

ⅢⅢ研究ノートⅢⅢ

模倣とR&D投資：簡単なゲーム論的接近

中 村 保

1. 問題

新規に開発された技術は、通常特許や実用新案登録等によって法的に保護されうる。しかし、製品の品質を少しずつ向上させるようなタイプの技術革新では、そういった法的な保護を受けるのは困難であろう。また、次々現れるそういった製品のマイナーな変化に関して法的な保護を求めようとするのは、登録申請のコストや認可されるまでの時間等を考えると、企業にとっては必ずしも合理的な行動とは言えないであろう。このような状況下では、製品の質のわずかな向上やマイナーなモデルチェンジをもたらすような技術進歩は、絶えず模倣 (Imitation) の危険に晒されていると考えることができよう。¹⁾

模倣の危険性がある場合、企業のR&D投資活動は活発になるのかであろうか。それとも、企業はR&D投資を減らそうとするのであろうか。模倣の危険がある場合、新規の技術が企業にもたらす利益は減少するので、R&D投資も減少しそうである。その反面、もし企業にとって技術的に優位に立つことが非常に価値のあることであれば、模倣の危険の増大はR&D投資をむしろ増大させるかもしれない。本稿の目的は、簡単な微分ゲームのフレームワークを使って模倣の危険性がR&D投資に与える影響を検討することにある。

1) もちろん、いかなる種類の技術進歩であろうと、法的な保護等による何らかの完全な秘密保持がなければ、模倣の危険が伴うと考えることができる。

このノートの構成は以下の通りである。まず次の節でモデルを提示し、第3節でオープンループナッシュ解を導出する。第4節で前述の問題について考察し、最終節で若干の結論を述べる。

2. モデル

簡単化のために、技術開発を行う企業（以下、R&D企業）と技術開発は行わずもっぱらR&D企業の技術を模倣する企業（以下、模倣企業）の2企業だけが存在するケースを考える。自然な仮定として、ここではR&D企業の方が模倣企業よりも高い技術水準を有していると考え²⁾。

2-1. 生産物市場

生産物市場では、R&D企業と模倣企業がクルーノー競争をしていると想定する。各企業の製品はその品質によって差別化されている、そして、製品の質は蓄積された技術水準によって決定される、と考える。結果として、各企業の粗利潤関数は各企業に蓄積された技術の水準に依存することになる。

$$R_i = \tilde{R}_i(K_a, K_b),$$

但し、 $i=a, b$ 、 a はR&D企業を、 b は模倣企業を表わしている。これらの粗利潤関数は、以下のような性質をもつ。

$$\frac{\partial \tilde{R}_a}{\partial K_a} > 0, \quad \frac{\partial \tilde{R}_a}{\partial K_b} < 0, \quad \frac{\partial \tilde{R}_b}{\partial K_b} > 0, \quad \frac{\partial \tilde{R}_b}{\partial K_a} < 0.$$

Wang and Blomstrom (1992) が示しているように、消費者がある特定の（しかしそれほど特殊でない）効用関数を持っていると仮定すると、粗利潤関数は、両企業の技術水準の比 $k = K_a/K_b$ だけの関数となり、

$$R_i = R_i(k), \tag{1}$$

2) これは後にモデルの結論の一つとして導き出される。

以下のような性質を有する。³⁾

$$R_a'(k) > 0, \quad R_a''(k) < 0, \quad R_b'(k) < 0, \quad R_b''(k) < 0. \quad (2)$$

前に述べたように、R&D企業の方が高い技術を持っていると仮定している
ので、 $k > 1$ 、である。

2-2. 技術の蓄積

技術蓄積の過程は非常に簡単なものであると想定しよう。R&D企業の技術水準は技術開発のための投資活動 I_f を通じて上昇し、その変化率は既存の技術水準に依存する。

$$\dot{K}_b = I_a K_a, \quad (3)$$

但し、変数の上のドットは時間に関する微分を表わしている。ここでは、
簡単化のために、R&D企業の技術開発に関する投資の平均および限界生産性は1であると想定されている。

