

## 発展途上国における技術の選択，経済成長と環境政策

谷，晶紅  
九州大学大学院経済学府

<https://doi.org/10.15017/3000453>

---

出版情報：経済論究. 134, pp.55-68, 2009-07. 九州大学大学院経済学会  
バージョン：  
権利関係：



# 発展途上国における技術の選択，経済成長と環境政策

谷 晶 紅\*

## 1. はじめに

近年，地球温暖化が進行し，温室効果ガス排出の大幅な削減が求められている。その大規模な排出削減を達成するために，先進国だけではなく，発展途上国での温室効果ガス削減も重要な課題となる。しかしながら，途上国は貧困問題，公害問題と地球環境問題に同時に直面している状態にあり，環境問題よりも経済発展を優先する。したがって，温暖化対策面での自助努力には技術・資金での限界がある途上国にとって，持続可能な開発と地球環境保全を同時に実現するために，先進国からの資金・技術移転を拡大することが望まれる。すなわち，「温暖化は先進国が造り出した問題だ」として削減数値の義務化を拒絶している途上国に対し，先進国は，途上国が一定の義務を負う代わりに資金援助や技術提供を行う「アメと鞭」の対応が必要である。しかしながら，両者の間における技術支援の需給は必ずしも一致しておらず，2007年12月に気候変動枠組み条約の第13回締約国会議（COP13）が開催されるが，この溝は解決されなかった。したがって，次のような問題を経済分析に組み込むことは有益であると考えられる。

- 1) 近い将来，途上国が地球温暖化を防止するための国際条約に参加し，排出量の総量規制を導入する場合に，汚染排出が減少するが，経済活動が抑止される可能性もある。そこで，途上国が国際条約で合意した排出削減量は経済発展にどのような影響を与えるか。
- 2) 先進国が先進技術を移転することで，発展途上国は経済発展と環境保全の両立を実現できるであろうか。
- 3) 発展途上国が貧困撲滅，環境保全，経済成長を同時に実現させるために，どのような政策が有効であるか。

環境問題と経済発展の関係を考える際の一つの仮説として，「環境クズネツ曲線」(Environmental Kuznets Curve: EKC) 仮説がある。EKC 仮説とは，所得と汚染排出の間に逆U字型関係が存在するという仮説である。環境汚染は経済発展の初期段階で悪化していくが，所得がある水準を超えると，環境汚染が逆に減少されていく。John and Pecchenino (1994) は，世代重複モデル (Overlapping Generations Model) を用いて，消費から汚染物質を排出すると想定して，汚染ストックを対象にした環境クズネツ曲線を導出し，社会的厚生を上昇させるためにはある程度経済成長を犠牲にしても，排出量を低減させるべきという示唆が得られている。そして，多くの研究がそれらの結果をふまえて

---

\*九州大学大学院経済学院博士後期課程。E-mail: kokushoukou@gmail.com.

環境政策のありかたを探った。Fisher and van Marrewijk (1998), Grimaud (1999) は分権経済で厚生を改善するために環境税の有効性を分析した。Ono (2002) は世代重複モデルを用いて環境破壊物質の排出権取引が経済成長と環境に与える影響を分析し、汚染排出に対して極度の制限を行なわれれば経済成長を抑制するのみならず、長期的には環境の質をも悪化させることを示した。また、越境汚染や温室効果ガスを想定し、CDMや共同実施のような手段による国際的な協調というテーマを取り扱った研究としては、Hagem (1996), イヶ崎 (1998) などがある。Hagem (1996) は非対称情報のもとでの共同実施を考察し、両国の厚生がどのように変化するかという観点を分析しています。イヶ崎 (1998) は先進国と発展途上国の排出削減にむけた共同実施がなされるようなシステムを想定している。彼は資金援助と技術移転の効果を比較し、共同実施がなされるための諸条件について検討した。

以上の先行研究と異なり、本稿は「先進国が途上国に技術移転を行い、途上国がそれに応じて、排出量の総量規制を導入する」のような状況を想定し、発展途上国における技術の選択、経済成長、環境との関係について分析する<sup>1)</sup>。分析に当たって、John and Pecchenino (1994) にならい、世代重複モデルに、環境ストックを取り入れる。しかも、汚染物質は生産過程からのみ排出されるものとする。こういうフレームワークで、主として、排出量の割当が技術の選択と経済成長にどのように影響するか、先進技術の移転で発展途上国が貧困・環境悪化の罠から脱出できるのか、できるとすればどのような条件が必要なのか、また、どのような政策が実施されれば、高い経済成長を維持しながら環境を改善させるような良い持続的成長経路の達成が可能であるかといった点を検討する。

本稿の以下の部分は次のように構成される。2節で基本モデルが示される。続く3節では、均衡条件を導出し、経済成長のパターンを考察する。そして、4節において、貧困の罠に堕ちている経済を持続的発展に導くために、考えられる政策について分析する。なお、環境保全を強化する政策の実施は技術の選択、経済成長および環境への効果についても考察し、政策的なインプリケーションを提示する。最後の5節では結論を述べて、今後の課題について言及する。

## 2. モデル

すべての個人が2期間存在する重複モデルを想定しよう。每期1の人口が生まれ、人々同質であるとする。ある世代が第2期に入る時に、新しい世代が第1期に登場するという形で重複している。第1期を若年期、第2期を老年期と呼ぶ。第1期にある若年世代は保有している1単位の労働を供給して賃金を得る。経済は企業、政府と家計から構成され、本節の以下では各経済主体の行動について規定する。

