基礎研究の二つの効果と技術革新競争

松井美樹

一　はじめに

本稿の目的は、技術革新をめぐる競争に身を置く企業が、基礎研究及び応用研究・開発にどれほどの資源を投入し新知識を生み出していくのか、その決定に対していかなる要因がいかなる影響を与えるのか、といった問題をゲーム理論的に分析することにある。基礎研究、応用研究、開発への資源配分の問題は、待ち行列モデルを用いたGaver=Srinivasan [2], ダイナミック・プログラミングを利用したLee [4][5], 確率過程モデルによるRoberts=Weitzman [11], 最適制御理論を用いたSato [12], 寡占的状況でのシミュレーションを行った松井〔15〕などによって取り扱われた。ただし、これらの多くは研究と開発への資源配分という問題設定である。他方、技術革新に関するゲーム理論的アプローチは、Scherer[13]に始まり、Loury [7], Lee=Wilde[6], Dasgupta=Stiglitz [1], Reinganum[8][9][10], Stewart [14] など枚挙に暇がない。しかし、この両者を同時に扱ったものはあまり見当たらない。そこで、両者の合体を以下試みてみたい。

基礎研究、応用研究、開発への資源配分に関して、本稿では特に基礎研究の役割を重視する。従って、以下では基礎研究と応用研究・開発との二分法で議論を進め、後者は、単に応用研究と書くことにしよう。

基礎研究にしろ、応用研究にしろ、人、資金といった直接のインプットを投入することにより、何らかの新しい知識あるいは情報が生み出され、それが蓄積されてい

くという基本的な流れについては全く同様であろう。このとき、基礎研究から応用研究へのインパクトとして次の二通りが考えられる。第一に、基礎研究知識ストックの変化が、応用研究への直接のインプットから応用研究知識フローが生み出される過程に影響を及ぼす。一定の応用研究知識フローを得るための費用を低下させる効果(費用節約効果と呼ぶ)、一定の応用研究費用に対する応用研究知識取得の確率を高める効果などがこれにあたる。第二に、基礎研究知識ストックの変化が、応用研究知識ストックから新製品ないし新製法の開発完了へ到る過程に影響を及ぼす。一定の応用研究知識ストックに対する開発成功率を上昇させる効果(成功確率上昇効果と呼ぶ)、一定の応用研究知識ストックに対する生産性を上昇させる効果などがこれに対応する。いずれの場合にも、基礎研究知識ストックの蓄積によって応用研究に対するインパクトが生ずる点には注意が必要である。

次節で基礎研究が成功確率上昇効果と費用節約効果を持つ場合を考慮に入れた寡占モデルを構築し、それぞれのケースについて、ナッシュ均衡基礎研究戦略とナッシュ均衡応用研究戦略を導出することにしよう。

二　モデルの構築

ある特定の新製品(あるいは新製法)の開発をめぐって、n個の同一視しうる企業が競い合っている状況を考えよう。先ず、この開発競争の開始時点を0、終了時点をTと定める。ここでは、最初に開発に成功した企業のみがそれ以後独占的な報酬を受け取るものとし、それを開発成功時点で評価した値を$P(P>0)$と表そう。Pは開発成功時点がいつであるかには依存しないと仮定する。

各企業は研究活動に資金を費やすことによって基礎研究知識及び応用研究知識を蓄積していく。時間$t\in[0, T]$とともに連続的に変化していく基礎研究知識ストック$B_i=B_i(t)$及び応用研究知識ストック$A_i=A_i(t)$が、企業i $(i=1, \cdots, n)$の状態変数である。各企業はこれらの知識ストックの蓄積によって新製品開発の成功確率を高めることができるが、成功時点を確実に保証されることはないと想定しよう。基礎研究知識ストック及び応用研究知識ストックがそれぞれB_i, A_i以下であるときに、企業iが当該新製品の開発に成功する確率を$F_i(A_i, B_i)$と表す。以下では

$$F_i(A_i, B_i)=1-\exp\{-(hA_i+kB_i)\} \qquad i=1,\cdots,n \qquad (1)$$

という指数型の分布関数を用いる。ただし，$h>0, k\geqq 0$ であり，k が厳密に正ということは基礎研究の成功確率上昇効果が存在することを意味する。従って，企業 i が t 時点までに開発に成功する確率は

$$F_i(A_i(t), B_i(t))=1-\exp\{hA_i(t)+kB_i(t))\} \qquad i=1,\cdots,n \qquad (2)$$

となる。

開始時点における知識ストックについては

$$A_i(0)=0 \qquad i=1,\cdots,n \qquad (3)$$

$$B_i(0)=0 \qquad i=1,\cdots,n \qquad (4)$$

と仮定する。すなわち，競争開始時点にける基礎研究知識ストック及び応用研究知識ストックはともに0に基準化されている。

これらの知識ストックの増減は，研究活動の結果として新たに取得される知識フローと既存の知識ストックの陳腐化によって決定される。ここでは，知識ストックの陳腐化の可能性を無視して単純に

$$\dot{A}_i=a_i \qquad i=1,\cdots,n \qquad (5)$$

$$\dot{B}_i=b_i \qquad i=1,\cdots,n \qquad (6)$$

とする。ただし，a_i, b_i はそれぞれ応用研究知識フロー取得率及び基礎研究知識フロー取得率であり，$a_i=a_i(t)$, $b_i=b_i(t)$ なる時間に関して連続な関数と仮定する。制御論的に言えば，これらが制御関数である。通常の用法に従って，・は時間に関する微分を表す。

一方，知識フロー a_i, b_i を取得するために要する研究費用支出率 C_A, C_B をそれぞれ

$$C_A=C_A(a_i, B_i) \qquad i=1,\cdots,n \qquad (7)$$

$$C_B=C_B(b_i) \qquad i=1,\cdots,n \qquad (8)$$

と表そう。これらの関数については次のような条件が要求されよう。

$$C_A(a_i, B_i)\geqq 0, \quad C_B(b_i)\geqq 0 \qquad i=1,\cdots,n \qquad (9)$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial a_i}\geqq 0, \quad \frac{\partial C_A}{\partial B_i}\leqq 0, \quad \frac{\partial C_B}{\partial b_i}\geqq 0 \qquad i=1,\cdots,n \qquad (10)$$

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial a_i^2}>0, \quad \frac{\partial^2 C_A}{\partial B_i^2}\geqq 0, \quad \frac{\partial^2 C_B}{\partial b_i^2}>0 \qquad i=1,\cdots,n \qquad (11)$$

