技術進歩率の決定

関　根　順　一

1　資本制経済における技術の主要な形態

資本制経済における技術の主要な形態は，技術の資本設備への体化である[1]。資本制経済では，通常，技術は特定の資本設備として具体化されている。それ以外の技術，たとえば，労働者の熟練として表されるような技術は，資本制経済では例外的である。なぜなら，資本設備に体化された技術だけが，資本制経済の存続と両立可能だからである。

さて，技術が，資本設備に体化されているという特定の形態をとる時，技術進歩はどのような特徴を持つだろうか。特に技術進歩の程度はどのように規制されるのか。技術が資本設備に体化されており，しかも，より効率的な技術が，物理的に計ってより大きな資本設備に体化されているとすれば，技術進歩の速度は資本成長率に大きく依存するだろう。貯蓄率一定の仮定を保持する時，資本成長率は，資本と労働の代替関係に規制される。したがって，資本と労働の代替関係が，言い換えれば，資本-労働比率が，技術進歩率の変化に強い影響を与える。

資本制経済では，技術の選択にあたって，実質賃金率の水準が決定的な要因になることをはじめて明確に意識したのは，Ricardo [17] である。

1 関根 [20]

Marx は，さらに，実質賃金率の上昇が，各企業に資本-労働比率の上昇とそれに伴う技術進歩を強制することを示唆した[2]。本稿では，Marx の示唆を受けて，所得分配と技術進歩の相互作用が，資本制経済の技術進歩率の変動にどのような影響を及ぼしているのかを検討する。

資本制経済では，圧倒的多数の財が巨大で固定的な機械設備によって生産されている。多数の人々の協業を組織し，物理的に移転が困難な機械設備が生産の中心であるという資本制経済の特徴は，この経済体制の制度的存続にとって重要であるばかりか，技術進歩の速度について考える場合でも無視することはできない。機械設備の固定性のために，資本-労働比率は緩慢にしか変化しない。この点で，我々は，実質賃金率や利潤率の変化に対して，資本-労働比率が，新しい条件下での最適値に瞬時にして調整されるという新古典派の立場には同意しない。

新古典派が主張するように所得分配の変化に対して，資本-労働比率が瞬間的に反応するとすれば，技術進歩の問題は，その瞬間的調整のあとに生じる問題であり，資本と労働の代替関係からはまったく独立であるとみなされてしまう。Samuelson [19]， Drandakis and Phelps [6] らの発明可能性フロンティア (invention possibility frontier) はこのような見方の典型例である。

それに対し，我々は，資本設備の固定性を資本制経済の無視できない特徴と理解し，資本と労働の代替および技術進歩率の決定問題が切り離し難く結びついていることを認める[3]。

---

2 Marx [15] p85.

3 このようなモデルは,たとえば，Shah-Desai [22]，van der Ploeg [16] がある。

2 技術進歩の二つの段階

社会全体から見た技術進歩の全過程は，二つの段階に分けられる。すなわち，新技術の発明，開発の段階と，開発された新技術の普及の段階である。ある個人，研究所，企業が発明，開発した技術は，一般にある社会全体に，あるいは，ある産業全体に普及した時初めて，社会全体の生産力を高める。本稿では，技術進歩の二つの段階のうちの前段階を技術革新(innovation)と呼び，後段階を技術の普及過程(defusion)と呼ぶ[4]。

資本制経済では，技術進歩の二つの段階にそれぞれ異なった経済的誘因が対応する。各企業は，競争する他の企業よりも低いコストで生産することによる超過利潤の獲得を目的として，新技術の導入を行う。技術革新の動機は超過利潤の獲得である。一方，大多数の企業は，実質賃金率の急激な上昇により利潤が圧迫される時，以前は一部の企業だけが採用していた最新の技術を導入することを強制される。もちろん，当該の産業に属する企業すべてが最新の技術の導入に成功するわけではない。何らかの事情により最新の技術を導入できなかった企業は，この産業部門での競争から脱落せざるをえない。その意味で，技術の普及過程は企業の生き残りを賭けた激烈な競争の過程である。

技術進歩のこの二つの段階には，それぞれ他の経済制度にない資本制経済特有の性格が刻印されている。技術革新については，資本制経済が，一般に生産性の高い技術を持つ生産者に対して高い報酬を支払う経済制度であることが推察される[5]。また，技術の普及過程においては，新技術の採用

4 この用語法は Kennedy and Thirlwall [13] p56, p58による。

5 この点は，資本制経済の制度的特徴と歴史的存在意義を考える上で非常に重要であると思われるが，この問題は本稿の主題ではない。この問題の体系的解明は別の機会に譲る。

を経済主体が強制される点が特徴的である。その結果，資本制経済では，新技術はある時点を超えれば急速に普及する。

技術革新と技術の普及を含む技術進歩の全過程の進行速度を考える場合，この二つの段階のうち，どちらを重視すべきだろうか。我々は，経済成長論の枠組みの中で技術進歩率がどのように決定されるのかという問題を考えている。この二つの段階を同時に考えてしまうと，モデルが複雑になり，問題に関して一般性のある答が得られなくなることが当然，予想される。それを回避するためには，どちらか一つの段階に分析の焦点を絞らなければならない。

本稿の研究課題との関連でいえば，重視すべき段階は，技術の普及過程である[6]。資本制経済の技術進歩について非常に興味深いのは，技術的見地からは実行可能であり，かつ効率的であっても，実用化されない技術，普及しない技術があるという事実である。工学的には効率的な技術であっても，費用がかかり過ぎるという理由で一般に採用されない技術が多々ある。すなわち，全社会的な技術進歩が経済的要因によって左右される。この問題は主として，技術進歩の第二段階である技術の普及過程に関わる。

