Analysis of Patent Acquisition Competition between Small Company and Big Company: A Game Theoretical Real Options Approach*

Kazuo Aoki^a and Junichi Imai^{b,†}

^a *Graduate School of Science and Technology, Keio University*

^b *Faculty of Science and Technology, Keio University*

Abstract: When a company invests in a R&D project and tries to acquire patents under uncertainty, it is important for the company to have many real options to respond flexibly. However, when the other company entered into the same R&D project early with preemption, the company might not earn enough profit. Under such competition, it is critical to determine the timing in starting the investment. This paper analyzes the optimal investment strategy for two asymmetric firms in getting a patent in the presence of uncertainty and competition. Based on trade-off between a small and a big companies' success rates of getting a patent and initial investment costs, we consider a competitive situation where two asymmetric firms might face. The numerical result shows that a small company can be competitive with a big company by reducing its initial investment cost and that this model can describe a small company's market positionings in the real world.

Keywords: Real Option; game theory; patent; R&D; preemption; asymmetric Firms

*Received: April 18, 2011; Accepted: July 12, 2011.

†Corresponding author. Address: 3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa-ken 223-0061, Japan; Phone: +81-45-566-1621; E-mail: jimai@ae.keio.ac.jp

ゲーム理論的リアルオプションアプローチによる 中小企業と大企業の特許権取得競争分析

青木 一生^a, 今井 潤一^b

^a 慶應義塾大学大学院理工学研究科

^b 慶應義塾大学理工学部

1 序論

2010 年, 我が国の経済は, 世界金融危機に始まった景気後退から着実に持ち直してきてはいるが, 未だ確実な回復と言える状況には至っていない. 中小企業の業況も回復の兆しがみられるが, その水準自体は依然として低く, 厳しい状況が続いていると言われている. そのような状況の中で, 技術大国と言われるこの日本の国力を創造しているのは中小企業と言っても良いのではないだろうか. 中小企業庁 [10] によると, 実際日本の全企業数の 99.7% は中小企業であり, その従業者数は全従業員数の約 70% にも上ると言われている.

日本経済の屋台骨を支える中小企業が果たすべき役割は非常に大きいと言ふべきであり, 中小企業の強みである外部環境に応じて素早く対応が出来る機動性の高さを活かしたイノベーションの実現が期待されている. そのための重要な取り組みの一つが「研究開発活動」である. 中小企業にとって研究開発を実施することは厳しい経営環境の中で活路を開き, 発展を遂げる途の一つである. 2009 年の中小企業実態基本調査によれば研究開発活動を行っているのは中小企業全体の 1.4% に過ぎない. ところが一方で, 2009 年版中小企業白書では研究開発費の売上高比率が高い中小企業ほど営業利益率も高い水準を推移していると言った実態が報告されている. したがって, 中小企業の研究開発活動に関してより詳細な分析を行う意義は非常に大きいと考えられる.

研究開発活動を支える上で知的財産の戦略的な保護と活用が非常に重要である. 新しく開発した技術が法的に保護されることで, 企業は研究開発によって生まれる優位性を商業上の優位性へと昇華させる事が可能となり, 高付加価値化による他社との差別化などを押し進める事が出来る. ところが, 特許行政年次報告書 2008 年版によると特許保有の総件数に占める中小企業の特許保有件数は 17.6% と低く, 多くの中小企業は研究開発活動により得た新技術の特許の出願で保護するのではなく営業秘密として保護している傾向がある. 近年の知識経済化進展の下では中小企業も知的財産権等の活用を行う必要があるのではないだろうか.

以上の状況を受けて政府も中小企業庁 [11] で中小企業向けの施策を提唱している. 「研究開発促進税制」では, 中小企業者が試験研究を実施した場合, 税制の特別措置を受けることが出来る. また「研究開発型中小企業に対する特許関係料金減免制度」では, 研究開発に取り組んでいる中小企業の特許を取得する際の審査請求料, 特許料を半額に軽減することが出来る. この

ような施策を活用することにより、中小企業はコスト削減を行い大企業に比べ比較的手軽に研究開発や特許取得が出来るようになってきているのである。

企業の経営者は研究開発を開始する前に適切な投資の意思決定を行うために投資プロジェクトの価値を知りたいと考えている。昨今の企業の外部環境は常に変動しており、様々な不確実性に直面している。このような不確実な環境下での投資プロジェクトの有用な評価手法としてリアルオプションアプローチがある。リアルオプションアプローチでは不確実な環境が自分にとって有利に動く場合にのみ、リアルオプションを行使しその有利な状況を最大限利用をする。一方、自分にとって不利な状況になる場合、リアルオプションを放棄する事によってダウンサイドリスクを回避することが可能となる。すなわち不確実な状況に対して非対称な行動を起こすことにより有利な部分のみを利用し、不利な部分を回避する事が可能となるわけである。リアルオプションアプローチは将来の環境変化による不確実性をあらかじめ組み込んだ上で最適な投資戦略を分析する手法であると言える。

一方で多くの中小企業は競合する大企業との競争にさらされている。自社の行動が他社の利益に影響を与え、他社の行動が自社の利益に影響を与える状況では、自社の利益追求だけでは最適な意思決定にはならない。このような複数の合理的な意思決定をする主体がその意思決定に関して相互作用する状況を分析する手法としてゲーム理論があげられる(詳細は渡辺 [12] を参照のこと)。

企業が実際に研究開発活動を行い、特許を取得しようとする場合、開発した技術の需要の大きさ・取得した特許の市場での価値は不確実であり、それに対して柔軟に対応するためのリアルオプションを保有する事は企業にとって価値のある事であると言える。しかし、一方で現実の市場では複数の企業が互いに競争しながら経営活動を営んでいる事が多いため、ある企業がプロジェクトへの投資を行い市場に参入しようと企てても競争状況下では他社が先行して参入する可能性があり、目論見通りの利益を得る事が出来ないことが考えられる。こうした競争的状況下では、最適なタイミングを待って投資を行う戦略を考慮しつつも、一方で競争相手の戦略をも考慮しなければならないのである。このような状況を分析する手段としてあるのがゲーム理論的リアルオプションアプローチである。ゲーム理論的リアルオプションアプローチでは、不確実性を明示的に勘案してプロジェクト価値を評価するリアルオプションアプローチの考え方と、戦略的相互依存関係を分析するゲーム理論の考え方を合わせている(詳しくは Dixit and Pindyck [1], 今井 [6], 木島ら [8] を参照のこと)。

研究開発活動の競争分析を試みた先行研究としては Fudenberg and Tirole [2] がある。彼らのモデルでは先発の優位性が存在する中で同質な 2 つの対称企業が新技術の採用タイミングをどのように決定するかを議論している。そして、競合企業の戦略以外には不確実な要素が存在しない事を仮定し、その場合のナッシュ均衡戦略を導き出している。ただし彼らのモデルでは同質な 2 つの対称企業を扱っている。

もう一つの先行研究としては Weeds [5] がある。彼女は研究開発のみではなくその後の特許取得まで考慮したモデリングを行っている。そこでは「特許の価値変動」「特許取得成功率」をそれぞれ不確実な要素と仮定し、先発の優位性が存在する中での 2 企業の最適投資タイミング

について議論を行っている。ただし彼女のモデルでも先程の Fudenberg and Tirole [2] と同様に同質な 2 つの対称企業を扱っている。

現実の世界での企業競争を分析しようとした場合、同質な対称企業間での競争は想定し辛い。より現実の世界に近い状況における示唆を得る為には非対称企業間での競争分析を行う必要がある。このような非対象企業をモデル化した先行研究としては、Kong and Kwok [4] が挙げられる。彼らは瞬間的に得られるキャッシュフローとコストが異なる 2 企業を想定したモデル化を行い、これらの非対称性から生まれる結果に関する議論を行っている。

それに対して、本研究では特に非対称企業における投資競争を分析するべく Weeds [5] モデルを非対称企業モデルへと拡張している。具体的には各企業の「コスト構造」「特許取得成功率」をそれぞれ異なる値を取るようにする。そして、本研究では中小企業を「コスト構造は低い成功率は低い企業」、大企業を「コスト構造は高い成功率は高い企業」とする。この設定は、上述したとおり中小企業は大企業に比べ研究開発や特許取得が盛んに行われていない状況にある一方、政府が提唱する施策等を利用する事によりコスト削減が手軽に実現出来るからで

る。これにより、現実に即した中小企業と大企業の投資競争の分析をすることが出来、さらに各企業の取るべき最適投資戦略を示唆することが可能となる。また一般的に企業規模の小さい中小企業でもコスト削減や研究開発力の向上により大企業に対して十分対等に競争が可能であることを示すことが出来る。そして経営学者フィリップ・コトラーの提唱する企業の競争戦略をマーケットシェアの観点から 4 つに類型化した「競争地位別戦略」の中に出てくる「リーダー企業」「チャレンジャー企業」「フォロワー企業」「ニッチャー企業」がモデル中の中小企業のポジショニングとして出現することを示し、現実世界において大企業と競合している中小企業が取り得る行動の種類を競争地位別戦略の観点から表現出来ることを説明する。

本論文の構成は以下の通りである。セクション 2 では本研究の先行研究に当たる Weeds [5] のモデルについて説明し、セクション 3 では Weeds [5] モデルの中の「コスト構造」「特許取得成功率」をそれぞれ異なる値を設定することで、非対称企業モデルに拡張を試みた本研究のモデルについて説明する。セクション 4 では中小企業と大企業の競争分析を行い、様々な競争形態から得られるナッシュ均衡を導出する。最後にセクション 5 で結論を述べる。

2 対称企業のモデルの説明

本セクションでは本研究の先行研究に当たる Weeds [5] のモデルを紹介する。Weeds [5] では対称企業を想定しているため、非対称企業の場合よりも状況が単純化されている。Weeds [5] では以下の仮定がなされている。リスク中立的な企業 1, 2 がそれぞれ研究開発プロジェクトに投資する機会を保有しており、その投資は不可逆であるとする。そして両企業は「特許の価値変動」「特許取得成功率」の 2 つの不確実性に直面している。特許価値¹を $\pi = \{\pi_t, t \geq 0\}$ と置いた時、 π は以下の幾何ブラウン運動に従うとし、 W はウィナー過程と仮定する。

$$d\pi_t = \mu\pi_t dt + \sigma\pi_t dW, \quad \mu \in [0, r), \quad \sigma > 0.$$

¹特許の価値は製品を市場に投入した際に得られる収益の現在価値としている。

ここで、幾何ブラウン運動内の μ はドリフト項の平均、 σ は拡散項のボラティリティを表す。また、 r はリスクフリーレートを表す。 $\mu \in [0, r]$ とする理由は、 $r \leq \mu$ の場合には、プロジェクトの実行を無限に延期する戦略が適切になってしまうからである。この自明なケースを排除するために、リアルオプションモデルでは通常 $\mu \in [0, r]$ を仮定する。投資費用 K は投資プロジェクトを開始するための費用になり、この2企業の競争はどちらかが成功するまで続けられると仮定する。

