

<論 文>

## 技術予測情報と意思決定システムとの適合性

江 藤 肇

要旨：技術予測は日本では約30年前に高い注目度をもって実施され、以後定期的に科学技術庁によって実施されるほど定着している反面、理論的基礎が解明されていないこともあり、最近では、実施機関である科学技術庁自身の出版物でも無視されており、実際の技術開発に関する意思決定に利用されているとは判断できない。実際面で無視される理由の一つは、今なお予測結果の読み方が知られていないことにあると思われる。本論文は、意思決定論的基礎を論じることにより、技術予測情報の利用法を考察することを目的とする。すなわち、技術予測が技術開発に関する意思決定のための情報であることを考慮し、技術予測情報と技術開発に関する意思決定システムとの適合性を考察し、評価する。具体的には定量的技術予測手法として最もよく使用される外挿法と、科学技術庁など政府機関による大規模な技術予測において最もよく使用されるデルファイ法を取り上げ、意思決定行動に関する概念的 analysis により、一見単純なこれらの手法の背後に、技術開発に関する意思決定システムに対応する構造が見出されることを考察する。最後に、意思決定システムや、その構成員である意思決定者の思想、そして意思決定システムの外部環境における最近の変化と、それらへの対応について考察する。とくに、上記の単純な定量的手法に対する批判として、最近提唱されている定性的総合的技術予見 Technological Foresight について、その概念と意思決定システムとの適合性を考察する。

キーワード：技術予測；デルファイ法；外挿法；専門家調査；合意形成；母集団・標本構造；乱数；クラスター分析；意思決定システム；専門自治；

技術予見。

**Abstract :** Technological forecasting (TF) has regularly been made by Science and Technology Agency (STA) of Japan in the three decades. On one hand it has been accepted but on the other hand it is recently neglected by STA itself. This negligence is partly because of its lack in theoretical foundation but may partly be attributed to the fact that it has not been investigated how to utilise the outcome of TF in decision making processes. This paper is purposed to investigate utilisation methods by considering to what decision environment TF methods are relevant. Specifically for the Delphi and the extrapolation methods as the most frequently used ones, this paper evaluates the congruence of the methods to the decision systems.

**Keywords :** Technology forecasting ; Delphi method ; Extrapolation method ; Expert survey ; Consensus formation ; Population-sample structure ; Randomness ; Cluster analysis ; Decision system ; Discipline autonomy ; Technology foresight.

## 1 序論

技術予測が日本で政府によって定期的に行われるようになって、30年近くになる。期待と不安、批判と懐疑の中で始まった技術予測は、30年近く経過して、一方では定着し、抵抗なく定期的実施される反面、他方では無視されるようになった。事実、実施官庁である科学技術庁自身の出版物に、技術予測がほとんど言及されていない。これは、技術予測が科学技術庁の代表的仕事の役割さえ果たしていた1970年代と対照的である。この直接的理由として、技術予測の信頼度・的中度が、予想外に高い面があるにしても、全体としては低いことがまず挙げられるが、その他に、未だに技術予測の利

用技術（いわばソフト）が知られていないことが重要と思われる。信頼度が低いと最初から予断しているので、政策決定者が真剣には利用しなかったり、予測結果が単純な数字で表現されるので、分かったような気持ちになるため、解釈や利用法を考える必要を認識しなかった面がある。そのことが利用法の研究を促進しない状態を生み、したがって利用法が研究されない結果を産み出していると思われる。

技術予測の手法は各種提案されているが、最もよく使用される定量的手法は、経済予測・選挙予測・疫病予測などと同じく、外挿法である。過去の数量的傾向を単純にそのまま延長する手法（素朴外挿法と呼ぶことにする）の他に、後述のように複雑な諸手法があるが、どこかで過去の傾向を延長する手法で、しかも何らかの意味でそれが主要な部分となっている手法である。

科学技術庁など政府機関による大規模な技術予測において最もよく使用されるデルファイ法は、経験豊富な専門家の直感を組織的に活用するものである[Helmer 1967]。適任と判断される何人かの回答者に、ある技術の実現時期を質問し、その回答した実現時期の分布を同じ回答者にフィードバックし、再び同じ質問に同じ方法で回答してもらおう。非常に多くの場合、回答者の予測する実現時期は収束していく。ギリシャのデルファイ神殿における直感的予測に類似しているため、この名がつけられた。黄河から引き上げた亀の甲羅を焼くことによって得られる紋様を、専門的訓練を積んだ占い師が解読する、古代中国における意思決定手法にも類似している。

デルファイ法は米国のランド研究所で1950年代に開発された。1940年末にランド研究所に滞在していたアロウが、ランド時代にまとめた、社会全体の効用関数を個人の効用関数から合成することの不可能性を論証したモノグラフで[Arrow 1951]、その謝辞に挙げられているランド研究所のヘルマーやダルキーらは集団心理学的発想により、個人の意見を調整して社会全体の意思決定に導く方法を研究していた。1950年ごろ、月に人間が行くのは可能であり、しかもわずか15年ないし20年先（1965－70）と予測

した。1960年ごろには、その予測をデルファイ法で再確認して、10年後（1970）には実現できると予測した。これにケネディが注目し、国家プロジェクトを組んで、予測より1年早く1969年に実現した。この中でデルファイ法は一躍有名になった。その直後の1971年に、日本でデルファイ法技術予測を通産省工業技術院が中規模で、続いて科学技術庁が大規模に実施した。その頃、ニクソン・ショックに象徴される日本の外貨保有高の急上昇と米ドルの低下により、後の日米貿易摩擦と同じ圧力が日本経済を襲い、物真似技術による日本の輸出攻勢が攻撃されていた。

1970年代初期、デルファイ法による技術予測は日本の官界や産業界で注目された。日本の外貨保有高が上昇する中で、戦前の国産技術時代の世代は去り、米国追従時代しか経験していない経営者や科学技術者は、独自技術の自主開発のための手法を持っていなかった。高度成長初期に中央研究所ブームが起こり、統計上は研究開発が盛んになったが、2、3社を除けば、実態は米国からの技術導入政策の一環としての米国技術の追試か、米国市場向けに開発された技術を日本市場に合致させるための補正研究であった。外貨が豊かになると、米国へ視察旅行し、情報を持って帰り、それにより技術開発を進めるだけであった。自主技術の気風が残っていた終戦直後が過ぎて戦後が終わると、国内あるいは自社内で新しい技術が提案されても、上司はそれが米国の趨勢に合致していないという理由で無視した。米国に先行する研究は抑止された。ちなみに、このころ毛沢東は自主技術開発を推進し、世界から注目されていた。

ソ連のミサイルの恐怖が強かった1960年頃は、米国一国の経済利益より西側全体の総合力の増強のための分業として、研究段階の終了した民生技術は日本に卸して製造させて西側市場に供給させ、米国は宇宙航空などの先端軍事技術に特化していたが、1969年のアポロ月面到着に象徴される米国のロケット技術の向上は、ソ連への軍事恐怖より、米国産業の空洞化による対日経済警戒を強めていた。まず民生用電子・通信技術の対日供与渋りが

60年代後半に始まった。白根礼吉氏など電電公社の技術陣の一部は、この逆風をむしろ神風として、民間の電子・通信技術者を巻き込む自主技術運動を開始した。その機関として社団法人科学技術と経済の会が個人および法人（主に通信関連企業）を会員として組織され、初代事務局長白根氏を中心に新しい技術思想・経営思想に基づく活動を開始した[Eto 1984 A]。例えば産業予測、技術予測、技術評価（アセスメント）、技術移転などの新語がここから発信され、この会の主催による技術予測シンポジウムが1972年に始まり、技術予測への賛否様々の意見が交換された[只野 1972]。

60年代には、大規模技術開発プロジェクトの時間管理・納期遅延防止手法であるPERT (Project Evaluation and Review Technique)だけが唯一の技術管理手法として知られていた。PERTは1950年代後半に、ソ連とのミサイル・ギャップを狭める目的で、ポラリス潜水艦完成を急ぐ米国が開発した手法であり、米国との技術ギャップを急速に狭める目的を持つ日本の工業界に適合していた。東京五輪前後の社会開発ラッシュを受け持つ土木建築業界は、納期厳守や、あるいは納期を短縮して、より多数の受注を消化することを可能にする目的で、PERTを愛用した。このように日米ともに、技術者を鞭打って個々のプロジェクトを時間的に急がせることが、技術管理と思われていた。その目標完成時期そのものを定める手法、さらには多数の技術開発テーマの中から早期実現可能性のあるものを選び出す手法として、すなわちPERTより一段階上の戦略レベルの手法として、技術予測は70年頃に注目された。昭和50年代に日本でおそらく始めて研究開発管理の本が出版されたが、そこでは技術予測が中心手法として扱われている[茅野・只野 1981 ; Eto 1984 A]。

高度成長時代には全てに楽観論が強く、技術も例外でなく、多くの技術課題につき早期実現が予測された。これは技術予測の対象となる課題が組合せ技術による大規模開発であり、実現時期は予算の関数と考えられていたからである。しかし石油危機により財政は打撃を受け、さらに省エネルギー・省

資源技術開発が優先されるなど、技術を取り巻く環境が変化したため、エネルギー・資源大量消費型技術につき石油危機以前に予測された実現時期は大幅に延びることになった。すなわち多くの予測が外れたのである。この実績により、当初からの批判が力をつける結果になった。技術課題間の相互影響を考慮する手法なども提案されていたが[Gordon & Haywood 1968]、その程度では防御できなかった。最近、実施機関である科学技術庁自身の出版物もほとんど技術予測に言及せず無視しており、技術予測が実際の技術開発に関する意思決定に利用されているとは言えない。これは、経済企画庁その他による景気予測が、とくに石油危機後やバブル後、全く誤っているにもかかわらず、今もマスコミに報道され一般の注目を得ているのと対照的である。

技術予測はニーズは高いが、技術の発展法則に関する基礎研究が欠けている現状では、学術的接近が困難である。基礎としては科学技術哲学、科学技術史、科学技術社会学を踏まえた技術論と呼ばれる分野があるが、その専門家は大学その他で組織的に養成されたことはなく、技術者、哲学者、歴史家、社会学者が趣味的に研究を進めてきたものである。哲学的、歴史的、知識社会学的方法を用いた概念的研究は、第1次大戦前後から新カント派哲学者はじめ、知識社会学者、実存哲学者、社会思想家による研究が海外でも[Schumpeter 1912 ; Cassirer 1913 ; Ortega y Gasset 1933]日本でも[田辺 1918 ; 戸坂 1928 ; 岡 1936 ; 三木 1938 ; 三枝 1944 ; 三枝 1951]なされたが、技術そのものの発展に寄与することを目的とする実践的研究[武谷 1946]は例外である。自らの科学的発見の方法を一般化した科学方法論はあるが[de Broglie 1930 ; 武谷 1948]、技術に関しては特には知られていない。シュムペーター経済学派を除き、技術論研究の多くが大学学部組織外で行われるので、時間的資源を要する学術的な数理的、計量的研究[e.g., Sahal 1983 ; Eto & Makino 1983 ; Eto & Fujita 1989]は例外的である。デルファイ法に関しては、開発者自身その他による集団心理学的実験による研究や[e.g., Dalkey 1968 ; Dalkey 1969 ; Helmer & Rescher 1960]、実際にデルファイ法を使用する実践的立場

からのシステム分析的アプローチ[e.g., Dobrov & Smirnov 1972 ; 江藤1972 ; 江藤1973 ; Eto 1979 B ; 近藤・広松1996 ]を除くと、学術的な研究は少ない。外挿法については、あまりにも単純な手法であるため、実際の論文[Wissema 1982]や平滑化など統計手法的議論を除いて、学術論文は少ない。

本論文は、支持者の減った技術予測手法につき、基礎および利用法という観点から、その妥当性を評価することを目的とする。とくに、最も多用される外挿法とデルファイ法につき考察する。この両方法が多用されるのは、最も単純で簡単だからであるが、その単純性の故に、高度複雑な理論を尊しとする前提から、多くの批判を招いてきた。これらの一見単純な構造の背後に現実の複雑な意思決定システムの構造との対応関係を発見し、そこに両手法の利用価値を主張した既往研究[ Eto 1979 B ; 江藤1980 B ; Eto 1981 ; Eto 1984 A ; Eto 1984 B]を、本論文はさらに発展させ、最近の日本における産業政策および技術政策を巡る論争との関連、諸外国の産業および技術政策動向との比較から、あらためて両手法の利用価値を評価する。総合的評価を目的とするので、本研究は、著者自身の論文を含む過去の数理解析的、統計分析的研究の成果を利用はするが、基本的には概念的な総合的アプローチを採用する。とくに組織と意思決定システムの適合性[ Mackenzie 1982 ; Eto 1991]の概念、および客観的予測に対する間主観的予測の利用法の相違[ 江藤1972 ; Eto1984 B]の概念を重視する。これは後述のように、数値的アウトプットを提供する過去の技術予測 Technological Forecastingから、最近は定性的な技術予見 Technology Foresight に変化しつつある傾向にも対応している。

