

# 越境汚染と環境支援政策

平 澤 誠

## 1 序

本稿では、環境保全に積極的なある地域の環境が域外の汚染排出の影響を受けるとき、すなわち、越境汚染が存在するときに、その地域の経済活動、経済成長、および環境水準がどのようなものになるかを考察する。そして、排出削減費用の課税による財源調達を考え、それが、環境、及び経済活動水準に与える長期的な効果を検討する。

1990年代は、経済学者の間で越境汚染の問題に対する関心が高まりをみせた時期であった。そこでは2国(多国)動学モデルを用いた越境汚染問題の分析もおこなわれた。それらの先行研究においては、いわゆる最適排出制御(optimal pollution control)モデルを2国モデルに拡張したものが用いられた(e.g., van der Ploeg and de Zeeuw(1992), Dockner and Long(1993), Dockner and Nishimura(1998), Zagonari(1998))。ここで、最適排出制御モデルとは、ある与えられた目的関数を最大化(あるいは最小化)するために最適な排出経路を探るというものである。そこでは、資本蓄積や各主体レベルの経済選択の考察は捨象されていることが多い。

しかし、国境を越えた環境汚染が、各国の経済決定にどのような影響を与え、それが各国の経済成長にどのような影響を与えるのか、という問題は、資本蓄積を捨象したモデルでは十分に検討することができない。その意味で、上に述べた最適排出制御モデルは、越境汚染と経済成長の問題を分析するための reduced form と考えられる。一方、本稿では、資本蓄積も含んだ標準的な成長モデルの枠組みに域外からの環境汚染の可能性を組み入れて、越境汚染と経済成長の問題の検討を試みる。

ところで、上述の先行研究において資本蓄積が捨象されていたのは、ひとつには、資本蓄積と環境という2種類の状態変数を含む2国モデルを解析的に分析するのが非常に困難であることによる。そこで、本稿では、越境汚染と経済成長の問題を分析するため

に、環境を共有する地域が極端に非対称的であると想定して、ある地域のみを経済活動に関心を集中する。

ここで、本稿の想定を詳しく説明しておこう。本稿では、次のような状況を考える。まず、ある1つの地域を考える。その地域は、ほかの地域と貿易をおこなっておらず、また、資本移動もないものとする。しかし、環境については、域外における汚染物質排出の影響を受けると仮定する。すなわち、越境汚染が存在する状況を考える。いま、その地域を自地域、それ以外の地域をまとめて外部地域と呼ぶことにしよう。このような状況は2国モデルとして表すことができる。しかし、本稿では、外部地域について次のような仮定をする。まず、外部地域は、汚染排出の削減を自発的にはおこなわないと仮定する。それは、たとえば、外部地域として、十分な経済成長が達成されておらず、そのため、環境保全のためには資源が配分されないような地域を考えているということである<sup>注1</sup>。さらに、外部地域の経済は、1人当たりの所得水準が時間を通じて一定の状態にあると仮定する。この仮定は、自地域の経済成長と環境保全への取り組みに関心を集中するためにおかれる<sup>注2</sup>。いま、外部地域の排出は自地域の環境の質にマイナスの影響を与えるが、外部地域は自発的には排出削減をおこなわない。そのような状況では、外部地域における排出に対して、自地域は何らかの対抗策を講じることが予想される。たとえば、汚染物質の排出が少ない機械設備を無償で提供する、あるいは、排出を削減できるような生産工程の開発に資金援助をおこなう、などである。そこで以下では、自地域が外部地域に対して、外部地域における排出の削減を目的とした援助をおこなうと仮定する。

本稿では、以上のような状況において、排出削減費用の財源を(i)所得税によって調達する場合と(ii)消費税によって調達する場合を考え、それぞれの財源調達の場合について、どのような経済水準、及び環境水準が達成されるか、税率の変化が各変数の長期水準に対してどのような影響を及ぼすか、などの問題を検討する。

本稿で得られる結論は次のようである。まず、適当なパラメタ条件のもとでは、いずれの財源調達の場合にも定常均衡が存在する。そして、消費税により環境保全活動をおこなう場合、長期的に最善解におけるよりも高い環境の水準が達成される。しかし、消費税率の変更は環境の長期水準に影響を与えることはできないことが示される。一方、所得税による財源調達の場合には、環境の長期水準が税率に依存して決まる。そこでは、所得税率の引き下げ(引き上げ)が環境の長期水準を上昇させる(低下させる)ことが示される。そして、所得税率を十分に低く設定すれば、消費税におけるよりも高い環境

の水準を達成できることが示される。よって、政府の政策目標が、長期的に高い水準の環境を維持することである場合には、所得税による環境保全活動が望ましいという結論が得られる。

本稿の構成は以下のものである。まず、2節で基本モデルが示される。続く3節では、ベンチマークとして最善解を導出する。そして、4節において、課税により環境保全活動がおこなわれる場合の定常均衡が導出される。そこでは、所得税により財源調達する場合（4.1節）と消費税により財源調達する場合（4.2節）を考える。5節では、4節で導かれる、課税による環境保全活動の場合の定常均衡について、パラメタが変化したときの長期的な効果が検討される。まず5.1節では、税率変化の効果が検討される。なお、そこでは定常均衡水準と税率との関係も議論され、政策的なインプリケーションが導かれる。次に5.2節では、環境への関心の変化が及ぼす効果が検討される。そして5.3節では、越境汚染に関わるパラメタ変化の効果を検討する。そこでは、外部地域のアウトプット水準、及び外部地域への援助率の効果に注目する。最後に6節では結語が述べられる。

## 2 基本モデル

無限の時間的視野をもつ家計からなる2地域を考える。それらの2地域を、それぞれ自地域、外部地域とよぶ。序で述べたように、ここでは外部地域の行動は所与として専ら自地域の経済行動に関心を集中する。簡単化のため、以下では、両地域の家計数が等しく、かつそれらは時間を通じて一定であると仮定しよう。ここでは、それを1に基準化する<sup>注3</sup>。なお、以下の記述では、誤解の恐れのある場合を除いて、各変数の時点を表す変数  $t$  は省略している。

