

模倣的 R&D と既存企業の 期待成長率

常 廣 泰 貴

1 はじめに

企業間の R&D 競争について内生的成長理論の分野で多くの研究がなされているが、Segerstrom et al. (1990), Grossman and Helpman (1991), Aghion and Howitt (1992) などのその初期のものでは R&D を行うのは参入企業であり、既存企業は R&D を行わないとされている。参入企業と同時に既存企業も R&D 投資を行う場合については、既存企業に R&D 技術の優位性があるとして分析した Barro and Salai-i-Martin (1995), Segerstrom and Zolnierok (1999), Segal and Whinston (2007) などがある。また Etro (2004) は既存企業と参入企業の R&D 技術が全く同じであっても、既存企業の方が参入企業よりも先に R&D 投資を行なえるならば既存企業も R&D 投資を行うこと示した。

参入企業と同時に既存企業も R&D 投資を行う場合において、開発される技術が既存企業では製品の質を向上させる漸進的なものであり、参入企業では既存の技術に取って代わる革新的なものである場合については、Acemoglu and Cao (2010) や Denicolò and Zanchettin (2012) などの分析がある。本稿では Denicolò and Zanchettin のモデルに注目して分析を試みる。そのモデルにおいては既存企業の期待成長率は企業規模と独立ではなく、期待成長率は企業規模が増加すれば減少して行くことが示されている。これはそれらが独立である

模倣的 R&D と既存企業の期待成長率

とする Gibrat の法則とは反する結論である。

本稿では Denicolò and Zanchettin と同様に既存企業の R&D は漸進的な技術開発であるとするが、参入企業の R&D は革新的なものではなく模倣的な技術開発である場合を想定して企業間の R&D 競争についてみることにする。

2 モデル

一つの既存企業と複数の参入企業との R&D 競争について考察を行う。既存企業はフローの利得を得ているが、そのフローの利得は R&D を成功させるにつれて段々と増加していくものとする。成功を重ねるにつれて既存企業の技術水準は上がっていき、参入企業との技術水準の差が段々と大きくなっていくものとする。ただし、参入企業が R&D に成功した場合は既存の技術を模倣することができ、既存企業の技術水準のリードは 1 段階縮まるものとする。 k 段階リードしているときの既存企業のフローの利得を $\pi(k)$ で表す。既存企業のハザードレートを x とする。これは R&D の瞬間的成功確率である。また k 段階リードしている既存企業が R&D に必要な費用を $C(x, k)$ で表す。参入企業 i のハザードレートを y_i とする。R&D を行う参入企業の数 n のとき、 k 段階リードしている既存企業の期待利得の割引現在価値 $V(k)$ は次のベルマン方程式で表される。

$$rV(k) = \max_x \left\{ \pi(k) + x[V(k+1) - V(k)] \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n y_i [V(k-1) - V(k)] - C(x, k) \right\}. \quad (1)$$

$(k=1, 2, \dots) \quad (i=1, 2, \dots, n)$

ただし、 r は割引率である。右辺の第 1 項はフローの利得であり、第 2 項は既存企業が R&D に成功したときの価値の増加分を表している。第 3 項は参入企業の R&D 成功によって被る価値の減少分を表している。また、第 4 項は R&D に必要となるフローの費用である。既存企業は右辺の値を最大にするようにハザードレートの値を決定し、それが左辺の資産の期待収益と等しく

なっている。

既存企業のリードがなくなった場合、すなわち0段階リードでのフローの利得はゼロであるとする。

$$\pi(0)=0. \quad (2)$$

既存企業の決定するハザードレートは次の1階の条件によって求められる。

$$V(k+1)-V(k)=C'(x, k). \quad (k=1, 2, \dots) \quad (3)$$

k 段階リードしているときの既存企業のフローの利得は次のように表されるとする。

$$\pi(k)=\pi_0 g^k. \quad (\pi_0 > 0, g > 1) \quad (k=1, 2, \dots) \quad (4)$$

既存企業のリードが1段階高くなるにつれて、フローの利得は1よりも大きい g の率で増加するものとする。

また、R&Dに必要となるフローの費用はハザードレート x について逡増しており、リードする段階が高くなるにつれて g の率で増加するものとする。ここでは簡単化のためフローの費用 x はの2次関数であるとし

