

# 技術予測の展開

森田道也

## 技術予測の展開

### 1 技術予測の目的と方法論

社会の変遷において技術が演じてきた役割の大きさには測り知れないものがある。歴史的にみても、社会の大きな変化の底には殆どの場合に新たな技術上の発見や発明というものがあったし、将来においてもあてはまるだろう。たとえば、現代社会の大きな問題を考えてみても、技術的突破口が得られるようなことが前提となる場合も少なくない。エネルギー問題、食糧問題、公害問題などでは技術に期待されている部分が大きい。もちろん、社会体制や制度、人々の意識や価値観の変革も必要となるだろう。けれども、技術開発が問題解決の最も重要な手段の一つであることは疑いもない。技術の役割を正当に評価し、社会のデザインに十分に生かしていくことは現代の大きな課題である。

技術予測の基本的目的は、技術の果たす役割を認識し、技術進歩の諸影響を評価し、技術を人間や社会のニーズの充足のために効果的に利用していくことである。このような技術予測に対する要請は社会のいろいろな立場から考えられる。たとえば、国家的立場からは、国家の進路を適切に設定するために国際環境の見通しを立てるという場合にも必要だろう。国際関係においては政治、経済が重要な局面を占めていると考えられるが、その基礎に技術的側面があることも見逃すべきでない。いわゆる東西間の対立ということも、各

各の技術、科学の優劣関係の上でその内容が変化してきた。エネルギー危機の源泉となった産油国の動きにも技術開発の見通しの影響を見ることができる。産油国グループ内での対立の基礎には、各産油国の原油埋蔵量と代替エネルギーの開発見通しからくる将来の展望の相違というものがうかがわれる。

また、国家的な技術政策の策定、開発戦略やそのプログラムの策定においても技術予測は不可欠である。社会の構成要素たる組織、企業のレベルでも同様のニーズが認められる。技術開発や新製品開発戦略では中心的役割を果たす。

さて、技術予測に対するニーズはわかったとして、方法論的に技術予測は伝統的な経済学の分野で開発されてきた予測手法と何らかの差異を持っているのだろうか。要約的にいうならば、技術予測は伝統的な統計学的分析をも含み込むもので、それだけにとどまらず技術という対象に固有の特徴をも処理しうる新たな方法論をいろいろな観点から模索している流動的な内容を持つものといえるだろう。予測対象である技術それ自身の特徴については後で考えることにし、伝統的予測手法だけでは不十分な点は、データの利用可能性という面での限界である。経済変数についての値の予測とは異なり、全く過去のデータが存在しないということが往々にしてある。そのことが伝統的予測手法とは区別された技術予測という新たな分野を要請せしめるに至った原因である。換言すれば、定量的予測から定性的予測への重点の移行といえるだろう。しか

しながら、このことは伝統的予測手法に表現される定量的予測体系の放棄を意味するものではない。技術開発が人間によっておこなわれる営みであることを考えるならば、歴史的な軌跡である実績、過去の傾向、諸関係といった要素を全く無視するということが非現実的である。

技術予測の方法論を考える場合に最も重要な点は、予測対象の技術というものをどのように理解するかということである。特に技術というものが示すその動態であり、いかえれば進歩である。技術進歩に関しての見方を要約するならば次の二つの見方に分類できよう。

- (i) 技術進歩というものは自己増殖的である。すなわち、内生的に進歩を助長するメカニズムが組み込まれている。
- (ii) 技術進歩は人間のニーズによって左右され、コントロール可能である。

(i) のような見方は本体論的見解(ontological view)といわれ、(ii)は目的論的見解(teleological view)と呼ばれている。このような二種の見解の差異は一見したところ明白なように見えるが、実際には区別し難い。ニーズの有無が差異の根本理由のように考えられるけれども、有無ではなくニーズの範囲とそれが顕在化した程度についての解釈の相違による差異とみなすべきだろう。あるいはニーズの把握が十分に理解できず、またニーズと技術の対応関係を固定的にとらえることができないということもあるかも知れない。この二つの見方の区別の意義は、技術進歩が実際にそのような特徴を持っているという事実関係をいうよりも、技術進歩を想定するうえでの便宜ということにある。研究開発に携わった研究者の個人的ニーズまでも否定することはできないはずである。

技術進歩の長期的傾向をみると、その発展の動向を究極的に左右してきたものは人間のニーズであるといえるだろう。しかしながら、

## 第1図

1. 発明・発見
2. 理論・設計概念の提示と検証
3. 実験室での応用
4. 試作品の実地使用テスト
5. 市場化
6. 使用効果の発生
7. 他の分野への拡散
8. 衰退

技術進歩を考える場合に注意すべきことは、ある一つの技術はそのライフ・サイクルというものを持ち、サイクルの各段階とニーズとの対応関係を考える必要があるということである。まず、技術進歩をそのサイクルのどの段階でとらえるのかを明らかにすべきであり、その後それを左右するニーズとの対応関係を規定することになる。通常、技術のライフ・サイクルは第1図のように表わすことができる。この図ではサイクルは八つの段階から成るが、各段階に対して影響を及ぼすニーズがすべて同じであるとは言えない。またニーズの顕在化の程度も異なるはずである。したがって、技術進歩がどの段階で測られるのかの明確化が技術予測の出発点となる。先の技術進歩についての二つの見方に沿っているならば、本体論的見解の観点が成立しうるのはサイクルのより初期の段階ということができるだろう。もちろん、顕在化したニーズの程度の理解の差異に基づいた見解の区別という意味で考えた場合である。けれども、全体的にはやはり目的論的見解の方が有効な見方

といえるだろう。このような例もいくつか挙げることができる。超音速旅客機（SST）、原子力発電所などは技術進歩に対して人間のニーズ（環境の浄化、自然に対する価値など）がブレーキ的働きをしている典型的な事例である。また、戦争による科学技術の急速な発達、NASAのような国家的目的からくる技術の発展の速さも目的論的見解の妥当性を示すものである。サイクルにおける段階の到達の速さ、特に市場化や他分野への拡散の段階の速さはニーズによって促進されることが殆どといえるだろう。たとえば、レーザー光線を考えると、その発見においては本体論的観点が妥当であったといえたとしても、その潜在的な応用範囲の広さが認識されるや否や加速的にその進歩がおこなわれた。

さて、技術進歩が人間の明示的ニーズによって左右されることが多いとしたとしても、それではどのように予測するのだろうか。方法論的に技術予測の手法は二つの性格のものに分類することができる。第一は、探索的予測（exploratory forecasting）とよばれるものであり、第二は規範的予測（normative forecasting）である。探索的予測は、既存の知識（既存の技術体系についての知識）や過去の実績に基づいて客観的な立場から予測することに特徴がある。探索的予測はさらに内容的に二つの種類に分類できる。第一はいわゆる外挿法で、過去の実績から、ない場合には類似的な発展プロセスを仮定して、当該技術の将来の進歩を想定する。このような方法はどちらかといえば本体論的見解に基づいているようにみえる。けれども、目的論的見解をとっていたとしてもこのような方法を採用せざるを得ないこともあるのである。それは、ニーズの多様性から、技術進歩との特定の対応関係をつけられない場合である。このような状況で考えられる方法は、ニーズとの対応関係が過去の実績の中に組み込まれているとみなすか、あるいは他の技術の発展パターン

の中に見出せるとみなすかである。したがって、このような外挿法が使用されるからといって、本体論的見解に立脚しているとは言えないのである。第二の探索的予測の方法は、ある要素との関係を明示的に採り入れ、時間の関数といった見方はしない方法である。ニーズを直接対応させて考える場合もあれば、ニーズではない異なる説明要因をもってくることもある。

探索的予測が文字通りに発見的ないし客観的であるのに対し、規範的予測は予測主体の技術進歩に対する働きかけを強調し、開発努力を前提とした条件付予測である。基本的には、技術進歩というものが人間の意識的コントロール下に置かれ得るものとみなしている。規範的予測という名称で提唱されてきた手法は、将来のニーズの分析、開発可能性の分析、技術開発の優先順位づけ、開発プログラムの策定といった体系をなしている。このような体系をみると、規範的予測はそのプロセスの中に探索的予測をも含み込み、さらに計画策定といってもよいように見える。事実、技術予測というものは技術進歩の設計であるという考え方が貫かれているのである<sup>1)</sup>。規範的という意味はまさにそのことを意味する。それでは以下では、今まで開発されてきた予測手法についてみていくことにしよう。

## 1) 参考文献 9

## 2 探索的予測

### 2-1 外挿法

どのような予測であっても、現在までにある歴史を持っているような対象であれば、誰でも考えつく方法はその実績の傾向を理解し、それから何らかの規則性、パターンを発見し、定式化して将来へと外挿することである。あるいは、他の現象と共通性が認識されるならば、当該予測対象に適用してみようとする。外挿法が適用可能な条件としては次の三つが

満たされていることが望ましい。

- ① 過去のデータにおける規則性、法則性の存在
- ② 外挿の範囲内で、①におけるパターンが合理性を持っていること
- ③ 理論的根拠の存在

これらの条件が完全に満たされているような状況は殆ど見当たらないといってもよいだろう。したがって、通常おこなわれる外挿の大部分は、予想される状況の推測、あるいは過去の実績を左右してきたようなダイナミズムが今後も同様のプロセスを経由し、大幅に変化しないだろうという前提の下での予測とすることができる。外挿法に含まれるいくつかの手法を示しておこう。

#### (1) 一定成長率による外挿

予測対象が歴史的にみて、ある一定の率で進歩していくと予想される場合に適用される。一定成長率で外挿されるならば、その軌跡が指数曲線を示すことは知られている。この外挿が適当であるかどうかを調べるためには、半対数グラフを用意し、横軸に時間  $t$ 、縦軸に半対数目盛を尺度とした進歩の水準をとってデータをそのグラフ上にプロットすればよい。プロットされた点が直線状に分布するならば、一定成長率外挿法の妥当性が生まれる。具体的に分布を関数形として求めるためには、技術水準を  $P$ 、時間を  $t$ 、 $a$  および  $b$  をパラメータとした次式に基づく回帰推定をおこなえばよい。

$$\log P = a + bt$$

$$\therefore P = ce^{bt} \text{ただし、} C = e^a$$

#### (2) 成長現象との類似を利用した外挿法

一定成長率による外挿の限界は明らかであり、無限の、しかも指数的成長に対する制約というものを当然考えなければならない。その代表的なものが、化学の自触反応プロセス、生物体の成長プロセスなど自然界の成長現象

