

モデリング・アプローチによる投資の意思決定研究の課題

— Research Issues on Investment Decision-making Using Modeling Approach —

日下 泰夫

1. はじめに

意思決定のモデル化の研究は、経営システム工学の領域、特に、生産システムの領域でオペレーションの問題を中心に、これまで活発に行われてきた。近年、技術革新をはじめとする経営を取巻く環境変化の下で、意思決定の関心が研究開発（技術経営）にも広がりつつあるという状況の下で、日下は、生産設備投資の意思決定問題を中心としたモデル化の研究 [11]～[16] から、研究開発領域でのモデル化 [17], [19]～[23] へと研究対象を広げてきた。こうした研究対象領域の拡大に伴い、モデリング・アプローチにおける問題設定（発見・創造）のウェイトが従来に比して一層高まり、「技法指向のアプローチ」から「問題指向と技法指向の2つのアプローチをバランス良く達成させる」という考え方が重要になりつつある。しかしながら、それらの背景はこれまでに体系的に明らかにされていなかった。近年の研究開発領域における意思決定の重要性に鑑み、この領域でどのような変化が生じ、それが投資の意思決定研究にどのような影響を与えているか、また、モデリング・アプローチによる研究を進めていく際にどのような視点が必要とされているかを、個別研究の次元を超えて体系的に考察することは、今後の研究を進める上で重要である。

本研究は、「モデリング・アプローチによる投資の意思決定研究」に焦点をあて、現在生じつつある変化、意思決定研究におけるモデリング・アプローチの役割、投資の経済的意思決定研究でこれまで重要な役割を果たしてきた経済性工学の役割の再吟味、投資の意思決定研究の視点などを考察し、新たな状況の下での研究の課題を明らかにする。

2. 技術革新下における意思決定問題と モデリング・アプローチの役割

2. 1 意思決定問題の特徴

情報技術、素材・材料技術、ナノテクノロジー、マイクロエレクトロニクス、バイオテクノロジーなどの技術革新の下で、企業・産業は今大きく変貌しつつある。企業・産業は、R&Dに積極的に取り組むことによって技術革新を自ら創出すると同時に、外部の成果を積極的に取りこむことがこれまで以上に必要とされている [7], [26]。さらに、貿易摩擦の激化、価値観の多様化、人口爆発・食糧問題、環境問題の深刻化など、企業を取巻く外部環境変化は加速化している。これらの環境変化は、非構造的、不連続的、加速的、多面的、広領域的という言葉で特徴化され得るであろう [18]。製品・サービス・情報を生産し、社会に提供することに関わる経営活動がこれらの外部環境変化によって大きく影響を受け、これまでに直面したことがないような新たな問題解決を迫られている。

外部環境変化の下での解決すべき問題は、いわゆるSimonが言うところの悪構造（不良構造）の問題（ill-structured problem） [18], [35] である場合が多く、最初は、認識されていない、あるいは、設定されていない場合が多い。従来の考え方や方法の延長では問題の存在が認識され得ないか、或いは、問題が創造され得ないという性格を有している。従来の考え方を創造的に破壊する発想への転換、つまり、パラダイムの転換 [2], [9], [18] をして、初めて問題が発見され得るか、もしくは、新たな問題が創造され得る場合が多い。変化の時代には、変化の潮流を洞察し、パラダイムの意識的転換をはかることが問題解決の重要なポイントとなるであろう。このような新たな問題を解決するには、過去の理論、方法、技法、経験を活用すると共に、新たな理論、方法、技法を開発することも重要であろう。

投資の意思決定研究を考察するに先立って、「問

題解決」と本研究のテーマである「意思決定」の関連性に若干言及しておこう。意思決定は問題解決の1つの局面であり、1つの問題解決においても複数の意思決定局面が存在し得る。それゆえ、一般には、前者は後者に比べてより広範な内容を含んでいると考えられる。しかしながら、意思決定は問題解決の中心的な機能を担っていると考えられるので、ここでは、問題解決と意思決定を殆ど同じ意味を有するものと見なして、以後の考察を進めることにする。

意思決定過程は、図1に示すように、外部環境の認識、課題の発見・創造、適切な評価基準の設定、代替案の創造、代替案の評価、代替案の選択（決定）という段階を踏んでなされる [18]。

経営の意思決定問題の特徴を考察するにあたっては、技術革新などによる環境変化の下での意思決定問題を考察する必要がある。既に述べたように、非構造的・不連続的、加速的、多面的、広領域的な環境変化に留意すると、意思決定問題には以下のような特徴が考慮される：

意思決定問題は、基本的には、問題それ自体が分からないか、あるいは、漠然としている悪構造の問題として特徴化され得る。過去に経験していない新たな問題であり、パラダイムの転換を通じて問題の存在が発見・認識されるか、あるいは、問題それ自体が創造される場合が多い⁽¹⁾。これまでに経験したことがないような新奇な問題は、従来の問題が有していない新たな構造を内包している。それゆえ、問

題の既述には、問題の本質的な構造を反映した新たなモデルが構築される必要があろう。企業の将来を方向づけるような戦略的な要因を含むため、定性的、複雑、かつリスクの高い問題となる。こうした問題は、明確で一貫した経営戦略・技術戦略の下で解決される必要があるという意味で、戦略駆動的である [24]。

意思決定に用いられる評価基準は、問題の性格を反映して、定性的、多目標的、戦略的となる。従来、R&Dをはじめとする投資の意思決定における定量的な研究が生産等のオペレーションの研究に比して遅れた理由の1つは、このような評価基準を取り扱うために開発された諸技法を効果的に利用する方法がこれまでに提案されてこなかったことによるものと考えられる。階層分析法（Analytic Hierarchy Process: AHP） [27], [30], [38]、包絡分析法（Data Envelopment Analysis: DEA） [1], [27], [39]が開発されて久しいが、これらは、現在、このような問題を解析する有力な技法となっている。

