

Title	科学技術の予測とその社会化に向けて
Author(s)	大竹, 裕之
Citation	知識創造場論集, 2(5): 26-32
Issue Date	2006-03
Type	Research Paper
Text version	publ isher
URL	http://hdl.handle.net/10119/5105
Rights	
Description	北陸先端科学技術大学院大学 21世紀COE プログラム 「知識科学に基づく科学技術の創造と実践」

科学技術の予測とその社会化に向けて

大竹 裕之¹

はじめに

未来を予測する。身近な例として天気予報を思い浮かべる人は多いだろう。人々は天気予報をもとにその日、傘を持参すべきか等、行動選択を行っている。また、経済活動では、景気の先行きを示した月例経済報告等がある。そして、科学技術においても、科学技術の進展を予測した調査(技術予測)が多々行われている。

技術予測は、個々の技術の進展動向のみならず、技術とそれを取り巻く周辺環境(人材、研究開発資金等)を考慮した予測であり、政策(主に科学技術政策、産業政策)や企業の研究開発計画等で用いられている。一方で、技術予測の新たな潮流として、過去、技術が社会に及ぼしてきた様々な影響や先端技術のように社会的な影響に不確実性が伴うような技術が急速に進展しつつある状況から、専門家のみならず、社会を構成するあらゆる層の意見を加味した技術の予測が求められてきている。

以下、本稿では、技術予測とは何か、予測活動の変遷等を整理し、今後の技術予測(研究開発の方向性の探索)における課題を述べたい。

1. 技術を予測すること

1-1 技術の予測手法の分類

技術の予測は、公的機関のみならず、民間企業においても多数行われてきた。これまで技術の予測はどのように行われてきたか。E. Jantsch(1967)によると、技術予測は1940年代中頃に技術開発のシステムティックな総合的評価活動を通じて発展してきた。技術予測が、社会で多用されたのは1950年代末頃からとされ、産業界、研究所、軍事関連組織において採用され、1960年代以降、技術の予測手法自体も高度化してきた。

技術開発の方向性を予測することは、単に既存技術或いは技術の芽の発展過程を予測するに留まらない。技術及びその周辺装置(制度、市場、社会等)の相互の関係も含めて予測することが必要とされる。なぜなら、技術の開発には、開発段階で研究資金をどのように配分するか、それを担う人材をどのように育成・供給するか、技術開発を促進するため規制をどのように取り扱うか等を予測の際に考慮しなければならないからである。また、予測技術の社会実装に向けては、社会制度の変更・新設が必要か、補助金等の誘導策が必要か、といったことも判断の際に考慮しなければならない。このように、技術の予測は単に技術開発の進捗状況の推移を辿るだけでなく、社会の進展をも踏まえた予測が求められている。

それでは、技術予測とは何か。OECD では、技術予測を将来の技術移転について比較的高度の信頼水準に基づいた確率的評価と位置づけている²。M. Cetron (1969)は、技術予測とは特定の技術もしくは技術群が一定期間中にどの方向にいくらかる速度でどの程度まで発展するかということについて、技術に精通した人(専門家)がおこなう現実的な見積もりであるとしている。そして、技術

¹ 財団法人 未来工学研究所 研究員

² OECDでは、“予測”という言葉についても、予測(Forecast)、予言(Prediction)、予想(anticipation)がある。予測とは、将来に関して比較的高度の信頼に基づいた確率的説明であるとし、予言は将来に関する絶対的信頼に基づいた必然的記述であるとしている。予想は未確定の信頼に基づき想定される将来に関して論理的に構成されたモデルとしている。

の動向を継続的に評価することで科学の発展を早期に認識し、それに適時対応させることが主たる目的と価値づけている。また、技術予測の対象範囲は、技術が社会経済に及ぼす影響といった広範な予測から、個別技術の進展や基礎科学の応用展開（実際の問題解決）等といった比較的狭く詳細なものまで含まれる。

