

枯渇性資源・環境と持続的成長

浅子和美

川西諭

小野哲生

1. はじめに

本稿では、世代間の分配問題の一側面としての持続的成長について、枯渇性資源や環境問題との関連で展望を試みる。

今から 30 年ほど前に、民間組織であるローマクラブが「成長の限界」と題するレポート (Meadows, Meadows, Randers, and Behrens, 1972) を公表し、これまで通りの経済成長を続けていく場合人口爆発に加えて、化石燃料をはじめとする天然資源の枯渇問題、環境破壊・汚染の問題、の 2 つの問題で人類は破局を迎えると警告した。その上で、ローマクラブは「破局への過程を回避するためには、思い切って経済成長と人口成長をゼロにするしかない」との見解を示した。

環境問題が経済成長の制約となることを人々に認識させた点で、このレポートがその後の研究に与えた影響を無視することはできない。しかし、レポートに対する当時の人々の反応はあまり芳しくなかった。その解決策を非常に粗雑で安直なものとして受けとった経済学者もあり、例えば Solow (1986) はローマクラブの解決策は "naive" だとしてその偏見を打破する使命感をもって、経済学の知見に基づく論文を書くと言っている。

枯渇性資源や環境問題と持続的成長に関する経済学者の研究 (以下本稿では、これを「環境と成長の経済学」と呼ぶ) は、こうした流れの中で位置付けられるものである。より具体的には、「環境と成長の経済学」は先に挙げた 2 つの問題を新たな制約として考慮し、その上で、望ましい経済成長とはいかなるものか、分権的市場機構で望ましい成長経路を達成できるか、の 2 つの経済問題を考える。

これらの問いに対する答えは、枯渇性資源を考える場合と環境破壊・汚染を考える場合とで大きく異なる。両者は異質なのである。その違いを明確にするため、本稿では、これらの問題を全く別の問題として扱う。もちろん、このような区別が適当ではない状況もある。例えば、化石燃料は枯渇性資源であると同時にその過剰な消費は地球温暖化を引き起こすとされている。しかし、化石燃料消費を考える場合にも、その消費がもつ 2 つの影響

(資源の枯渇と環境の悪化)を個別に理解しておくことは有用である。このような認識から、まず枯渇性資源問題を、その後で環境破壊・汚染問題を考察する。個別の説明に移る前に「環境と成長の経済学」に共通の特徴を明らかにしておこう。

1.1 理論分析の特徴

「環境と成長の経済学」で用いられる分析手法は、従来の経済成長理論で使われているものと類似点が多い。すなわち、天然資源の賦存量や汚染排出量が経済厚生に与える効果を明示的に考慮したときの最適経済成長経路を、動学的な最適化問題の解として導出する。相違点もある。それは、経済成長理論が現実の経済成長を説明することを目的とした事実解明分析としての色彩が濃いのにに対して、「環境と成長の経済学」はどのような成長経路が望ましいかという規範分析としての色彩が濃いことである。

もちろん、従来の経済成長理論も規範分析としての側面を全くもたないわけではない。実際、いわゆる内生的成長理論の多くは実際の経済成長経路と望ましい経済成長経路が必ずしも一致しないことを指摘し、その上で望ましい経路を実現するための政策について議論している。しかし、この際にそもそも「何を望ましいとすべきか？」について議論することは稀である。通常、望ましさは、将来にわたる社会厚生割引現在価値の総和を最大化することで評価されるが、このような基準を採用すること自体を問題にすることはほとんどないのである。

これに対して「環境と成長の経済学」では、目的関数の選択が大きな問題として扱われてきた。通常の評価基準は、採用される目的関数の性質から功利主義的な意味をもつ。すなわち、「ある世代の厚生犠牲によって他の世代の厚生を改善できるならば、その犠牲を正当化する」ことを最適成長理論の目的関数は意味することになる。さらに将来の世代の厚生を割引くことは、将来の世代を相対的に軽く扱うことを意味する。世代間公平性の観点から、このような価値基準が果たして正当化されるのだろうか。

確かに、枯渇性資源と環境の制約を考慮しない場合には、功利主義的価値基準を採用したとしても、最適成長経路上で将来世代の厚生が現世代と比較して一方的に悪くなることはないことから、世代間公平性の観点から功利主義的価値基準を問題にする必要はないともいえる。しかし、枯渇性資源と環境の制約が入ると、功利主義的価値基準を採用すると最適経路上で将来世代の厚生が現世代と比べて著しく悪化してしまう可能性がある。将来世代の犠牲の上にわれわれ現世代が利益を享受することが、果たして正当化されるのだろうか。本稿の問題意識がそうであるように、「環境と成長の経済学」ではこのような世代間公平性の問題が重要なテーマになっている。本稿では、功利主義に代わる価値基準を紹介しながら、世代間公平性と価値基準の選択についての議論を行う。

価値基準の問題と関連して重要なのは「持続可能な発展」をめぐる議論である。ここで、「持続可能な発展」は厳密には「持続可能な成長」とは異なる概念である。一般に持続可能な成長の場合は所得水準の増加のみを問題にするが、持続可能な発展は所得だけではな

く環境の質や文化水準を含む広範な概念といえよう。しかし本稿では、これらの差異に必要以上に深入りせず、以下では両者をほぼ同等のものとして扱う。どちらの語句を用いるかは、前後の脈絡によって選択した。

1.2. 共通の前提

本稿の目的は、枯渇性資源問題と環境問題が経済成長に与える影響を、読者に直観的に理解してもらうよう展望することである。このため、複雑な経済構造の中から重要な部分を抽出し、いくつかの極端な仮定によって単純化した枠組を用い、既存の研究のエッセンスを紹介する。ここでは、とくに重要な2つの共通の前提について言及しておく。

まず第1に、人口と技術を不変と仮定する。ローマクラブが指摘しているように、環境という有限の入れ物の中で人口が一定の率で増え続けると、いずれその収容能力を超え人類は破局を迎えてしまう。この意味で「環境と成長の経済学」では人口不変を仮定することが多い。一方、技術一定は単純化のための仮定である。十分に大きな技術進歩を仮定すると、環境の制約自体の重要性がなくなってしまうからである。