(10)の第二式が厳密に負の場合，基礎研究の費用節約効果が存在していることになる。以下では，これらの条件を満たす次のような関数を利用することにする。すなわち，

$$C_A(a_i, B_i)=\frac{Ca_i^2}{1+DB_i^2},\quad C_B(b_i)=Eb_i^2$$

$$i=1,\cdots,n \qquad (12)$$

である。ここで、CとEは正、Dは非負の定数である。

各企業の戦略変数は、知識フロー取得率ないし研究費用支出率である。t時点における知識フロー取得率の決定方式としては、tとその時点におけるすべての企業の状態変数の値 $(A_1,\cdots,A_n,B_1,\cdots,B_n)$ に依存させて決めるフィードバック戦略とtのみに依存させて決める開ループ戦略が考えられる。本稿では後者の開ループ戦略を分析の焦点とする。しからば、制御関数 $a_i=a_i(t)$, $b_i=b_i(t)$ をi企業の開ループ戦略そのものとみなすことができる。

以上から、各企業が $a_j, b_j (j=1,\cdots,n)$ なる戦略をとったときのi企業の期待ペイオフ $J^i(a,b)$ は次のように特定化されよう。先ず、i企業がt時点に開発を完了し、かつそれまでに開発に成功した企業が他になければ、i企業がPという報酬を受け取る。その確率は(2)式より

$$\{ha_i(t)+kb_i(t)\}\exp[-\{h\sum_{j=1}^{n}A_j(t)+k\sum_{j=1}^{n}B_j(t)\}]$$

である。一方、t時点までにいずれの企業も開発に成功していなければ、$Ca_i^2(t)/\{1+DB_i^2(t)\}+Eb_i^2(t)$ の研究費用がかかることになる。その確率は

$$\exp[-\{h\sum_{j=1}^{n}A_j(t)+k\sum_{j=1}^{n}B_j(t)\}]$$

で与えられる。これらを競争開始時点まで割り引いて期待ペイオフを求めれば、

$$J^i(a,b)=\int_0^T\Big[P\{ha_i(t)+kb_i(t)\}-\frac{Ca_i^2(t)}{1+DB_i^2(t)}-Eb_i^2(t)\Big]\exp[-\{rt+h\sum_{j=1}^{n}A_j(t)+k\sum_{j=1}^{n}B_j(t)\}]dt$$

$$i=1,\cdots,n \qquad (13)$$

となる。ただし、rは割引率 $(r>0)$, $a=(a_1,\cdots,a_n)$, $b=(b_1,\cdots,b_n)$ で、$A_i(t), B_i(t)$ は(3)、(4)式を初期条件とする微分方程式体系(5)、(6)を満足する。

各企業は競争企業の戦略を所与としたとき自らの期待ペイオフが最大となる戦略を選ぶものと仮定し、以下、上述の動態的なゲームのナッシュ均衡戦略を導出することにしよう。ナッシュ均衡戦略 $a^*=(a_1^*,\cdots,a_n^*)$, $b^*=(b_1^*,\cdots,b_n^*)$ とは、すべてのiに対して

$$J^i(a_1^*, \cdots, a_i^*, \cdots, a_n^*, b_1^*, \cdots, b_i^*, \cdots, b_n^*)$$
$$\geqq J^i(a_1^*, \cdots, a_i, \cdots, a_n^*, b_1^*, \cdots, b_i, \cdots, b_n^*)$$
$$\text{for all } a_i \text{ and } b_i \qquad (14)$$

を満たす戦略のペアーである。

三　成功確率上昇効果と均衡戦略

先ず、基礎研究が成功確率上昇効果のみを持つ場合を取り上げよう。すなわち、(1)式のkが正、(12)式のDが0のケースである。

開ループナッシュ均衡戦略を計算するには最適制御理論の手法が利用できる。i企業に対するハミルトニアンH^iを

$$H^i=\{P(ha_i+kb_i)-Ca_i^2-Eb_i^2\}\exp\{-(rt+h\sum A_j+k\sum B_j)\}+U^i_{A}a_i+U^i_{B}b_i \qquad i=1, \cdots, n \qquad (15)$$

と置く。ここで、U^i_A, U^i_B はそれぞれ状態方程式(5)、(6)式に対応する補助変数であり、$\sum_{j=1}^{n}$を単に$\sum$と省略している。このとき最適条件は、$\lambda^i_A \equiv e^{rt}U^i_A, \lambda^i_B \equiv e^{rt}U^i_B$として

$$\lambda^i_A=(2Ca_i^*-Ph)\exp\{-(h\sum A_j+k\sum B_j)\}$$

$$\lambda^i_B=(2Eb_i^*-Pk)\exp\{-(h\sum A_j+k\sum B_j)\} \qquad i=1, \cdots, n \qquad (16)$$

$$i=1, \cdots, n \qquad (17)$$

となる。λ^i_A, λ^i_B はそれぞれi企業の応用研究知識ストック及び基礎研究知識ストックのシャドゥ・プライスと解釈され、これらのシャドゥ・プライスが大きいほど均衡知識フロー取得率は高くなる。

次に、U^i_A, U^i_B は補助方程式

$$\dot{U}^i_A=-\frac{\partial H_i}{\partial A_i}, \quad \dot{U}^i_B=-\frac{\partial H_i}{\partial B_i} \qquad i=1, \cdots, n \qquad (18)$$

を満たさなければならないが、この条件はλ^i_Aとλ^i_Bを用いれば、

$$\dot{\lambda}^i_A=r\lambda^i_A+h\{P(ha_i^*+kb_i^*)-Ca_i^{*2}-Eb_i^{*2}\} \qquad i=1, \cdots, n \qquad (19)$$

$$\dot{\lambda}^i_B=r\lambda^i_B+k\{P(ha_i^*+kb_i^*)-Ca_i^{*2}-Eb_i^{*2}\} \qquad i=1, \cdots, n \qquad (20)$$

となる。

さらに、開発競争終了時点Tにおける状態変数の値$A_i(T), B_i(T)$については何ら先験的に決められていないため、横断条件として

$$\lambda^t_A(T)=\lambda^t_B(T)=0 \qquad i=1,\cdots,n \tag{21}$$

が満足されねばならない。

以上の最適条件(16)、(17)式、横断条件(21)式、補助方程式(19)、(20)式、状態方程式とその初期条件(3)~(6)式によってナッシュ均衡戦略が特徴づけられる。

最適条件と横断条件からT時点における均衡戦略は

$$a_i^*(T)=\frac{Ph}{2C},\quad b_i^*(T)=\frac{Pk}{2E} \qquad i=1,\cdots,n \tag{22}$$

