

環境規制下の企業の環境技術開発インセンティブ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

近年の地球的規模の環境悪化が明らかになる中で、地球環境問題は、人類にとって最も重要な問題の一つである。地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、熱帯雨林の減少など枚挙にいとまがないように、人間の生産活動は、意図するしないに関らず環境に対して多大な負荷を与えるようになってきた。このような現在の地球環境の状態を考慮すると、人類の発生する環境に対する負荷量は地球の許容量を越えているか、あるいは今後の人口増加、経済活動などによって近い将来越えてしまうのであらうと考えられる。近年、こうした認識の高まりから、環境保護志向が強まり、各経済主体は、その行動の環境への影響をより考慮するようになってきているといえる。しかしながら、そのような環境保護意識も各経済主体がその環境負荷を社会的あるいは生態学的に最適な水準まで自主的に抑制するという段階には達していないのが現状であらう。そうであれば各経済主体の環境負荷行動を社会的に最適なレベルに抑制する何らかの社会システムが必要であらう。

経済主体の行動を社会的に最適な環境負荷量に押さえるためのシステムとして、環境規制の有効性について古くから多くの研究蓄積がある。Coase¹⁾に始まる一連の環境規制システムの有効性・効率性に関する研究は、今や炭素税や排出権の市場売買など実際の環境規制システムとして運用されるに至っている。このような伝統的な環境規制の考え方は、環境汚染を発生する生産活動が社会に超過的に与える環境負荷という「外部性」を内部化し、社会的に最適な水準を達成することを目標としている。

規制システムが、世代を越えた地球環境レベルでの環境破壊の問題に対し、社会的に望ましい結果を導くためには、経済主体の自主的な規制に対する遵守を誘引することはもとより、将来的により高度な負荷量の発生量自体を削減できる技術の開発・導入を動機づけることが重要である。環境負荷に関する技術を所与としたいわゆる短期的環境規制に関しては Coase 以来多くの研究がなされている一方で、経済主体に対してより良い環境負荷量

削減技術の導入を動機づけるという長期的環境規制の研究はほとんどなされていないのが現状である。短期的に有効な環境規制が必ずしも長期的な規制の有効性を満足しているとはいえない。

本研究では、環境に負荷を与えている被環境規制主体として、環境に直接汚濁物を排出している事業主体(企業)を取り上げ、企業が新たな環境負荷削減の技術の開発・導入を行う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化し、考察する。以下、第2章において既往の研究と本研究との位置づけを示し、基本的な考え方を述べる。3章では、任意の政策の下での企業の意思決定をモデル化する。第4章で企業が環境負荷の削減技術を自主的に高度化するインセンティブと規制主体である政府が行う規制の厳しさの関係を環境規制モデルとしてモデル化し、均衡解分析を行う。最後に、第5章で本研究で得られた知見及び今後残された課題について述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

将来的により良い環境を保持するためには、企業が操作上で規制負荷量に対する遵守努力を継続していくことと同時に、より高度な汚染物質の処理技術を開発・導入していくことが望ましく、持続可能な発展のために環境負荷量を将来にわたって継続的に減少させるには、各主体の持つ汚濁物処理技術のたゆまない改善が不可欠である。

従来の環境規制に関する研究では、多くの場合このような企業の持つべき社会的に望ましい技術は、考慮されていない。そのなかで、福山ら²⁾³⁾は、環境規制の有効性を企業による操作上における規制負荷量に対する遵守努力という短期的規制問題と、汚染物質のより高度な処理技術を開発・導入していくインセンティブを与えるという長期的規制問題を分別し、短期的にも長期的にもインセンティブを与え得るような規制システムの構築を試みている。しかしながら、そこでは企業の技術は与件の現在利用可能な技術集合の中から社会的に最適な技術として選択されると仮定しており、未だ開発されていない負荷削減技術の開発のインセンティブをモデル化しているとは言い難い。

