知　識　と　成　長

片　山　尚　平

（受付　2008 年 10 月 10 日）

1. は　じ　め　に

1980年代後半以降，ローマーやルーカスの画期的な論文を嚆矢として経済成長あるいは経済成長理論に関する研究が盛んになり，膨大な量の経済成長関連の文献が公刊されてきた。多くの研究者が熱心にこの問題に取り組んできた一因として，経済成長は国民の厚生や一国の浮沈にかかわる重大な現象であること，そして特に少子高齢化，資源の枯渇化や環境問題が進展する世界経済においてそれを克服して持続的な成長をもたらしうる新たな理論が求められているといった時代背景があげられる。

確かに，持続的に経済が成長する国と経済成長がなく低迷している国とでは，十年，二十年と時間が経過するにつれて実質 GDP 等の格差が顕著に拡大する。発展途上国においても成長を遂げる国と停滞する国とが存在し，生活水準及びその向上が一様でない。また，当初富裕であった国でも低成長の期間が長く続くと当初は貧しかったけれども高成長を遂げた国に実質 GDP 等において逆転されるという現象も時折見られる。前者の国の例として，アルゼンチン，スペインやフィリピン等が，後者の国の例として日本，韓国や台湾等があげられる。

実際，諸国間の経済成長率は多様であり，まとまりがないように見える。そこで，観察される諸国間の収束現象や世界経済の長期的な成長趨勢と整合的な経済成長理論の構築が望まれた。そこで，ラーニング・バイ・ドゥーイングあるいは資本の外部性，教育あるいは人的資本や R&D 等に注目し，それらを基盤とした新しい成長理論が次々に登場してきた。それらは長期の経済成長率を内生的に説明することを主目的としており，内生的成長理論とも呼ばれる。

本稿の主な目的は，現代の経済成長の諸理論のうちソローに代表される伝統的な新古典派成長理論と近年最も注目されているローマーに代表される R&D に基づく内生的成長理論を取り上げ，比較検討等を通じてそれらを理論的に整理し，そして二つの理論の特徴等を明らかにすることである。さらに，長期の各国の経済成長過程により良く適合するモデルとして二つの成長理論を統合したモデルを提示し，それを用いて均斉成長経路の安定性や政策効果等をモデル分析することである。

本稿の構成は，以下のとおりである。次の第２節では，日本経済，諸国の研究開発投資や知識水準の実態そして主要な二つの成長理論がその意義も含めて簡潔に説明される。第３節では，新古典派成長モデルと R&D に基づく成長理論を統合したモデルが提示され，説明される。そして第４節では，そのモデルにおける均斉成長経路とその安定性を検討し，貯蓄率等のパラメーター変化の成長経路への影響が考察される。第５節は結論部分であり，本稿の内容を要約し，今後の課題を示す。

2.　研究開発投資・知識の実態と二つの代表的な成長理論

我が国は，戦後の復興を終えて国際経済に復帰した1955年頃から1970年代にかけて，年率10％を超える経済成長を達成した。その間1968年にはアメリカに次ぐ世界第２位の経済大国となった。そしてわが国の経済システム，製造業における技術力や国際競争力は世界各国により賞賛され，高く評価された。

しかし，我が国経済において1990年代初めにバブルが崩壊し，バブル景気あるいは平成景気が終焉し，その後2002年まで経済成長は停滞した。特に財政の引き締めの影響やアジア金融危機の発生に伴い1998年には大手金融機関が破綻し，マイナス成長を記録した。2002年から穏やかな景気回復そして景気上昇が生じたが，それらは都市部や大企業が中心であり，日本中にいきわたることもなかった。その間，労働分配率が低下し，この景気回復・景気上昇は国民に広く生活の改善を実感させるものでもなかった。

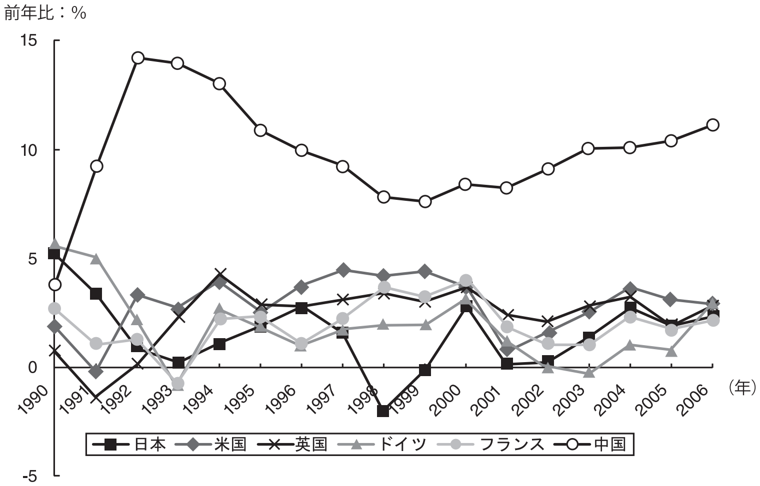
長らく我が国は不況状態にあり，1990年（平成２年）以降の10年間の平均経済成長率は，OECD 加盟国の中でも最低にとどまった（図１）。経済成長率が低迷したため，人口一人当たりの GDP は2000年（平成12年）の世界第３位から順位を下げ続け，2006年（平成18年）には世界第18位まで順位を落とした。主要国の順位がほとんど変わらない中で，我が国の順位だけが急落を続けている（図２）。また，我が国の GDP が世界経済に占める割合も，1994年（平成６年）の17.9％から2006年（平成18年）の9.1％へと半減した。

長期経済成長の要因を分析する成長会計あるいは成長勘定によれば，実質 GDP の成長率は資本の増加が寄与する部分，労働の増加が寄与する部分と全要素生産性（MFP あるいは TFP）の上昇が寄与する部分の和である。全要素生産性は，資本の投入及び労働の投入以外のイノベーションの進展などを考慮したものである。

1995年（平成７年）から2004年（平成16年）の我が国の経済成長率及びその寄与の推移を見ると，諸外国に比べて労働力と MFP の占める寄与度が小さい傾向にある。よって，この間我が国では経済成長にイノベーションがあまり寄与しなかったと想定される。一方，対照的に，アメリカではイノベーションが大きく経済成長に寄与したことが推測される（図３）。

