慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	経済成長、環境および環境保全の誘因
Sub Title	
Author	塩澤, 修平(Shiozawa, Shuhei) 大滝, 英生(Otaki, Eisei) 檀原, 浩志(Danbara, Hiroshi)
Publisher	Keio Economic Society, Keio University
Publication year	2010
Jtitle	Keio Economic Society discussion paper series Vol.10, No.7 (2010.)
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA10715850-00001007-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

KESDP　No. 10-7

経済成長、環境および環境保全の誘因

塩澤修平*・大滝英生**・檀原浩志***

2010年6月

108-8345 港区三田 2-15-45
慶應義塾大学経済学部

* 慶應義塾大学経済学部教授
** 慶應義塾大学大学院経済学研究科後期博士課程
慶應義塾大学経済学部助教(研究)
*** 慶應義塾大学大学院経済学研究科後期博士課程

概要

背景： 環境問題への意識が社会的に高まってきた昨今、経済学でも経済活動と環境との関係性を考慮した研究が盛んに行われる様になってきた。特にマクロ経済学の分野では重要な問題の一つとして、経済成長と環境の水準維持とが両立可能なものであるか否かについて議論が行われている。従来の研究では、異なる世代間での環境を通じた外部効果を考慮するものは存在したが、同一の世代内での環境についての戦略的対立関係を明示的に加えて考慮したものは管見の限り存在しなかった。

目的： 本研究は、世代間の問題に加えて世代内の問題を明示的に考慮するとき、経済成長と環境の水準維持とが両立可能なものであるか否かについて検討することを目的とした。
デザイン： そこで本研究では、複数個人からなる生産を伴う重複世代モデルを考え、経済成長と環境の水準維持とが両立可能なものであるか否かについて検討した。

結果： 市場機構では経済成長および環境の持続性を同時に達成出来ないことが分かった。特に経済が動学的に効率的ならば、市場における自発的環境保全活動の水準は最適なそれよりも過少であることが分かった。

考察： これは、市場機構に任せるだけでは経済成長と自発的な環境保全活動の最適な組み合わせが達成不可能だという一般的な直観を理論的に支持するものである。また、資本蓄積および環境財供給の最適な組み合わせを達成するためには市場に任せる以外の手段を講じる必要があることを示唆している。

キーワード：経済成長、環境、重複世代経済

1 はじめに

経済の成長・発展と環境の保全との間にはどのような関係があるだろうか。一般には大きく二つの見解が存在する。一つは両者は対立するもので、両立は難しいという見解である。もう一つは両者は必ずしも対立するものではなく、両立を実現することは可能であるという見解である。かつては前者の見解が大勢を占めていたが、1980 年代の終わり頃からは後者の見解が主流となりつつあるようである。後者の見解が現在の主流であることは、2009 年12 月に開催された第15 回気候変動枠組条約締約国会議(COP15) の報告からも伺えることである。しかし、どちらの見解が正しいのかという問題は実際には未解決のままとなっている。その大きな理由の一つとして、「環境」の水準を示す変数としてどのような指標を採用すべきか共通の認識が出来上がっていないということが挙げられる。そのため、ある指標を見ると経済の成長・発展とともに環境水準が改善されているように見えるし、また別の指標を見ると経済が成長・発展するに連れて環境水準が悪化しているように見えるということが起こり得るのである。

定量的な解答が得ることが難しいこれらの一般的見解に対して、経済学としてはどのような理論的な解答を与えることが出来るのかを探ることは、経済学における重要な問題の一つであると考えられる。この問題を検討するためには、「経済の成長・発展」と「環境」という二つのキーワードが、経済学の枠組みにおいてどのように扱われているかを確認する必要があるだろう。

経済の成長・発展は、一般にはその経済の国民所得の時間を通じた増加として定義される。これは見方を変えると、国民所得の一部が貯蓄され投資活動に用いられるという資本蓄積の過程と考えることが出来る。このような資本蓄積の過程をモデル化し研究しているのが経済成長理論と呼ばれる分野であり、既に多くの研究成果が蓄積されている。このように経済学においては、経済の成長・発展は資本蓄積の過程と同一視して扱われている。一方、経済学における環境のモデル化の作法は幾通りかあるものの、共通していることは環境を一つの財として扱っていることが指摘出来る。本稿では財としての環境を「環境財」と呼ぶことにする。環境財の消費される量が、即ち環境の質であると解釈されるのである。

このように見ると、経済の成長・発展と環境保全との関係について、次のような二つの問題が見えてくる。第一は、資本蓄積および環境財の量について社会的に望ましい組み合わせはどのような性質を満たすものかという問題である。そして第二は、その望ましい組み合わせを「市場機構」を用いて達成することが出来るのか否かという問題である。第一の問題に解答することは、経済の成長・発展と環境の保全との社会的に望ましい両立の形を明らかにする。一方、第二の問題に解答するこ

とは、その社会的に望ましい両立の形を達成するためのメカニズムとして市場機構が妥当であるか否かの判断基準となる。本稿は、新古典派成長モデルの枠組みにおいて、上記二つの経済学的問題に解答することを目的とした。

