



廃棄物産業連関モデルに基づくハイブリッドLCA

Hybrid LCA Based on Waste Input-Output Model

東北大学 大学院
環境科学研究科 助手
東北大学 大学院
環境科学研究科 教授

横山一代 Kazuyo Yokoyama
長坂徹也 Tetsuya Nagasaka

早稲田大学
政治経済学術院 教授
名古屋大学
エコトピア科学研究所
客員教授

中村慎一郎 Shinichiro Nakamura

1 はじめに

生産・消費・資本蓄積といった活動は、化石燃料や希少元素などの枯渇性資源の消費、廃棄物の排出と最終処分場の消費、二酸化炭素や窒素化合物等々の環境負荷因子の発生を引き起こす。現代の我々が抱える環境問題は経済活動の規模や構成と環境との整合性が崩れた際に顕在化するため、経済・生産活動と環境との間で適切なバランスを取りつつ、持続可能な発展を考えることが、緊喫の課題となっている。このような背景の下、既に排出権取引や環境税の導入等の議論が活発になされ始めていることからわかるように、環境問題に対して経済学的手法を取り入れ、有効な解決策を探る試みが行われつつある。

生産や消費に関わり発生する廃棄物や、その処理に関わる費用についての議論を行う場合は、特定の市場や特定の産業部門に限定した部分均衡モデルや、極度に集計されたマクロモデルではなく、各経済主体と市場の相互依存関係を重視した多部門モデルが必要であり、その環境負荷評価への応用が望まれる。その一つの試みとして産業連関表を用いて経済活動に伴って発生する環境負荷を把握し、その抑制と制御の一助とする手法開発がなされており、鉄鋼分野においても幾つかの報告例がある¹⁻²⁾。本稿では、産業連関分析の環境評価手法への応用について概観し、ハイブリッドLCAの一手法としての廃棄物産業連関分析について解説する。

2 産業連関分析と環境評価への応用

2.1 産業連関表

我々の日常生活は、様々な消費財や企業の設備インフラのような資本財によって支えられているが、これらは農林水産業、鉱工業、流通・サービス業等、多数の産業によって生産されている。各産業は、原材料、燃料、製品等の取引を通じ、

密接な相互依存関係を持っている。例えば、鉄鋼業においては、鉄鋼材料の生産のために、鉄鉱石、コークス、石灰、油、電力、水等、多くの製品が原材料として必要であり、国内外の様々な産業からこれらを調達している。また、製造された鉄鋼製品をユーザーに供給するために輸送・流通産業が必要であり、電力やスラグ等の副産物の受け入れ産業も必要である。すなわち、鉄鋼産業は、必然的に複数の産業と取引関係を持っており、鉄鋼需要の増減があった場合には、その影響は鉄鋼業内に留まらず、関連する各産業の需要増減に次々に波及することになる。また、鉄鋼業の生産活動は、ユーザーの最終需要、鉄鋼および関連各産業での労務費にも影響を与え、一般市民の消費マインドにも波及する。このような複数の産業間にまたがる経済取引を、特定の期間について一覧表にしたものが「産業連関表」(Input-Output Table: IO表)であり、重要な国家統計データのひとつとして、総務省から5年毎に更新、公開されている³⁾。

IO表はTable 1のような形となっている。表中の X_{ij} ($i, j=1 \cdots n$) は各産業間における中間投入を表す行列要素であり、全産業を n 個の部門に分割して考えた場合、 X_{ij} は $n \times n$ 個の数量より構成されることになる。通常のIO表では X_{ij} は金額であり、後述する物量ベースのIO表と区別して Monetary Input-Output Table (MIOT) と呼ばれることがある。第 j 産業の生産物を生産するのに必要な第 i 産業の生産物の投入量 X_{ij} は、第 j 産業の生産量 Y_j に比例するものと考え、(1)式のように表される。

$$X_{ij} = a_{ij} Y_j \cdots \cdots \cdots (1)$$

Table 1 産業連関表の基本構造

	産業部門	最終需要	行和
産業部門	X_{ij}	F_{ij}	X_i
付加価値	V_j		
国内生産	X_j		

ここで a_{ij} は比例係数であり、第 j 産業の生産物1単位を生産するのに、必要な第 i 産業の生産物の量を表し、投入係数と呼ばれる。 X は X_{ij} を要素とする行列とし、 A は A_{ij} を要素とする行列であり、 Y 、 F は、 Y_i 、 F_i のそれぞれを要素とするベクトルとする。ここで F_i は第 i 産業の生産する生産物に対する最終需要を示す。すべての市場において需要と供給が一致する場合、(2)式が成立し、これを「需給バランス式」と呼ぶ。