本論文はインド科学技術省の付属機関である技術情報・予測・評価会議 (Technology Information, Forecasting and Assessment Council, TIFAC )設立10周年記念セミナー (2000年2月10-11日、ニューデリー)における著者の招待講演に手を加えたものである。

## 2 外挿法と意思決定行動

## 2.1 外挿法の構造

外挿法は基本的には、過去の数量的傾向を単純にそのまま未来に延長する手法である。この単純性が、便利という理由で多用される所以であると同時に、素朴性という理由で批判される所以でもある。このような素朴外挿法の他に、数理的または因果的に複雑化した方法が多数開発されている。数理的複雑化は技術関係者に受容しやすいが、技術に関する数値データの精度に不信が強いので、計算結果にも不信が残る。需要予測において、エアコンの売上台数を素朴に時間軸の上で外挿するのでなく、所得水準がエアコンの売上の基礎であると因果関係を考えて、まず所得を時間軸の上で外挿法によって予測し、それから所得の関数としてエアコンの売上台数を外挿法で予測する手法などが、因果的外挿法の典型例である。あるいは、エアコンの売上には、所得より新築戸数が影響すると考えて、新築戸数を時間軸の上で所得の関数として外挿法で予測し、それを基礎に、エアコンの売上台数を外挿法で予測する場合もある。時間軸をとらないときには、同じような考えで外挿法または内挿法を採用することもある。エアコンの売上には、夏の気温が最も敏感に影響する要因であると考えて、気温は別の手法（気象学的手法）で予測しても、気温とエアコンの売上台数の関係については（気温を横軸に、エアコンの売上台数を縦軸にとって）、過去における両者の関係を外挿または内挿することで、エアコンの売上台数を予測するなどの手法である。ここで内挿というのは、例えば、平年並みの気温の年におけるエアコンの売上台数は、高温の夏の年のそれと、低温の夏の年のそれとの中間であろうという予測手法である。これらの因果性は少なくとも定性的には支持されるが、技術における因果性はまだ研究されていない。なお、気温は気象学的手法で予測した気象庁の数字を借りてくる場合も、気象庁が例えば黒潮の水温と気温の関係について、外挿（または内挿）法で予測している場合もある。このように、どこかでは外挿または内挿法が使われている場合が多い。極言すれば、外挿または内挿法を全く使わない予測はないと思われる。日常生活でも、風邪を引いたとき



熱の下がり具合を時間軸の上で外挿して、いつ出勤できるか判断するのが普通である。

数理的手法による予測においては、数式には柔軟性が欠けるため、関数構造（例えば微分方程式から演繹される成長曲線や、物理的経済的根拠に基づく線型・非線型関数や、過去の数値から統計的に回帰される関数）などは過去も未来も不変として予測する。せいぜいパラメータ値を変化させる程度であり、その場合もパラメータ変化を関数で表現する場合は、その関数は不変とするのが普通である（構造不変型外挿法と呼ぶことにする）。

定性的予測（シナリオ法など）においてさえ、現在の技術システム構造や社会制度を当然の前提としたり、現在すでに顕在化している要因だけを考慮する保守的姿勢による予測が圧倒的で、これらは定量的でないが、広義の外挿法と見ることができる（それぞれ制度不変型外挿法または要因不変型外挿法と呼ぶことにする）。例えば過去には、経済予測において外圧などによる法制的変化の影響や、選挙予測において政党の離合集散を考慮しないのが普通であり、しかも、それを必ずしも前提として陽表的に断り書きを述べることなく、当然暗黙の前提としている場合が多かった。風邪で高熱が引くとき、結核が多かった時代には、外挿法で今後も熱が下がるとは限らず、病気の構造変化が起こって微熱が続く可能性を警戒したが、結核が減ると、当然に結核の可能性を無視するケースが多くなった。構造や制度や要因の質的変化まで予測するのは直感力豊かな個人の個性的創造的活動の所産であるが、個性的で大胆な予測は組織が許さない場合が多いから、予測の多くが組織によってなされる現状では、ほとんどの予測は広義の外挿法とならざるを得ない。しかしその他にも後述のように、意識されてはいないが外挿法が組織で愛用される理由を見出がされる。

## 2.2 外挿法の短期的的中性とその評価

外挿法は短期予測には的中することは容易に理解できる。事象の変化速度

が予測の時間単位に比べて極めて緩やかであれば、関心のある時間内には変化はないと考えるのが普通である。数千年の人類文明の範囲では、生物の種の変化は考える必要がなかったから、質的不変の思想が評価され、変化を唱える者は、世を惑わす反体制分子として処刑された。変化がもう少し早い場合でも、単位時間における変化は線型近似または簡単な増加（または減少）関数的規則性（2次関数、対数線型または指数関数）、ある場合には簡単な周期関数（三角関数）的規則性による近似で、十分な精度で予測できる。したがって、短期予測においては、外挿法は高く評価され、活用される。

早く予測ができれば、対策を講じる時間余裕が与えられ、問題が少ないので、良い予測と評価される。台風進路予測は、通常の降雨予測に比べ、精度は低いですが、早期に発表される進路予測を多くの方が熱心に聞いて早めに大めの準備をするので、被害が回避され、その結果、予測への評価が高い。予測の評価は的中度だけでなく、その利用法が確立され、かつ実際に対策がとられるか否かも、重要な要因である。降雨予測への不満の多くは、一般人の要求する特定の短い時間単位または時間帯（多くの場合、夕方の勤め帰りの時間帯）に的中しないことへの不満である。台風については深夜に接近との予測でも、多くの方が傘を持って出かけ、早く帰宅するが、通常の雨については、多くの方は傘を持たずに出かけ、焼鳥屋に寄ってから帰宅するので、少し早めに降り出しただけで苦情が出る。夏の一旦突然の俄雨も、日没前なら空を見れば1、2時間前には雷雲が遠くに見えているから、在宅している専業主婦が洗濯物を取り込んだり、営業マンが得意先に行く際に傘を持って行くか否かの判断には、一応十分な時間余裕であるので、空を見るという簡単な予測法は多くの方が活用する。この方法があるので、日中には雷雨予測が事実上ないことに、意外に不満は少ない。秋の空のように変化が早い場合でも（3-4日）、現在の天気が1時間後も続く場合が圧倒的に多いのはもちろん、翌日の天気も同じである場合が多い。日程拘束の少ない定年退職者の日帰りや一泊旅行の意思決定には十分な精度と時間余裕である。しかし週末し

か旅行できない人は、早めに土曜の晩の宿の予約が必要なので、1週間前の降雨予測が1日ずれただけで苦情を言う。

一見突然襲う地震も、地殻変動の結果であり、長い地球科学の時間単位の上では外挿法で予測できる。江戸の安政地震から百年以内に、阪神地方に千年以内に、大地震が起こることは正確に予測されていた。万や億を時間単位とする地球科学では、精密な予測である。地震予知の困難性は、長い地殻変動の時間単位から短い人間社会の時間単位への翻訳の困難性である。このように、外挿法の短期的的中性は変化速度により、その評価は、対策所要時間と予測時間との関係や的中・不的中の影響度によると考えられる。

経済予測も高度成長期には、外挿法の的中度は高かった。ただし個々の製品の需要を問題にする企業の各部署にとっては、的中度は低く評価された。経済全体では、保険における大数の法則と同じく、かなり正確に予測できて、個別には要因間の打ち消しあいが少ないので、的中度が下がる。外挿法予測は広義の統計的推測の一種で、時間的にはミクロ的、領域についてはマクロ的な場合に的中度が高いと言える。なお短期個別でも、特定製品の利益予測は、売上高よりの的中度が低い。固定費率が高い場合や、見込み生産の場合、僅かの売上高の変化が利益に大きな影響を与えるからである。

### 2.3 外挿法の長期的的中性

技術予測は技術全体および技術の社会環境に関心を持つ人たちにより開発され推進されてきたが、多くの科学技術者は反対に、自己の専門領域だけに関心を持っている。この気質の相違が技術予測の評価に大きく影響する。多くの科学技術者は、領域については極めてミクロ的に思考するから、上述のように予測の的中度は低く見える。しかも時間的には、自分のキャリアとして20または30年という、かなりマクロ的に考える場合が多い。過去の歴史の外挿により、2、30年の間には、個別専門領域内では大きな変動が起こり、外挿法による予測は的中しないと考えられる。皮肉な表現をすれば、

外挿法により外挿法が否定される。例えば電力技術者は過去の発展の外挿から、発電技術は自分の目の黒いうちに質的に変化すると考え、外挿的予測を信じない。水力発電技術者のキャリア・デベロプメントにとって、水力、石炭、石油、原子力の相違は決定的であり、原子力が水力の延長線上にあるとは考えがたい。

しかし関心時間に比べて十分長い時間においても、外挿法で引いた線の上に、実際のデータが乗っている場合が知られている。例えば、航空機が発明されてから最初の半世紀余における航空機の色がそれである[Bright 1968]。複葉機（2枚羽）から単葉機、軽いが空気抵抗に弱い木製・布製から金属製それも空気との摩擦熱に強いチタン製、固定脚から引込み脚、プロペラ機からジェット機まで進化した間に、速度の向上は基本的に直線的だったのである。したがって1960年ごろまでは、航空機の色を外挿法で予測して、十分な精度が得られた。この傾向は、速度が人間工学的な限界に達し、機関や機体そのものより、外部技術と言うべき電子技術の利用が重要になるに至って始めて終わった。猛獣が瞬発的高速を利用して餌を襲うように、朝鮮戦争までは空中戦で戦闘機が高速を利用して有利な位置を占めて近距離から機関銃を発射する戦法が中心であったが、電子技術を利用して遠方からでも高い命中率で攻撃できるようになったり、また、有人機において超高速が操縦士に耐え難い困難を招来して操縦性能を低下させたりするに至って、速度以外の性能が重視されるようになったのである。爆撃機についても、相手の迎撃機が離陸して戦闘態勢に入る前に爆撃を終了して帰るためには、高速が生命であったが、電子通信戦争になるに及んで、高速有人機の優位は低下した。予測そのものではなく、事後的に見出されたものであるが、半導体が開発されてからの性能の向上も、あるパラメーター変換により、やはり基本的に一本の学習曲線に乗っていることが示されている[Sahal 1983]。この発見は、簡単な外挿法が半導体の性能の予測に利用できることを示している。同じく事後的であるが、照明技術の効率が、百年以上にわたって一本の対数曲線に

乗っていることも示されている [Wissema 1982]。これも、今後の予測に簡単な外挿法が利用できることを示している。

ただしここでも、長期予測の利用技術が問題になる。国家的予測では粗い精度で十分だが、個々の研究者にとっては細かい進歩が重要である。高温向きの製鉄用温度計で体温を計ったり、大数の法則による寿命予測を個々の患者に適用することは、医学の素養がなくても絶対にしないが、技術予測においては利用技術が確立していないので、ミクロとマクロその他領域が区別されていないための混乱が多い。

#### 2.4 組織的意思決定における慣性的駆動力

外挿法の短期的的中性は上述のように説明できると考えられる。自然現象においては、長期にわたる変化が外挿法で表現できる例は多数あるが、これは天文学や地球科学のように時間単位が長い場合には、人間社会にとっては長期の現象であっても、地球も含めた天体の時間単位では短期現象であるからと考えられる。しかし、これでは上述した技術における長期的的中性は説明できない。

航空機の速度を表現したのは、単純な素朴外挿法ではなく、包絡線法とブライト自身が名付けた方法によったものである。これは多段階成長曲線法と呼び代えた方が以下の議論に便利である。横軸に時間を、縦軸に航空機の速度をとったグラフを描くと、10年程度の短期では成長曲線に乗っており、最初は緩やかに速度が向上し、やがて急成長し、そして低成長に転じていく。しかし、機体の型や、機体材料や、推進機関が質的に変化すると、そこで新しい成長曲線が生まれる。逆に見ると、ある様式が低成長になると、新しい様式が新しい成長曲線に乗って急成長していく、世代交代が見られる。これら成長曲線を包み込む包絡線をとると、それはほぼ直線であり、全体としては航空機の初期から1960年代まで、速度向上は一本の線になる。長期的に外挿が有効なのは、この世代交代による。すなわち、従来様式が行き詰ま

