

エネルギー価格が経済に与える影響

L,K,E を投入要素とする Two-Level CES 生産関数の推定

1995年7月7日(金)

概要説明

このレポートでは日本においてエネルギー価格が経済にどのような影響を与えるかという分析を Two-Level の CES 生産関数の計測にもとづいて述べたいと思う。

はじめに第1節で環境や資源の問題に焦点をあて問題意識を明確にし、第2節で具体的にエネルギーの経済分析という側面からの目的を述べ、第3節でCES生産関数を説明する。第4節で計測結果を記し、最後の第5節では分析と考察を述べる。

目次

| | |
|---|----------------|
| 1 問題意識 | エネルギーの経済分析— 2 |
| 2 目的 | エネルギーの経済分析— 2 |
| 3 手法 | エネルギーの経済分析— 2 |
| 3.1 CES 生産関数とは | エネルギーの経済分析— 3 |
| 3.2 なぜCES生産関数を使ったのか | エネルギーの経済分析— 3 |
| 3.3 CES 生産関数に対応する費用関数の導き | エネルギーの経済分析— 4 |
| 3.4 ある生産要素が「弱分離可能である」ことの意味 | エネルギーの経済分析— 6 |
| 4 Two-Level CES 生産関数の計測結果 | エネルギーの経済分析— 7 |
| 4.1 K,L,E に関する弱分離性の推定方法 | エネルギーの経済分析— 7 |
| 4.2 K,L,E に関する弱分離性の推定結果 | エネルギーの経済分析— 7 |
| 4.3 U(K,L),E に関する Two-Level CES 生産関数の計測結果 | エネルギーの経済分析— 8 |
| 5 分析と考察 | エネルギーの経済分析— 11 |
| 6 さいごに ~炭素税の研究に向けて~ | エネルギーの経済分析— 12 |
| 7 参考文献 | エネルギーの経済分析— 13 |

1 問題意識

現在世界における大きな問題の中に地球環境問題と資源問題がある。

人間の経済活動とエネルギー消費活動は密接な関係にあり、一定の経済成長をするためにはエネルギーの消費が不可欠である。中国までも経済発展によって資源輸入国に変わろうとしている現在、資源枯渇やそれに伴うエネルギーの価格上昇危機は遠い未来のことではない。しかも現在一次エネルギーのほとんどを化石燃料に依存しているため、エネルギー消費が増加するにつれその CO_2 (二酸化炭素) 排出量も増加し、地球の温暖化を助長させている。温暖化の原因の約5割は二酸化炭素とされておりそのうちの約8割が化石燃料が化石燃料の消費に起因するといわれている。二酸化炭素は前述のように人類の経済活動と密接不可分なエネルギー消費（化石燃料の消費）に伴い不可避的に発生している。例えば国民1人あたりのエネルギー消費量は、先進国でもっとも高く、そこに住む世界人口の5分の1にあたる人々が、世界のエネルギー総消費量の50%強を消費している。また、一人あたりのエネルギー消費量でみても、やはり先進国は圧倒的にエネルギー消費が多いことがわかる。

二酸化炭素を吸収、固定化する技術の実用化は当面期待できないのが現状であり、環境保全（二酸化炭素抑制による温暖化防止）と経済成長（経済の活動の拡大）の調和をはかろうとすれば両者を媒介する位置にあるエネルギーについて

- 1) 一定の経済活動に必要なエネルギー消費の低減（エネルギーの有効利用）
- 2) 非化石エネルギー供給の促進

に取り組んでいくことが重要である。

一つの提案である環境税（炭素税）の導入は、地球温暖化の温室効果ガスのひとつである CO_2 を排出するエネルギー、すなわち化石燃料に対して税を賦課することにより、正常な大気の希少性を価格に反映させることができる。それにより、省エネルギーに成功した生産者は、しなかった生産者に比べて安く商品を提供できるようになるため、結局は環境に悪い高価な製品は市場経済メカニズムの中で淘汰されていくのである。つまり環境税の主たる目的は、省エネや効率化を行なうという行動を、企業の利潤最大化（費用最小化）行動の一部にすることなのである。

