| | |
|---|---|
| Title | 「体化された」技術進歩に関する諸論点 |
| Sub Title | Some notes on embodied technical progress |
| Author | 田中, 宏(Tanaka, Hiroshi) |
| Publisher | 慶應義塾経済学会 |
| Publication year | 1966 |
| Jtitle | 三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.59, No.8 (1966. 8) ,p.876(74)- 886(84) |
| JaLC DOI | 10.14991/001.19660801-0074 |
| Abstract | |
| Notes | 研究ノート |
| Genre | Journal Article |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-19660801-0074 |

# 「体化された」技術進歩に関する諸論点

田中　宏

## 〔I〕

一・一　本稿の目的は「体化された」技術進歩と「体化されない」技術進歩がそれぞれもたらす帰結の相異をあきらかにすることにある。便宜上、[注1] 以下生産関数はコブ＝ダグラス型であること、技術進歩は中立的で、しかも技術進歩率は一定であることを仮定する。

一・二　従来の定式化によると生産関数は、

$$(1)\quad Y(t)=A\cdot e^{\lambda t}\cdot K(t)^{\alpha}\cdot L(t)^{1-\alpha}\qquad 0<\alpha<1$$

とあらわせる。ここに $Y(t)$、$K(t)$、$L(t)$ はおのおの $t$ 期の国民産出高、資本ストック量、労働量、であり、$\lambda$ は一定であって、技術進歩率をあらわす。Aも定数。

これによると、技術進歩率は外生的に与えられ、時間にのみ依存しており、技術進歩そのものは生産関数のシフトとしてあらわされている。

このような定式化に対し、カルドア〔7〕、〔8〕は次のように反論する。すなわち、技術進歩率は時間の既知関数として外生的にのみ与えられるものでなく、そのテンポは資本の蓄積率に依存している。というのは技術上の発明の導入は新式の設備の建設をまってはじめて可能だからである。したがって、生産関数のシフトのスピードそのものが生産関数に沿う動きに依存してしまうことになる、と。

このようなカルドアの主張の骨子は技術進歩と資本の深化（Capital Deepening）の動きとは切りはなしがたいということ、いいかえると、技術進歩のテンポ自体が投資率に依存するというものである。

このカルドアの痛烈な批判を直接的あるいは間接的に受け入れて、新たな定式化を試みたのが、アロウ〔2〕とソロウ〔19〕である。[注2]

まず、ソロウはカルドアの主張のうち、技術進歩の効果が新式設備の建設をつうじて発現するという点を強調して次のようにのべる。

(1)式のような従来の技術進歩の定式化は以前と同質かつ同量の資本と労働を用いても、なお時間さえ経過すれば、旧式設備も新式設備とまったく同様に、新たな技術進歩の恩恵に浴してその効率を高めていくということを想定している。この種の技術進歩は従来と同質同量の資本と労働を配置替えするのみで、効率がたかまる組織上の改良に見受けられはするものの、けっして技術進歩一般を代表するものではない。むしろ、多くの場合、技術進歩は新式設備の建設、すなわち投資を必要とするものであると。

この場合、資本設備の構成はたえずより効率的なものに入れ替っていくのであるから、資本設備の効率をその完成期日（Vintage）によって区別する必要が生ずる。したがって、(1)式のような定式化では不十分となるであろう。

かくしてソロウは前者の技術進歩をば、「体化されない」技術進歩（'Disembodied' Technical Progress）、後者のそれを「体化された」技術進歩（'Embodied' Technical Progress）、と呼んで区別している。[注3]

ただ、ソロウのこの新たな定式化では、技術の絶対的水準は投資によってはじめて高められるとはしているものの、技術進歩率そのものは、従来どおり外生的に所与として処理されている点に注意しよう。

つぎにアロウは、「体化された」技術進歩を採用している点ではソロウと軌を一にしているが、技術の絶対的水準そのものをさらに過去の累積粗投資の、ある関数（"Progress Ratio"）としている点にその特色がある。

この意味でアロウの理論は、カルドアの主張に対してソロウよりもいっそう忠実な定式化といえる。[注4] ただ、本稿では、アロウの理論の検討は別の機会にゆだね、ソロウの定式化の方に限定しつつ論を進める。

一・三　この論文の目的は文頭に示したように、「体化された」技術進歩と「体化されない」技術進歩とをそれぞれ別個に仮定した場合に、どのような帰結の差異が生ずるかを究明することにあるが細かいことまで考慮すると論点が多岐にわたるので、これらをしぼって、次の諸点について論ずることにする。