研究開発における成功確率は、ハザードレート（強度） h が一定のポアソン分布に従うと仮定する。また本論文では、特許権を取得することをイベントと呼ぶことにする。この場合、時刻0から時刻 t までイベントが起こらず、時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ の間にイベントが一度起きる確率は「時刻0から時刻 t までの t 時間の間、イベントが起きない確率」と「時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間にイベントが一度起きる確率」を掛け合わせて求める事が出来る。 t 時間あたりに x 件のイベントが発生する確率は以下の(1)式のように表す事が出来る。

$$P_t(x) = e^{-ht} \frac{(ht)^x}{x!}. \quad (1)$$

(1) 式より、 t 時間の間、イベントが起きない確率は(1)式の x に0を代入すれば良いので、

$$P_t(0) = e^{-ht}, \quad (2)$$

と表せる。また Δt 時間の間にイベントが一度起きる確率は、

$$P_{dt}(1) = e^{-hdt} hdt, \quad (3)$$

と表す事が出来る。この時、 n が2以上の整数の時、 $(dt)^n$ が0になるとすると、(3)式はテイラー展開を用いて、

$$e^{-hdt} hdt \doteq \left(1 - hdt + \frac{1}{2}(hdt)^2 - \frac{1}{6}(hdt)^3 + \dots \right) \times hdt \doteq hdt, \quad (4)$$

と簡略化して表す事が出来る。以上より、「時刻0から時刻 t までの t 時間の間、イベントが起きない確率」と「時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間にイベントが一度起きる確率」を掛け合わせると、(2), (4)式より、

$$e^{-ht} hdt, \quad (5)$$

となり、時刻0から時刻 t までイベントが起こらず、時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ の間にイベントが一度起きる確率を(5)式と求める事が出来る。

次にハザードレート h をそれぞれ持つ企業1, 2の2企業を想定し、各企業のハザードレートは独立とする。この場合、「時刻0から時刻 t までの t 時間の間、両企業のイベントが起こらず、時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間に企業1のイベントが一度起き、企業2のイベントが起きない確率」を求める。「時刻0から時刻 t までの t 時間の間、両企業のイベントが起きない確率」は(2)式の h に $2h$ を代入すればよい。つまり、

$$P_t(0) = e^{-2ht}, \quad (6)$$

と求まる．次に「時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間に企業 1 のイベントが一度起き、企業 2 のイベントが起きない確率」は (4) 式より、

$$hdt(1 - hdt) \doteq hdt, \quad (7)$$

と求めることが出来る．(6), (7) 式より「時刻 0 から時刻 t までの t 時間の間、両企業のイベントが起らず、時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間に企業 1 のイベントが一度起き、企業 2 のイベントが起きない確率」は

$$e^{-2ht} hdt, \quad (8)$$

と求めることが出来る．

以下の議論ではハザードレート h の事を、今後研究開発をし、特許を取得する「成功率」と呼ぶ事にする．また、このモデルでは企業はプロジェクトの価値の期待値を最大化するように行動するとしている．しかし、「価値の期待値」という言葉は分かりにくいので、以降では「価値」と呼ぶことにする．

2.1 1 企業の場合の価値関数

競争状態にある企業の最適投資戦略について考える前に、先ず競争に直面していない 1 企業の最適投資戦略について考える．競争相手の存在しない 1 企業の最適投資戦略は単純な最適投資タイミングの問題と解釈する事が出来る．特許価値が π_t の時の投資プロジェクトの正味現在価値を $V(\pi_t)$ とするとベルマン方程式を用いて以下のように表す事が出来る．

$$V(\pi_t) = \max_T E_t \left[e^{-rT} \left(\int_T^\infty e^{-(r+h)(\tau-T)} h \pi_\tau d\tau - K \right) \right]. \quad (9)$$

E_t は時刻 t での条件付期待値、 T は停止時を表し、投資の時点の意味する．(9) 式は、(5) 式を使用して、投資プロジェクトの価値が最大になる時刻 T で投資を行った際の価値を現在価値に割り引いた値を導出している．(9) 式はリスクフリーレートに成功率を足している形になっていることから、 r に $r+h$ を代入してリスク調整を行っている事後的に解釈することが可能である．これ以降の議論では π_t を π と簡略化して書き表す．競争に直面していない 1 企業の V を価値関数 $V_U(\pi)$ とおくと、以下のように書く事が出来る²．

$$V_U(\pi) = \begin{cases} B_0 \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_U, \\ \frac{h\pi}{r+h-\mu} - K & \text{for } \pi \geq \pi_U. \end{cases} \quad (10)$$

(10) 式の π_U は最適停止時での特許価値 (Trigger Point)³になる． $\pi < \pi_U$ の範囲の事を「継続領域」と言い、この領域では企業はコールオプションに似た投資オプションを保有している．

²詳しい導出方法は付録 A で述べる

³正確に言うと、Trigger Point π^* で投資を行うという事は、確率的に変動する π が初めて価値 π^* になった時点で投資を行うと言った事を意味している．

一方 $\pi \geq \pi_U$ の範囲の事を「停止領域」と言い、この領域では企業は不可逆な投資を行い、投資プロジェクトの価値を得ると見なすことが出来る。またそれぞれの領域の境界条件としてバリューマッチング条件とスムーズペースティング条件が成り立っている必要がある。バリューマッチング条件は π の値が π_U に左から近づいても右から近づいても価値関数 $V_U(\pi)$ が同じ値で連続になる条件であり

$$B_0 \pi_U^{\beta_0} = \frac{h \pi_U}{r + h - \mu} - K, \quad (11)$$

を満たす。スムーズペースティング条件は π_U で価値関数 $V_U(\pi)$ が滑らかになる条件であり

$$B_0 \beta_0 \pi_U^{\beta_0 - 1} = \frac{h}{r + h - \mu}, \quad (12)$$

を満たす。(11), (12) 式より B_0, π_U はそれぞれ以下の (13), (14) 式のように求めることが可能である。

$$B_0 = \frac{h \pi_U^{1 - \beta_0}}{(r + h - \mu) \beta_0}, \quad (13)$$

$$\pi_U = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r + h - \mu)}{h} K, \quad (14)$$

ただし β_0 は $\beta_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8r}{\sigma^2}} \right]$ となり、 β_0 は価値関数 $V_U(\pi)$ が満たす常微分方程式から得られる特性方程式 $Q(\beta_0) \equiv \frac{1}{2} \sigma^2 \beta_0^2 + (\mu - \frac{1}{2} \sigma^2) \beta_0 - r = 0$ の正の解である。

2.2 協力状態における2企業の価値関数

先ず、2企業について最初に投資を実行する企業をリーダー、追従する企業をフォロワーと呼ぶ事にする。ここでは企業 $i \in \{1, 2\}$ の2企業を想定し、その2企業が互いに協力をしてリーダー、フォロワーを事前に決めて段階投資を行った場合に得ることが出来る全体の価値を V_{L+F} と置く。この状態を分析する理由としては、互いに協力をし、事前にリーダー、フォロワーを決めた後、段階投資を行うと、競合する2企業の得られる全体の価値を最大化にすることが出来るからである。つまりこの戦略は、全体価値最大化の観点から見れば最良な戦略であると言える。ここで V_{L+F} は、

$$V_{L+F}(\pi) = \begin{cases} A_0 \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_1, \\ \frac{h\pi}{r+h-\mu} + A_1 \pi^{\beta_1} - K & \text{for } \pi \in [\pi_1, \pi_2), \\ 2NPV(\pi) - 2K & \text{for } \pi \geq \pi_2, \end{cases}$$

と求める事が出来る。 π_1 はリーダーとして投資を行う企業の継続領域と停止領域の境界条件を満たす最適投資での特許価値になり、 π_2 はフォロワーとして投資を行う企業の継続領域と停止領域の境界条件を満たす最適投資での特許価値となる。つまり、 $\pi < \pi_1$ の領域ではリーダー、

フォロワー両者にとって継続領域になり、 $\pi \in [\pi_1 < \pi_2)$ の領域ではリーダーにとっては停止領域、フォロワーにとっては継続領域になり、 $\pi \geq \pi_2$ の領域ではリーダー、フォロワー両者にとって停止領域になる。ここで $NPV(\pi)$ はリーダーとフォロワーの両者が投資を行っている状態で、片方の企業が特許権を取得した際の特許価値とする。また、 $\beta_1, NPV(\pi)$ はそれぞれ $\beta_1 = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8(r+h)}{\sigma^2}} \right\} > \beta_0$, $NPV(\pi) = \frac{h\pi}{r+2h-\mu}$ を満たす。この場合の π_2 と A_1 はバリューマッチング条件とスムーズペースティング条件から、

$$\pi_2 = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \frac{(r + 2h - \mu)(r + h - \mu)}{h(r - \mu)} K,$$

$$A_1 = \frac{K\pi_2^{-\beta_1}}{(\beta_1 - 1)} > 0,$$

と求める事が出来る。

しかしこのリーダー、フォロワーを事前に決定した上での協力投資を行うと言った投資行動は両者にとって大変拘束力があり合意が難しい。こういった場合の次善策として 2 企業が協力をして同時に投資を行う状態を考える。この場合は、協力状態の同時投資なので、先述した 2.1 で扱った 1 企業の場合の価値関数の投資コスト K を $2K$ に、ハザードレート h を $2h$ に置き換えるだけで良い。2 企業が協力をして同時に投資を行った際の 1 企業分の価値 V_C と置くと V_C は、

$$V_C(\pi) = \begin{cases} B_C \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_C, \\ NPV(\pi) - K & \text{for } \pi \geq \pi_C, \end{cases}$$

$$\pi_C = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r + 2h - \mu)}{h} K,$$

と求まる。ここでは、協力投資を行うが事前にリーダー、フォロワーを決めた後、段階投資を行うのではなく両者同時に投資を行う場合を想定し、最終的に得られる価値を半分にしあうという協力をしているので、価値関数 $V_C(\pi)$ は 1 企業分の価値関数になっていることに注意する。先述したが、この投資行動は先ほどのリーダー、フォロワーに分けて段階投資をする場合より両企業にとっては拘束力の無いものであり、次善策として考える価値がある。

2.3 非協力状態における 2 企業の価値関数

次に非協力状態での 2 企業の価値関数を考える。一般的に 2 企業間の投資競争といった順番のあるゲームでは未来から逆算して判断をする。また各企業の成功率はそれぞれ独立であると仮定している。

2.3.1 フォロワーの価値関数

フォロワーが投資を行う時点ではリーダーは既に投資をしているので、フォロワーはリーダーに先に成功されてしまう確率がある状態での条件付き確率に直面している。「時刻 0 から時刻 t

までの t 時間, リーダーとフォロワーの両者共に特許取得が出来ない確率」は (2) 式より e^{-2ht} , 「時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間にフォロワーが特許取得出来, リーダーが取得出来ない確率」は (7) 式より hdt と求められ, 「時刻 0 から時刻 t までの t 時間, リーダーとフォロワーの両者共に特許取得が出来ず, 時刻 t から時刻 $t + \Delta t$ までの Δt 時間の間にフォロワーが特許取得出来, リーダーが取得出来ない確率は確率」は $e^{-2ht}hdt$ となる. この時, フォロワーにとっての停止時を T_F とすると, フォロワーの価値関数 $V_F(\pi)$ はベルマン方程式を用いて以下の (15) 式のように求めることが出来る.

$$V_F(\pi) = \max_{T_F} E_t \left[e^{-rT_F} \left(\int_{T_F}^{\infty} e^{-(r+2h)(\tau-T_F)} h\pi_{\tau} d\tau - K \right) \right]. \quad (15)$$

そして, (15) 式を 2.1 と同様に計算する事により, (16), (17) 式が求められる.

$$V_F(\pi) = \begin{cases} B_F \pi^{\beta_1} & \text{for } \pi < \pi_F, \\ \text{NPV}(\pi) - K & \text{for } \pi \geq \pi_F, \end{cases} \quad (16)$$

$$\pi_F = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \frac{(r + 2h - \mu)}{h} K. \quad (17)$$

π_F はフォロワーの最適投資での特許価値を表し, フォロワーは $\pi < \pi_F$ の範囲では継続領域になり投資をせず, $\pi \geq \pi_F$ の範囲では停止領域になり投資を行う. この時, B_F は $B_F = \frac{h\pi_F^{1-\beta_1}}{(r+2h-\mu)\beta_1}$ を満たす.

