

黒ボク土農耕地から流出する窒素の溶出リスク評価法の開発

Development of evaluation technique for the nitrogen leaching risk in the Andisol agricultural land

○ 遠藤 明・三島 慎一郎
Akira ENDO and Shin-ichiro MISHIMA

1. はじめに

近年、農業活動で投入される肥料成分由来の過剰な栄養塩類、中でも硝酸態窒素による土壌・地下水汚染が世界中で問題となっている。この研究の目標は、日本の農耕地から溶出する過剰な窒素量を地域規模で算定し、窒素溶出リスクを算定することにある。具体的には、農耕地の養分の過不足把握するため、さまざまな耕種について肥料の使用量と収穫物として持ち出される養分量を勘案し、農耕地中に養分が蓄積しているのかどうか、また、河川や地下水を汚染するかどうかを判断する指標を作成することにある。この指標を作成するためには、まず、農耕地からの窒素溶出量を算出する必要があり、今回、有限要素法汎用ソルバーを用い窒素溶出量を算定したので報告する。

2. 材料および方法

(1) 有限要素法汎用ソルバーについて

作物体への窒素吸収・有機物分解・窒素形態変化等の現象を考慮した農耕地中の窒素輸送モデルは、従来から数多く開発されており、これらの中でも SOIL と SOILN(Johnsson et al., 1987)モデルの併用したものは有名である。従来のモデルは実測値との整合性が大きく有用なツールであるが、諸パラメータの種類が多く、設定が煩雑であり、モデルを使いこなすまでに多大な時間を要する。

農耕地土壌からの窒素溶出量を算定するため、有限要素法汎用ソルバー FlexPDE Professional Ver.5.0(PDE Solution Inc.)を用いた(遠藤ら, 2007)。本ツールは、微分方程式で記述される問題(例えば、多孔質体中の熱・物質輸送問題や、粘弾塑性体の応力・変形問題等)を、簡単な記述言語を定義することにより解く計算ツールである。通常、数値計算を行うためには、方程式の離散化、パラメータの展開、データ・ファイル入出力等のステートメントを記述することが必要であるが、本ツールはこれらの作業を必要とせずに解を提供し、グラフィック画面およびファイルに出力するという、問題提起～解の出力まで一連して行うものである。

(2) 計算に要する各種パラメータの同定

i) 窒素投入量・窒素吸収量・窒素発現量の設定

農耕地の窒素溶出量を算定する具体的な地域を栃木県に選定した(黒ボク・非黒ボク土の面積が約半数ずつを占めるため)。また、農林水産基礎

数値データベース(NBD)の 1995 年データを用い、同県の各耕種の作付面積を勘案し、主副産物の窒素吸収量およびマメ科作物の窒素固定量をもとに、土壌からの窒素持ち出し量を設定した(三島ら, 2003)。窒素溶出量の算定は、全耕種 46 種類について各々計算を行うことはせず、作物生育時期と施肥量が類似した各耕種を Type(A)～(H) の 8 種類に分類し計算を実施した(表1)。46 耕種の施肥量は堆肥無しの化学肥料由来窒素とし、農作物施肥基準(栃木県, 2006)にもとづき施肥量と基肥・追肥時期を設定した。地力窒素の発現量は、金野ら(1986)、杉原ら(1986)の温度換算日数を適用し、有機態窒素の無機化量として算出した。

ii) 土壌の物理・化学的性質と気象条件の設定

黒ボク土壌の透水性・保水性・乾燥密度・ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の分配係数・硝化速度係数・脱窒速度定数・溶質の分子拡散係数・分散長等は文献値を採用し、また、文献値からの計算によりサブモデル化を行った。日降水量は気象庁気象統計情報から引用し、これを次数 50 のフーリエ級数として与えた。

(3) 計算条件(支配方程式と初期・境界条件)