### 2.1 生産活動

経済において、利用できる生産技術は2種類あり、1つは国内既存の収穫一定技術である。もう1つは先進国から移転される収穫逡増の先進技術である。以下で、それぞれの技術の下では、生産活動

1) 本稿では途上国だけを考察対象とし、先進国に関する分析を行わないことにする。

がどのように行われるかについて検討する。

### 2.1.1 収穫一定技術

財は単一かつ同質であり, ニュメレール財として完全競争的である市場において単位価格で売却されるものとする。そして, 無数の小企業は市場から生産要素を調達し, 生産活動を行う。汚染が財の生産に伴って排出されるものとする。Taylor (1994, 1999), Stokey (1998) などにならない, 汚染排出量と投入要素 (本稿では労働と資本である) の生産関数として表わされる。これらの企業を産業レベルにまとめ,  $t$  期における生産関数を次のように設定する。

$$Y_t = K_t^\alpha P_t^\beta L_t^{1-\alpha-\beta}, \quad \alpha > 0, \beta > 0, 1-\alpha-\beta > 0. \quad (1)$$

ただし,  $Y_t, K_t, P_t, L_t$  はそれぞれ生産量, 資本ストック, 汚染排出量 (Pollution) と労働であり,  $\alpha, \beta$  は生産性の弾力性を表すパラメータである<sup>2)</sup>。政府が地球温暖化を防止するための国際条約に参加し, 排出量の総量規制を導入し, 各期の汚染排出量を企業に配分する。各期の排出量の総量を  $Q$ , 企業  $i$  に配分する排出量を  $Q^i$  とすると,  $\int Q^i di = Q$  が成り立つ。排出量取引市場で成立している排出量取引価格を  $q_t$ , 企業  $i$  が生産に使用される排出枠を  $P_t^i$  とすると, 排出枠の購入 (売却) による支出 (収入) は  $q_t(P_t^i - Q^i)(q_t(Q^i - P_t^i))$  となる。各企業は各期において資本のレンタル価格  $r_t^{pr}$ , 汚染排出量の取引価格  $q_t^{pr}$ , 賃金  $w_t^{pr}$  を所与として利潤を最大化する。各企業の利潤は

$$\pi_t^{pr} = K_t^\alpha P_t^\beta L_t^{1-\alpha-\beta} - r_t^{pr} K_t - w_t^{pr} L_t + q_t^{pr} (Q - P_t) \quad (2)$$

のようになる。生産技術は規模に関して収穫一定であるため, プラスの生産量が行われるとき, 各生産要素の限界生産物が価格に等しくなるように生産が行われる。したがって, 資本レンタル価格, 排出量取引価格と賃金は

$$r_t^{pr} = \alpha K_t^{\alpha-1} P_t^\beta, \quad (3)$$

$$q_t^{pr} = \beta K_t^\alpha P_t^{\beta-1}, \quad (4)$$

$$w_t^{pr} = (1-\alpha-\beta) K_t^\alpha P_t^\beta. \quad (5)$$

で与えられ,  $q_t^{pr} Q$  は利潤となる。ここで,  $L_t$  は常に 1 であることに注意しておく。

### 2.1.2 収穫逓増技術

途上国が先進国からの技術移転により, 収穫逓増技術を利用することができる<sup>3)</sup>。一般的に, 海外から技術を導入する際, その技術水準が高ければ高いほど困難性が増すと考えられ, 技術を移転する際に実質コストが生じる。本稿では, 議論を簡潔にするために, 移転費用が発生しないことにする。移転された収穫逓増技術の下で, 生産活動が最終財部門と中間財部門の 2 つの部門で行われる。

#### 最終財部門

最終財市場は完全競争的であるものとする。最終財は  $[0, 1]$  の区間に連続存在する各中間財により生

2) 財の生産関数は資本ストック, 汚染排出量と労働に関する一次同次の関数になっていることに注意しておく。

3) 通常  $R\&D$  活動を源泉とする内生的成長理論は, Romer (1987, 1990), Grossman and Helpman (1991) のように, Dixit and Stiglitz (1997) や Ethier (1982) 型の生産関数を基礎にしている。ただし, ここでは必要以上に複雑となるため, 以下のようにモデルを設定した。

産される。生産関数は次式で規定される。

$$Y_t = \left[ \int_0^1 X_t(i)^\zeta di \right]^{1/\zeta}, \quad 0 < \zeta < 1. \quad (6)$$

ただし、 $Y_t$ は最終財の生産量、 $X_t(i)$ は中間財  $i$  の投入量である。 $\zeta = 1 - 1/\sigma$ 、ここで、 $\sigma$  は中間財の限界代替率を表わすパラメータである。最終財企業は各中間財企業によって決定される価格  $p_t(i)$  ( $i \in [0, 1]$ ) を所与として、各期において利潤を最大化する。最終財  $Y$  の市場は完全競争の状態にあるため、最終財企業による中間財  $i$  に対する逆需要関数が以下のように与えられる。

$$p_t(i) = \left( \frac{X_t(i)}{Y_t} \right)^{\zeta-1}. \quad (7)$$

### 中間財部門

中間財市場は独占競争的であるものとする。 $[0, 1]$  区間に連続的に存在する中間財企業が収穫逓増の技術を用いて中間財を生産する。中間財企業  $i$  が老年世代  $i$  によって所有され、次の生産関数にしたがって生産を行う。

$$X_t(i) = K_t(i)^a P_t(i)^b L_t(i)^c, \quad a \geq 1, \quad b > 0, \quad c > 0. \quad (8)$$

