新古曲派内生的技術進歩論の展開

関根，順一

https://doi.org/10.15017/4492976

出版情報：經濟學研究. 58 (6), pp.51-71, 1993-07-10. 九州大学経済学会

新古典派内生的技術進歩論の展開

関　根　順　一

1　本稿の目的

経済が完全雇用を維持し続ける時，経済成長率は人口成長率と技術進歩率の和に等しい。Harrod［3］が示したこの事実を，Uzawa［19］は，Solow［17］の新古典派成長モデルにHarrod中立型の技術進歩を導入して確認した。だが，技術進歩がどのような社会的諸要因によって決定されるのかを説明しない限り，我々はある社会の経済成長率が何によって決まるのかを十分明らかにしたとはいえない。なるほど人口成長も生物学的諸要因のみならず，社会的諸要因――たとえば，一国の経済状態によっても，左右されるだろう。しかし，経済的諸要因と人口成長の関係は，経済的諸要因と技術進歩の関係ほどには強くない(1)。実際，資本制経済では，技術進歩の重要な動機は経済的なものである(2)。

このような問題意識に立った研究は，Kaldor［4］に始まり，1960年代の展開を経て，近年，内生的成長モデルと総称される新たな発展を遂げた。本稿の第一の目的は，Romer［13］，Lucas［8］等の内生的技術進歩モデルがUzawa［19］モデルの自然な発展であることを示すことである。そのため，本稿では考察の対象を一定の貯蓄率 s に対応する均斉成長径路に限定する。一般に内生的技術進歩モデルでは，技術進歩率は消費者の通時的効用最大化の枠組みの中で決定されるが，我々は，特に技術進歩率の決定メカニズムに焦点をあてるためにあえて貯蓄率を一定にした。また，Uzawa［19］の均斉成長径路は，Kaldor［5］の指摘するStylised Factsと整合的である。このことも，我々が考察を均斉成長径路に限定した理由の一つである(3)。第二に，内生的技術進歩のそれぞれのモデルで，均斉成長径路の経済成長率，経済諸変数はどのようにして決まるのか，特に，貯蓄率の変化は，それぞれのモデルにおいて，均斉成長率や経済諸変数にどのような影響を及ぼすのかが分析される。こうした分析を通して，内生的技術進歩モデルには，その数学的手法の類似性にもかかわらず，技術進歩率の決定メカニズムに関して大きな相違があることに気づくだろう。

最後に，内生的技術進歩モデルの経済学的問題点を資本制経済の基本的特徴(4)との関連で明らかに

(1)　Kaldor［6］
(2)　Kennedy and Thirwall［7］
(3)　Rebelo［12］p. 519
(4)　置塩他［10］第1章

する。

2．外生的技術進歩

Uzawa[19]は，Solow[17]の新古典派成長モデルにHarrod中立型の技術進歩を導入した。Solow［17］の生産関数 $Y=F(K, L)$は

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

に取り替えられた。ここで Y は国民所得，K は物的資本，L は労働である。A は技術を表す。以下の議論で我々は一貫してこの型の技術を取り扱う。さらに技術 A は時間 t のみの関数であり，技術進歩率 α は一定と仮定される。

$$\frac{\dot{A}}{A}=\alpha$$

それ以外の仮定はSolow［17］とまったく同じである。すなわち，Say's lawが成立して，貯蓄 S と投資 I は事前的にも事後的にも等しい。

$$S=I$$

が成立する。投資は物的資本の増分だから，

$$I=\dot{K}$$

である。単純化のために国民所得の一定割合 s が常に投資支出に向けられるとすれば，

$$I=sY.$$

最後に，完全雇用と人口成長率一定を仮定すると，

$$\frac{\dot{L}}{L}=n$$

が成り立つ。

効率単位での資本-労働比率 ℓ を

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

で定義すれば，以上の6本の方程式は，新古典派生産関数の一次同次性より，1本の方程式

$$\dot{\ell}=sf(\ell)-(n+\alpha)\ell$$

に集約される。ただし $f(\ell)=F(\ell, 1)$ とした。新古典派生産関数の通常の性質に注意すれば，この経済には均斉成長径路が存在し，その径路上で，経済成長率は資本の成長率に等しく，さらにそれは人口成長率と技術進歩率の和に等しい。

$$\frac{\dot{Y}}{Y}=\frac{\dot{K}}{K}=n+\alpha$$

均斉成長径路上での経済成長率は人口成長率と技術進歩率によって決定される。一方，この径路上の効率単位での資本-労働比率 ℓ^* は

$$\frac{sf(\ell)}{\ell}=n+\alpha$$

を満たさなければならない。しかも効率単位での資本-労働比率 ℓ^* に対応して利潤率も正の一定値をとるから，この成長径路に沿って資本制経済は成長し続けることが可能である。このモデルの中で貯蓄率 s の上昇は，経済成長率にまったく影響を与えない一方，効率単位での資本-労働比率 ℓ^*を確実に高める(5)。

技術進歩 α を外生的に一定として，Uzawa [19] は均斉成長径路で経済成長率が人口成長率と技術進歩率の和に等しくなることを示した。しかも，このモデルの均斉成長径路の特徴は Kaldor [5] の Stylised Facts の大部分と整合的である(6)。

しかし，資本制経済での技術進歩は，経済的動機によって促されており，技術進歩率がどのような社会的メカニズムの中で決定されているのかを明らかにしない限り，経済成長率がどのような水準に決まるのかという問題は解決されない。したがって，Uzawa [19] 以降の新古典派成長論の一つの重要な課題は技術進歩率の内生化であった。

また，資本主義諸国間の成長率が異なり，各政策当局の政策目標の一つがより高い成長率の達成である時，技術進歩率の内生化という課題は，理論的のみならず，政策的にも大きな意味を持った。

次節以降で，Uzawa [19] の均斉成長径路での技術進歩率の決定問題が，最近の内生的技術進歩論の諸モデルによってどのように解決されたのかを示そう。

3　内生的技術進歩

3.1　Uzawa-Lucas Model

新古典派の内生的技術進歩論の一つの大きな特徴は，技術Aを創造する新たな経済部門を導入したことにある。現在の技術水準 A の上昇は，その技術の創造に関与した労働，資本，あるいは過去の技術の蓄積によって決定されるだろう。Uzawa [20]，Lucas [8] は，現在の技術水準 A の上昇が職業訓練と過去の技術の蓄積に依存するものと考えた。一方，Arrow [1]，Romer [13] らの考え方は，逆に資本投入と過去の技術の蓄積が現在の技術水準の上昇を決定するというものである。本項では，Uzawa [20]，Lucas [8] のモデルを検討する。

Uzawa [20] によれば，各人は現在から将来までの一人あたりの消費の総計を最大にするように現時点で二つの選択を行う。一つは，所得の消費と投資への分割であり，もう一つは，非余暇時間の労働時間と自己教育時間への分割である。前者は，初期時点以降の技術水準を所与とした時の現在の消費と将来の消費の代替に関する問題であり，後者は，初期時点以降の技術水準を変更することによって，間接的に現在の消費と将来の消費の代替に関わる。というのは，将来の技術水準の上昇は，過去の技術の蓄積と人々の現時点での自己教育の成果によって決まるからである。このモデルにおける技術とは人々の知的，技術的能力である。過去の技術水準が与えられれば，人々がより多くの時間を技能の習得に費やせば費やすほど，その分将来の技術水準は上昇するだろう。他の条件が不変ならば，将

