

科学技術の不定性と社会的意思決定

—リスク・不確実性・多義性・無知

吉澤 剛
中島貴子¹
本堂 毅¹

よしざわ ごう
大阪大学大学院医学系研究科
なかじま たかこ
国際基督教大学
ほんどう つよし
東北大学大学院理学研究科

17世紀の思想家パスカルは「人間は考える葦である」と言ったが、私たち現代人は深く考えることなく、「こうに違いない」と思い込んでいることが沢山あるようだ。そのひとつが「餅は餅屋」のことわざ通り、「科学技術のことは科学技術の専門家に任せておけば大丈夫、任せておくのが一番」という思い込みではないだろうか。

パソコンの修理や一般的な病気の治療など、われわれが日常生活で出会う専門家が人々の期待に十分応えてくれることは確かだ。しかし、新しい科学技術の導入や規制に関する政策形成や司法判断の歴史を振りかえってみると、そこには「餅は餅屋」が通用しなかった事例集というべき足跡がある。専門家の助言や判断によって社会に浸透したり普及し続けた科学技術が、一定時間を経たのちに、当初は見見過ごされたり過小評価されていた危険性が判明したり、倫理的な問題が浮上したり、回復困難な被害に及んだ事例は、さまざまな分野で枚挙にいとまがないからだ。われわれが目下、直面している「原発震災」はそうした負の経験の最たるものではなかろうか²。このような経験から再検討すべき重要テーマのひとつは、科学技術の安全性を評価するための手法として運用されているリスク評価の内実であろう。

当然のことながらリスク評価は科学技術の専門知に依拠している。しかし、リスク評価の現場で

は、専門家の意見が対立することがある。門外漢からみれば近接分野の専門知を根拠としながら「被害発生の因果関係について確たる証明がない」との主張と、「被害は明らか」とする主張が対立し、議論が平行線をたどる場合が少なくない。電磁場の健康影響評価をめぐる法廷論争などはよい例だ³。一方、異分野の専門知がリスク評価の現場で適切に協働していなかったことが事後的に明白となる場合もある。日本各地の原発訴訟が明らかにしたような、原発立地に関する地震学と原子力工学の乖離⁴、カーソンの『沈黙の春』が明らかにしたような、DDTの殺虫剤利用に関する昆虫学と生態学と医学の乖離⁵、といった例だ。これらはときに「科学論争」とも呼ばれるが、しかし本当に科学の論争なのだろうか。「対策に確たる証拠が必要」とする考えは科学を超えた価値判断に他ならず、その前提とされる「確たる証拠」も科学自身では答えを出せない線引き問題⁶を避けられない。つまり、「科学論争」と呼ばれるものはときに、科学的知識より、むしろ価値判断のあり方をめぐった論争かもしれないのだ。後者の場合に、論点を「科学で答えが出る問題」と位置づけるなら、議論が平行線をたどるのは必至である⁷。

このような現象(リスク評価をめぐる社会的意思決定の混乱)はなぜ起こるのだろうか。また、どうすればこうした現象の繰り返しを回避もしくは軽減できるのだろうか。本稿ではこの問題を、科学技術のリスク評価が依拠する専門知から検討してみたい。

Incertitude of science and technology in social decision making: Risk, uncertainty, ambiguity, and ignorance

Go YOSHIZAWA, Takako NAKAJIMA and Tsuyoshi HONDOU

表 1—知識の不定性の 4 類型

	有害事象の発生可能性 (発生結果)についての 知識	定まっている	定まっていない
発生確率についての知識			
定まっている		リスク	多義性
定まっていない		不確実性	無知

リスク評価再考——知識の不定性 4 類型

一般にリスクとは、発生可能性のある有害事象（ハザード）とそれが実際に起こる確率の積として定式化されている（リスク＝発生可能性のあるハザード×確率）。そして、発生可能性のあるハザードを抽出し、その発生確率を推定するために、科学技術の専門知が必要となる。その意味で、リスク評価が科学技術の専門知に依拠していることは間違いない。では、その専門知とは、常に唯一解を与えてくれるような、安定的かつ決定的な知識なのだろうか。

