

## 2117 イノベーション競争が支配的な産業における産業動態モデル分析

○勝本雅和（京都工芸繊維大）

### 1. イントロダクション

イノベーションが経済成長や産業動態の主要な原動力となっていることに議論の余地はない。現代社会、ことに先進国においてはイノベーションの制度化(Institutionalization)というべき状況に至っており、あらゆる経済活動がイノベーションの存在を前提として実行されている。

このようなイノベーションの発展、普及の過程においては、企業間のイノベーション競争が重要な役割を果たしている。例えば、ムーアの法則で有名な半導体素子の規則的な高密度化は、様々な要因が係わっているとはいえ、総体的には企業間競争に多くを負っていると考えられる。

当然これまでも企業間競争に基づく経済成長や産業動態の分析は行われてきた。しかし、イノベーションの源泉となる多様性やイノベーションが本質的に抱えている不確実性など取り扱いが困難であることから、必ずしも十分に説明が行われてはいない。

一つの代表的方法は、企業が完全に合理的に行動するという仮定に基づく分析であり、一定の規範的結論を得ることができるという利点を持つが、最適化理論に全面的に依存することから多様性の取り扱いが困難となる。別の代表的方法は、企業は限定合理性の下にあるということを前提とした、いわゆる進化経済学的方法である。この方法では企業の意思決定メカニズムを非常に単純なルールとして仮定することで企業の多様性をこのルールの多様性として捉え、産業動態を説明しようとしている。しかし、

この分析はシミュレーションに頼らざるを得ず、規範的結論を得ることが困難である。

本稿では、企業間のイノベーションレースが産業動態に与える影響についての新しい分析モデルを提示することを目的とする。残念ながら現段階では、モデルの一部にしか解析的な解が得られていない。この後、2節で分析モデルの全体像を紹介し、3節でLeader戦略とFollower戦略の相互作用についての最適化理論を用いた解析を行う。4節では3節で求めた解析解に基づく数値解析の結果を報告し、5節で若干の考察を行う。

### 2. 分析モデルの全体像

本モデルは、先ほど例を挙げた半導体素子のように入新製品が企業間のイノベーション競争の結果として次々と登場してくるような産業/市場の動態を分析することを目的とする。

このモデルは他の多くの進化経済学的モデルと同様に大きく二段階に分かれる。第一段階は意思決定段階であり、各経済主体(企業)は各自の保有資産、市場に関する情報、並びにそれぞれが持つ基本戦略に基づいて投資額/生産額を決定する。第二段階では、各企業の意思決定の結果が市場メカニズムを通じて集約され、各主体に利益の形で意思決定の正否を明らかにする。

本モデルがこれまでの進化経済学的モデルと異なる点は、意思決定段階に多様性の源泉として戦略の概念を持ち込み、更に各主体の意思決定に最適化理

論を適用していることにある。但し、戦略概念を持ち込むことで、戦略間の相互作用を考察することが必要となり、モデルは複雑化している。

企業戦略には階層があり、また非常に多くの観点から分類することが可能であるが、ここではイノベーション競争を取り扱っていることから、イノベーション戦略を基本とした分析を行う。標準的なイノベーション戦略は、Pioneer(Leader)戦略、Fast Follower 戦略、Last Follower 戦略に分類されるが、ここではモデルの単純化のために①Leader 戦略と②Follower 戦略の二つに絞ってモデル化を行った。

①Leader 戦略と②Follower 戦略の利点、欠点は対照的である。Leader は、先行して製品を開発することによって、知的財産権等の制度的要因や学習効果によるコスト競争力の強化などによって市場を支配することができる。一方、新製品の市場投入には高い市場リスクが存在するし、何らかの要因により Follower に技術がスピルオーバーすることによ

って構築した市場支配力を失ってしまう恐れもある。

従って、意思決定段階において戦略間の相互作用を考慮して自らの戦略を選択しなければならない。いわゆるゲームの状況であり、(1)Leader-Leader戦略、(2)Leader-Follower戦略<sup>ii</sup>、(3)Follower-Leader戦略<sup>iii</sup>、(4)Follower-Follower戦略<sup>iv</sup>について最適化理論を用いた解析解を求めることが必要となる。

### 3. Leader-Follower/Follower-Leader 戦略

2節で示した分析の枠組みの中で、ここでは(2)Leader-Follower並びに(3)Follower-Leader戦略について確率的最適化理論を応用した解析を行う。

ここでモデルの数学的構造について述べるべきであるが、紙幅の関係もあり、概要を記述するとどめる。それぞれの企業は、研究開発投資によって新製品を開発しつつ、生産投資を行うことで現行製品を生産し、競争市場でその製品を販売することによって利益を得る。Leader は先行して新製品の研究開