ると、質的に新しい様式が開発され、交代していくのである。逆に言うと、狭い専門領域でミクロ的に見る個々の科学技術者の目には、異なる領域を包む包絡線が見えないから、長期外挿法は成立しないと判断するのは自然である。なお時間的には短くとも変化が早い場合にも同じことが成立する。石油危機後のマイクロ・エレクトロニクスの発展においてLSIに様々な方式が現れ、ある方式で発展が飽和すると別の方式が現れている[郭1985]。

トランジスター以来の長期にわたって半導体の性能進歩が対数直線的であったのも、成長速度や飽和（上限）に関するパラメーターが定数でなく、時間的に変化する構造にした関数で表現された [Sahal 1983]。これは成長が成長を産む加速性、すなわち速度が過去の成長の関数である構造が、長期にわたる特許数や論文数の爆発的成長を説明できるという指摘 [Eto & Makino 1983] と共通である。この構造により、曲線が寝ることなく、直線的成長を続ける状況を表現できたのである。成長が成長を産むユール過程などの数学的関数の構造は、成長が次の成長を促進する要因を生み出す現実構造を表現している。すなわち、技術発展の実績が組織内で技術重視の価値観を強化し、次の技術投資への発言力が強まり、さらなる技術発展の圧力が指導部にかかり、これらの組織的駆動力が技術発展をめざした戦略を決定する傾向があり、この組織的構造が上記の数学的構造に表現されていると理解される。

航空機や半導体の場合は軍や大企業という強い組織力を持った環境で開発が進められ、担当者は過去の技術 開発を維持発展させなければならない強い圧力を受ける。自分の時代に衰退したとあっては後の評価にかかわるので、ラスト・エムパラードを避けるため必死の努力をする。ある様式の下では発展が望めないと予想されると、別の様式を模索、研究し、それを新たに採用する。発展に慣れると慣性力が作用して、速度または加速度を維持しようとするのが多段階成長論とでも呼ぶべき包絡線論を現実に成立させると考えられる。社会全体についても同じく、交通利便性に慣れると慣性力が作用して、利便性向上の圧力が生じる。最初、技術革新で速度が向上すると、ベルヌー

イの法則と同じく輸送効率が向上し、今まで障害になっていた上限が取り払われ、交通量・輸送量が増大する。供給が消費を喚起し、交通量・輸送量の需要が増大する。そうするとせっかく効率が向上したのに、需要増大がそれを越え、新技術を要求する。必要が発明の母になるか、あるいは埋もれていた発明を必要が掘り起こし、改良して実用化する。動力についても、水力から原子力まで同じことが成立する。この社会的構造が、交通速度やエネルギー効率をそれぞれ、長期的に一本の曲線の上で発展させると考えられる。すなわち外挿法は多くの場合において現実の技術発展の社会的要因を巧みに表現しており、したがってそれはマクロ的現実にあてはまる場合が多いのは当然とも考えられる。

## 2. 5 性能パラメーター値の認識論的意味

経済・経営予測では、生産高、需要量など物量レベルが対象になる場合が多い。これは金額、個数、重量などで、加法計算的であり、物理学の用語で言う次元では、1次元線型的である。外挿法技術予測では航空機速度やエネルギー効率など、乗除や微積分計算的で、次元としても1次元ではない。例えば、最も簡単な速度でも、次元は比あるいは除法型または微分型の距離/時間であり、加速度は2回微分型で距離/(時間の2乗)である。これらは単純な加法的自然量と異なり、とくに効率などは、温度などと同じく加法などの演算が適用されない人工的な度量（測度）と呼ぶべき概念である。

度量は数量表現されるが、温度、比重、比熱など物の性質を表現しており、必ずしも四則演算が適用されない。これを重視してヘーゲルは度量を質と量の統合と呼んだ。外挿法技術予測の対象である性能パラメーター値は、一見単純な数値であるが、複雑な要因の結果を表現している高度な概念であると言える。ヘーゲル論理学体系では、度量概念から本質概念が導出されている。製品は性能を実現する乗り物で、性能実現が工学の本質であると言える。

## 2. 6 国策プロジェクト型大規模技術開発

古典的には技術開発は、発明家と呼ばれる物好きな職人技術者の個人的好奇心の産物であった。弟子を使うことが多かったが、基本的には親方の個人活動であった。研究組織として18世紀に、英国に王立学会が、フランスに王立の科学アカデミーが設立された。後者は砲術将校ナポレオンによって改組され、解析学を駆使する弾道学の確立に貢献し、19世紀初め遠くロシアにまで輸出され、20世紀にソ連が科学アカデミー組織の本場となる基礎となった。またドイツにも皇帝ウイルヘルムによりウイルヘルム研究所（現在はマックス・プランク研究所）が設立された。これらは科学が中心であった。19世紀末になってエジソンが民間研究所を発明し、商業目的の研究所組織による発明システムを開発した。

19世紀から20世紀前半までは、国家は基礎科学と軍事研究、民間は産業技術開発という分業が、ほぼ成立していた。日本でも、航空研究所を除いて官立機関は試験所と呼ばれ、中立的立場による試験と評価に専念し、一方、産業技術は明治初期の官立工業を含めて、企業によって研究開発された。第1次大戦は火薬の大量生産、飛行機の改良、戦車の開発など、技術の戦争であったが、短期決戦が当初の目的だったせいもあり、国家による大規模技術開発は行われなかった。この先例を受けて第2次大戦も、短期電撃戦略のドイツは大学研究者を動員せず、大学は基本的には平常態勢を続けた。英国は若干の動員体制をとったが、画期的だったのは、空襲下の英国から中立国米国への科学者の疎開と頭脳輸入も兼ねた、原爆プロジェクトであった。これにより米国は、その数年前から獲得したユダヤ人学者に加えて、英国科学者の頭脳を獲得した。しかし画期的新兵器である原爆を除けば、米国の新兵器は軍の委託を受けた企業の開発という平常態勢で開発されている。

原爆プロジェクトも大戦中の一時的なもので終わり、平常態勢に戻った。原爆は第2次大戦の勝敗を決した訳ではないが、戦後体制を米国に有利に設計する上で決定的に重要であった。日本でも日中戦争時に広大な中国を高度



兵器により支配する高度国防国家論が参謀本部により提唱されたが、米国ランド研究所のドラッカーらは欧州およびアジアの強国が破壊され疲弊した後の米国独占状態を高度技術による兵器と産業力で維持する、技術開発が国際情勢を決定するという思想を抱いた。これにより、ソ連が追いつくと再び引き離す技術開発競争を続けたが、ソ連がミサイル・人工衛星で米国を凌駕し、米国を即時破壊できる軍事技術力を持つに至って、ケネディは憲法の制約を無視して、連邦政府による宇宙開発という大規模国家プロジェクトを起こすことになる。社会主義下での開発の速度に追いつくため、平時の資本主義下での国家プロジェクトという手段を採用するに当たって、米国はプロジェクト管理手法やシステム分析などの名で呼ばれる科学的な管理手法を開発・利用した。その一つがデルファイ法による技術予測である。

### 3 デルファイ法

#### 3.1 デルファイ法の手順

デルファイ法は専門家の予測を調査して総括するもので、エキスパート・サーベイの一種であり、一般人の中から回答者を選ぶ通常の世論調査（シベリアン・サーベイ）と全く異なる。前者はランダムでなく最も適切な専門家を慎重に選んで回答してもらう方法である。後者の場合は、現代の統計学の方法でランダムに回答者を選ぶことが可能であり、実際に新聞社などはそうしている。前者ではそもそも選択さえ不可能な場合が多い。専門家の数が少なければ、多数の母集団から標本を選ぶことは不可能で、全数調査（センサス）になる。全選択はランダムでない。

現代統計学的ランダムに回答者を選ぶ後者のタイプの調査に慣れている、現代の分析的方法支持者にとって、前者の方法は非科学的方法に思えるのは自然である。デルファイ法に対する批判の根拠はここにあるので、デルファイ法におけるエキスパート・サーベイの特性と現代統計学的ランダムネスとに比較考察を加える。

### 3.2 母集団・標本構造とエキスパート・サーベイ

#### 3.2.1 自然乱数の評価

規則性が全くないランダムネスの定義、または理想的な乱数の基準は、統計学においても確立されていないのが現状であり、この状態は永遠に続くと言っている統計学者が多い。すなわち、この定義や基準は、人間の分析的知識を越えているとも考えられている。統計学で実際に用いられる乱数は、計算機（昔は人間の手計算）で作られた人工乱数で、普通の人間では規則性が不明という意味で乱数と言えるが、疑似乱数とも呼ばれ、真に理想的な乱数とは思われていない。理想的でしかも現実存在すると多くの統計学者が考えている乱数は自然乱数である。

宇宙線が単位時間に飛来する回数や、その間隔などの物理現象はランダムと考えられ、統計学でも自然乱数と呼ばれる。宇宙線を発生させるメカニズムは規則性を持つと考えられるし、発生源となる天体の分布に偏りがあるとも考えられるが、それにもかかわらず、これらをほぼ完全な乱数と考えるのは、一つには、これらを検定してみると乱数の基準にほとんど合致していることによるが、完全な定義や基準はないと言いながら、これらをほぼ完全に基準に合致した乱数と考えるもう一つの理由は、これらが意志を持たない物理現象で、権力や金に動かされず、利害中立だからであろう。

籤をメジロなど動物がひく場合や人間が箱の中からひく場合、習性による自然法則的偏りがあり（例えば明るい場所にある籤を選ぶ動物や、人間でも右利きか左利きかで引き方が若干異なる）、統計学的方法による乱数検定では、必ずしもランダムとは言えない可能性がある。実際、鳥はかなり高度な意志による好みで引いているとも考えられるが、人間利害を意識した意志の介入がない不作為的であるという点において、公正、公平な選択をしていると考えられる。

利害関係のない無邪気な子供の目を塞いで最も情報量の多い視覚を奪い、さらに回転させて方向感覚を失わせた後に、何かをつかませて選択するのが、

村の政策決定方法として利用されていた。これも自然科学的規則性による偏りがあると思われるが、神の授かり物である子供は神に近いという信仰の他に、子供の選択は利害中立的であることも重要な理由と推測される。重心が高く不安定な2本足人形が乱歩（ランダム・ウォーク）した結果の位置や方角や、その倒れた方角や位置も、統計学ではランダムと考えられているが、占いとしても古くから利用されている。重心が高く不安定な重い神輿は、担ぎ手にとって制御困難で乱歩すると考えられ、それがあつた人物の屋敷に乱入したのは、神がその人物を糾弾したとも考えられたが、担ぎ手が人間なので、必ずしも神の意志とは解釈されない場合もあつた。

### 3.2.2 ランダムネスと不偏公平性

電話による簡単な世論調査や市場調査で、電話番号末尾が例えば5の番号を選んで電話をかける方法が採られることが多い。5を選ぶのも必ずしも乱数を用いていない場合も多いし、かりに乱数で5を選んだとしても、規則的に等間隔で並んだ番号を選んでいるので、番号の選び方としてはランダムではない。しかし政治意見や商品への関心は電話番号と無関係と考えられるので、多様な意見の持主をランダムに選ぶという目的には合致すると考えられ、簡単であるので多用されている。ただし番号末尾1は会社や商店が多いので、職業的に偏りがあり、これが政治意見や商品への関心に影響している可能性がある。また地方都市町村で電話番号が若く、0007など1桁の場合は初期に電話を設置した旧家が多いので、これも政治や経済に無関係とは考えがたい。また、電話局番は地域に対応しており、例えば東京都区内で局番が200番台（3233など）であれば都心に限定されるので、調査目的によっては偏りがあることになる。しかし、上述の末尾番号5などは政治や経済に無関係と考えられ、それによる調査は不偏と考えられる。

上述のように、古代や中世の日本で子供の意志は神の意志として、重要な決定を子供の選択に委ねることがあつた。子供が神の意志を表すと考えたの

は、特定の思想によるという意味で偏っているが、村内の利害に無心という意味で公平である。お神籤を小鳥に引かせるのも同じである。鹿（春日大社）や猿（日枝神社）と同じく、鳥も天なる神の使者と考える思想があったが（古事記、日本書紀）、その無心である点が意思決定者の条件に適合していたと思われる。小鳥も意志を持っているし、意志が弱いとすれば逆に生物的自然法則という規則性に従って行動していると考えられるが、子供や動物は決定しようとしている問題について中立的であり、したがって公平・公正な選択をするという意味で、その結果は信頼された。

