離散的自由参入下での開発効率と社会的総余剰

常　廣　泰　貴

概　要

R&D競争に自由参入する参入企業の数を実数ではなく自然数に限ったときに，既存企業の開発効率の増加が社会的総余剰に与える影響を考察する。参入企業の数が実数であるときには，既存企業の開発効率の増加は社会的総余剰を連続的に単調増加させるだけである。ここでは参入企業の数が自然数であるときには，既存企業の開発効率の増加が社会的総余剰を非連続的に単調増加させる場合と非連続的な減少を伴いながら増加させる場合があることを示す。

1　はじめに

本稿の目的は，既存企業と自由参入する参入企業との間でR&D競争が行われる場合に，既存企業の開発効率と社会的総余剰との関係をみることである。ここで既存企業の開発効率とはR&D成功確率である hazard rate について参入企業と比較した既存企業の相対的な hazard rate の値とする。この値が大きいほど既存企業がR&D競争に勝つ確率が高くなる。既存企業は現在の市場を独占しているが，その hazard rate は過去のR&Dの成功などによる学習効果により参入企業の hazard rate よりも大きいとする。R&D競争においての学習効果については，Reinganum (1982) (1985)，Chang and Wu (2006) などの分析がある。それらではR&Dに成功するまでのR&D投資の蓄積や現在の製品を生産することによる経験の蓄積などがR&Dに関する知識を高めるとされ

ている。ただし，それらでは自由参入はなく企業数は固定されている。

自由参入の下でのR&D競争については，Denicòlo (1999) などの分析があるが，そこでは企業数は実数であるとされている。企業数が1/2や $\sqrt{2}$ などのように分数や無理数の値までもとれるとするのは現実的ではないので，本稿では企業数は実数ではなく自然数として，自由参入の下でのR&D競争の分析を行う。

構成は以下のとおりである。まず，第2章で分析の基本となるモデルを提示し，既存企業の開発効率と参入企業の数との関係を明らかする。続く，第3章では既存企業の開発効率と社会的総余剰との関係についてみるがその際，社会的総余剰を構成する生産者余剰や消費者余剰との関係についてもみる。最後に第4章で本稿のまとめを示す。

2 モ　デ　ル

既存企業と参入企業とのR&D競争を考える。R&D競争に勝利した企業，すなわち新技術を最初に開発した企業は将来の市場を独占できるものとする。既存企業は1社であり，過去のR&D競争に勝利したことなどにより現在の市場を独占しているものとする。参入企業の現在の利得はゼロであるがR&D競争に勝利すれば独占的に利得を得ることができるとする。既存企業が現在得ているフローの利得を π_1 とし，R&D競争の勝者が得ることのできるフローの利得を π_2 とする。現在の技術で生産される財よりも新技術で生産される財の方がより高い利得をもたらすとし，$\pi_2 > \pi_1$ という関係が成立しているとする。

ここでは，Loury (1979) や Dasgupta and Stiglitz (1980) にならって，R&D投資はR&D開始時点に一括して行われとする。また，過去のR&D競争に勝利した既存企業は学習効果などにより，参入企業よりも効率的に技術開発ができるものとする。技術開発の効率はR&D投資に対するR&Dの成功確率であるhazard rate の大きさで比較されるものとし，その値は既存企業の方が参入企業よりも大きいとする。

参入企業は対称的であり，期待利得の割引現在価値が非負である限り参入が生じる自由参入を想定する。ただし，参入企業の数は自然数の値をとるものとする。

さて，既存企業の期待利得の割引現在価値を V^I とすると，V^I は次のようになる。

$$V^I = \frac{\frac{\pi_2}{r}\alpha h + \pi_1}{r + \alpha h + nh} - K_I. \qquad (1)$$

ただし，π_2 はR&D競争に勝利したときから得られるフローの利得であり，π_1 は現在既存企業が得ているフローの利得である。K_I は既存企業のR&D投資であり，r は割引率である。また，h は参入企業の hazard rate であり n は参入企業の数 ($n=0,1,2,\ldots$) である。既存企業の hazard rate は参入企業の hazard rate の $\alpha(\geq 1)$ 倍であるとし，αh で表されている。この α の値が大きくなるほど，既存企業がR&D競争の勝者になる確率が高くなる。以下では α のことを既存企業の開発効率と呼ぶことにする。V^I は α に関しては増加関数で n に関しては減少関数であることは明らかである。

次に，参入企業の期待利得の割引現在価値を V^E とすると，V^E は次のようになる。

$$V^E = \frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r + \alpha h + nh} - K_E. \qquad (2)$$

ただし，K_E は参入企業のR&D投資である。V^E は α および n に関して減少関数となることは明らかである。

V^I, V^E は既存企業の開発効率 α や参入企業の数 n に依存するので，それを明示するときには V^I, V^E をそれぞれ，$V^I(\alpha, n)$，$V^E(\alpha, n)$ と表記するものとする。

分析を簡単にするため，各企業の hazard rate とR&D投資は固定されてい

るものとするが[1]，単位R&D投資当りの hazard rate はαに関係なくつねに既存企業のもの方が参入企業のもの以上であるとする。すなわち，$\alpha h/K_I \geq h/K_E$が任意の$\alpha(\geq 1)$で成立するとするので，$K_E \geq K_I$であるとして分析を行う。

参入企業の自由参入を想定しているので，参入企業は$V^E \geq 0$である限りR&D競争が行われる市場に参入することになる。V^Eがnの減少関数であることに注意すると，既存企業の開発効率が与えられた下で参入企業の数が$n=m$に定まるのは，次の二つの不等式，

$$V^E(\alpha, m) \geq 0, \tag{3}$$

$$V^E(\alpha, m+1) < 0 \tag{4}$$

が同時に成立しているときとなる。

二つの不等式のうち，(3)は既存企業の開発効率が与えられた下で参入企業の企業数が$n=m$であれば，少なくとも参入企業の期待利得の割引現在価値は負にはならないことを示している。また，(4)は既存企業の開発効率が与えられた下で参入企業の企業数が$n=m+1$となれば，参入企業の期待利得の割引現在価値が負になってしまうことを示している。

