環境教育による長期的な態度行動変容モデルの構築に向けて：自制問題の適用可能性※

The Long-term Attitude Behavior Change by Environmental Education: Self-control Problem※

林山 泰久※※・稲垣 雅一※※※・阪田 和哉※※※※
By Yasuhisa HAYASHIYAMA※※，*Masakazu INAGAKI*※※※ *and Kazuya SAKATA*※※※※

１．はじめに

環境教育(Environmental Education)とは，教育を施すことによって，個人が自らの行動の長期的影響を考慮し，理解を深め，合理的な行動を行うように変容することを想定しているものと考えられる．なお，環境教育は，Becker(1975)[1]による職業教育のような生産性の向上効果を必ずしも意図していない類の教育であることには注意が必要である．

新古典派経済学の理論的枠組みでは，一般に，個人は「合理的な個人 R (Rational Person)」を仮定していることから，主観的割引率(Subjective Discount Rate)，或いは，時間選好率(Rate of Time Preference)が一定であるとするならば，指数型割引関数(Exponential Discount Function)が理論的に導かれることが知られている．これについて Strotz(1955-1956)[2]は，時間一致性(Time Consistency)を保証する条件が，一定の時間選好率を持つ指数型割引関数であることを証明し，さらに，この条件は，個人の有する異時点間選好に関する時間定常性(Time Stationality)という性質に等しいことを明らかにしている．このことは前述した環境教育が想定している行動変容とは矛盾することになる．すなわち，新古典派経済学では合理的な個人 R を仮定していることから，ここでの個人はそもそも自らの長期的影響を考慮した行動を行っており，環境教育を施すことによって厚生が上昇することも，態度行動を変容させることもないためである．

一方，これら時間一致性を保証する指数型割引関数は，Thaler(1981)[3]による実験経済学的アプローチによっていくつかの変則現象(Anomaly)が指摘されている．例えば，Loewenstein and Prelec(1992)[4]は，個人の主観的割引率が有する変則現象として下記の４項目を指摘している．

①緊急性効果(Common Difference Effect): 推定された主観的割引率は，長期になれば低下する．

②絶対値効果(Absolute Magnitude Effect): 推定された主観的割引率は，便益，或いは，不便益が大きくなれば低下する．

③損失・利得の非対称性(Gain-loss Asymmetry): 便益に対する推定された主観的割引率は，不便益に対するそれよりも高い．

④遅延・催促の非対称性(Delay-speedup Asymmetry): ある期間において遅延に対する補償として必要とされる報酬の量は，同じ期間に消費を早めるための課金よりも割引率が大きくなる．

これらの変則現象は，環境問題を議論する際にも同様な側面が多々見られ，例えば，環境悪化は近視眼的な便益が長期的な費用を上回ることから発生することが多い．このことは，個人は指数型割引を行っておらず，実験経済学や行動経済学において議論されている自制問題(Self-control Problem)，すなわち，現在偏重型選好(Present-biased Preference)を有することによる時間不一致性(Time Inconsistency)の問題として捉えることが可能であることを意味している(例えば，Ainslie(1992)[5]を参照のこと)．

そこで，本研究では，環境問題，特に，枯渇性資源(Exhaustible Resource)を対象として，この生涯消費計画を自制問題として取り扱うものとする．

２．想定する個人と自制問題

本研究において想定する個人は，合理的な個人 R，自制問題を有する単純な個人 N (Naïve Person)，将来の自制問題を完全に予測して行動することができる洗練された個人 S (Sophisticated Person)，個人 N と個人 S の中間に位置づけられる部分的に洗練された個人 P (Partially Sophisticated and Naïve Person)を考える．

まず，個人 R は，現時点 $(t=0)$ において将来の行動を完全に予測することができ，かつ，その通りに行動する．したがって，環境教育を施しても個人 R は既に合理的に行動しているために，環境教育の効果は無い．次に，個人 N は，現時点の効用に大きなウェイトを置くものの，将来は合理的に行動すると予測する．しかしながら，途中時点で自制問題が発生し，当初計画の変更を余儀なくされる．また，個人 S は，最終期から後方帰納的に推測，すなわち，将来の自制問題を完全に予測して行動する．特に，個人 S の場合には，現時点の効用に特別なウェイトを置かない場合には，個人 R と一致することになる．最後に，個人 P は，個人 R，個人 N お