科学技術政策の理論家として知られるアンディ・スターリングはこの点に着目し、リスク評価が依拠する専門知は常に安定的、決定的な状態にあるのではなく、本質的な「不定性（incertitude）」をもっていると指摘する⁸。そして、発生可能性のあるハザードとその発生確率それぞれに関する専門知が「定まっているか否か」によって、リスク評価が依拠する専門知の状態を「リスク（risk）・不確実性（uncertainty）・多義性（ambiguity）・無知（ignorance）」の 4 種類に類型化している（表 1）。ここで「定まっている／いない」とはどういうことか。「定まっている」というのは、科学的・政治的・社会的介入によってあるハザードの発生回避に関心をもつ人々の間で、その発生可能性（発生結果）かつ／または発生確率についての知識が確立しているということに対して、多くの者が疑義を挟まない状態である。逆に、「定まっていない」というのは、知識が確立していない（わからない）とする者がいる状態や、確立しているとされる知識が人によって異なる状態を指す。別の表現をすれば、あるリスク評価に対する専門家同士の判断に論争が

なく、しかもその判断を社会一般が受容している状態が「定まっている」であり、それ以外の状況が「定まっていない」である。そのため「定まっていない」状態には、複数の状態が含まれる。

スターリングの 4 類型は、あるハザードの発生可能性が認知されたあとの状態を分類しており、そもそもハザードの発生可能性すら誰にも認知されていない状態（無知であることへの無知⁹）は扱っていない。そして、あるハザードの発生可能性が認知されたあとの 4 類型も実際にはきれいに区分できるものでもなく、同一事象が一つの状態に留まり続けるというわけでもない。それぞれの状態は理念的な類型として捉えられるべきであり、一つの事象は時系列に応じ状態を変化させるのが一般である。しかし、このような類型化によって、前述のような「リスク評価をめぐる社会的意思決定の混乱」が生じる理由にひとつの説明を与え、改善方法の見通しを与えることができる。その点を説明するために、まずはスターリングの 4 類型の意味を整理しておこう。

リスク（risk）

スターリングが定義する「リスク」とは、あるハザードの発生可能性とその発生確率（ないし密度関数）の両方について、質の高い知識が確立していると認識されている状態を指す。いわゆるリスク評価の方法が定式化されている状態といえる。たとえば、化審法（化学物質の審査および製造等の規制に関する法律）の対象となる化学物質の製造者が国に対して提出すべき毒性データ、消費生活用品の JIS 規格のようなものだ。ただし注意しなければならないのは、定式化されたリスク評価で意味するところのリスクという概念が、その適用範囲を超えて

「不確実性」や「多義性」、「無知」といった他の知識状態にも適用されてしまうことである。科学的な不定性全般をこの狭義の「リスク」と同一視してしまうことは、不完全な知識への不完全な応答といってよい。それは社会的な集団力学や政治的な圧力による恣意的な操作によって科学的助言を歪められやすくする。

不確実性(uncertainty)

「不確実性」の状態では、あるハザードの発生可能性や発生結果を描写することはできるが、利用可能な経験的情報や分析モデルによって発生確率を割り出す上での決定的な基盤をもたない。もはや旧聞に属する話だが、アメリカ産牛肉の輸入再開をめぐる食品安全委員会プリオン専門調査会が紛糾した問題はこの典型だろう¹⁰。牛海綿状脳症(BSE)感染牛の牛肉を食べることにより変異型クロイツフェルト・ヤコブ病(vCJD)を発症する可能性があることについて専門家同士の意見は一致していたが、その可能性がどの程度かを定量的に算出することは困難であった。前提となる諸条件(アメリカにおける「日本向け牛肉等輸出プログラム」の徹底度合、日本におけるBSE感染源、BSE発生メカニズム、牛と人の種間バリアの程度、vCJDの発生メカニズム)についての決定的情報に欠けていたからである。電磁場の健康影響のうち、弱い電磁場を長期間浴びた場合もこの類型に相当する。小児がんの発生可能性があることについて専門家同士の意見は一致しているが、その定量評価の内容は依拠する方法論によっても異なる。

