

1. 序 論

昨今、研究開発の最前線において、「急速な技術革新と市場の激しい変化によって製品のサイクルが一段と速まり、画期的な製品もすぐに陳腐化しかねない」、「これに対抗するためには新製品開発のスピードアップこそが必要」との声が高まってきている。

かねて、技術革新の進展は新技術・新製品の陳腐化を速め、それに抗するには新技術・製品開発のスピードアップ即ち、研究開発から商業化までのリードタイム (m) の短縮が必要と指摘されてきている（例えば、C. Marchetti (1981) [4] 他）（図1）。

しかるに従来の技術経済学における技術ストックの計測においては、Griliches (1980) [2] 来一般に、次のような平均的な陳腐化率 (ρ) 及びリードタイム (m) が用いられてきている。

$$T_t = R_{t-m} + (1-\rho)T_{t-1} \quad (1)$$

$$T_0 = R_{1-m}/(\rho+g) \quad (2)$$

ここに、 T_t : t 期における技術ストック、 R_t : t 期における研究開発投資、 g : 計測初期期間における研究開発投資 (R) の平均変化率。

しかし、陳腐化率が技術ストックに応じて変わり、またそれに対抗してリードタイムの変更が余儀なくされる実態（これはとくに、エネルギー研究開発のように石油危機直後の限られた期間に研究開発投資が集中し（図2）、その結果その技術ストックが急増したような技術においては看過できない）に照らせば、次のように T , ρ , m の間の動態的な相互関係をおりこんだ動態分析が必要である。

$$\rho_t = \rho(T_t), \quad m_t = m(\rho_t) \quad (3)$$

$$T_t = R_{t-m_t} + (1-\rho_t)T_{t-1} \quad (4)$$

本分析においては、このような問題意識に基づき、技術ストック形成のリードタイム及び陳腐化率の動態分析を試み、従来手法との比較評価を行うとともに、これらの動態変化の研究開発投資に与える波及影響を分析し、本動態分析の有効性を示した。

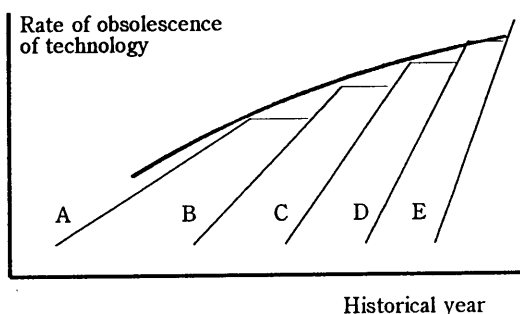
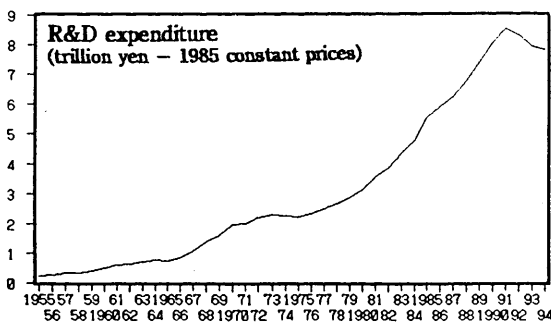


Fig. 1 General Trends in Obsolescence of Technology

a A - E indicate technological innovation stream
A - E.

Source: C. Marchetti [4] and others.

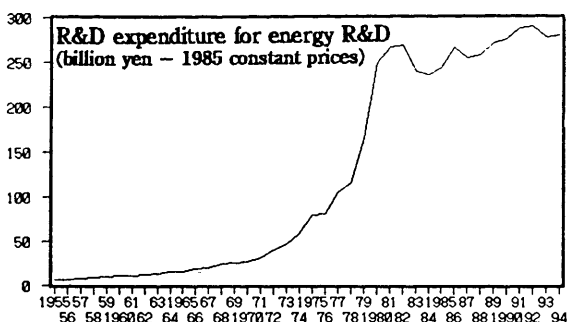


Fig. 2 Trends in R&D Expenditure in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1994)

