

新技術普及率の経済分析

日本におけるコンピュータの普及を中心に

李 斌

神戸大学

日本においては、コンピュータ産業(供給側)に関する研究は盛んに行われたが、コンピュータを導入する産業(需要側)に関する研究はまだ少ない。本論文では、イノベーションの普及率の分析手法を用いて、コンピュータの需要側の状況について分析を試みる。ここでは、コンピュータ技術を戦後最大のイノベーションであると認識して、その普及の状況及び普及の主な影響要因について分析を行う。普及の過程については、1950年代末から1980年代後半にかけの30年間の間に、日本の第2次産業を主としての12産業における汎用コンピュータの普及状況及び普及の速度を計測して、その普及の加速期、転換期及び飽和期を明らかにする。普及の要因については、導入産業におけるコンピュータ導入と最も緊密に関連していると考えられる4つの要因(賃金水準の変化、コンピュータ導入の費用、雇用者数の変化及び産業の成長)とコンピュータ導入速度との関連を計測して、普及速度の産業間の差異を説明する。

1. はじめに

新技術の普及は先進国にとっても、発展途上国にとっても非常に重要な意義を持つと考えられるが、普及現象そのものについては、次のような諸問題がまだ明らかになっていない。第1には、新技術普及のアプローチについて、すなわち、新技術の導入者はどのように増加してくるかという問題。第2に、普及速度の計測について、すなわち、新技術の種類、年代、導入者によって普及の速度が異なることが経験によってわかっているけれども、ではどのように計算したらよいかという問題。第3に、新技術普及の促進要因と阻害要因にはどのようなものが考えられるかという問題、である。以上のような問題を考慮するために本稿では一つの新

技術分野であるコンピュータを取り上げ、その普及形態と影響要因に関する実証分析を行うことによって、新技術の普及に関する研究の一つを提供しようとするものである。

コンピュータは戦後に生まれた最大の技術革新として、経済社会に与える影響とその利用の広範さから、他の技術とは比較できないほどの新技術である。このような広範に利用価値がある新技術の普及形態と普及の影響要因を究明することができれば、新技術普及に関する研究が一層充実するものと思われる。一方、導入周期から見ると、日本の産業におけるコンピュータの普及はすでに成熟段階に入ったといえるので、その過程を顧みることによって、その普及形態を正確に把握することも可能であろう。

ところで、コンピュータに関する研究はこれまで数多くの研究の蓄積があるけれども、しかしながら、その研究の大部分は供給側の分析に集中しており、コンピュータ産業の観点に立って、その産業の歴史、現状、将来分析、あるいは育成政策などを中心に、展開されてきた。これに対して、需要側に関する研究、すなわち、コンピュータの需要者の構成、特徴、変化及び影響要因に関する研究はまだ少ないといえよう。これも本稿がコンピュータ技術を分析対象にする理由の一つである。

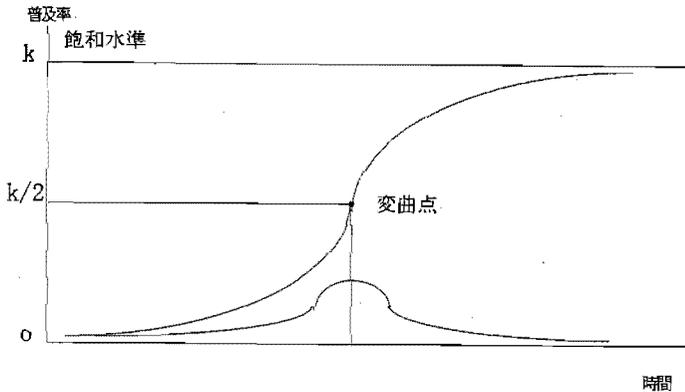
以下の内容は次の通りである。まず次節では新技術普及の主要理論を形成するMansfieldたちによって主張されるS字型の新技術の普及形態が、日本におけるコンピュータの普及をどの程度説明できるかを分析し、そして、各産業におけるコンピュータの普及速度を求めることにする。ただし、本稿でコンピュータ利用の実態を全面的に捕らえることはできないので、ここでは日本の主要産業、特に製造業を中心にしてコンピュータ普及の実態を分析することにしたい。第3節では、日本の産業におけるコンピュータ普及に影響を及ぼすと思われるいくつかの要因について、実証研究を行う。最後の第4節では、本稿での分析の要約と残された課題について述べる。

2. コンピュータの普及形態に関する実証研究

2.1 先行研究について

新技術普及に関する研究は、理論経済学における分析とは異なったカテゴリーで展開されてきたといえる。その研究の中で、最も関心が持たれたのは普及形態についてである。技術普及の進展は導入者行動の速さによって決まってくるといえるが、

図1 導入者の分布曲線と累積分布曲線



経験的証拠によれば、いったん新技術が開発されると、それぞれの企業がそれを導入する速度は異なるとはいえ、大部分の場合、導入者の分布は正規型になると考えられる¹⁾。さらに、各年度に対してこれらの新技術導入者数を累積して図に描くと、図1に示されるようなS曲線になる。

このようなS曲線モデルの研究は、これまでほとんどすべて実証分析に基づいて行われてきた²⁾。それらの実証研究によれば、新技術の普及過程はロジスティック曲線で表すことができることが考えられた³⁾。その代表的な研究はMansfield (1969)であり、ここでの実証分析はそのモデルに基づいて行うことにする⁴⁾。

2.2 普及曲線の計測

日本におけるコンピュータの普及の実態を計測するために、ここでは、製造業を中心とする次の12業種を分析の対象とする。それらは、1. 鉱業・建設業(266社)；2. 窯業・ガラス・土石製品製造業(146社)；3. 食料品・飲料・飼料・たばこ製造業(330社)；4. 繊維・衣服製造業(313社)；5. 化学工業(445社)；6. 石油・石炭・ゴム製品製造業(83社)；7. 鉄鋼・非鉄金属・金属製品製造業(470社)；8. 一般機械・精密機械製造業(499社)；9. 電気機械製造業(358社)；10. 輸送用機器製造業(218社)；11. その他製造業(374社)；12. 電力・ガス(27社)、である。われわれが用いるこれらのデータは日本経済経営学研究所による『コンピュータユーザー調査年報』である⁵⁾。

普及実態の計測を行うために、まず毎年の導入者数の変化率と累積導入者数の変化率を算出し、その変化率をグラフに描くことにする。そのことによって、各産業におけるコンピュータの現実の普及形態を直観的に表すことができる。次に、現実

