

Title	国際寡占競争と環境政策：動学ゲーム分析
Sub Title	International oligopoly and environmental policy : a dynamic game analysis
Author	柳瀬, 明彦(Yanase, Akihiko)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2000
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.93, No.1 (2000. 4) ,p.219- 235
JaLC DOI	10.14991/001.20000401-0219
Abstract	
Notes	論説
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20000401-0219

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.

国際寡占競争と環境政策：動学ゲーム分析*

柳 瀬 明 彦

1 はじめに

地球温暖化問題をはじめとする地球規模の環境問題は、その影響が時間的にも空間的にも広がりを持つことがその最大の特徴である。温暖化問題を例として考えると、ある場所で発生した温室効果ガスは、時間を通じて蓄積し、将来の経済活動などへ重大な影響を及ぼすと考えられる。また、その影響は発生した場所や国にのみならず、世界全体に広がる。このような性質を地球環境問題が持つことを踏まえた上で、各国の政府がどのような対応をしていくかは、極めて重要な政策課題であり、また同時に極めて困難な問題である。この問題に関する先駆的研究である Markusen (1975 a, b) において、“limited ability of one government to intervene in the internal affairs of another country” と既に述べられているように、その困難さの根本的な原因は、各国政府が外国企業による環境悪化をもたらすような経済活動に対して直接の介入が行えない点にある。直接の介入として各国の政府が実施できるのは、環境汚染を減らすために自国の企業に対して環境政策を強化することになるであろうが、それによって自国企業の国際競争力は影響を受ける可能性がある。それに加えて、環境改善の効果は他の国にもスピルオーバーするため、外国は環境政策のコストを支払うことなく便益を受けることが可能となる。前者は短期的な経済的利益に関わるものである一方、後者は一種の「国際公共財」である地球環境の長期的な管理の問題であると言える。本稿は、このような環境政策の国際的波及についての短期的および長期的側面を、理論モデルを用いて考察

* 本稿の執筆にあたり、数々の指導と助言を下された大山道広教授と白井義昌助教授に深く感謝いたします。なお本稿は、筆者が統計研究会「金融班」コンファランス（於江ノ島）および環境経済・政策学会1999年大会（於立命館大学）にて報告した論文を加筆・修正したものであり、旧稿に対しては柳川範之（東京大学）、古澤泰治（横浜国立大学）、山本充（小樽商科大学）、藤田壮（大阪大学）の諸先生方ならびに本誌レフェリーから数多くの貴重なコメントを頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。もちろん、ありうべき誤りは全て筆者に帰すものであります。

するものである。

地球環境問題が、ストック効果を持つ（負の）国際公共財としての性質を持つものである、という点に着目し、いかにして各国が環境政策を実施していくかを分析した研究として、Dockner and Van Long (1993), Van der Ploeg and de Zeeuw (1992), Hoel (1993) などが挙げられる。彼等の研究では主に、各国が自国の利益のみを追求した場合の非効率性と、その非効率性を解消するための国際協調のあり方に焦点が当てられている。しかし、彼らの研究では、財や資本の国際的な取引がない閉鎖経済下で、各国の代表的個人が財の消費量したがって生産量の時間経路を選択することで汚染を直接コントロールするような、きわめて単純なモデルを想定している⁽¹⁾。そのため、国際市場での企業間の競争や政府による環境政策の企業行動への影響といった重要な側面が無視されている。この点に関して本稿では、Brander and Spencer (1985) タイプの国際寡占競争を動学的な政策ゲームに導入することで、これまで先行文献で十分に議論されてこなかった、環境政策と国際競争力との関係にも焦点を当てる。環境政策が国際競争力に及ぼす影響は、環境汚染をもたらすような工業製品の輸出国にとって特に深刻であると考えられる。その意味において、自国企業と外国企業が第三国市場で寡占競争を行うという Brander-Spencer モデルによる分析は、単純でありながらも問題の本質を捉えるのには十分であるといえる⁽²⁾。

本稿では、各国政府は環境政策の手段として汚染排出税もしくは汚染排出量の直接規制を用いると仮定し、それぞれのケースにおける環境政策の長期的な環境水準および各国の経済厚生に及ぼす影響を分析する。最初に述べたように、地球規模の環境悪化を防止するために自国政府が環境政策を強化した場合、自国企業にとっては環境改善のための費用が増加するため、外国企業の国際競争力が高まる（市場レント収奪効果）。また、自国企業による汚染排出量の削減により、外国は環境政策のコストを支払うことなく便益を受けることが可能となる（政策のただ乗り効果）。これらの2つの側面で、外国は自国の政策変化を戦略的に利用して利益を得ることになる。各国が国益を追求する場合、他国によるこのような戦略的な行動を考慮に入れて政策を決定するため、各国が実施する環境政策は社会的に最適なレベルから歪められることになる。ただし、環境政策の手段によってその効果には違いが見られる。この結果は、Baumol and Oates (1988) にまとめられているような、「不確実性の存在しない完全競争市場においては、課税と直接規制は同一の経済効果をもたらす」という命題とは異なる。この違いは、各国企業が寡占的に行動しており、また各国政府が非協力的

(1) Xepapadeas (1995) は、財や資本の国際移動を考慮に入れた汚染コントロールの動学ゲームを分析しているが、代表的個人が消費量や生産量を直接コントロールするモデルである点に変わりはない。

(2) Brander-Spencer モデルを環境政策の議論に応用した既存研究として、Barrett (1994) や Conrad (1993), Ulph (1996a, b) などが挙げられる。ただし、彼等の議論は温暖化のような越境的な汚染ではなく地域的な環境問題を想定しており、また静学モデルによる分析である。

に行動していることに因るものである。環境政策の国際協調が実現される場合には、排出税と排出量規制の効果は同一となる。これは、前述の戦略的效果が存在せず、環境ダメージを正しく反映した環境政策が排出税であっても排出量規制であっても実現するからである。

本稿は以下のように構成される。まず次節において、Brander-Spencer タイプの国際寡占競争モデルに環境政策を導入し、環境政策の水準を所与とした下での短期的なクールノー競争の結果を述べる。第3節では、政府間の環境政策の動学ゲームを導入する。各国政府は、排出税と排出量規制のいずれかを政策手段として用いて環境政策を実施する。それぞれの政策手段を用いた場合の政策ゲームのナッシュ均衡が導出されるが、この節ではナッシュ均衡の定性的な性質が検討される。続く第4節において、線形の需要関数と2次の費用関数を仮定して、政策ゲームの均衡を計算により求める。そして、それぞれの均衡における環境の質および各国の厚生水準を排出税と排出量規制とで比較する。第5節は各国政府が環境政策に関して国際協調を行った場合の結果を述べる。第6節で本稿のまとめを行う。

