

動学的環境におけるプロダクト・イノベーション

— 政策評価に係わる試験的な分析* —

五十川大也¹⁾・大橋 弘²⁾

本論文では、我が国における民間部門のプロダクト・イノベーションの特性を概観した後、その特性を捉える動学的な推定モデルを紹介する。既存の調査結果のうち、イノベーション活動に伴う波及効果が存在することを示す結果をいくつか取り上げ、政策的な介入、とりわけ補助金付与の持つ役割に着目し、その政策がイノベーション活動に与える影響を定量化するための新しいフレームワークを提示する。

JEL Classification Codes: C73, L13, O38

1. はじめに

イノベーションに係る活動にはある種の波及効果が存在するために、イノベーション活動を行う主体はその活動から得られる成果を専有できないという指摘が Arrow (1962) をはじめ多くの研究者によってなされてきた。一般的にイノベーション活動を行う企業にとっての外部性として、他企業や他産業への技術的な波及効果が指摘されており、シリコンバレーなどにおける集積効果がひとつの典型的な例として挙げられる。こうした技術的な波及効果の存在は、企業の参入や退出を促し、市場における競争を活性化させる側面も存在するため、イノベーション活動が生み出す外部性が存在するの否かは、政策的な観点からも重要な関心事項となりうるだろう。

本論文ではまず、イノベーション活動に波及効果が存在するか否かという点を念頭に置きながら、我が国における民間部門のプロダクト・イノベーションの特徴を概観する。Mairesse and Mohnen (2010) が指摘するように、イノベーションの実証研究において伝統的な指標である研究開発支出額や特許数、論文数から企業のイノベーション活動を捉えることはしばしば困難である。本論文では、こうした指摘を踏まえ、近年我が国で実施されたイノベーション調査の

結果を参照することで、プロダクト・イノベーションに係る活動について新しい角度から分析を試みる。

民間部門のイノベーション活動に波及効果が存在する場合、政策的な介入が正当化される可能性がある。本論文では、そうした政策的な介入の中でも補助金の役割に着目し、補助金がイノベーション活動に与える影響を定量化するためのフレームワークを提示する。この分析枠組みは、企業の参入や退出を内生化した動学モデルの構築と構造推定・シミュレーションとから構成される。動学モデルに関しては、マルコフ完全均衡の下での企業の戦略的なイノベーション活動とそこからの波及効果を定式化する。なお、企業の参入や退出を明示的に取り込んで、イノベーション活動に係る政策評価を実証的に試みた研究は筆者が知る限り過去に存在しない³⁾。

本論文は次のように構成される。第2章で我が国における近年のイノベーション調査の結果から、民間部門のプロダクト・イノベーションの特徴について概観する。とりわけ、イノベーション活動に波及効果が存在するかどうかに関心の対象である。その後、第3章で企業のイノベーション活動に補助金政策が与える影響を定量化するためのフレームワークを提示する。民間企業の戦略的相互関係とプロダクト・イノベ

ーションにおける波及効果を含んだ動学的なモデルを構築したあと、モデルに基づいた定量評価の手続きについて概観する。第4章は結論である。

2. 我が国におけるプロダクト・イノベーション

我が国のイノベーション活動の主軸を担う民間企業の動向を定量的に把握することを目的として、「第2回全国イノベーション調査」が2009年に文部科学省科学技術政策研究所によって実施された⁴⁾調査は2006～2008年度の3年間における企業活動について回答を得ている。本章では第2回全国イノベーション調査の結果を踏まえて、我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紹介したい⁵⁾。

2.1 プロダクト・イノベーションの実現状況

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。本論文で着目するプロダクト・イノベーションの定義は下記となる。

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は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。

ここで留意すべき点は、「新製品あるいは新サービス」の定義が当該企業にとって新しいことを求めるものであり、必ずしも当該企業が活動する市場にとって新しいことを意味しないこ

とである。調査に回答した企業4,579社のうち31.4%に該当する1,440社がプロダクト・イノベーションを実現している。規模別⁶⁾には、小規模企業で18.9%、中規模企業で25.6%、大規模企業で41.2%となっており、企業規模が大きくなるほどプロダクト・イノベーションの実現割合が高くなっている。

