

I R - 1 持続可能な国際社会に向けた環境経済統合分析手法の開発に関する研究
(3) 投入産出モデルを用いた資源・環境負荷フロー勘定の確立に関する研究

環境省国立環境研究所社会環境システム部

森口祐一

九州大学工学部環境システム科学研究センター

井村秀文*・松本 亨

(*12年度委託先：名古屋大学工学部地圏環境工学専攻)

熊本大学法学部

有吉範敏

平成 10・12 年度合計予算額 33,791 千円

(うち、平成 12 年度予算額 10,901 千円)

[要旨]

本研究は、自然環境から経済活動への資源の投入フローおよび経済活動から自然環境への廃物の産出フローの総量・部門別の内訳や、経済主体間で資源が生産活動を経て製品に形を変え、消費の後に廃棄されたり資本として蓄積される過程を、投入・産出表の形式で表現した物量単位の環境勘定の作成を目的とする。

このため、ドイツで作成された物的産業連関表(PIOT)や産業連関分析の環境面でのさまざまな拡張・改良を包含する枠組みとして、「多次元物量投入産出表(MDPIOT: Multi-Dimensional Physical Input Output Tables)」の枠組みを提案した。その有用性を実証するため、化石燃料、金属、建設原材料の3分野を対象として既存データをもとに勘定表を試作するとともに、表形式の汎用ソフト上で、部門の分割・集約など柔軟な形式で勘定表を表示する機能の開発を行った。また、1995年産業連関表を用いて、従来から行ってきたCO₂排出量データの更新、精度向上を行うとともに、排出構造の経時変化を明らかにした。

一方、日本、米国、ドイツ、オランダで進めてきたマテリアルフローの国際共同研究について、第一期に行った資源の投入フローに続き、人間活動から自然環境への排出フローについて、オーストリアを加えた5ヶ国の間で共同研究を進め、DPO(Direct Processed Output)、TDO(Total Domestic Output)等の指標を提案して国際比較を行い、成果報告書を共同出版した。

また、国連統計局によるSEEAやオランダで開発されたNAMEAなど世界を代表する環境勘定体系の主要な要素を含み、さらに地球環境問題の分析用に拡張した枠組みとして、包括的環境・経済統合勘定行列(GAMEE)を提案した。さらに、都市レベルでの物質の投入・産出フローの事例分析や、建設原材料や食品を例とした特定の産業部門の活動に関連するマテリアルフロー分析などの実証研究を行った。

[キーワード] 環境勘定、物量勘定、マテリアルフロー、投入産出表、産業連関分析

1. はじめに

アジェンダ21の第8章における環境資源勘定体系開発の重要性の明記、1993年の国民経済計算体系(SNA)改訂における環境経済統合勘定(SEEA)の導入などにみられように、環境資源勘定体系およびこれに基づく持続可能な発展の指標の開発は、世界的な重要課題となっている。わが国の環境基本計画第3部第4章第5節においても、推進すべき調査研究として「統合された環境・経済

勘定システムの確立と環境と経済の相互関係に関する課題」を特記している。

こうした内外からの要請に応えるため、地球環境研究総合推進費によりこれまでⅡ期6年の研究を実施し、本提案で扱う物的勘定の分野では、資源・環境負荷のフローの記述を中心とする勘定の枠組みと主要な項目に関する勘定の作成について成果を挙げてきた。これまでの成果を、平行して進めてきた環境経済モデル研究と連携して政策立案に活かすには、経済主体（産業部門）ごとに細分化した勘定を示すことが不可欠であることから、環境経済モデルへの組み入れや政策分析に適した投入産出モデル型の物的勘定の確立を目指すことが緊急課題である。

2. 研究目的

そこで本研究は、これまで蓄積してきた自然資源や環境負荷の部門間、国際間フローに関する物量単位の勘定（マテリアルフロー勘定）試作の成果を、投入産出表の形式に再構築し、資源消費や環境負荷発生 of 構造解明のための静的な投入産出モデル分析や、政策効果分析のための動的な環境経済モデルへの入力データとして提供することを目的とする。すなわち、経済活動の主体（産業部門）ごとに、主要資源の消費量、その産地別内訳、主要環境負荷の排出量を、産業連関表と整合のとれた形式の勘定表としてまとめ、これを用いて、経済活動のどのような需要が、どれだけの資源の消費や環境負荷の発生を引き起こしているのかの構造分析を行える情報システムを構築することを目指す。また、マテリアルフロー勘定の有用性を示すため、マテリアルフローに基づくマクロ指標の国際比較、貨幣勘定を含む勘定体系の構築、都市レベル・部門レベルにおけるマテリアルフローの事例分析、化石燃料起源の大気環境負荷排出量の推計などの実証研究を併せて実施する。

3. 研究方法、結果および考察

（1）資源・環境負荷の投入・産出フロー記述のための物量勘定表の設計と試作

物量単位の環境勘定は、貨幣単位の勘定と一体となって環境・経済統合分析のための環境勘定を構成するとともに、環境面を拡張した産業連関分析やミクロな技術評価のツールであるライフサイクルインベントリーともその形式・内容において密接な関連性を有する。この分野では、世界初の公的な物量単位の産業連関表であるドイツのPIOT(Physische Input-Output Tabellen)をはじめ、欧州において先進的な取り組みが見られる。また、わが国では世界有数の充実した内容の産業連関表が作成されており、環

上記ア.で環境部門を取り入れることにより、環境と経済との境界における物質フローが記述・把握できる。これに加え、経済内部における物量フローが記述されれば、物質フローと経済との関係のより緻密な分析が可能となる。ドイツの PIOT では、これを実現しているが、部門間のフローの内容として「どのような物質が動いているのか」の情報は限られていた。後に述べるように、本研究では部門間フローについても物質別の内訳を記述することに力点を置くこととした。これはどのような物質が、どのような部門を通りすぎていくかの情報が、資源リサイクルや廃棄物管理の分野での分析に有益と考えたためである。

ウ. 廃棄物処理・リサイクル等の静脈産業の扱い

廃棄物の回収、再生、処理、最終処分等の静脈産業は、経済活動の一部にはほかならないが、一般の「生産」部門と多くの重要な相違点があり、特殊な取り扱いを要する。これについては中村が廃棄物産業連関表で詳細な検討を行っている。本研究では、これらの産業自身の扱いもさることながら、次項で述べる屑・副産物の扱いを重視することとした。静脈産業の細分化や扱われる副産物と静脈産業との関係の記述は今後さらに検討すべき点である。

エ. 屑・副産物および結合生産の扱い

生産システムの複雑化に伴って、1 部門 1 財を想定した従来の表では扱えない問題が多く生じている。本研究では、吉田らが結合生産を明示的に扱う目的で提案した〔部門×部門×生産物〕の構造をもつ 3 次元産業連関表(3DIO)と同様、供給（行）部門と、生産物とは独立の次元として扱えるように設計する。但し、本研究ではさらに第 4 の次元として「資源」を導入するため、3 次元空間への記載という制約から、結合生産についてはより簡便な記載法も併用した。

② 多次元物量投入産出表の枠組み設計

以上の整理に基づいて、実際に多次元物量投入産出表の枠組みを設計した。

ア. 環境部門を追加した供給と使途の 2 次元表

まず、資源の供給源すなわち「ソースとしての環境」を行（供給）部門として、排出物の受け取り手すなわち「シンクとしての環境」を列（使途）部門として追加する（図 1 (a)）。これにより、経済と環境との間での物質循環は時計回りに記述される。この形式では、各産業は列部門の

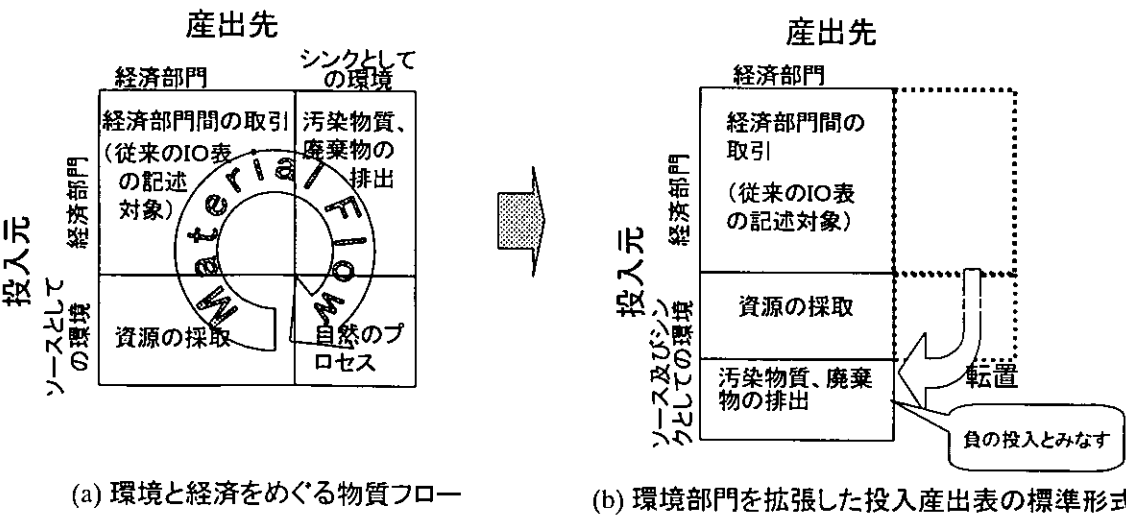


図1 環境と経済を巡る物質フローと投入産出表における表現方法

「シンクとしての環境」に対して排出物を産出するが、これを、行部門の環境から各経済部門に対して「負の投入」があったとみなすと図1(b)のように表現される。この形式は、産業連関表を用いた環境分析でこれまでも多用されてきており、本研究でもこれを標準形とした。

イ. 多次元表の次元構成

一般の産業連関表は、行（供給）部門と列（使途）部門の2次元から構成される。これに対し本研究で作成する多次元表は、先に述べた「記述対象とすべき側面」を同時に実現するために、[供給部門（行）×使途部門（列）×産出物×資源]という4つの次元をもつように設計した。現実の空間への表現では、2次元の「シート」を複数重ねた「ブック」形式のスプレッドシートによる3次元表を用いるが、表の基礎となる部門間フローデータはこの4次元構造で格納した。

