

貿易自由化と地球環境：動学モデルによる分析

柳 瀬 明 彦*

Trade Liberalization and Global Environment: A Dynamic Analysis

Yanase Akihiko

Abstract

This paper examines the effects of trade liberalization in a dynamic model where the global environmental quality changes over time and governments determine the national environmental policies endogenously. It is shown that international cooperation on environmental policy results in a unique and stable steady state, which generates the stock of global pollution independent of tariff rates. If environmental policies are determined noncooperatively, there may be multiple equilibria, depending on the initial stock of pollution and government strategies for environmental policy, and trade liberalization increases global pollution in the specific steady states. The welfare consequences of trade liberalization are also discussed.

Keywords: Intraindustry trade; Global pollution; Environmental policy; Differential games; Trade liberalization

JEL classification: F18; H23; C73

1 はじめに

経済のグローバル化と地球環境の保全とは両立可能であるか否かという問題は、現代の世界経済において重要なトピックの1つである。地球環境は、国際公共財と資本ストックという2つの側面を併せ持っている¹。本稿は、経済のグローバル化として、地球環境の悪化につながるような生産

* 本稿は、日本経済研究奨励財団の奨励金による研究成果の一部である。記して、感謝の意を表したい。

1 例えば、地球温暖化は温室効果ガスの排出量増加が時間を通じて地球表面の大気や海洋の平均温度を上昇させる現象であるが、大気の質は一種の「資産」として時間を通じて変化し、それはまた地球上すべての経済主体にとって「公共財」としての機能を持っている。

活動を伴う財の貿易の自由化（関税率の引き下げ）を考え、その地球環境および経済厚生への長期的な効果を動学モデルを用いて理論的に検討するものである。

動学モデルによって貿易自由化の環境資源への影響を検討した論文としては、Brander and Taylor (1997)、Copeland and Taylor (1997, 1999)、Karp et al. (2001, 2003) などが挙げられるが、これらの研究においては地球規模あるいは国際的な環境問題は考慮されていない。国際公共財である地球環境を考慮に入れるならば、各国の環境資源の利用（例えば温暖化ガス排出量）において、国の間で戦略的な相互依存関係が生じるため、ゲーム理論的なアプローチが必要となる。なお、静学モデルの枠組みにおいては、Ludema and Wooton (1994)、Copeland and Taylor (1995, 2000)、Tanguay (2001)、Lai and Hu (2005) などが、地球規模あるいは国境を越える環境問題のために環境政策の国際的相互依存が存在する下での、貿易自由化の影響を検討している。特にTanguay (2001) は、本稿と同様、Brander (1981) やBrander and Krugman (1983) の相互市場モデル (reciprocal markets model) をベースとした産業内貿易を想定している。

動学方程式の制約の下で経済主体が戦略的に行動する状況は、微分ゲーム理論 (differential game theory) によって分析される。国際的な環境問題の分析においては、このような微分ゲーム的アプローチはVan der Ploeg and de Zeeuw (1992)、Dockner and Long (1993)、Long (1993)、Tahvonen (1994)、Rubio and Casino (2002) などによって行われてきた。しかし、これらの研究においては、貿易や投資を通じた国際的な経済取引の影響については明示的に考慮されていない。地球規模の環境問題が存在する場合の貿易自由化の効果を、微分ゲームの枠組みの下で検討した研究としては、Yanase (2006) が挙げられる。Yanase (2006) は、自給自足均衡と自由貿易均衡をそれぞれ導出し、両者の比較を行っているが、本稿ではそれとは異なるアプローチを採用する。すなわち、関税による保護が行われている下での貿易均衡を想定し、関税率が引き下げられた場合に貿易均衡がどのように変化するかを検討する。

次の第2節において、モデルの提示を行う。続く第3節で、環境政策の国際協調が行われている状況下での貿易自由化の影響が検討される。第4節では、各国政府が非協力的に環境政策を実施する場合の政策ゲームを分析する。第5節で、本稿のまとめを行う。

2 モデル

自国と外国という2国から成る世界経済を想定する。各国では価値基準財の他に、ある1種類の工業製品が生産されるが、その生産工程において汚染物質が排出される。排出された汚染は時間を通じて蓄積し、地球環境の質を悪化させる。 S を地球全体での汚染ストックとすると、それは

$$\dot{S} \equiv \frac{dS}{dt} = x + x^* - \delta S, \quad S_0 > 0 \quad (1)$$

という微分方程式に従って変化する²。ここで x と x^* はそれぞれ自国と外国の汚染排出量であり³、 $\delta > 0$ は汚染の自然減耗率である。

各国の代表的消費者は、財の消費から効用を得る一方、地球規模の環境悪化からは不効用を受ける。効用関数は自国と外国とで同一であると仮定し、さらに $U(c, z, S) = u(c) + z - D(S)$ という加法分離的な関数で表されるものとする。ここで c は製品の、 z は価値基準財（汚染は発生しないと仮定する）の、それぞれ消費水準を表す。製品の消費からの効用関数 $u(c)$ は $u' > 0, u'' < 0, \lim_{c \rightarrow \infty} u'(c) = 0$ を、汚染ダメージ関数 $D(S)$ は $D' > 0$ for $S > 0, D'(0) = 0, D'' > 0$ を、それぞれ満たすものとする。地球環境の悪化は外部不経済であるため、消費者はその影響を所与として行動する。効用最大化の1階の条件より、自国における製品の逆需要関数は $P(c) = u'(c)$ で表される。外国の逆需要関数も同様に導かれる。

各国には1社の企業が存在し、同質的な製品を生産すると仮定する。Dixit (1984) に従い、自国企業による外国への輸出および外国企業による自国への輸出にかかる輸送費はゼロだが、自国市場と外国市場は分断されており、第三者による輸出（裁定取引）は許されないと仮定する。したがって、このモデルは、Brander (1981) および Brander and Krugman (1983) によって分析された、双方向の産業内貿易モデルと同様の構造を持つ。自国消費者の自国製品の消費量を y 、外国製品の消費量（すなわち輸入量）を m で表すことにすると、自国消費者の総消費量は $c = y + m$ で表される。外国の消費者についても同様に、 $c^* = y^* + m^*$ が成立する。

1 単位の製品の生産から1単位の汚染物質が排出されると仮定すると、自国企業の生産量は $x = y + m$ で表される。分析の単純化のため、生産の限界費用はゼロと仮定する。汚染の排出に対して自国政府によって排出税が、外国への輸出には外国政府によって関税が、それぞれ課されるとすると、自国企業の利潤は

$$\begin{aligned}\Pi^T &= P(c)y + P(c^*)m^* - \tau x - \theta^* m^* \\ &= [P(y + m) - \tau]y + [P(y^* + m^*) - \tau - \theta^*]m^* \equiv \Pi^T(y, m; \tau) + \Pi^{T^0}(y^*, m^*; \tau, \theta^*)\end{aligned}$$

で表される。ここで τ は自国の汚染排出税率であり、 θ^* は外国政府が自国企業に課す輸入関税率である。上の式が示すように、自国企業は $\Pi^T(y, m; \tau)$ という利潤を得る自国市場と、 $\Pi^{T^0}(y^*, m^*; \tau, \theta^*)$ という利潤を得る外国市場とを、独立した市場と見なす。外国企業についても同様に、その利潤は $\Pi^{*T} = \Pi^T(y^*, m^*; \tau^*) + \Pi^{T^0}(y, m; \tau^*, \theta)$ で表される。

