

農業生産における窒素フローとそれに伴う環境負荷 ポテンシャルの定量法および低減策

三島慎一郎

(独)農業環境技術研究所化学環境部

Nitrogen flow associated with agricultural practices in Japan and quantitative evaluation and mitigation plants for environmental risk

Shin-ichiro MISHIMA

*Department of Environmental Chemistry, National Institute for Agro-Environmental Sciences,
Ibaraki 305-8604, Japan*

キーワード：化学肥料、家畜ふん尿、窒素フロー、環境負荷、農業生産、低減策

緒 言

窒素、リン、及びカリウムは、作物生産において必須の多量要素である。中でも窒素は、コムギやイネの増産をもたらした緑の革命が、窒素化成肥料の多投入と灌漑によって成し遂げられたといわれている。FAOの統計は、世界の穀類生産においては、窒素施用量と収穫量の間に有意な正の相関 ($r = 0.983$) があることを示している。今後の人口増加に伴う食料需要の増大のために窒素利用は増加することが見込まれる。一方で農業における窒素利用が温暖化や環境の酸性化に関わる広範囲な環境負荷物質の発生における主要な要因として挙げられるようになった。例えば亜酸化窒素による地球温暖化への寄与があり、地域的にはアンモニアや窒素酸化物による自然環境の酸性化や富栄養化による貧栄養生態系の破壊、硝酸態窒素による地下水汚染による健康被害等が挙げられる。日本における窒素過剰問題は、圃場やライシメータを用いたミクروسケールの研究と国や地域を単位としたマクروسケールの研究がなされて来た。本研究で扱うマクروسケールの研究としては、国を単位として食料輸入や農業生産に伴う窒素の利用・循環と環境負荷の面から、窒素量で見た農産物の輸入量と国内での農業生産によって再利用される窒素量から環境負荷となる窒素量を推定するモデルや、農産物の輸入と国内生産分の流通と消費に伴って発生する廃棄物量から環境負荷を推定するモデルが開発され、環境負荷となる窒素量が推計されてきた。また市町村において、窒素量で見た食料飼料の購入、生産と消費、廃棄物の利用と廃棄に関するモデルから、農業が環境に与える負荷に関して推計が行われている。しかし、農業生産に伴って発生する環境負荷に特化した研究は行われてこなかった。OECDでは、農業生産に伴って発生する環境負荷に特化した窒素フローの枠組みを作製しているが、日本の農業生産の実態を反映させるためには枠組みを変更することが必要になると考えられた。そこで本研究では、農業生産に伴う窒素フローと環境負荷ポテンシャルを求めるための枠組みを作り、各窒素フ

ローの算出方法を決め、枠組みに沿って任意の年・地域の窒素フローを算出するデータベースシステムを構築した。次いで日本における主要な窒素フローである家畜ふん尿の発生量と利用・廃棄、化学肥料の施用量、作物生産量と環境負荷ポテンシャルの経時的变化を求めた。また、環境負荷ポテンシャルをもとに都道府県をクラス分けし、その値が環境負荷ポテンシャルの高い県についてこれを低減するための技術評価を行った。最後に日本における窒素利用の適正さと今後の必要事項を考察した。

A. 枠組みの作成と窒素フローの算出方法の確立およびデータベース化

A-1. 枠組みの作成

農業生産に特化した環境負荷ポテンシャルを求める枠組みは以下のようなものである。家畜ふん尿由来の厩肥、化学肥料、灌漑水、窒素固定、雨水が農地へのインプットであり、農作物、農作物副産物の持出し（粗飼料、工芸品等）、脱窒がアウトプットであり、インプットとアウトプットの差が農地において残留する窒素量である。この枠組みにおいては、これは農地から発生する環境負荷のポテンシャルとなる窒素である。家畜ふん尿は厩肥として利用される一方、何らかの形で未利用のまま環境中に廃棄される。未利用の家畜ふん尿もまた環境負荷のポテンシャルとなる。

