

序

過去十数年にわたる我国の経済成長ならびに産業構造の変化には著しいものがあるが、こうした経済現象の分析にあたっては、生産技術の変化あるいは技術進歩の要因が極めて重要な一側面を形成していることについては、異論のないところである。Solow は 1957 年に“残差法”を用い、アメリカの経済成長において生産要素の増大に比して、技術進歩による効果が極めて大きいことを指摘したが¹⁾、これを鎗矢として、以後技術進歩論は急速に展開されることとなった。

技術進歩の捉え方にはいくつかの方向が考えられるが、本稿では技術進歩を生産函数との関係において理解し、つまり具体的には生産函数の生産パラメーターあるいは要素増大 (Factor Augmenting) 係数の変化として把握する。ただ現実の計測においては、それらの変化は残差として測定されることになるのだが、この残差について全く異った二つの理解の仕方がある。即ち Solow などの残差アプローチは、生産要素の質的向上や規模の経済性などに関する留保条件付きではあれ、測定された残差の大部分が技術進歩を表わすと考えるのに対して、その対極である Griliches や Jorgenson²⁾ などのアプローチは、生産要素の質的变化や生産要素の細分化によって或いは諸指数の適切な選択によって残差は全て吸収・解消され、平均生産性の上昇はそれら生産要素の投入の変化によって完全に説明し尽くされると考えるものである。しかしこのいずれのアプローチも不十分である。何故ならば前者においては、技術進歩率は外生的に決定されることになり、何故そのような速度で技

術進歩が起きたのかを何ら説明することが出来ないし³⁾、また後者においても、何故ある特定の生産要素にその質的・量的変化をもたらされたのであるかをやはり説明することが出来ない。即ちそれ故に、ここに技術進歩を内生的に理解する必要性が生まれてくるのであり、また内生的に捉えることによってのみ、この相異なる二つの立場は総合されることになるのである。以下本稿では、この内生化の方向で技術進歩の問題を取り扱っている諸論文を検討し、そこに現われてくる種々の問題点の整理を行いたい。

まずそのために若干の定義と概念について触れておかねばならない。ここで言う“技術進歩の内生的把握”とは、技術・技術進歩に関する市場を考え、市場要因によって主体均衡および市場均衡が陽表的にか陰伏的にか決定されるような定式化およびモデルを指している。従って技術進歩を、市場での投入物による産出物とみなす考え方の背後には、このような均衡の概念を持たざるを得ず、特に我々は技術進歩がこのような意味で内生的に取り扱われる時、より具体的には技術進歩率およびその方向が投入量ならびに他の市場要因によって決定されるような場合の諸問題に限定して検討をすすめたい。今産出物を技術進歩あるいは技術水準とし、投入物を広義の研究開発活動 (R&D, Research and Development Activities) で代表する時に、与えられた価格の下で利潤極大化行動を通じて均衡投入一産出比率が決定される。しかしその関係を生産函数のシフト要因として捉えるか、或いは生産函数の一構成要素として捉えるかは、先の二つのアプローチのいずれの立場をとるかという問題にもつながっている。けれども技術進歩が内生的に理解されている場合、概念的にはやはりストックとしての R & D が技術進歩を生産する、即ち生産函数をシフトさせると考える方が、後でも指摘するように妥当と思われる。

さて具体的展開に入る前に、本稿でとりあげる分野より広い視点から色々の問題提起を行っている論文に簡単に言及しておこう。まずこのように技術および技術進歩を市場理論の枠組において分析した代表的なものに、Arrow [4] がある。そこでは技術という情報財を、そ

1) Solow, R., "Technical Change and the Aggregate Production Function," *RE&S*, Aug. 1957.

2) Griliches, Z., "The Source of Measured Productivity Growth: United States Agriculture, 1940~1960," *JPE*, Aug. 1963.

Jorgenson, D. and Z. Griliches, "The Explanation of Productivity Change," *RES*, July 1967.

3) その後展開された体化された技術進歩論、いわゆる Vintage Approach についても、技術進歩率が外生的に決定されている点においては変りない。

れ特有の性質(分割不能性, 排除不能性, 不確実性)のために競争的市場でもパレート最適性は達成されないことを分析したうえで, 独占的市場と競争的市場での最適ロイヤリティの決定とその比較が行われている。また技術進歩を市場要因のなかで具体的に扱った実証分析としては, Schmookler [54] のよく整理された論文がある。その他に技術進歩の問題に伴う種々の論点を整理した展望論文として, Nelson [39], Blaug [6], Arrow [5] などがあり, 各々すぐれた指摘をしている。また前述の二論文を始めとし N. B. E. R. [38] には, 幾つかのケース・スタディをも含み, 技術進歩論の広範にわたる諸問題について数多くのすぐれた論文が収録されている。

以下我々は技術進歩を内生的方向で検討しようとするのであるが, その際の出発点の一つとして誘発的技術進歩論が考えられる。即ちそこでは技術革新可能フロンティアが, 每期同じ位置と形状で, しかも革新を生みだすための一切の費用を伴わずに外生的に与えられてしまっているが, このフロンティアを内生的に決定しようとする時, 技術進歩の内生化の道が開けてくると思われる。そこでまず第 I・II 節において誘発的技術進歩論をミクロの立場から整理しなおし, 技術革新可能函数の概念と不確実性の導入に伴う問題点を検討する。次いで第 III 節ではマクロモデルにおける研究開発活動の把握の仕方と長期均衡点の性質を中心にとりあげ, 最後に実証面の結果とその理論仮説に第 IV 節で言及して, 技術進歩の内生化を意図する諸論文の展望とその課題の整理を行いたいと考える。

[I] 技術革新可能函数と代替の弾力性: 誘発的技術進歩論(1)

1. Kennedy-Samuelson モデル

誘発的技術進歩の理論は, Kennedy [28] によって初めて技術進歩の方向に関するトレード・オフ関係を表わす(技術)革新可能函数(Innovation Possibility Function; IPF, IPC)なる概念が導入され, それはさらに Samuelson [48] によって一層の精緻化が計られて, ここに一つの方向が確立したと云える。

Hicks が 1932 年に初めて誘発的技術進歩の概念を持ちだし, “生産要素の相対価格の変化は, その相対的に高価になった要素を節約しようとする方向への技術進歩を誘発する⁴⁾。”と論じたのに対し, Kennedy は Salter [47] の “企業家は労働費用とか資本費用とか特定の費用の引き下げに関心を持つのではなく, たとえ労働費用

が上昇しても総費用を減少させる技術進歩は, その方向と無関係に歓迎される⁵⁾。”という見解に従って, 問題の焦点を, 相対価格が不変の時革新可能函数の制約の下で, 総費用を減少させようとする経済モデルへ移した。Samuelson も Kennedy の線に沿って, 同じ問題を要素増大的(Factor Augmenting)技術進歩のみを許容する生産函数の枠組の中で, より厳密に定式化し代替の弾力性との関係において安定条件を吟味した。

即ち一次同次の通常の新古典派的諸性質を満たす生産函数

$$Y = F(AK, BL) \dots\dots\dots (1)$$

を考える。但しここで Y は産出量, K, L は雇用される資本量, 労働量を表わし, A および B はそれぞれの効率(Efficiency)を表わしているものとする。今このような生産函数を考えることの適否, ならびにその測定の諸問題には触れないことにする。さて(1)式を時間について微分し, その比率で表わすと

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha \frac{\dot{K}}{K} + (1-\alpha) \frac{\dot{L}}{L} + T$$

$$\text{あるいは } \hat{Y} = \alpha \hat{K} + (1-\alpha) \hat{L} + T \dots\dots\dots (2)$$

を得, ここで, $r = AF_1 \dots\dots\dots (3)$

$$w = BF_2 \dots\dots\dots (3)'$$

$$\alpha = \frac{rK}{Y} \dots\dots\dots (4)$$

$$1-\alpha = \frac{wL}{Y} \dots\dots\dots (4)'$$

$$T = \alpha \frac{\dot{A}}{A} + (1-\alpha) \frac{\dot{B}}{B}$$

$$\text{あるいは } T = \alpha \hat{A} + (1-\alpha) \hat{B} \dots\dots\dots (5)$$

である。但しドット ($\dot{x} = \frac{dx}{dt}$) は時間に関する全微分, 下添字 (x_j) はその番号の変数による偏微分を, またハット ($\hat{x} = \frac{\dot{x}}{x}$) は時間に関する相対的変化率を示すものとする。さらに α と $(1-\alpha)$ はそれぞれ資本と労働の分配率, r および w は限界生産力に等しい資本と労働のフロー量の実質価格, 実質レントと実質賃金率を表わしている。

一方革新可能函数は, 生産要素増大的技術進歩のみ許されているので陽函数の形で表わすと,

$$\hat{A} = g(\hat{B}) \dots\dots\dots (6)$$

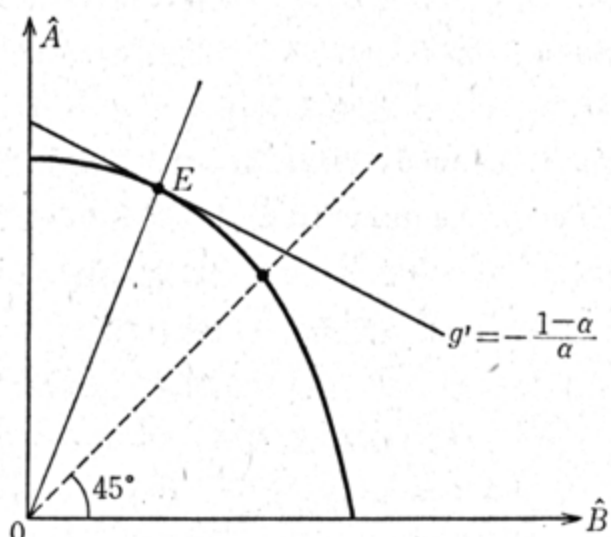
となり, ここで $g' > 0, g'' < 0$ と仮定されている。

そこで今我々の問題は, (6)式の制約条件の下で(5)式を極大にすることである。すなわち資本および労働増大的技術進歩の代替的關係および現行の要素分配率の下で, 瞬時的技術進歩率を極大化することであり, これは競争的市場における限界原理および現行要素価格の下で, 単

4) Hicks [23], pp. 121~127.

5) Salter [47], pp. 43~44.

