



# 日本の主な畜産物の生産・流通・加工・消費過程における窒素フロー解析と窒素利用効率による持続可能性評価

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門 土壤環境管理研究領域  
土壤資源・管理グループ 江口 定夫、平野 七恵、朝田 景  
国立研究開発法人国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点 濱田 耕佑

## 【要約】

本研究では、過去40年間（1975～2015年）の日本の主な畜産物（鶏卵、鶏肉、豚肉、牛乳・乳製品、牛肉）ごとの窒素（N）フローを、物流データに基づき算定するとともに、主な畜産物ごとのN利用効率（NUE）を指標とした持続可能性の評価を行い、生産・流通・加工・消費過程のどの段階でNUEが上昇・低下し、どこにさらなる改善点があるかなどを示した。また、みどりの食料システム戦略の目標「化学肥料削減30%、有機農業面積25%」や飼料自給率の施策目標「粗飼料100%、濃厚飼料15%」に沿ったシナリオ分析により、農業生産セクター全体からのN負荷削減効果を評価するとともに、国際的な目標「N廃棄の半減」に向けて消費者の取り組みが必要不可欠であることを提言した。

## 1 はじめに

さまざまな人間活動による地球上の窒素（N）循環の人為的攪乱<sup>かくらん</sup>は、「地球の限界（planetary boundary）」を大幅に超えたと報告されており（Rockström et al, 2009）、N負荷の削減は、地球規模での喫緊の課題となっている。2019年3月の第4回国連環境総会（UNEA4）では、「持続可能なN管理」が決議された（UNEP, 2023）。同年10月には、国連加盟国により「2030年までにN廃棄（nitrogen waste）を半減」が宣言され（コロンボ宣言）、さらに、22年2月に開催された第5回国連環境総会（UNEA5）では、「N廃棄の顕著な減少」が決議された。人為的なN負荷の大部分は、フードシステム（食料生産～消費システム）由来であり（Fowler et al, 2013；Galloway et al,

2014）、食料生産過程だけでなく、流通・加工・消費も含めたフードシステム全体のNフローを把握し、より窒素利用効率（nitrogen use efficiency：NUE）の高い食料生産～消費方式へと転換することが強く求められている。日本では、2021年5月に「みどりの食料システム戦略（以下「みどり戦略」という）」が策定され（農林水産省, 2023）、「2050年までに化学肥料削減30%、有機農業面積25%」という高い数値目標が掲げられた。一方、みどり戦略によるN負荷削減効果を定量的に示すためには、国内最大の有機物N供給源である畜産物全体のNフローや主な畜産物ごとのNフローを把握し、NUEを指標とした定量的な評価を行う必要がある。

本研究では、過去40年間（1975～2015年）を対象に、日本の主な畜産物（鶏卵、鶏肉、豚肉、牛乳・乳製品、牛肉）ごとの生産・流通・加工・消費過程のNフローの長期変遷を、国レベルの物流データ（農林水産省「食料需給表」「畜産物流通統計」「飼料月報」、財務省「貿易統計」など）に基づき明らかにする。主な畜産物・畜種ごとのNUEを算出することで、NUEを指標とした持続可能性の評価を行い、日本の主な畜産物の生産・

流通・加工・消費過程のどの段階でNUEが向上したかを示すとともに、どこにさらなる改善点があるかなどを検討する。さらに、みどり戦略の数値目標「化学肥料削減30%、有機農業面積25%」や飼料自給率の施策目標「粗飼料100%、濃厚飼料15%」からなるN負荷削減シナリオの下で、日本の農業生産セクターからのN負荷削減効果を定量的に示し、より持続可能な畜産業を推進するための具体的方策を検討する。

