

環境イノベーションのためのインセンティブ設計 —特許制度と報奨金制度—

後藤 大策

広島大学大学院国際協力研究科 COE 研究員

〒739-8529 東広島市鏡山 1-5-1

E-mail: dgoto@hiroshima-u.ac.jp

1 はじめに

新しいアイデアは経済を牽引する。経済理論や統計的実証研究が明らかにしているように、イノベーションは長期的経済成長の主要な源泉である¹。

イノベーションを導く研究開発 (Research and Development; R & D) に対するインセンティブシステムには、一般的に次の2つの制度が考えられる。それは特許制度 (patent system) と報奨金制度 (reward system) である。

特許制度とは、イノベーションを実現した主体に知的財産権を与え、そのイノベーションを用いた新製品を独占的に供給することができる権利を付与する制度である。つまり、独占による厚生損失とひきかえに研究開発にインセンティブを与えるシステムが特許制度である。このような特許制度のイノベーションにおける功罪については、多くの先行研究が存在し、現在では発展途上国における特許制度のあり方についてまでも研究が進んでいる²。

一方で、報奨金制度とは、イノベーションを実現した主体に報奨金を与える代わりに、そのイノベーションをパブリックドメイン (public domain) として公有化するシステムである。つまり、独占による厚生損失を回避しつつ、研究開発にインセンティブを与えるシステムが報奨金制度である。ただし、この制度では、政府があらかじめ報奨金額を設定し、アナウンスする必要がある。このような報奨金制度は、新薬開発現場などの製薬企業の組織内では既に確立されているものの、政府が主導する報奨金制度についての研究は少数にとどまっている。Shavell and Ypersele (1999, 2001) では、イノベーションを用いた新製品の需要についての情報に、研究開発企業と政府の間に情報の非対称性が存在するというモデルの下で、特許制度と報奨金制度の社会的効率性について分析をおこなっている。また、後藤 (2000) では、Shavell and Ypersele (1999) が取り扱った情報構造に加え、企業からの情報報告を伴う報奨金制度や、企業がコストをかけて新製品の需要についての情

報を入手するといった情報獲得費用を含んだ制度比較をおこない、情報構造の観点からより一般的な分析を行っている。これらの先行研究は、現在多くの国が採用している特許制度は、報奨金制度よりも社会的に望ましい制度とは限らないことを示している。

ただし、これらの先行研究は、一般的なイノベーションを想定しており、そのイノベーションを用いた新製品の市場供給が、新たな環境劣化や損害を引き起こす可能性を考慮していない。つまり、企業が潜在的に大きな需要規模をもつアイデアを得たととしても、そのアイデアの環境影響特性について研究開発段階で考慮するかどうか、イノベーション（製品化）が実現したときの社会的効率性や社会厚生に大きな影響を与える可能性がある。とりわけ、このような問題は、イノベーションを用いた新製品に対して潜在的に巨大な需要力をもつ発展途上国において、今後多発すると考えられる。また、このような問題に対して、単なる製品化というイノベーションよりも、環境配慮型の製品化という環境イノベーションを導くためのインセンティブデザインのあり方を経済理論的に明らかにしておくことは、国際環境協力学の理論的基礎を制度設計の観点から固めていく上で非常に有意義だと考えられる。

そこで本稿では、イノベーションにおける企業の環境行動の観点から、Shavell and Ypersele (2001) で用いられているモデルを拡張・展開し、特許制度と報奨金制度の社会的効率性について検討を行う。とりわけ本稿では、企業が得るアイデアに確率的な環境影響特性が存在する状況を想定し、企業が直面する研究開発投資問題を次のように設定している。それは、アイデアの環境影響特性を考慮せずに製品化する通常研究開発と、その環境影響特性を考慮し製品化するときに無害化する環境研究開発のどちらかを選択した上で、それにどれほどの投資を行うか、という2次元の選択問題である³。

本稿の以下の構成は次の通りである。まず第2節において、モデルの枠組みと設定を説明する。次に第3節において、分析のベンチマークとなるファーストベストを明らかにする。そして第4節において、特許制度のもとでの企業の研究開発行動について分析を行う。また第5節において、報奨金制度のもとでの企業の研究開発行動について分析を行う。さらに第6節において、社会的に望ましい制度選択について明らかにし、政策的含意を導出する。最後に第7節において、本稿で得た結論と今後の課題についてまとめを行う。

2 モデル

Shavell and Ypersele (2001) にしたがって、潜在的なイノベーターである代表的企業と政府から構成されるモデルを想定する。ただしここで、企業と政府はリスク中立的な主体であるとする。

第0日に、政府が期待社会厚生を最大化するように、イノベーションに関する制度、つまり特許制度か報奨金制度かを選択し公表する。なお、報奨金制度を選択する場合には、

同時にその報奨金額も公表する。ここで、政府の目的関数である期待社会厚生関数は、イノベーションを用いて生産される新製品の市場取引による期待社会的余剰から、イノベーションを実現させるための研究開発投資額を差し引いたものとして定義される。