第1図



位費用の引き下げ率を極大化することに等しい。あるいはまた静態的実質賃金率予想を前提として、利潤の増分を極大化することに等しいとも解釈できる⁶⁾。さてこの時一階の極大条件は

$$g'(\hat{B}) = -\frac{1-\alpha}{\alpha} \dots\dots\dots(7)$$

であり、二階の条件は、我々の仮定の下では常に満たされている。なおこの要素分配比率が安定的であるための必要十分条件は、代替の弾力性(σ)が1より小さいこと(より正確には $\sigma \ll 1$)であることが容易に証明される。すなわち資本と労働の間の代替の弾力性が1より小ならば、効率単位の資本—労働比率($Z \equiv \frac{AK}{BL}$)の増加は資本分配率の減少を持たらし、IPFの形状から資本分配率の減少は \hat{A} を減少させ \hat{B} を増大させる力を持つ。かくして最終的に \hat{A}, \hat{B} が一定であるような安定的な均衡点へ到達し、そこにおいて要素分配率は不変となる。

従って $\sigma < 1$ ならば、現行の要素分配率の下で最適なる \hat{A} と \hat{B} の組合せが選択されることとなり、また $\sigma < 1$ とすれば、 $\hat{A} > \hat{B}, \hat{A} = \hat{B}, \hat{A} < \hat{B}$ はHicksの意味において、それぞれ資本節約的、中立的および労働節約的となって、そのバイアス(偏り)は45°線からの乖離によって計られる($\text{Bias} = \frac{\sigma-1}{\sigma}(\hat{A}-\hat{B})$)。なお最後に、KennedyはKaldorの技術進歩函数のように生産函数に代るものとして革新可能函数を考えていたのであるが、Samuelsonのような定式化は逆に生産函数の概念の中に革新可能函数を吸収する方向であることを付け加えておく⁷⁾。

2. Kennedy-Samuelson モデルの問題点

これまで Kennedy や Samuelson などによる誘発的技術進歩論の定式化をやや詳しく見て来たが、そこから

6) 例えば Amano [2] を見よ。

すぐに次のような問題点が指摘されることになる。まず第一に、このモデルはマクロあるいはミクロのいずれの行動様式を前提としているのか不明であるという点である。すなわち実質賃金率および実質レントが与えられている状態での代表的企業のモデルと考えるならば、生産函数は一次同次であるからその企業の規模は決定されず、また個別企業において要素分配率の安定性という現象は必ずしも存在しないうえ、仮りにあったとしてもそれが企業の意志決定に関する主要な変数であるとは思えない。次にもしこの理論が Kennedy の言うような新しいマクロの分配理論として機能するためには、要素価格が不変であるというのはいかに強すぎるばかりでなく、適切な仮定であるとも思われない。第二に、革新可能函数の位置および形状は外生的に与えられ、時間を通じて不変なことである。さらにその位置および形状は資本—労働比率から独立であり、極大化の十分条件のためにその形状は原点に対して厳密に凹でなければならず、例えばフロンティアが直線になるような場合は排除されざるを得ない。第三には、今の理由から革新可能函数上で決定される技術進歩率およびその方向性は外生的に与えられることになる。すなわち一切の投入、費用を必要とすることなく、自生的な技術進歩のみが考察されているのである。第四に、このモデルの極大化行動における目的函数が近視眼的(Myopic)であることである。言いかえれば、静態的な価格予想の下で単位費用引き下げ率の瞬時的極大化は、必ずしも適切な目的函数ではない。第五には、安定条件でもある代替の弾力性の大きさが極めて重要な役割を演じており、例えば Cobb-Douglas 型のような代替の弾力性が1の生産函数は、このモデルから排除されなければならない点である。何故ならば、代替の弾力性が1の時には常に中立的技術進歩しかとりえず、革新可能フロンティアを描くことが出来ず、 \hat{A} と \hat{B} を分離することが出来ないからである。つまりこの意味において、革新可能函数は生産函数から独立ではないのである。第六に、競争的市場が考えられ、そこでの絶えざる均衡が想定されている点についてである。技術革新の過程は、その根底においてこの均衡から乖離し、正常利潤を超える利潤を獲得しようとする運動であるにも拘らず、瞬間的に均衡が回復され常に均衡状態にあると仮定されていることは、非常に強い制約であり、この点に関しては技術進歩論のほとんどすべてについてあてはまる難点である。第七に、最後として、技術革新の世界は本質的に不現実

7) Kennedy [29] と Samuelson [49] 自身によってもこの点は確認されている。

性の世界であるが、この理論は確実性の中で展開されていることを指摘して、次にこれらの問題点のいくつかの克服を通じて技術進歩を内生化する方向を探ろう。

3. Kennedy-Samuelson モデルの発展

Kennedy や Samuelson の定式化が、マクロモデルなのかミクロモデルなのかについて不明瞭さを残していることは、すでに述べたところであるが、従って彼等の線に沿って誘発的技術進歩論を発展させようとする時、二つの方向が考えられる。まず第一は、マクロモデルとしての側面を整理することによって、例えば貯蓄—投資の均衡条件式の導入や研究開発部門を体系の中に陽表的に組み入れることによって、分配問題あるいは長期均衡点の性質を解明する方向である。これらの試みは第Ⅲ節のマクロモデルのところより詳細に検討されるであろう。さて第二の方向としては、Kennedy-Samuelson モデルに含まれるミクロ的性格を徹底させ、I-2 で指摘した欠陥のいくつかを改善することである。この線に沿う典型的なものとして Kamien & Schwarz [27] および西部 [42] がある。以下この第二の方向について検討を加えよう。

Kennedy-Samuelson モデルをミクロモデルとして定式化する際に、まず簡単な形式的処理によって次の二点については容易に改善される。第一点是一次同次の生産函数を逡増的費用を持つ Homothetic な生産函数で置き代えることである。すなわち(1)式は

$$Y = \phi[F(AK, BL)] \dots\dots\dots (1)'$$

に改められ、ここで F は一次同次、 ϕ は費用逡増的になるようなその単調増加函数である。従って規模に関して収獲逡減となるために企業の規模は決定されることとなり、(1)式を用いて得られる他の結果については、何ら本質的修正を施すことなくそのまま妥当する。次に第二点として、近視眼的目的函数の代りに将来にわたる利潤流列の現在価値を極大化する目的函数でおきかえる、つまり(5)式に代えて

$$\int_0^{\infty} \{\phi[F(AK, BL)] - rK - wL\} e^{-\rho t} dt \dots (5)'$$

を目的函数として採用するのである。ここで ρ は時間割引率を示す。かくして(6)式の制約条件の下で(5)'式を最大化する問題を解くことに帰着することとなり、そこで次のようなハミルトン函数が作られる。

$$H = \phi[F(AK, BL)] - wL - rK + p_A g(\hat{B})A + p_B \hat{B}B \dots\dots (8)$$

ただし p_A, p_B は潜在価格(Shadow Prices)である。若

干の操作の下に“最大値原理”を適用すると、代替の弾力性が1より小なる時に我々は鞍点解(Saddle Point Solution)を得る。すなわち潜在価格を適当に選択することによって、安定的径路を経て必ず均衡点へ到達することが可能となり、その均衡において要素分配率は一定である。

だが以上のような修正においては、まだ技術進歩を生みだすため費用あるいは投入物というものが考察されていなかった。そこで Kamien & Schwarz はそのための費用(M)を導入し、次のように革新可能函数(6)'を書きかえる。

$$\hat{A} = g(\beta)h(M), \hat{B} = \beta h(M) \dots\dots\dots (6)'$$

ここで β は技術進歩の方向係数であり、 g は h に関して一次同次である。なお $h(M)$ は M の非負単調増加の凹函数とする。つまり技術進歩のための費用支出が大きくなればなるほど、その限界収益は逡減すると仮定されている。このような(6)'式の制約条件のもとで(5)'式に技術進歩のための費用を入れて条件付最大化の問題を解くと、従来の結果とほぼ同じような結果が得られる。すなわち一意的均衡が存在し、そこで技術進歩の方向($g(\beta)/\beta$)が確定する。さらにこれに加えて技術進歩を生産するための最適費用水準 M^* も決定される。また代替の弾力性が1より小ならば、やはりこの均衡は安定的である。なおこれらの結果を同じ定式化のもとで、目的函数だけを近視眼的なものに置きかえた場合と比較するならば、技術進歩のバイアスはより小さくなり、技術への投資率はより高くなる傾向が指摘されている。

一方西部 [42] は以上のような定式化の他に、さらに興味深い性質を引き出している。その基本的考え方は次のようなものである。マクロモデルにおける長期均衡点と両立しうる技術進歩は、第Ⅲ節でも論じられるように Harrod の意味で中立的なもののみである。これはマクロの体系では労働の成長率が外生的に与えられているのに対して、資本はその体系の中で自由に再生産しうると考えているため、技術進歩はその稀少な生産要素である労働のみを増加させるようなタイプだけが均衡と斉合的なものになるためである。これに対して西部はマクロ体系と逆に個別企業にとっては労働よりもむしろ資本が制限的要素であると考え、その視点を生かした次のようなモデルを構築する。つまり制約条件である革新可能函数(6)''

$$\hat{A} = g(\hat{B}, M^0)l(t) \dots\dots\dots (6)''$$

のもとで、ただし $l(t)$ は $l < 0$ で技術の減価償却率を表わす、目的函数(5)''式

$$\int_0^{\infty} \left\{ \phi[F(AK, BL)] - wL - K\phi\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) \right\} e^{-\rho t} dt \dots (5)''$$

を最大にする。φは資本ストックに関して一次同次なる投資函数で、固定的生産要素である資本を増加するのに必要なコストを示し、その性質や意味は Uzawa の Penrose 函数と同じものであると考えられる⁸⁾。

さてこの結果はすでに予想される場所であるが、革新可能フロンティアは時間とともに縮退しながら、その上で均衡点が決定せられその均衡は時間とともに資本増大的技術進歩への偏りを増加させていく、すなわち稀少である生産要素をより一層増大させる方向の技術進歩を生みだしていくことが明らかにされているのである。

このように Kennedy-Samuelson モデルは、その後少しずつ整理されまた仮定がゆるめられて改善されてきたものとはいえ、その根本的難点である不確実性や均衡に関する I-2 の第六、第七番目の批判からはまだのがれられない状態にあることは留意されなければならない。これらの問題については第 II 節で改めて触れられるであろう。

