

■ 特集 ■ エネルギー経済・エネルギーシステム

エネルギーと設備投資

Economic Impacts of Higher Energy Price on
Capital Formation木 下 宗 七*
Soshichi Kinoshita

1. はじめに

周知のように、1973—74年の第1次石油危機による原油価格の急騰以来、石油を始めとするエネルギーの価格は、他の生産物の価格や生産要素のコストに比べて大幅な上昇を記録している。こうしたエネルギーの実質価格の上昇は、わが国をはじめとして、輸入石油に依存しているエネルギー消費国の生活様式や生産構造に、さまざまなインパクトを与えている。その結果、マクロ経済的には、石油危機のもたらすインフレ効果とデフレ効果をいかに克服するかが重要な政策課題になっているし、ミクロ経済的には、生活や生産の場でいかにしてエネルギーの効率的利用をはかるかが大きな関心事になっている。

ところで、それでは、こうした石油危機を克服するための家計や企業や政府の努力はどの程度成功するものなのか、また、いかにすれば効果的に石油危機に対処できるのか。この問題に答えをだすためには、エネルギー価格の上昇が、人々の消費生活や企業の生産活動にどのような経済的インパクトを与えるかを、実証的に明らかにすることが必要である。そこで、この論文では、主としてエネルギーの生産要素としての役割に注目し、エネルギーを含む生産関数を用いて、エネルギー価格の上昇が長期的にみてエネルギーやエネルギー以外の生産要素の投入、とくに設備投資にどのようなインパクトを与え、その結果として潜在的な生産能力にどのような変化をもたらすかを、これまでの実証的研究にもとづいて検討することにする。

2. エネルギー価格上昇によるインパクトの決定因

さて、1973—74年以降の、石油を含む各種のエネ

ルギー価格の大幅な上昇は、インフレ、デフレ、赤字という形で消費生活や生産活動に大きな混乱をもたらしてきた。こうしたエネルギー価格上昇のインパクトの方向やその大きさを決めているものが何であるかを考えると、その要因として、つぎの2つをあげることができる。

第1の要因は、エネルギーが消費生活や生産活動で演じている役割の大きさである。その役割が大きければ大きいほど、エネルギー価格上昇のインパクトも大きくなる。たとえば、消費生活でのエネルギーの役割を、家計が消費生活のうちのどれだけをエネルギー関連費目に支出しているかで測ると、石油危機以前ではアメリカの家計は消費支出の8.7%を、また日本の家計は5.7%をエネルギーに支出している。これから、エネルギー価格が同じ比率で上昇した場合には、エネルギー支出増による家計費への圧迫は、アメリカの家計の方が大きいことがわかる。また、生産活動でのエネルギーの役割を工業部門での総生産費に占めるエネルギー費用の比率でみると、石油危機以前のアメリカの値は約3%であり、日本の1970年の値は4.9%と推計される。このことは、かりにエネルギーの価格が100%引き上げられると、それだけでアメリカでは3%、日本では4.9%の製品価格の引き上げを実現しないと、いままでと同じ利益率を維持することができないことを意味する。

このように第1の要因は、エネルギー価格上昇のインパクトを決定する重要な要因であるが、これはどちらかというと、インパクトの直接的ないし短期的な大きさを左右する要因である。エネルギー価格上昇の長期的なインパクトを考える場合には、第2の要因として「エネルギー節約」ないし「エネルギー代替」の可能性に注目することが必要である。ここで「エネルギー節約」ないし「エネルギー代替」というのは、エネ

*名古屋大学経済学部助教授

464 名古屋市千種区不老町1

ギーの価格が上昇した場合に、家計や企業が割高になったエネルギーを他の生産物や生産要素でどの程度代替でき、それによってエネルギーの投入をどの位節約することができるか、である。いうまでもなく、エネルギー節約の可能性が大きいほど、エネルギー価格上昇のインパクトは弱められることになる。

ところで、第1次石油危機以前のエネルギー入手可能性の問題も起らず、エネルギーの実質価格が趨勢的に低下していた時期には、エネルギー価格の変化がエネルギー投入にどのような影響を与えるかといった分析はあまり注目されず、エネルギー投入の価格弾力性はネグリジブルであると想定されることが多かった。エネルギーの代替可能性は極めて小さいという扱いである。

