



UDC 001.8

技術予測の方法

森 俊介*・茅 陽 一*²

Technological Forecasting Methods

Shunsuke MORI and Yoichi KAYA

1. はじめに

「将来を予測し、これに応じて必要な意志決定を行うこと」これは古くからの人類の重要な課題であった。紀元前 1600 年に建立されたというギリシャのデルフォイの神殿の神託も、古代中国から現代に至る易占いやもろもろの占術もすべて見知らぬ明日に備えようという人々の欲求により生まれたのである。それは単なる好奇心でなく、生きるための切実な願いであった。

そしてそれは、技術・文明の発達した現代とにおいても変わることのない重要な課題であると言えよう。かつての神託や占いに替わるより合理的な方法が望まれ、開発されるに至つたのである。特に、計算機の発達し始めた 1950 年代半ば以降、この傾向は急速に増大した。

2. 技術予測とは何か

技術の進歩とその実用化、普及のスピードの速さは、電子卓上計算機を例にとるまでもなく、近年ますますいちじるしいものがある。このような中では、新技術開発に対する見通しと、これによりどのような意志決定を行うかの問題は一企業のみならず時には国家的な問題にすらなる。

技術予測の重要さはこのような中で増大してきたが、一方その目的は大きく分けて 2 つ考えられる。第一は純然たる新技術の開発に関するもので、開発の時期、そのレベル等の予測である。第二は需要サイドに関するもので、小型自動車の開発のような問題である。もちろん、この両者は独立したものではなく、社会のニーズ——開発投資の増加——開発時期が早まる、というような強い関連を持ち得る。後章で詳述するが、このような技術開発への他分野からのインパクトの問題は近年ますます重視される傾向にある。このため、従来のようにその一技術分野のみを取り上げて技術予測を行う手法はしだいに

不十分なものとなりつつある。

次に、技術予測の特徴を経済予測と比較して考えてみよう。第一の相違点は予測期間である。後者が比較的短期であるのに対し、前者は 5 年あるいは 10 年単位で行われることが多い。第二の点は、第一の点と関連するが過去の性向との関連である。経済予測が比較的過去のトレンドの上で考えられるのに対し、技術予測では各技術の消長という不連続事柄を扱うだけに、このような手法の適用できないケースが多い。第三は、これらの理由から何かしらの主観的情報を採り入れざるを得なくなる点である。従つて、技術予測により得られた結果は、「客観的事実」ではなく、「主観的情報の総体化」としてとらえられねばならない。

以上から、技術予測の使い方は、単に「予測が適中するか否か」ではなく、(1)得られている情報を総合化し(2)合理的かつ有合的な像の抽出を行い(3)これに基づいて意志決定を下す、とすることに意義のあることがわかる。また、ここにこそ神託との相違が見出せるのである。

3. 技術予測の方法論

3.1 技術予測手法の分類と対象^{1)~3)}

技術予測の対象となる分野はきわめて広く、その範囲目的に応じてさまざまな手法が開発されているが、いまだ体系化された一般的手法は存在せず、個々の問題に対応して手法を体系的に運用せねばならない。

このような意味で、技術予測手法をその特徴によつて分類を行うと、ほぼ 3 種の基準が考えられる。

(1) 探索的予測と規範的予測 探索的予測とは、現在までの情報に基づいて将来の像を探索する手法である。これに対し、将来にある望ましい像を設定し、ここに到達するためどのような事柄が重要か、また何が障害かなどを予測し、採るべき意志決定を行う手法が規範的

昭和 55 年 11 月 10 日受付 (Received Nov. 10, 1980) (依頼解説)

* 東京大学工学部 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo)

*² 東京大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku 113)

予測である。例えば、前者にはデルファイ法⁴⁾ やクロスインパクト法⁵⁾ があり、後者には関連樹木法¹⁾ や数理計画法による最適化モデル⁶⁾ などがある。

(2) 静的と動学的 将来の一時点における像の予測を行うものを静的、予測時点までの途中経過の像も得られるものを動学的手法という。使う側からは動学的情報も得られればそれに越したことはないが、そのために難しいパラメータ推定が必要となつたり手法の論理性にあまりまいさが生じたりしがちであり、一概にどちらが優れているとは言い切れない。先のデルファイ法や関連樹木法は静的手法の例であり、傾向外挿法²⁾ やシステムダイナミクス法⁷⁾ (SD) は後者の例である。

