

○渡辺千仞（東工大社会理工学）

1. 序 論

技術は、各種レベルの多層的な経済・社会・文化・地政環境とのダイナミズムの中で誕生し、好循環を構築しつつ成長・発展・成熟し、好循環の破綻と共に停滞・衰退・消滅をとげていく総合的かつ有機的なメタボリックなシステムである。このようなコンセプトを技術メタボリズムと呼ぶ [9]。

今日、研究開発離れは先進国共通の構造的な問題であり、我が国においても世界に誇った技術革新と成長との好循環の破綻が懸念されるに至っている [8]。これも畢竟メタボリックなシステムの破綻の懸念に他ならない [10]。

システムの最高傑作と言われるエコシステムの概念を提唱したタンスレー (Tansley, 1935) は、「システムはすべて機構を有しており、それは構成要素の相互作用と相互調節の必然的な結果である」と指摘した。これに対してアーサー・ケストラーは、システム理論の名著「機械の中の幽霊」(A. Koestler, 1967) の中で、システムにおける階層的秩序の概念を提唱した。先に述べた技術メタボリズムにおける階層的秩序は、ヴァン・ドージン (J. J. van Duijn, 1983) 等の提唱する技術革新の4波動 (Fig. 1) の精妙なバランスによって維持されており、今日直面する技術革新と成長との好循環の破綻の懸念は、この波動のバランスの失速によるものと考えられる。

本稿は、我が国の電気機械を始めとする製造業を対象とした実証分析によりこの仮説を検証する。

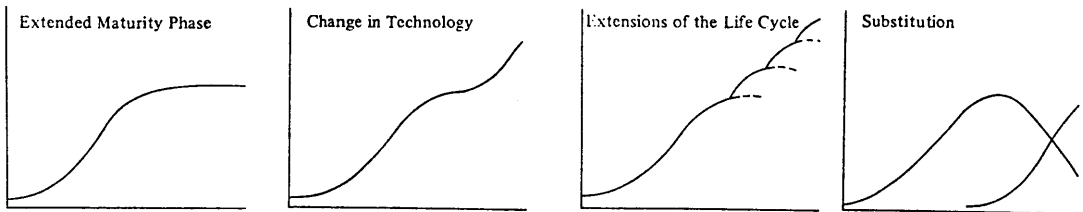


Fig. 1 Variations to the Simple Life-Cycle Pattern of Technological Innovation

Source: J. J. van Duijn, The Long Wave in Economic Life (1983).

2. 研究・技術・成長のダイナミックバランスとその失速

我が国は各時代の希少資源 (Fig. 2) の生産性の向上 (Fig. 3) を軸に持続的成長を遂げてきた。技術はその生産性の向上に向けられ、技術による希少資源の代替が図られ (Fig. 4)、それがまた更なる技術革新を誘発することとなった [6,7]。希少資源は、資本→労働→エネルギーと推移し、今日においては、両・質両面における労働が希少資源化するに至っている。

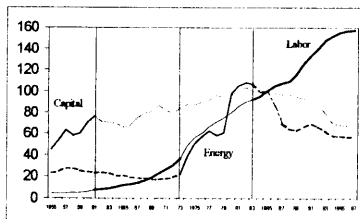


Fig. 2 Trends in Prices of Production Factors in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1997) - Index: 1985=100

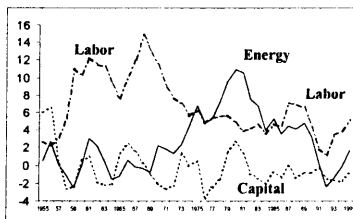


Fig. 3 Trends in Change Rate of Productivity of Production Factors in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1997) - 3 years' moving average (%)

a Productivity is measured by the ratio of value added and respective production factor
b The change rate in 1995, for example, indicates an average of change rates for 1995, 1996 and 1997.