(2)より，二つの不等式が同時に成立するのは，

$$\frac{\pi_2}{r}h - K_E(r+\alpha h+mh) \geq 0, \tag{5}$$

$$\frac{\pi_2}{r}h - K_E(r+\alpha h+(m+1)h) < 0 \tag{6}$$

が同時に成立するときとなる。

参入企業の数が$n=m$のときに，参入企業の期待利得の割引現在価値をちょうどゼロにする既存企業の開発効率を$\alpha(m)$で表すと，$V^E(\alpha(m), m)=0$より，

$$\alpha(m) = \frac{\pi_2}{rK_E} - \frac{r+mh}{h} \tag{7}$$

(1) Weeds (2002) では hazard rate と R&D投資が固定されているとして分析がなされている。

が得られる。

$\alpha(m)$ は m の減少関数であり，（7）により，

$$\alpha(m)=\alpha(m+1)+1 \tag{8}$$

という関係が成立していることが分かる。

いま，参入企業が少なくとも1社は存在しているとして，その数が $n=m$ であったとする。このとき α が $\alpha(m)$ よりも大きくなれば（ただし，$\alpha(m-1)$ 以下），V^E が負になることにより参入企業が一つ退出して参入企業の数は $n=m-1$ となる。逆に，参入企業の数が $n=m$ であったときに，α が $\alpha(m+1)$ 以下になれば（ただし，$\alpha(m+2)$ よりも大きい），参入企業が一つ増えても V^E は非負となるので参入企業の数は $n=m+1$ となる。

このことより，参入企業の数が $n=m$ のときでの参入企業の期待利得の割引現在価値 $V^E(\alpha, m)$ についてみると，$V^E(\alpha, m)$ の最小値は $V^E(\alpha(m), m)=0$ で，$V^E(\alpha, m)$ の上限は $V^E(\alpha(m+1), m)$ となることが分かる。

さて，参入企業の数が $n=m$ のときと $n=m-1$ のときの期待利得の割引現在価値の上限を求めると，

それぞれ，

$$V^E(\alpha(m+1), m)=\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r+\alpha(m+1)h+mh}-K_E, \tag{9}$$

$$V^E(\alpha(m), m-1)=\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r+\alpha(m)h+(m-1)h}-K_E \tag{10}$$

となる。

（8）が成立することに注意すると，$V^E(\alpha(m+1), m)=V^E(\alpha(m), m-1)$ であることが分かる。同様の考察を $n=m-2,...,1$ まで続けると，$V^E(\alpha(m+1), m)=V^E(\alpha(m), m-1)=,...,=V^E(\alpha(2), 1)$ が成立することが分かる。このことより参入企業の期待利得の割引現在価値の上限は参入企業の数によらず同じ値になることが分かる。（図1を参照。）

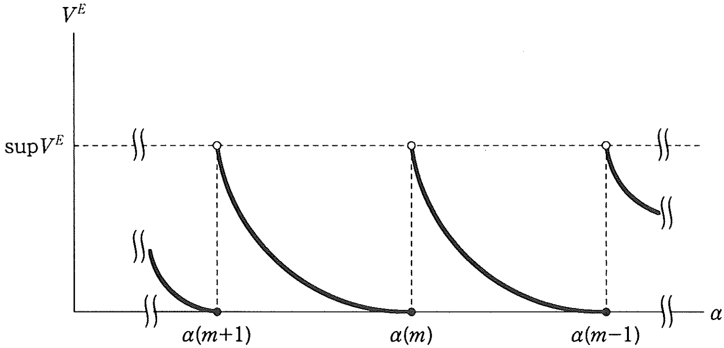


図1

(7)より $\alpha(2)=\pi_2/rK_E-(r+2h)/h$ であるので,

$$V^E(\alpha(m+1),m)=V^E(\alpha(2),1)=\frac{K_E^2}{\frac{\pi_2}{r}-K_E} \tag{11}$$

が得られる。

参入企業の期待利得の割引現在価値が正であったとしても，既存企業の開発効率の増加につれてその値は減少して行き，やがてはゼロとなる。さらに既存企業の開発効率が増加するならば，参入企業の期待利得の割引現在価値は負となるので,参入企業のうちR&D競争から退出するものが出て来ることになる。退出によって企業数が減少するが，そのことにより退出しなかった参入企業の期待利得の割引現在価値は増加することになる。

ここでは，参入企業の数は自然数であるとしているが，その数が実数であるとした場合には，参入企業の期待利得の割引現在価値は自由参入によりつねにゼロとなり正の値をとることはない。

さて,既存企業の開発効率が, $\alpha(m+1)<\alpha\leq\alpha(m)$ を満たしている場合を考える。この場合での参入企業の数は $n=m$ であるから,既存企業の期待利得の割引現在価値は,

$$V^I(\alpha, m)=\frac{\frac{\pi_2}{r}\alpha h+\pi_1}{r+\alpha h+mh}-K_I \tag{12}$$

と表される。

(12)より α の増加は V^I を増加させることが明らかである。したがって，既存企業の期待利得の割引現在価値 $V^I(\alpha, m)$ についてみると，その最大値は $V^I(\alpha(m), m)$ で，下限は $V^I(\alpha(m+1), m)$ となることが分かる。

既存企業の期待利得の割引現在価値について，参入企業の数が $n=m$ のときでの最大値 $V^I(\alpha(m), m)$ と参入企業の数が $n=m-1$ のときでの下限 $V^I(\alpha(m), m-1)$ とを比較すると，$V^I(\alpha(m), m)<V^I(\alpha(m), m-1)$ となることが分かる。

同様に，参入企業の数が $n=m$ のときでの下限 $V^I(\alpha(m+1), m)$ と参入企業の数が $n=m+1$ のときでの最大値 $V^I(\alpha(m), m+1)$ とを比較すると，$V^I(\alpha(m+1), m)<V^I(\alpha(m), m)$ となることが分かる。(図２を参照。)

