

持続可能な経済成長に関する覚書

堂 前 豊

1 はじめに

本稿では、持続可能な経済成長のための古典的条件—‘修正された golden rule’¹⁾が、環境への明示的考慮によってどのような再修正を受けるかについて若干の検討を行う。そのために、Ramsey (1928) が提示した消費と資本蓄積に関する動的最適化モデルを、大要、次の3つの観点から修正・拡張する。

- ① 代表的個人の効用は、消費量のみならず環境にも依存すると想定する
- ② <生産—消費—廃棄>のプロセスが環境に及ぼす悪影響を考慮に入れる¹⁾
- ③ 省エネルギー、省資源化やリサイクルなどの環境に対する負荷を軽減するような方向での経済システム改革—‘環境対応型システム改革’²⁾と総称する—の役割を考慮に入れる

もとより、経済活動が環境におよぼす影響を考慮に入れて動的最適化モデルを構築し、最適化条件や最適経路を検討した研究は多数存在している。たとえば、宇沢 (1972) は、かなり早い段階から自然環境を含んだ社会的共通資本という概念を提示し、消費量と社会的共通資本の存在量に依存した効用関数を用いた分析を行っている。また、Barbier and Markandya (1990) は、消費量と環境に依存した効用関数を用いつつ、経済活動と環境の相互関連性をさまざまな観点から考慮に入れた分析を行っている³⁾。本稿の目的は、これら分析を修正・拡張するのではなく、むしろ環境を考慮に入れた可能な限りシンプルなモデルを構築し、それがラムゼー・モデルをどのように部分観として含むことになるかを、比較的単純な指標を用いて考察することにある。

本稿では、‘修正された golden rule’が一定の条件下で成立するような、環境への考慮を含む

1) <生産—消費—廃棄>のプロセスでは、さまざまな形で自然環境にダメージが及んでいる。たとえば、生産工程で生み出される産業廃棄物、ガソリン消費による排気ガスや家庭排水のように消費の段階で発生するもの、消費された後ごみとして廃棄されるものなど、リサイクルされる場合もあるが多くは何らかの形で処理されるなどして自然環境へ還元されている。また、森林、魚類などの再生可能資源の獲得は直接的に自然環境に影響を与えている。

2) ブレントラント委員会は、「持続的発展の概念には、環境をめぐる社会組織の状況あるいは生物圏が人間活動の影響を吸収する能力といった限界が内包されているが、経済成長の新たな時代への道を開くために技術・社会組織を管理し改良することは可能」との考えを提示している (大来多 (1990) p. 43の翻訳を参照した)。「環境対応型システム改革」という概念はこのようなものとして定義している。

‘再修正された golden rules’ を提示する。そこでは、人口増加率、時間選好率、技術進歩率とともに、環境対応型システム改革の進展スピードが経済成長の持続可能性⁴⁾や最適成長率を規定する重要な要因となることが示される。また、深刻な環境の退化が認識されるまで、消費や資本蓄積経路を具体的に変更するといった選択が生まれにくいことなども、あわせて示される。

以下、第2節で基本モデルを構築し、第3節で持続可能な成長の条件について考察を行う。

2 基本モデル

2.1 モデル・セッティング

モデルを構成するにあたって、以下の仮定を採用する。

仮定1：代表的個人の t 期の効用 (u_t) は、1人当たりの消費 (c_t) と環境 (E_t) に関する homothetic 効用関数 $u_t = c_t \cdot E_t$ で表され⁵⁾、時間選好率 (将来効用の割引率) は θ (> 0) である。

仮定2：消費財と資本財の生産は労働と資本を用いて行われ、労働量 (L_t)、資本量 (K_t) と生産量 (Y_t) の技術的關係は、新古典派生産関数 $Y_t = F(L_t, K_t)$ で表される⁶⁾。

仮定3：廃棄量 (W_t : フロー) と環境 (ストック) の関係は次のように表される。

$$(1) \quad E_t = E - a \cdot W_t^m \quad (E > 0, a > 0, m > 1)$$

E は廃棄ゼロのときの環境の状態を、 a と m は廃棄による環境悪化の程度を示すパラメーター。環境の退化 (degradation) が起こると、 E は小さく、 a と m は大きくなる。

仮定3は、次のような想定を踏まえたものである。

- (i) 廃棄量が増大するほど環境は悪化し、悪化の度合いも大きくなる⁷⁾。
- (ii) 環境の退化が起こらない限り、同様の廃棄を繰り返しても、環境は一定の状態を維持できる。
- (iii) 環境の退化は断続的に起こる⁸⁾。
- (iv) 環境の退化が起こると、退化前後で廃棄量が変わらなくとも、環境は悪化する。