本稿では、Samuelson（1958）によって先鞭をつけられ、Diamond（1965）によって生産活動を許容する様に拡張された重複世代モデルに環境財を導入し、分析対象となるモデルを構築した。そこでは、環境財を一つのストック変数として扱い、各期の環境財の総量は各個人の効用関数に影響を与えるとした。更に各個人は自発的に環境財を生産出来るとする。これは環境の保全活動を表していると解釈される。そして上記モデルにおいて、社会的に望ましい資本蓄積と環境財の総量が満たすべき条件と、市場機構によって実現する資本蓄積と環境財の総量が満たすべき条件をそれぞれ検討した。更に上記二つの条件を比較検討することにより、市場機構によって資本蓄積および環境財の総量の社会的に望ましい組み合わせを達成出来るのか否かを検討した。それにより大きく次の二つの結果を得た。第一に、社会的に望ましい資本蓄積と環境財の総量の組み合わせはいわゆる黄金律とサミュエルソン条件を満たしていなければならない。第二に、市場機構によって実現する資本蓄積と環境財の総量の組み合わせは上記二条件を同時に満たすことはないということである。すなわち、厚生経済学の第一基本定理が本稿のモデルでは成立しない。これは、市場機構では資本蓄積および環境財の総量の社会的に望ましい組み合わせを実現出来ないことを示唆している。

上述の結果は、市場に任せるだけでは社会的に望ましい資本蓄積および環境財の総量の組み合わせを実現出来ないという一般的な直観を理論的に支持するものである。また、資本蓄積および環境財供給の最適な組み合わせを達成する為には市場に任せる以外の手段を講じる必要があることを示唆している。

本稿の構成は次の通りである。第1節の残りでは、本研究と先行研究の比較検討を行う。第2節では、分析の対象となるモデルを構築する。続く第3節では、本研究の主たる結果を述べ、同時に証明を行う。最後の第4節では、結語を述べ本稿の締めとする。

先行研究との比較検討

新古典派成長モデルにおいて環境を考慮した分析を行った研究は、Keeler et al.（1971）を初めとして、多くはラムゼイ=キャス=クープマンス型最適成長モデルの枠組みで検討されている[1]。例えば、Gradus and Smulders（1993）やStokey（1998）

[1] ラムゼイ=キャス=クープマンス型最適成長モデルについて原典としては、Ramsey（1928）、Cass（1965）、およびKoopmans（1965）を参照のこと。

等が挙げられる。これらの研究では大きく二つの点が本研究と異なる。第一は、本稿は競争均衡経路と最適成長経路とを比較することに焦点をおいているが、これらの研究では最適成長経路における経済成長と環境との関係に焦点を当てている。第二に、本稿では環境を一つのストック変数として扱っているが、これらの研究では環境をフロー変数として扱っている。森林破壊、大気汚染、水質汚染等いずれの問題においても環境をモデル化する際には、環境をフロー変数として扱うよりもストック変数として扱う方が直観に即しているように想われる。

一方、本稿と同様に重複世代モデルにおいて経済成長と環境の保全との関係を論じた研究は管見の限りJohn and Pecchenino（1994）が初めてである。この研究で用いられているモデルは、本稿で用いているものと殆ど同様である。ただし、彼らの研究では各期の環境財の生産量はその前の期の環境財の総量、環境保全活動の規模および前の期の消費財の消費量に依存すると仮定しているが、本稿では消費財の影響が無い場合も含む、より一般的な枠組みで分析している。彼らの研究においても、本稿と同様に競争均衡経路は社会的に最適とはならず、パレート改善が可能であることを示している。しかし彼らの研究では、上述のように二つの経路から外部性が存在し、競争均衡経路が社会的最適とならない原因としてどちらの経路がより重要な要因となっているのかは不明である。これに対して本稿では、消費活動による外部性が存在しなくても、環境財の自発的供給に起因する外部性のみによって厚生経済学の第一基本定理が破綻することを示した。

John and Pecchenino（1994）以降の重複世代モデルを用いた研究としては、John et al.（1995）、Ono（1996）、Zhang（1999）、Jouvetet al.（2005）およびPrieur（2009）等がが挙げられる。John et al.（1995）は、John and Pecchenino（1994）の競争均衡経路は社会的最適とならないという結果を受けて、無限期間存続する政府が賃金および資本にどのような税体系を課すことで、そして、Ono（1996）は社会計画者が一括税、所得税、消費税など3種類の課税体系を導入することで、競争均衡経路が社会的最適経路を実現できるかを検討した。Zhang（1999）は、John and Pecchenino（1994）のモデルを用いて非定常競争均衡経路の挙動を検討し、競争均衡経路がカオス的な挙動をする可能性を指摘した。またJouvetet al.（2005）は汚染の排出権市場を導入することで、社会的最適経路を達成し得ることを示した。一方、Prieur（2009）は、ストック変数としての環境財生産に非可逆性がある場合の環境クズネッツ曲線について検討した。このようにJohn and Pecchenino（1994）以降の重複世代モデルを用いた研究では、競争均衡経路がどのような条件下において社会的最適になるかを論じたものが多い。

