

## 環境政策, グリーン・イノベーションと持続的経済成長

谷, 晶紅  
九州大学大学院経済学府

<https://doi.org/10.15017/3000458>

---

出版情報 : 経済論究. 135, pp.1-17, 2009-11. 九州大学大学院経済学会  
バージョン :  
権利関係 :

# 環境政策，グリーン・イノベーションと持続的経済成長\*

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には，エネルギー消費効率の改善，あるいはクリーンエネルギーへの転換といったような取組の強化が急務となっている。しかし，途上国の場合，人的資本不足であることと，インフラの整備が遅れていることにより，省エネ技術の開発は困難である。したがって，途上国に対して革新的な技術を提供することにより，エネルギーのグリーン化を図り，排出削減に取り組むことが望まれている。そこで，先進国で開発されたグリーン技術は環境政策の異なる途上国で効率的に利用できるのであろうか。移転された技術が途上国の状況に適合しない場合に，経済成長を促進させ，さらに，温室効果ガスを削減するためには，途上国にどんな自助努力が必要となるのだろうか，また，技術提供以外にどんな国際的協力が有効となるのだろうか。

Romer (1990) に代表される内生的成長論は，技術進歩は持続的経済成長の源泉であることを示した。Romer (1990) による閉鎖経済を先進国と途上国からなる2国モデルに拡張したGrossman and Helpman (1991, chap.11, chap.12), Barro and Sala-i-Martin (2004, chap.8) などでは，途上国における技術進歩は先進国からの技術導入に依存することが強調されている。しかし，Barro and Sala-i-Martin (1997), Parente and Prescott (2000) などは技術移転が容易に行われぬ可能性があると指摘した。Barro and Sala-i-Martin (1997) は，途上国が先進国で開発されている技術を導入する際に，費用がかかると仮定している。Parente and Prescott (2000) は政労使のパワー・バランスや新技術導入に対する労働者の抵抗が移転技術の効率性に影響することを示した。彼らの論文において，インドの繊維産業では未熟練労働者の抵抗が強かったため，未熟練労働者を代替する織機の導入がスムーズになされず，労働生産性の向上もわずかの数値にとどまったという例が紹介された。多くの先行文献では途上国にとって最も効率的な技術が先進国で使用している技術とは異なると示されている。Papageorgiou (2002) は途上国では人的資本がある臨界値を超えてこそはじめて移転技術を効率的に利用できると指摘した。Acemoglu and Zilibotti (2001) は，偏向的技術進歩 (directed technical change) を伴う内生的経済成長モデルの枠組みで，技術と生産性格差の関連性を分析した<sup>1)</sup>。Acemoglu

\* 本稿は，2009年環境経済政策学会(2009年9月25日，於：千葉大学)において報告した「環境政策，グリーン・イノベーションと持続的経済成長」をもとに加筆したものである。本稿の作成，学会報告にあたっては，大住圭介先生(九州大学)，伊ヶ崎大理先生(日本女子大学)，中田実先生(名古屋大学)をはじめとした諸先生方から貴重なコメントを頂いた。なお，残された誤りは，筆者に帰する。

and Zilibotti (2001) では、途上国と比較して先進国は未熟練労働に対する人的資本の比較優位性を持つことと、途上国の技術進歩は完全に先進国からの技術移転に依存することが仮定されている。分析の結果、先進国から途上国への技術の移転がなされたとしても、両者の間に生産性格差が生じることが示されている。Acemoglu and Zilibotti (2001) は、その理由を、R&D 活動を行う先進国の企業が途上国での新技術に対する需要を無視して、自国での需要のみを考慮して技術開発を行い、そのため、先進国で開発された技術の組み合わせが、先進国の熟練労働と非熟練労働の蓄積状況に適合するが、途上国のそれに適合しないことにある、と主張している。

本稿では、スキル・技術ミスマッチと生産性格差の問題を分析した Acemoglu and Zilibotti (2001) に地球温暖化問題を導入することによって、「先進国が排出削減条約に参入する一方、途上国では温室効果ガス排出に対して環境規制が行われない」ような非対称的である状況における環境政策、イノベーションと経済成長との相互関係について考察する。2 国モデルの枠組みで異なる環境規制の影響を考慮した文献としては、Di Maria and van der Welf (2006)、Di Maria and van der Welf (2008) などがある。これらは先進国でのみ気候変動政策が導入された場合に発生する炭素リーケージの問題を分析している。Di Maria and Smulders (2004) では、所得格差に起因する異なる環境規制が、汚染（産業）逃避地（pollution haven）の問題を発生させることと、偏向的技術進歩の場合と比べて誘発的技術進歩のもとでは汚染（産業）逃避地の問題が緩和されることが示された。このように、既存の文献では、先進国と途上国からなる経済において、汚染は環境規制の緩やかな国に集中するということを理論的に明らかにしている。しかし、先進国でのみ気候変動政策が導入される場合、経済成長の促進と伴った、世界全体の排出量削減につながる議論が行われていない。そこで、本稿では、途上国の技術進歩（エネルギー偏向的技術とグリーン技術）が完全に先進国からの移転技術に依存すると仮定し、主として、異なる環境規制のもとで、途上国が先進国と同様な生産構造を持つことができるのか、あるいは、同様な経済成長経路を達成できるのか、また、世界全体での排出量を削減するために、途上国でどんな自助努力が望ましいのか、そして技術移転以外にどんな国際的協調が必要であるかについて検討する。分析の結果、異なる環境規制によって途上国と先進国の間に産業構造と経済成長に差異が生じること、そして途上国におけるエネルギー生産に対するエネルギー税政策や資金移転などの国際的強調が、世界全体での排出量削減には有効にはたらくことなどが示される。

本稿の以下の部分は次のように構成される。第 2 節では基本モデルが示される。続く第 3 節では、静学均衡条件を導出した上で、動学均衡の特徴を考察する。そして、第 4 節では、汚染削減を実現できる経済政策について分析し、政策的なインプリケーションを提示する。最後に第 5 節では結論を述べ、今後の課題について言及する。

---

1) 偏向的技術進歩のもとで、供給が相対的に多い生産要素を用いる技術を開発するほうが利潤が大きいため、供給の多い生産要素と補完的な技術が開発されることになる。偏向的技術を考慮した経済成長に関する文献としては、Acemoglu (2002) を参照されたい。

## 2 モデル

先進国である  $N$  国と途上国である  $S$  国から構成される経済を想定する。2 国は気候政策が異なり、 $N$  国でのみ汚染排出量に外生的なギャップを敷いていると仮定する。さらに、最終財の生産活動で使用されるエネルギーによって汚染物質が排出されるとする。モデルを簡潔にするため、1 単位のエネルギーを生産に用いると、1 単位の汚染物質が排出されるものと仮定する。したがって、 $j$  ( $j=N, S$ ) 国の汚染排出量は当該国における  $[0, 1]$  の範囲で連続的に存在する最終財部門で使用されるエネルギー  $E^j(i)$  ( $i \in [0, 1]$ ) の合計と一致し、次の式で表される<sup>2)</sup>。

$$D^j = E^j = \int_0^1 E^j(i) di \quad (1)$$

ただし、 $D^j$  は  $j$  国における排出量を表す。また、 $N$  国が許可される最大排出量を  $\bar{D}$  とすると、 $N$  国における汚染排出は  $D^N = \int_0^1 E^N(i) di \leq \bar{D}$  となる。