一方、技術水準において相対的に劣る模倣企業の場合は、技術水準の上昇は模倣・学習過程を通じて達成されると考える。より具体的には、技術水準の上昇率はR&D企業の技術水準と自らの模倣・学習のための投資 I_b の増加関数である。

$$\dot{K}_b = I_b \theta K_a, \quad 0 < \theta < 1, \quad (4)$$

但し、 θ は模倣企業の技術の模倣・学習の効率を示すパラメータである。この θ が大きいということは、模倣企業がより容易にR&D企業の技術を模倣できることを、R&D企業から見れば模倣される危険が高いことを、意味している。簡単化のために、模倣企業の技術の模倣・学習に関する投資の平均および限界生産性は θ であると想定されている。

(3)式と(4)式から以下のような技術水準の比 k に関する微分方程式を得る。

$$\dot{k} = [I_a - I_b \theta k] k. \quad (5)$$

3) この点に関しては、Lancaster (1966) も参照。

2-3. 最大化問題

各企業は、利潤の現在価値の合計を最大化するものと想定する。R&D企業の目的汎関数 V_a は以下のように定式化される。

$$V_a = \int_0^{\infty} e^{-rt} [R_a(k(t)) - C_a(I_a(t))] dt, \quad (6)$$

但し、 r は R&D 企業にとっての割引率であり、 $C_a(I_a)$ は投資に伴う調整費用関数である。また、調整費用関数は以下のような通常の性質をもつものとする。

$$C_a'(\cdot) > 0, \quad C_a''(\cdot) > 0.$$

ここではさらに簡単化のために、関数を以下のように特定化しよう。

$$C_a(I_a) = (1/2) c_a I_a^2, \quad (7)$$

但し、 c_a は正の定数である。

R&D 企業は、(2)、(5)、(7) の諸式を制約として (6) 式で与えられている目的汎関数を最大化するように、投資率 $I_a(t)$ の時間経路を決定しなければならない。

一方、模倣企業も R&D 企業と同様の資本市場へのアクセスビリティを持つと仮定すると、模倣企業の目的汎関数は以下ようになる。

$$V_b = \int_0^{\infty} e^{-rt} [R_b(k(t)) - C_b(I_b(t))] dt, \quad (8)$$

但し、 r は模倣企業にとっての割引率であり、 $C_b(I_b)$ は模倣・学習のための投資に伴う調整費用関数である。また、調整費用関数は R&D 企業の場合と同様に以下のような性質をもつものとする。

$$C_b'(\cdot) > 0, \quad C_b''(\cdot) > 0.$$

ここでも簡単化のために、関数を以下のように特定化しよう。

$$C_b(I_b) = (1/2) c_b I_b^2, \quad (9)$$

但し、 c_b は正の定数である。

模倣企業は、(2)、(5)、(9) の諸式を制約として (8) 式で与えられている目的汎関数を最大化するように、投資率 $I_b(t)$ の時間経路を決定しなければならない。

3. 最適条件およびナッシュ均衡

微分ゲームの解の概念には、いくつか（あるいは、いくつも）あるが、解の概念を規定する際に考えなければならない代表的なものに、①ナッシュ均衡かシュタッケルベルグ均衡か、②オープンループかクローズループか、というものがある。ここでは、その解概念が最も適当であるから、と理由ではなくて、分析可能性あるいは解の扱い易さという理由から、オープンループナッシュ解という解概念を用いる。

3-1. 各企業の最適条件

R&D企業の最適化問題に関する当期価値ハミルトニアンは以下のよう
に定義される。

$$H_a = R_a(k) - (1/2)c_a I_a^2 + \lambda_a [I_a - I_b \theta k] k, \quad (10)$$

但し、 λ_a は状態変数 k に関する共状態変数であり、状態変数 k の帰属価格を表わすものと解釈される。最大化のための一階の条件は、以下の通りである。

$$c_a I_a = \lambda_a k, \quad (11. A)$$

$$\dot{\lambda}_a = [r - I_a + 2I_b \theta k] \lambda_a - R_a'(k), \quad (11. B)$$

$$\dot{k} = [I_a - I_b \theta k] k. \quad (11. C)$$

また、横断性の条件は、

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda_a(t) k(t) = 0, \quad (11. D)$$

