

# 工作機械産業の発展における 「技術融合」型の技術革新の役割と分析

張 劍 雄

工作機械産業は、1975年以降、NC工作機械の急速な発展とともに大きく成長した。このように、工作機械のNC化は、工作機械産業のこのような成長をもたらした原動力であると言えるであろう。NC技術と工作機械技術のような異なる産業の異なる業種技術が有効に一体化し「融合」することが関連する産業に著しい発展をもたらしたのである。

## 第1節 工作機械のNC化と「技術融合」型の技術革新の特徴

工作機械のNC化は、機械技術と電子技術が結合し、技術的に洗練され、一体化されたことであり、機械技術と電子技術の両技術が「融合」することによってもたらされたことである。このような「融合」型のNC工作機械技術の革新は工作機械産業に急速な発展をもたらしたことから、技術の「融合」は異種類の技術の単なる組み合わせではなく、その以上のことを意味していると思われる。例えば、Aタイプの技術とBタイプの技術との「融合」は(A+B)ではなく、(A\*B)であると考えるのである。両技術融合は、以下のように表すことができる：

$$A \text{ と } B \text{ の「融合」} \rightarrow (A*B) > (A+B)$$

(「\*」は両技術が一体化することを意味している)。

したがって、「技術融合」はその革新に参与した各産業に新しい市場と機会を提供するので、「補完性」以上のものである。また、いくつかの別々の技術分野を混合して、ほかでは見られない何物かを追加するため、小さな漸進的な「改善の累積」を越えているものである。加えて、異業種の異なる技術革新が、相互協力という形で進行するため、「産業間関係」を越えているものでもある。

「技術融合」型技術革新のプロセスは、研究開発投資をすることから始まり、異なる産業の技術資本の「結合」によって実現される。「技術融合」の最小単位は、たとえばa業種とb業種というように、二つの異なる業種の「対」である。ここでは、a業種がb業種の主力製品の技術革新に参与し、一部の技術の開発を担い、研究開発投資を行うというように、ある業種が他業種の主力製品の研究開

発に投資するのである。ここでは a 業種と b 業種は、b 業種のある主力製品の革新のために、両業種ともに研究開発投資を行い、その新製品の開発に両業種の間  
に技術資本が移動し「結合」する。そして、A 技術と B 技術が一体化し、新しい  
技術—「融合」した技術が派生される。このような異業種な技術の「融合」は、  
異業種の技術資本の「結合」によってもたらされ、異業種の相互協力の下で行わ  
れる。

## 第 2 節 「技術融合」型の技術革新と産業間の相互協力

NC 工作機械の技術革新は、機械体系のみならず様々な技術体系の集合から生  
起するものである。したがって、このような技術革新は、工作機械産業単独で行  
える性格のものではなく、関連産業を巻き込んだ形で行われるものと思われる。  
ここでは、このような複数の産業間の関係から生じる技術革新を、見えざる資産  
—技術資本の産業間での移転、蓄積を主目的とする研究開発の協力体系として捉  
え、工作機械産業と他産業との具体的な関係を分析する。

NC 工作機械の技術革新に関して言えば、これは工作機械産業単独で行われた  
ものではなく、NC 装置を生産する企業を中心とする電子制御部品産業との相互  
協力によるものであり、異なる産業間で見えざる資産—技術資本が移転し、新た  
な技術知識の創造、蓄積がなされることによって行われたものである。つまり、  
産業間の相互協力が、産業間関係を緊密的なものとし、異なった技術知識の「融  
合」が図られたことで、NC 工作機械の技術革新の基盤が形成されたのである。

「技術融合」型技術革新の概念については、以下のように考えることもできる。  
つまり、「技術融合」型技術革新の形態は、産業間関係の相互作用により起こる  
電子制御部品産業の独自の研究開発や、技術革新の成果から生まれた要素部品  
の中から、工作機械産業が最適なものを選択し、組み合わせることによって生まれ  
ると考えられる。これは、通常想定される相互技術革新の形態を越え、具体的な  
見える資産（NC 装置）が移転すると同時に、見えざる資産—技術資本が移転し  
「結合」することによって新たな技術革新が達成されることを意味するのである。

