「三田学会雑誌」90巻4号（1998年1月）

環境制約下の経済成長：理論分析

大平　哲

1. はじめに

最近話題になっている持続可能性の議論の背景には，世代間の不公平が存在することは望ましくないという価値基準がある。自然環境の恩恵を現在世代だけが享受するのはおかしい，将来世代も恩恵を受けることができなければならないという考え方である。現在世代だけが環境の恩恵を受けることによって高い効用を享受し，その結果として将来世代の利用可能な環境資源がなくなるのではいけない，将来世代の経済生活を保証するような持続可能な成長経路を実現するように努力しなければならない。このような議論が盛んにおこなわれるようになってきている。

もっとも，世代間の公平と持続可能な成長という二つの概念は別個に理解すべきものであることには注意しなければならない。ここでは世代間の公平とはすべての世代がまったく同じ効用水準を享受していること，持続可能な経路とは，経済変数の値が収縮してしまい，将来世代が生き残ることができなくなるようなことがない経路のことを指すことにする。[(1)] そこで，たとえば，世代間の公平を保証しないけれども持続可能な成長経路を考えることはできる。逆に，現在時点で経済が破綻してしまい，将来いつになっても復興できない場合には，世代間の不公平はないが，持続不可能な成長経路にいるという言い方ができる。後者の例は極端な例ではあるが，世代間の公平と持続可能性とが独立した概念であることを端的に示している。

すべての経済変数が正の水準で一定に保たれる定常経路，あるいは恒常成長経路は持続可能な成長経路である。通常の経済成長論ではそのような定常成長経路への収束が生じるが，環境問題を視野に入れたときに同じ結論を得ることができるかどうかを検討するのが本稿の課題である。

同時に，世代間の格差が経路上で発生しているか否かも考察する。論理的可能性は次の三つだけである。(1)初期時点から経済が定常成長経路にあり世代間不公平が存在しない，(2)定常成長経路上で世代間の不公平がある，(3)定常成長経路がなく，世代間不公平がいつまでたってもなくならな

（1） 持続可能性の概念についてのより詳細な検討については、たとえばToman (1994) が参考になる。

い。

将来世代のための環境保護という問題意識はマクロ経済動学の分野では，1970年代から問題にされてきている。一つの流れとして枯渇資源の効率的利用を取り上げた研究がある。Dasgupta and Heal (1974)，Solow (1974)，Stiglitz (1974)，Hartwick (1977) などを例として指摘することができる。邦文で研究史を整理したものとしては時政(1993)を指摘することができる。枯渇資源が生産要素の一つだとしても，その枯渇によって将来世代の利用できる生産物の量が少なくなるわけではない。枯渇資源を利用したら，その減少に見合うだけの資本蓄積をすれば，将来世代は枯渇資源の代わりに資本ストックを利用して生産活動をおこなうことができる。枯渇資源を資本ストックが代替するという想定がこの結論を導く鍵になっている。これらの論文は持続可能な成長に対して楽観的な展望を見せ，世代間の公平が枯渇資源の存在を前提にしても達成可能なことを示している。以上の論文では連続型の最適成長モデルを用いているのに対し，Howarth and Norgaard (1990)，Norgaard and Howarth (1991) では重複世代モデルを用いて同様の分析をしている。

もう一つの流れとして，廃棄物の蓄積とその処理という側面を動学モデルの中に組み込む研究を指摘することができる。D'arge and Kogiku (1973)，Forster (1977)，Smith (1977)，Lee (1977)，Becker (1982) がその代表である。これらの研究は，廃棄物の無償処分を仮定する伝統的な経済学に対する疑問から出発し，廃棄物の処理費用を動学モデルに組み込むと，どのような定常成長経路を得ることができるかを検討している。その結果，廃棄物を処理する費用を考慮に入れると，それを考慮に入れない場合に比べて定常消費水準は減少するが，従来の理論の結論と本質的には同じ命題を得ることが確かめられている。とくに Becker (1982) では世代間公平に対するインプリケーションを意識している。世代間公平という視点はないが，同様の分析をした例として Uzawa (1991) を指摘することもできる。一般的な廃棄物ではなく，二酸化炭素やフロンなどの大気汚染の問題だけに問題を絞り，空気中の二酸化炭素が増大すると温室効果によって効用が減少するが，環境保護活動によってその効果を相殺できるという仮定を最適成長モデルの中に導入している。この論文では，環境の影の価格を計算し，それに基づいた課税を提唱している。廃棄物を動学モデルの中に組み込む研究の多くでは，廃棄物が効用を減少させる要因としてモデルの中に導入されている。廃棄物の生成という環境問題が，人間の健康に関わるものとして問題にされていることがわかる。

環境問題の中には，このように人間の効用に直接かかわるものばかりでなく，生産の条件に影響をあたえることを通じて問題になるものもある。Becker (1982) では環境の変化が人間の効用にばかりでなく，生産関数にも影響をあたえると仮定し，その影響の仕方が定常経路の存在条件に関係することを示している。

本稿でも，Becker (1982) と同じく，環境要因が生産関数をシフトさせると考える。環境問題の中でもっとも重要なものの一つと思われる農業問題を念頭においていることからこのような想定をする。具体的には，耕地，牧草地の不適切な管理によって，現在世代だけが農業生産物の恩恵を受

けていないだろうか，将来世代の消費が犠牲になっていないかという問題を考えている。現実には，農業生産を拡大するために自然環境を犠牲にすることが大なり小なりおこなわれている。土地を利用して生産活動をおこなうと，通常は土地の生産性は劣化する。とくに，化学肥料をまくことは土地が本来備えていた生産性を大きく劣化させると言われている。ところが，その劣化は適切な保護活動をすることによって回復させることができる。枯渇資源の場合とちがって，その利用が環境に対して一方的な影響をあたえるのではない。このような生産性の変動はまさに生産関数のシフトとして把握することができる。

Jones and O'Neill (1992) は静学モデルの範囲内ではあるが，一般均衡モデルを作って，農業の土地利用の形態と環境保護活動とがどのような内生的メカニズムによって決定されるかを分析している。その際，経済活動の増大が自然環境の生産性を劣化させ，保護活動が生産性を回復させると仮定している。

本稿では，Jones and O'Neill (1992) と同じく経済活動が自然の備えている生産性を劣化させると想定し，彼らのモデルが静学的であることを克服するために，動学モデルを構築することによって，時間を通じた生産性の劣化，経済活動，自然保護活動の動きを解析する。その際，重複世代モデルで経済体系を記述する。環境問題があることによって世代間でどのような経済格差が生じるかを見る目的にとっては，連続モデルよりも優れているからである。

以下では，環境の制約があるときに政府がどのような介入をすれば市場で最適成長経路が実現できるかという問題を考える。個別企業は，自己の生産活動は経済全体に比べれば微少であると考えているために，環境についてはまったく配慮しないという想定をする。このことは，政府介入がなければ環境破壊が一方的に進んでしまうことを意味している。そこで，政府が企業の産出物のうちある割合を税として徴収し，それを財源として保護支出をすることによって望ましい成長経路を実現することを考える。最適成長経路を実現するために企業への税率が満足すべき条件を求めるのが本稿の第一の課題である。最適成長経路が実現したとしても，それは持続可能なものではないことを次に示す。どんなに環境保護を適切におこなっても経済はいずれ生産活動，消費活動すべてがゼロになってしまう。一人当たり経済変数がすべて一定になり，公平な世代間分配がおこなわれるような定常状態を達成することはできない。

