

日本の主要4産業の技術進歩のパターンと学習効果 —1970, 80年代の比較— (下)

佐久間昭光

6 技術進歩の回帰分析と仮説の検証

経験、学習が技術進歩に与えるインパクトについては、様々な観点から論じられてきた。J. K. Arrow は、マクロの経済成長モデルに学習、経験を内生変数として導入し、「技術変化一般は、経験に帰せられ、生産活動自体が問題を提起し、それに対する望ましい反応が時間をつうじて選択されていく」。また、「生産され、使用に供せられる個々の新しい機械は生産が行なわれる環境を変え、その結果、持続的な刺激をともなった学習が行なわれる」としている²⁰⁾。

ここで問題になるのは、どのような変数を経験の蓄積量として用いるかということである。ボストン・コンサルティング・グループなどの実証例では、平均可変費用は累積生産量の減少関数であることが報告されており、また、A. M. Spence は累積生産量を単位費用と関連づける曲線を習熟曲線と呼ぶとしている²¹⁾。

アローは、産出量が一定の場合には、学習に対する刺激も一定となり、行なわれる学習は次第に均衡的な行動に近づくとして、累積生産量ではなく、累積粗投資を経験を表す指標として用いている²²⁾。また、資本、労働の効率を向上させる変数としては、累積研究開発費のような変数を考えることもできる。しかし、設備投資、需要、研究開発費の3つの変数は互いに密接な関係を持った変数であり、ある変数が他の変数を決定する先決変数でなければならないという先験的な理由はない²³⁾。以下で分析の対象とする4つの4桁

産業に関しては、研究開発費に関するデータが利用できないという理由もあり、本稿では、累積粗生産量、累積粗投資の2つを経験を表す変数として用い、2通りの回帰分析を行なうことにする。

以下の節では、70年代、80年代をつうじて高い成長を遂げた先端技術産業の集積回路産業、コンピュータ産業、この時期には成熟期に入ったと言われる自動車産業、また、これらの産業と対照するために成熟期から衰退期に入ったとみられる鉄鋼業の4つの産業の技術進歩を分析の対象とする。これらの産業は、時期を異にしているが日本経済の成長の牽引車となった産業であり、また、この分析期間においては、それぞれ異なった発展段階に位置している。ここでの目的の1つは、産業の発展段階と技術進歩のパターンとの対応関係を検証することにある。この理由から、以上の4つの産業が選択されている。

また、本稿では、それぞれの産業の技術進歩について、70年代と80年代とに分けて回帰分析を行なうが、その目的の第一は、産業の発展にともなって、その技術進歩のパターンが時系列的にどのように変化していくのかを検証することにある。そして、その第二は、4つの産業の技術進歩に関して、70年代と80年代とでは異なる産業横断的特性が、共通して作用しているか否かを検証し、日本の製造業一般の技術進歩の傾向を推測することにある。

分析期間は、4産業ともに、71—90年、70年、80年代の3期間であり、それぞれの産業、期間について、(17)、(18)式で示されるような回帰分析を行なう²⁴⁾。

$$\ln(AV/K)_t = \beta_1 + \beta_3 \ln r_t + u_{1t} \quad (17)$$

$$\ln(AV/L)_t = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \ln w_t + u_{2t}$$

$$\ln(AV/K)_t = \beta_1 + \beta_3 \ln r_t + \beta_4 I_t + u_{1t} \quad (18)$$

$$\ln(AV/L)_t = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \ln w_t + \beta_5 I_t + u_{2t}$$

(18)式は、(上)(11)式と同一の回帰式で、その被説明変数は、資本、労働の生産性 (AV/K , AV/L) の対数値であり、ここでは、産出量は付加価値 (AV) で測ってある。また、その説明変数は実質レンタル率 (r) と

実質賃金率 (w) の対数値および経験変数 (I : 累積粗投資あるいは累積粗生産量) である。(17) 式は、実質要素価格の変動が、要素の選択に及ぼす単独の効果を計測するもので、経験変数の追加的説明力をテストするために用いる。これらの関係式において、 u_1, u_2 は攪乱項を、添字 t は時間 (年) を表す。各変数の測定方法については、(上) の付録で述べてある。

次節では、4つの産業の3期間にわたる回帰の結果にもとづいて、各産業・各期間の技術進歩の特徴を技術進歩の局所性仮説およびその偏向性の視点から分析していく。そこでは、(上) 2節で述べたディヴィドの技術進歩の局所性仮説およびその偏向性に関する統計的な検証を行なうが、以下では、これらの仮説の検証方法について述べておくことにする。まず、局所性仮説は、次のように要約することができる。すなわち、企業、産業の行なう技術選択は、初期時点で選択された技術の近傍に局所化されており、それは要素価格の変動から影響を受けず、技術進歩は経験の蓄積によって進展していく。この仮説は、(18) 式のパラメーターを用いて、 $\beta_3=0$ および $\beta_4>0$ 、 $\beta_5>0$ という形に定式化することができ、その統計的の検証は、2つの独立の帰無仮説 $\beta_3=0$ および $\beta_4=\beta_5=0$ の検定をつうじて行なっていくことにする。例えば、帰無仮説 $\beta_3=0$ が棄却されず、 $\beta_4>0$ 、 $\beta_5>0$ で帰無仮説 $\beta_4=\beta_5=0$ が棄却されるときには、この局所性仮説が妥当することになる。

ディヴィドの技術進歩の偏向性は、要素価格の変動をコントロールした上で、次の基準にしたがって判定される。すなわち、労働生産性の増加率が、資本のそれより大きいときは、技術進歩は労働節約的であり、逆であれば、それは資本節約的である、そして、2つの生産性の増加率が等しいときには、技術進歩は中立的と判定される。(18) 式のパラメーターを用いると、この偏向性は、 $\beta_5>\beta_4$ 、 $\beta_5<\beta_4$ 、 $\beta_5=\beta_4$ にしたがって、それぞれ、労働節約的、資本節約的、中立的となる。この仮説の検定は、 $\beta_5-\beta_4=0$ とし、その推定値の差 (b_5-b_4) の符号を確認した上で t -検定を行なえばよいことになる。なお、この判定が有効であるためには、推定値 b_4, b_5 の少なくとも1つが、有意にゼロと異ならなければならない。

また、ヒックスの技術進歩の偏向性についても、回帰のパラメーターをCES生産関数のそれに変換したものと、(上)4節の偏向性の基準によって、ディヴィドの偏向性の場合と同様の手続きで統計的な判定を行なうことにする。

7 技術進歩のパターンとその誘因の変化

表3は、4つの産業の3期間にわたる回帰分析の結果を示すが、紙幅の関係で、(18)式の計算結果のみを掲げてある。また、表3では、(18)式における経験変数を累積粗投資、累積粗生産量とした2通りの計算結果をそれぞれ(A)、(B)で示してあり、パラメーター β_i の推定値は $b_i(i=1, 2, \dots, 5)$ で表してある(カッコ内は標準誤差を示す)。同表の回帰係数 b_3 は代替の弾力性(σ)の推定値である。また、ここでは、回帰係数 b_4, b_5 をそれぞれ資本、労働のラーニング係数と呼ぶことにする。なお、コンピュータ産業では、累積粗生産量の適切なデータが利用できないため、この変数の代りに、累積労働投入量を用いている。

表4は、(上)の(12)式にしたがって、(18)式の推定値をCES生産関数のパラメーターのそれに変換したもので、同表の(A)', (B)'は、それぞれ、表3の回帰式(A)、(B)に対応している。表4における α, β はそれぞれ資本、労働の分配に関するパラメーターで、 $\rho=1-(1/\sigma)$ であり、 λ_K, λ_L はそれぞれ資本、労働の増大係数の増加率である(カッコ内の数字は標準誤差で、その計算方法は(上)5節で示してある)。

まず、表3にもとづいて、70年代の4つの産業の技術進歩に関して、ディヴィドの技術進歩の局所性仮説と偏向性についての検証を進めていくことにしよう。70年代の4産業の代替の弾力性の推定値 b_3 を見ると、自動車産業では、(A)、(B)ともに、それは負になっているが、他の3産業では、予想どおりに正で、ほぼ0.2~0.3の値を示している。しかし、これらの推定値の標準誤差はいずれも大きな値を示し、4つの産業において、帰無仮説 $\beta_3=0$ は棄却できない。

