

○永松陽明, 渡辺千仞 (東工大社会理工)

1. 序論

技術革新に関する研究は、未だ多くの部分が解明されていない。情報化あるいは知識が重要視される今日の経済状況下では、なお一層その解明が重要な問題になっている。

未知な部分が多い技術革新研究ではあるが、有効な示唆に富む既存研究がある。その先鞭として古典的成長会計理論が挙げられる。その研究では、技術革新が製品価格を低下させると主張している (Denison, 1962 Jorgenson 及び Griliches, 1967)。また、技術の普及に関する研究では、疫学関数で普及し、技術革新は製品に体化することで普及すると述べられている (Rogers, 1962)。学習効果を分析する研究では、その効果は価格を低下させると指摘している (Arrow, 1962)。これら有効な研究はあるが、結びつけた分析は行われていない。つまり、未だ技術革新製品 (イノベティブグッズ) における価格低減メカニズムは、ブラックボックスなのである。本研究は、そのブラックボックスを解明することを目的とする。

分析対象は、新エネルギー財団 (New Energy Foundation: NEF) が実施しているアンケート調査によって得られたシャープ、京セラ及び三洋電機の 639 の太陽電池モジュール価格を対象とする。太陽電池を分析対象とする理由として、技術開発と生産量増加、価格低下の「好循環サイクル」が実現された分野であり、技術のインパクトを計測できる好例であるためである。

2. 技術開発、生産量増加及び価格低減の好循環メカニズム

通商産業省(現経済産業省)は 1974 年来のサンシャイン計画において太陽電池研究開発に着手し、半導体技術やアモルファス太陽電池技術開発の進展をテコに、1980 年来研究開発の加速的推進を図るに至っている。こうした努力によって日本は、世界的に大きなシェアを有するに至っている (図 1 参照)。

この中で、本分析で対象としたシャープ、京セラ、三洋電機は生産量のおよそ 8 割を占める(図 2 参照)。

図 3 は、太陽電池セル価格が着実に低下していることを示している。その理由として、太陽電池技術スト

ックの増加及びそれに付随する太陽電池生産の増加が挙げられる。これは図 4 に示すような、通産省のサンシャイン計画に触発された、産業の精力的な太陽電池研究開発拡大の結果構築された好循環サイクルによるものである。¹

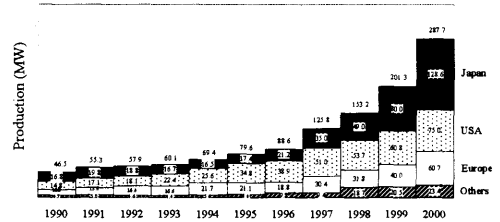


図 1 世界の太陽電池生産の推移 (1990-2000):MW

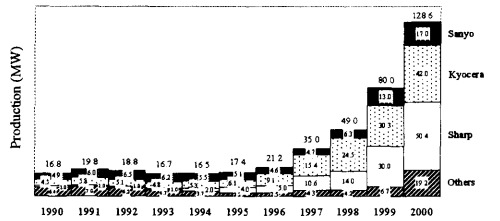


図 2 日本の太陽電池生産の推移 (1990-2000):MW

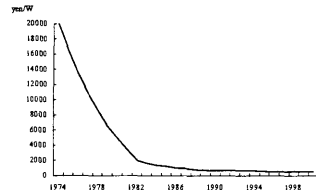


図 3 太陽電池セル価格の推移 (1974-2000):名目価格 (yen/W)

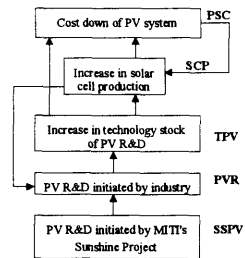


図 4 太陽電池における好循環サイクル

¹ Watanabe (1999) は、このメカニズムを統計的に確認している。

3. 太陽電池モジュール価格の分布

本分析では、NEF が太陽電池システム購入予定者向けにインターネット上で提供しているデータベースを利用した。企業別、システム価格及びモジュール価格など詳細なデータがある唯一のデータベースである。

そのデータを整理し、ダンピング価格などを考慮すると、各社の価格分布²を示す図5が得られる。

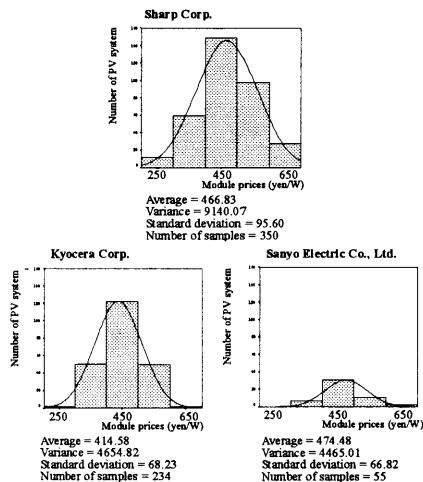


図5 太陽電池リーディング企業3社のモジュール価格の分布(2000年)

