

環境規制が被規制主体の技術改善インセンティブに与える影響に関するモデル分析*

An Analysis on Technological Incentives of Regulated Firms under Environmental Regulations*

福山 敬**・塩飽研二***

By Kei FUKUYAMA** and Kenji SHIWAKU***

1. はじめに

環境規制が長期的に有効であるためには、その規制の下で被規制主体が自主的に環境に排出する汚染物を削減する技術改善のインセンティブを持つ必要がある。これまでに、環境技術を所与とした規制の短期的問題である被規制主体による現存規制（基準値）の遵守という問題については多くの研究蓄積がある。一方、その規制が被規制主体に、より高度な環境技術を導入・開発する誘因を持たせるという規制の長期的問題に関してはほとんど研究がなされていなかった。本研究では、被規制主体として環境に直接汚染物を排出している企業主体を取り上げて、企業がより高度な環境技術を導入・開発するインセンティブと規制主体である政府の環境規制の関係をモデル分析により明らかにし、長期的に有効な規制方策のあり方を考察する。

2. モデル

(1) モデル化の前提

環境規制をモデル化するに際して次のような状況を想定する。公共主体（政府）は、同一寡占市場にある複数企業から環境に直接排出される（同一）汚染物量を規制する。このとき、政府は規制の厳しさ（本研究では汚染物単位排出量あたりの環境税率で表す）のレベルを決定する。被規制主体である（複数）企業は、政府による環境規制のもとで、市場生産物（およびその副生産物である汚染物）の生産量を決定するが、長期的には汚染物の排出量に影響する自らが

所持する汚染処理技術のレベルを決定すると考える。このような政府および企業的意思決定の結果は、企業の利潤、環境へ与える被害、消費者余剰に影響を与えることになる。政府は、このような影響の総和で表される社会的余剰を最大とするように規制レベルを決定すると考える。

(2) 企業行動のモデル化

所与の規制政策の下での企業の技術開発・導入の意思決定をモデル化する。寡占市場にある各企業は市場財を生産する際に、その副産物として環境汚染物を生産する。企業は発生する汚染物を事後処理した後、直接環境に排出している。任意の汚染処理技術の下では、生産量の決定は汚染物の排出量を一意に決定する。したがって企業は所与の環境技術の下では、生産量に関する意思決定のみを持つ。このとき、企業*i*の利潤 Π_i は以下のように表される。

$$\Pi_i(x_i, \theta) = P\left(\sum_{k=1}^M x_k\right)x_i - C_i(x_i) - G_i(x_i, \theta) - H(f(x_i, \theta); \phi) - I(\theta) \quad (1)$$

ここで、 Π_i : 企業*i*の利潤、 x_i : 企業*i*の生産量、 θ : 技術水準を表すパラメータ値（これが小さいほど技術水準が高度であり、 θ : 技術開発する以前の技術水準、 θ' : 技術開発したときの技術水準とすると、 $\theta' < \theta$, $\partial f / \partial \theta > 0$ ）、 $f(x_i, \theta)$: 汚染物排出量、 M : 寡占市場における企業数、 $P(\sum_{k=1}^M x_k)$: 逆需要関数、 $C_i(x_i)$: 生産費用、 $G_i(x_i, \theta)$: 処理費用、 ϕ : 政府による規制システム、 $H(f(x_i, \theta), \phi)$: 排出物に対する環境規制（金銭タム）、 $I(\theta)$: 新しい技術 θ の開発・導入費用（固定費用）である。ここで、処理費用は生産費用と分離可能であるとし、また、便宜上生産のための固定費用はないものとする。

