The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	排出税、汚染削減装置と資本移動
Author(s)	杉山, 泰之
Citation	大阪大学経済学. 2005, 55(2), p. 85-96
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/15460
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

排出税，汚染削減装置と資本移動*

杉 山 泰 之

要　　約

本稿では排出削減のために使用される汚染削減装置の存在を考慮し，排出税の引き上げと外国からの資本流入の増加が，この装置の生産量や総排出量，そして，当該国の経済厚生に及ぼす影響を分析する。本稿のモデルには 2 つの最終財と汚染削減装置の 3 部門が存在するが，一方の最終財と汚染削減装置が外国資本を利用して生産され，(資本流入規制等により) 外国資本の水準が外生的に与えられる場合，汚染排出物を生産要素として使用する従来の特殊要素モデルにおける結論と我々の結論は，非常に対照的であることが明らかになる。具体的には，外国資本の受入国について，以下の比較静学の結果が得られる。(I) 外国資本の増加は総排出量を減少させるため，排出税の水準が限界外部損失よりも低いのであれば，経済厚生は上昇する。(II) 排出税の引き上げに伴い資本レンタルは上昇し，総排出量は減少するため，当該国の経済厚生最大化を実現する最適な排出税の水準は，自国の限界外部損失よりも低くなる。

Keywords : 排出税; 汚染削減装置; 資本移動; 国際貿易
JEL classification : F18; F21

1　はじめに

近年，廃棄物や廃水，排ガス処理のための汚染削減装置が注目を集めている。発展途上国を始め，環境問題への対応が遅れている国々の装置市場の規模はまだまだ小さいが，例えば中国では，環境問題が深刻化する中で，WTO 加盟による市場開放を通じて，汚染削減装置の市場もより活性化することが予想されるなど，これらの国々における環境問題への対応が促されると共に，今後，汚染削減装置の市場は益々拡大していくと考えられる。しかしながら，これらの装置の生産には環境に関する知識や技術力が必要であり，発展途上国が自らの力のみで装置産業を根付かせることは，少なくとも現段階では困難である。一方，日本やアメリカ，イギリス等先進国の装置メーカーは，貿易や直接投資を通じて海外に進出しており，実際に，中国や ASEAN 諸国においては，既に現地生産を開始している状況である。本稿の目的は，上記の点を踏まえ，外国資本を利用して生産される汚染削減装置を想定し，外国からの資本流入の増加や環境政策の強化が，資本受入国における装置の生産量や総排出量，そして経済厚生にいかなる影響を及ぼすのかを考察することである。

これまでに国際的な資本 (要素) 移動が存在する枠組の下で，環境問題を分析した文献については，大国モデルでは Merrifield (1988)，Copeland and Taylor (1997) が，小国モデルでは Copeland (1994), Beladi, et al. (1999) 等が挙げられる[1]。ま

* 本稿の作成にあたり，阿部顕三教授 (大阪大学) から多くの貴重なコメントを頂いた。阿部顕三教授に心から感謝を申し上げます。本稿における謝りは全て筆者の責任である。

[1] 上記文献のモデルには，少なくとも 2 つ以上の最終財が存在する。最終財が 1 つのモデルについては，Wang (1995), Rauscher (1997) を参照されたい。Wang (1995) は生産の

ず Merrifield (1988) は，国内に最終財と汚染削減装置の 2 部門が存在する 2 国モデルの枠組の下で，生産物単位当たりの汚染削減装置投入量に対して最低限の基準を設ける環境政策 (Equipement Standard) が，2 国間の資本移動と越境的な汚染排出物に与える影響を分析している。Copeland and Taylor (1997) は南北貿易と環境問題についての文献であり，汚染排出物を 2 つの最終財部門間で移動可能な要素とする特殊要素モデルを使い，特殊要素である資本の南北間移動と世界全体での総排出量との関係を分析している。一方，Copeland (1994) は多数財，多数要素の下で支出関数と GDP 関数を使い，排出税の一律的な引き上げが当該国の経済厚生に及ぼす影響を考察している。

Copeland (1994) や Raucher (1997) が示唆するように，経済厚生への影響を考える上で，流入資本の水準が内生変数の場合と外生変数の場合とでは，両者の持つ意味合いは異なる。資本流入規制等により外国資本の水準が外生的に与えられる場合，資本が自由に移動可能なときよりも，その水準は低く抑えられる可能性がある。このとき，国内における資本レンタルの水準は，その世界価格よりも高くなるため，当該国が小国の場合でも，政府は政策水準の変更を通じて，外国へのレンタル支払いを減少させる動機を持つことになる[2]。この点については，Beladi, et al. (1999) が Copeland and Taylor (1997) と同様の特殊要素モデルを使い，小国における資本流入規制と排出税の影響を分析している。Beladi, et al. (1999) では，排出税の引き上げに伴い特殊要素である資本のレンタルは低下するため，当該国の経済厚生最大化を実現する最適な排出税の水準は，自国の限界外部損失よりも高くなること，さらに，外国資本の増加は総排出量を増加させるため，排出税の水準が限界外部損失よりも高いのであれば，経済厚生は上昇することが明らかにされている。

以上，環境問題と資本移動に関する文献を簡潔に調査したが，本稿では資本や労働等の本源的生産要素ではなく，汚染削減装置部門で生産される装置が排出削減活動に使用されることになる。その意味において汚染削減装置は中間財と類似的であるが[3]，排出削減活動が中間財的な意味合いを持つ財によって行われるモデルとしては，前掲の Merrifield (1988) の他に，Copeland (1991)，Chua (2003)，そして，杉山 (2003) が挙げられる[4]。これらのうち Copeland (1991) と杉山 (2003) は，Merrifield (1988) と同様，最終財部門と排出削減活動を行う部門の 2 部門を想定している。Copeland (1991) は国内に最終財と汚染排出物処理サービスが存在する小国の枠組みの下で，不法廃棄をする生産者がいる場合といない場合について，排出税や関税の影響を分析しており，杉山 (2003) は最終財と汚染削減装置の 2 部門からなる小国を想定し，排出税と装置投入補助金が装置の国内生産量や輸入量，総排出量，そして，経済厚生に及ぼす影響を比較検討している。一方，Chua (2003) は，2 つの最終財部門が排出削減活動を行う部門からそのサービスを購入する 3 部門モデルを想定し，排出税