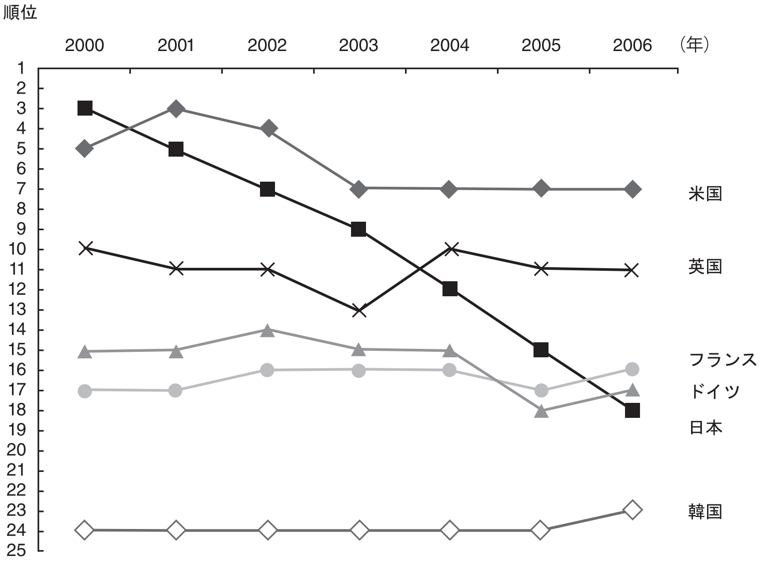
また，1993年（平成５年）に世界第１位であった我が国の国際競争力も少子高齢化による労働力人口の減少等が影響し2007年（平成19年）には24位に転落している[1)]。

経済成長をもたらすのは，労働力の増加，資本ストックの増加そして技術進歩（全要素生



出所）文部科学省『平成20年版科学技術白書』

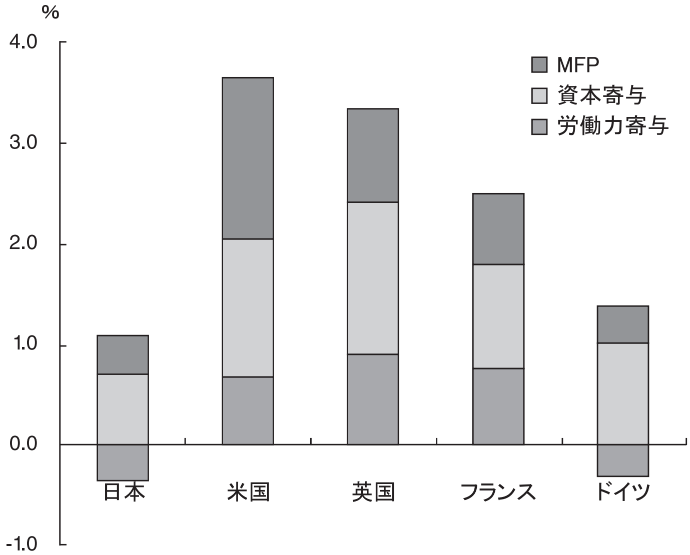
図１　1990～2000年代における主要国の実質 GDP 成長率の推移



出所）文部科学省『平成20年版科学技術白書』

図２　OECD 諸国の一人当たり国内総生産（名目 GDP）の順位

1)　スイスの国際経営開発研究所（IMD）が調査・公表したものである。



出所）文部科学省『平成20年版科学技術白書』

図 3　主要国の経済成長率（1995－2004）

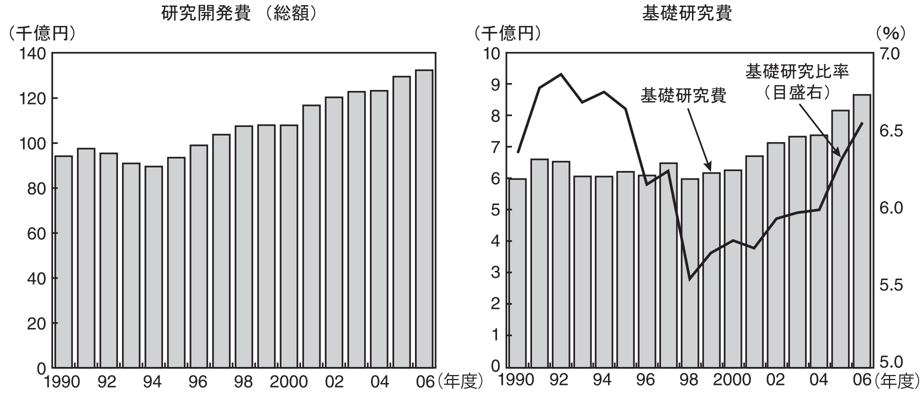
産性の上昇）である。まず，労働投入は今後少子高齢化が進み減少することが予想され，それは経済成長に対してマイナスに寄与し続ける可能性がある。資本ストックの伸び率も労働力率の向上がなければ抑制されることが見込まれ，資本蓄積が経済成長にもたらす寄与もさほど期待できない。技術進歩についても，人口減少を迎える我が国では技術進歩を生み出す労働者数が減少し，技術進歩が今後の経済成長を高める原動力にはなりにくいという見方もある。

一方，技術進歩や国際競争力の向上をもたらす研究開発投資については，幸いにも我が国の研究開発費の GDP 比は先進国の中でも高くなっている。我が国では長期的視野に立ちリスクテイクを必要とする研究開発の多くを企業部門の応用研究，開発研究が担っている。2001年度以降企業の研究開発費は着実に増加してきており，研究開発費の内訳では基礎研究費が占める比率が高まってきている（図４）。

さて，現代の支配的な成長理論として新古典派成長理論と R&D に基づく内生的成長理論[2)] があげられる。前者の代表的文献は，Solow（1956）と Swan（1956）である。ソロー等の新古典派成長理論の骨子は以下のようなものである。

まず，生産は企業が資本と労働を投入して行い，一次同次の生産関数が用いられる。規模に関して収穫不変で各生産要素の限界生産性はプラスであるが，限界生産性は生産要素の投入とともに逓減する（収穫逓減）。すべての市場が競争的であると想定され，生産物市場と

2)　初期の代表的な内生的成長理論の文献として，資本の外部性に基づく Romer（1986）があげられる。



（備考）1. 総務省「科学技術研究調査報告」により作成。
2.「企業等」の「自然科学に使用した研究費」の値。1996年度，2001年度に調査対象を拡大している。
3. 実質値。基礎研究比率は，研究費総額に占める割合。
出所）内閣府『平成20年版経済財政白書』

図 4　基礎研究比率の推移

生産要素市場は均衡する。よって，既存の資本ストックと労働は完全に利用され，家計の貯蓄はすべて企業の投資資金として利用される。

次式で示されるように，資本ストックは所得に依存する貯蓄（投資）を通じて増加し，資本減耗を通じて減少する。

$$\dot{K} = sY - \delta K \tag{1}$$

ここで，K, s, Y, δ はそれぞれ，資本ストック，貯蓄率，産出（所得），資本減耗率を表している。なお，$\dot{K}$ は K の時間変化率 (dK / dt) を表している。また，貯蓄率と資本減耗率は正の定数である。

また，単純化のため，以下では人口の増加率はゼロとし，労働投入は一定であるものとする。そのようなモデルは結局資本ストックに関する一つの成長方程式に縮約され，単に既存の資本ストックの水準が資本ストックの増加分を決定する。

