

〈研究ノート〉

# 寡占競争下における排出物削減技術への 研究開発投資と環境政策について

前 鶴 政 和

## 1. はじめに

本稿は、ある財市場において寡占企業が汚染物質を排出するような財の生産を行っているが、同時に排出物を削減するような技術に研究開発投資を行うような状況において、政府が環境政策を課す場合に、政府による最適な環境政策がどのようなものであるかを分析する。

本稿では、汚染物質を排出するような財を生産し、財市場においてクールノー競争を行う2企業（企業1、2と呼ぶ）のモデルを考える。まず、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、汚染物質の排出量を削減するような技術の研究開発（環境R&Dと呼ぶ）に投資する両企業に対し、政府はさらに環境R&D補助金を供与して、環境R&Dを促進させるものとする。

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。第1段階において、各企業は環境R&Dの結果として生じる排出削減水準を設定する。また、環境R&Dに伴ってスピルオーバーが生じるものとする。その際、環境R&Dの形態として、非協力的な研究開発のケースと共同研究開発のケースを考える。非協力的な研究開発のケースにおいては、各企業は個別の利潤関数を最大化するように排出削減水準を設定するものとする。一方、共同研究開発のケースにおいては、各企業は共同利潤関数を最大化するように排出削減水準を設定するものとする。第2段階においては、第1段階で決定された排出削減水準に

基づき、各企業は生産量に関するクールノー競争を行うものとする。

本稿の分析は、Chiou & Hu(2001)、Katsoulacos & Xepapadeas(1996)などに依存する。

Chiou & Hu(2001)は、排出税が課されている状況でクールノー競争を行う2企業が環境R&Dに投資する際に、様々な形態のRJV(Research Joint Venture)を形成するものと考え、各形態における均衡排出削減水準及び均衡産出量を比較しているが、環境R&D補助金については考慮していない。また、Katsoulacos & Xepapadeas(1996)は、排出税及び環境R&D補助金が課されている状況で、クールノー競争を行う2企業が環境R&Dに投資する際の、最適な排出税率及び環境R&D補助金率を導出しているが、共同研究開発については扱っていない。

本稿の構成は次の通りである。第2節で、基本モデルを示し、均衡における排出削減水準及び生産量を求める。第3節で、最適な排出税率及び環境R&D補助金率を導出し、その性質を明らかにする。第4節で、結論と今後の課題を述べる。

## 2. モデル

本節は、Chiou & Hu(2001)、Katsoulacos & Xepapadeas(1996)に基づいて、基本モデルを提示する。同質財を生産する2企業(企業1、2)を考える。2企業は財市場でクールノー競争を行う。また、2企業の生産にともなって、汚染物質が排出されるものとする。

このモデルは2段階ゲームの構造をもつ。第1段階において、2企業は産出量1単位あたりの汚染物質の排出量を減らすために、排出削減水準 $x_i$ を選択する。 $x_i$ だけ排出量を削減するための環境R&D費用関数を次のように定義する。

$$\Gamma_i(x_i) = \gamma x_i^2 / 2, i = 1, 2 \quad (1)$$

寡占競争下における排出物削減技術への研究開発投資と環境政策について

ただし、 $\gamma > 0$  である。

また、この排出削減技術への研究開発投資に伴って、スピルオーバーが生じるものとする。したがって、両企業の産出量1単位あたりの排出量を $e_i$ とすると、 $e_i$ は次式で表される。

$$e_i = \bar{e} - x_i - \beta x_j \geq 0 \quad (2)$$

ただし、 $\bar{e} > 0$ は当初の産出量1単位あたりの排出量、 $\beta$ はスピルオーバーの程度を表し、 $0 \leq \beta \leq 1$ を仮定する。すなわち、産出量1単位あたりの排出量は、自企業の環境R&D投資の成果である $x_i$ に加えて、スピルオーバーによって、他企業の環境R&D投資 $x_j$ の $\beta$ 倍だけ削減される。

第2段階において、2企業は、第1段階で決定された排出削減水準を所与として、彼らの産出量を同時に選択する。このゲームの解はサブゲーム完全均衡解として与えられる。すなわち、後ろ向き帰納法によってこのゲームの解が求められる。

財市場の逆需要関数は、次式によって与えられる。

$$p = a - Q \quad (3)$$

ただし、 $P$ は市場価格、 $Q = q_1 + q_2$ 、 $q_i (i = 1, 2)$ は企業 $i$ の産出量を表す。分析の便宜上、生産費用はゼロと仮定する。

