

弱い持続可能性の概念と実現条件に関する経済学的考察 — 枯渇性資源を事例にして —

大 瀧 正 子

目次

はじめに

1. 弱い持続可能性の概念

1.1. 枯渇性資源の制約下における最適経路

1.2. 弱い持続可能性の特性

2. 弱い持続可能性における世代間衡平性の経済学的考察

2.1. 世代間分配の経済学的考察

2.2. 異時点間の資本蓄積：ハートウィック・ルールを中心に

3. 弱い持続可能性の実現条件と課題

3.1. 弱い持続可能性の実現条件

3.2. 弱い持続可能性の実現条件に関する課題

おわりに

はじめに

枯渇性資源とは、鉱物、石油等の燃料、金属、非金属等を含めた再生（再利用）不可能な自然資本ストック¹⁾である。そして、経済学的観点から枯渇性資源は、生産活動における重要な投入要素のひとつである²⁾。1972年に出版されたローマ・クラブの『成長の限界』は、地球上の枯渇性資源の賦存量は限られており、現世代が枯渇性資源の消費を増加すればするほど、将来世代に利用可能な資源量が不可逆的に減少すると予測し、経済成長をもたらす危機に対して警鐘をならした³⁾。

有限な枯渇性資源の利用をめぐる問題とされたのは、現世代が経済活動に不可欠な枯渇性資源を消費すると、将来世代の経済活動が制約され、必然的に将来の効用状態に対して影響を

及ぼすことである。枯渇性資源をめぐる経済学の重要な課題の1つは、先に資源を消費できる現世代と、残された資源しか利用できない将来世代との間で、どのように有限な資源を配分すれば、世代間の衡平性が実現できるのかに関して、実証的かつ規範的に分析を行うことにある⁴⁾。

この課題に関して、新古典派経済学は、人為的な規制を提言する『成長の限界』に対して、*Review of Economic Studies* の「枯渇性資源の経済分析に関する特集号」(1974年)で、市場メカニズムを活用した枯渇性資源の効率的な配分に関する様々な議論を取り上げた⁵⁾。その中で、ダスグプタとヒール (Dasgupta and Heal (1974)) は、消費による効用の割引現在価値の最大化を目的とした最適成長論の議論を利用して、有限な枯渇性資源を生産要素として投入した場合の最適な成長経路の分析を行った。また、ソロー (Solow (1974)) は、世代間の衡平性を確保する観点から、ロールズ (Rawls (1971)) の『正義論』の「格差原理」に「ハートウィック・ルール (Hartwick Rule)」を適用して、世代を超える貯蓄の「分配的な正義 (公正)」と整合する消費経路について考察した。

そこで本稿の目的は、枯渇性資源を明示的に分析対象とした場合に、動学的な異時点間の資源配分の効率性と、世代間衡平性について、これまでの議論を経済理論的観点から整理して、弱い持続可能性の概念として再評価することである。本稿の構成は次の通りである。1では、ダスグプタとヒール (1974) による枯渇性資源を明示的な制約下として導入した最適成長論の分析を用いて、最適経路が資源間の代替可能性を前提とした「弱い持続可能性」がインプリシットに仮定されていることを検証する。そして、2では、ダスグプタとヒールによる最適経路と、ソロー ((1974), (1986)) による世代間衡平性を保障する消費経路の分析から、弱い持続可能性の含意を検討する。さらに、3では、1と2の分析から持続可能性の実現条件を導出し、弱い持続可能性を資本管理に適用する際に生じる「資本間の代替可能性」の課題を検討したい。

1. 弱い持続可能性の概念

石炭や石油等をはじめとした枯渇性資源は、最終財として消費されるよりも生産活動の中間投入物 (生産要素) として利用されることが多い。枯渇性資源が有限なことを考慮すれば、現在の採掘・投入量の規模は将来の生産活動に影響を及ぼす。現在において、枯渇性資源を消費して、物理的な枯渇に直面すると、経済活動が持続できなくなり、将来の効用水準の悪化が予測される。そこで、持続可能性を実現するためには、現時点で将来のために資源の利用を制約するかによる。

遠い将来の生産活動及び生活水準の持続可能性を実現するために、1980年代から環境経済学研究をリードしてきたピアス (Pearce, et al (1993)) は、『*Blueprint* シリーズ」⁶⁾の中で、人工資本が自然資源に代替可能であるか否かに焦点を当てて、「強い持続可能性 (strong

sustainability)」と「弱い持続可能性（weak sustainability）」に分類した⁷⁾。ピアス（1993）によれば、「強い持続可能性」とは、自然資本から人工資本への代替に「限界（limit）」⁸⁾があると仮定し、一定量以上の自然資本の維持が持続可能性には必要なことを要求する見解である⁹⁾。一方で、本稿が対象とする「弱い持続可能性」とは、自然資本の減少を他の資本（人工資本¹⁰⁾を含める）の増加によって代替することで、人工資本と自然資本の総資本量を維持ないし増加させることが合理的とする見解である。

1では、ダスグプタとヒール（1974）、及びソロー（1974）による枯渇性資源を明示的な制約下として導入した最適成長論の分析を用いて、最適経路が「弱い持続可能性」をインプリシットに仮定していることを検証する。1.1では、無期限期間における消費経路が如何なる条件のもとで最適化されるのかに関して実証的観点から検証し、1.2では最適経路から弱い持続可能性の特性について検討を加える。

1.1. 枯渇性資源の制約下における最適経路

ダスグプタとヒールは、枯渇性資源の有限性を制約条件にいたうえて新古典派経済学の最適成長モデルを応用して、枯渇性資源の動学的な最適消費経路について理論的な解明を試みた¹¹⁾。以下では、現在と将来を含めた無期限期間の現在価値に割引いた効用の最大化を目的とした消費経路において、有限な枯渇性資源と人工資本との間の「代替可能性（substitution possibilities）」、すなわち、「弱い持続可能性」を前提とした場合に、持続可能な消費経路が達成するのかについて検討する。

ダスグプタとヒールは、1財 = 1資本を前提とした上で、次の3つの仮定を置いている。第1は、完全競争、完全情報である。完全情報の下では、現在及び将来の枯渇性資源価格を予測でき、埋蔵量の規模や資源の品質も明らかであり、資源が枯渇するまでの時間も既知となる。第2は、単純化のために、枯渇性資源の品質は均一であり、人工資本も劣化せず（減価償却はゼロ）、枯渇性資源の採掘費用も存在しない（ゼロ）ものとする。第3に、人口規模は固定的（一定）で、技術も不変（一定）とする¹²⁾。

以上の仮定のもとで、枯渇性資源を含めた生産活動の制約条件を明示的に導入し、ダスグプタとヒールは、現在（ $t=0$ ）から無限の将来（ $t=\infty$ ）までの最適な消費経路を導出した。以下では、ダスグプタとヒールによる最適経路において、ある社会における「現在」と「将来」の異なる時点の資源配分が中心的な課題として検証する。

生産関数に投入される3つの生産要素は次のような特性をもつ。第1に、初期時点（ t ）における人工資本ストック（ K_t ）は、人工的に生産された耐久生産財であり、その限界生産性は非負とする。第2に、労働の規模は、一定であると仮定する。第3に、枯渇性資源のフロー（ R_t ）は、初期値の賦存ストック（ S_0 ）から採取され、消費者は、枯渇性資源（ R_t ）から直接効用を

