

○渡辺千帆（東工大社会理工）

1. 序 論

技術経済分析において、技術革新は従来専ら外生的に扱われてきた [2]。しかし、多くの技術革新において、技術・経済・社会の3領域間の内生的な相互作用が重要な役割を果たしており、それを通じて有機的に盛衰することが確認されている [5]。

本分析は、以上の動態メカニズムの解明及び内生モデル化をねらいに、過去20年間の太陽電池の発展パスを対象に、研究・開発・実用・普及・習熟のパスダイナミズムを実証的に分析し、その計量モデル化を試みる。

2. 技術革新のダイナミズム

図1は、一般的な技術革新のダイナミズムを示したものである。研究開発投資すなわち技術革新に対する投資は他の投資に比して、不確実性 (uncertainty) 及び習熟 (learning) 効果¹⁾が大きいという特性を有する [5]。この特性故に技術革新のダイナミズムは計量モデル化の難点とされてきており、少なからず外生的に扱われてきた。しかし、そのダイナミズムの実相は、経済・社会との相互作用のもとに活性化・成長・消滅をとげる総合的・有機的なシステムそのものである。本分析は、このようなシステムたる技術革新の動態メカニズムの計量モデル化を試みる。

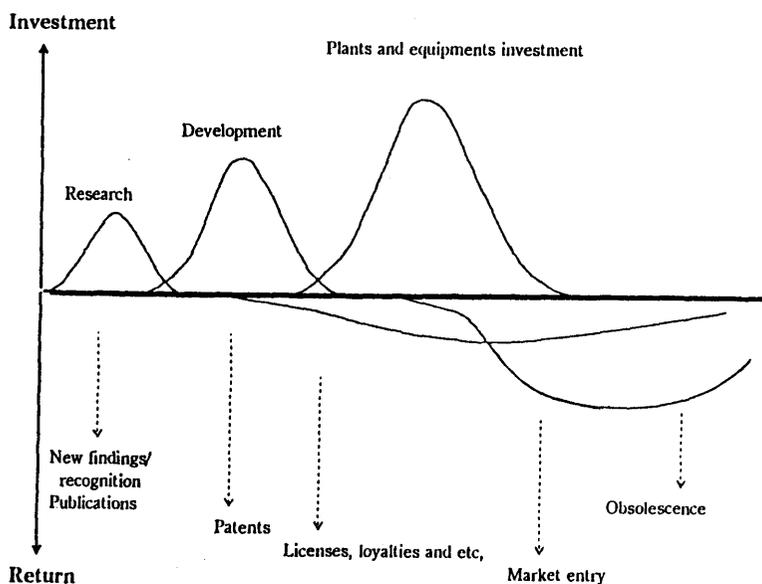


Fig. 1 Scheme of Dynamics of R&D Activities

1) learning by doing, learning by using 等

3. 太陽電池の研究・開発・実用・普及・習熟のパスダイナミズム

太陽電池は、既に1950年代から人工衛星への搭載がはかられる等経済・社会との接触の歴史は長い。しかし、高価格等により、既存の技術と代替するには至らず、その歴史の大半は「経済・社会に対する外生的存在」にとどまっていた。しかし、本来的に化学・電子・材料にわたるポテンシャルの高い学際的な技術であり、また極めて習熟効果の大きい特性を有する。これに注目して、1974年から通産省のナショナル・サンシャイン計画において、国主導のもとに産業の活力の誘発をねらいとした研究開発が進められてきた。図2は、この研究開発予算の推移を示すものであり、式1に示すように、サンシャイン計画は1年程度のタイムラグを経て、産業の研究開発を強力に誘発してきたことが顕著にうかがわれる。

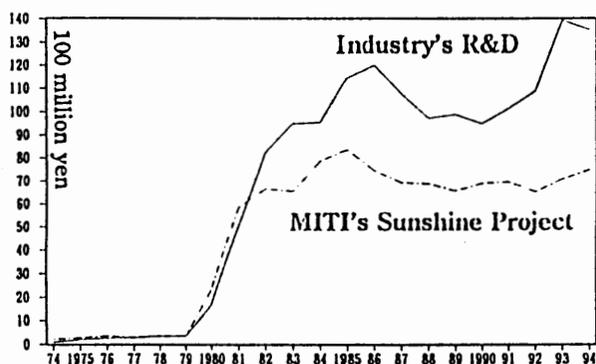


Fig. 2 Trends in R&D Expenditure of PV R&D in Japan (1974-1994)
- 100 million yen at current prices

$$\log(\text{PVR}) = 0.30 + 1.03 \log(\text{SSPV}-1) \quad (16.47)$$

where SSPV: PV R&D budget by the Sunshine Project, PVR: industry's PV R&D expenditure.

