

## 動学的2段階研究開発競争

周, 玉麟

<https://doi.org/10.15017/3000092>

---

出版情報：経済論究. 90, pp.29-47, 1994-11-30. 九州大学大学院経済学会  
バージョン：  
権利関係：

# 動学的二段階研究開発競争

周 玉 麟

## 目次

- I. はじめに
- II. 二段階レースモデルの構築
- III. R&D の支出パターン
- IV. 諸制度的協定の分析
- V. 結論

## I. はじめに

技術競争はしばしばレースの特徴を有している。レースの場合、最多の賞金（おそらく唯一の）がこのレースを一番早く完走したものに与えられるのである。それと同じように、技術の場合、さきに産業技術の発明に成功した企業は最多の産業利益を獲得できる。もしこの発明された技術にたいして、特許取得可能で、この特許取得された技術の周辺の発明が許されないならば、二位の“完走者”は何も得るものがないことになる。スプリント以外のレースでは戦略が決定的な役割を演じている。というのは、レースが進行するにつれて、参加者はそれらの相対的位置が変わるので、レースに勝つためにそれらの作戦を調整しなければならないからである。これと同じように技術競争の場合でも企業は競争において相手に比べて先にすすんでいるかあるいは遅れているかによってその努力を常に調整しなければならないのである。

特許レースに関する多くの文献の中では技術競争とトラック競技との間の類似性が着目されている。Lee and Wilde (1980) および Reinganum (1981) は一番先に成功した企業が最多（あるいは唯一の）賞金を獲得できるという状

況のもとでの R&D 支出の決定要因を調べた。しかし、彼らの分析の中で進歩あるいはリーダーシップという概念が内包されなかったため技術競争が終わるまで全ての企業が同じ位置にあるという静学的なレースだけが分析されたのである。

本稿のアプローチは Lee and Wilde (1980) の特許レースモデルを拡張したものである。本稿ではその不確実性の構造が取り入れられ、各企業が直面する研究プログラムに一つの間ステップを導入することによって企業の進行状況（すなわち、ある企業が他の企業より先に進んでいる可能性）が考慮に入れられる。したがって、この技術レースに勝つために、われわれのモデルの中の企業が同じ難しさを持つ R&D の二つの段階を完走しなければならない。この二つの段階がそれぞれ研究段階と開発段階と見なされる。各企業はそのライバルの進行状況に関して完全情報を有しているので、自分のこの技術レースにおける相対位置（すなわち、ライバルに比べて、自分が先に進んでいるか遅れているか）は自分にただちにわかるのである。本稿で検討される理論的な不明確さはきつと多段階レースのより複雑な数式化の時にも存在するだろう。

第Ⅱ節で、われわれの二段階レースモデルを構築する。ひきつづき、第Ⅲ節では複占 R&D 競争の動学的特徴を調べることにする。第Ⅳ節では多段階 R&D 競争という状況の下で生じる様々な問題を取り上げ、その中で R&D 競争の動学的状態を変化させる三つの代替可能な制度を検討する。第一にライセンス協定の下でリードしているものが競争者とその中間成果を共有するかもしれない。第二に政府が中間成果を先に達成した企業に特許を授与することによって、初期段階の敗者のこのレースのひきつづきの参加を排除する。最後に企業は初期段階の研究のために共同チームを組み（すなわち、研究ジョイントベンチャーを組織する）、基礎研究成果を市場に売り出される製品の生産に転用する開発段階においては非協力的に競争する。そして、企業の共同利益に対するこれらの代替可能な制度的協定の影響を調べる。これらのいろいろな形の協力がどんな状況下でもっとも発生しうるかに分析の焦点が当てられる。最後に、本稿の研究結果を簡潔にまとめて結論部分にする。

## II. 二段階レースモデルの構築

価値  $W$  の賞金のため、二つのリスク中立の企業が競争する。割引率が  $r$  である。この賞金が二つの段階を含む研究プログラムをさきに完成させた企業に与えられる。各時点では企業が時間単位当り固定費用  $f \geq 0$  を負担することによってこのレースにとどまり、ひきつづき参加することができ、そして時間単位あたり  $c(p)$  固定費用を含む、総費用を投入することによって現段階における時間単位あたりの成功確率 (hazard rate)  $p$  を達成することができる。すべての  $p > 0$  に対して  $c(0) = f$ ,  $c'(p) > 0$  および  $c''(p) > 0$  と仮定する。最後の仮定は R&D 努力に対する収穫の逓減をあらわしている。 $c(\cdot)$  関数は企業の研究設備を最大限に利用した上での一定の発明成功確率を達成するためにかかる最小限の費用である。

このプログラムの第一段階を完走することによって中間成果が生まれる。この中間成果自体はなんな実用価値を持っていないが、その成果達成はこのプログラムの最終段階での研究活動を始めるための前提条件である。各企業がライバル企業の進行状況 (すなわちライバル企業がこのプログラムの第一段階を完走しているかどうか) を観察することができる。明らかに、一企業が初期段階を完走し、ライバル企業がまだしていないならば、この技術レースにおいて前者が後者をリードしている状況になる。