（5） Lucas [8] はこの相違に着目して，前者を Growth Effect，後者を Level Effect と呼んだ。
（6） Burmeister and Dobell [2] p. 79

来の技術進歩は将来の消費増に結びつく。しかしながら，人々の非余暇時間が一定ならば，自己教育時間の上昇は労働時間の減少を意味し，そのことは，現在の所得の減少，さらには投資の減少を通じて，将来の消費水準を低下させてしまう。したがって，現在から将来までの一人あたりの消費の総計を最大にするためには，各時点での貯蓄率だけでなく，非余暇時間の分割も最適な水準を選択しなければならない。

我々は上述の Uzawa [20] のモデルに二つの点で修正を加える。我々の分析対象は資本制経済の成長過程であるから，資本制経済の基本的特徴を考慮したモデルを作らなければならない。資本制経済は階級社会であり，労働を主として提供しているのは労働者である。労働者は将来にわたる実質賃金率の総計を最大にするように非余暇時間を労働時間と自己教育時間に分割する。自己教育の成果は，労働者の技能の向上として結実し，それは将来のより高い実質賃金率を保証するだろう。しかしながら，自己教育期間中は賃金を受け取ることはできないから，労働者は将来の期待実質賃金率上昇と現在の実質賃金の減少を勘案して，非余暇時間の分割を決定するだろう。これが，修正の第一点である。

第二点は本稿の目的と直接関わっている。資本制経済における技術進歩がどのようにして決定されているのかを明らかにすることが本稿の目的であるから，Uzawa [20] が行ったように技術進歩率の決定問題と同時に貯蓄率の決定問題を考えれば，問題は必要以上に複雑になる。したがって，以降，我々は貯蓄率の決定問題を回避し，貯蓄率を一定と仮定する。すなわち，

$$S = sY \qquad s \text{ は一定}$$

とする。一人あたりの消費の総計を最大にするような貯蓄率の決定に関する問題は，すでに最適成長理論の分野で十分な研究がなされている。さらに，貯蓄率を一定としたもとで，前節で示した Uzawa [19] の均斉成長径路への移行過程に関する問題も分析の単純化のために捨象する。貯蓄率一定の仮定に加えて，我々は経済が Uzawa [19] の均斉成長路上にあることを仮定する。言い換えれば，効率単位での資本-労働比率は常に一定である。

以上の二点を考慮すれば，Uzawa [20] の提示したモデルの要諦は，実は労働者の非余暇時間の分割問題にあることがはっきりするだろう。修正の第二点から非余暇時間の分割に関する選択の主体である労働者は，社会全体の貯蓄率の決定にまったく関与していないことになるが，このことは，資本制経済の基本的特徴と整合的である。資本制経済では，社会の投資決定は生産手段の所有者である資本家の手に握られており，労働者はこの決定に基本的に関与していない。

以下，上述の二つの修正を考慮して，Uzawa [20] のモデルを再構成しよう。毎期，労働者は与えられた非余暇時間 L を労働時間 L_Y と自己教育時間 L_A に分割する。前節と同様，Harrod 中立型の技術進歩を仮定すれば，国民所得 Y は

$$Y = F(K,\ AL_Y) \tag{1}$$

で与えられる。なお，F は通常の新古典派生産関数の諸性質を満足する。労働者の技能の向上 $\dot{A}$ は，それまでの技術の蓄積 A と非余暇時間 L に占める自己教育時間 L_A の割合に依存する。すなわち，

$$\dot{A} = \delta \frac{L_A}{L} A \qquad \delta > 0 \tag{2}$$

前節と同様，Say's law の成立および貯蓄性向 s 一定を仮定しているので，

$$\dot{K} = sY \tag{3}$$

が成立する。非余暇時間と余暇時間の比率が一定であるとすれば，

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \tag{4}$$

であることがわかる。ただし，人口成長率 n は一定である。さらに，資本-非余暇時間比率，非余暇時間中の労働時間の割合をそれぞれ k，u としよう。すなわち，

$$k = \frac{K}{L}, \qquad u = \frac{L_Y}{L}$$

である。$L = L_Y + L_A$ であることに注意すれば，自己教育関数（2）はただちに

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta(1-u)$$

に書き換えられる。さらに，他の3つの式からkに関する動学方程式が得られる。

$$\dot{k} = sAuf\left(\frac{k}{Au}\right) - nk$$

限界生産力説の成立を仮定すれば，実質賃金率 ω は

$$\omega = A\left[f\left(\frac{k}{Au}\right) - \frac{k}{Au}f'\left(\frac{k}{Au}\right)\right]$$

で与えられる。非余暇時間1時間あたりの実質賃金

$$\frac{\omega L_Y}{L}$$

から得られる通時的効用

$$\int_0^{\infty} U(\omega u)\exp(-\rho t)dt$$

の最大化を考えよう(7)。ただし，時間選好率 ρ は $\rho>0$ を満たす。労働者の目的関数を定式化するにあたって時間選好率を導入したのは，純粋に技術的理由による。実際，仮定 $\rho>0$ は最適化問題の実行可能性集合の上で，上の広義積分が有限確定値をとることを保証している。

結局，労働者の最適化問題は以下のように整理される。

$$\begin{aligned}
&\max_{0\le u\le 1}\int_0^{\infty} U(\omega u)\exp(-\rho t)dt\\
s.t.\qquad &\dot{k} = sAuf\left(\frac{k}{Au}\right) - nk\\
&\dot{A} = \delta(1-u)A \qquad 0<\delta<\rho\\
&\omega = A\left[f\left(\frac{k}{Au}\right) - \frac{k}{Au}f'\left(\frac{k}{Au}\right)\right]
\end{aligned}$$

（7） 初期時点から無限時点までの効用の総和を労働者の目的関数にすることは，労働者が無限期間生存することを仮定しており，現実的ではない。この点は各世代の労働者が有限期間生存する世代重複モデル（Overlapping Generations Model）を作れば解決できる。しかしそうなれば，動学モデルは連続型から離散型になり，Uzawa-Lucas モデルを第2節の連続型の Uzawa [19] モデルの発展として捉えたいとする本稿の目的は十分果たされない。Uzawa-Lucasモデルを世代重複を考慮して再定式化することは興味深い課題であり，本稿とは別の機会に検討したい。

言い換えれば，与えられた生産関数と自己教育関数のもとで，労働者は実質賃金率から得られる通時的効用の最大化を達成すべく，非余暇時間の配分を決定する。Uzawa［20］は $U(c)=c$ と特定化したのに対し，Lucas［8］は効用関数 U を

$$U(c)=\frac{c^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} \qquad 0<\sigma<1$$