意思決定過程における代替案の設定は重要な段階である。複数の代替案から評価基準に適合する代替案を選択するためには、意思決定に影響する意味のある複数の候補代替案を効果的に創造することが重要となる。代替案は最初から存在しているわけではなく、人間の思考活動によって創り出されるという意味で、極めて創造的である。その際、問題の性格から、代替案の創造にも戦略的な要因が考慮されるべきであろう。この過程が合理的に行われないと、

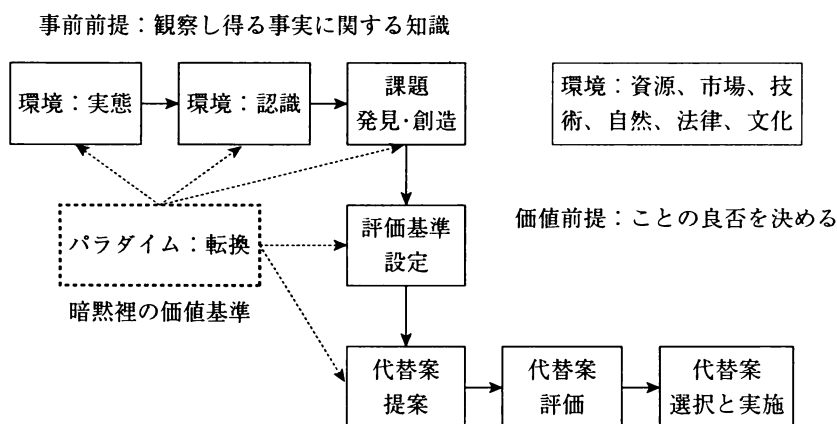


図1 意思決定過程

出所：[18], p.32

表1 技術革新下における意思決定問題の特徴

問題の性格	悪構造的、新奇、創造的、発見的、戦略的、定性的、複雑、リスク大
思考前提	パラダイム変革的、経営戦略/技術戦略 駆動的
問題の記述	本質的な構造を反映した新しい問題の記述
評価基準	定性的、多目標的、戦略的
代替案	戦略的、創造的、複合的（組み合わせ的）
意思決定過程	過程重視（試行錯誤的、手順指向的、学習的）、意思決定における定量的モデルの使用（モデリングによる意思決定過程の明示化）、経験と勘の明示的導入

出所：[18]，表4.1，p.117をもとに作成

たとえ残りの過程が適切であったとしても、合理的な意思決定は行われ得ない。「意思決定に影響を与える複数の重要な代替案をどのように創造するか」は、評価基準の選択と共に、意思決定の質に大きく影響する。これらは問題指向のアプローチを通じてなされ得る。

意思決定問題の曖昧さ、複雑さ、リスクの大きさに留意すると、意思決定は1回でなされるというよりは、最終的な決定がなされる前に、試行錯誤的・反復的に種々の試みがなされると考えた方が自然であろう⁽²⁾。また、最終的な決定がなされ意思決定が実行に移されても、その後不確実な要因が明確になったり状況が急激に変化したりして、意思決定が途中で変更されたり、実施によって得られた結果を踏まえて意思決定が修正されたりする。それゆえ、図1の過程は、左上から右下に一方的に流れるのではなく、飛躍や後戻りが生じ得る。以上から、意思決定は過程重視（試行錯誤的、手順指向的、学習的）[37]となろう。このような過程では、定量的なモデルに意思決定者の経験と勘を明示的に導入することも重要な視点となろう⁽³⁾。

技術革新下における意思決定問題の特徴は表1に要約される。

2.2 意思決定研究における

モデリング・アプローチの役割

本節では、意思決定研究におけるモデリング・アプローチの役割を明らかにする。最初に、モデル、モデルの分類、定量的モデル [3]，[18] について検討し、次に、本研究で使用されるモデリング・アプローチの概念を明らかにする。

モデルは、現実を抽象化あるいは単純化し、現実

に関係する本質的な事柄を抜き出し、作られた「現実似せたもの」である [3]。現実を操作することが不可能か、大きな犠牲（リスク、費用、時間）を伴う場合に、現実を操作する代わりにモデルを操作することによって、現実の挙動を説明、予測・評価しようとする。それゆえ、モデルは現実を出来るだけ忠実に反映すること（現実性；その結果、モデルは複雑となる）と同時に、操作が容易となるように出来るだけ単純であること（単純性）が要求される。現実性と単純性は相反するから、モデル構築においては相反する要求のバランスをとること（モデルビルディングにおけるトレードオフ）が要求される。このトレードオフには高度な技術が要求される。モデリング・アプローチが現実の意思決定でそれほど普及しない理由の1つはこのモデルビルディングの難しさにあると考えられる。

モデルは記述的モデルと規範的モデルに分類される [3]。記述的モデルとは現象をありのままに既述した良し悪しの価値基準を含んでいないモデルである。一方、規範的モデルは良し悪しの価値基準を含んだモデルである。技術、工学は必要とされるシステム、製品、サービス等を社会に提供することに関わっているから、ここでは、社会、人間、消費者あるいは顧客にとって何が良いかという良し悪しの価値基準が問われる。自然科学では主に記述的なモデルが使用される一方、技術、工学では規範的なモデルが使用される⁽⁴⁾。経営の意思決定研究に用いられるモデルは、経営者・意思決定者にとっての良し悪しを反映した規範的モデルが多い。しかも、意思決定を実際に支援するためにモデルを操作することが要求される場合が多いから、操作性の高い定量的なモデルが要求される。定量的なモデルを構築し、具

