

規模の経済が存在する場合の政府の規制と 経済成長の関係について

宮 永 輝

要 旨

経済成長においてアジア諸国のパフォーマンスが良好なのは知られていることである。本論文ではそれらの国々で行われている「開発独裁」と呼ばれる経済政策をマクロ経済成長理論の視点から分析することを主眼とする。マクロ的に「開発独裁」を考察するためには、自由な経済に対して政府が消費を抑え投資を増加させる合理的な理由が必要であり、その理由を経済に正の外部性が存在することに求めた。そのような関係を理論的に描写するために内生的な成長のエンジンとして生産について規模に関する収穫逓増を用い、そのような収穫逓増を用いたことによる「成長率の発散」という問題点を枯渇性資源の制約を用いて抑えるという形で「成長率の収斂」を満足させる意図を持った経済成長モデルを応用した。このモデルでは収穫逓増について Romer (1986) 等で採用された “Learning-by-doing” を用いており、生産要素の使用に対して正の外部性が存在する。この外部性を政府が内部化することで、自由経済に対する投資の増加に合理性を持たせている。この分析の結果として、外部性の内部化によって均衡成長率に変動はなかったが移行過程において経済成長率が上昇したこと、内部化の度合いに最適な点が存在することが示された。

キーワード：経済成長理論、枯渇性資源、外部性、産業政策

第1節 経済成長と政府による規制の役割

経済成長のパターンは、経済が「離陸」してから高度成長期を経て安定成長に至るとというのが一般的であると考えられる。その際に東アジア諸国では政府主導による経済成長政策、いわゆる「開発独裁」と言われる政策が行われ、それが経済の「離陸」を促進したとされている。

日本でも明治期の「富国強兵」政策や戦後の「傾斜生産方式」で政府による投資の促進がなされていたと考えられる。これらの政策は投資をどの部門に振り分けるのかといったミクロな部分に注目されているように見えるが、本論文ではミクロな観点ではなく、マクロの側面、すなわち政府の規制もしくは管理によって投資の総額が変化（増加）する可能性と、その理由について考察していきたい。

通常の経済成長理論ではマクロの投資総額はマクロの資本収益率で決まり、それは基本的にマ

クロの資本ストック額で決まる。それ以上の投資は非効率となり過剰投資となって消費を圧迫するために最適な成長経路とはならないのが普通である。では、明治・戦後の日本や東アジア諸国は政府の規制もしくは管理がなければより多くの消費を享受できたのだろうか。その問いに対してはこれら諸国とそれ以外の発展途上国を比較することで一つの解答は得られるだろう。つまり、ところ、最適理論より「過剰」に投資を行って成長率を高めた諸国の方がより多くの消費を行っているように思われる。

この仮説が成立するとすれば、次の疑問はどれだけ「過剰」に投資をすれば良いのかということになる。「過剰」とは言っても完全な独裁国家でも無い限りは国民の生活（消費）を逼迫させるほどの投資は不可能であり、また本論文の考察対象は主として東アジア諸国に代表される「開発独裁」である。つまり何らかの合理性を持って「過剰」な投資を行っていたと考えるのが妥当であり、本論文においてはそれを「外部性」に求めることとした。これは、通常の効用最大化では享受できなかった外部性を政府が何らかの方法で経済に規制を加え管理することにより享受できるように制御することで、より高い資本収益率を得ることができるということである。以下では外部性の存在する経済成長モデルを用いて政府の規制が経済成長を促すことが可能かどうかを考察する。

第2節・第3節ではRomer（1986）の経済成長モデルを基本として、枯渇性資源を組み込み「規模に関する収穫逓増」と「収斂仮説」を両立させた内生的成長モデルについて概説する。第4節では、本論文における外部性と政府の規制の定式化を行う。第5節では、外部性を取り入れた理論モデルを構築する。第6節では成長過程をシミュレーションするための収束経路を理論モデルから導出する。第7節では第6節で導出された収束経路を用いて数値シミュレーションを行い、経済成長率に対して政府の規制（外部性の内部化）が経済成長に与える効果を分析する。

第2節 規模に関する収穫逓増の存在する経済成長モデル

～枯渇性資源の制約が存在する内生的成長理論～

経済成長のエンジンとして挙げられるものの一つに「規模に関する収穫逓増」がある。この「規模に関する収穫逓増」を組み込んだ経済成長モデルの代表としてRomer（1986）があるが、生産要素を資本と労働の2つとした場合、資本と労働それぞれに対しては収穫逓減であるが、資本と労働を合わせて収穫逓増となる「規模に関する収穫逓増」では内生的成長を果たすことはできず、各々の生産要素について収穫逓増が必要であった。また、その条件下で果たされる経済成長は均衡成長率に収束せず、データで示されるような「収斂仮説」を満たすことはできなかった。これは、経済成長率を決定する重要な要素が資本の限界生産性であり、「収斂仮説」を満たすためには資本の限界生産性が逓減し、なおかつ一定の値に収束することが条件であるためである。資本に対して収穫逓減の生産関数では成長率も経済成長と共に低下していくが、均衡成長率はゼ

ロとなり、最終的に経済成長は止まってしまうことになる。資本に対して収穫逦減の生産関数なら経済成長は継続するが、資本蓄積にしたがって経済成長率は上昇し一定の値に収束しない（発散する）。

上記の問題点に対し、「内生的経済成長」と「均衡成長率への収束」を満たす「規模に関する収穫逦増」モデルとして枯渇性資源の制約が存在する内生的成長理論がある。これは、内生的成長を可能にするほどの「規模に関する収穫逦増」に対して枯渇性資源を生産要素に加えることで、均衡成長率を一定に押さえ込むというアイデアのモデルである。枯渇性資源を経済成長モデルに組み込むことについては Stiglitz（1974）や浅子・川西・小野（2002）などで検討がなされているが、いずれも枯渇性資源は経済成長にマイナスの影響を与えるとされ、積極的な分析はされてこなかった。本論文では、枯渇性資源に石油等のエネルギー資源を想定することで必然的に埋蔵量（賦存量）に制約がある資源は時間と共に使用量は減少していくことから、この使用量の減少で資本の限界生産性の逦増を相殺し、均衡成長率への収束を企図している。

枯渇性資源を制約条件として経済成長を議論する経済成長モデルの構築は宮永（1995）に始まる。このモデルは経済成長のエンジンとして規模の経済を用いることで内生的成長を達成し、そして規模の経済を経済成長のエンジンとした場合の成長モデルが持つ成長率の発散という問題点を枯渇性資源の制約で押さえ込むという発想のモデルであり、この発想は宮永（2000）・宮永（2002）などそれ以降のモデルにそのまま受け継がれている。

これらモデルの違いは枯渇資源の使用量決定方法にある。最初のモデルである宮永（1995）モデルの特徴は、枯渇性資源使用量をモデルに内生化して決定するのではなく、政府（政策プランナー）が決定することにより成長率の発散を人為的に押さえ込むというモデルであった。このような使用量の決定方法は資本主義経済下では不自然であると考えられるが、経済の動学的行動経路をより単純化して描き出すことが可能となり、以降のモデルでは明示されなくなった「貧困の罟」の表現を可能としていた。その特徴を利用して、保有資本量と利用可能な資源の大小により、経済が成長経路に乗るか、貧困状態に陥るのかを描いたモデルが宮永（1996）である。

宮永（1995）では、初期の資本量と資源埋蔵量のバランスによって資源の初期使用量が決定されるが、そのバランスによっては長期均衡解への収束経路上に初期使用量の実数解が存在しないという現象が見られた⁽¹⁾。宮永（1996）では、そのような実数解の不存在を逆手にとり、長期均衡解への収束経路に乗ることができない経済の均衡経路が均衡値＝資本量・資源量ともゼロになる点へ収束することを示すことで、「貧困の罟」を表現することを可能にした⁽²⁾。

宮永（1995）モデルの問題点であった「枯渇性資源使用量をモデルに内生化して決定するのではなく、政府（政策プランナー）が決定する」という点を改善したモデルが宮永（2000）である。このモデルでは資源使用量の決定をモデルに内生化することで、資本主義経済下において経済主体の自然な意志決定と経済の恒常的成長への収束、および成長率の収束を可能にした。理論的にはこれでモデルは完成したといえるが、前の宮永（1995）モデルとは異なり、資源使用量も内生