### 2.1 消費者

$N$  国と  $S$  国における代表的な消費者は同一な選好を持つとしよう。 $j$  国における代表的個人の効用関数を次のように設定する。

$$U^j = \frac{(C^j)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} - \mu(D^j + D^{j'}) \quad (2)$$

ただし、 $C^j$  は  $j$  国の消費量、 $\mu$  は汚染に対する不効用の程度を表すパラメータである<sup>3)</sup>。また、 $D^{j'}$  は相手国の汚染量である（本稿を通じて、上添え字  $j'$  は相手国の水準を表す）。

### 2.2 生産活動

$j$  国の総生産は各最終財の合計で決定されるものとし、次式で定式化されると仮定する。

$$Y^j \equiv \exp \left[ \int_0^1 \ln y^j(i) di \right] \quad (3)$$

ただし、 $Y^j$  は総生産、 $y^j(i)$  は最終財部門  $i$  の産出である。また、総生産は投資  $I^j$ 、 $R\&D$  支出  $X^j$  と消費  $C^j$  に配分される。議論の簡単化のために、最終財の価格  $P_t^j$  を 1 に基準化する。

#### 2.2.1 最終財の生産

最終財市場  $i$  ( $i \in [0, 1]$ ) は完全競争的であり、企業はエネルギー偏向的技術、あるいは労働偏向的技術（以下ではグリーン技術と呼ぶことにする）を用いて最終財を生産する。その生産関数は次のように定式化される。

2) 本稿を通じて、必要ない場合には時間の添え字  $t$  を省略する。

3) 汚染排出物を  $CO_2$  と想定する場合、両国の排出物による被害は同様であると考えられる。

$$y^j(i) = \underbrace{\left[ \int_0^{N_E^j} k_E^j(i, v)^{1-\beta} dv \right] \cdot [(1-i) \cdot E^j(i)]^\beta}_{\text{エネルギー偏向的技術}} + \underbrace{\left[ \int_0^{N_L^j} k_L^j(i, v)^{1-\beta} dv \right] \cdot [i \cdot l_y^j(i)]^\beta}_{\text{グリーン技術}} \quad (4)$$

ただし、 $k_E^j(i, v)$  と  $k_L^j(i, v)$  はそれぞれ最終財  $i$  部門におけるエネルギーと補完的な中間財と、労働と補完的な中間財  $v$  の投入量を表す。 $N_E^j$  はエネルギーと補完的な中間財のパラエティエーの個数、 $N_L^j$  は労働と補完的な中間財のパラエティエーの個数、 $E^j(i)$  は最終財  $i$  部門におけるエネルギーの投入量、 $l_y^j(i)$  は最終財  $i$  部門における労働の投入量である。ターム  $1-i$  と  $i$  はインデックスの比較的小さい部門においてエネルギーの生産性が労働より高いということを意味している。すなわち、この経済にはインデックス  $i$  が高くなるほど、グリーン技術が可動するような生産過程を持っている。この定式化は Acemoglu and Zilibotti (2001) にしたがっているものである。ただし、Acemoglu and Zilibotti (2001) では基本的投入要素は未熟練労働と熟練労働であり、その供給量を一定として取り扱っている。また、彼らは非熟練労働と比較して熟練労働の生産性が高いと仮定している。Acemoglu and Zilibotti (2001) と異なり、本稿では投入要素の供給量そのものが政策・規制や技術進歩によって変化するようなメカニズムを考えている。

最終財企業は、最終財の価格  $p^j(i)$ 、中間財のレンタル価格  $\chi_z^j(v)$  ( $z=E, L$ , 本稿を通じて、下添え字  $E$  はエネルギー、 $L$  は労働を表すことにする)、賃金率  $\omega_L^j$  とエネルギー価格  $\omega_E^j$  を所与として、次の利潤  $\pi^j(i)$  を最大化するように、生産要素  $E^j(i)$ 、 $l_y^j(i)$ 、 $k_E^j(i, v)$  と  $k_L^j(i, v)$  を決定しようとする。

$$\pi^j(i) = p^j(i)y^j(i) - \omega_E^j(i)E^j(i) - \omega_L^j(i)l_y^j(i) - \int_0^{N_E^j} \chi_E^j(v)k_E^j(i, v)dv - \int_0^{N_L^j} \chi_L^j(v)k_L^j(i, v)dv$$

最終財企業の主体的均衡条件により、最終財  $i$  を生産する企業の 2 種類の間接関数に対する逆需要関数が次のように求められる。

$$\begin{aligned} k_E^j(i, v) &= \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [(1-i) \cdot E^j(i)]^{1-\beta} / \chi_E^j(v) \right]^{1/\beta} \\ k_L^j(i, v) &= \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [i \cdot l_y^j(i)]^{1-\beta} / \chi_L^j(v) \right]^{1/\beta} \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.2.2 中間財の生産

中間財はどんな種類であっても、独占企業がその生産技術を獲得すれば  $\theta$  単位の最終財で 1 単位の中間財が生産できるものとする。したがって、 $j$  国において中間財  $v$  を生産する企業の利潤は次のように表される。

$$\pi_z^j(v) = [\chi_z^j(v) - \theta] \int_0^1 k_z^j(i, v) di, \quad z = \{E, L\} \quad (6)$$

中間財  $v$  を生産する独占企業は、(5) で表される最終財企業による需要関数を所与として、独占利益が最大になるように行動する。したがって、マークアップは次のように設定される。

$$\chi_z^j(v) = \theta / (1-\beta) \equiv \chi \quad (7)$$

議論の簡単化のために、 $\theta \equiv \delta^{\beta/(1-\beta)}(1-\beta)^2$  とする。ゆえに、 $\chi = \delta^{\beta/(1-\beta)}(1-\beta)$  となる。また、(5) と (7) より、中間財の生産量はその種類によらず、次のようになる。

$$k_i^E(i, v) = \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [(1-i) \cdot E^j(i)]^{1-\beta} / \chi \right]^{1/\beta}$$

$$k_i^L(i, v) = \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [i \cdot l_y^j(i)]^{1-\beta} / \chi \right]^{1/\beta} \quad (8)$$

(7)と(8)を(6)に代入すると中間財企業の利潤は次のように表わされる。

$$\pi_i^E(v) = [\chi - \theta] \int_0^1 \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [(1-i) \cdot E^j(i)]^{1-\beta} / \chi \right]^{1/\beta} di$$

$$\pi_i^L(v) = [\chi - \theta] \int_0^1 \left[ (1-\beta)p^j(i) \cdot [i \cdot l_y^j(i)]^{1-\beta} / \chi \right]^{1/\beta} di \quad (9)$$

つまり，2種類の間接財はパラエティ  $v$  に関して対称的であるので，今後必要ない場合には中間財パラエティの添え字  $v$  を省略する。

(8)を(5)代入して計算することにより，最終財  $i$  の生産関数は次のように表される。

$$y^j(i) = \delta^{-1} p^j(i)^{(1-\beta)/\beta} \cdot [N_E^j \cdot (1-i) \cdot E^j(i) + N_L^j \cdot i \cdot l_y^j(i)] \quad (10)$$

