

化学物質と放射線のリスク評価—歴史・現状と課題

Chemical and Radiation Risk : Historical Trends and Future Perspectives

内藤 航^{*}

Wataru NAITO

はじめに

現在の私たちの生活にとって化学物質や放射線はなくてはならない存在である。化学物質は多種多様で、その特性や用途もさまざまであり、洗剤、化粧品、除草剤、殺虫剤、塗料、接着剤、医薬品、プラスチック製品、電化製品、燃料、おもちゃなど、ありとあらゆる場所に使用され、私たちの生活の質の向上に重要な役割を果たしている。放射線は、X線撮影や放射線治療等の医学分野、ジャガイモの発芽抑制などの農業分野、タイヤの製造などの工業分野などさまざまな分野で利用されている。一方で、化学物質や放射線は、大気や水等、さまざまな曝露経路により、人や環境中の生物に曝露され、その量が増加すると、有害な影響を及ぼすおそれがある。このような有用性と有害性を併せ持つ化学物質や放射線の分野では、この数十年の間に、リスク評価は発展し、安全管理の意思決定において重要な役割を果たしてきた。

本稿ではまず、化学物質や放射線のリスクを巡る近況を概説し、リスク概念やリスク評価・管理の考え方を再考する。それから、筆者が関わった化学物質や放射線に対する実践的なリスク評価の取り組みを紹介しつつ、当該分野の今後の課題について概説する。

1. 化学物質と放射線リスクを巡る最近の状況

化学物質と放射線のリスクに関連する国内外の主な出来事を図1に示す。米国化学会のChemical Abstracts Service (CAS)に登録されている化学物

質の数は現在、2億6000万種以上に達し、日本の化学物質審査規制法(化審法)に登録されている化学物質の数は3万程度存在する(経産省, 2021)。世界の化学市場の規模は2017年に5兆ドル、2030年には倍増すると予測されている(UNEP, 2019)。市場に流通する化学物質の種類や量が増加の一途をたどる中、近年、化学物質の評価・管理の分野では、国内外においてさまざまな環境の変化に直面している。最近の国内外の状況を概観すると、2002年の持続可能な開発に関する世界首脳会議(WSSD)において、化学物質によるヒト健康や環境への悪影響を2020年までに最小化することを達成するという目標が合意され、2006年に国連環境計画において「国際的な化学物質管理のための戦略的アプローチ(SAICM)」が採択された。

世界各地で化学物質管理に関する法規制の改正や見直しが進み、日本でも、SAICMに沿った化学物質管理が推進された。新規化学物質の事前審査制度として1973年に世界に先駆けて導入された「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)」の2009年の改正では、すべての化学物質を対象に優先度をつけながら、ヒト健康と生態系に与えるリスクを段階的に実施していく枠組みとなり、化学物質固有の有害性に着目したハザード(有害性)ベースの管理から、曝露量も踏まえたリスクベースの管理への転換が図られた。

欧州では、RoHS指令による特定化学物質の使用制限や、2007年6月のREACHの施行、さらに2020年には、欧州グリーン・ディールで発表された“toxic-free environment”の実現に向けて、新しい化学物質戦略(EC, 2020)が採択された。持続可能な開発目標(SDGs)では、目標3、目標6や目標12において、環

