1 解説

エネルギー問題の経済学的視点

(電力中央研究所) 山 地 憲 治

エネルギー需給に関するいくつかの経済理論を紹介する。エネルギー需要については、まず経済活動とエネルギー需要との巨視的関係を過去の実績から推定する所得弾力性という概念による分析について述べ、次いで、生産活動からの派生需要としてのエネルギー需要について生産関数理論に基づく分析方法を紹介する。エネルギー供給については、枯渇性資源所有者の最適行動として導かれるエネルギー供給の基本原理解説し、その後の理論展開についても簡単に紹介する。最後にエネルギー供給制約下における最適経済成長論について述べる。

Ⅰ. はじめに

商品を生産し消費するという経済活動について、現実の動きを説明する理論を構築し、その応用として経済の動きを望ましい方向に制御したり、望ましい経済システムの設計を行うこと。一経済学の定義を一般的に述べるとこうなろう。経済理論は生産活動および消費活動についての抽象的な法則性を基礎とする論理によって構成されており、物理学に似た一般性がある。

石油価格の上昇、代替エネルギーの選択というようなエネルギー問題は、突発的事件あるいは断片的技術開発課題として取り扱われることが多いが、経済理論を適用することで経済活動全体という大きな脈絡の中で問題をとらえ、より良い対応策を示唆し得る可能性がある。ただし、反復可能な実験により実証が行われる自然科学の理論と異なり、経済理論には論理構造の正当性は保証されているものの、現実との関係においては永遠に一つの仮説でしかないという宿命的性格が付随する。

本稿では、エネルギー需給を説明する論理構造として比較的好くまとまっているいくつかの理論を紹介して、エネルギー問題について経済学は何を主張しているのかの解説としたい。

Ⅱ. エネルギー需要に関する経済理論

経済活動とエネルギー需要はいかなる関係にあるか一エネルギー需要の経済理論はこの間に答えねばならない。最も単純には、過去のエネルギー需要量と経済活動レベル(例えばGNP: 国民総生産)を両対数グラフ上にプロットして直線関係をあてはめてエネルギー需要の経済活動に対する弾力性を計測するという方法がある。この単純な方法からもエネルギーと経済の関係

についていくつかの洞察が得られる。

エネルギー需要の経済理論をもう少し高度化するためには、生産活動におけるインプット(生産要素)としてエネルギーの役割を明確化する必要がある。各種生産要素と産出量との関係を表わす生産関数を計測してエネルギー需要の特性を分析するこの方法においては、エネルギー価格とエネルギー需要との関係が明示的に取り扱われる。

1. エネルギー需要の所得弾力性

簡便にエネルギー需要を予測する場合によく用いられるエネルギー需要の所得弾力性値では、次の関係が前提とされている：

$$\log E = \log A + \gamma \log Y \quad (1)$$

ここに、 E ：エネルギー需要

Y ：実質GNP、 A ：定数

γ ：エネルギー需要の所得弾力性値

生産関数を介してエネルギー需要と生産レベルとの関係を演繹的に説明する後出の理論と異なり、(1)式においてはエネルギー需要とGNPの間に現象論的關係を帰納的に導こうとしている。

時系列データ(1国についての経年データ)およびクロスセクションデータ(同一時点における各国のデータ)を用いて多数の研究者が(1)式の推定を行なっている。例として1905年以降のわが国のデータを用いてほぼ10年間ずつ区切って(1)式を推定した結果を第1表に示す。この例からもわかるように、エネルギーとGNPの間には強い相関のあることが知られるが、得られた弾力性値は一定ではない。一般に工業化が加速されて経済が急速に成長する時期には弾力性値は大きくなり、石炭から石油への変化のように効率的なエネルギー

Review on Energy Economics: Kenji YAMAJI.
(1983年 12月12日 受理)

一への転換が生じている時期には小さくなると説明されている^ω。

第 1 表 わが国のエネルギー需要の
所得弾性値の計測例

計測期間(年)	弾性値	R^2	t 値
1905~74	1.08	0.989	79.5
1905~14	1.38	0.908	8.9
1910~19	1.55	0.809	5.8
1915~24	0.86	0.704	4.4
1920~29	0.78	0.758	5.0
1925~39	0.49	0.502	2.8
1930~39	1.15	0.926	10.0
1935~44	0.89	0.735	4.7
1940~50	1.15	0.942	11.3
1946~55	1.17	0.952	12.6
1951~60	1.09	0.974	17.1
1956~65	1.08	0.995	39.4
1961~70	1.18	0.996	45.1
1966~74	1.10	0.995	38.4

(出典: 室田泰弘(1978)⁽⁴⁾)

