

R&D 投資の効率性と企業価値

——市場に不確実性が在る場合——

常 廣 泰 貴

概 要

不確実性の存在する市場で、R&D 投資を先行して行う企業とそれに追随して行う企業を考える。先行する企業の R&D 投資の効率性の上昇は、両企業の企業価値をともに増加させるが、追随する企業の R&D 投資の効率性の上昇は、先行する企業の企業価値を減少させ、追随する企業の企業価値は増加させる場合と減少させる場合がある。

1. は じ め に

本稿の目的は不確実性が存在する市場において、二つの企業によって R&D 投資が連続して行われる場合に R&D 投資の効率性と企業価値との関係についてみることである。

ここでの不確実性とは McDonald and Siegel (1986) のように、企業の利得が幾何的ブラウン運動にしたがって変動することを意味する。このような不確実性下での企業行動については数多くの分析がなされているが、特に不確実性下での R&D 投資について分析した最近のものとしては Kanninen (2000) や Weeds (2002) などが挙げられる。

それらでは、二つの企業が R&D 投資を連続して行う場合が分析されているが、R&D 投資を行える順番については違いがある。Kanninen (2000) では一方の企業が R&D に成功した後でないと、もう一方の企業は R&D 投資を行うことができないとされているのに対して、Weeds (2002) では二つの企業のい

R&D 投資の効率性と企業価値

ずれもが行おうとすれば R&D 投資を相手に先行して行えるとされている。

本稿では企業 1 と企業 2 と名付けた二つの企業を考え、Kanniainen (2000) と同様にそれら二つの企業間には R&D 投資を行える順番があるもとする。

ただし、一方の企業が既に R&D に成功した後での、もう一方の企業の R&D 投資について分析した Kanniainen (2000) に対して、本稿では両方の企業の R&D 投資について分析を行うものとする。

本稿の構成は以下のとおりである。次の第 2 章で分析の基本となるモデルを提示する。続く第 3 章では R&D 投資の効率性が企業価値にどのように影響するかについてみる。最後の第 4 章でまとめを示す。

2. モ デ ル

企業 1 が R&D 投資を行い、製品の開発に成功したとする。その製品を市場に供給すると、それがもたらす利得を得ることができるが、潜在的な競争相手である企業 2 に新たな製品開発のアイデアを与えるものとする。たとえ企業 1 が製品の特許を取得したとしても、企業 2 はその特許に抵触しないような製品開発が R&D により可能であるとする。ただし、両企業とも R&D に成功すれば瞬時に市場に製品を供給できるものとする。

さて、企業 2 が R&D に成功すると市場では企業 1 の製品と企業 2 の製品が競合するようになる。企業 1 が市場を独占できるのは、企業 1 が R&D に成功した時点から企業 2 が R&D に成功するまでの時点であり、それ以後の市場は複占となる。

この市場には不確実性があり、企業が得られるフローの利得は確率的に変動するものとする。市場に製品を供給している企業数が n ($n=1, 2$) のとき、市場に不確実性がない場合での産業全体のフローの利得を $\pi(n)$ で表す。これに不確実性を表す変数 A_t を掛けたものが、市場に不確実性のある場合での産業全体のフローの利得となる。ただし、 A_t は次の幾何的ブラウン運動によって表されるものとする。

$$dA_t = \mu A_t dt + \sigma A_t dz. \quad (1)$$

ここで、 $\mu > 0$ は A_t の期待成長率を表すドリフト・パラメーターであり、 $\sigma > 0$ は A_t の標準偏差を表すボラティリティである。また dz は標準的なブラウン運動であり、 $dz \sim N(0, dt)$ である。この不確実性を表す変数 A_t は企業1の製品導入の時点初期時点として変動するものとし、その初期値を \bar{A} とする。