以上、世界規模の経済成長や資源枯渇によるエネルギー価格上昇、環境税の導入などによって、いずれにしろ将来エネルギー価格が上がることは不可避である。

2 目的

前節での問題意識から我々は価格が上昇したときの日本経済の影響を見た上で、日本の将来にとってよりよい対処方法を考察したいと考える。

この研究の目的は、

『エネルギー価格は経済にどのような影響を持っているのであろうか。』

ということを計量的に分析することにある。

3 手法

生産関数に資本や労働の他にエネルギー、非エネルギー中間財などを導入すると、推定パラメータが増大するため、限られた標本数の時系列データからでは、多重共線性の発生のため、安定した推定値を得ることが困難になる。そのため本研究では、生産要素の弱分離性に基づき、生産要素を集計し、推定を多段階に分割することによって各推定段階におけるパラメータ数を減少させる方法をとることにする。これを Two-Level CES 生産関数 (2段階CES、Nested CES) という。

3.1 CES 生産関数とは

CES (Constant-Elasticity-of-Substitution) 生産関数というのは代替の弾力性を一定とする生産関数である。この関数は Leontief 関数や Cobb-Douglas 関数、線形生産関数を含み、効率パラメタ、分配パラメタ、代用パラメタをもつ一般的な生産関数である。この関数は他の生産関数より一般的で広い適用性をもつ生産関数であるといえることができる。

CES 生産関数の一般形は

$$y = A(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho})^{-\frac{1}{\rho}}$$

と書かれる。

3.2 なぜCES生産関数を使ったのか

【コブ・ダグラス型を使わなかった理由】

数学的にはCES生産関数の代用のパラメタ $\rho \rightarrow 0$ とした極限がコブ・ダグラス生産関数である。よってコブ・ダグラス生産関数の代替の弾力性 $\sigma=1$ であり、CES生産関数の特殊な場合なので、CES生産関数の方がより一般的であると言える。

【トランスログ型を使わなかった理由】

エネルギーを含む生産関数の推定においては、トランスログ型生産関数を用いることが多い。トランスログ型は、投入物のすべての組合せに対して代用の弾力性が異なった値をとり得るという意味で非常に一般的ではあるものの、パラメタ数が多過ぎ、多重共線性¹をまぬがれ得ない。

以上のような理由で、コブ・ダグラス型よりは一般的で、トランスログ型よりも多重共線性の可能性も少ないCES生産関数を用いることにした。

【2段階CES生産関数にする意味】

CES生産関数を3財以上に拡張すると、代替の弾力性に対する制約が厳しくなるため、うまく取り扱うことができなくなる。1962年宇沢弘文によって、「CES生産関数に対応する生産可能曲線が妥当な曲率を持つのは産出される生産物が1種類、投入物が2種類までの場合に限られる」ことが証明されている。²そこで、CES関数を弱分離可能性を考慮した上で2段階に分解し、推定を行なった。

¹ 説明変数間の相関が高いために、極めて不自然な推定結果や、t値が低く有意な推定結果が得られないような結果が生じる現象のこと。詳しくは「計量経済学」(山本拓：新世社)P.104～P.109を参照のこと。

² 詳しくは「エネルギーの経済学」(室田泰弘：日本経済新聞社)P.92 または “Production Function with Constant Elasticities of Substitution” (H.Uzawa : Review of Economic Studies No.29) P.291～P.299を参照のこと

3.3 CES 生産関数に対応する費用関数の導き

CES 生産関数の一般形 $y = A(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho})^{-\frac{1}{\rho}}$

生産投入量 x_1, x_2

代用パラメータ (Substitution Parameter) $\rho \neq 0, \rho \geq -1$

$\alpha_1, \alpha_2 > 0$

$$y = A(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho})^{-\frac{1}{\rho}} \dots \dots \dots (1.1)^3$$

$$\log y = -\frac{1}{\rho} \log A(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho})$$

両辺を $x_i (i = 1, 2)$ で微分すると、

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dx_i} = -\frac{1}{\rho} \{A(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho})\}^{-1} \times (-\rho A \alpha_i x_i^{-\rho-1})$$

