

競争市場における新製品導入と退出、 および企業分布に関する理論分析^{*)}

加 藤 浩

1. イントロダクション

産業動学 (industry dynamics) あるいは産業進化 (industry evolution) の研究における関心の一つは、1つの産業や市場を取り上げて、そこで活動している企業が持つ生産能力や潜在的需要量といった企業規模の分布を導き出すことである¹⁾。とりわけ、需要構造や費用構造などの市場の基礎的条件のあり方が、企業分布をどのように決定していくかを検討することは非常に興味深い。企業分布は、個々の企業によって決定される市場参入や市場退出を通じてその形状が定まる²⁾。これらの意思決定は、実行するときに多額の費用が必要となり、しかも大部分が埋没費用となるため、不可逆性がある投資と見ることができる。需要や生産技術に対する不確実性が、これらの不可逆性投資の決定にどのような影響を与えるかを

^{*)} 本稿は、日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C) 課題番号21530287) に基づいて行われた研究である。

1) 企業分布の研究についてのサーベイは Sutton (1997) が優れている。

2) 参入の理論は非常にたくさんの研究があるため、ここで詳細を述べることは止める。退出について、特に企業規模と関連付けて分析した代表的な研究をいくつか取り上げる。Jovanovic (1982) では、費用構造の違う無限数の企業を想定し、企業規模の違いによって引き起こされる淘汰を示している。Ghemawat and Nalebuff (1985), Ghemawat and Nalebuff (1990) では、需要が縮小する衰退産業で操業する企業規模の異なる寡占企業について、どちらが先に退出するかを明らかにしている。Murto (2004) は、リアル・オプションを用いて衰退する寡占産業をモデル化し、不確実性の大きさが非対称的な企業の退出する順序にどのような影響を与えるかについて検討している。

示すことは，ある市場を特徴付ける基礎的条件が，様々な産業や製品が備えているライフサイクルの違いにどのように関わっているかを解明することにつながるため，産業動学の研究では重要な課題となる。

不確実性が企業の投資活動に与える影響を理論的に分析した既存研究に共通する課題は，不確実性が高まるほど，企業の投資活動がより積極的になるか（正の関係），あるいはより消極的になるか（負の関係）を探ることにある。とりわけ投資が不可逆的であるときは，投資を直ちには実行せずしばらく状況を静観することで得られる利益，すなわちオプション価値（option value）を考慮に入れることが肝要である³⁾。その理由として次のような点が挙げられる。不可逆投資を実行することにより原状回復ができなくなるため，コミットメントを実行することと同義となり，それに伴い機会費用が発生する。この機会費用の大きさがオプション価値と同額となる。具体例を挙げて考えてみると，需要の状態が改善したときに，この正のショックがどれくらい恒常的かを判断するために，すぐには投資せずしばらく待つ。あるいは，需要が縮小したときに，近い将来に需要が回復する可能性を考慮に入れて，廉価版の市場への導入を延期する。このような行動を控えたことにより，将来に渡り獲得できると期待される収益の割引現在価値が，直ちに投資を行うことにより失われる収益であり，オプション価値となる。したがって，このオプション価値が高いほど，期待収益が十分見込まれるまで投資を実行しないことが最適となるため，各企業は投資に対して消極的になる。オプション価値は将来収益の不確実性に反応し，そのボラティリティが大きいほどオプション価値は上昇する。

オプション価値を考慮に入れて企業の投資決定について分析したものとして，参入・退出を扱った Dixit (1989)，新製品導入に適用した加藤 (2010)，モデルチェンジ・サイクルについて取り組んだ加藤 (2011) がある。これらは独占市場を想定し，企業単独の投資決定について考えている。いずれの研究でも示されたことは，投資決定のオプション価値は正であり，不確実性が高まるほどこれらの行動

3) リアル・オプションについて解説した定評のある文献には，Amram and Kulatilaka (1999)，Copeland and Antikarov (2003)，今井 (2004)，Guthrie (2009) がある。

を実行することが最適となる収益の閾値 (threshold) が、収益と費用を割引現在価値で評価した (NPV) ときのそれよりも大きく乖離することである。したがって、不確実性と投資行動の間には負の関係があることが判明した。これに対して、無数の企業が投資を行う完全競争市場を基に分析した研究に、Caballero (1991), Leahy (1993), Pindyck (1993) がある。これらの研究は、市場レベルでの不確実性 (全体ショック) があり、すべての企業が同じ不確実性に直面している状況を考えている。完全競争では自由参入により各企業の利潤はゼロとなるため、投資が不可逆的であってもオプション価値はゼロとなる。しかしそうであっても、競争企業が投資を実行する閾値と独占企業の閾値とは一致することが示されている⁴⁾。したがって、不確実性と不可逆投資との間に負の関係が成立するが、オプション価値がある独占のケースとは異なり、次のような完全競争固有の要因によるものである。不確実性に直面する各企業は、収益の確率分布を考慮に入れて投資を決定する。市場に正のショックが発生すると、参入が生じたり既存企業が生産量を拡大したりするので、収益の上昇に制限が加わる。しかし、負のショックに対してはこのような調整が行われなため、収益は下限なく低下していく。つまり、正のショックによる収益増は小さいが、負のショックによる収益減は大きくなる。したがって、収益の確率分布は非対称的となるため (負の方向に歪んでいる)、投資実行に必要な収益の閾値はより高い水準となる。結局、完全競争市場でも、独占で考えた Dixit (1989), 加藤 (2010), (2011) と同じ結果を得ることとなる。ところが、Caballero and Pindyck (1996) は、市場レベルのショックと個別のショックとを明確に区別して分析することが重要であると主張している。個別ショックとは、1 企業のみが受ける独立したショックである。個別ショックのみが生じるとき、各企業は市場全体に関わるファクターから影響を受けないので、単独に投資決定をする状況と同じになり、完全競争であってもオプション価

4) より正確に述べると、競争均衡では各々の企業が近視眼的 (myopic) な投資決定を行う。近視眼的な投資決定とは、他の全企業の投資戦略が収益変動のプロセスに与える影響を無視し、収益変動は外生ショックだけに従って動くものとし、あたかも単独の企業として投資決定をすることである。

値は正となる。個別ショックが生じる要因としては、製品差別化があるときや、他企業とは異なるユニークな生産技術を所有している場合が考えられる。Novy-Marx (2007) では、完全競争市場であっても、各企業が有する需要や生産技術に異質性があるとき、オプション価値は正であり、不確実性が高まるほど投資決定は遅くなることが示されている。本論文でも、競争市場におけるオプション価値を考えるために、また無数の企業が分布を形成するために、個別ショックを想定して分析を進める。

本稿では、耐久財を生産・販売する企業を考え、製品の廉価版を市場へ導入するタイミング、および市場から退出するタイミングを決定するモデルを構築する。耐久財市場の大きな特徴は、累積販売量が増加するたびに需要が縮小し、それに従い利潤マージンが時間を通じて低下していくことである。利潤マージンを回復させるための1つの方法は、品質や機能の劣った廉価版を市場へ導入し、より低い費用で生産することである。このような慣行は、成熟・衰退した耐久財市場でよく観察される⁵⁾。本稿で展開されるモデルはこのような状況を想定している。本研究におけるこれまでにない新たな取り組みは、無数の企業からなる競争市場を考え⁶⁾、需要に不確実性があるときの廉価版導入および市場退出の閾値を求め、さらに、様々な潜在的な需要規模を持つ企業がどのように分布しているかを解き明かすことである。投資の閾値や企業分布を内生的に導き出すことで、需要変動や

