

## 2A16 イノベーション競争が支配的な産業における企業戦略のモデル分析

○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、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。このため、経済成長や産業動態に対して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。

これまでにも企業間のイノベーション競争については様々な分析が行われてきた[2][3]。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、必ずしも十分に解明が行われてはいない。

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。昨年 の 報 告 で Leader-Follower の戦略的相互作用について報告を行ったので、今回はこの後、2節で分析モデルの全体像を紹介し、3節で Leader 同士の戦略的相互作用についての最適化理論を用いた解析を行う。

表1. Innovation 戦略の分類[7]

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Offensive Innovation Strategy</li><li>2. Defensive Innovation Strategy</li><li>3. Imitator Strategy</li><li>4. Dependent Strategy</li><li>5. Opportunistic Strategy</li></ol> |
|--|

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、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。

このモデルは大きく二段階に分かれる[4]。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。

表1は、Freeman によるイノベーション戦略の分類である。1～3の戦略は能動的戦略であり、4～5は受動的戦略である。ここでは自らの研究開発活動によって新製品を生み出す能動的戦略のみを取り扱う。ここでは、1の Offensive Innovation Strategy を①Leader 戦略、2の Defensive Innovation Strategy と3の Imitator Strategy を②Follower 戦略として、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[5]。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。いわゆるゲーム的状况である。表 2 に示す通り、(1)Leader-Leader Case、(2)Leader-Follower Case、(3)Follower-Leader Case、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。解析解を得ることができれば、シミュレーションに特有

の解の不安定性を懸念することなく、また一つのパラメータセッティングについて、より短時間に分析結果を得ることができる。

表 2. ゲーム的状况における最適理論の応用

	Leader	Follower
Leader	固定した Leader 戦略 →Leader の最適反応 戦略	固定した Leader 戦略 →Follower の最適反応 戦略
Follower	固定した Follower の 戦略 →Leader の最適反応 戦略	産業ダイナミクスは存 在せず

### 3. Leader-Leader Case

2 節で示した分析の枠組みの中で、ここでは (1)Leader-Leader Case について確率的最適化理論を応用した解析を行う。

#### Leader-Leader Case の最適解

Solution of Problem (P) (Leader - Leader Case):

**Proposition.** Optimal value  $J_*$  of the functional in problem (P) is represented by the following formula:

$$J_* = \frac{1}{\alpha} \max_{u \geq 0, v > 0} \frac{\eta(u, v, \bar{u}_2, \bar{v}_2)}{1 - \mu(u, \bar{u}_2, \bar{v}_2)}$$

$$\xi(u_{1,n}, v_{1,n}, \bar{u}_2, \bar{v}_2, l_n^1, l_n^2) = \left( \frac{d_0 \sigma_1 v_{1,n}^{\gamma_1}}{\sigma_1 v_{1,n}^{\gamma_1} + \sigma_2 \bar{v}_2^{\gamma_2}} - p_1 u_{1,n} - p_2 v_{1,n} \right) + \left( \frac{d_0 \sigma_2 \bar{v}_2^{\gamma_2}}{\sigma_1 v_{1,n}^{\gamma_1} + \sigma_2 \bar{v}_2^{\gamma_2}} + p_1 u_{1,n} \right) e^{-\alpha l_n^1} - (d_0 - p_2 v_{1,n}) e^{-\alpha l_n^2}$$

$$\eta(u, v, \bar{u}_2, \bar{v}_2) = \int_0^\infty \int_0^\infty \xi(u, v, \bar{u}_2, \bar{v}_2, l_1, l_2) \times \rho_1 u l_1 e^{-\rho_1 u l_1^{\frac{1}{2}}} \rho_2 \bar{u}_2 l_2 e^{-\rho_2 \bar{u}_2 l_2^{\frac{1}{2}}} dl_1 dl_2$$

$$\mu(u, \bar{u}_2, \bar{v}_2) = 1 - \alpha \left( \int_0^\infty e^{-\alpha \tau - \rho_1 u \frac{\tau^2}{2}} d\tau + \int_0^\infty e^{-\alpha \tau - \rho_2 \bar{u}_2 \frac{\tau^2}{2}} d\tau - \int_0^\infty e^{-\alpha \tau - (\rho_1 u + \rho_2 \bar{u}_2) \frac{\tau^2}{2}} d\tau \right)$$

#### Notation of Parameters

$J$ : Profit of Each Leader

$d_0$ : Market size (1000)

$p_1$ : Price of R&D investment (25)

$\sigma$ : Production level of both Leader (10)

$\rho$ : R&D efficiency of Both Leader (0.1)

$u$ : R&D investment of Leaders

( )内は参照ケースにおける数値

$\alpha$ : Discount rate (0.1)

$p_2$ : Price of production investment (25)

$\gamma$ : Production elasticity of Both Leader (1)

