

環境規制下の企業の環境技術の開発タイミングに関する考察

鳥取大学工学部 ○ 正会員 福山 敬
日本上下水道(株) 正会員 塩飽 研二

1. はじめに

経済主体の環境負荷量を社会の発展が持続可能なレベルに抑えるためには何らかの公的な規制が必要である。既往の環境規制に関する多くの研究では、規制に対する企業の遵守にその焦点が置かれ、被規制主体の環境への負荷を低下させる技術の改善誘因の確保という持続的発展のために重要な規制の長期的な問題は、ほとんど考慮されていなかった。最近になり、規制の持つ環境技術の開発インセンティブに関する影響や技術の普及効果の重要性を指摘する研究が見られるようになった。しかしながら、そこでは多くの場合企業は政府による環境規制を所与として活動すると仮定しており、規制主体である政府と企業による戦略的な意思決定は考慮されていない。また、環境技術の技術革新を分析する場合、政府と企業間の規制に関する直接的な関係だけでなく、他企業との市場での相互作用の側面も欠かせない。本研究では、企業による環境への汚染物排出の規制問題に焦点をおいて、企業が技術向上のインセンティブを持つための環境規制政策の持つべき特性をモデル分析により明らかにする。

2. 企業と市場のモデル

政府による環境規制下で寡占市場にある企業の意味決定をモデル化する。環境に直接被規制物を排出する企業は、保有する汚濁物処理技術を高度化するか否かの意思決定を行う。政府による任意の規制(環境税、補助金)の下で財生産 x_i から得られる企業 i の利潤 Π_i を次式のように定義する。

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

ここで、 Π_i : 企業 i の利潤、 x_i : 企業 i の生産量、 $f(x_i, \theta_i)$: 汚染物排出量、 θ_i : 技術水準を表すパラメータ、 H : 政府によって提示された環境規制、 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、 $G_i(x_i, \theta_i)$: 処理費用、 ϕ : 政府による規制、 $H(f(x_i, \theta_i), \phi)$: 排出物に対する環境規制、 $I(\theta_i)$: 新しい技術 θ_i の開発・導入費用(固定費用)、 $S(\theta_i)$: 企業に対する補助金である。ここでは、処理費用は生産費用と分離可能であるとし、また、便宜上、その固定費用は

ないものとする。

いま、市場の需要が線形で近似できるとする。つまり、 $P(\sum_{k=1}^M x_k) = a - b \sum_{k=1}^M x_k$ とする。また、生産費用は線形と仮定し、 C を単位当たりの生産費用として、 $C_i(x_i) = Cx_i$ で与えられるとする。技術水準を示すパラメータ値が小さい程技術水準が高度であるとし、 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、 $\theta > \theta'$ とする。生産物 x_i に対する汚濁物処理費用を $G_i(x_i, \theta) = \theta_i x_i$ 、汚濁物排出量 $f(x_i, \theta)$ を $f(x_i, \theta) = \theta x_i$ とする。また、政府による規制 H は、単位汚染物排出量に対する課税を $H(f(x_i, \theta) : \phi) = \tau \theta_i x_i$ とする。 τ は、単位排出量に対する課税率である。政府による規制により徴収される税は、すべて企業の環境技術開発・導入に対する補助金として用いられるとし、 $S(\theta_i) = \sum_{k=1}^M \tau \theta_i x_k$ とする。以上の仮定より、企業 i の利潤 Π_i は以下のように書き直せる。

$$\Pi_i = (a - b \sum_{k=1}^M x_k)x_i - Cx_i - \beta \theta_i x_i - \tau \theta_i x_i - \frac{\alpha}{\theta_i} + \sum_{k=1}^M \tau \theta_i x_k \quad (2)$$

いま、モデル分析の単純化のため、市場は2企業のみからなる複占市場と考える。このとき、2企業競争ゲームは技術開発努力を行うか否かを戦略とする 2×2 非協力ゲームで表すことができる。複占競争下にある企業の状態は、純粋戦略のみを考えることにすると、自分及び相手企業が技術開発するかしない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で表せば、(1,1), (1,0), (0,1), (0,0)となる。ここで (i, j) 中の最初の項 i は自社の開発に関する意思決定であり、後の項 j は他社のそれである。1は「開発する」、0は「開発しない」を表す。市場均衡は、市場競争の結果として、(1,1), (0,0) 及び混合戦略均衡解 (X^*, X^*) の3つのケースの可能な均衡解が存在することになる。

3. 環境規制モデル

(1) 環境規制のモデル化

政府は、生産者余剰 PS 、消費者余剰 CS 、環境汚染による環境被害 $-W$ の和で表される社会的総余剰 SS を最大化するように環境規制を執行すると考える。

$$SS = PS + CS - W \quad (3)$$

生産者余剰 PS は、各企業の固定費用は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、 $CS = \int_p^a D(p)dp$ で与えられる。環境被害を金銭ターム 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。 $w_1, w_2 (> 1)$ は環境被害を表すパラメータ値である。政府の規制ゲームにおける戦略は、規制レベル(環境税)及び目標技術水準 θ' の決定である。