※ キーワーズ：環境計画，社会・経済分析評価
※※ 正会員 工博 東北大学教授 大学院経済学研究科
(仙台市青葉区川内，E-mail: yhaya@econ.tohoku.ac.jp)
※※※ 経修 東北大学博士後期課程 大学院経済学研究科
※※※※経修 (株)三菱総合研究所 社会システム研究本部

よび個人Sをその特殊解として内包化した最も一般的な行動を行う．したがって，本研究において一般的に定式化する個人は，個人Pに相当する．

３．擬似双曲線型割引関数モデル

（1）モデル

いま，期間$t = 0,1,2,\cdots,T$における代表的個人の離散時間での簡便な生涯消費計画を考える．個人は枯渇資源消費において式(1)に示す制約条件を有するものとする．なお，$K_0 = \bar{K}$，$K_{T+1} \geq 0$とする．

$$K_{t+1} = (K_t - c_t)r, \forall t \tag{1}$$

ここで，K_tはt期における枯渇性資源の残存量(期首ベースでのストック)，c_tはt期における枯渇性資源消費量，rは外生的に与えられる資本の実質収益性を示す．なお，本研究は枯渇性資源を対象としているため，rは自然減耗率$(0 < r \leq 1)$と解釈する．また，消費の条件として式(2)を仮定する．

$$0 \leq c_t \leq K_t, \forall t \tag{2}$$

さらに，この分野の代表的な既存研究である O'Donoghue and Rabin(1999a)(1999b)(2001)[6)7)8)]による擬似双曲線型割引関数(Quasi-Hyperbolic Discount Function)による Two-parameter Model を用いると，個人の生涯効用$U^t(\bullet)$は式(3)で表現することができる．このとき，擬似双曲線型割引関数による割引は，$t = 0,1,2,\cdots,T$に対して$\{1,\beta\delta,\beta\delta^2,\cdots\beta\delta^T\}$となる．

$$\begin{aligned} &U^t(u_t(c_t),u_{t+1}(c_{t+1}),\cdots,u_T(c_T)) \\ &= \delta^t u_t(c_t) + \beta\sum_{i=t+1}^{T}\delta^i u_i(c_i), \forall t \\ &\text{where } 0 < \beta < 1, \delta \leq 1 \end{aligned} \tag{3}$$

ここで，t期における効用をu_tとし，δは割引パラメータ，βは現時点の効用にどの程度ウェイトを置いているかを示すパラメータ(現在偏重型選好パラメータ)である．このとき，$\beta = 1$ならば(β,δ)によって規定される選好は指数型割引関数によって割引かれることになり，$\beta < 1$ならば現在偏重型選好を有することを意味する．

さらに，前述した個人P，個人Nおよび個人Sについて考える．まず，$\hat{\beta}$を個人の将来の自制問題に対する信念を表すパラメータであるとし，最終期にはβとなるものとする．このとき，個人Sは将来の自制問題を完全に予測して行動することから$\hat{\beta} = \beta$と表現することができる．また，個人Nは自分では自制問題を有するということを信じていないことから$\hat{\beta} = 1$となる．さらに，個人Pは個人Sと個人Nを特殊解として含む一般型であることから$\hat{\beta} \in (\beta,1)$と表現することができる．

（2）オイラー方程式による消費の均衡経路

本研究における生涯消費計画においては，例えばj期および$j+1$期の生涯効用は，式(4)および(5)で表現される．

$$\begin{aligned} U^j &= \delta^j u_j(c_j) + \beta\delta^{j+1}u_{j+1}(c_{j+1}) \\ &\quad + \cdots + \beta\delta^T u_T(c_T) \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} U^{j+1} &= \delta^{j+1}u_{j+1}(c_{j+1}) + \beta\delta^{j+2}u_{j+2}(c_{j+2}) \\ &\quad + \cdots + \beta\delta^T u_T(c_T) \end{aligned} \tag{5}$$