部門分類については、第3の次元で産出物の種類を独立に扱うことから、第1、第2の次元における部門は、商品よりもアクティビティを基準として考えた。すなわち、異なるアクティビティが同一の生産物を他部門に対して産出することや、一つのアクティビティが複数の生産物を生産することの表現を想定した。さらに、この第3の次元の「産出物」は、従来の表における「財貨」あるいは「生産物」の概念に対応するが、副産物、屑、廃棄物、汚染物質などをすべて含む広い概念であり、それゆえ「生産物」ではなく「産出物」という呼称を用いた。

第4の次元である「資源」は、産物に含まれる物質のいわばルーツを表すのに用いる。経済活動で扱われるすべての有形の財は、元は自然環境から取り出されたものであり、「資源」はその由来を表現するために用いる。「資源」を辿ることによって、環境から取り出された物質が、どのような形態の産出物に形を変え、経済のどのような活動を経て、最後にどこに行きつくのかを追跡することが可能となる。

表1 3次元物量産業連関表のフレームワーク（[供給×使途×資源]表）

資源合計シート

奥行き(第3次元)方向に資源種別のシートを配置

「資源種3」シート

「資源種2」シート

「資源種1」シート

供給・投入元 使途・産出先		粗	生産活動				消費・蓄積			他の世界		環境		他の資源	
		大分類	原材料産業	製品産業	サービス産業	廃棄物処理活動	消費活動	固定資本	廃棄物保存施設	輸出	輸入	環境(ソース)	環境(シンク)		
粗分類	大分類	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
生産活動	原材料産業	1	(-、+)*	中間財の物質フロー(+)		処理に必要な中間財(+)	最終財の需要部門への物質フロー(+)			(+) (-)					
	製品産業	2		(-、+)*											
	サービス産業	3		中間財の物質フロー(+)	(-、+)*										
	廃棄物処理活動	4	廃棄物処理サービスに随伴する廃棄物以外の物質フロー(+)												
回収活動	副生物回収	5	副生物(産廃等)の回収(-)と再利用・処理部門への産出(+)				回収(-)		(-)	国際連関の記述方法について検討中					
蓄積活動	中間財の蓄積	6	使途先に達せず中間財部門にとどまる物質(-)				蓄積増(+)								
	廃棄物保存施設	7				最終処分(-)			蓄積増(+)						
環境部門	環境(ソース)	8	資源採取、燃焼のための酸素投入など(+)									採取総量(-)			
	環境(シンク)	9	CO2など各活動から直接環境に産出される物質(排出物)(-)				腐朽(-、+)						排出総量(+)		
内的変化		10	形態変化による他の資源シートとの収支の記憶(+、-)											収支計(+、-)	

*) 生産活動の対角要素には、主産物のグロス生産量を負値で、その自部門での消費量を正値で記録し、ネットの生産量を負値で計上する。

こうした4次元構造は、やや冗長な構造であり、部門と財が1対1に対応していれば、第1次元（供給部門）と第3次元の産出物は一つの次元に統合できる。この場合には、[商品（行）×アクティビティ（列）×資源]という3次元構成となる。この構成において、副産物や屑については、従来どおりストーン方式などで扱うこともできるが、後述するように本表では供給部門に「副生物回収」部門を加えて対応した。なお、競合部門の存在しない廃棄物や汚染物質の環境への排出は、この場合にも「シンクとしての環境」の負の産出物として扱った。3次元構成とした場合の問題点は、異なる部門が生産した同一産物の用途の相違が表現できないことであるが、用途の違いを表現しうるに足る基礎統計が不十分であることも勘案すれば、この3次元形式も現実的な選択であると考えられる。この構成による3次元表の枠組みを表1に示す。

③ 主産物以外の産出物の記述

従来の産業連関表では、原材料の供給（投入）は網羅的に記述されるが、産出側では主産物の用途の記述が中心であり、一部の副産物や屑の発生を扱ってはいるものの、経済的価値のあるものに限られており、物質収支の観点からは記述が不完全である。

MDPIOTでは、投入物も産出物もすべて勘定することを原則とした。従来、単一の生産活動から複数の生産物が産出される場合を結合生産と呼んできたが、すべての産出物を記述するという立場にたてば、副産物や屑はもちろん、汚染物質などの環境への排出物も「結合産出」とされたと解釈することができる。汚染物質や廃棄物も含め、産出物をすべて物量値で漏れなく把握することで、常に投入量と産出量は釣り合い、経済活動を通していく物量の総量は、上流から下流まで一定値に保たれる。経済活動の「パイプの末端」で把握した廃棄物量は捕捉もれのために過小値となりがちであるが、こうして経済活動の上流で投入された量からの用途を追えば、廃棄物の捕捉もれは理論的には生じない。

④ 産出物の物質構成の記述と「内包」量との関係

表を多次元構造のとしたことによる利点の一つに、部門間の物質フローの内訳を詳細に記述できることがある。すなわち、中間製品や最終製品の部門間の取引とともに、その製品に含まれる物質の移動が記述できる。たとえば、自動車を家計部門が購入した際、鉄、プラスチック、ガラスなど、自動車を構成する材料の産出を各々に対応する「資源」シート上に記述する。これによって、家計部門に対して、どのような製品を経由して、どれだけの資源が投入され、後に、どのような物質を含む廃棄物が生じるかが把握できる。

最終財中にリサイクル可能な物質がどれだけ含まれているかを知る、というような分析目的では、実際に「含有」されている物質量を追跡する必要があり、上述のような記述方法はこうした用途を想定したものである。一方、最終財に対してエネルギー・アナリシスと同様の方法を適用すれば、財に「内包(embodied)」される資源量を求めることができる。こちらは、最終財の生産に必要な一次資源量を求めることを意味し、実際に財に含有されている物質量よりは数値が大きくなる。計算上の内包量と実際の含有量の差異は、中間生産部門における加工屑などに相当し、これらはリサイクル活動や環境への排出など、別の部門に向かう。むろん、MDPIOTでは、こうした中間生産部門での加工屑の発生や用途も記述対象としている。

⑤ 特殊な取り扱いをする部門

ア. 副生物回収

リサイクルをはじめ、廃棄物の発生、回収、処理・再利用、処分などのフローの記述は、産業連関表で環境問題を扱う際にとくに慎重な検討を要する点である。MDPIOTでは、行部門として「副生物回収」部門を設け、この部門に内生部門および最終需要部門からの副生物の回収と、副生物を利用する部門および処理する部門への産出の両方を記述した。現実には、副生物回収産業を介在させることなく、直接のやりとり（副生ガスの同一部門内利用など）が行なわれている場合も多いが、本表では一旦「副生物回収」部門が全て引き取り、そこからの使途を表現する形式とすることで、自家消費も含めた副生物の回収量、利用量をまとめて表現できるようにしている。

イ. 最終需要部門からの産出

家計消費など最終需要部門は特定の財を他の部門に対して産出することはない（「主産物」をもたない）ため、従来どおり列（使途）にのみ部門を設け、これらの部門から生じる廃棄物は、「副生物」に相当するとして、上記の副生物回収部門に引き渡された後、処理処分や再利用が行なわれるとした。

ウ. 蓄積活動

行部門の「蓄積活動」は本表独自に設けた仮想的な部門である。貨幣取引においては、中間財の価格は次の製品に転嫁されるが、物量的にみると、投入された中間財のうち、産出物の原料とならずに当該部門に蓄積されるもの（資本形成に該当しないが耐久性のある財）がある。これを表すために、中間財が投入された列部門との交点に負値で記述し、その総量を最終需要部門の家計外消費支出に符号を変えて計上することで、蓄積された中間財がたどる使途を記述した。また、廃棄物処理活動から最終処分（埋立）への引き渡しもこの蓄積活動を介して記述した。

エ. 内的変化

資源の種類ごとにシートを作成する3次元表において、異なる資源種シート間でのやりとりの記述に用いる。たとえば、石炭やコークスに含まれる灰分は、当初は化石燃料シートに記述されるが、鉄鋼部門（高炉）に投入された後、灰分はスラグ化して鉄鉱石起源の鉄鋼スラグの中に混入するので、それ以降は鉄鋼シートに記述する。この例では、[内的変化、鉄鋼、化石燃料]セルに発生を負値で、これを受け取る[内的変化、鉄鋼、鉄鋼]に正値で記述する。全資源シートを合算した合計値では、相殺されてゼロとなる。資源シート間でのやりとりの総量は、列部門の「他の資源」に記述される。

⑥ 計算機上での表現

本表のデータベースはMicrosoft®社のAccess上で編集し、これを同社の表計算ソフトウェアExcelに移し、そのピボットテーブル機能を利用することにより、さまざまな形式の表やグラフでの表示を可能とした。先述のとおり、データベースは[供給、使途、産出物、資源]の4次元構造をもっており、表側、表頭に配置する次元と各シートでの記述対象を指定することで、一般の産業連関表と同様の供給×使途の表現のほか、部門－商品表形式などさまざまな形式での表現が可能である。また、特に詳細に表示したい部門のみを分割するなど、表示に用いる部門分割のレベルを柔軟に切りかえることができる。

表2 物量投入産出表の試作例(化石燃料表) [単位:100万トン]