の普及形態がS曲線モデルで説明できるかどうかを検証するために、現実の普及形態のシミュレーションを行うことにする。この分析を通じて、各産業におけるコンピュータ普及の速度を反映する指標としての普及率も算出することができる。ここで、導入者数の変化率は次のように計算される。1990年の企業数を飽和水準(導入企業数が100%に達した水準、つまりサンプル数)として、各企業の最初の導入年度を調べることによって、毎年各産業におけるコンピュータの導入者数を整理する。導入者数の整理は次のような原則に基づいて行われる。①ある企業がいったん「導入者」に記入されると、その後その企業はコンピュータの機種変更を何回繰り返しても、新規導入者とはみなさない。②サンプル企業の本社、その企業に所属した部門と工場の導入時期がそれぞれ異なった場合、導入時期が最も早いものだけを導入者に記入する。③各産業における新規参入と退出のことを考えない。サンプル企業は中規模企業以上であって、参入、退出の数は無視できるほど少ないので、潜在導入者数は一定であると仮定する。④導入の具体的な方法を問わない。言い換えれば、買い取り、レンタル、リースなどの方法をすべて「導入」とみなす。⑤導入台数を考えない。すなわち、コンピュータ1台しか導入しなかった企業と多数導入した企業とは同一視して、ただ導入者として記入する。

以上のようにして行われたデータの整理に基づいて、1959-1989年間の各年度におけるコンピュータを導入した各産業の企業数を調べ、産業毎に毎年導入者数とその変化率を計算すれば、表1が得られる。

表1の結果に基づいて、産業毎に初出年度から最終年度までの累積導入者数が計算される。さらに、各産業の最終年度の累積導入企業数をベースとして、各年度の導入企業数の比率を計算することができる。すなわち、各産業におけるコンピュータの普及曲線が次のような式を用いて求められる。

$$Y_{ti} = P_{ti} / K_i \quad (1)$$

ここで、 Y_{ti} =t年度におけるi産業の現実の普及率； P_{ti} =t年度におけるi産業の累積導入企業数； K_i =i産業のサンプル数、である。

このようにして算出した各産業におけるコンピュータを導入した企業の割合を時間に関してプロットすれば、図2の実線で表されるグラフが得られる。

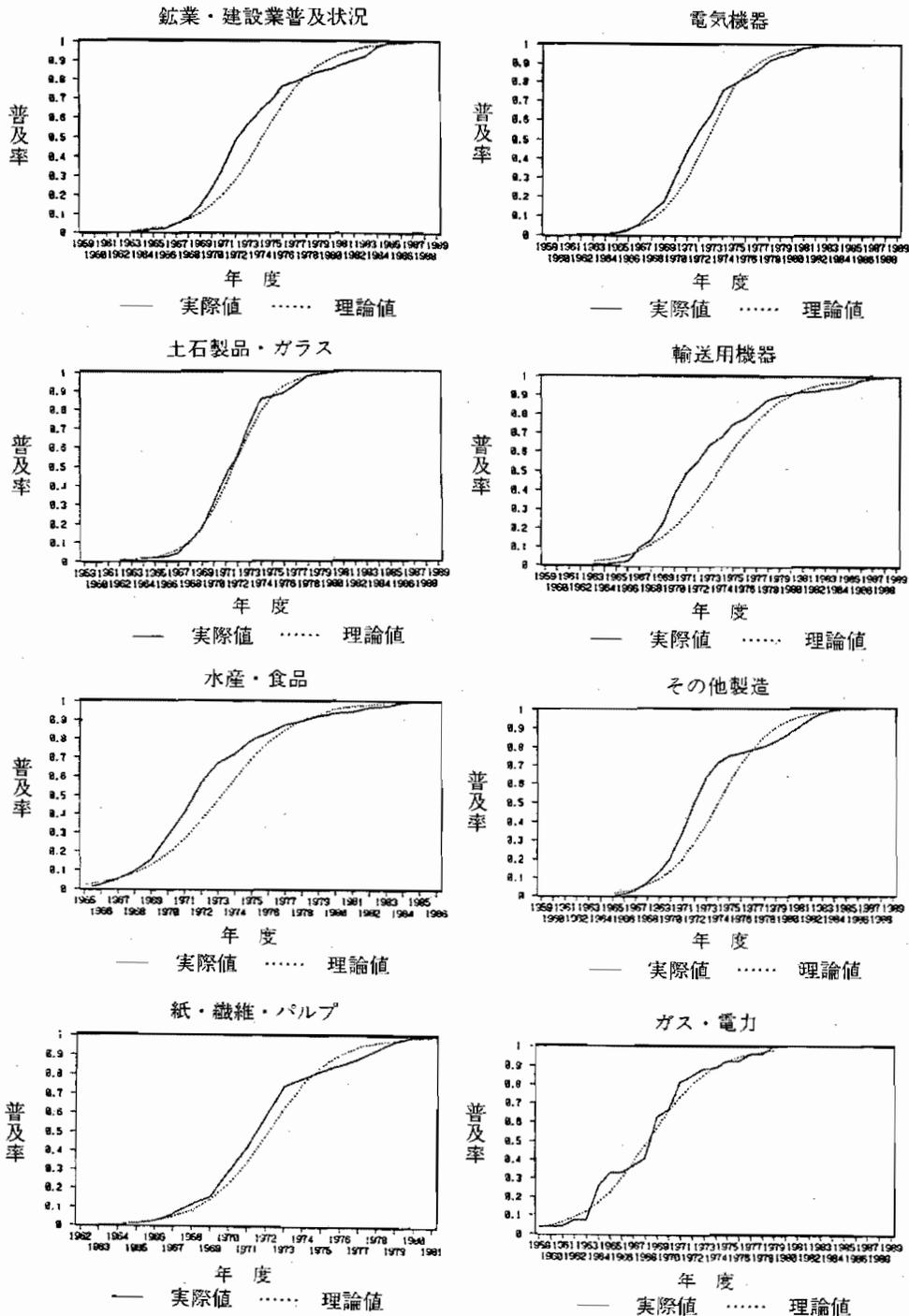
図2から、次のことが指摘できる。すなわち、ここで取り上げた12産業におけるコンピュータの普及形態はいずれも正の傾きをもったS字型の曲線で近似できることである。なぜなら、ここで取り上げた12産業においては、1960年代半ばまでは