イタリアの統計学者であるデ・フィネッティの言を借りれば、不確実性状態では「確率は存在しない」。だが、ベイズ推定のような主観確率にもとづく手法は「確率を得ることは常に可能である」という断定を導き、確率が決定的な答えを生み出すような単純な状態、すなわち本稿でいう「リスク」状態に対してまで「不確実性」という用語が持ち込まれるようになっていく。もちろん主観的判断によって分析の基礎となすことはできるが、そのような判断は複数の異なる形態をとり、

それらが同程度にもっともらしいということがありうる。科学的に厳密なアプローチとは、これらを単一的な価値や助言に集約させることよりもむしろ、可能な解釈の多様性を認めることである。したがって不確実性の下では、単一的で集約的なリスクの考え方は、合理的でもないし、「科学的根拠にもとづいた」ものでもない。

多義性(ambiguity)

「多義性」の状態にあつては、あるハザードの発生確率ではなく発生可能な結果自体の知識が定まっていない。これは既に起こった事象に対しても当てはまる。たとえば、遺伝子組換え作物の商業栽培に伴うハザードの発生結果は、生態系への影響のみならず、経済的、倫理的見地からの影響をどのように評価するかという点でも議論がある。携帯電話の基地局をめぐるのは、基地局周辺の住民に対する健康影響の問題とは別に、基地局の出現そのものが景観を損ねるといった点からの論争もある。このような「対立する確実性」や「相異なる確実性」をめぐる問題に直面するとき、合理性にもとづく分析自体では決定的な回答を保証できない¹¹。要するに英語の慣用語にある「リンゴとオレンジを比較する」ごとき、比較にならないものを比較するという困難な問題を引き起こしている。

有害性や便益について、子どもと大人、現在と将来世代、人間と非人間に対する影響をどのように比較し、何を優先して調べるべきだろうか？これらに優先順位をつけることが実際には難しいということではない。むしろ、社会的に優先順位をつける単一の「客観的な」やり方を案出することが原則的にできないということだ。(たとえば仮想評価法(CVM)やヘドニック法などにもとづく)費用便益分析の技法も一般に、この基本的問題の理論的考慮はされない傾向にある。ましてや、通常の定式化されたリスク評価においては一切、考慮されていない。このような側面は、一見「科学的に純粋」に行われていると思われがちな研究現場にも現れる¹²。

無知(ignorance)

最後に「無知」の状態がある。ここでは、あるハザードの発生確率と、発生可能性や発生結果の両方に関する知識が定まっていない。「どのような種類のハザードがどの程度起こるのかわからない」ため、絶えず思わぬ驚きに遭遇する。たとえば、成層圏オゾンの減少やBSE、内分泌攪乱物質(環境ホルモン)の発見の最初期は、起こりうる結果もその確率もわからない無知にあった。DDTの場合、DDTの殺虫効果の発見にノーベル医学生理学賞が与えられた1948年当時、生態系や人体に対するDDTのハザードは無知の状態に置かれていたといえる。アメリカ応用昆虫学者協会はDDTへの「誤解、過度の楽観、ゆがめられた印象」を正すための声明を1944年に発表し、DDTの大規模使用によって「現在、意識されていないような問題がひき起こされるかもしれない」と警告していたが、当時、その警告は異分野の専門家にも、社会一般にも届かなかった¹³。