得るのではなく、その投入による生産財の消費を通じて効用を得るものとする。(1)の生産関数は、 t 時点における技術制約 (F) から得られる一人当たりの最大生産量 (Y_t) は、枯渇性資源 (R_t) の投入量と人工資本ストック (K_t) によって決定される。生産関数は、一次同次とし、「収穫一定 (constant return to scale)」と仮定する¹³⁾。 $\partial F / \partial R = F_R \geq 0$ とし、 F_R は枯渇性資源の限界生産性をあらわす。同様に $\partial F / \partial K = F_K \geq 0$ 、 F_K は人工資本の限界生産性をあらわす¹⁴⁾。(2)は、無期限期間を生きる代表的個人の消費水準 (C) によって、効用 (U) が決定されると仮定し¹⁵⁾、目的関数 (W_t) は、各時点の一人当たりの消費 (C_t) から得られる効用 $U(C_t)$ を割引率 (δ) によって現在価値に換算した積分値である¹⁶⁾。

$$(1) \quad Y_t = F(K_t, R_t) \quad \{K_t, S_t, R_t, C_t; t \geq 0\}$$

$$(2) \quad W_t = \int_0^{\infty} U(C_t)e^{-\delta t} dt$$

W : 社会的厚生, U : 効用, K : 人工資本ストック, R : 枯渇性資源, C : 消費, δ : 割引率, S : 未採掘の枯渇性資源ストック

また、人工資本ストックの蓄積と枯渇性資源の消費は次の制約条件に従うものとする。(3)は、産出量のうち消費されない分だけ、資本は蓄積することをあらわしている。

$$(3) \quad \dot{K} = F(K_t, R_t) - C_t \\ \int_0^{\infty} R_t dt \leq S_0$$

ポントリヤーギンの「最大値原理 (maximum principle)」によって、目的関数 (2) を最大化する最適経路を求めるために、以下では、ハミルトン関数 (Hamiltonian function) H_t を次のように定式化する¹⁷⁾。

$$(4) \quad H_t = e^{-\delta t} U(C_t) + e^{-\delta t} p_t \{F(K_t, R_t) - C_t\} - \lambda R_t + e^{-\delta t} \mu_t R_t$$

(4) の p , λ , μ は状態変数の K , S に対する共役状態変数 (co-state variable) である¹⁸⁾。以下では、ダスグプタとヒールが提示した最大値原理に課す諸条件 (状態変数, 共役状態変数) を経済学的に解釈した上で、異時点間の消費 (C) の最適経路の条件を持続可能性の概念として検討を加える¹⁹⁾。

まず、ハミルトン関数の定義から最大値原理の必要条件として、以下の3式 (5) を整理した (5)', (6), (7) が導出される。

$$(5) \quad \partial H_t / \partial C_t = e^{-\delta t} U'(C) - e^{-\delta t} p_t = 0$$

$$(5)' \quad U'(C_t) = p_t$$

$$(6) \quad -\dot{p} / p = \partial H_t / \partial K_t = F_K - \delta$$

$$(7) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} (p_t e^{-\delta t} F_K) = 0$$

(5)'では、現在の消費から得られる限界効用（ $U'(C_t)$ ）が、現在の消費を節約して、人工資本を蓄積することにより得られる効用（現在の限界損失）のシャドウプライス（ p_t ）と消費の限界効用が等しくなるように消費量が決まることをあらわしている。(6)は、現在の投資により資本が蓄積されるならば将来の消費が増加し、将来の効用は高まる一方で、資本の限界生産性（ F_K ）は低下する。(7)は資本の限界生産性の割引現在価値の横断条件である。

そこで、現在（ t 時期）の消費と将来の消費をどのように配分すれば最適であるのかについて、(9)式の「ケインズ＝ラムゼイルール（Keynes-Ramsey rule）」²⁰⁾に対応していることを検討する。

$$(8) \quad \eta \equiv \dot{C}_t U''(C) / U'(C) > 0$$

$$(9) \quad \dot{C}_t / C_t = (F_K - \delta) / \eta$$

(9)の現在と将来の消費水準に関しては、現在の消費の減少（延期）によって現在の効用を減少させる一方で、資本蓄積の増加により将来の効用を増加させる。消費量1単位の増加に対してどれくらい限界効用が逡減するかは、弾力性（ η ）によって示される。現在と将来の消費の効率的な配分の決定は、時間選好率（ δ ）で評価される現在と将来の消費の限界代替率（MRS）²¹⁾と、現在の貯蓄と資本蓄積を通じて期待されている将来の資本の限界生産力（MRT）²²⁾との関係から求められる。したがって、最適な消費経路は、現在の消費を1単位増加したことから得られる利得と、それを将来に延期（現在の消費を減少）して将来に得られる利得が等しい場合（MRS=MRT）に実現することになる。

以上から、最適な消費経路について、ケインズ＝ラムゼイルールから考察すると、資本の限界生産力が時間選好率を上回る場合（ $F_K > \delta$ ）は、現在の消費を引延ばして貯蓄するインセンティブが得られることになる。それに対して、資本の限界生産性が時間選好率を下回る場合（ $F_K < \delta$ ）は、資本ストックが相対的に過剰に蓄積されていると判断され、将来の消費を減らして現在の消費を増やしたほうが、効用の値を大きくすることができ、消費を時間的に前倒すインセンティブがはたらく²³⁾。 $F_K < \delta$ が続く場合に消費経路は、将来時点で産出量と消費水準がともにゼロに収束してしまう²⁴⁾。最適経路においていつの時点で消費するのかは、現在の消費による効用と、資本蓄積を通じて増加する将来の消費効用との間で、効率的な資源配分を

通じて決定されることになる²⁵⁾。

1.2. 弱い持続可能性の特性

1.2 では、前述のハミルトン関数 (H_t) を用いて、社会的効用を最大化する効率的な枯渇性資源 (R_t) の最適な採掘経路の条件に関して検討する。ダスグプタとヒールによる資源の採取経路の決定に関して、ホテリング (Hotelling (1931)) の論文が頻繁に引用されている²⁶⁾。ホテリング (1931) は、枯渇性資源の既知の埋蔵量をその所有者が時間を通じてどのように採掘することが、経済的に最適であるのかを分析した。最適な採取経路では、枯渇性資源から得られる収益の割引現在価値の最大化を目的とするため、前述 1.1 の消費効用の割引現在価値の最大化とは異なる点に注意する。

