

R&D 投資，特許期間および参入コスト

常 廣 泰 貴

概 要

既存企業と参入企業による R&D 競争において，特許期間と参入コストがそれらの企業の R&D 投資行動にどのように関係するのかについて分析を行う。特許期間と参入コストの組合せと R&D 投資を行う企業の形態との関係を明らかにし，特許期間と企業形態との関係が一様ではないことを示す。

1 はじめに

本稿の目的は，既存企業と参入企業による R&D 競争において，特許期間と参入コストがそれらの企業の R&D 投資行動にどのように関係するのかについて分析することである。

特許期間と R&D 投資の関係については，Gilbert & Shapiro (1990) を始め特許デザイン（特許期間と保護範囲）などによる多くの分析がある。

また，自由参入下での特許期間と R&D 投資との関係については Denicolò (1999) の分析が挙げられる。

ただし，Denicolò (1999) のモデルでは企業は対称的な参入企業の場合であった。そこで，ここでは，既存企業と参入企業とが存在する非対称的な場合へと Denicolò (1999) のモデルを拡張することを試みることにする。

構成は以下の通りである。第 2 章でモデルを提示し，特許期間と参入コストが企業の R&D 投資行動に与える影響について分析を行う。続く，第 3 章では特許期間が R&D 投資と期待利得の割引現在価値に与える影響についてみる。最後に第 4 章でまとめを示す。

2 モデル

既存企業 1 社と複数の対称的な参入企業が存在し, それらの企業が新しい技術を求めて R&D 競争を行う場合を考える。新技術を最初に開発した企業は特許を獲得し, 特許が有効である特許期間中は市場を独占するものとする。ただし, 特許期間が終わると新技術はどの企業でも自由に利用できるものとする。

以下では, Denicolò (1999) に従い, Loury (1979) や Dasgupta and Stiglitz (1980) で用いられた R&D 技術を考える。すなわち, R&D 競争の開始時点において, 企業は一括して R&D 投資を行い, それが R&D の瞬間的成功確率である hazard rate を決定する⁽¹⁾とする。

x と y_j をそれぞれ, 既存企業の hazard rate, 参入企業 j の hazard rate とする。産業全体での hazard rate は $\phi \equiv x + \sum_{j=1}^n y_j$ で表される。ここで n は参入企業の数である。($j=1, 2, \dots, n$)

t 期までのどの企業も開発に成功しない確率は, $\exp[-\phi t]$ である。 t 期において最初に開発する企業が既存企業である確率は, $x \exp[-\phi t]$ であり, 最初に開発するの企業が参入企業 j である確率は, $y_j \exp[-\phi t]$ である。

既存企業の期待利得の割引現在価値は

$$\begin{aligned} V_i &= \int_0^{\infty} \exp[-(r+\phi)t] (x\Pi + \pi_0) dt - \alpha x \\ &= \frac{x\Pi + \pi_0}{r+\phi} - \alpha x \end{aligned} \quad (1)$$

となる。

ただし, Π は新技術を最初に開発したときに得られる利得であり, π_0 は新技術が開発されるまで既存企業が得ているフローの利得である。 αx は一括して行われる R&D 投資量であり, α は hazard rate 一単位当りに必要な R&D

(1) Lee and Wilde (1980) のように, R&D 投資をフローとするものもあるが, ここでは簡単化のため R&D 投資は一括して行われるものとする。

投資量を示す正の定数である。また r は割引率である。

特許期間が終わるまで新技術は利得をもたらすので、特許期間を T とすると

$$\begin{aligned}\Pi &= \int_0^T \exp[-rt] \pi_1 dt \\ &= (1 - \exp[-rT]) \frac{\pi_1}{r}\end{aligned}\quad (2)$$

