

ハイブリッド型 SNA 産業連関表に基づくライフサイクルエネルギーの実証分析*

A Numerical Analysis of Life Cycle Energy Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework*

加河 茂美^{**}, 稲村 肇^{***}

By Shigemi Kagawa^{**}, Hajime Inamura^{***}

1. 本研究の背景

近年、国際的な傾向として“生産、消費、廃棄の環境への影響”に関心が集まり、生産段階、消費段階、廃棄段階から成るトータルシステムにおける製品ライフサイクルアセスメント(LCA)が数多くなされている。特に、土木環境の分野においては、道路や港湾等といった社会資本を対象とした LCA 研究が急速に蓄積されている。

しかしながら、これらの LCA 研究は個別の商品（例えば、ペットボトル、道路等）を対象としたものであり、無数存在する商品の生産プロセス、消費プロセス、廃棄プロセスから構成される国民経済全体を対象としたものとは言えない。地球温暖化問題のようなグローバルな環境問題を議論するときには、これら個別の製品や施設といった商品を対象とした LCA だけでなく、国民経済全体を対象とした環境影響評価もまた重要になるであろう。本研究の対象は、この国民経済全体にある。

我が国では、マクロ経済分析の代表である産業連関モデルが環境分析の枠組みに適用され、国民経済を構成する 400 部門以上の財・サービスの内包型エネルギー原単位及び内包型 CO₂ 排出原単位が推計されている¹⁾。また、これらの原単位は前述した製品 LCA に幅広く用いられ、直接間接的なエネルギー必要量や CO₂ 排出量を推計する上で重要な役割を果たしている。

本研究の視点は、前述したような産業連関モデルを利用して得られる「内包型エネルギー原単位等の推計結果」というよりもむしろ「モデル自身の内部構造と推計結果の相互依存関係」にある。特に、線形経済体系である産業連関モデルは、ある部分的な産業連関サブシステムをフィードバックループに持つ構造階層化システムを適用することによって、複雑な産業連関モデルの内部構造を分解することが可能となる。そこで、本研究では非エネルギー部門に関する部分的な産業連関サブシステムをフィードバックループに持つ構造階層化システムを導入することによって、非エネルギー部門に関する需要構造が内包型エネルギー原単位に対してどのような影響を与えているのか定量的に評価する。

2. 従来研究と本研究の位置づけ

産業連関モデルを利用した環境影響評価に関する研究は、既往に数多くなされている。その中でも代表的なものに W. Leontief²⁾と A. Rose³⁾の研究がある。Leontief は産業連関モデルを応用して各産業からの大気汚染物質排出過程と汚染防止活動を内生化した拡張産業連関モデルを開発し、産業活動からの直接間接的な大気汚染物質量を推計した。Rose は技術係数、労働投入係数、資本係数等の相互代替効果を考慮し、汚染防止活動のマクロ経済効果を分析している。Leontief や Rose の研究は、産業連関構造と大気汚染物質排出過程の直接間接的な相互依存関係を定量評価している点で先駆的であった。

近年では、産業連関モデルの構造分解分析(Structural Decomposition Analysis)を利用した動的解析の理論研究、実証研究が数多くなされている。Rose & Chen⁴⁾は、SDA の理論的な拡充だけでなく、産業連関モデルへの適用可能性の評価に対し大きく貢献している。実証研究の代表的なものには、Lin & Polenske⁵⁾、Weber & Schnabel⁶⁾らの研究がある。Lin らは、Bullard & Herendeen⁷⁾によって提案されているハイブリッド型産業連関モデルを用いて、1981 年から 1987 年における中国経済の構造変化がエネルギー利用に与えた影響効果を、最終需要のレベル変化、パターン変化、エネルギー投入構造変化、非エネルギー投入構造変化等非常に細かな観点から定量的に分析している。また、この Bullard-Herendeen モデルを用いることにより、エネルギー価格の横断的かつ時系列的な変動による物量ベースの投入構造への不整な影響も取り除いている。Weber らは産業連関モデルに構造階層化システムを適用して、産業連関構造をエネルギー部門と非エネルギー部門に関する構造とに分解し、非エネルギー部門間の生産波及に伴う直接間接的なエネルギー必要量を推計するための分析手法を提案している。Lin や Weber らの研究は、SDA の分析範囲をより大きく拡張させているだけでなく、詳細な実証分析を行い有用な知見を得ている点で評価できる。

しかし、これらの従来研究は商品×商品の通常産業連関フレームに基づき定式化がなされており、プロダクトミックスの仮定に大きく依存している。そのため、モデルのフレームワーク上、副生産物や廃棄物といった結合生産物の波及過程を内生的に取り扱うことができないという問題を抱えている。この問題を解決することにより、

*Key Word : エネルギー計画, 地球環境問題

**学生員 修 (情報) 東北大学大学院 情報科学研究科

***フェロ-会員 工博 東北大学大学院教授 情報科学研究科

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

TEL.022-217-7497, FAX.022-217-7494

生産、消費、廃棄のトータルシステムを理論的に記述することが可能になり、特に従来研究においてブラックボックスであった廃棄・再生プロセスが直接間接的に環境や経済に与える影響についてもマクロ的に定量評価することができるものと期待される。

本研究では、稲村ら⁸⁾も指摘しているように、この問題の解決策が拡張 SNA 産業連関モデルにあると考えている。ところが、SNA 産業連関モデルを利用した環境影響評価に関する研究自体、非常に数が少なくその応用範囲も未だ確認されていないのが現状と言える。そこで、本研究は以下の3点を目的とする。

- (1) SNA 産業連関モデルに基づき、生産構造、消費構造変化による環境への影響分析の枠組みを、金銭ベースのみならず物量ベースにまで拡張したハイブリッドモデルの構築を試みる。
- (2) 本モデルを用いて、1985 年から 1990 年における日本のエネルギー消費構造変化を実証分析し、モデルの有用性を確認する。
- (3) また、最後に稲村らが従来から提案している拡張 SNA 産業連関モデルの定式化に関して、一般逆行列の適用可能性を検討する。

本ハイブリッドモデルの特徴は、産業連関モデルがエネルギー部門と非エネルギー部門に関する構造とに分解されており、非エネルギー部門間の産業連関サブシステムの生産波及によって誘発される内包型エネルギー必要量が詳細に観察できる点にある。

3. 基本的な考え方

本モデルで用いる SNA 産業連関表を表-1 に示す。

表-1 SNA 産業連関表の形式

	商品	産業	最終需要	合計
商品		U_{ij}	f_i	q_i
産業	V_{ij}			g_i
付加価値		y_j		
合計	q_j	g_j		

ここで、 V_{ij} 、 U_{ij} はそれぞれ SNA 体系における産出行列と投入行列を示している。また、 q_i 、 g_i はそれぞれ商品別国内総生産額列ベクトルと産業別国内総生産額列ベクトルを表し、 f_i 、 y_j はそれぞれ最終需要列ベクトルと付加価値行ベクトルを表している。この SNA 産業連関形式を用いることにより、本モデルの基本的な定式化が行われている。

まず、モデルの定式化にあたり議論の対象となるのが産業技術仮定と商品技術仮定の選択である。産業技術仮定とは、ある産業の生産物構成がどんなものであっても、

各産業は主生産物で定まる生産技術に副生産物も従うことを意味する。一方、商品技術仮定とは、ある商品を主生産物として生産する産業もそれを副生産物として生産する産業も、同一の投入構造を持つことを意味する。この厳密な選定は非常に困難であるが、本研究ではある特定の商品に関する限りその生産に必要な諸原料の必要量は、産業主体の生産技術にあまり影響を受けないと想定し商品技術仮定を選定した。これ以降、商品技術仮定をもとに定式化を行う。まず商品技術仮定より投入係数行列 B_{ij} 、産出係数行列 C_{ij} を以下のように定義する。

$$B_{ij} = U_{ij} / g_j \tag{1}$$

$$C_{ij} = (V_{ij} / g_i)^t \tag{2}$$

ここで、 t は転置を表している。上式(1)、(2)を用いて表-1 の需給バランス及び産出の二面性を考えると、最終需要ベクトル f と商品別国内総生産額ベクトル q 、産業別国内総生産額ベクトル g についての以下のような関係式を導出することができる。

$$q = (I - BC^{-1})^{-1}f \tag{3}$$

$$g = (I - C^{-1}B)^{-1}C^{-1}f \tag{4}$$

ここで、 I は単位行列を表す。この上式(3)、(4)を用いることにより外生的な最終需要 f の発生に伴う商品別、産業別生産波及効果を推計することが可能となる。

4. ハイブリッドモデルへの展開

従来のライフサイクルアセスメント手法は、金銭ベースの産業連関表を基に構築されたモデルとなっているため、財やサービスの取引価格の横断的な変動によって、物量ベースの投入構造に不整な影響を与えてしまうことがある。特に、エネルギー価格の変動は、エネルギー投入必要量更には環境負荷発生量の推計値に大きな誤差を与えることになる。図-1 は、実際に 1990 年産業連関表物量表から、産業横断的な一般炭・亜炭の取引価格を求めたものである。これを見ると投入部門によらず平均価格が約 9,000 (円/トン) 前後を位置していることが分かる。またその一方で、セメント製品、塗料といった投入部門が、平均価格から大きくズレた値を示している。この産業横断的な変動が一般炭・亜炭の生産波及を通し乗数効果となって物量ベースの投入構造を過大評価、過小評価させる。そこで、本研究ではそのような誤差を極力なくすため、金銭ベースのみの SNA 産業連関モデルから金銭ベース、物量ベースの両方をあわせもつハイブリッド型 SNA 産業連関モデルへの展開を試みる。

