

Discussion Paper # 95 - DOJ - 54

研究開発ストックの
産業間スピルオーバー
-先端技術産業についての実証分析-

小田切 宏之
絹川 真哉

1995年3月

通商産業研究所 Discussion Paper Seriesは、通商産業研究所における研究成果等を取りまとめ、所内での論議に用いるとともに、関係の方々から御意見を頂くために作成するものである。この Discussion Paper Seriesの内容は、研究上の試論であって、最終的な研究成果ではないので、著者の許可なく、引用または複写することは差し控えられたい。また、ここに記された意見は、著者個人のものであって、通商産業省または著者が所属する組織の見解ではない。

本稿は絹川が小田切の指導のもと筑波大学経営・政策科学研究所に提出した修士論文にもとづき、大幅に加筆修正したものである。同論文研究中、黒田謙・斯波恒正両教授より有益な助言を受けた。記して感謝したい。

要旨

本論文は日本の先端技術産業における研究開発（R&D）の経済効果をトランスローグ型費用関数を用いて分析する。特に、研究開発が正の外部性を持ち、その成果が他の経済主体にスピルオーバーしていく点に着目し、先端技術産業の費用構造を分析する際に、自産業の研究開発の経済効果だけではなく他産業の研究開発からの経済効果も考慮して分析した。分析対象とした産業は電気機械工業、輸送用機械工業、機械工業、化学工業の4産業である。

研究開発の成果は次の2つの経路によって他産業にスピルオーバーして行く。1つは企業が購入する中間財や投資財に研究開発の成果が体化されていることにより起きるスピルオーバーであり、もう1つは業界紙や技術者の移動などにより起きる技術知識のスピルオーバーである。本論文は、まず、この2つの経路によるスピルオーバーの可能性をそれぞれ「技術フロー」、「技術距離」の概念を用いて計測した。そして、電気機械工業、輸送用機械工業、機械工業、化学工業の各産業に対してスピルオーバー・ソースとなっている可能性がある産業を、「技術フロー」の大きい産業、「技術距離」の近い産業の中から選択し、それら産業の研究開発が上記の4産業に対して生産費用減少の効果を持つかどうかについて検証した。

本論文の分析から得られた主な結果は以下の2つである。

- (1) 各産業においてR&Dストックの蓄積効果が進み、電気機械工業では1960年代から、輸送用機械工業と一般機械工業では1970年代後半から、そして最も遅い化学工業では1980年代後半から生産費用を低下させる効果を發揮し始め、その効果は時とともに増加傾向にある。
- (2) 産業間でのR&Dスピルオーバーが存在し、電気機械工業と化学工業は主に中間財や投資財を通して、一般機械工業は技術知識を通して他産業の研究開発の成果を受け取っている。

このような産業間のR&Dスピルオーバーの存在はR&Dの社会的収益率が私的収益率を上回っていることを示している。

研究開発ストックの
産業間スピルオーバー
－先端技術産業についての実証分析－

未定稿

小田切 宏之：筑波大学教授・通商産業研究所特別研究官
絹川 真哉：筑波大学経営・政策科学研究所
(1995年4月より農林中金総合研究所研究員)

1995年3月

1. 序論	1
2. 先端技術産業における技術フローと技術距離	
2.1 先端技術とは何か	3
2.2 中間財に体化されたR&Dスピルオーバー：「技術フロー」	5
2.3 知識・情報のスピルオーバー：「技術距離」	8
3. モデル	11
4. 自産業研究開発の費用低減効果	15
5. 産業間R&Dスピルオーバーによる費用低減効果	22
6. まとめ	26
補論1 データ出所	29
補論2 R&Dストックの推定	31
参考文献	36

1. 序論

Solow (1957) が技術変化による生産性上昇の経済成長への貢献の大きさを実証分析して以来、技術変化と経済成長の関係について、そして研究開発活動と技術変化の関係について多くの研究がなされてきた。Griliches (1992) によれば、最近の経済成長に関する研究は以下の 2 点を強調している。

- (1) 技術変化は様々な経済主体の経済活動によってもたらされる。つまり、技術変化は経済システムにとって外生的に起こるのではなく、経済活動そのものにより内生的に起こる。
- (2) 外部経済などによって発生する社会的な収穫通増が経済成長にとって重要である。

この第 2 点は、研究開発活動が外部性を持つ経済活動であり、私的収益よりも社会的収益の方が大きくなることを意味している。これを R&D スピルオーバーの問題と呼ぶ。R&D スピルオーバーを数量的に分析し、研究開発活動の社会的な利益を計測する試みは近年数多く行われている。産業内や産業間または政府と民間との間にどれだけの R&D スピルオーバーが存在するのかについて、ケース・スタディによるもの、産業連関表や特許データを用いたもの、そして費用関数を用いたものと様々な分析が行われている。これらの分析は、例えば、Griliches (1992) にサーベイされているが、ほとんどがアメリカやカナダのデータによるものであり、日本については Goto and Suzuki (1986) や Suzuki (1993) などに限られる。

そこで本論文では、日本の産業間、とりわけ先端技術産業と呼ばれる産業間における研究開発 (R&D) のスピルオーバー効果を費用関数を用いて分析し、研究開発行動の経済的な効果を検証する。

いうまでもなく、エレクトロニクスなどの先端技術産業はとりわけ多くの研究開発活動を必要とする産業であり、そこから生まれる技術群はこれからの経済発展にとって欠かすことのできないものである。しかも、現在の代表的な先端技術群といえるエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジーなどは、それぞれがばらばらに発展していくのではなく、相互に融合しながら多様な形で技術革新が進行していくものと考えられている。そこで、このような先端技術同士の相互関係を産業間の R&D スピルオーバーによって把握し、先端技術産業の生産性が他産業の R&D より受ける影響を分析するのが本論文の主要な目的である。

本論文と同じく費用関数を用いて産業間の R&D スピルオーバーを分析したものとして、Bernstein and Nadiri (1988) によるアメリカの 5 産業の分析および、

Bernstein (1989) によるカナダの9産業の分析がある。いずれもR&Dストックを固定生産要素とし、その他に生産量と労働・資本・原料の価格を説明要素とした産業別の費用関数を推定している。その推定結果によれば、R&Dスピルオーバー1%の増加による各産業の生産費用の減少は、前者が0.058%から0.119%（1981年）、後者が0.001%から0.657%（1983年）である。産業ごとにかなりの開きがあるものの、産業間でのR&Dスピルオーバーが存在し、費用低減の効果を持つことが分かる。

これらの分析では、他産業のR&Dを説明変数に加えて費用関数を推定した後、統計的に有意かどうかでスピルオーバー・ソースを選択している。これに対して、以下では「技術フロー」と「技術距離」の2つの概念を用いて産業間の経済的、技術的な関係性の程度を計測し、これにもとづいてスピルオーバー・ソースとしての可能性がある産業を事前に選択することとした。このように統計的な方法のみによらない形でスピルオーバー・ソースの産業を選択することにより、より経済的に意味のある分析結果の解釈が可能になるからである。

以下、第2節ではどのような産業が先端技術産業に含まれるのかを考察したうえで、「技術フロー」と「技術距離」を定義し、各産業について計測する。第3節では、分析のモデルであるトランスログ型費用関数について説明する。第4節では、先端技術産業4産業（化学工業、電気機械工業、一般機械工業、輸送用機械工業）について、まずスピルオーバーを考慮しない場合の費用関数の推定結果を述べる。そして第5節で「技術フロー」と「技術距離」によって選択したいくつかの産業のR&Dについて、スピルオーバーを通じてこれら4産業の費用構造に影響を与えていくかどうかを推定結果を用いて検証する。最後に第6節では、本論文の推定結果の経済的な意味を考察し、今後の課題について述べる。

2. 先端技術産業における技術フローと技術距離

2.1 先端技術とは何か

先端技術産業に対して明確な定義は存在しないが、一般的には高度の技術と研究開発を必要とする産業と理解されており、売上高に占める研究開発支出額比率の高い産業が挙げられることが多い。表1は1992年におけるこの比率の上位5産業を示す。

表1 研究開発支出対売上高比率上位5産業

(単位：%)

1	電気機械工業	6.17
2	精密機械工業	5.79
3	化学工業	5.39
4	ゴム製品工業	3.46
5	輸送用機械工業	3.45
製造業全体		3.52

(出所) 総務庁統計局『科学技術研究調査報告1993年版』

このうち、電気機械工業と化学工業を産業内訳別に見ると、電気機械工業においては通信・電子・電気計測器工業の対売上高比率(6.42)が高く、化学工業においては医薬品工業(8.02)がとりわけ高くなっている。電気機械工業はエレクトロニクス分野における中心的な産業であり、化学工業とくに医薬品工業はバイオテクノロジーにおける中心的な産業である。

しかし、現在、先端技術に取り組んでいる産業は、研究開発費の対売上高比率が高いこれらの産業だけではない。その他多くの産業が先端技術分野に参入している。表2は1985年における医薬品、通信・電子・電気計測器、精密工業製品の3つの先端技術分野への各産業の参入状況を示している。

表2 製品分野別研究費

(単位：100万円)

研究開発実施産業	製品分野		
	医薬品	通信・電子・電気計測器	精密工業製品
食品工業	33028	34	43
繊維工業	8175	915	514
パルプ・紙工業	339	0	29
出版・印刷業	0	2817	28
化学工業	339687	10537	6649
石油・石炭製品工業	447	95	3
プラスチック製品工業	1083	607	1517
ゴム製品工業	15	65	10
窯業	2034	16213	3361
鉄鋼業	0	5589	1129
非鉄金属工業	33	23974	195
金属製品工業	0	955	98
電気機械工業	0	1065567	21163
輸送用機械工業	0	1730	2122
一般機械工業	2	30002	19326
精密機械工業	1131	25142	96063
その他工業	0	4988	421

(出所) 総務庁統計局『科学技術研究調査報告1993年版』、「産業、製品分野別社内使用研究費

(支出額)」

これを見ると、医薬品分野では食品工業がかなりの研究開発を行っていることが分かる。食品工業は、現在、化学工業と並んでバイオテクノロジーによる医薬品開発を活発に行っている産業である。たとえば、キリンビール、サントリーといった企業が医薬品の研究所を設立し、遺伝子操作技術などのバイオテクノロジーを用いた医薬品開発を成功させている（富田・中野、1990）。食品工業の医薬品開発参入率（すなわち、食品工業の研究費のうち医薬品分野へ使用された比率）は1975年で約15%、1985年で約29%となっており、10年間でほぼ倍になっている。

