

ハイブリッド型SNA産業連関モデルに基づく エネルギー利用構造の分解分析

加河茂美¹・稲村 肇²

¹学生会員 修(情報) 東北大学大学院 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)
²正会員 工博 東北大学教授 情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)

本論文では、ハイブリッド型SNA産業連関モデルに基づくI-O SDAを開発する。本SDAモデルの特徴は、経済構造が、①エネルギー-需要構造、②非エネルギー-投入構造、③非エネルギー-プロダクトミックス構造、④非エネルギー-生産技術代替性、⑤非エネルギー-生産技術加工度、⑥非エネルギー-最終需要構造の6つのマクロ経済要因に構造分解されており、それぞれの構造変化による内包型エネルギー必要量へのインパクトが推計できる点にある。

実証分析の結果、技術代替性及びエネルギー-需要構造の変化が内包型エネルギー-必要量を押し上げている一方で、技術加工度、プロダクトミックスの変化が省エネルギーの方向に導いていることが明らかとなった。また最終需要構造の変化による影響が、生産技術構造変化による影響の約12倍と実に膨大であることが分かった。

Key Words : hybrid rectangular input-output model, structural decomposition analysis, embodied energy intensities, embodied energy requirements

1. 序論

産業連関モデルの構造分解分析(I-O SDA)は、比較的新しい方法論であり、近年急速に発達している。

SDAの源泉を辿れば、Leontiefが行ったアメリカ経済の構造分析¹⁾²⁾にまで遡ることができる。Leontiefは、1919年から1929年におけるアメリカ経済の構造変化を、産業の生産効率性の変化、投資構造の変化、貯蓄構造の変化として捉え、各構造変化が各産業の相対産出量、相対産出額に与えた影響効果を定量的に評価している。

その後、Leontiefの方法論はChenery and Watanabe³⁾、Carter⁴⁾、Skolka⁵⁾らによって、徐々に拡張されていく。Chenery and Watanabeは、Leontiefのフレームワークに貿易を付け加え、4国(アメリカ、日本、ノルウェー、イタリア)の生産技術構造の比較分析を行っている。また、Carterはアメリカ経済の投資構造の変化、生産技術構造の変化に着目し、典型的な時系列I-O分析を行っている。Skolkaは、オーストリア経済における生産技術構造の変化、最終需要構造の変化、輸出構造の変化、輸入構造の変化が純生産額及び雇用に与えた影響効果を詳細に定量評価している。このような先駆的な研究によって、SDAは徐々に確立されていった。しかしながら、これらの既往研究は、その推計対象が生産額や雇用に對してのみであった。

環境分析に対して、最初にSDAを応用したのはLeontief and Ford⁶⁾である。Leontief and Fordは、1967年から1980年における生産技術構造の変化、最終需要構造の変化が大気汚染物質の内包型排出原単位に与えた影響効果を推計している。その後、Rose et al.⁷⁾⁹⁾が、台湾経済、アメリカ経済におけるエネルギー利用に対してSDAを行っている。Rose et al.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對して大きく貢献した。これら既往の環境分析への応用発展とともに他の分野でもその実証性が確かめられている¹⁰⁾¹⁵⁾。

最近の環境分析へのSDAとしては、Gale¹⁶⁾、Wier¹⁷⁾、Lange¹⁸⁾、Lin and Polenske¹⁹⁾、Dietzenbacher and Los²⁰⁾の研究がある。Galeは、メキシコ経済を対象に中分類(76部門)という比較的細かな部門分類を用いて1990年における内包型二酸化炭素排出量を求め、SDAによって輸入構造、輸出構造、生産技術構造の変化による影響効果を定量的に評価している。Wierは、デンマーク経済を対象にさらに細かな部門分類(117部門)を設定して、大気汚染排出源についてSDAを実行している。Wierの研究は、①部門分類が詳細であること、②1966年から1988年という長期分析を行っていること、③SDAの構造分解が詳細なこと、等の理由から高く評価されている。ほぼ同時期に、Langeは、NRA(Natural Resource Accounts)という環境経済モデルを提案し、実際にイ

インドネシア経済を対象に実証分析している。Lin and Polenske の研究の特徴は、Bullard and Herendeen²¹⁾⁻²⁴⁾によって提案されたハイブリッドモデルに SDA を適用し、産業横断的なエネルギー価格の変動による投入構造への不整な影響を取り除いているだけでなく、生産技術構造をエネルギー投入構造、非エネルギー投入構造とに分解し、さらに詳細な SDA モデルを開発している点にある。理論的な面では、Dietzenbacher and Losによって SDA モデルが一般化され、感度分析まで含めて整理がなされている。

我が国においても、環境負荷発生構造、エネルギー消費構造の要因分解を試みる研究が数多く行われている。例えば、金川ら²⁵⁾⁻²⁶⁾は地域内産業連関表を用いて内包型二酸化炭素排出及び内包型エネルギー必要量を求め、地域別の生産技術構造及び最終需要構造の違いから、地域別の二酸化炭素排出構造、エネルギー消費構造の特徴を識別しようとしている。また、井村ら²⁷⁾は内包型エネルギー原単位に産出量を乗じるという単純な分析モデルを用いて、日本、韓国、中国のエネルギー消費構造の要因分解分析を行い比較評価を行っている。しかしながら、これらの研究は I-O SDA の本質的な問題として良く知られているインデックス・ナンバーの問題、経路依存性の問題を有している。

また、Leontief体系に基づくこれらいずれの既往研究も、プロダクトミックスの仮定（1産業1商品産出）の下でアクティビティー分割原則の建前をとることから、以下のような本質的な問題点を有している。

- ①商品別、産業別の詳細な分析ができない。
- ②副次製品や屑・副産物（結合生産物）の波及構造を明示的に取り扱えない。
- ③プロダクトミックスの影響効果を分析できない。
- ④アクティビティー分割原則の建前から商品ベースの形式をとるため、家計部門を内生化することができない。

特に、将来の環境問題、エネルギー問題を議論する上では、家計部門における廃棄物循環構造が環境と経済に与えるマクロ影響効果を客観的に定量評価することは決定的に重要であり、②と④の問題はこの意味において致命的な問題と言わざるをえない。

この問題に対しては、稲村ら²⁸⁾⁻³¹⁾も指摘するように、Leontief体系をより一般化した SNA 型産業連関モデルの応用が不可欠になるであろう。なぜなら、SNA 体系は、生産波及構造を商品別、産業別に分解することができ、アクティビティー分割原則の建前を取る必要がないからである。これにより、家計部

門を産業部門と見なすことで、容易に家計起源の廃棄物循環構造を内生化することが可能になるであろう。

しかしながら、このような数多くの利点があるにも関わらず、SNA 型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、本研究では第一段階として以下の3点を目的とする。

- (1) 著者らによって既に開発されているハイブリッド型 SNA 産業連関モデルを応用して、I-O SDA を開発する。
- (2) SNA 体系下での I-O SDA を利用して、1985年から1990年における日本のエネルギー利用構造の分解分析を行い、内包型エネルギー必要量とマクロ経済構造との因果関係を定量評価する。
- (3) 最後に、これまでの分析結果から得られた知見を踏まえ、環境問題を含め今後のエネルギー政策のあり方について議論する。

2. ハイブリッドモデルへの展開

(1) SNA の基本構造

商品技術仮定に基づく、SNA 体系における生産均衡式は、下式(1)、(2)のように定式化することができる³²⁾。

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

$$g = (I - C^{-1}B)^{-1}C^{-1}f \quad (2)$$

ここで、

- q : 商品別国内総生産額列ベクトル
- g : 産業別国内総生産額列ベクトル
- f : 外生的な商品別最終需要列ベクトル
- B : SNA 体系における投入係数行列
- C : SNA 体系における産出係数行列
- I : 単位行列

上式(1)、(2)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、産業別の生産波及効果を推計することが可能となる。また、生産的な経済状況の下では、式(1)、(2)をそれぞれ BC^{-1} 、 $C^{-1}B$ の近傍でオイラー展開することができ、各波及段階別の生産波及効果を推計することも可能である。

$$q = f + BC^{-1}f + (BC^{-1})^2f + \dots = \sum_{L=0}^{\infty} (BC^{-1})^L f \quad (3)$$

$$g = C^{-1}f + C^{-1}BC^{-1} + (C^{-1}B)^2C^{-1}f + \dots = \sum_{L=0}^{\infty} (C^{-1}B)^L C^{-1}f \quad (4)$$

ここで、Lは生産波及段階を示す変数である。

(2) ハイブリッドモデルの必要性

従来の金銭ベースで表された産業連関モデルでは、中間財の投入価格の変動によって、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。この中間財の投入価格の変動は、取引規模あるいは生産者側との取引契約といった不確実性を持つ経済要因の結果である。

特に、エネルギー価格の産業横断的な変動は、エネルギー投入必要量更には環境負荷の発生量に大きな差異を与えることになる。推計上のこの問題点は、Bullard & Herendeenによっても指摘されている^{21)・23)}。また、SDA等の比較静的なアプローチをとるときには、時系列的なエネルギー価格の変動が推計上差異を与えることになるであろう。この問題については、著者らによって指摘されている³³⁾。

図-1、2は、実際に1990年産業連関表物量表より、一般炭・亜炭及び原料炭の産業横断的なエネルギー価格の変動を示したものである。図-1の一般炭・亜炭の価格を見ると産業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(ここでの平均価格は各産業部門への投入の平均価格を意味している)。またその一方で、セメント製品(約10,000円/トン)、塗料(約7,600円/トン)といった産業部門は、平均価格からの大きな乖離を示している。これらの乖離は、I-Oシステムの中で一般炭・亜炭の生産波及がセメント製品、塗料を介するたびに、乗数効果となって物量ベースの投入構造をそれぞれ過大評価、過小評価させることを意味している。図-2の原料炭の価格を見ると、20,000円前後のグループと10,000円前後のグループに分かれており、前述した同様の理由により物量ベースの投入構造に大きな差異を与えることが懸念される。そこで、本研究ではそのような差異を極力なくすため、金銭ベースのみのI-O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I-Oモデルへの展開を試みる。次節では、その定式化について説明する。