(3) ハードとソフトテクノロジー 前章でも述べたように技術予測においては主観的情報を大幅に採り入れねばならないケースが多い。このような情報は、多くの場合計量性の低い変量であり、時には文章で記述されていたりする。このような変量を扱い得る手法をソフトテクノロジー、客観的変量のみで予測を行う手法をハードテクノロジーという。後者の例としては、傾向外挿法や計量経済学的な計量モデルがある。予測手法の多くは前者に属すると考えられる。ことに、SD や工程分析の方法論から発達したグラフネットワーク手法⁸⁾ などはしばしば客観的手法と考えられがちであるが、むしろソフトテクノロジーと見るべき手法である。

以上に採り上げた各手法は次章で詳述するが、上の各分類は絶対的なものではなく、多くは両方の性質を有している。またこれらの各分類は実際上補完的なものであり、互いにフィードバックしつつ進めるべきであろう。

3.2 技術予測における問題点

技術予測を行う際は、問題の範囲、性質、目的などから手法を選択し、運用せねばならないが、よい予測を行うために以下のいくつかの問題点の考慮が必要である。

第一に対象とする問題の背景の明確化である。予測の事象として直接取り上げられていない前提条件、例えば国際的環境や人口等についての仮定などをまず明らかにせねばならない。これは、複数の予測者が存在する時はぜひとも必要であり、また状況の変化に柔軟に対応するためにも有効である。

第二に予測者への負担の軽減である。大規模な予測を目指すため、予測者に余りに多くのパラメータ推定を課したり、推定の難しい数値を細かく質問したりするとどうしてもよいデータが得られず、あいまいな予測となる。特にデルファイ法では、質問の数を増しすぎないように配慮が必要である。

第三は予測像の斉合性の問題である。これはさらに、(1) 予測する個人内の斉合性 (2) 予測者間の斉合性の2種がある。前者は予測者の自己矛盾である。多事象の相互関連を考慮せねばならない予測では特に問題となり、何らかのチェック機能が必要である。また計量的変量の

推定では、推定に時間をかけすぎると感覚のゆらぎから結果的に矛盾する場合もある。後者は、例えば予測者の意見が互いに異なる際、予測を無理に一本化するこの問題である。これには、予測者を幾つかのグループに分け、グループごとの予測像を得てこれを照らし合わせる方法が有効である。この場合、予測の当初において異なる意見のように見えても、最終的には一致することもしばしば見られる。

以上の問題は従来それほど重視されていなかった傾向があるが、よい予測のために忘れてはならない点である。

4. 技術予測手法各論

4.1 客観的データに基づく手法

客観的データのみに基づく手法、すなわち前章のハードテクノロジーに属する手法としては、従来からよく用いられている傾向外挿法、計量モデル、やや技術予測手法から外れるが数理計画法によりある評価関数を制約中で最適化する最適化型モデルがある。

技術予測がこのような手法のみで行えるならば問題はないが、実際にはこれらのみでは不十分なケースが多い。注意の必要な点は、(1) 問題に大きなインパクトを与えるにもかかわらず、計量性の低さから落とした変量はないか、(2) 変量そのものの中に不確実性の大きなものはないか、である。特に、モデルのパラメータの決定で注意の必要なことが多い。

4.1.1 傾向外挿法¹⁾²⁾

傾向外挿法は古くから用いられてきた比較的単純な方法であつて、過去のデータの時間トレンドを検出し、これを将来まで延長して予測を行うものである。単純な割には短期的な適中度は高い。

また、ある技術が成長し、次第に伸びが止まつて他の技術に代替されていくパターンを調べるのに、傾向外挿法の変形である包絡線予測手法がある¹⁾²⁾。技術進歩のトレンド分析に有効である。