エネルギーと GNP の間にこのように強い相関がみられることが、エネルギーは経済活動にとって不可欠であるという素朴な考え方の根拠の一つになっているようである。しかし、エネルギーが経済活動にとって不可欠かどうかを経済学的に明らかにするには、GNP を生産する生産要素としてエネルギーが不可欠か否かを問う必要がある。(1)式は単に過去の現象を説明するのみで不可欠性の証明にはなっていない。

2. 生産要素としてのエネルギー

エネルギーは基本的にはモノやサービスを生産するために必要とされる。石油や原子力等のエネルギーの大部分はわれわれの生活に直接必要なものではない。直接必要とするものの生産のために間接的に必要とされる。したがって、エネルギー需要の大部分は生産活動からの派生需要として導出することができる。経済理論では派生需要としてのエネルギー需要の特性は、生産要素としてエネルギーを含む生産関数の特性として記述される*。

(1) 生産要素が2つの場合

第 1 図のように簡略化された国民経済のモデルを考える。つまり、ここでは国民経済はエネルギー部門とそれ以外の部門(M部門)からなり、エネルギー部門はM部門の産出Y(価値表示)の一部 M_E を入力としてエネルギーE(物量表示)を生産し、M部門はエネルギー部門からの入力Eとエネルギー以外の生産要素の入力V(物量表示)をうけてYを達成するものとする。

第 1 図 簡略化した国民経済モデル

エネルギー部門は輸出入部門のように考え等価関係:

$$M_E = EP_E \quad (2)$$

ここに、 P_E : エネルギー価格
が成立すると考える。またM部門の生産関数 $f(V, E)$ に1次同次性(つまり、規模に関して収穫不変)を仮定する**と、オイラーの定理:

$$Y = f(V, E) = \frac{\partial f}{\partial V} V + \frac{\partial f}{\partial E} E \quad (3)$$

が成立し、M部門における利潤最大化条件:

$$P_V = \partial f / \partial V, \quad P_E = \partial f / \partial E \quad (4)$$

ここに、 P_V : 生産要素Vの価格

P_E : エネルギー価格

と合わせて次式が成立する**。

$$Y = f(V, E) = P_V V + P_E E \quad (5)$$

* 生産関数とは、1組の生産要素(X : エネルギーのほか通常、資本、労働等を考える)と、それが与えられた時に生産可能な最大の産出量(Y)との関数関係 $Y = f(X)$ をいう。生産関数は収穫逨減則等の基本特性を満足するものと仮定される。なお、生産関数には双対な費用関数があり、これは生産要素の価格ベクトル(P)と、その条件下で産出量 Y を達成する最小費用(C)との関数関係 $C = g(Y, P)$ のことで、後出の生産者の利潤最大化条件に双対な式として Shephard の補題 $\partial g / \partial P = X$ が成立する^ω。

** 完全競争下における生産物の完全分配が行われることになるなど、理論分析上便利な特性を示すので、生産関数の理論展開では通常1次同次性が仮定される。なお、規模に関して収穫不変ということ、生産要素に関する収穫逨減則とは別個の特性である。

** 完全競争下では利潤はゼロになることを示す。

この国の経済活動による実質の生産高を示す付加価値生産量 GNP は次式で与えられる。

$$GNP = Y - M_E = Y - P_E E = P_V V \quad (6)$$

さて、生産活動の派生需要としてのエネルギー需要の特性を分析する場合に問題になるのは、生産要素間の代替の可能性である。生産関数の理論において代替の可能性を表わす指標は代替の弾力性と呼ばれ、2変数の場合、(4)式の条件下で次式により定義される。

$$\sigma = -\frac{\partial \log(E/V)}{\partial \log(P_E/P_V)} = -\frac{d(E/V)/(E/V)}{d(P_E/P_V)/(P_E/P_V)} \quad (7)$$

極端なケースとして代替が全くない場合($\sigma=0$)と、代替が何の困難もなく行われる場合($\sigma=\infty$)とを考えてみよう。前者の場合、価格変化にかかわらず E と V の比率は一定であるから、 E の入力削減はそれに比例した産出量 Y の削減を招く。このような生産関数は Leontief-Harrod 型と呼ばれるが、この場合にはエネルギーは生産に不可欠と考えたことになる。一方、生産関数 $Y=f(V, E)=\alpha V+\beta E$ (α, β は定数)とすれば後者の場合となり、この場合には $P_E/P_V \geq \alpha/\beta$ に応じて E のみあるいは V のみを投入することが利潤最大になる。つまり相対価格次第で、エネルギーへの需要はゼロでも生産活動を効率的に行えるということを意味しており、エネルギーは生産にとって不可欠ではないということになる。現実には代替の弾力性はこの両極端の間にあると考えられる。