こうした取扱いは、少なくとも短期的には間違っていないであろう。家計の場合を考えてみると、エネルギーの消費は電気製品なり自動車といった機器と結びついており、しかもそれぞれの機器で消費されるエネルギーの大きさは決っているので、エネルギー価格が上昇した場合も直ぐにはエネルギーの消費を減少させることはできない。機器に耐用年数があるので、1～2年の間にいままでの機器をエネルギー効率の高いものに取替えることは、経済的ではないからである。

生産活動でのエネルギーの投入も家計の場合と似ており、短期的にはエネルギーの消費を減少させることは容易ではない。生産のためのエネルギーの投入は必ず機械、設備、建物といった資本ストックの稼働と結びついており、しかもそれぞれの資本設備の稼働に要するエネルギーの量はあらかじめ決まっているのが通常である。いわば、エネルギーと設備は生産プロセスでの補完的なインプットである。そうすると、エネルギー価格が上昇しても、少なくとも短期的にはエネルギーを節約する方向へ生産プロセスを転換させることは困難であり、エネルギーの投入を減らそうとすれば、生産水準そのものを減少させるということにならざるを得ない。

このように短期的には、エネルギー節約の可能性は極めて小さく、節約しようとするればそのための犠牲は大きくならざるを得ない。しかし中長期的には、エネルギー消費機器や機械設備をエネルギー効率の高いものに取り替え、生活様式や生産技術をエネルギー節約の方向へ転換させることができるので、エネルギー価格の上昇に対してエネルギー投入の減少という形で対応することができる。その場合問題になることは、ひとつは、エネルギーを他の生産物や他の生産要素で代替

することによってどの程度エネルギーを節約できるか、であり、もうひとつは、ことなつたエネルギー源の間での相互の代替性がどの位あるか、ということである。

3. エネルギー節約とエネルギーの代替弾力性

エネルギー価格上昇の経済的インパクトを評価する場合には、エネルギーと他の生産要素との代替可能性を考慮することが重要であることを指摘したが、ここでは、その議論をより明確なものにするために、経済分析のタームを用いてエネルギー代替の役割を検討することにする。

まず、議論を単純化するために、国民経済をエネルギー部門と非エネルギー部門の2つに分け、両部門間の投入産出の関係が表1の様になっているとする⁽¹⁾。この表で明らかなように、エネルギーは最終需要のための生産物の生産に投入される中間投入物として扱われており、各部門での自部門からの投入は捨象されている。また生産要素としての資本と労働もひとまとめにされている。

ここで、非エネルギー部門の生産額をGNPと同じデフレーターで実質化したものをYと定義すると、投入産出のバランスから、つぎの2式が得られる。

$$Y = (P_E / P) E + (P_R / P) R \dots\dots\dots(1)$$

$$Y = (P_E / P) E + /GNP/ \dots\dots\dots(2)$$

また、生産要素としてのエネルギーの役割を明示するために、YとE、Rを結びつける生産関数を

$$Y = F(E, R) \dots\dots\dots(3)$$

で表わすことにする。

このような形で経済各部門の取引関係や生産の技術的關係を定式化すると、非エネルギー部門での生産のためのエネルギーの最適投入は、エネルギーの限界生

表1 2部門モデルでの経済取引

需要部門 供給部門	エネルギー部門	非エネルギー部門	最終需要部門
エネルギー部門	0	P _E E	0
非エネルギー部門	P _E E	0	PGNP
労働力、資本ストック部門	0	P _R R	

記号：E=エネルギー、R=資本と労働を合せた生産要素、GNP=国民総生産、P_E=エネルギー価格、P_R=生産要素の価格、P=GNPのデフレーター

産力がエネルギーの実質価格に等しくなるようにすること、すなわち

$$\frac{\partial Y}{\partial E} = \frac{P_E}{P} \dots\dots\dots(4)$$

となるようにEの投入量を決めることである。

(4)式の関係を使うと、非エネルギー部門での生産額に占めるエネルギー・インプットの割合は

$$\frac{P_E E}{PY} = \frac{\partial Y}{\partial E} \cdot \frac{E}{Y} = \frac{\partial Y}{Y} / \frac{\partial E}{E} \dots\dots\dots(5)$$

