

エネルギー需要構造の内部分解分析*

Internal Decomposition Analysis of Energy Demand Structure*

加河 茂美**, 稲村 肇***

By Shigemi Kagawa**, Hajime Inamura***

1. 本研究の背景

I-O SDA(Input-Output Structural decomposition Analysis)は、「経済構造変化の主要な原因を識別するための分析方法」として定義付けられており¹⁾²⁾, この方法論を環境分析の枠組みにまで拡張することによって, 経済構造の変化が環境(例えば, 二酸化炭素排出量, エネルギー必要量等)に与えるインパクトを定量的に評価することが可能となる. I-O SDA の特徴は, 環境へのインパクトの推計と同時に, そのインパクトが一体何のマクロ経済特性によって牽引されているのかを識別することが可能な点にある.

近年のSDAを応用した環境分析としては, Rose et al.³⁾, Gale⁴⁾, Wire⁵⁾の研究がある. これらの従来研究は, 基本的には, I-O システムの外側で独立変数として取り扱われる生産技術構造と最終需要構造の時系列変化が環境に対してどのような影響を与えるのかを定量評価するものである.

このような従来環境分析を対象とした SDA を見るとき, 生産技術構造の内部分解にまで焦点を当てた研究は少ないように思われる. 例えば, Lin et al.⁶⁾は中国経済における生産技術構造をエネルギー投入構造と非エネルギー投入構造とに分解し, それぞれの構造変化が内包型エネルギー必要量に与える影響効果を識別している. しかしながら, Lin et al.の研究では, 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いないため, エネルギー投入構造と非エネルギー投入構造の変化がどちらの需要構造に対して影響を与えているのか識別できない.

Bullard⁷⁾に詳しいように, エネルギー需要構造は最終生産物の外生的な需要分を生産するために必要とされる直接間接的なエネルギー投入量を積み上げることによって得ることができる. このとき, この積み上げ過程の内部構造に着目すると, その迂回的な中間過程の段階で非エネルギー生産技術構造を内包化していることが分かる. この内部構造を SDA の方法論に拡張するとき, エネルギー需要構造の中で機能する非エネルギー生産技術構造

の変化が環境に対してどのような影響を与えるのか定量評価することができる. これによって, このエネルギー需要構造の内部変化が内包型エネルギー必要量に与える影響効果を識別することが可能になるであろう. 以上を踏まえて, 本研究では, エネルギー需要構造の内部分解を行うことを目的とする.

2. エネルギー供給産業起源のエネルギー需要構造の導出

(1) SNA の基本構造

商品技術仮定に基づくと, SNA 体系における生産均衡式は, 下式(1), (2)のように定式化される⁸⁾.

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

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

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)を用いることによって, 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.

(2) ハイブリッドモデルへの展開

本研究では, エネルギー価格の産業横断的な変動に伴う物量ベースの投入構造への不整な影響を取り除くため, 前節で定式化された生産均衡式をハイブリッド化する. ここで言うハイブリッド化とは, 物量ベースと金銭ベースで評価された投入係数行列, 産出係数行列を用いて再定式化することを意味する.

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, 投入係数行列 B, 産出係数行列 C を下式(3), (4)のように再定義する. 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.

$$B = \begin{matrix} e & ne \\ e & B_{11}(TC/TC) & B_{12}(TC/MY) \\ ne & B_{21}(MY/TC) & B_{22}(MY/MY) \end{matrix} \tag{3}$$

*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

$$C = \begin{matrix} e \\ ne \end{matrix} \begin{bmatrix} C_{11}(TC/TC) & C_{12}(MY/TC) \\ C_{21}(TC/MY) & C_{22}(MY/MY) \end{bmatrix}^t \quad (4)$$

また、システムの整合上、最終需要 f もまたエネルギー部門(e)と非エネルギー部門(ne)に分解でき、

$$f = [f_1(TC) : f_2(MY)]^t \quad (5)$$

として定義できる。ここで、 t は転置を表す記号である。 f_1 はエネルギー商品に関する最終需要行ベクトルを示しており、評価単位はTCで表される。 f_2 は非エネルギー商品に関する最終需要行ベクトルを示しており、評価単位はMYで示される。上式(3)、(4)、(5)を、それぞれ式(1)、(2)の右辺に代入することにより、外生的な最終需要 f の発生に伴って波及する商品別産出量 q 及び産業別産出量 g を推計することができる。このとき、商品別産出量 q と産業別産出量 g は

$$q = [q_1(TC) : q_2(MY)]^t \quad (6)$$

$$g = [g_1(TC) : g_2(MY)]^t \quad (7)$$

として表され、TCとMYという2つの次元を持って現れてくるであろう。ここで、エネルギー部門の数を m とすると、 g_1 は $(1 \times m)$ 型行ベクトルとして表されることから、これを合計することによって、エネルギー供給産業起源の内包型エネルギー必要量を推計することが可能となる。

(3) エネルギー需要構造の導出

本研究では、非エネルギー生産技術構造が内包化されたエネルギー需要構造を導出するため、非エネルギー部門に関する投入構造、マーケットシェア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が適用されている。

まず、式(3)、(4)から与えられる B 、 C^{-1} を下式(8)、(9)のように分解する。

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ O & B_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

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

$$\begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [C^{-1}]_{11} & [C^{-1}]_{12} \\ [C^{-1}]_{21} & O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ O & [C^{-1}]_{22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

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

ここで、 O は零行列を表している。また、 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

式(8)、(9)をそれぞれ式(1)、(2)に代入し、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 $[C^{-1}]_{ne}$ 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、特に非エネルギー最終需要成分 f_2 を考える上では下式(10)、(11)のような生産均衡式を導出することができる。

$$q = (L_0 B [C^{-1}]_e + I) (B_e [C^{-1}]_{ne} + I) (I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} f_{ne} \quad (10)$$

$$g = (L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1}) (B_e [C^{-1}]_{ne} + I) (I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} f_{ne} \quad (11)$$

ここで、

$$L_0 = (I - B C^{-1})^{-1} \quad (12)$$

$$L_1 = (I - B [C^{-1}]_{ne})^{-1} \quad (13)$$

$$L_2 = (I - C^{-1} B)^{-1} C^{-1} \quad (14)$$

$$f_{ne} = [O : f_2(MY)]^t \quad (15)$$

上式(11)の右辺における $(L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1})(B_e [C^{-1}]_{ne} + I)$ を R_g という記号で表すと、下式(16)に示されるような4つの小行列で表すことができる。

$$R_g = \begin{bmatrix} (R_g)_{11} & (R_g)_{12} \\ (R_g)_{21} & (R_g)_{22} \end{bmatrix} \quad (16)$$

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を表す $(R_g)_{12}$ に焦点を当てると、非エネルギー部門の産業連関システムをフィードバックループに持つエネルギー供給産業起源のエネルギー需要構造を得ることができる。

3. エネルギー需要構造の内部分解

本節では、非エネルギー生産技術構造の変化がエネルギー需要構造の中にフィードバックされることによる内包型エネルギー必要量への影響効果を推計する。この影響効果を推計するためには、再度ハイブリッドモデルの原形にまで立ち戻る必要がある。式(11)に示される生産

均衡式にまで立ち戻り、下式(17)のように再定式化する所から始める。

$$g = \gamma_1 \gamma_2 L_3 f_{ne} \quad (17)$$

ここで、

$$\gamma_1 = L_2 B [C^{-1}]_e + C^{-1} \quad (18)$$

$$\gamma_2 = B_e [C^{-1}]_{ne} + I \quad (19)$$

$$L_3 = (I - B_{ne} [C^{-1}]_{ne})^{-1} \quad (20)$$

今後の式の展開上、 $\gamma_1 \gamma_2$ が R_g に等しいことに注意されたい。

今、 t_0 年から t_1 年におけるタイムスパン($t_0 < t_1$)を考え、上式(17)の時系列変化量を求めると、

$$\Delta g = \gamma_1^1 \gamma_2^1 L_3^1 f_{ne}^1 - \gamma_1^0 \gamma_2^0 L_3^0 f_{ne}^0 \quad (21)$$