外部効果が存在するモデルの下で，排出税が 2 国間の資本移動に及ぼす影響を分析している。また，Rauscher (1997) は消費と生産活動の両方から汚染物質が排出される場合について，排出税や排出上限基準 (emission standard) の厚生効果を調べている。

[2] 杉山 (2002) はこの点に着目し，消費から汚染物質が排出される場合ついて，当該国の経済厚生最大化を実現する最適な生産税と関税の組み合わせを考察した。そして，流入資本の水準が内生変数の場合，生産税と関税は共に限界外部損失に等しい水準に課されるが，外生変数の場合，最適な生産税の水準は関税よりも高くなることを明らかにしている。

[3] 国際貿易と環境問題の文献は数多く存在しており，汚染排出物と排出削減活動の関係についての描写も様々である。最も頻繁に使用されるのは，汚染排出物を生産要素であるかのように扱う方法である。詳細については，Rauscher (1997), Antweiler, et al (2001), そして, Copeland and Taylor (2003) 等を参照。

[4] Chichilnisky (1994) は，熱帯雨林のような環境資源から生産される財 (環境資源財) が最終財の生産に使用されるモデルを用いて，環境資源に対する所有権が設定されている北と，設定されていない南の貿易を分析している。

の水準のみが異なる 2 国間での貿易構造を調べている。

本稿の目的は，外国資本による汚染削減装置の現地生産が行われる場合について，排出税の引き上げと外国からの資本流入の増加がこの装置の生産量や総排出量，そして，当該国の経済厚生に及ぼす影響を分析することである。これまで 2 つの最終財部門と汚染削減装置部門の 3 部門モデルを扱っているのは Chua (2003) のみであるが，Chua (2003) では貿易構造の議論が中心となるため，経済厚生については具体的に分析されておらず，加えて，汚染削減装置部門への外国資本の流入も考慮されていない。その意味において，本稿の分析は Chua (2003) の議論をさらに推進するものである。そしてより重要な点は，流入資本の水準が外生的な場合の厚生効果について，汚染削減装置を含むモデルでの分析はまだ行われていないことである[5]。Beladi, et al. (1999) は特殊要素モデルの下でこの点を考察しているが，我々は Beladi, et al. (1999) の結論とは逆に，排出税の引き上げに伴い資本レンタルは上昇するため，当該国の経済厚生最大化を実現する最適な排出税の水準は限界外部損失よりも低くなること，さらに，外国資本の増加は総排出量を減少させるため，排出税の水準が限界外部損失よりも低いのであれば，経済厚生は上昇することを明らかにする。

最後に，本稿の構成は次の通りである。まず，第 2 節ではモデルの概要を説明する。第 3 節は予備的考察に充てられ，排出税と各要素投入係数や生産物単位当り排出量との関係が導かれる。続いて，第 4 節では外国資本の増加と排出税の引き上げが，要素価格，最終財や汚染削減装置の国内生産量，そして，総排出量に与える影響を分析する。その後，第 5 節で経済厚生について議論し，分析結果と今後の課題を第 6 節にまとめることにする。

[5] Din (1994) は，外部不経済を含まない 3 部門モデルにおいて，外生的な資本流入増加の影響を分析している。

2 モデルの概要

当該国 (以下，自国) は小国であり，全ての市場は完全競争市場であると仮定する。自国では本源的生産要素である労働 (L) と資本 (K) から，2 つの最終財 (X_1, X_2) と汚染削減装置 (X_m) を生産しているが，我々は生産要素と最終財，汚染削減装置との関係を，それぞれ，生産関数 $X_i = F^i(L_i, K_i), X_m = F^m(L_m, K_m), i = 1, 2$ で表し，各部門の生産関数は 1 次同次な準凹関数であると仮定する。なお，これらの財は全て貿易財である。以下の分析では，労働 (L) は全ての産業間を自由に移動可能であるが，資本については自国資本と外国資本を分類し，自国資本は第 1 財の生産に使用される特殊要素，外国資本は第 2 財と汚染削減装置の生産に使用される特殊要素であるものとする。

一方，最終財部門の生産活動は付随的に汚染排出物を発生させるものとする。但し，この汚染排出物は汚染削減装置の投入によって削減可能である。我々は最終財からの汚染排出物を Z_i で表し，汚染排出物と生産量，汚染削減装置との関係を，排出関数 $Z_i = \Phi^i(X_i, M_i)$ で与えることにする。ここで，M は最終財部門における汚染削減装置の投入量である。我々は排出関数についても 1 次同次性を仮定する。また，排出関数の当該変数による偏微分を下添え字で表し，排出関数は $\Phi^i_X > 0, \Phi^i_M < 0, \Phi^i_{XX} > 0, \Phi^i_{MM} > 0$ という特徴を持つものとする。

自国で使用される政策は排出税 (t) である。生産関数は 1 次同次であるので，最終財と汚染削減装置の生産関数を生産物単位当たりで表せば，それぞれ，$1 = f^i(a^i_l, a^i_k), 1 = f^m(a^m_l, a^m_k)$ となる。同様に，排出関数についても生産物単位当たりの排出量で表し，$z^i = \phi(a^i_m)$ と書くことが可能である。ここで，f^i, f^m は当該部門の生産物単位当たりの生産関数を，ϕ^i は各最終財部門の生産物単位当たり排出関数を表している。また，$a^i_o, a^m_o, o = l, k, m$