### 3.2.3 意思決定システムにおけるランダムネス

ランダムという言葉は、今日では数理統計学の教科書で用いられる意味（統計学的ランダムネス）のみが、統計学者や統計ユーザーの間で唯一の意味と考えられている。政治的意味を持つ社会科教科書論争とは少し別の意味で、ある教科の教科書は専門分野の隠語に偏向した用語法を用いた偏向教科書と見られる場合が多い。英語のランダムに対応するドイツ語は恣意的または任意を意味する *willkürlich* で、意志 *will* を含む概念である。しかし、これは自由な個人的意志による好みを意味しない。幾何学や解析学における日本語の普通の数学教科書でも、証明において「任意の点をとって」という表現が用いられる場合が多い。好きに選んでよいならば頂点や中心点を選んでもよさそうだが、その証明説明図を見ると、目隠しをして選んだような点が選ばれている。「任意の点をとって」という表現は、実際には「目隠しをして選んだどんな点 *any point* についても」という意味であって、学生の自由な個人的意志による好みは否定されている。これと同じく、ランダムという言葉は、古くは政治において、民衆にとっては権力者によって専制的になされた恣意という意味を持つ。民衆から見て、権力者が任意に決定したという意味である。しかし専制国家においても権力者にとって決定の自由度は低く、宗教的・教義的・道徳的規範の中で、前例や環境条件に制約されながら、実現可能性を

考慮して決定するのが普通であり、しかも、何らかの意味で民意も考慮しながら合議制で意思決定するのが普通である。重要な問題については決定に権威を持たせる目的も兼ねて、サイコロや神託に委ねる場合が多い。権力者も含めて個人の自由な意志を越えた、天の意志、地の意志、民の意志が、意思決定におけるランダムネスであると理解される。警察による任意同行、任意取調べも、拒否すれば逮捕、強制捜査という制約の下での任意な選択である。

黄河からランダムに引き上げた亀の甲羅を、さらに焼くことによって二重にランダム化し、その紋様を専門的訓練を積んだ占い師が解読する、3千年以上前の中国における意思決定手法はよく知られている。最初のランダムネスは、亀を捕らえる漁師の任意である。しかし漁師は、その亀の甲羅がどの意思決定に用いられるか、あるいは、その亀が何に使われるのか（食用か愛玩用か）さえ知らないから、彼の意志は、お神籤をひくメジロの意志と同じく、政策決定に中立である。意思決定者にとって、どのような亀の甲羅が選ばれるかは、メジロがひくお神籤と同じく、制御不能、予測不能である。あるいは、その漁師の意志の影響を避ける目的で、亀の甲羅を多数集め、その中から目隠しして選んたらしい。ただしこれは、後年黄河における亀の数が減少して、急ぎの意思決定に間に合わせる目的で、予め甲羅を準備しておくのが起源とも考えられる。しかし歴史学者はランダムネスに無関心なので、亀甲の選択法の実態は研究されていない。

亀の甲羅の紋様のランダムネスの欠点として、多数の亀の中から亀を選んで捕らえるとき、または予め在庫してある甲羅から一つを選ぶときに、意図的に特定の紋様を持ったものを選ぶ可能性が排除しがたいことである。この欠点は甲羅を焼くことによって大幅に解消される。人間の所作とはいえ焼いた後、どのような紋様になるかは、サイコロ投げと同じく、予測・制御困難である。さらに、その紋様を専門的訓練を積んだ占い師が解読することにより、政策決定者の制御が困難になる。ある紋様をどう解釈するかは、専門的論理に従っており、かりに占い師が利害関係を持っているにしても、彼の自

由度は大幅に制限される。その点で彼の判断は中立的であり、学識経験者として公平であると考えられ、尊重に値すると考えられてきたと思われる。

#### 3.2.4 専門家判断の中立性

亀の甲より年の功と言われるが、ランダムで公平な選択より経験者による熟慮の結果の方が有効であるという意味である。しかし亀甲による占い判断と、年功ある経験者の判断とは必ずしも対立するものではなく、むしろ古代においては一致もしていた。昔のまつりごとは日食や洪水など、いわばランダムな自然現象や、無意識状態でランダムに発せられる神託を、専門的宗教訓練を積んだ神官が解釈技術を駆使して解釈し意思決定者に伝えるシステムで、解釈技術を持つ神官僧侶は専門家として高い地位を与えられていた。この解釈は、多様な可能的解釈を書いた紙を箱に入れて籤引き的ランダムで選んで選択した解釈でなく、専門的訓練を積んだエキスパートによる技術で、最高裁判決が法律専門家による唯一の最終判断であり、科学技術者による判断が航空事故の原因追及において唯一の最終判断であるのと同じく、唯一の解釈として採択されたものである。専門家の判断は、その専門領域では一応確立された根拠に基づくので、統計学的にはランダムと正反対である。実際、専門家の判断は、一般人とは異なる方法を用いて異なる見解を述べることを特色とするという意味で、一般人から見て非常に偏っており、しかもバラツキも少なく、一般人の利害と対立する場合も多く、一般人には専門馬鹿に見え、受け入れがたい場合も多い。しかし専門家の判断は、その専門性のために尊重される。それはただ正確性の理由だけではない。

専門家は専門家集団（学会、流派、法曹界、医師会など）を形成し、その中で地位を築くので、専門家相互の評価・評判が最大の関心事であるから、その外の世界の利害に動かされることは避けようとする。例えば患者が死ねば医者の評判に響くから、医者は敵であっても助ける。敵を殺す利点より、医者という高い地位を損なう不利を避ける力が働く。したがって医者や法律

家など専門家の判断は、中立という意味で裁判において基準になる。政策決定において、地位が保証されていた専門占い師の神懸かり的専門的判断が、権力者におもねることの少ないという理由もあって重視されていたのと同じように、科学技術者や経済学者など専門家の判断が権力から一応中立という意味で公平な判断として尊重されていると理解される。

デルファイ法は上述のように、最も適切な専門家を慎重に選んで回答してもらう方法であり、一般人の中から回答者を選ぶ通常の世論調査（シビリアン・サーベイ）と異なり、今日の統計学の方法でランダムに回答者を選ぶことが不可能であるばかりか、そもそもランダム選択が無意味な場合が多い。専門家の数が少なければ、多数の母集団から標本を選ぶことは無意味で、少数者の全数調査（センサス）になる。これは、もちろんランダムでない。それでも専門家の判断が社会的に尊重される一つの理由は、権力から一応中立的であることによる。

### 3.3 デルファイ法の解釈と利用技術

技術予測はいわば夢を語ることであるが、古代の意思決定において夢から政策を策定する段階には、夢を解釈する専門的訓練を積んだ夢解き師が重要な役割を果たしていた。デルファイ神殿における予言は、儀式によって神が乗り移った巫女が神懸かり境地の中で述べた神託を、専門的宗教訓練を積んだ神官が解釈して、依頼者である意思決定者に伝えるシステムであった。誰もが夢を見、自分流に解釈しているからこそ、専門夢解き師が重視され、誰もがよく知っており、不自由なく使っている国語だからこそ、専門家を集めて国語研究所を設置する必要があるように、技術者なら誰でも技術の将来について考えているからこそ、技術の将来に関する専門技術が必要になるとも考えられる。デルファイ法は誰でもすぐ理解できる簡単な構造であるため、あらためて研究する必要が認識されず、すぐそのまま利用されるだけであった。しかし、誰でもすぐ理解できる簡単な構造であるからこそ奥が深く、研

究が必要だとも考えられる。構造がすぐ理解できる理由の一つは、世論調査など類似のものに慣れているからである。しかしデルファイ法と世論調査は、表面的類似性からの単純なアナロジーでは理解できない相違がある。両者の注意深い比較研究が必要である。

#### 4 デルファイ法の構造と合意形成型意思決定システム

##### 4. 1 日本版デルファイ法の特徴

デルファイ法は上述のように技術の実現時期に関する質問に回答者が回答するシステムである。米国のように、受験地獄に伴う高校時代における文理の分離がなく、技術と社会の双方に関心を持って育つ人がおり、他方、専門家を重視する国では、技術予測の専門家が存在し、それが回答者になる。日本では高校時代に文理を分離して、そして大学以後は機械とか電気の直接生産的仕事に集中的に特化する国では、技術と社会の双方に関心を持つことを必要とする技術予測の専門家が不在である。技術者の多くは、技術が社会的産物であるとの意識がなく、全く個人的研究の産物と信じていたので、そもそも予測の対象になりうるとさえ思っていなかった。技術革新に関心を持つ社会学者も、発明の企業化のみが社会的要因で決定されると信じていたので、発明や開発などの技術的成功そのものは、そもそも予測の対象になりうるとさえ思っていなかった。したがって回答者に誰を選ぶかを考える必要が生じた。科学技術庁は1971年の第1回デルファイ調査において、産または官または学の科学技術界の指導的地位にある、いわゆる権威ある重要人物を回答者に選んだが、これは無難な選択を好む官庁として、至極当然の合理的行動であった。その後も、技術予測の専門家を育てることなく、毎回同じようにして回答者を選んでいる。

米国でも技術予測の専門家は少数だから、米国のデルファイ調査の回答者も数人から十数人が普通である。それに対し、日本の科学技術庁によるデルファイ調査は、各部門とも百人前後、全体としては数百人に及ぶ。ある人物



を選ばなかった失礼を避けるためでもあり、また、技術が細分化している状態で技術の広い分野をカバーするためには、大人数が必要だからである。それは学会会長・副会長、大学学部長、産官の研究所長、企業の研究担当重役、官公庁の科学技術担当官など、技術開発の政策・戦略決定に直接関与する人物や、これに影響力を持ち、政府の関連審議会にも参加している主要新聞社の科学技術担当論説委員などである。この選択は、中間指導層全員が参加して合意形成を図る意思決定システムを、半ば意識的に、半ば無意識的に、反映していた。

要約すると、少数の技術予測専門家を回答者を選ぶ米国のデルファイ調査に比べ、日本の科学技術庁のデルファイ調査は、産官学の科学技術界の権威ある指導的地位にある多数の重要人物を回答者を選んでのことである。すなわち日本では、科学技術開発の意思決定者が網羅的に回答者に選ばれており、その多数は各機関ではトップだが国レベルではミドルクラスである。

#### 4. 2 専門家の育成

昔の工業学校や専門学校が養成した職人タイプの専門家の他に、旧制高校や新制教養課程で広い視野を育てられた専門家という概念がある。西洋で高度に専門化した知識の吸収に忙しい明治時代だったからこそ、文理双方に通じた鷗外のような自由な文化人が、規律を重視する軍組織の中で専門家として最高位に昇進して、日本の進路を決定する上で重要な役割を果たした。

それに対し、80年代には欧米から学ぶものはないと公言するほど先進文化の吸収を一応終えて、余裕が出たはずの今日、教養・学際人と専門家が分離している。専門分化が進行する中で機械や電気の生産に埋没する専門家が増大し、技術と社会の双方に通じる教養・学際人は消滅した。生産に専念する日本では、研究開発の方向づけは米国から与えられるので、研究開発戦略を専門とする人材は必要なかった。明治初期に学部別に分割された大学は、学部別に分離された学問の系譜を継承する徒弟教育に専念し、学際的人材を

大学の学問秩序を乱す危険人物として排除してきた。

歴史的に学問は宗教と一体化して成立し、教会・寺院が学問の府であったから、1人の教祖に奉仕するのが学問であり、学際は裏切である。しかし必要は発明の母で、日本が自ら進路を決めなければならなかった昭和初期には、弾道学者で陶芸の教養人でもあった子爵大河内正敏が理研所長として研究開発の戦略を確立している。

戦後米国の核科学技術の傘の下にあった日本が、急に自立の必要に迫られた60年代後半に、望ましい人間像を持った技術者は育っていなかった。この時点でデルファイ回答者に適合する技術予測の専門家が不在で、各機関で指導的地位にある国レベルの中間指導層を回答者に選んだのは必然であった。彼らは機械や電気の専門家であり、学会や産または官または学の組織での科学技術経営の熟練経験者であった。その後30年、同じような回答者が選ばれ続けた。

#### 4. 3 権威の直系継承

万世一系 lineage の思想はどここの国にもあるが、有史以前の神話時代から続く最古の王制を持つ日本では、直系尊重の思想がとくに強い。藤原は元来天皇の血統ではないが、政略結婚により天皇の祖父の地位を占め、平家は桓武天皇の血統と天皇の祖父としての地位により権威を持った。源氏は清和天皇の血統で、一族抗争で絶えた後は平家の血統の北条が実権を握り、それを源氏系の新田と足利が倒した。戦国期に関東を支配した早川は平家の筋で北条を名乗り、信長は平家末孫と称して足利を倒す資格を主張、徳川は新田末孫と称して足利に代わり幕府を開く資格を主張、明との外交文書には徳川でなく源の名を用いている。その徳川を倒す中心は、頼朝の庶子の末孫である島津であった。直系が絶えて甥などを後継者に選ぶときも、養子の形式で直系にした。夭折が多い時代で、直系の若い後継者が死に瀕したとき、叔父を後継者にする場合があったが、年長の叔父が養子に入った。すなわち弟が養孫