体的な解を提供することによって、意思決定を支援するアプローチ（以下、モデリング・アプローチと呼ぶ）は意思決定の重要な研究分野といえよう。

OR (Operations Research) はこれまでこのような定量的モデルの構築と解析に関わり、生産システムなどのオペレーションの問題解決に顕著な貢献をしてきた。R&Dの意思決定問題をはじめとする技術革新下における意思決定問題は、表1に要約されているように悪構造の問題として特徴づけられ、定量的なモデルの構築と解析は一般に難しいと考えられてきた。しかしながら、著者は、定性的、戦略的な要因を含む意思決定の問題にも、たとえ部分的であるにせよ、モデリング・アプローチの適用が可能であるとの見通しを持って、R&Dを中心とした意思決定問題のプロトタイプ・モデルの構築に取り組んできた。意思決定問題におけるモデリング・アプローチの役割とは何か、これを明らかにしておきたい。

その役割は「操作性の高い定量的、客観的なモデルを構築し、それを通じて具体的な解（情報）を提供し、意思決定を支援する」ことにある。意思決定に出来るだけ定量的・科学的な技法を導入することが必要となろう。しかしながら、このアプローチは数学的なモデルを使用する機会が多いので、モデルの構築が難しい、多くの仮定を設定して複雑な問題（現実）を単純化し過ぎる、実際の意思決定で重要な制約条件などがモデルに組み込まれにくい、試行錯誤のプロセスが既述できない等の改善されるべき課題も有している。

表1に要約した意思決定問題の性格から、意思決定では、経験と勘もかなり使用されてきた。理論的には、ベイジアン決定理論 (Bayesian Decision Theory)、AHP、デルファイ法 (Delphi Method) などはこのような経験や勘を取り込んだ客観的な評価技法として知られている。一方、客観的な技法によらない経験や勘の使用も現実には行われている。経験と勘の使用は意思決定では重要であり、今後も使用されるべきであろう。ただ、こうした意思決定では、これらがどこでどのように使用されてきたかという意思決定のプロセスが明示されないという問題点を有している。モデリング・アプローチの使用は、意思決定過程を明示化し、客観的に把握することに貢献し得ると考えられる。

3. 投資の意思決定の新局面

3.1 研究開発投資の重要性

経営には種々の意思決定問題が考えられるが、近年の日本企業においては、生産から研究開発へと意思決定の重点が移行しつつあることが指摘されている。ここで、その背景を考察しよう。

日本企業は、明治時代以来外国技術を積極的に導入してきた。特に、第二次世界大戦後、荒廃した生産力を立て直すために、品質管理技術（統計的品質管理：SQC）を米国より積極的に導入し、それを日本流にアレンジし、小集団活動を含む日本独自の全社品質管理（TQC）を生み出し、生産技術・品質管理技術の向上を図ってきた [18]。ここでは、「より高機能に」、「より便利に」、「より高品質に」、「より低価格に」、「より早く」、「より軽く」、「より小型に」という市場アメニティーを追求する日本型大量生産システムを確立し、世界のトップに躍り出た。日本企業の多くはプロダクト・イノベーションを、性能向上・改良型のインクリメンタル・イノベーション、あるいは、プロセス・イノベーションに重点を置いてきた [43]。しかしながら、貿易摩擦、研究開発のただ乗りに対する諸外国からの批判、中国、韓国をはじめとするアジア諸国の台頭などの状況下で、技術・コンセプトを欧米に依存しつつ生産技術、品質管理技術によって商品開発に磨きをかけるこれまでの日本流のやり方一辺倒では、今後の厳しいグローバル競争に勝ち抜いていくことは困難になっている。日本企業には、生産重視一辺倒から、研究開発重視へのパラダイム転換をはかり、独創的な商品を開発することが求められている [8]、[42]、[43]。外国の科学技術を導入しキャッチアップする経営からフロントランナーとしての創造的な経営への姿勢転換が求められており、この試みは既に着手されている。ここで注意すべきことは、研究開発重視へのパラダイム転換といっても、日本企業が有していた生産技術・品質管理技術の優位性は今後も維持されるべきであろう。一頃、中国をはじめとするアジア諸国へ生産拠点を移管することによって生産の空洞化が問題とされたが、近年は高度な技術を必要とする生産を日本国内に回帰させ生産の棲み分けを図る傾向が徐々に定着しつつあるようである（例えば、[45]を参照のこと）。

表2 今後30年間に企業経営者が重視すべき項目

① 研究開発力・技術力	63.8%	独創的な製品・サービスの創造
② 収益性	48.5%	①と③の結果
③ 販売力・マーケティング力	41.0%	顧客の獲得
④ 品質管理	34.0%	日本企業のお家芸を磨き続ける
⑤ 知的財産	22%	
⑥ ブランド力	21%	

出所：[44]より作成

表2は、今後30年間に企業経営者が重視すべきキーワードに関するWebアンケート調査の結果を示している。

研究開発力・技術力の向上によって、独創的な製品・サービスを創造し、技術とマーケティングを両輪とする高収益企業のイメージが描かれている。それと同時に、品質管理を重視して、今後も日本企業のお家芸を磨き続けることも重要であるとしている。日本企業の今後の進むべき道を、Web回答者はこのように認識している。

既述のように、投資の意思決定研究は、生産設備から研究開発へとその対象を広げてきた。投資の意思決定という点ではどちらも同じではあるが、生産設備を対象にしたモデルと研究開発のそれとでは、若干の差異があると考えている。以後では、研究開発投資の意思決定の特性を考察しよう。

3.2 研究開発投資の意思決定特性

投資の意思決定では、近年、投資が巨額化し、投資期間が長期化し、技術が複雑化することによって、リスクが大きくなりつつある。研究開発投資も設備投資も、一般には、戦略的、定性的、リスクイという点では、同じ特徴を有している。しかしながら、研究開発投資と設備投資では、その特徴に若干の違いがあることを先に言及した。この点に留意しながら、研究開発投資の意思決定特性を明らかにしたい。