表3 技術進歩のパターン(回帰係数)

1970年代								
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$b_2 - b_4$	\bar{R}^2	d
累積回路産業								
(A)	0.1625 (0.1628)	1.1401 (0.3862)	0.3036 (0.3815)	7.9356 (1.8463)	7.4305 (2.7612)	-0.5051 (3.5528)	0.8290	2.093
(B)	0.0069 (0.1397)	1.1221 (0.3299)	0.2912 (0.3679)	1.1121 (0.2512)	1.0575 (0.3715)	-0.0547 (0.4782)	0.8365	2.056
自動車産業								
(A)	0.2653 (0.3188)	1.1106 (0.8290)	-0.2302 (0.5329)	0.1227 (0.1198)	0.3392 (0.1687)	0.2165 (0.2730)	0.9724	1.578
(B)	0.3434 (0.1666)	1.3887 (0.4484)	-0.1631 (0.4155)	0.0067 (0.0044)	0.0150 (0.0061)	0.0083 (0.0098)	0.9758	1.677
コンピュータ産業								
(A)	0.2713 (0.3805)	1.4242 (0.9262)	0.2452 (0.6005)	1.7866 (0.8506)	1.4145 (1.0743)	-0.3821 (1.8579)	0.9464	0.991
(B)	0.4248 (0.2889)	1.4514 (0.7199)	0.2969 (0.5823)	1.6529 (0.7326)	1.1638 (0.9221)	-0.4831 (1.5938)	0.9466	1.041
鉄鋼産業								
(A)	-1.3396 (0.5756)	3.1532 (1.2273)	0.3405 (0.7982)	0.0363 (0.0690)	0.0826 (0.0657)	0.0463 (0.1285)	0.9828	1.384
(B)	-1.2519 (0.3539)	3.2927 (0.7941)	0.3529 (0.7095)	0.0051 (0.0083)	0.0109 (0.0081)	0.0058 (0.0155)	0.9826	1.427
1980年代								
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$b_2 - b_4$	\bar{R}^2	d
累積回路産業								
(A)	0.8326 (0.1446)	1.4500 (0.2090)	0.8635 (0.6010)	-0.1034 (0.0723)	-0.0058 (0.0959)	0.0976 (0.1377)	0.9476	0.867
(B)	0.7295 (0.1374)	1.5188 (0.2114)	0.9496 (0.6078)	-0.0082 (0.0090)	0.00005 (0.0119)	-0.0062 (0.0167)	0.9414	0.795
自動車産業								
(A)	0.4187 (0.1429)	2.1924 (0.2598)	1.4211 (0.5710)	0.8618 (0.0249)	-0.0148 (0.0527)	-0.0766 (0.0675)	0.9913	1.778
(B)	0.4912 (0.1179)	2.0866 (0.1862)	1.3476 (0.5594)	0.9025 (0.9010)	-0.0004 (0.0022)	-0.0023 (0.0028)	0.9913	1.770
コンピュータ産業								
(A)	1.1817 (0.0921)	1.4062 (0.1577)	1.6036 (0.5212)	0.0933 (0.0825)	0.0192 (0.0909)	-0.0740 (0.1563)	0.9855	1.657
(B)	1.1419 (0.1238)	1.4338 (0.2199)	1.5900 (0.5154)	0.1642 (0.1450)	0.0390 (0.1608)	-0.1252 (0.2749)	0.9856	1.647
鉄鋼産業								
(A)	-2.6975 (0.3487)	5.6280 (0.7558)	2.0103 (0.4566)	0.1568 (0.0264)	-0.0323 (0.0482)	-0.1891 (0.0533)	0.9963	2.190
(B)	-1.8494 (0.2168)	4.5738 (0.4468)	1.9330 (0.4846)	0.0130 (0.0023)	-0.0022 (0.0044)	-0.0152 (0.0056)	0.9961	2.206
1971-90年								
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$b_2 - b_4$	\bar{R}^2	d
累積回路産業								
(A)	0.5601 (0.1166)	1.4016 (0.1816)	1.1216 (0.2832)	0.0244 (0.0773)	0.0828 (0.1040)	0.0585 (0.1390)	0.8124	0.686
(B)	0.5537 (0.1116)	1.4306 (0.1674)	1.1589 (0.2670)	0.0053 (0.0103)	0.0094 (0.0132)	0.0041 (0.0178)	0.8127	0.676
自動車産業								
(A)	0.3587 (0.0874)	1.6322 (0.2150)	0.2047 (0.2207)	0.0496 (0.0190)	0.1297 (0.0335)	0.0800 (0.0475)	0.9783	0.944
(B)	0.4041 (0.0684)	1.7316 (0.1804)	0.2303 (0.2034)	0.0022 (0.0008)	0.0055 (0.0014)	0.0033 (0.0020)	0.9782	0.972
コンピュータ産業								
(A)	0.8974 (0.0941)	1.2339 (0.1834)	0.3016 (0.2409)	0.1180 (0.0873)	0.3804 (0.1051)	0.2024 (0.1610)	0.9172	0.394
(B)	0.8511 (0.0990)	1.1588 (0.2096)	0.1862 (0.2557)	0.3088 (0.1279)	0.6717 (0.1631)	0.3628 (0.2542)	0.9337	0.453
鉄鋼産業								
(A)	-1.8048 (0.1869)	4.2478 (0.4723)	1.0515 (0.3478)	0.0878 (0.0170)	0.0202 (0.0292)	-0.0676 (0.0433)	0.9897	1.352
(B)	-1.4268 (0.1159)	3.8057 (0.2837)	0.8116 (0.3091)	0.0081 (0.0016)	0.0040 (0.0027)	-0.0041 (0.0039)	0.9896	1.389

(注) (A), (B)の経験変数は、それぞれ累積粗投資、累積生産額で、()内は標準誤差を示す。

表4 技術進歩のパターン (CES生産関数のパラメーター)