2 環境を伴う重複世代経済

2.1 モデルの基本的構成要素

本稿では、環境を伴う重複世代経済を考える。時間は離散期間t（t = 0, 1, 2, . . . ）によって表す。各t期に新しい世代が経済に参入し、二期間活動し、そして経済から退出するとする。第t期に経済に参入した世代を「第t 世代」と呼ぶ。各世代はN 人の個人から構成されるとし、人口の成長は考えないことにする。各個人が経済に参入した期をその個人の「若年期」、経済から退出する期をその個人の「老年期」と呼ぶ。第0 期のみ、一期間だけ経済で活動し、そのまま退出する世代が存在するとする。この世代を「初期既存世代」と呼ぶことにする。初期既存世代も他の世代と同様にN人の個人から構成されるとする。また経済には無限期間生存する企業が一社存在するとする。

この経済には、財・用役は四種類存在するとする。第一は、消費財である。消費財は非耐久的であるとする。すなわち、期を越えて持ち越すことは出来ないとする。第二は、資本財である。第三は、労働用役である。資本財および労働用役は、生産要素として用いられる。資本財は耐久的であるとする。第四は、環境の水準・質を表す環境財である。環境財は公共財としての性質を持つとする。

各個人の初期保有と効用

第t 世代の各個人i $(i=1, ..., N)$は若年期に1単位の労働用役を保有しているとする（ここで、N は$N>1$なる自然数と仮定する）。個人iの選好は彼の老年期における消費財の消費量および環境財の消費量の順序対(c_{t+1}^{i}, E_{t+1})の集合上で定義されるとし、生涯効用関数$u_i(c_{t+1}^{i})+v_i(E_{t+1})$によって表現されるとする。以下では、生涯効用関数に次の仮定A.1 およびA.2 を課す。

A.1. 任意の$c \geq 0$ および任意の$E \geq 0$ に対して$u_i'(c^i)>0$、$u_i''(c^i)<0$、$v_i'(E)>0$および$v_i''(E)<0$が成立する。

A.2. $\lim_{c^i \downarrow 0} u_i'(c^i)=\infty$および$\lim_{E \downarrow 0} v_i'(E)=\infty$が成立する。

仮定A.1 は消費財と環境財についてのそれぞれの効用関数が非飽和性と限界効

用逓減の法則を満たすことを課すものである。一方、仮定A.2 は端点条件である。これは消費財についても環境財についても全く消費しない状態から少しでも消費を増やせば効用が急激に増加することを課している。

消費財の生産技術

企業は、1単位の消費財を1単位の資本財に、あるいは1単位の資本財を1単位の消費財に、費用を掛けずに転換する技術を有しているとする。また企業は、第t 期にK_t 単位の資本財とL_t 単位の労働用役を投入することでt 期に$F(K_t, L_t)$単位の消費財を生産する技術F を有しているとする。以下では、関数F は次の二つの仮定P.1およびP.2 を満たすものとする。

P.1. 任意の$K \geq 0$ および$L \geq 0$に対して、

（i） $F(K, L) \geq 0$が成立する。

（ii） $F_K(K, L) > 0$、$F_L(K, L) > 0$、$F_{KK}(K, L) < 0$、$F_{LL}(K, L) < 0$が成立する。

（iii）任意の$n > 0$に対して$F(nK, nL) = nF(K, L)$が成立する。

P.2. $F(0, 0) = 0$、$\lim_{K \downarrow 0} F_K(K, L) = \infty$、および$\lim_{K \uparrow \infty} F_K(K, L) = 0$が成立する。

マクロ経済学や経済成長論の文献では、F は集計された生産関数であると解釈される。仮定P.1(i) は、各生産要素を非負量投入すると、非負量の消費財を生産できることを課している。仮定P.1(ii) は、各生産要素について投入量を増やすと消費財の生産量が増加することと、限界生産力が逓減ことを課している。仮P.1(iii) は、集計された生産関数が規模について収穫一定であることを課している。仮定P.2 は端点条件を表す。この仮定は一般に稲田条件として知られるものである。

資本財は消費財の生産に用いると減価するとし、減価償却率は$\delta \in [0.1]$によって与えられているとする。

一人当たりの生産関数を次の様に定義する。すなわち、任意の$k \equiv \dfrac{K}{N} > 0$に対して、$f(k) \equiv F(k, 1)$と定義する。仮定P1およびP2より、

$$f(0) = 0、\ f'(k) > 0、\ f''(k) < 0、\ \lim_{k \downarrow 0} f'(k) = \infty、および \lim_{k \uparrow \infty} f'(k) = 0$$

が成立する。

環境財の生産技術

John and Pecchenino（1994）に倣って、次のような環境財を生産する技術を導入する。

第t 期に存在する環境財の水準E_t、環境保全活動の水準m_t、および老年世代の消費活動の水準c_tに依存して、第$t+1$ 期に$E_{t+1}=G(E_t, m_t, c_t)$ 単位の環境財を生産する技術Gが存在するとする。各個人は自由にこの技術を利用できるとする。関数Gについて次の仮定E.1 を課す。

