

| | |
|------------------|---|
| Title | 重複世代経済における公共財としての環境 |
| Sub Title | Environment as a public good in an overlapping-generations economy |
| Author | 塩澤, 修平(Shiozawa, Shuhei) |
| Publisher | 慶應義塾経済学会 |
| Publication year | 2010 |
| Jtitle | 三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.103, No.2 (2010. 7) ,p.265(45)- 276(56) |
| JaLC DOI | 10.14991/001.20100701-0045 |
| Abstract | <p>環境をストック変数としての公共財と捉え、重複世代モデルの枠組みにおいて分析する。環境財を含む重複世代経済が定義され、パレート効率的な定常配分の条件、いわゆるサミュエルソン条件が導かれる。資本ストックが動的に効率的であるならば競争均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。また環境財保全のための負担額を戦略とする、世代内の1期間ゲームを考え、ナッシュ均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。</p> <p>Recognizing the environment as public goods with stock variables, this study analyzes it within the framework of the overlapping generations model.</p> <p>Having defined an overlapping generations economy including environmental goods, this study is led to Pareto-efficient steady allocation conditions, that is, Samuelson conditions.</p> <p>If the capital stock is dynamic and efficient, environmental goods become under supplied by any Pareto-efficient allocation in a competitive equilibrium. In addition, considering one-time period games in one generation having costs for environment goods protection as a strategy, this study indicates that environmental goods become under supplied by any Pareto-efficient allocation in Nash equilibrium.</p> |
| Notes | 特集：ポール・サミュエルソン教授追悼特集 |
| Genre | Journal Article |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20100701-0045 |

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.

重複世代経済における公共財としての環境

Environment as a Public Good in an Overlapping-generations Economy

塩澤 修平(Shuhei Shiozawa)

環境をストック変数としての公共財と捉え、重複世代モデルの枠組みにおいて分析する。環境財を含む重複世代経済が定義され、パレート効率的な定常配分の条件、いわゆるサミュエルソン条件が導かれる。資本ストックが動学的に効率的であるならば競争均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。また環境財保全のための負担額を戦略とする、世代内の 1 期間ゲームを考え、ナッシュ均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。

Abstract

Recognizing the environment as public goods with stock variables, this study analyzes it within the framework of the overlapping generations model. Having defined an overlapping generations economy including environmental goods, this study is led to Pareto-efficient steady allocation conditions, that is, Samuelson conditions. If the capital stock is dynamic and efficient, environmental goods become under supplied by any Pareto-efficient allocation in a competitive equilibrium. In addition, considering one-time period games in one generation having costs for environment goods protection as a strategy, this study indicates that environmental goods become under supplied by any Pareto-efficient allocation in Nash equilibrium.

重複世代経済における公共財としての環境

塩澤 修平

要 旨

環境をストック変数としての公共財と捉え、重複世代モデルの枠組みにおいて分析する。環境財を含む重複世代経済が定義され、パレート効率的な定常配分の条件、いわゆるサミュエルソン条件が導かれる。資本ストックが動学的に効率的であるならば競争均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。また環境財保全のための負担額を戦略とする、世代内の1期間ゲームを考え、ナッシュ均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。

キーワード

環境, 重複世代経済, 公共財, サミュエルソン条件, ナッシュ均衡

1. 序

環境問題を経済学的に分析する場合の視点として重要と思われるのは、(i) 世代を超えた長期的視野が必要である、(ii) 環境は非排除性および非競争性をもつ公共財としての特質を備えている、という点であろう。そしていずれの視点においても分析の嚆矢となるのが Samuelson の業績である。(i) の視点の枠組みとなるのが Samuelson [1958] で展開された重複世代モデルである。また (ii) については Samuelson [1955] で公共財の最適供給の条件が導出されている。