ただし、 $K_t(i)$ 、 $P_t(i)$ 、 $L_t(i)$  はそれぞれ中間財企業  $i$  で投入される資本ストック、汚染排出量と労働である。中間財企業  $i$  が(7)で与えられている需要関数に直面し、資本のレンタル価格  $r_t^{ad}$ 、汚染排出量取引価格  $q_t^{ad}$ 、賃金  $w_t^{ad}$  を所与として、次の利潤を最大化する<sup>4)</sup>。

$$\begin{aligned} \pi_t(i)^{ad} &= p_t(i) X_t(i) - r_t^{ad} K_t(i) - w_t^{ad} L_t(i) + q_t^{ad} (Q - P_t(i)), \\ &= K_t(i)^{\zeta a} P_t(i)^{\zeta b} L_t(i)^{\zeta c} Y_t^{1-\zeta} - r_t^{ad} K_t(i) - w_t^{ad} L_t(i) + q_t^{ad} (Q - P_t(i)). \end{aligned} \quad (9)$$

すべての中間財企業が対称的に生産活動を行うため、均衡において  $K_t(i) = K_t$ 、 $L_t(i) = L = 1$ 、 $P_t(i) = P_t$ 、 $X_t(i) = X_t$ 、 $p_t(i) = p_t$  が成り立つ。最終財市場は完全競争であるため、ゼロ利潤条件により、

$$Y_t = \int_0^1 p_t(i) X_t(i) di = p_t X_t, \quad (10)$$

が成立する。(7)と(10)により、各中間財の価格が常に一定であり、 $p_t = 1$  となる。ゆえに、経済の総生産量は

$$Y_t = X_t = K_t^a P_t^b \quad (11)$$

で表わされる。(11)を(9)に代入し、利潤最大化の1階条件により、資本のレンタル価格、排出量取引価格と賃金がそれぞれ

$$r_t^{ad} = \zeta a K_t^{a-1} P_t^b, \quad (12)$$

$$q_t^{ad} = \zeta b K_t^a P_t^{b-1}, \quad (13)$$

$$w_t^{ad} = \zeta c K_t^a P_t^b. \quad (14)$$

で得られる。総生産量のうち、資本所得は  $\zeta a K_t^a P_t^b$ 、労働所得は  $\zeta c K_t^a P_t^b$  となり、収穫逓増技術の下で中間財部門の全体が獲得する利潤が

$$\pi_t^{ad} = [1 - \zeta a - \zeta b - \zeta c] K_t^a P_t^b + \zeta b K_t^a P_t^{b-1} Q, \quad (15)$$

で与えられる。

4) 利潤関数が凹関数であることを保証するために、パラメータに関して  $1 - \zeta(a + b + c) > 0$  と仮定する。

### 2.1.3 利潤の配分と技術の選択

2つの生産技術のもとで、余剰の排出量の売却により得られる利潤  $q_t Q$ 、すなわち、 $\zeta b P_t^{b-1} Q$  は若年世代に帰着するものとする。また、収穫逓増技術の独占的な使用により獲得する利潤は老年世代に所有されるとする。資本所有者である老年世代は投資の収益率の高いほうの技術を選択する。収穫一定技術の下で、投資の収益率は資本ストックのレンタル価格に一致し、(3)で与えられる。一方で、収穫逓増技術の使用により獲得できる資本の実質収益率は資本のレンタル価格と単位資本当たり利潤の合計となる。

$$\hat{r}_t^{ad} = \zeta a K_t^{a-1} P_t^b + \frac{[1 - \zeta a - \zeta b - \zeta c] K_t^a P_t^b}{K_t} = [1 - \zeta b - \zeta c] K_t^{a-1} P_t^b. \quad (16)$$

ただし、 $\hat{r}_t^{ad}$  は収穫逓増技術の下での資本の実質収益率を表わす。以下で、議論を簡潔にするために、 $a=1$  とする。ゆえに、(16)が次のように書き直せる。

$$\hat{r}_t^{ad} = [1 - \zeta b - \zeta c] P_t^b + \zeta b P_t^{b-1} Q. \quad (17)$$

以上により、老年世代が汚染排出量  $P_t$  を所与として、次のように技術選択を決定する。

$$\text{技術の選択} \begin{cases} \text{収穫一定技術} & \text{if } \hat{r}_t^{ad} < r_t^{pr}, \\ \text{収穫逓増技術} & \text{if } \hat{r}_t^{ad} \geq r_t^{pr}. \end{cases}$$

$r_t^{pr} = \hat{r}_t^{ad}$  を成立させる資本ストックの量を  $K_r$  とすると、 $K_r$  は次式で与えられる。

$$K_r = \left( \frac{\alpha}{1 - \zeta b - \zeta c} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} P_t^{\frac{\beta-b}{1-\alpha}}. \quad (18)$$