2.3.2 リーダーの価値関数

リーダーはフォロワーが投資をする前に確実に投資をする. リーダーにとっての停止時を $T_L = 0$ とすると, 時刻 0 から時刻 T_F まではリーダーのみが投資を行い市場に参入している状態, そして時刻 T_F からはリーダーとフォロワーの 2 企業が投資を行い市場に参入している状態になる. 以上よりリーダーの価値関数 $V_L(\pi)$ は以下の (18) 式のように求める事が出来る.

$$V_L(\pi) = E_t \left[\int_0^{T_F} e^{-(r+h)\tau} h\pi_{\tau} d\tau - K + \int_{T_F}^{\infty} e^{-(r+2h)\tau} h\pi_{\tau} d\tau \right] \quad (18)$$

そして, (18) 式を 2.1 と同様に計算する事により, (19) 式が求められる.

$$V_L(\pi) = \begin{cases} \frac{h\pi}{r+h-\mu} - B_{L_2} \pi^{\beta_1} - K & \text{for } \pi < \pi_F, \\ \text{NPV}(\pi) - K & \text{for } \pi \geq \pi_F. \end{cases} \quad (19)$$

$\pi < \pi_F$ の範囲ではリーダーにとっては停止領域, フォロワーにとっては継続領域になる. $\pi \geq \pi_F$ の範囲ではリーダーとフォロワーと共に停止領域になる. この時, B_{L_2} は $B_{L_2} = \frac{h^2 \pi_F^{1-\beta_1}}{(r+h-\mu)(r+2h-\mu)}$ を満たす.

3 本研究のモデルの説明

本研究のモデルでは非対称 2 企業間の競争分析を行う。対称企業を分析している Weeds [5] モデルのコスト K と成功率 h を 2 企業間でそれぞれ異なる値を取るように拡張する。この時、2 つの企業をそれぞれ企業 $i = S, B$ と置き、それぞれのコストを K_s, K_b , 成功率を h_s, h_b とする。ここで企業 S は Small Company (中小企業) を表し、企業 B は Big Company (大企業) を表す。また、企業 S と企業 B の協力状態における同時投資に加え、「企業 S がフォロワー、企業 B がリーダー」「企業 B がフォロワー、企業 S がリーダー」の 2 パターンを考える。何故なら、非対称企業の競争を分析する場合、各企業のリーダー曲線とフォロワー曲線を比べて先発の優位性がどの範囲で発生しているのかを確認する必要があるため、企業 S のリーダー曲線とフォロワー曲線、企業 B のリーダー曲線とフォロワー曲線をそれぞれ別に求めなければならないからである。リーダー曲線、フォロワー曲線が分かれば各企業のリーダーとして投資を行うインセンティブが生まれる先発の優位性の発生範囲を知ることが出来、企業間の競争形態の違いに関する分析が可能となる。

3.1 1 企業の場合の価値関数

1 企業の場合は Weeds [5] のモデルと同じであり、2.1 と同様の式が導かれる。

$$V_U(\pi) = \begin{cases} B_0 \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_U, \\ \frac{h_i \pi}{r + h_i - \mu} - K_i & \text{for } \pi \geq \pi_U. \end{cases}$$

$$\pi_U = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r + h_i - \mu)}{h_i} K_i.$$

B_0, β_0 はそれぞれ $B_0 = \frac{h_i \pi_U^{1-\beta_0}}{(r+h_i-\mu)\beta_0}$, $\beta_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8r}{\sigma^2}} \right]$ を満たす。

3.2 協力状態における企業 S, 企業 B の同時投資による価値関数

最終的な価値を半分にしようと言った実際にも起こりえる次善策の契約の上で企業 S と企業 B が協力をし、同時に投資した場合の価値関数 V_C と置いた際、2.2 と同様に考える事が出来る。

$$V_C(\pi) = \begin{cases} B_C \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_C, \\ NPV_C(\pi) - \frac{K_s + K_b}{2} & \text{for } \pi \geq \pi_C. \end{cases}$$

$$\pi_C = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r + h_s + h_b - \mu)}{h_s + h_b} (K_s + K_b).$$

この場合の両企業の投資戦略は、 $\pi < \pi_C$ では投資をせず、 $\pi \geq \pi_C$ では同時投資を行う。 $\beta_0, B_C, NPV_C(\pi)$ はそれぞれ $\beta_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8r}{\sigma^2}} \right]$, $B_C = \frac{(h_s + h_b) \pi_C^{1-\beta_0}}{2\beta_0(r+h_s+h_b-\mu)}$, $NPV_C(\pi) = \frac{(h_s + h_b) \pi}{2(r+h_s+h_b-\mu)}$ を満たす。

3.3 非協力状態における企業 S と企業 B の価値関数

ここでは、企業 S がフォロワー、企業 B がリーダー、企業 B がフォロワー、企業 S がリーダーの 4 パターンを考える。

3.3.1 フォロワー（企業 S）の価値関数

企業 S のフォロワーの価値関数を $V_{F_s}(\pi)$ と置く。そして、企業 S のフォロワーとしての停止時を T_{F_s} とすると、2.3.1 と同様に $V_{F_s}(\pi)$ は、

$$V_{F_s}(\pi) = \max_{T_{F_s}} E_t \left[e^{-rT_{F_s}} \left(\int_{T_{F_s}}^{\infty} e^{-(r+h_s+h_b)(\tau-T_{F_s})} h_s \pi_{\tau} d\tau - K_s \right) \right],$$

となり、2.1 と同様に計算すると、以下の式が求められる。

$$V_{F_s}(\pi) = \begin{cases} B_{F_s} \pi^{\beta_{1s}} & \text{for } \pi < \pi_{F_s}, \\ NPV_s(\pi) - K_s & \text{for } \pi \geq \pi_{F_s}. \end{cases}$$

$$\pi_{F_s} = \frac{\beta_{1s}}{\beta_{1s} - 1} \frac{(r + h_s + h_b - \mu)}{h_s} K_s.$$

この場合の企業 S の投資戦略は、 $\pi < \pi_{F_s}$ では投資をせず、 $\pi \geq \pi_{F_s}$ では投資を行う。 β_{1s} , B_{F_s} , $NPV_s(\pi)$ はそれぞれ $\beta_{1s} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8(r+h_b)}{\sigma^2}} \right]$, $B_{F_s} = \frac{h_s \pi_{F_s}^{1-\beta_{1s}}}{\beta_{1s}(r+h_s+h_b-\mu)}$, $NPV_s(\pi) = \frac{h_s \pi}{r+h_s+h_b-\mu}$ を満たす。

3.3.2 リーダー（企業 B）の価値関数

企業 B のリーダーの価値関数を V_{L_b} と置く。そして、企業 B のリーダーとしての停止時を $T_{L_b} = 0$ とすると、2.3.2 と同様に $V_{L_b}(\pi)$ は、

$$V_{L_b}(\pi) = E_t \left[\int_0^{T_{F_s}} e^{-(r+h_b)\tau} h_b \pi_{\tau} d\tau - K_b + \int_{T_{F_s}}^{\infty} e^{-(r+h_s+h_b)\tau} h_b \pi_{\tau} d\tau \right]$$

となり、2.1 と同様に計算すると、以下の式が求められる。

$$V_{L_b}(\pi) = \begin{cases} \frac{h_b \pi}{r+h_b-\mu} - B_{L_{2b}} \pi^{\beta_{1s}} - K_b & \text{for } \pi < \pi_{F_s}, \\ NPV_b(\pi) - K_b & \text{for } \pi_{F_s} \leq \pi. \end{cases}$$

この場合の企業 B の投資戦略は $\pi < \pi_{F_s}$ ではリーダーとして投資を行い、 $\pi_{F_s} \leq \pi$ では企業 S もフォロワーとして参入して両者とも投資をしている状態になる。 $B_{L_{2b}}$, $NPV_b(\pi)$ はそれぞれ $B_{L_{2b}} = \frac{h_s h_b \pi_{F_s}^{1-\beta_{1s}}}{(r+h_b-\mu)(r+h_s+h_b-\mu)}$, $NPV_b(\pi) = \frac{h_b \pi}{r+h_s+h_b-\mu}$ を満たす。

3.3.3 フォロワー（企業 B）の価値関数

企業 B がフォロワーになる場合の価値関数 $V_{F_b}(\pi)$ と置く． 3.3.1 の企業 S を企業 B に，企業 B を企業 S に変えることにより，以下のように $V_{F_b}(\pi)$ を表す事が出来る．

$$V_{F_b}(\pi) = \begin{cases} B_{F_b} \pi^{\beta_{1b}} & \text{for } \pi < \pi_{F_b}, \\ NPV_b(\pi) - K_b & \text{for } \pi \geq \pi_{F_b}. \end{cases}$$

$$\pi_{F_b} = \frac{\beta_{1b}}{\beta_{1b} - 1} \frac{(r + h_s + h_b - \mu)}{h_b} K_b.$$

この場合の企業 B の投資戦略は $\pi < \pi_{F_b}$ では投資をせず， $\pi \geq \pi_{F_b}$ では投資を行う． β_{1b} ， B_{F_b} ， $NPV_b(\pi)$ はそれぞれ $\beta_{1b} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{2\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{2\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{8(r+h_s)}{\sigma^2}} \right]$ ， $B_{F_b} = \frac{h_b \pi_{F_b}^{1-\beta_{1b}}}{\beta_{1b}(r+h_s+h_b-\mu)}$ ， $NPV_b(\pi) = \frac{h_b \pi}{r+h_s+h_b-\mu}$ を満たす．

3.3.4 リーダー（企業 S）の価値関数

企業 S がリーダーになる場合の価値関数 $V_{L_s}(\pi)$ と置く． 3.3.2 の企業 S を企業 B に，企業 B を企業 S に変えることにより，以下のように $V_{L_s}(\pi)$ を表す事が出来る．

$$V_{L_s}(\pi) = \begin{cases} \frac{h_s \pi}{r+h_s-\mu} - B_{L_{2s}} \pi^{\beta_{1b}} - K_s & \text{for } \pi < \pi_{F_b}, \\ NPV_s(\pi) - K_s & \text{for } \pi_{F_b} \leq \pi. \end{cases}$$

この場合の企業 S の投資戦略は $\pi < \pi_{F_b}$ ではリーダーとして投資を行い， $\pi_{F_b} \leq \pi$ では企業 B もフォロワーとして参入して両者とも投資をしている状態になる． $B_{L_{2s}}$ ， $NPV_s(\pi)$ はそれぞれ $B_{L_{2s}} = \frac{h_s h_b \pi_{F_b}^{1-\beta_{1b}}}{(r+h_s-\mu)(r+h_s+h_b-\mu)}$ ， $NPV_s(\pi) = \frac{h_s \pi}{r+h_s+h_b-\mu}$ を満たす．