2 モデル

自国、外国および第三国から成る世界経済を想定する。自国および外国にはそれぞれ企業が1社ずつ存在する。各企業は同質的な財を生産し、そのすべてを第三国市場に輸出している。第三国では生産は行われないものとする。⁽³⁾ 自国企業、外国企業の生産量を、それぞれ x_H 、 x_F とし、⁽⁴⁾ 環境対策が行われない場合の各国企業の利潤（収入と生産費用の差額）を $R^i(x_H, x_F)$, $i=H, F$ で表す。関数 $R^i(\cdot, \cdot)$ は、 $R^i_i > 0$, $R^i_{ii} < 0$, $R^i_j < 0$, $R^i_{ij} < 0$ を満たすものとする。⁽⁵⁾ さらに、 $\Omega \equiv R^H_{HH} R^F_{FF} - R^H_{HF} R^F_{FH} > 0$ を仮定する。⁽⁶⁾

各企業は、財の生産に伴って汚染物質を排出する。排出された汚染は国境を越え、また時間を通じて蓄積することにより、地球規模の環境汚染をもたらす。単位を適当に取ることにより、汚染排出係数（財の生産1単位当たりの汚染物質の排出量）を1に定める。環境悪化を防ぐために、各国政府は国内企業に対して、排出税あるいは排出量規制のいずれかの形で環境政策を実施する。一方、企

(3) 前節で既に述べたように、以上の仮定は環境政策が国際競争力に与える影響に関して、結論を明確にするために置かれたものである。輸出国が財を消費する、あるいは各国内に2社以上の寡占企業が存在する、といったより現実的な仮定への変更は、得られる結論に対して本質的に新たな情報を与えるものではない。

(4) 以下の分析でも同様に、添え字の H は自国の変数、 F は外国の変数を、それぞれ意味する。

(5) 関数 R^i の下付きの添字は、各国企業の生産量による偏微分を表す。例えば、 $R^i_i \equiv \partial R^i / \partial x_i$, $R^i_j \equiv \partial R^i / \partial x_j$ などである。

(6) この仮定は、後述のクールノー＝ナッシュ均衡の一意性と安定性を保証するためのものである。例えば、Conrad (1993) を参照。

業には排出を抑制する技術があるとする。これにより、各企業は生産量を減らすことなく汚染排出量を減らすことが可能となる。 i 国企業が a_i 単位の汚染排出を防止するための費用を $C_i(a_i)$ で表す。この費用関数について、 $C'_i > 0$ 、 $C''_i > 0$ を仮定する。 t 時点における汚染のストックを $S(t)$ で表すと、汚染の時間を通じての変化は以上の仮定から、

$$\dot{S}(t) \equiv \frac{dS(t)}{dt} = \sum_{i=H,F} [x_i(t) - a_i(t)] - \delta S(t), \quad S(0) = S_0 > 0 \quad (1)$$

で表される。ここで、 $\delta \in [0, 1]$ は、自然による浄化作用の大きさを表している。

企業がどれだけ排出抑制努力を行うかは、どのような環境政策がどれだけの規模で実施されるかに依存する。環境汚染の蓄積の程度およびそれによる被害の大きさに関して、通常、政府は民間企業に比べて多くの情報を持っていると考えられる。本稿では単純化のため、各国企業は環境汚染に関わる情報を一切持たず、知りうるのは各時点における需要、費用構造および政策変数の値のみであると仮定する。さらに、各企業は環境汚染それ自体から生産性の低下などの影響を受けないと仮定する。以上の仮定により、各企業は近視眼的に行動し、排出防止費用を考慮に入れた短期利潤を最大化するように各期の生産量および排出削減量を決定する。一方、政府は企業行動および汚染の規模や被害状況などに関して十分な情報を持っており、長期的視野に立って環境政策を実行する。具体的には、(1)式で表される汚染の蓄積経路を考慮に入れた上で、将来に亘る経済厚生（後で定義する）を最大化するように政策手段の時間経路を決定する⁽⁷⁾。つまり、各時点は2段階ゲーム（第1段階では政府間の政策ゲーム、第2段階では企業間のクールノー競争が行われる）で特徴付けられ、政府はこのゲームの構造、市場構造、および企業の技術に関して正しい情報を知っているものとして、排出税率や排出量基準をコントロールしていく。

政府間の環境政策ゲームの記述に入る前に、以下ではまず、与えられた環境政策の下での企業の短期利潤最大化行動とクールノー＝ナッシュ均衡について述べよう。

2.1 排出税下のクールノー＝ナッシュ均衡

本国政府および外国政府は国内企業に対し、ネットの排出量 $x_i - a_i$ にそれぞれ τ_H 、 τ_F の排出税を課す。したがって、各国企業は、排出税率および相手企業の決定する変数を所与として、環境対策費用も考慮に入れた利潤

$$\pi_i = R^i(x_H, x_F) - C_i(a_i) - \tau_i \cdot (x_i - a_i), \quad i = H, F$$

を最大にするように、生産量 x_i と排出削減量 a_i を決定する。利潤最大化条件は、内点最適を仮定

(7) 各国政府は同じ政策手段を用いる、すなわち、例えば一方の国が排出税、他方が排出量基準を用いることはないものとする。

すると,

$$R^i(x_H, x_F) = \tau_i, \quad (2)$$

$$C'_i(a_i) = \tau_i \quad (3)$$

で表される。(3)式から明らかなように、各国企業の排出削減量はその国の政府が設定する排出税率のみに依存するので、これを $a_i = \bar{a}_i(\tau_i)$ と書くことにしよう。(3)式を全微分することにより、 $\bar{a}'_i = 1/C'_i > 0$ 、つまり自国の排出税率の上昇は自国企業の排出削減努力を促進するという結果を得る。一方(2)式は、各国企業の最適な生産量がその国の排出税率とともに相手国の生産量にも依存していることを意味しており、したがってこの式は各国企業の生産量反応関数を定義する。両企業の反応曲線の交点がクールノー＝ナッシュ均衡であり、それは両国の排出税率に依存する。クールノー＝ナッシュ均衡生産量を $\bar{x}^i(\tau_H, \tau_F)$ で表そう。均衡の一意性および安定性を仮定すれば、

$$\frac{\partial \bar{x}^i}{\partial \tau_i} = \frac{R^j_{ij}}{\Omega} < 0, \quad \frac{\partial \bar{x}^i}{\partial \tau_j} = -\frac{R^i_{ij}}{\Omega} > 0, \quad i, j = H, F, \quad j \neq i$$

を得る。つまり、自国の排出税率の上昇は自国企業の生産量を減らし、外国の排出税率の上昇は自国企業の生産量を増やすことがわかる。排出防止努力に関しては a_i は τ_j に依存しないので、自国のネットの汚染排出量は、自国の排出税率の上昇によって減少する一方、外国の排出税率の上昇によって増加する。