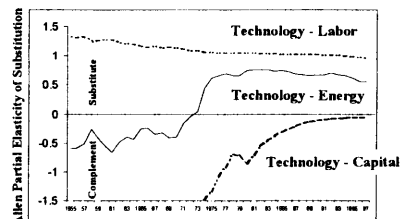


Fig. 4 Trends in Substitution and Complement among Labor, Capital, Energy and Technology in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1997)

以上の技術代替メカニズムに支えられた精妙な研究開発誘発システムも、バブル期における「手抜き」や、「名目と実質との錯覚」等により [8]、研究開発強度の低下を来すところとなった (Fig. 5)。我が国製造業の中核的役割を果たす電気機械 (Fig. 6) においてこれが顕著に見られるのは由々しきことである。

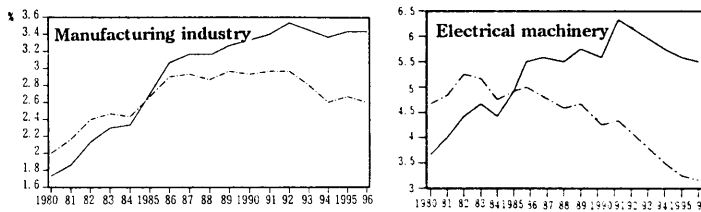


Fig. 5 Trends in R&D Intensity in Japan's Manufacturing Industry (1980-1996)

- a R&D intensity is the ratio between R&D expenditure and sales.
b Unbroken line indicates current prices while broken line indicates 1985 fixed prices.

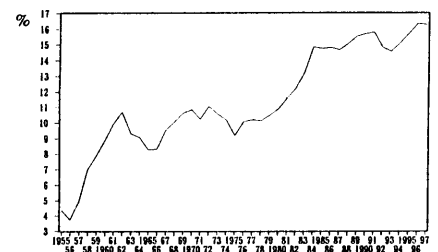


Fig. 6 Trends in GDP Share of Japan's Electrical Machinery Industry (1955-1997)

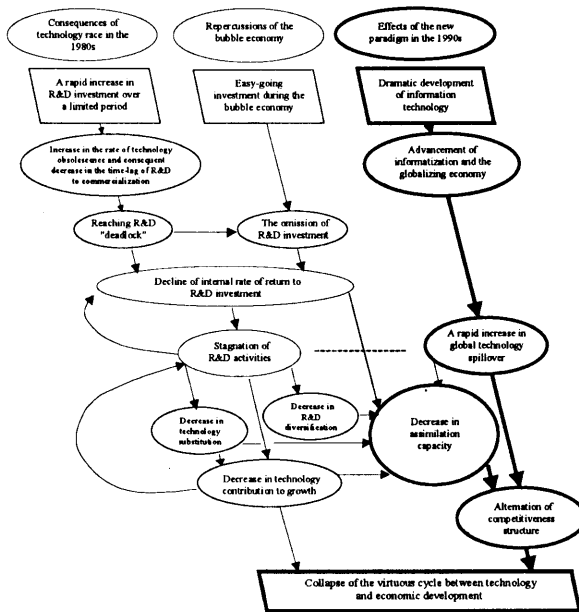


Fig. 7 Circumstances Surrounding Industry R&D

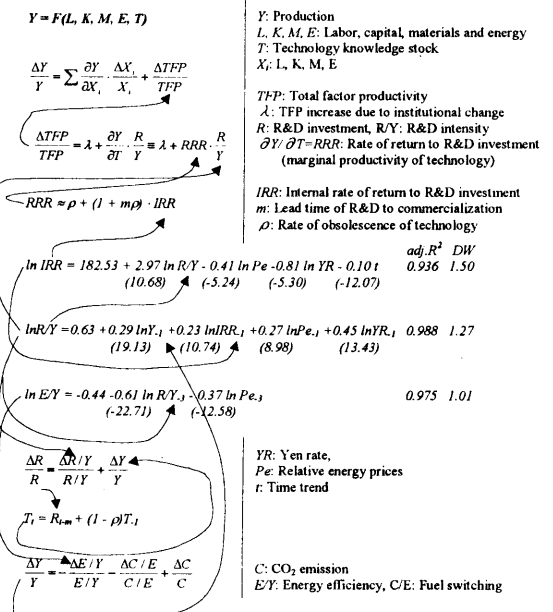


Fig. 8 Scheme of Metabolic Aspect of Japanese Manufacturing Industry Techno-Economy (1955-1995)

研究開発強度の低下は、研究開発誘発メカニズムの悪循環を促し (Figs 7, 8)、研究開発の収益性を低下させ、技術の限界生産性を下げることとなった (Figs. 9, 10)。

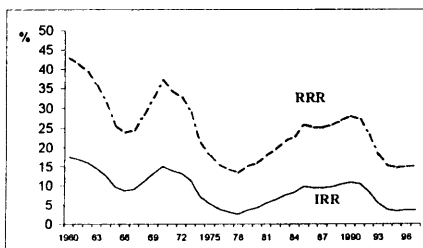


Fig. 9 Trends in Internal Rate of Return to R&D Investment (IRR) and Rate of Return to R&D Investment (RRR) in the Japanese Manufacturing Industry (1960-1997)

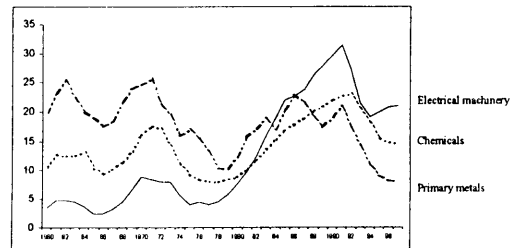


Fig. 10 Trends in Rate of Return to R&D Investment (Marginal Productivity of Technology) in Japan's Major Manufacturing Industries (1960-1997) - %

限界生産性の低下は技術の代替弾性値を下げることになり (Figs. 11, 12)、希少資源に対する技術代替を減少させ (Fig. 13)、我が国の誇った技術代替メカニズムを破綻に瀕させるに至った [12,13,14]。

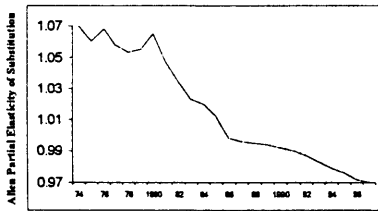


Fig. 11 Trend in Elasticity of Technology Substitution for Labor in the Japanese Manufacturing Industry (1974-1997)

a. Elasticity is measured by Allen Partial Elasticity of Substitution.

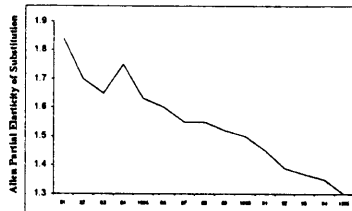


Fig. 12 Trends in Elasticity of Technology Substitution for Labor in Japan's Electrical Machinery Industry (1981-1995)

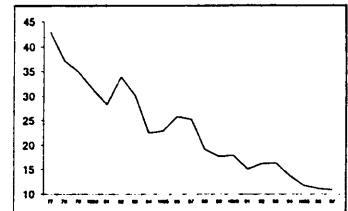


Fig. 13 Trends in the Labor Saving Investment Share of Total Investment in Japan's Electrical Machinery (1977-1997) - %

a. Labor saving investment includes investments for automation, labor substitution and production system improvement.
Source: Japan Development Bank.

3. 技術・労働のホメオスタシス機能の破綻

希少資源の技術代替メカニズムに見られるような日本的技術経営システムの粋は、「技術・労働ホメオスタシス機能」とも言うべき、生産性上昇と賃金上昇との精妙な動態バランスによるインフレを極小化させつつ福祉の極大化を恒常的に維持するメカニズムに見られる (Fig. 14)。サイクルの長さの異なる各種波動に立脚する技術の階層的秩序がこのホメオスタシスを可能にした (Fig. 15)。即ち、学習効果等による日々の改善を中心とする Short wave、技術革新成果の資本等への体化等を通じた生産性の向上を中心とする Medium wave 及び技術の希少資源への代替を中心とする Long wave の3層の波動が精妙な階層的秩序を形成しつつ精妙な動態バランスの維持に貢献してきた。

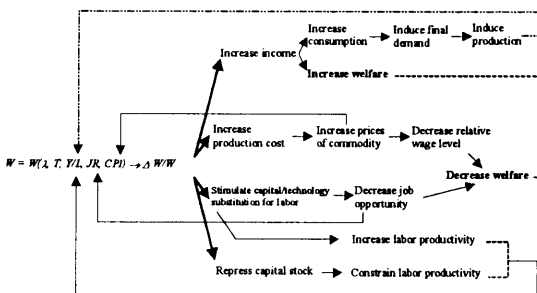


Fig. 14 Scheme of the Impacts of Wage Increases on the Trajectory of Economic Growth

W : wages at current prices; λ : institutional technology change; T : technology knowledge stock; JR : active openings ratio; CPI : consumer price index.