ここでは生産関数として、代替の弾力性 σ は一定値と仮定するが、その値に先験的な制約のない次の CES (Constant Elasticity of Substitution) 型生産関数*を用いて議論を進める。

$$f(V, E) = [aV^{(\sigma-1)/\sigma} + bE^{(\sigma-1)/\sigma}]^{\sigma/(\sigma-1)} \quad (8)$$

ここに、 σ : 代替の弾力性

a, b : 非負定数

代替の弾力性の意味をさらに検討する。産出 Y に占めるエネルギーコストのシェアを表わす次の関係式が、(4), (6), (8)式から導出される。

$$s = \frac{P_E E}{Y} = 1 - \frac{GNP}{Y} = b^{\sigma} P_E^{1-\sigma} \quad (9)$$

(9)式は、 $\sigma > 1$ であればエネルギー入手条件が悪化してエネルギー価格が上昇した場合には、他の生産要素による代替が十分に生じて産出に占めるエネルギーコストのシェアが低下するが、 $\sigma < 1$ の場合には代替

は十分ではなくエネルギーコストシェアは増大してその分産出のうち GNP に向けられる比率が減少することを示している。

数値例で示すと次のようになる。簡略化のため $a=b$ とし、 $E=V=1$ の投入の時 $Y=1$, $GNP=0.5$ が達

(a) $\sigma > 1$ の場合

(b) $\sigma < 1$ の場合

第2図(a), (b) エネルギー投入量削減が生産活動に及ぼす効果

* (8)式の σ が(7)式の定義による代替の弾力性であることは、(4), (8)式より $E/V = (a/b)^{\sigma} (P_E/P_V)^{-\sigma}$ が導出されることから理解できよう。また逆に、代替の弾力性が一定である生産関数は必ず(8)式で表現されることが証明される(例えば、参考文献(3)参照)。なお $\sigma \rightarrow 1$ の極限において、(8)式は Cobb-Douglas 型生産関数 $f(V, E) = \alpha V^{\alpha} E^{1-\alpha}$ (α, β は定数)になる。

成されているとしよう*。この時、 V の投入量一定の下でエネルギー E の投入量が削減される(生産要素価格の変化により生産過程の利潤最大化行動を介して E の減少が生じると考える)場合の Y および GNP の変化は、 $\sigma \geq 1$ の場合について第2図(a), (b)のようになる。

図よりわかるように、 $\sigma > 1$ の場合にはエネルギー投入量の削減に対する GNP の減少は小さく、たとえ $E=0$ となっても生産を行えるのに対し、 $\sigma < 1$ の場合には GNP の減少は大幅で $E=0$ とすれば生産は不可能となり、特に σ がゼロに近づけば産出 Y の減少と、 Y に占める GNP シェアの減少との相乗効果が強く出て、エネルギー投入量の僅かな削減に対しても GNP は急速に低下してしまうのである。

つまり、 $\sigma > 1$ であればエネルギーは生産活動にとって不可欠ではなくなり、 $\sigma < 1$ ならば不可欠である。そして σ が小さいほど生産要素としてのエネルギーの重要性が増す。なお、 σ とエネルギー需要の価格弾性値との間には次の関係式が成立する**。

$$\lambda = -\sigma / (1 - s) \quad (10)$$

ここに、 λ : エネルギー需要の価格弾性値

s : (9)式のエネルギーコストシェア

(10)式が示すように、代替の弾力性によりエネルギー需要が減少する効果は、エネルギーコストシェアを介して GNP を減少させるフィードバックループにより拡大されるが、通常エネルギーコストシェア s は小さいので、 σ の第1次近似としてエネルギー需要の価格弾性値を用いることが正当化される。

σ あるいは λ を計測する試みが続けられており、 $\sigma < 1$ であることはほぼ確認され、エネルギーが生産のために不可欠な投入要素であることが示されているが、モデルの抽象度が高いためデータの制約が大きく、得られた値にはかなりのバラツキがみられる⁶⁾。

(2) 生産要素が3つ以上の場合

エネルギーと他の生産要素との関係をより詳細に検討しようとする、考慮する生産要素の数を増やさねばならない。代替の弾力性は生産要素が3つ以上の場合にも定義されているが**、CES型生産関数ではどの2要素間の代替の弾力性も等しいという強い制約がつくので不適当であり、より一般的な形で生産関数を構築する必要が生じる。Christensenら⁶⁾により導かれた Translog 型生産関数はこのような要請に応じるもので、これを用いてエネルギーを含む生産要素間の代替関係を計測する試みが近年数多く報告されている。