2.2 排出量規制下のクールノー＝ナッシュ均衡

自国政府および外国政府は、国内企業が排出できる汚染の上限をそれぞれ θ_H 、 θ_F に定める。各国企業は、課された排出量基準および相手企業の決定する変数を所与として、 $\theta_i \geq x_i - a_i$ の制約下で、環境対策費用も考慮に入れた利潤

$$\pi_i = R^i(x_H, x_F) - C_i(a_i), \quad i = H, F$$

を最大にするように、生産量 x_i と排出削減量 a_i を決定する。排出量の制約が拘束的であり内点最適が成立すると仮定すると、 $\theta_i = x_i - a_i$ より、利潤最大化条件は

$$R^i(x_H, x_F) = C'_i(x_i - \theta_i) \quad (4)$$

で表される。(4)式は、各国企業の反応関数を定義する。したがって、クールノー＝ナッシュ均衡生産量は $\bar{x}^i(\theta_H, \theta_F)$ となり、各国政府の設定する排出量基準に依存する。比較静学を行うと、

$$\frac{\partial \bar{x}^i}{\partial \theta_i} = -\frac{C''_i(R^j_{ij} - C''_j)}{\Omega - C''_H R^F_{FF} - C''_F R^H_{HH} + C''_H C''_F} > 0, \quad \frac{\partial \bar{x}^i}{\partial \theta_j} = \frac{C''_j R^i_{ij}}{\Omega - C''_H R^F_{FF} - C''_F R^H_{HH} + C''_H C''_F} < 0$$

を得る。また、 $\theta_i = x_i - a_i$ より、各国企業の汚染削減量もまた $\bar{a}^i(\theta_H, \theta_F)$ と、両国の排出量基準に

依存し、

$$\frac{\partial \bar{a}^i}{\partial \theta_i} = -\frac{\Omega - 2C'_i R'_{ij} - C'_j R'_{ii} + 2C''_H C''_F}{\Omega - C''_H R''_{FF} - C''_F R''_{HH} + C''_H C''_F} < 0, \quad \frac{\partial \bar{a}^i}{\partial \theta_j} = \frac{\partial \bar{x}^i}{\partial \theta_j} < 0$$

が成立する。つまり、自国の排出量基準の強化 (θ_i の減少) は、自国企業の生産量を減らし、排出防止努力を促す。一方、外国の排出量基準の強化は、自国企業の生産量を増やすが、自国企業に課された排出量基準が一定ならば、これを守るために自国企業は排出防止努力を高めることになる。以上の結果は排出税のケースと異なるが、この違いが次節以降に述べる政府間の政策ゲームの結果に影響を及ぼすことになる。

3 政府間の政策ゲーム

本節では、自国政府と外国政府との間の環境政策ゲームを定式化する。前節で見たように、各国の環境政策は各企業の生産量および汚染削減量に影響を及ぼすが、この影響は、企業の短期的な利潤の変化とともに(1)式の右辺で表される汚染フロー量の変化という形で現れる。財は専ら第三国によって消費されるので、各時点での厚生は、環境対策費も考慮に入れた企業の利潤と地球規模の汚染からの不効用、排出税のケースではそれに税収を加えたもの、から成る。各国における汚染からの不効用は、環境ダメージ関数 $D_i(S)$ 、 $D'_i > 0$ 、 $D''_i > 0$ 、で表される。また、両国の政府はともに共通の割引率 $r > 0$ をもつと仮定する。以上の想定の下で、各国の政府は相手国の政策変数を所与として、(1)式の制約下で無限の将来に亘る厚生の割引現在価値を最大にするように、政策変数をコントロールしていく。

このような微分方程式の制約下の動学ゲーム、いわゆる微分ゲーム (differential game) の理論を経済学に応用した文献の多くにおいて、各プレイヤーはオープン・ループ (open-loop) 戦略かフィードバック (feedback) 戦略を用いると仮定されている。本モデルの場合、前者は、各国政府が排出税率あるいは排出量基準の将来に亘る全ての値をゲームの開始時点で決定することを意味する。これに対し後者においては、各国政府は各時点において状態変数である汚染ストックの水準に依存して環境政策を決定する。部分ゲーム完全性は、後者のようなフィードバック戦略を各国政府が用いる時に満たされる。また、本モデルでは政策ゲームが無限期間続くと仮定しているため、各国政府の戦略は時間に依存しない定常的なものとなる。したがって、この政策ゲームで求める均衡は、定常フィードバック・ナッシュ均衡 (stationary feedback Nash equilibrium, SFNE) である。一般に SFNE を求めるのは困難であるため、本節ではまず SFNE が満たす定性的な性質について議論する。次節においては、関数形を特定化した下で SFNE を実際に解き、排出税と排出量規制との比較について考察を加える。

3.1 排出税ゲーム

各国政府が排出税を政策変数としてコントロールする場合、(1)式は

$$\dot{S}(t) = \sum_{i=H,F} [\tilde{x}^i(\tau_H(t), \tau_F(t)) - \tilde{a}_i(\tau_i(t))] - \delta S(t) \quad (5)$$

と書き換えられる。また、各国の厚生割引現在価値は

$$\tilde{W}_i = \int_{t=0}^{\infty} e^{-rt} [\tilde{R}^i(\tau_H(t), \tau_F(t)) - \tilde{C}_i(\tau_i(t)) - D_i(S(t))] dt, \quad i=H, F \quad (6)$$

で表される。ただし、 $\tilde{R}^i(\tau_H, \tau_F) \equiv R^i(\tilde{x}^H(\tau_H, \tau_F), \tilde{x}^F(\tau_H, \tau_F))$ 、 $\tilde{C}_i(\tau_i) \equiv C_i(\tilde{a}_i(\tau_i))$ である。排出税ゲームの定常フィードバック・ナッシュ均衡戦略は、各 $i=H, F$ に対して、 $\tau_i(S)$ が相手の決定ルールを所与として(5)式の制約下で(6)式を最大にするような決定ルールの組 $(\tau_H(S), \tau_F(S))$ で定義される。

フィードバック・ナッシュ解は、動的計画法によって求められる。各国の(6)式の最大値として定義される価値関数 (value function) を $V_i(S)$ で表すと、 $V_i(S)$ は以下のハミルトン＝ジャコビ＝ベルマン (HJB) 方程式

$$r\tilde{V}_i(S) = \max_{\tau_i} \left\{ \tilde{R}^i(\tau_i, \tau_j(S)) - \tilde{C}_i(\tau_i) - D_i(S) + \tilde{V}'_i(S) \tilde{E}(\tau_i, \tau_j(S)) \right\}, \quad (7)$$

$$\tilde{E}(\tau_i, \tau_j(S)) \equiv \tilde{x}^i(\tau_i, \tau_j(S)) - \tilde{a}_i(\tau_i) + \tilde{x}^j(\tau_i, \tau_j(S)) - \tilde{a}_j(\tau_j(S)) - \delta S, \quad i, j=H, F, \quad j \neq i$$

