

農耕地土壌間隙水の NO₃-N 濃度が 10 mg L⁻¹ を超えない条件を満たす施肥量の算定

How much is the amount of N-fertilizer which nitrogen concentration of soil pore water does not exceed 10 mg L⁻¹?

○遠藤 明*・三島 慎一郎**・神山 和則**

Akira ENDO*, Shin-ichiro MISHIMA** and Kazunori KHOYAMA**

1. はじめに 近年、農耕地への窒素施肥量は減少傾向にあるが、野菜と飼料作物については、2000年頃から増加傾向にある(三島・神山, 2010)。樹園地の施肥量は全般的に減少傾向にあるが、果樹品目によっては未だに多量の施肥がなされている(農林水産省, 2009)。本研究の目的は、農耕地に投入する窒素肥料や農地土壌に残存している余剰窒素が環境に対して負のインパクトを与えないような具体的な方策を模索することにある。今回、黒ボク土と灰色低地土の水田・畑地・樹園地・牧草地において、1年間の土壌中の硝酸態窒素(以下、NO₃-Nと記す)の動態を把握し、農地土壌水中の NO₃-N 濃度が 10 mg L⁻¹ を超えない条件を満たす施肥量を推定したので報告する。

2. 材料および方法

(1) 試料採取および土壌物理性: 栃木県農業試験場(栃木県宇都宮市)の黒ボク土畑(図 1(a))・黒ボク土水田(図 1(b))および栃木県小山市の灰色低地土(水田輪作)(図 1(c))において土壌断面を観察し、深度 10, 30, 50, 70, 90 および 100 cm から、不攪乱土と攪乱土を採取した。黒ボク土畑、黒ボク土水田、灰色低地土の飽和透水係数は、それぞれ 10⁻³~10⁻⁴、10⁻³~10⁻⁶、10⁻³~10⁻⁴ (cm s⁻¹) のオーダーであった。国際法に基づく土性は、黒ボク土畑、黒ボク土水田、灰色低地土でそれぞれ、SCL~LiC、HC~LiC、LiC~CL であった。

(2) NO₃-N の吸着特性: 採取した 3 種類の土壌を用いて NO₃-N の吸着実験を行った。黒ボク土畑の上層 10, 30 cm では、低濃度領域の吸着等温線の傾きが非常に小さかった。深度 50 cm 以深の NO₃-N の吸着量は、上層の 5~7 倍多かった。黒ボク土水田の NO₃-N の吸着量は、黒ボク土畑の上層土壌の 5~6 倍多かった。一方、灰色低地土の NO₃-N の吸着量は、黒ボク土水田の半分以下であった。

(3) NO₃-N 移動の数値計算: 有限要素法汎用ソルバー FlexPDE (PDE Solution Inc.)を用いて作成した Endo et al. (2009)の数理モデルを用い、1995年 1月~12月の栃木県における農地土壌間隙水中の無機態窒素濃度の挙動と、深度 1 m における無機態窒素の浸透流出量を算出した。計算空間次元は鉛直方向 1 次元、地表面~深度 1 m を解

析領域とした。はじめに、採土した土壌の物理性・化学性の諸パラメータを数理モデルに入力した。次に、気象観測により得られた日降水量のデータを数理モデルに入力した。無機態窒素の浸透流出量は、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(表 1)して計算した。46 耕種の施肥量は堆肥無しの化学肥料由来窒素とし、栃木県農作物施肥基準(栃木県, 1992)に基づき施用量と基肥・追肥時期を設定した。

(4) 推定施肥量の算定: (1)式を用いて、1年間の土壌水中の NO₃-N の平均濃度が 10 mg L⁻¹ を超えない条件を満たす施肥量 \bar{N} (mgN cm⁻²) を算定した。

$$\bar{N} < \sum N_{app} - (\sum NO_3-N - 0.01 \sum q_w) \quad (1)$$

ここに、 N_{app} : 標準施肥量(mgN cm⁻²)、 $\sum NO_3-N$: 深度 90 cm から浸透流出する 1年間の NO₃-N 総量(mgN cm⁻²)、 $\sum q_w$: 深度 90 cm から浸透流出する水フラックス密度(cm)の年間総量である。なお、(1)式左辺第 2 項の 0.01 は環境基準の硝酸態窒素濃度であり、0.01(mgN cm⁻³) = 10(mgN L⁻¹)を表している。

