

東アジアの食料の生産・消費の変化が水質に与える影響の推定

物質循環研究領域 新藤 純子

20世紀最大の発明

バーツラフ・スミルは、その著書「Enriching the Earth」の中で、20世紀最大の発明は飛行機でも原子力でも宇宙飛行でもなく、アンモニアの合成法であると述べています。1911年にハーバーとボッシュが大気中の窒素から工業的にアンモニアを合成する方法を確立し、これを窒素肥料として使うことにより、作物の生産性は飛躍的に向上しました。これによって1900年から2000年の100年間に、人口は16億人から60億人まで増加することができました。それ以前には、陸域の動植物が利用できる窒素は、特殊な酵素を持つ微生物により大気中窒素から固定される約1億t/年がほとんど全てでした。現在、世界の窒素肥料使用量も約1億t/年、陸域へもたらされる窒素の量は100年前の2倍になったわけです。

一方、窒素肥料を大量に使用するようになった地域では、余剰の窒素肥料や家畜ふん尿、家庭排水などとして窒素が環境へ流出し、地下水汚染、河川・湖沼の富栄養化などの水質汚染を引き起こしています。また、揮散したアンモニアは広域に拡散・移流して自然生態系の生物地球科学的な循環に影響をおよぼし、亜酸化窒素が地球温暖化やオゾン層破壊の原因となるなど、様々な環境問題の原因となっています。

東アジアの20世紀は、人口増加と経済発展にともなって食料需要が急激に増大した時代であり、これに答えるために窒素肥料使用量は1961年から2000年の間に154万tから3105万tへと21倍にも増大しました。日本はこの間、家畜飼料をはじめとする農作物を大量に輸入することにより食料需要増加に対応しました。これらの変化は、東アジアの窒素フローをどのように変化させ、環境にどのような影響を与えているのでしょうか。これらを明らかにする目的で窒素循環モデルを作成しています。

窒素循環モデルによるわが国の窒素フローの変化

図1に窒素循環モデルで推定したわが国の1961年と2003年の一人当たりに換算した窒素フローを示しました。窒素は、化学肥料の投入、豆類や稲の生産に伴う窒素固定、海産物の捕獲・採取、食料や飼料の輸入によって外部から国土へ流入し（赤矢印）、作物、家畜、

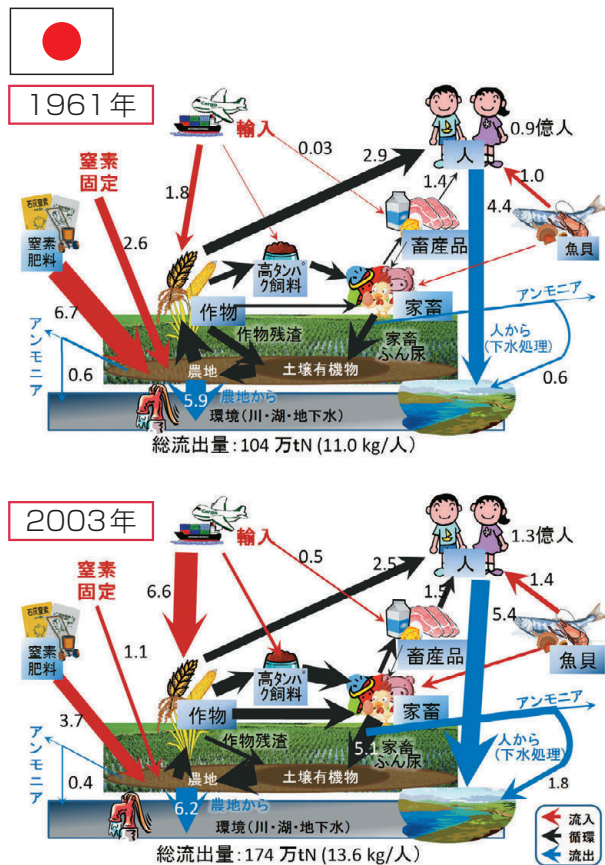


図1 わが国の食料生産・消費に伴う窒素フロー (kgN/人/年)

人の間を循環（黒矢印）した後、土壌へ有機物として蓄積する量を除いて全てが流出する（青矢印）と考えます。流出した窒素は、下水処理や自然界での脱窒作用などを経て地下水や河川への負荷となります。フローの大きさ（矢印の太さ）は、様々な統計や文献データに基づいて推定しました。1961年から2003年の間に、私たちの食生活が変化し、動物性タンパク質の摂取量が増加したことがわかります。また1961年に比べて2003年は窒素肥料など、作物生産にかかわるフローは小さくなりましたが、食料・飼料の輸入によるフローが増加し、環境への総流出量（下水処理前）は103万tNから171万tNへと増大しました。流出量は1980年代の終わり頃に最も大きく、その後わずかに減少傾向にあると推定され、その理由は、窒素肥料の使用量が一貫して減少傾向にあるのに対して、海外からの作物輸入は1990年代以降ほぼ一定値を保っているためです。