## 2 日本の畜産業セクターとそれを取り巻く食飼料供給システム全体の窒素フロー

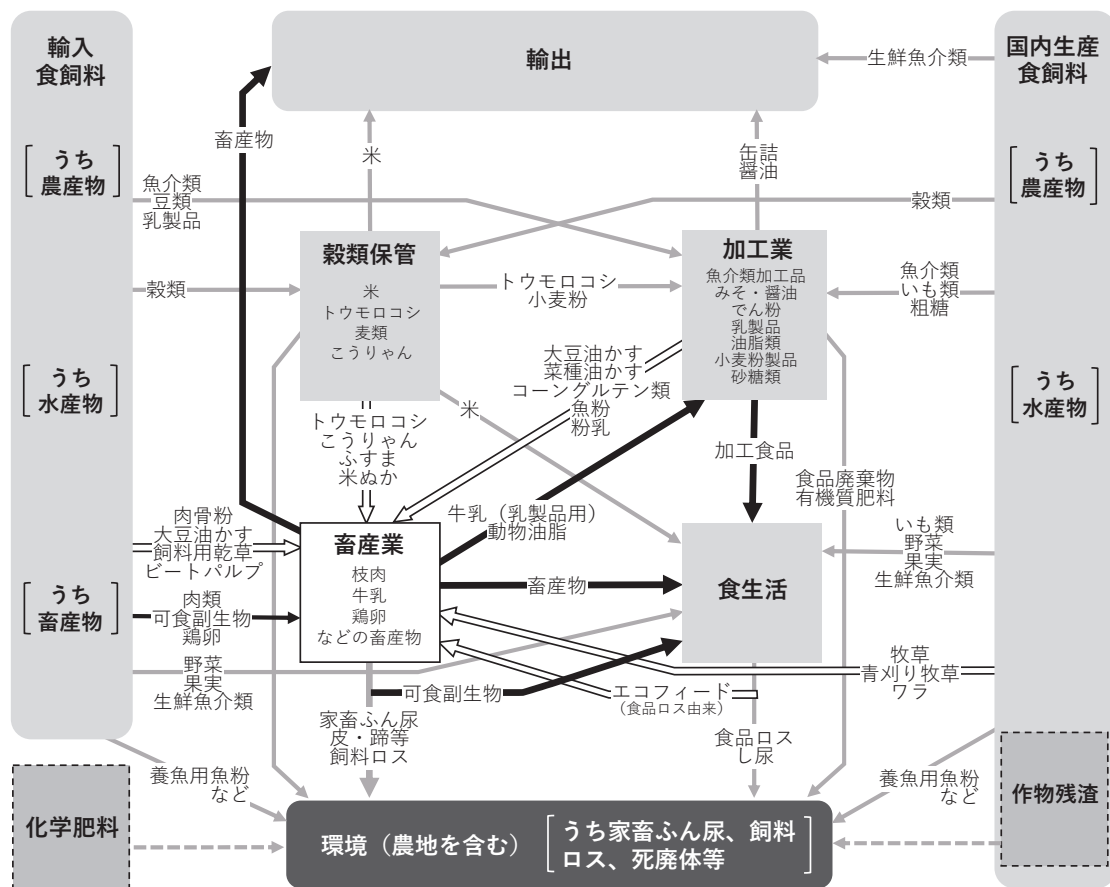
日本の畜産業セクターおよびそれを取り巻く食飼料供給システム全体の物流過程について、図1に示す概要図を基に、物流データの解析とNフロー解析を行った。Nフロー解析の詳細は、平野ら（2023）の方法に準じて実施した。その結果、過去40年間（1975年、1990年、2005年、2015年の4カ年）のNフローを見ると、1975～1990年の15年間は全体的に大きく増加し、特に輸入食飼料Nは約1.7倍に増大した（654.0→1092.6Gg-N/yr）（図2）。1990年は、国内生産食飼料Nおよび環境（農地を含む）への排出Nが、いずれも最大となった。その後、1990～2015年の25年間、国内生産食飼料Nは大きく減少し（643.0→417.6Gg-N/yr）、他の大部分のNフローも減少したが、輸入飼料N、輸入畜産物N、畜産業セクターから食生活セクターへの純食料Nについては、この40年間、増加し続けた（それぞれ30.2→184.5、26.2→101.2および101.2→169.5Gg-N/yr）。

畜産業セクターから環境（農地を含む）への排出N量についても、1990年が最大であり（825.8Gg-N/yr）、2015年にはその83%まで減少した。1990～2015年の25

年間、畜産業セクターからの排出Nは、他のどのセクターからの排出Nよりも大きな値を示し、環境（農地を含む）へ排出される全N量（1440.6～1717.7Gg-N/yr）の48%を占めていた。家畜飼養期間中に排出されるN量（家畜ふん尿、飼料ロス、死廃体等に含まれるN）は、1975～1990年には、畜産業セクターからの排出Nの92～93%（508.9～767.1Gg-N/yr）を占めていたが、2005～2015年には、同88～89%（605.2～672.5Gg-N/yr）に低下していた。このことは、生産物出荷後の流通・加工過程からの排出Nが、相対的に増大したことを示している。

畜産業セクターから排出されるNフローの途中から食生活セクターへ向かう国産の可食副生物（内臓等）N量は、4.5～7.3Gg-N/yrであった。これらの値は、畜産業セクターから排出されるふん尿等N（飼料ロス、死廃体等Nを含む）以外の排出N（42.4～86.2Gg-N/yr）の7～12%に相当していた。すなわち、可食副生物を食用としてアップサイクルすることで、畜産物の流通・加工過程からの排出Nを6～11%削減する効果があった。

図1 日本の畜産業セクターおよびそれを取り巻く日本の食飼料供給システム全体の物流過程を構成する主なセクターと主な品目の概要



資料：平野ら [2023] を筆者一部改変

注1：各ボックス内の【生産物名】は、そのボックス内に含まれる生産物名を示すが、【うち家畜ふん尿、飼料ロス、死廃体等】については、環境（農地を含む）への排出物名を示す。