4. Impossibility Theorem と革新可能函数

ところで誘発的技術進歩論のもう一つの側面を第 II 節でとりあげる前に、簡単に技術進歩の計測における革新可能函数の役割を見ておこう。Diamond & McFadden [10] や Nerlove [41], 佐藤 [50] によって、Impossibility Theorem として“一般的には代替の弾力性と技術進歩のバイアスを、データから同時に測定することは不可能である”ことが指摘されていることは、よく知られているところである。

今(1)式から競争的市場における限界原理と代替の弾力性の概念を用いることによって次の式をうる、

$$\frac{\dot{y}}{y} = \alpha \frac{\dot{A}}{A} + (1-\alpha) \frac{\dot{B}}{B} + \alpha \frac{\dot{k}}{k} \dots (2)'$$

$$\frac{\dot{r}}{r} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{1-\alpha}{\sigma} \left[\frac{\dot{k}}{k} + \frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{B}}{B} \right] \dots (8)$$

$$\frac{\dot{w}}{w} = \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\alpha}{\sigma} \left[\frac{\dot{k}}{k} + \frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{B}}{B} \right] \dots (9)$$

ここで $y \equiv \frac{Y}{L}$ 且つ $k \equiv \frac{K}{L}$ であり、従って $\omega \equiv \frac{w}{r}$ とする時(8)および(9)式から、

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{1}{\sigma} \frac{\dot{k}}{k} - \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) \left(\frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{B}}{B}\right) \dots (10)$$

を得る。そしてここで代替の弾力性は時間を通じて不変

8) Uzawa, H., "Time Preference and the Penrose Effect in a Two-Class Model of Economic Growth," JPE, July-Aug. 1969.

であり、要素増大的技術進歩率は每期一定率であるという仮定を設けるならば、 $\dot{\omega}/\omega$ と \dot{k}/k の観測値が与えられる時、線型回帰方程式から代替の弾力性(σ)およびバイアス $\left(\text{Bias} = \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) \left(\frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{B}}{B}\right) \right)$ は測定可能となる。つまりこれらの仮定のもとでは Impossibility Theorem は妥当しないのである。なおここで我々が課した条件は、Nerlove によって挙げられている要素増大的技術進歩のみが存在する場合の識別のための十分条件に等しいことをつけ加えておこう。

しかし(10)式においては、我々は $(\dot{A} - \dot{B})$ の差分のみ決定することが可能であるが、個々の \dot{A} や \dot{B} の値を得ることは出来ない。何故ならば(2)'(8)(9)式の三本の方程式は互いに独立でないために、 \dot{A} と \dot{B} を σ とともに同時に決定することが出来ないのである。しかしもし追加的情報として革新可能函数の具体的な形状が与えられており、フロンティアは厳密に原点に対して凹であるならば、それによって \dot{A}, \dot{B} は完全に決定可能となる。すなわち革新可能函数という生産函数と斉合的な制約条件は、 $(\dot{A} - \dot{B})$ と (\dot{B}, \dot{A}) の組み合わせとの間に一対一の対応関係を与えるために、 \dot{A}, \dot{B}, σ を決定するのに十分である。ところで每期、フロンティア上の同一点に留まるという情報は要素分配率が不変であるという情報に他ならず、αが一定であるならば(8)(9)式において、 \dot{r}/r と $\dot{w}/w, \dot{k}/k$ の観測値から得られる二本の回帰方程式の両切片を連立させて解き、 \dot{A} および \dot{B} を得ることに等しい。すなわち本来事前的な概念である革新可能函数上の一点が每期事後的にも実現されているということは、たとえその函数全体の形状が分からなくとも每期同一の形状と位置であるなら、単に要素分配率が不変であるという情報を与える以外の何ものでもないのである。

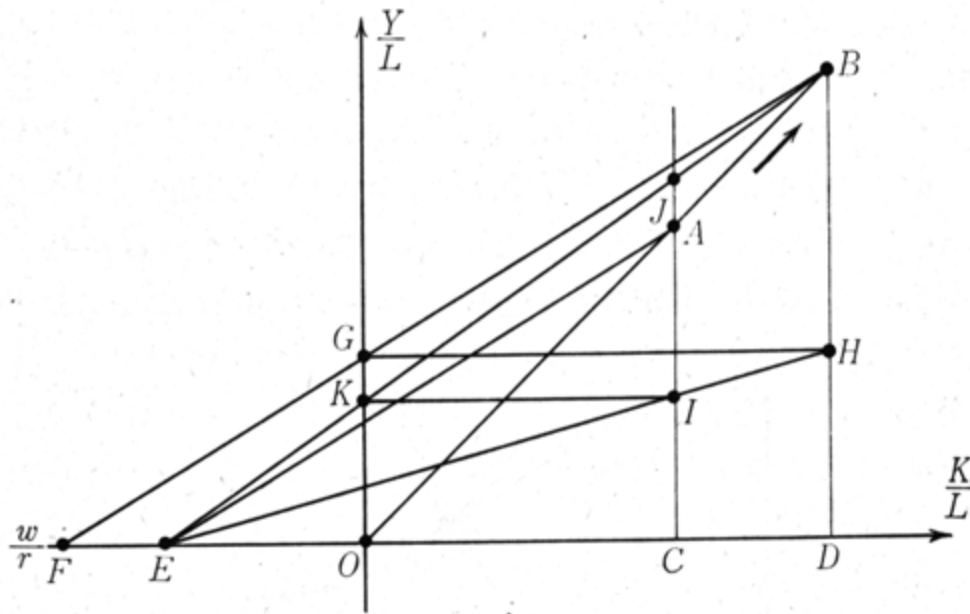
[II] 不確実性と期待：誘発的技術進歩論(2)

1. 連続的技術進歩と非連続的技術進歩

Kennedy-Samuelson モデルは不確実性の入り込む余地のないモデルであることを先に指摘したが、このことは革新可能函数や目的函数の定式化に依存するのではなく、そこで考えられている技術進歩の性格に起因しているのである。しかし本節ではもう少し広い技術進歩の性格を許容することによって、不確実性の問題と関連付けて論じてみたい。まずその準備として Hicks の中立性に関する定義を拡張することから始めよう。

一次同次の生産函数を想定して、今労働の平均生産性が、資本—労働比率の C から D へ、賃金—レント比率の E から F への増加を伴って、A から B へ増大したと仮定する。ただしこの時 $DC/CO = FE/EO$ とする、すな

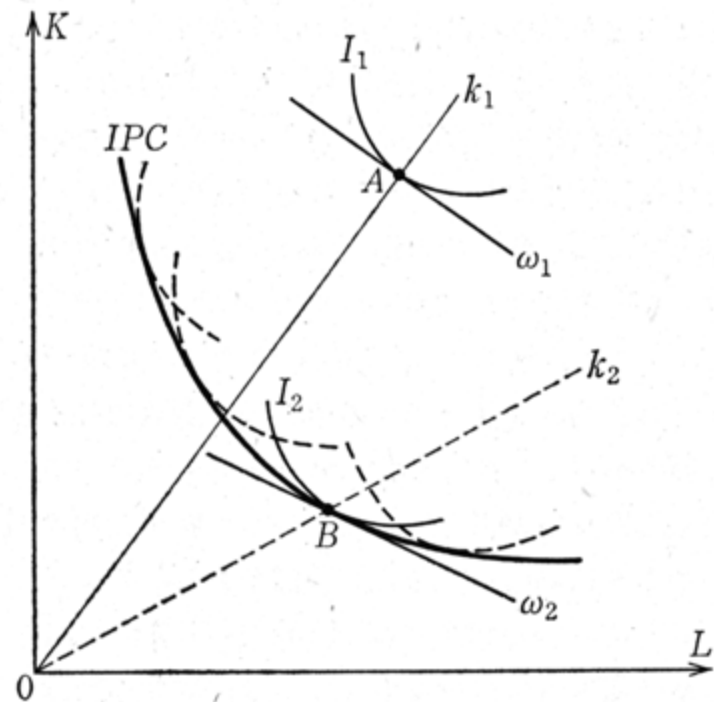
第2図



わち代替の弾力性は1であるとしよう。代替の弾力性が1ならば要素分配率は不変にとどまるから、 AB は原点0を通過しなければならない。従ってこの技術進歩を狭義の Hicks の定義を用いて表現するならば、 EB と AC の延長線との交点 J が求められ、 JA/AC が技術進歩率となり、 JK は E を通過するのでこの技術進歩が中立的なものであることが分る。このように代替の弾力性が一定に保たれ、その調整機能を通じながら技術進歩が時間を通じて一定率で起こるような技術進歩、今我々はそれを連続的な技術進歩と呼ぶ、においては、競争的市場での均衡が常に破壊されることがないように諸変化が調整されているのである。例えばI-4で考察した識別可能なケースはまさにこの一つの典型である。

しかし代替の弾力性が仮りに1であっても、 OB は A を通過しない、すなわち分配機構にゆがみがあるかもしれないし、 HI と横軸との交点と B を結ぶ線上に J がない、すなわちバイアスのある技術進歩であるかもしれない。たとえば Cobb-Douglas 生産函数において資本—労働比率を直接変えるような、従って賃金—レント比率が不変ならば直接分配率を変化させるような技術進歩を企業は採用するかもしれない⁹⁾。このような種々の可能性が現実には存在するが、前述の連続的な技術進歩においてはもし代替の弾力性が1であるならば、こうした可能性は排除されてしまっている。今後連続的でない技術進歩をまとめて非連続的技術進歩と呼ぶが、その時 A 点から B 点への不連続な変化の過程において如何なる調整が行われているかは把握することが出来ず、ただ B 点での新しい均衡のみが分析の対象とならざるを得ない。本節でとりあげる諸モデルの背後にはこのような型の技術進歩が許容されており、それ故にこの不連続な技術変

