

技術開発と産業化の歴史的考察

石山 嘉英*

要 約

本稿は、技術開発とその産業化を歴史的事例に即しつつ考察しようとするものである。現在、エコノミストの間では技術と経済成長の関係についての研究が再び盛んになってきているが、その直接のきっかけは1990年代に米国を中心にして世界的に進んだIT革命である。IT革命の基本的性格、その各産業への影響などは現在なお活発に論じられている。また、現在の日本経済の観点から考えると、技術開発とその産業化というテーマの考察は、日本経済の長い停滞を打開し、新しい産業を創出するためのヒントを与えてくれるはずである。

そこでまず、技術と経済成長の関係を一般的に考察するが、これまでの経済成長モデルの技術の取り扱い是不十分なものであり、具体的・個別的に技術の性格を明らかにする必要があると考えられる。また、あらゆる技術を並列させるのではなく、そのもっとも上位に、発展性、改良改善の可能性、他の技術との補完性の高い「汎用技術」があると考えることが技術発展のプロセスを歴史的・理論的にとらえる場合に有用である。この汎用技術というコンセプトをはじめて提唱したのはプレスナハンおよびトライテンバーグであり、その具体例としては電力・電気、内燃機関、コンピューターがある。本稿は、歴史的にこれらの汎用技術がどのように開発され、また産業化したかを考察している。まだ、これらの汎用技術はきわめて多くの産業につかわれるようになったが、その中でもそれを活用して大きな産業となっていたのが電気機械産業と自動車産業であった。

新しい技術は、既存の生産物の生産コストを低下させるタイプのものと従来存在しなかった新しい生産物を生み出すタイプのものとに分けることもできる。これらのそれぞれについて、新技術の開発費用とその新技術をつかうことによって生じる企業の利潤の増加分、新製品を消費する消費者の効用の増加分を比較するという理論的モデルを示すことができる。これは新技術の発生を説明する基礎的な理論と考えられる。

I. はじめに

本稿は、技術開発とその産業化を歴史的事例に即しつつ考察しようとするものである。

このテーマは以前からエコノミストが繰り返して論じてきたものであるが、最近再び研究が盛

* 千葉商科大学政策情報学部および政策研究科教授

んになろうとする気配がある。新しい研究には歴史的事例研究と理論的研究の両者があるが、それらがこのテーマに関していかなる新しい知見をもたらしつつあるかを知ることは、現在それ自体でも意味のあることであろう。最近研究が増えつつある理由は、言うまでもなく1990年代の米国を中心として世界的に進んだIT革命であり、ITの各産業への浸透、ITが経済成長に与える影響などの研究が進んでいる。

しかし、現在の日本経済の中で技術開発と産業化というテーマをあらためて考察することは、このテーマへの一般的興味を超えて、日本経済の長い停滞を打開し、新産業を創出するためのヒントを得たいというモチベーションからも発している。さらに、わが国では1995年に「科学技術基本法」が制定されており、それにもとづいて1996年度から5年間の「科学技術基本計画」(閣議決定事項)が実施され、2001年度からは第2次の計画が実施されつつある。この計画には巨額の国費が投入されており、国費の有効・有意義な使用という観点からもその成果が注目されるところである。

もちろん、単純に「技術開発が停滞しているから産業と経済も停滞している、停滞を打開するためには技術開発を盛んにすればいい」と言えるのかどうかははっきりしない。また、現在の日本において技術開発が停滞しているとは言えないであろう。しかし、技術開発のありかたについては根本的な議論が必要になっている。日本の現在の技術開発のパターンに問題が出てきていることは否定できないであろう。なお、ここで「高い経済成長」とは短期的なスパートではなく、100年をこえるような持続的な経済発展を意味している。

本稿の構成は以下のとおりである。まず第Ⅱ節においては、技術開発(あるいは技術進歩、技術的变化)と経済成長の関係を一般的に考察する。「技術」と一口に言ってもじつはさまざまなものがあるので、その分類基準についても言及する。技術という膨大な分野を分析的に取り扱うためには分類学が不可欠である。

第Ⅲ節では、「なぜ新しい技術が発生するのか」という問題について、これまでの研究に言及しつつ筆者の考えを示してみたい。新しい技術がじっさいに実現したとすると、それを可能とした科学的・技術的知識が存在した(いわば技術の供給サイド)ということは自明であるが、同時にその技術への需要も存在していたはずである。するとそこでは、技術の供給サイドと需要サイドのどちらが主導するのかという問題があることになるが、一般的な答えを見出すことは不可能であり、個別的な事例ごとに答えるしかないことが論じられる。

新しい技術の発生が科学・工学の主導によって、あるいは軍事目的のために、つまり企業・産業からの要請によらないでおこることもある。しかし、それを経済学的に説明することはできないので、その場合の新技術は企業・産業にとっては所与となる。いったん生まれた新技術が商業化・産業化の可能性をもっていれば、企業はもちろん応用研究と開発に進むことになる。また、新しい技術の発生が明らかに企業・産業の要請によって、つまり需要主導でおこることもある。いずれにしても、新しい技術は新しい財となり、新しい産業が立ち上がることになる。以下ではそのプロセスあるいはメカニズムが理論的モデルによって示される。

第Ⅳ節は、いくつかの個別具体的な新技術の事例をとりあげ、それがどのように普及・発展するのか、どのように改良されていくのか、それによってどんな新産業が発展するのかを考察する。とりあげる事例の多くは米国のものであるが、これは新技術の開発における米国のリードを反映するものである。企業による研究開発と政府の役割についても言及する。

第Ⅴ節は本稿の結論的部分である。第Ⅳ節までの考察につづいてこれまでの日本の技術開発をふりかえり、現在の日本が進むべき技術開発への示唆が導き出されている。日本がこれまで行ってきた技術開発の大部分は、外国からの基本技術の導入とその改善、あるいは複数の技術の組み合わせ・融合というパターンにしたがって

いた。これによって日本が比較的安あがり技術の階段を上がることができ、大きな経済成長の成果を手にしてきたことはたしかである。見玉文雄教授（東京大学）はその著書 Kodama (1991) の中で、米国企業の多くが追及するブレークスルー型の技術開発よりも日本企業の多

くが追及する融合（fusion）型の技術開発の方が優れた成果を生み出すことを強調した。しかし、現在ではこうした見方は説得力をもたなくなっているように思われる。そこで私なりに、日本の技術開発のあり方について若干の考察を行って締めくくりとしたい。

II. 技術開発と経済成長の関係

II-1. 新古典派的モデルと進化論的モデル

本説では、技術開発と経済成長の関係について序論的な考察を行う。

新しい技術の開発と持続的な経済成長との間には関係があるという認識は広く共有されているものであるが、それがいかなる関係であるかを正確に記述することはそれほど容易ではない。一般的には、新しい科学・工学上の発見・発明があると技術が開発され、それをもとにして新しい産業が立ち上がり、新しい物財とサービスが提供されるようになる場合が多い。しかし、科学・工学によらない技術の改良から新産業が生まれる場合もある。いずれにしても、新しい産業が発展していけば、古い産業が縮小し、需要は古い物財とサービスから新しい物財とサービスにシフトする。このような産業構造の不断の変化がなければ経済成長が持続することはないと考えられる。つまり、持続的な経済成長とは不断の産業構造の変化とほとんど道義である。新しい財の出現が成長を持続させるのである。

経済成長とは何か。通常は新古典派的な経済成長モデルによって答えが与えられている。このモデルは生産要素（資本、労働）の投入と産出（実質 GDP）の時間的経路を説明しようとするものであるが、その中に技術進歩も一応は組みこまれている。

しかし、新古典派的成長モデルはいくつかの点で本質的な批判にさらされてきた。批判のひとつは、それが技術、生産物、産業の歴史的な興亡を扱っていないということである。それが

一財しか存在しない集計的なマクロモデルである場合には、定義的に産業構造の変化は存在しないし、また多くの財が存在する他部門モデルである場合、あるいは研究開発部門と一般産業部門の2部門のモデルである場合でも、各部門の相対的なウエイトの変化を必ずしも説得的に論じていない。産業構造の変化が経済成長の内容として本質的なものであるとすると、産業構造の変化を明示的にとりあげない成長モデルが非現実的すぎると批判されるのは避けられない。

もうひとつの批判は、少なくとも初期のモデルにおいて技術進歩（経済の生産性の上昇）が外生的におこるという仮定が行われていたことに対して向けられてきた。初期の新古典派成長モデルにおいては、技術進歩はマクロ的な生産関数を上方にシフトさせるものとしてとらえられていた。しかし、これでは問題に対する答えになっていない。

その後、マクロ的経済成長モデルの枠の中で、新しい技術は新しい資本設備に体化されて実現するという考え方が提示された。より最近では「内生的経済成長モデル」が提示され、マクロ経済の技術（生産性）のレベルを研究開発への支出水準やそれに従事する人員の数によって説明しようとする試みが行われている。しかし、この考え方にも問題があろう。なぜなら、科学・技術にも供給サイドというものがあり、その制約が強い場合にはどんなに大きな研究開発支出を行っても意図する新技術が開発されないかもしれないからである。

それでは、新古典派的な経済成長モデルにとって代わるような技術開発と経済成長のモデルは存在するのだろうか。新古典派モデルほど完成された形ではないが、代替的アプローチ、モデルは存在しているのである。それは、ネルソンおよびウィンター（1974、1982）が中心となって進めてきた進化論的な経済成長モデルである。このモデルは、技術開発と企業行動について、新古典派のモデルよりもはるかに現実的な想定をおいている。とくに技術開発の主体である企業については、すべての企業を同質的と見るのではなく、イノベーターとイミテーター（模倣者）とが存在すること、またイノベーターにとっても新技術の開発は結果の不確かな探索のプロセスであることを想定している。

ネルソンおよびウィンター（1974）は、企業についてもっともらしい行動ルールを想定し、ソロウ（1957）が新古典派的成長モデルにつかった米国の労働生産性、資本労働比率、資本分配率の歴史的データ（1909～49年の年次データ）が、進化論的な成長モデルのシミュレーションによって十分に再現できることを示した。また、ソロウが推計した技術（生産性）のレベルの指数（1909年＝1.000）とほぼ同じものがシミュレーションによっても得られることを示した。これは、マクロ経済変数の歴史的推移が新古典派モデルにとってはまったく異なるモデルによっても解釈できるという注目すべき研究結果である。

しかしながら、ネルソンとウィンターのモデルにも問題はある。モデルにおける技術変化が生産に対する資本と労働の投入量の減少としてのみとらえられており、新しい技術による新しい財の発生はまったく考察の対象となっていないからである。つまり、技術変化の多様な側面がとらえられていないのである。

技術進歩の経済学的研究をサーベイしたケネディおよびサルウォール（1972）は、技術進歩そのものを直接に測定することは不可能であると指摘し、われわれにできることは技術進歩をそれがGDPや労働生産性に与える「効果」

によって測定するしかないと述べている。しかし、技術進歩の「効果」を測定する方法自体もはっきりしていないという問題がある。初期の新古典派成長モデルのように、それを資本と労働の投入の増加によっては説明できないGDPの増加、つまり「残差」ととらえることの欠点についてはすでに述べたとおりである。しかし、それではどうするのか。技術進歩が天から降ってくるものでないとする、技術的知識に対する投資（研究開発投資）がそのストックを増大させ、それが資本と労働の投入と産出（GDP）との関係を変化させると考えるのはリーズナブルであろう。しかし、そこには技術的知識のストックを本当に測れるのかという問題がある。これら未解決の問題を考えるためには、技術変化の具体的な事例の研究をもっと積み上げる必要があるだろう。