第2に、各時点の社会厚生が各時点の社会全体の総消費および社会全体の環境水準のみに依存すると仮定する。この仮定は家計の異質性あるいは世代内公平性の問題を対象外としていることを意味する。

もちろん、これら2つの仮定をはじめとした諸仮定が、理論分析の結論に影響を及ぼすことが考えられる。その意味で本稿の分析は、より詳細な分析への第一歩と考えていただきたい。

2. 天然資源の枯渇と持続的成長

ローマクラブが提起した問題の中で、経済学者の関心を最初に集めたのは天然資源の枯渇問題である。本節では、生産要素の1つが枯渇性資源であるケースを扱った最適成長経路の理論分析を紹介する。

第1節の「はじめに」で指摘したように、どのような成長経路が最適かを考える際には各世代の厚生をどのように評価するか、すなわち目的関数の選択が問題となる。そこで本節では、出発点として、まず従来の最適成長理論で使われている功利主義的な目的関数を採用した場合の最適成長経路を考察する。それを受けた後に、世代間の公平性に配慮する成長経路のあり方を検討する。

2.1. 功利主義の下での最適成長経路

Dasgupta and Heal (1974)にならい、次のように従来の最適成長モデルの枠組に枯渇性

資源の制約を導入する。

$$\max \int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(c_t) dt \quad (1)$$

$$s.t. \quad \dot{k}_t = F(k_t, r_t) - c_t \quad (2)$$

$$\dot{S}_t = -r_t \quad (3)$$

S_0 and k_0 given.

ただし、 c_t, k_t, r_t, S_t はそれぞれ t 時点における総消費量、再生産可能な人工資本、枯渇性資源投入量（フロー）、残存枯渇性資源ストックである。 F は生産関数であり、人工資本 k と枯渇性資源 r の投入によって生み出される生産物の総量を与える。

人口が一定であることに注意すると、 r と S が存在しなければこの問題はいわゆる Ramsey モデルである。ただし目的関数の解釈は若干異なる。(1)の目的関数は、消費の流列から享受される各時点の社会厚生 U の割引現在価値の合計である。割引率 δ が正であることは、現世代と比べて将来世代の厚生を低めに評価することを意味する。

制約条件(2)は人工資本 k の蓄積に関するものであり、簡単化のために資本減耗は捨象し、生産物から消費を控除した分が資本蓄積に回ると仮定する。ある時点の消費量を減少させその分人工資本を蓄積すると、将来時点の生産能力が増大し、結果として将来の消費量を増加させることができる。このような資本蓄積量の調節を通じて、異時点間の消費配分を最適に調整し、目的関数の最大化をはかるのである。

枯渇性資源の制約は制約条件(3)で表されている。その総量を与えられているために、各時点の生産に利用できる枯渇性資源の投入量は自ずと制限される。重要なのは、枯渇性資源が存在する場合、異時点間の消費配分を調整する手段が資本蓄積のほかにもう1つ存在することである。ある時点の生産と消費を犠牲にして枯渇性資源ストックを温存すれば、将来その分だけ生産と消費を増やすことができる。このように枯渇性資源を投入する時点を変更することによっても、異時点間の消費配分調整が可能なのである。

なお、効用関数と生産関数については通常の設定をおく。すなわち限界効用は正で逓減するものとし、生産関数 F は準凹の1次同次関数であり、それぞれの生産要素の限界生産性は非負とする。

最適経路の条件

以上の仮定の下で最適化問題を解くことにより、最適経路が満たすべき2つの必要条件が得られる。詳しい導出過程は省略するが、それらは

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{F_k - \delta}{\eta(c_t)} \quad (4)$$

$$\frac{\dot{F}_r}{F_r} = F_k \quad (5)$$

である。ただし、 F_k 、 F_r はそれぞれ人工資本と枯渇性資源の限界生産性、 η は限界効用の弾力性でありこれらは常に正である。

必要条件(4)は最適成長理論で Keynes-Ramsey ルールと呼ばれる条件式であり、消費を先延ばしするメリットとデメリットの大小によって、消費時点を決めようとするものである。消費の先延ばしによっては、人工資本が蓄積され、その分持ち越されると同時に生産要素として有効利用され収益（その収益率が F_k ）をもたらす。つまり、消費時点の先延ばしによって消費可能な財の単純合計が増加し、これがメリットとなる。

一方、割引率 δ は消費先延ばしのデメリット要因である。全く同じ量の消費財であれば、より早い時点で消費をした方が割引の対象とならない分だけ目的関数の値を大きくすることから、消費の先延ばしは望ましくない。Keynes-Ramsey ルールは消費時点先延ばしのメリット F_k がデメリット δ を上回る際には、最適経路上で将来時点の消費を増加させ、逆に下回る場合には将来の消費を減少させるべきであると主張している。その調整の度合いを決定するのが η である。異時点間消費の代替の弾力性（ η の逆数）が大きい場合には、調整を大胆に行うのが望ましい。

もう1つの必要条件(5)は、Hotelling ルールと呼ばれる枯渇性資源問題に固有の条件式である。既述の通り、枯渇性資源が存在するときには異時点間の消費配分調整方法が2つ存在する。Hotelling ルールは、この代替的な2つの調整方法が無差別であることを要求する効率性の条件である。議論を離散時間の設定に移して考えると Hotelling ルールの意味がよく理解できる。例として、 t 期の消費を1単位減少させ、その直後の $t+1$ 時点の消費を増やすことを考えよう。

この消費配分調整を実行する第1の方法は、消費を減少させた分だけ資本蓄積を増やす方法である。この方法をとると、 $t+1$ 時点に消費可能な財の量は $1+F_k$ になる。第2の方法は、消費を減らす分だけ t 時点の枯渇性資源投入量を控え、その分 $t+1$ 時点の枯渇性資源投入量を増やすという方法である。この方法をとる場合、 t 時点の消費を1単位減少させることによって、 $(1/F_{r,t})$ だけ枯渇性資源投入量を節約することができる（ $F_{r,t}$ は t 時点における枯渇性資源の限界生産性）。この節約された枯渇性資源は $t+1$ 時点の消費財生産に振り向けられる。 $t+1$ 時点の枯渇性資源の限界生産性が $F_{r,t+1}$ に変化していることに注意すると、この消費配分調整の結果、 $t+1$ 時点の総消費が $(F_{r,t+1}/F_{r,t})$ だけ増加する。