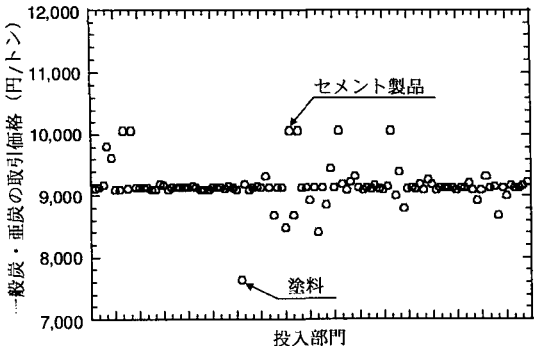


図-1 一般炭・亜炭の産業横断的な取引価格

今、表-1 に示した SNA フレームにおける産業部門及び商品部門をそれぞれエネルギー部門 (e), 非エネルギー部門 (ne) とに分割し、それぞれの評価単位を金銭ベース (百万円) と熱量ベース (Tcal) によって表す (具体的な表し方については後述する)。ここで求められた U, V を式(1), (2)に代入すると、投入係数行列 B と産出係数行列 C を以下のように再定式化することができる。なおこれ以降、評価単位である百万円を MY, Tcal を TC と略記する。

$$B = \begin{matrix} & e & ne \\ \begin{matrix} e \\ ne \end{matrix} & \begin{bmatrix} B_{11}(TC/TC) & B_{12}(TC/MY) \\ B_{21}(MY/TC) & B_{22}(MY/MY) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

$$C = \begin{matrix} & e & ne \\ \begin{matrix} e \\ ne \end{matrix} & \begin{bmatrix} C_{11}(TC/TC) & C_{12}(MY/TC) \\ C_{21}(TC/MY) & C_{22}(MY/MY) \end{bmatrix}^t \end{matrix} \quad (6)$$

ここで、

- $B_{11}(TC/TC)$: 投入係数小行列
(エネルギー商品×エネルギー供給産業)
- $B_{12}(TC/MY)$: 投入係数小行列
(エネルギー商品×非エネルギー産業)
- $B_{21}(MY/TC)$: 投入係数小行列
(非エネルギー商品×エネルギー供給産業)
- $B_{22}(MY/MY)$: 投入係数小行列
(非エネルギー商品×非エネルギー産業)
- $C_{11}(TC/TC)$: 産出係数小行列
(エネルギー供給産業×エネルギー商品)
- $C_{12}(MY/TC)$: 産出係数小行列
(エネルギー供給産業×非エネルギー商品)
- $C_{21}(TC/MY)$: 産出係数小行列
(非エネルギー産業×エネルギー商品)
- $C_{22}(MY/MY)$: 産出係数小行列
(非エネルギー産業×非エネルギー商品)

上式(5), (6)を式(3), (4)に代入することにより、外生的な最終需要に伴って波及するエネルギー商品、非エネルギー商品の直接間接的な投入必要量を商品別、産業別に推計することが可能となる。しかし、この分析手法ではある波及段階における中間投入を考えた場合、エネルギー商品、非エネルギー商品の中間投入を生産するために必要とされる間接的なエネルギー商品の投入フローは、当然それ以降の生産波及段階において示されることになる。エネルギー商品の投入フローを考えると、ある商品の生産に直接必要な石油製品、電力、ガスといったエネルギー投入必要量を把握することは当然重要なことではあるが、その石油製品、電力、ガスを産出するために必要とされた原油、石炭等の間接的なエネルギー商品の投入についても同時に考慮する必要がある。また、これはエネルギー商品のみならず、非エネルギー商品の投入フローを考えた場合にも同様のエネルギー商品の間接波及を考慮しなければならない。なぜなら、商品の生産技術構造によっては直接的なエネルギー投入必要量よりもむしろ

間接的なエネルギー投入必要量の方が大きくなるかもしれないからである。

そこで、本研究では、投入係数行列 B, マーケットシェア行列 C^{-1} をエネルギー部門と非エネルギー部門に関する構造とに分解し、構造階層化システムを導入することによって、前述した網羅的なエネルギー需要構造を定量的に評価する。まず、投入係数行列 B, マーケットシェア行列 C^{-1} を以下のように分解する。

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ O & B_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_B \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{B_e} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{B_{ne}}$

$$\begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ O & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{C^{-1}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{[C^{-1}]_e} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{[C^{-1}]_{ne}}$

ここで、O は零行列を表す。上式(7), (8)を式(3), (4)に代入し、非エネルギー部門間の産業連関構造をフィードバックループに持つ構造階層化システムを適用すると、以下のような生産均衡式を再定式化することができる。

$$q = (L_0 B [C^{-1}]_e + I)(L_1 B_e [C^{-1}]_{ne} + I)(I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} f \quad (9)$$

$$g = (L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1})(L_1 B_e [C^{-1}]_{ne} + I)(I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} f \quad (10)$$

ここで、

$$L_0 = (I - B C^{-1})^{-1} \quad (11)$$

$$L_1 = (I - B [C^{-1}]_{ne})^{-1} \quad (12)$$

$$L_2 = (I - C^{-1} B)^{-1} C^{-1} \quad (13)$$

上式(9), (10)はそれぞれ商品別生産量 q, 産業別生産量 g が均衡状態に達するまでの生産波及過程を非エネルギー部門に関する構造とエネルギー部門に関する構造に分解した形をとっている。

さらに式(9), (10)を非エネルギー部門の技術係数行列に相当する $B_{ne} [C^{-1}]_{ne}$ についてオイラー展開すると下式(14)~(18)を求めることができる。

$$q = \sum_{L=0}^m R_q (B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^L f + R_q (B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{m+1} L_3 f \quad (14)$$

$$g = \sum_{L=0}^m R_g (B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^L f + R_g (B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{m+1} L_3 f \quad (15)$$

ここで、

L : 第 L 次生産波及

$$R_q = (L_0 B [C^{-1}]_e + I)(L_1 B_e [C^{-1}]_{ne} + I) \quad (16)$$

$$R_g = (L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1})(L_1 B_e [C^{-1}]_{ne} + I) \quad (17)$$

$$L_3 = (I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} \quad (18)$$

この上式(14)~(18)を用いると、各生産波及段階 L におけるエネルギー部門と非エネルギー部門の相互依存関係をより明確に把握することが可能となる。特に式(16), (17)のマトリックス成分は、非エネルギー部門間の産業

連関システムに伴って生じるエネルギー商品の生産波及効果を示しており、式(14)、(15)を用いることによって非エネルギー商品の需要によって誘発される商品別、産業別の直接的なエネルギー必要量を推計することが可能となる。ここで、特に式(17)の内部構造について考えると、 R_g は下式(19)のように小行列で表されるであろう。

$$R_g = \begin{bmatrix} (R_g)_{11} & (R_g)_{12} \\ (R_g)_{21} & (R_g)_{22} \end{bmatrix} \quad (19)$$

- ここで、
- $(R_g)_{11}$: エネルギー部門間の生産波及に伴って誘発するエネルギー供給産業のエネルギー産出小行列
 - $(R_g)_{12}$: 非エネルギー部門間の生産波及に伴って誘発するエネルギー供給産業のエネルギー産出小行列
 - $(R_g)_{21}$: エネルギー部門間の生産波及に伴って誘発するエネルギー供給産業の非エネルギー産出小行列
 - $(R_g)_{22}$: 非エネルギー部門間の生産波及に伴って誘発する非エネルギー産業の非エネルギー産出小行列

従って、非エネルギー部門間の生産波及に必要とされるエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー必要量は式(19)の小行列 $(R_g)_{12}$ を考えればよいことが分かる。今、非エネルギー部門間の生産波及に伴うエネルギー供給産業起源の誘発効果を

$$W = [0 \quad (R_g)_{12}] \quad (20)$$

として定式化し、式(15)の R_g と置き換えるとエネルギー供給産業起源(ESI)の内包型エネルギー必要量 $EC|_{ESI}$ は下式(21)のように定式化することができる。この W はまさに“エネルギー供給産業起源のエネルギー需要構造”を表していると言える。

$$EC|_{ESI} = W(I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \\ = \sum_{l=0}^m W(B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^l f + W(B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{m+1} L_3 f \quad (21)$$

本研究では、本モデル式に産業連関表等の基本データを適用して、非エネルギー商品の需要構造がエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー必要量にどのような影響を及ぼしているのかを調べた。次にその基本データの適用、分析方法、推計結果及び考察について述べる。