したがって、企業 $i$ の利潤関数は次式で与えられる。

$$\Pi_i = pq_i - t(\bar{e} - x_i - \beta x_j)q_i - (1-s)\gamma x_i^2/2, i, j = 1, 2; i \neq j \quad (4)$$

ただし、 $t$ は政府が排出物1単位あたりに課す税率を表し、 $s$ は政府が環境R&D投資に供与する補助金率を表す。

(4)式で与えられる利潤関数の最大化の1階の条件は、次式で与えられる。

$$a - 2q_i - q_j - t(\bar{e} - x_i - \beta x_j) = 0, i, j = 1, 2; i \neq j \quad (5)$$

(5)式は、産出量に関する反応関数を表す。(5)式の反応関数を解くと、次のような産出量の均衡値が得られる。

$$q_i(x_i, x_j) = \{a - t\bar{e} + t(2 - \beta)x_i + t(2\beta - 1)x_j\} / 3, i, j = 1, 2; i \neq j \quad (6)$$

## 2. 1 非協力的な研究開発のケース

本節では、非協力的な研究開発のケース、すなわち、2企業が第1段階において個別の利潤を最大化するように排出削減水準を決定するケースを扱う。

第1段階における企業*i*の利潤関数は、次式のように表される。

$$\Pi_i = q_i(x_1, x_2)^2 - (1-s)\gamma x_i^2 / 2 \quad (7)$$

利潤関数(7)式の最大化の1階の条件は、次のように表される。

$$2q_i t(2 - \beta) / 3 - (1-s)\gamma x_i = 0 \quad (8)$$

ここで、 $x_1 = x_2 = x^N$  (上付きのNは非協力的な研究開発(non-cooperative R & D)を表す)という対称均衡を仮定すると、(6)式から、対称的なナッシュ均衡における産出量は次のように与えられる。

$$q^N = \{a - t\bar{e} + t(1 + \beta)x^N\} / 3 \quad (9)$$

また、 $x$ のナッシュ均衡値は次のように与えられる。

$$x^N = 2(2 - \beta)t(a - t\bar{e}) / \Omega^N \quad (10)$$

ただし、 $a - t\bar{e} > 0$ ,  $\Omega^N = 9(1-s)\gamma - 2(2 - \beta)(1 + \beta)t^2 > 0$ である。

ここで、以降の分析のために、次のことを示す。

$$\partial x^N / \partial s = 18\gamma(2 - \beta)t(a - t\bar{e}) / (\Omega^N)^2 > 0 \quad (11)$$

$$\partial q^N / \partial s = ((1 + \beta)t / 3)(\partial x^N / \partial s) > 0 \quad (12)$$

したがって、環境R & D補助金率の上昇は、常に均衡における排出削減水準及び産出量を増加させる。

## 2. 2 共同研究開発のケース

本節では、共同研究開発のケース、すなわち、2企業が第1段階において共同利潤を最大化するように排出削減水準を決定するケースを扱う。

寡占競争下における排出物削減技術への研究開発投資と環境政策について

第1段階において、両企業の共同利潤関数は、次式のように表される。

$$V = \sum_{i=1}^2 \Pi_i = \sum_{i=1}^2 \left\{ q_i(x_1, x_2)^2 - (1-s)\gamma x_i^2/2 \right\} \quad (13)$$

共同利潤関数の最大化の1階の条件は、次のように表される。

$$2q_i t(2-\beta)/3 + 2q_j t(2\beta-1)/3 - (1-s)\gamma x_i = 0 \quad (14)$$

$x_1 = x_2 = x^C$  (上付きの C は共同研究開発 (cooperative R&D) を表す) という対称均衡を仮定すると、(6)式から、対称的なナッシュ均衡における産出量は次のように与えられる。

$$q^C = \left\{ a - t\bar{e} + t(1+\beta)x^C \right\} / 3 \quad (15)$$

また、 $x$ のナッシュ均衡値は次のように与えられる。

$$x^C = 2(1+\beta)t(a-t\bar{e})/\Omega^C \quad (16)$$

ただし、 $a-t\bar{e} > 0$ ,  $\Omega^C = 9(1-s)\gamma - 2(1+\beta)^2 t^2 > 0$ である。

ここで、以降の分析のために、次のことを示す。

$$\partial x^C / \partial s = 18\gamma(1+\beta)t(a-t\bar{e})/(\Omega^C)^2 > 0 \quad (17)$$

$$\partial q^C / \partial s = ((1+\beta)t/3)(\partial x^C / \partial s) > 0 \quad (18)$$

