

最適成長と持続可能な開発に関する経済理論

Economic Theories of Optimal Growth and Sustainable Development

林山 泰久* 佐藤 徹治** 武藤 慎一***

By Yasuhisa HAYASHIYAMA, Tetsuji SATO and Shinichi MUTO

1. はじめに

今日、公共投資や環境対策、税制や年金制度の変更といった公共政策の意思決定に際し、持続可能性や世代間の公平性が論点となっている。このため、各種公共政策を評価する上では、超長期の視点が不可欠である。本稿は、比較的古くから超長期の視点で理論展開が図られてきた環境資源経済学の分野における最適成長と持続可能な開発に関する既存文献をレビューすることにより、超長期の視点に立った公共施策の評価を行うための理論開発にあたっての示唆を得ることを目的としている。なお、本稿は筆者らの共同研究の成果¹⁾の一部をとりまとめたものである。

環境資源問題が注目を浴びる契機となったのは、1972年にローマクラブが発表したレポート「成長の限界 (The Limit to Growth)」である。そこでは、化石燃料をはじめとする天然資源の枯渇問題、環境汚染および環境破壊問題の2つの意味において人類が破局を迎える可能性が指摘され、「破局への過程を回避するためには、経済成長と人口成長をゼロにするしかない」と述べられている。この見解は、環境資源問題が経済成長の制約となることを世界的に認識させたという意味において高く評価された一方、理論的な面からの批判も多かった。環境資源経済学の分野においては、環境資源問題を解決しつつ、経済成長が可能な方法についての理論展開がなされてきた。具体的には、以下の2点を明らかにすることが焦点であった。①環境資源問題を踏まえた上での望ましい経済成長とは如何なるものか？ ②将来にわたって社会的厚生 (Social Welfare) が持続可能な開発 (Sustainable Development) を達成するための条件は如何なるものか？

本稿では、まず第2節で枯渇性資源の問題を考慮

した最適成長、第3節で環境汚染の問題を考慮した最適成長に関する既存研究の展開と主な理論を概説する。最後に第4節において、持続可能な開発を達成するための条件としての割引率および社会厚生関数について提案されているいくつかの考え方を示す。

2. 枯渇性資源の問題を考慮した最適成長

(1) 既存研究の展開

枯渇性資源を考慮した最適経済成長に関しては、Hotelling (1931)²⁾の問題提起に始まり Stiglitz (1974)³⁾以降、枯渇性資源のフローが財の生産投入要素として定式化され、それ以降、様々な議論が展開されている。その代表的研究として、Dasgupta and Heal (1974)⁴⁾を挙げることができる。この研究は、功利主義的社会厚生関数に基づく最適成長経路が世代間の公平性と乖離する可能性を示し、その後の研究に大きな影響を与えたことで知られている。また、1980年代後半以降に急速な発展をみせた内生的成長理論により、環境のマクロ経済分析は多様な方向でより一層の進展を見せている。例えば、Stiglitz モデルに内生的人口成長を組み込んだ Cigno (1981)⁵⁾、この種の問題に関する研究の発展経緯を取りまとめた Krautkraemer (1998)⁶⁾、Romer タイプの内生的技術進歩モデルに枯渇性資源を導入した Barbier (1999)⁷⁾、Jones タイプの準内生的成長モデルを用いた Groth and Schou (2002)⁸⁾を挙げることができる。さらに、近年の研究として Schou (2000)⁹⁾では、生産関数に枯渇性資源が投入され、その利用に応じて生じる汚染フローが同時に生産に対して負の影響を及ぼすというメカニズムが表現されている。

* 東北大学大学院 ** 経済社会研究室 *** 大阪工業大学

(2) 功利主義的社会厚生に基づく最適成長論

a) 仮定

枯渇性資源の問題と経済成長を議論するためには、本来、極めて長期で、かつ複雑な社会メカニズムを考慮に入れる必要がある。しかし、社会メカニズムのすべてを理論的に定式化することは不可能であり、仮に解が得られたとしても、その解釈は困難であることが多い。したがって、既存研究では、いくつかの強い仮定をおくことにより、複雑な経済システムの中から重要な部分のみを抽出することを可能にしている。多くの既存研究では、人口不変と技術不変、さらには家計の同質性（世代内の公平性を考慮しないことを意味する）という仮定をおいている。