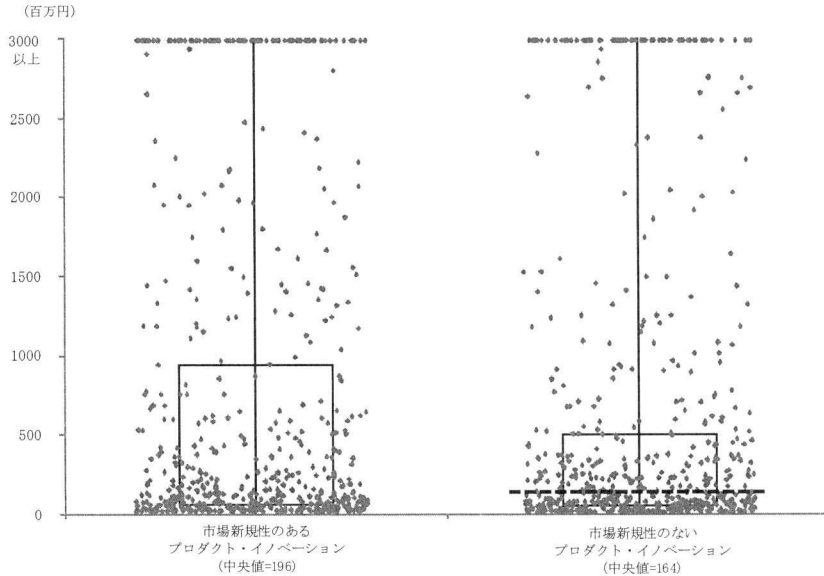
次に、プロダクト・イノベーションの中でも、当該企業が活動する市場にとって新しい製品・サービスの投入に着目する。以下では、市場にとって新しいプロダクト・イノベーションを、画期性のあるイノベーションと呼んで区別することとする。画期性のあるプロダクト・イノベーションを実現した企業は632社であり、全体の13.8%となっている。プロダクト・イノベーションを実現した企業のうち画期性のあるイノベーションを実現した企業の割合は、企業規模を問わず4割程度となっている。

2.2 プロダクト・イノベーションと売上高

次にプロダクト・イノベーションにおける画期性の有無が経済的なアウトカムとどのように結びついているのかについて論じたい。画期性のあるプロダクト・イノベーションはそれだけ市場に与えるインパクトが大きく、市場に属する企業の収益に対して強い影響を与えることが想定される。本節では、プロダクト・イノベーションから得られる売上高に着目することによって、イノベーションを実現した企業における売上高との相関関係について議論する。なお市場内の競合他社への影響については次節で取り上げる。

画期性のあるイノベーションを実現した企業について、イノベーションからの売上高の平均が55億8600万円であるのに対し、画期性のないイノベーションを実現した企業の売上高の平均は30億400万円となっており、画期性が当該企業の売上高上昇に結びついている点が示唆される。図1は画期性の有無で別々にイノベーション売上高をボックス・プロットしたものである⁷⁾。長方形の上端・下端がそれぞれ75%・25%分位点に対応しており、長方形内の点線

図1. 画期性とイノベーション売上高



出典) 西川・五十川・大橋(2010).

は中央値を示している。中央値をみると、画期性のある場合は1億9600万円、ない場合は1億6400万円となっており、画期性を有するイノベーション売上高が大きいという傾向は、中央値で見ても支持されている。分位点ごとに見ていくと、75%分位点について画期性のある方が上方に位置している点が目につく。この結果は、画期性のあるプロダクト・イノベーションが「当たれば」大きな売上を当該企業にもたらす可能性を示しているといえる。

2.3 プロダクト・イノベーションと波及効果

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は、Arrow(1962)をはじめ多くの研究者によって指摘されてきた。本節では画期性のあるイノベーションが市場内の競合他社に与える影響、つまり波及効果に焦点を合わせて議論したい。

図2はプロダクト・イノベーションを実現した企業から他組織への技術の移転方法を手段別にまとめたものである。丸い(O)マーカーは画期性の有無別に、技術提供を行った企業の割合について比をとったものである。一方、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⁸⁾によって、技術提供の割

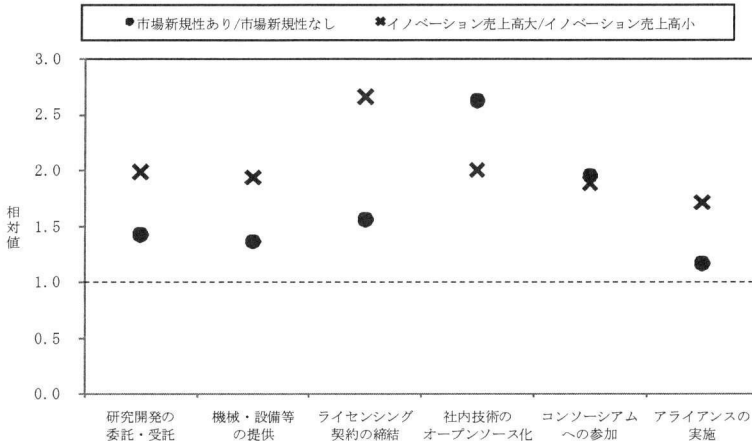
合の比をとったものである。イノベーション売上高の大きいプロダクト・イノベーションについては、ライセンス契約の締結での技術提供が比較的多くなっている。他方で画期性のあるプロダクト・イノベーションに関しては、オープンソース化やコンソーシアム(共同研究組合)への参加を通じた技術提供が多くなっている。ライセンス契

約と異なり、オープンソース化やコンソーシアムの参加は技術を提供する企業が内部化することができない技術的な波及効果を生み出していると言えるだろう。なおこの点は、画期性のあるイノベーションを実現した企業が、自社技術を他社に積極的に提供・共有することで、技術のデファクト・スタンダード化を図っているという仮説とも整合的である。