さらに、これまでは明示しなかった大問題が残っている。それは新しい財を生み出すような技術進歩である。これまで考えてきた技術進歩は、生産される財には変化がなく、同量の財をより少ない投入によって生産できるようになるという現象に着目するものであった。たしかにそのような費用節約的な技術進歩は重要であろうが、それだけを技術進歩と考えることは根本的に間違っている。なぜなら、企業の研究開発の大きな部分は新しい財を開発するために支出されており、新しい財の出現がなければ産業の発展は持続しないからである。早い時期に、グスタフソン（1962）はこの点を指摘し、費用節約という意味での技術進歩ばかりを研究しようとするエコノミストの傾向を批判していた。この新しい財の出現をいかに分析するかは困難の大きい課題であるが、ようやく近年になって研究が本格化しようとしている（たとえばプレスナハンおよびゴードン（1997）を参照）。

新しい財をとらえるためのひとつの方法は、それを既存の財の質の向上として定義することであろう。財の質の向上は、質を一定としてその価格が低下することであると考えることができる。物価指数はこの考え方に立ってつくられ

ており、それによって新しい財の出現を実質GDPの増大と結びつけることは可能である（現実のGDP統計はこの調整を十分に行っていない）が、新しい財をもっと正面から分析することが望ましいであろう。

以上のように、技術進歩と経済成長というテーマはさまざまな未解決の問題を抱えており、奥が深いと言える。

II-2. 技術の定義と分類についての考え方

本稿の主なテーマは第III節と第IV節で論じられるが、そのための準備として、ここで「技術」をどのように分類すべきかを考えてみよう。これまでは一口に「技術」と言ってきたわけであるが、技術の性格に応じて発生・発展のメカニズムと産業への影響は異なるはずである。したがって、何らかの技術の分類基準を考察することが以下の議論に役立つであろう。

「技術」を分類するためにはまずその定義が必要であるが、ここではさまざまな定義を並列させるのではなく、技術の発展を分析的かつ歴史的に研究するという目的に適合した定義とは何かを考えることとする。通常は、「技術」は「投入と産出との関係に関する知識」と定義されることが多い。たとえばデイヴィッド(1992)はこのような定義を明確に与えているわけではないが、「知識」を論文、特許、設計図などのコード化された知識（したがって伝達、実証、再生が容易な知識）とコード化されていない、暗黙の知識（したがって伝達、再生が容易ではない知識、「ノウハウ」と言われるものに近い）とに分けて論じており、その念頭にあるのは投入と産出との関係についての知識であることは明らかである。両方のタイプの知識が重要であることに異論はない。

しかし、このような「技術」の定義には曖昧さが残っており、それを払拭しておく必要があることを指摘しておきたい。コード化されているか否かにかかわらず、技術を「知識」と定義してしまえば、その知識を利用して製造されるハードウェア生産物は技術そのものではないこ

とになる（つまりそれは技術を「体化」したものととなる）が、それでいいのかどうか。これはセマンティックな問題であろうが、じっさいには機能するハードウェアが存在してはじめてその技術が実証される。設計図だけでは技術が存在するとは言にくい。したがって、技術を体化したハードウェアが生産されていることも技術の定義の中にも含めるべきであろう。

さて、「技術」をこのように定義した上で、技術の発展という観点からその分類を考えてみると、さまざまな技術の間にはある階層性と補完性が存在することに気がつく。技術の分類においてはこの点がもっとも重要であるように思われる。直感的に、技術には応用範囲の広いものと狭いものがあることは明らかであるが、最近ではこの「広い応用範囲」というコンセプトを厳密に定義し、そのような技術がいかに発生し普及するかを研究する動きが見られる。かりに技術に階層性があるとすると、その上位に位置する技術ほど改良とか発展のポテンシャルが大きいことになる。またそれは、より下位に位置する技術の開発を促すと見られる。上位の技術が開発されていなければ下位の技術は生まれようがないという関係があると言っていいように思われる。

この応用範囲の広い技術にはじめて「汎用技術」という表現を与え、その理論のモデルを提示したのはプレスナハンおよびトライテンバーグ(1995)であった。プレスナハンおよびトライテンバーグは、技術には上位に汎用性の高いものがあり、その下に次第に特殊になっていく用途につかわれる技術が位置しているという意味で階層性が存在すると述べ、上位に位置する汎用技術は、使用範囲の広さ、ダイナミックな発展性、イノベーションの補完性という3つの特徴をもつと述べた。

このような直感を厳密に形式化し優れた論文を発表しているのはリプシー、ベカーおよびカーロー(1998)である。彼らの議論は技術の経済学の基礎とも言うべきものを含むと考えられるので、以下では彼らの議論を要約して紹介

しておきたい。

彼らの議論は汎用技術 (general purpose technology) というコンセプトのまわりで展開されている。(これを「一般目的技術」と訳してもかまわないが、ここでは「汎用技術」としておく。) プレスナハンおよびトライテンバークは汎用技術の例として半導体をあげているが、汎用技術を厳密に定義したわけではなかった。

リプシー、ベカーおよびカーローは「汎用技術」を次のように定義している。

「汎用技術とは、はじめから大きな改善の可能性をもち、最終的には多様な用途に使用され、広い範囲で使用され、多くのヒックスのおよび技術的補完性をもつようになる技術である」

この定義はかなり複雑だが、それを理解するため、若干の説明が必要である。第1の特徴である大きな改善の可能性は意味が明らかであるが、汎用技術でなくとも改善の余地が大きいかもしれない。したがって、これは汎用技術であるための必要条件ではあっても十分条件ではない。第2の特徴である、じっさいに多様に使用されることの意味は明らかである。電力や内燃機関の例を見ればいい。しかしこれも必要条件である。第3の特徴である「広い範囲の使用」は第2の特徴とは異なる。第2の特徴は用途(使用目的)の多様性であるが、第3の特徴は単一の機能(たとえばコンピューターによるデータ処理)を多くの産業が使用するということである。

第4の特徴は他の技術との間に多くの補完性があるということであるが、技術的補完性とは、ある技術が十分に役立つために他の技術によって補完される必要があるということである。通常は新しい技術が現れると、それを財あるいはサービスの形で提供するために、別の新しい技術も必要となることが多い。この別の新しい技術は新しいハードウェアの形をとることが多いが、それをつくるために新しい技術が開発されることとなり、ここに汎用技術の波及性が見られる。たとえば、コンピューターが発明されると新しい半導体の発明が促されるというような

事例がある。このプロセスは、生産要素のサービスの価格や供給量の変化による、既存の生産関数の中での変化とは区別されるべきものである。これに対して、ヒックス的補完性とは、ある生産要素サービスの価格が変化したときに他の生産要素サービスの投入が補完的に変化することをさすものである。このような補完的な生産要素が多い場合にヒックス的補完性が多いと言う。

このように4つの特徴あるいは条件のすべてを満たすものが汎用技術と定義される。この定義にもとづいて考えると、電力、内燃機関技術、情報通信技術 (ICT) は汎用技術と認めていいものであることがわかる。たとえばこの中の電力は、発電機、送配電システム、電動機全体をひとつの汎用技術と考えるわけである。

II-3. その他の分類

技術の分類について、他にも有力な考え方はあるだろうか。かつては経済成長理論の中で、技術進歩が労働節約的なのか、資本使用的なのか、あるいは中立的なのかという問題が盛んに論じられていた。しかし、これはマクロの成長理論の枠組みの中での議論であり、技術的变化のミクロ的な現実とはほとんど関係のない研究であった。また、新しい財の出現のような問題は視野に入っていなかった。その意味で、本稿ではとくに取り上げない。

常識的な議論のレベルでは、技術がマクロ的かミクロ的かという定義(あるいは分類)が提示されることもある。マクロ的かミクロ的かという区別を提案したのはモキル (1990) である。ラディカルとインクレメンタルという区別が行われることもあるが、これはマクロ的かミクロ的かという区別とはほぼ同じと考えていいだろう。

モキルによるマクロ的技術(モキルは技術でなく発明という表現をつかっている)の定義は、それまでの技術的發展とは断絶した変化と見られるような技術ということであり、印刷技術などがその例とされる。文書の複製においては、木版であれ活版(文字を組みあげるもの)であ

れ、手書きから印刷にシフトすることがマクロ的（ラディカル）な変化であり、木版から活版へシフトすることがミクロ的（インクレメンタル）な変化ということになる。そしてモキルはマクロ的技術とミクロ的技術は補完しあうことが多いと指摘している。汎用技術はマクロ的技術であることが多い（例えば電力や蒸気機関）のであるが、すべての汎用技術がマクロ的变化というわけではない。たとえば内燃機関は蒸気機関技術の延長線上で発展したと考えられよう。また、マクロ的技術が汎用技術となっている場合も多いが、すべてがそうなるわけではない。これは印刷技術が汎用技術の定義にはあてはまらないことを見ればわかる。このように、マクロ的かミクロ的かという区別は汎用か特定目的かという区別と類似してはいるが同じではない。マクロ的、ミクロ的という定義は一次元的なものであり、技術の多様性をとらえるには不適切なものであると思われる。

最後に、もうひとつだけ別の定義を示しておこう。それはジェルマン・アソシエーツ（Gellman Associates）という調査会社のものである。この会社は1970年代に米国の全米科学財団（National Science Foundation）から主要な技術的变化の研究を委託されているが、その結果は

2人の研究者のレポート、フェイマンおよびフエンテヴィラ（1976）として発表されている。

このレポートは、米国、イギリス、西ドイツ、フランス、カナダ、日本の6か国のイノベーション能力を評価しようとするものであり、専門家のパネルに1953年から1973年までに市場に現れたイノベーション（それを体化した商品）のうちもっとも重要な上位500のものを検討した。その際、レポートは、イノベーションを（a）ラディカルなブレイクスルー、（b）主要な（major）技術的シフト、（c）改良改善（improvement）の3つに分け、この順に価値が低くなると考えている。それぞれのカテゴリーごとに各国がいくつのイノベーションを生み出したかを見るわけである。3つのカテゴリーの中でもっとも価値の高いラディカルなブレイクスルーは100が数えられ、その内訳は、米国65、イギリス25、フランス4、西ドイツ3であり、日本はわずか2であるという。

この結果はともかくとして、イノベーションと言われるものをすべて並列させるのでなく、それを価値の高さに応じて分類しようとするアプローチは妥当なものと言えよう。ただし、「技術の階層性」という考え方はここにも見られない。

Ⅲ．新しい技術の発生のメカニズム

Ⅲ－1．歴史的考察

新しい技術の発生はどんなメカニズムの中でおこるのかという問題を考えてみよう。ここではいくつかの汎用技術の例をとりあげ、一般論のレベルで論じておく。汎用技術には限らないが、大きな技術変化が生じると、その技術を十分に活用するために補完的な技術が開発されることが多い。たとえば、内燃機関が生まれたあとにはそのタイプに応じてさまざまな燃料が開発されたし、コンピューターが生まれたあとにはさまざまな半導体とソフトウエアが開発され

た。こうした補完的な（あるいは派生的な）技術の発生を説明することは容易であろう。

科学・工学（とくに前者）が独自の発展のロジックをもっていることは明らかであり、特定の技術が企業、産業からの需要なしに発生することがある。しかし、いったんその技術が発生したあとは、企業、産業がそれを大いに活用し発展させることになる。リプシー、ベカー及びカーロー（1998）は電気・電力の技術をこのような科学主導の中で発生したものの例としてあげているが、そのとおりであろう。そこで、電

力・電気技術の発生をふりかえることとしよう。

電気とは電子の流れ、電流のことであるが、その存在を1785年にたしかめたのはイタリアの解剖学者ガルヴァーニであった（カエルの足の筋肉がその近くでおこる放電によって痙攣することを発見）。これに対して、物理学者A. ヴォルタは神経の両端を2種の異なる金属でふれるだけで痙攣がおこることをたしかめ、金属にかぎらずすべての固体は電気をふくみ、2つの固体を接触させると一方から他方へ電気が流れると考えた。この考え方にもとづいて、ヴォルタは導体と2種の金属で輪をつくり、そこに電気が流れることを示した。