当初，資本ストック水準が少なく貯蓄（投資）が資本減耗を上回り，資本ストックが増加していくとしても，資本ストックが増大していくとその収穫逓減のため，やがて資本減耗が貯蓄（投資）の水準に追いつく。この時点で資本ストックの増加は止み，資本ストック水準は固定し，定常状態となる。一定の労働投入の下で資本ストックが定常状態水準で固定すれば産出水準も一定となり，産出の成長が止まる。また，定常状態への移行過程では，経済が定常状態に近づくにつれ，その資本ストック及び産出の成長率は徐々に小さくなりゼロに接近する[3)]。

3） Mankiw etc.（1992）は，新古典派成長理論を用いて諸国間の収束を考察した代表的文献である。

このようにソロー等の新古典派成長理論においては，技術進歩がなければ長期的に実質 GDP あるいは一人当たり実質 GDP は成長せず，一定となる。そこで，彼らのモデルで長期的な成長を説明する場合，外生的なハロッド中立的な技術進歩が導入されることになる。すると，実質 GDP あるいは一人当たり実質 GDP はある与えられた外生的な技術進歩率で成長を遂げることになる。資本ストックも産出の成長と同様に所与の技術進歩率で長期的に成長し，この場合の定常状態は均斉成長経路を意味する。

次に，現在最も注目を集めているローマー・モデル[4] を要約する。ただし，単純化のため，資本ストックは捨象する。ローマー・モデルでは，二つの生産関数が存在する。一つは物の生産に対する次のような生産関数である。

$$Y = AL_y^{1-\alpha} \tag{2}$$

ここで，Y, A, L_y は，それぞれ産出量，技術知識（アイデア），産出物生産のための労働投入を表している。α は 0 と 1 の間の正の定数である。資本ストックを含まない点を除いて通常の生産関数によく似たこの生産関数において，労働に関しては収穫逓減となるが，技術知識と労働に関しては収穫逓増となる。

知識ストックは非競合財であり，誰でもどこでもそれを同時に利用することができる。例えば，所与の技術知識の下で生産ラインを複製すれば生産を $2^{1-\alpha}$ 倍に増やすことができる。したがって，労働と知識の投入が一緒に 2 倍になれば，それによってもたらされる生産量は明らかに 2 倍以上になる。

もう一つの生産関数は技術知識あるいはアイデアの生産を表し，

$$\dot{A} = zAL_a \tag{3}$$

として記される。$\dot{A}, z, L_a$ は，それぞれ A の時間変化率，知識生産関数の生産性（正の定数），知識生産のための労働投入を表している。知識の増加は，既存の知識ストックと知識の生産に投入される労働量に依存する。知識ストックと労働投入が大きいほど，知識の増加分は大きくなる[5]。

技術知識あるいはアイデアは非競合財であり，所与の技術知識のある人の利用は他の人によるその知識の利用を妨げない。すなわち，知識は一般の物とは異なり，同時に多くの人が同じ知識を利用することができる。それで，知識の生産は知識に関して収穫逓減を示すのではなく，収穫不変と想定され，そして知識ストックの指数は 1 に想定されている。

労働量は一定と仮定され，それが産出物の生産と知識の生産に振り向けられる。知識の生

4）オリジナルな文献は，技術進歩が資本財の種類の拡大を通じて現れる Romer（1990）である。Aghion & Howitt（1992), Aghion etc.（2004）や Grossman & Helpman（1991）は財の質の改善からなるシュンペーター型の技術進歩を想定している。

5）Jones（1995）では準内生的成長モデルが考察されているが，(3)式右辺で A の代わりに，A^{ϕ}（$0 < \phi < 1$）を想定している。

産に向ける比率 l が決定すれば，産出物の生産に向かう労働比率は $1-l$ と決定する。その結果，知識の生産に投入される労働量と産出物に投入される労働量は労働人口の大きさに比例する。

(3)式から，知識の成長率 $\dot{A}/A$ は生産性 z と知識生産の労働投入量 L_a の積である。また，L_a は l と労働人口の積であったので，知識の成長率は，生産性，知識の生産に向けられる労働比率と労働人口の積となる。そしてこの生産性，知識の生産に向けられる労働比率や労働人口が大きいほど，知識の成長率は大きくなる。

(2)式より，労働人口一定の下では知識の成長率と産出の成長率は同じであり，単純化したローマー・モデルでは均斉成長の定常状態が実現する。産出あるいは一人当たり産出の成長率は，生産性，知識の生産に向けられる労働比率や労働人口が大きいほど，大きくなる。なお，ローマー・モデルでは，ソロー・モデルで見られた定常状態への移行過程は考慮せず，経済成長率は常に一定であり，経済は始めから均斉成長経路上の定常状態にある。

3. ソロー・モデルとローマー・モデルの統合

ソロー・モデルは長期的な成長率は外生的とみなし，それを説明しないけれども，定常状態への移行過程中の成長率の変遷を良く説明する。一方，ローマー・モデルでは，長期的な成長趨勢はモデル内で良く説明されるけれども，定常状態（均斉成長経路）へ移行中の成長率変化は説明しない。現実には諸国は世界的な長期の定常状態（均斉成長経路）に向かって移行中であり，諸国の成長現象を説明するには移行過程を含むソロー・モデルと長期の成長率を内生的とするローマー・モデルを統合する必要がある。

統合モデルは，ソロー・モデルにおける成長の原動力である資本蓄積とローマー・モデルで持続的な成長をもたらす知識（アイデア）の生産を含む。統合モデルには，5 個の方程式と 5 個の未知数が存在する。以下で記す最初の 2 つの方程式はソロー・モデルの主要な方程式であり，最後の 3 つの方程式がローマー・モデルから導入される。なお，統合モデルの原型はジョーンズ・モデルである[6)]。

第一の方程式，産出物に対する生産関数は資本等を含み，次式で与えられる。

$$Y = AK^{\alpha}L_y^{1-\alpha} \tag{4}$$

産出物を生産するために，資本と労働が投入物として用いられる。資本と労働に関しては通常のように収穫不変が存在する。ローマー・モデルでは，知識もインプットである。知識は

6) 本節の統合モデルの導出・分析は，Jones（2001），（2008）を参考にした。Weil（2005），片山（2006）で展開された統合モデルはさらにシンプルなモデルである。また，足立（1996）は，ローマー・モデルの移行過程を考察している。

非競合的であるため，知識，資本と労働をインプットとして一緒にした場合にはそれらに関して収穫逓増が存在する[7]。

第二の方程式はソロー・モデルと同じものであり，資本蓄積に対する方程式である。(5)式は，時間を通じた資本の蓄積過程を述べる。

$$\dot{K} = sY - \delta K \tag{5}$$

ここで，貯蓄率（投資率）s と資本減耗率 δ はソロー・モデルと同様に外生的に与えられる正のパラメーターであると仮定する。資本ストックの変化は，純投資，貯蓄（投資）引く資本減耗に等しい。