になる訳である。集団指導の現代企業でも、退任する社長が次期社長を指名する形をとる例が多い。

政治的には徳川が一扫され、律令制が復古し太政大臣などの官制が復古したのに対応して、律令の学令による東大が設立されたとき、幕府の洋学校の学者が東大に結集した。以来、東大の人事は純血主義を守った。洋学を吸収することを目的に設立された東大は、その吸収に当たって体系を重視したが、とくに学問の系譜という先人からの継承関係を重視する学説史を中心とした。教授が退任するとき、弟子の中から後継教授を指名するのが通例である。日本社会は縦社会であると主張したのは、アカデミーの世界で育った中根氏であった。地震学の大森助教授が恩師である教授の学説を批判して話題になったが、学問的には当然のことが大学では異常な事件であった（批判された教授は退任の際、弟子の大森を後任に指名した）。天皇機関説の美濃部教授が辞した後を継いだ宮沢教授は、自信がないまま天皇機関説を継いだが、学生からの批判意見に悩んで辞職を同僚に漏らしている。特定大学に無関係なはずの学会でも、設立当初は唯一の大学だった東大は、福沢の塾や大隈の専門学校を抑えて学会の主導権を握り、以後、系譜を重視する東大アカデミズムが国内学会を支配した。

日本の学問水準が少し向上し、国際的活動を開始すると、国際評価が国内にも影響するようになり、理化学研究所や京大の発言力が増大したが、それがまた直系主義となり、素粒子論が日本の学問の中心となり、半導体・物性論・物質科学はアカデミーの外で、必要に迫られた産業界が担当することになった。

学問人口の少ない日本で、多様化より集中主義を採用するのは合理的であるが、どこに集中するかの進路決定は未来に大きく影響する。日本では学問中心地である欧米に留学した学者が中心になり、留学時代に欧米で中心だった分野を後れて日本に移植する追随型システムが採用され、欧米で成功したテーマを細部まで完成させる完璧主義が日本の学問の特色となった。教育機

関である大学は、基礎科目の中核部分（例えば戦前の物理では古典物理）に人材を集中させていた。大学外の機関で、日本独自の発想により成功した中間子論でさえ、最初の成功に固執して次の発展に結びつけることができなかった。江戸時代の親方・徒弟制度で技術を継承し、完成させる際に重要である「こだわり」という概念が、今も価値あるものとされることに象徴されるように、科学技術者の養成システムは閉鎖的・純粹培養型である。

#### 4. 4 内生的専門家自治

日本では産官学いずれの組織でも、若いときに組織に参加し、その組織の慣習文化について熟練経験を積んだ者が、その組織内で階段を順次昇って、最後に指導的地位に就任する。大学ではこの閉鎖的専門自治が学問の自由の砦という進歩的意味を持つと、東京裁判が公認した。終身雇用の企業における研究開発担当重役は、内部昇進による熟練経験技術者が多い。技術界でも、封建社会の親方制度の伝統と、近代的企業における終身雇用下の実績主義と、近代的大学における専門自治の延長として、年功序列を伴う熟練経験者優遇制度により、実績ある技術者が研究所長などの指導的地位に就いた。新聞社でも、社会部などで地方記者から始まり、底辺の世情に接し、夜駈け朝討ち一夜待ちの取材活動を長年経験してから、論説委員になる。科学技術担当論説委員も例外でない。日本における専門家養成は組織内養成で、機械や電気のように学部学科組織内部で専門家が養成されるから、技術予測のように学科がない場合は専門家は育たないシステムになっていた。

若いうちに戦略策定の参謀を養成した軍とは異なり、日本では普通、現場を長年経験した熟練者が指導的地位に就いてはじめて戦略策定に当たる。戦略策定の専門訓練を受けたことなく、組織運営の熟練者が、組織運営の多様な仕事の一部として、戦略策定にも当たる。欧米列強に包囲されて大胆な自立の道を探った昭和前半と違い、戦後は米国に追随するという戦略を選択の余地なく採用していたから、それ以外の戦略は必要でなかった。鎖国という

基本戦略の下で、外交戦略策定という作業はなく、国際問題専門家は不要だった江戸時代と同じく、経営戦略策定能力より、長年の現場経験を尊重する年功序列昇進者による経営は、当然だった。とくに技術界では、大学や医学界と同じく、機械や電気など専門分野で成功した者が、その功績により管理者になる。その際、とくに経営の専門訓練は受けない。昔は音楽学校に指揮科はなく、名演奏者が年を経て指揮者になるのが当然であった。名選手が引退後その功績により監督になる時代ではなくなった今も、特別の監督養成訓練というシステムは野球界にない。経営手腕という言葉に表現されるように、経営は頭でなく、下から順次昇進する過程で上役の芸を盗んで、体で覚えるものである。

しかし個人の経験だけでは偏りが出る。それを補うのが合議制である。トップが世襲の場合、3代目以降はトップが必ずしも優秀とは限らないし、戦死を含めて短命が多かった昔は幼少でトップに就くことが多かったから、輔弼者が必要になる。近親者が摂政の座に就く場合を除いて、輔弼者は複数で合議制になる。天皇や藩主や、財閥系企業など世襲制が主流だった日本で、合議制が普及した。薩長出身の維新の元勳を将とする軍では、藩閥と無関係に有能な若手を参謀として、その合議に強い実質権限を与えた。3人寄れば文殊の知恵と言うが、日本ではデイクターシップ *dictatorship* を独裁と訳したので、戦後は多数による合議制が民主主義と認められた。日米のスポーツ文化の相違として、柔剣道は一人でやるから独裁的、野球は9人でやるから民主的という解釈が戦後なされた。ボトムではないが、ミドルの合議に強い発言力を持たせるのが良いシステムと考えられた。ミドル出身者が下からの大衆の力で選挙に勝ち、政権を握ったファシズムを経験しなかった日本では、トップ独裁が悪で、多数のミドルによる合議制が善である。

このような意思決定システムにとって、上記のデルファイ回答者の選択は、きわめて適切だった。彼らは、所属組織内ではトップであるが、国レベルではミドルであり、それらが多数で合議するのは、理想的システムであった。

彼らは所属組織内で下から昇進する過程で個人的角が取れて合議に協力的な組織人に育っており、機械や電気など自己の専門分野に関しては固執するが、全体的経営に関しては自分の見解をもっていないから、極端な意見を吐いたり、それに固執することはない。経営に関する広い知識はないが、長年の組織人として妥協する広い心を持っており、合議に適している。

#### 4.5 意思決定空間の構造

技術界の指導者は、経営管理の専門訓練を受けていないので、技術の専門家としての発想法で、経営管理に当たる。したがって、社会科学系出身者のように金銭や政治のタームで発想するより、フィジカルな次元で発想する。デルファイ法が実現時期という時間軸で回答するシステムは、時間を独立パラメーターとして横軸にとるグラフ表現を多用する科学技術者にとって、受容しやすかった。カント認識論も含めて、時間は最も根源的で自然な発想の次元であった。産官学いずれの研究開発組織でも、管理者は不得手の予算管理に悩まされていたから、金の軸から時間軸での発想の転換は受容された。高度成長は予算制約を緩和し、進学率向上・工学部大增設は人員制約を緩和していたので、時間だけが主要な稀少資源であった。その状況下で、時間に関してなされるデルファイ予測は、経営的に合理的だった。

多くの調査では実現時期は年が単位であるから、自然数である。自然数はその名の通り、自然な発想で得られる概念である。20世紀の数理哲学では論理的数論の影響を受けて、自然数は再帰的に生成されると見る学派が有力だが、認識論的には自然数を根源的概念と見る立場が普通である。デルファイ法の質問設計者は数十年以内に実現すると感じている課題を選ぶのが普通であり、米国のデルファイ法のように設計者も回答者も同じく技術予測専門家の場合は考えが似ているから、多くの回答者も数十年の範囲で予測することになる。しかもそれを5年単位で予測する方式が普通だから、数個の選択肢の中から選ぶことになる。これは正に自然数である。数の定義として

は、直感的には把握できない大きい数（例えば2970493）も自然数であるが、認識論的には10以下の自然数が自然的に認識されると見られている。デルファイ回答は、直感的に把握される物理的時間の軸上で、直感的に把握される狭義の自然数を選択する行為である。

技術管理者は1960年頃から、上述したPERTのようなプロジェクト時間管理・納期管理には馴染んでいたから、プロジェクト開発型技術の完成時期を、米ソ競争などのトップ政策的配慮から与えられるより、技術の観点から予測することは、専門家自治として望ましいことであった。地道に汗をかくことを教育されてきた技術者もSFを読む時代になっていたから、時間軸の上で未来を夢見することは、禁じられていない遊びとして、楽しむこともあった。科学技術庁も、デルファイ回答者にSF作家を含めていた。技術政策が技術者により時間軸の上で策定されることは、技術者の専門家自治の勝利とも言える。

デルファイ技術予測をはじめて日本に導入した白根礼吉氏は、戦後の技術者運動に関心を持っており、(社)技術と経済の会を設立したのも、このような個人的動機を持っていたから、技術開発目標を政治家や経済官僚・経営者でなく、技術者自身の本格的参加によって策定することに、関心を持っていたと推測される。

#### 4.6 技術者パーリアメント

デルファイ法の手順は世論調査に似ているから、世論調査に関する社会心理学的な方法（例えば多変量解析）を用いて、技術指導者の考えを探ることは有効である。実際、第1回デルファイ調査の直後、多変量解析手法の一種であるクラスター分析を用いて、回答者の分野別特徴づけによる技術者専門職業心理の分析も行われている[江藤1972]。しかし、この分析が指摘しているように、世論調査は母集団からランダムに選ばれた標本に関する調査であり、日本のデルファイ法は技術界の全指導者を結集した全数調査に近い。したが

って、母集団・標本の枠組で分析する通常の統計分析手法は使うべきでなく、この枠組を前提しないクラスター分析やベクトル相関など特別の手法のみが許される[江藤1973; Eto 1984 B]。標本調査は直接意思決定に用いられない。一方、全数調査は国会や裁判所など、最終的な意思決定機関で利用される。技術界の全指導者を結集した日本のデルファイ調査は、選挙制ではないが、技術者のパーリアメントとすることができる。

戦後の科学技術者運動の中で、産業界や高校教員など在野研究者も包含する広義の科学技術者によって互選される学術会議が科学者のパーリアメントとして設置されたが、基礎研究を重視する学術会議と、産業技術を重視する政府とが、限られた予算を巡って対立し、政府は数人の科学技術指導者を任命して科学技術会議を設置し、後者を重用した。大学組織を母胎にし多数の大学人を中心とする前者には産業界の研究開発者が少なく、少数の政府系人材による後者には国レベルから見ればミドルの現場科学技術指導者が排除されていた。すなわち両機関とも、高度成長期の研究開発を支えた産業界の研究開発管理の直接担当者を代表していなかった。一方、彼らを多数包含したのがデルファイ調査であった。すなわち、東西対立、保革対立、与野党対立の代理戦争である、学術会議と科学技術会議の対立の間で、いわば第3勢力の役をデルファイ調査は果たしたと言える。

デルファイ調査表は各組織に分散している各技術者に送られるので、各自が独立に回答する。これは、中根氏が見た大学や学会の縦社会より、独身寮などで培われた同期の結束という横型の企業社会構造に類似している。事務系を中心とする経営者には経団連のように組織別に参加したり、同友会のように個人として加盟する有力な組織があったが、技術管理者にはそのような組織は当時なかったし、今日でも有力な組織はない。学会では企業や官界の管理者は少数で、そのための分科会もない場合が多いから、デルファイ法は各組織に分散している技術管理者の意見を集約する唯一の機会とも言える。質問事項は長期国家レベルであるので、短期には個別企業の利害と関係ない



から、学界の直系縦構造からも、個別企業からも一応独立した回答が得られる。専門分野や職業分野の偏りは残るが、これに関しては、母集団・標本構造を前提しないクラスター分析やベクトル相関を用いた分析が提出されている[江藤 1973 ; Eto 1984 B]。

#### 4.7 デルファイ予測の的中度

簡単な手順で行われるデルファイ調査の結果が、宇宙開発において实际的な中した。10年後に人間を月に送ることができるとデルファイ法で1960年に予測し、69年に実現した。これ以外にも的中した例が多い。その理由として、専門家の直感力の優秀性の他に、デルファイ調査結果が意思決定者によって正式に採用され政策として実行された場合には、実現するケースが多いという因果関係が考えられる。上述の月面到着の予測も、これがケネディによって国家プロジェクトに採用されなかったなら、実現しなかったはずである。いったん採用され、10年という納期が決定されれば、担当者はその実現の強い圧力を受ける。外挿法の的中性として上述したように、外挿法であれデルファイ法であれ、結果を予測された仕事を担当した者は、納期を指定された工事の受注者と同じく、強い圧力の下、実現に全力を傾ける。その努力の結果、納期が厳守され、プロジェクトが完成する。予測が的中すると言うより、採用された場合は的中させると解釈される。

