

学 位 論 文 題 名

EVALUATING THE STRUCTURE OF
NITROGEN CYCLING IN FARM GATE FOR
OPTIMUM N MANAGEMENT

(最適窒素管理のための農場レベルにおける窒素循環構造の評価)

学位論文内容の要旨

人類は、食料生産と消費の過程を通して、過去 100 年間に地球上の植物吸収可能な窒素量は 2 倍にしてきたといわれている。地域レベルから地球レベルにわたって、窒素に起因する富栄養化、酸性化、地球温暖化などの環境への影響が顕在化し始めている。今後、50 年間で 50% 近くの人口増加が予想されており、さらに窒素肥料が大量に投入され環境負荷が助長される可能性がある。

食料の生産と消費に伴い、窒素は、農地、人間、家畜の系へ持ち込まれ、各系間を巡り、環境へ流出している。これまで農業統計データを利用し、窒素収支法により、地域レベル、地球レベルでの人間や家畜からの廃棄窒素や農地の余剰窒素を推定し、環境への負荷量として評価してきた。生産性を維持し、環境負荷を最小限にする農業技術の開発のためには、農場レベルでの窒素収支、窒素循環の実態を評価する必要がある。本研究では窒素収支法によって農場レベルでの食料と飼料の投入量、化学肥料の窒素投入量、作物の窒素収穫量および家畜糞尿、人間尿尿の発生窒素量を統一的に把握することにより、窒素循環構造を評価し、環境と調和した適切な窒素投入量を算定する方法を提示することを目的とした。

1 三笠における窒素収支法による窒素循環構造の評価

三笠は北海道中央部の水田地帯に位置し、主要な農業生産は水田、たまねぎ畑、麦畑、野菜、草地と畜産など典型的な日本農村地域である。各土地利用を含む 23 軒の農家に

窒素収支に関わる項目について聞き取り調査を行い、窒素収支法により余剰窒素の原単位を求め、各土地利用面積を用いて、三笠市の窒素負荷量を求めた。農地余剰窒素は、76.34MgNと見積もられた。その内訳は水田9.44MgN、麦地7.25MgN、タマネギ畑27.35MgN、野菜18.59MgN、草地13.71MgNであった。農地の余剰窒素は河川への流出負荷の面源となる。生ゴミによる窒素の廃棄は12.22MgNであり、人間尿尿は35.17MgN、鶏糞の廃棄は10.17 Mg Nであり、その総量は57.56MgNであった。これらの窒素負荷源は点源となる。なお、酪農で発生する家畜糞尿はすべて草地に還元されていた。面源と点源の総量は133.9MgNであり、窒素負荷の57.0%が面源に由来すると見積もられた。

各土地利用の農地余剰窒素は水田 16.0 kg N ha⁻¹、麦地 50.2 kg N ha⁻¹、タマネギ畑 129.3 kg N ha⁻¹、野菜 294.9kg N ha⁻¹、草地 68.2kg N ha⁻¹であり、全体の平均値は63kg N ha⁻¹であり、三笠の余剰窒素はタマネギ畑、野菜に強く偏っていた。酪農では家畜と草地間に内部循環が認められたが、その他の土地利用への堆肥の利用は無く、人間と農地間の循環は全く無かった。面源負荷は化学肥料施与に起因することを示していた。

2 中国七百弄窒素収支法による窒素循環構造の評価

中国広西壮族自治区大化県七百弄では過去、人間尿尿と家畜糞尿による堆肥を用いた自給自足的経済のもとに伝統社会を形成してきた。近年、社会の解放に伴って食料と飼料の購入および化学肥料の施用が急速に増加し、また、堆肥の施用減少など生産構造が急速に変化している。そこで七百弄内の4集落46軒の農家を対象に聞き取り調査を行い、窒素循環構造の特徴を検討した。人間、家畜、農地間の内部循環は認められたが、多量の化学肥料が消費されていた。化学肥料の施用量は113-1124 kg N ha⁻¹（平均399.5kg N ha⁻¹）であり、その増加に伴って余剰窒素量が6-511 kg N ha⁻¹の範囲で直線的に増加した。植物吸収量は172 kg N ha⁻¹を超えることは無かった。堆肥を含め施与された窒素はアンモニア揮散すると見積もられた。多量の化学肥料の施用が食料生産よりむしろ環境負荷を生み出していた。