とのアナロジーを技術進歩に対して適用しようという試みである。

この成長現象の形態の特徴は、成長の初期段階においては指数的に成長し、ある点（変曲線）を境に減速成長となり、ある一定の上限に漸近していくというものである。このような形の関数は知られており、ロジスチック曲線、ゴンベルツ曲線は有名である。それぞれの形は次のような関数で表わされる。まずロジスチック曲線は、

$$P = 1 / \{1 + A \exp(-kt)\}$$

ただし、 $A$  および  $k$  は定数。またゴンベルツ曲線は、

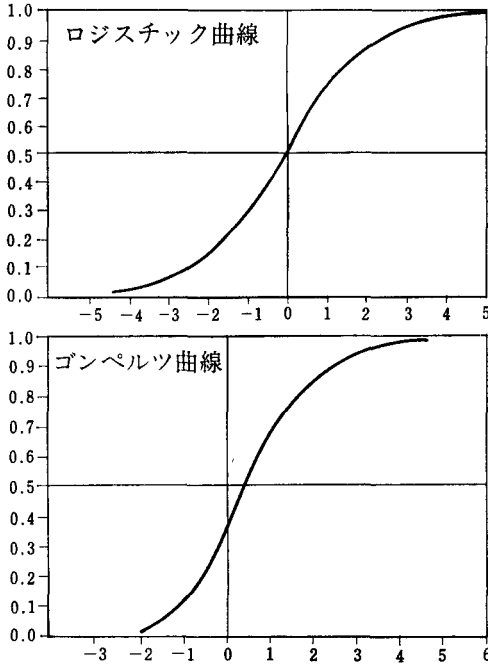
$$P = \exp(-Ak^{-kt})$$

変曲点は各々、 $P = 1/2$ 、 $P = 1/e$  となる。変曲点とは遞増状態が遞減状態に変化する点のことであり、二次導関数が 0 と置かれて求められる。 $A$  および  $k$  が 1 のときの各々の曲線の形は第 2 図の通りである。

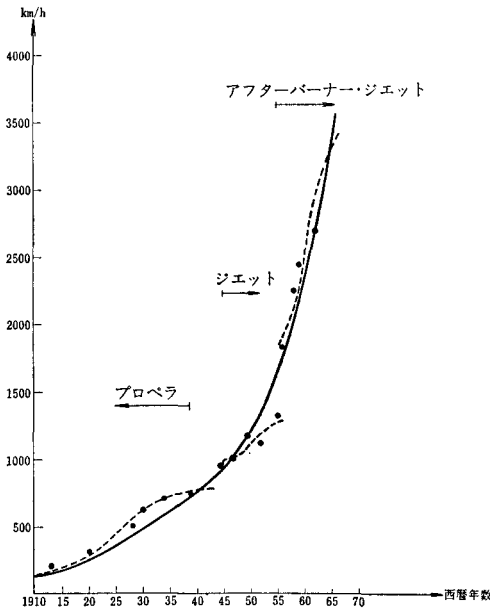
将来において技術進歩が頭打ちになるような予測が妥当性を持つのは、ある特定の技術形態（たとえばレシプロ・エンジン）を前提に、その性能（自動車などの速度）を予測するような場合である。第 3 図は航空機の最高速度を歴史的に示したものであるが<sup>1)</sup>、プロペラという形態で考えるならば、進歩の軌跡が頭打ちとなることがわかる。この成長曲線の推定に関しては通常の線型推定とは異なる考え方が必要なきもある<sup>2)</sup>。

さて、プロペラという形態に限定していた場合には妥当と思われる成長曲線も、形態の変化をも認めた場合には必ずしも適切ではない場合がある。第 3 図にも示されている通り、特定の技術形態にとらわれないならば、各技術形態ごとに成立する成長曲線を包み込むような形として表わされる。このような曲線を包絡線 (envelope) と呼ぶ。ある技術性能ないし水準が長期間にわたって指数的成長を示すことがあるが、その技術を構成する技術形態が次々と新しく開発されていくことが多い。

第2図



第3図



(3) 解析的モデル

解析的モデルは、実績データのあてはまり具合から直接に出発するのではなく、論理的思考を積み上げることによって、数学的モデ

ルを構築することに特徴がある。この種のモデルとしてはいくつか考案されているが、ここではそれらのうちのいくつかを紹介することにしよう。

(i) ハートマン (L. Hartman) のモデル<sup>3)</sup>

このモデルは科学的知識 (分野には任意のものが適用される) の増加プロセスを説明しようとするものである。科学的知識の増加は、既存の知識蓄積水準  $I$  と科学者数  $N$ 、そして科学者が一単位の情報を知ったときに新たに一単位の知識を生み出す確率  $P$  の関数として表わされるというのがこのモデルの基本的前提である。この前提に基づいて定式化すれば、

$$dI(t)/dt = PNI(t) \quad \text{①}$$

今対象としている分野の知識上限を  $L$  とすれば、さらに、科学者数  $N$  が一定、 $P$  が現有知識水準と  $L$  との差に比例すると仮定すると、①式は次のようになる。

$$dI(t)/dt = k(1 - I(t)/L)NI(t) \quad \text{②}$$

ただし、 $a$  は比例定数で  $k = aL$  とすると、

$$P = a(L - I(t)) = aL(1 - I(t)/L)$$

となる。②の微分方程式を解くと、

$$I(t) = L / \{1 + (L/I_0 - 1) \exp(-kNt)\} \quad \text{③}$$

③は上限を  $L$  とするロジスチック曲線に他ならない。

(ii) アイセンソン (R. S. Isenson) のモデル<sup>4)</sup>

アイセンソンのモデルの特徴は、ハートマンのモデルでは考慮されていなかった科学者相互の知識の交換の程度を導入しようというところにある。基本式は次のように表わされる。

$$dI(t)/dt = k(1 - I(t)/L) \{N + \alpha m N(N - 1)k\} \quad \text{④}$$

このモデルでは、確率  $P$  にかかることによって知識の増加に寄与する変数が、独立の (知識の交換をおこなわない) 科学者の数  $N$  と、それらの科学者の間で相互作用がおこなわれ

た程度の加重和で表わされている。 $\alpha$ は理論的に可能な総相互作用数( $N(N-1)/2$ )のうち実際に実現した割合であり、 $m$ は相互作用一回あたりの生産性を示すウェイトで、もし $m=1$ の場合には、独立の科学者一人と相互作用一回あたりの生産性が同じになる。①においては、すべての科学者が既存のすべての知識量を消化しているという仮定がされていた。

④において、 $N$ が十分に大きな数であれば、次のような式にかきかえることができる。

$$dI(t)/dt \cong k(1-I(t)/L)(\alpha m N^2/2) \quad \text{⑤}$$

この微分方程式を解くと、

$$I(t) = L - (L - L_0) \exp(-kamN^2t/2L) \quad \text{⑥}$$

⑥は、 $t \rightarrow \infty$ の場合には、 $I(t)$ が $L$ に近づいていくけれども、ロジスチック曲線とはならない。

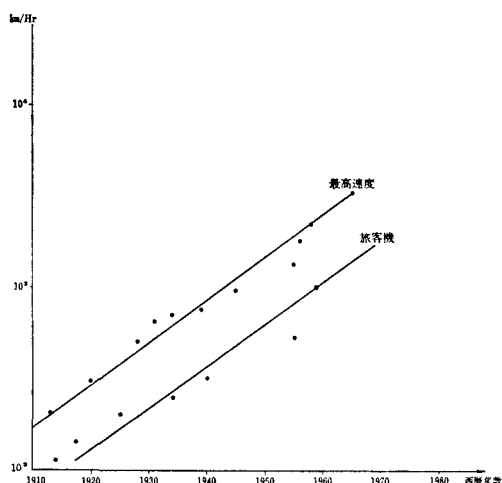
#### (4) 先行傾向との相関による外挿法

よく観察すると、ある技術がある水準の性能に達する以前に、他のある技術が先行的に同様の動きを示している場合がある。この関係が規則的であると判断されるならば、その先行傾向を使って予測することが可能である。経済学においても、先行指標を使った予測があるが、それと基本的考え方は一致する。その例として、第4図に航空機の最高速度と民間旅客機の就航速度が示されている<sup>5)</sup>。この例では、最高速度が技術のライフ・サイクルの第4段階にあたり、旅客機の就航速度が第5段階に相当すると考えられる。したがって、第4段階から第5段階まで約15年要しているといえるだろう。

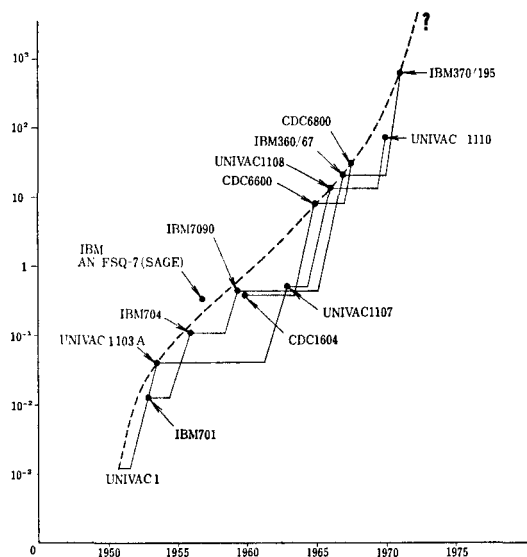
#### (5) 競争プロセスの外挿

技術進歩が競争関係にある開発主体(たとえば企業)の間での競争の結果としてもたらされることは往々にして見うけられる。今、ある企業がある水準の性能を持つ製品を市場化したとすれば、それと競合状態にある別の

第4図



第5図



注)  $1 \mu\text{sec}$ 、の時間でアクセスできるビット数。  
ただしコア・ストレージについて考えている。

企業があるリード・タイムにおいてそれ以上の性能の製品を市場化する。しばらくして、その優位性は他社の新性能製品の出現によっ

て失われる。米ソの宇宙開発競争は典型的な例であった。ここでは、コンピュータ産業における競争プロセスを第5図に示しておこう<sup>6)</sup>。

(6) 代替プロセスによる外挿法<sup>7)</sup>

この方法の基本的考え方は、技術進歩や革新は人間の欲求充足における手段の選択のプロセスとして把握されるというものである。すなわち、人間の持つ欲求の種類は基本的にはほぼ不変的であり、それら欲求を充足するのに、旧式の技術を新式の技術によって代替するわけである。具体的には次の三つの仮定の上に成立する。

- (i) 多くの技術進歩は、ある欲求をみたすためのある方法を、異なる方法で代替するプロセスとして記述される。
- (ii) 使用の総割合で数%まで代替が進行すれば、その代替は殆ど完全代替(100%)近くまでいってしまう。
- (iii) 旧式の技術を新たな技術で代替するその増加率は、代替されずに残っている部分の大きさに比例する。

(iii)の仮定により、モデルは成長曲線タイプのものになることが推測される。

今、完全代替を1とする。代替比率  $R$  は、(iii)の仮定によって次のように定式化される。

$$\{dR(t)/at\} / R(t) = \alpha \{1 - R(t)\}$$

これを  $R(t)$  について解くと、

$$R(t) = 1 / \{1 + C \exp(-\alpha t)\}$$

定数  $C$  は、 $R(t) = 0.5$  となる時点を  $t_0$  とすれば、次のようにして求められる。

$$0.5 = 1 / \{1 + C \exp(-\alpha t_0)\}$$

$$\therefore C = \exp(\alpha t_0)$$

したがって、 $R$  については次のようになる。

$$R/(1-R) = \exp\{\alpha(t - t_0)\}$$

過去のデータを、対数目盛の縦軸に上式の左辺、横軸に  $t$  をとってプロットすれば、プロットされた点がほぼ一直線上に沿った分布になるならば、このモデルの妥当性がいえる

だろう。代替時間を  $R$  が 0.1 から 0.9 になるまでに要する時間と定義するならば、このグラフにおいては  $R/(1-R)$  が 0.11 から 9.0 になるまでの時間となる。