企業 i ($i=1, 2$) が時点 t で得られるフローの利得を π_t^i とすると、企業1が市場を独占しているとき、時点 t での企業1のフロー利得 π_t^1 は、

$$\pi_t^1 = A_t \pi(1) \quad (2)$$

となる。また、市場が複占となった場合に、企業 i のフローの利得は、

$$\pi_t^i = \alpha_i A_t \pi(2) \quad (i=1, 2) \quad (3)$$

となる。ただし、 α_i は $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ を満たす非負の定数で、複占市場での企業 i のシェアを表している。

まず、企業2のR&D投資行動についてみる。企業1が市場に製品を供給すると、企業2は新しい製品開発のためのR&Dが可能となる。R&D投資はLoury (1979) のように、R&D開始時点に一括して行われるものとする。

企業2が企業1の製品供給後の時点 T にR&D投資を行うとすると、その時点現在として評価した企業2の価値は、

$$V_T^2 = E_T \left[\int_T^\infty e^{-(r+y)(s-T)} y \Pi_s^2 ds - c_2 y \right] \quad (4)$$

と表される。ただし、 y は瞬間的なR&D成功の確率を表すハザード・レートであり、 $c_2 y$ はR&D投資である。ここで c_2 はハザード・レート一単位当りに必要となるR&D投資を示す正の定数で、R&D投資の効率性を表している。この c_2 の値が小さいほどR&D投資は効率的となる。また r は割引率である。

Π_s^2 は企業2のR&D成功の時点 s を現在とする企業2の期待利得で、

$$\begin{aligned} \Pi_s^2 &= E_s \left[\int_s^\infty e^{-r(\tau-s)} \pi_\tau^2 d\tau \right] \\ &= (\alpha_2 / \omega) A_s \pi(2) \end{aligned} \quad (5)$$

R&D投資の効率性と企業価値

となる。ただし、 $\omega \equiv r - \mu$ であり、 $\omega > 0$ である。

(5)を(4)に代入して整理すると、

$$V_T^2 = \frac{(\alpha_2/\omega)A_T\pi(2)y}{\omega + y} - c_2y \quad (6)$$

が得られる。企業2は(6)を最大にするようにR&D投資を決定するが、 c_2 は定数であるので、その値は(6)を最大にするハザード・レートを求めることによって得れる。一階の条件より、(6)を最大にするハザード・レートは、

$$y = \sqrt{(\alpha_2/c_2)A_T\pi(2)} - \omega \quad (7)$$

となることが分かる。したがって、企業2がR&D投資を行う時点を現在として評価した企業2の価値は、

$$V_T^2 = \left(\sqrt{(\alpha_2/\omega)A_T\pi(2)} - \sqrt{\omega c_2} \right)^2 \quad (8)$$

と表される。

上では時点 T に企業2がR&D投資を行うとしたが、その時点 T は企業2のR&Dが可能となる企業1のR&D成功による製品供給後の時点 t において、次のように求まる。

$$T = \arg \max_T E_t [e^{-r(T-t)} V_T^2]. \quad (9)$$

(9)により決定される時点 T が $T=t$ となるときには、企業2はR&D投資を行うのを時点 t より先の時点に延ばすことなく、瞬時にR&D投資を行う。また $T > t$ となるときにはR&D投資を行うのを時点 t より先の時点に延ばすことになる。

(8)、(9)よりR&D投資を行う時点の決定には A_T の値が影響することが分かる。時点 t においては A_T の値は実現していないが A_t の値から A_T の期待値を求めることができる。したがって、時点 t において実現している A_t の値がR&D投資を行う時点の決定に関わることになる。

時点 t においてその時点を現在として評価した企業2の価値 V_t^2 と A_t の値との関係は、

$$V_t^2 = \begin{cases} B(A_t)^\beta & \text{if } A_t < A_* \\ \left(\sqrt{(\alpha_2/\omega)A_t\pi(2)} - \sqrt{\omega c_2} \right)^2 & \text{if } A_t \geq A_* \end{cases} \quad (10)$$

