

エネルギー価格の変動とエネルギー需要

The Change in Energy Prices and the Energy Demand

斎藤 光雄*・得津 一郎**

Mitsuo Saito

Ichiro Tokutsu

1. 序

この報告は、エネルギー価格の1%の変化に対して諸生産要素（資本、労働、非エネルギー原料、エネルギー等、生産に必要な投入物のことを生産要素という）の需要が何%変化するか、値一生産要素需要のエネルギー価格弾力性を、計量経済学的方法によって推定した結果を呈示するものである。個々の日常的な経済現象（たとえば、年々の鉄鋼の生産、電力の消費、家庭用電気製品の売上げ等）をみればすぐわかるように、経済体系は、生産物の需要と供給のバランスのうえに成立している。需要が供給（生産）を超過すれば、価格が上昇して、需要の減少と供給の増大が起こり、新しい価格と新しい生産量（＝需要量）のもとで需給の一致が実現する。経済体系内では、每期每期このような調整が行われているのである。そこで、上記の生産要素需要のエネルギー価格弾力性を知ることは、経済がエネルギー需給状況の変化に対して、どういう調整を行っているかを知ることであり、経済とエネルギーの関係を見るうえでもっとも基本的な事実を確認することになる。

最初に、生産要素需要のエネルギー価格弾力性の概念を、一そう具体的に説明しておく。ある特定の産業をとりあげた時、この産業は多種類の生産要素を投入するが、 i 番目の生産要素の投入量を a_i 、その生産要素の価格を P_i であらわす。 j 番目の生産要素価格が1%変化したとき、 i 番目の生産要素需要量が ε_{ij} %変化したとする。このとき、この ε_{ij} を第 i 生産要素需要の第 j 生産要素価格弾力性という。すなわち

$$\varepsilon_{ij} = (\partial \ln a_i / \partial \ln P_j) = \frac{p_j \partial a_i}{a_i \partial P_j} \quad (1)$$

である。この研究では、多数の生産要素を、(i)資本

(K)、(ii)労働(L)、(iii)非エネルギー原料(M)、および(iv)エネルギー(E)の4者に集約する。したがって、エネルギー価格が各生産要素需要に与える影響は ε_{KE} 、 ε_{LE} 、 ε_{ME} である。また、この研究では、逆に各生産要素価格がエネルギー需要に与える影響、 ε_{EK} 、 ε_{EL} 、および ε_{EM} をも測定した。そこで、結局、この6個の係数と、エネルギー価格がエネルギー自体の需要に与える影響 ε_{EE} とを、24産業別に推定した結果を報告する。

なお、経済全体のエネルギー需要には、産業からの需要のほか、家計および政府からの需要も存在する。しかし、本稿では産業からの需要のみを取扱う。

2. 価格弾力性推定結果

最初に、推定結果を表1に示す。

エネルギー価格弾力性のうち、もっとも重要なのは、 ε_{EE} 、すなわちエネルギー価格が上昇したとき各産業でエネルギー需要が何%減少するか、の値である。これをエネルギーの自己価格弾力性という。表1では、(1)列の(1)行から(24)行において24産業についてこの値を示し、さらに(25)行から(29)行まで、集計産業に対するこれら弾力性値の加重平均(1980年の生産量をウエイトに用いた)を示した。まず、大産業分類でいって、第1次産業の0.516と第3次産業の0.499は、第2次産業の0.350より若干高い。(なお、以下本文では、便宜上弾力性の値の数字はすべて絶対値で議論することにする。)これは、製造業を中心とする第2次産業は、設備等の機械化が進行しているため価格が変化してもエネルギー消費量の変更には限界があることを意味するだろう。また、製造業の中でも重工業の弾力性0.298が軽工業の弾力性の0.424よりも小さく、素材型の0.280が加工型の0.383より小さいのも同じ理由によるものであろう。さらに、エネルギー部門そのものである石油石炭製品が0.081、電気ガス水道が0.168と値の小さいのも、エネルギー部門では価格の上下にかかわ

