

○弘岡正明 (テクノ経済研究所)

1. はじめに

イノベーションは革新的な発見や基本発明を出発点として進展し、コア技術の発展、新製品の開発、市場の形成と3つの段階を経て成熟する非線形事象である。そのために有限のタイムスパンでその経過を記述することができるので、イノベーションの諸事象のタイミングを計測することが可能である。例えば、ベンチャービジネスの発生、政府施策のタイミング、製品の多様化からドミナントデザインへの集約、企業数の変遷と淘汰などの経緯が読み取れる。特にイノベーションがコア技術の展開を示す技術軌道、新製品開発の経過を示す開発軌道、製品の市場形成の過程を示す普及軌道の3つのロジスティック軌道で記述されるので、軌道解析によって、イノベーションのタイミングを判断することが可能となる。

2. ロジスティック軌道の記述

イノベーションにおける新製品が普及する動向は、1957年、Grilichesがhybrid cornについて、その普及がロジスティック曲線で記述することができることを見出して以来、多くの経済学者がその妥当性を確かめてきた。さらに詳しく見ると、経済が不況に陥ると市況が軟化するのでは軌道から外れ、ロジスティック性が失われるが、経済が正常化すると再び同じロジスティック曲線に回帰し、固有の普及拡散係数が存在することが見出され、普及拡散が一種の物理現象であることが確かめられた^{1,2)}。

ロジスティック曲線は図1の式で表せるS字型の成熟曲線であり、有限のタイムスパンで成熟する。たとえば、F値0.1から0.9のタイムスパンを Δt で表し、その拡がりを定量的に記述することができる。

Griliches以来、普及特性は多く議論されてきたが、技術開発についてはブラックボックスとしてほとんど議論されてこなかったが、Marchetti³⁾は各種の技術開発のトレンドがロジスティック式で表せることを示した。また、Andersen⁴⁾は種々の分野での特許数の経時変化がロジスティック式に従うことを示した。筆者は、イノベーションのコア技術の開発経緯、新商品の開発経緯がいずれもロジスティック曲線に従うことを確認し、イノベーションの総合的な記述がコア技術の技術軌道、製品開発の開発軌道、製品普及の普及軌道の3つの軌道で構成されていることを始めて明らかにした^{1,2)}。

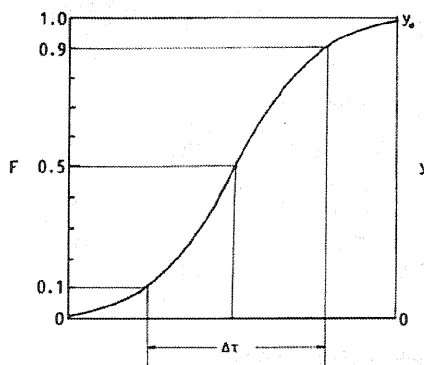


図1 ロジスティック曲線

ロジスティック方程式

$$\frac{dy}{dt} = a y (y_0 - y) \quad (1)$$

$$y = \frac{y_0}{1 + C \exp(-ay_0 t)} \quad (2)$$

y : 時間 t における市場需要
 y_0 : 究極の市場サイズ

Fisher&Pry変換

$$\ln \frac{F}{1-F} = at - b \quad (3) \quad \frac{y}{y_0} = F$$

3. エレクトロニクス軌道の同定

エレクトロニクスの技術軌道は、1948年のShockleyらのトランジスタの発明に始まり、Kilby, Noyceらによる集積回路の発明、MOS ICの発明を経て、IBMがサブミクロンのリソグラフィ技術を完成させるまでの25年間の軌道が同定できる。これらのコア技術を使って、IC回路が開発され、Mooreの法則として知られる3~4年毎に4倍の集積度に進化する経緯が開発軌道として記述される。製品の普及は各年の売り上げを結んで描くことができる。これら3つの軌道は図2に示すように同定される。