となる。この式は、生産に占めるエネルギー・コストの割合が、Rを所与としてエネルギーを1%変化させた時の生産の変化率—「エネルギーの生産弾力性」に等しくなることを意味している。従って、かりにエネルギー・コストの割合が5%で固定しているとすると、エネルギー投入が10%減少した場合、非エネルギー部門の生産は0.5%減少することになる。コストの割合が大きいくほど、エネルギー投入の減少による生産の減少は大きくなる。

もっとも、生産額に占めるエネルギー・コストの割合が固定的かどうかは、エネルギー価格の上昇に伴うエネルギー節約の程度に依存する。エネルギー需要の価格弾力性が1で、エネルギー価格の上昇と同じ比率だけエネルギー原単位を減少させることができれば、エネルギー・コストのシェアは不変である。しかしエネルギー需要の価格弾力性が1よりも小さい場合には、エネルギー価格の上昇とともにエネルギーのコスト・シェアも大きくなっていく。

それでは、エネルギー需要の価格弾力性を左右するものは何かというと、それは、生産プロセスでのEとRの代替性の程度である。そのことを明らかにするために、まず、生産要素間の「代替の弾力性」をつぎのように定義する。

$$\sigma = - \frac{\partial \ln(E/R)}{\partial \ln\left(\frac{\partial F/\partial E}{\partial F/\partial R}\right)} \dots\dots\dots(6)$$

ただし、この式の分子は要素比率の対数の変化分であり、分母は限界代替率の対数の変化分である。(6)式は、企業が最適化行動をとっている場合には要素間の限界代替率が要素価格の比に等しくなることを考慮すると、

$$\sigma = - \frac{\partial \ln(E/R)}{\partial \ln(P_E/P_R)} \dots\dots\dots(7)$$

と書き表わすこともできる。この定義によれば、代替の弾力性は、要素価格比が1パーセント変化した時、それに誘発されて要素比率が何パーセント変化するか、

を測る尺度である。

つぎに、非エネルギー部門の生産関数Fが(6)ないし(7)で定義される代替弾力性を一定にするのもであるとすると、(3)式のプロダクト関数はCES型関数となり、つぎのように表わされる⁽²⁾。

$$Y^{(\sigma-1)/\sigma} = aE^{(\sigma-1)} + bR^{(\sigma-1)/\sigma} \dots\dots\dots(8)$$

この生産関数を用いると、(4)式の均衡条件はつぎのようになる。

$$\frac{\partial F}{\partial E} = a \left(\frac{Y}{E} \right)^{1/\sigma} = \frac{P_E}{P} \dots\dots\dots(9)$$

この式をさらに変形してEに関する式を導びくと

$$E = Y a^\sigma (P_E/P)^{-\sigma} \dots\dots\dots(10)$$

となる。明らかのように、この式は、エネルギー投入を総生産と相対価格で説明するマクロのエネルギー需要関数と同じ形をしている。したがって、もしYをEとは独立の変数として扱おうことができるとすれば、エネルギー需要の価格弾力性は生産要素間の代替弾力性と同じものである。

かくして、生産要素間の代替弾力性が大きければ大きい程、エネルギーの実質価格が上昇した時のエネルギー節約の割合も大きくなる。いいかえると、より少ないエネルギーの投入によって今までと同じ生産水準を維持することができる。かりにσ = 1とすると、エネルギーの実質価格が10%上昇した場合、他の要素の投入を増やすことによって単位当りのエネルギー投入を10%減少させることができる。それに対して、σが1より小さい場合には、価格上昇にもとづくエネルギー節約の程度は価格上昇率以下になる。とくにσ = 0の場合には、エネルギー価格が上昇してもそれを他の生産要素で代替することはできないので、エネルギー節約の余地はゼロである。