**Proposition 3.** *If  $N_f = 1$  then*

$$J_* = \frac{1}{\alpha} \max_{u \geq 0, v > 0} \left[ \left( \frac{d_0 \sigma v^\gamma}{\sigma v^\gamma + \sigma_f v_f^\gamma} - (p_1 u + p_2 v) \right) + \frac{d_0 \sigma_f v_f^\gamma}{\sigma v^\gamma + \sigma_f v_f^\gamma} \frac{\int_0^\infty e^{-\alpha \tau - (\rho u + \beta v_f) \frac{\tau^2}{2}} d\tau}{\int_0^\infty e^{-\alpha \tau - \rho u \frac{\tau^2}{2}} d\tau} \right]$$

**Proposition 5.** *The optimal value  $J_*$  of the functional in problem (Pf) is represented by the following formula:*

$$J_* = \frac{1}{\alpha^2 \int_0^\infty e^{-\alpha \tau - \rho u \frac{\tau^2}{2}} d\tau} \times \max_{u_f \geq 0, v_f > 0} \int_0^\infty \int_0^\tau \left[ \left( \frac{d_0 \sigma_f (v_f)^\gamma}{\sigma v^\gamma + \sigma_f v_f^\gamma} - p_2 v_f \right) (e^{-\alpha \tau} - e^{-\alpha \tau'}) - p_1 u_f (1 - e^{-\alpha \tau'}) \right] \beta u_f \tau_f e^{-\beta u_f \frac{\tau_f^2}{2}} d\tau_f \rho u e^{-\rho u \frac{\tau^2}{2}} d\tau$$

#### Notation of Parameters

J : Profit of Leader/Follower	$\alpha$ : Discount rate (0.1)	d0: Market size (1000)
p1: Price of R&D investment (10)	p2: Price of Production investment (10)	$\sigma$ : Production level of Leader (5)
$\sigma_f$ : Production level of Follower (5)	$\gamma$ : Production elasticity of Leader (1)	$\gamma_f$ : Production elasticity of Follower (1)
$\rho$ : R&D efficiency of Leader (0.1)	$\beta$ : R&D efficiency of Follower (0.2)	u : R&D investment of Leader
uf: R&D investment of Follower	v : Production investment of Leader	vf: Production investment of Follower

( )内は参照ケースにおける数値

発投資を行うが、その製品がいつ開発を終えるかは確率的に変動する。新製品の開発に成功するとしばらくの間、独占的に市場を支配することにより、多額の利益を得ることが可能となる。しかし Follower が、スピルオーバーを利用してより効率的に同等の製品を市場投入してくることによって Leader の市場独占は崩れるため、Leader は再び独占的利益を目指して新製品の研究開発を進める。

前頁に示す Proposition 3 と Proposition 5 は、それぞれ Leader-Follower および Follower-Leader 戦略の最適解を示したものである。非常に複雑な形であるとはいえ、解析的な解が得られている。紙幅の関係でここでは式の展開の詳細を述べることはできないが、確率的最適化理論を用いた式の展開に数学的には面白い問題が含まれている。興味のある方は [1] を参照いただきたい。4 節ではこれらの解析解に基づいた数値解析の結果を示す。

#### 4. 数値解析結果

図 1 は、参照ケースにおける Leader および Follower それぞれの研究開発投資額に関する最適

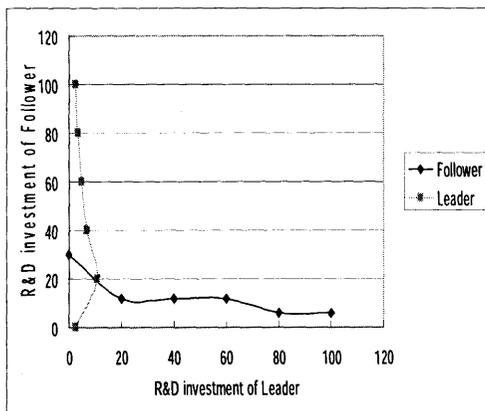


図 1. Leader および Follower の最適反応戦略

反応戦略を示したものである。Leader 戦略の最適反応曲線が縦軸に対して凸型を示しているのは、Follower の研究開発投資が極端に少ない場合には、Leader の市場における独占的支配の形成が長期化することから Leader の研究開発投資額は少額で済み、一方、Follower の研究開発投資が非常に多い場合には、Leader の市場における独占的支配が非常に短期間に崩壊してしまうことから多額の研究開発投資を負担することができないことを示している。一方で、Follower の最適反応曲線が横軸に対して単調に減少しているのは、Leader の研究開発投資が増えれば増えるほど Follower の利益回収期間が短縮化されるために研究開発投資を負担出来ないことを意味している。二つの最適反応曲線が交差していることから、Leader 戦略と Follower 戦略の間に均衡解が存在することが分かる。またこのケースについては均衡解がほぼ Leader の最大研究投資額と一致しており、社会的には最速でイノベーションが進展するケースであることを示している。