化したことで経済の均衡経路が二次元の位相図で表現しきれなくなり、モデルの持つインプリケーションの単純明快さは失われてしまっている。

上記の宮永（2000）モデルが持つ「複雑さ」をより簡単に表現するため、数値演算シミュレーションを用いて「成長率の収束」をグラフ化したものが宮永（2002）である。それまでの宮永（1995）・宮永（2000）モデルでは位相図によって成長率の収束を確認していたが、数値シミュレーションモデルを使用することによって、経済の時系列的な行動が図示できるようになり、「成長率の収束」そのものをより明らかな形で提示可能になった。

また数値シミュレーションによって長期均衡解への経済の移行過程も描写できるようになった。この手法を用い枯渇性資源に石油等のエネルギー資源を想定するモデルを展開することで、いわゆる「環境クズネッツ曲線」を理論的に導き出すことが可能になった。それを試みたものが宮永（2014a）・宮永（2015）で、数値シミュレーションによって逆U字型の「環境クズネッツ曲線」を導出することに成功している。

第3節 枯渇性資源を導入した内生的成長モデル

本節では基本モデルとして宮永（2002）で示された枯渇性資源制約付き内生的成長モデルについて概説する。本モデルは基本的に Ramsey（1928）モデルを基本に枯渇性資源制約と規模に関する収穫逓増を追加したモデルとなっている。モデルの定式化は以下の6点である。第一に、各経済は自給自足の閉鎖経済系であると仮定する。第二に、この経済では単一の（資本財にも消費財にもなる）生産物が資本と資源から生産される。第三に、資源とは鉱物資源のように再生産することが不可能な生産要素を示し、その埋蔵量は一定（追加の資源が発見されることはない）である。また、採掘費用はゼロとする。第四に、資本とは資源でない生産要素（再生産可能）すべてを意味する。すなわち、通常の物的資本の他に人的資本も含む「広範囲な資本」（broad capital）を示している。第五に、代表的消費者は無限期間生存し、効用の現在価値を最大化すると仮定する。第六に、この経済では人口は一定であると仮定する。以上6点の定式化を用いてモデルを構築する。

モデルは上述の資源制約と生産関数に通常の効用関数と予算制約式、および最大化の一階の条件の導出には用いないが、トランジショナル・ダイナミクスを考えるのに必要な制約式として、自然効率性条件（natural efficiency condition）の制約式を加えた以下の（1）～（6）の方程式体系で表される⁽³⁾。

目的関数：

$$\max_{c,k,e,r} U = \int_0^{\infty} u(t) \cdot \exp(-\rho t) dt = \int_0^{\infty} \log c(t) \cdot \exp(-\rho t) dt \quad \cdots(1)$$

制約条件

$$\text{予算制約式：} \frac{dk}{dt} = y(t) - c(t) \quad \dots(2)$$

$$\text{生産関数：} y(t) = \bar{A} \cdot k(t)^{1-\alpha} \cdot e(t)^\alpha \cdot K(t)^\phi \cdot E(t)^\phi \quad \dots(3)$$

$$\text{資源制約式：} \frac{dr(t)}{dt} = -e(t) \quad \dots(4)$$

$$\text{自然効率性条件：} \frac{\partial y(t)}{\partial k(t)} = \frac{d}{dt} \cdot \log \left(\frac{\partial y(t)}{\partial e(t)} \right) \quad \dots(5)$$

$c(t)$, $k(t)$, $e(t)$, $r(t)$ は各々 t 期の一人あたり消費量, 資本量, 資源使用量, 資源埋蔵量であり, U は効用の現在価値の合計を表し, t 期の効用は $u(t) = \log c(t)$ の対数型であると仮定する。また, $\rho(>0)$ は割引率, $\alpha(0 < \alpha < 1)$ は資源が生産に占めるシェア, $\phi \cdot \phi$ は各々 (一人あたりではなく) 経済全体の資本量 $K(t)$ ・資源使用量 $E(t)$ が生産に与える外部性でそれぞれ正の定数である。また, $\bar{A}(>0)$ は生産関数のパラメータである。そして, 資本の減価はないものと仮定し, 初期条件 $k(0) = k_0$, $r(0) = r_0$, および非負条件 $c(t) \geq 0$, $k(t) \geq 0$, $e(t) \geq 0$, $r(t) \geq 0$ が付け加わってモデルが成立する。

このモデルの重要な点は(3)式の実産関数である。生産関数の特徴は2点存在する。第一に、この生産関数では資本(再生産可能な生産要素)のみで生産物を生産することはできず、枯渇性資源を使用しなければ生産活動を行うことはできない。ここで想定している枯渇性資源とは石油等のエネルギー資源であり、あらゆる財の生産に必要なかつ一度使用したら再利用することはできない(リサイクルできない)資源である。第二点は規模に関する収穫逓増が「外部性」という形で入っていることである。ここには、Arrow (1962), Sheshinski (1967), Romer (1986) で導入された Learning-by-Doing による収穫逓増技術を導入している。個別の企業が操作できるのは一人あたり資本量 $k(t)^{1-\alpha}$ の部分のみで、収穫逓増に寄与する部分 $K(t)^\phi$ は資本全体からもたらされる外部性(資本の集積による正の外部効果)として入っている。第4節以降では、この資本全体から生み出される外部性を政府が規制もしくは管理することで、政府が経済成長に寄与できる可能性を分析する。資源の使用量 $E(t)$ についても資本と対称的に収穫逓増に寄与する部分を外部性として導入している。

最大化の条件を導出するため、当該期価値ハミルトニアンを(6)のように仮定して行った最大化の一階の条件は(7)~(10)のようになる⁽⁴⁾。

$$\begin{aligned} H(t) = & \log c(t) + \lambda(t) \{ \bar{A} \cdot k(t)^{1-\alpha} \cdot e(t)^\alpha \cdot K(t)^\phi \cdot E(t)^\phi - c(t) \} \\ & + \mu(t) \{ -e(t) \} \end{aligned} \quad \dots(6)$$

$$\gamma_{c(t)} = -\gamma_{\lambda(t)} \quad \dots(7)$$

$$\frac{\mu(t)}{\lambda(t)} = \alpha \cdot A \cdot k(t)^{1-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi} \quad \dots(8)$$

$$-\gamma_{\lambda(t)} = -\frac{d\lambda(t)/dt}{\lambda(t)} = (1-\alpha)A \cdot k(t)^{-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi} - \rho \quad \dots(9)$$

$$\gamma_{\mu(t)} = \rho \quad \dots(10)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{\lambda(t) \cdot k(t) \exp(-\rho t)\} = 0 \quad \text{横断面条件}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \{\mu(t) \cdot r(t) \exp(-\rho t)\} = 0 \quad \text{横断面条件}$$

$\lambda(t)$, $\mu(t)$ はそれぞれ資本ストック $k(t)$ と資源埋蔵量 $r(t)$ のシャドウプライスで、 $\gamma_{\lambda(t)}$, $\gamma_{\mu(t)}$ は各々 $\lambda(t)$, $\mu(t)$ の変化率、 A は $A = \bar{A} \cdot N^{\phi+\phi}$ で定数である⁽⁵⁾。最大化の一階の条件と予算制約式から最終的に資源使用量成長率 $\gamma_{e(t)}$, 資源埋蔵量成長率 $\gamma_{r(t)}$, 資本量成長率 $\gamma_{k(t)}$, 消費量成長率 $\gamma_{c(t)}$, 産出量成長率 $\gamma_{y(t)}$ の恒常的均衡値, γ_e^* , γ_r^* , γ_k^* , γ_c^* , γ_y^* は以下のように決定される。

$$\gamma_e^* = \gamma_r^* = -\rho \quad \dots(11)$$

$$\gamma_k^* = \gamma_c^* = \gamma_y^* = \frac{\alpha + \phi}{-\alpha + \phi} \rho \quad \dots(12)$$

第4節 外部性と政府の規制の定式化

本節では前節で概説した成長モデルに外部性の内部化という形で政府の介入を定式化することを試みる。以下に前節の生産関数を再掲示する。

$$\text{生産関数: } y(t) = \bar{A} \cdot k(t)^{1-\alpha} \cdot e(t)^\alpha \cdot K(t)^\phi \cdot E(t)^\phi$$