また、通信・電子・電気計測器分野では、機械工業や精密機械工業が研究開発を活発に行っている。このことの背景には多角化した企業の存在がある。たとえば精

密機械産業に分類されるキャノンなどは、プリンタや液晶などの電子機器を多く手がけている。一般機械工業の通信・電子・電気計測器分野開発参入率は1975年で約5%、1985年で約9%となっており、精密機械工業の通信・電子・電気計測器分野開発参入率は1975年で約16%、1985年で約14%となっている。

さらに、現在の先端技術は業種の枠を越えて互いに融合し、その結果、メカトロニクスやオプトエレクトロニクスといった新しいタイプの技術が生まれている（三橋、1992）。このような新しい技術の登場が一般機械工業や精密機械工業からエレクトロニクス分野への参入を促している。メカトロニクスは「メカニクス」と「エレクトロニクス」の合成語であり、文字通り機械技術と電子技術の融合で、数値制御（NC）工作機械や自動車、工場用ロボットなどがその代表例である。オプトエレクトロニクスは「オプティクス（光学）」と「エレクトロニクス」の融合技術で光ファイバー通信などが代表例である。このようなエレクトロニクス技術と他の技術との融合、さらにはセラミックスやプラスチックなど素材分野の技術革新により、一般機械工業や輸送用機械工業など加工組立産業の技術や製品も先端技術分野に含まれると考えてよい。

本論文では先端技術産業を通常定義される「研究開発集約度つまり売り上げに占める研究開発支出比率の高い産業」より広くとらえ、先端技術分野の研究開発を中心的に行っている産業としてとらえた。そして先端技術分野をエレクトロニクス分野とバイオテクノロジー分野の2つに大きく分け、エレクトロニクス分野として電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業、精密機械工業の4つの加工組立産業を、バイオテクノロジー分野として化学工業、食品工業の2つの産業をそれぞれ選択し分析を行った。

2.2 中間財に体化されたR&Dスピルオーバー：「技術フロー」

序論で述べたとおり、ある産業における研究開発投資はその産業に収益をもたらすだけではなく、他の産業にも収益をもたらす。このようなR&Dスピルオーバーの1つの経路として考えられるのは、他産業から購入する中間財や投資財に体化された研究開発を通してのスピルオーバーである。中間財・投資財を供給する産業の研究開発によって財の品質や性能が上昇すれば、その財を購入する産業は間接的に研究開発による恩恵を受けることになる。もちろん、購入する側は財に対する対価を支払うが、その価格は市場競争のため、品質向上分に見合うだけ上がるわけではない。そこで、中間財・投資財に体化された研究開発の成果は一部購入者が享受することになるのである。

たとえば産業用ロボットやファクトリー・オートメーション(FA)の導入による生産性向上の例がある。全自動制御型ロボットの生産は1980年の4500台から1985年には7.6倍の34000台、1990年には75000台に達している(三橋、1992)。ロボットの導入により工場の自動化を進め、人件費の削減に成功している企業は、ロボットに体化されたR&Dの成果をスピルオーバーにより享受していることになる。

また、バイオテクノロジー産業においては研究開発や生産を支援する多くの産業が存在する(富田・中野、1990)。細胞融合や遺伝子操作といった技術にはこれらを支援する技術、たとえばエレクトロニクスやロボット、光関連技術が不可欠となる。よって、電気機械工業や精密機械工業からのR&Dスピルオーバーが以上のような支援技術を通して発生している可能性がある。

このように中間財に体化された研究開発努力は、Terleckyj(1974)、後藤(1993)などに従い、技術フロー・マトリックスを作成することにより計測することができる。いま第*i*産業が生産し第*j*産業へ販売する中間財に体化されている技術のフローを次式の t_{ij} で定義する。

$$t_{ij} = a_{ij} \cdot E_i$$

ここで a_{ij} は第*i*産業の生産量のうち第*j*産業へ販売される比率、 E_i は第*i*産業の研究費である。

以上 の方法により、1985年における、製造業13産業と加工組立4産業・バイオテクノロジー2産業について技術フロー・マトリックスを作成した(作成した表は付表1)。このうち、電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業、精密機械工業、化学工業、食品工業の計6産業が製造業13産業から受け取る技術フローのうち、自産業を除き最も大きい3つの産業を表3に示す。

表からは電気機械工業の研究開発努力が多くの産業に波及していることが分かる。食品工業(及び電気機械工業)を除くすべての産業において電気機械工業の技術フローが最も大きい。また、加工組立産業に対する素材型産業からの技術フローも大きくなっている。

表3 技術フロー

(単位：100万円)

	1位	2位	3位
電気機械工業	化学 33459.44	一次金属 25547.81	一般機械 23569.23
輸送用機械工業	電気機械 152855.69	一般機械 85926.34	一次金属 23536.45
一般機械工業	電気機械 187231.79	一次金属 35831.70	精密機械 24471.64
精密機械工業	電気機械 34128.33	一次金属 2485.69	化学 2343.32
化学工業	電気機械 8930.68	石油・石炭製品 7515.37	一般機械 4805.07
食品工業	化学 19630.97	金属製品 5753.54	一般機械 3700.1

(注) 上段は産業名、下段はその産業からの技術フローを示す。

作成した表をもとに加工組立4産業、そして化学工業、食品工業の2産業の外部技術比率を、すべての他産業から受け取る技術フローの合計の自産業研究開発支出に対する比率として計算した(表4)。

電気機械工業、化学工業は自産業の研究開発支出額がとくに大きく、また研究開発費の対売上高比率も他産業に比べて大きい。このため外部技術比率は他産業に比べて著しく低くなっている。精密機械工業も支出額自体は大きくならないが対売上高比率が高く、外部技術比率は比較的低い。一般機械工業の外部技術比率が突出して高くなっているが、一般機械工業においては電気機械工業からの技術フローが研究開発支出額の約半分に達しており、このことが一般機械工業の高い外部技術比率を説明している。

表4 外部技術比率

(単位：(1) (2) は100万円、(3) は%)

	電気	輸送	一般機械	精密
(1) 研究開発支出額	1938183	935661	382698	201717
(2) 中間財に体化された 研究開発支出額	122249.2	302330.3	292961.1	44931.73
(3) 外部技術比率	6.31	32.31	76.55	22.27
((2) ÷ (1))				

	食品	化学
(1) 研究開発支出額	133468	936360
(2) 中間財に体化された 研究開発支出額	42417.61	34761.86
(3) 外部技術比率	31.78	3.71
((2) ÷ (1))		

2.3 知識・情報のスピルオーバー：「技術距離」

もう一つのR&Dスピルオーバーの経路として考えられるのは中間財・投資財を介さない、知識・情報そのものの直接のスピルオーバーである。知識・情報のスピルオーバーは中間財・投資財とは異なり、企業間や産業間の取引とは関係なく存在する。前述したように知識や情報は公共財的な性質を持っており、きわめて小さい費用でそれらを得ることができるからである。研究開発により新たに得られた技術知識などは、特許制度などの知的所有権を保護する制度のもとでも、業界紙や学会誌また、技術者や研究者の移動によりかなり自由に伝わっていく。さらに、リバース・エンジニアリングによって製品に体化された新技術知識が広まっていく可能性もある。

このようなR&DスピルオーバーをJaffe (1986)、後藤 (1993) にならい、「技術距離」の概念を用いて計測しよう。「技術距離」とは2つの産業の研究開発分野がどれだけ似ているかを示す指標である。これは、2つの産業の技術距離が近いほど、つまり2つの産業の研究開発分野が似ているほど、知識のスピルオーバーは大きいと考えられるからである。

いま、第*i*産業の研究開発費のうち第*j*分野に支出された研究費を*F_{ij}*とすると、第*i*産業の26の製品分野にわたる研究費の分布は次のベクトル*F_i*で示すことができる。

$$F_i = (F_{i1}, F_{i2}, \dots, F_{ij}, \dots, F_{i26})$$

2つの産業、第*i*産業と第*j*産業との間の技術距離はベクトル*F_i*とベクトル*F_j*の角度として次のように定義される。

$$P_{ij} = \frac{F_i \cdot F_j}{\sqrt{(F_i \cdot F_i)(F_j \cdot F_j)}}$$

*P_{ij}*は0と1の間にあり、2つの産業のベクトル*F_i*の分布が類似するに従って1に近づく。すなわち、*P_{ij}*が1に近いほど技術距離は近くなる。この公式を用い、1985年度における電気機械、輸送用機械、一般機械、精密機械、化学、食品の6産業と製造業17産業との技術距離を計測した。結果を付表2に、そのうち加工組立4産業、バイオ産業2産業とそれぞれ技術距離が近かった3産業についての技術距離を表5に示す。

表2.5 技術距離

	1位	2位	3位
電気機械工業	非鉄金属 0.482	精密機械 0.306	出版・印刷 0.229
輸送用機械工業	金属製品 0.553	一般機械 0.221	非鉄金属 0.118
一般機械工業	精密機械 0.341	金属製品 0.264	輸送用機械 0.221
精密機械工業	一般機械 0.341	電気機械 0.306	非鉄金属 0.142
化学工業	プラスチック 0.628	繊維 0.52	食品 0.356
食品工業	化学 0.356	繊維 0.172	プラスチック 0.04

上段は産業名、下段はその産業との技術距離を示す。

中間財の場合と異なり、電気機械工業と技術距離の近い産業は精密機械産業だけである。しかもその精密機械工業でさえ、最も技術距離の近い産業は一般機械工業となっている。技術距離を用いると、電気機械工業から他産業へのスpillオーバー

の可能性は、技術フローに比べて小さくなる。各産業ごとに技術距離の近い産業は異なっているが、加工組立産業同士、すなわち一般機械と輸送用機械、一般機械と精密機械、精密機械と電気機械との間で技術距離は近くなっている傾向が見られる。また、化学と食品も比較的近い。食品工業の側から見れば最も技術距離の近い産業は化学工業であり、バイオテクノロジーによって食品工業が化学工業の研究分野へと参入していることがその背景にあると思われる。

3. モデル

産業間のR&Dスピルオーバーを分析するモデルとして、Bernstein and Nadiri (1988), Bernstein (1989) と同じく、トランスログ型の費用関数を用いた。ここで、費用関数の説明変数として用いるR&Dは研究開発費のストックである。

企業の研究開発活動はフローである研究開発支出をもとに行われ、これにより新たな技術知識が生み出される。この技術知識が企業にとって大きな役割を果たす。企業の有する技術知識の多くは、過去の研究開発によって生み出された知識や経験の積み重ねにより得られたものである。研究開発に失敗した場合でもネガティブ・データという形で知識・経験が得られ、将来の研究開発活動に生かされていく。企業の生産活動にとって重要な働きをするのは、このような過程を経て蓄積された知識や経験のストックなのである。フローである研究開発支出額ではなく、R&Dストックを用いるのはこの理由による¹。