を満たす。この排出税ゲームにおける SFNE を求めるには、任意の S について(7)式と、境界条件

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \tilde{V}_i(S(t)) = 0, \quad i=H, F \quad (8)$$

の両方を満たすような戦略の組 $(\tau_H(S), \tau_F(S))$ を見つけなければならない。

(7)式の右辺は、内点最適を仮定すると

$$\left[\frac{\partial \tilde{R}^i}{\partial \tau_i} - \tilde{C}'_i \right] + \tilde{V}'_i(S) \left[\frac{\partial \tilde{x}^i}{\partial \tau_i} + \frac{\partial \tilde{x}^j}{\partial \tau_i} - \tilde{a}'_i \right] = 0 \quad (9)$$

と書き換えられる。各国政府は環境政策の策定に際して、現在の経済的利益か将来の環境改善かというトレードオフに直面している。つまり、自国の排出税率の上昇は、現在の自国企業の利潤を減らす (左辺第1項) 一方、汚染の減少を通じて将来の厚生を改善させる (第2項)。最適な状態は、両者がちょうどつり合う点において達成される。(9)式は、このことを意味している。

SFNEにおける均衡排出税率を $(\tau_H(S), \tau_F(S))$ とする。 $(\tau_H(S), \tau_F(S))$ は、各 $i=H, F$ について(9)式を満たす。HJB方程式(7)に包絡線定理を適用すると、

$$-\tilde{V}_i''(S)\tilde{E}(\tau_H(S), \tau_F(S)) = \frac{\partial \tilde{R}^i}{\partial \tau_j} \tau_j'(S) - D_i'(S) + V_i'(S)[\epsilon_j(S)\tau_j'(S) - \delta - r] \quad (10)$$

を得る。ただし、

$$\epsilon_j(S) \equiv \frac{\partial}{\partial \tau_j} \tilde{x}^i(\tau_H(S), \tau_F(S)) + \frac{\partial}{\partial \tau_j} \tilde{x}^j(\tau_H(S), \tau_F(S)) - \tilde{a}_j'(\tau_j(S))$$

は、 j 国の排出税率の変化がもたらすネットの汚染排出量の変化の大きさである。(10)式は、オイラー方程式の関係を示しているが、その解釈は経済学的に重要である。(10)式の左辺は、汚染ストックのシャドー・ヴァリュエ $\tilde{V}_i''(S)$ の変化率であるが⁽⁸⁾、これは右辺の3つの項に分解される。汚染ストックの増加は、環境ダメージの増大によって自国の厚生を悪化させる(右辺第2項)。しかし、各国は環境政策の強化によって環境を改善させようと努めるだろう。自国の排出税率の上昇は、(9)式の成立により \tilde{V}_i への影響が相殺される。これに対して、外国の排出税率の上昇は次の2つのルートを通じて自国に便益をもたらす。まず、外国の排出税率の上昇は外国企業の費用を増大させることにより自国企業に競争上の優位をもたらすが、この効果は第1項に表されている。次に、第3項における $\epsilon_j(S)\tau_j'(S)$ は外国の排出税率の上昇が世界全体の汚染フローを変化させることを意味しているが、これは δ と同様の効果を持つことに注意したい。 δ は自然の浄化率であるが、 $\epsilon_j(S)\tau_j'(S)$ は外国の環境政策がもたらす「人工的」な浄化率であると解釈される。環境の浄化率の上昇は、現在の汚染ストックの増加がもたらす来期以降の厚生への影響を低く抑える。自国はこの意味においても、外国による環境政策の強化によって恩恵を受けている。以上の2つの効果が、汚染ストックの変化がもたらす、純粋な環境ダメージ以外の自国の厚生への影響である。どちらも、外国の政策変化を戦略的に利用して利益を得る効果であり、前者は不完全競争下の貿易・産業政策の議論における「レント収奪効果 (rent capturing effect)」に対応し、後者は地球環境という国際公共財の供給に関する「ただ乗り効果 (free riding effect)」であるといえる。逆の見方をすると、外国にとっては、自国がこのような戦略的な行動をとることを考慮に入れて政策を決定する必要がある。したがって、排出税率は社会的に見て最適なレベルから歪められることになる。

3.2 排出量規制ゲーム

各国政府が排出量基準を政策変数としてコントロールする場合、(1)式は

$$\dot{S}(t) = \theta_H(t) + \theta_F(t) - \delta S(t) \quad (11)$$

と書き換えられる。また、各国の厚生割引現在価値は

(8) $\dot{\tilde{E}} = \dot{S}$ なので、 $-\tilde{V}_i''(S)\dot{\tilde{E}} = -\tilde{V}_i''(S)\dot{S} = -(\dot{\tilde{V}}_i)$ を得る。

$$\bar{W}_i = \int_{t=0}^{\infty} e^{-rt} [\bar{R}^i(\theta_H(t), \theta_F(t)) - \bar{C}^i(\theta_H(t), \theta_F(t)) - D_i(S(t))] dt, \quad i=H, F \quad (12)$$

で表される。ただし、 $\bar{R}^i(\theta_H, \theta_F) \equiv R^i(\bar{x}^H(\theta_H, \theta_F), \bar{x}^F(\theta_H, \theta_F))$ 、 $\bar{C}^i(\theta_H, \theta_F) \equiv C_i(\bar{a}^i(\theta_H, \theta_F))$ である。排出量規制ゲームの定常フィードバック・ナッシュ均衡戦略は、各 $i=H, F$ に対して、 $\theta_i(S)$ が相手の決定ルールを所与として(11)式の制約下で(12)式を最大にするような決定ルールの組 $(\theta_H(S), \theta_F(S))$ で定義される。

排出量規制ゲームのSFNEは、排出税のケースと同様に求められる。各国の価値関数を $\bar{V}_i(S)$ で表すと、HJB方程式は

$$r\bar{V}_i(S) = \max_{\theta_i} \{\bar{R}^i(\theta_i, \theta_j(S)) - \bar{C}^i(\theta_i, \theta_j(S)) - D_i(S) + \bar{V}'_i(S)[\theta_i + \theta_j(S) - \delta S]\}, \quad i, j=H, F, \quad j \neq i \quad (13)$$

で表される。(13)式の右辺は、

$$\left[\frac{\partial \bar{R}^i}{\partial \theta_i} - \frac{\partial \bar{C}^i}{\partial \theta_i} \right] + \bar{V}'_i(S) = 0 \quad (14)$$

と書き換えられる。(14)式の解釈は、排出税ゲームにおける(9)式のそれと同様だが、第2項が異なることに注意したい。各国が排出税を政策手段として使用する場合、自国の排出税率の上昇による汚染排出量の減少分のうち一部は、外国企業の生産増大による排出量の増加分によって相殺されるが、排出量規制の場合にはこのようなことは起こらない。というのも、外国の排出量基準が変化しない限り、自国の排出量基準の変化によって外国企業の汚染排出量は変化しないからである。

