

全世界における人間活動に伴う窒素フローの 推計に関する研究

藤森真一郎¹・河瀬玲奈²・松岡 譲³

¹学生会員 工修 京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻(〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

E-mail: sfujimori@atthost.env.kyoto-u.ac.jp

²正会員 工修 京都大学大学院助手 工学研究科・地球環境学(〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

³正会員 工博 京都大学大学院教授 工学研究科・地球環境学(〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

本研究では、2001 年における全世界の人間活動に伴う窒素のフローを推計した。また、全世界の窒素のフローを記述する表として全世界を対象とした窒素物質勘定表 (GNAT) を開発した。GNAT は投入表、産出表、貿易表の 3 種類の表から構成される。GNAT のフローの推計には物質収支調整計算を用い、各種国際機関が発表する様々な統計値などを基に整合的なフローの値を推計した。その結果、2001 年の全世界における人間システムへの窒素の投入量は 203.5TgN/y であった。地域で比較した場合最も投入量が大きかったのは中国、次いでアメリカであり、それぞれ 42.1, 27.1TgN/y であった。人口一人あたりの投入量は中国が 32.9kgN/y/人であり世界の平均とほぼ同じであったのに対して、アメリカはその 2.8 倍の 95.3kgN/y/人であった。貿易量を比較すると、純輸入量が最も大きかったのは日本で 1.38TgN/y であった。また財の産出量に対する純輸入量が 0.67 であり、日本が多くの窒素を国外に依存していることが明らかとなった。先進国と途上国の貿易関係に注目すると、先進国間での貿易量(18.9TgN/y)が大きかった。途上国から先進国へのフロー、先進国から途上国へのフローの量に大きな差は見られなかった。

Key Words : input-output table, nitrogen, global change, material balance

1. はじめに

産業革命以降、人間活動に由来する物質フローが飛躍的に増大した結果、自然環境における物質の循環に歪みが生じ始めた。窒素について注目してみると、人間活動は化学肥料の過剰な施肥や、農業・畜産システムの大規模化、燃料の燃焼量増加など自然界の窒素循環に大きな影響を与えている(Galloway *et al.*, 1995)¹⁾。窒素循環に関する環境問題を挙げると、1)窒素酸化物、アンモニアによる大気汚染、2)地下水の硝酸濃度上昇、3)河川、河口、海岸における窒素濃度上昇による富栄養化、4)亜酸化窒素排出による地球温暖化への寄与などが挙げられる。窒素は、窒素ガス(N₂)として大気中に豊富に存在するが、窒素固定菌以外の生物が利用できるのはアンモニア、硝酸、亜酸化窒素、窒素酸化物などの反応性窒素に限られる。人間活動はこれらの物質の大気からの固定量、大気、陸、水域への排出量を増大させ、様々な環境問題を引き起こしている。

窒素酸化物やアンモニアの大気沈着量は、産業革命以前と比べて 3~10 倍に増加した(Galloway *et al.*, 1995)¹⁾。

大気中の窒素酸化物は、対流圏のオゾン生成に寄与しており、光化学スモッグの原因物質の一つである(Bouwman and van Vuuren, 1999)²⁾。また、人体への直接的な影響として肺炎や肺浮腫などを引き起こす(Wolfe and Jonathan, 2002)³⁾。地下水の硝酸汚染は、メトヘモグロビン血症などによって人体に直接影響があるとされている(Wolfe and Jonathan, 2002)³⁾。地下水の硝酸汚染はこれまで西欧などの先進国において観測されていたが、最近では農業生産量の増大に伴って途上国でも観測されるようになった(Singh *et al.*, 1995)⁴⁾。また、UNEP(2004)⁵⁾によると河川、河口、海岸における窒素濃度は一部の地域で低下してきているものの、世界全体としては増加傾向にあり、富栄養化が懸念されている。Howarth *et al.*(1996)⁶⁾によると、北大西洋へ流入する窒素は産業革命以前の 6~10 倍となった。温室効果ガス中に占める亜酸化窒素の温暖化への寄与率は、約 6%とされている(IPCC, 2001)⁷⁾。

これらの環境問題に対処していくためには、自然環境中の窒素の循環に対する人間活動がもたらす悪影響をできるだけ少なくするような社会経済システムの構築が必須となる。そのような社会経済システム構築のためには、

①社会経済システム内を循環する物質と人間活動の関係を把握し、②人間活動由来の物質フローと自然環境の物質循環の関わりを分析し、③今後の窒素循環の将来推計を行う、あるいは政策などによる社会経済的变化を分析するといった、社会経済的アプローチが必要となる。しかし、これまで、全世界における農業土壌や河川の窒素の動態について、地理情報を基に推計した研究は存在するが(Van Drecht *et al.*(2003)⁸⁾、Siebert(2005)⁹⁾、Seitzinger *et al.*(1998)¹⁰⁾など)、社会経済的側面に着目し窒素の動態を推計した研究はない。

こうした背景を踏まえ、本研究では以下に示す二点を目的とする。第一に窒素の自然環境における循環と人間活動由来のフローとの関わりを把握するためのツールとして、環境と経済主体間、経済主体間、地域間におけるフローを記述する勘定表を開発することである。第二に、その勘定体系に基づき 2001 年における人間活動による窒素フローを推計し、人間活動由来のフローと自然環境との関係の変化について明らかにすることである。

2. 全世界を対象とした窒素物質勘定表

(1) 全世界を対象とした窒素物質勘定表の概要

全世界を対象とした窒素物質勘定表(Global Nitrogen Account Table, 以降 GNAT と呼ぶ)は全世界における人間活動に伴う窒素のフローを記述する勘定表である。環境と経済部門間、地域内の経済部門間、多国間の経済部門間における窒素を含有する物質のフローを窒素重量単位で記述したものである。

(2) 全世界窒素物質勘定表の対象

a) 対象フロー

GNAT では、人間活動により発生するフローを勘定の対象とした。その対象となる人間活動とは、経済部門における生産、消費、蓄積活動を指す。ただし、森林管理の土地利用に関するフロー(森林の生物学的窒素固定)は含まないとした。また、蓄積物(蓄積物の定義は次節)の廃棄のフローも含まない。

b) 対象物質

前項で定義した人間活動によって生産、消費、廃棄される有機物、肥料を中心とした反応性窒素を含む物質を対象物質とした。本論文では、本項で示した対象物質を産物と呼び、投入、産出といった産物のやりとりをする主体を部門と定義した。