4.1.2 計量モデル⁹⁾¹⁰⁾

経済学分野で古くから行われてきた手法の応用である。原理的には、予測対象を出力変数、これに影響を与える入力変数とそれらの関数を方程式で記述し分析するものである。

この一手法に、費用—便益分析がある。中でも米国のPPBS⁹⁾ (Planning Programming Budgeting System) は有名である。資金、労力等を入力、行政対象の便益を出力とし、これらの関係の曲線を定量的に記述した上で、政治活動の目標となる出力を望ましい方向へ向けるよう、長期的活動プログラムを決定する、というものである。この手法はより計量性の低い問題へも適用でき、E-S 分析 (Effort Satisfaction Analysis)¹⁰⁾ として知られている。

4-1-3 最適化型モデル⁶⁾¹¹⁾

定量的変量のみからなるシステムにおいて、変量間の関係式や制約式が記述され、この中である評価関数を最適化する方法を最適化型モデルという。エネルギー技術予測にはよく用いられる⁶⁾。新技術の開発時期の予測というより、エネルギーの総需要、供給、フローなどの制約中でコストなどを最小化した場合の各エネルギー技術の取るパターンを得るためのものである。評価関数の最適化を行うため規範型の手法となるが、複数の評価関数（例えば環境とコスト等）のトレードオフを考慮しつつ最適解を探索するいわゆる多目的最適化型モデルは、むしろ探索型の性格が強い⁶⁾¹¹⁾。

4-2 主観的データと客観的データを含む手法

ここに分類される代表的なものは、システムダイナミクスモデル (SD)⁷⁾ とグラフネットワーク手法⁸⁾ である。

技術予測手法の扱う変量の広さから言えば、この手法は理想的となるが、実際には以下のような理由から必ずしも万能とは言えない。

(1) 変量の間を結ぶパラメータの問題。主観的データも何らかの形で定量化し、パラメータにより他と結びつけねばならないため、このあいまいさは最後まで残る。また、パラメータの選択が全体の挙動を大きく左右する場合も多いため、注意が必要である。

(2) 上の理由と関連し、大規模な問題では全体的にチェックが難しいものとなる。通常、構造やパラメータのチェックはモデルをランさせて結果を見つづけるほかはなく、フィードバックループを含む場合はさらにチェックは難しくなる。

以上、ここに分類される手法も、他と同じく結果のみを取り上げ結論とする事は第一の目的ではなく、むしろ結果はモデル取り入れられた変量間の結び付きを理解し、分析の上結論を下すための一データと考えられるべきであろう。

4.2.1 システムダイナミクスモデル⁷⁾

SD は 1950 年代半ば、Industrial Dynamics の名で始まったが、重要なものは 1971 年の Forrester による世界モデル及びこの改良に基づいて発表された「成長の限界」¹²⁾ であろう。

SD は、システムを動学的な非線形多重フィードバックとしてとらえ、変数として状態のレベル、これらの入出力フローを示すレート変数、これらを媒介する補助変数の 3 種を用いてモデル化するものである。

図 1 に示すよう、この形ではシステム内の因果連鎖が明確であり、論理が追いやすい点に特徴がある。このため、あいまいな変数を含む柔軟なモデルが可能であり、また他の計算モデルとの組み合わせを試みられる¹³⁾ など、広い応用範囲を持つている。

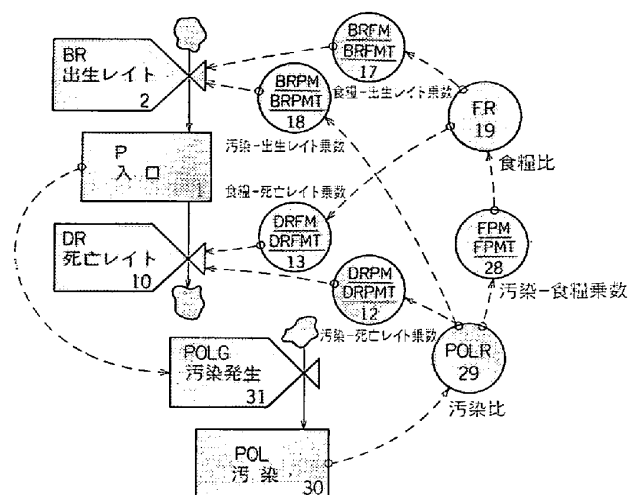


図 1 システムダイナミクスモデル因果関連図 (World Dynamics より)