### 2.1 環境

自地域の環境の質  $E$  が、次式に従って推移すると仮定する：

$$\dot{E} = -\log\left(\frac{y}{z}\right)^{\theta} - \log\left(\frac{y^*}{z^*}\right)^{\theta^*} + \nu E \quad (1)$$

ここで、右辺第1項は自地域における汚染物質の排出量を表す。ただし、 $y$  は自地域におけるアウトプット水準であり、 $z$  は自地域の汚染物質排出削減への支出である<sup>注4</sup>。同様に、右辺第2項は外部地域における汚染物質の排出量を表す。 $y^*$  は外部地域におけるア

アウトプットの水準,  $z^*$  は外部地域の汚染物質排出削減への支出である。いま, (1) 式の右辺に外部地域における汚染排出量が含まれていることが, 越境汚染の存在を表している<sup>注5</sup>。ここで, モデルの想定により,  $z^*$  は自地域から外部地域への援助に等しい。

## 2.2 民間部門

自地域の家計は, 無限の時間的視野を持ち, かつ同質的であると仮定しよう。そこで, 代表的家計を考える。その家計は, 各時点において, 消費と環境から効用を得る。いま, 代表的家計の瞬時的効用関数が次のように表されるとしよう:

$$u(c, E) = \log c + \beta \log E, \beta > 0 \quad (2)$$

ただし,  $c$  は消費,  $\beta$  は家計の環境に対する選好を表すパラメタである。家計の時間選好率を  $\rho (> 0)$  とすると, 家計の目的は, 無限の視野にわたる効用の割引現在価値総和

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} (\log c + \beta \log E) dt \quad (3)$$

を最大化することである。

ここで簡単のために, 各家計は企業所有者であると仮定しよう。各企業は同質の生産物を生産し, 生産技術が Romer 型<sup>注6</sup>の外部効果を含む次のような生産関数で表されるとする:

$$y = Ak^\alpha K^{1-\alpha} \quad (4)$$

ただし,  $k$  は各企業(家計)が所有する資本ストック,  $K$  は自地域の経済全体の資本ストックを表す。ここで,  $K^{1-\alpha}$  の項は他企業の生産活動が市場を通さずに各企業の生産水準に影響するという外部性の効果を表している。個別企業(家計)にとっては  $K$  の水準は所与となる。

さて, 自地域の家計のフローの予算制約は次式で与えられる:

$$\dot{k} = (1 - \tau_y)y - (1 + \tau_c)c - \delta k \quad (5)$$

ただし、 $\tau_y$  は所得税率、 $\tau_c$  は消費税率、 $\delta > 0$  は資本減耗率である。すなわち、自地域の家計は、税引き後の所得  $(1 - \tau_y)y$  を、課税された消費  $(1 + \tau_c)c$  と資本減耗への割当  $\delta k$ 、及び次の期の資本への投資  $\dot{k}$  に配分する。

### 2.3 政府部門

自地域の政府は、課税による税収から、自地域における排出削減のための支出と、外部地域における環境保全のための援助をおこなう。なお、公債の発行はなく、また、政府はそのほかの経済活動はおこなっていないと仮定する。いま、自地域における環境支出を  $z$ 、外部地域への援助を  $z^*$  とする。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

$$\tau_y y + \tau_c c = z + z^*$$

である。いま、外部地域への援助が環境支出が税収に占める割合を  $\xi$  とおく：

$$\xi := \frac{z^*}{\tau_y y + \tau_c c}$$

ここで、 $0 < \xi < 1$  である。以後、 $\xi$  を外部地域に対する援助率とよぶ。

### 2.4 市場均衡

自地域は貿易をおこなっておらず、また、資本移動もない。このとき、家計の予算制約(5)に政府の予算制約を代入し、かつ均衡においては  $K = k$  が成り立つことに注意すると次式を得る：

$$y - \delta k = Ak - \delta k = c + z + z^* + \dot{k} \quad (6)$$

これが、自地域の資源制約である。すなわち、自地域で生産された純生産物  $y - \delta k$  は、自地域における消費  $c$ 、自地域における排出削減  $z$ 、外部地域への援助  $z^*$ 、及び投資  $\dot{k}$  に配分される。

### 3 最善解の導出

ここでは、ベンチマークとしてモデルの最善解を導出しておこう。そこで、自地域の社会計画者の問題を考える。自地域の社会計画者は、資源制約(6)と環境 $E$ の遷移式(1)の2本の制約式のもとで、自地域の代表的家計の目的関数(2)を最大化するように資源配分をコントロールする。ただし、初期時点における資本ストック $k_0$ と環境の水準 $E_0$ 、及び外部地域の所得水準 $y^*$ は所与である。すなわち、社会計画者の問題は次のように与えられる：

$$\max_{c, z, z^*} \int_0^{\infty} e^{-\rho t} (\log c + \beta \log E) dt$$

subject to

$$\dot{k} = Ak - c - (z + z^*) - \delta k$$

$$\dot{E} = -\theta \log\left(\frac{Ak}{z}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{z^*}\right) + \nu E$$

$$k(0) = k_0, E(0) = E_0$$

この問題は典型的な最適制御問題である。そこで、ハミルトニアン $\mathcal{H}$ を次のように設定して、最適化のための必要条件を求めよう：

$$\mathcal{H} := \log c + \beta \log E + [(A - \delta)k - c - (z + z^*)] + \eta \left[ -\theta \log\left(\frac{Ak}{z}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{z^*}\right) + \nu E \right]$$

ただし、 $\lambda$ 、 $\mu$ 、及び $\eta$ は、それぞれ、 $k$ 、及び $E$ の補助変数である。ここで、最大値原理による最適化条件を求めると、

$$c^{-1} = \lambda \quad (7)$$

$$\theta \eta z^{-1} = \mu \quad (8)$$

$$\theta^* \eta (z^*)^{-1} = \mu \quad (9)$$

$$\dot{\lambda} = (\rho + \delta - A) \lambda + \theta \eta k^{-1} \quad (10)$$

$$\dot{\eta} = (\rho - \nu) \eta - \beta E^{-1} \quad (11)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \dot{k}(t) = 0 \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \dot{\eta}(t) = 0 \quad (13)$$