次に技術予測の方法論にはどのようなものがあるか。前述の OECD による分類では、探究・探索的技術予測と規範的技術予測の二つに分けている。探究・探索的技術予測は、既知の知識基盤から検討を行い、技術的萌芽の方向性を予測するための方法である。予測の対象は、科学技術資源、基盤技術、技術システム等がこれに相当する。技術の動向予測は、こちらに分類される手法を用いて行われている。また、規範的技術予測は、ニーズに基づき、将来の目標、必要、願望、使命（あるべき論）等を検討し、波及効果を鑑みながら現在に向かって時間軸を逆行させ実現手段を予測する方法である。予測の対象には技術だけではなく、社会環境や社会システムまでが含まれる。ただし、これら予測手法は多々存在するが、一つの手法だけでは十分に予測できないという側面を持っている。

表1 予測技術の分類

使用するデータ種類 アプローチの方法	主観的（直観的）データ（判断）に基づく予測	客観的データに基づく予測	両者の統合
技術的萌芽の伸びる方向をさぐる方法 （探究・探索的予測）	デルファイ法	外挿法、包絡曲線法	形態学的手法 歴史的類推法
ニーズに基づく目標を実現する手段をさぐる方法 （規範的予測）	デルファイ法 PATTERN 法	ネットワーク手法 ゲーミング法	フィードバック法

（出所）科学技術と経済の会、只野文哉（1972）『ソフト・テクノロジー』 p.85 丸善

1-2 技術と社会との関係性の変化

一方、今日の急速な科学技術の発展は、技術とそれを取り巻く社会の関係をより複雑にしている。これまで、技術は人間の様々な活動の制約を乗り越える方法・手段・ツールとして活用され、技術と人間、技術と社会は非常に近接な関係を築いてきた。実際、それら技術は経済活動、産業活動を通じて浸透し文明を築き上げ、“農業文化”、“工業文化”と呼ばれる文化をも生み出し昇華させてきた。しかし、近年、急速に進展してきている技術は環境容量や社会環境のこれまでの経験知の蓄積を超えた利用によって、技術が社会実装される際に様々な問題を引き起こすことが懸念されている。つまり、技術のポテンシャル自体が人間の生存基盤そのものに大きな影響及ぼすものとなってしまった。これまで、技術は人間活動の制約を乗り越える方法・手段・ツールとして、その多くは正の影響を及ぼしてきたが、過度の利用は公害問題等の健康被害を引き起こした。

例えば、1970年代の公害問題等がそれであり、局地的に過度の集中的な汚染（排出）が、自然環境のみならず、健康被害を引き起こした。公害問題については、加害者-被害者間の構造は明確であり、中でも四日市ぜんそく等の公害被害者の多くは、汚染排出源近郊に居住し、同地域に通勤する労働者とその家族とされ、社会階級の違いによる問題といった視点も含まれている。この時期の公害問題への対応は、対処療法的技術を中心に設備投資をグリーン化することで大きな改善を図ることができた。

一方、先端科学技術に代表されるように近年、研究開発が進められている技術には、影響の範

困、影響の及ぼす時期に不確実性が伴うため、研究開発段階からの副産物(社会問題等)への対応が併せて求められる。地球温暖化問題を例にとると、汚染による環境変化をもたらす加害者は現在の人為的経済活動であるが、被害者は次世代以降の全ての生物である。そして、汚染源は科学技術のマス化により経済活動とともに拡大しながら無数点在し、これまでの対処療法的技術では十分な対応ができないといった状況が生まれている。