$AY + F = Y \dots\dots\dots (2)$

単位行列を I とし、 $(I - A)$ が正則行列である場合、これを生産量 Y に関して以下のように解くことができる。

$Y = (I - A)^{-1}F \dots\dots\dots (3)$

ここで A が技術的に一定で所与であるとする、最終需要 F の水準に応じて生産量 Y が決定される。もし A が測定されるとするならば、 A は社会がもつ技術構造を正確に表すものであると考えることができる。 $(I - A)^{-1}$ は産業連関モデルの創始者Leontief⁴⁾の名前をとってレオンチェフ逆行列とよばれる。

以下で簡単な数値例を示す。Table 2は農業・鉄鋼業・建設業の3部門IO表の数値例である。鉄鋼業の列に着目すると、41の生産を行うために農業から8、鉄鋼業から13、建設産業から8の投入があることを示している。また行方向にこの表をみると、鉄鋼業は農業に10、鉄鋼業に13、建設産業に10の販売を行い、8の最終需要すなわち消費者による消費や蓄積があることを示している。

平成12年に公表された最新のIO表では、最大517×405部門の基本分類による産出・投入表および部門別品目別国内生産額表が掲載されており、世界でもトップクラスの分解能を有している。このようなIO表を用いることによって、ほぼ全ての国民経済活動を、多部門の産業別での投入と産出として把握できることから、経済計画の策定や分析・予測はもとより、近年では環境影響評価にも頻繁に利用されつつある。

Table 2 産業連関表（数値例）

	産業部門			最終需要	生産
	農業	鉄鋼業	建設産業		
農業	5	8	12	10	35
鉄鋼業	10	13	10	8	41
建設産業	12	8	13	15	48
付加価値	8	12	13		
生産	35	41	48		

2.2 Leontiefの汚染物質除去モデル

産業連関モデルを拡張して環境負荷因子の排出とその処理を考慮したものとして、Leontiefの汚染物質除去モデルがある（Table 3）。燃料消費に伴う環境汚染物質排出が社会問題になっていた当時、産業連関分析の提案者であるLeontiefによって提案されたモデルである。この基本的考え方は、環境汚染物質排出量が燃料消費に比例し、さらに燃料消費が生産活動と比例的な場合、環境汚染物質排出量は生産活動に比例するであろうというロジックである。これは産業連関分析にみられる固定係数モデルに通じるものであり、産業連関モデルを拡張して汚染物質発生とその除去活動を導入し、汚染物質の発生と除去活動を物量表示と金額表示の両方で記述している。汚染物質除去部門はその活動に工業産業の活動を必要とし、結果汚染物質除去活動それ自身が汚染物質を発生することになる。Leontiefは、産業連関分析の応用として汚染物質除去活動を負値投入によって表すことで、汚染物質除去とそれに伴う波及効果の分析を可能にした。

Table 4で数値例³⁾を示す。ここでは2部門経済を想定し、生産活動に伴い1種類の汚染物質が排出されるものとする。汚染物質は汚染物質除去産業によって除去活動が行われるものとし、除去活動は負値で表されるものとする。例中では汚染物質除去産業では工業部門より6.79の投入を受けて33.93の汚染物質を除去していることが示されている。また最終需要における汚染物質の値は最終的に環境中に排出さる汚染物質質量を表し、ここでは30の汚染物質が社会的に受容されていることが示されている。

しかしこのモデルではレオンチェフ逆行列の作成の都合上、ある汚染物質に対応した汚染物質除去活動が一对一对応する必要がある。しかし一般に汚染物質とそれに対応する除去活動は一对一对応せず、通常は汚染物質の種類のほうが除去活動の種類より多いため、実際の運用上で不都合が生じる*1。

Table 3 Leontiefの汚染物質除去モデル

	産業部門	汚染物質除去活動	最終需要	行和
産業部門	X_{oij}	X_{zij}	F_{oij}	X_i
汚染物質	W_{oij}	W_{zij}	F_{wij}	
付加価値	V_j			
国内生産	X_j			

