

日本経済の生産・代替構造分析

温暖化対策導入による経済的影響を評価するために

奥島 真一郎

東京大学 日本学術振興会特別研究員

後藤 則行

東京大学

現在我が国においても、京都議定書目標の達成に向けて、炭素税や排出量取引など経済的手法の導入が検討されている。経済的手法は、二酸化炭素排出量を効率的に削減できる手段であると考えられている。そこで本研究においては、これを定量的に確認するために、我が国におけるエネルギーの価格弾力性、代替弾力性を Nest-Translog 関数を用いて推計し、炭素税などの温暖化対策が我が国で有効に機能しうるかについて検証した。結果は以下の通りであった。まず、エネルギーの価格弾力性、代替弾力性の推計結果からは、経済的手法の導入は効果的にエネルギー需要を減少させること、また要素需要がエネルギーから他の生産要素へと比較的スムーズに代替しうることが示された。次に、各種エネルギー間の弾力性の推計結果からは、経済的手法の導入は炭素含有量の多い石炭の需要を大きく減少させること、さらに石炭や石油から炭素含有量の少ないガスへとエネルギー源の代替が比較的スムーズに進む可能性があることが示された。このように我が国においても、炭素税などの温暖化対策を導入することによって、二酸化炭素排出量を効率的に削減できることが実証された。

1. はじめに

本研究は、我が国におけるエネルギーの価格弾力性、代替弾力性を Nest-Translog 関数を用いて推計し、炭素税などの温暖化対策が我が国で有効に機能しうるかについて検証しようとするものである。

本研究は、環境経済・政策学会 1999 年大会で発表されたもの（奥島(1999)）に加筆、修正を加えたものである。本研究を完成するにあたって、本誌レフェリー、関西学院大学天野明弘先生、東京大学松原望先生、神戸大学得津一郎先生、甲南大学藤川清史先生、電力中央研究所永田豊先生から大変有益なコメントを頂いた。また KPMG コンサルティングシニアコンサルタント高田直樹氏からは研究上の助力を得た。深く感謝を申し上げたい。なお本研究は、環境庁地球環境研究総合推進費、文部省科学研究費補助金、昭和シェル石油環境研究助成金から補助を受けている。

京都議定書によると、我が国は温室効果ガスの排出量を 1990 年比で 6%削減（二酸化炭素換算）しなければならない（実施期間は 2008～2012 年）。ところが環境庁によると、我が国の温室効果ガス排出量は、直近の 1998 年度において 13 億 3600 万トン（二酸化炭素換算）と、1990 年度の水準から 5%も増加している。京都議定書の目標を達成するためには、現在の水準から約 11%も削減しなければならないのである。現在の状況下では、削減目標の達成は容易ではない。

そこで近年、京都議定書目標の達成に向けて、炭素税や排出量取引など経済的手法の導入が検討されている。経済的手法とは、炭素含有量に応じてエネルギー価格を上昇させることによって、価格メカニズムを生かした形でエネルギー需要、二酸化炭素排出量を削減しようとするものである。この手法では、二酸化炭素排出につながる商品を生産、消費する企業や消費者に対して、その排出が自然環境に与える費用を正しく負担させることを意図している。炭素税を含めた経済的手法の必要性については、我が国の環境基本法第 22 条、環境基本計画第 4 章第 3 節に明記されており、政府税制調査会中期答申（2000 年 7 月）においても検討事項にあげられている。また炭素税は、北欧諸国ですでに導入されており、実際に成果をあげている。

このように経済的手法は、二酸化炭素排出量を効率的に削減することができる手段であると考えられる。しかし実際の導入にあたっては、その導入が日本経済に与えるインパクトを予測することが政策的に極めて重要となろう。例えば経済的手法の導入によって、エネルギー需要、二酸化炭素排出量の削減がどの程度可能なのであろうか。またエネルギー価格の上昇はどの程度生産要素の代替を促すのであろうか。さらに、温暖化対策の導入は、我が国の経済成長に対する大きな制約となるのであろうか。

