

○亀岡秋男, 高柳誠一 (東芝)

はじめに

近年特に、企業の研究・技術開発(RTD: Research & Technology Development)の適正な投資のあり方、つまり、如何にしてその知的生産性の向上を図り、効果的な技術開発を行うかが企業経営の非常に重要な課題になっている。これまで、テクノストックの概念を企業レベルに敷衍して、コーポレート・テクノストック・モデル(Corporate Technology Stock Model)を提案してきた。このモデルの特長は“陳腐化(Depreciation)”の概念の導入であり、研究開発により蓄積された技術ストックは、時間の経過とともに減少し、その速度は技術進歩や市場の成熟度により分野によって異なる、という考え方である。この基本モデルをベースに、企業における ①研究開発投資額の策定ガイドラインや ②効果的な投資のタイミング設定、さらには ③多角企業の性格の異なる複数事業分野への投資配分、などについて数値シミュレーションにより検討してきた。

また、テクノストックの考えをベースに研究開発の生産性および効果的な共同研究のあり方等についても、マクロ的な視点から考察してきた。これらのシミュレーション結果は実務経験と照らしても妥当性があり、企業の研究技術開発プロセスの全体を理解し技術経営の諸問題をマクロ的に把握して技術戦略を構想する上でかなり有効な方法論になり得ると考えている。ここでは、利益回収から再投資へと持続発展可能な研究・技術開発投資モデルについて検討する。

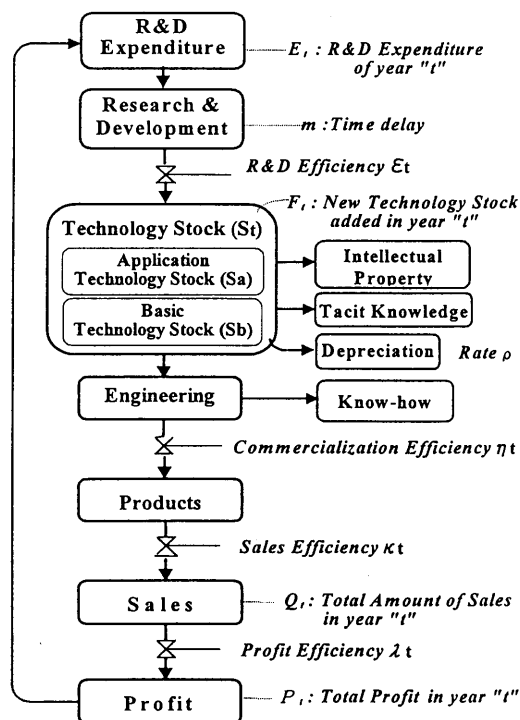


図.1 コーポレート・テクノストック・モデル

1. コーポレート・テクノストックの数値モデル

これまでコーポレート・テクノストック・モデルとして、単層構造モデルと二層構造モデルを導入してきた。

1.1 単層モデル

単層モデルはテクノストックを全体的に同じも

のとして捉え、次ぎのように表す。

$$S_t = (1-\rho)S_{t-1} + F_t \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

$$F_t = \varepsilon_t E_{t-m} \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

ここに、

S_t : t 年度のテクノストック総量 (Total technology stock)

ρ : テクノストックの陳腐化率 (Depreciation rate)

F_t : t 年度に追加されたテクノストック増加分 (Increase of technology stock in year "t")

E_t : t 年度の研究・技術開発投資額 (R&D expenditure)

ε_t : 研究・技術開発効率 (R&D efficiency)

m : テクノストックに変わるラグタイム (Time delay)

式 (1-1) および (1-2) から研究開発投資とテクノストックの関係は次式で与えられる。

$$S_t = (1-\rho)S_{t-1} + \varepsilon_t E_{t-m} \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

ここに、売上高がその年のテクノストック総量に比例すると仮定ればその年の売上高総額は次式で与えられる。

$$Q_t = \kappa_t \eta_t S_t \quad \dots\dots\dots (1-4)$$

ここに、 η_t : 商品化効率 (Commercialization efficiency)

κ_t : 販売効率 (Sales efficiency)

Q_t : t 年度の販売総額 (Total amount of sales in year "t")

さらに、式 (1-3) (1-4) より $t-m$ 年度の研究開発費と t 年度の販売総額の関係は次式で得られる。

$$Q_t = (1-\rho)Q_{t-1} + \kappa_t \eta_t \varepsilon_t E_{t-m} \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