支配方程式は、根系密度の時間依存性を勘案した鉛直方向一次元(計算領域 0-50cm)の(i)蒸発散量を考慮した水分移動方程式、(ii)窒素の形態変化(硝化および脱窒)・窒素吸収・地力窒素発現等を考慮した、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の移流分散方程式と窒素ガスの拡散方程式、および(iii)水分移動を考慮した熱伝導方程式を用いた。初期条件は、硝酸態窒素濃度については、ライシメータ試験結果における初期値を採用した。地表面境界条件は、栃木県宇都宮市における日降水量の実測値、深度 10cmにおける地温と温度拡散係数の実測値から推定した地表面温度、各耕種の施肥時における窒素投入量を与えた。底面境界条件は、内部排水条件、溶質フラックスの連続条件、定常伝熱条件を与えた。

表1 作物生育時期と施肥量が類似した耕種群(A)～(H)

土地利用	Type	代表的な耕種
畑地	水田 (A)	水稻、陸稻
	麦類 (B)	小麦、二条大麦、六条大麦
	n>2 (C)	ナス、ネギ、ゴボウ、タマネギ他 2 耕種
	n=1 (D)	ハクサイ、ダイコン、サトイモ他 8 耕種
	n=0 (E)	ホウレンソウ、ソバ、カンショ他 4 耕種
	マメ科 (F)	ダイズ、アズキ、インゲン他 4 耕種
樹園地 (G)	リンゴ、ブドウ、モモ、ナシ他 6 耕種	
草地 (H)	混播(窒素吸収特性はオーチャードグラス)	

3. 結果および考察

(1) 代表的な耕種群の窒素溶出挙動

1作期における窒素溶出量が最多であった耕種群はハクサイ・ダイコン・サトイモ等の Type(D)であった。当該耕種群は、追肥が1回のみでの作物種であるが、春先～秋口にかけて、1回あたりの窒素施用量が多い。このため、他耕種群と比較して窒素溶出量が最も多かったものと考えられる。

図1にType(D)における1995年3月～11月中の日蒸発散量・日降水量の経日変化と体積含水率・ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度および $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度のイソプレット(縦軸:深度(cm)、横軸:経過日数(day)、右スケール:水分量($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)および濃度(mg cm^{-3}))を示す。基肥量は $t=30\text{day}$ 付近の4月に最も多く、表層5cmの $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は50ppmを超える状態が続いたが、施肥後2週間程度の間は濃度が急減し硝化がほぼ完了した。降水により $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が降下浸透する傾向にあったものの、深度30cm以深では高濃度領域が認められなかった。一方、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は、土壌表面から最下層にかけて高濃度で推移する期間が認められた。これは、表層付近の窒素がすべて作物に吸収されることなく、作物が吸収できなかった窒素と、有機物分解により生成したアンモニアが硝化された分の窒素が、降水により溶脱されたことによるものである。黒ボク土ではアニオン吸着が行われ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ が土壌に保持されるが、梅雨や秋雨時において日降水量が60mmを超える豪雨や、何日間にも渡る先行降雨が生起すると、窒素が下方まで一気に溶脱する傾向にあった。これは、硫酸などの即効性窒素肥料を施肥した直後に大雨が生起した場合、土壌深部に大量の窒素が到達することを示唆している。また、各耕種の窒素利用効率が低下する原因になる。

(2) 各耕種群の窒素溶出総量

生育期間中に各耕種群の任意の土壌面から溶出した $\text{NO}_3^-\text{-N}$ フラックス($\text{mg cm}^{-2} \text{day}^{-1}$)の積算値 $\Sigma \text{q}_{\text{NO}_3\text{-N}}$ (mg cm^{-2})を図2に示す。耕種群Type(A)と(B)を除き、土壌深部ほど溶出量が増加する傾向にあった。特に、Type(D)の深度40cmでは、1作期に $2.36(\text{mg cm}^{-2})$ の高い溶出量が認められた。草地Type(H)では春先から冬までの期間に4番刈まで行い窒素総吸収量が $3.83(\text{mg cm}^{-2})$ と多かったため、野菜類の耕種群と比較して溶出量が少なかった。マメ科作物Type(F)は基肥量が少ないため他耕種群よりも窒素溶出量が少なかった。麦類Type(B)は秋播きであり、降水量が比較的少ない秋口～春先に生育する。このため、降水に起因する窒素溶脱量が少なくなったことを受け、麦類における作土層以深の窒素溶出が顕著に認められなかった。