5) 具体例としては次のようなものがある。家電では機能が充実したハイエンドが販売された後、マイナーチェンジをして余分な機能（消費電力の節約機能など）を取り除いたり、安い部品を用いて生産したりしたローエンド（普及モデル）を販売する。書籍は、まずハードカバー版を発売した後、ソフトカバー版や文庫版を導入し、その後全面改訂を行うか絶版とする。パソコンに関しては、パソコンの核となる CPU がこのような販売方法をしている。例えば、Pentium の廉価版が Celeron であり、パソコンもそれに合わせて廉価版が導入される。自動車については「特別仕様車」などと称し、標準モデルに比べて機能を制限もしくは内装を簡素化した廉価モデルを販売している。アパレル・時計・バッグなどのブランド品は、当該ブランドの普及版である所謂「セカンドライン」と呼ばれるブランド（通常はブランド名を変えて販売される）が、若者向けに低価格で販売されている。

6) 耐久財市場で無数の企業がいるというのは現実的ではないが、少数の企業がたくさんの種類の製品を生産・販売すると考えると納得のいく想定となるかもしれない。したがって、退出はブランドの1つを市場から引き上げる、参入は新しいブランドを市場へ投入すると解釈する。

品質低下率といった市場の特徴と，高品質製品・低品質製品それぞれを生産する企業数，および退出企業数との関係が明らかになる。

本稿のモデル分析は，産業動学の研究分野のみならず，現実のビジネスでも有用な知見を提供してくれる。とある製品について，低価格により多くの消費者に普及しており，かつ付加価値の低いありふれたものとなっているとき，その製品は「コモディティ化 (commoditization)」しているという。コモディティ化した市場における適切な経営戦略について取り扱ったビジネス書は数多く出版されている（例えば，Moore (2005)，D'Aveni (2009) など）。しかし，なぜ製品がコモディティ化してしまうのか，その要因を探ることも重要であり，産業動学の視点から理論分析のメスを入れることが極めて有効となる。本モデルにおけるコモディティ化の解釈は，市場生産量に占める廉価版（低品質製品）の割合が多い状態である。この解釈のもと，需要の不確実性の大きさと廉価版の品質低下率の大きさによって，コモディティ化が起こる状況を説明している。

この後の議論は以下の順序で展開される。まず2節では，モデルの設定について説明をする。続く3節では，廉価版の導入および市場からの退出が最適となる需要状態の閾値を求める。4節では，実現した需要状態に関する確率密度関数を導き出す。それぞれの企業について1つの需要状態が定まるので，この関数が企業規模の分布を表す。5節では，3節と4節で得られた結果を用いて比較静学を行う。そして，コモディティ化が生じる市場とは，どのような需要の性質や廉価版の開発方法で特徴付けられるかを明らかにする。最後の6節では今後の課題を述べる。

2. モデルの設定

毎時点1単位だけ生産・販売をする，危険中立的な無数の企業が市場で活動している。市場は完全競争であるため，各企業は販売価格を直接操作することはできない。ただし各企業の製品は差別化されており，企業は独自の需要関数に直面している。ある時点で生産活動をする企業数が N であるとき，市場生産量は N となる。このとき，それぞれの企業は逆需要関数 $p = \theta D(N)$ に直面する。ただし $D' <$

0であり、 D は時間に依存しない。 $\theta \in (0, 1]$ は企業固有のショック (idiosyncratic shock) であり、 θ の実現値は企業ごとに異なる。したがって、各企業の販売価格もそれぞれ異なる。 θ の値が大きくなるほど需要が拡大し、逆に小さくなるほど需要が縮小することから、 θ を「需要の状態」と呼ぶことにする。

θ は幾何ブラウン運動に従う確率変数であるとする。つまり、微小時間 dt の間に θ が、

$$d\theta = a\theta dt + b\theta dw \quad (1)$$

に従って変化する。ただし a, b は定数である。また、この定数はすべての企業について共通である。耐久財の性質から、1企業の累積販売量が多いほどその企業が直面する需要が縮小する。累積生産量がゼロのときは $\theta = 1$ であるとし、生産するたびに θ の値は低下していく。言い換えると、 θ のトレンドは時間が経つにつれ低下していく。このことは次の仮定により表される。

仮定1 : $a < 0$

また、ショックによっても需要は縮小したり拡大したりする。 w はウィナー過程に従う確率変数であり、 θ の変動は $dw \sim N(0, dt)$ に影響を受ける。 $b > 0$ は需要変動の大きさを表す定数であり、この値が大きいかほど需要の不確実性が高いことを意味する⁷⁾。

どの企業も最初は高品質製品を一定の生産費用 c_H で生産する。需要が縮小し、販売価格が $p^* = \theta * D(N)$ の水準まで下がると、期待値で測った将来収入フローが生産費用を賄えなくなるため、廉価版である低品質製品に生産を切り替える。低品質製品の生産費用は $c_L (< c_H)$ で一定である。また、低品質製品を市場へ導入する際、一定の導入費用 I がかかる⁸⁾。低品質製品は高品質製品に比べて消費者の評価が低くなるため、企業が直面する需要は $p = (1 - \mu)\theta D(N)$ と縮小する。 μ は

7) 不確実性が生じる要因としては、原材料価格の予期せざる変動や、製造企業のコントロール外にある小売業者間の競争や季節変動、あるいは在庫調整などが考えられる。

8) 具体的な導入費用として、高品質製品を基にして品質を低下させたり、機能を取り除いたりする際に必要となる開発費用が考えられる。あるいは、廉価版と通常版との違いを消費者にアピールするために必要な宣伝費用もこれに含まれる。

品質低下率であり， $\mu \in (0, 1)$ とする。また， μ はすべての企業について同じである⁹⁾。いったん低品質製品を導入したら，再び高品質製品を生産することはできない。 c_H, c_L, I の間に成り立つ関係について，次のような仮定を設ける。

仮定2： $c_H - c_L > rI$

ただし r は割引率である。つまり，低品質製品の導入による生産費用の節約が，1時点当りで平準化した導入費用よりも大きい。

低品質製品を販売しているとき，さらに価格が $\underline{p} = \theta D(N)$ まで低下したならば，企業は市場から退出する¹⁰⁾。市場から退出するときには，一定の退出費用 E を負担する¹¹⁾。一度退出したら，再び参入することはできない。 c_L, E が満たす関係について，次のような仮定を設定する。

仮定3： $c_L > rE$

退出することで生産費用を負担する必要がなくなるが，これが1時点当りで平準化した退出費用よりも大きい。

参入と退出が毎時点発生し，市場で操業する企業数が N に保たれている。どの企業も参入した直後の累積販売量はゼロであるから， $\theta = 1$ から出発する。したがって，退出した企業と同じ数だけの企業が，毎時点 $\theta = 1$ を持って参入して高品質製品を生産するものと仮定する。

