崎 亮太

1. はじめに

硝酸態窒素による地下水汚染は、近年の環境問題の一つである。宮崎県南西部に位置する都城盆地においても、この地下水汚染が問題となっている。硝酸態窒素による汚染の原因は種々あるが、この地域での主な原因は、畑地にされたきゅう肥の溶脱であると考えられている¹⁾。将来の地下水汚染状況の予測や保全のためには、土壌における硝酸態窒素の輸送機構を把握することが重要となる。筆者らは、不飽和状態における硝酸態窒素の物質輸送解析モデルを構築して検討している。このモデルには、モノ一式で表現される生物化学反応項を導入しており、数多くのパラメータを含んでいる。そこで本報は、室内で実施した硝酸態窒素の輸送実験から得られた結果との比較を行いながら、反応項に含まれるパラメータが解析結果にどのような影響を与えるかについて検討した。

2. 数値解析モデル

モデルに使用した基礎式を①～⑫に示す。不飽和浸透特性は、van-Genuchten 式で表した。反応項の計算では、モノ一式で表現される生物反応式を適用しており、基質に硝酸態窒素、酸素、有機炭素を考慮している²⁾。計算は差分法で行った。

3. 実験結果の解析

黒ぼく土壌を用いて実施した 2 ケースの輸送実験³⁾の結果に対してモデルを適用し、⑬式に示す RMS の値が小さくなるように各パラメータの最適値を同定した。同定した値を表-1 に示し、再現結果を図-1、2 に示す。

表-1 生物化学パラメータ

f_{use}	0.09	K_c^{aer}	7.0
f_{sl}	50.0	K_c^{den}	7.0
O_t	0.2	Y_{aer}	0.12
λ	0.2	Y_{den}	0.96
$K_{O_2}^{aer}$	7.0	μ_{max}^{aer}	0.64
$K_{NO_3}^{aer}$	7.0	μ_{max}^{den}	0.4
$K_{NO_3}^{den}$	7.0	X	3.0

$$C_w(\psi) \partial \psi / \partial t = \nabla (k_u(\psi) \nabla \psi - k_u(\psi)) \quad \dots \textcircled{1}$$

φ : サクシヨン(cm)、 $C_w(\varphi)$: 比水分容量、 K_u : 不飽和透水係数(cm/s)

$$\partial(\theta NO_{3,w}) / \partial t = -\nabla(q NO_{3,w}) + \nabla(\theta D(v) \nabla NO_{3,w}) - \theta \beta(NO_{3,w} - NO_{3,bio}) \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\partial(\theta O_{2,w}) / \partial t = -\nabla(q O_{2,w}) + \nabla(\theta D(v) \nabla O_{2,w}) - \theta \beta(O_{2,w} - O_{2,bio}) \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\partial(\theta C_{org,w}) / \partial t = -\nabla(q C_{org,w}) + \nabla(\theta D(v) \nabla C_{org,w}) - \theta \beta(C_{org,w} - C_{org,bio}) \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\partial NO_{3,bio} / \partial t = -\gamma_{den} / Y_{den} - \gamma_{aer} / Y_{aer} + \beta(NO_{3,w} - NO_{3,bio}) \quad \dots \textcircled{5}$$

$$\partial O_{2,bio} / \partial t = -1 / Y_o + \beta(O_{2,w} - O_{2,bio}) \quad \dots \textcircled{6}$$

$$\partial C_{org,bio} / \partial t = -\gamma_{den} / Y_{den} - \gamma_{aer} / Y_{aer} + f_{use} \gamma_{dec} + \beta(C_{org,w} - C_{org,bio}) \quad \dots \textcircled{7}$$

$$\partial(X_{aer} + X_{den}) / \partial t = \gamma_{aer} + \gamma_{den} - \gamma_{dec} \quad \dots \textcircled{8}$$

$q(=v\theta)$: 流速フラックス、 v : 実流速(cm/s)、 θ : 体積含水率、 $D(v)$: 分散係数($=\alpha v + D_m$)、 α : 分散定数(cm)、 D_m : 分子拡散定数(cm²/s)、 NO_3 、 O_2 、 C_{org} : 基質濃度(mg/l)、 X : 細菌濃度(mg/l)、 β : 交換係数、 Y : 増殖収率、 f_{use} : 死滅菌の利用率

$$\gamma_{aer} = \mu_{max}^{aer} [1 - F(O_2)] \frac{C_{org}}{(K_c^{aer} + C_{org})} \frac{NO_3}{(K_{NO_3}^{aer} + NO_3)} \frac{O_2}{(K_{O_2}^{aer} + O_2)} X_{aer} \quad \dots \textcircled{9}$$

$$\gamma_{den} = \mu_{max}^{den} F(O_2) \frac{C_{org}}{(K_c^{den} + C_{org})} \frac{NO_3}{(K_{NO_3}^{den} + NO_3)} X_{den} \quad \dots \textcircled{10}$$

$$\gamma_{dec} = \lambda(X_{aer} + X_{den}) \quad \dots \textcircled{11}$$

γ_{aer} : 好気性細菌増殖速度、 γ_{den} : 脱窒細菌増殖速度、 μ_{max} : 好気性細菌と脱窒細菌の最大比増殖速度(1/day)、 K : 半飽和定数、 λ : 内生分解係数(1/day)、 $F(O_2)$: 酸素従属重み関数

$$F(O_2) = 0.5 - \frac{1}{\pi} \arctan \left[(O_2 - O_t) / f_{sl} \right] \quad \dots \textcircled{12}$$