4 2企業の競争分析

セクション 4 ではセクション 3 で扱った企業 S，企業 B を用いて競争の分析を行う．企業 S と企業 B の成功率とコストがそれぞれ $h_s < h_b$ ， $K_s < K_b$ を満たす時，企業 S を中小企業，企業 B を大企業とモデル上で考えることが出来る．この理由としてはセクション 1 でも触れたとおり，中小企業は大企業に比べ研究開発や特許取得が盛んに行われていない一方で，政府が提唱する施策等を利用する事によりコスト削減が手軽に現実化出来るからである．そしてコストと成功率が上の不等号を満たす企業 S（中小企業）と企業 B（大企業）がどのような競争をするのか場合分けをして示す．

本セクションではパラメータに数値を代入してモデルの分析を行う．Weeds [5] のモデルでは対称企業を想定しており成功率とコストが共に等しい値を取る設定になっていることからモデルが簡単なものとなっており，解析的に場合分けをした分析が可能となっている．それに対し本研究におけるモデルでは非対称企業を考慮していることから成功率とコストが異なる値をと

り、Weeds [5] のモデルよりも複雑なモデルになっている．具体的にはセクション 3 で求められている β 値が「3.3.1, 3.3.2 の企業 S がフォロワー，企業 B がリーダーの場合」と「3.3.3, 3.3.4 の企業 B がフォロワー，企業 S がリーダーの場合」の 2 パターンで異なる値をとってしまっている．これにより解析的に計算することは困難であるため，実際にパラメータに数値を代入してモデルの分析を行う．

以下，モデルの特徴を表している標準的なパラメータ値として $\mu = 0$, $\sigma = 0.1$, $r = 0.05$, $h_b = 0.6$, $h_s = 0.2$, $K_b = 1$ と置き，その時， $0 < K_s < K_b = 1$ を満たす範囲で K_s を変化させて競争分析を行う．

4.1 競争分析を行う際の導入

4.1.1 パラメータの説明

図 3, 4 は $h_b = 0.6$, $h_s = 0.2$, $K_b = 1$, $K_s = 0.5$ を代入した時の企業 S と企業 B の描くリーダー曲線，フォロワー曲線，図 5, 6 は $h_b = 0.6$, $h_s = 0.2$, $K_b = 1$, $K_s = 0.3$ を代入した時の企業 S と企業 B の描くリーダー曲線，フォロワー曲線を示している（末尾に掲載）．それぞれの図の縦軸は投資プロジェクトの価値，横軸は特許価値を示している．

まずリーダー曲線とフォロワー曲線について説明をする．ここでは図 3 の企業 S の一般的なリーダー曲線，フォロワー曲線の図を用いて説明をする．企業 S のリーダー曲線は π_{F_b} より左では長破線， π_{F_b} より右では実線を描く．そして企業 S のリーダー曲線は企業 S が特許価値 π の時にリーダーとして投資をした時に得られる価値である．企業 S のフォロワー曲線は π_{F_s} より左では短破線， π_{F_s} より右では実線を描く．そして企業 S のフォロワー曲線は企業 B が特許価値 π でリーダーとして投資をした時，企業 S がその後フォロワーとして最適行動をした場合に企業 S が得られる価値であり，特許価値 π の時にフォロワーとして投資をした場合の価値ではない事に注意する．そして，同様なことが企業 B のリーダー曲線，フォロワー曲線にも言える．

次に，各企業の先発の優位性を知る際に用いる企業 S と企業 B のパラメータ $\pi_{P_{s1}}$, $\pi_{P_{s2}}$, $\pi_{P_{b1}}$, $\pi_{P_{b2}}$ を説明する． $\pi_{P_{s1}}$, $\pi_{P_{s2}}$ は図 3 のように，企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線の交点である． $\pi_{P_{s1}}$ は企業 S のリーダー曲線が正の傾きをもつ時の交点の特許価値であり， $\pi_{P_{s2}}$ は企業 S のリーダー曲線が負の傾きをもつ時の交点の特許価値となる．つまり $\pi_{P_{s1}}$, $\pi_{P_{s2}}$ は以下の式を満たす．

$$V_{L_s}(\pi_{P_{s1}}) = V_{F_s}(\pi_{P_{s1}}) \quad \frac{\partial V_{L_s}}{\partial \pi}(\pi_{P_{s1}}) > 0.$$

$$V_{L_s}(\pi_{P_{s2}}) = V_{F_s}(\pi_{P_{s2}}) \quad \frac{\partial V_{L_s}}{\partial \pi}(\pi_{P_{s2}}) < 0.$$

$\pi_{P_{b1}}$, $\pi_{P_{b2}}$ は図 6 のように，企業 B のリーダー曲線と企業 B のフォロワー曲線の交点である． $\pi_{P_{b1}}$ は企業 B のリーダー曲線が正の傾きをもつ時の交点の特許価値であり， $\pi_{P_{b2}}$ は企業 B のリーダー曲線が負の傾きをもつ時の交点の特許価値となる．つまり $\pi_{P_{b1}}$, $\pi_{P_{b2}}$ は以下の式を満たす．

たす.

$$V_{L_b}(\pi_{P_{b1}}) = V_{F_b}(\pi_{P_{b1}}) \quad \frac{\partial V_{L_b}}{\partial \pi}(\pi_{P_{b1}}) > 0.$$

$$V_{L_b}(\pi_{P_{b2}}) = V_{F_b}(\pi_{P_{b2}}) \quad \frac{\partial V_{L_b}}{\partial \pi}(\pi_{P_{b2}}) < 0.$$

次に, π_{P_s} , π_{P_b} を定義する. 図 21 は企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線が接する場合の図であり, 図 10 は企業 B のリーダー曲線と企業 B のフォロワー曲線が接する場合の図である. 図 21, 10 のように, 各企業のリーダー曲線とフォロワー曲線が接する場合の接点の特許価値をそれぞれ π_{P_s} , π_{P_b} と定義する.

最後に $\pi_{P_{s1}}$, $\pi_{P_{s2}}$, π_{F_b} の大小関係について考える. π_{F_b} より左側でのリーダー曲線 (長破線) は凹関数なので, $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}}$ を満たす. また, 短破線は実線より上にあるので, それぞれの線と長破線の曲線との交点の特許価値である $\pi_{P_{s2}}$ と π_{F_b} は $\pi_{P_{s2}} < \pi_{F_b}$ を満たす. 以上より, $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_b}$ となる. 企業 B に関しても同様の議論により $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{b2}} < \pi_{F_s}$ が言える.

4.1.2 競争の場合分け

2 企業間での競争形態の違いに関する分析をする場合, 各企業の先発の優位性がそれぞれの範囲で生まれるのかを知る必要がある. 企業 S の先発の優位性は, 企業 S のフォロワー, リーダー曲線が図 3 のように 2 点で交わる場合は $\pi_{P_{s1}}$ から $\pi_{P_{s2}}$ の間, 図 5 のように 1 点で交わる場合は $\pi_{P_{s1}}$ から π_{F_b} の間で生まれる. 企業 B の先発の優位性は, 企業 B のフォロワー, リーダー曲線が図 6 のように 2 点で交わる場合は $\pi_{P_{b1}}$ から $\pi_{P_{b2}}$ の間, 図 4 のように 1 点で交わる場合は $\pi_{P_{b1}}$ から π_{F_s} の間で生まれる. これらの企業 S と企業 B の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が分かれば, 両企業の先発の優位性の範囲の位置関係を知ることが出来る. そしてその大小関係が一定に保たれる範囲を求め, 場合分けをすることにより, 各場合での競争形態を分析する事が可能となる. その際, 以下の状態 1, 2 が企業 B と企業 S の先発の優位性が発生するかどうかの境になり, 状態 3, 4 は各企業の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が変わる境になる. つまり以下の 4 つの状態が競争の場合分けする際の境となると考えられる.

状態 1 企業 B のリーダー曲線が企業 B のフォロワー曲線に接する状態

状態 1 は企業 B のリーダー曲線と企業 B のフォロワー曲線が接している状態である (図 10 の状態). 企業 B の継続領域にあるリーダー曲線とフォロワー曲線が接している条件として以下の 2 式が成り立っている必要がある. この 2 式は, $V_{L_b}(\pi)$, $V_{F_b}(\pi)$ の関数が $\pi = \pi_{P_b}$ で同じ値をとり, 且つ同じ傾きをとることを意味している.

$$V_{L_b}(\pi_{P_b}) = V_{F_b}(\pi_{P_b}),$$

$$V'_{L_b}(\pi_{P_b}) = V'_{F_b}(\pi_{P_b}).$$

上の式は以下のように書き表せる.

$$B_{F_b}\pi_{P_b}^{\beta_{1b}} = \frac{h_b\pi_{P_b}}{r + h_b - \mu} - B_{L_{2b}}\pi_{P_b}^{\beta_{1s}} - K_b,$$

$$B_{F_b}\beta_{1b}\pi_{P_b}^{\beta_{1b}-1} = \frac{h_b}{r + h_b - \mu} - B_{L_{2b}}\beta_{1s}\pi_{P_b}^{\beta_{1s}-1}.$$

状態 2 企業 S のリーダー曲線が企業 S のフォロワー曲線に接する状態

状態 2 は企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線が接している状態である (図 21 の状態). 企業 S の継続領域にあるリーダー曲線とフォロワー曲線が接している条件として以下の 2 式が成り立っている必要がある. この 2 式は, $V_{L_s}(\pi)$, $V_{F_s}(\pi)$ の関数が $\pi = \pi_{P_s}$ で同じ値をとり, 且つ同じ傾きをとることを意味している.

$$V_{L_s}(\pi_{P_s}) = V_{F_s}(\pi_{P_s}),$$

$$V'_{L_s}(\pi_{P_s}) = V'_{F_s}(\pi_{P_s}).$$

上の式は以下のように書き表せる.

$$B_{F_s}\pi_{P_s}^{\beta_{1s}} = \frac{h_s\pi_{P_s}}{r + h_s - \mu} - B_{L_{2s}}\pi_{P_s}^{\beta_{1b}} - K_s,$$

$$B_{F_s}\beta_{1s}\pi_{P_s}^{\beta_{1s}-1} = \frac{h_s}{r + h_s - \mu} - B_{L_{2s}}\beta_{1b}\pi_{P_s}^{\beta_{1b}-1}.$$

状態 3 各企業のリーダー曲線とフォロワー曲線の交点の特許価値が一致する状態

状態 3 は $\pi_{P_{s1}}$, $\pi_{P_{b1}}$ が一致している状態である (図 17, 18 の状態). (20) 式の X は企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線での交点での特許価値になる. (21) 式の Y は企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線での交点での特許価値になる.

$$V_{F_s}(X) = V_{L_s}(X), \quad (20)$$

$$V_{F_b}(Y) = V_{L_b}(Y), \quad (21)$$

そして各企業のリーダー, フォロワー曲線の交点の特許価値が一致する状態なので $X = Y$ になる必要がある. つまり (20), (21) 式より,

$$B_{F_s}X^{\beta_{1s}} = \frac{h_sX}{r + h_s - \mu} - B_{L_{2s}}X^{\beta_{1b}} - K_s,$$

$$B_{F_b}X^{\beta_{1b}} = \frac{h_bX}{r + h_b - \mu} - B_{L_{2b}}X^{\beta_{1s}} - K_b.$$

が成り立つ必要がある.