(a)　「体化された」技術進歩の場合の資本の限界生産力の定義について。

(b)　経済が不均衡の状態から均衡成長径路に収斂するスピードは、「体化された」技術進歩の場合の方が「体化されない」技術進歩の場合よりも大であること、及びその含意を明らかにすること。

(c)　経済が黄金律均衡成長径路（"Golden Rule Path"）の上にあるとき、投資の限界効率は「体化された」技術進歩の場合と「体化されない」それの場合とでは等しいが、黄金律径路以外の均衡径路においては、投資の限界効率はおのおの技術進歩の場合に応じて異なること。

(d)　新古典派定理（Neo-Classical Theorem）と、資本の平均年令（The Mean Age of Capital）について簡単に言及すること。

（注1）　コブ＝ダグラス型生産関数は、中立的技術進歩がヒックス・タイプのものであれ、ハロッドあるいはソロウ・タイプのものであれ、それらをすべて同時に満足する。逆にヒックス、ハロッド、ソロウのおのおののタイプが同時に成立するのはコブ＝ダグラス型生産関数の場合に限られる。荒〔1〕、宇沢〔24〕、ハーン＝マシューズ〔6〕参照。

（注2）　カルドアの主観的意図にもかかわらず、彼自身の定式化はか

ならずしも成功しているとはいえない。とくにその技術進歩関数そのものおよびそれと投資関数との両立性について異論がある。福岡〔5〕、ブラック〔3〕。ただし、その後カルドアは技術進歩関数の定式化を変えている。カルドア＝マーリーズ〔9〕。しかしその根本忠想は変らない。なお、置塩〔13〕参照。

（注3）ソロウが意図的にもっぱらカルドアの主張との関連においてその理論を展開したと見ることは少々疑問だ。この点については、ソロウ〔20〕の最後のパラグラフおよび拙稿〔22〕を参照。しかしその意図はどうであれ、客観的にはソロウの理論の位置づけを上記のようにおこないうるであろう。

（注4）ソロウの場合、以下に見るとおり、技術水準は所与の技術進歩率λから知られるが、これに対し、アロウははじめから所与の技術進歩率を前提せず、技術水準を過去の累積粗投資の関数としているから、技術的知識の獲得が内生的に投資と結びつき、したがって生産関数のシフトそのものが理論内部に組み込まれている点で、ソロウよりはるかにカルドアの主張に接近している。

〔II〕

二・一　「体化された」技術進歩の場合には、資本設備をその完成期（vintage）の新旧に応じて区別する必要がある。いま$v$期につくられ、しかもなお$t$期に存在する資本財の量を$K_v(t)$ $(t \geqq v)$とあらわし、かつ、その減価率$\delta$を一定とすると、

(2)　$K_v(t)=K_v(v)e^{-\delta(t-v)}=I(v)e^{-\delta(t-v)}$

となる。ここに$I(v)$は$v$期の投資量とする。$t$期において、$K_v(t)$と協同して産出高$Y_v(t)$をもたらす労働量を$L_v(t)$とし、生産関数をコブ＝ダグラス型とすると、

(3)　$Y_v(t)=A\cdot e^{\lambda v}\cdot K_v(t)^{\alpha}L_v(t)^{1-\alpha}$

を得る。ここに$\lambda$は一定。また技術進歩の項が時間の関数$e^{\lambda t}$ではなく、$e^{\lambda v}$になっていることは、資本財はその建設時点での最新の知識を体化するが、その後の技術進歩による効率の上昇にあずからない、ということを示す。

$t$期における総産出高$Y(t)$、総労働量$L(t)$はそれぞれ、

(4)　$Y(t)=\int_{-\infty}^{t}Y_v(t)dv$

(5)　$L(t)=\int_{-\infty}^{t}L_v(t)dv$

で与えられる。

労働の質はすべて同一であるとすると、完全競争の下では、すべての労働者はその操業する機械の種類にかかわりなく、同一賃銀$w(t)$を受けるはずであるから、

$$w(t)=\frac{\partial Y_v(t)}{\partial L_v(t)}=(1-\alpha)\frac{Y_v(t)}{L_v(t)}$$

が成り立つ。$\dfrac{\partial Y_v(t)}{\partial L_v(t)}$はあらゆる$v$について等しいから、それはまた、$(1-\alpha)\dfrac{Y(t)}{L(t)}$にも等しい。