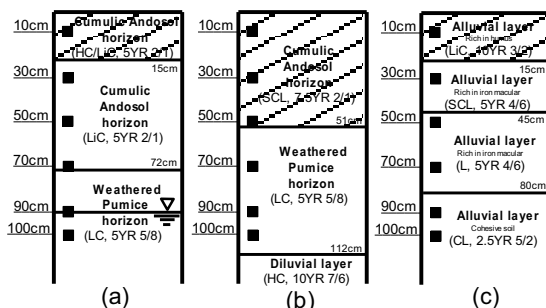


図 1 土壌断面の観察結果と採土深さ

表 1 生育時季と施肥量が類似した耕種群の区分

Type	土地利用	代表的な耕種 (n は追肥回数を表す)
A	水田	水稻, 陸稲
B	畑	麦類
C		n>2*
D		n=1*
E		n=0*
F	地	豆科
G	樹園地	リンゴ, ブドウ, モモ, ナシ他 6 耕種
H	草地	イネ科牧草とマメ科牧草の混播

*畑地の n は各耕種の追肥回数を表す

*弘前大学農学生命科学部 **農業環境技術研究所 †Hirotsaki University ‡National Institute for Agro-Environmental Sciences
農耕地、NO₃-N 濃度のインプレット、推定施肥量

3. 実験結果および考察

(1) **NO₃-N 濃度のイソプレット** : 図2に黒ボク土農耕地における各耕種群の NO₃-N 濃度のイソプレット(単位:mgN L⁻¹)を示す。水田(Type A)は年間を通じて濃度が低いが、中干し期間では表層の濃度が 10 mg L⁻¹を超えた。草地(Type H)は4番刈まで行い多肥傾向にあるが、牧草による窒素吸収量が多いため、濃度が1年を通じて低かった。麦類などの冬作物(Type B)は11月に基肥のみを行った(追肥無し)。降水量が少ない冬～春先に、表層土壌での濃度が 80 mg L⁻¹を超えた。そして、降水により春先から梅雨時季にかけて下方へと浸透流出し、深度 1 m での濃度ピークは7月中旬～9月中旬に確認できた。各耕種の追肥回数が2回以上の野菜類(Type C)は、深度 10-60 cm で濃度が年間を通じて高かった。7月以降の施肥由来の窒素が、降水により翌年の春先から梅雨時季にかけて浸透流出し、深度 1 m での濃度ピークは7月中旬～9月中旬にかけて見られた。各耕種の追肥回数が1回の野菜類(Type D)では、深度 0-20 cm で濃度が高かったが、日降水量が 60 mm を超えると、深度 50 cm 付近まで高濃度の領域が見られた。追肥を行わない野菜類と飼料作物(Type E)は、春先に行った施肥由来の窒素が、5月中旬の降水で浸透流出した。5月～7月中旬までの降水量が多かったこと、飼料作物の窒素吸収量が多かったことを受け、6月～7月の深度 0-40 cm の濃度がほぼゼロであることが判った。豆類(Type F)は、窒素固定を行うため施肥量は少なめであるが、吸収量に対して施肥量が多いことを受け、深度 50 cm 以深の濃度が年間を通じて 10 mg L⁻¹を超えた。施肥・追肥量が多い樹園地(Type G)は、11月の基肥後、表層土壌中の濃度が 100 mg L⁻¹を超え、春先～梅雨時季の降水により下方へと浸透流出

した。樹園地における浸透流出パターンは冬作物(Type B)と類似しているが、深度 1 m の濃度のピーク到達時期は、Type Bよりも1か月程度早く、1年を通じ高濃度で推移していることが明らかになった。

(2) **推定施肥量の算定結果** : 図3に各耕種の標準施肥量と推定施肥量の関係を示す。推定施肥量とは、農耕地土壌間隙水の NO₃-N 濃度の平均値が1年間を通じて 10 mg L⁻¹を超えない条件を満たすための施肥量 \hat{N} である。黒ボク土農耕地の Type C, D, E, F, G と灰色低地土農耕地の Type C, G では、現行の標準施肥量の条件で作付けすると、NO₃-N 濃度の平均値が 10 mg L⁻¹を超える、過剰な施肥条件であることが判った。これを回避するためには、多肥傾向にある野菜作(Type C)の黒ボク土と灰色低地土で、それぞれ 66 kgN ha⁻¹と 31 kgN ha⁻¹(標準施肥量の 30%と 14%に相当)、樹園地(Type G)の黒ボク土と灰色低地土で、それぞれ 60 kgN ha⁻¹と 41 kgN ha⁻¹(標準施肥量の 37%と 25%に相当)の減肥が必要であることが判った。作物の窒素吸収量と NO₃-N の浸透流出量を考慮すると、黒ボク土 Type C の削減量は実現不可能と考えられるが、灰色低地土の Type C と、2種類の土壌型の Type G の削減量は実現可能であると考えられる。

