

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

国際貿易が引き起こす窒素汚染の実態を解明

—窒素による地球環境汚染、日本は輸入の影響が突出—

横浜国立大学 統合的海洋教育・研究センターの海外派遣事業において、環境情報学府の種田（おいた）あずさは、シドニー大学の Manfred Lenzen 教授、本学 環境情報研究院の西嶋翔太 研究員、九州大学の金本圭一朗講師らと共同研究を行い、窒素による地球環境問題対策の鍵となる、国際貿易に伴う窒素汚染^[注1]の実態解明に、世界で初めて成功しました。

硝酸態窒素、窒素酸化物、亜酸化窒素などの活性窒素^[注2]の過剰な排出は、富栄養化、地下水汚染、大気汚染、地球温暖化などの原因となり、生態系と人の健康を脅かします。特に海洋生態系への影響は深刻で、「国連持続可能な開発会議」（リオ+20）^[注3]でも対策をとることが宣言されています。活性窒素は主に農産物への施肥や化石燃料の燃焼によって排出されるため、輸出入されるものを含めた様々な商品と関係がありますが、これまで貿易との詳細な関係は不明でした。

研究グループは、様々な商品の貿易と窒素汚染との関係の定量化に取り組みました。その結果、(1) 日本を筆頭とする先進国が、肉類や衣料品などの農畜産品由来の製品の消費を通じて、その原産国や加工国の窒素汚染を助長していることと、(2) 商品に付随する窒素汚染が大きい国際貿易ルートには、中国や米国から日本への輸出が含まれることを明らかにしました。この結果は、日本が食料や衣料品の輸入大国であることを反映したもので、国内外の窒素汚染の軽減には、日本型食生活の実践などの消費者の取組を進めることが有効であると考えられます。

今回の成果は、商品の国際的な供給体制と窒素汚染との関係解明への大きな一歩となるもので、国際連携による窒素汚染対策や地球規模での統合的取組を加速させると期待されます。

本研究成果は、2016 年 1 月 25 日 16 時（英国時間）に英国科学誌「Nature Geoscience」のオンライン版で公開されます。なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費（S-9「アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究」、S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」）の支援を受けました。

<発表論文>

題名：Substantial nitrogen pollution embedded in international trade

（国際貿易に伴う大量の窒素汚染）

著者：Azusa Oita, Arunima Malik, Keiichiro Kanemoto, Arne Geschke, Shota Nishijima, Manfred Lenzen

（種田あずさ、アルニマ・マリク、金本圭一朗、アーネ・ゲスク、西嶋翔太、マンフレッド・レンツェン）

掲載誌：Nature Geoscience（ネイチャー・ジオサイエンス）

doi：10.1038/ngeo2635

本件に関するお問い合わせ先

横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授 まつだ ひろゆき 松田裕之 電話 045-339-4377

E-mail: matsuda @ ynu.ac.jp

横浜国立大学大学院 環境情報学府 おいた 種田あずさ

E-mail: oita-azusa-fp @ ynu.jp

国際貿易が引き起こす窒素汚染の実態を解明

—窒素による地球環境汚染、日本は輸入の影響が突出—

<研究背景>

現在、窒素固定^[注4]を通じて陸上生態系が年間に生成する量の倍以上の活性窒素が、窒素肥料^[注5]の施肥や作物の栽培、化石燃料の燃焼などによって生成されています。年間の人為的な活性窒素生成量は、世界人口と1人当たり食肉消費量の増加により増え続けていますが、既に地球の許容量の約3倍に達しているといわれます。活性窒素による窒素汚染は、生態系と人の健康を脅かしていますが、中でも、海洋生態系の劣化は世界的に深刻化しているため、「国連持続可能な開発会議」（リオ+20）において、窒素汚染を含めた原因対策を緊急的にとることが宣言されました。

活性窒素には様々な形態があり、窒素汚染により生じる問題も多岐に渡るため、各国・地域や各業界で個別の問題として取り組まれ、地球規模での包括的な取組は行われてきませんでした。そのため、活性窒素の効率的削減のための窒素の統合的管理が求められています。統合的管理に向けて、消費者の「窒素汚染による環境負荷」（窒素負荷）を理解するためのツールが、本研究で用いた窒素フットプリント指標です。国別の窒素フットプリントは、各国が製品やサービスの利用といった「消費活動」を通じて与えている窒素負荷を測る指標として定義されています。それは、対象国内で消費された製品やサービスが、生産、消費、輸送の過程において国内外で排出した活性窒素の量で表されます。今までの研究では、一国毎に活性窒素全体としてまとめて算出されていたため、個々の物質の排出量及び排出国が不明である点と、分析対象国が限られている点が課題でした。