この結論は，最適成長経路でのみ言えることである。最適成長以外の経路を政府が選択して持続可能な成長経路を実現する可能性まで否定するわけではない。一つの案として，現在世代も含めてすべての世代間の公平を実現する成長経路を検討する。パラメタ間の関係によっては，世代間の公平を優先する政策は，結果として持続可能な成長と世代間の公平性の両方を実現することがあることを，その分析の中で示す。この結論がパラメタ間の関係に依存しているのに対し，もう一つの政策運営方式として取り上げる生産性を一定に保つ政策の場合には，経済は必ず持続可能な成長を保証する経路上にあることを示す。ただし，一般に世代間の格差は犠牲にしなければならない。

環境政策は効率性だけを基準に策定されるべきではない。本稿の結論はこのような含意をもつ。最適成長経路，すなわち効率的な成長経路を政府介入によって実現できるとしても，それは持続可能性という別の基準では否定される。たとえば，生産性を現状のままに維持するという別の政策を採用する方が，効率性を犠牲にする代わりに持続可能性という別の価値基準を満足する。最近の環境問題に対する意識の芽生えは，経済学で伝統的に採用されてきた効率基準に対する反省を促している。

以下，まず 2 で環境制約式の形状について検討する。3 では，環境制約がある場合のモデルを構築する。4 で最適成長経路が満足すべき条件を導出する。また，市場で最適成長経路を実現するような政府介入のありかたを探る。税率が満足すべき条件がここであきらかにされる。また，世代間の公平性へのインプリケーションを探るために，体系がどのような定常解をもつかを調べる。5 では最適成長に代わる政策として，世代間の公平を優先する政策，生産性を一定にする政策との二つを考える。6 では結論をまとめる。

2. 環境制約

以下の分析では，人口は一定と仮定する。この仮定をおくことには二つの目的がある。まず，本稿の分析にとって人口成長が本質的な役割をもたないので，単純化の想定としてこの仮定をおく。また，人口成長を考えることによって，本稿の分析にとっては本質的ではない夾雑要因が入ることを防ぐことができる。人口成長を考えると，重複世代モデルでは環境問題を考慮に入れなくても，競争均衡が必ずしも最適成長経路になるとはかぎらない。市場均衡が最適成長経路になるように政府が介入することを考える本稿の目的にとっては，人口成長を無視した方が，環境要因が導入されたことの効果を純粋に取り出すことができる。

世界の多くの地域で，人間の経済活動が原因となって環境破壊がおきている。環境破壊は人間の健康に直接の影響をもつだけでなく，自然環境が本来備えていた生産性を劣化させることを通じて人間社会に影響をあたえる。たとえば，アメリカでは短期的な利潤の最大化だけを念頭に行動する大企業が農業に従事することによって，生産活動の後には荒廃した大地だけが残るケースが数多く報告されている。

本稿では，まず次の生産関数を考え，技術係数 α が経済活動によって変動するメカニズムを考える。この技術係数は自然の生産性の水準を表現しているという解釈をする。自然環境の恩恵を受けながら生産活動がおこなわれるが，生産関数のうち $f(\cdot)$ の部分には自然環境がどの程度生産に寄与しているかは表現されていない。

(1) $y_t=\alpha_t f(k_t) \qquad \alpha_t\geq 0$

(2) $\alpha_{t+1}=\phi(y_t,g_t;\alpha_t)$

ここで，y_t，k_t，g_t はそれぞれ一人当たりの生産量，資本ストック量，自然保護のための支出水準である。(2) 生産関数についてはごく一般的な形状を仮定することにする。すなわち，限界生産物は正であり逓減する。

$$f'(k_t)\equiv\frac{\partial f(k_t)}{\partial k_t}>0,\quad f''(k_t)\equiv\frac{\partial^2 f(k_t)}{\partial k_t^2}<0,$$

(2)式は技術係数で表現されている生産性が，一期前の産出高と自然保護活動水準，および生産性水準によって決まるという仮定である。経済活動水準 y_t の増大が技術係数を減少させ，自然保護活動水準 g_t の増大は逆に技術水準を増大させる。

仮定 1　$\phi_{y_t}\equiv\dfrac{\partial\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial y_t}<0$

仮定 2　$\phi_{g_t}\equiv\dfrac{\partial\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial g_t}>0$

生産量が大きくなるほど，保護支出による生産性回復効果は小さくなると考えられる。ここでは，「大きくはならない」というより緩やかな仮定をおくことにする。

仮定 3　$\phi_{y_tg_t}\equiv\dfrac{\partial^2\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial y_t\partial g_t}\leq 0$

この仮定は，保護支出は失われた生産性を回復する力をもっているが，生産活動が活発になればなるほどそのことによる生産性劣化の効果の方が大きくなってしまうことを意味している。このような現象の背景には，生産量拡大による生産性劣化は生産量に対して逓増的であり，保護支出の効果は逓減的であることがある。

仮定 4　$\phi_{y_ty_t}\equiv\dfrac{\partial^2\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial y_t^2}<0$

仮定 5　$\phi_{g_tg_t}\equiv\dfrac{\partial^2\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial g_t^2}<0$

生産も保護活動もおこなわれない場合には生産性には変動がないと想定する。

仮定 6　$\phi(0,0,\alpha)=\alpha$

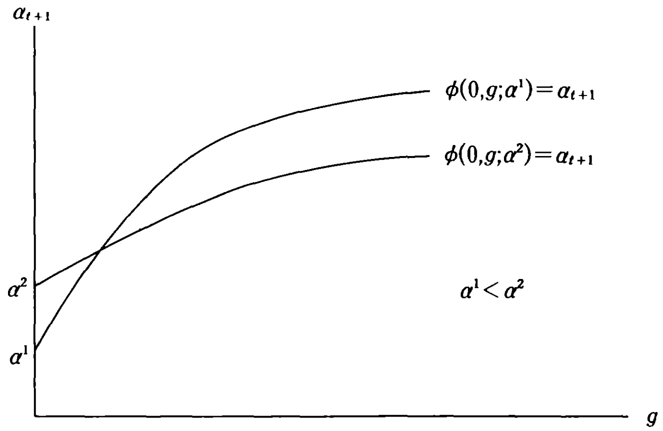
生産性水準 α が高くなるほど，保護活動による生産性回復効果は小さくなると考えられる。生産性が著しく劣化しているときには，人間の保護活動によって高い生産性回復ができるが，生産性がある水準になると，人間がどのようにがんばってもそれ以上は生産性を拡大させることができない。

仮定 7　$\phi_{y_t\alpha_t}\equiv\dfrac{\partial^2\phi(y_t,g_t;\alpha_t)}{\partial y_t\partial\alpha_t}\leq 0$