各時点においてはこのゲームが各企業の進行状況によって完全に特徴づけられることができる。三通りの局面が出現可能になる：(1) いずれの企業も中間ステップを達成していないとき；(2) 一企業 (先発者) が R&D の初期段階を完走しているがもう一方の企業 (追随者) がまだ完走していない時；および(3) 両方ともこの研究の最終段階に進んでいるとき。各企業がその研究活動を続けるかどうかを選択し、もし続けるなら、このレースにおける自分の位置とライバルのそれによって、この R&D へのそれぞれの支出率が決まる。われわれは  $p$  (任意の瞬間で研究の現在段階において企業が技術躍進を達成する確率) を ‘スピード’ あるいは ‘努力の密度’ と考える。

われわれはこの二段階レースに対してサブゲーム完全均衡の解の概念を用いる。したがってこのレースにおける各出現可能な局面に対して各企業が R&D へ投入する努力を決定しなければならない。 $i, j=1$  or  $0$  に対して一企業が研究プログラムの  $i$  段階を完成し、その競争者が  $j$  段階を完成した時のこの企業の時間単位あたりの成功確率  $P_{ij}$  である。企業がその正味期待割引利益を最大化するためにその R&D 密度を選択する。このゲームの現在状態を所与として、企業のスピードの組み合わせが期待利得を決める。危険率の場合と同じ従来の記号を用いてこれらを  $V_{ij}$  で表す。

このゲームの分析がもっとも進んだ状態からはじまり、前の状態ヘリーターンする。もし各企業がすでに中間成果を達成したならばこの状態がその市場構造が複占のそれに置き換えられた、Lee and Wilde (1980) が描写したものになる。このような状況のもとで、もし企業 A が R&D の密度  $p^A$ 、そしてそのライバル、B が  $p^B$  を選択すれば期待利得が以下の式によって与えられる。

$$rV^A = -c(p^A) + p^A(W - V^A) + p^B(-V^A) \quad (1)$$

この式は資産、 $V^A$  の収益率が配当フロー、 $-c(p^A)$ 、プラス期待キャピタル・ゲイン、 $p^A(W - V^A)$ 、とキャピタル・ロス  $p^B(0 - V^A)$  の和に等しいということを表している。 $V^A$  について (1) 式をとくと、

$$V^A = [p^A W - c(p^A)] / (r + p^A + p^B) \quad (2)$$

$p^B$  を所与として、企業 A が  $V^A$  を最大化するように  $p^A$  を選択する。 $V^A$  が正になるような  $p^A$  の値が存在するとき企業 A が研究活動を続けることが観察される。 $W > c(p^*)/p^* \equiv \alpha$  の場合かつその場合に限りこのような  $p^A$  が存在する。ただし  $p^*$  が成功確率単位あたりのコスト  $c(p)/p$  を最小化するスピードであり、 $\alpha$  は最小平均コストである。この条件が満たされると仮定し、(2) 式を微分すると企業 A の最適スピードの一階条件は

$$c'(p^A) = W - V^A \quad (3)$$

この条件は企業の努力が技術躍進が達成された場合に企業が得るであろう

キャピタル・ゲインの規模に直接に関係していることを表している。

式 (3) から企業 A が  $(p^A, p^B)$  空間において左下がりの反応曲線を有していることはわかる。企業 B の R&D への支出率が高ければ高いほど企業 A が最適だと考える自分の研究プログラムへの投資が多くなる。その理由は企業 B の支出率の増加が  $V^A$  を減らし、企業 A が成功した場合に享受するキャピタル・ゲインを増やすからである。この左下がり反応曲線の特徴はこの特許レースのすべての段階においても適用する。それは競争状態での R&D 支出が共同利益を最大化する共同支出を上回ることを意味する。

二つの企業とも最終段階に進んだ場合に達成したサブゲームの対称的均衡は式 (2) と (3) の中の  $p^A$  と  $p^B$  を  $p_{11}$  で  $V^A$  を  $V_{11}$  で代入することによって成り立つ。その結果として、以下の (4) と (5) 式が導かれる。

$$V_{11} = [p_{11}W - c(p_{11})] / (r + 2p_{11}) \quad (4)$$

$$c'(p_{11}) = W - V_{11} \quad (5)$$

一企業が研究初期段階を完了したが他の企業がまだしていない場合の均衡スピードと期待利得を計算する。まず先発者のことを考えよう。もしこの企業がスピード、 $p_{10}$ 、追従者が  $p_{01}$  選択するならば (1) 式と類似した式が出てくる。

$$rV_{10} = -c(p_{10}) + p_{10}(W - V_{10}) + p_{01}(V_{11} - V_{10})$$

最後の項は追従者が中間成果を達成した、つまり先発者に追いついた場合に発生したキャピタル・ロース  $(V_{11} - V_{10})$  を表している。

$V_{10}$  についてこの式を解くと

$$V_{10} = [p_{10}W + p_{01}V_{11} - c(p_{10})] / (r + p_{10} + p_{01}) \quad (6a)$$