(10)から，エネルギー（労働）の生産性は中間財パラエティの個数  $N_E^j$  ( $N_L^j$ ) の増加とともに上昇することと，比率  $N_L^j/N_E^j$  はエネルギーと労働の相対生産性に影響を及ぼすことが明らかにされるとともに， $N_L^j$ ， $N_E^j$  が一定である場合， $i$  が小さいほどエネルギーの限界生産性がより高いのに対して， $i$  が大きいほど労働の限界生産性がより高いことが示される。

### 2.2.3 R&D活動

#### N国におけるR&D活動

N国の研究開発部門はR&D活動を行うことによって，新しい種類の間接財を生産する技術が生み出される。したがって，N国における技術レベルは，これまで開発された中間財の総数で表される。新しい中間財を1種類開発するための費用は一定であると仮定し，その費用を  $\eta$  で表わすことにする。 $X_z^N$  ( $z=E, L$ ) だけのR&D支出を研究開発に投入されるならば，N国における中間財の種類数の増加は次のように与えられる。

$$\dot{N}_z^N = X_z^N / \eta \quad (11)$$

#### S国における技術進歩

S国において，知的所有権が保護されず，R&D活動が行われなるとする。S国は外資企業のスピルオーバー効果を通じて，中間財部門による模倣によって中間財を生産する。したがって，S国において利用できる中間財の種類数を表す関数は次式のように定式化される。

$$N_z^S = \phi_z N_z^N \quad (12)$$

ただし， $\phi_z$  はスピルオーバーの程度を表すパラメータである。Di Maria and Smulders (2004) では，技術拡散が不完全であり， $\phi_z \in (0, 1)$  と仮定されている。本稿の第2節と第3節では，彼らにならい， $0 < \phi_E = \phi_L = \phi < 1$  という仮定の下で分析を展開する。しかし，技術特性や自助努力などによって技術スピルオーバーの効果が異なると考えられるため，第4節では， $\phi_E < \phi_L$  となるようなメカニズムを考察する。

### 2.2.4 エネルギーの生産

Babiker (2005) にならい、エネルギーは労働と他のファクターによって生産されると仮定する。その結果、エネルギーの生産に労働は収穫逓減性を持つこととなる。したがって、エネルギーの生産関数を次のように設定することにする。

$$E^j = (L_E^j)^\gamma, \quad 0 < \gamma < 1 \quad (13)$$

ただし、 $L_E^j$  はエネルギー生産に投入される労働、 $\gamma$  は生産性を表すパラメータである。

$j$  国における労働は一定であり、その数を  $\bar{L}$  とする。また労働は最終財の生産とエネルギーの生産に配分される。したがって、労働の制約条件は次式で与えられる。

$$\bar{L} = L_E^j + L_y^j \quad (14)$$

ここで、 $L_y^j$  は  $j$  国における最終財の生産に投入される労働の総量を表し、 $\int_0^1 l_y^j(i) di = L_y^j$  となる。 $N$  国では規制される排出量が  $\bar{D}$  であるため、 $N$  国においてエネルギーの生産に配分される労働は次のように表される。

$$L_E^N \leq (\bar{D})^{1/\gamma} \quad (15)$$

## 3 均衡分析

### 3.1 静学均衡

この項では、個々の企業は相手の行動および  $N_E^i, N_I^i$  を所与として、自らの行動を決定するような静学分析を行う。

最終財  $i$  部門の企業は、 $N_E^i$  と  $N_I^i$  を所与として、エネルギー偏重的技術か、あるいはグリーン技術のどちらかを用いて生産を行うかについて決定する。(10)により、インデックス  $i$  のより小さい部門においてエネルギーの生産性が高くなるため、次の補題は成立する。

**補題 1** ある臨界値  $M^j$  は存在し、任意の  $i$  ( $0 \leq i \leq M^j$ ) に対して、 $l_y^j(i) = 0$  となる。また、任意の  $i$  ( $M^j < i \leq 1$ ) に対して、 $E^j(i) = 0$  となる。

**証明：**補論 1 を参照せよ。

すなわち、 $0 \leq i \leq M^j$  の場合、部門  $i$  において、企業はエネルギー偏重的技術を用いて財の生産を行う。また、 $M^j \leq i \leq 1$  のとき、部門  $i$  において、企業はグリーン技術を使用する。補論 1 の結果により、(10) は次のように書き直される。

$$y^j(i) = \begin{cases} \delta^{-1} p^j(i)^{(1-\beta)/\beta} \cdot N_E^i \cdot (1-i) \cdot E^j(i), & 0 \leq i \leq M^j \text{ の場合} \\ \delta^{-1} p^j(i)^{(1-\beta)/\beta} \cdot N_I^i \cdot i \cdot l_y^j(i), & M^j < i \leq 1 \text{ の場合} \end{cases} \quad (16)$$

さらに、エネルギー市場と労働市場の均衡において、 $\int_0^1 E^j(i) di = E^j$ 、 $\int_0^1 l_y^j(i) di \leq L_y^j$  となる。したがって、次の補題 2 が得られる。

補題 2 均衡において，最終財の価格は次のようになる。

$$p^j(i) = \begin{cases} P_E^i \cdot (1-i)^{-\beta}, & 0 \leq i \leq M^j \text{ の場合} \\ P_L^i \cdot i^{-\beta}, & M^j < i \leq 1 \text{ の場合} \end{cases} \quad (17)$$

また，次の式が成立する。

$$\begin{aligned} E^j(i) &= E^j / M^j \\ l_y^j(i) &= L_y^j / (1 - M^j) \end{aligned} \quad (18)$$

ただし， $P_E^i$  と  $P_L^i$  はプライス・インデックスであり， $P_E^i$  と  $P_L^i$  との関係は次の式で与えられる。

$$P_L^i / P_E^i = [M^j / (1 - M^j)]^\beta \quad (19)$$

証明：補論 2 を参照せよ。

(17)，(18) と (19) を (16) に代入すると最終財の生産量は次のように表される。

$$y^j(i) = \begin{cases} \delta^{-1} (P_E^i)^{(1-\beta)/\beta} \cdot N_E^i \cdot (1-i)^\beta \frac{E^j}{M^j}, & 0 \leq i \leq M^j \text{ の場合} \\ \delta^{-1} (P_L^i)^{(1-\beta)/\beta} \cdot N_L^i \cdot i^\beta \cdot \frac{L_y^j}{1 - M^j}, & M^j < i \leq 1 \text{ の場合} \end{cases} \quad (20)$$

さらに，(17) により  $p^j(0) = P_E^i$ ， $p^j(1) = P_L^i$  と  $p^j(M^j) = P_E^i \cdot (1 - M^j)^{-\beta} = P_L^i \cdot (M^j)^{-\beta}$  が成立する。これらを (19) に代入して  $M^j$  について解くと，次式が得られる。

$$M^j = \left[ 1 + \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{1/2} \right]^{-1} \quad (21)$$