* 神戸大学経済学部教授

** " 経営学部助教授

〒657 神戸市灘区六甲台町2

表1 エネルギーに関する価格弾力性

	(1) ϵ_{EE}	(2) ϵ_{KE}	(3) ϵ_{LE} = ϵ_{ME}	(4) ϵ_{EK}	(5) ϵ_{EL}	(6) ϵ_{EM}
(1) 農水産業	-0.560	-0.019	0.036	-0.084	0.301	0.343
(2) 林業	-0.138	0.001	0.001	0.042	0.015	0.081
(3) 石油石炭鉱業	-0.047	-0.008	0.024	-0.051	0.045	0.053
(4) その他鉱業	-0.403	0.077	0.022	0.260	0.039	0.105
(5) 食料品	-0.542	0.007	0.013	0.061	0.083	0.399
(6) 繊維	-0.085	-0.042	0.003	-0.004	0.027	0.063
(7) 紙パルプ	-0.490	0.023	0.047	0.036	0.071	0.384
(8) 化学	-0.263	-0.084	0.074	-0.091	0.053	0.301
(9) 石油石炭製品	-0.081	0.041	0.658	0.007	0.016	0.059
(10) 窯業土石	-0.436	-0.070	0.084	-0.049	0.150	0.335
(11) 一次金属	-0.324	0.064	0.034	0.091	0.019	0.214
(12) 金属製品	-0.161	-0.074	0.009	-0.025	0.071	0.115
(13) 一般機械	-0.421	0.040	0.003	0.258	0.039	0.123
(14) 電気機械	-0.420	0.042	0.002	0.333	0.020	0.067
(15) 輸送機械	-0.252	0.006	0.004	0.043	0.046	0.162
(16) 精密機械	-0.318	0.013	0.005	0.089	0.079	0.150
(17) その他製造業	-0.408	0.008	0.009	0.023	0.120	0.265
(18) 建設	-0.398	0.019	0.008	0.089	0.107	0.202
(19) 電気ガス水道	-0.168	-0.028	0.214	-0.030	0.086	0.112
(20) 卸売小売	-0.542	0.045	0.004	0.387	0.094	0.061
(21) 金融保険	-0.489	0.001	0.005	0.042	0.287	0.159
(22) 不動産	-1.126	0.003	0.002	0.979	0.048	0.098
(23) 運輸通信	-0.345	-0.114	0.083	-0.088	0.271	0.161
(24) サービス	-0.319	-0.092	0.033	-0.219	0.255	0.283
(25) 全産業	-0.411	-0.004	0.048	0.110	0.112	0.190
(26) 製造業 ^a	-0.339	0.011	0.067	0.078	0.054	0.207
軽工業 ^b	-0.424	-0.005	0.021	0.025	0.096	0.303
重工業 ^c	-0.298	0.019	0.089	0.103	0.034	0.160
素材型 ^d	-0.280	0.006	0.148	0.016	0.044	0.220
加工型 ^e	-0.383	0.015	0.006	0.124	0.062	0.197
(27) 第1次産業 ^f	-0.516	-0.017	0.032	-0.070	0.271	0.315
(28) 第2次産業 ^g	-0.350	0.013	0.056	0.081	0.064	0.205
(29) 第3次産業 ^h	-0.499	-0.030	0.038	0.171	0.174	0.155

$$\epsilon_{ij} = (\partial \ln a_i / \partial \ln P_j)$$

a_i : 第 i 生産要素投入量.

P_j : 第 j 生産要素価格.

i, j : K (資本), L (労働), E (エネルギー),
M (非エネルギー原料)

集計産業の構成は以下のとおりである.

a: (5) ~ (17).

e: (5), (6), (13) ~ (17).

b: (5), (6), (7), (10), (17). f: (1), (2)

c: (8), (9), (11) ~ (16). g: (3) ~ (18).

d: (7) ~ (12). h: (19) ~ (24).