$W > \alpha$  の場合かつその場合に限り  $p_{10} > 0$  を選択することが先発者にとって最適である。その場合最適研究密度が以下の式を満たしている。

$$c'(p_{10}) = W - V_{10} \quad (7a)$$

追従者の場合を考えよう。この企業にとって競争レースから立ち去ることが

最適であるかもしれない。これは (4) (5) 式から計算される  $V_{11}$  の値が  $\alpha$  より小さい場合かつその場合に限る。したがって  $p_{01}=V_{01}=0$  であり、 $p_{10}$  と  $V_{10}$  の値は  $p_{01}=0$  を式 (6a) (7a) に代入することによって導かれる。もし  $V_{11} > \alpha$  ならば追隨者の期待利得が

$$V_{01} = [p_{01}V_{11} - c(p_{01})] / (r + p_{10} + p_{01}) \quad (6b)$$

ただし  $p_{01}$  が以下の一階条件を満たしている。

$$c'(p_{01}) = V_{11} - V_{01} \quad (7b)$$

もし追隨者がこのレースにとどまるならば式 (6a), (6b), (7a) および (7b) の連立解が先発者対追隨者局面におけるスピードと価値を決める。

最後にこのレースの初期段階 (つまりいずれの企業もまだ中間成果を達成していない状態) を考えよう。上と同じように推論すればこの段階における如何なる均衡も対称的であることがわかる。 $V_{10} > \alpha$  の場合かつその場合限り両企業がこの研究プログラムに取り組むだろう。この時以下の式が成り立つ。

$$V_{00} = [p_{00}V_{10} + p_{00}V_{01} - c(p_{00})] / (r + 2p_{00}) \quad (8)$$

$$c'(p_{00}) = V_{10} - V_{00} \quad (9)$$

(8) と (9) 式が  $p_{00}$  と  $V_{00}$  をきめる。

一般的に言えば最適スピードを表す明確な数式を得ることは不可能である。第Ⅲ節では二段階複占特許レースに参加する企業が取る戦略の特徴を検討する。

### III. R&D 支出のパターン

この節では企業がライバルに比べて先に進んでいるあるいは遅れている場合、この企業あるいはライバルがその相手に再び追いついた場合、この技術レースに参加している企業が時間とともにその行動をいかに調整するかを検討する。結論からいうと、追隨者より先発者が常により多くの投資を R&D へ投

入するが、追隨者が追いついたとき両者ともそれらの研究努力をさらに強化するということである。このレースが初期状態から一つの企業が先に進んだ状態へ変わった場合を吟味すると、一つの企業による中間成果達成の局面に対して企業のいずれかあるいは両方ともスピードアップあるいはスローダウンすることは理論的に可能である。われわれのモデルのパラメーターの広範囲の値にわたってシミュレーションを行うと最も典型的な結果としてリードしている企業がその研究努力を強化するが、ライバル企業が支出率を減らすということになるのがわかる。

まず、ライバルが中間成果達成に成功したとき先発者がその研究努力を強化することを論ずる； $p_{11} > p_{10}$ 。式 (5) と (7a),  $c'' > 0$  成り立つならば  $V_{11} < V_{10}$ , すなわち,  $p_{11} > p_{10}$  が成り立つ。これを証明するために背理法を用いる。 $V_{11} > V_{10}$  すなわち  $p_{10} > p_{11}$  が成り立つと仮定する。この場合, 式 (6a) の  $V_{10}$  を  $p_{01}$  について微分することによって先発者の反応曲線が右下がりにならなければならないことを容易に示せる。しかし  $p_{10}$  が  $p_{01} = 0$  に対する発先者の最適反応  $\hat{p}$  より小さくなければならない。 $[pW - c(p)] / (r + p)$  を最大化する  $\hat{p}$  はまた初期段階を完成したがこれから R&D へ投資しないと決めたライバルに直面している企業の最適スピードでもある。両企業ともこの技術レースの第二段階で研究活動が続いている状態の反応曲線が左下がりにならなければならないので  $p_{11} > \hat{p}$  は成り立つ。したがって  $p_{11} > p_{10}$  も成立することになる。

続いて、一企業がリードし、ライバルが遅れているとき前者のスピードが後者のそれを上回る i.e.  $p_{10} > p_{01}$  を示す。

式 (7a) (7b) と  $c'' > 0$  成り立つならば  $W - V_{10} > V_{11} - V_{01}$  すなわち,  $p_{10} > p_{01}$  が成り立つ, 式 (6a) からの  $V_{10}$  を, 式 (6b) からの  $V_{01}$  を, 不等式,  $W - V_{10} > V_{11} - V_{01}$  に代入し, 整理すること, この不等式が以下のように書き表される。

$$P_{01}(W - 2V_{11}) + r(W - V_{11}) + (P_{01} - P_{10})V_{11} + [c(P_{10} - c(P_{01}))] > 0 \quad (10)$$