3) Barbier and Markandya (1990) は、長期的な生態学的バランスを崩し、環境を悪化させる要因として次の3点を指摘し分析を行っている。

- ① 再生可能資源をその再生スピードを超えて獲得する
- ② 枯渇性資源を代替的な再生可能資源の開発スピードを超えて採掘する
- ③ 自然環境の吸収能力を超えた廃棄を行う

4) D. W. Pearce, A. Markandya, and E. B. Barbier (1989) は、持続可能な経済成長について、「1人当たり GDP が時間の経過にともない増加しつつあることに加えて、生物物理学的なインパクト (公害、資源問題)、あるいは社会的インパクト (社会的破壊) のいずれかからのフィードバックによって、その増加が脅かされていけないような状態」と定義している。彼らの定義によれば、本稿の考察は、生物物理学的インパクトのいくつかを主として考慮しているという位置づけになろう。

5) 効用関数はさまざまな形の単調変換が可能であるから、homothetic 効用関数のうち最も単純な形を採用した。

6) ここでは、環境が生産におよぼす影響を捨象している。

7) $m > 1$ は、廃棄による環境の限界損失が増大することを示している。

仮定4：廃棄量は、社会全体の消費量（ C_t ）と経済システムの環境対応能力に依存して決まり、それらの関係は次のように表される。

$$(2) \quad W_t = \frac{\varepsilon \cdot C_t}{A_t} \quad (\varepsilon > 0, A_t > 0)$$

A_t は経済システムの環境対応能力を示すパラメーターである。

仮定5：環境対応型システム改革が実施されると、経済システムの環境対応能力は向上する⁹⁾。環境対応型システム改革の進展スピードは、それがもたらす環境対応能力の増加率(a)で測られる。

仮定6：人口増加率(n)と環境対応型システム改革の進展スピードはともに外生的に決定される。

1人当たり消費量を c_t 、期首の人口(≡労働量)を L_0 、期首の経済システムの環境対応能力を A_0 とすると、仮定5、6から $C_t = c_t \cdot L_0 \cdot \exp(n \cdot t)$ 、 $A_t = A_0 \cdot \exp(a \cdot t)$ が導かれる。さらに、これらと(2)式を(1)式に代入すると、1人当たり消費量、時間やさまざまなパラメーターと環境との関係を定式化することができる。

$$(3) \quad E_t = E - \beta \cdot \{c_t \cdot \exp[(n - a) \cdot t]\}^m$$

ただし、 $\beta = a \cdot (\varepsilon \cdot L_0 \cdot A_0^{-1})^m$ である。環境の退化が起こると、Eの低下、mの上昇とともに β が大きくなることには注意が必要である。

2.2 最適化条件の導出

以上を前提として、本稿における動的最適化問題を次のように表現する。

$$\begin{aligned} & \max_{\{c_t, E_t\}} \int_0^{\infty} c_t \cdot E_t \cdot \exp(-\theta \cdot t) dt \\ & \text{s.t. } E_t = E - \beta \cdot \{c_t \cdot \exp[(n - a) \cdot t]\}^m \\ & \quad f(k_t) = c_t + \frac{dk_t}{dt} + n \cdot k_t \\ & \quad k_t, c_t, E_t \geq 0 \\ & \quad k_0 \text{ given.} \end{aligned}$$

8) これは、環境の退化をパラメーターに反映させるための単純化の想定である。ただし、「自然に対するダメージがある程度の期間続かなければ自然の吸収能力はそれほど大きく変化しない」という見方は必ずしも非現実的とは言い切れないであろう。また、人々の環境の退化に関する期待が「静学的」である場合、環境の退化の状態はパラメーターとして受けとめられるはずである。さらに、環境の退化に人々が気づき、かつ、行動選択のためにその認識を活用するのは比較的大きな退化が起こったときなどに限定されるという可能性も考えられる。この場合、「意思決定に影響をおよぼすような環境の退化は断続的に起こる」と解釈することができる。

9) 環境対応型システム改革には本来、労働や資本の投入が必要であるが、本稿では生産に関する技術進歩の扱いと同様に、この点を捨象して議論している。

$f(\cdot)$ は1人当たり生産量, k_t は1人当たり資本量 ($\equiv K_t/L_t$) を表している。

最適化条件は, 現在価値ハミルトニアン関数を次のように設定して導出する。

$$H_t \equiv c_t \cdot \{E - \beta \cdot \{c_t \cdot \exp[(n-a) \cdot t]\}^m\} \cdot \exp(-\theta \cdot t) + \mu_t \cdot \{f(k_t) - c_t - n \cdot k_t\}$$