<研究手法と成果>

今回、種田らの研究グループが考案した手法は、188か国の窒素フットプリントを、大気中へのアンモニア、窒素酸化物、亜酸化窒素の排出量、および水域への潜在的な窒素排出量（主に硝酸態窒素）の4物質の合計として算出するものです。解析では、4物質のそれぞれについて、まず、国際連合食糧農業機関（FAO）および国際肥料産業協会（IFA）のデータと、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による排出係数を用いて、農畜産業由来の排出量を推計しました。次に、地球規模の大気汚染物質のデータベース（EDGAR）から、化石燃料由来の排出量を推計しました。これらの排出量と188か国15,000産業部門の取引に関する「Eora 国際産業連関データベース」とを産業連関分析^[注6]により、結びつけることで、各産業部門の直接・間接的排出量を算出しました。また、各国の家庭などからの下水による排出量を推計しました。最後に、各国の全産業部門と家庭等からの直接・間接的排出量の合計として国別の窒素フットプリントを評価し、以下の3つのことを明らかにしました。

先進国の消費が発展途上国などの窒素汚染を助長している

世界の窒素フットプリントを分解することで、世界の窒素負荷の約4分の1が、国際的に取引されている商品によること、また、農畜産物由来の食料や織物などの生産地で排出される硝酸態窒素、アンモニア、亜酸化窒素が、全体の多くを占めることがわかりました。これらの結果から、国際貿易が農畜産業の盛んな地域の地下水汚染などを助長していることがわかりました。

さらに、輸入品の生産などのために国外で排出された量から、輸出品の生産などのために国内で排出した量を差し引いて、商品に内包された活性窒素排出の「純輸入量」を算出しました。これにより、主な純輸出国は農畜産物由来の食料や織物の輸出大国であり、その多くは発展途上国である一方、主な純輸入国は農畜産物由来の製品の多くを輸入に頼って消費している先進国であり、中でも日本の輸入による影響が突出していることを明らかにしました（図1）。

米国産牛肉や中国産衣料品など、日本の輸入も窒素汚染に大きく寄与している

活性窒素排出量と各商品とをつなぐサプライチェーン^[註7]を産業連関モデルで解析することで、特定の国際貿易ルートに内包された窒素汚染を算出しました。その結果、中国から米国、日本などへの衣料品などの輸出と、米国から日本への肉類の輸出や、米国とカナダ・メキシコとの農畜産品の相互貿易、インドからの米国への衣料品の輸出の影響が大きいことがわかりました（図2）。

中国、インド、米国、ブラジルに続き、日本の窒素負荷は第5位である

各国の窒素フットプリントが世界全体に占める割合は、中国（19%）、インド（11%）、米国（10%）、ブラジル（6%）の上位4か国が合計で46%を占めることがわかりました。日本は第5位の3%を占め、1人あたりの窒素負荷に換算すると先進国の中では低いことがわかりました。

今回の結果は、日本は食料や衣類などを輸入することで、輸入元の中国や米国などの国々の汚染を悪化していることを示すものです。したがって、窒素負荷の高い肉類、卵、乳製品の摂取量を減らした日本型食生活の実践や、国内で環境保全型農業^[註8]により生産された農畜産品の利用といった、消費者の取組を進めることによって、国内外の硝酸態窒素排出による海洋生態系への悪影響や、亜酸化窒素排出による地球温暖化などを軽減できると考えられます。

<今後の期待>

今回の成果により、窒素汚染が深刻な地域と、その原因となっている国の具体的な消費活動との関係が地球規模で初めて解明されました。本研究により解明した、窒素汚染に影響の大きい国や貿易ルート、商品の知見は、生産地域と消費地域の国際的な連携による技術援助などの対策や、地球規模での窒素の統合的管理に向けた取組を加速させると期待されます。

