

環境影響と効用の比較評価に基づいた化学物質の管理原則

研究代表者 横浜国立大学環境科学研究センター 中西準子

Establishing of a scientific framework for the management of toxicity of chemicals based on environmental risk-benefit analysis

Junko Nakanishi, *Research Director of CREST*

Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University

1. 研究の概要

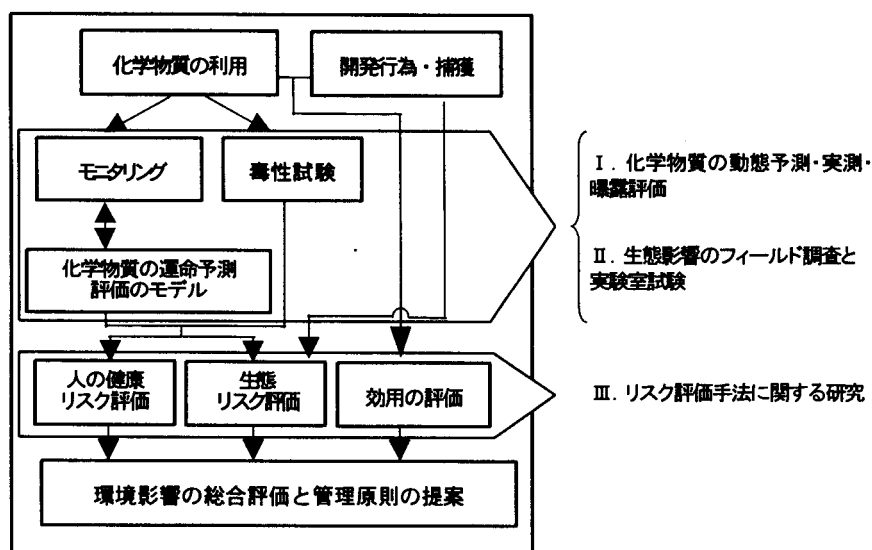
1. 1 研究目的と枠組み

化学物質による環境への負の影響（リスク）とベネフィットを評価し、そのバランスにたって化学物質の管理原則を導くこと、最終的には、化学物質に関する環境政策に科学的な根拠を提供することを目的とする。

研究の要素は、化学物質の環境動態解析、環境リスク評価、化学物質の便益評価、総合評価である。図「研究の全体像」の左側がこれに対応する。その右側には、研究実務からの分類との関係を示した。研究実務からの分類は、以下の通りである。

- I. 化学物質の環境動態の予測、実測、曝露評価（工学領域）
- II. 生態影響のフィールド調査と実験室試験（生物学領域）
- III. リスク評価手法の開発（工学・生物学・経済学の統合領域）
 - III-I. 人の健康リスク評価手法
 - III-II. 生態リスク評価手法
 - III-III. 総合評価

研究の全体像



1. 2 評価手法

- ①人の健康リスクについて、発がんリスクとその他のリスクとの統合評価が可能な評価法を用いる（独自の考え方）。
- ②生態リスクを、種の絶滅確率として評価する。これにより、化学物質によるリスクと開発行為などによるリスクとが比較可能となる（独自の考え方）。
- ③リスク・ベネフィット解析の結果を用いて、総合評価を行う。

1. 3 研究の対象・手段

- ①対象：化学物質としては、ダイオキシン、PCBs、自動車排ガス起源のベンゼン、水銀、室内空気汚染物質、農薬、内分泌攪乱物質である。化学物質使用以外の人間活動として、漁獲、森林伐採を対象とする。
- ②研究ツール：微量化学物質の分析（GCMS、LCMS）、fate modeling、バイオアッセイ（齢別毒性試験、内分泌攪乱ポテンシー試験、土壌細菌の16SリボソームDNA試験、土壌有機物・土壌微生物・線虫の系の実験）、生態構造についての理論解析、経済分析

2. 現在までの中間成果報告

2. 1 成果内容の要約

2-1-1. 「I（化学物質の環境動態の予測・実測・曝露解析）」について

（目的）

化学物質の環境中での動態を、実測と予測モデルを使って追跡し、人や生物への曝露量を推定する。それを基に、人の健康リスクを評価する。そのプロセスを一般化する。

（他にはない特徴）

微量分析とモデル解析（fate modelの開発も含む）を同時に行っていること。人の曝露解析を行い、リスク評価につなげていること。その結果が、随時、環境政策に生かされていること。

（主たる結果）

- ①ダイオキシン類について、主たる発生源の推定に成功した。その結果、歴史的には農薬不純物の影響が最大であることを見つけた。それらの経年変化を検討した。
- ②関東地方における、ダイオキシン類の大気降下量を測定した。そのことによって、現時点での土壌・水系へのダイオキシン流入量の推定ができた。
- ③ダイオキシン類の人の健康リスク評価を行い、そのリスクレベルを明らかにし、あるべき対策の方向性を明らかにした。
- ④大気中ベンゼンの実測結果から、日本人全体を対象にしたリスク分布を求めた。
- ⑤アマゾン流域のメチル水銀のリスクの大きさをほぼ確定できた。現状では、水銀によるリスクでは、世界で最高のレベルにあると思われる。メチル水銀中毒症の症状のある住民3人を特定した。広大なアマゾンの地で、しかも発生源から遠い地区で、患者確認ができたのは、調査の過程でリスク評価手法を駆使したからである。