単独の主体による技術革新に比べて、産業間の相互協力による技術革新では、  
異質な技術の「融合」が図られることで、より大きな技術革新が起きやすくなる。

また、産業間の関係が密になれば、インフォーマルな知識の交流は一層盛んになることが予想され、その結果、より迅速で効率的な技術革新が期待できるであろう。重要なことは、この技術革新の過程は、単なる既存技術知識の保持ではなく、異質の技術知識の「融合」により、新たな技術知識の創造を行うことにあるという点である。

### 第3節 「技術融合」と産業間の技術資本の移動

産業自体の研究開発は産業の生産性上昇をもたらす要因であるが、そのほかにも多くの要因が存在しており、他の関連産業の研究開発から影響を受け、異なる業種の技術が一体化し「融合」することによって新しい技術を生み出すことは、その中の重要なものの一つである。

関連産業の研究開発は次のような方式を通じて本産業の生産性を上昇させると考える。関連産業は自身の生産性を上昇させるために、研究開発を行い、結果として、この産業の製品の品質と性能を向上させる。一方で、この製品を購入し、一つの部品として新製品の生産に使用する産業は、間接的にこれを生産する産業の研究開発の成果を受けることとなる。このように、ある部製品を生産する産業の研究開発活動によって生み出された成果が、この製品を使用する産業の生産活動に影響を与えることとなる。この意味で、関連産業の製品に体化された技術資本は、ある程度移動するものと考えられる。

ある生産財を生産する産業とこれを使用する産業の間に、生産財の移動とともに、技術資本の移動も存在する。Terleck-yj(1974)は、技術資本の移動に対して、次のようなアプローチを行った。

第  $i$  産業が生産し、第  $j$  産業で使用される生産財に体化されている技術資本を  $r_{ij}$  とすると、

$$r_{ij} = a_{ij} r_i \quad (3.1)$$

となる。ここで  $a_{ij}$  は第  $i$  産業の製品が第  $j$  産業で使用される比率、 $r_i$  は第  $i$  産業の技術資本である。ここで、技術資本の量はその産業の研究開発投資の量と等し

いと定義する。

例えば、七十年代には、エレクトロニクス産業は大量な研究開発投資を行い、急速な技術革新を遂げてきた。同時に、多くの関連産業はエレクトロニクス産業によって開発した製品を利用し、これらの製品に体化された技術から影響を受け、これらの製品の移動とともにエレクトロニクス産業の技術資本が関連産業に移転された。このうちの NC 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）も大量な研究開発投資を行い、急激な技術進歩を果した。このとき、工作機械産業は電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の製品を多く利用し、自社の新製品の開発と生産量の拡大を図っていた。

ここでは Terleck-yj(1974)の産業間の技術資本移動のアプローチに基づいて、NC 装置という特殊な生産財を生産する NC 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の技術資本の工作機械産業（上場の十九社）への移動を分析する。

NC 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）が生産し、工作機械産業（大手 19 社）で使用される NC 装置に体化されている技術資本を  $r_{jk}$  とすると、

$$r_{jk} = a_{jk} r_j \quad (3.2)$$

となる。ここで  $a_{jk}$  は NC 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の製品が工作機械産業（大手 19 社）で使用される比率であり、 $r_j$  は NC 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の技術資本であり（本稿では技術資本は研究開発投資量と考える）、

$$r_j = r_{j1} + r_{j2} \quad (3.3)$$

$r_{j1}$  は、ファナックの技術資本（全体の 70%）、 $r_{j2}$  はファナック以外の NC 電子制御部品メーカーの技術資本である。

以上の考えに基づいて、1976 年から 1990 年まで工作機械産業（大手 19 社）が使用した NC 装置に体化された技術資本の移動と工作機械産業（大手 19 社）の研究開発投資による技術資本は表 3-1 のように表される。

表 3-1 工作機械産業（19 社）の技術資本の構成

年度	①技術資本の移動され た部分(外部技術資本)	②産業の研究開発投 資(内部技術資本)	外部と内部技術資 本比率(①/②)
1975	3	14.9	0.201
1976	3.9	19.4	0.201
1977	3.1	18.2	0.17
1978	6.6	20.4	0.324
1979	11	25.1	0.438
1980	20.1	27.1	0.742
1981	30.9	40.3	0.767
1982	40.4	49.4	0.818
1983	35.9	66.1	0.543
1984	38	83.5	0.455
1985	46.6	100	0.466
1986	64.6	114.6	0.564
1987	71.7	123.1	0.582
1988	46.4	118.7	0.391
1989	52.3	117.9	0.444
1990	102.7	130.8	0.785