では、波及した技術は他企業にどのような影響を与えるのだろうか。この点を見るために、取得された技術がプロダクト・イノベーションのアウトカム(画期性とイノベーション売上高)にどのように繋がっているかを調べた。図3は企業が他組織から取得した技術について手段別にまとめたものである。図2と同様に丸いマーカーが画期性の有無、もう一つのマーカーがイノベーション売上高の大小に対応している。結果を見ると、画期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られない。他方で、イノベーション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。

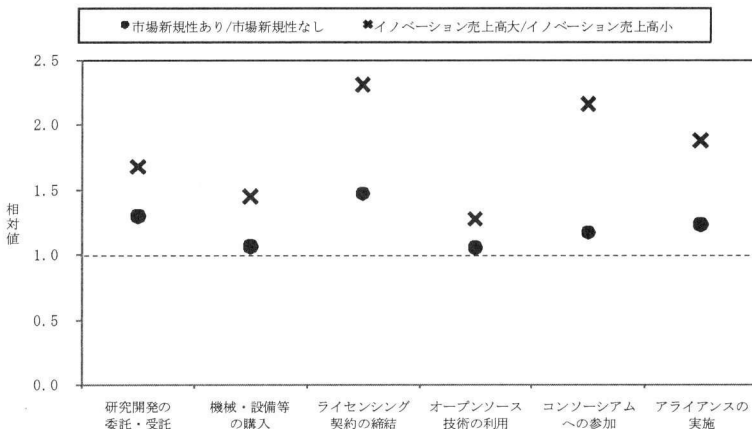
波及効果という文脈では、特にコンソーシアムへの参加がイノベーション売上高と関係している点が注目に値する。図2より、画期性のあ

図2. 実現したイノベーションの技術を提供する手段



出典) 西川・五十川・大橋(2010).

図3. 技術取得とイノベーションのアウトカム



出典) 西川・五十川・大橋(2010).

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を通じて技術提供が行われる傾向にあり、画期的なイノベーションを実現した企業から波及した技術が、コンソーシアムへの参加を通じて他企業に波及し、イノベーションからの売上高を高めているという関係を示唆しているとも見られるかもしれない。すなわち、画期的なプロダクト・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の解釈ができるだろう。

2.3.1 イノベーション活動の戦略性

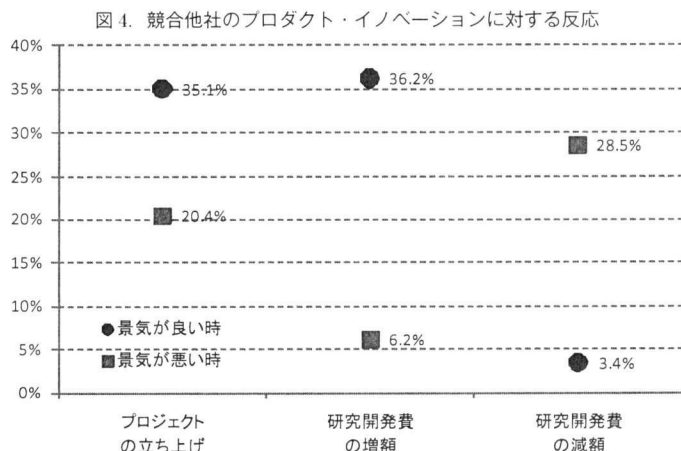
我が国における民間企業のプロダクト・イノ

ベーションには、技術的な波及効果という形で、正の外部性が存在する可能性を指摘した。理論的には、この波及効果を踏まえて、企業のイノベーション活動は戦略的に行われることがある(Vives, 2009)。つまり、当該企業がイノベーション活動を実施するか否かを決定する際に、競合他社が画期的なプロダクト・イノベーションを実現しているか否かに影響を受ける。競合他社の画期的なイノベーションによって当該企業がイノベーション活動を実施しやすくなるための条件(いわゆる異時点間において戦略的な補完性が生じるための条件)は、イノベーション活動を実施することで得られる期待便益が競合他社のイノベーションによって高まることに依存する。以下で議論するように、技術的な波及効果の存在はイノベーション活動による期

待便益を高めることに寄与することが分かる。

図2と図3では、コンソーシアムの参加を通じて、画期的なプロダクト・イノベーションの成果が波及する。この点を考慮すると、競合他社が画期的なプロダクト・イノベーションを実現した場合には、積極的にイノベーション活動を行うことによって、コンソーシアムを通じた波及効果の恩恵を享受できる可能性がある。したがって、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しやすくなるという戦略的な関係を含意する。

調査結果からは、この点に関して直接的に示唆を得ることができる。調査は「競合他社がプ



出典) 科学技術政策研究所(2010).