Translog型生産関数による代替関係計測の手順を、

生産要素として資本 K 、労働 L 、エネルギー E の3つを考える場合を例として示す。計測に当っては、Translog型生産関数と双対な費用関数 $C = g(Y, P_K, P_L, P_E)$ を用いる**。Translog型生産関数の理論において費用関数は次のような形になる(係数の対称性を考慮)。

$$\begin{aligned} \log C = & \log A + a_Y \log Y + a_K \log P_K + a_L \log P_L \\ & + a_E \log P_E + \frac{1}{2} \log P_K (b_{KK} \log P_K \\ & + b_{KL} \log P_L + b_{KE} \log P_E) \\ & + \frac{1}{2} \log P_L (b_{KL} \log P_K + b_{LL} \log P_L \\ & + b_{LE} \log P_E) \\ & + \frac{1}{2} \log P_E (b_{KE} \log P_K + b_{LE} \log P_L \\ & + b_{EE} \log P_E) \end{aligned} \quad (11)$$

規模に関する収穫不変(1次同次性)を仮定すると、係数間に次の制約が必要になる。

$$\left. \begin{aligned} a_K + a_L + a_E &= 1 \\ b_{KK} + b_{KL} + b_{KE} &= 0 \\ b_{KL} + b_{LL} + b_{LE} &= 0 \\ b_{KE} + b_{LE} + b_{EE} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(11)式を $\log P_i$; $i=K, L, E$ で偏微分し、Shephardの補題**を適用すると次のコストシェア式を得る***。

* ここに示した数値例は、代替の弾力性の意味を調べるために設定したもので、現実の近似ではない。現実のエネルギーコストシェアは、ここに仮定したものよりはるかに小さい。

** λ の定義: $\lambda = \partial \log E / \partial \log P_E$ と(9)式および(4)式とにより次式が導かれる。

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\partial \log Y}{\partial \log P_E} - \sigma = \frac{\partial \log Y}{\partial \log E} \lambda - \sigma \\ &= \frac{\partial Y}{\partial E} \cdot \frac{E}{Y} \lambda - \sigma = \frac{P_E E}{Y} \lambda - \sigma \end{aligned}$$

これを変形して(10)式を得る。

** Allen により、代替の弾力性は一般に次のように定義されている⁶⁾。

$$\sigma_{ij} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n x_k f_k \right) F_{ij}}{x_i x_j F}; \quad i, j=1, \dots, n$$

ここに、

$$\begin{aligned} f(x_1, \dots, x_n) &: \text{生産関数} \\ f_i &= \frac{\partial f}{\partial x_i}, \quad f_{ij} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}, \quad F = \det \begin{vmatrix} 0 & f_1 & \dots & f_n \\ f_1 & f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_n & f_{n1} & \dots & f_{nn} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

F_{ij} : F における f_{ij} の余因子行列式

** 費用関数および Shephard の補題については、第II-2節冒頭の脚注参照。

*** $\frac{\partial \log C}{\partial \log P_i} = \frac{P_i}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial P_i} = \frac{P_i}{C} = M_i$; $i=K, L, E$ より得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_K K}{C} &= M_K = a_K + b_{KK} \log P_K + b_{KL} \log P_L \\ &\quad + b_{KS} \log P_S \\ \frac{P_L L}{C} &= M_L = a_L + b_{KL} \log P_K + b_{LL} \log P_L \\ &\quad + b_{LS} \log P_S \\ \frac{P_S E}{C} &= M_S = a_S + b_{KS} \log P_K + b_{LS} \log P_L \\ &\quad + b_{SS} \log P_S \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

(13)式は計測に適した形をしている。(12)式の制約下で(13)式を推定することで各係数 $a_i, b_{ij}; i, j=K, L, E$ が求められる。

一方、費用関数について代替の弾力性は次のように書けることが Uzawa により導かれている⁷⁾。

$$\sigma_{ij} = CC_{ij} / C_i C_j \quad (14)$$

$$\text{ここに, } C_i = \frac{\partial C}{\partial P_i}, \quad C_{ij} = \frac{\partial^2 C}{\partial P_i \partial P_j}; \quad i, j=K, L, M$$

したがって、(11), (13), (14)式より

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ii} &= \frac{b_{ii} + M_i^2 - M_i}{M_i} \\ \sigma_{ij} &= \frac{b_{ij} + M_i M_j}{M_i M_j} \quad (i \neq j) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

ここに、 $i, j=K, L, M$

となる*。また、各生産要素に対する需要の価格弾性値 λ_{ij} は σ_{ij} と次の関係式を満たすことが Allen により導かれている⁸⁾。

$$\lambda_{ij} = \frac{\partial \log x_i}{\partial \log P_j} = M_j \sigma_{ij} \quad (16)$$

(15)式からわかるように、Translog 型生産関数における要素間の代替関係は、各生産要素の組合せについて異なることができ、かつその時々のコストシェアによって変化し得るという一般性がある。

以上のような手順でエネルギーと他の生産要素との代替関係を推定する試みが各国でなされている。資本、労働、エネルギーに加えて原材料(M)の4生産要素を考慮した Translog 型生産関数を用いて Berndt と Wood⁹⁾が計測した結果を例として第2表に示す。彼らはエネルギー需要の価格弾性値として -0.45~-0.49 という値を得ている。

