

○永松陽明, 渡辺千帆 (東工大社会理工学)

1. 序

製薬産業は、大型新薬によって企業成長が決まるなど、技術開発が他産業に比べて重要である。換言すると特許など技術によって専有可能性を確保しやすい産業といえる。

しかし、大企業と比較して中堅企業にとって、専有可能性の確保は、恒常的に負荷の高い研究開発費が重く押し掛かる。

図1を見ると製薬産業において、大企業よりも中堅企業の研究開発費負担は大きく、研究開発強度は高く。しかし、後述するが同化能力は大企業の方が高い。

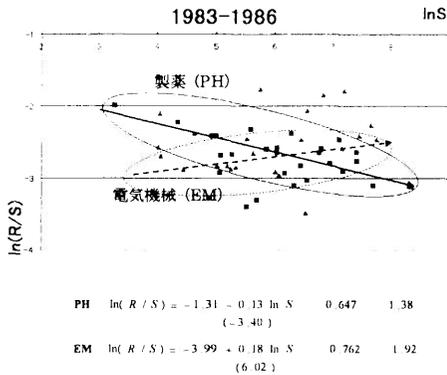


図1 製造業における研究開発強度と売上高の相関分析 (1983-86年)

つまり、中堅企業は外部企業が行った研究開発のスピルオーバーを効率的に吸収・同化することによって研究開発費の負担を低減させると同時に、さらに研究開発強度を高めることによって、研究開発費の増大→同化能力の向上→スピルオーバー技術の高度活用→技術ストックの増大→売上高の拡大→研究開発費の増大といったサイクリカルな好循環メカニズムを構築することが成長を約束する手段と考えられる。

本研究では、サイクリカル構造やイノベーションメカニズムを解明し、政策・企業戦略の立案に有効な情報を導出することを狙いとする。

2. 製薬業の高研究開発強度構造のアウトライン

我が国製薬業の研究開発強度(売上高当たりの研究開発費)は、

8.1%(1998年)と製造業全体の平均3.9%(同年)を圧倒的に上回る(図2参照)。

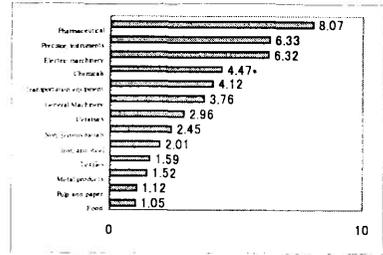


図2 日本の製造業における研究開発強度の推移 (1998年)