ここまでは，暗黙のうちに既存企業がR&D投資を行うとして分析してきた

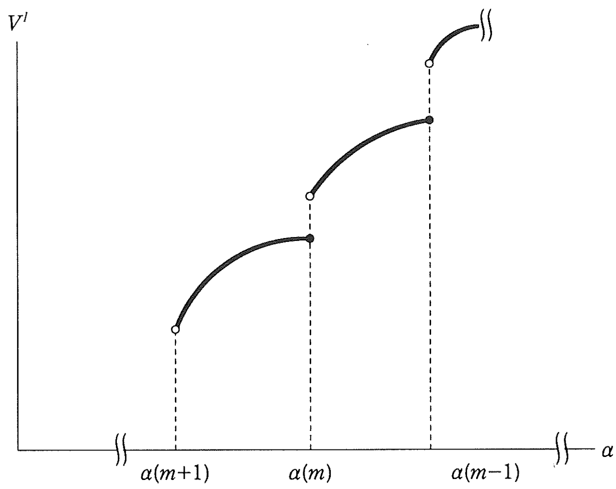


図２

が，既存企業はR&D投資を行わないという選択も可能である。

既存企業がR&D投資を行わないときでの参入企業の数を $n=\bar{n}$ で表すことにし，そのときの参入企業の期待利得の割引現在価値を $V^E(\bar{n})$ とすると，

$$V^E(\bar{n})=\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r+\bar{n}h}-K_E \tag{13}$$

となる。

自由参入を想定しているので，$V^E(\bar{n}+1)<0\leq V^E(\bar{n})$ が成立し，$\bar{n}$ は，

$$\frac{\pi_2}{rK_E}-\frac{r+h}{h}<\bar{n}\leq\frac{\pi_2}{rK_E}-\frac{r}{h} \tag{14}$$

という関係を満たす自然数となる。

既存企業がR&D投資を行わないときでの既存企業の期待利得の割引現在価値を $V^I(\bar{n})$ とすると，

$$V^I(\bar{n})=\frac{\pi_1}{r+\bar{n}h} \tag{15}$$

となる。

この値がR&D投資を行う場合での既存企業の期待利得の割引現在価値以上であれば，既存企業はR&D投資を行う誘因を持たなくなる。

R&D投資を行なっていない既存企業がR&D投資を行うようになると既存企業や参入企業の期待利得の割引現在価値がどのように変化するかについてみる。既存企業の期待利得の割引現在価値の大きさで，以下の二つの場合に分けて分析を行う。

i) $V^I(\alpha(l+1),\ l)<V^I(\bar{n})\leq V^I(\alpha(l),\ l)$ となる場合。

$V^I(\alpha(l+1),\ l)$ と $V^I(\alpha(l),\ L)$ は共に，参入企業の数が $n=l$ で既存企業がR&D投資を行うとした場合での既存企業の期待利得の割引現在価値であるが，

$V^I(\alpha(l+1), l)$ はその下限であり，$V^I(\alpha(l), l)$はその最大値である。

この場合，$V^I(\bar{\alpha}, l)=V^I(\bar{n})$ となるαが存在するので，それを$\bar{\alpha}$で表すと，

$$\frac{\frac{\pi_2}{r}\bar{\alpha}h+\pi_1}{r+\bar{\alpha}h+lh}-K_I=\frac{\pi_1}{r+\bar{n}h} \tag{16}$$

となることより，

$$\bar{\alpha}=\frac{\frac{\pi_2(\bar{n}+l)h}{r+\bar{n}h}+K_I(r+lh)}{\left(\frac{\pi_2}{r}-K_I-\frac{\pi_1}{r+\bar{n}h}\right)h} \tag{17}$$

が得られる。

既存企業は$\alpha>\bar{\alpha}$であればR&D投資を行い，$\alpha\leq\bar{\alpha}$であればR&D投資は行わない。既存企業の期待利得の割引現在価値については $V^I(\bar{n})=V^I(\bar{\alpha}, l)$ となる。

参入企業の数が$n=1$で既存企業がR&D投資を行うとした場合での参入企業の期待利得の割引現在価値は $V^E(\alpha, l)$ であるが，既存企業がR&D投資を行うのは$\alpha>\bar{\alpha}$となるときであるので，その上限は $V^E(\bar{\alpha}, l)$ となる。これと既存企業がR&D投資を行わないときでの参入企業の期待利得の割引現在価値とを比較すると，$sgn[V^E(\bar{n})-V^E(\bar{\alpha}, l)]=sgn[\bar{\alpha}+l-\bar{n}]$ という関係が成立することが分かる。

ここで，(16)が成立していることに注意すると，

$$\frac{\pi}{r+\bar{n}h}=\frac{\frac{\pi_2}{r}\bar{\alpha}h+\pi_1}{r+\bar{\alpha}h+lh}-K_I\leq\frac{\frac{\pi_2}{r}\bar{\alpha}h+\pi_1}{r+\bar{n}h}-K_I,$$

すなわち，

$$\frac{\frac{\pi_2}{r}\bar{\alpha}h}{r+\bar{n}h}\geq K_I \tag{18}$$

であれば，$\bar{\alpha}+l \geq \bar{n}$ となることが分かる。

ところで，$\bar{\alpha} \geq 1$ および(14)より $\bar{n} \leq \pi_2/rK_E - r/K_E$ であることを用いると，

$$\frac{\frac{\pi_2}{r}\bar{\alpha}h}{r+\bar{n}h} \geq K_E \tag{19}$$

が得られる。

$K_E \geq K_I$ と仮定しているので(19)より(18)が成立することが分かる。$\bar{\alpha}+l \geq \bar{n}$ となるので $sgn[V^E(\bar{n})-V^E(\bar{\alpha},\ l)]=sgn[\bar{\alpha}+l-\bar{n}]=0,\ 1$ が得られる。したがって，この場合での参入企業の期待利得の割引現在価値については $V^E(\bar{n}) \geq V^E(\bar{\alpha},\ l)$ となる。

ii) $V^I(\alpha(l+1),\ l+1) < V^I(n) \leq V^I(\alpha(l+1),\ l)$ となる場合。

$V^I(\alpha(l+1),\ l+1)$ は参入企業の数が $n=l+1$ で既存企業がR&D投資を行うとした場合での既存企業の期待利得の割引現在価値の最大値であり，$V^I(\alpha(l+1),\ l)$ は参入企業の数が $n=l$ で既存企業がR&D投資を行うとした場合での既存企業の期待利得の割引現在価値の下限である。