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関する質問(問27⁹⁾)を含んでおり、その調査結果をまとめたものが図4である。この図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の反応について経済状況別にまとめたものである。具体的には、「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」と回答した企業の割合をプロットしている。これらの項目は企業のイノベーション活動と密接に関連している。

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、技術的な波及効果を楽しむために、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していることと整合的である。他方、景気が悪い時期に関しては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。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。

2.4 プロダクト・イノベーションと政策介入

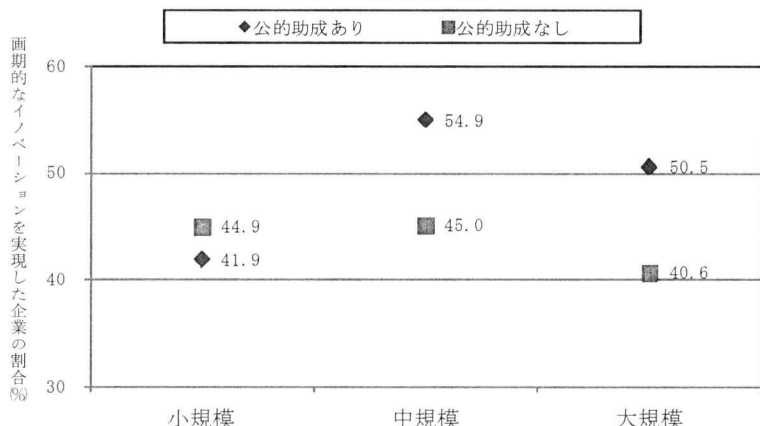
画期性のあるプロダクト・イノベーションに正の波及効果が存在する場合、企業の私的インセンティブだけではイノベーションの実現が過少になることが知られている。プロダクト・イノベーションが、社会的にみて最適に供給されるためには、波及効果の分だけ過少となりがちな民間による供給に対して、政策的な後押しが必要となる。しかしながら、現状の政策

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どのように見直すべきか、という点は定量的に検証すべき課題である。本項では、まず現状の公的支援が画期性のあるプロダクト・イノベーションとどのように結びついているのかをその相関関係から確認したい。

プロダクト・イノベーションを実現した企業に対して、公的助成の受入の有無と画期性のあるプロダクト・イノベーションの関係を規模別にまとめたものが図5である。図より、中規模以上では公的助成を受けた方が画期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。したがって、これら企業については、公的助成によって画期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ており、イノベーションの過少供給が多少なりとも解消されていることを示唆するような結果となっている。他方、小規模に属する企業については、公的助成と画期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¹⁰⁾。

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、公的な財政支援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上記から見て取れる。しかし、サーベイ調査からの結果は、政策効果を因果関係として捕らえることはできない点に注意が必要である。次の章では、本章にて議論したイノベーション活動についての波及効果と戦略的な関

図5. 公的助成と画期性



出典) 西川・五十川・大橋(2010).

係を取り込んだ構造モデルを提示することによって、イノベーション活動に係わる政策の包括的なインパクトを評価する手法について議論したい。

3. 公的支援の定量的評価のフレームワーク

本章ではイノベーション活動に係る補助金を取り上げて、その政策的な含意を評価するためのフレームワークを提示する。本章は、企業のイノベーション活動を捉える動学的モデルの構築と構造推定・シミュレーションからなる。このアプローチをとることで、現状の政策は補助金がないケースと比べてどの程度の利益を企業にもたらしているのか、補助金の配分方法を変更することで利益がどの程度上昇するのか、といった定量的評価を行うことが可能となる。

以下、3.1節で企業のイノベーション活動を捉える動学的モデルを提示する。モデルは第2章で概観した我が国のプロダクト・イノベーションの特性を捉える形で構築する必要がある。とりわけイノベーション活動に関する戦略的關係と波及効果に焦点を合わせ、マルコフ完全均衡を定義する。3.2節では構築したモデルに基づいた構造推定・シミュレーション手続きについて整理する。

3.1 モデル

本節では企業のイノベーション活動を説明す

るための動学モデルを提示する。まず、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。その後、既存企業および参入企業の意味決定の特定化と均衡概念について説明する。

3.1.1 モデルの概要

本論文では、企業のイノベーション活動における戦略性と波及効果を捉えるために、Ericson and Pakes

(1995)やDoraszelski and Satterthwaite(2010)で提示されている動学的競争モデルを用いる。

独立的な市場 m ($m=1, \dots, M$) において t 期に $n_{m,t}$ 社の既存企業が活動を行っているとす。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とする。 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2値変数 $I_{i,t}$ から構成される¹¹⁾。

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を決定する。最初に、既存企業は自らの公的財政支援の有無と清算価値についての情報を得る。これらは私的情報であり、競合他社の財政支援と清算価値については知らないものとする。企業 i の財政支援の有無は2値変数 $sub_{i,t}$ 、清算価値は $\sigma_{\varepsilon} \varepsilon_{i,t}$ で表す。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、財政支援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 期に市場に留まるか退出するかを意思決定を行う。なお退出の有無は2値変数 $\chi_{i,t}$ である。

市場にとどまることを選択した場合、企業 i

は利潤 $\pi_i(s_t)$ を得る。次に、市場にとどまった企業はイノベーションコスト $C(sub_i) + \sigma_v(sub_i)\nu_{i,t}$ を観察するものとする。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¹²⁾。公的財政支援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、以下では財政支援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ことを許容する。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ものとする。なおイノベーション活動の有無は2値変数 $d_{i,t}$ 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期かかると仮定する。以下ではモデル上での1期を3年とする¹³⁾。 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有無を決定することとなる。

