

○萩原泰治（神戸大経営）

経済分析においては、技術変化の重要性は深く認識され、技術進歩の内生的な理論化が多く試みられている。しかし、それらの多くは、技術進歩というブラック・ボックスを技術進歩関数という新たなブラック・ボックスに置き換えているに過ぎない感がある。たとえば、生産性上昇率が研究開発投資や人的資本に対する投資の関数であるという設定は、それぞれに技術進歩に関する事実を捉えているが、どのような経路を経て技術が進歩するのかを説明するものではない。本稿では、技術の発展メカニズムに関する「組み合わせ仮説」を提出し、品質の改善を伴う新製品の成長過程に応用する。

I 技術発展の特徴

技術の発展過程に関して、次の諸点が強調される。(1)技術発展の累積性、(2)技術開発における不確実性、(3)変化する技術機会、(4)企業間で異なる技術開発能力、(5)企業間で異なる模倣能力。これらの特徴は、経済分析における既存のモデルによって十分説明されていない。

I-1 技術地図

個々の技術がそれまでに存在していた技術を基礎として発展してきたことは技術の歴史から容易に理解される。例えば、ワットの蒸気機関は、それに先行するニューコメンの蒸気機関、金属加工の技術とある程度の科学知識がなければ不可能であった。逆に、将来の技術の発展を予測する際にも同じことがいえる。全ての技術の獲得は、それまでに存在している技術に条件づけられている。存在している技術の中で当該新技術獲得のために不可欠な技術の集合を、その技術の基礎技術集合と呼ぶ。

I-2 技術革新の組み合わせ仮説

ここで、「企業の保有する技術の適切な組み合わせにより新しい技術が獲得される」と考えよう。どのような技術の組み合わせが新しい技術を生み出すかは、企業にとって未知である。

期首に企業はいくつかの技術を保有している。1単位の研究開発プロジェクトにおいて、それらの中からいくつかの技術の組み合わせを選択し、新技術を獲得できるか否かをテストする。選択された組み合わせが何らかの技術の基礎技術集合であれば、その技術を獲得できる。1期間で、プロジェクトの成否は明らかになる。成功したプロジェクトから獲得された技術は、次期期首における保有技術に加わる。成功・失敗を含め一度試みた組み合わせは、繰り返し試みない。

企業の技術的能力は、その保有する技術と過去に試みた組み合わせのリストである。保有技術が多いほど、新しい技術を獲得できる潜在性は大きくなる。その一方で、選択の対象となる組み合わせは、保有技術を n 、基礎技術集合の元の数を p とすると、 $nC_p = n! / p!(n-p)!$ であり、保有技術の数より速い速度で増加する。企業は、組み合わせの経験を積み重ねることにより、テストしていない組み合わせが減少するので、新しい技術を開発する可能性が高くなる。

現実の世界では、企業は、それぞれに事前に技術発展の可能性について予想を持っており、技術の組み合わせに関しても独自の優先順位を持つと考えられるが、ここでは、より収益の上がる技術の組み合わせを優先的に選択すると考える。

研究開発予算の許す範囲で、いくつかの研究開発プロジェクトが同時並行的に実行される。技術の組み合わせ方により特徴づけられた研究開発プロジェクトは、いづれも同じ研究開発コストを必要とする。1 期間に同時並行的に実行されるプロジェクトの数は、研究開発費総額に依存している。研究開発費は売り上げ (PX) の増加関数であると考えられるが、企業が、他の既存製品の生産を継続しながら新製品の開発に従事している場合を考慮すると、プロジェクトの数は、 $(R_0 + R_1 PX)$ として定式化される。

1-3 技術の模倣

企業は、自己の開発によってだけでなく、外部からも新しい技術を獲得することができる。アカデミックな分野での発見、他産業において開発された材料、機械の購入、競争企業が開発した技術の模倣があげられる。技術の模倣は次のようにわれわれの議論に組み込まれる。

