

技術リスクの管理に向けたリスク概念の再考*

本 藤 祐 樹・谷 口 武 俊

1. はじめに

現代の社会は高度かつ複雑な技術によって支えられ、我々は多くの便益を享受している。しかし言うまでもなく、技術の利用には様々なリスクが伴っている。複雑化・ボーダレス化した現代社会において、技術リスクは集中・短期・直接的な影響だけでなく、広域・長期・複合・間接的な影響、さらに多様なエンドポイントをもつというプロファイルをもつ。このような特徴をもつリスク問題に社会として対処していくためには、如何なるアプローチが必要なのだろうか。未来の本質は不確実性である。一つの行為が結果と一対一に対応しない、結果は将来の状況に依存するという不確実な状況において、技術リスク管理に関わる意思決定は如何にあるべきだろうか。

この問い合わせ取り組むべく、本稿は、リスクという概念について幅広く再考することを主たる目的としている。その上で、本当にリスクを知るはどういうことか、すなわちリスクアセスメントは如何にあるべきかについて簡単に述べている。



Reconsideration of Risk Concepts for Management of Technological Risks
Hiroki Hondo (正会員)
1989年 東京工業大学理学部卒業
1991年 同大学院総合理工学研究科修士課程修了
1992年 (財)電力中央研究所入所
2001年 エネルギー科学博士 (京都大学)
連絡先; 〒100-8126 千代田区大手町1-6-1
(財)電力中央研究所 経済社会研究所
E-mail hondo@criepi.denken.or.jp
URL <http://criepi.denken.or.jp/jpn/>



Taketoshi Taniguchi
1979年 東京大学工学部原子力工学科卒業
1984年 同大学院工学系研究科博士課程修了
同年 (財)エネルギー総合工学研究所入所
1994年 (財)電力中央研究所入所
連絡先; 同上
E-mail taniguti@criepi.denken.or.jp
URL 同上

* 2003年7月28日受理

2. 科学的なリスク概念とアセスメントの歴史

2.1 発生確率と損害程度の積としてのリスク

筆者らも含めた、いわゆる理工学領域の多くの人々が思い浮かべるリスクの定義は、「ある技術の採用とそれに付随する人間の行為や活動によって、人間の生命の安全や健康、資産ならびにその環境(システム)に望ましくない結果をもたらす可能性」であり、数学的には、望ましくない出来事の発生確率とその損害程度という2つの要素の積で表現される[†] (以下ではこれを科学的リスク評価値と呼ぶ)。

$$\text{科学的リスク評価値} = \text{発生確率} \times \text{損害程度} \quad (1)$$

科学的リスクアセスメントは、これまで原子力発電プラントや化学プラントなどの工学システムや化学物質を対象として数多く実施され、技術システムの設計や保守や物質利用規制などに活用されてきた (例えば文献^{2,3)})。まずは、この歴史を振り返り、リスク管理という視点からリスク概念の再考を始めることにする。

2.2 科学的リスクアセスメントの歴史

リスクという概念が生まれるまでには長い歴史がある。詳細は文献^{4,5)}に譲り、ここでは、人間の健康そして工学的構造物という2つの管理対象に着目して、「確率」と「ハザード(危険事情)」⁶⁾の出会い^{††}について述べよう。

確率論も存在せず、リスクという概念が登場する遙か以前でさえ、人間の健康に関して原始的なリスク管理が行われていた。古代文明でも、人間の健康被害とハザードとの関連は観察されていた。例えば、紀元前、マラリアと湿地の関係が観察され、ヒポクラテスは、その著書において、健康のためには雨水をろ過し煮沸することが必要であることを指摘した⁵⁾。これは、健康に対するハザードを特定することからの直接的リスク管理と呼べる (図1a) の経路1)。ここでは、リスク=ハザードであり、リスク管理=ハザード管理であった。つまり、そのハザードによって損害が生じる可能性、すなわち、リスクを算定した上での管理 (図1a) の経路2) ではない。リスクという概念の登場前には、有害性の有無が問題であった。有害性が観察された場合、