第1日に、イノベーションに関するアイデア e を得た企業が研究開発投資 $k \in R_+$ を行う。ここで、 e は企業が得たアイデアの環境影響特性を示すパラメータであり、区間 $[0, \bar{e}]$ に一様分布する確率変数である。さらにここで、企業の投資コストはその投資水準 k に等しいものとする。投資水準 k はイノベーションの成功確率を決定する。ただし研究開発を行うにあたって、企業には次のような2つの選択肢があるとするとする。それは、通常研究開発と環境研究開発である⁴。通常研究開発における投資水準 k は、通常イノベーションの成功確率 $p(k)$ を決定する。ここで $p(k)$ は、 $p(k) \in [0, 1]$, $p''(k) < 0 < p'(k)$, $p'(0) = \infty$, $p(0) = 0$, $\lim_{k \rightarrow \infty} p(k) = 1$ を満たすものとする。ただし通常イノベーションを用いた新製品の生産過程では、1単位あたり e の環境損害を引き起こすとする。一方で、環境研究開発における投資水準 k は、環境イノベーションに成功確率 $\alpha p(k)$ を決定する。ここで α は、通常研究開発に対する環境研究開発の相対的な困難性を示すパラメータであり、 $\alpha \in (0, 1)$ を満たす定数である。ただし環境イノベーションを用いた新製品の生産過程では、全く環境損害を引き起こさないとする。また、企業が得たアイデアの環境影響特性パラメータ e と、企業の研究開発における選択、つまり投資水準 k および通常研究開発か環境研究開発かの選択については、政府は観察不可能であるとする⁵。

かくして、第2日に、企業が通常研究開発に投資 k をおこなったときには、確率 $p(k)$ で通常イノベーションが実現し、また、環境研究開発に投資 k をおこなったときには、確率 $\alpha p(k)$ で環境イノベーションが実現する。

第3日に、企業は実現したイノベーションを政府に届け出て、制度に応じた処理を受ける。このとき、ようやく政府は、報告されたイノベーションが、通常イノベーションか環境イノベーションであるかについて知ることができる。さらに企業はイノベーションを用いた新製品の生産と供給を行う。また、単純化のためにイノベーションを用いた新製品の限界生産費用はゼロだとする。この新製品に対する逆需要関数は、生産量 q と市場の需要規模を示す定数パラメータ $t > 0$ に対して、 $d(q, t) \equiv t - q$ で与えられる。また、新製品の消費者は、イノベーションの環境影響特性について、無差別だとする。これは、新製品の消費者は、新製品を購入することによって直接的に損害を被ることは決してないと想定しているからである。

本稿のモデルは図1のようなゲームツリーで表される。また、本稿で用いる均衡概念は、このゲームを後ろ向き帰納法 (backward induction) を用いて解いた部分ゲーム完全均衡 (subgame-perfect Nash equilibrium) である。

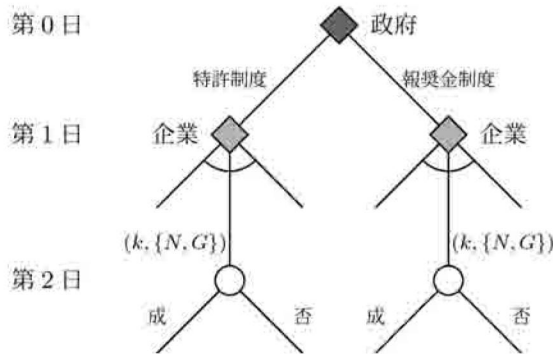


図1 ゲームツリー

3 ベンチマーク：ファーストベスト

本節では、後の分析に先立って、各研究開発におけるファーストベスト（社会的最善解）を求めておく。

3.1 通常研究開発

通常研究開発のケースから考える。任意の e について、通常イノベーションを用いた新製品のファーストベストの生産量を $q_n^{FB}(e)$ とする。

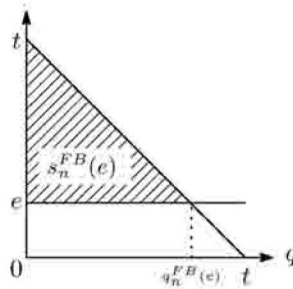


図2 通常研究開発のファーストベスト

企業が得たアイデアの環境影響特性が $e < t$ だとすると、 $q_n^{FB}(e)$ は $d(q_n^{FB}(e), t) \equiv t - q_n^{FB}(e) = e$ を満たすはずである。つまり、このとき

$$q_n^{FB}(e) = t - e \tag{1}$$

である。一方、 $e \geq t$ だとすると、 $q_n^{FB}(e)$ は $d(q_n^{FB}(e), t) \equiv t - q_n^{FB}(e) \leq e$ を満たすはず

ずである。つまり、このとき

$$q_n^{FB}(e) = 0 \quad (2)$$

である。よって、任意の e について、通常イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_n^{FB}(e) = \int_0^{q_n^{FB}(e)} [d(q, t) - e] dq = \begin{cases} \frac{|t-e|^2}{2} & \text{if } e < t \\ 0 & \text{if } e \geq t \end{cases} \quad (3)$$

となる。

したがって、このとき、通常研究開発におけるファーストベストの投資水準 k_n^{FB} は

$$p(k)s_n^{FB}(e) - k \quad (4)$$

を最大化する。つまり、 k_n^{FB} は次の2つの式を満たす。

$$p'(k)s_n^{FB}(e) - 1 = 0 \quad \text{if } e < t, \quad (5)$$

$$k = 0 \quad \text{if } e \geq t. \quad (6)$$

ここで、ある $z > 0$ について $p(k)z - k$ を最大化する k を $k(z)$ で表すことにすると、 $k(z)$ は z の増加関数であり、 k_n^{FB} は

$$k_n^{FB} = k(s_n^{FB}(e)) = \begin{cases} k\left(\frac{|t-e|^2}{2}\right) & \text{if } e < t \\ 0 & \text{if } e \geq t \end{cases} \quad (7)$$

