慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	環境汚染を伴う動学的一般均衡モデルにおける不決定性と比較優位
Sub Title	Indeterminacy and comparative advantage in a dynamic general equilibrium model with pollution
Author	柳瀬, 明彦(Yanase, Akihiko)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2007
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.100, No.3 (2007. 10) ,p.631(49)- 650(68)
JaLC DOI	10.14991/001.20071001-0049
Abstract	本稿は, 環境汚染を伴う2部門小国開放経済の動学的一般均衡モデルを分析する。このモデルでは, (i)各生産部門の資本集約度と汚染集約度との間の関係, (ii)総汚染排出量の関数としての主観的割引率の性質, (iii)家計の効用関数における消費と汚染の外部性との間の代替性, という3つの要素に依存して, 動学均衡経路の不決定性が生じうる。本稿はまた, 環境政策の貿易パターンへの影響に関する「汚染逃避地仮説」の成立可能性について, 均衡経路の動学的性質との関連から検討する。 This study analyzes a dynamic general equilibrium model of a two-sector, small open economy with environmental pollution. In this model, indeterminacy of the dynamic equilibrium path may occur, depending on three factors: (i) relationship between capital and pollution intensity in each production sector; (ii) nature of subjective discount rates as a function of total pollution emissions; and (iii) substitutability between consumption and pollution externality in the household utility function. In addition, this study considers the possibility of the "pollution haven hypothesis" related to the impact of environmental policy on trade patterns, from the relationship with the dynamic nature of the equilibrium path.
Notes	小特集 : 環境経済学の新展開(上)
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20071001-0049

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

環境汚染を伴う動学的一般均衡モデルにおける不決定性と比較優位

Indeterminacy and Comparative Advantage in a Dynamic General Equilibrium Model with Pollution

柳瀬 明彦(Akihiko Yanase)

本稿は，環境汚染を伴う 2 部門小国開放経済の動学的一般均衡モデルを分析する。このモデルでは，(i)各生産部門の資本集約度と汚染集約度との間の関係，(ii)総汚染排出量の関数としての主観的割引率の性質，(iii)家計の効用関数における消費と汚染の外部性との間の代替性，という 3 つの要素に依存して，動学均衡経路の不決定性が生じうる。本稿はまた，環境政策の貿易パターンへの影響に関する「汚染逃避地仮説」の成立可能性について，均衡経路の動学的性質との関連から検討する。

Abstract

This study analyzes a dynamic general equilibrium model of a two-sector, small open economy with environmental pollution. In this model, indeterminacy of the dynamic equilibrium path may occur, depending on three factors: (i) relationship between capital and pollution intensity in each production sector; (ii) nature of subjective discount rates as a function of total pollution emissions; and (iii) substitutability between consumption and pollution externality in the household utility function. In addition, this study considers the possibility of the “pollution haven hypothesis” related to the impact of environmental policy on trade patterns, from the relationship with the dynamic nature of the equilibrium path.

「三田学会雑誌」100 巻 3 号（2007 年 10 月）

環境汚染を伴う動学的一般均衡モデルにおける不決定性と比較優位 *

柳　瀬　明　彦

要　　旨

本稿は，環境汚染を伴う 2 部門小国開放経済の動学的一般均衡モデルを分析する。このモデルでは，(i) 各生産部門の資本集約度と汚染集約度との間の関係，(ii) 総汚染排出量の関数としての主観的割引率の性質，(iii) 家計の効用関数における消費と汚染の外部性との間の代替性，という 3 つの要素に依存して，動学均衡経路の不決定性が生じうる。本稿はまた，環境政策の貿易パターンへの影響に関する「汚染逃避地仮説」の成立可能性について，均衡経路の動学的性質との関連から検討する。

キーワード

動学的一般均衡モデル，均衡の不決定性，小国開放経済，汚染逃避地仮説

1.　はじめに

環境規制の強化が一国の比較優位構造および貿易パターンに与える影響は，環境と貿易に関する主要な研究分野の一つとして，理論・実証の両面で広く検討されてきた。この問題に関する伝統的な見解は，「汚染逃避地（pollution haven）仮説」と呼ばれるものである。すなわち，環境規制の厳しい国は環境への負荷の小さい「クリーン」な産業に，緩い国は環境負荷の大きい「ダーティー」な産業に，それぞれ比較優位を持ち，したがって後者はダーティーな財の生産に特化する，というものである。実証的には，汚染逃避地仮説は必ずしも支持されているとは言い難いが[(1)]，理論的には，環

＊　本稿は，慶應義塾経済学会主催コンファレンス「環境経済学の新展開」および北海道大学大学院経済学研究科・名古屋国際経済研究会共催「国際経済セミナー」にて報告した論文を大幅に改訂したものである。研究会参加者，特に坂井豊貴，赤尾健一，西村一彦，板谷淳一，工藤教孝，倉田洋の諸氏から貴重なコメントを賜ったことに感謝の意を表したい。言うまでもなく，有り得べき誤りはすべて筆者の責任に帰するものである。なお，本研究は，文部科学省科学研究費補助金・若手研究（B）（課題番号：18730131）の助成を受けている。

(1)　例えば，Robison（1988），Low and Yeats（1992），Lucas et al.（1992）は汚染逃避地仮説を支持する実証結果を示しているが，Tobey（1990）や Van Beers and van den Bergh（1997），Xu

境規制の強化は環境負荷の大きな財の比較劣位化をもたらすという，汚染逃避地仮説と整合的な結果が多く得られている。(2)

本稿は，汚染逃避地仮説の理論的妥当性を，消費財と投資財の 2 部門から成る経済の動学的一般均衡モデルを用いて再検討するものである。多くの先行研究の結果とは異なり，本モデルにおいては汚染逃避地仮説は必ずしも成立しない。この結果は，本モデルの均衡動学経路が「均衡の不決定性（indeterminacy of equilibrium）」，すなわち，ある定常状態に収束する均衡経路が無数に存在する，という性質を持つ可能性と大きく関係している。

近年，マクロ経済動学の分野において，不決定性が導かれる動学的一般均衡モデルが注目を浴びており，精力的な研究が行われている。Benhabib and Farmer（1994）や Boldrin and Rustichini（1994）といった初期の研究においては，生産における外部性による社会的な意味での収穫逓増が，均衡の不決定性を導く要因であった。しかしながら，社会的な収穫逓増という仮定は現実にそぐわないことから，Benhabib and Nishimura（1998）や Benhabib et al.（2000），Mino（2001）に代表されるその後の研究では，私的な意味で収穫逓減を示す技術や，私的な生産要素集約度と社会的なそれとの乖離を仮定することにより，社会的な収穫逓増の仮定なしでも不決定性が発生するモデルが提示された。生産の外部性を導入した動学的一般均衡モデルにおける不決定性の分析は，より最近では開放経済モデルの枠組みで行われている。例えば，国際資本移動が存在しないという仮定の下で，Nishimura and Shimomura（2002a）が 2 国モデルの枠組みで，Nishimura and Shimomura（2002b）が小国モデルの枠組みで，それぞれ分析を行っており，国際資本移動が自由に行われるという仮定の下では，Meng and Velasco（2004）が小国モデルで分析を行っている。

以上で紹介した先行研究においては，不決定性をもたらす要因は，いずれも生産サイドにおける外部性である。その一方，環境悪化が消費者の効用に与える外部不経済を考慮に入れたモデルにおける不決定性の分析も，本格的に行われつつある。例えば，Pérez and Ruiz（2006, 2007）や Itaya（2007）は，内生的成長モデルの枠組みで，環境汚染の発生を伴う経済の均斉成長経路の不決定性について検討している。これらの研究と同様，本稿は環境汚染が外部不経済として家計の効用水準を低下させるような状況を想定している。

本稿では，環境汚染が家計の瞬時的効用だけでなく，家計の主観的割引率したがって時間選好率にも影響を与えると仮定する。環境経済学においては，時間選好率が時間を通じて一定という仮定は，持続可能性に関する主要な論点の一つである「世代間の公平性」の観点から大いに問題があるとされてきたものの，環境と経済成長に関する既存研究では基本的にこの仮定の下で分析が行われてきた。(3) 割引率が汚染排出量に依存するとの想定は，既存研究への批判に対する一つの回答である

（1999）といった実証研究においては，汚染逃避地仮説は棄却されている。

(2)　代表的な研究として，Pethig（1976），McGuire（1982），Markusen et al.（1993）が挙げられる。

(3)　環境と経済成長に関するサーベイとしては，例えば Xepapadeas（2005）や柳瀬（2002）が挙げら

といえる。[4]