^{*} ないとう わたる・国立研究開発法人産業技術総合研究所
安全科学研究部門 研究グループ長

国外		国内
1962 レイチェル・カーソン「沈黙の春」出版		1968 カネミ油症事件
1970 米国環境保護庁(USEPA)設立	1970	1971 環境庁発足
		1972 機関誌「環境情報科学」発刊
		1973 化学物質審査規制法(化審法)制定
		1974 環境庁 化学物質環境実態調査 開始
1976 USEPA 有害物質規制法(TSCA)制定		
1979 スリーマイル島原発事故		
1980 米国リスク分析学会設立	1980	
1983 米国研究評議会(NRC) 「連邦政府におけるリスク評価」"Red Book"		80~90年代 ダイオキシンの問題
1986 USEPA 「発がん性物質のリスク評価ガイドライン」		1988 日本リスク研究学会設立
1986 チェルノブイリ原発事故	1990	
1994 NRC 「リスク評価における科学と判断」"Blue Book"		1992 許容リスクレベルに基づく ベンゼンの水道水質基準の設定
1996 コルボーンら「奪われし未来」出版		1996 大気汚染防止法改正 (有害大気汚染物質対策の導入)
		90年代後半 “環境ホルモン”問題
		1998 環境省「環境ホルモン戦略計画」の策定
		1999 東海村JCO臨界事故
	2000	1999 化学物質排出把握管理促進法 (PRTR法)公布
2002 WDDSD2020目標		2001 環境省発足
2003 欧州 RoHS指令		2002 土壌汚染対策法 制定
2004 POPs条約		2003 内閣府食品安全委員会 発足
2006 国際的な化学物質管理のための 戦略的アプローチ(SAICM) 採択		化審法への生態影響評価導入 水生生物保全の環境基準の設定
2007 欧州 REACH 施行		
2008 NRC「科学と決定」"Silver Book"	2010	2009 化審法改正(リスクベースの管理へ)
2012 USEPA 「ダイオキシンの健康リスク評価」公表		2011 福島原発事故
2015 国連 SDGs採択		2012 放射性物質汚染対処特別措置法 全面施行 食品中の放射性セシウムの基準値 国直轄地域での除染の開始
2017 水銀に関する水俣条約発効		
2018 G7「海洋プラスチック憲章」採択		2017 国直轄除染の面的除染の完了
2020 欧州委員会 グリーンディール「化学品戦略」	2020	2018 豊州市場土壌汚染問題 農業取締法改正(動植物影響審査の拡大)
		2019 プラスチック資源循環戦略 大阪ブルー・オーシャン・ビジョン

図1 化学物質と放射線のリスクに関連する主な出来事

境における化学物質の適正な管理と安全な使用および環境への有害な化学物質による負のインパクトを減らすことを目指したターゲットが掲げられている。ちなみにWSSDの2020目標は国際的には、未達に終わったと認識されている(UNEP, 2019)。

近年、高機能・高付加価値である機能性材料の研究開発や社会実装も盛んである。安価で大量に製造・使用される化学物質に対するリスク評価・管理はかなり進展したと考えられるが、高機能・高付加価値な機能性材料や少量多品種化する化学物質のリスク評価は十分に行われていない。工業用ナノ材料はその最たる例である。新しい機能性素材や化学物質が実用化される

ことに伴う社会不安を払拭するための安全性評価(リスク評価)の重要性が増している。SDGsやESGの観点からも企業が開発・使用する化学物質の安全性や環境負荷を評価することの重要性が増してきた。

2011年に発生した東京電力福島第1原発事故により排出された放射性物質による福島等における汚染では、除染対策や基準値などの放射線リスクの問題と向き合うこととなった。最近では海洋プラスチックごみ(マイクロプラスチックを含む)による環境リスクも世界規模の社会課題となっている。

このように化学物質や放射線のリスク分野では、近年、化学物質の種類と使用量の増加等に伴うリスク評

価の対象物質の増加, 新規材料の社会実装に伴うリスク懸念, 大規模な災害・事故により発生したリスクの顕在化, SDGs, 海洋プラスチック問題などへの対応が求められている。

2. リスクと安全, リスク評価・管理の再考

2.1 安全をリスクで定義する

「安全」を辞書(広辞苑)で調べてみると、「安らかで危険のないこと。平穩無事。物事が損傷したり, 危害を受けたりする恐れがないこと」と定義されている。安全は, 眼に見えるようにしたり, 自覚するのは難しい。国際標準化機関(ISO)と国際電気標準会議(IEC)では, 「安全」の定義を「Freedom from risk which is not tolerable (許容可能でないリスクがないこと)」としている(ISO/IEC, 2014)。許容可能なリスクは, 社会の現在の価値観, 絶対安全という理想と達成可能なものの間の最適なバランスの探求, 目的への整合性や費用対効果といった要素から決まるとされており, 客観的・科学的に一意に定められるものではなく, 社会的合意に基づく約束事にならざるを得ない(岸本・平井, 2015)。つまり, 安全かどうかを判断するためには, まず社会的に合意される「許容可能なリスク」の大きさを決めなければならない。安全をリスクで定義すると, 定量的・半定量的な評価が可能になる。

2.2 許容可能なリスクはどの程度か?