研究開発、とくに基礎研究では、投資期間が10年以上にも及ぶことも珍しくない。市場に投入されるべき商品が不確定のため投資の経済的効果を事前に予測することが出来ない場合が殆どであり、投資のキャッシュフローを基準に投資の意思決定を行うことは極めて困難となる。キャッシュフロー基準に代わる別の戦略的、定性的、多目標的な価値基準を設定することが必要となろう⁽⁵⁾。

他方、設備投資も巨額な投資を伴うリスクの大きい投資であることに違いはない⁽⁶⁾が、具体的な商品やサービスの生産のための設備投資であり、計画着手期間も1、2年後と比較的近い将来から始まり、販売予測・販売計画から利益計画を算定することが研究開発投資に比べると比較的容易である。研究開発でも、商品の開発段階では販売予測・販売計画に基づく利益計画が比較的容易に策定できる場合が多いから、投資のキャッシュフローを算定することも可能となろう。このような状況では、経済的投資の意思決定モデルが適用可能となる。

3.3 日下により提案された製品開発モデル例の紹介

投資の意思決定のねらいは、限られた経営資源(人、資金、設備)と時間制約の下で、得られる効果を最大にするように政策を決定することにある。得られる効果としては金銭的価値が採用される場合もあるが、それ以外の総合的価値(パフォーマンス)が採用される場合もある。近年は、表1に示した意思決定問題の特徴から、評価基準が戦略的、多目標、定性的な性質を有する場合が多い。以下では、モデリング・アプローチによる投資の意思決定研究の具体的な例として、日下による製品開発モデル[19] & [20]を紹介することによってその具体的なイメージを明らかにし、次章の橋渡しとする⁽⁷⁾。

ある定められたコンセプトと開発期間の下での製品開発(PD)を想定している。製品は、基本機能、操作性、信頼性、保守性、環境適合性、安全性など、 m 種類の評価基準 E_i ($i=1, \dots, m$)によって評価され得る。製品は主要な諸機能を実現する n 種類の機能ユニット F_j ($j=1, \dots, n$)から構成される。各機能ユニット F_j に対して、 r_j 個の可能な開発代替案 a_{jk} ($k=1, \dots, r_j$)が考えられ、それらのコスト c_{jk} が見

積もられているものとする。各機能ユニットでは、唯一の代替案が選択される。評価基準は定性的、多目標的な性格を持ち、各評価項目 E_i のウェイト w_i と機能ユニット F_j の各代替案 a_{jk} の評価値 u_{jk} が階層分析法によって評価され得るものとする。かくして、問題は、コスト制約下で総合パフォーマンス（各評価項目の重みづけ平均値）を最大にするように、すべての機能ユニットに対して一組の組み合わせ代替案（Combination Alternative:CA）を選択することである。この問題の階層図は図2に示される。各機能ユニット F_j の代替案 a_{jk} はこれらのうちの1つが選ばれると他の代替案が選ばれ得ないという意味で、互いに排反的である。機能ユニットの代替案のコストについては加法性を仮定する。この問題は $\prod_{j=1}^n r_j$ 個の組み合わせ代替案から最適な組み合わせ代替案を選択する問題であり、動的計画法、あるいは、0-1整数計画法によって定式化され得る。コスト制約 c の下で総合パフォーマンス（総合評価値）を最大にする、各機能ユニットの代替案を選択する問題は0-1整数計画法のナップサック問題 [10], [27] として定式化される：

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize} && \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r_j} u_{jk} x_{jk} \\
 & \text{Subject to} && \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r_j} c_{jk} x_{jk} \leq c \\
 & && \sum_{k=1}^{r_j} x_{jk} = 1 \quad \text{for } \forall j=1, \dots, n \\
 & && x_{jk} \in \{0,1\} \quad \text{for } \forall j=1, \dots, n; \\
 & && \quad \quad \quad \forall k=1, \dots, r_j \\
 & && \mathbf{x}_{jk} \equiv \{x_{jk}\} \quad \text{for } \forall j=1, \dots, n; \\
 & && \quad \quad \quad \forall k=1, \dots, r_j
 \end{aligned}$$

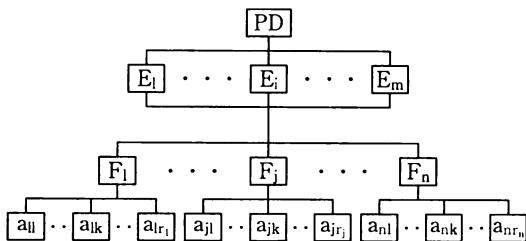


図2 製品開発の階層図

この問題は組み合わせ代替案数が小さい場合は全数列挙法によって解かれ得るが、大規模になる場合は、最適解を効率的に探索する分枝限定法（Branch & Bound）に基づくアルゴリズムを開発することが有効となる。製品開発におけるコスト制約レベルをどのように設定するかは重要な問題である。意思決定者は市場におけるいくつかの傾向や類似製品の情報から、許容され得るコスト制約領域を設定できても、コスト制約の明確な値を確信を持って設定できない場合が多いであろう。こうした状況では、コスト制約を変化させた場合の最適パフォーマンスの変化（感度分析）を、視覚化してグラフに表すことが効果的である。著者らはこのようなグラフを提案し、コスト-パフォーマンス曲線（Cost Performance Curve :CPC）と呼んでいる。組み合わせ代替案（CA）の集合から作られるCPCの例は図3に示されている。CPCは意思決定において有効な情報を如何にして視覚化するかと言う視点から提案されている⁽⁸⁾。CPCを用いた製品開発では、CDの自販機の事例研究 [19] と複写機の実例研究 [20] も行われている。