その後は、デンマークの物理学者H. エールステッドが、1820年に電流が磁気的な作用をもつことを実験で示し、電気と磁気との関係を見出した。また、イギリスのM. ファラデーは1831年に「電磁誘導」の現象を発見し、J. C. マクスウェルは1850～60年代に電磁気学の基礎を確立した。これらの研究のすべては科学者の知的興味によって進んだと考えられる。

こうした電磁気学の進展を受けて発電機・電動機の開発が始まった。すなわち、M. ファラデーは鉄の輪に2つのコイルを巻きつけて、第1のコイルに流す電流を変えると第2のコイルに電流が流れることを発見した。これを受けて、フランス人のH. ピクシは、コイルのそばで磁石を手回しで回して発電する発電機をつくり、イギリス人のJ. サクストンは固定した永久磁石の中でコイルを手回しで回転させる発電機をつくった。こうした発明をもとに、ドイツのE. W. ジーメンスは1866年に、コイルに生じる電流の一部を再び磁界用の電磁石に送る自己励磁方式の発電機を発明した。ほぼ同じ時期に、イギリスのC. ホイーストンとH. ワイルドも同じことを行っている。これがダイナモとも呼ばれる発電機である。いったんこれがつくられると、あとはそれを丈夫で連続運転できる実用的なものにすることが課題となるが、それにはじめて成功したのはベルギー人のZ. グラムであり、1870年のことであった。発電機の発明は多

くの発明の中でも偉業というべきものであり、その功績は測りしれない。発電機とよく似ている電動機の発明は米国の発明家ニコラ・テスラ（Nikola Tesla, 一時エディソンのもとで働いた人物）によって、1889年に行われた。

このようにして発電機がつくられると、電気を電線で需要家に送る事業、すなわち電力産業が生まれた。当初の需要は家庭、オフィスなどの照明と工場における動力に集中していた。前者は白熱灯の発明によって可能となり、後者は電動機（発電機とよく似ている）の発明によって可能となった。しかし、1920年代に入ると米国やイギリスでは家電製品がつくられるようになり、第2次大戦後は世界的に電気機械産業が栄えるようになった。また、電力産業が立ち上がる時期には電気通信産業（電信電話）も立ち上がり、通信という大型の産業の発生にもつながったのである。

電力技術に対して、蒸気機関の技術は企業、産業からの要請によって、つまり経済活動の中から発生したものと考えられ、リプシー、ベカー及びカーロー（1998）はこの点を強調している。すなわち、18世紀イギリスの石炭業においては、炭坑に湧き出る水をいかに排水するかが大きな問題となっていた。人力による排水では、深くなる炭坑、拡大する生産に対応しきれない。そこで1712年に、技師であり鍛冶家であったT. ニューコメンが外気圧を利用する蒸気機関を発明した。それがはじめてつかわれたのは炭鉱である。

このニューコメン機関は、蒸気がシリンダーの内部で膨張してピストンを押し上げ、冷えて凝縮すると外気圧がピストンを押し下げるといった方式のものであり、非効率であった。そこに現れたのがジェームズ・ワットであり、シリンダーの中を高圧にするための精密な金属加工技術をつかい、蒸気の凝縮をシリンダーの内部ではなく外部で行う分離式の凝結機をとりつけ、またピストンの両側に蒸気を送って複動式とした。さらに、ピストンの上下運動を回送運動に変えるため、周転円歯車伝導装置も考察した。

ワット機関の発明は1765年におこっている。この蒸気機関の用途がさまざまに広がり汎用技術となっていくことはよく知られるとおりであるが、当初は炭坑の排水のための特定目的技術だったのである。

蒸気機関の発明は、熱力学のような科学の発展によって主導されたものだったとは言えないであろう。蒸気の圧力を運動エネルギーに変えるというアイデア自体はかなり単純なものであり、科学の進展が蒸気機関の発明を促したとは考えられないのである。

内燃機関の発生も企業、産業のニーズにもとづいて説明できるものであろう。内燃機関は使用する燃料によってガス機関、石油機関、ディーゼル機関、ガソリン機関などに分かれるが、その発明はフランス人とドイツ人による。蒸気機関は大型で水のないところではつかえないという欠点をもっていた。またその建造には大きな費用がかかる。そこで、蒸気機関よりも小さく取り扱いの便利な内燃機関をつくらうとするインセンティブがフランスとドイツでとくに強く働いたのである。1860年、フランスのL. レノールがガス機関をつくり、これが最初の内燃機関となった。1862年には、フランスのA. ロシャがシリンダー内のガスを圧縮することを考えたが、この考え方をもとにドイツのN. オットーが1876年に模型ガス機関をつくった。これは世界中に普及し、次第に蒸気機関を代替していった。このように、内燃機関の発明においては米国人はまったく役割を果たしていない。

しかし、ガス機関はガスが手に入りにくいところでは不便である。そこで、1873年、アメリカのブレイトンが石油の蒸気を燃料とする石油機関をつくり、1892年、ドイツのR. ディーゼルがより効率的なディーゼル機関をつくり、そして1885年にG. ダイムラーとK. ベンツがガソリンを気化する気化器を考案し、ガソリンを気化させてシリンダーに送りこむガソリン機関をつくった。1903年には米国のライト兄弟がノースカロライナ州キティ・ホークで世界初の飛行機を飛ばしたが、そのエンジンは自動車に

つかわれるガソリン・エンジン（ピストン・エンジン）とほとんど同じであった。また、時代がずっとあとの第2次大戦中であるが、イギリスで航空機用のジェット・エンジンがはじめてつくられている。このようにいくつかのタイプのエンジンがあることは、内燃機関の汎用性を示すものであろう。

ただ、ウィリアムズ（1982）によると、オットー機関は特別な熱力学上の発見にもとづいて発明されたものではなかったのに対して、R. ディーゼルによるディーゼル・エンジンの発明は厳密に熱力学理論にもとづくものだったという。ディーゼルはミュンヘン技術高等学校（のちの工科大学）で正式な教育を受けた人である。ディーゼル・エンジンは燃費がよく、またシリンダー内の空気を強く圧縮して高温とするので、燃料への点火（イグニッション）を必要としないが、燃料注入のタイミングは正確を要し、そこにむずかしさがあった。

ところで、20世紀に入ると、企業、産業のニーズに応じて新しい技術が開発される事例が増えてきた。企業自身が持続的に技術の研究開発を行うようになったのである。この現象を見て、科学的・工学的知識の供給はきわめて弾力的であり、研究開発費を支出したりインフォーマルな工夫を行えば意図する新技術は開発できる、つまり新技術はそれに対する需要さえあれば容易に開発できる、という考え方が出てきた。この考え方を提示したのはシュムークラー（1966）である。シュムークラーの観察はまったく間違いではない。彼は新技術への需要の存在が新技術の発生にとって決定的な役割を果たす（供給はきわめて弾力的）と論じ、その論証として、米国における発明（パテントで代表される）が19世紀前半には食品の分野に集中していたこと（たとえば缶詰、びん詰のような食品保存技術）、しかし20世紀には映画、ラジオ、テレビのようなレジャー関連の分野に集中していたことをあげている。ある産業の提供する物財あるいはサービスへの需要が増えることは、その産業の中で新技術を開発することからの利

益が他の産業のそれよりも大きくなることであり、したがって新技術を開発するという活動がその産業にシフトするとシムムークラーは言う（これはその産業の提供する財が消費財であれ生産財であれ成立する）。

このようなシムムークラーの考え方を鋭く批判したのがローゼンバーグ（1974）である。ローゼンバーグの基本的な考え方は、その時々科学・工学の状態は必ずしも応用範囲の広い多目的なものにはなっておらず、部門ごとにその進歩は異なっている、というものである。この考え方が正しいとすれば（正しいと思われる）、新技術への需要が容易に新技術を発生させる場合もあるが、そうはならない場合もあるということになるであろう。この点は具体的事例を見ればすぐわかる。ローゼンバーグがあげる事例は16～17世紀の航海術と医療技術であり、前者は需要に応じて新技術が発生した事例、後者はそうではない事例とされる。前者において新技術が発生しえたのは数学と天文学が十分な発展段階に達していたからであるが、後者において新技術（現代に見られるような医療）が発生しなかったのは医学が十分な発展段階に達していなかったからである。ローゼンバーグは、多くの人間の潜在需要が科学・工学の制約ゆえに満たされずにきたと述べている。

結局、一般論としては、新技術は需要と供給の相互作用から発生すると言わざるをえない。しかし、個別具体的な新技術の発生において、需要と供給のどちらが主導的役割を果たしたのかを調べることは有益であろう。ただし、ローゼンバーグが警告しているように、それを歴史的事例の研究から確定することは容易ではない。ある新技術が発生したとすると、それはその新技術への需要が存在したということと同時にそれを可能にした科学・工学が存在したということの意味するであろうから、追加的な情報がないければ需要と供給のどちらかが主導したのかを明らかにすることはできない。言いかえると、新技術への需要は新技術の供給と独立に特定（識別）される必要がある。これは計量経済学

における「識別可能性」の問題と同じである。

さて、新しい技術の発生は、科学・工学の進展が主導するものと企業、産業の需要が主導するもののどちらかによってすべて説明できるだろうか。リブシー、ベカーおよびカーロー（1998）は、さらにもうひとつのタイプが見られると言ひ、それはコンピューターの技術であると指摘している。

コンピューターの発生の歴史は比較的良好に知られているので詳論は不要であろうが、ポイントのみを述べる。計算機のアイディアは数学者のJ.ネピア、哲学者のB.パスカル、哲学者・数学者のG.ライプニッツなどももっていたが、本格的なものは1833年にC.バベッジ（イギリスの数学者）が考えた汎用計算機である「解析機関」にまでさかのぼることができる。彼が考えた機械は、情報の入力機構、情報を保存する内蔵機構、計算を行う装置、情報の出力装置を備えていた。ただし、じっさいには製造されなかった。その後、20世紀に入って1936年に現在のコンピューターの基礎理論を確立したのは、イギリスの数学者チューリングである。

大型コンピューターがはじめてつくられたのは1944年である。この年、民間会社であるIBMはコンピューターをハーバード大学に寄付した（のちにハーバード・マークIとして知られるようになった）が、これは機械式と電子式の混合したものであった。それは演算と命令制御の面では電子機械式の装置を備えていた。ハーバード大学はこのコンピューターを科学技術計算につかった。

その後、1946年に、ペンシルバニア大学のJ.エッカートとJ.モークリーがENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) という電子計算機を設計し完成させたが、その製造の目的は経済的なものではなく、軍事的なものであった。すなわち、米国の陸軍が将来の戦争に備えて、野砲の弾道表を計算するために資金を出して開発したのである。弾道は気温や風速によって微妙に変わるが、ENIACをつかえば弾道が簡単に計算できた。

しかし、ENIACは不便なものだった。重さが30トン以上もあり、1万8,000本もの真空管をつかっていた。また、計算プログラムを変えるためにはいちいち配線を組み直す必要があった。真空管は管理が面倒であるが、1948年にベル研究所のW. ショックリー、J. バーディーン、W. ブラテンがトランジスターを発明し（材料はゲルマニウム）、真空管と同じ役割をもたせられるようになったのは幸運な出来事である。トランジスターの発明の背後には、ベル研究所で長く行われてきた電子に関する基礎研究があった。

その後、1950年に、プリンストン高等研究所のJ. フォン・ノイマンが中心となって、ED-VAC（Electronic Discrete Variable Automatic Computer）と呼ばれたコンピューターを開発した。これは操作手順を記憶したプログラム（ソフトウェア）を内蔵したものであり、計算速度はENIACの100万倍もあった。開発資金を出したのは、陸軍、海軍および民間会社のRCAであった。