したがって、ここに

(6)　$L_v(t)=\dfrac{Y_v(t)}{Y(t)/L(t)}$

を得る。

この(6)を(3)に代入し、$t$について積分すると次式を得る。（注1）

(7)　$Y(t)=A\cdot J(t)^{\alpha}\cdot L(t)^{1-\alpha}$

ここで$J(t)$は「有効資本」（'Effective Capital'）と呼ばれ、現存する資本設備をその生産性上昇係数で加重したもの、つまり、

(8)　$J(t)=\int_{-\infty}^{t}e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}K_v(t)dv$

で定義される。

二・二　さて完成期日の異り、その意味で異った水準の技術を体化している雑多な資本財が存在している場合に、資本の限界生産力はどのように定義されるべきであろうか。

これに対し、コイック＝ト・フーフト・ウェルヴァーズ〔10〕は次の三つの代替的な定義があるとしている。

第一の定義。これは各 vintage での資本の限界生産力をあらわす、すなわち、

(9)　$\dfrac{\partial Y_v(t)}{\partial K_v(t)}=\alpha\dfrac{Y_v(t)}{K_v(t)}$

である。

第二の定義。これは、ある vintage の資本財ストックの増加が労働の再配置（'Reshuffle'）をひきおこし、他の vintage の資本財と結合している労働の限界生産力をすべて均等ならしめるものと考え、総労働量$L(t)$の下で、たとえば、$K_v(t)$の$Y_v(t)$に及ぼす効果を指し、これを資本の限界生産力という。

まず労働の各種資本財間への配分が最適であるから、(6)を(3)に代入し、さらに(7)を考慮することによって、

(10)　$\dfrac{\partial Y_v(t)}{\partial K_v(t)}=\dfrac{Y_v(t)}{K_v(t)}\left\{1-\dfrac{(1-\alpha)\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot K_v(t)}{J(t)}\right\}$

を得る。すなわち「有効資本」$J(t)$が増加すると、この意味での資本の限界生産力は減少する。これは$K_v(t)$の増加が必然的に、効率の劣る他の vintage の資本財からの産出高の減少を招くためと思われる。

いま(3)(6)(7)から得られる、

(10)′　$Y_v(t)=A\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot K_v(t)^{-(1-\alpha)}\cdot L(t)^{1-\alpha}$

から、

(11)　$\dfrac{\partial Y_j(t)}{\partial K_v(t)}=-(1-\alpha)\dfrac{e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}}{J(t)}\cdot Y_j(t)\qquad j\neq v$

が求められるから、vintage $v$以外のすべての資本財のもたらす産出高の変化は、

$$\int_{-\infty}^{t}\frac{\partial Y_j(t)}{\partial K_v(t)}dj=-(1-\alpha)\frac{e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}}{J(t)}(Y(t)-Y_v(t))\qquad j\neq v$$

となる。ここに$Y_j(t)$とは$t$期における、$v$以外の各 vintage の資本財のもたらす産出量であるとする。

第三の定義。これは上記の(10)と(11)とを総合したものであって、

(12)　$\dfrac{\partial Y(t)}{\partial K_v(t)}=\dfrac{Y_v(t)}{K_v(t)}-\dfrac{(1-\alpha)\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot Y(t)}{J(t)}$

あるいは(7)と(10)′とを用いて

(13)　$\frac{\partial Y_v(t)}{\partial K_v(t)}=A\cdot\alpha\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot\left(\frac{L(t)}{J(t)}\right)^{1-\alpha}$

としてあらわされる。これと同一の結果は(7)からも直接求められるが、その意味するところをあきらかならしめるため、上記の手続きによったのである。

二・三　さて以上の主張はそのまま認めることができるであろうか。容易にわかるように、第一の定義と第三の定義とは労働が各種資本財の間に再配置され、おのおの労働の限界生産力が均等であるならば、まったく同一物に帰してしまうのである。

(6)を変形し、その両辺をK(t)で除せば、

$$\frac{Y(t)}{K(t)}=\frac{Y_v(t)}{K_v(t)}\cdot\frac{K_v(t)/L_v(t)}{K(t)/L(t)}$$

一方、(3)から

$$\frac{K_v(t)}{L_v(t)}=\left(\frac{Y_v(t)}{L_v(t)}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\cdot A^{\frac{-1}{\alpha}}\cdot e^{-\frac{\lambda}{\alpha}v}$$

また(7)から

$$\frac{J(t)}{L(t)}=A^{-\frac{1}{\alpha}}\cdot\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

これより

$$\frac{Y(t)}{J(t)}=\frac{Y_v(t)}{K_v(t)}\cdot e^{-\frac{\lambda}{\alpha}v}$$

が成立するから、これを用いると、

$$\frac{\partial Y(t)}{\partial K_v(t)}=\frac{Y_v(t)}{K_v(t)}-\frac{(1-\alpha)\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot Y(t)}{J(t)}=\alpha\frac{Y_v(t)}{K_v(t)}$$