したがって、非協力的な研究開発のケースと同様に、環境R&D補助金率の上昇は、常に均衡における排出削減水準及び産出量を増加させる。

### 3. 最適な排出税率及び環境R&D補助金率

#### 3.1 非協力的な研究開発のケース

本節では、2.1節の分析に基づき、非協力的な研究開発のケースにおける最適な排出税率及び環境R&D補助金率を決定する。

まず、環境ダメージを含む政府の目的関数は、2企業の利潤、消費者余剰及び排出税収の和から環境R&D補助金支出と環境ダメージを差し引いたものとして、次式のように与えられる。

$$W^N = aQ^N - (Q^N)^2/2 - \gamma(x^N)^2 - D(2e^N q^N) \quad (19)$$

ただし、 $D(\cdot)$  は、企業によって排出された汚染物質による環境へのダメージを表し、 $D' > 0, D'' \geq 0$  である。また、 $Q^N = 2q^N$  を表す。

(19) 式から、排出税率及び環境 R & D 補助金率に関する最大化の 1 階の条件は、次のように表される。

$$\begin{aligned} \partial W^N / \partial t &= -t(p^N - D'e^N)/3 + \{(1 + \beta)[(p^N - D'e^N)t/3 + D'q^N] - \gamma x^N\} \\ (\partial x^N / \partial t) &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\partial W^N / \partial s = \{(1 + \beta)[(p^N - D'e^N)t/3 + D'q^N] - \gamma x^N\} (\partial x^N / \partial s) = 0 \quad (21)$$

(11) 式と (21) 式から、以下の条件が満足されなければならない。

$$(1 + \beta)[(p^N - D'e^N)t/3 + D'q^N] - \gamma x^N = 0 \quad (22)$$

また、(20) 式と (22) 式から、次の式が得られる。

$$p^N = D'e^N \quad (23)$$

さらに、(22) 式と (23) 式から、次の式が得られる。

$$(1 + \beta)D'q^N - \gamma x^N = 0 \quad (24)$$

ここで、企業の利潤最大化の 1 階の条件 (5) 式と (8) 式から、次の式が得られる。

$$p^N = q^N + te^N \quad (25)$$

$$2t(2 - \beta)q^N/3 - (1 - s)\gamma x^N = 0 \quad (26)$$

また、(23) 式と (25) 式から、最適な排出税率を表す次のような式が得られる。

$$t^N = D' - q^N/e^N \quad (27)$$

さらに、(24) 式と (26) 式から、最適な環境 R & D 補助金率は、次式で与えられる。

寡占競争下における排出物削減技術への研究開発投資と環境政策について

$$s^N = 1 - \frac{2t^N}{3D'} \left( \frac{2-\beta}{1+\beta} \right) \quad (28)$$

(28) 式から、次の補題が得られる。

補題 (Katsoulacos & Xepapadeas(1996)の Proposition)

非協力的な研究開発のケースにおける最適な環境R & D補助金率の符号は、環境R & Dスピルオーバーの程度  $\beta$  に依存する。すなわち、十分大きな  $\beta$  に関しては常に正であるが、十分小さな  $\beta$  に関しては負になる可能性がある。

### 3. 2 共同研究開発のケース

本節では、2. 2節の分析に基づき、共同研究開発のケースにおける最適な排出税率及び環境R & D補助金率を決定する。

まず、環境ダメージを含む政府の目的関数は、次式のように与えられる。

$$W^C = aQ^C - (Q^C)^2/2 - \gamma(x^C)^2 - D(2e^C q^C) \quad (29)$$

ただし、 $Q^C = 2q^C$ を表す。

排出税率及び環境R & D補助金率に関する最大化の1階の条件は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \partial W^C / \partial t &= -t(p^C - D'e^C)/3 + \left\{ (1+\beta) [(p^C - D'e^C)t/3 + D'q^C] - \gamma x^C \right\} \\ (\partial x^C / \partial t) &= 0 \end{aligned} \quad (30)$$

$$\partial W^C / \partial s = \left\{ (1+\beta) [(p^C - D'e^C)t/3 + D'q^C] - \gamma x^C \right\} (\partial x^C / \partial s) = 0 \quad (31)$$