			1-生産活動													2-消費・蓄積				3-他の世界		4-環境		5-他の資源		総計
01- 農林水 産業	02- 鉱業	03- 石油・石炭製 品	04- 炭素・土 石	05- 金属製 造	06- 機械製 造	07- その他の 製造	08- 建設業	09- 電力・ ガス・ 水道	10- 商業・ 金融・ 不動産	11- 運輸・ 通信・ 放送	12- その 他のサ ービス	13- 農産物 処理活 動	14- 消費支 出	15- 建設 物・設 備	16- 在庫増 加	17- 貯蔵物 保有活 動	18- 輸出	19- 輸入	20- 環境 (シンク)	21- 環境 (ソース)	22- 他の資 源					
供給部門 [国]	供給部門 [大]	産出物 [小]	石油製品		石炭製品																					
1-生産活動	01-農林水産業		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	02-鉱業		0	-11	175	22	7	3	0	4	2	85	0	0	1	0	0	0	-1	0	-235	0	0	0		
	03-石油・石炭製品	29710-石油製品	7	0	-167	5	5	5	5	48	3	32	5	59	18	1	31	0	2	0	7	-69	0	0	0	
		29720-石炭製品	8	0	0	-52	1	39	1	1	4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	7	0	0	0	0	
	04-炭素・土石		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	05-金属製造		0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	06-機械製造		0	0	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
	07-その他の製造		1	0	0	0	0	1	5	-24	2	0	1	0	0	0	0	0	0	7	-6	0	0	0	0	
	08-建設業		0	0	0	0	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	09-電力・ガス・水道		0	0	0	0	0	0	0	1	0	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10-商業・金融・不動産		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11-運輸・通信・放送		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12-その他のサービス		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
13-農産物処理活動		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2-回収活動	14-野生動物回収	31001-野生LPG	0	0	0	0	0	0	-2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		31002-野生コークス	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		31003-コークスガス	0	0	0	-21	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		31005-廃プラスチック	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		31010-野生動物	0	0	-1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3-蓄積活動	15-中間財の蓄積		0	0	0	0	0	0	-1	0	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16-農産物貯蔵施設	51000-保存される農産物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4-環境部門	17-環境(シンク)	52000-二酸化炭素	-21	-1	-22	-12	-34	-176	-14	-30	-14	-303	-19	-177	-65	-5	-123	0	0	0	0	1075	0	0	0	
		52000-水蒸気・水	-7	0	-8	-16	-14	-51	-5	-41	-8	-181	-7	-70	-30	-1	-59	0	0	0	0	484	0	0	0	
		11011-石炭(埋蔵)	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	0	0
		11012-原油(埋蔵)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
		11013-天然ガス(埋蔵)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	0
5-内的変化	19-内的変化	11051-埋蔵(大気中)	22	1	23	22	38	139	14	192	16	255	20	191	74	2	142	0	0	0	0	0	-1170	0	0	
		総計	0	0	0	0	-1	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-25	0	0

⑦主要資源についての物量投入産出表の試作

物量投入産出表の試作は、「資源」の種類を主要カテゴリーに絞り、1990年を対象に行った。産業連関表物量表、業種別の諸統計をデータソースとして、原料として最初に扱われる部門への投入量を可能な限り正確に求め、ついでそれより下流の部門間のフローは、取引金額に比例するなどの過程をおいてその量を推計した。日本経済に投入される総資源量は、後に述べるマテリアルフロー分析国際比較研究によれば約22億トンであるが、これに占める割合が多いものとして、化石燃料、建設用鉱物、鉄鉱石の3種類を選定した。

ア. 化石燃料表

表2に化石燃料表の試作結果を示す。この表の記述の中心は、化石燃料自身の経済部門間のフローのほか、その燃焼に伴う物質収支である。燃料自身については、精製部門および電力部門への原油のフロー、石油製品の各需要部門へのフローなどのほか、燃焼以外の用途、すなわち樹脂製品などの形で最終需要部門に流れていく量、さらにはそれが廃棄され、焼却されたり、埋め立て処分されるまでのフローが記述の対象となる。燃焼に伴う大気との間での物質収支は、従来の産業連関表ではむろん記述対象外であった。環境分析用にCO₂の排出量を記述した表は前述のとおりに数多く作成されているが、本研究ではそれにとどまらず、燃焼に必要な酸素の投入量や、二酸化炭素とともに産出される水蒸気を記述することにより、投入と産出の物質収支を漏れのないように記述している。なお、石炭燃焼からは、二酸化炭素と水のほか、かなりの量の石炭灰が産出される。表では、石炭灰の産出量や、その一部はセメント原料として利用されることも記述している。

なお、この表を熱量換算で記述することにより、エネルギーバランス表をはじめとするエネルギー・環境分野での分析ツールとの互換性が高まると考えられる。現在は、資源の種類ごとの分類としているが、このシートにバイオマス燃料など化石燃料以外も加えることにより、エネルギー関連のフローをより包括的に記述することも検討の余地がある。

イ. 建設用鉱物表

建設用鉱物は、日本の総マテリアルフローの半分強を占める。さらにその大半を占める砂利や碎石は、鉱業部門により環境から採取され、ほぼその全量が建設部門を経て最終需要である固定資本に蓄積されるという、比較的単純なフローである。このほか、石灰石からのセメントの生産とこれに伴う石灰石中の二酸化炭素の大気への排出、コンクリートとしての固定資本への蓄積、解体された固定資本から生じた廃コンクリートの再利用や最終処分などが記述される。

ウ. 鉄鋼表

鉄は最も代表的な材料であり、またそのリサイクル量の大きさからも興味深い記述対象である。最大のフローは、輸入された鉄鉱石が、銑鉄・粗鋼を経て種々の製品の材料となり、消費財として家計消費に回ったり、機械や建造物の一部として固定資本となる過程である。また、過去から蓄積された資本や、家計消費に含まれる耐久消費財から回収された鉄屑のリサイクルも記述される。忘れてはならないのは、自動車、機械類のような最終製品の形での輸出入である。本表と建設用鉱物表とあわせて読めば、建造物の蓄積量の大部分を読み取ることができよう。

⑧応用の方向性と今後の課題

現段階では、MDPIOTはその枠組みの設計と、数表の試作段階にあり、モデル分析には踏み込んでいない。従来の環境分野への応用と同様に、貨幣表示の表を併用して生産波及を求め、最終需要と資源消費や汚染排出との関係の構造分析を行なうことは比較的容易であるが、副生物の発生やその再利用に関して、波及をどのように扱うかなど、さらに踏み込んだモデル化においては検討すべき課題も多い。

また、本表は現時点では質量での記述を基本としているため、サービスについては、従来どおり貨幣フローとしての記述に委ねている。しかし、例えばエネルギー分野で重要な要素である電力は、質量は持たないが別に物量単位で記述できるものであり、こうしたサービスの記述方法も今後の課題である。

一方、本表で記述しようとした環境と経済の接点の多様な側面のうち、輸出入に伴う問題の記述は現時点では不十分である。日本が大量の自然資源を輸入に依拠し、その背後に資源採掘時の廃棄物の発生など定量的に明示すべき問題があることは既に先行研究において指摘してきており、こうした問題の記述のためのフレームワークの改良は、当面の優先課題である。

近年の調査研究の発展により、産業連関表、環境資源勘定、マテリアルフロー分析、LCAなど、互いに多くの接点・共通点を有する手法が蓄積されてきている。各分野で収集されたデータを本研究で提案するような包括的な枠組みに統合することにより、環境、エネルギー・資源、経済さらには技術の統合的な分析が大きく前進する可能性がある。

(2) 1995年産業連関表によるエネルギー消費・大気環境負荷排出勘定の作成

産業連関表による部門別エネルギー消費量・二酸化炭素排出量については、従来、地球温暖化対策研究で取り組み、1975～1990年の5年間隔4時点のデータ整備を終えていた。本研究に実施期間中に最新の産業連関表が刊行されたことから、上記の成果を継承し、1995年版データの作成を行った。

① 方法

まず、1995 年表について、産業連関表物量表等をもとに、部門別のエネルギー消費量を求め、これに CO₂ 排出原単位を乗じて部門別 CO₂ 排出量の推定を行った。ついで、部門別排出量を部門別生産額で除した部門別直接排出原単位と $[I \cdot (I-M)A]^{-1}$ 型の逆行列を用いて、各部門の最終需要 1 単位あたりに国内で誘発される排出原単位を求めた。さらに、これに部門別の最終需要金額を乗じて、最終需要ごとに排出量を求めた。

これら一連の方法は既往研究と同じである。但し、部門別直接排出量の推定にあたっては、従来どおり産業連関表の物量表を尊重しながらも、単価の設定等のために現状との数値の乖離の大きな燃料種・部門については、別資料による補正を加えた。また、従来、1990 年について主に延長表を用いた分析結果を示していたが、ここでは 1990 年基本表を用い、さらに部門別直接排出量について今回の 1995 年表の方法に合わせて再推計した結果を用いている。したがって、1990 年の分析については、今回の結果は既報とは多少値が異なること、また 1985 年以前の分析とは、直接排出量の計算方法が多少異なる点に注意が必要である。

② 結果および考察

図 2 は、先行研究で行った 1975～1985 年表を用いた最終需要別排出量内訳の分析結果に 1995 年の結果および 1990 年表についての再計算結果を加えたものである。以降、1995 年表の結果について、主に 1990 年表の結果と対比して示す。