2. 動態分析

Marchetti (1981) [4] 等 (図1) に則り、陳腐化率は、技術ストックに応じて増大するものとする、

$$\rho_t = A \rho_0 e^{(T_t/T_0)^\alpha} \quad (5)$$

で表せる。ここに、 ρ_0 は基準年次の陳腐化率を A はスケールファクターを示す。一方、(2) により、

$$m_t = \frac{\ln R_0/T_0 - \ln(\rho_t + g)}{\ln(1+g')} + 1 \quad (6)$$

で表せる。ここに、 $g' = g + \varepsilon$ であり、 ε は、一般に g の期間 $> m-1$ に伴う微調整を示す。

表1により、 $\overline{\rho_{70-89}} = 0.098$, $\overline{\rho_{70-79}} = 0.091$ であるので、これを (5) にあてはめ、(4), (5), (6) の連立方程式を解くと、

$$\rho_t = 0.03 e^{(T_t/T_0)^{0.15}} \quad (7)$$

$$m_t = -4.54 \ln(g + \rho_t) - 2.88 \quad (8)$$

が得られる。

同様に、エネルギー研究開発に関しては、

$$\rho_{et} = 0.05 e^{(TE_t/TE_0)^{0.15}} \quad (9)$$

$$m_{et} = -10.06 \ln(g + \rho_{et}) - 10.42 \quad (10)$$

が得られる。ここに、 TE はエネルギー研究開発に係わる技術ストックを示す。

以上の分析結果は、図3に示す通りであり、製造業全体の陳腐化率は、1970年の8.3% (同エネルギー研究開発14.5%) から1994年には12.1% (同23.6%) に増大していることが伺われる。

同様に、リードタイムについては、3.6年 (同3.8年) から2.9年 (同0.65年) への短縮が伺われる。

以上の動態分析による技術ストックの計測結果を在来の平均陳腐化率、リードタイムを用いた計測結果と比較した結果は図4に示す通りであり、陳腐化率の増大をリードタイムの短縮が相殺する結果、製造業全体について見れば、さほど顕著な差は見られないが、エネルギー技術ストックについては、相応の乖離が見られる。

Table 1 Lifetime of Technology in the Japanese Manufacturing Industry in the 1970s and 1980s

	Valid samples	Average
Total R&D over 1970-1989	276	10.2 years (ROT 9.8%)
over 1970-1979	106	11.0 years (ROT 9.1%)
Energy R&D (over 1970-1989)	48	5.1 years (ROT 19.5%)

a ROT: Rate of obsolescence of technology.

Source: Questionnaire to Major Firms (undertaken in April 1990: supported by AIST of MITI); Institute of Economic Research, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, "Report on the Promotion of Research Industry," (Tokyo, 1990).

Table 2 Time lag of R&D to commercialization in the Japanese Manufacturing Industry in the 1970s and 1980s

	Valid samples	Average
Total R&D over 1970-1989	360	3.3 years
over 1970-1979	139	3.4 years
Energy R&D (over 1970-1989)	55	1.8 years

Source: Same as Table 1.