と書ける。

以上より、任意の e について、通常研究開発を行うときのファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W_n^{FB}(e) &= p(k(s_n^{FB}(e)))s_n^{FB}(e) - k(s_n^{FB}(e)) \\ &= \begin{cases} p\left(k\left(\frac{|t-e|^2}{2}\right)\right)\frac{|t-e|^2}{2} - k\left(\frac{|t-e|^2}{2}\right) & \text{if } e < t \\ 0 & \text{if } e \geq t \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

となる。

3.2 環境研究開発

次に環境研究開発のケースを考える。環境イノベーションが実現すると、企業が得たアイデアの環境影響特性 e をゼロにまで削減できる。そのイノベーションを用いた新製品のファーストベストの生産量を q_g^{FB} とする。

このとき q_g^{FB} は、 $d(q_g^{FB}, t) \equiv t - q_g^{FB} = 0$ を満たすはずである。つまり

$$q_g^{FB} = t \quad (9)$$

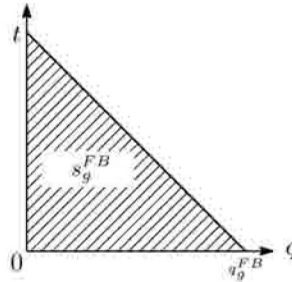


図3 環境研究開発のファーストベスト

である。よって、任意の e について、環境イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_g^{FB} = \int_0^{q_g^{FB}} d(q, t) dq = \frac{t^2}{2} \quad (10)$$

となる。

したがって、このとき、環境研究開発におけるファーストベストの投資水準 k_g^{FB} は

$$\alpha p(k) s_g^{FB} - k \quad (11)$$

を最大化する。つまり、 k_g^{FB} は次のように書ける。

$$k_g^{FB} = k_g^{FB}(\alpha s_g^{FB}) = k \left(\frac{\alpha t^2}{2} \right) \quad (12)$$

以上より、任意の e について、環境研究開発を行うときのファーストベストの期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W_g^{FB} &= \alpha p(k(\alpha s_g^{FB})) s_g^{FB} - k(\alpha s_g^{FB}) \\ &= p \left(k \left(\frac{\alpha t^2}{2} \right) \right) \frac{\alpha t^2}{2} - k \left(\frac{\alpha t^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

となる。

3.3 ファーストベストの研究開発選択

関数 $k(z)$ の定義より次式を得る。

$$\frac{\partial [p(k(z))z - k(z)]}{\partial z} = p(k(z)) + \frac{\partial k(z)}{\partial z} [p'(k(z))z - 1] = p(k(z)) > 0, \quad (14)$$

つまり、 $p(k(z))z - k(z)$ は $z > 0$ に対して単調増加である。このとき、各研究開発におけるファーストベストの期待社会厚生 (8) と (13) を比較することで、次の関係を得る。

$$W_n^{FB}(e) \leq W_g^{FB} \Leftrightarrow \alpha \geq \frac{[t - e]^2}{t^2} \quad \text{if } e < t, \quad (15)$$

$$W_n^{FB}(e) < W_g^{FB} \quad \text{if } e \geq t. \quad (16)$$

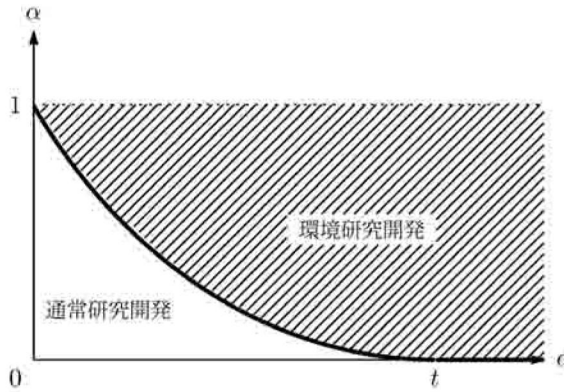


図4 ファーストベストの研究開発選択

関係式 (15) と (16) から、図4が描ける。これらより、ファーストベストの研究開発選択について、次の含意を得る。それは、任意の e に対して、 α が1に近づくほど、つまり環境研究開発が通常研究開発と同程度に容易になるほど、環境研究開発を選択することが望ましいということである。また、任意の α に対して、企業が得るアイデアの環境影響特性 e が大きいほど、環境研究開発を選択することが望ましいことも明らかである。

4 分析：特許制度

特許制度のもとでは、企業は研究開発に成功すれば、そのイノベーションを用いた新製品を独占的に供給できる。

4.1 通常研究開発

ある e のもとで、通常イノベーションを用いた新製品の独占供給量を q_n^M 、そのときの独占利潤を π_n とする。このとき、 q_n^M は $q_n^M \frac{\partial d(q_n^M, t)}{\partial q_n^M} + d(q_n^M, t) = -q_n^M + t - q_n^M = 0$ を満たすはずである。つまり

$$q_n^M = \frac{t}{2} \tag{17}$$

となる。このとき独占利潤は

$$\pi_n = \frac{t^2}{4} \tag{18}$$

である。また、このときの消費者余剰と総環境損害は、それぞれ

$$cs_n^M = \frac{t^2}{8}, \tag{19}$$

$$h_n^M(e) = \frac{te}{2} \tag{20}$$

となる。

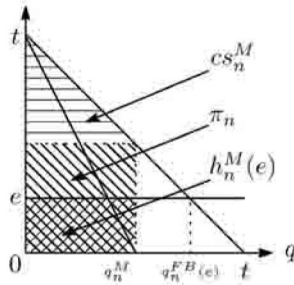


図5 特許制度下における通常技術開発

したがって、ある e のもとで、通常イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_n^M(e) = cs_n^M + \pi_n - h_n^M(e) = \frac{3t^2}{8} - \frac{te}{2} \quad (21)$$