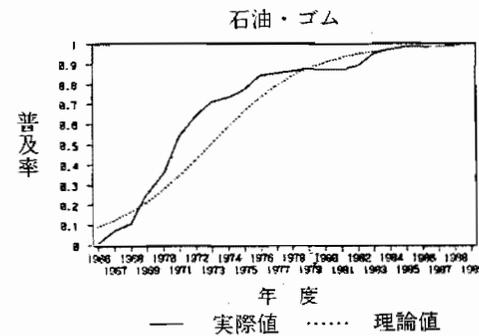
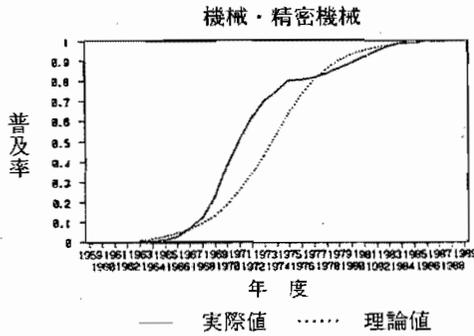
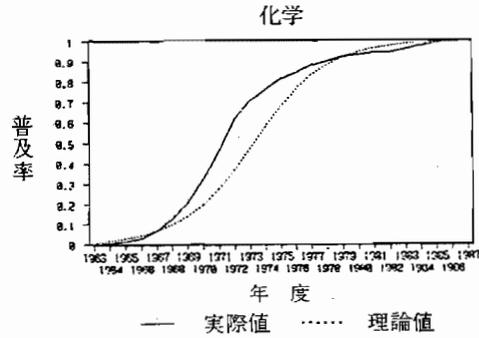
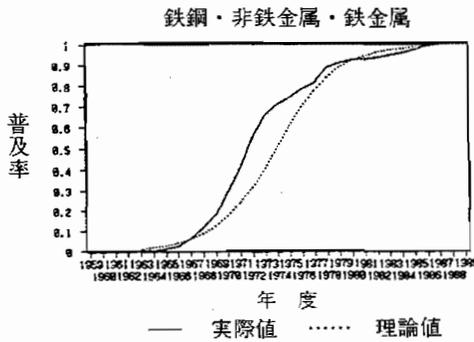
表1 導入者数の年変化率

年度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1959												0.000
1960												0.000
1961												0.000
1962												0.000
1963		0.000		0.000					0.000			0.000
1964	0.000	0.000		0.000	2.000		0.500	2.000	0.000	-1.000		4.000
1965	1.000	0.000		0.000	0.000		3.000	-0.667	0.000	1.000		-0.600
1966	-0.500	0.000	5.000	4.000	1.000		0.000	7.000	4.000	1.000	2.000	-0.500
1967	7.000	2.000	0.500	1.400	1.833	4.000	4.000	1.750	1.600	7.000	2.000	0.000
1968	0.000	1.667	0.667	0.333	0.529	-0.400	0.200	0.182	0.615	-0.438	0.667	0.000
1969	1.125	0.375	0.333	-0.188	0.385	3.000	0.208	1.000	-0.095	1.222	0.400	5.000
1970	0.412	0.636	1.100	2.231	0.472	-0.333	0.862	0.481	1.526	0.650	0.333	-0.833
1971	0.250	0.167	-0.048	-0.071	0.132	1.000	-0.019	-0.182	-0.063	-0.303	0.786	3.000
1972	0.233	-0.286	0.350	0.359	0.167	-0.500	0.321	-0.143	-0.133	-0.391	0.180	-0.750
1973	-0.432	0.667	-0.389	-0.075	-0.443	-0.250	-0.300	-0.222	-0.205	0.429	-0.136	0.000
1974	-0.095	-0.200	-0.455	-0.755	-0.359	-0.667	-0.510	-0.452	0.419	-0.600	-0.412	0.000
1975	-0.263	-0.900	0.333	0.000	-0.080	0.500	-0.417	0.174	-0.727	0.875	-0.500	0.000
1976	0.429	0.500	-0.500	-0.167	-0.522	1.000	0.429	-0.889	0.083	-0.533	-0.667	0.000
1977	-0.700	1.000	0.167	0.000	0.545	-0.833	-0.250	0.667	0.077	0.571	0.400	0.000
1978	0.333	0.167	-0.429	0.500	-0.353	0.000	1.267	1.000	0.429	0.000	0.000	0.000
1979	-0.125	-0.714	0.125	-0.067	-0.182	0.000	-0.706	0.200	-0.650	-0.636	0.429	0.000
1980	-0.429	-0.500	-0.556	-0.500	-0.556	0.000	-0.100	0.083	0.000	-0.250	0.300	
1981	0.750	0.000	-0.250	-0.857	0.250	0.000	-0.778	0.308	0.571	-0.333	0.154	
1982	-0.286		1.333		-1.000	0.000	0.500	-0.118	-0.909	-0.500	0.000	
1983	0.000		-0.571		1.000	4.000	0.667	-0.333	2.000	1.000	-0.200	
1984	1.800		1.000		0.143	-0.600	0.200	-0.100	-1.000	0.000	-0.500	
1985	-0.643		-0.833		-0.250	-0.500	0.167	-0.889	1.000	0.500	-0.667	
1986	-0.800		0.000		-0.333	0.000	0.143	0.000	-1.000	1.000	-1.000	
1987	0.000				-0.750	0.000	-0.500	0.000		-0.833		
1988						0.000		0.000		1.000		
1989						0.000		1.000				

注) 産業番号の内容は次の通りである：1=鉱業・建設業；2=窯業・ガラス・土石製品製造業；3=食料品・飲料・飼料・たばこ製造業；4=繊維・衣服製造業；5=化学工業；6=石油・石炭・ゴム製品製造業；7=鉄鋼・非鉄金属・金属製品製造業；8=一般機械・精密機械製造業；9=電気機械製造業；10=輸送用機器製造業；11=その他製造業；12=電力・ガス

図2 各産業の導入曲線





産業全体のコンピュータ導入は相対的に緩慢に進んだが、60年代の後半からその普及の速度は上昇し、この状況は1970年代初めごろまで続き、その後は普及の速度が再び下がってきた。そして、1980年代前半ごろから、各産業の普及率はそれぞれ飽和水準に近づいたことがわかるからである。