第二に，上に述べたように，いくつかの革新的な一部の企業が最新の技術を導入したとしても，ただちに他の企業も追随して同じ技術を導入するとは限らない。とすれば，たとえ技術進歩の第一段階に関する研究が十分になされたとしても，それだけでは，社会全体の技術進歩について確定的なことは何も言えないことになる。

第二の論点については，若干の説明を要する。通常の説明によれば、最新の技術の一部の企業での導入は，ただちに同一産業内の他の企業にその

6 Robinson [18] p96にも同様の主張が見られる。しかし，主張の根拠は明示されていていない。

技術の採用を強制する。というのは，最新技術の導入により著しく費用を削減することに成功した先進的企業は，現行よりわずかに製品価格を下げて，自分の製品市場の拡張，市場シェアの拡大を計るだろう。この時，他の企業は販売市場を先進的企業に奪われまいとすれば，新技術の導入を強行し，製品価格を先進的企業と同程度かそれ以下に下げなければならない。以上が通常行われる説明[7]であるが，これには，いくつかの理論的難点が含まれている。まず，市場が，完全競争下にある場合[8]を考えよう。完全競争下では，定義により，各企業は，あえて製品価格を下げる誘因を一切持たない。たとえ製品価格を下げても，販売可能な製品の数量が同じであれば，その分利潤が下がるだけである。完全競争の仮定をはずした場合でも，先進的企業の当面の潜在産出量に見合うだけの市場規模が確保されているとすれば，やはり，先進的企業は価格を下げないだろう。したがって，因果関係の前半は必ずしも成立しない。また，たとえ先進的企業が価格を下げても，製品差別化などの理由により，競争する他の企業にとって市場シェアの削減が予想されなければ，彼らは必ずしも追随しないだろう。因果関係の後半についても必ずしも成立するものではないことがわかる。このように，理論的に見ても，技術革新と産業内の全企業への最新技術の普及とは無条件に結びついているわけではなく，その産業の市場競争条件によっては，先進的な企業の技術革新にもかかわらず，新技術が他の企業に普及しないことがありうる。

最後に，次節で見るように，技術革新の速度も，技術の普及速度と同一の経済的要因によって左右される。技術の普及過程にとって所得分配が決定的な役割を果たしているのと同様，実は，技術革新についても所得分配

7 Marx［14］第2分冊，p158.

8 もちろん，上の説明の主唱者は完全競争の仮定を置いていない。

のあり方が決定的に重要であることがわかる。というわけで，マクロ的な技術進歩を考えるにあたって，技術革新の問題をまったく捨象したとしても，それによって実際上失われるものはほとんどないだろう。

以上の三つの理由で，我々は全社会的な技術進歩率の決定を考える上で，とりわけ技術の普及過程に注目する。

3　技術革新

技術進歩の全過程の中で，本稿は特に技術の普及過程に注意を集中する。だが，その研究に入る前に，技術革新についてもう少し立ち入った分析をしておく必要がある。我々は，前節で，超過利潤の獲得を目的として行われる先進的企業の新技術導入が導入時の所得分配の影響を強く受けていることを示唆した。以下では，その時々の所得分配の状況がどのようにして先進的企業の新技術導入に関わっているのかを単純な部分均衡モデルを使って明らかにし，前節での示唆に理論的根拠を与えよう。

モデルを作るにあたって，次のことを仮定しよう。第一に，市場は完全競争的であるものとする。各企業にとって現在及び将来の価格は所与である。個々の企業は，産出量を操作することによって，与えられた価格を変更することはできない。したがって，各企業は自分の決定が将来の価格に与える影響をまったく無視して現時点での産出量および技術に関する決定を行う。このようないわば近視眼的(myopic)な企業行動は完全競争の仮定から導かれる。だから，Kennedy-Weizsäcker モデルに対して Samuelson [19] が行った批判，企業が近視眼的に行動しているという批判はまったく的はずれである[9]。

9 もっとも，Samuelson も自分の批判に理論的難点があることに気づいている。(Samuelson [19] p351)

第二に，Harrod 中立型の新古典派生産関数を仮定する。

$$Y=F(K, AL)$$

ただし，Yは産出量，Kは資本設備，Lは雇用量，Aは労働の効率である。Harrod 中立型の生産関数だけが，資本-産出量比率が一定であるような均斉成長経路と整合的である。このことは，Diamond [5] によって数学的に証明された。

以上，二つの仮定，すなわち，完全競争と Harrod 中立型の生産関数のもとで，各企業は，技術革新の便益と費用を勘案しつつ，望ましい技術進歩率の水準を決定する。完全競争下では，初めて新技術を導入することによる革新的な企業の利益は，資本と労働の投入量を不変とすれば，産出量を増加させることによる超過利潤の獲得である。資本と労働の投入量を不変とすることは，労働の完全雇用と資本設備の完全稼働という新古典派の仮定と整合的である[10]。もちろん，増加した供給に見合うだけの需要が常に市場に見いだされる。完全競争下では，先に述べたように，この先進的企業は製品価格を下げる誘因を持たないばかりか，将来の価格下落を予想することもできない。

一方，技術革新の費用はどのように考えたらよいだろうか。第 1 節で強調したように技術が機械設備に体化されているとすれば，技術革新は，新技術を備えた機械設備の導入を意味する。だとすれば，技術革新にかかる費用とは，最新鋭設備の費用であると考えるかもしれない。しかし，これは正しくない。新技術を備えた最新鋭設備の費用は，あくまで追加的な機