となる。ここで、(3) と (21) から次式を得る。

$$s_n^M(e) \leq s_n^{FB}(e) \quad \text{for all } e \in [0, \bar{e}]. \quad (22)$$

ただしここで、等号が成立するのは $e = \frac{t}{2}$ の場合に限られる。

一方、企業は、通常イノベーションによってもたらされる社会的余剰 $s_n^M(e)$ ではなく、独占利潤 π_n を考慮して研究開発の投資水準を決定する。つまり、企業は次式を最大化するように k を決定する。

$$p(k)\pi_n - k. \quad (23)$$

よって、企業は投資水準 $k(\pi_n)$ を選択する。このとき、次の条件式を得る。

$$\begin{aligned} \pi_n \leq s_n^{FB}(e) &\Leftrightarrow \frac{t^2}{4} \geq \frac{[t-e]^2}{2} \\ &\Leftrightarrow e \leq t \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \end{aligned} \quad (24)$$

またここで、 $e \in [0, \bar{e}]$ であることから、次式を得る。

$$\pi_n \leq s_n^{FB}(e) \Leftrightarrow k(\pi_n) \leq k(s_n^{FB}(e)). \quad (25)$$

したがって、(22)、(24) および (25) から次の補題を得る。

補題 1 特許制度のもとで通常研究開発が行われるとする。このとき企業が得たアイデアの環境影響特性が

- (i) $0 < e < t \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right]$ ならば、過小な社会的余剰と、過小投資が実現する。
- (ii) $e = t \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right]$ ならば、過小な社会的余剰と、最適投資が実現する。

- (iii) $t \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] < e < \frac{t}{2}$ ならば、過小な社会的余剰と、過大投資が実現する。
- (iv) $e = \frac{t}{2}$ ならば、最適な社会的余剰と、過大投資が実現する。
- (v) $\frac{t}{2} < e < \bar{e}$ ならば、過小な社会的余剰と、過大投資が実現する。

したがって、特許制度のもとで通常研究開発が行われる場合には、ファーストベストは達成できない。

4.2 環境研究開発

ある e のもとで、環境イノベーションを用いた新製品の独占供給量を q_g^M 、そのときの独占利潤を π_g とする。このとき、 q_g^M は $q_g^M \frac{\partial d(q_g^M, t)}{\partial q_g^M} + d(q_g^M, t) = -q_g^M + t - q_g^M = 0$ を満たすはずである。つまり

$$q_g^M = \frac{t}{2} \tag{26}$$

となる。このとき独占利潤は

$$\pi_g = \frac{t^2}{4} \tag{27}$$

となり、通常イノベーションが実現したケースと同水準となる。また、このときの消費者余剰と総環境損害は、それぞれ

$$cs_g^M = \frac{t^2}{8}, \tag{28}$$

$$h_g^M = 0 \tag{29}$$

となる。

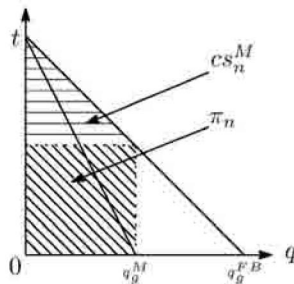


図6 特許制度下における環境研究開発

したがって、ある e のもとで、環境イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_g^M = cs_g^M + \pi_g - h_g^M = \frac{3t^2}{8} \tag{30}$$

となる。ここで、(10) と (30) から次式を得る。

$$\pi_g < s_g^M < s_g^{FB}. \quad (31)$$

一方、企業は、環境イノベーションによってもたらされる社会的余剰 s_g^M ではなく、独占利潤 π_g を考慮して研究開発の投資水準を決定する。つまり、企業は次式を最大化するように k を定める。

$$\alpha p(k)\pi_g - k. \quad (32)$$

よって、企業は投資水準 $k(\alpha\pi_g)$ を選択する。このとき、 $\alpha \in (0, 1)$ と (31) から、次の条件式を得る。

$$k(\alpha\pi_g) < k(\alpha s_g^{FB}) \quad (33)$$

したがって、(31) と (33) から次の補題を得る。

補題 2 特許制度のもとで環境技術開発が行われるとする。このとき、過小な社会的余剰と、過小投資が実現する。したがって、特許制度のもとで環境研究開発が行われる場合には、ファーストベストは達成できない。

4.3 特許制度下での研究開発選択

特許制度のもとで、通常研究開発が行われるとする。このときの企業の期待総利潤は

$$\begin{aligned} V_n^M &= p(k(\pi_n))\pi_n - k(\pi_n) \\ &= p\left(k\left(\frac{t^2}{4}\right)\right)\frac{t^2}{4} - k\left(\frac{t^2}{4}\right) \end{aligned} \quad (34)$$

となる。

一方、特許制度のもとで、環境研究開発が行われるとする。このときの企業の期待総利潤は

$$\begin{aligned} V_g^M &= p(k(\alpha\pi_g))\alpha\pi_g - k(\alpha\pi_g) \\ &= p\left(k\left(\frac{\alpha t^2}{4}\right)\right)\frac{\alpha t^2}{4} - k\left(\frac{\alpha t^2}{4}\right) \end{aligned} \quad (35)$$