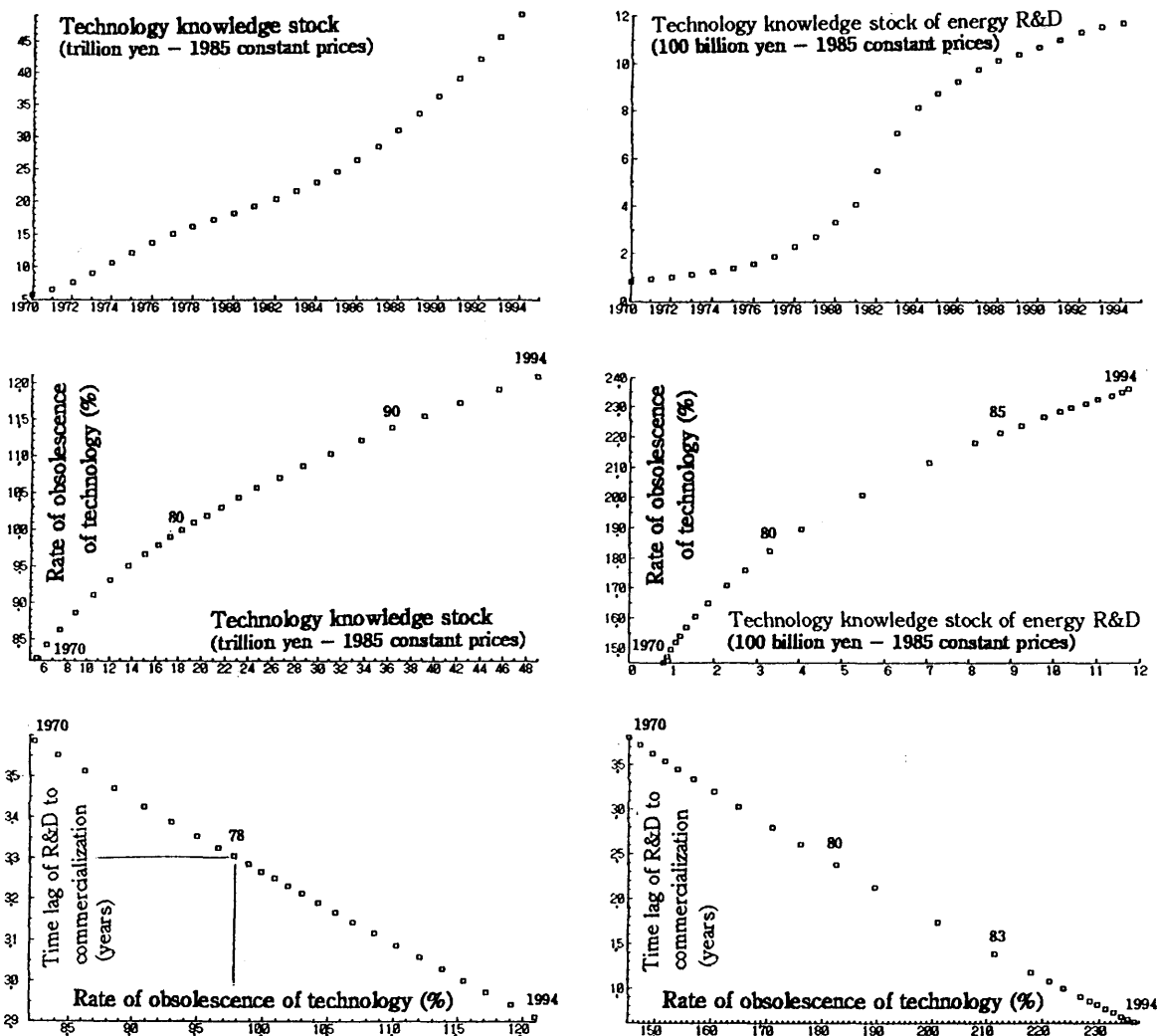


Fig. 3 Trends in Relationships among Technology Knowledge Stock, Rate of Obsolescence of Technology and Time Lag of R&D to Commercialization in the Japanese Manufacturing Industry (1970-1994)

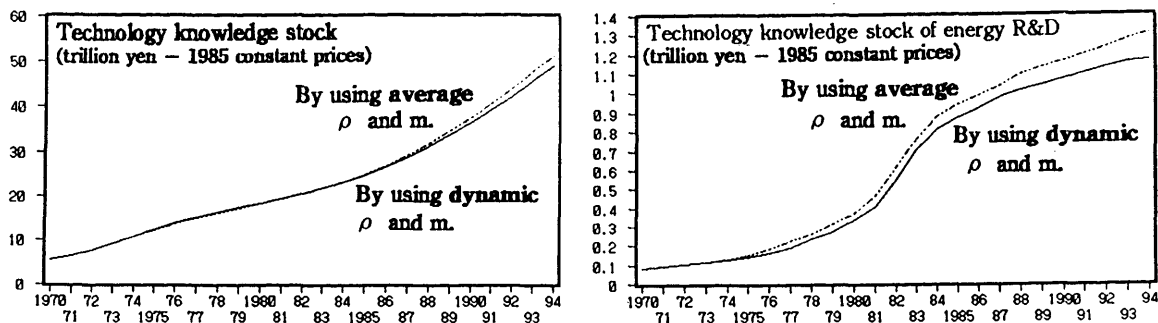


Fig. 4 Comparison of the Measurement of Technology Knowledge Stock in the Japanese Manufacturing Industry (1970-1994)

3. 検 証

陳腐化率及びリードタイムについて平均値及び動態値それぞれを用いて計測した技術ストック双方を、①特許・実用新案出願件数との相関、②生産関数における適合性（以上製造業全体）、③エネルギー生産性向上への貢献相関（製造業全体及びエネルギー技術）を用いてその有意性を比較検証した結果は、表3、4、5に示す通りであり、いずれにおいても動態値を用いた技術ストックの統計的有意性が確認された。とくにエネルギー技術ストックにおいてそれが顕著に伺われる。

Table 3 Comparative Assessment of Technology Knowledge Stock in the Japanese Manufacturing Industry by means of Correlation with Patent (1970–1994)

Model: $PAT = a + b_1 \cdot T + b_2 \cdot D$

where PAT: number of patent, T: technology knowledge stock, D: dummy variables (1986–89=1, other years=0), and a, b1 and b2: coefficients.

	b1 (t-value)	adj. R ²	DW	F statistics	AIC value
T with average ρ and m	8.52 (32.13)	0.980	0.95	584.5	491.0
T with dynamic ρ and m	9.05 (34.55)	0.983	1.02	675.7	487.4

where ρ : rate of obsolescence of technology, and m: time lag of R&D to commercialization.

Table 4 Comparative Assessment of Technology Knowledge Stock in the Japanese Manufacturing Industry by means of Fittingness in a Production Function (1965–1994)

Model: $Y = A L^{\alpha} K^{\beta} M^{\gamma} E^{\delta} T^{\zeta}$

where Y: production, A: scale factor, L: labor, K: capital, M: materials, E: energy, and α , β , γ , δ and ζ : elasticities of respective production factors.

	α	β	γ	δ	ζ	adj. R ²	DW	F	AIC
T with average ρ and m	0.19 (3.07)	0.12 (3.10)	0.78 (17.91)	0.02 (1.45)	0.05 (1.92)	0.9998	1.59	25694.3	–293.47
T with dynamic ρ and m	0.21 (2.98)	0.13 (3.66)	0.76 (16.31)	0.02 (1.48)	0.05 (1.93)	0.9998	1.62	25732.1	–293.52

a Figures in parentheses indicate t-value.

Table 5 Comparative Assessment of Technology Knowledge Stock (Total R&D and Energy R&D) in the Japanese Manufacturing Industry (1974–1992)

Model: $E/Y = A \cdot TE^{\alpha} (T - TE)^{\beta} (Pe/Py)^{\gamma}$

where TE: technology knowledge stock of energy R&D, and Pe/Py : relative energy prices.

	α	β	γ	adj. R ²	DW	F	AIC
T and TE with average ρ and m	–0.22 (–11.64)	–0.27 (–7.49)	–0.03 (–0.99)	0.994	1.20	1733.7	–144.2
T and TE with dynamic ρ and m	–0.21 (–13.41)	–0.28 (–8.97)	–0.03 (–1.19)	0.996	1.37	2349.9	–150.0

4. 波 及

陳腐化の急進により余儀なくされるリードタイムの短縮は、研究開発投資にも影響する。とくに、石油危機以降のエネルギー研究開発等それが顕著な技術分野への影響は看過出来ない。表6及び図5は、その影響を分析することをねらいに、石油危機以降の製造業におけるエネルギー研究開発投資の支配要因とそれぞれの影響の大きさを分析したものである。

Table 6 Factors Contributing to Change in Energy R&D Expenditure in the Japanese Manufacturing Industry (1974–1994)

$$\text{Model: ERD} = A \cdot \text{RD}^\alpha \text{MERD}^\beta \text{MnERD}^\gamma \text{Pet}^\delta m^\epsilon$$

$$\ln \text{ERD} = -6.57 + 0.74 \ln \text{RD} + 0.65 \ln \text{MERD} + 0.27 \ln \text{MnERD} + 0.25 \ln \text{Pet} + 0.64 \ln m$$

(3.32) (6.81) (3.54) (2.25) (4.10)

adj. R² 0.993 DW: 2.07

where ERD: energy R&D by manufacturing industry, RD: total R&D by manufacturing industry, MERD: MITI's energy R&D budget, MnERD: MITI's on-energy R&D budget, Pet: relative energy price (ratio of prices of energy and price of technology), and m: time lag of R&D to commercialization

	Change rate	Contribution					
	△ ERD	△ RD	△ MERD	△ MnERD	△ Pet	△ m	ε
1974–78	31.77% per annum	8.19	20.33	1.08	6.44	-3.01	-1.26
1979–82	32.99	11.36	20.64	6.22	2.25	-7.34	-0.14
1983–86	-0.09	7.73	2.37	2.15	-2.29	-8.70	-1.35
1987–90	3.46	7.88	1.78	1.03	-2.04	-4.25	-0.94
1991–94	0.35	-0.50	-1.08	2.32	1.33	-3.39	1.67
1974–94	14.56	6.99	9.36	2.49	1.39	-5.23	-0.44

これを見ると、リードタイムの変化が石油危機以降の製造業のエネルギー研究開発投資に少なからぬ影響を及ぼしており、石油危機直後の限られた期間におけるエネルギー研究開発投資の集中(図2)→エネルギー技術ストックの急増(図3)→陳腐化の急進→リードタイムの急激な短縮(図3)→短期間で成果をあげ得る研究テーマの払底→研究開発の萎縮の傾向が顕著に伺われる。このような傾向はエネルギー研究開発に限らず、研究開発が「集中豪雨」的に行われた技術分野に共通的に見られるものと思われる。