これら多くの推定結果では、エネルギーと労働はいずれも代替的(つまり弾力性が正)であるが、エネルギーと資本の関係は代替、補完(弾力性が負、つまり一方の投入量の増減が他方の要素の投入量を同方向に増減させる)の両様に出ている**。通常この計測の違いは、

第2表 4個の生産要素(K, L, E, M)間の代替の弾力性計測例

	1947年	1953年	1959年	1965年	1971年
σ_{KK}	-8.74	-8.83	-8.75	-8.72	-8.83
σ_{LL}	-1.79	-1.71	-1.66	-1.61	-1.53
σ_{EE}	-10.69	-10.63	-10.70	-10.70	-10.66
σ_{MM}	-0.33	-0.35	-0.36	-0.38	-0.39
σ_{KL}	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
σ_{KE}	-3.09	-3.25	-3.14	-3.22	-3.53
σ_{KM}	0.58	0.53	0.56	0.56	0.49
σ_{LE}	0.61	0.65	0.64	0.64	0.68
σ_{LM}	0.57	0.59	0.59	0.60	0.61
σ_{EM}	0.76	0.77	0.75	0.74	0.75

使用したデータ: 1947~71年米國製造業についての年時系列データ(出典: Berndt と Wood (1975)⁹⁾)

データが時系列であるかクロスセクションであるかの違いによるとされ、時系列データから得られる短期的効果としては補完的、クロスセクションデータから得られる長期的効果としては代替的であるとされている。省エネルギー投資等個別技術に則して考えれば生産要素としての資本とエネルギーは代替的であるように思われるが、生産要素が3個以上ある場合の総合効果としては、資本と労働、労働とエネルギーとの間等の代替効果も同時に考慮せねばならず、技術的直観は必ずしも正しくない。

なお、Translog 型生産関数の理論を駆使したエネルギー需給分析として今や古典となった研究にHudsonとJorgenson(1974)¹⁰⁾がある**。

Ⅲ. エネルギー供給に関する経済理論

エネルギー供給、つまりエネルギーの供給量と価格はいかなる要因によりどのように決定されるか—エネルギー供給の経済理論はこの問に答えねばならない。

エネルギーのような枯渇性資源の供給者の行動について基本原理を提案したのはHotellingで、1931年に発表された彼の理論⁽¹²⁾は1974年にSolowにより再発見され⁽¹³⁾、エネルギー供給の理論展開の出発点となった。

1. エネルギー供給の基本原理

Solow が枯渇性資源の経済学の基本原理と呼んだ Hotelling の理論の結論は、生産コストを差し引いた

* 3個以上の生産要素間の代替の弾力性については本項冒頭の脚注参照。

** 例えば第2表に示した Berndt と Wood⁹⁾では補完となっているのに対し、Griffin と Gregory¹⁰⁾では代替と計測されている。

** 本項で述べた Translog 型生産関数の理論と応用については、文献11)に詳しい解説がある。

枯渇性資源の価格は利子率と等しい速度で上昇するというものである。

この基本原理は資源所有者の利潤最大化行動により次のように導かれる。まず資源所有者の各時点における利潤 π は次式で示される。

$$\pi = Pq - Cq \quad (17)$$

ここに、 P ：資源の市場価格、 q ：資源生産量

C ：資源生産の限界費用(一定と仮定)

資源所有者は資源量制約下で全期間にわたる利潤の現在価値を最大化すると考える。つまり

$$\max_q \int_0^T e^{-rt} \pi dt = \int_0^T (P - C) q e^{-rt} dt \quad (18)$$

$$\text{subject to } \int_0^T q dt = \bar{q} \quad (19)$$

ここに、 r ：資源所有者の割引率(利子率に等しい)

$\bar{q}$ ：資源賦存量

T ：資源が枯渇するまでの期間

この問題は変分法により簡単に解くことができ、解は次の条件を満たす。

$$P = C + \lambda e^{rt} \quad (20)$$

ここに、 λ ：Lagrange 乗数

(20)式が基本原理を表わしている。利子率 r で増大する(20)式の第2項は、ロイヤリティとかレントとか使用者費用と呼ばれている。

基本原理が成立することは、未採掘資源を資産市場において最適に運用する場合を考察することからも導ける。つまり、生産コストを差し引いた資源の市場価格が利子率より低率でしか上昇していない場合には、資源所有者は資源を直ちに売却して利子率以上の利益率を達成する他の投資先へ資金を回すであろうし、逆に利子率より高率で上昇している場合には、値上がり利益を期待して全く生産せず地下に資源を眠らせておくであろうから、結局毎年生産を続けるための条件として基本原理が導かれる。