このとき、 $K_t \geq (<) K_r$  ならば、 $\hat{r}_t^{ad} \geq (<) r_t^{pr}$  が成立する。

## 2.2 政府と環境

環境は公共財であり、生産過程に排出される汚染フロー  $P_t$  により悪化され、環境保全投資  $m_t$  によって改善される。このメカニズムを表わす関数を次のように規定することにする<sup>5)</sup>。

$$E_{t+1} = E_t - \delta P_t + \theta m_t. \quad (19)$$

ただし、 $E_t$  は  $t$  期における環境ストックであり、 $\delta$  は汚染排出が環境に与えるダメージの程度を、 $\theta$  は環境保全投資の効果を表わすパラメータである。

政府が環境保全支出の財源を課税によって調達する。本稿のモデルでは、生産活動が環境悪化の要因であるため、環境悪化要因に対する課税として、若年世代の所得税による環境保全を考える。各時点において政府予算は均衡していると仮定すると、政府の予算制約は

$$m_t = \tau_y (w_t + \zeta b P_t^{b-1} Q). \quad (20)$$

で与えられる。ただし、 $\tau_y$  は所得税率を表わす。ここでは  $\tau_y$  が時間を通じて一定であるようなものだけを考える。したがって、以下で得られる動学経路及び均衡解は、政策変数をパラメータとして含んでおり、最適解でも次善解でもない。

5) この定式化は John and Pecchenino (1994) に基づいたものである。ただし、環境の外部性に関する仮定は彼らと異なる。John and Pecchenino (1994) では世代間にわたる消費の外部性を分析しているため、 $E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta c_t + \gamma m_t$  という推移式を採用している。

### 2.3 家計

$t$  世代の家計は予算制約のもとで効用を最大化しようとする。若年世代が保有する労働供給により受け取った賃金、余剰の排出量の売却により獲得した利潤が所得になる。各世代は若年期の所得  $w_t$ 、 $\zeta b P_t^{b-1} Q$  を消費  $c_t^Y$  と貯蓄  $s_t$  に用いる。老年期には若年期になした貯蓄  $s_t$  の元利合計で消費  $c_t^O$  を行う。したがって、 $t$  期に生まれる個人の予算制約は

$$s_t + c_t^Y = (1 - \tau_y)(w_t + \zeta b P_t^{b-1} Q), \quad (21)$$

$$c_{t+1}^O = (1 + r_{t+1})s_t. \quad (22)$$

である。老年期の予算制約式を若年期の予算制約へ代入することによって、2つの予算制約を単一の生涯の予算制約へ統合することができる。この代入によって、生涯予算制約は

$$c_t^Y + \frac{c_{t+1}^O}{(1 + r_{t+1})} = (1 - \tau_y)(w_t + q_t Q), \quad (23)$$

で表わされる。各個人は財の消費と環境ストックから効用を得るものとし、その効用関数を次のように仮定する<sup>6)</sup>。

$$U_t = \log c_t^Y + \rho(\log c_{t+1}^O + \gamma \log E_{t+1}). \quad (24)$$

ただし、 $\rho$ は時間選好率であり、 $\gamma$ は家計の環境に対する選好を表すパラメータである。代表的家計は利子率、所得、所得税率と環境ストックを所与として、生涯予算制約のもとで効用を最大化する。その結果、次のような消費関数と貯蓄関数が得られる。

$$c_t^Y = \frac{1}{1 + \rho} (1 - \tau_y)(w_t + q_t Q), \quad (25)$$

$$c_{t+1}^O = \frac{\rho}{1 + \rho} (1 - \tau_y)(1 + r_{t+1})(w_t + q_t Q), \quad (26)$$

$$s_t = \frac{\rho}{1 + \rho} (1 - \tau_y)(w_t + q_t Q). \quad (27)$$

各世代の人口が1であるため、 $t$  期における経済全体の貯蓄量を  $S_t$  とおくと、 $S_t = \int_0^1 s_t(i) di = s_t$  が成立し、(27)の貯蓄関数は経済全体の貯蓄関数とも解釈される。

### 3 経済均衡

資本財への投資技術は1単位の最終財を資本財1単位に変換できるものとする。加えて、資本の減耗率が1であると仮定する。したがって、資本市場の均衡では人々の貯蓄量が来期の資本ストックに一致し、資本ストックの蓄積は

$$S_t = K_{t+1}, \quad (28)$$

となる。排出量取引市場の均衡条件は

$$P_t = Q, \quad (29)$$

で与えられる<sup>7)</sup>。

6) この定式化のもとで、貯蓄関数が投資の収益率に独立している。

経済の初期状態  $\{K_1, E_1\}$  が所与として、経済均衡は企業の利潤最大化 1 階条件(3)-(5), (12)-(15), 家計の効用最大化 1 階条件(25)-(27), 技術の選択に関する資本ストックの閾値条件(18), 市場清算条件(28), (29)で決定される。以上をまとめると、経済均衡が以下の2つの式で表わされる。

$$K_{t+1} = \begin{cases} \frac{\rho}{1+\rho}(1-\tau_y)(1-\alpha)Q^a K_t^a & \text{if } K_t < K_r, \\ \frac{\rho}{1+\rho}(1-\tau_y)(\zeta b + \zeta c)Q^b K_t & \text{if } K_t \geq K_r, \end{cases} \quad (30)$$

$$E_{t+1} = E_t - \delta Q + \frac{\theta(1+\rho)\tau_y}{\rho(1-\tau_y)} K_{t+1}. \quad (31)$$