(3) ハイブリッドモデルの定式化

今、SNA形式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(100

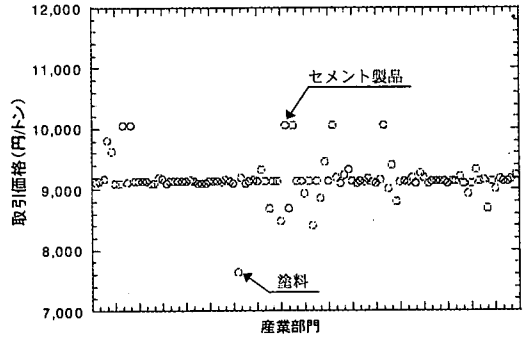


図-1 産業横断的な一般炭・亜炭のエネルギー価格

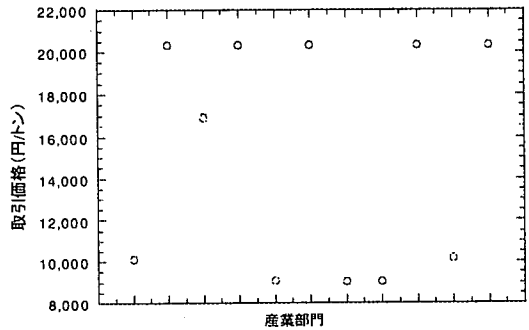


図-2 産業横断的な原料炭のエネルギー価格

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)。本研究では、ここで求められたSNAより、ハイブリッド形式の投入係数行列Bと産出係数行列Cを以下のように再定式化する。なお、これ以降評価単位である100万円をMY, TcalをTCと略記する。

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

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

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)

また、式(6)の右辺に示される t は転置を表している。上式(5)、(6)をそれぞれ式(1)、(2)に代入することにより、外生的な最終需要 f に伴って波及する商品別産出量(q)及び産業別産出量(g)を推計することが可能となる。また、上式(5)、(6)をそれぞれ式(3)、(4)に代入することにより中間投入必要量を波及段階別に詳細に検証することもできる。この分析手法においては、ある生産波及段階 L におけるエネルギー商品、非エネルギー商品の中間投入分を産出するために必要とされる間接的なエネルギー商品は、生産波及段階 $L+1$ 以降において誘発されることになる。

しかしながら、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的に必要な石油製品、電力、ガスといったエネルギー投入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中間投入を考えた場合にも同様のエネルギー商品の間接的な生産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量よりも間接的なエネルギー投入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、前述した網羅的なエネルギー波及構造を評価するために構造階層化システムを導入する。産業連関モデルに構造階層化システムを適用した研究は、その源泉として Miyazawa and Masegi³⁴⁾によって提案されている所得分配モデルに始まり、最近においては、Sonis and Hewings³⁵⁾⁻³⁶⁾によって地域間産業連関モデルの枠組みにまで拡張され、地域間生産波及構造の特性に関する様々な実証分析が行われている。しかしながら、これらの研究は伝統的な商品×商品の産業連関フレームワークに基づくものであり、本研究で採用する SNA タイプのフレームワークに正確に対応するものではない。従って本研究では、SNA のフレームワークに沿った構造階層化システムの適用を試み、エネルギー供給産業起源のエネルギー利用構造の定式化を行う。

まず、式(5)、(6)から与えられる B 、 C^{-1} を下式(7)、(8)のように分解する。

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$B \qquad B_e \qquad B_{nc}$

$$\begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$C^{-1} \qquad [C^{-1}]_e \qquad [C^{-1}]_{nc}$

ここで、 C^{-1} は商品技術仮定の基でマーケットシェア構造を表しており、以下のような小行列で構成されている。

- $[C^{-1}]_{11}$: エネルギー供給産業によって生産されるエネルギー商品のマーケットシェア小行列
- $[C^{-1}]_{12}$: エネルギー供給産業によって生産される非エネルギー商品のマーケットシェア小行列
- $[C^{-1}]_{21}$: 非エネルギー産業によって生産されるエネルギー商品のマーケットシェア小行列
- $[C^{-1}]_{22}$: 非エネルギー産業によって生産される非エネルギー商品のマーケットシェア小行列

上式(7)、(8)をそれぞれ式(1)、(2)に代入し、非エネルギー部門に関する産業連関構造 $B_{nc}[C^{-1}]_{nc}$ 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下式(9)、(10)のような生産均衡式を導出することができる。この証明は、付録 I に示す。

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

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

ここで、

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

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

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

上式(9)、(10)より、非エネルギー部門間の産業連関に伴う産業別、商品別の生産波及効果を推計することが可能となる。特に、エネルギー部門に関する生産波及効果を求めることにより非エネルギー部門間の産業連関に伴うエネルギー必要量を推計することができる。

式(10)の $(L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1})(L_1 B_e [C^{-1}]_{nc} + I)$ を R_g という記号で表示すると、

$$E|_{\text{ESI}} = W(I - B_{\text{ne}}[C^{-1}]_{\text{ne}})^{-1}f \quad (18)$$

$$R_g = (L_2B[C^{-1}]_e + C^{-1})(L_1B_e[C^{-1}]_{\text{ne}} + I) \quad (14)$$

が得られ、 R_g はさらに下式(15)のように4つの小行列で表すことができる。

$$R_g = \begin{bmatrix} (R_g)_{11} & (R_g)_{12} \\ (R_g)_{21} & (R_g)_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

ここで、

$(R_g)_{11}$: エネルギー部門の最終需要によって誘発するエネルギー供給産業起源のエネルギー産出小行列
 $(R_g)_{12}$: 非エネルギー部門間の経済取引によって誘発するエネルギー供給産業起源のエネルギー産出小行列

$(R_g)_{21}$: エネルギー部門の最終需要によって誘発する非エネルギー産業起源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経済取引によって誘発する非エネルギー産業起源の非エネルギー産出小行列

このとき、非エネルギー部門間の経済取引によって直接間接的に誘発されるエネルギー供給産業起源のエネルギー産出係数行列に焦点を当てると、 $(R_g)_{12}$ に関して式(16)のように再定式化することができる。

$$W = [0 \quad ; \quad (R_g)_{12}] \quad (16)$$

さらに、上式(16)は、全部門数を n 、エネルギー部門数を m とすると (m, n) 型行列として下式(17)のように行列表示することができる。

$$W = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & \{ (R_g)_{12} \}_{11} & \cdots & \{ (R_g)_{12} \}_{1, n-m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \{ (R_g)_{12} \}_{m, 1} & \cdots & \{ (R_g)_{12} \}_{m, n-m} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$\{ (R_g)_{12} \}_{ij}$ とは、非エネルギー商品 j の生産波及に伴い直接間接的に必要とされるエネルギー供給産業起源 i のエネルギー必要量を示しており、 W はまさに『非エネルギー商品の生産波及に伴う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。この W を用いることによって、非エネルギー部門間の経済取引によって直接間接的に誘発される内包型エネルギー必要量を推計することが可能となる。式(10)、(16)を用いて、内包型エネルギー必要量 E を定式化すると下式(18)のようになる。

ここで、下付の ESI は、エネルギー供給産業起源を示す記号である。

最終需要 f も生産技術構造と同様にエネルギー部門(e)、非エネルギー部門(ne)から成るハイブリッド形式で表されており、下式(19)のように定式化することができる。

$$f = [f_1(\text{TC}) \quad ; \quad f_2(\text{MY})]^T \quad (19)$$

f_1 はエネルギー商品に関する最終需要行ベクトル ($1 \times m$) を示しており、評価単位は Tcal で表される。また、 f_2 は、非エネルギー商品に関する最終需要行ベクトル ($1 \times n-m$) を示しており、評価単位は当然 100 万円で示される。特に、 f_1 の最終需要成分として家計消費支出について見ると、これはまさに家計部門が直接購入する電力、ガス、灯油、ガソリンといったエネルギー必要量を表している。本研究では、エネルギーの最終需要分として、この家計消費分のみを考慮する。ここで、式(19)をさらに下式(20)のように分解する。

$$f = \underbrace{[f_1(\text{TC}) \quad ; \quad 0]^T}_{f_e} + \underbrace{[0 \quad ; \quad f_2(\text{MY})]^T}_{f_{\text{ne}}} \quad (20)$$

式(18)に、各非エネルギー商品に関するベクトル成分が 1 である基準化された最終需要 f_{ne}^s を代入することによってエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー原単位を推計することができる。下式(21)がその推計式である。

$$E^s|_{\text{ESI}} = W(I - B_{\text{ne}}[C^{-1}]_{\text{ne}})^{-1}f_{\text{ne}}^s \quad (21)$$

ここで、上付の s は、基準化を示す記号である。さらに、エネルギー供給産業起源の内包型総エネルギー必要量に関しては、実際の非エネルギー部門の最終需要 f_{ne}^a を式(18)に代入することによって推計することができる。

$$E^a|_{\text{ESI}} = W(I - B_{\text{ne}}[C^{-1}]_{\text{ne}})^{-1}f_{\text{ne}}^a \quad (22)$$

ここで、上付の a は、実際の最終需要を示す記号である。また、式(3)、(4)同様に式(21)と(22)を非エネルギー部門間の産業連関システム $B_{\text{ne}}[C^{-1}]_{\text{ne}}$ に関してオイラー展開すると、下式(23)、(24)が得られ、

非エネルギー部門間の各生産波及段階 L における内包型エネルギー必要量を求めることができる。

$$E^s|_{ESI} = \sum_{L=0}^{\infty} W(B_{ne}[C^{-1}]_{ne})^L f_{ne}^s \quad (23)$$

$$E^a|_{ESI} = \sum_{L=0}^{\infty} W(B_{ne}[C^{-1}]_{ne})^L f_{ne}^a \quad (24)$$

さらに、式(20)における家計消費 f_{ne}^a に伴う内包型エネルギー必要量は、式(15)における $(R_g)_{11}$ を用いれば容易に計測できる。 $(R_g)_{11}$ は、エネルギー商品の外生的な最終需要に伴うエネルギー供給産業起源の直接間接的なエネルギー需要構造を表しており、下式(25)のように行列表示することができる。

$$Z = \begin{bmatrix} \{(R_g)_{11}\}_{11} & \dots & \{(R_g)_{11}\}_{1,m} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \{(R_g)_{11}\}_{m,1} & \dots & \{(R_g)_{11}\}_{m,m} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