注2：矢印は物流を表し、特に畜産業セクターに入る飼料を白色、同セクターから出る物流を黒色で示す。

注3：点線（化学肥料と作物残渣）のボックスは、食飼料供給システム外（農地内）における投入や生産物を示す。

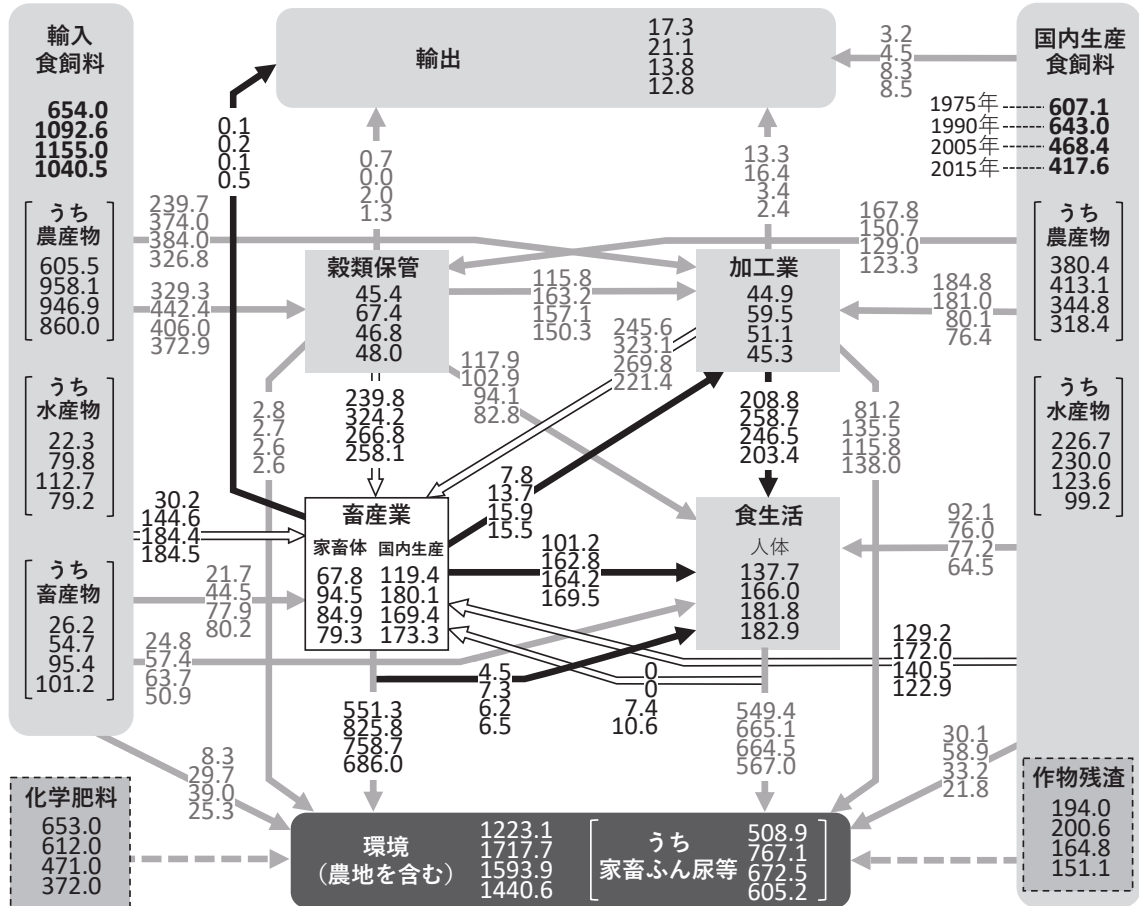
食生活セクターからの排出N量は、1990年が最大（665.1Gg-N/yr）であり、2015年にはその85%まで減少していた。1990年以降の25年間、当セクターからの排出N量は、畜産業セクターからの排出N量の次に大きい値を示しており、環境（農地を含む）への全排出N量の39～42%を占めていた。

江口・平野（2019）によれば、日本の食生活セクターでは、1970年代後半から、食品ロスによる排出Nが顕著に発生し、2015年には純食料Nの約11%が食品ロスとなっている（図3）。一方、本研究では2005→2015年における食品ロス由来エコフィードNは、

7.4→10.6Gg-N/yrと増大しており、図3に示す食品ロスNを7.7～16.5%削減する効果があったと言える。また、日本の食生活セクターでは、日本人の食事摂取基準によるタンパク質摂取量（推奨値）から考えると、食べ過ぎが顕著に発生しており、15年には、純食料Nの約22%が食べ過ぎとなっている。すなわち、15年の食生活セクターでは、純食料Nの約33%が食品ロス・食べ過ぎとなっており、食料消費側の対策として、これらを削減することが、食料生産～消費過程全体からのN排出削減に効果的である。