以上で挙げた私的情報に関する変数 ($sub_{i,t}$, $\varepsilon_{i,t}$, $\nu_{i,t}$) については、互いに独立に各期に決定されると仮定する。この仮定によって各々の企業は、競合他社がとった過去の行動から私的情報を推測することはせず、考慮すべき状態変数が一定数に保たれるメリットがある。また、公的な財政支援の有無 $sub_{i,t}$ については、その支援を付与する確率が観察可能な状態変数 $s_t \equiv (n, I_t)$ に依存すると仮定し、公的支援の有無を一定程度内生化する試みを行った。

潜在的な参入企業については以下のようにモデルとして明示的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_i^e を負担して市場に参入するものとする。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を e_t で表す。また、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ようになる。

1. 各既存企業が私的情報である財政支援の有無 $sub_{i,t}$ と清算価値 $\sigma_v \varepsilon_{i,t}$ を観察する。既存企業は市場から退出するかどうかを決定し、退出した場合には清算価値を受け取る。
2. 退出しなかった既存企業は利潤 $\pi_i(s_t)$ を受け取った後、私的情報であるイノベーションコスト $C(sub_i) + \sigma_v(sub_i)\nu_{i,t}$ を観察する。これを踏まえて、既存企業はイノベーション活動を行うかどうかを決定する。
3. 潜在的参入企業が参入コスト C_i^e を観察し、市場に参入するかどうかを決定する。
4. 参入が起こる。また、 $t+1$ 期のイノベーション実現の有無が決まる。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イノベーション実現は確率的に決定され、 t 期に新しく参入した企業については $I_{i,t+1} = 0$ となる。

3.1.2 既存企業の意思決定

企業 i の利潤 $\pi_i(s_t)$ を次のように書く。

$$\pi_i(s_t) = \pi(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t} | \theta_\pi), \quad (1)$$

ただし、 θ_π は利潤関数を規定する構造パラメータであり、推定の対象である。2値変数 $I_{i,t}$ を除いて企業の利潤関数は対称的である。 $I_{-i,t}$ は t 期にプロダクト・イノベーションを実現した競合他社数を表しており(つまり、 $I_{-i,t} \equiv \sum_{j \neq i} I_{j,t}$)、この変数が利潤に与える影響はプロダクト・イノベーションにおける波及効果に対応している。2.3節の結果を考慮すると、この変数は利潤にポジティブな影響を与えている可能性が高い。また、市場における全ての既存企業数 n_t について、プロダクト・イノベーションを実現した競合他社数は既に $I_{-i,t}$ でコントロールされていることから、 n_t が利潤に与える影響はイノベーションを実現していない競合他社による影響と解釈できる。

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。よ

り具体的には、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。

$$\begin{aligned} & \Pr(I_{i,t+1} = 1 | d_{i,t}) \\ &= \begin{cases} \Pr(I_{i,t+1} = 1 | d_{i,t} = 1) & \text{if } d_{i,t} = 1, \\ 0 & \text{if } d_{i,t} = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

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、 $(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, \text{sub}_{i,t})$ を所与として次のように書ける。

$$\begin{aligned} & V^c(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, \text{sub}_{i,t}) \\ &= E_\nu[\max_{d_{i,t} \in \{0,1\}} \pi(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t} | \theta_\pi) \\ & \quad - d_{i,t}^* (C(\text{sub}_{i,t}) + \sigma_\nu(\text{sub}_{i,t}) \nu_{i,t}) \\ & \quad + \beta E[V^c(n_{t+1}, I_{i,t+1}, I_{-i,t+1}, \text{sub}_{i,t+1}) \\ & \quad \quad | n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, d_{i,t}]], \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 $E_\nu[\cdot]$ はイノベーションコストを規定するショック項 $\nu_{i,t}$ に関する期待値オペレーターである。 $C(\text{sub}_i)$ はイノベーションコストの位置パラメータ、 $\sigma_\nu(\text{sub}_i)$ は尺度パラメータに対応し、財政支援の有無によって異なる。計算上の制約によって、 $\nu_{i,t}$ 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。

t 期の期首における既存企業の期待価値を $V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, \text{sub}_{i,t})$ で表す。各期、既存企業は退出を行うかどうかの意思決定を行い、その期待価値は次のように表されるものとする。

$$\begin{aligned} & V(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, \text{sub}_{i,t}) \\ &= E_\varepsilon[\max_{\chi_{i,t} \in \{0,1\}} (1 - \chi_{i,t})^* \\ & \quad V^c(n_t, I_{i,t}, I_{-i,t}, \text{sub}_{i,t}) + \chi_{i,t}^* \sigma_\varepsilon \varepsilon_{i,t}], \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $E_\varepsilon[\cdot]$ は清算価値を規定するショック項 $\varepsilon_{i,t}$ に関する期待値オペレーターである。 σ_ε は清算価値の尺度パラメータに対応している。計算上の制約から、 $\varepsilon_{i,t}$ 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により、各パラメータの位置をデータから識別することを可能としている。

3.1.3 潜在的参入企業の意味決定

各市場において、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。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各期において市場に参入するか否かを決定する。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¹⁴⁾。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。