再び背理法を用いる。 $p_{01} > p_{10}$  と仮定する。 $c(p)$  関数の凸性は  $c(p_{01}) - c(p_{10}) < (p_{01} - p_{10})c'(p_{01})$  を意味している。これはさらに以下の式をも意味する。



$$\begin{aligned}
 & (p_{01} - p_{10})V_{10} + c(p_{10}) - c(p_{01}) > (p_{01} - p_{10})[V_{11} - c'(p_{01})] \\
 & = (p_{01} - p_{10})V_{01} \quad (\because (7a) \text{式より}) \\
 & > 0 \quad (\because \text{仮定より})
 \end{aligned} \tag{11}$$

式 (11) の不等式が満たされるとき、式 (10) のそれも満たされなければならないことを示す。(11) 式は (10) 式の最後の二つの項の和が正になることを意味している。しかし  $W > 2V_{11}$  (式 (4) を参照されたい) なので (10) 式の最初の二つの項の和も正である。(11) 式を導いた  $p_{01} > p_{10}$  という仮定のもとでは不等式 (10) は満たされる；これは仮定と矛盾するので  $p_{10} > p_{01}$ 。この背理法は  $p_{10} > p_{01}$ , i.e. 先発者のスピードが追随者のそれを上回ることを示している。

このレースが引き分けになった場合、先発者と追随者ともそれらの研究努力を強化する。これは一方の企業はリードしている状況と比較して競争が拮抗する場合に前者が失うものが多くなり、後者が得るものが多くなることを反映している。スピードアップする傾向は他者の行動の変化に対する企業の積極的競争反応によって加速する。

このゲームの二つの状態を比較することによって各企業が中間成果を達成した後、企業間の競争がますます激しくなることがわかる。これを考察するため式 (5), (9) から  $W - V_{10} > V_{11} - V_{00}$  の場合かつその場合限り  $p_{11} > p_{00}$  が成立することに注意したい。しかし  $p_{10} > p_{01}$  ということが  $W - V_{10} > V_{01} - V_{01}$ , or  $W - V_{11} > V_{10} - V_{01}$  を意味している。 $V_{00} > V_{01}$  すなわちこのレースの初期段階に立ち後れていることはキャピタル・ロスをとまなうことを示すのは単純明瞭である。それは  $W - V_{11} > V_{10} - V_{00}$  と  $p_{11} > p_{00}$  から導かれる。

最後に、スタートスピードと一企業がこのレースにおけるリーダー地位を獲得した後に選択したスピードを比較する。シミュレーションによって  $p_{10} > p_{01}$  の場合  $p_{00} > p_{10}$ ,  $p_{00} > p_{01}$  および  $p_{00} < p_{01}$  のいずれも可能であることを示す。これがなぜ成り立つかを説明した後、われわれのモデルの静学

比較を検討するため行ったシミュレーションの結果を報告する。これらのシミュレーションは様々な可能な動学的径路がどんな状況下で最も発生しうるかに示唆を与える。

まずこのレースにおいてリードしている企業の行動を考えよう。ライバルがそのスピードを緩めたり、完全にこのレースから立ち去ることさえしたりすることによってさらに後退するように反応するかもしれない。反応曲線が左下がりであることを所与とすれば、この競争減効果はリードする企業にその努力を低減させる傾向がある。他方リードする企業が中間成果達成によって最終ラインに突入したので、割引率が正であるかぎりこの加速効果によってリードする企業はその R&D への支出を増やす傾向がある。Grossman and Shapiro (1986) はその論文の中で多段階研究プログラムに取り組んでいる一つの企業が競争相手がいないが  $r > 0$  という条件のもとで研究進展とともに常に努力を強化するだろうと示している。

追隨者も二つの相反する要素の影響を受けている。ライバルがすでに中間成果を達成したことは初期段階の完成による企業の報酬が少なくなること（すなわち  $V_{11} < V_{10}$ ）を意味している。技術躍進による潜在的報酬が減少するので追隨企業が先発者の研究ペースと関係なくその研究努力を減らしたり、プログラムそのものを中断することさえしたりする。しかしながら追隨者がレースにとどまり、研究を続ける場合、先発者が中間成果の達成によりスピードアップする場合、追隨者も先発者の支出増加に積極的に反応し（左下がりの反応曲線のため）その研究努力を増やすかもしれない。

可変費用  $c(p) = f + p^e$  の弾力性、 $e$  が 1 より大きく一定であるという仮定のもとでこのモデルのシミュレーションを行った。このモデルの他のパラメーター  $W$ 、 $r$  および  $f$  を広範囲に変化させた。結果として追隨者がこのレースを中断し ( $p_{01} = 0$ )、しかも割引率が大きいならば先発者がスピードを加速させること ( $p_{10} > p_{00}$ ) がわかる。高い割引率は研究加速効果が大きいことを意味する。加速費用関数の弾力性が大きい場合、ライバルがレースを続けるとき、先発者はよりスピードアップしたが。このような状況の下で成功の確率を高めるために費用が非常にかかるのでレースのスタート時の競争ではむしろそのスピードが非常に高いレベルに押し上げられないだろう。したがって、一企業が後退によりレースを中断したとき競争的相互作用がそれほど大きなインパクトを残りの企業に与えないだろう。