図5における各曲線は正規曲線である。各社の価格の分布はそれに沿っており、モジュール価格は正規分布に従っていると考えられる。

4. 仮説構築

技術革新製品における価格低減プロセスは、技術向上、スピルオーバー技術及び学習効果のインタラクションによってもたらされると考える。本節では、その仮説を明確にする。

4.1 太陽電池モジュールにおける技術ストック構造

技術形成プロセスは、一般に技術ストック形成プロセスによって決定される。技術ストックは、固有の技術ストック T_i と同化能力 Z によって同化された技術のスピルオーバー T_j の和で表すことができる (Watanabe, 2001)。

$$T = T_i + Z \cdot T_j \quad (1)$$

ここで、企業 j の製品 i は、 j 社のその他製品の技術ストックと他社の技術ストックを利用できるとすれば、

² この価格は、NEFの補助金額を除いたものである。

(2)式が得られる。

$$T = T_i + Z \left(\sum_{h=1}^n (T_h)_j + \sum_{k=1, k \neq j}^m (T_k) \right) \quad (2)$$

where T_i : indigenous technology stock in module i ; $(T_h)_j$: technology stock in module h in firm j and (T_k) : technology stock in firm k .

このコンセプトを図示すると、図6になる。

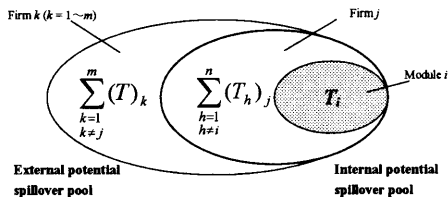


図6 技術ストック形成プロセス

4.2 技術のスピルオーバー、技術の向上及び学習効果

新しく創出された技術 $[T]$ は、現在の技術水準 T と研究開発投資 R で表すことができる。Thomson (1993) に依拠すると、学習関数 ϕ を導入すると(3)式を得られる。

$$[T] = \phi(T) \cdot R \quad (3)$$

学習効果関数 $\phi(T)$ は、一般に $\phi(T) > 0$ 、 $\phi'(T) > 0$ 、 $\phi''(T) < 0$ と特徴付けられるので、 $[T]$ 創出後の技術水準 T_2 は(4)式になる。

$$T_2 = T + [T] > T \quad (4)$$

また、Jaffe (1986) に従って、技術のドナー (D) からホスト (H) への技術スピルオーバーのメカニズムは(5)式で表すことができる。

$$[Td]_h = \theta(T_h, \alpha) \cdot T_d \quad (5)$$

Assimilating technology Assimilation capacity Spillover technology flow
Technological level of the host Learning and assimilation capacity

(3)式より(5)式は(6)式に展開され、それより同化能力は学習効果に依存することがわかる。

$$[Td]_h = \phi(T_h) \cdot f(\alpha) \cdot T_d \quad (6)$$

Learning capacity depending on own technological level
Assimilation capacity

新技術を考慮したホストにおける技術水準 $[Th_2]$ は、(4)式より求められる。

$$[Th_2] = \phi(Th) \cdot Rh + [Td]_h = \phi(Th)[Rh + f(\alpha) \cdot T_d] \quad (7)$$

$Th_2 > Th$ かつ $\phi(Th_2) > \phi(Th)$ なので、スピルオーバー技術の増加は、学習効果を向上させる。

以上のスピルオーバー技術、技術の向上及び学習効果の循環関係とそれによる価格低減のダイナミズムは図7に示すとおりである。本研究はこのダイナミズムの解明をねらいとする。

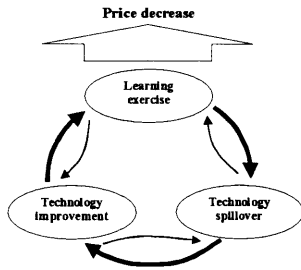


図7 本研究の基本フレーム

5. 太陽電池モジュール価格の分散における支配要因

太陽電池モジュール価格 MP は、技術ストック T 、モジュールサイズ CP 、変換効率 PF 及び平均価格 MP_0 で表すことができる。また MP_0 と MP との分散は、(8)式で表すことができる。

$$\frac{MP}{MP_0} = G(T, CP, PF, \varepsilon') \quad (8)$$

また同化能力 Z は大変小さいと仮定すれば、 $\ln T$ は(1)式より導出できる。

$$\ln T = \ln T_i + \ln(1 + Z \frac{T_s}{T_i}) \approx \ln T_i + Z \frac{T_s}{T_i} \quad (9)$$