と導かれる。すなわち、開発競争終了時点における均衡知識フロー取得率は、開発成功後の報酬P及び成功確率に対する知識ストックの貢献度h、kに比例し、費用関数の逓増度C、Eに反比例する。

ここで、最適条件をtで微分し、最適条件と補助方程式を利用して λ^t_A と λ^t_B を消去すると、

$$\dot{a}_i^*=[(r+h\sum a_j^*+k\sum b_j^*)(2Ca_i^*-Ph)$$
$$+h\{P(ha_i^*+kb_i^*)-Ca_i^{*2}-Eb_i^{*2}\}]/2C$$
$$i=1,\cdots,n \tag{23}$$

$$\dot{b}_i^*=[(r+h\sum a_j^*+k\sum b_j^*)(2Eb_i^*-Pk)$$
$$+k\{ha_i^*+kb_i^*)-Ca_i^{*2}-Eb_i^{*2}\}]/2E$$
$$i=1,\cdots,n \tag{24}$$

が得られる。よって、(22)式を境界条件とする $2n$ 本の微分方程式体系によりナッシュ均衡戦略が表されることになる。

ところで、n個の企業はすべて同一視しうると仮定されているから、すべての企業の均衡戦略は等しいと考えてよい。その均衡戦略を添字を落として a^*, b^* と表せば、(22)~(24)式は

$$a^*(T)=\frac{Ph}{2C},\quad b^*(T)=\frac{Pk}{2E} \tag{25}$$

$$\dot{a}^*=[(r+hna^*+knb^*)(2Ca^*-Ph)+h\{P(ha^*+kb^*)$$
$$-Ca^{*2}-Eb^{*2}\}]/2C \tag{26}$$

$$\dot{b}^*=[(r+hna^*+knb^*)(2Eb^*-Pk)+k\{P(ha^*+kb^*)$$
$$-Ca^{*2}-Eb^{*2}\}]/2E \tag{27}$$

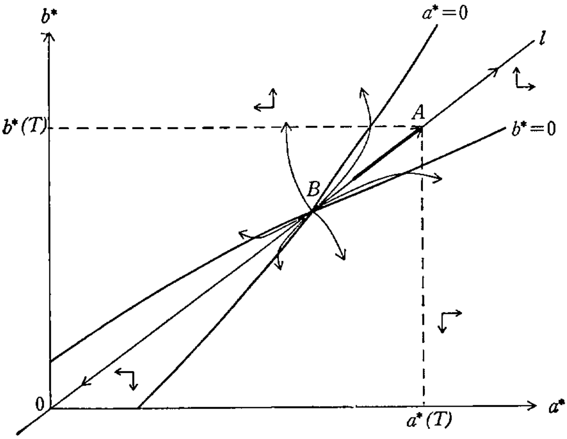
という二本の微分方程式に帰着する。

ここで、(26)式に $2C/h$ を(27)式に $2E/k$ を掛けて辺々引くと、

$$\left(\frac{2C}{h}\dot{a}^*-\frac{2E}{k}\dot{b}^*\right)=(r+hna^*+knb^*)\left(\frac{2C}{h}a^*-\frac{2E}{k}b^*\right) \tag{28}$$

なる関係が得られる。また、(25)式より

図１　位相平面解析（成功確率上昇効果）



$$\frac{2C}{h}a^*(T)-\frac{2E}{k}b^*(T)=0$$

であるから、すべての $t\in[0, T]$ に対して

$$\frac{2C}{h}a^*(t)=\frac{2E}{k}b^*(t) \tag{29}$$

が成立する。すなわち、すべての $t\in[0, T]$ に対して均衡応用研究知識フロー取得率 a^* と均衡基礎研究知識フロー取得率 b^* との比は $h/2C : k/2E$ となる。

このことは二次元の a^*-b^* 位相平面の解析によって確かめられる。先ず、$\dot{a}^*=0$, $\dot{b}^*=0$ の軌跡は、いずれも点 $(a^*(T), b^*(T))$ を通る直線

$$b^*=\frac{Ck}{Eh}na^*-\frac{Pk}{2E}(n-1),\quad a^*=\frac{Eh}{Ck}nb^*-\frac{Ph}{2C}(n-1)$$

を漸近線とする双曲線を描く（図一参照）。第一象限においては、これらの軌跡はそれぞれ一本だけである。$\dot{a}^*=0$, $\dot{b}^*=0$ を両方とも満たす平衡点は直線 $l: b^*=\frac{Ck}{hE}a^*$ 上にあり、また、第一象限には一つしか存在しない。図一に示されるように、平衡点 $(\hat{a}^*, \hat{b}^*)$ に関しては

$$0<\hat{a}^*<a^*(T)=\frac{Ph}{2C},\quad 0<\hat{b}^*<b^*(T)=\frac{Pk}{2E} \tag{30}$$

が成立する。このことは図一上では、A 点が B 点の北東方向にあるに対応している。

a^*-b^* 位相平面の第一象限において、$\dot{a}^*=0$ の軌跡の右（下）側では $\dot{a}^*$ は正、左（上）側では $\dot{a}^*$ は負とな

る。一方、$\dot{b}^*=0$ の軌跡の右（下）側では $\dot{b}^*$ は負、左（上）側では $\dot{b}^*$ は正となる。よって、トラジェクトリの方向は図一の矢印の如く示される。すべてのトラジェクトリは平衡点 B から離れていく方向に動くから、B 点は不安定な結節点である。開発競争終了時点 T におけるナッシュ均衡戦略は A 点で与えられるが、この A 点を通るトラジェクトリは B 点から出発して直線 l 上を北東方向へ向かうものである。このことは、均衡戦略を示す点が線分 BA 上を B 点から A 点の方向へ動くことを意味する。ただし、B 点は平衡点であるから、0時点における均衡戦略を表す点は B 点ではない。

以上から、均衡基礎研究知識フロー取得率と均衡応用研究知識フロー取得率は一定比（$k/E : h/C$）に保たれつつ、それぞれ時間とともに単調増加することが明らかとなった。

さて、(29)式を用いるため

$$Y=\frac{2C}{h}a^*=\frac{2E}{k}b^*$$

と置くならば、微分方程式(26)、(27)は

$$Y(T)=P \tag{31}$$

を境界条件とする

$$\dot{Y}=\left(\frac{h^2}{4C}+\frac{k^2}{4E}\right)(2n-1)Y^2-\left\{\left(\frac{h^2}{2C}+\frac{k^2}{2E}\right)(n-1)P-r\right\}Y-rP \tag{32}$$

