技術融合形技術革新の提唱とその分析

Alternative Innovation : Innovation Through Technological Fusion

児 玉 文 雄

Fumio KODAMA

●昭和16年7月11日生。

●主として行った業務及び研究

通商産業省重工業課、西ドイツ国立システム研究所、東京工業大社会工学科において、システム工学の立場から、教育工学、社会工学の方法論開発を中心に研究を進めてきた。

●現在の研究

技術革新の勤学的プロセスを定量的に分析する研究に主として従事。その他、研究成果を基にして、日本の技術政策の論説を行っている。

●勤務先

正員、埼玉大学大学院政策科学研究科
(〒338 浦和市下大久保255)。

Key Words : Mechatronics, Bio-technology, New Ceramics, Innovation, High Technology,
NC Machine Tool

1. はじめに

アメリカの国立科学財団 (NSF) の分析によると、1953 年から 1961 年にかけてなされた 185 の主要な技術革新の中で、日本の科学者によりなされたものは二つにすぎないということである。そこで、技術革新に関しては、日本はイノベータというよりは、依然として技術革新の良き採用者であるという認識が世界に定着しつつある。

しかるに、日本の技術集約製品における国際競争力の強さは疑いをはさむ余地のない歴然たる事実である。そこで、事実と認識の間にギャップが生じ、経済摩擦等の種々の国際問題の間接的な原因になっている。この状況は、技術革新に関する従来の「認識パラダイム」の変更が必要であることを意味していると言えよう。そこで、本稿においては、日本人によるユニークな技術革新はどのようなものであり、それが、従来の欧米形技術革新とどのように違うのかについて、分析を試みたい。

2. 日本形技術革新の特徴

2・1 メカトロ革命 「メカトロニクス」という言葉は日本人による造語であり、1975 年ころから盛んに使われるようになった。事実、図 1 に示すように、メカトロニクスの典型である工作機械の NC 化率は 1975 年を境にして急上昇に転じている。

メカトロ技術は、単純化すれば、機械技術と電子技術との融合により可能となった技術革新である。このタイプの技術革新は、関連する多くの産業のチーム・ワークにより可能になるもので、日本形技術革新であると考えられる。日本の工作機械に起きた NC 革命の歴史を分析すれば、この事がいっそう明らかになる。

日本の工作機械の NC 革命は、工作機械産業のほかに、小形のコントローラを開発したファナック社、ボールねじを開発した NSK 社、およびテフロン技術を開発した材料メーカーの協力により、始めて可能になったのである。すなわち、小形で信頼性の高いコントローラを安価に製造する

図 1 工作機械の NC 化率の推移⁽³⁾

技術を開発したことにより、従来は航空機工業等の特殊な産業に限定されていた NC 工作機械の使用を他の一般的な産業にとっても可能にした。ボールねじの開発により摩擦係数の大幅な低下が行われ、トルクの低いサーボモータによる制御が可能になったのである。更に、テフロンを滑り面に張りつけることにより、工作機械に特有の低速にして均一な運動を容易にしたのである。

以上の事を一般化すれば、技術革新には 2 種類のものがある。一つは従来のいわゆる「技術突破形」(technological breakthrough) 技術革新であり、トランジスタ革命がその典型例であり、欧米が得意とするものである。もう一つは、「技術融合形」(technological fusion) 技術革新であり、メカトロ革命が典型例であり、日本の得意とするものである。従来の技術革新の分析パラダイムでは、前者のタイプの技術革新が主に議論の対象になっており、後者のタイプを技術革新として認知するのは困難であったと言えよう⁽⁴⁾。

2・2 技術融合形技術革新の特徴 そこで、技術融合形技術革新は何であるかを定義する代わりに、このタイプの技術革新の特徴を技術突破形との比較において分析してみよう。

まず第 1 に、技術突破形は、特定の産業の特定の傑出した企業のリーダーシップにより可能になるのに対して、技術融合形は、関連する産業の共同作業により可能になるものである。工作機械の NC 革命について先に述べたことにより、このことは明らかであろう。

第 2 に、技術突破形技術革新の結果は特定企業

の急成長に貢献するのに対して、技術融合形は関連産業全体としての漸進的成長に貢献する。1950 年代後半にアメリカで起きたトランジスタ革命により、多くの既存の真空管メーカーが没落し、テキサス・インスツルメント社等の新企業が急成長したという現象は、このことを如実に物語っている。これに対して、日本の工作機械産業はメカトロ革命により既存の企業を基にして成長したのである。