らずある一定のエネルギー投入が必須のためであろう.

なお、推定方法とデータが若干本報告とは異なるが、われわれは他の報告で国際比較を試みた。これによると、製造業平均の ϵ_{EE} は日本0.366, USA 0.308, 西ドイツ0.469であった。^{3,4)} これらの値は、 ϵ_{EE} の製造業平均が大体0.3から0.5の範囲にあること、および各国間の大小では西ドイツ、日本、USAの順で小さくなることを示唆している。

次に、 ϵ_{KE} すなわちエネルギー価格1%の変化が、資本設備需要を何%変化させるかの値にうつる。(このように、エネルギー価格が他の生産要素需要に与える影響を交さ価格弾力性という。) この値には、2つの効果が働く。第1は、エネルギー価格が高くなると、資本設備を増大させてでもエネルギー消費の節約を実行しようとする。これはエネルギー・資本間の代替関係といい、これが作用するとき ϵ_{KE} はプラスの傾向を

示す。第2は、エネルギー価格が高くなると、エネルギー自体の消費を節約するとともにエネルギーを消費する資本設備をなるべく持たないようにする傾向である。これは、資本設備とエネルギー消費の結びつきが強いために起こる結果である。これをエネルギー・資本間の補完関係といい、これが作用するとき ε_{KE} はマイナスの傾向を持つ。(2)列目の ε_{KE} は、産業によってプラスであったり、マイナスであったりするが、これは両効果のいずれが大きかったかによってきまる。推定結果では、石油石炭鉱業、窯業土石、電気ガス水道、運輸通信等にマイナスの値が現れている。これらはいずれも資本設備とエネルギー投入との結びつきが非常に強いことによる補完関係の結果と推測される。産業大分類でいうと、第1次産業と第3次産業でエネルギー・資本間の補完関係が強く、第2次産業ではむしろ代替関係が強かった。

エネルギー価格が上昇したときの、労働需要および非エネルギー需要に対する効果 (ε_{LE} および ε_{ME}) については、われわれの生産関数では、いずれも代替関係が現れると仮定している。また、その弾力性は労働需要の値と非エネルギー需要の値が等しいとも仮定している。これらの交差価格弾力性で測られる影響は、自己価格弾力性の場合と異なり間接的な影響であるため弾力性の値も、 ε_{EE} とくらべて一般に小さい。しかし、 ε_{LE} および ε_{ME} は、エネルギー原料を多く使う産業である石油石炭製品、窯業土石、電気ガス水道、運輸通信では、それぞれ0.658, 0.084, 0.214, 0.083と比較的値が大きい。

次に、エネルギーに関連する価格弾力性であるがこれまでと逆の方向の影響、すなわち生産要素価格の変化に対するエネルギー需要の変化についてみる。まず、 ε_{EK} は資本財用役価格が1%変化したときのエネルギー需要の変化の推定値である。この場合は、先の ε_{KE} の時と同様に、エネルギー・資本間の関係が代替的であればプラス、補完的であればマイナスの傾向をもつ。したがって、 ε_{EK} の符号は ε_{KE} の符号と同じである。ただし、弾力性の値は違っている。

ε_{EL} は、賃金の上昇の結果、労働のかわりにエネルギーを用いようとする効果を測っている。ここでは、比較的労働を多く用いる産業、すなわち農水産業、食料品、その他製造業、建設業、卸売小売、金融保険、サービス等で弾力性の高い点が注目される。産業大分類でも、第1次産業の0.271、第3次産業の0.174は、第2次産業の0.064より相当高い値が計測されている。

最後に、 ε_{EM} は非エネルギー原料価格の上昇の結果エネルギー需要を上昇させる効果を測っている。ここでは、弾力性の値は第1次産業が最大で、以下第2次産業、第3次産業の順となっている。