（継続中の課題）

- ①リスク評価を助けるfate modelの開発・改良

- ②ダイオキシン類の大気中での動態
- ③ダイオキシン類の土壌中での動態
- ④生物体内へのダイオキシンの移行（水棲生物、鳥類など）
- ⑤自動車排ガスによる大気汚染による曝露とリスク
- ⑥室内汚染による曝露とリスク解析

(新規の課題)

- ①水系での内分泌攪乱物質の挙動（1998年度後半より）

2-1-2. 「II（生態影響のフィールド調査と実験室試験）」の研究

(目的)

化学物質、開発などが生態系に与える影響を、生態リスクとして定量的に評価するための調査・試験を行う。

(他にはない特徴)

生態系への影響を、生態リスクとして評価するための試験であって、一般的な試験ではない。生態影響をとらえる切り口が、水系、土壌系、植生というように多様であること。

(主たる結果)

- ①土壌系では、土壌細菌の16SリボソームDNAに基づく環境診断の研究の結果が出始めた。（1999年4月発表）
- ②水系のバイオアッセイの結果は、1999年度中頃に結果が出る予定。

(継続中の課題)

- ①水系での化学物質の齢別毒性試験（ヒメダカとミジンコ）。
- ②土壌系での影響試験。
- ③植生のfield調査。

(新規の課題)

- ①内分泌攪乱性評価のためのバイオアッセイ
- ②薬剤による土壌系での攪乱の影響を実験的に解析するための、「土壌有機物-土壌微生物-線虫」実験系の立ち上げ

2-1-3. 「III（リスク評価手法に関する研究）」について

(目的)

「損失余命」を尺度とする人の健康リスク評価手法、「種の絶滅確率」を尺度とする「生態リスク」評価手法の開発、およびリスク・ベネフィット原則に基づく、総合評価の手法の確立と事例研究を目的とする。

(主たる結果)

- ①絶滅確率評価のための基礎理論の体系ができあがった。
- ②①の理論解析のためのパラメータの推定法について、最尤推定にはバイアスのあることが分かり、ブートストラップに基づく不偏推定量を作製し、信頼区間を求めることができた。
- ③生命表を用いた絶滅確率リスク評価手法についての理論を発表した。
- ④割引平均余命を尺度に絶滅確率を評価する手法を確立、愛知万博会場予定地のシデコブ

シの環境影響評価、トド千鳥集団の絶滅リスク評価、セタシジミ回復計画の評価などに適用し、政策提言を行った。

- ⑤諏訪湖、琵琶湖を対象に、捕食―被食関係を考慮した生態評価modelを構築した。さらに改良を要する。
- ⑥種の重みづけ手法の実用化にこぎつけ、湿地開発の生態リスク評価に応用した。
- ⑦過去の日本における、環境・安全・健康リスク削減対策について、既存研究85例を収集し、リスク／ベネフィット解析を行い、評価した。
- ⑧リスク／ベネフィット原則に基づく総合評価の事例研究を行った。

2. 2 発表論文等の記載

(1) ①Reviews in Toxicology, Vol.2, pp.11-16(1998)

②Integrated Method of Evaluating the Cancer and Noncancer Risk due to Pesticides

③1960年代以降の農薬の出荷量を元に、環境中動態モデルを用いることにより経年的な農薬への曝露量およびリスクを推定した。近年では、発がん性を持つ農薬の多くが1980年代までに禁止されたため、現在では非発ガン性のリスクの重要性が増している。発がん性と非発ガン性のリスクの統一的な評価を試みた。

(2) ①Environmental Engineering and Policy, Vol.1, pp.3-9(1998)

②Risk-Benefit Analysis of Prohibition of the Mercury Electrode Process in Caustic Soda Production

③苛性ソーダ製造において、水銀電極の使用は1973年に禁止された。この禁止のリスクベネフィット解析を行うため、水銀への曝露による人の健康リスクを余命短縮という指標で表し、製造工程の変更に伴うコストと比較した。その結果、水銀電極法の禁止は、1年の余命を獲得するのに5億7千万円をかけたことになり、他のいくつかの環境対策が2400～4500万円と推計されたことと比べると、費用対効果の悪い規制であったことが示唆された。

(3) ①Japanese Journal of Risk Analysis, Vol.8, No.2, pp.174-186(1997)

②Risk/Benefit Analysis of the Prohibition of Chlordane: An Estimate based on Risk Assessment Integrating Cancer Risk and the Noncancer Risk