まず、枯渇性資源の最適な供給の必要条件について、採掘費用を無視すると仮定すれば、次のようにあらわすことができる。すなわち、(10) に枯渇性資源の限界収益が非負である、(11) に枯渇性資源ストックのシャドウプライスは t 時点で未採掘の資源の限界価値に等しい、(12) に枯渇性資源の限界生産性に関する横断条件をあらわしている。

$$(10) \quad \mu_t \geq 0, \mu_t R_t = 0$$

$$(11) \quad \lambda \geq 0, \lambda \left(S_0 - \int_0^{\infty} R_t dt \right) = 0$$

$$(12) \quad \lim_{R \rightarrow 0} F_R = \infty$$

$$(13) \quad \frac{F'_R}{F_R} = F_K$$

以下では、「採掘計画」である枯渇性資源の動的な採掘経路について、ホテリング・ルールを用いて、異時点間の資源管理の決定を定式化したい。鉱山所有者 (社会) は、採掘計画において枯渇性資源から得られる総収益の現在価値を最大化するために、現時点で枯渇性資源をどの程度採掘するか、また、採掘せずにどの程度地中で保存するか、枯渇性資源を保有することによって得られる限界収益を用いて決定する。つまり、地中の資源保有量は、地中に保存して得られる限界収益が、時間を通じた資源価格の上昇による収益 (キャピタルゲイン) と同じになるように決定される²⁷⁾。したがって、枯渇性資源の所有者は、資源の限界生産性が上昇すると、枯渇性資源の採掘量を減らし、資源の保有を延長することが合理的な選択となる。このような採掘計画は (13) の「ホテリング・ルール (Hotelling Rule)」において示されている²⁸⁾。「異時点間の採掘計画」では、ホテリング・ルールに従えば、枯渇性資源の価格変化によって示される同資源の限界生産性の変化が、人工資本の限界生産性 (F_K) と等しくなるように決定されることが最適になる。

以上の有限な枯渇性資源の制約下における枯渇性資源と人工資本の間の代替可能性の動的な資源配分から、弱い持続可能性の特性を検討したい。最適な採掘経路では、持続的に生産可能な資本ストックによる枯渇性資源への代替が容易であればあるほど、枯渇性資源の有限性といった、利用の制約をめぐる問題は軽減される。ゆえに、伐採経路では、弱い持続可能性を決定付ける生産関数の枯渇性資源と人工資本の投入要素間の代替の可能性（代替の弾力性）の大きさが重要な鍵となる。

生産要素間の代替の可能性は、ある生産要素の価格が上昇したときに、その生産要素から他の生産要素にどの程度の代替が行われるのかによる。生産要素間の投入の代替の可能性を測る尺度として利用される概念が、代替の弾力性の値である²⁹⁾。代替弾力性の値は、仮に、代替の弾力の程度が小さい場合であるならば、枯渇性資源から人工資本への代替に対し厳しい制限が課される。代替の制約は、資本蓄積によって枯渇性資源の不足を埋め合わせることが望めなくなるので、資源を消耗するにつれて産出量が減少し、時間を通じて産出量がゼロに近付き、一定の消費水準の持続が理論的に不可能になる³⁰⁾。それに対して、仮に生産要素間の代替の弾力性の程度が大きい場合であるならば、枯渇性資源と資本ストックの代替が容易といえる。そして資本の代替が容易であれば、枯渇性資源の投入がゼロに近づくまで低下しても、資本の蓄積によって枯渇性資源の不足を埋め合わせができることになる。したがって、最適経路から明らかになった弱い持続可能性の特性は、市場の経済的相互機能を通じた資本間の代替可能性を仮定とすれば、生産関数の投入要素間の代替の値によって、資源の消費を節約しなくても、人工資本の蓄積量を増加することで、枯渇性資源の減少分の相殺が可能になる。最適経路では、弱い持続可能性がインプリシットの前提とおかれることで、資源が枯渇（減少）しても、将来の効用が減少しない（または、現時点以上の資本）程度の人工資本が将来に移転（遺贈）されるならば、持続可能性が実現されるといえる³¹⁾。

2. 弱い持続可能性における世代間衡平性の経済学的考察

1では、ダズグプタとヒールの分析について弱い持続可能性を前提とした場合に、異時点間の資源配分による最適経路が実現されることを検証した。2では、持続可能性における世代間の衡平性の側面に焦点を当てて、ダズグプタとヒールの最適経路と、ソロー（1974）が展開してきた「格差原理」の規範を導入した消費経路が如何なる消費経路を辿るか、弱い持続可能性の含意を検討する。そして、世代間衡平性を保障する資本蓄積について、ソロー（1986）が提示した「ハートウィック・ルール」に適用して検討を試みたい。

2.1. 世代間分配の経済学的考察

2.1 では、ダスグプタとヒールの分析を通じて展開されてきた最適経路について、無期限期間の時間軸とした場合に如何なる消費経路を辿るのか、そして持続可能性における「世代間衡平性」の規範的観点を含めて考察する。

枯渇性資源の制約下の最適成長論では、時間を通じた消費効用の割引現在価値の最大化が目的とされている。最適経路では、現在の消費によって得られる効用のほうが、将来のより少ない消費によって失われる効用よりも大きければ、現在のより大きな消費を望ましいとする「功利主義的（「最大多数の最大幸福」）」³²⁾な規範が採用されている。なぜなら、新古典派経済学における最適経路の分析では、異なる世代間の効用比較が明示的に考慮されていないからである。現在の消費を節約することによって将来の効用が改善されるならば、その節約は望ましいとする功利主義的な結論が導出されるに留まり、現在と将来の「衡平性」という視点は、最初から考慮の外におかれてしまうのである。したがって、ダスグプタとヒールの最適経路は、正の割引率を想定すると、現世代に比して将来世代の効用が過小に評価されるため定常状態は継続せず、効用水準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経路を辿る。最適経路において、枯渇性資源自体の消費水準が時間を通じて一定に維持されるといった「衡平性」とは両立し得ないのである。

そこで、無期限期間における最適経路では、現時点と将来時点の間の「衡平性」という視点が効率的な資源配分と両立し得ない場合に「衡平性」の保障にむけて、如何なる資源配分が望ましいかについて課題となる。

世代間衡平性に関する経済規範の課題について、ソロー（Solow (1974)）は、1971年に出版されたロールズ（Rawls）の『正義論（*Theory of Justice*）』で提唱された「格差原理」³³⁾、すなわち、「無知のヴェール」³⁴⁾を前提にした仮説的な社会契約において、「最も不遇な人々の利益を最大限に高める（max-min）」ことができるならば、不衡平（格差）が容認されるという見方を世代間の衡平性に適用し、世代間の分配について考察した³⁵⁾。ソローは、世代間の分配に関して、世代間で「最も低い消費から得られる効用を最大限に高める」規範（max-min）のもとで、通時的に消費水準を一定に維持することが「衡平（正義）」にかなっているとした³⁶⁾。

ソローは、1資本=1財モデルで、技術が一定、及び定常的な人口（労働力）を前提にして世代間の分配モデルを提示した³⁷⁾。現世代（初期値、 $t=0$ ）から無限の将来（ $t=\infty$ ）までの世代が消費（ C ）から享受する効用（ U_t ）を対象にして、「max-min」を想定すると、以下の(14)のような社会的厚生関数が導出される。

$$(14) \quad W_t = \max \min \{U_0, U_1, U_2, \dots, U_\infty\}$$

(14) で示される社会的厚生関数 (W_t) に、ロールズの max-min を適用すると、最適経路では、最も消費水準の低い世代に対して他の世代から消費の一部を回したり、資源・資本を蓄積（貯蓄・投資）したりして「消費の低い世代は、より正義にかなう社会でよりよい生活を送ることができる」³⁸⁾ ようになる。この点がダスグプタとヒールの最適経路とソローによる消費経路を比較すると、時間を通じて異なる経路である（図1）。

