

# 天然資源と世代間衡平

赤尾 健一

## 1. はじめに

石油や天然ガスなどの化石燃料は、いわゆる枯渇性資源であり、われわれが消費した分だけ、将来世代の消費可能量は少なくなる。こうした枯渇性資源に対して、果たしてわれわれは将来世代に十分配慮して、それを利用しているのだろうかという疑問をもったことのある人は少なくないだろう。

森林やサンゴ礁のような生態系、地下水や地球大気などは、枯渇性ではなく再生可能資源である。このため、現在世代と将来世代との間に、枯渇性資源のような明確なトレードオフ関係はない。しかし、その再生能力を超えた採取や汚染負荷を続けると、レジームシフトが生じて、まったく別の状態になってしまう。天然資源の過剰利用がレジームシフトを引き起こし、後の世代に致命的な影響を与えた例は、古代文明滅亡の歴史を紐解くならば枚挙の暇がない (たとえばDiamond, 2004を参照)。イースター島は、かつては森林で覆われ、モアイ像に代表される独特の文明が栄えた。しかし、徹底的な森林破壊によって食糧生産がほとんど不可能になり、わずかな人々が乏しい資源をめぐって闘争に明け暮れる荒廃の島となった。現代における最も深刻なレジームシフトの脅威は、地球温暖化問題である。すなわち、大気への温室効果ガスの人為的放出が持続することによって、気候システムの突然かつ急速かつ大規模な変化が懸念されている。

このように、枯渇性か再生可能かを問わず、われわれ現在世代による天然資源の利用は、将来世代の暮らし向きに多大な影響を及ぼしうる。そこで、われわれがどの程度までその資源を利用、改変することが認められるのか、形式的にいえば、われわれ現在世代と将来世代の間での資源配分をいかに行うことが、衡平 (平等) の観点からみて望ましいのかという世代間衡平のあり方が重要な問題となる。

天然資源の利用と世代間衡平の問題は、1970年代に警告として現れた。すなわちローマクラブ・レポート「成長の限界」(Meadows et al., 1972) において、過去の資源消費傾向が続くならば、21世紀半ばには人類は資源枯渇と環境汚染によって、深刻な生活水準の低下と人口減少に直面することが予測された。われわれ現在世代 (特に既開発国に住む者)

は、将来世代の犠牲のうえに天然資源と環境を浪費し、現在の生活を謳歌しているのではないかという懸念が、ここにおいて明示的に示されたのである。

ローマクラブ・レポートは、過去の傾向を単純に将来に当てはめるものだった。その陰鬱な予想に批判的な人々は、この点を指摘して、われわれ人間は、将来を予想し、起こりうる問題を回避することができることを強調した。事実、ローマ・クラブの警告と軌を一にするように、70年代以降、世界中で、省エネルギー技術、新エネルギー技術、そして環境保全技術の開発と、それを促進普及するための社会制度の整備のための努力が続けられている。とりわけエポック・メイキングな出来事は、1987年に、環境と開発に関する世界委員会（通称、ブルントラント委員会）が国連に提出した報告書「われら共有の未来」によって、「持続可能な発展」という世代間衡平の価値概念が世に広められたことである。ブルントラント委員会は、持続可能な発展を次のように定義している：

持続可能な発展とは、将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発をいう。……持続可能な発展は、世界の全ての人々の基本的欲求を満たし、また世界のすべての人々によりよい生活を送る機会を拡大することを必要とする。……すなわち持続可能な発展とは、天然資源の開発、投資の方向、技術開発の方向づけ、制度の改革がすべて一つにまとまり、現在および将来の人間の欲求と願望を満たす能力を高めるように変化していく過程をいう。（World Commission on Environment and Development, 1987）

以上の歴史に対応して、世代間衡平の問題は、これまでに2度、経済理論上の関心を呼んできた。最初のそれは、ローマクラブ・レポートに端を発するものであり、枯渇性資源に依存する経済が世代間衡平を満足させることは可能かという問題が関心を集めた。第2の関心は、今も続くものであり、ブルントラント委員会の「持続可能な発展」の概念を契機とする。地球温暖化問題や生物多様性の喪失のような、現在の行動が世紀を越えて影響を及ぼす問題について、経済学者を含む人々の間に、次のような困惑がある。すなわち、伝統的な経済理論が推薦する社会にとって望ましい経路は、われわれが持続可能な発展や世代間衡平の観点から望ましいと考える経路と異なっているように思えることである。超長期にわたる問題を扱うために、伝統的な経済理論は修正されるべきか、もしそうならばどのようにということが、議論となっている。

この小論は、これら世代間衡平に関する経済理論上の諸結果を紹介するものである。

## 2. 平等主義的経路の実現可能性と効率性

ここで平等主義的経路（egalitarian path）とは、（社会全体での）各期間の消費量を、時間を通じて一定に保つ経済経路を指している。このような経路は世代間衡平の観点から望

ましいものと考えられる。枯渇性資源が生産に不可欠の要素である場合に、いかなる生産技術条件のもとで平等主義的経路が実現可能か、もし実現可能ならば、そのような経路のなかで、社会にとって望ましいものはどのような性質をもつか。ローマクラブ・レポートを契機として、経済理論上の問題として、これらの問いが取り上げられることになった (Solow, 1974; Stiglitz, 1974)。以下、それが実現可能であるための必要十分条件と、効率的な平等主義的経路の特徴づけについて、今日知られている結果を紹介する。

## 2-1. 実現可能性

平等主義的経路が実現可能であるために、生産関数（あるいは生産可能集合）が満たすべき条件は何であろうか。直ちにわかることは、生産において、枯渇性資源が他の再生可能資源や人的に再生産可能な生産要素で完全に代替できるのであれば、枯渇性資源の枯渇は、一定の正の消費量を持続する障壁にはならないことである。逆にまったく代替が不可能ならば、レオンチェフ生産関数を考えれば明らかのように、平等主義的経路は実現不可能となる。枯渇性資源の持続的利用のためには時間とともに採取量を減少せざるを得ないが、そのことは直ちに生産量の減少につながる。したがって、いかなる正の水準の生産量も、仮にそれがごくわずかであったとしても、持続することは不可能である。