この代替プロセスによる予測は、主にある技術の市場化の進展度あるいは普及度を予測するのに有効だろう。また逆に、衰退期を推定するのにも適用できる。

このモデルで、完全代替が必ず1になるとは限らない場合もある。そこで、その上限を  $L$  とすれば、次のように一般的にかき直すことができる。

$$\log\{R/(L-R)\} = C_1 + C_2 t$$

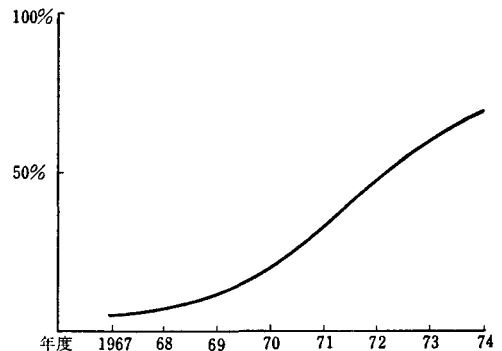
$L=1$  とした場合の例として、カラーテレビの普及率を考えてみよう。白黒テレビの普及率は1969年には世帯あたり 95% をこえ、その白黒テレビをカラーテレビで代替するプロセスとして考えてみよう。カラーテレビの普及率を図示すれば第6図のようになる<sup>8)</sup>。

回帰分析をおこなうと、次のような結果を得た。

$$\log\{R/(1-R)\} = 1.41 - 0.54t$$

$R^2 = 0.99$ 。完全代替時間を90%のシェアを獲得するまでの時間とすれば、1977年になる以前に到達するので、約9年となる。ただし、 $t=0$  が1975年である。

第6図 カラーT.V. 普及率(100世帯あたり)



(8) 拡散モデル

通常、(7)の代替プロセスや拡散プロセスは成長曲線を示すことになるけれども、代替率

や拡散率が他の客観的変数によって説明されるようなモデルはあまりない。そこでここではそのような進行度に関する分析を導入したモデルを考えてみよう<sup>9)</sup>。

マンスフィールド (E. Mansfield) は、ある産業内での革新の拡散率を何らかの客観的な測定可能な変数と関係づけるモデルの構築を試みている。記号を定義すると、

$n_{ij}$  : 第  $j$  革新を採択した第  $i$  産業の企業数  
 $m_{ij}(t)$  : 時点  $t$  において第  $j$  革新を採択した第  $i$  産業の企業数

$L_{ij}$  : 時点  $t+1$  までには採択するであろう時点  $t$  における企業数の割合

$P_{ij}$  : 革新を採択することによる利益性

$S_{ij}$  : 革新を導入するのに要する投資規模

マンスフィールドは、 $P_{ij}$  として次のような尺度を使用している。

$$P_{ij} = (\text{第 } i \text{ 産業で必要とされる 平均的最大回収期間}) / (\text{第 } j \text{ 革新の回収期間})$$

また  $S_{ij}$  については次の尺度を使用した。

$$S_{ij} = (\text{第 } j \text{ 革新に必要な平均初期投資額}) / (\text{第 } i \text{ 産業の } n_{ij} \text{ の企業の平均資産})$$

$L_{ij}$  は次式で定義される。

$$L_{ij} = \{m_{ij}(t+1) - m_{ij}(t)\} / \{n_{ij} - m_{ij}(t)\}$$

モデルの基本的仮定は、ある期間中に革新を導入する企業の割合はすでに導入している企業数の割合と  $P_{ij}$ 、 $S_{ij}$  の関数で表わされるというものである。すなわち、

$$L_{ij} = f_i(m_{ij}(t)/n_{ij}, P_{ij}, S_{ij})$$

通常、 $L$  はすでに導入している企業数が多く、利益性が高いほど増加すると考えられる。逆に、投資規模の増大は導入率を減少させるだろう。

便宜上、 $f_i$  が連続関数と仮定し、テイラー展開する。すべての変数の三次の項以降と採択済み企業の割合の二次の項が無視できるとすれば次のように表わせる。

$$L_{ij} = a_{i1} + a_{i2}m_{ij}(t)/n_{ij} + a_{i3}p_{ij} + a_{i4}S_{ij} + a_{i5}p_{ij}m_{ij}(t)/n_{ij} + a_{i6}S_{ij}m_{ij}(t)/n_{ij} + a_{i7}p_{ij}S_{ij} + a_{i8}p_{ij}^2 + a_{i9}S_{ij}^2 + \dots \quad (7)$$

$L_{ij}$  の定義から、⑦はかきかえることができる。

$$m_{ij}(t+1) - m_{ij}(t) = (n_{ij} - m_{ij}(t))(a_{i1} + a_{i2}m_{ij}(t)/n_{ij} + \dots + a_{i8}p_{ij}^2 + a_{i9}S_{ij}^2 + \dots) \quad (8)$$

単位時間を十分小さくとれば、⑧の左辺を微分形でかけ、

$$am_{ij}(t)/at = (n_{ij} - m_{ij}(t))(Q_{ij} + \phi_{ij}m_{ij}(t)/n_{ij}) \quad (9)$$

ただし、 $Q_{ij}$  は⑦から  $m_{ij}(t)/n_{ij}$  を除去したものである。また  $\phi_{ij}$  は、

$$\phi_{ij} = a_{i2} + a_{i5}p_{ij} + a_{i6}S_{ij} + \dots \quad (10)$$

⑨の微分方程式を解けば、

$$m_{ij} = n_{ij} [\exp\{l_{ij} + (Q_{ij} + \phi_{ij})t\} - Q_{ij}/\phi_{ij}] / [1 + \exp\{l_{ij} + (Q_{ij} + \phi_{ij})t\}] \quad (11)$$

⑪において、 $m_{ij}$  は  $t$  を昔に遡って行けば 0 となるはずであり、したがって、 $t \rightarrow -\infty$  の場合に  $m_{ij}$  が 0 となるには、 $Q_{ij} \equiv 0$  でなければならない。そこで⑪は簡単化でき、

$$m_{ij} = n_{ij} / [1 + \exp(-l_{ij} - \phi_{ij}t)] \quad (12)$$

⑫は成長曲線に他ならないが、 $\phi_{ij}$  が  $p_{ij}$ 、 $S_{ij}$  と関係づけられねばならない。そのためには、⑨の推定が必要である。そこでまず、次式の推定をおこなう。

$$\log\{m_{ij}(t)/(n_{ij} - m_{ij}(t))\} = l_{ij} + \phi_{ij}t \quad (13)$$

この推定は、各種の革新についておこなう。今、 $J$  個の革新について推定をしたとすれば、 $l_{ij}$  および  $\phi_{ij}$  がそれぞれ  $J$  個ずつ得られる。その結果、それら  $J$  個のサンプルを使用して、

$$\phi_{ij} = b_i + a_{i5}p_{ij} + a_{i6}S_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (14)$$

の回帰推定をおこなう。ただし、 $\varepsilon_{ij}$  は攪乱項。 $b_i$  が各産業について異なるとすれば、ダミー変数を導入する。すなわち、

$$\phi_{ij} = b_1\alpha_1 + b_2\alpha_2 + b_3\alpha_3 + b_4\alpha_4 + a_5p_{ij} + a_6S_{ij} \quad (15)$$

ただし、4 産業の場合について考えている。

## 2-2 デルファイ法<sup>10)</sup>

アメリカのランド・コーポレーション (Rand Corporation) の研究員ゴードン (T. J.



Gordon) とヘルマー (O. Helmer) によって開発されたデルファイ法は今日では広く知られている。基本的には、専門家の知識、判断に基づいて直観的に予測をするものであるが、この種の方法としては他にもある。

まず第1の方法は、著名な1人の専門家に予測を依頼するやり方で、全面的にその専門家の能力や知識に依存してしまう。第2の方法は1人ではなくて複数の専門家にアンケート形式で予測依頼する方法である。第1の方法と比較して1人の場合の予測の偏りを避けることができたとしても、遂に発散し過ぎて收拾がつかなくなる可能性が多分にある。第3の方法は、複数の専門家から成る委員会形式で予測をするものであるが、この場合には一応の結論の形を提示する必要があるので、收拾がつかないということはないだろう。けれども、討論の過程で、参加者の中の最も影響力のある人物の発言に追従する現象が往々にして見られる。実質的討論が実際におこなわれたのかどうか問題となる。

直観的方法として上述してきたような方法に付随する欠点をできるかぎり除去し、専門家の知識や判断の導出および要約のプロセスを組織化、体系化しようとするところにデルファイ法の特徴がある。デルファイ法は世に初めて紹介されてからいろいろとそのバリエーションが生まれてきたが、ここでは最も基本的な方法について解説することにしよう。

この方法は、選ばれた専門家達に対する質問から始まる。第1回目の質問は通常、非構造的 (unstructured)、オープン・エンド的な形をとり、ある対象分野について予測が依頼される。専門家は予測の主催者よりもその専門分野については深い知識を持っているはずであり、最初から限定的かつ構造的な質問がされると、重要な事象が予測から落ちてしまうことがあるからである。一人一人の専門家が返答してきた中にある事象の整理がおこなわれ、主催者の関心外の事象は消去され、

関連のある事象がリストアップされる。これらリストアップされた事象が第2回目の質問の内容となる。

第2回目の質問は、上述の事象が一体いつ発生するのかを予測してもらう。その際の答え方には専門家の違いが反映されるだろうけれども、一応その答の理由も添えてもらう。返答が要約されるが、事象の発生時点のメディアン、第1・4分位数、第2・4分位数が計算され、理由が整理される。

第3回目の質問では、以上の資料が各専門家に送られ、再度それら事象の発生時の予測をってもらう。専門家によってはその送られてきた資料を見て、以前の自分の予測を修正することもあるだろう。すなわち、他の専門家の意見による予測の収束が期待されるわけである。もし、予測が4分位数を上限、下限とするレンジ外になるようであるならば、その理由を述べてもらう。また、他の見解の不適切さの理由も添える。返答があった後に先と同様の統計的整理をおこない、新たな理由も整理される。このあとのプロセスは同様であり、予測の収束が認識されるまで続けられる。もちろん、途中で収束したと考えられる事象については予測リストから外される。あるいは、ある事象がさらにいくつかの事象に分割されたり、逆にいくつかの事象が1つの事象へとまとめられたりする場合もあるだろう。

最終的に予測がうまく収束して得られる場合もあれば、途中で収束が止んでしまうこともある。最終結果は、各事象の発生時期のメディアンと4分位数の形で提示されるが、この結果から新たな分析の必要がでてくることもあるだろう。

デルファイ法の長所は、予測依頼が主催者と各専門家の間で直接的におこなわれるので、委員会形式のような付和雷同の発生が避けられるところにある。いわば、匿名の間接的討論といえるだろう。直観的予測方法の中で、最も体系化された方法である。また、デルフ

ファイ法は単に技術予測だけでなく、予測者の判断の中にその人の価値判断や基本的な考え方が反映されるために、社会、国家、組織の目標設定において役に立つことが期待される。

直観的方法の中では最もすぐれた方法とはいいながら、欠点もある。第1に、専門家の選択基準がまだないことである。これは、すべての直観的方法に付随する問題である。第2は、時間がかかりすぎることで、予測の興味が維持されるかどうかの問題である。たとえば、1年もかかるとすると、途中で状況の変化があったり、専門家の方で集中心が失われたりする場合もある。この点に関しては、オンライン・リアルタイム・システムの導入による解決が試みられているけれども、端末装置を各専門家のところに置くことができない場合には結局一同に会することになり、先の付和雷同効果が発生しかねない。