市場財の生産に関する新技術の開発やその普及プロセスに関する研究は「技術革新の経済学」と呼ばれる研究分野の中で活発に行われ、発展してきている⁴⁾⁵⁾。そこでは、

*キーワード：システム分析、計画手法論

**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)

***正員, 修士(工学), 日本上下水道設計(株)
(同上, TEL 03-5269-9919(代表), FAX 03-5269-9928)

市場の存在が、技術革新の推進力であるとの認識の下に、洗練されたミクロ経済学的方法による技術革新理論に至るまでの発展を見せている。しかしながら、「環境汚染の市場」の欠落のため環境負荷量削減技術に対してこのような市場財の技術開発に関する研究の成果を直接当てはめることができない。

最近になり、環境技術の開発インセンティブやその普及効果に関する研究が見られるようになった。Jaffe and Stavins はピグー税、補助金制度、行政指導型等、規制の違いが環境技術の普及に与える影響に関して分析している⁶⁾。また、Hackett は、市場におけるパテント競争の存在が新規環境技術の導入に与える影響を調べている⁷⁾。これらの研究においては、企業は政府によってもたらされる環境規制は所与としており、政府の戦略的行動は無視されている。吉村らは、環境規制レベルの強化政策に関する規制主体（政府）と被規制主体（企業）の意思決定に関する戦略的関係を非協力ゲームとしてモデル化し、企業の長期的な技術開発のインセンティブを誘引するための環境規制システムを明らかにしている⁸⁾。しかし、そこでは企業の技術開発による（デ）メリットは政府との関係によってのみ決定され、企業がもっとも注意を払うはずの市場における競争を明示的に扱っておらず、政府と単一企業の技術開発インセンティブのみを対象としたものであった。

環境負荷削減に関する技術革新の分析には、政府の規制方策が企業の研究開発活動に直接与える影響という側面のみでなく、技術開発に起因する市場での他企業との相互作用の変化も重要である。なぜなら、新技術の導入は、その企業の規制に関する費用の変化のみならず、市場におけるシェアの増減に大きく関わってくるからである。環境に関する技術開発が、生産費用を減少させ市場における立場を強めるものであれば、企業は自ら技術開発を行う誘因を持つであろう。一方、環境不可の削減技術の自主開発努力が、生産費用を圧迫するものであれば、いかに規制を厳しくしても、自ら新しい環境負荷の削減技術の開発努力を行うとは考えられない。規制主体は、このような被規制主体の市場における（デ）メリットを明示的に考慮して、規制を施行する必要がある。規制の緩和など環境負荷の削減技術の開発に成功した企業により良好な市場環境を提供することにより、規制主体である政府は、企業の環境に関する技術の開発の誘因を誘導できる可能性がある。

本研究では、以上のような考え方から同一の市場にある複数企業がいかに技術開発・導入のインセンティブを形成するかを規制主体である政府による規制の下で、意思決定主体による戦略的行動を明示的にモデル化することができるゲーム理論を用いて分析する。これにより、企業の技術の高度化を誘引する環境規制システムの構築のための枠組みの構築を試みる。具体的には、まず、政府はその規制方策として負荷排出量に対して課税率と補助金からなる規制システムを決定し、企業はその規制のもとで処理技術の自主的開発・導入に関する意思決定を行

うと考える。企業はその政府による規制システム（環境課税）のもとで処理技術の自主的開発・導入及びそのタイミングに関する意思決定を行うと考える。これらをモデル分析することにより、企業の技術開発・導入のインセンティブと政府の規制レベルの設定の関係を明らかにし、社会的に有効な環境基準の改善方策を構築するための知見を得ることを目的とする。

3. モデル

(1) モデル化の前提

本節では、任意の規制政策の下での被規制主体（企業）の意思決定をモデル化する。図-1に、モデルの概念図を示す。モデル化にあたって以下の事項を仮定する。環境規制の対象となるのは、同一の寡占市場にある複数企業であり、各企業は市場財（正常財）を生産する際にその副産物として負の価値を持つ財（環境汚染物である汚濁物：以降「汚濁物」と呼ぶ）を生産し、事後処理した後、直接環境にそれを排出している（以降、処理後の排出物を単に「排出物」と呼ぶ）ものとする。このとき、生産物量に対する排出物の量は、その企業が保有する汚濁物処理技術により一意に決定すると考える。よって、短期的には、企業は市場財の産出水準に関する意思決定のみを持つと考える。ここで、政府は企業に対する環境規制として、排出物量に対して決定する可変課税を用いるものとする。なお、現在、より一般的には、直接規制が用いられる場合が多いが、ここでは「違反が多いとき、よりデメリットを与える」という関係を持つ環境規制の代表例として、「課税」というシステムを用いることにする。このような政府による環境規制の下で、企業は長期的には保有する副産物処理技術を高度化するか否かの意思決定をもつとする。