(31)から明らかのように、経済主体が高い資本ストックと高い環境ストックを同時に選択する。すなわち、 $K_{t+1}$  が大きくなれば  $E_{t+1}$  も大きくなる。また、 $\delta$  が小さいあるいは  $\theta$  が大きい場合に、すなわち、汚染排出が環境に及ぶ影響が小さい、または環境保全投資の効果が大きいときに環境質が大幅に改善される。

以下で、パラメータの変化の均衡経路の動態への効果を検討する。そのまえに、収穫一定技術から先進技術への変更が成功するかどうか、成功するとすれば、持続的経済成長が実現できるかという2つの点を確認する。ここで、特に排出量割当を表わす外生変数  $Q$  と、収穫逓増技術のもとで生産に用いられる排出量のシェアを表わすパラメータ  $b$  に焦点を当てる。

まず、収穫一定技術が使用し続けられる場合の成長経路を検討する。十分小さい資本ストック状態  $K_0$  から出発する経済は  $K_{t+1} = \frac{\rho}{1+\rho}(1-\tau_y)(1-\alpha)Q^a K_t^a$  に即して資本を蓄積する。このとき、定常状態における資本ストック  $K_S$  は

$$K_S = \left[ \frac{\rho(1-\tau_y)}{1+\rho} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} (1-\alpha)^{\frac{1}{1-\alpha}} Q^{\frac{\beta}{1-\alpha}}, \quad (32)$$

で与えられる。 $K_r = K_S$  を成立させる  $Q$ ,  $b$  の関係が次式で表わされる。

$$Q = \left[ \frac{\alpha(1+\rho)}{\rho(1-\zeta b - \zeta c)(1-\alpha)(1-\tau_y)} \right]^{1/b}. \quad (33)$$

この式が“>”で成立するときに、 $K_S > K_r$  となり、経済は有限時間内に収穫逓増技術にスイッチする。逆の場合、 $K_S < K_r$  が成り立つため、 $K_t$  が  $K_r$  を越える前に  $K_S$  に収束してしまう。また、 $b > \hat{b} \equiv \frac{1-\alpha-\zeta c}{\zeta}$  というパラメータ条件の下で、 $Q$  は  $b$  に関して増加となる<sup>8)</sup>。

そして、収穫逓増技術の下での成長率は  $g^{ad} \equiv \frac{\rho}{1+\rho}(1-\tau_y)(\zeta b + \zeta c)Q^b$  で表わされる。 $g^{ad} = 1$  を成立させるパラメータ条件は

$$Q = \left[ \frac{1+\rho}{\rho(\zeta b + \zeta c)(1-\tau_y)} \right]^{1/b}, \quad (34)$$

で与えられ、 $Q$  が  $b$  の減少関数となる。上の式が“>”で成立するときに、収穫逓増技術の下で成長率がプラスとなり、経済は持続的成長を実現する。

7) 本稿では、当該国と他国との排出量取引を考えないことにする。

8) 以下でこのパラメータ条件が成立すると仮定し、経済成長のパターンについて検討する。

縦軸を  $\log Q$ 、横軸を  $b$  で測り、(33)と(34)で表わされている  $Q$  と  $b$  の関係を図 1 でプロットする。GG 曲線の上の領域において、収穫逓増技術が導入されるケースを表わし、下の領域は収穫一定技術が使用し続けられる状況を示している。SS 曲線の上の領域で、 $g^{ad} > 1$  が成り立ち、持続的経済成長のパターンが存在する。一方で SS 曲線の下領域において、持続的経済成長が不可能である。図 1 から明らかのように、十分小さい資本ストック水準  $K_i$  と高い環境ストック水準  $E_i$  から出発する経済が 4 つのパターンに分けられている<sup>9)</sup>。次に、4 つの経済成長パターンの動学経路の特徴を詳細に見ていく。

領域 A：持続的経済発展（図 2）

経済発展の初期段階において、環境が破壊し、資本ストックが蓄積される。その後、収穫一定技術から収穫逓増技術に変更し、しばらく成長率が低下するが、最終的に持続的経済成長を実現する。一方、経済成長に伴い、環境保全投資が増加するため、環境も改善され、所得向上と環境保全との好循環メカニズムを創出することができた。すなわち、環境と経済成長との間の U 字型の関係が導出されている。

領域 B：低開発・環境悪化の罠（図 3）

この領域において  $b$  が大きいケースを示している。生産に用いられる排出量のシェアが上昇するということは、排出量に比した資本ストックの相対的な評価が低下することを意味しているため、老年世代は収穫逓増技術により獲得できる利潤が相対的に減少し、先進技術を選択しようとするインセンティブが弱くなり、経済成長が抑制されてしまう。貧困に堕ちている経済主体は環境保全に配分できる投資は少なくなり、環境を悪化させる。特に、 $Q$  が大きい場合、深刻な環境破壊が生じるのであろう。

領域 C：定常状態に収束する

このケースでは排出量の割当が十分に与えられていないため、経済は  $K_i$  が  $K_r$  を越える前に  $K_s$  に収束してしまう。環境ストックについて、改善されるかどうかは  $K_s$  に依存することになり、 $K_s$  が大きい場合、環境が改善されるのであろう。