とし，生産関数を Cobb－Douglas 型にした。

$$Y=F(K,\ AL_Y)=K^{\beta}(AL_Y)^{1-\beta} \qquad 0<\beta<1$$

本稿でも最適解を明示的に求めるために，Lucas の特定化を踏襲する。この特定化，特に効用関数の特定化はやや奇異に見えるかもしれないが，資本制経済の基本的特徴と矛盾することはないと思われる。効用関数および生産関数を特定化した結果，労働者の最適化問題は

$$\max_{0\le u\le 1}\int_0^{\infty}\frac{(\omega u)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}\exp(-\rho t)dt$$

$$s.t. \qquad \dot{k}=sAu\left(\frac{k}{Au}\right)^{\beta}-nk \qquad 0\le u\le 1$$

$$\dot{A}=\delta(1-u)A \qquad 0<\delta<\rho$$

$$\omega=A(1-\beta)\left(\frac{k}{Au}\right)^{\beta} \qquad 0<\beta<1$$

と書き換えられる。以下の計算の簡略化のために新しい記号

$$x=wu$$

を導入しよう。

実際，我々は以下の分析を効率単位で計った資本-非余暇時間比率が一定である均斉成長径路上に限定するから，

$$\frac{\dot{k}}{k}=\frac{\dot{A}}{A} \tag{5}$$

が成り立たなければならない。結局，最適化問題は，

$$\max_{0\le u\le 1}\int_0^{\infty}\frac{x^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}\exp(-\rho t)dt$$

$$s.t. \qquad \frac{\dot{k}}{k}=\delta(1-u) \qquad 0<\delta<\rho \qquad k_0 \text{ は } given \tag{6}$$

$$\frac{\dot{A}}{A}=\delta(1-u) \qquad A_0 \text{ は } given \tag{7}$$

$$x=(1-\beta)k^{\beta}(Au)^{1-\beta} \qquad 0<\beta<1 \tag{8}$$

という比較的簡単な形に落ち着く。

この最適制御問題の現在価値 Hamiltonian は

$$H(k,\ A,\ \theta_1,\ \theta_2,\ u,\ t)$$

$$=\frac{x^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}+\theta_1(\delta(1-u)k)+\theta_2(\delta(1-u)A)$$

で与えられる。ここで，補助変数 θ_1，θ_2 は以下の微分方程式を満たす。

$$\dot{\theta}_1 = \rho\theta_1 - \frac{\partial H}{\partial k} = \rho\theta_1 - \left\{x^{1-\sigma} \cdot \frac{\beta}{k} + \theta_1\delta(1-u)\right\}$$

$$\dot{\theta}_2 = \rho\theta_2 - \frac{\partial H}{\partial A} = \rho\theta_2 - \left\{x^{1-\sigma} \cdot \frac{1-\beta}{A} + \theta_2\delta(1-u)\right\}$$

最大値原理より，最適制御 u^* は各時点での Hamiltonian を最大にするから，内点解を仮定すれば，

$$\frac{\partial H}{\partial u} = x^{1-\sigma} \cdot \frac{1-\beta}{u} - \theta_1\delta k - \theta_2\delta A = 0$$

を満たさなければならない。すなわち，

$$x^{1-\sigma} = \frac{u^*}{1-\beta}(\theta_1 k + \theta_2 A)\delta \tag{9}$$

が成り立つ。この時，$0<\beta<1$，$0<\sigma<1$ であることに注意すれば，二階条件も満たされることがわかる。実際，

$$\frac{\partial^2 H}{\partial u^2} = \frac{(1-\beta)x^{1-\sigma}}{u^2}[(1-\beta)(1-\sigma)-1]<0$$

である。(9)を θ_1 と θ_2 の微分方程式に代入すれば，

$$\dot{\theta}_1 = \left[\rho - \delta\left(\frac{\beta}{1-\beta}u^* + 1 - u^*\right)\right]\theta_1 - \frac{u^*\delta\beta A}{(1-\beta)k}\theta_2 \tag{10}$$

$$\dot{\theta}_2 = (\rho-\delta)\theta_2 - \frac{u^*\delta k}{A}\theta_1. \tag{11}$$

以上の分析から，最適制御問題の解は，横断性条件

$$\lim_{t\to\infty} k\theta_1 \exp(-\rho t) = 0, \qquad \lim_{t\to\infty} A\theta_2 \exp(-\rho t) = 0$$

とともに(6)，(7)，(10)，(11)の4本の微分方程式を満足しなければならない。これらの最適解のうち，技術進歩率 α が一定であるような径路を考えよう。これは Lucas [8] が最終的に分析している定常成長径路である。

技術進歩率 α を一定とすれば，

$$\alpha = \frac{\dot{A}}{A} = \delta(1-u^*) \tag{12}$$

より，u^* は一定となる。したがって，経済が常に均斉成長径路上にあることに注意すれば，

$$\frac{x}{Au^*} = (1-\beta)\left(\frac{k}{Au^*}\right)^{\beta}$$

の左辺は常に一定であり，x，A，k は同一の率で成長する。

$$\frac{\dot{x}}{x} = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{k}}{k} = \alpha$$

(9)の対数微分をとり，動学方程式を考慮すれば，

$$\begin{aligned}(1-\sigma)\alpha &= \left(\frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + \frac{\dot{k}}{k}\right)\frac{\theta_1 k}{\theta_1 k + \theta_2 A} + \left(\frac{\dot{\theta}_2}{\theta_2} + \frac{\dot{A}}{A}\right)\frac{\theta_2 A}{\theta_1 k + \theta_2 A} \\ &= \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} \cdot \frac{\theta_1 k}{\theta_1 k + \theta_2 A} + \frac{\dot{\theta}_2}{\theta_2} \cdot \frac{\theta_2 A}{\theta_1 k + \theta_2 A} + \alpha\end{aligned}$$

$$= \rho - \delta - \frac{\delta\beta}{1-\beta}u^* + \alpha$$

が得られる。これと自己教育関数(2)より，技術進歩率 α と非余暇時間の分割 u^* が求まる。特に技術進歩率は,

$$\alpha = \frac{\delta - \rho(1-\beta)}{\sigma + \beta(1-\sigma)} \tag{13}$$

となる。

この時，さらに $\delta(1-\sigma) < \rho < \frac{\sigma}{1-\beta}$ が満たされれば，確かに，労働者の非余暇時間の分割 u^* は $0 < u^* < 1$ を満たす。(数式注A参照)　ところで，我々は，効率単位の資本-労働比率が一定である均斉成長径路の分析を行ってきた。生産関数の一次同次性より，この径路上では国民所得の成長率は,

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{L}}{L} = \alpha + n$$

によって定まる。最後に補助変数 θ_1, θ_2 の初期値を正とすれば，u^* を一定に保つような制御は横断性条件を満たしていることも確認できる。(数学注B参照)

均斉成長径路上での効率単位で計った資本-労働比率 $\frac{k}{Au}$ は(5)より,

$$\delta(1-u^*) = s\frac{Au^*}{k}f\left(\frac{k}{Au^*}\right) - n \tag{14}$$

を満たす。新古典派生産関数の性質に注意すれば，均斉成長径路上の物的資本 K と技能を考慮した労働 AL_Y の比は貯蓄率 s の増加関数であることがわかる。(数学注C参照)　効率単位の資本-労働比率が定まれば，利潤率 r も一定になり，資本制経済はこの径路に沿って成長を続けていくことができる。

数学的な展開の結果に経済学的意味づけを与えよう。前節の Uzawa [19] では，均斉成長径路上の技術進歩率は外生的に一定とされた。しかし，Uzawa-Lucas モデルでは (13) を見ればわかるように，技術進歩率は労働者の選好と生産の技術的条件によって内生的に決定される。(13)の右辺は s を含んでいないので，このモデルでは，貯蓄率の変化は技術進歩率にまったく影響を及ぼさない。貯蓄率の変化は (14) で示されるように，もっぱら均斉成長径路上での物的資本と効率単位で計った労働の比率を変化させるだけである。