自国企業と外国企業は、各国の市場でクールノー競争を行うと仮定する。自国市場について考えると、自国企業は m を所与として $\Pi^T(y, m; \tau)$ を最大にするように y を決定し、外国企業は y を所与として $\Pi^{T^0}(y, m; \tau^*, \theta)$ を最大にするように m を決定する。クールノー＝ナッシュ均衡が一意に存在すると仮定すると、均衡における自国市場への各国企業の供給量は $y^T = y(\tau, \tau^*, \theta)$

2 表記の簡略化のため、時間を表す変数 t は、特に必要でない限り省略する。

3 *をつけた変数は、外国の経済変数であることを示す。

と $m^T = m(\tau, \tau^*, \theta)$ で表され、均衡価格は $p^T = p(\tau, \tau^*, \theta) \equiv P(y(\tau, \tau^*, \theta) + m(\tau, \tau^*, \theta))$ で表される。外国市場についても同様に、クールノー＝ナッシュ均衡価格が $p^* = p(\tau^*, \tau, \theta^*)$ で表される。

時間選好率（両国で共通とする）を ρ で表すことにすると、自国の経済厚生は以下のように、消費者余剰 $CS = \int_0^c P(X) dX - pc$ 、企業利潤 Π^T 、排出税収入 $\tau x = \tau(y + m^*)$ 、関税収入 θm の合計と環境ダメージ $D(S)$ との差の割引現在価値合計で表される：

$$\begin{aligned} W &= \int_0^\infty e^{-\rho t} \{CS + \Pi^T + \tau x + \theta m - D(S)\} dt \\ &= \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \int_0^{y(\tau, \tau^*, \theta) + m(\tau, \tau^*, \theta)} P(X) dX - [p(\tau, \tau^*, \theta) - \theta] m(\tau, \tau^*, \theta) \right. \\ &\quad \left. + [p(\tau^*, \tau, \theta^*) - \theta^*] m(\tau^*, \tau, \theta^*) - D(S) \right\} dt. \end{aligned} \quad (2)$$

また、(1) 式は以下のように書き換えられる：

$$\dot{S} = y(\tau, \tau^*, \theta) + m(\tau^*, \tau, \theta^*) + y(\tau^*, \tau, \theta^*) + m(\tau, \tau^*, \theta) - \delta S. \quad (3)$$

3 環境政策の国際協調下における貿易自由化の効果

本節ではまず、自国政府と外国政府とが汚染排出税率の決定において政策協調を行う状況を設定し、この場合の関税引き下げの効果を検討する。

3. 1 最適解の導出

自国政府と外国政府は、(3) 式の制約の下で、両国の経済厚生之和

$$W + W^* = \int_0^\infty e^{-\rho t} \left\{ \int_0^{y(\tau, \tau^*, \theta) + m(\tau, \tau^*, \theta)} P(X) dX + \int_0^{y(\tau^*, \tau, \theta^*) + m(\tau^*, \tau, \theta^*)} P(X) dX - 2D(S) \right\} dt \quad (4)$$

を最大にするように、 τ と τ^* の時間経路を決定する。この最適化問題の経常価値ハミルトニアン (current value Hamiltonian) は、

$$H = \int_0^{y+m} P(X) dX + \int_0^{y^*+m^*} P(X) dX - 2D(S) + \lambda(y + m^* + y^* + m - \delta S)$$

で定義される。ここで λ は汚染ストックの（負の）シャドー・プライスを表す。したがって、最適化のための必要条件は

$$\frac{\partial H}{\partial \tau} = P(c) \left(\frac{\partial y}{\partial \tau} + \frac{\partial m}{\partial \tau} \right) + P(c^*) \left(\frac{\partial y^*}{\partial \tau} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau} \right) + \lambda \left(\frac{\partial y}{\partial \tau} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau} + \frac{\partial y^*}{\partial \tau} + \frac{\partial m}{\partial \tau} \right) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \tau^*} = P(c) \left(\frac{\partial y}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m}{\partial \tau^*} \right) + P(c^*) \left(\frac{\partial y^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau^*} \right) + \lambda \left(\frac{\partial y}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial y^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m}{\partial \tau^*} \right) = 0, \quad (6)$$

$$\dot{\lambda} = \rho \lambda - \frac{\partial H}{\partial S} = (\rho + \delta) \lambda + 2D'(S) \quad (7)$$

および横断性条件（transversality condition）で表される。

補題1 （5）式と（6）式は、

$$P(c(\sigma; \theta)) \frac{\partial c(\sigma; \theta)}{\partial \sigma} + P(c(\sigma; \theta^*)) \frac{\partial c(\sigma; \theta^*)}{\partial \sigma} + \lambda \left[\frac{\partial c(\sigma; \theta)}{\partial \sigma} + \frac{\partial c(\sigma; \theta^*)}{\partial \sigma} \right] = 0 \quad (8)$$

という一本の式に集約される。ここで λ は汚染ストック S の帰属価値であり、 $c(\sigma; \theta)$ は、

$$2P(c) + P'(c)c = \sigma + \theta \quad (9)$$

の解である。

証 明 自国市場におけるクールノー＝ナッシュ均衡は、以下の利潤最大化の1階条件

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi^T}{\partial y} &= P(y+m) + P'(y+m)y - \tau = 0, \\ \frac{\partial \Pi^{*TO}}{\partial m} &= P(y+m) + P'(y+m)m - \tau^* - \theta = 0 \end{aligned}$$

を満たすが、これら2本の式をまとめると、 $2P(c) + P'(c)c = \tau + \tau^* + \theta$ となるので、 $\sigma \equiv \tau + \tau^*$ とおけば、（9）式よりクールノー＝ナッシュ均衡における自国の消費水準が $c^T = c(\sigma; \theta)$ と求められる。外国市場についても同様に、クールノー＝ナッシュ均衡における消費水準は $2P(c^*) + P'(c^*)c^* = \tau + \tau^* + \theta^*$ を満たすので、（9）式より、 $c^{*T} = c(\sigma; \theta^*)$ と求められる。したがって、動学的最適化条件（5）および（6）は、（8）式に集約される。証明終わり

本稿で検討するのは、関税引き下げの長期的な効果である。そのためには、長期定常均衡を持ち、そこに収束するような最適解を考える必要がある。次の仮定を設けることにしよう⁴：

仮定LD 各国の製品の市場需要関数は、 $P(c) = \alpha - c$ という線形関数で与えられる。

仮定LDの下では、各国のクールノー＝ナッシュ均衡消費量は $c^T = (2\alpha - \sigma - \theta)/3$, $c^{*T} = (2\alpha - \sigma - \theta^*)/3$ と求められる。したがって、（8）式は以下のように書き換えられる：

$$-2\alpha - 2\sigma - \theta - \theta^* = 6\lambda. \quad (10)$$

命題1 自国政府と外国政府が協調して汚染排出税率の時間経路を決定すると仮定する場合、所与の関税率 (θ, θ^*) の下で長期定常均衡が一意に存在し、最適解はそこに収束する。そして、定常状態における汚染ストックは、

$$P(\delta S_C/2) = \frac{2D'(S_C)}{\rho + \delta} \quad (11)$$

4 “LD”は、“linear demand”の略である。

を満たす S_c である。

証 明 (3) 式、(7) 式、(10) 式より、仮定LDの下での国際協調解は、 σ と S に関する以下の微分方程式体系で表現される：

$$\dot{\sigma} = (\rho + \delta) \left(\alpha + \sigma + \frac{\theta + \theta^*}{2} \right) - 6D'(S), \quad (12)$$

$$\dot{S} = \frac{4\alpha - 2\sigma - \theta - \theta^*}{3} - \delta S. \quad (13)$$