John and Pecchenino [1994] は、重複世代経済における経済成長と環境保全との関係を論じている。John et al. [1995] は、どのような課税体系の下での均衡ならば社会的最適経路を実現できるかを検討している。塩澤・大滝・檀原 [2010] は、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、John and Pecchenino [1994] と同様な枠組みにおいて、社会的厚生を最大化する配分と競争均衡配分を比較している。

本稿では、塩澤・大滝・檀原 [2010] と同様に、環境をストック変数としての公共財と捉え、重複世代モデルの枠組みにおいて分析する。第2節では環境財を含む重複世代経済が定義される。第3節ではパレート効率的な定常配分の条件、いわゆる Samuelson 条件が導かれる。第4節では競争均

衡配分の条件が導かれ、資本ストックが動学的に効率的であるならば競争均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。第5節では、環境財保全のための負担額を戦略とする、世代内の1期間ゲームを考え、ナッシュ均衡ではいかなるパレート効率配分よりも環境財が過少供給になることが示される。

2. 環境財を含む重複世代経済

離散的な時間の重複世代モデルを考える。各世代複数の消費者、各期に私的財と環境財が存在する。各消費者は2期間生存し、若年期に1単位の労働を供給して私的財を生産し、その一部を賃金として受取る。受取った私的財の一部は若年期に環境財の保全のために用いられ、残りは老年期の消費のために貯蓄される。各消費者は老年期における私的財の消費と環境財から効用を得る。 t 期に生まれる消費者を第 t 世代とよび、第 t 世代第 i 消費者の効用関数を以下によって表す。

$$u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E_{t+1}) \quad (1)$$

ここで c_{t+1}^i は第 t 世代第 i 消費者の老年期である $t+1$ 期における消費、 E_{t+1} は $t+1$ 期における環境財の水準で、同世代のすべての消費者によって等量消費される。

仮定1. $u_t^i(c_{t+1}^i)$, $v_t^i(E_{t+1})$ は2回微分可能であり、 $u_t^{i'} > 0$, $u_t^{i''} < 0$, $v_t^{i'} > 0$, $v_t^{i''} < 0$ 。

$t+1$ 期における環境財の水準 E_{t+1} は、前期である t 期における環境財の水準 E_t 、総消費量 $\sum_i c_t^i$ および環境保全のために投入される私的財の総量 M_t に依存して、以下の式によって決定されると考える。

$$E_{t+1} = \alpha E_t - \beta \sum_i c_t^i + \gamma M_t \quad (2)$$

ここで α , β , γ は正の定数であり、それぞれ前期における環境財の水準、消費量、環境保全のための私的財投入の環境保全への効果を表している。 α は1より大きいと考えると、自然の回復力ともいうべきものである。 β は消費が環境に及ぼす外部効果を表している。 γ は環境保全のために投入される私的財の量と、それによって回復される環境財の水準との技術的な関係を表している。

私的財の生産については、以下の集計された生産関数を考える。

$$Y_t = F(K_t, L_t) \quad (3)$$

ここで Y_t は t 期において生産される私的財の量、 K_t , L_t はそれぞれ t 期の資本ストックと若年消費者の人数を表す。

仮定 2. 生産関数 $Y_t = F(K_t, L_t)$ は 2 回微分可能であり,

$$\frac{\partial F}{\partial K_t} > 0, \frac{\partial F}{\partial L_t} > 0, \frac{\partial^2 F}{\partial K_t^2} < 0, \frac{\partial^2 F}{\partial L_t^2} < 0$$

$$Y_t = F(K_t, L_t) = K_t \frac{\partial F}{\partial K_t} + L_t \frac{\partial F}{\partial L_t}$$