化学物質管理や放射線防護の分野では, どの程度のリスクレベルが許容可能なか? 許容可能なリスクレベルが決まった経緯等は小野(2015)が参考になる。ここでは, いくつかの例を紹介する。例えば, 発がん性物質のヒト健康リスクの場合, 公衆における生涯リスクの許容可能なレベルとして10万人に1人(10^{-5})や100万人に1人(10^{-6})が採用されている。放射線の分野では, 年間だと 10^{-5} , 生涯だと 10^{-3} が示されている(Tran *et al.*, 2000)。生態系に対するリスク評価では, ヒト健康のような社会的に合意された管理目標は存在しない。生物種の化学物質に対する感受性の違いを統計学的分布で表現した種の感受性分布(SSD)を用いて, 95%の種が守られるレベルが一つの管理目標にされたりする。

2.3 リスク評価・管理の再考

一般的に, リスク評価とは, リスクの大きさを知ること, あるいはリスクを知るための手続きのことを指す。化学物質や放射線の評価・管理分野では, リスクは, 物質の毒性の強さ(有害性)と曝露量(放射線では“被ばく量”と言われることが多い)で決まる。リスク評価とは, 化学物質や放射線への曝露によりヒトや生態系において有害影響が発現する可能性を知ること, あるいは知るための科学的手続きのことである。有害性評価では, ヒトや環境中の生物が化学物質や放射線に曝露することにより, どのような種類の有害影響が生じるか, そして, その影響はどれだけの量に曝露されると生じるか(用量-反応関係)を明らかにする。曝露評価では, 対象となる個人や集団, あるいは生態系における化学物質や放射線の環境媒体中の濃度や曝露量(被ばく線量)を実測やモデルにより明らかにする。

化学物質も放射線も, 曝露量(用量)と反応の関係に閾(いき)値を仮定するか否かにより評価方法が異なる(図2)。ある一定の量なら悪影響が生じないとみなし, そのような無影響量を閾値と呼ぶ。遺伝子損傷性のある発がん性物質や低線量の放射線のリスク評価では, 閾値なしの用量-反応関係を仮定してリスク評価を実施する。どのレベルまでならリスクを許容できるかを考える発端の一つは, 閾値なしのリスク評価の誕生と強く関係している。

リスク評価はいつ頃から実施されるようになったのか? リスク評価はこの40~50年の間に定式化されたプロセスとなり, 国内外において放射線防護や化学

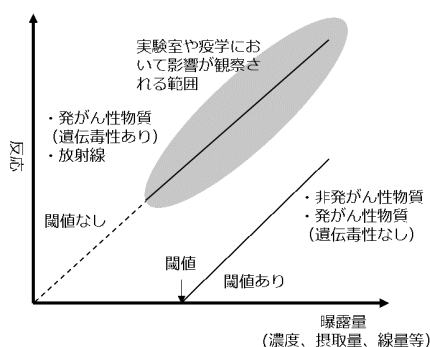


図2 閾値ありとなしの用量-反応関係の概念図

物質管理分野に浸透してきた。放射線防護分野では、1950年代に、放射線被ばくによって生じる影響は被ばく線量に比例して増加し、閾値はないとする仮説（LNT 仮説）が提示され、国際放射線防護委員会（ICRP）によりリスク概念が導入された（ICRP, 1959）。

1960年代には、低線量でもリスクが存在する可能性があるとして仮定することが放射線防護の考え方として最も合理的であるとして、最大許容線量ではなく容認できるリスク（acceptable）レベルに対応する線量という考え方が導入された（ICRP, 1966）。1970年代には原爆被爆生存者の疫学調査に基づいて放射線誘発がんの死亡リスク係数が導出され、発がんリスクの定量化が行われ、ALARA（As low as reasonably achievable）の原則が提示された（ICRP, 1977）。ALARAは被ばくを社会的・経済的要因を考慮して合理的に達成可能な限り低く抑えるべきであるという原則である。原子力施設等で発生する事故を対象とした確率的リスク評価（PRA）は1960年代から開発が進められ、1975年にPRAを用いた初めての評価が発表された（US NRC, 1975）。ICRPは、1990年にリスク評価に基づいて線量の限度を決める方法を導入した（ICRP, 1991）。ICRPの勧告は現在の日本の放射線規制のベースになっている。