トランスログ型費用関数による分析が優れているのは、R&Dストックが費用に与える影響のみならず、生産要素との代替・補完関係も知ることができるためである。しかし、トランスログ型費用関数は推定するパラメータ数が多く、説明変数が一つ増えるごとに推定するパラメータの数は加速的に増大する。このため本分析のように年次データを用いてトランスログ費用関数を推定する場合、パラメータ数に対して充分なサンプル数を確保できないことになりやすい。

このため、Bernstein and Nadiri (1988) は各説明変数の自乗項を除き、さらに他産業R&Dストックの項に関しては1次項、生産量との交差項を除いて推定を行っている。Bernstein (1989) は各説明変数の自乗項に加え、生産量と他の説明変数との交差項をすべて除き、他産業R&Dストックの項に関しては自産業R&Dストックとの交差項のみを残している。つまり、彼らが用いた費用関数は一般的なものではなく、「切り詰めた」トランスログ型費用関数 (truncated translog cost function) である。

しかし、トランスログ型費用関数が一般的な費用関数の2次近似として求められる以上、2次項の多くを省略することはトランスログ費用関数の性質を損なう可能性がある。そこで本論文では実質原材料価格が不变であることを仮定し、生産要素から中間財を除き生産量を純生産量（付加価値）で表したモデルを組み立てることによって、モデルの簡略化をできるだけ小さいものとした²。

¹より詳しくは後藤（1993、第2章）をみよ。

²付加価値生産関数の正当性については佐藤（1975、第5章）をみよ。

また、本論文ではスピルオーバーのない費用関数とスピルオーバーのある費用関数を別々に推定し、後者に関しては他産業R&Dストックが1つの場合のみを推定した。スピルオーバーのある費用関数においては、前節で測定した「技術フロー」と「技術距離」を用い、スピルオーバーがあると判断される産業をあらかじめいくつか選択して、そのR&Dストックを費用関数に含める方法をとった。以下、推定に用いたモデルを説明する。

スピルオーバーのないケース

最初にスピルオーバーを考慮しないケースから説明する。第*i* 産業について次のような短期可変費用関数を考える。

$$C^i = C^i(y^i, w_L, w_k, x^i) \dots (1)$$

C^i : 生産費用 ($v_L^i \cdot w_L + v_k^i \cdot w_k$)

y^i : 付加価値額

w_L : 労働価格

w_k : 資本価格

v_L^i : 労働投入量

v_k^i : 資本投入量

x^i : 自産業R & Dストック

w_L 、 w_k は可変生産要素価格であり、生産者にとっては所与とみなされる。一方、R&Dストックは固定生産要素と考える。これは研究開発から技術知識が得られ、それが生産活動に用いられるまでにはある程度の時間の経過が必要であるため、短期的にはそのレベルを十分に増減することはきわめて困難だと思われるからである。このストックは研究開発が技術蓄積に貢献するまでにラグが存在することを考慮し、また、過去の技術が陳腐化していくことを考慮した上で、過去の研究開発支出を積み上げていくことにより計測される。その詳細は補論2に述べる。

(1) の費用関数は、もし生産者が合理的であるならば、要素価格に関する1次同次の条件を満たしているはずである。この仮定のもと、生産要素価格を労働価格で割り、価格を相対価格として、(1) 式を次式のように書き直すことができる。

$$\begin{aligned} C^i / w_L &= C^i(y^i, 1, w_k / w_L, x^i) \\ &= C^i(y^i, 1, \omega_k, x^i) \dots (2) \end{aligned}$$

ただし、 $\omega_k = \frac{w_k}{w_1}$ である。

この費用関数がトランスログ型であると仮定して次式を得る（ただしlogは自然対数である）。

$$\begin{aligned} \log \frac{C^i}{w_1} &= a_0 + a_y \log y^i + a_k \log \omega_k + a_l \log x^i + \frac{1}{2} b_{yy} (\log y^i)^2 + b_{yk} \log y^i \log \omega_k \\ &\quad + b_{yl} \log y^i \log x^i + \frac{1}{2} b_{kk} (\log \omega_k)^2 + b_{kl} \log \omega_k \log x^i + \frac{1}{2} b_{ll} (\log x^i)^2 + u_c^i \end{aligned} \cdots (3)$$

ここで、 u_c^i は攪乱項である。

費用関数 (3)において、各交差項のパラメータには対称性 ($b_{ij} = b_{ji}$) を課しており、労働及び資本価格のパラメータには、要素価格に関する1次同次性の条件 ($a_k + a_l = 1$ 、 $b_{ll} + b_{lk} = b_{kl} + b_{kk} = 0$ 、 $b_{yk} + b_{yl} = 0$ 、 $b_{ki} + b_{li} = 0$) を課している。推定において自由度を確保するため (3) 式からR&Dストックの項に関して自乗項および付加価値額との交差項を除き、以下のように簡略化した³。

$$\begin{aligned} \log \frac{C^i}{w_1} &= a_0 + a_y \log y^i + a_k \log \omega_k + a_l \log x^i + \frac{1}{2} b_{yy} (\log y^i)^2 + b_{yk} \log y^i \log \omega_k \\ &\quad + \frac{1}{2} b_{kk} (\log \omega_k)^2 + b_{kl} \log \omega_k \log x^i + u_c^i \cdots (4) \end{aligned}$$

シェペードの補題より、(4) 式を要素価格の対数で微分することで次のコストシェア関数を得る。

$$s_k^i = a_k + b_{kk} \log \omega_k + b_{ky} \ln y^i + b_{kl} \ln x^i + u_k^i \cdots (5)$$

ただし、 $s_k^i = \frac{w_k v_k^i}{C^i}$ で、 u_k^i は攪乱項である。

スピルオーバーのあるケース

次に、他産業R&Dストックからのスピルオーバーを考慮すると、費用関数 (2) は次のように拡張される。

$$C^i / w_1 = C^i(y^i, 1, \omega_k x^i, x^j) \cdots (6)$$

ここで x^j は第 j 産業 ($j \neq i$) つまり他産業のR&Dストックである。再びトランスロ

³完全な形のトランスログ費用関数を推定したところ、4つの産業のうち3つの産業で、これらパラメータの t 値は1以下と非常に小さい値となった。

グ型を仮定し次式を得る。

$$\begin{aligned} \log \frac{C^i}{W_1} = & a_0 + a_y \log y^i + a_k \log \omega_k + a_i \log x^i + a_j \log x^j + \frac{1}{2} b_{yy} (\log y^i)^2 \\ & + b_{yk} \log y^i \log \omega_k + b_{yi} \log y^i \log x^i + b_{yj} \log y^i \log x^j + \frac{1}{2} b_{kk} (\log \omega_k)^2 \\ & + b_{ki} \log \omega_k \log x^i + b_{kj} \log \omega_k \log x^j + \frac{1}{2} b_{ii} (\log x^i)^2 \\ & + b_{ij} \log x^i \log x^j + \frac{1}{2} b_{jj} (\log x^j)^2 + u_c^i \dots (7) \end{aligned}$$

(4) 式と同様、R&Dストックの2次項は資本価格との交差項のみとし、(7)式を(8)式へと簡略化した。

$$\begin{aligned} \log \frac{C^i}{W_1} = & a_0 + a_y \log y^i + a_k \log \omega_k + a_i \log x^i + a_j \log x^j + \frac{1}{2} \log b_{yy} (\log y^i)^2 \\ & + b_{yk} \log y^i \log \omega_k + \frac{1}{2} b_{kk} (\log \omega_k)^2 + b_{ki} \log \omega_k \log x^i + b_{kj} \log \omega_k \log x^j + u_c^i \dots (8) \end{aligned}$$

(8) を要素価格の対数で微分し、(9) のコストシェア関数を得る。

$$s_k^i = a_k + b_{kk} \log \omega_k + b_{ky} \ln y^i + b_{ki} \ln x^i + b_{kj} \log x^j + u_k^i \dots (9)$$

推定に当たっては、電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業、化学工業の4つの産業に関し、スピルオーバーを考慮しないケースについては費用関数(4)とコストシェア関数(5)の2本の関数を、スピルオーバーを考慮するケースについては(8)、(9)の2本の関数を、それぞれ「見かけ上無相関な回帰分析」(Seemingly Unrelated Regression, SUR)によって同時推定した。精密機械工業は資本ストックのデータが得られなかつたため、食品工業に関しては付加価値額のデータが得られなかつたため費用関数の推定は行わなかつた。使用データの詳細については補論1に、R&Dストックの計算については補論2に述べてある。推定に際し、説明変数は1985年を1として基準化した(黒田、1984)。推定期間は1966年から1988年までで、サンプル数は23である。これは資本サービス価格のデータがこの期間でのみ作成可能であったためである。

推定した費用関数のパラメータは、生産要素価格に対して単調性、凹性の条件を満たしている。以下ではスピルオーバーを考慮しないケースと考慮するケースに分けて推定結果を紹介する。

4. 自産業研究開発の費用低減効果

スピルオーバーを考慮しない費用関数の推定結果は表 6 にまとめられている通りである。以下、産業ごとに推定結果を説明しよう。

表 6 推定された費用関数：スピルオーバーを考慮しないケース

パラメーター	電気機械工業	輸送用機械工業	一般機械工業	化学工業
a_0	8.934*** (609.55)	8.694*** (550.06)	8.48*** (416.88)	8.372*** (819.73)
a_y	0.838*** (14.56)	0.5723*** (5.27)	0.8709*** (6.95)	0.2055*** (2.96)
a_k	0.2921*** (37.82)	0.3669*** (54.22)	0.354*** (52.54)	0.5207*** (86.64)
a_i	0.017 (0.61)	0.0214 (0.76)	-0.0189 (-0.61)	0.1069*** (4.54)
b_{yy}	0.4072*** (5.53)	0.0058 (0.04)	0.6885*** (4.38)	0.4562** (2.14)
b_{yk}	0.031 (1.23)	-0.0886** (-2.08)	-0.076** (-2.37)	-0.0583 (-1.40)
b_{kk}	0.1175*** (3.53)	0.0919* (1.91)	0.125*** (5.64)	0.2164*** (6.33)
b_{ki}	0.04 (1.58)	0.0874*** (3.05)	0.0993*** (5.58)	0.1482*** (6.97)

(注) 括弧内は t 値を示す。*** は 1 % 水準（両側）で有意であることを、** は 5 % 水準で有意であることを、* は 10 % 水準で有意であることを示す。