以下の Cass and Mitra (1991) の研究は、これら二つの極端な代替関係の間のどこに、その必要十分条件があるかを明らかにするものである。

人工的に再生産可能な資本の量  $k > 0$  を所与として、生産物を  $y > 0$  だけ生産するために必要な枯渇性資源の採取量を、関数  $h(y, k)$  で表すことにする。生産には枯渇性資源からの抽出物の投入が不可欠であると仮定すると、Cass and Mitra (1991) の“代替条件”が次のように表される：

$$\lim_{y \rightarrow 0} \frac{1}{y} \int_k^{\infty} h(y, u) du = 0 \text{ for all } k > 0$$

この代替条件が満たされるとき、そしてそのときに限り、任意の正の初期資源賦存量に対して、世代間で一定の正の消費を持続することが可能となる (Sustainability Theorem. Cass and Mitra, 1991: 129)。この結果は、集計モデルだけでなく、資本ストック、消費財、そして枯渇性資源ストックが任意の有限次元ベクトルで表されるモデルでも成立する (Generalized Sustainability Theorem. Cass and Mitra, 1991: 144)。

彼らの代替条件を理解するために、まず、代替がまったく不可能なケースとして、レオンチェフ生産関数を考えてみよう。この場合、各財の単位を適当に標準化すれば、 $h(y, k) = y$  と表されるから、上記の等式は成立しないことがわかる。

次に、関数  $h$  が滑らかであることを仮定して、ロピタルの定理を適用すれば、上記条件は

$$\lim_{y \rightarrow 0} \frac{\partial h(y, k)}{\partial y} = 0 \text{ for all } k > 0$$

と簡単化される。すなわち、世代間衡平経路が実現可能であるための必要十分条件は、資本ストックの水準に関わらず、枯渇性資源の投入量がゼロに近づくとときに、その限界生産性が無限大になることである。この条件を満たさず、同時に、生産に不可欠な枯渇性資源が存在するならば、われわれの社会は、世代間衡平を実現することは技術的に不可能ということになる。

この結果は、再生可能資源や環境に関しても、われわれがそれをあたかも枯渇性資源のように劣化させ続けている場合には、応用可能である。もし、それらが提供しているサービスが、Cass and Mitra (1991) の代替条件を満たさない場合、そのような資源利用を中止しない限り、平等主義的経路の実現は不可能になる。

## 2-2. ハートヴィック・ルールとその逆

平等主義的経路は、衡平性という社会的に望ましい性質を満たしている。しかし、悪平等という言葉があるように、衡平性のみが唯一の満たすべき性質というわけではない。もう一つの重要な価値基準として、効率性がある。複数世代にまたがる問題に即していうならば、効率的な状態とは、いかなる世代の厚生も他の世代の厚生を引き下げることなしには改善できない水準にまで、各世代の社会厚生が高められている状態のことである。ここでは、効率的な平等主義的経路が満たしている性質に関する議論、すなわち効率的平等主義的経路の特徴づけに関する議論を紹介する。

Hartwick (1977) は、枯渇性資源を不可欠の生産要素とする競争市場経済において、もし各時点の集計純投資がゼロとなるという条件を競争均衡経路が満たすならば、それは平等主義的経路になっていることを示した。このHartwickの発見を、人々は、効率的平等主義的均衡経路の実現のためには、枯渇性資源の減少（マイナスの純投資）を相殺する必要がある、枯渇性資源から得られた利潤は100%投資しなければならない、ということの意味していると認識した。これは驚くべき結果であり、以降、ハートヴィック・ルールの名で知られることになる。

しかし正確には、このような解釈が可能であるためには、ハートヴィック・ルールの逆、すなわち、各時点の集計純投資がゼロでないならば、その競争均衡経路は平等主義的な意味での世代間衡平を満たさないという命題が証明される必要がある。そこで、ハートヴィック・ルールの逆を証明することが経済理論上の重要な課題となった。

Dixit et al. (1980) は、ハートヴィックの発見が特定の関数型に依存せず一般に成立することを示すとともに、ハートヴィック・ルールの逆に関して、効率的世代間衡平経路では潜在価格で評価した集計純投資が時間を通じて非負一定値となることを証明した。しか

し、彼らはそれをゼロであることまでは特定できなかった。実際にゼロとなること、したがって、ハートヴィック・ルール<sup>1)</sup>の逆が成立することが証明されたのは、それから20年近くたってからのことである。すなわち、Withagen and Asheim (1998)、Mitra (2002)、そして Cairns and Long (2006) が、それぞれ独立した方法でその証明に成功している。<sup>1)</sup>

このようにして、今日では、効率的な平等主義的経路を社会がたどることと、(理想的な競争経済で均衡をサポートする) 潜在価格で評価した純集計投資が時間を通じてゼロであることは同値であることが知られている。

ハートヴィック・ルールをめぐる話題の最後に、開放経済のケースに触れておく。仮に枯渇性資源を採取し海外に販売する以外には産業のない国があったとしよう。そのような国は投資対象をもたず、枯渇性資源のストックの減少を相殺できないので、その純投資は常にマイナスである。ハートヴィック・ルールにしたがって、この国は平等主義的経路を実現できないのだろうか。実は、ハートヴィック・ルールは閉鎖経済に関するものであり、他国と輸出入を行っている開放経済では、結果に修正が必要となる。Asheim (1986) が明らかにしているのは、枯渇性資源の輸出で生計を立てている経済は、その利益を消費しても世代間の定常消費は可能である(資源価格の上昇により富の価値額が一定に保たれるため)。一方、枯渇性資源の利用から得られる利潤を100%投資に向けなければ世代間定常消費が保てない国は、その輸入国である。この結果は、ほとんどの天然資源を海外からの輸入に依存する日本にとって重要な含意をもっている。