これら技術と社会との関係の状況変化について、U.ベック(1986)は、「近代化によって富の社会的生産と並行し、危険が社会的に生産されるようになる」と指摘した。つまり、前近代と近代化後とは科学技術が社会に与える脅威の本質が決定的に変化し、近代化以降、全ての社会構成員が科学技術のリスク下にさらされ、不確実性のもとに意思決定を行わなければならない状況となったとしている。そして、科学的合理性を意味のあるものにするには社会的合理性も経なければならないとし、また社会的合理性を得るにはその逆も必要であるとした。このように、先端技術は技術開発の予測段階から社会の側からの問いかけを十分に汲み取る、或いは社会に問いを発することが益々必要になってくるといえる。

このように、研究テーマの探索段階においても、社会的ニーズや要請を加味することは益々重要になってきており、方向性の探索(技術予測活動)における様々な声を抽出することが必要である。

2. 技術予測調査の事例

2-1 デルファイ調査の概要

実際の技術予測では、技術の社会性について、どのように取り扱われているだろうか。我が国では、1971年より文部科学省においてデルファイ法による技術予測調査が行われており、最新のものは2004年に「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」の一つとして行われた。

デルファイ法³とは、1964年にアメリカのRAND社が開発した手法であり、直観的思考方法を用いて専門家による意見の一致を得るための方法であり、多数の回答者に同一のアンケートを複数回繰り返す調査方法である。デルファイ法の利点として、グループディスカッションを中心とする委員会方式と異なり、多数迎合といった要因を減少させることができ、複数回のアンケート調査によって専門家全体の回答傾向を踏まえ再評価することができることがあげられる。これは、専門家の意見を収斂すること(コンセンサスを得る)ができるほか、専門家の見落とし防止機能も果たすとされる。近年、欧州をはじめ、アジア諸国においても技術予測調査で用いられている。

直近の我が国のデルファイ調査では、各分野の専門家2239名の参加により、30年後(2035年)先までを範囲とし科学技術の発展予測が行われた。対象分野は情報・通信、エレクトロニクス、ライフサイエンス、保健・医療・福祉、農林水産・食品、フロンティア、エネルギー・資源、環境、ナノテクノロジー・材料、製造、産業基盤、社会基盤、社会技術等の13分野であり、注目すべき技術群を130領域設定した。そして、領域を構成する858の予測技術を設定し技術の実現、社会への実装における予測時期、競争力、実現手段等を質問した(これまでのデルファイ調査では技術の実現に関する質問が中心であった)。特に、最新のデルファイ調査では、技術の実現と社会への実装(適用時期)の二点についての予測時期、実現手段を質問したことで、技術開発の入口と出口のタイムラグを見ることができるようになった。