(3) GNAT の構成

GNAT は、主体別物質投入表(以降 U 表と呼ぶ)、主体別物質産出表(以降 V 表と呼ぶ)、地域間物質移動表(以降

T 表と呼ぶ)の 3 種類の表で構成される。U 表、V 表は地域内の投入産出構造を記述する表であり、行が産物、列が部門で構成され、地域ごとに作成した。産物が部門へ投入されるフローを U 表に記述し、部門から産物が産出されるフローを V 表に記述する。T 表は各地域間での貿易量を記述する表であり、行は輸出地域、列は輸入地域で構成され、貿易される産物ごとに作成した。

(4) 産物・部門の分類

産物は、①財 27 種、②廃棄物 13 種、③環境からの投入物(以降環境投入物と呼ぶ)6 種、④環境への排出物(以降環境排出物と呼ぶ)27 種、⑤蓄積物 7 種の 5 つに分類した。産物分類を表-1 に示す。ただし、環境排出物の窒素酸化物、亜酸化窒素、燃焼灰はさらに排出源ごとに区分が異なりそれぞれ 8、9、4 種類に分類される。

表-1 産物分類

財分類		
米	その他の家畜	精穀
小麦	酪農製品	砂糖類
その他穀類	絹・羊毛	その他の食物
野菜・果実・木の実	林業製品	酒・タバコ
油糧作物	漁業製品	繊維製品
さとうきび	加工肉	木材
繊維作物	その他の肉類	紙・パルプ
その他の作物	油脂類	化学・ゴム製品
牛、羊、ヤギ、馬、ラクダ	乳製品	肥料
廃棄物分類		
農業廃棄物	木材消費廃棄物	天然ゴム廃棄物
家畜糞尿	紙廃棄物	家畜糞尿処理残渣
収穫時木材廃棄物	繊維廃棄物	下水処理汚泥
食料廃棄物	人糞	黒液
木材加工廃棄物		
環境投入物		
大気中窒素(燃焼)	大気中窒素(肥料用途)	生物学的窒素固定
アンモニア沈着	牧草	その他(漁業、林業由来)
環境排出物		
埋め立て廃棄物	直接排出人糞	窒素酸化物(8種)
下水排出	アンモニア	亜酸化窒素(9種)
燃焼灰(4種)	窒素ガス	窒素溶脱
蓄積物分類		
木製品	プラスチック類	燃焼灰
繊維製品	収穫時木材廃棄物	紙製品
建築物		

また、部門は①生産活動、②最終需要、③国外の 3 種類に分類した。生産活動は Hertel(2005)¹¹⁾の 57 経済部門に肥料部門を加えた 58 部門、最終需要は政府、家計、固定資本形成、在庫増減に分類する。ただし、化学肥料の投入によって栽培される作物とそれ以外の作物、あるいは化学肥料を用いた飼料を食べる家畜と牧草を食べる家畜を推計時には区別して扱ったが、最終的に各表に記述する数値はそれらの合計量である。国外とは輸出、輸入を表す部門で、U 表における国外は輸出、V 表における国外は輸入を表す。

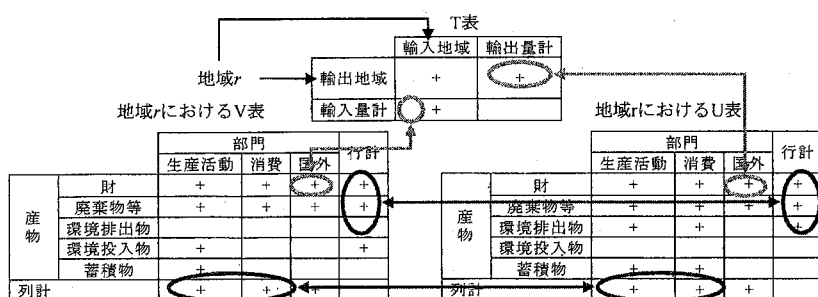


図-1 U表、V表、T表の雛形とそれらの関係

(5) U表、V表、T表の関係

図-1にU表、V表、T表の雛形とその関係を示す。表中の+の表記があるセルはフローが存在し値が入ることを意味し、+の表記がないセルは概念上フローが存在せず値が入らないことを意味する。財、廃棄物、及び生産活動、最終需要(家計、政府)においては産物の投入量と産出量の物質収支が成り立つ。そのため、行の要素である財、廃棄物においてはU表とV表の行計が同じ値をとる。また、同様に列の要素である生産活動、家計、政府においてはU表、V表の列計が同じ値をとる。また、T表で示される、ある地域*r*におけるある財の世界全域への輸出量合計は、地域*r*におけるU表の財の国外への投入量と一致し、同様にT表の世界全域からの輸入量合計は、地域*r*におけるV表の財の国外からの産出量と一致する。図-1の両矢印が書かれているセルは同じ値をとるセルをあらわす。

(2) 対象期間及び地域

本研究では、Hertel(2005)¹¹⁾を基に全世界を67の地域区分に分割した。具体的な地域区分は藤森(2006)¹²⁾を参照されたい。また、対象期間は2001年とした。

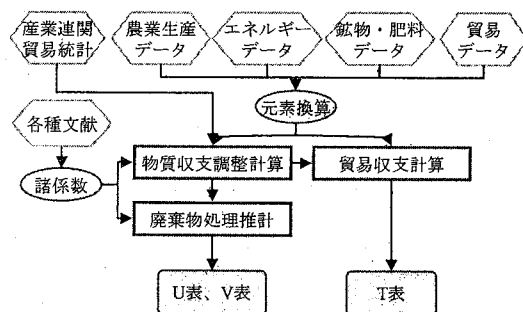


図-2 推計方法の概要

3. GNATの適用と推計方法

(1) 推計方法の概要

推計方法の概要を図-2に示す。まず、各種統計データから窒素関連の産物量に関するデータを得て、窒素換算する。次に、それらの窒素換算したデータと経済統計や各種文献などのデータを用いて、U表、V表、T表の推計を行う。U表、V表の推計では、物質収支調整計算、廃棄物処理推計の二つの推計方法を用いた。物質収支調整計算で財の産出や消費に関するフローを推計する。本研究の物質収支調整計算の定式化は藤森ら(2005)¹²⁾で行った炭素フローの推計手法とほぼ同様である。ただし、藤森ら(2005)¹²⁾の手法では、貿易量の推計を物質収支調整計算内で行っていたが、本研究では計算の精度をより向上させるために、貿易量の計算を「貿易収支計算」で行った。また、廃棄物の処理に関するフローも、より詳細な設定を行った。本研究で使用了各種統計を表-2に示す。