### 3. 持続可能な発展経路

これまで、特に疑うことなく、各世代が等量の消費を行うことは社会にとって望ましいとしてきた。しかし、実は、平等主義的な意味での世代間衡平は、70年代の特別な文脈の中で望ましいとされたものに過ぎない。すなわち、当時はローマクラブ・レポート「成長の限界」があり、このままでは、将来世代はわれわれよりも悪い生活を余儀なくされるという予想があった。そこで、将来世代をわれわれよりも悪くしない経路として、平等主義的経路に関心が集まったのである。しかし、もし将来世代が現在世代よりも良い生活を送れる可能性があるのならば、平等主義的経路は、現在世代のエゴイズムを擁護するものとして非難の対象となるだろう。すなわち、将来世代がよりよくなる中で、最も恵まれない世代は現在世代であり、現在世代はむしろ、より多くの環境破壊やより多くの消費によって将来世代との暮らし向きの格差を平準化すべきである——ということを平等主義は主張

1) Withagen and Asheim (1998) は、自由計画期間問題のポントリヤギンの最大値原理を巧妙に用いた証明で、数学的に理解しやすい。Mitra (2002) の証明は、効率的平等経路では、各期の一定の投資が単に非負ではなくゼロになるはずという経済学直観を厳密に形式化している。最後に Cairns and Long (2006) の証明は最も簡単だが、数学上の留意点があるかもしれない。

してしまうのである。この場合には、平等主義的ではなく、むしろ持続的な発展——将来世代はわれわれよりも悪くならないこと——を望ましいとする価値基準をわれわれは妥当とみなすだろう。

### 3-1. ラムゼー・モデル

ブルントラント委員会レポート以降の人々の認識とは、世界は破滅に向かっているわけではなく、注意深く社会経済を運営すれば、持続可能な発展を実現できるというものだろう。そのような文脈では、人々が求める世代間衡平を表現するために、平等主義的モデルよりも、伝統的な最適成長モデル、いわゆるラムゼー・モデルが、有用であると考えられる。それは次のような式で表される：

(時間を実数  $t \geq 0$  で表す連続時間モデルの場合)

$$V(x_0) = \max \left\{ \int_0^{\infty} u(t) e^{-\rho t} dt \mid u(t) \text{ は } x_0 \text{ から実行可能} \right\}$$

(時間を整数  $t = 0, 1, 2, \dots$  で表す離散時間モデルの場合)

$$V(x_0) = \max \left\{ \sum_{t=1}^{\infty} \delta^{t-1} u_t \mid \{u_t, t = 1, 2, \dots\} \text{ は } x_0 \text{ から実行可能} \right\}$$

ここで  $x_0$  は  $t = 0$  (現在時点) での社会の初期条件を表す。 $u(t)$  や  $u_t$  は  $t$  時点あるいは  $t$  期に生きている世代の厚生を表す。時間の表現の仕方によって、積分と総和の違いはあるが、社会にとって望ましい経路とは、これら現在から無限の将来までの全世代の厚生の合計値を最大にするものである。ただし、各世代の厚生は、それが遠い将来であればあるほど低く評価されるように、割引因子  $e^{-\rho} \in (0, 1)$  または  $\delta \in (0, 1)$  で割引かれている。割引因子がゼロに近ければ近いほど、将来世代は現在世代よりも“軽く”扱われることになる。反対に割引因子が1の場合、すべての世代は等しく扱われることになる。したがって割引因子は世代間衡平の問題において極めて重要なパラメータとなる。この点は節を改めて議論する。なお、 $\rho > 0$  または  $\delta^{-1} - 1 > 0$  は、割引率と呼ばれる。これらは利子率に相当する概念だが、貨幣ではなく社会厚生を割引くために用いられる。容易に確認できるように割引率がゼロならば割引因子は1であり、割引率が無限大のとき割引因子はゼロとなる。したがって、割引率が高ければ高いほど、将来世代は現在世代よりも軽く扱われることになる。一方、ゼロ割引率のケースは、どの将来世代も現在世代と等しく扱われることになる。

さて上式の  $x_0$  を  $x(T)$  で置き換える。すると  $V(x(T))$  は、 $T$  時点で初期条件が  $x(T)$  であるときに  $T$  時点以降の各世代が得ることのできる社会厚生の最大割引集計値を表している。Mäler (1991) がほのめかしている (そして多くの環境経済学者が心に抱いている) 持続可能な発展経路とは、この時間集計最大社会厚生  $V(x(T))$  が世代  $T$  を通じて低下しな

いことである。以下、連続時間モデルで代表させることにして、その考えを数式で表すと

$$\frac{dV(x(T))}{dt} \geq 0 \text{ for all } T \geq 0$$

が持続可能な発展経路が満たすべき条件ということになる。もし  $x(T)$  がベクトルとして表せて、その時間微分がうまく定義でき、さらに  $V$  が微分可能ならば、上の条件は次のように書ける：

$$V(x(T)) \frac{dx(T)}{dt} \geq 0 \text{ for all } T \geq 0$$

左辺に現れているのは、持続可能な経路上での  $V$  の勾配と純投資  $dx/dT$  の積（内積）である。 $V$  の勾配は最適経路上で評価した各資源の価格と解釈できる。したがって、平等主義的経路に関するハートヴィック・ルールと同様に、集計純投資の値が、世代間衡平経路をわれわれがたどっているかの判断材料となることがわかる。

効率的平等主義的経路と最適成長経路では、問題の定式化が異なるので、理論上、集計純投資を計算するために用いられる価格は同じではない。しかし、平等主義的であれ持続可能な発展であれ、世代間衡平の判断のための実践的なルール・オブ・サムとしては、次のような作業が示唆される。すなわち、現在あるいは将来の人々の厚生に直接間接に影響を及ぼすもので時間を通じて存在するもの（＝もっとも広い意味での資本）について、各時点でのその増減を注意深く調べ、社会が適当と考えるウェイト（＝潜在価格）で評価し集計する。その集計値がマイナスであれば、世代間の衡平が損なわれていることが疑われる。実際にこのような作業は、すでに部分的に行われている。代表的なものとして、国連統計局が主導する環境経済統合勘定（Satellite System of Integrated Environmental and Economic Accounting）と世界銀行の“Expanding the Measure of Wealth”がある。