この Z と家計消費分 f_{ne}^a とから、家計部門のエネルギー利用に伴う直接間接的なエネルギー供給産業起源のエネルギー必要量は、下式(26)のように推計することができる。

$$E_h|_{ESI} = Z \cdot f_{ne}^a \quad (26)$$

ここで、下付の h は家計部門を表す記号である。

3. SDA モデルの開発

(1) SDA モデルの考え方

本研究における SDA モデルのターゲットは、内包型原単位及び内包型エネルギー必要量にある。直感的に経済構造の変化とともにエネルギー利用構造が変わっていくことは容易に予想できる。本研究ではこの経済構造の変化をマクロ経済要因によって定式化し、内包型エネルギー必要量を導出することによって、両者の相互依存関係を時系列分析する。

この関係式の導出の作業は既に前章のハイブリッドモデルの所でなされており、本 SDA モデルはその特徴がそのまま活かされている形をとっている。本ハイブリッドモデルの特徴は、前章を概観しても分かるように、経済構造がエネルギー供給産業起源のエネルギー需要構造 W、非エネルギー投入構造 B_{ne} 、非エネルギーマーケットシェア構造 $[C^{-1}]_{ne}$ 、非エネルギー最終需要構造 f_{ne} 等詳細なマクロ経済要因に分解されている点であり、本 SDA モデルで

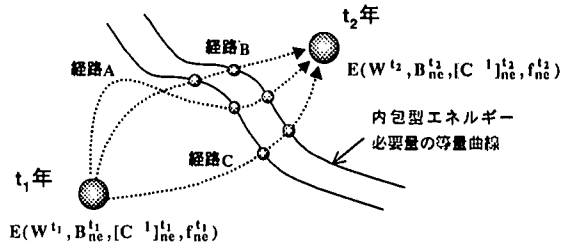


図-3 SDA モデルの概念図

は、これらマクロ要因の時系列変化が内包型エネルギー必要量に及ぼす影響効果を推計することが可能となっている。

前述の各構造変化に関して、 t_0 年から t_n 年におけるタイムスパン ($t_0 \Rightarrow t_1 \Rightarrow \dots \Rightarrow t_n$) を考えると、内包型エネルギー必要量の変化は理論的には式(27)のように線積分の形で表現することができるであろう。

$$\Delta E|_{ESI} = \int_C W \cdot (I - B_{ne}[C^{-1}]_{ne})^{-1} \cdot f_{ne} dt \\ = \underbrace{\int_{C_1: t_0 \Rightarrow t_1} C_1 * dt}_{C_1: t_0 \Rightarrow t_1} + \underbrace{\int_{C_2: t_1 \Rightarrow t_2} C_2 * dt}_{C_2: t_1 \Rightarrow t_2} + \underbrace{\int_{C_3: t_2 \Rightarrow t_3} C_3 * dt}_{C_3: t_2 \Rightarrow t_3} + \dots + \underbrace{\int_{C_n: t_{n-1} \Rightarrow t_n} C_n * dt}_{C_n: t_{n-1} \Rightarrow t_n} \quad (27)$$

ここで、* は $W \cdot (I - B_{ne}[C^{-1}]_{ne})^{-1} \cdot f_{ne}$ を表している。図-3 は、式(27)における右辺第二項の概念図を示したものである。理論的には各タイムスパンにおける経済構造の変化が内包型エネルギー必要量に与えるインパクトを推計することが可能である。しかしながら、現実問題として式(27)の真なる線積分経路を発見することは不可能に近く、何らかの成長経路を想定して最尤化する方法を取らざるおえない。本研究では、エネルギー需要構造、非エネルギー投入構造、非エネルギープロダクトミックス構造、非エネルギー最終需要構造に関する構造分解式から得られる平均効果を求めることによって、その成長経路と仮定する。次節以降、このような基本的な考え方を踏まえ、実際に SDA モデルの定式化を行っていく。

(2) 内包型エネルギー原単位の SDA

エネルギー需要構造 W、非エネルギー投入構造 B_{ne} 、非エネルギーマーケットシェア構造 $[C^{-1}]_{ne}$ が内包型エネルギー原単位に与える影響効果を推計するための SDA モデルを開発する。

今、 $[C^{-1}]_{ne}$ を単位行列と仮定すると、式(21)、(22)はそれぞれ $W(I - B_{ne})^{-1} f_{ne}^s$ 、 $W(I - B_{ne})^{-1} f_{ne}^a$ と表すことができる。このとき、 B_{ne} は通常の Leontief 体系における非エネルギー部門の技術係数行列に等しくなる。これは、産業が主生産物のみを

生産しており、産業自身を商品と見なすことができることを意味している。ここでは、プロダクトミックスの問題は明らかに存在しない。しかしながら、 $[C^{-1}]_{ne}$ は必ずしも単位行列に等しくなる保証はなく、各産業の投入構造は副次製品の生産技術構造を通して変化するはずである。さらに、その投入構造の変化は、産業連関システムを通して、エネルギー原単位や総エネルギー必要量にも影響を与えるであろう。以上より、この $[C^{-1}]_{ne}$ はまさにプロダクトミックス構造の度合いを表現するものと言える。本SDAモデルでは、 $[C^{-1}]_{ne}$ の影響効果を求めることで、従来のSDAモデルでは計測が難しかったプロダクトミックス構造変化の影響効果までも計測が可能となっている。

今、 t_1 年から t_2 年にかけて経済構造が時系列変化したことを想定し、SNA体系におけるSDAモデルの定式化を行う。ここでは当然、 $t_1 < t_2$ という関係が成り立つ。 t_1 年、 t_2 年における経済構造下での内包型エネルギー原単位は、式(21)からそれぞれ式(28)、(29)のように定式化できる。

$$E^s|_{ESI}^{t_1} = W^{t_1} (I - B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1})^{-1} f_{ne}^{t_1} \quad (28)$$

$$E^s|_{ESI}^{t_2} = W^{t_2} (I - B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2})^{-1} f_{ne}^{t_2} \quad (29)$$

上式(28)、(29)より、 t_1 年から t_2 年にかけての内包型エネルギー原単位の時系列変化量を求め、その構造分解式を考えると、下式(30)のように2本の分解式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{ESI} &= \Delta W L_3^{t_1} + W^{t_2} \Delta L_3 \\ &= \Delta W L_3^{t_2} + W^{t_1} \Delta L_3 \end{aligned} \quad (30)$$

ここで、

$$L_3^{t_1} = (I - B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1})^{-1} \quad (31)$$

$$L_3^{t_2} = (I - B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2})^{-1} \quad (32)$$

上式(30)の右辺における $\Delta W L_3^{t_1}$ 、 $\Delta W L_3^{t_2}$ は、エネルギー需要構造の変化が内包型エネルギー原単位に与える影響効果を表している。同様に、 $W^{t_1} \Delta L_3$ 、 $W^{t_2} \Delta L_3$ は非エネルギー生産技術構造がエネルギー原単位に与える影響効果を表している。さらに、非エネルギー生産技術構造変化 ΔL_3 の影響効果は、非エネルギー投入構造の変化 ΔB_{ne} と非エネルギープロダクトミックスの変化 $\Delta [C^{-1}]_{ne}$ の効果とに分解することができる。

$$\begin{aligned} \Delta L_3 &= (I - B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2})^{-1} - (I - B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1})^{-1} \\ &= L_3^{t_1} B_{ne}^{t_1} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} + L_3^{t_1} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} L_3^{t_2} \\ &= L_3^{t_1} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_1} L_3^{t_2} + L_3^{t_1} B_{ne}^{t_2} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} \end{aligned} \quad (33)$$

として定式化される。エネルギー需要構造の変化、非エネルギー投入構造の変化、非エネルギープロダクトミックスの変化についての補足説明を付録Ⅱに示すので参照されたい。また、非エネルギー生産技術構造の変化 ΔL_3 は、生産技術特性の側面から、生産技術代替性の変化と生産技術加工度の変化とに分解することも可能である。

$$\begin{aligned} \Delta L_3 &= L_3^{t_1} \Delta (B_{ne} [C^{-1}]_{ne}) L_3^{t_2} \\ &= L_3^{t_1} (B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} - B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1}) L_3^{t_2} \\ &= L_3^{t_1} \left(\underbrace{B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} \cdot \frac{\sum_i B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1}}{\sum_i B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2}} - B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1}}_{\Delta D_S : \text{非エネルギー代替性変化}} \right) L_3^{t_2} \\ &\quad + L_3^{t_1} \left(\underbrace{B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} - B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} \cdot \frac{\sum_i B_{ne}^{t_1} [C^{-1}]_{ne}^{t_1}}{\sum_i B_{ne}^{t_2} [C^{-1}]_{ne}^{t_2}}}_{\Delta D_T : \text{非エネルギー加工度変化}} \right) L_3^{t_2} \end{aligned} \quad (34)$$

ここで、非エネルギー加工度変化とは非エネルギー商品生産に関連する資本集約度、労働集約度の変化が生産活動に与える影響を表しており、また、非エネルギー代替性変化とは、非エネルギー商品生産に関連する原材料の代替性の変化による影響を表している。

式(33)、(34)をそれぞれ式(30)の右辺に代入することによって、合計で6本の構造分解式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{ESI} &= \Delta W L_3^{t_1} + W^{t_2} L_3^{t_2} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_1} L_3^{t_2} + W^{t_2} L_3^{t_1} B_{ne}^{t_2} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} \\ &= \Delta W L_3^{t_1} + W^{t_2} L_3^{t_2} B_{ne}^{t_2} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} + W^{t_2} L_3^{t_1} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} L_3^{t_2} \\ &= W^{t_1} L_3^{t_1} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_1} L_3^{t_2} + W^{t_1} L_3^{t_1} B_{ne}^{t_2} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} + \Delta W L_3^{t_2} \\ &= W^{t_1} L_3^{t_1} B_{ne}^{t_2} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^{t_2} + W^{t_1} L_3^{t_1} \Delta B_{ne} [C^{-1}]_{ne}^{t_2} L_3^{t_2} + \Delta W L_3^{t_2} \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{ESI} &= \Delta W L_3^{t_1} + W^{t_2} \Delta D_S + W^{t_2} \Delta D_T \\ &= \Delta W L_3^{t_2} + W^{t_1} \Delta D_S + W^{t_1} \Delta D_T \end{aligned} \quad (36)$$