(データ出所：工作機械産業の 19 社とファナックの有価証券報告書)

(②の 1985 年の技術資本を 100 とする)

以上の技術資本の構成により、工作機械産業（大手 19 社）は電子制御部品産業（ファナックを中心とする）から多くの技術資本を受け入れたことを読み取ることができる。

#### 第 4 節 産業間の技術資本の移動と技術資本ストックの蓄積

企業が生産性を向上するために、研究開発投資を行い、技術革新を図ることは

一般論であるが、毎年の研究開発投資はその年の技術資本となり、それは新たな技術資本ストックの蓄積となる。

技術は、企業の生産活動にとって、極めて重要である。企業が有する技術は、企業自身が行った研究開発によって生み出された技術の積み重ねと、関連産業が行われた研究開発によって生み出された技術の受け入れから成る。企業の研究開発活動は、過去の自社の研究開発から得られた技術知識と関連産業から受け入れた技術知識を基礎として、新しい研究開発を行い、技術進歩を図ろうとするものであるが、新しい研究開発が成功しなかったとしても、よい経験が得られ、次の研究開発の基礎となる。技術進歩がこのような累積的、進化的な性格を持つことは、今まで多くの研究によって指摘されてきた。このような過程を経て蓄積されてきた技術資本ストックは、企業の生産活動にとって重要なことである。このように、一つの企業、あるいは一つの産業、国の研究開発能力を評価するのは、年度ごとに支出した研究開発費ではなく、その企業、或いは産業、国が内部と外部から蓄積されてきた技術資本ストックである。この技術資本ストックは、これらの企業、或いは産業、国の研究開発の基礎となるのである。

以上の分析からわかるように、企業の研究開発能力を評価するのは、その年の研究開発投資水準ではなく、その時点における技術資本ストックの水準である。技術資本ストックの量を分析することは、企業の研究開発能力を測るに極めて重要なことである。しかし、技術論文、マニュアル等のような技術情報は、ストック量で測ることが困難であり、また、研究者と労働者に体化されている技術資本が数量的な手段で把握することも困難である。工作機械産業の技術資本は企業内部の研究開発投資による技術資本の蓄積と関連産業から受け入れた技術資本との「結合」によって構成されるとすると、この両技術資本のストック量は次のように推計される。

$$\begin{aligned} R_{kt} &= r_{kt} + (1 - \delta_k) R_{kt-1} \\ R_{jkt} &= r_{jkt} + (1 - \delta_{jk}) R_{jkt-1} \end{aligned} \quad (4.1)$$

ここで、

$R_{kt}$  :  $t$  期における工作機械産業 (19 社) 内部の研究開発によって

蓄積された技術資本ストック

$R_{jkt}$ :  $t$  期における電子制御部品産業（ファナックを中心とする）からの技術資

本によって蓄積された技術資本ストック

$r_{kt}$ :  $t$  期における工作機械産業（19社）内部の研究開発支出から

なる技術資本

$r_{jkt}$ :  $t$  期における電子制御部品産業（ファナックを中心とする）からの技術資

本

$\delta_k$ : 工作機械産業の技術資本ストックの陳腐化率

$\delta_{jk}$ : 電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の技術資本ストック

の陳腐化率

である。

技術資本は、当期の研究開発投資と仮定し、ストック量の推計には技術資本ストックの陳腐化率を導入する。技術資本ストックは生産過程の中で陳腐化していくことが、多くの研究によって知られている。技術資本ストックの陳腐化は、新たに進歩した技術が生み出されることにより既存の技術がもはや生産過程において用いられなくなる場合に起こったと考えることができる。現在の旧技術はなくなるのではなく、知識として残っているわけであるが、生産過程においてはもはや用いられないという意味で、陳腐化したものとみなす事ができる。ここで Schankerman(1984)によると、企業が技術開発から収益をあげる方法には、その技術に体化した製品を販売して利益をあげる方法と、技術を他企業にライセンスする等、技術自体を販売して収益をあげる方法の二つが存在する。技術は利益をあげると同時に陳腐化していく。

技術陳腐化の理由は、他にも存在する。製品に体化された技術は製品の販売によって、他の企業にも知ることが可能である。技術を開発した企業が獲得する収益は、急速的に減少していくことになる。Schankerman は、このような要因によって、技術資本ストックは物的資本よりも高い率で陳腐化すると主張している。一方で、技術資本ストックの陳腐化率は数量的に把握することが困難であるから、