は要素投入係数であり，z^i は生産物単位当たりの汚染排出物である。なお，我々は単位当たり排出関数について $\phi^{i\prime}(a^i_m) < 0, \phi^{i\prime\prime}(a^i_m) > 0$ を仮定する。すなわち，汚染削減装置の投入量が増加するにつれ，排出削減効果は逓減するものとする。

上記の説明を考慮して，最終財部門の費用最小化問題を考える[6]。生産物単位当たり排出関数を考慮すると，最終財部門の費用最小化問題より，単位費用関数は次式で与えられる。

$$c^1(w,r,p^*_m,t) \equiv \min_{a^1_l,a^1_k,a^1_m} \Big\{ wa^1_l + ra^1_k + p^*_m a^1_m + t\phi^1(a^1_m) \;\Big|\; 1 \le f^1(a^1_l,a^1_k) \Big\}, \quad (1)$$

$$c^2(w,\rho,p^*_m,t) \equiv \min_{a^2_l,a^2_k,a^2_m} \Big\{ wa^2_l + \rho a^2_k + p^*_m a^2_m + t\phi^2(a^2_m) \;\Big|\; 1 \le f^2(a^2_l,a^2_k) \Big\}, \quad (2)$$

ここで，w, r, ρ, p^*_m は，それぞれ，労働賃金，自国と外国資本のレンタル，汚染削減装置の世界価格である。また，f の下添え字は当該変数による偏微分を表している。なお，本稿では外国からの資本流入が外生的に与えられるものとして，自国における外国資本のレンタル (ρ) がその世界価格 (r^*) よりも高い状況を想定する ($\rho > r^*$)。(1) 式より第 1 財部門の費用最小化の 1 階の条件は $w/r = f^1_l/f^1_k$ と $-p^*_m/t = \phi^{1\prime}(a^1_m)$，(2) 式より第 2 財部門の費用最小化の 1 階の条件は $w/\rho = f^2_l/f^2_k$ と $-p^*_m/t = \phi^{2\prime}(a^2_m)$ となる。すなわち，技術的限界代替率が労働賃金と資本レンタルの比率に等しいことに加え，汚染削減装置の限界的削減 (正値) が汚染削減装置価格と排出税の比率に等しくなければならない[7]。

[6] 汚染削減装置部門については，2 要素における通常の費用最小化問題と同様である。

[7] Merrifield (1988) では，最終財を生産する企業に対して，排出税のように排出物の対価を支払わせるような政策は設定されていない。それにもかかわらず汚染削減装置が導入されるのは，生産物単位当たりの汚染削減装置の投入量について，その投入基準を定めているからである。

上記の説明を踏まえて，本稿の均衡条件を記述する。まず，完全競争市場と生産，排出関数の 1 次同次性より，最終財部門と汚染削減装置部門のゼロ利潤条件が次式で与えられる。

$$p_1 = c^1(w,r,p^*_m,t), \quad (3)$$

$$p_2 = c^2(w,\rho,p^*_m,t), \quad (4)$$

$$p^*_m = c^m(w,\rho), \quad (5)$$

ここで，c^i, c^m は各最終財部門と汚染削減装置部門の単位費用関数であり，p_1, p_2 は各最終財の価格を表している。

一方，自国における労働と資本の要素賦存量は一定であると仮定する。また，外国からの流入資本も所与である。自国の労働と資本の要素賦存量を $\bar{L}, \bar{K}$，外国からの資本流入量を $\bar{K}^*$ で表せば，各生産要素の完全雇用条件は以下の通りである。

$$\bar{L} = c^1_w(w,r,p^*_m,t)X_1 + c^2_w(w,\rho,p^*_m,t)X_2 + c^m_w(w,\rho)X_m, \quad (6)$$

$$\bar{K} = c^1_r(w,r,p^*_m,t)X_1, \quad (7)$$

$$\bar{K}^* = c^2_r(w,\rho,p^*_m,t)X_2 + c^m_r(w,\rho)X_m, \quad (8)$$

ここで，単位費用関数の下添え字は当該変数による偏微分を表しており，この当該変数の偏微分により，各要素投入係数と単位当たり排出量が導出される。

自国は国内で生産する汚染削減装置のみでは賄えない分を輸入しているものとする。汚染削減装置は，最終財部門において排出削減を目的として投入されるので，この装置の国内生産量，輸入量と，最終財部門における投入需要との関係は次の通りである。

$$X_m + X_{m^*} = c^1_{p^*_m}(w,r,p^*_m,t)X_1 + c^2_{p^*_m}(w,\rho,p^*_m,t)X_2, \quad (9)$$

ここで，X_{m^*} は汚染削減装置の輸入量である。

最後に，自国の最終財部門は汚染物質を排出するので，総排出量 (Z) は次式で与えられる。

$$Z = c_t^1(w, r, p_m^*, t)X_1 + c_t^2(w, \rho, p_m^*, t)X_2. \quad (10)$$

上記 8 本の方程式体系において，内生変数は $w, r, \rho, X_1, X_2, X_m, X_{m^*}, Z$ の 8 個となる。以下では，t と $\bar{K}^*$ に関する比較静学の結果を検討する。

3 予備的考察

本節では，要素価格や政策変数が，要素投入係数と単位当たり排出量にいかなる影響を及ぼすのかを考察する。なお，本節のより詳細な解説については，杉山 (2003) を参照されたい。

まず，第 1 財部門を例にとると，費用最小化問題の下で単位当たり生産関数の全微分は，$f_l^1 da_l^1 + f_k^1 da_k^1 = 0$ で与えられる。このとき，費用最小化の 1 階の条件式を考慮して，変化率で表すと，

$$\theta_l^1 \hat{a}_l^1 + \theta_k^1 \hat{a}_k^1 = 0, \quad (11)$$

ここで，‘^’ 記号は当該変数の変化率を表しており，例えば，$\hat{a}_l^1 = da_l^1/a_l^1$ である。また，θ_l^1, θ_k^1 は，第 1 財部門の単位費用に占める労働と資本のシェア額を表しており，それぞれ，$\theta_l^1 = a_l^1 w/p_1, \theta_k^1 = a_k^1 r/p_1$ で与えられる。同様の方法で，第 2 財部門と汚染削減装置部門については，

$$\theta_l^j \hat{a}_l^j + \theta_k^j \hat{a}_k^j = 0, \quad j = 2, m, \quad (12)$$