b) モデル

この分野の代表的研究である Dasgupta and Heal (1974) に従って概説する。

$$\max . \int_0^{\infty} e^{-\theta t} U(C_t) dt \tag{1}$$

$$s.t. \dot{K}_t = F(K_t, R_t) - C_t \tag{2}$$

$$\dot{S}_t = -R_t \tag{3}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S_t = S_0 - \int_0^t R_t dt \geq 0 \tag{4}$$

$$C_t, K_t, R_t \geq 0 \text{ and } K_0 (> 0) \text{ is given}$$

ここで、 C_t, K_t, R_t, S_t は、各々 t 期における総消費量、再生可能な人工資本、枯渇性資源投入量、残存枯渇性資源ストックである。また、 $F(\bullet)$ は生産関数であり、人工資本と枯渇性資源の投入によって生み出される生産物の総量を与える。なお、生産関数は狭義の凹の一次同次関数であり、かつ、 $\partial F/\partial K_t = F_K \geq 0, \partial F/\partial R_t = F_R \geq 0$ とし、 F_K は人工資本の限界生産性、 F_R は枯渇性資源の限界生産性を意味する。また、 θ は割引率であり、 $\theta > 0$ と仮定する。さらに、 $\partial U/\partial C_t = U_C > 0$ とする。

ここで、式(2)は、人工資本 K_t の蓄積に関する制約条件であり、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ものと仮定している。式(3)は、各期の枯渇性資源投入量と枯渇性資源ストック量の変化分とが一致するという制約条件、また、式(4)は、枯渇性資源ストックが無限先まで常に正になるという制約条件である。

以上の最適化問題は、Pontrjagin の最大値原理を用いて解くことができ、式(5)のようにハミルトニアン H を定義する。ここで、 p_t は消費のスポット価

格、 μ_t は随伴変数を表す。

$$H = e^{-\theta t} U(C_t) + e^{-\theta t} p_t (F(K_t, R_t) - C_t) + e^{-\theta t} \mu_t R_t \tag{5}$$

また、ラグランジアン L は式(6)となり、その最大化の一階条件は式(7)~(9)となる。

$$L = H - \lambda R_t \tag{6}$$

$$p_t = U_C \tag{7}$$

$$\lambda = e^{-\theta t} (\mu_t + p_t F_K) \tag{8}$$

$$\frac{d(e^{-\theta t} p_t)}{dt} = e^{-\theta t} p_t F_K \tag{9}$$

なお、横断性条件は以下となる。

$$\mu_t \geq 0 \text{ and } \mu_t R_t = 0 \tag{10}$$

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

以上から、最適成長経路が満たすべき必要条件として、式(12)および式(13)が導かれる。

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = \frac{F_K - \theta}{\eta(C_t)} \tag{12}$$

$$\frac{\dot{F}_R}{F_R} = F_K \tag{13}$$

ここで、 $\eta(C_t) \equiv C_t U_C / U_C$ は、消費に対する限界効用の弾力性を意味する。

式(12)は、最適成長論におけるラムゼイ・ルール (Keynes-Ramsey Rule) と呼ばれるもので、消費時点を先延ばしすることによるメリット F_K がデメリット θ を上回るときには、最適成長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ことを表している。

一方、式(13)はホテリング・ルール (Hotelling Rule) と呼ばれる枯渇性資源の場合固有の条件式であり、枯渇性資源の限界生産性の成長率が人工資本の限界生産性に等しいことを意味している。

c) 最適経路の性質

ここでは、式(12)のラムゼイ・ルールから、最適な消費水準がどのように変化するかを検討する。

消費の増減は資本の限界生産性と割引率の大小関係で決定されるものの、後者は一定値であるのに対して、前者は時間の経過とともに低下し続ける。生産要素の投入比率を $x (\equiv K_t/R_t)$ とすると、 $\lim_{x \rightarrow \infty} F_K(x) < \theta$ ならば、最適な消費水準は初期においては増加するとしても、いずれは減少することにな