資本ストックの減耗率を δ とすると、各期において利用可能な私的財の総量は、新たに生産されるものと、減耗分を差し引いた前期から持ち越される資本ストックの合計であると考えられる。すなわち

$$F(K_t, L_t) + (1 - \delta)K_{t-1} \quad (4)$$

となり、それが老年世代の消費、資本蓄積および環境財の保全に用いられる。したがって、私的財が過不足なく利用される場合には

$$F(K_t, L_t) + (1 - \delta)K_{t-1} = \sum_j c_t^j + S_t + M_t \quad (5)$$

が成立する。ここで S_t は t 期における若年消費者の貯蓄総額であり、それが次期の資本ストックとなる。

$$S_t = K_{t+1} \quad (6)$$

定義 1. 人口を各期一定の \bar{L} とする。実現可能な定常配分とは、各期の各消費者の消費量 $\{c_{t+1}^i\}$ 、各期の消費量の合計 C 、資本ストック K 、環境財保全のための私的財の投入 M 、環境財 E 、の組 $\{\{c_{t+1}^i\}, C, K, M, E\}$ で、以下の条件を満たすものである。

$$F(K, \bar{L}) = C + M + \delta K$$

$$\sum_i c_{t+1}^i = C, \forall t$$

$$E = \frac{1}{1 - \alpha} (-\beta C + \gamma M)$$

実現可能な定常配分においては、生産された私的財は過不足なく消費、資本ストック減耗の補填、環境財の保全に用いられ、消費量、資本ストック、環境財の水準は時間を通じて一定に保たれる。ただし各世代における各消費者の消費量 $\{c_{t+1}^i\}$ は同じとは限らず、その合計 C が世代を通じて一定である。

定義 2. 実現可能な定常配分 $\{\{c_{t+1}^i\}, C, K, M, E\}$ が動学的に効率的であるとは、資本ストックの水準 K について

$$\frac{\partial F(K, \bar{L})}{\partial K} \geq \delta$$

が成立することをいう。

仮定2より、動的的に効率的な定常配分の資本ストックは、限界生産力が資本の減耗率に等しい水準かそれ以下の水準である。

3. パレート効率的定常配分

実現可能な定常配分のなかでパレート効率的なものを考える。

定義3. 実現可能な定常配分 $\{c_{t+1}^i, C^*, K^*, M^*, E^*\}$ がパレート効率的であるとは、他の実現可能な定常配分 $\{c_{t+1}^i, C', K', M', E'\}$ で、各世代について

$$\begin{aligned} u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E') &\geq u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E^*) \text{ for all } i \\ u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E') &> u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E^*) \text{ for some } i \end{aligned}$$

となるものが存在しない。

(1) 式で示されるように、消費は各世代の老年期に行われるので、時間を表す下付の添え字は、効用関数に付くものと消費量に付くものと1期のずれがある。

命題1. 任意のパレート効率的定常配分 $\{c_{t+1}^i, C^*, K^*, M^*, E^*\}$ は動的的に効率的であり、以下の条件が成立する。

$$\sum_i \frac{v_t^i(E^*)}{u_t^i(c_{t+1}^i)} = \frac{1-\alpha}{\beta+\gamma}, \quad \frac{\partial F(K^*, \bar{L})}{\partial K} = \delta$$

証明. パレート効率的定常配分の条件を求めるために、一般性を失うことなく、各世代の第1番目以外の消費者の効用水準を所与とおいて、第1番目の消費者の効用を最大化するような、実現可能な定常配分の条件を求める。

$\lambda_1, \dots, \lambda_{\bar{L}+1}$ をラグランジュ乗数とし

$$\begin{aligned} &u_t^1(c_{t+1}^1) + v_t^1(E) \\ &+ \lambda_1 \left\{ \sum_{i=1}^{\bar{L}} c_{t+1}^i + M - F(K) + \delta K \right\} \\ &+ \sum_{j=2}^{\bar{L}} \lambda_j \{ u_t^j(c_{t+1}^j) + v_t^j(E) - \bar{u}_t^j \} \\ &+ \lambda_{\bar{L}+1} \left\{ E + \frac{1}{1-\alpha} \left(\beta \sum_{i=1}^{\bar{L}} c_{t+1}^i - \gamma M \right) \right\} \end{aligned}$$