5. 実証分析

(1) 基本データの適用

本研究で用いた主な基本データは以下の9つである。

- ①1985 年産業連関表 X 表(列 527×行 411)⁹⁾
- ②1985 年産業連関表 V 表(列 108×行 108)¹⁰⁾
- ③1985 年産業連関表物量表¹¹⁾
- ④1985 年産業連関表屑・副産物発生表¹²⁾
- ⑤1990 年産業連関表 X 表(列 527×行 411)¹³⁾
- ⑥1990 年産業連関表 V 表(列 108×行 108)¹⁴⁾
- ⑦1990 年産業連関表物量表¹⁵⁾

- ⑧1990 年産業連関表屑・副産物発生表¹⁶⁾
- ⑨産業連関表による二酸化炭素排出原単位(環境庁、国立環境研究所作成)¹⁾

まず、1985 年、1990 年産業連関表 X 表及び国立環境研究所作成のエネルギー物量表より、エネルギー部門の投入量を金銭単位(百万円)から物量単位(t, kl, 1000m³等)に変換した。得られた物量単位のエネルギー投入量に、国立環境研究所作成のエネルギー品目別熱量係数を乗じることによって熱量単位(Tcal)に換算した。以上の作業より金銭・熱量両方を併せ持つ産業連関表 X 表を得ることができる。投入構造については、X 表が基本となっており、取引量は輸入も含めた値となっている。ゆえに、エネルギー財に関しては、実際は原油のようにそのほとんどを輸入に依存している財についてもあたかも日本国内で生産された形をとっている。屑・副産物の発生・投入についてはマイナス投入構造を避けるため X 表、V 表から取り除いており本研究では考慮していない。

産業連関表 V 表の熱量変換については、V 表そのものが 108 部門のデータしかないため、基本分類(列 527×行 411)に沿った詳細な換算ができない。そこで、本研究ではモデルの有用性を確認するため、若干乱暴なやり方ではあるが、X 表から求めたエネルギー財の国内生産量(Tcal)をコントロールトータルとし、その値を金銭単位の V 表から求めた各エネルギー財のマーケットシェアに比例配分させて、産業別エネルギー産出量(Tcal)を求めた。以上より求められたハイブリッド型の X 表(列 527×行 411)、V 表(列 108×行 108)をそれぞれ中分類に集約化させ、商品技術仮定の基で U 表を求め 94 部門のハイブリッド型 SNA 産業連関表を作成した。以上の作成フローを図-2 に示す。また、本研究で対象にしたエネルギー部門は下表-2 のとおりであり、ここに示すように本研究ではエネルギー部門として石炭・亜炭部門、原油・天然ガス部門、石油製品部門、石炭製品部門、電力部門、ガス・熱供給部門の計 6 部門を対象としている。残り 88 部門を非エネルギー部門として取り扱っている。

表-2 エネルギー部門の設定

基本分類 (列 527×行 411)	中分類 (列 94×行 94)
1. 原料炭	1. 石炭・亜炭(ESI1)
2. 一般炭・亜炭・無煙炭	
3. 原油	2. 原油・天然ガス(ESI2)
4. 天然ガス	
5. 揮発油	3. 石油製品(ESI3)
6. ジェット燃料油	
7. 灯油	
8. 軽油	
9. A 重油	
10. B・C 重油	
11. ナフサ	
12. 液化石油ガス	4. 石炭製品(ESI4)
13. コークス	
14. コークス炉ガス	
15. 高炉ガス・転炉ガス	5. 電力(ESI5)
16. 事業用電力	
17. 自家発電	6. ガス・熱供給(ESI6)
18. 都市ガス	
19. 熱供給	

注：ESI1～ESI6 はエネルギー供給産業を表す記号である。

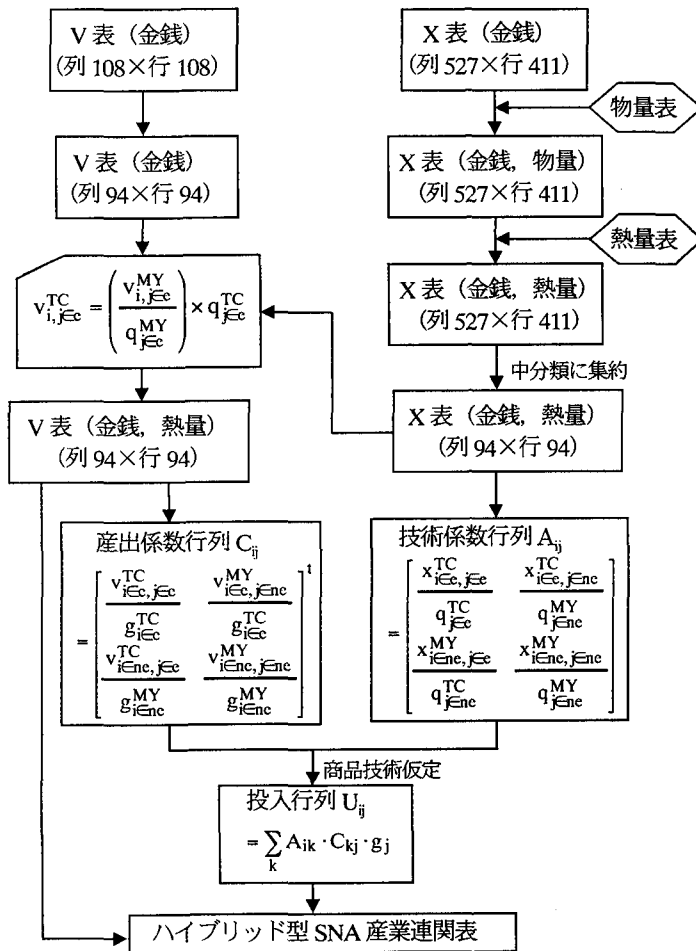


図-2 ハイブリッド型 SNA 産業連関表の作成フロー

(2) 非エネルギー部門間の生産波及に伴うエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー必要量の比較: 1985-1990

式(21)を用いると、ある非エネルギー商品 k の標準需要 f_k^s に伴うエネルギー供給産業起源 (ESI) の内包型エネルギー必要量 $\{EC(L)\}_k|_{ESI}$ は下式(22)のように定式化できる。

$$\{EC(L)\}_k|_{ESI} = \sum_i W(B_{ne}[C^{-1}]_{ne})^L f_k^s \quad (22)$$

ここで、

$f_k^s = [0 \dots 1_{k \in ne} \dots 0]^T$: 非エネルギー商品 k の成分のみを1とした標準的な最終需要列ベクトル

特に本研究では、式(21)の生産波及段階 L を 0,1,2,3,4...と動かし、エネルギー需要構造を詳細に検証した。下式(23)がその推計式である。

$$\begin{aligned} \sum_{L=0}^{\infty} \{EC(L)\}_k|_{ESI} &= \underbrace{\{EC(0)\}_k|_{ESI}}_{\text{直接効果}} + \underbrace{\{EC(1)\}_k|_{ESI}}_{\text{間接1次}} \\ &+ \underbrace{\{EC(2)\}_k|_{ESI}}_{\text{間接2次}} + \underbrace{\{EC(3)\}_k|_{ESI}}_{\text{間接3次}} + \underbrace{\sum_{L=4}^{\infty} \{EC(L)\}_k|_{ESI}}_{\text{間接4次以降}} \end{aligned} \quad (23)$$

4(1)の作成フローに従い得られた 1985 年、1990 年のデータセットを式(22)に代入し、式(23)から各生産波及段階 L における内包型エネルギー必要量を推計した結果が表-3、4 である。なお、1985 年のデータセットは 1990

年価格でデフレートされた基本データを基に得られたものである。これらの解析結果を基に以下考察を行う。

まず、表-3、4 の直接間接効果を見ると、1985 年、1990 年とも鉄鉄・粗鋼商品が最も大きいことが分かる。次いで、有機化学基礎・中間製品、合成樹脂、鋼材の順となっており、上位に位置する部門の順位はこの 5 年間で変わっていないことが示された。

次に、波及効果別にエネルギー必要量を見ると、直接効果($L=0$)が最も大きい商品 (タイプ A)、間接 1 次効果($L=1$)が最も大きい商品 (タイプ B)、間接 2 次効果($L=2$)が最も大きい商品 (タイプ C) の 3 つのタイプに分類分けできることが分かった。タイプ A に属する商品は、鉄鉄・粗鋼、有機化学基礎製品といった 1 次原料系の商品と水運、航空輸送、漁業といった輸送形態そのものを生産の媒体とする運輸サービス等が示された。ライフサイクルアセスメントを行う上で、その定量評価が難しいのがタイプ B とタイプ C の商品であり、当該商品を生産するために直接的に必要とされるエネルギー投入よりも、むしろ当該商品の生産のために投入されたエネルギー商品・非エネルギー商品から 2 次的、3 次的に誘発されるエネルギー投入の方が大きいものである。特に直接効果よりも間接 2 次効果の方が大きいタイプ C に属するプラスチック製品や自動車といった商品はシステムバウンダリーの設定が非常に困難であり、より詳細なインベントリ評価が難しい商品と言える。