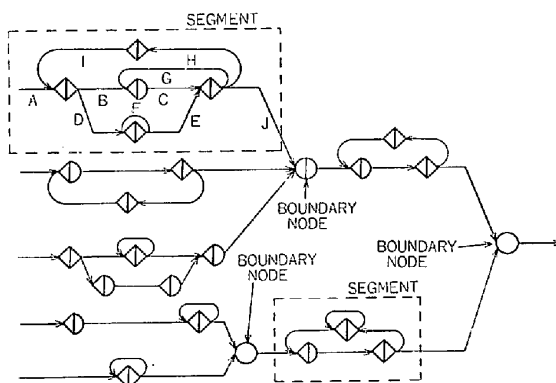


図 2 GERT グラフネットワークフロー図の例

4.2.2 グラフネットワーク手法⁸⁾¹⁴⁾

対象の問題をグラフ状に分解し、全体像の検討を行う手法である。代表的なものには、工程分析手法の PERT (Program Evaluation and Review Technique) から発達した GERT (Graphical Evaluation and Review Technique)⁸⁾ や、PAF (Partitive Analytical forecasting)¹⁴⁾ がある。これらではいずれも対象技術の目標項目の時間経過がグラフネットワークの上に表される。(図 2)

グラフは、ある技術の達成と次の新技術の出発点を意味するノードと、新技術の出発から達成までの予想期間あるいは確率分布を表すノード間のライン、及びそれらを AND や OR で結びつけるさまざまなゲートから構成される。専門家の予測者は、グラフの構造やパラメータの推定を行い、通常モンテカルロシミュレーションで全体の動作を把握する。

この手法では、きわめて大規模なモデルが作成された例が多い。しかし、パラメータのチェックや全体的の斉合性の問題は SD と同様に存在し、いたずらに大規模化のみを旨とし全体的合理性の検討をおろそかにすることは、決して望ましいことではない。

4.3 主観的データに基づく手法

技術予測における主観的データとは、確率やパラメータの推定というマイクロで計量的なものから、空想科学小説に近いマクロな将来像の記述に至るまで、きわめて広い範囲に及んでいる。第3章に示したようなデータの性質に応じてさまざまな手法が開発されてきた。

主観的データをもとにする手法は特に、(1)データができる限り少ないあいまいさで得られること、(2)仮定から結論までの論理が明確であること、が要求される。このような点さえ注意されていれば、本節に示す手法から得られる情報は前節までの客観的変量を含む手法からのものに比べ、決して科学的質の劣るものではなく、しばしばはるかによい情報となる。

4.3.1 シナリオライティング法²⁾

シナリオライティング法は、将来像へ至る論理をそのまま文章化し記述する方法である。そのため、広範囲な事象を盛り込める反面、斉合性のチェックや見落としなどの問題点が生じる。従つて、この手法は単独で用いるのではなく、他の手法で得られた像を骨組みとし、これに肉付けを行うように用いるのが最適と思われる。

4.3.2 デルファイ法¹⁾²⁾¹⁵⁾

1960年代の前半に O. HELMER らによつて創始された。会議などで声の大きい者の意見などに全体が左右されることのないよう、予測事象の生起時期などをアンケートで個別に質問し、この回答の分布の広がり大きい項目については全体の分布を明示しつつアンケートを繰り返す、収束するまで続ける。特に分布の中心から外れた回答者には、その理由も質問する。このようにして見落とした問題点のチェックが可能となる。

日本でも過去2度にわたり科学技術庁が大規模なデルファイ予測を行い¹⁶⁾、その他にも実施された例は多い。

しかし、次の2つの問題点に配慮が必要である。

(1) 回答の信頼向上の問題。対象サンプルや調査方法、回答の収集管理等の問題に注意が払われねばならない。K.Q. HILL らはこの問題を詳しく論じている⁴⁾。

特に、余りに多くの質問を一度に行い回答者の負担が過大になると、回答の信頼性が低下しよい予測が望めなくなるので、くふうが必要である。

(2) 予測事象間の相互作用が取り扱えない。互いに競合関係にあるような事象であつても、両方が大々的に発展するというような誤つた予測を行いがちである。このような問題点はデルファイ法の基本的欠点であり、前述のグラフネットワーク手法や後述するクロスインパクト法が有効な補償手段となる。