2. 基本原理の展開

生産コストの異なる資源がある場合、生産コストが累積生産量に依存して上昇する場合、需要部門との均衡を考慮する場合等と様々に基本原理の拡張が行われているが*、ここではNordhausによるバックストップ技術という概念の導入⁽¹³⁾について述べる。

バックストップ技術とは高速増殖炉、核融合炉、太陽エネルギーのように、資源的には実際上無限の供給量

があるが、その生産コストはかなり高いという技術の総称である。

エネルギー供給に関するNordhausの基本的認識は生産コストの安い資源制約型のエネルギー(石油等)が供給の中心である第1期から、バックストップ技術によるエネルギー供給が中心となる第2期へ移行するというものである。第2期においては資源制約がないからロイヤリティは発生せず、エネルギーは一定価格 P_2 で供給される。ところで、いま第1期から第2期への移行時点 T とすると、移行時点のエネルギー価格は第2期のエネルギー価格と等しい： $P_1(T) = P_2$ 。また、移行以前の第1期のエネルギー価格は基本原理に従うと考えられる。つまり、第1期のエネルギー価格 $P_1(t)$ は次式を満足する。

$$P_1(t) - C = P_1(T) e^{-r(T-t)} = P_2 e^{-r(T-t)} \quad (21)$$

Nordhausのバックストップ技術の概念導入は、代替エネルギー開発には将来の供給力確保だけでなく、現在の枯渇性エネルギーの価格に影響を及ぼすという意味があることを明瞭に示したという点で注目される。つまり、資源制約のない代替エネルギーの開発はその導入がかなり先であり、生産コストは割高であると予測されても、現在の石油価格を抑制する効果を持つということを示している。

現実にはバックストップ技術は T 時点において突然全面的に導入されるのではなく、導入速度には一定の限界があろう。このような制約を考慮して第1期から第2期への移行期を検討したのが『本誌』に掲載された鈴木論文⁽¹⁴⁾である。この場合には第1期から第2期への移行の間に過渡期が存在し、一時的に第2期のエネルギー価格より高い価格が生じることが示されている。

なお、エネルギー供給に関するHotellingの基本原理およびその展開については、資源賦存量、技術進歩等に不確実性が極めて大きいにもかかわらず、その確実性を前提として超長期にわたる資源供給者の最適行動を仮定しているなど問題点も多いことを指摘しておく必要がある。

IV. エネルギー供給制約下の最適成長

前章まではエネルギー需要の特性、資源所有者の行動など経済の動きを説明する理論を紹介してきた。本章では、それら理論を基に望ましい経済成長はいかな

* 枯渇性資源の経済理論の展開については、文献(14)が詳しい。

るものであるべきかという規範性を導入し、理論の応用としての最適成長論を簡略に説明する。

社会にとっての最適性を表わす目的関数 W を、効用という概念を用いて次のように表現できるとする。

$$W = \int_0^{\infty} U(C) e^{-rt} dt \quad (22)$$

ここに、 $U(C)$: 消費 C より得られる効用。一般に限界効用逓減則が働くので

$$U'(C) > 0, U''(C) < 0 \text{ とする。}$$

r : 効用の割引率*。遠い将来の消費による効用より近い時点での効用を望む時間選好を示す。

生産については、第Ⅱ-2(1)項のモデルをさらに簡略化し、産出がそのまま GNP を表わす生産関数を考え、生産要素としては資本 K とエネルギー E の2つだけを考える。つまり、 $GNP = F(K, E)$ 。GNP は消費と投資に分配され、資本の減耗は無視できるとすると次式が成立する。

$$GNP = F(K, E) = C + dK/dt \quad (23)$$

エネルギー資源制約は次のように表現される。

$$\int_0^{\infty} E dt = \bar{E} \quad (24)$$

ここに、 $\bar{E}$: エネルギー資源賦存量

このとき最適成長問題は、(23)、(24)式の制約下で(22)式の W を最大化することと定式化される。この問題は最大値原理によって解かれ、解は次の2式を満たさねばならないことがわかる**。

$$\frac{d}{dt} U'(C) / U'(C) = r - F_K \quad (25)$$

$$F_K = \frac{dF_E/dt}{F_E} \quad (26)$$

ここに、 $F_K = \partial F / \partial K$, $F_E = \partial F / \partial E$

(25)式は Ramsey 則と呼ばれる最適成長論の一般則であり、(26)式はエネルギー資源制約下での問題に特有なものである。(26)式は資本の限界生産力(F_K)がエネルギーの限界生産力(F_E)の時間的伸び率に等しいこと、すなわち、資本を保有することからの利益と、エネルギー資源を保存することからの利益が等しくなる条件を示している。これは第Ⅲ-1節で述べた Hotelling の基本原理の資産市場における解釈と同じ論理である。この意味で、(26)式は(25)式と連立することで効用最大化という規範的立場からのエネルギー供給の基本原理を表わしているといえる。