最適な成長経路上では、これら2つの方法のいずれを用いて配分調整を行っても、 $t+1$ 時点の総消費の増加が変わらない。よって、最適経路上では

$$\left(F_{r|t+1} / F_{r|t} \right) = 1 + F_k ,$$

したがって、(5)式に対応する

$$\therefore \frac{F_{r|t+1} - F_{r|t}}{F_{r|t}} = F_k$$

が成立する。すなわち、枯渇性資源の限界生産性の成長率が再生産可能な資本の限界生産性に等しい。これが Hotelling ルールである。

最適経路の性質

さて、功利主義的な価値基準の下での最適経路の性質を探ろう。まず、Hotelling ルールから、生産要素の投入比率 $x (=k/r)$ がどのように変化するかを考えよう。生産関数 F が2つの生産要素について1次同次であるので、人工資本と枯渇性資源の限界生産性はともに投入比率 x のみの関数になり、順に $F_k(x)$, $F_r(x)$ と表すと、その微分係数の符号はそれぞれ

$$F'_k(x) < 0, \quad F'_r(x) > 0$$

となる。このことに注意して、Hotelling ルールを書き換えると、

$$\dot{x} = \frac{F_k(x) \cdot F_r(x)}{F'_r(x)} > 0$$

が得られる。すなわち、再生産可能な資本と枯渇性資源の投入比率 x は時間とともに上昇し続ける。

次に、条件式(4)の Keynes-Ramsey ルールから、最適な総消費水準がどのように変化するかをみる。消費の増減は資本の限界生産性と割引率 δ の大小関係で決まるが、後者は一定であるのに対し、(投入比率 x が上昇し続けるため) 資本の限界生産性は時間の経過とともに低下し続ける。よって、 $\lim_{x \rightarrow \infty} F_k(x) < \delta$ ならば、消費は初期において増加するとしても、いずれは減少に転じることになる。

逆に言えば、 $\lim_{x \rightarrow \infty} F_k(x) \geq \delta$ とならない限り、消費水準が増加し続ける経路は最適にならない。Dasgupta and Heal (1974)は生産関数が CES 型である場合について考察し、この条件が満たされるためには、少なくとも要素間代替の弾力性が1より大きいことが必要であることを示した。つまり、要素間代替によって天然資源の枯渇による生産能力の減少を人工資本増加で補うことができはじめて、消費水準を増加し続けることができるのである。

最適消費経路の直観的意味

要素間の弾力が 1 より小さい場合には、初期条件等によっては当初総消費水準が増加する可能性がないわけではないが、いずれは減少に転じてしまう。初期において消費水準が増加するのは資本蓄積による経済成長であり、そのメカニズムは最適成長モデルにおける定常状態への収束と同様である。

ところが、枯渇性資源が存在する場合には、必ずしも特定的水準以上の消費を維持することが最適になるとは限らない。資本を蓄積しても、資源の枯渇によって生産能力が下がってしまうことから、将来世代のために資本を残しても現世代の犠牲を上回る将来世代の厚生増加は（ δ で割り引かれているために）望めなくなってしまうのである。このため、功利主義的な価値基準では、図 1 に描かれているように、将来世代の消費水準が徐々に切りつめられ社会的厚生も漸減することになる。

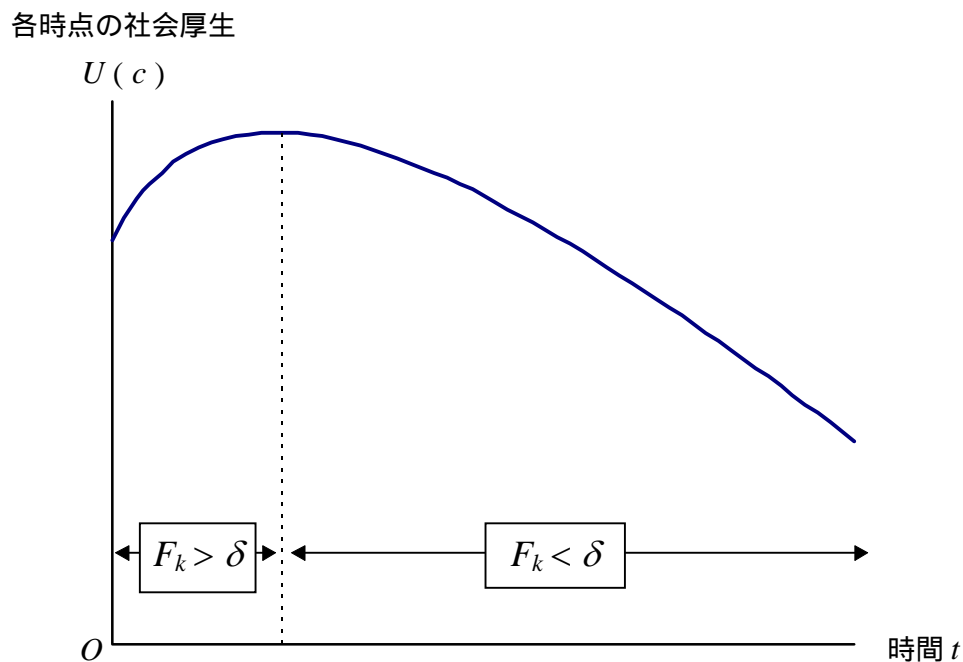


図 1：枯渇性資源が存在する場合の功利主義的最適社会厚生・消費経路

2.2. 分権的市場機構の成長経路

最適成長経路の特徴を理解することの目的の 1 つに、それが分権的市場機構の下で実現可能か否かを吟味する課題がある。興味深いことに、枯渇性資源に関する理論研究の多くは、功利主義的な価値基準の下での最適経路は分権的市場機構の下でも達成可能であると