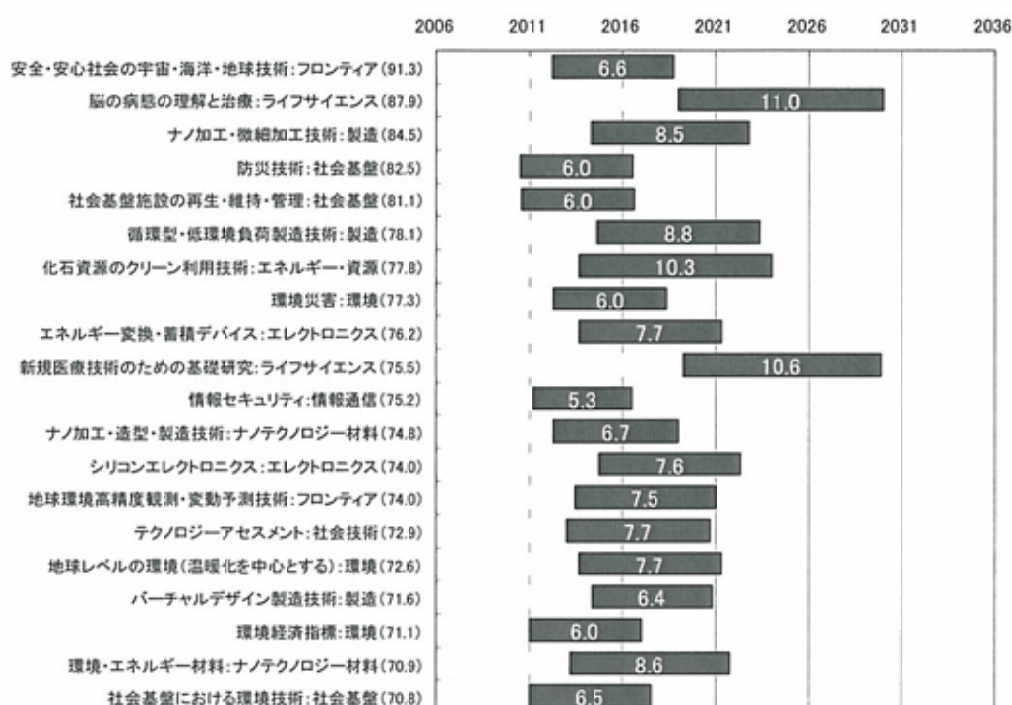
2-2 技術的実現から社会的適用までの期間を把握することの重要性

次に、デルファイ調査結果から、技術の入口(実現時期)と出口(適用時期)を予測することで、どのようなことが今後検討できるかを述べる。

³ デルファイとは、古代ギリシャのデルファイ(デルポイとも言う)の地名であり、アポロ神殿の神託にかけて、未来を占うとし命名された。

図1は 130 の技術領域の中で、重要な課題が複数含まれる領域(上位 20 領域)の技術的実現時期と社会的適用時期の差を示したものである。

図1 技術領域の重要度順の技術的実現時期と社会的適用時期の期間の差



(出所) 科学技術政策研究所(2005)『科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 デルファイ調査』を元に作成

技術の実現から社会への適用までの期間の差が長い技術群として、「脳の病態の理解と治療」(11.0 年)、「新規医療技術のための基礎研究」(10.6 年)があげられる。両技術群ともライフサイエンス分野の技術であり、同分野の回答者からは重要と評価される技術が複数含まれている技術群といった特徴がある。技術的実現から社会的適用までの期間が長期にわたる理由として、技術自体が難易度なものであること、また、社会的適用に際して社会・倫理的課題の問題が横たわっていることが自由回答のコメントからみてとれる。逆に、期間の差が短い技術群(6 年以下)については、「防災技術」、「社会基盤施設の再生・維持・管理」、「環境災害」、「情報セキュリティ」、「環境経済指標」等である。これらは安全で安心な生活基盤を確保するための技術群であり、社会的にも早急なる対策(技術の適用)が望まれている技術群である。技術の社会的適用に向けて、産学官・分野間の連携強化(人材の流動化、人的交流、人文科学を含む分野間の協力促進等)が必要との回答が多く、幅広いセクターとの関係を構築することが重要であると垣間みることができる。

(技術の社会的適用に向けて有効な手段)

- 防災技術 : 連携強化 (70.5%)、税制支援 (50.8%)、人材育成 (29.4%)
- 社会基盤維持管理 : 連携強化 (64.5%)、税制支援 (51.0%)、人材育成 (14.9%)
- 環境災害 : 人材育成 (64.4%)、連携強化 (63.4%)、税制支援 (20.9%)
- 情報セキュリティ : 税制支援 (52.6%)、連携強化 (48.9%)、人材育成 (29.7%)
- 環境経済指標 : 連携強化 (65.0%)、規制強化 (51.9%)、人材育成 (30.9%)

今回のデルファイ調査から、技術の入口と出口の二つの時期を予測することとなったが、今後、技術予測において「技術」と「社会」の予測を高度化していくことで、これまでの技術と社会との間で生じた問題(社会的影響)を事後対応から、事前にその影響を検討する材料を提供することができよう。これは、技術的実現から社会的適用までの期間が長い領域・課題についても同様である。これらについては、技術群を構成する各技術が、単に技術的に難易度の高いものであるか、或いは社会的適用段階にて長期を要するものであるとみているのか分析することができる。