このように、初期の大型コンピューターの開発は、IBMが主に商業目的用に行っていたとはいえ、軍事目的が支配的だったと言えよう。1950年代には、空軍がコンピューター（ソフトウェアを含む）を活用した防空システムSAGE（Semi-Automatic Ground Environment）を開発し配備したが、研究開発の中心は1950年に空軍が資金を出して設立したMITのリンクアン研究所であった。1960年代には、航空宇宙局（NASA）がロケットをコントロールするためのソフトウェアを盛んに開発していた。もっと最近のネットワーク技術、すなわちインターネットも、1960年代から国防省高等研究計画局が開発していたものである。このようにコンピューター技術は軍事目的主導で開発された技術と言ってもいいのであるが、民需がまったくなかったわけではないことにも注意しておこう。すなわち、1946年にENIACをつくったエッカートとモークリーは1948年にBINAC（Binary Automatic Computer）というコンピューターを

開発したが、これをもとにしてレミントン・ランド社が1951年にUNIVAC Iという世界初の商用の大型コンピューターを開発した。その第1号機は米国のセンサス局に設置された。また、1950年代に入るとIBMがさまざまなシリーズのコンピューターを商業用に生産するようになった。『電子工業年鑑』の1962年版によると、米国における初期のコンピューター生産台数は、非商業用が1950年の10台から1956年の101台へと増えていったが、商業用のUNIVAC Iは1950年に2台、1956年に71台である。また、IBMのIBM701というタイプは1953年に5台、1956年に38台生産されており、とくにIBM650というタイプは1955年に256台、1956年に917台生産されている（すべて商用である）。IBMは商用、民生用のコンピューター開発のパイオニアであった。

コンピューターの発展に不可欠である半導体の開発にも国防省からの支援があった。1958年にJ. キルビー（テキサス・インスツルメンツ社の研究者であった）が発明した集積回路（ソリッドステート回路）は画期的なものであるが、国防省がその開発に直接資金を出したということはなかったものの、テキサス・インスツルメンツの製品を多めに購入するという形で支援が行われていたと見ていい。キルビーの発明とほぼ同じころ、R. ノイスら（フェアチャイルド社の研究者）は回路素子間の配線技術であるプレーナー法を開発したが、これも集積回路の進化にとっては重要であった。

集積回路とは半導体の力を十分に発揮させるためのものであり、ゲルマニウムやシリコンなどの結晶基盤の上に不純物を拡散処理したものである。これによって、ひとつの結晶基盤は抵抗器、コンデンサー、ダイオードなどの働きをもつことになる。それまでの電気回路の考え方を一変させた画期的な発明であった。

新しい技術の発生の最後の事例として、化学的合成技術を取りあげる。これは汎用技術とまでは言えないが、化学産業の中の汎用技術とも言うべきものである。化学産業の生産物はた

たとえばプラスチック、樹脂、人造ゴム、人造繊維、染料、塗料、肥料、医薬品などであり、きわめて広い範囲でつかわれている。化学的合成技術は第2次産業革命を推進した技術のひとつであり、現在に至るまでその重要性は継続していると言える。

この技術の発生を考えると、科学（化学）の進展による部分、企業、産業の要請による部分、軍事的による部分のすべてが見られ、何が主導したとは言えない混合的なケースと判断できるように思われる。

まず化学研究であるが、これは圧倒的に19世紀末から20世紀初頭にかけて、ドイツで大きく進展した。なぜドイツで化学が大きく進展したのかははっきりしないが、たまたまドイツ人のタレントがそこにあったということもあろう。ドイツは、このころの世界をリードした多くの化学者、とくにF. ウェーラー、J. リービッヒ、F. ケクレ、A. ホフマンなどを輩出した。第1次大戦までの時期に、ドイツは30人のノーベル化学賞の受賞者を出している。この時点でイギリスとフランスはそれぞれ6人、米国は3人しか受賞者を出していない（モウエリーおよびローゼンバーク（1998）を参照）。

次に産業からの要請を考えると、初期の化学産業は自然界に存在するものを人工的につくる努力を行っていた。つまり、資源環境の中には十分に存在しないが産業発展の上で必要の高まったものを人工的につくろうとする圧力が作用した。20世紀初頭の世界の化学産業はソーダの大量生産を大きな課題としていた。ソーダは、ガラス、肥料、硝石、ミョウバン、石けんの原料となる。硝石は火薬の原料となる。またもうひとつの課題は人工染料の製造にあった。染料には繊維産業その他から大量の需要があった。たとえば、南フランスに多く自生する植物のアカネからは紅色の染料（衣料品にとっては必需品）がとれるが、ドイツではアカネが育たなかったので人工的に紅色の染料をつくろうとした。それはコaltarを原料とするアリザリンであり、ドイツのK. グレーベとC. リーバー

マンが1869年につくり出した。

第2次大戦中には、軍事目的（航空機、戦車など）のために石油を産出しないドイツは人造ガソリンと人造ゴムをつくった。共にその原料は石炭であった。火薬の改良も化学産業が行ったことである。

大きな課題であったソーダの大量生産については、それにはじめて成功したのはドイツのフリッツ・ハーバーとカール・ボッシュであり、高温高压のもとで触媒をつかい窒素ガスと水素ガスを化学反応させ、アンモニアをとり出すという方法であった。1913年のことであり、これは化学産業におけるひとつの金字塔となった。これによってドイツは窒素の原料としてのチリ硝石への依存から脱することができた（アンモニアからは硝酸がつくれる）。ハーバー＝ボッシュ法によるアンモニア製造によって大きく伸びたのが、現在でも世界最大の化学企業でありつづけている BASF (Badische Aniline und Soda Fabrik) である。

しかし、第1次大戦が終わるころから、化学産業は次第に石炭ベースのものから石油ベースのものに変化していった。石油を精製すると、さまざまな燃料と化学品の原材料となる中間生産物が発生するが、この分野では石油を産出する米国の技術開発が世界をリードするようになっていった。

III-2. 理論モデルによる説明

以上では、新しい技術（汎用技術に限らない）が発生するメカニズムとして3つのものを示したが、その中で経済的に説明できるものについては、それを理論モデルとして表現することがより深い理解の一助となるであろう。このような試みはこれまでほとんど行われてこなかったので、ここで若干のスペースを割いて論じておくこととしたい。

まず、新しい技術が純粋に費用削減効果のみをもつような場合を考えると、その分析はそれほどむずかしくない。ある産業を考え、その中で競争する企業はまったく同質的な生産物をつ

くっており、競争は単位費用の大きさというレベルでのみ行われていると仮定しよう。この産業の生産物に対する需要曲線は所与であり、価格低下に対して需要量が増えるという通常の右下がりの形状をもつとしよう。

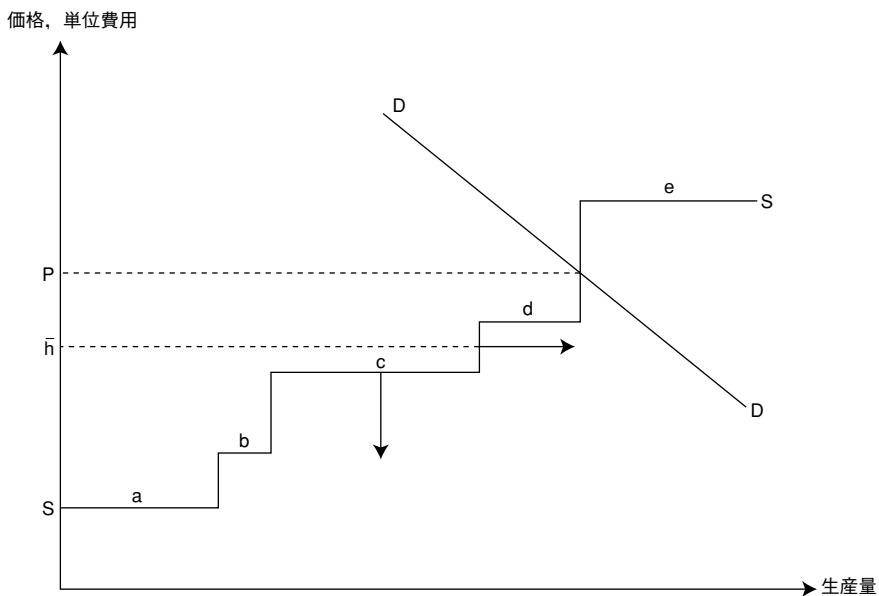
このような産業の中で各企業はどのように単位費用を下げマーケットシェアを拡大しようとするか。これをわかりやすい図で表したのがS.メトカーフ(1995)であり、彼のつけた図をそのまま別掲する。この図の中で、aからeまでは各企業の生産技術の落ちがいを反映する単位費用(平均費用)の大きさを表している。またそれぞれの下にある水平線の長さは各企業の過去から現在までの投資によって決まる生産能力であり、かつ生産量である。Pは価格、DDは需要曲線、SSは供給曲線、 \bar{h} は産業の平均単位費用である。メトカーフは、この図を用いて、企業間競争がを引き下げる効果をもつことをスケッチした。各企業とも、利潤および(あるいは)外部からの資金調達によってもっとも低い単位費用を実現する企業(複数であっても

かまわない)のみが存続し、それ以外の企業は淘汰されていく。図中では、単位費用がeの企業は存続しえない、しかし、ここでは時間の経過と産業内の企業の相対的シェアの変化を考察の対象とするわけではなく、aからdまでの企業が存在する状態を考える。

この図を用いて新しい技術がいかなる場合に導入されるのかを考えてみよう。もっとも単純なケースは、新しい技術が“発明家”(企業であっていてもいい)によって発明され、それが新しい機械設備として企業に売却され、それによって企業が単位費用を引き下げ、それまでよりも利潤を増やせるような場合である。(この新しい機械設備は、発明家が個人であれば自分で企業を設立して独占的に製造し供給すると仮定する。発明家が企業である場合も同様とする。独占的供給は、パテントによって守られるか、あるいは製造方法を他企業は知ることができないことによって成立すると考える。)

図の中の任意の企業をとり、その利潤が新しい機械設備を購入し使用することによってどれ

図 各企業の技術および生産量と価格



(出所) S. Metcalfe (1995)

だけ増えるかを考えてみよう。たとえば a 企業をとってみる。価格は P であり、単位費用は a であるから、現在の生産量を X_a とすると、その利潤 π_a は

$$\pi_a = (P - a)X_a$$

である。企業 a は現在から無限の将来までの利潤の割引き現在価値

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r_a)^t} \pi_a$$

を最大化すると考える。ここで r_a 企業 a がつかう割引率である。

新しい機械設備を導入したあとの各変数にはプライム (') をつけよう。価格を P' とし、a 企業の単位費用を a' とし、生産量 (販売量) を $X_{a'}$ とすると、新しい利潤 $\pi_{a'}$ の大きさは

$$\pi_{a'} = (P' - a') X_{a'}$$

となる。新しい状態において、 P' が P よりも下がるかどうか、 $X_{a'}$ が X_a よりも大きくなるかどうかはわからない。それは他の企業がどう行動するかに依存する。a 企業の利潤の増加 $\Delta \pi_a$ は、

$$\Delta \pi_a = \pi_{a'} - \pi_a = (P - a)X_a - (P' - a')X_{a'}$$

であるが、これは正か負かはわからない。

さて問題は、これだけの利潤の変化が予想される時、その利得 (変化が正の場合) と新しい機械設備の購入のための費用および維持運転のための費用の相対的な関係がどうなっているかということである。機械の維持運転のための費用を単位費用の中に入れれば、機械の購入の費用のみが問題となる。