これは，各期において選好が変化することから，0期からT期までを通じた時間における最大化問題を一度に解くことができないことを意味する．しかしながら，各期においては，将来までの生涯消費計画を立案し，その時点における最適解に基づいて行動しているものと考えられる．すなわち，このことは，各時点において個人が自らの消費計画問題を解き，最適な消費行動を行うという，個人を動学ゲームにおける一時的自己の連続とみなしたモデルであることを意味する (Laibson(1994)(1996)(1998)[9)10)11)])．本研究における枯渇性資源の消費計画問題においては，枯渇性資源ストックをある割合で消費し，その残存量を将来の消費に宛てるということから，各々の期の消費戦略をs_t^T，枯渇性資源ストックに対する消費割合をλ_{T-t}とすると，$s_t^T = c_t = \lambda_{T-t}K_t$と表現できる．なお，$\lambda_{T-t}$は，$0 < \lambda_{T-t} \leq 1$とする．

まず，T期には，枯渇性資源ストックK_Tに対して$u_T(c_T) = u_T(K_T)$となるために$c_T = \lambda_0 K_T = K_T$が最適消費となる．次に，Value Function$V(\bullet)$を式(6)のように定義する．

$$\begin{aligned} V(K_i) &\equiv \beta\delta\sum_{t=i}^{T}\delta^{t-i}u(\lambda_{T-t}K_t) \\ &= \beta\delta u(\lambda_{T-i}K_i) + \beta\delta^2 u(\lambda_{T-(i+1)}K_{i+1}) \\ &\quad + \cdots + \beta\delta^{T+1-i}u(\lambda_0 K_T) \end{aligned} \tag{6}$$

したがって，t期は式(7)で表現することができる．

$$\begin{aligned} &U^t(u_t,u_{t+1},\ldots,u_T) \\ &= \delta^t u_t(c_t) + \beta\delta^{t+1}u_{t+1}(c_{t+1}) \\ &\quad + \cdots + \beta\delta^T u_T(c_T) \\ &= \delta^t u_t(c_t) + \delta^t V(K_{t+1}) \end{aligned} \tag{7}$$

さらに，式(1)を用いて式(7)を消費c_tについて最大化すると式(8)を得る．

$$\frac{\partial U^t}{\partial c_t} = \delta^t u_t^{'} - \delta^t r\frac{\partial V(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}} = 0 \tag{8}$$

ここで，$V(K_{t+1})$は式(9)を意味しており，また，消費c_tは枯渇性資源ストックの関数であることから，$c_t = c_t(K_t)$とすると式(10)が成立する．

さらに，式(8)より，$\dfrac{\partial V(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}}$および$\dfrac{\partial V(K_{t+2})}{\partial K_{t+2}}$を(10)式へ代入することにより，消費のオイラー方程式(Euler Equation)である式(11)を得る．

$$\begin{aligned} V(K_{t+1}) &= \beta\delta u_{t+1}(c_{t+1}) + \delta V(K_{t+2}) \\ &= \beta\delta u_{t+1}(c_{t+1}) + \delta V(r(K_{t+1} - c_{t+1})) \end{aligned} \tag{9}$$

$$\frac{\partial V(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}} = \beta\delta\frac{\partial u_{t+1}}{\partial c_{t+1}}\frac{\partial c_{t+1}(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}} + \delta r\frac{\partial V(K_{t+2})}{\partial K_{t+1}}\left(1-\frac{\partial c_{t+1}(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}}\right) \tag{10}$$

$$u_t^{'}(c_t) = r\left[\left(\frac{\partial c_{t+1}(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}}\right)\beta\delta + \left(1-\frac{\partial c_{t+1}(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}}\right)\delta\right] \cdot u_{t+1}^{'}(c_{t+1}) \tag{11}$$