最適化の必要十分条件は, $H_c = 0$, $\frac{d\mu_t}{dt} = -H_k$, $\lim_{t \rightarrow \infty} k_t \cdot \mu_t = 0$ である。これらを整理したものが次の (4), (5) 式である。

$$(4) \quad \frac{dc_t/dt}{c_t} = \frac{1}{m} \cdot \left\{ \frac{E \cdot [f'(k_t) - n - \theta]}{(1+m) \cdot \beta \cdot c_t^m \cdot \exp(m \cdot [n-a] \cdot t)} - [f'(k_t) - n - \theta + m \cdot (n-a)] \right\}$$

$$(5) \quad n - a < \theta/m \text{ (transversality condition)}$$

3 成長の持続可能性のための諸条件

本節では, 2節で示したモデルの構造とその含意を考察し, いくつかの命題と系を導出したい。なお, 本稿でも, 1人当たり(有効)消費量と1人当たり(有効)資本量が, それ自身への収束経路を持つ定常状態, もしくはその収束経路上にあるならば成長は持続可能であるとする。この観点に立つと, 人口増加率(n), 技術進歩率(λ)と環境対応型システム改革の進展スピード(a)の関係が決定的に重要となる。

以下では, これらの点に留意しつつ, まず生産に関する技術進歩がないこと($\lambda = 0$)を前提に, $n \neq a$ と $n = a$ の場合について考察を行う。その上で, 技術進歩のある場合に議論を拡張したい。

3.1 人口増加率と環境対応型システム改革の進展スピードが一致しない場合

$n \neq a$ の場合には, (c_t, k_t) についての定常状態は残念ながら存在し得ない。

この点は, 次のようにして簡単に確認できる。

定常状態が存在するためには, 少なくとも(4)式の値がゼロとなる必要がある。いま, 定常状態における1人当たり消費量と資本量を (c^s, k^s) とすると, 次式が成立しなければならない。

$$c^s = E^{\frac{1}{m}} \cdot \left\{ (1+m) \cdot \beta \cdot \exp(m \cdot [n-a] \cdot t) \cdot \left[1 + \frac{m \cdot (n-a)}{f'(k^s) - n - \theta} \right] \right\}^{-\frac{1}{m}}$$

しかし, $n \neq a$ の場合, この式は, k^s が不変であれば c^s は時間とともに変化しなければならないことを示している。これは定常状態の定義と明らかに矛盾している。

3.2 人口増加率と環境対応型システム改革の進展スピードが一致する場合

$n = a$ の場合, (4), (5) 式は次のように簡略化される。

$$(4') \quad \frac{dc_t/dt}{c_t} = \frac{1}{m} \cdot \left\{ \frac{E}{(1+m) \cdot \beta \cdot c_t^m} - 1 \right\} \cdot [f'(k_t) - n - \theta]$$

