

特許期間と既存企業の R&D 投資

常 廣 泰 貴

概 要

既存企業と自由参入する参入企業とが R&D 競争を行なう場合、R&D 技術や R&D 投資のタイミングに違いがなければ、R&D 投資は参入企業のみが行なうことが多くの論文で示されてきた。ここではそのように既存企業と参入企業とが対称的な場合でも、特許期間が有限であれば既存企業も R&D 投資を行なうことを示す。

1 はじめに

既存企業と自由参入する参入企業とが R&D 競争を行なう場合、既存企業は R&D 投資を全く行なわず、参入企業のみが R&D 投資を行なうことが多くの論文で示されてきた。例えばそれらのものとして Grossman and Helpman (1991), Segerstrom (1991), Aghion and Howitt (1992) などの内生的成長理論のモデルが挙げられる。

それに対して既存企業の方が参入企業よりも R&D 費用が低いというような、既存企業に R&D 技術の優位性がある場合においては、既存企業も R&D 投資を行なうことが示された。このように既存企業と参入企業の R&D 技術が非対称性である場合については Barro and Salai-i-Martin (1995) や Segerstrom and Zolnierrek (1999) などが分析している。

また、既存企業と参入企業の R&D 技術が同じであっても、既存企業の方が参入企業よりも先に R&D 投資を行なえとした場合、すなわち既存企業が R&D 競争のシュタッケルベルグ・リーダーとなれる場合においては、既

特許期間と既存企業の R&D 投資

存企業も R&D 投資を行なうことが Etro (2004) によって示された。

本項では、既存企業と自由参入する参入企業とが R&D 競争を行なう場合、特許期間が既存企業の R&D 投資行動に与える影響についてみる。既存企業と参入企業の R&D 技術や R&D 投資のタイミングが同じである場合、特許期間が無限であれば既存企業は R&D 投資を行なわないが、特許期間が有限であるなら R&D 投資を行なうことを示す。

本稿の構成は次のとおりである。まず、第 2 章で分析の基本となるモデルを提示し、既存企業の R&D 投資についての命題を求める。また、第 3 章では R&D 成功確率を示す関数と特許期間について簡単な具体例を挙げて分析を行なう。最後に第 4 章でまとめを示す。

2 モデル

既存企業と自由参入する参入企業との R&D 競争についてみる。既存企業と参入企業の R&D 技術は同じであるとする。すなわち、R&D 投資を z とした場合、既存企業も参入企業もその R&D 成功確率は共に $p(z)$ で表され違いはない。ただし、 $p' > 0$, $p' < 0$ で $p(0) = 0$, $\lim_{z \rightarrow \infty} p(z) = 1$ である。

技術の特許期間を T とする。既存企業は新技術が開発されない限り、特許期間中では每期フローの利得 π を得る。新技術がライバルである参入企業によって開発されると既存企業はフローの利得 π を得ることができなくなり、その値はゼロとなる。既存企業が新技術を開発すれば、その新技術は新たに特許期間 T を得て既存企業にフローの利得 π をもたらす。ただし、新技術を開発した企業が複数の場合は、価格競争などによりフローの利得はゼロになる。

既存企業の R&D 投資を x とし、参入企業 i の R&D 投資を y_i とする。 $i = 1, 2, \dots, n$ であり、 n は R&D 競争に参加する参入企業数である。固定費用を F とし、割引率を δ で表す。

いま特許の残余期間が t 、すなわち特許の有効期間が後 t 期残っている場合を考える。このとき既存企業の期待利得の割引現在価値を $V_i(t)$ で表すと、

$$V_i(t) = \pi + p(x) \prod_{i=1} (1-p(y_i)) \delta V_i(T) \\ + (1-p(x)) \prod_{i=1} (1-p(y_i)) \delta V_i(t-1) - x - F \quad (1)$$