本論文では、「1985年科学技術白書」により、工作機械産業の技術資本ストックの陳腐化率は、機械工業の技術陳腐化率の7.2を、電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の技術資本ストックの陳腐化率は、電子工業の技術陳腐化率の14.5を、それぞれ用いる。

表一2 一社当り技術資本ストック指数

年度	①工作機械産業	②電子部品産業	②/①
1975	3.96	10.38	2.62
1976	8.83	24.45	2.77
1977	13.02	41.66	3.21
1978	17.48	77.14	4.41
1979	22.83	138.62	6.07
1980	28.36	269.03	9.49
1981	37.01	453.2	12.25
1982	47.42	652.19	13.75
1983	61.51	822.32	13.37
1984	79.21	1045.63	13.2
1985	100	1340.37	13.4
1986	123.17	1644.27	13.35
1987	146.9	1904.11	12.96
1988	167.78	2058.8	12.27
1989	186.93	2268.91	12.14
1990	208.14	2863.77	13.76

(1985年工作機械産業1社当りの技術知識ストック量を100とする)

(データ出所：工作機械産業の19社とファナックの有価証券報告書)

ここでは、以上の考えに基づいて、工作機械産業の一社当り技術資本ストック

量とファナック社の技術資本ストック量を分析する。表-2によると、1975年から1990年までの間に、ファナック社当りの技術資本ストックは工作機械産業メーカー社当りの技術資本ストックより高いことがわかる。特に、1980年以後にファナック社当りの技術資本ストックは工作機械産業メーカー社当りの技術資本ストックの9.49倍から13.37倍に伸び、非常に高い水準を維持していた。従って、技術資本が流出する企業は高い技術資本ストックを維持していたことがわかる。

表-3 一人当り技術資本ストック指数

年度	①工作機械産業(19)	②電子制御部品産業	②/①
1975	2.8	13.1	4.68
1976	7.3	32.3	4.42
1977	11.8	50.3	4.26
1978	17.2	89.3	5.19
1979	25.7	151	5.88
1980	35.1	263.4	7.5
1981	34.5	397.5	11.52
1982	43.2	538.9	12.47
1983	59.1	640.5	10.84
1984	76.1	703.2	9.24
1985	100	765.1	7.65
1986	121.4	837	6.89
1987	144.5	948.1	6.56
1988	166.6	986.6	5.92
1989	185.8	1015	5.46
1990	201	1181	5.88

(1985年工作機械産業の一人当り技術資本ストックを100とする)

(データ出所：工作機械産業の19社とファナックの有価証券報告書)

次に、一人当たり技術資本ストック量から工作機械産業の一人当たり技術資本ストック量と電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の一人当たり技術資本ストック量を分析する。ここで、一人当たり技術資本ストック量は、企業の技術資本ストック量を企業の従業員数で割るものと定義する。表-3 からわかるように、工作機械産業の一人当たり技術資本ストック量と電子制御部品産業（ファナックを中心とする）一人当たり技術資本ストック量は、1975年から1990年に至るまでともに上昇していた。電子制御部品産業（ファナックを中心とする）一人当たり技術資本ストック量は工作機械産業の一人当たり技術資本ストック量より高い。特に、80年代に入って、その倍率は一層高くなり、いずれの年も5倍を超え、82年には最も高く、11.47倍になった。このように、技術資本が流出する企業は、一人当たり技術資本ストック量が高い、技術知識集約的な産業であることが明らかでなる。表3-2から一人当たり技術資本ストック量上昇の傾向から見れば、1970年代の後半から1980年代にかけて、電子制御部品産業の知識集約化が進んだことがわかる。

## 第5節 技術資本ストックを導入した生産関数の理論的枠組

産業間の技術資本の移動が高い経済成長率をもたらすという見方は、今日の経済学者の間に広く存在する。産業間の技術資本の移動に伴って、異なる産業の異なる業種技術が有効に一体化し「融合」し、関連する産業に著しい発展をもたらしたことは事実であるが、このような「技術融合」型の技術革新の具体的なあり方とは何か、どのように産業の発展に影響を与えたのか、に関する実証的な研究はあまり知られていない。

本節以後では、工作機械産業（19社）と電子制御部品産業（ファナックを中心とする）の1975年から1990年までのデータを用いて、以上の問題意識を実証的に分析する。特殊な生産財としては、工作機械産業（19社）生産に用いられるNC装置を想定する。このような特殊な生産財は特殊な技術によって生産され、特殊な電子技術を代表するものである。