第3図



化は、当然種々の不確実性の問題と不可分であることをあらかじめ指摘しておきたい。

2. Hicks-Fellner モデル

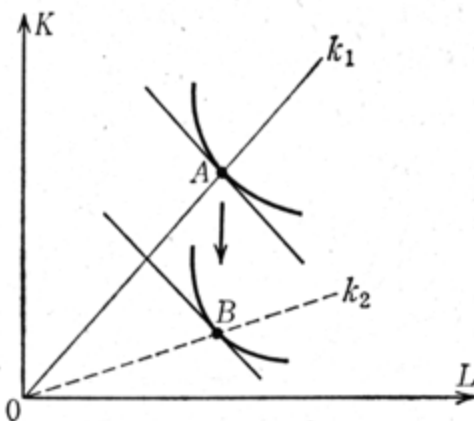
Hicks [23] は生産要素の相対価格の変化が、ある特定方向への技術進歩のバイアスを誘発する可能性について示唆したが、この命題の妥当性すなわち代替効果との混同であるか否か、あるいは特定費用の引き下げでなく総費用の引き下げとして考えるべきかどうかは、全く革新可能フロンティアの存在と性質に依存しているのである。今資本財の不分割性を考慮に入れると同一の生産函数上で許されている代替可能性の範囲は決して大きくなく、それを越えて代替は高価になる。従って我々はむしろ研究開発活動へ支出をすることによって新しい生産函数へのシフトを試みるわけであるが、その時例えば事前的可能性を示す新しい等生産量曲線の包絡線として革新可能曲線が与えられるとしよう¹⁰⁾。そして A 点に

$$9) \quad \frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{\dot{k}}{k} - \frac{\dot{\alpha}}{\alpha(1-\alpha)}$$

もし $\dot{\omega}=0$ ならば、

$$\dot{k} \cong 0 \iff \dot{\alpha} \cong 0$$

である。



10) この場合の革新可能函数の概念は Ahmad [1] のそれと非常に近いものである。

において過去からの長期的趨勢として要素相対価格が ω_2 になると予想されるならば、 I_2 なる等生産量曲線上の B 点を選択することが最適な技術開発となる。さらに ω_2 なる相対価格が実現するかどうかは確実でないために、それに備えてもし I_2 の代替の弾力性を増加させることが出来るならば、その価格予想の誤差から生ずる損失は減少させることが可能となる¹¹⁾。この A 点から B 点へのシフトは、決して I_1 上の代替効果の問題でもないし、また事前的可能性としての革新可能函数は与えられても、その中から一つの等生産量曲線を選択するのであるから、決して総費用の引き下げを無視した特定費用の引き下げを計るものではないことが明白である。

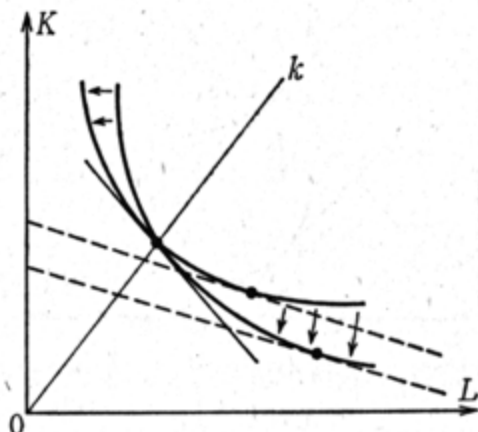
一方 Fellner [14] [15] [16] も Hicks と同様に、企業家は相対的に稀少な生産要素を節約する技術の開発傾向を持つことを次の二つの理由から明らかにした。第一には、個別企業家は生産要素の相対価格を与えられたものとして受けとるが、意志決定の際それを決してマクロ指標の資本—労働比率から独立なものとして考えない。つまり経験からの学習によってあたかもモノプソニストのように、賃金—レント比率と資本—労働比率の間の相互作用を考慮するであろうこと。第二に、例えば価格の下方硬直性のような市場の不完全性もまた無限弾力的供給の非現実性を示唆して、稀少な要素を節約する傾向を助長するであろうことである。このような前提のもとで Fellner は過剰調整の可能性を指摘しているが、それは次のように解釈できるかもしれない。

ある平均的な企業(マーシャルの代表的企業と異なり、企業規模の分布がある)は経済全体の資本—労働比率 (k^*) よりも高い資本—労働比率 (k_1) の A 点で今生産を行っているとしよう。与えられた研究開発支出のもとで、

11) 例えば CES 函数ならば、

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} = (\rho + 1) \frac{\dot{k}}{k} - \frac{\dot{\alpha}}{\alpha(1-\alpha)} + \rho \log k$$

となり、代替の弾力性の変化 ($\rho \geq 0$) は、 $k=1$ の場合をのぞいて、一般に非中立的技術進歩と見做される。この図のように $k \neq 1$ で、もし $\dot{\omega} = \dot{k} = 0$ なら、 $\rho \log k \geq 0 \iff \dot{\alpha} \geq 0$ である。



第4図

現行相対価格をもって幾つかの新技术の計画を評価するが、マクロ指標 (k^*) から資本の稀少性を知ってより労働集約的な生産方法、例えば B 点を採用しようとする。一方相対価格もその稀少性を反映して ω_1 から ω_2 へ移行するであろうから、従ってこの企業は C 点で生産を行うことになる。このようにマクロの指標も考慮に入れて調整を行う時、 k^* をめぐって過剰調整が行われる可能性が十分に考えられることになる。

3. 短期と長期の不確実性の総合

さて Hicks や Fellner のモデルでは過去の価格変動およびその可能性を考慮に入れて期待価格を算定し、それに最適な技術を開発したのであるが、当然この期待価格の形成には不確実性が伴い、ことに固定資本の耐用期間が長くなればなる程、この不確実性に対して敏感になる。そこで今市場に起因する短期的不確実性と相対価格の長期的趨勢に伴う不確実性をどのように総合しようかという問題を検討しよう。

来期起こりうる相対価格の変化率 ($\hat{\omega}_2$) は、短期的には今期の相対価格変化率 ($\hat{\omega}_1$) を中心に対称的に分布していると仮定できよう。その時のバラツキ (σ_1^2) は純粹に市場構造に依存している。すなわち調整の遅れや情報の不完全性、不測の攪乱要因、摩擦要因などの市場の不完全性に起因するものとする。しかし $\hat{\omega}_1$ と $\hat{\omega}_2$ の間には因果関係が存在しないので、逆に来期の価格変化率は、今期起こりえたであろう種々の変化率の平均値であると言い直すことが可能になる。つまり今期の相対価格変化率の標本分布が正規分布で近似しうるとすれば、

$$f(\hat{\omega}_1 | \hat{\omega}_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp - \frac{1}{2\sigma_1^2} (\hat{\omega}_1 - \hat{\omega}_2)^2 \dots (11)$$

となる。一方来期の相対価格の変化率は、過去からの長

期的趨勢によっても算定しうる。その信頼性(σ_0^2)は長期的趨勢の過去における変動幅を示すものであるかもしれない。今もしこれも正規分布をもって近似可能であるならば、

$$g(\hat{\omega}_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp - \frac{1}{2\sigma_0^2} (\hat{\omega}_2 - \hat{\omega}_0)^2 \dots\dots (12)$$

となり、(11)式のパラメーター($\hat{\omega}_2$)に関する追加的情報を提供する。(11)、(12)式から結合分布($g(\hat{\omega}_2)f(\hat{\omega}_1|\hat{\omega}_2)$)および周辺分布($f(\hat{\omega}_1)$)が計算され、事後的分布($g(\hat{\omega}_2|\hat{\omega}_1) = g(\hat{\omega}_2)f(\hat{\omega}_1|\hat{\omega}_2)/f(\hat{\omega}_1)$)も正規分布となって、その平均値および分散は、今期の相対価格変化率の観測値($\hat{\omega}_1$)が与えられると、

$$\hat{\omega}_2 \sim N \left[\frac{\sigma_0^2 \hat{\omega}_1 + \sigma_1^2 \hat{\omega}_0}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2}, \frac{\sigma_0^2 \sigma_1^2}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \right] \dots\dots (13)$$

となることが容易に示される。そして平方誤差損失函数($c(\hat{\omega}_2 - \hat{\omega}_2^*)^2$)をもって、すなわち期待値をもって推定量として採用するならば、来期の相対価格変化率に関するベイズ推定値は、

$$\hat{\omega}_2^* = \frac{\sigma_0^2 \hat{\omega}_1 + \sigma_1^2 \hat{\omega}_0}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \dots\dots\dots (14)$$

である。当然予想されるように、それは今期観測された変化率と長期的趨勢から計算された変化率の加重平均である。

従って市場の不完全性に起因する不確実性に比べ、明確なる価格上昇の傾向線が存在するならば($\sigma_0^2/\sigma_1^2 \rightarrow 0$)、その趨勢値をもって($\hat{\omega}_2^* \rightarrow \hat{\omega}_0$)来期の価格上昇率として推定することが好ましい。また逆に市場の攪乱的要因も比較的小さく、価格変動に一切のトレンドが存在しなければ($\sigma_0^2/\sigma_1^2 \rightarrow \infty$)、今期の価格変化率をもって($\hat{\omega}_2^* \rightarrow \hat{\omega}_1$)、その推定値とすべきである。このように長期的予想に伴う不確実性と短期的なそれ、あるいは市場的要因に由来する不確実性が十分に区別することが出来、その指標を構成することが可能ならば、それらの加重をもって価格変動を予想することが適切となる。なお当然のことながら、長期的にも短期的にも相対価格が安定しているならば($\hat{\omega}_1 = \hat{\omega}_0 = 0$)、たとえ市場に攪乱的要因が存在しても、来期の価格もまた安定的である($\hat{\omega}_2^* = 0$)と想定するのが妥当である。

4. 試験開発と平行開発

かくして予想価格水準が決定され、研究開発支出、また関連技術に関する十分な情報や科学技術一般の水準が与えられると、すなわち革新可能フロンティアの位置と形状が定まり、その上の目標点が決定されることになる。次の段階として、比較的の不確実性が小さく開発が容易で

あり、その選択枝も多い応用開発部門においては、それらの中から効率的でしかも与えられた最適資本—労働比率(k_0)に最も近い技術の開発に着手し始める。このような試験開発の段階において、ある開発中の技術が十分に最適資本—労働比率の近傍にあるか否かを検定しなければならぬ。従来の検定理論においては有意水準は全く任意に選択されたのであるが、この点に若干の改善を加えた検定方式を検討してみたい¹²⁾。

今目標の k_0 が与えられる時、試験的に開発される技術の資本—労働比率がその目標値よりどの程度乖離しているかは、純技術的不確実性のみならず、決定的にストックおよびフローとしての研究開発支出の大きさに依存していると言える。すなわちその乖離の程度を正規分布で近似する時、分散(σ_0^2)は研究開発支出および技術水準の函数である。その標本分布は、

$$f(\Delta k|\Delta k_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp - \frac{1}{2\sigma_0^2} (\Delta k - \Delta k_0)^2 \dots (15)$$

であり、ただしここで Δk_0 の分布は未知定数を持つところの

$$g(\Delta k_0|\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp - \frac{1}{2\sigma^2} \Delta k^2 \dots\dots (16)$$

とする。それ故に

$$\begin{aligned} f(\Delta k|\sigma) &= \int_{\Delta k_0} f(\Delta k|\Delta k_0) g(\Delta k_0|\sigma) dk_0 \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\sigma^2 + \sigma_0^2)} \exp - \frac{1}{2(\sigma^2 + \sigma_0^2)} \Delta k^2 \dots (17) \end{aligned}$$

であるから、 σ について $f(\Delta k|\sigma)$ の極大値を求めると、 $\partial f(\Delta k|\sigma)/\partial \sigma = 0$ から

$$\sigma^{2*} = \begin{cases} \Delta k^2 - \sigma_0^2 & \text{if } \Delta k^2 > \sigma_0^2 \\ 0 & \text{if } \Delta k^2 \leq \sigma_0^2 \end{cases} \dots\dots (18)$$

を得る。先の(14)式と同様に Δk_0 の事後的期待値は

$$\begin{aligned} \Delta k_0^* &= \frac{\sigma^2 \Delta k}{\sigma_0^2 + \sigma^2} \\ &= \begin{cases} \Delta k - \frac{\sigma_0^2}{\Delta k} & \text{if } \Delta k^2 > \sigma_0^2 \\ 0 & \text{if } \Delta k^2 \leq \sigma_0^2 \end{cases} \end{aligned}$$

である。すなわち研究開発支出および技術水準によって決定される σ_0^2 に対して、 $\Delta k^2 \leq \sigma_0^2$ であるならば $\Delta k_0^* = 0$ となる。つまり試験開発中の技術 k は十分 k_0 に近い値をとるとみなされ、最適な技術として採用されるであろう。もちろんその精度は σ_0^2 の大きさに依存するこ

12) 同様の視点に立ち、より一般的な場合を分析したものに M. Clutton-Brock, "Using the Observations to Estimate the Prior Distribution," Journal of Royal Statistical Society, Series B, Vol 27, No1, 1965 がある。

とは言うまでもない。

さて以上のような検定が問題となりうるのは、比較的不確実性が少なくまた幾つかの代替的プロジェクトがしばしば存在する応用開発方面についてのみであろう。これに対して基礎研究や新製品の開発などは大きな不確実性が不可避的であり、一つの技術を開発するのにも多くの試行錯誤が避けられない。このように成功の確率が低い技術開発においては、平行開発(Parallel Development)が究極的には有効であることを、Nelson [40] や Klein [30] が指摘している。もし時間の経過とともに変化する分散の動きにある特定のパターンが経験的に見い出されるならば、この問題は逐次決定論(Sequential Decision Theory)の立場から幾つか有用な帰結を引き出しようと思われる。しかしまだ現在の段階では十分な情報が提供されておらず、数値例程度の域を脱しきれない状況にある。

5. 競争的市場と特許制度

技術という財には分割不能性(Indivisibility)、不確実性(Uncertainty)や排除不能性(Inappropriability)などの性質があるため、競争的市場もその生産と消費のパレート最適性を保証しないことはよく知られているところである。今この第三の排除不能性つまり公共財的な匿名的消費可能性は、新しい技術を生産しようというインセンティブを弱める傾向を持つ。従ってこのインセンティブを確保し絶えざる技術進歩を生みだすための次善的的制度として、現実には特許(Patent)制度が採用されている。特にこの特許の問題と経済成長との関係を集中的に分析したすぐれた実証分析に Schmookler [55] があり、また特許に関する理論的諸問題を取り扱ったものとして Nordhaus [43] [44] があげられるが、ここでは特に現実のデータに当てはめて見た後者のモデルを検討しよう。

Arrow [4] は利潤志向的行動様式のもとで、最適ロイヤリティ水準の決定を行い、競争的市場における技術開発のインセンティブの方が独占的市場におけるそれよりも大きいことを示したことはすでに言及したが、実はこの問題の前に、技術を独占するかそれとも販売する方が有利かという問題が解決されていなければならない。村上 [37] はこの解明にあたり、その決定が生産物市場の市場構造と需要曲線、供給曲線の勾配およびその感応度に依存することを様々のケースに分けて分析している。しかし今我々はこの問題に立ち入らないで、すべての新技術は特許化され、またロイヤリティを受けるという仮定のもとに、次のような Nordhaus のモデルの中心部分を得る。

$$Y = AK^\alpha L^{(1-\alpha)} \dots\dots\dots (20)$$

$$\dot{L} = nL \dots\dots\dots (21)$$

$$\dot{K} + NR = sY \dots\dots\dots (22)$$

$$K = \frac{\alpha Y}{r} \left(\frac{P-Q}{P} \right) \dots\dots\dots (23)$$

$$\dot{A}/A = N^\beta A^{-\gamma} \dots\dots\dots (24)$$

$$N = \left[\frac{\beta Y A^{-\gamma} \rho}{R} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} \dots\dots\dots (25)$$

ここで N は特許数、 R は特許当りの実質費用、 s は平均貯蓄性向を示す。また P は生産物価格、 Q は生産物単位のロイヤリティ、 β, γ はそれぞれ \dot{A} の N および A に関する弾力性を表わしている。改めて説明するまでもなく(20)式は Cobb-Douglas 型生産函数を、また(21)式は労働の成長率が外生的に与えられることを、(22)式は資本財への投資と技術への投資の和が貯蓄に等しいという貯蓄—投資の均衡条件を示している。さらに(23)式は限界生産力原理を通じて決定される分配率は、ロイヤリティ支払によって修正されることを示し、(24)(25)式は各々特許数の函数としての技術進歩生産函数を、また限界的発明家の利潤がゼロとなる発明家均衡を表わしている。この体系を長期均衡状態のもとで解く時、均衡技術進歩率は、

$$\left(\frac{\dot{A}}{A} \right)^* = \frac{n\beta(1-\alpha)}{\gamma(1-\alpha) - \beta} \dots\dots\dots (26)$$

となり、パラメーター α, β, γ, n のみの函数として一意的に決定される。

従って(26)式では技術進歩生産函数のパラメーター β, γ がきわめて重要であり、それ故に(24)式の技術進歩を生産する函数の正当性が問われなければならないことになる。Nordhaus はそこで Schmookler および Kendrick のデータを用いて、(24)および(25)式の経験的妥当性を確かめたが、残念ながらその結果は良好と言ひ難いものであった。つまりこのことは、理論的にはこのような均衡モデルとしての一定式化も十分考えられるにも拘らず、現実の経済は大きな不確実性のもとで絶えず均衡を破壊するような力を持ち、それ故に特許市場は静態的均衡によって把握し難くまた必ずしも十分に競争的でないことを意味しているのではなからうか。あるいは主要な発明や革新はむしろ特許化されることが少ないことを示唆するのかもしれない。従って我々はもっと簡単な関係の実証分析から始めなければならないのであるが、その若干の問題については第IV節で論ずることにしよう。

【III】 研究開発活動とマクロモデル

1. マクロモデルとしての誘発的技術進歩論

Kennedy-Samuelson モデルには二つの発展方向があ

り、その一つはマイクロモデルとして厳密に定式化し技術進歩を内生化する方向であることは第I節で述べた通りであり、またその方向に沿う幾つかの試みもすでに紹介した。さて残るもう一つの方向すなわちマクロモデルとして定式化する試みは、Samuelson [49], Drandakis & Phelps [11], Amano [2] や Chang [8] などによって行われている。

その体系は次の八本の方程式と八個の未知数とから成る。

$$\begin{aligned}
 Y &= F(AK, BL) \dots\dots\dots (1) \\
 r &= AF_1 \dots\dots\dots (2) \\
 w &= BF_2 \dots\dots\dots (3)' \\
 \alpha &= rK/Y \dots\dots\dots (4) \\
 \hat{A} &= g(\hat{B}) \dots\dots\dots (6) \\
 g' &= -(1-\alpha)/\alpha \dots\dots\dots (7) \\
 \dot{L} &= nL \dots\dots\dots (21) \\
 \dot{K} &= sY \dots\dots\dots (27)
 \end{aligned}$$

すなわち Kennedy-Samuelson の体系に単に労働の成長率が外生的に与えられること、および貯蓄—投資の均衡条件を導入しさえすれば、マクロモデルとして完結するのである。この時 \hat{A} と \hat{B} は分配率の函数となるから、分配率および資本の増加率の動きを表わす式は前半の四本の方程式に代替の弾力性から、

$$\begin{aligned}
 \dot{\alpha} &= \alpha(1-\alpha) \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right) (\hat{K} - \hat{L} + \hat{A}(\alpha) - \hat{B}(\alpha)) \dots (28) \\
 \dot{K} &= \hat{K} [\alpha \hat{A}(\alpha) + (1-\alpha) \hat{B}(\alpha) - (1-\alpha) (\hat{K} - \hat{L})] \dots\dots\dots (29)
 \end{aligned}$$

となる。よって均衡条件、 $\dot{\alpha} = \dot{K} = 0$ から

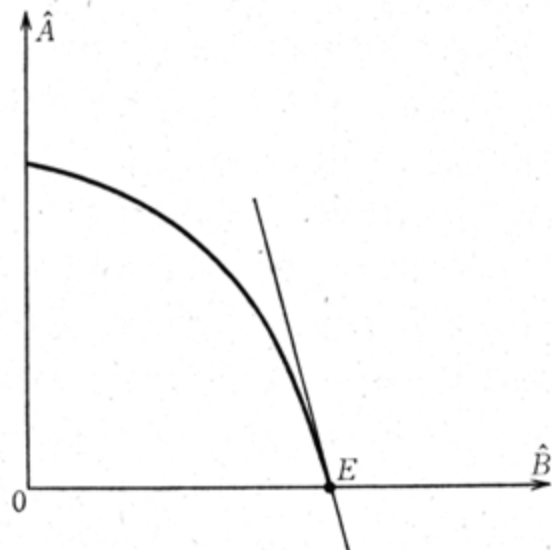
$$\hat{K}^* = \hat{B}(\alpha^*) - \hat{A}(\alpha^*) + n$$

および、

$$\hat{K}^* = \frac{\alpha^*}{1-\alpha^*} \hat{A}(\alpha^*) + \hat{B}(\alpha^*) + n$$

を得、これらを同時に解くと

第5図



$$\hat{A}(\alpha^*) = 0 \dots\dots\dots (30)$$

$$\hat{K}^* = \hat{B}^* + n \dots\dots\dots (31)$$

が長期均衡状態で得られる。今代替の弾力性が1より小ならば、やはり体系は安定的であり、 α^* は(7)式の条件から E 点における勾配と斉合的な値をとる。かくして長期均衡点では、 $\hat{A}^* = \hat{r} = 0$, $\hat{B}^* = \hat{w}$ および $\hat{Y}^* = \hat{K}^* = n + \hat{B}^*$ となって、技術進歩は Harrod の意味で中立的であることが判明する。なお Chang は比例的貯蓄函数の代わりに Cambridge 型貯蓄函数を導入することによって、従来の安定条件 ($\sigma < 1$) が必要十分条件でなく、必要条件に変化することを指摘している。

また同様に問題を、(6)および(27)式すなわち

$$\begin{aligned}
 \dot{A} &= Ag(\beta), \quad \dot{B} = B\beta \\
 \dot{k} &= sBf(AK/BL) - nk
 \end{aligned}$$

の制約条件のもとで、一人当たり消費

$$\int_0^{\infty} (1-s) Bf(AK/BL) e^{-\rho t} dt$$

を極大化するという最適技術進歩論の形で解いても、上と同じ結論が得られる。

さてここで重要なことは、Kennedy-Samuelson モデルをそのままマクロ化することは一見極めて自然のようにも受けとれるが、実はそれはあまり意味のないことに気がつくのである。マクロ体系においては労働の成長率は外生的に与えられているのに対し、資本は体系内での再生産が可能であるため、この体系にとって長期的な制限的要素として機能するのは労働であり、従ってそのような労働を最大限に増加させるような技術進歩が採用される状態で長期均衡点は達成される。それ故に E 点で均衡が達成されることがあらかじめ分っており、革新可能函数を導入したところで十分な意味を持ちえない。もし何らかの形で積極的意味と性質を持ちうるためには、少くともその労働増大的技術進歩を生みだし決定する源泉を考慮し、それをどのように把握するかという視点に立つ時である。それではこの方向における展開を次に考察しよう。

2. 研究開発部門をもつマクロモデル

すでに指摘したようにマクロ体系での長期的均衡状態と両立しうる技術進歩は Harrod 的な意味で中立的なもののみである。そこであらかじめこの点を考慮に入れることによってモデルの複雑化を避け、その研究開発部門の持つ意味に焦点を合わせたモデルとして Uzawa [57] および Phelps [45] がある。

Uzawa は今述べた理由から Harrod 中立的な技術進

歩のみを陽表的にとりあげ、その技術進歩を生み出す研究開発部門を初めて導入した。すなわちそのモデルは、

$$Y = F(K, BL) \dots\dots\dots (32)$$

$$\dot{B} = \phi(1-u), \phi' \geq 0, \phi'' \leq 0 \dots\dots\dots (33)$$

$$u = L_1/L \quad 0 \leq u \leq 1 \dots\dots\dots (34)$$

$$\dot{L} = nL \dots\dots\dots (21)$$

$$\dot{K} = sY \dots\dots\dots (27)$$

$$L = L_1 + L_2 \dots\dots\dots (35)$$

から成り、ただしここで下添字の 1 は生産部門、2 は研究開発部門を示す(函数の偏微分を示す下添字と区別されなければならない)。(33)式が研究開発部門の生産函数を示し、技術進歩はその部門に配置される労働のみによって生産されると仮定している。この時平均貯蓄性向(s)と生産部門への労働配分率(u)を制御変数として、(27)、(33)式の制約条件のもとで一人当り消費を極大化するような最適技術進歩率を求める問題となる。つまり

$$\dot{k} = sy - nk$$

$$\dot{B} = B\phi(1-u)$$

のもとで、

$$\int_0^{\infty} (1-s)ye^{-\rho t} dt$$

を最大にすることであるから、次のような Hamilton 函数を作り、

$$H = \left[(1-s)Bu f\left(\frac{k}{Bu}\right) + q \left\{ sBu f\left(\frac{k}{Bu}\right) - nk \right\} + vB\phi(1-u) \right] e^{-\rho t} \dots\dots\dots (36)$$

“最大値原理”を応用することによって、長期均衡点では通常の Golden Rule に加えて、研究開発部門の限界生産力と最適労働配分に関する均衡条件式

$$\phi(1-u^*) + u^*\phi'(1-u^*) = \rho \dots\dots\dots (37)$$

が得られる。

一方 Phelps も Harrod 中立的な技術進歩と Golden Rule の分析に限定して、資本および労働を持つ研究開発部門を導入する。

$$\dot{B} = H[E(t), B(t-\tau)] \dots\dots\dots (38)$$

$$E = E(K_2, L_2, L) \dots\dots\dots (39)$$

なる技術進歩函数がそこでは考えられている。新技術の生産は有効労働(E ; Effective Labor)のストックと τ 期間前の技術水準の増加函数として規定され、その有効労働は研究開発部門に雇用される資本ストック(K_2)および労働量(L_2)の増加函数であるとともに、経済全体に賦存する労働総量(L)の増加函数でもある。つまり一種の規模の経済の効果であり、社会全体の労働総量が大い

程すぐれた研究者・技術者が研究開発部門で雇用されると考えられているのである。均斉成長径路について解くためには、(39)式をさらに Cobb-Douglas 型の生産函数に特殊化しなければならないが、その時 $\dot{K}^* = \dot{Y}^* = \dot{B} + n$ なる結果が得られ、さらに加えて \dot{B} は人口成長率と研究開発部門で雇用される資本に関する E の産出弾力性の函数として陽表的に求められる。これは(26)式の A が Harrod 中立的でもあることを考え合わせると極めて類似の結果となっており、逆にこうした Golden Rule のみの分析に限定した場合でも背後に技術進歩市場のある均衡を陰伏的に想定していることを示唆して興味深い。

このような Uzawa や Phelps による研究開発部門の導入と長期均衡点の分析の結果をふまえて、Nordhaus [43] や Drandakis & Hu [12] は再び誘発的技術進歩論のマクロモデルの解明に努める。まず Nordhaus は Uzawa と全く同じ研究開発部門に関する定式化を革新可能函数へ持ち込む。こうして研究開発部門の研究者・技術者によって生みだされる技術進歩は

$$\dot{A} = g(\dot{B})\phi(1-u) \dots\dots\dots (40)$$

の形で表わされることになり、この(40)式および $\dot{k} = sBu f\left(\frac{AK}{uBL}\right) - nk$ の制約条件のもとで一人当り消費の極大化を計る条件付最大化問題を解けば、当然のことながら Harrod 中立的技術進歩に加えて、(37)式と全く同一の均衡条件を得る。これに対して Drandakis & Hu は資本財への投資と同じように、技術という財への投資を考える。従って我々は二本の貯蓄—投資の均衡式、 $\dot{K} = sY$ と $\dot{R} = qY$ を持ち、この技術への平均貯蓄性向(q)が \dot{R} を通じて革新可能函数の位置を定めるものと仮定されている。こうして問題は、

$$\dot{k} = sBf(Ak/B) - nk$$

$$\dot{A} = g(\dot{B}, q)$$

と
の制約条件のもとで一人当り消費

$$\int_0^{\infty} (1-s-q)Bf(Ak/B)e^{-\rho t} dt$$

を極大化する問題に帰着する。しかしこの場合も Nordhaus のケースと同じように u^* を q^* で置きかえるならば、(37)式と非常に近い技術への投資率に関する均衡条件式が得られることは想像に難くないであろう。かくしてこのいずれの分析においても、やはり革新可能函数は体系の中で十分にその機能を担ってはず、それ故にこれらの分析結果は Uzawa や Phelps のより単純な場合を少しも越えるものではない。

しからばマクロ体系にあっては革新可能函数は意味を持ちえないのであろうか。残念ながら長期均衡点の分析

に終始せざるを得ない現段階では、Harrod 中立的な技術進歩のみがマクロモデルにおける均斉成長と斉合的なものであり、これまでのようなアプローチでは革新可能函数はあまり実り多い役割を果しえないかもしれない。ただ今後検討されて然るべき方向としては、まず第一に、Kennedy が最初に考えていたように生産函数に代るものとして、革新可能函数をもう一度把え直してみる必要があると思われる。マクロ体系において労働が再生産不可能な制限的生産要素である限り、Harrod 中立的技術進歩の果す役割は依然として大きい、この函数が生産函数と技術進歩の機能を併わせ持つと考えることによって、均衡径路へ新しい光を投げかける可能性は残されているように思われる。第二に考えられる方向としては、I-3 で言及した西部のモデルのように、もし集計の過程に十分納得的な方法が見い出されるならば、ミクロ体系とマクロ体系の間に異った性格づけ異った行動様式を仮定することによって、革新可能函数を一つの媒介として総合しうる可能性である。この時革新可能函数が一定の機能を果しうることは明らかであるが、問題はミクロの体系からどのようにして集計し、どこでマクロ体系に切り変わるかという難問であり、例えば個別企業にとって制限的である資本がどの水準において非制限的生産要素に転化し(労働については逆)、しかもそこで両体系における行動様式が無矛盾的に機能しつづけることが出来るかという点に帰着する。最後に第三のさしあたり可能性が開かれている方向としては革新可能函数に生産部門間の均衡を維持・回復する役割を与える試みである。研究開発部門に対応する生産部門が一部門から成るのではなく、例えば農業と工業部門というように複数部門から成る時、革新可能函数のトレード・オフ関係が部門間交易条件の均衡を維持するように働くといった可能性である。こうした以上の三点はいずれも示唆の域を越えるものではないが、ともかくマクロモデルにおいて革新可能函数の存在意義が救済されなければならない現状にあることは明らかである。

さて本節を閉じる前に、これまでのような最適技術進歩モデルではなくて研究開発部門を取り扱っている論文に若干言及しておこう。Shell [56] は

$$Y = F(K_1, L_1, A) \dots\dots\dots (41)$$

$$A - \delta A = G(K_2, L_2, A) \dots\dots\dots (42)$$

$$\lambda Y = rK_2 + wL_2 \dots\dots\dots (43)$$

によって特徴的に表わされる二部門モデルを分析する。生産部門の技術水準(A)は研究開発部門によって決定され、その部門で雇用される資本(K_2)と労働(L_2)への報