我々は，Uzawa-Lucas モデルの提示にあたって，モデルの基本的構造が失われない範囲で，資本制経済の基本的特徴に照らして，モデルを若干修正した。モデルの含意が明らかになったので，モデルから得られる諸結果が資本制経済の基本的特徴と整合的かどうか検討しよう。

第一に，このモデルでは，技術進歩率は，所与の生産の技術的条件のもとで，労働者の選好に依存する。それは労働者の供給する労働量が必ず需要されると仮定されているからである(8)。しかし，資本制経済では労働者の希望通りの雇用が常に実現されるとは限らない。別の言い方をすれば，資本制経済では非自発的失業が存在しうる。もし，Ricardo [11] の主張するように資本制経済には利潤率の最

(8)　実は，このモデルは，各労働者が資本家の労働需要関数を知っていることを想定しており，その意味で，労働供給独占が成立しているモデルである。それゆえ，技術進歩率の決定に生産の技術的条件が関与している。注7で触れたような世代重複モデルを作れば，一般的とはいえない労働供給独占を排除することができる。

低限が存在し(9)，しかも，労働者が最も望ましいと考える非余暇時間の分割に対応する均斉成長径路上の利潤率が，資本家の許容できる利潤率の最低限を下回っていたとすれば，資本家は労働者が期待するような雇用を提供することはないだろう。資本制経済では生産の基本的決定を資本家階級が握っているので，この点を無視して，非自発的失業をはじめから排除することはできない。

第二に，資本制経済の技術の特徴は，技術が機械等の物的資本に体化されている点にある。技術が労働者の個人的能力として人間の身体と不可分に結びついているのではなく，機械に体化していたからこそ，機械の所有者である資本家は労働過程において労働の指揮権を確立できたのである(10)。いわゆる「人的資本」理論に基づく技術論は，資本制経済の存続のためには，技術の一般的性格が問題なのではなく，特定の性格を持つ技術が問題であることを見逃している。

最後に，Uzawa-Lucas モデルによれば，貯蓄率の変化は経済成長率に何の影響も与えることもできない。したがって，政府の財政・金融手段による政策介入が結局，貯蓄率の操作に帰着するとすれば，この結論は，経済成長率を高めようとする政策介入は無意味であることを示唆している。もし，経済学が経済成長率を高めるような政策の理論的正当性を求められているとすれば，そのような意図に対して，Uzawa-Lucas モデルはまったく応えていない。

3.2 Learning by Doing Model の展開

技術水準の上昇を労働者の技能の向上と過去の技術の蓄積に結びつけた Uzawa [20]，Lucas [8] に対して，Arrow [1] は，現在の技術水準の上昇を現在までに蓄積された粗投資の総量に結びつけた。Arrow [1] によれば，現在の技術水準の上昇は，経験を通じた学習によって獲得される。経験の指標として，粗投資の累計がとられた。Arrow [1] はこの着想を資本と労働の間の代替を含まない Vintage Model で展開した。Arrow [1] の着想を資本と労働の間の代替を考慮した新古典派成長モデルに組み入れたのは Sheshinski [16] である。

Sheshinski [16] は，Arrow [1] を少し修正して，経験に基づく労働者の熟練 A を純投資の累積，すなわち，資本 K の関数とした。

$$A = K^{\gamma} \qquad 0<\gamma<1 \tag{15}$$

この時，生産関数が，Harrod 中立型の新古典派生産関数，

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

であれば，この生産関数は K と L に関して収穫逓増となる。そこで，所得分配に関する限界生産力説を保持するために Arrow [1]，Shehinski [16] では，資本蓄積が技術の向上に与える影響は生産者にとって外部的であると想定した。第 2 節と同様，Say's law を仮定すれば，

$$I = \dot{K} = sY \tag{16}$$

が成り立つ。人口成長率も一定である

(9) Ricardo [11] p. 122, Kaldor [4] p. 14
(10) Marx [9] p. 403, p. 442, p. 446

$$\frac{\dot{L}}{L}=n$$

(15)から，効率単位で計った一人あたり資本 ℓ の変化は，

$$\frac{\dot{\ell}}{\ell}=(1-\gamma)\frac{\dot{K}}{K}-n \qquad (17)$$

で表される。したがって，効率単位での資本-労働比率を一定に保つ Uzawa[19]の均斉成長径路上では，生産関数の一次同次性により，国民所得の成長率は

$$\frac{\dot{Y}}{Y}=\frac{\dot{K}}{K}=\frac{n}{1-\gamma}$$

となり，さらに，技術進歩率は，

$$\frac{\dot{A}}{A}=\frac{\dot{K}}{K}-\frac{\dot{L}}{L}=\frac{n\gamma}{1-\gamma}$$

となる。一方，この均斉成長径路上での効率単位での資本-労働比率 ℓ^* は，(16)，(17)より，

$$sf(\ell)=\frac{n\ell}{1-\gamma}$$

を満たさなければならない。貯蓄率 s の増加は，均斉成長径路上での効率単位での資本-労働比率を押し上げるが，経済成長率に対してはまったく変化を及ぼさない。(数学注D参照)　この結果は第2節の Uzawa モデル，第3.1項の Uzawa-Lucas モデルとまったく同様である。

それに対して，Romer［13］は，Sheshinski［16］の技術と資本ストックの関係式(15)を以下のように書き換えた。

$$\dot{A}=G(A,\ I)$$

ただし，G は現行の技術水準 A と投資 I に関して収穫一定である。以後，これを Romer の学習関数と呼ぶ(11)。Romer［13］の学習関数と Sheshinski［16］の学習関数とはどのような関係にあるだろうか。Romer［13］の学習関数を特定化して

$$\dot{A}=I^{\mu}A^{1-\mu} \qquad 0<\mu<1 \qquad (15')$$

としよう。学習関数の一次同次性は保持されている。一方，Sheshinski[16]モデルの(15)式を微分すれば，Sheshinski［16］の学習関数

$$\begin{aligned}\dot{A}&=\gamma K^{\gamma-1}\dot{K}\\&=\gamma A^{1-\frac{1}{\gamma}}\cdot I \qquad 0<\gamma<1\end{aligned}$$

が得られる。容易にわかるように，この学習関数は規模に関して収穫逓減である。実際，技術水準 A と投資 I が c 倍（$c>0$）になる時，技術水準の増加は，$c^{2-\frac{1}{\gamma}}$ 倍になり，$0<\gamma<1$ であるから，

$$2-\frac{1}{\gamma}<1$$

(11)　Romer［13］は学習関数について本稿より強い仮定を置いているが，それは，Romer［13］が技術進歩率の決定の問題を最適成長論の枠組みの中で分析しているからである。実際，Romer［13］の学習関数に関するその他の仮定は最適成長路の存在を保証する条件になっている。しかし，資本制経済において人々は，社会全体の生産活動を念頭において通時的消費の最大化を行っているわけではない。第3.1項で述べたように現実の技術進歩率の決定問題は，通時的消費最大化問題とはまったく独立である。