そこで，産出量がゼロとして，保護活動だけをした場合の生産性回復効果は次の図のようになる。

---

(2)　ここでは人口成長は考えていないのでマクロの経済変数と一人当たり変数とには本質的なちがいはない。本稿を通じて一人当たりで経済変数を記述する。



α^1 より高い生産性 α^2 の下では保護活動による生産性回復は小さくなっている。

さて，ここで後の議論のために，生産性を一定に保つ生産量 y_t と保護支出 g_t の組み合わせが，$y-g$ 平面でどのような形状をもつかを整理しておこう。生産性を $\bar{\alpha}$ の水準に保つ y と g との組み合わせは

$$\phi(y,g,\bar{\alpha})=\bar{\alpha}$$

という式で表される。この式を全微分することによって，次の式を得る。

$$(3)\quad \frac{dg}{dy}\Big|_{d\alpha=0}=-\frac{\phi_y}{\phi_g}>0$$

すなわち，生産性を一定に保つ曲線は $y-g$ 平面で右上がりの曲線である。右上がりであることは，(3)式に仮定 1 と仮定 2 を適用することによって導かれる。

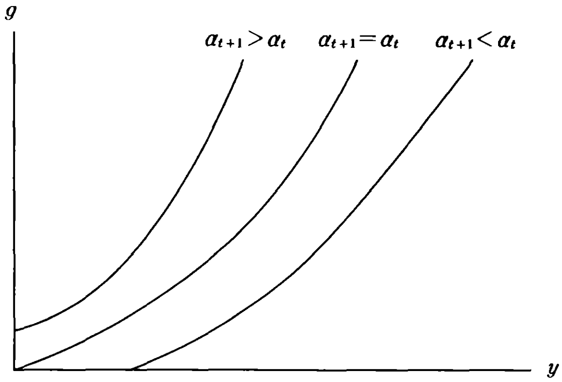
仮定 1 と仮定 2 は $y-g$ 平面で南東方向の点はより小さな生産性 α に対応していることも含意している。生産性を一定に保つ曲線は生産性 α の大きさに応じて複数存在するが，すべて $y-g$ 平面で右上がりであり，下方の曲線ほどより小さな生産性に対応している。また α_t が同じであれば異なる α_{t+1} に対応する y と g との組合せを示す曲線はそれぞれ交差することはない。

また，生産性を一定に保つ曲線は，$y-g$ 平面で下に凸である。なぜなら，生産性を一定に保つ曲線の勾配を

$$M_{yg}\equiv\frac{dy}{dg}\Big|_{d\alpha=0}$$

とすると，

$$\frac{dM_{yg}}{dy}=-\frac{\phi_{yy}\phi_g-2\phi_y\phi_{gy}+\dfrac{\phi_y^2}{\phi_g}\phi_{gg}}{\phi_g^2}>0$$



となるからである。仮定1から5までをつかうとこの符号が確定する。

次節では，このような環境制約に従っている経済で，企業，消費者ともに環境保護活動に関わらないために最適成長経路を実現できない状態を考える。政府がどのような介入をすれば最適経路が実現できるかを問題にする。

3．基本モデル

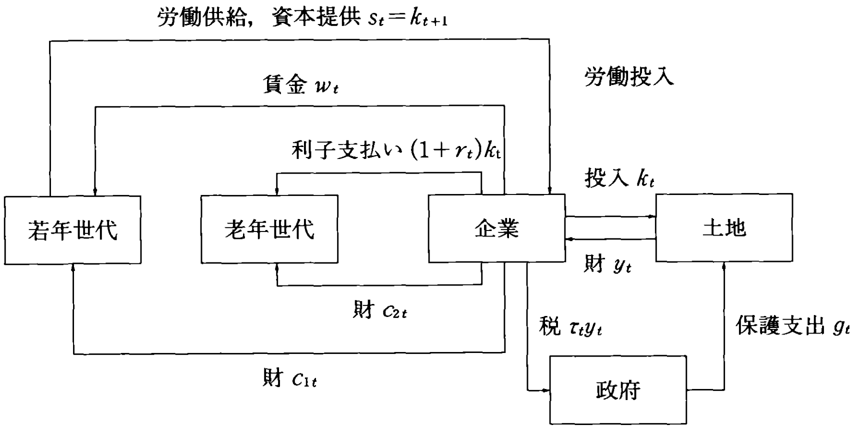
ここでは，政府による課税・保護活動を与件とすると，市場でどのような成長経路が実現されるかを調べる。

競争市場は企業と消費者，政府から構成される。政府部門が追加されてはいるが，以下のモデルは Blanchard and Fischer (1989) の第3章でまとめられている重複世代モデルを基本的に踏襲している。

消費者の目的は，若年時，老年時の消費から得られる加重効用和の最大化である。第 t 消費者は，若年時に労働力を提供することの代価として得た賃金 w_t をそのときの消費 c_{1t} と貯蓄 s_t とに分割する。この貯蓄供給は企業による次期の生産活動のための資本需要 k_{t+1} と均衡する水準に決まる。この消費者は老年になったときに，貯蓄に対する見返り $(1+r_{t+1})s_t$ を受け取り，その期の消費 c_{2t+1} のためにつかう。企業の目的は利潤最大化である。企業は生産要素である労働力と資本を若年世代から調達し，利子支払いを老年世代に対しておこなう。このようにして調達した生産要素を土地に投入し，生産物 y_t を得る。生産物の一定率 τ_t は税金として政府に収めなければならない。

政府は環境保護活動，およびそのファイナンスのための課税しかおこなわない。また公債発行はない。

第 t 期のこの経済でのモノの流れの略図は次のようになる。



図が煩雑になることを避けるために，消費財の購入に対する代価の流れは省略している。完全雇用を仮定しているので，消費者による労働供給，企業による労働投入はいつでも人口水準に一致している。

企　業

企業の目的は時間を通じた利潤の最大化である。

企業は技術(1)の制約下で行動すると仮定する。

個別企業の規模は経済全体にくらべればごく小さなものなので，その生産活動は土地の生産性には影響をあたえない水準であると考えている。企業からの税収を利用して政府が保護支出をする。企業は政府がおこなう保護支出水準を知っている。個別企業が直接動かすことのできる変数にはダッシュ (') をつけ，個別企業が所与とする変数にはダッシュをつけないことにし，t 期の個別企業の生産量，投資量，資本ストック量，雇用量，政府の保護支出量をそれぞれ $y'_t, I'_t, k'_t, L'_t, g_t$ とすると，利潤最大化問題は次のように整理することができる。

$$\underset{I'_t, L'_t}{\text{maximize}} \quad \Sigma_{t=0}^{\infty}\left(\prod_{j=0}^{t}\left(\frac{1}{1+r_j}\right)\right)[(1-\tau_t)y'_t - w_t - I'_t]L'_t$$

$$\text{subject to} \quad k'_{t+1} = I'_t \quad t=0,1,2,\cdots$$

$$y'_t = \alpha_t f(k'_t) \quad t=0,1,2,\cdots$$

$$\alpha_{t+1} = \phi(y_t, g_t; \alpha_t) \quad t=0,1,2,\cdots$$

$$\text{given } \alpha_0, k_0 \text{ and } \{g_t\}$$

ここで w_t と r_t はそれぞれ賃金率，利子率である。また，$r_0=0$ とする。減価償却率は100パーセントと想定している。重複世代モデルでは一つの世代の生きる期間は20年から30年というように長い時間を念頭においているので，この仮定はそれほど非現実的なものではない。

環境制約式は個別企業の変数ではなく，経済全体の生産量と保護支出との関数であるので，個別企業の行動を制約しない。生産性の変動についてはは外生的にあたえられている下で利潤最大化問題を解くのと同じ行動をとることになる。代表的企業の行動を考えると結局は個別企業の利潤最大化問題と同じ形式の最大化条件をもつので，利潤最大化の条件として次の式を得ることが出来る。