4. おわりに

農耕地からの窒素溶出リスクを算定することを目的に、栃木県の黒ボク土壌における窒素溶出量を算出した。その結果、溶出量の多少は耕種群・降水量により決定されることが判った。今後は同県の非黒ボク土の窒素溶出量を算出し、また、肥効調節型肥料を施用した条件の窒素溶出特性も併せて評価し、各地域規模での農耕地からの窒素溶出リスクを算定したいと考えている。

引用文献

- Johnsson, H, Bergstrom, L., Jansson, P. E. and Paustian, K. (1987) Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. In *Agric. Ecosyst. Environ.* 18, pp.333-356.
 遠藤ら(2007)システム農学会春季一般研究発表会講演要旨
 三島ら(2003)日本土壌肥料学会講演要旨集
 金野ら、杉原ら(1986)農環研報1, pp.51-68, pp.127-166

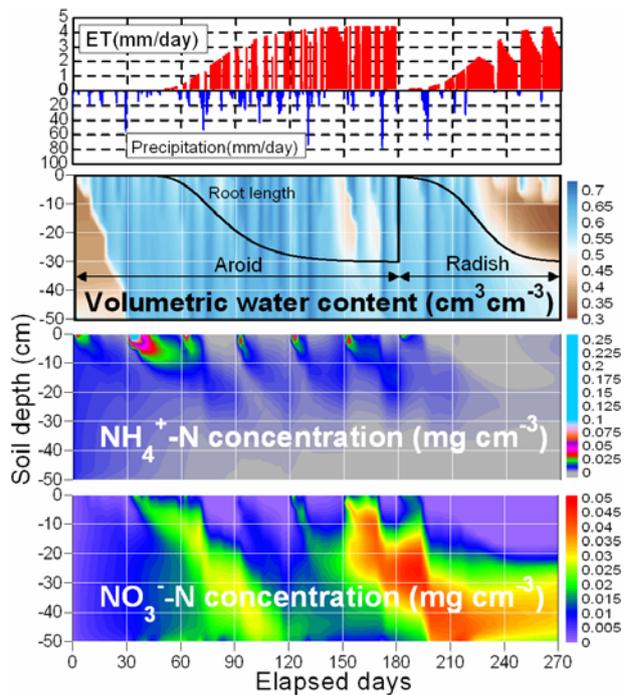


図1 蒸発散・降水量の経日変化と体積含水率・アンモニア態窒素濃度・硝酸態窒素濃度のイソプレット
経過日数0～180dayと180～270dayは、それぞれサトイモとダイコンの窒素吸収特性(吸収量と期間の関係)を反映

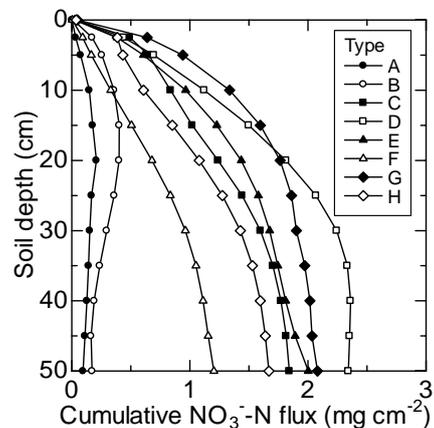


図2 各深度面から溶出した累積 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 量($\Sigma \text{q}_{\text{NO}_3\text{-N}}$)