電気機械工業

自産業R&Dストックの1次項 (a_i) は有意でない。 b_{ki} はR&Dストックが資本のコストシェアに与える影響を示すが、この推定値は正であり、R&Dストックの増加が資本のシェアを増加させることが分かる。この意味で資本使用的、労働節約的といえる。ただし、10%有意水準にわずかに及ばない。

R&Dストック 1 % の増加による生産コストの減少比率 (%) つまり R&Dストックの生産費用に対する弾力性 η_c^i は以下の式で求めることができる。

$$\eta_c^i = \frac{\partial \log C^i}{\partial \log x^i} = a_i + b_k \log \omega_k \quad \dots (10)$$

この弾力性を1966年から1988年までについて計算した結果が図1の実線である（破線で示されるRC/Cは資本・労働費用に占める研究開発費の割合で、その意味は後述する）。

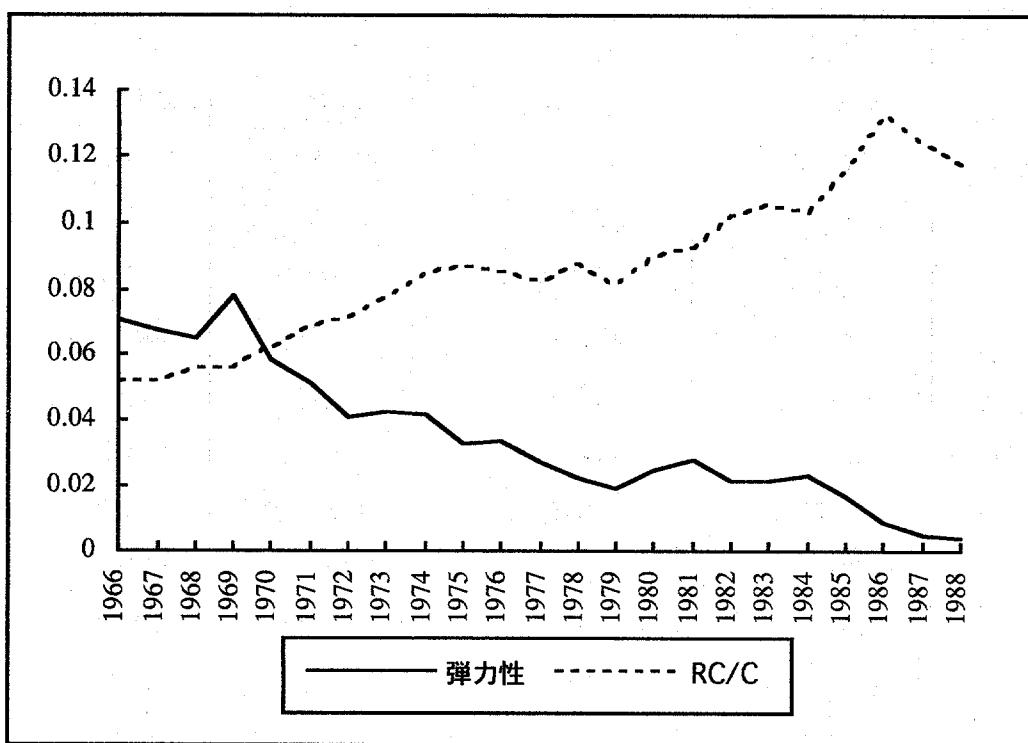


図1 電気機械工業R&Dストックの費用弾力性

弾力性が正になっており、R&Dストックの増加に伴いむしろ生産費用が増加することを示すが、これは研究開発費の2重計算のためと考えられる。補論1で述べているように、生産費用を計算する際に、資本費用からは研究開発に要した資本の費用を、そして労働費用からは研究者的人件費を引いていない。よって研究開発費を投入し、R&Dストックを増加させると生産費用を増加させる効果がある。

このことを検証するために $C^i = PC^i + RC^i$ と書こう（以下では添字iを省略する）。PCは（真の）生産費用、RCは研究開発費用である。ただし、いずれも労働・資本費用のみで中間財費用を差し引いた後のものであることに注意を要する。これを（中間財費用を含んだ）研究開発ストックxで微分し、次の式を得る。

$$\frac{\partial C_x}{\partial x} = \frac{\partial PC_x}{\partial x} \cdot \frac{PC}{C} + \frac{\partial RC_x}{\partial x} \cdot \frac{RC}{C} \dots (11)$$

これを3つの弾力性の定義を使って、次のように書こう。

$$\eta_C = \eta_{PC} \left(\frac{PC}{C} \right) + \eta_{RC} \left(\frac{RC}{C} \right) \dots (12)$$

$$\eta_C = \frac{\partial C_x}{\partial x} \cdot \frac{C}{C}$$

$$\eta_{PC} = \frac{\partial PC_x}{\partial x} \cdot \frac{C}{PC}$$

$$\eta_{RC} = \frac{\partial RC_x}{\partial x} \cdot \frac{C}{RC}$$

(10) 式で計算し、図1に示した弾力性は左辺の η_C であるが研究開発の2重計算を除いた真の費用弾力性は η_{PC} でなければならない。(12)式を書き直すと、 η_{PC} は次のように求められる。

$$\eta_{PC} = [\eta_C - \eta_{RC} \left(\frac{RC}{C} \right)] / \left(\frac{PC}{C} \right)$$

η_{RC} は研究開発における資本・労働費用のR&Dストックに対する弾力性であり、R&Dのストックとフローが比例的に変化し、また資本・労働費用の総研究開発費に占める比率が一定と考えれば、 $\eta_{RC}=1$ である。よって、

$$\eta_C < \frac{RC}{C} \dots (13)$$

のとき、 η_{PC} は負となる。ここで $\frac{RC}{C}$ を

$$\frac{RC}{C} = \frac{RC}{RF} \cdot \frac{RF}{S} \cdot \frac{C}{S} \dots (14)$$

RF : 研究開発費 (フロー)

S : 売上高

と書けば、 $\frac{RC}{RF}$ は研究開発における資本と労働費用の割合、 $\frac{RF}{S}$ は研究開発費対売上高比率 (%) である。また、 $\frac{C}{S}$ は資本労働費用の売上高に占める比率であるから、

これを付加価値比率⁴で近似しよう。

$\frac{RC}{RF}$ および $\frac{RF}{S}$ について『科学技術研究調査報告』（総務庁統計局）、付加価値比率について『法人企業統計』（大蔵省）を用いて、各年について RC/C を計算した結果が図1の破線である。70年代に入ってから真の弾力性は負となり、R&Dストックが生産費用を減少させていると推測できる。ただし、これは上記したようにいくつかの異なるデータ・ソースを用いて近似的に計算したものにとどまるこことを指摘しておこう。

輸送用機械工業

表6によれば、R&Dストックの1次項に関しては有意なパラメータが得られなかつたが、資本サービス価格との交差項は有意に正であった。輸送用機械工業についても電気機械工業と同じく、研究開発による技術進歩は資本使用的であることが分かる。

R&Dストックの費用弾力性 (η_C)、および各年についての RC/C の計算結果を図2に示す。図によれば中間点の1977年前後より真の弾力性が負となり、しかもそれ以後、年毎に効果が大きくなっていることが分かる。よって1960年代から1970年代にかけて蓄積されていったR&Dストックがようやくその効果をあらわし、1970年代後半より費用低減の効果を発揮してきていると推測される。

電気機械工業と比較すると1960年代には弾力性は小さいが、伸び率は大きく、1980年代後半には電気機械工業の弾力性に近い値となっている。ただし、両産業とともにR&Dストックに関するパラメータ、特にその1次項のパラメータのt値がきわめて低いので、2つの産業の弾力性の大きさを比較することには注意を要する。

⁴ (付加価値額/売上高) ×100

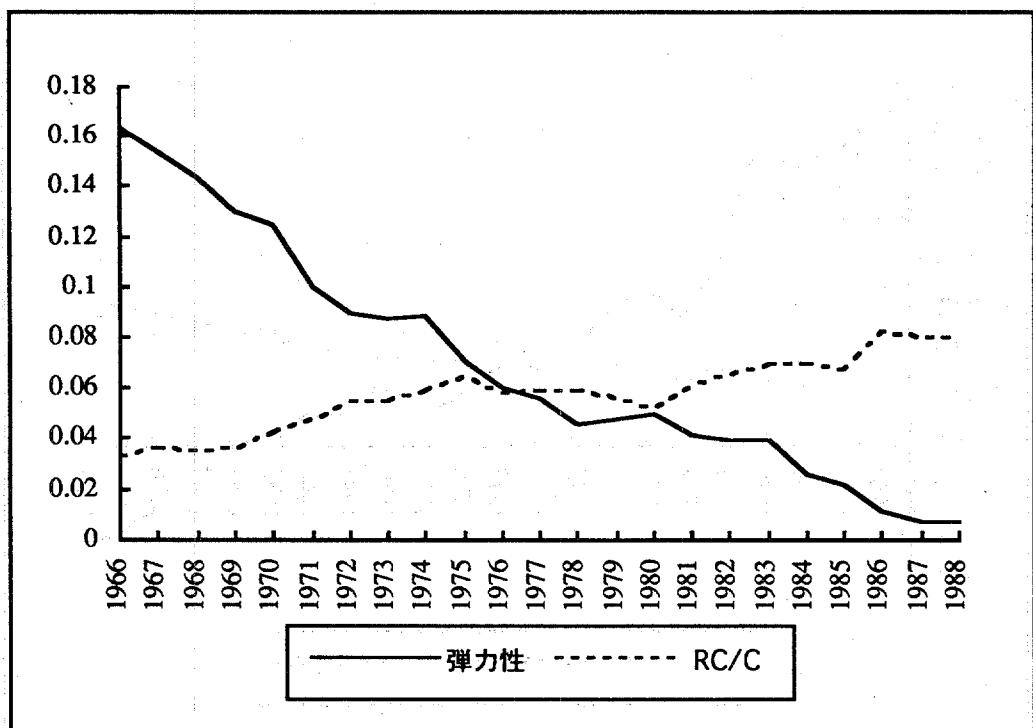


図2 輸送用機械R&Dストックの費用弾力性

一般機械工業

R&Dストックの1次項のパラメータのt値が1以下と低いが、その他のパラメータはすべて5%水準で有意となった。資本シェアに関してR&Dストックは上記の2産業と同様の効果を持つ。R&Dストックの生産費用に対する弾力性(η_C)とRC/Cを図3で示す。