酬は生産部門から λ の税率で徴収された租税によってまかなわれると考えられている。その時この体系は全く従来の二部門モデルと同様に扱われ、研究開発部門あるいは技術進歩特有の性格が現われないこと、例えばこの A を公共部門による公共財の生産と解しても何らの不都合はないこと、さらに技術の減価償却率(δ)があまりに大きすぎる役割を果していることなどが、さしあたり問題点として指摘されよう。

他方 Conlisk [9] は誘発的技術進歩論の革新可能函数に対応する資本と効率的労働の増分を同時に生産する次のような結合生産を許容する函数

$$H(K, \dot{B}L) = G(K_2, L_2) \dots\dots\dots (44)$$

を導入している。すなわち資本と労働を雇用する研究開発部門は新しい資本財を生産するとともに、労働の効率をも上昇させる働きを持つ。その意味においてこの体系では、資本財生産とのトレード・オフ関係において効率的労働の一部分は再生産されていると言えよう。従ってこのモデルは前述の批判の一部に答えるものであり、また新しい可能性を含むものではあるが、残念ながら未だ十分に展開・分析されずに終わっているように思われる。

[IV] 実証分析とその理論仮説

これまで技術進歩は体系の外から一方的に与えられると理解する立場を排し、市場要因を通じて直接技術進歩を生み出す投入物の函数として把えうる可能性について論じてきた。しかしこのような理論的定式化が正当化されるためには、たとえ十分に精緻ではなくとも実証面からその因果関係が明確に示されなければならない。そこで最後に、紙幅の都合上データの適切性や推計上の統計的問題などには触れる余裕はないが、実証分析で得られた結果とその理論的前提について整理を行っておこう。まず研究開発活動(それが広義のものであれ、狭義のものであれ、ここでは一括して研究開発活動として取り扱う)を生産函数の概念との関連において把える時の視点としては、大別して二つが考えられる。その第一のものは、研究開発活動は資本や労働と並ぶ一生産要素として生産函数の投入物を構成し、他の変数と協働して産出水準を決定するという見解である。他方第二の考え方としては、広義の研究開発活動という投入物は生産函数の外にあってその生産函数をシフトさせる機能を持つという見解であり、この両者はそれぞれアブソープション・アプローチおよび残差アプローチと密接な関連を持つということは容易に察せられるところである。なおいずれの場合にも集計的生産函数を取り扱っており、そこでは技術進歩に不可避的な不確実性は互いに相殺し合うことに

よって確実性の世界と同様に扱うことが出来ると仮定されている。つまりこの種の不確実性は観測以前の経済体系そのものに付随するものである故、このような仮定が必要にならざるをえないと思われる¹³⁾。

1. 産出高決定要因としての研究開発活動

この第一の視点に立つ代表的なものとしては Griliches [21], Mansfield [33], Scherer [52], Brown & Conrad [7] や Minasian [36] などがある。Griliches は Cobb-Douglas 型の農業部門の生産函数の推計において、機械や労働、肥料などと並ぶ一投入物としてその部門における研究開発への支出を導入した。その結果得た産出弾力性は 0.05 前後とあまり大きくはないが、統計的に十分有意であり、観察期間中の急速なる研究開発支出の増加を考える時、その絶対効果は相当大きいものであることが分る。この分析で興味深いのは限界生産物の平均値を推定していることであり、そこで研究開発支出のそれは明らかに不均衡を示唆している点である。ただしこのことは研究開発活動そのものが、絶えず均衡を破壊する作用をもったと解するよりは、むしろ農業部門外から研究開発活動が外生的に促進されたと理解する方が適切かもしれない。

Mansfield も同じく Cobb-Douglas 型生産函数を用いて推計のためのより厳密な定式化を施している。その一つの特徴は、明示的に研究開発活動をストックとして生産函数に導入していることであり、二つには技術進歩が体化されている場合との比較を行っていることである。研究開発活動の産出弾力性は 0.11 であり、体化された技術進歩の場合にそれは圧倒的に増大する、また研究開発活動に対する収益率が種々の妥当なパラメーターの組み合わせに対して計算されているが、その値はかなり高いものであることも注目に値する。この点については Minasian も同様な計測を行い、資本財への投資に対する収益率に比べ研究開発への投資に対するそれの方が数倍高いことを指摘している。

Brown & Conrad は他のものと異なり Cobb-Douglas 型生産函数ではなく、多数要素を含む CES 型生産函数によって分析を行っており、また Scherer は陽表的に生産函数を計測せずに、研究開発活動の成果の指標である特許数の利潤に与える影響を考察している。

13) このところ P. A. V. B. Swamy や C. Hildreth & J. Houck などによって展開されつつある、いわゆる "Random Coefficient Regression Model" は、この種の不確実性の一部を積極的にとり入れようとするものと言えるかもしれない。

さて総じてこのアプローチについて言えることは、回帰方程式の決定係数が非常に高いことである。しかしそれは必ずしも研究開発活動が生産函数の一構成要因と見做すべき根拠とはならない。この点について Minasian は時間変数との比較において定数項への効果をかなり綿密に検討しているが、研究開発活動が生産函数に入らなければならない必然性について必ずしも説得力を持つとは言い難い。また Cobb-Douglas 型生産函数のように Well-behaved なものは、もし研究開発活動の水準がゼロならば産出量水準もまたゼロでなければならないことを要求するが、現実には研究開発へ一切の支出をすることなく生産活動を行っているような中小企業も数多く存在することは明らかである。従ってこの点は今後とも検討すべき課題であろう。

2. 研究開発活動水準の決定要因

さて研究開発活動を生産函数のシフト要因と見做すにせよ、あるいは一生産要素として生産函数の一部を構成すると考えるにせよ、生産性との関係において研究開発活動は他の資本や労働などの生産要素と代替関係にあることは明白であり、それ故にその研究開発活動水準が如何にして決定されるかということは両者に共通の問題である。その際研究開発活動が産出量水準を決定し、産出量水準が逆に研究開発活動を規定するという面があるため、それを先の代替関係と結合して分析しなければならない点にこの問題の難かしさがあり、従ってその説明変数としては市場構造を反映させているもので近似せざるを得ない。この研究開発活動水準の決定要因については産業組織論の分野で Schumpeter 仮説の妥当性をめぐって多くの分析があり、Hamberg [22] や Mansfield [32] そして Scherer [51], Phillips [46] などが代表的なものである。

Mansfield は望ましい研究開発支出のレベルは企業の規模と研究開発プロジェクトからの期待収益率の函数であると考えてることによって、研究開発支出の水準が期待収益率および売上高、前期の研究開発支出さらに研究開発支出単位の前期の利潤額の函数になることを厳密に定式化し、経験的データをあてはめ極めて良好な結果を得た。一方 Phillips はより単純な Cobb-Douglas 型函数を仮定し、研究開発支出が企業規模、企業集中度および生産物差別化指数によってかなり良く説明されることを示した。すなわちこれらから研究開発活動の水準は、相当市場構造の要因に支配されていることが分る。

Hamberg や Scherer の分析は特に企業規模と研究開発支出との間の比例関係に焦点をしばったものであり、

比較的大きな規模の企業を対象とする時、必ずしも規模と研究開発費の支出の間には平行関係がないことをともに示している。ともかく IV-1 で言及したように、事実資本財への投資の収益率よりも技術への投資に対する収益率の方が圧倒的に高いのであるならば、研究開発活動の水準を規定制限する要因を企業規模や企業集中度などの何か市場構造と関連の深い変数に求めることは妥当であると思われる。

3. 生産函数をシフトさせる要因としての研究開発活動

さて最後に第二のアプローチ、すなわち研究開発活動は直接生産函数には含まれず、他の市場要因との関係において生産函数そのものをシフトさせることによって生産性水準を高めると考える見解をとりあげよう。この場合計測が難しいこともあってあまり多くの分析はみられず、Minasian [35], Mansfield [31], Scherer [53] などがあげられるにすぎない。Minasian は生産性の成長率と研究開発活動、あるいは生産性の成長率と研究開発活動および利潤率の変化率、資本ストック、投資水準などの諸変数の間の相互関係を主に相関分析によって、時間の遅れの問題をもとり入れ綿密に分析している。その結果、研究開発支出は生産性の成長率および利潤率の絶対水準およびトレンドを説明するのに十分有意な変数であること、またこの技術への投資は資本財への投資と補完的であるよりはむしろ競合的であることなど幾つかの興味深い命題をひき出した。一方研究開発活動と特許数、特許数と生産性の上昇率の間には高い相関があることは、Schmookler [55] や Mansfield [31] によって指摘されているが、Scherer は企業規模を売上高で代表させ生産性上昇率の指標である特許数をそれによって説明し、同時に市場構造の幾つかの争点にも照明をあてている。

一般的に言って、研究開発活動の企業規模との関係における最適水準あるいは最適集約度 (Optimal Intensity) さらには産業毎の研究開発支出の大幅な相違などを考える時、第一のアプローチよりもこの第二のアプローチの方が、研究開発活動の理解に関して自然であると思われるが、他方現実の計測にはより一層の困難が伴うように思われる。今一つの概念的計測方法の例としては次のようなものが考えられうる。例えば Cobb-Douglas 型生産函数

$$Y = AK^\alpha L^\beta \dots \dots \dots (45)$$

を考え、それを時間で微分し相対的变化率で表わすと

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} + \alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{L}}{L} + \alpha \log K + \beta \log L \dots \dots (46)$$

になるから、ここから生産函数のシフトを表わす項のみとり出し、それを研究開発活動 (R & D) や教育投資 (E), 企業集中度 (C), 生産物差別化指数 (D) などの函数として、

$$\frac{\dot{A}}{A} + \alpha \log K + \beta \log L = f(R \& D, C, D, E \dots) \dots (47)$$

計測することが可能であろう。単一の方程式に被説明変数が複数個あることになるが、 α および β は cross-section データから計算して外挿するか、あるいは f の結合生産物と考へて Canonical Correlation Analysis によって推定することも可能である。特に後者の場合は cross-section データから得られる数値との照応検討も可能となるであろう。

これは研究開発活動が生産函数をシフトさせる効果の測定方法に関する一つの理論的に妥当な推計手続きであるが、しかし問題をここまで検討してくる時、我々はもう一度、市場の競争性および技術の生産に伴う不確実性、生産函数の概念とその集計など根本的問題に立ち帰り再検討せざるを得ないことに気付くのである。