図2 日本の畜産業セクターおよびそれを取り巻く日本の食飼料供給システム全体の窒素（N）フローの長期変遷（1975～2015年）

単位：Gg-N y<sup>-1</sup>



資料：筆者作成

注1：各ボックス内の「数値」は、そのボックス内に含まれる生産物Nの内数を示す。

注2：環境（農地を含む）の中の「うち家畜ふん尿等」は、ふん尿が大部分だが、飼養期間中（出荷前）の飼料ロス・死廃体等を含む。

注3：点線（化学肥料Nと作物残渣N）のボックスは、食飼料供給システム外（農地内）における投入Nや生産物Nを示す。

図3 日本の食生活セクターにおいて発生する食品ロスおよび食べ過ぎに含まれる窒素（N）量の長期変遷（1975～2015年）

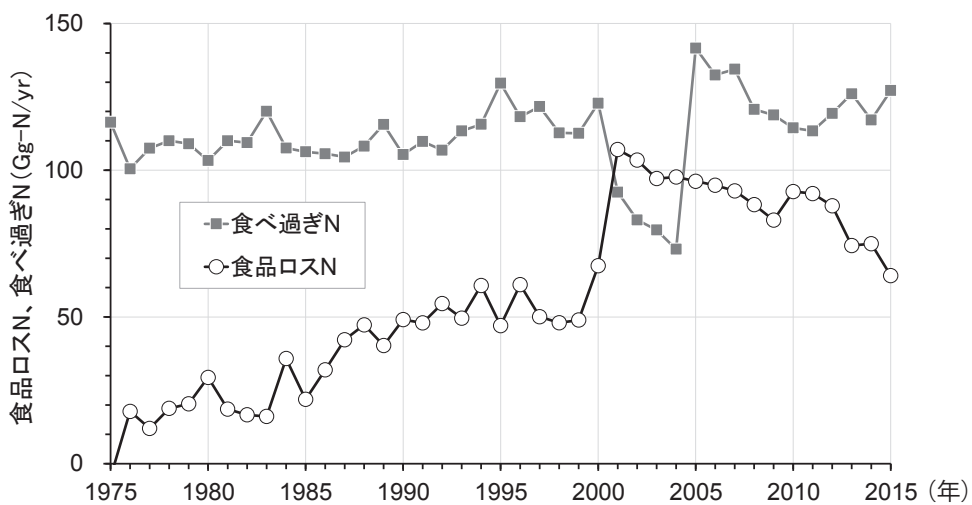
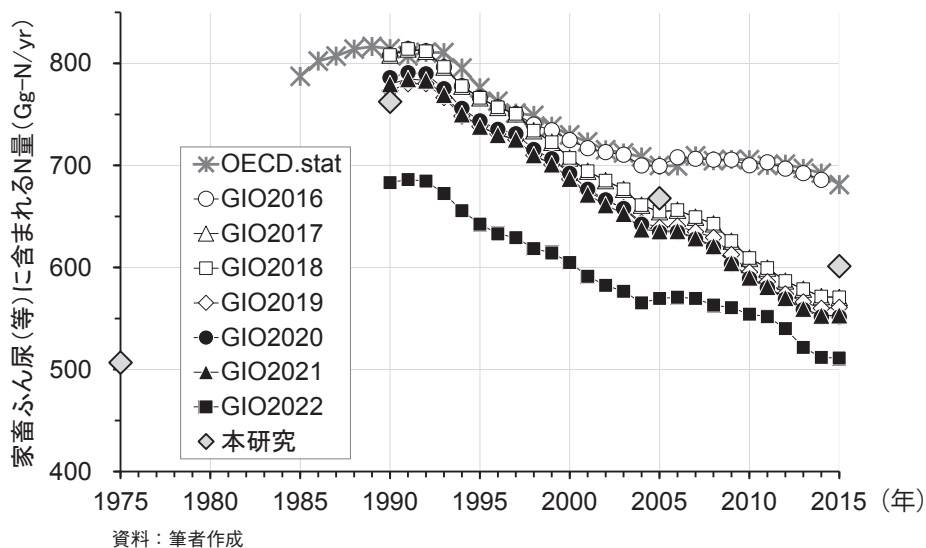


図2のうち、加工業セクターからの排出N（有機質肥料等を含む）は、2015年に最大値（138.0Gg-N/yr）を示した唯一の排出Nフローである。この排出Nフローが、環境（農地を含む）への全排出Nに占める割合についても、2015年の値（9.6%）が、この40年間で最大となった。前述のように、畜産業セクターにおいても流通・加工過程からの排出Nの割合が増加しており、これらを飼料または食料として有効活用（リサイクル）し、環境（農地を含む）への排出Nにしないことが、日本の食飼料供給システム全体のNUE向上に有効と考えられる。

1990～2015年の25年間、家畜飼養期間中に排出されるN量（家畜ふん尿、飼料ロス、死廃体等に含まれるN）は、減少し続けた（767.1→605.2Gg-N/yr）。その値は、

OECD.Statの家畜ふん尿Nより、27～76Gg-N/yr小さかった（図4）。一方、日本国温室効果ガスインベントリ報告書の最新版（GIO, 2022）の家畜ふん尿Nからは、83～103Gg-N/yr大きく、およそ並行して推移した。本研究とGIO（2022）の差は、飼養期間中の飼料ロス・死廃体等による排出Nに相当し、飼料ロスNが大部分を占めると考えられる。2015年の死廃体N量は、計7.7Gg-N/yr（主な畜種別では、採卵鶏、ブロイラー、豚、乳牛および肉牛の順に、それぞれ、1.1、2.1、2.2、1.6および0.8Gg-N/yr）と見積もられており（平野ら, 2023）、全体（94Gg-N/yr）の8.2%を占める。従って、2015年の飼料ロスNは90Gg-N/yrと見積もられ、同年の食品ロスN（64Gg-N/yr）の1.4倍に相当する。

図4 公的機関（経済協力開発機構 [OECD] および温室効果ガスインベントリオフィス [GIO]）による日本の家畜ふん尿窒素（N）量の長期変遷（1990～2015年）と本研究による家畜ふん尿等N量（飼料ロス・死廃体等による排出N量を含む）の算定値（1975、1990、2005および2015年）の比較