開発された技術のうち、市場で収益を上げることのできる技術は生産に利用される。一定期間後には、競争企業は、その技術を獲得するために必要な技術の組み合わせに関する知識を得る。しかし、このこと自体は、模倣が瞬時に行われることを意味してはいない。模倣をするためには、企業に欠けている技術を獲得しなければならない。目標とする技術を獲得するために直接に必要な技術を企業が保有していれば、研究開発プロジェクト 1 期間の後に、企業は模倣に成功する。しかし、直接に必要な技術を保有していなければ、それらをも獲得するための研究開発プロジェクトをも行わなければならないので、模倣により多くの期間を必要とする。模倣のための研究開発プロジェクトは、自己の技術革新のためのプロジェクトの予算を圧迫する。どのような技術を組み合わせれば、技術が獲得できるかは知っているので、技術革新のための試行錯誤は不要であるが、技術獲得のための努力と時間を必要とする。

1-4 組み合わせモデルの特徴

最初にあげた技術発展の諸特徴は、われわれのモデルに次のように反映されている。

(1) 技術発展の累積性は、基礎技術集合の獲得が新技術獲得の前提条件であることに反映されている。

- (2)技術開発における不確実性は、企業が事前に技術発展の構造を知ることができないこと、新しい技術を獲得するたびに（企業にとって未知である）技術開発に関する客観的な可能性が変化するため、定常的な成功確率を持たないことに反映される。
- (3)変化する技術機会。獲得された技術がさらに新しい技術の基礎技術集合を形成すれば、技術機会は拡大するが、そうでない場合は、次第に先細りになる。
- (4)企業間で異なる技術開発能力。企業の保有する技術、企業の開発の経験、組み合わせ方に関する戦略(十分に定式化されていないが)により、企業間の格差、時間を通じての変化が生じる。
- (5)企業間で異なる模倣能力。企業の保有する技術により、模倣に要する期間の長さ、独自技術開発の後れという犠牲は異なる。

II 新製品のプロダクト・ライフ・サイクル

新製品が誕生し普及する過程で、品質・費用に関する改善と産業構造の変化が観察される。Klepper[1996]は、次のような命題に要約した。(1)参入企業数は、産業の初期において増加、減少のいずれも生じうるが、最終的には減少する。(2)企業数は産業の初期において増加を示した後に減少を始めるが、産業全体の生産量は成長し続ける。(3)最終的には、最大企業の市場シェアの変化率は低下し、産業の主導権は安定化する。(4)競合する製品の多様性、主なプロダクト・イノベーションの数は、企業数が増加している期間にピークに達し、それ以降減少する。(5)期間中、企業はプロダクト・イノベーションよりプロセス・イノベーションに努力を集中する。(6)企業数が増加している期間中、新規参入企業によるプロダクト・イノベーションのシェアは、企業数に占める新規参入企業のシェアよりも高い。これらの命題の中で、第4、第6の命題を中心にみる。

ここで、プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションの源泉は、異なり、前者は、累積生産量の増加とともに費用が低下するという学習効果を前提にし、後者に関して、先に述べた組み合わせモデルを適用する。

II-1 組み合わせモデルの適用

新製品の品質の登場及び改良は、次のようにして生じると考える。プロトタイプの出現は、それまでに存在していた技術を組み合わせることにより可能となる。プロトタイプと既存の技術を組み合わせ、より品質の高い改良版が開発される。さらに高い品質の製品は、プロトタイプ、それまでの改良版、既存の技術を組み合わせ、開発される。

このような技術発展の可能性を示す技術地図の一例は、第1図に示される。破線より左側は、新製品登場以前の既存の技術群であり、右側の丸のかっこ内の数字は、新しい品質を示す。プロトタイプ(1)は既存の技術群から生み出され、改善された技術(2)を生み出す。あるいは、技術(5)は新製品の技術(1)と(4)を組み合わせ、生み出される等のパターンがあり得る。

革新企業は、新製品開発の成功により独占利潤を得るとともに、さらによりよい技術の開発を目指して研究開発プロジェクトを行う。プロトタイプと既存の技術を組み合わせて技術を改善しようとする。