但し、「max-min」を世代間分配に機械的に適用する限りでは、先行世代が存在しない現世代は、消費をゼロ近くにまで低下させて貯蓄を増やし、それを将来世代に人工資本として残すか、または一切貯蓄をせずに将来世代も現世代と同じような状態におかれることを認めるという結論を回避できないといえる。このような消費経路の特徴に関して、ソローは、経済成長（通時的な消費水準の増加・維持）との両立が困難であると指摘する。なぜなら、世代間分配において、初期世代（現世代）は、後方の人々（将来世代）に対してのみに資本蓄積に貢献し、消費の増加の可能性を残すことはできるが、一方で、初期値（現世代）が「貧しい（最も不遇な人々）」場合に、「将来のためになぜ資本を蓄積しなければならないのか」³⁹⁾ に関して現世代に対して積極的な理由を説明できないからである。

したがって、ソローのような世代間分配の枠組みにおいて、現世代が最も不遇な立場として固定化した場合には、「後方世代が最も不運な前の世代を助ける方法はない」⁴⁰⁾ ため、現世代がまったく資本を蓄積しないとしても、現世代（初期状態）の効用水準が世代間の分配基準とされて、世代間衡平性を保障するのである。

2.2. 異時点間の資本蓄積：ハートウィック・ルールを中心に

ソロー（1974）の分析から、持続可能性の達成には、現在の犠牲を回避しながら、将来に資本蓄積を促すことが求められる。異時点間の資源配分において、世代間の衡平性を確保する消費経路をどのように設定するかが課題となる。後年、ソロー（1986）は、世代間の衡平性と両立する通時的な「消費水準の一定経路（constant-consumption path）」をハートウィック（Hartwick（1977））の議論を応用し、「ハートウィック・ルール（Hartwick Rule）」として、資本蓄積に関する3つのルールを紹介している⁴¹⁾。以下では、ハートウィック・ルールが成立する異時点間の資本蓄積を提示し、その資本蓄積から弱い持続可能性の含意を導き出す。

第1は、再生可能な人工資本と労働が完全に利用されていることである。経済活動において、失業も過剰生産も生じない完全競争が想定されている。第2に、異時点間の「効率的」な資源配分において、ホテリング・ルール⁴²⁾が成立していることである。ホテリング・ルールにおいて、枯渇性資源の限界生産性が再生可能な資本（人工資本ストック）の限界生産性に等しく、市場メカニズムに基づいて資源が効率的に配分されている。以上の2つのルールは、ダスグプタとヒールの最適成長論の消費経路と同じ資本蓄積であり、異時点間の資源配分の効率性が保

障されていることを意味する。

それに加えて、ハートウィック・ルールについて、ソロー（1986）が強調したのは、第3の「投資政策（investment policy）」である。投資政策とは、「各時点において、社会は枯渇性資源の利用に係る競争的な使用量相当額分（rent）だけ再生産可能な資本を蓄積する」⁴³⁾ ことである。換言すれば、「投資ルール」とは、枯渇性資源を利用（消費）することで得られる収益（純利益）を人工資本へ投資し、通時的に資本蓄積を促す。つまり、異時点間の資源配分において、現在による資本蓄積は、枯渇性資源を含めたすべての資本ストックの価値を一定に保つために、将来に豊富な人工資本ストックと少ない枯渇性資源ストックを保有することである。その結果、消費経路では、枯渇性資源の供給が固定的（有限性）であっても、現在による将来への投資の継続によって資源の消費に対する制約が克服され、将来の消費水準一定の経路が実現されることになる。したがって、ダスグプタとヒールによる効率的な最適経路や、ソローによる世代間分配においてハートウィック・ルールの「投資ルール」に基づいた資本蓄積では、枯渇性資源と人工資本との代替を前提にした「弱い持続可能性」の成立がインプリシットに置かれていることが明らかになる。弱い持続可能性では、仮に、枯渇性資源が減少（減耗）したとしても、現世代によって蓄積された人工資本ストックを通じて、将来の一定の消費が保障され、現在と将来の消費水準において「衡平性」を保障する特性を有するのである。

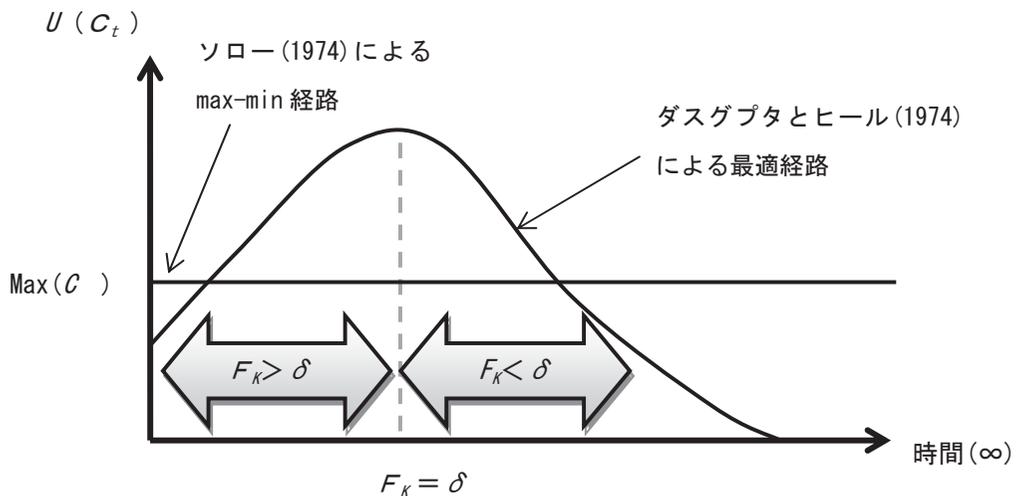


図 1. 弱い持続可能性の消費経路の比較⁴⁴⁾

[出所：浅子・川西・小野（2002），p.7. に加筆]

3. 弱い持続可能性の実現条件と課題

ダスグプタとヒール、及びソロー（(1974), (1986)）の議論から、消費水準の持続可能性を実現するためには、枯渇性資源を消費して、減少した分を人工資本で補うように資本の蓄積（貯蓄）が求められる。異時点間の資源配分には、現時点における枯渇性資源と人工資本ストックの代替可能性が前提に置かれていることが明らかになった。

そこで、3では、弱い持続可能性の成立にはどのような条件が政策的観点から必要になるのかについて検討する。3.1では、前述のソロー（1986）によるハートウィック・ルール⁴⁵⁾の分析結果を踏まえ、弱い持続可能性の実現条件として「資本間の代替可能性」を前提とした異時点間の資本管理を示す。そして、3.2では、弱い持続可能性の実現を困難にする可能性について、「資本間の代替可能性」の課題を提示したい。

3.1. 弱い持続可能性の実現条件

ソロー（1986）は、枯渇性資源を投入する経済において、異時点間の消費配分が効率、かつ平衡に行われる条件として、ハートウィック（1977）の論文から「ハートウィック・ルール」を提示した。ハートウィック・ルールは、既述した「枯渇性資源で得られた利益をすべて人工資本に投資すれば、各時点での消費を一定にできる」資本の蓄積の条件であり、自然資本ストック、人工資本ストックを含めた「資本一定のルール（constant capital rule）」と言い換えることもできる。そこで、以下では「弱い持続可能性」の実現条件について、「資本一定のルール」から検討する。