という一本の式に書き換えられる。この式の右辺を0と置いた二次方程式の二つの解を Y_1, Y_2 $(Y_1<Y_2)$、判別式を D と表すとき、微分方程式(32)の一般解は

$$\begin{aligned}Y&=Y_1+\frac{(P-Y_1)(Y_2-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}{-(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}\\&=Y_2-\frac{(P-Y_2)(Y_2-Y_1)}{(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}\\&=\frac{Y_1(P-Y_2)-(P-Y_1)Y_2\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}{(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}\end{aligned} \tag{33}$$

で与えられる。Y_1, Y_2, D については、その定義から次のレンマが成り立つ。

レンマ一

(1) $Y_1<0$, (2) $Y_2>0$, (3) $D>0$, (4) $Y_2<P$. (34)

これより、$Y_2<Y\leqq P$ が容易に示せる。また、

$$\dot{Y}=[(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}]^{-2}$$

$$\times(P-Y_1)(P-Y_2)(Y_2-Y_1)\sqrt{D}\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}$$

$$\ddot{Y}=-[(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}]^{-3}$$

$$\times[(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}]$$

$$\times(P-Y_1)(P-Y_2)(Y_2-Y_1)D\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}$$

はいずれも正の値となる。ただし、$\ddot{}$ は t についての二階の微分を表す。

(33)式で与えられた Y を用いて、均衡知識フロー取得率 a^*, b^* はそれぞれ

$$a^*=\frac{hY}{2C},\quad b^*=\frac{kY}{2E} \tag{35}$$

となる。$\dot{Y}$ 及び $\ddot{Y}$ はいずれも正であるから、次の命題が成立する。

命題一　均衡知識フロー取得率 a^*, b^* は、$h/C : k/E$ なる一定比を保ちつつ時間とともに逓増的に増加し、開発競争終了時点にはそれぞれ $Ph/2C$, $Pk/2E$ に達する。従って、均衡研究費用支出率 C_A, C_B も一定比 $(h^2/C : k^2/E)$ を保ちながら時間とともに逓増的に増加する。

これに伴い、知識ストックのシャドゥ・プライス λ_A と λ_B も時間とともに増加し、開発競争終了時点にはいずれも0となる。よって、任意の $t\in[0, T)$ に対して知識ストックのシャドゥプライスは負の値をとる。さらに、i 企業が t 時点までには開発を成功していないという条件の下で次の瞬間に開発に成功する確率 $(ha+kb)dt$ も均衡においては逓増的に増加することになる。

また、(35)式で示された均衡知識フロー取得率の水準は、時間 t 以外に幾つかのパラメーターの値にも依存している。これらのパラメータが均衡知識フロー取得率ないし均衡研究開発支出率にどのような影響を与えるかを見ていくことにしよう。

先ず、開発競争期間 T の影響については次の命題が成立する。

命題二　(1)開発競争期間が長くなほど、均衡知識フロー取得率（均衡研究費用支出率）は減少する。(2)開発競争期間が長くなるほど、開発競争終了時点における均衡知識ストックは大きくなる。

証明

(1) $$\frac{\partial a^*}{\partial T}=\frac{h}{2C}$$

$$\times\frac{-(P-Y_1)(P-Y_2)(Y_2-Y_1)\sqrt{D}\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}{[(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}]^2}<0$$

$$\frac{\partial b^*}{\partial T}=\frac{k}{2E}$$

$$\times\frac{-(P-Y_1)(P-Y_2)(Y_2-Y_1)\sqrt{D}\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}}{[(P-Y_2)-(P-Y_1)\exp\{(T-t)\sqrt{D}\}]^2}<0$$

(2) a^*, b^* に対応する開発競争終了時点における応用研究知識ストック及び基礎研究知識ストックを $A^*(T), B^*(T)$ とする。このとき、(3)～(6)式より

$$A^*(T)=\frac{h}{2C}\cdot\left[Y_1T+\frac{(Y_2-Y_1)}{\sqrt{D}}\right.$$

$$\left.\times\ln\left\{\frac{-(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp(T\sqrt{D})}{(Y_2-Y_1)}\right\}\right]$$

$$B^*(T)=\frac{k}{2E}\cdot\left[Y_1T+\frac{(Y_2-Y_1)}{\sqrt{D}}\right.$$

$$\left.\times\ln\left\{\frac{-(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp(T\sqrt{D})}{(Y_2-Y_1)}\right\}\right]$$

が導かれる。これより、

$$\frac{\partial A^*(T)}{\partial T}=\frac{h}{2C}$$

$$\times\frac{-Y_1(P-Y_2)+(P-Y_1)(Y_2-Y_1)\exp\{T\sqrt{D}\}}{-(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp\{T\sqrt{D}\}}>0$$

$$\frac{\partial B^*(T)}{\partial T}=\frac{k}{2E}$$

$$\times\frac{-Y_1(P-Y_2)+(P-Y_1)(Y_2-Y_1)\exp\{T\sqrt{D}\}}{-(P-Y_2)+(P-Y_1)\exp\{T\sqrt{D}\}}>0$$

を得る。

証明終

また、開発競争期間 T を無限大に近づけたときに均衡知識フロー取得率 a^*, b^* はそれぞれ $hY_2/2C, kY_2/2E$ に近づく。

開発成功確率に対する知識ストックの寄与度 h 及び k、費用関数の逓増度 C 及び E、競争企業数 n、開発成功後の報酬 P、割引率 r は、D, Y_1, Y_2 へのインパクトを通じても Y そして均衡知識フロー取得率 a^*, b^* に影響を及ぼす。そこで、D, Y_1, Y_2 へのインパクトを先にまとめておこう。これらは D, Y_1, Y_2 の定義から直ちに導出できる。

レンマ二

(1) $$\frac{\partial D}{\partial h}=\frac{2Ph}{C}\left\{\left(\frac{h^2}{2C}+\frac{k^2}{2E}\right)(n-1)^2P+rn\right\}>0$$

(2) $$\frac{\partial D}{\partial k}=\frac{2Pk}{E}\left\{\left(\frac{h^2}{2C}+\frac{k^2}{2E}\right)(n-1)^2P+rn\right\}>0$$

(3) $$\frac{\partial D}{\partial C}=-\frac{Ph^2}{C^2}\left\{\left(\frac{h^2}{2C}+\frac{k^2}{2E}\right)(n-1)^2P+rn\right\}<0$$

(4) $\dfrac{\partial D}{\partial E}=-\dfrac{Pk^2}{E^2}\left\{\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)(n-1)^2P+rn\right\}<0$