<海外派遣事業の概要>

派遣期間： 2014年9月～2015年3月

受入機関： シドニー大学物理学研究科統合持続可能性分析センター（ISA）

受入教員： マンフレッド・レンツェン教授（Prof. Manfred Lenzen）

<添付資料>

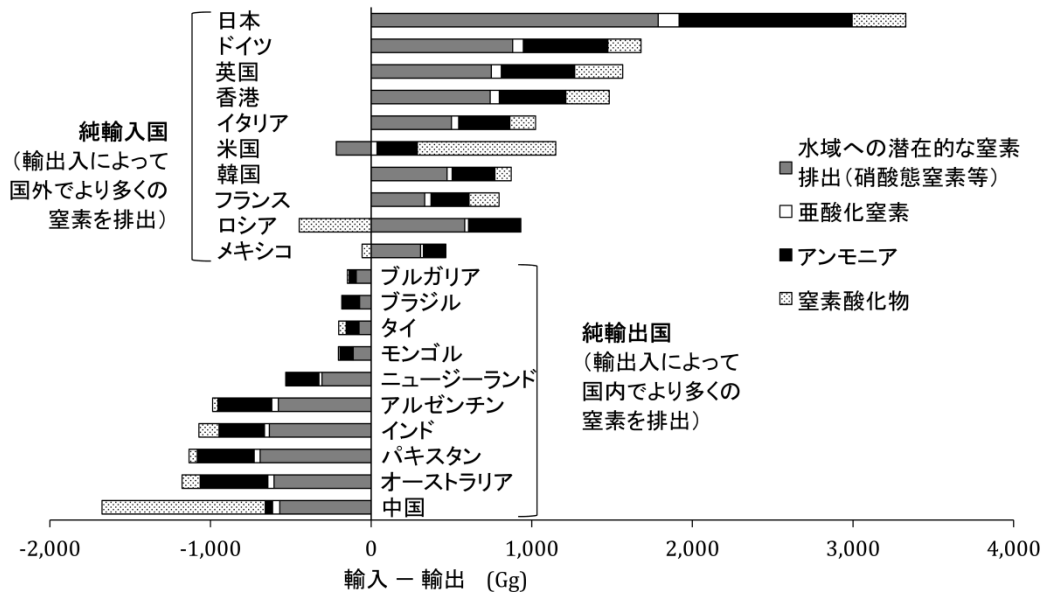


図1 純輸出入量上位10カ国・地域の商品に内包された活性窒素排出量

日本など多くの先進国が食料や織物など農畜産物由来の製品の輸入により、純輸入国となっている。逆に、多くの発展途上国と、豪州・ニュージーランドは、それらの輸出により、純輸出国となっている。中国は石炭火力により製造した製品、ロシアは石油と天然ガスの輸出の影響により、窒素酸化物の純輸出国となっている。

