

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月2日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22780224

研究課題名（和文） 農耕地の余剰窒素が環境にどの程度の負のインパクトを与えるのか？

研究課題名（英文） How much negative impact does surplus nitrogen in the agricultural land give to environment?

研究代表者

遠藤 明（ENDO AKIRA）

弘前大学・農学生命科学部・助教

研究者番号：70450278

研究成果の概要（和文）：水田・畑地・樹園地・牧草地等の農耕地において、作付期間と非作付期間の1年間の土壌間隙水中の無機態窒素の動態を把握した。また、各耕種の農耕地において、深度90 cm から1年間に浸透流出する硝酸態窒素量を算出した。これらの解析結果から、農地土壌水中の硝酸態窒素濃度が  $10 \text{ mg L}^{-1}$  を超えない条件を満足する施肥量を算定して示すことが可能になった。

研究成果の概要（英文）：In the agricultural land such as paddy field, upland field, orchard land and pasture land, the authors analyzed the behavior of inorganic nitrogen in soil pore water during a year of cropped and non-cropped season. In these agricultural lands, the nitrate nitrogen which discharged from 90 cm depth during a year was calculated. From the results of this analysis, it became possible to calculate the nitrate nitrogen concentration of soil pore water which does not exceed  $10 \text{ mg L}^{-1}$ .

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：物質循環、土壌物理、地域環境保全

## 1. 研究開始当初の背景

近年、わが国の農耕地において、農作物の高品質・多収穫を目的に、施肥基準を超える施肥がなされてきた事例が見受けられる。このことは、農耕地が過剰な養分状態であることを意味する。また、農畜産由来の窒素成分が地下に浸透あるいは河川に流出した結果、地下水・河川水・閉鎖系水域の富栄養化による水質汚濁が進行している。このことを受け、持続可能な農業・農村の開発を推進するため、土壌物理学・土壌肥料

学・環境水文学の各分野において、農耕地に投入した窒素肥料の動態、肥料成分が土壌中から河川に流出するメカニズムを解明する研究等が勢力的に行われてきた。また、日本全国の都道府県の農耕地における窒素フローの広域評価を行うために、栄養塩類の地表面収支計算システムを用いた農耕地の余剰窒素量が算定されてきた。しかし、前者の物質輸送論的な研究においては、対象農耕地の規模が圃場・流域単位であり、都道府県・市町村区界規模（以下、広域

規模と記す)の広域評価はなされていない。また、後者の広域の農耕地を対象とした栄養塩類の地表面収支量は、農業センサス年の、農耕地への窒素投入量、主産物・副産物の窒素持ち出し量を算出することにより、都道府県・市町村単位で簡易に計算できるが、農耕地の土壌型・気象条件・窒素の有機化/無機化、さらには窒素溶脱量等の物理・化学・生物学的現象が計算システムに反映されていない。このため、「農耕地の余剰窒素が環境にどの程度の負のインパクトを与えるのか？」という事象を、広域規模で定性的に把握することができない問題がある。したがって、広域規模での窒素フローを考慮する場合、(1)多種の土壌型の農耕地において、(2)複数の作付体系の下、(3)作物生育期間および非生育期間に浸透流出・表面流出する無機態窒素量を勘案する必要がある。

## 2. 研究の目的

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。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。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、NO<sub>3</sub>-Nと記す)の動態を把握し、農地土壌水中のNO<sub>3</sub>-N濃度が10 mg L<sup>-1</sup>を超えない条件を満足する施肥量を推定した

## 3. 研究の方法

### (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・黒ボク土水田および栃木県小山市の灰色低地土(水田輪作)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<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup>、10<sup>-3</sup>~10<sup>-6</sup>、10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup> (cm s<sup>-1</sup>)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。また、果樹園における農耕地の余剰窒素の挙動を把握するため、マサ土イチジク樹園地(兵庫県川西市)と灰色低地土リンゴ樹園地(青森県弘前市)においても、同深度で土壌を採取し、物理性・化学性試験を実施した。

### (2) NO<sub>3</sub>-Nの吸着特性

採取した3種類の土壌を用いてNO<sub>3</sub>-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NO<sub>3</sub>-Nの吸着

量は、上層の5~7倍多かった。黒ボク土水田のNO<sub>3</sub>-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NO<sub>3</sub>-Nの吸着量は、黒ボク土水田の半分以下であった。

### (3) NO<sub>3</sub>-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)の数値モデルを用い、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値モデルに入力した。次に、気象観測により得られた日降水量のデータを数値モデルに入力した。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)~Type(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)に基づき施肥量と基肥・追肥時期を設定した。

(1)

ここに、N<sub>app</sub>:標準施肥量(mgN cm<sup>-2</sup>)、ΣNO<sub>3</sub>-N:深度90 cmから浸透流出する1年間のNO<sub>3</sub>-N総量(mgN cm<sup>-2</sup>)、Σq<sub>w</sub>: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<sup>-3</sup>) = 10(mgN L<sup>-1</sup>)を表している。

## 4. 研究成果

### (1) NO<sub>3</sub>-N濃度のインプレット

図1に黒ボク土農耕地における各耕種群のNO<sub>3</sub>-N濃度のインプレット(単位:mgN L<sup>-1</sup>)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<sup>-1</sup>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

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)
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