が成り立つ。ここで、 Δ は t_0 年から t_1 年における変化量を表す記号である。上式(21)の Polar の構造分解式を導出すると、 γ_1 と γ_2 の変化が g ($= G(\gamma_1, \gamma_2, L_3, f_{ne})$) に与える影響効果は

$$\begin{aligned} \Delta g|_{\gamma_1} + \Delta g|_{\gamma_2} = & \\ & 1/24(6\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 6\Delta\gamma_1\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0) \\ & + 1/24(6\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 6\gamma_1^0 \Delta\gamma_2 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0) \end{aligned} \quad (22)$$

として定式化される。ここで、 f_{ne}^0 、 f_{ne}^1 はそれぞれ t_0 年、 t_1 年における非エネルギー最終需要を対角成分に持つ対角行列を表している。さらに、 γ_1 、 γ_2 は式(18)、(19)に示されるように、エネルギー部門の投入産出構造、非エネルギー部門の投入産出構造を有した形となっており、それぞれの構造変化に関する分解式を定式化することができる。

まず、構造分解式の展開を簡単にするため、 γ_1 を下式(23)のように変形する。

$$\gamma_1 = L_4 [C^{-1}]_e + C^{-1} - I \quad (23)$$

ここで、

$$L_4 = (I - C^{-1} B)^{-1} \quad (24)$$

上式(23)、(24)から、 γ_1 の構造分解式は

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_1 = \Delta L_4 [C^{-1}]_e^0 + L_4^1 \Delta [C^{-1}]_e + \Delta [C^{-1}] \\ = L_4^0 \Delta [C^{-1}]_e + \Delta L_4 [C^{-1}]_e + \Delta [C^{-1}] \end{aligned} \quad (25)$$

として定式化される。また、 ΔL_4 が

$$\begin{aligned} \Delta L_4 = L_4^0 \Delta [C^{-1}] B^0 L_4^1 + L_4^0 [C^{-1}]^0 \Delta B L_4^1 \\ = L_4^0 [C^{-1}]^0 \Delta B L_4^1 + L_4^0 \Delta [C^{-1}] B^0 L_4^1 \end{aligned} \quad (26)$$

として分解されることを考えると、式(25)は合計で 4 本の構造分解式を持つことが分かる。

次に、 γ_2 の構造分解式は

$$\begin{aligned} \Delta\gamma_2 = \Delta B_e [C^{-1}]_{ne}^0 + B_e^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} \\ = B_e^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} + \Delta B_e [C^{-1}]_{ne} \end{aligned} \quad (27)$$

として定式化される。式(25)、(26)から得られる合計で 4 本の構造分解式と式(27)に示される 2 本の構造分解式を式(22)に代入することによって、非エネルギー生産技術構造変化に関する Polar の構造分解式を得ることができ。ここで、投入構造変化 ΔB 、マーケットシェア構造変化 ΔC^{-1} が

$$\Delta B = \Delta B_e + \Delta B_{ne} \quad (28)$$

$$\Delta C^{-1} = \Delta [C^{-1}]_e + \Delta [C^{-1}]_{ne} \quad (29)$$

として分解されることを考えると、非エネルギー投入構造変化 ΔB_{ne} 及び非エネルギーマーケットシェア構造変化 $\Delta [C^{-1}]_{ne}$ のフィードバック (下式(30)の下線部分) が

$$\begin{aligned} g = G(\gamma_1, \gamma_2, L_3, f_{ne}) \\ = G(R_g (B_e, B_{ne}, [C^{-1}]_e, [C^{-1}]_{ne}), L_3, f_{ne}) \end{aligned} \quad (30)$$