SFNEにおける均衡排出量基準を $(\theta_H(S), \theta_F(S))$ とする。 $(\theta_H(S), \theta_F(S))$ は、各 $i=H, F$ について(14)式を満たす。HJB方程式(13)に包絡線定理を適用すると、オイラー方程式

$$-\bar{V}'_i(S)\bar{E}(\theta_H(S), \theta_F(S)) = \left[\frac{\partial \bar{R}^i}{\partial \theta_j} - \frac{\partial \bar{C}^i}{\partial \theta_j} \right] \theta'_j(S) - D'_i(S) + \bar{V}'_i(S)[\theta'_j(S) - \delta - r], \quad (15)$$

$$\bar{E}(\theta_H(S), \theta_F(S)) \equiv \theta_H(S) + \theta_F(S) - \delta S$$

を得る。(15)式もまた排出税ゲームの場合の同様に、汚染ストックの増大が環境ダメージの増大によって自国の厚生を悪化させる効果(右辺第2項)以外に、外国の環境政策の変化による市場レント収奪効果(第1項)と政策のただ乗り効果(第3項)という戦略的效果から成る。しかし、レント収奪効果において、汚染ストックの増加による環境被害を食い止めるために外国政府が外国企業にとっての排出量基準を厳しくすることにより、自国企業の生産利潤は増大する一方で自国企業は排出防止努力の水準を上げるために費用が上昇するという点が、排出税のケースと異なっている。また、ただ乗り効果に関しては、外国が排出量基準を厳しくした場合の「人工的」浄化率において

は、排出税率ゲームの場合のような自国企業の排出増加という相殺的な効果は発生しない。

4 linear-quadratic ケースにおける厚生比較

前節までの分析において、国際寡占競争に直面する企業を擁した国々が自国の厚生最大化を目指して環境政策を実施する場合の動学的な政策ゲームについて、ナッシュ均衡の定性的な性質を検討してきた。各国の環境政策は、市場レントの収奪と政策のただ乗りという2つの戦略的要因によって歪められるが、各国が用いる環境政策の種類によって、その程度は一般に異なることが確かめられた。本節では、関数を特定化してそれぞれのケースにおける政策ゲームのSFNEを実際に求め、各国にとって排出税と排出量規制のどちらがより望ましい政策手段であるかを検討する。

自国と外国は選好および企業の技術において、まったく同一であると仮定しよう。第三国市場の逆需要関数と各国企業の生産費用関数はともに線形で、それぞれ $\bar{a} - (x_H + x_F)$ および γx_i で表される (ただし $\bar{a} > \gamma > 0$)。したがって、各国企業の生産利潤は $R^i(x_H, x_F) = (\bar{a} - x_H - x_F)x_i$, $\alpha \equiv \bar{a} - \gamma$ となる。排出防止費用関数および環境ダメージ関数は2次関数で、それぞれ $C_i(a_i) = \phi a_i^2/2$, $D_i(S) = \beta S^2/2$ で与えられる ($\phi, \beta > 0$) とする。

排出税率が与えられた場合の、国際寡占市場におけるクールノー＝ナッシュ均衡下の生産量および排出防止努力水準は

$$\bar{x}_i = \frac{\alpha - 2\tau_i + \tau_j}{3}, \quad \bar{a}_i = \frac{\tau_i}{\phi}, \quad i, j = H, F, \quad j \neq i$$

と求められる。また、排出量基準が与えられた場合は

$$\bar{x}_i = \frac{\alpha(\phi+1) + \phi[(\phi+2)\theta_i - \theta_j]}{(\phi+1)(\phi+3)}, \quad \bar{a}_i = \frac{\alpha(\phi+1) - (2\phi+3)\theta_i - \phi\theta_j}{(\phi+1)(\phi+3)}, \quad i, j = H, F, \quad j \neq i$$

となる。以上の結果は、各時点における各国の純便益が政策変数に関して2次関数となることを意味している。環境ダメージ関数が2次関数であることも考慮に入れると、この微分ゲームは多くの経済モデルにおいて仮定されているのと同様に、⁽⁹⁾ linear-quadratic の構造を持つことになる。したがって、それらのモデルと同様の手法を用いてSFNEを求めることができる。目的関数が2次関数であることから、価値関数もまた S について2次関数であると推測される。両国は対称的なので、 $\bar{V}_H(S) = \bar{V}_F(S) = A_\tau S^2/2 + B_\tau S + C_\tau$, $\bar{V}_H(S) = \bar{V}_F(S) = A_\theta S^2/2 + B_\theta S + C_\theta$ としよう。ただし、価値関数の各パラメータはHJB方程式(7)あるいは(13)を満たす未定係数であり、これらの値は補論で導出される。このことはまた、SFNEにおける均衡排出税率および均衡排出量基準が汚染ストックの線形関数であることを意味する。⁽¹⁰⁾ 補論において示されるように、排出税、排出量規制そ

(9) Dockner and Van Long (1993) や Van der Ploeg and de Zeeuw (1992) を参照。

それぞれの政策ゲームにおいて、安定的な線形フィードバック解が一意に存在し、排出税ゲームの場合には均衡排出税率が

$$\begin{aligned}\tau_H(S) &= \tau_F(S) = -\frac{\alpha\phi + 3(\phi+3)B_\tau}{5\phi+9} - \frac{3(\phi+3)A_\tau}{5\phi+9} S, \\ A_\tau &\equiv \frac{(r+2\delta)\phi(5\phi+9)^2 - \sqrt{(r+2\delta)^2\phi^2(5\phi+9)^4 + 4\beta\phi(\phi+3)^2(5\phi+9)^2(16\phi+27)}}{2(\phi+3)^2(16\phi+27)} < 0, \\ B_\tau &\equiv \frac{\alpha\phi(\phi+2)(17\phi+27)A_\tau}{(r+\delta)\phi(5\phi+9)^2 - (\phi+3)^2(16\phi+27)A_\tau} < 0\end{aligned}\quad (16)$$

と求められ、排出量規制ゲームの場合には均衡排出量基準が

$$\begin{aligned}\theta_H(S) &= \theta_F(S) = \frac{\alpha\phi(\phi+2)^2 + (\phi+1)(\phi+3)^2 B_\theta}{\phi(3\phi^2+11\phi+9)} + \frac{(\phi+1)(\phi+3)^2 A_\theta}{\phi(3\phi^2+11\phi+9)} S, \\ A_\theta &\equiv \frac{(r+2\delta)\phi(3\phi^2+11\phi+9)^2}{2(\phi+3)^2\psi} \\ &\quad - \frac{\sqrt{(r+2\delta)^2\phi^2(3\phi^2+11\phi+9)^4 + 4\beta\phi(\phi+3)^2(3\phi^2+11\phi+9)^2\psi}}{2(\phi+3)^2\psi} < 0, \\ \psi &\equiv 8\phi^3 + 39\phi^2 + 58\phi + 27, \\ B_\theta &\equiv \frac{\alpha\phi(\phi+2)(5\phi^3+27\phi^2+47\phi+27)A_\theta}{(r+\delta)\phi(3\phi^2+11\phi+9)^2 - (\phi+1)(\phi+3)^2(8\phi^2+31\phi+27)A_\theta} < 0\end{aligned}\quad (17)$$