$$(5') \quad \theta/m > 0 \text{ (transversality condition)}$$

これらを前提に, モデルの構造を図1~4の位相図を用いて検討してみよう。

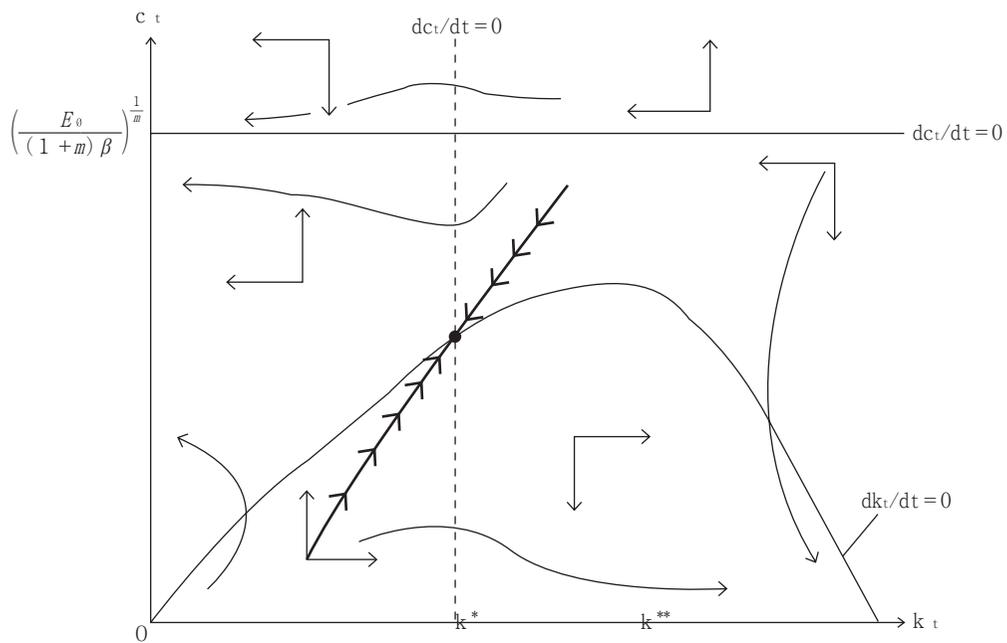


図 1

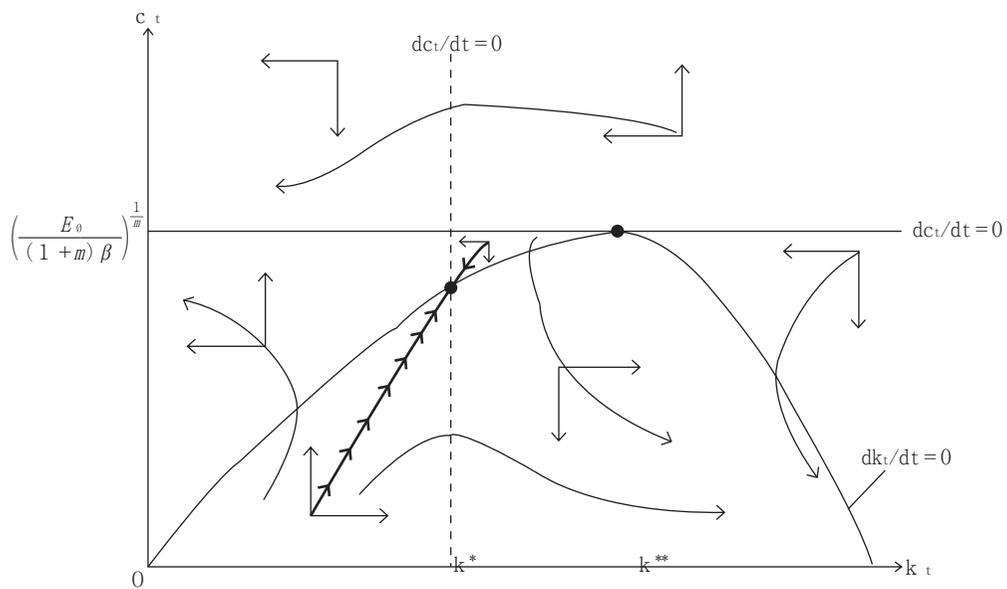


図 2

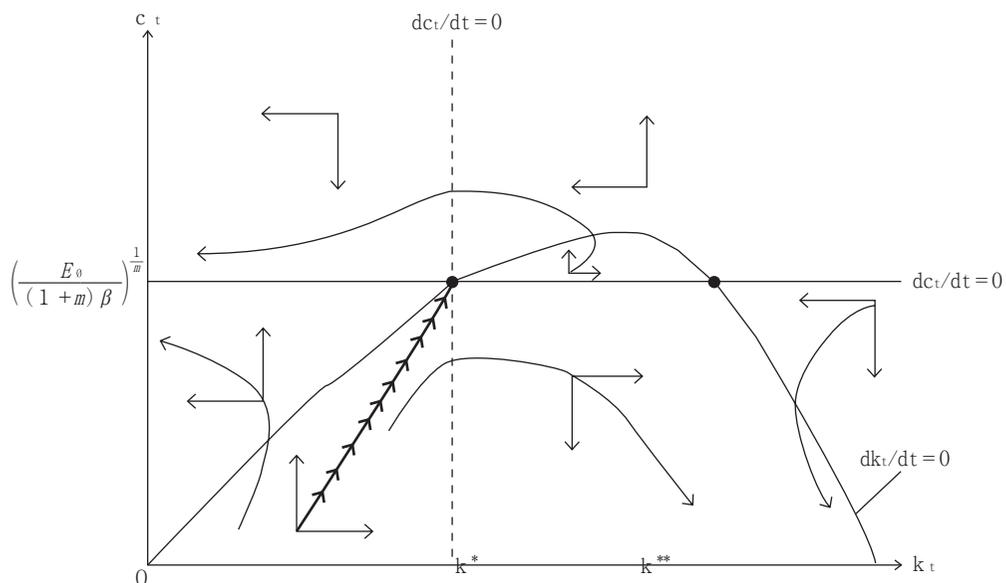


図3

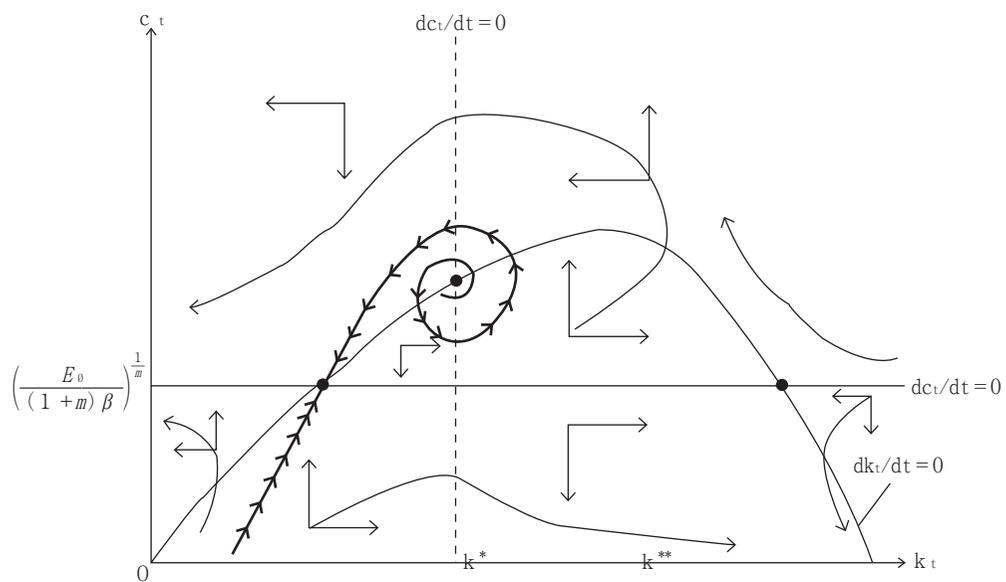


図4

まず、 $f'(k^*) = n + \theta$ 、 $f'(k^{**}) = 0$ であることも含めて、図1の水平線（実線）の下方領域はラムゼー・モデルの位相図と全く同様の構造になっていることに注目したい。この点に注意して、図1～4をラムゼー・モデルと比較すると、水平線（実線）の下方領域における矢印は両者において全て等しい方向を指す一方で、上方領域では c_t に関する矢印が反対方向を指していることに気づくはずである。

次に、水平線（実線）の位置を決めているのは、(4')式の $\{ \cdot \}$ をゼロとするような1人当たり消費量、すなわち、 $c_d \equiv \left(\frac{E}{(1+m) \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{m}}$ であることに着目しよう。環境の退化が起こると（Eは低下、mと β は上昇するので） c_d は低下する。したがって、環境の退化が進行することで順に現れてくる4通りの位相図を、図1～4は表していることになる。