に与える影響効果として式(31)、(32)が定式化されるであろう。

$$\begin{aligned} \Delta g|_{R_g(B_{ne})} = & \\ & 1/96(L_4^0 [C^{-1}]_e \Delta B_{ne} L_4^1 [C^{-1}]_e^0 + L_4^0 [C^{-1}]_e \Delta B_{ne} L_4^1 [C^{-1}]_e \\ & + L_4^0 [C^{-1}]_e \Delta B_{ne} L_4^1 [C^{-1}]_e^0 + L_4^0 [C^{-1}]_e \Delta B_{ne} L_4^1 [C^{-1}]_e) \\ & (6\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 6\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0) \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \Delta g|_{R_g([C^{-1}]_{ne})} = & \\ & 1/96(L_4^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} B^0 L_4^1 [C^{-1}]_e^0 + L_4^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} B^0 L_4^1 [C^{-1}]_e \\ & + L_4^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} B^0 L_4^1 [C^{-1}]_e^0 + L_4^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} B^0 L_4^1 [C^{-1}]_e + 4\Delta [C^{-1}]_{ne}) \\ & (6\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 6\gamma_2^0 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0) \\ & + 1/48(6\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 \\ & + 2\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0 + 6\gamma_1^0 \Delta\gamma_3 L_3^0 \hat{f}_{ne}^0) \end{aligned} \quad (32)$$

ここで、

$$\Delta\gamma_3 = B_e^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} + B_e^0 \Delta [C^{-1}]_{ne} \quad (33)$$

上式(31)、(32)は R_g と同じ次元を有しており、特に前章における式(16)の $(R_g)_2$ と同じ小行列成分に焦点を当てれば、非エネルギー投入構造変化 ΔB_{ne} 、非エネルギーマーケットシェア構造変化 $\Delta [C^{-1}]_{ne}$ のエネルギー需要構造へのフィードバックに伴う影響効果を推計することが可能となる。この概念図を示すと、図-1 のようになるであろう。図中の囲み線で示されたものがこれらの影響効果を足しあわせたフィードバック効果を示している。

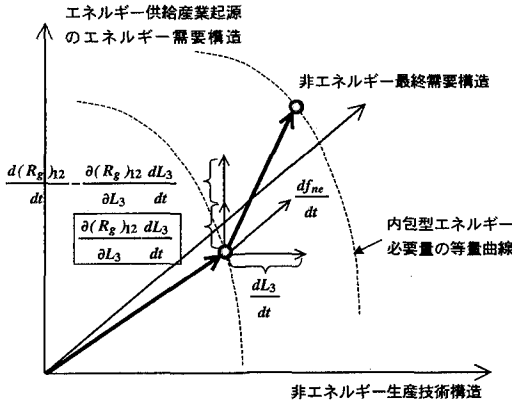


図-1 非エネルギー生産技術構造変化に伴う内包型エネルギー必要量へのフィードバック効果

4. 分析結果

本研究で取り扱うエネルギー需要構造は、非エネルギー生産技術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ことによって集積される内包型エネルギー必要量を表している。従って、エネルギー需要構造の変化に伴う影響効果は、非エネルギー投入構造と非エネルギーマーケットシェア構造の変化分とに分解することができる。これは、ある外生的な需要に伴う迂回的な中間生産を考えて見れば容易に理解できよう。本推計結果の理解のために、ここで少し言及しておく。

例えば、ある外生的な商品需要に伴う電力の生産を考えて見ると、電力を生産するためには石炭だけでなく、石炭を運ぶために輸送機械を利用した輸送サービスが必要である。さらに、この輸送機械の生産に必要とされる鋼材は石炭を生産要素として持つであろう。本研究で開発されたI-O SDAでは、これら輸送サービス-輸送機械-鋼材といった迂回的な非エネルギー生産によって集積される石炭の投入必要量を別個に取り扱うことができ、輸送サービス、輸送機械等の非エネルギー生産技術構造の変化に伴う石炭の投入必要量への影響効果を推計することが可能である。