状態 4 企業 S のフォロワーとしての最適投資での特許価値と企業 B のフォロワーとしての最適投資での特許価値が一致する状態

状態 4 は π_{F_s} , π_{F_b} が一致している状態である (図 13, 14 の状態). 各企業のフォロワーとしての最適投資での特許価値である π_{F_s} と π_{F_b} が一致する条件は,

$$\pi_{F_s} = \frac{\beta_{1s}}{\beta_{1s} - 1} \frac{(r + h_s + h_b - \mu)}{h_s} K_s, \quad (22)$$

$$\pi_{F_b} = \frac{\beta_{1b}}{\beta_{1b} - 1} \frac{(r + h_s + h_b - \mu)}{h_b} K_b. \quad (23)$$

以上の (22), (23) 式と, $\pi_{F_s} = \pi_{F_b}$ より,

$$K_s = \frac{\beta_{1b}(\beta_{1s} - 1)}{\beta_{1s}(\beta_{1b} - 1)} \frac{h_s}{h_b} K_b,$$

が成立する.

ここで, $h_b = 0.6$, $h_s = 0.2$, $K_b = 1$ の状態で K_s を 0 から 1 まで増やした時の企業 S, 企業 B のそれぞれのリーダー曲線とフォロワー曲線の形を確認する. 図 7, 8 は $0 < K_s < 0.2841$, 図 9, 10 は $K_s = 0.2841$, 図 11, 12 は $0.2841 < K_s < 0.3517$, 図 13, 14 は $K_s = 0.3517$, 図 15, 16 は $0.3517 < K_s < 0.8294$, 図 17, 18 は $K_s = 0.8294$, 図 19, 20 は $0.8294 < K_s < 0.8784$, 図 21, 22 は $K_s = 0.8784$, 図 23, 24 は $0.8784 < K_s < 1$, での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線, 企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線をそれぞれ示している (末尾に掲載). そして以上の図 7 から図 24 より, コスト K_s を 0 から 1 まで動かしていくと, 企業 S のリーダー曲線 K_s を 0 から 1 に動かすにつれ下に移動し, 先発の優位性の範囲が小さくなり, 企業 B のリーダー曲線 K_s を 0 から 1 に動かすにつれ上に移動し, 先発の優位性の範囲が大きくなること分かる. K_s は企業 S のコストであるので K_s が 0 に近いほど企業 S にとっては有利であり, 企業 B にとっては不利な状況である. 一方, K_s が 1 に近づくほど企業 S にとっては不利であり, 企業 B にとっては有利な状況になる. このように直感的にも各企業のリーダー曲線とフォロワー曲線の動きは理解が出来るであろう. またこの時, 状態 1 から 4 も出現している.

次に図 1 の領域 1 から 5 の各領域は企業 S と企業 B の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が一定に保たれる領域である. 領域内で企業 S と企業 B の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が一定に保たれることを以下で確認する. 図 1 は縦軸が特許価値, 横軸が K_s を表しており $h_b = 0.6$, $h_s = 0.2$, $K_b = 1$ のもとで, K_s は $0 < K_s < 1$ の値を取っている. そして上記の 4 つの状態を満たす K_s とその 4 つの状態により分けられる領域 1 から 5 を示している.

図 1 の長鎖線は $\pi_{P_{b1}} - \pi_{P_{s1}}$ の大きさを示している. この線は企業 S のリーダー曲線と企業 S のフォロワー曲線が交わり, 且つ企業 B のリーダー曲線と企業 B のフォロワー曲線が交わっていれば存在する線である. つまり, 状態 1 ($K_s = 0.2841$) から状態 2 ($K_s = 0.8784$) の間であれば長鎖線は存在することになる. この線は単調減少になり, $\pi_{P_{b1}} - \pi_{P_{s1}} = 0$ より $\pi_{P_{b1}}$ と $\pi_{P_{s1}}$ が一致する状態 3 ($K_s = 0.8294$) が存在する.

図 1: 競争の場合分け

図 1 の短破線は $\pi_{P_{s2}} - \pi_{P_{b1}}$ の大きさを示している．この線がそれらの存在する範囲では常に正であるので， $\pi_{P_{s2}}$ と $\pi_{P_{b1}}$ が存在する範囲では常に $\pi_{P_{s2}} > \pi_{P_{b1}}$ が成り立っていることが分かる．

図 1 の実線は $\pi_{F_b} - \pi_{F_s}$ の大きさを示している．この線は単調減少になり， $\pi_{F_b} - \pi_{F_s} = 0$ より π_{F_b} と π_{F_s} が一致する状態 4 ($K_s = 0.3517$) が存在する．

領域 1 では企業 B のリーダー曲線とフォロワー曲線は交点を持たず，領域 5 では企業 S のリーダー曲線とフォロワー曲線は交点を持たないので長鎖線が存在していない．

それでは，企業 S と企業 B の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が一定に保たれる事を図 1 で確認する．その際，先程確認した $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_b}$, $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{b2}} < \pi_{F_s}$ が成り立っていることに注意する．領域 2 では長鎖線 $\pi_{P_{b1}} - \pi_{P_{s1}} > 0$ ，実線 $\pi_{F_b} - \pi_{F_s} > 0$ より $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{b2}} < \pi_{F_b}$ が成り立つ．領域 3 では長鎖線 $\pi_{P_{b1}} - \pi_{P_{s1}} > 0$ ，短破線 $\pi_{P_{s2}} - \pi_{P_{b1}} > 0$ ，実線 $\pi_{F_b} - \pi_{F_s} < 0$ より $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立つ．領域 4 では長鎖線 $\pi_{P_{b1}} - \pi_{P_{s1}} < 0$ ，短破線 $\pi_{P_{s2}} - \pi_{P_{b1}} > 0$ ，実線 $\pi_{F_b} - \pi_{F_s} < 0$ より $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立つ．

以上より，各領域内での企業 S と企業 B の先発の優位性の範囲の両端の大小関係が一定に保たれることが確認でき，以下の 5 つの競争に場合分けし，各競争での企業 S と企業 B の競争形態の違いにおける戦略の分析が可能となる．また，4.2 では下記の競争 1 から 5 までの各競争での企業 S, B の最適投資戦略について論じる．

- 競争 1 ($0 < K_s \leq 0.2841$)

この領域では企業 B のリーダー曲線は企業 B のフォロワー曲線の常に下側にあり、交わることはなく先発の優位性は生まれない。企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ から π_{F_b} の間で先発の優位性が生まれる。

- 競争 2 ($0.2841 < K_s \leq 0.3517$)

この領域では企業 S, 企業 B と共にそれぞれのリーダー, フォロワー曲線は交わり, 企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ から π_{F_b} の間, 企業 B は $\pi_{P_{b1}}$ から $\pi_{P_{b2}}$ の間で先発の優位性が生まれる。そして, $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{b2}} \leq \pi_{F_b}$ が成り立つ。

- 競争 3 ($0.3517 < K_s \leq 0.8294$)

この領域では企業 S, 企業 B と共にそれぞれのリーダー, フォロワー曲線は交わり, 企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ から $\pi_{P_{s2}}$ の間, 企業 B は $\pi_{P_{b1}}$ から π_{F_s} の間で先発の優位性が生まれる。そして, $\pi_{P_{s1}} \leq \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立つ。

- 競争 4 ($0.8294 < K_s < 0.8784$)

この領域では企業 S, 企業 B と共にそれぞれのリーダー, フォロワー曲線は交わり, 企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ から $\pi_{P_{s2}}$ の間, 企業 B は $\pi_{P_{b1}}$ から π_{F_s} の間で先発の優位性が生まれる。そして, $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立つ。

- 競争 5 ($0.8784 \leq K_s < 1$)

この領域では企業 S のリーダー曲線は企業 S のフォロワー曲線の常に下側にあり, 交わることはなく先発の優位性は生まれない。企業 B は $\pi_{P_{b1}}$ から π_{F_s} の間で先発の優位性が生まれる。

これまでは $\mu = 0, \sigma = 0.1, r = 0.05, h_b = 0.6, h_s = 0.2, K_b = 1$ と置き, $0 < K_s < K_b = 1$ を満たす範囲で K_s を変化させて 4 つの状態を求め, その状態を境に分けられる領域を用いて 5 つの競争に場合分けをした。そこで競争の場合分けの補足として h_s も $0 < h_s < h_b = 0.6$ で変化させ, 4 つの状態を満たす h_s と K_s を感度分析を用いて求めた。図 2 は縦軸を K_s , 横軸を h_s にし, 各軸の値が $0 < h_s < h_b = 0.6$ と $0 < K_s < K_b = 1$ の範囲を取った場合の状態 1 から 4 の感度分析を行った図である。この図 2 からを見ると状態 1 から 4 の各状態が交わること無く描かれているのが分かる。そして 4.2 で分析しようとしている場合分けは, 図 2 の $h_s = 0.2$ で K_s を 0 から 1 まで動かした際の分析を行おうとしていることに注意する。

4.2 中小企業と大企業の競争分析

Weeds [5] では, リーダーとしての投資, フォロワーとしての投資の他に 2.2 の状態での同時投資も考慮している。この 2 企業の協力状態での同時投資は事前に両者が協力をする必要があり, その為には両企業のリーダーの価値関数, フォロワーの価値関数より常に協力状態での同

図 2: 状態 1 から 4 を満たす h_s と K_s の感度分析

時投資の価値関数の方が大きくなる必要がある。そうでなければ、両者に事前に協力をするインセンティブは生まれない。しかし、本研究では以下の命題 4.1 が成り立つ。

命題 4.1. 本研究のモデルを利用して各企業の競争分析をする際、同時投資は行われない。

証明. 企業 B のリーダーの価値関数 $V_{L_b}(\pi)$, フォロワーの価値関数 V_{F_b} は 3.3.2, 3.3.3 より以下の (24), (25) 式のように求まる。

$$V_{L_b}(\pi) = \begin{cases} B_{L_{1b}}\pi^{\beta_0} - B_{L_{2b}}\pi^{\beta_{1s}} & \text{for } \pi < \pi_{L_b}, \\ \frac{h_b\pi}{r+h_b-\mu} - B_{L_{2b}}\pi^{\beta_{1s}} - K_b & \text{for } \pi_{L_b} \leq \pi < \pi_{F_s}, \\ NPV_b(\pi) - K_b & \text{for } \pi_{F_s} \leq \pi. \end{cases} \quad (24)$$

$$V_{F_b}(\pi) = \begin{cases} B_{F_b}\pi^{\beta_{1b}} & \text{for } \pi < \pi_{F_b}, \\ NPV_b(\pi) - K_b & \text{for } \pi \geq \pi_{F_b}. \end{cases} \quad (25)$$

一方、協力をした状態での同時投資の価値関数は 3.2 より以下の (26) 式のように求まる。

$$V_C(\pi) = \begin{cases} B_C\pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_C, \\ NPV_C(\pi) - \frac{K_s+K_b}{2} & \text{for } \pi \geq \pi_C. \end{cases} \quad (26)$$

