

1A11 I Tの性格形成過程の解明と潜在的な研究開発資源利用の極大化

— I T主導経済下の研究開発投資の最適化

○渡辺千仞（東工大社会理工）

1. 序

技術進歩が戦後の日本の成長の原動力となり、競争力の源泉をなしたことは論を待たない。21世紀においては20世紀以上にその期待が高い。1990年代のロス・デケードは米国のニューエコノミーの牽引にすがって糊塗してきた。が、何ら本質的改善は進んでいない。かかる中で米同時テロはグローバル化の陰の側面を露呈し、世界経済を悪循環の淵に立たせるに至った。技術を唯一の比較優位とし、自由通商システムを立国基盤とする日本は、まさに、技術を軸にした真髓を問われるに至っている [5, 6, 7]。

我々は1990年代の初頭に日本の製造業の構造的な研究開発離れの懸念を警告した。¹ 政府も科学技術基本計画に沿って2000年度までの5年間に17兆円もの予算を科学技術に投資した。だが、このような膨大な投資²も産業の研究開発を奮い立たせるには至っていない。1999年度の製造業の研究開発投資は前年に比べて2.9%減少し、その売上高比率は実に5.4%も減少している。中でも製造業の研究開発投資の38%を占める電気機械は9.0%も減少するに至っている。2000年度には若干持ち直しの兆しがあるとは言え、このような停滞は構造的要因によるものと考えられる。

本分析は、工業化社会から情報化社会へのパラダイムのシフトと軌を一にして顕在化したこのような研究開発離れは、製造技術と情報技術（IT）の性格形成過程の本質的な相違に根ざすとの仮説に立脚してその実証を試みる。その上で、製造技術の中核とした工業化社会においては看過されていたIT主導経済特有の潜在的な研究開発資源の有効利用を前提とした「IT主導経済下の研究開発投資の最適化」のあり方を検討する。

2. 研究開発投資の最適化とそのシフト

図1は、ポントリヤギンの最適化理論を応用して技術革新による効用を最大化させる研究開発投資の最適化レベルと実際の研究開発強度（GDP 当り研究開発費）のレベルを比較検証したものであり、電気機械及び化学の高研究開発強度業種、は一貫して最適レベルを上回る研究開発強度を維持してきたことが伺われる [8, 12]。³ 両業種のこのようなハイレベルの研究開発強度は、イノベーション製品を持続的に生み出すために必要不可欠な部分と同時に、厳しい企業間競争の中で競争相手を牽制したり、顧客に対しハイテクイメージを植

え付けたりする上で必要な、「擬似研究開発」（Pseudo innovation）が内包されており、このアローアンスが、競争相手や顧客との切磋琢磨を通じて、研究開発に磨きをかける上で重要な役割を果たすものとみなされてきた（Mensch, 1975） [1]。

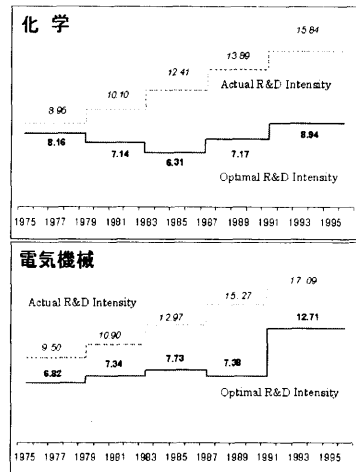


図1 電気機械・化学の最適研究開発強度と実績値との比較 (1975-1996): GDP 当り(名目)

しかし、このアローアンスは、図2に示すように、1990年代に入って劇的に減少してきている。とりわけ電気機械の減少が顕著であり、「研究開発に磨きをかける上での切磋琢磨」の喪失が懸念される。

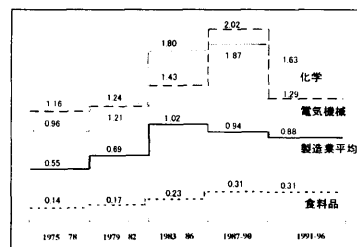


図2 製造業主要業種の研究開発強度アローアンスの推移 (1975-1996): 実績値/最適強度

表1及び図3は、このアローアンス急減の構造的背景を探ることをねらいに、電気機械及び医薬品の高研究開発強度企業54社(電機24、医薬品30)の研究開発強度(R/S)について、売上高(S)との相関及び時系列変化を分析したものである [9, 10]。