3. 推定方法

3.1 基本的経済体系

以下では、上記の推定結果をえるために用いた方法を略述する。最初に、経済システムの基本部分を説明する。それは、図式的に、表2のようにあらわすことができる。これは、いわゆる産業連関表を若干修正して表示したものである。¹⁾ ここでは、日本中の企業全体は n 個の産業（この研究では24産業）からなるものとする。まず、(a)個別産業段階の「物量表」に注目しよう。各列がそれぞれの産業における投入量と産出量を示す。たとえば、第 i 列では第 i 産業が、1年間に生産量 X_i を生産し、そのために投入物として原料 X_{ji} ($j=1, \dots, n$) と労働 L_i と資本 K_i を使用することを表している。原料は第 j 産業の生産物を第 i 産業で消費するとき X_{ji} であらわす。この投入産出関係を価値額（貨幣金額）で表したのが、その右の「価値」表である。さらに右の表が「価格」表であって、3表の関係は

$$\text{「価値」} = \text{「物量」} \times \text{「価格」}$$

である。このことは表の下の記号説明において、具体的に記した。

実際に、価格弾力性を推定する作業においては、(a)のレベルで示した投入物を、2段階にわたって集計した量を取扱う。（その理由は後に3.3で記す。）まず、原料投入は n 個の産業生産物からなるが、そのうち「エネルギー原料」をまとめて E_i とし、その他の「非エネルギー原料」をまとめて M_i とする。エネルギー投入 E_i として集計する産業は、(i)石油石炭鉱業（原油、石炭、天然ガス等）、(ii)石油石炭製品（ナフサ、ガソリン、コークス等）、(iii)電力ガスの3産業である。こうしてまとめた投入物による投入産出形式が、表の(b)第1集計段階である。

次に、表の(c)第2集計段階では、資本 K_i とエネルギー原料 E_i をまとめて1つの投入物、「エネルギー・資本」 EK_i とする。最初に $n+2$ 個であった投入物の数がこの段階では、3個に減少することになる。

物量表の右側の価値表および価格表の意味は、(a)個別産業段階で説明したとおりである。

3.2 企業の行動様式

表2 投入産出形式

(a) 個別産業段階

産業	物量			価値			価格		
	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)
投入	X ₁₁	X ₁₂	… X _{1n}	VX ₁₁	VX ₁₂	… VX _{1n}	P1 ₁	P1 ₁	… P1 ₁
	X ₂₁	X ₂₂	… X _{2n}	VX ₂₁	VX ₂₂	… VX _{2n}	P1 ₂	P1 ₂	… P1 ₂
			…			…			…
	X _{n1}	X _{n2}	… X _{nn}	VX _{n1}	VX _{n2}	… VX _{nn}	P1 _n	P1 _n	… P1 _n
	L ₁	L ₂	… L _n	WL ₁	WL ₂	… WL _n	W ₁	W ₂	… W _n
		…			…			…	
	K ₁	K ₂	… K _n	WK ₁	WK ₂	… WK _n	PK ₁	PK ₂	… PK _n
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
産出	-X ₁	X ₂	… X _n	VX ₁	VX ₂	… VX _n	P ₁	P ₂	… P _n

(b) 第1集計段階

産業	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)
投入	M ₁	M ₂	… M _n	VM ₁	VM ₂	… VM _n	PM ₁	PM ₂	… PM _n
	E ₁	E ₂	… E _n	VE ₁	VE ₂	… VE _n	PE ₁	PE ₂	… PE _n
	L ₁	L ₂	… L _n	VL ₁	VL ₂	… VL _n	W ₁	W ₂	… W _n
	K ₁	K ₂	… K _n	VK ₁	VK ₂	… VK _n	PK ₁	PK ₂	… PK _n
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
産出	-X ₁	X ₂	… X _n	X ₁	X ₂	… X _n	P ₁	P ₂	… P _n