その他、デルファイ法の修正はいろいろな方向でおこなわれている。たとえば、第1回目の質問における非構造化が専門家に対する負担を増す可能性を避けるために、別の専門家グループで事象を選択してもらい、それを第1回の質問内容とするやり方である。また、予測にあたっての経済的、政治的、社会的環境の理解の統一のために、それらの分野の専門家によって統一的環境を設定してもらい、その環境を技術予測の枠として技術の専門家に知らせておくことも考えられる。さらに、答え方についても3点推定的におこなってもらうこともできる。すなわち、「確定的時点」、「半分の実現可能性のある時点」、「かろうじて可能性のある時点」といった形である。今後、定性的要素の多く含まれた状況での予測に対する要請が高まることが予想されるので、デルファイ法の改良が続けられていくことだろう。

### 2-3 クロス・インパクト分析

この方法はゴードン (T. J. Gordon) と

ヘイウッド (H. Haywood) によって開発された予測手法<sup>11)</sup>で、その特徴は技術間の相互関連性に注目し、それらの相互関係を前提として含むモデルを使用し、将来の技術開発の展開を予測するところにある。

この方法においてもやはり最初に提示された形からいくつかのバリエーションが派生してきている。ここではまず基本形を殆ど残しているが、幾分か修正をおこなった方法を採り上げてみよう<sup>12)</sup>。

予測の第1段階は、予測したい技術とそれらに関連した技術を網羅的に列挙することから始まる。今、それら列挙された技術を $R_i$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ とし、それら各々について、ある時点 $t$ における開発成功確率 $k_i(t)$ をあらかじめ推定する。次に、列挙された技術間の関連の強さを第1表のような行列として表わす。この表をクロス・インパクト表という。行列の成分 $S_{ij}$ は、技術 $R_i$ が開発に成功した場合に技術 $R_j$ に与えられる効果の大きさの程度を表わす。絶対値が大きいほど、効果の大きさも大であり、符号が正のときには促進効果、負のときには抑制効果となる。この表は開発成功の場合だけでなく、失敗の場合についても作成しておけば望ましい。

さて、ある技術 $R_i$ が、 $t_m$ の時点で開発がうまく成功した場合に、他の技術 $R_j$ の $t$ 時点における開発成功確率に与える効果を計算する手順を考えてみよう。これは、 $p_j(t)$ を修正することを意味する。修正のための公式として一般的な形があるわけではなく、分析に応じて個別に想定されるべきである。けれどもここでは、ゴードンとヘイウッドの仮定した形に沿って進めていこう。

関係式の形は二次式であり、次のようになる。 $p_j^{(1)}(t)$ は修正値を表わす。

$$p_j^{(1)}(t) = ap_j^2(t) + bp_j(t) + C \quad (16)$$

この二次式の想定についての確固たる根拠は与えられていないが、挙げるとすれば操作性にすぐれていること、開発プロセスからみて

第1表

$i \backslash j$	1	2	...	$n-1$	$n$
1	$S_{11}$	$S_{12}$	...	$S_{1n-1}$	$S_{1n}$
2	$-S_{21}$	$S_{21}$	...	$-S_{2n-1}$	$-S_{2n}$
3	$-S_{31}$	$S_{32}$	...	$S_{3n-1}$	$S_{3n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...
$n-1$	$S_{n-1,1}$	$-S_{n-1,2}$	...	$S_{n-1,n-1}$	$S_{n-1,n}$
$n$	$S_{n1}$	$-S_{n12}$	...	$-S_{nn-1}$	$S_{nn}$

開発見通しが高くなるほど (成功確率が高くなるほど), 開発成功の実現が加速的に確実なものとなっていくという推測である。けれども, このような形でなく, もっとすぐれた形が想定される可能性は十分にある。

⑬においては,  $a, b, c$  の決定が重要である。当然, そこには技術間の関連の強さ,  $tm, t$  などが影響するはずである。これを考える前に, 先験的に定めうる係数もある。すなわち,  $p_j(t)$  が 1 のときには,  $p_j^{(1)}(t)$  も  $I$ , また  $p_j(t)$  が 0 のときには,  $p_j^{(1)}(t)$  も 0 となると考えてもよいだろう。したがって,

$$p_j^{(1)}(t) = ap_j^2(t) + (1-a)p_j(t) \quad (17)$$

結局,  $a$  の決定だけが問題となる。 $a$  の決定は次式でおこなわれる。

$$a = ks_{ij}(t - tm)/t \quad (18)$$

ただし,  $a$  は  $p_j(t), p_j^{(1)}(t)$  が両方ともに確率であるということから, その値には制約がつく。したがって,  $S_{ij}$  の決定のときにそのことを考慮しなければならない。

まず,  $a$  の範囲を考えると,  $R_i$  の成功が  $R_j$  の成功確率を高める場合には, 次の条件が必要となる。

$$p_j(t) < ap_j^2(t) + (1-a)p_j(t) < I \quad (19)$$

$p_j(t)$  が  $(0, I)$  の区間内にあるので,  $a$  は結局のところ  $(-1, 0)$  とならなければならない。逆に,  $R_i$  が  $R_j$  の確率を抑制する場合には,

$$0 < ap_j^2(t) + (1-a)p_j(t) < p_j(t) \quad (20)$$

この条件からは,  $a$  は  $(0, I)$  の区間内になければならない。

$k$  を, クロス・インパクト表の成分の値が絶対値として定められている場合に, 関係が負のときには  $I$ , 正のときには  $-I$  となる係数とすれば,  $S_{ij}$  のみたすべき範囲は,

$$0 \leq S_{ij} \leq t_{max} - (t_{max} - t_m) \quad (21)$$

ただし,  $t_{max}$  は, モデル内で推定されようとする最も将来の時点をさす。⑳は,  $a$  が  $(-1, I)$ ,  $a \neq 0$  となるように定められなければならないということから導出される。㉑をみれば,  $S_{ij}$  は  $[0, I]$  の範囲内で設定されれば十分であることがわかる。

以上を使って, ⑰をかき直すと,

$$p_j^{(1)}(t) = kS_{ij} \{(t - t_m)/t\} p_j^2(t) + \{I - kS_{ij}(t - t_m)/t\} p_j(t) \quad (22)$$

この㉒を使って,  $R_i$  の開発が  $t_m$  時点で成功した場合の  $R_j$  の  $t$  時点の開発成功確率への効果を加味した  $R_j$  の  $t$  時点での修正開発成功確率が計算できる。もし, 開発失敗についてのクロスインパクト行列が用意されているときには, 同様の手順で修正確率が求められる。

次に, 以上のモデルを簡単な数値例で説明することにしよう。今, 興味の対象となっている技術は  $R_1, R_2, R_3$  である。まず, それら技術の開発成功確率が  $0.1, 0.5, 0.9$  であるような時点を推定する。その推定が第2表に与えられている。ただし, ここでは便宜上, 現時点を  $0$  として考えている。次に, クロスインパクト表をつくらねばならないが, それは第3表の通りである。このような正, 負が混在した表では,  $k = -I$  となる。また,  $t_{max}$  は  $R_3$  の  $8$  である。

さて, 実際の計算にはいるわけであるが, まず開発成功確率が  $0.1$  の時点に目を向け, 各技術のその確率における時点 (たとえば,  $R_1$  であれば  $I$ ) で開発に成功したか否かを乱数を引いてシミュレーションしてみる。順序は時点の早いものからおこなう。この成功確率の時点ではすべての技術が開発に失敗したとしよう。ただし, この例では開発失敗の分析については考えていない。

次に、成功確率が0.5の列に移行し、まず  $R_1$  について乱数を引いたとする。その結果成功したことがわかったので、 $R_2$  の4年後、7年後、さらに  $R_3$  の5年後、8年後の確率が修

第2表

成功確率	0.1	0.5	0.9
技術			
$R_1$	1	3	5
$R_2$	2	4	7
$R_3$	2	5	8

第3表

$j$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
$i$			
$R_1$	—	1	0.5
$R_2$	-0.5	—	-1
$R_3$	0.4	0.8	—

正される。 $R_2$  については、

$$p_2^{(1)}(4) = -\{(4-3)/4\}(0.5)^2 + \{1 + (4-3)/4\}(0.5) \cong 0.5625$$

$$p_2^{(1)}(7) = -\{(7-3)/7\}(0.9)^2 + \{1 + (7-3)/7\}(0.9) \cong 0.9462$$

また  $R_3$  については、

$$p_3^{(1)}(5) = -(0.5)\{(5-3)/5\}(0.5)^2 + [1 + (0.5)\{(5-3)/5\}](0.5) \cong 0.55$$

$$p_3^{(1)}(8) = -(0.5)\{(8-3)/8\}(0.9)^2 + [1 + (1.5)\{(8-3)/8\}](0.9) \cong 0.9281$$

確率0.5の  $R_1$  が終了すると、 $R_2$  の成否がシミュレーションされる。ただし、そのときの成功確率は0.5ではなく、0.5625である。乱数を引いた結果は失敗であった。次に、 $R_3$  の成否を成功確率0.55として確めると、成功であった。そこで、 $R_2$  の7年後の確率が修正される。

$$p_2^{(2)}(7) = \{(7-5)/7\}(0.9462)^2 + \{1 - (7-5)/7\} \times (0.9462) \cong 0.9316$$

これで、0.5の確率の列は終了したることにな

り、最後に  $R_2$  の0.9の列が残っており、それを成功確率0.9316でシミュレーションをおこなう。結果は成功であった。以上で第1回目のランが終了したことになる。通常、このランが1000回近くおこなわれ、その結果の要約が最終結果となる。今おこなった第1回目のランの結果は、第4表のようになる。技術開発に成功したときには1、失敗したときには0が記入されている。

1000回のそれぞれのランが第4表のように結果として示されると、各成分の平均値が最終的な修正確率となる。それが第5表のようになったとしよう。その表を元の0.1、0.5、0.9の開発成功確率の場合の時点の修正に使用する。新たな時点の求め方は、第7図に基づいておこなわれる。各技術の開発成功確率は第7図のような曲線として表わされることがシミュレーションの結果として判明したので、成功確率0.1の時点は、縦軸の目盛0.1から水平線を引き、曲線との交点から垂直におろして  $i$  軸と交わる点をみればよい。このようにして求められた新たな時点が第6表に要約されている。第6表は、第2表の各技術についての見通しが、それら技術間の開発上の相互関係を明示的に考慮した場合にはどのように展開していくのかを示している。

クロス・インパクト法は、予測対象1つを単独に予測するのではなく、その対象に関連した他の事象をも含めて、より包括的に把握しようとする意義のある試みだけに、初期のモデル以来いろいろな修正が加えられつつも発展的方向にある。経済学分野でいえば、計量経済学において単一回帰式から連立体系モデルへと移行してきたプロセスになぞらえることができるだろう。現在では、一連の事象の集合における事象間の関係による発生確率の変化およびその傾向を評価する意図を持つ手法を一括してクロス・インパクト法の名称で呼ぶことが多い。したがって、今上で例示してきたようなモデルはその一部というこ

第4表

	成功確率 0.1の時の 時点	修正 確率	成功確率 0.5の時の 時点	修正 確率	成功確率 0.9の時の 時点	修正 確率
$R_1$	1	0	3	1	5	1
$R_2$	2	0	4	0	7	1
$R_3$	2	0	5	1	8	1