2.3 理論的普及曲線の計測

以上の分析から、日本の主要産業におけるコンピュータ普及の形態をS曲線で近似できることがわかった。この結論の妥当性を理論的に検証するために、また、各産業のコンピュータ普及の速度を推測するために、S曲線モデルで現実の普及曲線をシミュレーションしてみることにする。S字型曲線にはいろいろな種類があるけれども、ここでは普及現象の研究においてよく用いられるロジスティック曲線を使うことにする。すなわち、それは次の(2)式で表されるものである。⁶⁾

$$m_i(t) = n_i \left(1 + e^{-(l_i + \phi_i t)} \right)^{-1} \quad (2)$$

ϕ_i とを l_i 推定するため⁷⁾、(2)式を若干変形して、対数をとって整理すれば、次の式が求められる。

表2 普及率及びシミュレーション効果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
l_i	811	1129	909	1148	836	649	791	806	1011	709	890	737
ϕ_i	0.41	0.57	0.46	0.58	0.42	0.33	0.40	0.41	0.51	0.36	0.45	0.37
	(21.6)	(41.4)	(18.4)	(26.5)	(18.7)	(14.5)	(18.6)	(20.3)	(38.6)	(18.5)	(14.6)	(27.9)
R	0.98	0.99	0.98	0.99	0.98	0.96	0.98	0.97	0.99	0.98	0.97	0.99

注)

(1) 括弧の中の値はt値。

(2) Rは理論値と実際値の相関係数。

(3) 産業番号の内容は次の通りである：1=鉱業・建設業；2=窯業・ガラス・土石製品製造業；3=食料品・飲料・飼料・たばこ製造業；4=繊維・衣服製造業；5=化学工業；6=石油・石炭・ゴム製品製造業；7=鉄鋼・非鉄金属・金属製品製造業；8=一般機械・精密機械製造業；9=電気機械製造業；10=輸送用機器製造業；11=その他製造業；12=電力・ガス。

$$\text{Ln}[m_i(t)/(n_i - m_i(t))] = l_i + \phi_i t \quad (3)$$

年次データにより、この式をOLS法で回帰すれば、 ϕ_i 、 l_i の推定値が計算される。計算の結果は表2に示されている。

表2の計算結果を(2)式に代入すれば、各年度における各産業の導入企業数 $m_i(t)$ が求められる。その計算結果をグラフにしたものが図2の点線で示されるものである。

2.4 計測結果の説明

図2で示された各産業の現実の普及形態と理論曲線の形は極めて類似したものである。理論曲線によってどの程度現実の普及曲線が説明できるかを示すために、2つの曲線の相関係数を計算してみる。その結果は表2のRで示されるが、それについて、次のことが指摘できよう。すなわち、6、8、11番の3つの産業の現実値と理論値の相関関係は相対的に弱いけれども、しかしながら、すべての産業において理論曲線は現実の曲線をシミュレートしているといえよう。したがって、新技術の普及形態がロジスティック曲線に従うとの考え方は、ここで取り上げた日本の製造業を中心とする産業におけるコンピュータの普及形態を説明するのに適当なものであると考えられる⁸⁾。さらに、各産業におけるもう一つの共通した特徴は、普及曲線の変曲点がすべて1971年前後となっていることである。

一方、各産業におけるコンピュータの普及には次のような相違点も見られる。第

1に、各産業がコンピュータを導入し始めたスタート時点はそれぞれ異なっていることがわかる。12産業の中の11産業は1960年代前半までに現れたが、もっとも早いのはその他製造業(1959年)で、それ以外の大部分の産業は1962-1965年の間に導入し始め、もっとも遅いのは石油、ゴム産業の1966年である。第2に、各産業におけるコンピュータの普及速度はそれぞれ異なったが、その格差が大きくないことがわかる。

3. 普及要因の分析

新技術普及の要因は導入者に関するものと、新技術に関するものに分けて考えられる場合が多い。前者に関する要因には、企業の成長、企業の規模及び経営体質など、導入企業に関する要因があげられ、それらは主として需要側要因と考えられる。一方、後者については、新技術の進歩と価格変化の影響、新技術の収益性など、主として供給側の要因が指摘できる⁹⁾。ここでは、データの制約から、主に需要側の要因に分析を限定して普及要因の分析を行う。

以下の分析での被説明変数は表2の ϕ_i の値、つまり各産業のコンピュータの普及速度の推定値である。説明変数には需要側の要因をすべて取り込んだ方が望ましいけれども、データの制約と被説明変数のサンプル数が限られていることから、ここでは、重要と思われる4つの要因に関して回帰分析を行う。

われわれは仮説として次式を設定する。

$$\phi_i = \alpha_0 X_1^{\alpha} X_2^{\alpha} X_3^{\alpha} X_4^{\alpha} \epsilon_i \quad (4)$$

ここで、各変数は次の通りである。すなわち、

X_1 = 各産業の賃金水準の変化である。代理変数は各産業1人当たりの賃金水準の対前年度の変化率である。パラメーターが正になる場合、人件費の高い産業においては、コンピュータ導入の速度が速い(導入者数の増加が速い)ことを意味し、負になる場合、導入速度が遅い(導入者数の増加が遅い)ことを意味する；

X_2 = 各産業の従業者数である。代理変数は各産業の従業者数の対前年度の変化率である。パラメーターが正になる場合、雇用数の増加幅が大きい産業においては、コンピュータ導入の速度が速いことを意味し、負になる場合、導入速度が遅いことを意味する；

X_3 = 各産業のコンピュータの導入費用である。パラメーターが正になる場合、

コンピュータの導入費用が大きい産業においては、コンピュータ導入の速度が速いことを意味し、負になる場合、導入速度が遅いことを意味する；

X_4 = 各産業の成長率である。代理変数は各産業の付加価値の対前年度の変化率である。パラメーターが正になる場合、成長が速い産業においては、コンピュータ導入の速度が速いことを意味し、負になる場合、導入速度が遅いことを意味する；

ϵ_i = 攪乱項；

ϕ_i = 普及率の推定値(第2節で計算された値を使う)。

(4)式の両辺に対数をとって、次式が得られる。

$$\text{Log}\phi_i = \alpha_1 \text{Log}X_1 + \alpha_2 \text{Log}X_2 + \alpha_3 \text{Log}X_3 + \alpha_4 \text{Log}X_4 + \text{Log}\alpha_0 \quad (5)$$

各産業のデータ¹⁰⁾を(5)式に代入して、OLS法で計測して、次のような結果が得られた。

$$\text{Log}\phi_i = 1.977X_1 - 0.356X_2 - 0.094X_3 + 0.303X_4 + 1.222$$

(5.54) (-4.96) (-2.27) (2.38) (36.1)

$$r^2 = 0.905$$

この結果から、各要因について次のことが指摘できる。

賃金水準の変化(X_1)：係数は1%の水準で有意となった。係数が正になったことは、人件費の高い産業においては、コンピュータの導入が速いことを意味する。このことは人件費の圧力の増大によって、コンピュータと人間の代替関係が強くなることを示している。

従業者数の変化(X_2)：係数は1%の水準で有意となった。係数が負になったので、雇用者数の増加幅が大きい産業においては、コンピュータの導入速度が遅いことを意味している。すなわち、人員の導入に積極的な産業は、コンピュータの導入には相対的に弛緩する傾向がみられること、換言すれば、コンピュータは人間を代替する役割を果たしていることである。もし資本の投入が一定であるとすれば、雇用の拡大は労働集約度を上昇させ、コンピュータが役割を果たす余地を狭めることになるであろう。これは雇用の拡大とコンピュータ導入の拡大とは両立しがたいことを反映しているといえよう。

本稿での計測は直接的な量的雇用効果だけについてのものであり、計測結果として、コンピュータと労働力は代替関係であるとの結論が得られた¹¹⁾。すなわち、賃金の上昇率が大きい産業においては、コンピュータの導入が積極的に行われて、労

働力の雇用は相対的に小さくなる。賃金の上昇率が小さい産業においては、コンピュータの導入が相対的に遅くなって、雇用の増加は大きくなる。高度成長を経験した各産業においては業務と情報の量の増大に伴って、大量の労働力の投入が必要となり、賃金が大幅に上昇しつつある労働力の雇用を拡大するよりも、価格が低下しつつあるコンピュータを導入するほうが合理的であろうと考えられる。

コンピュータ導入費用(X_3)：係数は10%の水準で有意となった。係数が負になったことは、コンピュータの導入費用が高い産業においては、コンピュータの導入速度が遅いことを意味する。これは新技術の導入費用が高ければ高いほど、その技術の導入が遅くなるという一般的な結論と一致している¹²⁾。

産業の成長(X_4)：係数は10%の水準で有意となった。係数が正になったことは、成長率の高い産業においては、コンピュータの導入速度が速いことを意味する。経済の成長に伴って、業務の量が増大して、そこに発生した膨大なデータを処理し、その情報に基づいて適切な意志決定を行わなければならないために、コンピュータの導入が避けられなくなってくる。そこで、コンピュータ導入の目的は生産や、業務処理と意志決定の効率の向上、さらに生産性の向上を求めめるためのものであることを意味している。

コンピュータ導入におけるこの目的及び導入速度の違いを考慮すれば、コンピュータ導入の効果について考察することが必要であろう。コンピュータ導入の効果は生産性効果と構造効果に分けられる。生産性効果は、コンピュータの導入によって、導入産業(企業)の生産性向上が希望通りに達成できるかどうかの問題であり、構造効果はコンピュータ導入に伴って、産業構造はどのように変化したかの問題である。導入効果の本格的分析は本稿の範囲を超えるけれども、導入効果の分析は重要であり、また、本稿で取り扱った導入要因、特に従業者数の変化(X_2)と産業の成長(X_4)はコンピュータ導入の結果とも考えられることを考慮して、導入効果の問題を説明する必要があると思われる。そこで、以下では、この問題について考えることにする。

コンピュータ導入の生産性効果は直接効果(コンピュータを直接に中間財もしくは投資財として導入することによって生産性に与える影響のこと)、間接効果(コンピュータ関連製品が部品として組み込まれ、もしくは投資財として投入された産業の製品を利用することによって生じる生産性効果)、スピルオーバー効果(コンピュータ普及に伴ったただ乗り現象によって生じる生産性効果)の3つの部分に分けて考えられる。分析はコンピュータ技術をただ資本投資の一部分とみなすか、そ

れとも一つの新技术としてみなすか、視点によって反対の結論になるかもしれない。前者の研究としては Daniel(1994)があげられる。そこでは、コンピュータの導入は資本投資の一部分として取り扱われて、その投資が全資本投資のわずかの割合しか占めないことから、生産性に及ぼす効果を大きく評価できないと主張された(この結論がハードウェアの場合だけでなく、ソフトウェア及びスピルオーバー効果を考慮しても同じであると著者は主張した)。後者の研究には Goto & Suzuki(1989)があげられる。彼らは Griliches によって提出され、Jaffe によって発展された「技術距離」という概念を用い、エレクトロニクス関連技術を技術要因として取り扱い、それが全要素生産性に与える影響を分析し、有意な計測結果を得ている。

コンピュータ導入の構造効果は産業間の連鎖の観点から考えるものである。コンピュータの普及は2つのルートを通じて産業構造の変化を誘発したと考えられる。一つは生産性上昇効果の波及ルートである。上述のようにコンピュータ導入に伴う生産性上昇は産業によって異なったために、産業成長に格差が現れ、これまでの産業構造の下では優位にあった産業も、次第にそのウェイトの下落を招くようになってしまう。もう一つはコンピュータ産業における成長の連動効果の波及ルートである。この波及ルートは前方波及と後方波及に分けることができる。コンピュータ産業の成長を保証するには、関連する周辺産業群の成長と調和が不可欠である(前方波及効果)。例えば、コンピュータ関連産業に直接に中間財を供給する産業としては、農業、鉱業、食料品産業を除いたすべての製造業、サービス業がある。そこで、このような産業の結合によって新しい産業分野も生まれる。例えば、光技術とエレクトロニクス技術との融合がオプトエレクトロニクスを生み出したように(この産業の前方連関効果の研究は藤井・菊池(1992)があげられる)。一方、コンピュータ関連技術の製品を中間財として導入することによって、すなわち、コンピュータ技術と融合することによって、大きな成長が達成されたり、あるいは新しい成長の核となる産業も存在する(後方波及効果)。例えば、コンピュータ関連技術の進展はNC工作機械、ロボット産業の発展を可能にし、それらの産業の発展を大幅に推進した。前方、後方の波及効果は産業構造の変化をもたらすと推測できる。

要するに、経済の成長につれて、コンピュータ導入の必要性が高まり、導入者数が増加するけれども、コンピュータ導入費用などの制約によって、導入のメリットを考慮しながら導入するかどうかを企業は判断するであろう。導入するかどうかを決定する場合、企業が考慮する要因にはいろいろなものが考えられるけれども、本稿の計測によれば、雇用者数の増加がもたらす人件費の上昇とコンピュータ導入費