4.3.3 関連樹木法と PATTERN¹⁾

この手法は規範的手法の代表的なものとして知られている。まず、関連樹木法は、図3に示すよう、(最上位の目的)―(達成の手段)―(その方法)…というように次々と段階的に必要な項目を列挙して樹木状の関連図を作成

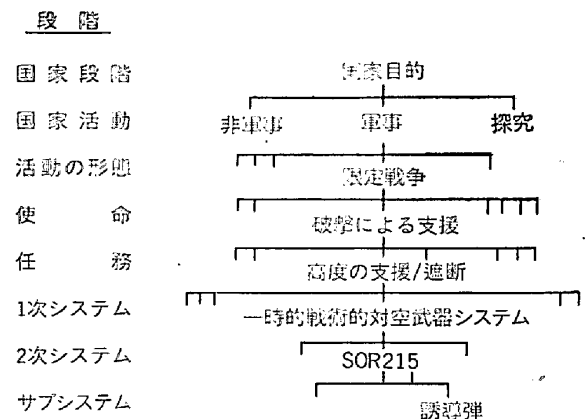


図3 関連樹木法の例 (米国 Honeywell 社、文献(1)より引用)

表1 PATTERNの複数の評価を用いた重み付けの例 (米国 Honeywell 社) (文献(1)から引用)

国家活動	(国家活動の各評価側面の得点)		
	非軍事 A	軍事 B	探求 C
a. 国家の存在 (0.6)	(0.3)	(0.6)	(0.1)
b. 国家の権威 (0.3)	(0.1)	(0.6)	(0.3)
c. 国際的世論 (0.1)	(0.1)	(0.4)	(0.5)
総合得点	0.22	0.58	0.20

していく手段である。デルファイ法と同様、枝と枝との相互関係は扱わないが、論理体系は非常に明確なものとなつている。

この関連樹木法で、各段階で各項目に優先度のスコアを与え、総合的な重要度を算出できるようにした手法が PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Number) である。米国の Honeywell 社が開発し、アポロ計画に用いられて以来、広く知られるようになった¹⁾。

優先度のスコアを与える際、複数の評価側面を考慮することもできる。これは、評価側面ごとに項目にまずスコアを与え、次いで評価側面間の相対的ウェイトを与え、この両者から項目の重要度を算出することにより得られる。表1は、Honeywell社で行われたこの例である。

4.3.4 クロスインパクト法⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

クロスインパクト法は、相互作用をもつ事象群の予測のために、1965年 T.J. GORDON らにより開発された手法である。まず予測の時期と事象を定める。次に各事象の生起確率及びある事象の生起が他事象の生起に及ぼすインパクトの強さを専門家の推定により与える。当初

の手法では、これをもとにモンテカルロシミュレーションを行い、最終的に得られた各事象の生起頻度をもとにシナリオを作成していた⁵⁾。しかし、この考え方には論理的な誤りがあり、また数学的にもあいまいさの残ることが指摘され¹⁶⁾、一時この手法は重視されなくなつた。

1975年に至り、J. C. DUPERRINらは確率論的斉合性を与える手法を発表した¹⁷⁾。これは、 n 個の事象があると、生起非生起の組み合わせは 2^n あり、それぞれ非負かつ総和が1となる状態確率を有していなくてはならないとするものである。DUPERRINらは、当初に専門家の推定した確率がこの条件を満たすよう、二次計画法を用いて修正を行つた。この手法は、合理性を与えたがなお実用上いくつかの問題点を残していたので、筆者らはこれに改良を施し、1977以降さまざまな分野に応用を試みている。この例は次章に述べる。

クロスインパクト法(X-I法)はデータを確率の形で推定するため予測者間の確率の数値に対する感覚の相違や推定の負担の問題、またやや計算処理が複雑なため事象数のそれほどふやせないなどの反面、二次以下の確率データから高次確率の情報を抽出でき、かつ全対的斉合性を与える修正プロセスを含むという他手法にない大きな特徴を有している。

4.3.5 その他の手法

技術予測手法には以上のさまざまなものが開発されているが¹²⁾、ここでは技術予測によく援用される方法論を簡単に紹介する。

まず、予測する事象間の相互影響の構造の明確化は常によい情報を提供する。この意味で構造分析手法のISM¹⁸⁾やDEMATEL¹⁹⁾は予測の際、前処理として有効である。