(1.1) から、 $(\alpha_1 x_1^{-\rho} + \alpha_2 x_2^{-\rho}) = y^{-\rho} A^\rho$ であるから、これを代入し、

$$\frac{dy}{dx_i} = \alpha_i x_i^{-\rho-1} (y^{-\rho} A^\rho)^{-1} \times y$$

$$= \alpha_i x_i^{-\rho-1} A^{-\rho} y^{\rho+1}$$

$$\therefore \frac{dy}{dx_i} = \frac{\alpha_i}{A^\rho} \left(\frac{y}{x_i}\right)^{1+\rho} \dots \dots \dots (1.2)$$

Two – Level の第一段階 : K, L を投入系数とする CES 生産関数 $U(K, L) = \{a_1 K^{-\rho_1} + (1 - a)L^{-\rho_1}\}^{-\frac{1}{\rho_1}}$

代用パラメータ (Substitution Parameter) $\rho_1 \neq 0, \rho_1 \geq -1$

分配パラメータ (Distribution Parameter) $a > 0$

³ この式の導き方は、「実証経済学入門」(黒田 昌裕) 第 10 章を参照のこと。

K,L を投入系数とする CES 生産関数

$$Y = \{a_1 K^{-\rho_1} + (1-a)L^{-\rho_1}\}^{-\frac{1}{\rho_1}} \dots\dots\dots(2.1)$$

について、最適条件から PK(資本の値段) は資本の限界生産力 $P(\frac{\partial Y}{\partial K})$ に一致するので、

$$P(\frac{\partial Y}{\partial K}) = PK$$

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{PK}{P} \dots\dots\dots(2.2)$$

同様に、最適条件から賃金率 PL(労働の値段) は労働の限界生産力 $P(\frac{\partial Y}{\partial L})$ に一致するので、

$$P(\frac{\partial Y}{\partial L}) = PL$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{PL}{P} \dots\dots\dots(2.3)$$

(1.2) の公式を (2.1) に適用して、

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = a(\frac{Y}{K})^{1+\rho_1}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = (1-a)(\frac{Y}{L})^{1+\rho_1}$$

これらと (2.2)(2.3) より

$$\frac{PK}{P} = a(\frac{Y}{K})^{1+\rho_1}$$

$$\frac{PL}{P} = (1-a)(\frac{Y}{L})^{1+\rho_1}$$

これらを変形すると、

$$K = (\frac{PK}{a \cdot P})^{\frac{1}{1+\rho_1}} Y \dots\dots\dots(2.4)$$

$$L = \{ \frac{PL}{(1-a) \cdot P} \}^{\frac{1}{1+\rho_1}} Y \dots\dots\dots(2.5)$$

これらから

$$\frac{K}{L} = \{ \frac{(\frac{PK}{a \cdot P})}{(\frac{PL}{(1-a) \cdot P})} \}^{-\frac{1}{1+\rho_1}}$$

$$\frac{K}{L} = (\frac{1-a}{a})^{-\frac{1}{1+\rho_1}} (\frac{PK}{PL})^{-\frac{1}{1+\rho_1}}$$

$$\frac{K}{L} = (\frac{1-a}{a})^{-\sigma_1} (\frac{PK}{PL})^{-\sigma_1}$$

ここで、代替の弾力性は $\sigma_1 = \frac{1}{1+\rho_1}$ である。⁴

ところで (2.4)(2.5) を (2.1) に代入すると、

$$Y = \{a \cdot \{ (\frac{PK}{a \cdot P})^{-\frac{1}{1+\rho_1}} Y \}^{-\rho_1} + (1-a) \cdot \{ (\frac{PL}{(1-a) \cdot P})^{-\frac{1}{1+\rho_1}} Y \}^{-\rho_1} \}^{-\frac{1}{\rho_1}}$$

$$Y = Y \{ a \cdot (\frac{PK}{a \cdot P})^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} + (1-a) \cdot (\frac{PL}{(1-a) \cdot P})^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} \}^{-\frac{1}{\rho_1}}$$

⁴ 代替の弾力性 $\sigma_1 = \frac{1}{1+\rho_1}$ の導き方については「生産性の分析と経済政策」(後藤昭太郎)P.169~P.177 を参照のこと。

