

II-338

畑地における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

畑地への窒素系肥料の過剰施肥は、硝酸態窒素による地下水汚染を発生させる。筆者らは、宮崎県南西部の畑作地帯においても過剰施肥が地下水を汚染していることを指摘した¹⁾。そこで、この地域の実際の畑地において土壌水分中の硝酸態窒素濃度を測定して、土壌中での硝酸態窒素の濃度変動を観測した²⁾。本報告においては、観測された硝酸態窒素の濃度分布について鉛直1次元の物質輸送解析を行い、観測値と解析値とを比較検討した。

2. 畑地の概要と硝酸態窒素濃度の測定方法

観測の対象とした畑地において深さ25、50、75、100、150、200、250、300cmの位置にポーラスカップを埋設し、定期的に土壌溶液を採取して硝酸態窒素濃度を測定した。土壌は、表-1に示したように、透水性の異なる黒ぼく、ぼら、粘性土で構成されている。観測は平成10年4月から開始した。畑地では飼料作物のトウモロコシを4月28日に播種し、8月7日に刈り取りを行った。栽培に使用した肥料の施肥日と施肥窒素量を表-2に示す。

表-1 各土層の透水係数

	層厚(cm)	飽和透水係数(cm/s)
黒ぼく	70	1.12×10^{-5}
ぼら	200	4.86×10^{-5}
粘性土	30~	1.05×10^{-5}

表-2 畑地での施肥状況

肥料の種類	施肥日	施肥窒素量(kg/ha)
きゅう肥	3/1	227
化学肥料	4/28	68
化学肥料	5/21	107

3. 数値解析モデル

硝酸態窒素が不飽和帯を浸透降下する雨水によって輸送される過程を解析するため、まず①式に示される不飽和土壌中における水分移動の基礎式を用い、地表面に日雨量を与えて雨水の浸透流速を計算した。飽和透水係数は表-1の値を用い、不飽和浸透特性は、Ven Genuchten式を用いることとし、そのパラメータは文献^{3), 4)}を参考にした。

物質輸送に関する基礎式は、畑地土壌では数多くの微生物が生息し、硝酸態窒素の輸送に影響を及ぼすと考えられるため、飽和土壌中の生物化学反応を考慮した②~⑪式を用いた。このモデルは、硝酸態窒素、酸素、有機炭素、細菌

$$C_w(\phi) \partial \phi / \partial t = \nabla (Ku(\phi) \nabla \phi - Ku(\phi)) \quad \dots ①$$

ϕ : サクシオン(cm), $C_w(\phi)$: 比水分容量, Ku : 不飽和透水係数(cm/s)

$$\partial NO_{3,w} / \partial t = -\nabla (UNO_{3,w}) + \nabla (D \nabla NO_{3,w}) - \alpha (NO_{3,w} - NO_{3,bio}) \quad \dots ②$$

$$\partial O_{2,w} / \partial t = -\nabla (UO_{2,w}) + \nabla (D \nabla O_{2,w}) - \alpha (O_{2,w} - O_{2,bio}) \quad \dots ③$$

$$\partial C_{org,w} / \partial t = -\nabla (UC_{org,w}) + \nabla (D \nabla C_{org,w}) - \alpha (C_{org,w} - C_{org,bio}) \quad \dots ④$$

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

$$\partial O_{2,bio} / \partial t = -\gamma_{aer} / Y_{aer} + \alpha (O_{2,w} - O_{2,bio}) \quad \dots ⑥$$

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

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

U : 土壌水の実流速(cm/d), NO_3 , O_2 , C_{org} , X : 基質濃度(mg/l), D : 分散係数(=aU)(cm²/d), a: 分散定数, α : 交換係数, Y : 増殖収率, f_{use} : 死滅菌の利用率

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

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

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

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, K : 半飽和定数, λ : 内生分解係数, $F(O_2)$: 酸素従属重み関数

キーワード: 地下水汚染、肥料、硝酸態窒素、生物化学反応

〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 宮崎大学工学部土木環境工学科 TEL0985-58-2811

の反応を考え、モノー式を用いて硝化・脱窒作用を表現している。各パラメータは表—3のように同定した。計算は、解析区間（地表から3mまで）を深度0～35、35～70、70～120、120～210、210～300cmの5区間に分割し、その区間毎に10日間の平均流速を与えて解析することとし、きゅう肥の施肥日である3月1日から開始した。

