

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名 種田あずさ
学位の種類 博士(環境学)
学位記番号 環情博甲第384号
学位授与年月日 平成 年 月 日
学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び
横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名 環境情報学府 環境リスクマネジメント専攻
学位論文題目 Improvement of Nitrogen Footprint Models: Analysis for Seafood
and International Trade (窒素フットプリントモデルの改良ー水産物および
国際貿易に着目して)
論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 松田裕之
横浜国立大学 教授 中井里史
横浜国立大学 教授 金子信博
横浜国立大学 教授 本藤祐樹
北海道大学 教授 柴田英昭

論文及び審査結果の要旨

窒素同化はタンパク質生成の鍵であり、生態系は窒素固定や食物連鎖等を通じて活性窒素(窒素化合物)を利用し、窒素を循環させている。農業革命は化学肥料によって活性窒素を農地に大量に投入し、農業生産の飛躍的増大に成功した。半面、人間活動による活性窒素の排出(窒素負荷)は自然界の活性窒素を過剰にし、酸性雨、富栄養化、気候変動、オゾン層破壊、大気汚染などの環境問題を引き起こしている。過剰な活性窒素による窒素循環の改変は、生物多様性喪失と気候変動とともに、現代の主要な環境問題の一つである。本論文では、窒素負荷の指標である窒素フットプリント(以下、NF)の評価手法の改良を通じて、窒素負荷に関する日本を含む諸国の実態、特に水産物を通じた負荷の再評価、食生活を通じた負荷の軽減策を論じた。

第一章ではNFに関する先行研究を総括し、改良すべき点を抽出した。フットプリントという呼称は人間活動の環境負荷を、どの程度の面積があれば支えられるかを評価したもので、生態フットプリント(以下、EF)がよく知られている。NFは環境中に排出される活性窒素の総量で評価する。NFは主にエネルギー消費と食料消費を通じて生じる。たとえば肥料を投じて農作物を生産し、それらを用いて畜産物を生産し、加工し、消費し、廃棄する過程のどの段階で活性窒素がどの程度排出されるかを分析する。先行研究のNF評価は主に各食材に排出係数を設定し各々に推計するボトムアップ分析を用いて行われてきた。その代表的な手法は、食料とエネルギーからの諸々の活性窒素種(N₂O、NH₃、NO₃⁻、NO、NO₂、それ以外の無機態および有機態の窒素)を区別せず総和として窒素負荷を測る窒素計上(N-Calculator)法である。活性窒素種のうち生活排水と農地から水環境中に排出されるNFを潜在的な水域排出窒素(以下、Nwp)として区別する。これは主にNO₃⁻である。同じタンパク質を摂取するのに要するNFは、豚肉や牛肉で高く、鶏肉や水産物がそれに続き、大豆などでは低いと評価されている。

ボトムアップ分析は、個々の製品の製造過程から計算でき、その軽減策も検討できるため、産業界に応用可能である。しかし、この方法ではマクロ経済全体を網羅することはできず、原料の調達先をたとえばある輸入国から国産に変えたときには、それまで国産品を使っていた別の製品のNFも変わるはずであるが、このような供給連鎖全体への波及効果は追跡できない。これを評価するには、各国各産業部門間の産業連関分析が有用であり、これはトップダウン分析に分類される。これには単一地域での各産業部門間の産業連関(SRIO)モデルと、貿易収支を詳細に考慮した多地域間産業連関(MRIO)モデルによる分析がある。EFではMRIOモデルを用いた先行研究があるが、NFでMRIOモデルを用いた評価を行ったのは本論文が最初である。