[†] 発生確率と損害程度の積で示される定量的な表現だけではなく、リスクマトリックスなどを利用した定性的な表現¹⁾ も含む。

^{††} 両者の出会いは、1662年に刊行された「論理学、思考の芸術」において、以下のように予言されていた。「被害を受けることの恐怖感は、単に被害の大きさだけでなく、その事象の確率にも比例すべきである」⁴⁾

それによる損害の発生可能性を考慮することなく、除去や隔離などの管理方策がとられていた。その後、長い時を経て、ハザード管理から損害の発生可能性を考慮したリスク管理への転換が始まった*。人間の健康に関しては、ハザードの認識に基づく直接的管理から始まり、そこに、確率的な概念が導入されることになったのである。

他方、工学的な構造物の信頼性に関しては、1930年代に商用航空機の分野で注目され始めた⁵⁾。商用航空機が普及するにつれて事故確率の推計が重要な課題となった。1940年代から60年代にかけては、ミサイルなどの軍事部門において信頼性分析が適用され、モンテカルロ・シミュレーションやフォールト・ツリー分析などの技法開発へつながった。工学技術の高度化と複雑化によって、システム全体の事故の確率を如何に計算するかという問題に科学者達が取り組んだのである。ここでのリスク管理は、事故の発生確率を極力小さくすることであった。例えば、1939年のイングランドの規制は、商用航空機に対して1時間飛行あたり99.9999%という信頼性を要求した⁵⁾。つまり、リスク=確率であり、事故確率を減らすように工学システムを改善するという管理が行われていたわけである（図1b）の経路1）。確率に重点をおいた流れは、工学分野を中心に大きなものとなり、信頼性工学や安全工学という専門分野を築いた。そして、後述するように、確率だけでなく損害の程度も考慮したリスク概念に基づく、リスク管理への道につながるのである。

人間健康からの流れと、工学的構造物からの流れの合流は、1975年のラスマッセン教授たちによる「原子炉安全研究」²⁾が契機となった。この通称ラスマッセン報告書は、「ハザード」と「確率」が融合した科学的リスク概念によって原子力発電プラントを評価したものである。技術の負の側面を、科学的リスク概念に基づき、管理していくこうとする第1歩である。ここから、科学的リスクアセスメント手法は、洗練され、手順が整えられ、確立されてきた。我が国においても科学的リスク概念に基づく化学物質の評価が行われつつあり、管理が目指されている**。

科学的リスクアセスメント手法は、その成熟に伴い、技術専門家による自然科学的に合理的なリスク管理を可能にするという点で大きな貢献を果たしてきた。科学的リスク概念の導入は、技術管理の可能性を大幅に高めたことは疑いない。その一方で、科学的リスクアセスメントの実施、そして、その結果の利用に際しては、手法の精緻化に伴い捨象されてしまった要素の存在を強く意識しておく必要がある。それらの要素が重要な意味を持ち得るからである。

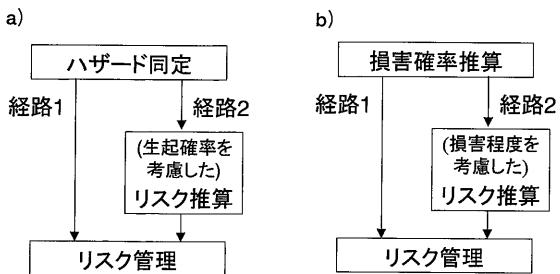


図1 人間健康と工学的な構造物に関するリスク管理
a)：人間健康、b)：工学的な構造物

例えば、一般には、期待値（期待損失）が同じであっても、高い確率で生じる軽度の事故よりも、低い確率で起こる破滅的災害をきらう傾向がある。これは科学的リスク概念では表現できない。真に合理的なリスク管理には、リスク概念の幅広いスペクトルを考慮する必要がある。

3. 社会的次元を持つリスク概念

3.1 科学的リスク概念の再考

ここでは、科学的リスク概念を以下の2つの点から再考してみたい：1) 望ましくないとは何か、2) 確率とは何か。科学的リスク概念では、望ましくないものを物理的なもの（例：人の生命）に限定し、過去の観測結果から将来の発生確率を知ることができると仮定している。このことが、リスクを単一指標で表現することを可能にし、他方で、リスクを構成する重要な要素を置き去りにしてしまった。