ここで，前述したように，$\beta = 1$の場合には，指数型割引関数となることから，擬似双曲線型割引関数を採用した場合の有効な割引要素は式(11)の大括弧内で表現されていることが分かる．

４．双曲線型割引関数モデル

（１）モデル

ここでは，Loewenstein and Prelec(1992)およびLaibson(1997)[12] 等による双曲線型割引関数(Hyperbolic Discount Function)を採用した枯渇性資源の生涯消費計画問題を考えるものとし，ここでのモデルの基本構造は**３．（１）**と同一であり，式(3)を式(12)に変更した場合を考える．

$$U^t(u_t(c_t), u_{t+1}(c_{t+1}), \ldots, u_T(c_T)) = \sum_{i=t}^{T}\phi_i u_i(c_i),\ \forall t \tag{12}$$

$$\text{where } \phi_t = (1+\alpha t)^{-\frac{\gamma}{\alpha}},\ \alpha, \gamma > 0$$

なお，指数関数型割引関数は，$\alpha \to 0$という特殊ケースとして双曲線型割引関数に含まれる．

（２）オイラー方程式による消費の均衡経路

ここでの生涯消費計画は，式(13)となる．すなわち，t期においてk期$(t+1 \le k \le T)$の消費計画を立案した際の消費量をc_k^tとした時，$t+1$期においてk期の消費計画を再計画した際の消費量c_k^{t+1}について，$c_k^t = c_k^{t+1}$が成立していることを意味する．

$$U^0(u_o(c_0), u_1(c_1), \ldots, u_T(c_T)) = \phi_0 u_0(c_0) + \phi_1 u_1(c_1) + \cdots + \phi_T u_T(c_T) \tag{13}$$

したがって，この場合の消費のオイラー方程式は，式(14)となり，$\phi_t = (1+\alpha t)^{-\frac{\gamma}{\alpha}}$であることから式(15)を導くことができる．

$$u_t^{'}(c_t) = r\frac{\phi_{t+1}}{\phi_t}u_{t+1}^{'}(c_{t+1}) \tag{14}$$

$$u_t^{'}(c_t) = r\left[\frac{1+\alpha t}{1+\alpha(t+1)}\right]^{\frac{\gamma}{\alpha}}u_{t+1}^{'}(c_{t+1}) \tag{15}$$

ここで，式(15)を見ると，オイラー方程式が時間tに依存して決まることが分かる．このことは，あ る$t+1$期において生涯消費計画を再計画した場合，前述したc_k^tとc_k^{t+1}について$c_k^t \ne c_k^{t+1}$となり，さらに，$c_k^{t+1} > c_k^t$となることから，個人は消費計画を変更する誘因を持つ．換言すれば，計画時点を変えて，再計画する毎に新しい再計画問題のオイラー方程式から得られる最適経路は，再びtが0から始まることになり，再計画の度毎にその計画での最適現在消費量が以前の計画量を超えることになる．このことは消費経路がステップ関数(Step Function)になることを意味している．

５．態度行動変容モデルの構築に向けて

ここでは，**３．**および**４．**において解説したモデルに，本研究における政策変数である環境教育投資をダミー変数D_t (1: with, 0: without)として導入する．なお，教育投資の質的・量的表現および教育投資のストック化に関する問題は今後の研究課題とし，本研究では最も簡便な変数処理を行うものとする．

（１）擬似双曲線型割引関数モデルの適用

まず，擬似双曲線型割引関数モデルに環境教育ダミーを導入した際の態度行動変容モデルは，式(16)のように表現することができる．ここで，μは環境教育パラメータを示す．

$$U^t(u_t(c_t), u_{t+1}(c_{t+1}), \cdots, u_T(c_T)) = \delta^t u_t(c_t) + \sum_{i=t+1}^{T}(\beta + \mu D_i)\delta^i u_i(c_i),\ \forall t \tag{16}$$

$$\text{where } 0 < \beta < 1,\ \delta \le 1,\ 0 < \mu \le (1-\beta)$$

さらに，具体的な効用関数を式(17)に示すCRRA(Constant Relative Risk Aversion：相対危険回避度一定)型効用関数であるとし，危険回避度パラメータは$\rho \in (0, \infty)$であるとする．

$$u(c_t) = \frac{c_t^{1-\rho} - 1}{1-\rho} \quad \text{if } \rho > 0, \rho \ne 1, \forall t$$
$$= \log c_t \quad \text{if } \rho = 1, \forall t \tag{17}$$