割引率が環境汚染に依存するという仮定を設けるのは，分析上の理由もある。本稿では 2 部門小国開放経済のモデルが分析されるが，2 種類の生産要素および規模に関して収穫不変の生産技術という仮定の下では，小国モデルの設定は，均衡要素価格が各生産部門における利潤ゼロ条件のみから決定されることを意味する。一方，家計の最適消費の条件はいわゆる Keynes–Ramsey ルールで特徴付けられるので，定常状態においては，家計の時間選好率と資本レンタル料との均等化が成立しなければならない。しかし，均衡資本レンタル料は小国モデルでは所与の価格変数にのみ依存するので，時間選好率も定数だとすると，定常状態の存在は必ずしも保証されなくなってしまう。この問題を回避するために既存の動学モデルで行われてきた方法は，Uzawa（1968）によって提示され，その後 Epstein（1987）や Obstfeld（1990）らによって発展した「内生的時間選好」の理論を応用することである。すなわち，家計の主観的割引率が家計の消費水準や効用水準に依存して内生的に変化し，家計はこのことを考慮に入れて動学的最適化を行う，と想定するのである。[5] これに対して，Meng（2006）は異なる方法で内生的に決定される時間選好率を取り入れた動学モデルを展開し，不決定性の分析を行っている。具体的には，「個別の経済主体の主観的割引率が，経済の平均的な所得水準や消費水準という，経済主体にとっては外部性でありコントロールできないが均衡では内生的に決定されるような変数に依存する」と想定するもので，このような設定により，Uzawa–Epstein タイプの内生的時間選好モデルに比べて動学モデルの分析が容易となる。汚染排出量は，家計にとっては外部不経済であるが，均衡ではその水準は内生的に決定される。したがって，割引率が汚染排出量に依存するという仮定は，Meng（2006）と同様のアプローチを採用していることを意味している。

本稿では生産サイドの外部性は存在しないものと仮定するので，私的な要素集約度と社会的な要素集約度との間の乖離は発生しない。したがって，本稿で均衡の不決定性が生ずるメカニズムは，生産サイドの外部性に基づく多くの先行研究におけるそれとは大きく異なっている。具体的には，上述した環境汚染が家計の割引率に与える影響に加えて，各生産部門の資本集約度と汚染集約度との関係，そして家計の瞬時的効用関数における消費と汚染の外部性との代替性，の 3 つの要素が，均衡経路の動学的性質を決定づける。これら 3 つの要素のうち，資本集約度と汚染集約度との関係は，各財の生産技術および政府の課す環境政策の程度に依存する。これに対して，他の 2 つの要素は，家計の選好に依存するものである。

れる。

(4)　割引率が環境の質に依存するという仮定は，Ayong Le Kama and Schubert（2007）においても採用されている。しかし，彼らの問題意識は，社会計画者が環境資源の利用を最適にコントロールする社会的最適成長経路の性質を検討することであり，本稿の問題意識である分権的均衡経路の不決定性については議論していない。

(5)　Nishimura and Shimomura（2002b）の小国開放経済の動学モデルは，生産の外部性と内生的時間選好を導入し，主観的割引率が消費の増加関数ならば均衡の不決定性が生じうることを示している。

下村（2004）や大東（2004）が指摘しているように，不決定性の持つ興味深い含意の一つとして，不決定的な均衡経路と鞍点（すなわち決定的な）経路とでは比較静学の結果が逆転する，という点が挙げられる。この点は，冒頭で述べた汚染逃避地仮説の理論的妥当性の検討においても，重要な役割を果たす。すなわち，環境政策が一国の比較優位および貿易パターンに与える長期的影響は，均衡経路の動学的性質によって正反対になりうることが，本稿の分析から明らかとなる。環境政策が比較優位に与える影響が理論的にも確定しないというこの結果は，静学的な貿易モデルに立脚した既存の研究成果とは対照的である。

本稿は，以下のように構成される。次節において，環境汚染の伴う小国開放経済の動学的一般均衡モデルを提示し，生産サイドの均衡と家計の動学的最適化行動についてそれぞれ述べる。第 3 節では，この経済の均衡動学経路を導出し，定常状態の存在と一意性，均衡経路が不決定的となるための条件，および比較静学についての検討を行う。第 4 節では，環境政策が比較優位に与える影響を検討し，均衡経路の動学的性質に依存して，汚染逃避地仮説が必ずしも成立しない可能性があることを示す。最後の第 5 節で，本稿のまとめを行う。

2. モデル

2.1 企業行動と生産サイドの短期均衡

投資財部門と消費財部門という 2 つの生産部門から成る，小国開放経済を想定する。各部門は，労働と資本という 2 種類の生産要素を投入する。投資財の生産関数は $\tilde{X} = A_x K_x^{\alpha_x} L_x^{1-\alpha_x}$ で，消費財の生産関数は $\tilde{C} = A_c K_c^{\alpha_c} L_c^{1-\alpha_c}$ で，それぞれ表されるものとする。ここで $\tilde{X}$ は投資財の生産量，$\tilde{C}$ は消費財の生産量，K_x と L_x はそれぞれ投資財の生産に投入される資本量と労働量，K_c と L_c はそれぞれ消費財の生産に投入される資本量と労働量であり，$A_i > 0$ と $\alpha_i \in (0,1)$ は定数である $(i = x, c)$。

各財の生産活動は，その過程において汚染の排出をもたらすものとする。単純化のため，汚染排出係数（生産量 1 単位当たりの汚染排出量）は一定であるとし[(6)]，投資財部門の排出係数は $\epsilon_x > 0$ で，消費財部門のそれは $\epsilon_c > 0$ で与えられるものとする。

汚染の排出に対しては，政府によって排出税が課されるものとし，排出税率を τ で表すことにする。投資財をニュメレールとし，消費財の価格を p で表す。したがって，投資財部門における代表的企業の利潤は $\Pi_x = (1-\tau\epsilon_x)\tilde{X} - rK_x - wL_x$ で，消費財部門におけるそれは $\Pi_c = (p-\tau\epsilon_c)\tilde{C} - rK_c - wL_c$ で，それぞれ表される。ここで r と w はそれぞれ資本レンタル料と労働賃金率である。以下の分析においては，$1-\tau\epsilon_x > 0$ および $p-\tau\epsilon_c > 0$ を仮定する。利潤最大化の 1 階の条件より，以下の式

(6) すなわち，技術革新による排出係数の低下は起きないものとする。

を得る[7]：

$$1-\tau\epsilon_x = r^{\alpha_x} w^{1-\alpha_x}, \tag{1}$$

$$p-\tau\epsilon_c = r^{\alpha_c} w^{1-\alpha_c}. \tag{2}$$

(1)式および(2)式はまた，各部門における利潤ゼロ条件を意味している。

所与の p および τ に対して，(1)式と(2)式から，不完全特化の生産の均衡における生産要素価格の組 (w, r) が決定される。これを $r = r(p,\tau)$ および $w = w(p,\tau)$ で表すことにしよう[8]。(1)式と(2)式を微分して整理すると[9]，

$$\frac{r_p(p,\tau)p}{r(p,\tau)} = -\frac{1-\alpha_x}{(\alpha_x-\alpha_c)(1-\theta_c)}, \quad \frac{r_\tau(p,\tau)\tau}{r(p,\tau)} = \frac{1}{\alpha_x-\alpha_c}\left[\frac{(1-\alpha_x)\theta_c}{1-\theta_c} - \frac{(1-\alpha_c)\theta_x}{1-\theta_x}\right], \tag{3}$$

$$\frac{w_p(p,\tau)p}{w(p,\tau)} = \frac{\alpha_x}{(\alpha_x-\alpha_c)(1-\theta_c)}, \quad \frac{w_\tau(p,\tau)\tau}{w(p,\tau)} = \frac{1}{\alpha_x-\alpha_c}\left(\frac{\alpha_c\theta_x}{1-\theta_x} - \frac{\alpha_x\theta_c}{1-\theta_c}\right) \tag{4}$$

を得る。ここで $\theta_x \equiv \tau\epsilon_x/1$ と $\theta_c \equiv \tau\epsilon_c/p$ はそれぞれ，投資財部門と消費財部門における，総費用に占める排出税支払い費用の割合である。