(c) 第2集計段階

産業	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)	(1)	(2)	(n)
投入	M ₁	M ₂	… M _n	VM ₁	VM ₂	… VM _n	PM ₁	PM ₂	… PM _n
	EK ₁	EK ₂	… EK _n	VEK ₁	VEK ₂	… VEK _n	PEK ₁	PEK ₂	… PEK _n
	L ₁	L ₂	… L _n	WL ₁	WL ₂	… WL _n	W ₁	W ₂	… W _n
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	産出	-X ₁	X ₂	… X _n	VX ₁	VX ₂	… VX _n	P ₁	P ₂

(単位) L_iを除き, 1980年価格 10億円
L_i: 1000時間

- X_j = i 部門生産物を生産するために消費されるi部門生産物の量
- L_i = i 部門労働投入
- K_i = i 部門資本ストック
- X_i = i 部門生産物
- M_i = i 部門における非エネルギー原料集計投入量 (X_j's for j ∈ jm)
- E_i = i 部門におけるエネルギー集計投入量 (X_j's for j ∈ je)
- EK_i = i 部門におけるエネルギー・資本集計投入量

(単位) 当年価格 10億円

- VX_j = X_jの価値, P1X_j
- WL_i = i 部門の勤労所得, WL_i
- WK_i = i 部門の資本所得, PK_iK_i
- VX_i = X_iの価値, P_iX_i
- VM_i = M_iの価値, PM_iM_i, Σ_{j∈jm}VX_j
- VE_i = E_iの価値, PE_iE_i, or Σ_{j∈je}VX_j
- VEK_i = EK_iの価値, PEK_iEK_i

(単位) W_iを除き, 1980年=1.0
W_i: 100万円/時間

- P1_i = 投入物としての i 部門生産物の価格
- W_i = i 部門労働者の賃金率
- PK_i = i 部門資本ストックの資本用役価格
- P_i = 産出物としての i 部門生産物の価格
- PM_i = M_iの価格
- PE_i = E_iの価格
- PEK_i = EK_iの価格

企業の投入産出関係における数量と価格を, 上記のように整理した上で, 価格の変化に対して, 企業が数量をどういう水準に決めるかを考える。この場合, 企業の行動様式を, 通常の経済理論にしたがって, 次のようにモデル化する。企業は, ある一定水準の生産量水準が与えられた時, これを生産するための費用を最小にするように生産要素の投入量の組合せを決定する。

すなわち, 表2の(a)のレベルでいえば, 企業の決定を

$$\min (\sum_{j=1}^n P_j X_{ji} + W_i L_i + PK_i K_i), \quad (2)$$

X_{ji}, L_i, K_i j=1

subject to X_i = F(X_{ji} (j=1, ..., n), L_i, K_i, T_i) (3) としてあらかず。企業は費用の最小化を一定の技術条件のもとで行うのであるから, その条件を生産関数と呼ぶ。これが(3)式である。ここで, T_iは技術水準を

示す指標であり、時間と共にその値が変化するものとする。

さて、この極小化問題の解は、(3)式に適当な関数形を与えれば求めることができる。さらに、その関数のパラメータを表2の形式の観察値から推定すれば、一定の価格水準のもとで選ぶ投入量の水準を知ることができるのである。