参入企業数を 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。また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ものとする。この時、次の自由参入条件が成立する。

$$\begin{cases} \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, \text{sub}_{i,t+1}) | n_t, e_t = e+1] \\ < C_t^e < \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, \\ & \quad \quad \quad \text{sub}_{i,t+1}) | n_t, e_t = e] & \text{if } e_t > 0, \\ \beta E[V(n_{t+1}, 0, I_{-i,t+1}, \text{sub}_{i,t+1}) | n_t, e_t = 1] \\ < C_t^e & \text{if } e_t = 0. \end{cases} \quad (5)$$

C_t^e は每期独立に切断(トランケイティット)正規分布 $TN(\mu_e, \sigma_e)$ から決定されるとした。この分布を仮定することで参入コストが負値をとることがなくなるメリットがある。

3.1.4 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(MPNE)を想定する。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、本論文では純粋戦略均衡のみに絞って議論を行う。Doraszelski and Satterthwaite(2010)は本論文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た。さらに、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。

$$\begin{aligned} \tilde{A}_x &: (n, I_i, I_{-i}, \text{sub}_i, \varepsilon_i) \rightarrow \chi_i, \\ \tilde{A}_d &: (n, I_i, I_{-i}, \text{sub}_i, \nu_i) \rightarrow d_i. \end{aligned} \quad (6)$$

2.3.1 項で確認したように、競合他社がイノ

ベーションを実現したか否かによって企業の意志決定は影響される。ただし、推定上の都合により、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が、競合他社のイノベーション実現に関して2値の情報しか有していないため、 I_{-i} に応じて2値変数を割り当てる必要がある。ここでは I_{-i} が閾値 $\bar{I}(n)$ を超えた場合に1をとる指示関数 $\Delta(n, I_{-i})$ を定義する。

$$\Delta(n, I_{-i}) = \begin{cases} 1 & \text{if } I_{-i} \geq \bar{I}(n) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (7)$$

ベースラインとして、閾値は次のように設定する。

$$\bar{I}(n) = F_{bino}^{-1}(1-p; n-1, p), \quad (8)$$

ただし、 $p = \Pr(I_j = 1 | n)$ であり、 $F_{bino}^{-1}(x; n-1, p)$ は $(n-1, p)$ をパラメータとする2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が等しいことを意味している。以上より、(6)式の政策関数は以下の $A \equiv \{A_x, A_d\}$ で書き直せる。

$$\begin{aligned} A_x &: (n, I_i, \Delta(n, I_{-i}), sub_i, \varepsilon_i) \rightarrow \chi_i \\ A_d &: (n, I_i, \Delta(n, I_{-i}), sub_i, \nu_i) \rightarrow d_i \end{aligned} \quad (9)$$

3.2 構造推定とシミュレーション

前節で提示した動学モデルを規定するパラメータを推定した後、シミュレーションによって補助金の影響を定量的に評価する。まず、構造パラメータ $(\theta_\pi, \sigma_\varepsilon, C, \sigma_\nu, \mu_e, \sigma_e)$ の推定について議論する。

推定を行う際に、既存企業の利潤 $\pi(n_i, I_{i,t}, I_{-i,t} | \theta_\pi)$ を特定化する必要がある。どの関数型が望ましいかは事前に判定できないことから、ここでは以下の4つの関数型について推定を行う。

$$\begin{aligned} (a) \quad \pi(n, I_i, I_{-i} | \theta_\pi) &= (1-I_i)^*(\alpha_0 + \alpha_1 n + \alpha_2 I_{-i}) \\ &\quad + I_i^*(\gamma_0 + \gamma_1 n + \gamma_2 I_{-i}), \\ (b) \quad \pi(n, I_i, I_{-i} | \theta_\pi) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (1-I_i)^*(\alpha_0 + \alpha_1 n + \alpha_{12} n^2 + \alpha_2 I_{-i}) \\ &\quad + I_i^*(\gamma_0 + \gamma_1 n + \gamma_{12} n^2 + \gamma_2 I_{-i}) \\ (c) \quad \pi(n, I_i, I_{-i} | \theta_\pi) &= (1-I_i)^*(\alpha_0 + \alpha_1 n + \alpha_2 I_{-i} + \alpha_3 n I_{-i}) \\ &\quad + I_i^*(\gamma_0 + \gamma_1 n + \gamma_2 I_{-i} + \gamma_3 n I_{-i}), \\ (d) \quad \pi(n, I_i, I_{-i} | \theta_\pi) &= (1-I_i)^*(\alpha_0 + \alpha_1 n + \alpha_{12} n^2 + \alpha_2 I_{-i} + \alpha_3 n I_{-i}) \\ &\quad + I_i^*(\gamma_0 + \gamma_1 n + \gamma_{12} n^2 + \gamma_2 I_{-i} + \gamma_3 n I_{-i}). \end{aligned}$$

関数型によって定性的・定量的ともに目立った影響を受けていないことを確認する必要がある。以下では説明の都合上(a)に注目して議論を進める。

(C, σ_ν) をデータから直接導出すると、推定する必要がある残りの構造パラメータは、既存企業に関するパラメータ $\theta \equiv (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \sigma_\varepsilon)$ と参入コストに関するパラメータ $\theta_e \equiv (\mu_e, \sigma_e)$ である。既存企業に関係するパラメータである θ はBajari, Benkard and Levin (2007, BBL)の手法で推定し、参入コストのパラメータ θ_e についてはBerry and Waldfogel (1999)と同様、最尤法で推定する。