\*化学は製薬を含まない

	Sales	R&D expenditure	R&D intensity (%)	T <sub>s</sub>	T <sub>spillover (%)</sub>
1 Takeda Chemical Industries Ltd	886.6	68.4	10.0	303.0	18.2
2 Sanofi Co. Ltd	503.1	52.1	10.4	233.0	8.0
3 Yamanashi Pharmaceutical Co. Ltd	301.4	42.1	14.0	144.0	7.0
4 Daiichi Pharmaceutical Co. Ltd	254.9	30.9	12.0	149.0	3.9
5 Eisai Co. Ltd	205.2	34.1	12.2	227.0	8.7
6 Shionogi & Co. Ltd	231.2	25.0	10.8	112.0	8.0
7 Fujisawa Pharmaceutical Co. Ltd	222.6	22.1	14.4	226.0	8.7
8 Tsumura Seiyaku Co. Ltd	194.9	19.3	9.8	150.0	3.8
9 Chugai Pharmaceutical Co. Ltd	180.9	28.1	15.5	158.0	8.0
10 Banyu Pharmaceutical Co. Ltd	182.3	15.1	8.3	98.0	2.1
11 Daijiphat Pharmaceutical Co. Ltd	143.9	11.8	8.2	77.0	2.8
12 Ono Pharmaceutical Co. Ltd	131.8	18.5	12.5	82.0	2.0
13 Yodobashi Pharmaceutical Industries Ltd	117.3	10.8	9.2	88.0	2.8
14 Tsumura & Co.	78.2	8.2	9.9	72.0	2.7
15 Sankyo Pharmaceutical Co. Ltd	60.5	4.8	5.7	30.0	0.7
16 Taiyoo Green Cross Corp	82.4	11.3	14.2	71.0	2.8
17 Kasei Pharmaceutical Co. Ltd	70.1	5.0	7.2	48.0	1.7
18 Nishiki Pharmaceutical Co. Ltd	68.2	8.2	12.2	38.0	2.1
19 Nihon Chiyuwa Co. Ltd	64.8	3.0	4.8	21.0	0.8
20 Kissei Pharmaceutical Co. Ltd	51.1	4.8	11.5	32.0	1.1
21 Nippon Shinyaku Co. Ltd	52.2	8.9	12.2	51.0	1.8
22 Fuso Pharmaceutical Ind. Ltd	47.4	2.1	4.4	13.0	0.5
23 Taito Tanabe Co. Ltd	48.2	4.8	9.8	27.0	1.0
24 Toyama Chemical Co. Ltd	46.9	8.2	12.2	48.0	1.7
25 Tei Pharmaceutical Ind. Ltd	41.2	4.1	9.5	17.0	0.8
26 Fujisawa Inc.	27.3	4.2	15.2	26.0	0.8
27 Takeda Hormone Mfg. Co. Ltd	24.4	4.0	16.4	24.0	0.8
28 Sanzoku Co. Ltd	18.3	3.3	17.1	13.0	0.8
29 Nissen Chemical Co. Ltd	18.2	2.0	10.8	12.0	0.5
30 Tsumura Seiyaku Co. Ltd	14.3	2.2	18.8	16.0	0.7
Total 30 firms	4252.0	415.0	11.8	2821.0	18.0
Total pharmaceutical industry	8480.2	815.2	9.3	4240.2	18.0

表1 日本の製薬企業の研究開発構造 (1998年)

(1990年実質価格: 単位 10 億円)

a.  $T_i$  は企業内部のテクノストックを示し、 $T_s$  は potential technology spillover pool ( $= \sum_{j \neq i} T_j$ )を示す。

また、株式を上場している企業、30社を研究対象としており、売上高は産業全体の66%、研究開発費は77%をカバーしている(表1参照)。

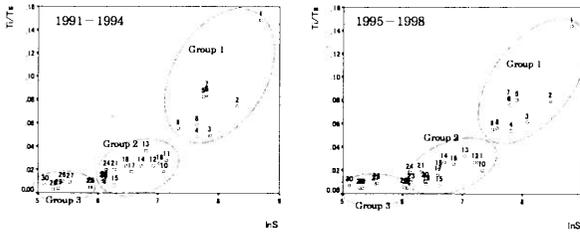


図3 売上高・企業内技術ストック依存比率の相関(1991-98年)

図3は売上高と企業内の技術ストック依存比率の相関をプロットしたものである。グループ分けは表2にあるように重回帰分析によって確認を行った。

表2 売上高に対する技術の貢献に関する分析 (1979-98年)

$$\ln S = 4.43 + 0.80 D_1 \ln T + 0.76 D_2 \ln T \quad \text{adj. } R^2 \quad DW$$

$$(6.95) (9.64) \quad (7.14) \quad 0.875 \quad 1.82$$

S: 売上高, T: 技術ストック, D<sub>1</sub>:1~9, D<sub>2</sub>:10~30

### 3. 技術のスピルオーバーと同化能力のダイナミズム

#### 3.1 技術のスピルオーバーの導出

仮説より、売上高は技術ストックの関数であるとする。

$$S = S(T) \quad (1)$$

また、技術ストックは自己の技術ストックと同化能力によって吸収されたスピルオーバー技術によって構成される。

$$T = T_i + ZT_s \quad (2)$$

(2)式を展開すると、(3)・(4)式を得ることができる。

$$\ln T = \ln T_i (1 + Z \frac{T_s}{T_i}) \approx \ln T_i + Z \frac{T_s}{T_i} \quad \left( Z \frac{T_s}{T_i} < 1 \text{ and } \Delta Z \approx 0 \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial T} \cdot \frac{T}{S} \cdot \frac{\Delta T}{T} = \frac{\partial S}{\partial T} \cdot \frac{T}{S} \cdot \left( \frac{\Delta T_i}{T_i} + Z \Delta \frac{T_s}{T_i} \right) \quad (4)$$