Table 4 Leontiefの汚染物質除去モデル（数値例）

	農業	工業	汚染物質除去	最終需要	生産
農業	26.12	23.37	0	55	104.49
工業	14.63	7.01	6.79	3	58.43
汚染物質	52.25	11.68	-33.93	30	0
労働	83.6	210.34			

*1 70年代の公害に対応するモデルを考える上で、これは制約的ではないが、廃棄物の発生と処理を考える上で問題となる。

2.3 物質産業連関表

物質産業連関表 (Physical Input-Output-Table : PIOT) はIO表を基礎として、質量保存則に基づく物質収支を、経済全体で押さえることを目指したものである。あらゆる物質を重量単位で記録し、経済だけでなく、経済と自然との相互関係や新陳代謝過程をも可能な限り表章することにより、質量保存則に依拠した投入と産出のバランスを図ることを目指すものである。

経済全体における物質収支の把握を目指すPIOTの考えは、マテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis : MFA) の考えに近いものである。MFAは国、地域、産業部門などを単位として物質収支を定量化し、環境負荷や資源消費を体系的に把握することで環境・資源効率を改善しようという調査研究をいい、90年代後半から欧州を中心に盛んに行われるようになっていく。我が国でも国立環境研究所等によって先駆的な研究がなされており、一国全体に投入される資源量を重量で把握し、他の国との比較を行うなどの指標に用いられていることもある。またMFAを利用した指標として、GDPを天然資源等投入量で割ることによって算出する資源生産性の考え方も挙げられる。

MFAにより資源の消費と需要の構造、および国際的な物質バランスが定量化されることは枯渇性資源の管理において重要な意味を持ち、また環境面で重要性の高い特定の化学物質についてその手法を適用することは汚染物質の管理においても重要な意味をもつ。

特定物質のMFAは鉄・銅やプラスチックなどついて、あるいはリンのような拡散性元素についてそれぞれ既に研究されている*2。

Giljum and HubacekはPIOTと対比するとMIOTをベースとした環境評価表を行う場合は廃棄物の扱いについてより大きな注意を払うべきであり、経済価値をもって再資源化原材料として循環する物質と経済価値を持たずに廃棄物として排出される物質を区別すべきであると指摘している⁵⁾。これに対してWeisz and Duchinは廃棄物や環境負荷発生量を考慮する上で必ずしもPIOTを支持するものではなく、MIOTの価格情報と物量情報の両者が持つ長所を挙げ、さらに廃棄物や再資源化原材料に関する情報の不足はMIOTの上でも解決が望めると指摘している⁶⁾。しかしいずれの立場においても、廃棄物や環境負荷因子発生量を把握する上で、経済活動を通じて取引される物量情報はさらなる詳細化が求められている。

2.4 LCAと産業連関表

LCAは製品・サービスが提供する機能あたりに生じる環境への影響を評価する手法であり、ライフサイクルを構成するプロセスごとに環境側からの入力と環境への出力を分析し、これらの入出力が環境に与える影響を評価するものである。ISO14040によれば、LCAとは「製品およびサービス (以下製品と表記する) における資源の採取から製品の製造・使用・リサイクル・廃棄・物流等に関するライフサイクル全般にわたっての、総合的な環境負荷を客観的に評価する環境問題の考察手段の一つ」であり、「製品システムのライフサイクルを通じた入力、出力、及び潜在的な環境影響のまとめ及び評価」と定義されている。

廃棄物の処理や埋立・再資源化に関わる技術は本来、環境負荷を軽減するための技術であるが、適用される条件によっては本来の目的に反する結果を生むことがある。すなわち無理なリサイクルによる新たな資源の消費および汚染物質の生成による環境負荷の増大である。本来の目的に対して、導入する技術あるいは政策が適したものであるかを客観的・科学的に評価する手法の必要性が高まってきており、それとともに、評価手法としてLCAは着目されてきた。例えば製品製造段階において原材料投入量の削減により部分的に環境負荷軽減を行っても、使用段階でのエネルギー消費量が増えてしまったり、製品のライフサイクル全体における環境負荷軽減につながらない。使用時に環境負荷を低減しているようでも、製造時や廃棄時等で環境負荷を増大させている可能性もある。本来の目的に対して誤った対応 (選択) を防ぐには、LCAは効果的な評価方法である。LCAは詳細なプロセスデータを入手することで、精度の高い分析が可能になるが、その一方で膨大な量のプロセスデータを必要とする点と、cut-offと呼ばれるシステム境界設定によって分析の対象外となるプロセスで発生する環境負荷を評価結果から除外してしまうことによる誤差が指摘されている^{7)*3}。