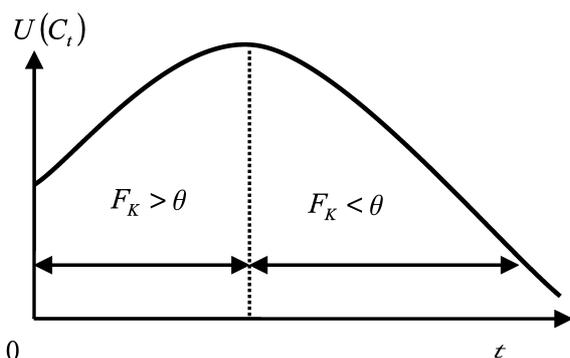


図 - 1 枯渇性資源の問題を考慮した
功利主義的社会厚生最適経路

り、消費水準が増加し続ける経路は最適にはならない。すなわち、この場合、将来世代の厚生は低下していくことになり、世代間公平性の観点から問題となる。図 - 1 に、枯渇性資源の問題を考慮した功利主義的社会厚生最適経路を示す。

3. 環境汚染の問題を考慮した最適成長

(1) 既存研究の展開

環境の自浄能力は、何よりも環境資本が再生可能であり、枯渇性を持たないことを意味している。この分野の先駆的な研究である Keeler *et al.* (1972)⁹⁾では、日常的に排出されている汚染物質の管理問題を最適成長のフレームを用いて分析しており、代表的家計の効用関数は消費と環境汚染ストックから構成されている。

汚染ストックと汚染フローの双方を考慮した研究も多い。汚染ストックについては、汚染ストック水準が上昇すると効用水準に負の影響を与え、一方汚染フローは、最終財の生産には正の影響を与え、汚染ストックの遷移にはマイナスの影響を与えられている。例えば、Tahvonen and Kuuluvainen (1991)¹⁾では、効用関数には消費に加えて環境汚染ストックが考慮され、生産関数には物的資本の他に汚染物質が投入されるというモデル構造になっている。

その後、枯渇性資源に関する研究と同様に内生的成長理論による環境の経済分析は、多様な方向でより一層の進展を見せている。例えば Bretschger (1998)²⁾は、研究開発による内生的技術進歩と再生可能資源の問題を分析している。再生可能資源および枯渇性資源の双方を含んだ分析としては、

Tahvonen and Salo (2001)³⁾を挙げることができる。

(2) 功利主義的社会厚生に基づく最適成長論

a) 仮定

環境汚染問題の場合、環境自体に多様性があることからその理論的定式化も多様なものとなる。すなわち、環境の有する機能の中でどの機能に着目するかによりモデル設定が大きく異なる。しかし、環境資源経済学の既存研究においては、環境汚染のフローやストックが最適成長に及ぼす定性的な影響を把握するための理論開発に焦点が当てられており、これらを集計的に扱っている。

また、枯渇性資源の問題を考慮した最適成長論と同様に、多くの既存研究では、人口不変と技術不変、さらには家計の同質性の仮定をおいている。

b) モデル

Tahvonen and Kuuluvainen (1991) の研究を発展させた Michel and Rotillon (1995)⁴⁾を用いて説明する。

$$\max. \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C_t, P_t) dt \quad (14)$$

$$s.t. \dot{K}_t = rK_t + wL - C_t \quad (15)$$

$$\dot{P}_t = \beta K_t - \mu P_t \quad (16)$$

$$C_t, K_t, P_t \text{ and } P_0 (> 0), K_0 (> 0) \text{ is given}$$

ここで、 P_t は環境汚染ストックの水準を表す。また、 L は労働 (= constant) である。式(14)で、 $\partial U / \partial P_t = U_P < 0$ 、 $\partial^2 U / \partial P_t^2 = U_{PP} \leq 0$ であり、これは環境汚染が社会厚生水準を逡増的に低下させることを意味している。

また、企業の生産は以下で表現される。

$$Y_t = F(K_t, X_t L) \quad (17)$$

ここで、 X_t は知識ストックの蓄積による正の外部性を表している。 $X_t = aK_t$ と仮定し、資本減耗率を δ 、 $A = F(1, aL) - \delta$ とすると、式(15)は式(18)のように書き換えられる。

$$\dot{K}_t = AK_t - C_t \quad (18)$$

なお、 $K_0 = \bar{K}_0$ であり、これは人工資本の初期値が固定値として与えられていることを意味する。以上の最適化問題は、ハミルトニアン H を用いて表現すると式(19)となり、最適化条件は式(20) ~ (23)となる。

$$H = U(C_t, P_t) + \phi_t(AK_t - C_t) \tag{19}$$

$$+ (-\varphi_t)(\beta K_t - \mu P_t)$$

$$U_C(C_t, P_t) = \phi_t \tag{20}$$

$$\dot{\phi}_t = (\theta - A)\phi_t + \beta\varphi_t \tag{21}$$

$$\dot{\varphi}_t = (\theta + \mu)\varphi_t + U_P(C_t, P_t) \tag{22}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\theta t}(\phi_t K_t + \varphi_t P_t) = 0 \tag{23}$$