が与えられる。なお，θ_l^j, θ_k^j は，第 2 財部門と汚染削減装置部門の単位費用に占める労働と資本のシェア額を表しており，それぞれ，$\theta_l^2 = a_l^2 w/p_2, \theta_k^2 = a_k^2 \rho/p_2, \theta_l^m = a_l^m w/p_m^*, \theta_k^m = a_k^m \rho/p_m^*$ で与えられる。

一方，単位当り排出関数についての全微分は $dz^i = \phi^{i'}(a_m^i) da_m^i$ である。この式に費用最小化の 1 階の条件式を考慮して，変化率で表示すれば，

$$\theta_m^i \hat{a}_m^i + \theta_z^i \hat{z}^i = 0, \quad (13)$$

が導かれる。ここで，θ_m^i, θ_z^i は最終財の単位費用に占める汚染削減装置と排出量のシェア額を表しており，それぞれ，$\theta_m^i = a_m^i p_m^*/p_i$ と $\theta_z^i = z^i t/p_i$ を表している。

次に，各部門についての労働と資本の代替の弾力性を σ_f^1, σ_f^j，汚染削減装置と単位当たり排出量の相対価格に関する弾力性を σ_ϕ^i で表すことにする。費用最小化の 1 階の条件が満たされるとき，それぞれの弾力性は次式で与えられる。

$$\sigma_f^1 = \frac{\hat{a}_k^1 - \hat{a}_l^1}{\hat{w} - \hat{r}}, \quad (14)$$

$$\sigma_f^j = \frac{\hat{a}_k^j - \hat{a}_l^j}{\hat{w} - \hat{\rho}}, \quad (15)$$

$$\sigma_\phi^i = \frac{\hat{z}^i - \hat{a}_m^i}{\hat{p}_m^* - \hat{t}}. \quad (16)$$

そのため，第 1 財部門に関する $\hat{a}_l^1$ と $\hat{a}_k^1$ については (11) 式と (14) 式より，第 2 財部門と汚染削減装置部門に関する $\hat{a}_l^j$ と $\hat{a}_k^j$ については (12) 式と (15) 式より，各最終財部門における $\hat{a}_m^i$ と $\hat{z}^i$ については (13) 式と (16) 式より，以下の関係が導かれる。

$$\hat{a}_l^1 = -\tilde{\theta}_k^1 \sigma_f^1(\hat{w} - \hat{r}), \quad \hat{a}_k^1 = \tilde{\theta}_l^1 \sigma_f^1(\hat{w} - \hat{r}), \quad (17)$$

$$\hat{a}_l^j = -\tilde{\theta}_k^j \sigma_f^j(\hat{w} - \hat{\rho}), \quad \hat{a}_k^j = \tilde{\theta}_l^j \sigma_f^j(\hat{w} - \hat{\rho}), \quad (18)$$

$$\hat{a}_m^i = -\tilde{\theta}_z^i \sigma_\phi^i(\hat{p}_m^* - \hat{t}), \quad \hat{z}^i = \tilde{\theta}_m^i \sigma_\phi^i(\hat{p}_m^* - \hat{t}), \quad (19)$$

但し，それぞれの $\tilde{\theta}$ は，$\tilde{\theta}_l^h = \theta_l^h/(\theta_l^h + \theta_k^h), \tilde{\theta}_k^h = \theta_k^h/(\theta_l^h + \theta_k^h), h = 1, 2, m$，また，$\tilde{\theta}_m^i = \theta_m^i/(\theta_m^i + \theta_z^i), \tilde{\theta}_z^i = \theta_z^i/(\theta_m^i + \theta_z^i)$ と定義される。

(17) 式と (18) 式で与えられる関係は，2 財 2 要素のヘクシャー＝オリーンモデルにおける伝統

的な議論と同様である (例えば，Jones 1965 を参照)。一方，(19) 式は汚染削減装置の世界価格と排出税が，汚染削減装置の投入係数と単位当り排出量に及ぼす効果を表している。ここで，排出税と汚染削減装置の単位当たり投入量，単位当り排出量との関係は $\hat{a}^i_m/\hat{t} > 0, \hat{z}^i/\hat{t} < 0$ である。最終財部門における費用最小化の 1 階の条件式として，$-p^*_m/t = \phi^{i'}$ が与えられたが，単位当たり排出関数の仮定により $\phi^{i'} < 0, \phi^{i''} > 0$ であるので，排出税の引き上げは汚染削減装置の世界価格と排出税の相対比率を上昇させる。そのため，汚染削減装置の投入係数は増加し，単位当り排出量は減少することになる。

4　比較静学

本節において，我々は外国資本の増加と排出税の引き上げが，要素価格，各財の生産量，そして，総排出量に及ぼす影響を分析する。

4.1　外国資本 ($\bar{K}^*$) の増加について

最初に外国資本増加の影響を考察する。均衡条件式 (3) 式から (5) 式で明らかなように，本稿では価格面と数量面を分離して考えることが可能である。そのため，$\bar{K}^*$ の変化は要素価格に影響を及ぼさないことが確認される。

$$\frac{\hat{w}}{\hat{\bar{K}}^*} = \frac{\hat{r}}{\hat{\bar{K}}^*} = \frac{\hat{\rho}}{\hat{\bar{K}}^*} = 0. \tag{20}$$

次に X_1 への影響であるが，(7) 式より，以下の関係が得られる。

$$\frac{\hat{X}_1}{\hat{\bar{K}}^*} = 0. \tag{21}$$

第 1 財の生産量は国内資本の賦存量と第 1 財の資本投入係数に依存する。しかしながら，$\bar{K}^*$ の変化は要素価格を変化させないため，要素投入係数も変化しない。また，国内資本の賦存量も一定のままなので，結局，第 1 財の生産量も変化しないことになる。