$Y \neq 0$ より、

$$1 = \{ a \cdot (\frac{PK}{a \cdot P})^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} + (1-a) \cdot (\frac{PL}{(1-a) \cdot P})^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} \}^{-\frac{1}{\rho_1}}$$

$$1 = P^{\frac{1}{(1+\rho_1)\rho_1}} \{ a^{1-\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} PK^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} + (1-a)^{1-\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} PL^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} \}^{-\frac{1}{\rho_1}}$$

これを P について解いて整理すると、

$$P = \{ a^{\frac{1}{1+\rho_1}} PK^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} + (1-a)^{\frac{1}{1+\rho_1}} PL^{\frac{\rho_1}{1+\rho_1}} \}^{1+\rho_1}$$

代替の弾力性 $\sigma_1 = \frac{1}{1+\rho_1}$ より、

$$P = \{ a^{\sigma_1} PK^{1-\sigma_1} + (1-a)^{\sigma_1} PL^{1-\sigma_1} \}^{\frac{1}{1-\sigma_1}}$$

よって K,L を投入系数とする CES 生産関数に対応する費用関数は

$$PU(PK, PL) = \{ a^{\sigma_1} PK^{1-\sigma_1} + (1-a)^{\sigma_1} PL^{1-\sigma_1} \}^{\frac{1}{1-\sigma_1}}$$

Two – Level の第二段階 : $U(K, L), E$ を投入系数とする CES 生産関数 $V(U, L) = \{b_1 U^{-\rho_2} + (1 - b)E^{-\rho_2}\}^{-\frac{1}{\rho_2}}$

代用パラメータ (SubstitutionParameter) $\rho_2 \neq 0, \rho_2 \geq -1$

分配パラメータ (DistributionParameter) $b > 0$

同様に、 $U(K, L), E$ を投入系数とする CES 生産関数に対応する費用関数は

$$PV(PU, PE) = \{b^{\sigma_2} PU^{1-\sigma_2} + (1 - b)^{\sigma_2} PE^{1-\sigma_2}\}^{\frac{1}{1-\sigma_2}}$$

完全競争市場において企業が利潤を最大化（費用を最小化）するように各要素の投入量を決定するという仮定するのもとでは、各集計段階での最適化は全体の最適化と同値になることが知られている。

3.4 ある生産要素が「弱分離可能である」ことの意味

例えば、資本と労働の組み合わせがエネルギーから弱分離可能だということは、資本と労働に代替性がありさらにエネルギーとは関係が弱い場合、資本-労働集計量を一つの投入物とみなし、エネルギーから分離できることを意味する。企業が費用最小化するとして、生産量が与えられたとき、まず資本-労働集計量とエネルギーからのくらい配分するかを決め、その後でその資本-労働集計量をもとにその中の資本と労働の配分を決めれば、全体としての配分も決定する。このようにして 2 段階にわけてることによって、資本、労働、エネルギーを投入要素とする CES 生産関数を作成する。

2 種類の生産要素が他の生産要素から弱分離可能であるための必要十分条件

その 2 種類の生産要素間の限界代替率（それぞれの生産要素の限界生産物の比率）がそれ以外の生産要素の水準と独立であること。

例えば、資本 K と労働 L が他の生産要素（エネルギー E ）と弱分離可能であるための必要十分条件は、

$$\text{限界技術代替率 } MRTS = -\frac{\partial K}{\partial L} = \frac{MP_L}{MP_K} = \frac{\frac{\partial X}{\partial L}}{\frac{\partial X}{\partial K}}$$

より、

$$\frac{\partial}{\partial E} MRTS = \frac{\partial}{\partial E} \left(\frac{\frac{\partial X}{\partial L}}{\frac{\partial X}{\partial K}} \right) = 0$$

と表すことができる。

ここで、使用する生産関数は一次同次であり、相似拡大的であるから、生産関数の弱分離可能性は、費用関数の弱分離可能性と同値である。

$$\frac{\partial}{\partial PE} \left(\frac{\frac{\partial P}{\partial PL}}{\frac{\partial P}{\partial PK}} \right) = 0 \quad (P: \text{最小化された費用})$$