(17) 式と (31) 式から、以下の条件が満足されなければならない。

$$(1+\beta) [(p^C - D'e^C)t/3 + D'q^C] - \gamma x^C = 0 \quad (32)$$

また、(30) 式と (32) 式から、次の式が得られる。

$$p^C = D'e^C \quad (33)$$

さらに、(32) 式と (33) 式から、次の式が得られる。

$$(1 + \beta)D'q^c - \gamma x^c = 0 \quad (34)$$

ここで、企業の利潤最大化の1階の条件(5)式と(14)式から、次の式が得られる。

$$p^c = q^c + te^c \quad (35)$$

$$2t(1 + \beta)q^c/3 - (1 - s)\gamma x^c = 0 \quad (36)$$

また、(33)式と(35)式から、最適な排出税率を表す次のような式が得られる。

$$t^c = D' - q^c/e^c \quad (37)$$

さらに、(34)式と(36)式から、最適な環境R&D補助金率は、次式で与えられる。

$$s^c = 1 - \frac{2t^c}{3D'} \quad (38)$$

(38)式から、次の命題が得られる。

#### 命題

共同研究開発のケースにおける最適な環境R&D補助金率の符号は、非協力的な研究開発のケースと異なり、環境R&Dスピルオーバーの程度 $\beta$ に依存しない。すなわち、スピルオーバーの程度に関わらず、環境R&D補助金率は常に正である。

#### 4. 結論と今後の課題

本稿では、ある財市場において寡占企業が汚染物質を排出するような財の生産を行っているが、同時に環境R&D投資を行うような状況において、政府が環境政策を課した場合に、政府による最適な環境政策がどのようなものであるかを分析した。



## 寡占競争下における排出物削減技術への研究開発投資と環境政策について

また、環境R&Dに伴ってスピルオーバーが生じるものと想定し、環境R&Dの形態として非協力的な研究開発のケースと共同研究開発のケースを考えた。

分析の結果として、政府の供与する最適な環境R&D補助金率について、非協力的な研究開発のケースにおいては、スピルオーバーの程度が十分大きければ正であるが、スピルオーバーの程度が十分小さければ負になる可能性がある。また、共同研究開発のケースにおいては、スピルオーバーの程度に関わらず、最適な環境R&D補助金率は正であるということを示した。

この結果は、直観的には次のように考えられる。まず、寡占企業は消費者余剰を考慮に入れないので、環境R&Dに過少投資する傾向があり、環境R&D投資を促進させるために正の環境R&D補助金率が得られることになる。また、寡占企業にとって、環境R&Dからの私的な収益は社会的な収益より小さいので、環境R&Dへ過少投資する傾向があり、この点からも正の環境R&D補助金率が得られることになる。

他方で、寡占企業は利潤に対する環境R&Dの効果を評価するとき、政府によっては考慮されない戦略効果を考慮に入れる。この効果は、スピルオーバーの程度が小さければ正であり、環境R&Dへの過剰投資をもたらす。この戦略効果が十分に重要であるとき、負の環境R&D補助金率（すなわち、環境R&D税率）が得られる可能性がある。

しかし、共同研究開発のケースにおいては、スピルオーバーを内部化するために、戦略効果はスピルオーバーの程度に関わらず負であるため、常に正の環境R&D補助金率が得られるということになる。

本稿には次のような問題点がある。まず、2企業の環境R&D費用が異なるケースを分析する必要がある。また、環境R&Dの成果に不確実性が生じるかもしれない。

以上のようなことを考慮に入れ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.
- Chiou, J.R. and Hu, J.L. (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.
- Egteren, H.V. and M. Weber (1996), 'Market Permits, Market Power, and Cheating,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 30, pp. 161-173.
- 細江守紀・藤田敏之編(2002), 『環境経済学のフロンティア』, 勁草書房.
- Hinlopen, J. (1997), 'Subsidizing Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers,' *Journal of Economics*, vol. 66, No. 2, pp. 151-175.
- Jung, C., Krutilla, K. and R. Boyd (1996), 'Incentives for Advanced Pollution Abatement Technology at the Industry Level: An Evaluation of Policy Alternatives,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 30, pp. 95-111.
- 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.
- Kolstad, C.D. (1999), *Environmental Economics*, Oxford University Press. (細江守紀・藤田敏之監訳(2002), 『環境経済学入門』, 有斐閣.)
- Malik, A. (1990), 'Markets for Pollution Control When Firms are Noncompliant,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 18, pp. 97-106.
- Milliman, S.R. and R. Prince (1989), 'Firms Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 17, pp. 247-265.
- Montero, J.P. (2002), 'Permits, Standards, and Technology Innovation,' *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 44, pp. 23-44.
- Nannerup, N. (2001), 'Equilibrium Pollution Taxes in a Two Industry Open Economy,' *European Economic Review*, vol. 45, pp. 519-532.
- Parry, J. (1998), 'Pollution Regulation and the Efficiency Gains from Technology

寡占競争下における排出物削減技術への研究開発投資と環境政策について

Innovation,' *Journal of Regulatory Economics*, vol. 14, pp. 229-254.

Spulber, D. (1989), *Regulation and Markets*, The MIT Press.

Tirole, J. (1988), *The Theory of Industrial Organization*, The MIT Press.

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.