厳密な意味で、無知の状態では完全に想定外の結果が常に起こりうる。今日、欧州の環境政策や保健政策において予防原則が幅広く適用されるようになった理由は、長期的な技術選択、投資評価やリスク評価の現場では、無知が支配的な状態であると認識されていることによる。そのような状況では、多くの複雑な確率論の手法を用いて何らかの指標を得たとして、その指標は信頼できる知識基盤となりえない。「無知」を単なる「リスク」であるかのように扱うことは、ハイエクがノーベル経済学賞受賞講演で喝破した「見せかけの知」でしかない¹⁴。どれだけの情報が与えられたとしても、この状態での判断は本質的に主観的であり、価値観や信念に強く依存するものとなってしまふ。

複数の条件付きの助言

リスク評価に関する手法が適切であって、政策形成に向けて有益な情報を与えることはよくある。一般的な商品、道路や航空機の安全統計、ありふ

れた病気の疫学などである。だが、こうした一見したところなじみのある領域でも、予見できないハザードの発生を排除できないことは各種の重大製品事故などが示すとおりである。そのため、科学的根拠にもとづくリスク評価には常に謙虚さが求められる。また、リスク評価を政策立案のために利用する場合、不定性分類における「リスク」に対する評価手法と、それ以外の状態に対する評価手法を区別することは極めて重要となる。両者の際立った違いは、後者は「単一の決定的な」政策選択肢を推奨しないことにある。

エネルギー技術のリスク評価について、経済性(コスト)という一つの評価軸を例に考えよう。共同通信社は、政府や民間によるエネルギー技術の発電コストについての試算をまとめている¹⁵。これらの試算の目的は、政策立案者が経済性の観点から選択肢を選ぶ支援をすることである。こうした費用便益分析は最も洗練され成熟したアプローチの一つであり、個々の試算は不確実性の幅がないものも多く、それらがあたかも疑いのほとんどないようなものとして表されている。だがそれぞれの試算を図1のようにまとめると、政策立案者からは通常見えない、まったく異なるストーリーが生まれる。同程度に権威的な研究の間の矛盾は大きく広がり、最大値と最小値の区間幅が大きくなって選択肢どうしが互いに重なっていることは、多義性の状態を明確に示している。そしてこれは、どの選択肢も任意に順位づけすることができ、ほとんどあらゆる政策形成を「科学的根拠にもとづく」ものとして正当化できてしまうという問題を示している。

遺伝子組換え作物に関するリスク評価についても、同様の状況が観察できる。スターリングは多基準マッピングという手法を用い、遺伝子組換え作物に関する専門家の見解が多様であり、それぞれが仮定にもとづくものであることを示したとき、政策立案者がどのような反応をしたか紹介している。こうした結果は実際の政策形成に何の役にも立たないと行政官から揶揄されたものの、担当大臣からは肯定的に受けとめられその意義が適切に

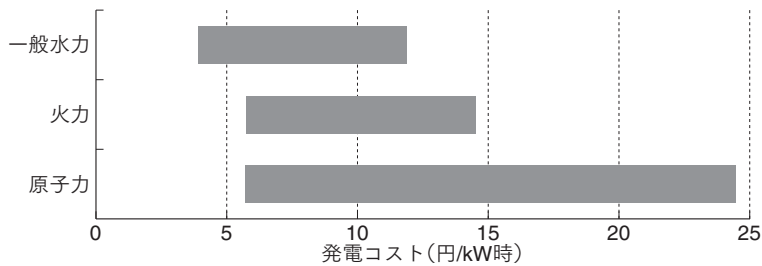


図1—エネルギー技術の発電コスト(区間データ)

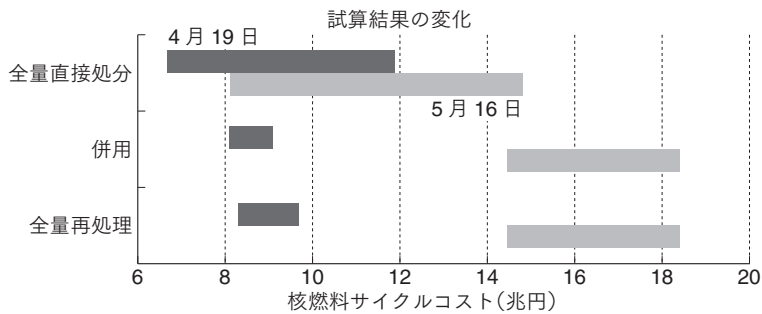


図2—核燃料サイクルコスト(区間データ)