となる。ここで π_1 は新技術のもたらすフローの利得であり、 π_0 よりも大きいとする。

参入企業が R&D 競争に参加するためには、参入コスト F が必要であるとす。参入企業 j の期待利得の割引現在価値は

$$V_{c_j} = \frac{y_j \Pi}{r + \phi} - \alpha y_j - F \quad (3)$$

となる。

企業は期待利得の割引現在価値を最大化するように R&D 投資を決定するので、既存企業と参入企業 j の一階の条件は、それぞれ、

$$(r + \phi - x)\Pi - \pi_0 - \alpha(r + \phi)^2 = 0 \quad (4)$$

$$(r + \phi - y_j)\Pi - \alpha(r + \phi)^2 = 0 \quad (5)$$

となる。⁽²⁾

(1)、(4)より、既存企業の期待利得の割引現在価値は

$$V_I = \Pi - \alpha(r + \phi + x) \quad (6)$$

と表すことができる。また(3)、(5)より、参入企業 j の期待利得の割引現在価値は

$$V_{c_j} = \Pi - \alpha(r + \phi + y_j) - F \quad (7)$$

と表すことができる。

R&D 競争への自由参入を仮定する。このときゼロ利潤条件 $V_{c_j} = 0$ が成立

(2) 二階の条件が満たされることは簡単に見てとれる。

R&D 投資, 特許期間および参入コスト

するものとする。ゼロ利潤条件と(5), (7)を用いると, 参入企業 j の hazard rate は

$$y_j = \frac{\sqrt{F\Pi} - F}{\alpha} \quad (8)$$

となる。

産業全体での hazard rate ϕ は, ゼロ利潤条件と(7), (8)より,

$$\phi = \frac{\Pi - \sqrt{F\Pi}}{\alpha} - r \quad (9)$$

となる。

対称的な参入企業を考えているので, 以下では添字 j を省略して $y_j = y$, $V_{c_j} = V_c$ とする。また参入企業全体での hazard rate を Y とする。(4), (9)より, 既存企業の hazard rate と参入企業全体での hazard rate は, それぞれ,

$$x = \frac{\sqrt{F\Pi} - F}{\alpha} - \frac{\pi_0}{\Pi} \quad (10)$$

$$Y = \frac{(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})^2}{\alpha} + \frac{\pi_0}{\Pi} - r \quad (11)$$

となる。

(6), (9)および(10)より, 既存企業の期待利得の割引現在価値は

$$V_I = \frac{\alpha\pi_0}{\Pi} + F \quad (12)$$

と表される。

既存企業の R&D 投資が正 ($x > 0$) となるためには(10)より,

(条件1) $T > \hat{T}$ かつ $f_-(T) < F < f_+(T)$

が成立することが必要となる。ただし, $f_-(T)$ と $f_+(T)$ は, それぞれ,

$$f_-(T) \equiv \frac{\left(\sqrt{\Pi} - \sqrt{\Pi - 4\alpha \frac{\pi_0}{\Pi}} \right)^2}{4} \quad (13)$$

$$f_+(T) \equiv \frac{\left(\sqrt{\Pi} + \sqrt{\Pi - 4\alpha \frac{\pi_0}{\Pi}}\right)^2}{4} \quad (14)$$

と定義され、 \hat{T} は $\Pi - 4\alpha\pi_0/\Pi = 0$ を満たす T 値で、

$$(1 - \exp[-r\hat{T}]) \frac{\pi_1}{r} = 2\sqrt{\alpha\pi_0} \quad (15)$$

を満たす。

また、 $T = \hat{T}$ のとき $f_-(T)$ と $f_+(T)$ は等しくなり、そのときの値を \hat{F} とすると、 $\hat{F} = \sqrt{\alpha\pi_0}/2 (= f_-(\hat{T}) = f_+(\hat{T}))$ となる。

参入企業の数 $n = Y/y$ より、

$$n = \frac{(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})^2 + \alpha \left(\frac{\pi_0}{\Pi} - r\right)}{\sqrt{F\Pi} - F} \quad (16)$$

となる。

R&D競争に参加する参入企業が、少なくとも1社存在するためには

$$(\sqrt{\Pi} - 2\sqrt{F})(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F}) + \alpha \left(\frac{\pi_0}{\Pi} - r\right) \geq 0 \quad (17)$$

という関係が成立しなければならない。すなわち、

(条件2) $T \leq \bar{T}$ または、 $T > \bar{T}$ かつ $\{0 \leq F \leq g_-(T)$ または、 $F \geq g_+(T)\}$ が成立することが必要である。

ただし $g_-(T)$ と $g_+(T)$ は、それぞれ、

$$g_-(T) \equiv \frac{\left(3\sqrt{\Pi} - \sqrt{\Pi - 8\alpha \left(\frac{\pi_0}{\Pi} - r\right)}\right)^2}{16} \quad (18)$$

$$g_+(T) \equiv \frac{\left(3\sqrt{\Pi} - \sqrt{\Pi - 8\alpha \left(\frac{\pi_0}{\Pi} - r\right)}\right)^2}{16} \quad (19)$$