となる。

ここで (14) より、 $\frac{t^2}{4} > \frac{\alpha t^2}{4}$ から

$$V_n^M > V_g^M \quad (36)$$

となる。

以上の分析より、次の命題を得る。

命題 1 特許制度のもとでは、企業は環境研究開発よりも通常研究開発を選好する。

5 分析：報奨金制度

報奨金制度のもとでは、政府が研究開発を成功した企業に報奨金を支払うかわりに、そのイノベーションはパブリック・ドメインとされる。ここで、イノベーションがパブリック・ドメインとされたときには、そのイノベーションを用いて生産される新製品の市場は完全競争となり、価格ゼロ、数量 $q = q_g^{FB} = t$ で均衡し、新製品を生産する各企業の利潤はゼロとなる⁶。

また、政府は企業が得たアイデアの環境被害特性 e を観察不可能なので、企業から e の報告を受けない限り、報奨金の額 r を e に依存させることはできない。ただし、イノベーションが実現した場合、それが通常イノベーションであるか、環境イノベーションであるかについては、政府は事後的に観察可能であるとする。したがって本稿では、 e に依存しない単一の r を各研究開発ごとに、政府があらかじめ公表するような報奨金制度を考える。

5.1 通常研究開発

ある e のもとで、通常イノベーションを用いた新製品の市場取引による消費者余剰と総環境損害は、それぞれ

$$cs_n^R = \frac{t^2}{2}, \tag{37}$$

$$h_n^R(e) = te \tag{38}$$

である。

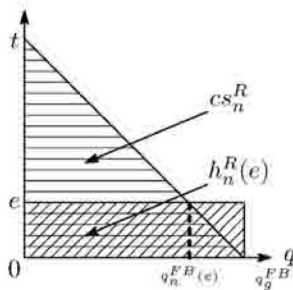


図7 報奨金制度下における通常研究開発

したがって、ある e のもとで、通常イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_n^R(e) = cs_n^R - h_n^R(e) = t \left[\frac{t}{2} - e \right] \geq 0 \tag{39}$$

となる。

ここで、通常イノベーションが実現したときに、政府が企業に支払う報奨金を r_n とする。このとき、報奨金 r_n のもとで、企業は次式を最大化するように k を決定する。

$$p(k)r_n - k \quad (40)$$

つまり、企業は投資水準 $k(r_n)$ を投資する。

政府は e を観察不可能であるために、 r_n を e に依存させることはできない⁷。よって、ある r_n のもとでの期待社会厚生は、(39) より

$$W_n^R(r_n) = p(k(r_n)) \int_0^{\bar{e}} s_n^R(e) f(e) de - k(r_n) \quad (41)$$

$$= p(k(r_n)) \frac{[t - \bar{e}]t}{2} - k(r_n) \quad (42)$$

となる。ただしここで、 $f(e)$ は e の確率密度関数であり、区間 $[0, \bar{e}]$ においては $f(e) \equiv \frac{1}{\bar{e}}$ である。

このとき、 $p(k) \frac{[t - \bar{e}]t}{2} - k$ を最大化する k が $k\left(\frac{[t - \bar{e}]t}{2}\right)$ であることに注意すると、政府は報奨金 r_n を

$$r_n^* = \begin{cases} \frac{[t - \bar{e}]t}{2} & \text{if } \bar{e} < t \\ 0 & \text{if } \bar{e} \geq t \end{cases} \quad (43)$$

と設定することによって $W_n^R(r_n)$ を最大化できることがわかる。

したがって $\bar{e} < t$ のとき、(3) と (43) から、次の条件式を得る。

$$\begin{aligned} r_n^* \geq s_n^{FB}(e) &\Leftrightarrow 0 \geq e^2 - 2te + t\bar{e} \\ &\Leftrightarrow e \geq t - \sqrt{[t - \bar{e}]t}. \end{aligned} \quad (44)$$

さらにこのとき、 $k(z)$ は $z > 0$ の増加関数であることから、次式を得る。

$$r_n^* \geq s_n^{FB}(e) \Leftrightarrow k(r_n^*) \geq k(s_n^{FB}(e)). \quad (45)$$

一方 $\bar{e} \geq t$ のとき、(43) より $r_n^* = 0$ であるために、企業は研究開発を実施せず ($k(r_n^*) = 0$)、イノベーションが実現することはない。つまり、このときの社会的余剰はゼロとなる。よってこのとき、 $e < t$ ならば $s_n^{FB} > r_n^* = 0$ となり、また $e \geq t$ ならば $s_n^{FB} = r_n^* = 0$ となる。

以上から、次の命題を得る。

補題 3 報奨金制度のもとで、通常研究開発が行われるとする。このとき、企業が得るアイデアの環境影響特性の最大値 \bar{e} が、新製品の需要規模を示すパラメータ t に対して

- (i) $\bar{e} < t$ のとき、政府は通常イノベーションに対する報奨金を $r_n^* = \frac{[t - \bar{e}]t}{2}$ と設定し、企業が得たアイデアの環境影響特性 e が
- (a) $0 < e < t - \sqrt{[t - \bar{e}]t}$ ならば、過小な社会的余剰と、過小投資が実現する。

- (b) $e = t - \sqrt{[t - \bar{e}]t}$ ならば、過小な社会的余剰と、最適投資が実現する。
- (c) $t - \sqrt{[t - \bar{e}]t} < e < \bar{e}$ ならば、過小な社会的余剰と、過大投資が実現する。
- (ii) $\bar{e} \geq t$ のとき、政府は通常イノベーションに対する報奨金を $r_n^* = 0$ と設定し、企業が得たアイデアの環境影響特性 e が
 - (a) $0 < e < t$ ならば、過小な社会的余剰と、過小な投資（ゼロ）が実現する。
 - (b) $t \leq e < \bar{e}$ ならば、最適な社会的余剰（ゼロ）と、最適な投資（ゼロ）が実現する。