いろいろパラメーターの値の組合せで調べた結果、追隨者がレースに残ったとき先発者が研究の初期段階の完了後、以前に比べてより一層努力することがわかる。

追隨者の行動を考えよう。もし固定費用が大きくて、賞金が少なく費用関数の弾力性が大きくあるいは割引率が大きいならばこの企業が研究活動を中断する可能性が最も高い。もしこの企業が研究活動を続ければそれは R&D の支出規模を減らす傾向がある。実際にわれわれのすべてのシミュレーションでは先発者の行動に対する競争的反応が後退している企業（追隨者）にその研究努力を強化させるほど十分に大きいという例を一つも発見していない。しかしながら簡単な分析の例はこのような結果が理論的土台では排除されることができないことを証明するのに十分である。ある例ではライバル企業がより遅いペースで進むならば各企業はレースを通してそうすることを好むことはわかるが、初期段階完了後、そのライバルがスピードアップすることに反応して各企業はスピードアップする。

いままでわれわれの結論をまとめて、図1で二段階 R&D レースの典型的

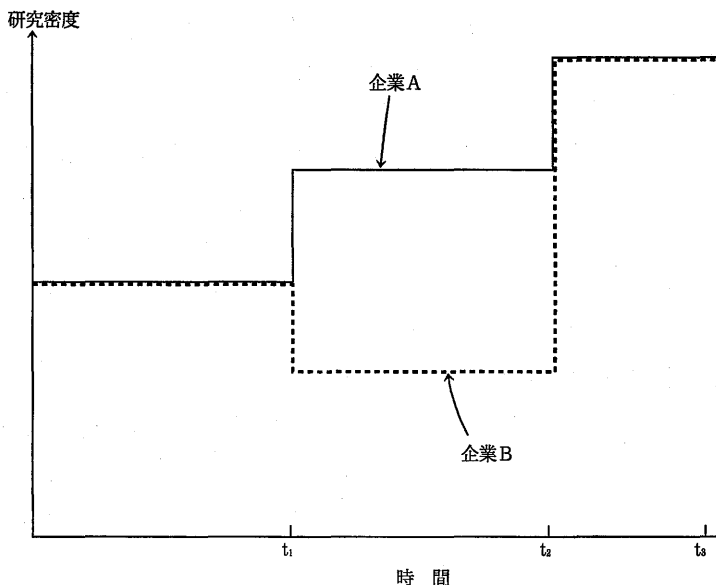


図1. 二段階特許レースの典型的支出パターン

支出パターンを描写する。時点  $t_1$  で企業 A が中間成果を達成しこの研究プログラムの最終段階にはいる。勝利を意識してこの企業がその努力をさらに強化する。それに対し落胆する企業 B がその支出規模を縮小する。時点  $t_2$  では企業 B が中間成果を達成しこのレースで企業 A と引き分けになる。一つの企業により最終段階が  $t_3$  時点で完了し、特許が授与されるまで企業はより一層競争を繰り広げ続ける。

#### IV. 諸制度的協定の分析

多段階特許レースにおいて企業が協力しよう（部分的に）とするインセンティブに関する諸問題をここで取り上げる。分析の焦点が三つの典型的な制度的協定に当てられる。これらの制度的協定が技術競争のすべてではなくある一部分の例から観察できる。これらは (1)ライセンス契約、それによって産業におけるリーディング企業は使用料の受取と引き換えに二つ以上のライバルにその優れた知識を供与する；(2)中間成果特許の授与、それによって技術レースにおける先に中間成果を挙げたリーディング企業が市場に売り出される製品を生み出すために必要なイノベーションの開発段階を完了する前に勝者の地位を政府機関から保証される；および (3)研究ジョイント・ベンチャー、それによって企業がより大きな研究プログラムのある段階を完了するためにそれらの力を合わせることで合意する。分析の焦点はどの要素が企業にとってのこれらの協定の魅力に影響するかに合わされる。

##### A. ライセンス協定

多段階特許レースにおけるある企業がその研究の初期段階を完了したが、そのライバルがまだ完了していないとき、この先発者はその研究成果を他の企業にも一定の使用料で利用できるようにするインセンティブを持っているかもしれない。もちろんこの協定が結ばれることができる前にある種の情報上と交渉上の障害は克服される必要がある。われわれはこのモデルの情報（すなわち中間成果）に関する取引から潜在的な利益が生まれるかどうかという問題のみ取

り上げるので先のことは本稿の論ずないことにする。

この中間成果の取引から潜在的利益が生まれるかどうかの問題はライセンス協定が結ばれた場合とそうでない場合とその産業全体利益を比較をする必要がある。ライセンス協定が結ばれた場合、両企業は結合価値  $2V_{11}$  を持つ研究の最終段階に取り組む。ライセンスが結ばれていない場合、両企業は期待利益  $V_{10}+V_{01}$  を享受する。したがってわれわれのモデルでは  $2V_{11} > V_{10}+V_{01}$  のときライセンスによって、結合利益が増える。