とする。

1 階の条件として以下が導かれる。

$$\begin{aligned}
 u_t^{i'} + \lambda_1 + \lambda_{\bar{L}+1} \frac{\beta}{1-\alpha} &= 0 \\
 \lambda_1 + \lambda_j u_t^{j'} + \lambda_{\bar{L}+1} \frac{\beta}{1-\alpha} &= 0, \quad j = 2, \dots, n \\
 v_t^{1'} + \sum_{j=2}^{\bar{L}} \lambda_j v_t^{j'} + \lambda_{\bar{L}+1} &= 0 \\
 \lambda_1 - \frac{\gamma}{1-\alpha} \lambda_{\bar{L}+1} &= 0 \\
 \lambda_1 (F' - \delta) &= 0
 \end{aligned}$$

これらを解くことにより，命題の条件が導かれる。

(証明終了)

定義 1 より，実現可能な定常配分においては

$$M = \frac{1-\alpha}{\beta+\gamma} \{E + F(K, \bar{L}) - \delta K\} \quad (7)$$

であるので

$$\frac{\partial M}{\partial E} = \frac{1-\alpha}{\beta+\gamma} \quad (8)$$

となる。この式は，私的財で測られた環境財の限界費用を表している。

したがって，命題 1 の第 1 の条件は Samuelson [1955] において示された公共財供給における最適条件，いわゆる Samuelson 条件であり，私的財で測られた環境財の限界費用が環境財と私的財の限界代替率のすべての消費者についての総和に等しくなければならないことを示している。

第 2 の条件は，資本の限界生産力が資本の減耗率に等しくなければならないことを示しており，パレート効率的定常配分における資本ストックについては動学的効率性の条件が等号で満たされている。

4. 環境財保全のための自発的負担を含む競争均衡配分

競争市場において，環境財の水準がどのように決定されるかを考察する。各消費者は，賃金率および利率，前世代の消費者による消費および環境財生産のための負担額を所与として，効用最大化するように貯蓄・消費および環境財生産のための負担額を決定すると考える。また生産者は，賃金率および利率を所与として利潤を最大化するように，労働および資本の投入量を決定すると考える。均衡においては，それぞれの市場で需要と供給が一致するように賃金率および利率が決定

される。他の主体の行動を所与として、それぞれが最適化行動を取ると考えているので、競争均衡はナッシュ均衡である。

競争均衡配分は、実現可能な定常配分のなかで、さらに各消費者の貯蓄額 $\{s_t^i\}$ および環境財保全のための負担額 $\{m_t^i\}$ が特定化されていなければならない。

定義 4. 定常競争均衡とは配分 $[\{c_{t+1}^i\}, C^c, \{s_t^{ic}\}, K^c, \{m_t^{ic}\}, M^c, E^c]$ および利子率と賃金率の組 (r^c, w^c) で、以下の条件を満たすものである。

(i) すべての世代のすべての i について、 $[C^c, \{m_t^j\}_{j \neq i}, r^c, w^c]$ が所与のとき、 $(c_{t+1}^i, s_t^{ic}, m_t^{ic})$ は

$$\begin{aligned} \max \quad & u_t^i(c_{t+1}^i) + v_t^i(E) \\ \text{subject to} \quad & s_t^i + m_t^i = w^c \\ & c_{t+1}^i = (1 + r^c - \delta)s_t^i \\ & E = \frac{\gamma}{1 - \alpha} m_t^i + \frac{\gamma}{1 - \alpha} \sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{1 - \alpha} C^c \end{aligned}$$

の解である。

(ii) K^c および \bar{L} は $\max F(K, L) - r^c K - w^c L$ の解である。

(iii) $K^c = \sum_i s_t^{ic}$

(iv) $F(K^c, \bar{L}) = \sum_i c_t^{ic} + \sum_i m_t^{ic} + \delta K^c$

(v) $E^c = \frac{1}{1 - \alpha} \left(-\beta C^c + \gamma \sum_i m_t^{ic} \right)$