$\dot{\sigma} = \dot{S} = 0$ を満たす定常解が一意に存在することを示すために、 $F(S) \equiv 3(\rho + \delta)(\alpha - \delta S/2) - 6D'(S)$ という関数を定義しよう。この関数は、 $F(0) = 3\alpha(\rho + \delta) > 0$, $\lim_{S \rightarrow \infty} F(S) = -6\lim_{S \rightarrow \infty} D'(S) < 0$, $F'(S) = -3(\rho + \delta)\delta/2 - 6D'' < 0$ という性質を持っているので、 $F(S) = 0$ を満たす $S_c \in (0, \infty)$ が一意に存在する。(12) 式および (13) 式を見れば明らかのように、 S_c は $\dot{\sigma} = \dot{S} = 0$ を満たす定常解の汚染ストック水準であり、 $\alpha - S_c/2 = P(\delta S_c/2)$ より、その条件は (11) 式で表される。

定常状態の安定性を調べるために、体系 (12) および (13) を定常解 (S_c, σ_c) の近傍で線形近似すると、以下の式を得る：

$$\begin{bmatrix} \dot{\sigma} \\ \dot{S} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \rho + \delta & -6D'' \\ -2/3 & -\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma - \sigma_c \\ S - S_c \end{bmatrix}. \quad (14)$$

線形体系 (14) の特性根は $[\rho \pm \sqrt{\rho^2 + 4(\rho + \delta)\delta + 16D''}]/2$ と求められるが、この2つの特性根の実部は互いに異なる符号を持つので、定常解は局所的に鞍点となる。証明終わり

定常状態において成立する条件 (11) は、環境汚染の「負の公共財 (public bad)」の性質を反映している。この式の左辺は、製品の市場価格を表しているが、汚染の排出係数 (生産量と汚染排出量との比率) が1であることから、これは「汚染排出の限界便益」と解釈される。一方、(11) 式の右辺は、割引を考慮に入れた汚染の限界ダメージを両国について合計したものであり、「汚染ストックの社会的限界費用」と解釈される。したがって、(11) 式は、負の公共財を社会的に最適な水準にコントロールするためのサミュエルソン条件を表している。

3. 2 関税引き下げの効果

関税引き下げが定常状態における地球環境および各国の厚生水準に与える影響は、次の命題で示される。

命題 2 自国政府と外国政府が協調して汚染排出税率の時間経路を決定すると仮定する。このとき、

- (i) 各国の関税率 θ, θ^* の引き下げは、定常状態における汚染ストックにまったく影響を与えない。
- (ii) 自国 (外国) の関税引き下げは、定常状態における自国 (外国) の消費水準の増加と外国

（自国）の消費水準の減少をもたらす。

(iii) 自国政府と外国政府が同率で関税率を引き下げた場合、定常状態における各国の消費水準はまったく影響を受けない。

(iv) 自国（外国）の関税引き下げは、当初の自国の関税率が外国よりも高い（低い）場合には、定常状態における世界全体の経済厚生を改善（悪化）させる。

(v) 自国政府と外国政府が同率で関税率を引き下げた場合、定常状態における世界全体の経済厚生はまったく影響を受けない。

証 明 (i) は命題 1 より明らかである。(ii) と (iii) は、(12) 式より定常状態における σ の値が

$$\sigma_c = \frac{6D'(S_c)}{\rho + \delta} - \alpha - \frac{\theta + \theta^*}{2} \quad (15)$$

と求められ、これを自国のクールノー＝ナッシュ均衡消費量に代入すると、

$$c^T = \alpha - \frac{2D'(S_c)}{\rho + \delta} - \frac{\theta}{6} + \frac{\theta^*}{6} \quad (16)$$

を得ることから導かれる。(iv) と (v) は、(4) 式、(15) 式、(16) 式より、定常状態における世界全体の経済厚生が

$$W_c + W_c^* = \frac{1}{\rho} \left[\alpha^2 - \frac{(\theta - \theta^*)^2}{36} - \frac{4D'(S_c)^2}{(\rho + \delta)^2} - 2D(S_c) \right] \quad (17)$$

と求められることから明らかである。

証明終わり

命題 2 (iv) および (v) は、貿易自由化が必ずしも世界全体の経済厚生の観点から望ましいものではないことを示唆する。(17) 式から明らかなように、世界全体の厚生は $\theta = \theta^*$ のときに最大となる。自国と外国は同じ需要関数を持つと仮定しているので、 $\theta = \theta^*$ という条件はすなわち、自国と外国の製品価格が等しいことを意味する。これは、両国の財価格の均等化が世界全体の資源配分の効率性を達成するための条件であるという Mayer (1981) の議論に対応している。 $\theta = \theta^* = 0$ という自由貿易の状態がこの条件を達成するのは言うまでもないが、保護貿易の下でも世界全体の厚生は最大化されうる。また、命題 2 (v) より、関税率の相互引き下げは経済厚生に何ら影響を与えず、さらに命題 2 (iv) は、一方的な貿易自由化によって世界全体の厚生が悪化する可能性を示している。

各国の経済厚生については、どのようなことが言えるだろうか。定常状態における自国の経済厚生は、(2) 式より、

$$W_c = \frac{1}{\rho} \left[\frac{(2\alpha - \sigma_c - \theta)(4\alpha + \sigma_c + \theta)}{18} - \frac{(\alpha + \tau_c - 2\tau_c^* - 2\theta)(\alpha + \sigma_c - 2\theta)}{9} + \frac{(\alpha - 2\tau_c + \tau_c^* - 2\theta^*)(\alpha + \sigma_c - 2\theta^*)}{9} - D(S_c) \right] \quad (18)$$

と求められる。しかし、補題1より明らかなように、国際協調解においては、各国の排出税率の最適水準は決定されず、その合計のみが決定される。そこで、本国政府と外国政府との合意の下、定常状態における各国の排出税率 τ_c, τ_c^* が

$$\tau_c = \phi \sigma_c, \quad \tau_c^* = (1 - \phi) \sigma_c \quad (19)$$

を満たすように決定されると想定しよう。ここで $\phi \in (0, 1)$ は定数と仮定する。(15) 式および (19) 式を (18) 式に代入し、(15) 式より $\partial \sigma_c / \partial \theta = \partial \sigma_c / \partial \theta^* = -1/2$ であることを考慮に入れると、 θ と θ^* の変化が定常状態における自国の経済厚生に与える影響は、

$$\rho \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = \frac{4\alpha - 15\theta + 4\theta^* + 6\phi(\alpha - \theta - \theta^*) + (24\phi - 11)\sigma_c}{18}, \quad (20)$$

$$\rho \frac{\partial W_c}{\partial \theta^*} = \frac{-10\alpha + 3\theta + 20\theta^* + 6\phi(\alpha - \theta - \theta^*) + (24\phi - 13)\sigma_c}{18} \quad (21)$$

と求められる。これらの符号は、各国における当初の関税率 θ, θ^* および ϕ の値に依存する。命題2(ii)で示されているように、自国の関税率引き下げは輸入の増加を通じて自国の消費量を増加させ、本国市場における製品価格の低下をもたらす。これにより自国の消費者余剰は増加するが、関税率引き下げはその一方で自国の関税収入の減少と排出税率の上昇をもたらす。したがって、自国の関税率引き下げによって、自国の経済厚生は必ずしも改善するとは限らない。また、本国と外国の関税率が同率で引き下げられた場合、命題2(iii)より、各国の消費水準はこのような関税率の相互引き下げの影響を受けないが、(20) 式と (21) 式より、

$$\rho dW_c|_{d\theta=d\theta^*} = \frac{(\alpha + 4\sigma_c)(2\phi - 1) - 2[(1 + \phi)\theta - (2 - \phi)\theta^*]}{3} d\theta \quad (22)$$