この場合，既存企業は $\alpha > \alpha(l+1)$ であればR&D投資を行い，$\alpha \leq \alpha(l+1)$ であればR&D投資は行わない。

既存企業の期待利得の割引現在価値については $V^I(\bar{n}) < V^I(\alpha(l+1),\ l)$ となる。既存企業がR&D投資を行うのは $\alpha > \alpha(l+1)$ となるときであるので，参入企業の数が $n=l$ で既存企業がR&D投資を行うとしたときの参入企業の期待利得の割引現在価値の上限は $V^E(\alpha(l+1),\ l)$ となる。これと既存企業がR&D投資を行わないときでの参入企業の期待利得の割引現在価値とを比較すると，$sgn[V^E(\bar{n})-V^E(\alpha(l+1),\ l)]=sgn[\alpha(l+1)+l-\bar{n}]$ という関係が成立することが分かる。

ところで，(8)より $\alpha(l+1)+l=\alpha(l)+l-1=,\ldots,=\alpha(2)+1$ となるが，

(7)より $\alpha(2)+1=\pi_2/rK_E-(r+h)/h$ となることより $\alpha(l+1)+l=\pi_2/rK_E-(r+h)/h$ が得られる。また，(14)より $\bar{n}>\pi_2/rK_E-(r+h)/h$ であるので，$\alpha(l+1)+l<\bar{n}$ となり $sgn[V^E(\bar{n})-V^E(\alpha(l+1),\ l)]=sgn[\alpha(l+1)+l-\bar{n}]=-1$ が得られる。したがって，この場合での参入企業の期待利得の割引現在価値については $V^E(\bar{n})<V^E(\alpha(l+1),\ l)$ となる。

3　開発効率と経済厚生

ここでは，既存企業の開発効率と経済厚生を表す社会的総余剰との関係についてみる。社会的総余剰は生産者余剰と消費者余剰の和で表されるので，既存企業の開発効率とそれらとの関係についてもみることにする。

既存企業がR&D投資を行う場合と行わない場合とがあるが，それらの場合において既存企業の開発効率との関係を生産者余剰，消費者余剰，社会的総余剰について，それぞれみることにする。

I）既存企業がR&D投資を行う場合

まず，生産者余剰についてみるが，生産者余剰は産業全体での期待利得の割引現在価値の合計で表されるものとする。

既存企業がR&D投資を行うときの参入企業の数は l 以下であったことに注意して，参入企業の数が $n=m(\leq l)$ であるときの生産者余剰を $PS(\alpha,\ m)$ で表すと，

$$PS(\alpha,m)=V^I(\alpha,m)+mV^E(\alpha,m)$$
$$=\frac{\dfrac{\pi_2}{r}(\alpha+m)h+\pi_1}{r+\alpha h+mh}-K_I-mK_E \qquad (20)$$

となる。

(20)より，$\partial PS/\partial\alpha=(\pi_2-\pi_1)h/(r+\alpha h+mh)^2>0$ であるので，参入企業の

数が $n=m(\leq l)$ で一定のとき，α が増加すれば生産者余剰も増加することが分かる。

次に，参入企業の数が $n=m$ から $n=m-1$ へと減少した場合についてみる。参入企業の数が $n=m-1$ のときの生産者余剰の下限 $PS(\alpha(m), m-1)$ と参入企業の数が $n=m$ のときの生産者余剰の最大値 $PS(\alpha(m), m)$ とを比較する。$V^E(\alpha(m), m)=0$ であることにより，

$$\begin{aligned}
&PS(\alpha(m), m-1)-PS(\alpha(m), m)\\
&=V^I(\alpha(m), m-1)-V^I(\alpha(m), m)\\
&\quad+(m-1)V^E(\alpha(m), m-1)\\
&=\frac{\left(\frac{\pi_2}{r}(\alpha(m)h+(m-1)h)+\pi_1\right)h}{(r+\alpha(m)h+(m-1)h)(r+\alpha(m)h+mh)}>0
\end{aligned} \tag{21}$$

が得られる。

既存企業の開発効率が $\alpha(m)$ からほんの少し増加すれば，参入企業の数が $n=m$ から $n=m-1$ へと減少するが，そのとき既存企業の期待利得の割引現在価値は $V^I(\alpha(m), m)$ から $V^I(\alpha(m), m-1)$ へと増加し，参入企業の期待利得の割引現在価値も $V^E(\alpha(m), m)=0$ から $V^E(\alpha(m), m-1)>0$ へと増加する。参入企業の数が一定の下で α の増加は生産者余剰を増加させたので，次の命題が得られる。

命題 I-A

既存企業がR&D投資を行う場合，既存企業の開発効率の増加は必ず生産者余剰を増加させる。

次に消費者余剰についてみる。新技術が開発される前のフローの消費者余剰を c_1 とし，新技術が開発された後のフローの消費者余剰を c_2 とする。技術開発によって消費者の状態は悪くはならないものとする。すなわち $c_2\geq c_1$ が成立するものとする。

参入企業の数が $n=m(\leq l)$ であるときの消費者余剰を $CS(\alpha, m)$ で表すと，

$$CS(\alpha, m)=\frac{\frac{c_2}{r}(\alpha h+mh)+c_1}{r+\alpha h+mh} \tag{22}$$

となる。

(22)より，$\partial CS/\partial\alpha=(c_2-c_1)h/(r+\alpha h+mh)^2>0$ であるので，参入企業の数が $n=m(\leq l)$ で一定のとき，既存企業の開発効率 α が増加すれば消費者余剰も増加することが分かる。参入企業の企業数が $n=m$ のときの消費者余剰 $CS(\alpha, m)$ の最大値は $CS(\alpha(m), m)$ となり，下限は $CS(\alpha(m+1), m)$ となる。