我が国のIO表は部門数において世界的に最高水準で整備されている。プロセスベースの積み上げ型LCAでは、特定のプロセスに関して詳細なインベントリーデータを収集するのに対し、IO表を基礎としたLCAでは、積み上げ型LCAの水準と比較すると部門分類が粗いものの、システム境界について分析で用いる表によって国あるいは県のように特定範囲について設定を行い、分析を行うことができるという特色がある。また既存のIO表を基礎とすることで、データ収集の費用の削減が見込まれる。その一方で、IO表は消費プロセスや廃棄物処理等を含めたすべてのライフサイクルをカバーしている訳ではなく、また部門分類の粗さに起因する集計に

*2 鉄については林ら¹²⁾、リンについては横山ら¹³⁾の研究が挙げられる。

*3 Lenzen¹⁴⁾はプロセスベースのLCAとIOベースLCAを比較し、cut-offによる誤差がIOベースLCAの方が小さいことを示している。

よる誤差が発生することも指摘されている⁵⁾。この解決策として最近着目されているのが産業連関分析とLCAを統合したHybrid-LCAである。Suh and HuppesはプロセスベースのLCIとIO表を基礎としたLCI、およびハイブリッドLCIについて比較を行っている⁸⁾。

Suh and HuppesはHybrid-LCIを階層型ハイブリッドLCI (Tiered hybrid analysis)、IOベースハイブリッドLCI (IO-based hybrid analysis)、積み上げ型ハイブリッドLCI (Integrated hybrid analysis) の3つに分類を行っており、それぞれ以下のような特徴をもつ。階層型ハイブリッドLCIはプロセスベースのデータとIOベースのデータの間に相互依存関係はないものとしている。IOベースハイブリッドLCIは、IOベースのデータをプロセスベースのデータで補完し、部門の細分化をはかることで詳細な分析を行おうとするものである。積み上げ型ハイブリッドLCIでは大部分をプロセスベースのシステムで記述をし、システム境界の外にあるcut-offについてIOベースのデータで補完し、プロセスベースのデータとIOベースのデータの間に相互依存関係がある。Suh and Huppesは積み上げ型ハイブリッドLCIが分析の上では好ましいものとしながらも、データ整備のための時間・費用がかかる点から分析の目的によっていくつかの方法を使い分けるべきとしている。

3 廃棄物産業連関分析 (WIO)

3.1 勘定体系としての廃棄物産業連関表

IO表のもつデータの入手しやすさ、システム境界設定の恣意性の回避といった長所を持ちつつ、かつ廃棄物や再資源化原材料の物量における流通に注意を払った分析として中村ら^{7,8)}の廃棄物産業連関分析 (Waste Input-Output Analysis: WIO) が挙げられる。LCAにおける位置づけとしては、WIOはSuh and Huppes⁸⁾の積み上げ型ハイブリッドLCIに位置するものと考えられ、WIO表を整備する上で工学的知見を取り入れることで廃棄物発生や再資源化に関する詳細なプロセスデータを反映した分析が可能となっている。

廃棄物は産業の生産活動と家計の消費活動に伴い発生し、産業の生産部門や家計部門などの経済の動脈部門で発生した廃棄物を廃棄物処理部門や環境負荷排出部門などの静脈部門において処理する。一方、静脈部門の活動には動脈部門からの中間投入が不可欠である。廃棄物処理を介して動脈部門と静脈部門の間には相互依存関係があり、このような相互依存関係を分析するための勘定体系として中村ら^{9,10)}はWIOを開発した (Fig.1)。WIO表は「国民経済における財と廃棄物の循環を巡る動脈部門と静脈部門の量的相互依存関係を記述

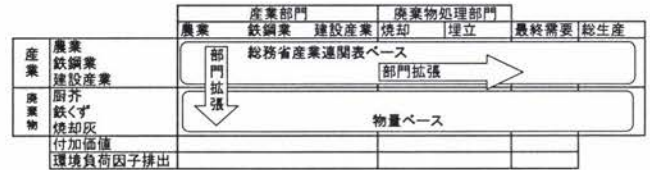


Fig.1 廃棄物産業連関表 (概念図)