ここで、企業 B のリーダー、フォロワーの価値関数の $NPV_b(\pi) - K_b$ と協力状態での同時投資の価値関数の $NPV_C(\pi) - \frac{K_s + K_b}{2}$ に注目する。これらの傾きはそれぞれ $\frac{h_b}{r + h_s + h_b - \mu}$ と $\frac{h_s + h_b}{2(r + h_s + h_b - \mu)}$ であり、今 $h_s < h_b$ を仮定しているので、これらの傾きは

$$\frac{h_b}{r + h_s + h_b - \mu} > \frac{h_s + h_b}{2(r + h_s + h_b - \mu)},$$

を満たす。以上より、企業 B のリーダー、フォロワーの価値関数の傾きの方が協力状態での同時投資の価値関数の傾きより大きいので協力状態での同時投資の価値関数は企業 B のリーダー、フォロワーの価値関数の常に上にあるとは言える事が出来ない事を示している。これにより仮に企業 S は協力をして同時投資を行うインセンティブが生まれていたとしても、企業 B には企業 S と協力をして同時投資を行うと言うインセンティブは生まれないので事前に協力契約をする事はあり得ないと言う事になる。□

以下の本研究のモデルにおける競争分析では、協力状態での同時投資は考えずに分析を行う。

また、ここで π_{L_s} , π_{L_b} を定義する。企業 S がリーダーとして最適投資を行う場合の価値関数 $V''_{L_s}(\pi)$ とおくと、

$$V''_{L_s}(\pi) = \max_{T_{L_s}} E_t \left[e^{-rT_{L_s}} \left(\int_{T_{L_s}}^{T_{F_b}} e^{-(r+h_s)(\tau-T_{L_s})} h_s \pi_\tau d\tau - K_s \right) + \int_{T_{F_b}}^{\infty} e^{-(r+h_s+h_b)\tau} h_s \pi_\tau d\tau \right]$$

となり、2.1 と同様に計算すると、以下の式が求められる。

$$V''_{L_s}(\pi) = \begin{cases} B_{L_{1s}} \pi^{\beta_0} - B_{L_{2s}} \pi^{\beta_{1b}} & \text{for } \pi < \pi_{L_s}, \\ \frac{h_s \pi}{r + h_s - \mu} - B_{L_{2s}} \pi^{\beta_{1b}} - K_s & \text{for } \pi_{L_s} \leq \pi < \pi_{F_b}, \\ NPV_s(\pi) - K_s & \text{for } \pi_{F_b} \leq \pi. \end{cases}$$

$$\pi_{L_s} = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{r + h_s - \mu}{h_s} K_s.$$

$B_{L_{1s}}$ は $B_{L_{1s}} = \frac{h_s \pi_{L_s}^{1-\beta_0}}{\beta_0(r+h_s-\mu)}$ を満たす。以上より、 π_{L_s} は企業 S がリーダーとして最適投資を行う際の特許価値である。同様にして、企業 B の $V''_{L_b}(\pi)$ から π_{L_b} も求めることが出来る。

4.2.1 競争 1 ($0 < K_s \leq 0.2841$)

図 7, 9 は競争 1 での企業 S のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表し、図 8, 10 は競争 1 での企業 B のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表している。競争 1 では企業 B のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にあることになるので、企業 B はリーダーになろうとするインセンティブは持たない。一方企業 S の $\pi_{P_{s1}}$ からリーダー曲線がフォロワー曲線を超えるのでリーダーになろうとするインセンティブを持つ。この競争では π の初期値 π_0 に依存して戦略が変化する。

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$
初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$ の範囲にある場合では、企業 S はリーダーとして π_{L_s} で最適投資を行い、企業 B はフォロワーとして π_{F_b} で最適投資を行う。
- $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{F_b}$
初期値 π_0 が $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{F_b}$ の範囲にある場合では、企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い、企業 B はフォロワーとして π_{F_b} で最適投資を行う。
- $\pi_{F_b} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{F_b} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

4.2.2 競争 2 ($0.2841 < K_s \leq 0.3517$)

図 11, 13 は競争 2 での企業 S のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表し、図 12, 14 は競争 2 での企業 B のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表している。競争 2 では $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{b2}} \leq \pi_{F_b}$ が成り立っている。企業 B は $\pi_{P_{b1}} < \pi < \pi_{P_{b2}}$ の範囲で先発の優位性が生まれており、企業 S の先発の優位性の範囲内に入っている状態である。ここでの競争は企業 S のリーダーの最適投資での特許価値 π_{L_s} と、企業 B の先発の優位性が生まれる $\pi_{P_{b1}}$ の大小で場合分けする必要がある。そして場合分けされた中で π の初期値 π_0 に依存して戦略が変化する。

$\pi_{L_s} \leq \pi_{P_{b1}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$
初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線がフォロワー曲線を下回っているので、リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれない。企業 S は $\pi_{P_{s1}} < \pi < \pi_{F_b}$ の範囲で先発の優位性が生まれており、リーダーとして最適投資での特許価値が π_{L_s} なので、企業 S はリーダーとして π_{L_s} で最適投資を行い、企業 B はフォロワーとして π_{F_b} で最適投資を行う。
- $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$
初期値 π_0 が $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線がフォロワー曲線を下回っているので、リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれない。企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているので先発の優位性が生じ、リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれる。以上より、企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い、企業 B はフォロワーとして π_{F_b} で最適投資を行う。
- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{b2}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{b2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているため、 π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う。また、この理由は付録 B を参照してほしい。

- $\pi_{P_{b2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_b}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{b2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_b}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線がフォロワー曲線を下回っているので企業 B はリーダーとして投資を行うインセンティブが生まれず、フォロワーとして最適投資での特許価値の π_{F_b} で投資を行う。企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。
- $\pi_{F_b} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{F_b} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

$\pi_{L_s} > \pi_{P_{b1}}$ の場合

- $\pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$
初期値 π_0 が $\pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合では企業 B が π_{F_b} で投資を行い、企業 S が $\pi_{P_{b1}}$ で投資を行う。その理由としては、企業 S は特許価値が $\pi_{P_{s1}}$ より大きいとリーダー曲線がフォロワー曲線よりも大きくなり投資を行いたいインセンティブが生まれる。また企業 S は企業 B が $\pi_{P_{b1}}$ になるまでは投資を行わないことを知っている。 $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}}$ より、企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ では投資を行わずに $\pi_{P_{b1}}$ になると同時に投資を行う戦略をとる。
- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{b2}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{b2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているため、 π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う。
- $\pi_{P_{b2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_b}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{b2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_b}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線がフォロワー曲線を下回っているため、企業 B はリーダーとして投資を行うインセンティブが生まれず、フォロワーとして最適投資での特許価値の π_{F_b} で投資を行う。企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。
- $\pi_{F_b} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{F_b} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

4.2.3 競争 3 ($0.3517 < K_s \leq 0.8294$)

図 15, 17 は競争 3 での企業 S のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表し、図 16, 18 は競争 3 での企業 B のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表している。競争 3 では $\pi_{P_{s1}} \leq \pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立っている。ここでは、企業 S のリーダーとしての最適投資での特許価値 π_{L_s} と企業 B のリーダー曲線とフォロワー曲線の交点の $\pi_{P_{b1}}$ の大小関係、企業 B リーダーとしての最適投資での特許価値 π_{L_b} と企業 S のリーダー曲線とフォロワー曲線の交点の $\pi_{P_{s2}}$ の大小関係により両企業間での競争形態は異なってくる。以上より、「 $\pi_{L_s} \leq \pi_{P_{b1}}$, $\pi_{L_b} \geq \pi_{P_{s2}}$ 」「 $\pi_{L_s} \leq \pi_{P_{b1}}$, $\pi_{L_b} < \pi_{P_{s2}}$ 」「 $\pi_{L_s} > \pi_{P_{b1}}$, $\pi_{L_b} \geq \pi_{P_{s2}}$ 」「 $\pi_{L_s} > \pi_{P_{b1}}$, $\pi_{L_b} < \pi_{P_{s2}}$ 」の 4 パターンを考える。そしてそれぞれのパターンの中で、 π の初期値 π_0 に依存して戦略が変化する。

$\pi_{L_s} \leq \pi_{P_{b1}}, \pi_{L_b} \geq \pi_{P_{s2}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$

初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にあり、リーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 S は $\pi_{P_{s1}} < \pi < \pi_{P_{s2}}$ で先発の優位性が生じ、リーダーとして投資をするインセンティブを持つ。以上より、企業 S はリーダーとして最適投資での特許価値である π_{L_s} で投資を行い、企業 B はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_b} で投資を行う。

- $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$

初期値 π_0 が $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合でも企業 B のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にあり、リーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 S は依然として先発の優位性が生じ、リーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い、企業 B はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{L_b} で投資を行う。

- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているため、 π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う。

- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{L_b}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{L_b}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線の常に下にありリーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 B はリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っていることからリーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い、企業 B はリーダーとして最適投資での特許価値である π_{L_b} で投資を行う。

- $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$

初期値 π_0 が $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線の常に下にありリーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 B はリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っていることからリーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い、企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。

- $\pi_{F_s} < \pi_0$

初期値 π_0 が $\pi_{F_s} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

$\pi_{L_s} \leq \pi_{P_{b1}}, \pi_{L_b} < \pi_{P_{s2}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$

初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_s}$ の範囲にある場合では企業 B のリーダー曲線がフォロワー

曲線の常に下にあり，リーダーとして投資するインセンティブは持たない．企業 S は $\pi_{P_{s1}} < \pi < \pi_{P_{s2}}$ で先発の優位性が生まれ，リーダーとして投資をするインセンティブを持つ．以上より，企業 S はリーダーとして最適投資での特許価値である π_{L_s} で投資を行い，企業 B はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_b} で投資を行う．

- $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$

初期値 π_0 が $\pi_{L_s} < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合でも企業 B のリーダー曲線がフォロワー曲線の常に下にあり，リーダーとして投資するインセンティブを持たない．企業 S は依然として先発の優位性が生じ，リーダーとして投資をするインセンティブを持っている．以上より，企業 S はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い，企業 B はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{L_b} で投資を行う．

- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているので， π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う．

- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_s}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_s}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線の常に下にあり，リーダーとして投資するインセンティブは持たない．企業 B は先発の優位性が生じ，リーダーとして投資をするインセンティブを持っている．以上より，企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い，企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う．

- $\pi_{F_s} < \pi_0$

初期値 π_0 が $\pi_{F_s} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う．

$\pi_{L_s} > \pi_{P_{b1}}, \pi_{L_b} \geq \pi_{P_{s2}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$

初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合では企業 S がリーダーとして $\pi_{P_{b1}}$ で投資を行い，企業 B がフォロワーとして π_{F_b} で投資を行う戦略をとる．その理由としては，企業 S は特許価値が $\pi_{P_{s1}}$ より大きいとリーダー曲線がフォロワー曲線よりも大きくなり投資を行いたいインセンティブが生まれる．また企業 S は企業 B が $\pi_{P_{b1}}$ になるまでは投資を行わないことを知っている． $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}}$ より，企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ では投資を行わずに $\pi_{P_{b1}}$ になると同時に投資を行う戦略をとるからである．

- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているので， π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う．

- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{L_b}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{L_b}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にありリーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 B はリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っている事からリーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い、企業 B はリーダーとして最適投資での特許価値である π_{L_b} で投資を行う。

- $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$

初期値 π_0 が $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にありリーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 B はリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っている事からリーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い、企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。

- $\pi_{F_s} < \pi_0$

初期値 π_0 が $\pi_{F_s} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

$\pi_{L_s} > \pi_{P_{b1}}, \pi_{L_b} < \pi_{P_{s2}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$