(8)より，$\alpha(m)+m=\alpha(m-1)+m-1=,\ldots,=\alpha(1)+1$ であることに注意すると，$CS(\alpha(m), m)=CS(\alpha(m-1), m-1)=,\ldots,=CS(\alpha(1), 1)$ となることが分かる。(7)より，$\alpha(1)=\pi_2/rK_E-(r+h)/h$ であり，

$$CS(\alpha(m), m)=,\ldots,=CS(\alpha(1), 1)=\frac{c_2}{r}+\frac{(c_2-c_1)rK_E}{\pi_2 h} \tag{23}$$

となるので，消費者余剰の最大値は参入企業の数には依存しないことが分かる。

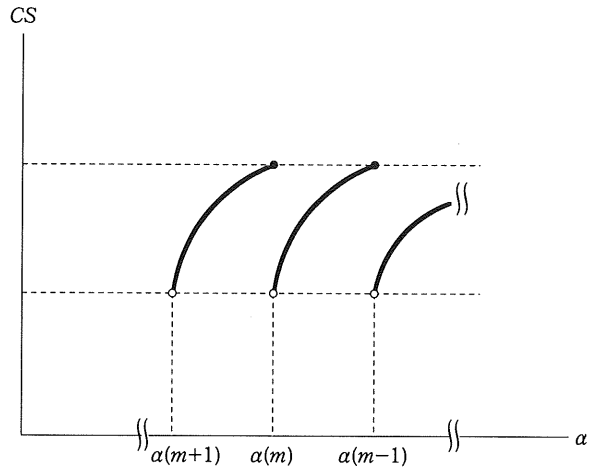


図3

さらに，(8)より，$\alpha(m+1)+m=\alpha(m)+m-1=,...,=\alpha(2)+1$という関係も得られるので，$CS(\alpha(m+1), m)=CS(\alpha(m), m-1)=,...,=CS(\alpha(2), 1)$となることも分かる。(7)より，$\alpha(2)=\pi_2/rK_E-(r+2h)/h$であり，

$$CS(\alpha(m+1), m)=,...,=CS(\alpha(2), 1)=\frac{c_2}{r}+\frac{(c_2-c_1)rK_E}{(\pi_2-rK_E)h} \tag{24}$$

となるので，消費者余剰が取り得る下限も参入企業の数には依存しないことが分かる。

消費者余剰と既存企業の開発効率との関係を図示したものが図3である。

命題I-B

既存企業がR&D投資を行う場合，既存企業の開発効率の増加により消費者余剰は一定値までの一時的な減少を伴いながら一定値まで増加することを繰り返す。

生産者余剰と消費者余剰についてみたが，それらの和である社会的総余剰についてみる。参入企業の数が$n=m(\leq l)$であるときの社会的総余剰を$SW(\alpha, m)$で表すと，

$$\begin{aligned} SW(\alpha, m)&=PS(\alpha, m)+CS(\alpha, m)\\ &=\frac{\frac{\pi_2+c_2}{r}(\alpha h+mh)+\pi_1+c_1}{r+\alpha h+mh}-K_I-mK_E \end{aligned} \tag{25}$$

となる。

(25)より，$\partial SW/\partial\alpha=((\pi_2-\pi_1)+(c_2-c_1))h/(r+\alpha h+mh)^2>0$であるので，参入企業の数が$n=m(\leq l)$で一定のとき，既存企業の開発効率$\alpha$が増加すれば社会的総余剰も増加することが分かる。参入企業の数が$n=m$のときの社会的総余剰の最大値と下限は，それぞれ$SW(\alpha(m), m)$, $SW(\alpha(m+1), m)$と

なる。

参入企業の数が$n=m$のときの社会的総余剰の最大値$SW(\alpha(m), m)$と$n=m-1$のときの社会的総余剰の下限$SW(\alpha(m), m-1)$とを比較すると，

$$\begin{aligned}&SW(\alpha(m), m-1)-SW(\alpha(m), m)\\=&PS(\alpha(m), m-1)-PS(\alpha(m), m)\\&+CS(\alpha(m), m-1)-CS(\alpha(m), m)\\=&\frac{\left(\frac{\pi_2}{r}(\alpha(m)h+(m-1)h)+\pi_1-(c_2-c_1)\right)h}{(r+\alpha(m)h+(m-1)h)(r+\alpha(m)h+mh)}\end{aligned} \tag{26}$$

が得られる。

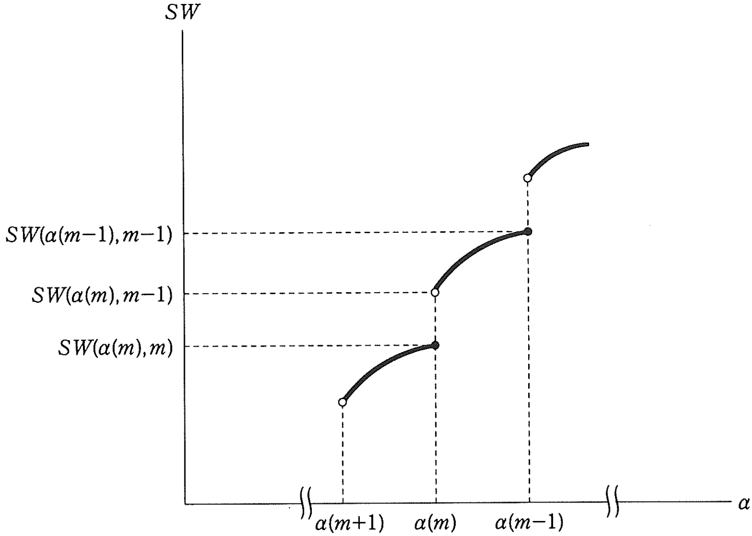
ここで，$H\equiv(\pi_2/r)(\alpha(m)h+(m-1)h)+\pi_1-(c_2-c_1)$と定義する。既存企業の開発効率が$\alpha(m)$からほんの少し増加すれば，参入企業の数が$n=m$から$n=m-1$へと減少するが，$(\pi_2/r)(\alpha(m)h+(m-1)h)+\pi_1$と$c_2-c_1$は，それによってもたらされる生産者余剰に関する増加分と消費者余剰に関する減少分を，それぞれ表している。(26)より，$H>0$のときには$SW(\alpha(m), m-1)>SW(\alpha(m), m)$，$H<0$のときには$SW(\alpha(m), m-1)<SW(\alpha(m), m)$，$H=0$のときには$SW(\alpha(m), m-1)=SW(\alpha(m), m)$となることが分かる。