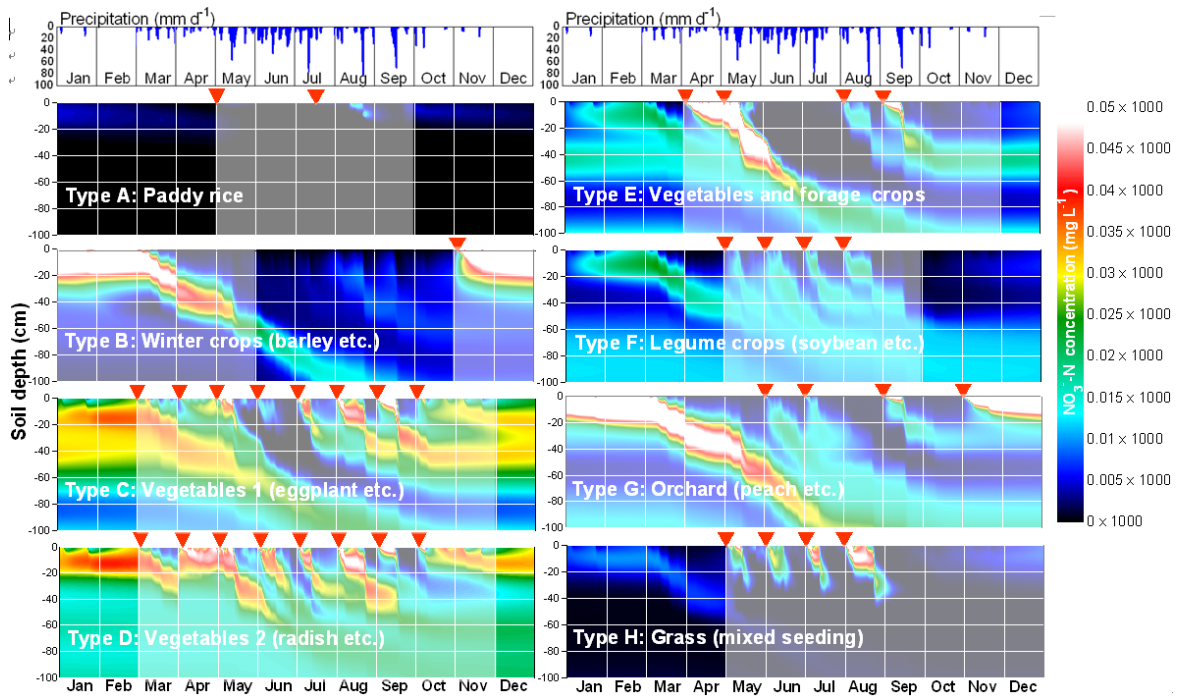


図2 各耕種農耕地のNO<sub>3</sub>-N濃度のインプレット

縦軸は土壌深度(cm)、横軸は月を表す。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NO<sub>3</sub>-N濃度(mg L<sup>-1</sup>)、白色ハッチは各耕種の生育期間を表す。

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<sup>-1</sup>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1m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1m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<sup>-1</sup>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<sup>-1</sup>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1m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することがわかった。

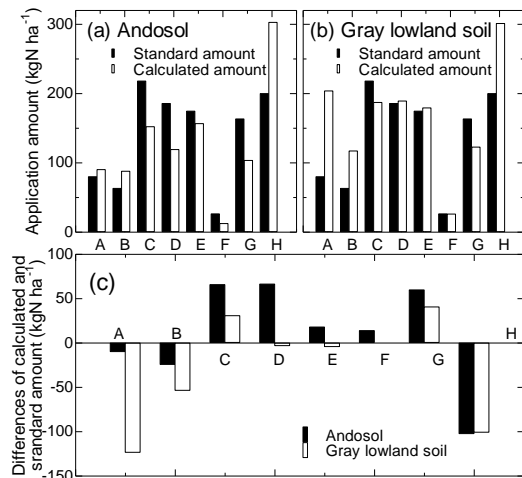


図3 各耕種群の標準施肥量と推定施肥量

(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(■)と推定施肥量(□)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。

(2) 推定施肥量の算定結果

図2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NO<sub>3</sub>-N濃度の平均値が1年間を通じて10 mg L<sup>-1</sup>を超えない条件を満たすための施肥量である。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、NO<sub>3</sub>-N濃度の平均値が10 mg L<sup>-1</sup>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<sup>-1</sup>と31 kgN ha<sup>-1</sup>(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<sup>-1</sup>と41 kgN ha<sup>-1</sup>(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NO<sub>3</sub>-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。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① 遠藤明, 三島慎一郎, 神山和則: 農耕地土壌間隙水のNO<sub>3</sub>-N濃度が10mgL<sup>-1</sup>を超えない条件を満たす施肥量の算定, 2012年度農業農村工学会大会講演会, 2012年9月, 札幌(北海道大学)
- ② 遠藤明, 内野平, 中川拓哉: マサ土樹園地における表層土壌間隙水の無機態窒素の挙動, 2011年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月, 福岡(九州大学)
- ③ 遠藤明, 三島慎一郎, 神山和則: 黒ボク土農耕地における間隙水中の硝酸態窒素濃度および浸透流出量の推定, 2010年度農業農村工学会大会講演会, 2010年9月, 神戸(神戸大学)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

遠藤 明 (ENDO AKIRA)

弘前大学・農学生命科学部・助教

研究者番号: 70450278

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし