

# 研究開発ラグの推定\*

小橋 晶

## 1 はじめに

技術知識は、資本のように獲得するごとに蓄積されてゆくストックと捉えることができる。企業の技術知識ストックは、例えば財の生産過程で得られる学習効果や、主に大学などが担う基礎研究の進歩などによって増加する。しかし、技術ストックを増加させる最も大きな要因と考えられるのは企業による研究開発であり、その規模は増加の一途をたどっている。それに従い、企業の研究開発投資に関して多くの実証研究がなされてきた。Hall and Mairesse (1995) は研究開発ストックの弾力性を推定しているが、ストック減耗率と研究開発投資が成功するまでに要する時間（研究開発ラグ）に一定の仮定をおいた上で、過去に行われた研究開発支出から研究開発ストックを推計している<sup>1)</sup>。Goto and Suzuki (1989), Mansfield (1989), Suzuki (1985) などでは研究開発投資の限界収益率を推定している。これらの研究では研究開発ストックを推計することなしに限界収益率を求める方法がとられている。

研究開発ストックの推計を回避する理由は、陳腐化率、研究開発ラグが明らかでないという点が大きいと思われる。陳腐化率については、特許の更新データから推定した Pakes and Schankerman (1984) などの研究もあるが、適当な数字（10%など）を用いる場合も少なくない。研究開発ラグについては、サー

---

\* 本稿の作成において、中尾武雄教授に有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝する。

1) 研究開発ストックは技術知識ストックの一部で、研究開発によって得られた技術知識のみから構成される。

ベイデータによる情報を平均ラグとして使う他はなく、これまで実証的にラグを推定した研究は見られない<sup>2)</sup>。

本研究の目的は実証的に研究開発の分布ラグを分析することにある。分布ラグを推定する手法としてはAlmon (1965) による多項式分布ラグモデルがまず挙げられるだろう。しかし、次数や分析期間の違いによって大きく分布の形状が変わってしまい、信頼のおける結果は得られなかった。本研究では、研究開発ラグ分布の形状の分析には踏み込まず、レイリー分布と呼ばれる山形の分布に従うと仮定する。このレイリー分布のモードは1つのパラメーターによって決定されるので、何期前の研究開発が技術ストックを増加させる最も大きな要因となっているかという判断が可能となる。電気機器製造業と機械製造業の研究開発分布ラグの推定を行ったが、3年程度と判断できる。

## 2 モデルおよびデータ

次のような生産関数を想定する。

$$Y_t = R_t L_t^\alpha K_t^\beta$$

$Y_t$ : 付加価値     $L_t$ : 労働投入量     $K_t$ : 資本ストック

$R_t$ : 技術知識ストック     $\alpha$ : 労働の弾力性     $\beta$ : 資本ストックの弾力性

まず技術知識ストックを推計するために、弾力性  $\alpha$ ,  $\beta$  を推定しなければならない。しかし  $R_t$  はこの時点で未知なので、 $R_t = Ae^{rt}$  とおき固定効果モデルにより推定する。つまり第1ステップは、 $\ln Y_t = A + rt + \alpha \ln L_t + \beta \ln K_t$  を推定し、 $R_t = Y_t / L_t^\alpha K_t^\beta$  を計算する。 $\delta$  を技術知識ストックの減耗率とすると、 $t$  期に増加した技術ストックは  $R_t - (1 - \delta)R_{t-1}$  と表すことができる。よって、研究開発が成功して技術ストックとなるまでのラグの最小が  $m$  年、最大が  $n$  年とすると、第2ステップの推定式は次のようになる。

2) ここでの研究開発ラグは、実際に研究開発を行っている期間、成功したものを市場化する期間の両方を含む。

$$R_t - (1 - \delta)R_{t-1} = C + \beta \sum_{i=m}^n w_i R_{t-i} + u_t$$

ここで、 $R_{t-i}$  は  $t-i$  期の研究開発支出である。さらに、 $(1 - \delta)R_{t-1}$  を移項すると、

$$R_t = C + \beta \sum_{i=m}^n w_i R_{t-i} + (1 - \delta)R_{t-1} + u_t \quad (1)$$