命題 2. 競争均衡 $[\{c_{t+1}^i\}, C^c, \{s_t^{ic}\}, K^c, \{m_t^{ic}\}, M^c, E^c]$, (r^c, w^c) においては以下の条件が成立する。

$$\begin{aligned} \frac{v_t^{i'}(E^c)}{u_t^{i'}(c_{t+1}^i)} &= \frac{(1 - \alpha)(1 + r^c - \delta)}{\gamma} \\ \frac{\partial F(K^c, \bar{L})}{\partial K} &= r^c, \quad \frac{\partial F(K^c, \bar{L})}{\partial L} = w^c \end{aligned}$$

証明. 定義 3 (i) (ii) の 1 階の条件および均衡条件 (iii) ~ (v) より導かれる。 (証明終了)

第 1 の条件は、環境財と私的財の限界代替率がすべての消費者について等しく、かつそれがある意味での私的財と環境財の価格比に等しくなることを示している。すなわち、定義 4 (i) の制約条件をまとめると

$$\frac{1}{(1 + r^c - \delta)} c_{t+1}^i + \frac{(1 - \alpha)}{\gamma} E = w^c + \sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{\gamma} C^c \quad (9)$$

となり、この消費者にとっての予算制約を表している。

第2および第3の条件は、利子率および賃金率がそれぞれ資本および労働の限界生産力になっていることを示している。

各消費者の効用最大化問題の1階の条件および(9)式より、次の系が導かれる。

系1. 私的財が上級財である場合、自分の貢献以外による環境財供給水準が高ければ、自発的な貢献水準は低下する。

定義4 (i) の制約条件から

$$E = \frac{\gamma}{1-\alpha} m_t^i + \frac{\gamma}{1-\alpha} \sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{1-\alpha} C^c \quad (10)$$

であるので、自分の貢献以外による環境財供給水準は

$$E - \frac{\gamma}{1-\alpha} m_t^i = \frac{\gamma}{1-\alpha} \sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{1-\alpha} C^c \quad (11)$$

となる。すなわち第*i*消費者にとって、 $\frac{\gamma}{1-\alpha} \sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{1-\alpha} C^c$ が大きければ、あるいは(9)式から私的財で表した $\sum_{j \neq i} m_t^{jc} - \frac{\beta}{\gamma} C^c$ が大きければ、自発的な貢献 m_t^i の最適水準は低下する。

命題2は厚生経済学の基本定理が成立しないことを意味しているが、環境財の水準についてはさらに次の命題が導かれる。

命題3. 競争均衡配分は、パレート効率的定常配分の条件を満たしておらず、動学的に効率的であるならば競争均衡配分における環境財の水準は、いかなるパレート効率的定常配分における環境財の水準よりも小さく、過少供給となっている。

証明. 任意のパレート効率的定常配分 $[\{c_{t+1}^i\}, C^*, K^*, M^*, E^*]$ および競争均衡配分 $[\{c_{t+1}^c\}, C^c, \{s_t^{ic}\}, K^c, \{m_t^{ic}\}, M^c, E^c]$ を考える。

$E^* \leq E^c$ であったとする。仮定1より、すべての消費者*i*について

$$v_t^i(E^*) \leq v_t^i(E^c) \text{ かつ } v_t^i(E^*) \geq v_t^i(E^c)$$

となる。動学的効率性および命題2より

$$1 - \delta + r^c \geq 1$$

となり、命題1、命題2および $\alpha \leq 1, \beta > 0$ より

$$\sum_i \frac{v_t^i(E^*)}{u_t^i(c_{t+1}^{i*})} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma} < \frac{1 - \delta + r^c}{\gamma} = \frac{v_t^i(E^c)}{u_t^i(c_{t+1}^c)}$$