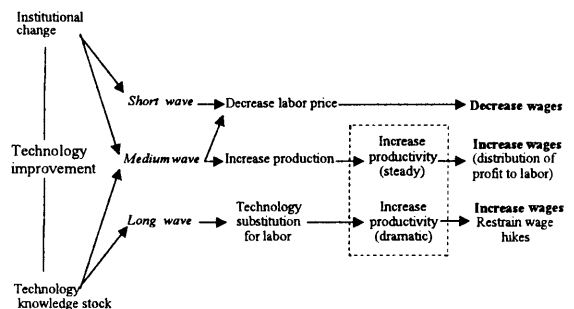


Fig. 15 Scheme of the Impacts of Technology Improvement on Wages

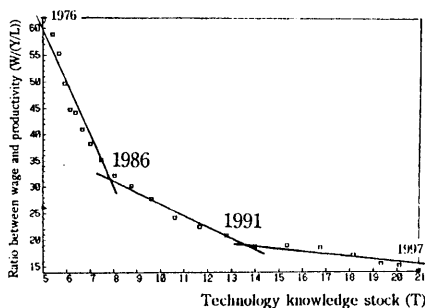


Fig. 16 Trends in the Correlation between Technology Knowledge Stock and Ratio between Wage and Productivity in Japan's Electrical Machinery Industry (1976-1997)

先に見た技術代替メカニズムの綻びは、階層的秩序の最上位層としての役割を果たす Long wave を失墜することになり、精妙な動態バランスを失速させる懸念をはらむ (Fig. 16)。先に見たように、動態バランスは、すぐれて賃金の上昇率と生産性上昇率とのバランスに見られるので¹⁾、我が国製造業の中核的役割を果たし、他の業種の賃金水準決定の範をなす電気機械を対象に、以上の動態バランスの維持に果たす技術の貢献、なかんずく技術が効を奏するに至る期間 (タイムラグ) の変化を分析した。分析は、コブダグラス型の賃金プロファイル関数を用い、1983年2月から1997年3月に至る 169ヶ月の月次データを用いて同期間を景気動向指数を用いた景気の山・谷に応じ、5期間に分けて行った。季節変動を回避するために前年同月比をベースとした分析式は (1) に示す通りである。

1) 生体には、常に一定の均衡状態を保とうとする恒常性維持の機能が具備されている。これをホメオスタシスという。
2) 日経連は、賃金決定に関する基本理念として 1969 年以來「平均賃金上昇率を実質生産性上昇率に一致させれば賃金上昇によるインフレはゼロになる」という「生産性基準原理」を掲げてきている。

$$\ln \frac{W_t}{W_{t-s}} = s \lambda_{t-m1} + \alpha \ln \frac{T_{t-m2}}{T_{t-s-m2}} + \beta \ln \frac{(IIP/(EP*H))_{t-m3}}{(IIP/(EP*H))_{t-s-m3}} + \gamma \ln \frac{JR_{t-m4}}{JR_{t-s-m4}} + \delta \ln \frac{CPI_{t-m5}}{CPI_{t-s-m5}} \quad (1)$$

where A: scale factor; IIP: index of industrial production; EP: employed person; H: working hour; JR: active openings ratio; CPI: consumer price index; and mi (i = 1 - 4) : time lag.