前節で導出された式(31)、(32)を用いることによって、この影響効果を推計することができる。表-1は、実際に式(31)、(32)に1985年と1990年の基本データ⁹⁾¹⁰⁾を適用することによって推計された各非エネルギー商品の内包型エネルギー必要量に与える影響効果(一部)を示している。表-1から、例えば、エネルギー需要構造が水産食料品(No.10)の内包型エネルギー必要量に与える影響効果について見ると、実はその約87%がエネルギー需要構造の中で迂回的な非エネルギー生産技術構造が変化することによって引き起こされていることが分かる。また、土木(No.59)について見ると、非エネルギー生産技術構造の変化が、エネルギー需要構造の中でエネルギー節減の方

向に働いていることが分かる。同様に、他の商品についても考察することができるであろう。

表-1 非エネルギー生産技術構造変化のフィードバックに伴う内包型エネルギー必要量への影響効果(一部)

非エネルギー商品部門 (No. 07→No. 94) ²⁰⁾	エネルギー需要構造変化による影響効果			
	① ΔB_{ne}	② $\Delta[C^{-1}]_{ne}$	①+② ΔL_3	③ ΔW ²⁰⁾
10. 水産食料品	20	11,601	11,620	13,388
48. 民生用電気機械	37	3,268	3,305	-10,512
5. 漁業	2	2,567	2,569	1,786
13. その他の食料品	17	2,177	2,195	13,481
85. 旅館・その他の宿泊	22	2,129	2,151	6,483
84. 飲食店	68	1,868	1,936	5,170
86. その他の対個人サー	24	1,602	1,626	2,995

59. 土木	76	-5,613	-5,538	17,586
52. 自動車	92	-6,005	-5,914	-27,064
67. 道路輸送	26	-6,362	-6,336	18,790
49. 電子・通信機器	57	-6,778	-6,721	-60,523
57. 建築	113	-9,371	-9,258	-8,800
最大値	116	11,601	11,620	47,422
最小値	-21	-9,371	-9,258	-60,523
合計	1,362	-49,767	-48,405	103,078

注1)この推計結果は、「非エネルギー生産技術構造の変化 ΔL_3 がエネルギー需要構造の中にフィードバックされることによる影響効果(①+②)」を大きい順に示したものである。

注2)Wは、非エネルギー産業連関システムに伴うエネルギー供給産業起源の内包型エネルギー産出行列 $(R_g)_{12}$ と零行列Oを小行列成分として持つ行列を表している。 $\Rightarrow W = [O : (R_g)_{12}]$ つまり、 ΔW は、1985年から1990年における内包型エネルギー産出行列の時系列変化量を示している。この構造変化に伴う影響効果については、著者ら11)によって既に推計されている。

5. おわりに

本研究では、構造階層化システムの導入による内部構造分解と従来のI-O SDAによる外部構造分解を結び付けることによって、エネルギー需要構造の内部変化が内包型エネルギー必要量に与える影響効果を識別するための分析手法を提案することができた。

参考文献

- 1) Carter, A.: Structural Change in the American Economy, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1970.
- 2) Skolka, J.: Input-Output Structural Decomposition Analysis for Austria, *Journal of Policy Modeling*, Vol.11, pp.45-66, 1989.
- 3) Rose, A. and Chen, C. Y.: Sources of changes in energy use in the US economy, 1972-1982, *Resources and Energy*, Vol.13, pp.1-21, 1991.
- 4) 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.
- 5) Wier, M.: Sources of Change in Emissions from Energy: A Structural Decomposition Analysis, *Economic Systems Research*, Vol.10, No.2, pp.99-111, 1998.
- 6) 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.
- 7) Bullard, C. W.: Net Energy Analysis: Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis, *Resources and Energy*, Vol.1, pp.267-313, 1978.
- 8) United Nations: System of National Accounts.
- 9) 総務庁：昭和60年、平成2年産業連関表。
- 10) 環境庁：産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 1997.
- 11) Kagawa, S. & Inamura, H.: The Structural Decomposition of Energy Consumption Based on a Hybrid Rectangular Input-Output Framework, - Japan's Case-, *International Input-Output Association (IIOA) Papers*, Macerata, Italy, August, 2000.