表-2 本研究で使用了統計値

データ名	発行機関	対象地域	フローの種類	文献
GTAP version 6.0	GTAP	全世界85地域	産業連関・貿易統計(金額)	11)
IEA	IEA	OECD30ヶ国	エネルギー	14)
Energy Statistics	IEA	非OECD113ヶ国	生産、消費量	15)
FAOSTAT	FAO	全世界248ヶ国	食料生産供給、食料貿易、家畜頭数、土地利用、肥料生産消費	16)
Fertilizer Use by Crop	IFA/FAO	全世界106ヶ国	肥料の部門別投入量	17)
WATM	FAO	全世界248ヶ国	食料の貿易量	18)
国連貿易統計	UN	全世界259ヶ国	全財の貿易量	25)
国際貿易センターデータ	ITC	全世界251ヶ国	全財の貿易量	26)

(3) 物質収支調整計算

物質収支調整作業とは、物質のフローを考慮し金銭の収支と物量の収支を調整する作業である。この作業の中心となる概念は「物質密度」であり、1単位額の財*i*に含まれる物質の重量と定義される。前章で示した産物、部門の各項目で物質収支を考慮し各情報に最も整合的な物質密度を求解する。その計算過程においては、各部門における産物の投入量合計と産出量合計が一致する、あるいは各産物の部門からの産出量合計と部門への投入量合計が一致するような制約条件を設ける。各種生産統計における報告値を、誤差を持つ観測値とみなし、この誤

差の絶対値和を最小とする諸変数を求めた。

(4) 物質収支調整計算のデータ設定

化石燃料、バイオマス燃料などのデータは IEA(2004a)¹⁴⁾、IEA(2004b)¹⁵⁾、食料、木材などは FAO(2005a)¹⁶⁾、肥料は IFA/FAO/IFDC(1999)¹⁷⁾、IFA/FAO/IFDC(2002)¹⁸⁾を窒素換算して設定した。食料品の窒素換算は表-3 に従う。家畜一頭あたりの体重と窒素含有率、木材やパルプ・紙の窒素含有率は、藤森(2006)¹³⁾の表 4.8、表 4.9、表 4.10 の値を用いた。

表-3 食料品の窒素含有率(%)

食料種	食料種	食料種	食料種
米類	1.24 小麦	1.97 トマトペースト	0.30
穀類(米除く)	1.97 木の実類	3.00 ブロッコリー	0.69
根菜類	0.32 油糧作物	4.00 酢	0.02
果物類	0.14 砂糖きび	0.30 柑橘	0.14
野菜類	0.24 卵	1.97 フルーツジュース	0.11
繊維類	0.21 皮	2.90 ドライフルーツ	0.43
茶類	3.46 臓物	3.14 残渣	0.62
糖類	3.70 タバコ	2.60 ココア	2.96
豆類	3.47 飲み物	0.04 飼料	3.00
スパイス類	1.69 粉	1.44 アルファルファ	0.26
油類	0.00 マカロニ	2.08 脂身	0.59
油類絞り粕	7.36 胚芽	5.12 肉製品	2.11
砂糖	0.03 パン	1.49 かに	2.08
ゴム	0.29 ベストリー	1.15 蒸留酒	0.00
肉	2.90 とうもろこし	1.37 保存魚	3.68
バター	0.01 ポップコーン	1.63 缶詰	2.56
チーズ	3.56 ウエハース	1.22 ジャム	0.03
粉乳	4.00 タピオカ	0.02 ケーキ	1.18
牛乳	0.45 サツマイモ	0.21 ビスケット	1.22
クリーム	0.32 バガス	0.30 チョコレート	1.18
蜂蜜	0.03 エンドウ	3.47 インスタント	2.35
脂身	0.03 キナコ	5.68 羊毛	14.40
魚類	6.00 しょうゆ	0.91 皮革	7.67
軟体類	2.72 味噌	1.10 服	2.30
海産哺乳類	3.86 豆腐	0.94 布	3.80
海産類	0.30 バター	4.08 全平均	1.96
米(初なし)	1.02 トマトジュース	0.10	

また、農業廃棄物の発生割合とその窒素含有率、化石燃料燃焼時の亜酸化窒素、窒素酸化物の発生源単位、家畜の糞尿の発生割合とその窒素含有率、収穫時木材廃棄物、食料廃棄物、木材加工廃棄物、木材消費廃棄物、紙廃棄物、繊維廃棄物、天然ゴム廃棄物の発生割合は藤森(2006)¹³⁾の値を用いた。本論文では、表-4 に家畜の糞尿の発生率とその窒素含有率を示す。

表-4 家畜一頭当たりの糞尿発生量と窒素含有率

家畜種	糞尿発生原単位 (t/hd/y)	窒素含有率(%) 窒素
肉牛	1.10	4.5
乳牛	1.10	7.4
水牛	1.46	3.4
羊・山羊	0.18	8.9
豚	0.22	8.2
家禽	0.04	1.6
馬・ロバ・ラクダ	0.55	7.3
げっし類	0.10	0.6
その他	0.51	5.0

(5) 廃棄物処理・その他のフローの推計

廃棄物の処理フローとしては、①一般・産業廃棄物の処理、②農業廃棄物、③収穫時木材廃棄物、④家畜糞尿、⑤人糞、黒液の下水処理、⑥農地のフローを扱った。本論文では、紙面の都合上、①一般・産業廃棄物の処理のフロー、②農業廃棄物、④家畜糞尿、⑥農地のフローについて示す。残りの廃棄物処理フローについては藤森(2006)¹³⁾を参照されたい。

a) 一般・産業廃棄物のフローの推計

一般・産業廃棄物として、食料廃棄物、木材加工廃棄物、木材消費廃棄物、紙廃棄物、繊維廃棄物、化石燃料起源廃棄物(プラスチック類)、天然ゴム廃棄物を扱う。

図-3 に一般・産業廃棄物処理フローを示す。

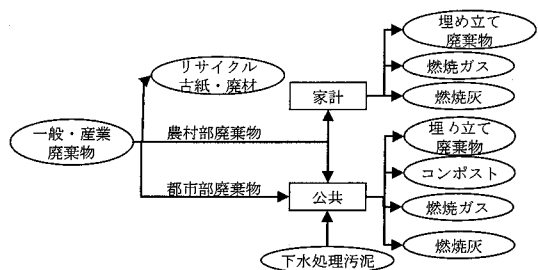


図-3 一般・産業廃棄物の処理フロー

木材加工廃棄物と紙廃棄物の一部はリサイクルされる。残りの一般・産業廃棄物については、UN(2001)¹⁹⁾より得た農村部と都市部の人口を用いて、農村部と都市部から発生する一般・産業廃棄物を推計した。途上国の農村部で発生した一般・産業廃棄物は全量が家計へ投入されると仮定した。先進国における農村部の一般・産業廃棄物のうち燃焼されるものは家計へ、残りは公共(廃棄物処理)部門に投入される。都市部の一般・産業廃棄物は全量が公共部門に投入され廃棄物処理されると仮定した。