第三の方程式，(6)式は新しい知識の生産に対する方程式である。

$$\dot{A} = zAL_a \tag{6}$$

新しい知識は，既存の知識 A と研究者 L_a を使って生産される。z は正の生産性を構成するパラメーターであり，zA が研究者の生産性，すなわち新知識の発見率となる。単純化のため，この生産関数に資本ストックが省かれているが，資本ストックを導入しても結論に大きな影響を及ぼさないであろう[8]。

第四の方程式，(7)式は，資源制約条件を意味する。労働は産出物の生産と新知識の創出のどちらかに向けられる。したがって，産出物を生産する労働者数と知識を生産する研究者数の和が総人口に等しいことを示す。

$$L_y + L_a = L \tag{7}$$

ここで，我々は，総人口 L は一定であり，正のパラメーターであると仮定する。総人口の数から研究に携わる者の数を差し引いた残りは，産出物の生産に携わる者の数である。

最後の方程式，(8)式は総人口の労働と研究への配分に関わる。

$$L_a = lL \tag{8}$$

この式は，総人口の一定比 l が研究者として働くことを表している。それは総人口のうち $1\text{-}l$ の比が産出物を生産するために働くことを意味する。

上で説明された統合モデルには，(4)式～(8)式より構成される5個の方程式と5個の未知数（内生変数）が存在する。ここで，説明の便宜上，新しい変数を導入し，それを

$$e = A^{1/1-\alpha} \text{ あるいは } e^{1-\alpha} = A \tag{9}$$

と定義する。すると，5個の未知数は，産出 Y，資本 K，知識を表す新変数 e，労働者 L_y と研究者 L_a である。表1は新変数を導入した後の統合モデルの骨子である。

7）　一旦研究開発費を投じて新知識が発明されたら，以後の産出物の生産の増加は単位当たり固定費用の低減のため平均費用が減少し，規模の経済性が実現する。この点について，例えば Jones（2001）を参照されたい。

8）　片山（2008）では，技術知識が政府の研究開発投資を通じて生み出される成長モデルが考察されている。

表1　統合モデル：5方程式と5未知数

未知数（内生変数）：	Y,K,e,L_y,L_a	
産出物生産関数	$Y=K^{\alpha}(eL_y)^{1-\alpha}$	(4′)
資本蓄積式	$\dot{K}=sY-\delta K$	(5)
知識生産関数	$\dot{e}=\frac{1}{1-\alpha}zeL_a$	(6′)
資源制約	$L_y+L_a=L$	(7)
労働配分	$L_a=lL$	(8)
パラメーター：	α,s,δ,z,L,l	

さて，我々はモデルを解いて GDP の成長率を求めよう。生産関数(4′)式から

$$g_Y=(1-\alpha)g_e+\alpha g_K+(1-\alpha)g_{Ly} \tag{10}$$

という関係式が導出される。この成長勘定式において，g_Y, g_e, g_K, g_{Ly} は，それぞれ $g_Y=\dot{Y}/Y$, $g_e=\dot{e}/e$, $g_K=\dot{K}/K$, $g_{Ly}=\dot{L}_y/L_y$ である。

我々は総人口 L とその研究者への配分比 l は一定であると仮定したので，(10)式右辺の第3項はゼロである。よって，(10)式の成長勘定式は

$$g_Y=(1-\alpha)g_e+\alpha g_K \tag{11}$$

と書き換えられ，産出の成長率は知識の成長率と資本の成長率の加重平均となる。

次に，g_e の成長率であるが，(6′)式と(8)式を適用して，

$$g_e=\frac{1}{1-\alpha}zlL \tag{12}$$

と書き表すことができる。結局，知識の成長率 g_e は $1/1-\alpha$，生産性パラメーター z，研究者／総人口 l と総人口 L の積となる。

また，g_K については，(5)式を K で割ることによって，

$$g_K=\frac{\dot{K}}{K}=s\frac{Y}{K}-\delta \tag{13}$$

が導かれる。均斉成長経路上では，g_K は一定であるから，変数 Y/K も一定にならなければならない。つまり，均斉成長経路上で $g_K{}^*=g_Y{}^*$ が成立する。ここで，$*$ は均斉成長経路を意味している。

さらに，(11)式にこの $g_K{}^*=g_Y{}^*$ という関係と(12)式を適用して整理した結果，

$$g_Y{}^*=g_e=\frac{1}{1-\alpha}zlL \tag{14}$$

が求められる。よって，均斉成長の成立 $g_K{}^*=g_Y{}^*=g_e$ が導かれるが，これは長期の産出の成長率

が技術知識の成長率 g_A よりも $1/1-\alpha$ 倍速く成長することを意味する。この $g_K{}^* = g_Y{}^* = g_e > g_A$ という結論の背後には，技術知識 A の成長 g_A が直接的に産出の成長をもたらすだけでなく，産出の成長を通じて資本の成長が誘発されるという間接的な効果を持つことに起因する（(11)式参照)。

最後に，均斉成長経路に沿った一人当たり産出を求めよう。(13)式より，均斉成長経路上では

$$g_Y{}^* = s\frac{Y^*}{K^*} - \delta$$

が成立し，これを K^* について解くことにより，

$$K^* = \frac{sY^*}{g_Y{}^* + \delta}$$

が得られる。K^* のこの値を生産関数(4′)式に代入し，整理すると

$$y_t{}^* = \frac{Y_t^*}{L} = e_t\left(\frac{s}{g_Y{}^* + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}(1-l) \tag{15}$$

が導出される。

(15)式から，均斉成長経路上で，知識ストック e_t の成長が一人当たり産出 $y_t{}^*$ の持続的上昇をもたらすことが分かる。また，貯蓄率（投資率）s の上昇が均斉成長経路に沿った一人当たり産出を増加させる一方，資本減耗率 δ 及び研究者／総人口 l の上昇が均斉成長経路に沿った一人当たり産出を減少させることも分かる。後者の上昇が均斉成長経路上で一人当たり産出の減少をもたらすのは，産出物の生産に従事する労働者数が減少するからである。

4.　統合モデルの安定性と移行動学

周知のように，ソロー・モデルでは資本に対する収穫逓減により移行動学が存在する。例えば，定常状態において貯蓄率（投資率）が永続的に上昇したとき，定常状態の一人当たり産出および資本の水準が増加する。そこで，一人当たり産出と資本の成長が発生し，一人当たり産出と資本は新たな定常状態水準へと接近していく。この間，資本に対する収穫逓減のため，一人当たり産出と資本の成長率は徐々に低下し，やがて新たな定常状態に達した段階でそれらはゼロとなる。