用の比較考量は導入決定のために考慮しなければならない重要な要因の一つであるといえよう。企業はこの代替関係にある要素費用を比較することによって、導入行動を決定すると考えられる。

4. 結び

本稿の分析によって、次のことが明らかになった。第1に、日本の製造業におけるコンピュータの普及形態はS字型を示した。第2に、格差は大きくないが、普及の速度は業種によって異なった。これは導入企業自身の条件の差異によって生じたものと考えられるので、その条件(つまり影響要因)を究明する必要がある。第3に、いくつかの普及の影響要因について考察し、計測を行った結果、コンピュータの普及と特に深い関係がある要因は人件費の変化、雇用者数の変化、コンピュータの導入費用及び産業の成長があげられる。

一方、以下のような問題を更に検討する必要があると思われる。第1に、原因分析における因果関係の問題についてである。本稿ではまずいくつかの要因及びその影響の方法を想定して、それに基づいて回帰分析を行うことによってそれらの諸要因と普及の変化率との関係を計測した。しかし、影響要因としてここで取り上げたものはコンピュータ普及の結果であるかもしれない。それ故に、仮定された因果関係をさらに明らかにする必要があると思われる。第2に、経済要因以外の影響要因について考慮する必要がある。普及要因の問題は単に経済学のみならず、制度や組織、文化など、より広範な社会経済の枠組みの中で捕らえられるべき側面もあるため、経済的因果関係のみでは問題を十分に説明できない場合も考えられるからである。第3に、ここで取り扱った諸要因のうち、需要側要因としてのコンピュータ教育の普及の影響と、供給側要因としてのコンピュータ技術の進歩及びコンピュータ価格の変化といった3つの要因の定量化を行うことである。そのことによって、これらの要因とコンピュータ普及との関係について計測することが可能となるであろう。

注 釈

本稿作成の過程で、田中康秀、新庄浩二、植松忠博、大谷一博各教授、萩原泰治助教授から大変有益なコメントを頂いた。また、本誌レフェリーから非常に有益なコメントと助言を頂いた。これらの方々に厚くお礼を申し上げたい。言うまでもなく、有り得べき誤りについてはすべて筆者の責任です。

- 1) E.Rogers(1962)は正規型曲線を使って、新技術の導入者を Innovaters, Early adopters, Early majority, Late majority, Laggards の5つのグループに分けている。また、Rogersはここで、新技術の普及は予見できない世界で引き起こされた不均衡状態に対して、異質性を含む各経済主体が順次に調整して行く過程であるとする。
- 2) Mansfield(1969)はアメリカの4つの産業(瀝青炭業、鉄鋼業、醸造業、鉄道)における12の技術の普及について研究を行った。彼は産業毎に一つの新技術を導入した企業の割合を時間に対してプロットして、すべての産業のすべての技術の普及形態は正の傾きをもったS字型曲線に近いことを示した；J.S. Metcalf(1970)は Lancashire 地方の繊維産業における3つの新技術の普及状況を分析している。彼は2つの指標(新技術に投資した企業の比率と新技術がもたらした生産高の比率)をタイムシリーズとクロスセクションの2つの方法で分析することによって、3つの新技術の普及はS曲線に従うとの結論を得た；A.A. Romeo(1975)は1950-1970年のアメリカの10産業におけるNC機器の普及を取り上げた。彼はMansfieldの手法に従って、その技術の普及が各産業においてS曲線に従うと主張した；S.W. Davies(1979)は戦後イギリス13産業における22の新技術の普及を検討した。彼はMansfieldよりも簡潔な理論的アプローチを使って、相対的に単純な新技術(グループA)とより複雑で費用が大きい新技術(グループB)とに分けて分析した。彼は後者のグループに比べて、前者のほうが新技術の普及は速いと主張している；このほかに、K. NorriesとJ. Vaizzey(1973), Z. Griliches(1957)などの研究があげられる。
- 3) ロジスティック曲線は新技術普及に関するデータを表す唯一の関数ではないかもしれない。例えば、正規分布の累積曲線もその普及過程を描くことができるはずである。ロジスティック曲線と正規分布の累積曲線は共にS字曲線であるけれども、両者の分布関数は異なっている。すなわち、標準正規分布の累積分布関数は $G_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}u^2} du$ になり、ロジスティック分布の累積分布関数は $G_2(x) = [1 + \exp(-\pi x/\sqrt{3})]^{-1}$ になり、両者の差 $G_2(x) - G_1(x)$ が存在し、その差は $X=0.7$ のところで最大値(0.0228)をとり、ロジスティック分布は標準正規分布より長い裾を持っている(Johnson & Kotz(1970)を参照)。ただし、両者はこのような差異があっても、ロジスティック分布は密度関数が正規分布と類似していることに注意すべきである。この類似性があるからこそ、裾の確率を問題にするのでなければ両者から得られる結果に理論上で大きな差はないといえよう。ロジスティック分布は分布関数及び分位点関数が明示的に書き表すことができる等の利点から数学的には取り扱いが容易であり、

データの回帰分析において、正規分布を代替する分析としてよく用いられる。

- 4) 1970年代以降、一部分の研究者がS曲線モデルにはいくつかの理由から不適切な点がある
と指摘した。第1に、そのモデルではただ新技術に対する積極性だけに関心が持たれ、新技
術を利用するときの合理性や収益性が利用者によって異なる面が考えられていない。第2に、
そのモデルでは、新技術の潜在導入者の数と新技術そのものの変化を考えていない。第3に、
そのモデルでは、新技術を導入する企業つまり需要側での導入過程しか考えていない。しか
し、導入の進展過程は需要者と供給者のいずれにとっても適用可能である。しかしながら、
新たなモデルは理論研究の段階に止まっていて、実証研究によって証明されたわけではない。
従って、モデルの現実性の面では問題があるといわざるを得ない。代表的な研究はP.David
(1975)、S.W. Davies(1979)、J.S. Metcalf(1981)などがあげられる。
- 5) この計測対象になるコンピュータは本体内部記憶容量が2000ビット以上のものである。
具体的な型別区分は次の通りである(ただし、(買)は買い取り価格、(R)は毎月のレンタル
価格の略号である)。①超大型：(買)9億円以上、(R)2000万円以上；②大型：(買)2億6
千万円-9億円、(R)600万円-2500万円；③中型：(買)1億-3億5千万円、(R)222万
円-800万円；④小型：(買)4000万円-1億円、(R)88万円-200万円；⑤超小型：(買)1000
万円未満、(R)10万円-20万円、である。以上の分類はJECC基準により、若干修正された
ものである。
- 6) (2)式は次のように導出される。

$$\Delta m_i = \lambda (n_i - m_i(t)) \Delta t$$

式の中で、 n_i = i産業の企業数； $m_i(t)$ = i産業のt時点でコンピュータをすでに導入した
企業数； Δm_i = i産業の Δt 時点での導入企業数； λ = t時点での導入率である。