と求められる。

以上の結果に基づいて、SFNEにおける環境の質および厚生水準を比較しよう。まず、それぞれの均衡における汚染のフロー量は、

$$\tilde{E}(\tau_H(S), \tau_F(S)) = \frac{4\alpha\phi(\phi+2) + 2(\phi+3)^2 B_\tau}{\phi(5\phi+9)} + \left[\frac{2(\phi+3)^2 A_\tau}{\phi(5\phi+9)} - \delta \right] S \quad (18)$$

$$\tilde{E}(\theta_H(S), \theta_F(S)) = \frac{2\alpha\phi(\phi+2)^2 + 2(\phi+1)(\phi+3)^2 B_\theta}{\phi(3\phi^2+11\phi+9)} + \left[\frac{2(\phi+1)(\phi+3)^2 A_\theta}{\phi(3\phi^2+11\phi+9)} - \delta \right] S \quad (19)$$

と、やはり S の線形関数で表される。計算により、

$$\left| \frac{d\tilde{E}(\tau_H(S), \tau_F(S))}{dS} \right| < \left| \frac{d\tilde{E}(\theta_H(S), \theta_F(S))}{dS} \right|, \quad \tilde{E}(\tau_H(0), \tau_F(0)) > \tilde{E}(\theta_H(0), \theta_F(0))$$

が成立することが確かめられるので、図1に描かれるように、排出税ゲームにおける均衡汚染フロ

(10) Tsutsui and Mino (1990) の議論を応用することにより、本モデルにおいても非線形の SFNE を求めることが可能である。しかし、非線形フィードバック解は無限に存在するため、政策効果の比較という本節での目的のためには、線形の SFNE に焦点を当てるのが適当であろう。

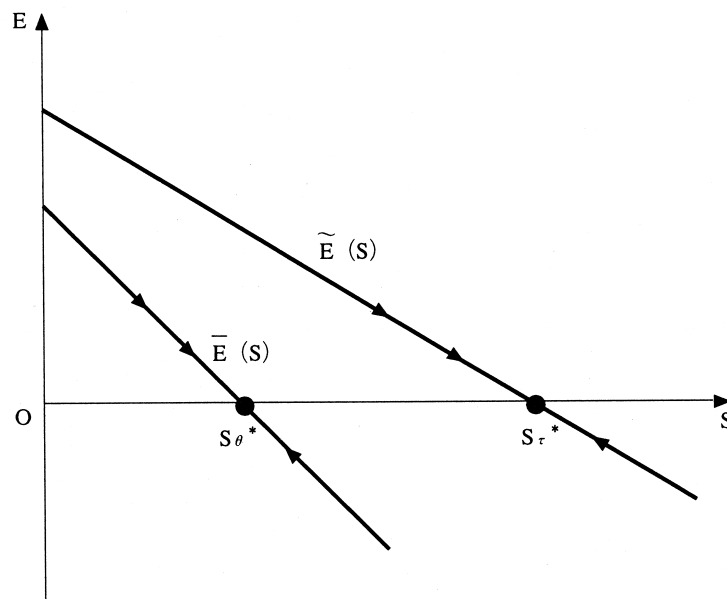


図1 均衡汚染フローの比較

一のプロフィールは排出量規制ゲームにおけるそれよりも一様に上方に位置する。よって $\dot{S}=0$ となる定常状態における汚染ストックは、前者においてより大きくなる ($S_r^* > S_\theta^*$)。この結果は、直観的には以下のように説明される。前節で議論したように、各国政府は、その環境政策の強化により他国がレント収奪効果とただ乗り効果という便益を受けることを認識しているため、環境政策を緩めに設定する誘因をもつ。しかし、政策手段が排出税の場合と排出量規制の場合とを比較すると、レント収奪効果に関しては後者の場合、外国企業による排出防止努力を促す分、その効果が前者に比べて小さくなると考えられる。また、ただ乗り効果に関しても、前者の場合は自国企業の汚染を減らすための政策が外国企業による排出増加という逆の反応を引き起こすが、後者の場合にはそのような反応が起こらない。以上の点より、排出税のケースの方が環境政策を緩めに設定する誘因が大きくなるといえる。

次に、均衡における各国の厚生水準について見てみよう。これに関しては、排出税と排出量規制とのどちらがより大きな厚生水準を各国にもたらすかはケース・バイ・ケースとなる。図2では、パラメータの特定化の下、2つのケースについて厚生水準が比較されている。ケース(a)は、自然の浄化作用である δ が大きいケースを、一方(b)は δ が小さいケースを、それぞれ想定している。前者においては排出量規制の方が、後者においては排出税の方が、それぞれより高い厚生水準を実現する。厚生水準に関するランキングの逆転は、 δ の値以外にも、割引率 r (r が大きい場合には排出量規制の方が、 r が小さい場合には排出税の方が、それぞれ高い厚生を実現する) および汚染からの不効用の程度を表すパラメータ β (β が大きい場合には排出税の方が、 β が小さい場合には排出量

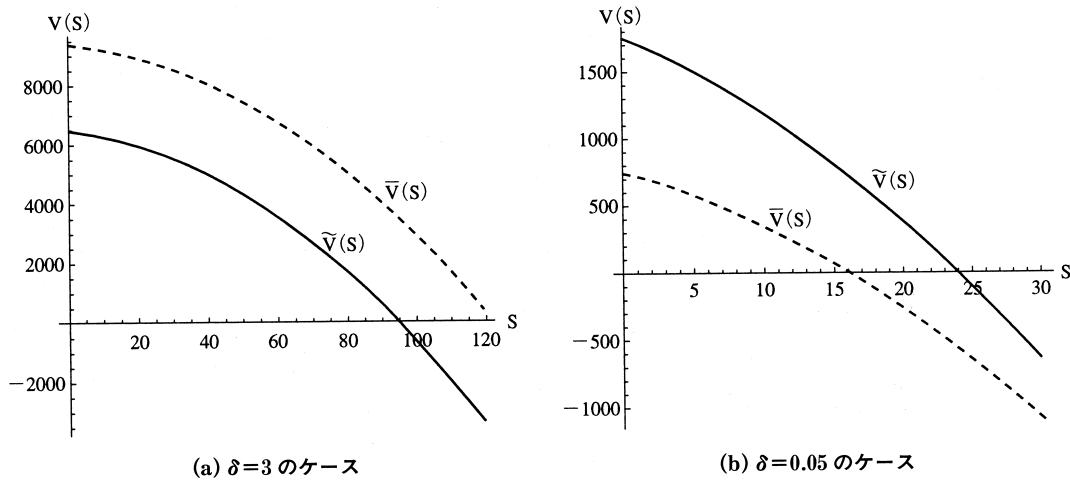


図2 厚生水準の比較 ($\alpha=100, \beta=8, \phi=5, r=0.05$)