前述の通り、この生産関数では $K(t)^\phi \cdot E(t)^\phi$ の部分が外部性を表している。

$K(t)$, $E(t)$ は経済全体の資本量・資源使用量なので、 $K(t)^\phi \cdot E(t)^\phi$ は個人で最大化を行う場合は操作できない部分であることを表し、最大化の際には考慮されない⁽⁶⁾。ただし、経済全体の資本量・資源使用量は経済全体を操作できる主体であれば操作は可能なため、それが可能な主体として政府を想定することは十分可能であると考えられる。特に本モデルで想定されている資源は石油等エネルギー資源であり、その輸出入には政府の管理が入っていることから、国内・国外調達を問わず、外部性の制御に政府の役割は重要であると考えられる。

以降ではこの部分を利用して政府の介入を考えることとする。

人口 N を使って生産関数を書き換えれば、

$$y(t) = \bar{A} \cdot k(t)^{1-\alpha} \cdot e(t)^\alpha \cdot N k(t)^\phi \cdot N e(t)^\phi = A \cdot k(t)^{1-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi}$$

となり、上式から導出した資本の限界生産性は以下ようになる。

$$(1-\alpha+\phi)A \cdot k(t)^{-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi}$$

対して外部性を考慮しない場合の資本の限界生産性は $K(t)$, $E(t)$ の部分を考慮しないため、

$$(1-\alpha)A \cdot k(t)^{-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi}$$

となり、資本の外部性 ϕ 分だけ資本の限界生産性が上昇することとなる。

この資本の限界生産性は前節において最大化の一階の条件(9)式に組み込まれており、均衡解に何らかの影響があると考えられる。

以下では、さらに政府の介入の度合いを生産関数に組み込んで

$$\text{生産関数：} y(t) = \bar{A} \cdot N^{\theta\phi} \cdot k(t)^{1-\alpha+\theta\phi} \cdot e(t)^\alpha \cdot K(t)^{(1-\theta)\phi} \cdot E(t)^\phi \quad \dots(3')$$

と変更する。パラメータ θ は政府の介入の度合いを表し、 $0 \leq \theta \leq 1$ である。 $\theta=0$ で政府の介入が無い場合、 $\theta=1$ で政府の介入が最大の場合を表し、 θ が 0 から 1 に近づくにつれて介入の度合いが強くなることを表している。このパラメータは政府が民間部門に介入（規制）できる範囲、すなわちどのあたりまで民間に指導できるかの度合い、もしくは政府が直接行う公共投資への積極性を想定している。

また、外部性は経済全体の資本量・資源使用量 $K(t)$, $E(t)$ の両方に存在するが、本論文ではさしあたり資本の限界生産性に直接影響する資本の外部性 $K(t)^\phi$ のみに絞って分析を行う。

第5節 政府の規制を組み込んだ内生的成長モデルの構築

本節では第3節のモデルに前節の生産関数の変更を組み込んだ成長モデルを構築し、均衡成長率等の変化を考える。

第3節のモデルに前節の生産関数の変更を組み込むと以下ようになる。

目的関数：

$$\max_{c,k,e,r} U = \int_0^\infty u(t) \cdot \exp(-\rho t) dt = \int_0^\infty \log c(t) \cdot \exp(-\rho t) dt$$

制約条件

$$\text{予算制約式：}\frac{dk}{dt}=y(t)-c(t)$$

$$\text{生産関数：}y(t)=\bar{A}\cdot N^{\theta\phi}\cdot k(t)^{1-\alpha+\theta\phi}\cdot e(t)^\alpha\cdot K(t)^{(1-\theta)\phi}\cdot E(t)^\phi \quad \dots(3')$$

$$\text{資源制約式：}\frac{dr(t)}{dt}=-e(t)$$

$$\text{自然効率性条件：}\frac{\partial y(t)}{\partial k(t)}=\frac{d}{dt}\cdot\log\left(\frac{\partial y(t)}{\partial e(t)}\right)$$

生産関数(3)式が(3')式に変更されただけで他の式については全て同じである。

この変更を組み入れて当該期価値ハミルトニアンを(6')式のように仮定して行った最大化の一階の条件は以下になる。

$$\begin{aligned} H(t) &= \log c(t) + \lambda(t) \left\{ \bar{A} \cdot N^{\theta\phi} \cdot k(t)^{1-\alpha+\theta\phi} \cdot e(t)^\alpha \cdot K(t)^{(1-\theta)\phi} \cdot E(t)^\phi - c(t) \right\} \\ &\quad + \mu(t) \left\{ -e(t) \right\} \end{aligned} \quad \dots(6')$$

$$\gamma_{c(t)} = -\gamma_{\lambda(t)}$$

$$\frac{\mu(t)}{\lambda(t)} = \alpha \cdot \bar{A} \cdot k(t)^{1-\alpha+\phi} \cdot e(t)^{\alpha+\phi-1}$$

$$-\gamma_{\lambda(t)} = -\frac{d\lambda(t)/dt}{\lambda(t)} = (1-\alpha+\theta\phi)\bar{A} \cdot k(t)^{-\alpha+\phi} - \rho \quad \dots(9')$$

$$\gamma_{\mu(t)} = \rho$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \lambda(t) \cdot k(t) \exp(-\rho t) \right\} = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left\{ \mu(t) \cdot r(t) \exp(-\rho t) \right\} = 0$$

これも第3節のモデルと変更のあった式のみ「'」をつけて変化があったことを表している。ここでは(9)式のみ(9')式へ変化が生じている。

最大化の一階の条件と予算制約式から最終的に資源使用量成長率 $\gamma_{e(t)}$, 資源埋蔵量成長率 $\gamma_{r(t)}$, 資本量成長率 $\gamma_{k(t)}$, 消費量成長率 $\gamma_{c(t)}$, 産出量成長率 $\gamma_{y(t)}$ の恒常的均衡値, γ_e^* , γ_r^* , γ_k^* , γ_c^* , γ_y^* は以下のように決定される。

$$\gamma_e^* = \gamma_r^* = -\rho$$

$$\gamma_k^* = \gamma_c^* = \gamma_y^* = \frac{\alpha + \phi}{-\alpha + \phi} \rho$$

以上から均衡成長率は政府の介入が有っても無くても変わらないという結論が導かれた。

これは、政府の介入は資本の限界生産性「水準」に影響を与えるが、資本の限界生産性「変動率」には影響を与えないという所から来ている⁽⁷⁾。

では政府の介入はどこに影響を与えるのかを考察する。一例として(7)式と(9)'式から $\gamma_{c(t)}$ を導出してみると、

$$\gamma_{c(t)} = -\gamma_{\lambda(t)} = (1 - \alpha + \theta\phi)A \cdot k(t)^{-\alpha + \phi} \cdot e(t)^{\alpha + \phi} - \rho$$

となり、資本量と資源使用量が同じならば政府の介入が大きいほど消費の成長率は高くなることを示している。これ以外の $\gamma_{e(t)}$, $\gamma_{r(t)}$, $\gamma_{k(t)}$, $\gamma_{y(t)}$ は収束経路を導出し、数値シミュレーションを行って経路を求める必要がある。

第6節 数値シミュレーションモデルの構築

本節では宮永（2002）モデルを基本にして作成された宮永（2014b）の数値シミュレーションモデルを本論文に合わせて変更した数値シミュレーションモデルについて概説する。

6-1 収束経路の導出

ここでは数値シミュレーションを行うために収束経路を直線に近似して代数的に導出する。そのやり方は位相図上の収束経路を近似的に一次式として導き出し、収束経路上の経済において資本量と成長率、所得と成長率の関係が収束仮説を満たすか否かを検証していく。