したがってすべての消費者について

$$\frac{v_t^{i'}(E^*)}{u_t^{i'}(c_{t+1}^{i*})} < \frac{v_t^{i'}(E^c)}{u_t^{i'}(c_{t+1}^{i^c})} \text{ かつ } u_t^{i'}(c_{t+1}^{i*}) > u_t^{i'}(c_{t+1}^{i^c})$$

となる。仮定1より

$$u_t^i(c_{t+1}^{i*}) < u_t^i(c_{t+1}^{i^c})$$

であり

$$u_t^i(c_{t+1}^{i*}) + v_t^i(E^*) < u_t^i(c_{t+1}^{i^c}) + v_t^i(E^c)$$

となる。しかしこれは $\{c_{t+1}^{i*}, C^*, K^*, M^*, E^*\}$ がパレート効率的であることに矛盾する。したがって

$$E^* > E^c$$

となる。

(証明終了)

5. 世代内ゲームとしての環境財負担

各世代の消費者にとって、若年期における環境財の水準や賃金率、利子率などは所与であり、自分たちの消費が環境財に与える影響も自分たちの効用には直接関係がない。この節では、これまでの分析のようなすべての期を考慮した定常配分ではなく、ひとつの世代内における環境財保全のための負担をめぐるゲーム論的な状況を考える。

各世代について、効用に影響を与える老年期における各消費者の私的財消費と環境財の組 $\{c^i, E\}$ を配分と呼ぶ。同一世代内でのゲームを考えるので、とくに誤解が生じない場合は期を表す下付の添え字は省略する。賃金率および利子率が所与の状況において、各消費者の環境財に対する自発的な負担額 $\{m^i\}$ が決まると配分が決まるので、環境財保全のための負担額 m^i を戦略とする世代内のゲームを考える。

(2) 式で表される $t+1$ 期における環境財の水準について、世代 t にとって所与である部分を

$$\alpha E_t - \beta \sum_{j=1}^L c_t^j \equiv \bar{E} \quad (12)$$

とする。また消費者にとって所与である賃金率および利子率をそれぞれ w および ρ とおいて、つぎのように定義する。

定義 5. 戦略 $\{m^i\}$ に基づく配分 $\{c^i, E\}$ を

$$c^i = \rho(w - m^i)$$

$$E = \gamma \sum_{j=1}^{\bar{L}} m^j + \bar{E}$$

とする。

すなわち、各消費者の老年期における消費は、若年期に得る賃金から環境財保全のための負担を引いたものに利子率をかけた額となる。また、老年期における環境財の水準は、(12) 式で定義された所与の水準 \bar{E} に、世代 t による負担額の合計 $\sum_{j=1}^{\bar{L}} m^j$ に技術的な関係を表す定数 γ をかけたものを加えた値となる。

定義 6. 配分 $\{c^i, E\}$ が実現可能であるとは

$$\frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^{\bar{L}} c^i + \frac{1}{\gamma} (E - \bar{E}) = \bar{L}w$$

を満たすことである。

すなわち、ひとつの世代の若年期における賃金の総額が、その世代の老年期における消費のために若年期になされる貯蓄および環境財保全のための負担の総額に等しくなければならないことを意味している。

定義 7. 実現可能な配分 $\{c^{i*}, E^*\}$ がパレート効率的であるとは、他の実現可能な配分 $\{c^{i'}, E'\}$ で

$$u^i(c^{i'}) + v^i(E^{i'}) \geq u^i(c^{i*}) + v^i(E^*) \text{ for all } i$$

$$u^i(c^{i'}) + v^i(E^{i'}) > u^i(c^{i*}) + v^i(E^*) \text{ for some } i$$

となるものが存在しない。

定義 8. 戦略 $\{m^{ic}\}$ がナッシュ均衡であるとは

すべての i について、 $\{m^{jc}\}_{j \neq i}$ が所与のとき、 m^{ic} は

$$\max u^i(c^i) + v^i(E)$$

$$s.t. c^i = \rho(w - m^i)$$

$$E = \gamma m^i + \gamma \sum_{j \neq i} m^{jc} + \bar{E}$$

の解である。

命題 4. ナッシュ均衡 $\{m^{ic}\}$ に基づく配分 $[\{c^{ic}\}, E^c]$ は、パレート効率的配分の条件を満たしておらず、環境財 E^c の水準は、いかなるパレート効率的配分における環境財の水準よりも小さく、過少供給となっている。