いま、市場の需要、生産費用、汚濁物処理費用、汚染物排出量が線形関数で近似されとしよう。政

*キーマンズ：システム分析、計画手法、財政・制度論、規制

**正員、Ph.D.、鳥取大学工学部社会開発システム工学科

（鳥取市湖山町南4丁目-101、TEL 0857-31-5311、

FAX 0857-31-0882）

***学生員、鳥取大学大学院工学研究科博士前期課程

（同上、TEL 0857-31-5333、FAX 0857-31-0882）

府による規制 ϕ は、単位汚染物排出量に対する課税 $H(f(x_i, \theta) : \phi) = \tau\theta x_i$ と考えると、企業利潤 Π_i は以下のように書き直せる。

$$\Pi_i = (a-b \sum_{k=1}^M x_k)x_i - Cx_i - G_i(\theta)x_i - \tau\theta x_i - I(\theta) \quad (2)$$

生産量 x_i に関して企業は利潤最大化を行う。すべての企業が同質であると仮定し、 $x = x_i$ と表す。ここで、企業の市場における技術に関する戦略的行動を考える。企業は、技術開発をするか(θ')、現状の技術のままか(θ)の2通りの意思決定を持ち、開発を行わない場合、技術導入費用は伴わない $I(\theta) = 0$ とする。この時、市場に存在する M 社うち m 社が技術開発・導入を行うという意思決定をした時の企業 i の利潤を、

$$\Pi_i, i = \begin{cases} w & : \text{技術開発したとき} \\ l & : \text{技術開発しなかったとき} \end{cases}$$

と表すことにする。また、 x' : 技術開発する企業の生産量、 $\bar{x}$: 技術開発しない企業の生産量とする。この時、 Π_w, Π_l は、 x を自社の生産量とすると、

$$\begin{cases} \Pi_w = \{a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\}x - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')x - I(\theta') \\ \Pi_l = \{a - b\{mx' + (M-m-1)\bar{x} + x\}x - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)x \end{cases} \quad (3)$$

となり、利潤最大化の一階条件より、以下を得る。

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_w}{\partial x} = a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\} - bx - (c + G_i(\theta') + \tau\theta') = 0 \\ \frac{\partial \Pi_l}{\partial x} = a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\} - bx - (c + G_i(\theta) + \tau\theta) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

ここで、企業の同質性より当該企業 i が技術開発するときおよびしないときのそれぞれに対して $x = x'$, $x = \bar{x}$ とすると、 $x', \bar{x}$ は、以下ようになる。

$$\begin{cases} x' = \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta') - (M-m)\{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}}{b(1+M)} \\ \bar{x} = \frac{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta) + m\{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}}{b(1+M)} \end{cases} \quad (5)$$

したがって、 M 社中 m 社が開発を行う寡占市場において、開発を行う企業の利潤 Π_w および開発を行わない企業の利潤 Π_l は、以下のように求まる。

$$\begin{cases} \Pi_w = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta') + \tau\theta'\} - (M-m)\{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}\}^2}{b(1+M)^2} - I(\theta') \\ \Pi_l = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta) + \tau\theta\} + m\{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}\}^2}{b(1+M)^2} \end{cases} \quad (6)$$

(3) 複占市場の場合

a) 2企業競争モデル

単純化のため寡占市場は2企業のみからなる複占

状態にあると考える。このとき、2企業競争はそれぞれが技術開発を行うか否かを戦略とするゲーム状態であると解釈することができる。したがって複占市場における技術開発に関する結果は、自分および相手企業が技術開発するか否かの意思決定の組み合わせとして4通り存在することになる。それぞれの企業の戦略を0-1 (1は「開発する」、0は「開発しない」)で表せば、この4通りの結果は、(1, 1), (1, 0), (0, 1), (0, 0)と表すことができる。ここで、(i, j)中 i は自社の開発に関する意思決定であり、 j は他社のそれである。この時、それぞれの場合の最適生産量 $x_{i,j}$ は、以下のように与えられる。

$$\begin{cases} x_{0,0} = \frac{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)}{3b} \\ x_{0,1} = \frac{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta) + G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)}{3b} \\ x_{1,1} = \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')}{3b} \\ x_{1,0} = \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta') - G_i(\theta') + G_i(\theta) - \tau(\theta' - \theta)}{3b} \end{cases} \quad (7)$$