また、畑地の地表での境界濃度は、次の様に設定した。

堆肥：降雨による溶解濃度を300mg/lとし、播種後は栽培作物がその50%を吸収すると仮定する。

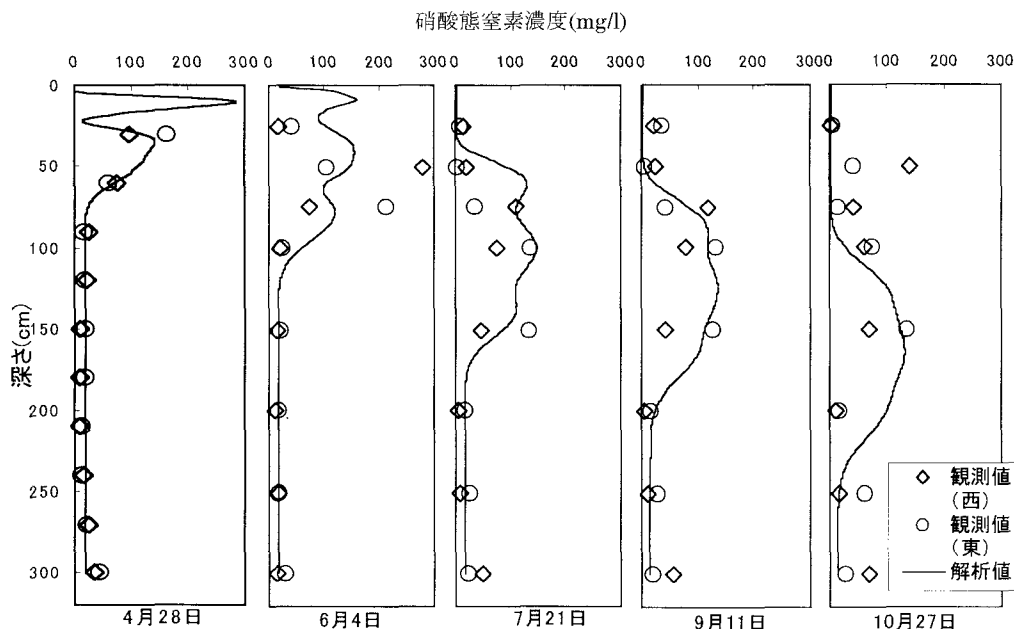
化学肥料：降雨による溶解濃度を600mg/lとし、その50%は栽培作物が吸収すると仮定する。

これらの溶解濃度に降雨日毎の降雨量に乗じて、その窒素総量が表—2の値になるまで溶解するものとした。

表—3 物質輸送に関するパラメータ³⁾

分散定数	0.01(m)
細菌濃度	0.03(mg/l)
好気性細菌最大比増殖速度	0.64(1/d)
脱窒細菌最大比増殖速度	0.30(1/d)
好気性細菌の増殖収率	0.09
脱窒細菌の増殖収率	0.40
死滅菌の利用率	0.90
内生分解係数	0.20(1/d)
脱窒作用の酸素濃度の限界	0.10(mg/l)

4. 解析結果及び考察



図—1 硝酸態窒素の鉛直濃度分布の観測値と解析値

解析結果を図—1に示す。本報では、不飽和浸透解析によって算出した実流速を飽和状態の物質輸送モデルに近似適用した計算を行ったが、解析値は観測値と概ね一致した。解析結果より、観測された土壌中の硝酸態窒素濃度の変動は肥料に由来するものであり、その硝酸態窒素が地下へゆっくりと輸送されていることが明らかとなった。4月28日の解析値を見ると、深度0～50cmの位置に2つの濃度ピークが見られるが、これらは3月1日に施肥したきゅう肥に由来するものであり、降雨パターンが影響して濃度ピークが分離したものである。また図から、6月4日の時点で地表付近に存在した3つの濃度ピークは、10月27日の時点では消えており、下方へ輸送されるにつれて濃度が平均化されてゆくことが分かる。

<参考文献>

- 1) 杉尾 哲ほか：都城盆地地下水の硝酸態窒素濃度による汚染、都城盆地地下水連絡協議会共同研究報告書、1998(印刷中)。
- 2) 山下 直紀ほか：飼料作物畑における施肥窒素の動態、土木学会西部支部研講、pp.216-217、1999。
- 3) Sugio, S.: Experiments and Numerical Simulations of Nitrate Transport in Ando Soils, Proc. 27th Cong. of IAHR, Theme C, pp.301-306, 1997。
- 4) 西垣 誠ほか：室内及び原位置における不飽和浸透特性の試験及び調査法に関する研究、岡山大学工学部土木工学科、1993。