1970年代		α	β	ρ	λ_K	λ_L	$\lambda_L - \lambda_K$
集積回路産業	(A)'	1.4014 (0.9075)	0.0328 (0.1104)	2.2941 (4.1397)	11.3946 (7.2670)	10.6693 (3.8510)	-0.7253 (5.3851)
	(B)'	0.9773 (0.4718)	0.0207 (0.0840)	2.4340 (4.3384)	1.5690 (0.9501)	1.4919 (0.5164)	-0.0771 (0.7027)
自動車産業	(A)'	3.1663 (4.8735)	394.24 (6346.4)	-5.3440 (10.0553)	0.9997 (0.1365)	0.2757 (0.0488)	0.1760 (0.1512)
	(B)'	8.2141 (36.996)	41024.5 (1182909.)	-7.1325 (15.625)	0.0058 (0.0056)	0.0129 (0.0022)	0.0071 (0.0062)
コンピュータ産業	(A)'	0.3307 (1.3885)	0.0010 (0.0146)	3.0785 (9.9895)	2.3802 (2.9572)	1.8739 (0.4868)	-0.5063 (2.8516)
	(B)'	0.2391 (0.8924)	0.0019 (0.0197)	2.3676 (6.6035)	2.3511 (2.9248)	1.6639 (0.4630)	-0.6871 (2.8184)
鉄鋼産業	(A)'	51.108 (392.39)	0.0049 (0.0515)	1.9366 (6.8836)	0.0551 (0.1676)	0.1252 (0.0757)	0.0701 (0.1174)
	(B)'	34.722 (216.40)	0.0031 (0.0320)	1.8336 (5.6969)	0.0079 (0.0209)	0.0169 (0.0097)	0.0090 (0.0151)
1980年代		α	β	ρ	λ_K	λ_L	$\lambda_L - \lambda_K$
集積回路産業	(A)'	0.3813 (0.2509)	0.0771 (0.1339)	0.1580 (0.8060)	-0.7576 (3.1379)	-0.0424 (0.8501)	0.7151 (2.4891)
	(B)'	0.4638 (0.2138)	0.0937 (0.1484)	0.0531 (0.6740)	-0.1227 (1.4219)	0.0009 (0.2282)	0.1236 (1.2757)
自動車産業	(A)'	0.7448 (0.1174)	0.1592 (0.1010)	-0.2963 (0.2827)	-0.1468 (0.1782)	0.0352 (0.0840)	0.1820 (0.1276)
	(B)'	0.6945 (0.1152)	0.1476 (0.1072)	-0.2579 (0.3090)	-0.0073 (0.0108)	0.0010 (0.0049)	0.0083 (0.0074)
コンピュータ産業	(A)'	0.4786 (0.1302)	0.1991 (0.0969)	-0.3764 (0.2027)	-0.1545 (0.0924)	-0.0319 (0.1738)	0.1227 (0.1736)
	(B)'	0.4876 (0.1386)	0.1979 (0.0929)	-0.3711 (0.2039)	-0.2783 (0.1693)	-0.0661 (0.3211)	0.2122 (0.3168)
鉄鋼産業	(A)'	3.8261 (1.1089)	0.2328 (0.0437)	-0.5026 (0.1130)	-0.1552 (0.0631)	0.0320 (0.0358)	0.1872 (0.0457)
	(B)'	2.6033 (0.6062)	0.2443 (0.0580)	-0.4827 (0.1297)	-0.0139 (0.0066)	0.0024 (0.0036)	0.0163 (0.0045)
1971-90年		α	β	ρ	λ_K	λ_L	$\lambda_L - \lambda_K$
集積回路産業	(A)'	0.6069 (0.0959)	0.1739 (0.0662)	-0.1084 (0.2251)	-0.2005 (0.6974)	-0.6812 (2.2632)	-0.4807 (2.0508)
	(B)'	0.6202 (0.0864)	0.1805 (0.0630)	-0.1371 (0.1988)	-0.0333 (0.0769)	-0.0592 (0.1658)	-0.0259 (0.1423)
自動車産業	(A)'	0.1733 (0.3768)	0.0001 (0.0006)	3.8859 (5.2683)	0.0624 (0.0377)	0.1630 (0.0192)	0.1006 (0.0364)
	(B)'	0.1730 (0.3068)	0.0001 (0.0008)	3.3417 (3.9472)	0.0029 (0.0017)	0.0071 (0.0009)	0.0042 (0.0016)
コンピュータ産業	(A)'	0.0528 (0.1331)	0.0009 (0.0047)	2.3153 (2.6474)	0.2691 (0.1923)	0.5590 (0.1344)	0.2899 (0.1666)
	(B)'	0.0131 (0.0781)	0.00004 (0.0005)	4.0975 (6.6441)	0.3843 (0.2559)	0.8357 (0.1591)	0.4514 (0.2105)
鉄鋼産業	(A)'	5.5644 (2.4593)	0.0980 (0.0489)	-0.0490 (0.3145)	-1.7046 (11.246)	0.3929 (3.1877)	1.3117 (8.0684)
	(B)'	5.8013 (3.3534)	0.0533 (0.0482)	0.2322 (0.4693)	0.0432 (0.0770)	0.0212 (0.0223)	-0.0220 (0.0558)

(注)(A)',(B)'は、それぞれ、表3の回帰(A),(B)に対応している。また、()内は標準誤差を示す。

70年代では、4つの産業において、推定値 b_4 と b_5 は、推定式 (A), (B) ともに、予想どおり、すべて正になっている。表5は、表3の (A) の場合についての帰無仮説 $\beta_4 = \beta_5 = 0$ の検定の結果を示しているが、この帰無仮説は、鉄鋼産業では、有意水準5%で、また他の3産業では、同1%で棄却される。すなわち、70年代では、4つの産業において、実質要素価格のデータに経験に関する2つのデータを付け加える効果は、高度に有意になっている²⁵⁾。このことと帰無仮説 $\beta_3 = 0$ が棄却されないことを併せて、70年代の技術進歩に関しては、4つの産業のいずれにおいても、ディヴィドの技術進

表5 帰無仮説 $\beta_4 = \beta_5 = 0$ の検定

	回帰によって説明される平方和						残差		F-値
	$X_2, X_3,$ X_4, X_5 (1)	自由度	X_2, X_3 (2)	自由度	X_4, X_5 の追加 (3)	自由度	$X_2, X_3,$ X_4, X_5 (4)	自由度	
集積回路									
70年代	9.136	4	6.278	2	2.858	2	1.426	15	15.026**
80年代	20.297	4	20.159	2	0.138	2	0.876	15	1.178
71-90年	28.937	4	28.797	2	0.139	2	5.856	35	2.399
自動車									
70年代	14.853	4	14.298	2	0.554	2	0.331	15	12.559**
80年代	25.594	4	25.512	2	0.082	2	0.177	15	3.472
71-90年	41.771	4	40.506	2	1.265	2	0.832	35	26.625**
コンピュータ									
70年代	8.004	4	7.002	2	1.001	2	0.353	15	21.256**
80年代	12.471	4	12.445	2	0.025	2	0.144	15	1.322
71-90年	21.076	4	19.658	2	1.418	2	1.693	35	14.659**
鉄鋼									
70年代	56.317	4	55.858	2	0.459	2	0.777	15	4.425*
80年代	66.698	4	66.197	2	0.501	2	0.196	15	19.137**
71-90年	125.199	4	122.847	2	2.352	2	1.172	35	35.112**

(注1) 表の (1), (2) 列は、それぞれ (18), (17) の回帰によって説明される平方和を示し、(3) 列は、回帰 (17) に経験変数に関する2つのデータを追加することによって生じる説明される平方和の増加を示す (注25参照)。また、(4) 列は回帰 (18) の残差平方和を表す。

(注2) **, *は、それぞれ帰無仮説 $\beta_4 = \beta_5 = 0$ が有意水準1%, 5%で棄却されることを示す。

歩の局所性仮説が妥当することになる。

引き続き、表3によって、70年代のディヴィッドの意味での技術進歩の偏向性についてみておこう。この表の $(b_5 - b_4)$ とその標準誤差が示すように、70年代においては、4産業のいずれにおいても、帰無仮説 $\beta_5 - \beta_4 = 0$ は棄却されない。この結果の解釈は、産業ごとに異なり、つぎのようになる。

まず、鉄鋼産業では、表3の(A)、(B)ともに、切片 b_1 とダミー変数に対応する係数 b_2 以外には、有意な係数は無く、その技術進歩の偏向性を判定することはできない。自動車産業の場合には、回帰(B)では、 b_4, b_5 はともに正で、それぞれ(片側、以下同じ)10%および1%水準で有意である。また、係数の差 $(b_5 - b_4)$ は正で、その t -値は他の3産業に比べて大きく、(A)、(B)ともに確率25%で棄却域に入る。つまり、この産業の70年代の技術進歩は、統計的な信頼度は低いが、ディヴィッドの意味で労働節約的傾向を示していると言うことができる。

これらの在来型に属する2つの産業に対して、70年代には新産業であった集積回路、コンピュータの両産業の技術進歩は明確な特徴を示す。これら2つの産業では、回帰(A)、(B)ともに、係数 b_4, b_5 は正であって、集積回路産業では、それらはともに、1%水準で有意であり、コンピュータ産業では、回帰(A)では、 b_4 は10%強の水準で有意で、 b_5 は、(A)、(B)ともに5%水準で有意である。係数 b_4, b_5 が正で有意であることと係数の差 $(b_5 - b_4)$ がゼロと有意に異なることから、70年代のこれらの2つの産業の技術進歩は、ディヴィッドの意味で中立的であったということが出来る。これらの2つの新産業では、ディヴィッドの技術進歩の局所性仮説が妥当し、その技術進歩は、要素価格の変動からは有意な影響を受けず、また、それは経験の蓄積に主導され、労働と資本の生産性がほぼ同等の率で増大する中立的なものであったのである。