E.1.　$\alpha \in]-\infty, 1]\setminus\{0\}$、$\beta \geq 0$および$\gamma > 0$が存在し、任意の$E \geq 0$、任意の$(m^i)_{i=1}^N \geq 0$および任意の$(c^j)_{j=1}^N \geq 0$に対して

$$G(E, m, c) = (1-\alpha)E + \lambda\sum_{i=1}^{N} m^i - \beta\sum_{j=1}^{N} c^j$$

が成立する。

なお、第0期の環境財の水準E_0は所与とする。

2.2 実現可能経路

$I \equiv \{1,...,N\}$、$T \equiv \{0, 1, 2, ...\}$および$A \equiv [R_+^I]^T \times [R_+^I]^T \times R_+^T \times R_+^T$と定義する。

本稿では、(c、m、K、E)$\in A$を「配分経路」と呼ぶことにする。ここで、c＝$\{(c_t^i)_{i\in I}\}_{t=0}^{\infty}$は第$t$ 世代の個人iの第$t+1$ 期における消費財の消費量を時間について並べたものを、m＝$\{(m_t^i)_{i\in I}\}_{t=0}^{\infty}$は第$t$ 世代の個人iの(自発的）環境保全活動の水準を時間について並べたものを、K＝$\{K_t\}_{t=0}^{\infty}$は各期の資本ストックの総量を時間について並べたものを、E＝$\{E_t\}_{t=0}^{\infty}$ は各期の環境財の総量を時間について並べたものを、それぞれ表す。ただし、c_0^iは初期既存世代に属する個人iの消費量を表

す。

配分経路(c、m、K、E) $\in A$が「実現可能」であるとは、$(c_0^i)_{i\in I}$、E_0およびK_0を所与として、各$t \geq 0$に対して資源制約条件

$$F(K_t,\ N) \geq \sum_{j\in I} c_t^j + \sum_{i\in I} m_t^i + K_{t+1} - (1-\delta)K_t$$

$$E_{t+1} = G(E_t, m_t, c_t)$$

が成立することをいう。また配分経路(c、m、K、E) $\in A$が「定常(的)」であるとは、ある$(c,m,K,E) \in R_+^I \times R_+^I \times R_+ \times R_+$ が存在して、各$t \geq 1$に対して

$$(c_t, m_t, K_t, E_t) \equiv (c, m, K, E)$$

が成立することをいう。すなわち、すべての変数が時間を通じて一定であることを意味する。

2.3 社会的最適定常経路

以下では特に、長期的視野の下で市場機構が最適な資本蓄積および環境財の蓄積を行うか否かを検討する。すなわち、定常状態における分析を行う。そこで本小節では、定常状態における効率性を次の様に定義する。

定義1. $\sum_{i\in I} \theta_i = 1$であるような任意の$\theta \in R_+^I$に対して、実現可能かつ定常的な配分経路(c*、m*、K*、E*)が「社会的加重θの下での社会的最適定常経路」であるとは、任意の実現可能かつ定常的な配分経路(c、m、K、E) $\in A$に対して

$$\sum_{i\in I} [u_i(c_t^{i*}) + v_i(E_t^*)]\theta_i \geq \sum_{i\in I} [u_i(c_t^i) + v_i(E_t)]\theta_i, \quad \forall t \geq 1$$

が成立することをいう。

すなわち、社会的最適定常経路とは、実現可能かつ定常的な配分経路の中で社会的加重θによって重み付けられた各個人の効用の和を毎時点最大化するような経路である。

2.4 競争均衡経路

最後に市場機構の帰結として競争均衡経路を次の様に定義する。

定義2. 実現可能かつ定常的な配分経路(c、m、K、E)が「競争均衡経路」であるとは、利子率と賃金率の経路（r , w）$\in R^T_{++} \times R^T_{++}$が存在し、次の4つの条件が成立することをいう。

(i) 任意の$t \geq 0$および任意の$i \in I$について、ある$s^i_t \geq 0$が存在し、

$(m^i_t, s^i_t, c^i_{t+1}, E_{t+1})$は

r_{t+1}、w_t、E_t、$c_t = (c^j_t)_{j \in I}$および$m^{-i}_t = (m^j_t)_{j \neq i}$を所与とした次の効用最大化問題

$$\max_{m^i_t, s^i_t, c^i_{t+1}, E_{t+1}} \quad u(c^i_{t+1}) + v(E_{t+1})$$

$$\begin{aligned} \textit{subjecto to} \quad & s^i_t + m^i_t \leq w_t \\ & c^i_{t+1} \leq (1 - \delta + r_{t+1}) s^i_t \\ & E_{t+1} = G(E_t, (m^t_t, m^{-i}_i), c_t) \end{aligned}$$

の解である。

(ii) 任意の$t \geq 0$について、あるY_t、$L_t \geq 0$ が存在し、(L_t, K_t, L_t)はr_t, w_tを所与とした次の利潤最大化問題

$$\max_{Y_t, k_t, L_t} \quad Y_t - r_t K_t - w_t L_t$$

$$\textit{subject to} \quad Y_t \leq F(K_t, L_t)$$

の解である。

(iii) 任意の$t \geq 1$について、

$$F(K_t, N) = \sum_{j \in I} c^j_t + \sum_{i \in I} m^i_t + K_{t+1} - (1 - \delta) K_t$$

$$L_t = N$$

が成立する。

競争均衡経路の解釈は通常と同様である。すなわち、条件(i)は各配分が各個人の最適化行動の結果となっていることを課すものである。一方条件(ii) は資本財の需要量が企業の利潤最大化行動の結果となっていることを課すものである。最後の条件(iii) は消費財市場および労働用役市場の各市場において需給が一致して

