



RIETI Discussion Paper Series 12-J-034

プロダクト・イノベーションにおける波及効果と戦略的關係 - わが国のイノベーション政策への示唆 -

五十川 大也
東京大学

大橋 弘
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

プロダクト・イノベーションにおける波及効果と戦略的關係 —わが国のイノベーション政策への示唆—¹⁾

五十川大也²⁾

大橋弘³⁾

要 旨

本論文ではプロダクト・イノベーションが生み出される動学的なプロセスを寡占市場における企業の利潤最大化の枠組みを用いてモデル化したうえで、イノベーションに係る政策の効果をわが国のデータを用いて定量的に評価することを目的とする。2006年から2008年までの企業レベルのデータを用いて構造推定を行ったところ、プロダクト・イノベーションには技術的な波及効果が存在し、その影響はイノベーションが活性化することを通じた競争激化による負の効果を上回っていることが明らかになった。そこで企業がイノベーション活動を行うのに要する固定費用に対する公的助成は社会厚生を増大させるが、構造推定の結果を用いてシミュレーションを行ったところ、その乗数効果は1.4程度となることが分かった。またシミュレーションの結果から、わが国における現状の公的助成は必ずしも効率的に付与されているとは言えず、公的助成を受けた企業のうち4割程度は、助成がなくともイノベーションを実施したであろうことが推測された。つまり本論文から、イノベーションの活性化に係る現行の公的助成のあり方について、効率化を行う余地が存在することが示唆される。

キーワード：プロダクト・イノベーション、波及効果、動学的寡占市場モデル、マルコフ完全均衡、補助金、イノベーション調査

JEL classification: C73、L13、O31、O38

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独)経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

¹⁾ 本稿は(独)経済産業研究所におけるプロジェクト「新しい産業政策に関わる基盤的研究」の成果の一環である。セミナー参加者からの多くのコメントに感謝する。

²⁾ 東京大学大学院経済学研究科博士課程、日本学術振興会特別研究員 (DC2)

³⁾ 東京大学大学院経済学研究科教授

1. はじめに

わが国を初め先進国の厳しい財政事情のなか、持続的な経済成長を実現するために、民間部門が行うイノベーションに対する期待が高まっている。とりわけ近年において理論・実証の両面からその経済的重要性を示す分析結果が蓄積されるなか⁴⁾、新たな付加価値を創出し、社会的な課題解決にも資するようなプロダクト・イノベーションへの政策的な関心が高いように見受けられる。

Arrow (1962) を初め、イノベーションには「波及効果」が存在することから企業がイノベーションの成果を専有できず、従ってイノベーションに対する誘因は社会的に過小となるとの指摘がされる。他方で、企業のイノベーションが市場において競合他社の顧客を奪うような効果を持つ場合、イノベーションにはある種の負の波及効果を持ちうる (Bloom et al., 2010)。加えて、企業間の動学的な相互依存関係⁵⁾もイノベーションの波及効果と密接に関係している。ある企業がイノベーションを実現した場合、競合他社のイノベーション活動に影響を与えることで、競争他社の利潤が変化しうるからである。イノベーションに係る政策を考えるときには、以上のような複雑に関係し合う波及効果をもつ経路を統一的・総合的に勘案した分析が望まれる。

本稿では、わが国企業のデータを用いてプロダクト・イノベーションの波及効果を定量的に評価し、それを踏まえた政策の効果を推定することを目的とする。ここではイノベーションに係る政策の中でもとりわけ補助金による公的な助成に焦点を当ててみたい。わが国のように全国一律で政策が実施される環境において、政策の効果を厳密に評価することは誘導推定（代表的には Difference-in-Differences）手法では行いえない。本論文では、構造推定とシミュレーション分析を基礎としたアプローチによって政策の効果を定量的に分析する試みを行う。具体的には以下の 2 つのステップをとる。最初のステップにおいて、イノベーション活動における企業の意思決定を内生化したモデルを構築し、その構造パラメータを推定する。これによって、プロダクト・イノベーションの波及効果を定量化することが可能となる。次のステップでは、シミュレーション分析を行うことによって、波及効果と企業間の相互依存関係を複合的に考慮しながら現状における補助金による公的助成の効果を評価する。同時に公的助成の現状の配分の仕方が効率的か否かについても明らかにする。

本稿の分析から次の三点が明らかになった。第一に、民間企業のプロダクト・イノベーションには技術的な波及効果が存在し、その影響は競争激化による負の波及効果を上回っている。また、プロダクト・イノベーションを既に実現している企業の方が技術的波及効果の恩恵を強く受けることも示された。第二に、イノベーション活動への公的助成はプロダクト・イノベーションを活

⁴⁾ 近年の内生的成長理論 (Grossman and Helpman, 1991, Aghion and Howitt, 1992, Klette and Kortum, 2004 など) において、プロダクト・イノベーションが成長のエンジンとして位置づけられている。また、Klepper (1996) はプロダクト・ライフサイクルの枠組みの中で、市場の初期段階においてプロダクト・イノベーションが相対的に重要性を持つことを示した。一方、実証研究としては、各国で実施されつつあるイノベーション調査を用いた最近の分析が特筆に値する。例えば、Crépon et al. (1998) や同様の枠組みに基づく計量分析において、プロダクト・イノベーションによる売上高が企業の生産性や収益性に繋がることが明らかにされている。

⁵⁾ 民間企業によるイノベーション活動が動学的・戦略的な特性を有する点は既存の実証分析 (Finger, 2008, Goettler and Gordon, 2011, Hashmi and Biesebroeck, 2010, Xu, 2006) でも指摘されている。

発化することを通じて社会厚生を増大させよう。補助金の形での公的助成による便益の上昇幅は配分された補助金の 1.4 倍程度となることがわかった。第三に、現状の補助金配分は必ずしも効率的に行われていない可能性が示唆された。補助金を受けた企業のうち 4 割程度は、仮に補助金を受給しなくともイノベーション活動を実施したであろうことが定量分析の結果から推測される。

以下の本稿は次のような章立てになっている。第 2 章では、わが国の民間企業におけるプロダクト・イノベーションの特徴を本稿で用いるデータから概観する。第 3 章では、構造推定に用いるモデルについて記述する。本稿では Ericson and Pakes (1995) や Doraszelski and Satterthwaite (2010) で開発された動学的競争モデルの類型を用いている。第 4 章では、前章でのモデルを用いて構造パラメータを推定するための手法を Bajari, Benkard and Levin (2007) に依拠して紹介した上で、その推定結果について議論する。推定結果を踏まえて、第 5 章で公的助成の付与に関するシミュレーション分析を行う。第 6 章は結論である。

2. わが国におけるプロダクト・イノベーションの現状

本章では国際比較の観点を加味しつつ、わが国における民間企業のプロダクト・イノベーション活動の現状を紹介したい。ここでは文部科学省科学技術政策研究所が2009年に実施した「第2回全国イノベーション調査」（以下「イノベーション調査」という）を用いる⁶⁾。この調査は2006～2008年度の3年間におけるわが国企業の活動について企業向けにアンケート調査を行ったものである。対象母集団は従業者数10名以上の農林水産業、鉱工業、建設業、サービス業に属する企業331,037社であり、ここから企業規模および産業別の層に基づいて15,871社を抽出して調査票を送付し、4,579社より回答を得ている（回答率 30.3%）。

イノベーション調査では、企業のイノベーション活動を「革新的な製品・サービスまたは業務の改善を目的としたプロセスの開発に必要とされる設計、研究開発、市場調査などの取り組み」と定義し、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションをその基本的な成果としている。本稿で着目するプロダクト・イノベーションの定義は本調査において下記とされている。

プロダクト・イノベーション

新製品あるいは新サービスの市場への投入として定義される。新製品あるいは新サービスには、機能・性能・設計・原材料・構成要素・用途を新しくしたものだけではなく、既存の技術を組み合わせたものや既存製品あるいは既存サービスを技術的に高度化したものも含ま

⁶⁾ 1988年にノルウェーの Nordic Fund for Industrial Development が、民間部門のイノベーション活動を把握する標準的なガイドラインの策定を経済協力開発機構（OECD）に対して提案し、そのガイドラインが通称「オスロ・マニュアル（Oslo Manual）」として1992年に刊行された。最新のガイドラインは2005年に刊行された第3版となっている。そして、欧州統計局（Eurostat）がオスロ・マニュアルを基に規範とすべき調査方法や調査票を設計・作成し、現在までに EU 諸国、南米、アジアなど 50 カ国程度でイノベーション調査が実施されている。調査についての詳細は科学技術政策研究所（2010）を参照されたい。

れる。ただし、製品あるいはサービスの機能面や使用目的が既存のものと変わらない単なるデザインのみの変更、他社製品・サービスの単なる販売・提供は含まれない。

イノベーション調査は国際的なガイドラインであるオスロ・マニュアルに基づいて実施されており、その結果は国際的に比較が可能となっている。まず OECD より刊行された *Innovation in Firms* (2009) を用いて、わが国におけるプロダクト・イノベーションの現状を国際的な観点から概観してみたい⁷⁾。

なお国際比較の数値を解釈するにあたって次の三点に留意しておく必要がある。第一に、調査対象となる期間が必ずしも統一されていない。*Innovation in Firms* に参加した国々の多くは、2002～2004 年を対象とする CIS-4 (Community Innovation Survey-4) の結果を用いている⁸⁾。イノベーション調査については、調査対象期間が 2006～2008 年度のため、諸外国と比較して新しい数値となっている⁹⁾。第二に、オスロ・マニュアルに基づいた調査全般に当てはまる問題点として、イノベーションの把握において主観的要素を排除することが難しい点が指摘できる。「イノベーション」という言葉の響きがわが国と諸外国とで異なる可能性は否定できず、またたとえ言葉の響きが同じであったとしても、特定技術分野における進展度合いの違いが企業のイノベーション捉え方に差異を生む可能性がある¹⁰⁾。第三に、回答した企業の産業や規模に関する分布が各国で異なっている。この点を勘案するために、本稿では Little and Rubin (1986) に記されているウェイトバック集計の方法を用いて、回答企業の分布が母集団の分布に合うように集計を行った。

図 1 の左側はプロダクト・イノベーションを実現した企業の割合を国別にまとめたものである。わが国は 20.3% と 15 カ国¹¹⁾ 中 14 位に位置しており、イノベーションの実現という観点からすると、国際的に高い水準にあるとは言い難い。ただし、第 1 回イノベーション調査 (1999～2001 年対象) の結果と比較すると、イノベーションの実現割合はやや上昇している。

図 1 の右側は研究開発費の総額に占める政府負担の割合を国別にまとめている。この図では OECD の *Main Science and Technology Indicators* (2012) から 2009 年実績の値をプロットしている¹²⁾。わが国における研究開発費の政府負担割合は他国と比較して低水準であり、イノベーションに対する公的関与が低調な様相が見て取れる。

図 1 を見ると、国際比較の観点からわが国においてプロダクト・イノベーションを促進する

⁷⁾ 国際比較の詳細な分析は、西川・大橋 (2010) を参照のこと。

⁸⁾ なおスイスでは 2003～2005 年、オーストラリアとニュージーランドでは 2004～2005 年と国によって若干期間が異なる。また、ドイツは 1993 年以来、企業のイノベーション活動に関する調査を毎年実施しており、調査対象となる企業もパネル化されている。

⁹⁾ 本稿ではわが国について 1999～2001 年を対象期間とした 2003 年における第 1 階全国イノベーション調査の結果を併記して比較を行うことにしたい。

¹⁰⁾ 科学技術政策研究所が後日実施した『「イノベーション」に対する認識の日米独比較』では、特定の事例をイノベーションと認識する度合いは、アメリカ、ドイツと比較して日本が低い状況にあることが報告されている。

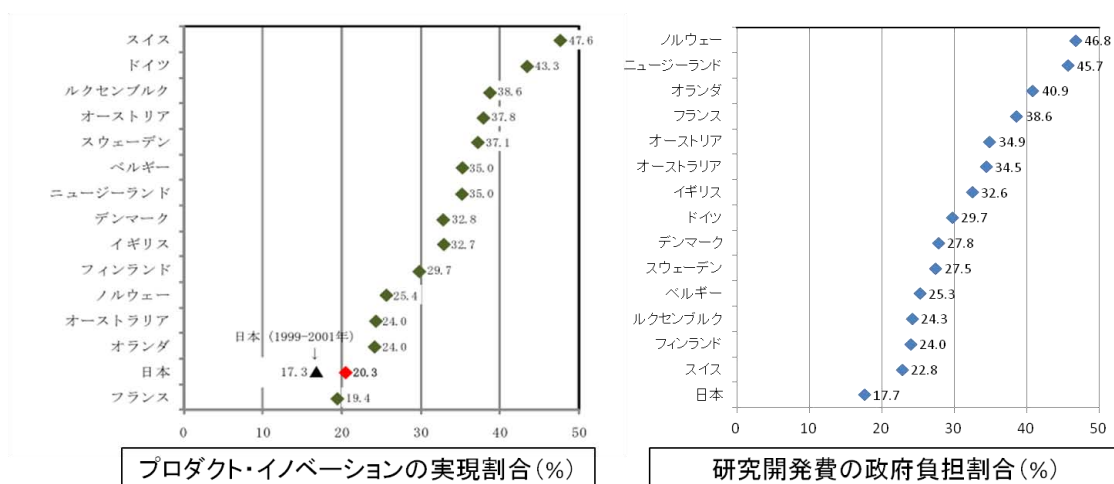
¹¹⁾ *Innovation in Firms* への参加国のうち、イタリア、チェコ、ブラジルについては図 1 に関する統計が掲載されていない。