となるので、各国の厚生水準は関税率の相互引き下げによって影響を受ける。例えば、本国と外国の排出税率が等しい場合 ($\phi = 1/2$)、(22) 式の右辺は $-\theta + \theta^*$ になるので、当初の自国の関税率が外国よりも高ければ、本国は関税率の相互引き下げによって厚生水準の改善を享受する。しかし、 ϕ が他の値をとるならば、関税率の相互引き下げが自国の厚生を悪化させる可能性もある。

4 非協力的環境政策ゲームの下での貿易自由化の効果

本節では、各国政府が汚染排出税率を非協力的に決定するケースを想定し、政策ゲームのナッシュ均衡が貿易自由化によってどのような影響を受けるかを検討する。

非協力ゲームの解として、本稿では以下のようなマルコフ完全ナッシュ均衡 (Markov perfect Nash equilibrium) を採用する。これは、各国の排出税率が汚染ストックの水準 S に依存するようなマルコフ戦略の下での、ナッシュ均衡である。形式的には、以下のように定義される：

定義 $\tau(S)$ が $\tau^*(S)$ を所与として (3) 式の制約の下で W を最大にし、 $\tau^*(S)$ が $\tau(S)$ を所与

として（３）式の制約の下で W^* を最大にするような、戦略ルール組 $(\tau(S), \tau^*(S))$ をマルコフ完全ナッシュ均衡と呼ぶ。

４．１ マルコフ完全ナッシュ均衡の導出

（２）式および（３）式より、自国政府のマルコフ完全戦略は、以下のHamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程式を満たす⁵：

$$\begin{aligned} \rho V(S) = & \max_{\tau} \left\{ \int_0^{y(\tau, \tau^*(S), \theta) + m(\tau, \tau^*(S), \theta)} P(X) dX - [p(\tau, \tau^*(S), \theta) - \theta] m(\tau, \tau^*(S), \theta) \right. \\ & + [p(\tau^*(S), \tau, \theta^*) - \theta^*] m(\tau^*(S), \tau, \theta^*) - D(S) \\ & \left. + V'(S) [y(\tau, \tau^*(S), \theta) + m(\tau^*(S), \tau, \theta^*) + y(\tau^*(S), \tau, \theta^*) + m(\tau, \tau^*(S), \theta) - \delta S] \right\}. \end{aligned} \quad (23)$$

内点最適を仮定すると、(23) 式の右辺は以下のように書き換えられる：

$$\begin{aligned} p(\tau, \tau^*(S), \theta) \frac{\partial y}{\partial \tau} + \theta \frac{\partial m}{\partial \tau} + [p(\tau^*(S), \tau, \theta^*) - \theta^*] \frac{\partial m^*}{\partial \tau} - \frac{\partial p}{\partial \tau} m(\tau, \tau^*(S), \theta) \\ + \frac{\partial p^*}{\partial \tau} m(\tau^*(S), \tau, \theta^*) + V'(S) \left(\frac{\partial y}{\partial \tau} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau} + \frac{\partial y^*}{\partial \tau} + \frac{\partial m}{\partial \tau} \right) = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

(24) 式は自国の排出税率に関するマルコフ戦略ルール $\tau(S)$ を定義する。(23) 式および (24) 式より、包絡線条件が

$$\begin{aligned} \rho V'(S) - V''(S) \dot{S} = & \left\{ p(\tau(S), \tau^*(S), \theta) \frac{\partial y}{\partial \tau^*} + \theta \frac{\partial m}{\partial \tau^*} + [p(\tau^*(S), \tau(S), \theta^*) - \theta^*] \frac{\partial m^*}{\partial \tau^*} \right. \\ & \left. - \frac{\partial p}{\partial \tau^*} m(\tau(S), \tau^*(S), \theta) + \frac{\partial p^*}{\partial \tau^*} m(\tau^*(S), \tau(S), \theta^*) \right\} \tau^*(S) \\ & - D'(S) + V'(S) \left[\left(\frac{\partial y}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial y^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m}{\partial \tau^*} \right) \tau^*(S) - \delta \right] \end{aligned} \quad (25)$$

と導かれる。外国の排出税率に関するマルコフ戦略ルールも、同様にして導出される。

包絡線条件 (25) の左辺は、汚染ストック S の現在価値表示の（負の）シャドー価値（present shadow value）を表している。自国政府が自国の厚生を最大するように排出税率 τ を決定するならば、このシャドー現在価値は右辺の３つの項の合計に等しくなる。まず、右辺第２項の $-D'(S)$ は、 S の増加すなわち地球環境の悪化による自国の経済厚生悪化という、直接的影響を表している。 S の増加はその一方で、外国政府による排出税率変更という反応を通じて、間接的にも自国の経済厚生に影響を与える。右辺第１項の $\tau^*(S)$ の係数が、この間接的な効果を示している。この係数は、大括弧内の第１項から第３項までの合計 $p \cdot \partial y / \partial \tau^* + \theta \cdot \partial m / \partial \tau^* + (p^* - \theta) \partial m^* / \partial \tau^*$ と、第４項と第５項の合計 $-(\partial p / \partial \tau^*) m + (\partial p^* / \partial \tau^*) m^*$ とに分解されるが、前者は製品価格一定の下で τ^* の変化が自国企業の収入および自国の関税収入に及ぼす影響を、後者は τ^* の変化が各製品の価格の変化を通じて自国の純輸出額に及ぼす影響すなわち交易条件効果を、それぞれ表している。つまり、(25) 式の右辺第１項は、汚染ストックの変化に反応した外国の排出税率の変化がもたら

5 例えば、Dockner et al. (2000) を参照。

す、自国の収入および交易条件の変化を通じた自国の経済厚生への影響を表している。最後の第3項は、自国の「長期的な持続的便益 (long-run sustainable benefit)」を表している。なぜならば、 $-V'(S)$ は自国にとっての汚染排出の限界便益を、また中括弧内は自国が直面する汚染の減耗率 (後で詳述する) を表しているので、この項は汚染ストック S を一定水準に保つように汚染排出量がコントロールされる場合の、自国の社会的な限界便益と解釈されるからである。

包絡線条件(25)はまた、自国政府の排出税率を非効率的な水準に設定しようとする戦略的誘因を説明している。汚染ストックの変化による外国政府の排出税率の上昇は、世界全体の汚染排出量を

$$-\left(\frac{\partial y}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial y^*}{\partial \tau^*} + \frac{\partial m}{\partial \tau^*}\right)\tau^*(S)$$

だけ減少させる。これは、外国政府の政策的反応による「内生的」な汚染の減耗率を表していると解釈できる。この内生的な汚染減耗率は、外生的な減耗率 δ とともに、汚染ストック増加の負の影響を軽減させ、自国の経済厚生の改善をもたらす。逆に言えば、自国政府は、外国政府による排出税率の上昇を戦略的に利用して自国の厚生を高めようとする。これはいわゆる「ただ乗り効果 (free riding effect)」である。また、 S の変化による外国の排出税率上昇は、自国の収入および交易条件の変化をもたらすので、自国政府はこのような国際貿易上の効果も戦略的に利用して排出税率を決定するインセンティブを持つ。これらの戦略的効果の存在は、自国政府の決定する排出税率を社会的に望ましい水準から乖離させる。