この前提の下、工作機械産業（19社）の生産性上昇が、NC装置に体化され、特殊な電子技術と在来型工作機械技術との「融合」によってもたらされたかどうか

かを分析する。特殊な生産財—NC 装置に体化された技術資本と工作機械産業の技術資本—が、この分析の中心的な要素である。

続いて、NC 装置に体化された技術資本と、工作機械産業の技術資本との「結合」と産業の発展との間の関係を分析する。その上で、この水準における TFP 水準と TFP 成長率の推定を行うことで、異業種の技術「融合」から生じる技術進歩の効果を分析する。

工作機械産業の高速な成長は、工作機械産業が関連産業である電子制御部品産業（ファナックを中心とする）から多くの NC 装置を導入するとともに、電子制御技術は、NC 装置という電子部品の利用を通じて、在来型の工作機械技術と有効に「融合」し一体化することによってもたらされた。このような異業種の技術「融合」において、異業種の技術資本の「結合」はその前提条件である。機械技術（A）と電子技術（B）との「融合」は、異種類の技術の単なる組み合わせではなく、それ以上のことを意味する。従って、A タイプの技術と B タイプの技術との「融合」は（A+B）ではなく、（A\*B）であると考えられ、その関係は、以下のように表される。

$$A \text{ と } B \text{ の「融合」} \rightarrow (A*B) > (A+B)$$

（「\*」は両技術が一体化することを意味している）。

よって、工作機械産業の技術資本（ $r_k$ ）と使用された NC 装置に体化された技術資本（ $r_{fk}$ ）との「結合」は（ $r_f * r_k$ ）のように表すも考えられる。

本節では、その前段階として、ある産業の生産性上昇が、関連産業の研究開発投資によってもたらされることを、簡単な理論モデルによって描写する。

ここでは、「結合」した技術資本ストック量を導入したコブ=ダグラス型生産関数を用いて、工作機械産業の生産高を次のように定式化する。

$$Q = AL^\alpha K^\beta R_k^\gamma R_{fk}^\theta, (0 < \alpha, \beta, \gamma, \theta < 1) \quad (5.1)$$

ここで、 $Q$  は生産高、 $A$  は定数、 $L$  は労働投入量、 $K$  は物的な資本ストック投入量、 $R_k$  は工作機械産業（19 社）内部の研究開発によって蓄積された技術資本ストック、 $R_{fk}$  は電子制御部品産業（ファナックを中心とする）から導入した NC

装置に体化された技術資本の流入によって蓄積された技術資本ストック、 $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ はパラメータである。

ある時点の工作機械産業（19社）技術資本ストック  $R_{kt}$  は、技術資本によって構成される。技術資本は、その年の研究開発投資量である。 $R_{kt}$  は次のように表される。

$$\begin{aligned} R_{kt} &= r_{kt} + (1 - \delta_k) R_{kt-1} = r_{kt} + (1 - \delta_k) r_{kt-1} + (1 - \delta_k)^2 R_{kt-2} = \dots \\ &= r_{kt} + (1 - \delta_k) r_{kt-1} + (1 - \delta_k)^2 r_{kt-2} + \dots + (1 - \delta_k)^{t-1} r_{k1} \end{aligned} \quad (5.2)$$

同様に、電子制御部品産業（ファナックを中心とする）から工作機械産業（19社）に流入した技術資本ストック  $R_{jkt}$  も、技術資本によって蓄積されると考えられる。この技術資本はその年の研究開発投資の支出量である。 $R_{jkt}$  は次のように表される。

$$\begin{aligned} R_{jkt} &= r_{jkt} + (1 - \delta_{jk}) R_{jkt-1} = r_{jkt} + (1 - \delta_{jk}) r_{jkt-1} + (1 - \delta_{jk})^2 R_{jkt-2} = \dots \\ &= r_{jkt} + (1 - \delta_{jk}) r_{jkt-1} + (1 - \delta_{jk})^2 r_{jkt-2} + \dots + (1 - \delta_{jk})^{t-1} r_{jkt1} \end{aligned} \quad (5.3)$$