で表される。（詳細は Dixit and Pindyck (1994) を参照。）

(10)の上式は時点 t に実行可能な R&D 投資を行わない場合での企業 2 の価値を表し、下式は時点 t に R&D 投資を行った場合での企業 2 の価値を表している。

ただし、 $B = ((\beta-1)/\beta\omega)^{2(\beta-1)}(\alpha_2\pi(2)/c_2)^\beta(c_2/\beta^2\omega)$ であり、 β は、 $\sigma^2(\beta-1) + 2\mu\beta = 2r$ を満たす正の値である。この β は σ の減少関数で $1 < \beta < r/\mu$ という関係を満たしている。

また、 $A_* = (c_2/\alpha_2\pi(2))(\beta\omega/(\beta-1))^2$ である。企業 2 は変数 A_t の値が A_* 以上であれば、時点 t に R&D 投資を行うが、この変数 A_t は初期値 \bar{A} から (1) に示されるように変動して行く。ここでは、初期値 \bar{A} の値が十分小さく、

$$\text{仮定 1 } A_* > \bar{A}$$

という関係が満たされているとする。この場合、企業 1 の R&D 成功による製品供給直後には企業 2 は R&D 投資を行わず A_t の成長を待つことになる。

企業 2 が R&D 投資を行うのは A_t の値が A_* 以上となった時点であるが、 $A_t = A_*$ としたときのハザード・レートと企業 2 の価値を、それぞれ y_* 、 V_*^2 とすると、

$$y_* = \frac{\omega}{\beta-1} \quad (11)$$

$$V_*^2 = \frac{\omega c_2}{(\beta-1)^2} \quad (12)$$

が得られる。(11)より、ハザード・レート y_* は企業 2 の R&D 投資の効率性とは関係しないことが分かる。また、(12)より、企業 2 の R&D 投資の効率性が上昇 (c_2 が減少) すれば V_*^2 が減少することが分かる。

R&D 投資の効率性と企業価値

次に、企業1のR&D投資行動についてみる。企業1はR&Dに成功すると企業2がR&Dに成功するまでは独占企業として、企業2がR&Dに成功した後では複占企業としてのフローの利得を得ることになる。

企業1のハザード・レートを x とし R&D の効率性を表す正の定数を c_1 とする。このとき企業1の価値を企業1のR&D投資開始時点を現在として評価すると、

$$V^1 = \frac{x \Pi^1}{r+x} - c_1 x \quad (13)$$

となる。ただし、 Π^1 は R&D 成功によってもたらされる企業1の期待利得であり、次のように表される。

$$\Pi^1 = \frac{\tilde{A}\pi(1)}{\omega} \left[1 - (\tilde{A}/A_*)^{\beta-1} \left(\frac{1 - \alpha_1 \pi(2)/\pi(1)}{\beta} \right) \right], \quad (14)$$

(13)を最大にするハザード・レートを一階の条件より求めると、

$$x = \sqrt{(r/c_1)\Pi^1} - r \quad (15)$$

となる。また、このときの企業1の価値は、

$$V^1 = \left(\sqrt{\Pi^1} - \sqrt{rc_1} \right)^2 \quad (16)$$

と表される。企業1がR&D投資を行う場合を考えると、

$$\text{仮定 2} \quad \Pi^1 > rc_1$$

が成立しているとする。(14)より $\tilde{A}\pi(1)/\omega > \Pi^1$ であることが分かるので、仮定2が成立するためには少なくとも $\tilde{A}\pi(1)/\omega > rc_1$ という関係が成立することになる。この関係は企業2の参入の脅威がない場合に、企業1がR&D投資を行うための条件ともなっている。

3. R&D 投資の効率性と企業価値

前章では、企業1、企業2のR&D投資行動と企業価値についてみた。ここでは、企業価値がR&D投資の効率性とどのように関係しているのかについてみることにする。ただし、企業価値は両企業とも企業1のR&D投資開始時点

を現在として評価するものとする。

まず、R&D投資の効率性と企業1の価値 V^1 との関係についてみると、次のことが言える。

命題 1.