まず、「資本一定のルール」が実現するためには次の2つの条件が求められる。第1に、異時点間の資源配分において、いつの時点で人工資本に代替するのか、資本間の代替の程度が条件となる。ダスグプタとヒールの分析によると、消費経路では、資本の限界生産性、時間選好率及び市場利子率の均等が最適であると示されてきた⁴⁵⁾。仮に、資本の限界生産性よりも、時間選好率が大きければ、消費は時間を通じて単調的に減少することが望ましくなる。一方で、時間選好率が資本の限界生産性よりも小さければ、消費を控えて資本蓄積を促し、消費は単調に増加するように調節するほうが望ましいことになる。但し、効用の現在価値を最大化するような最適経路では、割引の時間選好に基づいた消費の選択によって、前述の通り将来にむかって消費効用の水準が減少していく経路を辿る。弱い持続可能性の実現には、将来の消費を維持するために、枯渇性資源と人工資本ストックを含めた資本ストックの継続的な蓄積が重要な条件となる。

第2に、通時的に資本を一定にするためには、現在の消費によって枯渇性資源が減少した分だけ、将来に人工資本ストックを蓄積するか、または、現在の消費を減らし、資源の消費を節

約することで、将来に資源を残す方法が考えられる。前者の方法に従えば、現在の資源の消費に関しては、物理的観点から鉄鋼、石油等を生産し、その結果、枯渇性資源ストックが減少したとしても、その一方で代替された人工資本ストックである道路や機械などが資本として増加すれば、総資本ストックの一定が実現可能になる。それは同時に、経済計算の観点から見れば、石油等の自然資本ストックを利用することから得た利潤と比較して、同じか、もしくはより多い所得を生み出す機械や道路等の人工資本ストックを蓄積することで、総資本ストックの経済的価値の水準の維持が条件になる。資本ストック一定にむけた「総資本ストック」とは、各資本ストックを集計した資本全体のことであり、自然資本ストックが有する機能（同化吸収能力、再生能力等）とは関係なく、資本の生産力に対する貢献について再評価（集計）した値を用いる。ゆえに、弱い持続可能性では、異時点間の資本蓄積において、資源の希少性に対処するために、市場を通じて資本の代替可能性が持続的に進行することが実現条件といえる。

以上から、弱い持続可能性の実現条件は、ある枯渇性資源の実質的な市場価格が上昇（下落）しても、枯渇性資源を代替した総資本ストックの経済的価値が維持されるならば、現在の消費のみならず、将来の消費も一定水準の維持が保障されることが明らかになった。そして、資本間の代替性を通じた資本ストックの維持は、枯渇性資源自体を現時点で将来のために節約、または保有しなくても、その分を人工資本の蓄積によって資本を消費財として用いるならば、資源の利用制約の問題自体が解消されるのである。

3.2. 弱い持続可能性の実現条件に関する課題

前述の弱い持続可能性の実現条件として提示された「資本一定のルール」からは、現在と将来の衡平性を保障するために、有限な枯渇性資源と人工資本ストックの代替によって解決できる可能性を示した。以下では、資源管理の政策として弱い持続可能性の実現にむけて、市場に基づいた資本間の「代替可能性」の前提自体に課題が生じる場合を検討する。

第1に、資本一定のルールの「代替可能性」の基準の設定に関して課題が生じる場合がある。弱い持続可能性の実現条件において、現時点に枯渇性資源と人工資本ストックの代替可能性の基準を「緩い（もしくは完全代替可能）」と仮定したとしても、市場を通じた資本蓄積において、将来にどれだけの利益（消費効用）を享受しうるか、または、損害を被る（消費の効用が低下する）のか、現時点で判断できない場合がある。また、仮に現在に有限の資源ストックの減少分を人工資本ストックの投資で代替したとしても、資本間の代替が不十分であれば、現在よりも、将来に転嫁される資本の代替費用が大きな負担になる場合がある。例えば、森林や農地などの自然資源を基盤とした生活を送る発展途上国のある地域においては、自然資源（鉱物）を人工資本（道路）に代替することによって、将来に福祉が維持・増加したり、他の経済活動の機会が拡張したりして、地域住民の所得の増加に寄与する可能性がある。その一方で、その

地域内で資源の消費を拡大し、代替資本を蓄積することは、伝統的に森林資源（自然資源）などを所得源とし、生活基盤としてきた人たちにとって森林資源を失うことで、将来にわたって伝統的な生活が継続できなくなる可能性がある⁴⁶⁾。同時に、伝統的な文化までも将来に継承する機会も失われる可能性も見逃すことができない。したがって、市場を通じた資本間の代替可能性の基準においては、現時点の資本ストックの保有状態や厚生状況を考慮に入れなければ、資本ストックを一定にすることが現実的に困難になるといえる。

第2に、市場メカニズムを通じた効率的な資本蓄積について、どのような資本ストックを将来に維持（遺贈）し、どれくらいの資本規模を維持・増加するかについて明らかにしていないと、エコロジー経済学者コスタンザとデイリー（Costanza and Daly (1992)）は批判する。すなわち、コスタンザとデイリーの批判の対象は、資本一定ルールにおいて、まず、自然資本の特性（例えば、環境再生能力や浄化機能等）が異なる点を考慮に入れずに、一般化した資本ストックを将来の効用を持続させる投入要素の1つとして仮定している点である。また、資本ストックの一般化（総和）は、現在の枯渇性資源（自然資本）の消費によって生じる環境破壊や環境汚染が考慮の外におかれるため、将来にわたって人々の生活に及ぼされる負の影響（外部性の発生）が見過ごされてしまう。弱い持続可能性の実現条件において、枯渇性資源を代替した人工資本を一定に蓄積することが、必ずしも将来の消費効用を保障することにならないのである。

第3に、弱い持続可能性の「代替可能性」を資源配分に適用する際に、世界の資源が偏在的であるために、市場による効率的な資源配分に失敗する可能性がある。資本間の代替可能性の決定では、自然資源（資源豊富な国）と人工資本（資源が豊富ではない国）の初期の所有状態によって資本蓄積の条件が異なる点が見過ごされている。例えば、自然資源ストックを所有する国・社会は、資源から得た利潤を資本に僅かでも投資を継続できれば、将来にわたって資本を蓄積し、持続的な消費経路が見込まれる。一方で、自然資本ストック自体の所有が少なく、人工資本を豊富に所有している国・社会が資源の消費をゼロにしたとしても、人工資本を維持するために資本の減価償却に見合うだけ、継続的に将来にむけて投資を続けることが必要になる。したがって、資本一定ルールにおいては、現在の初期状態における資源の賦存地域や資本の所有状況、資本の蓄積状態によって、資本間の代替が可能であるか否かを含めて、弱い持続可能性を検討することが望ましいといえる。