生産関数がコブ＝ダグラス型に特定化され，生産における外部性も生産要素に対する課税も存在しないとの仮定が置かれていることより，両部門の要素集約度の比較はパラメター α_x と α_c との大小関係から明らかとなる。すなわち，$\alpha_x > \alpha_c$ ならば投資財部門が消費財部門に比べて資本集約的であり，$\alpha_x < \alpha_c$ ならば逆に消費財部門が投資財部門に比べて資本集約的である[10]。(3)式および(4)式より，Stolper–Samuelson 定理の成立は明らかである。すなわち，$\alpha_x > \alpha_c$（$\alpha_x < \alpha_c$）ならば $r_p < 0$ および $w_p > 0$（$r_p > 0$ および $w_p < 0$）が成立する。

各生産部門の環境負荷の大きさを表す指標としては，次の 2 つが考えられる。一つは汚染排出係数 ϵ_i という数量ベースによる定義であり，もう一つは総費用に占める公害対策・防止費用の比率という価値ベースによる定義である。実証分析においては，いずれの定義も採用されているが，後者を採用する研究の方が多い。例えば，Robison（1988），Tobey（1990），Low and Yeats（1992）といった研究においては，米国やその他の OECD 諸国において公害発生の防止やコントロールのための支出が高い産業が汚染集約的な産業ととらえられているのに対し，Lucas et al.（1992）は汚染集

---

(7)　単位を適当にとることにより，$A_i = [\alpha_i^{\alpha_i}(1-\alpha_i)^{1-\alpha_i}]^{-1}$, $i = x, c$ としている。

(8)　$1-\tau\epsilon_x > 0$ および $p-\tau\epsilon_c > 0$ の仮定より，$r(p,\tau)$ と $w(p,\tau)$ はともに，任意の p と τ に対して正の値をとる。

(9)　関数の下付き添え字は，その変数に関する（偏）微分を表す。例えば，$r_p \equiv \partial r/\partial p$ である。

(10)　Jones（1971）が指摘したように，生産要素に対する歪みのある課税が行われている場合，物量単位で表示された要素集約度と価値単位で表示された要素集約度とが逆転する可能性がある。Bond and Driskill（2006）は，物量表示の要素集約度と価値表示の要素集約度との逆転が起こる場合，所与の資本ストックの下で複数均衡が存在しうること，また資本ストックの蓄積が行われる動学均衡経路が循環的なパターンや不決定性といった複雑なものとなりうることを示している。

約度を生産物 1 単位あたりの汚染排出量で定義している[11]。本稿では，汚染集約度を価値ベースで定義する。総費用に占める排出税支払い費用の割合 θ_i は，総費用に占める公害防止費用のシェアであると解釈可能である[12]。したがって，本稿における汚染集約度は次のように定義される：

定義　$\theta_x > \theta_c$（$\theta_x < \theta_c$）ならば，投資財部門は消費財部門に比べて（消費財部門は投資財部門に比べて）**汚染集約的**である。

資本集約的な産業が汚染集約的でもある，すなわち $sign[\alpha_x - \alpha_c] = sign[\theta_x - \theta_c]$ が成立する場合，(3)式より $r_\tau < 0$ が導かれる。この結果は，次のように解釈できる。投資財部門が消費財部門に比べて資本集約的かつ汚染集約的であるとしよう。利潤ゼロ条件(1)および(2)より，排出税率 τ の上昇は投資財および消費財の課税後価格をともに低下させる。もしも投資財部門が消費財部門に比べて汚染集約的ならば，投資財の価格低下の幅は消費財のそれよりも大きくなる。したがって，投資財部門が消費財部門に比べて資本集約的でもあるならば，Stolper–Samuelson 定理によって資本レンタル料は低下することになる。資本集約的な部門が非汚染集約的，すなわち $sign[\alpha_x - \alpha_c] = -sign[\theta_x - \theta_c]$ が成立する場合は，(4)式から $w_\tau < 0$ が導かれる。

均衡要素価格の性質に関する，以上に述べた結果を，次の補題にまとめておこう。

補題 1　投資財と消費財の両方が生産されると仮定する。

(i)　投資財部門が消費財部門に比べて（消費財部門が投資財部門に比べて）資本集約的ならば，$r_p < 0$ および $w_p > 0$（$r_p > 0$ および $w_p < 0$）が成立する。

(ii)　資本集約的な部門が汚染集約的でもある場合，$r_\tau < 0$ が成立する。

(iii)　資本集約的な部門が非汚染集約的である場合，$w_\tau < 0$ が成立する。

資本集約的な部門が非汚染集約的である場合，r_τ の符号は必ずしも正とはならない。投資財部門が消費財部門に比べて資本集約的だが非汚染集約的としよう。このとき，$r_\tau > 0$ が成立するために

---

(11)　Lucas et al.（1992）は，汚染集約度の定義の違いにかかわらず，化学製品, 紙パルプ, 金属といった産業が汚染集約的な産業としてピックアップされると述べている。しかし，本モデルにおいては，価値ベースの汚染集約度は消費財価格 p に依存するので，排出係数の大きな生産部門が必ずしも価値ベースでも汚染集約的であるとは限らない。

(12)　この点は，本モデルに公害防止活動を明示的に導入することで理解できよう。投資財部門において汚染除去活動が行われるとしよう。この活動に投入される資本と労働の量をそれぞれ K_I と L_I とし，汚染の排出削減量 I を K_I と L_I の関数 $I(K_I, L_I)$ で表すことにすると，投資財部門の代表的企業の利潤は $\Pi_x = \tilde{X} - rK_x - w_x - \tau[\epsilon_x \tilde{X} - I(K_I, L_I)] - rK_I - wL_I$ で表される。関数 $I(K_I, L_I)$ が (K_I, L_I) に関して一次同次であると仮定すると，企業が利潤最大化を行う結果，$\tau I = rK_I + wL_I$ が成立する。この場合，公害対策・防止のための費用は $\tau(\epsilon_x \tilde{X} - I) - rK_I - wL_I = \tau\epsilon_x \tilde{X}$ となる。

は，$\alpha_x > \alpha_c$ と $\theta_x < \theta_c$ に加えて，$\alpha_c > 1-(1-\alpha_x)\Theta$ という条件が満たされる必要がある。ここで $\Theta \equiv (1-\theta_x)\theta_c/(1-\theta_c)\theta_x$ である。$\theta_x < \theta_c$ ならば $\Theta > 1$ であり，$\alpha_x > \alpha_c > 1-(1-\alpha_x)\Theta$ という条件は Θ が十分に大きければ成立しうる。したがって，$\theta_x < \theta_c$ かつ $\alpha_x > \alpha_c > 1-(1-\alpha_x)\Theta$ という条件は，資本集約的な投資財部門が消費財部門に比べて「十分に」クリーンであるような状況と解釈される。同様に，資本集約的な部門が「十分に」汚染集約的である場合，例えば投資財部門が資本集約的かつ汚染集約的で，加えて $\alpha_x > \alpha_c > \alpha_x\Theta$ が成立する場合，$w_\tau > 0$ が成立する。

本モデルでは Oniki and Uzawa（1965）と同様，投資財は貿易財だが，資本ストックそれ自体は国際移動が行われないと仮定する。また，労働の国際移動も行われないものとする。この経済の総資本ストック水準を K で表し，また単純化のため総労働量は 1 に等しいと仮定しよう。(1)式と(2)式の右辺はそれぞれ投資財と消費財の生産 1 単位あたりの総要素費用を表しているので，これらの式に Shephard の補題を適用し，各生産要素の完全雇用条件 $K_x + K_c = K$ および $L_x + L_c = 1$ を用いて整理すると，不完全特化の下での各財の均衡生産量が以下のように求められる：

$$\tilde{X} = \frac{(1-\alpha_c)r(p,\tau)K - \alpha_c w(p,\tau)}{(\alpha_x - \alpha_c)(1-\theta_x)}, \quad \tilde{C} = \frac{\alpha_x w(p,\tau) - (1-\alpha_x)r(p,\tau)K}{(\alpha_x - \alpha_c)(1-\theta_c)p}. \tag{5}$$

(5)式より，各財の均衡生産量の性質に関する以下の補題を得る（証明は補論を参照）。

補題 2　投資財と消費財の両方が生産されると仮定する。

(i)　投資財部門が消費財部門に比べて（消費財部門が投資財部門に比べて）資本集約的ならば，資本ストック K の増加は投資財生産量の増加（減少）と消費財生産量の減少（増加）をもたらす。