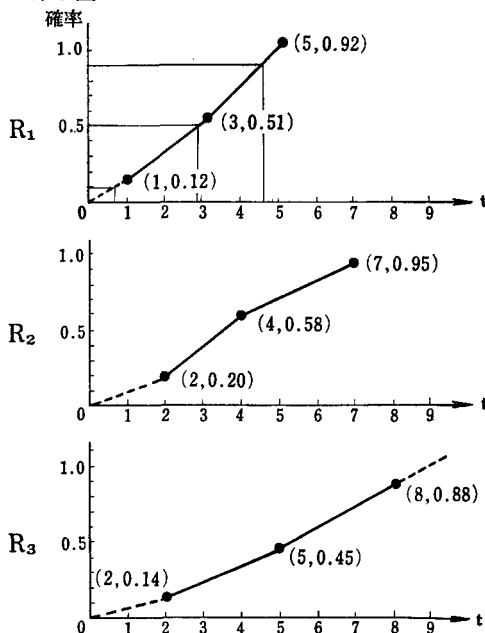
第5表

	成功確率 0.1の時の 時点	修正 確率	成功確率 0.5の時の 時点	修正 確率	成功確率 0.9の時の 時点	修正 確率
$R_1$	1	0.12	3	0.51	5	0.92
$R_2$	2	0.20	4	0.58	7	0.95
$R_3$	2	0.14	5	0.45	8	0.88

第6表

技術 \ 成功確率	0.1	0.5	0.9
$R_1$	0.83	2.95	4.90
$R_2$	1.00	3.58	6.61
$R_3$	1.43	5.51	8.16

第7図



とになる。

クロス・インパクト法の思想をとり入れたもう1つの例を紹介しよう<sup>13)</sup>。これは、興味ある対象についての予測の場合に、関連のある他の事象をも含め、それらの相互作用から将来の予測を導き出そうとすることに関しては同様であるが、より手軽にそれら相互関係の直観的推測を改善していこうとするところに特徴がある。すなわち、統計的分析によって厳密な関係式を推定し、それに基づいて関係の強さを求め、相互作用についての仮定をおこなうのではなく、直観的に要素間の関係についてまず想定し、その結果の予測の妥当性を評価しながら、元の直観的關係の改善をしていくようなアプローチをとる。したがって、全く直観が働きようのない対象なり状況を予測する方法ではない。

まず、予測対象を $x_i(t)$ とする。 $i$ は対象ないし事象を表わす添字で、第 $t$ 期の予測値である。通常、 $x_i(t)$ は $[0, 1]$ の範囲内で定義される値をとる。次に、クロス・インパクト表は、第7表のように与えられている。 $a_{ij}$ は第 $j$ 事象が第 $i$ 事象に与えるインパクトの強さで、正のときには促進、負のときには抑制を意味する。

さて、事象間の関係式は先の例よりも単純な形となる。すなわち、第 $t+1$ 期の第 $i$ 事象の予測値は、次式によって計算される。

$$x_i(t+1) = x_i(t)^{p_i(t)}$$

ただし、 $p_i(t)$ は次のような式で求める。

$$p_i(t) = \frac{\{1 + (\frac{1}{2})[\sum_{j=1}^n (|a_{ij}| - a_{ij})x_j(t)]\}}{\{1 + (\frac{1}{2})[\sum_{j=1}^n (|a_{ij}| + a_{ij})x_j(t)]\}}$$

上式の意味は明らかで、まず分母は正の効果の単純和に1を加えたもの、分子は負の効果の単純和に1を加えたものである。もし、分母が分子に比べて大きくなれば、 $p_i(t)$ は小さくなり、その結果 $x_i(t+1)$ は大となる。なぜ

なら、 $x_i(t)$ は  $[0, 1]$  の範囲内に定義されているからである。

予測を実際におこなうためには、 $x_i(0)$ 、すなわち $x_i$ の初期値とクロス・インパクト表を与えてやらなければならない。この場合に注意しなければならないことは、クロス・インパクト表の成分を決定するにあたって、事象間の直接的関係のみを考慮するという点である。間接的効果は、時間的ズレをともなって影響を与えるものなので、もしこの成分決定に際して間接的効果をも含めて値を想定するならば、効果を増幅してしまうことになる。

このモデルを使って自動車予測をおこなったが、その結果を最後に示しておこう。自動車予測といっても、自動車の一体何を予測するのかをはっきりさせなければならない。まず、最も興味の対象となり易いのは、新車の需要台数である。そしてこの予測は経済的水準、たとえば一人あたり所得とか家計所得を説明変数に使用したり、複合的要因ともいえる拡散効果 (diffusion effects) を想定したりしておこなわれるのが伝統的な方法であった。使用されるデータも非常にマクロ的なもので、集計的な把握に終始する。統計的分析の枠組みの中でおこなうかぎりはそのような性質のものとなるのは不可避である。

しかしながら、実際には自動車需要を考えるにあたっては、定性的要因も考える必要がある。たとえば、自動車の持つ他の輸送手段と比較しての快適性や利便性 (プライバシーの確保、ステイタス・シンボル、ドア・ツー・ドア、行動の自由度など)、あるいは効率性の評価も重要な要因となる。さらに、利用度 (ある人の総移動需要に占める自動車の利用率) も見逃すことのできない要因である。これらの要因は互いに関連しており、利用者の立場からはいわばそれら要因間のトレード・オフに基づいた選択をおこなっているわけで、そのからみ合いを無視した予測の限界は明白である。たとえば、単に経済的

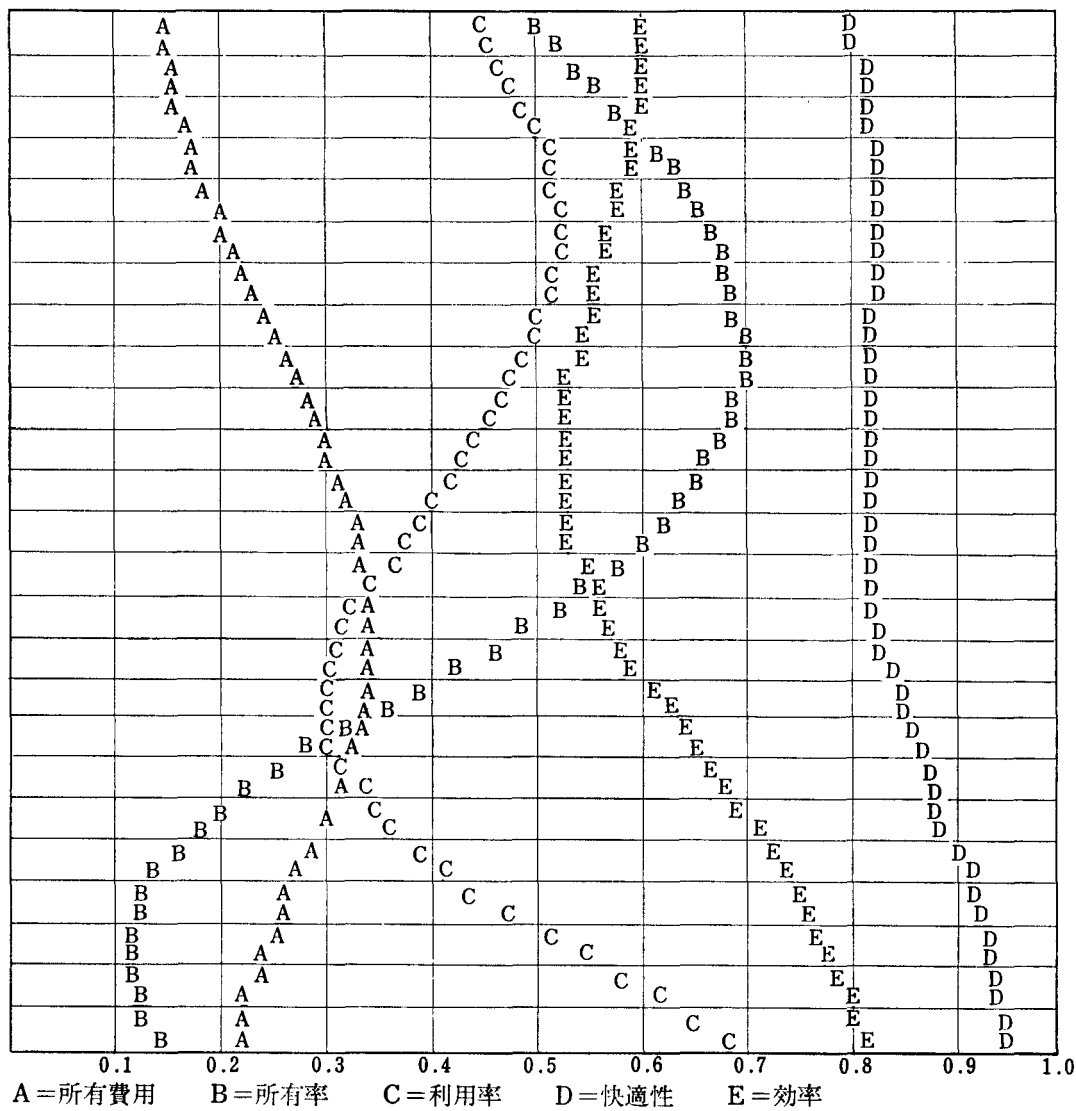
水準が自動車費用に比較して下降したとしても、自動車をすぐに手放すのではなく、利用度を下げて応ずることもあるだろう。オイル・ショック時の社会の反応はまさにそうであった。

そこでこのような定量化の困難さはあっても、予測においては重要な要因を導入し、直観的にそれらの関連を把握し、予測に適用することを考えてみよう。まず導入する事象は次の5つである。

- ① 自動車所有費用：年間所得に占める割合。
- ② 普及率：一世帯何台か。
- ③ 利用率：個人の総移動需要の何パーセントを自動車が負担しているか。
- ④ 快適性：自動車を利用する場合の他輸送手段と比較しての良さ、たとえばステイタス・シンボル、プライバシー、自由度などの評価。
- ⑤ 効率性：自動車の持つ固有能力のどの (速度) 程度を発揮できるか、たとえば、ある距離を走行する場合、法定速度で行ける場合に最大の効率となる。ただし、他の輸送手段 (たとえば電車) との相対で考えており、自動車の法定速度が  $40\text{km/h}$  であったなら、自動車の最大効率は、常識的な電車の速度を  $60\text{km/h}$  としたときには  $0.8$  ということになる。

以上の要素ないし事象を上から順に  $x_1, x_2, \dots, x_5$  としよう。それらの初期値とクロス・インパクト表は第8表の通りである。初期値は現時点の値であるが、普及率、費用以外のものについては推定である。30期間についての結果が第8図に表わされている。この結果についての厳密な確かめの方法は存在しないが、合理的に考えても妥当な動きといえる

第8図



第8表

$j$ $i$	所有費用	普及率	利用率	快適性	効率
所有費用	0.00	0.05	0.10	0.00	-0.10
普及率	-0.80	0.05	0.20	0.05	0.05
利用率	-0.30	-0.20	0.10	0.10	0.10
快適性	0.00	-0.10	-0.10	0.00	0.20
効率	0.10	-0.10	-0.10	0.10	0.00
初期値	0.15	0.50	0.45	0.80	0.60

だろう。

この方法に付随する一番大きな問題は、クロス・インパクト表の成分の設定である。もちろん、関係式の是否、成分の固定性についての問題もあるが、それに代わる適切な関係式や論理がない時点ではあまり議論にはならない。そこで固執するならば、それはこのモデルを積極的に利用しようとするか、頭から否定するすかの問題である。ここではまず前者の立場をとり、関係式や成分の固定性は与件