が得られる。ここで、(12)、及び(13)は横断性条件である。いま、(7)、(8)、及び(9)より、

$$c = \frac{1}{\rho}, \quad z = \theta \frac{\eta}{E}, \quad z^* = \theta^* \frac{\eta}{E}$$

を得る。それらを(6)、及び(11)に代入したものと、(10)、及び(11)から、 $k$ 、 $E$ 、 $\eta$ 、及び $\eta$ に関する次のような連立微分方程式体系が得られる：

$$\begin{aligned} \dot{k} &= (A - \delta)k - [1 + (\theta + \theta^*)\eta]l \\ \dot{E} &= -\theta \log(Ak - l\theta\eta) - \theta^* \log(y^* - l\theta^*\eta) + \nu E \\ \dot{\eta} &= (\rho + \delta - A) \eta + (\theta\eta)l/k \\ \dot{\eta} &= (\rho - \nu)\eta - \beta/E \end{aligned} \quad (15)$$

以上が最善解の満たす動学体系である。

それでは次に、この体系の定常解を考えよう。(15)より、定常解は連立方程式体系

$$\begin{aligned} (A - \delta)k - [1 + (\theta + \theta^*)\eta]l &= 0 \\ -\theta \log(Ak - l\theta\eta) - \theta^* \log(y^* - l\theta^*\eta) + \nu E &= 0 \\ (\rho + \delta - A) \eta + (\theta\eta)l/k &= 0 \\ (\rho - \nu)\eta - \beta/E &= 0 \end{aligned}$$

の解である。ここで、パラメタに関する次のような条件を考えよう：

$$\nu < \rho < A - \delta, \quad \text{かつ} \quad \frac{\theta}{\theta^*} > \frac{A - \delta - \rho}{\rho} \quad (C1)$$

このとき、若干の計算により次の結果が確かめられる：

### 命題 1

もし、パラメタが条件(C1)をみたすならば、定常解  $k = k_s (> 0)$ 、 $E = E_s (> 0)$ 、

=  $\xi (> 0)$ ,  $\eta = \eta_s (> 0)$  が一意に存在する .

いま , 定常均衡における各変数の値は次式で与えられる :

$$k_s = \left[ \frac{y^*}{A - \rho - \delta} \cdot \frac{\theta}{\theta^*} \right] \cdot \left[ \frac{A}{A - \rho - \delta} \right]^{\frac{\theta}{\theta^*}} e^{-\frac{\nu}{\theta^*} E_s}$$

$$E_s = \frac{\beta [\theta \rho - \theta^* (A - \delta - \rho)]}{(\rho - \nu)(A - \delta - \rho)}$$

$$s = \frac{\theta}{[\theta \rho - \theta^* (A - \delta - \rho)] \cdot k_s}$$

$$\eta_s = \frac{A - \delta - \rho}{\theta \rho - \theta^* (A - \delta - \rho)}$$

このとき ,  $c$  ,  $z$  , 及び  $z^*$  も時間を通じて一定 ( $c = c_s$  ,  $z = z_s$  ,  $z^* = z_s^*$ ) となり , その値は , それぞれ次式で与えられる :

$$c_s = \frac{1}{\theta} [\theta \rho - \theta^* (A - \delta - \rho)] k_s > 0$$

$$z_s = (A - \delta - \rho) k_s > 0$$

$$z_s^* = \frac{\theta^*}{\theta} (A - \delta - \rho) k_s > 0$$

#### 4 課税による排出削減費用の調達

本節では , 環境保全支出の財源を課税によって調達する場合を考察する . 本稿のモデルでは , アウトプットが環境悪化要因であるから , 環境悪化要因に対する課税として , まず所得税による環境保全を考える . また , 家計は消費と環境から効用を得るが , 消費に対する課税が消費と環境への資源配分にどのような影響を与えるかをみるために , 消費税による環境保全を考える . ただし , ここでは , どちらの税を考える場合も , 税率が時間を通じて一定であるような政策だけを考える . また , 外部地域に対する援助率  $\xi$  も事前に決定されており , 時間を通じて一定とする . よって , 税収は , 自地域における環境保全支出と外部地域への援助の間に , 常に一定の比率  $1 - \xi : \xi$  で配分される . そし



て、政府はこれらの政策にコミットしていると仮定する<sup>注7</sup>。以下では、まず4.1節で所得税による排出削減を、続く4.2節で消費税による排出削減を考える。

#### 4.1 所得税による財源調達

所得税による財源調達を考えよう。このとき、自地域における排出削減支出は  $z = (1 - \xi)\tau_y y$ 、外部地域への援助は  $z^* = \xi\tau_y y$  である。個々の家計（企業）にとっては、外部地域のアウトプット水準  $y^*$ 、外部地域への援助率  $\xi$ 、及び所得税率  $\tau_y$  は所与とみなされる。自地域の家計は、効用を最大化するように消費経路  $c$  を選択するが、そのときの家計の制約条件は、初期の資産保有量  $k_0$  と初期の環境水準  $E_0$ 、及びフローの予算制約と環境水準の遷移式である。自地域の代表的家計の最適化問題をまとめると次のようになる：

(P2)

$$\max_c \int_0^{\infty} (\log c + \beta \log E) e^{-\rho t} dt$$

subject to

$$\dot{k} = (1 - \tau_y)y - c - \delta k \quad (16)$$

$$\dot{E} = -\theta \log\left(\frac{y}{(1 - \xi)\tau_y y}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{\xi\tau_y y}\right) + \nu E \quad (17)$$

$$k(0) = k_0, E(0) = E_0$$

それでは、この問題の最適化条件を求めよう。そこで、ハミルトニアンを次のように設定する：

$$\begin{aligned} \mathcal{H} = & \log c + \beta \log E + [(1 - \tau_y)y - c - \delta k] \\ & + \eta \left[ -\theta \log\left(\frac{y}{(1 - \xi)\tau_y y}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{\xi\tau_y y}\right) + \nu E \right] \end{aligned}$$