となり、これは第一の定義にほかならない。すなわち第一と第三の定義が同一であることがあきらかになった以上、第二の定義は第一の定義にくらべて、vintage $v$ の資本財ストックの増加の及ぼす間接的な効果、すなわち(11)をば十分顧慮していないうらみがある。

かくして、われわれは資本の限界生産力として第一ないし第三の定義を、さらに取扱いの便宜を考えて、第一の定義を以下において用いることにしよう。

（注1）　この点はコイック＝ト・フーフト・ウェルヴァーズ〔10〕に従う。

## 〔Ⅲ〕

三・一　ここでの問題は経済が不均衡状態から出発して、ある均衡成長径路に収斂していくスピードは、他の事情にして等しいかぎり、「体化された」技術進歩の場合の方が「体化されない」技術進歩の場合よりも大であることを示し（注1）、あわせてその意味するところを究明することにある。

三・二　まずわれわれは「体化された」技術進歩の下での経済成長のモデルを作ろう。そのためには、

(2)'　$K_v(t)=I(v)e^{-\delta(t-v)}$

(7)　$Y(t)=A\cdot J(t)^{\alpha}\cdot L(t)^{1-\alpha}$

に加えて、貯蓄・投資の均等式と労働人口の増加率の式、

(14)　$I(t)=sY(t)$

(15)　$L(t)=L(0)e^{nt}$

が必要である。ここに $I(t)$ は $t$ 期における粗投資量、$s$ は貯蓄性向で一定、$n$ は労働人口の増加率でこれまた一定とする。

以上の諸式から、

(16)　$\dot{Y}(t)=[-\alpha\delta+(1-\alpha)n]\cdot Y(t)+[s\cdot\alpha\cdot A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot L(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]\cdot Y(t)^{\frac{2\alpha-1}{\alpha}}\cdot e^{\frac{\lambda+(1-\alpha)n}{\alpha}t}$

であり、この方程式の asymptotic solution は、

(17)　$\bar{Y}(t)=\bar{Y}(0)e^{\left(\frac{\lambda}{1-\alpha}+n\right)t}$

であり、ここに均衡成長率 $g$ は、

$$g=\frac{\lambda}{1-\alpha}+n$$

で与えられ、かくて投資率の大小によっては影響されないことが知られる。（注2）

ところで、この均衡径路上の初期点は、

(18)　$\bar{Y}(0)=s^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left[\frac{(1-\alpha)\cdot A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot L(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}}{\frac{\lambda}{\alpha}+(1-\alpha)(n+\delta)}\right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$

とあらわされる。さらに(16)の一般解は、

(19)　$Y(t)=\left[(Y(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}-\bar{Y}(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}})e^{(-\alpha\delta+(1-\alpha)n)\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)t}+\bar{Y}(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}e^{\left(\frac{\lambda+(1-\alpha)n}{\alpha}\right)t}\right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$

として求められるから、これに(18)を用いると

(20)　$Y(t)=\bar{Y}(t)\left\{1+\left[\left(\frac{Y(0)}{\bar{Y}(0)}\right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}-1\right]\cdot e^{\left[-\frac{\lambda}{\alpha}-(1-\alpha)(n+\delta)\right]t}\right\}^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$



が得られる。

体系の均衡径路 $\bar{Y}(t)$ への収斂の条件は、$\lim_{t\to\infty}\frac{Y(t)}{\bar{Y}(t)}=1$ であり、それは $e$ の冪が負、すなわち

(21)　$\frac{\lambda}{\alpha}+(1-\alpha)(n+\delta)>0$

と等値である。しかるに(21)はすでに保証されている。かくして体系は均衡径路 $\bar{Y}(t)$ に収斂する。そして(21)の左辺が収斂速度をあらわすことも、これまたあきらかである。

三・三　つぎに「体化されない」技術進歩の場合であるが、これは前とまったく同様の手続きによって得られる。ただ(7)のかわりに、

(1)　$Y(t)=A\cdot e^{\lambda t}\cdot K(t)^{\alpha}\cdot L(t)^{1-\alpha}$

を用いる。ここに $K(t)$ は $t$ 期における社会的に慣用的な意味での資本財ストック、つまり、

$$K(t)=\int_{-\infty}^{t}K_v(t)dv$$

である。すると以下、

(16)'　$\dot{Y}(t)=[\lambda-\alpha\delta+(1-\alpha)n]Y(t)+[\alpha\cdot s\cdot A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot L(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}]Y(t)^{\frac{2\alpha-1}{\alpha}}\cdot e^{\frac{\lambda+(1-\alpha)n}{\alpha}t}$