汚染の増加が限界効用を減少させるケースでは、必要条件から定常状態は式(24)~(27)を満たす。ここで、*は定常状態における値を表している。

また、式(24)および(25)より、定常状態において達成可能な式(28)が導かれる。さらに、社会厚生を最大にする解は、式(28)を制約条件とした $\max_{C_t^*, P_t^*} U(C_t^*, P_t^*)$ の解となることから、式(29)を得ることができる。なお、Chichilnisky *et al.*(1995)⁵⁾によれば、式(29)は、グリーン黄金律 (Green Golden Rule) と定義されている。

$$C_t^* = AK_t^* \tag{24}$$

$$P_t^* = \beta K_t^* / \mu \tag{25}$$

$$\phi_t^* = U_C(C_t^*, P_t^*) \tag{26}$$

$$(A - \theta)U_C(C_t^*, P_t^*) = \beta\varphi_t^* \tag{27}$$

$$= \beta(-U_P(C_t^*, P_t^*)) / (\theta + \mu)$$

$$P_t^* = \frac{\beta C_t^*}{A\mu} \tag{28}$$

$$\frac{U_P}{U_C} = -\frac{A\mu}{\beta} : \text{Social Optimum} \tag{29}$$

一方、式(27)から得られるモデルの定常状態における解は、式(30)となり、割引率 θ がゼロの場合にのみ社会的最適解に一致する。すなわち、一般的には、定常状態は社会的最適解に一致しない。

$$\frac{U_P}{U_C} = -\frac{(A - \theta)(\theta + \mu)}{\beta} : \text{Steady State} \tag{30}$$

c) 最適経路の性質

式(29)および(30)より、最適成長経路と定常状態における消費水準、環境汚染の変化が示される。

図-2に、環境汚染の問題を考慮した功利主義的社会厚生最適経路 (Utilitarian Path) と分権的市場機構の下での均衡経路 (Decentralized Market Path) を示す。

初期の資本ストック水準が十分に低く環境汚染ストックの水準が高い場合には、社会厚生は定常状態に至る過程で上昇し、一定値に収束する。一方、分権的市場機構の下では、環境汚染の外部効果が市場で評価されず、最適経路が達成されない。

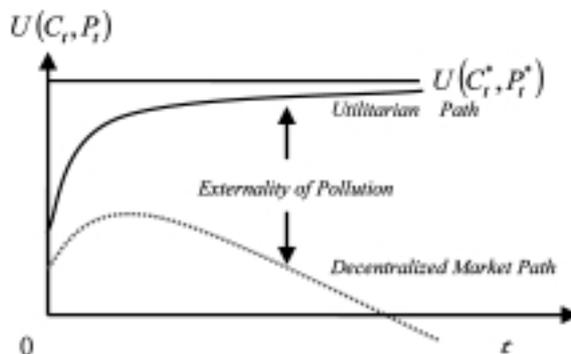


図-2 環境汚染の問題を考慮した最適経路と分権的市場機構の下での均衡経路

4. 持続可能な開発

(1) 持続可能な開発の定義

「持続可能な開発」の定義については、Tietenberg (1980)⁶⁾、Mäler (1991)⁷⁾、Solow (1992)⁸⁾をはじめとして多くの議論がなされているが、本質的には、「時間が経つにつれて社会厚生が低下しない経路」と解釈できる。この定義に従えば、持続可能な開発が達成されるかどうかは、割引率と社会的厚生関数の設定に依存することは明らかである。よってここでは、功利主義的社会厚生関数の下で持続可能な開発を行うための条件としてハートウィック・ルールについて概説した後、持続可能な開発を達成するための割引率および社会的厚生関数の考え方を示す。

(2) ハートウィック・ルール

Hartwick (1977)⁹⁾は、枯渇性資源の利用の下に持続可能な開発を行うための必要最小限の条件について、「枯渇性資源所有者の利潤をすべて資本投資に向け、人工資本を蓄積し、生産能力を補わなければならないこと」と主張した。これは、ハートウィック・ルール (Hartwick Rule) と呼ばれ、式(31)で表される。このとき、式(32)が成立し、各世代の消費が同一であるという世代間公平性が実現される。

$$\dot{K}_t = F_R R_t (\forall t \geq 0) \tag{31}$$

$$\dot{C}_t = 0 (\forall t \geq 0) \tag{32}$$

(3) 割引率

Ramsey (1928)¹⁰⁾、Harrod (1948)¹¹⁾、Broome (1992)¹²⁾およびCline (1992)¹³⁾は、環境資本を考慮していないものの、割引率をゼロとした問題を考え