10革新的な企業が追加的な資本設備と労働の投入を必要としているならば，その必要量は完全雇用と設備の完全稼働を前提する限り，他の一般的な企業から奪い取らなければならない。この方法，メカニズムについて解明することは，ここでの理論的抽象度を超えるものである。

械設備にかかる費用であって，技術革新に要した費用ではない。実際，一般に生産要素への報酬が結果的にその正の限界生産力に等しく決定されているとすれば，後にみるように，どんなに高度の技術革新を行ったとしても，それに伴う機械設備の費用増加分は必ず回収される。より正確には，追加的機械設備1単位もそれ以前に使用された機械設備1単位と同様，均等利潤率を革新的な企業にもたらすだけである。

Kennedy [12] は労働生産性の上昇率と資本設備の生産性の上昇の間の相反関係を技術革新可能性フロンティア(innovation possibility frontier)として定式化した。ここでの文脈に即して言えば，労働生産性の上昇を高めるために，そうしなければ達成できたであろう資本設備の生産性の伸びを抑えるという機会費用を払わなければならない。したがって，企業は，二つの生産性上昇率の間の代替関係を念頭に，超過利潤を最大にするように技術進歩率を決定する。しかし，第4節で詳しく検討するように，この考え方は，重大な理論的問題を含んでいる。

そこで，我々のアプローチは，技術革新に伴う研究開発費用を明確に考慮することである。第一に，新技術開発には，正常利潤の一部が使われなければならないだろう。なぜなら，技術は機械設備と不可分に結びついているので，その開発にかかる費用を負担するのは，機械設備の所有者だからである。第二に，企業が研究開発にかける費用は，獲得される技術が高度になればなるほど増加し，また，より効率的な技術一定量を獲得するために必要な費用の増加分はますます大きくなるだろう。技術進歩率$\dot{A}/A$をαとすれば，技術開発にかける費用Cは，

$$C=\Lambda(\alpha)rK \qquad \Lambda'>0,\ \Lambda''>0 \tag{1}$$

と表される。ここでrKは正常利潤である。

一方，他の追随的な企業は，新しく開発された技術を追加的な開発費用

なしに手に入れることができるものとする。言い換えれば，技術開発競争における二番手以下の競争者は，一番手の開発した技術を即座に模倣することができる。これは単純化のための仮定である。

それゆえ，仮に技術がどんな時でもただちに同一産業部門内の全企業に普及するとすれば[11]，革新的な企業が超過利潤を取得できるのはごくわずかな時間だけである。実際，他の追随的な企業は，模倣した新技術を使って，先進的な企業と同じ産出量を得る。

このように，革新的な企業は，ごく短い時間，超過利潤から研究開発費を引いた純超過利潤を取得することができる。数学的には，革新的な企業が得る超過利潤は，

$$\dot{Y}-w\dot{L}-r\dot{K}-C \tag{2}$$

と表されるだろう。完全競争の仮定より実質賃金率wおよび利潤率rは所与である。第一項は産出量の増加分を，第二項は賃金コストの増加分を表す。第一項から第二項をひいたものが利潤の増加分である。第三項rKは，増加した資本設備がもたらす平均利潤分である。このうちいくらかは革新的企業にも帰属するだろうが，本節のモデルの仮定だけではこの帰属分を確定することはできない。そこで，革新的な企業の帰属分を含む平均利潤増加分すべてを利潤増加分から差し引く。こうして得られるのが先進的企業の超過利潤である。さらに研究開発費を差し引けば，先進的企業の純超過利潤が求まる。

ところで，我々は，Harrod 中立型の生産関数，

$$Y=F(K(t), A(t)L(t))$$

を仮定していたから，限界生産力説の成立に注意すれば，(2)式は

$$wL\alpha-\Lambda(\alpha)rK$$

11普及過程の問題は次節以降で取り扱う。

のように書き直せる[12]。今期の産出量Yは革新的な企業にとって所与だから，両辺をYで割って，技術革新に際してのこの企業の目的関数は，

$$(1-\pi)\alpha-\Lambda(\alpha)\pi$$

としてよい。ただし，πは利潤分配分である。すなわち，

$$\pi=\frac{rK}{Y}\quad.$$

革新的企業はこの目的関数を最大にするように技術進歩率αを決定する。

最適化問題の一階の必要条件は，

$$(1-\pi)-\Lambda'(\alpha)\pi=0$$

であり，さらに$\pi>0$だから，二階条件も満たされる。この式は，技術進歩率αが労働分配率$1-\pi$に依存していることを示す。実際，すぐにわかるように，$\Lambda''>0$だから，技術進歩率は労働分配率の増加関数である。

限界生産力説が成り立つ限りで，労働の効率を高める技術進歩は，より正確には，労働投入に対して要素拡大的であるような技術進歩は，労働コストの産出量に対する割合が増えれば増えるほど，より高い収入を企業にもたらす。ただし，我々は終始一貫して生産物はすべて売り切れるものと仮定した。この収入の増加は，より高度な技術の開発に要する研究開発費をまかなうに足るものである。こうして，労働分配率の上昇が革新的企業の技術進歩率の向上に結びつく。

一見，基礎科学の発展や偶然によって支配されているように見える技術革新が資本制経済では所得分配の影響を強く受けていることがわかる。

12この式が示しているのは期待利潤の額である。というのは，もし，仮に技術革新が全企業で一斉に行われれば，均等利潤率と実質賃金率がともに新たな水準に調整されて，純超過利潤は消滅するだろうからである。

4　資本設備に体化された技術

技術が機械設備に体化されていることを重視し，そのことの経済学的含意について考察したのは，Marx である[13]。Marx［14］は，技術進歩と同時に，資本-労働比率が上昇すると主張した。