この研究開発は、式2に従って、図3に示すように着実に技術知識ストック²⁾を増大させてきた。

$$\text{TPV}_t = \text{PVR}_{t-m} + (1-\rho) \text{TPV}_{t-1} \quad m=2.8 \text{ years, } \rho = 20\% \text{ p. a.} \quad (2)$$

この技術知識ストックは、毎年の研究開発投資と相まって、図4に示すように特許を生み出してきた。この特許の出願と研究開発投資及び技術知識ストックとの相関は式2'に示す通りであり、Griliches等の研究[3]同様各年の最先端の研究開発への取り組みのプロキシたる研究開発投資が支配的ではあるが、

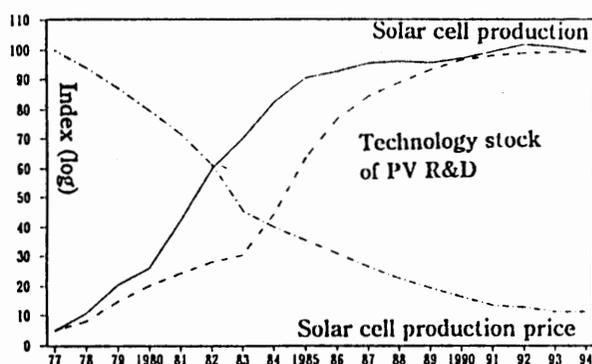


Fig. 3 Trends in PV Development in Japan (1976-1994) - Index

adj.R2	DW	
0.938	1.48	(1)

これとあわせて過去の研究開発の蓄積たる技術知識ストックも特許の出願に貢献していること、また、特許の出願は逐年困難化してきていることもうかがわれる。

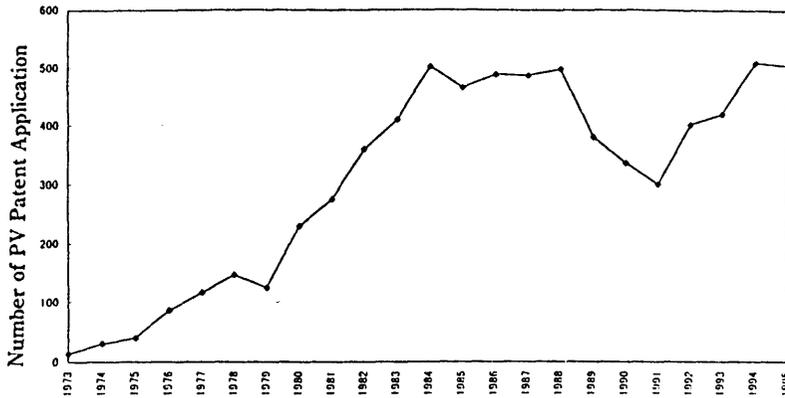


Fig. 4 Trends in Number of PV Patent Application in Japanese Industry (1973-1995)

$$PVPAT = A e^{\lambda t} PVRr^{\alpha} TPV^{\beta} \quad (2')$$

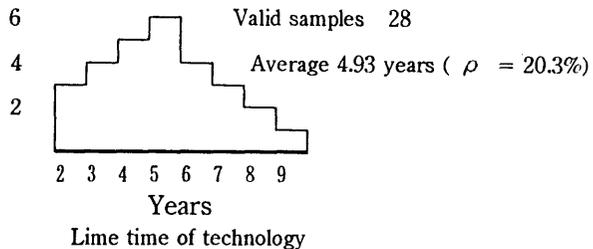
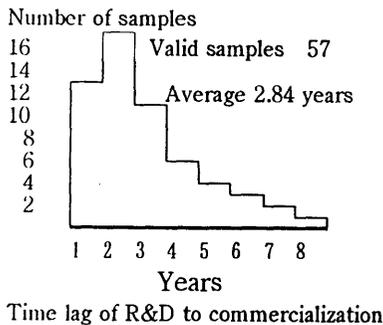
Number of PV patent application Stagnation
 PV R&D expenditure (real) Technology knowledge stock of PV R&D

$$\ln PVPAT = 56.320 - 0.026 \text{ year} + 0.367 \ln PVRr + 0.087 \ln TPV - 0.319 D \quad \text{adj R}^2 = 0.960 \quad \text{DW } 1.94$$