(8)式を2次項までテーラー展開した式に(9)式を代入すると、(10)式を得られる。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{MP}{MP_0}\right) = & A + \alpha_1 \ln T_i + \alpha_2 Z \frac{T_s}{T_i} + \alpha_3 \ln CP + \alpha_4 \ln PF \\ & + \beta_1 \ln T_i \cdot \ln CP + \beta_2 Z \frac{T_s}{T_i} \cdot \ln CP + \beta_3 \ln T_i \cdot \ln PF + \beta_4 Z \frac{T_s}{T_i} \cdot \ln PF \\ & + \gamma_1 \ln CP \cdot \ln PF + \varepsilon'' \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式の結果は表1に示すとおりである。

表1 各社の支配要因結果

	α_1	$\alpha_1 \cdot Z$	$\beta_1 \cdot Z$	β_2	adj. R^2
Sharp Corp.	-0.29 (-2.81)	-0.00 (-0.47)	-0.14 (-2.60)	0.565	
Kyocera Corp.	-0.31 (-2.36)	-0.00 (-4.11)	-0.09 (-1.36)	0.530	
Sanyo Electric Co., Ltd.	-0.49 (-2.21)	-0.00 (-4.43)	0.00 (2.96)	-0.11 (-1.07)	0.593

表1より、技術ストックとスピルオーバー技術は価格低減に貢献していることがわかるが、モジュールサイズの効果は極めて小さい。ただ、三洋電機におけるスピルオーバー技術とサイズの組み合わせられた効果は有意であり、価格上昇に寄与する。この理由として、三洋電機のみがアモルファス太陽電池を製造するからだと考えられる。

次にモジュール価格の分散の支配要因を特定化する。

(8)式をオイラーの定理を用いて展開すると、(9)式を得る。

$$\frac{MP}{MP_0} = \frac{1}{MP_0} \left(\frac{\partial MP}{\partial T} \cdot T + \frac{\partial MP}{\partial CP} \cdot CP + \frac{\partial MP}{\partial PF} \cdot PF + \varepsilon' \right) \quad (9)$$

それぞれの支配要因 T, CP, PF で偏微分し、それらを(9)式に代入すると、(10)式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{MP}{MP_0} = & (\alpha_1 + \beta_1 \ln CP + \beta_2 \ln PF) \frac{MP}{MP_0} \\ & + (\alpha_2 + \beta_1 \ln T_i + \beta_1 Z \frac{T_s}{T_i} + \gamma_1 \ln PF) \frac{MP}{MP_0} \\ & + (\alpha_3 + \beta_2 \ln T + \beta_2 Z \frac{T_s}{T_i} + \gamma_1 \ln CP) \frac{MP}{MP_0} \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式の初項は、分散に対する技術のインパクトを示し、同様に2項、3項はそれぞれサイズ、変換効率のインパクトとを示す。

表2の係数を(10)式に代入すると、2000年における支配要因を明らかにできる。その結果をまとめると図8になる。

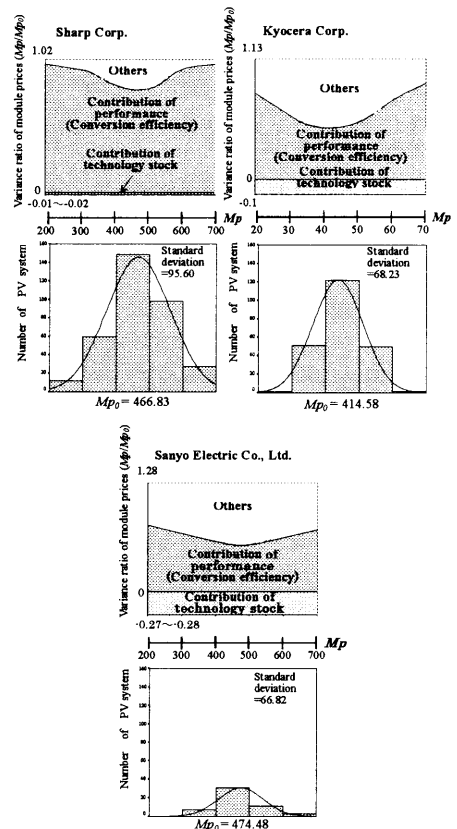


図8 モジュール価格の価格分布と支配要因

図8より、技術には価格低減の効果があると同時に、

価格の分散を最小化する作用を持ち合わせるということがわかる。この結果は、4節で述べた仮説を支持する。

図9は、各社の価格低減における技術（スピルオーバー技術も含めた）の貢献の大きさと価格の標準偏差との相関を示した図である。この図より技術の貢献は標準偏差を小さくすると同時に、技術の貢献は、各社の技術ストックのレベルに依拠することを明らかにしている。