企業は保有する生産技術を用いて生産量の決定を行うが、そのとき同時に、負の外部性をもつ汚濁物量も決定することになる。企業は保有する汚濁物処理技術（以降、「環境技術」と呼ぶ）を用いて、汚濁物を事後処理し環境負荷のより低い排出物を作る。既往の研究⁹⁾では、環境技術の高度化とは、製品を生産することにより発生する汚濁物を処理するときの限界処理費用の減少のみを意味していた。一方、単位生産物当たりの副産物である汚濁物の処理費用が逆に上昇しても、その排出量の低下をもたらす環境技術への社会の必要性は大きい。本研究ではこのような「単位生産量あたりの排出量の減少」で表される環境技術を取り扱い、これを環境技術の改善と呼ぶ。

(2) 企業行動のモデル化

所与の規制政策の下での企業の環境技術開発・導入の意思決定をモデル化する。寡占市場にある企業は市場財を生産する際に、その副産物として環境汚濁物を発生させる。企業は発生する汚濁物を事後処理した後、直接環境に排出している。任意の環境技術の下では、生産量の決

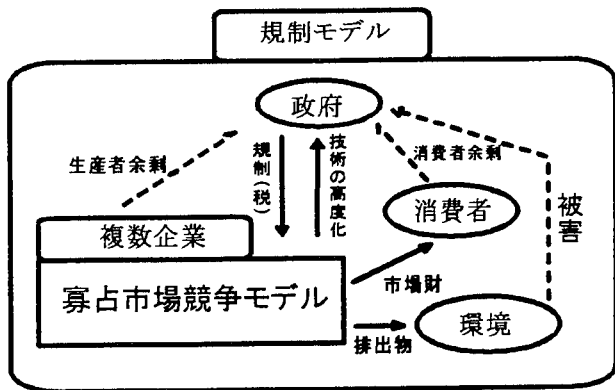


図1: 環境規制モデルの概念図

定は排出物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 : 環境技術水準を表すパラメータ値（これが小さいほど環境技術水準が高度であり、 θ : 技術開発する以前の環境技術水準、 θ' : 技術開発したときの環境技術水準とすると、 $\theta' < \theta$ 、 $\partial f/\partial \theta > 0$ ）、 $f(x_i, \theta)$: 排出物量、 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）、 $I(\theta)$: 新しい環境技術 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 $P(\cdot)$ 、汚濁物処理費用 $G(x_i, \theta_i)$ 、排出物量 $f(x_i, \theta)$ は、以下の線形関数で近似されるとする。

$$P\left(\sum_{k=1}^M x_k\right) = a - b \sum_{k=1}^M x_k \quad (2)$$

$$f(x_i, \theta_i) = \theta_i x_i \quad (3)$$

$$G(x_i, \theta) = G(\theta)x_i \quad (4)$$

また、限界費用一定の生産費用関数を仮定し、

$$C_i(x_i) = Cx_i \quad (5)$$

とする。ここで、 C は単位当たりの生産費用である。

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

$$\Pi_i = (a - b \sum_{k=1}^M x_k)x_i - Cx_i - G_i(\theta)x_i - \tau \theta x_i - I(\theta) \quad (6)$$

企業は、生産量 x_i に関して利潤最大化を行う。すべての企業が同質であると仮定し、 $x = x_i$ など下付 i を外す。ここで、企業の市場における環境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')、現状の環境技術のままか(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、

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

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、

$$\begin{cases} \Pi_w = \{a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\}x \\ \quad - (c + G_i(\theta') + \tau \theta')x - I(\theta') \\ \Pi_l = \{a - b\{mx' + (M-m-1)\bar{x} + x\}x \\ \quad - (c + G_i(\theta) + \tau \theta)x \end{cases} \quad (7)$$