Marx の示唆を受けて，問題をより厳密に定式化しようと試みたのは Kaldor［10］である。彼は，労働生産性の上昇率と一人あたり資本の変化率との間に一定の関数関係があると考え，技術進歩関数（technical progress function）を提唱した。

$$\frac{\dot{Y}}{Y}-\frac{\dot{L}}{L}=\chi\left(\frac{\dot{K}}{K}-\frac{\dot{L}}{L}\right), \qquad 0<\chi'<1 \qquad \chi(0)>0$$

さらに，Kaldor［10］が当初していたように，χが狭義の凹関数であるとしよう[14]。

$$\chi''<0$$

この時，労働生産性の上昇率，資本生産性の伸び率をそれぞれp，qとすると，

$$p=\chi(-q+p)$$

となる。この式から資本生産性の伸び率qは労働生産性の変化率pの関数であることがわかる。

$$q=\theta(p) \qquad \theta'<0, \quad \theta''<0$$

この関係は，Kennedy［12］の技術革新可能性フロンティア（innovation possibility frontier）と同一である[15]。したがって，非線型の技術進歩関数

13Marx［14］第3分冊，p205

14線型の技術進歩関数は，Cobb-Douglas 型生産関数になる。（Black［3］，Allen［1］ch13）

15このことは，Kennedy［12］自身が気づいている。

は，技術革新可能性フロンティアに帰着する。言い換えれば，技術進歩が資本-労働比率の上昇，機械化の進行を伴うという主張は，もし正しければ、資本設備の生産性と労働の生産性の上昇率の間の相反関係に理論的根拠を与えるものである。

さて，技術進歩関数によれば，資本-労働比率が一定ならば，労働生産性も一定となる。逆に言えば，労働生産性が変化する時には，必ず資本-労働比率が変化する。すべての労働生産性の変化は資本-労働比率の変化に起因し，それ以外の要因は存在しない。したがって，ほかでもないこの点に関しては，技術進歩関数は，Kaldor [10] の批判している新古典派生産関数と同一の性質を共有しているのである[16]。しかし，真の意味での技術進歩とは，投入される資本と労働の量が同一であっても，生産される財の量が増えることであるとすれば，技術進歩関数はこの意味での技術進歩をまったく説明していないことになる。

これに対して，Samuelson [19]，Drandkis and Phelps [6] は，要素拡大的(factor augmenting)な技術進歩を考慮した生産関数，

$$Y=F(B(t)K(t),\ A(t)L(t))$$

を考えた。この時，労働生産性yは，

$$y=\frac{Y}{L}=AF\left(\frac{B(t)K(t)}{A(t)L(t)},\ 1\right)$$

と書けるから，効率単位での資本-労働比率$BK／AL$が一定でも，労働の効率Aが変化すれば，労働生産性も変化する。Kaldor [10] や Kennedy [12] が労働生産性の上昇の原因をもっぱら資本-労働比率の変化に求めたのに対して， Samuelson [19]， Drandakis and Phelps [6] は，資本と労働

16Black [13] が正しく指摘したように，技術進歩関数は，新古典派生産関数より一般的である。

の間の代替によらない労働生産性の上昇に注意を集中したのである。Kennedy [12] の考え方に触発されて，彼らは，効率単位での資本-労働比率一定のもとで，資本設備の生産性の上昇率と労働生産性の上昇率の間に代替関係があると仮定した。これが前者の技術革新可能性フロンティアに対する後者の発明可能性フロンティア(invention possibility frontier)である。この条件のもとで，資本設備の生産性の上昇率，労働生産性の上昇率は，それぞれ，$\dot{B}/B$と$\dot{A}/A$となる。この二つのフロンティアはまったく別のものである。ただし，代替の弾力性が決して1をとらなければ，相対的所得分配率 (relative share)が一定の時，両者は一致する。なぜなら，この時，効率単位での資本-労働比率は一定となるからである。

では，なぜ，資本設備の生産性の上昇率と労働生産性の上昇率の間に対抗関係があるのか。これは工学的事実なのだろうか。この点に関する十分な説明はなされていないように思われる。

ともあれ，Drandakis and Phelps [6] は，発明可能性フロンティアを使って，超過利潤を最大にするような企業の技術革新の結果が Harrod 中立型の技術進歩に落ち着くための条件を明らかにした。ところが，均衡点に行き着き，技術進歩が Harrod 中立という形態をとってしまうと，その時の技術進歩率は外生的に与えられる。したがって，彼らの定式化は，技術進歩が Harrod 中立であるという前提の下で，技術進歩率がいかに決定されるのかという問題を考えるにあたって適切なものとは言えない。

Marx が，技術が資本制経済では資本設備に体化されていると強調したことは正しかった。しかし，このことから，技術進歩が必然的に資本-労働比率の上昇を伴うという誤った結論を導いたために，彼は，以後の議論を大いに混乱させてしまった。問題は，たとえ資本と労働の投入量が同一であっても，なお産出量が増加するような技術進歩に関して，その程度がどの

ように決定されるのかを明らかにすることである。だから，この問題は，直接には，資本と労働の代替とは別問題である。

技術が機械設備に体化されているとすれば，この問題に対する最も自然なアプローチは，資本-労働比率の変化によらない労働生産性の上昇が，資本設備の増加率に依存すると考えることであろう。数学的に定式化すれば，

$$\frac{\mathring{A}}{A}=\gamma\frac{\mathring{K}}{K} \qquad 0<\gamma<1 \tag{3}$$

とすることである。形式的には，この定式は，Arrow[2]や Sheshinski[21]の Learning by Doing モデルの定式と同一である。しかし，経済学的意味づけはまったく違う。Learning by Doing モデルでは，労働者の経験が技術進歩の主要因であり，資本設備は経験の蓄積の指標としてのみ使われている[17]。一方，我々は，この定式化を技術が資本設備に体化されているという事実から直接導く。

