

不確実性下の複占市場における排出削減投資について*

前 鶴 政 和

1. はじめに

近年、環境汚染が深刻となっており、特に寡占企業の生産活動が、その大きな要因である。そこで、政府が寡占企業に環境政策を課し、環境汚染問題の解決を図ることが重要である。環境政策を課されることにより、汚染物質を排出している寡占企業は、排出量を削減するために排出削減技術に投資を行う。また、その排出削減技術知識の蓄積過程には不確実性が生じると考えられる。さらに、環境問題を考える際には、長期的な視点で考察する必要があるため、静学分析の枠組みではなく、動学分析の枠組みで分析しなければならない。

以上のような問題意識にしたがって、本稿では、汚染物質を排出するような、同質財を生産する企業が2社存在し、財市場においてクールノー競争を行うモデルを考える。その際、政府は環境政策として、汚染物質の排出量に排出税を課すものとする。そのような状況において、各企業は汚染物質の排出量を削減するような技術に投資するものとする。ただし、排出削減投資によって生み

* 本稿は2006年度日本経済学会春季大会において報告した論文を加筆・修正したものです。報告の際、討論者の松本茂教授（関西大学）より貴重なコメントを賜りました。ここに記して感謝の意を表します。ただし、本稿における誤謬のすべては、筆者の責任に帰するものです。

なお、本稿は2006年度大阪経済法科大学研究補助金の成果の一部です。感謝申し上げます。

出される排出削減技術の知識、すなわち排出削減資本は通時的に蓄積し、蓄積された排出削減資本の量に応じて排出量が削減されるものとする。また、排出削減資本の状態方程式に、不確実性を表す確率的誤差項を導入する。

本稿のモデルは、2段階のゲームから構成されるものとする。まず、第1段階において、各企業は排出削減投資水準を決定する。次に、第2段階においては、第1段階で決定された排出削減投資水準に基づき、各企業がクールノー競争を行なうものとする。

本稿の分析は、以下に挙げるような先行研究に依存する。まず、排出削減投資と環境政策に関しては、以下のような研究が挙げられる。Poyago-Theotoky & Teerasuwannajak (2002)は、1国内で2企業が汚染物質を排出する差別化された財を生産するような状況で、政府が排出税を決定した後で企業が排出削減水準及び生産量の決定を行うゲームと、企業が排出削減水準を決定した後で政府が排出税を決定し、企業が生産量を決定するというゲームとで経済厚生を比較している。Tanguay (2001)は、相互ダンピングモデルにおいて、2国の企業が自国のみならず外国にも環境汚染をもたらす(越境汚染が生じる)状況を想定し、排出税と関税の影響について考察している。また、Waltz & Wellisch (1997)は、第3国市場モデルにおいて、自国と外国の企業が排出削減を実施している状況で、排出税と輸出補助金について考察している。

次に、動学モデルに関しては、以下のような研究が挙げられる。Kort (1996)、Stimming (1999)は、排出税や排出規制の下での企業の最適な投資戦略に関して微分ゲームの枠組みで分析している。Cheng (1987)は、両企業間で研究開発競争及び輸出競争を行っている状況で、最適な輸出政策及びR&D政策を明らかにしている。Reynolds (1987)は、同一国内の二企業が生産設備に投資する状況を考察し、生産設備への投資が参入を抑止するための「カラ脅し」として用いられうるということを示している。Petit & Tolwinski (1999)は、同一国内の二企業で研究開発投資競争が行われる状況を考察し、スピルオーバーの程度にしたがって、様々な形態の共同研究開発が行われるということを示している。Figuières et al. (1999)は生産設備に投資するモデルを考え、設備投資費用が異なる際に、open-loop ナッシュ均衡における生産設備の水準の

定常均衡への収束がどのように異なるかを分析している。

また、Lambertini (2005)は、生産設備への投資に関する微分ゲーム・モデルにおいて、不確実性を導入し、open-loop ナッシュ均衡と open-loop シュタツケルベルク均衡を比較している。

以上のような先行研究に基づき、本稿では微分ゲームを用いて、不確実性下の複占市場における排出削減投資について分析する。

本稿の構成は以下の通りである。2節で基本モデルを提示する。3節で各企業の動学的最大化問題を定式化し、微分ゲームの枠組みを用いて排出削減投資競争の open-loop ナッシュ均衡を求め、不確実性の影響を分析する。4節で結論を述べる。