価格が以下のように決められるとすると、限界生産性比率(φ)は(5)式になる。

$$\frac{\partial S}{\partial T} = \frac{P_i}{P_s}, \quad \frac{\partial S}{\partial T_i} = \frac{P_u}{P_s}, \quad \frac{\partial S}{\partial (Z \cdot T_s)} = \frac{P_v}{P_s}$$

$P_i, P_u$  及び  $P_v$  は  $T, T_i$  及び  $T_s$  の価格を示す。

$$\phi = \frac{\partial S / \partial (Z \cdot T_s)}{\partial S / \partial T_i} = \frac{P_v}{P_u}, \quad \phi > 1, \quad \frac{d^2 \phi}{dt^2} < 0 \quad (\text{収穫逨減}) \quad (5)$$

<sup>1</sup> スピルオーバー技術の同化形態について、受け入れ側企業の同化技術を最大限活用する形は、(2)式のように示されることが特許データを用いた分析で立証されている。[3]

(4)式に価格を代入するとZを導出できる。

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot \frac{T_i}{T_s}, \quad 0 < Z < T_i/T_s \quad (6)$$

売上高は技術ストックの関数であり、かつホスト企業は  $ZT_s$  を最大化するため、 $T_i$  と  $ZT_s$  を同次に扱うことができる<sup>2</sup>。

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial (ZT_s)} \cdot \frac{d(ZT_s)}{dt} \approx \frac{\partial S}{\partial (ZT_s)} \cdot \frac{ZdT_i}{dt} \quad (7)$$

$\because Z$  は小さく、 $\Delta Z \approx 0$

(7)式を踏まえ(5)式を展開すると(8)、(9)式を得る。

$$\phi = \frac{\Delta S / Z \Delta T_s}{\Delta S / \Delta T_i} = \frac{\Delta T_i}{Z \Delta T_s} \quad (8)$$

$$Z = \frac{\Delta T_i \cdot T_i}{\Delta T_i \cdot T_s + \Delta T_s \cdot T_i} = \frac{T_i}{T_s} \cdot \frac{\Delta T_i}{\Delta T_i + \frac{\Delta T_s}{T_s} \cdot T_i} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_s / \Delta T_i}{T_s / T_i}} \cdot \frac{T_i}{T_s} \quad (9)$$

(9)式により、過去20年の製薬産業の同化能力は図4に集約される。また、スピルオーバーに対する依存度は図5にまとめられる。

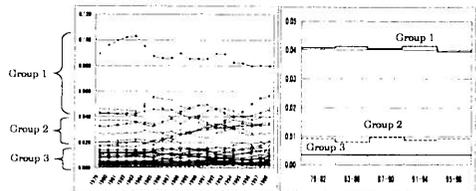


図4 製薬業の同化能力の推移(1979-98年)

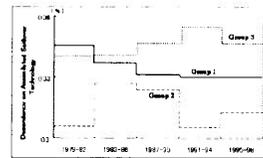


図5 スピルオーバー技術依存度の推移(1979-98年)

#### 3.2 シミュレーション結果と実証結果の比較

(9)式を利用することによって、同化能力・技術ストック・売上高・研究開発の軌道をシミュレーションが可能である。このシミュレーションと実際のデータを比較分析することによって製薬企業の研究開発の挙動を把握できる。

(10)式は、(9)式を書き換えたものである。

$$Z_t = \frac{1}{1 + \frac{1}{w}} \cdot \frac{T_i}{T_s} = \frac{w}{w+1} \cdot \frac{T_{i0} \cdot e^{R_i t}}{T_{s0} \cdot e^{R_s t}} = \left( \frac{T_{i0}}{T_{s0}} \right) \cdot \frac{w}{w+1} \cdot e^{(w-1)g_i t} \quad (10)$$