最初に位相図の導出を概説する。モデルで用いられている変数 $c(t)$, $k(t)$, $e(t)$, $r(t)$ は恒常状態においても恒常成長率で成長（減少）するので、そのまま分析に用いることはできない。そこで、恒常的均衡値が定数となるような変数を定義してそれを分析に用いることにする。その恒常的均衡値が定数となるような変数 x , z , w を以下のように定義する。

$$x(t) = \left[(1 - \alpha + \theta\phi)A \cdot k(t)^{-\alpha + \phi} \cdot e(t)^{\alpha + \phi} \right] = \text{資本の限界生産性 (MPK)}$$

$$z(t) = \frac{c(t)}{k(t)}$$

$$w(t) = \frac{e(t)}{r(t)}$$

すると、(11)、(12)から恒常状態は以下の形で表される。

$$\begin{aligned}\gamma_k^* &= \gamma_c^* = \gamma_y^* = MPK^* - \rho = \frac{\phi + \phi}{-\alpha + \phi} \rho - \rho = \frac{\alpha + \phi}{-\alpha + \phi} \rho \\ \gamma_r^* &= \gamma_e^* = -\rho\end{aligned}\quad \dots(13)$$

したがって、恒常状態で x, z, w は次のような定数となる。

$$x = \left[(1 - \alpha + \theta\phi) A \cdot k^{-\alpha + \phi} \cdot e^{\alpha + \phi} \right]^* = \frac{\phi + \phi}{-\alpha + \phi} \cdot \rho \quad \dots(14)$$

$$\begin{aligned}z &= \left[\frac{c}{k} \right]^* = \frac{MPK^*}{1 - \alpha} - \gamma_k^* = \frac{\phi + \phi}{(1 - \alpha)(-\alpha + \phi)} \cdot \rho - \frac{\alpha + \phi}{-\alpha + \phi} \cdot \rho \\ &= \frac{-\alpha + \phi + \alpha(\alpha + \phi)}{(1 - \alpha)(-\alpha + \phi)} \cdot \rho\end{aligned}\quad \dots(15)$$

$$w^* = \left[\frac{e}{r} \right] = \rho \quad \dots(16)$$

次に、 $\gamma_{c(t)}, \gamma_{k(t)}, \gamma_{e(t)}, \gamma_{r(t)}$ を導出する。

$\gamma_{e(t)}$ の導出は、一階の条件(7)、(9')から以下の式が得られる⁽⁸⁾。

$$\gamma_{c(t)} = x(t) - \rho \quad \dots(17)$$

次に $\gamma_{k(t)}$ は、予算制約式(2)を $k(t)$ で割り、 x と z の関数として表す。

$$\gamma_{k(t)} = \frac{MPK}{1 - \alpha + \theta\phi} - \left[\frac{c(t)}{k(t)} \right] = \frac{x(t)}{1 - \alpha + \theta\phi} - z(t) \quad \dots(18)$$

$\gamma_{e(t)}$ は、自然効率性条件(5)を用いれば、次のように表される。

$$\gamma_{e(t)} = - \frac{\phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} \cdot x(t) + \frac{1 - \alpha + \phi}{-1 + \alpha + \phi} \cdot z(t) \quad \dots(19)$$

$\gamma_{r(t)}$ は資源制約式(4)を $r(t)$ で割って得られる。

$$\gamma_{r(t)} = - \frac{e(t)}{r(t)} = -w(t) \quad \dots(20)$$

収束経路決定には直接関係しないが、最後に $\gamma_{y(t)}$ は生産関数から以下のようになる。

$$\gamma_{y(t)} = (1 - \alpha + \phi)\gamma_{k(t)} + (\alpha + \phi)\gamma_{e(t)} \quad \dots(21)$$

(17)～(20)の式を用いて変数 x, z, w の増加率 $\gamma_x, \gamma_z, \gamma_w$ は以下の式で与えられる⁽⁹⁾。

$$\gamma_{x(t)} = -\frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x(t) + \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} z(t) \quad \dots(22)$$

$$\gamma_{z(t)} = \frac{-\alpha}{1 - \alpha + \theta\phi} x(t) + z(t) - \rho \quad \dots(23)$$

$$\gamma_{w(t)} = -\frac{\phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x(t) + \frac{1 - \alpha + \phi}{-1 + \alpha + \phi} z(t) + w(t) \quad \dots(24)$$

$\gamma_{x(t)}, \gamma_{z(t)}, \gamma_{w(t)}$ が(22)～(24)のように得られたので、これを用いて $dx/dt=0, dz/dt=0, dw/dt=0$ の必要条件を x, z, w の関数として表すと以下のようになる。

$$\begin{aligned} z &= \frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(\phi + \phi)} \cdot x \\ \frac{dx}{dt} &= 0 : \quad \text{または} \quad \dots(25) \\ x &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= -\frac{-\alpha}{1 - \alpha + \theta\phi} \cdot x + \rho \\ \frac{dz}{dt} &= 0 : \quad \text{または} \quad \dots(26) \\ z &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= \frac{\phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} \cdot x - \frac{1 - \alpha + \phi}{-1 + \alpha + \phi} \cdot z \\ \frac{dw}{dt} &= 0 : \quad \text{または} \quad \dots(27) \\ w &= 0 \end{aligned}$$

$dx/dt=0, dz/dt=0, dw/dt=0$ を満たす点の軌跡が(25)～(27)として導出されたので、これから3式を用いて位相図を描く。

最初に(22)と(23)をみると、この2式は w に依存しないので x, z に関する位相図は $x-z$ 平面のみで表すことができる。

解に収束可能なパラメータの制約は $1 - \alpha < \phi$ なので、この場合のみについて考えてみると、(22)の右辺第一項目が $\{x/(-1 + \alpha + \phi)\} > 0$ となり、経済は $dx/dt=0$ 線に近づくように動くので、図1で表されるように恒常状態に収束する鞍点経路が1本 ($P_{xy} - P'_{xy}$ 線) 存在する⁽¹⁰⁾。

以上で、 $x-z$ 平面上の収束経路を描写することはできた。次に w も含む3変数の収束経路を考える。 w の経路は(24)式で表現されている。この式から、 w は x, z, w の3変数に依存することが判明する。そこで、(24)式の右辺第二項目をまず考える。図1で経済が収束経路上に存在す

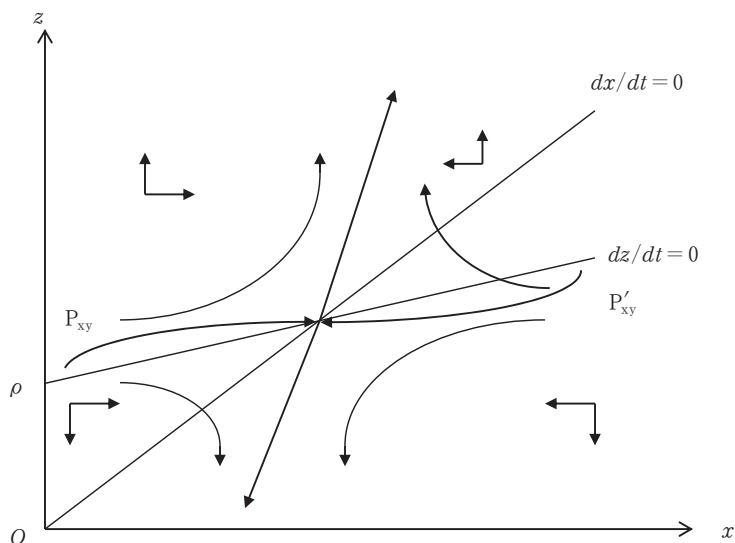


図1 $x-z$ 平面の位相図

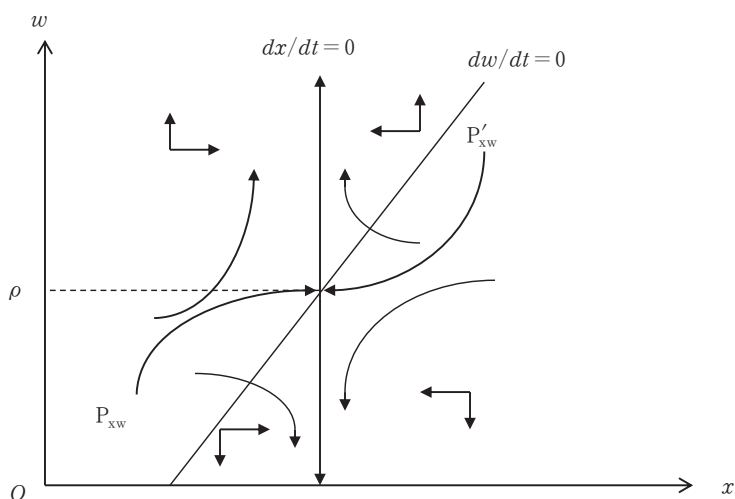


図2 $x-w$ 平面の位相図

ると仮定すれば均衡点の近傍で収束経路を線形近似する事ができる。図1上で x, z が均衡値に収束しない場合の経路上の経済については、宮永（1996）で示されたような「貧困の罟」に陥る経路の可能性があるが、産業政策を主題とする本論文では扱わないこととする。