社会的総余剰の最大値について参入企業の数が$n=m$のときと$n=m-1$のときとを比較すると，

$$\begin{aligned}&SW(\alpha(m), m)-SW(\alpha(m-1), m-1)\\=&PS(\alpha(m), m)-PS(\alpha(m), m-1)\\&+CS(\alpha(m), m)-CS(\alpha(m-1), m-1)\\=&-\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{(r+\alpha(1)h+h)}\end{aligned} \tag{27}$$

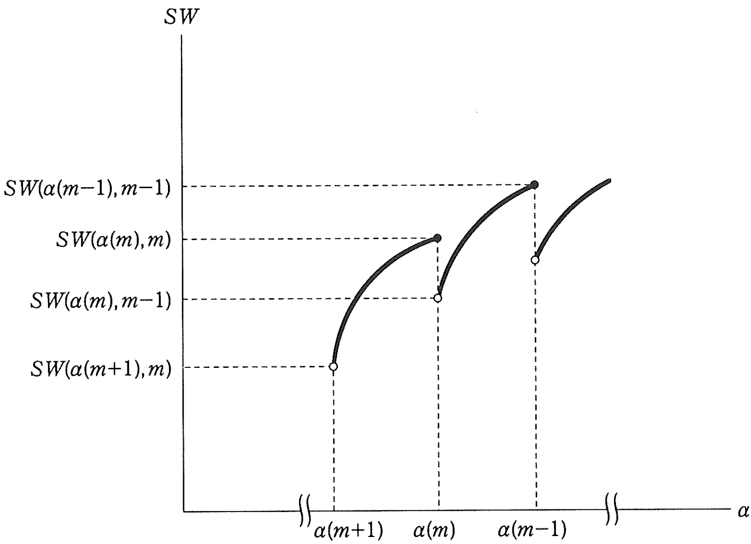
となることより，$SW(\alpha(m), m)<SW(\alpha(m-1), m-1)$であることが分かる。

同様に社会的総余剰の下限についても参入企業の数が$n=m$のときと$n=m-1$のときとを比較すると，



SW
$SW(\alpha(m-1), m-1)$
$SW(\alpha(m), m-1)$
$SW(\alpha(m), m)$
$\alpha(m+1)$
$\alpha(m)$
$\alpha(m-1)$
α

図 4



SW
$SW(\alpha(m-1), m-1)$
$SW(\alpha(m), m)$
$SW(\alpha(m), m-1)$
$SW(\alpha(m+1), m)$
$\alpha(m+1)$
$\alpha(m)$
$\alpha(m-1)$
α

図 5

$$
\begin{aligned}
& SW(\alpha(m+1), m) - SW(\alpha(m), m-1) \\
&= PS(\alpha(m+1), m) - PS(\alpha(m), m-1) \\
&\quad + CS(\alpha(m+1), m) - CS(\alpha(m), m-1) \\
&= -K_E
\end{aligned}
\tag{28}
$$

となることより，$SW(\alpha(m+1), m) < SW(\alpha(m), m-1)$ であることが分かる。

既存企業の開発効率と社会的総余剰との関係を描くと，$H>0$ の場合は図4で，$H<0$ の場合は図5で表される。

命題 I-C

既存企業がR&D投資を行う場合，次のa)，b) が成立する。

a）$H>0$ であるとき，既存企業の開発効率の増加は必ず社会的総余剰を増加させる。

b）$H<0$ であるとき，既存企業の開発効率の増加により社会的総余剰は一時的な減少を伴いながら増加して行く。

$H>0$ となるのは，生産者余剰に関する増加分のもたらす正の効果の方が消費者余剰に関する減少分のもたらす負の効果よりも大きくなるときであり，$H<0$ となるのはその逆のときである。正の効果の方が負の効果よりも大きいときには，既存企業の開発効率の増加は社会的総余剰を非連続ではあるが単調に増加させる。逆に，負の効果の方が正の効果よりも大きいときには，そのような単調性は言えず，既存企業の開発効率の増加がかえって社会的総余剰を減少させてしまう領域が存在することになる。ここでは参入企業の数を自然数であるとしているが，もし参入企業の数を実数とするならば，既存企業の開発効率の増加は連続的に社会的総余剰を増加させることになり，非連続性や非単調性はなくなる。

II）既存企業がR&D投資を行わない場合

i) $V^I(\alpha(l+1), l) < V^I(\bar{n}) \leq V^I(\alpha(l), l)$ となる場合。

この場合，既存企業がR&D投資を行はないのは$1 \leq \alpha \leq \alpha$のときである。既存企業がR&D投資を行わないとき参入企業の数は$n = \bar{n}$となる，このときの生産者余剰を$PS(\bar{n})$とすると，

$$PS(\bar{n}) = V^I(\bar{n}) + nV^E(\bar{n})$$
$$= \frac{\pi_1}{r + \bar{n}h} + \bar{n}\left(\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r + \bar{n}h} - K_E\right) \tag{29}$$

となる。

既存企業がR&D投資を行う場合で参入企業の数が$n = l$のときについてみる。このとき既存企業の期待利得の割引現在価値の下限は$V^I(\bar{\alpha}, l)$であり，参入企業の期待利得の割引現在価値の上限は$V^E(\bar{\alpha})$となる。

(16)が成立することに注意すると，αが減少して$\bar{\alpha}$に近づいた極限での生産者余剰$PS(\bar{\alpha}, l)$は，

$$PS(\bar{\alpha}, l) = V^I(\bar{\alpha}, l) + lV^E(\bar{\alpha}, l)$$
$$= \frac{\pi_1}{r + \bar{n}h} + l\left(\frac{\frac{\pi_2}{r}h}{r + \bar{\alpha}h + lh} - K_E\right) \tag{30}$$