ところで、 c_d が⁹、実は「代表的個人の消費に対する環境の限界代替率＝限界転形率」を満たす1人当たり消費量であることを、簡単に確認できる¹⁰⁾。この点を踏まえると、水平線（実線）の上方領域（ $c_t > c_d$ ）では限界代替率<限界転形率が、下方領域（ $c_t < c_d$ ）では限界代替率>限界転形率が成立していることがわかる。また、 c_d が環境の退化の進行によって低下するのは、環境が希少になるほど限界代替率と限界転形率を一致させる1人当たり消費量が低下することによると、解釈できる。

さらに、図1～4に示される定常状態（ $c_t = 0$ となる場合は除く）の特徴を整理すると、次のようになる。

図1：定常状態は1つ。時間とともに収束していく経路が存在する。

図2：定常状態は2つ。時間とともに収束していく経路が存在するものは1つのみ。それは、図1の定常状態に一致。

図3：定常状態は2つ。時間とともに収束していく経路が存在するものは1つのみ。それは、図1の定常状態に一致。

図4：定常状態は3つ。時間とともに収束していく経路が存在するものは1つのみ。それは、図1の定常状態とは異なり、1人当たり消費量と資本量はともに小さくなっている。

以上を整理したものが、次の命題1である。

命題1： $n = a$ のとき、環境の退化の状態にかかわらず、それ自身への収束経路を持つ定常状態は1つ存在する。また、そのような定常状態（ c^s, k^s ）では次の条件が満足される。