上の式は次のような微分形式で表すこともできる。

$$dm_i = \lambda (n_i - m_i(t)) dt$$

ここで、

$$\lambda m_i(t) = \phi (m_i(t) / n_i)$$

この微分方程式の解は(2)式になる。

- 7) (2)式における 1_i は最初の導入年度と関連している。 ϕ_i はコンピュータがもたらす利益や、
導入企業の投資などによって決定される変数として、曲線の上昇するときの勾配を決定する
ものである。そのため、 ϕ_i は普及率定数(つまり普及速度)と考えられている。異なった産業
のもとに求められた ϕ の値をそれぞれ比較すると、産業間の普及速度の違いが分かる。
- 8) 一般的に、ロジスティック曲線は正規分布曲線を近似したものと考えられる。本稿でのロ
ジスティック曲線のシミュレーション効果については、この理論曲線と実際の曲線の相関係
数で大体把握することができる。しかしながら、回帰分析によって得られた理論曲線の説明
力をより厳密に検定するために、その誤差が正規分布に従うかどうかについての検定を行う

必要がある。ここで、正規性に関するパラメトリック検定を用いる。すなわち、尖度

$$(\gamma_1 = \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^4 \right] / \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2 \right]^2 \text{ の 4 次モーメント}) \text{ と 歪度 } (\gamma_2 = \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^3 \right] / \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2 \right]^{3/2} \text{ の}$$

3次モーメント)が正規分布のそれから乖離していることに対する検定に基礎をおいて、そして Bera & Jarqu(1982,1987)による正規性に対する次の検定をつくることができる：

$$BJ = \left[\frac{T}{6} \gamma_2^2 + \frac{T}{24} (\gamma_1 - 3)^2 \right]。誤差項が正規分布に従うという帰無仮説の下で、これは $\chi_{(2)}^2$ に$$

従う。本稿で取り扱った12産業に対する計測結果は次の通りである：BJ(鉱業・建設業)=3.37、BJ(土石・ガラス)=2.74、BJ(水産・食品)=3.19、BJ(紙・繊維・パルプ)=3.10、BJ(鉄鋼・金属)=4.39、BJ(機械)=3.87、BJ(化学)=4.58、BJ(石油・ゴム)=0.88、BJ(電気機械)=4.59、BJ(輸送機械)=2.37、BJ(その他製造)=2.97、BJ(ガス・電力)=0.80。観測値が20~30の場合、有意水準が5%の臨界値は3.26~3.17になる。本稿で取り扱った12産業の中で、鉄鋼・金属、機械、化学、電気機器の4つの産業のBJ値は臨界値より大きいので、正規性の仮説が棄却されたが、他の8つの産業のBJ値は臨界値より小さくなったので、正規性が証明される。従って、ロジスティック曲線を用いてもそれほど問題はないと考えられる。

- 9) 普及要因に関する研究については注(2)の文献を参照。
- 10) (5)式に使われた4つの指標は次のように作成した。コンピュータ導入費用のデータは通産省の「わが国の情報処理の現状」(昭和47年度版)におけるデータを、日本経済経営研究所の「Computer Report」の同年度のデータを参照して調整したものである。ここでデータの制約で1年度のデータしか使っていないので、コンピュータ性能の変化を考慮していない。ただし、他の指標との時間的整合性を考えて、日本銀行の「物価指数年報」が公表した指数(部門別投入・産出指数の電子・通信機器の指数を1970年基準にしたもの)を用いてデフレートしている。ここでの導入費用は①機械設備費：CPU、周辺装置、周辺記憶装置、オンライン端末装置のレンタル料、あるいは償却費(保険費を含む)；②消耗品など：カード、紙テープ費、磁気テープ費、プリント用紙費、電力・冷暖房費；③人件費：パンチャー、オペレーター、プログラマ、システムズ・エンジニアの平均給与；④外注費：委託計算費、鑽孔費・検孔費、プログラム作成委託費、プログラム購入費、その他；⑤その他：通信回線使用料、テープ輸送費、その他連絡費など、の項目の年額の合計額である。他の3つの指標のデータは「工業統計表」各年度版より算出した(賃金水準の変化は1969-70年のデータを使用し、従業者数の変化は負の成長の年度を避けるために、1962-63年のデータを使用し、産業の成長は1969-70年のデータを使用した。ただし、各年度に対しては3年間の平均値を計算して用いる)。賃金水準は労働省「毎月勤労統計要覧」の産業別賃金指数(1970年基準)、産業成長の付加価値は「国民経済計算」の国内総生産デフレタ(1970年基準)を利用して、実質化した値を使って賃金の変化率と成長率を算出した。
- 11) コンピュータと人間の関係は代替関係であるか、それとも補完関係であるかについては、考察の視点によって、結論が全く違うかもしれない。コンピュータの導入によって生じる雇用効果は量的変化と質的变化に分けられる。前者はコンピュータ導入の増加につれて、雇用