化学物質によるヒト健康や野生生物に対する悪影響は19世紀に認識されていたが、リスク評価の概念が導入されるようになったのは大規模な環境汚染問題が顕在化した1970年代以降のことである。米国では、1960年代から1970年代にかけて化学物質のリスク評価のアプローチは、各規制機関で異なっており、より一貫性のある調和されたアプローチが、リスク評価の質と効率を向上させると考えられていた（McClellan, 1999）。1970年代から1980年代初頭にかけて、米国では、放射線防護の分野で学んだ教訓に触発され、リスク評価モデルの検討が進み、1983年に米国学術会議によって「レッドブック」（別名「連邦政府におけるリスク評価：プロセスの管理」、NRC, 1983）が公表された。レッドブックの重要な特徴は、リスク評価（科学的領域）とリスク管理（政策的領域）を機能的に分離することの重要性が強調されていることである。リスク評価のプロセスは、有害性の確認（ハザ-

ードの特定）、用量-反応評価（影響評価ともいう）、曝露評価、リスク判定の4つのステップで構成されている（図3）。リスク評価の基本的な要素は、化学物質も放射線も同じである。

リスク評価とリスク管理を分離することは、評価される一方、批判もあった。公衆のリスクの認知には、リスク評価は必要だが、同時に心理的、社会的、文化的、政治的な要因も無視できない（Slovic, 2003）。このような知見の影響を受けて、リスク評価プロセスに利害関係者、意思決定者、専門家を含めることが提案された（NRC, 1996）。さらに、リスク評価の結果を意思決定により有効に活用するにはどうしたらよいかという視点から、従来のリスク評価の枠組みを検証する動きがあった（NRC, 2009; SCHER *et al.*, 2013）。NRC（2009）では、リスク評価プロセスの問題設定段階、すなわち適切な問題設定における利害関係者の参加の重要性が強調されている（図4）。リスク評価者と意思決定者との相互作用が組み込まれており、リスク管理対策の選択肢の評価（トレードオフ的視点）が考慮され、問題解決志向的になっている。リスク評価の結果を意思決定に活かすためのリスク評価と管理、コミュニケーションとの関係は、実際の問題にどの程度活かされているかはわからないが、ここ数十年のリスク評価・管理の経験や教訓を得て、ほぼ定式化され、より良い枠組みになってきたと考えられる。

3. リスク評価の目的と実践事例

リスク評価の目的は何か？リスク評価の目的は、リスクへの対応（リスク管理・対策）を考えるために必要なリスク情報を意思決定者に提供することである。意思決定者とは行政や事業者、あるいは個人だったり

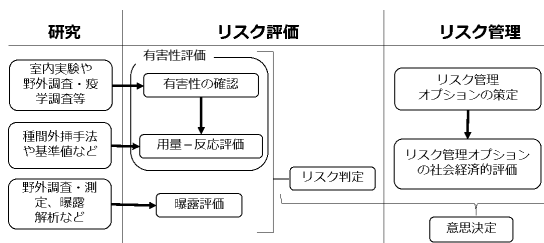


図3 リスク評価-管理のパラダイム
（出典：NRC 1983を一部改変して作成）

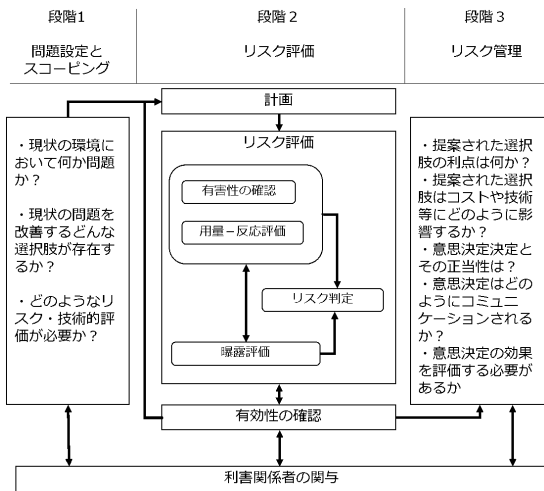


図4 リスク評価と管理のパラダイム
(出典: NRC 2009 を単純化・改変して筆者が作成)