このとき，最大値原理による最適化条件は，

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial c} = \frac{1}{c} - \rho = 0 \quad (18)$$

$$\dot{\cdot} = \left[ \rho - \left( (1 - \tau_y) \frac{\partial y}{\partial k} - \delta \right) \right] - \theta^* \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial k} \eta \quad (19)$$

$$\dot{\eta} = (\rho - \nu) \eta - \frac{\beta}{E} \quad (20)$$

及び横断性条件(12)，(13)で与えられる．

さて，家計の最適化条件(18)より  $c = 1/\rho$  が得られる．いま，自地域の家計数(=企業数)を1に基準化しているから  $k = K$  とおくことができる．これを生産関数(4)式，及び資本の私的限界生産物の式に代入すると， $y = Ak$ ， $\partial y / \partial k = \alpha A$  である．これらの式を(16)，(17)，(19)，及び(20)に代入して整理すると，所得税により環境保全支出をおこなう場合の動学体系が得られる：

$$\dot{k} = [(1 - \tau_y)A - \delta]k - \frac{1}{\rho}$$

$$\dot{E} = -\theta \log\left(\frac{1}{(1 - \xi)\tau_y}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{\xi\tau_y Ak}\right) + \nu E$$

$$\dot{\cdot} = [\rho - ((1 - \tau_y)\alpha A - \delta)] - \theta^* \alpha \frac{\eta}{k}$$

$$\dot{\eta} = (\rho - \nu) \eta - \frac{\beta}{E}$$

ここで，パラメタに関する次の条件を考えよう：

$$\delta < (1 - \tau_y)A < \frac{\rho + \delta}{\alpha}, \text{ かつ } \nu < \rho \quad (C2)$$

このとき，次のことを確認することができる：

## 命題 2

もし，パラメタが条件(C2)をみたすならば，定常解  $k = k_s^y (> 0)$ ， $E = E_s^y (> 0)$ ，

$= \frac{y}{s} (> 0)$ ,  $\eta = \eta_s^y (> 0)$  が一意に存在する。

いま、命題 2 に示されている各定常値は、それぞれ次式で与えられる：

$$k_s^y = \left[ \frac{y^*}{\zeta \tau_y A} \right] \cdot \left[ \frac{1}{(1-\zeta) \tau_y} \right]^{\frac{\theta}{\theta^*}} \cdot e^{-\frac{\nu}{\theta^*} E_s^y}$$

$$E_s^y = \frac{\theta^* \alpha \beta [(1-\tau_y) A - \delta]}{(\rho - \nu) [\rho - [(1-\tau_y) \alpha A - \delta]]}$$

$$\frac{y}{s} = \frac{1}{[(1-\tau_y) A - \delta] k_s^y}$$

$$\eta_s^y = \frac{\rho - [(1-\tau_y) \alpha A - \delta]}{\theta^* \alpha [(1-\tau_y) A - \delta]}$$

また、消費の定常値  $c_s^y$  は、

$$c_s^y = [(1-\tau_y) A - \delta] k_s^y > 0$$

となる。

## 4.2 消費税による財源調達

次に、消費税による財源調達を考える。このとき、自地域における環境保全支出は  $z = (1-\zeta) \tau_c c$  であり、外部地域への援助は  $z^* = \zeta \tau_c c$  である。ここでも、外部地域のアウトプット水準  $y^*$ 、外部地域への援助率  $\zeta$ 、及び消費税率  $\tau_c$  は、個々の家計にとっては所与とみなされる。このとき、自地域の代表的家計の最適化問題は、次のように与えられる：

(P3)

$$\max_c \int_0^\infty e^{-\rho t} (\log c + \beta \log E) dt$$

subject to

$$\dot{k} = y - (1 + \tau_c) c - \delta k \tag{21}$$

$$\dot{E} = -\theta \log\left(\frac{y}{(1-\xi)\tau_c c}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{\xi\tau_c c}\right) + \nu E \quad (22)$$

$$k(0) = k_0, E(0) = E_0$$

ここで，ハミルトニアンを次のように設定する：

$$\begin{aligned} \mathcal{H} = & \log c + \beta \log E + [y - (1 + \tau_c)c - \delta k] \\ & + \eta \left[ -\theta \log\left(\frac{y}{(1-\xi)\tau_c c}\right) - \theta^* \log\left(\frac{y^*}{\xi\tau_c c}\right) + \nu E \right] \end{aligned}$$

このとき，最適化条件は，

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial c} = \frac{1}{c} - (1 + \tau_c) + \frac{(\theta + \theta^*)\eta}{c} = 0 \quad (23)$$

$$\dot{\cdot} = \left[ \rho - \left( \frac{\partial y}{\partial k} - \delta \right) \right] + \theta \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial k} \eta \quad (24)$$

$$\dot{\eta} = (\rho - \nu)\eta - \beta/E \quad (25)$$

及び横断性条件(12),(13)で与えられる。

いま，個人の最適化条件(23)から  $c = [1 + (\theta + \theta^*)\eta] / (1 + \tau_c)$  が得られる。また，こ  
こでも  $y = Ak$ ， $\partial y / \partial k = \alpha A$  となる。そこで，これらの式を(21),(22),(24),及び(25)  
に代入すると，消費税により財源を調達するときの動学体系が得られる：

$$\dot{k} = (A - \delta)k - \frac{1 + (\theta + \theta^*)\eta}{1 + \tau_c}$$

$$\dot{E} = -\theta \log\left[\frac{(1 + \tau_c)Ak}{(1 - \xi)\tau_c [1 + (\theta + \theta^*)\eta]}\right] - \theta^* \log\left[\frac{(1 + \tau_c)y^*}{\xi\tau_c [1 + (\theta + \theta^*)\eta]}\right] + \nu E$$

$$\dot{\cdot} = [\rho - (\alpha A - \delta)] + \theta \alpha \frac{\eta}{k}$$

$$\dot{\eta} = (\rho - \nu)\eta - \frac{\beta}{E}$$

ここで、次の条件を考えよう：

$$\nu < \rho < \alpha A - \delta, \text{ かつ } \frac{\theta}{\theta^*} > \frac{\alpha A - \delta - \rho}{\rho + (1 - \alpha)\delta} \quad (\text{C3})$$