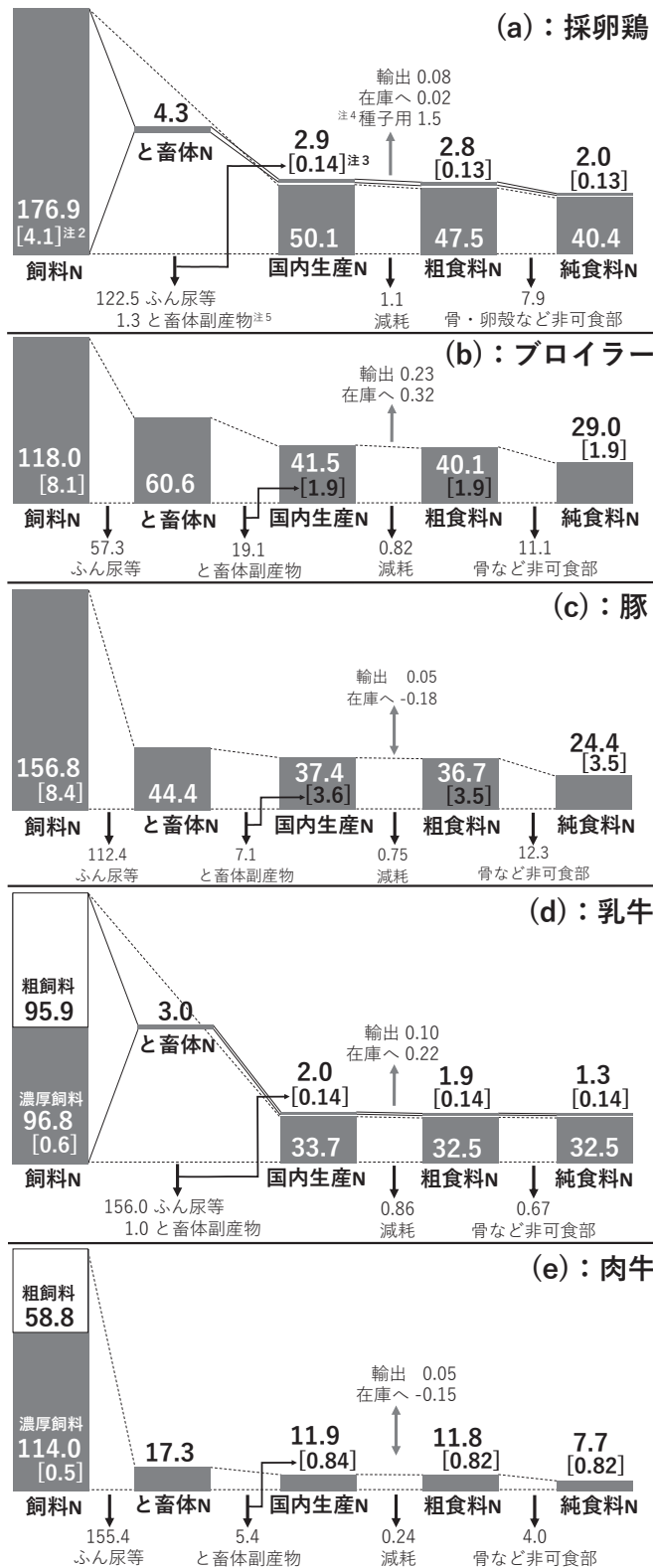
### 3 主な畜産物ごとの生産・流通・加工・消費過程における窒素フロー

図5は、畜産業セクターに入った飼料Nが、生産・流通・加工を経て、食生活セクター

で消費される純食料NになるまでのNフロー（2015年の例）を、主な畜種別に示したもの



図5 2015年における日本の主な畜種ごとの窒素（N）フロー



資料：筆者作成

注1：単位はGg-N/yr

注2：飼料Nのボックス内の〔数値〕は、内数であり、国産リサイクル飼料（肉骨粉、フェザーミールおよびさまざまな食品ロス由来のエコフィード）のNを表す。ただし、肉骨粉とフェザーミールが給与されるのは（a）、（b）および（c）のみ。

注3：国内生産N、粗食料Nおよび純食料Nのボックス上またはボックス内の〔数値〕は、内数であり、可食副生物Nを表す。

注4：孵化の目的で使用された卵（受精卵）のNを表す。

注5：と畜体副産物は、と畜体のうち枝肉にならなかった部分（蹄や皮等）。

である。主な畜種（採卵鶏、ブロイラー、豚、乳牛および肉牛）への飼料Nは、それぞれ、176.9、118.0、156.8、192.7および172.8Gg-N/yrであり、うち24.0%、24.8%、15.6%、17.6%および4.5%が、純食料Nとして食生活セクターに供給されていた。純食料Nは、採卵鶏（鶏卵+肉）が最も大きく、肉牛が最も小さかった。すべての畜肉の純食料N（64.4Gg-N/yr）のうち、可食副生物Nが占める割合は、10.1%であった。すなわち、可食副生物を食用としてアップサイクルすることは、畜肉のNUEを約10%上昇させる効果があった。

畜種ごとの排出N量は、どの畜種においても、飼養期間中（飼料Nから、と畜体N、鶏卵Nまたは牛乳Nが生産されるまでの過程）のふん尿等N（飼料ロス・死廃体等を含む）が最も大きかった。畜種ごとの全排出Nに占めるふん尿等Nの割合は、ブロイラーで最も小さく（64.9%）、乳牛で最も大きかった（98.4%）。一方、排出Nが二番目に大きい過程は、畜種によって異なっており、採卵鶏と豚は、粗食料→純食料の過程（非可食部N）、ブロイラー、乳牛および肉牛は、と畜体→国内生産の過程（と畜体副産物N）だった。