企業1のR&D投資の効率性の上昇(下落)は企業1の価値 V^1 を増加(減少)させ、企業2のR&D投資の効率性の上昇(下落)は企業1の価値 V^1 を減少(増加)させる。

証明) (15), (16)より $\partial V^1/\partial c_1 = -x < 0$ が得られる。また(16)より $\partial V^1/\partial c_2 = (\sqrt{V^1}/\sqrt{\Pi^1})\partial\Pi^1/\partial c_2$ が得られるが、(14)より $\partial\Pi^1/\partial c_2 = ((\beta-1)/c_1)(\tilde{A}\pi(1)/\omega - \Pi^1) > 0$ であるので、 $\partial V^1/\partial c_2 > 0$ となることが分かる。∥

企業1のR&D投資の効率性が上昇すれば、単位ハザード・レート当りに必要となるR&D投資が少なくて済む。企業1のR&D投資の効率性が上昇しても Π^1 は一定であるので企業1の価値 V^1 は増加することになる。

また、企業2のR&D投資の効率性が上昇すれば、企業2のR&D投資決定の時点に関わる A^* が小さくなる。そのため企業1のR&D成功の時点から企業2がR&D投資を行う時点までの期待期間が短くなる。このとき企業2が決定するハザード・レートは変化しないので、企業1のR&D成功の時点から企業2がR&Dに成功する時点までの期待期間は短くなる。言い換えると、市場が企業1の独占状態から企業1と企業2との複占状態に移る期待時点が早まる。したがって、企業2のR&D投資の効率性が上昇すれば、企業1が独占利潤を享受できる期待期間が短くなるので Π^1 が減少し、企業1の価値 V^1 が減少することになる。

次に、R&D投資の効率性と企業2の価値との関係についてみる。企業1のR&D投資開始時点を現在として評価した企業2の価値を V^2 とする。企業2

R&D投資の効率性と企業価値

は A_t の値が \tilde{A} から A_* になった時点で R&D 投資を行うので、

$$V^2 = \frac{x(\tilde{A}/A_*)^\beta V_*^2}{r+x} \quad (17)$$

が得られる。このとき次のことが言える。

命題 2.

企業 1 の R&D 投資の効率性の上昇(下落)は企業 2 の価値 V^2 を増加(減少)させる。

証明) (17) より $\partial V^2/\partial c_1 = (r/(r+x)^2)(\tilde{A}/A_*)^\beta V_*^2 \partial x/\partial c_1$ が得れる。また、(15) より $\partial x/\partial c_1$ の符号は負となることから、 $\partial V^2/\partial c_1 < 0$ となる。||

企業 1 の R&D 投資の効率性が上昇すれば、企業 1 の決定するハザード・レートは大きくなり、企業 1 が R&D に成功する期待時点は早くなる。すなわち企業 2 が R&D 投資を行うことが可能となる期待時点が早くなるので、企業 2 の価値 V^2 は増加する。

上では企業 1 の R&D 投資の効率性と企業 2 の価値 V^2 との関係についてみた。続いて、企業 2 自身の R&D 投資の効率性と企業 2 の価値 V^2 との関係についてみる。このとき次のことが言える。

命題 3.