となり、利潤最大化の一階条件より、以下を得る。

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_w}{\partial x} = a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\} \\ \quad - bx - (c + G_i(\theta') + \tau \theta') = 0 \\ \frac{\partial \Pi_l}{\partial x} = a - b\{(m-1)x' + x + (M-m)\bar{x}\} \\ \quad - bx - (c + G_i(\theta) + \tau \theta) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

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、以下になる。

$$\begin{cases} x' = \{a - (c + G_i(\theta') + \tau \theta') - (M-m) \times \\ \quad \{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\} / [b(1+M)] \\ \bar{x} = \{a - (c + G_i(\theta) + \tau \theta) + m\{G_i(\theta') - G_i(\theta) \\ \quad + \tau(\theta' - \theta)\} / [b(1+M)] \} \end{cases} \quad (9)$$

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。

$$\begin{cases} \Pi_w = \{[a - \{c + G_i(\theta') + \tau \theta'\} - (M-m) \times \\ \quad \{G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}]^2 / [b(1+M)^2] - I(\theta') \\ \Pi_l = \{[a - \{c + G_i(\theta) + \tau \theta\} + m\{G_i(\theta') \\ \quad - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}]^2 / [b(1+M)^2] \} \end{cases} \quad (10)$$

(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。

$$\begin{cases} x_{0,0} = \{a - (c + G_i(\theta) + \tau \theta)\} / \{3b\} \\ x_{0,1} = \{a - (c + G_i(\theta) + \tau \theta) + G_i(\theta') \\ \quad - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\} / \{3b\} \\ x_{1,1} = \{a - (c + G_i(\theta') + \tau \theta')\} / \{3b\} \\ x_{1,0} = \{a - (c + G_i(\theta') + \tau \theta') - G_i(\theta') \\ \quad + G_i(\theta) - \tau(\theta' - \theta)\} / \{3b\} \end{cases} \quad (11)$$

また、その時の各企業利潤 $\Pi_{i,j}$ は以下で与えられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_{0,0} = \{a - \{c + G_i(\theta) + \tau\theta\}\}^2 / \{9b\} \\ \Pi_{0,1} = \{a - \{c + G_i(\theta) + \tau\theta\} + G_i(\theta') - G_i(\theta) + \tau(\theta' - \theta)\}\}^2 / \{9b\} \\ \Pi_{1,1} = \{a - \{c + G_i(\theta') + \tau\theta'\}\}^2 / \{9b\} - I(\theta') \\ \Pi_{1,0} = \{a - \{c + G_i(\theta') + \tau\theta'\} - G_i(\theta') + G_i(\theta) - \tau(\theta' - \theta)\}\}^2 / \{9b\} - I(\theta') \end{array} \right. \quad (12)$$

このとき、以下が確かめられる。

$$\Pi_{1,1} > \Pi_{1,0}, \Pi_{01} > \Pi_{00} \quad (13)$$

つまり、自社のみ技術開発を断念すると利潤は減少し、他企業のみ技術開発を行うと、自社の利潤は増加する。

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味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)。

ケース1と2は、「両企業が技術開発するならば自社はしない方が良く」、「他企業が技術開発しないならば自社もしない方が良い」場合に考えられる2ケースであり、その反対の2ケースがケース3と4である。この仮定から明らかなように、他企業の行動が如何にも関わらず、自社が技術開発するほうが良いという条件がそろってはじめて市場に技術開発のインセンティブが生まれることがわかる。

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ことになる⁹⁾。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、環境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。この結果は、本モデルの企業が同質であることに起因するものではなく、市場に存在する企業が技術開発に関する誘因に関してすべて対称的であるという仮定による。つまり、技術開発に関するインセンティブ(相手の技術開発に「ただ乗り」したいか、否かのどちらであるか)が、企業によりすべて対称的であれば、市場競争下の企業の技術に関する戦略的行動は、同じとなることを意味する。