第二に、事象群の互いに近い関係のあるものの群化である。これにより事象群の再統合や重要度の低い項目の混入のチェックができる。クラスタリング手法²⁰⁾や数量化理論⁽²¹⁾はこの目的のため有用である。

5. 改良クロスインパクト法による技術予測例

本章では、筆者らが行つた改良クロスインパクト法(以下X-I法と略記)の手順及び適用例と拡張手法を簡単に紹介する。

5.1 改良X-I法の手順²²⁾

(1) 予測する事象群を決定する。事象数が n 個であるとすると、生起非生起の組み合わせは、 $N=2^n$ ある。

(2) 予測の時点までに事象 i が生起している確率 $P(i)$ 予測の時点で事象 j が生起していることを条件とした時の事象 j の条件付生起確率 $P(i|j)$ を専門家に推定してもらう。

問題によつては、因果関係を陽に示さない条件付確率は考えにくいことがある。この場合は、予測期間の当初事象 j が生起した場合、予測最終時点で事象 i の生起す

る確率 $P(j \rightarrow i)$ が用いられる。 $P(j \rightarrow i)$ は、マルコフモデルにより二次元結合確率 $P(i, j)$ に変換される²²⁾。

また、推定に際しては「生じる可能性の程度」と「確率の数値」との間に何らかの形でコンセンスの得られていることが望ましい。ここでは表2のような文章に客観的確率の例(例えば3人でジャンケンをして勝つ確率...0.33など)を参考にしつつ適当な数値を予測者に与えてもらい、この平均を予測者に示し、推定を行う手順をとつている。

(3) 上で得たデータは、一般的には先に述べた高次結合確率の存在という数学的体系を満たしていない。そこで以下のような修正を行う。

n 次結合確率は、 N 個の状態に応じて存在する。これを π_k で表すと以下の条件が必要である。

$$\pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_N = 1, \pi_k \geq 0 \quad (k=1 \dots N) \quad \dots \dots \dots (1)$$

有合的体系では、低次確率はすべて π_k の線形和で表される。例えば、

$$P^*(i) = \theta_1^i \pi_1 + \theta_2^i \pi_2 + \dots + \theta_N^i \pi_N \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで θ_k^i は第 k 状態が事象 i 生起を含む時1、それ以外では0をとる変数であるとする。

データの修正は、次の二次計画法により行う。

$$\min. \phi = \sum_{i=1}^n \{P^*(i) - P(i)\}^2 + \sum_{i \neq j} \{P^*(i, j) - P(i)P(j|i)\}^2$$

ただし

$$\pi_k \geq 0, \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_N = 1$$

$$P^*(i) = \sum_{k=1}^n \theta_k^i \pi_k, P^*(i, j) = \sum_{k=1}^n \theta_k^i \theta_k^j \pi_k \quad \dots \dots \dots (3)$$

(4) 修正確率 $P^*(i), P^*(i, j)$ は得られたが、高次確率 π_k は一意に定まるとは限らない。しかし π_k はある値域を有するので、これを線形計画法により求める。

$$\max. \text{ or } \min. \pi_k$$

$$\text{subject to } \sum_{k=1}^n \theta_k^i \pi_k = P^*(i), \sum_{k=1}^n \theta_k^i \theta_k^j \pi_k = P^*(i, j) \dots (4)$$

π_k の値域、または端点の N 次元座標平均値を用いて最尤シナリオを決定する。

(5) 得られたシナリオを専門家にフィードバックし、その意味するところを具体的に記述してもらう。

以上の手順では、(3)の修正プロセスに他の手法にない特徴があり、たまたま推定値に一、二箇所思い違いがあつても、かなりよく補正される。

なお、専門家間に意見の対立があるときは、専門家ごとに上の手法を適用し、最終的なシナリオを比較検討する方法が有用である²³⁾。

5.2 改良X-I法の適用例

上記の改良X-I法を都市交通技術予測に適用した例を示す。予測時期は、1990年である。予測事象は以下の6個である。

- (1) 都市内の旅客機関として電気自動車が使用される。
- (2) 新交通システム(CVS) が実用システムとなる。

表 2 X-I 法確率データ例(1)