(20) から明らかなように，技術進歩が労働偏向的であるほど，あるいは，エネルギーに対する労働の供給が多いほど，より多くの部門でクリーン財が生産される<sup>4)</sup>。

$P_L^i$  が 1 と基準化されることにより， $\exp \left[ \int_0^1 \ln p^j(i) di \right] = 1$  は成り立つ。すなわち， $\int_0^{M^j} \ln(P_E^i \cdot (1-i)^{-\beta}) di + \int_{M^j}^1 \ln(P_L^i \cdot i^{-\beta}) di = 0$ 。この式，(19) と (20) から  $M^j$  を消去すると，プライス・インデックスは次のように表される。

$$\begin{aligned} P_E^i &= \exp(-\beta) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{1/2} \right]^\beta \\ P_L^i &= \exp(-\beta) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{-1/2} \right]^\beta \end{aligned} \quad (22)$$

(21) と (22) の結果を用いて，要素価格の比率は次式で与えられる（詳しい計算は補論 2 を参照されたい）。

$$\frac{\omega_L^j}{\omega_E^j} = \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \right)^{1/2} \left( \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{-1/2} \quad (23)$$

次に，労働配分について考えることにする。エネルギーの生産企業はエネルギー価格  $\omega_E^i$  と労働賃金  $\omega_L^i$  を所与として，次の利潤を最大化するように労働の投入量を決定しようとする。

$$\pi_E^i = \omega_E^i (L_E^i)^\gamma - \omega_L^i L_E^i \quad (24)$$

4)  $i (M^j < i \leq 1)$  部門において，労働が使用されるため，汚染物質が排出されない。したがって，本稿では  $i (M^i < i \leq 1)$  において生産される財をクリーン財と呼ぶことにする。

利潤最大化問題の1階条件により、次式が得られる。

$$\frac{\omega_L^j}{\omega_E^j} = \gamma(L_E^j)^{\gamma-1} \tag{25}$$

(13), (23)と(25)により、 $j$ 国でエネルギーの生産に投入される労働は次の関係を満たすことになる。

$$\gamma^{-2} \cdot \left(\frac{N_L^j}{N_E^j}\right) \cdot (L_E^j)^{2-\gamma} + L_E^j = \bar{L} \tag{26}$$

本節では  $\phi_E = \phi_L = \phi$  と仮定しているため、 $\frac{N_L^N}{N_E^N} = \frac{N_L^S}{N_E^S}$  となる。したがって、汚染排出制限に課さない場合、 $N$ 国と $S$ 国における労働の配分は同様となる。すなわち、 $L_E^N = L_E^S$ 。しかしながら、 $N$ 国でのみ汚染の排出量、すなわちエネルギーの使用量が規制されているため、エネルギーの生産企業に雇用される労働は  $L_E^N = \bar{D}^{1/\gamma}$ 、最終財生産に投入される労働は  $\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}$  となる。以下での議論を進めるために、次の仮定を置くことにする。

**仮定 1** (26)を成立させる  $L_E^N$  を  $\bar{L}_E^N$  とすると、 $N$ 国におけるエネルギーの生産に配分される労働  $\bar{D}^{1/\gamma}$  は  $\bar{L}_E^N$  より小さいと仮定する。

すなわち、仮定1のもとで、利潤を最大化するようなエネルギー生産量が規定されるエネルギーの需要量を超える<sup>5)</sup>。一方、 $S$ 国では $N$ 国のエネルギー生産の労働投入と  $\frac{N_L}{N_E}$  を所与として、利潤を最大化するように労働を投入する。したがって、(26)を満たす  $L_E^S$  を  $\bar{L}_E^S$  とすると、 $\bar{L}_E^S = \bar{L}_E^N > \bar{D}^{1/\gamma}$  は成立する。したがって(21)により、 $M^S > M^N$  となる。図1はこの結果を示している。

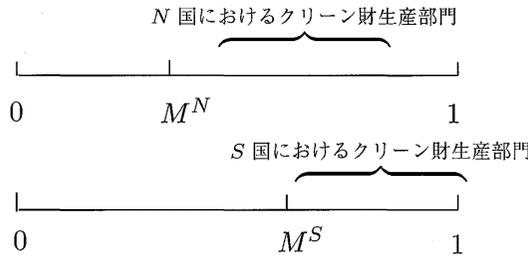


図1：両国におけるクリーン財の生産

図1から明らかなように $S$ 国ではより多くの部門はエネルギーを使用し、汚染財を生産する。すなわち、 $S$ 国はエネルギー多消費型産業構造となっている。これは非対称的な環境政策によるものである。 $N$ 国において、汚染排出量に対して制限を課しているため、エネルギーの生産企業は生産に過少に労働を配分し、エネルギーの供給量を控えなければならない。しかしながら、 $S$ 国では、エネルギーの生産企業は利潤最大化を実現するように生産に労働を配分し、 $N$ 国のそれより多くなる。したがって、 $N$ 国ではより多くの部門でクリーン財を生産する。当然、二つの技術のスピルオーバー効果が異なる場合には、 $S$ 国でエネルギーに投入される労働は減少される可能性がある。これについては第4

5) 実際には、先進国では汚染の実質排出量が制限量を超えているため、この仮定は妥当性を持つと考えられる。

節の政策分析で検討する。

(20), (21)と(22)により, 総生産  $Y^j$  は次式で表される。

$$\begin{aligned} Y^j &= \int_0^1 p^j(i)y^j(i) = \int_0^{J^j} \delta^{-1} \cdot (P_E^j)^{\frac{1}{\beta}} \cdot N_E^j \cdot \frac{E^j}{J^j} di + \int_{J^j}^1 \delta^{-1} \cdot (P_L^j)^{\frac{1}{\beta}} \cdot N_L^j \cdot \frac{L_y^j}{1-J^j} di \\ &= \exp(-1)\delta^{-1} \cdot \left[ \left( 1 + \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{1/2} \right) \cdot N_L^j \cdot E^j + \left( 1 + \left( \frac{N_L^j}{N_E^j} \frac{L_y^j}{E^j} \right)^{-1/2} \right) \cdot N_L^j \cdot L_y^j \right] \\ &= \exp(-1)\delta^{-1} \left[ (N_E^j E^j)^{1/2} + (N_L^j L_y^j)^{1/2} \right]^2 \end{aligned} \quad (27)$$

### 3.2 動学均衡

S国において, R&D 活動を行わず, 新しい中間財を生産するしようとするとき, その生産技術スピルオーバーを通じて先進国から導入する。したがって, 途上国における技術進歩のプロセスは完全にN国における技術進歩に依存する。したがって, まず3.2.1ではN国における R&D 企業の行動を分析し, 動学均衡を検討する。その次に, 3.2.2ではS国についての動学を考察する。

#### 3.2.1 N国の動学均衡

N国の R&D 企業は新中間財の発明による長期的利益がその費用に等しいか, それを上回る場合に R&D 活動を行う。自由参入の仮定のもとでは, その長期的利益と費用は等しくなる。t 時点における z タイプの中間財の生産技術を開発した R&D 企業の長期的利益  $V_z^N(t)$  はすべての将来の利潤の割引現在価値である。すなわち,

$$V_z^N(t) = \int_t^1 \exp\left[-\int_t^\tau r^N(\omega) d\omega\right] \pi_z^N(\tau) d\tau \quad (28)$$