3. 閾値の導出

以上で示したモデル設定から，各企業が観察する θ が θ^* 以下の値になると直ちに新製品を導入し， $\underline{\theta}$ 以下の値になると市場から退出することになる（以降，

9) 現実的に考えると，企業によって品質を劣化させる方法はそれぞれ異なり，これも製品差別化の手段の1つとなる。ここでは，製品市場で起こる競争が開発競争にも影響を与え，市場で最も望まれる品質劣化の方法をすべての企業が用いると解釈する。これはある意味，廉価版開発に関する業界ルールが，市場競争によって1つに定まったと見なすことができよう。

10) もちろん更なる低品質化により利潤を生み出す可能性もあるが，もはや製品として価値を持たないので，生産費用に見合う需要が存在しないと考える。

11) 具体的には，労働者への退職金支払いや配置転換とそれに伴う研修の費用，あるいは工場・設備のスクラップと用地回復にかかる費用などがこれに該当する。

$\theta^*, \underline{\theta}$ を「閾値 (threshold)」と呼ぶ)。したがって，利潤最大化問題は $\theta^*, \underline{\theta}$ を求めることに帰着される。また，この閾値は全ての企業について共通である。

3.1 高品質製品について

現在の需要状態が θ であるとき，高品質製品を生産する企業が獲得する価値を $V_H(\theta)$ とする。 dt の微小時間で $\{\theta D(N) - c_H\}dt$ の利潤を得て， dt 時間経過後，需要の状態は $\theta + d\theta$ と変化する。 $d\theta$ は(1)式に従って変化する。これより，ベルマン方程式は次式で与えられる。

$$V_H(\theta) = \{\theta D(N) - c_H\} dt + e^{-rdt} E V_H(\theta + d\theta). \quad (2)$$

ただし， E は当該時点で得られる情報に基づいて期待値を算出するオペレーターである。 e^{-rdt} を $(1 - rdt)$ と近似し， dt のオーダー以上の誤差を無視すると

$$rV_H(\theta) dt = \{\theta D(N) - c_H\} dt + E(dV_H) \quad (3)$$

となる。ただし， $E(dV_H) = EV_H(p + dp) - V_H(p)$ とする。ここで，伊藤の補題

$$dV_H = V_H'(\theta)d\theta + \frac{1}{2}V_H''(\theta)(d\theta)^2 \quad (4)$$

に(1)式を代入して期待値を取る。 $E((dw)^2) = dt$ であることに注意しつつ， dt のオーダー以上の誤差を無視すると，

$$E(dV_H) = aV_H'(\theta)dt + \frac{1}{2}b^2V_H''(\theta)dt. \quad (5)$$

これを(3)式に代入することで， V_H に関する非同次2階微分方程式

$$\frac{1}{2}b^2\theta^2V_H''(\theta) + a\theta V_H'(\theta) - rV_H(\theta) + \{\theta D(N) - c_H\} = 0 \quad (6)$$

を得る。(6)式に対する同次微分方程式の基本解は Cp^β という形をしている。ただし C は定数である。 β は，この基本解を(6)式と同次微分方程式に代入することで得られる特性方程式

$$f(\beta) \equiv \frac{1}{2}b^2\beta^2 + \left(a - \frac{1}{2}b^2\right)\beta - r = 0 \quad (7)$$

の解である。この方程式の2つの異なる解を次のように置く。

$$\beta_1 \equiv \frac{b^2 - 2a + \sqrt{(2a - b^2)^2 + 8rb^2}}{2b^2} > 1, \quad (8)$$

$$\beta_2 \equiv \frac{b^2 - 2a - \sqrt{(2a - b^2)^2 + 8rb^2}}{2b^2} < 0. \quad (9)$$

これより，(6)式の一般解は次のようになる。

$$V_H(\theta) = C_1\theta^{\beta_1} + C_2\theta^{\beta_2} + \frac{\theta D(N)}{r-a} - \frac{c_H}{r}. \quad (10)$$

ここで C_1, C_2 は定数である。右辺の最後の2項は(6)式の特解である。これは、初期の需要状態が θ であり、高品質製品を永久に生産するときに得る期待利潤フローの割引現在価値の総和である。つまり、

$$\begin{aligned} E\left(\int_0^\infty \{\theta(t)D(N) - c_H\}e^{-rt} dt\right) &= \int_0^\infty \{\theta D(N)e^{(a-r)t} - c_H e^{-rt}\} dt \\ &= \frac{\theta D(N)}{r-a} - \frac{c_H}{r}. \end{aligned} \quad (11)$$

生産費用は確定的であるため割引率は通常の r であるが、需要は確率的に変動するため $r-a$ ($> r$) で割引かれている¹²⁾。(10)式右辺の初めの2項は、低品質製品を導入するオプションを保有することにより生み出される価値と解釈することができる¹³⁾。このオプション価値は、次のような性質を持つと想定することが

12) CAPM では $r-a$ は便利収益率 (convenience yield) あるいは不足収益率 (return shortfall) と呼ばれ、低品質製品導入の選択肢を保持し続けるのを止めて、実際に生産したときに発生する機会費用を考慮に入れた割引率である。つまり、収益のフローは1時点経つと、他の投資機会からの機会費用分 r だけ割引かれ、さらに需要縮小により a だけ価値が低下する。

13) 低品質製品を導入せずに直ちに退出することが最適となるケースがあるが、(12)式のオプション価値は「退出オプション」と同じ性質を満たすため、このようなケースをも網羅している。

自然であろう。つまり， θ が低下しゼロに近づくほど低品質製品を導入する価値は高まり，そのオプション価値は無量大近づく。逆に， θ が大きくなるほど低品質製品を導入するメリットは小さくなるため，そのオプション価値も小さくなる。オプション価値がこのような性質を満たすためには， $\beta_1 > 0$ であることから， $C_1 = 0$ ではなくてはならない。したがって(10)式は次の式に帰着する。

$$V_H(\theta) = C_2\theta^{\beta_2} + \frac{\theta D(N)}{r-a} - \frac{c_H}{r}. \quad (12)$$

この式から，需要状態の悪化は利潤に2つの相反する効果を与えることが分かる。つまり，需要が縮小するほど収入が減少するため（右辺第2項），低品質製品導入のインセンティブが強くなるが，同時にオプション価値も高まるため（右辺第1項），高品質製品の生産を継続するインセンティブも強くなる。企業は，この両効果を考慮に入れ低品質製品の導入を決定する。

3.2 低品質製品について

現在の需要状態が θ であるとき，低品質製品を生産する企業にもたらす価値を $V_L(\theta)$ とする。前小節と同様の方法で V_L に関する非同次2階微分方程式を導出し，これを解くことで次式が導かれる。

$$V_L(\theta) = G_1\theta^{\beta_1} + G_2\theta^{\beta_2} + \frac{(1-\mu)\theta D(N)}{r-a} - \frac{c_L}{r}. \quad (13)$$