単純化のため、各企業は機械設備を 1 単位 (1 台) だけ購入するものとし (複数単位を購入する場合の一般化は容易である)、設備は永

久につかえるものとする。変化する利潤も永久にそのレベルにとどまるとすれば、a 企業が期待する増加利潤の割引き現在価値は $\Delta \pi_a / r_a$ である。したがって、a 企業が機械設備を購入する条件は $\Delta \pi_a / r_a >$ 機械設備の価格 (Q とする) となる。ポテンシャルな新規参入企業を含めて、各企業ごとにこの条件が満たされるかどうか (新規参入企業 j の場合は $X_j = 0$ とする) をチェックし、条件を満たす企業の数合計すれば購入される機械設備の台数となる。これが機械設備への需要サイドの説明である。

それでは、この機械設備の発明家が経営する独占企業は、1 台当たりどんなレベルの価格 Q をつけるだろうか。これは機械設備の (したがって新しい技術の) 供給サイドの説明となる。需要サイドからは、需要家企業のいる産業全体の機械設備への需要曲線 (Q が下がれば需要は増える) を導けるはずである。そこから、機械設備を製造販売する独占企業の限界収入曲線を得ることができる。そして、機械設備の製造には製造費用がかかるが、それをつくるまでの開発費用もかかっている。開発費用は機械設備が何台売れるかとは無関係な固定費用 (埋没費用) であり、1 台の製造費用を m (一定) とすればそれが限界費用となる。したがって、利潤が最大化されるための条件として、限界収入がこの限界費用と等しくなるところで機械設備の価格 Q と生産台数 (B としよう) が決まる。このときに独占企業が手に入れる利潤が開発費用を上回れば、この機械設備を開発し、製造販売するインセンティブが存在することになる。すなわち、この独占企業の総収入は $Q \cdot B$ であり、利潤は $(Q - m) B$ であるから、これが開発費用を上回ればいいのである。この場合に、発明家は新しい機械設備を開発し製造し供給することになる。

以上が基本的なモデルであるが、より複雑なモデルへの拡張は可能であろう。たとえば、 $X_{a'}$ を a 企業が正確に予見できるという仮定はかなり非現実的なので、企業間の相互依存や不確実性を導入することが考えられる。また、ユー

ユーザー企業の機械設備の使用技術は使用経験と共に向上すると考えられ、その場合単位費用は低下すると考えられる。それがおこればユーザー企業の生産物の価格は低下し、したがって生産物への需要は増加するであろう。それは機械設備への需要をも増加させよう。これらの変化をモデル化することは可能であり、プレスナハンおよびトライテンバーク(1995)はそのひとつの試みであるが、ここでは基本モデルの提示にとどめておく。

次に、新しい技術がそれまで存在しなかったような新しい財を創出するような場合を考える。これを理論的に分析することはかなりむずかしいので、ここではスケッチにとどめておく。新しい財が最終消費財である場合を考えてみよう。

「まったく新しい財」とは何か。「それはこれまでに存在しなかったような財である」と言ってしまうとそれまでであるが、「これまでに存在しなかった財」を広く定義すれば、既存品のデザインをすこし変えたものとか、既存品の質をすこし高めたものまで入ってきてしまうことになる。しかし、「まったく新しい財」というコンセプトがとらえたいのは、馬車が自動車に変わるとかろうそくが電球に変わるというようなラディカルな変化である。

このようなラディカルな意味での新しい財を厳密に定義するためには、ランカスター(1979)が考えた財の多次元的な特性をとらえるしかないであろう。すなわち、消費者が欲するものは財が与えるサービスであり、そのサービスへの欲求は安定して存在すると考える。サービスは多次元的であることが多いであろう。それらのサービスが既存の財とは著しく異なる大きさとなるような場合をまったく新しい財と考えるのである。すなわち、特性の空間を考え、各特性を各次元にとれば、財はその中の点によって表現できるが、2つの財の相異の大きさは2つの点の間の距離だと考えるのである。たとえば、消費者はある地点から他の地点へ物理的に移動したいという欲求をもっている。その移動というサービスを提供する財として、馬車と自動車

をとってみる。これら2つの財は、いくつかの共通の特性によって比較することが可能である。この特性が何であるかは先験的に決まっているわけではなく、研究者が本質的と判断するものによって決まってくる。「移動」というサービスについて言えば、おそらく「スピード」、「安全性」、「快適性」、「信頼性」、「利用時間のフレキシビリティ」の5つの特性が重要であろう。そして、これら5つの特性を1単位の財がどの程度の大きさと与えるかを量的に測ることは可能であろう。すべての特性において1台の自動車は1台の馬車より飛躍的により大きいサービスを与えるとと言っても差し支えない。サービスの量が「飛躍的に」とか「著しく」異なると言うのは程度の問題ではあるが、数量化ができれば、小さい変化と大きい変化との区別はつけられる。

このように、「新しい財」はいくつかの量的に表した特性によって定義できる。これをその財1単位の価格とパッケージにしたものを、消費者は他の財の同様のパッケージと比較しつ選択すると考えることができる。もちろん、新しい財が出現してはじめて消費者には他の財とそれとを比較することが可能になるわけであり、これだけでは新しい財が発生することの説明とはならない。

新しい財が発生してくるメカニズムの説明は、先に説明した、企業が費用を下げるために使う新しい機械設備の発生の説明とそれほど異なるものではない。すなわち、需要サイドと供給サイドに分けて考えることができる。

需要サイドには複数の消費者がいる。その中の任意の1人の消費者をとり、その効用最大化行動を考える。その基本原理はミクロ経済学の消費・需要理論から明らかである。

消費(需要)の対象となる財の数を N としよう。1から N までのすべての財が消費されるとはかぎらない。この消費者の効用関数を U とし、各財の消費量を X_i とする(X_i はゼロとなりうる)と、 $U=U(X_1, X_2, \dots, X_N)$ である。このとき、財そのものが消費されるので

はなく、その財から得られるひとつ、あるいは複数の種類のサービス（特性）の束（bundle）が消費されると考える。この消費者の所得を M とし、各財 1 単位の価格を P_i とする。消費者は、所得（予算）制約と各財の消費量が負にはなれないという非負制約のもとで U を最大化するので、問題は制約条件付きの最大化となり、数学的にはラグランジュの問題となる。すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } U(X_1, X_2, \dots, X_N) \\ & \text{Subject to } \sum_i P_i X_i \leq M, X_i \geq 0 \end{aligned}$$

である。

最大化が行われるとき、所得制約にかかるラグランジュ乗数はあるコンスタントとなる（所得の限界効用を表すものと解釈される）が、それを λ とし、また財の非負制約にかかるラグランジュ乗数もあるコンスタントとなるのでそれを Ψ_i とする。非負制約がバインディングとなる、つまり最適な消費量がゼロとなる場合には Ψ_i は正であり、バインディングとならない、つまり最適な消費量が正となる場合には Ψ_i はゼロである。すなわち、最適解は次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} U_i &= \lambda P_i \quad (i = 1, 2, \dots, I \text{ かつ } \Psi_i = 0) \\ U_j &= \lambda P_j + \Psi_j \quad (j = I + 1, \dots, N \text{ かつ } \Psi_j > 0) \\ \sum_i X_i P_i &= M \end{aligned}$$

ここで、 U_i 、 U_j は第 i 財、第 j 財の限界効用であり、第 1 財から第 I 財までは消費量が正であり、第 $(I + 1)$ 財から第 N 財までは消費量がゼロである。消費量が正となる財については、各財の限界効用はその財の価格に比例する。

ここで新しい財が出現したとしよう。その財を第 $(N + 1)$ 財とすると、消費される可能性をもつ財の数は N から $(N + 1)$ に増えるので、それを視野に入れた消費者はまったく新しい効用関数 $V = V(X_1, X_2, \dots, X_N, X_{N+1})$ を最大化しなければならなくなる。新しい財が出現

する前に最大化されていた効用の水準を U^* とし、出現したあとで最大化される効用の水準を V^* としよう。すると、 V^* が達成されたときに消費される X_{N+1} が正かどうかはわからないのである。

問題はここである。最適解において X_{N+1} が正となるためには、2つの条件が満たされねばならないということが重要である。ひとつは、 V という効用関数を制約条件のもとで最大化したときに、第 $(N + 1)$ 財についての非負制約がバインディングでないこと、つまりそのラグランジュ乗数がゼロとなることである。そしてもうひとつは、新しい財が出現する前の U^* とくらべて V^* がより大きいことである。

前者の条件が満たされるかどうかは、 V を最大化する問題を解いてチェックする以外にない。そこで、かりに最適解において X_{N+1} が正であることがたしかめられたとしよう。ところが、これだけでは V^* が U^* よりも大きいかどうかはわからない。 U と V はまったく異なる効用関数であり、比較のしようがないからである。この問題を解決するためのひとつの方法は、新しい財が出現する前にも消費者は第 $(N + 1)$ 財までを対象とする効用関数 V をもっていたと考えることであろう。そのときの効用関数を U ではなく V と書くと、 $V = V(X_1, X_2, \dots, X_N, 0)$ であるが、 $(N + 1)$ 番目の財（新しい財）の消費量ははじめからゼロとなっているとは考えず、最適な消費量がゼロとなる他の財と同じように、財の価格が限界効用とくらべて高すぎると考えるのである。ただし、新しい財の価格が市場で観察できるわけではないので、それはバーチャルな、あるいは擬似的な価格である。こうして、新しい財が出現する前とあとの効用水準を同じ V という関数によって比較することが可能となる。

ここまでくれば、あとの議論は簡単である。以上述べた2つの条件を満たす消費者の第 $(N + 1)$ 財に対する需要を集計すると、この新しい財に対する右下がりの市場の需要曲線が求まる。そして、この財を供給するのはそれを開発

した企業のみであり、供給は独占的に行われると仮定する。この独占企業の経常的な利潤は、限界収入が財生産における限界費用と等しいときに最大化されるので、価格と生産量はそこで決まる。この経常的な利潤をこの企業が用いる割引率によって現在価値におきかえ、それが新しい財の開発費用を上回っていれば開発は行われるという結論が得られる。

Ⅲ－３．科学研究の「制度化」と研究開発の「内部化」

以上では新しい技術の発生を歴史的・理論的に見てきたわけであるが、ここでどうしても一言しておかねばならないのは、19世紀後半に科学研究の「制度化」が、また1900年前後に研究開発の「内部化」が世界の主要国でおこったという事実である。前者（制度化）については日本はこの世界のトレンドから約50年遅れ、後者（内部化）については日本は約20年程度遅れた。近代科学技術において日本が欧米諸国に大きく遅れていたことは認めねばならないであろう。

近代科学が成立したのは17世紀であったが、19世紀末まで技術や工学の研究はほとんど大学の外部にいるアマチュア科学者（別に本職をもつ）によって行われた。しかし、主要国では19世紀後半に既存の大学に理学部・工学部が設置されたり、あるいはこれらの学部をもつ大学が新設されるという動きが強まった。それは科学技術を専門的に研究する機関と人材への社会的要求の高まりを反映するものであり、科学技術が経済力と軍事力の増強に役立つことがわかってきたからである。こうして19世紀末には科学研究は専門職業化し、ほとんどが大学や研究所に所属する科学者によって行われるようになり、また国家が大学や研究所を設立・支援するようになった。これが科学研究の「制度化」と言われる現象である。

すでに述べたように、1900年前後には重要ないくつかの新技術が出現し産業化されていったが、それはこのような科学研究の制度化と密接に関連していたと考えるべきであろう。もちろ

ん、大学の科学・工学の研究は主として基礎的部分を対象とするものであり、はじめから産業的应用を念頭において行われるものではない。しかし、そうであっても科学研究の高度化が企業が行う応用研究と技術開発にとって促進的な環境をつくり出したことは間違いない。電力産業と化学産業（ある程度まで）が科学主導で生まれたことはすでに述べたとおりであるが、そこまでいかなくとも、科学的・工学的知識のストックの増大は、すべての産業で新しい技術開発の可能性を拡張するか、あるいはそのコストを低下させるものだったであろう。