さて、(25)式は資本の限界生産力が割引率 r より大きい場合には、消費の限界効用は時間的に低減することを示す。 $U'(C) > 0$, $U''(C) < 0$ より、この場合最適消費量は時間的に増大することになる。また、資本の限界生産力が割引率より小さければ最適消費量は時間とともに減少し、等しければ一定となる。

エネルギー資源制約下でも最適成長として消費水準を安定あるいは上昇させ続けられるかどうかは生産関数の特性に依存する。CES型生産関数を用いる場合には、再び代替の弾力性 σ の値が鍵となる。 $\sigma \leq 1$ の場合には、いかなるレベルの資本投入下においてもエネルギー投入がゼロの場合には生産ができなくなるのであるから、資本の限界生産力は最終的には割引率より小さくなり、最適消費はいずれ減少に向かわざるを得なくなる。

V. 結 言

原子力工学における多くの研究課題は代替エネルギー開発という大目標の下になされておき、エネルギー問題との係わりは強い。それら研究の意義はエネルギー問題を大局的にとらえた論理構造の中に位置付けられる必要がある。経済学の理論は工学よりは広い視野で問題を整理することができ、かつ論理的厳密さを期待できる。この意味でエネルギー問題を分析する経済学の論理を知ることは、原子力研究者にとっても有意義と思われる。しかし、エネルギー問題は経済学だけで解ける訳ではない。石油価格を考えても明白なように、エネルギー問題を構成する主要因子には政治的社会的なものも多く含まれる。経済学の理論は抽象的法則性を仮定してのものである以上、理想的条件下でのみ正当性を持つものであり、長期的ないしは大局的方向性を示唆するにすぎないという限界はよくわきまえるべきであろう。

なお、技術進歩の経済学的取扱い、エネルギー事業でしばしば問題になる規制に関する経済学的分析、また通常の経済学の枠からはずれるが、新エネルギー技術の経済性評価、研究開発の費用/便益分析などの技術経済分析の方法論等、エネルギーに関連する経済学的分析には本稿でふれることのできなかった多くの重要分野がある。既存の学問領域の間にあるこれら諸分野

* 多世代間にまたがる効用を割引くことについては経済学的に議論のある点であり、割引きを行うべきでないとする考え方もある(文献[13]参照)。

** 導出については、文献[17], pp. 54~58あるいは文献[18]の注(2)を参照。

には、新しい発想で切り開くべきフロンティアが数多く存在しているように思われる。

— 参 考 文 献 —

- (1) 室田泰弘: オペレーションズ・リサーチ, 23[1], 29(1978).
- (2) SHEPHARD, R.W.: "Theory of Cost and Production Functions", (1970), Princeton Univ. Press.
- (3) 荒 憲治郎: "経済成長論", (1969), 岩波書店.
- (4) HOGAN, W., MANNE, A.: Energy-economy interactions: The fable of the elephant and the rabbit?, "Modeling Energy-Economy Interactions: Five Approaches", Resources for the Future, (HITCH, C.J. ed.), (1977).
- (5) ALLEN, R.G.D.: "Mathematical Analysis for Economists", (1938), MacMillan, London.
- (6) CHRISTENSEN, L.R., JORGENSEN, D.W., LAU, L.J.: Rev. Econ. Statistics, 55, 28 (1973).
- (7) UZAWA, H.: Rev. Econ. Stud., 29[4], 291 (1962).
- (8) BERNDT, E.R., WOOD, D.O.: Rev. Econ. Statistics,

- 57[3], 259 (1975).
- (9) GRIFFIN, J.M., GREGORY, P.R.: Am. Econ. Rev., 66[5], 845 (1976).
- (10) HUDSON, E.A., JORGENSEN, D.W.: Bell J. Econ., 5, 461 Autumn, (1974).
- (11) 茂原一洋, 大山達雄, 斎藤雄志, 熊倉 修, 山地憲治: Translog 型生産関数の理論と応用, 電中研 内部資料 7904, (1979).
- (12) HOTELLING, H.: J. Political Econ., 39, 137 (1931).
- (13) SOLOW, R.: Am. Econ. Rev., 64[2], 1 (1974).
- (14) DASGUPTA, P.S., HEAL, G.M.: "Economic Theory and Exhaustible Resources", (1979), Cambridge Univ. Press.
- (15) NORDHAUS, W.D.: "Brookings Papers on Economic Activity", 3, (1973).
- (16) 鈴木寛之: 原子力誌, 22[9], 641 (1980).
- (17) WEBB, M.G., RICKETTS, M.J.: "The Economics of Energy", (1980), MacMillan.
- (18) 室田泰弘: エネルギーフォーラム, 10月号, (1980).