さて，我々は，ジョーンズがほとんど行っていないソロー・モデルとローマー・モデルを統合したモデルの安定性等を分析する。体系は表 1 として要約されたが，(7)式と(8)式を使って得られる L_a と L_y を(4′)式と(6′)式に代入すると，体系は(16)～(18)の三つの式，三つの内生変数，Y, K, e に縮約される。

$$Y = K^{\alpha}\{e(1-l)L\}^{1-\alpha} \tag{16}$$

$$\dot{K} = sY - \delta K \tag{17}$$

$$\dot{e} = \frac{1}{1-\alpha} zelL \tag{18}$$

結局，統合モデルの動学体系は，これらの三つの式によって記述される。初期において資本ストック K と知識 e が与えられると，生産関数(16)式を通じて産出 Y が決定する。そうすると(17)式にしたがって，資本ストック K が変化する。同時に知識 e が(18)式にしたがって変化する。この変化を受け，再び(16)式を通じて産出 Y が調整される。このような過程を繰り返して，三つの変数は時間を通じて変動する。

さて，我々は，この経済の縮約体系に基づいてその安定性及び移行動学（パラメーター変化の効果）を考察する。体系(16)式〜(18)式において，新しい変数 $\tilde{y} = Y / eL, \tilde{k} = K / eL$ を導入すると，体系は

$$\tilde{y} = \tilde{k}^{\alpha}(1-l)^{1-\alpha} \tag{19}$$

$$\dot{\tilde{k}} = s\tilde{y} - (\frac{\dot{e}}{e} + \delta)\tilde{k} \tag{20}$$

$$\frac{\dot{e}}{e} = \frac{1}{1-\alpha} zlL \tag{21}$$

と書き換えられる。さらに，(19)式，(21)式から(20)式へ代入を行うと，体系が

$$\dot{\tilde{k}} = s(1-l)^{1-\alpha}\tilde{k}^{\alpha} - (g_e + \delta)\tilde{k} \tag{22}$$

という成長方程式にまとめられる。ここで，右辺第二項の g_e は

$$g_e = \frac{\dot{e}}{e} = \frac{1}{1-\alpha} zlL$$

で定義される。

図５は，(22)式に対応する図である。図より，均斉成長経路 $\tilde{k}^*$ が大域的に安定であることがわかる。また，(22)式の両辺を $\tilde{k}$ で割ることにより，$\tilde{k}$ の成長率

$$\frac{\dot{\tilde{k}}}{\tilde{k}} = s(1-l)^{1-\alpha}\tilde{k}^{\alpha-1} - (g_e + \delta) \tag{23}$$

が導かれる。そして，この成長率を $\tilde{k}$ で微分した結果，

$$d\frac{\dot{\tilde{k}}}{\tilde{k}} / d\tilde{k} = s(1-l)^{1-\alpha}(\alpha-1)\tilde{k}^{\alpha-2} < 0$$

が成立するので，均斉成長経路が大域的に安定であることが代数的に確認される（図６）。

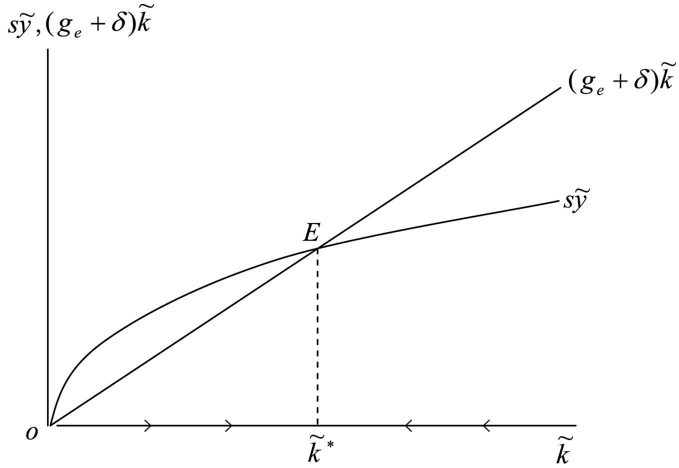


図 5 体系の安定性（**a**）

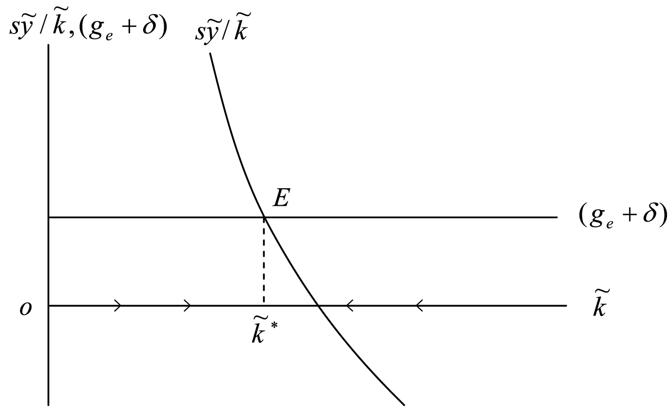


図 6 体系の安定性（**b**）

貯蓄率（投資率）s の上昇は，図 5 と図 6 の曲線を共に上方へシフトさせ，均斉成長経路を表す点を E から E' へ変える。その結果，$\tilde{k}^*$ が増加する。旧均斉成長経路 $\tilde{k}_0^*$ から新均斉成長経路 $\tilde{k}_1^*$ へ移行中，一人当たり資本ストック k と一人当たり産出 y の成長率は一時的に高まるが，やがて均斉成長経路上の成長率 g_e へ収束する。

貯蓄率上昇の結果は図 7 に要約されている。t_0 は貯蓄率上昇が生じた時点を表している。まとめれば，貯蓄率の変化は一人当たり産出水準を恒久的に変化させる水準効果を持つが，一人当たり産出水準の成長率を恒久的に変化させる成長効果は持たないといえる。なお，他のパラメーターが変化した場合にも図 7 のような図を描くことができるが，冗長となるので省略する。

資本減耗率 δ の上昇は，図 8 と図 9 において，$(g_e+\delta)\tilde{k}$ 線を反時計回りに回転させ，そして $g_e+\delta$ 線を上方へ移動させる。均斉成長経路を表す点が E から E' へ変わり，$\tilde{k}^*$ が減少

