複占市場における競合企業の投資戦略
- 技術の開発能力と到着時間を考慮した戦略的投資モデル -

02203650 慶應義塾大学大学院 * 佐藤 豊 SATO Yutaka
01505910 慶應義塾大学 枇々木 規雄 HIBIKI Norio

1 はじめに

本研究では、複占市場において技術開発競争下にある二企業の競合状態をモデル化し、各企業が新技術を市場に投入していく際の参入問題をゲーム論的なリアルオプション・アプローチにより解析する。

先行研究の Huisman and Kort[1] は競合二企業の新技術到着タイムテーブルを同一と仮定している。しかし、同様の開発能力を持った企業でも、全く同時に新技術を開発する確率は極めて低い。佐藤，枇々木 [2] はこの点に着目し、企業別に独立なタイムテーブルを持たせることにより新しいモデルを構築している。

本研究も基本的には同様のモデル設定のもとで、企業の投資戦略を拡張する。均衡の場合分けを細分化し、より詳細に各企業の最適な参入時点およびその価値を解析することを目的とする。

2 モデル化

佐藤，枇々木 [2] のモデルに対し、本章では投資戦略モデルの修正により企業の価値関数を一般化する。

2.1 新技術到着時間のモデル化

二つの企業がより効果的な新技術を開発していく時刻を技術 1 から順に以下のように設定する。

企業 A の技術到着時刻過程：$\{\tau_1^A, \tau_2^A, \ldots\}$

企業 B の技術到着時刻過程：$\{\tau_1^B, \tau_2^B, \ldots\}$

技術の到着時間間隔はそれぞれ平均 $\frac{1}{\lambda_A}, \frac{1}{\lambda_B}$ の指数分布に従い、両者に相関はないものとする。

2.2 利益フローのモデル化

自社 i、競合相手を j としたときの時刻 t における自社 i の利益フローは

$$Y(t)D_{N_iN_j}$$

である。ただし、N_k は企業 $k \in \{i, j\}$ が採用している技術を表す。

ここで、$Y(t)$ を時刻 t における需要とし、以下の幾何ブラウン運動を満たすと仮定する。

$$dY(t) = \alpha Y(t)dt + \sigma Y(t)dW(t)$$

ただし、$\alpha (0 < \alpha < r)$ はドリフト、σ はボラティリティを表すパラメータであり、$dW(t)$ はウィーナー過程の増分である。

また、$D_{N_iN_j}$ は一単位の需要に対する利益フローを表し、以下の不等式を満たすとする。

$$D_{N_i0} > D_{N_i1} > D_{N_i2}, N_i \in \{1, 2\}$$

2.3 二世代モデルの投資戦略の拡張

以下の技術到着時刻の関係によって、企業 A と企業 B のどちらがリーダーになるのか、また技術 1 と 2 のうちどちらを採用するのかが決定する。[1]

1.$\{\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B\} (\equiv \Theta_1)$
2.$\{\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B\} (\equiv \Theta_2)$
3.$\{\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B\} (\equiv \Theta_3)$
4.$\{\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B\} (\equiv \Theta_4)$

リーダーが技術 1、フォロワーが技術 2 に投資する戦略の場合、以下のように価値関数を対応させる。

・Θ_1, Θ_2 のとき、企業 A：$L_{12}^A(Y)$，企業 B：$F_{12}^B(Y)$
・Θ_3, Θ_4 のとき、企業 A：$F_{12}^A(Y)$，企業 B：$L_{12}^B(Y)$

上記 Θ_1 が実現した場合、以下の戦略が考えられる。

1. 企業 A は $[\tau_1^A, \tau_2^A)$ の範囲で技術 1, 企業 B は $[\tau_2^B, \infty)$ の範囲で技術 2 に投資する。
2. 企業 A は $[\tau_1^A, \tau_2^A)$ の範囲で技術 1, 企業 B は $[\tau_1^B, \tau_2^B)$ の範囲で技術 1 に投資する。
3. 企業 A は $[\tau_2^A, \infty)$ の範囲で技術 2, 企業 B は $[\tau_2^B, \infty)$ の範囲で技術 2 に投資する。