推定 $p(i), p(i \rightarrow j)$ 値
(文献(22)による都市交通技術予測から)

Input $p(I \rightarrow J)$ Data					
0.45000	0.35000	0.75000	0.89000	0.30000	0.50000
0.35000	0.40000	0.74000	0.91000	0.29000	0.50000
0.50000	0.25000	0.74940	0.85000	0.15000	0.30000
0.15000	0.33000	0.65000	0.89928	0.25000	0.30000
0.45000	0.40000	0.74000	0.90000	0.30000	0.65000
0.46000	0.40000	0.78000	0.87000	0.50000	0.50000

表 3 X-I 法確率データ例(2)

入力データの同時生起確率 $p(i), p(i, j)$ への換算値

$p(I, J)$					
0.45000	0.15128	0.34816	0.37308	0.13500	0.22715
0.15128	0.40000	0.27073	0.35628	0.11828	0.20000
0.34816	0.27073	0.74940	0.65184	0.19784	0.35048
0.37308	0.35628	0.65184	0.89928	0.26509	0.41626
0.13500	0.11828	0.19784	0.26509	0.30000	0.21108
0.22715	0.20000	0.35048	0.41626	0.21108	0.50000

表 4 X-I 法確率データ例(3)

二次計画法による修正合理化された確率 $p^*(i), p^*(i, j)$ 値

$p(I, J)$ Table					
0.44988	0.15129	0.34817	0.37311	0.13497	0.22718
0.15129	0.39985	0.27076	0.35632	0.11826	0.20001
0.34817	0.27076	0.74912	0.65194	0.19782	0.35051
0.37311	0.35632	0.65194	0.89892	0.26504	0.41632
0.13497	0.11826	0.19782	0.26504	0.30015	0.21107
0.22718	0.20001	0.35051	0.41632	0.21107	0.49977

表 5 $p^*(i), p(i, j)$ からの 5 次元結合確率の値域による最尤シナリオ s_1 の選択

(シナリオの 0...非生起事象, 1...生起事象, #...不明の事象を表す)

Scenario	Minimized	Maximized
(#00000)	0.000000000	0.003894269
(#10000)	0.000000000	0.003894269
(#01000)	0.000000000	0.017629147
(#11000)	0.000000000	0.017629147
(#00100)	0.000000000	0.101621211
(#10100)	0.000000000	0.101621211
(#01100)	0.092066109	0.300378263 ← s_1
(#11100)	0.000000000	0.199839234
(#00010)	0.000000000	0.003894269
(#10010)	0.000000000	0.003894269
(#01010)	0.000000000	0.017629147
(#11010)	0.000000000	0.017629147
(#00110)	0.000000000	0.081894338
(#10110)	0.000000000	0.089071810

(3) 税制, ロードプライシング制等の制度変革による物流コスト上昇のため, 省物流化が進む。

(4) トラックの低公害化がすすむ。

(5) 既存鉄道によるトラックのフェリー輸送システムが実用化される。

(6) 強力な政策誘導により, 都市間の物流が鉄道に移行する。

表 2~表 4 に, 推定された確率 $P(i), P(i \rightarrow j)$ から計算される $P(i, j)$, 二次計画の修正値 $P^*(i, j)$ を示す。表 5 では, 第 1 事象を除いた 5 個の事象について求めた 5 次確率が示してあり, 最尤シナリオが決定された。実際の予測では, これをもとに推定した専門家が文章によりその状況を具体的に記述する。

5.3 X-I 法の拡張^{24)~26)}

以上の手法を基本とし, 問題に応じてさらにいくつかの拡張手法が開発されている。

第一は, 大規模 X-I 法である²⁴⁾。数理計画法を用いると, 計算時間の問題等から扱う事象数が制限を受け (7~8 が上限) そこで, 全く別法により合理化・修正を行いかつ高次確率の得られる手法が開発された。

第二は, 動学的 X-I 法である²⁵⁾ 上の手法を拡張し, 最尤シナリオの時間変化を得られるようにしてある。推定は, 5.1 節の $P(i), P(i \rightarrow j)$ 及びその時間変化のパラメータについて行われる。従来の動学的手法の数学的不明瞭さがほぼ解決している。