従って、式(35)、(36)より、生産技術構造変化の平

均効果 $\Delta E^s|_{\text{ESI}}^*$ を、下式(37), (38)のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{\text{ESI}}^* &= 1/2(\Delta W L_3^1 + \Delta W L_3^2) \\ &+ 1/4(W^{12} L_3^1 \Delta B_{ne} + W^{11} L_3^1 \Delta B_{ne}) \left([C^{-1}]_{ne}^{11} L_3^2 + [C^{-1}]_{ne}^{12} L_3^1 \right) \\ &+ 1/4(W^{12} L_3^1 + W^{11} L_3^1) \left(B_{ne}^{12} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^2 + B_{ne}^{11} \Delta [C^{-1}]_{ne} L_3^1 \right) \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{\text{ESI}}^* &= 1/2(\Delta W L_3^1 + \Delta W L_3^2) \\ &+ 1/2(W^{12} \Delta D_S + W^{11} \Delta D_S) \\ &+ 1/2(W^{12} \Delta D_T + W^{11} \Delta D_T) \end{aligned} \quad (38)$$

式(37)の右辺第一項は、エネルギー需要構造の変化による平均効果を表しており、第二項、第三項はそれぞれ非エネルギー投入構造の変化、非エネルギープロダクトミックスの変化による平均効果を表している。また、式(38)の右辺第一項は、前述したエネルギー需要構造の変化による平均効果に等しく、第二項、第三項はそれぞれ非エネルギー代替性変化、非エネルギー生産技術変化による平均効果を表している。当然、式(37)と(38)は、以下に示すように成分表示することもできる。

$$\begin{aligned} \Delta E^s|_{\text{ESI}}^* &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta W)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta B_{ne})} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta [C^{-1}]_{ne})} \\ &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta W)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta D_S)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta D_T)} \end{aligned} \quad (39)$$

ここで、 $e_{ij}^{(\Delta W)}$ は、エネルギー需要構造変化が、『非エネルギー商品 j の生産波及を通して直接間接的に誘発されるエネルギー供給産業起源 i の内包型エネルギー原単位』に与える影響効果を表している。また、 $e_{ij}^{(\Delta B_{ne})}$ 、 $e_{ij}^{(\Delta [C^{-1}]_{ne})}$ は、それぞれ非エネルギー投入構造の変化、非エネルギープロダクトミックスの変化の影響効果を表している。同様に、 $e_{ij}^{(\Delta D_S)}$ 、 $e_{ij}^{(\Delta D_T)}$ は、それぞれ非エネルギー代替性の変化、非エネルギー加工度の変化が、『非エネルギー商品 j の生産波及を通して直接間接的に誘発されるエネルギー供給産業起源 i の内包型エネルギー原単位』に与える影響効果を表している。

ここでは、内包型エネルギー原単位の SDA ということで外生的な最終需要の構造は全く関係しなかった訳であるが、総エネルギー必要量を求める際にはこの最終需要構造が大きな影響を与える。次節では、この最終需要構造の分解も含めた総エネルギー必要量の SDA の定式化について述べる。

(3) 総エネルギー必要量の SDA

総エネルギー必要量の構造分解式は、基本的に前節の手法を拡張することによって定式化することができる。まず、 t_1 年、 t_2 年における経済構造下での総エネルギー必要量は、式(22)から以下のように推計することが可能である。

$$E^a|_{\text{ESI}}^{t1} = W^{11} L_3^1 \hat{f}_{ne}^{t1} \quad (40)$$

$$E^a|_{\text{ESI}}^{t2} = W^{12} L_3^2 \hat{f}_{ne}^{t2} \quad (41)$$

ここで、 \hat{f}_{ne}^{t1} 、 \hat{f}_{ne}^{t2} は、 t_1 年、 t_2 年における最終需要を対角成分に持つ対角行列を表している。上式(40)、(41)から、その時系列的な成長経路を考えると、下式(40)に示されるような 6 本の構造分解式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \Delta E^a|_{\text{ESI}} &= \Delta W L_3^1 \hat{f}_{ne}^{t1} + W^{12} L_3^2 \Delta \hat{f}_{ne} + W^{12} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t2} \\ &= \Delta W L_3^1 \hat{f}_{ne}^{t1} + W^{12} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t1} + W^{12} L_3^2 \Delta \hat{f}_{ne} \\ &= W^{11} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t1} + \Delta W L_3^1 \hat{f}_{ne}^{t1} + W^{12} L_3^2 \Delta \hat{f}_{ne} \\ &= W^{11} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t1} + W^{11} L_3^2 \Delta \hat{f}_{ne} + \Delta W L_3^2 \hat{f}_{ne}^{t2} \\ &= W^{11} L_3^1 \Delta \hat{f}_{ne} + \Delta W L_3^1 \hat{f}_{ne}^{t2} + W^{12} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t2} \\ &= W^{11} L_3^1 \Delta \hat{f}_{ne} + W^{11} \Delta L_3 \hat{f}_{ne}^{t2} + \Delta W L_3^2 \hat{f}_{ne}^{t2} \end{aligned} \quad (42)$$

また、式(33)、(34)で示された非エネルギー生産技術構造に関する分解式を式(42)に代入することにより、合計で 18 本の構造分解式を得ることができる。

本研究では、外生的な最終需要構造についても、下式(43)に示されるように輸出構造、家計外消費支出構造、家計消費支出構造、国内総固定資本形成構造(公的)、国内総固定資本形成構造(民間)、その他構造の 6 つに分解し、より詳細な構造分解式を得ている。

$$f_{ne} = f_{exp} + f_{noc} + f_{hic} + f_{pub} + f_{pri} + f_{ctc} \quad (43)$$

ここで、

f_{exp} : 輸出を成分に持つ列ベクトル

f_{noc} : 家計外消費支出を成分に持つ列ベクトル

f_{hic} : 家計消費支出を成分に持つ列ベクトル

f_{pub} : 国内公的固定資本形成を成分に持つ列ベクトル

f_{pri} : 国内民間固定資本形成を成分に持つ列ベクトル

f_{ctc} : その他の最終需要を成分に持つ列ベクトル

またさらに、 $t_1 \Rightarrow t_2$ のタイムスパンにおける時系列的な最終需要の構造特性変化を考えると、最終需要のレベル変化とパターン変化とに分解することが

可能である。その分解式を示すと下式(44)のようになる。

$$\Delta \hat{f}_{nc} = \underbrace{\left(\hat{f}_{nc}^{12} - \hat{f}_{nc}^{12} \cdot \frac{\sum_i f_{nc}^{11}}{\sum_i f_{nc}^{12}} \right)}_{\text{レベル変化}} + \underbrace{\left(\hat{f}_{nc}^{12} \cdot \frac{\sum_i f_{nc}^{11}}{\sum_i f_{nc}^{12}} - \hat{f}_{nc}^{11} \right)}_{\text{パターン変化}} \quad (44)$$

式(43)の各最終需要項目は、当然、式(44)に当てはめることが可能である。ゆえに、それぞれ最終需要項目別にレベル変化、パターン変化の分解ができ、最終需要構造については、合計で12本の構造式を手に入れることができる。全体の最終需要構造を含めれば13本ということになる。式(33), (34), (42)から得られた18本の構造分解式を考えると、我々は最終的に合計で234本の構造分解式を得ることができる。この全ての構造分解式は、紙面の都合上、割愛させて頂く。またここで、今後の式展開上、レベル変化、パターン変化をそれぞれ上付記号の1とpで表すこととする。つまり、例えば、輸出構造のパターン変化は Δf_{exp}^p で表される。

特に、 ΔW , Δf_{nc} , ΔB_{nc} , $\Delta[C^{-1}]_{nc}$, ΔD_S , ΔD_T に関する構造分解式より、前節同様に平均効果を求めると、

$$\begin{aligned} \Delta E_{ESI}^* &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta W)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta B_{nc})} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta[C^{-1}]_{nc})} \\ &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{exp}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{exp}^p)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{hoc}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{hoc}^p)} \\ &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{hic}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{hic}^p)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{pub}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{pub}^p)} \\ &= \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{pri}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{pri}^p)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{etc}^1)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta f_{etc}^p)} \end{aligned} \quad (45)$$

あるいは、

$$\Delta E_{ESI}^* = \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta W)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta D_S)} + \sum_{j=1}^{n-m} \sum_{i=1}^m e_{ij}^{(\Delta D_T)} + \dots \quad (46)$$

として定式化することができる。ここでの $e_{ij}^{(\Delta \cdot)}$ は、式(39)でも前述したように、それぞれの構造変化が、『非エネルギー商品jの生産波及を通して直接間接的に誘発されるエネルギー供給産業起源iの総エネルギー必要量』に与える影響効果を表している。

以上より、エネルギー需要構造、非エネルギー投

入構造、非エネルギープロダクトミックス構造、最終需要構造、非エネルギー代替性、非エネルギー加工度等に関する詳細なSDAモデルを開発することができた。次章では、本SDAモデルに1985年、1990年の基本データを適用し、日本のエネルギー消費構造の分解分析を行う。

4. 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)³⁷⁾
- ②1985年産業連関表V表(列108×行108)³⁸⁾
- ③1985年産業連関表物量表³⁹⁾
- ④1985年産業連関表屑・副産物発生表⁴⁰⁾
- ⑤1990年産業連関表X表(列527×行411)⁴¹⁾
- ⑥1990年産業連関表V表(列108×行108)⁴²⁾
- ⑦1990年産業連関表物量表⁴³⁾
- ⑧1990年産業連関表屑・副産物発生表⁴⁴⁾
- 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)⁴⁵⁾

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1985年、1990年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、エネルギー商品に関しては、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。また、海外から輸入される非エネルギー商品についても同様に日本国内で生産された形をとっている。従って本研究では、輸入構造の変化は生産技術の変化の中に包含されており、輸入構造の変化による影響については明示的に追跡していない。このように本研究の焦点は生産技術の変化にあり、生産技術を規定する生産要素の投入構成比の変化に目が向けられていることを付け加えて述べておく。屑・副産物の発生・投入分についても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。

また、本研究で対象にしたエネルギー部門は付録Ⅲに示すとおりであり、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。つまり、前述したハイブリッドモデル及び SDA モデルにおける変数 n 、 m がそれぞれ 94 と 6 に等しくなる。

(2) 内包型エネルギー原単位の構造分解：1985-1990

前節(1)に従って得られる 1985 年、1990 年のデータセットを本 SDA モデルに適用し、各非エネルギー商品の内包型エネルギー原単위를構造分解した結果が表-3 である。