図-3 は、前述した 3 タイプの典型的な例である航空輸送、ゴム製品、プラスチック製品について、全波及効果 $\sum \{EC(L)\}_k|_{ESI}$ に占める直接・間接効果 $\{EC(L)\}_k|_{ESI}$ の割合を求め、そのエネルギー波及構造形を示したものである。参考までに 88 商品の平均的な波及構造形についても示している。図-3 を見る限りでは、1985 年と 1990 年のエネルギー波及構造形にあまり変化は見られないが、表-3、4 を概観してもすぐ分かるように、商品によってはこの 5 年間でエネルギー必要量が大きく変化したものもある。中でも特に変化量が目立つものについて以下考察を行いたい。まず、表-3、4 から直接間接効果のプラス変化が目立つものとしては化学肥料の+23.47Gcal/百万円と航空輸送の+13.89Gcal/百万円があげられる。図-4 はこれら 2 商品のエネルギー波及過程を示したものであるが、これを見ると両商品とも $L=0$ の段階、つまり最終需要 1 単位 (百万円分) を直接生産する段階において、最も増加していることが分かる。これはこの 5 年間で化学肥料、航空輸送の直接生産そのものがエネルギー必要量を押し上げていることを意味している。

図-5 は、同様に直接間接効果のマイナス変化が目立つ非鉄金属製錬(-41.05Gcal/百万円)と鉄鉄・粗鋼(-20.04Gcal/百万円)のエネルギー波及過程を示したものである。これを見ると、非鉄金属製錬はその直接生産の段階においてエネルギー必要量が約 30Gcal も節減されていること

が示された。それとは対照的に鉄鉄・粗鋼に関しては、直接生産の段階では微増傾向にあるが、L=1～3の段階つまり鉄鉄・粗鋼の需要に伴う非エネルギー部門間の1次的、2次的、3次的な生産波及を通してエネルギー必要量が低減傾向にあることが示されている。

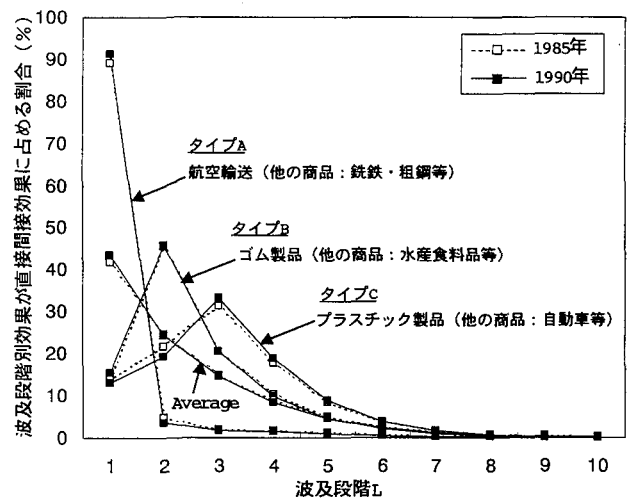


図-3 商品需要に伴うエネルギー波及構造形

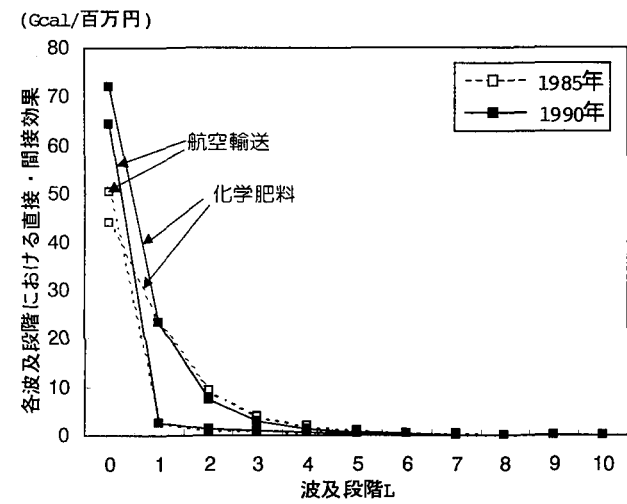


図-4 航空輸送、化学肥料のエネルギー波及過程

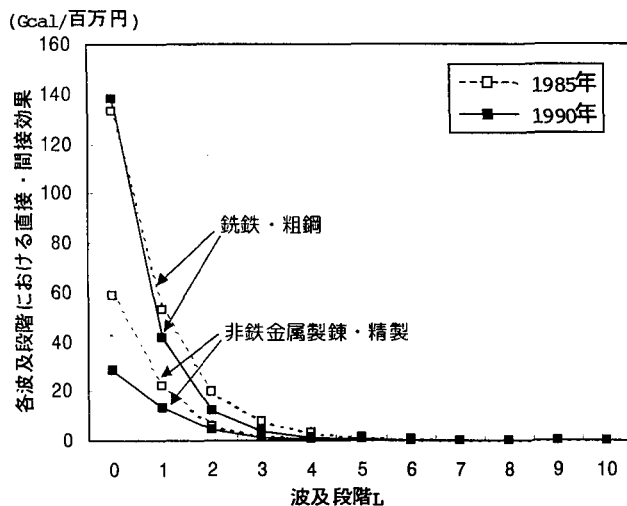


図-5 鉄鉄・粗鋼、非鉄金属製錬のエネルギー波及過程

(3) 直接・間接効果の変化量に対するエネルギー供給産業起源別の寄与度

ここでは、直接効果及び間接効果の変化量に対するエネルギー供給産業起源別の寄与度を推計する。式(22)より直接効果(L=0)の変化量 $\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI}$ を求め、この値をさらにエネルギー供給産業(ESI1～ESI6)に分解することにより起源別の変化量を推計することができる。下式(24)がその推計式である。同様に間接効果の変化量 $\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI}$ についても、下式(25)のように推計することが可能である。

$$\begin{aligned} \{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI} &= \{EC(0)\}_k^{90}_{ESI} - \{EC(0)\}_k^{85}_{ESI} \\ &= \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI1}}_{\text{石炭・亜炭}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI2}}_{\text{原油・天然ガス}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI3}}_{\text{石油製品}} \\ &\quad + \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI4}}_{\text{石炭製品}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI5}}_{\text{電力}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{direct}\}_{ESI6}}_{\text{ガス・熱供給}} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI} &= \sum_{L=1}^{\infty} \{EC(L)\}_k^{90}_{ESI} - \sum_{L=1}^{\infty} \{EC(L)\}_k^{85}_{ESI} \\ &= \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI1}}_{\text{石炭・亜炭}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI2}}_{\text{原油・天然ガス}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI3}}_{\text{石油製品}} \\ &\quad + \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI4}}_{\text{石炭製品}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI5}}_{\text{電力}} + \underbrace{\{\Delta EC_k^{indirect}\}_{ESI6}}_{\text{ガス・熱供給}} \end{aligned} \quad (25)$$

上式(24)、(25)を用いて推計した結果が表-5である。まず、プラス変化が目立つ化学肥料について見ると、その直接生産段階において原油・天然ガス業起源(ESI2)、石油製品業起源(ESI3)、石炭製品業起源(ESI4)のエネルギー必要量がそれぞれ+14.091Gcal/百万円、+12.519Gcal/百万円、+4.561Gcal/百万円と大きく増加していることが分かる。航空輸送についても同様のことが言え、その直接生産の段階において原油・天然ガス業起源(ESI2)、石油製品業起源(ESI3)のエネルギー必要量を押し上げている。

一方、マイナス変化が目立った非鉄金属製錬について見ると、直接生産の段階において電力業起源(ESI5)、原油・天然ガス業起源(ESI2)のエネルギー必要量がそれぞれ-12.168Gcal/百万円、-9.175Gcal/百万円と大きく節減されていることが分かる。鉄鋼・粗鋼に関しては、非エネルギー部門間の間接的な生産波及過程が結果的に石炭・亜炭業起源(ESI1)のエネルギー必要量を-8.766Gcal/百万円も押し下げていることが分かった。

表-5の全体を通して直接効果の変化が目立つ結果となった。しかし、非エネルギー部門の間接的な生産波及過程からのエネルギー必要量の変化については、産業連関システムを通してプラス変化分とマイナス変化分とが相殺されその結果としてあまり目立っていない可能性もある。式(21)をさらに応用するれば、間接的な生産波及からのエネルギー必要量をより詳細に分析することができる。また、SDAを適用することによってその変化要因を識別することも可能である。なお、詳細については紙面の都合上、表-5を参照して頂きたい。

表-3 1985 年におけるエネルギー供給産業起源のエネルギー必要量 (Gcal/百万円)