3.3 生産関数のパラメータの推定

生産関数の関数形は、経済学者によって、多種類の形が開発されている。しかし、いまわれわれの問題についていえば、一番作業のやりにくい点は、観察されるデータの量に較べて推定すべきパラメータ数が非常に多いということである。たとえば、表2の(a)のデータを用いるとすれば、投入物の数量は $(n+2)$ であるから、1個の投入物が1個のパラメータを持つとしても、 $n+2$ 個(24産業の場合は26個)のパラメータを推定しなければならない。自然科学の場合は、実験が可能であるから、26個の変数を動かしながら、これが X_i をどれだけ変化させるかを観察してパラメータを推定するという道がある。しかし、経済学の場合、そういう実験は不可能であり、所与のデータといえば、表2の(a)の形式では、1955年から1985年まで5年おきに作成されている7個の産業連関表だけである。7個の観察値から26個のパラメータを推定することは、たとえば最小二乗法では、明らかに不可能である。投入産出関係を表2の(b)または(c)の形式に縮約すれば、ようやく32個(1953-1987年)の観察値からなる年時系列がえられる。しかし、このデータでも、毎年 E_i 、 M_i 、 L_i 、 K_i が同時に変化しているのであって、たとえば、 E_i 、 M_i 、 K_i が一定であって L_i だけ変化するというような実験的な観察結果ではないのである。このデータを各変数の効果を純粋に反映する係数(すなわち、パラメタ)の推定に用いた場合、推定値は不安定になることが多い。(これが経済データを扱う最小二乗法で、多重共線性が非常に起こり易い理由である。)

こういう事態を克服するためには、基本的には、まずどのような種類の情報であれ、パラメタに関連する情報量を多くすることである。(たとえば、5年毎のデータであっても産業連関表をなんらかの形で利用する。)しかし、いずれにしても観察結果の数が限定されているという事実は経済学の実証研究では動かし難い。そこで、次にとる手段は、パラメタ数を減少させることである。投入物のうち、24個の原料を E_i と M_i の2個に集計し、さらに、 E_i と K_i を集計するという

ような、2段階の集計を行うのは、投入物の数を減少させることによってパラメータ数を減少させて、観察値の不足に対処する方法に他ならない。

また、関数形自体についても、なるべくパラメータ数の少ない形を採用する。詳述は別稿に譲るが、その目的でここで採用しているのが2水準CES関数と呼ぶものである。^{2) 3)}このように、パラメータ数の少ない関数形を採用することは、それだけ生産技術に制約を与えることになる。その制約の当否については、ある程度まで統計的にテストすることができる。⁵⁾テスト結果は、われわれが課した制約を否定するものもあるから、それらの産業については、推定結果の信頼性が低下する点も考慮しておく必要がある。

4. 結語

以上、エネルギーに関連する価格弾力性の推定値を示すとともに、その推定法を略述した。経済学の研究では、国全体に関する推定結果の必要性が非常に高い。(たとえば、経済政策に応用する場合を考えてみよ。)国全体のデータを扱うかぎり、1つの要因の効果を実験によって純粋に測定するというようなことは、ほとんど期し難い。そのため、一般に実証的な推定結果も、多くの前提や仮定にもとづいて行われており、そこに多くの問題を抱えている。たとえば、この研究でも、 E_i と K_i を一つの $E_i K_i$ として結合させている点に著しい特徴がある。事実、この方法は、推定結果を安定させる点では非常に効果的であった。しかし、産業によっては、別の結合(たとえば E_i と L_i の結合)の方が適切な場合がありうる。種々の組合せを尽くして、産業の特色をより正確に把えた推定を試みること、これが本報告に続く課題であると思われる。

文 献

- (1) 齋藤光雄; 産業連関, 経済学大辞典第1巻(1980), 東洋経済新報社, 80-94.
- (2) 齋藤光雄; 多部門モデルにおける2段階CES生産関数の推定, エネルギーに関する経済学的研究(文部省科学研究費昭和61年度研究成果報告書)(1987), 1-42.
- (3) 齋藤光雄, 得津一郎; エネルギー価格弾力性の計測-国際比較-, 第6回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集(1989), エネルギー・資源研究会, 25-30.
- (4) Saito, M., Tokutsu, I.; An International Comparison of the Multi-Sectoral Production Structure-U.S.A., West Germany and Japan, B. Hickman and F. G. Adams, ed., International Productivity and Competitiveness, Oxford University Press, forthcoming.
- (5) 齋藤光雄, 得津一郎; エネルギー需要の経済構造 エネルギーに関する社会的・経済的諸問題 I, (文部省科学研究費平成元年度成果報告書)(1990), 27-36.