II-14　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、亜硝酸態、硝酸態の３態窒素が含まれているが、アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素は短時間に硝化されてしまうので、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、硝酸態窒素の輸送数値シュミレーションを行い、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。

２．数値シュミレーションモデルの概要

物質移動の数値モデルは種々あるが[1,2]、ここではKinzelbachによって構築された数値モデルＮＩＴＲＡＴ[3]を適用して解析する。このモデルは飽和土壌中の生物化学反応を伴う物質移動の解析に適用される数値モデルである。ここで検討する鉛直コラムでの肥料溶出実験は不飽和状態であるため、このモデルは厳密には適用できないが、土壌水の流れを不飽和状態で解析し、その解析結果の流速をＮＩＴＲＡＴに適用することで、近似的に検討することとした。これらの基礎式は次式で表される。

不飽和土壌中の水分移動の基礎式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[k(\theta)\frac{\partial \varphi}{\partial z} + k(\theta) \right] \qquad (1)$$

流動水領域での物質移動の基礎式

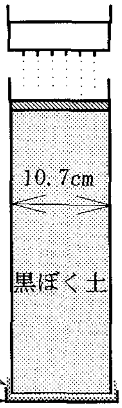
$$\frac{\partial c_{j,m}}{\partial t} = -\nabla(v c_j) + \nabla(D \nabla c_j) - \alpha(c_{j,m} - c_{j,im}) \qquad (2)$$

不動水領域での物質移動の基礎式

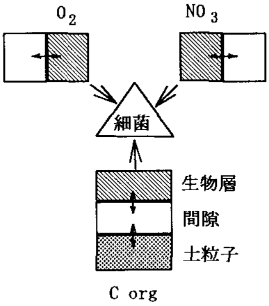
$$\frac{\partial c_{j,im}}{\partial t} = -\sum \frac{\delta}{Y_{cj}} + \alpha(c_{j,m} - c_{j,im}) \qquad (3)$$

ここに、θは体積含水率、c_jは硝酸態窒素、酸素、有機炭素、細菌、ｖは土壌水の実流速、Ｄは分散係数でαｖとおく、αは分散定数、δは好気性細菌と脱窒細菌の増殖速度、Ｙは増殖収率である。

また鉛直カラムによる肥料成分溶出実験では、４日に１回の頻度で模擬降雨を1.15mm/hrの降雨強度で２４時間継続して与えた。さらに、施肥条件としては実験開始後12日目に堆肥を、28日目に化学肥料を散布している。堆肥は７回の降雨で、化学肥料は２回の降雨で完全に溶解したので、物質移動解析でも同じ時間帯でカラム上端の境界濃度を与えた。なおこの場合の境界濃度は表ー１に示す様に、堆肥と化学肥料で有機炭素と窒素についての実測値を設定している。なお表－１に解析に用いた主なパラメータを示しているが、生物化学反応に用いる細菌のパラメータは、一般的な好気性細菌と脱窒細菌の特性値[4]を参照して定めたものである。



図－１　鉛直カラム実験装置



図－２　生物化学モデル

表－１解析に用いた主なパラメータ

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)	122.712	(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	0.3	(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)

３．物質輸送解析結果と検討

物質輸送解析は、20cm、50cm、100cm、150cmの鉛直カラムを対象として、生物反応を考慮した場合と考慮しない場合について行った。なお、図－３～６には、生物反応を考慮した解析結果を実線で示し、考慮しない解析結果を破線で示している。また、有機炭素と溶存酸素の濃度の変化も合わせて描いている。全体的にみると、どの図も生物反応を考慮しない解析結果は、考慮した解析結果よりも大きくなっており、特に図－３の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、初期の濃度の低減現象は細菌の活動によって生じたものと考えられる。ここに、脱窒細菌は有機炭素をエネルギー源として活動するが、実験初期においては有機炭素がある程度存在していることから脱窒細菌が活動できる状態にある。また溶出した溶存酸素濃度は初期の段階から微小な値になっているから、好気性細菌は活動できない。このことから、初期の硝酸態窒素濃度の減少は、脱窒細菌の活動によって生じたものと推定される。また、初期低減後の硝酸態窒素濃度の急激な増加は、有機炭素が減少してきて脱窒細菌の活動が抑制された時期に施肥による高濃度の負荷が投入されたことによって濃度が上昇し、100ppm前後の高濃度の硝酸態窒素が検出されたものと推定される。