ただし,  $r(\tau)$  は  $\tau$  時点におけるN国の資本市場で成立する利子率である。また,  $\pi_z^N$  は中間財の販売からもたらされる独占利潤であり, 次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \pi_E^N(t) &= \beta(1-\beta)(P_E^N)^{1/\beta} \bar{D} \\ \pi_L^N(t) &= \beta(1-\beta)(P_L^N)^{1/\beta} (\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}) \end{aligned} \quad (29)$$

非裁定条件によって, R&D 企業の収益率は債券に対する収益率に等しくなる必要がある。したがって, 資本市場での収益率は利潤率と企業価値変化により発生するキャピタル・ゲイン (ロス) の合計に一致し, 次の式が成立する。

$$r^N(t) = \frac{\pi_z^N(t) + \dot{V}_z^N(t)}{V_z^N(t)} \quad (30)$$

N国において均衡ではプラスの量のイノベーションが生じ, そのうえ均衡成長率がプラスであると仮定する。その場合, 自由参入条件によって, 企業価値  $V_L^N(t) = V_E^N(t) = \eta$  となるため,  $\frac{\dot{V}_L^N(t)}{V_L^N(t)} = \frac{\dot{V}_E^N(t)}{V_E^N(t)} = 0$  となる。したがって, 任意の時点において  $\pi_L^N(t) = \pi_E^N(t)$  が成立する, (22)を(29)に代入して整理することにより, 次式が得られる。

$$\frac{P_L^N}{P_E^N} = \left( \frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{D}} \right)^{-\beta} \quad (31)$$

さらに、(31)を(21)に代入して  $M^N$  について解くと、 $M^N = \frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{L}}$  となる。これを(19)に代入すると、動学均衡における技術進歩  $\frac{N_L^N}{N_E^N}$  は次のようになる。

$$\frac{N_L^N}{N_E^N} = \frac{1 - M^N}{M^N} = \frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{D}} \quad (32)$$

$N$ 国で動学均衡における技術進歩  $\frac{N_L^N}{N_E^N}$  は労働，エネルギーの供給に依存する。この式を(27)に代入すると、 $N$ 国の均衡における総生産は次のように求められる。

$$Y^N = \exp(-1) \cdot \delta^{-1} (\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma} + \bar{D}) \cdot (N_E^N + N_L^N) \quad (33)$$

最終財の生産量  $Y$  は利用できる中間財の種類数 ( $N_E^N + N_L^N$ ) の増加とともに増加する。次に、成長率を考察するために、均斉成長経路 (Balanced Growth Path : BGP) について定義する。そしてその上で命題 1 が得られる。

**定義 1** 均斉成長経路 BGP (Balanced Growth Path) とは、すべての変数、すなわち、消費  $C$ 、技術進歩  $N_E^N$ 、 $N_L^N$ 、総生産  $Y$  が同じな率で成長するような状態である。

**命題 1**  $N$ 国では唯一の BGP が存在する。BGP に即して、総生産、消費と  $N_E$ 、 $N_L$  が  $g^N$  という率で成長する。

$$g^N = (1/\sigma) \cdot [\exp(-1)\beta \cdot (1-\beta) \cdot \eta^{-1} (\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma} + \bar{D}) - \rho] \quad (34)$$

証明：補論 3 を参照せよ。

### 3.2.2 S国の動学均衡

$S$ 国では、企業はスピルオーバーを通じて  $N$ 国で開発された一部の技術を利用して、中間財を生産する。 $N_z^S = \phi N_z$  であるため、(27)により、 $S$ 国における総生産は次のように得られる。

$$Y^S = \exp(-1) \delta^{-1} \phi \left[ (N_E^S)^{1/2} (\bar{L}^S)^{\gamma/2} + (N_L^S)^{1/2} (\bar{L} - \bar{L}_E^S)^{1/2} \right]^2 \quad (35)$$

(35)から明らかなように、 $S$ 国は  $N$ 国と同の率  $g^N$  で成長する。ただし、 $\bar{L}_E^S$  はエネルギー生産部門で雇用される労働を表し、(26)で与えられた関係を満す。そして、 $S$ 国では  $R\&D$  活動が行われないため、 $N$ 国と比較して、 $S$ 国での消費/GDPのほうが高いことが明らかである。

### 3.3 経済成長と汚染排出

均衡における技術進歩バイアス ( $N_L/N_E$ ) が  $N$ 国の要素供給の状況に応えるため、BGPにおいて、 $N$ 国の純産出量と消費は最大化される。証明なしで、次の命題をまとめることができる。

**命題 2** 純産出量  $NY^N \equiv Y^N - X^N$ 、消費  $C^N \equiv Y^N - X^N - I^N$  とすると、BGP における  $N_L/N_E$  は  $NY^N$  と  $C^N$  を最大化する。

一方、 $S$ 国の技術進歩が完全に  $N$ 国からのスピルオーバー効果に依存する状況において、 $S$ 国で使用されるエネルギー、つまり汚染排出量  $D^S$  が  $\bar{D}$  より大きい場合、 $N_E/N_L = \frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{D}} > \frac{\bar{L} - (D^S)^{1/\gamma}}{D^S}$  と

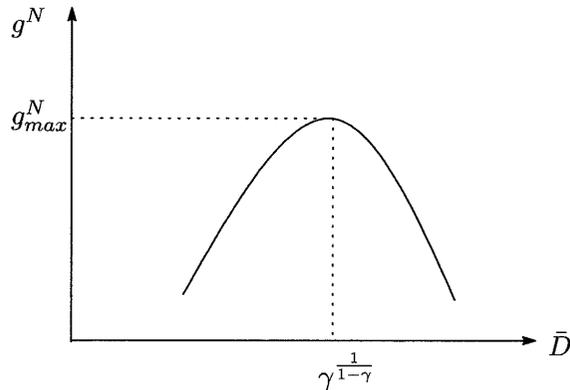


図2：N国における成長率と汚染排出制限

なる。したがって、N国で決定される技術バイアス  $N_E/N_L$  がS国の要素供給に適應していないため、S国の純産出量と消費のいずれも最大化されていない。しかも、 $\bar{D}$  が小さいほど(26)で決定される  $L_E^S$ 、つまり、 $D^S$  と  $\bar{D}$  の差が大きくなるため、S国の純産出量、消費と実現できる最大値との差は大きくなる。

次に外生的に与えられた汚染排出量  $\bar{D}$  の変化が、経済成長に与える影響を分析する。(34)において、 $g^N$  を  $\bar{D}$  について微分すると、次の関係を導くことができる。

$$\frac{\partial g^N}{\partial \bar{D}} \begin{cases} > 0, & \bar{D} < \gamma^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \text{ の場合} \\ = 0, & \bar{D} = \gamma^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \text{ の場合} \\ < 0, & \bar{D} > \gamma^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \text{ の場合} \end{cases} \quad (36)$$