したがって、報奨金制度のもとで通常研究開発が行われる場合には、 e と \bar{e} が t 以上である場合に限り、つまり環境影響特性が十分大きい場合に限り、通常イノベーションに対する報奨金をゼロにすることで、通常技術開発投資が行われないという意味でファーストベストが達成できる。

5.2 環境研究開発

ある e のもとで、環境イノベーションを用いた新製品の市場取引による消費者余剰と総環境損害は、それぞれ

$$cs_g^R = \frac{t^2}{2}, \tag{46}$$

$$h_g^R = 0 \tag{47}$$

である。

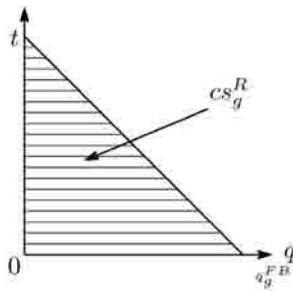


図8 報奨金制度下における環境研究開発

したがって、ある e のもとで、環境イノベーションが実現したときの社会的余剰は

$$s_g^R = cs_g^R - h_g^R = \frac{t^2}{2} = s_g^{FB} \tag{48}$$

となる。

ここで、環境イノベーションが実現したときに、政府が企業に支払う報奨金を r_g とする。このとき、報奨金 r_g のもとで、企業は次式を最大化するように k を決定する。

$$\alpha p(k)r_g - k \quad (49)$$

つまり、企業は投資水準 $k(\alpha r_g)$ を投資する。

一方、ある r_g のもとでの期待社会厚生は、(48) より

$$W_g^R(r_g) = \alpha p(k(\alpha r_g))s_g^R - k(\alpha r_g) \quad (50)$$

$$= p(k(\alpha r_g))\frac{\alpha t^2}{2} - k(\alpha r_g) \quad (51)$$

となる。

このとき、 $p(k)\frac{\alpha t^2}{2} - k$ を最大化する k が $k\left(\frac{\alpha t^2}{2}\right)$ であることに注意すると、政府は報奨金 r_g を

$$r_g^* = \frac{t^2}{2} = s_g^{FB} \quad (52)$$

と設定することによって $W_g^R(r_g)$ を最大化できることがわかる。

補題 4 報奨金制度のもとで、環境研究開発が行われるとする。このとき、政府は環境イノベーションに対する報奨金を $r_g^* = \frac{t^2}{2}$ と設定し、ファーストベストが達成できる。

5.3 報奨金制度下での研究開発選択

報奨金制度のもとで、通常研究開発が行われるとする。このときの企業の期待総利潤は

$$\begin{aligned} V_n^R(r_n^*) &= p(k(r_n^*))r_n^* - k(r_n^*) \\ &= \begin{cases} p\left(k\left(\frac{t-\bar{e}}{2}\right)\right)\frac{t-\bar{e}}{2} - k\left(\frac{t-\bar{e}}{2}\right) & \text{if } \bar{e} < t \\ 0 & \text{if } \bar{e} \geq t \end{cases} \end{aligned} \quad (53)$$

となる。

一方、報奨金制度のもとで、環境研究開発が行われるとする。このときの企業の総期待利潤は

$$\begin{aligned} V_g^R(r_g^*) &= \alpha p(k(\alpha r_g^*))r_g^* - k(\alpha r_g^*) \\ &= p\left(k\left(\frac{\alpha t^2}{2}\right)\right)\frac{\alpha t^2}{2} - k\left(\frac{\alpha t^2}{2}\right) \end{aligned} \quad (54)$$

となる。

したがって、次の関係式を得る。

$$V_n^R(r_n^*) \geq V_g^R(r_g^*) \Leftrightarrow \alpha \leq \frac{t-\bar{e}}{t}. \quad (55)$$

ただし、ここで $\alpha \in (0, 1)$ である。

以上の分析より、次の命題を得る。

命題 2 報奨金制度のもとでは、

- (i) $\alpha < \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、企業は環境研究開発よりも通常研究開発を 선호する。
- (ii) $\alpha = \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、企業にとって環境研究開発と通常研究開発は無差別となる。
- (iii) $\alpha > \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、企業は通常研究開発よりも環境研究開発を 선호する。

6 政策的含意：制度選択

命題 1 より、特許制度のもとでは、企業は、自身が得たアイデアの環境影響特性や他のパラメータに関わらず、常に通常研究開発を行うことになる。したがって、政府が特許制度を採用した場合の期待社会厚生は

$$\begin{aligned} W_n^M &= p \left(k \left(\frac{t^2}{4} \right) \right) \int_0^{\bar{e}} s_n^M(e) f(e) de - k \left(\frac{t^2}{4} \right) \\ &= p \left(k \left(\frac{t^2}{4} \right) \right) \left[\frac{[3t - 2\bar{e}]t}{8} \right] - k \left(\frac{t^2}{4} \right) \end{aligned} \quad (56)$$

となる。ただしここで、 $f(e)$ は e の確率密度関数であり、区間 $[0, \bar{e}]$ においては $f(e) \equiv \frac{1}{\bar{e}}$ である。