### 3-2. ヴァイツマン・ルールとグリーン GDP

ラムゼー・モデルは世代間の厚生を集計する際に一定の割引率を用いている。このことから次の関係を得ることができる：

$$u(T) + V(x(T)) \frac{dx(T)}{dt} = \rho V(x(T))$$

$T$  世代が得る社会厚生  $u(T)$ （左辺第一項）をその時点での総消費の対応物（消費が効用を生むと考えて）とみなすと、左辺第二項が純投資＝純貯蓄なので、左辺は全体で効用タームの純国民所得を表していると解釈できる。したがって、この等式は、各時点での経済活動のスナップショットである効用タームの純国民所得（左辺）が、その時点から無限の将来にわたる各世代の社会厚生の割引集計値（右辺の  $V(x(T))$ ）と比例関係にあるという驚くべき関係を表している。手短かに言えば、効用タームの純国民所得は、ラムゼー・モ

デルで表現される世代間集計厚生指標とできるということである。

この結果 (Dasgupta and Mitra, 1999 にしたがって、以下、ヴァイツマン・ルールと呼ぶ) は、最初、純粹に厚生経済学上の発見として、Weitzman (1976) によって報告された。それが、環境と資源の経済学において重要な含意をもつこと、すなわち、環境や天然資源を含む広い意味での資本をカバーして国民経済計算を推計するならば、それはグリーンGDPとして、世代間衡平と持続可能な発展の指標となることは、90年代の初めに、Partha Dasgupta や Mäler によって気づかれた。以来、ヴァイツマン・ルールのさまざまなバリエーションが、90年代を中心に盛んに研究されることになる (Mäler, 1991; Dasgupta, 2004)。

ただし、上に示されたヴァイツマン・ルールには弱点がある。それは、純国民所得と世代間集計社会厚生との関係が、ラムゼー・モデルの最適経路上で得られるものであり、われわれが生きている最適ではない世界のものではないことである。実際のところ、最適経路上でのヴァイツマン・ルールは、よく知られたダイナミック・プログラミングのハミルトン・ジャコビ・ベルマン方程式に他ならない。最適経路を離れてもヴァイツマン・ルールが成立するかは重要な研究課題である。これについて、今日2つの結果が知られている。1つは Dasgupta and Mitra (1999) によるものであり、もし社会が競争経済として記述されるならば (つまりあらゆる財の市場があり、その市場価格を所与として主体が反応する経済を考えるならば)、必ずしも効率的ではない競争均衡経路でも、ある種の横断性条件が満たされる限り、ヴァイツマン・ルールが成立することである。もう1つの結果は、Arrow et al. (2003) によるもので、もし経済が定常マルコフ的に運行されるならば (つまり来期の状態が今期の状態の関数として記述できるならば)、やはり経路が効率的か否かに関わらずヴァイツマン・ルールが成立する。

#### 4. 割引と世代間衡平

前節で紹介したラムゼー・モデルは、各世代の厚生を一定の割引率で割り引いて合計したものを最大にする。よく知られているように、Frank Ramsey 自身は、このような割引計算を、世代間衡平に反するもの、想像力の欠如によって採用されるに過ぎないものであり倫理的に正当化できないと否定した (Ramsey, 1928)。

簡単な数値例として、3%の年割引率を考えよう。10年先の世代の厚生は、現在価値で約75%に割引かれる。この程度の割引であればあまり驚くことはない。しかし、100年先の世代の厚生は約5% (20分の1) に、500年先の世代の厚生は現在価値では約0.00004% (250万分の1!) にまで割引かれてしまう。

このように、割引社会厚生を最大化するというラムゼー・モデルは、はるか遠い将来の世代の暮らし向きについては、ほとんどそれを無視したものを社会にとって望ましいとす



る——このことに気づかないとすれば、まさに想像力の欠如との批判を甘受せざるを得ない——性質をもっている。さらに言うならば、地球温暖化のような世紀を超えて影響が及ぶ問題が社会問題化することによって、それは想像力の問題ではなく、今や現実の問題として問われているのである。しかし、以下に示すように、数学者であり哲学者でもあった Ramsey が推薦したゼロ割引率もまた、問題を抱えている。さらにその問題の解決策もまた別の問題を引き起こす。

#### 4-1. 割引擁護論あるいはゼロ割引率の否定論

割引への倫理的な拒絶に対して、割引計算は倫理とは別の、論理的な要請によって必要とされるものであるとする主張がある。すなわち、もしわれわれが無限の将来にわたる世代間の厚生を集計し、望ましい経路を選択するための社会厚生“関数”を利用したいならば、その社会厚生関数は必然的に割引を認めるものとなり、したがって、割引を認めるか否かは倫理的問題ではない、という見解である。無限次元の変数をもつ社会厚生関数に関するこの結果は、Koopmans (1960) によって最初に示された。ここでは、関連する最新の結果として、Basu and Mitra (2003) の定理を紹介しておく：

(Basu and Mitra, 2003, Theorem 1) 無限の将来にわたる世代の厚生の経路を比較するための社会厚生関数で次の二つの基準を満たすものは存在しない：

- ① パレート基準：二つの経路 A, B があるとして、どの世代の厚生も経路 A が経路 B のそれ以上であり、少なくとも一つの世代で経路 A の方が高いならば、経路 A の社会厚生は B より大きい。
- ② 匿名性：経路 A の任意の 2 つの世代の厚生を交換して新しい経路 A' をつくる。このとき二つの経路の社会厚生は等しい。

以上のような論理的必要性を根拠とする割引計算の擁護論は、以前より Partha Dasgupta が、さまざまな著作で行っている（たとえば Dasgupta et al., 1999）。しかし、この議論によって Ramsey を納得させることはできないだろう。なぜなら社会厚生関数が存在しなくても、2 つの経路のどちらが望ましいかを示す（擬）順序が存在していればよいからである。その存在は、Svensson (1980) が証明している。さらに Basu and Mitra (2007) は、非常に緩やかな条件を加えて、そうした順序から選ばれる最適経路が、割引のないラムゼー・モデルの最適経路と一致することを証明している。

おそらく、ゼロ割引率を拒否する有力な根拠は、論理的なものではなく、経験主義的な議論に求められる。倫理的にゼロ割引率が望ましいものだとし、われわれはそれを受け入れられるだろうか、という問いを Arrow et al. (1996) はしている。社会を簡単なラムゼー