(ii)　消費財価格 p の上昇は，投資財生産量の減少と消費財生産量の増加をもたらす。

(iii)　投資財部門が消費財部門に比べて汚染集約的（非汚染集約的）ならば，排出税率 τ の上昇は投資財生産量の減少（増加）と消費財生産量の増加（減少）をもたらす。

補題 2（i）は Rybczynski 定理に他ならず，また（ii）は両方の財に供給法則が成立することを意味している。(iii) は，汚染排出税率の上昇が必ずしも生産量の増加をもたらすわけではないことを示しているが，これは τ の上昇が要素価格にもたらす「拡大効果」が，各財の課税後価格の変化の効果よりも大きいことを意味している。

(3)式，(4)式，(5)式より，総汚染排出量 Z が以下のように求められる：

$$Z = \epsilon_x \tilde{X} + \epsilon_c \tilde{C} = -r_\tau(p,\tau)K - w_\tau(p,\tau). \tag{6}$$

(6)式より，汚染排出量の性質に関する以下の補題を得る（証明は補論を参照）。

補題 3　投資財と消費財の両方が生産されると仮定する。

(i) 排出税率 τ の上昇は，総汚染排出量を必ず減少させる。

(ii) 投資財部門が消費財部門に比べて（消費財部門が投資財部門に比べて）汚染集約的ならば，消費財価格 p の上昇は総汚染排出量を減少（増加）させる。

(iii) 資本ストック K の増加は，資本集約的な部門が汚染集約的でもある場合，総汚染排出量を増加させる。

2.2 家計の行動

この経済の消費サイドは，家計の動学的最適化行動によって特徴付けられる。家計は消費財の消費から効用を得る一方，汚染から不効用を被るものとする[13]。消費財の消費量を c で表すことにすると，代表的家計の生涯効用は以下のように与えられる：

$$\int_0^\infty U(c(t), Z(t)) \exp\left[-\int_0^t \rho(Z(v))dv\right] dt. \tag{7}$$

瞬時的効用関数 $U(c, Z)$ は，(c, Z) に関して厳密に凹関数かつ 2 回連続微分可能で，c に関しては単調増加，Z に関しては単調減少であるとする。加えて，$\lim_{c\to 0} U_c = \infty$, $\lim_{c\to\infty} U_c = 0$, $\lim_{Z\to 0} U_Z = 0$, $\lim_{Z\to\infty} U_Z = -\infty$ が成立すると仮定する。また既に述べたように，家計の主観的割引率は一定ではなく，総汚染排出量 Z に依存すると仮定する。割引率関数 $\rho(Z)$ は，$Z \in [0, \infty)$ に関して正値をとり，単調で有界，かつ連続微分可能であると仮定する。なお，ρ_Z の符号については，正負いずれの可能性も考慮に入れる[14]。

Meng（2006）と同様，本モデルでは割引率関数は家計にとって外生的な変数 Z に依存すると仮定しているので，各時点において主観的割引率は時間選好率と一致する。このことを示すために，Epstein（1987）に従い，時点 s における時間選好率を次のように定義しよう[15]：

$$\delta(s) \equiv -\frac{d \log \mathcal{U}_s}{ds}\bigg|_{\dot{c}(s)=\dot{Z}(s)=0}.$$

---

(13) 汚染はフローとして効用に影響を与えると仮定し，汚染の蓄積およびストックの効用への影響は考えないものとする。

(14) 消費水準および汚染排出量が一定で，それぞれ $\bar{c}$ および $\bar{Z}$ で表されるとしよう。また，$U(\bar{c}, \bar{Z}) > 0$ であるとしよう。このような経済の経路が家計にもたらす生涯効用は $\bar{U} = U(\bar{c}, \bar{Z})/\rho(\bar{Z})$ で表されるので，$\partial\bar{U}/\partial\bar{Z} = [U_Z(\bar{c}, \bar{Z})\rho(\bar{c}, \bar{Z}) - U(\bar{c}, \bar{Z})\rho_Z(\bar{Z})]/\rho(\bar{c}, \bar{Z})^2$ と求められる。$\rho_Z > 0$ ならば $\partial\bar{U}/\partial\bar{Z}$ の符号は必ず負となるが，$\rho_Z < 0$ であっても $U_Z/U < \rho_Z/\rho$ ならば，$\partial\bar{U}/\partial\bar{Z} < 0$ が成立する。すなわち，ρ_Z が正負いずれの値をとろうとも，環境汚染が生涯効用を低下させる可能性は存在する。

(15) 変数の上に付いているドット記号は，その変数の時間に関する微分を表す。例えば，$\dot{c}(t) \equiv dc(t)/dt$ である。以下では表記の簡略化のため，時間変数 t は省略する。

ここで $\mathcal{U}_s$ は時点 s における消費の限界効用であり[16]，Volterra 導関数によって次のように定義される：

$$\mathcal{U}_s \equiv U_c(c(s), Z(s)) \exp\left[-\int_0^s \rho(Z(v))dv\right].$$

したがって，$\delta(s) = \rho(Z(s))$ が成立する。

家計は 1 単位の労働を非弾力的に供給すると仮定すると，代表的家計のフローの予算制約は

$$\dot{k} = rk + w + T - pc \tag{8}$$

で表される。ここで k は家計の所有する資本ストック，T は政府からの一括移転をそれぞれ表す。なお，資本ストックは減耗しないと仮定する。したがって，代表的家計は，予算制約(8)および初期条件 $k(0) = k_0 > 0$ の下で，生涯効用(7)を最大にするように消費の時間経路を決定する。

現在価値ハミルトニアンを $H = U(c, Z)\exp[-\int_0^t \rho(Z(v))dv] + \mu(rk + w + T - pc)$ と定義する。ここで μ は資本ストックのシャドープライスを表す。シャドープライスを $\lambda \equiv \mu \exp[\int_0^t \rho(Z(v))dv]$ によって経常価値に直すと，最適化のための必要条件は

$$U_c(c, Z) = \lambda p, \tag{9}$$

$$\dot{\lambda} = \lambda[\rho(Z) - r], \tag{10}$$

および横断性条件 $\lim_{t\to\infty} \lambda(t)k(t)\exp[-\int_0^t \rho(Z(v))dv] = 0$ で特徴付けられる。(9)式より，家計の最適消費水準が λ，Z，p の関数として求められる。これを $c = c(\lambda, Z, p)$ で表すことにすると，$c(\lambda, Z, p)$ は以下の性質を満たすことが分かる：

$$c_\lambda(\lambda, Z, p) = \frac{p}{U_{cc}} < 0, \quad c_Z(\lambda, Z, p) = -\frac{U_{cZ}}{U_{cc}}, \quad c_p(\lambda, Z, p) = \frac{\lambda}{U_{cc}} < 0. \tag{11}$$

3. 均衡動学経路

K と C をそれぞれ，経済全体の資本ストック水準と消費量とする。この経済には同質的な家計が連続的に存在すると仮定し，その総数を 1 に基準化すると，均衡においては $k = K$ および $c = C$ が成立する。また，汚染排出税からの税収はすべて家計に一括移転されるものとし，したがって $T = \tau Z = \tau(\epsilon_x \tilde{X} + \epsilon_c \tilde{C})$ が成立する。この結果と生産関数の一次同次性より，$rK + w + T = \tilde{X} + p\tilde{C}$ が成立する。(6)式より，総汚染排出量を $Z = Z(K, p, \tau)$ と表すことにすると，以上の結果および

(16) 汚染排出量は家計にとってコントロール不可能な変数なので，ここでは時間選好率を消費の限界効用に基づいて定義する。いわば「私的」な時間選好率であり，Ayong Le Kama and Schubert (2007) で議論されているような，汚染水準を内生変数としてコントロールすることを考慮に入れた「社会的」な時間選好率とは異なる。

(5)式と(8)式より，不完全特化の下におけるこの経済の資本ストックの動学が以下の微分方程式で表現される：

$$\dot{K} = \frac{1}{\alpha_x - \alpha_c}\left[\left(\frac{1-\alpha_c}{1-\theta_x} - \frac{1-\alpha_x}{1-\theta_c}\right) r(p,\tau)K + \left(\frac{\alpha_x}{1-\theta_c} - \frac{\alpha_c}{1-\theta_x}\right) w(p,\tau)\right] - pC(\lambda, Z(K,p,\tau), p). \tag{12}$$