すでに各軌道がロジスティック式で表せることが確認できたことから、それらの軌道要素がどれだけのタイムスパンの中に囲い込まれているかを判定できれば、そのタイムスパンから、ロジスティック軌道は一義的に決定される。たとえば、技術軌道は1948年のShockleyから1973年のIBMまで25年のタイムスパンに集中しているから、そのスパンを25年と取って、軌道は一義的に決定できる。すなわち、軌道の同定はその要素事象がどれだけのタイムスパンの中に包含されているかの判定で決まる。

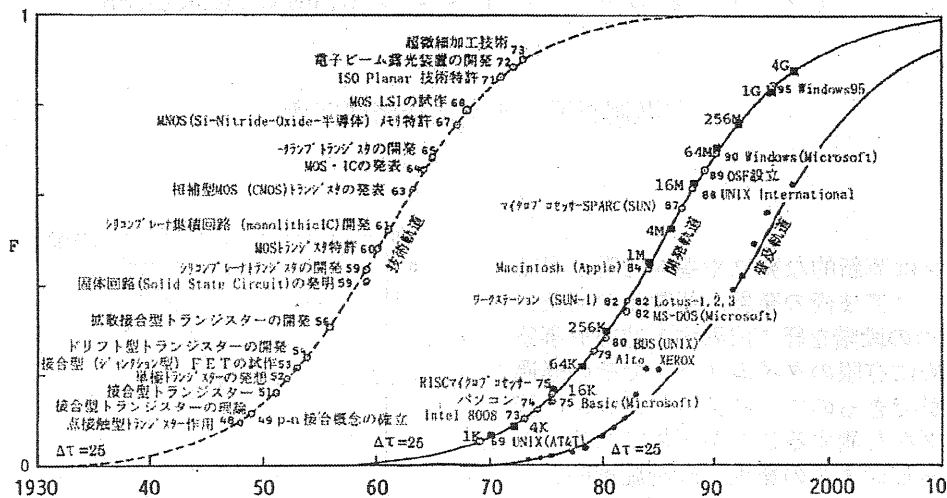


図2 エレクトロニクス軌道の構成

4. 企業の行動と政府の対応

図2のエレクトロニクスパラダイムの軌道の上に各種の事項を記入すると、イノベーションのタイミングが判定できる。図3はエレクトロニクスの軌道上で日米企業の行動を記入したものである。アメリカがトランジスタやICを計算機に応用しようと腐心している間に、日本企業はいち早くトランジスタラジオや電卓に応用し、これら消費財の市場開拓に世界的なシェアを確保できたのは、アメリカに先駆けて、早期の企業化に着手したことが、その成功の鍵であることがわかる。

図4は同じエレクトロニクス軌道上に政府の行動のタイミングを示したものである。日本政府は集積回路の発明が行われたまさにそのタイミングで、1957年には、すでに電子工業振興臨時措置法を施行し、日本企業の新産業への振興策を実行に移していた。すなわち、研究組合法、大型プロジェクト制度など、1978年の機情法までの一連の育成策が多くの成果を生んだ。これらの諸策が1976年からの超LSI研究組合の成功の背景となっていることが読み取れる。一方、欧米諸国は最後の砦と考えていたエレクトロニクス分野においても日本に先を越されてきた現実に対抗措置を講じ始めた。1980年に始まったVHSICプロジェクトに始まり、1988年にはSEMATECH研究組合ができた。欧州では、これら日米の攻勢に対して、1985年、巨額の資金を投じたESPRITプロジェクトを開始した。これらの対策はすでに開発軌道の後半に位置付けられ、技術開発がすでに成熟期にあることを意味し、その効果がほとんど期待できない遅きに失したタイミングであることを示している。このタイミングでは、すでに韓国、台湾が工業化に成功しつつあったのである。