一・モデルで表現して、仮にゼロ割引率を採用したとすると、現在の資本規模で社会にとって最適な貯蓄率は60%を超えるということを彼らは明らかにした。比較的貯蓄率が高いとされる日本ですら、15%程度の貯蓄率であることを考えれば、その最適貯蓄率は、われわれ現代世代には到底受け入れられない水準であることがわかる。ゼロ割引率の最適経路を辿ることは倫理的に正しいことかもしれない。しかし、そのことをわれわれは理解しても、実行する気にならないのである。

#### 4-2. ハイパーボリック割引

Arrow et al. (1996) の経験主義的な割引擁護は、十分に説得的であるように見える。一方で、遠い将来世代の厚生が非常に小さくしか評価されないことに対して、われわれがとまどいを感じていることもまた経験的事実である。

両者の折り合いをつける一つの方法は、われわれが自分自身の将来に対して用いる割引率と、遠い将来世代の厚生に対して適用する割引率とを、異なるものと考えることである。そもそも割引率が時間を通じて一定であるというラムゼー・モデルの仮定は、数学上の操作性を高めるためのものであって、Koopmans流の社会厚生関数にとって本質的ではない。たとえば、われわれ自身については3%といった割引率を用いるが、100年後の世代の厚生に対しては約0.3%の割引率を、500年先の世代には約0.06%の割引率を用いることにすれば、自分自身の貯蓄率に実現不可能な倫理的な要求を課すことなく、一方で、遠い将来世代の厚生を極端に低く割り引くこともなくなる（この数値例ではこれらの世代の厚生は約75%に割り引かれる）。

割引率の変化を許すようにラムゼー・モデルを拡張することは、すでに1960年代に Phelps and Pollak (1968) によって行われている。また、最近のマクロ経済学では、Laibson (1997) の研究を契機として、ハイパーボリック割引モデルとして、そうしたモデルを用いた分析が、盛んに研究されている。

しかし、この拡張は別の問題を生み出す。それは時間不整合性である。すなわち、現在世代が望ましいと考えた経路は将来世代にとって望ましい経路ではなく、現在世代は将来世代の行動を束縛することなしには、その最適経路を実現できない。法律や制度が過去の意思決定による現在世代に対する規制であることを考えれば、そうした束縛=コミットメントは、現実世界において普遍的なものである。一方で、天然資源の利用問題の文脈では、将来世代にとって最適でないものを現在世代が押し付けることは倫理的な問題を生むことになる。有効なコミットメントが可能かという実践上の問題もある。さらに、仮にコミットメントを考えないならば、われわれはわれわれの最適経路をあきらめて、時間整合的な次善の経路を選ぶことになる。それは天然資源を最適経路よりもより多く消費するものとなるだろう。なぜなら最適経路上で現在世代が資源保全的にふるまったとしても、時

間不整合性のために後の世代がその一部を消費してしまうからである。ハイパーボリック割引は新たなパンドラの箱である。

#### 4-3. チルニスキーの非独裁的通時的社会厚生関数

この節の最後の話題として、ここでは世代間衡平に関するユニークなアプローチを紹介する。それはChichilnisky (1996) の非独裁的通時的社会厚生関数である。

Chichilniskyは、ラムゼー・モデルの世代間厚生上の問題は、それが現在世代の独裁を許す点にあると主張する。その意味を説明するために、2つの経路 $u(T)$ と $u'(T)$ があつて、

$$\int_0^{\infty} u(T) e^{-\rho T} dT - \int_0^{\infty} u'(T) e^{-\rho T} dT = \varepsilon > 0$$

を満たしているとする。つまり、割引率 $\rho$ のラムゼー・モデルの観点で、経路 $u(T)$ は $u'(T)$ よりも望ましいとする。今、十分遠い将来の世代 $\tilde{T}$ を選んで

$$\frac{2(\bar{u} - \underline{u}) e^{-\rho \tilde{T}}}{\rho} < \varepsilon$$

を満たすようにする。ただし $-\infty < \underline{u} \leq \bar{u} < \infty$ は各世代の社会厚生の上限と下限である。(Chichilniskyにしたがって、ここではいかなる世代 $T$ の厚生も $\underline{u} \leq u(T) \leq \bar{u}$ を満たすこと、つまり各世代の社会厚生関数 $u(T)$ が有界であることを仮定している。) このとき、上の二つの経路は $\tilde{T}$ 世代以降の厚生をどのように変えたとしても、元の2つの経路の優劣関係をひっくり返すことはできない。このことを確認するために、より望ましい $u(T)$ について $\tilde{T}$ 世代以降は最低の厚生水準 $\underline{u}$ が実現すると修正し、反対に劣っている $u'(T)$ については $\tilde{T}$ 世代以降、最高の厚生水準 $\bar{u}$ が実現するように修正する。実際に実現可能な厚生は前者に関してはそれ以上であり、後者に関してはそれ以下になることに注意しよう。しかし、この修正にもかかわらず

$$\begin{aligned} & \left( \int_0^{\tilde{T}} u(T) e^{-\rho T} dT + \int_{\tilde{T}}^{\infty} \underline{u} e^{-\rho T} dT \right) - \left( \int_0^{\tilde{T}} u'(T) e^{-\rho T} dT + \int_{\tilde{T}}^{\infty} \bar{u} e^{-\rho T} dT \right) \\ &= \varepsilon - \int_{\tilde{T}}^{\infty} (u(T) - u'(T) + \bar{u} - \underline{u}) e^{-\rho T} dT \\ &> \varepsilon - 2 \int_{\tilde{T}}^{\infty} (\bar{u} - \underline{u}) e^{-\rho T} dT = \varepsilon - \frac{2(\bar{u} - \underline{u}) e^{-\rho \tilde{T}}}{\rho} > 0 \end{aligned}$$

となり、元の経路の優劣関係をひっくり返すことはできない。Chichilniskyは、この状況を、経路の優劣が有限の $\tilde{T}$ 世代までの選好によって決まっていると見なして、これを現在世代の独裁と呼ぶ。同時に彼女は将来世代の独裁という概念も提案する。それは、経路の優劣が、ある $\tilde{T}$ 世代以降の選好によって決まるケースである。このような独裁の概念に基