主要国における大学設立の動きを一瞥しておこう。米国では、1862年に制定されたモリル法によって各州へ国有地を贈与することが決められ、各州はその売却代金をつかって少なくともひとつの州立大学を運営することとされた。そうしてつくられた多くの大学は、農業と工業の技術を強調する実学的性格をもっていた。これらの大学の中でもっとも有名なものはマサチューセッツ工科大学（MIT、1862年設立、のちに州立ではなくなった）であろう。MITが電気工学科を設置したのは1906年であり、化学工学科もそのすこしあとに設置された。

ドイツでは、1825年にカールスルーエ技術高等学校が、1868年にミュンヘン工科大学が、そして1879年にベルリン技術高等学校がつけられた。これらの技術系大学が古い大学と共存することとなった。大学には政府と産業界から多額の資金援助が行われ、第1次大戦前までにドイツは世界でもっとも進んだ研究体制をもつに至った。また、政府は1887年に物理学・工学研究所を設立し、1911年にカイゼル・ヴィルヘルム協会（現在のマックス・プランク協会）を設立した。こうした米国とドイツの理工系大学への注力とくらべると、イギリスとフランスはかなり遅れた。

正確な比較はむずかしいが、理工科系の学生の数は、1913年において、米国が4万人、ドイツが1万7,000人、イギリスが6,500人であった（ウィリアムズ（1982）を参照）。産業界はま

すます専門的な技術教育を受けた人材を必要としていたから、大学の教育・研究の質と量は決定的に重要になっていた。日本でも1877年から1910年の間に4つの国立大学が設立され、そのすべてに工学部が設置されていた。国立の研究所を設立する動きも各国で見られたが、ここでは省略する。

目を企業自身による研究開発に転じよう。20世紀に入ると、企業は大規模化し、大学との研究交流はもちろん行われたが、企業自身が研究開発を行うようになった。その中には高度の基礎研究が含まれるほどになったのである。19世紀末までは技術開発あるいは発明は主として個人発明家が行っていたことであり、企業はそこから自分に必要なものを購入していた。この個人発明家の中でも桁はずれの才能をもっていたのがT.エディソンであり、彼は1876年にニュージャージー州メンローパーク郊外に自分自身の研究所をつくっている。また、G.ウェスティングハウスも列車のエア・ブレーキなどいくつかの重要な発明を行った。共に電機会社を創立した企業家でもあった。しかし、1900年前後に現れた新しい技術はそれまでのものよりもはるかに科学・工学の知識にもとづくものであり、その発展は個人発明家の手に負えないものとなりつつあった。それに加えて、米国では1930年代（とくにルーズベルト政権下）に独占禁止法の運用がきびしくなったという事情もあった。そうすると、米国の大企業は他企業の買収によって大規模化することがむずかしくなり、自らの内部で研究開発を行って新しい製品をつくり出すことによって成長を維持しようとする傾向を強めた（モウエリーおよびローゼンバーグ（1998）を参照）。こうして研究開発の「内部化」が進んだのである。

米国では、第1次大戦までにほとんどの大企業が研究所を設立した。ゼネラル・エレクト

リック（GE）の創立は1892年であるが、1900年に研究所を設立している。ハウシエル（1998）によって研究所の設立年を見ると、スタンダード・オイル・オブ・インディアナは1906年、デュボンは1903年、イーストマン・コダックは1912年となっている。AT&Tは1925年であるが、1910年ごろから研究開発の姿勢を強めている。AT&Tの研究所とは言うまでもなくベル研究所であり、その研究者たちは数々のノーベル賞をとるほどの研究水準を保っていた。ハウシエルは、1919年から39年までの間に米国の製造業企業は1150もの研究所を設立したと述べている。

これらの研究所から生まれた顕著な発明としては、1910年にGEの研究所が行ったタングステン・フィラメントをつかう白熱電球、1930年にデュボンの研究所のW. H. カロザースのチームが行った人造ゴム、1935年に同じくカロザースのチームが行ったナイロンがある。なお、コンピューター技術はより最近のものであり、IBMが研究所を設立したのは1945年であった。その後、IBMは1956年にこれとは別の基礎研究所を設立し、高水準の基礎研究を行った。

ドイツにおいては、米国以上に早く、1880年ごろから企業が自前の研究開発組織をつくるようになった（とくに化学産業と電気機械産業）。ハウシエルによると、その代表的モデルはバイエル社のものであり、研究所には最新の実験装置、学術文献と特許の図書館があったという。この研究所の初代所長はK. ドウイスベルクという人物で、のちに取締役、社長にまで昇進し、そして巨大な化学企業合同（コンビナート）であるI. G. ファルベンの創立者になったという。1900年の時点で、バイエルのほか、BASF、ヘキスト、ジーマンスがすでに研究所をもっていたが、それに匹敵する米国企業は存在しなかった。

IV. 産業化の歴史的考察

IV-1. 汎用技術の産業化のパターン

以上で新しい技術が発生するメカニズムはある程度解明できたと思われる。そこで本節では、新たに生まれた技術がどのように新しい産業の発生と発展につながるのかを考えることとしよう。ここで関心があるのは、いったん発生した産業がどのように発展していくかということではなく、産業の発生そのもの、あるいはその立ち上がりである。すなわち、産業発展のきわめて初期の状態に焦点を合わせる。産業史は膨大な研究分野であるが、産業ごとにそのすべてを論じることは本稿の目的ではない。新しい産業が立ち上がるときに主として何がおこるのが興味ぶかいのであり、以下ではまず汎用技術に即してそれを論じる。初期産業化の歴史をふりかえてみると、改良改善型の技術開発が継続することと同時に政府の支持的政策（技術の標準化、需要の提供、反独占など）が重要であることがわかる。

第Ⅲ節までに論じたことから考えると、まず技術がどのようにして一定量の商品としての財の生産につながっていったかが問題とされねばならないであろう。この問題を具体的に汎用技術とそれ以外の技術とに分けて考えてみる。ポイントがわかれば十分なので、議論は簡潔なものとしておきたい。

汎用技術の中から、まず電力をとりあげよう。電気もひとつの財と考えると、電力産業とはその電気をつくり需要家にとどける産業であり、汎用技術を体化した財（電気）の生産がそのまま産業となった事例である。電気の生産は水力あるいは火力を利用する発電機によって行われるが、電力産業はその電気を送電・配電施設によって需要家にとどけることによって成立した。

多くの国において、初期の電力会社は各地に独立して設立されたが、そのすべてが民間会社

ではなかった。これは電力供給が自然独占であり、競争に合わないからである。民間会社の場合でも何らかの公的規制が加えられるのがふつうである。たとえば1900年において、米国には3,000をこえる会社が電力を供給していたが、そのうちの20%は地方自治体が経営を行っていた。イギリスにおいては約250の会社が電力を供給していたが、その半分以上は自治体が経営を行っていた。自治体は通常ガス供給事業を行っていたため、電力業の発展はおくれたと言われている。いずれにせよ、小さい会社が乱立するのは全国的なネットワークは運営しにくく、技術の標準化も進みにくい。そこで、各国で電力会社は合併により次第に大規模となっていった。また公的規制の強まりが各国で見られた。

技術的には直流と交流のどちらがいいかが大問題であったが、大型の発電所から小さいロスで遠くまで電気を送るためには高い電圧が必要であり、かつ変圧器（トランス）による電圧の変更が必要であった。この条件をよりよく満たすのは直流ではなく交流であり、早い時期に（米国とイギリスでは1900年までに）交流方式に落ちついた。

1890年代の米国で大きな話題となったのは、G.ウェスティングハウスが創立したウェスティングハウス・エレクトリック（WHE）とT.エディソンの流れをくむゼネラル・エレクトリック（GE）の標準争いである。前者は交流、後者は直流による発電を推進した。しかし決着がついたのは早かった。

初期の需要は、家庭とオフィスにおいては白熱灯による照明に、また工場においては電動モーターによる動力に集中していた。白熱灯による照明がそれまでのランプやガス灯よりも優れていたことは明らかであり、また工場におけ

る電動モーターがそれまでの動力源であった蒸気機関や水力よりも優れている（小型化が可能、稼働の開始・停止が容易など）ことも明らかであった。したがって、電力産業は電気への需要が存在することには確信をもつことができた。しかし、発電と送・配電のシステムを全国的につくりあげるのは大事業であり、ほぼすべての需要家に電気が利用できるようになるまでには約半世紀がかかっている。ウィリアムズ（1982）はイギリスにおける電気の普及について、「1920年には家庭の12%に電気が通っていたが、この比率は1950年に86%となり、1960年には96%となった」と述べているが、このようなスピードの遅さは他の西欧諸国と米国でも同様に見られたものである。電力供給を全国的システムとするためには技術の標準化と初期の小規模企業の統合が必要であったが、これは多くの国でようやく第二次大戦のあとにおこっている。イギリスとフランスでは企業の国有化が行われ、単一の国営電力会社が生まれている。

電力とは対照的に、内燃機関という汎用技術はその生産と販売に特化した産業を生み出したわけではない。内燃機関はさまざまなタイプに発展した。その代表は自動車につかわれるピストン方式のガソリン・エンジン（レシプロ・エンジン）であるが、それを生産するのは自動車産業である。トラックやバスのような大型の自動車はディーゼル・エンジン（燃料は重油）がつかわれることが多いが、このエンジンも自動車を製造する企業が生産するのがふつである。

ただし、船舶用のディーゼル・エンジンと航空機用のタービン・ジェット・エンジンについては、その生産は重機械あるいは電気機械の企業が行うこととなった。これらのエンジンも内燃機関であるが、自動車のガソリン・エンジンとくらべるとより大型で複雑である。したがって、製造業や航空機製造業の企業はエンジンだけは別の産業から調達することになったのだと思われる。

この中で興味深いのは、ジェット・エンジンを製造するメーカーの出現である。第1次大戦

のころから空軍の航空機つくられるようになったが、そのころの航空機エンジンは自動車エンジンとあまりちがわないレシプロ・エンジンであった。しかし、1930年代に入るとドイツとイギリスがガス・タービン方式のジェット・エンジンの研究を始めた（やはり軍事目的）。第2次大戦までに研究がもっとも進んでいたのがこの両国である。ドイツは1939年8月にジェット・エンジンを積んだHeinkel He178という航空機を世界ではじめて飛行させた。また、イギリスでは、軍に所属していたフランク・ホイットル（Whittle）がケンブリッジ大学で研究開発を行い、そのあと、Power Jetsという会社を設立し、1937年にジェット・エンジンを完成させている。それを積んだジェット機の飛行は、1941年5月であった（ウィリアムズ（1982）を参照）。ジェット・エンジンの設計図は第2次対戦中にイギリスから米国へ伝えられたゼネラル・エレクトリック社がそれにもとづいて米国に適合したエンジンを開発することとなった。

ジェット・エンジンは、タービンを高熱の中で長時間にわたって高速回転させるものであり、自動車エンジンよりも技術的にはるかに高度のものである。現在、米国で民間航空機のジェット・エンジンをつくっているのは、プラット・アンド・ホイットニー社（Pratt and Whitney, 1925年創立）とゼネラル・エレクトリック社のみである。これらの企業は現在も軍用機用のエンジンをつくっており、その開発に対する国防省からの資金提供の恩恵は民生用エンジンの開発・製造にもスピルオーバーしているものと考えられる。

準汎用技術である化学的合成はどうか。化学産業の初期においては、すでに述べたように、ソーダ、硫酸、火薬、肥料、染料などの生産が中心となっていたが、その主たる原料は石炭であった。石炭からガスやコークスをつくるとコールタールが副生するが、それが多くの化学品の原料となった。