まず、最終需要を消費と資本形成からとらえると、民間、政府合計の消費支出のシェアは 52.9%

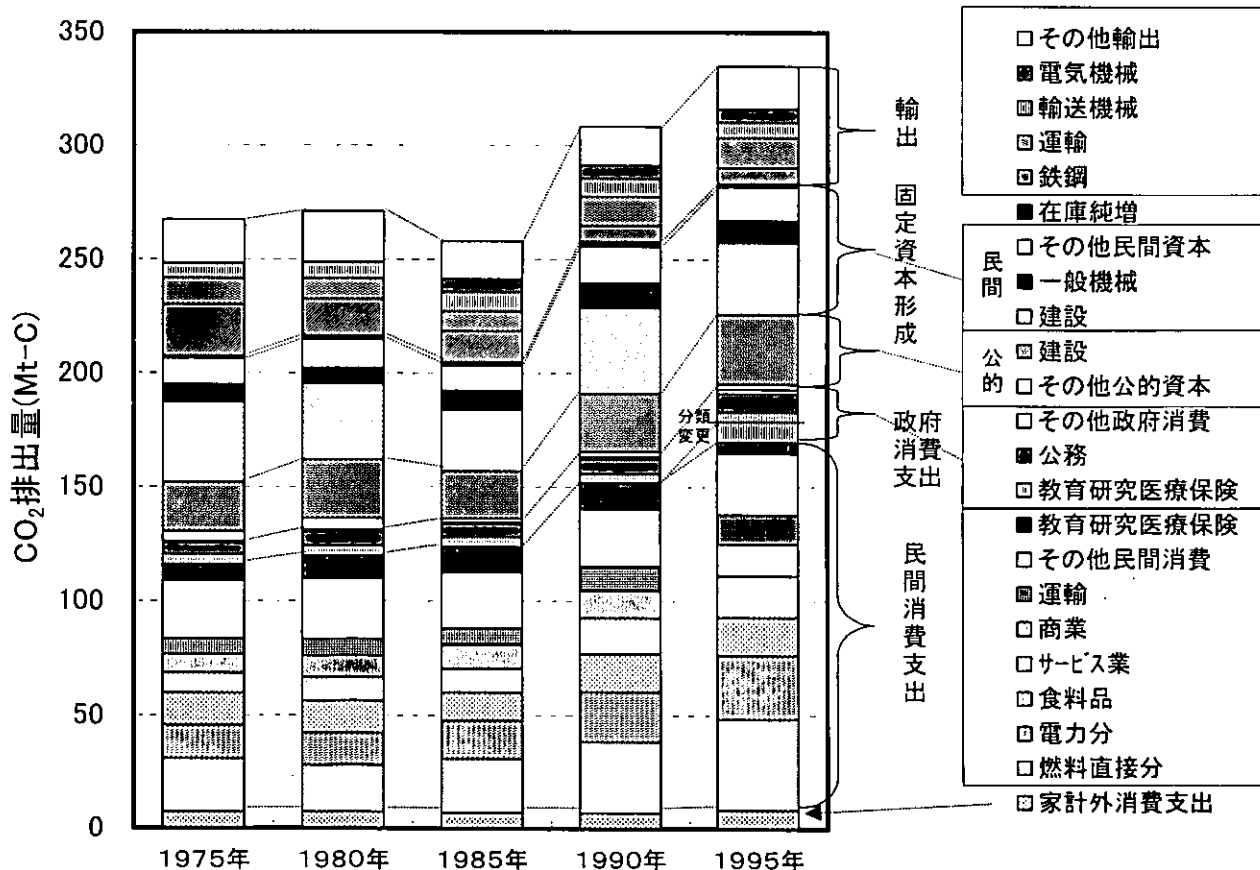


図2 最終需要からみた1975～1995年のわが国のCO₂の排出構造

から 57.6%へ増加し、公的・民間合計の固定資本形成は 30.0%から 26.6%に低下した。消費支出では家計消費支出の増加に加え、政府消費支出の寄与が 3.7%から 7%へと倍近くに増加したことが大きく影響している。この政府消費支出の寄与の急増は、1995 年表では、従来家計消費支出に計上されていた医療費の保険による給付分が、政府消費支出への計上に変更されたためである。

一方、固定資本形成では、民間固定資本形成のシェア低下が大きい。図 2 に示したそれ以前の推移をみると、バブル経済期にあった 1990 年の民間固定資本形成の水準の高さが目立ち、むしろ平常な水準に戻ったとの見方もできよう。

民間、政府合計の消費支出による排出量は率にして約 15%も増加し、排出量の増分は約 28MtC と、国全体の排出量の伸びをもやや上回る。結局、1990 年から 1995 年までの排出量の増加は消費の伸びによるものと結論づけられる。

なお、1985 年から 1990 年の 5 年間の民間・政府消費支出による CO₂ 排出の増加量も約 30MtC にのぼっていた。1975 年から 1985 年にかけてはほぼ一定であり、消費活動に伴う排出増加は、1985 年以降、急速に顕在化したといえる。1985 年から 1995 年までの 10 年間の排出の増加量 78MtC の実に約 4 分の 3 が、消費支出に伴う増加で説明されることになる。

(3) 一国のマクロなマテリアルフローに関する国際共同研究

① 国際共同研究の経緯

先行研究において、平成 7 年度以来、米国、ドイツ、オランダとの間で、マテリアルフローの国際共同研究を実施し、第一段階では自然から経済への資源の投入フローに焦点をあて、平成 9 年 4 月に最初の共同研究報告書を出版した。次いで平成 10 年度からオーストリアを加えた 5 ヶ国の間で共同研究の第 2 段階に着手した。ここでは、経済から環境への物質フロー、すなわち汚染物質や廃棄物の産出フローの定量化に重点をおくとともに、資源投入フロー量と廃物産出フロー量とのバランスから、資本蓄積の物的純増を求め、その国際比較も併せて行うこととした。平成 11 年度当初のウィーンにおける会合において、把握対象とする物質フローの範囲や分類、用語の定義など、データの国際的な整合性を改善するための検討を行った。この段階で、国際比較のための指標として、資本蓄積の純増加量、物質総産出量、産出量の活動別内訳、産出先となる環境媒体別内訳、産出の形態（散逸的な使用、排出・漏出、管理された廃棄物としての投棄）別の内訳などが提案された。また、投入と産出のバランスを保つ上では、燃焼のための酸素の投入と燃焼により生ずる水素の考慮、人間および家畜による食料や飼料の代謝ならびに呼吸による酸素・二酸化炭素・水の考慮、固形物への水分の含有量の考慮が、とくに重要な点としてあげられた。その後、各国担当機関がデータ収集を行う一方、国際比較に用いる指標として、経済活動に少なくとも一度投入された後環境中に排出されるフローの総量をあらわした DPO (Direct Processed Output)、および国内で生じる「隠れたフロー」をこれに加算した TDO (Total Domestic Output) を提案した。

② 国際共同研究報告書の概要

こうした検討を経て、平成 12 年秋に共同研究報告書を出版した。報告書は” The Weight of Nations” (国家の重さ) という表題で、” Material outflows from industrial economies” という副題のとおり、日・欧・米 5 つの先進工業国の経済活動から環境への排出物フローの総量とその内訳、経年変化を比較している。1997 年春に出版した Resource Flows (資源の流れ) と題する

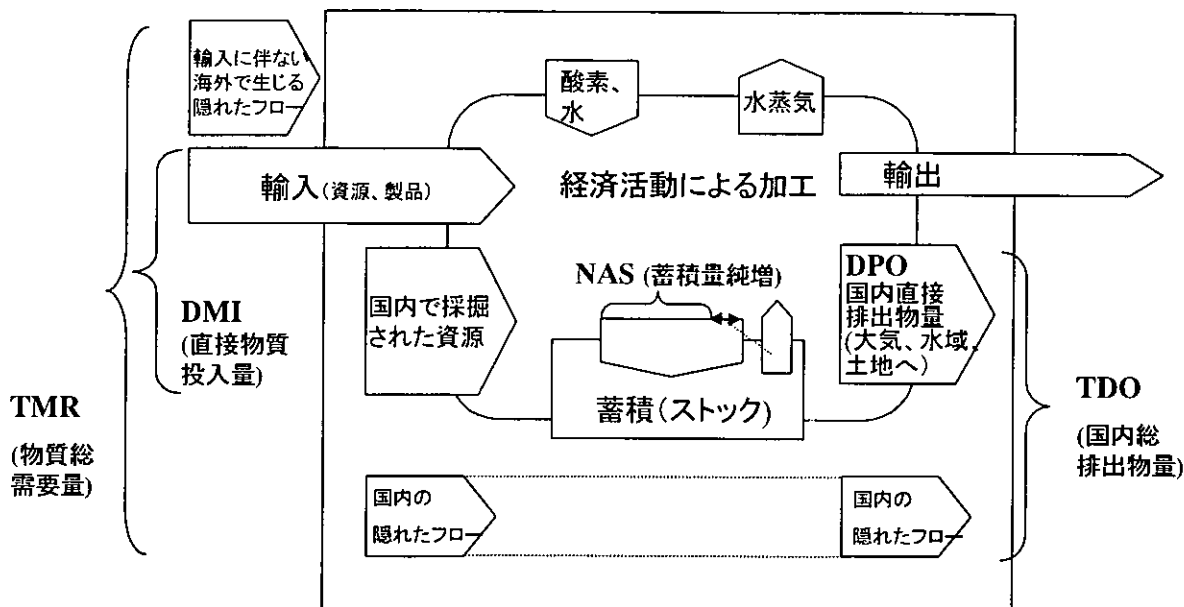


図3 一国の経済活動に伴うマテリアルフローの概観と指標の切り口

[用語・指標の解説]

隠れたフロー: 地下資源(石炭や金属鉱)の採掘時に掘削される表土・岩石や鉱石から分離される不純物、建設活動によって掘削・埋め戻される土壌のように、経済活動に付随して環境中から取り出されるが、一度も利用されことなく環境へ捨てられる物質。ドイツのヴッパータール研究所がエコロジカル・リュックサックと呼んでいたもの。日本国内では、地下資源採掘による寄与は小さく、ほとんどが建設活動による掘削。

1. アウトプット(経済から環境に排出される物質)量の指標

DPO(Direct Processed Output)[国内直接排出物量]: 化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素、原材料の加工に伴って生じる産業廃棄物や商品の消費後に生じる一般廃棄物などのように、経済活動に投入された資源が何らかの利用の後に不要物となって環境中に排出される量

TDO(Total Domestic Output)[国内総排出物量]: DPOに国内での隠れたフローの量を加えたもの。経済活動で一度も利用されていない物質も含めて、国内に「排出・廃棄」されるものの総量。

2. インプット(環境から経済に投入される物質)量の指標

DMI(Direct Material Input)[直接物質投入量]: 国内の環境から採掘される資源量と輸入される物質量の和

TMR(Total Material Requirement)[物質総需要量]: DMIに国内外で生じる隠れたフローの量を加えたもの。一国の経済活動に投入する資源を得るために、国内・国外の環境から取り出される物質ないし環境に加えられる改変の大きさを表す量。

3. インプットとアウトプットとの差を表す指標

NAS(Net Additions to Stock)[蓄積純増量]: 土木構造物、住宅、耐久消費財など、すぐには捨てられずに経済活動の中に蓄積されるものの純増加量。すなわち、新たに蓄積された量から、既存の蓄積のうち寿命を終えて解体・廃棄される量を差し引いたもの。

第1期の報告書では、環境から経済活動への資源のインプット（投入）の総量に関する指標を提案し、その数値の国際比較を行った。これに対し、今回は経済活動から環境へのアウトプット（排出）の総量に関する指標、およびインプットとアウトプットとの差から、どれだけの物資が蓄積（ストック）されたかを表す指標を提案し、その国際比較を行った。物質フロー把握の枠組みとこれに基づく指標の切り口を図3に示す。第1期の報告書とあわせ、先進工業国の資源の大量消費、大量廃棄の現状と推移を示し、持続可能な発展に向けて、大量のモノに依存した経済社会の転換の必要性を指摘した。

報告書では、排出物の総量のほか、温室効果ガスとして知られる二酸化炭素や大気汚染物質など大気への排出物、埋立処分される廃棄物、散布される肥料や農薬など土地への排出物、水質汚濁物質など水域への排出物といった環境媒体別の内訳、農業、建設、エネルギー供給、鉱工業、家庭、運輸といった経済活動の種類別の内訳も示した。