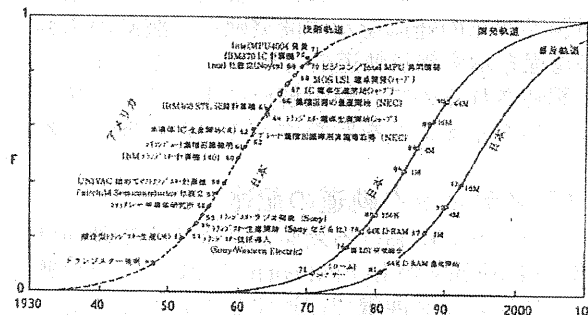


図3 エレクトロニクス産業日米比較

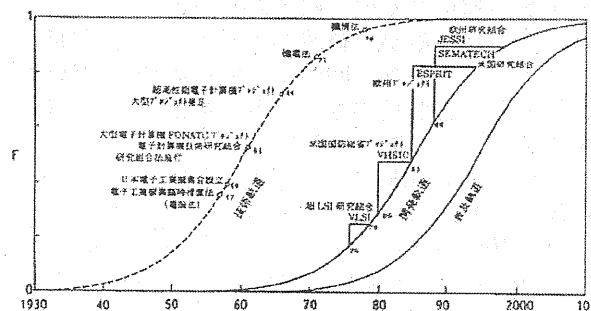


図4 エレクトロニクス産業—政府の対応

5. ベンチャービジネスのタイミング

エレクトロニクス技術軌道では、ICコア技術が開発される最中に、トランジスタを用いた起業化が始まり、日本電子産業の優位性の基盤が築かれた。しかし、本格的なビジネスは、嶋正利がIntelでマイクロプロセッサを開発して、パソコンが本格的に発展し始めた時期を契機とした開発軌道の誘導と共

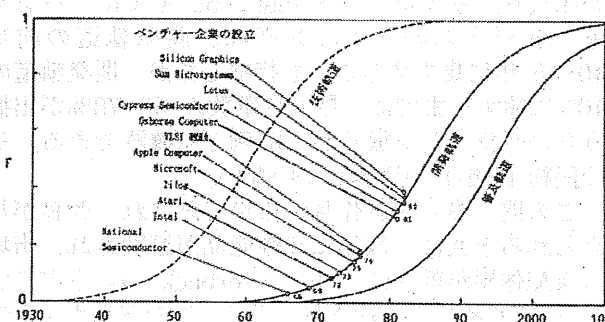


図5 電子産業のベンチャー企業化タイミング

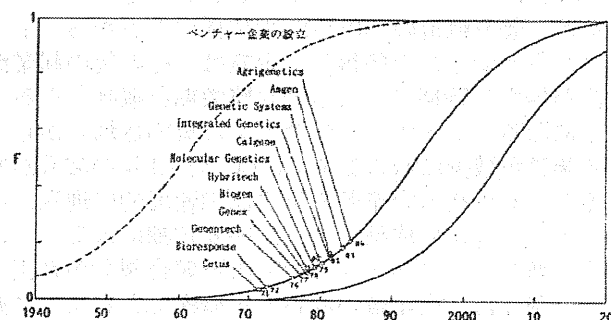


図6 バイオテクノロジーのベンチャータイミング

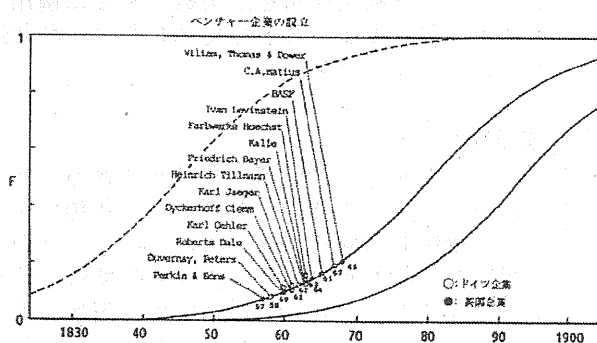


図7 合成染料のベンチャータイミング

に爆発的に進展し始めた。その中には今日電子情報で支配的な存在感を示している大企業のほとんどが含まれている。すなわち、Intel, Microsoft, Apple Computer, Lotus, Sun Microsystemなどが10~15年の短いスパンの中に集中している。特に指摘したいことは、前述の超 LSI プロジェクトが1976年から1979年の4年間という、まさにベンチャービジネスの絶好のタイミングにあったことである。