となる。ただし、 $u_t$  は誤差項を表し、 $w_i$  は研究開発ラグのウェイトであり、 $\sum_{i=m}^n w_i = 1$  である。研究開発支出のウェイトは後に説明するように、レイリー分布より求める。C は研究開発投資以外の技術ストックに寄与する部分と考えられる。これは、他企業からのスピルオーバー、学習効果などはもちろん、経済環境の変化による影響も含まれる。

製造業の研究開発支出に関する統計には科学技術研究調査報告（総務庁）があるが、企業ベースのデータは公表されていない<sup>3)</sup>。よって、研究開発支出のデータは有価証券報告書の試験研究費を使用した。サンプルとなるのは、1977年から1999年まで決算期の変更がなく、試験研究費のデータに欠損年のない企業のみとした。結果、電気機械製造業で48企業、機械製造業は38企業となった。なお、実際のサンプル期間はラグを扱う関係から1984年から1999年までとなる。

### 3 推定方法

考えられる全ての年の研究開発支出を説明変数として推計するにしても、 $R_{t-1}, R_{t-2}, \dots$  には強い相関があり、多重共線性によって信頼のおける推定値を得ることはできない。また多項式分布ラグモデルによる推定も、次数やラグを何期とるかによって分布の形状が大きく異なり、信頼のおける結果を得ることはできない。そこで次のような方法をとった。

レイリー分布 (Rayleigh distribution) はモードを特定化する際に便利な分布

3) 科学技術研究調査報告には研究支出の中の人件費、原材料費等の割合が記載されているので、研究開発支出のデフレーターを作成する際に使用した。

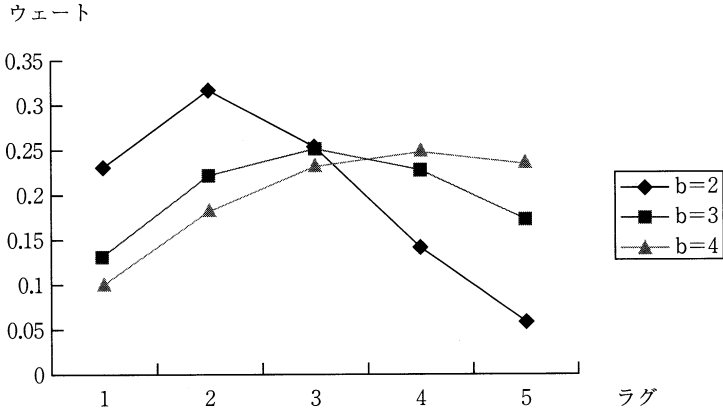


図1 レイリー分布によるウェート

である。この分布は分布のモードが1つのパラメーターにより決定される分布で、次の式で与えられる。

$$w(i) = \frac{i}{b^2} \exp\left(-\frac{i^2}{2b^2}\right)$$

ただし、 $b$  はモード、 $\int_0^{\infty} w(i) = 1$  である。この時、期待値は  $b(\pi/2)^{1/2}$  で与えられる。箕谷 (1990) では、モードを移動し決定係数が最大となるラグ分布を採用するという方法を提案している。本研究でもそれに従い、研究開発のラグ分布がレイリー分布に従っていると仮定し、ウェートを  $w_i = w(i)$  とし説明変数  $\sum_{i=m}^n w_i RI_{t-i}$  を求める。ここで注意しなければならないのは、実際には有限期でラグを切断することである。いま、 $n$  期ラグまでで切断するならば  $w(i) / \sum_{k=1}^n w(k)$  を  $i$  期のウェートとしなければならない。図1は5期ラグで切断した場合のウェートを示している。モードを3とした時、ほぼ対称な分布となっていることがわかる。