また、これらの研究の本質的な拡張として、コンカレント度という新たな概念を導入して製品開発の時間要因を考慮した一連の研究 [7], [21] ~ [22] も行われているが、これについては割愛する。

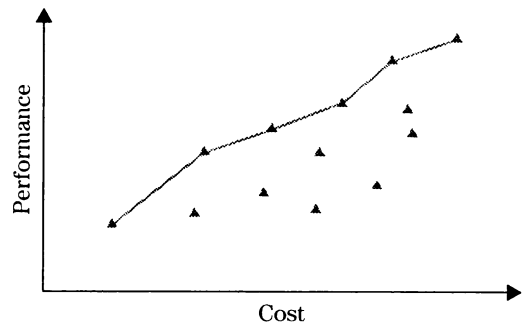


図3 CPCの例

4. 投資の意思決定研究における経済性工学の役割

4.1 経済性工学の概観

経済的意思決定に関する研究は、会計学（管理会計）、企業経済学、エンジニアリングエコノミー、品質管理、オペレーションズリサーチ、インダスト

リアルエンジニアリングなどの広範な領域で扱われてきた。日本では「経済性工学」という名の下で、経済的な意思決定における基本的な原則と実践的な手法を整理し、それらを普及させるための体系化の努力が、慶應義塾大学の故 千住鎮雄 教授を中心とするグループによって長年にわたり行われてきた [31]～[34]。

具体的には、比較の原則（比較の原則、割り勘計算と損得計算、手余り状態と手不足状態における損失、埋没費用）、投資案の評価と資金の時間的価値（異なる時点の資金価値の比較、時間換算の方法）、条件に応じた判断指標の使い方（独立案、排反案、混合案からの選択問題）、経営に役立つ簡便な近似解法の提案などを、豊富な例題を用いながら分かりやすく体系的に解説している。

経済性工学は、経済的な意思決定を対象としているから、金銭的に測定可能な意思決定、言い換えれば、金銭を評価基準に使用した意思決定を対象としている。金銭的に測定できない諸要因（インタンジブルファクター）を考察する前に、まず金銭的に評価可能な問題を整理検討した後に、これらの諸要因を勘案して意思決定すべきであるという立場に立っている。経済性工学が提唱された時代には、投資の意思決定の対象は主に金銭的評価が比較的容易な生産現場の投資が主であったから、分析の中心は投資の経済的効果に向けられていた。しかしながら、2章、3.2節、3.3節で明らかにしたように、技術革新下における意思決定の評価基準は、戦略的、定性的、多目標的な性格を有しており、必ずしも、金銭的な評価基準のみが使用されているわけではない。こうした評価基準は、経済性工学ではインタンジブル・ファクターとして扱われ、分析の対象外とされてきたが、技術革新をはじめとする環境変化の下で、一躍、意思決定の重要な要因として認識されつつある。幸いにも、近年、意思決定の領域で、定性的・多目標的な評価基準を取り扱う AHP や DEA などの手法が開発され実用に供せられるようになって、このような評価基準を有する問題を分析することが可能になっている。研究開発を含む投資対象領域の拡大、キャッシュフローという一目標から金銭的尺度を含めた多目標評価基準の使用機会の増大という時代の潮流の下で、投資の意思決定分析の内容は次第に変化しつつあると言えよう。

また、経済性工学が提唱された時代には、コンピュータやソフトウェアの性能が低かった。このような状況では、最適解の代わりに近似解法を工夫することも重要であった。今では、コンピュータの性能向上、アプリケーション・ソフトウェアの質的向上によって、複雑なモデルの解を求めることも比較的容易となっている。コンピュータ・グラフィックスの進歩によって、視覚に訴える効果的な情報提示も可能となっている。

4. 2 経済性工学の役割の再吟味

経営資源としての資金を効果的に調達、配分し、効率的に利用し、利益を得ようとする経営活動で、投資の経済的意思決定は極めて重要な課題である。この課題は、国連、政府、地方自治体をはじめとする種々の非営利の組織活動においても、ムリ・ムダ・ムラを排除し費用の削減に努めると同時に、組織活動の維持・発展を目指した収益の拡大を図るためにも、やはり重要である。金銭で評価され得る投資の意思決定の諸問題は今後も意思決定の重要な問題であり、経済性工学で扱われている原則、諸技法の適用が可能となる。このような意味で、経済性工学は今後も経済的な投資の意思決定で重要な役割を果たしつづけると考えられる。

それと同時に、非金銭的な評価基準を含む多目標型の意味決定においても、経済性工学は有効であろう。2章で述べたように、投資の意思決定の評価基準が、定性的、多目標的、非金銭的な尺度で評価されるような状況では、複利計算法に基づいた計算システム⁽⁹⁾（投資案の評価と資金の時間的価値：異なる時点の資金価値の比較、時間換算の方法）が適用され得なくなる。複利計算システムは、異なった時点で発生する金銭的価値を同一時点の価値に等価変換することによって、異なった時点で発生するキャッシュフローを伴う代替案間の比較を可能とする。他方、非金銭的な価値基準を使用した場合には、異なった時点での価値基準の変化を把握することが難しくなるから、異なった時点での代替案の比較は一般には困難になる。意思決定が同一時点でなされるとか、異なった時点間の価値基準が不変であるとか、あるいは、異なった時点での価値基準が明確に想定され得る状況では、非金銭的な価値基準を使用したモデリングが可能となろう。

このように多目標的、定性的な価値基準の導入は、複利計算法に基づく計算システムが適用されにくくなるという問題点を有するが、経済性工学で提唱されてきた種々の考え方と技法は、以下に示すような点でこれからもなお有効であると考えられる：