物理的な損害だけを取り扱うことは何を意味しているのか？「望ましくないこと」これは極めて主観的な問題である。何を望ましくないと判断するかは、個人の主觀に依存する。社会には様々な価値観が存在する。科学的リスク概念は、なるべく主觀から離れて観測が可能な範囲での評価を目指す。それゆえに、物的損失に絞ることになる。経済的損害であれば比較的観測可能であるが、社会的、倫理的、文化的損害となると極めて難しい。このような指標を使うからといって、非物質的なものを軽視・排除しているとは言えない。しかし、結果だけを見るならば、その結果だけですべてを評価するならば、非物質的な価値を無視することになってしまふ。例えば、損害（可能性）の配分は公平になされるべき、という考え方がある。短期的な損害程度が同じでも、回復もしくは補償可能な損害に比べて、不可逆的な損害は重視されるべきという、という考え方もある。科学的リスク評価には、このような価値は含まれない。しかし、このような価値から判断される情報も含めることが、現実のリスク管理には非常に重要となる。非物理的な損害を取り扱うためには、リスクを評価するための規範的価値が求められる。

過去の観測結果に基づく確率を使うことは何を意味して

* 化学物質規制におけるハザード管理からリスク管理への流れは、本特集の加藤氏の論文（本号p.498）を参照されたい。

**本特集の加藤氏（本号p.498）、小沼氏（本号p.502）の論文を参考

いるのか？科学的リスク概念は、将来の確率は過去の観測によって予測することが可能であり、それを利用することが妥当であるという立場にたつ。しかし、同じ事象であっても、人々の確率判断（主観的確率）は、問題設定の方式、文脈、置かれた状況に依存して変化する⁷⁾。そもそも、客観的と言われる確率の推定の基礎にある問題構造の設定自体が既に主観的であるかもしれない。これは、現実世界は、自然科学により客観的に観察可能なのか、という問いへと繋がる（例えば、文献⁸⁾）。深くは触れないが、科学的リスク概念では、その問い合わせに「はい」と答えていることになる*。科学的リスク概念に重きを置くということは、突き詰めれば、未来のための最善の方策を決定するためには、どれだけ信じることができるかという主観的信念よりも、過去の計測によって得られる客観的数字に重きをおき、そのような客観的な計測は可能であるという立場に立つことを意味している。

科学的リスク概念それ自体は客観的なものかもしれない。しかし、それが社会において利用される時には、より注意深く考える必要がある。もし、科学的リスク概念だけに依存するならば、前述したように、既にある価値観に基づいていることになる。それゆえに、技術導入のように社会的な決定が必要な問題に対しては、科学的リスク概念だけでなく、規範的価値を積極的にとりこみ、リスク特性を、できる限り様々な見方から評価できるようにすることが重要なのである。

3.2 人文社会科学研究からのインプット

リスク概念は「期待値（期待損失）」以上のものであり、その概念の広いスペクトルを理解することが必要である、という指摘が人文社会学の分野においてなされてきた（例えば、文献^{9, 10)}）。科学的リスク概念は「技術自体が有するリスク」を対象としており、「技術に依存する社会が持つリスク」「技術と社会との乖離がもたらすリスク**」については十分に答えることができない。例えば、心理学の一分野であるリスク認知研究は、我々を感じるリスク概念と科学的リスク概念との間に乖離があることが明らかにした¹¹⁾。リスク認知研究の蓄積は、リスクを考える際に、制御が可能か、損害（可能性）の配分が公平か、自発的であるか、などの観点が重要であることを示唆してきた。技術の利用に伴うリスクを社会として効果的に管理していくためには、科学的リスク概念から一歩すすめて考える必要性がある。もちろん、損害の発生確率と程度は、リスクを評価する上での重要なクライテリアであるが、リスクという概念をより適切に表現するためには他のクライテリアが求