このことにより，擬似双曲線型割引関数を用いた場合の消費のオイラー方程式は，式(18)となる．

$$c_t = (r\delta)^{-\frac{1}{\rho}} \cdot \left[\frac{\partial c_{t+1}(K_{t+1})}{\partial K_{t+1}}((\beta + \mu D_{t+1}) - 1) + 1\right]^{-\frac{1}{\rho}} \cdot c_{t+1} \tag{18}$$

（２）双曲線型割引関数モデルの適用

次に，双曲線型割引関数モデルに環境教育ダミーを導入した際の態度行動変容モデルは，式(19)のように表現することができる．ここで，ηは環境教育パラメータを示す．さらに，式(17)に示したCRRA型効用関数を採用すると，この場合の消費のオイラー方程式は，式(20)となる．

$$U^t\left(u_t(c_t), u_{t+1}(c_{t+1}), \ldots, u_T(c_T)\right) = \sum_{i=t}^{T} \phi_i u_i(c_i),\ \forall t \qquad (19)$$

$$\text{where } \phi_t = \left(1+(\alpha+\eta D_t)t\right)^{-\frac{\gamma}{\alpha+\eta D_t}},\ \alpha,\gamma,\eta > 0$$

$$c_t = r^{-\frac{1}{\rho}}\left[\frac{1+(\alpha+\eta D_t)t}{1+(\alpha+\eta D_{t+1})(t+1)}\right]^{-\frac{\gamma}{\rho(\alpha+\eta D_t)}} c_{t+1} \qquad (20)$$

（３）指数型割引関数モデルの適用

最後に，指数型割引関数モデルの場合には式(21)となる．なお，指数型割引関数の場合には，暗黙に合理的個人 R を仮定していることから，本研究の考え方に従えば，環境教育の効果は無い．すなわち，長期的な態度行動変容は無いものと考える．

$$c_t = (r\delta)^{-\frac{1}{\rho}} \cdot c_{t+1} \qquad (21)$$

６．数値解析

いま，式(18)，(20)および(21)に対して，外生的にパラメータ値を与えて数値解析を試みる．なお，**表－１**に示した基本ケースにおけるパラメータの設定値の大部分は Laibson(1998)に依拠している．

表－１　数値解析のための設定値

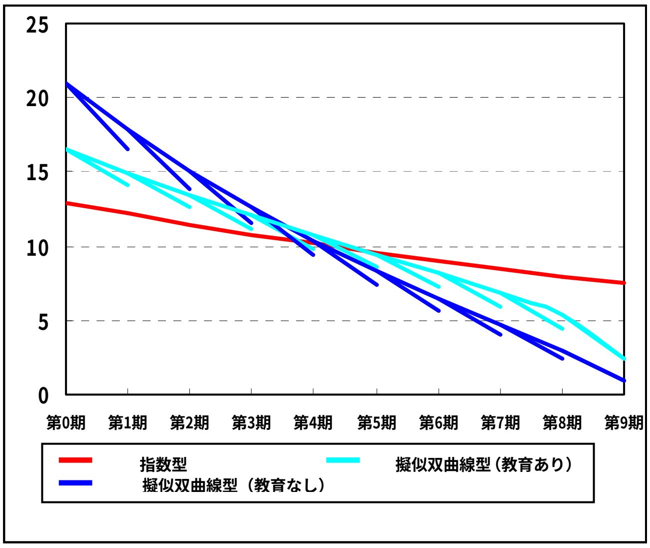
α	10^5	η	10^4
β	0.6	ρ	0.5
γ	5×10^3	T	9
δ	0.97	K_0	100
μ	0.1	r	1.0
$\hat{\beta}$	0.8		