- (1) 多目標評価基準に対する意思決定分析の考え方と方法が利用可能

製品開発など投資の意思決定において、各評価項目にウェイトをつけ重み平均を算出することによって、一目標の総合評価値（スカラー）に変換され得る。その結果、複利計算法に基づく計算システムを除いて、制約条件の下で総合評価値を最大にする代替案の決定などで、経済性工学で提唱されている種々の投資の考え方と技法やORの最適化の技法などが適用可能となる。

- (2) 投資の意思決定構造の認識

経済性工学では、意思決定の構造（現実の意思決定において、目的関数、制約条件の存在）を認識することの重要性を強調している。3.2節の製品開発モデルでは、コスト制約の下で、総合評価値を最大にするという評価基準が使用されている。各機能ユニットの代替案は1つが選ばれれば他は選ばれ得ないという意味で、経済性工学で提案されている「排反的諸案からの選択問題」となっている。また、各機能ユニットの代替案は、相互に影響し合わず、コスト制約、目的関数（総合評価値）に関して加法性が成立するという意味で「独立案からの選択問題」となっている。結局、この問題は、「混合案からの選択問題」という構造を持っている。既に明らかにしたように、技術進歩下で生ずる意思決定問題は、これまで経験したことがないような新規な問題である場合が多い。漠然とした問題を構造的に把握し、さらに、高度の技術を必要とするモデルの構築を行うためには、経済性工学で明らかにされている様々な知見が必要とされよう。

- (3) グラフや近似解法を利用した簡便な解法や分かり易い情報提示の重視

製品開発におけるコストパフォーマンス曲線は、コスト制約の変化におけるパフォーマンスの変化（感度分析の結果）を視覚に訴える分かり易い方法として提案したものである。

- (4) 問題設定の妥当性と解析結果の経済的・経営的意味づけを重視

経済性工学では、対象とする問題が現実の意味のある問題であるかどうか、また、得られた結果が経済的・経営的にどのような意味を持つかの考察を重視している。経済性工学の知識によって、意思決定モデルを構築し、解析するときに犯す誤りの可能性を減少させ、意味のあるモデルの構築、解析が可能となる。

経済性工学に関する研究（設備投資の経済的意思決定）に長年関わってきた経験から、「経済性工学は、経済性分析にかかわる専門知識の修得だけではなく、経営の意思決定に関する基本的な考え方、経営システム工学に必要なセンス、バランス感覚、モデリングの技術を修得するために重要である」と言えよう。

5. モデリング・アプローチによる投資の

意思決定研究の課題

著者は、モデリング・アプローチによって現実の問題解決・意思決定に有効な情報を提供するためには、問題指向（problem-oriented）と技法指向（technique-oriented）の2つのアプローチをバランス良く追求することが重要であることを主張してきた¹⁰⁾ [18]。最初に、問題指向的アプローチについて考察しよう。

技術革新をはじめとする外部環境変化の下での意思決定問題は、表1に示したように、悪構造的、戦略的、定性的、リスクの大きい問題である。激しい環境変化の下で、どのような新たな問題が時代の潮流となり得るのか、それに対して、どのような戦略を構築すればよいのかという、問題設定力、仮説構想力、戦略企画力が重要になる。これらは、技術経営、研究開発、経営戦略/技術戦略などの専門的な知見と、先見性、洞察力によって、より良く遂行され得るであろう。時代の潮流を反映したユニークな問題設定（問題の発見や創造）、設定された問題に対する解決策・代替案（仮説）の構想力と実現可能性に対する洞察力が重要な課題になる。自分の専門領域に閉じこもるのではなく、絶えず外部環境の変化に留意し、自分の専門領域を豊かにしていくことが重要であろう。

問題全体を1つのモデルによって記述することは不可能であろう。従って、モデリング・アプローチ

よる投資の意思決定研究にあたっては、取りあげられている問題のどの部分が検討に値する本質的な意思決定問題となり得るかを見極める必要がある。すなわち、考慮中の問題解決においてクリティカルな意思決定は何かを見極める必要がある。そして、そのような意思決定が問題として記述され得るためには、どんな要因、条件を考えれば良いかを明らかにすることである。意思決定をモジュール化し必要に応じて利用しようとする立場に立つならば、対象としている意思決定問題が他の局面でも度々生じ得るかどうかの見極めが重要となろう。この段階で、経済性工学で提案されている意思決定に関する種々の知見が効果的に利用され得る。

次に、技法思想的アプローチとして、記述された問題に対して、モデル化、解析（プログラミング、最適化、統計解析、シミュレーションなど）、情報表示（プレゼンテーション）、意思決定支援のためのプログラムの開発などが必要に応じて実施されるであろう。このうち、意思決定の問題をモデル化する部分が最も困難であると考えられる¹¹⁾。

解析の部分は学習によって着実に進歩し得るが、モデリングは経験から得られた暗黙知が重要な役割を果す領域である。そもそも、言葉では容易に表現し得ない知見が暗黙知といわれる所以でもあり「経験を積むしか方法はない」と言ってしまうまでもだが！この能力を何とかして高めることが重要な課題となろう。著者の経験によれば、その鍵は4章で述べた経済性工学にあると考えられる。問題設定の妥当性、実際状況に即した目的関数や制約条件の適切な選択、経営戦略や技術戦略と整合性のとれた評価基準や代替案の設定、代替案の選択により期待される効果（仮説構想力）、解法の提示、意思決定に役立つ情報提示の方法などが、モデルの構築における重要な視点となろう。研究のオリジナリティーをどこに求めるかは絶えず留意されなければならない。

6. おわりに

本研究では、モデリング・アプローチによる研究から得られた暗黙知を多少なりとも明示知化しようと試みている。経験に基づく暗黙知を抽出し議論を論理的、体系的に組み立てることは、モデリング・アプローチによって個別の研究を実施するよりも、