(4) 政府行動のモデル

政府は、生産者余剰 PS 、消費者余剰 CS 、企業の排出物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。

$$SS = PS + CS - W \quad (14)$$

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以下のように与えられる。

$$PS = \sum_i \Pi(x_i) \quad (15)$$

一方、消費者余剰 CS は、以下で与えられる。

$$CS = \int_{p^*}^a D(p)dp = \frac{b}{2} X^2 \quad (16)$$

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 W は、排出物量に関して増加関数であると仮定し、

$$W = w(f(x, \theta)), \frac{\partial w}{\partial f} > 0, \frac{\partial^2 w}{\partial f^2} > 0 \quad (17)$$

とする。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、企業に期待する環境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、環境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。

$$\max_{\tau} \{SS_{1,1}, SS_{0,0}\} \quad (18)$$

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り、以下の式で与えられる。

$$SS_{0,0} = CS_{0,0} + PS_{0,0} - W_{0,0} \quad (19)$$

ただし, $CS_{0,0}$, $PS_{0,0}$, $W_{0,0}$ は以下で与えられる.

$$CS_{0,0} = \frac{b}{2} \left\{ \frac{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)}{3b} \right\}^2 \quad (20)$$

$$PS_{0,0} = \sum_{i=1}^2 \Pi_{0,0} = 2 \left\{ \frac{\{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)\}^2}{9b} \right\} \quad (21)$$

$$W_{0,0} = w_1 \left\{ \frac{\theta \{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)\}}{3b} \right\}^{w_2} \quad (22)$$

また,

$$SS_{1,1} = CS_{1,1} + PS_{1,1} - W_{1,1} \quad (23)$$

ただし, $CS_{1,1}$, $PS_{1,1}$, $W_{1,1}$ は以下で与えられる.

$$CS_{1,1} = \frac{b}{2} \left\{ \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')}{3b} \right\}^2 \quad (24)$$

$$PS_{1,1} = \sum_{i=1}^2 \Pi_{1,1} = 2 \left\{ \frac{\{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')\}^2}{9b} - I(\theta') \right\} \quad (25)$$

$$W_{1,1} = w_1 \left\{ \frac{\theta' \{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')\}}{3b} \right\}^{w_2} \quad (26)$$

4. 均衡解分析

前節で求めた社会的余剰を計算して整理すると以下のよう
に与えられる。

$$SS_{0,0} = \frac{5}{18b} \{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)\}^2 - w_1 \left\{ \frac{\theta \{a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)\}}{3b} \right\}^{w_2} \quad (27)$$

$$SS_{1,1} = \frac{5}{18b} \{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')\}^2 - 2I(\theta') - w_1 \left\{ \frac{\theta' \{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')\}}{3b} \right\}^{w_2} \quad (28)$$

ここで、式(27)、式(28)の右辺 $a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta)$ 、 $a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')$ は、財の限界費用を表しており $a - (c + G_i(\theta) + \tau\theta) > 0$ 、 $a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta') > 0$ が成立する必要がある。

$$\frac{\partial CS}{\partial \tau} < 0, \frac{\partial PS}{\partial \tau} < 0, \frac{\partial W}{\partial \tau} < 0 \quad (29)$$

となることが示される。環境は税による市場の余剰と環境被害の和が最大となるよう税率を決定する事になる。つまり、最適税率の下では以下が成立する。

$$\frac{\partial CS}{\partial \tau} + \frac{\partial PS}{\partial \tau} - \frac{\partial W}{\partial \tau} = 0 \quad (30)$$

ここで式(30)は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial CS}{\partial \tau} + \frac{\partial PS}{\partial \tau} - \frac{\partial W}{\partial \tau} \\ &= \left\{ \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')}{3b} \right\}^{w_2-1} \\ & \times \left\{ \frac{w_1 w_2 \theta^2}{3b} - \frac{\theta(2+3b)}{3} \right\} \\ & \times \left\{ \frac{a - (c + G_i(\theta') + \tau\theta')}{3b} \right\}^{2-w_2} \end{aligned} \quad (31)$$