ライセンスは企業にとって魅力的なところもある。なぜならそれによって追随者が中間成果に資源を追加投入することなく最終ラインに進むことができるからである。明らかに追随者にとって中断することが最適である局面においてもライセンス協定によって追随者は技術競争にとどまるように引き留められる。これは資源浪費の問題（先発者が先に最終段階の成功を達成した場合）を引き起すかもしれないが、産業の R&D 効率を高めることができる。固定費用  $f$  がそれほど大きくない限り、特定の企業の限界費用がある一定の水準以上増える場合は一つの企業よりも二つの企業が競争するほうが一定の成功確率がより効率的に達成されうることを意味する。企業が最終ラインに到達したとき、この効率増加効果は最もよく現れる。

複占特許レースにおける二つの企業からみればライセンスは一つの欠点を持っている。ライセンス協定はきっと企業間の競争を激しくさせるにちがいない。なぜなら  $p_{11}$  が  $p_{10}$  と  $p_{01}$  のいずれをも上回るからである。ライセンスがない場合、もし追随者が何なかの進歩を達成する前に先発者が研究プログラムを完成したならば激しい競争は回避されるかもしれない。実際にこの結果は追随者がこのレースを中断する状態から生ずる。

われわれのシミュレーションの例では諸状況下でライセンスによる潜在的利益があることを発見した。割引率が高いときあるいは所与の正の割引率の場合、R&D 費用関数の弾力性が十分に大きいとき、追随者が中断するよりもライセンス協定をむすんだほうが産業の期待利益が高まる。同じように一定の値  $r > 0$  に関して  $e$  の値が大きければ一つよりも二つの研究プログラムに取り組むことからの効率利益がより大きくなる。しかし  $r=0$  のとき最小平均進歩費

用を達成する規模で一つの研究プログラムを行う方が産業の観点から効率的である。

追隨者がレースにとどまる場合、レースの最終段階で生じる競争がそれほど激しくないときライセンスは結合的に利益になるものである可能性がもっとも高い。したがって高い値の  $e$  はライセンスを促す。賞金が少ないときライセンスがより有利に見なされる。最後に追隨者がこのレースにとどまるとしても高い割引率がライセンス協定の結びに役に立つ。なぜならライセンスが成功の期待時間をちぢめるからである。これらの直感的結論がわれわれのシミュレーションの結果と一致しているが、分析的手法を用いて一般的結論を証明することが極めて困難である。

## B. 中間成果特許

イノベーションプロセスの中間段階で特許を与える政策を企業が支持するかどうかを考えよう。もし中間成果特許が公布されたら初期段階発明に失敗した企業はこのレースを中断しなければならない。事後的な観点（中間成果が一旦その産業中の一つの企業に達成されたら）からみれば競争なしの第二研究段階に突き進む企業の期待利得  $V_m$  が競争が繰り広げられる中の両企業の利得の和、 $V_{10}+V_{01}$  を上回る場合、この政策は産業期待利益を高めるであろう。企業に与えられる中間成果特許のメリットはこの政策が開発段階における余分の競争のコストを取り除いたことによるものである。このような特許のデメリットは特許によって研究開発が特定企業に独占的に行なわれるので効率が低下することである。

しかしながら  $V_m > V_{10} + V_{01}$  ということは企業が中間成果特許の授与に賛成する必要条件でもないし、十分条件でもない。この特許制度は競争の激しさと中間発明前の研究初期段階での期待支出にも影響を及ぼす。中間成果特許が初期段階が完了した時点から測られる期待産業利益を高めるかもしれないが、それが最初の競争をより激しくさせるので事前の産業利益を低下させるかもしれない。

われわれのシミュレーションでは  $V_m = V_{10} + V_{01}$  になるようなパラメータ

の値の場合、中間成果特許なしの制度のもとより中間成果特許を持つ制度のもとではレースのスタート時点での競争はより激しくなる。

### C. 研究ジョイント・ベンチャー

われわれが考えていた最後の潜在的協力の形態は研究ジョイント・ベンチャー (RJV) である。このようなベンチャーによって企業が R&D プログラムの第一段階の期間中の 2, それらの研究活動について協力し合うことができる。中間成果が達成されると両企業はそれを入手できる。しかし RJV によって発生するシナジー効果が考慮に入れるのがむずかしい研究開発技術は RJV の組織のいかに全く影響を受けないと仮定する。この仮定は第一段階の研究、成果が公共財であり、第二段階が企業特定の開発であるという二段階イノベーションプロセスの解釈と一致する。

特定化された R&D 技術のもとで RJV に携わっている企業の一つがその研究活動を停止することは最適であるかもしれない。一つの企業だけで研究に取り組むことによって企業は設備と管理に関わる固定費用を節約できる。アイデアと技術の固定的供給のための資源投入に対する収益通減という仮定のもとで統一操業による固定費用の節約をやめ、ジョイントベンチャーを各企業での研究支出を協同的に設定するためのただの手段として用いることはより効率的かもしれない。