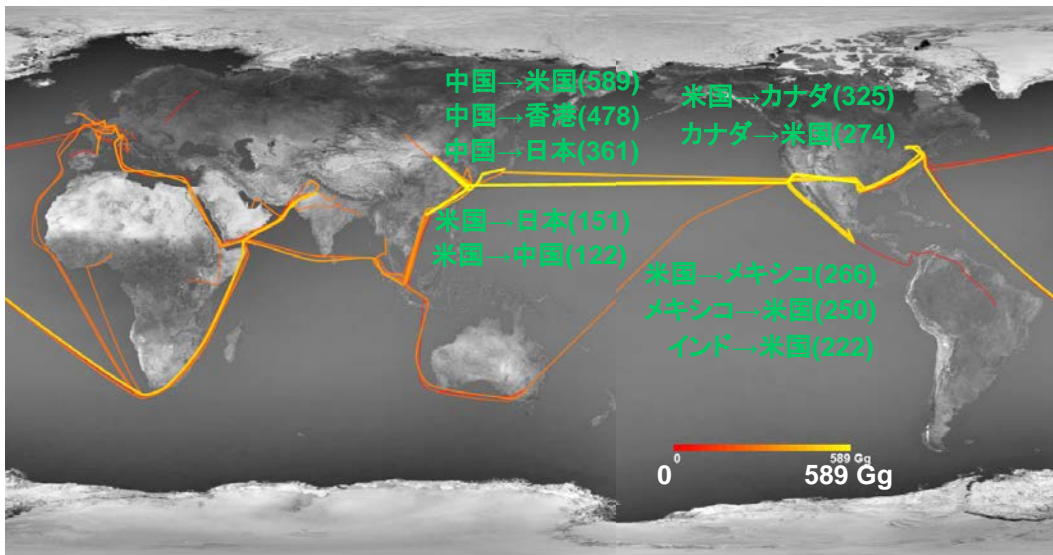


図2 商品に内包された活性窒素排出量の国際貿易ルート（最終販売国—消費国間；上位10ルートはラベル付）

線の色が黄色に近いほど、内包された活性窒素排出量が多い。すべてのルートには、原産国や中間生産国で排出された活性窒素量が含まれている。

<用語解説>

[注 1] 窒素汚染

環境中で過剰となった窒素化合物（活性窒素^[注2]）による大気、水質、土壌の環境汚染のこと。窒素汚染は、様々な形で生態系とヒトの健康を脅かしている。例えば、硝酸態窒素による水域の富栄養化は、藻の異常発生の原因となり、その結果として海水中の酸素が減少すると、生物の生息できない「死の海域（dead zone）」が形成される。硝酸態窒素による地下水汚染は、大腸がんや乳児のメトヘモグロビン血症のリスクを高める。また、窒素酸化物による大気汚染は、酸性雨、呼吸器疾患および心臓病の原因となる。これら局地的な窒素汚染に加えて、亜酸化窒素は強力な温室効果ガスであり、重要なオゾン層破壊物質でもある。

[注 2] 活性窒素

地球環境中の窒素の大部分は窒素分子として大気中に存在している。しかし、活性（反応性）が低く、ほとんどの生物は窒素を直接利用することができない。活性窒素とは、窒素分子以外の形になった窒素のことをいう。活性窒素には、生物に直接利用されるアンモニア、硝酸態窒素などのほか、窒素酸化物、亜酸化窒素、尿素、タンパク質、核酸なども含まれる。このため、窒素は環境中で様々な形態に変化しながら地球規模で循環している。人為起源の活性窒素は、主に工業的なアンモニア合成（窒素肥料が主な用途）、作物による窒素固定^[注4]、化石燃料の燃焼によって生成されている。

[注 3] 国連持続可能な開発会議（リオ+20）

1992年にブラジル・リオデジャネイロで開催された「国連環境開発会議」（「地球サミット」）から20年後に、同じリオデジャネイロで開催されたフォローアップ会議。6月20～22日の3日間にわたって全体会議が開催され、国連に加盟する188カ国とEUなどから代表団が参加し、成果文書「我々の求める未来」が採択された。

[注 4] 窒素固定

大気中の窒素分子から窒素化合物をつくること。自然界ではマメ科植物の根粒菌や藍藻（らんそう）類、土壌細菌のアゾトバクター・クロストリジウムなどが行い、アンモニアやアミノ酸などがつくられる。

[注 5] 窒素肥料

窒素肥料は作物の生育に不可欠であり、人為的に合成された化学肥料と、堆肥や油粕などの有機肥料がある。化学肥料の多くは、すぐに水に溶けるため、農作物が十分に生育するまでに降雨や灌水（水やり）の影響で、窒素などの成分が地下水へ流出してしまいがちである。有機肥料は、土壤中ですくすく分解するため、地下水への窒素の流出が少ない。しかし、有機肥料であっても、いずれは分解されるため、過剰な窒素肥料の施肥は窒素汚染につながる。窒素汚染の低減には、土壌診断によって土壌の残存窒素量を把握するなどにより、適性量の窒素肥料を施肥することが必要である。

[注 6] 産業連関分析

産業連関表は生産活動の種類によって区分された複数の産業部門で構成され、各部門間の経済的なつながりを年間の取引額で表現した行列形式の数表である。産業連関分析では、この表を用いて、特定の産業の活動が他産業に及ぼす生産波及効果を定量的に算出できる。環境分野では、産業連関表の各部門の単位生産活動（例えば100万米ドル）に伴って直接発生する環境負荷量と、各部門の産業活動が他産業に及ぼす生産波及効果の値を用いて、各部門が直接・間接的に発生する環境負荷量を算出する。

[注 7] サプライチェーン

日本語で「供給連鎖」と訳され、原材料・部品などの調達から、生産、流通を経て消費者に至るまでの一連の工程こと。

[注 8] 環境保全型農業

家畜排泄物を堆肥として土づくりをすることなどにより、農業において窒素などの物質を循環的に利用することで、化学肥料や農薬の使用を抑え、可能な限り環境に負荷を与えない農業をいう。