この時、収束経路の傾きは(26)で表される $z = -\{(-\alpha)/(1-\alpha+\theta\phi)\} \cdot x + \rho$ よりも小さいから収束経路は z 軸上で正の切片を持つ直線（一次関数）として表される。これを用いて(25)の右辺を z のみの関数として表すと、右辺は w 軸上で負の切片と正の傾きを持つ直線として表される。これを $x-w$ 平面に表したものが図2である。経済は図1の収束経路上に存在するから x は常に均衡点に向かって収束する方向へ動く。したがって図2のように均衡解に収束する鞍点経路

が 1 本 ($P_{xw} - P'_{xw}$) 存在する。以上から $1 - \alpha < \phi$ の場合に、図 1 と図 2 の収束経路を同時に満たす経路 1 本のみが恒常状態に収束する収束経路となる。

次に、収束経路 $P_{xy} - P'_{xy}$, $P_{xw} - P'_{xw}$ を x, z, w の一次式 (直線) として導出する。直線 $P_{xy} - P'_{xy}$ の傾きは以下のような式で表される。

$$\frac{dz}{dx} = z' = \frac{\dot{z}}{\dot{x}} - \frac{z(x) \cdot \gamma_z(x)}{x \cdot \gamma_x(x)} = \frac{z(x) \cdot \left\{ \frac{-\alpha}{1 - \alpha + \theta\phi} x + z(x) - \rho \right\}}{x \cdot \left\{ -\frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x + \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} z(x) \right\}}$$

これから、直線 $P_{xy} - P'_{xy}$ の傾きは以下のように導かれる⁽¹¹⁾。

$$z' = \frac{\eta_1 - \sqrt{\eta_1^2 - 4\eta_2\eta_3}}{2\eta_2}$$

$$\text{ただし, } \eta_2 = \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} x^*, \eta_3 = \left\{ \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right\} z^*,$$

$$\eta_1 = -2 \frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x^* + \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} z^* + \frac{-\alpha}{1 - \alpha + \theta\phi} x^* + 2z^* - \rho$$

さらに、収束経路は恒常的均衡点 (x^*, z^*) を通るから、直線 $P_{xy} - P'_{xy}$ は以下のような方程式で表される。

$$z = \frac{\eta_1 - \sqrt{\eta_1^2 - 4\eta_2\eta_3}}{2\eta_2} x + \left\{ z^* - \frac{\eta_1 - \sqrt{\eta_1^2 - 4\eta_2\eta_3}}{2\eta_2} \right\} = z'^* x + l \quad \dots(28)$$

$$z'^* = \frac{\eta_1 - \sqrt{\eta_1^2 - 4\eta_2\eta_3}}{2\eta_2}, l = \left\{ z^* - \frac{\eta_1 - \sqrt{\eta_1^2 - 4\eta_2\eta_3}}{2\eta_2} x^* \right\} \text{ である。}$$

直線 $P_{xw} - P'_{xw}$ の傾きについても同様に計算すれば、

$$w = \frac{w^* \cdot \left\{ -\frac{\phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} + \frac{(1 - \alpha + \phi)}{-1 + \alpha + \phi} z'^* \right\}}{v + \left\{ -\frac{\phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x^* + \frac{1 - \alpha + \phi}{-1 + \alpha + \phi} (z'^* x^* + l) + 2w^* \right\}}$$

ただし、

$$v = \left\{ \frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} x^* + \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} (z'^* x^* + l) \right\} \\ + x^* \cdot \left\{ -\frac{\alpha(-1 + \alpha + \phi) + \phi}{(1 - \alpha + \theta\phi)(-1 + \alpha + \phi)} + \frac{\phi + \phi}{-1 + \alpha + \phi} z'^* \right\}$$

となり、均衡値 (x^*, w^*) を使えば、 $x-w$ 平面における収束経路を以下のように直線で近似することができる⁽¹²⁾。

$$w = w'^*x + \{w^* - w'^*x^*\} = w'^*x + m \quad \dots(29)$$

6-2 収束過程の導出

6-1 で収束経路を直線近似する事ができたので、次に経済が時間とともに収束経路上をどのように動いていくかを導き出す。

位相図から導き出した収束経路は時間に依存しないので、経済が時間とともにどのように収束経路上を動いていくかについては描写できない。そこで、対数線形近似の手法を用いて時系列で経済がどう動いていくかを導出する。

対数線形近似は(22)～(24)式 $(\gamma_x, \gamma_z, \gamma_w)$ を均衡点 (x^*, z^*, w^*) の近傍でテーラー展開した場合のヤコビ行列 J を用いて計算する⁽¹³⁾。

収束経路は位相図上で直線近似されているので、収束経路上の経済すなわちベクトル $(x(t), z(t), w(t))$ は相似縮小の形で均衡点に向かって動く。これは(22)～(24)で表される行列の固有ベクトル上を経済の初期値から均衡点まで固有値に従って動くことと考えられるから、数値シミュレーションを行うには初期値とヤコビ行列 J の固有値を求めることで得られる。均衡点 (x^*, z^*, w^*) でテーラー展開した時のヤコビ行列 J は

$$J = \begin{bmatrix} -\frac{\{\alpha(-1+\alpha+\phi)+\phi\}(\phi+\phi)}{(1-\alpha+\theta\phi)(-\alpha+\phi)(-1+\alpha+\phi)} \cdot \rho & \frac{\{\alpha(-1+\alpha+\phi)+\phi\}(\phi+\phi)}{(1-\alpha+\theta\phi)(-\alpha+\phi)(-1+\alpha+\phi)} \cdot \rho & 0 \\ \frac{-\alpha(\phi+\phi)}{(1-\alpha+\theta\phi)(-\alpha+\phi)} \cdot \rho & \frac{\alpha(-1+\alpha+\phi)+\phi}{(1-\alpha+\theta\phi)(-\alpha+\phi)} \cdot \rho & 0 \\ -\frac{(\phi+\phi)\phi}{(1-\alpha+\theta\phi)(-\alpha+\phi)(-1+\alpha+\phi)} \cdot \rho & \frac{\{\alpha(-1+\alpha+\phi)+\phi\}(1-\alpha+\phi)}{(-\alpha+\phi)(-1+\alpha+\phi)} \cdot \rho & \rho \end{bmatrix}$$

だから、これから収束経路の固有値を計算すると以下ようになる。

$$\varepsilon = \frac{(J_{11}+J_{22}) - \sqrt{(J_{11}+J_{22})^2 - 4 \cdot (J_{11} \cdot J_{22} - J_{12} \cdot J_{21})}}{2}$$

ただし、 J_{ij} はヤコビ行列 J の第 i 行 j 列の要素を表す。

この固有値を用いれば t 期における各変数の値 $x(t), z(t), w(t)$ は、以下のように表せる。

$$\begin{aligned} x(t) &= x^* \{1 - \exp(\varepsilon t)\} \cdot x(0)^{\{\exp(\varepsilon t)\}} \\ z(t) &= z^* \{1 - \exp(\varepsilon t)\} \cdot z(0)^{\{\exp(\varepsilon t)\}} \\ w(t) &= w^* \{1 - \exp(\varepsilon t)\} \cdot w(0)^{\{\exp(\varepsilon t)\}} \end{aligned}$$

$x(0), z(0), w(0)$ は各々 x, z, w の初期値である。

以上から、初期値 $x(0), z(0), w(0)$ が決まれば各期の変数 $x(t), z(t), w(t)$ を数値で表すことが可能になる。この結果を受けて、以下では初期値の導出を行うこととする。