この結果を利用して、命題3が得られる。

**命題3** N国では成長率  $g^N$  と汚染排出制限  $\bar{D}$  との間に逆U字の関係がある。 $\bar{D} = \gamma^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$  のとき、 $g^N$  は最大値  $g^N_{max}$  をとる。

命題3の内容は図2で示されている。

## 4 政策分析

### 4.1 国際的協調

この項でN国は資金援助を通じてS国のグリーン技術のスピルオーバー効果を向上させるような共同実施を導入し、それによって世界全体での排出総量を減少させると同時に、両国の経済厚生を上昇させるかどうかについて検討する。資金援助額  $m$  と資金援助がなされた後のスピルオーバー効果を表すパラメータ  $\phi_L$  との関係を次のように定式化することにする。

$$\phi_L(0) = \phi, \quad \lim_{m \rightarrow \infty} \phi_L(m) = 1, \quad \phi'_L > 0, \quad \phi''_L < 0 \quad (37)$$

(37)は、スピルオーバー効果の向上は資金援助額に関してプラスであるが、逓減的であることを意味している<sup>6)</sup>。

まず、N国では資金援助がなされた前と比べて、資金援助がなされた後の厚生が改善されるかどうかについて考える。N国からS国への資金援助がなされたときのN国の効用と制約条件は次のように表わされる。

$$\int_t^\infty U_t[C^N(\tau), (\bar{D} + D^S(\tau)), m(\tau)] d\tau$$

$$\text{s.t. } \frac{N_L^N}{N_E^N} = \frac{1 - J^N}{J^N} = \frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{D}}$$

$$\gamma^2 \cdot \left( \frac{\phi_L(m) N_L^N}{\phi N_E^N} \right) \cdot (L_E^S)^{2-2\gamma} + L_E^S = \bar{L}$$

$$D^S = (L_E^S)^{1/\gamma}$$

$$\frac{N_L^S}{N_E^S} = \frac{\phi_L(m) N_L^N}{\phi N_E^N} \tag{38}$$

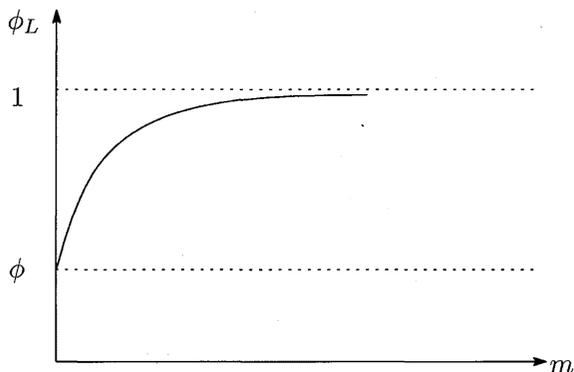


図3：資金援助額とスピルオーバー効果向上との関係

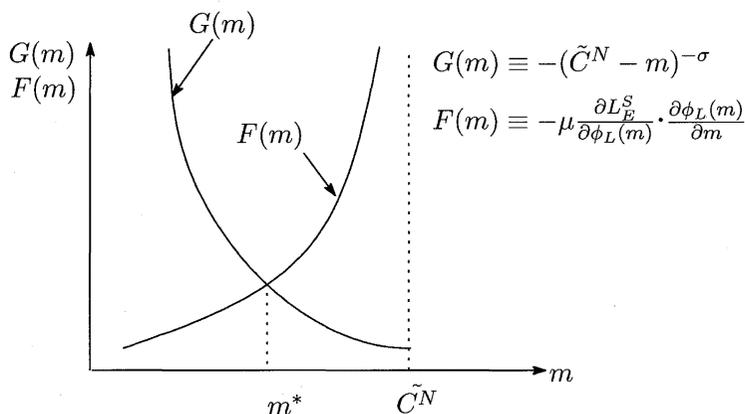


図4：唯一の最適援助額の決定

6) 国際的協調が実施されない場合においては、2.2.3節の仮定により  $\phi_L = \phi$  であることに注意せよ。また、図3を参照せよ。

ただし、 $m(t)$  は  $t$  期における  $N$  国 1 人当たりの  $S$  国に対する資金援助額であり、 $C^N(t)$  は協調がなされたあとの  $N$  国における消費量を表す<sup>7)</sup>。  $N$  国は、協調がなされなかったときの消費量を自国の消費分と  $S$  国に対する援助に振り分ける<sup>8)</sup>。それは次のように表わされる。

$$C^N = \beta \cdot \exp(-1) [1 - (1/\sigma)\eta^{-1}(1-\beta)] (\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma} + \bar{D}) \cdot (N_E^N + N_L^N) - (1/\sigma)\rho(N_E^N + N_L^N) - m \quad (39)$$

そして、(39)の1階条件は次のように

$$dU^N/dm = -(\tilde{C}^N - m)^{-\sigma} - \mu \frac{\partial L_E^S}{\partial \phi_L(m)} \cdot \frac{\partial \phi_L(m)}{\partial m} \quad (40)$$

ただし、 $\tilde{C}^N$  は協調がなされる前の  $N$  国の消費量を表し、 $\tilde{C}^N = \beta \cdot \exp(-1) [1 - (1/\sigma)\eta^{-1}(1-\beta)] (\bar{L} - \bar{D}^{1/\gamma} + \bar{D}) \cdot (N_E^N + N_L^N)$  となる。図4は唯一の最適  $m^*(t)$  が決定されることを示している。すなわち、 $N$  国における資金援助額  $m$  と経済厚生との間に次の関係が成立する。

$$\lim_{m \rightarrow +0} dU^N/dm > 0; \quad \lim_{m \rightarrow \tilde{C}^N} dU^N/dm < 0 \quad (41)$$

直感的に、(2)で定式化された効用関数のもとでは、消費の限界効用は逓減的であるため、1人当たり消費が大きいつきには、 $N$  国が消費を減らしてもでも、汚染排出量の多い  $S$  国に対して資金を援助することを通じて、 $S$  国の汚染を減少させることによって厚生を上昇させることができる。特に、援助額が小さいときには、汚染のマイナスの効用の減少は国際援助の増加による消費の効用の減少を上回るため、援助額は一意的に選択される。

また、このような国際的協調により、技術向上を通じて  $S$  国の経済厚生は改善される。グリーン技術のスピルオーバー効果の向上によって、 $S$  国では技術進歩が労働偏向的となり、市場規模の効果によって、エネルギーに対する需要が少なくなる。すなわち、最終財生産への労働配分の増加が産業構造をよりグリーン化させる。したがって、 $N$  国の汚染排出量が一定である状況の下で、汚染からのマイナスの効用が減少する。さらに、グリーン技術のスピルオーバー効果の向上によって、 $S$  国では利用できる中間財のバラエティーの個数が増加するとともに、消費は増加し、効用も上昇する。

## 4.2 エネルギー税

4.1項では議論された  $N$  国からの資金援助制度が適切に機能できない場合には、世界全体の汚染量を削減するために、 $S$  国で自助努力による省エネやエネルギーのクリーン化が望まれている。そのため、価格を調整することにより、エネルギー需要・生産構造を効率化する政策が必要であると考えられる。したがって、本項では  $S$  国で1単位エネルギーの使用に、 $\tau$  だけのエネルギー税を徴収し、その税収を消費者に移転するような政策を検討する。