③ 得られた主な結果

5カ国のDPO（Direct Processed Output）およびTDO（Total Domestic Output）の国民ひとりあたりの指標値（図4）と内訳（図5）を比較した結果、日本のこれらの指標値は、オランダ、オーストリアとともに比較した5カ国の中では小さい部類に属する。またTDOでは鉱山廃棄物の寄与の大きい米国、ドイツの値が大きい。日本は鉱物資源の多くを輸入に頼っているため、鉱山廃棄物はこれらの指標では表に現れない。この問題については、第1期研究で既に「隠れたフロー」として計量しており、今回算出した指標と、第1期研究で算出した「資源投入側」の指標の両方を併せることにより、各国経済と「モノ」との関係がよりの確に把握できる。わが国の一人当たりの直接排出物量は約11トン／年であり、他国よりやや小さいが、二酸化炭素排出量の伸びなどにより、この指標は1980年代半ばを底として微増傾向にある。

この約20年の指標のトレンドに基づき、第2期報告書の序文では次のように述べている。研究対象期間の大きな経済成長にもかかわらず、資源の投入量や廃物の排出量は、一人あたりでみればわずかに増加傾向であるが、経済生産高あたりでは劇的に減少した。しかし、経済成長と資源の流通量との分離が一人あたりやGDPあたりで生じているとしても、資源消費や排出物・廃棄物の環境へのフローの絶対的な量は成長を続けている。電子取引の急速な発展やここ数十年に代表的な産業が重工業から知識・サービス集約型産業にシフトしたにもかかわらず、今回の研究対象国のいずれにおいても、資源需要量が絶対量として低減した証拠は全くみられなかった。

発展途上国と先進国が同じレベルの経済発展を望むならば、発展途上国の一人あたりの資源消費量が先進国と同レベルに達成しそうに思える。先進国、発展途上国の双方の物質集約度が、先進国の現状よりもはるかに低いレベルに収束する場合においてのみ、気候変動のような地球環境問題解決の望みが出てくる。先進国からの技術移転を加速し、発展途上国が旧来の汚染型、非効率な技術を飛躍的に改善できるようにする必要がある。

また、5カ国全体を通じた分析の結果として、次のような結論をまとめた。

- ・経済生産当りでみた資源消費量や排出物量、すなわち資源効率や環境効率は向上しているが、一人あたりあるいは総量でみた資源消費量や排出物量は増加を続けており、経済成長と物質消費との「デ・カップリング（分離）」が進んでいるとは言えない。

- ・経済活動に投入された資源のうち、半分から4分の3が、同じ年のうちに排出ガスや廃棄物として環境に戻されている。

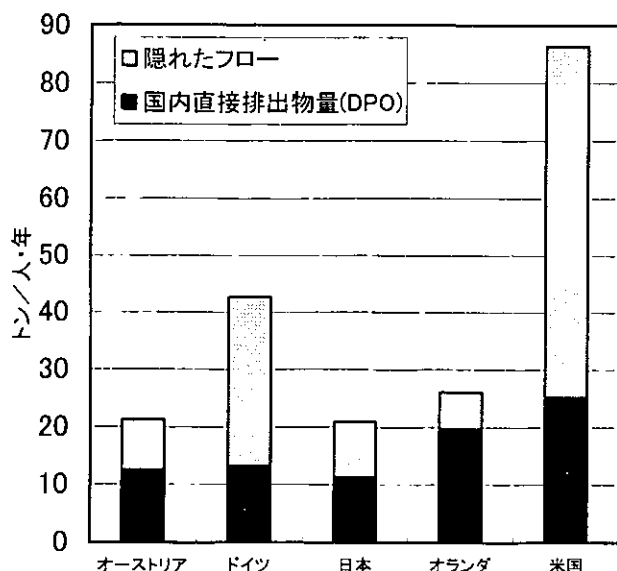


図4 国内直接排出物量(DPO)と隠れたフロー量の国際比較
(国内総排出物量(TDO)の内訳), 1996年

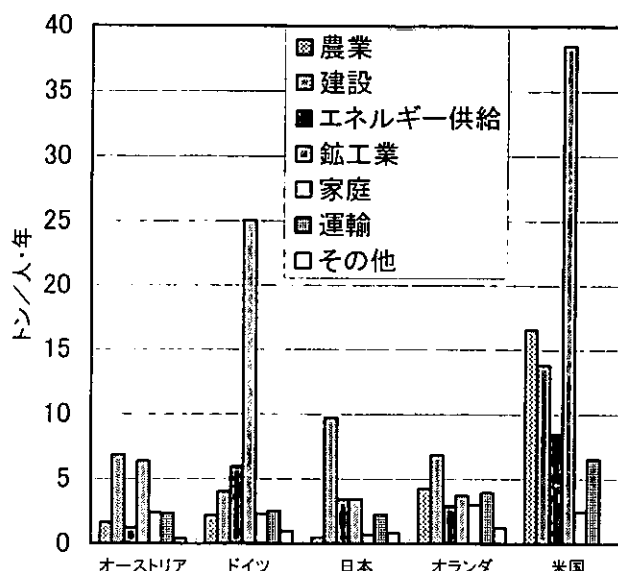


図5 国内総排出物量(TDO)に対する部門別寄与, 1996年

・一部の有害物質の排出は、規制による削減に成功したが、多くの潜在的に有害な物質の排出は増加を続けている。

・化石燃料の採掘(石炭採掘時に発生するズリなど)や使用(燃焼による二酸化炭素の排出など)が、排出フローの大半を占めている。

・資源の消費や廃棄物の排出に関する我々の知識は十分ではなく、経済活動を出入りするこれらの「モノ」の量を体系的に記帳した「物量勘定」と呼ばれる統計表を整備し、経済統計と並行して利用できるようにすることが緊急課題である。

(4) 包括的な環境勘定体系の設計

本項目については、熊本大学の有吉が担当した。

①地域連関及び国際連関を反映した包括的環境勘定体系の確立

まず、地域連関及び国際連関を反映した包括的環境勘定体系の確立を分担テーマとして、投入産出モデルをはじめとする各種環境経済分析のための統計的ないし勘定枠組的基礎を提供することを目的に、経済活動と自然資源利用・環境負荷との関係を整合的・体系的に把握するため、国民経済計算体系(SNA)及び投入産出表と整合の取れた形で、地域内、地域間及び国際間の環境・経済連関を詳細に記録できる包括的環境経済勘定体系の構築を行った。具体的な研究成果としては、以下の3点を挙げることができる。

第1は、SEE Aの拡張版であるSEE A完全体系(Complete SEE A: CSEE A)の提案と、その基本型の提示である。具体的にはまず、国連が提示したSEE Aについての詳細な検討から、環境と経済の相互関係を多角的かつ総合的に分析するためには、環境と経済の実物的関係のみならず、その背後にある金融面や所得分配面ないし国際連関面も絡めて記録することのできる包括的環境・経済統合勘定体系が必要であるとの主張を展開する。そして、この条件を満たすことの

できる勘定体系として、S E E A完全体系（C S E E A）の開発を行った。これは、まずS N Aのフロー・ストック完全勘定体系をN A M（National Accounting Matrix）形式で表示し、そこにS E E Aを組み込むことによって作成されるもので、環境と経済の実物的関係を記録する国連提示のS E E Aをその一部として含み、同時にそれとの密接な関係の下に所得分配面や金融面ないし国際連関面も合わせ持つ、包括的な勘定体系に他ならない。

第2は、上記のC S E E Aをさらに拡張することによって、地域的あるいは国際的に発生するあらゆる種類の環境問題を把握・評価することのできる持続可能な国際社会のための包括的環境・経済統合勘定体系を設計・提示したことである。この勘定体系は、C S E E Aをベースにしているため、環境と経済の実物的側面のみならず、金融面や所得分配面あるいは国際連関面を併せもつ体系であるが、さらに加えて、森林減少などの地域的環境破壊、酸性雨などの国際的な環境影響、あるいは地球温暖化などの地球環境問題といった様々な環境問題と人間社会との相互関係を、環境への負荷と悪化した環境からの影響の両面から把握する構造になっており、この点で、これまでの勘定体系にない特徴をもっている。

第3は、C S E E Aの一層の改良と拡張による包括的環境・経済統合勘定行列（Global Accounting Matrix for Environment and Economy：G A M E E）の開発である。環境・経済統合勘定については、S E E AやC S E E Aとは別に、オランダ統計局のS. J. Keuningを中心とする研究グループによって開発されたN A M E A（National Accounting Matrix including Environmental Accounts）と呼ばれる勘定体系が知られている。このN A M E Aは所得分配勘定や金融勘定も備えているなど、C S E E Aと類似したいくつかの特徴を持っている。しかし、その最大の特徴は、S E E AやC S E E Aがどちらかという通貨勘定に重きを置いているのに対して、N A M E Aの方は主として物的データに基礎をおく物的勘定体系を指向している点に見出すことが出来るであろう。そして、実際、国際社会における環境問題を考えるとき、物的勘定体系を整備することの重要性はきわめて明白である。そこで、本研究では、C S E E Aをさらに精緻化するとともに、物的勘定を明示的に導入することによって、N A M表示のS N A中枢体系を共通の勘定フレームワークとして、その上に貨幣的環境・経済勘定体系（Monetary Accounting Framework for Environment and Economy：M A F E E）と物的環境・経済勘定体系（Physical Accounting Framework for Environment and Economy：P A F E E）を併せ持った新しい勘定体系 — 包括的環境・経済統合勘定行列（Global Accounting Matrix for Environment and Economy：G A M E E） — の提案を行った。

②環境経済統合勘定の整備とそれに基づく指標群および分析手法の開発

つぎに、環境経済統合勘定の整備とそれに基づく指標群および分析手法の開発を分担テーマとして、地域連関及び国際連関を反映した投入産出表を含む環境・経済統合勘定体系の一層の整備と、それに基づく環境・経済統合指標群の開発とその政策利用への検討を行った。その主な研究成果は下記の3点である。

第1は、前年度の研究においてに開発したG A M E E（包括的環境・経済勘定行列）の成り立ちをあらためて整理するとともに、貨幣的環境・経済勘定体系であるM A F E Eに、経済企画庁経済研究所（現：内閣府経済社会総合研究所）によって推計されたS E E A試算値と国民経済計算統計を適用し、これを通じて、わが国の環境と経済の現状を貨幣単位で包括的に表示したことであ