4. 生産要素間の代替・補完をめぐる議論

前節では、単純化された経済モデルでエネルギーと非エネルギー生産要素全体との代替可能性がエネルギー節約にもつ意味を検討したが、現実経済との関連では、エネルギー価格が上昇した場合、エネルギーから資本設備への代替が起こるのか、あるいはエネルギーから労働力への代替が起こるのか、またその場合の要素間の代替・補完の程度はどの位か、が重要である。この問題については、ここ数年 translog 型生産関数による研究が進められ⁽³⁾、生産要素としてのエネルギーと資本、労働力および原材料の間の代替性に関していくつかの計測結果が報告されている。

表2はそれらのうちの主要なものを要約したものであるが、この表によってエネルギーと他の生産要素、とくに資本と労働力との代替・補完の関係をみると、エネルギーと労働力の間ではいずれも代替的となっているが、エネルギーと資本の間では、代替的とするものと補完的とするものとに分かれ、見解が対立している。

こうしたエネルギーと資本の代替性に関する対立的な計測結果をどのように評価すべきかが問題になるが、この問題に入るためには、計測された「代替弾力性」がどのようなものを生産関数の特性と結びつけてはつきりさせておくことが有用である。

そこで、一般的に生産のためのインプットを X_i 、その価格を P_i とすると、計測に用いられている代替弾力性(AES)は、つぎのように定義される。

$$\sigma_{ij} = \epsilon_{ij} / \theta_j \dots\dots\dots(12)$$

ただし $\epsilon_{ij} = \frac{\partial X_i}{\partial P_j} \cdot \frac{P_j}{X_i} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} \dots\dots\dots(13)$

$$\theta_i = P_i X_i / \sum P_i X_i \dots\dots\dots(14)$$

(13)式の ϵ_{ij} は要素投入の価格弾力性であり、「生産水準と*j*以外の要素の価格を固定して」*j*番目の要素の

表2 エネルギーと非エネルギー生産要素間の代替可能性に関する分析結果の要約

研究者	データ・ベース	分析結果
Hudson=Jorgenson (1974)	アメリカ製造業 1947-1971	EとK補完的 EとL代替的 EとM代替的
Berndt=Wood (1975)	アメリカ製造業 1947-1971	EとK補完的 EとL代替的 EとM代替的
Griffin=Gregory (1976)	OECD 9ヶ国製造業, 1955, 1960, 1965, 1969	EとK代替的 EとL代替的
Fields=Grebenstein (1977)	アメリカ製造業州別, 1971	EとL代替的
Fuss (1977)	カナダ製造業地域別, 1961-1971	EとL代替的 EとM代替的
Pindyck (1979)	OECD10ヶ国製造業, 1959-1973 ないし 1974	EとK代替的 EとL代替的
Tintner, Dentsch, Rieder=Rosner (1977)	オーストリー全産業, 1955-1972	EとK代替的 EとL代替的
Oezatay, Grubaugh, =Long(1978, 1979)	カナダ, 西独, 日本, オランダ, ノルウェー, スウェーデン, アメリ カ, 1963-1974	EとK代替的 EとL代替的 (長期のみ) EとM独立的

(注) K = 資本, L = 労働, E = エネルギー, M = 原材料を表わす。代替の弾力性が絶対値で0.1より小さいときは独立的と分類される。

出所: Coates, R.etal. *Survey of the Research into Energy-Economy Interactions, vol.1 Survey, U.S. Department of Commerce, 1979*

価格のパーセント変化に対して、*i*番目の生産要素の投入が何パーセント変化するか、を測るものである。また θ_j は総生産費に占める*j*番目の生産要素のコストの割合である。そして、2つの生産要素 X_i と X_j が相互に代替的か、独立的か、補完的かは、 σ_{ij} がプラスか、ゼロか、マイナスかで決められる。

この「アレンの代替弾力性」と共によく用いられる代替性の別の測度として、つぎのような「直接代替弾力性」と呼ばれるものがある。

$$d_{ij} = - \frac{\partial \ln (X_j / X_i)}{\partial \ln (P_j / P_i)} \dots\dots\dots(15)$$