している。市場機構が効率的な成長経路を達成できることは新古典派成長理論でよく知られた結論であるが、この命題は枯渇性資源が存在しても成立する。その理由は枯渇性資源の利用には効率性を歪める外部性が存在しないからである。

ただし、この効率性命題が成立するためには2つの条件が必要である。まず第1に、枯渇性資源ストック、フローの市場が存在し、財市場を含むすべての市場が完全競争的であることが必要である。もう1つの条件は完備市場の仮定である。枯渇性資源がどれくらい残っているのか、新しい技術の可能性など将来に関する情報が不確実である場合には、将来の財を取引する先物市場や条件付きの財を取引する保険市場（リスクの市場）が完備していないと効率的な資源配分が達成されない。

分権的市場機構によって効率性の条件が成立するのは、枯渇性資源問題特有の条件である Hotelling ルールを例にとれば次のようなメカニズムによる。すなわち、いま資産を運用する方法として、債券の購入と枯渇性資源の保有の2つを考えよう。債券保有の実質収益率は実質利率 F_k であり、枯渇性資源を保有する場合その限界生産性 F_r が価格となり、価格上昇率 \dot{F}_r/F_r 分のキャピタルゲインが獲得できる。2つの運用手段の実質収益率が等しくなる裁定条件式が、Hotelling ルールそのものとなるのである。

2.3. 功利主義に代わる価値基準と持続可能な発展

図1に描かれた社会厚生・消費経路からわかるように、正の割引率をもつ功利主義的なアプローチでは将来世代の厚生が現世代の厚生と比べて低くなる。このような社会的選択を、われわれは当然のごとく行うべきであろうか。この問題を考えるときに注意すべきは、前項で求めた最適経路が、実は無数に存在するパレート最適な資源配分の1つにすぎないということである。より初期世代の厚生が低く、その分将来世代の厚生が高いパレート効率的な経路も存在する。さまざまなパレート効率的な経路の中からどれを社会が選択するかは、まさに社会の価値観によって決定されるべき問題といえる。

世代間公平性と max-min 原理

功利主義に対する批判として、Solow (1974)は世代間の公平性を問題とし、代替的な価値基準として max-min 原理を提示した。この原理は、「富の分配における不平等は、それが最も貧しい人々の状態を改善するための必要条件であるときにのみ正当化されるべきである」という Rawls (1971)の考え方を反映した、極めて強い公平性を要求する価値基準である。この基準の下での最適経路は極めて単純である。

第1の性質として、最適経路上ではすべての世代の厚生が等しくなる。異時点間の消費配分調整が可能なことから、世代間の厚生に差がある場合には厚生水準の高い方を下げることで厚生のもっと低い世代の状態を改善できる。max-min 原理は、維持可能な厚生水準一

定の経路の中で最も厚生水準の高い経路を選択するのである。第 2 の性質として、最適経路上では Hotelling ルールが成立する。Hotelling ルールはあらゆるパレート効率的な経路が満たす技術的な必要条件であり、max-min 原理を満たす最適経路も当然この条件を満たさなければならない。

世代間の公平性を満たすという意味において、max-min 原理は優れた基準であるが理論上いくつかの問題点を孕んでいる。第 1 は、ある水準以上（例えば正の範囲）の厚生水準を維持する経路が選択可能でない恐れがあることである。枯渇性資源がある場合には、要素間の代替が十分でないと正の厚生水準を維持することは技術的に不可能である。Asako (1980)は環境汚染を含む状況に max-min 基準を適用し、このことを指摘している。

第 2 の問題は、経済発展の余地が十分あったとしても max-min 原理はそれを排除してしまう可能性である。この点は、最もシンプルな Ramsey モデルに max-min 原理を適用してみるとよくわかる。この場合、資本からの純生産物をすべて消費し人工資本をまったく蓄積しない経路が最適となる。さらに技術進歩がある場合には、その技術進歩の貢献分さえも食い潰していく経路が最適となる。この結論は確かに成長理論・発展理論では受け入れがたい内容といえよう。

実際、Rawls 自身も max-min 原理の世代間所得分配問題への適用には消極的である。Solow はその理由として第 2 の問題点をあげている。つまり、われわれが世代間公平性を問題とするのは「将来世代が現世代の犠牲になるとき」であり、現世代が将来世代のために自らの消費を犠牲にしているからといって、それを不公平であるとは言わない。つまり、世代間公平性としてわれわれが要求すべきなのは、「時間が経つにつれて世代厚生が減少しないこと」である。実はこの基準こそが、「持続可能な発展」と呼ばれる概念に対する最も一般的な経済学的解釈なのである。

持続可能な発展と Hartwick ルール

「持続可能な発展」は、国連主導の Brundtland 委員会が発表した報告書「われら共有の未来 (Our Common Future)」によって広く知られるようになった概念であり、いまでは世界中で政治経済政策の共通目標とされるまでにいたっている。持続可能な発展について厳密な定義は存在しないが、経済学者に最も広く受け入れられている定義は「経済厚生が時間とともに減少しないこと」である。max-min 原理はこの条件を満たすには十分すぎる。

それでは持続可能な発展を満たすために必要な最小限の条件とは何だろうか？ Solow (1986)は、この問題に対する John Hartwick の貢献を紹介している。Hartwick (1977)は、社会が次の 3 つのルールに従うとき、一定の消費水準を維持することが可能であることを示した。それらは、再生産可能な人工資本と労働が完全利用されている、Hotelling ルールが成立する、投資が、「各時点において、社会は枯渇性資源の利用にかかる競争的な使用料相当額分だけ再生産可能資本の蓄積を行う」というルール（以下、Hartwick ルール

と呼ぶ)に従う、の3つのルールである。第1と第2のルールは、パレート最適な経路が選ばれるための条件である。パレート最適な経路の中で、消費水準を維持するための条件がHartwickルールである。