評価されたという。政治的操作に最も脆弱なのは科学の単一で決定的な表現である、と彼は経験を語る。2003年の遺伝子組換え作物の科学的レビューでは、遺伝子組換え技術に対して「赤信号でも青信号でもない」という結論とともに、不確実性の議論や異なる見解などが報告書に盛り込まれた。このレビュー委員会は賛成派と反対派が協働して審議を進めることができた成果であるが、委員の一人として参加したスターリングは反対派に与するなら経歴に傷がつくぞという脅迫を陰で受けており、英国科学助言委員会はそのような行為の存在を認めたという一幕があった。これは、圧力があつた事実を政府が正式文書で明らかにする機会があつたぶんだけ健全であるとするべきかもしれない。

一方、昨今の日本の原子力委員会はどうか。報道によると、専門家の持ち寄つた科学的データを用いて使用済み核燃料を再処理せずすべて地中に埋めて捨てる「全量直接処分」の費用を試算した際、再処理事業廃止に伴う関連コストの計上方法が不適切であつたことが明らかにされた。審議を進める小委員会座長は「再処理工場に投資

済みのコストは再処理事業の停止、継続にかかわらずかかる費用であるため、(関連コストを)単純合算すべきでない」と指示していたにもかかわらず、事務局はそれに従わない計算をしていたのである(図2の4月19日試算)。つまり、直接処分路線は再処理事業にこれまで投資してきた分が無駄になるので、その政策変更分も直接処分にかかるコストとして計上し、直接処分のコストを相対的に高しようという政治的な意図が隠されていたのである。委員の異論を受けて、事務局は「数字の並べ方が悪かつた。計算方法も含め検討したい」と釈明した¹⁶。そして、将来を見通して発生する費用ベースの再計算により、全量直接処分は全量再処理や再処理と直接処分の併用より安くなるという、当初とは異なる結果が公表されることとなつた(図2の5月16日試算)¹⁷。このことは、図らずも仮定的条件を明示することによって政治的操作に対するリスク評価の頑健性を証明する結果となつた。

リスク評価という形で専門家に求められる科学的助言は、科学的仮定や代替可能性、価値判断や解釈など、さまざまな前提条件にもとづいてなされ、そのような前提条件から導かれる助言の内容

は多様性を帯びている。特に「多義性」の状態では、科学的助言は「複数的で条件つき(plural and conditional)」な性質をもたざるをえない。科学的知見を提供する側も、社会的判断に用いる側も、この性質を適切に認識することで、社会的意思決定にかかわる科学的助言の厳密性と頑健性を保証し、民主的な説明責任を果たすことができる。

関与者の拡大——想定外を想定すること

最後に、議題設定や意思決定をするにあたって関与者を拡大することの意義について議論したい。

「リスク」の状態では、その評価は純粹に専門家の領域として認識され、社会的な関与の入る余地がないと見られるかもしれない。そこでは情報が十分に与えられていない感情的な一般市民のリスク認知を是正するために「客観的」で合理的な専門性をもってコミュニケーションを図り、リスク管理されねばならないとされがちだった。この評価と管理の分離は、科学は事実を発見し、事実は技術を決定するというように、知識は必然的に単線的な軌道を進むという見方にもとづいている。しかしそうした狭い科学観によるリスク評価の概念をもって、ある技術に対するリスクが厳密に量化されたとしても、その技術がもたらす便益はどれくらいか、その技術に代わってどの技術や政策選択肢を決定するか、その技術に対する賛成派と反対派をどう仲裁するのか、現実的にその技術をどう利用するのか、どこまでそのリスクに対する防護措置を講じるのか、といったことは相変わらず質的熟議を要する。すなわち、通常リスクと呼ばれるものが、異なる社会的意思決定の場面では「多義性」の顔をもつことがありうる。