る。MAFEEは、SEEAや国民経済計算が対象としている推計値以外に、国際間の環境影響などの記帳箇所を用意しているが、そうした項目については、残念ながら現時点では信頼できる推計値を得ることは出来ていない。これらの項目の推計は今後の大きな課題である。

第2は、環境・経済統合勘定を構築することの意義、あるいはそれが担うべき役割といったものを、基礎統計や指標体系、あるいは政策的利用との関連の中で明らかにしたことである。環境・経済統合勘定の研究は、しばしば勘定の作成自体を目的にしてしまいがちである。しかしながら、環境・経済統合勘定は、現実の環境・経済統合政策の立案・実施に資することを目的に作成されるべきであり、こうした点を明確に認識することはきわめて重要である。

第3は、MAFEEが、環境庁環境勘定検討会の提示するDPSEIR指標体系に対応する勘定体系であることを示した点である。MAFEEでは、環境と経済に関する様々な項目が記帳対象となっているが、それらはいずれも直接・間接に環境に関係しているので、MAFEE上のすべての記帳項目は、環境負荷駆動力指標(D)、環境負荷指標(P)、状態指標(S)、環境影響指標(E)、および環境対策指標(R)、のいずれかに分類できる。したがって、MAFEEそのものが実は1つのDPSEIR指標体系をあらわすことになる。この場合、とくに留意すべきは、MAFEEによってあらわされる指標体系では、1つ1つの指標が勘定形式で相互に関連しており、この意味で、MAFEEはまさに体系的な指標群を形成しているという点である。こうしたDPSEIR指標体系としての性質も兼ね備えた包括的環境・経済統合勘定の構築は、今後の環境・経済統合政策分析の研究に大いに資すると期待できる。

③ 勘定体系をベースにした環境・経済統合分析手法の構築へ向けた検討

以上述べた研究を受けて、環境・経済統合勘定体系の一層の整備と、そうした勘定体系をベースにした環境・経済統合分析手法の構築へ向けた検討を行った。その成果としては、下記の2点を挙げることができる。

第1は、内閣府経済社会総合研究所（旧：経済企画庁経済研究所）によってこれまで行われてきた環境・経済統合勘定体系に関する研究を整理するとともに、最近更新された日本版SEEAの解説と、日本版SEEAのサテライト勘定体系として最近作成された廃棄物勘定及び環境保護支出勘定の解説を行った。これら2つのサテライト勘定のうち、廃棄物勘定は、わが国における政策的関心度の高さやデータの入手可能性の点から作成されたものであり、一方、環境保護支出勘定は、欧州共同体統計局によって開発された勘定体系で、近年、欧米諸国で盛んに推計が行われ、各種の環境・経済分析への利活用が検討されているものである。これらの勘定は、ともに、環境・経済統合勘定体系に基礎を置きながら、政策分析に機能的に利用できるサテライト勘定として作成されており、今後、重要な分析手法として一層の展開が期待されるものである。

第2のそして最後の研究成果は、環境・経済統合勘定体系とそれに基づく環境・経済統合分析手法の一層の開発に向けて今後取り組むべき課題を示した点である。そこでは、政策分析への利活用の促進、社会的要請に応じたサテライト勘定の作成、国際動向への対応と国際貢献、分析目的に応じた推計対象の拡大と推計の精緻化といった点が掲げられており、今後の研究推進の参考になると期待される。

(5) 特定部門および地域に着目したマテリアルフローの実証分析

本項目は、九州大学（平成 12 年度は名古屋大学）の井村が担当した。

①特定部門に着目したマテリアルフロー分析

ア. 建設原材料のフローと建設物ストックの定量化

わが国における年間 20 億トン余りの資源投入量の約半分が建設用の砂利・碎石であり、セメント原料の石灰石や、鉄などその他の建設材料やその生産・加工・施工に要するエネルギー資源まで考慮すれば、建設活動に伴うマテリアルフローが、総量に占める割合は極めて大きい。一方、投入された資源の大半は、ストックとして蓄積される。このため、建設活動をマテリアルフローの観点からとらえる際には、フローだけでなく、ストックやその変化の勘定にも関心が払われるべきである。

そこで、GIS（地理情報システム）を用いた都市情報データベースから、マテリアルのストックを推計する方法を構築した。また、北九州市を対象に、道路、下水道、建築物といった都市構造物に対して、マテリアルストック・フローの推計を実際に行った。新興住宅地の例では、建設終了・人口増加後のストックは 79 トン／人であった。一方、北九州市全域について推計したマテリアルストック量は 126 トン／人であった。

イ. 食料に関するマテリアルフロー分析

マテリアルフロー分析は、物質全てのマクロなフローの記述に用いられるほか、特定の物質・物質群にも適用され、この場合はとくに SFA（Substance Flow Analysis）とも呼ばれる。ここでは食料、とくにそこに含まれる炭素分と窒素分のフローを追跡することにより、食料供給と、地球温暖化ならびに窒素循環との関係について考察した。ケーススタディ都市として、食料の大消費地であり、比較的近隣に食料の生産地を有している福岡市を選定した。

分析は、生産、食品加工、流通、消費、廃棄、処理および再資源化の各プロセス別に行った。また、その中でも生産、食品加工については市内と市外に、流通は小売店と飲食店に、処理（再資源化）は清掃工場と下水処理場に大別して分析した。また、分析結果を用いて、都市の有機物資源循環を評価するための指標の提案と、それを用いた現状評価及び数例の施策実施効果の評価を行った。得られた結果の要点は以下のようにまとめられる。

- ・ 福岡市をケーススタディ対象に、食品由来の物質収支、構造解析を行った。その結果、食料供給の市外依存率が非常に高いことが示された（炭素分の 96%、窒素量の 91%）。呼吸分を含めると、供給された炭素の約 70%は大気圏へ排出されることが明らかになった。
- ・ 食品由来物質フローに伴うライフサイクル CO₂ 及び T-N 排出量を求めた。これにより、フードシステム全体からの CO₂、T-N 排出量はそれぞれ 1.2×10⁶t-C、3.5×10³t-N(1997 年)となった。また、中でも家庭からの排出がそれぞれ全体の 17%、51%と大きな割合を占めた。また、食品に付随する包装材中の炭素についても推計し、3.2×10⁴t-C(1997 年)との結果を得た。
- ・ 炭素については、フードシステムにおいて供給される食料 1t-C のために、約 7.6 倍もの炭素が必要であることが示された。これは、現在のフードシステムの化石燃料への依存度を意味している。
- ・ 循環性効率指標として、フードシステム全体についての都市生活者 1 人あたり環境負荷、もしくは炭素摂取量あたり環境負荷が有効であることを示した。また、人為的に資源を循環させるケースでは、その資源としての循環量以外に、それに伴って発生する環境負荷を LCA 的手法により把握することが必要であることを示した。

② 単位のマテリアルフロー把握

ア. 分析実施の背景

近年、環境負荷の小さな持続可能な社会を目指し、資源循環型社会の形成が標榜されている。、現在の社会における物質代謝システムを評価するためには、製品の生産、消費あるいは 資源の需要、供給の流れの全体を通じて、物質の投入、変換、消費、廃棄の流れを定量化することがまず必要である。こうした目的には、環境資源勘定、特にマテリアルフロー分析/勘定（MFA: Material Flow Analysis/Accounting）が有効である。この手法は、経済活動と自然環境の相互関係を、両者の間の資源・エネルギーや廃棄物の移動量によって定量化することによって環境へのインパクトを評価しようとするものである。

MFA を用いた研究としては、産業、消費者、廃棄物処理業者など、経済システムを担う行動主体ごとに 物質収支を計量するなどの研究が行われている。しかしながら、これまでの研究における分析対象範囲は国あるいは県レベルであり、より細かな範囲、すなわち都市レベルでの研究は、まだ十分とはいえない。都市は、財やサービスの交易の中心地として人口、資源・エネルギー、資金が集中する場所であり、それらを利用した都市活動が高密度化することによって環境問題が発生する場である。特に大都市は、他の地域に比べてこのような活動が集積し、それに起因する環境問題の発生可能性が相対的に高い地域であるといえる。ここでは、日本、中国のいくつかの都市を対象としてマテリアルフローを推計するとともに、産業連関分析により各都市の物質収支特性を評価するための幾つかの分析手法を提案した。

イ. 基礎的手法

マテリアルフロー算定の前段階として、分析対象都市を特徴付けている社会経済データ等を比較し、都市の規模や産業構造を把握する。次に、産業連関表を用いた都市におけるマテリアルフローの算定、都市への物質直接投入量（DMI）の国際比較を行う。さらに、産業連関表を利用した最終需要項目別 DMI 誘発量を算定し、都市物質収支構造の特性を明らかにする。

対象都市として、日本からは福岡市、北九州市、横浜市、中国からは上海市、北京市を選択した。都市の選択基準は、都市規模が大きく、産業連関表などのデータが入手できた都市である。

マテリアルフローの計算は都市の産業連関表に基づく。マテリアルフローは、最終的には都市の産業連関表に、金額/物量変換原単位を乗じてもとまるが、この原単位の計算は金額ベースと物量ベースともに整備されている全国産業連関表（平成 7 年）より算出する。産業連関表の基本分類に基づき各品目について投入先別に原単位を求め、これを統合中分類（93 部門）に統合する。この際、産業連関表の数値が欠落しているものについては、工業統計表、産業別統計年報などの値を用いて原単位を推計している。廃棄物発生、処理量については環境局事業概要、廃棄物実態調査報告書などの実績値を用いている。

ここで、生産量が重量ベースで記載されていない機械製品などについては、その製造工程において資源ロス量がそれほどないものとみなし主要材料と部品投入量により原単位を推定する。ただし、燃料等 生産段階で消費されるものは原単位の推計において計上しないことにする。以上の方法により 95 年の日本全国の産業連関表および各種統計を用いて原単位の計算を行う。

上記の方法により推定した原単位の部門数に合わせて、93 分類に分割した都市の産業連関表（金額ベース）に原単位を乗じる。中国の都市においても同様の手法でマテリアルフローを推定する。