謝辞 : 本研究は平成 23 年度科研費(若手研究 B、課題番号 22780224)の助成を受け実施したので感謝の意を表す。

引用文献

- A. Endo, S. Mishima and K. Kohyama (2009): Modeling nitrate leaching on a cropped Andosol, *Nutr. Cyc. Agroecosyst.*, 85(1), 41-61.
 栃木県(1992): 栃木県農作物施肥基準.
 農林水産省(2009): 果樹生産における施肥の現状と課題、施肥高騰に対応した施肥改善等に関する検討会(第3回平成 21 年 5 月 25 日), 資料 3.
 三島慎一郎・神山和則(2010): 近年の日本・都道府県における窒素・リン酸フローと余剰窒素・リン酸の傾向に関する算出方法とデータベースおよび運用例, *農環研報*, 27, 113-139.

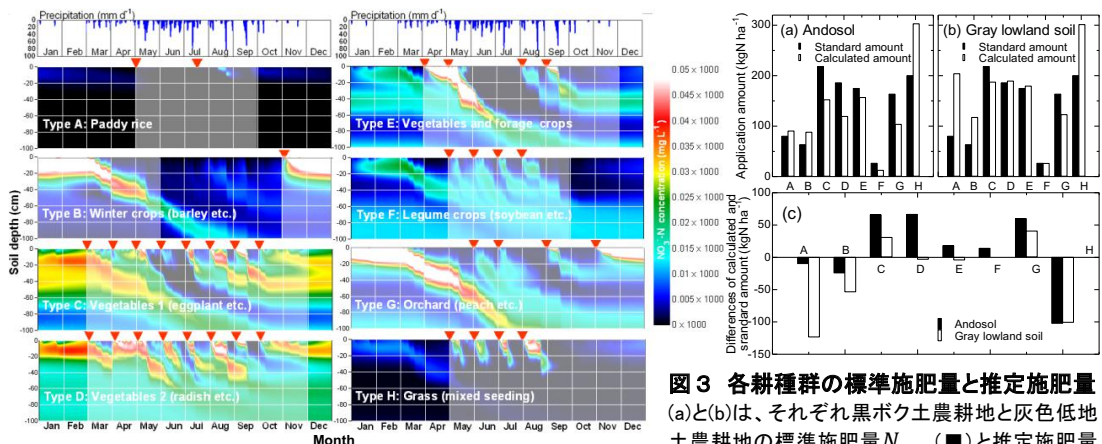


図2 NO₃-N 濃度のイソプレット(縦軸:土壌深度(cm)、横軸:月) 最上のグラフは日降水量(mm)、▼印は施肥のタイミング、カラースケールは NO₃-N 濃度(mg L⁻¹)、白色ハッチは各耕種の生育期間を表す。

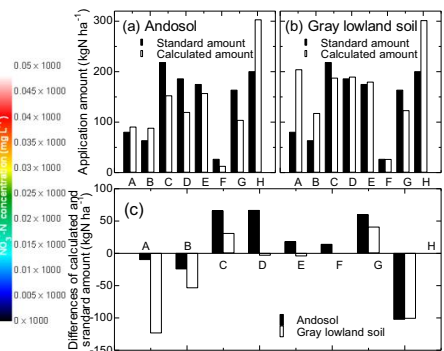


図3 各耕種群の標準施肥量と推定施肥量 (a)と(b)は、それぞれ黒ボク土農耕地と灰色低地土農耕地の標準施肥量 N_{app} (■)と推定施肥量 \hat{N} (□)を表す。(c)は、黒ボク土農耕地(■)と灰色低地土農耕地(□)の標準施肥量と推定施肥量の差であり、正の値は過剰な施肥量を表す。