が成り立つ。

結局，Romer［13］が行ったことは，Sheshinski［16］モデルの収穫逓減の学習関数を収穫一定の学習関数に取り替えたことである。

では，Romer［13］が行った変更は，Sheshinski［16］モデルの結論をどのように変えるのだろうか。Sheshinski［16］モデルとの違いを明白にするために，学習効果を社会の総投資量ではなく，一人あたりの投資量の関数と考えよう。

$$\dot{A}=A^{1-\mu}\left(\frac{I}{L}\right)^{\mu} \qquad 0<\mu<1 \tag{18}$$

Romer［13］では人口は一定とされているから，このような解釈は，決して Romer［13］の主張と矛盾しない。

効率単位での一人あたりの資本 ℓ の変化率は，

$$\frac{\dot{\ell}}{\ell}=\frac{\dot{K}}{K}-\frac{\dot{L}}{L}-\ell^{\mu}\left(\frac{\dot{K}}{K}\right)^{\mu} \tag{19}$$

と表せる。均斉成長径路上では，効率単位での資本-労働比率は一定値 ℓ^* をとり，

$$g-n-\ell^{*\mu}g^{\mu}=0 \tag{20}$$

を満足する。ただし，物的資本ストックの成長率を g とおいた。一方，(16)より，

$$g=\frac{\dot{K}}{K}=\frac{sf(\ell^*)}{\ell^*} \tag{21}$$

が導ける。(20)と(21)を解けば 均斉成長径路上での効率で計った資本-労働比率 ℓ^* と物的資本の成長率 g が求まる。(16)を(19)に代入すれば，ℓ に関する微分方程式が得られる。ℓ^* は，この微分方程式の定常解であり，一意に存在し，しかも大域的に安定である。(数学注 E 参照)

(20)からわかるように，資本の成長率 g は人口成長率と生産の技術的条件だけからは決まらず，貯蓄率 s が与えられないと決まらない。今，貯蓄率 s が上昇すると効率単位の資本-労働比率だけでなく，物的資本の成長率 g も高まる。(数学注 F 参照) 生産関数の一次同次性より，資本の成長率は国民所得の成長率に等しいので，貯蓄率の上昇は結局，経済成長率を高めることがわかる。この点が Sheshinski［16］モデルとの最も大きな相違である。均斉成長径路上では，

$$\frac{\dot{K}}{K}=\frac{\dot{A}}{A}-\frac{\dot{L}}{L}$$

が成り立つことに注意すれば，技術進歩 α は，

$$\alpha=\frac{\dot{A}}{A}=g-n$$

と表すことができる。このモデルで貯蓄率の上昇が経済成長率を押し上げた理由は，貯蓄率の上昇が技術進歩率を高めたからである。

Romer［13］は，Sheshinski［16］の規模に関して収穫逓減の学習関数を収穫一定に変えることで，貯蓄率の上昇が均斉成長径路上で経済成長率を高めるようなモデルを作った。Sheshinski［16］モデルだけでなく前項の Uzawa-Lucas モデルにおいても，貯蓄率の上昇は経済成長率に影響を及ぼさ

ないから，このような結論は，Romer [13] 独自のものである。Romer によれば，政府は，貯蓄率を高めるような経済政策をとれば，自国の経済成長率を高めることができる。したがって，Romer[13] の結論は，政府の政策介入に理論的正当性を与えるものである。

我々は，Romer [13] の積極的な側面を最大限に評価するために，彼のモデルから，自給自足的な生産家計 (Household Producer) の消費最大化問題に関する部分を意図的に取り除いた。資本制経済では，一般に生産と消費は別個の主体によって営まれており，消費者は生産に関してわずかな情報しか持っていない。それゆえ，資本制経済の技術進歩を，生産を掌握する消費者家計の通時的な資源配分の結果として説明しようとする方法は，資本制経済を研究の対象とする限り，受け入れることはできない。

もっとも，Romer [13] による最適化問題の利用は主観的には，技術進歩率の変化を，製造業部門と研究開発部門の間の資源配分，特に物的資本の両部門への配分の問題として説明しようと意図したものと推測される。しかし，資本制経済で産業部門間の資源配分を決めるのは，全社会的な計画当局でもなく，また同質的で自給自足的な生産家計 (Household Producer) でもない。資本家と労働者からなる質的に異なった経済主体の諸行動の合成結果が，社会の資源配分を決めるのである。

3.3 Design の生産

製造業部門と研究開発部門の間の資源配分は，自給自足的な生産家計 (Household Producer) の通時的消費最大化の結果としてではなく，異なる経済主体の諸行動の相互作用の結果として導かなければならない。社会的な技術進歩率はその資源配分によって内生的に決定されるだろう。Romer [14] が提出したモデルはこのようなモデルである。Romer [14] のモデルは，以前，彼が不完全にしか定式化できなかった問題意識にはっきりと形を与えた。

経済は二つの部門，製造業部門と研究開発部門からなる。製造業部門は物的な財の生産に携わる。一方，研究開発部門は，物的財にも人体にも体化されない技術，Romer[14]の言葉でいえば，Design の生産に携わっている。

製造業部門から見ていこう。製造業部門の生産関数を特定化して，Cobb-Douglas 型としよう。

$$Y = AK_Y^{\beta}L^{1-\beta} \qquad 0<\beta<1 \tag{22}$$

K_Y は，この部門に投入された物的資本を表す。ただし，物的資本は産出と同質である。K_Y は製造業部門の資本家が所有している。A は，物的財にも労働者にも体化されない技術，Design を示している。技術 A は，物的財にも人体にも体化されないので，物理的な破損や磨滅を受けることはない。製造業部門の企業は生産技術そのものを買い入れ，購入した生産技術にしたがって労働と物的資本を組合せ，物的財を生産する。生産関数(22)を見ればわかるように，より多くの生産技術 (Design) を企業が取得すれば，その分だけ財の生産量は増大する。

技術は，一度買い入れるや決して破損することはないので，製造業部門の企業は，１単位の技術の購入にかかる費用が，その技術１単位の増加がもたらす現在だけでなく未来永劫にわたる総収入の割引現在価値に等しくなる点まで，新技術を購入するだろう。今，技術１単位の価格を p_A としよう。物

的資本 K_Y と労働投入 L 一定のもとで，ある代表的企業が A 単位の技術を購入した時，この企業が得る期待収益の割引現在価値は

$$\int_0^{\infty} \exp(-rt) pYdt - p_A A \tag{23}$$

で与えられる。ただし，r は期待利子率，p は物的財の期待価格を表す。簡単化のために期待利子率 r および物的財の期待価格 p は将来にわたって不変と仮定する。第一項は，代表的企業の期待収入の割引現在価値，第二項は，A 単位の技術の購入費用を表している。企業は期待収益の割引現在価値の最大化を計るから，(23)を微分して 0 とおくと，

$$p_A = \int_0^{\infty} \exp(-rt) p \frac{\partial Y}{\partial A} dt$$

を得る。技術そのものはけっして老朽化しないと仮定しているので，技術の限界生産性も時間の経過によって低下することはありえない。したがって，上の式の右辺はさらに簡単にすることができる。

$$p_A = \frac{p}{r} \cdot \frac{Y}{A} \tag{24}$$

技術一単位の価格 p_A が与えられた時，各企業は(24)が成立するところまで，新技術を購入する。各企業の雇用量は通常の静学的最適化問題を解いて求められる(12)。

$$\frac{w}{p} = (1-\beta)\frac{Y}{L} \tag{25}$$

実質賃金率 $\frac{w}{p}$ と物的財で計った技術一単位の価格 $\frac{p_A}{p}$ が与えられれば，製造業部門の物的財で計った今期の実質利潤 π_Y が決まる。

$$\pi_Y = Y - \frac{p_A}{p}\dot{A} - \frac{w}{p}L \tag{26}$$

次に研究開発部門を考えよう。研究開発部門では，この部門に投入される物的資本 K_A とそれまでの技術の蓄積 A を使って，新しい技術を創造する。物的資本はどちらの部門でも使用可能であると想定される。この部門の生産関数を以下のように特定化しよう。

$$\dot{A} = m\left(\frac{K_A}{K}\right)^{\eta} A \qquad 0 < \eta \leq 1 \qquad m \text{ は一定} \tag{27}$$