(5) $\dfrac{\partial D}{\partial n}=P\left(\dfrac{h^2}{C}+\dfrac{k^2}{E}\right)\left\{\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)(n-1)P+r\right\}>0$

(6) $\dfrac{\partial D}{\partial P}=\left(\dfrac{h^2}{C}+\dfrac{k^2}{E}\right)\left\{\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)(n-1)^2P+rn\right\}>0$

(7) $\dfrac{\partial D}{\partial r}=2r+Pn\left(\dfrac{h^2}{C}+\dfrac{k^2}{E}\right)>0$

レンマ三

(1) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial h}=\dfrac{hY_1}{2C}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_1-2(n-1)P}{\sqrt{D}}>0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial h}=-\dfrac{hY_2}{2C}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_2-2(n-1)P}{\sqrt{D}}<0$

(2) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial k}=\dfrac{kY_1}{2E}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_1-2(n-1)P}{\sqrt{D}}>0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial k}=-\dfrac{kY_2}{2E}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_2-2(n-1)P}{\sqrt{D}}<0$

(3) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial C}=-\dfrac{h^2Y_1}{4C^2}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_1-2(n-1)P}{\sqrt{D}}<0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial C}=\dfrac{h^2Y_2}{4C^2}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_2-2(n-1)P}{\sqrt{D}}>0$

(4) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial E}=-\dfrac{k^2Y_1}{4E^2}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_1-2(n-1)P}{\sqrt{D}}<0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial E}=\dfrac{k^2Y_2}{4E^2}\cdot\dfrac{(2n-1)Y_2-2(n-1)P}{\sqrt{D}}>0$

(5) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial n}=-\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)\cdot\dfrac{Y_1(P-Y_1)}{\sqrt{D}}>0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial n}=\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)\cdot\dfrac{Y_2(P-Y_2)}{\sqrt{D}}>0$

(6) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial P}=-\dfrac{1}{\sqrt{D}}\left\{\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)(n-1)Y_1+r\right\}<0,$

$\dfrac{\partial Y_2}{\partial P}=\dfrac{1}{\sqrt{D}}\left\{\left(\dfrac{h^2}{2C}+\dfrac{k^2}{2E}\right)(n-1)Y_2+r\right\}>0$

(7) $\dfrac{\partial Y_1}{\partial r}=-\dfrac{1}{\sqrt{D}}(P-Y_1)<0,\ \dfrac{\partial Y_2}{\partial r}=\dfrac{1}{\sqrt{D}}(P-Y_2)>0$

レンマ二及びレンマ三を用いて、諸パラメータがYに与える効果は以下のようになる。

レンマ四　任意の $t\in[0,T]$ に対して

(1) $\dfrac{\partial Y}{\partial h}\leqq 0$, (2) $\dfrac{\partial Y}{\partial k}\leqq 0$, (3) $\dfrac{\partial Y}{\partial C}\geqq 0$, (4) $\dfrac{\partial Y}{\partial E}\geqq 0$,

(5) $\dfrac{\partial Y}{\partial n}\geqq 0$, (6) $\dfrac{\partial Y}{\partial P}>0$, (7) $\dfrac{\partial Y}{\partial r}\geqq 0$.

ただし、等号が成り立つのは $t=T$ のときのみである。

証明　パラメータϕの関数 $G(\phi), H(\phi), I(\phi)$ を

$$G(\phi)=-(P-Y_1)(P-Y_2)(Y_2-Y_1)\frac{1}{2\sqrt{D}}\ \frac{\partial D}{\partial \phi}, \tag{36}$$

$$H(\phi)=(P-Y_1)^2\frac{\partial Y_2}{\partial \phi}, \tag{37}$$

$$I(\phi)=(P-Y_2)^2\frac{\partial Y_1}{\partial \phi}, \tag{39}$$

$s=T-t$ と置くとき，$\phi=h, k, C, E, n, r$ について

$$\frac{\partial Y}{\partial \phi}\sim[H(\phi)\exp\{s\sqrt{D}\}-I(\phi)][\exp\{s\sqrt{D}\}-1]$$
$$+G(\phi)s\exp\{s\sqrt{D}\} \tag{40}$$

となる。この右辺を $Z(s\,;\phi)$ と置こう。$t=T$ すなわち $s=0$ のときにはこの値は0になり，従って，$\frac{\partial Y}{\partial \phi}$ も0となる。

以下，$0\leqq t<T(0<s\leqq T)$ の場合の値を考えよう。レンマ二と三より，$\phi=h, k$ については，$\frac{\partial Y}{\partial \phi}<0$, $\phi=C, E$ については，$\frac{\partial Y}{\partial \phi}>0$ が直ちに導ける。

$\phi=n, r$ について，$Z(0\,;\phi)=0$ はすでに示された。$Z(s\,;\phi)$ を s で微分すれば，

$$\frac{\partial Z(s\,;\phi)}{\partial s}\sim G(\phi)(1+s\sqrt{D})+2H\sqrt{D}\exp\{s\sqrt{D}\}$$
$$-\{I(\phi)+H(\phi)\}\sqrt{D} \tag{41}$$

を得る。この右辺を $W(s\,;\phi)$ と置く。このとき，

$$W(0\,;\phi)=\frac{\partial Z(0\,;\phi)}{\partial s}=G(\phi)+\{H(\phi)-I(\phi)\}\sqrt{D}$$
$$=0 \tag{42}$$

となることが示される。さらに，$W(s\,;\phi)$ を s で微分して，

$$\frac{\partial W(s\,;\phi)}{\partial s}=G(\phi)+2H(\phi)D\exp\{s\sqrt{D}\}$$
$$=D[I(\phi)-H(\phi)+2H(\phi)\exp\{s\sqrt{D}\}] \tag{43}$$

を得る。レンマ二と三から，(43)式は正の値となることがわかる。よって，任意の $s\in(0, T]$ に対して，$W(s\,;\phi)$ すなわち$\frac{\partial Z(s\,;\phi)}{\partial s}$は正の値をとる。これより，任意の $s\in(0, T]$ に対して $Z(s\,;\phi)$ すなわち$\frac{\partial Y}{\partial \phi}$は正となる。

Yに対するPの効果については

$$\frac{\partial Y}{\partial P} \sim Z(s;P)+(Y_2-Y_1)^2\exp\{s\sqrt{D}\} \qquad (44)$$