する。リスク評価の結果は、安全性の証明や異なる物質・活動・対策等の比較のために使われる。岸本(2007)はリスク評価を目的によって、①参照値を導出するためのリスク評価、②スクリーニングレベルのリスク評価、③トレードオフ解析のためのリスク評価の3つに分類した。リスク評価に必要な情報は基本的には同じであるが、使われ方(設定される問題)によって評価に用いる手法やデータの詳細さが異なる。ここでは、この分類に照らして、この30年間のリスク評価の実践や研究について特徴的な事例を紹介する。

3.1 基準値や参照値の導出のためのリスク評価

ヒト健康の保護や生態系保全のための基準値や参照値の導出は、リスク評価の基盤である。食品安全委員会が実施するADI(一日摂取許容量)の設定もこのリスク評価の範疇に入る。得られた基準値や参照値は、スクリーニングレベルのリスク評価(安全性の証明のためのリスク評価)で使用されることもある。

1992年の水道水質基準改正において設定されたベンゼンの基準値は、安全目標(許容リスクレベル)を生涯あたり10万人に1人(10^{-5})として決定された。また、1996年に設定されたベンゼンの大気環境基準は、 10^{-6} から 10^{-5} のリスクレベルが議論され、当面の目標として 10^{-5} が選択され、答申には「この目標とすべきリスクレベルは、そのレベルまでの有害大気汚染物質による大気汚染を容認することを意味するも

のではなく、閾値のない物質については環境基本法の理念の通り、環境への負荷をできる限り低減することを旨として対策を講じていくべき」と記述されている(中央環境審議会, 1996)。生涯発がんリスクレベル 10^{-5} に基づき設定されたベンゼンの環境基準値($3\mu\text{g}/\text{m}^3$)は、日本において初めて許容リスクの考え方が導入された画期的な出来事であった。

福島第一原発事故後、放射能汚染へのリスク対応として、食品(米や野菜など)中の放射性物質に係る基準値が設定された(厚生労働省, 2012)。一般食品の放射性物質の基準値は $100\text{Bq}/\text{kg}$ され、その値は、食品の安全に関する国際規格であるコーデックス(Codex)に基づいて決定された。Codexは年間 1mSv を基準としている。Codexの年間 1mSv はICRPの推奨に基づいている。ICRPでは、 1mSv の理由の一つとして、自然放射線被ばくの変動に基づく考え方であることを述べている(ICRP, 1991)。自然起源の放射線による健康影響は無視でき、ラドンの影響を除くと、そのレベルは 1mSv 程度であり、地域による変動も 1mSv 以上であるため、許容されるだろうという考え方である。食品中の放射性物質の基準値は、国内産の食品がすべての流通食品中に占める割合を50%や食品が基準値上限の放射性物質を含む、年代別食品別の摂取量などの前提・仮定において、年間 1mSv を達成する食品中の放射性物質濃度 $[\text{Bq}/\text{kg}]$ を算出している。放射性物質の食品中基準値のリスク評価プロセスは、その根拠と計算方法が比較的わかりやすく、国民に対して明示された初めての事例と言えるかもしれない。

このように化学物質や放射性物質の基準値を設定するプロセスはリスク評価の目的・役割の一つである。許容リスクレベルの設定や運用についてはさまざまな議論はあるが、このようなリスク評価は、環境省や厚生労働省、食品安全委員会などの公的機関において幅広く使用されるようになった。

3.2 スクリーニングのためのリスク評価

スクリーニングのためのリスク評価は、リスクの懸念のない物質を排除したり、リスクの懸念のない地域を排除したりすることが主たる目的となる。リスク懸念の判断は、有害性評価と曝露評価で安全側の仮定を