この定式化によれば，新技術の開発量は，既存の技術水準一定のもとでは，全社会の資本ストック賦存量のうち研究開発に向けられる割合によって左右される。研究開発に際しては既存の全技術を対価なしに利用できるので，研究開発部門の資本家の物的財で計った実質利潤 π_A は

$$\pi_A = \frac{p_A}{p}\dot{A} \tag{28}$$

である。資本制経済では，特許制度が機能している限り，特定の技術を使って財を生産すれば，その技術の使用に対して特許料を支払わなければならない。しかし，同一の技術を，類似しているが明らかに異なった新技術の開発に使う場合には，特許料を支払う必要はない(13)。その意味で，特許制度の

(12) 今期の雇用量の決定は，来期以降の雇用量にまったく影響を及ぼさないと想定する。
(13) Kennedy and Thirlwall [7] p. 55

ある資本制経済では，Romerが正しく指摘するように，技術は部分的に排除可能な（Partially excludable）財である。

資本家は，製造業部門と研究開発部門の両部門に投資機会を持っており，両部門間の競争の結果，両部門の利潤率は等しくなる。

$$\frac{\pi_Y}{K_Y}=\frac{\pi_A}{K_A} \tag{29}$$

さらに 資本家は保有資本を他企業に貸し付けることもできるので，両部門の均等利潤率は利子率と一致する(14)。

$$r=\frac{\pi_Y}{K_Y} \tag{30}$$

最後に，資本ストックの完全利用を仮定すれば，

$$K=K_Y+K_A \tag{31}$$

が成り立つ。

前節までと同様，国民所得，正確には物的財の一定割合が，社会全体の投資に向けられる。

$$\dot{K}=sY \tag{32}$$

労働も完全雇用され，人口成長率も一定である。

$$\frac{\dot{L}}{L}=n=\text{一定} \tag{33}$$

物的資本ストックK，労働L，現在までの技術の水準Aが与えられた時に，(22)，(24)，(25)，(26)，(28)，(29)，(30)，(31)の8本の方程式が8個の変数

$$\left(K_Y,\ K_A,\ Y,\ \pi_Y,\ \pi_A,\ \frac{p_A}{p},\ \frac{w}{p},\ r\right)$$

を決定し，短期均衡が達成される。両部門間に物的資本が配分されれば，(27)，(32)，(33)より次期の資本ストック，人口と技術水準が決まり，前期の過程が繰り返される。

短期均衡における製造業の利潤は，(26)，(30)より，

$$rK_Y=Y-\frac{p_A}{p}\dot{A}-\frac{w}{p}L$$

と書き直される。同様にして研究開発部門の利潤は，

$$rK_A=\frac{p_A}{p}\dot{A}$$

辺々加えれば，

$$r(K_Y+K_A)=Y-\frac{w}{p}L=\pi$$

が得られる。社会全体の総利潤πは，均等利潤率が成立するように，製造業部門と研究開発部門に分配される。さらに，(25)を考慮すれば，この式は，

$$\frac{K}{Y}=\frac{\beta}{r} \tag{34}$$

(14)　Romer［14］p. 74～p. 76

と変形できる。技術の価格(24)に注意すれば，(28)から(30)の式は，

$$r^2\frac{K}{Y} = m\left(\frac{K_A}{K}\right)^{\eta-1} \tag{35}$$

に集約される。製造業部門の生産関数(22)の両辺を資本ストック K で割れば，

$$\frac{Y}{K} = A\left(\frac{K_Y}{K}\right)^{\beta}\left(\frac{L}{K}\right)^{1-\beta} \tag{22'}$$

が得られる。同様にして，(31)は

$$1 = \frac{K_Y}{K} + \frac{K_A}{K}$$

と書ける。したがって，短期の経済体系は，与えられた物的資本ストック K，労働 L，技術の水準 A のもとで，

$$\left(\frac{K}{Y},\ \frac{K_Y}{K},\ \frac{K_A}{K},\ r\right)$$

の 4 変数を決める 4 本の方程式に整理された。

さて，この経済体系がたどる動学径路のうちで，技術進歩率 α が一定であるような径路を選ぼう。研究開発部門の生産関数(27)からわかるように，このような径路上では，物的資本の両部門への配分は不変である。(34)を使って，(35)から利子率 r を消去すれば，

$$\beta^2\frac{Y}{K} = m\left(\frac{K_A}{K}\right)^{\eta-1} \tag{36}$$

が得られるが，右辺が一定であるから，結局，資本-産出量比率

$$\frac{K}{Y}$$

が一定であることがわかる。この均斉成長径路は，第 2 節の Uzawa の均斉成長径路に対応する。というのは，Uzawa のモデルでは均斉成長径路上で $\dfrac{Y}{K}$ が一定だからである。また，(32)から物的資本の成長率 g が一定であることもすぐわかる。もちろん，この成長径路上で経済成長率は資本の成長率に等しい。だが，本項のモデルでは効率単位での資本-労働比率は一定ではない。

さて，この均斉成長径路上で技術進歩率 α，経済成長率 g はどのような値をとるのだろうか。(22')を整理して，

$$A\left(\frac{L}{K}\right)^{1-\beta} = \frac{Y}{K}\left(1-\frac{K_A}{K}\right)^{-\beta}$$

とし，両辺の対数微分をとると，右辺が一定であることから，

$$\frac{\dot{A}}{A}+(1-\beta)\left(\frac{\dot{L}}{L}-\frac{\dot{K}}{K}\right) = 0$$

すなわち，

$$\alpha+(1-\beta)(n-g) = 0 \tag{37}$$

を得る。研究開発部門に向けられる物的資本の割合 $\dfrac{K_A}{K}$ を y とおこう。研究開発部門の生産関数は，

$$\alpha = my^{\eta} \tag{27'}$$

と書き直せる。一方，(32)と(36)より，経済成長率 g は，

$$g=\frac{smy^{\eta-1}}{\beta^2}$$

と表せる。(27')を使って簡単にすれば，

$$g=\frac{\alpha s}{\beta^2 y} \tag{38}$$

となる。均斉成長径路上では，(37)，(27')，(38)の3本の方程式によって，

$$(g,\ \alpha,\ y)$$

の3変数が決まる。この方程式は明示的に解くことはできない。ただ特別の場合，たとえば $\eta=1$ の場合，すなわち，研究開発部門の生産関数が，

$$\dot{A}=m\left(\frac{K_A}{K}\right)A$$

のような形をとる時，上の方程式系は明示的に解けて，

$$g=\frac{sm}{\beta^2}$$

を得る。経済成長率 g が決まれば，技術進歩率 α は(37)からすぐ求まる。

$$\alpha=(1-\beta)\left(\frac{sm}{\beta^2}-n\right)$$

この特殊ケースでは，経済成長率 g は，前節で検討した Romer [13] のモデルと同様，貯蓄率 s の増加関数である。実は $0<\eta<1$ であるような一般的な場合でも，貯蓄率 s の上昇は，経済成長率 g と技術進歩率 α を高めることがわかる。(数学注G参照)　均斉成長径路上で貯蓄率 s が上がれば，それまで経済が均斉成長径路に沿って成長するために物的生産に向けられた資本ストックの一部を，研究開発部門に振り向けることができる。そのため，研究開発部門では新技術の開発が促進されるのである。