ただし、同時投資は両企業の戦略のうち特別なケースと考えられるため、本研究では記述しないものとする。

上記 1. と 2. の混合戦略の場合は、以下のように両企業の価値関数を求めることができる。$Y(t) = Y$ としたとき、フォロワー（企業 B）の価値は

$$\begin{aligned}
F_{11}^B(Y) = \mathrm{E}[&-Ie^{-r(T_1^F - t)}1_{\{T_1^F < \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}} \\
&+ \int_{T_1^F}^{\infty} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{11}1_{\{T_1^F < \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}}ds \\
&- Ie^{-r(T_2^F - t)}1_{\{T_1^F \geq \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}} \\
&+ \int_{T_2^F}^{\infty} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{21}1_{\{T_1^F \geq \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}}ds]
\end{aligned}$$

となる。一方、リーダー（企業 A）の価値は

$$\begin{aligned}
L_{11}^A(Y) = \mathrm{E}[&\int_t^{\min(T_1^F, \tau_2^B)} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{10}1_{\{\tau_1^A < \tau_1^B\}}ds \\
&+ \int_{T_1^F}^{\infty} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{11}1_{\{T_1^F < \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}}ds \\
&+ \int_{\tau_2^B}^{T_2^F} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{10}1_{\{T_1^F \geq \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}}ds \\
&+ \int_{T_2^F}^{\infty} e^{-r(s-t)}Y(s)D_{12}1_{\{T_1^F \geq \tau_2^B, \tau_1^A < \tau_1^B\}}ds - I]
\end{aligned}$$

[1]開発能力パラメータ (λ_A, λ_B) が決定していることが前提。

となる。ただし、I を埋没コスト、$T_1^F(T_2^F)$ を技術 1(技術 2) の需要の閾値 $Y_1^F(Y_2^F)$ の最適停止時刻とする。これらの価値は、企業 A の投資時点を τ_1^A に固定した結果 [2] と同様である。

ここで、企業 A と企業 B の価値は、それぞれ (A)、(B) 式で表すことができる。[2]

<u>企業 A の価値</u>

$$V^A(Y) = \sum_{i=1}^{4} \Pr(\Theta_i) V_i^A(Y) \qquad (A)$$

<u>企業 B の価値</u>

$$V^B(Y) = \sum_{i=1}^{4} \Pr(\Theta_i) V_i^B(Y) \qquad (B)$$

ただし、$V_i^A(Y)(i = 1, \cdots, 4)$ は、2.3 節で示した Θ_i に対応する価値関数とする。$V_i^A(Y)$ は、各 Θ_i ごとに異なり、$\{L_{11}^A(Y), F_{11}^A(Y), L_{12}^A(Y), F_{12}^A(Y), L_{22}^A(Y), F_{22}^A(Y)\}$ のうちのいずれかに相当する。[2] との違いは、技術 2 の到着時間の関係を考慮しているために価値関数が 4 つの項から成る点である。

3 企業価値の分析

[2] と同様、企業 B がフォロワー、企業 A がリーダーというように各企業の役割が決定した後の価値関数をグラフに表し、ケース別に分析する。先行研究 [1] により、以下のケースに場合分けされる。

1.$\lambda_A, \lambda_B \in [0, \lambda_1)$:「preemption 型」の均衡が存在
2.$\lambda_A, \lambda_B \in [\lambda_1, \lambda_2)$:「attrition 型」の均衡が存在
3.$\lambda_A, \lambda_B \in [\lambda_2, \infty)$: 技術 2 の到着まで投資を延期