ウ、マテリアルフローの推定結果

図 6、7 に福岡市、北九州市のマテリアルフロー推定結果を示す。北九州市は福岡市と比較して物質投入量が多い。これは、鉄鋼業、窯業土石業などに投入される金属・非金属鉱物が多いためである。両都市の物質投入構造の違いから、工業都市である北九州市の特性が読み取れる。投入された物質の行き先をみると、福岡市では土木・建築構造物、耐久消費財への投入量が北九州市の 2 倍以上となっており、ストックとしての物質使用量が多いことがみてとれる。

エ、DMI の算定法および経済指標との関係

自然界から経済活動への資源の実投入量 DMI は、経済財として扱われない「隠れたフロー HMF (Hidden Material Flow)」と合計して総物質必要量 TMR (Total Material Requirement) を求めることにより、資源消費量及び資源採掘に伴う自然改変量を定量化することができるが、ここでは産業連関表における輸出入、移出入及び総生産の項目により DMI (Direct Material Input) のみを算定することにする。

物質投入量とそれにより発生するサービス量とを評価する指標として、MIPS (Material Input Per unit of Service) が提唱されている。MIPS とは、製品の全生涯にわたるサービス単価あたりの物質集約度を表す指標で、サービス単位や機能単位当たりの物質消費量を定量化する環境効率と類似した考え方である。ここでは、物質投入量として DMI をサービス発生量として GDP を用い、MIPS の代わりに DMI/GDP を定義し、経済水準を表す指標 GDP/人 (一人あたり GDP) との関係を散布図にプロットし、各都市の特性を比較した。結果を図 8 に示す。

これを見ると、日本の都市は GDP 当たりの物質投入量が中国の都市と比較して小さいのがわかる。また、一人あたり GDP が増加するにしたがい GDP 当たりの DMI が減少していくように見える。これについては、今後対象都市の数を増やしてさらに検証する必要がある。

オ、最終需要項目別にみた DMI 誘発量

産業連関分析における生産、移輸入誘発係数をマテリアルフロー分析に適用し、都市の物質投入構造の特性を評価する。

いま、産業連関表の都市内需要に対する移輸入係数の対角行列を M 、投入係数を A 、消費額を FC 、投資額を FI 、移輸出額を E 、単位行列を I 、単位行ベクトルを i とすると、最終需要項目別生産誘発係数、移輸入誘発係数は次式で表すことができる。

$$\text{消費による生産誘発係数: } \alpha FC = (I - (I - M)A)^{-1} (I - M) FC / iFC \quad (1)$$

$$\text{投資による生産誘発係数: } \alpha FI = (I - (I - M)A)^{-1} (I - M) FI / iFI \quad (2)$$

$$\text{移輸出による生産誘発係数: } \alpha E = (I - (I - M)A)^{-1} E / iE \quad (3)$$

$$\text{消費による移輸入誘発係数: } \beta FC = M (I - M)^{-1} (I - (I - M)A)^{-1} (I - M) FC / iFC \quad (4)$$

$$\text{投資による移輸入誘発係数: } \beta FI = M (I - M)^{-1} (I - (I - M)A)^{-1} (I - M) FI / iFI \quad (5)$$

$$\text{移輸出による移輸入誘発係数: } \beta E = M A (I - (I - M)A)^{-1} E / iE \quad (6)$$

式 (1) ~ (6) によって求めた各誘発係数に財別の物量/金額変換原単位を乗ずることにより、最終需要項目別の DMI 誘発量を求める。この手法により求めた福岡市、北九州市における最終需要項目別 DMI 誘発量を表 3、4 に示す。この表の値は、各都市における最終需要が 1 単位増加した場合に誘発される財別の DMI の量を示している。

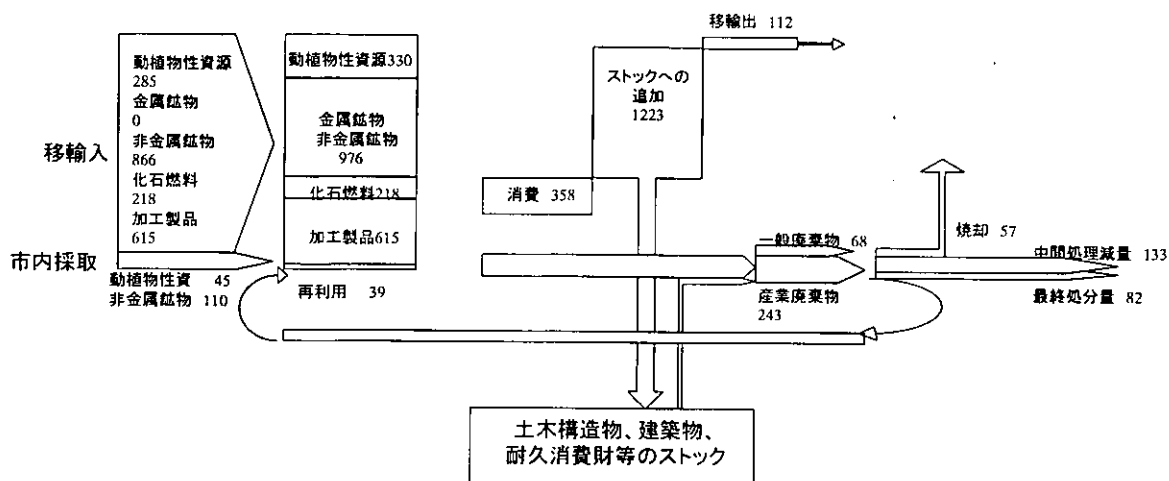


図 6 福岡市のマテリアルフロー (万トン、1995 年)

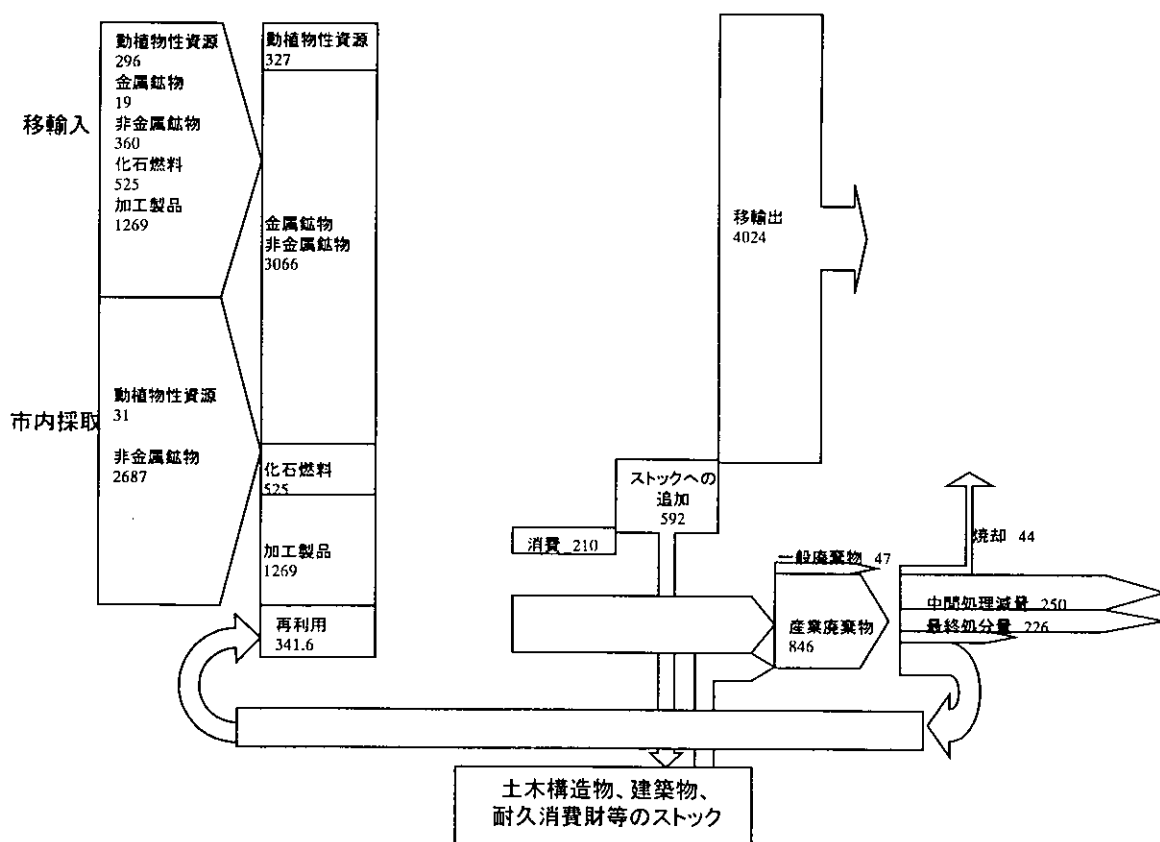


図 7 北九州市のマテリアルフロー (万トン、1995 年)

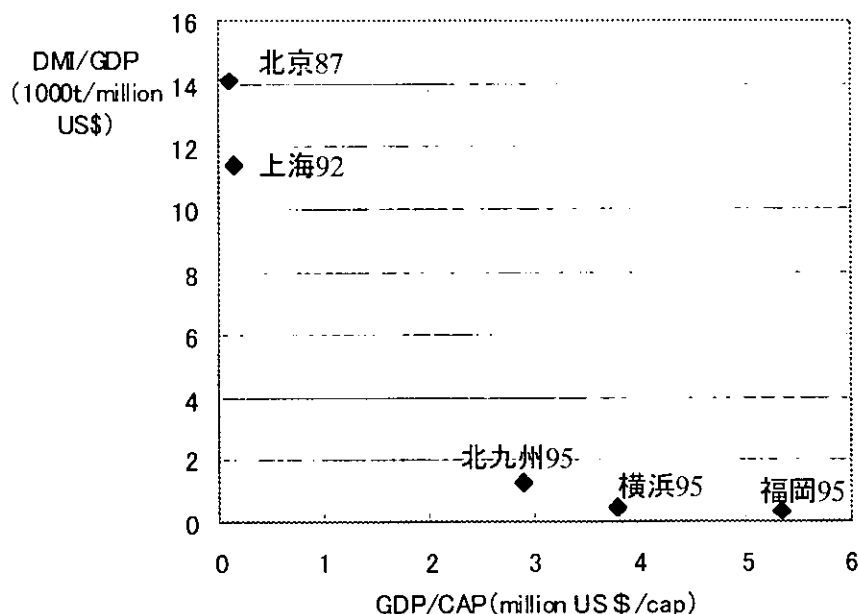


図8 日本、中国の都市における GDP 当たり DMI と一人当たり GDP の関係

北九州市は福岡市と比べて DMI 誘発量が多いが、特に輸出需要の増加が誘発する DMI が大きい。これを財別に見ると、金属・非金属鉱物、加工製品の値で2つの都市に顕著な差がみられる。金属・非金属鉱物の値が大きいのは、北九州市には豊富な石灰石が賦存しており、これを採掘して移出しているためと考えられる。また、加工製品の DMI 誘発量の大部分は鉄鋼製品（約71%）であった。