「シェパードの補題」により

$$\frac{\partial P}{\partial PK} = K, \quad \frac{\partial P}{\partial PL} = L$$

弱分離可能であるための必要十分条件は、2 種類の生産要素投入比率がエネルギー E の価格とは独立であることと言い替えることができるので、

$$\frac{\partial}{\partial PE} \left(\frac{L}{K} \right) = 0$$

よって、 KLE 型 CES 生産関数の場合、生産要素の弱分離に関して、次の仮説検定の問題に帰着する。

$$K - L \text{ 分離} : \ln(K/L) = -v \ln(PK/PL) + \delta \ln(PE) + \mu$$

$$K - E \text{ 分離} : \ln(K/E) = -v \ln(PK/PE) + \delta \ln(PL) + \mu$$

$$L - E \text{ 分離} : \ln(L/E) = -v \ln(PL/PE) + \delta \ln(PK) + \mu$$

のそれぞれにおいて $\delta=0$ なる仮説が棄却されなければ、それぞれの弱分離可能性は選択される。

4 Two-Level CES 生産関数の計測結果

<変数表> 1971~1991 (暦年データ)

K : 民間非農業資本ストック

= kipin85 (取り付け全産業資本ストック) - kipinaf85 (取付農林資本ストック)

L : 民間非農業労働

= (労働時間 15 人以上企業対象) * (産業就業者数 - 農業就業者)

E : 一次エネルギー総供給

Y : 生産者価格表示の産業の実質国内総生産 - 生産者価格の農業の実質国内総生産

PK : $(Y - PL * L) / K$

PL : $(\text{産業労働者所得} - \text{農業労働者所得}) / L$

PE : 卸売物価指数の燃料・動力指数 (日本銀行) 1975 年基準 = 100

4.1 K,L,E に関する弱分離性の推定方法

$$K - L \text{ 分離} : \ln(K/L) = -v \ln(PK/PL) + \delta \ln(PE) + \mu$$

$$K - E \text{ 分離} : \ln(K/E) = -v \ln(PK/PE) + \delta \ln(PL) + \mu$$

$$L - E \text{ 分離} : \ln(L/E) = -v \ln(PL/PE) + \delta \ln(PK) + \mu$$

において $\delta=0$ なる仮説が棄却されなければ、弱分離可能性は選択される。

本研究においては 1971 年から 1991 年の暦年データを用いるため、標本数は 21 で、制約の数 (説明変数の数) は 2 であるから、

$$\text{自由度 } df = (\text{標本数}) - (\text{制約の数}) = 21 - 2 = 19$$

t 分布表より、それぞれ有意水準 $\alpha=0.05, 0.01, 0.005$ 、自由度 19 の $t_{0.05}, t_{0.01}, t_{0.005}$ を調べると、

$$t_{0.05} = 1.729, \quad t_{0.01} = 2.539, \quad t_{0.005} = 2.861$$

分析から求められた t が $t < t_{0.05}(=1.729)$ or $t_{0.01}$ or $t_{0.005}$ である場合

→ δ は有意ではない。(帰無仮説 $\delta=0$ は棄却されない)

→ 弱分離可能性が選択される。

4.2 K,L,E に関する弱分離性の推定結果

【K-L 分離】

olsq ln(K/L) ln(PK/PL) ln(PE)

NO. 7 ** SAMPLE 71 - 91 **

ln(K/L) = -0.9776912*ln(PK/PL) -0.1242850*ln(PE) +0.8001908

(-18.57411)

(-2.771669)

(4.424290)

S.E. =0.578789E-01

ADJ R-SQ = 0.97589

D.W. =0.417455

【K-E分離】

olsq ln(K/E) ln(PK/PE) ln(PL)

```
NO. 8 ** SAMPLE 71 - 91 **
ln(K/E) = 0.1269670E-01*ln(PK/PE) +1.630457*ln(PL) +9.982831
          (0.1909902)          (7.785911)          (8.177389)
          S.E. =0.908464E-01 ADJ R-SQ = 0.93554 D.W. =0.388554
```