輸送用機械工業と同様に、1970年代後半よりR&Dストックが費用低減の効果を發揮するようになり、それ以降、この効果は増加傾向にあると推測される。

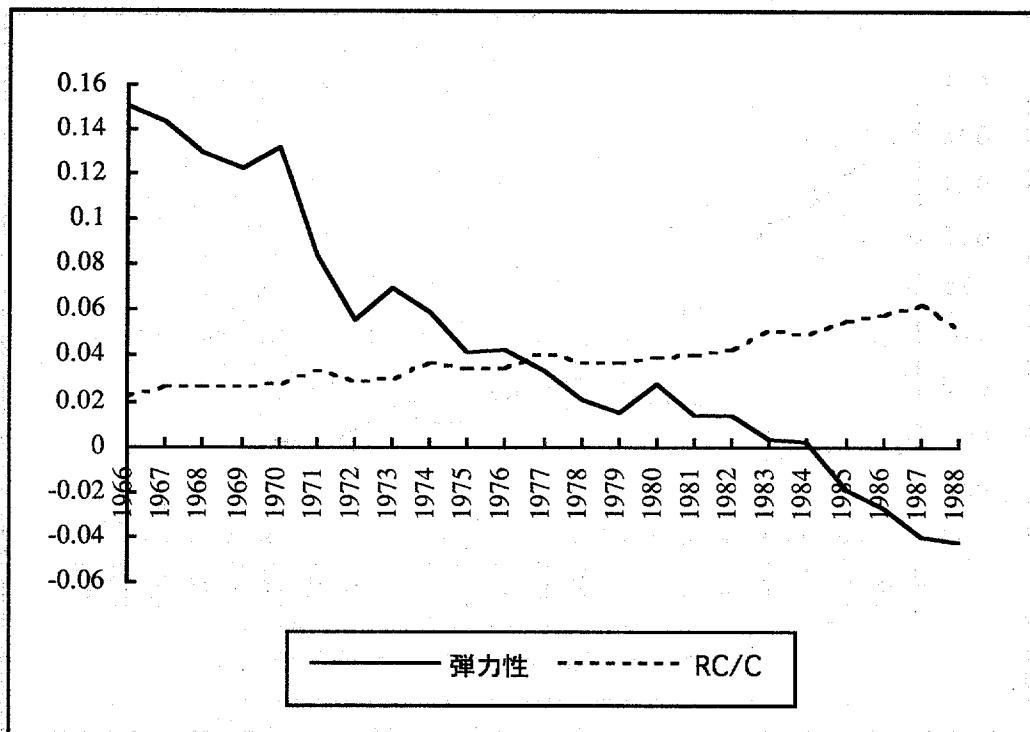


図3 一般機械工業R&Dストックの費用弾力性

化学工業

上記3つの産業と異なりR&Dストックの項に関して有意なパラメータが得られている。資本シェアとR&Dストックの関係は上記3産業と同じく技術進歩が資本使用的であることを示唆する。ふたたび、R&Dストックの費用に対する弾力性 (η_C) とRC/Cを図4に示す。

(13) 式で示したように、 η_C がRC/Cを下回るとき真の弾力性が負になるが、これは1980年代半ばになってようやく実現されており、ここで分析された4産業のうち最も遅い。補論の表A1に示されているとおり、研究開発が効果を現すまでのラグも化学工業が最も長く、技術・知識が十分に蓄積されるまでに必要な懷妊期間が医薬品工業を含んだ化学工業で最も長いことが類推される。化学産業、医薬品産業における日本企業の欧米企業に対する立ち後れが論じられることが多いが（伊丹、1991）、本分析によれば、日本の化学企業が研究開発により十分なR&Dストックを蓄積し得たのはようやくここ数年であり、それが今後費用低減への効果を強めていく可能性がある。

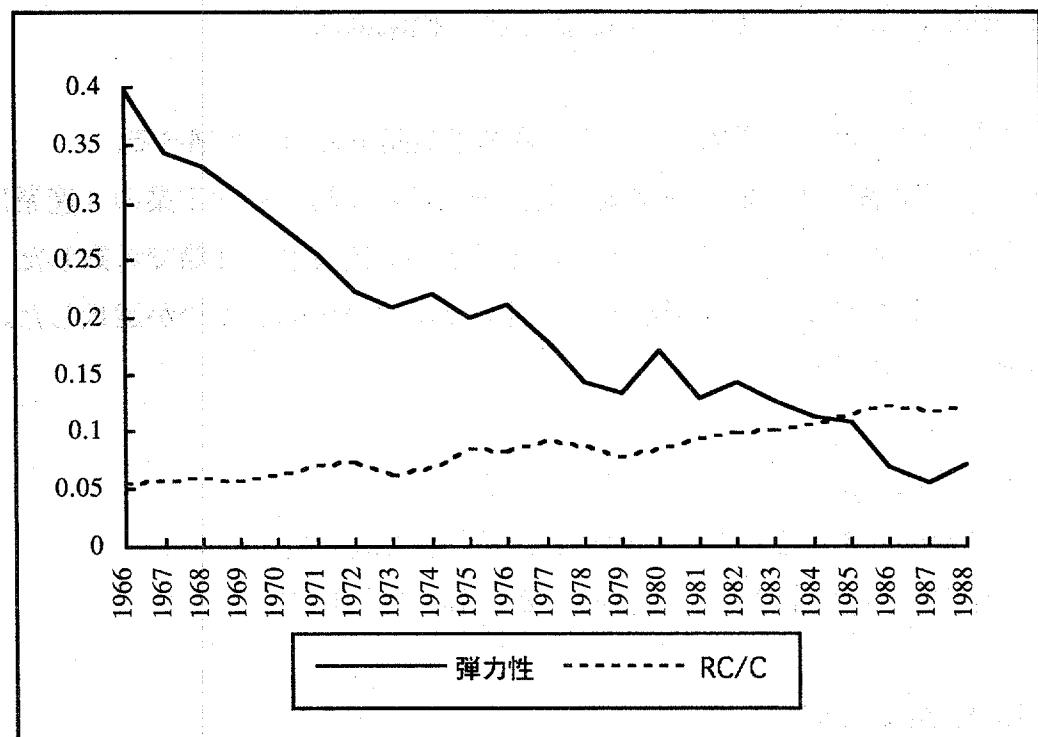


図4 化学工業R&Dストックの費用弾力性

5. 産業間R&Dスピルオーバーによる費用低減効果

次にスピルオーバーを考慮した費用関数の推定結果について述べる。

まず、電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業、化学工業の4産業について、スピルオーバー・ソースとしての可能性がある産業を、2節で考察した「技術フロー」の大きい産業、「技術距離」の近い産業の中からいくつか選択した。選択した産業は以下の通り⁵。

(1) 電気機械工業

「技術フロー」の大きい産業：化学工業、一般機械工業

「技術距離」の近い産業：非鉄金属工業、精密機械工業

(2) 輸送用機械工業

「技術フロー」の大きい産業：電気機械工業、一般機械工業

「技術距離」の近い産業：金属製品工業、一般機械工業

(3) 一般機械工業

「技術フロー」の大きい産業：電気機械工業

「技術距離」の近い産業：精密機械工業、金属製品工業、輸送用機械工業

(4) 化学工業

「技術フロー」の大きい産業：電気機械工業、石油・石炭製品工業

「技術距離」の近い産業：繊維工業、食品工業

以上の産業のR&Dストックを他産業R&Dストックとして、3節で説明したモデル（(8)、(9)式）を電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業、化学工業について推定した。なお、3節で述べたとおり、モデルの推定は他産業R&Dストックを1つずついれる形で個別に行い、スピルオーバーのあると思われる他産業R&Dストックを複数個同時に説明変数に加える形の推定は行わなかった。これはサンプル数が十分でなく、自由度を確保するためである。このため、 j 産業から i 産業への

⁵加工組立産業では、一次金属からの技術フローが各産業において大きいが、研究開発支出額のデータが鉄鋼と非鉄金属とに分かれているため選択肢からははずした。また、化学工業と最も技術距離の近い産業はプラスチック製品工業であるが、『科学技術研究調査報告』において、プラスチック製品工業がその他工業と異なる産業分類になったのは1984年以降であるためR&Dストックデータが作成できなかった。

スピルオーバー効果の推定にあたり、その他産業 (k 産業, $k \neq i, j$) のR&Dストックからの効果をコントロールしていないことに注意を要する。

推定の際に、他産業R&Dストックの一次項のパラメータに $a_j < 0$ という符号条件を課した。費用関数 (8) 式を他産業R&Dストックの対数で微分したR&Dストックの費用弾力性は

$$\frac{\partial \log C^i}{\partial \log x^j} = a_j + b_{kj} \log \omega_k \quad \dots(15)$$

で表される。他産業R&Dストックからのスピルオーバーが存在するならばこの値は負になると考えられる。 $a_j < 0$ という符号条件は、少なくとも、トランスログ費用関数の近似点（指数化した説明変数の基準点 = 1）では、弾力性が負であることを要求している。なお、いまでもなく他産業の研究開発への労働・資本費用は当該産業の費用には含まれないから、前節で論じた2重計算はない。この符号条件を満たしたものに限り推定結果を表7に示す。

輸送用機械工業についてはスピルオーバーの存在を確認できなかったが、その他の産業についてはスピルオーバーが存在することを確認することができた。電気機械工業と化学工業については、技術フローの大きい産業がスピルオーバー・ソースとなっており、主に中間財や投資財を通して他産業からのR&Dスピルオーバーを受けていると推測できる。化学工業のスピルオーバー・ソース産業である石油・石炭製品工業は、化学工業への技術フローが2番目に大きい上、技術距離も比較的近く（0.1959で食品工業に次ぎ4位）、技術知識のスピルオーバーの可能性もある。石油・石炭製品工業も化学工業と同様に、近年、バイオテクノロジー分野への参入を積極的に行っている産業である。また、一般機械工業については技術距離の近い産業がスピルオーバー・ソースとなっており、技術知識のスピルオーバーが主であると考えられる。

資本と他産業R&Dストックとの関係については、電気機械工業の資本に対する化学工業、機械工業のR&Dストックの関係が代替的（資本節約的、労働使用的）、そして、機械工業、化学工業の資本に対する輸送用機械工業、金属製品工業、石油・石炭製品工業のR&Dストックの関係が補完的（資本使用的、労働節約的）という結果が得られた。