はるかに困難な作業であることを、今、実感している。なぜならば、暗黙知は言葉で表現し難いし、たとえ表現し得たとしても、経験を共有していない他の人々を客観的、論理的に説得することが極めて難しいからである。

著者は、モデリング・アプローチによって意思決定過程のすべてを記述できるとは考えていない。むしろ、意思決定過程の比較的小さな部分をプロトタイプ・モデルで記述することによって、これをモジュール化^[5]し、意思決定の基本的構造を記述しようと試みている。開発された複数の基本的なプロトタイプ・モデルを意思決定の局面に応じてカスタマイズし、それらを組み合わせて使用する、つまり、モデルを意思決定のツールとして使用しようとする発想に基づいている。このためには、今後もより多くの基本的なプロトタイプ・モデルをモジュールとして開発することが必要とされよう。

環境変化のもとでモデリング・アプローチが効果的に機能し得るためには、特に、経営戦略や技術戦略とのリンクを強めたモデルの開発が重要となろう。意思決定過程には戦略など定量的に記述できない部分（記述的モデル）が存在するから、現実に適用可能なモデルを構築するにあたっては、意思決定過程を記述的部分といくつかの定量的なモデル（モジュール）によって構成し、記述的部分を定量的なモデルに反映させることが必要となる¹²⁾。このことは、モデリング・アプローチにおける問題指向と技法指向の2つのアプローチをバランス良く達成させることの重要性を意味している。

注

- (1) 例えば、新たな環境変化に適應するビジネスモデルの提案は「問題創造」の典型的な例である。
- (2) 例えば、「現時点では曖昧であるからこのステップを飛ばして先に進み後で戻って考える」、「意思決定に容易に組み込まれ得ない条件や要因を勘案して、意思決定を経験や勘に基づいて修正する」等の場合が生じ得るであろう。
- (3) 基礎研究プロジェクトの評価に関して、最適解を意思決定者の経験と勘に基づいて修正するメカニズムを組み込んだモデルが著者らによって提案されている^[23]。

- (4) 近年、バイオテクノロジーや遺伝子工学のように、科学と工学・技術の結びつきが強まり、科学の成果が工学・技術を通じて社会へ即座に応用される傾向が強まっている。こうした状況下で、地球環境、人類、社会、人間、消費者、顧客にとっての良し悪しの価値基準が厳しく問われ始めている。科学においても、生命倫理など価値基準の確立が急務とされている。
- (5) この点は文献 [23] を参照のこと。また、情報化投資は設備投資の形態をとるものの、経営に与えるインパクトと複雑さの度合いから、研究開発投資と類似の特徴を備えていると言えよう。
- (6) 半導体の設備投資は、多い会社で1社当たり年に1000億円以上にもなる(2004年度(計画ベース、単位 億円) ソニー：1,900、NECエレクトロニクス：1,670、東芝：1,540、松下電器産業：900、ルネサステクノロジー：900；日経産業新聞2004/5/3より)。最小線幅の微細化やウェハーの大口径化に伴う設備の陳腐化、激しい市場競争による市況の悪化によって、巨額の投資額が回収されえない等のリスクが存在している。また、HD、FD、MO、CD、DVD、USB対応のメモリースティックの登場など、メモリー技術、素材技術の急速な変化は、この分野における設備投資のリスクを高める要因となっている。
- (7) 他の研究を含めたより詳細な研究の紹介は文献 [24] でなされている。
- (8) CPC (与えられたコスト制約における最適な組み合わせ代替案 (CA) を結んだ折れ線) の下側に位置するCAは意思決定に関係しない無資格案になっていることが容易に理解される。
- (9) 資金の時間的価値に関して、現価、終価、年価の3つのタイプの価値が考えられる。これらの3つの価値は、複利計算法によって相互に変換させることが可能である。
- (10) 文献 [18] では、激しく変化しつつある外部環境変化の下で、経営工学が技法偏重を脱して、経営学や経済学など他分野の領域の知見を積極的に取り込むべきであることを提案した。その後、産業界からもこうした見解が発表され、また、大卒・大学院卒の理工系技術者が技術経営 (Technology Management; Management of Technology : MOT)、経営戦略などを大学院で学

ぶ昨今の状況から判断しても、この主張は今でも妥当であると考えている。

- (11) この問題は文献 [24] で検討されている。
- (12) 具体的には、文献 [7], [23] に記述されている。

参考文献

- [1] A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision-making Units," *European Journal of Operational Research*, 2, pp.429-444, 1978.
- [2] J. A. Baker:Paradigms, Harper Business, 1993. 仁平和夫 (訳), パラダイムの魔力, 日経BP出版センター, 1995.
- [3] S. E. Elmaghraby, "The Role of Modeling in IE Design," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. X IX, No.6, pp.292-300, 1968.
- [4] P. Fahrni and M. Spätig, "An Application-oriented Guide to R&D Project Selection and Evaluation Methods," *R&D Management*, Vol.20, No.2, pp.155-171, 1990.
- [5] 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一 (編), 「ビジネス・アーキテクチャー—製品・組織・プロセスの戦略的設計—」, 有斐閣, 2001.
- [6] 印南一路, "優れた意思決定のアプローチ," *ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス・レビュー*, pp.37-49, 2002年1月号
- [7] 石田勇矢, 日下泰夫, "外部技術導入を考慮した製品開発," 投稿中, 2004.
- [8] 岩間 宏, 「プロダクトイノベーション—競争優位をつくる戦略的商品企画—」, *ダイヤモンド社*, 1996.
- [9] 加護野忠雄, 「企業のパラダイム変革」, 講談社, 1988.
- [10] 今野 浩, 鈴木久敏 (編), 「整数計画法と組み合わせ最適化」, *日科技連*, 1982.
- [11] 日下泰夫, "目標稼働率の制約下における予防保全を考慮した信頼度の経済的配分—混合案に対する追加利回り法の適用—," *日本経営工学会誌 (JJIMA)*, Vol.32, No.1, pp.12-21, 1981
- [12] Y. Kusaka, "Equipment Replacement under Technological Advances," *Journal of the*

Operations Research Society of Japan (JORSJ), Vol.29, No.2, pp.133-154, 1986.