$$C(x, k)=cg^k x^2 \quad (c > 0) \quad (k=1, 2, \dots) \quad (5)$$

で表されるとする。(5)はリードする段階が高くなるにつれてR&Dが難しくなることを表している。

リードが1段階高くなるにつれてフローの利得と費用は同じ g の率で大きくなるので、既存企業の期待利得の割引現在価値は

$$V(k)=v_0 g^k \quad (v_0 > 0) \quad (k=1, 2, \dots) \quad (6)$$

という形で表されることになる。これによりリードが k 段階から一段階高くなることによる既存企業の価値の増加分は

$$V(k+1)-V(k)=v_0(g-1)g^k \quad (k=1, 2, \dots) \quad (7)$$

と表される。(5)より、R&Dの限界費用は

$$C'(x, k)=2cg^k x \quad (k=1, 2, \dots) \quad (8)$$

であるので、(3)の1階の条件より既存企業のハザードレートを求めると

模倣的 R&D と既存企業の期待成長率

$$x = \frac{v_0(g-1)}{2c} \quad (9)$$

が得られる。また、(9)を(5)に代入することにより、既存企業の R&D 費用は

$$C(x, k) = \frac{v_0^2(g-1)^2g^k}{4c} \quad (k=1, 2, \dots) \quad (10)$$

と表される。

(9)より、既存企業のハザートレートはリードの段階 k には依存せず一定であることが分かる。これはリードの段階が高くなるにつれて期待利得の割引現在価値は増加して行くが、一方、R&D の費用もそれと比例して増加して行くことによるものである。

(6), (7), (9), (10)を(1)に代入することにより、次の関係が得られる。

$$\frac{\pi_0}{v_0} + \frac{v_0(g^2-1)}{4c} = r + x + (1-g^{-1}) \sum_{i=1}^n y_i. \quad (11)$$

次に、参入企業についてみる。ここでは R&D 競争に自由参入する参入企業を考える。

参入企業は R&D に成功すると既存企業の技術を模倣することができる。R&D 成功後に参入企業が得られる期待利得の割引現在価値は 1 段階リードの既存企業のものと比較して、その t 倍であるとする。($t > 0$) また、R&D 競争に参入する場合は固定費用として F が必要であるとする。

このとき、参入企業 i の固定費用の支払いを考慮した期待利得の割引現在価値 V_E は次のベルマン方程式で表されることになる。

$$r(V_E + F) = \max_{y_i} \left\{ y_i [tV(1) - (V_E + F)] - \left(x + \sum_{j \neq i} y_j \right) (V_E + F) - C_E(y_i) \right\} \quad (12)$$

$$(i=1, 2, \dots, n)$$

(12)の右辺の第 1 項は参入企業が R&D に成功したときの価値の増加分を

表している。参入企業が R&D に成功すれば既存企業の技術を模倣することができ、参入企業の期待利得の割引現在価値は $tV(1)$ となる。第 2 項は既存企業やライバルの参入企業が R&D に成功したときの価値の減少分を表している。第 3 項は R&D に必要となるフローの費用である。参入企業は右辺の値を最大にするようにハザードレートの値を決定し、それが左辺の資産の期待収益と等しくなっている。

参入企業の決定するハザードレートは次の 1 階の条件によって求められる。

$$tV(1) - (V_E + F) = C'_E(y_i). \quad (13)$$

自由参入を想定しているので、参入企業の期待利得の割引現在価値は、

$$V_E = 0 \quad (14)$$

となる。

参入企業が R&D を行うために必要となるフローの費用は、

$$C_E(y_i) = c_E y_i^2 \quad (c_E > 0) \quad (15)$$

で表されるとする。ここで想定している参入企業の R&D は、最新の技術に取って代わる革新的のものではなく、既存企業が過去に開発した技術を模倣するためのものである。そのため既存企業が最新の技術により k 段階リードしていたとしても、参入企業の R&D 費用は既存企業のリードの段階には影響されないものとする。