通常の資本と労働で生産を行う生産関数なら、資本はストック変数であり、労働は外生変数となるので、位相図上では縦軸または横軸の変数のどちらかは初期条件（ストックの初期値）のみから初期値が決定され、その初期値に対応する収束経路上の点が経済の初期値となる。しかし、本モデルの生産関数はストック変数の資本と操作変数の資源使用量で構成されているので、資源使用量の操作いかんで初期値が変動するという問題点がある。そこで、6-1 で導出した収束経路を用いて資源使用量の初期値 $e(0)$ を導出する。初期値 $e(0)$ が導出できれば $x(0), w(0)$ が決まり、直線 $P_{xz} - P'_{xz}$ の方程式から $z(0)$ を導くことができる。

第7節 数値シミュレーション — 産出量成長率の時系列変化 —

収束経路が導出されたことから、各変数の移行過程を数値シミュレーションを使用して描写する。まずは資源使用量の初期値 $e(0)$ を導出する。

7-1 各パラメータの設定

宮永（2002）では資源使用量の初期値 $e(0)$ を次のように導出している⁽¹⁴⁾。

$$\frac{e(0)}{r(0)} = w'^* \cdot (1-\alpha)Ak(0)^{-\alpha+\phi} \cdot e(0)^{\alpha+\phi} + m$$

より、

$$w'^* \cdot (1-\alpha)Ak(0)^{-\alpha+\phi} \cdot e(0)^{\alpha+\phi} - \frac{1}{r(0)} \cdot e(0) + m = 0 \quad \dots(30)$$

ここで、上式を $e(0)$ の関数とみて $w'^* \cdot (1-\alpha)Ak(0)^{-\alpha+\phi} \cdot e(0)^{\alpha+\phi}$ の $e(0)$ の次数を $\alpha+\phi=2$ と仮定することで、代数的な解を導出していた。 α, ϕ はそれぞれ、資源が生産に占めるシェア ($0 < \alpha < 1$) と経済全体の資源使用量に与える外部性 ($\alpha+\phi > 1$) である⁽¹⁵⁾。 $\alpha+\phi=2$ という条件は数値的には内生的成長を達成するのに問題の無い条件ではあるが、実際には枯渇性資源の使用量が産出量との対比からみて小さい、すなわち α が 0 に近いということは十分に考えられることであり、それを考慮に入れるとモデル上では ϕ が 2 に近いという条件が初期値の解を導出する際に必要とされるのが問題となっていた。対して、宮永（2014b）では精緻化のために $\alpha+\phi=2$ をより現実的な $1 < \alpha+\phi < 2$ となる ϕ を数値計算で算出したが、本論文では政府の規制パラメータ θ の効果をより際立たせるため、 $\alpha+\phi=2$ としてシミュレーションを行った⁽¹⁶⁾。

本節では、ストック変数の資源の埋蔵量 $r(0)$ および資本の賦存量 $k(0)$ を設定して 50 期間 ($t=50$) のシミュレーションを行い、政府の規制パラメータ θ の効果を考察する。初期値 $e(0)$ を導出する前に、数値シミュレーションを行う前に必要なパラメータの値を設定する。設定すべきパラメータは、資源が生産に占めるシェア α ($0 < \alpha < 1$)、資本の外部性 ϕ ($1 - \alpha + \phi > 1$)、割引率 ρ 、生産関数のパラメータ A である。資源の外部性 θ は $\alpha + \phi = 2$ より $\phi = 2 - \alpha$ となる。

以上の制約と宮永（2002）との比較を考慮して、以下のようにパラメータを設定した。その値は $\alpha = 0.1$ 、 $\phi = 0.9$ 、 $\rho = 0.03$ (=3%)、 $A = 0.05$ 、これらは宮永（2002）と同じである。この設定の後、資本賦存量 $k(0)$ と資源埋蔵量 $r(0)$ を任意に設定して宮永（2002）との比較を試みる。

7-2 政府の規制パラメータ θ の効果

本論文では政府の規制パラメータ θ を 3 つ設定して数値シミュレーションを行い結果を比較した。その値は case① $\theta = 0$ （規制無し）、case② $\theta = 0.1$ 、case③ $\theta = 0.3$ である⁽¹⁷⁾。

また、ストック変数の資源埋蔵量 $r(0)$ および資本賦存量 $k(0)$ を $r(0) = 10$ 、 $k(0) = 3$ と宮永（2002）と同様に設定して 50 期間 ($t=50$) のシミュレーションを行った。

初期値 $e(0)$ は各々以下の通りである。

case	θ の値	$e(0)$ の値（代数的に導出）
case①	0	2.73558162617194
case②	0.1	2.08945758262432
case③	0.3	1.05869821153116

$$[\alpha = 0.1, \phi = 2 - \alpha = 1.9, \phi = 0.9, \rho = 0.03 (=3\%), A = 0.05]$$

となり、初期値 $e(0)$ はパラメータ θ が大きくなるにつれて減少していく。第 5 節で「資本量と資源使用量が同じならば政府の介入が大きいほど消費の成長率は高くなる」としていたが、上記からパラメータ θ の上昇は資源使用量（初期値）を減少させる、すなわち消費の（初期）成長率を低下させることを示している。

また、消費・資本・産出量の均衡成長率は $\gamma_c^* = \gamma_k^* = \gamma_y^* = 7.5\%$ 、資源使用量の均衡減少率は $-\gamma_e^* = 3\% = \rho$ （時間選好率）である⁽¹⁸⁾。

このパラメータ設定でシミュレーションを行った結果が図 3～図 6 である。

最初に資源使用量変化率 $\gamma_{e(t)}$ の変化をグラフで表したものが図 3 である。case①は資源使用量変化率（減少率）が大きく、case②・case③と θ が大きくなるにつれて資源使用量変化率（減少率）が小さくなっていく。これは θ が大きいほど投資が促進されると考えられるので、資本で資源を代替できると考えられるためである。

次に図 4 を見てみると、最も消費の成長率が高いのが case① $\theta = 0$ であり、続いて case② $\theta = 0.1$ 、case③ $\theta = 0.3$ へと続く。これは先述した「パラメータ θ の上昇は資源使用量（初期値）を減少させる」という効果が「資本量と資源使用量が同じならば政府の介入が大きいほど消費の