しかし、1930年代に入ると、化学産業は次第に石炭ベースのものから石油ベースのものに

なっていた。化学産業は原料を科学的に加工することによって質的变化を行わせるものであり、その最大の特徴は装置産業だということである。すなわち、反応容器が必要であり、反応生成物のろ過、分離、蒸留などの「単位操作」を行うための装置が必要である。したがって、原料は固体よりも液体や気体の方が連続的・自動的生産プロセスに適合している。こうして、1930年代に入って化学産業は石油ベースのものに大きく変化した。この変化をもたらしたのは、フランス人のユージン・ウドリ (Eugene Houdry) が開発した石油の触媒脱硫技術だったと言えようが、1930年代、40年代には米国、イギリス、ドイツでも石油からさまざまな物質を取り出す方法が開発された。粗製ガソリン (ナフサ) を分解するとエチレン、プロピレンなどのガス状オレフィンが生成するが、そこからあらゆる種類のプラスチックが作られるようになり、ほぼすべての産業でつかわれるようになっていったのである。このころの技術開発は、革新的というよりは改良改善的である。また、このころには各国で自動車の生産が盛んになり、ガソリンへの需要が大きく伸びたことも石油化学の進展を促進したであろう。

石油ベースの化学産業へは、第2次大戦中および戦後に多くの企業が参入したが、米国では政府がそれをあと押ししたということもある。モウェリーおよびローゼンバーク (1998) は、その顕著な事例としてデュボンとイギリスのICI (Imperial Chemical Industries) に対する米国政府の行動をあげている。1930年代末にポリエチレンを発見したのはICIであったが、そのパテントに使用料を払って米国ではじめて生産を始めたのはデュボンであった。ところが、米国の司法省はICIとデュボンに対して独禁法違反の訴追を行い、その取下げの条件としてポリエチレンのパテントの自由な使用を要求した。こうした政府の政策が、大戦中および戦後の時期に、石油化学のプロセス技術を米国企業の間にも広く普及させることになったという。

それでは、より新しい汎用技術であるコン

ピューターはどうか。

コンピューター産業の初期の歴史はすべて米国のものである。現在のコンピューター産業は、ソフトウェアとサービスを含めると巨大なものとなっているが、ハードウェアにおいても汎用コンピューターだけでなくさまざまなワークステーションやパソコンがつくられるようになってきている。また、そのユーザーはほぼすべての産業に広がり、個人の使用も日常的なものとなっている。また、コンピューター技術と通信技術との融合が進み、情報通信革命 (ICT) と言われるような状況となっている。

1970年ごろまでの米国を見ると、汎用 (メインフレーム) コンピューターが支配的であり、メーカーはカスタム品としてのソフトウェアも製造していたことが特徴である。初期のメーカーとしては、IBMと共にレミントン・ランド社が有力であった。IBMは1924年創立 (トマス・ワトソンによる) で、機械式のコンピューターの製造経験をもっていた。しかし、1965年にデジタル・イクイPMENT社 (DEC) がミニコンピューターを発売して以来このタイプが大きく伸びたこともあった。1970年代に入ると、コンピューターの小型化、分散化が始まった。

パソコンは、マイクロプロセッサ (MPU) を多目的につかえる汎用コンピューターの形にまとめたものである。MPUは1971年末にインテル社が開発したものであるが、パソコンにつかわれはじめたのは1970年代なかばであった。このころ現れたのが天才的なプログラマーであるウィリアム・ゲイツであり、8ビットのMPUの上でもBASIC (コンピューター言語) がつかえるようにした。パソコンの元祖は1976年にスティーヴン・ウォズニアックとスティーヴ・ジョブズの2人が開発したApple Iというプロトタイプと言えようが、この2人は1977年にアップル社を創立し、同年Apple IIというパソコンを発売している。

米国には現在も多くのコンピューター会社が存在するが、1950年代、60年代のメインフレームコンピューターの時代においても、IBMだ

けでなくスペリー、パロース（両社は1987年1月に合併してユニシスとなった）、レミントン・ランド、DEC、ヒューレット・パッカード（HP）、NCR、コントロール・データ、ハネウェル、データ・ゼネラル、アムダールなどの会社が存在していた。これは産業の成長を見込んで多くの企業が参入したためであるが、米国政府が競争による産業の発展という哲学をコンピューター産業にも適用していたからでもある。とくに、支配的立場にあったIBMに対しては独禁法にもとづく訴追がありうることを圧力につかい、1968年にはハードウェアとソフトウェアとを別々に販売させることとした。その結果、独立のソフトウェアハウスが現れることとなった。

米国政府の政策としては、1950年代、60年代の需要の補給も重要であった。国防省やNASAがどのくらいコンピューターのハードウェアとソフトウェアに支出を行ったかについての正確なデータはないが、商用、民生用の需要が十分に大きくなるまでのつなぎの役割は十分に果たしたと考えられる。民生用の中には大学からの需要も含まれるが、初期にはその購入費用の大きな部分も政府からの補助金がまかなっていた。

IV-2. 汎用技術のユーザー産業の発展

汎用技術のユーザーがそれをベースとして独自の産業を立ち上げた事例も数多いが、ここでは電気機械産業（電力・電気技術）と自動車産業（内燃機関技術）のみをとりあげる。これら2つの産業は汎用技術を最大限に活用した。

電気機械産業は、発電機、電動機（モーター）、そして白熱電球の製造によって始まっている。これらの製品をつくりはじめたのは、米国のゼネラル・エレクトリック（GE）、ウェスティングハウス・エレクトリック（WHE）、イギリスのゼネラル・エレクトリック（GEC、米国のGEとは無関係）、ドイツのジーメンスといった会社であり、19世紀末のことであった。米国では電動機を発明したニコラ・テスラがそのパテントをWHEへ売却した（ウィリアムズ（1982）

を参照）。

白熱電球の発明は、1878年にイギリスのJ. スワンが、そして1879年に米国のT. エディソンが行った。しかし、スワンはフィラメントに綿糸をつかったので電球の寿命は短く、またエディソンのように電力の送・配電システムを考えなかった。エディソンはフィラメントに日本の竹からつくった炭素をつかってある程度成功した。しかし、1910年にGEがフィラメントをタングステンにしてより明るい光を得るという改良を行い、その3年後にはタングステンの蒸発を抑えるための電球の中に（真空でなく）不活性ガスを封入するという工夫が行われた。こうした改良改善と大量生産によって低価格で品質の良い白熱電球は急速に普及することになり、それと共に電機会社も成長した。

米国では、白熱電球の次の段階である家電製品の時代はすでに1920年代から始まっている。このころの製品は、冷蔵庫、洗濯機、掃除機などであり、小さいものとしてはラジオ、トースターなどである。多くのものは小型電動モーターを内臓していた。（1920年代の日本にはまだ家電製品は現れていない。1925年にNHKがラジオの試験放送を始めている。）しかし、米国においても、本格的な家電製品の時代は第2次大戦のあとに到来している。

米国の初期の電機産業におけるリーダー会社はGEとWHEであったが、これらは共に発明家で起業家でもあった人物によって設立されている。GEは1892年の設立であるが、これはエディソン・ゼネラル・エレクトリック（EGE）がアーク灯製造会社であったトムソン・ヒューストン社を買収してできた。そのEGEは、1889年にエディソン電灯会社（1879年設立）の製造部門がドイツのジーメンスの出資を得て独立してつくられた会社である。また、WHEは1869年にG. ウェスティングハウスが設立した会社であるが、当初は列車用のエアブレーキ（G. ウェスティングハウスが発明）を製造していた。

次に自動車産業の立ち上がりについてであるが、重要なことはこの産業がきわめて多くのサ

プライヤーを必要とするということであろう。自動車をつくるためには、エンジンだけでなく、鋼鉄製のシャシー、気化器（キャブレター）、変速機、ブレーキ、ガラス、タイヤなど多くの部品が必要である。ところが、初期産業化の時代には、十分なサプライヤーが存在しない。そこで、多くの材料、部品を自社でつくる必要があり、この体制を早く整えることのできた企業がリーダーとなった。もうひとつの重要な課題は大量生産システムを設計し実行することであった。それによって大衆が購入できる価格を実現しなければ産業としての発展はない。

これら2つの課題をもっともよく実現したのは、1903年にヘンリー・フォードが設立したフォード自動車であった。フォードは1908年に大衆車「モデル T」を売り出して大成功をおさめた。これは誰もが知っているエピソードであ

るが、フォードが行ったもうひとつのイノベーションは1919年にデトロイト郊外のリバールージュに巨大な流れ作業方式の製造工場をつくったことである。この工場内には製鉄所もあり、さまざまな部品が内製された。この工場が実現した大量生産方式には当時としてはもっとも先進的なものであり、歴史に残るイノベーションとなった（チャンドラー（1990）を参照）。

このような米国とくらべると、ヨーロッパにおける自動車産業の発展はやや遅れた。米国とほぼ同じ時期に、イギリスではオースティン、モリス、フランスではシトロエン、ドイツではメルセデス・ベンツ、ボルシェなどの会社が設立されているが、乗用車は一部の金持ちだけがつかうものという観念が根強く残り、低価格の大衆車が現れるのは米国よりもずっとあとになった。

V. 日本のこれまでの経験とこれから

以上に述べてきたことによって、本稿が言わんとすることはほぼ尽くされている。しかし、以上では日本の技術と産業についてほとんどふれることがなかった。そこで、本稿の締めくくりとして、日本について若干の言及を行っておくことが適当であると思われる。

V-1. 日本の科学技術の性格

日本では、江戸末期あるいは明治初期まで近代的な科学技術は発展することがなかった。江戸期までの日本において、技術力がそう低かったわけでないことはたしかである。たとえば、江戸末期において、南部藩は小型の高炉をつくったし、佐賀藩は純国産の蒸気船をつくり、蒸気機関車の小型模型をつくることのできたのである。しかし、これらはすべて、すでに欧米がもっていた技術であり、日本人はその技術を体化した実物を見ることによって見よう見真似でつくったのである。近代的な技術が日本で内

発的に現れたわけではない。まったく何もなかったところで新しい発見・発明を行うことと、すでに行われた発明・発見の改良改善を行うことはおのずから評価の異なる営みであろう。すでに述べてきたような汎用技術の発生においては日本人が何かを貢献したということは一切ない。この事実は銘記すべきであろう。

しかし明治期の後半になると、日本の科学研究のレベルが急速に上がり、国際的にも評価されるような（欧米の学者の論文にも引用されるような）業績がでていく。その事例として、廣重徹（2002）は次のようなものをあげている。

志賀潔の赤痢菌の発見（1897年）

木村栄の緯度変化における乙項の発見（1902年）

長岡半太郎の土星型原子模型（1903年）

鈴木梅太郎のビタミンの発見（1910年）

本多光太郎の鉄の変態の研究（1913年）

現代の日本においては、世界的業績と言っていいものはかつてよりも増えているが、それでも基礎研究の深さにおいてはなお欠けるところが残っているように思われる。また分野別に見ると、物理学や化学にはたくさんの人材がいるが、コンピューターサイエンスやライフサイエンスにおいては依然として弱体であると言わねばならないだろう。基礎研究がただちに産業化に結びつくような発見を生むわけではないが、これまでの汎用技術は必ずいつかは成熟するわけであり、改良改善型ではない新技術への用意をしておかねばならない。そのためにはやはり基礎研究の充実が必要である。若者の「科学ばなれ」というような現象がもし事実であるのなら、何とか是正していかねばならない。大学の理工学部は、新しい科学・工学のトレンドに合わせてもっと再編すべきであろう。

V-2. 日本の技術開発と産業化

日本のほとんどの技術開発は、ごく最近までは欧米の進んだ技術を対価を払って輸入し、それを改良改善するという形で行われてきた。欧米に進んだ技術がある以上、それを輸入して改良し産業化に結びつける方が安上がりであり、それは企業としてきわめて合理的な行動であった。

日本が技術の改良改善をやったが故に新しい産業が創り出された、という事例は少なくない。もともとの技術を開発した企業がそれを体化した製品を商業ベースにのせられなかったとすれば、それができた日本企業は、その独創性の評価はともかくとして、経済的には大きな価値をつくり出したことになるだろう。