以上は米国のデルファイ法の場合であるが、多数の研究開発管理の直接担当者を包含する日本のデルファイの的中性の場合には、さらに要因がある。議長選挙に先だつ委員の意見調査は、議長選挙のシミュレーションと言えるが、その結果は正式の議長選挙と一致するケースが多い。日本のデルファイ調査結果は、現場の研究管理者の意見を集約しており、彼らは技術開発全体、国家プロジェクト全体を判断できないが、その構成要素技術には精通している。多数の研究開発管理の直接担当者を包含するデルファイ調査の結果は、大規模技術を構成する要素技術に関するローカルな予測を反映している。すなわ

ち、もし大規模技術開発がゴーになると、回答者が精通し責任を負っている分野については、その分野の専門家として、かなりの確信を持って実現を約束できる。このよな各要素技術の予測の集成がデルファイ調査結果と言える。すなわち、大規模技術開発がゴーになった場合のシミュレーションをしていると言える[江藤 1980 B]。簡単な手順によるデルファイ調査結果が、意外に的中するのは、デルファイ調査をこのような技術者意思決定シミュレーションと解釈すれば、理解できる。

## 5 現在の課題

### 5.1 予測概念の確立

日食のように反復される自然現象に関しては、狭義の予測と言える予言 prediction が成立する。これを一般化して、自然科学 Naturwissenschaftの目的・機能は予言にあり、それに対し個別的現象を扱う文科系の学問を文化科学 Kulturwissenschaftと呼んで、その目的・機能は個別現象の理解・解釈であるという見解がある [Rickert 1899]。

自然現象は水の流れのように反復しない場合もあるから、全てに法則性が確立されているわけではないが、実験室の中や工学に应用するときは、流体工学などを除けば、人工的に同じ条件を設定すれば同じ結果が得られる場合が多いという意味では、法則性がある反復現象である。実験科学や工学では、反復性と言わずに再現性 reproducibility すなわち再生産性と言うが、この語には人工的生産可能性という響きがある。ある意味では自然法則も変化しているとも考えられるが、その変化速度が人間尺度では遅い場合が多いので、大域的には複雑に変動しているものを局地的には一定または線型関数近似で表現するように、法則を不変と考えたり、法則の変化がまた簡単な法則に従うと考えることができ、したがって予言可能と考えることができる。その意味では、自然科学の一つの特徴づけとして予言性を挙げることは有効である。しかし利害関心が深い問題については、精密な予言が要求されるので、安全

性に配慮して設計し、厳重な試験を経て実用化された工学的製品にも予想外の事故が起こり、天気予報や地震予知が外れると、非難を受けることになる。同一の天気図が反復すれば同一の天気の実現すると思われるが、社会的に要求される精度で同一と判断できるほど同一の天気図が再現されないため、天気は個別的と考えられ、実際、天気は予報困難である。

社会現象でも利害関心の低い過去に関しては、歴史は反復すると言っても支障はないが、現代的問題に関しては社会的関心が深く、精密な議論が要求されるので、戦争や政権交代のように、マクロ的には反復していると言える問題についても、個別的考察が要求される。その意味では社会科学は個別現象を扱うという見解は有効である。個別現象には過去の例からの帰納法が適用できないから、法則性は基本的には否定され、予測は不可能である。もちろん定量的予測はできない。ただ過去の類似例からのアナロジーで、科学的客観性は欠くが、自分なりの理解はできる。自分が熟知している例と非常に異なっている他民族の風習についても、価値観抜きである解釈を加え理解することは一応可能で、これが文化人類学の方法論として19世紀から20世紀にかけて確立された。精神科医や犯罪心理学者も、自分ときわめて異なる他人を理解し、異常な事件を起こした心理過程を解釈する。官僚制のように歴史的に反復され、多数の国に存在している事象についても、官僚の行動が一般人と異なる理由を没価値的に理解する社会学的方法が確立されている。社会科学や歴史学にも一般法則を追及する方法論もある。ヘーゲル歴史学や、その影響を受けたマルクス経済学、それと競合する近代経済学などである。しかし伝統的には、文科系学問の対象は個別的で、法則性を求めて予言する方法論を採用しない場合が多い。

しかし自然科学でも対象を非反復事象として扱う分野がある。大気物理、例えば航空や気象に関して、社会的に要求される精度において同一の現象が反復するとは考えられないから、科学技術が発展した現在でも、航空事故の度に事後的に調査委員会が組織される現状は、人的ミスでない場合でも、航

空事故が個別事象扱いであることを示している。科学技術の発達が、精密性の要求水準の向上に追いつけないことも一理由である。また社会学において普遍的に見られる官僚制一般を対象にする場合にも、理解という方法論が採用されるように、普遍的反復的事象についても、物理学のようにwhyを犠牲にして精密にhowを記述するより、あいまいでもwhyの探求を理解することは有効である。逆に、要求される精度から見て個別現象である明日の雨や特定患者の生死に、反復現象にのみ有意な確率概念を適用することは、確率情報の利用法を知っていれば有効である。降水確率については、使用が長年にわたり毎日反復したことにより、すなわち確率情報への反応が反復したことにより、各人が自分流の利用法に習熟したのに対し、家族の重病については長年にわたり毎日反復し習熟することはないから、確率を聞かされても有効に活用できずに混乱する。

特定技術の実現は個別事象であるから、本来は文化科学的方法による理解・解釈の対象である。しかし、技術管理者が自然科学的訓練を受け、定量的情報を求める特性があるので、それに合致させる必要がある。気象学は応用大気物理学で、予報官はほとんど全員物理出身で物理学会に属しているが、物理学界には社会学や文化人類学などで確立されている理解・解釈の方法論が理解されていない。理由は問わずに（ニュートンは神の最初の一撃を原因とした）いかに天体が運行しているかだけを精密に記述し予言可能とした、ニュートン力学のような決定論的法則性を高校や教養課程で学び、人工的に同一条件に設定して同一現象を起こさせる実験や工学的生産を専門課程で学ぶ教育システムでは、文化科学的方法を非科学的ととして無視軽蔑する。さらには、解釈論的議論を禁止する教育が行われる。たしかに英語の授業中に日本語を禁止することは有効であるが、これは一時的訓練で、母国語あつての外国語であるとの認識は語学教師にもあるが、理工系教育では逆に非自然科学的思考を誤った思想として全面的に禁止する。文化人類学で他民族の風習の意味を価値判断抜きで理解するよう教育するが、他の学問分野の方法の

意味を理解する教育するシステムが理工系教育に欠けている現状では、個別技術の実現に関する予測という概念が、技術管理者に理解されないのは当然である。外挿法やデルファイ法のように定量化しただけでは、理科系の教育だけを受けた技術管理者が、日食の予言と同じ発想で技術予測に接するのを防止できない。

天気予報は、いかにhow 天気が変化するかを精密に予測したものと誤解して接すると、外れたとき苦情を言うだけになる。科学も誤りを犯すことが多いが、科学研究の結論だけを信じる者は、誤りと判明したとき科学不信を持つだけになるが、科学教育を受けて、科学的結論に至る過程を理解できる者は、どの部分で誤りを犯して全体の結論が誤ったかを検討して自ら修正することができる。天気予報の誤りの多くは、時間的空間的ずれで、雨雲が山脈に当たって予報より長時間停滞したり、山の北に回ったりするが多いが、どういふ場合に外れるかを登山家などが理解して予報を読むと、予報と異なる空を見上げて自ら修正できる。生命を賭けている登山家などが予報の解釈技術を身に付けているのに対し、多くの科学技術者が解釈技術を持たないのは、解釈という他文化を価値的に否定する排他主義的教育を理工系で施すからと考えられる。戦争の予測記事についても同じである。湾岸戦争前に米国元参謀総長などが、開始直後も現地の副司令官が、勝敗は不明と語ったが、多国籍軍の早期勝利で終わったので、これら見通しは誤っていたと一般人は判断した。しかし先に攻撃した側が初期段階では勝つ場合が多いという戦史を知っている者は、もしイラクが先に攻撃すれば初期段階ではイラクが勝ち、逆の場合は初期段階ではイラクの負けになるが、長期戦になれば不明という意味と理解し、多国籍軍が勝っていながら短期に作戦を終了した事実から、上記見通しが妥当と米政府が判断したと理解する。実際フセインとの長期政治戦争の勝敗は、まだ不明である。

戦争の予測は予測自身でなく、意思決定の材料を提供することが目的である。逆に言えば、意思決定者は予測という材料から政策という製品を作る技

術を知っている必要がある。敵情に関する情報は必要だが、それを利用して自らの態勢を整備することの重要性は、敵を知るより自分を知れとの格言に表現されている。医学は自然科学に属するが、病状進行の精密な予測より、対策に重点を置いており、ある程度の予測を基礎に施療し、その結果を評価して次の対策に関する意思決定をする。その点で技術予測は、日食などの古典物理より医学の方法論を参考にする必要がある。日食の予言は一般人民にとって神秘的であり、それが指導者の権威であった。予測について今なお、エジプトやペルシア時代の観念や、イザヤやモハメドなどの予言者が神の使者として、その言葉に一言一句違わず従わせたユダヤ教、キリスト教、イスラム教の観念のように、そのまま真理であるべきという観念が、キリスト教国でない日本でも技術者に強く残っているのは、神学者でもあったニュートンを尊しとする現在の科学価値観教育の偏向を反映していると解釈できる。

## 5.2 直感的認識の評価

直感的認識が分析的認識に劣るという、いわゆる科学的思想が強いことが、デルファイ法への疑問の根底にある。たしかに直感的認識が他の認識方法に優越すると主張した者の中には、近代科学思想と無縁な者が多い。直感によってアイデアを認識するというプラトンは、神々が身近かな存在として現れるギリシャ悲劇の作者を青年時に志望していたし、直感を最高の認識と見たスピノザは神秘主義者と見られていた。デカルトの神の存在証明は直感的明証性に基づいている。しかしデカルトの直感重視は、幾何学や代数における直感的認識の重要性に由来しており、彼が近代科学方法論の創始者と見られる理由である分析的思考の主張は、解析幾何学を介して、伝統的な直感幾何学の思想と関係している。厳密な証明を要求する20世紀数学も、直感的認識を基礎にしたボレル集合論やルベグ測度の概念から来ている。

最も分析的である計算機による機械的認識において、最初は極めて機械的形式的論理である記号論理が用いられたが、最近はエキスパートの経験的知

識を集積したシステムが用いられる。発見・発明には経験に基づく直感的発想が重要と考えられているように、他社の追随を許さない独創的経営にはブレイン・ストームやKJ法のような直感力を活用する手法が有効とされる。先例のない新技術開発の立案における、豊かな経験に基づく直感的発想の有効性について、研究が必要であろう。

### 5.3 技術予測的中度への社会的影響

デルファイ法の手法が簡単なことが、事前に多くの懐疑を生んだが、科技庁の第1回調査結果のかなり多くが的中しなかったことが、否定的評価を生んだ。科技庁の第1回調査は1971年に行われた。未来型の大規模技術開発に関する調査であるから、2年以内の実現すると予測されるものはなかった。その2年後、石油危機が襲った。大規模技術開発は多大の予算を必要とするから、高度成長期に技術者の苦手な予算制約を軽視して予測した技術課題は、不況の中で実現困難となった。また多くの技術が豊富なエネルギーを当然の前提としていたから、これも実現困難となった。成功すれば石油節約になる技術（例えば核融合）も、開発過程では大量のエネルギーを必要とするから、これも実現困難となった。石油危機は技術のニーズを激変させ、調査時点では些末と軽視された省エネ技術の方が高いニーズを持つことになった。各分野の技術的専門知識を活用する日本版デルファイ法は、それ故に技術者に一応受容されたが、社会的激変を無視していたため、激変が起こったとき、外れたのは当然である。

石油危機を克服した後も、技術の社会的意味を無視したために外れた、地震予知に代表される例もある。上述のように、地震予知は地球科学の長い時間単位の上で可能であっても、社会の短い時間単位に翻訳するのは困難である。病気の機序も、試験管内の細胞レベルで分かっても、人体レベルでは社会生活の影響が強く、人体レベルで統計的大勢は分かっても、肺ガンの征服と喫煙の関係のように、個体レベルでは医学的には制御不能な個人の喫煙趣