プロトタイプの開発に成功した革新企業と潜在的な競争企業が同じ技術を共有し、プロトタイプの技術のみ革新企業が先行して取得した場合、競争企業は数期の遅れのもとで、一斉に参入する。革新企業は、参入企業より長期間プロトタイプの技術に関係した研究開発プロジェクトに従事しているため、新技術の開発に関して有利である。したがって、新規参入企業がプロダクト・イノベーションに関して有利であるという命題(6)の導出は、遅れて参入した企業の技術的な優位性、すなわち、企業間の技術的な多様性の存在を仮定しなければ説明できない。

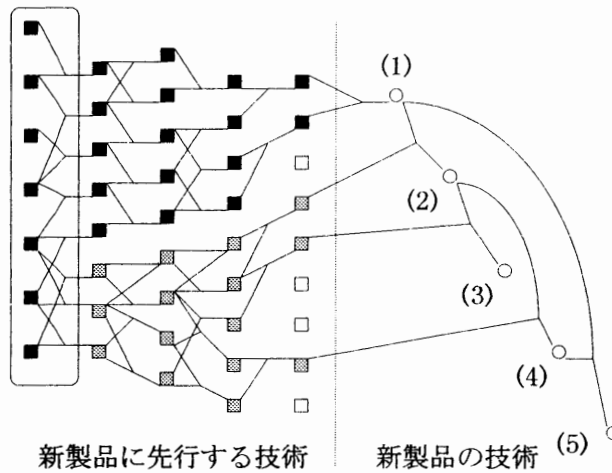


図 1 新製品技術の発展

プロトタイプの後継製品が、プロトタイプを生み出した技術とは異なる系統の技術との組み合わせにより出現し、企業はそれぞれに異なる技術を保有している場合を考える。すなわち、第一図において、革新企業は、先行技術の黒い四角に示される技術を持っているが、競争企業は、灰色の四角に示される技術と左端の四角で囲まれた7つの技術を保有している。後者の7つの技術から、全ての技術が生み出されるが、革新企業とその競争相手は、異なる方向へ技術を発展させてきた。このような状況のもとでは、革新企業は、プロトタイプの開発においては他企業に比べて有利であったが、その改善に必要な技術を欠いている。一方、他の企業は、革新企業の技術を模倣し、自己の固有な技術をその改善に利用することができる。

II-2 市場モデル

企業は、各品質に関して、粗利潤があれば生産し、一定以上の利潤が得られれば、次期の生産拡大の投資をする。生産できる技術を持ち、利潤が十分に高けれ

ば市場に参入し、そうでなければ、生産規模を縮小し、最終的には撤退する。消費者は、それぞれの予算の許す限りで、より高い品質の商品を購入しようとする。各品質に関して需要と供給が一致するように価格が決まる。

II-3 プロダクト・ライフ・サイクルの過程

技術発展のモデルと市場モデルの結合により、プロダクト・ライフ・サイクルのモデルが完結する。

革新企業がプロト・タイプの製品を市場に出す。最小規模での供給から始めるため、高い価格が成立し、革新企業は、生産規模を拡大する。技術を獲得した企業は、投資基準を上回る利潤を期待できるとき、最小規模で参入する。新しい品質を獲得した企業は、最小規模の供給量のもとで高価格を享受する。利潤が大きいため、生産を拡大する一方、累積生産量の増大により学習効果（Learning by Doing）が作用して、費用は低下する。生産拡大、費用低下の結果、価格は低下する。

一定期間（以下に示す数値計算では3期）の後に技術の獲得方法（技術の組み合わせ方）は一般に知られるようになり、適切な技術能力を持つ企業は、自企業独自の技術開発の機会を犠牲にしてではあるが新技術を学習できる。革新企業に近い技術を持つ企業は早く、離れた技術しか持っていない企業は遅く技術を獲得する。後発企業の初期費用のもとで価格が参入の基準を満たしていれば、参入する。後発企業が技術を獲得して技術的に参入可能になったとき、価格は参入に値しないほど低下しているかもしれない。この場合は、企業はよりすぐれた品質の技術を開発するまで参入できない。価格の低下により参入できない可能性が高くなるのは、(1)革新企業の初期生産規模が大きく、(2)革新企業の生産拡大が早く、(3)革新企業の学習効果が早く働き、(4)需要の価格弾力性が小さく、(5)模倣にかかる時間が長い場合である。