A-2. 窒素フローの算出方法

家畜ふん尿の発生量は、生育段階別の家畜ふん尿の排泄窒素量の原単位に統計資料に示された生育段階別の飼養頭羽数を乗じて求めた。これにコンポスト化または貯留中の窒素の気散分を差し引いて農業生産に利用可能な家畜ふん尿窒素量を算出した。地域、年度別に畜種別家畜ふん尿の利用率を統計資料から求め、厩肥として利用される家畜ふん尿部分と廃棄される部分を振り分けた。化学肥料の施用量は、統計資料による都道府県別71種の各作物作付け面積とそれらへの化学肥料施用に関するアンケートの取りまとめ結果から求めた。雨水による窒素の持ち込みは雨量と平均窒素濃度から、灌漑水は水稻の作付け面積と単位面積辺りの窒素の流入量から、脱窒は水田とそれ以外の耕地面積と単位面積当たりの脱窒量の推定例から、窒素固定はマメ科作物の栽培面積等と単位面積あたりの窒素固定量の推定例から求めた。農作物および農作物副産物（稲わら等）としての窒素の持ち出し量は、統計による作物の収穫量に収穫物中の窒素含有率、各種資料による農作物副産物の持ち出し量とその窒素含有率から求めた。

A-3. データベース化

窒素フローの算出に必要な各種統計値、統計値を窒素フローに変換する各種資料やアンケート調査の結果等の特性値は、表計算ソフト（MS-Excel）上に登録した。地域名を入力することにより必要な統計値と特性値を抽出し算出方法に従って窒素フローを求め、枠組みに沿った形で結果を算出するために、マクロ言語（Visual Basic for Applications）を用いてプログラムを作成した。登録データとプログラムからデータベースシステムを構築した。このデータベースでは、都道府県単位での窒素フローと環境負荷ポテンシャルが算出可能であるとともに、年度の異なる農業統計等のデータを登録することにより異なる年度に関しても算出可能である。このデータベースシステムの構築により、簡便に異なる年度の日本における窒素フローを求めたり、都道府県別に環境負荷ポテンシャルを求めることが可能になった。これまで都道府県別の家畜ふん尿量に関しては言及されて来たが、本データベースシステムでは化学肥料の施用量や農作物による収穫量を定量的に示すことが可能になり、本データベースシステムのアドバンテージであると言える。

B. 日本における近年の窒素フローの経時的変化

化学肥料の利用量は、1985年に最大となり（686,877Mg;128kg ha⁻¹）、1997年（500,741Mg;102kg ha⁻¹）にかけて減少した。この減少には水稲への施肥量が252,430Mg（109kg ha⁻¹）から155,326Mg（80kg ha⁻¹）へと減少したことが最も大きく寄与した。一つの要因として、多収を目指した水稲生産から窒素を多く与えられない品質の高い水稲の生産へと移行したことが考えられた。他の作物に関しても施肥量は減少傾向にあったが、野菜への施肥は1980年から1997年にかけて168kg ha⁻¹から212kg ha⁻¹へと増加傾向を示した。

家畜ふん尿の発生量は1990年に最大となり（624,152Mg;121kg ha⁻¹）、1997年には減少した（587,400Mg;119kg ha⁻¹）。これは畜産の振興と衰退に起因する。厩肥として利用される家畜ふん尿量は1980年（516,617Mg）から1990年（546,313Mg）まで増加したものの1997年（395,595Mg）には減少した。一方未利用となる家畜ふん尿量はこの間56,358Mgから191,805Mgに増加し続け、特に1990年から1997年にかけて急速に増加した。これには畜産農家の大規模化と畜産への専業化による労力の不足と耕種農家との間での家畜ふん尿の授受がうまくゆかなくなってきたことが理由として考えられた。

作物生産量は1985年に最大（346,600Mg;66kg ha⁻¹）となった。ただし、1997年の作物生産量（314,139Mg;63kg ha⁻¹）は1980年（308,237Mg;56kg ha⁻¹）より多い。この増減に関してはどの作物が主要な原因となるのかは明らかではなかった。

環境負荷ポテンシャルは、1985年に最大となった（163kg ha⁻¹）。1985年は作物生産量が多かったものの、それ以上に多くの化学肥料と家畜ふん尿が農地に施用されていたことが原因として挙げられる。環境負荷ポテンシャルの内容を見ると、農地での残留は1985年には最大となったが、未利用の家畜ふん尿は増加傾向にあった。