これは「生産水準と*i, j*以外の生産要素の投入量を固定して」生産要素の相対価格が1パーセント変化した時、その要素比率が何パーセント変化するかを測るものである。定義上から d_{ij} はプラスかゼロであり、その大きさはエンジニアリングの代替性に依存する。また、生産要素が2つだけの場合には、 d_{ij} と σ_{ij} は同じ値をとることが証明されている。

ところで、上述の2つの代替弾力性の違いは、*i*番目の要素価格が変化した時、それへの調整を*j*番目の要素だけで行なうのか、それとも全ての生産要素で行なうか、である。たとえば、エネルギー価格が変化した時の資本ストックの調整を考えると、 d_{ij} は労働力や原材料の投入を固定して資本だけで調整する場合、どれだけ資本ストックを変化させることが合理的かを測る。それに対して σ_{ij} は、エネルギーが労働力や原材料とも代替的な場合には、労働力や原材料による調整も考慮した上で資本ストックをどれだけ変化させるべきかを測るものである。したがって、エネルギー価格が上昇した時、 d_{ij} のレベルではエネルギーを減らし資本投入を増やすことが望ましいとしても、 σ_{ij} のレベルではエネルギーと資本の投入を共に減らし、それに代えて労働力や原材料の投入を増加させた方が有利になる、というケースを考えることができる。この場合には、エネルギーと資本は直接的には代替的であっても、全体としての要素投入との関連では補完的に機能することになる。

このように、2つの要素間の代替性といっても、代替の弾力性の定義如何で全く逆の結論になることがある。こうした2つの代替弾力性の相互関係は、生産関数の型を特定化すると、もっとはっきりしたものになる。いま、(i) 生産要素は資本(K), 労働力(L), エネルギー(E)の3つであり、(ii) KとEの限界代替率はLとは独立で、K, EはLとは「弱い意味で分離

可能」であり、(iii) 要素間の代替弾力性は一定である、と仮定すると、生産関数の型はつぎようになる。

$$F(K, L, E) = G[H(K, E), L] \dots\dots(16)$$

ここで、 G と H はともにCES型の生産関数を表わし、 K と E は H の中で代替可能であり、 L は G の中で K 、 E を合成した利用資本と代替的である。

この生産関数のもとで K 、 E 間の σ_{ij} と d_{ij} を求めると、両者の間には

$$\sigma_{KE} = \sigma + (d_{KE} - \sigma) / \theta_H \dots\dots\dots(17)$$

の関係が成り立つことが証明される⁽⁴⁾。この式で、 σ は G の中での K 、 E と L の間の代替弾力性であり、 θ_H は総生産に占める K と E のコスト・シェアである。そこで、(17)式の関係を用いると、

- (a) $\sigma > d_{KE}$ ならば $\sigma_{KE} < d_{KE}$
 (b) $\sigma > d_{KE} / (1 - \theta_H)$ ならば $\sigma_{KE} < 0$

となる。このことは何を意味するかというと、 K 、 E と L の間の代替弾力性の方が K と E の間の直接代替弾力性よりも大きい場合には、 σ_{KE} はつねに d_{KE} を下回り、とくに(b)のようなケースでは σ_{KE} はマイナスとなり、 K と E は補完的となる、ということである。

さて、以上に述べた様な代替弾力性の性質を念頭において、 K 、 E 間の代替性についての対立的な計測結果をみてみよう。 E と K は補完的とする側の代表はHudson = JorgensonとBerndt = Woodであり、 E と K は代替的とする側の代表はGriffin = GregoryとPindyckである。

まず、補完的とする立場に立つBerndt = Woodは、1947～71年のアメリカ製造業の K 、 L 、 E 、 M の時系列データを用い、translog型の生産関数を想定して計測し、 $K-E$ は補完的、 $L-E$ は代替的という結果を得ている。弾力性の平均値は $\sigma_{KE} = -3.2$ 、 $\sigma_{KL} = 1.01$ 、 $\sigma_{LE} = 0.65$ である。Hudson = Jorgensonも同様に1947～71年の製造業の時系列分析で $\sigma_{KE} = -1.39$ 、 $\sigma_{KL} = 1.09$ 、 $\sigma_{LE} = 2.16$ を得ている。