著者らによって、この 5 年間におけるエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー原単位が大きく変動していることが示された訳であるが³⁰⁾、表-3 の結果を見ることで、マクロ経済特性の観点から、その主要な原因を識別することが可能となる。例えば、この 5 年間で最も大きく増加した化学肥料(No.30)について見ると、投入構造、技術加工度の変化によって、それぞれ 11.415Gcal、9.776Gcal のエネルギー必要量が節減されているにも関わらず、その一方でエネルギー需要構造の変化に伴い 34.502Gcal ものエネルギー必要量が増加していることが分かる。その結果としてエネルギー必要量が 23.473Gcal も増加していることが理解できよう。表-1 は、表-3 に示される SDA の結果をエネルギー供給産業(ESI1~ESI6)の寄与別に示したものであるが、この化学肥料の欄を見ると、主に原油・天然ガス産業(ESI2)と石油製品産業(ESI3)の寄与によってエネルギー必要量が大きく押し上げられていることが分かる。また、これがエネルギー需要構造の変化によって主に引き起こされたことが理解できよう。次いで、増加が目立

表-1 エネルギー供給産業起源別の SDA-I (Gcal/100 万円)

主要部門	ESI	内包型エネルギー原単位への影響効果					寄与度
		W	Bne	[C ¹] _{ne}	DS	DT	
No.30 化学肥料	ESI1	-0.22	-0.90	-0.03	-0.07	-0.86	-1.16
	ESI2	17.05	-5.20	0.25	-0.70	-4.25	12.10
	ESI3	14.57	-3.77	0.23	-0.61	-2.92	11.01
	ESI4	5.98	0.07	0.02	-0.01	0.10	6.07
	ESI5	-3.14	-1.59	-0.07	0.13	-1.80	-4.80
	ESI6	0.29	-0.03	-0.00	0.00	-0.04	0.25
	合計	34.50	-11.42	0.39	-1.25	-9.78	23.47
No.75 航空輸送	ESI1	-0.05	-0.01	0.00	0.05	-0.06	-0.06
	ESI2	7.97	-0.21	0.00	-0.13	-0.08	7.76
	ESI3	6.02	-0.14	0.00	-0.09	-0.05	5.88
	ESI4	-0.03	0.01	0.00	0.05	-0.04	-0.02
	ESI5	0.48	-0.16	0.01	-0.09	-0.06	0.32
	ESI6	0.02	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.01
	合計	14.40	-0.52	0.01	-0.22	-0.29	13.89
No.74 水運	ESI1	-0.16	0.02	0.02	0.01	0.04	-0.11
	ESI2	5.02	0.73	-0.11	-0.90	1.53	5.65
	ESI3	3.43	0.59	-0.10	-0.82	1.31	3.93
	ESI4	-0.06	-0.00	0.02	0.00	0.01	-0.04
	ESI5	-0.11	0.17	0.01	0.02	0.16	0.07
	ESI6	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03
	合計	8.15	1.52	-0.15	-1.69	3.06	9.52

表-2 エネルギー供給産業起源別の SDA-II (Gcal/100 万円)

主要部門	ESI	内包型エネルギー原単位への影響効果					寄与度
		W	Bne	[C ¹] _{ne}	DS	DT	
No.46 非鉄金属 製錬	ESI1	-3.08	0.12	0.07	1.54	-1.36	-2.89
	ESI2	-10.37	-2.80	0.03	1.02	-3.79	-13.14
	ESI3	-6.90	-2.24	0.04	0.22	-2.42	-9.11
	ESI4	-1.60	0.22	0.04	1.11	-0.85	-1.34
	ESI5	-14.26	-0.65	-0.10	2.47	-3.22	-15.01
	ESI6	-0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.02	-0.01
	合計	-36.20	-5.37	0.07	6.36	-11.66	-41.50
No.43 鉄鋼・ 粗鋼	ESI1	2.16	-9.40	0.13	4.00	-13.27	-7.11
	ESI2	1.86	-4.45	0.08	-0.45	-3.93	-2.51
	ESI3	-0.31	-2.98	0.05	-0.66	-2.28	-3.25
	ESI4	1.97	-7.04	0.09	3.05	-10.00	-4.98
	ESI5	0.96	-3.17	0.05	0.90	-4.03	-2.17
	ESI6	0.01	-0.03	0.00	0.00	-0.03	-0.02
	合計	6.64	-27.08	0.40	6.85	-33.54	-20.04
No.44 鋼材	ESI1	1.00	-7.83	-0.66	3.91	-12.39	-7.49
	ESI2	1.67	-3.48	-0.10	-0.12	-3.46	-1.90
	ESI3	-0.38	-2.29	-0.04	-0.37	-1.96	-2.71
	ESI4	0.33	-5.91	-0.50	2.97	-9.38	-6.09
	ESI5	1.36	-2.51	-0.16	0.96	-3.63	-1.31
	ESI6	0.19	-0.04	0.00	-0.01	-0.03	0.15
	合計	4.17	-22.05	-1.46	7.34	-30.85	-19.35

つものとしては、航空輸送(No.75)、水運(No.74)の輸送サービス系が示されている。これらの部門は、生産技術構造変化によるエネルギー低減はほとんど見られず、強いてあげるとすれば、水運の技術代替効果が-1.691Gcal とわずかな減少傾向を示しているだけであり、化学肥料と同様にエネルギー需要構造の変化によって大きく増加傾向にある。表-1 を見ることで、その増加に貢献したエネルギー供給産業を識別することが可能である。

一方で、表-3 から、最も大きな減少を示した非鉄金属製錬・精製(No.46)について見ると、エネルギー需要構造の変化によって総変化量の約 87%にあたるエネルギー必要量が節減されたことが分かる。また、生産技術加工度の変化、投入構造の変化によっても比較的大きく低減されている。表-2 は、表-1 と同様に、大きな減少傾向を示した主要 3 部

表-3 内包型エネルギー原単位の SDA 結果 (単位: Gcal/100万円)