¹²⁾ ただし、オーストラリアとスイスに関しては 2008 年実績の数値を用いている。

ような公的助成を実施する余地が大きいのではないかと予想がされうる。しかし公的介入が有効に機能するか否かは、プロダクト・イノベーションが持つ波及効果に強く依存する。プロダクト・イノベーションに正の波及効果が存在する場合、企業の私的インセンティブだけではイノベーションの実現が過少になることが知られている。プロダクト・イノベーションにおいて政策的な後押しが正当化されるためには、波及効果の存在により民間によるプロダクト・イノベーションの「供給」が「最適供給」と比較して過少であることが定量的に示される必要がある。

本章では 2.1 節にて技術的な波及効果の存在についてイノベーション調査から示唆される点を紹介する。この節では企業間における戦略的な相互関係についても言及する。2.2 節ではイノベーションに対する公的支援の現況についてイノベーション調査から観察される点をまとめ、2.3 節にて記述統計のみからイノベーションに係る波及効果を分析することの限界について指摘をする。こうした分析上の限界を克服するひとつの手法として、第 3 章以下にて構造推定手法を用いることにする。

図 1 プロダクト・イノベーションと公的助成



2.1. プロダクト・イノベーションと波及効果

民間企業が行うイノベーション活動及びその成果に波及効果が存在するか否かは、理論・実証双方の観点から経済学分野で盛んに論じられてきた。特に、イノベーションを実現した企業の技術が他企業に波及する可能性（以下「技術的波及効果」という）は、Arrow (1962) をはじめ多くの研究者によって指摘され、その経済成長に与える影響などについて定性的・定量的に多くの議論の蓄積がなされている¹³⁾。本節ではとりわけ革新性¹⁴⁾のあるプロダクト・イノベーショ

¹³⁾ 定量的分析としては、研究開発投資の社会収益率の導出を試みた一連の研究 (Griliches, 1992) が代表的なものである。

¹⁴⁾ 民間部門におけるプロダクト・イノベーションは、「イノベーションを実現した企業にとって新しい製品の投入」と「市場全体にとって新しい製品の投入」に分類することができる (OECD, 1992, 1996, 2005)。

ンに注目して、技術的波及効果の実態についてイノベーション調査の結果から得られる含意を紹介したい。なお、革新性のあるプロダクト・イノベーションを実現した企業は、プロダクト・イノベーションを実現した企業全体のうち41.7%となっている。

図2の左側はプロダクト・イノベーションを実現した企業がイノベーション活動の過程で技術をどのように他組織へ移転したかを手段別にまとめたものである。丸い(O) マーカーは革新性のあるプロダクト・イノベーションを実現した企業とその他の企業でそれぞれ技術提供割合を求め、その比をとったものである。同様に、バツ印(X)のマーカーはプロダクト・イノベーションからの売上高の大小¹⁵⁾によって、技術提供割合の比をとったものである。イノベーションからの売上高の大きいプロダクト・イノベーションについては、ライセンス契約の締結での技術提供が比較的多くなっている。他方で革新性のあるプロダクト・イノベーションに関しては、オープンソース化やコンソーシアム(共同研究組合)への参加を通じた技術提供が多くなっている。ライセンス契約の締結に関しては、技術取得企業の収益が高まることを踏まえて技術提供企業が取得企業に金銭的な対価を求めていることが考えられる。これによって、波及した技術から他企業が得る収益を、プロダクト・イノベーションを実現した企業が内部化することが可能となる。他方でオープンソース化やコンソーシアムへの参加に関しては、金銭的対価についての授受が起りにくく、他企業に波及する技術から、プロダクト・イノベーションを実現した企業が十分に恩恵を受けられない可能性がある。このように考えると、図2は革新性のあるプロダクト・イノベーションが企業に内部化されない形で技術的波及効果を生み出しているといえそうである。

図2 実現したイノベーションの技術を提供する手段

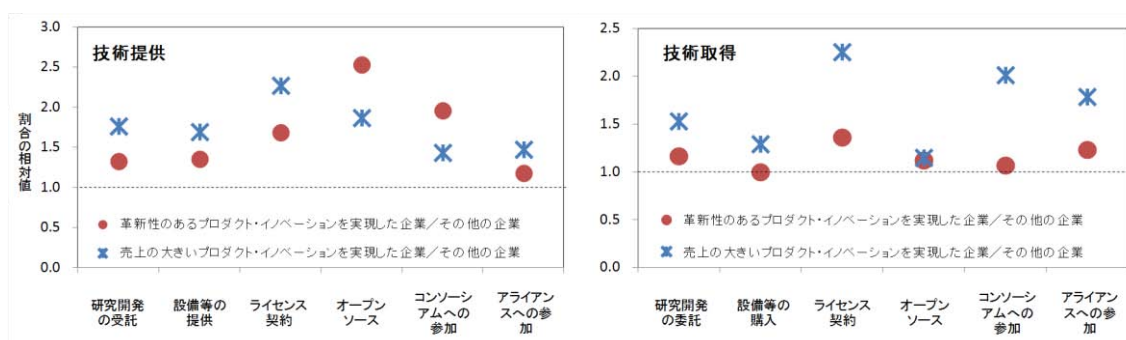


図2の右側はプロダクト・イノベーションを実現した企業が、イノベーション活動に必要な技術をいかにして取得したか、その取得方法について調査結果をまとめたものである。図の左側と同様に丸いマーカーが革新性の有無、もう一つのマーカーがイノベーションからの売上高の大小に対応している。結果を見ると、革新性に関しては技術取得の各方法と特に強い関係は見受け

本稿では先行研究 (Duguet, 2006) に倣い、後者を革新性のあるプロダクト・イノベーションと呼んでいる。

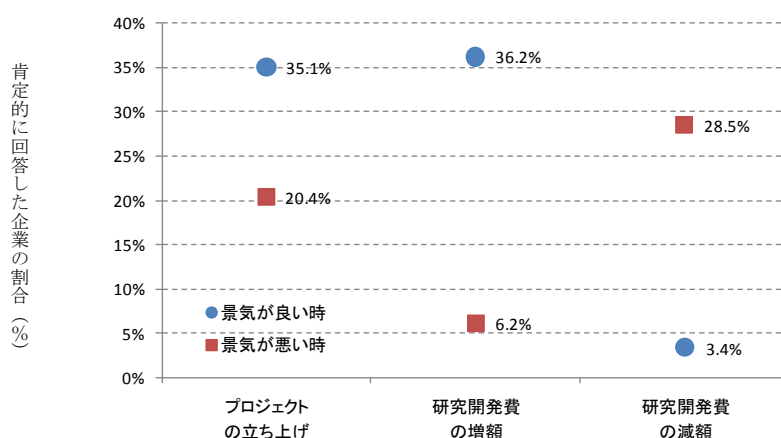
¹⁵⁾ なお中央値からの大小によって企業を分類している。

られない。他方で、イノベーションからの売上高に関してはライセンス契約の締結やコンソーシアムへの参加で大きな差が付いている。波及効果という文脈では、特にコンソーシアムへの参加がイノベーションからの売上高と関係している点が注目に値する。図 2 左側から得られる結果をあわせて考えると、革新性のあるプロダクト・イノベーションは、オープンソース化やコンソーシアムへの参加といった内部化を伴いにくい手段を通じて他企業に波及し、その波及した技術が他企業の売上高を高める方向に作用するという関係を示しているようにも見て取れる。すなわち、革新性のあるプロダクト・イノベーションについては、コンソーシアムへの参加による技術取引を通じて、正の波及効果が生じているという仮説と整合的な観察事実であると言えよう。

波及効果が存在する市場において、企業活動は戦略的な相互関係を生み出す理論的可能性があることが知られている (Vives, 2009)。本章のテーマに沿って言い換えれば、正の技術的波及効果が存在するときに、ある企業がイノベーション活動を実施するか否かは、競合他社のプロダクト・イノベーションについての実現状況に強く依存する可能性がある。

イノベーション調査からもイノベーション活動の相互依存関係を示唆するような結果が見られる。イノベーション調査では、「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合にどのように反応するか」という仮想的な状況における企業の対応を問う設問において、「イノベーションのプロジェクトを立ち上げる」、「研究開発費を増額する」、「研究開発費を減額する」という3つのイノベーション活動の選択肢を設けて、企業に回答を求めている。それぞれのイノベーション活動について、肯定的に回答した（つまり「はい」を選んだ）企業の割合を示したものが図3である。

図3 競合他社のプロダクト・イノベーションに対する回答



景気が良い時期については、3分の1以上の企業がイノベーションプロジェクトの立ち上げや研究開発費の増額を行う一方、研究開発費を減額する企業は3.4%と極めて少数になっている。この結果はアンケート調査を用いた企業の「表明選好」に基づく調査結果であることを念頭に置

いたとしても、技術的な波及効果を享受するために、競合他社のプロダクト・イノベーションに対して積極的にイノベーション活動を実施するという仮説と整合的である。なお景気が悪い時期に関しては上記で述べた様相がやや異なっている。イノベーションプロジェクトを立ち上げると回答した企業数は20.4%と少なくないが、研究開発費については減額すると回答した企業が増額すると回答した企業を大きく上回っている¹⁶⁾。

2.2. プロダクト・イノベーションと政策効果

革新性のあるプロダクト・イノベーションに正の波及効果が存在する場合、企業の私的インセンティブだけではイノベーションの実現が期待値の意味で過少になることが知られている。プロダクト・イノベーションが、社会的にみて最適に供給されるためには、波及効果の分だけ過少となりがちな民間による私的供給に対して、政策的な後押しが正当化される。しかしながら、現状の政策介入が適切に行われているか、また適切に行われていない場合にはどのような見直しがなされるべきかという点は定量的に検証すべき課題である。本節では、次章以降にて本格的な分析を行う前段階として、革新的なプロダクト・イノベーションについて現状の公的助成との統計的關係を確認する。

本稿において、公的助成とは、イノベーション活動に際して「地方あるいは地域の公共事業機関¹⁷⁾」または「中央政府¹⁸⁾」によって実施される税控除、補助金、借入保証といった公的助成を指す。また、第5章の政策効果分析においては、この公的助成の中でも特にイノベーション活動への補助金による公的助成に注目をして分析を行う。

プロダクト・イノベーションを実現した企業に対して、公的助成の受入有無別に革新性のあるプロダクト・イノベーションの実現割合をまとめたものが図4である。なお、企業間の差異を捉えるために割合は企業規模¹⁹⁾別にプロットしている。図より、中規模以上では公的助成を受けた方が革新性のあるプロダクト・イノベーションを実現した割合が高いことが分かる。つまり企業規模によっては、公的助成によって革新性を有するプロダクト・イノベーションの供給が押し上げられ、イノベーションの過小供給が多少なりとも解消されることを含意する結果となっている。他方で、小規模に属する企業については、公的助成と革新性のあるプロダクト・イノベーションの供給との間の相関関係は見取することはできない²⁰⁾。

¹⁶⁾ この結果は、景気が悪い時期においては正の波及効果が十分に働かないことを示している可能性がある。マクロの経済状況が企業活動に与える影響は、政策を議論する際にも関係する要素の一つとなると考えられる。ただし、本稿ではこの点についてこれ以上の分析は行わず、将来の課題とする。第4章での推定においては、景気が良い時期と悪い時期で得られた回答結果の平均値を推定パラメータの識別に用いている。