表7 推定された費用関数：R&Dスピルオーバーを考慮したケース

スピルオーバー ・ソース産業	電気機械工業		一般機械工業		化学工業
	化学	一般機械	輸送用機械	金属製品	石油・石炭製品
a ₀	8.931*** (668.55)	8.926*** (530.2)	8.478*** (436.42)	8.481*** (738.37)	8.357*** (587.98)
a _y	0.8109*** (14.69)	0.7064*** (6.63)	0.9571*** (6.72)	0.9574*** (6.93)	0.3365*** (4.45)
a _k	0.2945*** (37.39)	0.2977*** (45.49)	0.3585*** (47.09)	0.3563*** (46.16)	0.5368*** (104.83)
a _i	0.2233** (2.28)	0.378 (1.57)	0.1395 (1.03)	0.1973 (1.31)	0.3465** (2.31)
b _{yy}	0.2273** (2.37)	0.0144 (0.07)	0.8876*** (3.51)	0.8108*** (4.4)	1.0004** (2.63)
b _{yk}	0.0431 (1.67)	0.0143 (0.67)	-0.0666* (-1.89)	-0.0793* (-2.12)	-0.0279 (-0.99)
b _{kk}	0.1309*** (3.64)	0.1824*** (5.76)	0.1562*** (5.32)	0.1331*** (4.85)	0.2526*** (10.71)
b _{ki}	0.1072* (1.88)	0.2482*** (4.44)	0.0445 (1.46)	0.0337 (0.72)	0.0415* (1.81)
a _j	-0.2638** (-2.37)	-0.4008 (-1.67)	-0.1645 (-1.34)	-0.2104 (-1.49)	-0.2232* (-1.84)
b _{kj}	-0.069 (-1.44)	-0.1478*** (-3.92)	0.0698** (2.16)	0.0667 (1.39)	0.1166*** (5.42)

(注) 括弧内はt値を示す。***は1%水準(両側)で有意であることを、**は5%水準で有意であることを、*は10%水準で有意であることを示す。

上記の他産業R&Dストックが、電気機械工業、一般機械工業、化学工業の生産費用に与える効果を他産業R&Dストックの費用弾力性として(15)式により計算した結果を表8に示す。

表8 他産業R&Dストックの費用弾力性

スピルオーバー・ソース	電気機械工業		一般機械工業		化学工業	
	化学	一般機械	輸送用機械	金属製品	石油・石炭製品	
1968年	-0.3481	-0.5815	-0.0605	-0.1111	-0.047388	
1978年	-0.2733	-0.421	-0.1371	-0.189	-0.19509	
1988年	-0.2403	-0.3503	-0.1811	-0.2263	-0.25152	
平均	-0.2953	-0.4683	-0.1198	-0.1677	-0.15619	

これによれば、電気機械工業が受けるスピルオーバー効果は一般機械工業、化学工業よりも大きい。1960年代から1970年代のスピルオーバー効果がとくに大きくなっているが、その効果は次第に減少している。一般機械工業、化学工業については、スピルオーバー効果は電気機械工業より小さいものの、年を経るごとにその効果が大きくなっている。

6. まとめ

本論文の分析結果は次の2点に集約される。

- (1) 各産業においてR&Dストックの蓄積効果が進み、電気機械工業では1960年代から、輸送用機械工業と一般機械工業では1970年代後半から、そして最も遅い化学工業では1980年代後半から生産費用を低下させる効果を発揮し始め、その効果は時とともに増加傾向にある。
- (2) 産業間でのR&Dスピルオーバーが存在し、電気機械工業と化学工業は主に中間財や投資財を通して、一般機械工業は技術知識を通して他産業の研究開発の成果を受け取っている。

化学工業（医薬品を含む）については、費用低減効果が発揮されるようになるのが最も遅いだけでなく、R&Dストックの生産費用に対する弾力性が加工組立産業よりも小さいという結果が得られた。化学工業以外の産業について、推定したパラメータの t 値が小さいため、この違いを強調することは注意を要するが、これは化学工業の研究開発は加工組立産業より基礎的な性格が強いことによるものであろう。

『科学技術研究調査報告』によれば、1985年において化学工業の研究開発に占める基礎研究の割合が11.7%であるのに対し、電気機械工業、輸送用機械工業、一般機械工業の基礎研究の割合はそれぞれ3.9%、4.5%、4.8%となっている。一方、開発研究の割合は、1985年において、それぞれ60.5%、78.6%、72.9%、76.8%となっており、化学工業は基礎研究の割合が加工組立産業よりも大きく、開発研究の割合が小さいことが分かる。基礎研究の成果が生産に活かされ、収益が得られるようになるまでの期間は、一般的に開発研究より長い。実際、補論2に示したように化学工業の研究開発ラグは5.942年と長く、加工組立産業に比べて2年以上長くなっている（とくに医薬品工業の研究開発ラグは8.08年と全産業で最も長い）。化学工業の研究開発の基礎的性格と、各産業における研究開発支出が近年大きく伸びてきたことにより、化学工業の弾力性は加工組立産業より小さくなった可能性がある。

結果（2）は、Nelson(1959)やArrow(1962)が論じたとおり、R&Dが外部性を持ち、その私的収益が社会的収益を下回ることを示している。このため、民間企業に対して充分な研究開発へのインセンティブを与えるには、政府系金融機関による低利融資や税制上の優遇措置といった政策的なサポートが必要となる可能性があることが分かる。

しかも本分析では単に社会的収益が私的収益を上回ることだけではなく、どのような産業間でどのような経路を通じてスピルオーバーが起きているかを考察した。その結果、電気機械工業、化学工業においては主として中間財や投資財を通して、機械工業においては主として知識のスピルオーバーという形でR&Dスピルオーバーが起こっていることが明らかにされた。これは次の理由によるものであろう。

新飯田・後藤・南部（1986）によれば、一般機械器具分野についての研究開発に占める一般機械工業の割合は昭和54年度で50.2%、59年度で47.1%となっている。すなわち、一般機械器具分野では一般機械工業以外の産業の研究開発比率が高い。とくに輸送用機械工業による一般機械器具分野についての研究開発は盛んで、一般機械分野についての研究開発費のうち昭和54年度で21.6%、59年度で22.1%を占めている。このように一般機械器具分野においては異業種の研究分担比率が高い。このために一般機械工業では知識のスピルオーバーが起こっている可能性が高い。一般機械器具分野の研究開発における異業種分担比率が最も高いのは輸送用機械工業であるが、このことは一般機械工業が輸送用機械工業からスピルオーバーを受けているという本論文の分析結果と一致する。

これに対し、電気機械器具分野についての研究開発に占める電気機械工業の割合は昭和54年度で92.1%、59年度で90%となっており、化学分野についての研究開発にしめる化学工業の割合は昭和54年度で83.3%、59年度で86.1%となっている。電気機械器具分野と化学分野における研究開発の異業種分担比率は一般機械工業に比べるとかなり小さくなっている。これが電気機械工業、化学工業で他産業からの知識のスピルオーバーを限られたのもにしていると思われる。

輸送用機械工業についてはR&Dスピルオーバーの存在を確認できなかった。この点を共同研究開発との関係で考えてみよう。公正取引委員会の調査（六波羅、1985）によれば、日本では企業間の共同研究開発が多く行われているが、輸送用機械工業では同業種企業が参加する共同研究開発の比率が他産業に比べてとりわけ高い。その割合は1982年において、自動車・同部品が44.8%、電気・通信が13.6%、化学が27.4%である。輸送用機械工業、特に自動車工業では、自動車メーカーと部品メーカーという垂直的関係にある企業間の共同研究開発が多く行われており、他産業からのR&Dスピルオーバーよりも、産業内でのR&Dスピルオーバーが主となる可能性がある。

こうした結果は、異業種間での提携や共同研究を通じて技術革新をはかっていくことがいかに重要かを示している。例えば一般機械工業への知識のスピルオーバーが大きいことは、共同研究において機械メーカーが参加することの社会的便益が高

い可能性を示唆する。一方、電気機械工業や化学工業で中間財・投資財を通じてそれぞれ化学工業や石油・石炭製品工業よりスピルオーバーが見られることは、これら産業において川上への（後方）垂直統合への利益が高いことを意味するであろう。完全に統合しないまでも、継続的な取引関係などを通じてサプライヤー産業がユーザー産業の技術的ニーズを把握していくことが必要になるはずであり、産業政策においてもこの点の認識が欠かせない。

最後に、本論文の産業分類は2桁分類と比較的大きく、この分類でR&Dスピルオーバーを分析することには、次のような問題があることを指摘しておく。

一つは2桁産業内における産業間R&Dスピルオーバーを考慮していない点である。たとえば、化学工業においては有機化学工業から医薬品工業や化学繊維工業などへのR&Dスピルオーバーなどが可能性として考えられよう。このような産業間では技術距離もより近くなることが予想され、R&Dスピルオーバーもより大きいであろう。

もう一つは、同一産業内における企業間のR&Dスピルオーバーを考慮していない点である。この点を日本の電気機械工業について実証分析したものとしてSuzuki (1993) がある。この論文は、企業データを用いて本論文と同じくトランスログ型費用関数を推定することにより、系列による組織的取引が一般化している日本の電気機械工業において、親会社同士のR&Dスピルオーバー、異なる系列の系列会社同士のR&Dスピルオーバー、そして親会社から系列会社への技術移転が、これらの企業の生産費用を低減させているとの分析結果を得ている。

また、本論文は先端技術産業の費用構造を中心に分析を限定し、先端技術産業のR&Dストックがその他の多くの産業にどのような影響を与えるのかについては分析しなかった。第2節の分析によれば、電気機械工業と非鉄金属工業、精密機械工業が、また化学工業とプラスチック製品工業、繊維工業が「技術距離」の近い関係になっている。電気機械工業、化学工業からこれら産業へのR&Dスピルオーバーが起こっている可能性は大きい。

補論1 データ出所

付加価値額は、『工業統計表』の「付加価値額（名目値）」を用い、『国民経済計算年報』のGDEデフレータを用いて実質化した。

労働投入と労働価格は『労働統計年報』から、労働時間、労働者数、給与額のデータを用いて作成した。それぞれのデータは『労働統計年報』の以下の項目よりとした。

労働時間数：「産業、規模、性別1人平均月間出勤日数及び実労働時間数」

労働者数：「産業、性別月末労働者数」

給与額：「産業、規模、性及び給与内訳別一人平均月間現金給与額」

労働価格は時間当たりの賃金で、給与額を労働時間数で割って求めた。労働投入は一人当たりの労働時間数に労働者数をかけて求めた。

資本ストックについて Kuroda (1994) に従い、以下の手順で価格と投入量を求めた。まず、資本価格をJorgenson service-price model を用いて次の式により計算する

$$p_t = q_t(r_t + \delta_t)$$

q_t : t期における投資財価格（投資財価格指数、出所：『物価指標月報』）

r_t : t期における利子率（長期プライムレート、出所：『経済統計月報』）

δ_t : t期における資本減耗率

資本減耗率についてはデータが存在しないので以下の式により毎年毎の資本減耗率 δ_t を計算した。

$$K_t = K_{t-1} + I_t - \delta_t K_{t-1}$$

K_t : 粗資本ストック（実質、出所：『4半期別民間企業ストック速報』）

I_t : 新設設備投資額（同上）

資本サービス投入量は資本ストック投入量に比例すると仮定する。そして今期の資本サービスの費用を、今期の資本価格と前期の資本ストックの積として求める。

$$V_t = p_t \cdot K_{t-1}$$

付加価値 VA を生産するために要した費用 C を労働サービスの費用（労働価格×労働投入）と資本サービスの費用 ($V_t = p_t \cdot K_{t-1}$) の和として求めた。