採用し、リスクが過大に見積もられるような条件でも、リスクの懸念がないことを確認する。日本の化審法や欧州のREACH、米国のTSCAなどの化学物質の登録や審査の法規制におけるリスク評価や環境省の化学物質の環境リスク初期評価では、スクリーニングのためのリスク評価が実践されている。

化審法では2009年の改正により、段階別にリスク評価が実施されるようになった。スクリーニングのためのリスク評価の方法は定式化されていて、技術ガイダンスも存在することが多い（例えば厚労省・経産省・環境省，2014）。筆者が所属する産総研で2000年代に策定した化学物質の詳細リスク評価書は、約25物質の化学物質について、発生源からリスクまでを定量化し、日本において、リスク評価に基づくリスク管理を推進することに貢献したが、実施されたリスク評価の大部分は、スクリーニングのためのリスク評価であった。

3.3 トレードオフ解析のためのリスク評価

トレードオフ解析のためのリスク評価では、異なる物質や異なる種類のリスクの比較やリスク管理・対策の選択肢の比較、費用との比較などを可能にすることが目的となる。リスクとリスクのトレードオフという表現は、人の健康や環境に対するあるリスクを低減するために実施された対策が、対象となるリスクと同等かそれ以上に問題となる別の新たなリスクを生み出すことを指す（Graham and Wiener, 1995）。化学物質分野におけるリスクトレードオフ問題の例としては、フロロカーボン（CFC）類とオゾン層の破壊、飲料水の塩素消毒に伴い発生する副生成物による発がんリスクと感染症（例えばコレラ）や、生態系保全のためにDDTの使用を制限したことにより、マラリアの感染・死亡が急増した例（Kristen, 2011）などがある。トレードオフ解析のためのリスク評価では、リスク評価結果を比較可能にする指標・尺度の設定が重要となる。蒲生らは、化学物質の使用や規制を行う上で必要な曝露によるリスクを評価する指標として損失余命を用いることを提案し、さまざまな環境汚染物質のリスクの比較を行った（Gamo *et al.*, 2003）。

産総研では、2007年から2011年にかけて、「化学物質の最適管理を目指すリスクトレードオフ解析手法

の開発」というプロジェクトを推進し、4つの用途群（工業用洗浄剤、プラスチック添加剤、溶剤・溶媒、金属類）における物質代替を対象に、環境排出量推計、環境動態モデルと環境媒体間移行暴露モデルによる暴露評価、有害影響の推定、リスク比較および社会経済分析の各手法の解析結果をまとめたリスクトレードオフ評価書とトレードオフ解析の方法をまとめた技術ガイダンスを公表した（産総研，2012）。筆者らが実施した福島除染のあり方を考える研究において、さまざまな除染方法がある中で、どのような方法の組み合わせの費用対効果がよいのかの議論の土台となる評価研究（Yasutaka *et al.*, 2013）もトレードオフ解析のための評価事例と言ってもよいだろう。トレードオフ解析のためのリスク評価は、一般化は容易ではないが、化学物質の代替や複雑化する環境問題に対応するためには必要な概念・アプローチであるだろう。

4. まとめと今後の課題

化学物質管理や放射線防護の分野においてリスク概念・評価は重要な役割を果たしてきた。放射線分野で発展したリスク概念は、化学物質分野へ拡がり、1980年代にリスク評価・管理のパラダイムが誕生した。その中に含まれるリスク評価の4つの要素（ハザードの特定、用量-反応の関係、暴露評価、リスクの判定）は、今日でも不変であり、化学物質や放射線のリスク評価の基礎となっている。環境や食品の基準値の設定や化審法などの化学物質管理分野において、リスク評価の社会実装は進んだ。主に行政が実施する基準値・参照値の設定やスクリーニングのためのリスク評価の方法は、ほぼ定式化された。このカテゴリーのリスク評価の課題は、迅速な評価に資するデータを如何に得るかということであろう。

現代社会は、安全への強い要求（あくなき安全追及）があり、温暖化や海洋プラスチック、生物多様性の損失のような地球環境問題も話題になっている。これまでに確立した化学物質の管理のための法制度の運用から考えると、有害な化学物質が大量に市場に流通するような状況は想像しがたい。一方、科学技術の進歩によって化学物質や放射線はかなり低い濃度まで検出できるようになり、生体影響も遺伝子レベルまで評価で