Table 1 Trends in Factors Governing Wages Formation in Japan's Electrical Machinery Industry (1983-1997)

	TFP		IIP/(EP*H) β	CPI δ	JR γ	adj. R ²	DW	AIC
	IC λ	T α						
1. 83/2 - 85/6	-0.0132 (-9.71)	3.26 (-11.69)	0.07 (-3.45)	0.24 (-1.45)	0.1 (-2.86)	0.939	1.25	-319.5
		[60]	[2]	[0]	[0]			
2. 85/6 - 86/11	-0.0087 (-2.68)	2.39 (-3.16)	0.05 (-2.96)	0.53 (-2.79)	-0.01 (-0.42)	0.851	1.79	-207.2
		[51]	[1]	[0]	[1]			
3. 86/11 - 91/2	-0.0005 (-0.27)	0.43 (-1.77)	0.08 (-2.79)	0.24 (-1.47)	-0.01 (-0.39)	0.601	1.3	-531.1
		[28]	[1]	[0]	[1]			
4. 91/2 - 93/10	-0.1236 (-4.56)	15.47 (-4.69)	0.15 (-5.47)	-0.59 (-1.74)	-0.04 (-1.80)	0.728	2.07	-316.4
		[12]	[1]	[0]	[1]			
5. 93/10 - 97/3	-0.0017 (-2.12)	0.75 (-5.31)	0.05 (-1.45)	-0.21 (-1.45)	0.03 (-2.19)	0.691	2.03	-435.3
		[3]	[1]	[0]	[1]			

a. Figures indicate coefficients

b. Figures in parentheses indicate t-value.

c. Figures in square brackets indicate time lag.

d. IC: institutional change; T: technology knowledge stock; IIP: index of industrial production; EP: employed person; H: working hour; CPI: consumer price index; and JR: active openings ratio.

Table 2 Trends in Factors Governing Wage Formation in Japan's Electrical Machinery Industry (1983-1997) - using time-lag function for technology

	TFP		IIP/(EP*H) β	CPI δ	JR γ	adj. R ²	DW	AIC
	IC λ	T α						
1. 83/2 - 85/6	-0.0167 (-10.84)	4.25 (-13.33)	0.03 (-1.64)	0.17 (-1.13)	0.21 (-5.74)	0.939	1.66	-319.4
		[m(T)]	[2]	[1]	[0]			
2. 85/6 - 86/11	-0.0098 (-2.78)	2.59 (-3.34)	0.04 (-2.74)	0.43 (-2.11)	-0.01 (-0.39)	0.862	2.08	-208.6
		[m(T)]	[1]	[0]	[1]			
3. 86/11 - 91/2	-0.0004 (-0.44)	0.48 (-3.15)	0.09 (-3.41)	0.09 (-0.58)	-0.01 (-1.57)	0.652	1.43	-538.3
		[m(T)]	[1]	[0]	[1]			
4. 91/2 - 93/10	-0.0253 (-4.56)	3.51 (-4.69)	0.15 (-5.47)	-0.58 (-1.74)	-0.02 (-1.80)	0.835	2.05	-333
		[m(T)]	[1]	[0]	[1]			
5. 93/10 - 97/3	-0.0032 (-2.67)	0.97 (-4.61)	0.09 (-3.09)	-0.2 (-1.48)	0.03 (-1.91)	0.711	2.17	-438
		[m(T)]	[1]	[0]	[1]			

(1) 式を用いた技術が効を奏するに至る期間 (タイムラグ)

についての分析結果は **Table 1** に示すとおりであり、5 期間の平均タイムラグは、60 ヶ月 (83/2-85/6) → 51 ヶ月 (85/6-86/11) → 28 ヶ月 (86/11-91/2) → 12 ヶ月 (91/2-93/10) → 3 ヶ月 (93/10-97/3) と **Fig. 12** に見る技術代替の低下と符合して逐年短縮化の傾向を示している。これは技術による貢献が総じて腰を据えた本格的な代替をねらいとするものから小手先のものにシフトし手いることを示すものである。1986 年及び 1991 年からの急短は、**Fig. 16** で見た同年を節とした構造変化の現象と符合する。

Fig. 17 は、以上のタイムラグの変化を (2) 式の Epidemic 関数に当てはめてトレースしたものであり、これによる連続的なタイムラグの変化を (1) 式に当てはめて分析した結果は **Table 2** に示すとおりであり、この方が **Table 1** よりも統計的優位性が高く、**Fig. 17** の軌道の妥当性を伺うことが出来る。