である。

同様に、模倣企業の最適化問題を解くために、状態変数 k に関する共状態変数を $(-\lambda_b)$ とすると、当期価値ハミルトニアンは以下のように定義される。

$$H_b = R_b(k) - (1/2)c_b I_b^2 + (-\lambda_b) [I_a - I_b \theta k] k. \quad (12)$$

ここでも、共状態変数 $(-\lambda_b)$ は、状態変数 k の模倣企業にとっての帰属価格であると解釈できる。⁴⁾一階の条件および横断性の条件は以下の通りであ

る。

$$c_b I_b = \lambda_b \theta k^2, \quad (13. A)$$

$$\dot{\lambda}_b = [r - I_b + 2I_b \theta k] \lambda_b + R_b'(k), \quad (13. B)$$

$$\dot{k} = [I_a - I_b \theta k] k, \quad (13. C)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-rt} \lambda_b(t) k(t) = 0. \quad (13. D)$$

3-2. 定常ナッシュ均衡

定常状態では、 $\dot{\lambda}_a(t) = \dot{\lambda}_b(t) = \dot{k}(t) = 0$ である。(11. A), (13. A)及び(11. C) (あるいは(13. C)) の諸式より以下の3式を得る。

$$\lambda_a^* = \frac{R_a'(k^*)}{r - I_a^* + 2I_b^* \theta k^*}, \quad (14. A)$$

$$\lambda_b^* = -\frac{R_b'(k^*)}{r - I_a^* + 2I_b^* \theta k^*}, \quad (14. B)$$

$$\theta k^* = \frac{I_a^*}{I_b^*}, \quad (14. C)$$

但し、星印(*)は変数の定常状態での値を示している。

$\mu^* \equiv \lambda_a^* / \lambda_b^*$ と定義すると、(14. A)と(14. B)より、

$$\mu^* = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = -\frac{R_a'(k^*)}{R_b'(k^*)}, \quad (15)$$

を得る。一方、(11. A)と(13. A)より以下の式を得る。

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{c_b}{c_a \theta k} \cdot \frac{\lambda_a}{\lambda_b}.$$

上の式は、あらゆる時点で成り立っているので、当然定常状態でも成り立つ。

$$\frac{I_a^*}{I_b^*} = \frac{c_b}{c_a \theta k^*} \cdot \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = \frac{c_b}{c_a \theta k^*} \mu^*. \quad (16)$$

(14. C)式と(16)式より、

4) 状態変数 k の上昇は模倣企業にとってマイナスであるので、共状態変数 $(-\lambda_b)$ は負の値、それゆえ、 λ_b は正の値をとる。

$$\mu^* = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = (\theta k^*)^2 \frac{C_a}{C_b}. \quad (17)$$

補題1. もし $\theta^2 \frac{C_a}{C_b} < -\frac{R_a'(1)}{R_b'(1)}$ であれば, $k^* > 1$ であるような一意の k^* が存在する。

[証明] (15)式を満たす μ^* と k^* の組み合わせをRR曲線, (17)式を満たす μ^* と k^* の組み合わせをCC曲線, とする。RR曲線は以下のように右下がりである。

$$\frac{d\mu^*}{dk^*} = \left\{ \frac{R_a''(k^*)}{R_a'(k^*)} - \frac{R_b''(k^*)}{R_b'(k^*)} \right\} \mu^* < 0.$$

一方cc曲線は右上がりである。

$$\frac{d\mu^*}{dk^*} = 2\theta^2 k^* \frac{C_a}{C_b} > 0.$$

もし $\theta^2 \frac{C_a}{C_b} < -\frac{R_a'(1)}{R_b'(1)}$ であれば, $k=1$ の時, RR曲線はCC曲線の上方にある。それゆえ, 図1が示すように, μ^* と k^* は一意で, かつ $k^* > 1$ である。

