

環境システムにおける化学物質のリスク評価と管理 ～分析と計画～

東海明宏(北大院工学研究科)

1. はじめに

「この世界において唯一確かなこと、それは人の命には限りがあり、しかもそれがいつそしてどのような形で終わりを遂げるかは不確実であるということである。」¹⁾ これは Rowe による An Anatomy of Risk という著書の書き出しの一節であり、リスクの意味を端的に表現したものである。すなわちリスクとは、人の寿命を短縮の方向に作用する因子の総称であることを示唆している。環境リスクの推定には環境を経由したリスク因子が人や生態系の生物といった暴露受容体までの到達過程を記述することから始まる。

不確実な将来に対する備え、余裕をもった設計、ゆとりをもった計画など、リスクを回避することはすでに日常的にあらゆる場において取り込まれているといえる。環境分野において、環境リスクの管理は人々の生活を維持するうえできわめて重要な役割を有している。環境リスクはヒトとしての健康リスクから生活の質、それを支える社会基盤施設の機能阻害といったことまで包括する概念である。リスクは、フロー的な汚染や物質の消費に起因するリスクやあるいはストック型の成分によるリスクにわけられ、発現形態からみると健康リスク、生態リスク、社会に具備されたリスク回避システムの機能不全といったシステムリスクに分けられる。これらは客観的な手順によって推定され、数値として表現されるリスクと人々の感覚上のあるいは主観的な“こわさ”の心理的論理によって表出するものとわけられよう。前者についてはリスク算出の過程の客観性を担保することに焦点が当てられ、後者は心理的論理の多様さをはかり、分類することに重点がおかれている。

2. 環境リスクの分析

(1) リスク分析の構成要素

環境リスクという用語がアメリカの環境庁で使われ始めたのは化学物質汚染対策を契機としている。社会に多大な便益を与える一方で、潜在的に(使われ方によっては)毒性を有する(発揮する)化学物質の評価において導入された概念である。環境リスクの分析において、有害化学物質への暴露を例にとれば、その毒性はいったい何か(危害の同定、Hazard identification)、低濃度だが暴露され続けるといかなる影響がおこるのかをどのように見積もるか(リスクの見積もり、Risk estimation)、回避するための代替案はどのようなものが想定されるか(リスク評価、Risk assessment)、公共意思決定として代替案が社会に受け入れられたであろうか(リスク管理、Risk management)、決定にあたって影響をうける人々に知る権利・要求はどの程度みたされたのであろうか(リスクコミュニケーション、Risk communication)といった技法から構成される。

これらの過程には、不確実性(Uncertainty)が含まれる。すなわち環境リスクには、リスク因子の発生過程の不確実性、伝播過程の不確実性、影響発現過程の不確実性や、後述する評価、管理といった視点の多様性、更に受け入れる側の心理的な面の多様性の考慮が必要となる。なお、リスクの定義としては、池田らによる定義、「人間の生命や安全や健康・資産ならびにその環境(システム)に望ましくない結果を与える可能性」が包括的なものであり、リスクを確率と結果の和集合として定義し、式(1)で示している²⁾。

$$Risk = p \oplus d \quad (1)$$

p : 発生確率

d : 望ましくない結果の程度

\oplus : 和集号

(2) リスクの表現形

リスクの表現系の類型として、致死、罹患率、関心（未知、恐ろしさ）の3つの軸が提案されている³⁾。定量的なリスクの表現形としては大別すると**リスク率(Risk rate)**と**損失余命(Losses to life expectancy)**とに分けられる⁴⁾。リスク率とは暴露時間当たりの事故等の一次元的な値であり、損失余命は集団としての損失の期待値である。それらの指標によって職業上のリスクを比較したり、事故防止のための支出経費を調べることで職業ごとに障害や生命の値段を比較することがある⁸⁾。

(3) 環境リスクのタイプ

多様なリスク因を発生、伝播、暴露に関する属性で分類することがリスクへの対応策を整理する上で有用である。これらの経路のどの部分に代替案を導入するかという点と連動するため、あらかじめリスクの属性に従った分類を必要とする。リスクの受容・拒否の観点から先駆的になされた研究から**自己原因性(Voluntariness)**あるいは自己選択可能性の次元が強く効いていることが示されている⁵⁾。

(4) リスクの推定における媒介項

先にも述べたように、環境リスクの推定は負荷の発生から受容体までのプロセスが連鎖構造として理解できる。次の式(2)に示したのはこのリスクの発現までの連鎖構造の概念式である。

$$\Delta Risk = Population \frac{Consumption}{Population} \frac{Emission}{Consumption} \frac{Env.Conc.}{Emission} \frac{\Delta Dose}{Env.Conc.} \frac{Risk}{\Delta Dose} \quad (2)$$