きるようになってきた。市場に流通する化学物質の種類増加や検出技術の向上は、リスクが比較的小さい数多くの物質への対応が必要な状況だと言える。これからは、数多くの物質に対して、リスク比較をして相対的にリスクの高い物質から優先順位をつけて対策を講じるようなことが求められる。そのためにはトレードオフ解析のためのリスク評価がより重要になってくると考えられる。多数の化学物質を比較可能な指標で評価する手法とそのために必要なデータを効率的に創出する手法の開発が必要である。動物愛護や動物福祉の観点に基づく実験動物に頼らない代替法(例えば *in vitro* や *in silico* 試験)やデータ駆動型の有害性評価手法の確立は、多数の物質のリスク評価を迅速化するためにも重要である。また、日本の化審法における現在のリスク評価では、モニタリングデータが重視されているが、今後は数多くの物質の評価を効率的に実施するために、曝露の予測・推論の科学の発展が必要であり、データ駆動型のアプローチやリスク管理を意識した環境媒体モデルの活用方法の検討などが重要になってくる。その他の化学物質リスク評価・管理分野における課題としては、複数の物質に同時曝露したときのリスク評価や消費者製品の使用を介した曝露・リスク評価の方法の確立などがあるだろう。

政府でも企業でも環境対策にかけられるリソースは無限ではない。予算制約下において、実施する環境対策の優先順位の選択基準や説明責任のためにリスク評価は必要である。新規材料や技術を社会で安心して使ってもらうためには、「安全性」を自ら評価し、その結果に基づき、リスクを自主的に管理する必要がある。新規の技術や材料開発の早い段階からリスク評価を実施し、よりリスクの低い技術や材料を選択することは、産業の競争力を左右する重要な点である。企業の化学物質に対する自主的な評価や管理を推進するためには、そのような取り組みを推進する企業を適切に評価するための指標やガイドラインの策定が重要になってくるだろう。国際的な ESG 推進の潮流の観点からも必要である。

地域性のある環境リスクの評価や管理、あるいはそのためのデータ取得は、その地域の環境問題の解決や地域住民の安心感に結びつくことが重要である。例え

ば、住民が自らリスク指標となる線量を計測することは、それ自身が問題の解決(例えば不安の解消)になることもあるが、問題の発見(例えば高い線量値の発見や不安の生起)に留まることもある。適切な対応策が常に提示できるわけではない。住民が参加して実施するようなりリスク評価あるいはそのためのデータ取得はより身近になることが予想される。得られたデータが地域住民や社会にとって、負の影響を与える可能性はないのか、住民にとってデメリットはないか、どのような対策が考えられるのか等について、事前に利害関係者間で共有・議論することが重要である。

最後に海洋プラスチック(主にマイクロプラスチック)問題への環境リスク評価の役割について触れておく。ヒト健康を対象としたリスク評価・管理では安全目標について一定のコンセンサスがある。一方、数え切れないほどの生物種が生息する海洋環境において、どの種がどのような状態になることを避けたいと思うかについてコンセンサスや目標は不明瞭である。海洋プラスチックは世界の海の至るところに遍在しており、海洋プラスチックをなくしたいという目標は世界共通であろう。すべてのプラスチックをなくす、あるいは代替することはできない。そんな状況の中、海洋プラスチックによる環境影響に対する合理的な対策を検討するためには、どのような種類・用途のプラスチックが削減できるのか、あるいは代替できるのか、それによって海洋プラスチックの環境影響はどの程度削減されるのかという問いに答えるための、環境リスク評価が必要である。

海洋プラスチックの問題は地球規模の環境問題ではあるが、その排出源・種類や影響を受ける生物種・生態系は、海域や湾によって異なり、対策による効果や社会経済的な影響も違ってくる。海洋プラスチック問題の全体像の把握、論点・課題の整理、根拠に基づいた合理的な対策や規制の検討、効果的な管理方法の提案、新しい素材の社会受容性の獲得等において、まさに定量的な環境リスク評価、特にトレードオフ解析のためのリスク評価が必要だと考えている。