また、その時の各企業利潤 $\Pi_{i,j}$ は以下で与えられる。

$$\begin{cases} \Pi_{0,0} = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta) + \tau\theta\}\}^2}{9b} \\ \Pi_{0,1} = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta) + \tau\theta\} + G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}^2}{9b} \\ \Pi_{1,1} = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta') + \tau\theta'\}\}^2}{9b} - I(\theta') \\ \Pi_{1,0} = \frac{\{a - \{c + G_i(\theta') + \tau\theta'\} - G_i(\theta') + G_i(\theta) - \tau(\theta' - \theta)\}^2}{9b} - I(\theta') \end{cases} \quad (8)$$

b) 技術開発に関する市場の均衡

前節で定式化した複占市場の企業行動を用いて技術開発に関する市場の均衡を導出する。企業は、その技術開発を行うか否かという意思決定を戦略としてもつ。この時、(ナッシュ)均衡は $\Pi_{0,1}$ と $\Pi_{1,1}$ 及び $\Pi_{0,0}$ と $\Pi_{1,0}$ の大小により4つのケースが存在する。

[ケース1] $\Pi_{0,1} > \Pi_{0,0} > \Pi_{1,1} > \Pi_{1,0}$ のとき:

市場均衡は「2企業とも技術開発しない」(0, 0)。

[ケース2] $\Pi_{0,1} > \Pi_{1,1} > \Pi_{0,0} > \Pi_{1,0}$ のとき:

市場均衡は、「2企業とも技術開発しない」(0, 0)。

[ケース3] $\Pi_{1,1} > \Pi_{1,0} > \Pi_{0,1} > \Pi_{0,0}$ のとき:

開発が支配戦略となり、市場均衡は「2企業とも技術開発する」(1, 1)。

[ケース4] $\Pi_{1,1} > \Pi_{0,1} > \Pi_{1,0} > \Pi_{0,0}$ のとき:

開発が支配戦略となり、市場均衡は「2企業とも技術開発する」(1, 1)。

c) 複占市場の性質

複占市場下の企業行動に関していくつかの性質を得ることができる。まず、式(6)中の $\{G_i(\theta') -$

$G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)$ において、もし、 $G_i(\theta') - G_i(\theta) < -\tau(\theta' - \theta)$ である場合は、「技術開発による増加費用よりも、技術開発によって軽減される税負担の方が大きい」ことになり、技術開発を行うほうが常に良いという自明な均衡が成立する事になる¹⁾。以下では、 $G_i(\theta') - G_i(\theta) > -\tau(\theta' - \theta)$ という自明でない場合を考慮する。このとき、最適生産量 x_{ij}^* について、以下のことが示される。

【性質1】 $x_{0,1}^* > x_{0,0}^* > x_{1,1}^* > x_{1,0}^*$ の関係が成立する。つまり、自社のみの技術開発よりも、2社同時による技術開発の方が自社の生産量が多く($x_{1,1} > x_{1,0}$)、2社同時に開発するよりも、2社とも開発しない方が自社の生産量は増え($x_{0,0} > x_{1,1}$)、2社同時に開発するよりも、他社により開発される方が自社の生産量は多くなる($x_{0,1} > x_{0,0}$)。これより、他社の技術開発を期待するというフリーライダーのインセンティブが存在することがわかる。