Romer [14] モデルの特徴は，機械設備にも人体にも体化されない技術それ自体を取り扱った点にある。Uzawa-Lucas モデルでも Learning by Doing モデルでも，技術は知的能力や熟練という形で人体と不可分に結びついていた(15)。Design あるいは Knowhow として存在する技術そのものは破損したり磨滅したりすることはない。技術自身のこのような性質から Romer [14] は，技術が企業にとって一種の資産とみなされると考えた。というのは，一度新技術を購入すれば，新技術は将来にわたって，生産の効率を高め，企業により高い収益をもたらしてくれるからである。そこで，製造業部門の資本家は自己の所有する物的資本と技術との選択の問題に直面する。しかも，資本設備の部門間移動は自由だから，製造業部門の資本家は研究開発部門に参入することもできる。だから，この経済の資本家には三つの投資機会が開かれている。第一に研究開発部門の物的投資，第二に製造業部門の物的投資，第三に製造業部門での新技術投資である。競争の結果，それぞれの投資機会に対して等しい収益性が保証される点で，つまり，利潤率が均等する点で短期均衡が成立する(16)。こうして決定され

(15)　Learning by Doing モデルについては，Sheshinski [16] p. 52

(16)　Romer [14] は，人的資本の配分を重視しているように見えるが，人的資本の導入は，彼の本来の意図を不明瞭にするだけである。

た両部門への物的投資の配分が今期の経済成長率と技術進歩率を決定する。我々はこのメカニズムが働く経済の均斉成長径路を分析した。

このモデルでは，前節で展開した Romer [13] の Learning by Doing モデルと同様，貯蓄率の上昇は均斉成長径路上で経済成長率を高める。しかし，Learning by Doing モデルでは，技術進歩は投資決定の単なる副産物であり，資本家の意志決定の結果ではない。本項のモデルでは，その点が改められ，製造業部門と研究開発部門の資本家の投資選択によって技術進歩が行われる。Uzawa-Lucas モデルでは，いわば製造業部門と研究開発部門への労働者の非余暇時間の配分が各期の技術進歩率を決定しているのに対し，Romer [14] モデルでは，両部門への物的資本の配分が技術進歩率を決定している。資本制経済における技術選択，投資決定の主体は資本家であり，そのことを明瞭に意識している点で，本項の Romer [14] モデルは Uzawa-Lucas モデルより優れている。

我々の研究関心は，資本制経済における技術進歩率の決定問題である。だから，Romer [14] モデルがどの程度，資本制経済の基本的特徴を反映しているのかを検討しておく必要がある。

第一に，技術自身が決して破壊されたり磨滅したりすることはないという Romer [14] の主張は，資本制経済では正しくない。確かに技術あるいは知識の一般的性質としては Romer の述べていることは正しい。伝統的な職人芸は，優秀な後継者さえいればそれ自体は決して廃れることはない。しかしながら，資本制経済では非効率的で収益性の低い伝統的な手工業は，より収益性の高い機械制大工業が現れた時，それにとって代わられる。技術は破壊されることはないが，陳腐化し，無意味なものとなる。資本制経済の技術選択が収益性を基準に行われるからである。民族文化の保護という観点からは伝統的な職人芸に価値があったとしても，資本制経済では低い収益しか生まれないような技術は放棄される。したがって，Romer [14] のように技術を永続的な収益をもたらす一種の資産と考えることは資本制経済では誤りである。

第二に，Romer [14] が考察している技術は，資本制経済で一般的だろうか。彼が考えている機械設備にも人体にも体化されない技術とは，たとえば，工場の各種機械や人員の配置のようなものである。使用されている機械や人員はまったく同じでもそれらの配置を変えるだけで，作業の能率を高めることができる。Adam Smith の有名なピン製造業における労働の分割（分業）も Romer [14] の考えるような技術の一例である。

一般に資本制経済における技術は，技術それ自体で存在しているのでもなく，熟練のように人体に体化されているのでもない。技術は機械設備と不可分に結びついている。この事実は，資本制経済の存続にとって非常に重要である。資本制経済の存続のためには，労働者が一般に生産手段から切り離されていることが必要だった。言い換えれば，一般に労働者が資本設備を所有できないことが資本制経済の存続のための必要条件である。今，仮に高い生産性を保証する技術が労働者に体化されているとしよう。その時，各労働者はわずかな資本設備を使うだけで，大量の資本設備を使って生産を行う資本家よりも高い生産性を上げることができ，市場でこれらの資本家を容易に打ち負かしてしまうだろう。そうなれば，巨大な資本設備を一手に握っていることはもはや何の意味もなくなるだろう。生産に関する主要な決定は，大量の資本設備を所有する資本家の手から熟練によって生産性を高めるこ

とのできる労働者の手に移る。資本制経済は崩壊し，別の経済体制にとって代わるだろう。技術それ自体が取引されるとしても，新技術開発が比較的わずかな資本設備で十分可能であるとすれば，同様な事態が発生するだろう。

資本制経済は，どのような形態の技術とも両立可能なものではない。特定の形態の技術，すなわち資本設備に体化された技術が他の形態の技術に比べて効率的である時にだけ，資本制経済は存続しうるのである。いわゆる「人的資本」理論や「知的資本」理論が見落としているのはこのことである。

Romer [14] は，物的資本とも労働とも独立な技術それ自体を資本制経済の代表的技術ととらえたので，彼が物的資本と体化されない技術それ自体との代替を技術進歩率の決定メカニズムに組み入れたのは，ごく自然な展開だった。しかし，資本制経済における代表的な技術が，資本設備に体化された技術であるとすれば，主要な代替関係は，資本と体化されない技術の間の代替関係ではなく，資本に体化された技術と労働の代替関係である。

4．内生的技術進歩論の問題点

本稿では，効率単位での一人あたり資本が一定であるような均斉成長径路上での技術進歩率の決定について，最近，新古典派によってなされた研究の検討を行った。我々が検討してきたモデルは，Uzawa-Lucas モデル，Learning by Doing モデル，Romer [14] モデルの3つである。それぞれのモデルの特徴を要約しておこう。各モデルを特徴づける指標は，第一に，技術選択の主体，第二に，技術進歩率の決定メカニズム，第三に，結論の政策的含意，特に貯蓄率の上昇が経済成長率に与える影響である。

まず，Uzawa-Lucas モデルでは労働者が技術選択の主体である。労働者が一日のうちでより多くの時間を職業訓練にあてれば，労働の熟練度は高まり，技術進歩が促進される。このモデルでは貯蓄率の外生的変化は，労働者の選択に無関係だから，経済成長率に影響を与えない。