結びに代えて

我々は Kennedy や Samuelson の誘発的技術の理論を出発点として、技術進歩を内生的に取り扱う方向を探ってきた。その際二つの可能性が考えられ、まず第一の方向においては、Kennedy-Samuelson モデルがミクロモデルとして厳密に定式化され、革新可能函数は研究開発支出に依存する形で導入される。その時革新可能フロンティアの上において一般にバイアスを持つ技術進歩が一意的に決定され、もし代替の弾力性が 1 より小ならばそれは安定的な要素分配率を実現する均衡となる。しかしこのモデルには技術の開発に不可避的な不確実性が入り込む余地が全くなく、その意味において不十分なものである。それ故第 II 節では、我々は連続的でない技術進歩へも考察の対象を拡張し、モデルに不確実性が導入された場合に生じてくる若干の問題について解析を試みたが、しかしこの分野はまだ全く未踏の領域であると言えよう。たしかに Bayes 的決定理論はこの領域である程度の有効性を発揮しうると思われるが、大部分の重要な問題は概念や定式化からの根本的な再検討を要し、今後の展開に期待しなければならない状況にある。

他方第二の方向としては、研究開発部門をマクロモデルの中に陽表的にとり入れて定式化する方向であるが、この場合には Harrod 中立的な技術進歩の果す役割が極めて大きく、単に Harrod 中立的な技術進歩率の決定に関する分析の域に留まらざるを得なくなり、従ってここでは革新可能函数も実質的には何ら機能を果しえず、

ただ形式的に導入されているにすぎない。そこでこの革新可能函数の概念と性質の解釈を一新することによって、必ずしも Harrod 中立的な場合に限定されないマクロモデルにおける内生化した技術進歩の諸性質を引きだし分析することが当面の課題となろう。

こうした理論的定式化の背後では、それらを裏付けるためにも実証面から現実のデータによって種々の関係が検証されなければならない、序々にその成果は積み重ねられつつあるが、企業レベルでのデータは入手困難なこともあり現段階ではまだ必ずしも十分とは言い難い状態である。また実現した技術の Diffusion と市場構造の関係についての幾つかの実証分析があるが、理論的にも内生化的過程でとりあげざるを得ない問題であるにも拘らず、今のところほとんど分析されていない。さらに Eckaus [13] や Gómulka [20] は低開発国の経済発展に関する視点から我々の問題を考察しており、特に後者は技術輸入(導入)の問題、先進国との技術格差解消の問題など興味深い問題提起を行っているが、それらの問題にも残念ながら触れることは出来なかった。ともかく技術進歩の内生化論はまだその分析の端緒についたばかりであり、今後の飛躍的發展が強く望まれている領域であることを終りにもう一度くり返しておこう。

References

- [1] Ahmad, S., "On the Theory of Induced Invention," *EJ*, June 1966.
- [2] Amano, A., "Induced Bias in Technological Progress and Economic Growth," *Economic Studies Quarterly*, March 1967.
- [3] 天野明弘「技術進歩と経済成長：展望」, 筑井・村上編『経済成長理論の展望』岩波, 1968年, 第1章, pp. 3~32.
- [4] Arrow, K. J., "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," in N. B. E. R., *The Rate and Direction of Inventive Activity*, 1962, pp. 609-626.
- [5] Arrow, K. J., "Classificatory Notes on the Production and Transmission of Technological Knowledge," *AER*, May 1969.
- [6] Blaug, M., "A Survey of the Theory of Process-Innovation," *Economica*, Feb. 1963.
- [7] Brown, M. and A. H. Conrad, "The Influence of Research and Education on CES Production Relations," in N. B. E. R., *The Theory and Empirical Analysis of Production*, Studies in Income and Wealth No. 31, 1967, pp. 341-394.
- [8] Chang, W. W., "The Role of Saving in a Growth Model with Induced Inventions," *RE&S*, Feb. 1970.
- [9] Conlisk, J., "A Neoclassical Growth Model with Endogenously Positioned Technical Change Frontier," *EJ*, June 1969.
- [10] Diamond, P. and D. McFadden, "Identification of the Elasticity of Substitution and the Bias of Technical Change: An Impossibility Theorem," Working Paper No. 62, Committee on Econometrics and Mathematical Economic, University of California, Berkeley, Mar. 1965.
- [11] Drandakis, E. M. and E. S. Phelps, "A Model of Induced Invention, Growth and Distribution," *EJ*, Dec. 1966.
- [12] Drandakis, E. M. and S. C. Hu, "On Optimal Induced Technical Progress," Manuscript, 1968.
- [13] Eckaus, R. S., "Notes on Invention and Innovation in Less Developed Countries," *AER*, May 1966.
- [14] Fellner, W., "Two Propositions in the Theory of Induced Innovations," *EJ*, June 1961.
- [15] Fellner, W., "Does the Market Direct the Relative Factor-Saving Effects of Technological Progress?" in N. B. E. R., *The Rate and Direction of Inventive Activity*, 1962, pp. 171-194.
- [16] Fellner, W., "Profit Maximization, Utility Maximization, and the Rate and Direction of Innovation," *AER*, May 1966.
- [17] Fellner, W., "Measures of Technological Progress in the Light of Recent Growth Theories," *AER*, Dec. 1967.
- [18] Fellner, W., "Trends in the Activities Generating Technological Progress," *AER*, Mar. 1970.
- [19] Ferguson, C. E., *The Neoclassical Theory of Production and Distribution*, Cambridge University Press, 1969.
- [20] Gómulka, S., "Extensions of 'The Golden Rule of Research' of Phelps," *RES*, Jan. 1970.
- [21] Griliches, Z., "Research Expenditures, Education, and the Aggregate Agricultural Production Function," *AER*, Dec. 1964.
- [22] Hamberg, D., "Size of Firm, Oligopoly, and Research: The Evidence," *Canadian Journal of Economics and Political Sciences*, Feb. 1964.
- [23] Hicks, J. R., *The Theory of Wages*, 1932, London.
- [24] Hirsch, W. Z., "Technological Progress and Microeconomic Theory," *AER*, May 1969.
- [25] 今井賢一「情報・技術・企業規模—展望と若干の実証—」, 今井・村上・筑井『情報と技術の経済分析』, 日本経済研究センター, 研究報告 No. 24, 1970年, 第10章.
- [26] Kamien, M. I. and N. L. Schwartz, "Optimal 'Induced' Technical Change," *Econometrica*, Jan. 1968.
- [27] Kamien, M. I. and N. L. Schwartz, "Induced Factor Augmenting Technical Progress from a

- Microeconomic Viewpoint," *Econometrica*, Oct. 1969.
- [28] Kennedy, C., "Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution, *EJ*, Sept. 1964.
- [29] Kennedy, C., "Samuelson on Induced Innovation," *RE&S*, Nov. 1966.
- [30] Klein, B. H., "The Decision Making Problem in Development," in N. B. E. R., *The Rate and Direction of Inventive Activity*, 1962, pp. 477-508.
- [31] Mansfield, E., "Size of Firm, Market Structure, and Innovation," *JPE*, Dec. 1963.
- [32] Mansfield, E., "Industrial Research and Development Expenditures Determinants, Prospects and Relation to Size of Firm and Inventive Output," *JPE*, Aug. 1964.
- [33] Mansfield, E., "Rates of Return from Industrial Research and Development," *AER*, May 1965.
- [34] Mansfield, E., "Industrial Research and Development: Characteristics, Costs, and Diffusion on Results," *AER*, May 1969.
- [35] Minasian, J. R., "The Economics of Research and Development," in N. B. E. R. *The Rate and Direction of Inventive Activity*, 1962, pp. 93-141.
- [36] Minasian, J. R., "Research and Development, Production Functions, and Rates of Return," *AER*, May 1969.
- [37] 村上泰亮「技術に関する競争市場の分析」, 今井・村上・筑井, 『情報と技術の経済分析』, 日本経済研究センター, 研究報告 No. 24, 1970年, 第9章.
- [38] National Bureau of Economic Research, *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton University Press, 1962.
- [39] Nelson, R. R., "The Economics of Invention: A Survey of the Literature," *Journal of Business*, Apr. 1959.
- [40] Nelson, R., "Uncertainty, Learning, and the Economics of Parallel Research and Development Efforts," *RE&S*, Nov. 1961.
- [41] Nerlove, M., "Recent Empirical Studies of the CES and Related Production Function," in N. B. E. R., *The Theory and Empirical Analysis of Production*, Studies in Income and Wealth No. 31, 1967, pp. 55-136.
- [42] 西部邁「誘発的技術進歩について」, 研究会用討論資料, 1970年.
- [43] Nordhaus, W. D., *Invention, Growth, and Welfare*, The M. I. T. Press, 1969.
- [44] Nordhaus, W. D., "An Economic Theory of Technological Change," *AER*, May 1969.
- [45] Phelps, E. S., "Models of Technical Progress and the Golden Rule of Research," *RES*, Apr. 1966.
- [46] Phillips, A., "Patents, Potential Competition, and Technical Progress," *AER*, May 1966.
- [47] Salter, W. E. G. and W. B. Reddaway, *Productivity, and Technical Change*, Cambridge University Press, 1969.
- [48] Samuelson, P. A., "A Theory of Induced Innovation along Kennedy-Weisäcker Lines," *RE&S*, Nov. 1965.
- [49] Samuelson, P. A., "Rejoinder: Agreements, Disagreements, Doubts, and the Case of Induced Harrod-Neutral Technical Change," *RE&S*, Nov. 1966.
- [50] 佐藤隆三『経済成長の理論』, 1968年, 勁草書房, 東京.
- [51] Scherer, F. M., "Size of Firm, Oligopoly, and Research: A Comment," *Canadian Journal of Economics and Political Sciences*, May 1965.
- [52] Scherer, F. M., "Corporate Inventive Output, Profits, and Growth," *JPE*, June 1965.
- [53] Scherer, F. M., "Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions," *AER*, Dec. 1965.
- [54] Schmookler, J., "Changes in Industry and in the State of Knowledge as Determinants of Industrial Invention," in N. B. E. R., *The Rate and Direction of Inventive Activity*, 1962, pp. 195-232.
- [55] Schmookler, J., *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, 1966.
- [56] Shell, K., "A Model of Inventive Activity and Capital Accumulation," in K. Shell (ed.), *Essays on the Theory of Optimal Economic Growth*, 1967. pp. 67-85.
- [57] Uzawa, H., "Optimum Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth," *IER*, Jan. 1965.
- [58] Williamson, O. E., "Innovation and Market Structure," *JPE*, Feb. 1965.