環境政策ゲームのマルコフ完全ナッシュ均衡の性質をより詳細に検討するために、以下では、仮定LDに加えて、以下の仮定を設ける⁶：

仮定QD 汚染ダメージ関数は、 $D(S) = \beta S^2/2$ で与えられる。ここでパラメータ β は、 $\beta > (\rho + \delta)\delta$ を満たす⁷。

仮定LDおよびQDの下でのマルコフ完全ナッシュ均衡およびその定常状態の性質について、以下の2つの補題をまず示しておこう。

補題2 マルコフ完全ナッシュ均衡における各国政府の均衡戦略は、以下の2本の式を満たす $(\tau(S), \tau^*(S))$ として導かれる：

$$\tau'(S) + \tau^*(S) = \frac{3(\rho + \delta)\{8[\alpha + \tau(S) + \tau^*(S)] - 5(\theta + \theta^*)\} - 36\beta S}{4\{5\alpha - 7[\tau(S) + \tau^*(S)] + \theta + \theta^* - 6\delta S\}}, \quad (26)$$

$$\tau'(S) - \tau^*(S) = \frac{(\rho + \delta)\{6[\tau(S) - \tau^*(S)] - (\theta - \theta^*)\}}{6[2\alpha - (\theta + \theta^*) - \delta S]}. \quad (27)$$

⁶ “QD”は、“quadratic damage”の略である。

⁷ $\beta > (\rho + \delta)\delta$ という仮定は、次のことを意味している。後の分析で明らかになるように、マルコフ完全ナッシュ均衡は複数存在する可能性があるが、もし β が非常に低い値をとる場合、各国政府が正の排出税率を選択する均衡が存在しない事態が生じてしまう。このような事態を避けるため、環境ダメージのパラメータ β は十分大きいと仮定する。

証 明 仮定LDおよびQDの下で、(24) 式は

$$-6V'(S) = 4\alpha + 7\tau + \tau^*(S) - 3\theta - 2\theta^* \quad (28)$$

と書き換えられる。また、(3)式は、

$$\dot{S} = \frac{4\alpha - 2[\tau(S) + \tau^*(S)] - (\theta + \theta^*)}{3} - \delta S. \quad (29)$$

となる。(28) 式および (29) 式を用いると、自国の包絡線条件 (25) 式は以下のように書き換えられる：

$$\begin{aligned} & -[3(\rho + \delta) + 2\tau'(S)][4\alpha + 7\tau(S) + \tau^*(S) - 3\theta - 2\theta^*] \\ & + [7\tau'(S) + \tau^*(S)]\{4\alpha - 2[\tau(S) + \tau^*(S)] - (\theta + \theta^*) - 3\delta S\} \\ & = 2[2\alpha - \tau(S) + 5\tau^*(S) - 3\theta - 4\theta^*]\tau'(S) - 18\beta S. \end{aligned} \quad (30)$$

外国についても同様に、包絡線条件が次のように導かれる：

$$\begin{aligned} & -[3(\rho + \delta) + 2\tau'(S)][4\alpha + 7\tau^*(S) + \tau(S) - 3\theta^* - 2\theta] \\ & + [7\tau^*(S) + \tau'(S)]\{4\alpha - 2[\tau(S) + \tau^*(S)] - (\theta + \theta^*) - 3\delta S\} \\ & = 2[2\alpha - \tau^*(S) + 5\tau(S) - 3\theta^* - 4\theta]\tau'(S) - 18\beta S. \end{aligned} \quad (31)$$

(30) 式と (31) 式の和をとって整理すれば (26) 式が、差をとって整理すれば (27) 式が、それぞれ導かれる。証明終わり

補題3 自国政府と外国政府がマルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。このとき、長期定常均衡で実現可能な汚染ストックの水準 S_N は、以下の条件を満たす：

$$S_N > \frac{2\alpha(4\rho + \delta) - 3(\theta + \theta^*)}{(4\rho + \delta)\delta + 4\beta} \equiv S_{\min}. \quad (32)$$

証 明 (29) 式で表される汚染ストックの動学経路が定常均衡に収束するための条件は、

$$\left. \frac{d\dot{S}}{dS} \right|_{S=S_N} = \frac{-2[\tau'(S_N) + \tau^*(S_N)]}{3} - \delta < 0 \quad (33)$$

である。また、 $\dot{S} = 0$ より、定常状態では以下の式が成立する：

$$\tau(S_N) + \tau^*(S_N) = \frac{4\alpha - (\theta + \theta^*) - 3\delta S_N}{2}. \quad (34)$$

(26) 式および (34) 式を安定性条件 (33) に代入して整理すれば、(32) 式が得られる⁸。

証明終わり

マルコフ完全ナッシュ均衡における各国の排出税率 $(\tau(S), \tau^*(S))$ を求めるには、 S に関する連

8 この計算過程において、 $4\alpha - (\theta + \theta^*) > 3\delta S$ という条件を用いている。この条件は、各国政府が地球環境の悪化を考慮に入れて排出税率を決定するため、 $\tau > \tau_m$ および $\tau^* > \tau_m^*$ が成立することを意味している。ここで τ_m と τ_m^* は、各国政府が環境汚染の影響を考慮に入れず、近視眼的 (myopic) に行動した場合の排出税率であり、具体的には $\tau_m = (-24\alpha + 19\theta + 11\theta^*)/48$ 、 $\tau_m^* = (-24\alpha + 19\theta^* + 11\theta)/48$ と求められる。

立微分方程式 (26) および (27) を解く必要がある。 $\tau(S)$ および $\tau^*(S)$ が S の線形関数で表現される「線形マルコフ完全戦略 (linear Markov perfect strategy)」を各国政府が採用する場合は、次の命題が示すように、マルコフ完全ナッシュ均衡を明示的に求めることができる。

命題 3 自国政府と外国政府が線形マルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。このとき、マルコフ完全ナッシュ均衡における各国の排出税率は、

$$\tau(S) = \gamma_1 S + \gamma_2, \quad \tau^*(S) = \gamma_1^* S + \gamma_2^* \quad (35)$$

で表される。ここで

$$\begin{aligned} \gamma_1 = \gamma_1^* &= \frac{-3(\rho + 2\delta) + 3\sqrt{(\rho + 2\delta)^2 + 7\beta}}{14} > 0, \\ \gamma_2 &= \frac{-3(\rho + \delta)(24\alpha - 19\theta - 11\theta^*) + 4(30\alpha + 13\theta - \theta^*)\gamma_1}{48[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1]}, \\ \gamma_2^* &= \frac{-3(\rho + \delta)(24\alpha - 19\theta^* - 11\theta) + 4(30\alpha + 13\theta^* - \theta)\gamma_1^*}{48[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1^*]} \end{aligned}$$

である。

証 明 (35) 式を (26) 式と (27) 式にそれぞれ代入して整理すると、

$$\begin{aligned} &4(\gamma_1 + \gamma_1^*)[5\alpha - 7(\gamma_1 + \gamma_1^*)S - 7(\gamma_2 + \gamma_2^*) + \theta + \theta^* - 6\delta S] \\ &= (\rho + \delta)[24(\alpha + \gamma_2 + \gamma_2^*) + 24(\gamma_1 + \gamma_1^*)S - 15(\theta + \theta^*)] - 36\beta S, \end{aligned} \quad (36)$$

$$6(\gamma_1 - \gamma_1^*)[2\alpha - (\theta + \theta^*) - \delta S] = (\rho + \delta)[6(\gamma_1 - \gamma_1^*)S + 6(\gamma_2 - \gamma_2^*) - (\theta - \theta^*)] \quad (37)$$