次に、回帰のパラメーターをCES生産関数のそれに変換した表4によって、70年代の4産業のヒックスの意味での技術進歩の偏向性をみていくことにしよう。この期間においては、4産業とも表3の推定値 b_3 の絶対値は小さ

いのに対して、その標準誤差は大きい。このため、パラメター ρ の推定値の標準誤差は大きくなり、それは4産業のすべてにおいて有意ではない²⁶⁾。自動車産業では、代替の弾力性の推定値は負となっており、また、鉄鋼産業では、表4の(A)'、(B)'において、パラメター ρ 、 λ_K 、 λ_L は、すべて有意ではなく、これら2つの産業では、ともに、ヒックスの意味での技術進歩の偏向性を判定することができない。

集積回路、コンピュータ産業においても、 ρ は有意ではないが、集積回路産業では、(A)'、(B)'で、労働および資本の増大係数の増加率 λ_L 、 λ_K は、それぞれ、1%、5%水準で有意であり、その差 $(\lambda_L - \lambda_K)$ は有意にゼロと異なる。また、コンピュータ産業では、(A)'、(B)'で、 λ_K は有意ではないが、 λ_L は1%水準で有意であり、 $(\lambda_L - \lambda_K)$ は有意にゼロと異なる。したがって、これらの2つの産業では、ヒックスの意味でも、その技術進歩は中立的であったのである。

引き続き、表3によって、80年代の4産業の技術進歩の特徴をディヴィドの技術進歩の局所性仮説の視点から見ていくことにしよう。4産業とも代替の弾力性の推定値 b_3 は、80年代に入ると70年代に比べて著しく増大し、0.9(集積回路産業)から1.9(鉄鋼産業)の値を示し、それは、集積回路産業では、5%水準で、また他の3産業では、1%水準で有意である。したがって、80年代においては、4産業のすべてにおいて、その技術選択は、要素価格の変動から有意な影響を受けており、ディヴィドの技術進歩の局所性仮説は棄却されることになる。

さらに、表5で示されるように、帰無仮説 $\beta_4 = \beta_5 = 0$ は、鉄鋼産業では、1%水準で棄却されるが、他の3産業では棄却されない。集積回路、コンピュータ、自動車の3産業では、ディヴィドの局所性仮説の2つの条件が、ともに成立せず、資本および労働の生産性でみた技術進歩は、70年代のように学習によって主導されるのではなく、要素価格の変動に反応的で、資本による労働の代替によって進展しているのである。但し、集積回路産業においては、回帰(A)において、資本のラーニング係数が負で、それは10%水

準で有意であり、また、 $(b_5 - b_4)$ の t -値は、確率25%で棄却域に入り、その技術進歩はディヴィドの意味で労働節約的傾向を示している。また、自動車産業においては、70年代とは異なり、その技術進歩は、集積回路産業の場合と同様な意味で、資本節約的傾向を示している。

J. R. ヒックスは2種類の発明を区別し、諸要素の相対価格の変化の結果である発明を『誘導的』と呼び、その他のものを『自発的』発明と呼んでいる²⁷⁾。既に見てきたように、4つの産業の80年代の技術進歩は、いずれも誘導的であったが、これに対して、これらの産業の70年代の技術進歩は自発的であり、その内容は、ディヴィド・モデルで説明されるような学習主導的なものであったのである。ここでは、このようなタイプの技術進歩を学習主導的と呼ぶことにする。

80年代の集積回路、自動車、コンピュータの3産業では、ディヴィド、ヒックスの技術進歩の偏向性は、明確に判定することができないが、鉄鋼産業の場合には、その80年代の技術進歩のパターンが他の3つの産業と異なり、明かな偏向性を示す。この産業においては、回帰(A)では、80年代における代替の弾力性の推定値は1.9で、その95%信頼区間は(1.05, 2.97)であり、それは有意に1より大きく、その技術進歩は、明らかに誘導的である²⁸⁾。また、帰無仮説 $\beta_4 = \beta_5 = 0$ は有意水準1%で棄却され、その技術進歩は、同時に学習型にもなっている。さらに、(A)、(B)において、労働のラーニング係数 b_5 は負で有意ではないが、資本ラーニング係数 b_4 は正であり、その差 $(b_5 - b_4)$ は負で、ともに1%水準で有意であり、この産業の80年代の技術進歩は、ディヴィドの意味で資本節約的である。また、表4の(A)'、(B)'において、 ρ および労働と資本の増大係数の増加率の差 $(\lambda_L - \lambda_K)$ はともに1%水準で有意で、その符号はそれぞれ負、正になっており、その技術進歩は、ヒックスの意味でも、資本労働節約的になっている²⁹⁾。

最後に、表3、4、5によって、4産業の1971—90年の20年間にわたる期間における技術進歩の特質をその偏向性を中心に見ておくことにしよう。この期間の回帰には、鉄鋼産業の(A)、(B)を除いて、正の系列相関が存在

するが、ここでは、これらの結果を(注30)の回帰分析によって補足しながら、自動車、コンピュータ、鉄鋼、集積回路産業の順にその特質を見ていくことにする³⁰⁾。

自動車、コンピュータの2産業では、2つの係数の差($b_5 - b_4$)は正で、自動車産業では、表3の回帰(A)、(B)のそれぞれにおいて、5%、10%水準で有意である。コンピュータ産業では、その差は、(B)では、10%水準で有意である。したがって、71—90年の20年間においては、自動車産業の技術進歩は、ディヴィドの意味で労働節約的であることは明かである。コンピュータ産業の場合には、回帰(A)と(B)では、結果が若干異なるが、いずれによっても、労働節約的傾向を見いだすことができる。また、表4では、2つの産業において、 ρ の推定値は正で有意ではないが、(A)'、(B)'で、 λ_L 、 λ_K は、ともに正で有意であり、その差もまた正で有意である。したがって、この2つの産業技術進歩は、 ρ は有意ではないが、ヒックスの意味でも、労働節約的であったとすることができる。

鉄鋼産業では、2つの係数の差($b_5 - b_4$)負で、表3の回帰(A)においては、10%水準で有意であり、80年代の10年間ほど明確な形ではないが、この期間の技術進歩は、ディヴィドの意味で資本節約的である。

最後に、集積回路産業では、表3の回帰の結果では、同期間における、この産業の技術進歩のパターンを判定することができない。しかし、注30の各変数の階差をとった回帰の結果では、その技術進歩は、($b_5 - b_4$)の t -値は十分ではないが、ディヴィドの意味で労働節約的になっている。

以上においては、4つの産業の3期間における技術進歩の特質を見てきたが、ここで、これまでの分析の結果を要約しておくことにしよう。

(1) 70年代においては、集積回路、自動車、コンピュータ、鉄鋼の4つの産業のいずれにおいても、ディヴィドの技術進歩の局所性仮説が妥当し、その技術進歩は、要素価格の変動とは独立に進展し、学習によって主導されてきた。

(2) 70年代には、産業の立ち上がり期にあった集積回路、コンピュータ

産業では、学習効果による労働、資本の生産性の向上が著しかったばかりではなく、この効果によって、両生産性は、ほぼ同等の率で増大し、その技術進歩は、ディヴィッド、ヒックスの意味で中立的であった。また、70年代の自動車産業では、その技術進歩には、ディヴィッドの意味で労働節約的傾向があった。

(3) 80年代に入ると、4つの産業のいずれにおいても、ディヴィッドの技術進歩の局所性仮説は成立せず、技術進歩は要素価格誘導的になり、学習効果による労働生産性の上昇は大きく減退した。集積回路産業では、その技術進歩は、ディヴィッドの意味で労働節約的な傾向を持つようになり、また、資本、労働の投入面で、縮小均衡に向かっている鉄鋼産業では、その技術進歩は、ディヴィッド、ヒックスの意味で資本節約的になっている。

(4) 71—90年の20年の期間で見ると、統計的な信頼性は、産業によって異なるが、集積回路、自動車、コンピュータの3産業では、その技術進歩は、ディヴィッドの意味で労働節約的に、また、鉄鋼産業では、それは、同じ意味で、資本節約的になっている。