(-1.51) (9.98) (1.58) (-3.59) D: Dummy variable 1976, 91 = 1

2) 技術知識ストックへの計測に必要な研究開発から実用化までのリードタイム (m) 及び技術の陳腐化率 (ρ) は、太陽電池研究開発を実施している 19 社に対するアンケート調査 (1993年通産省) 中の有効サンプル該当企業下記 14 社の平均を用いた。その分布は下図に示すとおり。

1. 三菱電機 2. シャープ 3. 富士電機 4. 京セラ 5. 大阪チタニウム 6. 東燃 7. 日立
8. 日鉱共石 9. ほくさん 10. 松下電器 11. 鐘淵化学工業 12. 三洋電機 13. 松下電池工業
14. 昭和シェル石油



技術知識ストックは、最先端の太陽電池生産施設等に体化して、図3に示すように太陽電池の生産を誘発してきた。生産拡大のプロセスは、式3に示すように、エネルギー価格の上昇にも誘発され、また、習熟効果にも負っていることがうかがわれる。

$$\log(\text{SCP}) = -206.33 + 1.07 \log(\text{TPV}) + 4.88 \log(\text{Pey}) + 0.10 \text{ year} \quad \begin{array}{cc} \text{adj.R2} & \text{DW} \\ 0.981 & 1.62 \end{array} \quad (3)$$

(6.84) (10.46) (2.01)

where SCP: solar cell production, TPV: technology knowledge stock of PV R&D and Pey: relative energy prices.,

この生産の拡大は、習熟効果と相まって、図3に示すように太陽電池の生産価格を急速に低下させた。そのプロセスは式4に示される。

$$\log(\text{PSC}) = 102.79 - 0.34 \log(\text{SCP}) - 0.05 \text{ year} \quad \begin{array}{cc} \text{adj.R2} & \text{DW} \\ 0.996 & 1.86 \end{array} \quad (4)$$

(-21.84) (-7.31)

where PSC: solar cell production price (fixed price),

先に見たように生産の拡大は技術（技術知識ストック）の体化、エネルギー価格の上昇及び習熟効果に依存するので、その源泉に則れば、生産価格の低下は式4'のプロセスでも示される。

$$\log(\text{PSC}) = 178.82 - 0.36 \log(\text{TPV}) - 1.65 \log(\text{Pey}) - 0.09 \text{ year} \quad \begin{array}{cc} \text{adj.R2} & \text{DW} \\ 0.979 & 1.37 \end{array} \quad (4')$$

(-4.91) (-7.56) (-3.68)

生産価格の低下は、需要の増大を促し、それに触発されて更なる生産の拡大を生み、ここに生産の拡大と価格の低下の間の好循環のメカニズムが構築される。このメカニズムは、式5のように示される。

$$\log(\text{SCP}) = 7.44 - 1.94 \log(\text{PSC}_{-1}) + 2.17 \log(\text{Pey}_{-1}) \quad \begin{array}{cc} \text{adj.R2} & \text{DW} \\ 0.993 & 1.15 \end{array} \quad (5)$$

(-47.21) (7.95)

同様の好循環は、生産の拡大と、研究開発投資との間にも期待され、そのメカニズムは式6のように示される。

$$\log(\text{PVR}) = 3.14 + 0.60 \log(\text{SCP}) \quad \begin{array}{cc} \text{adj.R2} & \text{DW} \\ 0.973 & 1.56 \end{array} \quad (6)$$

(25.63)

かくして、国の研究開発・産業の研究開発・技術知識ストックの蓄積・生産の拡大・価格低下の間の有機的な好循環システムが構築される。

4. パスダイナミズムの計量化

以上の一連の研究・開発・実用・普及・習熟のパスダイナミズムを整理すると図5のように示され、そのダイナミズムは、式1-6の連立式によって示される。

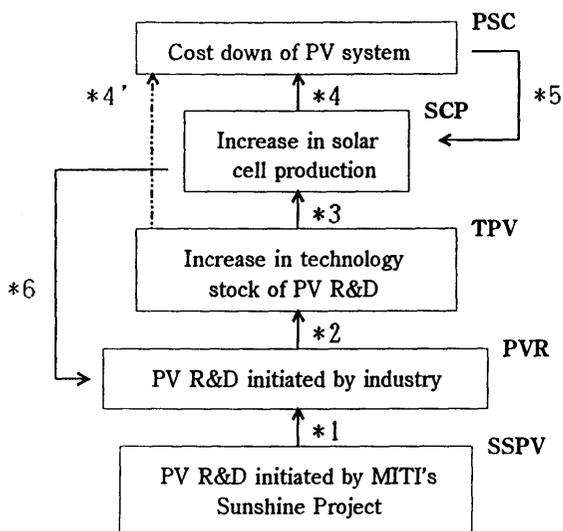


Fig. 5 Steps of Virtuous Cycle for PV Development in Japan (1976-1994)