表1 9つの評価のクライテリア（文献¹²⁾より作成）

クライテリア	説明
生起確率	ある出来事が生じる確率
生起確率の確かさ	統計的不確実性だけでなく知識の欠如による無知による不確実性も含む
損害程度	ある出来事が生じた場合の損害の程度
損害程度の確かさ	統計的不確実性だけでなく知識の欠如による無知による不確実性も含む
空間的遍在性	潜在的な損害の空間的な広がり
時間的持続性	潜在的な損害の時間的な広がり
不可逆性	損害が生じる前の状態に戻すことのできない可能性
遅延効果	原因となる出来事から、それにより生じる損害までに長い潜在期間がある可能性
政治・社会問題化の可能性	個人のリスク回避（嫌忌）的な傾向が生み出され、それが政治的な抵抗を引き起こす可能性

められよう。

3.3 リスクの評価クライテリア

では、社会における技術リスクを管理するためには、どのようなクライテリアに基づいて評価すれば良いのか。社会の構成員に広く影響を与えるような社会的リスク[†]の特性を評価するためには、発生確率と損害程度に加えて、社会の価値を反映した規範的なクライテリアが必要となる。German Advisory Council on Global Changeは、表1に示すような9つのクライテリアに基づき、リスクを評価することを提案している。科学的リスク評価値の要素である2つのクライテリアに、さらに7つのクライテリアが加えられている。例えば、3.2節で述べた「制御可能か否か」という点については、空間的遍在性、時間的持続性、政治・社会問題化の可能性が対応する。損害（可能性）が時間的・空間的に大きな広がりを持つ場合、制御が困難となる。また、政治・社会問題化の可能性は社会的な統御（ガバナンス）の難しさを示すクライテリアである。「損害（可能性）の配分が公平か」については、遍在性が同世代間の公平に、持続性が異世代間の公平に結びついている。これらのクライテリアが大きな値をとる場合、利益と損害の受け手が違うという不公平が存在している可能性を示唆する。

このようなクライテリアを設定することにより、技術リスクの管理方策に関する社会的な意思決定が、より適切に行える可能性を高めることになる。各技術のリスクは、工学的な技術特性だけでなく技術が持つ社会的な性質によつても特徴付けられるのである。

3.4 評価クライテリアの適用：原子力発電と残留性有機汚染物質（POPs）を例に

原子力発電とPOPsを例として取りあげ、それらのリス

* 科学的知識は、ある特定の社会的、文化的コンテキストの中で（もしくは、それらによって）創りだされた結果である、と主張する逆の立場も存在する。

**科学技術に対する無関心、専門家・推進者と一般公衆の認識のギャップ、社会的な抵抗や拒否などがもたらすリスク。

[†]険しい冬山への登山はリスクのある行為であるが、その影響は登山者個人にはほど限られる。それに対して、技術を社会に導入することにより生じるリスクは、社会の構成員に広く影響する。ここでは、そのようなリスクを便宜的に社会的リスクと呼んでいる。