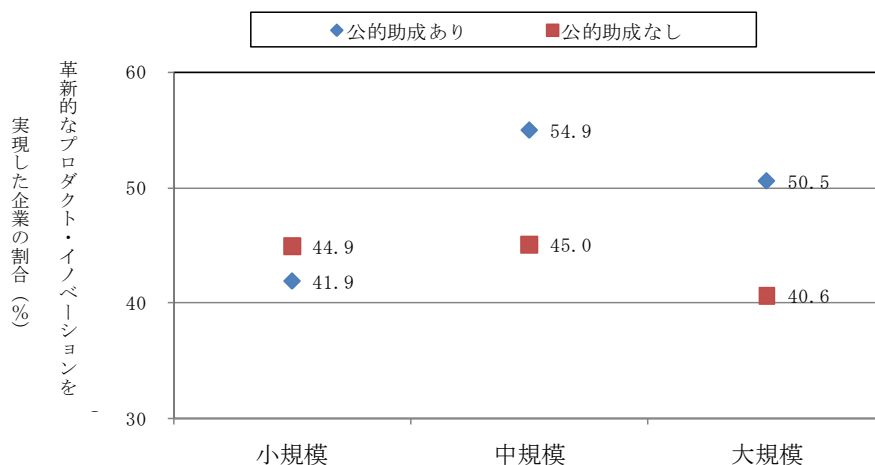
¹⁷⁾ 都道府県や市町村ならびにこれらの地方公共団体に代わって業務を行なっている機関を指す。

¹⁸⁾ 各府省庁のほか、中央政府に変わって業務を行なっている科学技術振興機構（JST）、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、中小企業基盤整備機構などの独立行政法人、特殊法人または認可法人を指す。

¹⁹⁾ 企業規模は、従業者数10人以上49人以下の小規模企業、50人以上249人以下の中規模企業、250人以上の大規模企業からなる。

²⁰⁾ 西川・五十川・大橋（2010）では、革新性のあるプロダクト・イノベーションの実現に重要な役割を果たす高等教育機関からの情報や特許情報へのアクセスが小規模企業で低調である点を確認している。資金

図 4 公的助成と革新性



2.3. 構造推定アプローチ

本章では、プロダクト・イノベーションに技術的な波及効果が存在し、補助金を通じた公的助成が中規模以上の企業のイノベーション活動を促進することと整合的な結果がデータから見て取れることを確認した。しかし、本章にて議論した結果のみに基づいて、公的助成がイノベーションを促していると結論付けることはできない。イノベーションにおける政策の因果関係を考える上では、少なくとも以下の三点が問題となる。

第一に、これまでの分析ではイノベーションの波及効果が複数の経路で生じる点が捉えられていない点が挙げられる。ここでは、技術的波及効果が存在する可能性が示唆されたものの、ある企業のイノベーションが製品市場²¹⁾で競合他社の顧客を奪うような負の波及効果 (Bloom et al., 2010) への考慮がなされていない。加えて、図 3 で確認した企業間の相互依存関係もイノベーションの波及効果に密接な関係をもたずである。補助金等を通じた公的助成が正当化されるのは、以上のような複数の経路を通じた「ネットの」波及効果が正となる場合であることから、政策効果分析においては波及効果に伴うこれらの側面を統一的に扱う必要がある。

第二に、政策効果を定量的に評価するための指標が不足している。定性的な分析を超えて定量的な議論を行うためには、何らかの比較可能な指標が欠かせないと思われる。そもそも政策効果分析を行う際には、公的助成が民間企業のイノベーション活動を促進したかどうかだけでなく、公的助成が企業価値 (つまり将来利潤を割り引いて現在価値とした企業の便益) にどのように繋がったかまでを考慮する必要がある。こうした分析を可能とするためには、イノベーションの背後にある経済的アウトカムを明らかにする必要がある。

第三に、現状のイノベーション政策を何と比較して評価するのか、という点が不十分である。

面以外の隘路が問題となっているため、公的助成が革新性のあるイノベーションに繋がっていない可能性も指摘できる。

²¹⁾ 以下では製品・サービスを総称して「製品」という。

図 4 は、公的助成を受けている企業と受けていない企業についてイノベーションのアウトカムを比較するという考え方に基づいたものである。これはプログラム評価 (program evaluation) の枠組みで行われている実証分析 (Almus and Czarnitzki, 2003, González et al., 2005 など) と共通するアプローチである。しかしながら、民間企業のイノベーションに波及効果や相互依存関係があることを踏まえると、このアプローチは必ずしも適切とはいえない。なぜなら、公的助成を直接受けていない企業も間接的にはその影響を受ける可能性があるためである。したがって、イノベーション活動への公的助成の効果を包括的に評価するためには「どの企業も公的助成を受けていない」という仮想的な状況との比較を行う必要がある。

以上の問題点を解決するために、以下では動学モデルの構造推定に基づいたアプローチをとる。次章では、イノベーション活動についての波及効果と相互依存関係を取り込んだ構造モデルを提示する。その後、第 4 章でモデルの構造パラメータを推定することによって、イノベーションの背後にある経済的アウトカムを導出する。これによって、波及効果の定量的な評価も行うことができる。最後に、第 5 章でシミュレーション分析を通じて、波及効果と企業間の相互依存関係を複合的に考慮しながら現状の公的助成のパフォーマンスについて考察する。このとき公的助成が全くないという仮想的な状況のシミュレーションを行うことによって、現状の公的助成の配分について評価するための基準を準備することができる。このような政策効果分析が行える点は、構造推定が持つ強みの 1 つであるといえるだろう。

3. プロダクト・イノベーションにおける構造推定モデル

本章では、プロダクト・イノベーションに係る企業行動を構造推定モデルにて描写する作業を行う。前章での考察から浮き彫りにされたプロダクト・イノベーションが持つ波及効果と戦略的相互依存関係をモデルに取り込み、企業の参入退出を考慮に入れたマルコフ完全均衡を構造推定モデルとして定式化する。

以下、3.1節でモデルにおけるゲームのタイミングを議論し、状態変数とその推移について概観する。また、本分析における技術的波及効果の扱いを既存研究の中に位置づける。残りの節でモデルの詳細について議論する。

3.1. モデルの概要

本稿では、Ericson and Pakes (1995) や Doraszelski and Satterthwaite (2010) を用いて、企業のイノベーション活動における波及効果と相互依存関係を捉える動学的寡占市場モデルを定式化する。

特定の製品で競争する企業の集合として「市場」を定義する²²⁾。独立的な市場 m ($m =$

²²⁾ イノベーション調査では、特定の製品 (回答企業が投入している代表的な製品) についてプロダクト・

1, \dots, M) において t 期に $n_{m,t}$ 社の既存企業が活動を行なっているとする。簡単化のため、企業は市場ごとに独立に行動するものと仮定する（以下では特に断らない限り、市場に関するサブスクリプト m を省略する）。各市場は全ての企業にとって観察可能な状態変数である s_t によって特徴づけられる。この s_t には市場における既存企業の数 n_t とイノベーションの実現状況を捉えるベクトル I_t が含まれる。ベクトル I_t は既存企業 i のイノベーション実現有無を表す二値変数 $I_{i,t}$ （イノベーションが実現すれば1、そうでなければ0の値をとる変数）から構成される。

既存企業は t 期において s_t を所与として、退出とイノベーション活動に関する意思決定を行う。最初に、既存企業は製品市場の競争を通じて利潤 $\pi_i(s_t)$ を得た上で、自らにおける公的助成の有無と清算価値を観察する。これらは私的情報であり、競合他社における公的助成付与についての有無と清算価値については情報がないものとする。企業 i への公的助成の有無は二値変数 $sub_{i,t}$ （公的助成があるときに1、ない場合は0を取る変数）で表され、清算価値は $\alpha_{i,t}$ であるとする。清算価値は t 期に企業 i が市場から退出した場合の利得であるのに対し、公的助成の有無は退出しない場合の利得に影響する。以上の情報をもとにして、各既存企業は t 期において市場に留まるか ($x_{i,t}=0$) あるいは退出するか ($x_{i,t}=1$) の意思決定を行う。

市場にとどまることを選択した場合、企業 i はイノベーションコスト $\alpha(sub_i) + \sigma(sub_i)v_{i,t}$ を観察する。イノベーションコストとはイノベーション活動を実施する際に発生する費用であり、私的情報と仮定する²³⁾。公的助成を受けている企業はイノベーション活動に要するコストの自己負担分が小さいと考えられるため、以下では公的助成の有無によってイノベーションコストが従う分布が異なると仮定する。これらの情報をもとにして、各既存企業は t 期においてイノベーション活動を行うかどうかの意思決定を行う。なおイノベーション活動の有無は二値変数 $d_{i,t}$ （イノベーション活動があるときは1、ないときは0を取る変数）で表し、イノベーション活動がプロダクト・イノベーションの実現に繋がるまで1期間かかると仮定する²⁴⁾。つまり t 期におけるイノベーション活動 $d_{i,t}$ は確率的に次期のイノベーション実現 $I_{i,t+1}$ を規定し、 $t+1$ 期の利潤に影響を与える。各企業は次期以降の利得上昇分とイノベーションコストを比較考量し、イノベーション活動の実施についての有無を決定することになる。

以上で挙げた私的情報に関する変数 ($sub_{i,t}, \alpha_{i,t}, v_{i,t}$) は、互いに独立として各期に決定される。この仮定が意味するところは、各々の企業は、過去の競合他社がとった行動から私的情報を推測しないということである。この仮定なくしては、状態変数に過去の競合他社の行動までが入ってくることから、推定を行うことが極めて困難となる。公的助成の有無 $sub_{i,t}$ については、その助成を付与する確率が観察可能な状態変数 $s_{i,t} \equiv (n, I_{i,t})$ に依存すると仮定し、公的助成の有無を内生化している²⁵⁾。

イノベーションに関する質問を行なっている。したがって、ここでの市場の定義は本稿で用いるデータと整合的である。

²³⁾ イノベーションコストに関して、こうした定式化を行った最近の研究としては例えば Hashmi and Biesebroek (2010) が挙げられる。

²⁴⁾ 以下ではモデル上での1期を3年と仮定する。藤本・安本(1998) はわが国における製品の開発から市場投入までの平均期間を41.03ヶ月と推定している。

²⁵⁾ 公的助成の対象が決定される際には、その他の企業属性も関与する可能性がある。この点が本稿の推定

潜在的な参入企業については、以下のように明示的な形でモデルに取り込むこととする。潜在的な参入企業は同質的であり、每期確率的に変動する参入コスト C_t を負担して市場に参入する。各潜在的参入企業は参入後に得られる期待利得と参入コストを比較して、次の期に既存企業になるかどうかを判断する。 t 期において実際に参入する企業の数 e_t を表し、参入時点において企業はイノベーション活動を行わないこととする。

市場における全ての既存企業と潜在的参入企業は、他企業の意思決定を観察することなく意思決定を行う。以上をまとめると、 t 期におけるゲームのタイミングは以下のようになる。

〈 t 期におけるゲームのタイミング〉

1. 各既存企業は利潤 $\pi_i(s_t)$ を得る。
2. 各既存企業は私的情報である公的助成の有無 $sub_{i,t}$ と清算価値 $\alpha_{t,i,t}$ を観察し、市場から退出するか否かを決定する。退出した場合には清算価値を受け取る。
3. 退出しなかった既存企業は私的情報であるイノベーションコスト $C(sub) + \alpha_t(sub) v_{i,t}$ を観察し、イノベーション活動を行うかどうかを決定する。イノベーション活動を実施した場合にはイノベーションコストを負担する。
4. 潜在的参入企業が参入コスト C_t を観察し、市場に参入するか否かを決定する。
5. 参入を決定した企業が参入する。また、 $t+1$ 期の各企業のイノベーション実現有無が決定される。既存企業については t 期のイノベーション活動に応じて確率的に決定される一方で、 t 期に新しく参入した企業 j については $I_{j,t+1} = 0$ となる。

3.1.1. 本分析におけるイノベーション活動とプロダクト・イノベーション

本分析においては、イノベーション活動の実施 $d_{i,t}$ とプロダクト・イノベーションの実現 $I_{i,t}$ を区別している。イノベーション活動は企業の意思決定であり、プロダクト・イノベーションはイノベーション活動の結果、確率的に実現する状態である。イノベーション活動の実施からプロダクト・イノベーションの実現にはラグがあると考えられるため、本分析では、同一期間（調査対象期間）におけるイノベーション活動とプロダクト・イノベーションに直接の対応はない（つまり観察されるイノベーション活動は、調査期間内のプロダクト・イノベーションではなく、将来のプロダクト・イノベーションの実現を目的とする）ものとして扱っている²⁶⁾。

モデルにおいて、イノベーション活動の実施とプロダクト・イノベーションの関係は、二つの要素に分けて記述することができる。一つは、プロダクト・イノベーションを実現した企業が（追加的に）イノベーション活動を実施するか否か、という点である。本分析では、プロダクト・イノベーションの実現有無を状態変数として扱うので、均衡において企業の政策関数はプロダク

結果に関与するかどうか確認するために、サンプルを企業属性（規模、年齢）で区切った追加的な推定を行った。推定結果は本稿で紹介しているメインの結果と質的に同じであった。