本モデルに対して、環境被害関数 W および汚濁物処理

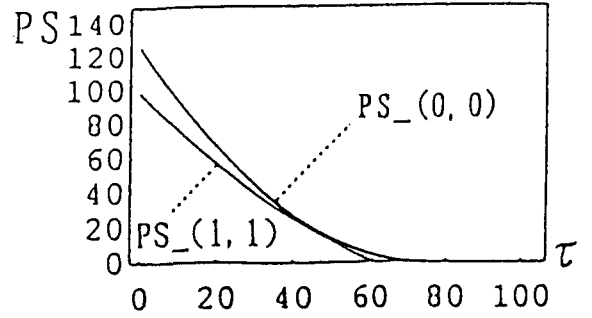


図 - 2: 税と生産者余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

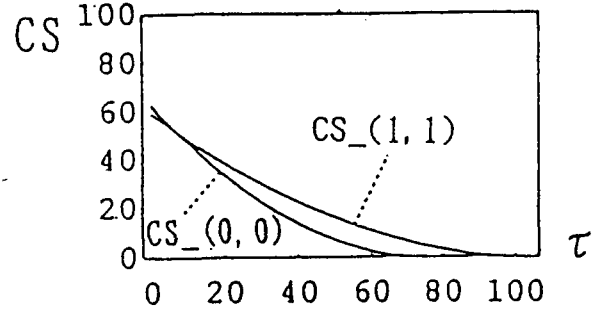


図 - 3: 税と消費者余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

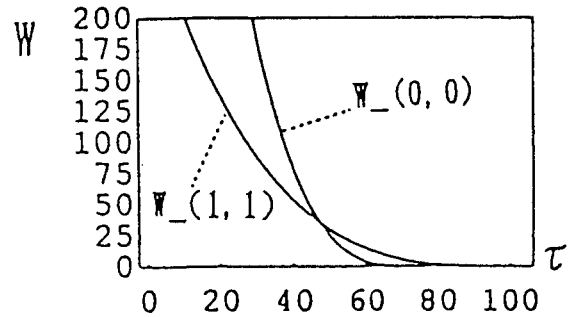


図 - 4: 税と環境被害額の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

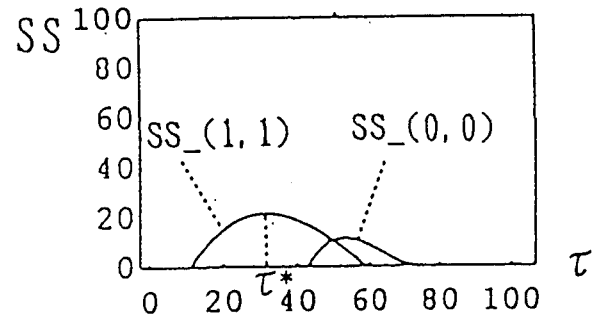


図 - 5: 税と社会的余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 20)$)

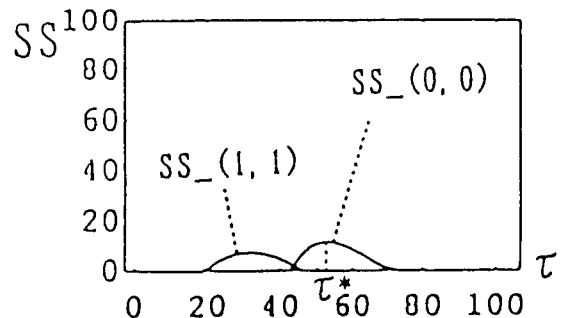


図 - 6: 税と社会的余剰の関係 ($\theta', I(\theta') = (0.7, 27)$)

関数 G を、それぞれ、 $W = w_1(f(x, \theta))^{w_2}$, $G(\theta) = k/\theta^l$, $k = 5, l = 1$ と置き、パラメータ $[a = 100, b = 5, c = 20, w_1 = 4, w_2 = 3.5, \theta = 1]$ と特定化して数値計算を行った。図 - 2 ~ 5は、それぞれ同じ環境技術($\theta' = 0.70, I(\theta') = 20$)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 - 5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 - 6は、図 - 2 ~ 5で示した場合より技術開発費用が大きい場合($I(\theta') = 27$, 環境技術レベルは同じ $\theta = 0.7$)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 - 6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ると考えられる。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。

5. おわりに

本研究では、被規制主体が環境技術を導入・開発するインセンティブと規制主体(政府)の規制レベルとの関係をモデル分析した。特に、被規制主体(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、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明らかとなった。また、環境技術に対して、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明らかとなった。