以上の20年間にわたる分析の結果から、日本の4主要産業の技術進歩の重要な特質として、次の2点が指摘される。第一は、これら4産業の技術進歩には、70年代、80年代のそれぞれの期間において、産業横断的な共通の特徴があったことである。それは、いずれの産業においても、その技術進歩は、70年代の学習主導型から、80年代の要素価格誘導型へと変化している点である。

第二は、このような産業横断的な技術進歩の特質にも係わらず、産業、分析期間ごとに、その技術進歩のパターンが異なることである。この差異は、それぞれの産業の発展段階に対応させて考えることができるだろう。70年代でみると、産業の立ち上がり期にあった集積回路産業とコンピュータ産業では、その技術進歩は、ともに中立的であった。これに対して、すでに、技術的成熟期にあったと考えられる自動車産業では、70年代の技術進歩は労働節約的であった。

集積回路産業では、9節でみるように、80年代には早くも技術的成熟期に入り、その技術進歩は労働節約的傾向を示している。市場も技術も成熟期に入っている自動車産業では、20年間を通して見ると、明確に、その技術進歩は労働節約的であり、労働吸収力は先端技術産業に比べて相対的に小さくなっている。また、資本、労働がともに減少するという衰退期に直面している鉄鋼産業では、80年代および20年間の期間では、その技術進歩は、資本節約的になっている。

このような傾向はイギリスにおいても検証されている。Soete, L. and G. Dosi は、イギリスの1954—80年の製造部門の労働生産性と資本生産性の増加率の関係を分析した結果、ほとんどの産業では労働生産性は上昇しているが、資本生産性は低下していることを示している。精密機械、化学、電気および自動車産業では、資本生産性の増加率は負であるがその絶対値は小さく、その他の伝統的な産業では、資本生産性の増加率は負でその絶対値も大きい。これらの事実から、第1のグループおよび第2のグループの技術進歩のパターンは、それぞれハロッドの意味で中立的、労働節約的であると指摘されている。この研究では、生産要素価格の変動は考慮されていないが、第1、第2グループの産業の技術進歩は、いずれもヒックスの意味で労働節約的である。これに対して、イギリスのコンピュータ産業(分析期間1959—80年)、および電子部品産業(同1959—70年)においては、資本・労働比率がともにほぼ一定であり、技術進歩のパターンは、ヒックスの意味で中立的であったことが示されている³¹⁾。

8 資本・労働比率、要素生産性の変動と学習効果、代替効果

既に見てきたように、集積回路産業においては、70年代においては、その技術進歩は学習主導的で、ディヴィッド、ヒックスの意味で中立的であった。しかし、80年代に入ると、それは、誘導的で、かつ、ディヴィッドの意味で労働節約的傾向を示し、この産業では、70年代と80年代では、技術進歩のタイプが大きく変化しているのである。他の3産業においても、技術進歩の

誘因は、70年代の学習型から、80年代の誘導型へと大きく変化している。この節では、これらの変化が、資本・労働比率、労働・資本生産性の増加率の大きさにどのように反映されているかをみていくことにする。

(18)の2つの式は、共通の代替の弾力性を用いて、要素価格と経験変数によって、資本と労働生産性を同時に説明するものである。ここで、経験変数を累積粗投資とし、また、 t 期の期首における累積粗投資と t 期の粗投資をそれぞれ CGI_t, GI_t で表すと、 $CGI_{t+1}=CGI_t+GI_t$ であるから、攪乱項を無視して(18)の第1式の両辺の1次階差をとると、

$$\ln((AV/K)_{t+1}/(AV/K)_t) = \beta_3 \ln(r_{t+1}/r_t) + \beta_4 GI_t \quad (19)$$

となる。同様に、(18)の第2式から、

$$\ln((AV/L)_{t+1}/(AV/L)_t) = \beta_3 \ln(w_{t+1}/w_t) + \beta_5 GI_t \quad (20)$$

が導かれる。

変数 Y の t 期における値を Y_t とすると、 (Y_{t+1}/Y_t) が十分に1に近いとき

$$\ln(Y_{t+1}/Y_t) = (Y_{t+1}/Y_t) - 1 \quad (21)$$

であるから、(19)、(20)式は、 t 期の資本、労働生産性の増加率は、同期間の要素価格の増加率と粗投資の大きさによって説明されることを示す。これらの式において、左辺の第1項は、要素価格の変動にもとづく要素代替による生産性の増加率を、また第2項は経験の蓄積によるそれを示すことになる。ここでは、第1項、2項による要素生産性の増加率を、それぞれ代替効果、学習効果と呼ぶことにする。

(19)式において対数で表される項を、(21)の右辺の式で置き換え、両辺の計測期間 T にわたる総和をとり、両辺を T で除すると、期間 T において、

$$\begin{aligned} \text{資本生産性の平均増加率} &= \beta_3(\text{レンタル率の平均増加率}) \\ &+ \beta_4(\text{粗投資の平均値}) \end{aligned}$$

が近似的に成立する。同様にして、労働生産性についても、

$$\text{労働生産性の平均増加率} = \beta_3(\text{賃金率の平均増加率}) + \beta_5(\text{粗投資の平均値})$$

が成立する。また、(20)の辺々から(19)のそれを引き、同様な手続きか

表6 資本・労働比率の増加率—学習効果と代替効果(%)

	K/L 比率 の増加率	w/r 比率 の増加率	代替効果 (1)	学習効果 (2)	(1)+(2)
<u>集積回路産業</u>					
70年代	2.27	15.00	4.56	-0.95	3.60
80年代	10.30	6.70	5.80	3.60	9.41
71-90年	9.00	8.46	9.48	1.13	10.62
<u>自動車産業</u>					
70年代	2.76	13.55	-3.12	6.02	2.90
80年代	3.99	5.80	8.24	-4.17	4.07
71-90年	5.05	8.64	1.77	3.29	5.06
<u>コンピュータ産業</u>					
70年代	1.65	14.38	3.53	-1.95	1.57
80年代	7.19	5.33	8.55	-1.36	7.19
71-90年	3.29	7.02	2.12	3.19	5.31
<u>鉄鋼産業</u>					
70年代	8.46	13.18	4.49	3.90	8.39
80年代	2.53	6.21	12.49	-9.67	2.83
71-90年	3.54	7.69	8.09	-4.58	3.51

(注1) K/L 比率, w/r 比率は, それぞれ資本・労働比率, 賃金・レンタル-価格比率を表す。

(注2) パラメータ b_3 , b_4 , b_5 の値は表3の回帰(A)の値を用いている。

ら,

$$K/L \text{ 比率の平均増加率} = \beta_3(w/r \text{ 比率の平均増加率}) \\ + (\beta_5 - \beta_4)(\text{粗投資の平均値})$$

が導ける。ここで, K/L 比率, w/r 比率は, それぞれ資本・労働比率, 賃金・レンタル-価格比率である。

これらの近似式は, 要素生産性および資本・労働比率の平均増加率は, いずれも代替効果と学習効果に分解して説明することができることを示している。表6および表7はそれぞれ, 以上のような手続きにしたがい, 表3の回帰(A)の推定値を用いて, 4つの産業の3つの期間における資本・労働比率と労働, 資本生産性の増加率を代替効果と学習効果の2つに分解して計算したものである。ここでは, 各変数の平均増加率の値は, その変数の対数値

を時間 t と回帰させたときの回帰係数を用いている。なお、表6, 7で示されているように、要素生産性、資本・労働比率の増加率の実績値は、別に計算した代替効果と学習効果の和と、ほぼ等しくなっている。

まず、表6の資本・労働比率の増加率の変動要因から見ていくことにしよう。賃金・レンタル価格比率は趨勢的に増大するのであるから、代替の弾力性の推定値 b_3 が正である限り、代替効果による資本・労働比率の平均増加率は正になり、また、粗投資は常に正であるから、学習効果による資本・労働比率の増減は、 $(b_5 - b_4)$ の符号の正負に対応することになる。