G_1, G_2 は定数である。右辺の初めの2項は，将来に市場環境が悪化したとき市場から退出できるオプションを保有することで生み出される価値であり，「退出オプション」と呼ばれる。退出オプションは次のような性質を持つと考えられる。 θ が小さいほど退出するメリットが大きくなり，退出オプションの価値も高まる。逆に， θ が大きいほど生産を継続する利益は大きくなるので，退出のオプション価値は低下する。したがって，退出オプションがこのような性質を持つためには， $G_1 = 0$ でなくてはならない。よって， $V_L(\theta)$ について以下の式を得る。

$$V_L(\theta) = G_2\theta^{\beta_2} + \frac{(1-\mu)\theta D(N)}{r-a} - \frac{c_L}{r}. \quad (14)$$

3.3 境界条件について

低品質製品導入の閾値 θ^* において，次の2つの条件が満たされる。

$$\text{value-matching 条件： } V_H(\theta^*) = V_L(\theta^*) - I$$

$$\text{smooth-pasting 条件： } V_H'(\theta^*) = V_L'(\theta^*)$$

この条件が満たされないとき， θ^* 以外の需要状態で低品質製品を導入することが最適となり， θ^* が閾値であることに反する¹⁴⁾。これらの条件式より，

$$\theta^* = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \frac{r - a}{\mu D(N)} \left(\frac{c_H - c_L}{r} - I \right) \quad (15)$$

となり，これは次のように書き換えられる。

$$\frac{\mu \theta^* D(N)}{r - a} = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \left(\frac{c_H - c_L}{r} - I \right). \quad (16)$$

すなわち，低品質製品導入による収入の減少（左辺）が，（生産費用の節約－導入費用）の割引現在価値の総和（右辺）に等しくなるとき，低品質製品を導入することが最適となる。不確実性が意思決定に与える効果は次の2点である。つまり，需要が確率的に変動するため，低品質製品導入のデメリットである収入減少を期待値で評価しており， $r - a$ ($> r$) で大きく割引いている。それと同時に，低品質製品導入のメリットである生産費用の節約分については $\beta_2/(\beta_2 - 1) < 1$ がかけられており，それだけ小さく評価している。これはオプションを保有することの効果が発現したものであり， $\beta_2/(\beta_2 - 1)$ は「オプション価値乗数」と呼ばれている (Dixit and Pindyck (1994))。

退出の閾値 $\underline{\theta}$ において次の2つの条件が満たされる。

14) value-matching 条件は， θ^* において高品質製品を生産し続けることから得られる価値の総額と，低品質製品からのそれが一致することで，2つの製品からの価値が無差別となることを保証するものである。smooth-pasting 条件は， θ に関する2つの関数 $V_H(\theta)$ ， $V_L(\theta) - I$ について， θ^* で傾きが一致することを意味する。value-matching 条件が満たされている下で， $V_L'(\theta^*) > V_H'(\theta^*)$ となると， $\theta > \theta^*$ に対して $V_L(\theta) - I > V_H(\theta)$ となるから，直ちに低品質製品を導入することが最適となる。これは， θ^* が閾値であることに反する。また， $V_H'(\theta^*) > V_L'(\theta^*)$ のときは，価格が θ^* のときでも高品質製品を生産し続けた方が最適となるため， θ^* が閾値であることに反する（これを示すには需要変動をランダム・ウォークで近似して考える必要があり，紙面の都合上割愛する。詳細は Dixit (1993)，Dixit and Pindyck (1994)，Stokey (2009) を参照されたい。

value-matching 条件： $V_L(\theta) = -E$

smooth-pasting 条件： $V'_L(\theta) = 0$

これより，退出の閾値

$$\theta = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \frac{r - a}{(1 - \mu)D(N)} \left(\frac{c_L}{r} - E \right) \quad (17)$$

が求まる。

3.4 不確実性の大きさが，低品質製品導入と退出の意思決定に与える影響

外生変数のうち，需要変動の大きさ b が閾値 θ^*, θ に与える影響について検討する。(15)式と(17)式を b で偏微分し，かつ β_2 は b の増加関数であることを考慮に入れると， $\partial\theta^*/\partial b < 0$ ， $\partial\theta/\partial b < 0$ であることが簡単に示される。つまり，需要変動が大きいほど，低品質製品導入や退出が実行される θ はより低い水準となる。これはオプション価値の効果によるものである。オプション価値 $C_2\theta^{\beta_2}$ は b の増加関数である¹⁵⁾。ゆえに，需要変動が大きいほど，すなわち不確実性が強まるほど，オプション価値は高まり，低品質製品導入や退出について，需要が十分縮小するまで行動を起こすことを控えるのである。

4. 企業分布の導出

この節では，需要状態 θ を持つ企業がどのような割合で市場に存在しているかを検討する。つまりは， θ の分布を求めることを考える¹⁶⁾。ここでは特に，時間に関して不変な定常分布を導き出すことを主眼とする。この分布と前節で導き出された閾値を組み合わせることで，高品質製品・低品質製品を生産する企業数や退出企業数が計算できる。

15) $\partial C_2/\partial \beta_2 = \partial G_2/\partial \beta_2 = 0$ であることが容易に示される。

16) Dixit and Pindyck (1994)，Chapter3およびChapter8でも，同様の方法で企業分布を導き出している。そこでは，投資を行い市場に参入する企業と，投資を行わず市場外で待機する企業の割合が求められている。

まず，幾何ブラウン運動をする確率変数を，標準ブラウン運動をする確率変数に変換することを考える。幾何ブラウン運動と標準ブラウン運動との関係について確認する。標準ブラウン運動

$$d\eta = A dt + B dw \quad (18)$$

に従う確率変数 η と，幾何ブラウン運動(1)式に従う確率変数 θ について， $\eta = \log \theta$ の関係が成立する。この関係式に伊藤の補題を適用することで，

$$d\eta = \left(a - \frac{1}{2} b^2 \right) dt + b dw \quad (19)$$

であることが示される。したがって，確率過程の各係数について以下の関係を得る。

$$A = a - \frac{1}{2} b^2, \quad B = b. \quad (20)$$

ここで， $\eta^* = \log \theta^*$ ， $\underline{\eta} = \log \underline{\theta}$ とする。つまり， $\eta = \underline{\eta}$ に達した企業は直ちに退出する。また，毎時点の市場で活動する企業数を N に固定するため，毎時点退出した企業と同数の企業が $\eta = 0$ ($= \log 1$) に参入する。

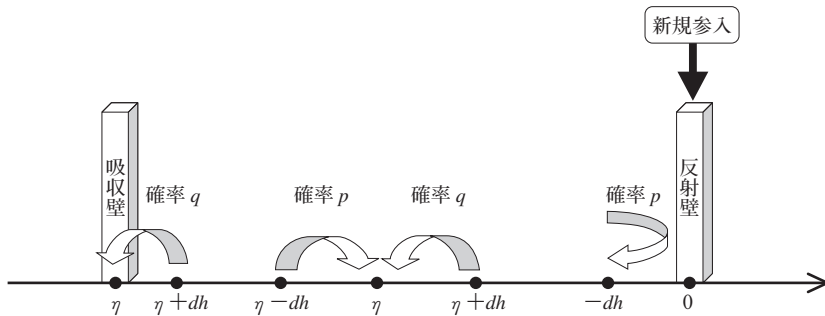
次に，標準ブラウン運動をランダム・ウォークで近似する。 η の値は時間 dt おきに一步の幅 dh でランダム・ウォークをする。 $dh = B\sqrt{dt}$ という関係を維持しつつ $dt \rightarrow 0$ とすることで，ランダム・ウォークをする確率変数は標準ブラウン運動をする確率変数へと近づく。正の方向へ一步前進する確率を p ，負の方向へ一步後退する確率を q とし，

$$q = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A}{B} \sqrt{dt} \right), \quad (21)$$

$$p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{A}{B} \sqrt{dt} \right) \quad (22)$$