づいて、現在世代の独裁も将来世代の独裁も許さないという公理を満たす非独裁的通時的  
社会厚生の特徴づけが行われる。Chichilniskyは、そのような社会厚生関数は、緩やかな  
条件の下で

$$W = \int_0^{\infty} u(T) \beta(T) dT + \lim_{T \rightarrow \infty} \phi(u(T))$$

の形式をもつことを明らかにしている。ただし $\beta$ は割引因子であり、右辺第2項は現在  
世代の独裁性を回避するために付け加えられた項である。この社会厚生関数に基づく最適経  
路の分析は、Chichilnisky (1997) を参照するとよい。

## 5. 費用便益分析と世代間衡平

前節でみた割引をめぐる議論は、“厚生に関する”割引率の選択問題である。混同しやす  
いのだが、環境政策などプロジェクトの“費用便益に関する”割引率の選択問題は、これ  
までの議論とは独立して論じるべき問題である。

### 5-1. 通時的費用便益分析

費用便益分析は、何らかの社会の状態変化の是非を判断するために行われる。社会の状態  
変化は社会の各構成員に効用変化をもたらす。この効用変化を貨幣単位で表すものが、補  
償変分尺度と等価変分尺度である。もし変化後の効用を変化前のそれに戻すために取去  
る／与える貨幣額を考えるならば、それが補償変分尺度である。一方、変化前の効用を変  
化後のそれにそろえるならば等価変分尺度となる。どちらの貨幣尺度を用いるかについて  
は長く複雑な議論がある。しかし、それはここでの本題ではないので、以下では補償変分  
尺度を用いることにする。

さて、変化後に効用が増加する主体から取去るべき貨幣量WTP (willingness to pay : そ  
の変化が実現するならば喜んで払ってもよい最大金額) にプラスの符号をつけ、変化後に  
効用が低下する主体に対して補償すべき貨幣量WTA (willingness to accept for compensa-  
tion : その変化を容認するために必要な最低補償額) にマイナスの符号つける。社会の全  
メンバーに対して、このような貨幣尺度を調べ合計する。もし、その合計値がゼロ以下な  
らば、その変化は社会にとって望ましくない。なぜなら、その変化の実現と同時にいかな  
る所得再分配政策を実施しても、変化前の状態より全メンバーの効用を向上すること (パ  
レート改善) はできないからである。

以上の費用便益分析は、原理的に、状態の変化が世代を超えて将来世代に影響する場合  
にも適用することができる。ある温暖化対策を行うことを考えよう。現在世代は対策のコ  
ストを負担し将来世代は対策の便益を享受する。対策をとらない状態を現状として、各世

代のWTPやWTAを調べる。集計するために各世代の貨幣尺度は現在価値に割り引かれる。このときに用いられる割引率は各時点の市場利子率である。仮に市場利子率が平均して3%と見なされるならば、10年先の費用負担額は、現在価値で約75%に割り引かれる。一方、100年先の世代が享受する対策の便益は約5%（20分の1）に、500年先の世代のそれは約0.00004%（250万分の1）にまで割り引かれてしまう。そのように評価された貨幣尺度の現在価値の合計値の符号によって、この対策の是非が判断される。

容易に予想されるように、この温暖化対策がよほど大きな便益を将来世代に与えるものでない限り、その実施は望ましくないとされるだろう。しかし、それは多くの人にとって妥当な判断とは思えないかもしれない。前節と同様、割引計算は、われわれの直観と乖離したことを支持する可能性があるのである。

ここでの問題が前節の倫理的な問題とは別物であること、また、何がここでは問題なのかを明らかにするために、費用便益分析にしたがって対策を行わない場合に何が起きるのかを見ておこう。その場合、費用便益分析は、対策を行わないことによって節約された費用の一部を貯蓄することを勧める。貯蓄＝投資によって経済の生産力が拡大する。均衡利子率は資本の限界生産性と一致するから、500年先の世代のために貯蓄した1万円は500年先には約250億円となっている。費用便益分析の結果が正しいならば、適切な貯蓄額を将来世代に残すことによって、その世代は温暖化被害に対して物質的に十分に補償されるのである。

以上の議論には倫理的な要素は含まれていない。これが前節の割引の問題との相違点である。ここでの問題は、倫理とは無関係に市場で決まる各時点での利子率である。上では仮想的にそれを3%としたが、500年先までの利子率の経路を正確に予想できる人はいない。そこで、もっともらしい理由によって、従来考えられているものよりも低い利子率を費用便益分析に使うことできるならば、その結果は人々の直観に反しないものとなるかもしれない。以下、その可能性を紹介する。

## 5-2. ヴァイツマンの3つの割引率

ここでは、より低い利子率を用いることを正当化するアイデアを3つ紹介する。そのいずれもMartin Weitzmanによるものである。

Weitzman (1994) は、上述の将来世代を金銭的に補償するプロセスに注目した。環境政策に支出する代わりに経済に投資すれば、確かにその果実によって将来世代を補償することができるだろう。しかし、経済活動が活発になれば環境負荷もより高まる。そうすると、環境保全支出もまた増大する。その結果、投資の果実の一部は将来世代への補償ではなく、追加的な環境保全支出に使われることになる。このことは資本の限界生産性＝利子率を低下させることになる。この環境支出をおりこんだ利子率をWeitzmanは環境割引率

と呼んでいる。

環境問題が存在する経済での利率（環境割引率）はグロスの資本の限界生産性よりも低くなるという Weitzman の指摘は正しい。しかし、このことが100年先、500年先の世代の便益に対する割引をマイルドなものにするかは微妙である。競争均衡モデルでは、理論上、資本の限界生産性は家計の効用割引率（ラムゼー・モデルの割引率）を下限とする。また、内生的成長モデルで経済が記述されるならばそれよりも高いところで利率は下げ止まるかもしれない。長期的に重要なのは、そのような利率の下限であり、それは家計の割引率以上となるので、環境支出を考慮するか否かによって影響を受けない。かりに割引率が3%ならば、利率（環境割引率）は少なくとも3%で下げ止まってしまう。したがって、上でみた費用便益分析とわれわれの直観との乖離は解消されないことになる。