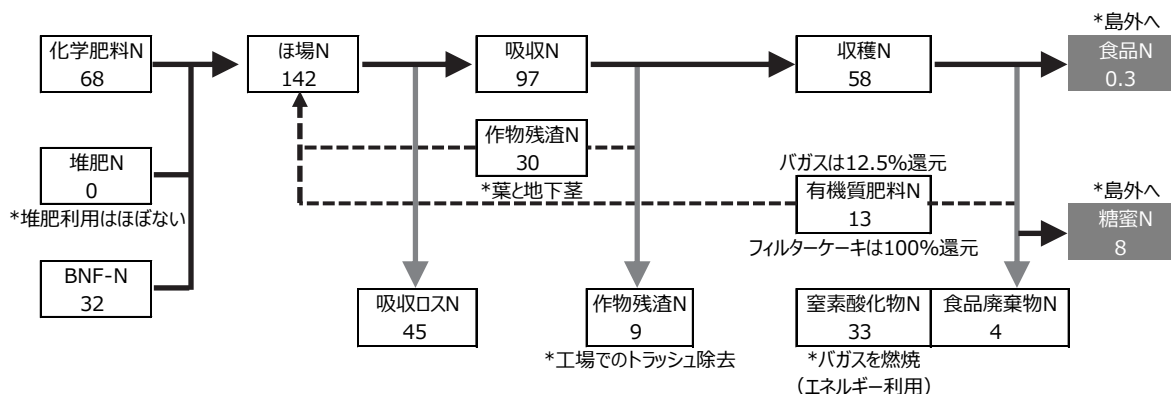
## 4 石垣島におけるサトウキビの窒素フロー

前述の飼料自給率の施策目標である粗飼料自給率100%を達成するには、特に粗飼料が不足する地域に注力する必要がある。これら地域のうち熱帯島嶼<sup>とうしょ</sup>では、飼料作用の農地面積は限られているが、例えば、製糖用サトウキビの食品加工廃棄物であるバガス<sup>とうもろこし</sup>を粗飼料として利用することで、島の農地面積を拡大することなく、粗飼料自給率100%とN負荷削減の同時実現が期待できる。

本節では、粗飼料が不足しやすい南西諸島における製糖用サトウキビ由来バガス（製糖過程の食品加工廃棄物）の粗飼料としての利用可能性を探るため、石垣市および沖縄県の統計データ、関連する文献データ（Hamada et al, 2023）、石垣島製糖株式会社および現地関係者との情報交換等に基づき、石垣島の製糖用サトウキビの生産・加工・流通過程におけるNフローの概要図を作成した（図6）。バガスの大部分は工場の燃料として利用され、バガスNは主に窒素酸化物（NOx）と

して環境に排出される（排出規制を順守）。なお、製糖工場では脱硝装置を使用していたが、除去されたNの用途について定量的なデータは入手できなかった。また、燃焼後の残渣であるバガス灰の一部は、農地還元されていることが分かったが、その定量的な情報は得られなかった。そのため、ここでは、燃焼したバガスNはすべてNOxとして環境に排出されることを仮定したが、やや過大評価した可能性がある（排出規制を順守）。粗飼料としてのバガスの利用可能性については、石垣島では、他の南西諸島に比べて、牧草場が広く分布し、粗飼料自給率は100%に近いとの情報が得られた。一方、徳之島のように、肉牛生産が盛んで粗飼料不足の島では、飼料用サトウキビやバガスが粗飼料として利用されている（神谷, 2014）。従って、島の状況に応じて、粗飼料としてのバガス利用や、濃厚飼料としての糖蜜利用等について、検討する必要がある。

図6 石垣島のサトウキビ生産・加工・流過程における窒素（N）フローの概要



資料：筆者作成

注：各ボックス内の数値は、農地への新しいN投入量（化学肥料N＋生物学的窒素固定 [BNF] N）を100としたときの相対値。

## 5 窒素利用効率を指標とした持続可能性の評価

図7は、主な畜産物ごとに、家畜飼養過程（飼料の給与から、国内生産またはと畜体まで）と流通・加工過程（生産物の出荷から、純食料 [可食部のみ] まで）のNUEの長期変遷を示したものである。家畜飼養期間中のNUEは、畜肉については、飼料Nに対すると畜体Nの比（と畜体NUE）、鶏卵と牛乳・乳製品については、飼料Nに対するこれらの国内生産Nの比（国内生産NUE）として計算した。また、これらの生産物を出荷した後の流通・加工過程（畜肉の場合は、と畜体→国内生産→粗食料 [枝肉] →純食料 [精肉＝可食部のみ]； 鶏卵と牛乳・乳製品の場合は、国内生産→粗食料→純食料）のNUEについては、と畜体Nまたは国内生産Nに対する純食料Nの比として計算した。

流通・加工過程のNUEは、一般に、家畜飼養過程のNUE（国内生産NUE、と畜体NUE）より高かったが、2015年の鶏肉だけは、前者の方が後者よりもわずかに小さい値を示した（図7b）。また、家畜飼養過程のNUEは、牛肉を除き、長期的に上昇する傾向

を示したが、流通・加工過程のNUEは、牛肉を除き、長期的に低下する傾向を示した。従って、家畜飼養期間中のふん尿等（飼料ロス・死廃体を含む）の削減をさらに進めること、また、特に畜肉の流通・加工過程でのN排出を削減すること（歩留まりの向上）が、畜産物NUEのさらなる向上のために必要と考えられる。

牛肉については、歩留等級がA（産肉性が標準より上）に格付けされる牛肉の割合が、過去40年間で顕著に増大しており（27.3%→44.2%）（日本食肉格付協会, 2022）、流通・加工過程のNUE上昇（図7e）につながったと考えられる。一方、肉質等級が4～5級（高品質）の牛肉の割合も同期間に顕著に増大しており（24.1%→35.8%）、肉質を向上させるための飼養期間後半の肥育期間の長期化（畜産物生産費調査より、乳用種雄：11.2→14.2カ月、和牛：17.5→19.8カ月）が、と畜体NUE低下（図7e）の一因と考えられる。また、牛のと畜体の全廃棄率および一部廃棄率は、長期的に上昇しており