味や食生活などが影響する。肺ガンの征服は薬品より禁煙が、一般に成人病は生活習慣の変化が最大の解決と言われるが、それは新薬開発と違って技術外の問題である。高度成長期に比べ、石油危機のような技術以外の各分野の要因を総合する必要が強くなったのである。

技術予測の中に社会的要因が影響する他に、的中度の評価に社会的要因が作用すると思われる。経済予測が石油危機やバブルの後、全く誤ったにもかかわらず、経済企画庁、日銀、シンクタンクなどによる経済予測・景気観測は、マスコミに大きく報道され、一般の関心も高い。経済予測は需要側である一般社会に定着し、その利用・解釈技術も各機関・各人に一応保有されている上に、専門家も揃っているという供給側の態勢も安定している。この点が技術予測と経済予測で異なる評価がなされる理由と思われる。

#### 5. 4 意思決定システムの変化

日本版デルファイ法と適合していた日本式意思決定システムは残存しているが、かつてのような信頼を得ていない。勝てば官軍で、石油危機を乗り切り、バブルのお陰で世界を席卷した時代には、日本式意思決定システムは成功の秘訣とまで言われたが、その反動で日本式意思決定システムは不況の元凶とされ、第2の占領期と言われる米国型経営導入の90年代には、駆逐されかかっている。大学の学部別講座別専門自治は崩れ、文部省の強い指導による学部学科再編など大学改革が進行し、産業空洞化で技術者もリストラされる今日、技術者自治は消えた。通産省の指導で日本全体として一体になって米国に追随していた産業技術開発は、通産省の保護障壁の陰での自立の時代を過ぎて、各企業が個別に米企業と提携するシステムに変化した。通産省は米国の個々の企業と対等以上に交渉する能力があるが、日本の各企業は米企業と対等に提携する能力はなく、米企業の意思決定に左右される事実上の系列下に入った。日本の技術管理者が独自の意思決定能力を欠く現在、彼らを結集する日本版デルファイ法は、有意味でなくなった。



グローバル化により世界は国家的多様性を失い、米国以外の国には固有の科学技術政策は無意味になりつつある。国産技術という概念も無意味になりつつある。国産技術を代表する原発である文殊が事故を起こし、一国だけの技術開発では安全技術までは手が回らないことが示された。左利きのための工具がなく、左利き人間は右利き用の工具で我慢しなければならないように、日本の実状に合致した技術は単なるローカル技術として絶滅し、日本市場のニーズに必ずしも合致しない非適正技術に日本社会が合わせるグローバル化の時代に入った。各国の社会状況に技術が合わせる適正技術という概念と反対に、米国型の世界技術に社会を合わせる適正社会システムという概念が必要になっており、第2の占領期と呼ばれるほど米国経済・経営学の理論に基づく新社会システムの構築が主張される現在の経済・経営政策論争は、その先例として注目に値する。

#### 5.5 今後の技術予測・予見の課題

90年代に日本経済が、第2の占領期と呼ばれるほど自立性を失ったのと同時に、日本の技術者も自信を喪失し、独自のシナリオを書けなくなっている。脱工業で、研究開発のような雲の上を除いて、生産現場が国内から消え、一般社会人は科学技術に無関心となり、若い世代は理工系から離れた [ Kobayashi 1993 ]。それに伴い、社会政治勢力としての技術界の発言力が低下した。経済に関しては規制緩和と消費者の自己責任が主張され、経済音痴の人間は不利になる反面、工業には製品安全責任が要求され、フル・セーフすなわち技術音痴を保護する法的・官僚的規制が強化され、経済的自由と対照的に、技術は保護観察下に置かれることになった。このため技術予測は規制予測を含む必要が生じた。

地方財政が豊かになったバブル期に、地方自治体が企業集中による地域ハイテク [ Eto & Fujita 1989 ] を先導する地域研究開発戦略を樹立し [ Iwasawa, Fujita & Eto 1993 ]、財政赤字に悩む科技厅もこれを政策的に支援した。地

方自治体の政策立案者を回答者に含めていなかった従来のデルファイ調査方式は、さらなる拡大が必要になったが、その後、地方財政も赤字に転化した現在、技術予測は地方財政予測を含む必要が生じている。

高度成長を続けた東南アジアが米国金融産業に襲われて金融不況に陥いるなど、東南アジア・中国が列強の手に陥ちた阿片戦争以来の国難の中で、国防としての金融工学へ向かって生産技術や環境・安全技術分野から技術者が移動した。情報技術への重点化・集中化、生産技術分野のリストラの状況下で、生産・環境・安全技術分野の技術者に、農民と同じく未来が不透明になっている。農民に対しては、それでも酪農、果樹・花卉栽培、民宿経営などが農林省によって指導されたが、技術に関しては米国主導のグローバル情報通信分野における追随だけが叫ばれる現状では、技術者にとって日本の技術は不透明になり、制度的相違や言語障壁のある米国技術の発展過程も日本からは見えないので、体系的把握が困難になった。デルファイ予測が始まった1970年前後は、米国がベトナムで疲弊し、東風が西風を圧倒すると言われた頃で、自主・自立技術が見えていたのと対照的な状態である。

デルファイ予測以前の米国模倣時代は、各企業が独自に米国から技術導入するより、通産省や協力団体が仲介・指導する、間接支配の半独立・保護国状態だった。グローバル化により、通産省抜きで各企業が直接米国などの先進企業と直接提携する最近の状態は、旧植民地国である発展途上国の状態に近い。これら諸国では、植民地時代に育成された支配力により、旧宗主国企業が途上国企業と直接提携するのが普通である。質的には高度科学技術国であるが、圧倒的に強大な隣国や旧宗主国の影響下にあるカナダ、オーストラリアや欧州小国も同様である。グローバル化により日本は第2次占領時代に入り、日本の科学技術政策は、先進大国の下請け周辺国として系列下にある旧植民地発展途上国や先進小国の科学技術政策を参考にする必要が生じてきた。関係者は今も顔を先進大国に向けているが、語学・地理歴史教育、役所や企業からの留学先など、関心の方向を変える必要がある。

最近では技術予測は単純性を特徴とする外挿法やデルファイ法、また数理的発想による技巧的に複雑な数理工学的手法から脱却し、多面的学際的統合的な方法が要求されている。これに対応して、最近ではニーズ分析や技術評価 Technology Assessment [ Eto & Ishida 1978 ; Eto 2000] も含む技術予見 Technology Foresight という名前が使用され、すでに企業などで実用化されている [ Bürgel, Reger & Ackel-Zakour 2000]。これは宇宙開発や人工知能のように、以前から S F 的に考えられていた夢を国家ニーズに従って組み合わせ技術により実現し、軍や大企業や中核研究機関など大組織に供給することが科学技術戦略であった時代から、情報ネットワーク技術のように、軍内部、大中小企業内部や家庭における身の回りの需要により個別に開発されてきた技術が、広く社会的ニーズを喚起して自然発生的に社会システム技術に進化する時代への転換に適合している。

しかし、線型から非線型へなどの数理的に複雑な手法が現実問題を解決しないように、多面的発想を叫ぶことが問題を解決する訳ではない。技術予見の供給側では、多面的に技術に接近する人材が決定的に不足している。現在の大学制度の下で、技術にも社会にも通じる個人が養成できないのはもちろん、分野毎の業績評価への競争に忙しい技術系個人と社会系個人を協力させる態勢を作るのは困難である。かりに協力が成功して多面的技術予見の報告書が提出されても、それを消化する人材が個人としても集団としても利用側に欠けている。かりにそのような人材または小集団が存在するにしても、その能力を活用する人事労務や組織設計・運用の管理システムが官公庁・企業の側に欠けている。他分野から情報呼び込むゲート・キーパーと呼ばれるリエゾン活動 [ Allen 1977 ; Shibata 1983 ; Eto 1991] が封じ込まれる従来の社会システムでは、技術論の専門家が組織的には養成されず、また自発的に活動した技術論運動が社会から無視抑圧されてきたが、このシステムを改める動きは、文部省の指導で進行中の大学再編でも見られない。予見 foresight は洞察 insight に基づき、そのためには歴史哲学的認識が必要と思われるが、こ

これは歴史教育、哲学教育に欠ける米国で発達し、80年代の米国不況の戦犯と名指されたビジネス・スクール経営学修士 MBA を真似て、計量分析型人材の育成を目的とする最近の大学再編との両立性に疑問がある。なお軍の学校では米国でさえ状況が全く異なる数百年前の戦史をケース・スタディとして教えるが、日本の有名経営学者・評論家が堂々と誇らしげに有力ビジネス雑誌に執筆したケース・スタディは、技術開発も含めて、企業からの聞き書きだけの提灯記事、民放番組型の汗と涙の感動成功物語であり、技術史的観点を含む多面的に考察したものは少ない。多面的な技術予見の主張には、定量的技術予測の限界に対する後知恵 *hindsight* も混入されている。

また、技術予見は現在の意思決定システムに適合し受容されるかを検討する必要がある。米国の指導層に影響力の強いビジネス・スクールでは、昔ほどではないが今も計量分析が強調されており、定量的だった外挿法やデルファイ法に比べて、概念的定性的な技術予見が受容されない可能性がある。ビジネス・スクールでは、数理的手法や計算機を除いて、技術に関する教育は与えていないから、企業などで技術管理を担当するのは技術出身者と思われるが、技術者が概念的接近による文字中心の技術予見報告書を、数値や図表で表現される外挿法やデルファイ法による結果に比べて、とくに好むとは言えない。このように、現在の教育訓練や選抜システムの下で養成された意思決定者にとって、技術予見が従来 of 技術予測より受容しやすいとは言えない。

単純であるが故にたんなる意思決定支援資料であった従来 of 技術予測に比べ、総合的である技術予見は、それ自身が最終的意思決定として完成した体系を目的としているように見える。しかし経営科学など、半世紀を越える意思決定研究の経験は、意思決定者は自らに代わる意思決定者を排除し、控えめな意思決定援助だけを望んでいる。一見逆に日本ではボトムアップで、ミドルが完成した方針をトップに提出し、それをトップが承認するという形が多いが、それはライン担当者がその担当縄張りについて方針を提出する縄張り自治であり、ライン外のスタッフが完成した戦略方針を提出し、それをト

ップが承認するという形は見られない。例外は19世紀末にドイツにおいて確立された参謀本部スタッフ制で、これは皇帝・天皇・国王の直属機関として、統帥権独立の特権と、皇帝命令の形をとる権威により、前線司令官に戦略命令を与えていた。しかしそれでも軍では現場指揮官尊重という柔軟な戦術分権決定システムを併用していた。海軍大臣を2度経験したチャーチルが、戦争末期の日本にも勝利の機会があったのに、栗田艦隊が作戦命令に反してターンしたため、機会を逃したと大戦回顧録に書いているが、栗田提督は処分されていない。現場決定を認める分権システムだったからである。このように考えると、技術予見が現在の意思決定システムに適合しているとは考えがたい。もし適合しているとすれば、トップに技術戦略決定能力も意志もなく、良きに計らえとスタッフに委任する場合であるが、これがラインの担当者が納得するか疑問である。上記の栗田艦隊ターンは、捷1号作戦の事前説明会に豊田連合艦隊司令官が欠席し、神参謀大佐が説明しただけなので、栗田中将に説得力がないという状況下で起こったのである。

それでもまだ技術予見が日本の意思決定システムに適合している可能性はある。それはグローバル化・米国化の中で、日本では科学技術は国の重要戦略事項でなく、当事者が良きに計らう専門自治が認められる瑣末な領域になる場合である。戦争初期から科学者を動員した米英に対し、日本では戦争初期に坂田の2中間子論や吉田肉腫など画期的大研究が行われるほど、科学界は戦争に動員されなかった。日本では科学は重要事項でなく、別の方法で戦う戦略だったからである。景気回復は独自技術による次期産業の育成による思想から、行政改革の機会に科学技術庁の省格上げがボトムで略内定していながら、蔵相出身の橋本首相のトップ決断で拒否されたが、景気回復に日本独自の科学技術は不要であると小淵・森内閣も考えているようであるから、国家的に不要不急の科学技術には政府介入はなく、専門自治が進む可能性がある。文部省の指導による大学再編も、金融工学など実業界に有用人材を供給する専門学校化教育改革が中心であり、旧帝大における先端技術セン