引用文献

- EC (2020) Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment. <[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX: 52020DC0667 &from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0667&from=EN)> 2022.1.10 参照.
- Gamo, M., Oka, T., Nakanishi, J. (2003) Ranking the Risks of 12 major environmental pollutants that occur in Japan. *Chemosphere* 53, 277-284.
- Graham, J. D. and Wiener, J. B. (1995) Risk vs. risk: Tradeoffs in protecting public health and the environment, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ICRP (1959) Recommendations of the ICRP, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1966) ICRP Publ. 9: Recommendations of the ICRP, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1977) ICRP Publ. 26: Recommendations of the ICRP Annals of the ICRP, 1(3).
- ICRP (1991) ICRP Publ. 60: 1990 Recommendations of the ICRP. *Annals of the ICRP*, 21(1-3).
- ISO/IEC (2014) Guide 51: Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards, 3rd edition, 5, 1-16.
- 経産省 (2021) 化審法の施行状況 (令和2年度). <https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/files/information/sekou/sekou_R2.pdf> 2022.1.10 参照.
- 岸本充生 (2007) 化学物質のリスクとベネフィットの評価はどこに向かうべきか? 産業技術総合研究所「化学物質のリスク評価及びリスク評価手法の開発」研究成果報告会 (東京 2007/1/23) <https://unit.aist.go.jp/riss/crm/070123NEDO_kishimoto_a.pdf> 2022.1.10. 参照.
- 岸本充生・平井祐介 (2015) ISO/IEC ガイド 51 における「安全」の定義の変更を巡って. *日本リスク研究学会誌* 24(4): 239~242.
- 厚生労働省 (2012) 食品中の放射性物質の新たな基準値. <https://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/leaflet_120329.pdf> 2022.1.10 参照.
- 厚労省・経産省・環境省 (2014) 化審法における優先評価化学物質に関するリスク評価の技術ガイダンス (Ver.1.0). <https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/ra_1406_tech_guidance.html>2022.1.10 参照.
- Kristen, P. (2011) A Risk-Risk Trade-off: Insecticide Use for Malaria Control. Master's project, Duke University. <<https://hdl.handle.net/10161/3678>>. 2022.1.10 参照.
- McClellan, R.O. (1999) Human Health Risk Assessment: A Historical Overview and Alternative Paths Forward. *Inhalation Toxicology*, 11: 477-518.
- NRC (1983) Risk assessment in the federal government: Managing the process. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC (1996) Understanding risk: informing decisions in a democratic society. Washington (DC): National Academy Press.
- NRC (2009) Science and decisions: advancing risk assessment. Washington (DC): National Academy Press.
- 小野恭子 (2015) 化学物質分野における社会の安全目標. *日本リスク研究学会誌* 25(2): 91~94.
- 産総研 (2012) リスクトレードオフ評価書. <<https://riss.aist.go.jp/results-and-dissemin/960/>> 2022.1.10 参照.
- SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risks), SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety) (2013) Making Risk Assessment More Relevant for Risk Management, March 2013.
- Slovic P. (2003) Going beyond the Red Book: the sociopolitics of risk. *Human Ecol Risk Assess.* 9: 1181-1190.
- Tran NL, Locke PA, Burke TA. (2000) Chemical and radiation environmental risk management: differences, commonalities, and challenges. *Risk Anal.* 20(2): 163-72.
- 中央環境審議会 (1996) 今後の有害大気汚染物質対策のあり方について (第二次答申). <<http://www.env.go.jp/air/kijun/toshin/02.pdf>> 2022.1.24 参照.
- UNEP (2019) Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development.
- US NRC (1975) Reactor Safety Study: An assessment of Accident Risks in U.S. commercial Nuclear Power Plants. United States Nuclear Regulatory Commission.
- Yasutaka T, Naito W, Nakanishi J (2013) Cost and Effectiveness of Decontamination Strategies in Radiation Contaminated Areas in Fukushima in Regard to External Radiation Dose. *PLoS ONE* 8(9): e75308.