²⁶⁾ イノベーション調査上でも、イノベーション活動の実施とプロダクト・イノベーションの実現に関してはそれぞれ別の節で訊く設計になっている。

ト・イノベーションの実現有無(を含む状態変数)から企業的意思決定へのマッピングとなる(この点については3.4節で議論する)。したがって、企業的意思決定の面から、イノベーション活動の実施とプロダクト・イノベーションの実現は密接に関係している。推定においては、観測される当該企業のプロダクト・イノベーションとイノベーション活動の関係を捉えることで政策関数を導出する(4.1.2項(1)で議論する)。

もう一つの要素は、イノベーション活動を実施した企業が(将来)プロダクト・イノベーションを実現できるか否かという点、すなわちイノベーションの実現確率である。イノベーション活動を実施した企業の全てがプロダクト・イノベーションを実現するとは考えられないため²⁷⁾、イノベーションの実現確率は動学環境における状態変数の推移を規定するものとして重要な役割を果たす。本分析では調査対象期間におけるイノベーション活動とプロダクト・イノベーションに直接の対応はないと考えているため、イノベーションの実現確率を推定する際には、当該期間のイノベーション活動と「将来の」プロダクト・イノベーションの関係を捉える必要がある。この点は4.1.2項(2)で議論する。

導出された政策関数やイノベーションの実現確率は、公的助成に関するシミュレーション分析を行う際にも利用する(第5章)。また本稿では、イノベーション活動にはプロセス・イノベーションを対象としたものも含むものとして定義しているが、イノベーション調査から「プロダクト・イノベーションを対象としたイノベーション活動」だけを識別することも可能であるが、この点について分析を行なっても本稿の結論は頑健である点を確認している。

3.1.2. 本分析における技術的波及効果

本モデルにおいては、技術的波及効果を「競合他社が実現したイノベーション(イノベーション活動の成果)」が「当該企業の(製品市場での競争の結果得られる)利潤を上昇させる」ものとして定式化する。この定式化が先行研究の中にどのように位置づけられるのかについてまとめておく。

イノベーションに付随する技術的波及効果は、研究開発投資からの波及効果という側面から多くの研究者によって定量的評価が試みられてきた。しかしながら、先行研究では、推定モデルの定式化において必ずしも一致したアプローチが取られていない。技術的波及効果の定式化は、波及元(何が波及効果を生み出すのか)と波及先(波及した技術がどのように影響するのか)との2つの視点に分けて整理することができる。

波及元からの視点については、先行研究の多くが(過去の)研究開発投資の成果から波及が生じるという形で定式化を行なっている。他企業の知識(knowledge)の和²⁸⁾が当該企業に恩恵を与えるという考え方であり、典型的に研究開発ストック(過去の研究開発投資を足しあわせた

²⁷⁾ イノベーション調査の結果からは、無視できない割合(13.1%程度)の企業が途中で中止したイノベーション活動があると回答している。また、多くの先行研究(Xu, 2006 など)において、研究開発費の成果が確率的に定まるという形で定式化が行われているが、本稿での扱いはそれと対応するものである。

²⁸⁾ 和を取る際には、当該企業と他企業各社の近接性に応じて、他社の研究開発ストックに重み付けするアプローチが一般的である。本稿のアプローチは、同一市場で競合する企業について重みを1、その他の企業について重みを0にすることと対応している。

もの) が知識の指標として用いられる。研究開発投資というイノベーション活動の成果から波及効果が生じているという意味で、「競合他社が実現したイノベーション」に着目する本分析は先行研究と共通している。

他方で、波及先からの視点に関しては二つの異なる定式化を挙げることができる。一つは、研究開発投資の社会的収益率を推定しようとする流れ (Griliches, 1992) に属するものである。これらの分析は、他企業の知識が当該企業の生産性を上昇させるという経路に着目している。もう一つの流れは、他企業の知識が当該企業の知識生産 (knowledge production) に影響を与えるという考え方である。近年の動学モデルに基づく分析 (Xu, 2006 など) や二段階モデルに基づく推定 (Bloom et al., 2010) では、他企業の知識が当該企業の知識の蓄積を促進するという形で技術的波及効果が捉えられている。このとき波及効果による恩恵は直接の利潤上昇から生じるのではなく、知識の蓄積を通じた将来の便益向上から生じる。

波及効果によって「当該企業の利潤が上昇する」とする本モデルは、生産性を直接扱うものではないが、生産性の改善が利潤の上昇に結びつくと考えていることから、波及先からの視点でみたときの前者の流れの中に位置づけることができるように思われる。将来的な便益の向上を正確に捉えることができないという問題はあるため、本分析では1期間を3年として比較的長期のスパンで分析を行っている。

3.2. 既存企業の意思決定

3.2.1. 利潤関数の定式化

3.1節で述べたように、既存企業は各期利潤 $\pi_i(s_t)$ を得る。ここでは、この利潤関数をクールノー競争の均衡利潤として定式化する²⁹⁾。プロダクト・イノベーションによって企業が供給する製品の品質が上昇すると考え、垂直的差別化を含む数量競争モデルを想定している。これにより、正の波及効果と負の波及効果を自然な形でモデルに組み入れることが可能になる。以下、本項では簡略化のため、下付きの t を省略する。

特定の市場において、企業 i にとっての逆需要関数を自身のプロダクト・イノベーション (I_i) とプロダクト・イノベーションを実現した競合他社数 ($I_{-i} \equiv \sum_{j \neq i} I_j$) に依存する形で、次のように定式化される。

$$p_i = A(I_i, I_{-i}) - \alpha \sum_j q_j, \quad (1)$$

$$\text{ただし、} A(I_i, I_{-i}) = A_0 + A_1 I_i + A_2 I_{-i}$$

なお A_0 は逆需要関数の定数項であり、 A_1 は企業 i のプロダクト・イノベーション (による品質上昇) が需要に与える影響、 A_2 は競合他社のプロダクト・イノベーションが需要に与える影響を捉えている。また、 α は数量が価格に与える影響を捉えるパラメータである。

²⁹⁾ ここで定式化した利潤関数は Finger (2008) と同じ性質を有する。

(1) 式において、正の波及効果は A_2 で捉えられている。技術的波及効果によって、他社のイノベーションから恩恵を受けている場合、 A_2 は正に推定されると予想できる。他方で、クールノー競争においては競合他社の生産量増加は自らの利潤減少を導く方向に作用する。競合他社がイノベーションを実現した場合、 A_1 を通じて競合他社の逆需要関数は上方にシフトすると考えられる。この時、競合他社は生産量を増やし、当該企業の利潤は負の影響（負の波及効果）を受ける。したがって、本モデルの定式化は二種類の波及効果を同時に捉えていることになる。

製品の生産費用に関しては規模に関する収穫一定を仮定し、次のように定式化する。

$$c(I_i) = c_0 + c_1 I_i$$

なお上述の通り I_i は二値変数であるので、この関数型は追加的な制約が課されていないことが分かる。 c_1 はプロダクト・イノベーションの実現による生産費用の変化を捉える。

以上のもとで、クールノー競争の均衡を計算すると、均衡における企業 i の生産量は次のようになる³⁰⁾。

$$q_i(s_i) = \alpha^1 (n+1)^{-1} \{A_0 c_0 + (A_1 - c_1)(n I_i - I_i) + A_2 \Delta 2 I_i (n-1) I_i\}.$$

さらに、均衡利潤は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \pi_i(s_i) &= \alpha^1 (n+1)^{-2} \{A_0 c_0 + (A_1 - c_1)(n I_i - I_i) + A_2 \Delta 2 I_i (n-1) I_i\}^2 \\ &= (n+1)^{-2} \{\tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 (n I_i - I_i) + \tilde{A}_2 \Delta 2 I_i (n-1) I_i\}^2 \equiv \pi(n, I_i, I_i | \theta_n), \end{aligned}$$

ただし、 $\tilde{A}_0 \equiv \alpha^{1/2} (A_0 c_0)$ 、 $\tilde{A}_1 \equiv \alpha^{1/2} (A_1 - c_1)$ 、 $\tilde{A}_2 \equiv \alpha^{1/2} A_2$ かつ $\theta_n \equiv (\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2)$ 。

モデルに基づいた推定を行う際には、 $(A_0, A_1, A_2, \alpha, c_0, c_1)$ を全て個々に識別することができない。そのためプロダクト・イノベーションの経済的インパクトを捉える上での「十分統計量」である θ_n を推定パラメータとする。 \tilde{A}_1 は自社のプロダクト・イノベーションによる価格の変化と費用の変化の差を表しており、プロダクト・イノベーションによるマークアップ率の変化と解釈できる。 \tilde{A}_2 は競合他社のプロダクト・イノベーションによる需要への影響であり、イノベーションの正の波及効果を捉えるパラメータとなっている。全てのパラメータは需要の価格弾力性に関するパラメータ α で基準化されている。

3.2.2. イノベーション活動とプロダクト・イノベーション

イノベーション活動 $d_{i,t}$ は次期のプロダクト・イノベーション $I_{i,t+1}$ に影響を与える。具体的には、企業 i が t 期にイノベーション活動を実施した場合に限り、 $I_{i,t+1}$ は確率的に1をとる。

$$\Pr(I_{i,t+1} = 1 | d_{i,t}) = d_{i,t} * \Pr(I_{i,t+1} = 1 | d_{i,t} = 1). \quad (2)$$

³⁰⁾ 対称的な均衡を仮定する。また、本項では簡略化のため、内点解のみを記述する。実際の推定・シミュレーションにおいては端点解も考慮する。

3.2.3. 価値関数

以上の議論を踏まえると、退出しない場合の既存企業にとって期待価値は、 $(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, sub_{i,t})$ を所与として次のように書ける。

$$V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, sub_{i,t}) = E_v[\max_{d_i,t \in \{0,1\}} -d_{i,t}*(C(sub_{i,t}) + \sigma_v(sub_{i,t})v_{i,t}) + \beta E[V(n_{t+1}, I_{i,t+1}, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, d_{i,t}]] \quad (3)$$

ただし、 $E_v[\cdot]$ はイノベーションコストを規定するショック項 $v_{i,t}$ に関して期待値をとっている。 $C(sub_{i,t})$ はイノベーションコストの位置パラメータ、 $\sigma_v(sub_{i,t})$ は尺度パラメータに対応し、共に公的助成の有無によって異なる。計算上の制約によって、 $v_{i,t}$ は標準ロジスティック分布に従うこととする。なお、各企業は将来の利得は共通の割引率 β で割り引かれることになる³¹⁾。

t 期の期首における既存企業の期待価値を $V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, sub_{i,t})$ で表す。各期、既存企業は利潤を得ると共に退出を行うかどうかの意思決定を行うので、その期待価値は次のように書ける。

$$V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, sub_{i,t}) = n(n, I_i, I_{-i} | \theta_n) + E_\epsilon[\max_{\chi_{i,t} \in \{0,1\}} (1 - \chi_{i,t}) * V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, sub_{i,t}) + \chi_{i,t} * \alpha_\epsilon \epsilon_{i,t}] \quad (4)$$

ただし、 $E_\epsilon[\cdot]$ は清算価値を規定するショック項 $\epsilon_{i,t}$ に関して期待値をとっている。 α_ϵ は清算価値の尺度パラメータに対応している。計算上の制約によって、 $\epsilon_{i,t}$ は標準ロジスティック分布に従うこととする。この仮定は清算価値の平均をゼロに基準化することを示唆している。基準化は各パラメータの位置をデータから識別するために必要な措置である。

3.3. 潜在的参入企業の意思決定

各市場において、事前的に同質な潜在的参入企業が可算無限に存在すると仮定する。每期確率的に決定される参入コストを所与として、各潜在的参入企業は参入するか否かの意思決定を每期行う。ただし、潜在的な参入企業が得ることができる市場の情報は n_t のみと仮定する³²⁾。潜在的参入企業は参入時点においてイノベーション活動を行わないため、参入を決定した企業は次期に $I_{i,t+1} = 0$ の既存企業となる。よって、実際に参入した企業数を e_t とすると、 t 期に参入することによる期待価値は $\beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}) | n_t, e_t]$ と書ける。潜在的参入企業はこの期待価値が参入コストを上回っている限り市場に参入する。このとき次の自由参入条件が成立する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = e+1] < C^{e_t} \\ < \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = e], \quad (e_t > 0 \text{ の場合}) \\ \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = 1] < C^{e_t}. \quad (e_t = 0 \text{ の場合}) \end{array} \right. \quad (5)$$

³¹⁾ 推定においては $\beta = 0.95$ に設定した。

³²⁾ この仮定は参入コストを規定するパラメータを識別するために必要なものだが、既存企業と潜在的参入企業間の情報非対称性を表しているとの解釈もできる。

C_{e_t} は每期独立に特定の確率分布に基づいて決定される。なお本稿では、 C_{e_t} が正規分布 $\mathcal{N}(\mu_e, \sigma_e)$ に従うと仮定する。