消費水準を維持し続けるためには、われわれは生産能力自体を維持していく必要がある。枯渇性資源の減少は生産能力を減少させることから、その分投資によって人工資本を蓄積し生産能力を補わなければならない。これがHartwickルールの意味である。つまり、枯渇性資源ストックと再生産可能資本ストックを含む「富」のストック(生産能力で評価されたもの)を一定に保ちさえすれば、将来消費が減少する心配はないというのである。

この議論は現実の枯渇性資源の利用を考える上で重要なインプリケーションを有している。すなわち、一部の環境学者の中には「個別の枯渇性資源自体を将来の世代に遺産として残すべきだ」と主張する人がいるが、この主張は理論的には必ずしも不可避なものではない。生産要素間の代替が可能ならば枯渇性資源自体を遺産として残さなくても、その分人工資本を蓄積することによって将来世代の厚生を維持可能なのである。

2.4. 理論研究の評価

Beltratti (1997)は最近の実証分析の結果をふまえて、枯渇性資源問題、とくに原油の不足は近い将来における成長にはさして重要な問題にはならないとしている。主な理由は2つある。第1の理由として、北海油田などの新たな油田の発見によって、1970年代の石油危機時と比べると原油の不足感が薄らいでいることがあげられる。第2の理由は、代替エネルギーの発見や人工資本との代替可能性の上昇などの技術進歩の可能性である。

枯渇性資源問題が現実にはそれほど深刻ではないとしても、この問題に対する理論的研究は決して無意味ではない。代替資源の発見の可能性があっても、不確実な現象に対して最悪の状況を想定して対処することは重要である。また、経済学者の多くは功利主義的な厚生関数にまったく疑念を抱かないが、実際に環境問題に関する国際会議で受け入れられている「持続可能な発展」は、功利主義的な価値基準とは必ずしも整合的ではない。この事実は一種の「理論と現実の乖離」と言わざるをえない。

もちろん、本節で展開した理論分析に不十分な点が多いことも事実である。ここでとくに強調したいことは、枯渇性資源消費の外部性である。この節の理論分析では、枯渇性資源の利用にあたって効率性を歪めるような外部性はないと仮定してきた。しかし、例えば化石燃料の利用は、二酸化炭素の大気中への排出を不可避的にもない地球の温暖化を引き起こす。つまり化石燃料の消費は、地球温暖化といった外部不経済を発生しているのである。このことを考慮すると、分権的市場機構での化石燃料の消費は社会的に見て望ましい水準よりも過剰になる恐れがある。この点は、節を改めて詳しく考察する。

3 . 環境と持続的成長

本節では、ローマクラブが提起した第 2 の問題である環境破壊・汚染問題についての経済学的アプローチを整理する。最近では枯渇性資源問題よりも地球温暖化問題を代表とする環境破壊が経済成長の障害になりうると考えられている。

3.1. 環境問題の理論分析

経済活動が環境破壊・汚染を伴うとき最適成長経路はいかなるものになるだろうか。そして、分権的市場機構において最適経路は達成できるであろうか。

モデル設定の多様性

この問題を理論的に考察するためには、環境問題を抽象的に表現する必要があるが、枯渇性資源問題の場合と違って、環境破壊・汚染のモデル化は極めて多様である。これにはいくつかの理由がある。最も本質的な理由は、環境のもつ機能の多様性にある。大気汚染や水質汚濁が進めば、健康で快適な生活を営むことができなくなる。一方、農業などでは環境それ自体が生産の基盤になっており、土壌汚染や天候不順は生産水準を低下させるだろう。環境のどの機能を重視するかによって、モデルの設定が大きく異なってくる。

より細部にわたる問題としては、環境破壊・汚染に関して、汚染排出のフローとストックのいずれに焦点をあてるか、環境浄化投資など防御的支出が果たす役割や効果の大きさをどう捉えるか、といった点で大きな自由度がある。

以上の理由によって、環境破壊・汚染と経済成長の関係を分析したモデルは多様であり、それらのすべてを紹介することはできない。他方で、多くの理論分析に共通点が見られることも事実である。以下では幾つかの共通点を紹介し、その直観的な意味を説明する。

まず第 1 に、環境には自浄能力がある。環境は過剰な経済活動によってその機能を阻害されるが、経済活動水準が低ければ環境は次第にその機能を取り戻していく。先に枯渇性資源問題と環境破壊・汚染問題は本質的に異質であると整理したが、この自浄能力に関する仮定がその大きな要因である。環境の自浄能力は、何よりも環境資本が再生可能であり枯渇性をもたないことを意味する。

第 2 に、最適経路上で世代間公平性は問題とされない。枯渇性資源問題では正の割引率と功利主義価値基準を想定すると、最適経路の行き先としての定常状態は存在せず、経済厚生はある時点を過ぎると減少に転じ、その後は低下し続ける。この性質から功利主義的価値基準が世代間公平性の観点から問題とされた。これに対して環境汚染問題では、世代間公平性の観点から功利主義的価値基準が問題とされることは特段ない。

その理由は、最適成長経路の性質の違いにある。環境破壊・汚染問題を扱う成長モデルにおける功利主義的最適成長経路は、唯一の定常状態に収束する経路であるか、経済厚生

が時間の経過につれて改善し続ける経路となる。この結論は環境の自浄能力と密接に関係している。環境資本が枯渇性をもたないことから、経済成長が続く世界では最適経路上で経済厚生が低下し続けることはない。ただし、最適経路が定常状態に収束する鞍点経路である場合、初期条件によっては定常状態へ収束するまで社会厚生が減少する可能性はある。また、経済成長を捨象し、むしろ環境ストックの制御に焦点をあてた枠組では、定常状態に至る過程で社会厚生が時間とともに減少することもある。

経済成長がなく環境が一方向的に悪化するようなモデル設定では、世代間の公平性が問題となる余地があるが、経済成長が続くならば、世代間の公平性問題は緊急性が薄れるであろう。しかも、後者の世界で、収束経路上で経済厚生が下がる理由は、Ramsey モデルにおいて初期の資本ストックが黄金律の水準よりも大きく動学的非効率(dynamic inefficiency)が発生している場合と同様のメカニズムによる。すなわち、功利主義的価値基準の下で導かれる社会厚生の下落は、「現世代が将来世代の犠牲の上に利益を享受した結果」では必ずしもない。