- i) $\Pi^1 > \hat{\Pi}^1$ のとき、企業 2 の R&D 投資の効率性の上昇(下落)は企業 2 の価値 V^2 を増加(減少)させる。
 - ii) $\Pi^1 < \hat{\Pi}^1$ のとき、企業 2 の R&D 投資の効率性の上昇(下落)は企業 2 の価値 V^2 を減少(増加)させる。
- ただし、 $\hat{\Pi}^1$ は、 $4(\hat{\Pi}^1)^3 = rc_1(\hat{\Pi}^1 + \tilde{A}\pi(1)/\omega)^2$ を満たす正の値である。

証明) (17) より $\partial V^2/\partial c_2 = (\tilde{A}/A_*)^\beta V_2^* (\beta-1) G(Z)/2c_2 Z^3$ が得られる。ただし、 $Z = \sqrt{\Pi^1}$ で $G(Z) = -2Z^3 + \sqrt{rc_1} Z^2 + \sqrt{rc_1} \tilde{A}\pi(1)/\omega$ である。 $G(\sqrt{rc_1}) > 0$, $G(\sqrt{\tilde{A}\pi(1)/\omega}) < 0$ であるので、 $G(Z)$ のグラフに注意すると $G(Z) = 0$ となる Z が $(\sqrt{rc_1}, \sqrt{\tilde{A}\pi(1)/\omega})$ の範囲に一つだけ存在することが分かる。その Z を \hat{Z} とすると $Z > \hat{Z}$ のとき、 $G(Z) < 0$ で、 $Z < \hat{Z}$ のとき、 $G(Z) > 0$ となる。 $\partial V^2/\partial c_2$ の符号は $G(Z)$ の符号と一致するので、 $\Pi^1 > \hat{\Pi}^1$ のとき、 $\partial V^2/\partial c_2 < 0$ で、 $\Pi^1 < \hat{\Pi}^1$ のとき、 $\partial V^2/\partial c_2 > 0$ となることが分かる。||

企業2のR&D投資の効率性の上昇は、 A_* を小さくさせるので企業1のR&D成功により企業2のR&D投資が可能となってから、実際に企業2がR&D投資を行うまでの期待期間を短くさせる。そのため、 V_2^* の値は小さくなるものの企業1のR&D投資成功の時点で評価した企業2の価値 $(\tilde{A}/A_*)^\beta V_2^*$ は上昇する。これは企業2の価値 V^2 を増加させるプラスの効果となる。

その一方で、企業2のR&D投資の効率性の上昇は、企業1のハザード・レート α_1 を小さくさせ、企業1がR&Dに成功する期待時点を遅らせることになる。そのため企業2のR&D投資が可能となる期待時点も遅れることになる。これは企業2の価値 V^2 を減少させるマイナスの効果となる。

このように企業2の価値 V^2 に対して、企業2のR&D投資の効率性の上昇は、プラスの効果とマイナスの効果を与える。企業1がR&D投資の成功によって得られる期待利得 Π^1 が十分大きい場合 ($\Pi^1 > \hat{\Pi}^1$) には、プラスの効果の方がマイナスの効果より大きくなり、企業2のR&D投資の効率性の上昇は企業2の価値 V^2 を増加させることになる。逆に Π^1 が十分小さい場合 ($\Pi^1 < \hat{\Pi}^1$) には、マイナスの効果の方がプラスの効果よりも大きくなり、企業2のR&D投資の効率性の上昇はかえって、企業2の価値 V^2 を減少させることになる。

企業2のR&D投資の効率性と企業2の価値 V^2 との関係には、企業1のR&D成功による期待利得 Π^1 の値が影響するが、この Π^1 は企業1のシェア α_1 の増加関数であり、 α_1 が1に近づくと Π^1 は $\tilde{A}\pi(1)/\omega$ に近づく。

R&D 投資の効率性と企業価値

$\hat{\Pi}^1 < \tilde{A}\pi(1)/\omega$ であるので、 α_1 が 1 に十分近いときには $\Pi^1 > \hat{\Pi}^1$ という関係が成立することになる。

また、 α_1 が 0 に近づくとき Π^1 は、 $(1/\omega)\tilde{A}\pi(1)(1-(1/\beta)(\tilde{A}/A_*)^{\beta-1})$ に近づく。このとき β が 1 に近づくとき $(\tilde{A}/A_*)^{\beta-1}$ は 1 に近づくので Π^1 は 0 に近づく。したがって α_1 が 0 に十分近く、かつ β が十分 1 に近いときには $\Pi^1 < \hat{\Pi}^1$ という関係が成立することになる。ところで β は不確実性を表す変数 A_t のボラティリティ σ の減少関数であり、 σ が大きくなるにつれてその値は 1 に近づいて行く。

企業 2 の R&D 成功により複占市場になったときの企業シェアと企業 2 の R&D 投資の効率性との関係について、次のことが言える。

命題 4.