これらの問いに答えるためには、エネルギーの価格弾力性やエネルギーと他の生産要素との代替弾力性、また各エネルギー間の弾力性を詳しく知る必要がある。エネルギーの価格弾力性はエネルギー価格と需要との関係を、エネルギーの代替弾力性はエネルギーと他の生産要素との代替可能性の程度を、数量的に表現するものである。したがって、これらを推計することによって、我が国において温暖化対策が有効に機能しうるかを過去のデータから検証することが可能になるのである¹。また最近では、温暖化対策による経済的影響を評価するために多くのシミュレーションモデルが構築されており、それらの多くのモデル（特に応用一般均衡モデル）にお

¹ 温暖化問題における弾力性推計の重要性については、Pearce(1991)等を参照。彼は、直近までのデー

いて、弾力性パラメータが最も重要な外生パラメータである (Shoven and Whalley (1992)、OECD(1998))²。

それにもかかわらず、我が国の生産・代替構造を詳しく分析した研究は多くない。石油危機後、資本、労働、エネルギーを含んだモデル (KLE モデル) が盛んに推計されたものの、資本、労働、エネルギー、原材料すべてを含んだモデル (KLEM モデル³) を用いた研究はいまだに少ないのが現状である。また、産業部門別、各エネルギー源別に投入産出構造が細分化されているモデルはさらに少数である。しかも、現在石油危機から 20 年以上が経過しているが、多くのモデルは 70～80 年代までを推計期間としている。

このような問題意識のもと、本研究は以下のような特徴をもつ。まず本研究では、産業連関表をもとに、エネルギー、原材料をはじめとするすべての投入要素を組み込んだモデル (KLEM モデル) を用いており、産業部門やエネルギーについても細かく分割している。これらにより、日本経済をひとつの投入産出システムとしてより整合的にとらえることが可能になる。次に生産 (費用) 関数としては、Translog 関数を用いている。Translog 関数はその特殊型として Cobb-Douglas 型、CES 型⁴を含む一般的な関数型であり、代替弾力性や価格弾力性が時系列で変化することがその特徴である。また本研究では、産業連関表を延長推計することによって、1960 年から 1995 年という長期のデータに基づいて推計を行っている⁵。

2. Translog モデル⁶

本研究では、次のような Translog 費用関数を用いる⁷。ここでは、規模に関する収穫一定、技術に関する Hicks 中立を仮定している⁸。また資本は K 、労働は L 、エ

タを含んだ、国・地域別の弾力性研究が特に必要だと述べている。

² シミュレーションモデルを用いた分析については、Goto and Sawa(1993)、Goto(1995)、後藤(1995、1999)、Okushima (2000) 等を参照。

³ 代表的な KLEM モデルとして Berndt and Wood(1975)、Fuss(1977)、我が国では Kuroda et al(1984)、得津(1994) などがある。

⁴ CES 型関数については、Arrow et al(1961)を、CES 型関数の問題点については Uzawa(1962)、McFadden(1963)などを参照。

⁵ 炭素税などの経済的手法は、エネルギー価格を上昇させることによって、エネルギーに対する需要を減少させようとするものである。このようなメカニズムは、オイルショック期にみられた現象と同様のものである。そのため、弾力性を推計する際、過去 2 度のオイルショック期を推計期間に含んでいることは重要である。

⁶ Translog 関数については、Christensen et al(1973)などを参照。

⁷ なお、Translog 関数は自動的に双対関係 (self-dual) にはない。これについては、Burgess(1975)等を参照。

⁸ Hicks 中立を仮定すれば、技術項が弾力性推計に影響しない。これらの話題については、Lau(1992)、得津(1998)等を参照。

エネルギーは E、原材料は M で表している。

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \quad (i, j = K, L, E, M), \quad (1)$$

C : 単位あたり費用、 P_K : 資本価格、 P_L : 労働価格、 P_E : エネルギー価格、 P_M : 原材料価格。

係数の対称性と要素価格に関する一次同次の仮定から、次のような係数制約が導かれる。

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i &= 1 \quad (i = K, L, E, M), \quad \sum_j \beta_{ij} = \sum_i \beta_{ij} = 0 \quad (i, j = K, L, E, M), \\ \beta_{ij} &= \beta_{ji} \quad (i \neq j). \end{aligned} \quad (2)$$

(1)式をおのおの $\ln P_K$ 、 $\ln P_L$ 、 $\ln P_E$ 、 $\ln P_M$ で微分し、Shephard の補題を用いると、次のようなシェア関数を得る。