Learning by Doing モデルでは，技術選択は資本家の投資決定に完全に従属している。貯蓄率を高めた時，Sheshinski [16] による定式化では，経済成長率は不変にとどまるが，Romer [13] の定式化では，上昇する。

最後に Romer [14] のモデルでは，技術選択の主体は資本家である。技術進歩率は，製造業部門と研究開発部門の間の物的資本の配分によって決定される。貯蓄率の上昇は経済成長率と技術進歩率をともに高める。

3つのモデルは同一の形態の技術を分析しているのではない。Uzawa-Lucas モデル，Learning by Doing モデルが分析しているのは，人体に体化された技術，熟練である。一方，Romer [14] のモデルでは，体化されない技術，Design，あるいは Knowhow である。しかし，資本制経済の存続と両立可能な技術の形態は資本設備に体化された技術である。

数学注

A

労働者の非余暇時間の分割u^*は,

$$u^* = 1-\frac{\delta-\rho(1-\beta)}{\{\sigma+\beta(1-\sigma)\}\delta}$$

したがって，$\delta(1-\sigma)<\rho<\frac{\sigma}{1-\beta}$であれば,

$$0\leq u^*\leq 1$$

となる。

B

実際，この問題の最適成長径路上では，(6)，(10)より,

$$\frac{\dot{k}}{k}+\frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1}-\rho = -\delta\frac{\beta}{1-\beta}u^*<0$$

であるから,

$$\lim_{t\to\infty} k\theta_1 \exp(-\rho t) = 0$$

が言える。同様に

$$\lim_{t\to\infty} A\theta_2 \exp(-\rho t) = 0$$

が導ける。

C

実際，$\tilde{\ell} = \frac{K}{AL_Y}$ とおくと,

$$\frac{d\tilde{\ell}}{ds} = \frac{\tilde{\ell}f(\tilde{\ell})}{s}\cdot\frac{1}{f(\tilde{\ell})-\tilde{\ell}f'(\tilde{\ell})}>0.$$

D

実際,

$$\frac{d\ell}{ds} = \frac{f(\ell)\ell}{s[f(\ell)-\ell f'(\ell)]}>0.$$

E

— 存在 —

新古典派生産関数は以下の条件を満足している。

$$f(0) = 0, \qquad f(\infty) = \infty,$$

$$f'(0) = \infty, \quad f'(\infty) = 0$$

このことと中間値の定理より，動学方程式(19),

$$\dot{\ell} = sf(\ell)-\{sf(\ell)\}^{\mu}\ell-n\ell \qquad (19')$$

には定常解が存在することがわかる。

― 一意性 ―

(19′)の右辺を $\varphi(\ell)$ とおくと,

$$\varphi'(\ell) = sf'(\ell) - \{sf(\ell)\}^{\mu} - \mu\{sf(\ell)\}^{\mu-1} \cdot sf'(\ell)\ell - n.$$

定常解 $\ell^*>0$ での $\varphi'(\ell)$ の 評価は,

$$\varphi'(\ell^*) = -s\frac{f(\ell^*)-\ell^* f'(\ell^*)}{\ell^*} - \{sf(\ell^*)\}^{\mu-1} \cdot s\mu f'(\ell^*)\ell^* < 0$$

となる。これと f の連続性から, ℓ^* の一意性が言える。

― 大域的安定性 ―

f の連続性より, 定常解は $\ell>0$ の範囲で大域的に安定であることがわかる。

F

(20), (21)を全微分して, 行列表示すると

$$\begin{bmatrix} 1-\ell^{\mu}\mu g^{\mu-1} & -\mu g^{\mu-1}g^{\mu} \\ -\ell & sf'(\ell)-g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dg \\ d\ell \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -f(\ell) \end{bmatrix} ds$$

が得られる。係数行列の行列式 D は, (21)を考慮して

$$D = -\frac{s}{\ell}[f(\ell) - \ell f'(\ell)] - \mu s \ell^{\mu} g^{\mu-1} f'(\ell)$$

だから, 負である。ここで $0<\mu<1$ に注意すれば,

$$\frac{dg}{ds} = -\frac{f(\ell)}{D}\mu\ell^{\mu-1}g^{\mu} > 0,$$

$$\frac{d\ell}{ds} > -\frac{f(\ell)n}{Dg} > 0.$$

G

(37), (27'), (38)からなる方程式系を全微分して, 行列表示すると,

$$\begin{bmatrix} 1 & -(1-\beta) & 0 \\ 1 & 0 & -m\eta y^{\eta-1} \\ -s & y\beta^2 & g\beta^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\alpha \\ dg \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha \end{bmatrix} ds$$

となる。係数行列の行列式 D とすれば, $0<y<1$ としているから,

$$\begin{aligned} D &= -s(1-\beta)m\eta y^{\eta-1} + (1-\beta)g\beta^2 + \beta^2 m\eta y^{\eta} \\ &= \frac{\alpha s}{y}(1-\eta)(1-\beta) + \beta^2 m\eta y^{\eta} \\ &> 0. \end{aligned}$$

これより,

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{\alpha(1-\beta)m\eta y^{\eta-1}}{D} > 0,$$

$$\frac{dg}{ds} = \frac{\alpha m\eta y^{\eta-1}}{D} > 0,$$

$$\frac{dy}{ds} = \frac{\alpha(1-\beta)}{D} > 0$$

を得る。

参 考 文 献

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

[2] Burmeister, E and R. Dobell *Mathematical Theories of Economic Growth* (New York: Macmillan, 1970)

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

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

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

[6] Kaldor, N. 'A Comment,' (in Symposium on Production Functions and Economic Growth), *Review of Economic Studies*, Vol. 29, 1962, pp. 246-250.

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

[8] Lucas, R. E. Jr., 'On the Machanics of Economic Development,' *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, 1988, pp. 3-42.

[9] Marx K. 『資本論』第一巻，岡崎次郎訳　(国民文庫，大月書店　1972)

[10] 置塩信雄他『経済学』，(大月書店，1988)

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

[12] Rebelo, S. 'Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth,' *Journal of Political of Economy*, Vol. 99, 1991, pp. 500-521.

[13] Romer, P. M. 'Increasing Return and Long-run Growth,' *Journal of Political Economy*, Vol. 94, 1986, pp. 1002-1037.

[14] Romer, P. M. 'Endogenous Technical Change,' *Journal of Political Economy*, Vol. 98, 1990, pp. 71-102.

[15] Show, G. K. 'Policy Implications of Endogenous Growth Theory,' *Economic Journal*, Vol. 102, 1992, pp. 611-621.

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

[17] Solow R. M. 'A Contribution to the Theory of Economic Growth,' *Quartary Journal of Economics*, Vol. 70, 1956, pp. 65-94.

[18] Stern, N. H. 'The Determinants of Growth,' *Economic Journal*, Vol. 101, 1991, pp. 122-133.

[19] Uzawa, H. 'Neutral Inventions and the Stability of Growth Equilibrium,' *Review of Economic Studies*, Vol. 28, 1961, pp. 117-124.

[20] Uzawa, H. 'Optimal Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth,' *International Economic Review*, Vol. 6, 1965, pp. 18-31.