商品部門	直接間接	直接効果	間接1次	間接2次	間接3次	間接4次
1. 鉄鉄・粗鋼	217.71	132.83	52.72	19.49	7.36	5.32
2. 有機化学基礎・	195.20	116.32	46.87	18.64	7.56	5.81
3. 合成樹脂	134.74	27.12	63.35	26.03	10.47	7.78
4. 鋼材	130.74	14.37	51.17	33.93	17.14	14.14
5. 無機化学基礎型	103.21	71.41	19.54	6.66	2.82	2.78
6. 化学繊維	101.85	31.28	38.36	18.83	7.62	5.76
7. 非鉄金属製錬・	90.26	58.46	22.24	5.48	1.96	2.12
8. 化学肥料	84.04	44.01	23.13	9.28	3.94	3.68
9. 鉄鋼製品・その	73.13	20.68	11.90	18.33	11.53	10.69
10. 水産	72.24	50.08	14.46	4.43	1.64	1.63
11. パルプ・紙	62.36	41.60	12.89	4.33	1.77	1.77
12. 航空輸送	56.73	50.45	2.68	1.07	0.94	1.59
13. ゴム製品	52.15	7.30	23.71	10.76	5.35	5.02
14. プラスチック製品	49.06	6.76	10.71	15.35	8.70	7.55
15. ガラス・ガラス製	47.86	32.44	8.94	3.11	1.54	1.85
16. 漁業	47.67	38.35	3.96	2.33	1.27	1.76
17. その他の窯業・	46.06	32.03	8.19	2.79	1.36	1.69
18. 紙加工品	42.52	9.36	15.03	8.99	4.60	4.53
19. 化学最終製品	41.60	6.64	16.36	9.54	4.75	4.32
20. セメント・セメン	39.41	23.45	8.53	3.37	1.77	2.30
21. その他の金属製	37.70	7.46	6.02	9.58	7.20	7.44
22. 繊維工業製品	37.51	10.32	9.22	7.54	4.83	5.59
23. 非鉄金属加工製	36.33	8.18	16.63	7.36	2.28	1.89
24. 水道	33.82	27.19	2.02	1.45	1.37	1.79
25. 分類不明	33.57	19.03	5.77	3.75	2.19	2.83
26. 金属鉱物	33.28	26.26	3.38	1.61	0.92	1.11
27. 建設・建築用金	30.85	3.34	6.13	8.29	6.42	6.68
28. 陶磁器	30.60	20.08	5.32	2.22	1.28	1.70
29. 船舶・同修理	28.88	3.58	4.86	7.14	6.00	7.30
30. 電子・通信機器	26.70	7.42	5.18	4.73	3.86	5.51
31. 民生用電気機械	26.26	2.15	5.36	6.47	5.21	7.07
32. 自動車	26.01	3.51	4.38	5.13	4.70	8.29
33. 道路輸送	24.92	22.07	1.14	0.56	0.42	0.74
34. 水産食料品	24.74	2.66	15.06	3.35	1.63	2.04
35. 一般産業機械	24.37	3.56	4.89	5.32	4.57	6.03
36. 事務用・サービス	23.91	2.79	4.97	5.25	4.44	6.47
37. その他の製造工	23.14	2.71	6.77	5.42	3.91	4.33
38. 飼料・有機質肥	22.91	1.55	7.67	6.04	3.11	4.53
39. 衣服・その他の	22.82	4.94	5.16	4.36	3.51	4.86
40. 鉄道輸送	22.59	16.58	1.78	1.15	1.04	2.04
41. 特殊産業機械	21.85	3.87	4.22	4.46	3.95	5.36
42. その他の輸送機	21.75	3.56	4.04	4.35	3.85	5.96
43. 重電機器	21.54	2.72	4.88	5.08	4.03	4.84
44. 農業サービス	21.42	12.32	2.84	2.59	1.64	2.03
45. 農産保存食料品	20.94	7.47	4.87	3.18	2.25	3.16
46. その他の電気機	20.85	3.58	5.23	4.66	3.27	4.12
47. その他の一般機	20.44	4.07	3.72	4.10	3.57	4.98
48. 畜産食料品	19.36	4.82	3.72	3.27	2.75	4.80
49. 建設補修	18.77	2.77	4.84	3.60	3.18	4.38
50. 土木	18.31	2.88	5.24	4.02	2.78	3.39
51. 飲料	18.00	5.46	4.67	2.82	2.18	2.88
52. その他の食料品	17.94	5.14	4.38	3.42	2.07	2.94
53. 家具・装飾品	17.31	2.60	4.27	3.69	2.99	3.76
54. 精密機械	16.25	2.34	3.72	3.61	2.84	3.74
55. 医療・保健	15.91	7.11	2.20	2.94	1.76	1.91
56. 出版・印刷	15.85	2.00	6.74	3.61	1.75	1.76
57. 畜産・養蚕	15.59	1.82	3.71	3.62	2.75	3.68
58. と畜	15.37	0.38	2.68	3.43	3.22	5.67
59. 建築	15.19	1.65	3.99	3.25	2.70	3.61
60. なめし革・毛皮・	14.86	2.65	2.93	2.95	2.49	3.84
61. 精穀・製粉	14.08	2.16	4.21	2.97	2.04	2.70
62. 自動車・機械修	13.88	1.51	2.64	3.12	2.36	4.25
63. 製材・木製品	13.20	3.33	3.59	2.60	1.58	2.10
64. 非金属鉱物	12.84	6.85	1.92	1.24	1.04	1.79
65. 研究	12.56	9.20	1.48	0.72	0.47	0.69
66. 飲食店	12.53	5.58	2.60	1.70	1.00	1.64
67. 倉庫	12.22	9.12	1.33	0.62	0.46	0.68
68. 旅館・その他の	11.94	6.77	2.09	1.23	0.72	1.14
69. 林業	11.83	4.11	3.32	1.80	1.07	1.54
70. 娯楽サービス	11.11	7.26	1.36	0.90	0.65	0.94
71. 耕種農業	10.86	3.43	2.92	1.95	1.19	1.36
72. その他の対個	10.02	6.87	1.28	0.72	0.49	0.67
73. 広告	9.96	2.18	2.15	2.64	1.39	1.61
74. その他の対事業	9.35	4.23	1.76	1.36	0.88	1.12
75. 運輸付帯サービ	9.20	3.51	1.73	1.53	1.08	1.35
76. 廃棄物処理	9.11	6.71	1.05	0.54	0.33	0.48
77. 公務	8.53	4.79	1.35	0.76	0.60	1.03
78. 放送	8.52	3.36	2.46	1.06	0.68	0.97
79. 教育	7.65	5.04	1.26	0.52	0.34	0.51
80. 商業	6.01	3.31	1.09	0.56	0.43	0.64
81. 通信	5.98	3.11	1.48	0.54	0.35	0.51
82. 調査・情報サービ	5.98	2.41	1.36	0.83	0.58	0.81
83. その他の公共サ	5.92	2.38	1.27	0.89	0.58	0.81
84. たばこ	5.13	1.07	1.57	1.06	0.65	0.77
85. 金融・保険	3.40	0.50	1.20	0.65	0.44	0.62
86. 不動産仲介及び	2.87	1.93	0.29	0.22	0.16	0.28
87. 物品賃貸サービ	2.79	0.88	0.54	0.42	0.35	0.59
88. 住宅賃貸料	1.94	0.16	0.34	0.45	0.33	0.66

表-4 1990 年におけるエネルギー供給産業起源のエネルギー必要量 (Gcal/百万円)