非エネルギー商品 (No. 07→No. 94)	内包型エネルギー原単位		内包型エネルギー原単位への影響効果					合計
	1985年	1990年	W	B _{nc}	C _{inc}	DS	DT	
07. 耕種農産	10,859	12,527	1,558	0,037	0,075	0,106	0,007	1,670
08. 畜産・養蚕	15,586	13,206	0,700	-2,627	-0,452	-0,219	-2,860	-2,379
09. 農産サービス	21,418	25,224	4,167	-0,290	-0,069	1,012	-1,373	3,808
10. 林業	11,833	15,702	4,636	-0,983	0,216	-0,302	-0,467	3,869
11. 漁業	47,668	52,938	6,177	1,654	-2,562	0,216	-1,125	5,269
12. 金属鉱物	33,275	29,292	-2,911	-0,809	-0,261	-1,619	0,548	-3,981
13. 非金属鉱物	12,842	13,810	1,340	-0,488	0,118	0,103	-0,474	0,970
14. と畜	15,369	12,605	0,336	-2,688	-0,410	-0,700	-2,397	-2,762
15. 畜産食料品	19,357	21,043	3,288	-1,540	-0,063	0,064	-1,666	1,685
16. 水産食料品	24,737	31,523	3,848	4,102	-1,166	-1,443	4,380	6,784
17. 精穀・製粉	14,080	14,381	1,622	-1,496	0,176	0,141	-1,460	0,302
18. 農産保存食料品	20,943	22,328	2,303	-0,723	-0,196	1,089	-2,010	1,384
19. その他の食料品	17,937	19,190	3,849	-2,646	0,051	-2,103	-0,491	1,254
20. 飲料	18,002	17,664	-0,067	-0,064	-0,208	1,172	-1,443	-0,339
21. 飼料・有機質肥料	22,905	19,991	3,642	-6,451	-0,107	1,049	-7,607	-2,916
22. たばこ	5,125	5,574	0,202	0,146	0,103	0,436	-0,187	0,451
23. 繊維工業製品	37,505	39,766	0,443	2,009	-0,189	3,741	-1,923	2,263
24. 衣服・その他の繊維製品	22,819	20,550	-1,320	-0,846	-0,102	1,373	-2,320	-2,268
25. 製材・木製品	13,199	16,145	2,874	0,049	0,022	-0,337	0,410	2,945
26. 家具・装備品	17,305	19,148	0,229	1,847	-0,231	1,615	0,001	1,845
27. パルプ・紙	62,363	67,664	-4,202	9,389	0,115	-0,258	9,763	5,302
28. 紙加工品	42,522	32,778	-6,445	-3,051	-0,247	7,429	-10,728	-9,743
29. 出版・印刷	15,847	18,668	-0,127	2,931	0,017	0,422	2,526	2,821
30. 化学肥料	84,040	107,614	34,602	-11,415	0,366	-1,252	-8,776	23,473
31. 無機化学基礎製品	103,205	100,705	0,808	-2,522	-0,788	1,684	-4,991	-2,502
32. 有機化学基礎・中間製品	195,200	194,478	5,953	-3,698	-2,977	-1,721	-4,952	-0,722
33. 合成樹脂	134,744	123,613	-4,103	-6,565	-0,464	-0,996	-6,032	-11,132
34. 化学繊維	101,851	97,827	4,362	-8,334	-0,051	-7,122	-1,265	-4,023
35. 化学最終製品	41,600	38,119	-1,637	-0,913	-0,931	-1,209	-0,632	-3,481
36. プラスチック製品	49,063	52,933	-0,582	4,994	-0,541	3,071	1,383	3,871
37. ゴム製品	52,145	54,347	2,253	0,373	-0,425	7,785	-7,837	2,201
38. なめし革・毛皮・同製品	14,863	16,970	0,671	1,672	-0,238	0,658	0,777	2,105
39. ガラス・ガラス製品	47,864	45,574	-2,654	1,342	-0,978	0,926	-0,560	-2,290
40. セメント・セメント製品	39,407	36,747	-2,361	-0,182	-0,113	0,261	-1,216	-2,656
41. 陶磁器	30,598	30,981	0,271	0,421	-0,304	0,910	-0,796	0,388
42. その他の窯業・土石製品	46,058	43,962	-3,832	2,086	-0,349	2,232	-0,496	-2,095
43. 鉄鋼	217,712	197,670	8,644	-27,084	0,396	8,651	-33,536	-20,042
44. 鋳材	130,744	111,398	4,185	-22,053	-1,458	7,340	-30,853	-19,346
45. 鉄鋼製品・その他の鉄鋼製	73,129	64,737	-2,389	-5,515	-0,491	2,452	-8,457	-8,395
46. 非鉄金属製錬・精製	90,257	48,785	-16,204	-5,260	0,066	6,959	-11,661	-41,504
47. 非鉄金属加工製品	36,330	30,993	-11,282	5,815	0,130	2,975	2,968	-5,337
48. 建設・建築用金属製品	30,848	31,462	-0,742	1,852	-0,496	3,080	-1,722	0,614
49. その他の金属製品	37,695	36,304	-0,587	-0,308	-0,308	2,548	-3,351	-1,391
50. 一般産業機械	24,369	23,725	-0,833	0,289	-0,098	1,485	-1,294	-0,642
51. 特殊産業機械	21,854	20,743	-1,417	-0,059	0,364	0,938	-0,632	-1,112
52. その他の一般機器	20,439	26,859	1,084	5,895	-0,558	9,458	-4,122	6,421
53. 事務用・サービス用機器	23,914	16,998	-1,858	-5,125	0,067	-1,661	-3,397	-6,916
54. 民生用電気機械	26,261	20,343	-1,412	-3,233	-0,123	1,841	-6,347	-5,918
55. 電子・通信機器	26,703	16,503	-5,729	-4,467	-0,004	-0,485	-3,988	-10,200
56. 汎用機器	21,540	20,495	-1,335	0,343	-0,052	0,766	-0,475	-1,044
57. その他の電気機器	20,853	23,355	-1,469	4,469	-0,496	4,904	-0,931	2,504
58. 自動車	26,007	24,309	-1,542	0,242	-0,396	-0,266	0,112	-1,696
59. 船舶・同修理	28,878	28,848	0,257	-0,011	-0,279	1,333	-1,621	-0,033
60. その他の輸送機械・同修理	21,751	25,217	0,527	2,822	0,118	1,558	1,380	3,467
61. 精密機械	16,249	15,409	-0,332	-0,418	-0,092	0,168	-0,680	-0,842
62. その他の製造工業製品	23,140	21,114	-0,802	-1,192	-0,032	-1,227	0,003	-2,026
63. 建築	15,191	15,601	-0,196	0,738	-0,130	1,372	-0,765	0,412
64. 建設補修	18,774	20,446	0,567	1,260	-0,155	0,798	0,307	1,672
65. 土木	18,305	17,880	0,669	-1,014	-0,081	-1,319	0,223	-0,426
66. 水道	33,817	38,007	3,797	0,423	-0,032	0,246	0,146	4,188
67. 廃棄物処理	9,108	10,680	0,620	0,944	0,008	0,169	0,783	1,572
68. 商業	6,014	7,067	0,568	0,737	-0,252	0,280	0,207	1,053
69. 金融・保険	3,404	3,425	0,343	-0,359	0,039	-0,436	0,116	0,023
70. 不動産仲介及び賃貸	2,874	5,684	2,403	0,411	-0,004	-0,011	0,420	2,810
71. 住宅賃貸料	1,937	2,338	0,207	0,200	-0,006	-0,372	0,567	0,401
72. 鉄道輸送	22,590	19,854	-0,955	-2,627	0,851	-2,115	0,337	-2,731
73. 道路輸送	24,917	28,269	3,328	-0,196	0,218	-0,239	0,263	3,350
74. 水運	72,239	81,759	9,154	1,517	0,152	1,691	3,095	9,519
75. 航空輸送	56,731	70,622	14,402	0,518	0,006	0,224	0,006	13,992
76. 倉庫	12,219	13,914	0,994	0,540	0,158	0,495	0,205	1,692
77. 運輸付帯サービス	9,197	10,942	0,841	0,913	-0,010	0,305	0,599	1,744
78. 通信	5,980	5,418	0,015	-0,591	0,014	-0,430	-0,146	-0,562
79. 放送	8,521	8,937	-0,677	1,096	-0,007	-0,254	1,344	0,412
80. 教育	7,654	7,259	-0,437	0,025	0,018	-0,319	0,361	-0,394
81. 研究	12,563	16,998	1,846	2,566	0,022	-0,044	2,632	4,434
82. 医療・保健	15,908	17,649	0,266	1,661	-0,184	0,309	1,166	1,743
83. その他の公共サービス	5,920	8,197	0,552	1,747	-0,020	0,220	1,509	2,279
84. 広告	9,964	12,586	-0,042	2,589	0,075	0,197	2,467	2,622
85. 調査・情報サービス	5,979	5,895	-0,214	0,120	0,010	-0,131	0,261	-0,084
86. 物品賃貸サービス	2,785	4,814	0,378	1,640	0,009	-0,177	1,824	2,027
87. 自動車・機械修理	13,878	14,485	0,584	-0,611	0,638	-1,800	1,825	0,611
88. その他の対事業所サービス	9,347	6,217	-1,408	-1,750	0,026	-0,571	-1,152	-3,132
89. 娯楽サービス	11,106	11,593	0,235	0,334	-0,080	0,280	-0,025	0,489
90. 飲食店	12,525	13,708	0,295	0,989	-0,102	0,316	0,570	1,182
91. 旅館・その他の宿泊所	11,944	14,406	1,229	1,322	-0,090	0,082	1,150	2,461
92. その他の対個人サービス	10,018	11,285	0,398	0,931	-0,061	0,197	0,673	1,268
93. 分類不明	33,570	31,812	-2,811	1,161	-0,110	1,891	-0,839	-1,760
94. 公務	8,530	10,208	1,147	0,524	0,007	0,257	0,274	1,678

門に関する SDA の結果をエネルギー供給産業寄与別に示したものであるが、この非鉄金属製錬の欄を見ると、エネルギー需要構造の変化によって、非鉄金属製錬商品の需要によって誘発する原油・天然ガス産業起源(ESI2)、電力産業起源(ESI5)のエネルギー必要量が大きく低減していることが分かる。

非鉄金属製錬と対照的であるのが鉄鉄・粗鋼(No.43)、鋼材(No.44)である。これら両部門とも、エネルギー需要構造の変化によってエネルギー必要量が押し上げられており、むしろ、投入構造変化、技術加工度変化といった生産技術変化による影響によってエネルギー必要量が大きく節減されている。この原因を経済取引ベースでもう少し詳細に観察すると、投入構造変化、技術加工度変化によって、間接的に金属鉱物、道路輸送、水運との経済取引が抑制され、その結果エネルギー必要量が大きく低減していることが分かった。また、表-2 から投入構造の変化、技術加工度の変化によって、石炭・亜炭産業(ESI1)、石炭製品産業(ESI4)起源のエネルギー必要量が大きく節減されていることも分かる。主要 6 部門以外のエネルギー供給産業起源別の寄与度に関しては、本論文では紙面の都合上、割愛させて頂く。

(3) 総エネルギー必要量の構造分解：1985-1990

オープン産業連関モデルでは、総エネルギー必要量は、家計や企業の効用によって決定される外生的な最終需要の大きさやそのパターン構成によって大きな影響を受ける。また、当然前節で推計された生産技術特性に依存する内包型エネルギー原単位によっても影響を受ける。表-4、5 は、本 SDA モデルを用いて、生産技術構造変化、最終需要構造変化による総エネルギー必要量への影響効果を推計した結果である。当然、各非エネルギー商品ベースで SDA の分析結果を詳細に議論することも可能であるが³³⁾、本論文では、特に日本全体としてのエネルギー利用構造の変化に焦点を当て以下考察を行っていく。

a) 非エネルギー生産技術構造変化による影響

表-4 の合計の欄は、各構造変化が日本の総エネルギー必要量に与えた影響効果を示している。非エネルギー生産技術構造変化に関するこの欄を見ると、エネルギー需要構造の変化、技術代替性の変化によって、エネルギー必要量が押し上げられていることが分かる。また、それは、エネルギー需要構造の変化によって、原油・天然ガス産業起源(ESI2)、電力産業起源(ESI3)のエネルギー必要量が大きく増加したことに起因する。

表-4 総エネルギー必要量の SDA- I

	(単位：10 ³ Tcal)						合計
	ESI1	ESI2	ESI3	ESI4	ESI5	ESI6	
生産技術構造変化							
W	-21.6	116.7	-58.2	-8.4	74.1	0.5	103.1
B _{ne}	-31.7	46.4	29.1	-27.4	36.8	1.8	55.0
[C ¹] _{ne}	-6.0	-21.7	-16.4	-3.5	-6.7	-0.3	-54.5
DS	45.2	6.6	-5.1	34.6	34.3	0.6	116.2
DT	-82.9	18.1	17.8	-65.5	-4.2	0.9	-115.7

表-5 総エネルギー必要量の SDA- II

	(単位：10 ³ Tcal)						合計
	ESI1	ESI2	ESI3	ESI4	ESI5	ESI6	
最終需要構造変化							
f _{ne}	176.3	412.9	285.8	99.4	254.8	14.1	1243.2
f _{exp} ^l	9.9	25.5	18.7	6.2	11.2	0.4	71.9
f _{hoe} ^l	2.0	12.3	8.7	0.7	6.2	0.9	30.8
f _{hie} ^l	39.8	233.0	169.2	15.7	113.2	7.6	578.5
f _{pub} ^l	25.2	38.3	26.3	13.2	24.9	0.8	128.7
f _{pri} ^l	124.3	205.8	139.5	77.2	136.6	6.0	689.3
f _{etc} ^l	23.1	210.4	164.1	8.3	53.1	-0.9	458.1
小計	224.2	725.3	526.6	121.4	345.2	14.7	1,957.3
f _{exp} ^p	-42.6	2.0	-1.0	-36.5	3.4	0.5	-74.2
f _{hoe} ^p	1.0	6.9	5.6	0.3	0.6	0.2	14.6
f _{hie} ^p	13.5	26.7	21.1	10.0	9.6	-0.5	80.3
f _{pub} ^p	0.4	1.6	0.9	0.4	2.1	0.0	5.3
f _{pri} ^p	1.5	4.3	2.6	0.8	5.5	0.1	14.8
f _{etc} ^p	-21.7	-353.8	-270.0	3.0	-111.6	-0.9	-754.9
小計	-47.9	-312.4	-240.8	-22.0	-90.4	-0.7	-714.1

その一方で、プロダクトミックス構造、技術加工度の変化によってエネルギー必要量が節減されていることが分かる。特に、技術加工度の変化によって、石炭・亜炭産業起源(ESI1)、石炭製品業起源(ESI4)のエネルギー必要量が大きく低減していることが分かるであろう。