<sup>2</sup> Watanabe et. al.(2000)参照。

$$g_t = \frac{\Delta T_t}{T_t}, \quad g_s = \frac{\Delta T_t}{T_t}, \quad w = \frac{g_t}{g_s} \text{であり、} T_{t0} \text{ 及び } T_{s0} \text{ は } T_t \text{ と } T_s \text{ の初期値}$$

同様に、 $T_t$ 、 $S_t$ 、 $R_t$ を導出できる。

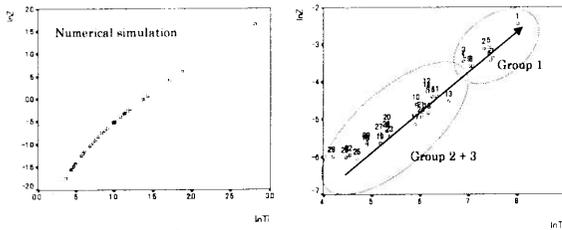
$$T_t = T_t + ZT_t = T_t \left(1 + \frac{w}{w+1}\right) = T_{t0} \cdot \frac{2w+1}{w+1} \cdot e^{w \cdot g_t} \quad (11)$$

$$S_t = AT_t^\alpha = AT_{t0}^\alpha \left(\frac{2w+1}{w+1}\right)^\alpha e^{\alpha w \cdot g_t} \quad (12)$$

A: スケールファクター:  $\alpha$ : 弾性値。

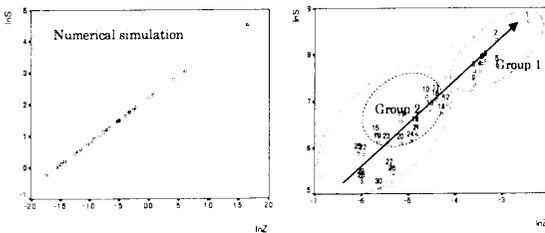
$$R_t \approx \Delta T_t = g_t T_t = T_{t0} \cdot g_t \cdot e^{g_t} = T_{t0} w g_s e^{w g_s} \quad (13)$$

これらの(10)~(13)式を利用することでシミュレーションが可能となる。そして、シミュレーション結果と実際のデータを比較したものが以下の4図である。



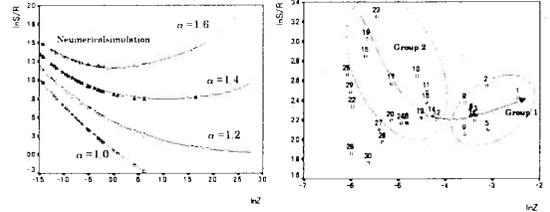
		adj. R <sup>2</sup>	DW
Total	$\ln Z = 10.52 + 0.98 \ln T_t - 0.50 D_{13}$ (-41.91) (23.93) (-2.12)	0.952	1.08
Group1	$\ln Z = -9.44 + 0.86/n T_t - 0.35 D_{6,7,8}$ (-10.69) (7.10) (-4.06)	0.822	1.80
Group2+3	$\ln Z = -9.53 + 0.79/n T_t - 0.52 D_{12}$ (-27.66) (12.64) (2.48)	0.903	1.88

図6 企業内部テクノストックと同化能力の相関分析 (1991-94年)



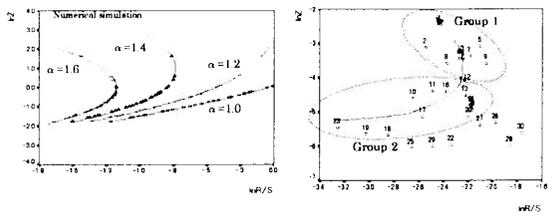
		adj. R <sup>2</sup>	DW
Total	$\ln Z = -9.65 - 0.93 D_1 \ln R/S + 1.87 D_2 \ln R/S - 3.05 D_{19}$ (-5.19) (-3.38) (2.46) (-2.81)	0.952	1.08
Group1	$\ln Z = -5.78 + 1.04/n R/S - 0.66 D_{1,5}$ (-7.08) (-2.90) (-5.15)	0.800	2.43
Group2	$\ln Z = -2.71 + 0.92/n R/S + 0.57 D_{10,11,12}$ (-4.56) (3.88) (2.87)	0.630	2.37