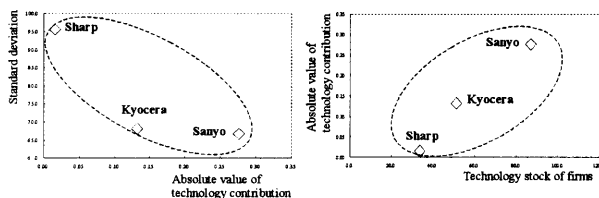


図9 太陽電池モジュール価格低減における技術貢献と価格の標準偏差の相関

表2 太陽電池モジュール価格の分散と変換効率の相関結果

$$\ln DMP = a + b \ln CPF$$

where DMP : distribution of module prices; CPF : contribution of performance and a, b parameters.

	a	b	$adj. R^2$
Sharp Corp.	-7.29 (-237.30)	-6.41 (-48.81)	0.921
Kyocera Corp.	-11.31 (-238.68)	-8.66 (-120.91)	0.985
Sanyo Electric Co., Ltd.	-6.13 (-14.21)	-1.30 (-1.76)	0.768

* DMP is approximated by normal distribution.

表2は、各社のモジュール価格の分散と変換効率との相関の結果である。これより、変換効率が分散に対して負の影響を持つ、つまり小さくするインパクトを持つことを示している。

6. 結論

本分析では、企業独自の技術ストック及びスピルオーバー技術が太陽電池モジュール価格低減に大きく貢献することを実証した。この貢献は、企業の技術ストックに左右されると同時に、価格の分散を最小化する作用を持つ。また、モジュールの性能(変換効率)は価格の分散に影響するが、サイズは影響を与えないことが明らかになった。

技術による技術革新製品に対する体化のメカニズムは、競争などのダイナミックゲームを通じて行われる。

また、経済産業省、新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) 及び NEF による研究開発や購買の助成は、好循環メカニズムの促進に大きな影響を持つことも指摘される。

太陽電池技術開発では、スピルオーバー技術、技術の向上及び学習効果が織り成す好循環メカニズムが価格低減の構造的なソースであることが明らかになった。

さらなる研究課題として、本仮説の普遍性・妥当性の確認として、他産業や他技術革新製品での分析が希求される。

参考文献

- [01] K. J. Arrow, "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies* 29 (1962) 155-173.
- [02] W. M. Cohen and D. A. Levintal, "Innovation and Learning: Two Faces of R&D," *Economic Journal* 99 (1989) 569-596.
- [03] E. F. Denison, *The Sources of Economic Growth in the US and the Alternatives before US*, Committee for Economic Development, Library of Congress (Washington, 1962).
- [04] Z. Griliches, "Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth," *Bell Journal of Economics* 10 (Spring 1979) 92-116.
- [05] A. B. Jaffe, "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firm's Patents, Profits, and Market Value," *The American Economic Review* 76, No. 5 (1986) 984-1001.
- [06] D. W. Jorgenson and Z. Griliches, "The Explanation of Productivity Change," *Review of Economic Studies* 34 (2), No. 99 (1967) 249-283.
- [07] E. M. Rogers, *Diffusion of Innovations* (the Free Press of Glencoe, New York, 1962).
- [08] F. M. Scherer, "Interindustry Technology Flows and Productivity Growth," *The Review of Economics and Statistics* 64, No. 4 (1982) 627-634.
- [09] R. Thomson, *Learning and Technological Change* (St. Martin's Press, New York, 1993).
- [10] C. Watanabe and C. Griffy-Brown, "Inter-firm Technology Spillover and Creation of a 'Virtuous Cycle' between R&D, Market Growth and Price Reduction: The Case of Photovoltaic Power Generation (PV) Development in Japan," *Paper presented at the International Workshop on Induced Technological Change and the Environment* (IIASA, Laxenburg, Austria, 1999).
- [11] C. Watanabe, K. Wakabayashi and T. Miyazawa, "Industrial Dynamism and the Creation of a 'Virtuous Cycle' between R&D, Market Growth and Price Reduction," *Technovation* 20, No. 6 (2000) 299-312.
- [12] 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.