¹ 渡辺千仞、「製造業の研究開発費バブル期に実質減少始まる」、日本経済新聞経済教室(1992年11月25日)。

渡辺千仞、雨貝二郎、「製造業の研究開発離れ成長への好循環揺さぶる」、日本経済新聞 経済教室(1993年12月6日)。

² 米国競争力協議会 (2001年2月)。

³ 分析手法の詳細については、Tarasyev and Watanabe (2001) [3, 4] 参照。

表1 高研究開発強度電気機械及び医薬品企業の研究開発強度と売上高との相関 (1979-1998)

電気機械			
	$\ln(R/S)$	$adj.R^2$	DW
1979-82	$\ln(R/S) = -3.64 + 0.14 \ln S$ (2.36)	0.593	2.09
1983-86	$\ln(R/S) = -3.68 + 0.17 \ln S$ (2.99)	0.472	1.87
1987-90	$\ln(R/S) = -3.79 + 0.17 \ln S$ (2.99)	0.743	1.85
1991-94	$\ln(R/S) = -3.99 + 0.18 \ln S$ (6.02)	0.762	1.92
1995-98	$\ln(R/S) = -4.11 + 0.17 \ln S$ (5.25)	0.690	1.89

医薬品			
	$\ln(R/S)$	$adj.R^2$	DW
1979-82	$\ln(R/S) = -2.10 - 0.20 \ln S$ (-4.01)	0.652	1.84
1983-86	$\ln(R/S) = -1.48 - 0.19 \ln S$ (-4.66)	0.681	2.27
1987-90	$\ln(R/S) = -1.31 - 0.17 \ln S$ (-4.18)	0.670	1.97
1991-94	$\ln(R/S) = -1.31 - 0.13 \ln S$ (-3.40)	0.647	1.38
1995-98	$\ln(R/S) = -1.56 - 0.09 \ln S$ (-2.05)	0.570	2.16

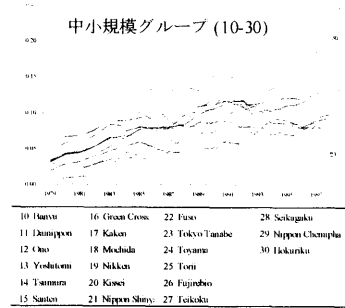


図3 高研究開発強度電気機械及び医薬品企業の研究開発強度の推移 (1979-1998)

これらの分析から、

- ① いずれの企業もその研究開発強度は売上高と有意な相関を有する、
- ② 電気機械は正の相関を有するが、医薬品は負の相関を有する、
- ③ 一方、時系列的には、医薬品企業の研究開発強度は逐年増加の一途をたどっているのに対して、電気機械は、逆に減少の一途をたどっていることが伺われる。

以上の分析結果から、両業種企業の研究開発強度 R/S は次式で示される。

$$R/S = aS^{bc^t} \quad (1)$$

ただし、 $a > 0$: スケールファクター、 $b > 0$: 電気機械、 $b < 0$: 医薬品、 $c < 0^1$

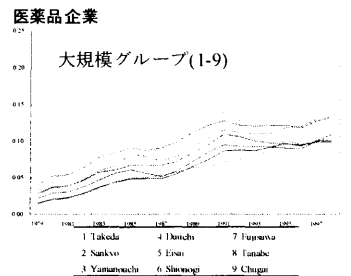
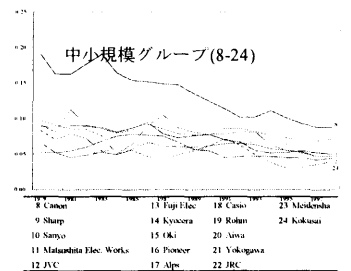
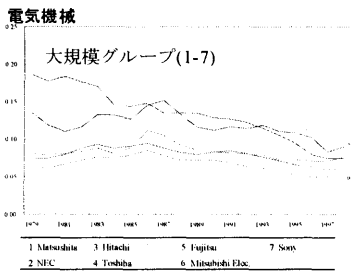
(1) 式より

$$\frac{\partial \ln S}{\partial \ln T} = \frac{\partial S}{\partial T} \cdot \frac{T}{S} = \frac{1}{1 \pm e^{ct+\lambda}} \quad (2)$$