(6) より、 $tV(1) = tv_0g$ であることと、1 階の条件(13)と自由参入条件(14)により、参入企業のハザードレートは、

$$y_i = \frac{tv_0g - F}{2c_E} \quad (16)$$

となる。(16)より、参入企業のハザードレートは既存企業のリードの段階には影響されず一定であることが分かる。ただし、参入企業が R&D を行うためには、

$$tv_0g > F \quad (17)$$

という関係が満たされる必要がある。

模倣的 R&D と既存企業の期待成長率

(15), (16)より, 参入企業が R&D を行うためのフローの費用は,

$$C_E(y_i) = \frac{(tv_0g - F)^2}{4c_E} \quad (18)$$

となる。

また, (12), (14), (18)より次の関係が得られる。

$$\frac{(tv_0g)^2 - F^2}{4c_E F} = r + x + \sum_{i=1}^n y_i. \quad (19)$$

参入企業は対称的であるとするので, 全ての参入企業のハザードレートは等しくなり, それを $y (= y_i)$ とする。参入企業数は n であるので, 参入企業全体でのハザードレートは ny となる。

このことより, (11), (19)はそれぞれ, 以下のように表される。

$$\frac{\pi_0}{v_0} + \frac{v_0(g^2 - 1)}{4c} = r + x + (1 - g^{-1})ny, \quad (20)$$

$$\frac{(tv_0g)^2 - F^2}{4c_E F} = r + x + ny. \quad (21)$$

既存企業の期待利得の割引現在価値を構成する v_0 の値は (9), (20), (21)より,

$$\frac{1}{(g-1)} \left(\frac{\pi_0}{v_0} g - r \right) = \frac{1}{4cc_E F} [c^2 g^2 v_0^2 - c_E F (g-1)(g+2)v_0 - cF^2] \quad (22)$$

を満たすように決定される。

(22)の右辺は v_0 の2次関数であり, 正負二つの実数解を持つ。そのうち正の実数解を \bar{v}_0 とすると,

$$\bar{v}_0 = \frac{c_E(g-1)(g+2) + \sqrt{c_E^2(g-1)^2(g+2)^2 + 4c^2g^2}}{2ct^2g^2} F \quad (23)$$

となる。

(23)の右辺の分子のルート内と分母に注目すれば, 明らかに,

$$t\bar{v}_0g > F \quad (24)$$

という関係が成立していることが分かる。

既存企業が1段階リードしているときのフローの利得 $\pi(1) = \pi_0 g / r$ と \bar{v}_0 の大小関係により、次の二つのケースが得られる。

ケース1： $\pi_0 g / r > \bar{v}_0$

このとき、 $\pi_0 g / r > v_0 > \bar{v}_0$ という関係が成立する。（図1参照。）(24)より $\bar{v}_0 > F / t g$ であるので、参入企業がR&Dを行うための条件(17)が成立することが分かる。

ケース2： $\pi_0 g / r < \bar{v}_0$

このとき、 $\pi_0 g / r < v_0 < \bar{v}_0$ という関係が成立する。（図2参照。）

ここで、次の関係

$$\frac{t\pi_0 g^2}{r} > F \quad (25)$$

が成立していると仮定する。このとき、ケース2においても参入企業がR&Dを行うための条件(17)が成立することが分かる。ケース1、ケース2のいずれの場合でも、参入企業はR&Dを行うことになり、参入企業のハザードレート y は正の値を持つことが分かる。