いることを課している。ただし、条件(i) については若干の注意が必要である。なぜならば、各個人は同世代に属する自分以外の個人の環境保全活動の水準を所与として最適化問題を解くからである。各個人の環境保全活動の水準を戦略として看做すならば、競争均衡経路における環境保全活動の水準の経路は同時に環境保全活動に関するナッシュ均衡の流列であると解釈出来る。

競争均衡経路の定義から、資本財市場の均衡条件 $K_{t+1} = \sum_{i \in I} s_t^i$ が成立することが容易に確認出来る。すなわち、ワルラス法則が成立する。

3 結　果

本稿では、長期的視野の下で市場機構が最適な資本蓄積および環境財の蓄積を行うか否かを検討することを目的としていた。この節では本稿の主要な結果を述べる。

3.1 社会的最適定常経路の特徴付け

始めに社会的最適定常経路が満たす必要条件を明らかにする。

命題1. $\sum_{i \in I} \theta_i = 1$ であるような $\theta \in R_+^I$ を任意に選んで固定する。社会的加重 θ の下での任意の社会的最適定常経路(c*、m*、K*、E*)に対して、

$$f'(K^*) = \delta \quad \text{かつ} \quad \sum_{i \in I} \frac{v_i'(E^*)}{u_i'(c^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}$$

が成立する。

最初の条件は、資本蓄積についての「黄金律」と呼ばれるものである。一方二つ目の条件は、公共財供給に関する文献において「サミュエルソン条件」と呼ばれるものである[2]。

[2]黄金律についての詳細はDiamond (1965) を、サミュエルソン条件についての詳細はSamuelson (1955)をそれぞれ参照のこと。

命題1の証明. 社会的加重θの下での社会的最適定常経路(c*、m*、K*、E*) $\in A$を任意に選んで固定する。このとき社会的最適定常経路の定義から、

$$(c^*, m^*, K^*, E^*) \in R_+^I \times R_+^I \times R_+ \times R_+$$

は次の最適化問題

$$\max_{c,m,K,E \geq 0} \sum_{i \in I} [u_i(c^i) + v_i(E)]\theta_i$$

$$subject\ to \quad \sum_{i \in I} (c^i + m^i) = f(K) - \delta K$$

$$E = \frac{1}{\alpha} \sum_{i \in I} (\gamma m^i - \beta c^i)$$

の解となっていることは明らかである。ラグランジュ関数を

$$L \equiv \sum_{i \in I} [u_i(c^i) + v_i(E)]\theta_i + \lambda \left[f(K) - \delta K - \sum_{i \in I} (c^i + m^i) \right] + \mu \left[\frac{1}{\alpha} \sum_{i \in I} (\gamma m^i - \beta c^i) - E \right]$$

と定義する。すると、ラグランジュの未定常数法より、ある実数λ，μ が存在し、

$$c^i : 0 = u_i'(c^i)\theta_i - \lambda - \mu(\beta / \alpha) \qquad (1)$$

$$m^i : 0 = -\lambda + \mu(\gamma / \alpha) \qquad (2)$$

$$K : 0 = \lambda(f'(K) - \delta) \qquad (3)$$

$$E : 0 = \sum_{i \in I} v_i'(E)\theta_i - \mu \qquad (4)$$

が成立する。(4)式より$\mu = \sum_{i \in I} v_i'(E)\theta_i > 0$である。このことと(2)式より、$\lambda = \mu(\gamma / \alpha) > 0$である。よって(3)式より、黄金律、すなわち$f'(K) = \delta$ が成立する。

一方、(2)式および(1)式より$\theta_i = \mu(\beta + \gamma) / (\alpha u_i'(c^i))$が成立する。これを(4)式に代入し整理すると、サミュエルソン条件

$$\sum_{i \in I} \frac{v_i'(E^*)}{u_i'(c^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}$$

が成立する。 ■

3.2 競争均衡経路の特徴付け

続いて、競争均衡経路の特徴付けを行う。

命題2. 任意の定常競争均衡経路(c、m、K、E)に対して、

$$\forall t \geq 1,\ \forall i \in I,\ \frac{v_i^{'}(E_t)}{u_i^{'}(c_t^i)} = \frac{1-\delta+f'(K_t)}{\gamma}$$

が成立する。

命題2の証明. 競争均衡経路(c、m、K、E) $\in A$ を任意に選んで固定する。任意の $t \geq 1$ を選んで固定する。競争均衡経路の定義の条件(ii)より、ある $s_{t-1}^i \geq 0$ が存在し、