第三は, 連続型変数を含む X-I 法である。生起・非生起という 2 値的情報でなく, 変数があるレベルをとる確率密度関数のパラメータを, 平均的値と標準偏差値として推定し, 最尤シナリオと最尤レベルが出力される。石油価格予測の問題等に有効である²⁶⁾。

6. おわりに

技術予測には, まだ一般的な公式は存在しない。そのため, 問題に応じて既存の手法を運用したり手法自体にも何らかの手を加えつつ進めねばならないケースが多い。

そして, 技術予測の目的が情報の総合化にあることに注意を払い, また背景の変化や予測者の限界という技術予測の限界を意識しつつ柔軟な運用を行えば, 技術予測手法は必ず有効な情報を提供する有力な武器となろう。

文 献

- 1) ヤンツ: 技術の予測と計画 (牧野 昇, 白根礼吉編) (1970) [日刊工業新聞社]
- 2) 只野文哉: 企業戦略のための技術予測, オペレーションズリサーチ, 25 (1980), 2, p. 81
- 3) 茅 陽一: 社会的諸問題へのシステムの接近, 計測と制御, 16 (1977), 1, p. 20
- 4) K. Q. HILL, J. FOWLES: the Methodological Worth of the Delphi Forecasting Techniques,

- Technological Forecasting and Social Change, 7 (1975), 2, p. 179
- 5) T. J. GORDON, H. HAYWARD: Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting, Futures 1 (1968), No. 2
 - 6) 日本産業技術振興協会: 2000年のエネルギー構造 (1977)
 - 7) J. W. FORRESTER: Urban Dynamics (1971) [Wright-Allen Press]
 - 8) G. B. BEMSTEIN: A Delphic Approach to Information Processing, Technological Forecasting and Social Change, 1 (1969) 1, p. 33
 - 9) 宮川公男, 浦尾武昭, 川村直道, 小島祥一, 伏屋和彦: PPBS の研究, 経済企画庁経済研究所研究シリーズ第 24 号 (1971)
 - 10) J. B. FIGUERIDO, Y. KAYA: Effort Satisfaction Analysis, Futures, 4 (1972) 4
 - 11) Y. Y. HAIMS, W. A. HALL, H. T. FREEDMAN: Multi-Objective in Water Resource System Analysis, Water Resource Research, 4 (1974)
 - 12) D. H. MEADOWS, D. L. MEADOWS, J. RANBERS, W. W. BEHRENS III: The Limits to Growth (1972) [Universe Books New York] (邦訳, 大来佐武郎, (1972) [ダイヤモンド社])
 - 13) 経済企画庁総合計画局: PROJECT COSMO, 第一次総合システム報告 (1973)
 - 14) J. H. VANSTON: PAF, Stochastic Network Technique, Technological Forecasting and Social Change, 9 (1977), p. 239
 - 15) 科学技術庁: 2000年までの科学技術, 科学技術と経済の会 (1977)
 - 16) N. C. DALKEY: An Elementary Cross-impact Model Technological Forecasting and Social Change, 4 (1972), p. 341
 - 17) J. C. DUPERRIN: SMIC 74-A, Method of Constructing and Ranking Scenarios, Futures, (1977), p. 205
 - 18) J. N. WARFIELD: Societal Systems, Policy, Planning and Complexity (1976) [Wiley]
 - 19) E. FONTELA: DEMATEL 1974 Reports, (1974) Battelle Institute Geneva Research Centre
 - 20) 矢島敬二他: クラスターアナリシス(I)~(V), オペレーションズリサーチ (1971), 7~11
 - 21) 林知己夫: 数量化の方法 (1974) [東洋経済新報]
 - 22) 産業研究所: 新産業技術の今後の方向と産業社会に関する調査研究 (1978)
 - 23) Y. KAYA: An Application of Extended Cross Impact Method to Generate Scenarios of Social Change in Japan, Technological Forecasting and Social Change (1981) (to appear)
 - 24) 森俊介: 未来予測のための大規模クロスインパクト法, 第 19 回計測自動制御学会学術講演会予稿集 (1980)
 - 25) 産業研究所: 新産業技術の今後の方向と産業社会に関する調査研究 (1979)
 - 26) 森 俊介: 連続型変量を含む拡張 X-I 法, 第 23 回自動制御連合講演会予稿集 (1980)