同様に、図6にはバイオテクノロジーのイノベーションパラダイムの開発軌道の上に、主要なベンチャー会社の発足年度を示した。この中には、Cetus, Genentech, Biogen, Amgen など、今日でも活発に活動している企業群が小さなベンチャー会社として、

1970年代後半から、1980年代前半に集中して誕生していることが分かる。

図7は19世紀後半、ドイツが圧倒的な優位性を示して進展した合成染料のイノベーションパラダイムの開発軌道上に、当時ベンチャー企業として発足した各種企業の起業化のタイミングを示した。それまで天然染料しかなかったのが、染料の化学構造が判明し、その合成法を確立することができたことが、合成染料の爆発的な工業化ブームを巻き起こし、集中的にベンチャー企業が誕生した。その中には、BASF の前身 Dyckerhoff Clemm, Bayer, Kalle, Hoechst, BASF などが、集中的に誕生している。

これらの動向から、いずれのイノベーションも、その開発軌道が始まるタイミングで、コア技術の成熟と共に、ビジネスチャンスが醸成され、爆発的にベンチャービジネスが誕生する特性があることが知られる。それは開発軌道の前半10~15年が、その濃縮されたタイミングであることを示している。

6. イノベーションの経過と企業の行動

イノベーションが有限のタイミングで成熟することから、そのロジスティック軌道解析を用いると、その軌道の変遷と共に企業の行動に典型的なパターンがあることを知ることができる。

Utterback^{5,6)} は、種々のイノベーションにおける企業の行動について詳細な検討を行い、当初爆発的な企業数の増大があり、その後ピークを迎えた後、淘汰が始まり、減少に転ずる傾向があることを示した。特に、イノベーションの当初は多様な製品が試作され、多くの商品が試されるが、いずれ優れた特性を持つ商品に集約されることから、これをドミナントデザインと名づけた。

Utterback のイノベーションの経過と共に変遷する企業数の動向は、そのままではタイミングとしての判定ができない。そこで、それぞれのイノベーションの企業数の変遷をロジスティック軌道解析と連動してみると、大変興味ある特性が把握できる。

Utterback が特に重点を置いて検討したイノベーションは、タイプライターと自動車産業である。それに Murmann⁸⁾ らが調べた合成染料の企業数の変遷のデータを使って、3種のイノベーションにおける企業数に関するロジスティック軌道解析を行った。タイプライター、自動車産業および合成染料イノベーションパラダイムの変遷に伴う企業数の動向を図8~10に示した。

いずれのイノベーションパラダイムでも、ベンチャー企業が立ち上がり、製品が普及し始めると、多くの製品が試行錯誤的に試作され、爆発的に企業数が増大する。Schumpeter のいうバンドワゴン効果