以下、3.2.1項でBBLに基づく θ の推定、3.2.2項で最尤法に基づく θ_e の推定について説明する。最後に、3.2.3項で、シミュレーションに基づいた補助金の影響の評価について記述する。

3.2.1 BBLに基づく θ の推定

BBLに基づくアプローチは、以下の2つの段階に分けることができる。第1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と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(9)式を導出する。政策関数の導出はHotz and Miller(1993)にならって、条件付選択確率を変形して行う。合わせてデータ上観察される状態変数の推移もこの段階で推定する。第2段階では、第1段階で推定された政策関数が最適となるような θ を求める。その際、前方シミュレーションの手法によって既存企業の価値関数进行评估する。

3.2.2 参入コストパラメータの推定

参入コストのパラメータ θ_e は Berry and Waldfoegel(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。

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

C_e^e は切断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。

3.2.3 シミュレーションによる補助金の定量的評価

シミュレーションを用いた分析によって、適切な補助金のあり方について評価する。現状の補助金が適切に行われているか否かを評価した後、補助金の配分をどのように見直せばよいかを考察する。

現状の評価については、現状の補助金の下での企業行動と補助金が全くないという仮想的なケースの下での企業行動をシミュレートする。2つのケースの均衡での企業行動を比較することで、イノベーション活動に対する財政支援の評価を定量的に行うことが可能となる。定量的な評価軸としては、企業の利潤、イノベーションの実現割合、「余分な」補助金に着目する。企業の利潤からは財政支援が供給側に与える影響を評価できる。しかしながら、イノベーションによって影響を受けるのは供給側に限られない。新製品や新サービスが市場に投入されれば、消費者もそこから便益を得ることができる¹⁵⁾。この点を踏まえ、企業の利潤だけでなく、プロダクト・イノベーションの実現割合にも着目したい。「余分な」補助金とは、財政支援がなくともイノベーション活動を行う企業に割り当てられた補助金と定義する。財政支援がなくともイノベーション活動を行う企業に多くの補助金が配分されていた場合には見直しの余地が存在する。

現状の補助金について定量的評価を行った後、

関心の対象となるのは、補助金の配分方法を変更することによってより望ましい状況が実現するか否かである。財政支援がなくともイノベーション活動を行う企業に多くの補助金が配分されていた場合、そうした余分な補助金を別の企業に再配分することによって、イノベーションの実現割合を高められる可能性がある。

このような分析を行うために、次の2段階の手続きが考えられる。まず、どのような特性を持った企業が補助金なしでイノベーション活動を実施しているかを推定する。仮に特定の特性を持った企業が補助金なしでイノベーション活動を積極的に行っている場合、同様の特性を持った企業への補助金配分を他の企業に移転すれば、補助金の総額を一定としたままで、より高い政策アウトカムを実現できる可能性がある。分析の第1段階の目的は、このような企業特性の候補を見つける点にある。分析の第2段階では、第1段階で挙げた候補に応じて補助金の配分方法を見直す。見直された配分方法の基でシミュレーションを行うことによって、新しい配分方法の効果を定量的に評価する。

4. 結論

本論文では、我が国における民間部門のプロダクト・イノベーションの特徴を概観した後、その特徴を捉える動学的なモデルを構築し、イノベーション活動への補助金の影響を定量的に評価するためのフレームワークを提示した。イノベーション調査の結果からは次の3点が明らかになった。第1に、画期性のあるプロダクト・イノベーションと売上高との間には相関がある。この結果は、市場にとって新しいイノベーションが経済的に大きいインパクトを与えることを示唆する。第2に、画期性のあるプロダクト・イノベーションは技術的な波及効果を内在している。そして、この波及効果を通じて、高い付加価値を生み出す新製品やサービスが誕生していることが示唆される。また、景気の良い時期について、企業は競合他社のプロダクト・イノベーションに対して積極的なイノベーション活動で反応しており、波及効果の存在と

整合的な結果が得られている。第3に、中・大規模に属する企業については、公的助成の有無と画期性を有したプロダクト・イノベーションの多寡との間に統計的な関係が見られる。

さらに、本論文では、特に公的な補助金の役割に着目し、補助金の影響を定量的に評価するため、動学モデルの構築と構造推定・シミュレーションを通じたフレームワークを提示した。このモデルにおいて、企業のイノベーション活動における戦略的関係と波及効果に焦点を合わせ、マルコフ完全均衡を定義した。最後に、モデルに基づいた構造推定とシミュレーションの手続きについて整理した。

今後の課題としては、実際に構造推定とシミュレーションを行うことによって、望ましい公的助成のあり方について議論することが挙げられる。特に、現状の補助金が効率的に配分されているかどうか、非効率性が見られるとしたらどのように配分方法を見直すべきか、という点に関心がある。