と定義され、

\bar{T} は $\Pi - 8\alpha(\pi_0/\Pi - r) = 0$ を満たす T の値であり、

R&D 投資, 特許期間および参入コスト

$$1 - \exp[-r\bar{T}] \frac{\pi_1}{r} = -4ar + \sqrt{16(ar)^2 + 8a\pi_0} \quad (20)$$

を満たす。

また, $T = \bar{T}$ のとき $g_-(T)$ と $g_+(T)$ は等しくなり, その値を \bar{F} とすると $\bar{F} = 9(-4ar + \sqrt{16(ar)^2 + 8a\pi_0})/16 (=g_-(\bar{T}) = g_+(\bar{T}))$ となる。

参入企業の数 n と参入コスト F との関係についてみると, 次の補題 1 が得られる。

補題 1 $T > \bar{T}$ のとき, $F < g_-(\bar{T})$ ならば $\partial n / \partial F > 0$ となり, $F > g_+(\bar{T})$ ならば $\partial n / \partial F < 0$ となる。

証明

$P \equiv \sqrt{\Pi}(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})^2 + \alpha(\pi_0/\Pi - r)(\sqrt{\Pi} - 2\sqrt{F})$ と定義する。(16)より, $\partial n / \partial F = -P / (2\sqrt{F}(\sqrt{F\Pi} - F)^2)$ が得られる。したがって, $\partial n / \partial F$ の符号は P の符号と一致するので, 以下では P の符号についてみる。 $\Pi = \pi_0/r$ となる T を $T_{\Pi = \pi_0/r}$ と定義する。

まず, $(\bar{T} <) T < T_{\Pi = \pi_0/r}$ の場合 $(\pi_0/\Pi - r > 0)$ についてみる。

$F \leq \Pi/4$ のとき $P > 0$ となることは容易に分かる。 $F > \Pi/4$ のときは, $\bar{T} < T \Rightarrow \Pi/8 > \alpha(\pi_0/\Pi - r)$ であることに注意すると $P > \sqrt{\Pi}(3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F})(3\sqrt{\Pi} - 2\sqrt{F})/8$ が得られる。 $g_-(T) > F$ のとき $3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F} > 0$ であるから, $g_-(T) > F \Rightarrow P > 0$ という関係が成立することが分かる。また(17)が成立していることより, $P < \sqrt{\Pi}(3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F})(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})$ が得られる。 $g_+(T) < F$ のとき $3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F} < 0$ であるから, $g_+(T) < F \Rightarrow P < 0$ という関係が成立することが分かる。

次に, $T \geq T_{\Pi = \pi_0/r}$ の場合 $(\pi_0/\Pi - r \leq 0)$ についてみる。

$\text{sgn}[g_+(T) - \Pi] = -\text{sgn}[\pi_0/\Pi - r]$ が成立することより, $g_+(T) > \Pi$ となる。また, $\text{sgn}[g_-(T) - \Pi/4] = \text{sgn}[\pi_0/\Pi - r]$ が成立することより, $F \geq \Pi/4$ のと

き $g_-(T) < F$ となる。 $F \leq \Pi/4$ にときについてみると(17)が成立していることより、 $P > \sqrt{\Pi}(3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F})(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})$ が得られる。 $g_-(T) > F$ のとき $3\sqrt{\Pi} - 4\sqrt{F} > 0$ であるから、 $g_-(T) > F \Rightarrow P > 0$ という関係が成立することが分かる。以上により補題が証明された。

$T < \bar{T}$ のとき、 $P \equiv \sqrt{\Pi}(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F})^2 + \alpha(\pi_0/\Pi - r)(\sqrt{\Pi} - 2\sqrt{F}) = 0$ を満たす F を $F_{P=0}$ と定義する。すなわち、

$$F_{P=0} \equiv \frac{(\Pi + \alpha(\pi_0/\Pi - r) - \sqrt{\alpha(\pi_0/\Pi - r)(\Pi + \alpha(\pi_0/\Pi - r))})^2}{\Pi} \quad (21)$$

である。

このとき次の補題 2 が得られる。

補題 2 $T < \bar{T}$ のとき、 $F < (>) F_{P=0}$ であれば $\partial n / \partial F > (<) 0$ となる。

証明

$\partial P / \partial F = -(\sqrt{\Pi}(\sqrt{\Pi} - \sqrt{F}) + \alpha(\pi_0/\Pi - r)) / \sqrt{F}$ である。また $\bar{T} < T_{\Pi=\pi_0/r}$ より $\pi_0/\Pi - r > 0$ となるので、 $\partial P / \partial F < 0$ となる。以上で証明終わり。