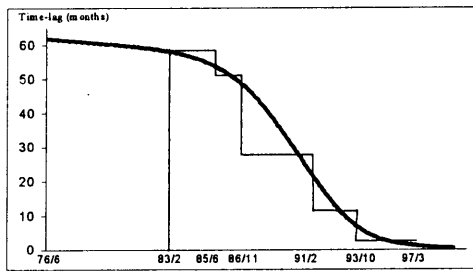


Fig. 17 Trends in Time-Lag between Technology Knowledge Stock Formation and Its Impact on Wages in Japan's Electrical Machinery Industry

Table 3 Trends in Technology Contribution to Minimizing Discrepancy between Changes in Wages and Productivity in Japan's Electrical Machinery Industry (1983-1997)

$$|\Delta W/W - \Delta(YL)/(YL)| = a + b_1 \Delta T/T + b_2 t$$

	b ₁	b ₂	adj. R ²	DW
1. 83/2-85/6	-16.66 (-8.94) *1	-0.01 (-8.40) *1	0.804	2.77
2. 85/6-86/11	-14.97 (-1.47) *20	0.01 (1.14) *30	0.468	2.70
3. 86/11-91/2	-3.30 (-1.46) *15	0.00 (1.01) *30	0.491	1.08
4. 91/2-93/10	-3.24 (-1.28) *20	-8.94 (-0.12) *N	0.433	1.71
5. 93/10-97/3	36.46 (2.22) *5	0.04 (2.28) *5	0.442	2.34

a. Y/L: Productivity (= IIP/(EP*H)); t: time trend.

b. *1, *5, *15, *20, and *30 indicate significant at the 1%, 5%, 15%, 20%, and 30% level respectively, and *N indicates statistically not significant.

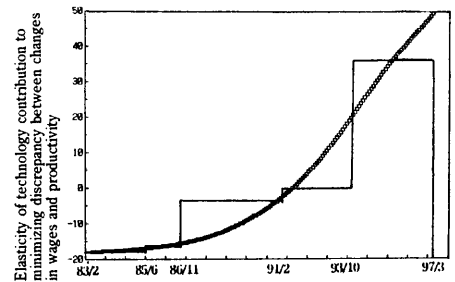


Fig. 18 Trends in Elasticity of Technology Contribution to Minimizing Discrepancy between Changes in Wages and Productivity in Japan's Electrical Machinery Industry

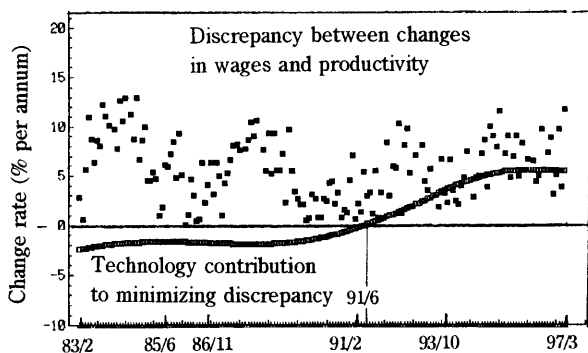


Fig. 19 Trends in Discrepancy between Changes in Wages and Productivity, and Technology Contribution to Minimizing the Discrepancy in Japan's Electrical Machinery Industry

は以上の分析結果をもとに、生産性上昇と賃金上昇との動態バランスの推移（両者の差の絶対値の推移）とそれに対する技術の貢献の推移を分析したものであるが、これを見ると 1991 年 6 月までは技術は動態バランスの維持（両者の差の絶対値の引き下げ）に貢献していたが、1991 年 6 月以降は動態バランスの維持を支えきれなくなっていることが伺われる。これは優れて、技術の代替メカニズムの綻びに伴う技術革新の各種波動の階層的秩序の破綻に起因するものと思われる。

4. 同化能力涵養システムの破綻

代替メカニズムの綻びに伴う技術の階層的秩序の破綻は、スピルオーバー技術等を認識・評価・峻別し、内部化し自らの生産システムに退化する能力、即ち同化能力に影響を及ぼさずにはおかない [2, 11]。