全体を通して見ると、エネルギー需要構造変化及び投入構造変化に伴い、石炭・亜炭系(ESI1,ESI4)のエネルギー必要量と原油・天然ガス…電力系(ESI2,ESI5)のエネルギー必要量との間に、少なくともこの 5 年間にトレードオフの関係がおおよそ成立することが分かる。

b) 非エネルギー最終需要構造変化による影響

非エネルギー最終需要構造変化による影響効果は、1,243(10³Tcal)と実に膨大である。これは、非エネルギー生産技術構造変化の総効果の約 12 倍にもあたる。つまり、需要の変化分をわずか 1/12 に抑えることで、産業構造全体の変化と同等の影響を与える

ことができることを意味する。表-5を見ると、特に家計消費支出構造、民間固定資本形成のレベル変化がエネルギー必要量を大きく押し上げていることが分かる。

(4) 政策への提言

前節の結果を踏まえて、政策への提言を考える。

地球温暖化問題のようにグローバルな環境問題を議論するとき、総合的なエネルギー政策のあり方は、きつてもきりはなせないものである。特に、二酸化炭素のように、その排出源、汚染者の特定が難しく、その影響範囲も無限に思われほど巨大な大気汚染物質については、産業構造全体を見渡したクリティカルなエネルギー政策立案が求められる。本研究における政策提言の視点は、まさにこの『産業構造全体の変化』と『エネルギー必要量の変化』との因果関係にある。産業構造全体の変化を、客観的なマクロ経済諸量でモデル化し、その因果関係を定量評価することは政策立案の上で非常に大きな意味を持つであろう。

本研究の推計結果に基づく政策提言の方向性としては、『生産技術構造との因果関係』と『最終需要構造との因果関係』の二通りが考えられる。この2つの方向性から、政策提言をまとめると、次のようなことが言える。

a) 生産技術構造とエネルギー必要量の因果関係

総エネルギー必要量を節減するためには、生産技術構造を適切に変革し、内包型エネルギー原単位を抑制していくことが必要である。その意味において、エネルギー需要構造、生産技術代替性を再度見直していく必要があるであろう。特に、エネルギー集約化が急速に進んでいる化学肥料、航空輸送、水運等の商品については、個別にそれらの内包型エネルギーポテンシャルを監視していくようなシステムが求められる。これらの3商品については、非エネルギー投入構造、非エネルギープロダクトミックス構造といった生産技術構造よりも、むしろそれらの生産のために必要とされる中間投入を通して直接間接的に誘発するエネルギー需要構造自身に焦点を当て、内包型エネルギー必要量の変化を詳細にチェックすることが重要である。

また同時に、鉄・粗鋼や鋼材といった商品が、非エネルギー生産技術加工度の変化によって、内包型エネルギー必要量が節減されているように、商品産出の主体である企業自身も、特に生産技術加工度をエネルギー低減型に誘導していく努力が必要である。

b) 最終需要構造とエネルギー必要量の因果関係

日本の総エネルギー必要量の増加は、主に最終需要構造の変化によって引き起こされている。特に、家計消費支出構造のレベル変化、民間固定資本形成構造のレベル変化は大きな影響を与えている。ゆえに、これらの需要を抑えることが決定的に重要である。特に、内包型原単位が大きな鉄・粗鋼、有機化学基礎製品、合成樹脂、鋼材といった商品需要を抑制することが最優先されるべきであろう。

また、これらの商品を中間需要として直接間接的に内包する財・サービスの最終需要についても無視することはできない。特に、鉄・粗鋼、鋼材といった商品を生産要素として大量に中間投入する建築、土木、自動車といった商品の最終需要を計画的に抑制していくことが重要であると考えられる。

例えば、商品寿命を延ばすことで、ある程度は需要のレベル、パターンをコントロールすることが可能である。また、最終消費者自身のエネルギー低減型商品の需要優先によって、産業間の環境技術競争を活発化させ、間接的に生産技術革新を押し進めていくことも考えられる。

日本においては、最終需要構造の変化が総エネルギー必要量に与えるインパクトは実に膨大であり、同時に二酸化炭素排出量にも連結して大きな影響を与えている。1990年の二酸化炭素排出量の6%削減を実現するためには、何らかの行政手段をとって、家計消費支出レベル構造と民間固定資本形成レベル構造に焦点を当て、見直していく必要がある。特に、前述したエネルギー集約型の主要商品に関しては、何らかの具体的な施策が期待される。

5. 結論

本研究では、ハイブリッド型 SNA 産業連関モデルに基づく I-O SDA を開発した。従来の SDA モデルと本 SDA モデルの違いは、大きく2点ある。まず、SNA タイプの産業連関モデルを利用しているため、プロダクトミックスの影響効果を容易に推計することが可能な点である。第二に、構造階層化システムを適用され、経済システム自身がエネルギー需要構造と非エネルギー需要構造とに分解されており、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点である。

本 SDA モデルで観察された主要な発見は、以下のようにまとめられる。

(1) 産業全体の生産技術構造の変化によって、化学肥料、航空輸送、水運の内包型エネルギー

原単位が大きく増加傾向にある。その一方で、非鉄金属製錬、銑鉄・粗鋼、鋼材は大きく減少傾向にある。

- (2) 産業全体の生産技術構造変化による影響効果を大きい順に述べると、以下のように示される。括弧内は、影響効果の符号を表している。生産技術代替性(+)>エネルギー需要構造(+)>投入構造(+)>プロダクトミックス構造(-)>生産技術加工度(-)
- (3) 日本の総エネルギー必要量の変化は、主に非エネルギー最終需要構造によって引き起こされている。特に、家計消費支出レベル構造及び民間固定資本形成レベル構造の変化による影響効果が膨大であることが明らかになった。

ここで、これらの結論を踏まえ今後の課題を述べておく。

本研究においては、前述したようにプロダクトミックスの問題を重要視し、SNA型産業連関モデルを採用した訳であるが、その理由は屑・副産物等の結合生産物の循環過程を新たに追加できる可能性を秘めているからである。また、産業連関モデルのハイブリッド化についても、本研究では産業横断的なエネルギー価格の問題が大きくクローズアップされているが、市場価値を持たないつまり金銭評価できない屑・副産物の取り扱いに関して大きなヒントを与えている。

Gigantes⁴⁶⁾は、商品技術仮定と産業技術仮定をミックスした混合技術モデルを提案し、屑・副産物の循環過程を内生化した産業連関モデルを提案している。しかしながら、Gigantesの枠組みでは、屑・副産物として金銭評価された有価物のみが焦点が置かれており、例えば、家計部門から排出される古新聞、古雑誌、ペットボトルなどの無価物が市場に再度利用される中間投入については考慮することができない。このような再循環プロセスに関しては、ハイブリッド化された結合生産モデルが必要になるであろう（具体的には、無価物についてはトンベースで表されたハイブリッドモデルが提案されるべきである）。

また、ハイブリッド型の結合生産モデルのI-O SDAについても期待できる。我が国のリサイクルへの取り組みは近年急速に勢いを増しており、それは環境だけでなく経済にも大きな影響を与えるようになってきている。このような社会的背景の下、国民経済の観点から、リサイクル促進が廃棄物の発生構造、エネルギー利用構造、二酸化炭素排出構造に与える影響効果を定量的評価することが大きな課題とな

っている。このような課題に取り組むためにも、前述したハイブリッド型結合生産モデルのI-O SDAの開発が必要であると考えている。これらの結合生産モデルの開発とその実証分析は今後の課題である。これら成果については稿を改めて報告したい。

謝辞：本論文は、筆者の学位論文の一部を纏めたものであり、ご多忙の折、その審査委員を務めて頂いた稲村肇(東北大学)、森杉壽芳(東北大学)、佐々木公明(東北大学)、宮本和明(東北大学)、栗山規矩(東北大学)、安藤朝夫(東北大学)の各先生方には心より謝意を表します。また、イタリアのマチェラータで開催された第13回国際産業連関分析学会の発表では、Professor Dr. Joyashree Roy (Jadavpur University), Professor Dr. Karen R. Polenske (MIT), Professor Dr. Francis C. McMichael (Carnegie Mellon University)から貴重なコメントを頂きました。ここに心より感謝の意を表します。

付録 I 構造階層化システムの導入

式(1)の生産均衡式を変形すると、

$$\begin{aligned} q &= (I - BC^{-1})^{-1}f \\ &= (I - BC^{-1})^{-1}(I - B[C^{-1}]_{nc})(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \\ &= (I - BC^{-1})^{-1}\{I - B(C^{-1} - [C^{-1}]_c)\}(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \quad (a-1) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $(I - BC^{-1})^{-1}$ を L_0 で表し、さらに変形すると、

$$\begin{aligned} q &= (L_0B[C^{-1}]_c + I)(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \\ &= (L_0B[C^{-1}]_c + I)(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1} \cdot \\ &\quad (I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})(I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \\ &= (L_0B[C^{-1}]_c + I)(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1}\{I - (B - B_c)[C^{-1}]_{nc}\} \cdot \\ &\quad (I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \quad (a-2) \end{aligned}$$

を得ることができる。 $(I - B[C^{-1}]_{nc})^{-1}$ を L_1 で表し、式(a-2)を整理すると、最終的に、

$$q = (L_0B[C^{-1}]_c + I)(L_1B_c[C^{-1}]_{nc} + I)(I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \quad (a-3)$$

が成り立つ。また、産出の二面性より、

$$g = (L_2B[C^{-1}]_c + C^{-1})(L_1B_c[C^{-1}]_{nc} + I)(I - B_{nc}[C^{-1}]_{nc})^{-1}f \quad (a-4)$$

が成り立つ。ここで、 L_2 は、 $(I - C^{-1}B)^{-1}C^{-1}$ に等しい。式(a-3)、(a-4)の右辺における $(L_1B_c[C^{-1}]_{nc} + I)$ の項を考えると、

$$L_1B_c[C^{-1}]_{nc} + I = \sum_{L=0}^{\infty} \{B[C^{-1}]_{nc}\}^L B_c[C^{-1}]_{nc} + I \quad (a-5)$$