政府と市場の関係は、政府による規制の執行に対して市場(企業)が事後的に経営戦略を決定すると考える。このとき、本規制は政府を先行者とするシュタッケルベルク均衡ゲームになっていると考えられる。したがって、政府は、企業間ゲームで得られた3つの均衡解に対して、社会的に最適な市場均衡をもたらす規制レベルと目標技術水準 θ' を選択する。

$$\underset{\tau, \theta'}{\text{Max}} \{SS_{1,1}, SS_{0,0}, SS_{X^*, X^*}\} \quad (4)$$

(2) 均衡解分析

図1は、社会的総余剰と技術水準の関係に関する数値計算の一例である。ある水準までは技術水準 θ が高くなるにしたがって、社会的総余剰が増加することがわかる。しかしながら、ある水準以上に高度化しようとした場合は、逆に社会的総余剰が減少してしまう。技術革新は、社会全体として必要であるが、高度に技術水準を上げることは、必ずしも得策でない場合がある。

4. 開発のタイミングと特許を考慮したモデル

政府によって課せられる環境規制と補助金の下で、企業は、技術革新をするか、するならいつするかという意思決定を行う。技術革新のタイミングを考察するためには、それぞれの技術での企業の利潤を比較する必要がある。

t_1 と t_2 をそれぞれ複占市場の企業1と企業2の技術革新の時点とすると、企業1の生涯利潤関数 $V(t_1, t_2)$ は、以下のように定義できる。

$$V(t_1, t_2) \equiv \begin{cases} g_1(t_1, t_2) & t_1 \leq t_2 \\ g_1(t_1, t_2) & t_1 > t_2 \end{cases} \quad (5)$$

$$g_1 = \int_0^{t_1} \Pi_{0,0} e^{-rt} dt + \int_{t_1}^{t_2} \Pi_{1,0} e^{-rt} dt + \int_{t_2}^{\infty} \Pi_{1,1} e^{-rt} dt \quad (6)$$

$$g_2 = \int_0^{t_2} \Pi_{0,0} e^{-rt} dt + \int_{t_2}^{t_1} \Pi_{0,1} e^{-rt} dt + \int_{t_1}^{\infty} \Pi_{1,1} e^{-rt} dt \quad (7)$$

ただし、 g_1 は自社が先に技術開発したときの利潤であり、一方、 g_2 は他社が先に技術開発したときの利潤である。ここで、 r は両企業に共通の時間的割引

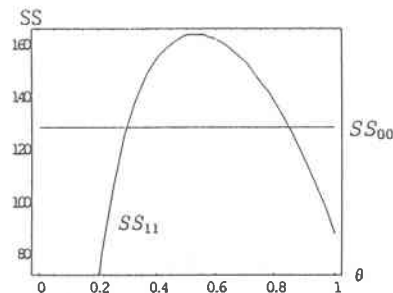


図1：技術水準と社会的総余剰の関係

率 ($0 < r < 1$) である。企業2の生涯利潤関数は、企業1の関数と対称となる。

今、政府は、先に技術開発した企業に対して一定期間特許を与えるという政策をとると考える。 t_1^p を企業1が最初に技術革新したときに特許の権利がなくなる時点、 t_2^p を企業2が最初に技術革新したときに特許の権利がなくなる時点とし、政府が決定する特許の権利の持続期間 ν を

$$\nu = t_1^p - t_1 = t_2^p - t_2 \quad (\nu > 0) \quad (8)$$

とすると、 g_1, g_2 は次式のようにになる。

$$g_1 = \int_0^{t_1} \Pi_{0,0} e^{-rt} dt + \int_{t_1}^{t_1^p} \Pi_{1,0} e^{-rt} dt + \int_{t_1^p}^{\infty} \Pi_{1,1} e^{-rt} dt \quad (9)$$

$$g_2 = \int_0^{t_2} \Pi_{0,0} e^{-rt} dt + \int_{t_2}^{t_2^p} \Pi_{0,1} e^{-rt} dt + \int_{t_2^p}^{\infty} \Pi_{1,1} e^{-rt} dt \quad (10)$$

この開発タイミングに関するナッシュ均衡解は、特許がある、ないに関わらず次の4ケース存在することになる。

ケース1: (∞, ∞)

ケース2: $g_1 > g_2$ のとき $(0, 0)$, $g_1 < g_2$ のとき (∞, ∞)

ケース3: $(0, 0)$

ケース4: (Z, Z) ただし、 Z は、 $\frac{\partial g_1}{\partial t_2} = \frac{\partial g_2}{\partial t_1}$ とする t_1

ここで、 (x, y) は、企業の技術開発の時点を示し、 x は企業1の時点、 y は企業2のそれである。技術開発は、条件により、両企業とも開発しないか、両企業とも争って先に開発しようとするか、ある時点で同時に開発を目指すかのいずれかである。政府は、特許によりケース2の均衡解を (∞, ∞) (両企業とも開発しない) から、 $(0, 0)$ (両企業が争って開発する) に変えることが可能になる。

5. おわりに

本研究では、環境規制下での企業の新技術の開発・導入に関する意思決定と規制方策の関係を明らかにした。開発目標とする技術レベルが高すぎると、社会的総余剰は、低下してしまう。また、政府は、環境技術に関する特許という政策により、技術開発インセンティブを高めることが可能であることが示された。