(i) $f'(k^s) = n + \theta$ 、 $c^s = f(k^s) - n \cdot k^s \cdots \cdots c_d \geq f(k^*) - n \cdot k^*$ の場合

(ii) $f'(k^s) > n + \theta$ 、 $c^s = c_d = f(k^s) - n \cdot k^s \cdots \cdots c_d < f(k^*) - n \cdot k^*$ の場合

10) 代表的個人の効用関数 $u_t \equiv c_t \cdot E_t$ 、環境と1人当たり消費量との関係を示す関数 $E_t = E - \beta \cdot c_t^m$ ($n = a$ のとき) から、限界代替率（ $= \{E - \beta \cdot c_t^m\} \cdot c_t^{-1}$ ）と限界転形率（ $= m \cdot \beta \cdot c_t^{m-1}$ ）を求め、両者を均等化させる c_t を求めてみると、 $c_t = \left(\frac{E}{(1+m) \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{m}}$ が成立する。これは明らかに c_d そのものである。

なお、 c_d は消費に対する環境の限界代替率と限界転形率を等しくする1人当たり消費量で、環境の退化が起これると c_d は低下する。

命題1を前提すると、次の系1—1、系1—2も成立する。

系1—1 : $n = a$ のとき、環境の退化の状態にかかわらず、最適成長率は $n (= a)$ に一致する¹¹⁾。

系1—1は、定常状態 (c^s, k^s) が最適化条件を満たしているので、その総和—人口に比例して消費量、資本量と生産量が増大すること—も最適化条件を同時に満たすことから明らかである。

系1—2 : $n = a$ のとき、定常状態 (c^s, k^s) において、廃棄量と環境は一定値をとる。

系1—2は、消費量が人口に比例して増大し環境対応型システム改革も同じスピードで進展する場合、(2)、(3)式を用いて、 $W^s = \varepsilon \cdot L_0 \cdot A_0^{-1} \cdot c^s$ 、 $E^s = E - \beta \cdot c^{s,m}$ が成立することから確認できる。

3.3 生産に関する技術進歩のある場合

次に、生産に技術進歩のある場合、以上の議論がどのように修正・拡張されるかについて簡潔に検討したい。生産に関する技術進歩はハロッド中立的であると仮定する。

技術進歩の度合いを示すパラメーターを $B_t = B_0 \cdot \exp(\lambda \cdot t)$ と設定し、1人当たり有効消費量 (\bar{c}_t)、1人当たり有効生産量 ($\bar{f}(\cdot)$)、1人当たり有効資本量 (\bar{k}_t) をそれぞれ、 $\bar{c}_t = c_t/B_t$ 、 $\bar{f}(\cdot) = f(\cdot)/B_t$ 、 $\bar{k}_t = k_t/B_t$ と定義する。なお、 λ は技術進歩率である。

以上のように再定義された変数を用いて、動的最適化問題を表現すると次のようになる。

$$\begin{aligned} & \max_{\{\bar{c}_t, E_t\}} \int_0^{\infty} \bar{c}_t \cdot E_t \cdot \exp(-[\theta - \lambda] \cdot t) dt \\ \text{s.t.} \quad & E_t = E - \gamma \cdot \{\bar{c}_t \cdot \exp[(n + \lambda - a) \cdot t]\}^m \\ & \bar{f}(\bar{k}_t) = \bar{c}_t + \frac{d\bar{k}_t}{dt} + (n + \lambda) \cdot \bar{k}_t \\ & \bar{k}_t, \bar{c}_t, E_t \geq 0 \\ & \bar{k}_0 \text{ given.} \end{aligned}$$

ただし、 $\gamma = B_0 \cdot \beta$ である。

この問題は、2節2項で示した問題の $u_t, c_t, f(\cdot), k_t, \theta, n, \beta$ を、それぞれ $\bar{u}_t, \bar{c}_t, \bar{f}(\cdot), \bar{k}_t, \theta - \lambda, n + \lambda, \gamma$ へ変換したものとなっている。これは、これまでの議論を援用可能であることを示している。ただし、 u_t の $\bar{u}_t (= \bar{c}_t \cdot E_t)$ への変換には注意が必要である。 \bar{u}_t は、 E_t を不変として代表的個人の効用を一定に維持するためには、技術進歩と同じスピードで c_t が増大していく必要がある（この場合 \bar{c}_t は不変）、という性質を持つからである。この点につ