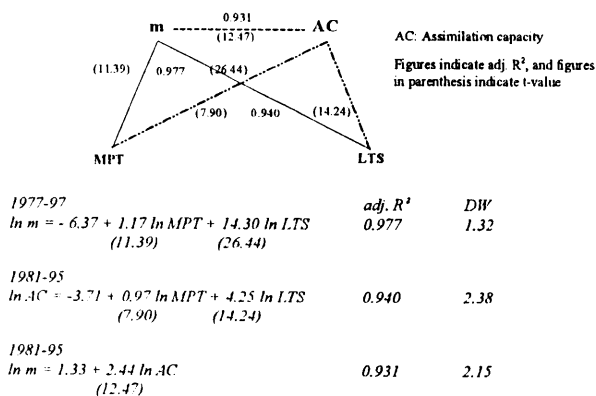


Fig. 20 Scheme of the Technology Wave Function in Japan's Electrical Machinery Industry (1977-1997)

a Assimilation capacity (AC $\equiv Z$) is measured by the following equation:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot \frac{T_s}{T_o} \quad 0 < Z < \frac{T_s}{T_o}$$

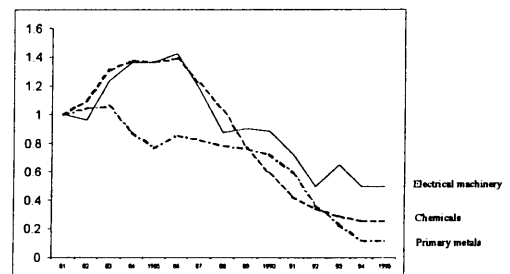
where T_o : own technology stock; T_s : stock of spillover technology; and ϕ : ratio of prices of spillover technology and own technology stock

$$m = m^* - \frac{m^*}{1 + e^{-(aT + b)}} \quad (2)$$

where m : time-lag between technology knowledge stock formation and its impact on wages; m^* : ceiling of time-lag; T : technology knowledge stock; and a and b : coefficients.

Table 3 は、以上の技術による生産性上昇と賃金上昇との動態バランス維持（両者の差の絶対値縮小）への貢献の推移を分析したものであり、Fig. 16 及び Table 1 同様 1986 年以降急速に貢献度が減少していることが伺われる。特に 1993 年以降それが顕著に伺われ、Table 1 等の分析結果と符合する。

Fig. 18 は、Fig. 17 同様、技術の貢献係数（弾性値）の推移を示したものであり、他の分析結果同様 1986 年から貢献が低下し、1991 年から加速し、1993 年以降は顕著に低下していることが伺われる。Fig. 19



Governing Factors of Assimilation Capacity in Japan's Leading Manufacturing Industries (1981-1995)

Electrical machinery	$\ln ACem = -3.71 + 0.97 \ln MPTem + 4.25 \ln LTSem$ (7.90) (14.24)	adj. R ² 0.940	DW 2.38
Chemicals	$\ln ACch = -12.10 + 2.73 \ln MPTch + 3.62 \ln LTSch$ (12.23) (20.25)	0.971	1.57
Primary metals	$\ln ACpm = -6.33 + 1.69 \ln MPTpm + 0.52 \ln LTSpm$ (9.55) (4.49)	0.948	2.55

AC: assimilation capacity; MPT: marginal productivity of technology; and LTS: elasticity of technology substitution for labor.

Fig. 21 Trends in Assimilation Capacity of Japan's Major Manufacturing Industries (1981-1995) - Index: 1981 = 1

Fig. 20 は、同化能力及技術が効を奏するに至る期間（タイムラグ）の支配要因を分析したものであり、いずれも技術の労働に対する代替能力及限界生産性に大きく支配されることが伺われる。また、タイムラグの減少（技術革新の矮小化）は同化能力の低下と強い相関を有することが伺われる。これらは、Figs. 21, 22 に示すように循環構造を形成しており、今日直面している問題は、これが悪循環に転じつつあることに起因する [2]。

先に見たように、今日先進国はこぞって研究開発離れに直面している。他方、情報化・グローバル化のうねりの中で技術の国境を越えたスピルオーバー（グローバルスピルオーバー）が急速に進展している [11]。このような中でこれをいかに効果的に活用するかが競争力の決め手となってきており、今や同化能力が競争力を決定しかねないようになってきている [11, 14]。