「不確実性」の状態において、関与者を拡大することの意義は明らかである。開かれた手法による参加型実践を通じてのみ、重要な社会的懸念に焦点を当てた政策評価がより効果的になるだろう。法廷での意思決定においても、「コンカレント・エヴィデンス」方式¹⁸などにより同様の複眼的議論が試みられている。こうした実践によって、社

会的・政策的ニーズを掘り下げる、新たな解決策を考案する、最善策の機会を増やす、最悪の可能性を回避する、後悔しない戦略を採る、予防原則的なバランスを図るといった課題に目が向けられやすくなる。

「多義性」の状態では、異なるグループの専門家間や専門家と非専門家との対話といった関与者の多様性が求められる。産学官は、そのセクター内やセクター間で支配や対立、排除を繰り返し、事前警戒的な措置の実施を妨げている¹⁹。こうしたセクターを横断的に通底している政治的な動きは、むしろ一般の人々にはなじみのあるものだが、専門家はしばしばこれを過小評価する。関与者の拡大は、これまでの政府や国会、法廷ではなしえなかった綿密さをもって、関係者や一般市民の幅広い観点を意思決定に組み入れるやり方の一つとなる。

そして「無知」の状態は、科学的・技術的進歩が単線的な競走のようなものではなく、(ロックインや経路依存性という言葉で知られるように)ある軌道が開かれると他の可能性が閉ざされる選択のダイナミクスであることをわれわれに認識させる²⁰。多様で開かれた人々の関与は、知識やイノベーションの社会的評価において、手続的な厳格さと民主的な説明責任を両立させる手法となる。

* *

東日本大震災以降、「想定外」という言葉が悪い意味で広まった。しかし「想定外」は、原子力発電の利益共同体にとって、①想定から外した、②想定できるがしなかった、③想定すらできなかったということを含み、それらが混同されることにより、言葉が独り歩きしている印象がある。「原子力発電所に隕石が落ちることは考えない」ということは①であり、その想定される被害は甚大であるが確率は非常に低いリスクと見ることができる。「原子力発電所に大津波が押し寄せる」は②であり、起こりうる結果はある程度の幅で予想できるが地震や津波の発生確率についての知識が不十分なため、不確実性の状態にあったと見てよい。「原子力発電所の事故により原子力発電に

対する社会的信頼が大きく喪失する」は③であり、どの程度の社会的信頼が失われるのかも、それによってかかる政策的・社会的コストの大きさも予想できない無知だったといえるかもしれない。対象にかかる知識の状態を理解した上で、それは想定しておかなくてよいものなのか、想定して予防措置を講じておくべきものなのか、想定しえなが事前警戒や事後対応を図るものなのかを区別せねばならない。これらは科学だけでは決まらず、

コラム

科学史にみる自然認識と不定性：科学と技術

空間を波として伝わる電磁波は1864年、マクスウェルというイギリスの物理学者により、その存在が理論的に予言された。電磁気学の基礎方程式であるマクスウェル方程式の解として、電磁波解が見つかったからである。電磁波が自然界に存在することが実験的に検証されたのは24年後、1888年であった。ドイツのヘルツが、離れた場所に電磁波が伝わることを実験的に確かめ、マクスウェルの予言の正しさを示した(図3)。

では、電磁波は1888年以前には存在しなかったか？ むろん、電磁波は太古から存在し、人類と正負両面で相互作用し続けてきた。電磁波は太陽から地球にエネルギーを運び、生き物は光という電磁波を通して情報をやり取りしている。電磁波は、理論的に予言された1864年から、存在が確かめられていないという意味で「不定な状態」となり、1888年に「発見」された。

歴史を見れば、科学的に認識できていることと、現実に存在していることは別の話だと確認できる。自然現象に不定性があるからこそ科学者は研究という営みを行い、自然の理を解明しようとする(理