また，オイラー方程式(10)は次のように書き換えられる：

$$\dot{\lambda} = \lambda[\rho(Z(K,p,\tau)) - r(p,\tau)]. \tag{13}$$

したがって，この経済の動学的一般均衡は，動学システム(12)および(13)によって特徴付けられる。

3.1　定常状態

資本ストックとそのシャドープライスの定常解の値を K^* と λ^* で，消費水準の定常解の値を C^* で，それぞれ表すことにする。(12)式および(13)式より，定常解の組 (K^*, λ^*, C^*) は以下の式を満たす必要がある：

$$R(p,\tau)K^* + W(p,\tau) = pC^*, \tag{14}$$

$$\rho(Z(K^*,p,\tau)) = r(p,\tau), \tag{15}$$

$$C^* = C(\lambda^*, Z(K^*,p,\tau), p). \tag{16}$$

ここで

$$R(p,\tau) \equiv \frac{1}{\alpha_x - \alpha_c}\left(\frac{1-\alpha_c}{1-\theta_x} - \frac{1-\alpha_x}{1-\theta_c}\right) r(p,\tau) \tag{17}$$

と

$$W(p,\tau) \equiv \frac{1}{\alpha_x - \alpha_c}\left(\frac{\alpha_x}{1-\theta_c} - \frac{\alpha_c}{1-\theta_x}\right) w(p,\tau) \tag{18}$$

はそれぞれ，資本と労働の「社会的」収益率と定義される。

定常状態の存在と一意性について検討しよう。割引率関数 $\rho(Z)$ の値域を $[\underline{\rho}, \overline{\rho}]$ とする。また，以下の 2 つの仮定を設ける。

仮定 1　$r(p,\tau) \in [\underline{\rho}, \overline{\rho}]$.

仮定 2　$-\rho^{-1}(r(p,\tau))/r_\tau(p,\tau) \in [\min\{\kappa^x(p,\tau), \kappa^c(p,\tau)\}, \max\{\kappa^x(p,\tau), \kappa^c(p,\tau)\}]$. ここで $\kappa^i(p,\tau) \equiv \alpha_i w(p,\tau)/[(1-\alpha_i)r(p,\tau)] + w_\tau(p,\tau)/r_\tau(p,\tau)$ である（$i = x, c$）。

これらの仮定より，次の命題が示すように，定常状態の存在と一意性が直ちに導かれる。

命題 1　定常解の組（K^*, λ^*, C^*）で特徴付けられる，不完全特化の定常状態が一意に存在する。

（証明）$\rho(Z)$ の単調性および仮定 1 から，汚染排出量の定常解が一意に定まり，それは $Z^* = \rho^{-1}(r)$ で表現される。(6)式を考慮に入れると，資本ストックの定常解は $K^* = -\rho^{-1}(r)/r_\tau - (w_\tau/r_\tau)$ と求められる。(5)式より，資本ストックの定常解が $K^* \in [\min\{k_x, k_c\}, \max\{k_x, k_c\}]$ を満たすならば，定常状態において不完全特化の均衡が達成される。ここで $k_i \equiv \alpha_i w/[(1-\alpha_i)r]$ である（$i = x, c$）。したがって，仮定 2 が満たされれば，不完全特化の定常状態における資本ストック K^* は一意に存在する。K^* が一意に定まるので，(14)式から C^* が一意に定まり，さらに(16)式から λ^* も一意に定まる。■

3.2　均衡経路の動学的性質

動学システム(12)および(13)を定常解の近傍で線形近似すると，以下の式を得る：

$$\begin{bmatrix} \dot{K} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} K - K^* \\ \lambda - \lambda^* \end{bmatrix}, \quad J \equiv \begin{bmatrix} R - pC_Z Z_K & -pC_\lambda \\ \lambda^* \rho_Z Z_K & 0 \end{bmatrix}. \tag{19}$$

線形動学システム(19)における Jacob 行列のトレースと行列式は，

$$\mathrm{Tr}[J] = R - pC_Z Z_K, \quad \mathrm{Det}[J] = \lambda^* pC_\lambda \rho_Z Z_K \tag{20}$$

と求められる。

(11)式より，行列式の値は $\rho_Z Z_K = -\rho_Z r_\tau > 0$ ならば必ず負となる。この場合，線形動学システム(19)の 2 つの特性根の実部は異なる符号を持つため，定常解（K^*, λ^*）に収束する鞍点経路が一意に存在する。すなわち，定常状態の近傍における均衡経路は決定的である。これに対して，$-\rho_Z r_\tau < 0$ が成立する場合，2 つの特性根の実部は同じ符号を持ち，それに加えて $\mathrm{Tr}[J] < 0$ が成立するならば，特性根の実部はともに負となる。この経済の動学システムは 1 つの状態変数 K と 1 つの補助変数 λ を持つので，2 つの負の実根は，定常状態（K^*, λ^*）の近傍においてこの定常状態に収束する経路が一意に定まらない，すなわち均衡経路が不決定的であることを意味する。

資本集約的な部門が汚染集約的でもあるとしよう。補題 1（ii）より $r_\tau < 0$ なので，$\rho_Z > 0$ ならば $\mathrm{Det}[J] < 0$ が成立し，したがって定常状態は（局所的に）鞍点となる。一方，$\rho_Z < 0$ かつ $R - pC_Z Z_K = R + pC_Z r_\tau < 0$ ならば，均衡経路は定常状態の近傍において不決定となる。資本集約財部門が汚染集約的であるという仮定の下では，$R > 0$ および $r_\tau < 0$ が成立する。したがって，$R + pC_Z r_\tau$ の符号は，$C_Z \leq 0$ ならば必ず正となる一方，$C_Z > 0$ の場合は負となる可能性がある。

次に，資本集約的な部門が十分に非汚染集約的で，$r_\tau > 0$ が成立するとしよう。この場合，$\rho_Z < 0$ ならば定常状態は鞍点となるが，$\rho_Z > 0$ で $C_Z < 0$ ならば，$R + pC_Z r_\tau$ の符号は負となる可能性

がある。[17]

以上の結果をまとめたのが，次の命題である。

命題 2

(ia) 資本集約的な部門が汚染集約的でもあり，かつ $\rho_Z > 0$ が成立するならば，定常状態は局所的に鞍点である。

(ib) 資本集約的な部門が汚染集約的でもあり，$\rho_Z < 0$ が成立する場合，$C_Z > 0$ ならば，均衡経路は定常状態の近傍で不決定的となり得る。

(iia) 資本集約的な部門が十分に非汚染集約的であり，かつ $\rho_Z < 0$ が成立するならば，定常状態は局所的に鞍点である。

(iib) 資本集約的な部門が十分に非汚染集約的であり，$\rho_Z > 0$ が成立する場合，$C_Z < 0$ ならば，均衡経路は定常状態の近傍で不決定的となり得る。

均衡経路の不決定性が生じる理由は，直観的には次のように理解される。この経済が初期時点において定常状態にあるとして，予期せざる資本ストックの増加が生じたとしよう。このとき，当初の定常均衡資本ストック K^* が自己安定的に，すなわち資本のシャドープライス λ の調整なしに達成されるならば，K の増加に伴って選ぶべき λ の初期値が一意に定まらず，したがって均衡の不決定性が生ずる。命題 2 のケース（ib）を考えよう。このケースにおいて，定常状態からの資本ストックの増加は，補題 3（iii）より，汚染排出量の増加をもたらす。もしも $\rho_Z > 0$ ならば，(13)式より，λ は時間を通じて上昇し，消費の減少によって資本蓄積はさらに進んでしまう。[18] したがって，元の定常状態を回復するためには，λ の初期値を鞍点経路上に設定し直す必要がある。これに対して $\rho_Z < 0$ が成立する場合は，K の増加による汚染の増加は家計の割引率の低下をもたらすので，λ の初期値を選び直すことなく資本ストックは減少しうる。ただし，このメカニズムは国民所得を一定とし，また環境汚染が最適消費水準に与える外部効果を無視しているので，これらの点を考慮に入れると，$\rho_Z < 0$ という条件は必ずしも定常均衡資本ストック K^* が自己安定的に達成されることを意味しない。資本集約財部門が汚染集約的であるという仮定の下では $R > 0$ が成立するため，国民所得は増加し，これは他の条件一定の下で K の増加につながる。もしも $C_Z \leq 0$ ならば，K を減らす力は働かない。[19] したがって，経済が自己安定的に定常状態に収束するためには，汚染排出量

---

(17) 資本集約財部門が非汚染集約的な場合，R の符号は正負いずれの可能性もある。$R < 0$ の場合，$C_Z \leq 0$ ならば，$r_\tau > 0$ が成立する下で $R + pC_Z r_\tau$ の符号は必ず負となる。$R > 0$ であっても，$C_Z < 0$ が成立し，しかもその絶対値が十分大きければ，$R + pC_Z r_\tau < 0$ は成立しうる。