ここでも、次のことを確認することができる：

### 命題3

もし、パラメタが条件(C3)をみたすならば、定常解  $k = k_s^c (> 0)$ ,  $E = E_s^c (> 0)$ ,  $c_s^c (> 0)$ ,  $\eta = \eta_s^c (> 0)$  が一意に存在する。

いま、命題3に示されている各定常値は、それぞれ次式で与えられる：

$$k_s^c = \left[ \frac{(1 + \tau_c) y^*}{\xi \tau_c (A - \delta)} \right] \cdot \left[ \frac{(1 + \tau_c) A}{(1 - \xi) \tau_c (A - \delta)} \right]^{\frac{\theta}{\theta^*}} e^{-\frac{\nu}{\theta^*} E_s^c}$$

$$E_s^c = \frac{\beta [\theta (\rho + (1 - \alpha) \delta) - \theta^* (\alpha A - \delta - \rho)]}{(\rho - \nu) (\alpha A - \delta - \rho)}$$

$$c_s^c = \frac{\theta \alpha}{[\theta (\rho + (1 - \alpha) \delta) - \theta^* (\alpha A - \delta - \rho)]} \cdot k_s^c$$

$$\eta_s^c = \frac{\alpha A - \rho - \delta}{[\theta (\rho + (1 - \alpha) \delta) - \theta^* (\alpha A - \delta - \rho)]}$$

また、消費の定常値  $c_s^c$  は、

$$c_s^c = \frac{A - \delta}{1 + \tau_c} k_s^c$$

となる。

## 5 比較定常均衡分析

本節では、前節の結果を用いて、各パラメタの変化が定常均衡に及ぼす影響を検討する。まず5.1節では、税率  $\tau_y$  及び  $\tau_c$  が変化したときの効果が検討される。そこでは、所得税と消費税の場合では、環境の長期水準に対する税率変更の効果が異なることが示さ

れる．続く5 2節では，環境に対する関心が変化したときの長期的な効果をみる．そのため，パラメタ  $\beta$  の変化に注目する．最後に5 3節では，越境汚染に関わるパラメタの変化を検討する．ここでは，外部地域のアウトプット水準  $y^*$ ，及び自地域から外部地域に対する援助率  $\zeta$  の変化に注目する．なお，以下本節では，パラメタが条件(C1),(C2),及び(C3)を満たしていると仮定する<sup>注8</sup>．すなわち，定常解が存在する場合だけを考える．

## 5.1 税率の変化

それでは，税率が変化したときの長期的な効果を検討しよう．前節では，所得税，及び消費税によって環境保全支出をおこなった場合の環境の定常均衡水準を導いた．いま，消費税によって財源を調達する場合をみると，それが税率に依存していないことがわかる：

$$\frac{dE_s^c}{d\tau_c} = 0 \quad (26)$$

すなわち，消費税率  $\tau_c$  の変更は環境の長期水準に対して影響を与えない．いま，税率の変化が十分に小さいときを考えよう．そのとき，及び  $\eta$  の値はほぼ一定であると考えることができる．消費税率の引き上げは，最適消費  $c = [1 + (\theta + \theta^*)\eta] / (1 + \tau_c)$  を低下させるが， $d(\tau_c c) / d\tau_c > 0$  であるから，税収  $\tau_c c$  は増加しており，その結果，環境保全支出は増加している．ところで，資本ストックは瞬時的には調整されないから，アウトプット水準は短期的には一定である．ゆえに，短期的に環境の悪化は抑制される．次に長期的な効果をみると，税率変更の資本蓄積に対する効果は，

$$\begin{aligned} \frac{dk_s^c}{d\tau_c} &= \left( \frac{y^* A \frac{\theta}{\theta^*} e^{-\frac{\nu}{\theta^*} E_s^c}}{\zeta(1-\zeta) \frac{\theta}{\theta^*} (A-\delta) \frac{\theta+\theta^*}{\theta^*}} \right) \left[ \frac{d}{d\tau_c} \left( \frac{1+\tau_c}{\tau_c} \right)^{\frac{\theta+\theta^*}{\theta^*}} \right] \\ &= \left( \frac{y^* A \frac{\theta}{\theta^*} e^{-\frac{\nu}{\theta^*} E_s^c}}{\zeta(1-\zeta) \frac{\theta}{\theta^*} (A-\delta) \frac{\theta+\theta^*}{\theta^*}} \right) \left( \frac{\theta+\theta^*}{\theta^*} \right) \left( \frac{1+\tau_c}{\tau_c} \right)^{\frac{\theta}{\theta^*}} \left( \frac{-1}{\tau_c^2} \right) < 0 \end{aligned}$$

であり，消費税率の引き上げは資本ストックの長期水準を引き下げる．資本ストックの減少はアウトプットの減少を通じて排出を減少させるから，環境の悪化が緩和される．

同時に、資本ストックの減少は消費水準を低下させるから、それにより税収が減少し、環境保全への支出も減少する。(26式は、それらの逆向きの効果が、ちょうどお互いに相殺しあい、長期的には環境の水準が税率とは独立な水準に決まることを示している。そこで、その水準を3節の結果と比べてみると、

$$\begin{aligned} E_s - E_s^c &= \frac{\beta[\theta\rho - \theta^*(A - \delta - \rho)]}{(\rho - \nu)(A - \delta - \rho)} - \frac{\beta[\theta(\rho + (1 - \alpha)\delta) - \theta^*(\alpha A - \delta - \rho)]}{(\rho - \nu)(\alpha A - \delta - \rho)} \\ &= \frac{-\beta(1 - \alpha)\theta[(A - \delta)(\rho + \delta)]}{(\rho - \nu)(A - \delta - \rho)(\alpha A - \delta - \rho)} < 0 \end{aligned}$$