3.4. 均衡

Maskin and Tirole (1988, 2001) に従い、モデルの均衡としてマルコフ完全ナッシュ均衡（以下「MPNE」という）を想定する。マルコフ性の仮定によって曆上の時期を捨象して議論を行うことが可能となるため、以下では必要のない限り時期のサブスクリプト t を省略する。また、本稿では分析対象を純粋戦略均衡のみに限定する。なお Doraszelski and Satterthwaite (2010) では本モデルと似た動学的寡占市場モデルにおいて、純粋戦略均衡が存在することを示している。さらに、本分析では全ての市場で共通の均衡が実現すると仮定する。

MPNE は既存企業の政策関数 $\tilde{A} \equiv \{\tilde{A}_x, \tilde{A}_d\}$ と (5) 式の自由参入条件で特徴付けられる。既存企業の政策関数は状態変数から意思決定へのマッピングで表現される。

$$\tilde{A}_x: (n, I_i, I_{-i}, sub_i, \varepsilon_i) \rightarrow \chi_i, \tilde{A}_d: (n, I_i, I_{-i}, sub_i, \varepsilon_i, v_i) \rightarrow d_i. \quad (6)$$

3.4.1. 政策関数への制約

データ上の制約により、既存企業の政策関数に対して関数型を制約する必要がある。推定に用いるデータは競合他社のイノベーション実現に関して二値の情報しか有していないため、イノベーションを実現している競合他社数 (I_{-i}) に応じて二値変数を割り当てる必要がある。ここでは I_{-i} が閾値 $\tilde{I}(n)$ を超えた場合に 1 をとる指示関数 $\Delta(n, I_{-i})$ を定義する。

$$\Delta(n, I_{-i}) = \begin{cases} 1, & (I_{-i} \geq \tilde{I}(n) \text{ の場合}) \\ 0, & (I_{-i} < \tilde{I}(n) \text{ の場合}) \end{cases} \quad (7)$$

ベースラインとして、閾値は次のように設定する³³⁾。

$$\tilde{I}(n) = F^{1\text{bino}}(1-p; n-1, p), \quad (8)$$

ただし、 $p = \Pr(I_j = 1 | n)$ であり、 $F^{1\text{bino}}(x; n-1, p)$ は $(n-1, p)$ をパラメータとする二項分布に対応した累積確率密度の逆関数である。この設定のもとで $\Pr(\Delta(n, I_{-i}) = 1 | n) = \Pr(I_j = 1 | n)$ が成立する。これは $\Delta(n, I_{-i}) = 1$ の確率と競合他社がイノベーションを実現する確率とが等しいことを意味する。

I_{-i} は $\Delta(n, I_{-i})$ を通じてのみ企業の意思決定に関与すると仮定するとき、(6) 式の政策関数は以下の $A \equiv \{A_x, A_d\}$ で書き直せる。

³³⁾ より単純な閾値である $(n-1)/2$ を用いた推定も試みたが、基本的な推定結果は殆ど変化しなかった。

$$A_X : (n, I_i, \Delta(n, I_i), \text{sub}_i, \varepsilon_i) \rightarrow X_i, A_d : (n, I_i, \Delta(n, I_i), \text{sub}_i, \varepsilon_i, v_i) \rightarrow d_i. \quad (9)$$

4. 構造推定と推定結果

本章では、第3章で紹介した動学モデルを規定するパラメータの推定結果を紹介する。本稿の分析におけるデータソースは主に第2章で紹介したイノベーション調査である。製品を国内のみに出荷する企業と国外にも出荷する企業とでは直面する競争環境が異なる可能性がある³⁴⁾ことから、本研究では推定に用いるサンプルを国内のみに製品を出荷する企業に絞ることとする。このような扱いは、企業の輸出ステータス（国外市場に製品を供給するか否か）が時期と共に変動する場合には問題となるが、先行研究（例えば、Kasahara and Lapham, 2008）では輸出ステータスが持続的であることが指摘されている。データクリーニングの結果、基本となるサンプル数は1,418となった³⁵⁾。

推定の対象となるのは、イノベーションコストの分布を規定するパラメータ $\theta_{IC} \equiv (C(\cdot), \alpha(\cdot))$ 、既存企業に関する他のパラメータ $\theta \equiv (\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \alpha_e)$ 、参入コストの分布を規定するパラメータ $\theta_e \equiv (\mu_e, \sigma_e)$ の三種類からなる。以下、4.1節でパラメータの推定手法について記述した上で、4.2節でモデルの当てはまり、4.3節において推定結果について報告する。

4.1. 推定手法

本分析では複数の手法を組み合わせることで構造パラメータを推定する。具体的には、次のような三段階のアプローチを取る³⁶⁾。

- ① イノベーションコストの分布を規定するパラメータ (θ_{IC}) をトービットモデルに基づいて推定する³⁷⁾。
- ② 既存企業に関する他のパラメータ (θ) をBajari, Benkard and Levin (2007) の手法を用いて推定する。
- ③ 参入コストの分布を規定するパラメータ (θ_e) をBerry and Waldfogel (1999) と同様の最尤法で推定する。

以下、それぞれの推定について手法を詳述する。

³⁴⁾ 国外にも製品を供給する企業とそうでない企業が様々な面で異質である点は、特に貿易論の文脈で、理論と実証の両面から広く指摘されている。例えば、Melitz (2003) は、生産性の高い企業に限り国外に製品を供給することと整合的な理論モデルを構築している。

³⁵⁾ イノベーション調査に含まれる4,579社の中から国内市場のみで競争を行なっている企業を抽出した結果、2,235社となった。さらにモデルの変数を捉えるデータに欠損がある企業を除くことで、1,418社からなるサンプルを得た。

³⁶⁾ 標準偏差はブートストラップ法によって導出する。本稿ではブートストラップの回数を50に設定した。

³⁷⁾ Bajari, Benkard and Levin (2007) の手法で θ と共に推定しないのはパラメータの位置と尺度を基準化するためである。本稿のモデルは企業の行動に関して離散選択しか含んでいないため、推定に際しては構造パラメータの位置と尺度を基準化する必要がある。

4.1.1. イノベーションコストの分布を規定するパラメータの推定

イノベーションコストを研究開発費で近似し、その観測値からイノベーションの分布を規定するパラメータを推定する。科学技術研究調査（総務省統計局）には公的機関からの受入研究費が得られることから、イノベーション調査と科学技術研究調査（総務省統計局）を接合して、研究開発費から公的機関からの受入研究費を除くことで研究開発費の自己負担分、すなわちイノベーションコストの代理指標とした³⁸⁾。

またこの手法にはイノベーション活動を実施した企業のみしかイノベーションコストを観察できないという切断（truncation）の問題がある。イノベーションコストが低いほどイノベーション活動は行われやすいと推測できるため、単純にイノベーションコストの観測値から分布を推定すると下方バイアスが生じる。これに対処するため、ここではトービットモデル（の類型）に基づいて最尤法でパラメータを推定する。

具体的には、 c_i を観測されるイノベーションコストとして以下のモデルを想定する。

$$c_i^* \sim \text{Logistic}(C(\text{sub}), \alpha_i(\text{sub})), \quad (10)$$

$$c_i = \begin{cases} c_i^*, & (B(s_i) - c_i^* > 0, \text{すなわち } d_i = 1 \text{ の場合}) \\ 0, & (B(s_i) - c_i^* < 0, \text{すなわち } d_i = 0 \text{ の場合}) \end{cases}$$

ただし、 $B(\cdot)$ はイノベーション活動を実施した場合に追加的に得られる便益を近似したものである。上式は便益がロジスティック分布に従うイノベーションコストを上回る場合に限り、企業がイノベーション活動を実施し、イノベーションコストが発生することを示している。これは第3章のモデルと整合性を持っている。

(10)式は第二種のトービットモデルの分布をロジスティック分布に変更したものと見なせるので、最尤法を用いてイノベーションコストの分布パラメータ (θ_{ic}) を推定することができる。ここでは、 $B(s) = b_0 + b_{1n} + b_{2I}$ と定式化した上で、イノベーションコストが公的助成の有無によって異なる値になることを許容して推定を行う。 s_i は3.1節で定義した変数であり、市場内の企業数とプロダクト・イノベーションの実現に関する情報を含む。したがって、(10)式は構造モデルと同じ形で公的支援の内生化を試みている。

表1が推定結果である。公的助成を受けた企業のほうが負担するイノベーションコストが小さく、またばらつきも小さくなる傾向が見て取れる。ばらつきの小ささはイノベーション活動にかかる総費用が大きいほど公的助成による補助金額も大きくなるという関係を反映している³⁹⁾。

³⁸⁾ 具体的には、まずイノベーション調査と2007年度実績の科学技術研究調査を突合したデータセットを作成する。なお2007年度はイノベーション調査の調査期間の中間に当たる。公的機関からの受入研究費を2007年度の研究開発支出から差し引いた後、モデル上の一期間（3年間に相当）と合わせるために3倍し、イノベーションコストの観測値として用いた。

³⁹⁾ 科学技術研究調査の結果においても、企業の研究開発費と公的機関からの受入研究費が正に相関するという関係が見られている。

表1 イノベーションコストの分布を規定するパラメータ（百万円）

	公的助成なし	公的助成あり
$\alpha(\cdot)$	2313.70	2271.06
$\alpha_s(\cdot)$	3949.16	2419.90
観測数	92	21

4.1.2. 既存企業に関する他パラメータの推定

既存企業に関するパラメータ θ を Bajari, Benkard and Levin (2007) の手法で推定する。この手法は前方シミュレーション (forward simulation) による企業価値の評価を軸としたものであり、二段階に分けられる。第一段階では、データ上観察される既存企業の行動と状態変数を対応させることによって、退出とイノベーション活動に関する政策関数を導出する。また、データ上観察される状態変数を用いて、状態変数の推移確率についてもこの段階で推定する。第二段階では、第一段階で推定された政策関数が最適となるように θ を推定する。MPNEの仮定のもとでは、企業は観察される政策関数から乖離した意思決定を行なっても企業価値を高めることはできないはずである。この条件を利用して、推定のための目的関数を定義する。また、企業価値を評価する際に前方シミュレーションの手法を用いる。

以下、(1) 政策関数の導出、(2) 状態変数推移の導出、(3) 前方シミュレーションによる企業価値の評価、(4) θ の推定、について順に解説する。

(1) 政策関数の導出

第3章のモデルにおいて、既存企業は每期、退出とイノベーション活動に関する意思決定を行う。MPNEの下で、観察できる状態変数を所与として各企業は最適な意思決定を行う。その政策関数は状態変数から行動へのマッピング ((9)式) で表現される。

既存企業は、存続による期待価値を清算価値が上回った場合にのみ退出することから、その政策関数 A_x は次のように書くことができる。

$$A_x(n, I_i, \Delta(n, I_i), sub_i, \varepsilon_i) = 1\{\sigma_\varepsilon \varepsilon_i > V^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i)\}. \quad (11)$$

一方、存続する企業がイノベーション活動を行うのは、イノベーション活動を行った場合の存続価値が、イノベーション活動を行わなかった場合の存続価値を上回る場合である。イノベーション活動を行った場合の存続価値（但しショック項を除く）を $V_1^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i)$ 、行わなかった場合を $V_0^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i)$ とすると、政策関数 A_d は次のように書ける。

$$\begin{aligned} & A_d(n, I_i, \Delta(n, I_i), sub_i, \varepsilon_i, v_i) \\ &= 1\{\sigma_\varepsilon \varepsilon_i < V^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i)\} * 1\{V_1^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i) + \sigma_v v_i > V_0^\alpha(n, I_i, I_i, sub_i)\}. \end{aligned} \quad (12)$$

(11)式と(12)式で問題となるのは、政策関数の中に価値関数が含まれる点であり、この場合には前方シミュレーションに用いることができない。しかし、Hotz and Miller (1993) で議論されているように、これらの政策関数は条件付選択確率を使って書き換えられることが知られている。 ε_i と v_i とがともに標準ロジスティック分布に従うという仮定の下で、(11)式と(12)式は条件付退出確率 $\Pr(\chi_i=1 | n, I_i, \Delta(n, I_i), sub_i)$ と条件付イノベーション活動確率 $\Pr(d_i=1 | n, I_i, \Delta(n, I_i), sub_i)$ として表現し直すことができる。したがって、データから条件付選択確率を直接推定すれば、そこから政策関数を容易に導出できる。条件付選択確率を推定するには、企業の意思決定に関する変数⁴⁰⁾ (χ_i, d_i) と状態変数 (n, I_i, sub_i) の観測値を対応させればよい。