2章では、トップダウン分析による188国・地域の15,000部門のデータを用いて活性窒素種ごとのNFの各国収支を評価した。温室効果ガスでオゾン層破壊物質でもあるN₂Oとともに、NH₃、NO_x、N_{wp}に分けて計上した。国際的な肥料使用量データおよびFAOSTATデータとともに、IPCCガイドラインの係数を使って排出量を計算し、MRIOモデルを用いて国際産業連関データベースと結び付けた。各国の年間一人当たりのNFは、7kgNから一部の富んだ国の100kgNまでばらついている。人口が多い4カ国が世界全体のNFの46%を占めている(中国19%、インド11%、米国10%、ブラジル6.0%)。それらに次いで多いのは日本、ロシア、インドネシア、ドイツ、メキシコ、英国で、これら6カ国で世界のNFの13%を占める。他方、これらの国のNFは必ずしもこれらの国の域内で発生しているわけではない。日本の食生活によるNFの多くは輸入相手国の肥料投入や家畜排泄物などによって相手国で発生している。世界全体の活性窒素排出の47%は、中国(20%)、インド(11%)、米国(10%)、およびブラジル(6%)の4カ国で発生しており、ついでロシア、パキスタン、インドネシア、オーストラリア、メキシコおよびアルゼンチンの6カ国が12%を占める。世界のNFの約4分の1は、国境をまたいで取引された商品から生じる。主要な輸出産業は食料および繊維を生産する農畜産業である。温室効果ガスの弊害と異なり、窒素負荷の弊害は地域的に生じるため、輸入品の活性窒素排出による環境影響の多くはNFを発生する商品の消費国とは異なる地で発生する。

第3章では、水産物に注目したボトムアップ分析によるNF評価の改良を行った。先行研究では水産物を天然と養殖に分けて計算後、平均的な魚介類のNFを鶏肉並みとした。けれども養殖にはハマチのような給餌養殖とホタテやコイのような無給餌養殖があり、これらのNFは全く異なることが先行研究では無視されている。新しいNFモデルは、日本の水産物構成を考慮したものと世界平均を用いたモデルを用いたが、いずれにしても無給餌養殖のNFは天然魚並みに少ない。その結果、日本人の年間一人当たりの水産物のNFは、先行研究の計算方法では3.7kgNでその約90%が養殖水産物であったが、新しいNFモデルでは1.5kgNでそのNFの45%が給餌養殖水産物であると評価された。タンパク質を同じ量摂取するために必要な生産・加工・流通段階のNFを食材ごとに求めたものを仮想窒素効率(Virtual N factor)と呼ぶが、天然および無給餌養殖水産物は0.2、淡水魚やサケ類は4.8、底魚は3.9、浮魚その他は3.4、甲殻類は8.2であった(鶏肉は約3.4)。牛肉の代わりに天然や無給餌養殖の水産物を食べることで、NFを減らすことができる。

第4章では、食生活の変更によるNF軽減効果を分析するとともに、本研究全体の意義を論じている。食生活シナリオとして(1)現在のタンパク質摂取量がそもそも栄養学的に十分であることから、食材構成を維持したうえで摂取量を推奨水準まで下げた場合、(2)肉食の代わりに水産物食に変えた場合(ただし水産物に占める給餌養殖の摂取比率は現行通り)、(3)肉類に加え乳製品、卵、給餌養殖水産物について仮想窒素効率の低い大豆、天然または無給餌養殖水産物に変えた場合、最後に(4)栄養学的に好ましいとされている1975年の食生活の場合を評価した。すべてのシナリオで食料NFを現在より15%以上減らし、シナリオ(3)は45%減らすことが分かった。

本論文は、世界全体のNFを産業連関分析により評価した最初の研究であり、国際貿易を通じた先進国などの輸入によって農畜産物由来製品輸出国における活性窒素排出が大きな環境負荷となっていることを示した。また、無給餌養殖と給餌養殖を区別して水産物によるNF評価を改良し、日本人のNFが先行研究よりかなり低いことを示した。これらを通じて、窒素負荷を減らすより精緻な工夫を凝らすための情報を提供することができた。先行研究だけでは、無給餌養殖の水産物を食べることがNF軽減に効果があるとは理解されなかっただろう。

以上から、本論文は博士(環境学)の学位論文として十分な内容を有すると審査委員全員が一致して認めた。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。