第 3 に、分権的市場機構では最適経路が達成されない。経済活動はさまざまな形で環境を破壊・汚染し、人々の健康や生産活動に悪影響を及ぼす。分権的市場機構では、これらの悪影響の社会的費用が市場価格に反映されないために、あるいは環境の機能を正しく評価しそのサービスを取引する市場が存在しないために最適経路は達成されない。環境破壊・汚染は効率的な資源配分を歪める典型的な外部不経済の例なのである。すなわち、ここでは功利主義的価値基準が「持続可能な発展」の障害となるのではなく、分権的市場機構で環境が正しく評価されないことに本質的な問題がある。

以上の特性を最も簡潔に示すモデルとして、ここでは Michel and Rotillon (1995)を紹介する。彼らは、いわゆる Ak タイプの内生的成長モデルに環境破壊・汚染を導入し、功利主義的価値基準の下での最適化問題を次のように定式化した。

$$\max \int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(c_t, P_t) dt \quad (6)$$

$$s.t. \quad \dot{k}_t = A \cdot k_t - c_t \quad (7)$$

$$\dot{P}_t = \alpha \cdot k_t - \beta \cdot P_t \quad (8)$$

P_0 and k_0 given.

ただし、 A 、 α 、 β は正の定数パラメータであり、とくに $A > \delta$ とする。新しい変数 P_t は t 時点における環境汚染(ストック)の水準である。社会厚生関数は準凹関数であり、当然、環境汚染の進行は社会厚生を低下させる ($U_p < 0$)。制約条件(8)が環境汚染の変化を示している。生産活動が環境破壊・汚染を増加させる(右辺第1項)一方、環境は自浄能力をもつ(右辺第2項)。

よく知られているように通常の Ak モデルでは資本の限界生産性が逡減しないことから、

定常状態をもたず成長を続ける経路が最適となる。ところが環境破壊・汚染が社会厚生にマイナスの影響を及ぼす場合には、成長を続ける経路は必ずしも最適とならない。汚染増加が限界効用を高める ($U_{cP} > 0$) ような特殊ケースを除けば、最適経路はある定常状態へ収束する経路となる。以下では、そのような収束するケースに注目する。

最大化のための必要条件より、定常状態 (c^*, k^*, P^*) は次の3つの式を満たす。

$$\dot{k}_t = 0: A \cdot k^* = c^* \quad (9)$$

$$\dot{P}_t = 0: \alpha \cdot k^* = \beta \cdot P^* \quad (10)$$

$$\frac{U_c}{U_p} = -\frac{\alpha}{(A - \delta)(\beta + \delta)} \quad (11)$$

条件式(9)と(10)は定常状態として達成可能な組合せを与えている。これらから k^* を消去すると、

$$P = \frac{\alpha}{A \cdot \beta} c$$

が得られる。この関係は、図2のような (c, P) 平面上の原点を通る右上がりの直線で表される。

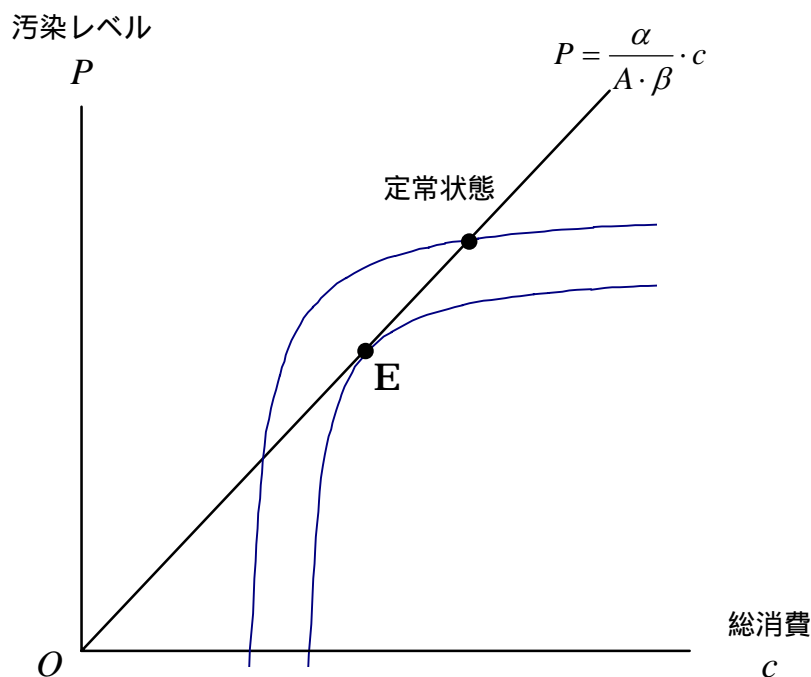


図2：定常状態は「緑の黄金律（点E）」を満たさない

定常状態として達成可能な組み合わせの中で、社会厚生を最大にする組合せは、この直線と社会厚生関数 $U(c, P)$ から導出される無差別曲線の接点 E である。ここでは

$$\frac{U_c}{U_p} = -\frac{\alpha}{A \cdot \beta}$$

が成立する。

この条件は Chichilnisky, Heal, and Beltratti (1995) が定義した「緑の黄金律 (Green Golden Rule)」に当たるものである。ところが、(11)式から明らかなように、 δ がゼロでない限りモデルの定常状態では緑の黄金律が満たされない。すなわち、一般に定常状態は接点 E と一致しない。割引率が正であることから、後の世代よりも前の世代を優先し、後の世代のために初期世代の消費を犠牲にすることは最適にはならないのである。

初期の資本ストック水準が十分に低く環境汚染レベルが高い場合、経済厚生は図3のように定常状態に至る過程で上昇し、一定の値 $U(c^*, P^*)$ に収束する。このような場合には、最適経路上で「持続可能な発展」が達成され、世代間公平性は問題とならない。