問題は何期から何期までのラグを考慮するかである。研究開発ラグの場合、相当過去の研究開発投資だけでなく、直前の期の投資も技術ストックとなる事は考えにくい。このラグを何期から何期までとるのかという事はモードの判断に大きな影響を及ぼす。例えば、何の影響ももたないと思われる今期の研究開発投資まで含めたとして。すると、より古い期をモードとするほど決定係数が高くなる。なぜなら、より古い期をモードにすればするほど、ほぼ影響がないと思われる今期の研究開発投資の影響が除去されるからである。もちろん逆のケースも同様である。不必要なラグ期を除く事ができない場合、最近の期、古い期両方とも同じくらい説明変数に含め、その効果を相殺させるようにラグの期間を決定しなければならない。

研究開発ラグ分布が対称な形になるという仮定が許されるならば、以下のような方法が考えられる。中央のラグ期をモードとした場合の決定係数が高くなるようにラグの期間を調整する。分布が対称ならば、仮に適切なラグ期間が選択されていないとしても、分布の片方側の不必要なラグ期のみが説明変数に含まれるという状況は回避できるだろう。4節では電気機器製造業、機械製造業における研究開発分布ラグのモードを分析する。

#### 4 結 果

電気機械製造業を例にとって説明しよう。まず労働と資本の弾力性  $\alpha$ ,  $\beta$  を推定し、技術ストックを計算した。図2に電気製造業48企業の技術ストックの平均が時系列で示されている。図3はその上昇率を計算したものである。図2より、85年からの2年間、91年からの2年間には減少局面が見られる。これは景気の後退局面に労働、資本の調整が完全には行われず、ここで技術知識ストックと定義した  $R_t$  にバイアスを生じさせていると考えられる。しかし、 $R_t$  は傾向的に増加していることから、ある程度は技術ストックを説明していると考えてもよいだろう。また、図3より技術ストックの上昇率は90年代にはいつでも衰えは見られないことがわかる。むしろ94-95年などは77年以来もっとも

技術ストック

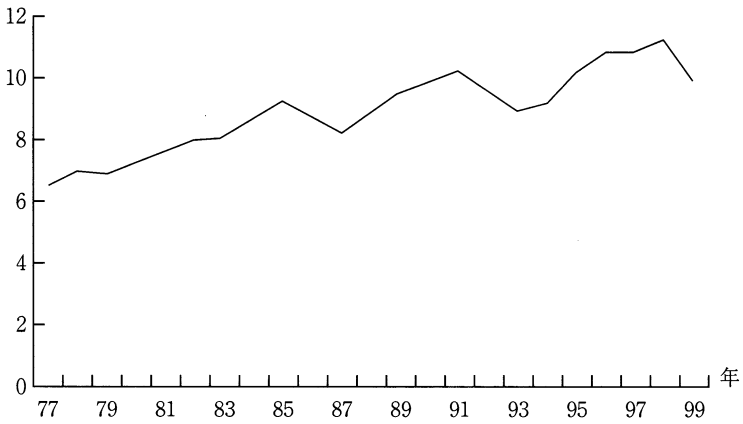


図2 電気機器製造業の技術ストック

上昇率(%)

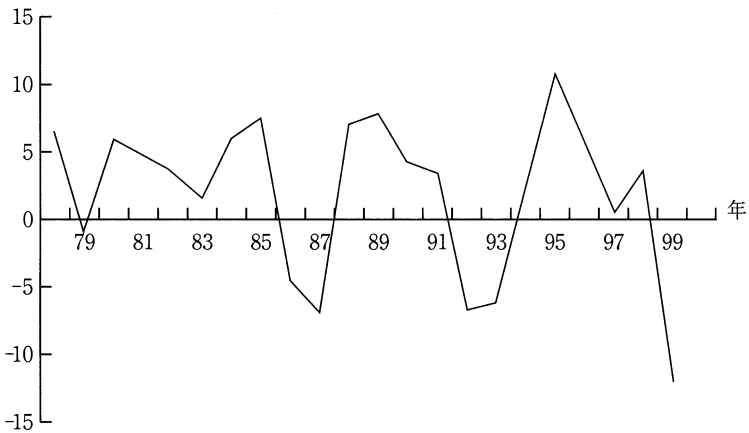


図3 電気機器製造業の技術ストック (上昇率)