領域 D：循環変動

領域 C と比べて、領域 D では排出量の割当  $Q$  が十分に与えられている。しかしながら、 $b$  が小さいと

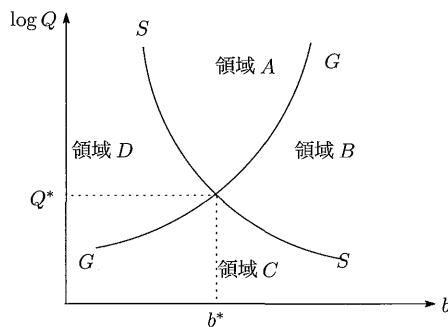


図 1：パラメータ条件と経済成長パターン

9) (35)と(37)より、図 1 で  $b^* = \frac{1 - \xi c - a \xi c}{\xi + a \xi}$  が求められる。 $\hat{b} < b^*$  であるため、4 つのパターンが存在する。

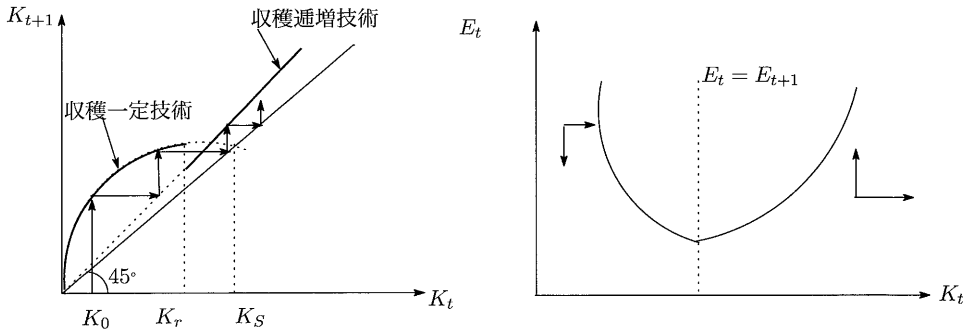


図2：持続的経済発展

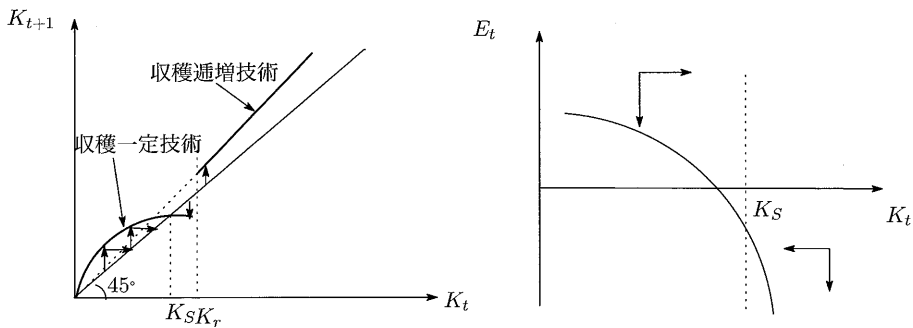


図3：低開発・環境悪化の罠

いうことは生産活動では排出量への依存度が低下することなので、若年世代の所得が減少し、収穫逡増技術の下での経済成長率がマイナスとなる。一方で、 $b$ の減少は排出量に比べて資本ストックの相対的な評価が高くなるということを意味しているため、 $K_t$ が $K_s$ に収束する前に、収穫逡増技術に変更する。このケースにおいて、環境が改善されるかどうかは不明確となる。

経済主体にとって、循環変動や低開発・貧困な罠といった領域が望ましくない。そこで、排出量の割当 $Q$ と先進技術の下で生産に用いられる排出量のシェア $b$ の効果をさらに詳細に検討していく。厳しい排出量制限の導入は汚染フローを減少させ、環境ストックに対してプラスの効果を示す。しかしながら、世代 $t$ の予算制約から分かるように、若年世代の労働収入と獲得できる利潤がいずれも $Q$ の増加関数となる。すなわち、排出量の割当 $Q$ の減少がマイナスの所得効果を持ち、資本投資と環境保全投資を減少させる。均衡において、このマイナスの効果はプラスの効果を超えるとき、長期的に経済成長を停止させるのみならず、環境をも悪化させる。

排出量のシェア $b$ も二つ相反の効果を持つ。 $b$ の増加は若年世代の所得が大きくなるということの意味しており、先進技術のもとでの経済成長率を促進させる。しかしながら、生産に用いられる排出量のシェアが上昇するという事は、先進技術の下で排出量に比した資本ストックの相対的な評価が低下することを意味するものであるため、老年世代にとっては先進技術の導入は魅力的ではなくなる。一方で、 $b$ が減少した場合、若年世代の所得が少なくなるため、先進技術の変更が成功しても、成長