となる。

右辺の第一項は、この期に得られるフローの利得である。既存企業のみが R&D に成功し他の参入企業は全て R&D に失敗したときには、既存企業は次期から特許期間が T である新技術によってフローの利得を得られる。

右辺の第二項はそれが実現する確率を考慮した場合の次期での期待利得の割引現在価値を割引率を用いて今期の値で評価したものである。

既存企業と参入企業を問わず全ての企業が R&D に失敗したときには、特許の残余期間が 1 期減少することにより既存企業の次期での期待利得の割引現在価値は $V_i(t-1)$ となる。右辺の第三項はそれが実現する確率を考慮した次期での期待利得の割引現在価値を割引率を用いて今期の値で評価したものである。したがって、これら三つの項を合わせると今期での既存企業の期待利得の割引現在価値が得られる。

特許の残余期間が t のとき、参入企業の期待利得の割引現在価値を $V_e(t)$ とすると、

$$V_e(t) = p(y_i) (1-p(x)) \prod_{j \neq i} (1-p(y_j)) \delta V_i(T) - y_i - F \quad (2)$$

となる。

右辺は参入企業 i のみが R&D に成功し、他の企業が全て R&D に失敗する場合の確率を考慮して、次期での参入企業の期待利得の割引現在価値を割引率を用いて今期の値で評価したものである。参入企業は今期、フローの利得は得ていないので右辺が今期での参入企業の期待利得の割引現在価値を表すことになる。

さて、既存企業の最適な R&D 投資のための 1 階の条件を求めると、

$$\frac{\partial V_i(t)}{\partial x} = p'(x) \prod_{i=1} (1-p(y_i)) \delta (V_i(T) - V_i(t-1)) - 1 = 0 \quad (3)$$

特許期間と既存企業の R&D 投資

となる。

同様に参入企業の最適な R&D 投資のための 1 階の条件は、

$$\frac{\partial V_E(t)}{\partial y_i} = p'(y_i)(1-p(x)) \prod_{j \neq i} (1-p(y_j)) \delta V_i(T) - 1 = 0 \quad (4)$$

となる。

ここでは、参入企業による自由参入を考えているので、

$$V_E(t) = p(y_i)(1-p(x)) \prod_{j \neq i} (1-p(y_j)) \delta V_i(T) - y_i - F = 0 \quad (5)$$

が成立する。

(4)と(5)より、次の式が得られる。

$$\frac{p(y_i)}{p'(y_i)} = y_i + F. \quad (6)$$

(6)の内点解となる R&D 投資 y_i が存在すると仮定しそれを y^* とする。この R&D 投資 y^* は、既存企業の R&D 投資や企業数とは関係していないことが分かる。

特許の残余期間が t であるときの既存企業の R&D 投資を $x(t)$ とし、参入企業の数 $n(t)$ とする。 $x(t)$ と $n(t)$ について特許期間が無限大のときと有限のときとに分けて分析を行なう。

(I) 特許期間が無限大 ($T = \infty$)。

このとき特許の残余期間は $t = \infty$ となるので、 $V_i(\lim_{t \rightarrow \infty} (t-1)) = V_i(\lim_{t \rightarrow \infty} t) = V_i(\infty)$ である。したがって、(1)の右辺は、

$$\pi + \prod_{i=1} (1-p(y_i)) \delta V_i(\infty) - x(\infty) - F \quad (7)$$

となる。この値は $x(\infty) = 0$ のとき最大となることは明らかである。したがって、特許期間が無限大のとき既存企業の R&D 投資への誘因はなく $x(\infty) = 0$ となることが分かる。

また、特許期間が無限大のときの参入企業の数 $n(\infty)$ であるが、これは(4)

より、

$$p'(y^*)(1-p(y^*))^{n^{(\infty)}-1}\delta V_i(\infty)=0 \quad (8)$$

を満たすように定まる。

既存企業の期待利得の割引現在価値 $V_i(\infty)$ は、

$$V_i(\infty)=\frac{\pi}{1-(1-p(y^*))^{n^{(\infty)}}}-F \quad (9)$$

と表される。(8)と(9)より $V_i(\infty)$ と $n^{(\infty)}$ の値を求めることができる。自由参入であるので企業の期待利得の割引現在価値 $V_E(\infty)$ はゼロである。