代替の弾力性の推定値が負であった70年代の自動車産業を除いて、4つの産業のいずれの期間においても、代替効果による資本・労働比率の(平均)増加率の貢献は正になっている。また、次の二つの点は、4産業において、共通して指摘することができる。まず第一に、4産業ともに、代替効果による資本・労働比率の増加率は、80年代の方が70年代よりも大きくなっている点である。これは、70年代の賃金・レンタル価格比率の上昇率は、80年代のその2.1~2.7倍の高率であったにもかかわらず、70年代の代替の弾力性の値が、80年代のそれに比べて小さかったからである。第二は、80年代では、4産業とも、資本・労働比率の増加率における代替効果は学習効果より大きくなっている点である。これらのことは、70年代の4産業の技術進歩は学習主導的であり、80年代には、それは要素価格誘導的であったという前節の分析の結果に対応している。

また、表7によって、労働生産性の増加率を代替効果と学習効果に分解した結果を産業ごとにみると、70年代では、学習効果の労働生産性の増加率に対する寄与率は、集積回路、自動車、コンピュータ、鉄鋼産業において、それぞれの81.2, 122.9, 82.5, 74.2%となっており、70年代の各産業の労働生産性の増大の大部分は、学習効果によってもたらされたものであることがわかる。これに対して、80年代になると学習効果と代替効果の相対的大きさは逆転し、労働生産性の増加率における代替効果の寄与率は、どの産業においても、ほぼ100%かそれ以上になっている。このように、労働生産性

表7 要素生産性の増加率—学習効果と代替効果(%)

	労働生産性			資本生産性		
	学習効果	代替効果	実績値	学習効果	代替効果	実績値
<u>集積回路産業</u>						
70年代	13.98	3.67	17.21	14.93	-0.89	14.94
80年代	-0.21	4.18	4.21	-3.82	-1.63	-6.09
71-90年	1.61	7.80	10.54	0.47	-1.69	1.54
<u>自動車産業</u>						
70年代	9.44	-1.86	7.68	3.41	1.26	4.92
80年代	-0.81	6.51	5.61	3.37	-1.73	1.63
71-90年	5.33	1.23	6.81	2.04	-0.54	1.76
<u>コンピュータ産業</u>						
70年代	7.24	2.00	8.78	9.19	-1.53	7.13
80年代	0.35	4.48	4.78	1.17	-4.07	-2.40
71-90年	4.58	1.29	6.30	2.20	-0.82	2.34
<u>鉄鋼産業</u>						
70年代	6.96	2.21	9.38	3.06	-2.28	0.91
80年代	-1.65	10.06	8.37	8.01	-2.43	5.84
71-90年	1.37	5.58	6.96	5.95	-2.51	3.42

(注) パラメーター b_3 , b_4 , b_5 の値は表3の回帰(A)の値を用いている。

の2つの変動要因を数値的に分解すると、4つの産業の技術進歩が、学習主導型から要素価格誘導型に変化していることを明瞭に示すことができる。

以下では、集積回路産業における技術進歩の特質を表6、7によってみていくことにしよう。(上)3節で示したように、70年代の集積回路産業においては、資本・労働比率は年率2.3%で上昇したが、その増加率は有意ではなく、この比率は、ほぼ一定に維持されてきた。これに対して、80年代には、この産業の資本・労働比率は、年率10.3%もの高率で持続的に上昇している。

表6で示されるように、70年代の集積回路産業では、賃金・レンタル価格比率は年率15%もの高率で上昇したが、この間の代替の弾力性は0.3程度の小さな値であったために、代替効果による資本・労働比率の上昇率は、年率4.6%と比較的軽微なものに留まった。他方、資本のラーニング係数の

大きさは労働のそれをやゝ上回り ($b_4 > b_5$)、学習効果は、その貢献は大きくないが、資本・労働比率を引き下げる効果を持った。資本・労働比率の上昇率における学習効果の大きさが、マイナス1%にも満たない大きさであったことは、この間の技術進歩が中立的であったことを端的に示している。代替の弾力性の値が小さかったことと、その技術進歩が中立的であったことによって、この産業の70年代の資本・労働比率の上昇率は、極めて小さなものになったと解釈することができる。

70年代では、学習効果による資本・労働比率の引き下げ率は、軽微なものであったが、この間の集積回路産業の労働、資本生産性の上昇には著しいものがあり、それぞれ、年率17.2、14.9%という高い率で増大している。これらの数値は、それぞれ、同期間における次位産業の増加率の2倍近い大きさを示すものである。そして、この大きな生産性の上昇率の大部分は、学習効果によって説明され、労働と資本生産性の増加率のそれぞれ81.2%および99.9%に相当する14.0%、14.9%は、学習効果によるものであり、しかも、この効果による2つの生産性の増加率は、ほぼ拮抗している。この期間における集積回路産業の技術進歩は、極めて大きな学習効果によってもたらされており、しかもそれが中立的であったことは、2つの生産性の増加率の大きさの面からも裏付けられる。

これに対して、80年代になると、この産業では、代替の弾力性は、0.9程度の大きさに上昇したため、賃金・レンタル価格比率の上昇率は、70年代より大幅に低下したにもかかわらず、資本・労働比率は、代替効果によって70年代を上回る率で上昇することになった。また、資本のラーニング係数 b_4 は負(有意)となり、労働と資本のラーニング係数の差 ($b_5 - b_4$) が正になった結果、学習効果もまた資本・労働比率を引き上げるように作用することになったのである。3節の分析では、80年代のこの産業の資本・労働比率の増大の要因を識別することができなかったが、この間の資本・労働比率の上昇率10%のうち、約6%は代替効果に、またその4%は学習効果に帰せられることになる。すなわち、この産業では、80年代に入ると、その技術

進歩は、要素価格誘導的になり、また、同時に労働節約的の偏向性を持ったことが、資本・労働比率の急激な上昇をもたらすことになったのである。

80年代に入ると、この産業では、労働、資本の生産性はともに大幅に低下し、労働生産性は4.2%に、また資本の生産性の増加率は-6.1%とマイナスに転じており、これらの数値は、いずれも、4つの産業のなかで最も低くなっている。そして、その労働生産性の増加率の99.3%は代替効果によってもたらされており、また、資本生産性の増加率に関しては、学習効果はそれ自体が負になり、負の代替効果を打ち消さず、その低下を増幅するように作用しているのである。このように、要素生産性の増加率に対する貢献をみると、70年代と80年代では、代替効果と学習効果の役割が、完全に逆転していることがわかる。

日本の集積回路産業における技術進歩のパターンは、70年代の学習主導的・中立的から、80年代の誘導的・労働節約的へと急激に変化していった。この変化は、資本・労働比率、要素生産性の増加率を学習効果と代替効果とに分解して比較することによって、数値の大きさの面からも確認することができた。次節では、この変化の過程を技術の発展段階の観点から分析していくことにする。

9 集積回路産業における技術進歩のパターンの変化と発展段階

日本の集積回路メーカーは、70年代の後半の16 Kb DRAMで米国のDRAM(記憶保持動作が必要な随時書込み読出しメモリー)製造の最先端技術にキャッチ・アップし、80年代の初頭の64 Kb DRAMで、初めてアメリカ企業に先行して世界の最先端製品を開発した。以後のDRAM製品の開発では、日本の集積回路メーカーはつねに世界で最先行し、1988年の1 Mb(メガビット)DRAMの世界シェアは90%を越えている³²⁾。さらに、日本の集積回路大手メーカーはDRAM製品を成長の牽引力として70、80年代をつうじて急成長を遂げ、80年代の後半には、集積回路の生産額でアメリカを上回るようになり、1990年の世界半導体生産額ランキング10社のう

表8 DRAMの世代別必要資本量

年	DRAMの タイプ	日本 (億円)	アメリカ (100万ドル)
1967	256 b		2.5
70	1 Kb		
74	4 Kb		
77	16 Kb	50	10
79	16 Kb		18.5
80	16 Kb		19.5
82	64 Kb	70	
84	256 Kb		60
85	256 Kb	200	
87	1 Mb	500	100
89	1 Mb		250
93	4 Mb	1000	750