また、環境技術に関する市場均衡に関して以下の性質がわかる。

【性質2】 市場均衡として「両企業とも技術開発する」か「両企業とも開発しない」という2ケースのみ存在する。

これは、技術に関して非対称な市場均衡が存在しないことを示しているが、この結果は、企業の同質性のみに起因するものではない。

(4) 政府行動のモデル

政府は、生産者余剰 PS 、消費者余剰 CS 、企業の環境汚染物排出に起因する環境被害 $-W$ の和で表される社会的余剰 SS を最大化するように環境規制を執行すると考える。

$$SS = PS + CS - W \quad (9)$$

ここで、生産者余剰 PS は各企業の固定費用ゼロの仮定より企業の利潤の総和として $PS = \sum_i \Pi(x_i)$ と定義できる。消費者余剰 CS は、 $CS = \int_p^a D(p)dp = \frac{b}{2}X^2$ で与えられる。ここで、 $X = \sum x_i$ であり、政府による規制に対する反応として市場により決定される総生産量である。一方、環境被害を金銭タム W で表し、環境被害は汚染物排出量に関して増加関数であると仮定し、 $W = w_1(f(x, \theta))^{w_2} = w_1(\theta x)^{w_2}$ とする。ここで、 $w_1, w_2(>1)$ は環境被害を表すパラメータ値である。

政府の環境規制に関する意思決定は、環境税率 τ の決定である。このとき、政府と市場の関係は、政府による環境税率の決定・導入に対して、市場(企業)が事後的にそのもとでの経営戦略を決定すると考えられる。このように考えれば、本研究の環境規制の枠組みは、政府を先導者とするシュタッケルベルクゲームになっていると考えられる。政府は、企業に期待する汚染排出物処理技術レベルを所与としたときに社会的余剰を最大にする税率を導入することになるが、技術に関する市場均衡は、両企業とも技術開発しない、両企業とも技術開発を行うという2つのみ存在するので、その2者のうち、より大きな社会的余剰をもたらす市場均衡を実現する(最適)環境税率を選択することになる。

$$\max_{\tau} \{SS_{1,1}, SS_{0,0}\} \quad (10)$$

ただし、ここで $SS_{1,1}, SS_{0,0}$ は、それぞれ「両企業が技術開発を行ったとき」、「両企業が技術開発を行わなかったとき」の社会的総余剰である。

3. 均衡解分析

本モデルに対して、パラメータを特定化し($a = 100, b = 5, c = 20, w_1 = 4, w_2 = 3.5, \theta = 1$)数値計算を行った。汚染物処理関数は、 $G(\theta) = k/\theta^l$ 、 $k = 5, l = 1$ と特定化した。図1~4は、それぞれ同じ開発技術($\theta' = 0.70, I(\theta') = 20$)に対して環境税率 τ と、生産者余剰 PS 、消費者余剰 CS 、環境被害額 W およびそれらの総計である社会的余剰 SS の関係を示している。技術開発の意思決定にかかわらず PS, CS, W とも税率の上昇にともない、減少している。しかしながら、 PS, CS, W ともある水準以上の税率のもとでは市場が技術開発を行うケース(図中の(1,1))の方が行わないケースより大きくなっている。

図4は、社会的総余剰と環境税率の関係を示しているが、これより、社会的総余剰は、企業がすべて技術開発を行った場合の方が行わない場合よりより大きな値を持つ($\max SS_{0,0} < \max SS_{1,1}$)ことになる。これは、技術開発が社会全体にとって有益であることを示している。このとき、政府はその社会的余剰の包絡線 SS の中で最大となるもの($\tau^* \approx 30$)を最適政策として選択する。このとき、市場の選択は「2企業とも開発する」となる。