$r_{jkt}$  は  $t$  期の技術資本（研究開発投資）、 $\delta_k$  は工作機械技術の陳腐化率、 $\delta_{jk}$  は NC 電子技術の陳腐化率を表す。F は総要素の生産性（TFP）である。したがって、(5.1) 式は

$$F \equiv \frac{Q}{L^\alpha K^\beta} = AR_k^\gamma R_{jk}^\theta \quad (5.4)$$

と書き換えることができる。

多数の国と多数の産業の経験から、技術の「融合」は産業の成長と深く関連している。産業内部の研究開発投資だけでなく、関連産業の研究開発投資も生産性に影響を与えるのである。

## 第6節 技術資本ストック増加と生産水準の変化

関連産業からの技術資本ストックと、産業内の技術資本ストックは該当産業の

発展にどのような異なる役割を果たしたのか、ここでは、(5.1)の生産関数を用いて、これらの技術資本ストックが生産水準に対して果たした役割を実証研究によって示す。

(5.1)の両辺を対数変換すると、次のように変化できる。

$$\ln Q = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln R_k + \theta \ln R_{kt} \quad (6.1)$$

$R_{kt}$ は産業自身の技術資本ストックを表す。 $R_{kt}$ は特殊な生産財に体化された技術資本ストックの流入である。

(6.1)を用いて、最小二乗法で工作機械産業(19社)の1975年から1990年までのデータを分析し、次の結果を得た。

$$\ln Q = 1.278 + 0.282 \ln L + 0.079 \ln K + 0.228 \ln R_k + 0.332 \ln R_{kt}$$

$$(1.181) \quad (0.441) \quad (0.138) \quad (0.894) \quad (2.112)$$

$$R^2 = 0.985$$

( )内は*t*値である。

このように、係数 $\alpha, \beta$ の値は正であるが、*t*値は有意ではないから、労働と資本の二要素が生産高の上昇をもたらした十分な証拠はない。係数 $\gamma$ の値は正であるが、*t*値は有意ではない、係数 $\theta$ の値は正であると同時に、*t*値も有意であるから、両技術の「融合」には、工作機械産業(19社)の技術資本の影響は小さく、電子制御部品産業の技術資本の影響が強いと見られる。また、この仮説から高い $R^2$ の値を得ている。(有意水準は5%である)。

この推定結果からは、労働と資本に比べて、技術資本ストックのほうが産業の発展を反映していることが示され、技術資本ストックのうち、中間生産財に体化された技術資本ストックは産業内の技術資本ストックよりも産業の成長と高い相関があることがわかる。

関連産業の技術資本ストックが、産業の生産の変化と結びついているという分析結果は意味深い。技術「融合」には「融合」した両技術は同時に存在しているが、同等な役割を果たしているとは限らないことがわかる。推定結果からは、技術資本ストックの集約度が高い関連産業ほど強い影響を与えていることが見られ

る。

この結果をより確かめるために、以下の二つの仮説を提起する。第一に、中間生産財に体化された技術資本ストックの収益率は、本産業の技術資本ストックの収益率より高いのか。第二に、中間生産財に体化された技術資本ストックの上昇は本産業の技術資本ストックの上昇よりも生産性の上昇に高い影響を与えるのか。

### 第7節 生産性の変化と技術資本ストック収益率の役割

前節の分析からは、技術資本ストックが生産高の上昇に有意な役割を果たしていることがわかったが、特殊な生産財に体化された技術資本ストックの収益率が自産業の技術資本ストックの収益率より高いのかという仮説を検証するため、(5.1)式を用いて、次の仮説を分析する。技術資本ストックの収益率 ( $\rho$ ) を技術資本ストックの限界生産性と定義すると、以下の関係が成立する。

$$\rho = \frac{\partial Q}{\partial R} = \frac{\partial Q}{\partial R} \cdot \frac{R}{Q} \cdot \frac{Q}{R} = \gamma \frac{Q}{R} \quad (7.1)$$

ここで、 $F$  は総要素の生産性 (TFP) である。方程式 (5.1) は (5.4)

$$F \equiv \frac{Q}{L^\alpha K^\beta} = AR_k^\gamma R_{jk}^\theta$$

のように変換できるが、 $A$  を  $A_0 e^{\lambda t}$  と変換すると、(5.4) は

$$F \equiv \frac{Q}{L^\alpha K^\beta} = A_0 e^{\lambda t} R_k^\gamma R_{jk}^\theta \quad (7.2)$$

のように書き換えることができる。これを時間に関して微分すると、(7.3)を得る。

$$\frac{F}{F} = \lambda + \gamma \frac{\dot{R}_k}{R_k} + \theta \frac{\dot{R}_{jk}}{R_{jk}} \quad (7.3)$$