を得る。未知定数 $\gamma_1, \gamma_1^*, \gamma_2, \gamma_2^*$ は、(36) 式および (37) 式が任意の $S \geq 0$ について成立するように決定されなければならない。すなわち、これらのパラメータは、以下の4本の方程式を満たす必要がある：

$$-(\gamma_1 + \gamma_1^*)[7(\gamma_1 + \gamma_1^*) + 6\delta] = 6(\rho + \delta)(\gamma_1 + \gamma_1^*) - 9\beta, \quad (38)$$

$$4(\gamma_1 + \gamma_1^*)[5\alpha - 7(\gamma_2 + \gamma_2^*) + \theta + \theta^*] = (\rho + \delta)[24(\alpha + \gamma_2 + \gamma_2^*) - 15(\theta + \theta^*)], \quad (39)$$

$$-6(\gamma_1 - \gamma_1^*)\delta = 6(\rho + \delta)(\gamma_1 - \gamma_1^*), \quad (40)$$

$$6(\gamma_1 - \gamma_1^*)[2\alpha - (\theta + \theta^*)] = (\rho + \delta)[6(\gamma_2 - \gamma_2^*) - (\theta - \theta^*)]. \quad (41)$$

(38) 式および (40) 式より、 γ_1 と γ_1^* が

$$\gamma_1 = \gamma_1^* = \frac{-3(\rho + 2\delta) \pm 3\sqrt{(\rho + 2\delta)^2 + 7\beta}}{14} \quad (42)$$

と求められる。しかし、定常解の安定性条件 (33) を満たすのは (42) 式の正の根のみであることが、計算によって確かめられる。そして、 γ_2 および γ_2^* は、連立方程式 (39) および (41) を解くことによって求められる。

証明終わり

線形戦略のケースとは異なり、非線形マルコフ完全戦略（nonlinear Markov perfect strategy）の下でのナッシュ均衡は、 S に関する非線形連立微分方程式（26）および（27）を解くことになり、明示的に解を求めるのは極めて困難である。そこで、以下では図を用いて分析を進める。図1は、横軸に汚染ストック S 、縦軸に両国の排出税率の合計 $\tau + \tau^*$ をとったものである。この図において、（26）式の解曲線が無数に描かれるが、それらは以下の性質を満たす：

$$\tau'(S) + \tau^{*'}(S) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \tau + \tau^* = -\alpha + \frac{5(\theta + \theta^*)}{8} + \frac{3\beta}{2(\rho + \delta)} S,$$

$$\tau'(S) + \tau^{*'}(S) = \infty \quad \Leftrightarrow \quad \tau + \tau^* = \frac{5\alpha + \theta + \theta^*}{7} - \frac{6\delta}{7} S.$$

また、この図における直線 $\tau_L(S) + \tau_L^*(S)$ は、命題3で示した線形マルコフ完全均衡戦略から導かれる $\tau + \tau^*$ である⁹。

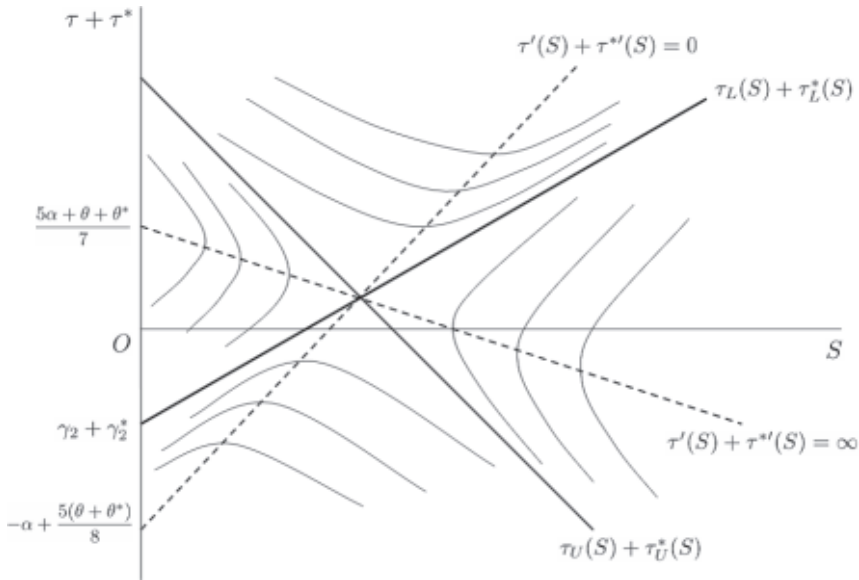


図1：マルコフ完全ナッシュ均衡の解曲線群

図1の無数の解曲線で示された均衡排出税率ルールのうち、我々が関心を持っているのは、長期的に定常状態に収束するような政策ルールである。それを示したのが、図2である。定常均衡 $\dot{S} = 0$ において達成される $\tau + \tau^*$ と S との関係は、（34）式より、 $\tau + \tau^* = [4\alpha - (\theta + \theta^*) - 3\delta S]/2$ という直線で表される。この直線と、 $\tau(S) + \tau^*(S)$ の解曲線との交点において、定常状態における

9 命題3の証明で示したように、線形戦略は2つ存在するが、排出税率が S の増加関数となる戦略のみが均衡戦略として採用される。図1における直線 $\tau_U(S) + \tau_U^*(S)$ は、不安定な定常均衡をもたらす線形戦略に対応している（添え字の U は “unstable” の略である）。

汚染ストックの水準 S_N が決定される。しかし、補題3で示したように、この政策ゲームにおいて長期的に達成可能な定常均衡汚染ストックは、 $S_N > S_{\min}$ を満たすものでなければならない。すなわち、 $S_{\min}$ はマルコフ完全均衡によって達成可能な定常状態における汚染ストックの下限を意味する。この条件を満たす S_N のうち、長期的に達成されうる汚染ストックは、以下で示すように、初期時点におけるストック水準 S_0 に依存する。

図2には、 $\tau + \tau^* = 2\alpha - 2(\theta + \theta^*)$ という水平線が描かれているが、これは各国の輸出量が非負となるための制約を意味している¹⁰。この水平線と、 $S = S_{\min}$ を通る解曲線との2つの交点を $\bar{S}$ および $\underline{S}$ としよう（ただし、 $\underline{S} < \bar{S}$ ）。初期時点における汚染ストックが $[\underline{S}, \bar{S}]$ 内に存在するならば、定常均衡で達成可能な汚染ストックの集合が、図2の太線部分で示されることは明らかである。