3. 飲用水基準を超えない浸透水濃度に保つ窒素施用量臨界値の見積り

農地の浸透水量は各地の降水量から蒸発散量を差し引いて見積もった。農地浸透水の窒素濃度は、農地の余剰窒素量を農地浸透水量で除して推定した。三笠、七百弄ともに推定した浸透水窒素濃度は、化学肥料と堆肥による窒素施与量と正の高い相関関係があり、浸透水窒素濃度が飲用水基準の 11.3 mg N L^{-1} (WHO, 1998) となる窒素施与量は、三笠で $143.3 \text{ kg N ha}^{-1}$ 、七百弄が $297.1 \text{ kg N ha}^{-1}$ と見積もられた。すなわち、この窒素施与量が飲用水基準を満たす農地排水の臨界点と定義される、

4. Cycling index を用いた理想的な窒素循環構造の見積もり

農場では農地、人間、家畜系において、収穫、食料と飼料の消費、堆肥や残渣の投入による窒素循環に、化学肥料、食料、飼料、窒素固定、窒素降下物により窒素がインプットされ、農産物、畜産物の出荷、アンモニア揮散、脱窒、廃棄、溶脱によるロスが生じる。内部循環と出荷、ロスの合計は、全システムフロー (TST) と呼ばれ、Finn(1980) によれば TST に対する内部循環の割合は Cycling Index (CI) と定義されている。ここでは、さらに、出荷とロスについても、TST に対する割合を Export Index (EI)、Loss Index (LI) と定義した。また、TST は内部循環と化学肥料や購入食料飼料、窒素固定、窒素降下物によるインプットとの合計にも等しい。そこで、TST に対する化学肥料と堆肥により投入される窒素量の割合を Fertilization index (FI) と定義した。三笠では FI が 0.72 のとき、EI は 0.62 の最大値を示し、そのとき LI は 0.23 の最小値を示した。CI は 0.15 であった。七百弄では FI が 0.42 のとき、EI が 0.33 の最大値となり、そのとき LI は 0.45 の最小値を示した。CI は 0.22 であった。浸透水窒素濃度を飲用水基準に保つ窒素施肥量の臨界値は、三笠と七百弄でそれぞれ 143.3 、 $297.1 \text{ kg N ha}^{-1}$ であったので、三笠の FI から臨界の TST を求めたところ、三笠で $199.0 \text{ kg N ha}^{-1}$ 、七百弄で $707.1 \text{ kg N ha}^{-1}$ と見積もられた。化学肥料、食料や飼料の購入、窒素固定や窒素降下量も含めた窒素インプットの臨界値は三笠では $169.2 \text{ kg N ha}^{-1}$ 、七百弄では $551.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ と見積もられた。畑と水田農家主体の三笠では、畜産農家で構成される七百弄より内部循環量は小さいが、少ない窒素インプットで最大の窒素収穫量が得られ、ロスも小さく、窒素利用効率が高いことを示している。畜産農家からの窒素のロスは主にアンモ

ニア揮散により生じており、その改善が望まれる。

5. 結論

窒素収支法により農場レベルの窒素フローを見積もることにより、農地の余剰窒素量から浸透水の窒素濃度が予測され、それに基づく窒素施用量の臨界値が得られるとともに、環境負荷と生産性の関係も明らかにでき、理想的な農場窒素投入を定量的に評価できることを明らかにした。最適な窒素管理のためには、アンモニア揮散を少なくする、糞尿や化学肥料の取り扱いが必要である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 長 澤 徹 明

副 査 教 授 長谷川 周 一

副 査 助教授 南 雲 俊 之 (静岡大学農学部)

学 位 論 文 題 名

EVALUATING THE STRUCTURE OF NITROGEN CYCLING IN FARM GATE FOR OPTIMUM N MANAGEMENT

(最適窒素管理のための農場レベルにおける窒素循環構造の評価)

本論文は 8 章からなり、図 33、表 11、引用文献 154 を含む 142 ページの英文論文である。他に参考論文 3 編が添えられている。

食料生産と消費の過程において地球上の窒素循環量が大きく増加し、環境への窒素負荷が顕在化している。生産性を維持しつつ、環境負荷を最小限にする農業技術を開発するために、農場レベルでの窒素フローの実態を評価することが不可欠である。本研究は窒素収支法により、農場レベルでの調査に基づき窒素循環構造を評価し、環境と調和した適切な窒素投入量を算定する方法を提示することを目的として行われたものである。