- [13] Y. Kusaka and H. Suzuki, "Equipment Replacement with Consideration of Technological Advances -Determination of Replacement Times by Control Limit Policy-," *JORSJ*, Vol.31, No.3, pp.389-412, pp.76-99, 1988.
- [14] 日下泰夫, 鈴木久敏, "設備更新問題へのコスト分析モデルの適用 —技術進歩下における更新時点の決定—," 日本経営工学会誌, vol.40, No.1, pp.53-59, 1989.
- [15] 日下泰夫, 森 雅夫, "生産量を考慮したマルコフ取替え政策," 日本経営工学会誌, Vol.40, No.4, pp.246-252, 1989.
- [16] Y. Kusaka and H. Suzuki, "Equipment Replacement Behavior under Innovative Technological Advances," *JORSJ*, Vol.33, No.1, pp.76-99, 1990.
- [17] Y. Kusaka and H. Suzuki, "An Analysis of New Product Diffusion Process," *JORSJ*, Vol.38, No.2, pp.188-211, 1995.
- [18] 日下泰夫, 「経営工学概論」, 中央経済社, 1997.
- [19] Y. Kusaka, "A Choice of Combinatorial Alternative in Product Development," *The Journal of Science Policy and Research. Management*, Vol. 12, No. 3/4, pp. 206-218, 1997.
- [20] Y. Kusaka, "Product Development Using Cost Performance Curve," *The Journal of Management Accounting, Japan*, Vol. 6, No. 2, pp. 23- 46, 1998.
- [21] Y. Kusaka, "Product Development Using Time-conditioned Cost Performance Curve," *Proceedings of 2000 Pacific Conference on Manufacturing*, Vol. 1, pp. 197-202, 2000.
- [22] Y. Kusaka and H. Yamamoto, "Decision Making Structure of Time-conditioned Cost Performance Curve in Product Development," presented paper at *Portland International Conference of Management Engineering and Technology (PICMET'01)* [CD-ROM], July-August, 2001.
- [23] Y. Kusaka and M. Hirasaka, "A Hybrid Approach for Corporate Basic Research Evaluation and Selection," presented paper at *PICMET'03* [CD-ROM], July-August, 2003
- [24] Y. Kusaka, "Requirements for Modeling Approach in R&D Decision-making," presented paper at *PICMET'04* symposium [CD-ROM], July-August, 2004.
- [25] M. J. Liberatore, "An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection and Resource Allocation," *IEEE Trans. on Eng. Management*, Vol.34, No. 1, pp. 12-17, 1987.
- [26] J. D. Lewis, *Partnerships for Profit*, The Free Press, 1990.
- [27] 森 雅夫, 松井知己, 「オペレーションズ・リサーチ」(経営システム工学ライブラリー 8), 朝倉書店, 2004.
- [28] 野中郁次郎, 「知識創造の経営」, 日本経済新聞社, 1990
- [29] I.Nonaka and H.Takeuchi, *The Knowledge Creating Company-How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation-*, Oxford University Press, Inc., 1995.
(邦訳) 野中郁次郎, 竹内弘高, 「知識創造企業」, 東洋経済新報社, 1996.
- [30] T. L.Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Inc., 1980..
- [31] 千住鎮雄, 伏見多美雄, 「新版 経済性工学」, 日本能率協会, 1973.
- [32] 千住鎮雄, 伏見多美雄, 「設備投資計画」, 日科技連, 1974.
- [33] 千住鎮雄, 伏見多美雄, 山口俊和, 藤田精一, 「経済性分析」, 日本規格協会, 1986.
- [34] 千住鎮雄, 伏見多美雄, 「新版 経済性工学の基礎 —意思決定のための経済性分析—」, 日本能率協会マネジメントセンター, 1994.
- [35] H. A. Simon, *The New Science of Management Decision*, Prentice-Hall, Inc., 1977.
- [36] W. E. Souder, "Analytical Effectiveness of Mathematical Models for R&D Project Selection," *Management Science*, Vol. 19, No. 8, pp. 907-922, 1973.
- [37] J. Tidd, J. Bessant and K. Pavitt, *Managing*

Innovation -Integrating Technological, Market and Organizational Change- (Second ed.), Wiley, 2001

- [38] 刀根 薫, 「ゲーム感覚意思決定法 —AHP入門—」, 日科技連, 1986.
- [39] 刀根 薫, 「経営効率性の測定と改善 —包絡分析法DEAによる—」, 日科技連, 1993.
- [40] P. Trott, *Innovation Management & New Product Development*, Financial Times Pitman Publishing, 1998.
- [41] R. W. B. Werner and H. J. Zimmermann, “Planning Models for Research and Development,” *European Journal of Operational Res.*, Vol. 8, No. 2, pp.175-188, 1990.
- [42] 山之内昭夫, 「企業変革の技術マネジメント」, 日本経済新聞社, 1986.
- [43] 山之内昭夫, 「新・技術経営論」, 日本経済新聞社, 1992.

新聞

- [44] 日経産業新聞：明日の経営と技術 —メールマガジン・アンケート調査から—, 2003/10/1
- [45] 読売新聞：モノづくり大国再び-製造業が国内回帰、2004/3/23 朝刊

謝辞

本研究を完成するにあたり、獨協大学名誉教授・経済学博士 西川純子先生からの御助言を得ました。ここに記して謝意を表します。