(4) $1+r_t=\alpha_t(1-\tau_t)f'(k_t) \quad t=1,2,\cdots$

(5) $w_t=\alpha_t(1-\tau_t)[f(k_t)-k_tf'(k_t)] \quad t=0.1,2,\cdots$

消 費 者

消費者は二期間生きると仮定されている。第 t 消費者は t 期に若者であり，第 $t+1$ 期に老人になる。若者は労働力を供給し賃金率 w_t でその報酬を受け取る。賃金は若者のときの消費 c_{1t} のためにつかわれるか，貯蓄 s_t のためにつかわれる。この貯蓄は r_{t+1} の率で利子を生み出し，元金とともに $t+1$ 期の消費 c_{2t+1} のためにつかわれる。

消費を c だけしたときの効用は関数 $u(c)$ であたえられる。この効用関数は限界効用が正で逓減する性質を備えていると仮定する。

$u'(c)>0, \quad u''(c)<0$

各消費者の生涯を通じた効用は若者のときの効用と老人になってからの効用の β の率での割引値の合計として計算される。t 期に若者に属する消費者（第 t 世代）の生涯効用は

$u(c_{1t})+\beta u(c_{2t+1}) \quad 0<\beta<1$

であたえられることになる。

以上をまとめると，第 t 世代の消費者の解くべき問題は次のようにまとめることができる。

$$\begin{aligned} &\underset{c_{1t},c_{2t+1}}{\text{maximize}} && u(c_{1t})+\beta u(c_{2t+1}) \\ &\text{sucject to} && c_{1t}+s_t=w_t \\ & && c_{2t+1}=s_t(1+r_{t+1}) \end{aligned}$$

この問題を解くことによって，消費者は最適な貯蓄規模 s_t を決める。まず一階条件から次の式を得る。

(6) $$\frac{u'(w_t-s_t)}{u'(s_t(1+r_{t+1}))}=\beta(1+r_{t+1})$$

この式は次の式とまったく同じ内容を意味している。

(7) $$\frac{u'(c_{1t})}{u'(c_{2t+1})}=\beta(1+r_{t+1})$$

(6)(7)式はすべての世代 ($t=0,1,2,\cdots$) について成立している。

政　　府

公債発行の可能性を考えない。また，保護活動，およびそのファイナンスのための課税以外には政府の活動はまったくないとする。この単純化の仮定の下では政府の予算制約式は

(8)　$g_t = \tau_t y_t \quad t=0,1,2,\cdots$

という形になる。

政府はなんらかの価値基準にしたがって支出 g_t ないしは税率 τ_t を決める。競争均衡での成長経路を求める本節では，政府支出，税率ともに外生的にあたえられているとして議論をすすめる。均衡財政条件(8)の成立だけを仮定することにする。次節では最適成長経路を実現するように政府が行動する場合に，どのような原理にしたがって政府支出，税率が決まるかを考える。

市場均衡

市場均衡では，現在時点での貯蓄が次期の資本蓄積を決める。

(9)　$k_{t+1} = s_t \quad t=0,1,2,\cdots$

企業の最適化条件(4)(5)を(6)に代入すると，次の式を得る。

(10)　$$\frac{u'(w_t - s_t)}{u'(s_t(1+r_{t+1}))} = \beta\alpha_{t+1} f'(k_{t+1})(1-\tau_{t+1}) \quad t=0,1,2,\cdots$$

(4)，(5)，(9)，(10)とを連立することにより，次の式を得る。

(11)　$$\frac{u'[\alpha_t(1-\tau_t)\{f(k_t) - k_t f'(k_t)\} - k_{t+1}]}{u'[k_{t+1}\alpha_{t+1}(1-\tau_{t+1})f'(k_{t+1})]} = \beta\alpha_{t+1}(1-\tau_{t+1})f'(k_{t+1}) \quad t=0,1,2,\cdots$$

また，(1)，(2)，(8)とから次の式を得る。

(12)　$\alpha_{t+1} = \phi(\alpha_t f(k_t), \tau_t \alpha_t f(k_t); \alpha_t) \quad t=0,1,2,$

(11)と(12)は k_t と α_t の連立定差方程式であり，市場均衡経路を記述する。ここで $\{\tau_t\}$ は政府が決めるものであって外生的にあたえられる。

政府介入がない場合には，τ_t がゼロ，g_t がゼロになる。そのときには，環境制約式の形状からあきらかなように，正の生産活動がされるかぎり生産性 α は減少し続ける。経済はいずれ生産量がゼロになる点に収束する。すなわち，政府介入がない市場モデルでは経済は持続可能ではない。以下で税率を決定する諸政策を検討するのは，政府介入によって持続可能な経済成長が実現できるか否かを調べるためである。次の節では，政府が最適成長経路を実現するようにこの τ_t の時系列を決めると仮定して，その水準がどのような原理に従って決められるかを検討することにする。

4．最適成長政策

前節では与件としていた政府活動について考える。ここでは最適成長経路が実現するように政府が行動すると仮定する。

最適成長経路を得るために，政府は技術(1)と環境制約(2)の下で，社会厚生関数を最大化する問題を解く。社会厚生関数は各世代のもつ個々の効用の加重和で計算されると仮定する。それぞれの世代の効用を政府は割引率 $1/1+R$ で現在価値に直すとする。ここでは，政府が生産物の一定割合 τ_t

を保護活動のために利用すると考えているから，最適制御問題は次のようにまとめることができる。

$$\underset{\tau_t, c_{1t}, c_{2t+1}}{\text{maximize}} \quad \beta u(c_{20}) + \textstyle\sum_{t=0}^{\infty}(\frac{1}{1+R})^{t+1}[u(c_{1t}) + \beta u(c_{2t+1})]$$

$$\text{subject to} \quad (1-\tau_t)\alpha_t f(k_t) = k_{t+1} + c_{1t} + c_{2t} \quad t=0,1,2,\cdots$$

$$\alpha_{t+1} = \phi(\alpha_t f(k_t), \tau_t \alpha_t f(k_t)\,;\,\alpha_t) \quad t=0,1,2,\cdots$$

(13) $$\text{given } c_{20},\ \alpha_0 \text{ and } k_0$$

ここで c_{20} はゼロ期の老人の消費量である。政府は c_{1t}，c_{2t}，τ_t を制御変数として，この問題の解を求める。

この問題を解くためにまず次の関数を定義する。

$$\begin{aligned} L \equiv\ & \beta u(c_0) \\ & + \sum_{t=0}^{\infty}(\frac{1}{1+R})^{t+1}[u(c_{1t}) + \beta u(c_{2t+1}) \\ & + \lambda_t\{k_{t+1} + c_{1t} + c_{2t} - (1-\tau_t)\alpha_t f(k_t)\} \\ & + \mu_t\{\alpha_{t+1} - \phi(\alpha_t f(k_t), \tau_t \alpha_t f(k_t); \alpha_t)\}] \end{aligned}$$

問題の最適化条件は次のように書ける。すなわち

(14) $$\frac{\partial L}{\partial c_{1t}} = (\frac{1}{1+R})^{t+1}[u'(c_{1t}) + \lambda_t] = 0 \quad t=0,1,2,\cdots$$

(15) $$\frac{\partial L}{\partial c_{2t}} = (\frac{1}{1+R})^{t}\beta u'(c_{2t}) + (\frac{1}{1+R})^{t+1}\lambda_t = 0 \quad t=1,2,\cdots$$