(II) 特許期間が有限 ($1 \leq t \leq T < \infty$)。

(3), (4)と $y_t=y^*$ であることより、特許の残余期間が t のときの既存企業の R&D 投資 $x(t)$ は、

$$\frac{p'(x(t))}{1-p(x(t))} \frac{1-p(y^*)}{p'(y^*)} \frac{V_i(T)-V_i(t-1)}{V_i(T)}=1 \quad (10)$$

から得られる。

まず、 $t=1$ のときについてみる。特許の残余期間がゼロであれば、既存企業はフローの利得 π を得ることができないので $V_i(0)=0$ となる。このことに注意すれば(10)は、

$$\frac{p'(x(1))}{1-p(x(1))} \frac{1-p(y^*)}{p'(y^*)}=1 \quad (11)$$

となる。

R&D 投資の成功確率を表す関数 $p(\cdot)$ は既存企業も参入企業も同じであるので $x(1)=y^*$ となることが分かる。したがって、 $t=1$ のときには全ての企業が同じ値 (y^*) の R&D 投資を行なうことになる。

既存企業と同じ値の R&D 投資を行なう参入企業の期待利得の割引現在価値 V_E がゼロとなることに注意して、(1)と(2)を比較するれば、このときの既存企業の期待利得の割引現在価値は、

$$V_i(1)=\pi \quad (12)$$

特許期間と既存企業の R&D 投資

となることが分かる。

また、このときの参入企業の数 $n(1)$ は、

$$p'(y^*)(1-p(y^*))^{n(1)}\delta V_1(T)=1 \quad (13)$$

を満たす。

次に $t \geq 2$ である場合についてみる。 $E(y^*) \equiv (1-p(y^*)) / p'(y^*)$ とおくと、(10)より(1)は次のように表されることが分かる。

$$V_i(t) = \pi + \frac{E(y^*)}{1-p(x(t))} \frac{1-p(x(t))}{p'(x(t))} x(t) - F \quad (14)$$

既存企業の期待利得の割引現在価値は、特許の残余期間が長いほどその値は大きいと考えられる。そうでなければ、既存企業は自ら技術に関する情報を公開して残余期間を短くすることで期待利得の割引現在価値を大きくできることになる。そこで、ここでは $V_i(t-1) < V_i(t)$ となる場合について考えることにする。

ところで、(10)より、 $V_i(t-1) < V_i(t)$ のときには $x(t-1) > x(t)$ でなければならないことが分かる。そこで、(14)の右辺で $x(t)$ に関連するものをまとめて、

$$H(x(t)) \equiv \frac{E(y^*)}{1-p(x(t))} \frac{1-p(x(t))}{p'(x(t))} x(t) \quad (15)$$

とする。

$V_i(t-1) < V_i(t) \rightarrow x(t-1) > x(t)$ であるためは、 $\partial H(x(t)) / \partial x(t) < 0$ でなければならない。

$$\frac{\partial H(x(t))}{\partial x(t)} = \frac{E(y^*)(p'(x(t)))^3 + p''(x(t))(1-p(x(t)))^3}{(1-p(x(t)))^2(p'(x(t)))^2} \quad (16)$$