つぎに、代替的とする立場に立つGriffin = Gregoryは、OECD 9ヶ国の製造業について1955、60、65、69年の K 、 L 、 E の時系列とクロス・セクションのデータをプールし、translog型の計測を行なっている。そして、 $K-E$ と $L-E$ は共に代替的という結果を得ている。アメリカについての結果は $\sigma_{KE} = 1.07$ 、 $\sigma_{KL} = 0.06$ 、 $\sigma_{LE} = 0.87$ である。PindyckもOECD 10ヶ国(日本を含む)の製造業について、1959～73年の K 、 L 、 E の時系列データをプールして同様の計測

を行なっているが、この場合も $K-E$ は代替的であり、アメリカの σ_{KE} は0.61、日本のそれは0.86である。

このように相互に矛盾するような結果がでてくるのはどうしてかについては、データや生産関数の特定化の面から種々の検討がなされている。それによると、つぎのことが指摘できる。

第1に、時系列データの場合には補完的で、クロス・セクション・データの場合には代替的となっているのは、前者が短期の関係を反映し、後者が長期の関係を導き出していることのアラわれとみることができる。 E と K は短期的には補完的だが長期的には代替的であるとすれば、2つの結果は矛盾するものではない。

第2に、補完的な結果を得ている時系列データは、石油危機後のエネルギー価格が大幅に上昇した期間を含んではいない。そのため、 E と K との代替関係を計測するには適当ではない。

第3に、 σ_{KE} がマイナスで $K-E$ が補完的であることは、必ずしも K と E の間の直接的な代替性がないことを意味するものではない。現実には $E-K$ の代替性に比べて $E-L$ や $K-L$ の代替性が大きいとみるべきである⁽⁵⁾。

最後に、報告されている代替弾力性はいずれもtranslog型の費用関数を用いたもので、直接に生産関数を計測して求めたものではない。

これらの諸点を考慮すると、 $E-K$ の代替、補完については、さらに検討を加える必要がある。現段階でいえることは、これまでの時系列データによる結果は「補完的」とする方向にバイアスを持っている、ということである。

5. 日本経済と省エネルギー投資の重要性

E と K が代替的か補完的かということは、エネルギー価格の上昇が設備投資に与えるインパクトについて、全く対称的な結果をもたらす。補完的とする立場に立てば、エネルギー価格の上昇は資本設備の操業コストを高めるので、 E と K の投入を共に減らし、その代りに労働投入を増やした方が有利である。この場合には、省エネルギー投資の役割は極めて小さい。それに対して、代替的とする立場にたてば、エネルギー価格の上昇は E から K への代替を刺激するので、エネルギー節約のための役割は大きくなる。

それでは、日本経済の場合は、代替、補完のいずれの立場がより現実妥当的であろうか。それに答える前に、1973年以降のエネルギー投入がどうなってきた

かをみてみよう。まず、国民経済全体についてみると、1973～79年の間にGNP単位当りの総エネルギー消費は15%ほど節約されている。しかもエネルギーのうちの石油については、約18%の節約となっている。また産業別では、生産指数単位当りのエネルギー節約が大きいのは化学の約19%で、それに鉄鋼の12%、非鉄金属の9%が続いている。石油だけをとってみると、鉄鋼では約39%の節約が実現しており、化学や金属・機械も20%を上回る節約となっている⁽⁶⁾。

このようにエネルギー節約ができたということは、日本経済において、エネルギーがエネルギー以外の生産要素と代替的である、ということの意味する。そうすると、つぎは、EからKへの代替が進行したのか、EからLへの代替が進行したか、である。この点については、わが国では、減量経営ということで労働投入が抑えられてきたこと、K/Lが上昇傾向を持ってきたことを考えると、EからKへの代替の方が支配的であった、とみることができる。

以上の事実認識をもとにすると、日本においては、EとKは代替的であるとみる方が適切である。そこで以下では、「EとKは代替的である」という立場に立って、エネルギー価格上昇の設備投資へのインパクトを分析することにする⁽⁷⁾。