となる。

$PS(\bar{n})$と$PS(\bar{\alpha}, l)$とを比較すると，$\bar{n} > l$であることより，少なくとも$\bar{\alpha} + l \geq \bar{n}$であれば$PS(\bar{n}) > PS(\bar{\alpha}, l)$となることが分かる。$K_E \geq K_I$と想定しているので，$\bar{\alpha} + l \geq \bar{n}$が成立することは前にみた。したがって，次の命題が得られる。

命題 II-A

既存企業の開発効率が $\bar{\alpha}$ を超えることにより，R&D投資を行っていなかった既存企業がR&D投資を行うようになる瞬間においては生産者余剰は減少する。

次に消費者余剰についてみる。既存企業がR&D投資を行わず参入企業の数が $n=\bar{n}$ であるときの消費者余剰を $CS(\bar{n})$ とすると，

$$CS(\bar{n})=\frac{\frac{c_2}{r}\bar{n}h+c_1}{r+\bar{n}} \tag{31}$$

となる。

既存企業がR&D投資を行うとした場合で参入企業の数が $n=l$ のときの消費者余剰を $CS(\alpha, l)$ とすると，その上限は $CS(\bar{\alpha}, l)$ であり，

$$CS(\bar{\alpha}, l)=\frac{\frac{c_2}{r}(\bar{\alpha}h+lh)+c_1}{r+\bar{\alpha}h+lh} \tag{32}$$

となる。$CS(\bar{n})$ と $CS(\bar{\alpha}, l)$ とを比較すると，$sgn[CS(\bar{n})-CS(\bar{\alpha}, l)]=sgn[\bar{n}-(\bar{\alpha}+l)]$ という関係が成立することが分かる。

生産者余剰の場合でみたように，$K_E \geq K_I$ のときには $\bar{\alpha}+l \geq \bar{n}$ となるので，次の命題が得られる。

命題 II-B

既存企業の開発効率が $\bar{\alpha}$ を超えることにより R&D 投資を行っていなかった既存企業がR&D投資を行うようになる瞬間においては消費者余剰は増加する。

生産者余剰と消費者余剰の和である社会的総余剰についてみる。既存企業が

R&D投資を行わず参入企業の数が $n=\bar{n}$ であるときの社会的総余剰を $SW(\bar{n})$ とすると,

$$SW(\bar{n})=V^{I}(\bar{n})+\bar{n}V^{E}(\bar{n})+CS(\bar{n}) \tag{33}$$

となる。

既存企業がR&D投資を行うとした場合で参入企業の数が $n=l$ であるときについてみる。既存企業がR&D投資を行うのは $\alpha>\bar{\alpha}$ であったので, $V^{I}(\bar{\alpha},\ l)$ は既存企業の期待利得の割引現在価値の下限であり, $V^{E}(\bar{\alpha},\ l)$ は参入企業の期待利得の割引現在価値の上限であり, $CS(\bar{\alpha},\ l)$ は消費者余剰の上限である。α が減少して $\bar{\alpha}$ に近づいた極限での社会的総余剰 $SW(\bar{\alpha},\ l)$ は,

$$SW(\bar{\alpha},\ l)=V^{I}(\bar{\alpha},\ l)+lV^{E}(\bar{\alpha},\ l)+CS(\bar{\alpha},\ l) \tag{34}$$

となる。

$V^{I}(\bar{n})=V^{I}(\bar{\alpha},\ l)$ であることに注意して, (33)と(34)とを比較すると,

$$\begin{aligned}
SW(\bar{n})-SW(\bar{\alpha},\ l)&=nV^{E}(\bar{n})-lV^{E}(\bar{\alpha},\ l)\\
&\qquad+CS(\bar{n})-CS(\bar{\alpha},\ l)\\
&=\left(\frac{\dfrac{\pi_2+c_2}{r}\bar{n}h+c_1}{r+\bar{n}h}-\frac{\dfrac{\pi_2+c_2}{r}(\bar{\alpha}h+lh)+c_1}{r+\bar{\alpha}h+lh}\right)\\
&\quad-\left(\frac{\dfrac{c_2}{r}\bar{\alpha}h}{r+\bar{\alpha}h+lh}+(\bar{n}-l)K_E\right)
\end{aligned} \tag{35}$$

が得られる。

最後の等式の右辺についてみると，第2項の括弧内の符号は正であることは明らかである。また，第1項の括弧内の符号は少なくとも $\bar{\alpha}+l\geq\bar{n}$ であれば負になる。$K_E\geq K_I$ のときには $\bar{\alpha}+l\geq\bar{n}$ となるので，次の命題が得られる。

命題 II-C

既存企業の開発効率が $\bar{\alpha}$ を超えることによりR&D投資を行っていなかった既存企業がR&D投資を行うようになる瞬間においては社会的総余剰は増加す

る。

ii) $V^I(\alpha(l+1), l+1) < V^I(\bar{n}) \leq V^I(\alpha(l+1), l)$ となる場合。

この場合，既存企業がR&D投資を行わないのは $1 \geq \alpha \geq \alpha(l+1)$ のときであり，このときの生産者余剰は $PS(\bar{n})$，消費者余剰は $CS(\bar{n})$，社会的総余剰は $SW(\bar{n})$ である。

既存企業がR&D投資を行う場合で参入企業の数が $n=l$ のときについてみる。α が減少して $\alpha(l+1)$ に近づいた極限での生産者余剰 $PS(\alpha(l+1), l)$ は，

$$PS(\alpha(l+1), l) = V^I(\alpha(l+1), l) + lV^E(\alpha(l+1), l) \tag{36}$$

となる。

$PS(\bar{n})$ と $PS(\alpha(l+1), l)$ とを比較すると，$V^I(\bar{n}) < V^I(\alpha(l+1), l)$，$V^E(\bar{n}) < V^E(\alpha(l+1), l)$ であるが $\bar{n} > l$ であることより，$PS(\bar{n}) - PS(\bar{\alpha}, l)$ の符号は確定しないので，どちらが大きいかは一概には言えない。

α が減少して $\alpha(l+1)$ に近づいた極限での消費者余剰 $CS(\alpha(l+1), l)$ は，

$$CS(\alpha(l+1), l) = \frac{\frac{c_2}{r}\alpha(l+1)h + lh) + c_1}{r + \alpha(l+1)h + lh} \tag{37}$$