2. 基本モデル

本節では、排出削減投資競争に関して分析を行う前に、生産量1単位当たりの排出量（排出係数と呼ぶ）を所与とした場合の2企業間のクールノー競争について示すことにする。

同質的な財を生産する企業が2社存在し、それらを企業1、企業2と呼ぶことにする。任意の時点 t で、企業 $i(i=1,2)$ の排出係数は $h_i(t) > 0$ によって表される。各企業 i が排出削減投資を行うと、 $h_i(t)$ は通時的に減少する。

財市場の需要は次のような（逆）需要関数によって表される。

$$p = p(Q), \quad p' < 0 \quad (1)$$

ただし、 $Q = q_1 + q_2$ 、 q_i は企業 i の生産量、 p は価格を表す。

次に任意の時点 t での企業の生産量の決定を示す。企業 i の利潤は次式によって与えられる。

$$\pi_i = p(Q)q_i - \tau E_i - g(I_i) \quad (i=1,2) \quad (2)$$

ただし、 $\tau (> 0)$ は政府の課す排出税率（一定）を、 $E_i = h_i q_i$ は企業 i の排出

量を、 $g(I_i)$ は排出削減投資費用を表す。また、単純化のために、生産費用はゼロと仮定する。

ここで、本稿の問題に対して明快な結果を得るために、(逆) 需要関数を次のような線形の関数で特定化する。

$$p = a - Q = a - q_1 - q_2 \quad (1')$$

ただし、パラメータ a は正で通時的に一定であり、両企業が存続するのに十分大きいものとする。

ここで、財市場をめぐり、両企業間でクールノー競争が行われると仮定する。このとき、企業 i にとっての一階の条件は次式で表される。

$$a - 2q_i - q_j - \tau h_i = 0 \quad (i, j = 1, 2; i \neq j) \quad (3)$$

各企業にとっての条件(3)は、他企業の生産量に対する最適反応を表す。企業の最適反応関数を解くとサブゲーム・ナッシュ均衡における各企業の生産量は次のように決定される。

$$q_i = (a - 2\tau h_i + \tau h_j) / 3 \quad (i, j = 1, 2; i \neq j) \quad (4)$$

3. 排出削減投資競争モデル

3.1 各企業の問題

本節では、Lambertini (2005) に基づき、不確実性下の排出削減投資競争モデルを提示する。まず、各企業の排出係数がどのようにして通時的に削減されるかを示す。各企業の排出係数は、排出削減資本が蓄積されていくにつれて減少する。ただし、排出削減投資に関して、不確実性が生じるものとする。

排出削減資本の蓄積から生じる、企業 i によって時点 t までに生み出された排出削減技術の知識、すなわち時点 0 から時点 t にかけて企業 i によって蓄積された排出削減資本を $K_i(t) \geq 0$ で表す。企業 i の各時点での排出削減投資は

$I_i(t)$ によって表される。各企業の状態変数は $K_i(t)$ 、制御変数は $I_i(t)$ である。また、状態変数 $K_i(t)$ は次のような状態方程式を通じて制御変数 $I_i(t)$ と関連を持つ。

$$\dot{K}_i = I_i(t) - \delta K_i(t) + \varepsilon_i(t) \quad (5)$$

ただし、 \dot{K}_i は $K_i(t)$ の時間に関する微分、 δ は排出削減資本の減耗率を表す。 $\varepsilon_i(t)$ は、企業 i に影響を与える確率的誤差項を表し、全期間を通じて独立同一分布を示すものとする。

また、 $\varepsilon_i(t)$ に関して、次の式が成立するものとする。

$$E(\varepsilon_i) = 0, E(\varepsilon_i^2) = \sigma_i^2, E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = \sigma_{ij}^2 \quad (6)$$

各時点におけるタイミングを示すと、次のようになる。

- ①企業が排出削減投資水準を選択する。
- ②確率的誤差項が実現する。
- ③排出削減投資水準、排出削減資本減耗、および企業独自の確率的誤差項によって、(5)式を通じて排出削減資本水準が決定される。