家計へ投入された一般・産業廃棄物は、途上国では全量が埋め立て廃棄物となり、先進国では一部は燃焼され、残りは埋め立て廃棄物となると仮定した。先進国における家計での廃棄物燃焼量は、Olivier *et al.*(2001)²⁰⁾の値を使用した。窒素の一般・産業廃棄物の燃焼ガス、燃焼灰の発生割合は、Houghton *et al.*(1997)²¹⁾を基に表-5 に示すとおりに設定した。

表-5 燃焼ガスと燃焼灰の発生割合(%)

燃焼ガス	燃焼灰
窒素酸化物	亜酸化窒素
12.1	0.7
	87.2

一方、公共部門に投入され、廃棄物処理されるものは、埋め立て廃棄物、コンポスト、一般・産業廃棄物燃焼ガ

ス、一般・産業廃棄物焼却灰となる。廃棄物の焼却のうちエネルギー利用される廃棄物量は、IEA(2004a)¹⁴⁾、IEA(2004b)¹⁵⁾から値を得た。堆肥化(コンポスト)については、先進国に限り10%が堆肥化されるものとした。埋め立て率については、Houghton *et al.*(1997)²¹⁾の値を参考にして設定した。焼却処分量については、総量からその他の処分量を差し引いた残りが全量焼却されると仮定した。

b) 農業廃棄物の処理フロー

農業廃棄物の処理フローを図-4に示す。農業廃棄物は農業部門に投入され農地へ還元されるものと畜産部門に投入され、家畜の飼料となるものに分かれる。畜産部門への投入量は、Smil(1999)²²⁾に従い先進国で発生量の20%、途上国で33%とした。農業部門へ再び投入された農業廃棄物の一部は燃焼される。燃焼ガスと焼却灰の発生割合は表-5の値を用いた。農業部門への農業廃棄物の投入量あたりの燃焼される量の割合は、Olivier *et al.*(2001)²⁰⁾を基に各年、各地域別に設定した。

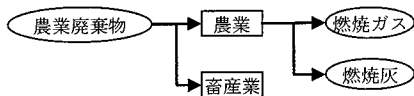


図-4 農業廃棄物の処理フロー

c) 家畜糞尿の処理フロー

家畜糞尿の処理フローを図-5に示す。家畜の糞尿は、一部が家計に投入され燃料として使用され、燃焼ガス、燃焼灰となる。燃焼ガス、燃焼灰の推計方法は農業廃棄物と同様である。残りは畜産部門で処理され、処理された糞尿の窒素分の一部は亜酸化窒素として排出される。処理過程から発生する亜酸化窒素については、表-6の排出割合を乗じて推計した。処理残渣は、畜産部門に再び投入されるものと農業部門へ投入されるものに分かれる。Van Drecht *et al.*(2001)²³⁾によると、処理残渣の投入先部門と投入量は、先進国の場合農業部門と畜産業部門で1:1、途上国は5:95の割合となる。本研究ではこの値を設定した。家計と畜産部門への投入割合、処理の方法の割合についてはHoughton *et al.*(1997)²¹⁾より値を得た。

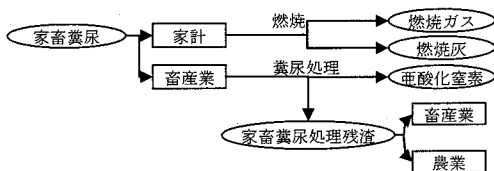


図-5 家畜糞尿の処理フロー

表-6 家畜糞尿処理時の亜酸化窒素排出割合

	嫌気性 貯水池	水処理 貯水タンク	貯蔵	放牧地 (処理なし)	その他
亜酸化窒素 排出割合(%)	0.1	0.1	2	2	0.5

d) 農地における窒素フローの推計

農地におけるフローとしては、以下のものを設定した。農地への投入は、生物学的窒素固定(BNF)、化学肥料(FER)、農業廃棄物(CRI)、家畜糞尿(LDG)、アンモニアの沈着(DEP)、種苗(SED)である。また農地から産出は農作物収穫(CRP)、農業廃棄物(CRO)、アンモニアの揮発(VOL)、脱窒(DEN)、亜酸化窒素(N2O)である。ここで、各年における農地の窒素溶脱量(LEA)を式(1)で定義した。生物学的窒素固定(BNF)は、豆科作物の耕地では収穫量の2倍(Mosier *et al.*, 1998)²³⁾、水田においては25kgN/ha、その他の農地では5kgN/haとした(Smil, 1999)²²⁾。アンモニアの揮発(VOL)と亜酸化窒素の排出(N2O)は、Houghton *et al.*(1997)²¹⁾より得られる変換係数を用いた(表-7)。農地から排出されたアンモニア揮発(VOL)はそのまま農地に沈着すると仮定した。また、脱窒についてはSmil(1999)²²⁾より窒素投入量の12.5%とした。ただし、地域、部門によっては窒素溶脱量(LEA)がマイナスとなる場所があったため、そのような部門に関してはマイナス分を生物学的窒素固定(BNF)に足した。

$$LEA = BNF + FER + CRI + LDG + DEP + SED - (CRP + CRO + VOL + DEN + N2O) \quad (1)$$

表-7 亜酸化窒素、アンモニア発生変換率

	変換率(%)	
	亜酸化窒素	アンモニア
化学肥料	1.25	10
有機肥料	1.25	20

(6) 貿易収支計算

貿易収支計算ではRAS法を用いた。物質収支調整計算から得られた各地域の輸出入量合計値を用いて式(2)を目的関数とし、 $x_{r,s,j,t}$ を推計した。また、制約条件として式(3)、式(4)を満たすものとする。

$$\forall(i,t) \sum_r \sum_s \left| \frac{x_{r,s,j,t}}{ex_{r,j,t}} - \frac{X_{r,s,j,t}^0}{\sum_s X_{r,s,j,t}^0} \right| \cdot W1_{r,s,j,t} \quad (2)$$

$$+ \sum_r \sum_s \left| \frac{x_{r,s,j,t}}{im_{r,j,t}} - \frac{X_{r,s,j,t}^0}{\sum_r X_{r,s,j,t}^0} \right| \cdot W2_{r,s,j,t} \rightarrow \min$$