(16) $$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial k_{t+1}} = & (\frac{1}{1+R})^{t+1}\lambda_t \\ & - (\frac{1}{1+R})^{t+2}[\lambda_{t+1}(1-\tau_{t+1})\alpha_{t+1}f'(k_{t+1}) \\ & + \alpha_{t+1}f'(k_{t+1})\mu_{t+1}(\phi_{yt+1} + \tau_{t+1}\phi_{gt+1})] = 0 \quad t=0,1,2,\cdots \end{aligned}$$

(17) $$\frac{\partial L}{\partial \tau_t} = (\frac{1}{1+R})^{t+1}\alpha_t f(k_t)[\lambda_t - \mu_t \phi_{gt}] = 0 \quad t=0,1,2,\cdots$$

(18) $$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \alpha_{t+1}} = & (\frac{1}{1+R})^{t+1}\mu_t \\ & - (\frac{1}{1+R})^{t+2}[\lambda_{t+1}(1-\tau_{t+1})f(k_{t+1}) \\ & + (f(k_{t+1})\phi_{yt+1} + \tau_{t+1}f(k_{t+1})\phi_{gt+1} + \phi_{\alpha t+1})\mu_{t+1}] = 0 \quad t=0,1,2,\cdots \end{aligned}$$

(19) $$\frac{\partial L}{\partial \lambda_t} = k_{t+1} + c_{1t} + c_{2t} - k_t - (1-\tau_t)\alpha_t f(k_t) = 0 \quad t=0,1,2,\cdots$$

(20) $$\frac{\partial L}{\partial \mu_t} = \alpha_{t+1} - \phi(\alpha_t f(k_t),\ \tau_t \alpha_t f(k_t); \alpha_t) = 0 \quad t=0,1,2,\cdots$$

(21) $$\lim_{t\to\infty}(\frac{1}{1+R})^{t+1}\lambda_t k_t = 0$$

(22) $$\lim_{t\to\infty}(\frac{1}{1+R})^{t+1}\mu_t \alpha_t = 0$$

ここで(21)と(22)は横断条件である。

政府はこの最適制御問題を解き，最適な税率 τ_t を求める。この計算は関数が特定されていたとしても簡単にはできない。ところが，上の最適化条件をまとめた次の式を利用することによって，最適成長経路の性質を調べることができる。

(23) $\dfrac{u'(c_{1t})}{u'(c_{2t+1})}=\beta\alpha_{t+1}f'(k_{t+1})(1+\dfrac{\phi_{yt+1}}{\phi_{gt+1}})\quad t=0,1,2,\cdots$

(7)と(10)とから，市場均衡では次の条件を得る。

(24) $\dfrac{u'(c_{1t})}{u'(c_{2t+1})}=\beta\alpha_{t+1}f'(k_{t+1})(1-\tau_{t+1})\quad t=0,1,2,\cdots$

(23)と(24)を比較することによって，競争市場で社会的最適状態が実現されるための必要条件として次の式を指摘できることがわかる。

(25) $\tau_t=-\dfrac{\phi_{yt}}{\phi_{gt}}\quad t=1,2,\cdots$

いま求めた最適課税の公式をつかって，環境制約下の最適成長経路が持続可能なものであるのかを調べよう。次の三つの命題を順に説明する形で論をすすめる。

1．最適成長経路が(25)式を満足することを利用してモデルを解くことができる。

2．最適成長経路では生産性は増加しつづける。

3．最適成長経路では生産量はゼロに収束する。

第一の点は容易に確かめることができる。(25)，および政府の予算制約式(8)から，税率 τ_t を状態変数 k_t と α の関数として得ることができる。

(26) $\tau_t=\tau(k_t,\alpha_t)$

この値を競争均衡式(11)と(12)に代入すれば(25)式を満足する競争均衡経路を得ることができる。

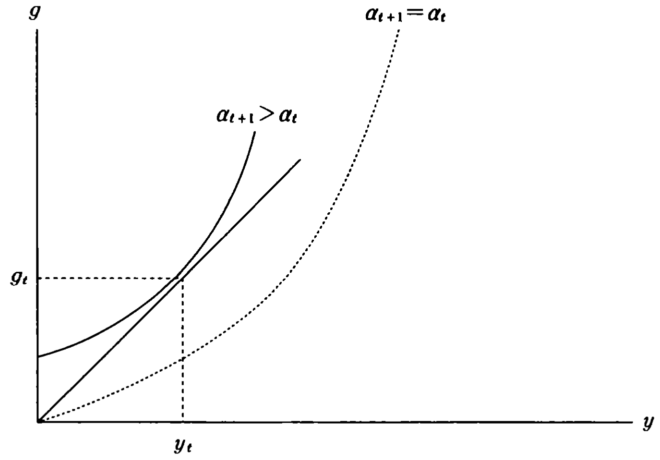
第二の点は以下のように説明できる。均衡財政(8)の仮定の下では，(25)式を満足するように政府が行動するためには $g_t/y_t=-\phi_y/\phi_g$ が成立するように保護支出 g を決めなければならない(3)。ところで，$y-g$ 平面で同じ α_{t+1} に対応する y と g との組合せを示す曲線の傾きは $-\phi_y/\phi_g$ となる。そこで，最適成長経路を実現するためには，その時々の生産水準の下で，生産性を一定にする曲線の接線が原点を通るような点で，その期の保護活動水準を決める必要があることになる(4)。環境制約式に関する仮定から，この点に対応する次期の生産性が必ずその期の生産性よりも高くなっていることは容易に示せる。このことはすべての時点で成立するから，生産性は増大し続けるという結論を出すことができる。より正確には，生産量 y_t が正であるかぎり生産性が増大しつづけると結論できる。

最後に，最適成長経路では生産量がいずれゼロになることを説明する。

伝統的な成長論の慣習に従い，ここでは生産性 α がある一定値に収束する経路だけを考えること

(3) 毎期毎期，状態変数である資本ストック k_t と生産性 α_t があたえられると，その期の生産水準 y_t が決まる。

(4) 環境制約式の形状を検討したときに，次期の生産性を同じ水準にする y と g との組み合わせは $y-g$ 平面上で下に凸で右上がりであることと，上位の曲線ほど高い生産性に対応していることを確認した。また，次期の生産性を今期のままにする y と g との組み合わせが原点を通る曲線で描けることもわかっている。



によって，横断条件(22)の成立を保証することにする。最適制御問題の一階条件を満足する経路は一般に複数存在する。ただし，一階条件は最適化のための必要条件であって，十分条件を満足するとは限らない。一階条件を満足するもののうち横断条件を満足するものだけが最適解の候補として残る。伝統的な成長論では，状態変数がしまいに一定の値になる経路，すなわち定常経路だけに議論を絞ることによって一階条件ばかりでなく横断条件も満足する経路を一つ取り出す。本稿でもこのような考えかたを踏襲する。(5)

さて，本稿のモデルでは，生産量が正の水準にあると必ず生産性が上昇することが以上の分析でわかっている。このことは，生産性がある一定値に収束するときには，生産量 y_t はゼロに収束することを含意している。そこで，a がある一定値に収束する最適経路では生産量 y_t がゼロに収束するという結論を得ることができる。