$S$  国でエネルギー税の徴収により、エネルギーの生産企業の利潤最大化1階条件が  $\frac{\omega_L^j}{\omega_E^j} = \frac{1}{\tau}$   $\gamma(L_E^j)^{\gamma-1}$  となるため、労働制約条件は次のように書きなおされる。

7) 本稿では議論の単純化のために、 $N_E^N$ 、 $N_L^N$  が協調がなされた前と同じ経路を達成すると仮定している。伊ヶ崎(2004)では、これらの各変数の経路を不変においたことで、分析の複雑さを避けると同時に、パレート改善を果たしうるかどうかを考察することができる指摘されている。

8) 消費  $C^N$  の導出について、補論3を参照せよ。

$$\left(\frac{1}{1-\tau}\right)^2 \gamma^{-2} \cdot \left(\frac{N_E^i}{N_E^j}\right) \cdot (L_E^i)^{2-2\tau} + L_E^i = \bar{L} \quad (42)$$

この式から、エネルギー税が課される前と比べて、エネルギーの生産に配分される労働がより少ないことが明らかである。さらに、S国にとって  $N_E$  と  $N_L$  が所与であるため、(21)により  $M^S$  が小さくなる。エネルギー税の徴収はエネルギー価格を調整し労働配分を変化させることを通じてエネルギーの供給を減少させる。したがって、S国では産業構造のクリーン化が実現される。しかも、税率  $\tau$  は大きいほど、S国はより多くの部門でクリーン財を生産することになる。

しかしながら、税率  $\tau$  の変化が総生産に及ぼす効果はより複雑となる。(42)において、 $L_E^S = (\bar{D})^{1/\tau}$  を成立させるような  $\tau$  を  $\tau^*$  とすると、税率が  $\tau^*$  となるようなエネルギー税の実施により、 $\frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\tau}}{\bar{D}} = \frac{\bar{L} - (D^S)^{1/\tau}}{D^S} = \frac{N_L}{N_E}$  が成立するため、S国では最大産出・消費を達成できる。しかしながら、 $\tau$  が  $\tau^*$  を超えると、 $\tau$  の増加により、 $\frac{\bar{L} - (D^S)^{1/\tau}}{D^S}$  が  $\frac{\bar{L} - \bar{D}^{1/\tau}}{\bar{D}}$  から乖離してしまうため、実際に実現する生産、消費と達成できる最大量との差も拡大する。

以上の結果をまとめると、次の命題が得られる。

**命題 4** S国では、適切なエネルギー税を課すことで産業構造をよりクリーン化させるのみならず、総生産や消費も増加させることができる。しかしながら、税率  $\tau$  がある値を超えると、より多い部門でクリーン財は生産されるものの、総生産は減少する。

## 5 おわりに

本稿は「先進国が汚染排出量に外生的なギャップを敷いており、途上国が温室ガスの排出に対して規制が行われぬ」という状況を想定し、技術移転と生産性格差を分析した Acemoglu and Zilibotti (2001) の一般均衡モデルに環境汚染を導入して、グローバル経済における環境政策、グリーン・イノベーションと経済成長との関係について分析した。分析結果、偏向的技術進歩のもとでは先進国と途上国が同様な技術の組み合わせにアクセスできるとしても、異なる環境政策・規制の実施により、両国における資源配分、さらに、産業構造とGDPに差が生じることが示されたとともに、技術移転以外に、N国がS国におけるグリーン技術のスピルオーバー効果を向上させるような資金援助を行うことでS国地球規模での排出総量を減少させるとともに両国の経済厚生も改善できることと、S国の自努力としては適切なエネルギー税政策は当該国の産業構造をグリーン化させることが明らかにされた。本稿では得られた結果は決して新たな発見事実ではないが、国際社会の一致団結した取組の強化が急務となっている現在、世界全体での温室ガス排出を削減させるために、技術移転と資金援助の両方を盛り込むような国際的ポリシー・ミックスが必要であることを示唆している。

今後の課題として、次のことが挙げられる。本稿では閉鎖経済の下で分析を進めてきたが、国際貿易が存在する場合の考察が必要であろう。また、両国に共同実施を厳守させるために、どんな制度が必要であるかについて考えていきたい。

## 補論

## 補論 1：補題 1 の証明

最終財  $i$  企業が技術  $z(z=E, L)$  を用いて、財を生産する場合の利潤はそれぞれ次のように示される。

$$\begin{aligned}\pi_E^i(i) &= p^j(i)y^j(i) - \omega_E^i(i)E^j(i) - \int_0^{N_E^i} \chi_E^i(v)k_E^i(i, v)dv \\ \pi_L^i(i) &= p^j(i)y^j(i) - \omega_L^i(i)L^j(i) - \int_0^{N_L^i} \chi_L^i(v)k_L^i(i, v)dv\end{aligned}\quad (43)$$

最終財企業の間接財に対する需要関数(5)、間接財の独占価格(7)と最終財の生産関数(10)を(43)に代入すると、企業は技術  $z(z=E, L)$  を用いて財を生産する場合の利潤は次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\pi_E^i(i) &= \delta^{-1}p^j(i)^{1/\beta} \cdot N_E^i \cdot (1-i)E^j(i) - [(1-\beta)/\chi p^j(i)]^{1/\beta} [(1-i) \cdot E^j(i)] - \omega_E^i(i)E^j(i) \\ \pi_L^i(i) &= \delta^{-1}p^j(i)^{1/\beta} \cdot N_L^i \cdot iE^j(i) - [(1-\beta)/\chi p^j(i)]^{1/\beta} [i \cdot E^j(i)] - \omega_L^i(i)E^j(i)\end{aligned}\quad (44)$$

したがって、エネルギー偏重的技術のもとで、単位エネルギー当たりの利潤は次のようになる。

$$\zeta_E^i(i) = \frac{\pi_E^i(i)}{E^j(i)} = \delta^{-1}p^j(i)^{1/\beta} \cdot N_E^i \cdot (1-i) - [(1-\beta)/\chi p^j(i)]^{1/\beta} (1-i) - \omega_E^i(i)\quad (45)$$

同様に、グリーン技術のもとで、労働者一人あたりの利潤は次のようになる。

$$\zeta_L^i(i) = \frac{\pi_L^i(i)}{L^j(i)} = \delta^{-1}p^j(i)^{1/\beta} \cdot N_L^i \cdot i - [(1-\beta)/\chi p^j(i)]^{1/\beta} i - \omega_L^i(i)\quad (46)$$

(45)と(46)から、 $\zeta_L^i(i) - \zeta_E^i(i)$  は  $i$  の増加関数であることが明らかである。また、最終財市場が完全競争的であるため、均衡において  $\pi_E^i(i) = \zeta_E^i(i) \leq 0$  と  $\pi_L^i(i) = \zeta_L^i(i) \leq 0$  は成立する。さらに、総生産が(1)で仮定されている場合、すべての最終財  $i(i \in [0, 1])$  が生産されることになる。したがって、必ずある  $M$  が存在し、 $\zeta_E(M) - \zeta_L(M) = 0$  が成立する。また、 $0 < i \leq M$  の場合、 $\zeta_E(M) - \zeta_E(i) > 0$ 、 $M < i \leq 1$  の場合、 $\zeta_L(M) - \zeta_L(i) < 0$  が成り立つ。