O_t : $F(O_2)=0.5$ となるときの酸素濃度、 f_{sl} : $F(O_2)$ の勾配

図-1 は輸送速度の速い短期間の実験を、図-2 は輸送速度の遅い長期間の実験を示したものである。解析値は実験値を概ね再現できている。RMS の値は、実験-Ⅰが 105.6、実験-Ⅱが 314.7 となった。

4. パラメータの感度

反応項の各パラメータの感度を把握するため、表-1 の最終同定値の RMS と各パラメータを 0.1 倍と 10 倍の値にした場合の $RMS_{0.1}$ 、 RMS_{10} との差を比較した。差の絶対値を横軸にとって図-3 に示す。図より、実験Ⅰのケースにおいて

は、細菌密度と増殖収率を除く他のパラメータは感度が低いことが分かった。一方、実験Ⅱについては、細菌密度と増殖収率に加えて死滅菌の利用数、内生分解係数、脱窒細菌最大比増殖速度で変化が見られた。これらの結果より、特に解析値に大きな影響を及ぼすパラメータは細菌密度と増殖収率で、あまり影響のないものは半飽和定数と酸素従属重み関数の定数であることが分かった。実験Ⅰでの RMS の値は実験Ⅱのそれと比べて非常に小さく、反応項のパラメータの効果に関係なく解析値は実験値をうまく再現していることから、実験Ⅰのケースでは、硝酸態窒素が微生物作用をあまり受けずに土壤中を移動したと考えられる。また、実験Ⅰのような移動の速い輸送現象において解析値に影響のなかったパラメータも、実験Ⅱのような数ヶ月にわたる輸送現象に対しては解析値に大きく影響することが分かった。このことから、生物化学反応項のパラメータは、輸送速度の遅い現象に対して同定するように注意すべきである。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (meas - anal)^2} \quad \dots (13)$$

meas. : 測定値、anal. : 解析値、n : 測定データ数

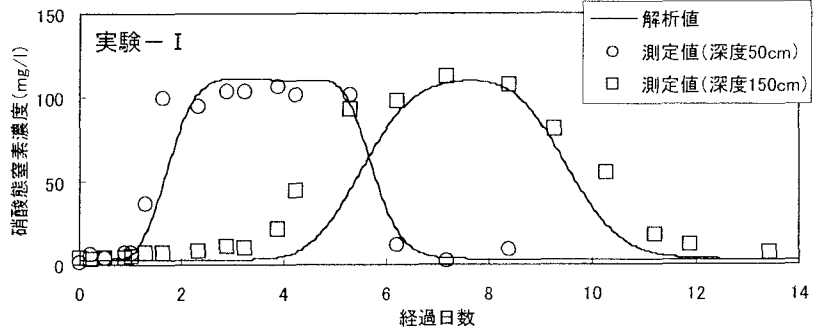


図-1 実験Ⅰの測定値と解析値

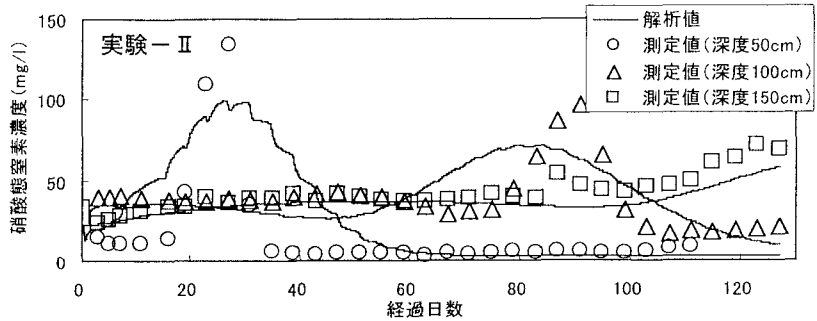


図-2 実験Ⅱの測定値と解析値

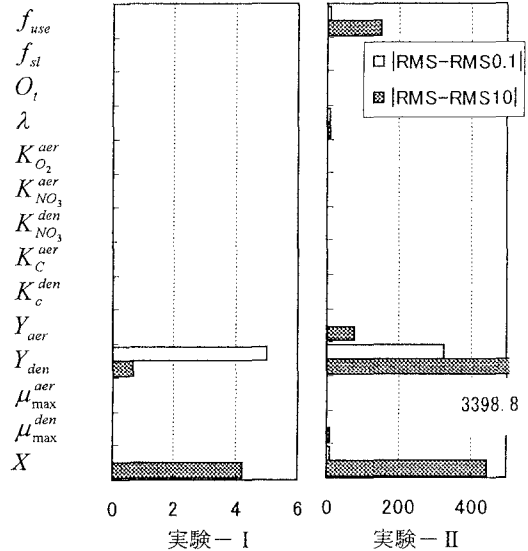


図-3 RMS による比較

参考文献)

- 1) 山下 直紀ほか：土木学会西部支部研講，pp.216-217，1999.
- 2) Kinzelbach W, Schäfer W：Water Resour. Res., Vol.27, No.6, pp 1123-1135, 1991.
- 3) 西崎 亮太ほか：土木学会西部支部研講，2000.