このことは，消費系列も最終的にはゼロに収束することも意味している。世代間の効用には格差

(5) もっとも単純なモデルでは，定常経路が割引効用和を最大にするものであることも簡単に示せる。たとえば，Ramsey に始まる伝統的な最適成長論を要領よく展望している Blanchard and Fischer (1989) の第 2 章が参考になる。

ところで，最近の内生成長論では，すべての経済変数が同じ一定率で成長し，定常状態にいきつくわけではない経路が横断条件も満足する場合についても研究をしている。たとえば，Romer (1986), Barro (1990) がその代表である。また，発散経路が横断条件を満足することについての説明は，Turnovsky (1995) の説明が要領よい。内生成長論を用いて，環境問題を分析した Mohtadi (1996) でも横断条件を満足する発散経路を考えている。

本稿のモデルでは，最適成長経路が環境制約式も満足しなければならないために，このような内生成長論と同様の分析をおこなうことができない。環境制約式の形状が特殊なもの，すなわちパラメタ間の関係が特殊なものでないかぎり，横断条件を満足する経路の候補となるのは，伝統的な成長論と同じく定常状態への収束経路しかない。横断条件を満足する発散経路が存在するためにパラメタが満足すべき条件を調べることよりも，むしろ Ramsey に始まる伝統的な成長論にしたがって，定常経路のみに議論の焦点を絞るのがここでの方針である。

が生じているということである。現在世代の消費のために自然環境を犠牲にする結果，将来世代の消費が抑制されるという不公平な分配がおこなわれている。また，ここのモデルでは明示的に定式化していないが，実際には人間には最低生存水準があり，消費がゼロにならなくても生存がおびやかされ，消費が最低生存水準になった点で持続可能な成長は不可能になってしまう。最適成長経路は世代間の公平性を損なうものである上に持続可能なものでもない。

具 体 例

最後に，いままでの結論を関数形を特定化したモデルで再確認してみよう。まず，効用関数，生産関数を順に次の形に仮定する。

(27) $u(c)=\log(c)$

(28) $y_t=\alpha_t k_t^a \quad 0<a<1$

この仮定の下では，(11)は次のような単純な形になる。

(29) $k_{t+1}=\dfrac{\beta}{1+\beta}(1-a)\alpha_t(1-\tau_t)k_t^a \quad t=0,1,2,\cdots$

環境制約式は次の形を仮定する。(6)

(30) $\alpha_{t+1}=\alpha_t+(-\delta_1 y_t^{d_1}+\delta_2 g_t^{d_2})\dfrac{1}{\alpha_t} \quad 0<d_2<1<d_1,\ \delta_1>0,\ \delta_2>0 \quad t=0,1,2,\cdots$

以上の関数形を仮定すると，

$$\tau_t=\frac{\delta_1}{\delta_2}\frac{d_1}{d_2}\frac{y_t^{d_1-1}}{g_t^{d_2-1}} \quad t=1,2,\cdots$$

$$g_t=\left(\frac{\delta_1}{\delta_2}\frac{d_1}{d_2}y_t^{d_1}\right)^{\frac{1}{d_2}} \quad t=1,2,\cdots$$

となり，

$$\alpha_{t+1}=\alpha_t+\delta_1\frac{d_1-d_2}{d_2}\frac{y_t^{d_1}}{\alpha_t} \quad t=1,2,\cdots$$

という関係を導くことができる。この式は，$y_t>0$ であるとき，生産性 α が増大し続けることを意味している。また，$y_t=0$ になったとき，またそのときのみに生産性の変動がなくなることもわかる。

5．最適成長に代わる政策

前節では政府が最適成長経路を実現するように税率を決めるときには，経済は生産量が収縮する経路上にあることを示した。ここでは，(27)，(28)，(30)の関数の特定化を踏襲した上で，最適成長政策に代わる政策基準の例として，世代間の公平を優先する政策と生産性を一定にする政策の二つを検討する。

---

(6) この関数形は２節の仮定をすべて満足している。

これらの経路には定常解があるだろうか。もしあるとしたら，その経路は持続可能な成長を保証するものということになる。世代間の公平を優先する政策の場合には，自動的に持続可能な成長経路が世代間の公平性も保証するものということになるが，生産性一定の経路では同じ論法は成立しない。仮に定常解があったとしても，そのモデルは持続可能な成長経路を保証するだけで，世代間の格差についてはさらなる検討が必要となる。

5.1　世代間の公平を優先する政策

世代間の公平性を保証する経路にはいくつかのものが考えられる。もっとも厳密には，すべての世代が同じ効用を享受しているときに世代間の公平が実現していると言うべきだろう。ここではより限定的に，常に消費パターンが一定となる経路のみを考察の対象にする。すなわち，すべての世代の若年時の消費，老人時の消費がまったく同じ水準にあるように政策的にコントロールすることを考える。すべての世代はそれぞれ二期間生きるから，必ずしも消費パターンが一致していなくても同じ効用水準を得ることはできるので，ここで考える政策はきわめて狭い意味で世代間の公平性を考えるものである。

まず最初に，この経路では資本ストックも常に一定でなければならないことを示し，体系は生産性 α の動学方程式だけで記述されることを導く。

消費パターンが常に一定になる経路を考えているのだから，(7)式を考慮すると，市場では利子率も常に一定になることがわかる。そこで，利子率は常に $r_t=r$ という水準にあるとして，企業の利潤最大化条件から導かれた(4)式から次のことがわかる。

(31)　$\alpha_t(1-\tau_t)ak_t^{a-1}=1+r \quad t=1,2,\cdots$

(31)式を(29)式に代入すると

(32)　$k_{t+1}=\dfrac{\beta}{1+\beta}\dfrac{1-a}{a}(1+r)k_t \quad t=1,2,\cdots$

ところで，(31)式から得る

(33)　$\alpha_t(1-\tau_t)ak_t^a=(1+r)k_t \quad t=1,2,\cdots$

という式と(32)を資源制約式

$(1-\tau_t)\alpha_t k_t^a=k_{t+1}+c_{1t}+c_{2t} \quad t=0,1,2,\cdots$

に代入することにより，次の関係を得る。

(34)　$c_{1t}+c_{2t}=[\dfrac{1+r}{a}-\dfrac{\beta}{1+\beta}\dfrac{1-a}{a}(1+r)]k_t \quad t=1,2,\cdots$

ここではすべての世代の消費パターンが同一になる経路を考えているので，この式の左辺はすべての時点で同じ水準になる。右辺の資本ストックの係数はパラメタだけで決まるので，資本ストック k_t も時間を通じて一定になることを意味する。(32)式から資本ストックを一定にする利子率は次の

ように決まる。

(35) $1+r=\frac{1+\beta}{\beta}\frac{a}{1-a}$

資本ストックの初期水準を k とすると，この体系の動学方程式は生産性の変動を決める次の式だけで表現されることになる。

$$\alpha_{t+1}=\alpha_t+\frac{[-\delta_1(\alpha_t k^a)^{d_1}+\delta_2(\alpha_t k^a-\frac{1+\beta}{\beta}\frac{1}{1-a}k)^{d_2}]}{\alpha_t}\quad t=1,2,\cdots$$