初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{P_{b1}}$ の範囲にある場合では企業 S がリーダーとして $\pi_{P_{b1}}$ で投資を行い、企業 B がフォロワーとして π_{F_b} で投資を行う戦略をとる。その理由としては、企業 S は特許価値が $\pi_{P_{s1}}$ より大きいとリーダー曲線がフォロワー曲線より大きくなり投資を行いたいインセンティブが生まれる。また企業 S は企業 B が $\pi_{P_{b1}}$ になるまでは投資を行わないことを知っている。 $\pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{b1}}$ より、企業 S は $\pi_{P_{s1}}$ では投資を行わずに $\pi_{P_{b1}}$ になると同時に投資を行う戦略をとるからである。

- $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{b1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているので、 π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う。

- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_s}$

初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{F_s}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線の常に下にあり、リーダーとして投資するインセンティブは持たない。企業 B は先発の優位性が生じ、リーダーとして投資をするインセンティブを持っている。以上より、企業 S はフォロワーとして最適投資での特許価値である π_{F_s} で投資を行い、企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。

- $\pi_{F_s} < \pi_0$

初期値 π_0 が $\pi_{F_s} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

4.2.4 競争 4 ($0.8294 < K_s < 0.8784$)

図 19 は競争 4 での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例を表し, 図 20 は競争 4 での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例を表している. 競争 4 では $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s1}} < \pi_{P_{s2}} < \pi_{F_s}$ が成り立っている. 企業 S は $\pi_{P_{s1}} < \pi < \pi_{P_{s2}}$ の範囲で先発の優位性が生まれており, 企業 B の先発の優位性の範囲内に入っている状態である. ここでの競争は企業 B のリーダーの最適投資での特許価値 π_{L_b} と, 企業 S の先発の優位性が生じ始める $\pi_{P_{s1}}$ の大小で場合分けする必要がある. そしてそれぞれの場合の中で π の初期値 π_0 に依存して戦略が変化する.

$\pi_{L_b} \leq \pi_{P_{s1}}$ の場合

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_b}$
初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_b}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線を下回っているので, リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれない. 企業 B は $\pi_{P_{b1}} < \pi < \pi_{P_{F_s}}$ の範囲で先発の優位性が生まれており, リーダーとして最適投資での特許価値が π_{L_b} なので, 企業 B はリーダーとして π_{L_b} で最適投資を行い, 企業 S はフォロワーとして π_{F_s} で最適投資を行う.
- $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{P_{s1}}$
初期値 π_0 が $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{P_{s1}}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線を下回っているので, リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれない. 企業 B のリーダー曲線はフォロワー曲線を上回っているので先発の優位性が生じ, リーダーとして投資を行うインセンティブが生まれる. 以上より, 企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い, 企業 S はフォロワーとして π_{F_s} で最適投資を行う.
- $\pi_{P_{s1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{s1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているので, π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う.
- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{P_{F_s}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{P_{F_s}}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線はフォロワー曲線を下回っているので企業 S はリーダーとして投資を行うインセンティブを持たず, フォロワーとして最適投資での特許価値の π_{F_s} で投資を行う. 企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う.
- $\pi_{P_{F_s}} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{F_s}} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う.

$\pi_{L_b} > \pi_{P_{s1}}$ の場合

- $\pi_0 \leq \pi_{P_{s1}}$
初期値 π_0 が $\pi_0 \leq \pi_{P_{s1}}$ の範囲にある場合では企業 S が π_{F_s} で投資を行い、企業 B が $\pi_{P_{s1}}$ で投資を行う。その理由としては、企業 B は特許価値が $\pi_{P_{b1}}$ より大きいとリーダー曲線がフォロワー曲線よりも大きくなり投資を行いたいインセンティブが生まれる。また企業 B は企業 S が $\pi_{P_{s1}}$ になるまでは投資を行わないことを知っている。 $\pi_{P_{b1}} < \pi_{P_{s1}}$ より、企業 B は $\pi_{P_{b1}}$ では投資を行わずに $\pi_{P_{s1}}$ になると同時に投資を行う戦略をとる。
- $\pi_{P_{s1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{s1}} < \pi_0 < \pi_{P_{s2}}$ の範囲にある場合では両企業ともリーダー曲線がフォロワー曲線を上回っているため、 π_0 ($t = 0$) で両企業が同時に投資を行う。
- $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{P_{F_s}}$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{s2}} \leq \pi_0 \leq \pi_{P_{F_s}}$ の範囲にある場合では企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線を下回っているため、企業 S はリーダーとして投資を行うインセンティブを持たず、フォロワーとして最適投資での特許価値の π_{F_s} で投資を行う。企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行う。
- $\pi_{P_{F_s}} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{P_{F_s}} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

4.2.5 競争 5 ($0.8784 \leq K_s < 1$)

図 21, 23 は競争 5 での企業 S のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表し、図 22, 24 は競争 5 での企業 B のリーダー曲線、フォロワー曲線の一例を表している。競争 5 では企業 S のリーダー曲線がフォロワー曲線の常に下にあることになるので、企業 S はリーダーになろうとするインセンティブは持たない。一方企業 B の $\pi_{P_{b1}}$ から π_{F_s} まではリーダー曲線がフォロワー曲線を超えるのでリーダーになろうとするインセンティブを持つ。この競争では π の初期値 π_0 に依存して戦略が変化する。

- $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_b}$
初期値 π_0 が $0 < \pi_0 \leq \pi_{L_b}$ の範囲にある場合では、企業 B はリーダーとして π_{L_b} で最適投資を行い、企業 B はフォロワーとして π_{F_s} で最適投資を行う。
- $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$
初期値 π_0 が $\pi_{L_b} < \pi_0 \leq \pi_{F_s}$ の範囲にある場合では、企業 B はリーダーとして π_0 ($t = 0$) で投資を行い、企業 S はフォロワーとして π_{F_s} で最適投資を行う。
- $\pi_{F_s} < \pi_0$
初期値 π_0 が $\pi_{F_s} < \pi_0$ の範囲にある場合では両企業とも π_0 ($t = 0$) で同時に投資を行う。

4.3 競争分析のまとめ

本研究のモデルによる競争分析が現実世界での大企業に対する中小企業の競争戦略に与え得る示唆についてここでは議論を行う。企業は競争優位を構築するためには業界における自社のポジションを明確にし、それに相応しい戦略を展開しなければならない。

そのような企業の競争戦略を分析する上で、経営学者フィリップ・コトラーが提唱する「競争地位別戦略」が用いられることがある（詳しくはコトラー [9], 片山 [7] を参照のこと）。この競争地位別戦略とは競争戦略の理論で、マーケットシェアの観点から企業を4つに類型化し、競争地位に応じた戦略目標を提示している。競争地位別戦略の中では「マーケット・リーダー」「マーケット・チャレンジャー」「マーケット・フォロワー」「マーケット・ニッチャー」の4つに企業の競争ポジションが分けられる。マーケット・リーダーは業界を牽引する主導的立場にある企業、マーケット・チャレンジャーはリーダー企業に対してチャンスがあれば戦略的攻撃を仕掛け、シェアを奪い、自らの収益性を高めようとする企業、マーケット・フォロワーはリーダー企業の模倣をしつつも敵対行動を取られないようにし、他企業からの攻撃に気を付けながら利益を確保していく企業、マーケット・ニッチャーはすきま市場（ニッチ市場）で独自の地位を獲得しようとする企業のことを指す。ただし、フィリップ・コトラーが提唱する競争地位別戦略内での「マーケット・フォロワー」「マーケット・リーダー」と、本研究のモデルを分析する際の「フォロワー」「リーダー」とは別のものであることに注意する。そして各企業は自分の取った競争ポジションに従い、製品やサービスを的確なマーケティングを行い市場に投入する。

競争1では企業Sは必ずリーダーになり、企業Bは必ずフォロワーになる。競争2では企業Sの方が企業Bよりも先発の優位性の範囲が圧倒的に広く、企業Sの方が有利な状態になっており、企業Sがリーダーとして参入する事が多い。これは企業Sのポジショニングとして競争地位別戦略での「マーケット・リーダー」が出現していると考えられる。大企業に比べて大きくコスト削減を可能にしたり、研究開発力を高めることに成功した中小企業が企業Sに対して「マーケット・リーダー」になることはある。また、異なる見方をするとこの競争1では企業Sのポジショニングとして「マーケット・ニッチャー」が出現しているとも考えられる。すきま市場での特定のニーズを満たす新技術の開発の際、中小企業が外部環境に応じて素早く対応が出来る機動性の高さを活かしニッチ技術の開発に低コストで成功する場合も考えられる。一、大企業はすきま市場への投資を控えたり、最初の参入者が出現した後の反応を見極めながら、二番手として進出することが多い。

競争3では特許価値の初期値が小さいと企業Sが有利になり、特許価値の初期値が大きいと企業Bが有利になると言った先発の優位性の範囲を各企業が持っている。これは企業Sのポジショニングとして競争地位別戦略での「マーケット・チャレンジャー」が出現していると考えられる。中小企業が企業Sに対して特許権取得競争で勝てると判断した場合、マーケット・チャレンジャーの行動を取ることがある。つまり、特許価値の初期値が小さいと言うことは、その技術の有用性が判断できず、価値があるかどうか分からない革新的な技術だと想定できる。その様な革新的な技術の研究開発の場合、中小企業には新規参入の余地が生まれ大企業に対しチャレンジを行う。しかし一方で、技術の有用性が証明されており、十分に価値があると判断が出

来る既存技術の特許価値は初期の段階から大変高く、その様な技術に対しては、一般的に既存技術に対するノウハウを保有している開発能力の高い大企業が有利になる。

競争4では企業Bの方が企業Sよりも先発の優位性の範囲が圧倒的に広く、企業Bの方が有利な状態になり企業Sはフォロワーで参入する事が多い。そして競争5では企業Sは必ずフォロワーになり、企業Bは必ずリーダーになる。これは企業Sのポジショニングとして競争地位別戦略での「マーケット・フォロワー」が出現していると考えられる。大企業に対して敵わないと判断した中小企業が模倣をしつつも大企業との競争を避ける行動に出る。

以上より、本研究モデルでの競争1から5での各企業の行動は、フィリップ・コトラーの提唱する「競争地位別戦略」における「マーケット・リーダー」「マーケット・チャレンジャー」「マーケット・フォロワー」「マーケット・ニッチャー」と深い関連があると捉えることが出来る。

また図7から図24の各企業のリーダー曲線、フォロワー曲線の動きをみると、コスト K_s が1に近づくほど企業Sのリーダー曲線は企業Sのフォロワー曲線を下回り、企業Bのリーダー曲線は企業Sのフォロワー曲線を上回ることが分かる。しかし一方でコスト K_s が0に近づくほど企業Sのリーダー曲線は企業Sのフォロワー曲線を上回り、企業Bのリーダー曲線は企業Sのフォロワー曲線を下回ることが分かる。これにより、コスト K_s の削減を実施することにより企業Sは企業Bに対して競争の形態を変更し、新しい競争に持ち込むことが可能であることを示すことが出来ている。政府が提唱する中小企業向けの施策を利用したり、小規模な特徴を利用して設備投資を控えたり、外部環境に応じて素早く対応が可能な機動性の高い意思決定力を活かした無駄の少ない研究開発活動をすることにより、コスト削減に努め、中小企業も大企業に対し競争の余地は十分に残っている事が分かる。