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = S_i = \alpha_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j \quad (i, j = K, L, E, M), \quad (3)$$

S_i : 総費用に占める i 生産要素のシェア。

ここで(3)式から S_{ii} の式を除いて、(2)の制約のもとで推計を行えば、Translog 費用関数の係数が求められる。本研究においては、Iterative Zellner Procedure によって推計した⁹。

Translog モデルの場合、推計したパラメータをもとに代替弾力性 σ_{ij} 、価格弾力性 ϵ_{ij} が次のような形で求められるため、各生産要素間の代替補完関係の分析が可能になる。さらにシェア S_i の各年の変化に伴い、代替弾力性、価格弾力性が時系列で変化する。

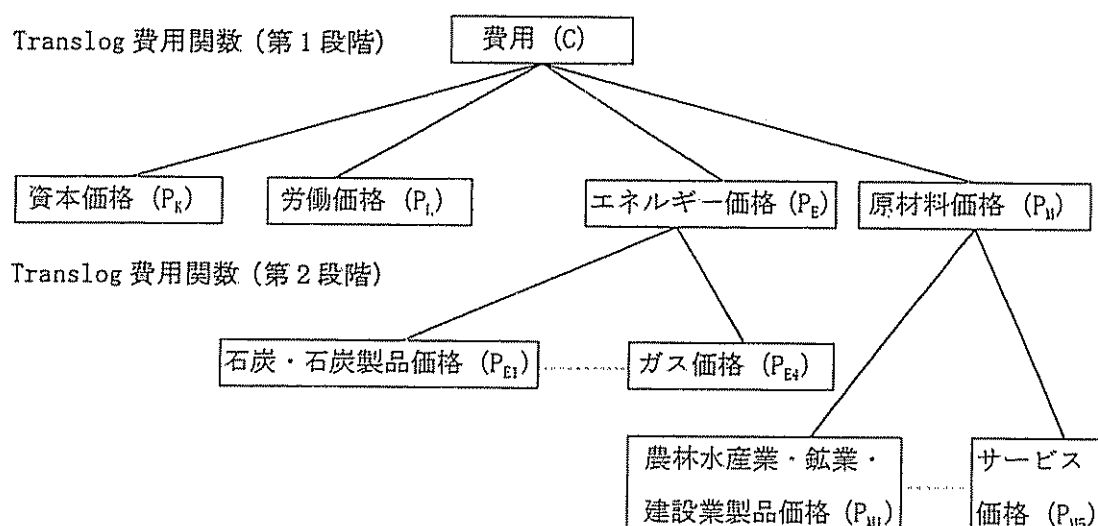
$$\begin{aligned} \sigma_{ii} &= (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) / S_i^2, \quad \sigma_{ij} = \beta_{ij} / S_i S_j + 1, \\ \epsilon_{ij} &= \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} = S_j \sigma_{ij}, \end{aligned} \quad (4)$$

X_i : i 生産要素に対する需要。

⁹ Zellner(1962, 1963)などを参照。Iterative Zellner Procedure を用いることによって、どのシェア関数を除いても同じ推計結果を得ることができる。

また本モデルでは、Translog 費用関数が Nest (層状) になっている (図 1)¹⁰。つまり P_E 、 P_M についても、Translog 費用関数を用いて算出するわけである。その推計手法は KLEM モデルにおける Translog 費用関数と同様である。

図 1 Nest-Translog 関数の構造



(エネルギーサブモデル) Translog 費用関数

$$\ln P_E = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \quad (i, j = E1, E2, E3, E4), \quad (5)$$

P_{E1} : 石炭・石炭製品価格、 P_{E2} : 石油・石油製品価格、 P_{E3} : 電力価格、 P_{E4} : ガス価格。

(原材料サブモデル) Translog 費用関数

$$\ln P_M = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \quad (i, j = M1, M2, M3, M4, M5), \quad (6)$$

P_{M1} : 農林水産業・鉱業・建設業製品価格、 P_{M2} : エネルギー多消費型製造業 (紙パルプ、鉄鋼、化学、窯業土石) 製品価格、 P_{M3} : その他製造業製品価格、 P_{M4} : 運輸サービス価格、 P_{M5} : サービス価格。