11) ここでは定常状態における最適成長率のみを考えている。

いて、本稿では、 \bar{u}_t が「人は、豊かになるほど消費量を増大させないと満足できなくなる傾向を持つ」という想定を反映していると解釈しておきたい。なお、 c_d は、 $\bar{c}_d (\equiv B_0^{-m} \cdot c_d)$ へと変換される。

これらを前提に、3節1項、2項での検討結果を再解釈し、そこから得られる結論を整理したものが、次の命題2である。

命題2 : $n + \lambda = a$, $\lambda < \theta$ ¹²⁾ のとき、環境の退化の状態にかかわらず、それ自身への収束経路を持つ定常状態は1つ存在する。また、そのような定常状態 (\bar{c}^s, \bar{k}^s) では次の条件が満足される。

- (i) $\bar{f}'(\bar{k}^s) = n + \theta$, $\bar{c}^s = \bar{f}(\bar{k}^s) - (n + \lambda) \cdot \bar{k}^s$ …… $\bar{c}_d \geq \bar{f}(\bar{k}^*) - (n + \lambda) \cdot \bar{k}^*$ の場合
- (ii) $\bar{f}'(\bar{k}^s) > n + \theta$, $\bar{c}^s = \bar{c}_d = \bar{f}(\bar{k}^s) - (n + \lambda) \cdot \bar{k}^s$ …… $\bar{c}_d < \bar{f}(\bar{k}^*) - (n + \lambda) \cdot \bar{k}^*$ の場合

なお、 \bar{c}_d は有効消費に対する環境の限界代替率と限界転形率を等しくする1人当たり消費量で、環境の退化が起こると \bar{c}_d は低下する。

命題2より、次の系2—1、系2—2が導かれる。

系2—1 : $n + \lambda = a$ のとき、環境の退化の状態にかかわらず、最適成長率は $n + \lambda (= a)$ に一致する。

系2—1は、定常状態 (\bar{c}^s, \bar{k}^s) が最適化条件を満たしているので、その総和—人口増加と技術進歩を反映して消費量、資本量と生産量が増大すること—も最適化条件を同時に満たすことから明らかであろう。

系2—2 : $n + \lambda = a$ のとき、定常状態 (\bar{c}^s, \bar{k}^s) において、廃棄量と環境は一定値をとる。

系2—2は、消費量が人口増加と技術進歩を反映して増大する一方、環境対応型システム改革が同じスピードで進展する場合、(2)、(3)式を用いて、 $W^s = \varepsilon \cdot L_0 \cdot A_0^{-1} \cdot \bar{c}^s$, $E^s = E - \beta \cdot \bar{c}^{sm}$ が成立することから、確認できる。

3.4 含意

‘再修正された golden rules’ ここで、環境を考慮に入れてラムゼー・モデルを修正・拡張した本稿のモデルが、‘修正された golden rule’ に対してどのような再修正を要請しているかについて、簡潔にまとめておきたい。

まず、確認したいのは、命題1、2の(i)で示される条件は‘修正された golden rule’であること。しかし、それはいくつかの制約条件下でのみ成立することである。さらに、命題1、2の(ii)で示される条件は、それ自体が‘修正された golden rule’とは異なっている。これらを、より具体的に整理して表現すると次のようになる。

再修正ポイント1 : ‘修正された golden rule’ が成立するには、まず人口増加や技術進歩による

12) $\lambda < \theta$ は、transversality condition である。

社会全体の消費量増大と同じスピードで環境対応型システム改革が進む必要がある ($n + (\lambda) = a$)。

再修正ポイント1は、廃棄量と環境が一定水準に保たれなければ、1人当たり(有効)消費量と1人当たり(有効)資本量が「それ自身への収束経路を持つ定常状態」を持つことはできないことに起因している。

再修正ポイント2：‘修正された golden rule’ が成立するには、環境の退化が一定限度を超えないことが必要である。

再修正ポイント2は、1人当たり(有効)消費量に対して環境が豊富であれば、(有効)消費量を抑制して環境を改善しても効用が低下してしまうことに起因している。この場合、人口増加と時間選好を考慮したうえでの最大限の1人当たり(有効)消費量を選択することが合理的となる(‘修正された golden rule’)。

再修正ポイント3：環境の退化が一定限度を超えると、‘修正された golden rule’ は不成立となる。このとき、選択される1人当たり(有効)消費量は、(有効)消費の環境に対する限界代替率が限界転形率と等しくなる水準まで低下する。これに伴い、1人当たり(有効)資本量も低下する。

再修正ポイント3は、1人当たり(有効)消費量に対して環境が希少であれば、(有効)消費量を抑制して環境を改善すると効用が高まることに起因している。この場合は、技術的に(有効)消費量の拡大が可能であっても、1人当たり(有効)消費量を削減しようとするのである。