[証明終わり]

(14. A)式に(11. A)式と(14. C)式を代入すると,

$$c_a(r + I_a^*)I_a^* = R_a'(k^*)k^*, \quad (18)$$

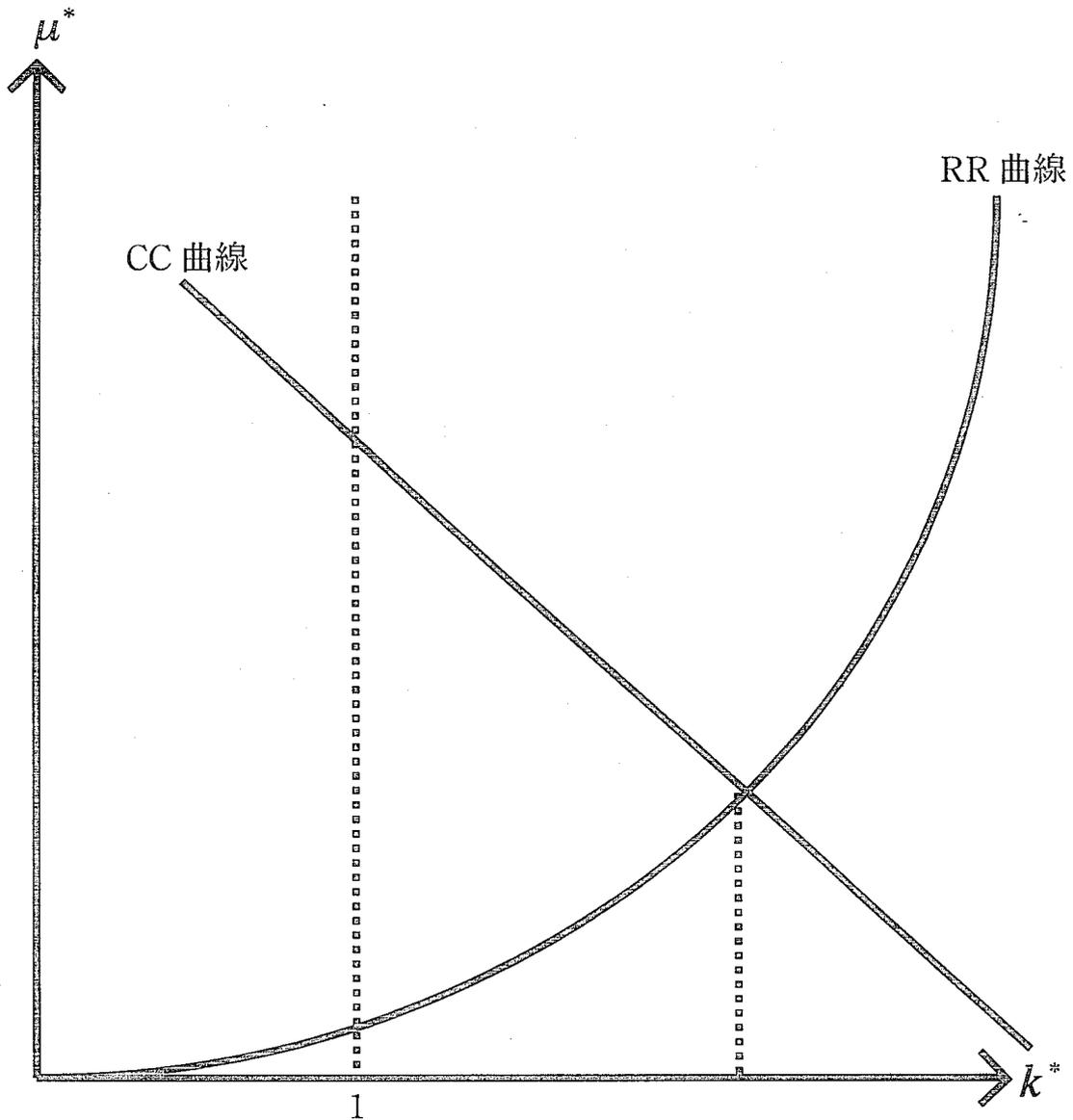
を得る。(18)式の左辺を $f(I_a^*) = c_a(r + I_a^*)I_a^*$ とおくと,

$$f(0) = 0, \quad f'(I_a^*) > 0 \quad \text{for all } I_a^* \geq 0, \quad \lim_{I_a^* \rightarrow \infty} f(I_a^*) = \infty,$$