第 3 に、技術突破形は、しばしば国防政策による軍事研究を通して出現するのに対して、技術融合形は産業政策により誘導されるということである。1971 年に従来の機械産業振興法と電子産業振興法が合体して、機電法が制定された。この法律においては、その名が示すとおり、「機電一体化」、すなわち機械技術と電子技術の融合が明らかに意図されていたのである⁽²⁾。

3. 技術融合の定量的分析

3・1 データベース 技術融合形技術革新のプロセスはある産業が主力製品以外の製品分野に興味を示すこと、すなわち、研究開発投資を行うことから始まる。従って、技術融合のためには、産業ごとの研究開発投資額だけでは不十分であり、さらに細かい製品分野別の研究開発費の統計が必要である。幸いなことに、日本においては、総理府の「科学技術研究報告書」により資本金 1 億円以上の企業は、社内研究費を 31 におよぶ製品分野に分けて報告することを義務づけられているのである。このデータは 21 の産業ごとに集計されて、同報告書の第 9 表の「産業、製品分野別社内使用研究費」の形で、1970 年以来毎年報告がなされている。

技術融合の分析はどのような産業が主力製品以外のどのような製品分野にどの位の研究開発投資をしているかに基づいて行うことができる。そこで、31 の製品分野を産業の数に等しい 21 の分野にグループ分けをすれば、主力製品分野以外への投資について、毎年 420 (21×20) 個のデータが得られ、さらに、1970 年から 1982 年までの 13

年間にわたって入手できるので、研究開発費のデフレータで実質化することにより、結局 5 000 以上のデータがサンプルとして入手可能である。そこで、このような研究開発費がどのような頻度分布になるかを調べたのが図 2 である。

分布は指数分布に近い形をしているが、このことは、主力製品分野以外への研究開発投資のほとんどは、投資額の小さい探索研究であり、ほんの少しの部分が投資額の大きい大規模な開発研究のためのものであることを示している。

3.2 分析の方法論 まず必要なことは、ある産業の主力製品分野以外のある製品分野への研究開発投資が、探索段階であるのか、開発段階であるのかを見極めることである。そのためには、先に得られた指数形分布の動学的解釈が必要である。

時間の経過とともに、研究開発プログラムは、「探索段階」から「開発段階」へと進展していく。これに伴い、その投資額も良い展望が続く限り、増加していく。しかし、悪い展望が見つかる、その研究開発プログラムは放棄され、投資額の増加はもはや期待できないのである。このような考え方にに基づき、研究開発投資のダイナミックスを、一種の「生存モデル」として、定式化できる。

すなわち、研究開発段階に応じて、一定の「放棄確率」が存在しており、その確率に従って研究

図 3 研究開発投資額と放棄確率の関数関係

開発プログラムのいくつかのものは放棄され、放棄されなかったプログラムは生き残って、研究開発の次の段階へと進展し、研究開発投資額が増加していく。その結果、研究開発投資額が小さい探索段階の研究プログラムの数は多く、開発研究の投資額が大きい開発段階のプログラムの数は少ないという研究開発投資額に関する指数形の分布が得られると解釈できる。この詳細は、紙面の都合上つぎの機会に譲る⁽⁵⁾。

一般的に言えば、探索研究の投資放棄確率は大きく、開発研究のそれはそれに先行する探索研究でその展望は有望なことが証明されているので、小さいと仮定できる。そこで、投資額と放棄確率の間に図 3 に示すような関係を想定すれば、各産業の主力製品分野以外の種々の製品分野への投資額のデータを使って、産業ごとに、研究開発投資額と放棄確率の関数関係を推定できる。この推定式に基づき、放棄確率を基準にして、探索段階の研究と開発段階の研究をその研究開発投資の大きさにより、区別することができる。

ある産業の主力製品分野以外への一方的な研究開発投資は、単なる多角化努力に過ぎないかもしれない、なにか新しい技術革新に結びつくとはかぎらない⁽⁴⁾。しかし、二つの産業が「双方向」に研究開発する場合には、新しい技術領域が形成され、これが技術革新に発展する可能性がある。たとえば、窯業は昔から機械製品、電気製品への研究開発投資を行っていたが、機械産業や電機産業が窯業製品への研究開発を行うようになってはじめて、ニューセラミックスという技術領域が形成されたのである。そこで、開発段階に達した研究