そこで、その後の n 年間の平均売上の伸び率を毎年 β とすると、 n 年後の売上総額は次式で表される。

$$Q_{t+n} = (1+\beta)^n Q_t \quad \dots\dots\dots (1-6)$$

売上高利益率を λ_t とすると、売上利益 P_t は次式のようになる。

$$P_t = \lambda_t Q_t \quad \dots\dots\dots (1-7)$$

したがって、 κ 、 η 、 ε および λ を簡単のため一定と仮定すると、対売上高研究開発投資比率および対利益投資比率は、それぞれ (1-8) (1-9) 式で表される。

$$E_t / Q_t = (\rho / \kappa \eta \varepsilon) (1+\beta/\rho) (1+\beta)^{m-1} \quad \dots\dots\dots (1-8)$$

$$E_t / P_t = (1/\lambda) E_t / Q_t = (1/\lambda)(\rho/\kappa\eta\varepsilon)(1+\beta/\rho)(1+\beta)^{m-1} \quad (1-9)$$

1.2 二層モデル

同様に、二層モデルでは、テクノストックの内容をより基盤的なものと、より応用的なものに分け、前者を基盤技術ストック(Basic Technology Stock)、後者を応用技術ストック(Application Technology Stock)と呼び、それぞれの内容と形態などの特性を類別して考える。したがって単層構造モデルは二層構造モデルの一形態で、場合によってこれらを使い分けることができる。これらテクノストックと研究開発リソース投入や売上高の関係は、数値モデルとして次のように数式的に表わすことができる。

コーポレート・テクノストック・モデルに基づき、テクノストックの総量は応用技術ストック (*Application Technology Stock*) と基盤技術ストック (*Basic Technology Stock*) の和として、二層モデルでは次式のように表される。

$$S_t = S_{at} + S_{bt} = (1 - \rho_a)S_{at-1} + F_{at} + (1 - \rho_b)S_{bt-1} + F_{bt} \quad (2-1)$$

但し S_t : t年度のテクノストック総量

S_{at} : t年度の第1類テクノストック (応用技術テクノストック)

S_{bt} : t年度の第2類テクノストック (基盤技術テクノストック)

ρ_a, ρ_b : 第1類および第2類のテクノストックの陳腐化率

F_{at}, F_{bt} : t年度に追加された第1類および第2類のテクノストック増加分

これら増加分は、所定のタイムラグの年数だけ遡った年の研究開発費投入に比例し次式で表される。

$$F_t = F_{at} + F_{bt} = \varepsilon_{at} E_{t-m_a} + \varepsilon_{bt} E_{t-m_b} \quad (2-2)$$

但し $\varepsilon_{at}, \varepsilon_{bt}$: 研究開発費が第1類、第2類のテクノストックに転換する研究開発効率

m_a, m_b : 研究開発費が各テクノストックに転化するまでのタイムラグ

E_t : t年度の研究開発費

研究開発費とテクノストックの関係は (2-1)式と (2-2)式から次のように表される。

ここで、

$$m_a = m_b = m, \quad \varepsilon_{at} + \varepsilon_{bt} = \varepsilon \quad \text{とすると}$$

$$S_t = (1 - \rho_a)S_{at-1} + (1 - \rho_b)S_{bt-1} + \varepsilon_t E_{t-m} \quad (2-4)$$

なお、単層構造モデルにおけるテクノストックは、(2-4)式において基盤技術ストックと応用技術ストックを統合し、次式のように単純化して表わすことができる。

$$S_t = (1 - \rho) S_{t-1} + \varepsilon_t E_{t-m} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

このように二層構造モデルは単層構造モデルを拡張したもので、単層モデルは二層モデルの一つの形態である。また、研究開発における重要な指標である、売上高研究開発比率は次式によって表される。

$$\frac{E_t}{Q_t} = \frac{(1 + \beta)^{m-1} [\beta + \{(1 - \gamma_b) \rho_a + \gamma_b \rho_b\}]}{\kappa \eta \varepsilon} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

単層構造モデルの場合には次式で表される。

$$\frac{E_t}{Q_t} = \frac{(1 + \beta)^{m-1} (\beta + \rho)}{\kappa \eta \varepsilon} = \frac{\rho}{\kappa \eta \varepsilon} (1 + \frac{\beta}{\rho}) (1 + \beta)^{m-1} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

ちなみに、(2-6)式の $(1 - \gamma_b) \rho_a + \gamma_b \rho_b$ は、テクノストック総量の陳腐化率であり、 ρ で置き換えると(2-7)式となり、(2-6)式で $\gamma_b = 0$ とした場合の特殊ケースで、二層構造テクノストック・モデルは、単層の基本モデルを拡張したものであることが分かる。

単層モデルの場合と同様に、売上高利益率を λ_t とすると、売上利益 P_t は次式のようにになる。

$$P_t = \lambda_t Q_t \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

したがって、対利益投資比率は (2-9) 式で表される。

$$\frac{E_t}{P_t} = \frac{E_t}{\lambda Q_t} = \frac{(1 + \beta)^{m-1} (\beta + \rho)}{\lambda \kappa \eta \varepsilon} = \frac{\rho}{\lambda \kappa \eta \varepsilon} (1 + \frac{\beta}{\rho}) (1 + \beta)^{m-1} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