と表される。そこで、$Z(s;P)$ の符号を調べてみよう。

先ず $Z(0;P)$ の値は0である。$\dfrac{\partial Z(s;P)}{\partial s} \sim W(s;P)$ であり、レンマ二と三を利用して、

$$W(0;P)=G(P)+\{H(P)-I(P)\}\sqrt{D}>0, \qquad (45)$$

及び、任意の $s\in[0,T]$ に対して

$$\frac{\partial W(s;P)}{\partial s}=G(P)+2H(P)D\exp\{s\sqrt{D}\}>0 \qquad (46)$$

を導くことができる。従って、任意の $s\in[0,T]$ に対して $W(s;P)$ すなわち $\dfrac{\partial Z(s;P)}{\partial s}$ は正の値をとり、$Z(s;P)$ は非負の値となる。よって、(44)式より、任意の $s\in[0,T]$ に対して、$\dfrac{\partial Y}{\partial P}>0$ が証明された。　証明終

以上の準備の下で、諸パラメータが均衡知識フロー取得率、a^*, b^* ないし均衡研究費用支出率 C_A, C_B に与える効果について、次の命題が成立する。

命題三

(1) 開発競争終了時点に十分近いときには、開発成功確率に対する応用研究知識ストックの寄与度が大きいほど、均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）は高くなる。開発競争終了時点を除いて、開発成功確率に対する応用研究知識ストックの寄与が大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）は低くなる。

(2) 開発競争終了時点を除いて、開発成功確率に対する基礎研究知識ストックの寄与度が大きいほど、均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）は低くなる。開発競争終了時点に十分近いときには、開発成功確率に対する基礎研究知識ストックの寄与度が大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）は高くなる。

(3) 開発競争終了時点に十分近いときには、応用研究費用関数の逓増度が大きいほど、均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）は低くなる。開発競争終了時点を除いて、応用研究費用関数の逓増度が大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）は高くなる。

(4) 開発競争終了時点を除いて、基礎研究費用関数の逓増度が大きいほど、均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）は高くなる。開発競争終了時点に十分近いときに

表1　均衡知識フロー取得率に対するパラメータの影響
（成功確率上昇効果）

	a^*	b^*
h	+ 1)	− 2)
k	− 2)	+ 1)
C	− 1)	+ 2)
E	+ 2)	− 1)
n	+ 2)	+ 2)
P	+	+
r	+ 2)	+ 2)
T	−	−

1) 開発競争終了時点の十分近くで成立
2) 開発競争終了時点では0

は、基礎研究費用関数の逓増度が大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）は低くなる。

(5) 開発競争終了時点を除いて、開発競争に参加する企業数が多いほど、均衡知識フロー取得率（支出率）は基礎研究、応用研究とも高くなる。

(6) 開発成功後の報酬が大きいほど、均衡知識フロー取得率（支出率）は基礎研究、応用研究とも高くなる。

(7) 開発競争終了時点を除いて、割引率が高いほど、均衡知識フロー取得率（支出率）は基礎研究、応用研究とも高くなる。

ここで、開発競争終了時点に十分近いときとは、各パラメータに対するYの弾力性が1（(3)と(4)の均衡支出率のケースは$^1/_2$）よりも小さい場合を言う。これまでの結果をまとめたのが表一である。

また、均衡知識フロー取得率がとられたときの期待ペイオフ$J(a^*, b^*)$の値は、$P-Y(0)$となり、企業数nが無限大に近づくとき、この値は0に収束する。

四　費用節約効果と均衡戦略

次に、基礎研究が費用節約効果のみを持つ場合の分析に移ろう。成功確率上昇効果は存在しないから、(1)式のkが0、(12)式のDが正のケースにあたる。

前節と同様の手続きを利用することにより、この場合の開ループナッシュ均衡戦略は

$$a^*(T)=\frac{Ph\{1+DB(T)\}}{2C},\ b^*(T)=0,\ B(0)=0 \quad (47)$$

を境界条件とする次の微分方程式体系で特徴づけられる。

$$\dot{a}^*=\frac{1+DB}{2C}\left\{(r+hna^*)\left(\frac{2Ca^*}{1+DB}-Ph\right)+h\left(pha^*-\frac{Ca^{*2}}{1+DB}-Eb^{*2}\right)+\frac{2CDa^*b^*}{(1+DB)^2}\right\} \quad (48)$$

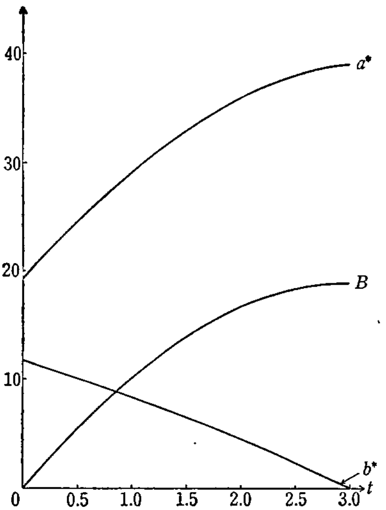
$$\dot{b}^*=\frac{1}{2E}\left\{(r+hna^*)2Eb^*-\frac{CDa^{*2}}{(1+DB)^2}\right\} \quad (49)$$

$$\dot{B}=b^* \quad (50)$$

前節で取り扱った微分方程式体系とは異なり、この体系には状態変数Bが含まれており、状態方程式(50)式も合わせて考慮しなくてはならない。三つの変数が含まれているため、位相平面解析も容易には行えない。ただし、開発競争終了時点Tにおいては、a^*は正の値、b^*は負の値をとる。従って、少なくとも開発競争終了時点Tに十分近いtに対しては、時間とともに均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）は増加し、均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）は減少するであろう。

図2　均衡知識フロー取得率

（費用節約効果；T=3.0）



均衡戦略のより詳しい形状を知るため、以下、微分方程式(48)～(50)の解を数値解析によって求めてみよう。そのため、諸パラメータを

$$T=3.0,\ h=0.001,\ C=1,\ D=0.05,\ E=2,\ n=2,\ P=40000,\ r=0.08 \quad (51)$$

と設定した。このときの計算結果が図二に示されている。

均衡応用研究知識フロー取得率a^*は、開発競争開始時点の約一九・四から開発競争終了時点の約三八・八へと単調に増加するのに対し、均衡基礎研究知識フロー取得率b^*は、時間の経過とともに約一一・八から〇に単調に減少する。さらに、a^*, b^*はいずれも時間に関する凹関数と言えよう。すなわち、均衡応用研究知識フロー取得率の増加割合は開始時点に近いほど大きく、終了時点に近づくにつれ歯止めがかかる。一方、均衡基礎研究知識フロー取得率の減少割合は開始時点に近いほど小さく、終了時点に近づくと急激な減少を示す。均衡基礎研究知識フロー取得率に対応する基礎研究知識ストックは、開始時点の〇から終了時点までに約一八・九へと逓減的に増加する。これらに伴い、均衡応用研究支出率も、開発競争開始時点の約三七四・八から開発競争終了時点の約七七九・四へと単調かつ逓減的に増加する。均衡基礎