図7 同化能力と売上高の相関分析 (1991-94年)



		adj. R <sup>2</sup>	DW
Total	$\ln S/R = 4.55 + 0.69 D_1 \ln Z - 0.14 D_2 \ln Z + 2.16 D_{22}$ (4.12) (2.03) (-2.43) (3.02)	0.938	1.91
Group1	$\ln S/R = 2.98 + 0.23 \ln Z - 0.27 D_{2,8}$ (9.83) (2.53) (3.59)	0.656	2.53
Group2	$\ln S/R = -0.04 - 0.50 \ln Z + 0.44 D_{10,11,12}$ (-0.07) (-4.45) (3.38)	0.682	2.38

図8 同化能力と研究開発生産性の相関分析 (1991-94年)



		adj. R <sup>2</sup>	DW
Total	$\ln Z = -9.65 - 0.93 D_1 \ln R/S + 1.87 D_2 \ln R/S - 3.05 D_{19}$ (-5.19) (-3.38) (2.46) (-2.81)	0.952	1.08
Group1	$\ln Z = -5.78 + 1.04/n R/S - 0.66 D_{1,5}$ (-7.08) (-2.90) (-5.15)	0.800	2.43
Group2	$\ln Z = -2.71 + 0.92/n R/S + 0.57 D_{10,11,12}$ (-4.56) (3.88) (2.87)	0.630	2.37

図9 同化能力と研究開発強度の相関分析 (1991-94年)

図6と図7の結果を通じて、自己の技術ストック ( $T_t$ ) が同化能力 ( $Z$ ) に正の関係があり、その同化能力と自己技術ストックの和である技術ストックは売上高 ( $S$ ) と関係があることが明確になり、図3で示した本研究の仮説が実証された。

また、図8では研究開発生産性と同化能力の間には図6,7のような単調な関係ではなく、もっと複雑な関係性の存在を明らかとなり、同様に、研究開発強度の高さが、単純に同化能力を向上させることではないことを図9で明確になった。

#### 4. 同化能力マトリックスの計量的計測

これまでの議論では、スピルオーバー効果を全てまとめて論じてきた。しかし、ミクロの視点でみれば、他社に対して貢献が高い企業があればそうでないものもあると当然考えられる。本節では、それを明らかにする。

各企業に対する同化能力の計測は、これまで同様(9)式を利用するが、スピルオーバー技術を各企業の技術ストックを用いて計測する。つまり、以下の(14)式を利用する。

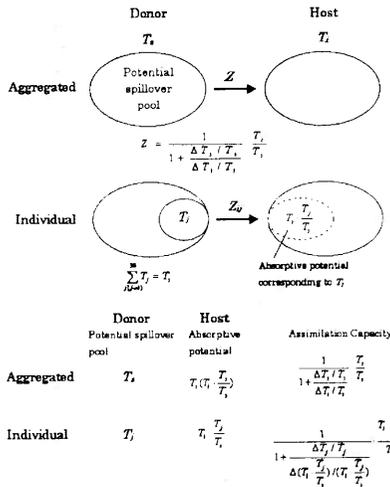


図 10 スピルオーバーと同化能力のダイナミズム

$$Z_p = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_i / T_i}{T_i} - \frac{T_i}{T_i}} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_i / T_i}{T_i} + \frac{\Delta T_i / T_i}{T_i} - \Delta T_i / T_i} \cdot \frac{T_i}{T_i} \quad (14)$$

以下が同化能力マトリックスと吸収した技術の金額の推移である。

表 2 同化能力マトリックスの推移 (1979-98年)