次に、図－４は、50cmのカラムについて行った同様の解析結果を示したもので、初期の硝酸態窒素濃度の減少を十分に表現できていないが、全体的に実験結果とよく一致した結果を与えている。この結果から、20cmのカラムに比べて、初期の濃度減少が少なくなり、初期低減後の濃度上昇も少なくなることが分かる。

さらに、図－５，６はそれぞれ100cmと150cmのカラムについて計算したものである。両図とも初期の硝酸態窒素濃度の変化はほぼ表現できているが、図－５においては80日から後の濃度変化を表現できていないが、全体的には硝酸態窒素の濃度変化をほぼ表現できていて、解析結果は妥当な結果を与えているものと考えられる。

以上の結果から、肥料成分溶出実験で用いた黒ぼく土槽内では、脱窒細菌の活動によって初期に硝酸態窒素濃度が減少したと推定される。また施肥後は、有機炭素が減少して脱窒細菌の活動が抑制された時期に高濃度の負荷が投入されることによって土壌の浅層部分では100ppm前後の高濃度の硝酸態窒素が検出されると推定されるが、降雨の浸透によって土壌中を輸送される間に、脱窒細菌の働きによって、次第に濃度の時間的な変動が少なくなってゆくことが分かった。

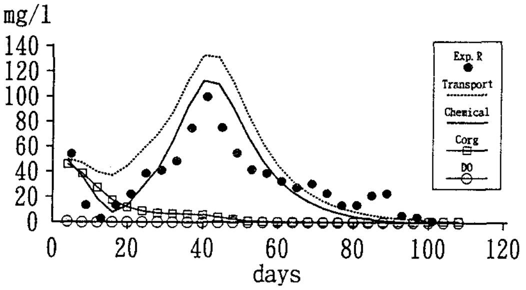
☆参考文献

1)堀内等、衛生工学研究論文集、第23巻、1987.

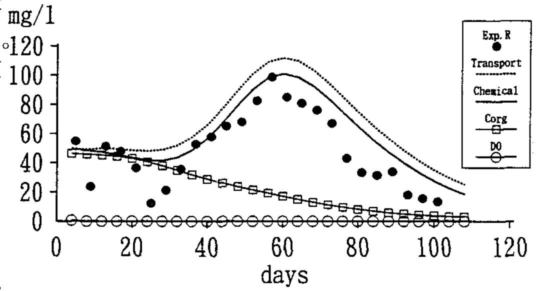
2)Nefziger, etc., IGWMC. 1989.

3)Kinzelbach, Water Resources Research, Vol. 27, 1991.

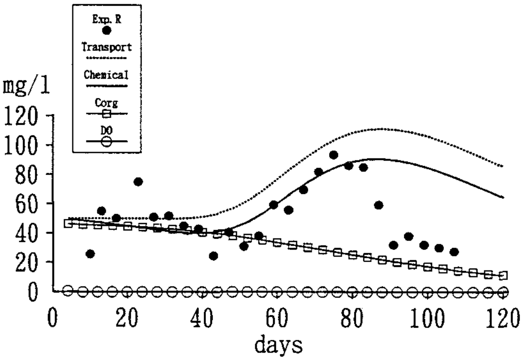
4)O. Wanner and W. Guijer, Wat. Sci. Tech., Vol. 17, 1985.



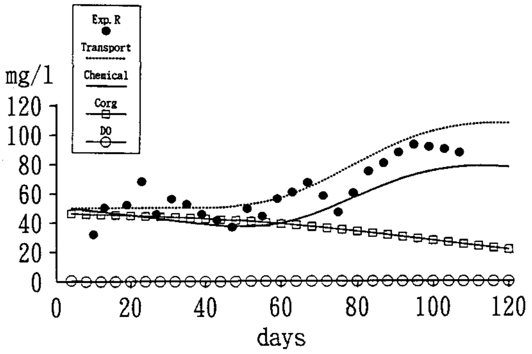
図－３　２０ｃｍカラムの濃度の時間的変化



図－４　５０ｃｍカラムの濃度の時間的変化



図－５　100ｃｍカラムの濃度の時間的変化



図－６　150ｃｍカラムの濃度の時間的変化