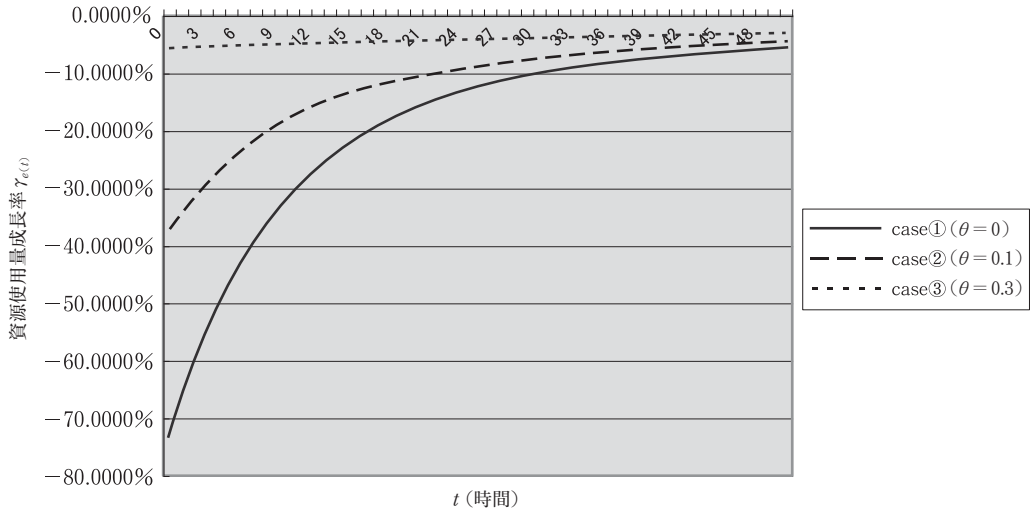


図3 資源使用量変化率 γ_c の数値シミュレーション結果： $k(0) = 3$, $r(0) = 10$

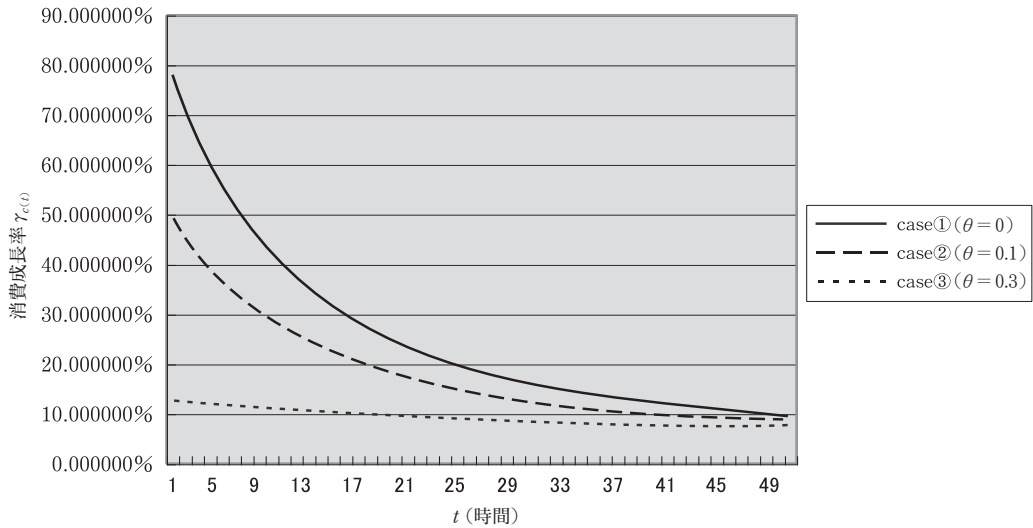


図4 消費成長率 γ_c の数値シミュレーション結果： $k(0) = 3$, $r(0) = 10$

成長率は高くなる」効果を上回っていることを示している。

初期値 $\gamma_{c(0)}$ は各々以下の通りである。

case	θ の値	$\gamma_{c(0)}$ の値
case①	0	78.0977627984011%
case②	0.1	49.0438385478054%
case③	0.3	12.790548965143%

$[\alpha = 0.1, \phi = 2 - \alpha = 1.9, \psi = 0.9, \rho = 0.03 (=3\%), A = 0.05]$

図5を見てみると、最も資本の成長率が高いのが case① $\theta = 0$ であり、続いて case② $\theta = 0.1$, case③ $\theta = 0.3$ へと続く。これは、理論で想定していたパラメータ θ の上昇すなわち政府の規制

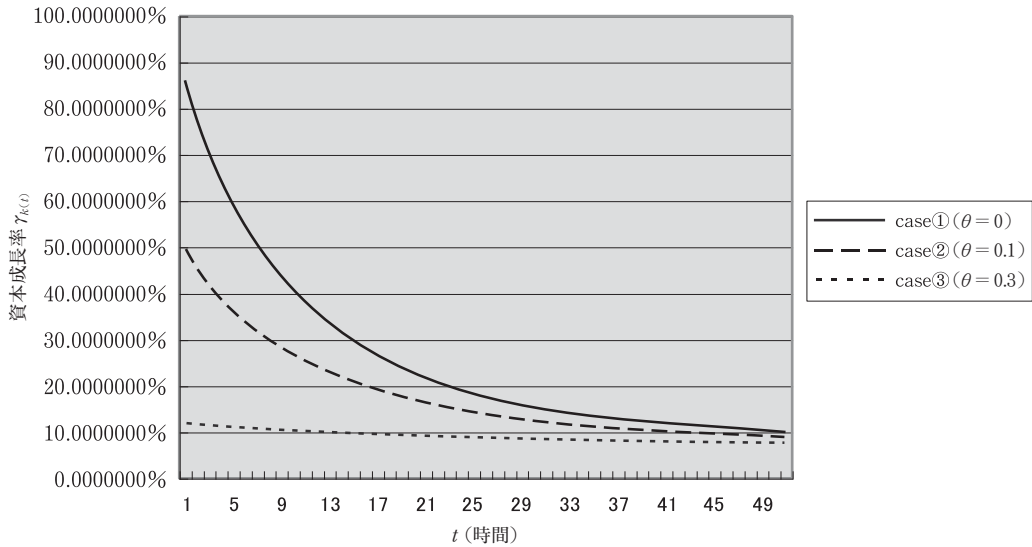


図5 資本成長率 γ_k の数値シミュレーション結果： $k(0) = 3$, $r(0) = 10$

は資本の限界生産性を上昇させ、投資を促進するというインプリケーションとは異なっている。

初期値 $\gamma_{k(0)}$ は各々以下の通りである。

case	θ の値	$\gamma_{c(0)}$ の値
case①	0	85.8196754606375%
case②	0.1	49.4586283709139%
case③	0.3	12.0260086292621%

$[\alpha = 0.1, \phi = 2 - \alpha = 1.9, \psi = 0.9, \rho = 0.03 (=3\%), A = 0.05]$

最後に図6を見てみると、最も産出量の成長率が高いのが case② $\theta = 0.1$ であり、続いて case③ $\theta = 0.3$, case① $\theta = 0$ へと続く。上述の図4・図5とは順番が異なっていることが重要な注意点である。これは「資本量と資源使用量が同じならば政府の介入が大きいほど消費の成長率は高くなる」効果と「パラメータ θ の上昇は資源使用量（初期値）を減少させる（成長率を低下させる）」という効果がバランスした点が産出量成長率を最大に示している。これは、産出量成長率（経済成長率）を最大にする政府の規制が存在する可能性を示している。そしてこの結果から、数値シミュレーション上では適切な政府の介入によって経済成長率を上昇させることができるというインプリケーションが成立する。

初期値 $\gamma_{y(0)}$ は各々以下の通りである。

case	θ の値	$\gamma_{c(0)}$ の値
case①	0	7.72010976765456%
case②	0.1	15.0621460279659%
case③	0.3	9.93428239761434%

$[\alpha = 0.1, \phi = 2 - \alpha = 1.9, \psi = 0.9, \rho = 0.03 (=3\%), A = 0.05]$

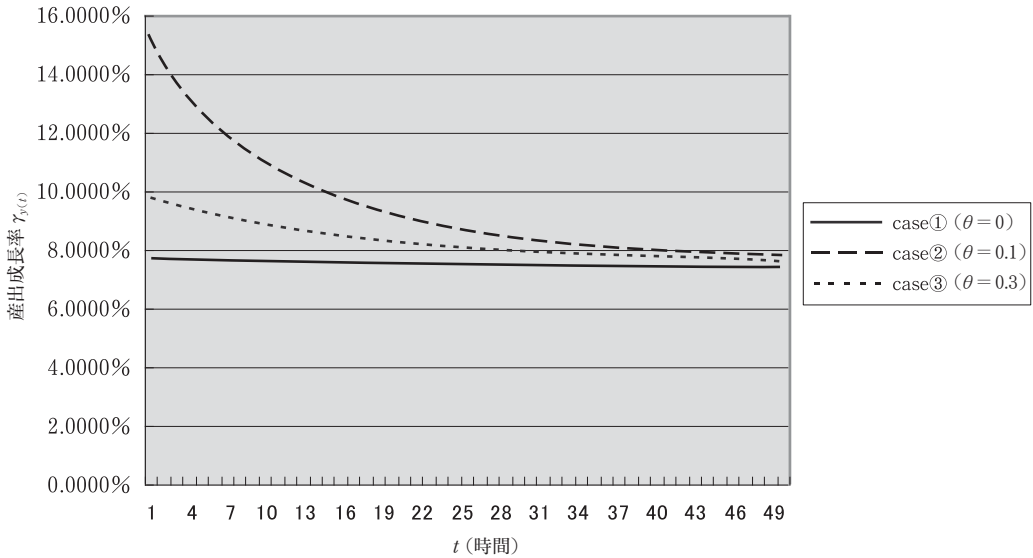


図6 産出量成長率 γ_y の数値シミュレーション結果： $k(0) = 3$, $r(0) = 10$

case③で資本量成長率が case①より大幅に低いのに対して産出量成長率が case①を上回っている理由は資源使用量変化率 $\gamma_{e(t)}$ にある。資源使用量変化率 $\gamma_{e(t)}$ の変化は図3で既に表示されているが case①は資源使用量変化率（減少率）が大きく、産出量を大幅に増やすことはできないが、case③は資源使用量変化率（減少率）が小さいため、資本量増加が case①より少なくとも資源の利用で産出量増加を図ることができるためであると考えられる。