以上の式から、シェア関数を導出して、パラメータを推計する。そのパラメータを用いて、Aggregate されたエネルギー価格 P_E 、原材料価格 P_M を求める。

以上が、本研究で用いる Translog モデルの構造である。

¹⁰ ここでは、エネルギーと原材料がそれぞれ他の生産要素から弱分離可能であると仮定している。

3. 推計結果とインプリケーション

本研究においては、Nest-Translog 費用関数をまず全産業ベース、次に産業部門別に推計した¹⁾。推計期間は1960年から1995年である。

以下の分析ではエネルギーに焦点を当てる。その理由は、炭素税などの経済的手法が日本経済にどのような影響を与えるかを推測するためには、エネルギーの価格弾力性、エネルギーと他の生産要素との代替弾力性、各エネルギー間の弾力性の値を分析することが必要だと考えられるからである。

3.1 KLEM モデル

まず、KLEM モデルにおける代替弾力性、価格弾力性の推計結果は次の通りである(表1、2)。表における弾力性の値は、1960年から95年の平均値で示している。また、代替の弾力性(Allen 偏代替弾力性) σ_{ij} ($i \neq j$) は、 $\sigma_{ij} > 0$ のとき生産要素 i 、 j が代替的、 $\sigma_{ij} < 0$ のとき生産要素 i 、 j が補完的であることを意味する。

表1 エネルギーの自己価格弾力性と代替弾力性

	ϵ_{EE}	σ_{KE}	σ_{LE}	σ_{ME}	対象
1. 本推計	-0.40	-0.33	0.72	0.60	日本、全産業
2. 伊藤(1983)	-0.14	-0.76	0.64	-	日本、全産業
3. 伊藤・室田(1984)	-0.17	-1.31	0.98	-	日本、全産業
4. 得津(1994)	-0.50	0.34	0.41	0.72	日本、全産業
5. Berndt & Wood(1975)	-0.47	-3.22	0.65	0.75	アメリカ、製造業
6. Griffin&Gregory(1976)	-0.79	1.07	0.87	-	アメリカ、製造業
7. Fuss(1977)	-0.49	-	-	-	カナダ、製造業
8. Longva & Olsen(1983)	-0.82	-	-	-	ノルウェー、全産業

(注) 1. 研究によって定義や推計方法、データが異なるので単純な比較には注意する必要がある。

2. 2、3、6はKLEモデル。その他はKLEMモデル。

3. 4は二段階CES関数、8はGeneral Leontief関数を用いて推計。

表2 産業別にみたエネルギーの価格弾力性

産業	自己価格弾力性	価格弾力性		
	ϵ_{EE}	ϵ_{KE}	ϵ_{LE}	ϵ_{ME}
全産業	-0.40	-0.01	0.03	0.03
1. 農林水産業・鉱業・建設業	-0.43	-0.03	-0.02	0.04
2. エネルギー多消費型製造業	-0.72	-0.13	0.09	0.10
3. その他製造業	-0.24	-0.05	-0.02	0.02
4. 運輸	-0.50	0.13	0.04	0.02
5. サービス	-0.17	0.03	0.02	-0.03

¹⁾ データの作成方法については補論を参照。パラメータの推計結果(全産業ベース)については付録を参照。

まず、本研究における全産業ベースでみたエネルギーの自己価格弾力性は負（ $\Delta 0.40$ ）であって、エネルギー需要が価格に対して負に反応することが過去のデータからも実証された（表 1）。定義や推計手法、データが異なるため単純な比較には限界があるものの、日本を対象とした他の研究と比較しても、その絶対値は小さくない。これは、経済的手法の導入がエネルギー需要を効果的に減少させる可能性を示している。

次に、推計手法からある程度予想されたとおり、エネルギーと資本については補完関係（ $\sigma_{KE} = \Delta 0.33$ ）であった¹²。しかしエネルギーと労働（ $\sigma_{LE} = 0.72$ ）、エネルギーと原材料（ $\sigma_{ME} = 0.60$ ）は代替関係にあり、これは方向、水準ともに他研究とおおむね一致している。これらから、経済的手法の導入によって、生産要素の代替は比較的スムーズに進みうると考えられる。