水質への影響

環境へ流出した窒素は、下水処理や土壤中や地下水層中での脱窒などにより一部が除かれ、残りが河川などへ流出します。図2は、これらの効果を考慮したモデルにより推定した2003年の河川水の全国濃度分布です（ここでは、化石燃料由来の窒素酸化物の気相からの負荷も考慮しています）。濃度の高い点は、大都市周辺や近郊の肥料多用地域、畜産の盛んな地域に分布すること、全国平均濃度はやはり1990頃から低下傾向にあるなどの結果が得られました。わが国ではかつての著しい水質汚染は改善されましたが、現在でも類型指定のある全国35湖沼水域の全窒素の環境基準の達成率はこの20数年間、数～10数%にとどまり、東京湾や伊勢湾などの閉鎖性水域では赤潮の発生に伴う漁業被害の問題も継続しています。また地下水の硝酸性窒素および亜硝酸性窒素は、全国の4～5%の井戸で、環境基準を超過しています。モデルにより推定した河川水濃度や地下水濃度の推定結果の県別平均値や経年変化は、全国規模の観測データ（全国公共用水域調査や地下水概況調査によるデータ）と比較的良く対応しており、食料の生産・消費が水環境に与える影響は大きいと考えられました。

東アジア諸国の窒素フローと水質の変化

同じモデルを東アジアの国にも適用してみました。たとえば中国では、1961年から2003年の間に人口が2倍、一人当たりのタンパク質摂取量は1.8倍となり食料

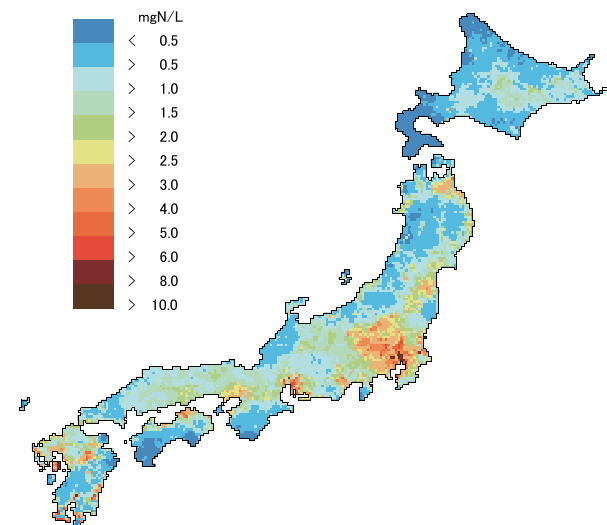


図2 モデルにより推定した2003年の河川水中全窒素濃度分布 (mgN/L)

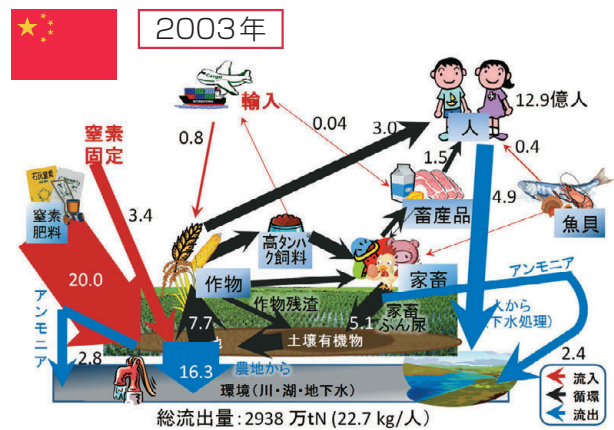


図3 中国の食料生産・消費に伴う窒素フロー（2003年、kgN/人/年）

需要が著しく増大しました。その大部分を中国国内で生産しており、その結果、現在一人当たりの窒素肥料投入量は日本と比べて著しく大きく、環境への一人当たり窒素流出量も日本をかなり上回っています（図3）。タイやベトナムなどの東南アジアの農業国も同様に、現在一人当たりの窒素流出量は日本を超えています。河川水質を推定したところ、特に中国の黄河と長江の下流域のかなり広い地域で著しい高濃度を示し、最近報道されている太湖での藻類の大量発生などの環境問題も農業由来の窒素の流出が一因ではないかと推察されます。

広域モデルによる推定の役割

ここで紹介した窒素循環モデルは、我が家のそばの河川や特定の井戸といった細かいスケールで水質を予測することはできませんが、国や地域などの大きなスケールで、様々な地域を対象に共通の手法を用いて推定するため、それぞれの地域の特徴を明らかにすることや、人口や食料需要の変化に関するシナリオの下で将来の環境がどう変化するかなどの予測のために利用できると考えています。窒素が過剰となっている程度や、その要因は国や地域によって異なっているので、地域によって、どこで、どのような対策を重点的に行うことが、環境悪化を防ぐために有効であるかなどを検討するための基礎情報として利用されると期待されます。窒素による環境影響は、現在日本よりも中国などで深刻です。しかし農業や食料に関する統計データの信頼性に問題があることが指摘され、また公表されているデータが少ないため水質汚染の実態もあまりよくわかりません。今後、各国の研究者と協力して、より信頼性の高いモデルとしていきたいと思っています。