上記の労働、資本に関するデータからは研究員や研究設備に関する費用を差し引いていない。つまり費用 C には研究開発支出額の一部が含まれる。労働および資本に用いたデータと研究開発費データのデータソースが異なっており、労働、資本から研究開発費を差し引くのが困難なためそのまま使用した。このため、本論 4 節で述べた通り、研究開発の費用に与える効果には費用低減によるマイナス効果に加え、2 重計算にもとづくプラスの効果が存在する可能性がある。

補論2 R&Dストックの推定

次にR&Dストックデータの作成方法について説明する。

技術知識や経験をストックとしてとらえることの重要性は先に述べたが、後藤(1993)が指摘するように、これを数量で示すことは非常に困難である。技術や知識が、マニュアルや論文という形になっている場合でも、それらをどう評価すべきかは明確ではないし、研究者や労働者に体化されている場合は情報量そのものが明らかではない。本論文ではGoto and Suzuki (1989) らの一連の研究に従い、研究開発支出のフローデータを用いた方法でR&Dストック量を推定した。

t 期のR&Dストック R_t は以下の式で示される。

$$R_t = RF_t + (1-\delta) \cdot R_{t-1} \dots (i)$$

$$RF_t = \sum_{i=1}^n u_i \cdot E_{t-i}$$

R_t : t 期におけるR&Dストック

RF_t : t 期におけるR&Dフロー

E_{t-i} : $t - i$ 期におけるR&D支出額

δ : R&Dストックの陳腐化率

R&D支出額は総務庁統計局『科学技術研究調査』の「産業別社内使用研究費（支出額）」を用いた。R&D支出額は研究開発費用のデフレータ（1985年=1）で割って実質化した。研究開発デフレータは『科学技術研究調査』から用いたが、一部のデータ（1960年から1964年）は三菱総合研究所（1992）の推計値を用いた。

t 期におけるR&Dフローは過去に支出された研究開発投資のうちラグを経て今期に成果として結実する部分の和である。研究開発による新しい技術知識を生産活動に活かすには、ある程度の時間の経過が必要になると考えられるからである。 u_i はこのような時間の経過を表す分布ラグであるが、現実にはこれについての適切な情報が得られないため、推計の際には平均ラグ θ 、すなわち、

$$u_i = \begin{cases} 1(i=\theta) \\ 0(i \neq \theta) \end{cases}$$

を用いる。つまり、研究開発を行ってから、生産活動に有効な技術知識が得られ、これが実際に用いられるまでのラグを θ とした。

研究開発のラグは、科学技術庁『60年度科学技術白書』の、「業種別の研究期間（自主技術）」を用いた。『60年度科学技術白書』において化学、電気、輸送の3つの産業は2桁分類より細かく分類されている。そこでまず、各業種の研究開発支出額が、その2桁分類産業内に占める割合の年平均を計算した。そして、業種ごとの平均値を重みとした加重平均を2桁分類産業のラグとした。

なお実際にはラグθが整数とは限らないため、t期におけるR&Dフローを以下の式によって求めた。

$$RF_t = E_{t-\theta}$$

$$E_{t-\theta} = (1-\theta d)E_{t-\theta i} + \theta d \cdot E_{t-\theta i-1}$$

θd : 研究開発ラグの整数部

θi : 研究開発ラグの小数部

ベンチマークとなる年のR&Dストックは、

$$R_0 = \frac{E_{1-\theta}}{g+\delta} \dots (ii)$$

g : R&Dフロー成長率の年平均

によって求める。これは、R&Dフローの成長率が一定であると仮定し、(i)式を次のように展開することで得られる（以下の説明は三菱総合研究所（1992）による）。

$$\begin{aligned} R_t &= RF_t + (1-\delta) \cdot R_{t-1} \\ &= RF_t + (1-\delta) \cdot RF_{t-1} + (1-\delta)^2 R_{t-2} \\ &\dots \\ &= RF_t + (1-\delta) \cdot RF_{t-1} + (1-\delta)^2 RF_{t-2} + \dots + (1-\delta)^{t-1} RF_1 + (1-\delta)^t R_0 \end{aligned}$$

t が充分大きいと仮定すると、 $(1-\delta)^t R_0 = 0$ とおくことができる。R&Dフローの成長率 g は一定であると仮定しているので、

$$RF_t = (1+g)RF_{t-1} = (1+g)^2 RF_{t-2} = \dots = (1+g)^{t-1} RF_1$$

ここで、 $k = \frac{(1-\delta)}{(1+g)}$ とおいて、

$$R_t = RF_t + kRF_t + \dots + k^{t-2}RF_t + k^{t-1}RF_t = \frac{(1-k^t)}{(1-k)}RF_t$$

t が充分大きければ $k^t = 0$ とおけるから、

$$R_t = \frac{1}{(1-k)}RF_t = \frac{(1+g)}{(\delta+g)}RF_t = \frac{RF_{t+1}}{\delta+g}$$

よって、(ii) 式が得られる。

最後にR&Dストックの陳腐化率について後藤（1993）に従い説明する。技術知識の陳腐化は次のような理由で起こると考えられる。まず、より進んだ優れた技術知識が生み出されることで、既存の技術知識が生産過程において用いられなくなった場合、技術知識は陳腐化したと考えられる。また、時間の経過に伴い、製品などに体化された技術が他企業などにも知られることで、技術開発を行った企業が獲得する収益が低下した場合も技術知識は陳腐化したと考えられる。陳腐化率を推定する試みは、特許の残存件数を用いたものなど、いくつか行われているが、本論文では技術の平均寿命についてのデータから逆算する方法を用いた。

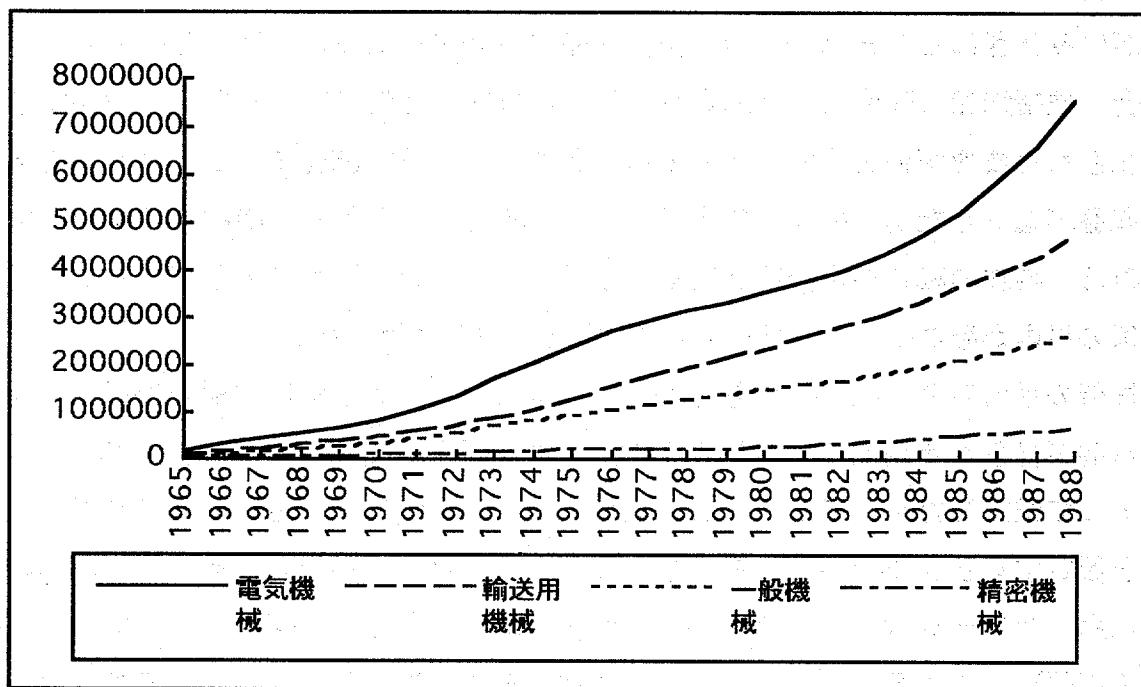
技術の平均寿命とは社外から特許収入の得られた期間または技術を適用した商品の収益が得られた期間で、昭和60年に科学技術庁が民間企業に対するアンケートによって推計したものである。技術知識のストックが毎年一定の割合で減耗していくと仮定すると、平均寿命の逆数をとることで陳腐化率が得られる。陳腐化率の推定に用いたデータは『60年度科学技術白書』の「業種別の技術の平均寿命（特許収入期間）」である。「業種別の研究期間」と同様に化学、電気、輸送の3つの産業は2桁分類より細かく分類されているので、研究開発のラグと同じ方法で2桁分類産業の陳腐化率を求めた。表A1に、上記の方法で計算した、加工組立4産業とバイオ2産業の研究開発ラグおよび陳腐化率を示した。

研究開発のラグは化学工業が最も大きくなっているがこれは医薬品工業の研究開発期間が8.08年と特に長いためである。また陳腐化率では精密機械工業が最も大きく、これに電気機械工業と輸送用機械工業が続く。化学工業と食品工業の陳腐化率は比較的小さくなっている。

表A1 研究開発ラグ及び陳腐化率

	ラグ（年）	陳腐化率
電気機械工業	3.336	0.139
輸送用機械工業	3.226	0.113
一般機械工業	2.96	0.072
精密機械工業	2.31	0.246
化学工業	5.942	0.092
食品工業	2.45	0.06

これら産業のR&Dストックの推測結果を図A1、A2（単位：100万円）に示す。



図A1 加工組立産業のR&Dストック

加工組立産業においては、研究開発支出の大きい電気機械工業と輸送用機械工業のR&Dストックの伸びが大きく、とくに電気機械工業は1980年代以降、伸び率が大きくなっている。4つの産業のうち技術知識の陳腐化率が最も大きかった精密機械工業のR&Dストックは比較的低い水準で推移している。