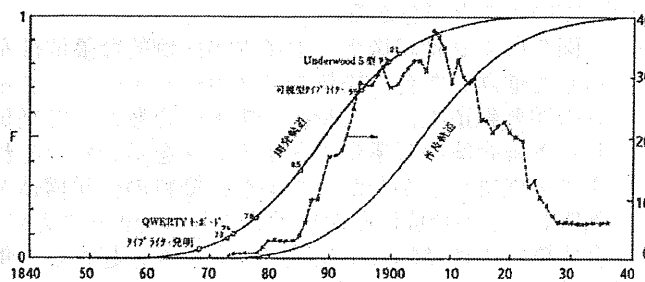


図8 タイプライター産業の企業数とタイミング

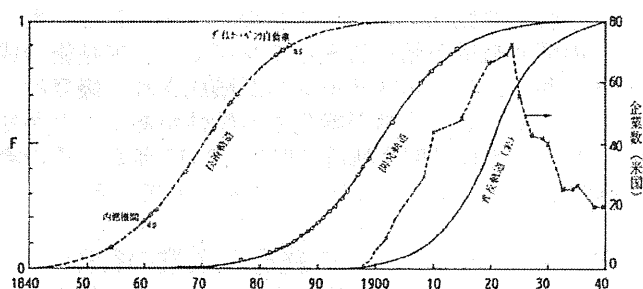


図9 自動車産業の企業数とタイミング

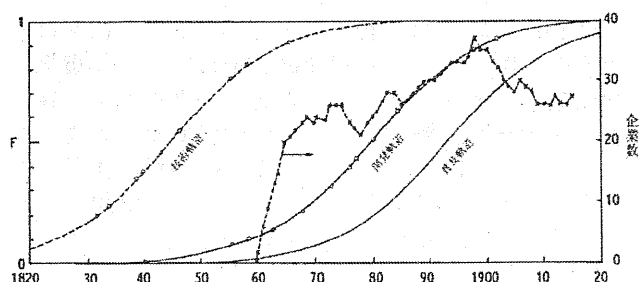


図10 合成染料産業の企業数とタイミング

表1 イノベーションと企業数の変遷

	タイプライター	自動車	合成染料
企業化開始			
開発軌道のF値	0.1	0.1	0.1
参入ラッシュ			
普及軌道F=0.1での 企業数/最大企業数(%)	47	61	70
F=0.1までの参入期間(年)	11	10	12
企業数ピーク点			
普及軌道のF値	0.60	0.70	0.62
ドミナント・デザイン			
開発軌道上発生時F値	0.82	0.86	0.88
普及軌道上のF値	0.32	0.20	0.60

が始まり、参入ラッシュが起こる。すでに、ベンチャービジネスのタイミングは、開発軌道の前半10~15年に集中することを指摘したが、開発軌道の10%に達するまでに、最大企業数の50~70%が出揃うというラッシュ振りが、3例とも確認できる。その間約10年しか経過していない。

この間、多くの試作品が市場で試され、改良が加えられると共に、次第に高性能品が選別され、市場の支配体制が整うにつれ、Utterback のいうドミナント・デザインに集約されて行く。このドミナントデザインが決定的になるタイミングは、開発軌道の80%台になってからである。しかし、そのタイミングは、普及軌道の30~60%の位置にあるから、ドミナントデザインを獲得した企業は、その後の起業淘汰が始まる時期に、独占的な繁栄期を謳歌できることになる。ドミナントデザインに集約されてから、企業数が減少に転じるまでには、約10年の歳月があるが、その後の企業数の減少は加速度的に進み、イノベーションは成熟して、最終安定期に入る。この間、新しいイノベーションによる競合製品が輩出しない限りは、企業数が収益性を確保できるまでに減少して、寡占体制で経済組織のルーチンとして組み込まれて行く。

ロジスティック軌道解析を企業数の変遷に適用することによって、表1にまとめて示したような共通的なトレンドが要約できた。

7. まとめ

3つのロジスティック軌道から構成されるイノベーションパラダイムの非線形特性から、各種のイノベーションの動向が解析でき、そのタイミングが判定できる。これは有限の期間に成熟する特性に依存するものであるが、それらの軌道要素は離散系として集積されている。その要素集団としての軌道解析が本手法の基盤となっている。

参考文献

- 1) 弘岡正明、「技術革新と経済発展—非線形ダイナミズムの解明」、日本経済新聞社(2003)
- 2) Hirooka, M., "Innovation Dynamism and Economic Growth - A Nonlinear Perspective", Edward Elgar, Cheltenham, UK (2006)
- 3) Marchetti, C., "Technological Forecasting and Social Change", **14**, 191-203 (1979)
- 4) Andersen, B., "Technological Change and the Evolution of Corporate Innovation", Edward Elgar (2001)
- 5) Utterback, J.M. and W.J. Abernathy, Omega, vol.3, [6], 639-656 (1975)
- 6) Utterback, J.M., "Measuring Dynamics of Innovation", Harvard Business School Press (1994)
- 7) Murmann, J.P., and E. Homburg, *J. Evolutionary Economics*, **11**, 177-205 (2001)