上述のような知見を得たが、当然、上記のモデル分析結果は本研究での仮定した限られた条件下でのみ成立する。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あり、残された課題は多い。本モデル分析において仮定により環境技術インセンティブに関するいくつかのファクターを除外している。最も重要なもの

のとして、技術の伝播といった「技術の外部性」と「技術に関する市場(技術の企業間売買)」があげられる。「技術の外部性」については、環境技術に関しては、その効果はさほどないものと推測される。各企業が所有する環境技術は、生産物の中に組み込まれるものでないので、市場財のように、他社が研究・模倣するのは困難であろう。ただし、政府が、故意に技術を伝播させることは可能である。新技術開示を義務化することにより、技術伝播は完全に達成される。技術の伝播が存在すれば、技術革新へのインセンティブは本研究でえられたそれがない場合の結果よりもより低いものとなろう。「技術の市場」の考慮はより重要である。技術の売買が利潤を生むものであれば、政府に規制されない限り、現実の市場にてそれは起こるのである。この場合、技術開発・売買の早遅が企業にとって決定的に重要となる。企業の技術開発のタイミングを明示的に考慮する必要がある。環境技術市場を考慮した技術開発タイミングの問題は、本研究のフレームワークの中では全く取り扱っていない重要な事項である。特に、環境技術の開発・販売を糧とするいわゆる「環境会社」の存在を考えた場合は、特に重要となる。そのような「環境会社」が存在せず、技術が排出企業間で売買されるケースを考えるかぎりにおいては、各企業が売買のメリット・デメリットによりその行動を決定するので、3.(3).b)で与えられた市場均衡に変化はない。技術を売る「環境企業」が存在する場合の企業の技術開発・売買時期に関する意思決定を明示的に考慮したモデルの開発が決定的に必要なのである。

参考文献

- 1) Coase, R. H.: *The problem of social cost*, Jour. of Law and Economics, Vol. 4, pp. 1~44, 1960.
- 2) 福山 敬, 小林潔司, 岡田憲夫: 環境マネジメントのためのインセンティブシステムについて, 土木計画学研究・講演集13, pp.907-914, 1990.
- 3) Fukuyama, K., K. Kobayashi and N. Okada: Incentive systems for environmental regulations, Refereed Conference Proceedings of the International Conference on Water Resources and Environment Research: Towards the 21st Century, Volume II, Water Resources Research Center, Kyoto University, pp. 207-214, 1997.
- 4) 神隆行, 技術革新と特許の経済理論, 多賀出版, 1984.
- 5) Kamien, M. and N. Schwartz, *Market Structure and Innovation*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1982.
- 6) Jaffe, A. B. and Stavins, R. N.: Dynamic incentives of environmental regulations: the effects of alternative policy instruments on technology diffusion, *Jour. of Env. Eco. and Man.*, 29, S43-S63, 1995.
- 7) Hackett, S. C.: Pollution-controlling innovation in oligopolistic industries: some comparisons between patent races and research joint venture, *Jour. of Env. Eco. and Man.*, 29, 339-356, 1995.
- 8) 吉村 晋, 福山 敬, 小林潔司: 汚染処理技術の長期的改善インセンティブの確立を目指した環境規制システムに関する基礎的研究, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第4部(IV-70), pp.140-141, 1996.
- 9) 福山 敬, 塩飽研二, 喜多秀行: 企業の技術開発インセンティブに関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第4部(IV-169), pp.338-339, 1997.

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行規制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レベル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明らかにする。

Analyses on Technological Incentives of Regulated Firms under Environmental Regulations

By Kei FUKUYAMA and Kenji SHIWAKU

The environmental regulation should accompany with the long-term effect that under the regulation regulated firms have incentive to develop and introduce new technologies to decrease their environmental load. While many research have been conducted to analyze efficiency and effectiveness of short-term function of environmental regulation – how to induce compliance to required environmental standards, very little have been done for the long-term effects – how to induce incentive of regulated agents to develop and introduce new environmental technologies. This study analyzes the incentive of regulated firms to develop new environmental technology under the environmental regulations, and clarify how the regulator or government can induce the long-term incentive of the regulatees while maintaining their short-term compliance.