図 2 は、Leader および Follower が最適反応戦略を取った場合の最大利益額を示したものである。ど

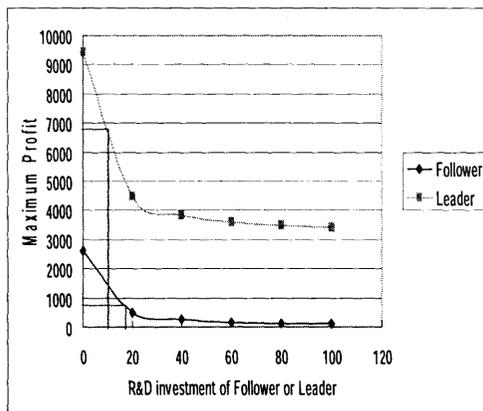


図 2. 最適反応戦略下での最大利益額

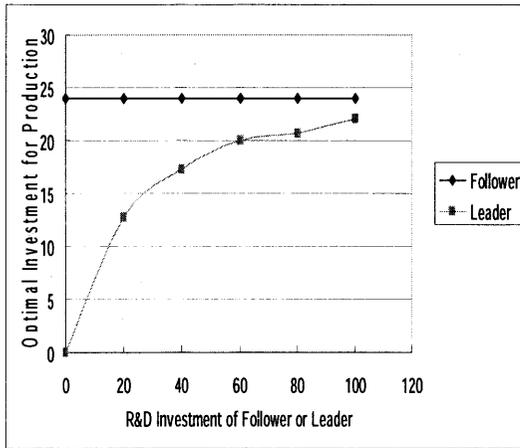


図3. 最適反応戦略における生産投資

これらの曲線も右肩下がりとなっている。これは相手の研究開発投資額が増加することは、その企業の競争環境が悪化することを意味しているために当然である。また図1で示した均衡解の場合をそれぞれの曲線に示してあるが、Leaderの利益額の方が圧倒的に大きい。このことは単純にFollower戦略が劣っていることを意味するわけではない。即ち、この分析はLeader戦略とFollower戦略の相互作用を考察しているのみで、Leader戦略同士あるいはFollower戦略同士の相互作用について考察しているわけではないからである。Leader戦略同士の場合には、競争の激化から利益が極端に減少することも考えられる。

図3は、LeaderおよびFollowerが最適反応戦略を取った場合の生産投資額を示したものである。Leaderの最適生産投資曲線は、右肩上がりを示しており、Followerの研究開発投資の増大による独占期間の減少を生産の増加によって補っていることが分かる。一方、Followerの最適生産投資曲線は一定であり、Leaderの研究開発投資の増大によるFollowerの利益回収期間の短縮化は生産投資に影響を与えて

いないことを示している。

## 5. 考察

今回は、全体の分析の枠組みと、Leader戦略とFollower戦略の相互作用についての分析を示した。解析解の存在は規範的結論の導出に有効であることが示された。今後2節で示した全体の枠組みに従って分析を進めることによって、イノベーション競争についてより深い理解が得られるものと期待される。

## Reference

- [1] Aseev, S. and Katsumoto M., A dynamic model of innovation race: Leader-follower case, IIASA Interim Report, IR-04-035, 2004.
- [2] Christensen, C. M., The innovators dilemma: when new technologies cause great firms to fail, Harvard Business School Press: Boston, 1997.
- [3] Gottinger, H.W., Modeling stochastic innovation races, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 69, pp. 607-624, 2002.
- [4] Grossman, G.M., and Helpman, E., Innovation and growth in the global economy, Cambridge (Massachusetts): The MIT Press, 1991.
- [5] Lieberman, M. B., and Montgomery, D. B., First-mover advantages, Strategic Management Journal, Vol. 9, pp. 41-58, 1988.
- [6] Porter, M., Competitive advantage: creating and sustaining superior performance, Free Press: New York, 1985.

<sup>1</sup> 進化経済学では「ルーティン(Routine)」と称する。

<sup>11</sup> Leader-Follower戦略とは、特定のFollower戦略に対するLeaderの最適反応戦略を指す。

<sup>111</sup> Follower-Leader戦略とは、特定のLeader投資戦略に対するFollowerの最適反応戦略を指す。