1. 三笠における窒素収支法による窒素循環構造

典型的な農村地域で集約的農業が営まれている北海道中央部の三笠において、代表農家 23 軒を選び、聞き取り調査を行い、窒素収支法により環境への窒素負荷量を求めた。その結果、窒素負荷の総量は 134 MgN y^{-1} で、そのうち農地余剰窒素が 57%を占め、タマネギ畑と野菜畑で特に多いことを認めた。一方、酪農では、発生する家畜糞尿を利用し家畜と草地間に内部循環が形成されていることを認めた。しかし、他の土地利用への堆肥の移動は認められず、人間と農地間の循環も全く無いことを示した。

2. 中国七百弄における窒素収支法による窒素循環構造

中国広西壮族自治区大化县七百弄では過去、自給自足的伝統社会を形成してきたが、近年、社会の解放に伴い生産構造が急速に変化している。七百弄内の 4 集落の農家全 46 軒を対象に聞き取り調査を行い、窒素循環構造の特徴を検討した。伝統的な堆肥の循環利用がなされ内部循環が形成されていることを認めた。しかし、多量の化学肥料も消費されており、化学肥料施用量の増加に比例し、農地の余剰窒素量は増加していた。七百弄全体での余剰窒素は $167 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。さらに化学肥料の増加とともに

未利用堆肥が増加し、全体で $107\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ に達した。また、アンモニア揮散が $133\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と多量に生じており、その 70% が化学肥料に由来していた。これは七百弄で用いられている化学肥料が炭酸アンモニウムや尿素であることに起因している。

3. 飲用水基準を超えない浸透水濃度に保つための臨界窒素施用量の見積り

三笠、七百弄ともに農地への窒素施用量と農地余剰窒素には有意な正の関係が認められた。農地余剰窒素を農地浸透水量で除すことにより、浸透水中の窒素濃度を推定した。農地の浸透水量は各地の降水量から蒸発散量を差し引いて求めた。浸透水窒素濃度が飲用水基準の 11.3mgN L^{-1} (WHO, 1998) となる農地余剰窒素量は、三笠で $68\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ 、七百弄が $102\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と推定された。窒素施用量と農地余剰窒素の関係から、飲用水基準を満たす臨界の窒素投入量は、三笠で $143\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ 、七百弄で $297\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と見積もられた。七百弄では降水量が多く浸透水が希釈されることと、アンモニア揮散が多く農地の余剰窒素を低下させることが、大きな施用量を必要とする原因であった。

4. Cycling index を用いた理想的な窒素循環構造の見積もり

食料生産と消費に伴う窒素循環系において、内部循環と出荷、ロスの合計は全システムフロー (TST) と呼ぶ。出荷とロスの合計量は系への窒素インプットに等しい。TST に対する内部循環の割合は Cycling Index (CI) と定義される (Finn, 1980)。本研究では更に、TST に対する出荷とロスの割合を Export Index (EI)、Loss Index (LI) と定義した。また、TST に対する化学肥料と堆肥による投入窒素量の割合を Fertilization index (FI) と定義した。

EI が最大るとき LI は最小となり、EI が増加すると LI が減少する傾向があった。EI が最大値となる FI と、飲用水基準を満たす窒素施用量を用いて TST を求めることにより、生産を最大にしかつ環境負荷を最小にする農場への臨界窒素投入量(化学肥料、購入食料飼料、窒素固定と大気窒素降下物)を求めた。その値は三笠で $169\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ 、七百弄で $552\text{kgN ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と見積もられた。七百弄ではアンモニア揮散が大きいため、浸透水窒素濃度を基準とする本手法は、臨界窒素投入量を著しく大きく見積もった。しかし、過剰なアンモニア揮散は、大気窒素降下物を増やし土壌の酸性化など環境への悪影響につながることから、今後、アンモニア揮散を考慮に入れた評価手法を発展させる必要があることを認めた。

以上のように、本論文は、窒素収支法を用いて農場レベルの窒素フローを見積もることにより、環境負荷と生産性の関係を明らかにし、農場への臨界窒素投入量を定量的に評価する手法を明らかにしたものであり、環境保全型農業の推進へ貢献するとともに、関連学会においても高く評価されている。よって審査員一同は梁雷が博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。