と置く。

図1： η のランダム・ウォーク



各企業は $[\underline{\eta}, 0]$ 上に分布しており、 η の確率密度関数を $\phi(\eta)$ とする。つまり、 η を持つ企業数は $N\phi(\eta)$ となる。定常分布を想定しているため、毎時点 η の密度は一定であるから、図1より次の関係が成り立つ。

$$\phi(\eta) dh = p\phi(\eta - dh) dh + q\phi(\eta + dh) dh. \quad (23)$$

右辺は dt 時間後に η へと到達する企業の密度である。ここで、 $\phi(\eta - dh)$ と $\phi(\eta + dh)$ をテーラー展開して、さらに(21)式と(22)式を代入する。最後に $dt \rightarrow 0$ として、すなわち dt のオーダー以上の項を無視することで、次式が導き出される。

$$\frac{1}{2} B^2 \phi''(\eta) - A\phi'(\eta) = 0. \quad (24)$$

これは ϕ に関する同次2階微分方程式である。この特性方程式

$$g(\gamma) = \frac{1}{2} B^2 \gamma^2 - A\gamma = 0 \quad (25)$$

の解は0と $2A/B^2$ であるから、(24)式の一般解は、

$$\phi(\eta) = K_1 \exp\left(\frac{2A}{B^2} \eta\right) + K_2. \quad (26)$$

ここで、 K_1, K_2 は $\eta = \underline{\eta}$ および $\eta = 0$ における境界条件により決定される定数である。

$\eta = \underline{\eta}$ に到達した企業はこれ以上のランダム・ウォークを止めるので、 $\eta = \underline{\eta}$ は吸収壁 (absorption barrier) となる (図1を参照せよ)。したがって、正の方向

に向かって $\underline{\eta}$ へ到達する企業は存在しない（つまり $\eta = \underline{\eta} - dh$ に企業はいない）ため，

$$\phi(\underline{\eta})dh = q\phi(\underline{\eta} + dh)dh. \quad (27)$$

が成り立つ。この式をテーラー展開し，(21)式を代入することで，

$$\phi(\underline{\eta}) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A}{B^2} dh \right) \left\{ \phi(\underline{\eta}) - \phi'(\underline{\eta})dh + \frac{1}{2} \phi''(\underline{\eta})(dh)^2 + \dots \right\}. \quad (28)$$

$dt \rightarrow 0$ のとき $dh \rightarrow 0$ であるから，この式は，

$$\phi(\underline{\eta}) = 0 \quad (29)$$

となり， $\eta = \underline{\eta}$ における境界条件が求まった。

dt 時間に退出する企業の密度は $q\phi(\underline{\eta} + dh)dh$ である。テーラー展開することにより，

$$q\phi(\underline{\eta} + dh)dh = \frac{1}{2} \phi'(\underline{\eta})(dh)^2 = \frac{1}{2} B^2 \phi'(\underline{\eta})dt \quad (30)$$

と近似できる。これより，瞬時的に $\frac{1}{2} NB^2 \phi'(\underline{\eta})$ の企業が市場から退出することが分かる。

$\eta = 0$ に到達した企業は，更なる正の方向へとは進めず，次の時点では必ず $\eta = -dh$ へ戻される。つまり， $\eta = 0$ は反射壁（reflection barrier）である（図1を見よ）。 $\eta = 0$ へ到達する企業は2種類あり， $\eta = -dh$ から移動してきた企業，さらに退出企業と同数の参入企業である。これらの企業は，確率1で $\eta = -dh$ へと直ちに戻される。したがって， $\eta = -dh$ では次の式が成立する。

$$\phi(-dh)dh = p\phi(-2dh)dh + p\phi(-dh)dh + \frac{1}{2} \phi'(\underline{\eta})(dh)^2. \quad (31)$$

これも先ほどと同様の方法を用いると， $\eta = \underline{\eta}$ と $\eta = 0$ に関する境界条件が導かれる。

$$\frac{A}{B^2} \phi(0) - \frac{1}{2} \phi'(0) + \frac{1}{2} \phi'(\underline{\eta}) = 0. \quad (32)$$

(26)式を代入すると，

$$K_2 = -K_1 \exp\left(\frac{2A}{B^2} \underline{\eta}\right). \quad (33)$$

最後に， $\phi(\eta)$ は $[\underline{\eta}, 0]$ 上に分布する確率密度関数であるから，

$$\int_{\underline{\eta}}^0 \phi(\eta) d\eta = 1 \quad (34)$$

でなくてはならない。(26)式を代入し(33)式を考慮すると，定数 K_1, K_2 が求まり，

$$K_1 = \frac{2A}{B^2 + (2A\underline{\eta} - B^2) \exp\left(\frac{2A}{B^2} \underline{\eta}\right)}, \quad (35)$$

$$K_2 = -\frac{2A \exp\left(\frac{2A}{B^2} \underline{\eta}\right)}{B^2 + (2A\underline{\eta} - B^2) \exp\left(\frac{2A}{B^2} \underline{\eta}\right)}. \quad (36)$$

$\gamma \equiv 2A/B^2$ と置くと， η の確率密度関数が確定し，次のようになる。

$$\phi(\eta) = \frac{\gamma}{1 + (\gamma\underline{\eta} - 1)e^{\gamma\underline{\eta}}} (e^{\gamma\underline{\eta}} - e^{\gamma\underline{\eta}}). \quad (37)$$

これより，退出企業の割合は，

$$\frac{1}{2} B^2 \phi'(\underline{\eta}) = \frac{1}{2} \frac{B^2 \gamma^2}{1 + (\gamma\underline{\eta} - 1)e^{\gamma\underline{\eta}}} e^{\gamma\underline{\eta}}. \quad (38)$$

高品質製品を生産する企業の割合は，

$$\int_{\eta^*}^0 \phi(\eta) d\eta = \frac{1 - e^{\gamma\eta^*} + \gamma\eta^* e^{\gamma\underline{\eta}}}{1 + (\gamma\underline{\eta} - 1)e^{\gamma\underline{\eta}}}. \quad (39)$$

低品質製品を生産する企業の割合は，

$$\int_{\underline{\eta}}^{\eta^*} \phi(\eta) d\eta = \frac{e^{\gamma\eta^*} - e^{\gamma\underline{\eta}} - \gamma(\eta^* - \underline{\eta})e^{\gamma\underline{\eta}}}{1 + (\gamma\underline{\eta} - 1)e^{\gamma\underline{\eta}}}. \quad (40)$$