ターの設置も、国立研究所の大型研究やハイテク企業の研究活動との院生の奪い合い [Yamamoto1993]が動機とも解釈され、大学における長期視野の基礎研究や、ニーズを良く把握した企業の先端技術開発を阻害するとの批判がある。技術予見の提唱は、最近の企業組織再編との適合性を考慮していない問題もある。経理や人事労務管理の目的により分社化が不況下で進行しているが、在来技術を深化させ在来製品の改良研究を進めるには事業部制が適合していたように、米国で開発された情報ネットワーク技術を消化吸収するのに分社化は適合している。情報ネットワーク技術は今では在来技術であるから、どの技術分野を結合させれば消化吸収改良できるかは読めるので、それに合わせて分社化すれば、効率よく追いつき改良できる。長期的視野の基礎研究を謳った90年代前半と異なり、リストラ期に入って、日本トップ・ハイテク企業は研究開発のスピード・アップを謳っているが、これは世界最速の研究開発と評価された高度成長時代の追随戦略への回帰とも解釈される。これは先端を追及する欧米における技術予見の概念と反対であるが、専門自治を含む下部権限移譲制の下で長期技術開発のごときは良きに計らえという経営思想は、追随を目的とする最近の日本の技術戦略において有効であるが、それに適合する追随指向の日本型技術予見の提唱は見られない。

論理を逆転させて、官公庁や企業における科学技術戦略の策定システムを、逆に技術予見に適合させるという代替案も考えられる。日本の組織を欧米流の本来の技術予見の概念に適合させるためには、分社化と平行して、社会と技術のインターフェース研究を包含する総合研究所を分社の外に設立する、組織再設計が考えられる。研究開発を市場ニーズに適合させる文理横断型研究所が、すでに一部製造業に設置されている [Eto 1997]から、企業内総合研究所は日本の企業風土に一応は可能である。このような組織再設計は、事業部制で技術専門深化が進んだ反面、総合化に不利な組織であったため、それを補う目的で、マトリクス組織その他が提案された事情に類似している。高度成長期に導入された事業部制に、トップ直轄の新規事業担当の横断的事業部

を新設するという一見簡単な修正を施して、石油危機直後における大型技術から省エネ型技術への技術体系転換期に適合させる再設計[ Eto 1982]や、システム統合化事業を担当する事業部を新設するという簡単な修正でシステム技術の発展期に適合させる再設計[ Eto 1983]の論理が研究されたように、技術予測に適合する組織を再設計する組織論理の研究が必要である。

技術予測から技術予測への移行は、国内でなく国際視野から考察することも可能である。この移行は、東南アジアや日本を蹴落として、米国と欧州連合が主導権を奪回し、東西対立、南北対立、太平洋時代を終えて、世界がアジア太平洋諸国や東欧も含む多極構造から、北大西洋両岸による複占構造への復帰に対応している。これは日本にとっては、自主技術を戦略とする時代から、グローバル化により国家レベルとしての自主性を失う時代への移行に対応している。すなわち日本の科学技術主権が消滅し、日本が朝鮮戦争時代に米国のアジア現地工場と呼ばれたように、米国に本部を置くグローバル研究組織の日本分室に位置づけられる時代に入ったと言える。この観点から見れば、現在進行している科学技術庁の弱体化や企業における分社化のように、各個別企業による米国からの技術移転に適合する再編が進行しているのは、時宜に適っていると言える。

長期的には、科学技術庁のように、大規模技術を除いて、実際の政策実施から独立している機関では、第3者的スタッフの発想で、高度成長期以前の経済白書のように、読みごたえのある技術予測報告書を発行し、若者に科学技術的夢を与えることは、全体の水準向上と将来のための人材教育として有意義であろう。科学技術庁は、従来は国家プロジェクト型の大規模技術の開発を実施していたが、グローバル化により国家レベルとしての自主開発政策が無意味になった逆風を神風にして、実際の政策実施から独立した機関としての意味を強め、自由に質の高い第3者的客観性のある報告書を作成して、大学をリードする COE (Center of Excellence) の役割を担う可能性も考慮に値する。

## 6 結言

技術予測の手法を検討し、それらが一面では受容され実用化され、また他の面では信頼度が低く、無視されてきた理由を考察した。技術開発の意思決定過程やシステムを特徴づけることによって、外挿法やデルファイ法による技術予測が受容された一つの理由が外挿法やデルファイ法の単純な構造にあること、そしてこれら単純な手法が意外に的中する根拠が、これらが技術開発の意思決定過程を反映していることを指摘した。また予測概念そのものを分析して、予測の目的が組織における了解と合意に基づく確信を持った戦略の策定を支援することであることを論じ、その観点から技術予測を評価することを提言した。技術予測の信頼度を向上させる目的で提唱されている技術予見に関しては、それが現実の意思決定システムと適合していないことを指摘した。

## 謝辞

本論文はインド科学技術省の付属機関である技術情報・予測・評価会議 (Technology Information, Forecasting and Assessment Council, TIFAC) 設立10周年記念セミナー (2000年2月10-11日、ニューデリー) における著者の招待講演に手を加えたものである。招待して下さったインド科学技術省 TIFAC と、学年末の多忙期に参加を承認して下さった千葉経済大学に感謝します。

## 参考文献

1. T.J. Allen. *Managing the Flow of Technology*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1977.
2. K.J. Arrow. *Social Choice and Individual Values*. 1951.
3. J.R. Bright (ed), *Technological Forecasting for Industry and Government*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1968.



4. L.V. de Broglie. Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire.1930.
5. H.D. Bürgel, G. Reger and R. Ackel-Zakour. Technology Foresight -- Experiences from Companies Operating Worldwide. International Journal of Services Technology and Management, vol. 1, pp.394-412. 2000.
6. E. Cassirer. Das Erkenntnisproblem in der Philosophie and Wissenschaft der neueren Zeit. I. 1906.
7. N.C. Dalkey. Experiments in Group Predictions. RAND Paper P3820. 1968.
8. N.C. Dalkey. The Delphi Method : An Experimental Study of Group Opinion. RAND Research Memo RM5888PR. 1969.
9. G.M. Dobrov and L.P. Smirnov. Forecasting as a Means for Scientific and Technological Policy Control. Technological Forecasting and Social Change, vol. 4, pp. 5-18. 1972.
10. 江藤 肇、デルファイ法に関する方法論的考察、日本型科学技術開発システムの基本設計、一次報告書総論、301-307頁、および一次報告書各論、第7巻、1-55頁、未来工学研究所、1972。
11. 江藤 肇。デルファイ予測の分析手法と実施例。日立評論、vol. 55, pp. 25 - 28. 1973.
12. H. Eto. Intercorporate Technology Transfer in Japan. Interfaces, vol. 9, pp. 70 - 71. 1979 A.
13. H. Eto. Ablaufplan für Technik-Prognosen nach der Delphi-Methode und ihre statistische Auswertung zur Entwicklung von Technik-Stragien. Wissenschaftliche Zeitschrift : Mathematische-Naturwissenschaftliche Reihe 28, pp. 703-705. 1979 B.
14. H. Eto. Problems and Lessons of Japanese Technology Policy. R&D Management , vol. 10, pp. 49 - 59. 1980 A .
15. 江藤 肇。 社会的合意の分析。市川淳編「多目的決定の理論と方法」第5章 (175 - 193頁)。計測自動制御学会出版。1980 B。
16. H. Eto. Decision-Theoretical Foundations of the Validities of Technology Forecasting Methods. Discussion Paper No. 118 (81-19), Institute of Socio-Economic Planning, University of Tsukuba. 1981.
17. H. Eto. Evaluation Model of the Reformed Division System Combined with Urgent Corporate Strategy Formation in Mixed-Discrete Program. Large Scale Systems, vol. 3, pp. 205 - 213. 1982.

18. H. Eto. Effectiveness of a Nonhierarchical Decentralized Corporate System. *Large Scale Systems*, vol. 4, pp. 189 - 197. 1983.
19. H. Eto. Behaviour of Japanese R&D Organizations --- Conflict and its Resolution by Informal Mechanism, In (H. Eto and K. Matsui eds) *R&D Management Systems in Japanese Industries*, Chapter 7, pp. 139 - 239. North-Holland Pub. Co., Amsterdam. 1984 A.
20. H. Eto. Statistical Analysis Methods of Dephi Consensus in Forecasting and their Use for Policy Assessment. *Behaviormetrika*, vol. 16, pp. 1 - 12. 1984 B.
21. H. Eto. Classification of Industrial R&D Organizations in Relation to Strategies. *IEEE Transactions on Engineering Management*. vol. 36, pp. 146 - 156. 1991.
22. H. Eto. Prudence of Science and Technology Policies : A Historical Review. In (H. Eto ed) : *R&D Strategies in Japan -- The National, Regional and Corporate Approach*, Chapter 11, pp. 225 - 296. Elsevier, Amsterdam. 1993.
23. H. Eto. Fundamental Research on Market and its Relationship with R&D Organisation. *International Journal of Technology Management*, vol. 14, pp. 362 - 373. 1997.
24. H. Eto. Methodological Reflection of Technology Assessment. *International Journal of Services Technology and Management*, vol. 1, pp.413-424. 2000.
25. H. Eto and M. Fujita. Regularities in the Growth of High Technology Industries in Regions. *Research Policy*, vol. 18, pp. 135 - 153. 1989.
26. H. Eto and R. Ishida. Integrating Assessment in National Technology Policy. *Impact of Science on Society*, vol. 28, pp. 139 - 146. 1978.
27. H. Eto and K. Makino. Stochastic Model for Innovations and Resulting Skew Distribution for Technological Concentration with Verification in Japanese Industry. *Scientometrics*, vol. 5, pp. 219 - 243. 1983.
28. T.J. Gordon and H. Haywood. Initial Experiments with Cross-Impact Method of Forecasting. *Futures*, vol. 1, pp. 100 - 116. 1968.
29. O. Helmer. *Analysis of the Future : The Delphi Method*. RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 1967.
30. O. Helmer and N.H. Rescher. *On the Epistemology of the Inexact Sciences*.

RAND P-353. 1960.

31. M. Iwasawa, M. Fujita, and H. Eto. R&D Strategic Policy of Local Government. In (H. Eto ed) : R&D Strategies in Japan -- The National, Regional and Corporate Approach, Chapter 3, pp. 31 - 48. Elsevier, Amsterdam. 1993.
32. 郭 杉燦。マイクロ・エレクトロニクスける技術転換の要因に関する研究。筑波大学経営・政策科学研究科修士論文。1985。
33. 茅野 健・只野 文哉(編)。研究開発。日本規格協会、東京。1981
34. S. Kobayashi. Savages in a Civilized Society : An Investigation of the Drift of Young People away from Science and Technology. In (H. Eto ed) : R&D Strategies in Japan -- The National, Regional and Corporate Approach, Chapter 4, pp. 49 - 72. Elsevier, Amsterdam. 1993.
35. 近藤 悟・広松 毅、デルファイ技術予測における回答者の専門度に関する分析。研究・技術計画。第11巻、89-105頁。1996。
36. E. Mach. Die Mechanik in ihrer Entwicklung -- historisch-kritisch dargestellt. 1883.
37. K.D. Mackenzie. Productivity and the Search for Congruence. Human Systems Management., vol. 3, pp. 50-53. 1982.
38. 三木 清。技術。1938。
39. 岡 邦雄。科学思想史。1936。
40. J. Ortega y Gasset. Meditación de la Técnica. 1933.
41. J.R. Philips. Working Culture and Everyday Science in Japan : Creativity and the Status Quo. In (H.Eto ed) : R&D Strategies in Japan -- The National, Regional and Corporate Approach, Chapter 12, pp. 297 - 314. Elsevier, Amsterdam. 1993.
42. H. Rickert. Kulturwissenschaft und Naturwissenschaft. 1899.
43. D. Sahal. Innovation and Economic Evolution. Technological Forecasting and Social change, vol. 23, pp. 213 - 235. 1983.
44. 三枝 博音。技術の概念。1944。
45. 三枝 博音。技術哲学。1951。岩波全書。
46. J.A. Schumpeter. Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. 1912.
47. S. Shibata. Toward Policy Guidance System for Complex Innovation. In (H. Eto and K. Matsui eds.) R&D Management Systems in Japanese

- Industry. Chapter 2, pp. 29 - 58. North-Holland, Amsterdam. 1984.
48. 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施例。丸善、東京。1972。
  49. 武谷 三男。技術論。1946。
  50. 武谷 三男。弁証法の諸問題。1947。
  51. 田辺 元。科学概論。1918。
  52. 戸坂 潤。科学方法論。1928。
  53. J.G. Wissema. Trends in Technology Forecasting. R&D Management, vol. 12, pp. 27 - 36. 1982.
  54. S. Yamamoto. Reorganization of Research in the mass Higher Education System in Japan. Will Japan create Centers of Excellence at Universities? In (H.Eto ed) : R&D Strategies in Japan -- The National, Regional and Corporate Approach, Chapter 8, pp. 177 - 189. Elsevier, Amsterdam. 1993.

(えとう はじめ 本学教授)