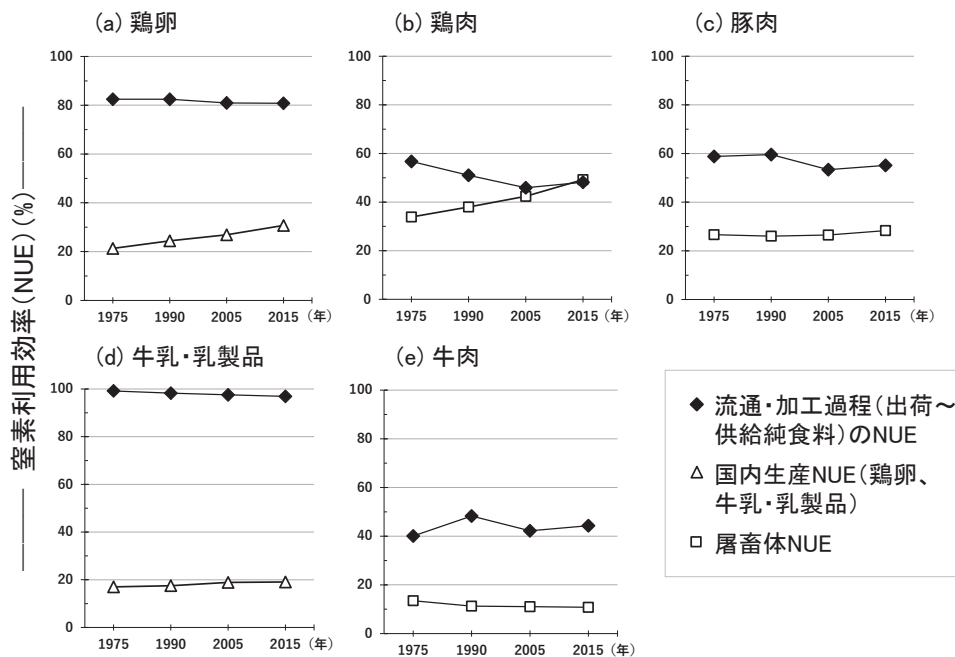


(2001～2015年：0.63%→0.84%および54.7%→65.5%) (厚生労働省, 2022)、疾病による内臓廃棄等が、と畜体NUEの低下につながったと考えられる。肉牛では、消費者ニーズに合わせて肉質等級を向上させるための濃厚飼料の多給等による生産病の多発が問題となっており、家畜動物への大きな負担が、飼養期間中のNUE低下につながったと考えられる。よりアニマルウェルフェアを重視した飼養方法への移行が、よりNUEの高い牛肉生産につながると考えられる。

特にNUE向上が顕著だったのは、鶏卵と

鶏肉の家畜飼養過程のNUEである。採卵鶏とブロイラーは、主に育種改良により、飼料要求率(生産物重量当りの飼料消費重量)がこの40年間で大幅に低下した(採卵鶏：2.95→1.95、ブロイラー：2.70→1.81)(井土, 2010; 農林水産省生産局畜産部畜産振興課, 2019)。これが、鶏卵の国内生産NUEおよび鶏肉のと畜体NUEを大幅に向上させた(図7a、7b)、鶏の原単位の低減(1990年以後の25年間で74～94%に低下)(GIO, 2022)につながった。

図7 主な畜産物ごとの家畜飼養過程(飼料の給与から、国内生産または屠畜体まで)および流通・加工過程(出荷から、純食料[可食部のみ]まで)における窒素利用効率(NUE)の長期変遷



資料：筆者作成  
 注1：鶏肉は、ブロイラーおよび採卵鶏の肉を指す。  
 注2：牛肉は、肉牛および乳牛の肉を指す。

## 6 おわりに～日本の農業生産セクター全体からの窒素負荷削減シナリオ～

日本の畜産セクターおよびそれを取り巻く食飼料供給システム全体のNフロー(2015年)(図2)に基づき、日本の農業生産

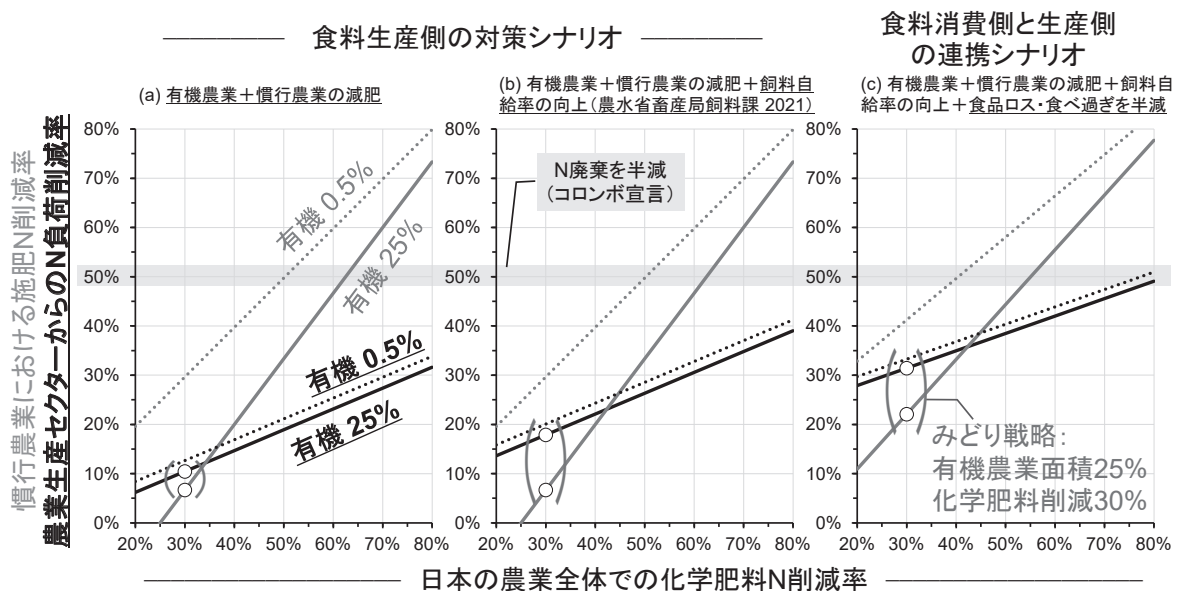
セクター全体からの「N廃棄を半減」(コロンボ宣言による国際的な目標)するために必要な施策や取り組みなどを検討した。その結果、