そのために、まず、エネルギーを含む生産関数を推定する必要があるが、ここでは、データの制約から生産のためのインプットとしての原材料は捨象し、生産関数の型については、Pindyckの計測による日本のE-K、E-Lの代替弾力性が0.8～1.0に分布していることを考慮し、第1次接近としてコブ＝ダグラス型を想定する。そうすると、KLEの生産関数はつぎのように特定化される。

$$Y = F(K, L, E) = AK^\alpha L^\beta E^\gamma \dots\dots\dots(19)$$

ここで α , β , γ は要素投入の生産弾力性である。

(19)式を推定するためには、説明変数としてK, Lと共にEの系列が必要となるが、マクロでの生産のためのエネルギー・インプットの系列を求めることは、データ面の制約や国民経済計算でのエネルギーの取扱いの問題があるので、それほど容易なことではない。

考えられるひとつの方法は、Rasche = Tatom⁽¹²⁾にならって、EをYと実質エネルギー価格 P_E/P で置き換えることである。これは、企業が利潤極大化を実現するようにエネルギー投入を行なう場合には、

$$\frac{\partial Y}{\partial E} = \gamma \left(\frac{Y}{E} \right) = \frac{P_E}{P} \dots\dots\dots(20)$$

の関係が成り立つことを考慮するものである。

(20)式の関係(19)式に代入し、規模に関する収穫一定の仮定にもとづいて、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ の制約を導入すると、最終的に推定すべき生産関数はつぎのように表わすことができる。

$$\ln \left(\frac{Y}{L} \right) = a_0 + a_1 \ln \left(\frac{K}{L} \right) + a_2 \ln \left(\frac{P_E}{P} \right) \dots\dots(21)$$

ただし、

$$a_1 = \beta / (1 - \gamma), \quad a_2 = -\gamma / (1 - \gamma)$$

こうして導びかれた(21)式のパラメータを計測すれば、それから生産関数を求めることができる。そこで、標本期間を1964～78年とし、データとして

- Y : GNP + 鉱物性燃料輸入
- K : 稼働率と資本の質を調整した
民間粗資本ストック (期首)
- L : 年間延労働時間総数
- P_E : 鉱物性燃料輸入価格
- P : Yのデフレーター

を用いると、つぎの結果が得られる。

$$\begin{aligned} a_0 &= -5.63354 \\ a_1 &= 0.59959 (54.242) \\ a_2 &= -0.07751 (-2.2598) \\ R^2 &= 0.997, \quad DW = 1.16 \end{aligned}$$

ここで、括弧内の値はt-統計量、 R^2 は決定係数、DWはダービン・ワトソン比である。

これで明らかなように、EとKを代替的とする生産関数で標本期間の生産性の変動は十分に説明されており、係数は統計的にみてゼロと有意である。この推定値から α , β , γ を求めると、

$$\alpha = 0.5565, \quad \beta = 0.3716, \quad \gamma = 0.0719$$

となる。これは、エネルギーの実質価格の10%の上昇はエネルギー投入の減少によって経済成長を0.72%低下させること、また、その低下分を資本による代替によって相殺しようとする、1.3%だけ資本投入を増加させることが必要であること、を意味する。

以上により計測されたエネルギーを含む生産関数を用いて、1973～78年の石油価格上昇のインパクトを評価すると、第1に、この期間の年平均15～16%に及ぶエネルギーの実質価格の上昇は、経済全体の潜在生産力を年率で1.3～1.4%低下させる方向に作用してきたことがわかる。第2に、生産関数がエネルギーの代替弾力性を1.0と仮定していることから、長期的にはエネルギー原単位を15～16%減少させる働きをしてきた様である。第3に、こうしたエネルギー節約を可

能にするものはEからKへの代替であり、1973～78年の民間設備投資の中味を、拡張投資、省力投資、省エネルギー投資、更新投資に事後的に分割すると、省エネルギー投資は全体の17%を占めていることがわかる⁽⁸⁾。