として、関連要素間の因果関係の強さの設定について考えてみよう。

まず、第8図のような結果を導く過程で強く認識させられたことは、関連要素を提示され、それらの関係の強さを直観的に判断して設定することの困難さである。定性的な正負の関係、関係の有無については直観的に定めることができても、強さまで推測するのは非常にむずかしい。しかしながら、予測において重要なのはその強さであり、それ次第で結果は大きく変わる。それによってシステムにおいて最も重要な影響を与える要素がどれであるのかも異なってくる。技術予測にかぎらず、社会予測において定性的な判断がある程度できても、予測となると大きな誤りをしてしまう原因の1つでもある。政策者がその直観的判断のみに基づいて政策を施行することの危険性はI D (Industrial Dynamics) の考案者のフォレスター (J. W. Forrester) によって指摘されている通りである<sup>14)</sup>。

この単純なクロス・インパクト・モデルは分析者の直観的判断の妥当性を判断するのに使うことができるだろうし、また反復的にシミュレーションをおこなうことによって関係の強さまで含めたシステムの理解力の養成のためにも役立つと期待される。ただ単に予測された値が外れたか否かだけでそのモデルの効能を評価するのは間違いで、特に技術予測、社会予測の分野では充実したデータを期待することはできないために、その欠点までモデルのせいにされる誤りを犯しやすい。望ましいのは、定量データと人間の判断を同時に組み込むことのできる、しかもできるだけ単純なモデルである。扱いやすければやすいほど、人間とモデルの相互作用が容易になって、学習的効果が生まれ、予測能力が全体として高められることになるのである。

1) 朝日新聞社編「世界の翼：写真でみる航空史」上、下、昭和50年、巻末年表より作成。

2) ロジスチック曲線の推定法については二通りの考え方があり、そのどちらであるかは攪乱項についての想定に依存する。ただし、攪乱項 $\varepsilon_{ij}$ は $N(0, \delta^2)$ 、 $E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 (i \neq j)$ の仮定はみたとする。

(i)  $Y_i = a / \{1 + \text{EXP}(\alpha + \beta t_i + \varepsilon_i)\}$  のときには、

$$\log(a/Y_i - 1) = \alpha + \beta t_i + \varepsilon_i$$

で通常の最小自乗推定を適用できる。

(ii)  $Y_i = a / \{1 + \text{EXP}(\alpha + \beta t_i + \varepsilon_i)\}$  のときには、最尤法による推定となる。尤度関数  $L$  は、 $n$  を標本数とすれば、

$$L = -(n/2) \log 2\pi - (n/2) \log \delta^2 - (1/2\delta^2) \sum_{i=1}^n (Y_i - T_i)^2$$

ただし、 $T_i = a / \{1 + \text{EXP}(\alpha + \beta t_i)\}$

$L$  を最大にする  $\delta^2$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  を求めるが、電子計算機による試行錯誤で解く。

- 3) Hartman, L., "Technological Forecasting", in Steiner, G. A. and Cannon, W. (eds.) *Multinational Corporate planning*, Crowell-Collier publishing, 1966 (cited by Ayres, 参考文献1).
- 4) Isenson, R., "Technological Forecasting : A planning Tool," in *Multinational Corporate planning* (see (3)). (cited by Ayres, 参考文献1).
- 5) 旅客機の最高速度については、参考文献1, p119. Fig. 7・1 より引用。
- 6) 参考文献1, p.115, Fig 6・6に一部追加および修正のうえ引用。
- 7) 参考文献9.
- 8) 朝日新聞社編「民力：都道府県別民力測定資料集」, 1966—1974, より作成。
- 9) Mansfield, E., *Industrial Research and Technological Innovation*, Norton, 1968 (cited by Martino, 参考文献14).
- 10) 参考文献14, pp 18—62.
- 11) 参考文献8.
- 12) 参考文献6.
- 13) 参考文献15.
- 14) 参考文献16.



### 3 規範的予測

将来の設計ということに強調点を置く規範的予測は、今まで述べてきたような独立の手法というよりも複合的手法というべきだろう。たとえば、必要とされる新しい技術を列挙するに際しては、探索的予測からの情報を必要とするし、許容ないし可能性の分析にも客観的な立場からのアプローチが不可欠である。また、規範的予測の特徴である規範的判断や主観的な目標が、それら客観的データと統合されて完結的体系を形成する。

規範的予測という名のもとにいくつかの手法が提唱されてきたが、それらは独自で規範的予測のすべてを包み込んでいるのではなく、そのある部分についての役割を負っている。その部分は規範的予測においては重要な局面であり、また特徴的ともいえるところである。すなわち、探索的予測からだされてきた、または、すでにある技術体系を前提に、将来の技術開発の方向づけを与えるための体系的枠組みとしての役割である。その場合に分析の中心は、技術の評価という点にある。そのような評価は技術開発の難易度、目標に対する貢献度といった観点からおこなわれる。また近年においては、いわゆるテクノロジー・アセスメントの概念が重要視され、単に技術に内在する固有の技術的問題だけでなく、社会、人間生活、自然などに対する技術の影響を分析し、将来の技術開発の方向づけをおこなう立場も広まってきている。以下で紹介する手法には、明示的にこのテクノロジー・アセスメントの考え方は採り入れられてはいないが、モデル自体は応用性を持っている。

#### 3-1 形態学的分析

この方法はツヴィッキー (F. Zwicky) によって提唱されたもので、技術開発努力の投入分野の検討を既存の技術体系を基礎に網羅的に探索することによっておこなおうとする

ところに特徴がある。網羅的の意味は、ただ漫然と技術開発分野を列挙するような場合に予想される見落としを避けることを指す。

形態学的分析の第1段階は、開発すべきある特定の性能レベルを持つ技術を設定することである。この設定自体は形態学的分析の範囲には含まれていない。この設定にあたっては、探索的予測からの情報が必要になるだろう。ここでいう技術とは通常は複合技術のことであり、たとえば航空機が相当する。

第2段階は、設定された技術を構成するパラメータを列挙し、さらに各パラメータについて可能な代替技術形態を羅列する。たとえば、航空機の場合には、推力燃料というのは1つのパラメータであり、そのパラメータは固形燃料、気体燃料、液体燃料という形態に分類できる。

第3段階では、各パラメータから特定の形態1つをとり出して組み合わせることにより、技術、たとえば航空機を完成させる。当然、組み合わせの数は非常に多くなるけれども、ある選択ルールを導入し、そのルールに基づいて取捨選択をおこなっていく。そのあと、選択されたものについて、技術的検討を詳細に加えていくことになる。

選択ルールとしては次のようなものが考えられよう<sup>1)</sup>。

- (i) 各技術間の距離をある方法で定義し、既存の技術の近傍の技術を選択する。
- (ii) (i)とは逆に、既存の技術と最も遠いところにあるものを選択する。
- (iii) ランダムに選択する。

ここでは最も実際の行動様式に近いと思われる(i)について説明することにしよう。例として、第9表のような形態行列を考えよう。この表では、技術は四次元空間で定義される複合技術となる。技術間の距離は、互いに異なる形態を持つパラメータの数によって表わされる。たとえば、2つの技術  $[p_{11}, p_{21}, p_{31}, p_{41}]$ ,  $[p_{12}, p_{22}, p_{31}, p_{42}]$  の間の距離は3と

いうことになる。

第9表

形態 パラメータ	1	2	3
$p_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$
$p_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	
$p_3$	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$
$p_4$	$p_{41}$	$p_{42}$	

距離が1であるような技術は互いに「隣接している」といい、隣接している技術の集合を形態近傍という。さらに、形態近傍の面とは、形態近傍にある技術から、高々1つのパラメータにおいて異なる技術の集合をいう。

新たな技術が開発される可能性は、既存の技術からの距離が近いほど高まるだろう。したがって、その可能性は既存の技術からの距離の減少関数として表わされよう。そこで次のような関数形を想定してみよう<sup>2)</sup>。

$$y = 1/d^2$$

もし、距離が1であれば、可能性は1、距離が2であれば、可能性は0.25となる。ある技術分野で実現する新技術の開発可能性が既存の技術の面に比例し、上の減少関数が仮定されたとしよう、今、既存の技術が〔 $p_{11}$ ,  $p_{21}$ ,  $p_{31}$ ,  $p_{41}$ 〕で表わされたとすれば、面は6種の技術を含むことになる。次に、パラメータにおいて2つ、3つ、4つ異なる場合には、それら各々にいくつの技術が含まれるのかを考えると、13種、12種、4種となる。したがって、既存の技術が〔 $p_{11}$ ,  $p_{21}$ ,  $p_{31}$ ,  $p_{41}$ 〕であるこの分野の革新の可能性は、先の減少関数を使って次のように計算される。

$$1 \times 6 + 13 \times (1/4) + 12 \times (1/9) + 4(1/16) \\ \approx 10.8$$

この評点について注目したいことは、減少関数の想定によって、評点が既存の技術の種類の数に依存する点である。既存の技術数が多いほど、評点は高くなるけれども、ある数以上既存技術としてある場合には、評点は逆

に減少していく。いわゆる飽和現象である。

技術革新は当初においては進行が遅いが、これは既存技術数が少いからであり、評点が低い値として計算される。知識が集積してくると、今度は加速度的に進行し、そしてまた飽和と共に進行が遅くなる。このプロセスは上の簡単なモデルによって説明されている。

形態学的分析は、技術分野については全体的な開発可能性の評価と、特定の技術については努力を傾注すべきパラメータと形態の列挙ということに関して有効な役割を果しうる。

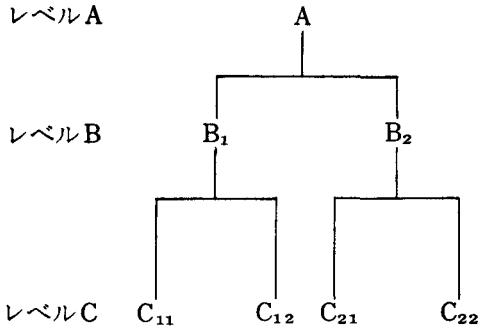
### 3-2 PATTERN法

PATTERN(Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers)法は、米国のハネウェル社の軍事・宇宙科学部門によって開発された。この方法の目的は、ある開発目標が与えられた場合に、それを成就するのに要する技術を明らかにし、その中でも重要な技術がどれであるのかを評価することにある。方法論的には、関連樹木(Relevance Trees)法を中心体系とする。

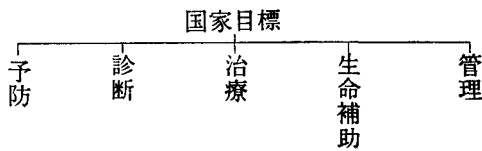
関連樹木法は、明確な階層構造が見出されるようなシステムあるいはプロセスの分析に使用される。第9図は簡単な関連樹木である。各ノードから発する分枝は、そのノードから先のすべての可能性を含んでいることが望ましいが、実際には分析に関連のある部分だけが記入されることが多い。その場合には、少くとも関連したものはすべて含まれており、重要な見落しがないようにしなければならない。さらに、各ノードから発する分枝は互いに排反的でないといけない。

この関連樹木を規範的分析に適用するには、各ノードが達成すべき目標の意味を与えられる必要がある。分枝がその目標の達成手段となる。レベルAのノードはレベルBの2つの手段の実施によって達成される目標であり、レベルBの2つのノードは、レベルCの4つの手段の実施によって達成される目標である。