日本学術会議第92回(臨時)総会報告

新極面を迎えた日本学術会議
(1984年1月18~20日)

第1日目の午前中は総会と連合部会が開かれ、総会では塚田会長が経過報告を行った。報告の主な内容は、日本学術会議法の改正についてである。改正法案は、第100回国会で審議されることになっていたが、1983年11月2日になって衆議院文教委員会が自民党単独で開かれ、塚田会長、池田会員(第1部)、向坊隆氏が参考人として出席した。会長からは、改正法案についての日本学術会議での審議の結果を報告し、他の2人の参考人とともに慎重審議を要望したが、文教委員会では同日一部修正(会員の任期を第12期にかぎり1年以内延長の原案を1年半以内延長とする)の上で可決、衆議院本会議でも11月17日に可決された。この改正法案は参議院に送られ、11月24日に文教委員会でも、また、衆議院解散直前の11月28日に参議院本会議で附帯決議を付けて可決、成立した。この過程で、会長は、所感を発表した。総会においても、「異常な事態の国会において、慎重な審議が行われたこと」に遺憾の意を表明した。会長報告については、第13期会員選挙中止の経緯、新聞報道を巡る問題点などについて質疑討論がなされた。

次いで、柴野第2部長、杉本第5部長司会の連合部会で、「日本学術会議法の改正にあたって(見解)」、また1月19日では本来は任期が終わる第12期の今後についての「任期延長後の活動方針(申し合わせ)」、「規則等策定委員会の設置」、の各提案について、塚田会長、渡辺副会長から説明があり、質疑が行われた。

「見解」の採択と三役の再選

第2日目の午前中の総会では、「日本

学術会議法の改正にあたって(見解)」が会長から提案され、活発な質疑討論が行われた。見解案は、前半において、日本学術会議改革問題の経過を述べ、①自主改革「要綱」の公選制の原則が、政府、国会のレベルで受け入れられなかったこと、②政府の「改正法案」を前提としても慎重な審議が尽くされたとは言い難いこと、③多くの有権者や学・協会の意見が十分に聴取されるに至らなかったこと、④第13期会員選挙が中止され有権者や立候補者の期待が満たされなかったこと、について遺憾の意を表明するものであった。見解案の後半は、新法成立という新しい状況の下で、日本学術会議の恒常的な仕事の遂行とともに、第13期以降の日本学術会議の新しい体制を作り出す任務の遂行に努力しなければならないこと、新法の枠の中に日本学術会議本来の精神を盛り込むことが重要な課題であること、を述べ、新しい課題の遂行には、多くの困難があるが、あえてこの事態を乗り越えなければならないとしている。政府に対しては、日本学術会議との十分な協議、必要な予算措置について要望し、最後に、学・協会、科学者に協力を要望するものである。

見解案の後半については、「事志と達意、科学者に申し訳なし」ととめよ、有権者に対して謝意を表せよ、政府・国会に対し別に抗議声明を用意せよ、これまでの責任の所在を明らかにせよ、選挙中止後の責任ある処理の必要がある、変節の文章となっているのではないかと、岡倉会員(第2部)他数名の会員と第3部会員有志共同の修正意見が文書で説明されるなど

の経過の後、会長原案の手直しが行われることとなった。休憩の後、午後、会長から原案の大筋の論旨に基づき大幅な字句修正の上で新提案がなされ、圧倒的多数で可決された。

続いて、小寺明会員(第4部)の退職について、審議の上、投票により可決承認された。

次に、会長・副会長が、本来の任期満了のこの日、けじめを明らかにするために、辞意を表明、川合第1部長が議長となって、意見交換の後、辞任を承認し、改選の投票を行った。投票の結果、塚田会長、渡辺副会長、藤巻副会長が、それぞれ再選された。

規則等策定委員会の設置を決定

第3日目は、前日の記録的豪雪にもかかわらず、10時10分から総会が開かれ、①任期延長後の活動方針(申し合わせ)と②規則等策定委員会の設置という2つの会長提案について、渡辺副会長の説明の後、質疑討論が行われた。①は、任期延長期間を過渡期とし、その間の任務は、日本学術会議本来の諸業務の遂行と、第13期以降の新しい体制の準備である、とした上での政府との協議、規則等策定委員会の設置、各部、運営審議会、常置委員会、特別委員会、研究連絡委員会、研究連絡会、地方区などの在り方についての申し合わせであり、②については、規則等策定委員会の構成、会長・副会長・運営審議会と同委員会との関係などについて、活発な討論の後、会長から修正の上再提案され、絶対多数で可決され、日本学術会議は第13期へ向かって過渡期に入った。

(出席 第1日162名、第2日174名、第3日158名)

(日本学術会議広報委員会)