図 2 技術融合のための研究開発投資の頻度分布

図 4 1970 年の技術融合の状態図

図 6 1975 年の技術融合の状態図

図 5 1974 年の技術融合の状態図

図 7 1982 年の技術融合の状態

開発投資が双方向で行われた時に、始めて、技術融合が実現されたと考えることができる。

4. 分析結果および将来の予測

4・1 分析結果の表示と解釈 技術融合の状態は、各産業を平面に空間的に配置し、上に述べた意味において技術融合が実現されている場合のみ産業間に線を結ぶという図 4 のような一種の「グラフ」により表現できる。すなわち、研究開

発投資が存在しても探索段階であったり、開発段階に達していても双方向でなかったりする場合には産業間に線が結ばれていないのである。

1970 年から 1982 年に至る 13 年間について、このような分析が可能である。そこで、ここでは、いわゆる先端技術の代表として騒がれているメカトロニクス、バイオテクノロジー、新素材が技術融合としてはどのような形で表現され、どの時期に実現されたかに焦点をあてて、分析結果を記述する。

1970 年 (図 4) においては、一般機械、電気機械、化学工業のそれぞれの周りに技術融合が存在し、これらの産業を「核」とする三つのグループが形成されている。しかし、グループ間には技術融合は行われていなく、本格的な技術融合はまだ実現されていないと結論づけることができる。

1974 年 (図 5) になると、食品-医薬品-化学工業の間に三つどもえの関係が発生しており、これを「バイオ技術」の基礎的な技術融合が確立される土壌の誕生と見る事ができる。はっ酵技術を表すと考えられる食品-医薬品の融合関係は、1970 年に既に存在していた。これに、化学工業が加わる事により、バイオテクノロジーとしての高度先端技術領域が形成されたのである。

メカトロニクスについては、1971 年から、機械-電機の融合関係は存在していたが、精密機械をふくむ機械-電機-通信-電子-精密機械という四つどもえの関係が定着するのは 1975 年 (図 6) 以降である。すなわち、上記四つの産業の間の技術融合関係の定着をもって「メカトロ技術」が実現されたと認定することができ、先に示した工作機械の NC 化率の急上昇の時期と一致している。

1982 年 (図 7) になると、窯業と電機および機械の間に技術融合関係が形成される。これを、「ニューセラミックス技術」の登場と考えることができる。これは、ファインセラミックスを表す窯業-機械の融合がまず 1980 年に成立し、1981 年に新素材の成立を暗示する窯業-化学の関係が形成された後に、1982 年になって窯業-電機の融合が追加された結果生じたものである。

4.2 技術融合のメガトレンド 1970 年代から 1980 年代に至る全体の大きな流れについて述べる。80 年代になっての顕著な動きは、機械と電機を核とする加工・組立部門と化学を核とする基礎産業部門との間の技術融合が生じつつあることである。これは、1970 年代に形成されたメカトロニクスおよびバイオテクノロジー等に代表される技術融合は、産業技術としては、それぞれ加工・組立部門間および基礎産業部門間のなかだけで起きたものであることを考慮すれば、注目に値することである。すなわち、80 年代になって、産業技術としては極めて異質な部門の間に技術融

合現象が進展しているのである。

以上より、技術融合のメガ・トレンドとして、1970 年代は機械技術と電子・情報技術の融合によりメカトロ革命を生み出した時代であったのに対し、1980 年代は「新素材革命」を示唆する材料技術と加工・組立技術の技術融合時代であると言えるのではないだろうか。逆に言うと、新素材革命の本質は材料技術と加工・組立技術の技術的融合であるということになる。

5. おわりに

日本人が行った世界の技術革新への貢献は、既存の技術革新に関する概念では説明できなかった。そこで、技術突破に対する概念として、技術融合という概念を提唱した。この概念を使えば、日本形技術革新を実証的にも定量的にも分析でき、将来の技術予測もある程度可能になった。しかし、この方面の研究は、まだ発展途上の段階であり、今後の研究努力が必要なことは言うまでもないことである。最後に、本稿は 21 世紀文化学術財団の学術奨励金で行った研究を基に書いたものであることを記しておく。

(原稿受付 昭和 60 年 7 月 10 日)

文 献

- (1) 児玉, 近代経済学シリーズ (東洋経済), 71 (昭 59), 70.
- (2) 児玉, エンジニアリングフォーラム, 3 (昭 60), 16.
- (3) 通商産業省, 産業機械ビジョン, (昭 59), 通商産業調査会.
- (4) 児玉・田村, 計測と制御, 21-3 (昭 57), 378.
- (5) Kodama, F., *A Statistical Analysis of R & D Dynamics, Second Seminar on Japanese-German-Swedish Cross Country Study*, (1985).