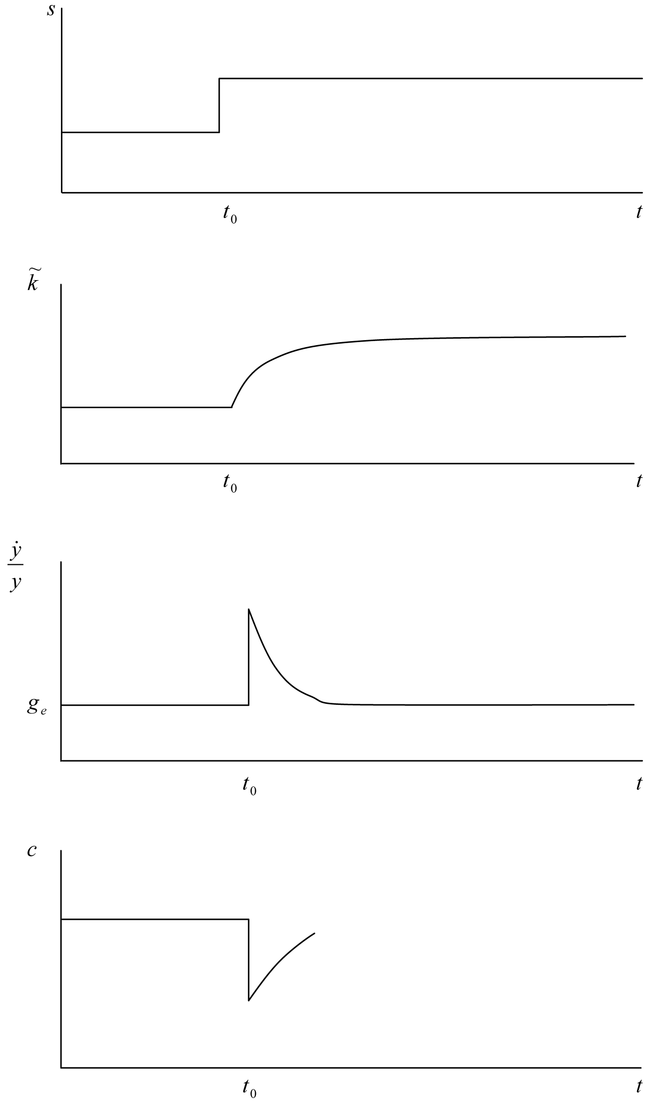


図 7　貯蓄率（投資率）上昇の効果

する。移行中，一人当たり資本ストック k と一人当たり産出 y の成長率は一時的に下落する。まとめれば，資本減耗率の変化も水準効果を持つが，成長効果は持たないといえる。

知識生産の生産性パラメーター z あるいは労働人口 L の増加は，g_e の増加をもたらし，δ の上昇と同じ質的・定性的効果を持つ。ただし，これらの増加によって $\tilde{k}^*$ が減少したとしても，g_e は増加しているので，新均斉成長経路上では，一人当たり資本ストック k と一人当たり産出 y の成長率は上昇する。まとめれば，知識生産の生産性パラメーターあるいは労働人口の変化は成長効果を持つといえる。

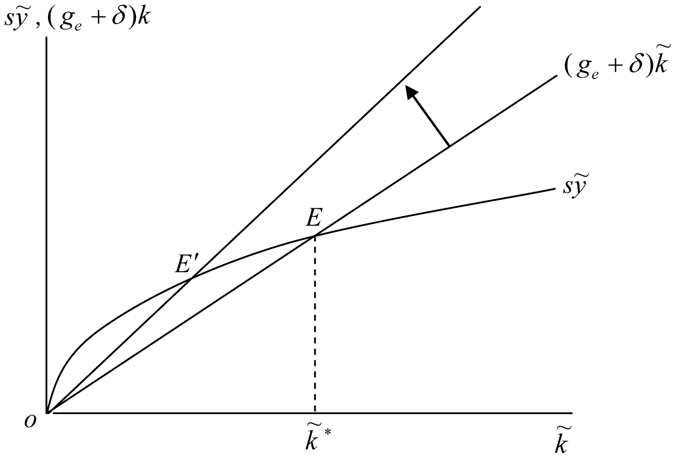


図 **8**　資本減耗率上昇の効果（**a**）

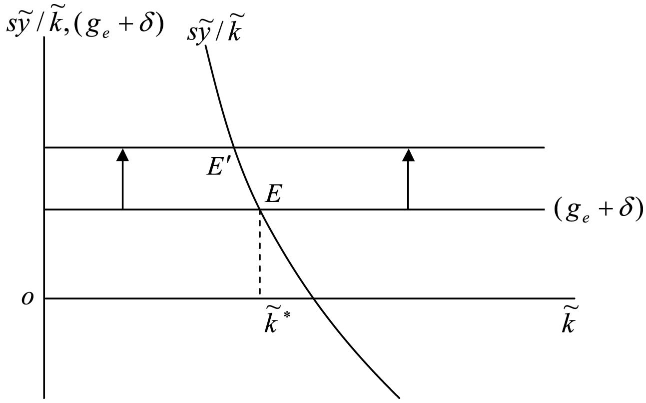


図 **9**　資本減耗率上昇の効果（**b**）

研究者比率 l の上昇は，$(g_e+\delta)\tilde{k}$ 線を反時計回りに回転させ，$\tilde{y}$ と $s\tilde{y}/\tilde{k}$ 曲線を下方へシフトさせ，そして $g_e+\delta$ 線を上方へ移動させる（図10と図11）。この結果，一人当たり資本ストック k と一人当たり産出 y の成長率は一時的に下落し，そして $\tilde{k}^*$ が減少する。一方，g_e は増加するので，新均斉成長経路上の一人当たり資本ストック k と一人当たり産出 y の成長率は上昇する。

なお，$d\tilde{k}^*/dl<0$ という結論は，(22)式あるいは(23)式の左辺を 0 として，それに均衡の近傍で全微分の演算を行うことによって代数的に確認することができる。まとめとして，研究者比率の変化は成長効果を持つといえる。

移行動学の原理はソローモデルで諸国間の成長率の差を理解するための鍵であったが，この節の統合モデルにおいてもその原理は適用される。統合モデルは，世界中の知識の発見に