Year	Takeda	Sankyo	Yamanouchi	Daichi	Eai	Shonogai	Fujisawa	Tanabe	Chugai	Others	Weight ave
1979	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1980	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1981	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1982	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1984	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1985	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1986	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1987	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1988	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1989	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1990	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1991	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1993	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1994	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1995	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1996	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1997	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1998	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

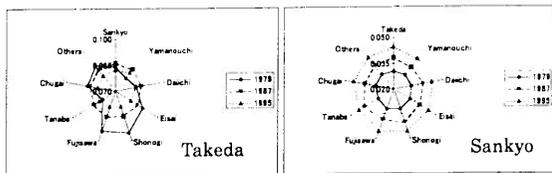


図 11 同化能力マトリックスの推移 (1979-98年)

表 3 同化スピルオーバー技術の金額の推移 (1979-98年)

Year	Takeda	Sankyo	Yamanouchi	Daichi	Eai	Shonogai	Fujisawa	Tanabe	Chugai	Others	Z <sub>p</sub>
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	47	22	29	28	109	109	48	48	48	202	182
1981	55	22	27	28	98	118	118	118	118	464	368
1982	39	29	27	27	133	128	81	55	259	639	639
1983	63	27	27	27	100	127	127	68	80	265	107
1984	69	29	45	45	99	122	124	74	81	378	184
1985	72	29	47	47	99	118	118	74	82	377	183
1986	73	43	48	48	115	118	118	74	82	377	183
1987	75	47	47	47	118	125	125	74	81	404	219
1988	89	53	57	57	131	137	137	88	73	443	182
1989	94	57	60	60	128	128	141	90	85	487	240
1990	104	64	68	68	120	121	127	87	78	489	197
1991	113	71	74	74	128	128	141	90	85	487	240
1992	109	83	83	83	144	152	180	102	88	505	189
1993	122	88	87	87	158	165	180	102	88	505	189
1994	127	93	85	85	167	183	180	103	97	511	188
1995	135	100	102	102	186	185	185	112	101	567	182
1996	159	125	110	110	189	189	158	113	109	633	123
1997	173	137	127	127	188	188	166	113	116	610	122
1998	214	151	128	128	182	182	111	113	125	708	141

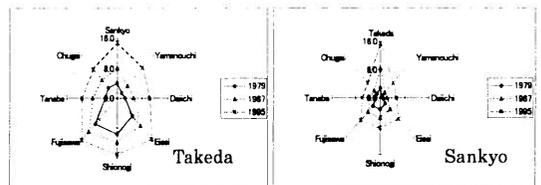


図 12 同化スピルオーバー技術の金額の推移 (1979-98年)

表 2、図 11 及び表 3、図 12 において、典型的な事例として武田、三共を挙げた。表 2、図 11 から、武田の事例は多くの企業からスピルオーバー技術を吸収しているが、三共は特定企業に偏っていることがわかる。研究対象企業はこの 2 パターンに大別できる。また表 3、図 12 においては、総じてスピルオーバーの拡大が確認できる。

## 5. 考察

本研究は、20 年間の製薬企業データを用い、売上高・研究開発費・テクノストックの関係性を分析することによって、イノベーションメカニズムを分析することを試みた。

本研究は、製薬産業において、独自技術が同化能力を向上させ、さらにスピルオーバー技術の高吸収、売上高の増大、研究開発費の増大といったサイクリカル構造があることを明らかにしたほか、個々の企業間の技術の金額的な流れを把握することも可能とした。

## 参考文献

- W. M. Cohen and D. A. Levinthal, Innovation and Learning: The Two Faces of R&D. The Economic Journal 99 (1989) 569-596.
- Z. Griliches (ed.), R&D Patent and Productivity (The University of Chicago Press, Chicago, 1984).
- C. Watanabe, B. Zhu, C. Griffy-Brown and B. Asgari, Global Technology Spillover and Its Impact on Industry's R&D Strategies, Technovation 20 (2000) in print.