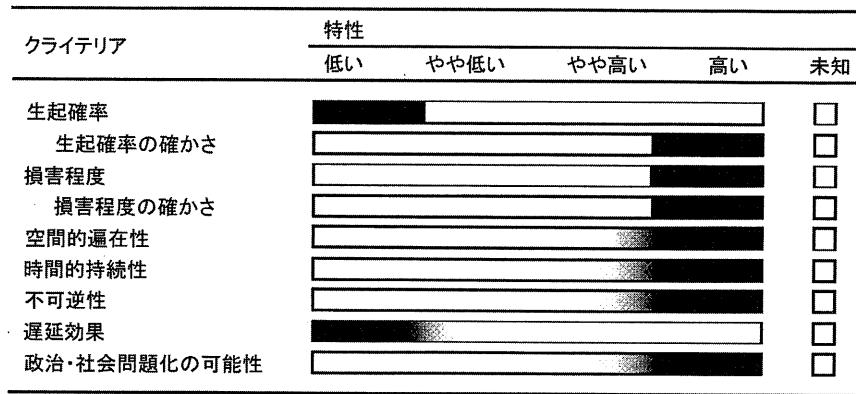


図2 9つの評価クライテリアによる原子力発電のリスク（文献¹²より作成）

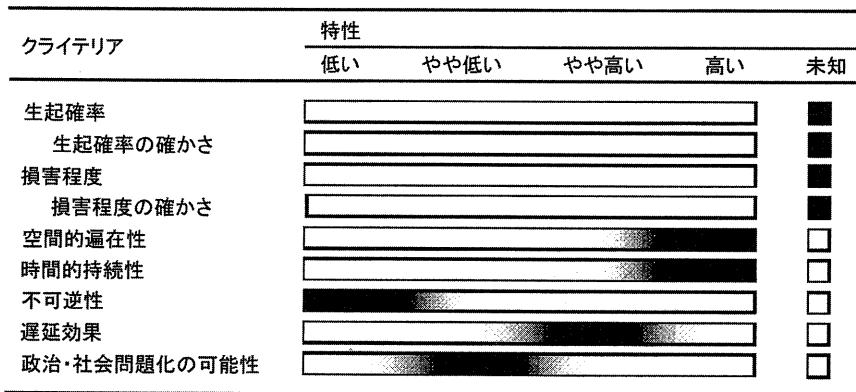


図3 9つの評価クライテリアによる残留性有機汚染物質のリスク（文献¹²より作成）

クに対して、上述したクライテリアを適用した結果を紹介しよう。

図2に原子力発電のリスク・プロファイルを示す。特徴として最初に挙げられるのが、災害の程度が最悪の場合には破滅的ということである。それは核エネルギーの利用に伴い放射性物質が生成されるという工学的な技術特性から生じる。他方で、重大事故の確率は非常に低いとされる。これらの2要素の積をリスクとしてしまうと、リスクは小さいと判断される。しかし、原子力発電のリスクの重要な特徴は「被害の程度が極めて大きいことがわかっている」ということである。この特性に注目することなく、期待値だけに依存しては、適切なリスク管理をすることができない。この特性は、大規模化学プラントや大規模ダムなども共通である。他方、POPsの場合、物質全体としては望ましくない事象の発生確率や損害程度については、科学的にはよくわかっていない。それゆえに、図3に示されているように、上から4つのクライテリアに関して「未知」の箱が黒く塗られている。

チェルノブイリの事故をみてもわかるように、原子力発電の事故による被害は国境を越えて拡がっており、空間的に広い範囲の損害を引き起こす可能性がある。加えて、放射線による遺伝子の損傷が、将来世代に及ぶ持続時間の長い損害を引き起こす可能性がある。先に挙げた大規模ダム

も、それが決壊した場合、広範囲かつ持続的な被害を及ぼす可能性があるが、原子力発電の事故に比べれば相対的には小さいと考えられる。POPsに関しても、その難分解性、生態蓄積性、長距離移動性などの物理化学特性のために、遍在性と持続性は高い。

社会的側面から、原子力発電のリスクの注目すべき特徴として「政治・社会問題化の可能性が大きい」ことが挙げられる。これは、専門家による科学的リスク評価と非専門家が感じるリスクとの間に大きなギャップがあり、専門家が考える以上に、非専門家の多くが原子力発電は生命を脅かす危険なものと強く感じているためである。このことは、原子力発電技術に対する反対運動や行政などの意思決定への不信と結びついている。自然科学だけでは解決できない重大なリスクを抱えているといえる。逆に、POPsは原子力発電に比べて、社会全体としては、その有害性や危険に対する関心や認知があまり高くないと考えられる。それゆえに、個人のリスク回避的な傾向も生み出されることなく、政治的な抵抗も少ない。むしろ、専門家の方がその危険性を強く感じており、一般市民が危険に無頓着ということがリスクになる可能性もある。

4. 技術リスクの統合的な評価の必要性

これまでみてきたように、技術リスクを社会的に管理していくためにはリスク概念を幅広く捉える必要があることがわかる。つまり、リスク管理を効果的に実施するにあたっての重要な作業であるリスクアセスメントにも、自然科学的な見方だけではなく社会科学的な見方も含めなければならないのである。このような認識を踏まえ、図4に技術リスクを評価する際の概念的なフレームワークのイメージを示してみたい。自然科学的に得られる情報に、経済学、心理学、社会学などに基づく情報を付け加えることで、リスク管理のために有効な情報を提供することが可能となるであろう。現代社会における技術リスク問題への対処には、それに係る多様な利害関係者（行政や事業者や専門家や市民など）が関与し連携することが必要である。また、技術リスクの統合的な評価には、先に述べたように種々の学問分野の専門家による有機的な協力が重要となる。現在の学術研究は極めて細分化していることを考えれば、同じ学問分野内において多くの専門家が関与し連携することもまた必要である。様々な人々の関与と連携が、統合的な評価、すなわち「知の統合化」を可能とするのである。