$$ex_{r,j,t} = \sum_s x_{r,s,j,t} \quad (3)$$

$$im_{r,j,t} = \sum_s x_{r,s,j,t} \quad (4)$$

ここで、

$X_{r,s,i}^*$: 地域 r から地域 s への財 i の輸出額報告値

$x_{r,s,i,t}$: t 年, 財 i の地域 r から地域 s への貿易量の推計値

$W1_{r,s,i,t}$ $W2_{r,s,i,t}$: t 年, 財 i の地域 r から地域 s への貿易量の誤差の重み

$ex_{i,t}$: t 年, 地域 r , 財 i の輸出量

$im_{i,t}$: t 年, 地域 r , 財 i の輸入量

4. 結果及び考察

(1) U 表, V 表, T 表

本研究で得られた 67 地域の V 表, U 表の値を合計したものをそれぞれ表-8, 表-9 に, 輸出入の対象となった全財についての T 表の値を合計したものを表-10 に示す。表中の単位は TgN/y である。

a) V 表

まず, V 表の財の産出量について見てみる。肥料部門が最も大きな値を示し, 85.6TgN/y であった。次いで大きかったのは, 食料加工製品の 35.4TgN/y であった。これらの財の産出量は全財の産出量(200TgN/y)の 43%, 18%を占めていた。次に廃棄物について見ると, 牛等畜産(表 1 の牛, 羊, ヤギ, 馬, ラクダを産出する部門)とその他畜産から発生する, 家畜糞尿とその処理残渣の発生量が大きく, 家畜糞尿がそれぞれ 85.6, 26.7TgN/y, 糞尿処理残渣がそれぞれ 74.1, 25.8TgN/y 発生していた。家畜糞尿は全体で 132.5TgN/y 発生していた。また, 消費(家計)から発生する人の糞尿も 33.4TgN/y 発生しており大きなフローであった。

環境排出物に注目すると, その他部門からの窒素酸化物が 28.9TgN/y で大きな値を示した。これは主として, 化石燃料の燃焼に伴う排出である。廃棄物処理部門から発生する廃棄物と下水排水はそれぞれ 15.5, 16.6TgN/y であった。また, 農業部門(米, 小麦, その他穀類, 野菜・果実, 油糧作物)からの窒素溶脱がそれぞれ 14.7, 12.6,

10.9, 10.7, 12.5TgN/y であり大きなフローとなっていて, さらに窒素溶脱量は全体で 78.9TgN/y であった。

b) U 表

次に U 表の財の投入量について見てみる。肥料の米, 小麦, その他穀類, 野菜・果実部門への投入量がそれぞれ 14.7, 17.0, 19.4, 10.4TgN/y であり大きな値を示していることがわかる。これらの肥料の投入量合計は 61.4TgN/y であり, 財の投入量全体の 31%を占めていた。次に米, 小麦, 油糧作物の食料加工部門への投入量が大きいことも読み取れる。それぞれ, 7.0, 8.8, 10.6TgN/y であった。

U 表の廃棄物について見てみる。本研究では, 図-5 で示したように家畜糞尿は一度畜産部門が家計に投入されると設定しているため, 家畜糞尿の家畜部門への投入量が大きく, 例えば牛等部門への投入は 75.4TgN/y であった。家計へは 27.0TgN 投入されており, これは燃料として用いられている。また, 家畜糞尿の処理残渣のうち農業部門(米, 小麦, その他穀類, 野菜・果実, 油糧作物, さとうきび, 繊維作物, その他作物)へ 43.6TgN/y が投入された。環境投入物の合計量は 202.7TgN/y であった。肥料部門への投入量が最も大きく 85.6TgN/y であり, 全体の 42%を占めた。畜産部門(牛等畜産, その他畜産, 酪農, 絹・羊毛)では 46.5TgN/y が牧草として投入されており, これは環境投入物の投入量全体の 23%を占める。また, 農業部門の窒素固定量は 33.5TgN/y であり, 環境投入物の投入量全体の 17%であった。

c) T 表

次に T 表について見てみる。貿易量全体は 41.1TgN であった。輸入量の合計の大きな地域は西欧, 北米であり, それぞれ 12.0, 7.9TgN であった。輸出量の合計の大きな地域は西欧, 北米, 旧ソ連であり, それぞれ 9.7, 7.6, 7.4TgN であった。輸出入ともに大きな北米と西欧についてさらに貿易相手別に見てみる。北米の貿易のうち大きな値を示したのは北米内での貿易(2.7TgN/y), 中南米への

表-10 全財の T 表(TgN/y)

	オセアニア	東アジア	日本	東南アジア	南アジア	北米	中東	中南米	西欧	東欧	旧ソ連	アフリカ	輸出量計
オセアニア	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.9
東アジア	0.1	0.4	0.2	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
日本	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
東南アジア	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.6
南アジア	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7
北米	0.2	0.8	0.9	0.9	0.1	2.7	0.1	3.0	0.6	0.0	0.0	0.4	9.7
中東	0.4	0.5	0.1	0.3	0.2	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	3.0
中南米	0.0	0.4	0.1	0.2	0.0	0.4	0.1	1.1	1.7	0.1	0.1	0.2	4.4
西欧	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.3	5.5	0.3	0.1	0.4	7.6
東欧	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	1.1	0.3	0.0	0.1	2.0
旧ソ連	0.0	0.3	0.0	0.5	0.1	2.3	0.6	0.6	1.6	0.3	0.5	0.5	7.4
アフリカ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.3	1.9
輸入量計	1.1	3.0	1.6	3.5	1.2	7.9	1.4	5.3	12.0	1.0	0.7	2.4	41.1

産物	部門	生産活動													最終需要	国外	行計			
		米	小麦	その他穀類	野菜・果菜	油糧作物	さとうきび	繊維作物	その他作物	牛等畜産	その他畜産	絹・羊毛	林業	漁業				食料加工	繊維製品	木材・パルプ
財	米	7.4																	0.1	7.5
	小麦		11.6																2.2	13.8
	その他穀類			18.1															2.2	20.3
	野菜・果菜				7.8														0.5	8.4
	油糧作物					13.0													2.7	15.8
	さとうきび						4.2												0.0	4.2
	繊維作物							0.1											0.0	0.1
	その他作物								2.7										0.0	0.1
	牛等の家畜									1.0									0.4	3.1
	その他の家畜										1.1								0.0	1.0
財	酪農製品																		0.1	1.2
	絹・羊毛										5.4								0.1	5.5
	林業製品											0.1							0.1	0.3
	漁業製品												1.8						0.1	1.8
	食料加工製品													3.8					0.2	4.0
	繊維製品														35.4				6.4	41.8
	木材・パルプ															0.9			0.0	0.3
	肥料																85.6		0.4	1.3
	化学ゴム製品																	25.3	110.9	
	農業廃棄物																		0.1	0.1
廃棄物	糞尿	5.6	5.1	11.3	8.1	2.3	3.6	0.7	2.0	85.6	26.7	13.5	6.7					53.4	38.7	165.9
	その他廃棄物													0.8				2.7		0.8
	処理汚泥										74.1	25.7	11.3	6.5				2.8	120.5	19.5
環境排出物	埋立廃棄物																		15.5	16.3
	下水排水																		16.6	16.6
	亜酸化窒素	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	1.9	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	4.3
	アンモニア	3.6	3.8	5.6	3.4	2.3	1.4	0.5	1.0	11.2	1.6	1.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	36.7
	窒素酸化物	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	28.9	31.8
	窒素ガス	1.6	1.3	0.8	1.0	1.5	0.1	0.4	0.4	5.8	0.8	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	15.0
	窒素溶脱	14.7	12.6	10.9	10.7	12.5	1.7	3.4	3.6	8.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	78.9	21.0
環境投入物	焼却灰	0.3	0.4	0.8	0.6	0.1	0.3	0.0	0.2									13.9		
	環境投入物(アンモニアは着を除く)																			
蓄積物	アンモニア沈着																		0.1	0.2
	製品蓄積																			