である。一方(18)式の右辺は正であるので, 図2が示しているように, 任意の正の k^* に対して一意の I_a^* が対応する。

k^* と I_a^* が与えられると, (14. C)式より一意の I_b^* が決定される。

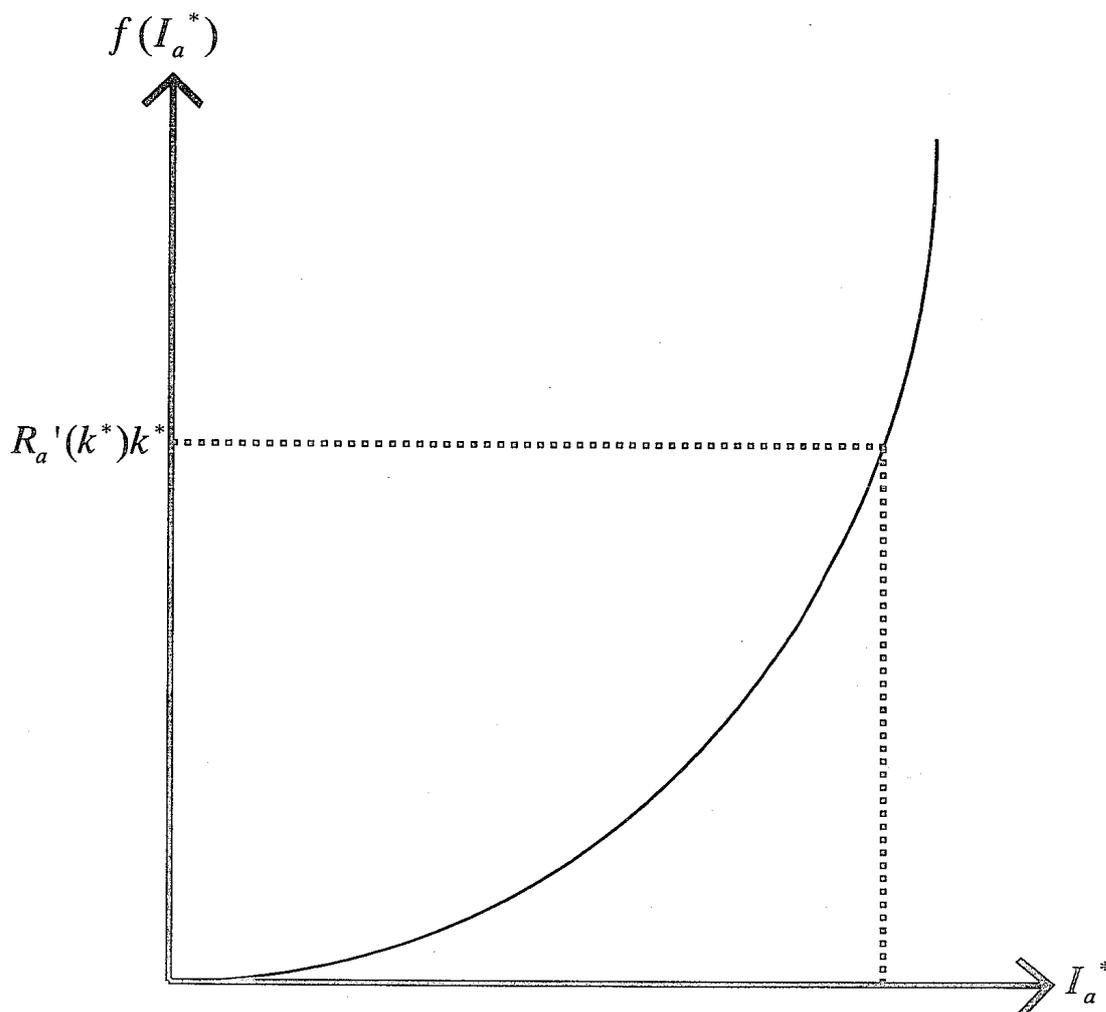
補題2. k^* が与えられると, I_a^* と I_b^* は一意に決まる。