最後に，我々の定式と Vintage モデルの関連について触れておこう。Vintage モデルの問題意識は，生産効率の異なる機械設備の共存がもたらす諸問題について分析することである。たとえば，Solow[23]では，生産効率の異なる機械設備の間での労働量配分の問題等が論じられた。しかし，本稿はこのような問題を完全に捨象する。我々のモデルでは，古い旧式の機械設備が毎期毎期更新されて最新のものに入れ替わる。したがって，効率の異なる資本設備の共存はありえない。ただし，この更新は，機械設備の固定性によりやや緩慢に進行する。

17Arrow［2］が Vintage モデルを使っていることは，本質的な事柄ではない。

5　技術進歩率と労働分配率の動学モデル

技術が機械設備に体化されていれば，結局，技術進歩率は，資本蓄積によって規制される。一方，一定の条件下では，資本蓄積は，資本と労働の代替関係に強く依存する。機械設備の固定性により，この代替関係が緩慢に推移すれば，二つの運動は同時に進行するだろう。その結果生じる二つの運動の相互作用はどのようなものだろうか。

実質賃金率の急騰の結果，労働コストの急激な上昇が生じ，利潤が圧迫された時，企業はどのような行動をとるだろうか。第一の選択は，生産方法を変えずに，そもそも実質賃金率の高騰の原因であった資本蓄積率を抑えることである。第二の選択は，雇用量を減らすような生産方法に変えることである。Marx [14] は，特に第一の選択を取り上げて，資本制経済には，実質賃金率をその経済体制の許容範囲に納めるようなメカニズムが存在することを明らかにした。Goodwin[7]は，Marx の議論を厳密に数学的に定式化したものである。我々は第二の選択について考察しよう。

今，効率単位での資本-労働比率

$$\ell=\frac{K}{AL}$$

が一定であるような生産方法に従っている企業が，急激な実質賃金率の上昇に直面したとしよう。もし，実質賃金率の上昇率が労働生産性の上昇率を上回れば，資本分配率は低下し始める。この時，この企業は，雇用量を削減し，効率単位での資本-労働比率を高めるよう努めるだろう。効率単位での資本-労働比率が一定のもとでは，労働生産性は労働効率Aに比例するから，選択時点での労働生産性の代理変数として労働効率を使ってもかまわない。したがって，企業の上述の調整過程は以下のように表される。

$$\frac{\mathring{\ell}}{\ell}=\delta\left(\frac{\mathring{w}}{w}-\alpha\right) \qquad \delta>0 \tag{4}$$

ただし，α は労働効率Aの変化率であった。以下の議論を単純にするために，我々は上の式の労働効率Aの変化率 α をこの経済体系の均衡での値 α^* に固定する。後でこの仮定をはずすが，各企業がそれぞれの時点での労働生産性を正確に知りえないとすれば，その代わりに各企業が労働生産性の一つの近似値として均衡値 α^*のみを知っていると考えることは，けっして不自然ではないだろう。形式的には，(4)式は以下のものと取り替えられる。

$$\frac{\mathring{\ell}}{\ell}=\delta\left(\frac{\dot{w}}{w}-\alpha^*\right), \qquad \delta>0$$

さらに，実質賃金率wが労働市場における雇用率vに応じて変動すると考えよう。

$$\frac{\dot{w}}{w}=-a+bv, \qquad a>0,\quad b>0$$

これを直前の式に代入して，

$$\frac{\mathring{\ell}}{\ell}=b\delta v-\delta(a+\alpha^*) \tag{5}$$

を得る。

次に，我々は技術が資本設備に体化されていることを仮定しているから，前節の議論より，以下の式が成り立つ。

$$\frac{\mathring{A}}{A}=\gamma\frac{\mathring{K}}{K} \qquad 0<\gamma<1 \tag{3}$$

さらに，生産関数を特定化して，Cobb-Douglas 型とする。

$$Y=K^{1-\beta}(AL)^{\beta}$$

今，貯蓄率 s が一定であるとすれば，

$$\frac{\dot{K}}{K}=\frac{sY}{K}=s\ell^{-\beta} \tag{6}$$

である。

この時，雇用率の変動はどのようになるだろうか。雇用率vの定義より，

$$\frac{\dot{v}}{v}=\frac{\dot{L}}{L}-\frac{\dot{N}}{N}$$

である。ただし，Nは人口を表す。ここで，人口成長率nを一定としよう。(3)に注意すれば，

$$\frac{\dot{v}}{v}=(1-\gamma)\frac{\dot{K}}{K}-\frac{\dot{\ell}}{\ell}-n$$

最後に，(5)，(6)を考慮すれば，

$$\frac{\dot{v}}{v}=(1-\gamma)s\ell^{-\beta}-\delta(-a+bv-a^*)-n$$

を得る。

変数変換して，

$$m=\ell^{-\beta}$$

はしよう。すると，二つの動学方程式はそれぞれ，

$$\frac{\dot{m}}{m}=\beta\delta(a+a^*)-\beta\delta bv,$$

$$\frac{\dot{v}}{v}=(1-\gamma)sm-\delta bv+\delta(a+a^*)-n$$

となる。経済体系はこの動学方程式に従う。また，この方程式は Volterra-Lotka 方程式を拡張した形になっている[18]。方程式の均衡点を(m^*, v^*)とすれば，

$$(m^*, v^*)=\left(\frac{n}{s(1-\gamma)},\quad \frac{a+a^*}{b}\right)$$

18Hirsch and Smale [9] ch12.