イノベーション調査には競合他社のイノベーションに関する観測値 ($\Delta(n, I_i)$) は含まれていないが、2.1節で紹介した仮想的状況に関する質問項目 (図3) を用いることで、競合他社のイノベーションで条件付けた選択確率 (競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合及び実現しなかった場合のそれぞれについての退出確率とイノベーション活動実施確率) を推定することができる。具体的には、「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合にどのように反応するか」という点に関する設問を利用することで、「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合に退出する確率」と「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合にイノベーション活動を実施する確率」をデータから直接導出できる⁴¹⁾。これによって、競合他社のイノベーションが各企業の意思決定にどのような影響を与えるのかを識別することが可能となる。このようなアプローチは、観測値を対応させて条件付選択確率を推定する方法と対照的である。観測値を対応させる手法は、「競合他社がイノベーションを実現した企業群」と「競合他社がイノベーションを実現していない企業群」のそれぞれについて企業の意思決定を集計することで、競合他社のイノベーションで条件付けた選択確率を推定するものである。しかしながら、このような手法では、産業特性による見せかけの相関が深刻な問題となる。例えば、競合他社がイノベーションを実現している企業群でイノベーション活動を実施した企業の割合が高かったとしても、それはその企業がイノベーションの盛んな産業に属していただけではないか、との懸念が存在する。これに対して、本稿のアプローチでは (企業群として集計するのではなく) 個別企業のレベルで競合他社のイノベーションによる影響を捉えているため、産業特性による見せかけの相関による問題を回避できる。

⁴⁰⁾ 退出の有無に関してはイノベーション調査からは直接情報が得られないので、企業活動基本調査 (経済産業省) を利用している。企業活動基本調査は毎年行われており、永久企業番号を利用することで簡単にパネルデータ化できることが知られている (松浦・清田, 2004)。具体的にはイノベーション調査と2009年に行われた企業活動基本調査を接合した上で、2010年の企業活動基本調査を繋ぎ合わせてパネルデータを作成した。これを用いて、2009年から2010年にかけて調査企業がサンプルから抜け落ちているかどうかを確認することで、1年当りの退出確率を導出し、合わせて3年当り (モデル上の1期当り) の退出確率を推定した。

⁴¹⁾ 「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合に、市場から撤退したかどうか」という質問項目の回答から条件付退出確率、「競合他社がプロダクト・イノベーションを実現した場合に、イノベーションのプロジェクトを立ち上げたかどうか」という質問項目の回答から条件付イノベーション活動実施確率をそれぞれ推定する。なお、この推定値を用いて、競合他社がプロダクト・イノベーションを実現して「いない」場合の条件付選択確率も導出することができる。

また、公的助成と企業の意思決定の関係に関しても、見せかけの相関による問題が存在しうる。特に、データからは公的助成を受けている企業の方がイノベーション活動を実施しやすいという関係が見られるが、これだけでは公的助成がイノベーション活動を促進しているのではなく、イノベーション活動を実施しやすい企業が公的助成を受けているだけではないか、との懸念を否定することができない。この問題の背後には、公的助成を受けている企業群と受けていない企業群では企業の属性がそもそも異なるのではないか、との批判がある。この点に関して、本分析では企業の属性をコントロールした上でも、公的助成を受給した企業群についてイノベーション活動の実施割合が高くなることを示すことで、これを（単なる相関関係ではない）因果関係であることを示そうと試みている。具体的には、分析モデルに含まれる状態変数（市場内の企業数、イノベーションの実現状況）によってコントロールを行なっている⁴²⁾。これは、広く用いられているマッチング法と同様の考え方に則った手法でもある。

(2) 状態変数推移の導出

前方シミュレーションを実施するために、状態変数の推移を推定しておく必要がある。ショック項を除き、企業数 (n)、プロダクト・イノベーションの実現 (I)、公的助成の有無 (sub_i) の時系列的な変化がここでの関心となる。

市場内の既存企業数 (n) は既存企業の退出と潜在的参入者の参入によって変化 (transition) する。企業数の変動に関する情報はイノベーション調査に含まれていることから、企業数についての変化確率をデータから直接推定することができる。また、企業数の変動と退出に関する意思決定 (政策関数) を合わせて考えると、その差から参入企業数 (の分布) も定まる。

プロダクト・イノベーションの実現 (I) に関しては、そのイノベーション活動を実施すると、その次の期にプロダクト・イノベーションが実現する確率 $\Pr(I_{i,t+1}=1 | d_{i,t}=1)$ を推定できれば良い。イノベーション調査にはイノベーション活動の実施とイノベーションの実現についてクロスセクションの情報 ($I_{i,t}$, $d_{i,t}$) しか含まれていないことから、以下では I の分布に定常性を仮定することで次の関係式から実現確率を導出する。

$$\begin{aligned} & \Pr(I_{i,t+1}=1 | d_{i,t}=1) \\ &= \Pr(I_{i,t+1}=1 \text{ and } d_{i,t}=1) / \Pr(d_{i,t}=1) = \Pr(I_{i,t+1}=1) / \Pr(d_{i,t}=1) = \Pr(I_{i,t}=1) / \Pr(d_{i,t}=1). \end{aligned}$$

最後に、公的助成を受ける確率を推定する。ここでは、公的機関による支援先の選定を近似するために、公的助成を受ける確率が企業の状態変数 $s_i = (n, I)$ に依存するとした。公的助成の有無 (sub_i) と状態変数 (s_i) の関係を見ることで、公的助成の受給確率をデータから直接推定することができる。

(3) 前方シミュレーションによる企業価値の評価

⁴²⁾ その他の企業属性 (規模、年齢、産業) でさらにコントロールを行なっても、質的な関係は変化しない。

導出した政策関数と状態変数推移を用いて前方シミュレーションを行い、企業価値を評価する。シミュレーションにおける手続きは以下のとおりである。

- ① 初期状態の設定：企業*i*の初期状態 (n, I_i, I_i, sub_i) を設定する。市場内には $(n-1)$ 社の競合他社が存在するため、これらについても公的助成の受給確率 sub_i の推定値に従ってランダムに割り当てる。
- ② ショック項の実現と既存企業の意味決定：市場内の既存企業について、標準ロジスティック分布から乱数を発生させ、清算価値に関するショック項 ε_i を決定する。これにより、(11)式の政策関数に従って既存企業が退出するか否かが決定されることになる。退出しない企業については、さらに標準ロジスティック分布から別の乱数を発生させることで、イノベーションコストに関するショック項 v_i を得る。同様に、(12)式の政策関数に従って既存企業がイノベーション活動を行うか否かが決定されることになる。
- ③ 利得の決定： θ を固定すれば、既存企業の利得が決定される。企業*i*の利得 \tilde{v}_t は、退出した場合には利潤 $\pi(n, I_i, I_i | \theta_n)$ と清算価値 $\alpha \varepsilon_{i,t}$ の和、存続した場合には利潤 $\pi(n, I_i, I_i | \theta_n)$ とイノベーションコスト（イノベーション活動を実施した場合） $C(sub_{i,t}) + \alpha(sub_{i,t}) v_{i,t}$ の差になることが分かる。
- ④ 状態変数の推移：②で定まった行動と推定された状態変数推移にしたがって (n, I_i, I_i, sub_i) が推移する。ただし、新しく参入した企業*j*については $I_{j,t+1}=0$ と仮定する。
- ⑤ ②～④の手続きを企業*i*が退出するか、 θ^* が十分に小さくなるまで繰り返す。ここでは最大の繰り返し回数を100に設定した。

θ を固定すればこの前方シミュレーションによって、推定された利得 \tilde{v}_t の流れを得ることができる。これを用いて、以下のように利得の割引現在価値を導出する。

$$\tilde{V}(n, I_i, I_i, sub_i; A; \theta) = \sum_t \beta^{t-1} \tilde{v}_t(n, I_i, I_i, sub_i; A; \theta).$$

一つの初期状態 (n, I_i, I_i, sub_i) について同様の手続きを複数回⁴³⁾繰り返し、その平均をとることで (n, I_i, I_i, sub_i) に対応する価値関数の推定値 $\hat{V}(n, I_i, I_i, sub_i; A; \theta)$ を得る。

(4) θ の推定

「観察される政策関数から乖離した意思決定を行なっても企業価値を高めることはできない」という条件を利用してパラメータの推定を行う。この目的のため、乖離した政策関数（an alternative policy） A' を仮に取った場合の企業価値を推定する。ここでは、(1)で用いた条件付選択確率をランダムに0.9～1.1倍することによって A' を生成している。企業*i*は A' 、他企業は A に従って意思決定すると仮定して(3)の前方シミュレーションを行うことができ、乖離した政策関数のもとでの価値関数の推定値 $\hat{V}(n, I_i, I_i, sub_i; A'; \theta)$ を得ることができる。

MPNEのもとで、各企業は他企業の戦略を所与として最適に行動している。したがって、 $g(n,$

⁴³⁾ ここでは100回とした。

$I_i, I_{-i}, sub_i; A; \theta \equiv \hat{V}(n, I_i, I_{-i}, sub_i; A; \theta) - \hat{V}(n, I_i, I_{-i}, sub_i; A; \theta)$ は (真の値で) 正とならなければならない。この条件を利用して、以下のように θ を推定する。

$$\hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{\theta \in \Theta} K^1 \sum_{k \in \{1, \dots, K\}} \min\{g(X_k; \theta), 0\}^2,$$

ただし、 $X_k \equiv (n_k, I_{i,k}, I_{-i,k}, sub_{i,k}; A_k)$ であり、 k ごとにランダムに決定する⁴⁴⁾。

4.1.3. 参入コストの分布を規定するパラメータの推定

参入コストのパラメータ θ_e は Berry and Waldfogel (1999) と同様の手法で推定する。(5) 式の自由参入条件から以下が成立する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pr\{\beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = e+1] < C^e_t \\ \quad < \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = e]\} = \Pr(e_t = e | n), \quad (e_t > 0 \text{ の場合}) \\ \Pr\{\beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, sub_{i,t+1}) | n_t, e_t = 1] < C^e_t\} = \Pr(e_t = 0 | n). \quad (e_t = 0 \text{ の場合}) \end{array} \right.$$

C^e_t は正規分布に従うものとし、このパラメータを最尤法によって推定する。

4.2. モデルの当てはまり

推定結果を報告する前に、データ上のモーメントとシミュレーション上のモーメントを比較することで、モデルの当てはまりを確認しておく。ここでは企業の意思決定と状態変数の平均値を着目するモーメントとする。シミュレーション上のモーメントはイノベーション活動やイノベーションの実現に関してデータ上のモーメントより小さくなっており、退出に関してやや大きくなっている。特にイノベーションに関しては、企業は市場参入時においてイノベーション活動を実施しないという本分析における仮定が強すぎる可能性があり、今後の課題である。他の変数については、モデルの当てはまりは良い。

表 2 データ上のモーメントとシミュレーション上のモーメントの比較 (平均値)

	データ上の モーメント	シミュレーション上の モーメント
イノベーション活動の実施, d_i	40.3%	35.6%
市場からの退出, X_i	15.6%	19.1%
プロダクト・イノベーションの実現, I_i	33.9%	24.7%
市場内の既存企業数, n	14.30	13.30
既存企業数の変化, Δn	-0.33	-0.09
財政支援の需給, sub_i	8.2%	8.4%

⁴⁴⁾ K は 1000 に設定した。

4.3. 推定結果

まず、既存企業に関するパラメータである θ の推定結果を報告する。表3が推定されたパラメータをまとめたものである。まず、 \hat{A}_0 の推定値は極めて小さく、統計的にも有意ではない。 \hat{A}_0 がプロダクト・イノベーションを実現していない企業の利潤を規定していると考えれば、イノベーションを実現していない企業が厳しい競争に直面し、利潤を稼ぎにくい状況に置かれていると解釈できる。一方、 \hat{A}_1 の推定値はポジティブであり、1%有意となっている。プロダクト・イノベーションによってマークアップ率が上昇し、利潤を上げやすくなっている様子が窺える。なおこの結果はイノベーションによって投入された新製品が既存製品との競争に晒されにくいという見方と整合的である。同様に、 \hat{A}_2 は1%有意でポジティブに推定されており、正の波及効果の存在を示唆している。最後に、清算価値のばらつきを捉えるパラメータ σ_e は統計的にも有意ではない。この点から、市場を撤退したときに得られる清算価値のバリエーションはそれほど大きくないことが推察される。

表3 既存企業のパラメータの推定結果

	推定値		標準偏差
\hat{A}_0	17.21		32.75
\hat{A}_1	176.05	***	16.19
\hat{A}_2	123.97	***	18.33
σ_e	-710.52		1129.9

Notes: ***は1%有意を表す。単位は百万円。

図5は企業の利潤関数の形状をプロットしたものである。図の上半分は市場内の企業数と企業利潤の関係を示している。なお、左側は当該企業がプロダクト・イノベーションを実現していないケース、右側は当該企業がプロダクト・イノベーションを実現しているケースに対応する⁴⁵⁾。図から市場における競合企業数が増加するほど企業の利潤が圧迫される傾向が見て取れる。この結果は、企業数が多くなるほど市場内の競争は激しくなるとの解釈と整合的である。また、図の左と右とを比較すると、プロダクト・イノベーションを実現した企業の方が大きい利潤を得ていることが確認できる。プロダクト・イノベーションを実現していない企業の利潤はゼロに近い値を示しており、イノベーションを実現せずに既存の製品のみで市場を生き残っていくことの厳しさを示唆している。この利潤はプロダクト・イノベーションで大きく上昇しており、プロダクト・イノベーションは当該企業の利潤上昇という形で経済的アウトカムに結びついているとすることができそうである（この点はPetrin, 2002とも整合的である）。