表3 福岡市の最終需要項目別のDMI誘発量(トン/百万円)

	消費	投資	輸出	合計
動植物性資源	0.53	0.14	0.27	0.36
金属・非金属鉱物	1.02	0.82	1.33	1.11
化石燃料	0.46	0.20	0.29	0.35
加工製品	0.77	0.63	0.66	0.70
計	2.78	1.80	2.56	2.52

表4 北九州市の最終需要項目別のDMI誘発量(トン/百万円)

	消費	投資	輸出	合計
動植物性資源	0.48	0.19	0.63	0.50
金属・非金属鉱物	0.87	0.75	9.65	4.76
化石燃料	0.73	0.48	0.99	0.81
加工製品	0.85	0.79	3.39	1.97
計	2.92	2.20	14.66	8.04

力. 成果のまとめ

産業連関表に基づき日本、中国の都市マテリアルフローの推定およびその特性評価を行った。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ・北九州市は福岡市と比較して物質投入量が大きく工業都市である北九州市の特性が読み取れた。
- ・福岡市は土木・建築構造物、耐久消費財などストックへの投入量が北九州市と比較して大きい。
- ・日本の都市は GDP 当たりの物質投入量が中国の都市と比較して小さい。また、一人当たり GDP が増加するにしたいが GDP 当たりの DMI が減少していくように見える。

・北九州市の DMI 誘発量は、輸出に起因するものが大きく、財別にみると金属・非金属鉱物、鉄鋼製品のシェアが大きい。

以上のような推計では、推定した原単位の精度が問題となる。今回は主に産業連関表による推計を行ったが、今後は都市の物質投入量の実物量を用いた推計結果の信頼性の検討を行うことが重要な課題となる。

4. 本研究により得られた成果

- ・産業連関表の枠組みを拡張した多次元物量投入産出表の枠組みを提案し、大量生産・大量消費・大量廃棄に特徴づけられた現代の経済社会における「モノのフロー」を体系的に記述するための情報基盤整備の土台を構築した。この枠組みは、地球環境問題のみならず、廃棄物・リサイクル分野をはじめ、さまざまな環境問題の分析基盤として活用できる
- ・欧米の機関と共同して、一国のマテリアルフローの全体像を表現するための指標開発とデータ整備に取り組み、The Weight of Nations と題する報告書を出版した。その成果は、OECD 環境の状況ワーキンググループ (WGSOE) マテリアルフロー分析フォーラム等の国際的活動の場で報告されるとともに、国内でも循環基本法に基づく最初の循環白書において多数引用されている。
- ・産業連関表に基づく CO₂ 排出量の構造分析のためのデータベースを更新し、近年の排出量の増加の大部分が、消費支出に起因することを明らかにした。
- ・本サブテーマで中心に取り組んだ物量勘定とサブテーマ 2 で取り組んだ貨幣勘定とを包含し、かつ国際的標準として提案されてきた枠組みとも整合する包括的な勘定体系を提案した。
- ・建設原材料のフローとストック、食品のライフサイクルに着目した分析、および都市規模の物質収支に関するケーススタディを実施することにより、マテリアルフロー勘定が、一国規模のマクロな分析だけでなく、さまざまな場面で活用できることを示した。

5. 引用文献

省略

〔国際共同研究等の状況〕

- ・総物質収支に関する日独比較研究 (日独環境保護パネルによる二国間協力)
- ・米国、ドイツ、オランダ、オーストリアとの間でのマテリアルフロー勘定国際共同研究の実施
- ・ConAccount (欧州を中心とするマテリアルフロー勘定国際共同研究ネットワーク) への参加
- ・OECD 環境の状況ワーキンググループ (WGSOE、現在は改組により WGEIO) への参加。同グループにおけるマテリアルフロー分析フォーラムの設立。

〔研究成果の発表状況〕

(1) 試上発表 (学術雑誌)

- ①森口祐一：持続可能な社会システム (内藤、加藤編、岩波書店刊、244pp.)、97-126、(1998)
『持続可能な発展』という概念
- ②中口毅博・森口祐一：環境科学会誌、11(3)、277-287(1998)

「日本の地域環境指標の特徴分析 ―国際比較を中心に―」

③中井真司・森口祐一：環境技術、28、132-136、(1999)

「地域産業連関表を用いた二酸化炭素排出量の推計 ―大阪府の場合」

④森口祐一：水・物質循環系の変化（和田・安成編、岩波書店刊、350pp）、299-325、(1999)

「マテリアルフローからみた人間活動と環境変化」

⑤森口祐一：国立環境研究所地球環境研究センター刊 CGER-D022-'99、(1999)

「マテリアルフローデータブック ―日本をとりまく世界の資源のフロー―」

⑥白濱康弘・谷川寛樹・松本亨・井村秀文：環境システム研究、26、383-389、(1998)

「都市インフラを対象とした MIPS 評価システムの構築に関する研究」

⑦Y. Moriguchi: J. Material Cycles & Waste Management, 1(1), 2-9, (1999)

“Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting”

⑧松本亨・中川慎司・波多江香苗・井村秀文：環境システム研究、27、153-164、(1999)

「循環型社会構築を目指した都市生活排水・廃棄物処理システムの統合評価の視点」

⑨松本亨・大迫洋子・井村秀文：環境システム研究、27、89-96、(1999)

「戦後日本の食生活変化と環境負荷：主食に関わるライフサイクル CO₂ の評価」

⑩谷川寛樹、松本 亨、井村秀文：環境システム研究、27、347-354、(1999)

「都市構造物に関連したマテリアルストックの推計・評価に関する研究」

⑪松本 亨・岩尾拓美・大迫洋子・井村秀文：環境システム研究論文集、28、21-32、(2000)

「都市の有機物資源循環システムの評価指標の開発」

⑫有吉範敏：地域学研究、30(1)、(2000)

「包括的環境・経済勘定行列(GAMEE)について」

⑬有吉範敏：熊本大学人文社会論集、2、(2000)

「環境・経済統合勘定と指標体系」

⑭Y. Moriguchi: Population and Environment, 23(1), 105-115, (2001) (in press)

“Rapid Socio-Economic Transition and Material Flows in Japan”

(2) 口頭発表

①Y. Moriguchi :Gordon Conference in Industrial Ecology, New London, NH, (1998)

“Resource Flows in Industrial economies”

②Y. Moriguchi: IHDP Industrial Transformation East-Asia Regional Workshop, Kita-Kyushu,

(1998) “Resource flows in selected industrialized countries”

③N. Ariyoshi: 25th General Conference of the International Association for Research in the Income and Wealth (IARIW), Cambridge, (1998)

“A Complete SESA: An Extension of the SESA to the International Environmental Problems”

④N. Ariyoshi: 5th Meeting of London Group on Natural Resource and Environmental Accounting, Fontevraud, (1998)

“A Complete SESA: An Extension of the SESA to the International Environmental Problems”

⑤ Tanigawa H, Matsumoto,T and Imura, H:The 4th International Conference on Eco-Materials, (1999)

“The Establishment of Estimation and Evaluation System for the Material Stocks Embodied in Urban Infrastructures”

⑥Y. Moriguchi :Gordon Conference in Industrial Ecology, New London, NH, (2000)

“3-Dimensional Physical Input-Output Tables for broader use of Material Flow analysis”

⑦N. Ariyoshi: Conference on Green National Income Accounts, Chinese, Taipei, (2000)

“A Complete SEEA : An Extension of the SEEA to the International Environmental Problems”

⑧森口祐一・近藤美則・南齋規介・東野達：第 16 回エネルギー・システム・経済・環境コンファレンス(2000)

「平成 7 年産業連関表等を用いた近年の CO₂ 排出構造変化の分析」

⑨南齋規介・森口祐一・東野達・笠原三紀夫：第 16 回エネルギー・システム・経済・環境コンファレンス(2000)

「平成 7 年産業連関表による CO₂ 排出強度の算出と平成 2 年値との比較解析」

⑩中山裕文・松本 亨・井村秀文：第 28 回環境システム研究論文発表会講演集、(2000)

「都市物質代謝システムの環境経済評価に関する研究」

⑪Y. Moriguchi : SCOPE project meeting on Material Flow Analysis for Sustainable Resource Management – MFAStorM, Wuppertal Institute (2000)

“MFA studies in Japan and three-dimensional physical Input-Output tables for broader application of MFA”

⑫森口祐一・松井重和・斎藤聡：環太平洋産業連関分析学会第 11 回大会(2000)

「環境・資源問題分析のための 3 次元物量産業連関表の試作」

⑬森口祐一・松井重和・斎藤聡：第 17 回エネルギー・システム・経済・環境コンファレンス(2001)

「環境・エネルギー・資源問題分析のための多次元物量投入産出表の試作」

(3) 出願特許 なし

(4) 受賞等 なし

(5) 一般への公表・報道等

① 研究の一環として実施した国際比較研究成果の記者発表

(「マテリアルフローの国際比較に関する共同研究報告書の出版について (お知らせ)」、平成 12 年 10 月 18 日、環境庁記者クラブ、学園都市記者クラブ同時発表)

② 雑誌「かんきょう」(2000 年 12 月号) 記事

「マテリアルフローの国際比較に関する共同研究」

③ 日経エコロジー誌 (2001 年 1 月号 p120~123、ビジネスリーダーのための新環境学) 記事

「地球規模の物質消費を捉える」

④「平成 12 年度循環型社会の形成の状況に関する年次報告 (循環白書平成 13 年度版)」

における本研究の成果の引用 (第 1 章第 1 節の 1.わが国の物質収支の記述 (p38~p43) の大部分が、本研究の成果)