【L-E分離】

olsq ln(L/E) ln(PL/PE) ln(PK)

```
NO. 9 ** SAMPLE 71 - 91 **
ln(L/E) = -0.9710169E-01*ln(PL/PE) +0.1869979*ln(PK) +1.533588
          (-2.603357)          (3.028082)          (3.852844)
          S.E. =0.481715E-01 ADJ R-SQ = 0.29435 D.W. =0.678758
```

ともにD.W.は悪いが、L-E分離は決定係数が非常に悪い(0.29435)ので、この推定式の説明力は低い。よってK-L分離とK-E分離についてみる。

5%水準(t0.05)や1%水準(t0.01)では両者を比べることができないため、t0.005で判定をする。

K-L分離 : $t = |-2.771669| < t_{0.005}(2.861)$

δ は有意ではない。すなわち、この項ln(PL)のこの推定式への影響力は小さい。よって、ln(K/L)はln(PK/PL)で説明され得ることがわかった。

K-E分離 : $t = 7.785911 > t_{0.005}(2.861)$

δ は有意であり、その項ln(PL)はln(K/E)に対して影響力を持っている。

また、弱分離可能とされた生産要素間の推定値が有意な正值をとらなければならない。K-E分離では負の弾力性推定値を得ていることと、価格との関係のln(PK/PE)の項のt値が非常に低いことが指摘される。

これらの推定式の結果から、K-L分離では資本-労働が符号条件も満たしln(PK/PL)の項も有意なので、資本Kと労働LはエネルギーEから弱分離可能であると言える。

よって、資本-労働を第1段階の投入要素のネスト化(組み合わせ)とすることにする。

4.3 U(K,L),Eに関するTwo-Level CES生産関数の計測結果

石油危機の時代 1974 ~ 1985

第1段階

sample 74 85

olsq/plot ln(K/L) ln(PK/PL)

```
NO. 9 ** SAMPLE 74 - 85 **
ln(K/L) = -0.9412294*ln(PK/PL) +0.3606300
          (-16.79021)          (1.104128)
```


S.E. = 0.355123E-01 ADJ R-SQ = 0.96232 D.W. = 1.25729

推定結果より $\sigma_1 = 0.9412294$, $h_1 = 0.3606300$ であり、

$$a1 = (1 + e^{\frac{h_1}{\sigma_1}})^{-1} = 0.594632$$

$$U(K, L) = (0.594632 * K^{-0.062440} + 0.405368 * L^{-0.062440})^{-16.015312}$$

$$PU(PK, PL) = (0.594632^{0.941229} PK^{0.058771} + 0.405368^{0.941229} PL^{0.058771})^{17.015312}$$

第 2 段階

olsq/plot ln(U/E) ln(PU/PE)

NO. 61 ** SAMPLE 74 - 85 **

ln(U/E) = -0.3442424*ln(PU/PE) +0.6774686

(-9.246609) (1.912295)

S.E. = 0.454683E-01 ADJ R-SQ = 0.88482 D.W. = 1.35425

推定結果より $\sigma_2 = 0.3442424$, $h_2 = 0.6774686$ であり、

$$a2 = (1 + e^{\frac{h_2}{\sigma_2}})^{-1} = 0.877396$$

$$V(U, E) = (0.877396 * U^{-1.904930} + 0.122604 * E^{-1.904930})^{-0.524954}$$

$$PV(PU, PE) = (0.95597285 * PU^{0.655758} + 0.48554 * PE^{0.655758})^{1.524954}$$

第1段階

sample 81 90
 olsq ln(K/L) ln(PK/PL)

NO. 3 ** SAMPLE 81 - 90 **
 ln(K/L) = -1.157520*ln(PK/PL) -0.9315748
 (-27.69901) (-3.628355)
 S.E. =0.206233E-01 ADJ R-SQ = 0.98839 D.W. = 1.47846