するものである」(中村¹⁰⁾)。

一般に廃棄物と廃棄物処理の間に一対一の対応関係がなく、前者の種類の方が後者よりもはるかに多い。これを線形連立方程式体系として通常の産業連関モデルと同様に扱うためには、廃棄物と廃棄物処理との間に一対一対応が必要である。ここで特徴的なのは、配分行列によって廃棄物を廃棄物処理過程に対応させたことである。これによって廃棄物産業連関モデルは勘定体系のみならず、分析的なモデルとして用いることを可能にした。以下でその分析モデルの紹介を行う。

3.2 廃棄物産業連関モデル

産業部門については部門数を N とし、産業部門 j に投入される産業部門 i の産出物を $X_{o,ij}$ とし、これを要素とする行列を X_o とする。以下、太字は行列あるいはベクトルを意味するものとする。産業部門 j に投入される廃棄物 i を $X_{z,ij}$ とし、これを要素とする行列を X_z とする。最終需要部門 j に投入される産業部門 i の産出物は $X_{f,ij}$ を要素とする行列 X_f とし、産業部門行和は X_i を要素とするベクトル X とする。廃棄物および廃棄物処理部門については廃棄物種類数を M 、廃棄物処理部門数を K とし、産業部門 j で発生する廃棄物 i の純発生量は $W_{o,ij}$ を要素とする行列 W_o 、廃棄物処理部門 j で発生する廃棄物 i は $W_{z,ij}$ を要素とする行列 W_z 、最終需要部門 j で発生する廃棄物 i は $W_{f,ij}$ を要素とする行列 W_f 、廃棄物処理部門行和は W_i を要素とするベクトル W とする。ここで廃棄物純発生量とは産業部門で発生する廃棄物の発生量は W_o^+ から産業部門で受け入れ・再資源化される廃棄物の量 W_o^- を差し引いたものとする。 W_o^+ 、 W_o^- はそれぞれ産業部門 j で発生する廃棄物 i の発生量 $W_{o,ij}^+$ 、産業部門 j で受け入れ・再資源化される廃棄物 i の量 $W_{o,ij}^-$ を要素とする行列である。また産業部門 j の生産物を 1 単位生産するために投入される産業部門 i の生産物 A_o は $A_{o,ij}$ を要素とする行列とし、廃棄物処理部門 l の 1 単位の処理活動のために投入される産業部門 i の生産物 $A_{z,il}$ を要素とする行列 A_z 、産業部門 j の生産物を 1 単位生産するために純排出される廃棄物 k を $G_{o,kj}$ を要素とする行列 G_o とし、廃棄物処理部門 l の 1 単位の処理活動により純排出される廃棄物 k を $G_{z,kl}$ を要素とする行列 G_z とする (Table 5, Table 6)。表中の記号は各要素を示すものとする。

Sは廃棄物を廃棄物処理過程に対応させたK×Mの配分行列であり、処理過程iで処理される廃棄物jの割合S_{ij}を要素とする。Sの要素は当該時点における技術や制度によって規定されていると考えられる。

上記のように定義された行列を用いて、最終需要と生産X、廃棄物処理活動Zについての需給均等式は以下の(4)式のように表すことができる。

[X; Z] = [I - (A_o A_z; SG_o SG_z)]^-1 [X_f; W_f](4)

環境負荷因子発生量Eは以下のように表される。

E = [e_o e_z] [X; Z] = [e_o e_z] [I - (A_o A_z; SG_o SG_z)]^-1 [X_f; W_f](5)

この需給均等式はある社会技術(A_o, A_z, G_o, G_z)と廃棄物処理に関する制度(S)の下で、廃棄物排出(W_f)を伴う我々の消費や蓄積(X_f)といったライフスタイルを実現するために必要な産業の生産活動Xと廃棄物処理活動量Zはどれだけ必要とされるかを示し、Eはこれを実現した際に発生する環境負荷因子排出量を推定するものである。

3.3 数値例

Table 7はWIO基本表(数値例)を示したものである。ここで[A]:で示す部分は鉄鋼業においては農業部門から8、鉄鋼業から13、建設産業から8の投入があったことを表す。次に[B]:で示す部分は各産業部門からの廃棄物の純排出量をあらわし、Table 8で示す廃棄物排出表と再資源化原材料投入表を参照しており、それぞれの差分をとったものとなっている。つまり鉄鋼産業においては鉄くずを3だけ排出し、再資