企業数は，(38)式，(39)式，(40)式それぞれに N をかけたものである。

5. 数値計算と比較静学

以上により，高品質製品・低品質製品を生産する企業の割合，および退出企業の割合が求まった。次に，不確実性の大きさがこれらの割合に与える影響について検討するが，微分を用いた比較静学は式が複雑になるため非常に困難である。そこで， b 以外の外生変数について， $a = -4\%$ ， $\mu = 20\%$ ， $r = 4\%$ ， $I = E = ¥100,000$ ， $c_H = ¥70,000$ ， $c_L = ¥20,000$ ， $D(N) = ¥300,000$ と数値を想定する（この数値は仮定1，仮定2，仮定3を満たす¹⁷⁾）。そうしてそれぞれの割合を求めて， b の値を変化させることで，これらの割合がどのように変化するかを観察してみる。

(I) η の分布について

η の分布は図2.1のようになる。 η の値が低下するほど操業企業の割合も減少していき， $\underline{\eta}$ に近づくほどその減少幅が大きくなる。これは， η が小さくなればなるほど，その前後の値を持つ企業のうち退出するものが増えてくるため，次の時点でその値に達する可能性のある企業がそれだけ減少してしまうからである。

i) 品質低下率と企業分布の関係

品質低下率の値によって企業分布は図2.2のように変化する。 $\partial \underline{\eta} / \partial \mu > 0$ であるから，品質低下率が小さな製品ほど，退出の閾値はより小さくなる。なぜならば，このような低品質製品を導入しても需要縮小はわずかであり，したがって利潤も大きくは低下しない。それゆえ， η が小さくても操業を続けることが可能になる。逆に，品質劣化の著しい製品ほど導入後の需要縮小が大きく，それだけ利潤も大きく下落する。このとき，需要状態のわずかな悪化でも退出を余儀なくされる。つまり，退出の閾値はより高くなるのである。このことから，品質低下率が小さな製品ほど，多様な需要状態を持った企業が市場で活動する。逆に，品質低下率が大きい製品は，需要状態の状態がかなり良い企業しか市場で生き残れない。

17) $\eta^* = -0.593473$ ， $\underline{\eta} = -3.02868$ である。また， $\theta^* = 0.551303$ ， $\underline{\theta} = 0.0485458$ 。

ii) 需要変動と企業分布の関係

3.4節で示したように、需要変動が大きな製品ほど退出の閾値はより小さくなる。つまり、需要状態が悪い企業でも、需要が将来回復する可能性を見込んで生産を続ける。その結果、多様な需要状態を持った企業が市場で活動をする。逆に、需要変動が小さな製品、つまり不確実性が小さい市場では、現在の需要状態が恒常的である可能性が高まるため、悪い需要状態を観察したならば直ちに市場から退出する。それゆえ、限られた需要状態を持つ企業しか市場に残らない（図2.3）。

これより、品質低下率が小さい製品と需要変動が大きい製品とは、企業分布に同じ影響を与えることが分かる。この類似性は次の要因によるものである。つまり、退出すると収入が突然ゼロとなるため、品質劣化が小さい低品質製品を生産しているときは収入の減少幅が大きくなり、需要変動が大きいために収入が著しく減少する状況と同じになる。

(II) 退出企業の割合

b の値により、 N 企業のうち2%から14%が毎時点市場から退出する（図3.1参照）。需要変動が大きいほど、退出の閾値が小さくなるものの、一気に閾値へ達する可能性が高まるため、退出する企業は増加する。したがって、需要の不確実性が大きい市場では退出が頻繁に発生する。またそれだけ同じ数の企業が新規に参入するため、市場での企業の入れ替えが頻繁となる¹⁸⁾。

品質低下率の変化により、退出企業の割合は図3.2のように変化する。つまり、品質低下率の大きな製品ほど退出企業の割合が大きくなる。劣化の著しい製品を導入することで、需要が大幅に縮小し、それだけ退出の誘因が強まるからである。

18) 複数企業の代わりに、複数の製品ブランドが生産されていると解釈すると、新規ブランドの導入、廉価版の導入と生産停止が頻繁に繰り返されることになる。つまり、モデルチェンジ・サイクルが早まることを意味する。これは、独占で考えた加藤（2011）と同じ結果である。

(Ⅲ) 高品質製品を生産する企業の割合

b の値に応じて，活動している N 企業のうち10%~60%くらいが高品質製品を生産する（図4.1）。需要変動が大きいほど，高品質製品を生産する企業数は増加する。なぜならば， b が大きいほど低品質製品導入の閾値は低下するため，それだけより広範の需要状態で高品質製品が生産されるからである。これに加えて，退出企業が増え，それと同数の新規参入が発生し，高品質製品を生産することもその要因となる。

さらに，品質低下率が高いほど高品質製品を生産する企業は増加する（図4.2）。これは次のように説明できる。 $\partial\eta^*/\partial\mu < 0$ であるから，劣化の著しい低品質製品の導入される閾値が低下することに加えて，退出の閾値の上昇により新規参入も増えるからである。

(Ⅳ) 低品質製品を生産する企業の割合

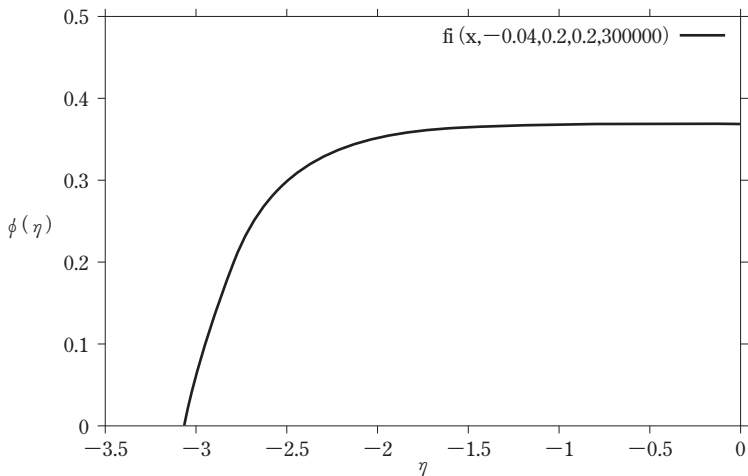
N 企業のうち，40%から90%までの企業が低品質製品を生産する（図5.1）。需要変動が大きいほど退出の閾値は低下するものの，低品質製品導入の閾値もまた低下するため，低品質製品生産が最適となる需要状態の範囲は狭くなる。また，需要変動が大きいほど退出の閾値へ到達する可能性も高くなるため，それだけ低品質製品を生産する企業も減少してしまう。したがって，需要変動が大きいほど低品質製品を生産する企業は減り，逆に小さいほどその数は増える。

また，品質低下率が小さいほど，需要状態が良好であっても低品質製品は導入され，また退出する企業が減少するから，低品質製品を生産する企業は増加する（図5.2参照）。

これまでの分析から以下の考察を得る。全生産量のうち低品質製品の占める割合が高くなる市場，すなわちコモディティ化する市場は，需要変動が小さいか，もしくは廉価版の品質低下が小さいという特徴を持っている。言い換えれば，需要の不確実性が小さい市場や，マイナーチェンジした廉価版が導入される市場である。逆に，コモディティ化しづらい市場では，需要が安定しないような製品が供給されている。例えば，需要にブームが起こったり，季節性が関係したりする