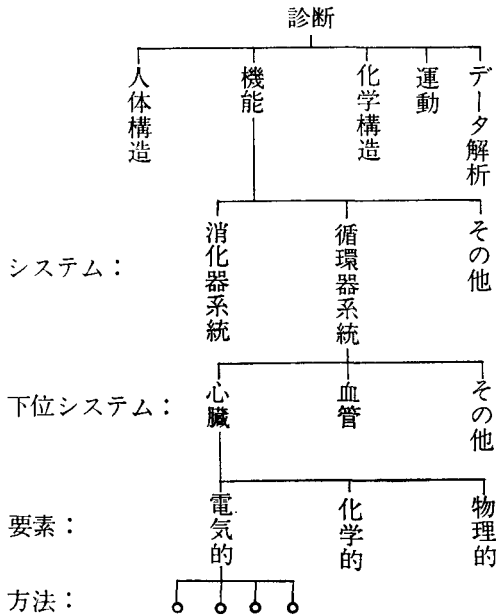
第9図  
レベルA



第10図



第11図



以下では、ハネウェル社でおこなわれた医療部門における電子機器の研究開発プログラムの作成での例を紹介することにしよう<sup>2)</sup>。第10図は、国家的な医療目標の関連樹木である。この図の第2レベルの分枝は、その目標達成手段である。ハネウェル社が考えた目標は、「いかなる環境においても人間としての最

高の健康状態と活動を維持しつつ、寿命を最大にする」というものであった。この目標は特定の政府機関の公式の見解ではなく、それらが種々の機会に述べた見解を総合し、要約したものである。この図で、手段である生命補助とは、異常環境における人間の有益な活動を助けることであり、宇宙、深海などでの活動の補助をいう。また、管理は、医療教育、研究、治療を直接、間接に管理するための方法をいう。

分析は、各手段の分枝をさらに下位の手段の分枝へと分類していくことによって進められる。ここでは診断についてだけ先を進めることにしよう。第11図は、診断の分枝を下位の分枝へと分割していった場合の関連樹木である。この図では、一応、分枝が4つのレベルまでしか描かれていないが、もっと先へ分割されうるし、さらにまた、各分枝についての分割もおこなわれるので、実際の関連樹木は非常に複雑になるだろう。

この図で要素というのは、下位システムの正常あるいは異常な動きを判断するために測定されたり、分析されるべきパラメータ、またその動きを左右するにあたりコントロールされるべきパラメータをいう。したがって、その分枝は、電気的に測定されるもの、化学的に測定されるもの、物理的に測定されるものに分類できる。

さて、このような関連樹木構造が与えられた場合に、次の段階は各分枝に対し重要性を表わすウェイトを課すことである。このウェイトは目標達成の貢献度といえることができる。このようなことがなぜ必要かといえば、研究開発プログラムに無限の資源が賦与されていることはなく、目標達成にとって最も効果的な配分をおこなわねばならないからである。

まず、国家的目標は先述したように抽象的であるが、それを構成する基準はいくつか列挙できるだろう。たとえば、医療費の削減、疾病率の減少、平均寿命の延長、身障者の社

会復帰の促進、乳児死亡率の低下などがあげられよう。それら基準間のウェイトを $W_i^{(0)}$ で表わす。すなわち、

$$\sum_{i=1}^n W_i^{(0)} = 1, \quad W_i^{(0)} \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n$$

次に、予防から管理に至る分枝の第1レベルの各手段の第*i*基準に対する貢献度を決定する。それを $V_{ij}^{(1)}$ としよう。 $V_{ij}^{(1)}$ は次式をみたす。

$$\sum_{j=1}^5 V_{ij}^{(1)} = 1, \quad V_{ij}^{(1)} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, \dots, 5$$

したがって、5つの分枝の第*i*基準に対する貢献度は次式で表わされる。

$$\sum_{j=1}^5 W_i^{(0)} V_{ij}^{(1)}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

さらに、第*j*手段の国家目標に対する貢献度を $r_j^{(1)}$ とすれば、

$$r_j^{(1)} = \sum_{i=1}^n W_i^{(0)} V_{ij}^{(1)}, \quad j=1, 2, \dots, 5.$$

次に、第2レベルの人体構造からデータ解析の分枝について考えると、その各々の分枝の貢献度は、診断における目標の貢献度として表わされる。したがって、その目標について、国家目標のときと同様な構成基準への分割がおこなわれる。診断における目標の構成基準のウェイトを $W_{jk}^{(1)}$ としよう。 $j$ は、診断を表わす添字である。 $k$ は構成基準の番号である。ゆえに、

$$\sum_{k=1}^m W_{jk}^{(1)} = 1, \quad W_{jk}^{(1)} \geq 0, \quad k=1, 2, \dots, m$$

第2レベルの分枝を*h*で表わすと、第*h*分枝の診断目標への貢献度は、 $V_k^{(2)h}$ を第*h*分枝の第*k*基準への貢献とすれば、

$$r_h^{(2)} = \sum_{k=1}^m W_{jk}^{(1)} V_{kh}^{(2)}, \quad h=1, 2, \dots, 5$$

と計算される。一般に、第*l*レベルの第*p*分枝のすぐ上の目標に対する貢献度は、

$$r_p^{(l)} = \sum_{q=1}^s W_j^{(l-1)} V_{qp}^{(l)}, \quad p=1, 2, \dots, t$$

となる。そこで、第*l*レベルの第*p*分枝の国家目標への貢献は、 $r_p^{(l)}$ にレベルを遡って*r*を乗じていけばよい。たとえば、機能の国家目標への貢献は、

$$C = r_2^{(2)} \times r_2^{(1)}$$

各分枝について以上のような手順で貢献度を求めていけば、それぞれの研究開発の重要度が判明することになる。

関連樹木構造が下位のレベルにいくにしたがって、実際の開発すべき特定の技術となっていくということから、最終レベルの各分枝について上のような貢献度を求めるならば、具体的な個々の技術の評価を究極の目標に照らし合わせておこなえるわけである。

さて、この分析から導出された情報は、さらに開発の難易度を加味することによって、目標達成までに要する時間や費用が推定され、具体的な資源配分計画へと結びつけることができる。

### 3-3 シナリオ・ライティング

方法論的にはこの方法は二つの狙いを持っている。第1に、方法自体が解析的性格を強めるあまり犠牲にされる現実の状況や条件の無視を避けるために構造的に弾力的であることである。第2は、逆に、直観的記述のみに基づく場合の予測の使用上の不明瞭さを改めようとする意図である。

シナリオ・ライティングの方法論的特徴は、その名前の通り、将来の状況の予測を物語をつくるような形で展開することにある。もちろん、予測としての意味を持つからには、単なる空想とは区別され、種々の資料、客観的事実、そして論理的思考を基本としなければならない。適用範囲についてみれば、この方法は今までの手法と異なり、特定の技術についての発生時点やその確率を予測したりするよりは、経済的、社会的、政治的、技術的要

素によって構成される複合的システム、たとえば、企業の観点からいえばその環境の予測といった場合に有効性を発揮する。

以上の説明だけでは、シナリオ・ライティングは規範的予測のカテゴリーに含めずとも、探索的予測の性格を持つといえる。事実、適用例のいくつかをみれば、まさに探索的予測としてみなされるものも多い。しかしながら、ここで規範的予測のカテゴリーに含めたのは、シナリオ・ライティングの意義が定量的要素のみでは不十分で、不確実性の非常に高い、未知の要素を含んだ状況での予測にあるという点を重要視したからである。

このような状況で、完全に受身の、将来をすべて与件として考える主体は殆ど存在しない。またそのような予測の有用性は低い。計画策定とのつながりであれば、そのような状況では将来の望ましい姿を設定し、それに近づいていく行動を考えるのが本来的である。通常、短期的予測は探索的性格を持ち、長期的予測は規範的予測の性質を持つといわれている<sup>4)</sup>。もちろん、これは便宜的な表現で、短期と長期を区分する具体的な時間の長さは規定できない。ただその意図は、予測するにしても、予測主体の行動可能性を考慮に入れる必要があるということである。

シナリオが将来の状況の記述であるにしても、予測主体の反応なり行動をも含めた形で展開するのが環境と共に一つの社会システムに含まれる予測主体にとっても意義あることで、またそれを受け入れることのできる方法的特徴を持つのがシナリオ・ライティングである。以下では、主に行政機関ないし国家的見地からのシナリオ・ライティングの考え方を紹介することにしよう<sup>5)</sup>。

今、シナリオ・ライティングの対象となるシステムの $t$ 時点における状態を $S(t)$ とする。通常、この $S(t)$ はシステムの記述にあたって必要なパラメータの数だけの次元の空間で定義される。したがって、パラメータ数を $n$ とす

れば、 $S(t)$ は $n$ 次元ベクトルとして表示されるわけである。時間 $T$ の経過後のシステムの状態は $S(t+T)$ となる。この $S(t+T)$ にはある実現可能な状態の集合の一分成分であり、システムの内的な挙動に依存して集合のどれか一つの成分として実現する。第12図は $S(t)$ から将来の種々の状態が派生するさまを指したものである。

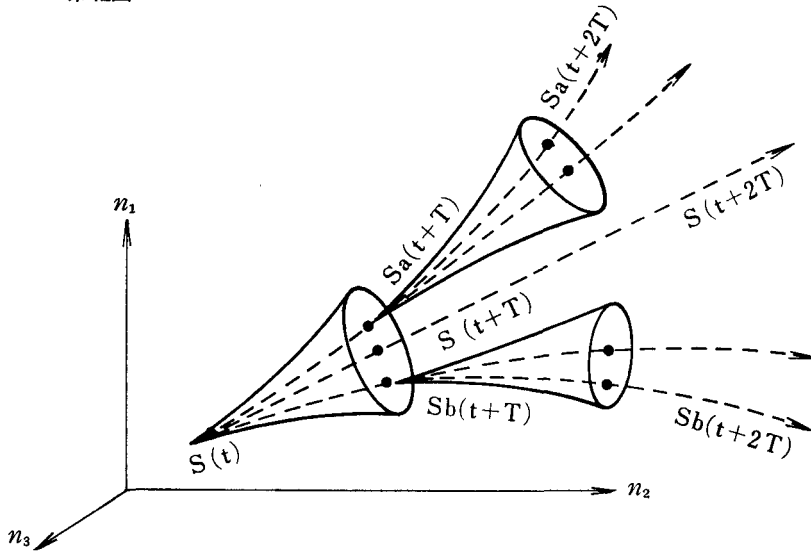
探索的な予測は、その図において最もありそうな状態の系列 $\{S(t), S(t+T), S(t+2T), \dots\}$ を予測しようとする。しかしながら、規範的予測では、可能な状態の集合が興味の対象となる。だが、実際上の問題として、集合上のすべての状態が対象とされるわけにはいかず、いくつかの代表的な状態が選択される。第9図では、 $S_a(t+T)$ や $S_b(t+T)$ がそれらに該当する。これらの状態は、システムのパラメータを極端な水準の値に置いた場合であり、対照シナリオと呼ばれる。

システムの変遷のメカニズムについての考え方は、システムの内的均衡という概念に基づく。この内的均衡はいくつかの指標によって測られるが、それらはパラメータと連結されている。パラメータが個々に変化を異にする結果、均衡が崩れるように動くことがあるが、そのときにはシステムの自然の回復力が作用する。それがシステムの自分自身の変遷メカニズムである。したがって、まずこのようなシステムの自然のメカニズム、緊張の発生ということの理解と把握が重要になる。