[図1 k^* の一意性]

上述の二つの補題より次の命題を得る。

命題1. もし $\theta^2 \frac{c_f}{c_d} < -\frac{R_a'(1)}{R_b'(1)}$ であれば、以下の4式で決定される戦略 I_a^* 及び I_b^* によって特徴づけられるオープンループ・ナッシュ均衡である、一意の、局所的安定性を持つ、定常状態が存在する。



[図2 I_a^* の一意性]

$$\mu^* = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = -\frac{R_a'(k^*)}{R_b'(k^*)},$$

$$\mu^* = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = (\theta k^*)^2 \frac{c_a}{c_b},$$

$$c_a(r + I_a^*)I_a^* = R_a'(k^*)k^*,$$

$$\theta k^* = \frac{I_a^*}{I_b^*}.$$

[証明] オープンループ・ナッシュ均衡である定常状態の一意性は補題1と2から明らかである。また、ここでのモデルは、Fershtman and Muller (1984) のモデルの特別な場合に対応するので、一意の解が保証されれば、

それは定常状態の近傍では均衡解が持つべき局所安定性を有する。

[証明終わり]

4. 主要命題

パラメーターの変化に対する最適経路の変化、特に初期時点での反応が最も興味のある点ではあるが、その分析には動学分析固有の困難さが伴うので、ここでの分析は定常状態に限定することにする。

定常状態を特徴づける $(\mu^*, k^*, I_a^*, I_b^*)$ を決定する4本の方程式を再度まとめて書くと以下の通りである。

$$\mu^* = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = -\frac{R_a'(k^*)}{R_b'(k^*)}, \quad (19. A)$$

$$\mu^2 = \frac{\lambda_a^*}{\lambda_b^*} = (\theta k^*)^2 \frac{c_a}{c_b}, \quad (19. B)$$