(8)、(10)より、参入企業の R&D 投資は $y = x + \pi_0/\Pi$ となり、参入企業の R&D 投資は既存企業の R&D 投資よりも大きくなる。したがって、(条件 1) および(条件 2)が成立していれば、既存企業および参入企業が共に R&D 投資を行うことが保証される。

(条件 1)と(条件 2)が同時に成立しない場合には、少なくとも既存企業と参入企業が共に R&D 投資を行うことはない。すなわち、R&D 投資は全く行われないか、R&D 投資が行われるとすれば、それは既存企業のみが行うか、もしくは参入企業のみが行うかのいずれかとなる。

まず、既存企業のみが R&D 投資を行う場合についてみる。このとき既存企業の期待利得の割引現在価値は

R&D 投資, 特許期間および参入コスト

$$V_i = \frac{x\Pi + \pi_0}{r+x} - \alpha x \quad (22)$$

となる。

一階の条件

$$(r\Pi - \pi_0) - \alpha(r+x)^2 = 0 \quad (23)$$

を考慮すると

$$V_i = \Pi - \alpha(r+2x) \quad (24)$$

と表すことができる。

ただし,

$$x = \sqrt{\frac{r\Pi - \pi_0}{\alpha}} - r \quad (25)$$

である。

(25)より, 既存企業が R&D 投資を行うためには

(条件 3) $T > T_{x=0}$

が成立することが必要となる。

ただし, $T_{x=0}$ は(25)の右辺をゼロとする T の値で

$$(1 - \exp[-rT_{x=0}]) \frac{\pi_1}{r} = \frac{\pi_0}{r} + \alpha r \quad (26)$$

を満たすものである。

次に, 参入企業のみが R&D 投資を行う場合についてみる。自由参入を仮定しているので参入企業の期待利得の割引現在価値 V_c はゼロである。参入企業全体での hazard rate が産業全体での hazard rate となり,

$$Y = \frac{\Pi - \sqrt{F\Pi}}{\alpha} - r \quad (27)$$

と表される。

参入企業の hazard rate は(8)の左辺となり, 参入企業の企業数は $n = Y/y$ より,

$$n = \frac{\Pi - \sqrt{F\Pi} - \alpha r}{\sqrt{F\Pi} - F} \quad (28)$$

となる。

$n \geq 1$ となるためには

(条件4) $k(T) > F$

が成立することが必要となる。

ただし、

$$k(T) = (\sqrt{\Pi} - \sqrt{\alpha r})^2 \quad (29)$$

であり、 $T = \tilde{T}$ のとき、(29)の右辺の値はゼロとなる。すなわち、 \tilde{T} は

$$(1 - \exp[-r\tilde{T}]) \frac{\pi_1}{r} = \alpha r \quad (30)$$

を満たす。

(条件4)が成立するとき、 $Y \geq y > 0$ が成立することは容易にみてとれる。

(28)より

$$\frac{\partial n}{\partial F} = -\frac{1}{2} \left(\frac{n}{F} + \frac{\alpha r}{\sqrt{F\Pi} - F} \right) \quad (31)$$

であるから、参入企業のみがR&D投資を行う場合、参入企業の数 n は参入コスト F の減少関数となること分かる。

また、このときの既存企業の期待利得の割引現在価値は

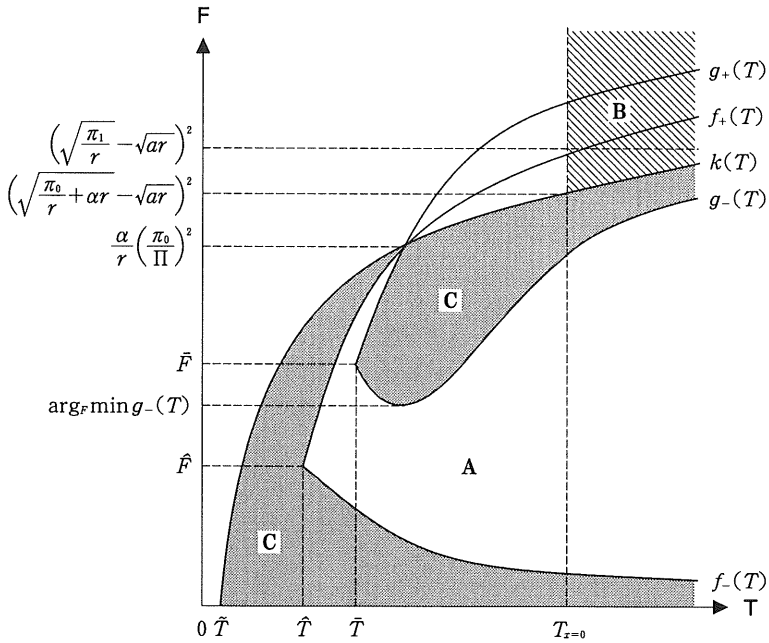
$$V_i = \frac{\pi_0}{r + Y} \quad (32)$$