であるから、 $\partial H(x(t)) / \partial x(t) < 0$ であるためには、次の条件Aが成立すればよい。

$$\text{条件A : } E(y^*)(p'(x(t)))^3 + p''(x(t))(1-p(x(t)))^3 < 0.$$

条件Aが成り立つとき、次のことが言える。

命題 1

特許の残余期間が長いほど既存企業の R&D は小さくなる。

$$x(1) > x(2) > \dots > x(t-1) > x(t) > \dots > x(T-1) > x(T).$$

特許の残余期間が1のとき $x(1) = y^*$ となり、既存企業と参入企業の R&D 投資は等しい。参入企業の R&D 投資は特許の残余期間とは関係せず一定であり、既存企業の R&D 投資は特許の残余期間が長くなるほど小さくなるので、既存企業の R&D 投資は参入企業の R&D 投資よりも大きくはならないことが分かる。これは、新技術によってもたらされる利得が現在の技術によってもたらされる利得に取って代わるアロー効果によるものである。

命題 2

特許の残余期間が長いほど参入企業数は少ない。

$$n(1) > n(2) > \dots > n(t-1) > n(t) > \dots > n(T-1) > n(T).$$

参入企業の R&D 投資は一定 ($y_i = y^*$) であり、特許の残余期間が長くなれば既存企業の R&D が小さくなるので(4)より命題2が成立することが分かる。

特許期間が無限大のときには、全ての参入企業が R&D に成功しなければ、たとえ R&D に成功しなくても既存企業は R&D 投資前と同じ期待利得の割引現在価値 $V_i(\infty)$ を得ることができる。したがって、このとき既存企業の R&D 投資への誘因はなくなる。ところが、特許期間が有限のときには、全ての参入企業が R&D に成功しなかったとしても、自らが R&D に成功しなければ期待利得の割引現在価値は特許の残余期間が1期少ないものになってしまう。その確率を小さくするために既存企業は R&D 投資への誘因を持つことになる。特許の残余期間が短くなれば期待利得の割引現在価値も小さくなるの

特許期間と既存企業の R&D 投資

で、R&D 投資への誘因は特許の残余期間が短くなるほど大きくなる。

3 具 体 例

ここでは、特許期間は $T=2$ で R&D 成功確率は $p(z)=z/(z+1)$ で表される場合についてみる。 $p(z)$ は $p'>0$, $p''<0$ で $p(0)=0$, $\lim_{z \rightarrow \infty} p(z)=1$ を満たすことは容易に確かめられる。また、整合性のための条件 A についてみると、

$$E(y^*)(p'(x(t)))^3 + p''(x(t))(1-p(x(t)))^3 = \frac{y^*-1}{(x(2)+1)^6} < 0 \quad (17)$$

となることより、以下では $y^* < 1$ が満たされているとして分析を行なう。

まず、特許の残余期間が $t=1$ である場合についてみる。参入企業の R&D 投資 y^* は (6) より、 $y^* = \sqrt{F}$ となることが分かる。(11) より既存企業と参入企業の R&D 投資は等しくなり、 $x(1) = y^* = \sqrt{F}$ となる。

また、この場合の既存企業の期待利得の割引現在価値は (12) より $V_I(1) = \pi$ であり、参入企業の期待利得の割引現在価値は自由参入より $V_E(1) = 0$ である。

次に特許の残余期間が $t=2$ である場合についてみる。(10)は、

$$\frac{y^*+1}{x(2)+1} \frac{V_I(2)-\pi}{V_I(2)} = 1 \quad (18)$$

となるので、

$$V_I(2) = \frac{\pi(y^*+1)}{y^*-x(2)} \quad (19)$$

が得られる。

$y^{*2} = F$ であることに注意すると、(14)は、

$$V_I(2) = \pi + (y^*-1)(x(2) - y^*) \quad (20)$$

となる。

したがって、(19)と(20)より、

$$\pi(x(2)+1) = (1-y^*)(y^*-x(2))^2 \quad (21)$$

が得られる。

ここで、 y^* と π について次の条件Bが成立しているとする。

条件B： $y^{*2} - \pi / (1 - y^*) > 0$ 。

(21)より $x(2)$ を求めると、

$$x(2) = \frac{2y^* + \frac{\pi}{1-y^*} - \sqrt{\left(\frac{\pi}{1-y^*}\right)^2 + 8y^*\left(\frac{\pi}{1-y^*}\right)}}{2} \quad (22)$$