$$c_a(r + I_a^*)I_a^* = R_a'(k^*)k^*, \quad (19. C)$$

$$\theta k^* = \frac{I_a^*}{I_b^*}. \quad (19. D)$$

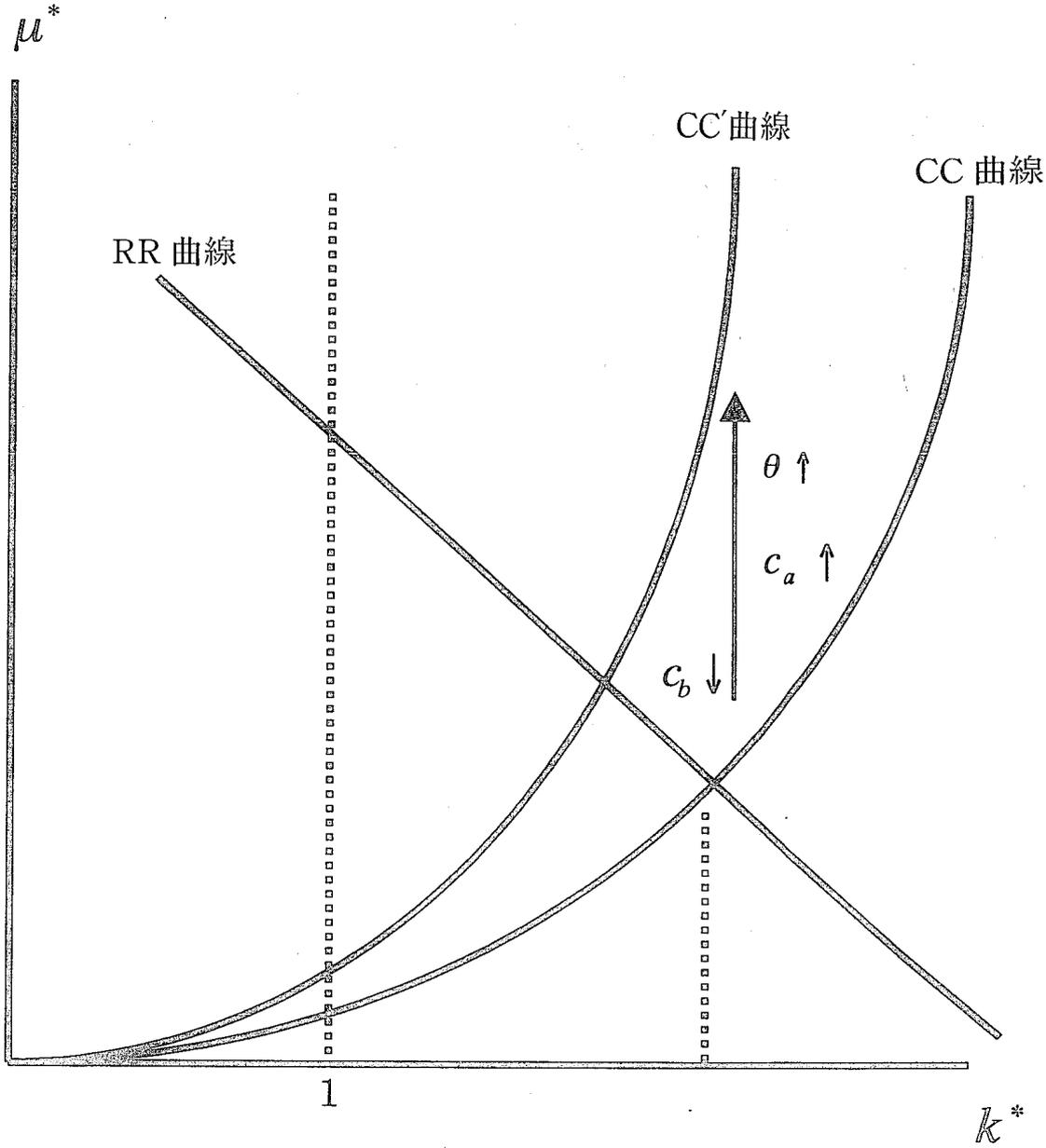
形式的には、(19. A)式と(19. B)式から (μ^*, k^*) が決定され、それらが与えられた下で、(19. C)式と(19. D)式から、ナッシュ均衡を特徴づける (I_a^*, I_b^*) が決定される。

(19. B)式の関係を表わしているCC曲線は、① θ の上昇、② c_a の上昇、あるいは③ c_b の低下、がおきると、上にシフトする。これに対して、(19. A)式の関係を表わしているRR曲線は外生パラメータの影響を受けないので、図3から次の比較静学の結果を得る。⁵⁾

$$\frac{dk^*}{d\theta} < 0, \quad \frac{dk^*}{dc_a} < 0, \quad \frac{dk^*}{dc_b} > 0. \quad (20)$$

(19. C)式から次のような関係を得る。

5) これらの結果は何ら不思議なものではない。



[図3 k^* に関する比較静学]

$$\frac{dI_a^*}{dk^*} = \frac{(\epsilon_{Ra} + 1)R_a'(k^*)}{c_a(r + 2I_a^*)}, \quad (21)$$

但し、 $\epsilon_{Ra} = \frac{k^* R_a''(k^*)}{R_a'(k^*)}$ ，すなわち、限界粗利潤の（技術比 k^* に関する）弾力性である。 ϵ_{Ra} は負であるが、その大きさは分からない。ただ次のような関係があることは明らかである。

$$\frac{dI_a^*}{dk^*} \geq 0 \quad \Leftrightarrow \quad |\epsilon_{Ra}| \leq 1. \quad (22)$$