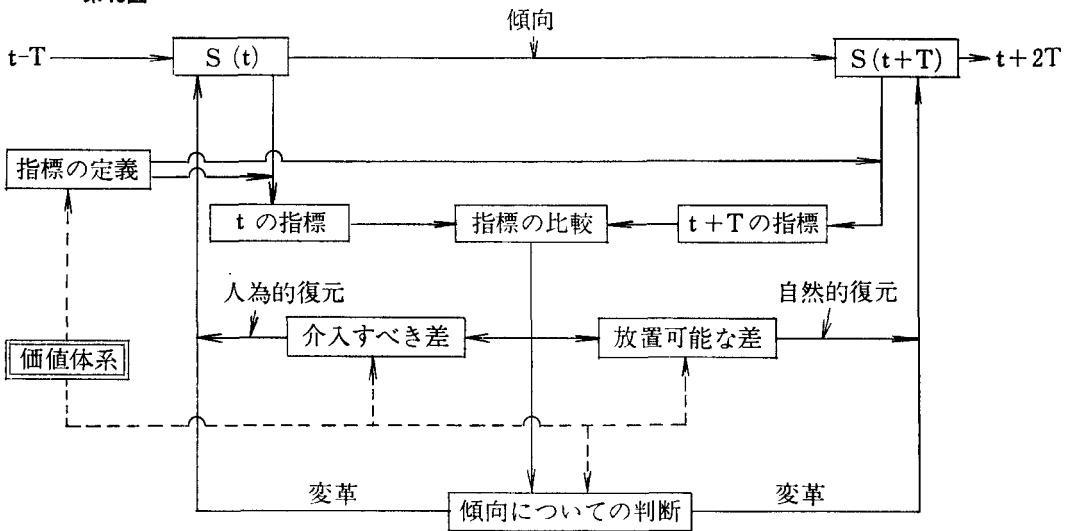
さて、ここにおけるシナリオ・ライティングの目的は、あらかじめ設定された望ましい状態の時系列的集合 $\{S(t), S^*(t+T), S^*(t+2T), \dots\}$ にシステムを近づけるような行動系列の明確化にある。そこで手順的には次の2つのことが必要となる。

- (i) ある時点におけるシステム構造の記述とその時点におけるシステムの内部的均衡の確認。
- (ii) 傾向的システムの変遷と政策的介入

第12図



第13図



の効果をも含んだシステムの変遷の把握。

システムの変遷を踏まえ、適切な政策的介入ないし方向づけの決定をおこなうわけであるが、行動の必要性はどのようにして判断するのかを考えておかなければならない。その考え方は、システムの内的均衡の限界に基礎を置く、すなわち、システムの状態  $S$  の記述によって、パラメータと連結された指標がそのときのシステムの均衡状況を示す。たとえ

ば、一般社会が対象システムであれば、経済的指標、社会的指標の水準によって測られる。さらに、それら指標の閾値を設定し、もしシステムがその値を下回る水準を示すような場合には、システム自体の修正力が作用する。政策的介入の必要性もそのときに生ずるわけである。もちろん、システムの傾向からいつある将来の時点で閾値に到達すると予測されるときには、自然の修正力が作用する以前に人為的介入も可能である。事前的コントロ

ールの可能性は、システムをある望ましい状態に方向づけたり、維持したりすることができることを意味する。

望ましい状態が設定されるにしても、問題はそれが実現可能か否かである。望ましい状態の設定が具体的に示されるのは閾値の水準であり、その設定の際に望ましい状態の実現可能性を検討しなければならない。その検討は現時点と将来時点の状態のギャップの分析によって可能となる。それは第13図に示された通りである。

現時点と将来時点の状態の間のギャップは、 $t+T$  時点の状態が閾値以内であるかぎりには問題にはならない。閾値外になってしまうと、自然の復元力を待つか、人為的に復元のために現時点で介入するか、あるいは傾向自体を人為的に変化させてしまうかの行動をとる。その結果が依然としてギャップを示し続けているような場合には、目標の設定（閾値の設定）がまずいということになる。

最後に、システムの状態の記述間隔、ここでは  $T$  にあたるのがどの程度の長さがよいのかということを考えてみよう。基本的には対象システムや分析の意図によって異なることはいうまでもないが、システムの変化の程度についての理解の仕方が問題である。社会システムなどの場合に、規範的観点から計画していくようなときには、世代の交代ということが目安となる。したがって、15～20年間が変化ないし新たな社会の設計のための時間となる。この間隔をいくつかのステップで記述しようとするれば、 $T$  は数年にとるのがよいとされる。企業などの立場からシナリオ・ライティングを利用する場合には、新製品の開発期間とか、製品のライフ・サイクルの長さといった要素が目安となって、もっと短い間隔が採用されることもあるだろう。

- 1) 参考文献17, p.448.
- 2) 参考文献1, p.81.

- 3) 参考文献14, pp. 287—302.
- 4) 参考文献18, pp. 47—155.
- 5) 参考文献19, pp. 276—288.

#### 4 技術予測の展望

最後に、これからの技術予測の動向について考えてみよう。現在までのところ、最も実際に使用されてきた手法は、統計的分析を中心とする外挿法とデルファイ法である。この二つの手法は対称的な性格を持っている。前者は、過去の実際のデータに基づいて、方法論的にも厳密度が高く、検証も可能なのに対し、後者はすべて専門家の直観や判断に依存する。

これらの手法に対する要請は将来においても変化しないだろう。なぜなら、方法論的に各々は基本を構成する手法だからである。比較的客観的な、事実に基づいた予測の側面に関しては統計的外挿法が妥当であるし、非常に不確実な、数量化しえない予測の側面についてはデルファイ法の基盤である直観や判断が不可欠だからである。したがって、今後も外挿にあたっての適切な公式や関係式の開発に努力が払われていくだろうし、デルファイ法の手順的なわずらわしさの解決、たとえばコンピュータの積極的利用も進められていく。

手法的にあと一つの展開方向として、個々の手法の融合が指向される傾向がみられる。技術進歩が社会システムの相互関係の結果としてもたらされるという考え方が浸透するにつれ、単一の手法ですべてをまかなうということは、結果を期待するかぎりは不可能である。いわゆる、「本質的關係を無視した厳密な方法より、本質的關係を考慮した不完全な方法」を選択する傾向である。このためには、統計的方法、直観、論理的判断などが混在することになり、体系的には不恰好になってしまうこともやむを得ない。この場合に重要なものは、種々の予測手法を包含しうる全体的な予測体系の確立である。

この傾向は、技術予測を実際に使用しようという意識が強まってきたことが最大の原因である。いかえれば、技術自体が重要視されていることに他ならず、計画策定においてその位置が高まっていることを意味する。その理由は、技術進歩というものが目的論的な動きをするという認識の広まりである。すなわち、技術予測は天気予報とは異なり、自分自身でおこなう設計であるとする考え方である。もちろん、その程度は組織によって異なるだろうけれども、少なくとも技術に関心の強い組織ではそのような意識が基本にある。

以上のことから、第3の動向として、規範的予測の体系の充実が今後の一つの目標となっていくだろう。現在まで、規範的予測についてはあまり研究が進んできたとはいえない。一つの理由として、この予測手法は組織内でその固有の条件を含み込んだ形で開発されるために、公表されにくいということがあげられるだろう。計画策定プロセスの組み込まれた一部としてあるために、分離できない場合もある。

以上のような今後の動向ではあるが、技術予測は本文の最初の部分で述べたように、その名称で呼ばれるようになってからそれほど月日は経過していない。方法論的にも尽されたわけではなく、さらに新たな展開も十分に予想できるのが現状である。

#### 参考文献

- 1 Ayres, R. V., *Technological Forecasting and Long-Range Planning*, McGraw-Hill, 1969.
- 2 Blackman, A. W., "New Venture Planning: The Role of Technological Forecasting" *Technological Forecasting and Social Change*, 2, 1973.
- 3 Blackman, A. W., "The Market Dynamics of Technological Substitutions," *Technological Forecasting and Social Change*, 6, 1974.
- 4 Alderson, R. C. and Sproull, W. C., "Requirement Analysis, Need Forecasting, and Technology Planning Using the Honeywell PATTERN Technique", *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 1972.
- 5 Bright J. R., "The Process of Technological Innovation — An Aid to Understanding Technological Forecasting", in Bright, J. R. and Schoeman, M. F. (eds.), *A Guide to Practical Technological Forecasting*, Prentice-Hall, 1973.
- 6 Dalby, J. F., "Practical Refinements to the Cross-Impact Matrix Technique of Technological Forecasting", in Cetron, M. J. and Ralph, C. A. (eds.), *Industrial Applications of Technological Forecasting Its Utilizations in R&D Management*, Wiley, 1971.
- 7 Cetron, M. J., *Technological Forecasting: A Practical Approach*, Gordon & Breach, 1969.  
寺崎実, 東常義訳「技術予測: その戦略計画への応用」産業能率短大出版, 昭和45年.
- 8 Gordon, T. J. and Haywood, H., "Initial Experiments with the Cross-Impact Matrix Method of Forecasting", *Futures*, Vol. 1 No. 2 (Dec. 1968)
- 9 Jantsch, E., "Forecasting and Systems Approach: A Frame of References", *Management Science* (Aug. 1973)
- 10 Fisher, J. C. and Pry, R. H., "A Simple Substitution Model of Technological Change", *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 1971.
- 11 Quade, E. S., "When Quantitative Models Are Inadequate", in Quade, E. S. and Boucher, W. I. (eds.) *Systems Analysis and Policy Planning*, Elsevier, 1968.  
公文俊平, 香山建一訳「システム分析 1, 2」竹内書店, 昭和47年.
- 12 Stover, J., "Suggested Improvements to the Delphi/Cross Impact Technique", *Futures*, Vol. 5, No. 3 (June 1973).



技術予測の展開（森田）

- 13 Roman, D. D., "Technological Forecasting in the Decision Process", *Academy of Management Journal* Vol. 13, No. 2 (June 1970)
- 14 Martino, J. P., *Technological Forecasting for Decision making*, Elsevier, 1972.
- 15 Kane, J., "A Primer for a New Cross-Impact Language—KSIM", *Technological Forecasting and Social Change*, 4, 1972.
- 16 Forrester, J. W., "Counterintuitive Behavior of Social Systems", *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 1971.
- 17 Gerardin, L., "Morphological Analysis: A Method for Creativity", in Bright, J. R. and Schoeman, M. F. (eds.), 前掲書。
- 18 Ozbekhan, H., "Toward a General theory of Planning", in OECD. *Proceedings of the OECD Working Symposium on Long-Range Forecasting and Planning, Perspectives of Planning*, 1968.
- 19 Gerardin, L., "Study of Alternative Futures: A Scenario Writing Method", in Bright, J. R. and Schoeman, M. F. (eds.), 前掲書, 1973.
- 20 只野文哉編「ソフト・テクノロジー：企業戦略のための技術予測と実例」丸善，昭和47年。
- 21 Enzer, S., "Cross-Impact Techniques in Technology Assessment", *Futures*, (March 1972).
- 22 Mansfield, E., "Technical Change and The Rate of Imitation", *Econometrica*, Vol. 29, No. 4 (Oct. 1961).