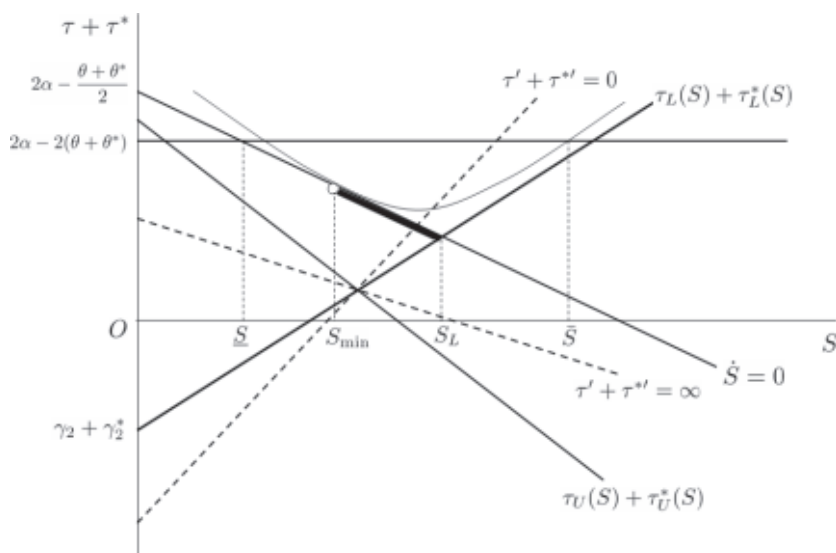


図2：マルコフ完全ナッシュ均衡と定常状態

以上の議論をまとめると、次の命題を得る。

命題4 自国政府と外国政府がマルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。初期時点における汚染ストックの水準が $[\underline{S}, \bar{S}]$ の範囲にあるならば、長期定常均衡において $S_N \in (S_{\min}, S_L]$ を満たす任意の汚染ストック水準 S_N が達成されうる。ここで S_L は線形マルコフ

¹⁰ $m' = (\alpha - 2\tau + \tau' - 2\theta)/3$ より、自国の輸出量が非負となるための条件は $\tau \leq (\alpha + \tau' - 2\theta)/2$ である。同様に、外国の輸出量が非負となるための条件が $\tau' \leq (\alpha + \tau - 2\theta)/2$ と導かれる。これらの不等式を整理すると、 $\tau + \tau' \leq 2\alpha - 2(\theta + \theta^*)$ を得る。

完全ナッシュ均衡の下での定常均衡汚染ストックである。

両国政府が環境政策の国際協調を行う下では、定常解は一意に存在することが示された。これに対し、各国政府が非協力的に環境政策を実施する場合、長期定常均衡は一意には定まらない。このような均衡の不決定性は、微分ゲームを用いた分析ではよく知られた結論である。

4. 2 貿易自由化の効果

関税引き下げによる貿易自由化が、環境政策の非協力ゲームのマルコフ完全ナッシュ均衡における各国の均衡排出税率や地球環境の質にどのような影響を与えるか、検討しよう。今までの分析から明らかのように、マルコフ完全ナッシュ均衡およびそこから導かれる定常解は複数存在する。以下では、定常状態における汚染ストックの下限值をもたらし均衡と、線形マルコフ完全ナッシュ均衡の2種類の均衡に着目し、それぞれの均衡について検討する。

まず、定常状態の汚染ストックの下限 $S_{\min}$ をもたらしマルコフ完全均衡に着目しよう。(32) 式より直ちに以下の命題が導かれる¹¹。

命題 5 自国政府と外国政府がマルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。このとき、各国の関税率の引き下げは、定常状態における汚染ストックの下限 $S_{\min}$ の増加をもたらす。

次に、線形マルコフ完全ナッシュ均衡に着目しよう。各国の均衡排出税率は (35) 式で表されるので、これと (34) 式より、定常状態における汚染ストックの水準は以下のように求められる：

$$S_L = \frac{4\alpha - 2(\gamma_2 + \gamma_2^*) - (\theta + \theta^*)}{4\gamma_1 + 3\delta}. \quad (43)$$

命題 6 自国政府と外国政府が線形マルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。このとき、

- (i) 自国（外国）の関税引き下げは、所与の汚染ストック S の下で、自国（外国）の均衡排出税率の低下をもたらす。
- (ii) β があまり大きな値をとらない場合、自国（外国）の関税引き下げは、所与の汚染ストック S の下で、外国（自国）の均衡排出税率の低下をもたらす。
- (iii) 各国の関税引き下げは、定常状態における汚染ストック S_L の増加をもたらす。

11 Yanase (2006) においては、時間選好率 ρ について $\rho \rightarrow 0$ とした場合の汚染ストックの下限の極限値が自給自足下と自由貿易下とで一致する、という結果が得られている。これは、 $\rho \rightarrow 0$ の場合には非協力解における汚染ストックの下限が協力解におけるそれに一致する、というよく知られた結果（例えば、Dockner and Long (1993) を参照）から導かれるものである。しかし、(32) 式を見れば明らかのように、このモデルにおいては、 $\rho \rightarrow 0$ としても $S_{\min}$ は S_C と一致しない。

証 明 (35) 式より、 θ および θ^* の変化は、均衡排出税率の定数項 γ_2 および γ_2^* にのみ影響を与える。

$$\frac{\partial \gamma_2}{\partial \theta} = \frac{57(\rho + \delta) + 52\gamma_1}{48[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1]} > 0, \quad (44)$$

$$\frac{\partial \gamma_2^*}{\partial \theta} = \frac{33(\rho + \delta) - 4\gamma_1}{48[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1]} = \frac{11(\rho + \delta) + (2/7)[\rho + 2\delta - \sqrt{(\rho + 2\delta)^2 + 7\beta}]}{16[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1]} \quad (45)$$

より、(i) および (ii) が直ちに導かれる。また、これらの式から

$$\frac{\partial [\gamma_2 + \gamma_2^*]}{\partial \theta} = \frac{15(\rho + \delta) + 8\gamma_1}{8[3(\rho + \delta) + 7\gamma_1]} > 0 \quad (46)$$

を得るので、(43) 式を考慮に入れば、(iii) の成立は明らかである。証明終わり

最後に、貿易自由化の厚生効果について議論しよう。以下では、定常状態における各国の消費水準および消費者余剰、そして世界全体の経済厚生についてのみ検討する¹²。

(34) 式を自国のクールノー＝ナッシュ均衡価格 $p^T = (\alpha + \theta + \tau + \tau^*)/3$ に代入すると、各国が非協力的に排出税率を設定した場合、定常状態での自国の製品価格は以下のように求められる：

$$p^T = \alpha + \frac{\theta - \theta^*}{6} - \frac{\delta}{2} S_N. \quad (47)$$

命題 7 自国政府と外国政府がマルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。線形マルコフ完全ナッシュ均衡もしくは定常状態の汚染ストックの下限をもたらすようなマルコフ完全ナッシュ均衡が成立する場合、自国（外国）の関税引き下げは、定常状態における自国（外国）の製品価格の低下と消費水準の増加、したがって消費者余剰の増加をもたらす。

証 明 (47) 式より、 p^T は θ の増加関数であり、 S_N の減少関数である。命題 5 および命題 6 より、 $S_{\min}$ と S_L はいずれも θ の減少関数なので、 $S_N \in \{S_{\min}, S_L\}$ を考えると、 θ の引き下げによって p^T は低下する。したがって、 $p = \alpha - c$ より消費水準 c^T は増加し、また $CS = (\alpha - p)^2/2$ より消費者余剰も増加する。証明終わり

なお、同様の結論は、自国政府と外国政府が同率で関税率を引き下げた場合についても成立する。外国政府のみが関税率を引き下げた場合の自国の製品価格や消費水準への影響については、(47) 式の右辺第 2 項が上昇する効果と第 3 項が低下する効果の大小関係に依存するので、国際政策協調下とは異なり¹³、外国の関税引き下げが自国の消費者に悪影響を及ぼすとは必ずしも言えない。

¹² 分析の複雑さを厭わなければ、各国の厚生水準についても貿易自由化の影響を検討することは不可能ではないが、本稿では割愛する。

¹³ 命題 2 (ii) で示したように、両国政府が協力的に環境政策を実施する場合、外国の関税引き下げは、定常均衡における自国の消費水準を必ず減少させるので、自国の消費者にとっては望ましくない。