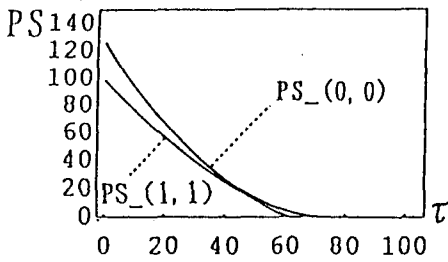


図1: 税と生産者余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

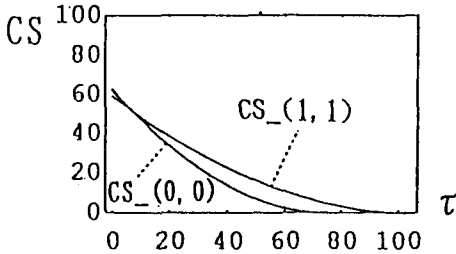


図2: 税と消費者余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

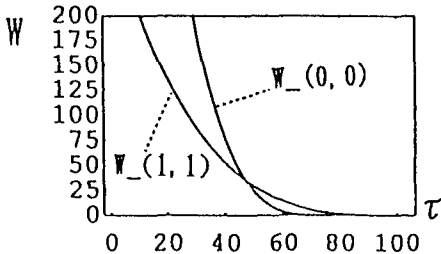


図3: 税と環境被害額の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

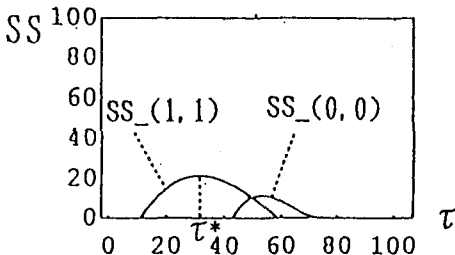


図4: 税と社会的余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

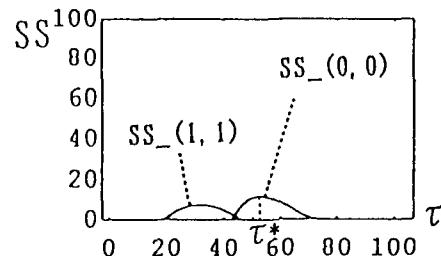


図5: 税と社会的余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 27)$)

図5は、図1~4で示した場合より技術開発費用が大きい場合 ($I(\theta') = 27$, 技術レベルは同じ $\theta = 0.7$) を示している。図5では、社会的余剰の大小関係は $\max SS_{0,0} < \max SS_{1,1}$ であったが、図5のケースでは、各企業の技術開発の固定費用が大きい場合には $\max SS_{0,0} > \max SS_{1,1}$ という関係も存在するということが示されている。つまり、企業が技術開発を行わない方が社会的余剰が大きい。これは、固定費用の増大にともない技術開発による利益が大幅に減少することによって考えられる。このとき、 $\max SS_{0,0} > \max SS_{1,1}$ の関係より、政府は社会的余剰の包絡線の中で $\tau^* \approx 50$ を選択すると考えられ、市場は、技術開発を行うインセンティブを持ち得ない。

4. おわりに

これまでに、環境規制の実効性に関する多くの研究蓄積があるが、規制が被規制主体に、より高度な環境技術を導入・開発する誘因を持たせ得るかという規制の長期的問題に関してほとんど研究がなされていない。本研究では、被規制主体がより高度な環境技術を導入・開発するインセンティブと規制主体である政府の規制レベルとの関係をモデル分析した。

本研究により、被規制主体である企業にとって、導入コストの高い技術開発は生産者余剰を減少させてしまい、結局は企業の開発インセンティブを減少させる原因となることが分かった。このような技術に対して、企業に開発インセンティブを与えるためには、補助金などの負担軽減システムが必要であるといえる。さらに、技術開発をおこなうのにかかる固定費用の大小が社会的余剰ひいては規制政策の決定に敏感に影響することが分かった。

本研究で上述のような知見を得たが、環境規制における技術開発インセンティブに関する研究はその緒に就いたばかりで、残された課題は多い。技術の伝播といった外部性や、高価な技術の開発のために補助金システムを用いた場合いかにモラルハザードを取り除くかといった考察が残されている。

参考文献

- 1) 塩飽研二, 技術開発インセンティブを考慮した環境規制方策における研究, 鳥取大学工学部社会開発システム工学科・卒業論文, 1997年3月。