今後環境負荷ポテンシャルを低減するためには、野菜への化学肥料の投入量を削減して行くことと未利用の家畜ふん尿を積極的に利用して行く必要があると考えられる。

C. 環境負荷ポテンシャルの低減策

C-1. 都道府県における農地で残留する窒素の発生要因の抽出とクラス分け

1997年当時に関して都道府県ごとに耕地面積あたりの化学肥料、厩肥の施用量と農地に残留する窒素量を求め相関をとったところ、残留する窒素量と化学肥料（ $r=0.857$ ）または厩肥の施用量（ $r=0.792$ ）には有意な正の相関が見られた。また耕地面積あたりの家畜ふん尿の発生量と厩肥（ $r=0.974$ ）または未利用となる家畜ふん尿量（ $r=0.935$ ）の間にも有意な正の相関が見られた。これらことから地域的に見て環境負荷ポテンシャルが高くなる理由としては化学肥料の施用量が多いことと家畜ふん尿の発生量が多いことが挙げられた。そこで都道府県を i) 環境負荷ポテンシャルが日本全体の平均値（143kg ha⁻¹）より低い県（16県）、ii) 環境負荷ポテンシャルが日本の平均より高く化学肥料の施用量が家畜ふん尿発生量より多い県（16県）、iii) 環境負荷ポテンシャルが日本の平均より高く家畜ふん尿の発生量が化学肥料の施用量より高い県（15県）の3つにクラス分けし、以下のような対策を取った場合を試算した。

C-2. 化学肥料施用量が多い県での対策と効果

A県での耕地面積あたりの化学肥料施用量は国内で最も多く（360kg ha⁻¹）、その69%が茶に施用さ

れていた。そこで茶に対する省投入技術を導入することで施肥量を慣行の 942kg ha^{-1} から 560kg ha^{-1} に削減した場合を試算した。結果として化学肥料施用量は 235kg ha^{-1} に減少し、環境負荷ポテンシャルも 413kg ha^{-1} から 283kg ha^{-1} に減少すると試算された。

C-3. 家畜ふん尿発生量の多い県での対策と効果

B県での耕地面積あたりの家畜ふん尿発生量は全国で3番目に多く、また化学肥料の施用量も日本の平均(102kg ha^{-1})の約2倍でその55%が野菜への施肥で占められていた。そこで飼料作物を液状厩肥の多量投入・多量収穫する技術、水稲への施肥の一部を家畜ふん尿で代替する技術、野菜への施肥を緩効性肥料を使うことで削減する技術が導入された場合に関して窒素フローの変化を求めた。結果、厩肥の利用量は 121kg ha^{-1} から 140kg ha^{-1} に増加し、化学肥料の施用量は 217kg ha^{-1} から 164kg ha^{-1} に減少し、作物生産量は 67kg ha^{-1} から 93kg ha^{-1} に増加した。環境負荷ポテンシャルは 355kg ha^{-1} から 274kg ha^{-1} に減少した。

C-4. 評価

化学肥料の低投入技術、家畜ふん尿の多量施用・多収穫技術といった環境負荷軽減のために開発されてきた技術は、環境負荷ポテンシャルを低減させることに有効であった。これは技術的な可能性に過ぎないが、地域の農業生産に由来する環境負荷低減を考え提言する上では有効な手法であると考えられた。一方でB県より多くの家畜ふん尿が発生する県では、有効な環境負荷ポテンシャルの低減策がなかった。これは農地に対して家畜ふん尿の発生量が多すぎることで、飼料作物の生産が家畜の頭羽数に比して少なすぎることが原因として挙げられた。

D. 窒素フローの適正さの評価と今後の必要事項

日本の農地は地力の保全と化学肥料の代替により $113\sim 135\text{kg ha}^{-1}$ の家畜ふん尿を受け入れられるとする試算がある(志賀1994)。本研究での家畜ふん尿発生量はこれより低く、日本全体でみた場合家畜ふん尿は消費可能であるかもしれない。化学肥料の施用量の適正さは明らかではないが、国際的に見て日本の化学肥料の施用量は多く(OECD 2001)、削減の必要が考えられる。農地に残留する窒素はOECD内では多い部類に属していることから、家畜ふん尿の積極的利用と化学肥料の削減が今後必要になると考えられる。ただしこれは国全体で見た場合であり、地域単位で見た場合には農業生産の偏りが環境負荷ポテンシャルを高めていることから、地域における農業生産の構造自体を変えなければ根本的に環境負荷ポテンシャルを低減することは出来ないとも考えられる。本研究で使用した枠組みと作成したデータベースは、窒素フローの面から農業生産の問題点を定量的に明らかにするとともに環境負荷ポテンシャルの低減案の評価を可能にした。このことは、地域の農業施策に有用な役割を果たすと考えられた。今後は市町村での窒素フロー算出が可能なように拡張することや、他の養分に関しても利用と負荷ポテンシャルの視点から研究を推進することが望まれる。

引用文献

OECD 2001 : Nutrient use. In Environmental indicators for agriculture Vol. 3 Methods and results, p.126, OECD publications, Paris.

志賀一一 1994 : 農耕地の有機物受け入れ容量と畜産廃棄物。pp. 25-44, 酪農総合研究所、札幌。