ここに、 T は技術ストック $\lambda = \ln|b|$ を示し、右辺分母は、電気機械：+、医薬品：-を示す。⁵

(2)式の左辺は、売上げの技術ストック弾性値を、右辺は1を上(下)限とするロジスティックカーブを示す。

図4は両業種売上げトップ5社の1995-1998年の実績値をもとに、(2)式の帰趨を示したものであり、電気機械の技術ストック弾性値は、一定のシーリングに急迫していることが伺われ、これが、同業種研究開発停滞の構造的要因をしているものと考えられる。



$$4 \quad \ln R/S = \ln a + bc^t \ln S \quad \frac{\partial \ln R/S}{\partial \ln S} = bc^t \quad \begin{matrix} > 0 & \text{電気機械} \\ < 0 & \text{医薬品} \end{matrix}$$

$$\frac{\Delta R/S}{R/S} = bcc^t \ln S + bc^t \frac{\Delta S}{S} = bc^t (c \ln S + \frac{\Delta S}{S}) \quad \begin{matrix} < 0 & \text{電気機械} \\ > 0 & \text{医薬品} \end{matrix}$$

$$\ln S \cdot \frac{\Delta S}{S} > 0, \quad b > 0 (\text{電気機械}), \quad b < 0 (\text{医薬品}) \text{だから}, \quad c < 0$$

⁵ t 期の技術ストック $T_t = R_{t-m} + (1-\rho)T_{t-1}$, $T_0 = R_{1-m}/(\rho+g)$, ここに m : リードタイム、 ρ : 陳腐化率、 g : 初期段階の R の平均増加率、 $t = m-1$ においては、 $T \approx R/(\rho+g)$

$$\frac{\partial \ln R/S}{\partial \ln S} = \frac{\partial \ln R}{\partial \ln S} - 1 = \frac{\partial (\ln T + \ln(\rho+g))}{\partial \ln S} - 1 = \frac{\partial \ln T}{\partial \ln S} - 1$$

$$\therefore \frac{\partial \ln T}{\partial \ln S} = 1 \pm e^{ct+\lambda} \quad \text{従って}, \quad \frac{\partial \ln S}{\partial \ln T} = \frac{1}{1 \pm e^{ct+\lambda}}$$

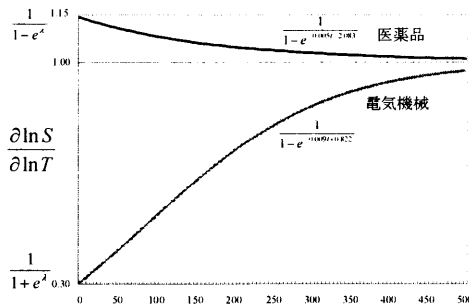


図4 高研究開発強度電気機械及び医薬品企業の売上げの技術ストック弾性値の帰趨

3. ITの性格形成過程と潜在的な研究開発資源

3.1 性格形成過程の解明

電気機械はIT開発の中核的役割を担うものであり、そのIT強度(付加価値当りのIT集約度)はきわだって高い。⁶ 従って、同業種の研究開発構造は、本来的にはITの性格形成過程と軌を一にするものである。

図5は、ITの性格形成のメカニズムを示したものであり、普及過程における社会経済とのインターアクションに応じ、ネットワーク外部性を発揮し[2, 11]、自己増殖的に新たな機能が付加拡大し、スパイラルに発展していく様相が伺われる。

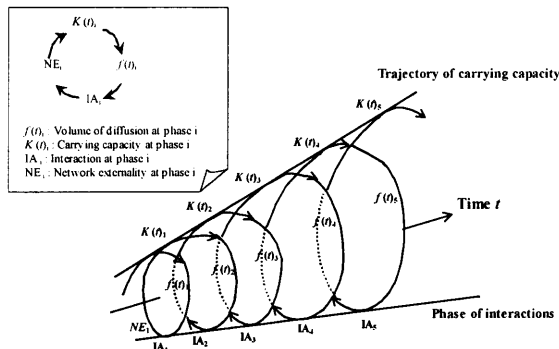


図5 情報技術の普及過程における機能自己増殖メカニズム

図6はこのような性格形成過程を従来の製造技術の中核とする、固定電話とITの集積体とも言うべき携帯電話の普及過程を比較することによって検証したものであり、携帯電話における新機能の自己増殖プロセスが顕著に伺われる。⁷

図7は、以上の検証に基づき、製造技術とITの性格形成過程を比較したものであり、製造技術の性格が、供給者全体で形成され、既与のものとして社会経済に送り出されるのに対して、ITの性格は、社会経済とのインターアクションの過程

⁶ 詳細は、本予稿集 2B19 (魏、渡辺) 参照。

⁷ 詳細は、本予稿集 2B14 (大内、渡辺) 参照。先に見た電気機械の技術ストック弾性値の帰趨は、まさに固定電話のパターンに陥っており、携帯電話様の新機能の自己増殖が必要となっている。

を通じて自己増殖的に形成されていくことが伺われる。⁸

従って、IT開発の中核的役割を担う電気機械は、このような新たな機能の自己増殖軌道に乗らない限り、ITを中核とする情報化社会へのパラダイムシフトから遊離していくことが懸念される。1990年代に入ってからの、このパラダイムシフトと軌を一にして顕在化した電気機械の研究開発離れは、このミスマッチに起因するものと考えられる。