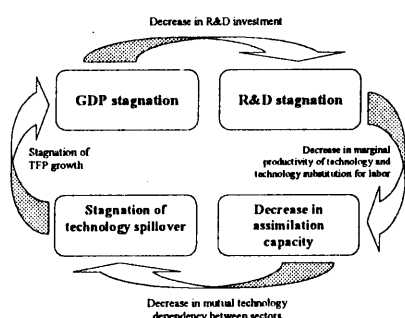


Fig. 22 The Vicious Cycle among R&D Investment, Assimilation Capacity, Technology Spillover, TFP, and Production

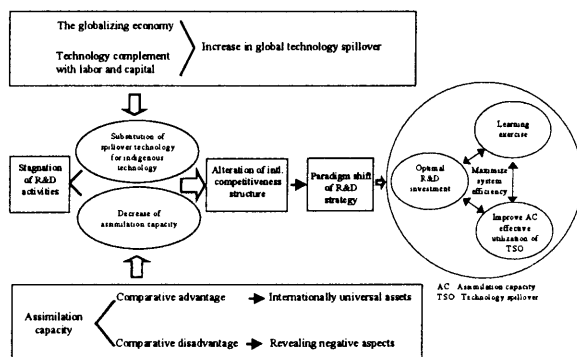


Fig. 23 Critical Systems Option for Induced Technology Development -From Investment to Institutional Learning and Assimilation

5. 考 察

技術革新構造の変容に関し、サイクルの長さの異なる技術革新の各種波動の階層的秩序を軸に、電気機械を始めたとする製造業を対象とした実証分析を試みた。

Key postulates は次に集約される (Fig. 23) :

Remediation of "Techno-labor homeostasis" (i) by recovering technology substitution for labor, (ii) through increasing systems redundancy, (iii) by means of stimulating mutual interaction between a) optimal R&D investment, b) learning exercise, and c) improvement of assimilation capacity for effective utilization of technology spillover.

References

- [1] J. J. van Duijn, "The Long Wave in Economic Life" (George Allen & Unwin, London, 1983).
- [2] C. Griffy-Brown and C. Watanabe, "Technology Spillovers and Informatization in Japan," International Journal of Technology Management 17, No. 4 (1999) 362-386.
- [3] A. Koestler, "The Ghost in the Machine" (Hutchinson & CO Ltd., London, 1967).
- [4] D. S. Pricc, "Little Science, Big Science" (Columbia University Press, New York, 1963).
- [5] E. M. Rogers, "Diffusion of Innovations" (The Free Press, New York, 1983).
- [6] C. Watanabe, "Trends in the Substitution of Production Factors to Technology," Research Policy, No. 6 (1992) 481-505.
- [7] C. Watanabe, "The Interaction between Technology and Economy: National Strategies for Constrained Economic Environments," IASA Working Paper, WP 95-16 (1995).
- [8] C. Watanabe, "The Feedback Loop between Technology and Economic Development: An Examination of Japanese Industry," Technological Forecasting and Social Change 49, No. 2 (1995) 127-145.
- [9] C. Watanabe and Kouji Wakabayashi, "The Perspective of Techno-metabolism and its Insight into National Strategies," Research Evaluation 6, No. 2 (1997) 69-76.
- [10] C. Watanabe and M. Hemmert, "The Interaction between Technology and Economy: Has the 'Virtuous Cycle' of Japan's Technological Innovation System Collapsed?" in M. Hemmert and C. Oberlander ed., Technology and Innovation in Japan (Routledge, New York, 1998) 37-57.
- [11] C. Watanabe, B. Zhu and B. Asgari, "Analysis on Global Technology Spillover and its Impact to Technology Management," Abstract of Annual Conference of the Japan Society for Science Policy and Research Management (Tokyo, 1998) 369-374.
- [12] C. Watanabe and M. Nakakuki, "A Comparative Analysis of Techno-Economic Development in the United States and Japan Focusing on the Substitution Mechanism of Labor, Capital and Technology," Abstract of Annual Conference of the Japan Society for Science Policy and Research Management (Tokyo, 1998) 132-137.
- [13] C. Watanabe, "Systems Option for Sustainable Development," Research Policy (1999) in print.
- [14] C. Watanabe and B. Zhu, "Systems Options for Sustainable Techno-metabolism: An Ecological Assessment of Japan's Industrial Technology System," Paper presented to the International Conference on Industrial Ecology and Sustainability (Troyes, France, 1999).