いずれにしても、技術リスク管理の望ましい意思決定に向けて、統合的なリスク評価は必要不可欠である。統合的な評価に向けて、前項で紹介した評価クライテリアで十分か否か、わが国の社会的文脈のなかでは何が重要な評価クライテリアなのかななど、今後活発な議論が展開されることが望まれる。

5. おわりに —技術のリスクマネジメントに向けて—

我々は、古代から望ましくないことを様々な方法で管理してきた。時が進み、複雑かつ高度な技術に支えられている現代社会は、その利用に伴う将来の負の可能性を、リスク概念に基づき合理的に管理し始めた。そこでは、長い歴史の上に確立されてきた科学的リスクアセスメントが強力なツールとして利用されている。しかし、このツールの背景にある科学的リスク概念は、技術リスクの一部しか表現していないことも事実である。リスク概念は、自然科学から社会科学まで幅広いスペクトルを持つ。今、求められることは、科学的リスク概念と、人文社会学の分野で議論されてきたリスク概念を融合させたフレームワークにおいて

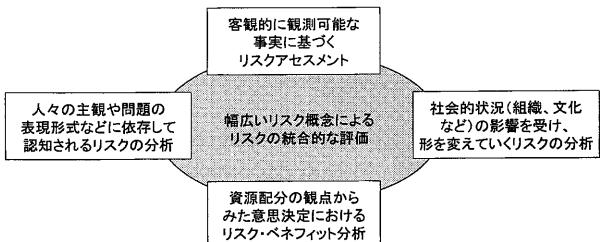


図4 統合されたリスク評価のイメージ

て、技術のリスク特性を評価することである。技術や製品は、自然科学的特性だけでなく、社会的特性をも持つのである。

重要なことはリスクの存在を叫ぶことではなく、そのリスクをどのような方策で管理するかを考えることである。全面禁止、基準値の設定、保険、税金、技術開発やコミュニケーションの促進など様々な方策から、それぞれのリスク特性に応じた管理戦略を立てることである。本稿では、紙面の都合上、リスク管理戦略までは踏み込むことはできず、残念ながら、それぞれのリスク特性に応じた管理政策がどうあるべきかについては言及できていない。

最後に、リスク管理について一言だけ述べておきたい。何らかのリスク管理対策をとれば、必ず別のリスクがまた生まれる。リスクの恒常性という問題である。しかし、これで諦めてはいけない。持続的な発展に向けて技術リスクを社会的に管理していくには、俯瞰的な思考、前向きの思考、責任ある思考、バランスのとれた思考が必要である。そして何よりも重要なのが「考え方続ける」ということである。

引用文献

- 1) API : Recommended Practice for Risk-Based Inspection, API 580 (2001)
- 2) Norman Rasmussen *et al.* : Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, Nuclear Regulatory Commission, NUREG-75/014 (WASH-1400), Washington, D.C. (1975)
- 3) 中西準子：環境リスク論，岩波書店（1995）
- 4) 青山護訳、ピーター・バーンスタイン著：リスク，日本経済新聞社（2001）
- 5) Rob P. Reichard : Historical Relationship Between Performance Assessment for Radioactive Waste Disposal and Other Types of Risk Assessment. *Risk Analysis*, 19(5), 763-807 (1999)
- 6) 日本リスク研究会：リスク学辞典，TBSブリタニカ（2000）
- 7) 中谷内一也：環境リスク心理学，ナカニシヤ出版（2003）
- 8) Thomas S. Kuhn : The structure of Science Revolutions, The University of Chicago Press (1962)
- 9) Paul Slovic : Perception of Risk, *Science*, 236(17), 280-285 (1987)
- 10) Sheldon Krimsky and Dominic Golding ed. : Social Theories of Risk. Westport, Connecticut: Praeger. (1992)
- 11) 岡本浩一：リスク心理学入門，サイエンス社（1992）
- 12) German Advisory Council on Global Change, World in Transition: Strategies for Managing Global Environmental Risks, Annual Report 1998 (1998)