また命題 2 より、報奨金制度のもとでは、企業は、自身が得たアイデアの環境影響特性に関わらず、環境影響特性の最大値 \bar{e} 、新製品の需要規模を示すパラメータ t 、および通常研究開発に対する環境研究開発の相対的困難性を示すパラメータ α 間の大小関係に依存して、通常研究開発か環境研究開発のどちらかを行うことになる。したがって $\alpha < \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、政府が報奨金制度を採用した場合の期待社会厚生は、

$$\begin{aligned} W_n^R &= V_n^R(r_n^*) \\ &= p \left(k \left(\frac{[t - \bar{e}]t}{2} \right) \right) \frac{[t - \bar{e}]t}{2} - k \left(\frac{[t - \bar{e}]t}{2} \right) \end{aligned} \quad (57)$$

である。ただし、このとき $\alpha \in (0, 1)$ から $\bar{e} < t$ が成立することに注意せよ。また $\alpha \geq \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、政府が報奨金制度を採用した場合の期待社会厚生は、

$$\begin{aligned} W_g^R &= V_g^R(r_g^*) \\ &= p \left(k \left(\frac{\alpha t^2}{2} \right) \right) \frac{\alpha t^2}{2} - k \left(\frac{\alpha t^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (58)$$

である。

以上から、 W_n^M 、 W_n^R 、 W_g^R の大小関係について、図 9 を得る。つまり、(56) と (57) よ

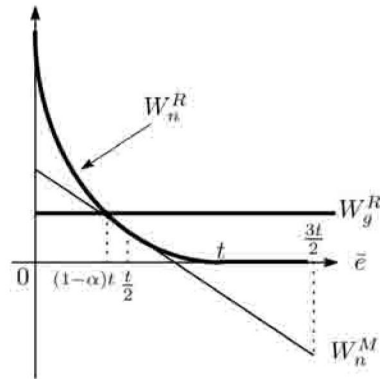


図9 期待社会厚生：特許制度 vs. 報奨金制度

り、 $\alpha < \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、次式を得る。

$$W_n^M \leq W_n^R. \quad (59)$$

ただしここで、等号が成立するのは $\bar{e} = \frac{t}{2}$ の場合に限られる。また、(56)、(57) と (58) から、 $\alpha \geq \frac{t-\bar{e}}{t}$ のとき、次式を得る。

$$W_n^M \leq W_n^R \leq W_g^R \quad (60)$$

ただしここで、2つの等号が同時に成立するのは $\bar{e} = \frac{t}{2}$ かつ $\alpha = \frac{1}{2}$ の場合に限られる。したがって、次の命題を得る。

命題 3 企業が当初得るアイデアに確率的な環境影響特性が存在し、その特性とイノベーションを実現するための研究開発における企業の選択について、政府が観察できない場合には、特許制度よりも報奨金制度を採用することが社会的に望ましい。

7 結語

本稿の貢献は、イノベーションにおける特許制度と報奨金制度の効率性の分析を行っている Shavell and Ypersele (2001) モデルに、イノベーションによって新たに生じる環境損害という負の外部性を導入し、イノベーションにおける企業の環境行動が、制度によってどのように動機づけられるのかについて、分析をおこなったことにある。とりわけ本稿では、企業が得るアイデアに確率的な環境影響特性が存在し、その特性とイノベーションを実現するための研究開発における企業の選択について、政府が観察できないという状況を想定した。そして、その状況下では、どのような制度を設計・採用することが望ましいのかについて、ミクロ経済分析をおこなった。

本稿の得た主要な結論は、以下の通りである。

特許制度を採用した場合、企業は常に通常研究開発を選択し、環境イノベーションは決して実現しないことが明らかとなった(命題1)。これは、特許制度はイノベーターに、環境損害には依存しない一定の独占利潤を与えることになるため、環境研究開発による期待総利潤よりも、通常研究開発による期待総利潤が常に大きくなることに起因する。

一方、報奨金制度を採用した場合、企業は直面する外生変数の大小関係に応じて、通常研究開発か環境研究開発かを選択することになることが明らかとなった(命題2)。これは、報奨金制度下では、政府は政策変数として報奨金額を設定できることに起因する。企業のイノベーションに関する情報を観察できなくとも、政府はその期待値を考慮し、環境イノベーションと通常イノベーションの報奨金額に差をつけてやることで、より社会的に望ましい状況を実現する研究開発を、企業に選択させることが可能となるからである。

そして最終的に、各制度の下で実現する期待社会厚生を考慮すると、常に、報奨金制度は、特許制度以上のパフォーマンスをもつことが明らかとなった(命題3)。とりわけ、企業が得るアイデアの環境影響特性の実現範囲の大きさにかかわらず、報奨金制度が頑健な優位性をもつことは興味深い結果である。

最後に残された課題について言及しておく。本稿では、イノベーションにおける企業の環境行動が、イノベーションを促進する制度によってどのように動機づけられるのかという問題に焦点を絞ったために、政府がイノベーターに支払う報奨金の財源について考慮していない。モデル上では、同一社会の中の移転にしかすぎないために、効率性の観点からは問題とならないが、本稿を実践的な政策研究として位置づける場合には、報奨金制度の優位性を提示するだけでなく、その報奨金のファイナンス方法も考慮する必要がある。とりわけ、発展途上国での環境イノベーションを、特許制度ではなく報奨金制度で誘導する場合には、報奨金のファイナンスにおいて先進国の国際協力も必要となろう。これらの問題を考慮した上で環境イノベーションのインセンティブデザインも興味深い問題であり、これは今後の課題としたい。