5 結論

本研究では、ゲーム理論的リアルオプションアプローチを用いて、特許取得成功率とコスト構造に非対称性を持たせた2企業間の特許権取得競争分析を行った。まず中小企業は大企業に比べ研究開発や特許取得が盛んに行われていない状況にある一方、政府が提唱する施策等を利用する事によりコスト削減が手軽に可能であると言った現実世界での中小企業と大企業の企業構造を的確に表現するため、特許取得成功率は中小企業よりも大企業の方が大きいと仮定し、コスト構造は中小企業より大企業の方が大きいと仮定した。これにより特許取得率とコスト構造にトレードオフな関係が生まれ、中小企業と大企業の間に様々な競争形態が出現することを明らかにした。

そしてモデルの中に出現する様々な競争形態での大企業に対する中小企業の戦略がコトラーの提唱する「競争地位別戦略」における「マーケット・リーダー」「マーケット・チャレンジャー」「マーケット・フォロワー」「マーケット・ニッチャー」のポジショニングを表していると考えられることが出来ることを示した。また、一般的に企業規模の小さく開発能力の低い中小企業でもコスト削減をすることにより大企業に対して十分競争が可能である事を示した。

今後の研究課題としては、特許取得率やコスト構造以外の非対称性を考慮する必要がある。企

業の非対称性は特許取得率やコスト構造以外にも存在し、それらが企業へもたらす影響は様々である。他の非対称性を考慮する事により異なる競争形態が出現するはずである。そして新たに出てきた競争形態を分析することにより、より現実に近い企業間競争を分析することが出来るであろう。

A 付録

A.1 (10) 式の導出

(9) 式より,

$$V(\pi) = \max_T E_t \left[e^{-rT} \left(\int_T^\infty e^{-(r+h)(\tau-T)} h \pi_\tau d\tau - K \right) \right].$$

また、以下の (27)–(29) 式が成り立っている時,

$$d\pi_\tau = \mu \pi_\tau d\tau + \sigma \pi_\tau dW_\tau, \quad (27)$$

$$\pi_{\tau+T} = \pi_T e^{\nu\tau + \sigma W_\tau}, \quad (28)$$

$$\nu = \mu - \frac{1}{2}\sigma^2. \quad (29)$$

(9) 式の中の一部を取りだし計算をするすると,

$$\begin{aligned} E_t \left[e^{-rT} \int_T^\infty e^{-(r+h)(\tau-T)} h \pi_\tau d\tau \right] &= E_t \left[e^{-rT} \int_0^\infty e^{-(r+h)\tau} h \pi_{\tau+T} d\tau \right], \\ &= E_t \left[e^{-rT} E_t \left[\int_0^\infty e^{-(r+h)\tau} h \pi_{\tau+T} d\tau \middle| \mathcal{F}_T \right] \right], \\ &= E_t \left[e^{-rT} h \pi_T \int_0^\infty e^{-(r+h)\tau} E_t[e^{\nu\tau + \sigma W_\tau}] d\tau \right], \\ &= E_t \left[e^{-rT} h \pi_T \int_0^\infty e^{-(r+h)\tau + \nu\tau + \frac{\sigma^2}{2}\tau} d\tau \right], \\ &= E_t \left[e^{-rT} h \pi_T \int_0^\infty e^{-(r+h-\mu)\tau} d\tau \right], \\ &= E_t \left[e^{-rT} \frac{h \pi_T}{r+h-\mu} \right], \end{aligned} \quad (30)$$

と求めることが出来る。以上より、(9) 式に (30) 式を代入することにより、ベルマン方程式 $V(\pi_t)$ は

$$\begin{aligned} V(\pi_t) &= \max_T E_t \left[e^{-rT} \left(\int_T^\infty e^{-(r+h)(\tau-T)} h \pi_\tau d\tau - K \right) \right], \\ &= \max_T E_t \left[e^{-rT} \left(\frac{h \pi_T}{r+h-\mu} - K \right) \right], \end{aligned}$$

表 1: 企業 S と企業 B の価値関数

		企業 B	
		$\alpha_b(\pi)$	$1 - \alpha_b(\pi)$
企業	$\alpha_s(\pi)$	$(V_{F_s}(\pi), V_{F_b}(\pi))$	$(V_{L_s}(\pi), V_{F_b}(\pi))$
S	$1 - \alpha_s(\pi)$	$(V_{F_s}(\pi), V_{L_b}(\pi))$	repeat game

と求める事が可能である．最適停止時での特許価値を π_U と置くと，特許価値 π の大きさが π_U より小さいか π_U 以上かで場合分けされて，

$$V_U(\pi) = \begin{cases} B_0 \pi^{\beta_0} & \text{for } \pi < \pi_U, \\ \frac{h\pi}{r+h-\mu} - K & \text{for } \pi \geq \pi_U, \end{cases}$$

となる (π_t を π と簡略化している)． $\pi < \pi_U$ での継続領域では，投資が行われなため，何のキャッシュフローも生み出さないのて， V_U は投資機会を保有する事によって得られる投資機会自体の価値となる．一方， $\pi \geq \pi_U$ の停止領域では投資をする事により実際に $\frac{h\pi}{r+h-\mu} - K$ の価値を得る事になる．そして，継続領域での V_U を求める為には境界条件であるバリューマッチング条件とスムーズペースティング条件から解かなければならない．この場合，解の関数形を推定し，これを式に代入することで解は容易に解く事が出来る．そこで継続領域での V_U の解の関数形を $V_U = B_0 \pi^{\beta_0}$ と未知の定数 B_0 と β_0 で表しているのである．

A.2 両企業が確率 1 で同時に投資を行う理由

Huisman [3] にならい以下の議論を行う． $\alpha_i(\pi)$ は企業 i が特許価値が $[\pi, \pi + \Delta\pi]$ の微小区間で投資を行う確率であり，本研究のモデルでは非協力の状態で同時投資を行った場合，両企業ともそれぞれのフォロワーの価値関数と同じ値を取ることに注意する．

表 1 は企業 S は投資を行い企業 B も投資を行った場合，企業 S は投資を行い企業 B は投資を行わなかった場合，企業 S は投資を行わず企業 B は投資を行った場合，企業 S は投資を行わず企業 B も投資を行わなかった場合，それぞれの場合で価値関数がどうなるのかを表にしたものである．両企業とも投資を行わなかった場合は，再び確率 $\alpha_s(\pi)$ と $\alpha_b(\pi)$ での競争 (表 1) が繰り返される．この場合の各企業のキャッシュフローである $P_s(\alpha_s, \alpha_b)$, $P_b(\alpha_s, \alpha_b)$ は以下のように求めることが出来る (以下の議論ではすべて特許価値が π の場合であるとする)．

$$P_s(\alpha_s, \alpha_b) = \alpha_s \alpha_b V_{F_s} + \alpha_s (1 - \alpha_b) V_{L_s} + \alpha_b (1 - \alpha_s) V_{F_s} + (1 - \alpha_s)(1 - \alpha_b) P_s(\alpha_s, \alpha_b),$$

$$P_b(\alpha_s, \alpha_b) = \alpha_b \alpha_s V_{F_b} + \alpha_b (1 - \alpha_s) V_{L_b} + \alpha_s (1 - \alpha_b) V_{F_b} + (1 - \alpha_b)(1 - \alpha_s) P_b(\alpha_s, \alpha_b).$$

すると，それぞれ $P_s(\alpha_s, \alpha_b)$, $P_b(\alpha_s, \alpha_b)$ について求めると，

$$P_s(\alpha_s, \alpha_b) = \frac{\alpha_s (1 - \alpha_b) V_{L_s} + \alpha_b V_{F_s}}{1 - (1 - \alpha_s)(1 - \alpha_b)},$$

$$P_b(\alpha_s, \alpha_b) = \frac{\alpha_b(1 - \alpha_s)V_{L_b} + \alpha_s V_{F_b}}{1 - (1 - \alpha_s)(1 - \alpha_b)}.$$

各企業はこのキャッシュフローを最大化しようと行動するはずなので、

$$\frac{\partial P_s}{\partial \alpha_s} = 0, \quad \frac{\partial P_b}{\partial \alpha_b} = 0.$$

以上より、

$$\alpha_s = 1, \quad \alpha_b = 1,$$

が求まり各企業必ず同時に投資を行いフォロワーと同じ価値関数をとることが分かる。

謝辞

本稿を作成するに当たり、査読者の方々や編集副委員長の後藤允准教授から有益なコメントを頂きました。この場を借りて深くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton.
- [2] Fudenberg, D. and Tirole, T. (1985). Preemption and rent equalization in the adoption of new technology. *Review of Economic Studies*, **52**, 383–401.
- [3] Huisman, K. (2001). *Technology Investment: A Game Theoretic Real Options Approach*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Chapter 8.
- [4] Kong, J. and Kwok, Y. (2007). Real options in strategic investment games between two asymmetric firms. *European Journal of Operational Research*, **181**, 967–985.
- [5] Weeds, H. (2002). Strategic delay in a real options model of r&d competition. *Review of Economic Studies*, **69**, 729–747.
- [6] 今井潤一 (2004). 「リアル・オプション 投資プロジェクト評価の工学的アプローチ」．中央経済社.
- [7] 片山又一郎 (2003). 「コトラー入門」．日本実業出版社.
- [8] 木島正明, 中岡英隆, 芝田隆志 (2008). 「リアルオプションと投資戦略」．朝倉書店.
- [9] フィリップ・コトラー (1996). 「マーケティングマネジメント」．プレジデント社.

- [10] 中小企業庁 (2010a). 「中小企業白書 2010」.
- [11] 中小企業庁 (2010b). 「平成 22 年度中小企業施策利用ガイドブック」.
- [12] 渡辺隆裕 (2008). 「ゲーム理論入門」. 日本経済新聞出版社.

図 3: 企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線 図 4: 企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一般例その 1

図 5: 企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線 図 6: 企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一般例その 2

図 7: 領域 1 ($0 < K_s < 0.2841$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 8: 領域 1 ($0 < K_s < 0.2841$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 9: 状態 1 ($K_s = 0.2841$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線

図 10: 状態 1 ($K_s = 0.2841$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線

図 11: 領域 2 ($0.2841 < K_s < 0.3517$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例 図 12: 領域 2 ($0.2841 < K_s < 0.3517$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 13: 状態 4 ($K_s = 0.3517$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線 図 14: 状態 4 ($K_s = 0.3517$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線

図 15: 領域 3 ($0.3517 < K_s < 0.8294$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例 図 16: 領域 3 ($0.3517 < K_s < 0.8294$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 17: 状態 3 ($K_s = 0.8294$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線 図 18: 状態 3 ($K_s = 0.8294$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線

図 19: 領域 4 ($0.8294 < K_s < 0.8784$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例
図 20: 領域 4 ($0.8294 < K_s < 0.8784$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 21: 状態 2 ($K_s = 0.8784$) での企業 S のリーダー曲線, フォロワー曲線
図 22: 状態 2 ($K_s = 0.8784$) での企業 B のリーダー曲線, フォロワー曲線

図 23: 領域 5 ($0.8784 < K_s < 1$) での企業 S の リーダー曲線, フォロワー曲線の一例

図 24: 領域 5 ($0.8784 < K_s < 1$) での企業 B の リーダー曲線, フォロワー曲線の一例