定常状態における世界全体の経済厚生は、(4) 式および (34) 式より、

$$W_N + W_N^* = \frac{9(4\alpha - \delta S_N)\delta S_N - (\theta - \theta^*)^2}{36\rho} - \frac{\beta}{\rho}(S_N)^2 \quad (48)$$

と求められる。この式の第 1 項は、両国の消費者余剰、企業利潤、税収の割引現在価値の合計であり、「非環境的厚生 (nonenvironmental welfare)」である。経済厚生は、この非環境的厚生から環境ダメージ $2D(S) = \beta S^2$ の割引現在価値を差し引いたものとなる。

命題 8 自国政府と外国政府がマルコフ完全戦略を用いて非協力的に汚染排出税率を決定すると仮定する。線形マルコフ完全ナッシュ均衡もしくは定常状態の汚染ストックの下限をもたらすようなマルコフ完全ナッシュ均衡が成立する場合、

- (i) 自国（外国）の関税引き下げは、当初の自国の関税率が外国よりも高い（低い）場合に、定常状態における世界全体の非環境的厚生を改善させる。
- (ii) 自国（外国）の関税引き下げは、当初の自国の関税率が外国よりも低い（高い）場合に、定常状態における世界全体の経済厚生を悪化させる。
- (iii) 自国政府と外国政府が同率で関税率を引き下げた場合、定常状態における世界全体の非環境的厚生は改善する一方、世界全体の経済厚生は悪化する。

証 明 (48) 式を θ で偏微分すると、

$$\frac{\partial [W_N + W_N^*]}{\partial \theta} = \frac{\delta}{2\rho}(2\alpha - \delta S_N)\frac{\partial S_N}{\partial \theta} - \frac{\theta - \theta^*}{18\rho} - \frac{2\beta}{\rho}S_N\frac{\partial S_N}{\partial \theta} \quad (49)$$

を得る。この式の右辺第 1 項と第 2 項の和が、非環境的厚生水準の変化を表している。(34) 式および注 8 より、 $2\alpha - \delta S_N > 3(\theta + \theta^*)/4$ であるので、各国の関税率が非負の値をとる下では (49) 式の右辺第 1 項の符号は $S_N \in \{S_{\min}, S_L\}$ について負となる。また、(49) 式の右辺第 1 項と第 3 項の合計は

$$\frac{2\alpha\delta - (\delta^2 + 4\beta)S_N}{2\rho}\frac{\partial S_N}{\partial \theta} \quad (50)$$

であり、その符号は S_N と $2\alpha\delta/(\delta^2 + 4\beta)$ との大小関係に依存する。しかし、(32) 式より、 $\lim_{\rho \rightarrow 0} S_{\min} = [2\alpha\delta - 3(\theta + \theta^*)]/(\delta^2 + 4\beta)$ かつ $\partial S_{\min}/\partial \rho > 0$ であるので、必ず $S_N > 2\alpha\delta/(\delta^2 + 4\beta)$ が成立する。 $S_N \in \{S_{\min}, S_L\}$ について $\partial S_N/\partial \theta < 0$ であることから、(50) 式の符号は正となる。以上の結果から、(i) ~ (iii) が導かれる。 証明終わり

5 おわりに

本稿は、生産活動において環境汚染が発生するような財の産業内貿易が行われ、また環境汚染が地球規模の環境悪化をもたらすような状況を想定し、関税の引き下げによる貿易自由化が各国の環境政策、地球環境の質、および経済厚生に与える影響を、動学モデルを用いて検討した。本稿での分析が示した結果のうち、特に以下の2点は重要であるといえよう：

- 国際協調解は一意に存在する一方、非協力的な政策ゲームにおいてはナッシュ均衡が複数存在する。
- 定常状態における汚染ストックは、国際協調解では関税率に依存しない一方、政策ゲームのナッシュ均衡では関税率に依存する。

これらの結果は、貿易自由化の効果が、各国政府が環境政策の決定において協力的に行動した場合と非協力的に行動した場合とで大きく異なる、ということを示唆している。

本稿では、貿易自由化の、定常状態における各経済変数へのいわば長期的な影響について専ら検討し、短期的な影響についてはあまり詳しく論じなかった。本モデルにおける貿易自由化の短期的な影響の検討については、今後の課題としたい。

(やなせ あきひこ・本学経済学部准教授)

参考文献

- [1] Brander, J. (1981), Intra-industry trade in identical commodities, *Journal of International Economics* 11, 1-14.
- [2] Brander, J., Krugman, P. (1983), A reciprocal dumping model of international trade, *Journal of International Economics* 15, 313-321.
- [3] Brander, J. A., Taylor, M. S. (1997), International trade between consumer and conservationist countries, *Resource and Energy Economics* 19, 267-297.
- [4] Copeland, B. R., Taylor, M. S. (1995), Trade and transboundary pollution, *American Economic Review* 85, 716-737.
- [5] Copeland, B. R., Taylor, M. S. (1997), The trade-induced degradation hypothesis, *Resource and Energy Economics* 19, 321-344.
- [6] Copeland, B. R., Taylor, M. S. (1999), Trade, spatial separation, and the environment, *Journal of International Economics* 47, 137-168.
- [7] Copeland, B. R., Taylor, M. S. (2005), Free trade and global warming: A trade theory view of the Kyoto protocol, *Journal of Environmental Economics and Management* 49, 205-234.
- [8] Dixit, A. K. (1984), International trade policy for oligopolistic industries, *Economic Journal* 94 (supplement), 1-16.
- [9] Dockner, E. J., Jorgensen, S., Long, N. V., Sorger, G. (2000), *Differential Games in Economics and Management Science*, Cambridge University Press: Cambridge.
- [10] Dockner, E. J., Long, N. V. (1993), International pollution control: Cooperative versus noncooperative strategies, *Journal of Environmental Economics and Management* 25, 13-29.
- [11] Karp, L., Sacheti, S., Zhao, J. (2001), Common ground between free-traders and environmentalists,

- International Economic Review* 42, 617-647.
- [12] Karp, L., Zhao, J., Sacheti, S. (2003), The long-run effects of environmental reform in open economies, *Journal of Environmental Economics and Management* 45, 246-264.
- [13] Lai, Y.-B., Hu, C.-H. (2005), Trade liberalization and transboundary pollution, *Environmental Economics and Policy Studies* 7, 1-14.
- [14] Long, N. V. (1993), Pollution control: A differential game approach, *Annals of Operations Research* 37, 283-296.
- [15] Ludema, R., Wooton, I. (1994), Cross-border externalities and trade liberalization: The strategic control of pollution, *Canadian Journal of Economics* 27, 950-966.
- [16] Mayer, W. (1981), Theoretical consideration on negotiated tariff adjustments, *Oxford Economic Papers* 33, 135-53.
- [17] van der Ploeg, F., de Zeeuw, A. J. (1992), International aspects of pollution control, *Environmental and Resource Economics* 2, 117-139.
- [18] Rubio, S. J., Casino, B. (2002), A note on cooperative versus non-cooperative strategies in international pollution control, *Resource and Energy Economics* 24, 251-261.
- [19] Tahvonen, O. (1994), Carbon dioxide abatement as a differential game, *European Journal of Political Economy* 10, 685-705.
- [20] Tanguay, G. A. (2001), Strategic environmental policies under international duopolistic competition, *International Tax and Public Finance* 8, 793-811.
- [21] Yanase, A. (2006), Trade, strategic environmental policy, and global pollution, Unpublished manuscript.