ところが、分権的市場機構の下では環境破壊・汚染の外部効果が市場で評価されないために、最適経路が実現されない。仮に外部効果が市場で全く評価されないとすると、実現される経路は、もともとの Ak モデルの最適経路と一致する。既述のように Ak モデルには定常状態が存在せず、最適経路上で消費 c と資本ストック k が一定の率 $A - \delta$ (正と仮定している) で成長し続けることから、経済は図3のように持続可能ではない経路を破局が訪れるまで進み続けることになる。これはまさにローマクラブが警告した最悪のシナリオそのものである。

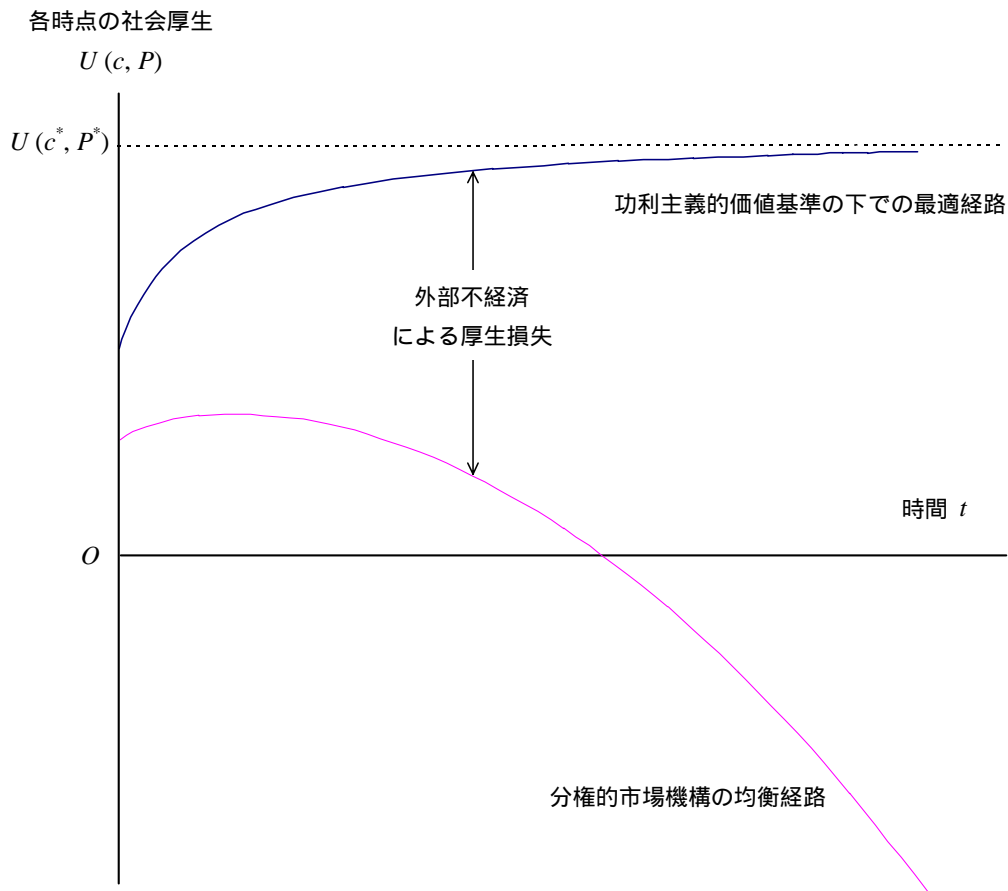


図3：環境資本を含むモデルの最適経路と市場均衡経路

3.2. 環境破壊・環境汚染問題への対策

最悪のシナリオを回避するために、われわれはどのような対策をとるべきだろうか。最も望ましい対策は環境の機能を正しく評価することである。経済活動が環境破壊・汚染を通じて経済厚生に与える悪影響を市場価格に正しく反映させることができれば、経済は最適経路を辿ることができる。しかし、経済活動の悪影響が空間的・時間的な広がりをもつ場合には、現実には環境機能を正しく評価するには困難がともなう。

現在の経済活動の多くは、いまだ生まれていない世代にも影響を与えうる。そのような経済活動の社会的費用を考える場合には、将来世代への影響をいかに評価すべきかという問題を避けて通ることはできない。将来世代の割引の是非は古くから議論されてきた問題であるが、最近の議論については Pearce, Markandya, and Barbier (1989)や Weitzman (1994) を参照されたい。割引率の大小によって、地球環境問題の対処策にどれだけ大きなインパクトが及ぶかのシミュレーションとしては、Asako and Kuninori(2001)が具体例を提供する。

次善の策としての持続可能な発展

もしも、市場機構の評価が完全に行われ、最適経路が分権的な市場機構の下で達成可能ならば、われわれが声をそろえて持続可能な発展を主張する必要はない。さまざまな障害のために最適な成長経路が選択できず、持続可能な発展さえも達成できない恐れがあるからこそ、それをスローガンにする意味がある。この意味で、環境問題に対する次善の対策として持続可能な発展を位置付けることができる。

いま持続可能な発展経路を、「時間の経過につれて社会厚生が低下しない経路」と解釈する。環境問題に直面する経済はどうすれば持続可能な発展を達成できるだろうか。Asako (1980)が示しているように、社会厚生を一定に保つ経路を考えると、環境資本が常に一定の水準に保たれる必要はない。(6)式にみられるように、社会厚生は総消費にも依存する。したがって、将来世代に対する社会厚生への保障は、総消費を生み出す再生産可能な人工資本の蓄積によっても達成できる。これは Hartwick ルールの環境問題への拡張にほかならない。

これに対して、Pearce, Markandya, and Barbier (1989)は個別の環境資本を残すことが持続可能な発展を達成するのに重要であるとしている。その根拠として、彼らは主に2つの問題を指摘している。1つは代替可能性の問題である。Hartwick ルールは環境資本と人工資本の代替を前提としているが、オゾン層や熱帯林などの環境資本の機能を人工資本で代替することが果たして可能なかは明らかではない。このことは Hartwick ルールを環境資本に適用する上で大きな障害となる。