(17)'　$\bar{Y}(t)=\bar{Y}(0)e^{\left(\frac{\lambda}{1-\alpha}+n\right)t}$

すなわち、この場合、前と同様、均衡成長率は

$$g=\frac{\lambda}{1-\alpha}+n$$

で与えられる。以下同様に

(18)′ $\bar{Y}(0)=g^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left[\dfrac{(1-\alpha)\cdot A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot L(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}}{\lambda+(1-\alpha)(n+\delta)}\right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$

(19)′ $Y(t)=\left[\left(Y(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}-\bar{Y}(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\right)\cdot e^{\{\lambda-\alpha\delta+(1-\alpha)n\}\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)t}+\bar{Y}(0)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\cdot e^{\left(\frac{\lambda+(1-\alpha)n}{\alpha}\right)t}\right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$

となり、(18)′と(19)′とから

(20)′ $\bar{Y}(t)=Y(t)\left\{1+\left[\left(\dfrac{Y(0)}{\bar{Y}(0)}\right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}-1\right]\cdot e^{\{-\lambda-(1-\alpha)(n+\delta)\}t}\right\}^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$

が得られ、収斂性の条件は

(21)′ $\lambda+(1-\alpha)(n+\delta)>0$

であり、これはすでに保証されている。また(21)′の左辺は$\bar{Y}(t)$への体系の収斂速度をあらわすものである。

三・四　さて(21)と(21)′とをくらべてみるとあきらかなように、他の事情が等しいかぎり、$\alpha$は1より小であるから、体系の収斂速度は「体化された」場合の方が「体化されない」場合にくらべて大きいことになる。

さらに$\alpha$の値が小さくなればなるほど、双方の収斂速度の差は開く一方であろう。すなわち、資本の分配率が小なればなるほど、「体化された」技術進歩の場合の収斂速度は「体化されない」技術進歩の場合のそれよりもますます大きくなるともいい得る。

この$\alpha$の値の変化のことはさておき、いまの議論をいいかえると、次のようになる。

同一データから技術進歩率を計測するとき、「体化された」技術進歩を仮定する場合と「体化されない」それを仮定する場合とでは、前者の場合の方が低い技術進歩率が得られることになると。

さらにこのことは経済成長率の上昇に及ぼす資本の深化 (Capital Deepening) の役割が「体化された」技術進歩の場合の方が、従来の「体化されない」それの場合にくらべて大であることを裏書きしていることにほかならない。

(注1)　この点については、フェルプス〔14〕、コイック＝ト・フーフト・ウェルヴァーズ〔10〕をも参照。ただ後者においては「体化されない」技術進歩との比較は十分なされていない。

(注2)　フェルプス〔14〕、コイック＝ト・フーフト・ウェルヴァーズ〔10〕。

## 〔Ⅳ〕

四・一　ここでの問題は、均衡成長径路において「体化された」技術進歩の場合と「体化されない」技術進歩の場合とでは、投資の限界効率にいかなる差異が生ずるか、ということである。

はじめに「体化されない」技術進歩を想定したときの投資の限界効率を求めてみよう。

比較に便利なように、vintage approach をとることにする。

まず、vintage $v$ 期の資本ストックの産出量は

$$Y_v(t)=A\cdot e^{\lambda t}\cdot K_v(t)^{\alpha}\cdot L_v(t)^{1-\alpha}$$

で与えられるから、これと(2)とから、



(22) $Y_v(t)=A\cdot e^{\lambda t}\{I(v)e^{-\delta(t-v)}\}^{\alpha}L_v(t)^{1-\alpha}$

が得られる。ただ、ここでは$e^{\lambda v}$ではなく$e^{\lambda t}$であることに注意されたい。

さて、vintage $v$ の資本の限界生産力を$\rho_v(t)$とすると、

$$\rho_v(t)\cdot I(v)=\alpha\cdot Y_v(t)$$

となる。これから、

(23) $\rho_v(t)=A\cdot\alpha\cdot e^{-\delta(t-v)}\cdot e^{\lambda t}\cdot\left\{\dfrac{L_v(t)}{I(v)}\right\}^{1-\alpha}$

が得られる。そこで(22)と(23)から$\dfrac{L_v(t)}{I(v)}$を消去すると、サミュエルソンのいわゆる「要素価格曲線」(factor-price-frontier) をあらわす式が求まる。(注1)