Table 5 廃棄物産業連関表

	産業部門	廃棄物処理部門	最終需要	総生産
産業部門	X _{oij}	X _{zij}	X _{fij}	X _i
廃棄物部門	W _{oij}	W _{zij}	W _{fij}	W _i
付加価値	V _{oij}	V _{zij}	V _{fij}	V _i
環境負荷発生	E _{oij}	E _{zij}	E _{fij}	E _i

Table 6 廃棄物産業連関係数

	産業部門	廃棄物処理部門
産業部門	A _{oij}	A _{zij}
廃棄物部門	G _{oij}	G _{zij}
付加価値	v _{oij}	v _{zij}
環境負荷発生	e _{oij}	e _{zij}

Table 7 廃棄物産業連関表

		産業部門				廃棄物処理部門				最終需要		総生産	
		農業	鉄鋼業	建設産業	焼却	埋立	焼却	埋立					
産業	農業	5	8	12	1	1	1	1	10	37			
	鉄鋼業	10	13	10	5	1	8	47					
	建設産業	12	8	13	3	3	15	54					
廃棄物	厨芥	2	0	0	0	0	0	3	5				
	鉄くず	0	-3	4	0	0	2	3					
	焼却灰	0	1	-2	3	0	1	3					
	付加価値	10	18	19	5	3							
	CO2	3	5	2	1	2	3						

源化原材料として6の投入を行っている。このことから純排出量は3-6=-3となり、これを純排出量とする。

Table 9は廃棄物を廃棄物処理過程に対応させる配分行列である。

Table 9において、厨芥は50%を焼却処理、50%を埋立処分し、再資源化されずに処理過程に入った鉄くずおよび焼却灰は100%埋立処分されることを示す。

分析的なモデルとして用いるために配分行列を用いて正方化したWIO表およびその係数表をTable 10、Table 11で示す。

これにより需給均等式および環境負荷因子排出量導出式は以下のように示される。

[37; 47; 54; 2.5; 8.5] = [(1 0 0 0 0; 0 1 0 0 0; 0 0 1 0 0; 0 0 0 1 0; 0 0 0 0 1)]^-1 [10; 8; 15; 1.5; 4.5] - [(0.135 0.170 0.222 0.400 0.118; 0.270 0.277 0.185 2.000 0.118; 0.324 0.170 0.241 1.200 0.353; 0.027 0.000 0.000 0.000 0.000; 0.027 -0.043 0.037 1.200 0.000)]^-1 [10; 8; 15; 1.5; 4.5](6)

Table 8 廃棄物排出・再資源化原材料投入

		産業部門				廃棄物処理部門			
		農業	鉄鋼業	建設産業	焼却	埋立	焼却	埋立	
産業	厨芥(排出)	3	0	0	0	0	0	0	
	鉄くず(排出)	0	3	4	0	0	0	0	
	焼却灰(排出)	0	1	2	3	0	0	0	
廃棄物	厨芥(投入)	1	0	0	0	0	0	0	
	鉄くず(投入)	0	6	0	0	0	0	0	
	焼却灰(投入)	0	0	4	0	0	0	0	

Table 9 配分行列

		焼却	埋立
厨芥		0.5	0.5
鉄くず		0	1
焼却灰		0	1

Table 10 正方化されたWIO

		産業部門					廃棄物処理部門		最終需要		総生産/総活動量	
		農業	鉄鋼業	建設産業	焼却	埋立	焼却	埋立				
産業	農業	5	8	12	1	1	1	1	10	37		
	鉄鋼業	10	13	10	5	1	8	47				
	建設産業	12	8	13	3	3	15	54				
廃棄物	厨芥	1	0	0	0	0	0	0	1.5	2.5		
	鉄くず	0	3	4	0	0	0	0	4.5	8.5		
	焼却灰	0	1	2	3	0	0	0				

Table 11 正方化されたWIO係数

		産業部門					廃棄物処理部門		最終需要		総生産/総活動量	
		農業	鉄鋼業	建設産業	焼却	埋立	焼却	埋立				
産業	農業	0.135	0.170	0.222	0.400	0.118						
	鉄鋼業	0.270	0.277	0.185	2.000	0.118						
	建設産業	0.324	0.170	0.241	1.200	0.353						
廃棄物	厨芥	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000						
	鉄くず	0.027	-0.043	0.037	1.200	0.000						
	埋立											
二酸化炭素排出係数		0.081	0.106	0.037	0.400	0.235						

$$\begin{bmatrix} 37 \\ 47 \\ 54 \\ 2.5 \\ 8.5 \end{bmatrix} = 13$$

.....(7)