規制の方が、それぞれ高い厚生を実現する)の値に関する。これらの結果もまた、戦略的相互依存関係から説明することが可能である。環境の質や将来の厚生が重要視される場合、あるいは環境汚染が自然の力で減少しにくい場合、各国政府はより厳しい環境政策を企業に課すことになる。しかし、各国の政策手段が排出税の場合には、これまで見てきたように、排出量規制に比べて緩めの政策が設定される。したがって、前者においては企業の利潤が後者ほど低下しないため、厚生水準も後者に比べて高くなると言える。

5 国際政策協調

3節および4節の議論から、自国と外国がそれぞれ国益を追求して環境政策を実施した場合、得られる結果は政策手段によって異なることが明らかとなった。本節では、両国が政策協調を行った場合の結果について述べたい。

$\lambda > 0$ を外国の相対的な交渉力とすると、両国政府の目的関数は、厚生水準の加重和 $W_H + \lambda W_F$ となる。排出税、排出量基準をそれぞれ政策手段としたときの価値関数をそれぞれ $\tilde{V}_c(S), \bar{V}_c(S)$ とくと、オイラー方程式は、排出税を両国が用いた場合には

$$-\tilde{V}_c'(S)\tilde{E} = -[D_H'(S) + \lambda D_F'(S)] - (r + \delta)\tilde{V}_c'(S) \quad (20)$$

で、排出量規制の場合には

$$-\bar{V}_c'(S)\bar{E} = -[D_H'(S) + \lambda D_F'(S)] - (r + \delta)\bar{V}_c'(S) \quad (21)$$

で、それぞれ表される。各国が国益を追求した場合とは異なり、(20)式および(21)式には、レント

収奪効果もただ乗り効果も含まれず、また環境ダメージも両国の限界的環境ダメージの加重合計の形で表されている。つまり、環境政策の国際協調は、政策手段の選択に関わらず、環境ダメージを正しく反映した政策の経路を実現することになる。

前節の特定化の下で協調解を求めてみよう。自国と外国は対称的なので、 $\lambda=1$ とする。国際協調の下での各国の厚生は、用いられる政策手段に関わらず

$$\frac{1}{2} \bar{V}_c(S) = \frac{1}{2} \bar{V}_c(S) = \frac{A_c}{4} S^2 + \frac{B_c}{2} S + \frac{C_c}{2},$$

$$A_c \equiv \frac{(r+2\delta)\phi(4\phi+9) - \sqrt{(r+2\delta)^2\phi^2(4\phi+9)^2 + 16\beta\phi(\phi+3)^2(4\phi+9)}}{4(\phi+3)^2} < 0, \quad (22)$$

$$B_c \equiv \frac{2\alpha\phi(\phi+2)A_c}{(r+\delta)\phi(4\phi+9) - 2(\phi+3)^2A_c} < 0, \quad C_c \equiv \frac{\alpha^2\phi(\phi+2) + 2\alpha\phi(\phi+2)B_c + (\phi+3)^2B_c^2}{r\phi(4\phi+9)} > 0$$

となる。汚染のフロー量もまた、政策手段とは無関係に

$$\bar{E}_c(S) = \bar{E}_c(S) = \frac{2\alpha\phi(\phi+2) + 2(\phi+3)^2B_c}{\phi(4\phi+9)} + \left[\frac{2(\phi+3)^2A_c}{\phi(4\phi+9)} - \delta \right] S \quad (23)$$

となる。これらの値を、前節で分析した非協力のケースと比較すると、国際協調はより少ない汚染とより高い厚生水準を各国にもたらすという、標準的な結果を得る。⁽¹¹⁾これは、各国が国益を追求した場合に比べて、高い排出税率および厳しい排出量基準を設定するためである。

6 おわりに

本稿は、国際寡占競争に直面する企業の生産によって発生する環境汚染が、時間および空間を越えて各国に影響を及ぼすという状況における、政府間の環境政策ゲームを考察した。本稿の分析で得られた結果を簡単にまとめると、以下ようになる。

- 自国政府が環境政策を強化すると、外国は市場レント収奪効果と政策のただ乗り効果という2つの面でその政策変化を戦略的に利用して利益を得る。各国政府が国益を追求する場合、このような外国の戦略的行動を考慮に入れて政策を決定するため、実施される環境政策は社会的に見て最適なレベルを達成しない。

(11) なお、この場合の目的関数はあくまでも自国と外国の厚生の合計であって、第三国を含めた世界全体の厚生ではない。したがって、自国と外国が協調して決めた政策が必ずしも第三国にとって最善のものとはなっていないことに注意する必要がある。

- この戦略的効果は、各国が政策手段として排出税を用いたときの方が、排出量規制を用いたときよりも大きくなるので、結果として各時点での地球規模の汚染フローおよび定常状態での汚染ストックも大きくなる。厚生水準に関しては、各国の地球規模の汚染からの不効用の大きさ、割引率、および自然浄化率に依存して、排出税下の方が望ましくなることも排出量規制下の方が望ましくなることもあり得る。
- 環境政策の国際協調が行われる場合、上記の戦略的効果は存在せず、採用される政策手段に関わらず環境ダメージを正しく反映した環境政策が実現する。

以上の結果は、単純な理論モデルによって得られたものであり過大に評価すべきではないが、環境政策の国際協調が困難な状況においては各国が採用する環境政策の種類によって長期的な効果が異なるという点は、環境政策の立案および実施に関して若干の示唆を与えるものであると言えよう。本稿では一貫して両国が同じ政策手段を用いることを仮定してきたが、現実的にはアメリカ合衆国とヨーロッパ諸国とのように、一方の国は排出量を規制するような政策をとり、他方では課税による環境政策を実施している下で国際競争が行われている。このような世界について分析することも本モデルの今後の拡張として挙げておく必要がある。また、本モデルはあくまでも、財・サービスを通じての国際間の相互依存関係と国際的な環境問題を通じての相互依存関係を動学ゲームモデルの枠組みで統合的に分析する試みの出発点であり、異なる市場構造や貿易構造も含めて、今後さらに詳しく検討していく予定である。さらに、本稿では排出削減技術に関しては時間を通じて不変であると仮定した。現実にはさまざまな産業において、より環境負荷の低い生産技術への転換を目指して研究開発が進められている。環境関連技術の水準を内生化した上での環境政策の評価についても、今後の課題としたい。