このような問題があるためか、Weitzman はより低い利率を正当化するための新しい理由を求めた。Weitzman (1998) では、遠い将来のことについては多大な不確実性があることに注目し、将来の費用便益を割り引くのに、さまざまな割引“因子”の“平均値”を利用することを提案している。この提案を受け入れると、無限の将来の割引計算には、考えられうる最も小さな利子“率”が用いられることになる。トリックは、より小さな割引因子（より高い利率に対応する）は時間とともにより速く減衰していくため、最終的に考えられうる最も大きな割引因子が相対的に生き延びるというものである。

Weitzman (2001) もまた、形式的には同じアイデアを用いている。その論文では、将来の平均利率について人々は様々な予想を立てることを指摘し、費用便益分析ではその平均割引率に対応する利率が採用されるべきであるとして、やはり予想される最も低い利率が無限の将来の割引率では用いられることになることを示している。

以上の二つの論文で示された Weitzman の割引率は時間とともに低下する経路をもつ。それをういた費用便益分析は、時間整合的ではなく、諸条件が不変であったとしても、その判断は修正される可能性がある。Weitzman 自身も、このような平均計算から導出された利率の使用は、理論的に整合的なものというよりは、便法的なものであることを認めている。

### 5-3. ダスグプタ他によるマイナスの利率

Dasgupta et al. (1999) は、利率がマイナスの値をとることも理論的にはありうるとしている。標準的な通時的競争均衡モデルから導かれる家計の1階の条件（オイラー方程式）は、次のようになる：

$$r(t) = \rho + \sigma(c(t)) \frac{dc(t)/dt}{c(t)}, \text{ where } \sigma(c) = \frac{-cu''(c)}{u'(c)}$$

ここで  $\rho$  は家計の効用割引率（ラムゼー・モデルの割引率）、 $c(t)$  は  $t$  時点の家計の消費、

$\sigma$ は異時点間の消費の代替弾力性で通常正值をとる。Dasgupta et al.の主張は、競争均衡経路上で消費の成長率が十分にマイナスの値をとるならば、利率 $r(t)$ はマイナスになるというものである。

しかし、彼らは、マイナスの利率が実際に均衡経路で生じるモデルを示してはいない。利率は競争均衡経路上では同時に資本の限界生産性と一致するので、その状況は資本の限界生産性がマイナスということになる。これは想像し難い状況である。また、均衡経路上で消費が十分に速いスピードで減少していくというのは、非常に悲惨な状況に対応している。そこでは、投資のリターンがマイナスなので経済を通じて将来世代に金銭的な補償をすることができない。直接的物質的に環境保全を行うことでしか将来世代を救えない状況である。

## 6. 経済学の限界

以上の各節では、天然資源の利用問題を念頭において、世代間衡平をめぐる経済理論の諸議論を紹介してきた。各時点時点での“局所的な”世代間衡平の指標については、常識に沿った結果が得られている一方、“大域的な”最適経路については、特に世代を超えるような問題について、割引計算を基礎とする伝統的な経済理論は、われわれの直観とは乖離したものを示唆する可能性があることを指摘した。そこで見てきたように、そのギャップを埋めるための理論の修正案は、どこかきこえないものであった。

思い切った見解として、Schelling (1995, 1999) は、超長期の政策は、割引計算によって検討するような問題ではないとしている。彼の主張は、地球温暖化対策の文脈でなされたものである。彼によれば、既開発国が温暖化対策を行うのは、海外援助と同じである。なぜなら、その主要な受益者は50年以上先の地球上の人々であり、その大部分は現在の発展途上国の子孫だからである。したがって、それは慈善的行為と見なせる。しかし、将来の発展途上国の子孫を支援しようとする者が、なぜ現在の発展途上国の人々を支援しようとししないのか。かの国々では、将来よりも現在の方がより貧しく、多くの人々が苦境にいるはずである。なぜ、温暖化対策よりも現在の発展途上国への支援を重視しないのか。しかし、少なくともアメリカでは、人々が現在の発展途上国の人々の暮らし向きをよくするために追加的な支出をしようと考えているようには見えない。Schellingの結論は、これは割引計算に基づく投資の問題ではなく、経済合理性による説明が適切な問題でもないということである。もっと言えば、温暖化のような世代を超える問題に対する政策のあり方は、経済学の範疇で扱えるものではないということである。

同じことを、Nordhaus (1999) は別の角度から論じている。彼は、自らが作成した温暖化問題に関する動学的応用一般均衡モデル (DICEモデル) を用いて、次のような費用効

果分析を行っている。すなわち、

- ① ゼロまたは1%の（倫理的には望ましい）割引率の最適経路を辿るケース、
- ② 温暖化対策は①の割引率の最適経路を辿るが他の財は市場均衡経路を辿るケース、
- ③ 気温上昇の目標を設定し、それを最小費用で行うケース、
- ④ 温室効果ガスの大気中濃度の目標を設定し、それを最小費用で行うケース、そして、
- ⑤ 温室効果ガスの排出削減目標を設定し、それを最小費用で行うケース

の5つのケースについて、温度変化とそれに要する費用のリストを作成した。それによると、①の最適経路を辿ることは、気温上昇の抑制は小さい一方で莫大な費用がかかる。②の部分的最適経路の場合には、費用は①よりもはるかに小さくなるが、③以下に比べると依然として高い水準にある。最後に③、④、⑤に関しては目標が直接的な③がもっとも費用対効果が高く、以下④、⑤の順番となる。

数字を挙げると、ゼロ割引率の最適経路は500年後に4.36℃に気温上昇を抑制するが、そのため年間約2000億USドル以上のコストが発生する。対応する部分的最適経路の場合、このコストは400億ドル弱である。しかし、年間400億ドルをかけるならば、⑤で約3.5℃、④で約3℃、③で約2.5℃に気温上昇を抑制できる。

Nordhausの計算例は、社会の“望ましい”経路までを経済理論でカバーしようとすることは、社会に大きなコストを課すことを示している。経済学の得意とするところは効率性にあるわけで、社会の目標（この場合は最終的に実現すべき気候の状態）を決める仕事は、経済学とは別の論理で決定されても問題はないということである。