(注) 資料：日本は大道，1990，pp.22-23. および日本経済新聞1994年3月24日付，アメリカはMethé, 1992, p. 17による。

ち、日本企業が6社を占めるに至っている³³⁾。

まず、表8によって、日本の集積回路産業の成長の牽引車であったDRAMの世代交代をみておくことにしよう。70年代のDRAM製品は1Kb, 4Kb, 16Kbである。集積回路は、その集積度によって、IC(集積回路)、LSI(大規模集積回路)、超LSIに分けられるが、16KbまでのDRAMはLSIであり、70年代はLSIの時代であった。80年代の初頭に登場した64Kb DRAMは超LSIの幕開け製品で、以後の64Kb, 256Kb, 1Mb DRAMは超LSIと、さらに集積化の進んだ4Mb DRAM以降の製品はULSI(Ultra LSI)と呼ばれている。

DRAMの製品コンセプトおよび基本的製造技術は1971年までに開発されており、その基本的製造技術は、位置合わせ露光、エッチング、不純物拡散、CVD(化学的気相成長法)などの要素技術によって構成されている。個々の要素技術は、固有の物理学的、化学的原理にしたがって構築されており、要素技術ごとに微細加工の物理的限界は異なっている³⁴⁾。71年以降、

ほぼ3年ごとに集積度が4倍になるというDRAMの製品面でのイノベーションは、より高い集積度をもつ次世代製品が要求するより高度な要素技術を逐次的に開発するという形で展開してきた。

このような持続的なイノベーションには、製品のデザインおよび製造プロセスの要素技術の面でのブレイク・スルーは要請されない。セル構造および個々の要素技術のもつ微細加工上の物理的限界は、事前に半導体技術者の間で共通に認識されており、かなりの長期間にわたって、個々の要素技術について開発されるべき技術の順序とそのタイム・スケジュールが用意されている。そして、この産業のイノベーションは、ほぼこのスケジュールにしたがって進展してきた。

しかし、この持続的イノベーションも80年代初頭のLSIから超LSIへの移行期に技術上の大きな限界に達した。そして、日本の半導体技術者の間には、この技術的限界とその飛躍の必要性に関して共通の認識があり、集積回路の技術開発の指導者の一人であった垂井康夫氏は、次のように述べている。「超LSIは、集積度がLSIよりもさらに増加するようになって使われるようになった言葉で、その時期はちょうど今までの製造技術の限界とも一致した」。また、超LSIの基礎的製造技術の確立に大きな貢献をしたと評価される超LSI技術研究組合(1976—79年)の設立については、「このような集積度を実現するためには、……微細加工技術などに関して相当大がかりに新しい技術を必要としたのである。このようなことが、電子工業振興協会に集まった……この方面の関係者によって予測され、超LSIと名付けられた新しい分野の研究のために関係企業が協力して研究することが提案されたのである」としている³⁵⁾。

80年代に入ると、短期間の内に大きな技術変換が頻繁に行なわれるようになり、初頭にはLSIから超LSIへ、また後半には超LSIからULSIへの移行が起こっている。表8は、日米におけるDRAM製品の世代別必要資本量の推測値を示したものである。日本の場合、70年代の16KbDRAMの時代には、その必要資本量は50億円程度であったが、80年代の超LSIの時代

に入ると、64 Kb DRAM では70億円程度に、256 Kb DRAM では200億円に急増している³⁶⁾。さらに、80年代後半から90年代にかけてのULSIの時代に入ると必要資本量は巨額になり、1 Mb、4 Mb DRAM では、それぞれ500億円、1000億円を越えると推定されている。アメリカの場合も、D. T. Methéは、各世代のDRAMの初期の販売価格とアメリカの集積回路産業への参入に必要な投資額の比較をつうじて、LSIからVLSIへ、VLSIからULSIへの移行期には生産技術の大きな変換があったことを示している³⁷⁾。

日本の集積回路産業の製造技術は、二つのタイプの技術進歩によって、全体としての発展を遂げてきた。第一のタイプは、一つの安定した技術のもとで起こるものであり、そこでは、学習効果が主導的な役割を果たす。70年代は、この産業の立ち上がりの時期にあり、初期時点で選択された技術の下でも、学習の機会が大きく、生産現場における技術者、作業者の知識の増大は、労働の効率を大きく向上させただけでなく、この段階では、改良の余地の大きく残されていた生産設備の効率も同時にかつ同等の割合で向上させてきた。このような状況においては、企業は、資本・労働の相対価格の変動をほとんど考慮することなく、初期時点で選択した技術に改良を加え続けることによって、高集積化の要請に対応することができたのである。

第二のタイプの技術進歩は、より高い集積度を実現するために、従来の技術の大幅な変換によって進展する。80年代の集積回路産業の技術進歩はこのような持続的技術変換によって特徴づけられる。大きな技術変換をともなう技術進歩は、より高度なプロセスの要素技術の開発とそれを量産に結び付ける新たな製造装置の開発によって実現される。イノベーションのコストを反映した製造装置は、従来のものより高額になり、また、技術変換のテンポが早くなれば、集積回路メーカーは次々に最先端技術を具体化した製造装置が必要となり、その使用する資本財の価格は持続的に上昇することになる。

さらに、このような技術変換をともなう技術進歩には、一般的に、コストの低減、信頼性と生産の精度の向上、作業の一層確実なコントロールのために、手作業に代わる機械化が付随する³⁸⁾。特に、集積回路産業では、企業に

とって歩留(良品率)を向上させることがコスト競争上の最大の武器になるため、個々の製造装置は手動、半自動装置から自動化装置に逐次置き換えられてきた³⁹⁾。要素技術の高度化と製造装置の自動化をともなう技術変換は労働生産性の向上をもたらすが、それが頻繁に起こり、学習効果による資本の生産性の向上が十分でなければ、資本係数は持続的に増大することになる。さらに、80年代には、需要規模、設備投資の巨大化にともない、需要の変動に対する設備投資のタイミングのズレが平均的稼働率の低下を招き、資本生産性の増加率を著しく低下させる原因になった。この両者の効果が相俟って、80年代には、資本・労働係数が持続的に上昇することになったのである。

10 結び

本稿では、1971—90年の期間について、日本の代表的産業である集積回路、自動車、コンピュータ、鉄鋼産業を取り上げその技術進歩のパターンを分析してきた。

(上)3節では、資本係数と労働係数の変動を計測することによってディヴィッドの意味での技術進歩のパターンを、また7節では、生産要素の価格および経験変数の変動が、資本、労働の選択に与える影響を計測することによって、ディヴィッドの局所性仮説およびディヴィッド、ヒックスの技術進歩の偏向性を検証してきた。

ディヴィッドの局所性仮説は、70年代においては、4つの産業のすべてにおいて妥当し、そこでの技術進歩は、要素価格の変動から有意な影響を受けず、学習主導的に進展してきた。しかし、80年代に入ると、4つの産業における技術進歩は、要素価格の変動に対して反応的になり、鉄鋼産業を除いて、学習効果は著しく減退している。特に、学習の機会が大きいと考えられる先端技術産業においても、技術の成熟化に対応して、技術進歩が要素価格誘導的になってきている点に注目しなければならない。

この現象に対して、明確な要因を指摘することはできないが、1つの要因

として、80年代に経済全体で、急速なエレクトロニクス化が進展したことが指摘される。従来の技術では、労働の資本による代替が困難であった領域においても、情報機器の相対的な低廉価にともない、自動化、統合化が推し進められ、この代替が予想を越えた速さで進展しているものと考えられる。生産プロセスのエレクトロニクス化によって労働の生産性は上昇するが、より高度な技術は導入された資本財に体化されているために、70年代のように生産現場における学習をつうじた資本の生産性の向上は、実現し難い状況になっているものと考えられる。このことは、70年代において生産現場における経験の蓄積と情報創造によって、資本、労働の生産性がともに著しく向上するといった日本の経営の特質が、80年代に入って急速に変質しつつあることを示唆している。