であることがわかる。(5)と(6)を組み合わせれば，技術進歩率の均衡値 α^* も容易に求まる。

$$\alpha^* = \frac{n\gamma}{1-\gamma}$$

均衡状態における技術進歩率は，Sheshinski［21］モデルのそれと一致する。さらにこの均衡の近傍で経済体系は漸近安定であり，しかも効率単位での資本-労働比率の調整係数 δ が，

$$0 < \delta < \frac{4\beta n}{a + \alpha^*}$$

の範囲にあれば[19]，均衡点は，渦状点(focus)であることがわかる。(数学注参照)

企業は，実質賃金率の上昇に際して，効率単位での資本-労働比率を上昇させ，これに対処する。ところで，貯蓄率 s と現時点での資本-労働比率，および労働の効率が与えられた時，(6)より資本成長率は所与であるから，調整はもっぱら，雇用量の伸び率の抑制という形をとる。雇用の伸び率の抑制によって，効率単位での資本-労働比率は徐々に上昇し，同時に，技術進歩率も向上するだろう。それに加えて，労働需要の低迷は，労働市場の需給を，一時的にせよ，緩和し，実質賃金率の上昇を押え込むだろう。ところが，利潤分配率の上昇に刺激された資本成長率の改善が雇用率の上昇を伴えば，労働市場は再度逼迫しはじめ，実質賃金率は上昇する。こうして，再び上の過程が繰り返されることになる。

もう一度，(3)，(6)に注目すれば，

$$a = s\gamma m$$

19この制約は，資本-労働比率の調整が緩慢にしか進まないことを意味している。我々は，機械設備の固定性を認めているから，このような制約を加えることに問題はなかろう。

であることがわかる。経済体系の運行に従って，mが振動するから，技術進歩率 α もやはり，均衡水準 α^*を中心に上下に振動するのである。一方，実質賃金率も一定の成長率 α^*を保つ成長径路の周囲を循環しつつ伸び続ける。長期的な実質賃金率の伸びは技術進歩率に規制される。こうして，技術進歩率は，実質賃金率の変動との相互作用で循環的な振動を繰り返していくことがわかった。特に，各企業を合理化と機械化に駆り立てているものは，実質賃金率の急激な上昇である点が重要である[20]。

長期均衡点において，我々は，実質賃金率が労働の限界生産力に等しいと仮定したが，それ以外の点では，実質賃金率は労働市場の需給バランスに委ねられる。したがって，長期均衡点以外では，一般に限界生産力説は成立しない。限界生産力説が成り立つ限り，Cobb-Douglas 型生産関数のもとでは，労働分配率uは一定値 β をとる。ところが，このモデルにおける労働分配率は必ずしも一定ではない。労働分配率の定義より，

$$\frac{\dot{u}}{u}=\frac{\dot{w}}{w}+\frac{\dot{L}}{L}-\frac{\dot{Y}}{Y}$$

動学方程式と生産関数の形状に注目すれば，さらに，

$$\frac{\dot{u}}{u}=b[1-(1-\beta)\delta](v-v^*)+\alpha^*-\alpha$$

を得る。よって，$\alpha=\alpha^*$かつ $v=v^*$であれば，労働分配率uは一定になるが，均衡点以外では，一般に，$\dot{u}\neq 0$ であり，労働分配率は一定ではない。

6　モデルの修正

前節のモデルを構成するにあたって，我々は，留保条件を一つ付けてお

20Robinson ［18］ p96.

いた。それは，各企業が，技術進歩率の均衡値を参考にしながら，効率単位での資本-労働比率の改定を行うという仮定に対してである。このように仮定した理由は，それぞれの企業が各時点での社会全体の技術進歩率を正確に知ることはないと考えたからである。その代わり，まったく不合理とは言えない予想値として技術進歩率の均衡値を用いた。逆に，各企業が各時点各時点での社会全体の技術進歩率を正確に知っているとすれば，前節の結論は大幅に修正されなければならないのか。この疑問に答えよう。もっとも，二つの仮定はそれぞれ極端な場合を想定しており，現実にはその中間の事態が生じていると考えるのが妥当である。

当初の効率単位での資本-労働比率の調整式(4)にもどろう。

$$\frac{\mathring{\ell}}{\ell}=\delta\left(\frac{\mathring{w}}{w}-a\right) \qquad \delta>0 \tag{4}$$

すると，動学方程式は以下のように修正される。

$$\frac{\mathring{m}}{m}=a\beta\delta-b\beta\delta v+\beta\delta\gamma sm$$

$$\frac{\mathring{v}}{v}=[1-\gamma(1-\delta)]sm-(n-\delta a)-\delta bv$$

この体系の均衡は(m^*, v^*)は，

$$\left(\frac{n}{s(1-\gamma)},\ \frac{1}{b}\left(a+\frac{n\gamma}{1-\gamma}\right)\right)$$

であり，前節とまったく同じである。均衡点が局所的に漸近安定である点も以前と同じである。また，効率単位での資本-労働比率の調整係数δが一定の範囲，具体的には，

$$0<\delta<\frac{4n}{a}$$

にあれば，十分大きな労働分配率の均衡値$0<\beta<1$に対して，特性方程式の判別式は負になる。(数学注参照) したがって，前節と同様，均衡点の周

囲での循環が観測される。

要約すれば，効率単位での資本-労働比率の調整が緩慢であり，かつ均衡点での労働分配率が十分高ければ，前節の結論は保持される。

7　動学径路の解釈

動学モデルにおける時間の一単位をどのようにとるかによって，モデルの経済学的意味は非常に異なったものになるだろう。もし我々のモデルの時間の一単位をたとえば１分とか１時間とかにとれば，経済諸変数の調整は急速に行われるから，事実上，経済は動学モデルの均衡点にあると考えて差し支えないだろう。その場合，経済は，常に Sheshinski [21] モデルの均衡成長径路上を成長し続ける。