と級数展開できるので、式(20)の f_{nc} のように非エネルギー成分を考える上では、式(a-5)の級数項を無視することができる。ゆえに式(a-3)、(a-4)から、

$$q = (L_0 B [C^{-1}]_c + I)(B_c [C^{-1}]_{nc} + I)(I - B_{nc} [C^{-1}]_{nc})^{-1} f \quad (a-6)$$

$$g = (L_2 B [C^{-1}]_c + C^{-1})(B_c [C^{-1}]_{nc} + I)(I - B_{nc} [C^{-1}]_{nc})^{-1} f \quad (a-7)$$

として再定式化できることを付け加えておく。

付録Ⅱ 非エネルギー生産技術変化の各要因の補足説明

本研究で導出されたエネルギー需要構造について、自動車生産を例にとり補足説明する。まず、自動車を生産するためにはエネルギー投入として電力が必要であろう。さらに、その電力を生産するためには石炭製品や石油製品といったエネルギー投入が必要であり、またそれらの石炭製品や石油製品を生産するために必要とされる原油の投入、原料炭の投入といった具合に考えていくと、それらの無限の様相がエネルギー需要構造を表している。ここで読者は気が付いたと思うが、自動車生産に必要な鋼材、プラスチック製品等の非エネルギー投入分を産出するために使用されたエネルギー投入分を介して波及していくエネルギー需要構造はどうなっているのだろうか。これについては、本研究では、式(7)、(8)に示されるように非エネルギー生産技術の性格を2つに分割し、I-Oシステム自身を内部分離することによって後者のエネルギー需要構造を表現している。従って、本研究で言うエネルギー需要構造の変化とは、これら2つの性格を同時にしかも明示的に考慮したエネルギー波及形の変化を表している。

非エネルギー投入構造の変化とは、各産業が所有する非エネルギー商品に関する生産技術に基づいて決定される産業別連結投入構造の変化を表している。

非エネルギープロダクトミックスの変化とは、各産業が産出する非エネルギー商品に関する主生産物、副次生産物の構成割合の変化を表している。

付録Ⅲ エネルギー部門の設定

本研究で対象にしたエネルギー部門は表-6の通りである。

参考文献

- 1) Leontief, W. W.: Structure of the American Economy, New York, Oxford University Press, 1941.
- 2) Leontief, W. W.: Studies in the Structure of the American Economy, New York, Oxford University Press, 1953.
- 3) Chenery, H. B. and Watanabe, T.: International Comparisons of the Structure of Production, *Econometrica*,

表-6 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)
01. 原料炭	01. 石炭・亜炭(ES11)
02. 一般炭・亜炭・無煙炭	
03. 原油	02. 原油・天然ガス(ES12)
04. 天然ガス	
05. 揮発油	
06. ジェット燃料油	
07. 灯油	
08. 軽油	
09. A重油	03. 石油製品(ES13)
10. B・C重油	
11. ナフサ	
12. 液化石油ガス	
13. コークス	
14. コークス炉ガス	04. 石炭製品(ES14)
15. 高炉ガス・転炉ガス	
16. 事業用電力	05. 電力(ES15)
17. 自家発電	
18. 都市ガス	06. ガス・熱供給(ES16)
19. 熱供給	

注1: ただし、コークス炉ガス、高炉ガス・転炉ガスについては、産業連関表基本分類表に記載されていないが、この中に含めている。

注2: ES11～ES16は、モデル開発の所でも言及した通り、エネルギー供給産業を表す記号である。

Vol.26, No.4, pp.487-521, 1958.

- 4) Carter, A.: Structural Change in the American Economy, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1970.
- 5) Skolka, J.: Input-Output Structural Decomposition Analysis for Austria, *Journal of Policy Modeling*, Vol.11, pp.45-66, 1989.
- 6) Leontief, W. W. and Ford, D.: Air pollution and economic structure, in: A. Brody & A. Carter (eds), *Contributions to Input-Output Analysis* (Amsterdam, North-Holland), 1972.
- 7) Chen, C. Y. and Rose, A.: A Structural decomposition analysis of energy demand in Taiwan, *The Energy Journal*, Vol.11, pp.127-146, 1990.
- 8) Rose, A. and Chen, C. Y.: Sources of changes in energy use in the U.S economy, 1972-1982, *Resources and Energy*, Vol.13, pp.1-21, 1991.
- 9) Rose, A. and Casler, S.: Input-Output Structural Decomposition Analysis: A Critical Appraisal, *Economic Systems Research*, Vol.8, No.1, pp.33-62, 1996.
- 10) Forssell, O.: The Input-Output Framework for Analysing Transmission of Technical Progress between Industries, *Economic Systems Research*, Vol.1, No.4, pp.429-445, 1989.
- 11) Barker, T.: Sources of Structural Change for the UK Service Industries 1979-84, *Economic Systems Research*, Vol.2, No.2, pp.173-183, 1990.
- 12) Buccellato, C.: Input-Output Analysis, Technological Change and Relations between Industry and Services, *Economic Systems Research*, Vol.2, No.2, pp.53-63, 1990.
- 13) Fujimagari, D.: The Sources of Changes in Canadian Industry Output, *Economic Systems Research*, Vol.1, No.2, pp.187-201, 1989.

- 14) Fujita, N. and James, W. E.: Growth Patterns of the Japanese Economy in the 1980s: Before and After the Appreciation of the Yen, *Economic Systems Research*, Vol.3, No.4, pp.399-411, 1991.
- 15) Fujikawa, K., Izumi, H. and Milana, C.: Multilateral Comparison of Cost Structures in the Input-Output Table of Japan, the US and West Germany, *Economic Systems Research*, Vol.7, No.3, pp.321-342, 1995.
- 16) Gale, L. R.: Trade Liberalization and Pollution: An Input-Output Study of Carbon Dioxide Emissions in Mexico, *Economic Systems Research*, Vol.7, No.3, pp.309-320, 1995.
- 17) Wier, M.: Sources of Change in Emissions from Energy : A Structural Decomposition Analysis, *Economic Systems Research*, Vol.10, No.2, pp.99-111, 1998.
- 18) Lange, G. M.: Applying an Integrated Natural Resource Accounts and Input-Output Model to Development Planning in Indonesia, *Economic Systems Research*, Vol.10, No.2, pp.113-133, 1998.
- 19) Lin, X. and 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.
- 20) Dietzenbacher, E. and Los, B.: Structural Decomposition Techniques : Sense and Sensitivity, *Economic Systems Research*, Vol.10, No.4, pp.307-323, 1998.
- 21) Bullard, C. W. and Herendeen, R. A.: Energy Impact of Consumption Decisions, *Proceedings of The IEEE*, Vol.63, No.3, pp.484-493, 1975.
- 22) Bullard, C. W.: Net Energy Analysis: Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis, *Resources and Energy*, Vol.1, pp.267-313, 1978.
- 23) Bullard, C. W. and Herendeen, R. A.: The energy cost of goods and services, *Energy Policy*, Vol.3, pp.268-278, 1975.
- 24) Herendeen, R. A.: Special Section: Forum on Valuation of Ecosystem Services Monetary-Costing Environmental Services: Nothing is lost, Something is gained, *Ecological Economics*, Vol.25, pp.29-30, 1998.
- 25) 金川琢, 二渡了, 井村秀文: 産業連関モデルによる都市のエネルギー・環境構造分解, 環境システム研究, Vol.19, pp.70-75, 1991.
- 26) 金川琢, 加藤英輔, 井村秀文: 地域のエネルギー消費構造分析における産業連関モデルの適用, 環境システム研究, Vol.20, pp.242-251, 1992.
- 27) 井村秀文, 白土廣信, 藤倉良: アジア地域の経済成長とエネルギー消費構造に関する研究, 環境システム研究, Vol.22, pp.369-375, 1994.
- 28) 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, No.12, pp.53-60, 1995.
- 29) 加河茂美, 稲村肇: 環境対策 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, No.14, pp.433-442, 1997.
- 30) 加河茂美, 稲村肇: 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, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.461-470, 2000.
- 31) Inamura, H. and Kagawa, S.: Evaluation of Air Pollution Control Measures Based on a Rectangular Input-Output Analysis, *Internaional Input-Output Association(IIOA) Papers*, New York, May, 1998.
- 32) U. N. Statistical Office: A System of National Accounts, Studies in Method, Series F, No.2, Rev. 3, 1968.
- 33) Kagawa, S. and Inamura, H.: The Structural Decomposition of Energy Consumption Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework, -Japan's Case-, *Internaional Input-Output Association(IIOA) Papers*, Macerata, Italy, August, 2000.
- 34) Miyazawa, K. and Masegi, S.: Interindustry Analysis and the Structure of Income-Distribution, *Metroeconomica*, Vol.15, No.2-3, pp.89-103, 1963.
- 35) Sonis, M. and Hewings, G. J. D.: Hierarchies of regional sub-structure and their multipliers within input-output systems, Miyazawa revised., *Hitotsubashi Journal of Economics*, Vol.34, pp.33-44, 1993.
- 36) Sonis, M., Hewings, G. J. D., Guo, J. and Hulu, E.: Interpreting spatial economic structure: feedback loops in the Indonesian interregional economy, 1980, 1985, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.27, pp.325-342, 1997.
- 37)---40) 総務庁: 昭和 60 年産業連関表, 1989.
- 41)---44) 総務庁: 平成 2 年産業連関表, 1994.
- 45) 環境庁国立環境研究所: 産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 1997.
- 46) Gigantes, T.: The Representation of Technology in Input-Output Systems, Contributions to Input-Output Analysis, Chapter 14, Amsterdam: *North-Holland Publishing*, pp.270-290, 1970.

(2000. 4. 24 受付)

DECOMPOSITION ANALYSIS OF ENERGY USE STRUCTURE BASED ON A HYBRID RECTANGULAR INPUT-OUTPUT MODEL

Shigemi KAGAWA and Hajime INAMURA

This paper proposes an I-O SDA, based on a hybrid rectangular IO model, to estimate the impact of the changes in ①energy demand structure, ②non-energy input structure, ③non-energy product-mix, ④non-energy substitution, ⑤ non-energy manufacturing technology, and ⑥non-energy final demand on the embodied energy requirements.

Major findings are as follows; The total energy requirement in Japan has increased mainly because of the changes in non-energy substitution and energy demand structure, while the changes in non-energy manufacturing technology, and the non-energy product-mix have reverse effects, that is, saving of energy from the viewpoint of non-energy production technology changes. The effect of the changes in non-energy final demand is twelve times larger than the effect of non-energy production technology changes.