(18) (11)式より，$c_\lambda < 0$ である。

(19) したがって，この場合は定常状態は不安定となる。

の増加によって消費が増加する，すなわち $C_Z > 0$ が成立する必要がある。

ケース（iib）も同様に解釈可能である。このケースでは，定常状態からの資本ストックの増加は，ケース（i）とは逆に汚染排出量の減少をもたらすが，仮定 $\rho_Z > 0$ の下ではやはり家計の割引率は低下するので，λ の初期値を選び直すことなく資本ストックは減少しうる。資本集約財部門が非汚染集約的な場合，R の符号すなわち国民所得が K の増加によって増加するか否かは確定しない。しかし，$C_Z < 0$ が成立するならば，汚染排出量の減少が家計の消費を増加させるので，資本ストックは定常均衡値 K^* に向けて減少し，経済は自己安定的に定常状態へと収束する。

(11)式より，$sign[C_Z] = sign[U_{CZ}]$ が成立する。Michel and Rotillon（1995）は，$U_{CZ} < 0$ のケースを “distaste” effect，$U_{CZ} > 0$ のケースを “compensation” effect と，それぞれ呼んでいる。本モデルでは，このような家計の効用関数における消費と汚染の外部性との間の代替性が，均衡の不決定性が生ずるか否かを判断する条件の構成要素となっている。この点は，先行研究にはない新しい視点であるといえる。

3.3　比較静学

(15)式より，資本ストックの定常解 K^* に関する比較静学の結果が以下のように求められる：

$$\frac{\partial K^*}{\partial p} = -\frac{\rho_Z Z_p - r_p}{\rho_Z Z_K}, \quad \frac{\partial K^*}{\partial \tau} = -\frac{\rho_Z Z_\tau - r_\tau}{\rho_Z Z_K}. \tag{21}$$

(21)式より，p および τ の変化が K^* に与える影響について次の命題が得られる（証明は補論を参照）。

命題 3

(ia)　資本集約的な部門が汚染集約的で，かつ $\rho_Z > 0$ が成立する場合，p および τ の変化が K^* に与える影響は確定しない。

(ib)　投資財部門が消費財部門に比べて（消費財部門が投資財部門に比べて）資本集約的かつ汚染集約的で，$\rho_Z < 0$ が成立する場合，p の上昇は K^* の増加（減少）をもたらす。τ の上昇は，$\rho_Z < 0$ が成立する場合，資本集約的かつ汚染集約的な部門が投資財部門と消費財部門のどちらであっても，K^* の増加をもたらす。

(iia)　資本集約的な部門が十分に非汚染集約的で，かつ $\rho_Z < 0$ が成立する場合，p および τ の変化が K^* に与える影響は確定しない。

(iib)　投資財部門が消費財部門に比べて（消費財部門が投資財部門に比べて）資本集約的かつ十分に非汚染集約的で，$\rho_Z > 0$ が成立する場合，p の上昇は K^* の増加（減少）をもたらす。τ の上昇は，$\rho_Z > 0$ が成立する場合，資本集約的かつ十分に非汚染集約的な部門が投資財部門と消費財部門のどちらであっても，K^* の減少をもたらす。

命題 3 における（ia）～（iib）の 4 つのケースは，それぞれ命題 2 におけるケース（ia）～（iib）に対応している。すなわち，定常状態が鞍点で，したがって均衡経路が決定的なケース（ia）および（iia）においては，比較静学の結果が確定しないのに対して，均衡経路の不決定性が生ずるケース（ib）および（iib）においては，比較静学の結果は確定する。このように，均衡の不決定性の生ずる動学モデルにおいては，比較静学の結果には様々な可能性が生じうる。この点は，次節で議論するように，汚染逃避地仮説の理論的妥当性にも影響を与えることになる。

4. 環境政策と長期的な比較優位

環境政策がこの経済の長期的な比較優位および貿易パターンに与える影響について，検討しよう。(3)式，(4)式，(5)式，(16)式より，定常状態における消費財に対する超過需要が次のように表される[20]：

$$
\begin{aligned}
M(p,\tau) &= C^* - \tilde{C}^* \\
&= \frac{R(p,\tau)K^* + W(p,\tau)}{p} - \frac{\alpha_x w(p,\tau) - (1-\alpha_x) r(p,\tau) K^*}{(\alpha_x - \alpha_c)(1-\theta_c)p} \\
&= \left[\frac{R(p,\tau)}{p} - r_p(p,\tau)\right] K^* + \frac{W(p,\tau)}{p} - w_p(p,\tau). \qquad (22)
\end{aligned}
$$

したがって，p および τ の変化が消費財の超過需要に与える影響が，以下のように求められる（導出は補論を参照）：

$$
M_p = \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial p} + \frac{1}{p}\left(\frac{\partial \tilde{X}^*}{\partial p} + \tilde{C}^* - C^*\right), \qquad (23)
$$

$$
M_\tau = \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial \tau} + \frac{1}{p}\frac{\partial \tilde{X}^*}{\partial \tau}. \qquad (24)
$$

(3)式と(17)式より

$$
\frac{R}{p} - r_p = \frac{1-\alpha_c}{(\alpha_x - \alpha_c)(1-\theta_x)}\frac{r}{p} \qquad (25)
$$

を得るが，この式の符号は，投資財部門が消費財部門に比べて資本集約的ならば正となり，逆ならば負となる。この結果および補題 2 より，以下の命題を得る。

命題 4

(i) $\partial K^*/\partial p < 0$ かつ $\alpha_x > \alpha_c$，あるいは $\partial K^*/\partial p > 0$ かつ $\alpha_x < \alpha_c$，のいずれかの条件が成立するものとする。このとき，$C^* = \tilde{C}^*$ で評価した場合の定常状態における消費財の超過需要は，消費

---

(20) $\tilde{C}^* \equiv \tilde{C}|_{K=K^*}$ である。

財価格 p の上昇によって減少する。

(ii) 消費財部門が投資財部門に比べて汚染集約的であるとする。このとき，汚染排出税率 τ の上昇は，$\partial K^*/\partial\tau > 0$ かつ $\alpha_x > \alpha_c$，あるいは $\partial K^*/\partial\tau < 0$ かつ $\alpha_x < \alpha_c$，のいずれかの条件が成立するならば，定常状態における消費財の超過需要を増加させる。

命題 4 は，直観的には次のように説明される。消費財価格 p の上昇は，補題 2（ii）より所与の K の下で消費財の生産量を増加させる一方，定常均衡資本ストック K^* それ自体も p の上昇によって変化する。しかし，$\partial K^*/\partial p < 0$ かつ $\alpha_x > \alpha_c$ が成立するならば，p の上昇による資本ストックの減少が，Rybczynski 定理を通じて労働集約財である消費財の生産量の増加をもたらす。したがって，p の上昇は全体として $\tilde{C}^*$ の増加をもたらし，結果として $M(p,\tau)$ を減少させる。排出税率 τ の変化の効果も同様に解釈される。仮定 $\theta_x < \theta_c$ の下では，τ の上昇は，所与の K に対して消費財の生産量を減少させる。それに加えて $\partial K^*/\partial\tau > 0$ かつ $\alpha_x > \alpha_c$ が成立するならば，τ の上昇による資本ストックの増加が，Rybczynski 定理を通じて労働集約財である消費財の生産量の減少をもたらす。結果的に，τ の上昇は $\tilde{C}^*$ の減少をもたらし，結果として定常状態における消費財の超過需要は増加する。

消費財の超過需要 $M(p,\tau)$ が $C = \tilde{C}$ の近傍で p の減少関数であり，$M_\tau > 0$ が成立するものとしよう。このとき，排出税率 τ の上昇は，定常状態における消費財の自給自足均衡価格の上昇をもたらす。この結果が，「消費財部門が汚染集約的である」という仮定の下で導かれるならば，環境政策の強化が汚染集約財部門の比較劣位化をもたらすという意味で，汚染逃避地仮説が成立する。命題 4（ii）が示すように，汚染逃避地仮説と整合的な結果は，$\partial K^*/\partial\tau > 0$ かつ投資財部門が資本集約的であるか，$\partial K^*/\partial\tau < 0$ かつ消費財部門が資本集約的であるかのいずれかの場合には，必ず成り立つ。しかし，例えば $\partial K^*/\partial\tau > 0$ かつ消費財部門が資本集約的な場合には，M_τ の符号は確定しない。さらに，命題 3 が示すように，$\partial K^*/\partial\tau$ の符号は，定常状態に収束する均衡経路が決定的な場合は確定せず，また不決定的な場合でも正負どちらのケースもありうる。このような均衡経路の動学的性質のために，本モデルにおいては汚染逃避地仮説の成立は必ずしも保証されない。