証明. パレート効率的配分の条件は、命題 1 と同様に導かれる Samuelson 条件であり、この場合には

$$\sum_i \frac{v^{i'}(E^*)}{u^{i'}(c^{i*})} = \frac{\rho}{\gamma}$$

である。ナッシュ均衡の条件は、命題 2 の第 1 条件と同様に導かれ、この場合には

$$\frac{v^{i'}(E^c)}{u^{i'}(c^{ic})} = \frac{\rho}{\gamma}$$

である。したがってすべての消費者について

$$\frac{v^{i'}(E^*)}{u^{i'}(c^{i*})} < \frac{v^{i'}(E^c)}{u^{i'}(c^{ic})} \quad \text{かつ} \quad u^{i'}(c^{i*}) > u^{i'}(c^{ic})$$

となり、命題 3 の証明と同様の論理で結論が導かれる。

(証明終了)

すなわち、各世代の世代内ゲームとして環境財の負担を考えた場合には、動学的な効率性にかかわらず、分権的な競争均衡においては、いかなるパレート効率的な配分よりも、環境財は過少供給になる。

各消費者による戦略の組 $\{m^i\}$ が決まると配分が決まり効用水準が決まるので、それぞれの消費者について、同一水準の効用をもたらす戦略の組の集合としての無差別曲線、ならびに相手の戦略を所与として自らの効用を最大化する戦略を示す反応曲線の概念を考えることができる。

2 人ゲームとした場合、相手の戦略を所与としたときの、それぞれの消費者の効用は

$$u^i(c^i) + v^i(E) = u^i(\rho(w - m_i^i)) + v^i(\gamma m_i^i + \gamma m_i^j + \bar{E}) \quad (13)$$

と表される。ここで m_i^j , $j \neq i$ は消費者 i にとって所与となる消費者 j の負担額を表し、 m_i^i はそのときの消費者 i にとっての最適な負担額を表す。(13) 式を微分してゼロとおくと

$$-\rho u^{i'}(c^i) + \gamma v^{i'}(E) \left(1 + \frac{dm_i^j}{dm_i^i}\right) = 0 \quad (14)$$

となる。したがって、各消費者の無差別曲線の傾きは

$$\frac{dm_i^2}{dm_i^1} = \frac{\rho v^{i'}(E)}{\gamma u^{i'}(c^i)} - 1 \quad (15)$$

$$\frac{dm_2^1}{dm_2^2} = \frac{\rho v^{i'}(E)}{\gamma u^{i'}(c^i)} - 1 \quad (16)$$

と表される。

消費者 i の反応曲線は、 $m_i^j, j \neq i$ を所与としたときの、定義 7 で示された最適化問題の解となっているので、命題 4 の証明に述べられている 1 階の条件

$$\frac{v^{i'}(E)}{u^{i'}(c^i)} = \frac{\rho}{\gamma} \quad (17)$$

が満たされる。したがって、(17) 式および (15), (16) 式より、それぞれの消費者の無差別曲線の傾きは反応曲線上でゼロとなる。消費者 1 の負担額を横軸に、消費者 2 の負担額を縦軸に測ると、消費者 1 の反応曲線は無差別曲線の傾きが水平となる戦略の集合で示される。同様にして、消費者 2 の反応曲線は無差別曲線の傾きが垂直となる戦略の集合で示される。