者数の増加幅の変化のことである。この変化はさらにコンピュータ導入者内部で生じた雇用量的変化(直接的雇用効果)とコンピュータ導入者と取引関係がある関連産業(企業)で生じた雇用量的変化(間接量的雇用効果)に分けられる。後者はコンピュータ導入の増加につれておこる雇用構造の変化のことである。この変化もさらにコンピュータ導入者内部で生じた雇用構造の変化(直接雇用構造効果)とコンピュータ導入者と取引関係がある関連産業(企業)で生じた雇用構造の変化(間接雇用構造効果)に分けられる。結論は研究者の立場(導入企業自身に限る視点か、それとも経済全体のマクロ的な視点か)によるのであるが、コンピュータ導入の増加と雇用変化の関係を全面的に把握しようとするなら、少なくとも以上の4つの効果を把握しなければならないといえよう。直接的雇用効果について、Osterman(1986)の研究があって、そこでコンピュータの導入がホワイトカラーに負の影響を与えるとの計測結果が得た。それ以外に、Dunkerley, M(1996)などがあげられる。間接量的雇用効果について代表的な研究としてはLeontief & Duchin(1985)があげられる。彼らはオフィスオートメーション技術が労働生産性の急速な上昇と同時に市場の地理的、規模的拡大をもたらし、雇用創出効果を持つことを明らかにしている。Osterman(1986)がコンピュータ導入のラグを考慮して、ホワイトカラーの雇用量に対する間接効果を計測して、正の符号を得たが、有意ではない。雇用構造の変化については青木司(1990)と高木彰(1992)などがあげられる。彼らはオフィスオートメーションの進展により、労働作業内容の変容及び新しいタイプの労働者の形成、さらに技術労働と直接労働の再編成、再結合の存否について記述的分析の視点から検討した。日本開発銀行(1996)の研究によると、アメリカでは90年代に入ってから活発になってきた情報関連投資がホワイトカラーに厳しい雇用情勢をもたらし、日本ではホワイトカラーを中心に厳しい雇用環境も予想される。

一方、我々は労働集約度、資本集約度とコンピュータ導入の変化との関係について時系列分析を試みた。計測は10産業(窯業、食料品、繊維、化学、石油・石炭製品、鉄鋼・非鉄金属・金属製品、一般機械、電気機械、輸送用機器、その他製造業)について行われ、窯業以外のすべての産業について有意な結果が得られた。すなわち、労働集約度の低下とコンピュータ普及の上昇との間には正の関係があり、10産業すべてにおいて、資本集約度が上昇すれば、コンピュータの普及も上昇することがわかった。この結果はコンピュータは労働と代替関係になるという考えを支持すると同時に、資本と補完関係になることも意味している。コンピュータ関連の技術と資本の補完関係についての文献として、例えば、Daniel, E.S(1994)、藤田実(1992)があげられる。前者はコンピュータに対する投資を資本投資の一部分として、コンピュータ導入の効果の計測を行った。後者はNC→FMS→CIMの進展に伴った資本、労働の再編成の実態を考察して、CIMの導入によって、企業は大幅な省力化(人減らし)に成功していると同時に、機械の稼働率も大幅に上昇したという事実を明らかにしている。

- 12) Mansfield(1969)は新技術の投資額が大きいほど、資金の調達が困難になって、リスクも大きくなるので、その技術の普及率は小さくなる傾向があることを検証した。本稿のコンピュータ普及率と導入費用の関係についての結論はそれと一致している。ただし、データの制約で本稿のコンピュータ導入費用は1972年のデータだけを使った。結論の偶然性を避ける

ために、我々は(5)式の検証対象産業から更にデータが揃う7つの産業(繊維、化学、石油石炭製品、鉄鋼業、電気機械、輸送用機械、電力・ガス産業)を選んで、1971-88年の間の各年のコンピュータ導入者数と導入費用の関係について、時系列分析を行った。電気機械産業(10%の水準で有意)以外に有意な結果が得られなかったが、すべての産業の係数は負になった。すなわち、コンピュータ導入費用が大きいほど、導入者数の増加が遅くなるというクロスセクションの測定結果を支持する結論が得られた。有意性が低い理由は企業がコンピュータを導入する際、導入費用よりもまず必要性を優先するためと考えられる。(5)式のクロスセクションの結果において導入費用の係数の値とその有意性が最も低いのは同じ理由であろうと考えられる。

参考文献

- 青木司(1990)『情報化と技術者』青木書店
- 清川雪彦(1991)「技術普及の経済分析」『国民経済研究』1991年10月号
- 高木彰(1992)「オートメーションと技術的労働」『立命館大学人文科学研究所紀要』55号
- 日本電子計算機株式会社『JECC・コンピューター・ノート』各年度版
- 日本経営情報開発協会『コンピュータ白書』各年度版
- 日本情報処理学会『コンピュータ・ユーザー調査年報』各年度版
- 日本開発銀行(1996)「米国における情報関連投資の要因・経済効果分析と日本の動向」『調査』第208号(1996年3月)
- 藤井美文、菊池純一(1992)『先端技術と経済(シリーズ現代の経済)』、岩波書店
- Coombs, R., P. Saviotti & V. Walsh(1987), *Economics and Technological Change*, London: Macmillan (竹内啓・廣松毅訳『技術革新の経済学』新世社)
- Daniel, E.S(1994) "Computers and Output Growth Revisited: How Big is the Puzzle?," *Brookings Papers on Economic Activity* No.2, pp.273-333
- Davies, S.(1979) "*The Diffusion of Process Innovation*," Cambridge University Press
- Dunkerley, M.(1996) *The Jobless Economy?*, Polity Press
- Goto, A & Suzuki, K(1989) "R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries," *The Review of Economics and Statistics* Vol.71, pp.555-564
- Grilliches, B.Z(1957) "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological change," *Econometrica* Vol.25, pp.501-522
- Jarqu, C. M & Bera, A. K(1987) "A Test for Normality of Observations and Regression Residuals," *International Statistical Review* Vol.55, pp.167-172
- Johnson, N.L. & Kotz, S.(1970) "*Continuous Univariate Distributions-2*," Wiley
- Leontief, W. & Duchin, F.(1985) "*The Future Impact of Automation on workers*," Oxford

- Mansfield, E. (1968) *"Industrial Research and Technological Innovation,"* London Longman
- Mansfield, E. (1969) "Technical Change and The Rate of Imitation," *Econometrica* Vol.29, pp. 741-766
- Metcalf, J.S. (1981) "Impulse and Diffusion in the study of Technical Change," *Futures* Vol.13, pp.347-359
- Norriis, K & J, Vaizy (1973) *"The Economics of Research and Technology,"* London: Geoge Allen & Unwinn
- Osterman, P. (1986) "The Impact of Computers on the Employment of Clerks and Managers," *Industrial and Labor Relations Review* Vol.39, pp.175-186
- Rogers, E. M (1962) *"Difussion of Innovation,"* N.Y. : Free Press.
- Romeo, A. (1975) "Interindustry and Interfirm Differences in the Rate of Diffusion of an Innovation," *Review of Economics and Statistics* Vol.57, pp.311-319
- Romeo, A. (1977) "Rate of Immitation of a Capital-Embodied Process Innovation," *Economica, n, s* Vol.44, pp.63-69