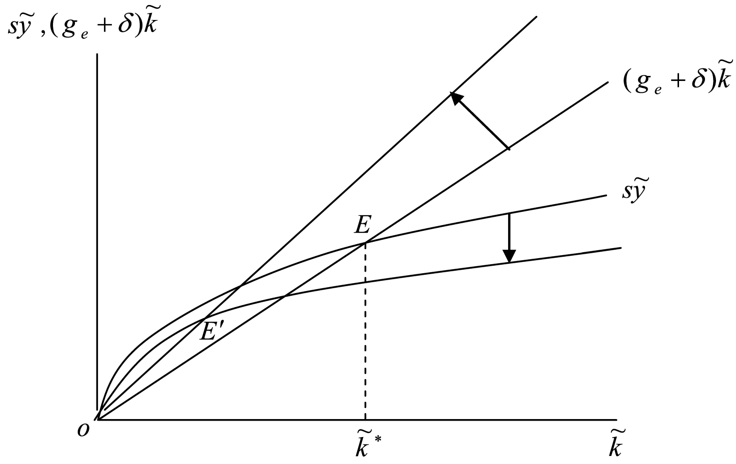


図10　研究者比率上昇の効果（**a**）

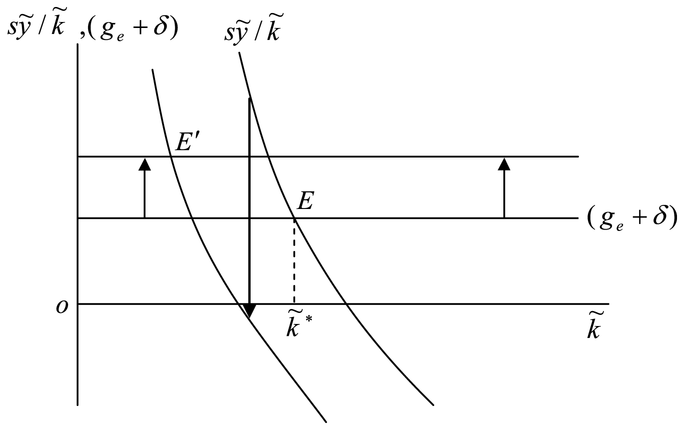


図11　研究者比率上昇の効果（**b**）

よって生み出される技術フロンティアでの長期成長の理論と移行動学に基づく諸国間の成長率の差の理論から構成される。

統合モデルにおいて，長期的には，すべての国が世界知識の成長率 $g_e(=\frac{1}{1-\alpha}g_A)$ によって決定される同率の成長率で成長することが予測される。しかしながら，収束には長期間を要すると考えられ，現実には，必ずしもすべての国が均斉成長経路に達しているわけではない。均斉成長経路からの乖離の度合いが一様でないという事実に基づいて，我々は諸国間の成長率の格差を観察するのかもしれない。それ故，貯蓄率（投資率）のようなパラメーターの変化が均斉成長経路からの乖離を拡大させ，長期間にわたる成長率の差をもたらし得る。

5. お　わ　り　に

1980年代後半に公表されたローマーやルーカスの経済成長に関する論文を嚆矢として，経済成長に関する研究が盛んになり，膨大な量の文献が公刊されてきた。これは，彼らの新しい成長理論が刺激的だったこと，経済成長は国民の厚生や一国の浮沈にかかわる重大な現象であること，そして特に少子高齢化，資源の枯渇化や環境問題が進展する世界経済においてそれを克服して持続的な成長をもたらしうる新たな理論が求められていること等に起因する。

確かに，持続的に経済成長する国とそうでない国とでは，やがて実質 GDP 等の顕著な格差が発生し，拡大する。発展途上国においても，離陸し，成長を遂げる国と離陸せず，低迷を続ける国とが見受けられる。実際，諸国間の経済成長率は多様であり，まとまりがないように見える。そこで，観察される諸国間の収束現象や世界経済の長期的な成長趨勢と整合的な経済成長理論の構築が望まれ，人的資本や R&D 等に注目し，それらに基づく新しい成長理論が次々に登場してきた。それらは長期の経済成長率を内生的に説明することを主目的としており，内生的成長理論とも呼ばれる。

本稿の主な目的は，現代の経済成長の諸理論のうちソローに代表される伝統的な新古典派成長論と近年最も注目されているローマーに代表される R&D に基づく内生的成長理論を理論的に整理し，そして，長期の各国の経済成長過程により良く適合するモデルとして二つの成長理論を統合したモデルを提示し，それを用いて均斉成長経路の安定性やパラメーター等の変化の効果をモデル分析することであった。

日本経済は1980年代から低成長経済となっており，この過程で各種の格差が目立つようになった。その結果，日本経済が GDP 等で世界に占める経済的地位が大きく低下し，一人当たり GDP の水準は世界18位（2006年）に急落した。低経済成長の主因は，かつて成長に寄与してきた資本蓄積と技術進歩の不振である。今後，労働力の拡大や資本蓄積の経済成長への寄与はあまり見込まれないため，イノベーションに基づく技術進歩の寄与が期待される。

周知のように，ソロー・モデルの成長の原動力は資本蓄積である。資本ストック等の実物のインプットを用いて実物の財が生産されるが，資本の蓄積はその収穫逓減を招くため，一人当たり産出の成長は資本蓄積が進展すると共に徐々に低下しやがてゼロとなる。それで，彼のモデルでは外生的な技術進歩を導入しない限り，一人当たり産出の持続的な成長を説明できない。

ローマー・モデルの特徴は，非競合的な技術知識に注目した点である。技術知識は技術知識と労働を使って生産され，生産された技術知識が財の生産においてインプットとして用いられる。財の生産において，技術知識と労働投入に対して規模に関する収穫逓増が現れる。

その結果，労働投入の伸びがゼロであったとしても，技術知識のストックが継続的に成長するため，産出あるいは一人当たり産出は正の率で持続的に成長する。

ソロー・モデルの長所は，定常状態あるいは均斉成長経路上に至る過程，すなわち移行過程にある経済を分析することができる点である。諸国間の収束現象はソロー・モデルの移行過程によって説明することができる。一方，ローマー・モデルの長所は，技術のフロンティアでの技術知識の成長，すなわち一人当たり産出の持続的な成長を説明し，可能とする点である。世界経済の趨勢的成長は，ローマー・モデルの技術知識の成長によってもたらされる。

世界経済の趨勢的成長と諸国間の収束現象を共に説明するため，ソロー・モデルとローマー・モデルを統合した。ソロー・モデルに，ローマー・モデルの労働配分式と技術知識の生産関数を導入することによって，両モデルが統合された。産出，労働と新たに定義された技術知識が同率で成長する均斉成長経路が一意的に存在し，そしてそれが安定であるという結論が得られた。

貯蓄率（投資率）の上昇は，均斉成長経路に沿った一人当たり及び効率労働単位当たり資本と一人当たり及び効率労働単位当たり産出を増加させ，一時的に一人当たり産出や一人当たり資本の成長率を上昇させるが，均斉成長経路の成長率には影響を及ぼさない。資本減耗率の上昇は，一人当たり資本ストックや一人当たり産出の成長率の一時的な下落，及び均斉成長経路に沿った効率労働単位当たり資本と効率労働単位当たり産出の減少をもたらす。

知識生産の生産性パラメーターあるいは労働人口の増加は，技術知識の成長率の上昇をもたらし，資本減耗率の上昇と同じ質的効果を持つ。ただし，これらの増加によって均斉成長経路上の効率労働単位当たり資本と効率労働単位当たり産出が減少したとしても，技術知識の成長率は増加しているので，新均斉成長経路上では，一人当たり資本ストックと一人当たり産出の成長率は上昇する。

研究者比率の上昇は，均斉成長経路上の効率労働単位当たり産出あるいは効率労働単位当たり資本を減少させ，そして一人当たり資本ストックと一人当たり産出の成長率の一時的下落をもたらす。一方，この変化を通じて技術知識の成長率は増加するので，新均斉成長経路上の一人当たり資本ストックと一人当たり産出の成長率は上昇する。