ここで、 $\dot{F} = \frac{dF}{dt}$ ,  $\dot{R}_k = \frac{dR_k}{dt}$ ,  $\dot{R}_{jk} = \frac{dR_{jk}}{dt}$  である。

(7.1) から、

$$\gamma = \frac{\partial Q}{\partial R_k} \cdot \frac{R_k}{Q}, \theta = \frac{\partial Q}{\partial R_{jk}} \cdot \frac{R_{jk}}{Q} \quad (7.4)$$

が得られる。

次に、(7.4) を (7.3) に代入すると、(7.3) は以下のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned} \frac{F}{F} &= \lambda + \frac{\partial Q}{\partial R_k} \cdot \frac{R_k}{Q} \cdot \frac{R_k}{R_k} + \frac{\partial Q}{\partial R_{jk}} \cdot \frac{R_{jk}}{Q} \cdot \frac{R_{jk}}{R_{jk}} \\ &= \lambda + \frac{\partial Q}{\partial R_k} \cdot \frac{R_k}{Q} + \frac{\partial Q}{\partial R_{jk}} \cdot \frac{R_{jk}}{Q} \end{aligned} \quad (7.5)$$

ここで、 $\frac{\partial Q}{\partial R_k}$  は工作機械産業 (19 社) の技術資本ストックの収益率 (限界生産性)、 $\frac{\partial Q}{\partial R_{jk}}$  は NC という特殊な生産財に体化された技術資本ストックの収益率 (限界生産性) である。 $\frac{\partial Q}{\partial R_k}$  は  $\rho_k$ 、 $\frac{\partial Q}{\partial R_{jk}}$  は  $\rho_{jk}$  と書き換えられるから、(7.5) は

$$\frac{F}{F} = \lambda + \rho_k \cdot \frac{R_k}{Q} + \rho_{jk} \cdot \frac{R_{jk}}{Q} \quad (7.6)$$

となる。

ここで、 $\frac{F}{F}$  は総要素生産性の成長率である、モデル (7.6) を用いて、最小二乗法で工作機械産業 (19 社) の 1975 年から 1990 年までのデータを分析した所、以下の結果を得た。

$$\frac{F}{F} = 0.1537 + 0.00696 \cdot \frac{R_k}{Q} + 0.7457 \cdot \frac{R_{jk}}{Q}$$

(2.034)      (2.872)      (5.142)

$$R^2 = 0.9534$$

( ) 内は  $t$  値である。

$\rho_k, \rho_{fk}$  の値は、ともに正であり、1%水準で有意である。つまり、NC という特殊な生産財に体化された技術資本と工作機械産業 (19 社) の技術資本は同時に生産性の上昇に有意な役割を果していると考えられる。一方で、 $\frac{R_{fk}}{Q}$  の係数は  $\frac{R_k}{Q}$  の係数より大きい、つまり、NC という特殊な生産財に体化された技術資本ストックの収益率 (限界生産性) は、工作機械産業 (19 社) の技術資本ストックの収益率 (限界生産性) より大きいということである。この結果は、次のことを示している。すなわち、電子制御技術と工作機械技術との「融合」の進展には電子制御技術の急速な進歩が強い影響を与えたと考えられる。

#### 第 8 節 TFP 成長率と技術資本ストック変化率との関係の推計

ここでは、TFP 成長率の変化に、特殊な生産財に体化された技術資本ストックの変化が、自産業の技術資本ストックの変化よりも高い影響を与えたのかという仮説を検討する。

(7.2) より、 $t$  時点の工作機械産業の TFP 水準は、

$$F_t = A_0 e^{\lambda t} R_{kt}^{\alpha} R_{fkt}^{\beta} \quad (8.1)$$

と考えられる。ここで、 $\frac{\Delta F_t}{F_t}$  は TFP 成長率、 $\frac{\Delta R_{kt}}{R_{kt}}$  は工作機械産業の技術資本ストックの成長率、 $\frac{\Delta R_{fkt}}{R_{fkt}}$  は NC 装置に体化された技術資本ストックの成長率である。

(8.2) に対応する TFP 成長の定式化は、以下で与えられる。

$$\frac{\Delta F_t}{F_t} = \alpha_0 + n_k \frac{\Delta R_{kt}}{R_{kt}} + n_{fk} \frac{\Delta R_{fkt}}{R_{fkt}}, \quad (8.2)$$