## 補論 2：補題 2 の証明

最終財市場が完全競争であるため、任意の  $0 \leq i \leq M^j$  に対して、エネルギー価格  $\omega_E$  が限界生産価値  $\delta^{-1} \cdot p^j(i)^{1/\beta} \cdot (1-i) \cdot N_E^i$  に一致する。したがって、 $p^j(i)^{1/\beta} (1-i)$  は必ず一定である。それを  $P_E^i$  とすると、 $p^j(i) = P_E^i (1-i)^{-\beta}$  が成り立つ。さらに、すべての  $0 \leq i \leq 1$  に対して、 $p^j(i)y^j(i) =$  一定であるため、 $\delta^{-1} \cdot N_E^i \cdot P_E^i \cdot E^j(i) =$  一定となる。したがって、任意の  $0 \leq i \leq M^j$  に対して、 $E^j(i)$  は一定となる。同様に、任意の  $M^j < i \leq 14$  に対して、労働の賃金率  $\omega_L$  がその限界生産価値  $\delta^{-1} \cdot p^j(i)^{1/\beta} \cdot i \cdot N_L^i$  に一致する。したがって、 $p(i)^{1/\beta} \cdot i$  は必ず一定である。それを  $P_L^i$  とすると、 $p^j(i) = P_L^i i^{-\beta}$  が成立する。そして、すべての  $M^j < i \leq 1$  に対して、 $p^j(i)y^j(i) =$  一定であるため、 $\delta^{-1} \cdot N_L^i \cdot P_L^i \cdot L^j(i) =$  一定となる。したがって、任意の  $M^j < i \leq 1$  に対して、 $L^j(i)$  は一定となる。しかも  $p(0)y(0) = P_E y(0) = \delta^{-1} P_E^{\frac{1}{\beta}} \cdot N_E \cdot \frac{L_E}{M^j}$  かつ

$p(1)y(1) = P_L$ 、 $y(1) = \delta^{-1} P_L^{\frac{1}{\beta}} \cdot N_L \cdot \frac{L_y}{1-M^j}$  であるため、補題 2 が成立する。

補論 3 : 命題 1 の証明

まず, 利子率を求めることにする. (31)を(22)に代入して,  $P_E$  と  $P_L$  について解くと  $P_E^N = \exp(-\beta)\left(\frac{\bar{D}}{1-\bar{D}^{1/\gamma}}\right)^\beta$ ,  $P_L^N = \exp(-\beta)\left(\frac{1-\bar{D}^{1/\gamma}}{\bar{D}}\right)^\beta$  が得られる. したがって, 利潤フローは次のようになる.

$$r^N = \beta(1-\beta)\exp(-1)(\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D}) \quad (47)$$

(47)により, 利子率は通時的に一定である. したがって, 非利ザヤ条件により, 利潤も一定であり, 次式で与えられる.

$$\pi_E^N = \pi_L^N = \eta^{-1}\beta(1-\beta)\exp(-1)(\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D}) \quad (48)$$

また, (32)により, BGPにおける  $N_E$  と  $N_L$  は同じ率で成長し, その率を  $g^N$  とする. さらに, 総生産  $Y^N$  は  $N_E + N_L$  に比例しているため,  $Y^N$  も率  $g^N$  で成長する.

2 種類中間財を生産するためには使用される最終財の量が  $I_E$  と  $I_L$  は次式で表される.

$$I_E^N = \chi \cdot \int_0^{N_E} \int_0^{M^N} k_E(i, v) didv = (1-\beta) \cdot \exp(-1) \cdot (\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D}) \cdot N_E^N$$

$$I_L^N = \chi \cdot \int_0^{N_L} \int_{M^N}^1 k_L(i, v) didv = (1-\beta) \cdot \exp(-1) \cdot (\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D}) \cdot N_L^N$$

したがって, 中間財の生産に用いられた最終財  $I^N$  は次のように求められる.

$$I^N = I_E^N + I_L^N = (1-\beta) \cdot \exp(-1) \cdot (\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D}) \cdot (N_E^N + N_L^N) \quad (49)$$

$I^N$  は  $(N_E + N_L)$  に比例しているため,  $I^N$  の成長率も  $g^N$  となる. また, 研究開発  $X^N = X_E^N + X_L^N = g\eta(N_E + N_L)$  となる. したがって, 予算制約条件  $C^N = Y^N - I^N - X^N$  により,  $C$  は  $g$  の率で成長する. オイラー方程式により,  $g^N$  は次のように与えられる.

$$g = \frac{\dot{C}}{C} = 1/\sigma(r-\rho) = (1/\sigma) \left[ (\eta^{-1}\beta(1-\beta)\exp(-1)(\bar{L}-\bar{D}^{1/\gamma}+\bar{D})) - \rho \right] \quad (50)$$

参 考 文 献

- [ 1 ] Acemoglu, D. (2002), "Directed Technical Change," *The Review of Studies* Vol.69, 781-809.
- [ 2 ] Acemoglu, D. and F. Zilibotti (2001), "Productivity Differences," *The quarterly Journal of Economics* Vol. 116, 563-606.
- [ 3 ] Babiker, M.H. (2005), "Climate Change Policy, Market Structure and Carbon Leakage," *Journal of International Economics* Vol.65, 421-445.
- [ 4 ] Barro, R. and X. Sala-i-Martin (1997), "Technological Diffusion, Convergence, and Growth," *Journal of Economic Growth* Vol.2(1), 1-26.
- [ 5 ] Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (2004), *Economic Growth*, MIT Press. (大住圭介訳『内生的経済成長論 (I), (II)』九州大学出版会, 2006.)
- [ 6 ] Di Maria C. and E. van der Welf (2006), "Carbon Leakage Revisited: Unilateral Climate Policy with Directed Technical Change," *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers* Vol.39, 55-74, No.2006.94.
- [ 7 ] Di Maria C. and E. van der Welf (2008), "Carbon Leakage Revisited: Unilateral Climate Policy with Directed Technical Change," *Environmental & Resource Economics* Vol.39, 55-74.
- [ 8 ] Di Maria C. and Sjak A. Smulders (2004), "Trade Pessimists vs Technology Optimists: Induced Technical Change and Pollution Havens," *Advances in Economic Analysis & Policy* Vol.4(2), 1-25.

- [ 9 ] 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.)
- [10] Papageorgiou, C. (2002), “Technology Adoption, Human Capital, and Growth Theory,” *Review of Development Economics* Vol.6(3), 351-368.
- [11] Parente, S. and E. C. Prescott (2000), *Barriers to Riches*, MIT Press.
- [12] Romer, P. (1990), “Endogenous Technological Change,” *Journal of Political Economy* Vol.98(5), 71-102.
- [13] 伊ヶ崎大理 (2004) 『地球環境と内生的経済成長—マクロ動学による理論分析』九州大学出版会.