環境の退化と政策変更 次に、環境の退化が(断続的ではあるが)着実に進行し続けるとき、消費や資本蓄積経路の選択がいかなる影響を受けるかについて、検討しておきたい。これは、命題1、2の(i)から(ii)、もしくは図1から図4へと着実に位相が変化していく場合の、消費や資本蓄積経路を考えることに対応している。

まず、環境の退化が起こるたびに、政府は環境に関する認識を改定し、最適成長経路を再考するであろう。しかし、命題1、2から明らかのように、深刻な環境の退化が認識されるまでは、消費や資本蓄積経路を具体的に変更するといった選択を政府はしないと思われる。なぜなら、そうした選択は、代表的個人の最適化行動(効用最大化)に抵触するからである(図1~3)。しかし、やがてそれらの選択が必要な局面を迎え、その後は、消費や資本蓄積経路の変更を繰り返していくことになる(図4)。

このシナリオは、環境の退化が着実に進行するような状況下では、政策決定に当たって現状追認的に環境を考慮に入れるだけでは、持続可能な成長は実現できない可能性が高いことを示唆している¹³⁾。

13) 環境の退化が着実に進展するような状況では、中長期にわたる環境ビジョンを整備し(将来にわたる環境に関するパラメータを予測し)、それを政策決定に反映していかない限り、このようなシナリオの蓋然性は低くならないであろう。

4 おわりに

本稿では、持続可能な経済成長のための古典的条件—‘修正された golden rule’が、環境への明示的考慮によってどのような修正を受けるかについて若干の検討を行った。効用と環境、消費と環境（悪化）、環境対応型システム改革の役割などに注目して、環境への考慮をモデルに組み込んだが、可能な限りシンプルな構造を作るという観点から捨象した要因は多数にのぼった。その中でも、環境が生産におよぼす影響や環境投資の役割の捨象などが本稿のモデルの重要な限界点となっている。しかし、シンプルなモデル構築によって、‘修正された golden rule’が成立するために必要な最低限の条件がいかなるものであるかが、浮き彫りになったと思う。また、ラムゼー・モデルの背後に隠された制約の厳しさを明確な指標を用いて示すこともできた。たとえば、「‘修正された golden rule’が成立するには、人口増加や技術進歩による社会全体の消費増大と同じスピードで環境対応型システム改革が進む必要がある」という再修正ポイント1は、廃棄量と環境の定常性を担保するために必要な条件であるが、本当に厳しいものである。

ところで、本稿でもっとも苦慮したのは、廃棄量と環境の定式化であった。廃棄量と環境の定常状態をシンプルに表現できるように、想定を工夫したつもりである。結果的に、環境の退化を内生化できないなどの限界を持つことにもなったが、定常状態に焦点を充てた本稿のような議論では、モデルの使い勝手をかなり良くするのではと考えている。

（本稿は、環境経済・政策学会1996年大会（中央大学）での報告をもとに、大幅に改定を加えたものである。コメンテーターのICU・海蔵寺大成氏に改めて感謝申し上げる。）

主要参考文献

- Barbier, E. B. and Markandya, A. (1990), "The Conditions for Achieving Environmentally Sustainable Development," *European Economic Review*, 34 (2-3), May, pp. 659-669
- Blanchard, O. J. and Fischer, S. (1989), *Lectures on Macroeconomics*, The MIT Press
- David W. Pearce, Anil Markandya, and Edward B. Barbier (1989), *Blueprint for a Green Economy*, Earthscan Publications
- Kjell Holmaker and Thomas Sterner (1999), "Growth or Environmental Concern: Which Comes First? Optimal Control with Pure Stock Pollutants", *Environmental Economics and Policy Studies*, 2
- Michael A. Toman, A. John Pezzy, and Jeffrey Krautkraemer (1995), "Neoclassical Economic Growth Theory and Sustainability," *Handbook of Environmental Economics*/edited. By Daniel W. Bromley, Blackwell, pp. 139-165
- Ramsey, Frank. P (1928), "A Mathematical Theory of Saving," *Economic Journal*, 38, No. 152, Dec, pp. 543-559
- 大来左武郎 (1990) 『地球環境と経済』 講座「地球環境3」中央法規出版
- 宇沢弘文 (1972) 「社会的共通資本の理論的分析」『経済学論集』第38巻, 第1号, 第3号

脇田茂 (1998) 『マクロ経済学のパースペクティブ』 日本経済新聞社