6. おわりに

以上、石油危機後のエネルギー価格の上昇が生産要素間の代替を通じて設備投資にどのようなインパクトを与えるかを、エネルギーを含む生産関数を用いて検討してきた。エネルギーと資本との代替、補完については、アメリカを中心にさまざまな論議が展開されており、日本経済についても、さらに進んだ研究がなされなければならない。その意味で、1973～78年のわが国の省エネルギー投資の評価も留保付きのものである。今後の研究においては、産業についての分割を行ない、代替弾力性については、「直接代替弾力性」と「アレンの代替弾力性」を分けて計測することが重要である⁽⁹⁾。

注

- (1) ここでの議論は、主として Hogan=Manne (6) によっている。
- (2) 生産関数のうち代替弾力性が一定のものをCES (Constant Elasticity of Substitution) 型といい、よく知られているコブ=ダグラス型(この場合は $\sigma = 1$) を特殊な場合として含む。
- (3) tranlog 型生産関数は生産要素間の代替、補完の関係を測るために Hudson=Jorgenson (7) によって最初に用いられたもので、任意の生産関数のテーラ-展開を用い、対数2次型近似関数としたものである。生産要素を X_i 、産出高を Y とすると、つぎの式で表わされる。

$$\ln Y = \ln \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln X_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j r_{ij} \ln X_i \ln X_j$$

- (4) Sato (13) はこのことを一般的に証明している。
- (5) Berndt=Wood (2) はこの点を強調している。
- (6) 資源エネルギー庁『エネルギー統計』及びエネルギー-経済研究所の推計による。
- (7) 以下の分析は木下(8)の一部として発表したものを要約したものであり、詳細については同論文を参照されたい。
- (8) 同様のアプローチで、アメリカ、西ドイツとの比較で、日本における省エネルギー投資の役割が鈴木・竹中(14)で検討されている。

- (9) この方向への発展が Prywes (11) でなされている。

参考文献

- (1) Berndt, E. R. and D. O. Wood, "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy," *The Review of Economics and Statistics*, Aug. 1975.
- (2) ———, "Engineering and Econometric Interpretation of Energy-Capital Complementarity," *The American Economic Review*, June 1979.
- (3) Field, B. C. and C. Grebenstein, "Capital-Energy Substitution in U. S. Manufacturing," *Unpublished Working Paper*, University of Massachusetts, June 1977.
- (4) Fuss, M. A., "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing," *Journal of Econometrics*, January 1977.
- (5) Griffin, J. M. and P. R. Gregory, "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses," *The American Economic Review*, December 1976.
- (6) Hogan, W. W. and Alan S. Manne, "Energy-conomy Interactions: The Fable of the Elephant and the Rabbit?," in *Advances in the Economics of Energy and Resources*, Vol. 1 (edited by Robert S. Pindyck) 1979.
- (7) Hudson, E. A. and D. W. Jorgenson, "U. S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000," *The Bell Journal of Economics*, Autumn 1974.
- (8) 木下宗七「エネルギー制約と設備投資行動」『経済科学』(名古屋大学) 28巻4号, 昭和56年3月。
- (9) Ozatalay, S., S. Grubaugh and T. V. Long, "Energy, Labor, Capital and Material Use in Manufacturing Industries: An International Comparison," *Working Paper 111*, The University of Chicago, 1978.
- (10) Pindyck, R. S., *The Structure of World Energy Demand*, The MIT press, 1979.
- (11) Prywes, Menahem, "A Nested CES Production Function Approach to Factor Substitution and Capacity Utilization," University of Pennsylvania, 1980.
- (12) Rasche, R. H. and J. A. Tatom, "Energy Resources and Potential GNP," *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, June 1977.
- (13) Sato, Kazuo, "A Two-Level Constant-Elasticity-of-Substitution Production Function," *Review of Economic Studies*, April 1967.
- (14) 鈴木和志, 竹中平蔵「今後のエネルギー価格上昇と成長径路の選択」『経済経営研究』(日本開発銀行), 昭和55年7月。
- (15) Tatom, J. A., "Energy prices and Capital Formation, 1972-1977," *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, May 1979.
- (16) Tintner, G., E. Deutsch, R. Rieder and P. Rosner, "A Production Function for Austria Emphasizing Energy," *Be Economist*, Vol. 125, 1977.