となる。

条件Bが成立しているとき、 $x(2) > 0$ であることが確かめられる。また、このとき既存企業と参入企業の R&D 投資の大きさを比較すると、

$$y^* - x(2) = \frac{-\frac{\pi}{1-y^*} + \sqrt{\left(\frac{\pi}{1-y^*}\right)^2 + 8y^*\left(\frac{\pi}{1-y^*}\right)}}{2} > 0 \quad (23)$$

であるので、既存企業の R&D 投資は参入企業の R&D 投資よりも小さいことが分かる ($y^* > x(2)$)。また、 $x(1) = y^* = \sqrt{F}$ であったので $x(2) > x(1) = \sqrt{F}$ であることが分かる。すなわち、特許の残余期間が短くなれば既存企業の R&D 投資が小さくなることが示された。

このときの既存企業の割引現在価値は(19)より、 $V_I(2) = \pi(y^* + 1) / (y^* - x(2))$ と表されるが、 $(y^* + 1) / (y^* - x(2)) > 1$ であるので $V_I(2) > \pi$ となる。 $V_I(1) = \pi$ であることより、 $V_I(2) > V_I(1)$ となることが分かる。したがって、特許の残余期間が短くなれば既存企業の期待利得の割引現在価値は小さくなることが確かめられた。自由参入であるので参入企業の期待利得の割引現在価値は $V_E = 0$ である。

また、参入企業の数についてみると、(13)より、

$$n(1) = \frac{\ln\left(\frac{\delta V_I(2)}{(y^* + 1)^2}\right)}{\ln(y^* + 1)} \quad (24)$$

特許期間と既存企業の R&D 投資

が得られ、(4)より、

$$n(2) = \frac{\ln\left(\frac{\delta V_I(2)}{(y^*+1)(x(2)+1)}\right)}{\ln(y^*+1)} \quad (25)$$

が得られる。(24)と(25)を比較すると $y^* > x(2)$ であるので、 $n(1) > n(2)$ であることが分かる。すなわち、特許の残余期間が短くなれば参入企業の数が増加することが示された。

4 ま と め

既存企業と自由参入する参入企業とが R&D 競争を行なう場合、特許期間が既存企業の R&D 投資行動に与える影響についてみた。

既存企業と参入企業の R&D 技術や R&D 投資のタイミングが全く同じである場合、特許期間が無限であれば既存企業は R&D 投資を行なわないが、特許期間が有限であるなら R&D 投資を行なうことが示された。

特許期間が無限大のときには、全ての参入企業が R&D に成功しなければ、たとえ R&D に成功しなくても既存企業は R&D 投資前と同じ期待利得の割引現在価値を得ることができるので既存企業の R&D 投資への誘因は生じない。ところが、特許期間が有限のときには、全ての参入企業が R&D に成功しなかったとしても、自らが R&D に成功しなければ特許の残余期間が減少するので期待利得の割引現在価値は小さくなってしまう。それを防ぐために既存企業は R&D 投資への誘因を持つことになるのである。

ここでは社会的厚生については分析を行っていないが、それは今後の課題としたい。

参 考 文 献

- Aghion, P. and Howitt, P., 1992. A model of growth through creative destruction. *Econometrica* 60, 323-351.
- Barro, R.J. and Sala-i-Martin, X., 1995. *Economic Growth*. New York: McGraw-Hill.

- Etro, F., 2004. Innovation by leaders. *The Economic Journal* 114, 281-303.
- Grossman, G. and Helpman, E., 1991. Quality ladders in the theory of growth. *Review of Economic Studies* 58, 43-61.
- Segerstrom, P., 1991. Innovation, imitation and economic growth. *Journal of Political Economy* 99, 807-827.
- Segerstrom, P. and Zolnierok, J., 1999. The R&D incentives of industry leaders. *International Economic Review* 40, 745-766.