以上を敷衍するならば、社会の諸問題のなかには、経済学が自己完結的に1から10まで説明し対策を考えることが必ずしも有効ではない問題が存在する。天然資源の利用問題や、世代間衡平をめぐる問題では、そうした経済学の限界に触れる部分が多くあるのではないだろうか。思想としてではなく、道具として経済学を使う場合、このような限界にわれわれは留意しておくべきであろう。

#### 引用文献

- [1] Arrow, K. J., W. R. Cline, K. -G. Mäler, M. Munasinghe, R. Squitieri, and J. E. Stiglitz (1996) “Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency,” in Bruce, J. P., H. Lee, and E. F. Haites (eds.) *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- [2] Arrow, K. J., P. Dasgupta, and K. -G. Mäler (2003) “Evaluating projects and assessing sustainable development in imperfect economies,” *Environmental and Resource Economics* 26: 647–685.
- [3] Asheim, G. B. (1986) “Hartwick’s rule in open economies,” *Canadian Journal of Economics* 19: 395–402 (Erratum 20, 177).
- [4] Basu, K. and T. Mitra (2007) “Utilitarianism for infinite utility streams: A new welfare criterion and its



- axiomatic characterization,” *Journal of Economic Theory* **133**: 350–373.
- [5] Basu, K. and T. Mitra (2003) “Aggregating infinite utility streams with intergenerational equity: The impossibility of being Paretian,” *Econometrica* **71**: 1557–1563.
- [6] Cairns, R. D. and N. V. Long (2006) “Maximin: a direct approach to sustainability,” *Environmental and Development Economics* **11**: 275–300.
- [7] Cass, D. and T. Mitra (1991) “Indefinitely sustained consumption despite exhaustible natural resources,” *Economic Theory* **1**: 119–146.
- [8] Chichilnisky, G. (1997) “What is sustainable development?” *Land Economics* **73**: 467–491.
- [9] Chichilnisky, G. (1996) “An axiomatic approach to sustainable development,” *Social Choice and Welfare* **13**: 231–257.
- [10] Dasgupta, P. (2004) *Human Well-Being and the Natural Environment*. Oxford University Press. (植田和弘監訳 (2007) サステイナビリティの経済学—人間の福祉と自然環境。岩波書店。)
- [11] Dasgupta, P., K.-G. Mäler, and S. Barrett (1999) “Intergenerational equity, social discount rates, and global warming,” in Portney, P. R. and J. P. Weyant (eds.) *Discounting and Intergenerational Equity*. Resource for the Future: 51–77.
- [12] Dasgupta, S. and T. Mitra (1999) “On the welfare significance of national product for economic growth and sustainable development,” *Japanese Economic Review* **50**: 422–442.
- [13] Diamond, J. (2004) *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Penguin Books. (楡井浩一訳 (2005) 文明崩壊：滅亡と存続の命運を分けるもの。草思社。)
- [14] Dixit, A., P. Hammond, M. Hoel (1980) “On Hartwick’s rule for regular maximin paths of capital accumulation and resource depletion,” *Review of Economic Studies* **47**: 551–556.
- [15] Goodland, R. and H. Daly (1996) “Environmental sustainability: Universal and non-negotiable,” *Ecological Applications* **6**: 1002–1017.
- [16] Hartwick, J. M. (1977) “Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources,” *American Economic Review* **67**: 972–974.
- [17] Koopmans, T. C. (1960) “Stationary ordinal utility and impatience,” *Econometrica* **28**: 287–309.
- [18] Laibson, D. I. (1997) “Golden eggs and hyperbolic discounting,” *Quarterly Journal of Economics* **112**: 443–477.
- [19] Mäler, K.-G. (1991) “National accounts and environmental resources,” *Environmental and Resource Economics* **1**: 1–15.
- [20] Meadows, D. H., J. Randers, D. L. Meadows, W. W. Behrens (1972) *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books. (大来佐武郎監訳 (1972) 成長の限界：ローマ・クラブ「人類の危機」レポート。ダイヤモンド社。)
- [21] Mitra, T. (2002) “Intertemporal equity and efficient allocation of resources,” *Journal of Economic Theory* **107**: 356–376.
- [22] Nordhaus, W. D. (1999) “Discounting and public policies that affect the distant future,” in Portney, P. R. and J. P. Weyant (eds.) *Discounting and Intergenerational Equity*. Resource for the Future: 145–162.
- [23] Phelps, E. S. and R. A. Pollak (1968) “On the second-best national saving and game-equilibrium growth,” *Review of Economic Studies* **35**: 185–199.
- [24] Ramsey, F. P. (1928) “A mathematical theory of saving,” *Economic Journal* **38**: 543–559.
- [25] Schelling, T. C. (1999) “Intergenerational discounting,” in Portney, P. R. and J. P. Weyant (eds.) *Discounting and Intergenerational Equity*. Resource for the Future: 99–101.
- [26] Schelling, T. C. (1995) “Intergenerational discounting,” *Energy Policy* **23**: 395–401.
- [27] Solow, R. M. (1974) “Intergenerational equity and exhaustible resources,” *Review of Economic Studies* **41** (Symposium): 22–49.
- [28] Stiglitz, J. E. (1974) “Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths,” *Review of Economic Studies* **41** (Symposium): 123–138.

- [29] Svensson, L.-G. (1980) "Equity among generations," *Econometrica* **48**: 1251–1256.
- [30] Weitzman, M. L. (2001) "Gamma discounting," *American Economic Review* **91**: 260–271.
- [31] Weitzman, M. L. (1998) "Why the far-distant future should be discounted at its lowest possible rate," *Journal of Environmental Economics and Management* **36**: 201–208.
- [32] Weitzman, M. L. (1994) "On the 'environmental' discount rate," *Journal of Environmental Economics and Management* **26**: 200–209.
- [33] Weitzman, M. L. (1976) "On the welfare significance of national product in a dynamic economy," *Quarterly Journal of Economics* **90**: 156–162.
- [34] Withagen, C. and G. B. Asheim (1998) "Characterizing sustainability: The converse of Hartwick's rule," *Journal of Economic Dynamics and Control* **23**: 159–165.
- [35] World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*. Oxford University Press. (大来佐武郎監修・環境庁国際環境問題研究会訳 地球の未来を守るために。福武書店。)