他方で、図の下半分はイノベーションを実現した競合他社の割合と企業利潤の関係を示してお

⁴⁵⁾ ただし、プロダクト・イノベーションを実現した競合他社数は平均的な水準に固定している。

り 46)、プロダクト・イノベーションの波及効果に関する示唆を含んでいる。図から、プロダクト・イノベーションを実現した競合他社が増えると、その競合他社が直面する企業の利潤は平均的に大きくなることが示されており、プロダクト・イノベーションが（ネットの意味で）正の波及効果を持つことが見て取れる。言い換えると、わが国における民間部門のプロダクト・イノベーションにおいては、正の波及効果が負の波及効果を上回っていることになる。正の波及効果がネットで存在する状況では、公的助成などによる政策介入が有効に機能する可能性がある（Spence, 1984）。この点については次章で考察する。また、図の左下と右下を比較した際に、当該企業がプロダクト・イノベーションを実現したケースのほうが、グラフの傾きが急になっている点も注目に値する。このことは、プロダクト・イノベーションを実現している企業の方が、他社からの技術波及効果を楽しみやすく、その結果として正の波及効果を受けやすいことを示している。最後に、参入コストの分布を規定するパラメータについて推定結果を記述する。 μ_e の推定値は-558625.6（標準偏差：300646.4）、 σ_e の推定値は 737876.3（標準偏差：380394.8）であり、共に 1%有意で推定された。

4.3.1. 推定結果と企業の戦略的意思決定の対応

利潤関数の推定結果（図 5）は、企業の戦略的意思決定と対応させて解釈することができる。市場からの退出に関して、データからは、競合他社がイノベーションを実現した場合⁴⁷⁾に退出確率が低くなる⁴⁸⁾、という関係が見られる。退出確率が低いということは、市場に残ることによって高い利潤が得られることと対応するので、この関係は競合他社のイノベーションが当該企業の利潤に正の影響を与えること、つまり（ネットの意味で）正の波及効果を持つことを意味する。

また、イノベーション活動に関して、データからは、競合他社がイノベーションを実現した場合にイノベーション活動の実施確率が高くなる⁴⁹⁾、という関係（戦略的補完関係）が見られる。このことは、自らのイノベーションと競合他社のイノベーションが当該企業の利潤を補完的に高めることを示唆しており、図 5 の右下のグラフの方が左下よりも急な傾きを持つことと整合的である。

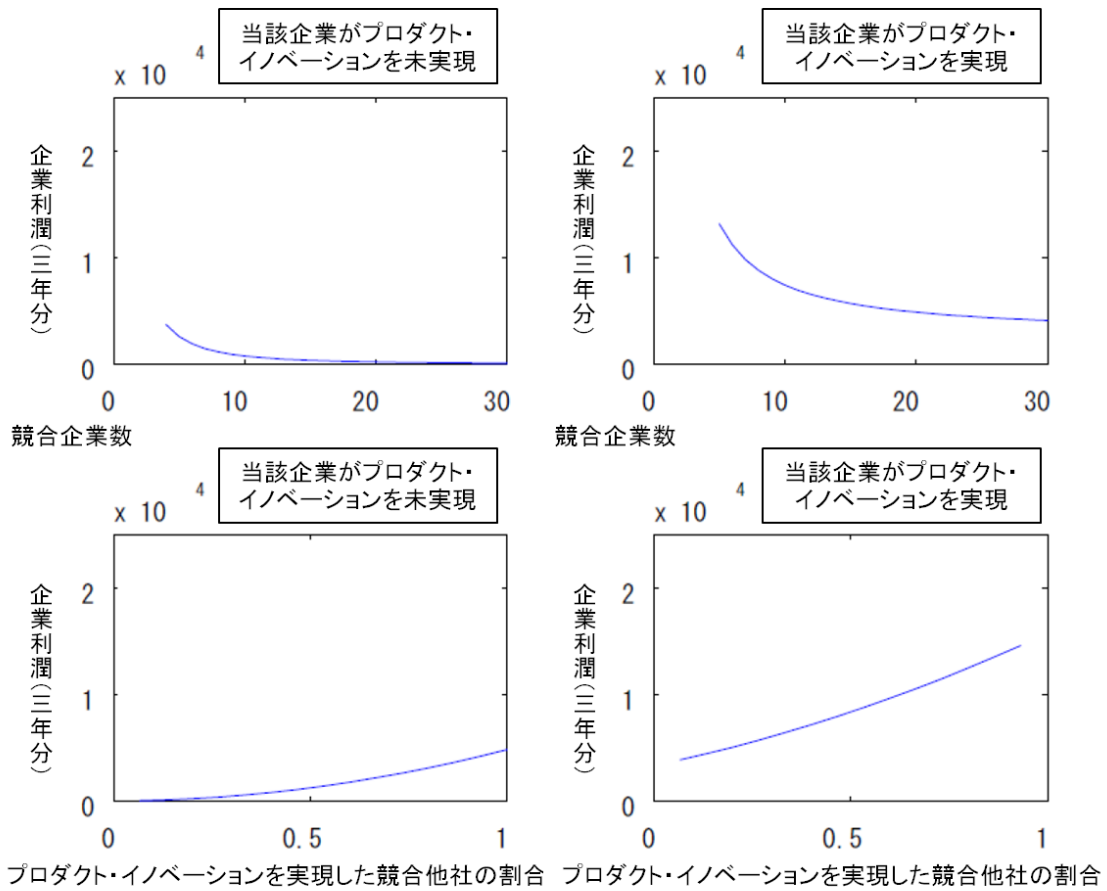
46) ただし、市場における企業数は平均的な水準に固定している。

47) データからは、プロダクト・イノベーションを実現した企業の方が追加的にイノベーション活動を実施しやすいという傾向が見られる。これは、Athey and Schmutzler (2001) で分析されている **increasing dominance** と対応したものである。したがって、当期にプロダクト・イノベーションを実現している競合他社は、次期にもプロダクト・イノベーションを実現しやすいと予想できる。

48) 公的助成を受けていない企業群について、競合他社がイノベーションを実現していない時に市場から退出する確率は 17.7%、競合他社がイノベーションを実現したときに退出する確率は 15.1%となっている。

49) 公的助成を受けていない企業群について、競合他社がイノベーションを実現していない時にイノベーション活動を実施する確率は 34.4%、競合他社がイノベーションを実現したときにイノベーション活動を実施する確率は 36.1%となっている。

図5 利潤関数の推定結果（金額の単位は百万円）



5. 政策の効果に関する定量的な分析

これまでの結果を踏まえて、本章ではわが国の民間部門に関する望ましいイノベーション政策について議論する。ここでは特に公的助成のうちイノベーション活動への補助金⁵⁰⁾について評価をしたい。

表4は公的助成の受け入れ割合を企業属性別にまとめたものである。全体では、公的助成を受けた企業の割合は8.2%となっている。小規模で企業年齢が低い企業や中・大規模で企業年齢が高い企業では受け入れ割合は10%前後であり、他の企業群が5%前後であることと比べると高い割合となっている。同様の傾向は産業別でも成り立つが、敢えて言えばサービス業では属性間の差異が小さいように見受けられる。

以下、本章では表に見られるような現状の公的助成についてその経済的な効率性の観点からシミュレーションの手法を用いて定量的な評価をする。5.1節でシミュレーション分析の手法を紹介

⁵⁰⁾ 公的助成には税控除や借入保証といった補助金以外の形態もあり得るが、ここでは補助金に焦点を合わせる。税控除については、Finger (2008) が本稿と似た枠組みで分析を行なっている。

介した後、5.2節でその結果を報告する。

表4 公的助成の受け入れ割合

	全規模 全年齢	小規模 20歳以下	小規模 21歳以上	中・大規模 20歳以下	中・大規模 21歳以上
全産業	8.2%	11.5%	4.6%	5.3%	9.3%
製造業	13.4%	24.2%	5.6%	6.3%	15.5%
サービス業	5.1%	6.2%	2.7%	5.2%	5.5%

5.1. シミュレーション手続き

企業のイノベーション活動に対する補助金等による公的助成の効果は、公的助成が支給されない状況との比較の中で初めて可能となる。しかしわが国におけるイノベーションの補助金等の公的助成事業において、そうした無作為抽出が行われたことは筆者らが知る限り存在せず、そのために公的助成の効果誘導推定アプローチ（代表的にはDifference-in-Differences手法）によって分析することが不可能である。他方で構造推定アプローチでは、公的助成が行われないという仮想的状況における企業のパフォーマンスをシミュレーションに依拠して評価することができることから、誘導推定ではなしえなかった政策の効果についての定量的な評価が本稿での構造推定では可能となる。

まずデータを用いて推定モデルのシミュレーションを行った。このシミュレーションの手続きは4.1.2項(3)で紹介したものと同一である。この手続きに基づいて、シミュレーションに基づく企業価値を導出することができる。この作業は推定結果を踏まえたモデルのデータへの適合度を判断する際にも有用である。公的助成なしのケースについてのシミュレーションでは、公的助成の割り当て確率をゼロに設定した。それ以外の点では、現状の公的助成の企業間配分におけるシミュレーションと同様である。

本モデルにおいて、公的助成はイノベーションコストを引き下げる形で企業の意思決定に作用する。従って企業に配分される公的助成は、公的助成を受けた場合のイノベーションコストと公的助成を受けない場合のイノベーションコストとの差として定義している。公的助成を受けた企業については後者におけるイノベーションコストが観察されないが、実現したイノベーションコストに関するショック項と公的助成を受けていない場合のイノベーションコストのパラメータを用いて、仮に公的助成を受けていない場合における仮想的なイノベーションコストの値を得て公的助成の金額を推定することができる⁵¹⁾。合わせて、配分された公的助成が有効に機能した否

⁵¹⁾ イノベーションコスト $\alpha(sub) + \sigma(sub)\tilde{v}_{i,t}$ は公的助成の有無に依存するパラメータ（表1）と実現したショック項 $\tilde{v}_{i,t}$ によって決定される。公的助成を受けた企業のイノベーションコストは $\alpha(1) + \sigma(1)\tilde{v}_{i,t}$ となるが、 $\alpha(0) + \sigma(0)\tilde{v}_{i,t}$ を計算することで、公的助成を受けていないという仮想的なケースのイノベーションコストを導出することができる。

かを識別することも、ここでの分析手法を用いれば可能となる。表現の都合上、企業の追加的なイノベーション活動につながった公的助成を「有効な公的助成」、仮に公的助成がなくともイノベーション活動を実施していた企業に配分された補助金を「余分な公的助成」と呼ぶ。有効な公的助成の割合が大きいほど現行の公的助成における企業間の配分は効率的との評価ができるだろう。

5.2. シミュレーション結果

表 5 はシミュレーション結果をまとめたものである。表内の数値は平均的な市場について、市場内の企業の値を合計したものである。公的助成にて市場に配分される金額の平均は 2417.7 百万円であるが、そのうち総額に占める 42.8% ($= (2417.7 - 1384.0) / 2417.7$) の公的助成は有効に機能していない。公的助成がないという仮想的なケースと比較すると、プロダクト・イノベーションの実現割合は 14.5% から 24.1% と 10% 程度高まっており、それを受けて企業価値⁵²⁾も 3500 百万円程度（一年あたり 1170 百万円程度）高くなっている⁵³⁾。

企業価値の上昇が配分された補助金額に見合っているかを確認するために、乗数効果 (= 企業価値の上昇分を、配分された公的助成額で除したもの) を計算すると、1.45 ($= 3513.0 / 2417.7$) となっている。乗数効果が 1 より大きくなるのは正の波及効果が強く関係していると考えられる⁵⁴⁾。ただし、余分な公的助成を取り除いた場合の潜在的な乗数効果 (= 企業価値の上昇分 / (有効な公的助成額)) を計算すると、2.54 ($= 3513.0 / 1384.0$) となり、潜在的には公的助成の企業間配分には効率性の向上余地が大きいことが示唆される。

表 5 シミュレーション結果（市場内の合計、金額の単位は百万円）

	配分された 公的助成	うち「有効な」 公的助成	イノベーション 実現割合	企業価値
現状の公的助成	2417.7	1384.0	24.1%	-17321.0
(標準偏差)	(0.30)	(1.67)	(0.43%)	(1538.8)
公的助成なしのケース			14.5%	-20833.9
(標準偏差)			(0.58%)	(442.7)
差	2417.7	1384.0	9.7%	3513.0
(標準偏差)	(0.30)	(1.67)	(0.15%)	(1096.1)