しかし，我々は，このような解釈をとらない。反対に，我々のモデルの時間の１単位は非常に長く，それゆえ，均衡点は人々の関心の及ぶ範囲では達成されることはない。経済は常に均衡点の周囲を巡回している。理論上は，巡回しつつ，均衡点に近づかなければならないのだが，その程度はとるに足らないものである。実質賃金率は循環的成長を続ける一方，失業率と技術進歩率は循環的振動を繰り返す。経済成長は，Sheshinski[21]モデルの均衡成長径路を中心にした循環的径路をたどるだろう。

本稿の主要な結論は次の点である。第一に，資本制経済における技術進歩は，技術革新の場合も，また，これが特徴的な形態であるが，技術の普及過程でも，その時々の所得分配によって規制される。特に，実質賃金率が上昇し，労働分配率が高まる時に，社会全体の技術進歩が促進されるのである。第三に，このことは，資本制経済における技術の支配的な形態が技術の機械設備への体化であるという事実と不可分に結びついている。

最後に，本稿の動学モデルに対する誤った解釈を防ぐために，モデルの仮定について注意を喚起しておく。モデルの動学過程は，人々の主体的営為から完全に独立に進行しているのではない。とりわけ，実質賃金率の高騰に直面した企業が，種々の社会的圧力に抗して，雇用率の伸びを抑えることに成功したとしても，そのことが自動的にこの企業に技術進歩を保障しているのでないことは言うまでもない。新技術の導入は各企業の主体的行動にかかっており，これに失敗する可能性は大いにありえるのである。実際，失敗した企業はその産業部門の競争から脱落する。我々が研究したのは，常に各企業が新技術の導入に成功したとしたら，その帰結がどのようになるのかということである。

したがって，つぎのような疑問には答えていない。第一に，新技術の導入にあたり，企業はどのような困難に直面するのか。第二に，その困難を克服するためにはどのような手段が利用可能なのか。この疑問に答えるためには，これまでの分析で全然触れなかった制度的諸問題についても言及しなければならないだろう。最後に，もしどの企業も本稿で想定した水準の新技術を導入できなかったとしたら，国民経済はどうなるのか。これらの疑問は，今後に残された課題である。

数学注

本文で検討した動学方程式は，拡張された Volterra-Lotka 方程式である。

$$\frac{\dot{x}}{x} = a_{11}x - a_{12}y + a_{13}$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = a_{21}x - a_{22}y - a_{23}$$

$$a_{11},\ a_{12},\ a_{13},\ a_{21},\ a_{22} > 0$$

均衡点（x^*, y^*）は，

$$a_{11}x^*-a_{12}y^*+a_{13}=0$$

$$a_{21}x^*-a_{22}y^*-a_{23}=0$$

を満たす。

均衡点の近傍で上の微分方程式を線型近似すると，

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt}(x-x^*) \\ \frac{d}{dt}(y-y^*) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}x^* & -a_{12}x^* \\ a_{21}y^* & -a_{22}y^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x-x^* \\ y-y^* \end{bmatrix}$$

第５節の場合は$a_{11}=0$にあたる。この場合の線型化行列をAとすると，

$$TrA=-\delta(-a+\alpha^*)<0$$

$$DetA=\beta\delta n(a+\alpha^*)>0$$

したがって，均衡点(m^*, v^*)は，この点の近傍で漸近安定となる。さらに，特性方程式の判別式を$\varDelta$とすれば、

$$\varDelta=\delta(a+\alpha^*)[\delta(a+\alpha^*)-4\beta n]$$

したがって，$\delta>0$が十分小さければ，すなわち，

$$0<\delta<\frac{4\beta n}{a+\alpha^*}$$

なれば，$\varDelta<0$となり，渦状点(focus)であることがわかる。また，$\delta>0$が十分小さければ，TrAの絶対値も小さくなり，均衡点への接近も緩やかになる。

一方，第６節の場合，$0<\beta<1$に注意すれば，線型化行列Aに関して，

$$TrA=\delta\left[\frac{n\gamma}{1-\gamma}(\beta-1)-a\right]<0$$

$$DetA=n\beta\delta\left(a+\frac{n\gamma}{1-\gamma}\right)>0$$

となる。さらに，判別式$\varDelta$は，

$$\Delta=\left(\frac{\delta n\gamma}{1-\gamma}\right)^2(\beta-1)^2-\frac{2a\delta^2 n\gamma}{1-\gamma}(\beta-1)+\delta^2a^2-4n\beta\delta\left(a+\frac{n\gamma}{1-\gamma}\right)$$

ここで，$X=\beta-1$ とすれば，この式の右辺は，

$$f(X)=\left(\frac{\delta n\gamma}{1-\gamma}\right)^2X^2-\left[\frac{2a\delta^2n\gamma}{1-\gamma}+4n\delta\left(a+\frac{n\gamma}{1-\gamma}\right)\right]X+\delta^2a^2-4n\delta\left(a+\frac{n\gamma}{1-\gamma}\right)$$