研究支出率は、時間の経過とともに約二七七・〇から〇へ単調に減少するが、均衡基礎研究知識フロー取得率とは異なり、時間に関する凸関数となる。

また、基礎研究と応用研究を合わせた総知識フロー取得率は、tが小さいときにはtの増加関数であるが、tが約二・二のとき最大となり、それ以降は減少関数となる。これに対し、基礎研究と応用研究を合わせた均衡総研究費用支出率はtとともに単調に増加する。

さて、(51)式で与えられた特定のパラメータ値に対して成り立った以上の結果は、どれくらい一般的であろうか。パラメータの変更にどの程度耐えられるのだろうか。さらには、諸パラメータの変化は均衡知識フロー取得率あるいは均衡研究費用支出率に対していかなる影響を及ぼすのであろうか。これらの問題に答えるには、様々にパラメータを設定し直してそれらの結果を比較しなければならない。そこで、(51)式の設定値をベースとして、パラメータの値をひとつずつ変化させてみた。八つのパラメータすべてについて既定値の二倍及び二分の一の値をとり、企業数nについては八、開発競争期間Tについては一〇・〇と二二・〇のケースも計算を行った。つまり、ベースとなったものも含めて全部で二〇通りのパラメータ値が設定されたわけである。

これら二〇通りすべてのパラメータ値に対して、時間の経過とともに均衡応用研究知識フロー取得率a^*は単調増加し、均衡基礎研究知識フロー取得率b^*は単調減少することが確認できる。よって、均衡基礎研究知識フロー取得率に対応する基礎研究知識ストックは、時間とともに逓減的に増加する。また、時間の経過とともに、均衡応用研究支出率は単調増加、均衡基礎研究支出率は単調減少、均衡総研究費用支出率は単調増加することも確認された。

しかし、均衡知識フロー取得率a^*, b^*は必ずしも時間に関する凹関数とは言えない。この傾向はb^*において特に顕著である。$P=80000(0.9)$, $C=0.5(0.5)$, $D=0.1(0.7)$, $E=1.0(0.3)$, $h=0.002(1.0)$, $n=8(0.2)$, $T=6.0(1.5)$, $10.0(4.2)$, $22.0(14.7)$ の九通りのケースについて、変曲点の存在が確認される。括弧内の数字は変曲点のt座標を示している。これらの場合、b^*はtが小さいときにはtに関する凸関数であり、tが変曲点を越えると凹関数に移行するのである。つまり、均衡基礎研究知識フロー

取得率の減少率の割合は変曲点で最低となり、その付近で減少傾向に歯止めがかかる一方、開発競争開始時点及び開発競争終了時点に近づくほど高い減少割合を示すことになる。ただし、変曲点が開発競争開始時点の比較的近くに位置する場合には、開発競争開始時点における均衡基礎研究知識フロー取得率の減少割合はさほど大きくならない。

他方、応用研究知識フロー取得率 a^* は $T=22.0$ のケースを除いて時間に関する凹関数となる。$T=22.0$ の場合には、t が約一二・八のところにの変曲点が存在し、a^* はこれより小さい t の範囲に対しては t に関する凹関数となるが、t が変曲点を越えると凸関数に変わる。従って、開発競争終了時点及びその近くにおける均衡応用研究知識フロー取得率の増加割合は、開発競争開始時点におけるそれよりも大きくなる。

基礎研究と応用研究を合わせた均衡総知識フロー取得率に関しては、$h=0.002$, $T=10.0$, 22.0 の三つのケースで t の増加関数となり、開発競争終了時点で最大値をとる。また、$P=80000$, $C=0.5$, $D=0.1$ の三つのケースでは、均衡総知識フロー取得率が最大となる t は約二・七ないし二・八で、比較のベースの二・二よりもかなり開発競争終了時点に近づく。一方、$P=20000$, $C=2.0$, $D=0.025$ $h=0.0005$ の四つのケースで均衡総知識フロー取得率が最大となるのは、t が約一・二ないし一・四のときで、比較のベースよりもかなり前ということになる。

最後に、八つのパラメータの変化が均衡知識フロー取得率 a^*, b^* に及ぼす影響について触れておこう。

第一に、開発競争期間 T の変化は均衡応用研究知識フロー取得率に一様な影響を及ぼさない。T が大きいほど、開発競争開始時点における均衡応用研究知識フロー取得率は低くなるが、$t=1.4$ における均衡応用研究知識フロー取得率は T が六・〇のときに最も大きくなり、$t=2.9$ における均衡応用研究知識フロー取得率は T が一〇・〇のときに最大となるといった具合いである。

T が二二・〇の場合を除けば、T が大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率は高くなる。しかし、T が一〇・〇のケースと T が二二・〇のケースを比較すると、t が比較的小さいときの均衡基礎研究知識フロー取得率は T が二二・〇の場合の方が低くなる。従って、開発競争期間の変化は均衡基礎研究知識フロー取得率に対して

表2　均衡知識フロー取得率に対するパラメータの影響
(費用節約効果)

	a^*	b^*
h	+	+
C	−	−
D	+[1]	+
E	−[1]	−
n	−[1]	−
P	+	+
r	−[1]	−
T	?	?

1) 開発競争開始時点を除く

も一様な影響を及ぼさないと言える。

T以外のパラメータに関しては次のようになる。

(1)　開発成功確率に対する応用研究知識ストックの寄与度hが大きいほど、均衡知識フロー取得率 a^*, b^* は高くなる。

(2)　応用研究費用関数の逓増度Cが大きいほど、均衡知識フロー取得率 a^*, b^* は低くなる。

(3)　基礎研究費用関数の逓増度Eが大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率は低くなる。また、開発競争開始時点を除いて、均衡応用研究知識フロー取得率も低くなる。

(4)　基礎研究の費用節約効果を規定するパラメータDが大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率は高くなる。また、開発競争開始時点を除いて、均衡応用研究知識フロー取得率も高くなる。

(5)　競争企業数nが大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率は低くなる。また、開発競争開始時点を除いて、均衡応用研究知識フロー取得率も低くなる。