また、エネルギーの自己価格弾力性を産業部門別にみると、エネルギー多消費型製造業（ $\Delta 0.72$ ）において負の絶対値が比較的大きい（表 2）。つまり、経済的手法の導入は、これらエネルギー消費量の多い産業を中心に影響を与えると推察される。半面、サービス業におけるエネルギーの自己価格弾力性のマイナス幅は小さい（ $\Delta 0.17$ ）。

さらに、エネルギーと資本との価格弾力性を産業部門別に比較すると、エネルギー多消費型製造業でやや強く補完的である（ $\varepsilon_{KE} = \Delta 0.13$ ）。これは、Kuroda et al (1984)、得津（1994）と同じ結果である¹³。この結果は、エネルギー多消費型製造業（紙パルプ、鉄鋼、化学、窯業土石）がエネルギーと結びつきの強い大型の資本設備を必要とすることを反映していると考えられる。

以上の結果から、経済的手法の導入は効果的にエネルギー需要を減少させること、また要素需要がエネルギーから他の生産要素へと比較的スムーズに代替しうることが示された。

3.2 エネルギーサブモデル

次に、エネルギーサブモデルの推計結果を表 3 に示す¹⁴。ここでも表 1、2 と同

¹² 資本とエネルギーとが代替的であるか補完的であるかについては長い間論争が続いてきたが、いまだ結論は得られていない。資本—エネルギー論争については Berndt and Wood (1979, 1981)、Solow (1987) などが包括的である。

¹³ Kuroda et al (1984) では、多くの産業部門において代替弾力性を先験的に 1 とおいていること、また得津（1994）は二段階 CES 関数による推計であることから、単純な比較には限界があることに留意する必要がある。

¹⁴ このエネルギーサブモデルでは、Concavity 条件が完全には満たされていない。これは、シェアが非

様、弾力性の値は 1960 年から 95 年の平均値で示している。

表 3 各エネルギー間の価格弾力性和他研究との比較

本推計（日本、全産業）

価格弾力性（1960-95 年平均）

価格\需要	石炭	石油	電力	ガス
石炭	-1.12	-0.20	0.88	0.43
石油	-0.85	-0.09	0.42	1.04
電力	1.85	0.22	-1.22	-0.65
ガス	0.12	0.07	-0.09	-0.83

自己価格弾力性（1960-95 年平均）

石炭	石油	電力	ガス
-1.12	-0.09	-1.22	-0.83

Renou (1999)（日本、製造業）

価格弾力性（1960-93 年平均）

価格\需要	石炭	石油	電力	ガス
石炭	-	-	-	-
石油	-	-0.34	0.13	0.20
電力	-	0.29	-0.17	0.37
ガス	-	0.04	0.03	-0.58

自己価格弾力性（1960-93 年平均）

石炭	石油	電力	ガス
-	-0.34	-0.17	-0.58

Perkins (1994)（日本、全産業）

価格弾力性（1979-87 年平均）

価格\需要	国内炭	輸入炭	石油	電力	ガス
国内炭	-1.19	0.74	0.08	-0.04	-0.02
輸入炭	0.49	-0.15	0.01	-0.02	0.01
石油	2.25	0.35	-0.25	0.11	0.05
電力	-1.63	-1.00	0.16	-0.07	0.14
ガス	-0.08	0.08	0.01	0.01	-0.18

自己価格弾力性（1979-87 年平均）

国内炭	輸入炭	石油	電力	ガス
-1.19	-0.15	-0.25	-0.07	-0.18

Matsukawa et al (1993)（日本、機械工業）

価格弾力性（1980-88 年平均）

価格\需要	石炭	重油	電力	軽油、ガス
石炭	-3.41	-0.93	3.26	1.08
重油	-0.45	-2.18	1.29	1.34
電力	0.26	0.21	-0.25	-0.22
軽油、ガス	0.10	0.27	-0.27	-0.10

自己価格弾力性（1980-88 年平均）

石炭	重油	電力	軽油、ガス
-3.41	-2.18	-0.25	-0.10

（注）研究によって定義や推計方法、データが異なるので単純な比較には注意する必要がある。

常に小さい投入財が存在する上に、価格の変動が大きいためである。詳しくは、Considine (1989) 参照。