推定結果より $\sigma_3 = 1.157520$, $h_3 = -0.9315748$ であり、

$$a3 = (1 + e^{\frac{h_3}{\sigma_3}})^{-1} = 0.308999$$

$$U(K, L) = (0.308999 * K^{0.136084} + 0.691001 * L^{0.136084})^{-7.348398}$$

$$PU(PK, PL) = (0.308999^{1.157520} PK^{-0.157520} + 0.691001^{1.157520} PL^{-0.157520})^{-6.348398}$$

第2段階

それぞれ81年エネルギーから見た石油ショックの影響の大きさからと86年バブル期の突出から、一時的ダミー変数をとる。

olsq/plot ln(U/E) ln(PU/PE) D1 D2

NO. 41 ** SAMPLE 81 - 90 **
 ln(U/E) = 0.2078084*ln(PU/PE) -0.8879361E-01*D1 +0.5002023E-01*D2
 (4.973282) (-3.688745) (2.167586)
 +5.108656
 (13.84996)
 S.E. =0.217394E-01 ADJ R-SQ = 0.86347 D.W. = 2.61429

推定結果より $\sigma_4 = -0.2078084$, $h_4 = 5.108656$ であり、

$$a4 = (1 + e^{\frac{h_4}{\sigma_4}})^{-1} = 0.440113$$

$$V(U, E) = (0.440113 * U^{5.812125} + 0.559887 * E^{5.812125})^{0.172054}$$

$$PV(PU, PE) = (0.440113^{-0.207808} * PU^{1.207808} + 0.559887^{-0.207808} * PE^{1.207808})^{0.827946}$$

5 分析と考察

我々は74年から85年の『石油危機の時代』と80年から90年の『第2次石油ショック以降～バブル』の2つの期間について推計した。

| 1974～1985 | | | 1980～1990 | | |
|-----------|-----|------|-----------|------|------|
| K | L | | K | L | |
| 0.6 | 0.4 | | 0.3 | 0.69 | |
| U | | E | U | | E |
| 0.87 | | 0.13 | 0.44 | | 0.56 |

図1: K,L,E の分配率

| 1974～1985 | | | 1980～1990 | | |
|-----------|---|---|-----------|---|---|
| K | L | | K | L | |
| 0.941 | | | 1.157 | | |
| U | | E | U | | E |
| 0.344 | | | -0.207 | | |

図2: K,L,E の代替率 σ

その結果、前節で示されているように、K-Lの分配に関してはK 0.6 L 0.4 からK 0.3 L 0.69 への変化が見られた。前期は石油ショックにより省エネ投資など資本への代替が進み、Kへの分配が増えたといえる。後期になると石油ショックの影響も薄れ、エネルギー価格は下降し、投入量が増えたために増えたためにK 0.3 L 0.69 という値に落ち着いている。

次にU (K, L) とEの分配を見てみるとU 0.87 E 0.13 からU 0.44 E 0.56 へと変化している。代替率をみると前期は+0.34 で代替的なのに対し後期は-0.2 で補完的である。

以上をまとめると、

- U と E が代替的から補完的へ変化している
- エネルギーの分配が増えている

ということが言える。

さらに、図3をみてみるとエネルギーの価格は82年を境にして急激に下がっており、それに対し投入量は82年を境に増加傾向にある。このことを考慮に入れると、オイルショック期には石油価格の高騰により省エネ投資が進み、EとUの代替率が高くなったといえる。

後期にはエネルギーの安定供給やエネルギー価格の減少による投入量の増大によって安心感が生まれ、省エネが行なわれなくなったため、EとUの補完関係が進んだと考えられる。

図3: 日本の1次エネルギー総供給とエネルギー価格

エネルギー E と資本-労働 U とが代替的であるということは、エネルギー価格および投入量の変化の影響を、資本-労働 U が吸収できることを意味する。したがって、E と U の代替性が高ければエネルギー価格および投入量の変化のインパクトはそれほど深刻にはならない。反対に、E と U が補完的であるならば、U はエネルギー投入量の変化の穴を埋めることができないだけでなく U 自体の限界生産性まで減少させることになる。したがって両者の間の補完性の程度が高ければそのインパクトはかなり深刻なものとなるであろう。

このような補完的という状況は、エネルギーの地球環境問題という側面から考えると問題がある。なぜなら投入量が増えれば増えるほど二酸化炭素などの排出が増えるということにつながるからである。つまり補完的ということは、省エネ投資やエネルギーにおける技術進歩、非化石燃料への移行が十分なされていないということを表しているのである。