ている。この場合の社会厚生関数は式(33)で表現できる。ここで、 B は至福点 (Bliss Point) である。

$$\int_0^{\infty} [B - U(C_t^*, S_t^*)] dt < \infty \quad (33)$$

この社会厚生関数は、全ての世代を同等に取り扱うという意味で世代間の公平性を反映している。しかし、Ramsey (1928) の分析では、結果的に高い貯蓄率が要求され、現世代に過大な負担を強いる可能性が指摘されている。

一方、Ainslie and Haslam (1992)²⁴⁾は、非線形な割引率として Hyperbolic な割引を提案している。また、将来世代に低い割引率を適用することを主張した Weitzman (2001)²⁵⁾はガンマ分布を仮定した式(34)を提案し、表 - 1 のような結果を示している。

$$\Delta(t) = \frac{1}{1+t\sigma^2/\mu}, \theta(t) = -\frac{\dot{\Delta}(t)}{\Delta(t)} \quad (34)$$

実務的には、英国の Green Book (2003) では、Weitzman (2001) を参考に、30 年を越える長期のプロジェクトについて、表 - 2 の割引率が示されている。

(4) 社会的厚生関数

Chichilnisky (1996)²⁶⁾は、功利主義的な項と遠い将来の効用に基づく項との凸結合した式(35)を提案している。

$$\max \left[\alpha \int_0^{\infty} e^{-\theta t} U(C_t, S_t) dt + (1-\alpha) \lim_{t \rightarrow \infty} U(C_t, S_t) \right], \alpha \in (0, 1) \quad (35)$$

これは Chichilnisky 基準と呼ばれる。この基準における最適経路が $\lim_{C_t \rightarrow \infty} U_c = \infty$ の場合、無限大先の消費がゼロであるとは限らないため、功利主義的基準よりも将来世代に重きをおく動学経路が選択される。すなわち、Chichilnisky 基準は功利主義的社会厚生 (厳密には、単純な割引功利主義) への批判であり、世代間公平を重視する定常状態に到達させるためには競争的システムに影響を及ぼすことが必要であることを示している。

いま、枯渇性資源ストック S_t として、式(36)~(39)の4つの社会厚生関数を考える。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U(C_t, S_t) \quad (36)$$

$$\int_0^{\infty} e^{-\theta t} U(C_t, S_t) dt + \lim_{t \rightarrow \infty} U(C_t, S_t) \quad (37)$$

$$\int_0^{\infty} e^{-\theta t} U(C_t, S_t) dt \quad (38)$$

$$\int_0^{\infty} e^{-\theta t} U(C_t) dt \quad (39)$$

式(36)は割引率がゼロのグリーン黄金律 (GGR : Green Golden Rule)、式(37)は Chichilnisky 基準 (CH)、式(38)は功利主義 (DU : Discounted Utilitarian) に基づく社会厚生関数である。また、式(39)は枯渇性資源を考慮しない社会厚生関数 (H : Hotelling) である。これらを $\int_0^{\infty} C_t dt \leq S_0$ の制約条件の下で最大化した場合、枯渇性資源のシャドープライス λ_E は、以下の関係になることが証明されている。

$$\lambda_E(GGR) > \lambda_E(CH) > \lambda_E(DU) > \lambda_E(H) \quad (40)$$

表 - 1 Weitzman (2001) による割引率の試算

期間	割引率 (%)
1~5年	4.0
6~25年	3.0
26~75年	2.0
76~300年	1.0
300年以上	0.0

表 - 2 Green Book (2003) における長期間の割引率

期間	割引率 (%)
0~30年	3.5
31~75年	3.0
76~125年	2.5
126~200年	2.0
200~300年	1.5
301年以上	1.0

5. おわりに

本稿では、枯渇性資源および環境汚染を考慮した最適成長、持続可能な開発に関する既存研究を体系的にレビューし、主な理論を整理した。今後、世代間の公平性や持続可能性を考慮した各種政策評価を行うにあたっては、本稿で整理した理論に基づく実証モデルの開発が急務であることは言うまでもない。