商品部門	直接間接	直接効果	間接1次	間接2次	間接3次	間接4次
1. 鉄鉄・粗鋼	197.67	137.84	41.52	12.23	3.77	2.31
2. 有機化学基礎・	194.48	119.71	45.94	17.35	6.69	4.80
3. 合成樹脂	123.61	19.73	63.21	24.65	9.46	6.57
4. 鋼材	111.40	15.46	50.27	27.18	11.33	7.16
5. 化学肥料	107.51	71.95	23.15	7.26	2.72	2.44
6. 無機化学基礎型	100.71	72.30	18.03	5.75	2.38	2.25
7. 化学繊維	97.83	34.33	34.43	17.24	6.82	5.01
8. 水産	81.76	55.80	16.73	5.32	2.01	1.90
9. 航空輸送	70.62	64.34	2.61	1.19	0.94	1.54
10. パルプ・紙	67.66	38.00	16.21	7.05	3.22	3.19
11. 鉄鋼製品・その	64.74	16.52	11.59	19.28	10.17	7.19
12. ゴム製品	54.35	8.43	24.96	11.16	5.29	4.51
13. 漁業	52.94	43.86	4.05	2.16	1.26	1.61
14. プラスチック製品	52.93	6.96	10.21	17.55	9.95	8.27
15. 非鉄金属製錬・	48.76	28.46	13.15	4.11	1.49	1.54
16. ガラス・ガラス製	45.57	30.02	8.51	3.36	1.73	1.95
17. その他の窯業・	43.96	28.32	7.96	3.61	1.92	2.16
18. 繊維工業製品	39.77	10.07	10.71	8.37	5.13	5.49
19. 化学最終製品	38.12	4.80	16.49	8.74	4.27	3.82
20. 水道	38.01	31.00	2.27	1.42	1.42	1.90
21. セメント・セメン	36.75	20.97	7.98	3.57	1.93	2.31
22. その他の金属製	36.30	7.13	6.50	10.25	6.83	5.60
23. 紙加工品	32.78	4.82	14.34	6.84	3.43	3.36
24. 分類不明	31.81	16.22	6.19	3.99	2.55	2.87
25. 水産食料品	31.52	3.86	18.57	4.65	2.02	2.43
26. 建設・建築用金	31.46	3.41	6.66	9.03	6.67	5.69
27. 非鉄金属加工製	30.99	7.94	11.91	6.44	2.55	2.17
28. 陶磁器	30.98	20.77	5.00	2.27	1.30	1.64
29. 金属鉱物	29.29	23.12	2.97	1.30	0.79	1.11
30. 船舶・同修理	28.85	3.83	5.44	7.56	5.90	6.13
31. 道路輸送	28.27	25.21	1.29	0.60	0.42	0.74
32. その他の一般機	26.86	5.36	5.07	6.52	5.12	4.80
33. 農業サービス	25.22	16.48	2.82	2.64	1.52	1.77
34. その他の輸送機	25.22	4.22	4.79	5.29	4.56	6.36
35. 自動車	24.31	2.91	4.15	4.84	4.48	7.93
36. 一般産業機械	23.73	3.14	4.74	5.64	4.78	5.42
37. その他の電気機	23.36	4.13	5.68	5.42	3.89	4.25
38. 農産保存食料品	22.33	8.89	5.18	3.27	2.21	2.79
39. その他の製造工	21.11	2.67	5.76	4.76	3.72	4.21
40. 畜産食料品	21.04	7.57	3.78	3.11	2.56	4.02
41. 特殊産業機械	20.74	2.80	4.12	4.76	4.15	4.91
42. 衣服・その他の	20.55	3.40	4.78	4.52	3.45	4.40
43. 重電機器	20.50	2.48	4.80	5.10	3.91	4.20
44. 建設補修	20.45	3.60	4.85	3.93	3.61	4.47
45. 民生用電気機械	20.34	1.95	4.50	4.78	4.00	5.11
46. 飼料・有機質肥	19.99	3.21	6.57	4.86	2.36	2.99
47. 鉄道輸送	19.85	15.44	1.26	0.94	0.77	1.45
48. その他の食料品	19.19	8.12	3.36	2.94	2.04	2.73
49. 家具・装飾品	19.15	2.64	4.99	4.30	3.44	3.79
50. 出版・印刷	18.67	2.47	6.86	4.25	2.46	2.63
51. 土木	17.88	3.75	4.89	3.68	2.60	2.96
52. 飲料	17.66	5.31	4.47	2.77	2.32	2.80
53. 医療・保健	17.65	7.52	2.34	3.69	2.01	2.09
54. 事務用・サービス	17.00	1.85	3.57	3.86	3.23	4.50
55. 研究	17.00	10.98	2.38	1.43	0.93	1.29
56. なめし革・毛皮・	16.97	3.14	3.14	3.41	2.97	4.31
57. 電子・通信機器	16.50	3.31	4.33	3.15	2.35	3.37
58. 製材・木製品	16.15	4.30	4.74	3.05	1.76	2.30
59. 林業	15.70	6.87	4.01	2.01	1.17	1.65
60. 建築	15.60	1.45	4.20	3.70	2.86	3.39
61. 精密機械	15.41	2.71	3.71	3.21	2.54	3.25
62. 自動車・機械修	14.49	2.49	2.42	2.75	2.43	4.39
63. 旅館・その他の	14.41	7.53	2.90	1.56	0.95	1.47
64. 精穀・製粉	14.38	2.39	4.48	3.52	1.85	2.15
65. 倉庫	13.91	9.84	1.81	0.81	0.58	0.87
66. 非金属鉱物	13.81	7.99	1.92	1.26	0.99	1.66
67. 飲食店	13.71	5.30	3.32	2.00	1.20	1.89
68. 畜産・養蚕	13.21	0.78	3.94	3.33	2.34	2.82
69. と畜	12.61	0.03	1.16	3.65	3.05	4.72
70. 広告	12.59	2.33	2.43	3.41	1.92	2.50
71. 耕種農業	12.53	3.87	4.11	2.15	1.15	1.25
72. 娯楽サービス	11.59	7.37	1.64	0.92	0.67	1.00
73. その他の対個人	11.29	7.17	1.70	0.98	0.61	0.82
74. 運輸付帯サービ	10.94	4.47	2.33	1.72	1.09	1.34
75. 廃棄物処理	10.68	7.23	1.81	0.68	0.39	0.57
76. 公務	10.21	5.94	1.44	0.89	0.72	1.22
77. 放送	8.94	2.62	3.16	1.21	0.75	1.21
78. その他の公共サ	8.20	2.90	1.92	1.29	0.86	1.23
79. 教育	7.26	4.51	1.26	0.52	0.37	0.60
80. 商業	7.07	3.74	1.49	0.67	0.47	0.70
81. その他の対事業	6.22	2.83	1.41	0.75	0.49	0.73
82. 調査・情報サービ	5.90	2.16	1.59	0.77	0.54	0.83
83. 不動産仲介及び	5.68	4.31	0.60	0.26	0.19	0.32
84. たばこ	5.57	1.20	1.63	1.32	0.71	0.72
85. 通信	5.42	3.03	1.29	0.43	0.26	0.40
86. 物品賃貸サービ	4.81	1.19	1.02	0.70	0.62	1.29
87. 金融・保険	3.43	0.81	1.01	0.59	0.41	0.61
88. 住宅賃貸料	2.34	0.34	0.58	0.46	0.34	0.62

表-5 ここ5年間におけるエネルギー必要量の変化に対するエネルギー供給産業の寄与度 (単位: Gcal/百万円)