表-9 2001年の全世界における窒素のU表(TgN/y)

部門		生産活動																			国外	行計			
産物		米	小麦	その他 穀類	野菜・ 果実	油糧 作物	さとう きび	繊維 作物	その他 作物	牛等畜 産物	畜産	酪農	絹・羊 毛	林業	魚業	食料 加工	繊維 製品	木材・ パルプ	廃棄物 処理	その他 部門	最終需要 消費	在庫 増減	輸出		
財	米	0.2								0.1	0.0	0.0	0.0			7.0							0.1	7.5	
	小麦		0.7							1.1	0.5	0.5	0.1			8.8							2.2	13.8	
	その他穀類			0.5						7.4	2.7	1.5	0.3			5.6					0.1		2.2	20.3	
	野菜・果実				0.3					0.8	0.3	0.2	0.0			1.3						5.0	8.4		
	油糧作物					0.4				0.4	0.1	0.1	0.0			10.6						1.4	2.7	15.8	
	さとうきび						0.1			0.0	0.0	0.0	0.0			3.9					0.1		0.0	4.2	
	繊維作物																0.1					0.0	0.1	0.1	
	その他作物								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.9					0.0	1.7	0.4	3.1	
	牛等の家畜															1.0					0.0	0.0	1.0	0.1	1.2
	その他の家畜															1.1							0.1	1.2	
	酪農製品															4.4						1.1		0.1	5.5
	絹・羊毛																	0.1						0.1	0.3
	廃棄物	林業製品															1.4			0.9		0.1	0.8		0.1
魚業製品																5.5					2.4	24.0	6.4	41.8	
食料加工製品										3.4	1.5	0.8	0.2									0.1	0.0	0.3	
繊維製品																	0.2					0.5	0.4	1.3	
木材・パルプ										4.2				0.0				0.3			0.1			0.1	110.9
肥料		14.7	17.0	19.4	10.4	6.1	2.5	3.9	4.3	4.2												3.2	25.3	110.9	
化学ゴム製品																					0.1			0.1	
農業廃棄物		3.8	3.8	8.4	5.7	1.7	2.4	0.5	1.4	7.6	2.1	1.2	0.2											38.7	
糞尿										75.3	26.0	11.5	6.7								19.4	27.0		165.9	
木材廃棄物															0.8									0.8	
その他廃棄物																			0.2		18.3	0.9		19.4	
処理汚泥		7.0	7.0	10.6	6.5	6.8	3.7	0.0	1.9	53.7	7.8	6.6	5.9								2.8			120.5	
埋立廃棄物																									
下水排水																									
環境排出物																									
亜酸化窒素																									
アンモニア																									
窒素酸化物																									
窒素ガス																									
窒素溶肥																									
燃料																									
環境投入物(アンモニア沈着を除く)	4.1	2.6	3.3	5.7	14.8	1.2	0.2	1.5	22.7	14.0	8.9	0.8	2.5	3.9	0.1	0.1	0.1	0.1	85.6	0.1	29.2	1.1		202.7	
アンモニア沈着	3.6	3.8	5.6	3.4	2.3	1.4	0.5	1.0	11.2	1.6	1.3	1.2												36.7	
製品蓄積																									
林地蓄積																									
廃棄物蓄積																									
列計		33.3	34.9	47.8	32.0	32.0	11.4	5.1	10.1	188.0	56.6	32.5	15.3	3.3	3.9	51.6	0.4	1.5	85.6	40.6	29.7	66.2	3.2	41.1	826.1

輸出(3.0TgN/y), 旧ソ連からの輸入(2.3TgN/y)であった。西欧は西欧内での貿易(5.5TgN/y), 中南米からの輸入(1.7TgN/y), 旧ソ連からの輸入(1.6TgN/y)が大きなフローであった。

(2) 環境投入物の地域比較

環境投入物の投入量(アンモニア沈着を除く)が大きかった上位地域5地域の環境投入物とその内訳について図-6に示す。中国, アメリカ, インド, 旧ソ連, ブラジルの順に大きな値を示し, それぞれ42.1, 27.1, 26.7, 14.7, 7.8TgN/yであった。これら5地域の投入量合計は世界全体の投入量の58%であった。内訳について見ると中国, 旧ソ連では化学肥料の投入割合が大きく, それぞれ全体の52%, 66%を占めていた。一方, アメリカ, インド, ブラジルで大きな割合を示したものに注目すると, アメリカでは燃焼起源が31%, インドでは牧草起源が51%, ブラジルでは生物学的窒素固定が51%を占めていた。地域によって, 内訳は大きく異なっていることがわかる。

また, これらの地域の一人当たりの環境投入物の投入量を表-11に示す。人口一人当たりの投入量で見ると, アメリカが大きな値を示し, 世界平均(33.1kgN/y/人)の2.8倍の95.3 kgN/y/人であった。中国は世界平均とほぼ同じ32.9kgN/y/人であり, インドは世界平均を下回る25.9kgN/y/人であった。