日本の農業生産セクター全体からの「N廃棄を半減」するためには、食料生産側の対策だけでは実現困難であり、食料消費側の対策（食品ロス・食べ過ぎの半減）との連携（耕畜食連携）が必要であることが示された（図8）。すなわち、みどり戦略に従って有機農業面積を25%まで拡大するとともに、残りの農地面積75%における慣行農業で化学肥料Nを大幅に削減したとしても、「N廃棄の半減」は達成できない（シナリオ（a））。また、シナリオ（a）に加えて、畜産局飼料課（2021）による飼料自給率向上の数値目標（粗飼料自給率100%、濃厚飼料自給率15%）に沿って、国産の粗飼料作物および濃厚飼料作物を増産し、化学肥料Nを100%削減したとしても、「N廃棄の半減」は達成できない（シナリオ（b））。これに対して、シナリオ（b）に加えて、日本の消費者に

よる食品ロスN（純食料の11%）および食べ過ぎN（同22%）を半減させるとともに、日本の農業全体での化学肥料Nを約80%削減させると、ようやく「N廃棄の半減」を達成できる（シナリオ（c））。

以上の結果は、日本の農業生産セクターからの「N廃棄の半減」を達成する上で、生産者だけでなく、消費者の役割が非常に大きいことを明示している。また、消費者ニーズは畜産物の生産量だけでなく品質（例えば、牛肉の肉質等級）にも影響を及ぼし、家畜飼養過程のNUEの低下につながる場合がある。消費者ニーズ（市場ニーズ）は、食料生産～消費過程の物質フローを動かす最大の駆動力であり、食料生産側における耕畜連携だけでなく、食料消費側も巻き込んだ耕畜食連携システムの構築と制御が、「N廃棄の半減」を実現する上で必要不可欠である。

図8 日本の農業生産セクターからの窒素（N）負荷削減シナリオ



資料：筆者作成

注：(a) 有機農業面積の拡大（0.5%→25%）+慣行農業における化学肥料削減シナリオ、(b) 「シナリオ（a）」+飼料自給率の向上（粗飼料自給率100%+濃厚飼料自給率15%）シナリオ、(c) 「シナリオ（b）」+消費者の食品ロス・食べ過ぎの半減シナリオ。

## 引用文献

- 江口定夫・平野七恵（2019）日本の消費者の食生活改善による反応性窒素排出削減ポテンシャルと国連SDGsシナリオに沿った将来予測. 日本土壌肥科学雑誌 90（1）：32-46
- Fowler D, Coyle M, Skiba U, Sutton MA, Cape JN, Reis S, Sheppard LJ, Jenkins A, Grizzetti B, Galloway JN, Vitousek P, Leach A, Bouwman AF, Butterbach-Bahl K, Dentener F, Stevenson D, Amann M, Voss M (2013) The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 368 (1621) : 20130164
- Galloway JN, Winiwarter W, Leip A, Leach AM, Bleeker A, Erismann JW (2014) Nitrogen footprints: past, present and future. *Environmental Research Letters* 9: 115003
- Hamada K, Eguchi S, Hirano N, Asada K, Oka N (2023) Assessing nitrogen flow and nitrogen footprint in the food system of a subtropical island with a scenario to mitigate nitrogen load impacted by trade-dependent agriculture. *Environmental Research Letters* 18: 075010
- 平野七恵・江口定夫・織田健次郎・松本成夫（2023）物流データに基づく日本の食飼料システムおよび畜産業セクターにおける過去40年間の窒素フローと窒素利用効率の解析. 日本土壌肥科学雑誌 94（1）：11-26
- 井土俊郎（2010）日本における鶏卵・鶏肉の生産性に関する統計的解析. 鶏病研究会報 46: 67-74
- 神谷充（2014）徳之島町TMR センター（事例：飼料用サトウキビを活用したTMR）. 九州沖縄農研ニュース 47（2）：7
- 厚生労働省（2022）食肉検査等情報還元調査. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/113-1.html>
- 日本食肉格付協会 2022. 牛枝肉格付結果－品種別・性別ごとの格付結果.  
[http://www.jmga.or.jp/rating/archive/#beef\\_result](http://www.jmga.or.jp/rating/archive/#beef_result)
- 農林水産省（2023）みどりの食料システム戦略.  
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>
- 農林水産省生産局畜産部畜産振興課（2019）鶏の改良増殖をめぐる情勢.  
[https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l\\_katiku/attach/pdf/niwatori-6.pdf](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/attach/pdf/niwatori-6.pdf)
- 温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）（2022）日本国温室効果ガスインベントリ報告書.  
<https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/index.html>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022) OECD. Stat.  
<https://stats.oecd.org>
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS III, Lambin E, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, De Wit CA, Hughes T, Van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J (2009) Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14 (2) : 32
- United Nations Environment Program (UNEP) (2023) The United Nations Environment Assembly.  
<https://www.unep.org/environmentassembly/>