一方, X_2 と X_m については, (6) 式と (8) 式より,

$$\begin{bmatrix} \lambda^2_l & \lambda^m_l \\ \lambda^2_k & \lambda^m_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_2 \\ \hat{X}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \hat{\bar{K}}^*, \tag{22}$$

が得られる。ここで，λ^j_l, λ^j_k は，第 2 財と汚染削減装置部門において，労働と資本の要素供給量が各部門に投入される割合を表しており，それぞれ，$\lambda^j_l = a^j_l X_j/\bar{L}, \lambda^j_k = a^j_k X_j/\bar{K}^*$ で与えられる。

(22) 式から明らかなように，第 2 財と装置の生産量の変化は当該部門の要素集約度に依存する。我々は装置の生産が非常に高度な技術力を必要とする現状を踏まえ，装置部門は第 2 財に比べて資本集約的であると仮定する。

仮定 1：汚染削減装置部門は第 2 財部門に比べて資本集約的である ($a^m_k/a^m_l > a^2_k/a^2_l$)。

(22) 式，左辺の係数行列の行列式を $|\lambda|$ で表すことにすれば, 仮定 1 の下で $|\lambda| = \lambda^2_l\lambda^m_k - \lambda^2_k\lambda^m_l > 0$ が成立する。このとき，外国資本の増加が第 2 財と汚染削減装置の生産量に及ぼす影響は，以下の通りである。

$$\frac{\hat{X}_2}{\hat{\bar{K}}^*} = -|\lambda|^{-1}\lambda^m_l < 0, \tag{23}$$

$$\frac{\hat{X}_m}{\hat{\bar{K}}^*} = |\lambda|^{-1}\lambda^2_l > 0. \tag{24}$$

Beladi, et al. (1999) は装置部門の存在しないモデルにおいて，外国資本増加の影響を考察しているが，外国資本は第 2 財の特殊要素であるため，この資本の増加は直接的に第 2 財の生産量を増加させることになる。一方，本稿の場合，もし仮定 1 が成立するのであれば，外国資本を使用する第 2 財部門と装置部門において，資本集約的な装置の生産量は増加し，逆に，労働集約的な第 2 財の生産量は減少することになる。

\	$\hat{w}$	$\hat{r}$	$\hat{\rho}$	$\hat{X}_1$	$\hat{X}_2$	$\hat{X}_m$	$\hat{Z}$
$\hat{\bar{K}}^*$	0	0	0	0	−	+	−

表 1: 比較静学の結果 ($\bar{K}^*$ の増加について)

最後に総排出量への影響については，(20) 式，(21) 式，そして (23) 式を考慮すれば，(10) 式より以下の関係が導かれる。

$$\frac{\hat{Z}}{\hat{\bar{K}}^*} = \lambda_z^2 \frac{\hat{X}_2}{\hat{\bar{K}}^*} = -|\lambda|^{-1}\lambda_z^2\lambda_l^m < 0, \qquad (25)$$

ここで，λ_z^2 は，総排出量に占める第 2 財の割合を表しており，$\lambda_z^2 = z^2X_2/Z$ で与えられる。

外国資本の増加は装置の生産量を増やし，第 2 財の生産量を減らす。加えて，要素価格には影響を及ぼさないため，総排出量の変化は第 2 財部門の生産量の増減に依存する。我々は仮定 1 を置いているので，第 2 財の生産量減少の結果，総排出量も減少することになる。

上記の比較静学の結果をまとめたものが，次の命題 1 である (合わせて表 1 を参照)。

命題 1：外国資本の増加が各要素価格，最終財と汚染削減装置の生産量，そして総排出量に及ぼす影響は次の通りである。

(a)：労働賃金は変化しない。また，自国資本と外国資本のレンタルも変化しない。

(b)：第 1 財の生産量は変化しない。一方，仮定 1 が成立するのであれば，第 2 財の生産量は減少し，汚染削減装置の生産量は増加する。

(c)：仮定 1 が成立するのであれば，総排出量は減少する。

証明: (a) については (20) 式より，(b) については (21)，(23) 式と (24) 式より，(c) については (25) 式より，直接的に導出される。(証明終り)

4.2 排出税 (t) の引き上げについて

次に排出税引き上げの影響を考察する。排出税の要素価格への影響は，均衡条件式 (3) 式から (5) 式で与えられるが，まず，(4) 式と (5) 式から w と ρ への影響を確認することが可能である。

$$\begin{bmatrix} \theta_l^2 & \theta_k^2 \\ \theta_l^m & \theta_k^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{w} \\ \hat{\rho} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\theta_z^2 \\ 0 \end{bmatrix} \hat{t}, \qquad (26)$$

ここで，(26) 式，左辺の係数行列の行列式を $|\theta|$ で表せば，仮定 1 より $|\theta| = \theta_l^2\theta_k^m - \theta_k^2\theta_l^m > 0$ である。そのため，排出税の引き上げが労働賃金と外国資本のレンタルに及ぼす影響は，以下の通りである。

$$\frac{\hat{w}}{\hat{t}} = -|\theta|^{-1}\theta_z^2\theta_k^m < 0, \qquad (27)$$

$$\frac{\hat{\rho}}{t} = |\theta|^{-1}\theta_z^2\theta_l^m > 0. \qquad (28)$$

排出税の引き上げは最終財部門の単位費用の増加を意味する。Beladi, et al. (1999) の場合，ゼロ利潤が保たれるためには，特殊要素の価格である賃金と資本レンタルは，どちらの部門でも減少しなければならない。一方，本稿の場合，装置部門が第 2 財部門よりも資本集約的であると仮定しているので，労働賃金は低下し，汚染削減装置と第 2 財に特殊的な外国資本のレンタルは上昇することになる。