ここでのモデルでは、 θ の上昇が模倣の可能性(危険)の増大を表わしている。 θ がR&D投資に与える影響は、

$$\frac{dI_a^*}{d\theta} = \frac{dI_a^*}{dk^*} \cdot \frac{dk^*}{d\theta}$$

で与えられる。(20)と(22)より以下の関係を得る。

$$\frac{dI_a^*}{d\theta} \geq 0 \quad \Leftrightarrow \quad |\epsilon_{Ra}| \leq 1. \quad (23)$$

命題2. 限界粗利潤の弾力性が絶対値で1より大きい時、模倣の可能性の増大はR&D投資を増加させる。逆は逆。

命題2の経済的意味を考えてみよう。限界粗利潤の弾力性が絶対値で大きいということは、R&D企業が技術的優位を少し失うだけで限界粗利潤が大きく減少することを意味する。このような状況下では、R&D企業はなるべく技術的優位性を維持しようとする。それゆえ、他企業が模倣を通して技術格差を埋める可能性が増せば、企業は技術格差を維持しようとしてR&D投資を増加させるのである。

逆に、限界粗利潤の弾力性が絶対値で小さい時は(そうでない時に比べて)、R&D企業の技術格差を維持しようとするインセンティブが相対的に小さくなる。それゆえ、模倣の危険性が高まれば、すぐにキャッチアップされる新規の技術が企業にもたらす利益は減少するので、R&D投資も減少するのである。いずれのケースも我々の直観と一致する。命題2が示していることは、R&D投資の定性的性質が、生産物市場での競争や製品の差別化の程度に決定的に依存しているという事である。

ここでのモデルでは、定常状態でも技術水準は上昇を続けていることに注意しなければならない。定常状態での技術格差(ここでのモデルでは技術水準の比 k^*)が同じであっても、全く異なる速度で技術が進歩している

可能性があるのである。模倣の可能性の増大は必ず技術格差を縮小させ、技術格差だけに注目すれば、限界粗利潤の弾力性の大きさは無関係に同じ定常状態を生じさせる。しかし、技術進歩の方をみれば、もし限界粗利潤の弾力性が絶対値で1より大きいければ、模倣の可能性の増大は現状の恒常状態を技術がより速い速度で成長する恒常状態へ移行させるに対して、もし限界粗利潤の弾力性が絶対値で1より小さければ、模倣の可能性の増大は技術がゆっくりとした速度で進歩する恒常状態へ移行させる。技術進歩が社会全体の厚生に与える影響を考える際にはこのことは非常に重要である。

5. 結語

このノートでは、模倣の危険性が企業のR&D投資に与える影響を簡単な微分ゲームを用いて分析した。そして、模倣の可能性の増大がR&D投資を増加させるか減少させるかは、粗利潤関数の弾力性に依存していることが示された。即ち、弾力性が絶対値で1より大きければ、模倣の危険性の増大は技術開発企業のR&D投資を増加させるし、逆は逆である。

ここでの結論が示唆する事は、R&D投資を考える際には生産物市場の構造（競争や製品の差別化の程度等々）とそこでの企業の行動を十分に分析する必要があるということである。この点については今後の課題としたい。

また、ここでの分析では、“扱い易さ”ということのために、オープンループナッシュ解を用いた。いずれの解概念が最も適切かという問題は重要であり、それについては、モデルの構造・分析の目的から考えなければならない。これも今後の研究課題の一つである。

参考文献

Fershtman, C. and E. Muller, 1984, "Capital Accumulation Games of Infinite Duration," *Journal of Economic Theory*, Vol. 33, pp. 332-339.

Lancaster, K. J., "New Approach to Consumer Theory," *Journal of Political Economy*, Vol. 74, pp. 132-157.

Wang, Y-J. and M. Blomstrom, 1992, "Foreign Investment and Technology Transfer : A Simple Model," *European Economic Review*, Vol. 36, pp. 137-155.