(24) $\rho_v(t)=A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot\alpha\cdot(1-\alpha)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}t}\cdot e^{-\delta(t-v)}\cdot w(t)^{-\frac{1-\alpha}{\alpha}}$

さて、いま均衡成長を仮定すると、その成長率は前節の指摘のとおり$\dfrac{\lambda}{1-\alpha}+n$であるから、賃銀率は$\dfrac{\lambda}{1-\alpha}$の率で上昇する、つまり、

$$w(t)=w(0)e^{\frac{\lambda}{1-\alpha}t}$$

となる。よって(24)は

(25) $\rho_v(t)=A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot\alpha\cdot(1-\alpha)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\cdot e^{-\delta(t-v)}\cdot w(0)^{-\frac{1-\alpha}{\alpha}}$

となり、ことに$\rho_v(t)$は$(t-v)$のみの関数であることがあきらかとなる。したがって

(26) $\rho_v(t)=\rho(t-v)=\rho(0)e^{-\delta(t-v)}$

と書き替えることができる。

さて、1ドルの投資のもたらす収益の現在価値を考えて、

(27) $\displaystyle\int_v^{\infty}e^{-\int_v^t r_D(u)du}\cdot\rho_v(t)dt=1$

から、投資の限界効率$r_D$が得られる。しかるに(26)から$r_D$は一定であるから、(27)を変形し、(注2)

(28) $\rho(0)\displaystyle\int_0^{\infty}e^{-(r_D+\delta)(t-v)}\cdot d(t-v)=1$

を得る。よって

(29) $r_D=\rho(0)-\delta$

が求められる。一方、均衡成長率$g$を用いると、

$$\frac{\alpha}{s}=\rho(0)\int_0^{\infty}e^{-g(t-v)}e^{-\delta(t-v)}d(t-v)$$

$$s=\rho(0)\frac{1}{g+\delta}$$

かくて、

(30) $r_D=\dfrac{\alpha}{s}(g+\delta)-\delta$

を得る。

四・二　つぎに「体化された」技術進歩の場合をとりあげるが、ここでの手続きは前とまったく同様である。ただ vintage 生産関数として、

(3) $Y_v(t)=A\cdot e^{\lambda v}\cdot K_v(t)^{\alpha}\cdot L_v(t)^{1-\alpha}$

を用いる点がちがっている。すると「要素価格曲線」の式は、

(24)′ $\rho_v(t)=A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot\alpha\cdot(1-\alpha)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\cdot e^{-\delta(t-v)}\cdot e^{\frac{\lambda}{\alpha}v}\cdot w(t)^{-\frac{1-\alpha}{\alpha}}$

となる。前節でみたように、均衡成長では「体化された」技術進歩の場合でも、「体化されない」技術進歩の場合と同様、成長率は $\frac{\lambda}{1-\alpha}+n$ であるから、

$$w(t)=w(0)e^{\frac{\lambda}{1-\alpha}t}$$

が成立する。結局

$$(28)'\quad \rho_v(t)=A^{\frac{1}{\alpha}}\cdot\alpha\cdot(1-\alpha)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}\cdot e^{-\delta(t-v)}\cdot e^{-\frac{\lambda}{\alpha}(t-v)}\cdot w(0)^{-\frac{1-\alpha}{\alpha}}$$

となって、$\rho_v(t)$ は $(t-v)$ のみの関数となる。よって、

$$\rho_v(t)=\rho(t-v)=\rho(0)e^{-(t-v)}$$

が得られるから、以下手続きをはぶいて結果だけを示すと、

$$(29)'\quad r_e=\frac{\alpha}{s}(g+\lambda+\delta)-\lambda-\delta$$

が得られる。ここに、$r_e$ とは「体化された」技術進歩の下での投資の限界効率をあらわす。

四・三　以上から次の結果が得られる。

$s<\alpha$　なら　$r_e>r_D>g$

$s=\alpha$　なら　$r_e=r_D=g$

$s>\alpha$　なら　$r_e<r_D<g$

すなわち、貯蓄率が生産の資本弾力性ないしは資本の分配率よりも大（小）であるならば、「体化された」技術進歩の下での投資の限界効率は、「体化されない」技術進歩の下での投資の限界率を上（下）まわる。(注3)

これをいいかえると、均衡成長の下では市場利子率と投資の限界効率とは等しいから、市場利子率は「体化された」技術進歩を仮定した場合の方が「体化されない」技術進歩の場合にくらべ、高（低）水準にあるということになる。