いくつかの事例を見てみよう。

明治のはじめに工学寮（1873年設立、現在の東大工学部）の助教授だった藤岡市助は、1890年に電球を製造する会社として「白熱舎」を設立した。この会社は1898年に社名を「東京電気」に変え、1905年に米国のGEから資金と技術の援助を受けるようになり、GEは東京電気の株式の51%を取得した。1910年にGEがタ

ングステン・フィラメントの電球を発明したが、東京電気はこのフィラメントを二重コイルとし、電球の内面をつや消しにするという改良改善を行った。そのための研究開発は1918年設立の研究社で行われた（小田切宏之および後藤晃（1998）を参照）。なお、東京電気は現在の東芝の前身のひとつである。

自動車産業においては、日本企業による技術の吸収は1920年代から戦前まで行われていたフォードとゼネラル・モーターズの日本子会社によるノックダウン生産によって行われた。目の前で行われた米国企業による生産は日本のメーカーにとって大きい刺激となった。

日本の自動車メーカーの中で、日産自動車は1933年鮎川義介（東大工学部卒）が設立したものである。鮎川は、フォードやGMの自動車と競争できる自動車をつくらうとし、米国製の設備、工具、金型などを工場に備えつけた。したがって、その技術は輸入されたものであった。これに対して、トヨタ自動車は、1937年に豊田自動織機の自動車部門が独立する形で生まれた（社長は豊田喜一郎）。このトヨタ自動車は設備を外国から輸入せず、自前でつくりあげた。しかし、米国製の設備と自動車を手に入れてその分解研究（リバース・エンジニアリング）は行っているのである（小田切宏之および後藤晃（1998））。

政府の支援を見ると、電機会社にはとくに行われていないが、自動車については、1936年に制定された「自動車製造事業法」によって、許可を受けた日本企業に対して所得税、営業収益税、輸入する材料と機械への関税を免除した。そして日本で生産を行っていたフォードとGMに対してはその生産量を抑制する措置をとった。政府は明らかに軍事的観点から日本の自動車会社を育成しようとしていたのである。

戦後に目を移そう。ソニーは独創力のある企業と言われるが、このソニーもまったく新しい技術を開発して製品化してきたわけではない。その製品はすでに存在していた技術の改良改善の上に開発されたものであり、その点では他の

日本企業と変わるところはない。

ソニーは、1946年に「東京通信工業」として発足した会社であるが、1958年にその名を「ソニー」に変えた。よく知られているように、その創業者は井深大と盛田昭夫と言っているが、会社発足時の社長は井深の義父・前田多門であり、井深は専務取締役、盛田は取締役であった。

ソニーとしてはじめてのヒット商品はトランジスター・ラジオである。その製品化は戦後の日本企業の典型的な開発パターンを示している。すなわち、井深と盛田は米国ベル研究所のショックレー等が1948年にトランジスターを発明したことを知り、1953年になってその特許をもつベル研究所の親会社であるウェスタン・エレクトリック社（そのまた親会社がAT&Tである）から特許使用のライセンスを得た。発明当初のトランジスターは「点接触型」（point-contact transistor）で安定性に問題があったが、その後安定性の高い「合金型」（junction transistor）へと改良されていた。井深と盛田はそれを知って製品化を考えたようである。なお、AT&Tは1949年に司法省から独占禁止法違反の訴追を受けており、1956年に事業を通信のみに限定することで決着したが、このころは分割をまぬかれるため特許を低い対価でライセンスする政策をとっていた。ソニーは2万5,000ドルという特許使用料をウェスタン・エレクトリック社に支払う必要があった。この金額（900万円）は米国としてはわずかなものであったが、当時のソニーにとっては大きな負担だった（立石泰則（2001）を参照）。

ソニーの非凡さは、まだ高価だったトランジスターをラジオという大衆向けの製品につかおうと考えたこと、高周波ラジオに必要な高性能のトランジスターを開発したこと、ラジオを小型化したことにあった。ソニーのトランジスター・ラジオの成功を見て世界中の電機メーカーがトランジスターの可能性に気がついたわけであり、ソニーの先見性は高く評価されよう。ソニーはトランジスターを改良し、またその製造技術を完成させた。しかし、もともとの技術

はすでに米国にあったものである。この米国産の技術の輸入とその改良改善というパターンは、ごく最近までほとんどの日本企業が踏襲してきたものである。

トランジスター・ラジオ以外の顕著な事例としては、VTRと液晶があることをつけ加えておきたい。VTR（ビデオ・テープレコーダー）は1956年に米国のアンペックス社が開発したものである。しかし、アンペックス社はこれをテレビ放送局用のものと考え、高価で大型の装置のままでいいと考えた。ところが、日本の電機会社はこれを安価で小型なものとし、大衆向けの耐久消費財とするための研究開発に励み、それに成功してVTRの時代を築いた。また、現在ディスプレイとして広くつかわれるようになった液晶は、1968年に米国のRCA（Radio Corporation of America）が開発したものである。RCAはこれを商品化しようとし、またGE、WHEなどの有力企業も参入したが、結局は失敗した。ところが日本のシャープが我慢強い研究開発をつづけて成功をおさめた。シャープがはじめて商品として売り出したのは電卓であった。

しかし、最近では改良改善型の技術開発の価値が下がってきたように思われる。中核的な部品の発明に価値が集中し、その周辺部分の改良や組み立てではほとんど価値をとれないという傾向が見えている。その典型はパソコンのMPUと基本ソフトウェア（OS）であろう。

最後に、日本の技術開発の歴史の中で記録にとどめるべき2つの事実があったことを述べておきたい。そのひとつは、米国IBMによる日本のコンピューターのメーカーに対する基本特許の提供である。コンピューターの国産化については、日本政府はかなり強権的な政策をとったことも記録されるべきである。日本においては、日本IBMが1953年12月に米国から部品を輸入して機械式のコンピューターの組み立て生産を開始していたが、通産省に対して1956年ごろから電子式のコンピューターの生産を始めたいという希望を伝えていた。これに対して通産

省はなかなか許可を与えず、ようやく1960年8月になって、IBMが日本のメーカーに対して基本特許の使用を認めることを条件として許可を出した。これは日本のコンピューター開発が米国の水準にどうしても追いつけなかったことを反映するものである。日本IBMが1988年に発表した『情報処理産業年表』によると、日本政府とIBMとの間で成立した了解事項とは次のようなものであった。

- (a) IBMは、日本のメーカーに対して、現在および将来にわたる電子計算機のシステムおよびマシン、ならびに構成部品についての特許を相互に許可するクロスライセンス契約を結ぶ。ロイヤリティーは、システム、マシンについては5%、部品については1%とする。
- (b) 契約期間は5年とする。
- (c) 地域制限は付さない。
- (d) 日本IBMとIBMとの間に、ノウハウ、パテントを含めロイヤリティー10%とする技術提携を認める。契約期間は5年。

これらの条件で基本パテントの提供を受けることを希望する日本メーカーとは、日立製作所、東芝、日本電気、富士通、沖電気、三菱電機、松下電器産業、北辰電機であった。

もうひとつの事実は、日本自身による新しい「第5世代コンピューター」開発の試みである。このプロジェクトは、日本が真に独創的なコンピューターを独自に開発しようとしたものであり、米国のコンピューター技術を追い抜く意図もあったのではないかと思われる。このプロジェクトは1982年度から92年度まで11年間にわたって実施され、国費としては一般会社から計367億円、特別会計から計202億円、合計569億

円が支出された。

1995年5月号のMITI Research Reviewによると、このプロジェクトの成果は「PROLOGをベースとした逐時型論理プログラム言語、推論機構をハードウェア化した世界初の逐時推理型コンピューター (PSI) とその上にのせられる逐時論理型プログラム言語で記述された世界初の論理型言語によるオペレーション・システム、並列推論を実行する新たな並列論理型言語などを開発した」ことであると淡々と述べられている。これがどの程度の成果であるのかはよくわからないが、「まったく新しいコンピューターを開発する」という目標が達成されたという印象はない。日本人の体質ともいえる改良改善の技術開発パターンは変えられなかったのではあるまいか。

1996年7月2日に閣議決定された(第1次の)「科学技術基本計画」は、その冒頭において、「これまでわが国の発展を支えてきた様々なシステムに内在していた様々な要素が、社会、経済、国際環境等の変化により、研究開発を推進する上で、柔軟性や競争性が低く、組織の壁を越えた連携・交流等が十分に行えないなど制約として顕在化している面がある。・・・研究開発に係る情報基盤および知的基盤の整備も欧米にくらべ立ち遅れている。・・・基礎研究の水準は、欧米に比して立ち遅れかつその格差がさらに拡大しつつある分野も少なくない。」と指摘している。この認識は正確であろう。研究開発(とくに基礎的部分)をもっと盛んにするためには、たんに政府予算や企業の支出を増やすだけでなく、外国の研究者を受け入れたり研究者の待遇を改善して自由な発想と競争を推進する必要がある。

参 考 文 献

Bresnahan, T. F. and R. J. Gordon (1997), *The Economics of New Goods*, University of Chicago Press.

Bresnahan, T. F. and M. Trajtenberg (1995), "Gen-

eral Purpose Technologies : Engines of Growth?", *Journal of Econometrics*, January.

Chandler, Alfred (1990), *Scale and Scope : The Dynamics of Industrial Capitalism*, Harvard Uni-

- versity Press.
- David, Paul A. (1992), “Knowledge, Property, and the system Dynamics of Technological Change” in World Bank, Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1992.
- Feiman, S. and W. Fuentevilla (1976), Indicators of International Trends in Technological Innovation, National Science Foundation.
- Gustafson, W. Eric (1962), “Research and Development, New Products, and Productivity Change”, American Economic Review, May.
- Kennedy, C. and A. P. Thirlwall (1972), “Surveys in Applied Economics : Technical Progress”, Economic Journal. March.
- Kodama, Fumio (1991), Emerging Patterns of Innovation, Harvard Business School press.
- Lancaster, Kelvin (1979), Variety, Equity and Efficiency, Columbia University Press.
- Lipsey, R. G, C. Bekar and K. Carlaw (1998), “What Requires Explanation?” in E. Helpman (ed.), General Purpose Technologies and Economic Growth, MIT Press.
- Metcalf, Stan (1995), “The Economic Foundation of Technology Policy” in P. Stoneman (ed.), Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, Blackwell Publishers.
- Mokyr, Joel (1990), The Lever of Riches, Oxford University Press.
- Mowery, David C. and Nathan Rosenberg (1998), Paths of Innovation, Cambridge University Press.
- Nelson, R. R and S. G. Winter (1974), “Neoclassical vs. Evolutionary Theories of Economic Growth : Critique and Prospectus”, Economic Journal, December.
- Nelson, R. R. and S.G Winter (1982), An Evolutionary Theory of Economic Change, Harvard University Press.
- Rosenberg, Nathan (1974), “Science, Invention and Economic Growth”, Economic Journal, March.
- Schmookler, Jacob (1966), Invention and Economic Growth, Harvard University Press.
- Solow, Robert M. (1957), “Technical Change and the Aggregate production Function”, Review of Economics and Statistics, August.
- Williams, Trevor I. (1982), A short History of Twentieth Century Technology, Oxford University Press.
- 小田切宏之・後藤晃 (1998), 『日本の企業進化』, 東洋経済新報社。
- ハウシエル, デイヴィッド (1998), 「企業における研究活動の発展史」, R. S. ローゼンブルームおよび W. J スペンサー (編) 『中央研究所の時代の終焉』日経 BP 社 (原著は Engines of Innovation, Harvard Business School Press, 1996)。
- 立石泰則 (2001), 『ソニーと松下』, 講談社。
- 廣重徹 (2002), 『科学の社会史』(上・下), 岩波現代文庫。