(27) 式の賃金への影響を考慮すると，第 1 財部門のゼロ利潤条件である (3) 式より，自国資本のレンタルへの影響が与えられる。

$$\frac{\hat{r}}{\hat{t}} = -|\theta|^{-1}\theta_k^{1-1}\left\{\theta_k^m(\theta_z^1\theta_l^2 - \theta_l^1\theta_z^2) - \theta_z^1\theta_k^2\theta_l^m\right\}. \qquad (29)$$

(29) 式において，もし $\theta_z^1\theta_l^2 - \theta_l^1\theta_z^2 > 0$ ならば，$\hat{r}/\hat{t} > 0$ が成立する。そのため，我々は次の仮定を置くことにする。

仮定 2：第 2 財部門の汚染排出物−労働比率は第 1 財部門のそれよりも高いものとする ($z^2/a_l^2 > z^1/a_l^1$)。

排出税の引き上げは第 2 財部門と同様，第 1 財部門の単位費用をも増加させる。第 1 財部門で資本と労働の代替が進むかどうかは明確ではないが，第 2 財部門の汚染排出物－労働比率が第 1 財部門のそれよりも高いほど，第 1 財部門において，賃金下落による単位費用の低下圧力が排出税引き上げによる単位費用の上昇圧力よりも大きくなり，自国資本のレンタルが上昇する可能性は高くなる。

次に排出税が最終財と汚染削減装置の生産量に及ぼす影響であるが, X_1 については (7) 式より，

$$\frac{\hat{X}_1}{\hat{t}} = -\frac{\hat{a}_k^1}{\hat{t}} = -\tilde{\theta}_l^1 \sigma_f^1 \left(\frac{\hat{w}}{\hat{t}} - \frac{\hat{r}}{\hat{t}} \right) > 0, \qquad (30)$$

が得られる。

Beladi, et al. (1999) の場合，要素賦存量が一定のままであれば，生産量の変化は要素投入係数の変化に依存する。排出税の引き上げは各部門における特殊要素への代替をもたらすので，生産量は両部門ともに減少する。本稿においても，第 1 財部門については Beladi, et al. (1999) から類推可能である。但し，仮定 1 と仮定 2 の下では，国内資本レンタルは排出税の引き上げと共に上昇するので，第 1 財の資本投入係数は低下し，第 1 財の生産量は増加することになる。

一方，(6) 式と (8) 式より，

$$\begin{bmatrix} \lambda_l^2 & \lambda_l^m \\ \lambda_k^2 & \lambda_k^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_2 \\ \hat{X}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\delta_t^l \\ \delta_t^{k^*} \end{bmatrix} \hat{t}, \qquad (31)$$

が成立する。ここで，δ_t^l と $\delta_t^{k^*}$ は以下の通りである。

$$\delta_t^l = \lambda_l^1 \frac{\hat{X}_1}{\hat{t}} - \sum_h \lambda_l^h \tilde{\theta}_k^h \sigma_f^h \frac{\hat{w}}{\hat{t}} + \lambda_l^1 \tilde{\theta}_k^1 \sigma_f^1 \frac{\hat{r}}{\hat{t}} + \sum_j \lambda_l^j \tilde{\theta}_k^j \sigma_f^j \frac{\hat{\rho}}{\hat{t}} > 0, \qquad (32)$$

$$\delta_t^{k^*} = -\sum_j \lambda_k^j \tilde{\theta}_l^j \sigma_f^j \left(\frac{\hat{w}}{\hat{t}} - \frac{\hat{\rho}}{\hat{t}} \right) > 0. \qquad (33)$$

そのため，$|\lambda| > 0$ を考慮すると，排出税の引き上げが第 2 財と汚染削減装置の生産量に及ぼす影響は次式で与えられる。

$$\frac{\hat{X}_2}{\hat{t}} = |\lambda|^{-1} (\lambda_k^m \delta_t^l - \lambda_l^m \delta_t^{k^*}) < 0, \qquad (34)$$

$$\frac{\hat{X}_m}{\hat{t}} = -|\lambda|^{-1} (\lambda_k^2 \delta_t^l - \lambda_l^2 \delta_t^{k^*}) > 0. \qquad (35)$$

排出税の引き上げによって，部分的に第 1 財部門に労働が流入するので，第 2 財部門と装置部門で利用可能な労働量は低下する。そのため，第 2 財部門と比べて，資本集約的な装置部門の生産量は増加し，第 2 財部門の生産量は低下することになる。

最後に総排出量への影響については，(10) 式に (27) 式から (30) 式，そして (34) 式を考慮すれば，

$$\begin{aligned} \frac{\hat{Z}}{\hat{t}} &= \lambda_z^1 \frac{\hat{X}_1}{\hat{t}} + \lambda_z^2 \frac{\hat{X}_2}{\hat{t}} + \sum_i \lambda_z^i \tilde{\theta}_m^i \sigma_\phi^i \left(\frac{\hat{p}_m}{\hat{t}} - 1 \right), \\ &= |\lambda|^{-1} \Bigg[(|\lambda| \lambda_z^1 - \lambda_l^1 \lambda_z^2 \lambda_k^m) \frac{\hat{X}_1}{\hat{t}} - \lambda_z^2 \lambda_l^m \delta_t^{k^*} \\ &\quad - |\lambda| \sum_i \lambda_z^i \tilde{\theta}_m^i \sigma_\phi^i + \lambda_z^2 \lambda_k^m \Bigg\{ \sum_h \lambda_l^h \tilde{\theta}_k^h \sigma_f^h \frac{\hat{w}}{\hat{t}} \\ &\quad - \lambda_l^1 \tilde{\theta}_k^1 \sigma_f^1 \frac{\hat{r}}{\hat{t}} - \sum_j \lambda_l^j \tilde{\theta}_k^j \sigma_f^j \frac{\hat{\rho}}{\hat{t}} \Bigg\} \Bigg] < 0. \end{aligned} \qquad (36)$$