(6)　開発成功後の報酬Pが大きいほど、均衡知識フロー取得率 a^*, b^* は高くなる。

(7)　割引率rが大きいほど、均衡基礎研究知識フロー取得率は低くなる。また、開発競争開始時点を除いて、均衡応用研究知識フロー取得率も低くなる。

以上の結果をまとめたものが表二であり、均衡研究費用支出率に対する諸パラメータの変化の影響についてもこの表と同様の結果が得られる。ただし、ここで述べられたことは選ばれたパラメータ値に依存しており、安易に一般化されるべきではない。とはいえ、均衡知識フロー取得率のおおよその動きを知るためには十分に役立つものと言える。

五　おわりに

本稿では、基礎研究が成功確率上昇効果のみを持つ場合及び費用節約効果のみを持つ場合それぞれについて、

動態的な新製品ないし新製法の開発競争ゲームにおける開ループナッシュ均衡戦略を導出した。これら二つの効果は表面的には類似して見るが、導かれた均衡知識フロー取得率ないし均衡研究費用支出率は質的にかなり異なったものと言えよう。

時間に対する均衡基礎研究知識フロー取得率ないし均衡基礎研究支出率の動きの相違は特に顕著である。基礎研究が成功確率上昇効果しか持たない場合には、応用研究知識ストックがあまり蓄積されていない開発競争の序盤に基礎研究知識フロー取得率を高くしても、費用が重む割に開発成功確率の上昇はあまり望めず得策とは言えない。従って、応用研究知識ストックの蓄積と歩調を合わせ徐々に基礎研究知識フロー取得率を高めていくことになるのであろう。一方、基礎研究が費用節約効果しか持たない場合には、開発成功確率は応用研究知識ストックのみに依存するため、開発競争の序盤のうちに基礎研究知識ストックを蓄積し応用研究費用の節約効果を早い時点から享受して、できるだけ効率的に応用研究知識ストックを蓄積しようとするのであろう。

応用研究知識フロー取得率については、時間に対する増加割合が成功確率上昇効果の場合逓増的で、費用節約効果の場合逓減的であることに加え、絶対的水準に大きな差がある。すなわち、基礎研究が費用節約効果しか持たない場合、開発競争開始時点から相当水準(基礎研究が成功確率上昇効果しか持たない場合の開発競争終了時点における均衡応用研究知識フロー取得率ないし均衡応用研究支出率と同等)の応用研究費用が支出され、応用研究知識フローが取得されるのである。

また、諸パラメータの変化が均衡知識フロー取得率(研究費用支出率)に及ぼす影響も二つのケースで大きく異なっている。とりわけ、競争企業数と割引率の影響は、均衡基礎研究知識フロー取得率(支出率)、均衡応用研究知識フロー取得率(支出率)いずれに対しても全く逆方向となっている。競争企業数の増加が研究開発のインプットやアウトプットに与えるインパクトは開発成功後の報酬や研究開発支出のタイプに依存するといった議論があるが、基礎研究の効果の違いによってもそのインパクトが異なりうるという新たな発見が得られた。この点は基礎研究、応用研究・開発への資源配分問題と寡占モデルとをつなぐ重要なポイントである。

もう一つ注目に値するのが、応用研究及び基礎研究の費用関数の逓増度や開発成功確率に対する研究知識ストックの寄与度の変化が均衡知識フロー取得率（研究費用支出率）に及ぼす影響の違いである。基礎研究が成功確率上効果しか持たない場合には、基礎研究と応用研究との関係は代替的傾向が強く、これらのパラメータの変化が均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）と均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）とに逆方向の影響を及ぼす可能性が大きい。これに対して、基礎研究が費用節約効果しか持たない場合には、基礎研究と応用研究との関係はいわば補完的であり、これらのパラメータの変化が均衡基礎研究知識フロー取得率（支出率）と均衡応用研究知識フロー取得率（支出率）とに与える影響は質的には同じとなる。

現実の基礎研究は、成功確率上昇効果と費用節約効果の両方の効果を様々な割合で持っているものと考えられる。従って、実際の知識フロー取得率ないし研究費用支出率も、基礎研究が成功確率上昇効果しか持たない場合と費用節約効果しか持たない場合との折衷的なものとなろう。例えば、基礎研究知識フロー取得率が時間にかかわらず一定であるとか、企業数や割引率の変化が均衡知識フロー取得率に影響を及ぼさないといったことも起こりうる。しかしながら、これらの動きを見きわめるためには、単独の効果に関する分析が必要不可欠であることは言うまでもない。

参考文献

〔1〕 Dasgupta, P. and J. Stiglitz, "Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R and D," Bell Journal of Economics, 11 (1980), 1—28.

〔2〕 Gaver, D. P. and V. Srinivasan, "Allocating Resources between Research and Development: A Macro Analysis," Management Science, 18 (1972), 492—501.

〔3〕 Kamien, M. I. and N. L. Schwartz, Market Structure and Innovation, (1982), Cambridge University Press.

〔4〕 Lee, T., "A Nonsequential R and D Search Model," Management Science, 28 (1982), 900—909.

〔5〕 Lee, T., "On the Reswitching Property of R and D," Management Science, 28 (1982), 887—899.

〔6〕 Lee, T. and L. Wilde, "Market Structure and Innovation: A Reformulation," Quarterly Journal of Economics, 94 (1980), 429—436.

〔7〕 Loury, G. C., "Market Structure and Innovation,"

Quarterly Journal of Economics, 93 (1979), 395—410.
〔8〕 Reinganum, J. F., "Dynamic Games of Innovation," Journal I of Economic Theory, 25 (1981), 21—41.
〔9〕 Reinganum, J. F., "A Dynamic Game of R and D: Patent Protection and Competitive Behavior," Economettrica, 50 (1982), 671—688.
〔10〕 Reinganum, J. F., "Innovation and Industry Evolution," Quarterly Journal of Economics, 100 (1985), 81—99.
〔11〕 Roberts, K. and M. L. Weitzman, "Funding Criteria for Research, Development, and Exploration Projects," Econometrica, 49 (1981), 1261—1288.
〔12〕 Sato, R., Theory of Technical Change and Economic Invariance, (1981), Academic Press.
〔13〕 Scherer, F. M., "Research and Development Resource Allocation under Rivalry," Quarterly Journal of Economics, 81 (1967), 359—394.
〔14〕 Stewart, M. B., "Noncooperative Oligopoly and Preemptive Innovation without Winner-take-all," Quarterly Journal of Economics, 98 (1983), 681—694.
〔15〕 拙稿「研究開発のシミュレーション分析——基礎研究と応用研究への資金配分——」『一橋論叢』第九三巻六号、一九八五年。

（文教大学専任講師）