高い上昇率を記録している。90年代に見られた高い上昇率は、情報技術の進歩が生産性の効率改善に大きく寄与したとからとも考えられる。

まず、研究開発の成果が出始めてから終わるまでの期間を決めなければならない。もちろん、10年前、20年前の研究開発が予想外のかたちで役に立つこと

表 1 期間の選択と決定係数

対象期間：1期ラグー5期ラグ					
モード 決定係数	1 0.76884	1.5 0.76903	2 0.76916	2.5 0.76924	3 0.76927
モード 決定係数	3.5 0.76929	4 0.7693	4.5 0.76931	5 0.76931	
対象期間：2期ラグー6期ラグ					
モード 決定係数	2 0.76924	2.5 0.76935	3 0.76936	3.5 0.76932	4 0.76929
モード 決定係数	4.5 0.76927	5 0.76925	5.5 0.76924	6 0.76923	
対象期間：3期ラグー7期ラグ					
モード 決定係数	3 0.7695	3.5 0.76942	4 0.76931	4.5 0.76924	5 0.76919
モード 決定係数	5.5 0.76916	6 0.76914	6.5 0.76913	7 0.76912	

があるかもしれない。しかし3節で説明したように、ほとんど関係のないような10年ラグのような変数を含めると、モードが最近の期に決定されやすくなってしまう<sup>4)</sup>。

表1に、研究開発が技術ストックに影響する年数を5年とした場合の3ケースの決定係数がまとめてある<sup>5)</sup>。1年ラグから5年ラグをまでを説明変数に含めた場合、5年ラグをモードとした場合が最も高い決定係数を得る。逆に3年から7年までを説明変数に含めた場合は3年ラグをモードとした場合が最も高い決定係数を得る。よって、これらのケースでは適切な期を説明変数に含んでいるとは判断できない。しかし、説明変数を2年ラグから6年ラグまでで構成した場合は3年ラグをモードとしたケースの決定係数が最も高かった。2年ラ

4) 例えば1年ラグから10年ラグまでとすると、ほとんどのケースで1年ラグをモードとしたときの決定係数が最も高くなる。

5) 電気機器製造業では期間を5年間とした場合に最も良い結果を得た。

表2 電気機器製造業の推定結果 ( $b=2.8$ )

$$R_t = C + 0.30 \times 10^{-5} \sum_{i=2}^6 w_i R_{t-i} + 0.71 R_{t-1} \quad (27.32)$$

$$(1.49)$$

$$\bar{R}^2 = 0.769 \quad \text{企業数} = 48 \quad \text{標本数} = 768$$

注) 括弧内は  $t$  値を表す

グと6年ラグの中央は4年ラグである。モードがより中央の期になるように期間を設定したいところだが、研究開発費は年次データしか入手することはできないので、この期間で分析するほかない。

さらに、モードを2年ラグから6年ラグまで0.1年ごとずらして推定したところ、モードを2.8年ラグとした場合の決定係数が最も高くなった。しかし、この結果には注意しなければならない点がある。中央の期にあたるの4年ラグではなく3年ラグがモードとなるようにラグの期間を設定しているため、省かれるべき古い期のラグを含んでいると考えられる。従って、決定されたモードは最近の期に偏っている可能性が強く、実際にはラグのモードは2.8年よりも少し大きくなるだろう。

表2は2.8年ラグをモードとして(1)式を推定した結果である。これは、固定効果モデルによる推計である。ハウスマン検定により切片項と説明変数が無相関であるという仮説は1%水準で棄却され、変量効果モデルは使用できない。また、F検定により切片項が一定であるという仮説も1%水準で棄却され、プールデータでの推定よりも固定効果モデルでの推定が支持される<sup>6)</sup>。