このように、既存の技術予測においても「社会」との関係性を意識した試みが行われ始めた。一方で、これらの予測は技術の実現に関わる専門家による予測である。今後、社会との関係性を効果的に抽出していく上でも、専門家に加え、様々な利害関係者が関与し、研究開発の方向性探索段階から、議論をより深めていくことが益々求められるといえる。

3. 社会の要請に応じた技術予測の展開について

3-1 社会ニーズの考慮することの重要性

デルファイ調査においても、単なる技術の予測から社会への実装を念頭においたプロセスがどのようなものであるかを抽出する試みが始まった点について取り上げた。

技術予測の特徴として、M. Cetron (1969)は、技術予測自体は技術に精通した人(いわゆる専門家)による現実的見込みであると述べた。これは一方で、技術予測では技術の需要者側に近い視点が抜け落ちる可能性を有していることを示唆する。需要者側の視点を加味した技術予測とはどのようなものであるか。ドイツの教育研究省において「Futur」という需要志向の研究開発の方向性を探索する試みが行われた。ドイツでは以前、デルファイ法を用いた技術の予測を実施していたが、技術の専門家集団による予測は、社会的に大きな支持をえることができなかったとされる。このような背景から、参加型の技術予測が行われることとなった。「Futur」とは、フロンティア的思考による技術課題の設定ではなく、将来の社会で必要となる技術を重視し、多種多様なセクターとの膨大な対話を通じて、将来の社会像(先導ビジョン)を練り上げていく手法である。丹羽(2003)によると、先導ビジョンの検討に向けて、(イ)社会的目標志向、(ロ)社会ニーズを技術革新や社会革新に連結、(ハ)経済競争力への貢献、(ニ)複雑性と学際性が高いこと、(ホ)全体的にわかりやすいこと等の選定基準に基づいて対話が進められ、4つの先導ビジョン(①思考機能の解明、②将来の学習社会の入り口を拓く、③予防により一生健康で生き生きと暮らす、④ネット社会での生活)が策定された。残念ながら、同予測プロジェクトは国内事情により、先導ビジョンに基づく複数のプロジェクトを実施するまでには至らなかったと言われる。

このようにドイツでの試みからも、今後、社会の成熟状況により、科学技術の意思決定の場面に、より多くの利害関係者が関与する時代が到来するであろう。これは成熟化社会の必然の結果ともいえる。特に、欧州では科学技術に対する市民の参加プロセス(経験)が蓄積されており、科学技術に係る問題について熟慮ある議論や対話が可能な社会環境を有している。その意味で、我が国における科学技術の熟慮ある議論、対話が十分でない状況は、社会的需要を加味した技術予測へと高度化させていく際の課題となろう。

3-2 社会ニーズの把握の試みと課題

これまで話題から、研究開発の方向性を探索する段階(技術予測)において様々な利害関係者の意見を取り込んだ枠組みにどのようなものが考えられるか。

文部科学省の「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」ではデルファイ調査を補完する調査項目として、社会経済のニーズを把握する調査、シナリオ調査、論文データベースの探索調査等が行われた。特に、デルファイ調査は専門家集団のコンセンサス形成に強みを発揮するものの、先鋭的かつ規範的意見は切り捨てられてしまう傾向があり、また予測技術が分野毎になって

いるため、分野横断的な視点や社会的な要求に対して十分に応えにくい枠組みとなっている。今回の予測調査では、AHPを用いてニーズ項目間の重みづけを行い、有識者、経営者（産業界）、市民パネル等から社会経済ニーズを把握する検討を行った。抽出したニーズは、①安全・安心な暮らし、②大事故・大災害防止及び即時対応、③健康生活、④可能性の拡大と心の豊かさの実感、⑤人口減少対応社会システム、⑥持続可能な社会を目指した仕組み、⑦地球規模問題解決への貢献、⑧経済的な国際競争力の維持、⑨人目おかれる国等に分類した。調査では、抽出したニーズ項目とデルファイ調査で設定した技術群との関係性、ニーズに対して技術が直接的或いは間接的にどの程度寄与したかについて試行的に分析を行った。例えば、情報通信、エレクトロニクス、産業基盤の分野の多くの技術群はニーズに対して間接的に寄与するとした。