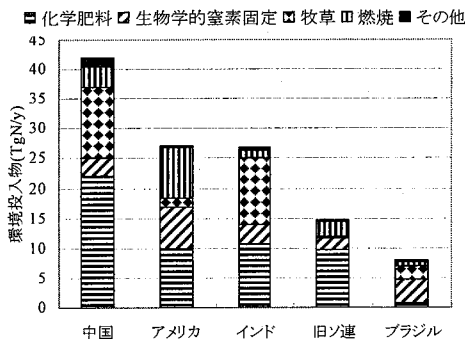


図-6 環境投入物の投入量

表-11 人口一人あたりの環境投入物の投入量

	人口一人当たりの投入量 (kgN/y/人)
中国	32.9
アメリカ	95.3
インド	25.9
旧ソ連	51.0
ブラジル	45.5
世界平均	33.1

(3) 貿易

表-12に輸入量合計, 輸出量合計の大きかった上位5地域の輸出入量をそれぞれ示す。

輸出量で見ると旧ソ連とアメリカが上位2地域となり, それぞれ7.35, 6.81TgN/yであった。これら2地域で輸入量全体の34%を占めていた。上位2地域についてカナダ, 中東, アルゼンチンと続くが, これらの地域は2.93, 2.90, 1.73TgN/yであり, 上位2地域とは大きな差が見られる。輸入量で見ると, アメリカが7.23TgN/yであり, 世界全体の輸入量の17%を占めていた。中国, フランス, ドイツ, 日本と続くが, これらの地域はそれぞれ2.24, 1.99, 1.94, 1.60TgN/yであり, アメリカとは大きな差が見られる。

次に純輸入量(輸入量-輸出量)合計の大きかった5地域の純輸入量とそれらの地域の財の産出量, また財の産出量に対する純輸入量の割合を表-13に示す。純輸入量は日本, メキシコで大きな値を示し, それぞれ1.38, 1.34TgN/yであった。それに次いで, イギリス, フランス, ベトナムがそれぞれ1.00, 0.98, 0.97TgN/yであった。財の産出量に対する純輸入量に注目すると, ベトナムが0.92となり大きな数値を示した。また, 日本でも0.67となり, この値が大きい地域では多くの窒素を輸入に依存していることがわかる。

表-12 輸出量, 輸入量上位地域とその貿易量

	輸出量(TgN/y)	輸入量(TgN/y)
旧ソ連	7.35	アメリカ 7.23
アメリカ	6.81	中国 2.24
カナダ	2.93	フランス 1.99
中東	2.90	ドイツ 1.94
アルゼンチン	1.73	日本 1.60

表-13 純輸入量と産出量の比較

	純輸入量 (TgN/y)	産出量合計 (TgN/y)	純輸入量 /産出量合計(-)
日本	1.38	2.05	0.67
メキシコ	1.34	2.42	0.55
イギリス	1.00	1.81	0.55
フランス	0.98	3.31	0.30
ベトナム	0.97	1.06	0.92

(4) 先進国と途上国の貿易のやりとり

図-7に先進国と途上国における貿易のやりとりを, 表-14に貿易された財の内訳を示す。先進国とはOECD諸国と旧ソ連, 途上国はそれ以外の地域である。棒グラフの左から①先進国内での貿易, ②先進国から途上国への貿易, ③途上国から先進国への貿易, ④途上国内での貿易を表す。左から貿易量の大きな順となりそれぞれ, 18.9, 8.3, 7.4, 6.4TgN/yであった。

内訳について見ると, 4つのフローに共通しているの

は化学肥料の割合が大きくほぼ6割近くを占めていることである。それ以外の財について見ると、先進国から途上国への貿易では農業製品が、逆に途上国から先進国への貿易では食料加工製品の割合が大きく、それぞれ28%、25%であった。先進国内、途上国内での貿易の内訳に、大きな差異は見られなかった。一般的に、一次産業の財の途上国から先進国への貿易量が多いとされているが(Muradian, 2001)²⁹⁾、窒素に関してはそのような傾向は見られなかった。

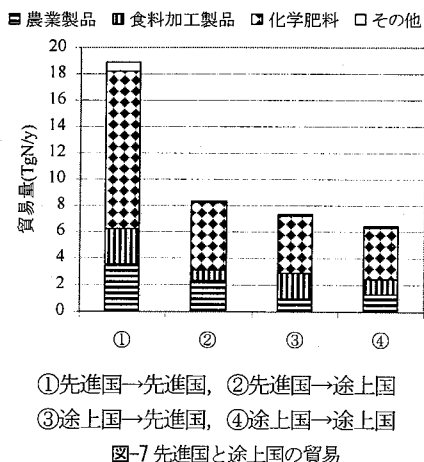


表-14 先進国と途上国の貿易の内訳

	①	②	③	④
農業製品	19%	29%	14%	20%
食料加工製品	14%	9%	25%	17%
化学肥料	64%	60%	59%	61%
その他	4%	2%	2%	1%

(5) 他の研究の推計値との比較

本研究と他の窒素循環に関する比較を行う。

まず、本研究の推計値と他研究の推計値を比較した結果を表-15に示す。他研究は、本研究ほど細かい産業活動、産物区分での計算を行っていないため、比較する値は集約化された値となる。また、対象年が異なることにも留意する必要がある。本研究と比べ本研究の推計値は、食料消費量でやや乖離が見られるものの全体として大きな差は見られなかった。

表-15 本研究と他研究の推計値の比較

フロー	値 (TgN/y)	文献	対象年	本研究推計値 (TgN/y)
燃料燃焼	24.5	Galloway(2004)	1990中頃	
起源NOx	33.8	Olivier(2001)	1995	31.8
肥料生産	86	Galloway(2004)	1990中頃	85.6
食料消費	23	Smil(1999)	1995	33.4

他研究は地理情報を用いた推計が主である。他研究の手法は、土壌・気候条件や土地利用などのデータにより、

土壌における窒素の溶脱、アンモニア同化、脱窒などを、化学的に推計できる。しかし、将来推計や政策分析を行うことは困難である。

一方、本研究のような社会経済的側面アプローチは、貿易構造や経済部門間の関係の解明、さらにそれらを用いた将来推計や政策分析等を行うことが可能である。今後は本研究で得られたデータをもとに、将来推計や政策評価を行うことが有効であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、人間活動内、人間活動と自然環境間における窒素のフローを記述する全世界窒素物質勘定表を開発した。その勘定体系に従い、2001年における全世界を対象として、窒素のフローを推計した。そのフローの推計は、物質収支調整計算、貿易収支計算、廃棄物処理計算で構成される。それにより、これまで明らかとなっていなかった地域内の経済部門間のフローや地域間での物質フローを推計することが可能となった。以下に、本研究から得られた結果を列挙する。