価値判断を要するものである以上、多様な専門家や関係者による開かれた議論を通じて社会的に議題構築や意思決定をしておく必要があるだろう。スターリングの不定性分類は「リスク評価」や「科学論争」において語られている対象の違いや、そこから来る関係者の議論のすれ違いを明らかにすることによって、開かれた議論の必要性とあり方を示しているのである。

学)。科学は「無知の知」を研究の出発点にする。一方、電磁波の技術的(工学的)応用は、1888年に降に始まった。その後、さまざまな「発明」を伴いながら通信手段としての電磁波(電波)が使われるようになっていく。応用科学としての電波工学の立場なら、電磁波は1888年に降に、その技術的対象として誕生している²¹。

科学と技術は、この例からもわかるように本質的に異なる営みであるが、日本では歴史的経緯²²から、その違いが社会一般であまり意識されてこなかった。そのため、価値判断や信念を避けがたい、専門知の不定性が問われる状況での「技術的判断」さえも、科学的知見と同一視されがちな状況が生じている²³。関わる専門家側も、その技術的判断の内実を十分認識していないためか、唯一の科学的解答のごとく社会に伝え、混乱を招きがちである²⁴。欧米とは異なる歴史的事情を踏まえるなら、専門知の不定性には複数の種類があることを認識し、科学的知識が担う側面と、社会的合意形成などが担う側面を整理しながら社会的判断を論ずる必要性は、この国ではより大きいものと思われる。

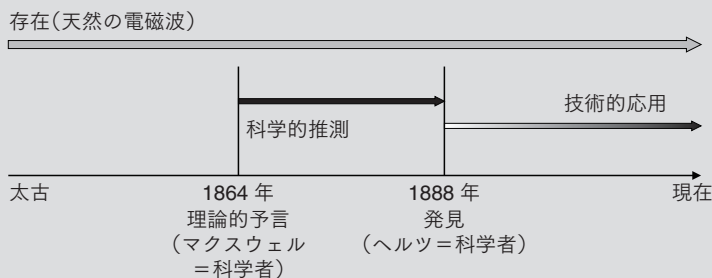


図3—電磁波の存在と発見

文献および注

- 1—本稿の一部は、JST/RISTEX プロジェクト研究(不確実な科学的状況での法的意思決定)の成果をもとにしている(中島, 本堂)。
- 2—「原発震災」とは、地震学者の石橋克彦氏の造語。石橋克彦, 「原発震災—破滅をさけるために」『科学』67(10): 720-724 (1997)
- 3—本堂毅, 「法廷における科学」『科学』80(2): 154-159(2010)
- 4—海渡雄一, 『原発訴訟』岩波新書(2011)
- 5—フランク・グレーム・ジュニア著, 田村三郎・上遠恵子訳, 『サイレント・スプリングの行くえ』同文書院(1971)
- 6—科学は線引きのための材料(知見)は提供できる。しかし, その線引き自体が争われている時, これは科学には答えを出せない, 価値判断の争いである。
- 7—科学で答えが出る問題と出ない問題を区別する能力は, OECD(経済協力開発機構)によって, 義務教育終了時まで身につけておくべきものとされている。
- 8—本稿では主に以下を参照している。Stirling, A. Journal of Risk Research 1(2): 97-109(1998); EMBO Reports 8(4): 309-315(2007); Nature 468: 1029-1031(2010); PLoS Biology 10(1): e1001233(2012)
- 9—哲学者のホワイトヘッドは「単なる無知よりも, 無知であることへの無知こそが知識の死である」という言葉を残している。
- 10—中島貴子, 「迷走する食品安全問題—BSEを中心に」吉岡斉編集代表『新通史 日本の科学技術 世紀転換期の社会史 1995~2011年・第4巻』原書房, 375-394(2011)
- 11—合理的選択理論の基礎を築いたケネス・アローの不可能性定理(一般可能性定理)は, 民主的な条件下で, 3つ以上の選択肢がある場合には社会選好を民意にもとづいて定めることが不可能であることを証明した。ここで民主的な条件とは, 「社会の各構成員は三すくみなどが無い確たる選好をもちうる」(普遍性), 「社会の全員の選好の一致は社会選好となる」(パレート効率性), 「二つの選択肢の社会選好はそれに関わる個人の順序づけのみで決まる」, 「個人選好が社会選好となる構成員(独裁者)は存在しない」(非独裁性)の4つである。
- 12—研究として, さまざまな可能性から何を(優先して)調べるべきかは科学自体では決まらない。たとえば, ある物質に曝露された細胞をマイクロアレイで調べたとき, がん関連遺伝子に変化が見つかったとしよう。この時, 多様な可能性から, どのがんとの関係を深く調べるべきかの判断は価値観を伴った「選択」とならざるをえない。現代の研究は, 多くの場合, 競争的環境で予算獲得をしなければ研究を行えず, 予算獲得には, 「選択」にもとづく研究計画を提出し, 審査に通らなければならない。何を選択する研究に予算支出を行うかの判断は, したがって, 研究計画を審査する側の価値観に大きく依存し, その価値選択が科学の進む方向と速度を制御している。
- 13—ポール・ブックス著, 上遠恵子訳, 『レーチェル・カーソン』新潮社, p. 224 (1992)
- 14—Hayek, F. A. Lecture to the memory of Alfred Nobel, December 11, 1974. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/1974/hayek-lecture.html
- 15—政府の2004年試算, 政府の2011年試算, 大島堅一立命館大教授, 日本エネルギー経済研究所, 地球環境産業技術研究機構, 日本経済研究センター, 円居総一日本大教授による7つ。