- i) 複占市場での企業 1 のシェアが十分大きいときには、企業 2 の R&D 投資の効率性の上昇(下落)は企業 2 の価値 V^2 を増加(減少)させる。
- ii) 複占市場での企業 2 のシェアが十分大きく、かつボラティリティが十分大きいときには企業 2 の R&D 投資の効率性の上昇(下落)は企業 2 の価値 V^2 を減少(増加)させる。

企業 1 と企業 2 の価値を足し合わせた産業全体での生産者余剰 $V^1 + V^2$ についてみると、企業 1 の R&D 投資の効率性が上昇すれば $V^1 + V^2$ は常に増加することになる。また、複占市場での企業 2 のシェアが十分大きく、かつボラティリティが十分大きいときには、少なくとも企業 2 の R&D 投資の効率性が下落すれば $V^1 + V^2$ は増加することになる。

4. ま と め

ここでは、企業 1 の R&D の成功が企業 2 に新たな R&D のアイデアを与えると、二つの企業の R&D 投資行動についてみた。R&D 投資は企業 1 が

最初に行い、企業1のR&D成功後でないと、企業2のR&D投資は不可能であるとした。また、企業1はR&Dに成功すると、企業2のR&Dが成功するまでは市場を独占できるが、企業2がR&Dに成功すると市場を独占することができず市場は複占状態となるとした。

さらに、市場には不確実性が存在しており、企業の得られるフローの利得は期待成長率が正となる幾何的ブラウン運動にしたがって変動するものとした。企業1がR&Dに成功すればその直後から企業2のR&D投資は可能となるが、ここでの想定の下では企業2がR&D投資を行うのは企業1のR&D成功直後ではなく、得られるフローの利得が十分大きくなる時点を待つことになった。ところでハザード・レート一単位当りに必要となるR&D投資の大きさを示す定数をR&D投資の効率性と名付けたが、このR&D投資の効率性と企業価値との関係について以下のことが分かった。

- ・企業1のR&D投資の効率性の上昇は、企業1と企業2の価値をともに増加させる。
- ・企業2のR&D投資の効率性の上昇は企業1の価値を減少させるが、企業2の価値についてはそれを増加させる場合とかえって減少させる場合がある。

また、企業2のR&D成功後の複占市場での企業シェアに注目すると、企業2のR&D投資の効率性の上昇が企業2の価値を増加させるのは、企業1のシェアが十分大きいときであり、逆に企業2のR&D投資の効率性の上昇が企業2の価値を減少させるのは、少なくとも企業2のシェアが十分大きく、かつボラティリティが十分大きいときであることが分かった。本稿では消費者余剰については分析を行っていないが、それについては今後の課題としたい。

参 考 文 献

Dixit, A. K. and Pindyck, R. S., 1994. Investment under Uncertainty. Princeton Uni-

R&D 投資の効率性と企業価値

versity Press, Princeton, NJ.

Kannianen, T. T. V., 2000. Do patents slow down technological progress? Real options in research, patenting, and market introduction. *International Journal of Industrial Organization*, 18, 1105-1127.

Loury, G. C., 1979. Market structure and innovation. *Quarterly Journal of Economics*, 93, 395-410.

McDonald, R. and Siegel, D., 1986. The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707-728.

Weeds, H., 2002. Strategic delay in a real options model of R&D competition. *Review of Economic Studies*, 69, 729-747.