閾値のみを考えれば本研究も同様の場合分けになるが、企業別に開発能力パラメータが違う点と更に技術到着時刻の考慮が必要になる点で先行研究と異なる。本研究では、企業 A と企業 B の開発能力パラメータ (λ_A, λ_B) がとり得る区間と新技術到着時刻 (4 パターン) の組合せにより均衡の場合分けを決定できる。[2] と比較して色々なケースの追加が考えられる。特に 2. のケースは今回新たに追加されたケースである。

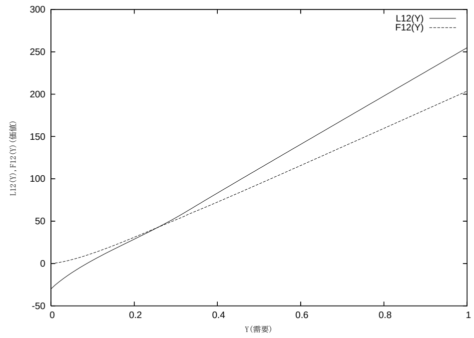
1. **「preemption 型」均衡が存在するケース**[3]

   「需要 Y が十分大きいわけではなく、技術開発能力もそれ程高くないので、リーダーは技術 1、フォロワーは技術 2 への投資を行う」

   $Y > 0$ において $L_{12}^A(Y_2^P) = F_{12}^B(Y_2^P)$ を満たす唯一の解 Y_2^P が存在する。グラフは下表の $\tau_1^A < \tau_1^B$ となる 2 つのパターンに相当する。

技術到着時間パターン	A		B	
$\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B$	技術 1	L	技術 2	F
$\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B$	技術 1	L	技術 2	F
$\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B$	技術 2	F	技術 1	L
$\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B$	技術 2	F	技術 1	L

[2] 実際には、右辺の価値関数の基準時点を一致させる必要がある。
[3] 技術 1 への投資の需要閾値 Y_1^F が存在しないケース。価値関数は $L_{12}^A(Y), F_{12}^B(Y)$ である。



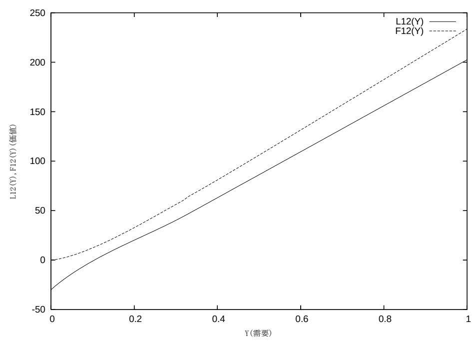
2. **技術 2 まで投資を延期するケース**

   「技術開発能力が非常に高いので、需要 Y に左右されず、両者とも技術 2 の到着まで待つ。」

   $Y > 0$ において $L_{12}^A(Y) < F_{12}^B(Y)$ が成り立ち、リーダーは技術 1 に投資するメリットがない。

   前ケースの表とは異なり、τ_2^A と τ_2^B の大小関係により両企業の役割が決定する。

技術到着時間パターン	A		B	
$\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B$	技術 2	L	技術 2	F
$\tau_1^A < \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B$	技術 2	F	技術 2	L
$\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A < \tau_2^B$	技術 2	L	技術 2	F
$\tau_1^A > \tau_1^B, \tau_2^A > \tau_2^B$	技術 2	F	技術 2	L



4 おわりに

開発能力パラメータと技術到着時間を組合せて、多彩な投資戦略ケースを表した。その戦略は先行研究で得られた結果を含んでいる。また、それぞれの戦略の中間的な特徴を有するケースの存在を確認できた。

参考文献

[1] K. J. M. Huisman and P. M. Kort: Strategic technology adoption taking into account future technological improvements: A real options approach., *European Journal of Operational Research*, **159** (2004), 705-728.

[2] 佐藤豊, 枇々木規雄: 企業の技術開発能力を考慮した戦略的投資モデル, 日本 OR 学会 2006 年春季研究発表会アブストラクト集, 2006, 198-199.