5. おわりに

本稿は，環境汚染を伴う小国経済の動学的一般均衡モデルを分析し，動学均衡経路の不決定性が生じるための条件を検討した。その条件は，以下の 3 つの点に関するものである。すなわち，(i) 各生産部門の資本集約度と汚染集約度との間の関係，(ii) 総汚染排出量の関数としての主観的割引率の性質，(iii) 家計の効用関数における消費と汚染の外部性との間の代替性，である。これらの条件の現実妥当性について，以下で簡単にコメントしておきたい。

まず，資本集約度と汚染集約度との関係だが，Antweiler et al.（2001）の technical appendix[21] や Cole and Elliott（2003）は，米国の産業のデータセットを用いて，汚染財産業の多くは資本集約的であるとの実証結果を得ている。ただし，これらの研究においては，付加価値に占める賃金以外のシェアを労働人口で割ったものを資本集約度の代理変数として用いている。資本集約度として，これとは異なる定義を用いた場合に資本集約度と汚染集約度との間の正の相関は常に成立するかどうかは，未だ議論の余地があると言えよう。また，Larson et al.（2002）や Akbostanci et al.（2007）が述べているように，例えばトルコは世界でも有数の皮革製品の生産・輸出国であるが，皮革産業は極めて汚染集約的な産業である。しかし，皮革産業が資本集約的な産業であるかというと，必ずしもそうとはいえない。これらの点から考えると，資本集約財産業が非汚染集約的なケースも考慮に入れた本稿の分析は，必ずしも正当性を欠くものではない。次に，家計の主観的割引率に対する汚染の影響であるが，環境の悪化によって人々がより忍耐強くなるか否かについて本格的に検証した研究は，著者の知る限り存在しない。これは，実証分析を行うのが極めて困難であるためと考えられるが，今後の研究が待望される。最後に，環境汚染が財の消費に与える影響，あるいは家計にとっての汚染と消費との間の効用関数における代替関係であるが，やはりこれも Michel and Rotillon（1995）の定義する “distaste” effect（$U_{CZ} < 0$）と “compensation” effect（$U_{CZ} > 0$）のどちらが現実的に妥当するか，現時点では判断を下すのは難しい。

以上に述べたように，均衡の不決定性のための諸条件が現実妥当性を持つか否かを判断するには，今後の実証研究の結果を待つ必要がある。このことは逆に言えば，現時点では不決定性が生じる可能性が完全には排除されないことを意味している。

本稿ではまた，緩やかな（厳しい）環境政策を実施している国は汚染集約財に比較優位（比較劣位）を持つ，という汚染逃避地仮説が本モデルにおいて成立するか否かについても検討した。汚染逃避地仮説と整合的な結果がしばしば導かれる静学的な貿易モデルとは対照的に，本モデルでは，低い汚染排出税率が必ずしも定常状態における汚染集約財の比較優位を意味するものではない，という結果が示され，その理由としてモデルの動学的特性（均衡の不決定性）が関わっていることが明らかとなった。こうした結果は，実証分析において汚染逃避地仮説が必ずしも支持されないことの，一つの理論的説明としても解釈されよう。

補　　論

補題 2 の証明

(i)：(5)式から明らか。

---

(21) http://econ.ucalgary.ca/fac-files/st/appendix.pdf.

(ii)：$\tilde{X}$ と $\tilde{C}$ をそれぞれ p で微分し，(3)式と(4)式を用いて整理すると，

$$\frac{\partial \tilde{X}}{\partial p} = -\frac{(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w}{(\alpha_x-\alpha_c)^2(1-\theta_x)(1-\theta_c)p} < 0, \tag{A.1}$$

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial p} = \frac{(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w}{(\alpha_x-\alpha_c)^2(1-\theta_c)^2p^2} > 0 \tag{A.2}$$

を得る。

(iii)：$\tilde{X}$ と $\tilde{C}$ をそれぞれ τ で微分し，(3)式と(4)式を用いて整理すると，

$$\frac{\partial \tilde{X}}{\partial \tau} = \frac{(\theta_c-\theta_x)[(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w]}{(\alpha_x-\alpha_c)^2(1-\theta_x)^2(1-\theta_c)\tau}, \tag{A.3}$$

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial \tau} = \frac{(\theta_x-\theta_c)[(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w]}{p(\alpha_x-\alpha_c)^2(1-\theta_x)(1-\theta_c)^2\tau} \tag{A.4}$$

を得る。したがって，$\theta_x > \theta_c$ ならば $\partial\tilde{X}/\partial\tau < 0$ および $\partial\tilde{C}/\partial\tau > 0$ が成立し，$\theta_x < \theta_c$ ならば逆の符号が成立する。 ■

補題 3 の証明

(i)：(A.3)式と(A.4)式より，

$$\frac{\partial Z}{\partial \tau} = \epsilon_x\frac{\partial \tilde{X}}{\partial \tau} + \epsilon_c\frac{\partial \tilde{C}}{\partial \tau} = -\frac{(\theta_x-\theta_c)^2[(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w]}{[(\alpha_x-\alpha_c)(1-\theta_x)(1-\theta_c)\tau]^2} < 0 \tag{A.5}$$

を得る。

(ii)：(A.1)式と(A.2)式より，

$$\frac{\partial Z}{\partial p} = \epsilon_x\frac{\partial \tilde{X}}{\partial p} + \epsilon_c\frac{\partial \tilde{C}}{\partial p} = \frac{(\theta_c-\theta_z)[(1-\alpha_x)(1-\alpha_c)rK + \alpha_x\alpha_c w]}{p(\alpha_x-\alpha_c)^2(1-\theta_x)(1-\theta_c)^2\tau} \tag{A.6}$$

を得る。したがって，$\theta_x > \theta_c$ ならば $\partial Z/\partial p < 0$ が成立し，$\theta_x < \theta_c$ ならば逆の符号が成立する。

(iii)：(6)式より $\partial Z/\partial K = -r_\tau$ が成立すること，および補題 1（ii）から明らか。 ■

命題 3 の証明

$Z_K = -r_\tau$ より，(21)式は

$$\frac{\partial K^*}{\partial p} = \frac{Z_p}{r_\tau} - \frac{r_p}{\rho_Z r_\tau}, \quad \frac{\partial K^*}{\partial \tau} = \frac{Z_\tau}{r_\tau} - \frac{1}{\rho_Z} \tag{A.7}$$

と変形される。補題 3（i）より，$Z_\tau < 0$ が必ず成立する。資本集約財産業が汚染集約的でもある場合，$r_\tau < 0$ が成立し，また Z_p と r_p は同符号となるので，$\rho_Z > 0$ の場合，$\partial K^*/\partial p$ および $\partial K^*/\partial\tau$ の符号はいずれも確定しない。資本集約財産業が十分に非汚染集約的な場合は逆に，$r_\tau > 0$ が成立し，また Z_p と r_p は異符号となるので，$\rho_Z < 0$ の場合に $\partial K^*/\partial p$ および $\partial K^*/\partial\tau$ の符号が確定しない。

資本集約財産業が汚染集約的で，$\rho_Z < 0$ が成立するケース，および資本集約財産業が十分に非汚染集約的で，$\rho_Z > 0$ が成立するケースについては，$\partial K^*/\partial p$ と $\partial K^*/\partial \tau$ の符号は確定し，それは以下の表にまとめられる。

	r_τ	Z_p	r_p	$\partial K^*/\partial p$	$\partial K^*/\partial \tau$
投資財部門が資本集約的＆汚染集約的	$-$	$-$	$-$	$+$	$+$
消費財部門が資本集約的＆汚染集約的	$-$	$+$	$+$	$-$	$+$

ケース（ib）

	r_τ	Z_p	r_p	$\partial K^*/\partial p$	$\partial K^*/\partial \tau$
投資財部門が資本集約的＆十分に非汚染集約的	$+$	$+$	$-$	$+$	$-$
消費財部門が資本集約的＆十分に非汚染集約的	$+$	$-$	$+$	$-$	$-$