式(2)において明らかなように、この式は $Risk = Risk$ となり、リスク因の発現からリスクの増分の推定に至る間の**媒介項**の連鎖を示している。利用可能なデータ、モデルや代替案の導入可能部分等に応じて適切な精度で、あるいは各項の精度のバランスに配慮して定式化されている。

(5) 知覚されたリスク

知覚されたリスク(Perceived risk)とは、人々の心理的な次元に投影されたリスクである。量的指標でしめされたリスクの値やそれらに基づくリスク比較の結果からすると、論理的には矛盾するように見受けられる場合でもリスクの受け止め方において心理的にある種の一貫性のあることを心理的論理と呼んでいる。心理的次元としては、**恐ろしさ(dread)**、**未知性(unknown)**の2つが知られている⁶⁾。

3．環境リスクの管理体系

(1) リスクの比較

リスクはバックグラウンドレベルや代替案との比較において議論される。各種のリスク因に対して共通のフレームワークで推定した結果に優先順位をつける手法としては1次元的な数値にもとづく1次元比較法とリスクを費用に変換する方法による環境政策の優先順位づけがある。1次元比較法はすでに述べた通りだが、リスクの費用への変換法はスウェーデン国立環境研究所で提案され、環境単位負荷、政府の対策に対する支払い意思額によって各種の環境インパクトを等価変換する方法である。この方法は異なる種類のリスク因子の削減に支出された費用に置き換えられて比較されており、現実の政策の事後評価にもなっている⁷⁾。

(2) リスク評価における情報の価値

前述したとおり、リスクアセスメントは科学的事実の積み上げと推論・判断の部分からなり、新たに判明する事実等を取り込んでリスク評価プロセスは改善される。すなわち方法が洗練されてゆくことを意味する。いずれの知見が評価プロセスを改善するうえで重要性が高いかということを識別する指標として**情報の価値(Value of Information)**が定義されている⁸⁾。これは、リスク評価にあたって必要なデータの収集段階を想定し、すなわちデータがきわめてわずかしかなない場合(1) ある程度集まった段階(2) そして議論の結果ある一定の値に収束した場合(3) についてシステムモデルの

パラメータの入力パターンとしてこれらの3つの場合ととりあげて、獲得情報を期待値の上昇に置き換えたものである。

(3) 管理原則

リスクは潜在している以上、ゼロにすることは現状ではきわめて困難であり、むしろどう管理していくかが課題である。リスク管理(risk management)とは、式(2)に従い推定されたリスクが削減すべき対象なのかどうか、そうであるとすれば、どれほど削減しなければいけないのか、誰が誰に対して責任をもって実施しなければならないかを明らかにする行為である。対策の優先順位、その決定において影響を受ける人々への情報の伝達・交換そして意思決定プロセスへの組み込みが問われている。この段階においてリスクの受容に関与する要因としては、リスクを伴った行為により得られる便益はどれほどか、暴露人数、社会へのなじみの程度、自己選択の可能性、未知への恐怖といったものが関連する。リスク管理における代替案選択の判定基準には no risk reduction(なんら対策を施さない)、zero risk(いかなるリスクも許容しない)、as low as practicable(実行可能な範囲でできる限り低い水準に)、best practicable technology(実行可能な最良技術)、best available technology(利用可能な最良技術)がある。

(4) 事後評価

数多くのリスク因に対してリスク・便益分析を行い政策の効率性が論じられている⁹⁾。これは資源の効率的配分の観点から生命の存続を意図した各種の対策の限界費用を比較することでなされた例であり、個々の対策によって単位リスク削減あたりの費用が広い範囲に分布することが確かめられている。この種のデータが再度リスク評価者へフィードバックされ、総合的なリスク対策、すなわち資源の効率的な配分が保証されたリスク管理へとつながることが重要である。リスク評価とリスク管理が互いのアウトプットを受け取り合ってリファインしてゆく循環的な構造が形成されることが望ましい。リスクに対しては分野横断的な取り組みが不可欠であるが、一方では部分を支える個別分野の基礎的課題も重要である。毒性データの収集など現在進行形でもあり、既存データが陳腐化することをにらみつつも適当な段階で分野横断的なまとまりを確認することが結局のところ重要である。