排出削減資本の水準 K_i に対応する各時点での企業の排出係数を、 $h_i(K_i)$ で表すものとする。上述のように、企業の排出係数はその排出削減資本の水準が増加するにつれて減少すると仮定される。したがって、任意の時点 t における企業 i の排出係数は次のような式によって与えられる。

$$h_i(K_i) = \bar{h} - K_i \quad (7)$$

(7)式は、企業 i の排出係数が初期値 $\bar{h} - K_i^0$ から排出削減資本の蓄積とともに減少するということを表している。このようなモデルで、蓄積された排出削減資本水準 K_i は、長期的に、定常均衡水準 \hat{K}_i に近づく。ただし、 \wedge は定常均衡を表す。これは企業が排出削減投資を行うことによって達成することのできる最小排出係数が $\bar{h} - \hat{K}_i$ に等しいということを示す。

ここで、排出削減投資費用は次のような式で表されるものとする。

$$g(I_i) = \gamma(I_i)^2/2 \quad (8)$$

すなわち、排出削減投資の限界費用は $I_i(t)$ に関して逓増的である。

ここで、(4)式に(7)式を代入すると、サブゲーム・ナッシュ均衡における各企業の生産量は次のように表される。

$$q_i(K_i, K_j) = \{A + 2\tau K_i - \tau K_j\}/3, i, j = 1, 2; i \neq j \quad (4')$$

ただし、 $A = a - \tau \bar{h}$ である。

(4')式を用いると、排出削減資本の水準で表した企業の利潤 π_i は次のような式で表される。

$$\pi_i(K_i, K_j, I_i) = \{q_i(K_i, K_j)\}^2 - g(I_i) \quad (9)$$

ここで、各時点で次のような2段階のゲームが行われると考える。第1段階において、各企業はライバルの排出削減投資を所与として、自らの排出削減投資を選択し、排出削減投資競争を行う。第2段階において、両企業が排出削減投資の結果として生じる排出係数を所与として、クールノー競争を行う。

各企業の問題は、各企業の排出削減投資の戦略が選択されると、各企業は生産量に関して競争するということを知った上で、その排出削減投資の戦略を選択することである。各企業は排出削減資本の変化が彼らの生産量及び利潤に対する効果を完全に知っていると仮定するので、以下の分析では第1段階に焦点を当てる。

3. 2 open-loop ナッシュ均衡

本節では、open-loop ナッシュ均衡、すなわち、各企業が個別の利潤を最大化するように排出削減資本及び排出削減投資水準を決定する際の均衡解を求める。

まず、第1段階において、各企業は以下のような動学的最大化問題に直面す

1 動学的最適化については、Kamien & Schwartz (1991)、Seierstad & Sydsaeter (1987)などを参照。

る¹。

$$\max \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \pi_i(K_i, K_j, I_i) dt \quad (10)$$

subject to

$$\dot{K}_i = I_i - \delta K_i + \varepsilon_i$$

$$K_i(0) = K_i^0$$

ただし、 ρ は割引率を表す。すなわち、各企業は排出削減資本に関する状態方程式の制約の下でその利潤の割引現在価値を最大化する。

本稿で考察する均衡戦略は open-loop 戦略である。open-loop 戦略を採用する企業は、各時点における排出削減投資に事前にコミットし、自らの排出削減投資を決定する。

以下で、この微分ゲームの open-loop ナッシュ均衡を求める²。各企業は通時的な投資戦略を選択し、ゲームが持続する期間の長さに関わらず、この戦略に従い続ける。本来、各企業は有限期間の投資計画を立てるものと考えられるが、分析の便宜上、本稿では Reynolds (1987) に従い、各企業が無限期間の投資計画に直面しているものと想定する。このような open-loop ナッシュ均衡において、各企業の戦略はそのライバル企業によって選択される戦略への最適反応である。open-loop ナッシュ均衡を考えることから、各企業はゲームの開始時点でゲームの全期間にわたる排出削減投資水準にコミットすることになる。

ここで、企業 i について考えると、ライバル企業の排出削減投資 $I_j(t)$ を所与として、企業 i は(10)式のように、制約条件の下で目的関数を最大化するような排出削減投資 $I_i(t)$ を選択する。

(10)式より、企業 i の期待現在価値ハミルトニアンは次のように表される。

$$E[H_i] = E[\pi_i(K_i, K_j, I_i) + \lambda_i (I_i - \delta K_i + \varepsilon_i)] \quad (11)$$