が得られる。上式の符号は $|\lambda| \lambda_z^1 - \lambda_l^1 \lambda_z^2 \lambda_k^m$ に依存するが，この部分は，

$$|\lambda|\lambda_z^1 - \lambda_l^1\lambda_z^2\lambda_k^m = \lambda_k^m(\lambda_z^1\lambda_l^2 - \lambda_l^1\lambda_z^2) - \lambda_z^1\lambda_k^2\lambda_l^m < 0, \qquad (37)$$

であるので，仮定 2 の下では負であることが確認される。そのため，排出税の引き上げは総排出量を減少させることになる。

Beladi, et al. (1999) の場合，両部門の単位当り排出量と生産量は全て減少するので，総排出量も明確に減少する。本稿では，両部門の単位当り排出量と第 2 財の生産量は減少するものの，第 1 財部門の生産量は増加する。しかしながら，第 1 財の生産増に伴う排出量の増加効果よりも，第 2 財の生産減に伴う排出削減効果の方が大きいので，全体としての総排出量は低下することになる。

上記の比較静学の結果をまとめたものが，次の命題 2 である (合わせて表 2 を参照)。

命題 2：排出税の引き上げが各要素価格，最終財と汚染削減装置の生産量，そして総排出量に及ぼす影響は次の通りである。

(a)：仮定 1 が成立するのであれば，労働賃金は低下し，外国資本のレンタルは上昇する。また，仮定 1，仮定 2 が成立するのであれば，自国資本のレンタルは上昇する。

(b)：仮定 1，仮定 2 が成立するのであれば，第 1 財と汚染削減装置の生産量は増加し，第 2 財の生産量は減少する。

(c)：仮定 1，仮定 2 が成立するのであれば，総排出量は減少する。

証明: (a) については (27)，(28) 式と (29) 式より，(b) については (30)，(34) 式と (35) 式より，(c) については (36) 式より，直接的に導出される。(証明終り)

\	$\hat{w}$	$\hat{r}$	$\hat{\rho}$	$\hat{X}_1$	$\hat{X}_2$	$\hat{X}_m$	$\hat{Z}$
$\hat{t}$	−	+	+	+	−	+	−

表 2: 比較静学の結果 (t の増加について)

5 厚生効果について

以下の分析では，第 1 財をニュメレール財として扱うことにする。代表的消費者を仮定し，この消費者の効用水準を u で表すことにする。支出関数を $E(p,u,Z)$ とすれば，自国の予算制約式は以下の通りである。

$$E(p,u,Z) = X_1 + pX_2 + p_m^*X_m - p_m^*(M_1 + M_2) - tZ - \rho\bar{K}^* - tZ, \qquad (38)$$

ここで，$M_1 + M_2$ は最終財部門における汚染削減装置の投入需要の合計である。

支出関数の各変数に関する偏微分を下添え字で表すことにすれば，資本流入と排出税が自国の効用水準に及ぼす影響は，上記予算式より以下の通りである。

$$E_u du = (t - E_z)dZ - \bar{K}^* d\rho. \qquad (39)$$

Beladi, et al. (1999) と同様，歪みの原因は外部不経済と (資本水準が外生的な場合に発生する) 外国資本へのレンタル支払いの 2 点である。なお，E_z は排出量の限界的削減に対して消費者が支払っても良いと考える金額を表しており，限界外部損失を意味する。

まず (20) 式を考慮すると，外国資本増加の効果について，(39) 式より，

$$E_u\frac{du}{d\bar{K}^*} = (t - E_z)\frac{dZ}{d\bar{K}^*}, \qquad (40)$$

が得られる。

外国資本の増加は資本レンタルに影響を及ぼさないため，厚生効果は排出税の水準と総排出

量への影響に依存する。Beladi, et al. (1999) の場合，外国資本の増加はこの資本を特殊要素として使用する財の生産量を増加させるので，総排出量も増加することになる。そのため，排出税の水準が自国の限界外部損失よりも大きいのであれば，経済厚生は上昇する。しかしながら，汚染削減装置部門が存在し，外国資本が第 2 財部門だけでなく，この装置部門でも使用されているのであれば，外国資本増加の影響は，これらの部門間の資本－労働比率の大きさに依存する。我々は装置部門の方が資本集約的な状況を想定しているので，第 2 財部門の生産量の減少を通じて，総排出量は低下することになる。そのため，Beladi, et al. (1999) とは逆に，排出税の水準が限界外部損失よりも低い場合に，自国の経済厚生は上昇することが確認できる。

この点を踏まえて，自国の経済厚生を最大化する最適な排出税の水準を求める。(39) 式より，

$$E_u \frac{du}{dt} = (t - E_z)\frac{dZ}{dt} - \bar{K}^* \frac{d\rho}{dt}, \qquad (41)$$

であるので，$du/dt = 0$ を満たす排出税の水準 (t^{op}) について，以下の関係が導かれる。

$$t^{op} - E_z = \bar{K}^* \left(\frac{d\rho}{dt} \bigg/ \frac{dZ}{dt} \right) < 0. \qquad (42)$$

上記の結果をまとめたものが, 次の命題である。

命題 3：仮定 1，仮定 2 が成立するものとする。このとき外国資本の増加と排出税の引き上げが，自国の経済厚生に及ぼす影響について，以下の関係が成立する。

(a)：排出税の水準が限界外部損失よりも低いのであれば，外国資本の増加は自国の経済厚生を上昇させる。

(b)：自国の経済厚生を最大化する排出税の水準は，限界外部損失よりも低い。

証明: (a) については，(25) 式より $dZ/d\bar{K}^* < 0$ であるので，$t < E_z$ ならば $du/d\bar{K}^* > 0$ が得られる。(b) については，(28) 式より $d\rho/dt > 0$，(36) 式より $dZ/dt < 0$ であるので，(42) 式において $t^{op} < E_z$ が成立する。(証明終り)