2. 研究・技術開発投資と収益回収一再投資サイクル

研究開発および技術開発投資は、製品化し事業として商品として市場に出し売り上げて、その利益を回収し、さらに研究・技術開発投資を継続し、規模を拡大しながら成長する。投資した資金はテクノストックと蓄積され、この技術資産は製品に転換され市場を通して利益金に還元される。

図2は、一定の投資額を継続的に投入した場合の投入累積額とテクノストックの累積蓄積量の関係を示したもので、半減期は速いと蓄積量は低い値で飽和してしまう。半減期が長く、陳腐化の遅い分野では飽和値は高くなる。したがって、投資タイミングが重要になる。

図3は、研究開発投資と利益回収の関係を示したもので、半減期を4年、6年、12年に取った場合の3つケースについて、売上高利益率に対する利益累積額、つまり回収利益総額を示す。点線は投入資金の累積総額を示し、この線より上になれば回収利益が総投資金額より上回り、トータルとして利益が投資を超えることになる。これらの図は、研究開発投資の収益回収サイクルをシミュレーションで分かりやすく示している。これらは、単純な成長プロセスのシミュレーションであるが、今後、成長期から成熟期、さらに衰退期の含むライフサイクルの全体をスルーして、投資とリターンの関係を検討したいと考えている。

図.2 テクノストックの飽和特性

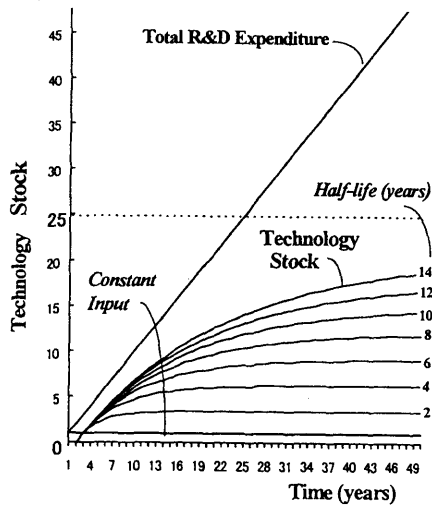


図 3-1. 研究開発投資と利益回収 (1)

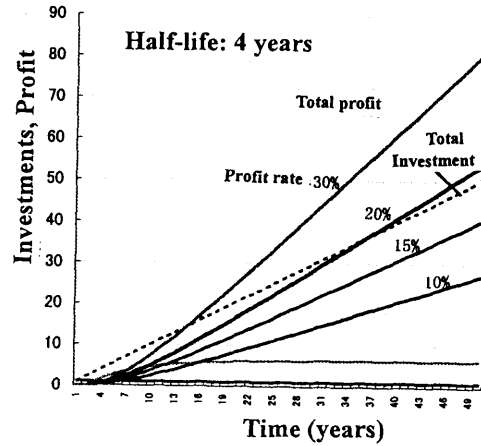


図 3-2. 研究開発投資と利益回収 (2)

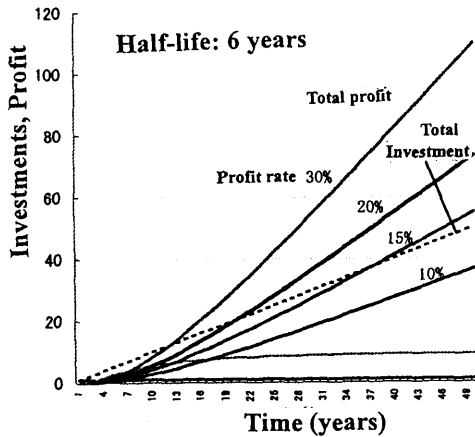
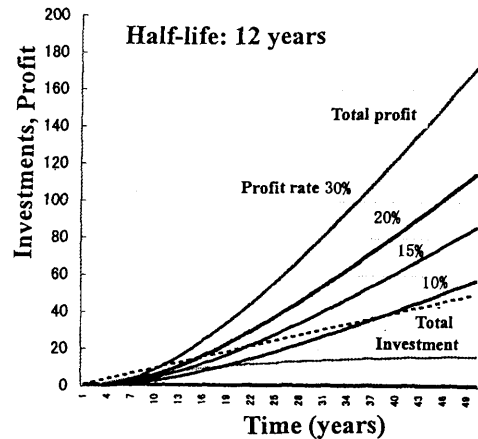


図 3-3. 研究開発投資と利益回収 (3)