場合や，製品が持つ品質や性能について消費者が十分な知識を持っていない場合などが考えられる。あるいは，廉価版（低品質製品）が通常版（高品質製品）と比べ大幅に異なっているときも，コモディティ化は起こりにくい¹⁹⁾。つまり，競争によって，すべての企業が品質を大幅に低下させた廉価版を開発することが最適となるような市場である²⁰⁾。

図 2.1 : η の分布



19) 加藤（2011）では，このような製品のモデルチェンジ・サイクルはより早くなることが示されている。また，高品質製品は長時間販売され，その後，残された評価の非常に低い消費者に向けて低品質製品を導入し，彼らにまとめて短時間の販売した後，直ちに市場から退出する。

20) さらに，このような廉価版に製品としての価値がまだ残っているという，技術的な制約もクリアしている。

図 2.2 : μ の変化による η の分布の変化

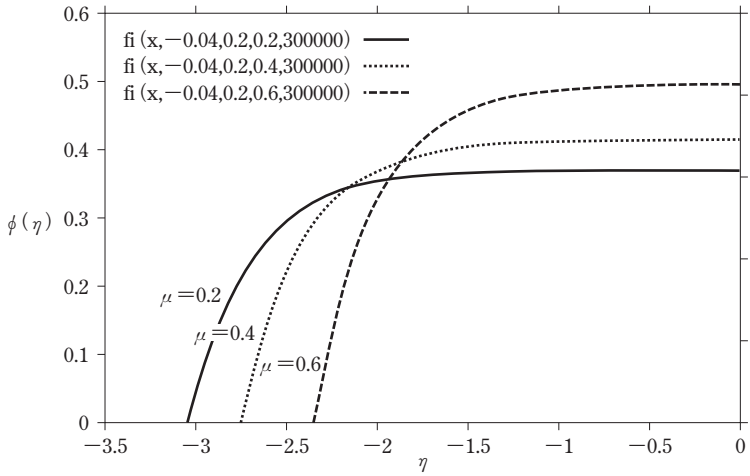


図 2.3 : b の変化による η の分布の変化

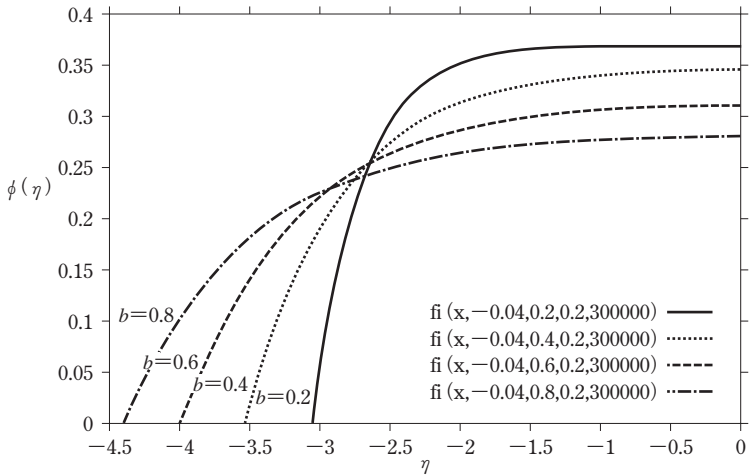


図 3.1 : 退出企業の割合

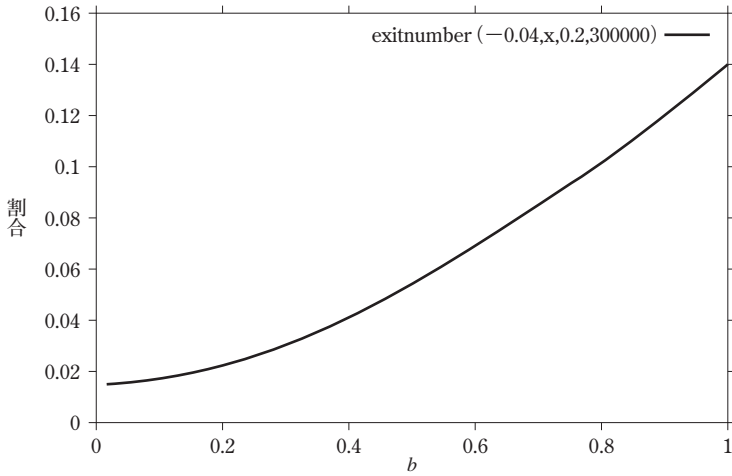


図 3.2 : μ の変化による退出企業の割合の変化

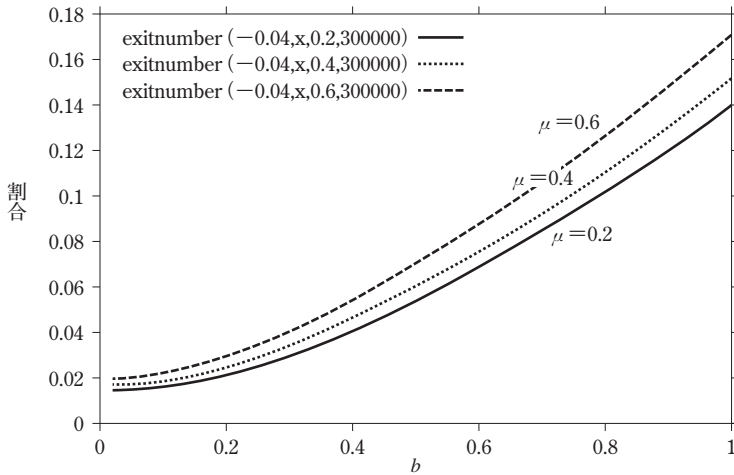


図 4.1 : 高品質製品を生産する企業の割合

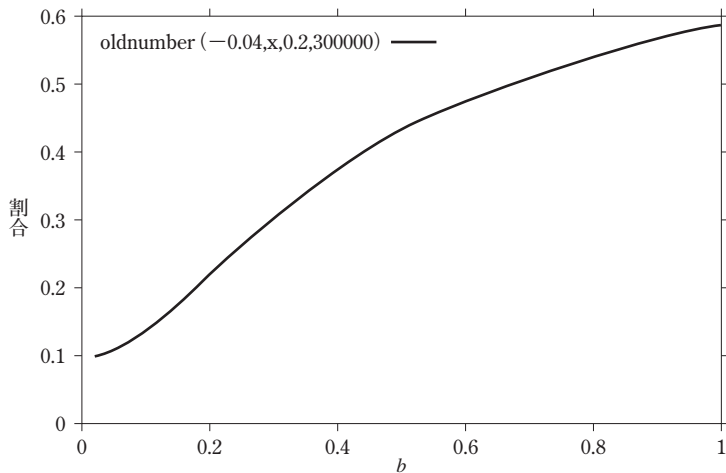


図 4.2 : μ の変化による高品質製品企業の割合の変化

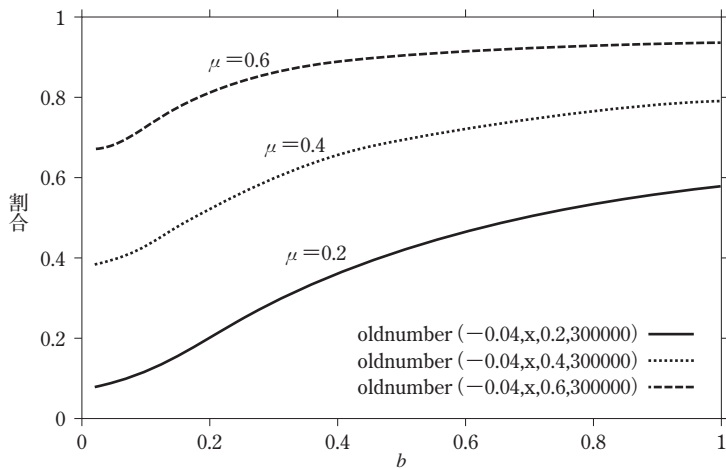


図5.1：低品質製品を生産する企業の割合

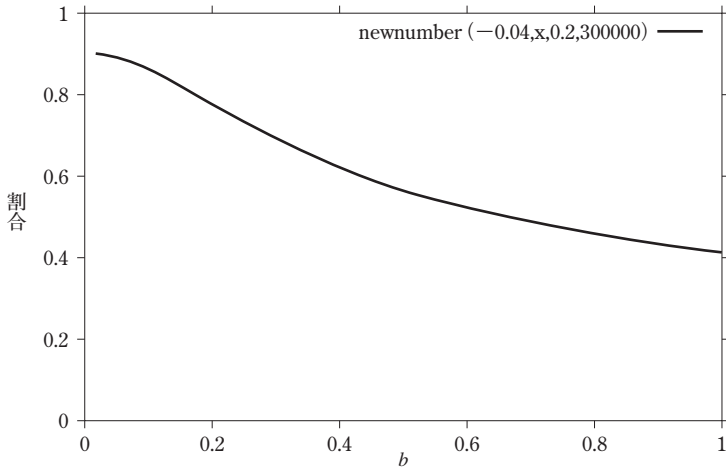
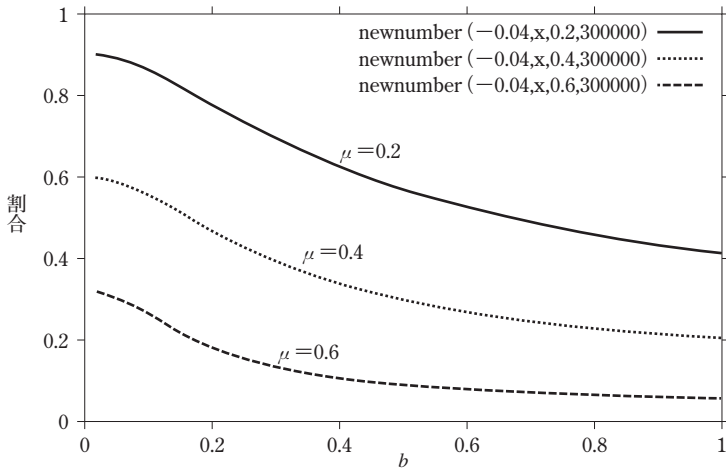


図5.2： μ の変化による低品質製品企業の割合の変化



6. 今後の課題

この論文では、無数の企業で構成される競争市場を考え、各企業の廉価版導入および市場退出に関する最適な意思決定について検討してきた。さらには、実現した需要状態で表される企業群が形成する分布を導き出した。この企業分布を用いて、需要変動の大きさや品質低下率といった外生変数の違いにより、市場生産量に占める高品質製品・低品質製品の割合や退出企業数がどのように変化していくかを明らかにすることができた。本稿で得られた知見は、市場・産業を特徴付けるファクターの相違が、それぞれの産業動学をどのように規定していくかという古くから関心が持たれている研究テーマに、1つの解答を提供しているものと確信している。

本論では、計算の容易性を優先させる目的もあり、毎時点形状が同じである定常的な企業分布を考えていた。しかし、より現実的な産業ライフサイクルを分析するためには、企業分布が時間によって変動していくケースにも取り組まないといけない。このとき、各企業の市場参入に関する意思決定も考慮に入れる必要が出てくる。参入、廉価版（もしくは新製品）導入，および退出を同時に考えた理論モデルは非常に興味深く、かつ有用なものとなるだろう。

参考文献

- [1] 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。
- [2] 加藤浩（2010）「不確実性下の新製品導入—リアル・オプション・アプローチ—」『経済科学』第57巻第4号pp.213～pp.224。
- [3] 加藤浩（2011（掲載予定））「耐久財独占市場における新製品導入および退出の最適なタイミングについて」『応用経済学研究』第5巻。
- [4] Amram, M. and N.Kulatilaka. (1999), *Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World*, Oxford University Press.
- [5] Caballero, R. (1991), “On the Sign of the Investment-Uncertainty Relationship.”, *American Economic Review*, Vol.81, pp.279-288.
- [6] Caballero, R. and R. Pindyck. (1996), “Uncertainty, Investment, and Industry Evolution.”, *International Economic Review*, Vol.37, pp.641-662.