基本ケースでは，最も単純なケースとして全ての期に環境教育を実施するものとし，環境教育ダミー・ベクトルを $\mathbf{D_t} = (1,1,1,1,1,1,1,1,1)$ とする．この数値解析結果を**図－１**～**図－２**に示す．

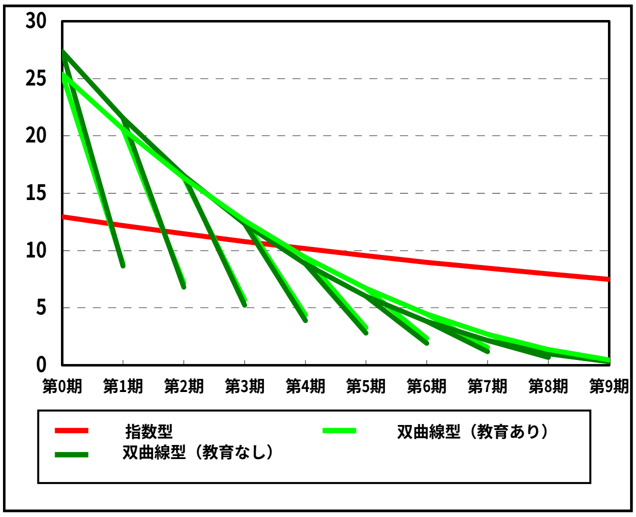
これらを見ると，擬似双曲線型および双曲線型割引関数モデルの場合は共に，現在偏重型選好のため，初期に過剰消費され，ストックが激減する．一方，環境教育を実施することにより，消費は抑制され，指数型割引関数モデルに近づくことが分かる．

７．おわりに

本研究は，現在偏重型選好であることから自制問題を有する最も一般的な自制問題を有する個人 P が，環境教育によって非合理的意思決定から合理的意思決定に変容する過程を分析するための簡便な数理モデルについて概説したものである．また，本研究における個人 P の態度行動変容等に関する詳細な数値解析結果および知見については講演時に報告したい．



図－１　環境教育による消費量の変化
（擬似双曲線型割引関数モデル）



図－２　環境教育による消費量の変化
（双曲線型割引関数モデル）

【参考文献】

1) Becker,G.S.: *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, Columbia University Press 1975.
2) Stroz,R.H.: Myopia and Inconsistency in Dynamic Utility Maximization, *Review of Economic Studies*, Vol.23, No.2, pp.165-180, 1955-1956.
3) Thaler,R.: Some Empirical Evidence on Dynamic Inconsistency, *Economics Letter*, Vol.8, pp.201-207, 1981.
4) Lowenstein,G. and D.Prelec: Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.107, pp.573-598, 1992.
5) Ainslie,G.: *Picoeconomics: The Strategic Interaction of Successive Motivational States within the Person*, Cambridge University Press, 1992.
6) O'Donoghue,T. and M.Rabin: Doing It or Later, *American Economic Review*, Vol.89, No.1, pp.103-124, 1999a.
7) O'Donoghue,T. and M.Rabin: Incentives for Procrastinators, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.114, No.3, pp.769-810, 1999b.
8) O'Donoghue,T. and M.Rabin: Choice and Procrastination, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.116, No.1, pp.121-160, 2001.
9) Laibson,D.: *Essays in Hyperbolic Discounting*, Ph.D. dissertation, MIT, 1994.
10) Laibson,D.: Hyperbolic Discount Functions, Undersaving, and Savings Policy, *NBER Working Paper*, No.5635, Cambridge, 1996.
11) Laibson,D.: Life-cycle Consumption and Hyperbolic Discount Functions, *European Economic Review*, Vol.42, pp.861-871, 1998.
12) Laibson,D.: Golden Eggs and Hyperbolic Discounting, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.112, No.2, pp.443-477, 1997.