一般的に言えば RJV は以下の理由で特許レース参加企業の共同利益を高める傾向がある。それは中間発明が達成すると両企業がすぐその成果を入手可能であることを保証することによってライセンス協定と同じように追隨者が先発者によって達成した知識を獲得しようと試みることに関わる努力の重複と浪費を企業が回避することができることである。RJV によって企業は彼らが同時に最終結果を求めようとするときにこのレースの段階のもっとも競争の激しい局面に耐える必要があるであろう。RJV がなければ追隨者が中間点に突き進むことができる前に先発者が偶然にもこの研究プログラムの両段階を完了すればこの潜在的に費用のかかる状態が回避されることができる。

われわれのシミュレーションでは期待産業利益は初期段階の激しい競争が存

在する場合より RJV の場合の方が少ないというパラメーターの組合せを発見した、RJV がなければ追隨者がこのレースを完全に中断すると決めた場合固定費用が大きいため上述したことは生じる。

研究ジョイントベンチャーがライバルの研究者に気に入られないもう一つの理由は発見された。伝統的な理由はジョイント・ベンチャーが一般的に協力と管理費用の増加を伴うからである。もう一つの問題はジョイント・ベンチャーが求められる研究経路の多様性を損なうことである。これらの要素がなくても RJV の成果がそのメンバーに利用された後彼ら直接競争を激化させることによって RJV がそのメンバーの利益を減らすかもしれないことは示された。

## V. 結 論

本稿で二つの企業が特許レースに取り組むとき発生する R&D の競争の動学状況を検討した。われわれは研究プログラムが二段階の順番的完了を要する単純な構造を用いた。一段階特許レースに関する文献と同様に各段階での成功が不確実であり、時間単位当りの成功確率がこのプログラムに投入された資源の増加とともに高まると仮定した。この構造によってわれわれは企業がこのレースにおいてリードしあるいは遅れているときいかにその行動を調整するかを分析することは十分可能である。

両企業が引き分けになったとき、各企業の競争は最も激しくなる。遅れを取った企業がこのレースで前にリードしたライバルにふたたび追いついたとき両競争者はお互いに研究努力を強化することで反応する。二つの企業がこのイノベーションプロセスにおける異なる段階にあるとき遅れを取っている企業よりもリードしている企業の方は R&D への投資するインセンティブが大きいことがわかった。この結果は R&D 文献でのもう一つの命題、すなわちクローノ複占においてより低い初期費用を持つ企業はライバルよりもコスト削減 R&D に取り組むインセンティブがより大きいということをわれわれに思い出させる。

さきに中間成果を達成した企業に対するライバル企業の反応は理論的に曖昧



である。広範囲のパラメーターの値のシミュレーションの結果としては先発者が最終段階に突き進んだときその R&D 支出を増加させるが追随者が研究活動を低下させるということはわかる。

最後に技術競争期間中企業の持つ、諸形態の研究協力に取り組むインセンティブを調べるためにこの二段階特許モデルを用いた。一つの企業がある程度の進展をみせた後のライセンス協定、イノベーションプロセスにおける中間段階で特許を授与する公共政策および R&D プログラムの早期段階で研究活動に関して企業が協力することが可能な RJV というこれら制度的協定の望ましさはすべてこのモデルのパラメーターの値にかかっている。一般的にいえば何の協定もない場合に発生する競争が非常に激しくなるときこれら代替可能な形態の協力は結合期待利益を高める傾向がある。

#### APPENDIX：シミュレーション分析

分析的手法がさらなる示唆を与えることができないときわれわれのモデルの特質を調べるために数値シミュレーション技術を用いた。研究密度、 $P_{ij}$  および値  $V_{ij}$  のため、特定の形の進歩費用関数  $c(p)$  および特定のパラメーターの集合の場合このモデルを解くためにシミュレーションは行われた。われわれは以下の関数の形態を用いた。

$$c(p) = f + p^e$$

ただし  $f$  は各時点での R&D の固定費用であり、 $e$  は可変費用の弾力性である。

以下の範囲内でパラメーターのペースを検討した： $W [20, 500]$ ； $f [0, 200]$ ； $r [0, 100]$ ，；および  $e [1.5, 8.0]$ 。

この範囲内の典型的な解は表 1 で示されている。

以下では本文で達した結論をわれわれのシミュレーションの結果がいかに支持しているかを説明する。

$P_{00}$  VS  $P_{10}$

$r$  or  $e$  が小さくない限り追随者がレースを中断したら先発者はその研究努力を強化するというを示す。 $W=200, f=250, e=3.0, r \leq 0.8$  の場合および  $W=100, f=50, r=0.04, e \leq 1.7$  の場合  $p_{01}=0, p_{00} > p_{10}$  式が成り立つことがわかる。

$e$  の小さい値を持つレースにおいて追随者が引続き存在するにもかかわらず先発者がスローダウンする唯一のケースは発見された。例えば  $W=100, f=50, r=0.04, e \leq 1.7$  の場合あるいは  $W=50, f=0, r=1, e \leq 2.1$  の場合  $p_{01} > 0$  の時,  $p_{00} > p_{10}$