商品部門	1.石炭・亜炭		2.原油・天然ガス		3.石油製品		4.石炭製品		5.電力		6.ガス・熱供給		合計
	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果	直接効果	間接効果	
1. 耕種農業	-0.010	-0.058	0.271	0.712	0.188	0.471	-0.007	0.099	-0.007	-0.003	0.000	0.012	1.668
2. 畜産・養蚕	-0.028	-0.253	-0.465	-0.367	-0.420	-0.499	-0.016	-0.031	-0.110	-0.186	0.000	-0.005	-2.380
3. 農業サービス	0.101	-0.116	1.872	0.008	0.964	-0.164	-0.048	0.019	1.267	-0.099	0.000	0.002	3.806
4. 林業	-0.014	-0.055	1.521	0.663	1.265	0.447	-0.014	0.028	-0.003	0.019	0.000	0.012	3.869
5. 漁業	-0.091	-0.083	3.320	0.025	2.413	-0.139	-0.040	-0.044	-0.093	0.002	-0.001	0.001	5.270
6. 金属鉱物	-1.638	-0.009	0.700	-0.501	-0.624	-0.496	-1.942	0.051	0.377	0.106	-0.015	0.008	-3.983
7. 非金属鉱物	0.338	-0.030	-0.024	-0.033	-0.525	-0.164	0.256	-0.012	1.102	0.071	-0.007	-0.004	0.968
8. と畜	-0.018	-0.277	-0.142	-0.851	-0.108	-0.901	0.001	-0.046	-0.045	-0.340	-0.034	-0.003	-2.764
9. 畜産食料品	0.107	-0.069	1.108	-0.428	0.519	-0.672	-0.005	0.029	0.965	0.076	0.054	0.002	1.686
10. 水産食料品	0.032	0.077	0.516	2.907	0.237	2.060	-0.013	0.046	0.418	0.481	0.003	0.022	6.786
11. 精穀・製粉	-0.034	-0.165	0.219	0.270	0.109	0.090	-0.037	0.062	-0.033	-0.195	0.005	0.010	0.301
12. 農産保存食料品	0.176	-0.103	0.497	0.132	-0.024	-0.194	0.050	-0.015	0.748	0.142	-0.032	0.008	1.385
13. その他の食料品	0.009	-0.104	1.514	-0.766	0.963	-0.871	-0.053	0.010	0.465	0.006	0.088	-0.008	1.253
14. 飲料	-0.014	0.088	-0.087	-0.159	-0.319	-0.422	-0.014	0.119	0.267	0.175	0.017	0.011	-0.338
15. 飼料・有機質肥	0.013	-0.467	0.836	-1.794	0.590	-1.700	-0.021	-0.011	0.218	-0.567	0.019	-0.030	-2.914
16. たばこ	0.007	-0.061	0.067	0.263	0.012	0.124	-0.009	-0.048	0.046	0.050	0.003	-0.005	0.449
17. 繊維工業製品	0.041	0.278	-0.281	0.909	-0.797	-0.093	-0.048	0.217	0.790	1.157	0.045	0.043	2.261
18. 衣服・その他の	-0.113	-0.007	-0.468	-0.366	-0.436	-0.832	-0.070	0.014	-0.446	0.426	0.001	0.028	-2.269
19. 製材・木製品	-0.020	-0.110	0.568	1.154	0.305	0.730	-0.055	-0.095	0.169	0.285	0.000	0.015	2.946
20. 家具・装備品	-0.029	0.133	0.098	0.848	-0.015	0.285	-0.035	0.032	0.014	0.473	0.006	0.033	1.843
21. パルプ・紙	-0.047	0.825	-1.751	3.493	-3.435	1.460	-0.233	0.144	1.792	2.893	0.074	0.086	5.301
22. 紙加工品	-0.144	-0.140	-1.966	-2.223	-1.806	-2.883	-0.075	-0.118	-0.461	0.176	-0.088	-0.016	-9.744
23. 出版・印刷	-0.010	0.172	0.248	1.007	0.054	0.126	-0.022	-0.023	0.173	1.030	0.030	0.036	2.821
24. 化学肥料	-0.477	-0.678	14.091	-1.991	12.519	-1.509	4.561	1.509	-2.966	-1.836	0.203	0.048	23.474
25. 無機化学基礎製	2.188	-0.068	-1.825	-1.511	-4.445	-1.603	1.939	0.276	2.811	-0.517	0.219	0.036	-2.500
26. 有機化学基礎・	0.871	0.233	0.940	-2.745	1.017	-2.024	2.109	1.373	-1.163	-1.001	0.083	0.055	-0.722
27. 合成樹脂	-0.075	0.423	-2.479	-2.820	-4.514	-1.944	-0.393	1.842	0.540	-1.321	0.006	0.074	-11.131
28. 化学繊維	0.186	0.135	1.302	-4.181	-0.934	-3.471	-0.184	1.123	2.693	-0.726	-0.018	0.051	-4.024
29. 化学最終製品	-0.214	0.121	-0.453	-1.034	-0.476	-1.216	-0.130	0.430	-0.614	0.016	0.051	0.038	-3.481
30. プラスチック製	-0.059	0.328	0.278	1.716	-0.081	0.681	-0.094	0.408	0.103	0.481	0.050	0.059	3.870
31. ゴム製品	-0.075	0.092	0.877	0.619	0.508	0.301	-0.101	0.421	-0.165	-0.404	0.086	0.043	2.202
32. なめし革・毛皮	0.003	0.028	0.233	0.857	0.068	0.391	-0.019	0.020	0.196	0.310	0.003	0.017	2.107
33. ガラス・ガラス	-0.170	0.064	-0.944	0.072	-1.869	-0.378	-0.116	0.037	0.381	0.308	0.297	0.028	-2.290
34. セメント・セメ	-1.972	-0.618	0.250	0.225	-0.230	-0.166	-0.336	0.167	-0.193	0.207	-0.004	0.010	-2.660
35. 陶磁器	-0.100	0.029	0.651	-0.152	0.033	-0.426	-0.140	-0.008	-0.042	0.229	0.291	0.018	0.383
36. その他の窯業・	0.777	0.612	-2.358	0.218	-2.292	-0.193	0.153	0.440	-0.056	0.515	0.066	0.022	-2.096
37. 鉄鉄・粗鋼	1.655	-8.766	1.209	-3.723	-0.050	-3.196	1.536	-6.518	0.656	-2.821	0.002	-0.026	-20.042
38. 鋼材	0.032	-7.523	0.638	-2.541	-0.084	-2.625	-0.406	-5.680	0.782	-2.087	0.129	0.019	-19.346
39. 鉄鋼製品・その	-1.098	-1.576	-0.660	-0.420	-0.898	-0.981	-1.724	-1.305	0.154	-0.011	0.065	0.062	-8.392
40. 非鉄金属製錬・	-2.136	-0.757	-9.175	-3.963	-5.696	-3.412	-0.823	-0.515	-12.168	-2.845	-0.003	-0.009	-41.502
41. 非鉄金属加工製	0.046	0.130	-0.050	-1.669	-0.380	-1.422	-0.002	0.268	0.029	-2.421	0.115	0.019	-5.337
42. 建設・建築用金	-0.028	0.301	0.116	0.205	-0.048	-0.321	-0.054	0.102	0.049	0.191	0.044	0.057	0.614
43. その他の金属製	-0.056	-0.344	0.015	-0.008	-0.274	-0.469	-0.056	-0.392	0.014	0.106	0.024	0.049	-1.391
44. 一般産業機械	-0.068	-0.059	-0.003	0.088	-0.067	-0.328	-0.051	-0.152	-0.236	0.191	0.006	0.035	-0.644
45. 特殊産業機械	-0.097	-0.116	-0.202	0.219	-0.182	-0.174	-0.050	-0.185	-0.538	0.182	0.002	0.030	-1.111
46. その他の一般機	0.052	1.902	0.644	0.845	0.316	0.177	0.003	1.398	0.262	0.768	0.014	0.039	6.420
47. 事務用・サービ	-0.091	-1.408	-0.226	-1.396	-0.184	-1.332	-0.048	-1.042	-0.375	-0.780	-0.021	-0.013	-6.916
48. 民生用電気機械	-0.042	-0.786	-0.007	-1.768	-0.063	-1.679	-0.015	-0.509	-0.016	-0.952	-0.057	-0.024	-5.918
49. 電子・通信機器	-0.399	-0.968	-0.991	-1.853	-0.569	-1.675	-0.163	-0.632	-1.881	-0.926	-0.115	-0.028	-10.200
50. 重電機器	-0.066	-0.362	0.065	0.075	0.008	-0.317	-0.044	-0.368	-0.192	0.135	-0.013	0.034	-1.045
51. その他の電気機	0.003	1.003	0.272	0.109	0.021	-0.427	-0.018	0.792	0.292	0.463	-0.023	0.015	2.502
52. 自動車	-0.022	-0.478	-0.206	0.061	-0.279	-0.412	-0.011	-0.431	-0.046	0.138	-0.033	0.021	-1.698
53. 船舶・同修理	0.022	-0.377	0.172	0.353	-0.008	-0.167	0.013	-0.418	0.089	0.285	-0.035	0.041	-0.030
54. その他の輸送機	0.101	0.546	0.270	0.941	0.092	0.268	0.087	0.319	0.109	0.683	0.001	0.049	3.466
55. 精密機械	-0.001	-0.295	0.172	-0.179	0.000	-0.411	-0.020	-0.232	0.239	-0.104	-0.023	0.014	-0.840
56. その他の製造工	0.007	-0.021	0.004	-0.869	-0.100	-1.019	-0.001	0.107	0.045	-0.205	0.003	0.023	-0.206
57. 建築	-0.017	0.130	-0.096	0.228	-0.158	-0.134	0.004	0.117	0.122	0.234	-0.048	0.028	0.410
58. 建設補修	0.001	0.004	0.412	0.391	0.194	-0.070	-0.019	0.172	0.243	0.311	-0.004	0.037	1.672
59. 土木	-0.058	-0.741	0.631	0.048	0.508	-0.232	-0.038	-0.426	-0.161	0.037	-0.014	0.021	-0.425
60. 水道	-0.253	0.053	2.676	0.148	1.132	-0.057	-0.370	0.062	0.624	0.170	-0.005	0.010	4.190
61. 廃棄物処理	0.071	0.037	0.014	0.484	-0.403	0.307	0.003	0.017	0.828	0.195	0.012	0.007	1.572
62. 商業	0.015	0.024	0.177	0.280	-0.051	0.118	-0.027	0.004	0.278	0.186	0.044	0.005	1.053
63. 金融・保険	0.005	-0.071	0.133	-0.075	0.055	-0.148	0.000	-0.048	0.120	0.057	-0.001	-0.006	0.021
64. 不動産仲介及び	0.069	0.006	0.996	0.186	0.550	0.096	0.002	0.001	0.760	0.135	0.004	0.005	2.810
65. 住宅賃貸料	0.000	-0.031	0.096	0.130	0.080	0.049	0.000	-0.009	0.003	0.077	0.000	0.006	0.401
66. 鉄道輸送	-0.173	-0.292	-0.172	-0.453	-0.885	-0.456	-0.245	-0.194	0.328	-0.198	0.010	-0.006	-2.736
67. 道路輸送	-0.069	0.023	1.927	0.076	1.383	-0.036	-0.032	0.011	-0.080	0.138	0.007	0.004	3.352
68. 水運	-0.115	0.003	3.540	2.106	2.491	1.437	-0.036	-0.004	-0.179	0.245	0.015	0.017	9.520
69. 航空輸送	-0.057	-0.004	7.700	0.061	6.025	-0.145	-0.017	-0.010	0.236	0.088	0.002	0.012	13.891
70. 倉庫	-0.044	0.066	0.430	0.408	-0.195	0.184	-0.128	0.030	0.656	0.287	0.002	-0.001	1.695
71. 運輸付帯サービ	0.014	0.089	0.431	0.313	0.069	0.031	-0.041	0.032	0.422	0.316	0.062	0.007	1.745
72. 通信	-0.066	-0.069	0.105	-0.161	-0.010	-0.194	-0.034	-0.040	-0.001	-0.012	-0.073	-0.007	-0.562
73. 放送	-0.066	0.039	-0.217	0.469	-0.240	0.138	-0.032	0.001	-0.161	0.504	-0.026	0.007	0.416
74. 教育	-0.181	-0.051	-0.080	0.117	-0.232	0.022	-0.029	-0.040	0.010	0.077	-0.013	0.005	-0.395
75. 研究	-0.181	0.169	1.078	1.159	0.462	0.711	-0.083	0.045	0.588	0.549	-0.090	0.028	4.435
76. 医療・保健	-0.042	0.062	0.201	0.646	-0.227	0.307	-0.034	0.053	0.536	0.228	-0.021	0.032	1.741
77. その他の公共サ	-0.045	0.092	0.265	0.755	0.111	0.421	0.001	0.025	0.162	0.447	0.026	0.017	2.277
78. 広告	0.012	0.141	0.027	1.060	-0.109	0.420	-0.011	0.004	0.238	0.816	-0.006	0.030	2.622
79. 調査・情報サー	-0.001	-0.014	-0.210	0.084	-0.342	-0.061	-0.003	-0.012	0.313	0.160	0.002	0.000	-0.084
80. 物品賃貸サービ	0.040	0.138	0.046	0.670	-0.056	0.392	0.015	0.066	0.272	0.442	-0.011	0.015	2.029
81. 自動車・機械修	0.046	0.299	0.343	-0.476	0.101	-0.671	0.003	0.282	0.526	0.186	-0.037	0.005	0.607
82. その他の対事業	-0.041	-0.135	-0.636	-0.680	-0.631								