参入により急速な価格低下が生じる一方、革新企業に比べて参入企業の累積生産量は小さいため学習効果があまり働かず、費用はあまり低下しない。したがって、遅れて参入した企業ほど、収益性が低く生産規模を縮小させ、退出にいたる。このようなプロセスが、各品質ごとに生じる。参入した企業のうち、技術の模倣だけで参入した企業は、すべての品質において競争に敗れ消滅する。新しい品質の開発に成功した経験のある企業が十分な規模の拡大とともに費用を低下させてその品質において生き残ることができ、研究開発規模を高く維持し、次の技術獲得のための努力を高く維持できる。

技術革新の停滞は、2通りの説明が可能である。一つは、潜在的な技術の枯渇という外生的なものである。他方は、先に述べた可能な組み合わせの数の増大による新技術発見の可能性の低下である。新しい技術の獲得が生じなくなると、参入は停止し、費用の高い企業が退出することにより、安定的な寡占状態が出現する。

II-3 数値計算の結果

コンピューターによるシミュレーションによる例を示す。革新企業と潜在的な

競争企業が64社存在する状況を考える。

総生産量の増加過程は、0, 7, 10, 12, 19, 24, 32, 54, 74期の計9時点に生じたプロセスイノベーションに刺激されている。これらの技術革新のうち、0, 7, 10, 12期における4回の技術革新は、新規参入企業あるいは、参入後4期以内の企業により行われている。

参入・退出と技術革新の関係を指標化すると

$$\begin{aligned}\Sigma_t(\text{参入件数} \times \text{時点}) / \Sigma_t(\text{参入件数}) &= 21.5 && (\text{平均参入時期}) \\ \Sigma_t(\text{退出件数} \times \text{時点}) / \Sigma_t(\text{退出件数}) &= 25.0 && (\text{平均退出時期}) \\ \Sigma_t(\text{革新件数} \times \text{時点}) / \Sigma_t(\text{革新件数}) &= 12.9 && (\text{平均革新出現時期})\end{aligned}$$

参入が生じている時期にプロダクト・イノベーションが出現していたことが確かめられる。

また、新規参入移行の経過期間を企業年齢と呼ぶと、

$$\begin{aligned}\Sigma_t(\text{企業数} \times \text{企業年齢}) / \Sigma_t(\text{企業数}) &= 23.5 && (\text{平均企業年齢}) \\ \Sigma_t(\text{革新企業数} \times \text{企業年齢}) / \Sigma_t(\text{革新企業数}) &= 4.9 && (\text{平均革新企業年齢})\end{aligned}$$

となり、プロダクト・イノベーションは参入して間もない企業によって主に行われていることがわかる。

Klepperの諸命題の中で、われわれの興味あるのは、命題(4)と命題(6)、すなわち、プロダクト・イノベーションが参入の盛んな時期に起こること、新規参入企業の占める比重が企業数に比べて大きいことである。前者は、平均参入時期(指標(1))より平均革新出現時期(指標(3))が小さいこと、後者は、Klepperの命題に比べると緩い条件であるが、平均企業年齢(指標(4))より平均革新企業年齢(指標(5))が小さいことで示されると考える。

文献

- Klepper, S., "Entry, Exit, Growth, and Innovation over the Product Life Cycle", American Economic Review, vol.86 no.3 (June 1996) pp.562-583
- 萩原泰治 「技術進歩の組み合わせモデル」国民経済雑誌、第176巻第2号、(1997年8月)pp.97-109。
- 萩原泰治 「プロダクト・ライフ・サイクルと産業構造」国民経済雑誌、1997年11月予定。

E-mail: hagiwara@rose.rokkodai.kobe-u.ac.jp