であり、よって  $E_s < E_s^c$  となる。すなわち、消費税によって環境保全活動をおこなう場合の環境の長期水準は、最善解における環境の水準よりも高くなることがわかる。

次に、所得税による環境保全活動の場合を検討しよう。前節で示したように、所得税による環境保全支出の場合、長期的な環境の水準は税率に依存している。ここで、税率変更の効果をみてみると、

$$\begin{aligned} \frac{dE_s^y}{d\tau_y} &= \frac{\theta^* \alpha \beta}{(\rho - \nu)} \left[ \frac{d}{d\tau_y} \left( \frac{(1 - \tau_y)A - \delta}{\rho - ((1 - \tau_y)\alpha A - \delta)} \right) \right] \\ &= \frac{\theta^* \alpha \beta}{(\rho - \nu)} \left[ \frac{-A(\rho + (1 - \alpha)\delta)}{(\rho - ((1 - \tau_y)\alpha A - \delta))^2} \right] < 0 \end{aligned} \quad (27)$$

である。所得税率の引き上げも、短期的に環境保全活動への支出を増加させるから、環境の悪化が短期的には緩和される。そこで次に、資本蓄積に対する長期的な効果をみてみると、

$$\begin{aligned} \frac{dk_s^y}{d\tau_y} &= \frac{y^*}{\zeta(1 - \zeta)\frac{\theta}{\theta^*}A} \left[ \frac{d}{d\tau_y} \left( \frac{e^{-\frac{\nu}{\theta^*}E_s^y}}{\frac{\theta + \theta^*}{\tau_y \theta^*}} \right) \right] \\ &= \frac{y^*}{\zeta(1 - \zeta)\frac{\theta}{\theta^*}A} \left( \frac{-1}{\tau_y} \right)^{\frac{\theta + \theta^*}{\theta^*}} \left( \frac{\theta + \theta^*}{\theta^*} \frac{1}{\tau_y} + \frac{\nu}{\theta^*} \frac{dE_s^y}{d\tau_y} \right) e^{-\frac{\nu}{\theta^*}E_s^y} \end{aligned}$$

となっている。いま  $dE_s^y/d\tau_y < 0$  であったから、 $\nu \leq 0$  の場合には、所得税率の引き上げは資本ストックを長期的に減少させることがわかる。一方、 $\nu > 0$  の場合には、資本ストックに対する税率変更の長期的な効果は確定しない。まず  $\nu \leq 0$  の場合を考えると、

所得税率の引き上げにより資本蓄積が抑制され、そのとき、アウトプット水準も低下する。アウトプット水準の低下は環境の悪化を抑制するが、同時に税収も減少するため、環境保全支出が減少する。次に、 $\nu > 0$  の場合を考えてみると、そのとき長期的な資本ストックの水準が上昇している可能性がある。その場合には、アウトプット水準が上昇しており、それによる排出の増加と、税収の増加による環境保全支出の増加が起こっている。しかし、(27)式は、いずれの場合においても、アウトプットの増加による排出増加の効果が、税収の増加による環境保全支出増加の効果を上回っており、結果、所得税率の引き上げは、長期的に環境水準を低下させる、ということを示している。

ここで、所得税による環境保全活動と消費税による環境保全活動の場合の環境の長期水準を比較してみよう。すると、

$$\begin{aligned} E_s^y - E_s^c &= \frac{\theta^* \alpha \beta ((1 - \tau_y) A - \delta)}{(\rho - \nu)(\rho - ((1 - \tau_y) \alpha A - \delta))} - \frac{\beta (\theta (\rho + (1 - \alpha) \delta) - \theta^* (\alpha A - \delta - \rho))}{(\rho - \nu)(\alpha A - \delta - \rho)} \\ &= \frac{\beta (\rho + (1 - \alpha) \delta) [\theta^* (\alpha A - \delta - \rho) - \theta (\rho - ((1 - \tau_y) \alpha A - \delta))]}{(\rho - \nu)(\alpha A - \delta - \rho)(\rho - ((1 - \tau_y) \alpha A - \delta))} \end{aligned}$$

であるから

$$\text{sign}(E_s^y - E_s^c) = \text{sign}\left(\frac{\alpha A - \delta - \rho}{\alpha A - \delta} - \frac{\theta}{\theta + \theta^* \tau_y}\right)$$

となっている。すなわち、 $E_s^y$  と  $E_s^c$  の大小関係は所得税率  $\tau_y$  の大きさに依存することがわかる。以上の結果をまとめよう。

#### 命題 4

- (1) 環境保全活動の財源が消費税によって調達される場合、その税率は環境の長期的な水準に影響を与えない。また、そのときに達成される環境の長期水準は最善解における環境の長期水準よりも高くなる。すなわち  $E_s < E_s^c$  である。
- (2) 環境保全活動の財源が所得税によって調達される場合、環境の長期水準は、その税率に依存しており、 $dE_s^y/d\tau_y < 0$  が成り立つ。また、所得税による環境保全活動と消費税による環境保全活動では、環境の長期水準について次の関係が成り立つ：

$$\tau_y \begin{cases} \geq \\ < \end{cases} \left(\frac{1}{\chi}\right) \cdot \left(\frac{\alpha A - \rho - \delta}{\alpha A - \delta}\right) \text{ ならば } E_s^y \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} E_s^c$$



ただし,  $\chi = \theta / (\theta + \theta^*)$  である.

この結果は, 次のようなインプリケーションをもつ. いま, 消費税率  $\tau_c$  の変更は, 環境の長期水準に対して影響を与えない. これは, 政府がどのように消費税率を設定しても, 長期的な環境の水準をコントロールすることができないことを意味している. 一方, 所得税による環境保全活動の場合, 長期的な環境の水準が税率に依存している. そして, 所得税率と環境の定常値の間には命題4(2)に示されるような関係があった. すなわち, 定常均衡が存在する限りにおいて, 所得税率をある水準 (i.e.,  $(1/\chi) \cdot ((\alpha A - \rho - \delta) / (\alpha A - \delta))$ ) よりも低く設定すれば, 消費税によって環境保全支出をおこなう場合よりもさらに高い環境の水準を達成することができる.