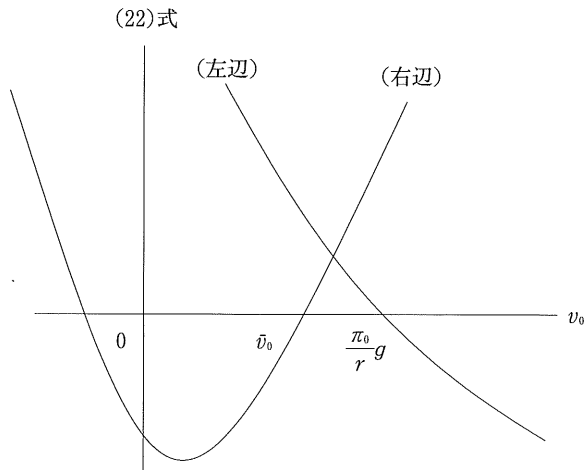


図1

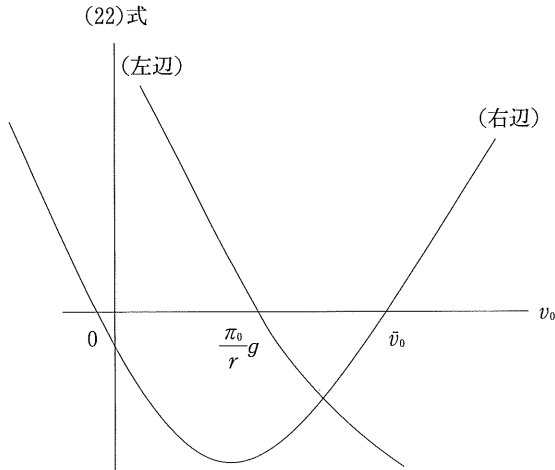


図 2

参入企業全体でのハザードレート ny についてみる。

(20), (21) より, ny は,

$$ny = \left[\frac{(tv_0g)^2 - F^2}{4c_E F} - \left(\frac{\pi_0}{v_0} + \frac{v_0(g^2 - 1)}{4c} \right) \right] g \quad (26)$$

と表される。

(9), (21), (26) より,

$$\frac{(tv_0g)^2 - F^2}{4c_E F} = \frac{v_0(g-1)(g+2)}{4c} + \frac{g}{g-1} \frac{\pi_0}{v_0} - \frac{r}{g-1} \quad (27)$$

が得られ, (27)を(26)に代入することにより,

$$ny = \left[\frac{(g-1)^2 v_0^2 - 4c r v_0 + 4c \pi_0}{4c(g-1)v_0} \right] g \quad (28)$$

と表すことができる。

(28)の右辺の括弧内の分子は v_0 の 2 次関数であり, その判別式が負となるのは,

$$\frac{\pi_0}{r} > \frac{c}{(g-1)^2} \quad (29)$$

という関係が成立するときである。ここでは(29)が成立すると仮定する。このとき $ny > 0$ となり、 $y > 0$ であるので $n > 0$ であることが分かる。(28)より、参入企業全体でのハザードレートは既存企業のリードの段階によらず一定であることが分かる。また、(16)より、参入企業のハザードレートは一定であったので、自由参入する参入企業の数も一定であることが分かる。

次に、参入企業全体でのハザードレート ny と既存企業のハザードレート x の大きさを比較する。(9), (28)より、

$$ny - x = \frac{v_0(g-1)(g-2)}{4c} + \frac{g}{g-1} \frac{\pi_0 - rv_0}{v_0} \quad (30)$$

が得られる。

(30)より参入企業全体でのハザードレート ny と既存企業のハザードレート x の大きさについて、次のことが言える。

少なくとも $\pi_0 > rv_0$ かつ $g \geq 2$ が成立するとき $\Rightarrow ny > x$

少なくとも $\pi_0 < rv_0$ かつ $1 < g \leq 2$ が成立するとき $\Rightarrow ny < x$

3 既存企業の期待成長率

ここでは、既存企業の期待成長率についてみることにする。既存企業の期待成長率は割引現在価値の期待成長率で表されるとする。既存企業の割引現在価値の期待成長率を $E[V(k)]$ とすると、

$$E[V(k)] = \frac{x[V(k+1) - V(k)] + ny[V(k-1) - V(k)]}{V(k)} \quad (31)$$

で表される

(31)の右辺の分子の第1項は既存企業がR&Dに勝利した場合での価値の期待増加分を表し、分子の第2項は参入企業がR&Dに勝利した場合での価値の減少分を表している。(31)の右辺の分子はR&Dによる価値の期待変化分であり、それを分母の現在価値で割ることにより、既存企業の期待成長率が得られる。