貯蓄率が資本の分配率に等しい、いわゆる "Golden Rule Path" の下では、双方の投資の限界効率は相等しく、また、これらは成長率とも等しくなる。したがって、市場利子率は双方の場合とも成長率に等しい。

（注1）　サミュエルソン〔18〕。

（注2）　$t-v=t'$ として(27)の左辺を書きなおすと、

$$F(v)=\int_0^\infty e^{-\int_0^{t'+v} r(u)du}\rho(t'+v)dt'=1$$

これを $v$ について微分すると

$$F'(v)=\int_0^\infty[-r(t'+v')+r(v)]\cdot e^{-\int_v^{t'+v} r(u)du}\rho(t'+v)dt'$$

しかるに(27)から、$F'(v)=0$ となるから

$r(t'+v)=r(v)$

すなわち $r$ は一定である。

（注3）　本節はトービン〔23〕の手法にしたがった。ただしトービンにおいては技術進歩は労働に体化されるという、Labor-Augmenting な想定であるのに対し、ここでは技術進歩は資本財に体化される、Capital-Augmenting な想定をしている。

## 〔V〕

最後につぎの二点について簡単にふれておこう。

まず第一点はフェルプス〔15〕スワン〔21〕等の主張した新古典派定理が「体化された」技術進歩の想定の下でも成立することは、われわれのモデルからも容易に知られる、ということである。この点については、すでにロビンソン〔17〕、ブラック〔4〕によって業績があげられている。

つぎに「体化された」技術進歩の場合の主要な概念として「資本の平均年令」('The Mean Age of Capital') がある。

われわれのように事前的にも事後的にも資本と労働の代替が可能なコブ=ダグラス生産関数を想定するかぎり、この概念によってまったく新たなことがらが付け加えられたということはない。以上のフレーム・ワークの下では、「資本の平均年令」は「有効資本」$J(t)$ を従来の資本ストック $K(t)$ であらわすための方便にすぎず、それにはフェルプス〔14〕、ネルソン〔12〕のように $J(t)$ と $e^{\lambda t}K(t)$ とを結びつけるもの、すなわち、

$$f(\hat{m})=\frac{J(t)}{e^{\lambda t}K(t)}$$

とあらわすことをねらいとしているようにみえる。ここに $\hat{m}$ は「資本の平均年令」である。しかし、生産関数が、C・E・Sの型をとると、「資本の平均年令」の役割はちがってくる。(注1)

また、同じくコブ=ダグラス型の生産関数でも、事前的に資本と労働が代替可能で、事後的に代替不可能であるとき、あるいは事前的にも事後的にももともに代替不可能であるときには、必要不可欠な概念となってくるのである。(注2)

「体化された」技術進歩の特徴の一つであるこの「資本の平均年令」の役割についての検討は極めて興味あるものと思われるが、それは別の機会にゆずりたいと思う。

（注1）　マシューズ〔11〕。

（注2）　ハーン=マシューズ〔6〕。

### 参考文献


（1）　荒　憲次郎「技術進歩の中立性」一橋論叢、55巻1月号。

（2）　Arrow, K.J "The Economic Implications of Learning by Doing" Review of Economic Studies Vol. XXIX, June 1962.

（3）　Black, J "The Technical Progress Function and the Production Function" Economica Vol. XXIX, May 1962.

（4）　Black, J "Technical Progress and Optimum Savings" Review of Economic Studies Vol. XXIX, June 1962.

（5）　福岡　正夫「カルドア氏の成長理論」三田学会雑誌、一九六二年八月号。

（6）　Hahn, F.H. and R.C.O. Matthews "The Theory of Economic Growth: A Survey" Economic Journal, Dec, 1964.

（7）　Kaldor, N "A Model of Economic Growth" Economic Journal, Dec. 1957.