おわりに

以上は単純化したモデルによる考察であるが、企業の研究開発現場にいた技術経営の経験から見ても、こうしたシミュレーション・モデルによる思考実験は多くの示唆を含んでいる。このシミュレーションの特長は経験的に持っているメンタル・モデルを数値モデルでビジュアルに働かせることで、そのインターアクションの中で定量的な思考が働き、意思決定に役立つものと考えている。今回は、投入からテクノストックの蓄積、さらに利益獲得までの全事業プロセスをマクロにフォローしてみた。今後は、もう少し詳しくモデリングしてみる必要がある。ただし、重要なことは人間が主体であることで、モデルはあくまでもその思考を助ける役目である。したがってモデルはで直感的にきるだけ理解しやすい単純明快なものが望ましいと考えている。また、数式的な定量的な側面からだけでなく、テクノストックの内容や形態など質的な側面からも、プロセスの沿ってどのように形態変化が起きているのかなど観察を深め、コーポレート・テクノストック・モデルをさらにブラッシュアップして行きたい。いろいろの観点からご支援ご協力をお願いしたい。

参考文献

1. 高柳誠一「資産の視点から見た研究開発」研究・技術計画学会 第8回シンポジウム講演要旨集 p3-6 (1993)
2. 後藤晃、本城昇、鈴木和志、滝野沢守「研究開発と技術進歩の経済分析」経済分析 第103号 経済企画庁 経済研究所 (1986)
3. 三菱総合研究所「日米テクノストックの定量的比較に関する調査研究」財団法人機械振興協会経済研究所 委託事業 調査委員会委員長：渡辺千似 (1991)
4. 亀岡秋男「企業におけるR&D知的生産性向上のフレームワーク：リサーチ・オン・リサーチの視点から」日本開発工学会 特別セミナー 平成6年2月1日 (1994)
5. 亀岡秋男“知的財産と経済的效果に関する産業別の実態 — 電気機械産業 — ”平成5年度「知的財産の経済的效果に関する基本問題調査研究」委託調査研究結果報告書 財団法人 知的財産研究所 p255 - 275 (1994)
6. 亀岡秋男“測定の方法から見た所見と課題および対策への展望”科学技術庁科学振興総合研究「知的生産活動における創造性支援に関する基礎的研究（平成5年度）」知的生産性指標に関する基礎研究報告書 財団法人 社会経済生産性本部 (1994)
7. 高柳誠一、亀岡秋男、有信陸弘「コーポレート・テクノストック・モデル — 企業の研究開発費総額策定とR&D資産の蓄積・維持・活用 — 」研究・技術計画学会 第9回年次学術大会講演論文集 p92-95, (1994)
8. Akio Kameoka “Evaluating Research Projects at Toshiba - A Conceptual Framework Design for Evaluating Research and Technology Development Programs - ”First International Conference on Evaluation of Research and Technology Developments (RTD), Thessaloniki, Greece April, 1995 The journal SCIENTOMETRICS, Vol.34, No.3, p427-439 December, 1995)
9. 高柳誠一、亀岡秋男、有信陸弘「コーポレート・テクノストック・モデル—二層構造モデルの試み—」研究・技術計画学会 第10回 年次学術大会 講演論文集 p72-79, (1995)
10. Seii-chi Takayanagi “Corporate Technology Stock Model -Determining Corporate R&D Expenditure”, Journal of Science Policy and Research Management, Vol.10 No.3-4 (1996)
11. Akio Kameoka “Corporate Technology Stock Model and Its Application -Determining RTD Investments and Technology Transfer for Collaboration”, International Conference on Technology Management : University/Industry/Government Collaboration, Istanbul Turkey June p24-26 1996, International Journal of Industry and High Education, Vol.12 December (1996)
12. 亀岡秋男、高柳誠一「コーポレート・テクノストック・モデル—研究開発投入と成果の関係—」研究・技術計画学会 第11回 年次学術大会 講演論文集 p121-126, (1997)
13. Akio Kameoka, Sei-ichi Takayanagi “A Corporate Technology Stock Model -Determining Total R&D Expenditures and Effective Investment Patterns”, Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET'97), Portland, Oregon, USA July p27-31 1997, Proceedings of the PICMET'97 p497-500, (1997.7)
14. Akio Kameoka, Sei-ichi Takayanagi “Corporate Technology Stock Model and Its Implications”, The 7th International Forum on Technology Management (IFTM'97), Kyoto, Japan November 1997, Session 2b:Management and Effectiveness of R&D Assets - How to Maximize the Effectiveness of R&D Assets, p15-20, 1997
15. 亀岡秋男、高柳誠一「コーポレート・テクノストック・モデル—複数事業分野への戦略的研究開発投資の影響—」研究・技術計画学会 第12回 年次学術大会 講演論文集 p253-258, (1997)