そこで, 具体的に次のような状況を考えてみよう. いま, 政府の政策目標が, 家計の効用の最大化ではなく, 環境を高い水準に維持することであったとしてみよう. たとえば, 地球規模の環境問題に関する国際的な協定などにより, 自地域における環境をある水準  $E^*$  以上に維持しなくてはならないというような場合である.  $E^* \leq E_s^c$  の場合, 命題4の結果から, いずれの税によっても, 長期的にそれ以上の環境の水準を達成することができる. しかし,  $E_s^c < E^*$  である場合には, 消費税によって環境保全支出をおこなっても, その政策目標を達成することができない. 一方, (2)からわかるように, 所得税によって環境保全活動をおこなえば, 長期的に  $E^* (> E_s^c)$  よりも高い環境の水準を達成することができる. すなわち, 自地域の政府は,  $\tau_y < (1/\chi) \cdot ((\alpha A - \rho - \delta) / (\alpha A - \delta))$  となるように所得税率を低く設定して環境保全支出をおこなえば, 長期的に目標とする環境水準  $E^* (\leq E_s^y)$  を達成することができるのである<sup>注9</sup>.

## 5.2 環境に対する選好

ここでは, 環境への選好  $\beta$  が変化したときの効果を検討する. 定常均衡に対するその効果は表1のようにまとめられる. 表1の第1列に示されているように, 所得税と消費税, どちらの課税による環境保全支出の場合も,  $\beta$  の上昇は環境の長期水準を上昇させる. これは, 個人の環境に対する選好が強いときほど, 長期的な環境水準が高くなることをあらわしている. この結論は直感と整合的である. 一方,  $k$  の定常値は  $\beta$  の値に直接的には依存していない. しかし,  $k$  の定常値は  $E$  を含むため,  $\beta$  の変化は  $E$  の変化を通じて間接的に  $k$  の定常値に影響を与えている. ここでは,  $\nu$  の符号に応じて,  $k$  に対する効果が異なる.  $\nu > 0$  ( $\nu < 0$ ) のとき, すなわち, 自然回復 (劣化) するような環境の質  $E$  を考えている場合には, 資本, 及び消費の長期的な水準は低下 (上昇) する. その

結果が、表 1 第 2, 3 列に表されている。

### 5.3 越境汚染と援助の効果

最後に、越境汚染に関わるパラメタの変化を検討しよう。ここでは  $\zeta$  と  $y^*$  に注目する。それらのパラメタ変化の定常均衡に対する効果が、表 2, 及び表 3 にまとめられている。

まず、外部地域への援助率  $\zeta$  を変化させたときの効果をみよう。 $\zeta$  は環境の価値  $\eta$  の最

表 1  $\beta$  の変化

	$E$	$k$	$c$
	+	- ( $\nu > 0$ )	- ( $\nu > 0$ )
所得税	+	0 ( $\nu = 0$ )	0 ( $\nu = 0$ )
	+	+	+
	+	+	+
消費税	+	- ( $\nu > 0$ )	- ( $\nu > 0$ )
	+	0 ( $\nu = 0$ )	0 ( $\nu = 0$ )
	+	+	+

表 2  $\zeta$  の変化

	$E$	$k$	$c$
	0	- ( $\zeta < 1 - \chi$ )	- ( $\zeta < 1 - \chi$ )
所得税	0	0 ( $\zeta = 1 - \chi$ )	0 ( $\zeta = 1 - \chi$ )
	0	+	+
	0	- ( $\zeta < 1 - \chi$ )	- ( $\zeta < 1 - \chi$ )
消費税	0	0 ( $\zeta = 1 - \chi$ )	0 ( $\zeta = 1 - \chi$ )
	0	+	+

表 3  $y^*$  の変化

	$E$	$k$	$c$
所得税	0	+	+
消費税	0	+	+

適経路に影響を与えないため、環境の定常水準は  $\zeta$  に依存せず、 $\zeta$  を変化させても環境の長期水準は影響を受けないことがわかる。そのことが表 2 の第 1 列で表されている。前節で示されたように、 $\zeta$  がその定常値に関わっているのは、資本ストック  $k$ 、及び消費  $c$  である。そこで、 $\zeta$  が資本や消費の定常値に与える効果をみてみると、 $\zeta$  が  $1 - \chi = \theta^*/(\theta + \theta^*)$  よりも大きい(小さい)とき、すなわち、環境の推移に対して外部地域の排出が与える影響よりも多くの(少ない)援助をおこなっているとき、より多くの(少ない)援助をおこなったほうが長期的に資本や消費の水準は上昇する(低下する)。このことが、表 2 第 2 列、及び第 3 列に示されている。

次に、外部地域のアウトプット水準  $y^*$  が変化したときの効果をみよう。表 3 である。表 3 第 1 列に示されいるように、 $y^*$  の変化は、所得税と消費税、どちらの課税による場合でも環境の長期水準に影響を与えていない。これは、外部地域のアウトプット水準が、各時点において、そのときの環境の水準に関わりなく、その推移に対していつも同じ影響を与えていることによる。一方、表 3 第 2、3 列に示されているように、外部地域のアウトプット水準の上昇は、自地域の資本、及び消費水準を上昇させる。

## 6 最後に

本稿では、無限時間視野の成長モデルに環境的要因を導入して、経済と環境の定常均衡を分析した。そこでは、域外からの越境汚染の存在が考慮されていた。しかし、域外の地域の経済活動、及び排出削減活動については、かなり限定的な仮定がおかれていた。そこで最後に、本稿のモデルの拡張の可能性と、今後の研究課題についてまとめておきたい。