となる。

(条件1)～(条件4)より、既存企業と参入企業のR&D投資と、特許期間 T と参入コスト F との関係⁽³⁾を考慮すると図1が得られる。図1より次の命題が得られる。

(3) ただし、図1は新技術開発前のフローの利得 π_0 が十分大きく、 $\pi_0 > 48\alpha r^2$ が成立している場合である。

図 1



命題

特許期間 T と参入コスト F の組 (T, F) が領域 A にあるときには既存企業と参入企業は共に R&D 投資を行う。また， (T, F) が領域 B にあるときには既存企業のみが R&D 投資を行い，領域 C にあるときには参入企業のみが R&D 投資を行う。 (T, F) が A, B, C のいずれの領域にも属さないときには R&D 投資は全く行われぬ。

参入コスト F が十分小さいとき ($F < \arg \min_F g_-(T)$) か，または， $\frac{\alpha}{r} \left(\frac{\pi_0}{\Pi} \right)^2 < F < \left(\sqrt{\frac{\pi_0}{r} + \alpha r} - \sqrt{\alpha r} \right)^2$ を満たす範囲にあるときには，特許期間 T がゼロから増加するにつれて，全く行われなかった R&D 投資は参入企業

によって行われるようになり、続いて既存企業も R&D 投資を行うようになる。

一方、参入コスト F が十分大きいとき ($F > k(\infty) = (\sqrt{\pi_1/r} - \sqrt{\alpha r})^2$) には、特許期間 T がゼロから増加するにつれて、全く行われなかった R&D 投資は既存企業によって行われるようになる。

また、参入コスト $(\sqrt{\pi_0/r + \alpha r} - \sqrt{\alpha r})^2 < F < k(\infty) = (\sqrt{\pi_1/r} - \sqrt{\alpha r})^2$ の範囲にあるときには、特許期間 T がゼロから増加するにつれて、全く行われなかった R&D 投資は既存企業が行うようになるが、やがて参入企業が R&D 投資を行うようになると既存企業は R&D 投資を行うのを止める。

さらに、参入コスト F が $\underset{F}{\operatorname{argmin}}_F(T) < F < \alpha/r(\pi_0/\Pi)^2$ を満たす範囲にあるときには、特許期間 T がゼロから増加するにつれて、全く行われなかった R&D 投資は参入企業によって行われるようになり、続いて、既存企業も R&D 投資を行うようになるが、ある特許期間 T の範囲においては既存企業は一時的に R&D 投資を行なうのを止める。

3 R&D 投資と期待利得の割引現在価値

ここでは、特許期間 T が R&D 投資と期待利得の割引現在価値に与える影響についてみる。ただし、同じ領域内での影響についてみるものとする。

・既存企業と参入企業が共に R&D 投資を行う場合（領域 A）

(10), (8)より,

$$\frac{dx}{dT} = \left(\frac{\sqrt{F}}{2\alpha\sqrt{\Pi}} + \frac{\pi_0}{\Pi^2} \right) \frac{d\Pi}{dT} \quad (33)$$

$$\frac{dy}{dT} = \frac{\sqrt{F}}{2\alpha\sqrt{\Pi}} \frac{d\Pi}{dT} \quad (34)$$

が得られる。

$d\Pi/dT = (\pi_1/r)\exp[-rT]$ であるから、既存企業と参入企業の R&D 投資

R&D 投資，特許期間および参入コスト

は特許期間 T が増加すれば増加することが分かる。

また，(11)，(9)より，

$$\frac{dY}{dT} = \left(\frac{\Pi - \sqrt{F\Pi} - \alpha \frac{\pi_0}{\Pi}}{\alpha\Pi} \right) \frac{d\Pi}{dT} \quad (35)$$

$$\frac{d\Phi}{dT} = \left(\frac{2\sqrt{\Pi} - \sqrt{F}}{2\alpha\sqrt{\Pi}} \right) \frac{d\Pi}{dT} \quad (36)$$