- [7] Copeland, T. and V.Antikarov. (2003), *Real Options: A Practitioner's Guide*, THOMSON.
- [8] D’Aveni, R. (2009), *Beating the Commodity Trap: How to Maximize Your Competition Position and Increase Your Pricing Power*, Harvard Business School Press.
- [9] Dixit, A. (1989), “Entry and Exit Decisions under Uncertainty.”, *Journal of Political Economy*,

Vol.97, pp.620-638.

- [10] Dixit, A. (1993), *The Art of Smooth Pasting*, Routledge.
- [11] Dixit, A. and R. Pindyck. (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press.
- [12] Ghemawat, P. and B. Nalebuff. (1985), “Exit.”, *Rand Journal of Economics*, Vol.16, pp. 184-194.
- [13] Ghemawat, P. and B. Nalebuff. (1990), “The Devolution of Declining Industries.”, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.105, pp.167-186.
- [14] Guthrie, G. (2009), *Real Options in Theory and Practice*, Oxford University Press.
- [15] Jovanovic, B. (1982), “Selection and the Evolution of Industry.”, *Econometrica*, Vol.50, pp. 649-670.
- [16] Leahy, J. (1993), “Investment in Competitive Equilibrium: The Optimality of Myopic Behavior.”, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.108, pp.1105-1133.
- [17] Moore, D. (2005), *Dealing with Darwin: How Great Companies Innovate at Every Phase of Their Evolution*, Portfolio Hardcover.
- [18] Murto, P. (2004), “Exit in Duopoly under Uncertainty”, *Rand Journal of Economics*, Vol.35, pp.111-127.
- [19] Novy-Marx, R. (2007), “An Equilibrium Model of Investment under Uncertainty.”, *Review of Financial Studies*, Vol.20, pp.1461-1502.
- [20] Pindyck, R. (1993), “A Note on Competitive Investment under Uncertainty.”, *American Economic Review*, Vol.83, pp.273-277.
- [21] Stokey, N. (2009), *The Economics of Inaction: Stochastic Control Models with Fixed Costs*, Princeton University Press.
- [22] Sutton, J. (1997), “Gibrat’s Legacy.”, *Journal of Economic Literature*, Vol.35, pp.40-59.