この式だけから生産性 αがどのような動きをするかを調べるのは困難なので，次のような工夫をしよう。

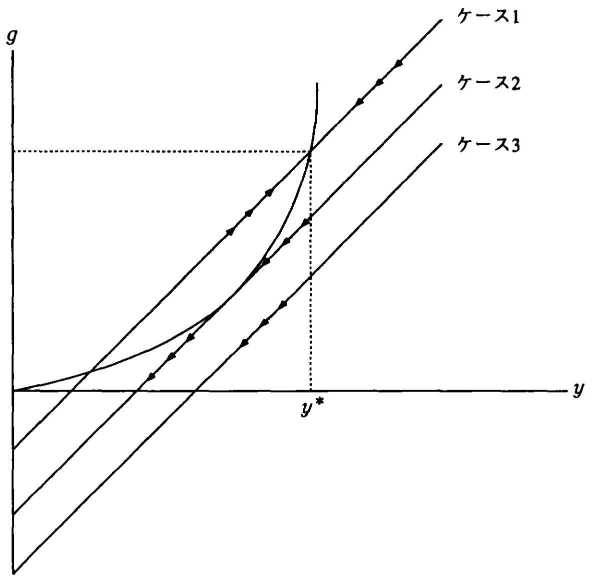
世代間の公平を優先する場合，保護支出の額は

(36) $g_t=\tau_t\alpha_t k^a$

$$=\alpha_t k^a-k-c_{1_t}-c_{2_t}$$

$$=y_t-\frac{1+\beta}{\beta}\frac{1}{1-a}k\quad t=1,2,\cdots$$

である。この式から $y-g$ 平面で保護支出と生産量との関係は傾き 1 の直線として描かれる。生産性を一定にする保護支出と生産量との組み合わせは，(2)節での議論から，下に凸の右上がりの曲線であり，その曲線は原点を通ることがわかっている。そこで，可能性としては，3 つのケースがある。生産性を一定にする曲線に傾き 1 の直線が交差する場合（ケース 1），接する場合（ケース 2），まったく交差しない場合（ケース 3）である。



生産性を一定にする曲線の上方では生産性が上昇しつづけ，下方では下落しつづけることが 2 節での議論でわかっている。いま資本ストックは初期水準で固定されているから，生産量 y の動きは

生産性 a の動きと同じ方向である。そこで，ケース 1 では y^* が安定均衡点となるが，他のケースでは常に生産性が減少する結果，生産量が収縮してしまうことがわかる。正確には，生産量がゼロになる前に保護支出がゼロになる。世代間の公平性を保証するために生産物が消費のために分配されるため保護支出への分配がおこなわれなくなることを意味している。そこで，この点を超えると世代間の公平を維持できなくなることがわかる。例外はケース 2 で二つの曲線が接する点に落ち着いている場合だけである。この点も定常解であるが，少しでもこの点からはずれると生産性が減少しつづけるという意味で不安定な均衡点である。

程度の比較でしかないが，(36)式を見ることによって，(i) 割引率 β の値が大きいほど，(ii) 技術水準が低いほど（生産関数のパラメタ a が小さいほど），(iii) 初期資本ストック k が小さいほど，(iv) d_1/d_2 が小さいほど，(v) δ_1/δ_2 が小さいほど，定常経路が存在する可能性があることがわかる。

最初の 3 つの条件は，世代間の公平性を保証するための保護支出を表す直線の g 切片が原点に近いことを主張するものであり，残りの二つは生産性をゼロにする保護支出を表す曲線の勾配が緩やかであることを示している。(7)

a と k が小さいことは生産量 y が小さいことを意味している。生産量がそれほど大きな水準にないので，現状では生産性劣化の程度がそれほどでないことがこの条件の含意である。少ない保護支出で生産性回復をすることができるので，小さな生産量でも消費を一定に保つ余裕がある。資本蓄積が低い水準にある途上国では政策を賢明におこなえば，世代間格差をひきおこすことなく持続可能な経済成長を実現することができる可能性が大きい。資本蓄積のすすんだ先進国ではなんらかの政策によって資本ストックを減らす政策をおこなえばいい。若年世代と老人世代との間での所得移転をすることによって資本ストックの供給を減らすこと(8)，公債を発行することによって民間ストックのうち資本蓄積にあてられる比率を少なくすることなどが有効な対策として指摘できる。

d_1/d_2 と δ_1/δ_2 が小さいことは，保護技術が高い水準にあり，少ない保護支出で高い生産性回復をできることを意味している。ただし，生産量が少なすぎると，消費を一定に保つために保護支出に資源をまわす余裕がなくなるので生産性は低下していってしまう。環境保護技術を高めれば，資本蓄積がすすんでいる先進国でも持続可能かつ世代間の公平を保証する成長経路を実現することができる。

割引率 β を大きくする政策も含めて，政府が積極的に経済構造に介入することによって持続可能な成長を実現する可能性があることを確かめた。

---

(7)　$g'=(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}\frac{d_1}{d_2}y^{\frac{d_1}{d_2}-1}$, $g''=(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}\frac{d_1}{d_2}(\frac{d_1}{d_2}-1)y^{\frac{d_1}{d_2}-2}$

(8)　いわゆる pay as you go system によって資本ストックの供給を減らすことができることは Blanchard and Fischer (1989) に要領よくまとめられている。

5.2　生産性を一定にする政策

最適成長に代わる第二の政策基準として生産性を一定にする政策を検討する。世代間の公平性を優先する政策の場合と同じく，ここで問題になるのは，生産性を一定にするような政策運営が持続可能な成長経路を保証するものなのか，また世代間の公平性についてはどうかという二点である。

生産性を一定にするためには，(30)の形の環境制約式の下では保護支出は次の式を満足しなければならない。

$$\alpha=\alpha+(-\delta_1 y_t^{d_1}+\delta_2 g_t^{d_2})\frac{1}{\alpha}\quad t=1,2,\cdots$$

そこで，保護支出は

$$(37)\quad g_t=(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}y_t^{\frac{d_1}{d_2}}\quad t=1,2,\cdots$$

であたえられることがわかる。均衡財政の仮定の下では

$$(38)\quad \tau_t=\frac{g_t}{y_t}=(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}y_t^{\frac{d_1-d_2}{d_2}}=(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}\alpha^{\frac{d_1-d_2}{d_2}}k_t^{\frac{a(d_1-d_2)}{d_2}}\quad t=1,2,\cdots$$

となる。この結果を(29)式に代入すると，

$$(39)\quad k_{t+1}=\frac{\beta}{1+\beta}(1-a)\alpha[1-(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}\alpha^{\frac{d_1-d_2}{d_2}}k_t^{a\frac{d_1-d_2}{d_2}}]k_t^a\quad t=1,2,\cdots$$

となる。この式から

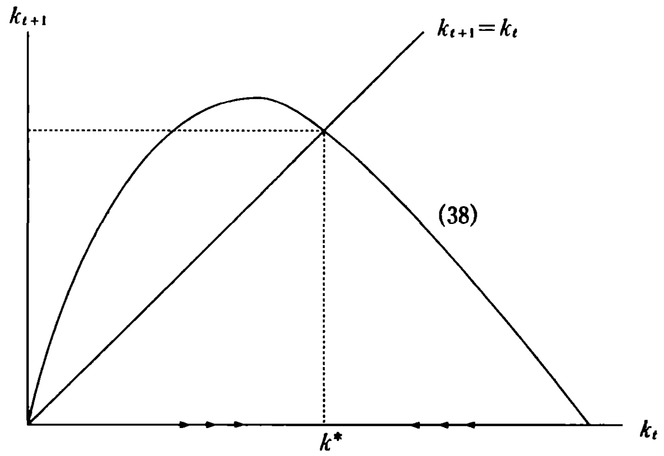
$$(40)\quad \frac{dk_{t+1}}{dk_t}=\frac{\beta}{1+\beta}(1-a)a\alpha k_t^{a-1}[1-(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}\frac{d_1}{d_2}\alpha^{\frac{d_1-d_2}{d_2}}k_t^{a\frac{d_1-d_2}{d_2}}]\quad t=1,2,\cdots$$