6. 一般逆行列を用いた廃棄物のライフサイクルインベントリ手法

本研究では、廃棄物のライフサイクルインベントリ手法として表-6 の拡張産業連関モデルを提案する。表-1 のモデルと比較しても分かるように、本モデルの特徴は産業部門の中に家計部門、商品部門の中に廃棄物部門が新たに内生化されている所である。そのため、従来の正方形の V 表、U 表とは異なり、矩形型の V 表($m \times n$)、U 表($n \times m$)となっている。

表-6 拡張 SNA 型産業連関フレーム

	通常 商品	廃棄物	産業	家計	最終 需要	合計
通常商品	n		U _{ij}		f _i	q _i
廃棄物						
産業	V _{ij}		m			g _i
家計						
付加価値			y _j			
合計	q _j		g _j			

表-6 のフレームに商品技術仮定を適用することにより、式(1)、(2)から同様に拡張された(n, m)型投入係数行列 B、(m, n)型産出係数行列 C を求めることができる。しかし、これらの行列は矩形行列となっているため、通常の線形理論では逆行列を持たない。ゆえに、技術係数行列に相当する BC^{-1} は存在しないことになる。ところが、一般逆行列理論のムーアペンローズ逆行列(MPI)を用いると数学的に尤もらしい一般逆行列が一意に定まることが知られている。MPI とは行列 G が方程式 $Cx = y$ のノルム最小の最小 2 乗解 Gy を与える $G(C^+)$ によって定義され、この MPI の必要十分条件は、

$$CC^+C = C, (CC^+)^{\#} = CC^+ \\ C^+CC^+ = C^+, (C^+C)^{\#} = C^+C \quad (26)$$

として良く知られている^{17),18)}。ここで、 $\#$ とは随伴行列を示す。この MPI を適用することにより矩形フレームにおける産出の二面性

$$g_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (27)$$

$$q_j = \sum_{i=1}^m V_{ij} \quad (28)$$

について

$$q = Cg \Leftrightarrow g = C^+q \quad (29)$$

と数学的に近似表現することが可能となり、上式(29)及び表-6 の需給バランスより近似的な商品別生産波及効果 q^* 、産業別生産波及効果 g^* に関して下式(30),(31)のように定式化することが可能となる。

$$q^* = (I - BC^+)^{-1}f \quad (30)$$

$$g^* = (I - C^+B)^{-1}C^+f \quad (31)$$

上式(30)、(31)に、本研究で適用した SNA 体系下のハイブリッド手法を応用することにより、廃棄・再生プロセスがエネルギー関連部門に与える影響をマクロ的に定量評価することが可能になるものとする。ただし、ここで推計された値は、解の一意性は補償されているものの、システム自身の安定性に大きく依存しており、真であるという補償はない。しかしながら、ある一断面の先験データを持ってこの誤差範囲を議論することは不可能である。議論できるとすれば、システム自身の安定性を規定する条件数についてのみであろう。なぜなら、誤差の拡大率としては、この条件数以下であることが数学的に補償されているからである。参考のために、1985 年、1990 年における矩形型の産出係数行列に対し特異値分解定理を適用し条件数を求めた結果を以下に示しておく。

$$\text{Cond}(C^{+85}) = 2.96 \quad (32)$$

$$\text{Cond}(C^{+90}) = 2.90 \quad (33)$$

ここで、Cond とは条件数を表す記号である。また、上付の+85、+90 とはそれぞれ 1985 年、1990 年の MPI を表す記号である。なお、ここでは紙面の都合上、MPI の必要十分条件の証明については割愛させて頂いた。

7. おわりに

本研究では、物量ベースと金銭ベースから成るハイブリッド型 SNA 産業連関フレームを提案することによって、産業横断的なエネルギー価格の変動に伴う物量ベースでの投入構造の不整を回避することができた。また、同時に構造階層化システムを適用することによりエネルギー部門と非エネルギー部門の相互依存関係をより詳細に観察できる分析手法を提案することができた。

本分析手法に 1985 年と 1990 年の基本データを適用し、日本のエネルギー需要構造を実証分析した所、非エネルギー部門の生産波及に伴うエネルギー波及構造形が大きく 3 タイプに分類できることが示された。また、この 5 年間の生産技術構造の変化によって各非エネルギー商品の需要によって誘発されるエネルギー供給産業起源のエネルギー必要量が大きく変化していることが明らかとなった。以上のような解析結果より、データベースの精度に未だ問題はああるもののモデルの有用性はある程度確認することができたと考えている。

6 章においては、廃棄プロセスを取り込んだ不定な投入産出構造を持つ矩形型産業連関フレームについても一般逆行列理論を用いることにより、商品技術仮定の基で定式化が可能であることを示した。今後は、一般逆行列の適用可能性について再度検討を行うとともに、本ハイブリッドモデルの枠組みに一般逆行列を適用し不定な投入産出構造の解明を行っていく。

特に廃棄物部門とエネルギー部門間の相互依存関係の理解は、今後の資源循環政策を進めて行く上で非常に重要になってくることから、この関係を重点的に研究して

【参考文献】

- 1) 近藤美則, 森口祐一: 産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 環境庁, 国立環境研究所, 地球環境研究センター, 1997.
- 2) Leontief, W.: Input-Output Economics, Oxford University Press, New York, 1986.
- 3) Rose, A.: Modeling The Microeconomic Impact of Air Pollution Abatement, Regional Science, Vol.23, No.4, pp.441-459, 1983.
- 4) Chen, C. Y. & Rose, A.: A structural decomposition analysis of energy demand in Taiwan, The Energy Journal, Vol.11, pp. 127-146, 1990.
- 5) Lin, X. & Polenske, K. R.: Input-Output Anatomy of China's Energy Use Changes in the 1980s, Economic Systems Research, Vol.7, No.1, pp.67-84, 1995.
- 6) Weber, C. & Schnabl, H.: Environmentally Important Intersectoral Flows: Insights from Main Contributions Identification and Minimal Flow Analysis, Economic Systems Research, Vol.10, No.4, pp.337-355, 1998.
- 7) Bullard, C. W. & Herendeen, R. A.: The energy cost of goods and services, Energy Policy, Vol.3, pp.268-278, 1975.
- 8) 稲村肇, 石丸久: 環境部門を含んだ SNA 型産業連関表による環境保全政策の評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.12, pp.53-60, 1995.
- 9)~12) 総務庁: 1985 年産業連関表, (財) 全国統計協会連合会, 1989.
- 13)~16) 総務庁: 1990 年産業連関表, (財) 全国統計協会連合会, 1994.
- 17) C.R.Rao & S.K.Mitra: General Inverse of Matrices and its Applications, John Wiley & Sons, Inc, New York (渋谷政昭, 田辺国士訳(1973): 一般逆行列とその応用, 東京図書), 1971.
- 18) 柳井晴夫, 竹内啓: 射影行列・一般逆行列・特異値分解, 東京大学出版会, 1983.

ハイブリッド型 SNA 産業連関表に基づくライフサイクルエネルギーの実証分析

加河 茂美・稲村 肇

本論文は、物量ベース、金銭ベースで表された SNA 産業連関表に基づき、エネルギー供給産業起源のエネルギー必要量を推計するための分析手法を提案している。ハイブリッド型 SNA 産業連関表は、横断的エネルギー価格の変化による物量ベースの投入構造への不整な影響を取り除くために提案されている。さらに、本ハイブリッドモデルに構造階層化システムを適用することによって、非エネルギー部門間の生産波及に伴う直接間接的なエネルギー必要量を推計するための手法を提案している。実際に 1985 年、1990 年の基本データを適用し実証分析を行い、有用な知見を得ている。最後に拡張産業連関モデルの定式化について一般逆行列の適用可能性を示した。

A Numerical Analysis of Life Cycle Energy Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework

By Shigemi KAGAWA and Hajime INAMURA

This paper proposes an analytical tool, based on a hybrid rectangular input-output framework expressed in both monetary terms and physical terms, to estimate the energy requirements contributed by energy-supply industries. The hybrid framework is introduced to relax the effects of different prices among industrial sectors on the input structure in physical terms. By applying hierarchy system to the hybrid model, we conducted a method to estimate the total energy requirements resulting from the production processes among non-energy sectors and analyzed in practical. The application of generalized inverse matrix theory to the extended input-output analysis also is discussed.