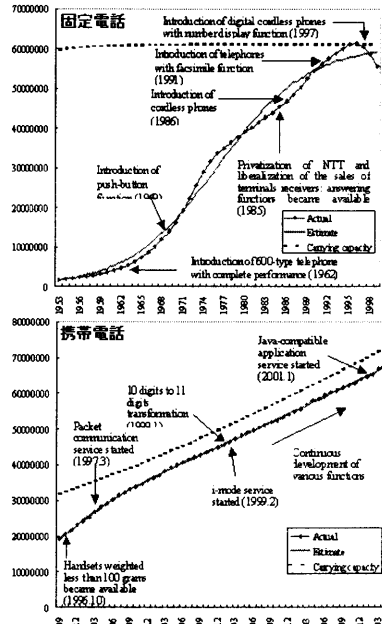


図6 固定電話及び携帯電話の普及プロセス

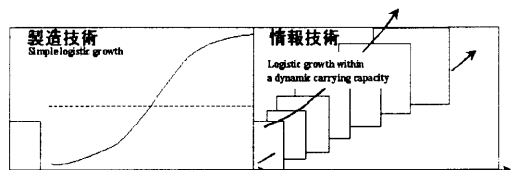


図7 製造技術と情報技術の性格形成過程の比較

3.2 潜在的な研究開発資源利用の極大化

以上検証してきたように、日本の製造業の中核を占め、IT開発の中核的役割を担うべき電気機械は、自ら、社会経済との相互啓発性を高め、インターアクション過程において、新たな機能の自己増殖をとげる体質に脱皮することが必要不可欠である。

これは、畢竟IT固有の需要創出機能に遭準することに他ならない。

このような観点から、広義の技術進歩を表わす全要素生産性(TFP)を分解すると、(3)式に示すように、①技術ストック直接効果、②同二次効果(技術の生産要素への体化程度の相異の是正を誘因)、③スピルオーバー効果及び④需要創出に

⁸ 詳細は、本予稿集 1C04 (近藤、渡辺) 参照。

伴う誘発効果に分けられる。⁹

$$TFP = (1 - k^{-1}\eta)\dot{F}_d - (1 - k^{-1}\eta)\psi\eta\sum_i s_i \dot{P}_i + (1 - k^{-1}\eta)\eta^2(\psi - 1)k^{-1} \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{T}{V} \cdot \dot{T} + k^{-1}\eta \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{T}{V} \cdot \dot{T}$$

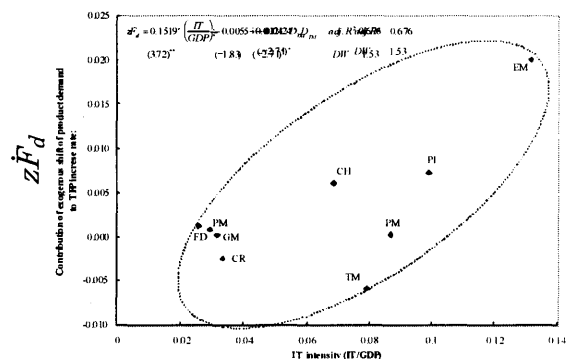
where V : GDP; F_d : final demand; T : technology stock; P_i : factor's price; $s_i = \frac{P_i X_i}{PV}$;

X_i : factor i 's quantity; η : production elasticity to cost; ψ : elasticity to production;

$\psi = \frac{e}{1 - e(1 - \eta)}$; k : profit ratio $\left(= \frac{PV}{C} \right)^C$; total cost and

$$TFP = \frac{\Delta TFP}{TFP} \quad \Delta TFP = \frac{dTFP}{dt}$$

図8は1995-98年の間の製造業主要業種のIT強度とTFP増加率のうち需要創出に伴う誘発効果との相関を分析したものであり、電気機械を筆頭とする高IT強度業種が相対的に高い需要創出効果を発揮していることを示している。



a $z = 1 - k^{-1}\eta$.
 b ** and * indicate statistically significant at 1% and 5%, respectively
 c EM: electrical machinery, PI: precision instruments, CH: chemicals, PM: primary metals, TM: transportation equipment, GM: general machinery, CR: ceramics, PP: pulp and paper and FD: food.
 D D_{EM} : dummy variable

図8 情報技術の需要創出機能の検証

以上の分析を総合すると、電気機械は、IT開発の中核業種として、IT固有の需要創出効果に対する潜在的可能性を内含有しながら、実態的には必ずしもそれを十分に発揮する状態にはなく、新たな機能の自己増殖メカニズムから外れていることが伺われる。