共同通信, 2012年4月19日。

- 16—共同通信, 2012年4月24日。
- 17—共同通信, 2012年4月27日。NHKニュース, 2012年5月16日。4月19日の段階では発電時点で発生しうる費用ベースのみの計算を公表していたが, 再計算では将来を見通して発生する費用ベースでの計算も併せて公表している。図の5月16日は後者の計算結果である。図のデータは原子力委員会「原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会」の第12回・第15回会議資料にもとづく。
- 18—オーストラリアの裁判所で生み出され, 活用されている専門家証言の方式。この方式では法廷に先立ち, 争点に関する見解について合意できる点と合意できない点を複数の専門家が共同で議論し, その結果をレポートに書く。その後, 専門家は法廷で自らの意見を示すと同時に, 先のレポートをもった裁判官の前で互いに質疑応答を行うことが推奨される。これによって, 未来予測が必要な, 真の不確実性の存在を明らかにできるなどの利点が生まれる。
- 19—Gee, D. et al. Late Lessons from Early Warnings: The Precautionary Principle 1899-2000. Copenhagen: European Environment Agency(2001)
- 20—たとえば現在のパソコンでも標準的に使われているQWERTYキーボード配列はタイプライターの技術的問題を軽減するためのもので, 人間工学的に最適な運指となるように設計されたものではまったくない。しかし, この配列が普及すると, それに合わせた製品開発や職業訓練が進み, 関連技術が社会に埋め込まれてしまい, 技術を後戻りさせることも他の技術を代替的に普及させることも極めて難しくなる。
- 21—むろん, 技術が先行し, 科学的理解が後を追う場合もあるし, それぞれが相互作用しながら発達する場合もある。
- 22—技術を扱う工学部が世界で初めて大学に置かれた国は日本である(東京大学工学部の前身)。欧米では, 科学(理学)と技術(工学)は別物として区別されている。
- 23—たとえば, スイス連邦政府で環境電磁場のアセスメントを担当する研究は, 工学者(技術者)ではなく科学者が担っている。なぜ工学者ではなく科学者かとの問いに, 彼らは「わからないことを予測するのは技術ではなく科学の仕事であるから当然」と答える(2011年3月, ベルンでの聞き取り調査より)。
- 24—専門家の「踏み越え」については, 尾内隆之, 本堂毅, 「御用学者がつくられる理由」『科学』81(9): 887-895(2011)