省エネやエネルギーの技術開発、非化石燃料への移行というのは E から U への代替ととらえることができるので、まず E から U への代替を促進させる政策が必要である。現在、E が U と同様に 50 % もの分配があるということは、E の生産へのインパクトがかなり大きいということである。このようなバランスの時に E の価格と投入量を人為的に操作することは危険である。

代替の方向に近づけるために例えば 5～10 年後の炭素税の導入を予告し、省エネへの投資を増やさせるような政策や、低い税率から長い年月をかけて徐々に導入していく政策を行うべきである。

6 さいごに ～炭素税の研究に向けて～

我々の推計した生産関数は『技術進歩』が考慮されていないが、これからのエネルギー政策において技術進歩は重要な要素を担っていると思われる。そのため生産関数から「ソロー残差」を求めたり、あるいは知識ストックなどを加えるなどして技術進歩率を考慮に入れることも必要である。

『エネルギー間の代替性』も今後の炭素税を考える上で考慮されなければならない。エネルギー間の代替に関して、より CO_2 排出量の少ない化石燃料との代替を研究したものもあり、それらは主に石油や石炭から電力、ガスへの代替が進むという結果を示している。⁵ また非化石燃料として原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電、地熱発電、廃棄物焼却発電などの研究もすすめられてはいる⁶ が、化石燃料との代替として経済モデルに取り込むほどには現段階では成熟していない。以上の 2 種類のエネルギー間代替についてはエネルギー技術の領域であり、エネルギーモデルを中心とした分析が別途必要となる。

さらに、産業によって依存するエネルギーの種類が異なるため、厳密な議論をするためには産業連関表を用いた産業連関モデルによって個々のインパクトを分析しなければならない。そして炭素税の経済全体へのインパクトというものは、ただ単に価格の上昇という問題ではなく税であるから、その税収の使い方、逆進性の問題、財政を考慮したマクロモデルを考えることが必要である。

よって最終的には、炭素税の影響分析のこれからの課題はエネルギーモデル、産業連関モデル、マクロモデルをリンクさせることで、より詳細に研究することであるといえる。

⁵ 「課徴金による二酸化炭素抑制効果と経済的影響の分析」(電力中央研究所：1991,Y91002) など

⁶ 参考「地球温暖化対策技術評価検討会報告書」(環境庁：1992)

7 参考文献

- | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------|------|
| (1) 生産性主導の経済成長に戻った米国経済 | ローレンス・クライン, 熊坂有三 | ニッセイ基礎研究所調査月報 | 1995 |
| (2) 生産構造の計量分析 (第2章) | 得津一郎 | 創文社 | 1994 |
| (3) 地球温暖化防止政策と技術開発 | 国則守生 宮川努 | | |
| (4) 研究開発と設備投資の経済開発 (144p-168p) | 竹中平蔵 | 東洋経済新報社 | 1984 |
| (5) 最新エネルギー経済入門 (第1章経済とエネルギー) | 富舘考夫, 木船久雄 | 東洋経済新報社 | 1994 |
| (6) 地球温暖化の経済分析 | 宇沢弘文, 国則守生 | 東大出版 | 1993 |
| (7) 生産性の分析と経済政策 | 後藤昭太郎 | | 1993 |
| (8) エネルギーの経済学 (4章 エネルギーと経済成長) | 室田泰弘 | 日本経済新聞社 | |
| (9) 資源・エネルギーの経済分析 | 小野里庄次 | 白桃書房 | 1983 |
| (10) 実証経済入門 | 黒田昌裕 | | |
| (11) 環境税 | 石弘光編 環境税研究会著 | 東洋経済新報社 | |
| (12) 入門経済ゼミナール (74p-95p) | 西村和雄 | | |
| (13) 計量経済学 (165p-199p) | 辻村河太郎 | 岩波書店 | 1981 |
| (14) 新経済学ライブラリ 12 計量経済学 (199p-222p) | 山本拓 | 新世社 | 1995 |
| (15) 課徴金による CO2 抑制効果と経済的影響の分析 | | 電力中央研究所 | 1991 |
| (16) 地球温暖化対策技術評価検討会報告書 | | 環境庁 | 1992 |