	adj.R2	DW	
*1 $\log(\text{PVR}) = 0.30 + 1.03 \log(\text{SSPV}_{-1})$ (16.47)	0.938	1.48	(1)
*2 $\text{TPV}_t = \text{PVR}_{t-m} + (1 - \rho) \text{TPV}_{t-1}$ $m=2.8$ years, $\rho = 20\%$ p. a.			(2)
*3 $\log(\text{SCP}) = -206.33 + 1.07 \log(\text{TPV}) + 4.88 \log(\text{Pey}) + 0.10 \text{ year}$ (6.84) (10.46) (2.01)	adj.R2	DW	
	0.981	1.62	(3)
*4 $\log(\text{PSC}) = 102.79 - 0.34 \log(\text{SCP}) - 0.05 \text{ year}$ (-21.84) (-7.31)	adj.R2	DW	
	0.996	1.86	(4)
$\log(\text{PSC}) = 178.82 - 0.36 \log(\text{TPV}) - 1.65 \log(\text{Pey}) - 0.09 \text{ year}$ (-4.91) (-7.56) (-3.68)	adj.R2	DW	
	0.979	1.37	(4')
*5 $\log(\text{SCP}) = 7.44 - 1.94 \log(\text{PSC}_{-1}) + 2.17 \log(\text{Pey}_{-1})$ (-47.21) (7.95)	adj.R2	DW	
	0.993	1.15	(5)
*6 $\log(\text{PVR}) = 3.14 + 0.60 \log(\text{SCP})$ (25.63)	adj.R2	DW	
	0.973	1.56	(6)

where SSPV: PV R&D budget by the Sunshine Project, PVR: industry's PV R&D expenditure, TPV: technology knowledge stock of PV R&D, SCP: solar cell production, PSC: solar cell production price (fixed price), m: time lag of PV R&D to commercialization, ρ : rate of obsolescence of PV technology, and Pey: relative energy prices.

5. 考 察

技術革新の動態メカニズムの解明及び内生モデル化をねらいに、化学・電子・材料にわたるポテンシャルの高い学際的な技術であり、また極めて習熟効果の大きい特性を有する太陽電池を対象に、その20年間の研究・開発・実用・普及・習熟のパスダイナミズムを実証的に分析し、その計量モデル化を試みた。

国主導の研究開発の寵児たる太陽電池の急速な価格低下は研究開発及び習熟効果を軸とし、研究開発・生産拡大・価格低下の間の好循環に負い、国の研究開発がそのトリガーを切ったことが顕著に見られた。また、そのモデル化は統計的に極めて有意なものであることが確認された。今後引き続き、他の技術分野をも対象に更なる発展を図ることが期待される。

References

- [1] M. Abramovitz, "The Search for the Sources of Growth: Areas of Ignorance, Old and New," *Journal of Economic History* 52, No 2 (1993) 217-243.
- [2] C. Freeman, "The Economics of Technical Change," *Cambridge Journal of Economics* 18 (1994) 463-514.
- [3] Z. Griliches, "Patent Statistics as Economic Indicators," *National Bureau of Economic Research Working Paper* No. 3301 (1990).
- [4] Z. Griliches, "The Discovery of the Residual: A Historical Note," *Journal of Economic Literature* 34 (1996) 1324-1330.
- [5] A. Grubler and A. Gritsevskii, "A Model of Endogenous Technological Change Through Uncertain Return on Learning (R&D and Investments)," Paper presented to Workshop on Induced Technological Change and the Environment (Luxemburg, 1997).
- [6] E. Mansfield, "How Rapidly Does New Industrial Technology Leak Out?," *Journal of Industrial Economics* 34, No. 2 (1985) 217-223.
- [7] C. Watanabe, "Identification of the Role of Renewable Energy - A View from Japan's Challenge," *Renewable Energy* 6, No.3 (1995) 237-274.
- [8] C. Watanabe, "The Interaction between Technology and Economy: National Strategies for Constrained Economic Environments - The Case of Japan 1955-1992," *IIASA Working Paper, WP 95-16* (1995).
- [9] C. Watanabe, "Choosing Energy Technologies: The Japanese Approach," in *Comparing Energy Technologies*, (OECD/IES, Paris, 1996) 105-138.
- [10] C. Watanabe, "Systems Options for the Rational Use of Energy for Global Sustainability," Paper presented to APEC Energy R&D and Technology Transfer Seminar (Santiago, 1997).