が得られる。

(9)より(35)の右辺は正となり， $\Pi > F$ であることより(36)の右辺は正となる。したがって，参入企業全体での R&D 投資と産業全体での R&D 投資は特許期間 T が増加すれば増加することが分かる。

また，(12)より，

$$\frac{dV_I}{dT} = -\frac{\alpha\pi_0}{\Pi^2} \frac{d\Pi}{dT} \quad (37)$$

となるので，既存企業の期待利得の割引現在価値は特許期間 T が増加すれば減少することが分かる。

・既存企業のみが R&D 投資を行う場合（領域 B）

参入企業は R&D 投資を行わないので $Y=y=0$ である。したがって，このとき既存企業の R&D 投資が産業全体での R&D 投資となる。(25)，(24)より，

$$\frac{dx}{dT} = \frac{r}{2\sqrt{\alpha}(r\Pi - \pi_0)} \frac{d\Pi}{dT} \quad (38)$$

$$\frac{dV_I}{dT} = \left(\frac{\sqrt{\alpha}(r\Pi - \pi_0) - \alpha r}{\sqrt{\alpha}(r\Pi - \pi_0)} \right) \frac{d\Pi}{dT} \quad (39)$$

となる。

一階の条件(23)が成立することより，(38)，(39)の右辺は正となるので既存企業の R&D 投資と期待利得の割引現在価値は特許期間 T が増加すれば増加

することが分かる。

・参入企業のみが R&D 投資を行う場合（領域 C）

参入企業の hazard rate は(8)となり、参入企業全体での hazard rate が産業全体での hazard rate となるので、 dy/dT 、 dY/dT はそれぞれ、(34)、(36)で表される。したがって、参入企業の R&D 投資および参入企業（産業）全体での R&D 投資は特許期間 T が増加すれば増加することが分かる。

また、(32)より、

$$\frac{dV_I}{dT} = -\frac{\pi_0}{(r+Y)^2} \frac{dY}{dT} \quad (40)$$

となることより、既存企業の割引現在価値は特許期間 T が増加すれば減少することが分かる。

既存企業と参入企業が共に R&D 投資を行う場合、既存企業のみが R&D 投資を行う場合、また、参入企業のみが R&D 投資を行う場合のいずれにおいても、参入企業の期待利得の割引現在価値はゼロ利潤条件が成立することにより特許期間 T の影響は受けない。

4 ま と め

既存企業と参入企業による R&D 競争において、特許期間と参入コストがそれらの企業の R&D 投資行動とどのように関係するのかについて分析を行った。

ここで分かったことは、特許期間と参入コストの組合せによって、R&D 投資を行う企業の形態が決まるということである。すなわち、既存企業と参入企業が共に R&D 投資を行う場合、既存企業または参入企業のどちらか一方のみが R&D 投資を行う場合、R&D 投資が全く行われぬ場合などが、特許期間と参入コストの組合せによって決定されるのである。

いずれの場合においても、特許期間が増加すれば個々の企業および産業全体

R&D 投資, 特許期間および参入コスト

での R&D 投資は増加するが, 特許期間と R&D 投資を行う企業形態との関係は一樣ではないことが分かった。

例えば, 参入コストの値に応じては, 特許期間がゼロから増加するにつれて, 最初は全く行われなかった R&D 投資が参入企業によって行われるようになり, 続いて, 既存企業も R&D 投資を行うようになる。更に特許期間が増加すると既存企業は一旦, R&D 投資を行うのを止めてしまうが, やがて再び R&D 投資を行うようになるということなどである。

ただし, ここでは最適特許期間などの社会的厚生についての分析は行っていない。それについては今後の課題としたい。

参 考 文 献

- Dasgupta, P. and Stiglitz, J., 1980. Uncertainty, industrial structure and the speed of R & D. *Bell Journal of Economics*, 11, 1-28.
- Denicolò, V., 1999. The optimal life of a patent when the timing of innovation is stochastic. *International Journal of Industrial Organization*, 17, 827-846.
- Gilbert, R. and Shapiro, C., 1990. Optimal patent length and breadth. *Rand Journal of Economics*, 21, 106-112.
- Lee, T. and Wilde, L., 1980. Market structure and innovation: A reformulation. *Quautility Journal of Economics*, 94, 429-436.
- Loury, G. C., 1979. Market structure and innovation. *Quarterly Journal of Economics*, 93, 395-410.