もう1つは世代内公平性の問題である。発展途上国の多くの人々にとっては、農地や森林などの環境資本そのものが生産と生活の基盤であることが多い。このため環境資本に代って人工資本を将来世代に残そうとすると、将来世代は平均的には一定の社会厚生を保障される可能性があるが、発展途上国の人々の厚生は著しく悪化してしまうかもしれない。

以上の2つの問題を考慮すると、環境資本を人工資本で代替せずに個別の環境資本を遺産として残すべきという結論が導かれうる。環境資本の自浄能力を前提として汚染排出フローを一定に保ち、結果として環境資本を一定に保つことは可能であろう。そのための最も単純で明快な方法として、現在の生産水準を維持することが考えられる。ローマクラブが提案した、経済学的には "naive" なゼロ成長の根拠はここにあるといえよう。

3.3. 環境問題の現状

環境汚染問題の現状については、環境汚染が局所的な公害問題から地球規模の環境問題に変化していることを認識することがまず第1に重要である。この2つを区別しないと環境問題に対する認識は極めて偏ったものになってしまう。

前者の局所的な公害問題は工業化と都市化にともなうものであり、大気汚染や水質汚濁などがあげられる。これらの公害問題はかつて日本でも社会的な大問題になったが、その後の政策努力もあり先進工業国では環境回復が進んでいる。しかし、発展途上国においては、先進諸国の経験が教訓となることなく、経済成長の代価として公害問題が引き起こされている。実際、局所的な公害問題とその国・地域の経済水準・所得水準との関係に、開発経済学で知られる経済発展と所得不平等の関係に擬した非線形関係があり、これを環境版逆U字型クズネッツ曲線と呼んでいる。

後者の地球規模の環境問題は、地球温暖化、生物種の多様性の減少、熱帯雨林の破壊、越境酸性雨などがあげられる。これらの問題は、局所的な公害問題と比べてその被害の空間的な範囲が大きく国際的な対応が必要となる。一国内の問題はその国の政府が超越的な立場で問題解決を行えるが、国際的な問題には超越的な立場で解決にあたる主体が存在しない。このため、ある国が他国に一方的に汚染の被害を与えている場合にそれをうまく調停することさえも困難なのである。国際協調の困難な点については、例えば浅子・国則・松村（1995）を参照されたい。

4．環境と成長の経済学 - 結論と今後の課題

本稿では、ローマクラブが提起した問題を出発点にして、枯渇性資源問題と環境破壊・汚染問題についての経済理論分析と実証研究を紹介した。最後に、「環境と成長の経済学」の今後の研究課題を2つあげて本稿を結びたい。

第1の課題はモデルの実用化である。従来の理論分析は個別の問題の本質的なメカニズムを理解するには十分だと考えられる。しかし、実際にどのような対策をとるべきかを考えるときに、問題の規模や将来の予想を行うには不十分である。このような実目的にモデル分析を用いるためには、単純化のために捨象してきたさまざまな要因をモデルに導入しなければならない。当然、モデルは大型化してしまうだろう。加えて不確実な要素の扱いにも注意が必要になる。たとえば、人口や技術について過去の傾向が今後も継続すると想定するか否かは、モデルの結論および導かれる政策的含意にも大きく影響する。これらの困難を克服して分析を実用化することが喫緊の課題である。

第2の課題は実証研究の充実である。環境破壊・汚染についての実証研究は自然科学の側面からは盛んに行われているが、社会科学の側面からは進んでいない。社会科学の側面からの実証研究が重要なのは、環境問題の解決において、個々の経済主体および政策当局の反応が極めて重要だからである。現実には、環境問題に対する対策は国や地域によって大きな差があり、それらの違いがどのような要因によってもたらされているのか、またどのような政策が最も問題解決に効果的なのか、が十分解明されていない。これらが明らかになれば、環境問題の解決に向けて大きく前進するに違いないのである。

引用文献

- 浅子和美・國則守生・松村敏弘 (1995) 「地球温暖化と国際協調 合意形成の条件」, 宇沢弘文・國則守生(編) 『制度資本の経済学』(日本開発銀行設備投資研究所 Economic Affairs 5, 東京大学出版会), 231-261 頁。
- Asako, K. (1980), "Economic Growth and Environmental Pollution under the Max-min Principle," *Journal of Environmental Economics and Management* 7: 157-183.
- Asako, K. and N. Kuninori (2001), "On Vulnerability of international Cooperation to Slow Global Warming," *The Economic Review* 52: 52-60.
- Beltratti, A. (1997), "Growth with natural and environmental resources," in C. Carraro and D. Siniscalco (ed.), *New Directions in the Economic Theory of the Environment*, Cambridge University Press.
- Chichilnisky, G., G. Heal, and A. Beltratti (1995), "The Green Golden Rule," *Economic Letters* 49: 175-179.
- Dasgupta, P. and G. Heal (1974), "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources," *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 3-28.
- Hartwick, J. (1977), "Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources," *American Economic Review* 67: 972-974.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III (1972), *The Limit of Growth : A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books. 邦訳 大来佐武郎監訳 (1972) 「成長の限界」ダイヤモンド社
- Michel, P. and G. Rotillon (1995), "Disutility of Pollution and Endogenous Growth," *Environmental and Resource Economics* 6: 279-300.
- Pearce, D., A. Markandya, and E. B. Barbier (1989), *Blueprint for a Green Economy*, Earthscan. 邦訳 和田憲昌訳 (1994) 「新しい環境経済学：持続可能な発展の理論」ダイヤモンド社
- Rawls, J. (1971), *A Theory of Justice*, Harvard University Press.
- Solow, R. M. (1974), "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources," *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 29-45.
- Solow, R. M. (1986), "On the Intergenerational Allocation of Natural Resources," *Scandinavian Journal of Economics* 88:141-149.
- Weitzman, M. L. (1994), "On the 'Environmental' Discount Rate," *Journal of Environmental Economics and Management* 26: 200-209.

World Commission on Environment and Development(1987), *Our Common Future*,
London: Oxford University Press. 邦訳 環境と開発に関する世界委員会「地球の未
来を守るために」大来佐武郎監訳（1987）福武書店