よって、この数値シミュレーションにより以下のことが明らかになった。政府が資本の限界生産性を増加させる政策は、枯渇性資源の初期の使用量を減らす効果により、資本や消費の初期の成長率を下げる効果がある。その政策が極端でない場合には、初期の産出量成長率を押し上げる結果になる。

第8節 課題

第7節までの分析から、数値シミュレーション上では適切な政府の介入によって経済成長率を上昇させることができるという結論が得られた。しかし、本モデルにはいくつかの課題と問題点が存在する。

モデル上で最も重要な課題は、経済全体の資源使用量 $E(t)$ の外部性 θ に政府の規制を掛けた場合の影響を考えることであろう。本論文では経済全体の資本 $K(t)$ の外部性にだけ政府の規制を設けたが、数値シミュレーションの結果を見る限り、政府が資本の（正の）外部性を内部化しても単に資本の限界生産性が上昇するわけではないことが示された⁽¹⁹⁾。資源使用量の外部性についても、どのような影響があるかはシミュレーションを行って結果を示す必要があると考え

られる。

次に数値シミュレーションの問題点についてみると、本論文では経済全体の資源使用量 $E(t)$ の外部性 θ を $\phi = 2 - \alpha$ とセットした。これは宮永 (2014b) で「現実的ではない」として改良を加えた部分であったが、宮永 (2014b) と同様に $\phi < 2 - \alpha$ として数値演算を行い初期値 $e(0)$ に近似の値を使用したところ、 $e(0)$ が負の値を示したり、収束経路の固有値が正の値となり均衡値に収束しないなどの問題点が発生した。基本的に初期値・固有値とも解が2つ存在することから、もう一方の解を検討するなど初期値・固有値の計算部分を見直す必要があると思われる。このようにパラメータ設定によって成長率の収束等に顕著な違いが発生することから、さらにシミュレーションを重ねて妥当なパラメータ設定を追求していくことが今後の課題である。

また、モデルのインプリケーションについては、本モデルには「政府規制率の最適値」と「政府規制率の上限」が存在することが示された。本論文のパラメータ設定では $\theta = 0.1$ 前後で γ_y が最大となり、注 16 に書かれているように $\theta = 0.4$ 前後で初期値・固有値が不適当な値になる限界値が存在するようである。パラメータの選定過程から、これは資本賦存量 $k(0)$ ・資源埋蔵量 $r(0)$ の値に関わらず存在すると考えられるので、この2つの値の詳細と資本賦存量 $k(0)$ ・資源埋蔵量 $r(0)$ の値以外のパラメータが与える影響等を分析する必要があると考えられる。

本論の政策的なインプリケーションは、枯渇性資源や生産に外部性がある場合、政府の資本効率を適切に上げる政策は、資本の初期の蓄積を損ねるかもしれないが、枯渇性資源の初期の使用量を減らすことにより、初期の産出量成長率を押し上げることができることである。このように産業政策は枯渇性資源の使用率に影響を与えることを注意しなければならない。

《注》

- (1) 宮永 (2000)・宮永 (2002) モデルでも均衡解が実解で存在しない可能性は確認されている。
- (2) それはすなわち、経済が恒常成長経路に乗ることが不可能であるということでもある。
- (3) 自然効率性条件とは、 t 期の資源（使用量）の限界生産性の変動率が資本の限界生産力と等しくなるように動くという条件である。
- (4) 最大化の一階の条件の導出過程については宮永 (2000) pp. 73～75 を参照。
- (5) N は人口を示す変数で第六の仮定から定数である。
- (6) (1)式から最大化の変数は c, k, e, λ であり、 K, E は入っていないことに注意。
- (7) 資本の限界生産性変化率は政府の介入の有無にかかわらず $(-\alpha + \phi)\gamma_k + (\alpha + \phi)\gamma_e$ であり、政府の介入パラメータ θ とは無関係である。
- (8) 第5節で導出した消費の成長率と同一の式である。
- (9) 詳細な $\gamma_x, \gamma_z, \gamma_w$ の導出過程は宮永 (2000) pp. 77～78 を参照。
- (10) 均衡解への収束条件については宮永 (2000) p. 79 を参照。
- (11) 均衡点近傍の $P_{xy} - P'_{xy}$ 線の傾きの導出は宮永 (2002) 数学注 1-1 を参照。
- (12) 均衡点近傍の $P_{xw} - P'_{xw}$ 線の傾きの導出は宮永 (2002) 数学注 1-2 を参照。
- (13) 対数線形近似については宮永 (2002) 数学注 2 を参照。
- (14) 資源使用量の初期値 $e(0)$ の導出については宮永 (2002) 数学注 3 を参照。

- (15) 条件 $0 < \alpha < 1$ は仮定から、条件 $\alpha + \phi > 1$ は内生的成長を可能にする条件から導出されている。
- (16) 第 8 節の課題を参照。
- (17) $\theta > 0.3$ とした場合、資源使用量の初期値 $e(0) < 0$ となる場合があるため、本論文では $\theta > 0.3$ を上限とした。
- (18) (11)式を参照。
- (19) (17)式から、「消費成長率 $\gamma_c =$ 資本の限界生産性 $x(t) - \rho$ (時間選好率)」なので、図 4 より、「case①の資本の限界生産性 $>$ case②の資本の限界生産性 $>$ case③の資本の限界生産性」の関係が成立する。

参考文献

- Arrow, K. J. (1962) "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, 29, pp. 155-173.
- Ramsey, F. (1928) "A Mathematical Theory of Saving," *Economic Journal*, 38, pp. 543-559.
- Romer, P. M. (1986) "Increasing Returns and Long Run Growth," *Journal of Political Economy*, 94, pp. 1002-1037.
- Sheshinski E. (1967) "Optimal Accumulation with Learning by Doing," in Karl Shell ed., *Essays on the Theory of Optimal Ecponomic Growth*, Cambrige MA, MIT Press, 1967, pp. 31-52.
- Stiglitz, J. E. (1974) "Growth with Exhaustible Resources. Efficient and Optimal Growth Paths," *Review of Economic Studies*, Symposium, pp. 123-137.
- 浅子和美・川西諭・小野哲生 (2002) 「枯渇性資源・環境と持続的成長」, 『経済研究』, 53, pp. 236-246.
- 宮永 輝 (1995) 「有限の資源制約が存在する場合の内生的成長理論」, 『経済科学』, 第 43 巻 第 2 号, pp. 9-20.
- 宮永 輝 (1996) 「産業政策と発展途上国の工業化の関係」, 荒山裕行編『経済発展と国際経済 — 開発経済学の諸問題』[開発文化叢書 17], 第 6 章, 名古屋大学大学院国際開発研究科.
- 宮永 輝 (2000) 「有限の資源制約が存在する場合の内生的成長理論Ⅱ. — 市場経済モデル」, 『政治・経済・法律研究』, 第 3 巻 第 2 号, pp. 69-86.
- 宮永 輝 (2002) 「有限の資源制約が存在する場合の内生的成長理論Ⅲ. — 数値シミュレーションを用いた「収束仮説」の証明」, 『政治・経済・法律研究』, 第 4 巻 第 2 号, pp. 97-114.
- 宮永 輝 (2014a) 「枯渇資源における環境クズネッツ曲線の理論的導出 — 有限の資源制約が存在する場合の内生的成長理論を用いて —」, 『政治・経済・法律研究』, 第 16 巻 第 2 号, pp. 151-168.
- 宮永 輝 (2014b) 「有限の資源制約が存在する場合の内生的成長理論Ⅴ. — 数値計算を利用したモデルの精緻化 —」, 『政治・経済・法律研究』, 第 17 巻 第 1 号, pp. 65-81.
- 宮永 輝 (2015) 「枯渇資源における環境クズネッツ曲線の理論的導出Ⅱ. — 数値計算を利用したモデルの精緻化 —」, 『政治・経済・法律研究』, 第 17 巻 第 2 号, pp. 21-41.

(原稿受付 2021 年 10 月 25 日)