$(m_{t-1}^i,\ s_{t-1}^i, c_t^i, E_t)$ は第 i 個人の効用最大化問題の解となっている。ラグランジュ関数を

$$\begin{aligned} L \equiv u_i(c_t^i) + v(E_t) &+ \lambda_1[w_{t-1} - s_{t-1}^i - m_{t-1}] \\ &+ \lambda_2[(1-\delta+r_t)s_{t-1} - c_t^i] \\ &+ \lambda_3[G(E_{t-1},(m_{t-1}^i, m_{t-1}^{-i}), c_{t-1}) - E_t] \end{aligned}$$

によって定義する。するとラグランジュの未定常数法より、$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \in R^3$ が存在し、

$$\begin{aligned} &s_{t-1}^i : 0 = -\lambda_1 + \lambda_2(1-\delta+r_t) \\ &m_{t-1}^i : 0 = -\lambda_1 + \lambda_3\gamma \\ &c_t^i : 0 = u_i'(c_t^i) - \lambda_2 \\ &E_t\ : 0 = v_i'(E_t\ ) - \lambda_3 \end{aligned}$$

が成立する。これらの方程式をまとめると、

$$\forall t \geq 1,\ \forall i \in I,\ \frac{v_i^{'}(E_t)}{u_i^{'}(c_t^i)} = \frac{1-\delta+r_t}{\gamma}$$

が成立する。

一方、競争均衡経路の定義の条件(iii) より $r_t = f'(K_t)$ が成立する。したがって

$$\forall t \geq 1,\ \forall i \in I,\ \frac{v_i^{'}(E_t)}{u_i^{'}(c_t^i)} = \frac{1-\delta + f'(K_t)}{\gamma}$$

が成立する。 ■

3.3 定常競争均衡経路による社会的最適定常経路の達成不可能性

本節では、命題1および2を踏まえて、本稿における主要な結果を述べる。

重複世代モデルにおいては厚生経済学の基本定理が必ずしも成立しないことは一般に知られている。今回のモデルは世代が重複しているという特徴に加えて、世代間の消費や環境財に関する外部性が存在している。これら複数の要因の相互作用によって定常競争均衡経路は社会的に望ましいものとは必ずしもならないと自然に予測出来る。この予測が正しいことを次の命題3は述べている。

命題3. いかなる定常競争均衡経路も社会的最適定常経路ではない。

命題3の証明. 背理法を用いて証明する。すなわち、ある定常競争均衡経路(c、m、K、E) $\in A$ が存在し、それが社会的最適定常経路であると仮定して、矛盾を導く。命題1 より

$$f'(K^*) = \delta \quad \text{かつ} \quad \sum_{i \in I} \frac{v_i^{'}(E^*)}{u_i^{'}(c^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}$$

が成立する。一方 $f'(K^*) = \delta$ および命題2より、任意の $i \in I$ に対して

$$\frac{v_i^{'}(E_t)}{u_i^{'}(c_t^i)} = \frac{1}{\gamma}$$

が成立する。したがって

$$\frac{\alpha}{\beta + \gamma} = \sum_{i \in I} \frac{v_i^{'}(E^*)}{u_i^{'}(c^{i*})} = \frac{N}{\gamma} \quad \text{すなわち} \quad N = \frac{\alpha\gamma}{\beta + \gamma}$$

が成立する。すると外生変数についての仮定より

$$1 < N = \frac{\alpha}{\beta / \gamma + 1} \leq 1$$

となり、矛盾である。したがって、どのような定常競争均衡経路も社会的最適定常経路ではない。 ■

この結果は次の様に言い換えることも可能である。

命題3の系. いかなる定常競争均衡経路も社会的厚生を改善する余地がある。

ただし、どのような制度や政策によって厚生を改善出来るのかについては本稿の目的の範囲を越えるので、本稿では検討しない。

3.4 定常競争均衡経路における過少環境保全の問題

公共財に関する文献では、その供給を各個人の自発的な供給に任せるならば、競争均衡における公共財の総量は社会的に望ましい水準よりも過少となってしまうことが知られている。これと同様に我々がここで考えているモデルでも、競争均衡における環境財の総量が社会的に望ましい水準と比べて過少となると予測することは自然なことのように思われる。ところが実は、この予測は常に正しい訳ではない。ここでは上記の予測が「条件付き」で正しいことを示す。

命題を述べる前に一つだけ用語を定義しておく。

定義3. $K^g \equiv (f')^{-1}(\delta)$ とする。定常配分経路(c、m、K、E)が「動学的に(非) 効率的」であるとは、$K \leq (>) K^g$ が成立することをいう。

定義から明らかな様に、定常配分経路(c、m、K、E)が動学的に(非) 効率的ならば、$f'(K) \geq (<) \delta$ が成立する。

競争均衡における環境財の総量について次の命題が成立する。

命題4. どのような定常競争均衡経路についても、それが動学的に効率的ならば、そこにおける環境財の水準は社会的最適定常経路における環境財の水準と比べて過少である。

命題4の証明. (c*、m*、K*、E*)$\in A$ を社会的最適定常経路とする。以下、背理法を用いて命題を証明する。すなわち、ある定常競争均衡経路(c、m、K、E) $\in A$ が存在し、それは動学的に効率的であるが、$E \geq E^*$ が成立すると仮定して矛盾を導く。