研究開発支出の係数の値は特定の意味を持たないが、 $R_t$ の係数は $1-\delta$ であるから技術ストックの減耗率は約0.29ということになる。しかし、この結果により技術ストックの減耗率が約0.29であると判断することは出来ない。なぜなら、 $R_t$ には広告ストック(グッドウィルストック)など、労働、資本、技術ストック以外の投入要素も含まれているからである。

機械製造業についても同様な方法で推定した。機械製造業では1年から5年

6) パネル推定については、Baltagi (1995) および Greene (1993) 14章を参照。



表 3 機械製造業の推定結果 ( $b=2.3$ )

$$R_t = C + 0.97 \times 10^{-4} \sum_{i=1}^5 w_i R_{t-i} + 0.74 R_{t-1} \quad (2.27) \quad (26.68)$$

$$\bar{R}^2 = 0.709 \quad \text{企業数} = 38 \quad \text{標本数} = 608$$

注) 括弧内は  $t$  値を表す

ラグまでが研究開発が技術ストックに影響する期間であると判断された。同じように 0.1 ずつモードをずらしていったところ、最も高い決定係数をえられたのは 2.3 年をモードとした場合だった。表 3 はその時の推定結果である。  $R_t$  の減耗率は  $1 - 0.74 = 0.26$  と、電気機器製造業の場合よりも僅かながら小さいことが分かる。

## 5 結 論

本稿では、研究開発が技術ストックとなるまでのラグの実証的な推定を試みた。結果、電気機器製造業では 2.8 年ラグがモードと判断された。しかしラグの選択に制約があり、対称な分布になるように設定できない以上この数字にはそれほど意味はない。よって、モードが 2.8 年の時の期待値 (平均ラグ) もあまり重要ではない。しかし、少なくとも 2 年から 6 年ラグの間にモードが存在すると判断できる。また、中央値である 4 年ラグよりも小さなラグがモードになっていることから、不必要な大きなラグが含まれており、小さなラグの方に偏って判断されている。ここでは、研究開発分布ラグのモードは 3 年程度と判断してもよいだろう。

また本研究では、分布ラグは対称な山形の分布になるという想定のもので分析を行った。当然、これはモードが 1 つしかないという事も仮定している。一口に研究開発といっても、研究の対象は多岐にわたりモードが 2 つ以上存在するという事を否定はできない。それをどのようにして確かめるのか、今後の課題となる。

## 【参考文献】

- Almon, S., (1965) "The Distributed Lag Between Capital Appropriation and Expenditure," *Econometrica*, Vol. 33, pp. 178-196.
- Baltagi, (1995) *Econometric Analysis of Panel Data*, Wiley.
- Goto, A. and K. Suzuki, (1989) "R & D Capital, Rate of Return on R & D Investment and Spillover of R & D in Japanese Manufacturing Industry," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 71, pp. 555-564.
- Greene, W. H., (1993) *Econometric Analysis*, Prentice Hall.
- Hall, B. H. and J. Mairesse, (1995) "Exploring the relationship between R & D and productivity in French manufacturing firms," *Journal of Econometrics*, Vol. 65, pp. 263-293.
- Harhoff, D., (1998) "R & D and Productivity in German Manufacturing Firms," *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 6, pp. 29-49.
- Mansfield, E., (1989) "Industrial R & D in Japan and the United States: A Comparative Study," *American Economic Review*, Vol. 78, pp. 223-228.
- Pakes, A. and Schankerman, M., (1984) "The rate of obsolescence of patents, research gestation lags, and productivity," University of Chicago Press, IL.
- Suzuki, K., (1985) "Knowledge Capital and the Private Rate of Return to R & D in Japanese Manufacturing Industries," *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 3, pp. 293-305.
- 後藤 晃「日本の技術革新と産業組織」東京大学出版会, 1993年.
- 箕谷千鳳彦「計量経済学」多賀出版, 1998年.