予測調査では、社会経済ニーズと技術群、個別技術とのマッチングが試みられた。次なる課題は専門家、非専門家の相互における研究開発の方向性についてのコミュニケーションが必要となろう。なぜなら、専門家によるデルファイ調査の中で得られる結果は、あくまで専門家が想定する社会的適用までの技術予測であり、技術予測の結果を社会で活用していくには次なるステージが必要となろう。社会ニーズを反映させた調査設計は、技術群、個別技術の社会的オーバーシュート（行き過ぎ）を避ける意味でも今後、重要になってくるものと思われる。

おわりに

これまで研究開発は、専門家集団による閉じた系で行われてきた部分が大きかった。村上（2000）は専門家について次のように位置づけている。専門家には専門家と非専門家が存在し、「門」（領域）を専ら勉強してきた人であり、「門」については非専門家よりもはるかに多量の知識と情報を持っているが、必ずしも問題を全体的な文脈の中で捉え、多様な価値を勘案しつつ、大局的な判断を下すことに常に長けているとは限らないとしている。従って、専門家と非専門家との間の情報格差を埋めるための枠組みは必要とされる。それは、非専門家に専門家が情報を提供するだけでなく、非専門家が有する情報を専門家に提供する枠組みも含めてである。

研究開発の方向性の探索（技術予測）は、より広範な利害関係者の関与により選定（社会化）していくことは、前述のドイツの取り組み等からも予想される。また、今後、地球環境問題、資源問題等の社会経済活動に対する制約がより強化されていく中で、これまでの技術的対応だけでなく、需要サイドでのライフスタイルの転換と技術の利活用状況が変化する可能性がある。つまり、これまで以上に技術と社会をめぐる相互関係は強まったものになるであろう。これらからも、技術開発の方向性を探索する段階からも専門家集団の声だけでなく、様々な利害関係者の関与による方向性の探索活動が積極的に行われていく必要であり、「場」の形成が新たな課題といえる。

参考資料

- Erich Jantsch(1967), TECHNOLOGICAL FORECASTING IN PERSPECTIVE,OECD (マネジメントセンター訳 (1968)『技術予測』マネジメントセンター出版部)
- Francois-Bernard HUGHE(1996), LES EXPERTS ou l'Art de se tromper de Jules Verne a Bill Gates, PLON(丸岡高弘訳(1997)『未来予測の幻想』産業図書)
- Marvin J. Cetron (1969) TECHNOLOGICAL FORECASTING-A PRACTICAL APPROACH, GORDON AND BREACH.(寺崎実,東常義訳(1970)『技術予測-その戦略計画への応用』産業能率短期大学出版)
- Ulrich Beck (1986) RISKOGESSELLSHAFT-Auf dem Weg in eine Moderne-, Suhkamp.
(東,伊藤美登里訳(1998)『危険社会』法政大学出版局)
- 奥田栄(1996)『科学技術の社会変容』日科技連.
- 科学技術政策研究所(2005)『科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査 デルファイ調査』
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>
- 科学技術と経済の会,只野文哉(1972)『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
- クライン・ユーベルシュタイン(1984)『ユーベルシュタインの未来予測法』東洋経済新報社
- 丹羽富士雄(2003)「Futur-ドイツにおける需要側からの科学技術政策の展開」『科学技術動向(2003年6月号)』 <http://www.nistep.go.jp/index-j.html>
- 松本三和夫(2002)『知の失敗と社会-科学技術はなぜ社会にとって問題か』岩波書店
- 村上陽一郎(2000)『科学の現在を問う』講談社新書