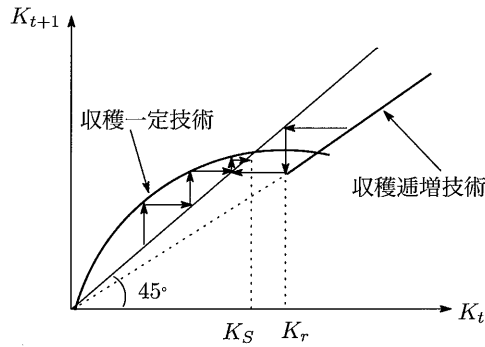


図 4：定常状態に収束する経済

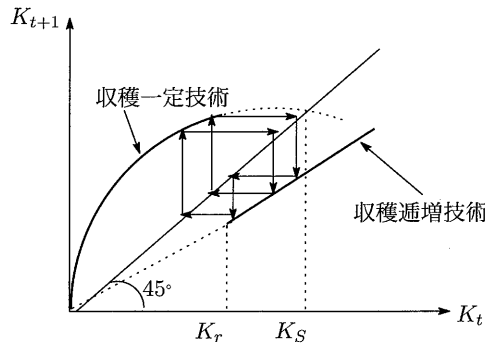


図 5：循環変動

率はマイナスとなり，循環変動の罫に堕ちる。したがって， $b$  が十分小さいあるいは十分大きいケースでは経済が持続的発展を実現することが不可能である。

ポスト京都議定書に向けた新たな枠組み作りのための議論が活発化する現在，発展途上国に参加のインセンティブを与えるには，また発展途上国における経済発展と環境保全の両立を実現するためにはどうすればいいのかについて，以上の結果は重要な政策的インプリケーションを提示している<sup>10)</sup>。

**命題 1** 発展途上国における持続的な経済成長が実現できるかどうかについて，排出権の割当が十分に与えることが重要である。

**命題 2** 生産活動で用いられる排出量のシェアは経済の生産構造をある程度転換させるような「構造効果」をもたらす。したがって，排出量の割当に見合った先進技術の移転が重要である。

10) 本節での分析では，排出量の割当と要素集約度という観点から経済成長のパターンについて詳細に議論を行ってきた。他のパラメータの変化による影響も考える必要があるが，上での議論の延長線上にあると考えられるため，ここでは分析を省略する。

## 4 政策分析

### 4.1 所得再配分政策

前節では適当なパラメータ条件の下で経済は先進技術への変更が成功し，環境保全と経済成長の両立が実現できるという結果が導かれた。図3で示されている経済が低開発・環境悪化の罠に落ちてしまう理由は資本所有者が先進技術の使用から獲得できる収益が少なく，収穫逡増技術を導入するインセンティブが小さいからである。このとき，先進技術の利用が十分魅力的となるような政策が実施されれば，スムーズに技術の変更を促進させる可能性があると考えられる。以下では，政府は収穫一定技術の利用者である老年世代に課税し，その税収を若年世代に移転するような政策について検討する。このとき，収穫一定技術の下で，資本のレンタル価格と労働賃金はそれぞれ

$$r_t^{pr} = \alpha K_t^{\alpha-1} Q^{\beta} - \tau^{pr}, \tag{35}$$

$$w_t = (1-\alpha)K_t^{\alpha} Q^{\beta} + \tau^{pr} K_t, \tag{36}$$

となる。ただし， $\tau^{pr}$  は老年世代が収穫一定技術を利用する時に資本ストックに対する税率である。そして，技術の選択に関する資本ストックの閾値は次式で与えられる。

$$K_r = \left( \frac{\alpha - \tau^{pr}}{1 - \zeta b - \zeta c} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} Q_t^{\frac{\beta-b}{1-\alpha}}. \tag{37}$$

$\tau^{pr}$  の増加により，GG線が右下にシフトする。図6で示されていたように，持続経済発展の領域Aが広がる一方，循環変動や低開発・環境破壊の罠といった領域が縮める。したがって，次の命題が得られる。

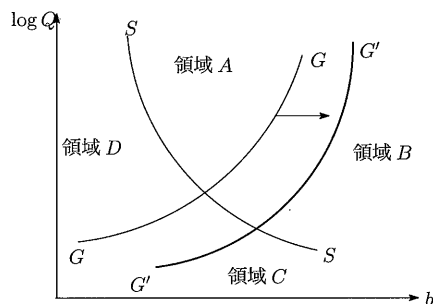


図6：所得再配分政策の効果

**命題3** 収穫一定技術が使用されるとき資本ストックの収益に対して課税し，その税収を若年世代に移転するような政策が実施されれば，老年世代が収穫一定技術を利用するインセンティブが弱くなり，有限の時間内に技術の変更を行う。同時に，収穫一定技術のもとでの若年世代の収入が増加し，貯蓄を促す。その結果として，経済は貧困の罠から脱出し，持続的成長を達成できる。

## 4.2 環境保全政策

十分の排出量の割当が与えられる場合、発展途上国は持続的経済成長を実現する可能性が高いが、世界全体の削減目標の達成にマイナスな影響を与える。本節では、途上国に排出量が十分に配分されていない場合、経済を高い成長に導くための政策に関して議論する。この節では、政府が環境保全を緩和する政策の実施は、発展途上国において技術の選択と経済成長にどのような影響を与えるかについて分析する。