第4に、分権化市場の下では、資本間の代替可能性を前提とした最適経路の達成が困難な場合が生じる。例えば、政府や他の機関によって資本ストックの蓄積がなされる場合に、現在の投資が、どの程度私的部門と公的部門間に割り当てられるか、人工資本への投資の決定について市場では説明できない。そのため、資本間の代替可能性を前提とした消費水準の一定自体が、市場を通じて効率的に達成することが困難なのである。

また、資本一定のルールにおいて、枯渇性資源の減少に対応して、時間を通じて資本ストッ

クを蓄積する場合には、限界生産力が逓減するため、人工資本ストックへますます多くの投資が必要となる。時間を通じた人工資本への投資の促進には、利率を低下させることが必要になる。但し、利率の調整は、政府の介入が必要となるため、分権化を前提とした市場の側から、受け入れ難いとの批判も生じるおそれがある⁴⁷⁾。したがって、弱い持続可能性を前提とした異時点間の資源配分では、資本ストック間の代替において、市場とは別に政策的に介入が必要であることが明らかである。

以上から、ダスグプタとヒールとソロー（1974）が展開してきた枯渇性資源の制約下の最適経路の分析を用いると、弱い持続可能性の実現にむけて、資本間の代替可能性の前提が不可欠であることが明らかになった。但し、市場を通じた資本間の代替が困難である場合には、効率的な資源配分が達成できず、将来の消費水準の一定が保障されないことも見過ごしてはならない。時間を通じた経済活動において、枯渇性資源の利用の制約は避け難く、それを克服するために弱い持続可能性が成立可能か否かは、単に市場原理を活用して現在価値に割引いた消費から得られる効用を通時的に最適にできるか否か、を越える重要な課題になる。

おわりに

1970年代以降の枯渇性資源をめぐる議論について、ローマ・クラブの『成長の限界』では、現在に人為的に枯渇性資源の消費を節約することで、将来まで保有することが必要だと提言した。それに対して、新古典派経済学の立場からは、資源価格が伸縮的で市場メカニズムが働けば、人為的な資源の節約は不要であると、批判的に検討されてきた。こうした有限な枯渇性資源ストックの利用をめぐる対立について、経済学の中で課題となるのは、異時点間の資源配分において、いつの時点で、如何なる基準を用いて資源利用の制約に対応するのかであった。

この課題について、本稿では、枯渇性資源を投入する経済活動を想定した場合に、資源の最適な水準に調節していく動学的な資源配分を用いて検証した。まず、ダスグプタとヒールによる新古典派経済学の効用最大化を目的とした最適経路の分析では、効率的な市場メカニズムを通じた異時点間の資源配分を検証し、ソロー（1974）による格差原理を応用した世代間分配の枠組みを用いて、世代間衡平性を保障する消費経路を検証した。これらの異時点間の資源配分における動学的な効率性と世代間衡平性の経済学的考察から「弱い持続可能性」の概念を検討した。弱い持続可能性の概念について、ダスグプタとヒールによる消費経路からは、現在の消費により、将来に資源が枯渇したとしても、代替可能な人工資本が市場メカニズムを通じて効果的に蓄積されるならば、持続可能な成長が達成されることがいえる。それに対してソロー（1974）による世代間分配論からは、初期状態（現世代）の厚生状態に応じて、現時点で資源を消費するか否かが決定されることになる。ダスグプタとヒールと、ソローの分析では時間を通じて辿

る消費経路が異なってくるが、共通して通時的な消費効用を保障するために、資本間の代替可能といった「弱い持続可能性」がインプリシットに仮定されていることが明らかであり、その前提を用いることで通時的に一定の資本ストックの維持が実現されるのである。

また、弱い持続可能性の実現条件について、どのように資本間の代替が可能であるかについて検討した。新古典派経済学における最適経路では、市場メカニズムによって、効率的に資本ストックが蓄積されるとした。本稿では、資本間の代替性について、枯渇性資源の消費と人工資本ストックの蓄積を焦点に絞って分析してきたが、実現可能性の観点から資本ストックの特性（将来に及ぼす影響）や、資本管理の基準等には、政策的介入も考慮に入れる必要があることを指摘した。

注

- 1) 自然資本ストックとは、様々な個別の自然資源（森林、鉱物、大気、水等）の包括的な概念である。
- 2) 新古典派経済学も枯渇性資源の有限性は、認めている。
- 3) メドウズ他（1972）によれば、『成長の限界』では、世界人口、工業化、汚染、食料生産、及び枯渇性資源を消費した、現在の成長率が幾何級数的であるならば、経済が限界点に到達することを予測し、幾何級数的経済成長がもたらす枯渇性資源の供給不足問題に限らず、人類の生存基盤へのリスクとして環境汚染に関しても警告を発した。『成長の限界』をめぐる持続可能性の議論に関しては大瀧（2007）を参照。本稿では、異時点間の経済活動における枯渇性資源の配分に焦点をあてて考察する。
- 4) 枯渇性資源の配分に関しては、現世代が中心的に決定権を有する。
- 5) ヒールが“Symposium on Economic of Exhaustible Resources”の意義について述べていることを参照（Heal（1974）, “Introduction”, p.1.）。
- 6) 持続可能性の研究に関しては、Pearce, Markandya and Barbierを中心としたUniversity College London, the Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE)による*Blueprint for a Green Economy*（1989）（通称、ピアスレポート）の中で経済学的議論が整理されている。
- 7) ピアスレポート（1989）の持続可能性に関する議論を体系的に分類したのが、*Blueprint3*（1993）である（Pearce, et al.（1993）, Chapter2, pp.15-17.）。詳細な持続可能性の分類に関しては大瀧（2007）を参照。
- 8) 人工資本と自然資本の代替可能性を「ある非常に限られた場合」と限定している（Pearce, et al.（1993）, Chapter2, p.16.）。
- 9) 同上。
- 10) 人工資本とは、人為的な生産による資本（例えば、道路や建物等）を対象とする。
- 11) ペッツイーとトーマンは、1974年の*Review of Economic Studies*におけるDasgupta and Heal, Stiglitz, Solowの研究成果が、枯渇性資源を取り入れた経済成長論として、「持続可能性」に関する経済学的概念の基礎を築き、操作可能性に役立つ先行研究であると評価した（Pezzey and Toman（2002）, p.xiv.）。
- 12) 一般的に枯渇性資源の質（場所）は、不均一なので、今日の産出を増加すると将来、低質な資源開発（採