以上のような、産業横断的な技術進歩の共通性にも係わらず、産業および分析期間ごとに、その技術進歩のパターンは異なっているのである。この差異は、それぞれの産業の発展段階に対応させて考えることができる。70年代でみると、産業の立ち上がり期にあった集積回路産業とコンピュータ産業では、その技術進歩は、ともに中立的であった。集積回路産業では、その技術進歩は、70年代の中立的から、80年代には、労働節約的な傾向を示し始めている。これに対して、すでに、技術的成熟期にあったと考えられる自動車産業では、その技術進歩は70年代では、労働節約的で、80年代に入ると、それは、資本節約的傾向を示す。そして、80年代の鉄鋼産業では、明確に資本節約的になっている。また、20年間の期間でみると、自動車、コンピュータ産業では、労働節約的に、鉄鋼産業では、資本節約的になっている。集積回路産業では、弱い労働節約的傾向を示している。

特に、集積回路産業についてみると、70年代では、初期時点で選択された技術の下での知識の増大は、労働だけではなく、資本の効率性を同時に著しく増大させ、資本・労働に関する選択は要素価格の変動に対して非反応的であった。しかし、80年代の超LSIの時代に入り、技術変換が頻繁に起こるようになると、資本財の価格は持続的に高額化し、1つの技術の下での学

習時間が短くなっただけではなく、技術開発の焦点は、この段階で一般的にみられる機械化、規模の経済の追求に向けられるようになり、資本・労働比率は、代替効果と労働節約的学習効果によって持続的に上昇するようになった。このように集積回路産業では、産業の成熟化にともなう技術の発展段階と技術進歩のパターンの変化とが対応しているのである。

1つの産業の成長が、経済全体の雇用に及ぼす影響は、それ自体のプロセス・イノベーションの特徴だけではなく、そのプロダクト・イノベーションが他の産業に及ぼす効果も考慮に入れなければならない。その効果を測定することは本稿の分析の範囲を越えている。しかし、先端技術産業と言えども、その直接の雇用創造効果は、産業の進化にともない、減退して行く傾向があることに留意しなければならない。このことは、経済が持続的な成長を遂げるためには、そのシステムの中に新産業が輩出するメカニズムを持つことによって、全体としての労働節約的傾向を緩和し、新たな雇用機会が創出され続けられなければならないことを意味している。

(訂正)

- (1) 佐久間(1994) p. 43, 7行目, 各年度の賃金率を計算する→各年度の名目賃金率を計算し, 製造業デフレーターを用いて実質化する。
- (2) 同12行目, 「……全国銀行約定平均金利を用いている」の次に, 「この名目レンタル率を各年度の製造業デフレーターを用いて実質化する」を挿入する。

20) J. K. Arrow, 1962, p. 156 および p. 157.

21) A. M. Spence, 1981, p. 49.

22) J. K. Arrow, 1962, p. 157.

23) R. R. Nelson and S. G. Winter, 1977, pp. 45-6.

24) 本文の(18)回帰式の説明変数に時間 t を加えて, それが経験変数とは独立に産出量増大的効果を与える場合と資本および労働増大的効果を与える場合についても計測も行なったが, これらの回帰では, 経験変数と時間との間に強い相関関係があるために良好な結果が得られていない。

25) データの数を n とし, r, w, CGI をそれぞれ実質レンタル率, 賃金率および

- 累積粗投資に関する n 次元のデータ・ベクトルとすると、(18)に関する回帰では、(17)のデータ (r, w) に新たなデータ $(CGI, 0), (0, CGI)$ を追加したものになる。ここで、 0 は n 次元のゼロベクトルである (上5節参照)。また、回帰 (B) に関して、4産業、3期間について、表5と同じ結論が得られる。
- 26) ρ の推定値は、(12)式から $(1/b_3)-1$ であり、またその標準誤差は、(16)式から、 $(1/b_3)^2 \times (b_3 \text{の標準誤差})$ となる。
- 27) J. R. ヒックス, 1963, 邦訳, p. 110.
- 28) 回帰 (B) では、この5%信頼区間は、(0.92, 2.95) となる。
- 29) 鉄鋼産業では、80年代に入ると、資本、労働の投入量とともに減少し、資本・労働比率は、81年の34.9百万円から90年の41.5百万円に増加しているが、この10年間では、平均37.5百万円では安定している。しかし、資本分配率 (資本分配分/労働分配分) は、80年の1.476から、89年の1.022へと単調に減少をし続けている。この点からも、この時期の鉄鋼産業の技術進歩は、ヒックスの意味で資本節約的であったことが裏付けられる。
- 30) 表3の71—90年期間の回帰におけるそれぞれの1次自己相関係数を用いて、集積回路、自動車、コンピュータ産業の場合について、各変数の階差をとって行なった回帰の結果は次のようになる。ここでの経験変数は累積粗投資であり、以下の表では、係数 b_1, b_2 は、省略してある。また、() 内は、標準誤差を示す。

	b_3	b_4	b_5	b_5-b_4	\bar{R}^2	d
集積回路産業	1.7250 (0.7306)	-0.1954 (0.2034)	0.1831 (0.2399)	0.3785 (0.3284)	0.684	1.776
自動車産業	0.8877 (0.6674)	0.0901 (0.0526)	0.1805 (0.0909)	0.0904 (0.1232)	0.944	1.781
コンピュータ産業	0.4569 (1.7709)	-0.0258 (0.5108)	1.1567 (0.5716)	1.1826 (0.7968)	0.719	1.365

この回帰の結果では、コンピュータ産業の技術進歩のパターンは、表3の場合と変わらないが、自動車産業に関しては、表3の場合より弱い労働節約的傾向が示される。また、集積回路産業では、 (b_5-b_4) は、有意水準10%強で有意であり、その技術進歩は、ディヴィッドの意味で、労働節約的になる。

- 31) L. Soete and G. Dosi, 1983, pp. 57-64.
- 32) Electronics, Aug. 1989.
- 33) Data Quest 社調べ.
- 34) 伝田精一, 1984.

- 35) 垂井康夫, 1991, p. 138 および p. 142.
- 36) 「64 Kb DRAM は、……産業が LSI から超 LSI に移行する橋渡しとなった過渡的デバイスと見るべきである」M. G. Borrus, 1988, p. 147.
- 37) D. T. Methé, 1992, p. 17.
- 38) R. R. Nelson and S. G. Winter, 1977, pp. 58-59. K. B. Clark, 1985, p. 248.
- 39) 電波新聞, 1983, p. 768.

参考文献

- Arrow, K. J. (1962), "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, Vol. 29, (June), pp. 155-73.
- Borrus, M. G. (1988), *Competing for Control: American's Stake in Microelectronics*, (Cambridge, Ballinger Publishing Company).
- Clark, K. B. (1985), "The Interaction of Design Hierarchies and Market Concepts in Technological Evolution," *Research Policy* 14, pp. 235-51.
- 伝田精一 (1984), 『IC の秘密』共立出版.
- 電波新聞 (1983), 電子工業年鑑 1983 年版.
- Hicks, J. R. (1963), *The Theory of Wages*, (2nd ed.), (Macmillan, London),
内田忠寿訳 (1965) 『賃金の理論』東洋経済.
- Methé, D. T. (1992), "The Influence of Technology and Demand Factors on Firm Size and Industrial Structure in the DRAM Market—1973-1988," *Research Policy* 21, pp. 13-25.
- Nelson, R. R. and S. G. Winter (1977), "In Search of Useful Theory of Innovation," *Research Policy* 6, pp. 36-76.
- 大道康則 (1990), 『半導体業界』教育社.
- Soete, L. and G. Dosi (1983), *Technology and Employment in the Electronics Industry*, (London, Frances Pinter).
- 佐久間昭光 (1994), 「日本の主要4産業の技術進歩のパターンと学習効果—1970, 80年代の比較—(上)」, 一橋論叢, 11月, pp. 23-45.
- Spence, A. M. (1981), "The Learning Curve and Competition," *Bell Journal of Economics*, Vol. 12, (Spring), pp. 49-70.
- 垂井康夫 (1991), 『IC の話』日本放送出版協会.
- Yeung, P. and T. L. Roe, "A CES Test of Induced Technical Change," in Binswanger, H. P. and V. W. Ruttan (eds.), pp. 243-260.

(一橋大学教授)