$P_{01}$  VS  $P_{00}$

われわれのシミュレーションではこの特許レースにおいて遅れているとき企業がさらに研究努力を強化する例は発見されていない。

表1

パラメーター： $W=100, f=0, r=0.04, e=3.0$

$p_{00} = 3.21$	$V_{00} = 34.61$
$p_{10} = 3.39$	$V_{10} = 65.59$
$p_{01} = 2.90$	$V_{01} = 14.38$
$p_{11} = 4.48$	$V_{11} = 39.79$

ライセンス協定

ライセンス協定がなければ追随者がこのレースを中断する場合  $r$  あるいは  $e$  が大きい時ライセンスは産業利益を増加させる。 $W=200, f=250, e=3.0$  および  $r \geq 0.8$  の時と  $W=100, f=50, r=0.4, e \geq 3.6$  の時  $p_{01}=0$  とともに  $2V_{11} > V_{10} + V_{01}$  式が成り立つことがわかる。

どんな場合でも追随者がレースにとどまり、研究活動を続けるとき  $e$  が大きく  $W$  が小さくあるいは  $r$  が小さい場合、ライセンス協定から潜在的な利益が

得られる。これらの主張が以下のシミュレーションで証明される。 $W=100$ ,  $f=10$ ,  $r=1.0$  および  $e \geq 2.1$  の場合と  $W \leq 20$ ,  $f=0$ ,  $r=0.04$ ,  $e=3.0$  の場合  $p_{01} > 0$  とともに  $2V_{11} > V_{10} + V_{01}$  が成り立つ。

### 中間成果特許

もし  $V_m > V_{01} + V_{10}$  式が成り立つならば中間成果特許が事後産業利益の向上につながる。この条件が小さい  $r$  のとき ( $W=100$ ,  $f=0$ ,  $e=3.0$  および  $r \leq 2.1$ ) と小さい  $e$  の時 ( $W=20$ ,  $f=0$ ,  $r=0.05$  および  $e \leq 3.7$ ) 満たされることがわかる。

中間成果特許が事前産業利益を高める条件は本稿で示したようにややもっと厳しい、シミュレーションによって  $W=100$ ,  $f=0$ ,  $e=3.0$  および  $r \leq 0.8$  の場合と  $W=20$ ,  $f=0$ ,  $r=0.05$  および  $e \leq 2.6$  の場合中間成果特許によって事前産業利益が向上することがわかる。

### 研究ジョイント・ベンチャー

研究ジョイント・ベンチャーがなければ遅れを取っている企業がこのレースを中断するだろうとき RJV は産業に利益を与えることができないかもしれない。われわれのモデルでは RJV から潜在的な利益が得られないいくつかの例を発見した。これらは以下の場合を含んでいる： $f=250$ ,  $r=0$ ,  $e=3.0$  および  $W \leq 238$  ;  $W=100$ ,  $r=0.04$ ,  $e=3.0$ ,  $f \geq 60$  ; および  $W=100$ ,  $f=50$ ,  $r=0.4$  および  $e \geq 3.6$

われわれのシミュレーションでは追随者がレースにとどまり研究活動を続けなお RJV が望ましくないというケースを発見したことはない。

### 参 考 文 献

- [1] Fudenberg, D., Gilbert, R., Stiglitz, J., and Tirole, J., Preemption, leapfrogging and competition in patent races. *European Economic Review*, vol. 22, 1983, pp. 3-31.
- [2] Grossman, G. and SHapiro, C. 'Optimal dynamic R&D programs.' *Rand*

*Journal of Economics*, vol. 17, 1986, pp. 581-93.

- [3] Harris, G. and Vickers, J., 'Perfect equilibrium in a model of a races.' *Review of Economic Studies*, vol. 52, 1985, pp. 193-209.
- [4] Judd, K. 'Closed-loop equilibrium in a multi-stage innovation race.' Discussion Paper No. 647, 1985, *Management Economics and Decision Science*, Kellogg Graduate School of Management, Northwestern University.
- [5] Katz, M. 'An analysis of cooperative research and development.' *Rand Journal of Economics* vol. 17, 1986, pp. 527-43.
- [6] ——— and Shapiro, C. 'On the licensing of innovations.' *Rand Journal of Economics*, vol. 16, 1986, pp. 504-20.
- [7] Lee, T. and Wilde, L. 'Market structure and innovation: a reformulation.' *Quarterly Journal of Economics*, vol. 94, 1980, pp. 429-36.
- [8] Reinganum, J. 'Dynamic games of innovation.' *Journal of Economic Theory*, vol. 25, 1981, pp. 21-41.
- [9] ———, 'A dynamic game of  $r$  and  $d$ : patent protection and competitive behavior.' *Econometrica*, vol. 50, 1982, pp. 671-88.
- [10] Shapiro, C. 'Patent licensing and R & D rivalry.' *American Economic Review*, vol. 75, 1985, pp. 25-30.