まず、$E \geq E^*$ であるから、仮定A.1より各 $i \in I$ に対して

$$v_i(E) \geq v_i(E^*) \quad \text{かつ} \quad v_i'(E) \leq v_i'(E^*)$$

を得る。

次に、定常競争均衡経路が動学的に効率的であることから、

$$1-\delta+f'(K) \geq 1$$

が成立する。すると$\alpha \leq 1$、$\beta \geq 0$ および$\gamma > 0$から、

$$\frac{\alpha}{1+\beta/\gamma}1 \leq 1-\delta+f'(K)$$

が成立する。よって命題1および2から各$i \in I$ついて

$$\sum_{k \in I} \frac{v_k'(E^*)}{u_k'(c^{k*})} = \frac{\alpha}{\beta+\gamma} < \frac{1-\delta+f'(K)}{\gamma} = \frac{v_i'(E)}{u_i'(c^i)}$$

が成立する。ここで各$k \in I$ついて$\dfrac{v_k'(E^*)}{u_k'(c^{k*})} > 0$であることから、任意の$i \in I$ついて

$$\frac{v_i'(E^*)}{u_i'(c^{k*})} < \frac{1-\delta+f'(K)}{\gamma} = \frac{v_i'(E)}{u_i'(c^i)}$$

が成立する。$v_i'(E) \leq v_i'(E^*)$であるので、各$i \in I$について$u_i'(c^i) < u_i'(c^{i*})$が成立する。このことを踏まえると仮定A.1から$c^i > c^{i*}$を得るので、再び仮定A.1より

$$u_i(c^i) > u_i(c^{i*})$$

を得る。以上より各$i \in I$について

$$u_i(c^i)+v_i(E) > u_i(c^{i*})+v_i(E^*)$$

を得る。よって$\sum_{i \in I}\theta_i = 1$であるような任意の$\theta \in R_+^I$に対して

$$\sum_{i \in I}[u_i(c^i)+v_i(E)]\theta_i > \sum_{i \in I}[u_i(c^{i*})+v_i(E^*)]\theta_i$$

が成立する。しかしこれは(c^*, m^*, K^*, E^*)が社会的最適定常配分であることに矛盾する。

したがって、$E^* > E$が成立する。 ■

一方、競争均衡経路が動学的に非効率的ならば、そこにおける環境財の総量が社

会的に最適な水準と比較して過大となる場合が存在することにも注意が必要である。

命題５． 任意の定常競争均衡経路(c、m、K、E)に対して

(i) $\dfrac{\alpha}{\beta+\gamma} < \dfrac{1-\delta+f'(k)}{\gamma}$ が成立するならば、そこにおける環境財の水準は社会的最適定常経路における環境財の水準と比べて過少である。

(ii) 動学的に非効率、

$$\frac{\alpha}{\beta+\gamma} > N\frac{1-\delta+f'(k)}{\gamma}$$

かつ任意の定数 $a>0$ について $u_i' \equiv a, \forall i$

が成立するならば、そこにおける環境財の水準は社会的最適定常経路における環境財の水準と比べて過大である。

命題5の証明.

(i) $\dfrac{\alpha}{\beta+\gamma} < \dfrac{1-\delta+f'(k)}{\gamma}$ が成立する場合：

動学的に非効率であっても、命題４の証明と同様に、環境財の水準は社会的最適定常経路における環境財の水準と比べて過少であることがいえる。

(ii) 動学的に非効率かつ $\dfrac{\alpha}{\beta+\gamma} > N\dfrac{1-\delta+f'(k)}{\gamma}$、$u_i' \equiv a, \forall i$ が成立する場合：

(c^*, m^*, K^*, E^*) を社会的最適定常経路とし、$E \le E^*$ が成立すると仮定して矛盾を導く。

$E \le E^*$ であるから、仮定A. 1より各 $i \in I$ に対して

$$v_i(E) \le v_i(E^*) \quad \text{かつ} \quad v_i'(E) \ge v_i'(E^*)$$

したがって

$$\sum_{i\in I} v_i'(E) \ge \sum_{i\in I} v_i'(E^*)$$

を得る。

他方、命題1より

$$\sum_{i\in I} \frac{v_i'(E^*)}{u_i'(c^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta+\gamma}$$

が成立し、命題２より、各 $i \in I$ について

$$\frac{v_i^{'}(E)}{u_i^{'}(c^i)} = \frac{1-\delta+f'(K)}{\gamma}$$

が成立する。したがって

$$\sum_{i\in I}\frac{v_i^{'}(E^*)}{u_i^{'}(c^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta+\gamma} > N\frac{1-\delta+f'(k)}{\gamma} = N\frac{v_i^{'}(E)}{u_i^{'}(c^i)}$$

となる。$u_i'\equiv a, \forall i$ より

$$\frac{1}{a}\sum_{i\in I}v_i^{'}(E^*) > \frac{1}{a}\sum_{i\in I}v_i^{'}(E)$$

すなわち

$$\sum_{i\in I}v_i^{'}(E) < \sum_{i\in I}v_i^{'}(E^*)$$

となり、矛盾する。 ■

4 結　語

本稿は、いわゆる新古典派的成長モデルの枠組みにおいて市場メカニズムの帰結が望ましい経済成長および環境水準を達成可能であるか否かを検討し、その結果、市場メカニズムに任せるだけでは望ましい経済成長および環境水準を達成することは不可能であることが分かった。このことは資本蓄積および環境財供給の最適な組み合わせを達成する為には市場に任せる以外の手段を講じる必要があることを示唆している。