となることがわかる。k_t と dk_{t+1}/dk_t との関係を表にまとめると次のようになる。
この表をつかって k_t-k_{t+1} 平面に資本ストックの動学方程式を描く。

k_t	0		$[\frac{d_2}{d_1}(\frac{\delta_1}{\delta_2})^{\frac{1}{d_2}}]^{\frac{d_2}{a(d_1-d_2)}}\alpha^{\frac{1}{a}}$		$(\frac{\delta_2}{\delta_1})^{\frac{1}{a(d_1-d_2)}}\alpha^{\frac{1}{a}}$
dk_{t+1}/dk_t	∞	+	0	−	−

この図による分析から，モデルは唯一の定常解 k^* をもつことがわかる。初期時点の生産性を一定に保つ政策を採用すると，経済は必ず定常解に行き着く[9]。この政策運営方式は持続可能な成長を保証する。

では，世代間の公平性についてはどうだろうか。いま仮定している関数形の下では各世代の消費はそれぞれ



$$c_{1t}=\frac{1}{1+\beta}w_t \quad t=1,2,\cdots$$
$$c_{2t+1}=\frac{1}{1+\beta}w_t(1+r_t) \quad t=1,2,\cdots$$

となる。消費の変動は賃金率と利子率の変動だけで説明できる。(4), (5), (38)式をつかえば，資本ストックが変動するときに，つねに c_{1t} と c_{2t+1} が変動することがわかる。すなわち，調整過程では各世代の消費パターンには格差がある。一般には効用水準で見ても世代間に格差がある。生産性を一定にする政策は持続可能な成長を保証するものではあるが，世代間の格差については一般に犠牲を強いる。

6．おわりに

本稿は，持続可能性，世代間の公平性という二つの政策目的を達成できるかという視点から最適成長政策，世代間の公平性を優先する政策，生産性を一定にする政策の三つを検討した。その作業の結果，最適成長政策はどちらの政策目的も達成できないのに対し，世代間の公平性を優先する政策は条件付きでどちらも達成する，生産性を一定にする政策は持続可能性については必ず保証するという結論を得た。

最初に，環境制約がある経済でも政府が適切な税率で企業から徴税をし，それを財源に保護支出をするなら最適成長経路を実現することが示された。その際，税率がどのような条件を満足するべきかをあきらかにしたのが本稿の第一の貢献である。ところが，この税率規則に従って経済をコン

(9) 定常解のまわりで循環的なサイクルをたどるケースでは，体系は定常解へは行き着かない。しかし，本稿の意味での持続可能性は損なわれない。

トロールすると，たしかに現在時点での割引効用和を最大化することはできるかもしれないが，将来時点になるほど生産量が小さくなり，いずれは生産量がゼロに収束する経路しか実現することができない，すなわち最適成長経路は持続可能な成長経路でない。このことは，最適成長経路が世代間の公平性を保証するものでもないことも意味している。

そこで，われわれは最適成長に代わる政策として世代間の公平を優先する政策を次に検討した。関数形を特定化した限定的な議論ではあったが，パラメタ間の関係によっては定常解があることがそこでの分析でわかった。そのような経路が存在する場合には，消費パターンをすべての世代で同じにする経路を考えているので，世代間の公平性も実現できている。

生産性を一定にする政策の場合にはパラメタ間の関係にかかわらず持続可能な成長経路が存在する。持続可能性だけを政策目的にするのなら生産性を現状に維持することだけを考えればよい。ただし，調整過程では各世代の消費パターンは変化している。

最適成長政策以外の二つの政策については関数の特定化をした上での結論であることには注意しなければならない。また，環境変化が生産関数をシフトさせる効果だけを分析の対象にしており，環境要因が効用関数には入っていないことにも注意すべきである。モデルを拡張したときに結論がどのように変わるかについては今後の課題となる。

（経済学部助手）

参考文献

Barro, R.J. (1990), Government spending in a simple model of economic growth, *Journal of Political Economy*, pp.S103-S125

Becker, R. (1982), Intergenerational equity: The capital-environmental trade-off, *Journal of Environmental Economics and Management*, pp.165-185

Blanchard, Oliver Jean and Stanley Fischer (1989). *Lectures on macroeconomics*. Cambridge: The MIT Press

Dasgupta, Partha and G. Heal (1974), The optimal depletion of exhaustible resources, *Review of Economic Studies, Symposium* pp.3-28

D'arge, R.C. and K.C. Kogiku (1973), Economic growth and the environment, *Review of Economic Studies*, pp.61-77

Forster, B. (1973), Optimal capital accumulation in a polluted environment, *Sourthern Economic Journal*, pp.544-547

Hartwick, J. (1977), Substitution among exhaustible resources and intergenerational equity, *Review of Economic Studies*, pp.347-354

Howarth, Richard B. and Richard B. Norgaard (1990), Intergenerational resource rights, efficiency, and social optimality. *Land Economics*, February, pp.1-11

Jones, D.W. and R. V. O'Neill (1992). Endogenous environmental degradation and land conservation: Agricultural land use in a large region. *Ecological Economics*, pp.79-101

Lee, D.W. (1977), Intertemporal environmental management with a storable pollutant, *Journal of Environmental Economics and Management*, pp.120-128

Mohtadi, H. (1996), Environment, growth, and optimal policy design, *Journal of Public Economics*, pp.119-140

Norgaard, Richard B. and Richard B. Howarth (1991). Sustainability and discounting the future, in Robert Costanza ed., *Ecological Economics*. New York: Columbia University Press

Romer, P.M. (1986), Increasing returns and long-run growth, *Journal of Political Economy*, pp. 1002-1037

Shafik, N. (1994), Economic development and environmental quality: An econometric analysis, *Oxford Economic Papers*, pp.757-773

Smith, V. (1977), Control theory applied to natural and environemntal resources: An exposition, *Journal of Environmental Economics and Management*, pp.1-24

Solow, R. (1974), Intergenerational equity and exhaustible resources, *Review of Economic Studies, Symposium* pp.29-45

Solow, R. and F.Wan (1976), Extraction costs in the theory of exhaustible resources, *Bell Journal of Economics*, pp.359-370

Stiglitz, Joseph (1974), Growth with exhaustible resources: Efficient and optimal growth paths, pp. 123-139, The competitive economy pp.139-152, *Review of Economic Studies, Symposium*

Toman, Michael A. (1994), Economics and "sustainability": Balancing trade-offs and imperatives, *Land Economics*, pp.399-413

Turnovsky, S.J. (1995), *Methods of macroeconomic dynamics*, Cambridge: MIT Press

Uzawa, Hirofumi, (1991). Global warming initiatives: The pacific rim, in R. Dornbusch and J.M. Poterba eds., *Global Warming: Economic Policy Responses*. Cambridge: MIT Press

時政勗，枯渇性資源の経済分析，牧野書店，1993年