従って、需要創出機能に遭進し、図9に示すITの自己増殖の好循環に乗ることが重要であり、これが研究開発離れの悪循環から脱却する唯一の方策と考えられる。

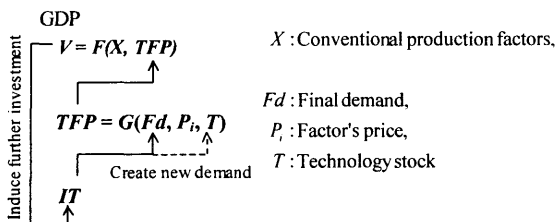


図9 情報技術の自己増殖構造

4. 考察

- IT主導経済下の研究開発投資の最適化

日本の産業の研究開発費の1/3以上を占める電気機械に見られる研究開発離れの根源が、製造技術の中核とした工業化社会からITの中核とする情報化社会へのパラダイムシフトの下での両技術の性格形成過程の本質的な相異に根ざすことを明らかにした。そして、IT固有の需要創出機能に遭進し、更なる機能の自己増殖の好循環を構築することが、研究開発離れの悪循環から脱却するの唯一の方策であることを指摘した。このような方向こそが工業化社会においては看過されていたIT主導経済特有の潜在的な研究開発資源の有効利用を前提とした「IT主導経済下の研究開発投資の最適化」に他ならない。¹⁰

今後、引き続き、需要創出機能の発現をトリガーに、自己増殖の好循環の構築に成功した事例の更なる分析を重ね、その成功要因の普遍化に努めることが課題とされる。

参考文献

- [1] G. O. Mensch, *Stalemate in Technology - Innovation overcome the Depression* (Bellinger Publishing Company, Cambridge, Massachusetts, 1979) [Original title: *Das Technologische Patt* (Umschau Verlag, Frankfurt, 1975)].
- [2] R. R. Nelson and B. N. Sampat, "Making Sense of Institutions as a Factor Shaping Economic Performance," *Journal of Economic Behavior & Organization* 44, No. 1 (2001) 31-54.
- [3] A. M. Tarasyev and C. Watanabe, "Optimal Dynamics of Innovation in Models of Economic Growth," *Journal of Optimization Theory and Applications* 108, No. 1 (2001) 175-203.
- [4] A. M. Tarasyev and C. Watanabe, "Dynamic Optimality Principles and Sensitivity Analysis in Models of Economic Growth 47 (2001) 2309-2320.
- [5] C. Watanabe, "Systems Option for Sustainable Development," *Research Policy* 28, No. 7 (1999) 719-749.
- [6] C. Watanabe, B. Zhu, C. Griffy-Brown and B. Asgari, "Global Technology Spillover and Its Impact on Industry's R&D Strategies," *Technovation* 21, No. 5 (2001) 281-291.
- [7] C. Watanabe, B. Zhu and T. Miyazawa, "Hierarchical Impacts of the Length of Technology Waves: An Analysis of Technolabor Homeostasis," *Technological Forecasting & Social Change* 68 (2001) 81-104.
- [8] C. Watanabe, S. Reshmin and A. M. Tarasyev, "Dynamical Model of Investments in R&D," *Applied Mathematics and Mechanics* 65, No. 3 (2001) 408-425 (in Russian).
- [9] C. Watanabe, M. Takayama, A. Nagamatsu, T. Tagami and C. Griffy-Brown, "Technology Spillover as a Complement for High-level R&D Intensity in the Pharmaceutical Industry," *Technovation* (2001) in print.
- [10] C. Watanabe and B. Asgari, "Dynamic Interactions between Assimilation Capacity, Technology Spillovers, Sales and R&D Intensity," *Technovation* (2001) in print.
- [11] C. Watanabe and R. Kondo, "Institutional Elasticity towards IT Waves for Japan's Survival," *Technovation* (2001) in print.
- [12] 渡辺千俣、朱兵、藤祐司、「研究開発投資の最適軌道管理に関する理論的・実証的分析」、研究技術計画 (2001) in print.
- [13] 渡辺千俣、許光仁、馬場啓介、「技術のスピルオーバーに視点を据えた産業の技術構造の変遷に関する実証分析」、研究技術計画 (2001) in print.

¹⁰ この他、研究開発投資の最適化を図る上で勘案すべき事項・側面等については、本予稿集1C19 (佐々木、渡辺)、1C20 (小川、渡辺)、2B04 (梅田、渡辺)を参照。

⁹ 詳細は、渡辺、許、馬場 (2001) [13] 参照。