ただし、 λ_i は共役変数を表す。

最大値原理から、次のような最大化のための必要条件が得られる。

2 微分ゲームの open-loop ナッシュ均衡については、Dockner et al. (2000) を参照。

$$\dot{K}_i(t) = \lambda_i(t)/\gamma - \delta K_i(t) + \varepsilon_i(t) \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}_i(t) = (\rho + \delta)\lambda_i(t) - 4\tau[A + 2\tau K_i - \tau K_j]/9 \quad (13)$$

ここで、定常状態における排出削減資本水準及び排出削減投資水準を求める。まず、定常状態における排出削減資本水準は (12)、(13) 式から次のように計算される。

$$\hat{K}_i^N = \frac{4\tau\{9(\rho + \delta)\delta\gamma - 12\tau^2\}A + 9\gamma(\rho + \delta)\{9(\rho + \delta)\delta\gamma - 8\tau^2\}\varepsilon_i - 36\tau^2\gamma(\rho + \delta)\varepsilon_j}{\{9(\rho + \delta)\delta\gamma - 4\tau^2\}\{9(\rho + \delta)\delta\gamma - 12\tau^2\}} \quad (14)$$

(14)式から、次の命題が得られる。

命題 1

open-loop ナッシュ均衡の定常状態における排出削減資本水準に関して、 $\hat{K}_i^N > \hat{K}_j^N$ iff $\varepsilon_i > \varepsilon_j$ が成立する。

証明) (14)式より、open-loop ナッシュ均衡の定常状態における 2 企業の排出削減資本水準を比較すると、以下の式が得られる。

$$\hat{K}_i^N - \hat{K}_j^N = \frac{9\gamma(\rho + \delta)(\varepsilon_i - \varepsilon_j)}{9\gamma(\rho + \delta)\delta - 12\tau^2} \quad (15)$$

したがって、命題 1 が成立する。 証明終)

また、定常状態の排出削減投資水準は (5)、(14)式から次のように表される。

$$\hat{I}_i^N = \delta\hat{K}_i^N - \varepsilon_i \quad (16)$$

次に、(14)、(16)式を (9)式の利潤関数に代入し、(6)式を用いて、open-loop ナッシュ均衡における定常状態の期待利潤が次のように求められる。

$$E\hat{\pi}_i^N = \frac{B_1 A^2 + B_2 \sigma_i^2 + B_3 \sigma_j^2 + B_4 \sigma_{12}^2}{18\{9\gamma(\rho + \delta)\delta - 4\tau^2\}^2 \{9\gamma(\rho + \delta)\delta - 12\tau^2\}^2} \quad (17)$$

ただし、 $B_1 = 18\gamma\delta^2\{9(\rho + \delta)^2\gamma - 8\tau^2\}\{9(\rho + \delta)\delta\gamma - 12\tau^2\}^2 > 0$ 、

$B_2 = 648\gamma\tau^2\{9(\rho + \delta)^2\gamma - 8\tau^2\}\{3(\rho + \delta)\delta\gamma - 2\tau^2\}^2 > 0$ 、

$B_3 = 1458(\rho + \delta)^2\gamma^2\delta^2\tau^2\{9(\rho + \delta)^2\gamma - 8\tau^2\} > 0$ 、

$B_4 = -1944(\rho + \delta)\gamma^2\delta\tau^2\{9(\rho + \delta)^2\gamma - 8\tau^2\}\{3(\rho + \delta)\delta\gamma - 2\tau^2\} < 0$

を表す。

(17)式より、次の命題が得られる。

命題 2

open-loop ナッシュ均衡の定常状態における期待利潤に関して、 $E\hat{\pi}_i^N > E\hat{\pi}_j^N$ iff $\sigma_i^2 > \sigma_j^2$ が成立する。

証明) (17)式より、open-loop ナッシュ均衡の定常状態における 2 企業の期待利潤を比較すると、次のような式が得られる。

$$E\hat{\pi}_i^N - E\hat{\pi}_j^N = \frac{(B_2 - B_3)(\sigma_i^2 - \sigma_j^2)}{18\{9\gamma(\rho + \delta)\delta - 4\tau^2\}^2 \{9\gamma(\rho + \delta)\delta - 12\tau^2\}^2} \quad (18)$$