謝辞

本稿を草するにあたり、東京工業大学大学院理工学研究科 上田孝行助教授、東北大学大学院経済学研究科 稲垣雅一氏および奥山忠裕氏から多大なる

ご協力を賜った。ここに記して、深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 林山泰久、武藤慎一、佐藤徹治：環境資源経済学における最適成長論、土木学会論文集、No. 779 / IV - 66、pp. 25 - 44、2005 .
- 2) Hotelling, H.: The Economics of Exhaustible Resource, The Journal of Political Economy, Vol. 39, pp. 137 - 175, 1931.
- 3) Stiglitz, J.: Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, Review of Economic Studies, pp. 123 - 137, 1974.
- 4) Dasgupta, P. and G. M. Heal: The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, Review of Economic Studies, pp. 3 - 28, 1974.
- 5) Cigno, A.: Growth with Exhaustible Resources and Endogenous Pollution, Review of Economic Studies, Vol. 48, No. 2, pp. 281 - 287, 1981.
- 6) Krautkraemer, J. A.: Nonrenewable Resource Scarcity, Journal of Economic Literature, Vol. 36, No. 4, pp. 2065 - 2107, 1998.
- 7) Barbier, E. B.: Endogenous Growth and Natural Resource Scarcity, Environmental and Resource Economics, Vol. 14, pp. 51 - 74, 1999.
- 8) Groth, C. and P. Schou: Can Non-renewable Resources Alleviate the Knife-edge Character of Endogenous Growth?, Oxford Economics Papers, Vol. 54, No. 3, pp. 386 - 411, 2002.
- 9) Schou, P.: Polluting Non-renewable Resources and Growth, Environmental and Resource Economics, Vol. 16, pp. 211 - 227, 2000.
- 10) Keeler, E., M. Spence and R. Zeckhauser: The Optimal Control of Pollution, Journal of Economic Theory, Vol. 4, pp. 19 - 34, 1972.
- 11) Tahvonen, O. and J. Kuuluvainen: Optimal Growth with Renewable Resource and Pollution, European Economic Review, Vol. 35, pp. 650 - 661, 1991.
- 12) Bretschger, L.: How to Substitute in order to Sustain: Knowledge Driven Growth under Environmental Restrictions, Environmental and Development Economics, Vol. 3, No. 4, pp. 425 - 442, 1998 .
- 13) Tahvonen, O. and S. Salo: Economic Growth and Transitions between Renewable and Nonrenewable Energy Resource, European Economic Review, Vol. 45, pp. 1379 - 1398, 2001.
- 14) Michel, P. and G. Rotillon: Disutility of Pollution and Endogenous Growth, Environmental and Resource Economics, Vol. 6, pp. 279 - 300, 1995.
- 15) Chichilnisky, G., G. Heal and A. Beltratti: The Green Golden Rule, Economic Letters, Vol. 49, pp. 175 - 179, 1995 .
- 16) Tietenberg, T.: Environmental and Natural Resource Economics, Scott, Foresman and Company, 1980.
- 17) Mäler, K. -G.: National Accounts and Environmental Resource Economics, Vol. 1, pp. 1 - 15, 1991.
- 18) Solow, R. M.: Sustainability: An Economist's Perspective, The Eighteenth Seward Johnson Lecture, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, 1992.
- 19) Hartwick, J. M.: Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustible Resources, American Economic Review, Vol. 66, pp. 972 - 974, 1977 .
- 20) Ramsey, F.: A Mathematical Theory of Saving, Economic Journal, Vol. 38, pp. 543 - 559, 1928 .
- 21) Harrod, R.: Towards a Dynamic Economics, Macmillan, 1948.
- 22) Broome, J.: Counting the Cost of Global Warming, White Horse Press, 1992.
- 23) Cline, W. R.: The Economics of Global Warming, Institute for International Economics, 1992.
- 24) Ainslie, G. and N. Haslam: Hyperbolic Discounting, in Lowenstein, G. and J. Elster, eds., Choice Over Time, Russell Sage Foundation, 1992 .
- 25) Weitzman, M. L.: Gamma Discounting, American Economic Review, Vol. 91, No. 1, pp. 260 - 271, 2001.
- 26) Chichilnisky, G.: An Axiomatic Approach to Sustainable Development, Social Choice and Welfare, Vol. 13, No. 2, pp. 231 - 257, 1996 .