イノベーション競争がグローバルに展開されている中で、わが国の限られたリソースをいかに有効に活用しつつ民間企業のイノベーション活動を支えていくか、個票データを用いたさらなる研究の蓄積が望まれる。

(東京大学大学院経済学研究科大学院生、学術振興会特別研究員 DC・東京大学大学院経済学研究科)

注

* 一橋大学におけるセミナー参加者。特に楡井誠氏からのコメントに感謝する。

1) 東京大学大学院経済学研究科博士過程、日本学術振興会特別研究員 DC。

2) 東京大学大学院経済学研究科准教授。

3) 企業間の動学的な競争を通じた影響を組み入れて財政支援の評価を行った先行研究に Finger (2008) があるが、本論文では Finger(2008) と異なり企業数を内生として扱っている。

4) 調査は、オスロ・マニュアル(OECD, 1992, 1996, 2005) に基づいて行われており、国際的な比較が可能な形となっている。

5) 以下の内容は文部科学省科学技術政策研究所(2010)によっている。

6) 従業者数 10 人以上 49 人以下の企業を「小規模」、50 人以上 249 人以下の企業を「中規模」250 人

以上の企業を「大規模」としている。

7) 図内の「市場新規性」とは本論文における画期性のことである。以下の図でも同様。

8) なお中央値より大きいか小さいかによって企業を分類している。

9) 問 27 は、景気が良い時期と悪い時期について別々に質問している。質問項目は「仮に貴社と同規模の競合他社(ない場合は最も重要な競合他社)がプロダクト・イノベーションを実現したことを知った場合、貴社はイノベーションのプロジェクトを立ち上げますか」、「仮に貴社と同規模の競合他社(ない場合は最も重要な競合他社)がプロダクト・イノベーションを実現したことを知った場合、貴社は研究開発費を増額しますか」、「仮に貴社と同規模の競合他者(ない場合は最も重要な競合他社)がプロダクト・イノベーションを実現したことを知った場合、貴社は研究開発費を減額しますか」というものである。

10) 西川・五十川・大橋(2010)では、画期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た。資金面以外の隘路が問題となっているため、公的助成が画期性のあるイノベーションに繋がっていない可能性がある。

11) 特に画期性のあるイノベーションの実現に焦点を合わせる。

12) こうした定式化をした最近の研究としては例えば Hashmi and Biesebroeck(2010)が挙げられる。

13) 藤本・安本(1998)は我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。

14) 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捉えているとの解釈も可能である。また、この仮定がなかった場合でも、 θ_i など他の構造パラメータについて問題なく推定できる。

15) 新製品の導入による消費者余剰は Petrin (2002) など需要推定の先行研究で分析されている。

参考文献

- 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. 文部科学省科学技術政策研究所(2010)「第2回全国イノベーション調査報告」, NISTEP REPORT-144.
- 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.
- Arrow, K. J. (1962) "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," in Nelson R. R. (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton: Princeton University Press.
- Bajari, P., C. L. Benkard and J. Levin (2007) "Estimating Dynamic Models of Imperfect Competition," *Econometrica*, Vol. 75, No. 5, pp. 1331-1370.
- Berry, S. and J. Waldfogel (1999) "Free Entry and

- Social Inefficiency in Radio Broadcasting." *RAND Journal of Economics*, Vol. 30, No. 3, pp. 397-420.
- Doraszelski, U. and M. Satterthwaite (2010) "Computable Markov-Perfect Industry Dynamics." *RAND Journal of Economics*, Vol. 41, No. 2, pp. 215-243.
- Ericson, R. and A. Pakes (1995) "Markov-Perfect Industry Dynamics: A Framework for Empirical Work." *Review of Economic Studies*, Vol. 62, No. 1, pp. 53-82.
- Finger, S. R. (2008) "An Empirical Analysis of R&D Competition in the Chemicals Industry." University of South Carolina.
- Hashmi, A. R. and J. V. Biesebroeck (2010) "Market Structure and Innovation: A Dynamic Analysis of the Global Automobile Industry." NBER Working Paper 15959.
- Hotz, J. H. and R. A. Miller (1993) "Conditional Choice Probabilities and the Estimation of Dynamic Models." *Review of Economic Studies*, Vol. 60, No. 3, pp. 497-529.
- Mairesse, J. and P. Mohnen (2010) "Using Innovation Surveys for Econometric analysis." UNUMERIT Working Paper 2010-023.
- Maskin, E. and J. Tirole (1988) "A Theory of Dynamic Oligopoly, I: Overview and Quantity Competition with Large Fixed Costs." *Econometrica*, Vol. 56, No. 3, pp. 549-569.
- Maskin, E. and J. Tirole (2001) "Markov Perfect Equilibrium I: Observable Actions." *Journal of Economic Theory*, Vol. 100, No. 2, pp. 191-219.
- Petrin, A. (2002) "Quantifying the Benefits of New Products: The Case of the Minivan." *Journal of Political Economy*, Vol. 110, No. 4, pp. 705-729.
- Vives, X. (2009) "Strategic Complementarity in Multi-stage Games." *Economic Theory*, Vol. 40, No. 1, pp. 151-171.