- 掘)しなければならないことになる。資源の質の低下は、より高い費用と低い利潤をもたらすが、本稿では資源の質は一定と仮定する。時間を通じて人口は一定とする(Dasgupta and Heal (1974), p.5.)。そして、技術進歩に関して、仮に飛躍的な技術進歩を設定すれば、環境資源の有限性といった制約の意味が失うおそれもあるので、本稿では枯渇性資源と人工資本の代替可能性のみを仮定する。
- 13) 生産関数について、すべての生産要素を λ 倍 ($\lambda > 0$) すれば、生産量も λ 倍になることを意味する。すなわち、 $F(\lambda K, \lambda R) = \lambda F(K, R)$ がなりたつときに、一次同次である。
 - 14) 生産関数の技術制約 F は、 K と R の増加関数で二階微分可能であるとする。 F_K と F_R は、 F の K と R に偏導関数である。
 - 15) 個人(家計)はすべて同質だと仮定して、所得の分配問題は捨象する。
 - 16) 目的関数について同上、p.6。なおダスグプタとヒールは現世代と将来世代の異なる主体を対象とした「世代間」の分配を前提に分析したのではない。また、重複世代を分析したものではない。本節では、無期限期間の社会における「現在」と「将来」の異なる時点の資源配分の決定に関して検証する。
 - 17) ハルミトン関数について同上、p.10。最適制御理論における最大値原理の数学的証明は、ポントリヤーギン(2000)[坂本訳]を参照。
 - 18) 「随伴変数(adjoint variable)」ともいわれるが、本稿では「共役状態変数」とよぶ。共役状態変数とは、制約条件(人工資本蓄積・枯渇性資源採取)に付随するラグランジュ乗数(Lagrangian multiplier)であり、効用(U)に対する人工資本(K_t)や枯渇性資源(R_t)の限界的寄与度、すなわち、シャドウプライス(shadow price)である。
 - 19) 最適経路は、現時点を出発点にして、無限の将来期間に至るまでの各時点の消費経路である。いくつかの消費経路から最も優位な(より多くの消費可能な)経路を選択することが合理的とする。
 - 20) 最適貯蓄に関して数学的に導出したラムゼイと最初に直感的な説明を与えたケインズを合わせて、ケインズ=ラムゼイルールとよばれている。ラムゼイの最適成長モデルに関する論文を仕上げる過程で、ケインズと書簡の交換(討論)し、議論を重ねてきたことから、成長モデルのなかで異時点間の効率的資源配分に関する条件式を「ケインズ・ラムゼイルール」とよばれている(西川(2001)を参照)。
 - 21) 例えば、現在の1単位の消費の減少が、将来どれくらいの消費の増加をもたらすのかについての評価の基準となるのが時間選好率である。時間選好率とは、現在と将来の消費間の限界代替率から1を引いた値である。
 - 22) 現在の消費を限界的に犠牲したときに、享受しうる将来の消費($1 +$ 利率)について、限界変換率の概念が導入される。例えば、今日の1万円の消費節約により得られる資源は、数年後($t + 1$ 期)の消費をいくら増加するのかをあらわしている。
 - 23) 割引率に関する世代間の経済学的規範に関しては、本稿では検証しない。
 - 24) 消費が産出量より急速に成長するならば、やがてすべてを吸収し、投資もゼロになる。
 - 25) 但し、ケインズ=ラムゼイルールは、実質利率の上昇を通じて、現在の消費の絶対的水準の低下を示してはいないのである。現在の消費に比較した将来の消費の相対的水準をあらわしているだけで、現在の消費の「絶対的水準」については何らかの示唆も与えてくれない。理論的には、実質利率の上昇で現在の消費水準が減少することもあれば、増加することもある。
 - 26) 一般的な資源の配分問題は、ホテリングが提示してきた古典的な「cake-eating model」と考えられる。このモデルでは、技術進歩も資本蓄積がないことを前提に、有限な自然資源(ケーキ)が人の生存のために不可欠であり、その消費は資源の枯渇を意味し、その資源が使い尽くされる時生存が終わることを意味する(西村(1990), 第3章, pp.146-149.を参照)。但し、ダスグプタとヒールは、当該モデ

- ルに代替可能な人工資本を導入し、異時点間の枯渇性資源の「最適な枯渇経路 (optimal depletion policy)」を検証した。
- 27) ホテリングの枯渇性資源の経済学は、枯渇性資源を有限性ととらえた研究として先駆的な意味を持つ (チャン (2006), p.170.)。ホテリングは、地中の資源を保存することで、資源の所有者は、資源の市場価格が時間を通じて上昇していくことを期待する。このような資源の保有による利益は、「キャピタルゲイン」に等しいとする (Dasgupta and Heal (1974), p.10.)。
- 28) ホテリング・ルールは、現在に保存することによって得られるキャピタルゲインが、現在に採掘を行うことによって得られる収益よりも利益を享受するならば、鉱山所有者はすべての資源を保存するほうが有益だと判断する。逆に、資源の収益が、予測されているキャピタルゲインよりも利益を享受するならば、市場で販売した方が有益だと判断する (同上, p.11)。
- 29) 限界生産性は、枯渇性資源と人工資本の2つの投入比率が変換する時の限界生産物の変化の率を測ったものである。
- 30) 生産関数の投入要素の弾力性が1以上 ($\sigma \geq 1$) の場合は、枯渇性資源の影響は無視できるとして、枯渇性資源の投入量がゼロであったとしても、人工資本の蓄積によって消費水準を増加し続けることができる。但し、前述の枯渇性資源の限界生産性の横断条件を考慮すると、資源が枯渇した時点で生産が停止してしまう。
- 31) 同上, p.15.
- 32) ベンサム (Bentham) を嚆矢とした「功利主義的」規範の定式化は、「社会を構成する個々人の幸福、すなわち彼らの快樂と安全が、立法者が考慮しなければならない唯一の目的である」ということである。したがって社会の規範としての望ましさは、社会を構成する個々人がどの程度幸福であるかにだけに依存する。その意味で、功利主義は、すべての個人の効用を同一 (同質) として「最大多数の最大幸福」、もしくは主観的な効用の度合いを「幸福 (厚生) を総計した最大値」と表現される。
- 33) ロールズは、「正義」について第1に「最も広範な基本的自由に対する平等な権利を有する」とした上で、第2にどのような場合に不平等が許容されるかに関して考察した。「格差原理」では、「社会的・経済的不平等が許容されるとしても、それは (a) 最も不遇な人々の利益を最大限に高めるものであり、かつ、(b) 職務や地位をめぐって公正な機会均等の条件がみだされる限りにおいてである」として、経済的な不平等に関する正義の条件を規定した (ロールズ (1979), [矢島他訳], 第1部「第2章正義の諸原理」, pp.47-51.)。本稿では、max-min を (a) とする。
- 34) 「無知のヴェール」とは、人間が生まれてくる前の状態について無知であることから、「生まれてくる前の人間」を想定する。この仮想的な状態を「原初状態 (the original position)」とした。原初状態の「無知のヴェール」の仮定では、選択された結果がだれにも有利にも不利にもならないことが保障され、将来に必要な財が合理的に予測されるとみなされる。但し、世代間の当事者に対して無知のヴェールの適用は、「自分がどの世代に属し、何が同じものになり、自分たちの社会の文明の段階がどの程度のものかを、知らない、彼らは、その社会が貧しいのかそれとも相対的に富んでいるか、あるいは主として農耕的であるのか、それとも既に工業化されているのか等々を語る方法を持っていない」とする恣意的選択を排除するための仮説である (同上, 第3章24節, p.106.)。
- 35) ロールズは、「世代間の正義」について「自分たちが同時代であることを知っている (現在時点参入という解釈をとる)」ことから、現世代が「後裔のために貯蓄する義務を誰一人として負わないという原理を、単純に認める」ので、公正な手続きが保障されないとして無知のヴェールの適用の困難性を提示した (同上, 第3章24節, p.108.)。ロールズは、「格差原理」を同一世代と比較して、世代間の貯