これらを用いて鉄鋼業における最終需要が10%増大した場合の、他産業への波及効果と二酸化炭素排出量の変化をTable 12に示す。

鉄鋼業は3.01%の生産増大を生み、波及効果として農業では1.11%、建設産業部門では0.93%の生産増大を生む。焼却活動においては0.44%の追加的活動が必要とされる。しかし埋立活動においては0.2%の活動縮小が起こる。これは鉄鋼業における再資源化活動が、生産活動の拡大に伴い活発化したことによる。結果として社会全体では1.56%の二酸化炭素排出量の増大を生むことになる。

4 まとめと課題

廃棄物の発生や再資源化原材料の循環は、財のもつ金額ベースの価値よりも物質ベースの量や嵩の把握が重要な場合が多い。金額ベースの産業間の相互依存関係を描写し、物量ベースで廃棄物の発生と再資源化原材料の循環についての情報をもつ廃棄物産業連関表は有用なものである。しかし廃棄物産業連関モデルは「静学」モデルであり、時間の経過を通じる廃棄物発生過程を考慮していない¹⁰⁾。潜在的廃棄物の蓄積とその顕在化過程を考慮して「動学化」することを研究課題として残している。著者の1人は廃棄物産業連関表を分析の基盤とし、その分析モデルの拡張を行うことで資本調整過程において発生する廃棄物と時間差をもった再資源化原材料の循環に関する計量経済分析モデルの構築の提案を行った¹¹⁾。しかしながら動学的資源循環を考える際のトランプエレメントと呼ばれる難除去性金属不純物の存在による循環資源の質の問題を考慮できない点や、蓄積されたストックがいつ廃棄物となって排出されるのかといった寿命設定については未だ

研究段階にある。このような点を考慮することは持続可能な資源循環を考える上で重要であり、今後の研究発展が望まれる。今後、微力なりともその発展に自らが貢献できればと考えている。

謝辞

本稿は独立行政法人科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業テーマ（平成15年度、公募カテゴリー：社会技術研究・循環型社会）として採択された「サステナビリティ指標としての物質・材料フロー」における研究内容の一部を解説したものである。

参考文献

1) 中島謙一，原田幸明，林誠一：鉄と鋼，91（2005）1，154。
2) 戸井朗人，片桐広貴，中村達生，佐藤純一：鉄と鋼，83（1997）10，677。
3) 平成12年産業連関表，全国統計協会連合会，総務省，東京，（2004）
4) W. Leontief：Input-Output Economics，Oxford University Press，second edition，New York，（1970）
5) S. Giljum and K. Hubacek：Economic Systems Research，16（2004）3，301。
6) H. Weisz and F. Duchin：Rensselaer Working Papers in Economics，（2004），0422。
7) R. Heijung and S. Suh：The Computational Structure of Life Cycle Assessment，Kluwer Academic Publishers，London，（2002）
8) S. Suh and G. Huppes：Journal of Cleaner production，13（2004）7，687。
9) S. Nakamura and Y. Kondo：Journal of Industrial Ecology，6（2002）1，39。
10) 中村慎一郎：廃棄物学会論文誌，11（2000）2，84。
11) 横山一代：廃棄物学会論文誌，15（2004）5，372。
12) 林誠一，玉城わかな，友田陽：鉄と鋼，91（2005）1，141。
13) K. Yokoyama，H. Kubo，K. Mori，T. Nagasaka and H. Okada，Proceedings of the International conference on Clean Technologies in the Steel Industry，（2005），282。
14) M. Lenzen：Journal of Industrial Ecology，4（2000）4，127。

Table 12 シナリオ分析結果

	総生産／総活動量		
	基準シナリオ	最終需要変化シナリオ	変化分(%)
農業	37	37.410437	1.109
鉄鋼業	47	48.415651	3.012
建設産業	54	54.502207	0.930
焼却	2.5	2.5110929	0.444
埋立	8.5	8.4827641	-0.203
二酸化炭素排出量	13	13.202862	1.560

（2005年6月2日受付）