本稿で取り上げた統合モデルは非常にシンプルであり，その構造がわかりやすくかつ操作性も良いモデルであると評価することができる。そして，このモデルからもたらされた安定性，移行動学やパラメーター変化の効果等の結論も明確であった。このようにこのモデルは実用的であるが，理論的な面で十分でない部分が二つ存在する。

その一つは，消費関数（貯蓄関数）に関わる。貯蓄率を一定と仮定したが，そうするよりも動学的な最適化行動から消費行動を導いた方が理論的に見て良いであろう。また，動学的な最適化行動を適用することにより，厚生分析が可能になる。もう一つは，全労働者数に占

める研究者数の比率に関わる。近年この比率が安定している国もあれば，上昇傾向にある国もある。この比率も一定と仮定するよりも内生的に決定される方が理論として望ましい（付論参照）。

ただし，理論的完成度を求めるとわかりやすさ，操作性及び実用性が損なわれる傾向にある。例えば，ローマー・モデルが前者の利点に適うモデルであるとされる一方，ソロー・モデルは後者の利点に適うモデルとして評価される。それで，わかりやすさ，操作性及び実用性をさほど犠牲にせずに，本稿の統合モデルよりも理論的完成度の高いイノベーションと成長のモデルを，現実の諸国の成長現象と照らし合わせて開発することが今後の課題である。

付論：知識と成長に関する補論

我々は，本文では固定されていた全労働人口に対する研究者数の比率 l を内生的に決定することができる。経済は，最終財部門，中間財部門と研究開発部門から構成されるものとする。最終財部門は競争的であり，最終財の価格は 1 であるとする。最終財部門の生産関数は

$$Y = L_y^{1-\alpha} \int_0^e x_j^{\alpha} dj \tag{1}$$

で示され，労働 L_y と資本財 x_j を投入して最終財を生産する。そこでは，技術進歩は資本財の種類の拡大，あるいは新しいデザインの発見を通じて現れる。

資本ストックを

$$\int_0^e x_j dj = K$$

と定義し，資本財の対称性 $x_j = x$ を想定すると，$x = K / e$ が導かれ，(1)式の生産関数は

$$Y = K^{\alpha}(eL_y)^{1-\alpha} = AK^{\alpha} L_y^{1-\alpha}$$

となることが確認される。

中間財部門の企業は研究開発部門からデザインを購入し，それに基づいて未加工の資本から1対1の関係で独自の資本財を独占的に生産し，最終財部門の企業に売却する。

さて，研究開発に従事する人口の比率 l は，最終財部門の賃金を研究開発部門の賃金に等しいと置くことによって求められる。

$$\frac{1}{1-\alpha} zeP_e = (1-\alpha)\frac{Y}{L_y} \tag{2}$$

ここで，P_e は新しいデザインの価格（特許権の価格）である。P_e は研究開発部門における収益均等を表す裁定方程式より

$$P_e = \frac{\pi}{r} \tag{3}$$

と書き表される。中間財企業の対称性に基づき，$\pi = \pi_j$ が想定される。そこで，中間財企業 j の利潤 π_j は

$$\pi_j = p_j(x_j)x_j - rx_j$$

であり，p_j と r は資本財 j の（レンタル）価格と利子率を表している。

中間財部門の企業の利潤最大化条件 $p_j = (1/\alpha)r$ と最終財部門の企業の資本財に関する利潤最大化条件

$$p_j = \alpha L_y^{1-\alpha} x_j^{\alpha-1}$$

を適用すると，利潤 $\pi(=\pi_j)$ は

$$\pi = \alpha(1-\alpha)\frac{Y}{e} \tag{4}$$

と書き表せる。

なお，利子率 r は均斉成長経路上で一定であり，(4)式等を考慮して簡単な計算を行うことにより

$$r = \alpha^2 \frac{Y}{K}$$

として求められる。利子率は，資本の限界生産物 $\alpha Y/K$ より小さく，Y/K に比例する。

次に，(4)式を(3)式に代入した結果を，続いて(2)式に代入すると

$$\frac{1}{1-\alpha} ze\alpha(1-\alpha)\frac{Y}{er} = (1-\alpha)\frac{Y}{L_y} \tag{5}$$

が導かれる。さらに，消去し，L_y について解くと

$$L_y = \frac{(1-\alpha)r}{\alpha z} \tag{6}$$

が得られる。また，(6)式において $L_y = (1-l)L$ の関係を使うと最後に

$$l = 1 - \frac{(1-\alpha)r}{\alpha z L}$$

が導出される。r は，$r = \alpha^2\, Y/K$ に資本蓄積方程式から求められる Y/K の値 $(g_e + \delta)/s$ を代入することによって，除かれ得る。

参 考 文 献

Aghion, Philippe and Peter Howitt (1992), "A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, 60 (March), 323–351.

Aghion, Philippe, Cecilia G.-Penalosa, and Peter Howitt (2004), "Knowledge and Development: A Schumpeterian Approach," in Dowrick Steve, Rohan Pitchford, and Stephen J. Turnovsky, ed., *Economic Growth and Macroeconomic Dynamics*, Cambridge University Press, 46–79.

Grossman, Gene M. and Elhanan Helpman (1991), *Innovation and Growth in the Global Economy*（大住圭介監訳『イノベーションと内生的経済成長』創文社，1997年）, Cambridge:MIT Press.

Jones, Charles I. (1995), "R&D Based Models of Economic Growth," *Journal of Political Economy*, 103 (August), 759–784.

Jones, Charles I. (2001), *Introduction to Economic Growth*, New York:Norton.

Jones, Charles I. (2008), *Macroeconomics*, New York: Norton.

Mankiw, N. Gregory, David Romer, and David N. Weil (1992), "A Contribution to the Empirics of Economic Growth," *Quarterly journal of Economics*, 107 (May), 407–437.

Romer, Paul M. (1986), "Increasing Returns and Long-run Growth," *Journal of Political Economy*, 94 (October), 1002–1037.

Romer, Paul M. (1990), "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98 (October), 71–102.

Solow, Robert M. (1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 70 (February), 65–94.

Swan, T. W. (1956), "Economic Growth and Capital Accumulation," *Economic Record*, 32 (November), 334–361.

Weil, David N. (2005), *Economic Growth*, Pearson Education, Inc.

足立英之（1996），「ローマーの内生的成長モデルにおける移行過程」，『国民経済雑誌』，第173巻第6号，1–18.

片山尚平（2006），『投資，成長と経済政策』，晃洋書房.

片山尚平（2008），「政府研究開発投資の効果について」，経済科学研究，第11巻第2号，1–14.

内閣府編（2008），『平成20年版経済財政白書』，時事画報社.

文部科学省編（2008），『平成20年版科学技術白書』，日経印刷.