- (1) 世界全体で産出された財の中で、化学肥料は最も多く産出されその値は85.6TgN/yであった。
- (2) 世界全体で発生した廃棄物の中で最も多く発生したのは家畜糞尿でその値は132.5TgN/yであった。
- (3) 世界全体で排出された環境排出物の中で最も多かったのは窒素溶脱でその値は78.9TgN/yであった。
- (4) 環境投入物は世界全体で202.7TgN/yであった。
- (5) 貿易量は世界全体で41.1TgN/yであった。
- (6) 環境投入物の投入量は中国で最も多く42.1TgN、アメリカが27.1TgNであった。一人当たりの投入量で見ると、中国は32.9TgN/y/人でほぼ世界平均であったのに対して、アメリカはその2.8倍の95.3TgN/y/人であった。
- (7) 輸出量が最も多かったのは旧ソ連で7.35TgN/y、輸入量が最も多かったのはアメリカで7.23TgN/yであった。
- (8) 純輸入量が最も多かったのは日本で1.38TgN/yであった。また日本は財の産出量に対する純輸入量の割合が0.67と高い数値を示した。
- (9) 先進国と途上国という区分で貿易に注目すると、先進国間での貿易量が18.9TgN/yであった。先進国と途上国の間のフロー量に大きな差はなかった。

今後本研究で開発した物質循環表を用いて、将来の物質循環の推計を行うモデル開発を行い、物質投入量を減らす社会経済システム構築のための政策評価等に活用する予定である。

参考文献

- 1) Galloway, J. N., Schlesinger, W. H., Levy, H., Michaels, A. and

- Schnoor, J. L.: Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.9, No. 2, pp.235-252, 1995.
- 2) Bouwman, A. F., Van Vuuren, D. P., Derwent, R. G. and Posch, M.: A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems, *Water Air and Soil Pollution*, Vol.141, No. 1-4, pp.349-382, 2002.
- 3) Wolfe, A. H. and Patz, J. A.: Reactive nitrogen and human health: acute and long-term implications, *AMBIO*, Vol.31, No. 2, pp.120-125, 2002.
- 4) Singh, B., Singh, Y. and Sekhon, G. S.: Fertilizer-N use efficiency and nitrate pollution of groundwater in developing countries, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol.20, No.2, pp.167-184, 1995.
- 5) UNEP: GEO Yearbook 2004, 2004.
- 6) Howarth, R. W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J. A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P. and Zhao-Liang, Z.: Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic ocean: natural and human influences, *Biogeochemistry*, Vol.35, No. 1, pp.75-139, 1996.
- 7) IPCC: Climate change 2001: the scientific basis, third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2001.
- 8) Van Drecht, G., Bouwman, A. F., Knoop, J. M., Beusen, A. H. W. and Meinardi, C. R.: Global modeling of the fate of nitrogen from point and nonpoint sources in soils, groundwater, and surface water, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.17, No. 4, pp.26-1-26-20, 2003.
- 9) Siebert, S.: Global-scale modeling of nitrogen balances at the soil surface, Institute of Physical Geography Frankfurt University, 2005.
- 10) Seitzinger, S. and Kroeze, C.: Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.12, No. 1, pp.93-113, 1998.
- 11) Hertel, T.: Global Trade, Assistance, and Production The GTAP 6 Data Base, Purdue University, 2005.
- 12) 藤森真一郎, 諏訪亮一, 河瀬玲奈, 松岡 譲: 全世界の人間活動に伴う炭素フローの推計手法の開発に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.33, No. , pp.149-158, 2005.
- 13) 藤森真一郎: 全世界の人間活動に伴う炭素, 窒素, リンの循環変化に関する基礎的研究, 京都大学修士論文, 2006.
- 14) IEA: Energy Balance OECD, International Energy Agency, 2004a.
- 15) IEA: Energy Balance non-OECD, International Energy Agency, 2004b.
- 16) FAO: FAO Statistical Databases, Food and Agriculture Organization of United States, 2005a.
- 17) IFA/FAO/IFDC: Fertilizer use by crop fourth edition, 1999.
- 18) IFA/FAO/IFDC: Fertilizer use by crop fifth edition, 2002.
- 19) UN: Population division of the department of economic and social affairs of the United Nations, United Nations World Urbanization Prospects, 2001.
- 20) Olivier, J. G. J., Berdowski, J. J. M., Peters, J. A. H. W., Bakker, J., Visschedijk A. J. H. and Bloos, J. P. J.: Applications of EDGAR. Including a description of EDGAR 3.0: reference database with trend data for 1970-1995, RIVM report, no. 773301 001/NOP report no. 410200 051, 2001.
- 21) Houghton, J. T., Meria Filho, L. G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D. J. and Callander, B. A.: Greenhouse gas inventory reference manual, IPCC, 1997.
- 22) Smil, V.: Nitrogen in crop production: An account of global flows, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.13, No. 2, pp.647-662, 1999.
- 23) Van Drecht, G., Bouwman, A. F., Knoop, J. M., Meinardi and Beusen, C.: Global pollution of surface waters from point and nonpoint sources of nitrogen, *The Scientific World JOURNAL*, Vol.1, No. S2, pp.632-641, 2001.
- 24) Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., and van Cleemput, O.: Closing the global N₂O budget; nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, *Nutrient Cycling Agroecosystems*, Vol.52, No. , pp.225-248, 1998.
- 25) UN: UN commodity trade statistics database, United Nations, 2005.
- 26) ITC: Trade analysis system on PC, The International Trade Centre UNCTAD/WTO, 2004.
- 27) FAO: The world's agricultural trade matrix, Food and Agriculture Organization of United States, 2005b.
- 28) Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R. and Voosmarty, C. J.: Nitrogen cycles: past, present, and future, *Biogeochemistry*, Vol.70, No. 2, pp.153-226, 2004.
- 29) Muradian, R. and Martinez-Alier J.: Trade and the environment: from a 'Southern' perspective, *Ecological Economics*, Vol.36, No. 2, pp.281-297, 2001.

A STUDY ON THE ANTHROPOGENIC INTERVENTION IN THE GLOBAL NITROGEN CYCLE

Shinichiro FUJIMORI, Reina KAWASE and Yuzuru MATSUOKA

We estimated the global nitrogen flows induced by human activity in 2001. We made Global Nitrogen matter Account Table (GNAT) to describe the nitrogen flows. GNAT consists of use table, supply table and trade table. To estimate the flows, we performed the calculation method of "mass balance adjustment". This method is to estimate the flows consistently based on various international statistics. As a result, the extracting flow from environment was 203.5TgN/y. China extracted 42.1TgN/y and was the highest in the world. Second was USA and extracted 27.1TgN/y. The extracting flow per capita in china was 32.9kgN/y/cap, that was almost average in the world. On the other hand, that of in USA was 95.3 kgN/y/cap and was 2.8-fold of Chinese flow. Net import in Japan was 1.38TgN/y, that was highest in the world. The net import was 0.67-fold of production of commodities in Japan. Japan depended nitrogen heavily on foreign countries. When divide the world into two; developing and developed countries, the trade flow among developed countries was major (18.9TgN/y). We cannot find differences between the value of the flow from developed countries to developing countries and that of opposing.