となる。すると，

$$f(-1)=\delta^2\left(\frac{n\gamma}{1-\gamma}+a\right)^2>0$$

したがって，$0<\exists\beta<1$ に対して，$\Delta<0$ になるためには，$f(0)<0$ であればよい。すなわち，

$$f(0)=\delta a(\delta a-4n)-4n\delta\frac{n\gamma}{1-\gamma}$$

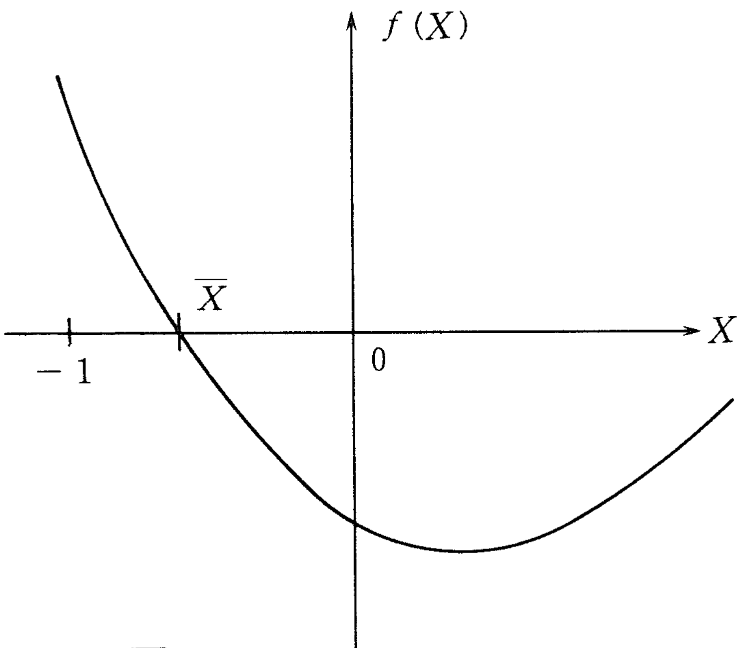
だから，$\delta a<4n$ ならば，$f(0)<0$ となる。

この時，$f(X)=0$ に対応する β の値を $\bar{\beta}$ とすると，

$$\bar{\beta}<\beta<1$$

に対して，判別式 Δ は負になる。

図 1　判別式の形状



ただし、$\overline{X}=\bar{\beta}-1$

すなわち，δが

$$0<\delta<\frac{4n}{a}$$

であれば，十分大きな労働分配率の均衡値βに対して，均衡点(m^*, v^*)は，渦状点（focus）になる。

参考文献

[1] Allen, R. G. D., *Macro-Economic Theory*, (London： Macmillan, 1967)

[2] Arrow, K. G. 'The Economic Implications of Learning by Doing,' *Review of Economic Studies*, Vol.29, 1962, pp.155-173.

[3] Black, J.,'The Technical Progress Function and the Production Function,' *Economica*, Vol.29 1962, pp.166-170.

[4] Desai, M., 'Growth Cycles and Inflation in a Model of the Class Struggle,' *Journal of Economic Theory*, Vol.6 1973 pp.527-545.

[5] Diamond, P. A., 'Disembodied Technical Change in a Two Secter Model' *Review of Economic Studies*, Vol.32 1965, pp.161-168.

[6] Drandakis, E. M. and E. S. Phelps, 'A Model of Induced Invention, Growth, and Distribution,' *Economic Journal*, Vol.76, 1966, pp.832-840.

[7] Goodwin, R. M., 'A Growth Cycle,' in *Socialism, Capitalism, and Economic Growth, C. H. Feinstein ed.* (Cambridge: Cambridge University Press,1967)

[8] Harrod, R.F., 'An Essay in Dynamic Theory,' *Economic Journal*, Vol.49, 1939, pp.14-33.

[9] Hirsch, M. W. and H. Smale, *Differential Equations*, *Dynamical Systems, and Linear Algebra* (London: Academic Press, 1974)

[10] Kaldor, N., 'A Model of Economic Growth,' *Economic Journal*, Vol.67, 1957, pp.591-624.

[11] Kaldor. N.,'Capital Accumulation and Economic Growth,' in *The Theory of Capital*, F. A. Lutz and D. C. Hague, eds.(London: Macmillan, 1961)

[12] Kennedy, C. ,'Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution,' *Economic Journal*, Vol.74, 1964, pp.541-647.

[13] Kennedy, C. and A. P. Thirlwall, 'Technical Progress—A Survey,' *Economic Journal*, Vol.82, 1972, pp.11-72.

[14] Marx, K.,『資本論』第一巻，岡崎二郎訳，国民文庫，（大月書店，1972）

[15] Marx, K.,『賃金・価格・利潤』，横山正彦訳，国民文庫，（大月書店，1965）

[16]　van der Ploeg, F. 'Predator-Pray and Neo-Classical Models of Cyclical Growth,' *Journal of Economics*, Vol.43, 1983, pp.235-256.

[17]　Ricardo, D., 'On the Principles of Political Economy and Taxation,' in *The Works and Correspondance of David Ricardo* Vol.1, Piero Sraffa ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 1951)

[18]　Robinson, J., *The Acumulation of Capital*, (London: Macmillan, 1956)

[19]　Samuelson, P. A., 'A Theory of Induced Innovation along Kennedy-Weizsäcker Lines,'*Review of Economics and Statistics*, Vol.47 1965, pp343-356.

[20]　関根順一,「新古典派内生的技術進歩論の展開」九州大学『経済学研究』第58巻第6号, 1993年2月, pp51-71.

[21]　Sheshinski, E., 'Optimal Accumulation with Learning by Doing,' in *Essays on the theory of Optimal Economic Growth*, K. Shell ed. (Cambrige Mass.: MIT Press, 1967)

[22]　Shah, A. and M. Desai, 'Growth Cycles with Induced Technical Change,' *Economic Journal*, Vol.91, 1981,pp.1006-1010.

[23]　Solow, R. M., 'Investment and Technical Progress' in *Mathmatical Method in the Social Sciences*, K. J. Arrow, S. Karlin and P. Suppes eds.(Stanford Univesity Press, 1959)