したがって、命題 2 が成立する。 証明終

次に、open-loop ナッシュ均衡の安定性について考察する。(12)、(13)式から得られる連立微分方程式体系のヤコビ行列の特性方程式は、次のようになる。

$$P(\omega) = \omega^4 - 2\rho\omega^3 + (\rho^2 - 2\delta^2 - \rho\delta + 8\tau^2/9\gamma)\omega^2 + \rho(2\delta^2 + \rho\delta - 8\tau^2/9\gamma)\omega + \quad (19)$$

$$\{(\rho + \delta)\delta - 4\tau^2/9\gamma\}^2 = 0$$

ただし、 ω は固有値を表す。

(19)式から、次のような固有根が求められる。

$$\omega_{1,2,3,4} = \frac{\rho}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\rho}{2}\right)^2 + \frac{(\rho+2\delta)\delta - 8\tau^2/9\gamma}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\{(\rho+2\delta)\delta - 8\tau^2/9\gamma\}^2 - 4\{(\rho+\delta)\delta - 4\tau^2/9\gamma\}^2}} \quad (20)$$

正の根と負の根が2つずつ存在することから、以下の命題が得られる³。

命題 3

open-loop ナッシュ均衡における定常状態の排出削減資本水準及び排出削減投資水準 \hat{K}_1^N , \hat{K}_2^N , \hat{I}_1^N , \hat{I}_2^N は鞍点安定である。

最後に、確率的誤差項の分散の増加が定常状態における期待利潤にどのような影響を及ぼすかを考察する。

(17)式から、次の式が得られる。

$$\frac{\partial E\hat{\pi}_i^N}{\partial \sigma_i^2} = \frac{B_2}{18\{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 4\tau^2\}^2 \{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 12\tau^2\}^2} > 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial E\hat{\pi}_j^N}{\partial \sigma_j^2} = \frac{B_3}{18\{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 4\tau^2\}^2 \{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 12\tau^2\}^2} > 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial E\hat{\pi}_i^N}{\partial \sigma_{12}^2} = \frac{B_4}{18\{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 4\tau^2\}^2 \{9\gamma(\rho+\delta)\delta - 12\tau^2\}^2} < 0 \quad (23)$$

(21)～(23)式から、次の命題が得られる。

命題 4

(1) 企業 i 、企業 j の確率的誤差項の分散が増加すると、定常状態における両企業の期待利潤は増加する。

(2) 確率的誤差項の共分散が増加すると、定常状態における両企業の期待利潤は減少する。

3 定常状態の安定性については、Dockner&Feichtinger (1996)などを参照。

4. 結論と今後の課題

本稿は動学モデルを用いて、排出税の下で2企業が第1段階で排出削減投資水準を選択し、第2段階で生産量を決定する複占競争について分析した。このような状況で、不確実性下における微分ゲームの枠組みを用いて open-loop ナッシュ均衡における排出削減資本水準と期待利潤を求め、2企業間で比較を行った。

本稿の分析によって、次のような結果が得られた。

(1) open-loop ナッシュ均衡の定常状態における排出削減資本水準に関して、企業 i の確率的誤差項が企業 j の確率的誤差項より大きければ、企業 i の排出削減資本水準の方が企業 j の排出削減資本水準より大きくなる。

(2) open-loop ナッシュ均衡の定常状態における期待利潤に関して、企業 i の確率的誤差項の分散が企業 j の確率的誤差項の分散より大きければ、企業 i の期待利潤の方が企業 j の期待利潤より大きくなる。

(3) open-loop ナッシュ均衡の定常状態における排出削減資本水準及び排出削減投資水準は鞍点安定である。

(4) 企業 i 、企業 j の確率的誤差項の分散が増加すると、open-loop ナッシュ均衡の定常状態における両企業の期待利潤は増加するが、確率的誤差項の共分散が増加すると、open-loop ナッシュ均衡の定常状態における両企業の期待利潤は減少する。

最後に、本稿のモデルを拡張する方法を示す。まず、本稿で扱ったような open-loop 戦略だけでなく、Markov 戦略についても扱う必要がある。また、地球温暖化や酸性雨など、多国間にわたる環境問題を考察するために、国際複占競争の状況についても扱うべきである。これらの点に関して本稿の分析を拡張することが、今後の課題である。