ここでは、モデル (8.2) を用いて、最小二乗法により、工作機械産業 (19 社) の 1975 年から 1990 年までの技術資本ストックのデータと、電子制御部品

産業（ファナックを中心とする）に体化された技術資本ストックのデータを回帰分析した。推計値は

$$\frac{\Delta F_t}{F_t} = 0.0113 + 0.0112 \frac{\Delta R_{kt}}{R_{kt}} + 0.3642 \frac{\Delta R_{fst}}{R_{fst}},$$

(0.1233) (3.8531) (2.8011)

$$R^2 = 0.9076$$

( ) 内は t 値である

となった。

$\frac{\Delta R_{kt}}{R_{kt}}$ ,  $\frac{\Delta R_{fst}}{R_{fst}}$  の係数は全て 1%水準で有意に正であったから、電子制御技術資本と

工作機械技術資本の成長とともに TFP の成長に有意な役割を果たしたとみられる。

一方で、 $\frac{\Delta R_{fst}}{R_{fst}}$  の係数の値は  $\frac{\Delta R_{kt}}{R_{kt}}$  の係数の値より大きい。この結果も、次のこと

を示している。すなわち、電子制御技術と工作機械技術との「融合」には、電子制御技術の急速な進歩が強い影響を与えたと考えられる。

## 結 論

本稿では、異業種の「技術融合」によってもたらされる技術進歩と生産性上昇の効果について分析した。研究開発と「技術融合」型の技術革新に基づく成長と生産財の移動について扱った理論的研究に基づき、ある産業の生産性が、本産業の技術と関連産業の技術との「融合」によって生み出された新しい技術によって上昇する事に焦点を当てた実証的モデルを作った。そして、このような異業種技術が技術の「融合」に与える役割を検討した。

この推計結果から、次のような結論が得られた。第一に、異業種の「技術融合」によって生み出した新しい技術は、産業の発展に大きな影響を与えた。第二に、このような異業種の技術の中で、技術進歩が速い、技術資本の集約度が高い産業がより強い役割を果たした。

従って、工作機械産業については、関連産業からの特殊な生産財による技術資本がより大きな重要性を持っていると言える。従って、工作機械産業においては、NC装置の使用量が、「技術融合」の進展に対してより強い影響を与えたと言えるであろう。特殊な生産財の利用は産業間の技術「融合」をもたらし、より新たな技術革新を促進する。従って、他の条件を一定とすれば、特殊な生産財の使用シェアが高い産業ほど技術進歩が速いと言えるであろう。

参考文献

- Armour,H.O.and Teece,D.J.(1980), "Integration of the Sales Force:An Empirical Examination"Rand Journal of Economics.
- Aghion, P.and P.Howitt(1998),Endogenous Growth Theory,Cambridge,MA:MIT Press.
- Aghion, P.and P.Howitt(1992), "A Model of Growth through Creative Destruction",Econometrica.
- Baumol,W.j.(1990), "Technology Sharing Cartels",mimeo.
- Blumenthal,T.(1979), "A Note on the Relationship between Domestic Research and Development and Imports of Technology",Economic Development and Cultural Change.
- Bosworth,D.L.(1978), "The Rate of Obsolescence of Technical Knowledge-A Note",Journal of Industrial Economics.
- Caves,E.C,Crookell,H.and Killing,J.P.(1983) "The Imperfect Market for Technology Licenses,"Bulletin of Economics .
- Cusumano,M.A.and Takeishi,A.(1991), "Supplier Relations and Management:A survrey of Japanese ,Japanese-Transplant ,and U.S.Auto Plants",Center for International Studies,MIT.
- Cohen,W,M.and Levinthal,D.A.(1989), "innovation and Learning:The Two Faces of R&D",Economic Journal.
- 機械振興協会経済研究所 (1952、1958、1963、1967、1973、1981、1987)『工作機械設備長期動向分析—調査変遷表 金属工作機械設備編』社団法人通産統計協会
- 機械振興協会経済研究所 (1988)『機械産業における技術開発の展望と課題—ソフトウェアの技術開発を中心に』財団法人機械振興協会経済研究所
- 機械振興協会経済研究所 (1987)『CIM 化の方向と設計の自動化に関する現状と課題—FA 高度化の現状と展望』財団法人機械振興協会経済研究所