注記

¹Romer (1986)。

²特許権の保護期間については、Gilbert and Shapiro (1990) や Cornelli and Schankerman (1999) などがある。特許権と累積的 R&D については Green and Scotchmer (1995) や Schankerman and Scotchmer (1999) などが挙げられる。また、先進国と発展途上国における特許権の設定問題については、Diwan and Rodrik (1991) や Helpman (1993) が代表的である。また発展途上国における知的財産権についてのサーベイ文献としては、久保 (2004) がある。

³Shavell and Ypersele (1999, 2001) や後藤 (2000) では、企業の選択問題は、イノベーションのための研究開発投資をどれだけおこなうか、という 1 次元の選択問題であった。また本稿と同様の観点から、企業の選択問題を 2 次元にした上で、アイデアの特性を定数として、イノベーションの需要規模を確率変数とした分析に Goto (2007) がある。

⁴本稿における通常研究開発と環境研究開発の差異は次のように考えることもできる。通常研究開発は、新しいアイデアを製品化するイノベーションのみを追求するものであるが、環境研究開発は、新しいアイデアを

製品化するイノベーションと、その新製品の生産プロセスのイノベーションを同時に追求するものであると考えられる。例えば、リコーは、プリンターの印刷画質性能を向上させるため、従来の大粒径トナーとは異なる小粒径トナーの製品化を目指して研究開発を行うと同時に、その生産工程の研究開発、すなわち環境研究開発を行った。従来のトナー生産方式では、小粒径トナーの生産は、大粒径トナーに比べてより多くの CO2 排出が見込まれていたが、環境研究開発により、小粒径トナーの製品化と生産工程における CO2 削減という環境イノベーションを実現している。

⁵イノベーションには、既存のアイデアとは全く異なる新規性の高いアイデアの研究開発に基づく独立的イノベーションと、先行アイデアを基盤とした後続アイデアの研究開発に基づく累積的イノベーションがある。独立的イノベーションを用いた新製品の場合、その需要情報を政府が把握するのは困難であろう。しかし累積的イノベーションを用いた新製品の場合、その需要情報を政府が把握するにあたり、先行しているイノベーションを用いた製品の需要が参考になると考えられる。つまり本稿のモデルでは、独立的なイノベーションというよりも累積的イノベーションを想定しており、政府は、事前に新製品の需要情報は十分収集可能であるものの、新製品の環境影響情報までは収集不可能であるという状況を描いている。

⁶これは、生産の限界費用がゼロである企業が無数に市場参入することを仮定しているからである。

⁷政府が e を観察可能ならば、 e に依存した報奨金 $r_n = s_n^{FB}(e)$ によってファーストベストが実現可能であることに注意せよ。

謝辞

本研究は、広島大学大学院国際協力研究科・国際環境協力プロジェクト研究センターを拠点とした 21 世紀 COE プログラム「社会的環境管理能力の形成と国際協力」から援助を受けた。本論文の作成にあたり、南山大学の後藤剛史先生および 2 名の本誌匿名レフリーから、有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝を致します。なお、言うまでもなく本論文における全ての誤謬は筆者の責任です。

参考文献

- [1] Cornelli, F. and M. Schankerman (1999) "Patent Renewals and R&D Incentives," *RAND Journal of Economics*, 30:197-213.
- [2] Diwan, I. and D. Rodrik (1991) "Patents, Appropriate Technology, and North-South," *Journal of International Economics*, 30:27-47.
- [3] Helpman, E. (1993) "Innovation, Imitation, and Intellectual Property Right," *Econometrica*, 61(6):1247-1280.
- [4] Gilbert, R. and C. Shapiro (1990) "Optimal Patent Length and Breadth," *RAND Journal of Economics*, 21:106-112.
- [5] Goto, D. (2007) "Rewards versus Intellectual Property Rights in Green Innovation: Incentive Design for Capacity Development," *The 21st Century Center of Excellence (COE) Program at Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University, Discussion Paper Series Vol. 2007-1*.
- [6] Green, J. R. and S. Scotchmer (1995) "On the Division of Profit in Sequential Innovation," *RAND Journal of Economics*, 26:20-33.
- [7] Romer, P. M. (1986) "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, 94:1002-1037.

- [8] Schankerman, M. and S. Scotchmer (1999) "Damages and Injunctions in the Protection of Proprietary Research Tools," *NBER Working Paper*, No. 7086.
- [9] Shavell, S. and T. van Ypersele (1999) "Rewards versus Intellectual Property Rights," *NBER Working Paper*, No. 6956.
- [10] Shavell, S and T. van Ypersele (2001) "Rewards versus Intellectual Property Rights," *Journal of Law and Economics*, 44(2):525-547.
- [11] 久保研介 (2004) 「発展途上国と知的財産権—経済学的アプローチ—」『アジア経済』第45巻第11・12号, 2-10.
- [12] 後藤剛史 (2000) 「特許制度か報奨金制度か—技術開発促進システムの経済分析—」『現代経済学研究』第8号, 166-184.

Incentive System for Environmental Innovation: Rewards versus Intellectual Property Rights

Daisaku GOTO

COE Researcher, IDEC, Hiroshima University
1-5-1 Kagamiyama, Higashi-hiroshima 739-8529
dgoto@hiroshima-u.ac.jp

Prior economic analysis of reward system and patent system have little attention to innovation research options and environmental externalities. Unlike those prior analyses, this paper examines reward system and patent system with environmental externality in the context of research with two alternatives: normal innovation and environmental innovation. This paper describes the following: Under a patent system, the innovator never prefers environmental innovation research to normal innovation research. On the other hand, under the reward system the innovator will prefer to environmental innovation research unless environmental damage's range is sufficient narrow. Furthermore, this paper shows reward system is more desirable than patent system for environmental innovation.