(8) Kaldor, N "Capital Accumulation and Economic Growth" in F. A. Lutz and Hage ed. The Theory of Capital, 1961.
(9) Kaldor, N and J. A. Mirr-lees "A New Model of Economic Growth" Review of Economic Studies, June 1962.
(10) Koyck, L.M and M.J.T.Hooft Welvaars "Economic Growth, Marginal Productivity of Capital and the Rate of Interest" in The Theory of Interest Rates—Proceedings of a Conference held by the International Economic Association ed. by F.H. Hahn and F.P.R, Brechling 1965.
(11) Matthews, R.C.O. "The New View of Investment ; A Comment" Quarterly Journal of Economics Vol. LXXVIII, Feb. 1964.
(12) Nelson, R.R., "Aggregate Production Functions and Medium-Range Growth Projections." American Economic Review, Sept. 1964.
(13) 置塩　信雄「N. Kaldor の均衡成長モデル」季刊理論経済学 Vol. XV, Aug. 1965. No. 3.
(14) Phelps, E.S "The New View of Investment" Quarterly Journal of Economics, Vol. LXXII Nov. 1962.
(15) Phelps, E.S "The Golden Rule of Accumulation : A Fable for Growthmen" American Economic Review, Vol. LI, Sept. 1961.
(16) Phelps, E.S "Substitution, Fixed Proportions, Growth and Distribution" International Economic Papers, Vol. 4, Sept. 1963.
(17) Robinson, J Essays in The Theory of Economic Growth, London Macmillan. 1962.
(18) Samuelson, P.A "The Surrogate Production Function—Parable and Realism in Capital Theory" Review of Economic Studies, Vol. XXXI (2), April 1964.
(19) Solow, R.M "Investment and Technical Progress" in Mathematical Methods in the Social Sciences, ed. by K. J. Arrow, S. Karlin and P. Suppes (Stanford: Stanford University Press 1960)
(20) Solow, R.M "Technical Progress, Capital Formation and Economic Growth" American Economic Review, Papers and Proceedings, Vol. LII, May 1962.
(21) Swan, T.W "Growth Models of Golden Ages and Production Functions" in Economic Development with Special References to East Asia, Proceedings of International Economic Conference, ed. by K. E. Berrill. (筆者未見)
(22) 田中　宏 〃ソロウ「資本理論と経済成長」書評〃 三田学会雑誌 一九六五年七月号。
(23) Tobin, J "Economic Growth as an Objective of Government Policy" American Economic Review, Proceedings, May 1964.
(24) Uzawa, H "Neutral Inventions and the Stability of Growth Equilibrium" Review of Economic Studies, Vol. XXVIII, Feb. 1961.

学界展望

# 貿易史の展開

渡辺國廣

ここで貿易という時、貿易一般と違う。機械制工業の発展のなかで国際関係が必然化されると考え、この間にその機軸として登場する貿易こそ問題であった。経済史の理解に徴し、その展開を三期に分つ。

**第一期**　工場制工業の発達は有望な海外市場を前提とする。海外に製品を大量に販売できる限り、その存続が可能であった。十九世紀末以降ヨーロッパの発展をみる時、諸国は海外市場獲得のための努力に終始したといって過言でない。かかる努力はそれぞれの国の発展段階に応じ、いろいろと形を変えて現われて来た。イギリスが自由貿易を掲げ、海外の諸国を食糧や原料の供給地に釘づけることで野望を達成しようとした時期のあったことは周知のところである。工業国対農業国の関係を恒常化することにイギリスはすべてを託したのであった。農業を国外に追放し、国際関係を通じ食糧を獲得しようというのである。イギリスは真先にフランスとの間でこの関係を強力に貫徹しようとした。事態はドイツと対する時、本格的進行をみた。ユンカーの指導の下ドイツが農業国として再編されるにいたったのはこうした事情を背景とした。

**第二期**　第二産業革命という技術革新はイギリスの世界の工場としての地位に大きな変化を迫った。工業立地の自由と共にドイツが工業国としてイギリスに競争できるほどの実力を持つにいたったのである。ドイツもまた工業国として独自に他国を農業国に釘づける必要にかられた。ドイツはバルカン地域との間にこの関係の樹立をはかった。しかしそれを実現する過程でつねに諸国との競争を意識せざるを得なかった。第二産業革命期には工業立地が自由となり、工業国出現の可能性もそれだけ増大して来たからにほかならない。現に多くの工業国が誕生し、それぞれに国際関係の樹立をめざすにいたった。従ってドイツが国際関係確立の必要にかられた時、諸国間に複雑な競争が起らざるを得ない。競争を排除しながらドイツは国際関係を確立しなければならなかった。一般に競争に勝つには他国よりも低廉に売ればよく、生産過程の整備は焦眉の急とみなされなければならない。しかしこの段階のドイツでそうした方向は前面に出て来ない。流通過程の操作により国際競争に勝とうとした。海外に向かっては不当に安く、原価を割ってさえ売り、その損害は国内で埋め合わせようとした。このため国内の価格は釣上げられることになってしまった。しかし外国製品が自由に流入するというのでは処置ない。関税障壁の設定により外国品を排除しなければならない。従って関税障壁が設けられた時、単に幼稚産業の育成というのではなかった。国境閉鎖である。国内に高価格を維持しながら海外