ケース（iib）

ケース（ib）および（iib）における比較静学の結果は，これらの表に示される通りである。 ■

(23)式および(24)式の導出 (22)を p および τ でそれぞれ偏微分し，(16)式と $r_pK + w_p = \tilde{C}$ を用いて整理すると，

$$\begin{aligned} M_p &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial p} + \left(\frac{R_p p - R}{p^2} - r_{pp}\right)K^* + \frac{W_p p - W}{p^2} - w_{pp} \\ &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial p} + \frac{R_p K^* + W_p - (RK^* + W)/p}{p} - (r_{pp}K^* + w_{pp}) \\ &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial p} + \frac{R_p K^* + W_p - C^*}{p} - \frac{\partial \tilde{C}^*}{\partial p} \end{aligned} \tag{A.8}$$

および

$$\begin{aligned} M_\tau &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial \tau} + \left(\frac{R_\tau}{p} - r_{p\tau}\right)K^* + \frac{W_\tau}{p} - w_{p\tau} \\ &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial \tau} + \frac{R_\tau K^* + W_\tau}{p} - (r_{p\tau}K^* + w_{p\tau}) \\ &= \left(\frac{R}{p} - r_p\right)\frac{\partial K^*}{\partial \tau} + \frac{R_\tau K^* + W_\tau}{p} - \frac{\partial \tilde{C}^*}{\partial \tau} \end{aligned} \tag{A.9}$$

を得る。生産関数の一次同次性から $RK + W = \tilde{X} + p\tilde{C}$ が成立するので，

$$R_pK^* + W_p = \frac{\partial \tilde{X}}{\partial p} + p\frac{\partial \tilde{C}}{\partial p} + \tilde{C} \tag{A.10}$$

および

$$R_\tau K^* + W_\tau = \frac{\partial \tilde{X}}{\partial \tau} + p\frac{\partial \tilde{C}}{\partial \tau} \tag{A.11}$$

を得る。(A.10)式を(A.8)式に，(A.11)式を(A.9)式にそれぞれ代入して整理すれば，(23)式および(24)式が導かれる。

（高崎経済大学経済学部准教授）

参 考 文 献

E. Akbostanci, G.I. Tunç, S. Türüt-Asik, Pollution haven hypothesis and the role of dirty industries in Turkey's exports, *Environment and Development Economics* **12** (2007), 297–322.

W. Antweiler, B.R. Copeland, M.S. Taylor, Is free trade good for the environment? *American Economic Review* **94** (2001), 877–908.

A. Ayong Le Kama, K. Schubert, A note on the consequences of an endogenous discounting depending on the environmental quality, *Macroeconomic Dynamics* **11** (2007), 272–289.

J. Benhabib, R. Farmer, Indeterminacy and increasing returns, *Journal of Economic Theory* **63** (1994), 19–41.

J. Benhabib, Q. Meng, K. Nishimura, Indeterminacy under constant returns to scale in multisector economies, *Econometrica* **68** (2000), 1541–1548.

J. Benhabib, K. Nishimura, Indeterminacy and sunspots with constant returns, *Journal of Economic Theory* **81** (1998), 58–96.

M. Boldrin, A. Rustichini, Growth and indeterminacy in dynamic models with externalities, *Econometrica* **62** (1994), 323–342.

E.W. Bond, R.A. Driskill, On indeterminacy in two sector models with factor market distortions: The importance of VIPIRs, Working Paper No. 06-W26 (2006), Department of Economics, Vanderbilt University.

M.A. Cole, R.J.R. Elliott, Determining the trade-environment composition effect: The role of capital, labour and environmental regulations, *Environmental and Resource Economics* **46** (2003), 363–383.

L.G. Epstein, A simple dynamic general equilibrium model, *Journal of Economic Theory* **41** (1987), 68–95.

J. Itaya, Can environmental taxation stimulate growth? The role of indeterminacy in endogenous growth models with environmental externalities, *Journal of Economic Dynamics and Control*, forthcoming (2007).

R.W. Jones, Distortions in factor markets and the general equilibrium models of production, *Journal of Political Economy* **79**, 1971, 437–459.

B.A. Larson, E. Nicolaides, B.A. Zu'bi, N. Sukkar, K. Laraki, M.S. Matoussi, K. Zaim, C. Chouchani, The impact of environmental regulations on exports: Case study results from Cyprus, Jordan, Morocco, Syria, Tunisia, and Turkey, *World Development* **30** (2002), 1057–1072.

P. Low, A. Yeats, Do 'dirty' industries migrate? in P. Low (ed.), *International Trade and the Environment*, 1992, World Bank, Washington D.C.

R.E.B. Lucas, D. Wheeler, H. Hettige, Economic development, environmental regulation and the international migration of toxic industrial pollution: 1960–1988, in P. Low (ed.), *International Trade and the Environment*, 1992, World Bank, Washington D.C.

M. McGuire, Regulation, factor rewards, and international trade, *Journal of Public Economics* **17** (1982), 335–354.

J.R. Markusen, E.R. Morey, N.D. Olewiler, Environmental policy when market structure and plant locations are endogenous, *Journal of Environmental Economics and Management* **24** (1993), 69–86.

Q. Meng, Impatience and equilibrium Indeterminacy, *Journal of Economic Dynamics and Control* **30** (2006), 2671–2692.

Q. Meng, A. Velasco, Market imperfections and the instability of open economies, *Journal of International Economics* **64** (2004), 503–519.

P. Michel, G. Rotillon, Disutility of pollution and endogenous growth, *Environmental and Resource Economics* **6** (1995), 279–300.

K. Mino, Indeterminacy and endogenous growth with social constant returns, *Journal of Economic Theory* **97** (2001), 203–222.

K. Nishimura, K. Shimomura, Trade and indeterminacy in a dynamic general equilibrium model, *Journal of Economic Theory* **105** (2002a), 244–260.

K. Nishimura, K. Shimomura, Indeterminacy in a dynamic small open economy, *Journal of Economic Dynamics and Control* **27** (2002b), 271–281.

M. Obstfeld, Intertemporal dependence, impatience, and dynamics, *Journal of Monetary Economics* **26** (1990), 45–75.

H. Oniki, H. Uzawa, Patterns of trade and investment in a dynamic model of international trade, *Review of Economic Studies* **32** (1965), 15–38.

R. Pérez, J. Ruiz, Indeterminacy and optimal environmental public policies in an endogenous growth model, in C. de Miguel, X. Labandeira, B. Manzano (eds.), *Economic Modelling of Climate Change and Energy Policies*, 2006, Edward Elgar Publishing.

R. Pérez, J. Ruiz, Global and local indeterminacy and optimal environmental public policies in an economy with public abatement activities, *Economic Modelling* **24** (2007), 431–452.

R. Pethig, Pollution, welfare, and environmental policy in the theory of comparative advantage, *Journal of Environmental Economics and Management* **2** (1976), 160–169.

H.D. Robison, Industrial pollution abatement: The impact on balance of trade, *Canadian Journal of Economics* **21** (1988), 187–199.

J.A. Tobey, The effects of domestic environmental policies on patterns of world trade: An empirical test, *Kyklos* **43** (1990), 191–209.

H. Uzawa, Time preference, the consumption function and optimum asset holdings, in J. N. Wolfe (ed.), *Value, Capital and Growth: Papers in Honor of Sir John Hicks*, 1968, University of Edinburgh Press, Edinburgh.

C. Van Beers, J.C.J.M. van den Bergh, An empirical multi-country analysis of the impact of environmental regulations on foreign trade flows, *Kyklos* **50** (1997), 29–46.

A. Xepapadeas, Economic growth and the environment, in K.-G. Mäler and J. R. Vincent (eds.), *Handbook of Environmental Economics* Volume 3, 2005, North Holland, Amsterdam, pp.1219–1271.

X. Xu, Do stringent environmental regulations reduce the international competitiveness of environmentally sensitive goods? A global perspective, *World Development* **27** (1999), 1215–1226.

下村耕嗣，「国際貿易論における不決定性」，西村和雄・福田慎一（編）『非線形均衡動学 不決定性と複雑性』，第 5 章，2004 年，東京大学出版会。

大東一郎，「経済発展の動学分析—均衡の不決定性の視点—」，嘉治佐保子・柳川範之・白井義昌・津曲正俊（編）『経済学の進路 地球時代の経済分析』，第 12 章，2004 年，慶應義塾大学出版会。

柳瀬明彦，『環境問題と経済成長理論』，2002 年，三菱経済研究所。