4. リスク管理の事例^{10), 11)}

大気、水質、土壌、などの環境媒体中の化学物質の規制は健康リスクをベースにその対象範囲を拡大してきている。また、特定の場における適用例としてはゴルフ場で使用される農薬、あるいは建築物中に含まれるアスベスト、閉鎖系用途のPCBなど過去において使用され現在もなお用いられている物質に対しどのような代替案をもって解決にあたるかの見通しを探る上でリスクをベースにした計画の必要性は今後増加すると思われる。以下に、代表的な事例を紹介する。

(1) P R T R

リスクアセスメントの実際問題への適用としてはすでに各種の環境媒体に対しての化学物質毎の基準の策定といったことが行われている。生産・消費・廃棄過程をも捉えた包括的な化学物質対策として環境汚染物質に係わる排出・移動登録(P R T R, Pollutant Release and Transfer Register)システムが導入された。これは規制対象物質のみならず、潜在的に有害な可能性のある多数の物質について環境への排出状況を排出事業者が簡易な方法で適正に推計・把握し、自主管理を促進するとともに関係各主体へ関連する情報を提供することでリスク対策の推進を図る制度である。化学物質の排出・移動経路としては大気、公共用水域、公共下水道、敷地内土壌、リサイクル業者への移動を含んでおり、暴露予測と連動することでリスクアセスメントをより実態に即した形で実施できることが期待でき、その結果が関連主体にフィードバックされることでトータルとしてのリスク管理がおこなえることが期待される。

この種の取り組みは諸外国においては米国(有害化学物質放出目録)、カナダ、英国、オランダ、ドイツ、オーストリアになされている。物質の生産・利用・消費・廃棄の各断面においてリスクアセス

メント、あるいは稀少資源の有効活用をはかるための制度として位置づけられるよう。くわえて関係各主体への情報の公開も想定しているため、共通の情報を共有した上でのリスクコミュニケーションも促進することが期待できる。現在、神奈川県、愛知県内の地域を対象にパイロットスタディが実施されている。

（２）包括的有害物質管理

米国において包括的に物質代謝を管理する・すなわち生産物のゆりかごから墓場までのコントロールを意図したものが、通称スーパーファンド法と呼ばれるものである。この法律は有害物質の過去における放出、現在及び将来の放出がもたらす悪影響を対象としており、その悪影響は健康リスクとして評価されている。不確定な情報下で方策決定を促すため、そのなかには汚染場所のリスクからみた緊急性を定量化するハザードランキングシステムが組み込まれており、複数の評価指標で総合ランクをつける手法が用いられている。汚染場所に適用される対策を恒久措置とするかどうかといったことを住民の意見をも踏まえながら検討するプロセスを含んでおり、この一連の検討過程において絶対要件として健康・環境の保護があげられている。すなわち起こりうる有害物質の漏洩による健康影響のおそれに対しリスクアセスメントを実施し、それを対策の優先順位づけのための基礎情報として活用されている。

５．リスクとの共存にむけて

網羅的な内容となったが、リスクには客観的な合意手順によって推定された、数値が語る側面と知覚されたリスクといった心理的論理によって表出する内容を含む。リスク管理はリスク評価という分析結果をベースに展開するが、なかでも合意形成の促進に資する指標の開発が待たれる。工学系、人文社会系のそれぞれの基礎研究に依拠しながら現実の問題への適用を重ねることによってリスク概念が分解され、日常用語としてより豊かな語彙に展開されてゆくことが必要でありかつそれが期待される。このことは、リスクとつき合い、あるいはそれを管理するための一つのベースとなりうると考えている。

参考文献

- 1) W. Rowe: An Anatomy of Risk, (1988) Robert E. Krieger Publishing Company, p.1.
- 2) 池田三郎、盛岡 通：日本リスク研究学会誌、5(1)、(1993)、p.15.
- 3) B. Fiscoff: Defining Risk, Policy Science, 17(1984)、pp.123-139.
- 4) op. Cit.1)、pp.266-272.
- 5) 鈴木継美、田口正：環境の安全性、(1987)恒星社厚生閣、p.13-15.
- 6) P. Slovic: Perception of risk, Science, 236、(1987) pp.280-285.
- 7) Sweden Environmental institute: The EPS Enviro-accounting method, 1992.
- 8) G. Morgan: Uncertainty - Quantitative Risk and Uncertainty Analysis-, pp.123、(1990)Cambridge University Press.
- 9) T. O. Tengs, et als.: Five-Hundred life-saving interventions and their cost-effectiveness, Risk Analysis, 15(3)、pp.369-390.
- 10) 東京海上火災保険株式会社：環境リスクと環境法 米国編 有斐閣
- 11) 官公庁公害専門資料、32、4、1997：公害研究対策センター