$v$ : Production investment of Leaders

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、概要を記述するにとどめる。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-Leader Case の場合には、どちらの企業も市場の Leader は先行して新製品を市場に投入すべく研究開発投資を行うが、その製品がいつ開発を終えるかは確率的に変動する。新製品の開発を先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ができ、その間に多額の利益を得ることが可能となる。しかし遅れをとった企業が同等の製品を市場投入してくることによって先行した企業の市場独占は崩れるため、双方の企業とも独占的利益を目指して新製品の研究開発を開始する。

前ページに示す Proposition は、Leader-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[8]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 の研究開発投資額に関する最適反応戦略を示したものである。このパラメータセッティングでは相手方の企業の研究開発投資額が増えると、自らの最適研究開発投資額は減少する。即ち、相手方の研究開発投資額の無謀な増加に対して、研究開発投資額を増加させて正面から立ち向かうことは得策ではないことを示している。また参照ケースにおいては双方の能力を同等としているため、Leader-Leader Case の場合には、最適反応戦略は Symmetric になる。図1中の直線は45度線を示しており、最適反応戦略との交点は双方の最適反応戦略が一致する均衡解を示している。

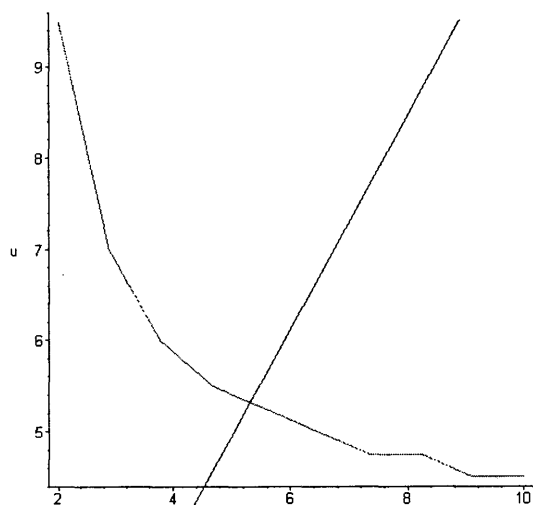


図1. Leader の最適反応戦略

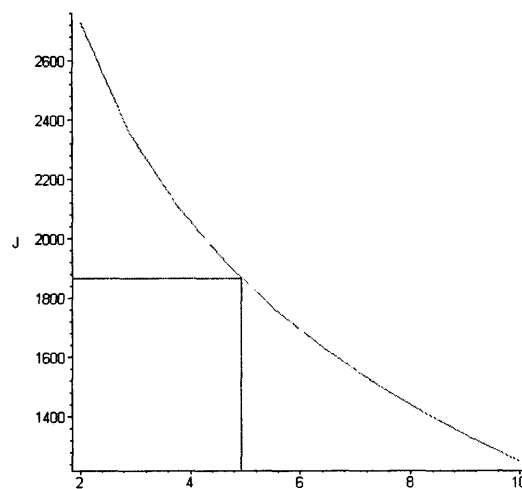


図2. 最適反応戦略の利益

図2は、Leader 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り、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といえる。また図1で示した均衡解の場合を示してある。

表3. 均衡解の比較

	Leader-Leader Case		Leader-Follower Case	
	Leader 1	Leader 2	Leader	Follower
R&D investment	5.2	5.2	2.2	14.0
Production investment	8.0	8.0	3.0	8.0
Discount profit	1830	1830	5985	1850

表3は、参照ケースにおける Leader-Leader Case と Leader-Follower Case における均衡解を比較したものである。Leader-Leader Case の方が Leader の研究開発投資額が大きく新製品の世代交代が早いことが分かる。また設備投資に関しても、Leader-Leader Case の方が投資額が大きく、市場により多くの製品が供給されている。これは Leader-Follower Case の場合、Leader が独占利潤を得るために供給を絞ることに起因する。即ち、Static な面からも Dynamic な面からも Leader-Leader Case の方が Social Planner の立場からは望ましいことが分かる。しかしながら、企業の得る利益という点から見ると、Leader-Follower Case の利益が少ない Follower も、わずかばかりではあるが、Leader-Leader Case の Leader の利益を上回っている。即ち、同等な能力を持つ企業同士の競争であっても、どちらかが競争から降りることを

選択した場合の方が、双方が正面から競争に立ち向かう場合よりも利益が大きくなる場合があることを意味している<sup>iii</sup>。

## 5. 考察

今回は、全体の分析の枠組みと、Leader-Leader Case の解析解を示し、前回報告した Leader-Follower Case の解析解と合わせて一つの参照ケースについての分析例を示した。今後、様々なパラメータセッティング、特に具体的な事例に近い状況における解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, 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] Freeman, C., Economics of Industrial Innovation, The MIT Press, 1997.
- [7] Aseev, S. and Katsumoto, M., A dynamic model of innovation race: Leader-Leader case, IIASA Interim Report, Forthcoming

<sup>i</sup> これまでのモデルの評価については[3]に詳しい。

<sup>ii</sup> 縦軸と横軸のスケールが異なるため、通常の45度線とは異なっている。

<sup>iii</sup> このような解が安定かどうかは更なる分析が必要である。