第1節で述べた様に、John and Pecchenino（1994）のような消費の外部性も存在する経済では適切な課税体系の下では競争均衡によって社会的に最適な状態を達成出来ることが、既に知られている。本稿が用いたモデルでも適切な課税体系を用いれば競争均衡によって社会的に最適な状態を達成出来ると予想されるが、そのときに用いられる課税体系が従来知られているものとどのように異なるかも興味深い。

参考文献

Cass, D., 1965, “Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation”, *Review of Economic Studies* 32, 233-240.

Diamond, P.A., 1965, “National debt in a neoclassical growth model”, *American Economic Review* 55, 1126-1150.

Gradus, R., S. Smulders, 1993,” The trade-off between environmental care and long-term growth-pollution in three prototype growth models”, *Journal of Economics* 58, 25-51.

John, A., Pecchenino, R., 1994, “An overlapping generations model of growth and the environment”, *Economic Journal* 104, 1393-1410.

John, A., Pecchenino R., Schimmelpfenning, D., Schreft, S., 1995, “Short-lived agents andthe long-lived environment”, *Journal of Public Economics* 58, 127-141.

Jouvet, P.-A., P. Michael, G. Rotillon, 2005, “Optimal growth with pollution: How to use pollution permits?”, *Journal of Economic Dynamics & Control* 29, 1597-1609.

Keeler, E., Spence, M., Zeckhauser, R., 1971, “The optimal control of pollution”, *Journal of Economic Theory* 4, 19-34.

Koopmans, T.C., 1965, “On the concept of optimal economic growth”, in *The Econometric Approach to Development Planning*, Chicago: Rand McNally.

Ono, T., 1996, “Optimal tax schemes and the environmental externality”, *Economics Letters* 53, 283-289.

Prieur, F., 2009, “The environmental Kuznets curve in a world of irreversibility”, *Economic Theory* 40, 57-90.

Ramsey, F.P., 1928, “A mathematical theory of saving”, *Economic Journal* 33, 543-559.

Samuelson, P.A., 1955, “The pure theory of public expenditure”, *Review of Economics and Statistics* 36, 387-389.

Samuelson, P.A., 1958, “An exact consumption-loan model of interest with or without the social contrivance of money”, *Journal of Political Economy* 66, 467-482.

Stokey, N.L., 1998, “Are there limits to growth?”, *International Economic Review* 39, 1-32.

Zhang, J., 1999, “Environmental sustainability, nonlinear dynamics, and chaos”, *Economic Theory* 14, 489-500.

KEIO ECONOMIC SOCIETY
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 08-1 (2008) Hideo Akabayashi and Michio Naoi “Does the Public Sector Crowd Out the Private Sector in the Higher Education Market?: Theory and Evidence from Japan”, 20 pages.

No. 08-2 (2008) 寺出道雄「比例と均衡―「経済表　範式」再考―」、20 pages.

No. 09-1 (2009) Michio Naoi, Miki Seko and Kazuto Sumita “Community Rating, Cross Subsidies and Underinsurance: Shy So Many Households in Japan Do Not Purchase Earthquake Insurance”, 25 pages.

No. 09-2 (2009) Michio Naoi, Miki Seko and Kazuto Sumita “Earthquake Risk and Housing Prices in Japan: Evidence Before and After Massive Earthquakes”, 30 pages.

No. 09-3 (2009) Miki Seko, Kazuto Sumita and Michio Naoi, “Residential Mobility Decision in Japan: Identifying the Effects of Housing Equity Constraints and Income Shocks under the Recourse Loan System”, 24 pages.

No. 09-4 (2009) Takuji Arai, “Convex Risk Measures on Orlicz Spaces: Convolution and Shortfall”, 18 pages.

No. 10-1 (2010) Mikio Ito and Akihiko Noda, “Information Criteria for Moment Restriction Models: An Application of Empirical Cressie-Read Estimator for CCAPM”, 17 pages.

No. 10-2 (2010) 寺出道雄 ＜資料紹介＞「日本共産党運動年表比例と均衡」文部省思想局刊行資料への共産党関係者による書き込み本、25 pages.

No. 10-3 (2010) 寺出道雄「植物の再生産表式　―門司正三再読―」、17 pages.

No. 10-4 (2010) Pranab Bardhan, Dilip Mookherjee and Masatoshi Tsumagari, “Middlemen Margins and Globalization”, 57 pages

No. 10-5 (2010) 寺出道雄、徐一睿＜資料＞「毛沢東の野坂参三宛て書簡」、9 pages.

No. 10-6 (2010) Dilip Mookherjee and Masatoshi Tsumagari, “Mechanism Design with Limited Communication: Implications for Decentralization”, 48 pages

No. 10-7 (2010) 塩澤修平･大滝英生・檀原浩志「経済成長、環境および環境保全の誘引」、17pages.