蓄原理に適用することに対して慎重な立場であったことが確認できる。そこでロールズは「格差原理は、世代間の正義の問題については成立せず、貯蓄の問題は何らかの別の方法で処理しなければならない」として貯蓄を修正する(同上, 第5章44節, p.222.)。つまり、世代間の正義を考察する動機として、家族の長が少なくとも「近い子孫の安寧を増進したいという願望を持っていると仮定」において、重複世代を対象とした貯蓄原理を示した(同上, 第3章23節, p.100.)。したがって、世代間の正義についてある人は、「第三者、例えば直接の子孫に対して責務 (obligation) や義務 (duty) を負っている」との同意のもとで「採用される原理は、前の世代すべてがそれに従ったことを当事者が望めるものでなければならない」(同上, 第7章61節, pp.312-313.)とした。『正義論』以降に、ロールズは、従来の世代間の貯蓄問題から「同時代人としての市民の間で適用される制約によって処理されなければならない」ことを原則においたうえで、「社会は長期にわたる世代間の公正な協調システムであるべきなのだから、貯蓄をとりしきる原理が必要となる」と修正している(ロールズ (2004), [田中他訳], 第4部49・3, p.281.)。

- 36) ソローはロールズが提示した「原初状態」に関する世代間の提起の限界に関しては検討せずに“I am going to be plus Rawlsien que le Rawls”つまり、「ロールズよりもさらにロールズの立場を推し進める」として「格差原理」、特に「最も不遇な人々の利益を最大限に高める」基準を世代間の貯蓄に適用した(Slow (1974), p.30.)。
- 37) ソロー (Solow (1974)) は、前半で人口、技術を一定とした場合を検討しているが、後半に潜在的に人口増加 (p.31)、技術進歩の条件 (p.32.)、枯渇性資源 (p.34.) と制約条件を追加して分析している。
- 38) ロールズ (1979), 第5章44節, p.224.
- 39) Solow (1974), p.57.
- 40) ロールズ (2004), 脚注 (39), p.387.
- 41) ソローは、ハートウィックによる消費一定の経路の分析を「新たな成長理論」として検討している(Solow (1986), p.144.)。
- 42) ホテリング・ルールでは、枯渇性資源の価格変化によって示される同資源の限界生産性の変化が、人工資本の限界生産性と等しくなるように決定することが最適となる。
- 43) 使用料相当分(レント)とは、資源の収益から資源抽出費を控除した純収益である。
- 44) 浅子, 川西, 小野 (2002) の図に、ソロー (1974) の「max-min」の消費経路を加筆。
- 45) 時間選好率と割引率の関係が、将来世代の効用評価に与える影響については、第2章で議論する。
- 46) Pearce and Barbier, et al (1989), p.28
- 47) Asheim (1986), pp.395-402.

参考文献

- Asheim, G. B (1986), “Hartwick’s Rule in Open Economics”, *Canadian Journal of Economics*, Vol.19, pp.395-402.
- Costanza, R., Daly, H (1992), “Natural Capital and Sustainable Development”, *Conservation Biology*, Vol.6, pp.37-46.
- Dasgupta, P. and Heal, G (1974), “The Optimal Depletion of Exhaustible Resource”, *Review of Economics Studies*, pp.3-28.
- Hartwick, J. M (1977), “Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustible Resources”, *American Economic Review*, Vol.66, pp.927-974.

- Hotelling, H (1931), "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, Vol.39, pp.137-175.
- Pearce, D., Turner, K., Adger, N., Atkinson, G., Brisson, I., Brown, K., Dubourg, R., Fanskhauser, S., Jordan, A., Maddison, D., Moran, D., Powell, J (1993), *Blueprint3: Measuring Sustainable Development, The Sequel to Blueprint for a Green Economy*. Earthscan.
- Ramsey, F (1928), "A Mathematical Theory of Saving", *Economic Journal*, Vol. 38, pp.532-559.
- Solow, R (1974), "Intergenerational Equity and Exhaustible Resource", *Review of Economic Studies*, Vol.41, pp.29-45.
- The World Commission on Environment and Development (1986), *Our Common Future*, Oxford University Press.
- 浅子和美, 川西諭, 小野哲生 (2002), 「枯渇性資源・環境と持続的成長」, 『経済研究』, 53 卷 3 号, pp.236-246.
- アルファ・チャン (2006), 小田正雄, 仙波憲一, 高森寛, 平澤典男訳, 『動学的最適化の基礎』, シーエーピー出版. [Chiang, A (1992), *Elements of Dynamic Operation*, Waveland Press.]
- 大瀧正子 (2007), 「持続可能性 (Sustainability) の概念と条件: 『成長の限界』をめぐって」, 『立命館国際関係論集』, 第 7 号, pp.47-70.
- ドネラ・メドウズ, デニス・メドウズ, ヨルゲン・ランダーズ, ウィリアム・ベアランズ 3 世 (1972), 大来佐武朗訳, 『成長の限界—ローマ・クラブ「人類の危機」レポート』, ダイアモンド社. [Meadows, D., Meadows, L., Randers, J., Behrens III, W (1972), *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books.]
- 西川弘展 (2001), 「F.P ラムゼー『貯蓄の数学理論』—その試訳, 脚注および解題 (1)」, 『大阪市立大論集』, 101 号, pp.136-162.
- 西村清彦 (1990), 『経済学のための最適化入門』, 東京大学出版会.
- ジョン・ロールズ (1979), 矢島均次監訳, 『正義論』, 紀伊国屋書店. [Rawls, J (1971), *Theory of Justice*, Harvard University Press.]
- ジョン・ロールズ (2004), 田中成明, 亀本洋, 平井亮輔訳, 『公正としての正義再説』, 岩波書店. [Rawls, J (2001), *Justice as Fairness: A restatement*, Kelly, E. edited. Harvard University Press.]
- レフ・セミョーノヴィッチ・ポントリヤーギン (2000), 坂本貫訳, 『最適制御理論における最大値原理<付・小自伝>』, ポントリヤーギン数学入門双書 6, 森北出版.

(大瀧 正子, 立命館大学大学院国際関係研究科研究生)

Economic Consideration of the Concept and Condition of Weak Sustainability: The case of exhaustible resources

This paper considers the concept and condition of 'weak sustainability' in the intergenerational distribution analysis referred from Dasgupta and Heal (1974) and Solow (1974). Since the 1970s, the Club of Rome and neo-classical economists have argued about constraint of exhaustible resources use in economic growth.

Dasgupta and Heal (1974) focused on the optimal consumption path which maximizes discounted utility on the theory of dynamic economic growth. The optimal path can be seen as inter-temporally efficient outcomes from the assumption of substitution between human-made capitals and natural capitals, which is implicated in the concept of weak sustainability. The condition of weak sustainability is realized when a market mechanism works efficiently for investing capital even if the resource is exhausted. Solow (1974) focused on inter-temporal equity by referring to Rawls (1971)'s principle of maxi-min to realize a constant consumption level. However, this paper illustrates that weak sustainability is the optimal path, based on how total substitution between capitals would not achieve inter-temporal equity. This paper clarifies the sustainability, regarding the exploratory research of intergenerational study.

(OTAKI, Masako, Doctoral Research Student,
Graduate School of International Relations, Ritsumeikan University)