模倣的 R&D と既存企業の期待成長率

(6)より, (31)は,

$$E[V(k)] = (g-1) \left[x - \frac{ny}{g} \right] \quad (32)$$

となる。(9), (26)でみたように既存企業のハザードレート x 及び参入企業全体でのハザードレート ny は既存企業と参入企業の技術水準の差 k には依存せず一定であった。このことと(32)より, 既存企業の期待成長率は技術水準の差 k には依存せずに一定であることが分かる。

期待成長率の符号についてみる。(9), (28)より,

$$x - \frac{ny}{g} = \frac{v_0^2(g-1)^2 - 4c(\pi_0 - rv_0)}{4cv_0(g-1)} \quad (33)$$

となることが分かる。

$\pi_0 - rv_0$ の符号で場合分けを行い, (33)の左辺の符号についてみる。

(I) $\pi_0 - rv_0 < 0$ となる場合

$$x - \frac{ny}{g} > 0$$

となり, このとき既存企業の期待成長率は負となることが分かる。

(II) $\pi_0 - rv_0 > 0$ となる場合

(33)の右辺の分子をゼロとする1よりも大きい g の値を \bar{g} とすると

$$\bar{g} = \frac{2\sqrt{(\pi_0 - rv_0)c}}{v_0} \quad (34)$$

となる。

g と \bar{g} を比較すると,

(i) $g > \bar{g}$ のとき,

$$x - \frac{ny}{g} > 0$$

となるので, このとき既存企業の期待成長率は正となることが分かる。

(ii) $1 < g < \bar{g}$ のとき,

$$x - \frac{ny}{g} < 0$$

となるので、このとき既存企業の期待成長率は負となることが分かる。

企業規模についてみると既存企業の期待利得の割引現在価値は参入企業との技術水準の差 k に応じて増加するので、技術水準の差 k が企業規模を表していると考えてもよいとする。(32)でみたように、既存企業の期待成長率は企業規模 k には依存していない。したがって、期待成長率と企業規模とは独立であるとする Gibrat の法則が成立することが分かる。

4 結 語

ここでは参入企業の自由参入下での既存企業と参入企業による R&D 競争についてみた。既存企業と参入企業が開発する技術は、既存企業では製品の質を向上させる漸進的なものあり、参入企業では既存の技術を利用可能とする模倣的なものであるとした。

既存企業の期待成長率に注目すると、参入企業との技術水準の差に依存せず一定であることが分かった。これは既存企業と参入企業の R&D の瞬時的成功確率であるハザードレートが技術水準の差に影響されないことによるものである。既存企業は製品の質を向上させ参入企業との技術水準の差を増加させるほど、より大きな利得を得られるが、質の向上に必要となる R&D 費用もそれと比例的に増加していく。利得の増加によるハザードレートへの正の効果と費用の増加による負の効果がちょうど相殺するため、既存企業のハザードレートは技術水準の差には影響されない。また、参入企業の R&D は最新の技術の開発ではなく、既存企業が過去に開発した技術の模倣のためである。それにより参入企業の R&D 費用は既存企業との技術水準の差には影響されず参入企業のハザードレートは一定となる。このように既存企業と参入企業のハザードレートは技術水準の差とは関係せず一定となるので、既存企業の期待成長率も一定となるのである。ここでは既存企業と参入企業の技術水準の差が既存企

模倣的 R&D と既存企業の期待成長率

業の企業規模を表しているとしたので、期待成長率と企業規模とは独立であるとする Gibrat の法則が成立することが分かった。

参 考 文 献

- Acemoglu, U. and Cao, D., 2010. Innovation by entrants and incumbents. *Journal of Economic Theory* 157, 255-294.
- 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.
- Denicolò, V. and Zanchettin, P., 2012. Leadership cycle in a quality-ladder model of endogenous growth. *The Economic Journal* 122, 618-650.
- 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.
- Segal, I. and Whinston, M. D., 2007. Antitrust in Innovative Industries. *American Economic Review* 97, 1703-1730.
- 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.