補 論

この補論では、第4節の linear-quadratic ケースにおける線形フィードバック・ナッシュ均衡を導出する。導出の仕方は、政策変数が排出税率と排出量基準のいずれであっても同様なので、以下では排出税ゲームの均衡に焦点を当て、排出量規制ゲームについては省略する。

関数の特定化により、HJB 方程式(7)は

(12) Brander-Spencer モデルとは異なる設定の下で寡占的な貿易モデルに環境政策を導入した文献として、Kennedy (1994) が挙げられる。彼のモデルにおいては、完全競争の状況も特殊ケースとして分析に織り込まれている。

$$r\tilde{V}_i(S)=\max_{\tau_i}\left\{\frac{2\phi(\alpha+\tau_i+\tau_j)(\alpha-2\tau_i+\tau_j)-9\tau_i^2}{18\phi}-\frac{\beta}{2}S^2+V'_i(S)\left[\frac{2\alpha\phi-(\phi+3)(\tau_i+\tau_j)}{3\phi}-\delta S\right]\right\}, \quad i, j=H, F, j \neq i \quad (\text{A.1})$$

と書き換えられる。自国および外国の(A.1)式をそれぞれ τ_H , τ_F で最大化し、整理すると

$$\tau_i=\frac{-\alpha\phi-(4\phi+9)\tilde{V}'_i(S)+\phi\tilde{V}'_j(S)}{5\phi+9}, \quad i, j=H, F, \quad j \neq i \quad (\text{A.2})$$

を得る。(A.2)式を(A.1)式に再び代入して整理すると、 $\tilde{V}_H(S)$ と $\tilde{V}_F(S)$ を未知関数とする微分方程式体系が導出される。フィードバック・ナッシュ均衡を求めるということは、結局のところ、この未知関数を求めることに他ならない。

自国と外国は対称的であると仮定したので、価値関数を $\tilde{V}_H(S)=\tilde{V}_F(S)=AS^2/2+BS+C$ とする。ここで、 A , B , C は未知変数であり、任意の $S \geq 0$ に関して前述の微分方程式を満たす必要がある。価値関数が2次関数であると仮定したことより、このことは以下の式が満たされることを意味する：

$$S^2 \text{ の項： } -\frac{(\phi+3)^2(16\phi+27)}{2\phi(5\phi+9)^2}A^2+\left(\frac{r}{2}+\delta\right)A+\frac{\beta}{2}=0, \quad (\text{A.3})$$

$$S \text{ の項： } (r+\delta)B-\frac{(\phi+3)^2(16\phi+27)B+\alpha\phi(\phi+2)(17\phi+27)}{\phi(5\phi+9)^2}A=0, \quad (\text{A.4})$$

$$\text{定数項： } rC-\frac{(\phi+3)^2(16\phi+27)B^2+2\alpha\phi(\phi+2)(17\phi+27)B+\alpha^2\phi(\phi+2)(4\phi+9)}{2\phi(5\phi+9)^2}=0. \quad (\text{A.5})$$

(A.3)式を A について解くと、

$$A=\frac{(r+2\delta)\phi(5\phi+9)^2 \pm \sqrt{(r+2\delta)^2\phi^2(5\phi+9)^4+4\beta\phi(\phi+3)^2(5\phi+9)^2(16\phi+27)}}{2(\phi+3)^2(16\phi+27)} \quad (\text{A.6})$$

となる。ここで、 $A > 0$ は排除されなければならない。このことを示すために、 A' を(A.6)の正の値としよう。(A.1)式および(A.2)式よりわかるように、汚染ストックは

$$\frac{d\dot{S}}{dS}=\frac{2(\phi+3)^2}{\phi(5\phi+9)}A'-\delta \quad (\text{A.7})$$

の率で成長していくので、 $\tilde{V}_i(S)$ の2次の項は $2d\dot{S}/dS=4(\phi+3)^2/[\phi(5\phi+9)]A'-2\delta$ の率で成長していく。しかし、(A.6)式より $A' \geq [(r+2\delta)\phi(5\phi+9)^2]/[(\phi+3)^2(16\phi+27)]$ なので、 $4(\phi+3)^2/[\phi(5\phi+9)]A'-2\delta-r \geq (r+2\delta)(4\phi+9)/(16\phi+27) > 0$ となり、 $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt}\tilde{V}_i(S(t))$ は発散してしまう。このことは、 $A=A' > 0$ のときに境界条件(8)は満たされないことを意味する。したがって、 $A < 0$ のみが採用される。この値が本文の A_τ である。また、このとき明らかに $d\dot{S}/dS < 0$ が成立するので、線形フィードバック・ナッシュ均衡は安定的であることが分かる。 $A=A_\tau$ が求

められれば, (A.4)式より $B=B_{\tau}$ が, (A.5)式より $C=C_{\tau}$ が, それぞれ求められる。

(東北大学経済学部助手)

参 考 文 献

- [1] Baumol, W. J. and W. E. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Barrett, S. (1994), "Strategic environmental policy and international trade", *Journal of Public Economics* 54, 325-338.
- [3] Brander, J. A. and B. J. Spencer (1985), "Export subsidies and international market share rivalry", *Journal of International Economics* 18, 83-100.
- [4] Conrad, K. (1993), "Taxes and subsidies for pollution-intensive industries as trade policy", *Journal of Environmental Economics and Management* 25, 121-135.
- [5] Dockner, E. J. and N. Van Long (1993), "International pollution control: cooperative versus noncooperative strategies", *Journal of Environmental Economics and Management* 24, 13-29.
- [6] Hoel, M. (1993), "Intertemporal properties of an international carbon tax", *Resource and Energy Economics* 15, 51-70.
- [7] Kennedy, P. W. (1994), "Equilibrium pollution taxes in open economies with imperfect competition", *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 49-63.
- [8] Markusen, J. R. (1975a), "International externalities and optimal tax structures", *Journal of International Economics* 5, 15-29.
- [9] Markusen, J. R. (1975b), "Cooperative control of international pollution and common property resources", *Quarterly Journal of Economics* 89, 618-632.
- [10] Tsutsui, S. and K. Mino (1990), "Nonlinear strategies in dynamic duopolistic competition with sticky prices", *Journal of Economic Theory* 52, 136-161.
- [11] Ulph, A. (1996a), "Environmental policy and international trade when governments and producers act strategically", *Journal of Environmental Economics and Management* 30, 265-281.
- [12] Ulph, A. (1996b), "Environmental policy instruments and imperfectly competitive international trade", *Environmental and Resource Economics* 7, 333-355.
- [13] Van der Ploeg, F. and A. J. de Zeeuw (1992), "International aspects of pollution control", *Environmental and Resource Economics* 2, 117-141.
- [14] Xepapadeas, A. (1995), "Managing the international commons: resource use and pollution control", *Environmental and Resource Economics* 5, 375-391.