他方、パレート効率配分の条件は、同じく命題 4 の証明に述べられている 1 階の条件

$$\sum_i \frac{v^{i'}(E^*)}{u^{i'}(c^{i*})} = \frac{\rho}{\gamma} \quad (18)$$

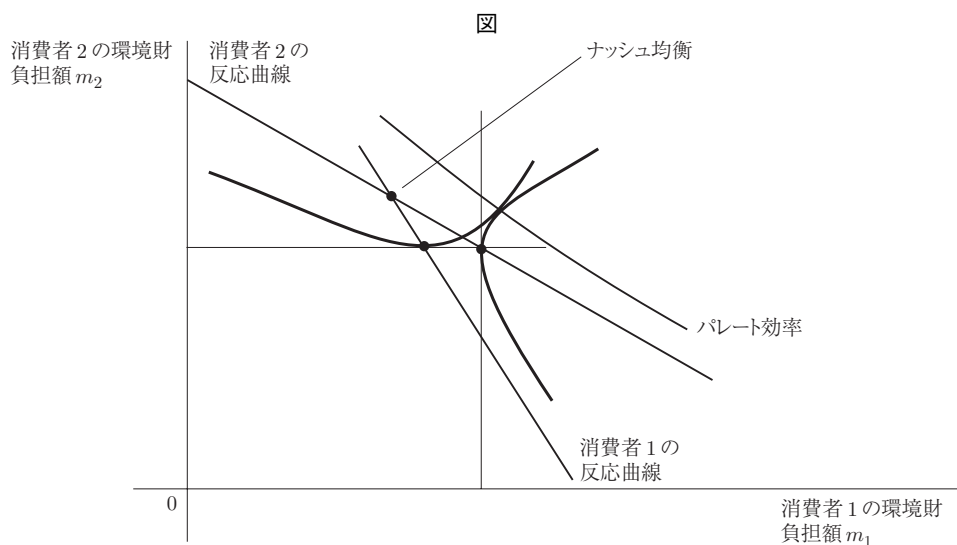
であるので、(15) および (16) 式から

$$\frac{dm_1^2}{dm_1^1} = \frac{dm_2^1}{dm_2^2} \quad (19)$$

となり、2 人の消費者の無差別曲線の傾きは等しいことが示される。したがってパレート効率的配分をもたらす戦略の組は、無差別曲線の接点の集合で表される。

命題 4 は、無差別曲線の傾きがゼロとなる点の集合である反応曲線の交点すなわちナッシュ均衡が、パレート効率を表す無差別曲線の接点の軌跡の内側に位置することを主張するものである。

2 人ゲームの場合の、無差別曲線、反応曲線、ナッシュ均衡、パレート効率配分をもたらす戦略の組の集合が、消費者 1 の負担額を横軸に、消費者 2 の負担額を縦軸に測った図に示されている。



6. 結語

定常均衡配分を考えると、資本ストックの水準が動学的に効率的であるならば、分権的な競争均衡においては、いかなるパレート効率的な配分よりも、環境財は過少供給になることが示された。

また、短期的な各世代の世代内ゲームとして環境財の負担を考えた場合には、動学的な効率性にかかわらず、分権的な競争均衡においては、いかなるパレート効率的な配分よりも、環境財は過少供給になることが示された。

いずれにしても分権的な競争均衡においては、Samuelson 条件、すなわちパレート効率性の条件は満たされないことが示された。したがって、パレート効率的な配分を実現するためには市場機構以外の手段が必要となるが、それは今後の課題としたい。

(経済学部教授)

参 考 文 献

- John, A., Pecchenino, R., 1994, "An overlapping generations model of growth and the Environment", *Economic Journal* 104, 1393–1410.
- John, A., Pecchenino, R., Schimmelpfening, D., Schreft, S., 1995, "Short-lived agents and the long-lived environment", *Journal of Public Economics* 58, 127–141.
- 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, 467–4.
- 塩澤修平, 大滝英生, 檀原浩志, 2010, 「経済成長, 環境および環境保全の誘因」, KESDP10–7.