参考文献

- Barrett, S. (1994), 'Strategic Environmental Policy and International Trade,' *Journal of Public Economics*, vol.54, pp.325-338.
- Brander, J.A. and B.J. Spencer (1985), "Export Subsidies and International Market Share Rivalry," *Journal of International Economics*, vol.18, pp.83-100.
- Cheng, L.K. (1987), "Optimal Trade and Technology Policies: Dynamic Linkages," *International Economic Review*, vol.28, no.3, pp.757-776.
- Chiou, J.R. and J.L., Hu (2001), 'Environmental Research Joint Ventures under Emission Taxes,' *Environmental and Resource Economics*, vol.20, pp.129-146.
- Conrad, K. (1993), 'Taxes and Subsidies for Pollution-Intensive Industries as Trade Policy,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.25, pp.121-135.
- Conrad, K. (2001), 'Voluntary Environmental Agreements vs. Emission Taxes in Strategic Trade Models,' *Environmental and Resource Economics*, vol.19, pp.361-381.
- d'Aspremont, C. and A. Jacquemin (1988), "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers," *American Economic Review*, vol.78, pp.1133-1137.
- Dockner, J. and G. Feichtinger (1996), "On the Optimality of Limit Cycles in Dynamic Economic Systems," *Journal of Economics*, vol.53, No.1, pp.31-50.
- Dockner, E., Jorgensen, J., Long, N.V. and G. Sorger (2000), *Differential Games in Economics and Management Science*, Cambridge University Press.
- Eicher, T.S. and S.J. Turnovsky (1999), "Convergence in a Two-Sector Nonscale Growth Model," *Journal of Economic Growth*, vol.4, pp.413-428.
- Figuières, C., Garderes, P., Michel, P. and F. Rychen (1999), "The dynamics of the strategic capital accumulation," *Annals of Operations Research*, vol. 88, pp.291-307.
- Kamien, M.I. and N.L. Schwartz (1991), *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management(2nd Edition)*, North-Holland.
- Katsoulacos, Y. and A. Xepapadeas (1996), 'Environmental Innovation, Spillovers and Optimal Policy Rules,' in C. Carraro, Y. Katsoulacos and A. Xepapadeas (ed.), *Environmental Policy and Market Structure*, pp.143-150, Kluwer Academic Publishers.
- Kort, P.M. (1996), "Pollution Control and the Dynamics of the Firm: The Effects of Market-Based Instruments on Optimal Firm Investments," *Optimal Control Applications & Methods*, vol.17, 267-279.
- Lambertini, L. (2005), "Stackelberg Leadership in a Dynamic Duopoly with Stochastic Capital Accumulation," *Journal of Evolutionary Economics*, vol.15, pp.443-465.
- Petit, M.L. and B. Tolwinski (1999), "R&D cooperation or competition?," *European Economic Review*, vol.43, pp.185-208.
- Petrakis, E. and J. Poyago-Theotoky (2002), 'R&D Subsidies versus R&D Cooperation in a Duopoly with Spillovers and Pollution,' *Australian Economic Papers*, vol.41, issue 1, pp.37-52.

- Poyago-Theotoky, J. and K. Teerasuwannajak (2002), 'The Timing of Environmental Policy: A Note on the Role of Product Differentiation,' *Journal of Regulatory Economics*, vol.21, issue 3, pp.305-316.
- Qiu, L.D. and Z.G. Tao (1998), "Policy on International R&D Cooperation : Subsidy or Tax?," *European Economic Review*, vol.42, pp.1727-1750.
- Reynolds, S.B. (1987), "Capacity Investment, Preemption and Commitment in an Infinite Horizon Model," *International Economic Review*, vol.28, no.1, pp.69-88.
- Seierstad, A. and K. Sydsaeter (1987), *Optimal Control Theory with Economic Applications*, North-Holland.
- Spencer, B.J. and J.A. Brander (1983), "International R&D Rivalry and Industrial Strategy," *Review of Economic Studies*, vol.50, pp.707-722.
- Stimming, M. (1999), "Capital Accumulation subject to Pollution Control: Open-loop versus Feedback Investment Strategies," *Annals of Operations Research*, vol.88, 309-336.
- Suzumura, K. (1992), "Cooperative and Noncooperative R&D in an Oligopoly with Spillovers," *American Economic Review*, vol.82, pp.1307-1320.
- Tanguay, G. A. (2001), 'Strategic Environmental Policies under International Duopolistic Competition,' *International Tax and Public Finance*, vol.8, pp.793-811.
- Ulph, A. (1996), 'Environmental Policy and International Trade When Government and Producers Act Strategically,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.30, pp.265-281.
- Waltz, U. and D. Wellisch (1997), 'Is free trade in the interest of exporting countries when there is ecological dumping?,' *Journal of Public Economics*, vol.66, pp.275-291.