Beladi, et al. (1999) の場合，排出税を引き上げると総排出量は減少し，資本レンタルの水準は低下するため，最適な排出税は当該国の限界外部損失よりも高い。そして，外国資本の増加は総排出量を増加させるので，もし $t - E_z > 0$ であれば，経済厚生は上昇する。一方，本稿の場合，(25) 式より外国資本の増加は総排出量を低下させるので，$t - E_z < 0$ であれば，経済厚生は上昇する。そこで，自国の経済厚生最大化を実現する排出税の水準を求めると，排出税の引き上げは外国資本のレンタルを上昇させて，総排出量を減少させるので，最適な排出税の水準は限界外部損失よりも低いことが確認される。

6　おわりに

本稿では，汚染削減装置が外国資本を利用して生産される場合を想定し，外国資本の増加と排出税の引き上げが，共に，装置の国内生産量を増加させて，総排出量を低下させることを確認した。また，外国資本の水準が外生的に与えられている場合，これまでの特殊要素モデルにおける議論とは異なり，排出税の引き上げはこの資本のレンタルを上昇させるため，自国の経済厚生を最大化する排出税の水準は，限界外部損失よりも低くなること，そして，排出税の水準が限界外部損失よりも低いならば，外国資本の増加に伴い自国の経済厚生は上昇する可能性があることも明らかにした。

最後に，今後の課題についてである。まず，本稿のモデルは小国の仮定を置いているので，最終財と汚染削減装置の価格は所与であった。大国モデルの場合，これらの価格は内生的に決定

されるため，排出税の引き上げや資本流入の増加について，本稿とは異なる結論に至る可能性がある。

次に，非貿易財部門を含むモデルへの拡張が上げられる。非貿易財部門の排出税が輸出財部門のそれよりも高い水準に課されることは，エコ・ダンピング (eco-dumping) と呼ばれる現象の一例である。これまでの議論では，排出税の場合，環境レントが発生しないため，非貿易財部門と輸出財部門の排出税は差別化されないことになっている[8]。しかしながら，本稿の経済厚生の議論から明らかなように，外国資本の水準が外生的に与えられる場合，外国資本へのレンタル支払いを低下させる動機が存在する。そのため，非貿易財部門と輸出財部門の排出税引き上げが，外国資本のレンタルに異なる変化をもたらすのであれば，小国であっても排出税の差別化は生じる可能性がある。

上記の点について，今後さらに検討を加えていきたいと考えている。

（大阪大学大学院経済学研究科博士後期課程）

参考文献

[1] Antweiler, W., Copeland, B. R., and M. S. Taylor, (2001), “Is Free Trade Good for the Environment?,” *American Economic Review* 91: 877-908.

[2] Beladi, H., Chao, C. C., and R. Frasca, (1999), “Foreign Investment and Environmental Regulations in LDCs,” *Resource and Energy Economics* 21: 191-199.

[3] Chichilnisky, G., (1994), “Globl Environment and North-South Trade,” *American Economic Review* 84: 851-874.

[4] Chua, S., (2003), “Does Tighter Environmental Policy Lead to a Comparative Advantage in Less Polluting Goods?,” *Oxford Economic Papers* 55: 25-35.

[5] Copeland,B.R., (1991), “International Trade in Waste Products in the Presence of Illegal Disposal,” *Journal of Environmental Economics and Management* 20: 143-162.

[6] Copeland, B. R., (1994), “International Trade and the Environment: Policy Reform in a Polluted small Open Economy,” *Journal of Environmental Economics and Management* 26: 44-65.

[7] Copeland, B.R. and M.S.Taylor, (1997), “ A Simple Model of Trade, Capital Mobility, and the Environment,” *NBER(National Bureau of Economic Research) Working Paper Series* No5898.

[8] Copeland, B. R., and M. S. Taylor, (2003), *Trade and the Environment*, Princeton University Press.

[9] Din, M.-U., (1994), “Export Processing Zone and Backward Linkages,” *Journal of Development Economics* 43: 369-385.

[10] Jones, R. W., (1965), “The Structure of Simple General Equilibrium Models,” *Journal of Political Economy* 73: 557-572.

[11] Merrifield, J. D., (1988), “The Impact of Selected Abatement Strategies on Transnational Pollution, the Terms of Trade, and Factor Rewards ; A General Equilibrium Approach,” *Journal of Environmental Economics and Management* 15: 259-284.

[8] 詳細については Rauscher (1997)，Schneider and Wellisch (1997) を参照。

[12] Rauscher, M., (1997), *Internatinal Trade, Factor Movements, and the Environment*, Clarendon Press.

[13] Schneider, K. and D. Wellisch, (1997), "Eco-Dumping, Capital Mobility, and International Trade," *Environmental and Resource Economics* 10: 387-404.

[14] Wang, L.-J., (1995), "Environmental Capital Flight and Pollution Tax," *Environmental and Resource Economics* 4: 273-286.

[15] 杉山泰之, (20032),「消費による汚染，及び最適な租税構造：資本移動を考慮した小国の場合」,『大阪大学経済学』 52: 196-207.

[16] 杉山泰之, (2003),「排出税，汚染削減装置投入に対する補助金と国際貿易」,『国際経済』 8: 57-76.

Emission Tax, Pollution Abatement Equipment, and Capital Movement

Yasuyuki Sugiyama

In this paper, we consider a small country with foreign capital inflow. The country produces two final goods and a pollution abatement equipment. The foreign capital is used in the production of the equipment and the one of final goods. Then we examine the effects of a raise in emission tax and an increase in foreign capital inflow. Our comparative static results are contrary to those of the specific factor model where pollution is treated as an input into the production of final goods. Concretely, we obtain the following results: (I) An increase in foreign capital inflow reduces total pollution. Hence, if the level of emission tax is lower than the marginal damage, an increase in foreign capital inflow improves the welfare of the country. (II) Since an increase in emission tax raises the rental rate of the foreign capital, and reduces total pollution, the optimal tax level which maximizes the welfare of the country is lower than the marginal damage.

Keywords: Emission tax; Pollution abatement equipment; Capital movement; International trade
JEL classification: F18; F21