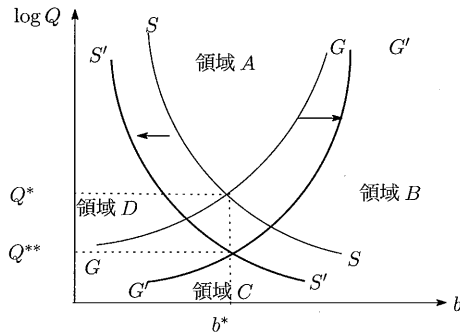


図 7：環境保全政策の効果：所得税率の低下

本論文で想定される経済において、環境保全投資に関する政策パラメータ  $\tau_y$  の減少は環境保全政策の緩和として考えられる。 $\tau_y$  が減少すると、消費と貯蓄に回す所得を増加させ、資本ストックの蓄積を促進する。 $\tau_y$  が小さくなると、環境保全への投資を減少する。しかしながら、排出量の配分  $Q$  が小さいため、環境への破壊程度が軽くなる。この 2 つの相反の効果により、環境保全投資に関する政策パラメータ  $\tau_y$  の変化は環境ストックへの影響が不確定となる。これは、図 7 で示されている。 $\tau_y$  の減少により、SS 曲線が左下に、GG 曲線が右下に移動し、持続的経済発展の領域 A が拡大し、定常状態に収束する領域が減少すると同時に、低開発・環境悪化の領域は広がる可能性がある。

以上により、次の命題が得られる。

**命題 4** 環境保全政策の緩和、すなわち、 $\tau_y$  の減少により、経済がある定常状態から抜け出し、高い経済成長を維持しながら環境を改善させるような良い持続的成長経路の達成が可能になる。一方で、パラメータ条件の下で、循環変動や低開発・環境悪化といった罠に堕ちる可能性もある。

## 5 おわりに

本稿は先進国が途上国に先進技術を提供し、途上国がそれに応じて地球温暖化を防止するための国際条約に参加し、排出量の総量規制を導入するような状況を想定し、発展途上国における技術選択と経済成長、環境との関係に関する動学分析を行い、経済を持続的発展に導くための政策について検討した。

結果として、排出量の割当が外生的に決定される枠組みの下で、技術の選択に関して4つの経済成長のパターンが存在することが示された。排出量の割当が極端に制限される場合、経済が循環変動に停滞することを確認した。一方、排出量の割当が十分に与えられるとしても、収穫逓増技術の下で、生産に用いられる排出量のシェアが極端に大きい場合は先進技術への変更が失敗するため、経済成長を抑制するばかりではなく、環境をも悪化させるような低開発・環境悪化の罠に堕ちる可能性があるとの示唆が得られた。逆に、先進技術の下で、排出量への依存度が極端に低い場合に、経済は技術の変更で失敗し、ある定常状態に収束することが示された。そこで、経済成長と環境保全を両立させるために政策の有効性について検討した。本稿の結果は収穫一定技術のもとで、資本ストックの収益に対する課税は老年世代の技術変更にインセンティブを与え、持続的経済発展が実現できた。また、環境保全強化の政策の効果が不明確であるということを示した。

今後の課題として、次のことが挙げられる。本稿ではパラメータが多いため、政府の最適化行動を捨象し分析を進めてきたが、シミュレーションにより最適な環境保全投資の問題を考えた考察が必要であろう。また、途上国だけを分析対象として検討してきたが、先進国も途上国も協力して対策に取り組むべきであるようなケースにおいて、2国モデルに拡張し、両国間の行動を分析することが課題である。さらに、理論モデルの有意性を評価するためにデータを収集し、実証分析に取り組むことをしたい。

#### 参 考 文 献

- [1] Bovenberg, A. L. and S. Smulders (1995), "Environmental Quality and Pollution-augmenting Technological Change in a Two-sector Endogenous Growth Model", *Journal of Public Economics* Vol.57, 369-391.
- [2] Fisher, E. O'N. and C. van Marrewijk (1998), "Pollution and Economic Growth", *Journal of International Trade and Economic Development* Vol.7, 55-69.
- [3] Grimaud, A. (1999), "Pollution Permits and Sustainable Growth in a Schumpeterian Model", *Journal of Environment Economics and Management* Vol.38, 249-266.
- [4] Grossman, G. M., and E. Helpman (1991), *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press. (大住圭介監訳『イノベーションと内生的経済成長—グローバル経済における理論分析』創文社, 1998.)
- [5] Hagem, C. (1996), "Joint Implementation Under Asymmetric Information and Strategic Behavior", *Environmental and Resource Economics* Vol.8, 431-447.
- [6] Iwaisako, T. (2002), "Technology Choice and Patterns of Growth in an Overlapping Generations Model", *Journal of Macroeconomics* Vol.24, 211-231.
- [7] John, A. and R. Pecchenino (1994), "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment", *Economic Journal* Vol.104, 1393-1410.
- [8] Lopez, R. (1994), "The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic-Growth and Trade Liberalization," *Journal of Environmental Economics and Management* Vol.27, 163-184.
- [9] Ono, T. (2002), "The Effects of Emission Permits on Growth and the Environment", *Environmental and Resource Economics* Vol.21, 75-87.
- [10] Smulders, S. (2006), "Growth and Environment: on U-curves without U-turns", in C. de Miguel, X. Labandeira, B. Manzano (eds.), *Economic Modeling of Climate Change and Energy Policies*, Edward Elgar Publishing.
- [11] Stokey, N. L. (1988), "Are There Limits to Growth?" *International Economic Review* Vol.39, 1-31.
- [12] 伊ヶ崎大理 (1998), 「共同実施における政策手段の比較とその成立のための諸条件—成長モデルを用いた分析

—」『經濟論究』 第102号, 33-52.

[13] 伊ヶ崎大理 (2004) 『地球環境と内生的經濟成長—マクロ動学による理論分析—』九州大学出版会.