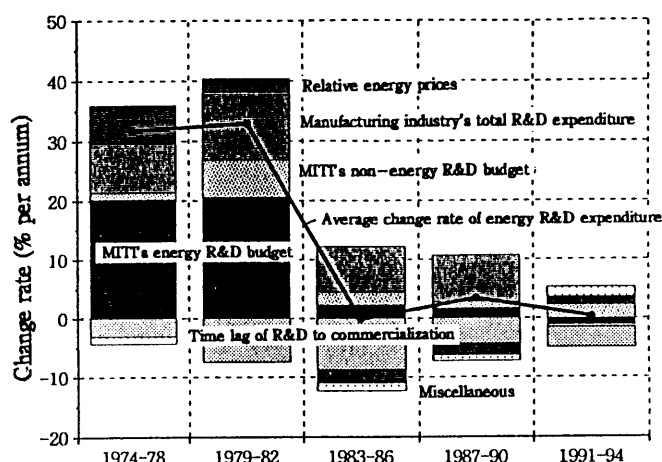


Fig. 5 Factors Contributing to Change in Energy R&D Expenditure in the Japanese Manufacturing Industry (1974–1994)

5. 考 察

日本経済のスパイラルな発展を支えた製造業の研究開発投資の停滞が懸念されている。

本分析は、技術ストック形成のリードタイム及び陳腐化率の動態分析を試みるとともに、同分析を用いて、技術ストックの増大 → 陳腐化の急進 → 研究開発のリードタイムの短縮 → 短期間で成果をあげる研究テーマの払底 → 研究開発の萎縮 の側面からこの停滞の一因を実証した。

経済発展のダイナミズムを維持する上で技術ストックの増大は欠かせない。だが、この増大は得てして上記のような自己撞着を招来することになりかねない。陳腐化の波に抗し、この撞着を凌駕しうる革新性の高い研究テーマの選択と、それに対する効率的な研究開発への持続的努力こそが、自己撞着への突破口を拓く道である。

Appendix – Data Sources

A. 1 R&D expenditure and energy R&D expenditure:

Report on the Survey of Research & Development (Management and Coordination Agency, annual issues), White Paper on Japanese Science & Technology (Science and Technology Agency, annual issues), and Survey reports on industry's R&D activities against energy price increase (by MITI, Science and Technology Agency, Japan Energy Conservation Center and NIRA).

A. 2 Rate of obsolescence of technology and time lag of R&D to commercialization:

Questionnaire to Major Firms (undertaken in April 1990: supported by AIST of MITI): Institute of Economic Research, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, "Report on the Promotion of Research Industry," (Tokyo, 1990).

A. 3 Production factors:

Annual Report on National Accounts (Economic Planning Agency, annual issues), Year Book of Labor Statistics (Ministry of Labor, annual issues), Quarterly Report on Unincorporated Enterprises (Management and Coordination Agency, annual issues), Statistics of Enterprises' Capital Stock (Economic Planning Agency, annual issues) Annual Report on Indices on Mining and Manufacturing (MITI, annual issues), Industrial Statistics (MITI, annual issues), Comprehensive Energy Statistics (Agency of Natural Resources and Energy of MITI, annual issues), and Report on the Survey of Research & Development (Management and Coordination Agency, annual issues).

A. 4 Number of patent:

Annual Report of Patent Office (Patent Office, annual issues).

A. 5 MITI's R&D budget:

Annual Report on MITI's Policy (MITI, annual issues).

References

- [1] S. Feigenbaum and D. Levy, "The Technological Obsolescence of Scientific Fraud," *Rationality and Society* 8, 3 (1996) 261–276.
- [2] Z. Griliches, "Returns to R&D Expenditures in the Private Sector," in J. W. Kendrick and B. N. Vaccara, *New Developments in Productivity Management and Analysis* (University of Chicago Press, Chicago, 1980).
- [3] Z. Griliches, "R&D Patents and Productivity" (University of Chicago Press, Chicago, 1984).
- [4] C. Marchetti, "Society as a Learning System," in *Syracuse Scholar* (New York, 1981, 1995) 21–37.
- [5] K. McCormick, *Career Paths*, "Technological Obsolescence and Skill Formation: R&D Staff in Britain and Japan," *R&D Management* 25, No. 2 (1995) 197–211.
- [6] S. Nair and W. Hopp, "A Model for Equipment Replacement due to Technological Obsolescence," *European Journal of Operational Research* 63 (1992) 207–221.
- [7] D. S. Price, *Little Science, Big Science*, (Columbia University Press, New York, 1963).
- [8] C. Watanabe, "Trends in the Substitution of Production Factors to Technology," *Research Policy* 21, No. 6 (1992) 481–505.
- [9] C. Watanabe, "Simultaneous Measurement of the Service Price of Technology and Internal Rate of Return to R&D Investment: An Empirical Analysis by means of a Practical Computer Model," Paper presented to International Symposium on Economic Modeling (Oslo, 1996).