⁵²⁾ 他の数値と合わせるために一期あたりの企業価値を記している。

⁵³⁾ 企業価値の推定値が負となっているのはパラメータの基準化の結果であり、現行の公的助成の配分と公的助成なしのケースとを比較する上での問題にはならない。

⁵⁴⁾ 波及効果が全くないという仮想的な設定のもとで同様のシミュレーション分析を行うと波及効果は 1.18 (標準偏差: 0.12) となり、1 であることが統計的に棄却できなかった。波及効果が 1 であるということは、政府から企業への単純な移転以上の価値を公的助成が有していないことを意味する。

5.2.1. 公的助成が企業価値を上昇させる経路

公的助成が企業価値を上昇させる経路は、「1. 公的助成によって（それを受給した）企業のイノベーション活動が促される」、「2. 公的助成によってイノベーション活動が促される分だけ、市場内におけるプロダクト・イノベーションを実現した企業の割合が高くなる」、「3. 市場内におけるプロダクト・イノベーションを実現した企業の割合が高くなることで、市場内の企業の平均的な利潤が高まる」という三段階に分けて捉えることができる。

第一段階に関しては、公的助成の有無と企業のイノベーション活動の関係を見ることで、公的助成を受けた企業の方が高い確率でイノベーション活動を実施している傾向が確認できる。単純に公的助成の有無別にイノベーション活動を実施した企業の割合を見ただけでは、公的助成とイノベーション活動の関係が単なる相関関係にすぎないのではないかという懸念が残るが、本稿ではマッチング法と同様の手法でこれに対処した（4.1.2 項（1））。

第二段階は第一段階からの自然な帰結として成立する。また、第三段階は利潤関数の推定結果（図 5 の下段）に対応しており、当該企業が公的助成を受けているか否か、また当該企業がイノベーションを実現しているか否かに関わらず、市場内におけるプロダクト・イノベーションを実現した企業の割合が高くなるほど企業の利潤が高まるという結果から導かれる。

5.2.2. シミュレーション結果の妥当性

シミュレーション結果からは現行の公的助成のもとで、一市場の企業価値合計が三年あたり3500百万円程度上昇していることが明らかになった。これは一社あたりに換算すると、230百万円程度に相当する。本章で得られた推定結果を他の情報源と比較をすることで本章を締めくくりたい。

本分析において、公的助成はプロダクト・イノベーションの促進を通じて企業価値に繋がっている。ここでは、プロダクト・イノベーションの実現有無と営業利益の関係を確認することで、そのインパクトを大まかに捉えたい。営業利益の中央値⁵⁵⁾はイノベーションを実現した企業で254百万円、実現していない企業で101百万円となっており、その差は153百万円である。会計上の利益と経済学上の利益が異なる点には留意が必要であるが、シミュレーションで得られた230百万円はこの値よりもやや大きくなっている。この理由としては、シミュレーションでは当該企業がイノベーションを実現したかどうかだけでなく、競合他社のイノベーションによる波及効果も当該企業の企業価値に関与している点を挙げるができる。シミュレーションで企業価値の上昇がみられている点は、ネットで正の波及効果が見られた点とも符合する結果である。

また先行研究との比較においてもここでの乗数効果の値は概ね妥当するよう見受けられる。例えばFinger（2008）では米国化学産業における研究開発減税の効果を推定する中で、企業利潤への影響に着目している。彼によると、減税によって政府は一年あたり246.2百万ドルの収入を失う一方で、産業内の企業利潤は581百万ドル増加している。したがって、乗数効果は2.36（= 581 / 246.2）であり、本分析で得られた乗数効果1.45と潜在的な乗数効果2.54の間の値となって

⁵⁵⁾ 平均値は外れ値の影響を強く受けることが知られているため、ここでは中央値を用いている。

いる。

6. 結論

本稿では、わが国の民間部門におけるプロダクト・イノベーションの波及効果を評価した上で、それを踏まえた政策の効果を定量的に分析した。政策としては、民間企業のイノベーション活動に対する補助金を通じた公的助成に焦点をあてた。イノベーション調査の結果を用いて、構造推定に基づくアプローチをとることで、複数の経路を通じた波及効果を統合的に評価し、政策の効果分析に繋げている。

本稿の分析から以下の三点が明らかになった。第一に、民間企業のプロダクト・イノベーションには技術的波及効果が存在し、その影響は負の波及効果を上回っている。また、プロダクト・イノベーションを自ら実現している企業の方が波及効果の恩恵を受けやすい。第二に、イノベーション活動への公的助成はプロダクト・イノベーションを活発化し、企業の便益を上昇させる方向に作用している。公的助成がないという仮想的な状況と比較して、一市場あたりの利潤は 1170 百万円程度（一年あたり）上昇していると推定された。第三に、現行の公的助成における企業間の配分は必ずしも効率的とは言えないことが明らかとなった。公的助成額の 4 割程度は「公的助成がなくともイノベーション活動を実施する企業」に配分されており、配分を見直すことで公的助成の企業間配分の効率性が向上する余地は大きいと言える。

ここでの結果にはいくつかの留意条件が必要である。ここでは 3 点を指摘しておきたい。まず本稿の実証分析では、市場競争の地理的範囲を画定するためにデータサンプルを国内のみに製品を出荷する企業に絞り、輸出企業を排除している点である。輸出企業も対象とした場合、そうした企業におけるイノベーション活動の確率やイノベーションによるアウトカムの違い、また技術的波及効果が国外にも漏れ出す点を考慮する必要がある。2 点目として、イノベーション活動 (d) やその成果 (I) が二項 (binary な) 選択としてモデル化されており、その「強度」について勘案されていない点である。データの制約上、本稿では二項選択として推定モデルを構築せざるを得なかったが、そうした側面へのデータ拡張は今後の課題となろう。最後に政策効果の評価においては、公的助成は企業のイノベーションの活性化に向けて効率的に活用されることを前提としているが、乗数効果の解釈においてはこの前提が現実に妥当しているのかの検証を合わせて必要とするはずである。

シミュレーションにおける技術的な今後に向けての課題としては、本稿の分析結果をイノベーション政策見直しの議論に繋げることが考えられる。本稿の結果からは現行の公的助成に「余分」な部分が少なからずあることが示唆されたが、それではどのように企業間の公的助成の配分方法を改めれば良いのかについては本稿にて論じきれていない。公的助成を観察可能な企業属性に対応させることを通じて、より効率的な公的助成の補助金配分が見出せ得るのかについて分析することは将来の研究課題として興味深いのではないかと。

参考文献

- [1] Aghion, P. and P. Howitt (1992), "A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, 60, pp. 323-351.
- [2] Almus, M. and D. Czarnitzki (2003), "The Effects of Public R&D Subsidies on Firms' Innovation Activities: The Case of Eastern Germany," *Journal of Business & Economic Statistics*, 21, pp. 226-36.
- [3] Arrow, K. (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," in Universities-National Bureau, (ed), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, UMI, Princeton.
- [4] Athey, S. and A. Schmutzler (2001), "Investment and Market Dominance," *RAND Journal of Economics*, 32, pp. 1-26.
- [5] Bajari, P., C. L. Benkard and J. Levin (2007), "Estimating Dynamic Models of Imperfect Competition," *Econometrica*, 75, pp. 1331-1370.
- [6] Berry, S. and J. Waldfogel (1999), "Free Entry and Social Inefficiency in Radio Broadcasting," *RAND Journal of Economics*, 30, pp. 397-420.
- [7] Bloom, N., M. Schankerman and J. V. Reenen (2010), "Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry," mimeo.
- [8] Crépon, B., E. Duguet and J. Mairesse (1998), "Research, Innovation and Productivity: An Econometric Analysis at the Firm Level," *Economics of Innovation and New Technology*, 7, pp. 115-158.
- [9] Doraszelski, U. and M. Satterthwaite (2010), "Computable Markov-Perfect Industry Dynamics," *RAND Journal of Economics*, 41, pp. 215-243.
- [10] Duguet, E. (2006), "Innovation Height, Spillovers and TFP Growth at the Firm Level: Evidence from French Manufacturing," *Economics of Innovation and New Technology*, 15, pp. 415-442.
- [11] Ericson, R. and A. Pakes (1995), "Markov-Perfect Industry Dynamics: A Framework for Empirical Work," *Review of Economic Studies*, 62, pp. 53-82.
- [12] Finger, S. R. (2008), "An Empirical Analysis of R&D Competition in the Chemicals Industry," University of South Carolina.
- [13] Goettler, R. L. and B. R. Gordon (2011), "Does AMD Spur Intel to Innovate More?," *Journal of Political Economy*, 119, pp. 1141-1200
- [14] González, X., J. Jaumandreu and C. Pazó (2005), "Barriers to Innovation and Subsidy Effectiveness," *Rand Journal of Economics*, 36, pp. 930-950.
- [15] Griliches, Z. (1992), "The Search for R&D Spillovers," *Scandinavian Journal of Economics*, 94, pp. 29-47.

- [16] Grossman, G. M. and E. Helpman (1991), "Quality Ladders in the Theory of Growth," *Review of Economic Studies*, 58, pp. 43-61.
- [17] Hashmi, A. R. and J. V. Biesebroeck (2010), "Market Structure and Innovation: A Dynamic Analysis of the Global Automobile Industry," NBER Working Paper 15959.
- [18] Hotz, J. H. and R. A. Miller (1993), "Conditional Choice Probabilities and the Estimation of Dynamic Models," *Review of Economic Studies*, 60, pp. 497-529.
- [19] Klepper, S. (1996), "Entry, Exit, Growth, and Innovation over the Product Life Cycle," *American Economic Review*, 86, pp. 562-583.
- [20] Kasahara, H. and B. Lapham (2008), "Productivity and the Decision to Import and Export: Theory and Evidence," CESifo Working Paper Series 2240, CESifo Group Munich.
- [21] Klette, T. J. and S. Kortum (2004), "Innovating Firms and Aggregate Innovation," *Journal of Political Economy*, 112, pp. 986-1018.
- [22] Little, R. J. A. and D. B. Rubin (1986), *Statistical Analysis with Missing Data*, John Wiley and Sons.
- [23] Mairesse, J. and P. Mohnen (2010), "Using innovation surveys for econometric analysis," UNUMERIT Working Paper 2010-023.
- [24] Maskin, E. and J. Tirole (1988), "A Theory of Dynamic Oligopoly, I: Overview and Quantity Competition with Large Fixed Costs," *Econometrica*, 56, pp. 549-569.
- [25] Maskin, E. and J. Tirole (2001), "Markov Perfect Equilibrium I: Observable Actions," *Journal of Economic Theory*, 100, pp. 191-219.
- [26] Melitz, M. J. (2003), "The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity," *Econometrica*, 71, pp. 1695-1725.
- [27] Organization for Economic Co-operation and Development (1992, 1996, 2005), "Oslo Manual," Paris, 1st, 2nd, 3rd edition.
- [28] Organization for Economic Co-operation and Development (2009), *Innovation in Firms*, OECD Publishing.
- [29] Organization for Economic Co-operation and Development (2012), *Main Science and Technology Indicators (MSTI): 2012/1 edition*,
< http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB>
- [30] Petrin, A. (2002), "Quantifying the Benefits of New Products: The Case of the Minivan," *Journal of Political Economy*, 110, pp. 705-729.
- [31] Spence, M. (1984), "Cost Reduction, Competition, and Industry Performance," *Econometrica*, 52, pp. 101-122.
- [32] Vives, X. (2009), "Strategic Complementarity in Multi-stage Games," *Economic Theory*, 40, pp. 151-171.

- [33] Xu, Y. (2006), “Structural Empirical Model of R&D, Firm Heterogeneity, and Industry Evolution,” Pennsylvania State University.
- [34] 科学技術政策研究所第 1 研究グループ (2010), 「第 2 回全国イノベーション調査報告」 NISTEP REPORT-144.
- [35] 西川浩平・大橋弘 (2010), 「国際比較を通じた我が国のイノベーションの現状」 NISTEP DISCUSSION PAPER-68.
- [36] 西川浩平・五十川大也・大橋弘 (2010), 「我が国におけるプロダクト・イノベーションの現状－第 2 回全国イノベーション調査を用いた分析－」 NISTEP DISCUSSION PAPER-70.
- [37] 藤本隆宏・安本雅典 (1998), 「効果的な製品開発パターンについての産業・製品分野別比較-203 の製品開発組織に対するアンケート調査結果-」 CIRJE-J-7.
- [38] 松浦寿幸・清田耕造 (2004), 「『企業活動基本調査』パネル・データ作成・利用について: 経済分析への応用とデータ整備の課題」 RIETI Policy Discussion Paper Series 04-P-004.