まず、本稿のモデルでは、外部地域のアウトプット水準は時間を通じて一定であり、また、外部地域は、自発的には排出削減活動を行わないという仮定がおかれていた。そこで、第 1 の拡張の方向として、外部地域の動学的最適化行動を明示的に扱うことが考えられるであろう。また、本稿で、課税による排出削減費用の調達を考えたとき、税率、及び外部地域への援助率はパラメタであった。そのため、各政策変数と、定常均衡水準との関係は明らかにされたが、政府が各政策変数をどの水準に決定するかについては明らかにされなかった。そこで、第 2 の方向として、政府の動学的最適化行動を明示的に扱うことが考えられる。本稿のモデルで、政府の動学的最適化行動を明示的に考慮する場合、政府が先に戦略(政策)をアナウンスし、家計がそのアナウンスを所与として戦

略を決定するという，Stackelberg 型の微分ゲームとして定式化されることになるであろう。また，本稿で想定したように，排出削減活動に対して非自発的な外部地域を考える場合，その動学的最適化行動をモデルに組み入れようとすると，自地域を先導者，外部地域を追従者とする Stackelberg 型の微分ゲームとして定式化することが考えられる。Stackelberg 型の微分ゲームに関しては，最近，いくつかの新しい結果が得られている（e.g., Xie(1997), Lansing(1999), Long and Shimomura(2002)）。そこで，本稿の議論に対してそれらの結果が持つインプリケーションを考えることも大変興味深い。これらの問題を検討することが今後の課題である。

### 参考文献

- [ 1 ] Dockner, E. J. and K. Nishimura, 1999, "Transboundary Pollution in a Dynamic Game Model," *Japanese Economic Review* 50 pp. 443-456.
- [ 2 ] Dockner, E. J. and N. V. Long, 1993, "International Pollution Control: Cooperative versus Noncooperative Strategies," *Journal of Environmental Economics and Management* 24 pp. 13-29.
- [ 3 ] Gradus, R. and S. Smulders, 1993, "The Trade-off between Environmental Care and Long-term Growth - Pollution in Three Prototype Growth Models," *Journal of Economics* 58 pp. 25-51.
- [ 4 ] Jhon, A. and R. Pecchenino, 1994, "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment," *Economic Journal* 104 pp.1393-1410.
- [ 5 ] Lansing, K.J., 1999, "Optimal Redistributive Capital Taxation in a Neoclassical Growth Model," *Journal of Public Economics* 73 pp.423-453.
- [ 6 ] Long, N. V. and K. Shimomura, 2002, "Redistributive Taxation in Closed and Open Economy," in Woodland, A. D. (ed.), *Economic Theory and International Trade*, Edward Elgar, pp. 104-123.
- [ 7 ] Romer, P., 1986, "Increasing Returns and Long Run Growth," *Journal of Political Economy* 94 pp. 1002-37.
- [ 8 ] van der Plog, F. and A. J. de Zeeuw, 1992, "International Aspects of pollution Control," *Environmental and Resource Economics* 2 pp.117-139.
- [ 9 ] Xie, D., 1997, "On Time Consistency: A Technical Issue in Stackelberg Differential Games," *Journal of Economic Theory* 76 pp. 412-430.
- [ 10 ] Zagonari, F., 1998, "International Pollution Problems : Unilateral Incentives by Environmental Groups in One Country," *Journal of Environmental Economics and Management* 36 pp. 46-69.

## 注

- (注1) たとえば、世代重複モデルを使って環境の問題を分析した代表的文献である John and Pecchenino(1994)では、経済の規模がある水準を越えるまでは、環境保全活動に対して支出がおこなわれないことがありうることを示されている。
- (注2) これらの仮定のもとでは、本稿のモデルを小国のケースと考えることができるかもしれない。そのように考えると、外部地域の動学的最適化行動を明示的に考える場合が大国のケースに対応する。そして、その場合は、上で述べたように、微分ゲームによって分析がおこなわれることになる。本稿の分析は、その場合の参照基準とも解釈できる。
- (注3) ここで、自地域と外部地域の家計数が異なっている場合、あるいは時間を通じて増加するような場合についても、その増加率が外生的に与えられて、かつそれらが等しい場合には、以下の議論を同様におこなうことができる。しかし、一般にその成長率が2地域間で異なるときには、若干のモデルの修正が必要である(一般には、対象となる微分方程式が非自励的になる)。
- (注4) この定式化は、Gradus and Smulders(1993)で採用された排出関数の対数をとったものである。ただし、Gradus and Smulders(1993)では、汚染排出が各時点の資本ストックに依存しているが、ここではモデルの想定に合わせて、アウトプットを環境悪化要因としている。
- (注5) 右辺の第3項についてはさまざまな解釈が可能であろう。たとえば、 $\nu > 0$  の場合には、 $+\nu E$  の項は、環境の自然浄化と解釈できる。すなわち、もし汚染物質の排出による環境の悪化がない場合には、環境の質は  $\nu$  の率で改善されていくと考えるのである。しかし、以下の議論では、 $\nu$  の符号について特に仮定はおいていない。
- (注6) cf. Romer (1986)
- (注7) 本節の分析は、政府の最適化行動を捨象している。すなわち、最適税率の問題や、外部地域に対する援助率の最適化は考えられていない。よって、以下で得られる動学経路、及び定常解は、政策変数をパラメタとして含んでおり、一般には次善解ではないことに注意しておこう。本節の結果は、5節において、税率と定常均衡水準との関係やパラメタ変化の長期的な効果を調べることにより、さらに詳しく検討される。
- (注8) たとえば、時間選好率  $\rho = 0.04$ 、資本減耗率  $\delta = 0.05$ 、所得税率  $\tau_y = 0.2$ 、で  $A = 0.1$ 、 $\theta_1 = \theta_2$ (任意)、 $\nu < 0$ 、さらに生産における外部効果が十分に小さいとき(i.e.,  $\alpha > 0.95$ )、条件(C1)、(C2)、及び(C3)は同時に満たされる。
- (注9) ただし、ここではパラメタ条件(C2)を満たす所得税率のもとで  $E^* \leq E_s^y$  が達成できる場合を考えている。