となる。

$CS(\bar{n})$ と $CS(\alpha(l+1), l)$ とを比較すると，$\bar{n} > \alpha(l+1) + l$ であることより，$CS(\bar{n}) > CS(\alpha(l+1), l)$ となる。

次の命題が得られる。

命題 III

既存企業の開発効率が $\alpha(l+1)$ を超えることによりR&D投資を行っていなかった既存企業がR&D投資を行うようになる瞬間においては消費者余剰は減少する。

αが減少して$\alpha(l+1)$に近づいた極限での社会的総余剰$SW(\alpha(l+1), l)$は,

$$SW(\alpha(l+1), l)=PS(\alpha(l+1), l)+CS(\alpha(l+1), l) \tag{38}$$

となる。

$SW(\bar{n})$と$SW(\alpha(l+1), l)$とを比較すると，$CS(\bar{n})>CS(\alpha(l+1), l)$であるが$PS(\bar{n})$と$PS(\bar{\alpha}, l)$ではどちらが大きいかは確定しなかったので, $SW(\bar{n})$と$SW(\alpha(l+1), l)$についてもどちらが大きいかは一概には言えない。

参入企業の数が実数の値をとるとした場合についてみる。自由参入の下では$V^E=0$となるように参入企業の数が決定し，$V^E=0$より$SW=V^I+CS$となる。自由参入の下で, 既存企業がR&D投資を行う場合では, (2)より$\alpha+n$は一定値となり, 既存企業がR&D投資を行わない場合では, (2)と(13)より$\bar{n}=\alpha+n$となることが分る。したがって, 既存企業がR&D投資を行うか行わないかには関係せず$\partial CS/\partial\alpha=0$となる。したがって，$\partial SW/\partial\alpha=\partial V^I/\partial\alpha>0$となるので，開発効率の増加は社会的総余剰を連続的に単調増加させることが分る。

4 結　　語

参入企業の hazard rate と比較した既存企業の相対的な hazard rate を既存企業の開発効率と名付け，この開発効率と社会的総余剰との関係について考察した。

R&D競争は市場を独占している既存企業と自由参入する参入企業とで行われるとした。ただし，自由参入する参入企業の数は実数ではなく自然数であるとした。

参入企業の数が自然数であるときには，開発効率の増加は社会的総余剰を非連続的に変化させ，社会的総余剰が単調に増加する場合と一時的な減少を伴いながら増加して行く場合があることが分った。

もし，参入企業の数が実数の値とるならば，開発効率の増加は社会的総余剰を連続的に単調増加させるだけなので，非連続性や非単調性などの性質はみられない。

参入企業の数が自然数であるときに社会的総余剰が非連続的に変化するのは，既存企業の開発効率の増加が参入企業の数を n から $n-1$ というように離散的に減少させることによるものである。

参入企業の期待利得の割引現在価値は既存企業の開発能力が増加につれて減少して行き，やがては負となる。そのため既存企業の開発効率の増加がある水準を超えるとR&D競争から退出する参入企業が現れてR&D競争を行う企業数が減少する。企業数の減少はR&D競争を緩和させるので，R&D競争に参加している企業の期待利得の割引現在価値は増加することになる。

ただし，参入企業の退出による企業数の減少は離散的なので，既存企業と退出しなかった参入企業の期待利得の割引現在価値は，R&D競争から退出する参入企業が出て来た時点で瞬時に増加することになる。

また，R&D競争に参加する企業の期待利得の割引現在価値の合計である生産者余剰も，R&D競争から退出する参入企業が現れた時点で瞬時に増加することになる。これは，企業数の減少による生産者余剰へのマイナスの効果よりも，期待利得の割引現在価値の増加による生産者余剰へのプラスの効果の方が大きいためである。

一方，消費者余剰はR&D競争から退出する参入企業が現れた時点で瞬時に減少することになる。したがって，社会的総余剰は生産者余剰が増加することによるプラスの効果と消費者余剰が減少することによるマイナスの効果の大きさによって，前者の効果の方が大きいときにはR&D競争から退出する参入企業が現れた時点で瞬時に増加し，後者の効果の方が大きいときには瞬時に減少することになる。

ところで，既存企業の開発効率が増加してもそれがある範囲にあるときには参入企業の数は一定である。参入企業の数を一定とする範囲内での既存企業の開発効率の増加は，参入企業の期待利得の割引現在価値を連続的に減少させ，既存企業の期待利得の割引現在価値を連続的に増加させる。生産者余剰への効果は前者によるマイナスの効果よりも後者によるプラスの効果の方が大きいの

で，参入企業の数を一定とする範囲内での既存企業の開発効率の増加は，生産者余剰を連続的に増加させる。

また，参入企業の数を一定とする範囲内での既存企業の開発効率の増加は，消費者余剰も連続的に増加させるので，生産者余剰と消費者余剰を合わせた社会的総余剰も連続的に増加させる。

既存企業の開発効率の増加は，それが参入企業の数を一定とする範囲内であれば社会的総余剰を連続的に増加させるが，参入企業を退出させる水準に達した時点で社会的総余剰を瞬時に増加させたり減少させたりするので，非連続性と非単調性が生じることになる。

参 考 文 献

Chang, S.C. and Wu, H.M., 2006, Production experiences and market structure in R&D competition. Journal of Economic Dynamics & Control, 30, 163-183.

Dasgupta, P. and Stiglitz, J., 1980, Uncertainty, industrial structure and the speed of R&D. Bell Journal of Economics, 11, 1-28.

Denicòlo (1999), V., 1999. The optimal life of a patent when the timing of innovation is stochastic. International Journal of Industrial Organization, 17, 827-846.

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

Reinganum, J.F., 1982. A dynamic game of R&D: patent protection and competitive behavior. Econometrica, 50(3), 671-688.

Reinganum, J.F., 1985. Innovation and industry evolution. Quarterly Journal of Economics, 100(1), 81-99.

Weeds, H., 2000. Strategic delay in a real options model of R&D competion. Review of Economic Studies, 69, 729-747.