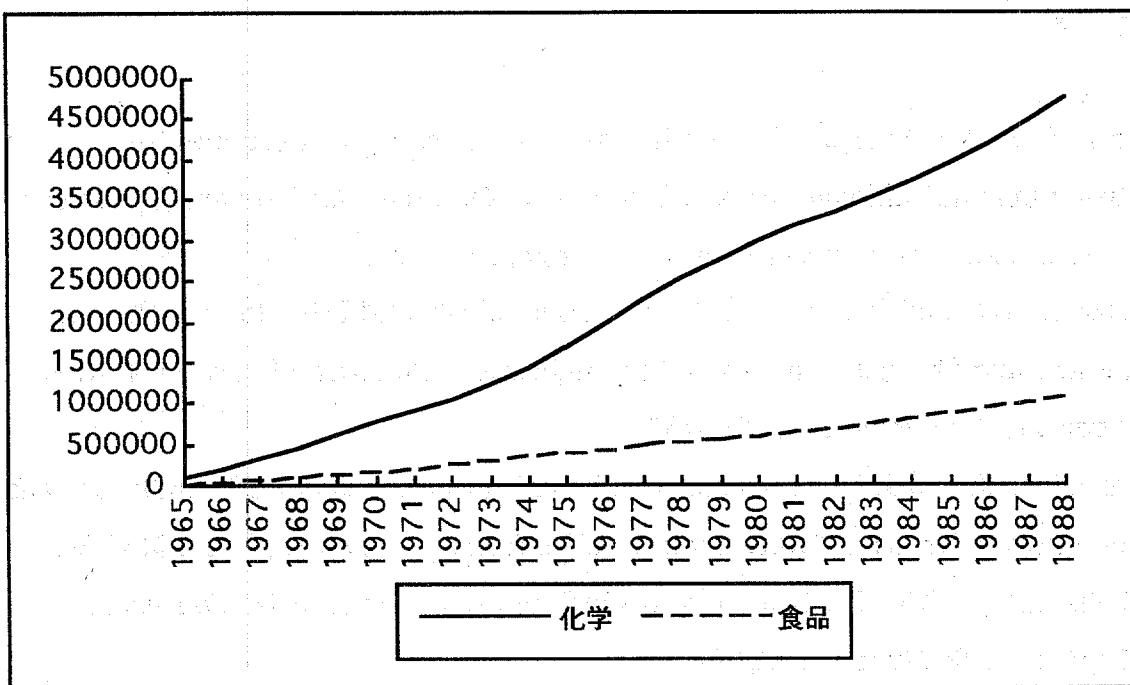


図3.3.2 バイオ産業のR&Dストック

バイオ産業においては、やはり化学工業のR&Dストックが大きく伸びている。R&Dストック額を加工組立産業と比較すると電気機械工業よりは小さく、輸送用機械工業とほぼ同じ水準にある。食品工業のR&Dストックの水準は化学工業に比べてかなり低いが、その額は次第に大きくなっている。

参考文献

- Arrow, K. J. (1962) " Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention ", in National Bureau of Economic Research, *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton University Press, 609 - 625.
- Bernstein, J. I. and Nadiri, M. I. (1988) " Interindustry R&D Spillovers, Rate of Return, and Production in High - Tech Industries ", *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 78, 429-434.
- Bernstein, J. I. (1989) " The structure of Canadian Interindustry R&D Spillovers, and the Rates of Return to R&D ", *Journal of Industrial Economics*, 37(3), 315-328.
- Griliches, Z. (1992) " The Search for R&D Spillovers ", *Scandinavian Journal of Economics*, 94, Supplement, 29-47.
- Goto, A. and Suzuki, K. (1989) " R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries ", *Review of Economics and Statistics*, 71, 555-564.
- Jaffe, A. B. (1986) " Technological Opportunity and Spillovers of R&D : Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value ", *American Economic Review*, 76, 984-1001.
- Kuroda, Y. (1994) " Research and Extension Expenditures and Productivity in Japanese Agriculture, 1960-90 ", University of Tukuba, Institute of Socio Economic Planning, Discussion Paper, No.586.
- Mairesse, J. and Sassenou, M. (1991) " R&D and Productivity : A Survey of Econometric Studies at the Firm Level ", National Bureau of Economic Research, Working Paper, No. 3666.
- Nelson, R. R. (1959) " The Simple Economics of Basic Scientific Research " *Journal of Political Economy*, 67, 297-306.
- Odagiri, H. and Iwata, H. (1986) " The Impact of R&D on Productivity Increase in Japanese Manufacturing Companies ", *Research Policy*, 15, 13-19.
- Solow, R. (1957) " Technical Change and the Aggregate Production Function ", *Review of Economics and Statistics*, 39, 312-320.

- Suzuki, K. (1993) " R&D Spillovers and Technology Transfer among and within Vertical Keiretsu Groups, Evidence from the Japanese Electrical Machinery Industry ", *International Journal of Industrial Organization*, 11, 573-591.
- Terleckyj, N. E. (1980) " Direct and Indirect Effects of Industrial Research and Development of the Productivity Growth of Industries ", J. W. Kendrick and B. N. Vaccara [eds] *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*, University of Chicago Press, 359-377.
- 伊丹敬之・伊丹研究室 (1991) 『日本の化学工業 なぜ世界に立ち遅れたのか』 NTT出版.
- 黒田昌裕 (1984) 『実証経済学入門』 日本評論社.
- 後藤晃 (1993) 『日本の技術革新と産業組織』 東京大学出版会.
- 佐藤和夫 (1975) 『生産関数の理論』 創文社.
- 富田稔・中野正也 (1990) 『バイオ業界』 教育社新書.
- 新飯田・後藤・南部 (1986) 『日本経済の構造変化と産業組織』 東洋経済新報社.
- 三菱総合研究所 (1992) 『平成2年度 日米テクノストックの定量比較に関する調査研究 - 日米の産業技術システム・科学アセットの比較評価 - 』 財団法人 機械振興協会経済研究所.
- 三橋規宏 (1992) 『先端技術と日本経済』 岩波新書.
- 六波羅昭 (1985) 『研究開発と独占禁止政策』 ぎょうせい.

付表1 技術フロー

(単位：100万円、1985年)

研究開発実施産業	技術フローを受け取る産業					
	電気機械	輸送機械	一般機械	精密機械	化学	食料品
食料品	14.07	8.79	13.19	0.18	2303.34	55934.43
繊維	92.06	586.19	55.43	22.55	127.76	31.00
パルプ・紙	931.27	97.93	189.63	106.74	1772.68	2208.06
化学	33459.44	20965.87	12650.61	2343.32	340210.88	19630.97
石油・石炭製品	875.93	742.68	654.77	64.88	7515.37	1045.82
窯業・土石製品	9395.47	5426.85	4360.54	1414.09	2928.80	5612.21
一次金属	25547.81	23536.45	35831.70	2485.69	1300.34	384.26
金属製品	8130.68	3499.40	8627.43	707.18	2166.71	5753.54
一般機械	23569.23	85926.34	172549.86	2133.00	4805.07	3701.00
電気機械	1238584.62	152855.69	187231.79	34128.33	8930.68	290.87
輸送機械	3495.43	636065.85	16465.61	742.18	784.08	1879.39
精密機械	11810.34	3739.08	24471.64	88770.95	683.35	51.57
その他製造業	4927.47	4945.05	2408.77	783.61	1443.68	1828.92

(データ出所)

中間財販売比率：『国民経済計算年報』、経済活動別財貨・サービス投入表（U表）

研究開発費：『科学技術研究調査報告』、産業別社内使用研究費（支出額）

付表2 技術距離

(1985年)

	電気機械	輸送用機械	機械	精密機械	化学	食品
電気機械	1	0.0689	0.2078	0.3057	0.0304	0.0017
輸送用機械	0.0689	1	0.2212	0.0767	0.0056	0.0029
機械	0.2078	0.2212	1	0.341	0.0252	0.0166
精密機械	0.3057	0.0767	0.341	1	0.0467	0.0097
化学	0.0304	0.0056	0.0252	0.0467	1	0.3557
食品	0.0017	0.0029	0.0166	0.0097	0.3557	1

	繊維	パルプ・紙	出版・印刷	石油・石炭	プラスチック	ゴム
電気機械	0.0602	0.0006	0.2287	0.0113	0.055	0.0058
輸送用機械	0.0148	0.0004	0.0255	0.0005	0.056	0.0779
機械	0.0271	0.0108	0.168	0.0072	0.05	0.0092
精密機械	0.0581	0.007	0.0997	0.0147	0.1117	0.0057
化学	0.5204	0.0823	0.015	0.1959	0.6281	0.0205
食品	0.1717	0.0132	0.0047	0.0146	0.0401	0.0012

	窯業	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	その他工業
電気機械	0.178	0.0441	0.4817	0.1916	0.1196
輸送用機械	0.0166	0.0339	0.1183	0.5526	0.0435
機械	0.084	0.1516	0.0943	0.2639	0.0891
精密機械	0.1042	0.0492	0.1421	0.1156	0.1216
化学	0.1448	0.0219	0.0458	0.0394	0.0276
食品	0.0134	0.0029	0.0021	0.0075	0.0028

(注)

マトリックスの各数値は縦の産業と横の産業との技術距離を示す。定義により、対角線に示された同じ産業同士の技術距離は1に等しく、また対角線をはさみ対称行列の形を取る。

(データ出所) 『1985年度版科学技術研究調査報告』産業・製品分野別社内使用研究費

Inter-Industry R&D Spillover: Estimation for Japanese High-Technology Industries

Hiroyuki Odagiri and Shin-ya Kinukawa

Abstract

In this paper we estimate the economic effects of Research and Development (R&D) in the Japanese high-technology industries, by means of translog cost functions. Because R&D tends to have positive externality through spillover, we estimate the cost functions taking account of not only the contribution of own R&D but also that of R&D by other industries. The industries to be studied are electrical (and electronics) equipment, transportation equipment, general machinery, and chemicals.

Technological spillover to other industries takes place through two routes. One is through the technology embodied in purchased intermediate goods and capital goods, and the other is through research papers, academic meetings, turnover of scientists and engineers, and such. We first estimate the extent of spillover through these two routes by the measures of, respectively, technological flow and technological distance. We then select the industries that are expected to be the sources of spillover to each of the four high-tech industries among those that have a large technological flow and/or small technological distance to the industry, and estimate if the R&D stock of these industries have the effect of reducing the industry's production cost.

Our main results are as follows:

- 1) As the accumulated R&D stock increased, the cost-reducing effect of own R&D started to take place in the 1960s in the electrical equipment industry, in the latter 1970s in the transportation equipment and general machinery industries, and in the latter 1980s in chemicals. Furthermore, the effect is increasing.
- 2) Inter-industry R&D spillover exists, mainly through purchased intermediate and capital goods in the electrical equipment and chemical industries, and mainly through the exchange of technological knowledge in the general machinery industry.

This presence of inter-industry R&D spillover indicates that the social rate of return to R&D should exceed the private rate of return.