③白蟻防除剤として使用されていた有機塩素系殺虫剤クロルデンが、1986年に化審法により、その製造・販売・使用が禁止された。本研究では、リスクの大きさを損失余命として表現することにより、クロルデン禁止の発がんリスク削減量、クロルピリフォス使用によるリスク増加量（非がん性）を同じ尺度で評価し、禁止措置の効果を評価した。1年の余命を獲得するのに、4500万円を費やした規制であることがわかった。

(4) ①Organohalogen Compounds, Vol.39, pp.81-84(1998)

②Mass Balance of Dioxins in Tokyo Bay and Kasumigaura Lake

③東京湾と霞ヶ浦の両流域におけるダイオキシン類の調査結果に基づいて、過去35年間のダイオキシン類の負荷量と水圏堆積物中の現存量を推定し、その由来別の収支を考察した。その結果、現在の汚染の主な原因は過去の農薬に不純物として含有されていたダイオキシン類であることを明らかにした。

- (5) ①Chemosphere, Vol.37, No.9-12, pp.2211-2224(1998)
- ②Origin Attribution of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Sediment and Soil from a Japanese Freshwater Lake Area through Congener Specific Data Analysis
- ③土壌と湖沼底質中の塩素化ジベンゾ-p-ダイオキシンと塩素化ジベンゾフラン (PCDD/Fs) の詳細な異性体組成を測定し、主成分分析により解析した。その結果、4つの主成分が得られ、それらの内3つは、大気中、ジフェニルエーテル除草剤、および、ペンタクロロフェノール中のPCDD/Fs組成と一致した。残り1つの主成分の由来は不明であった。これらの4つの主成分がこの湖沼地域のダイオキシン汚染の主要な原因で、その他の寄与は小さかった。
- (6) ①横浜国立大学環境科学研究センター紀要、24巻、1号、1-10頁 (1998)
- ②水生生物に対する除草剤のリスク評価
- ③田植え時に水田に散布される4種類の除草剤の水田と河川における動態を数理モデルで解析し、水生生物に対するリスクを評価した。評価した農薬の48時間平均濃度が各種水生生物の半数致死濃度を超える確率は10%未満であった。農薬登録に要求される各種データを用い、水生生物に対する農薬の地域特異的かつ現実的なスクリーニングレベルのリスクアセスメントがこの数理モデルで可能であることを示した。
- (7) ①Theoretical Population Biology, Vol.53, No.1, pp.1-15(1998)
- ②Extinction Rate of a Population with both demographic and environmental Stochasticity
- ③野外生物集団の世代当たり絶滅確率をもとめる新しい方法を提案した。モデルは、従来の解析法とは異なり、個体数の爆発や崩壊を含むジャンプを許すものである。個体数制御を含む離散時間モデルを基本とし、その係数が世代ごとに独立することにより環境変動をあらわし、さらにそれを平均値とするポアソン分布で次世代の数が決まるとする。解析的近似解のある例を調べシミュレーションとの比較により有効性を確かめた。
- (8) ①Ecological Research, Vol.12, pp.345-356(1997)
- ②Is Tuna critically endangered? Extinction Risk of a large and overexploited Population?
- ③世界自然保護連合 (IUCN) の新基準に基づく絶滅危険種 (Red Date List) が海産魚類でも列挙され、ミナミマグロ、西太平洋クロマグロ、南大西洋ビンナガマグロが急篤 (critically endangered) と報告された。この報告の妥当性を個体群生態学的に吟味し、(1) 新基準の問題点と (2) 漁業資源の絶滅危機を評価する手法の開発、それに基づく (3) ミナミマグロの絶滅危機の評価を行った。
- (9) ①水環境学会誌、21巻、9号、616-623頁 (1998)
- ②生態学モデルの生態リスク分析への適用
- ③生活史のいくつかの段階で測定された慢性毒性データを評価する際に応用できる理論生態学的解析方法を総説し、報告した。外挿法は、標準的な急性毒性データ (LC₅₀値) と初期段階生存率や繁殖力への効果との回帰を利用する方法である。生活史感度解析は、各生活史段階の個体群増殖率への感度を解析し、相対的重要性を決定するものである。
- (10) ①水環境学会誌、21巻、9号、589-595頁 (1998)
- ②慢性毒性の生命表評価法と生態リスク分析

③生物個体群の絶滅確率に基づく生態リスク評価の基礎になる、生態毒性試験を総説しデータ解析を行った。個体群の絶滅確率は内的自然増加率に依存するので、化学物質の生態毒性を内的自然増加率の低下として評価した毒性実験データを解析した。内的自然増加率への効果が推定されていない化学物質や生物種でも、LC₅₀値からある程度外挿によって推定できることを示した。

(11)①環境科学会誌、11巻、2号、199-212頁（1998）

②捕食-被食関係を考慮した生態リスク評価モデル

③捕食-被食関係、種間の生存競争を考慮した食物連鎖モデルを構築し、さらに、化学物質の影響によって、生物量の変化をシミュレーションし、生物量減少リスクを推算する手法を開発した。化学物質がない状態での、琵琶湖の環境を模擬すパラメータの選定をした。つぎに、このモデルを用いて、化学物質の影響を評価した。化学物質による直接毒性だけでなく、化学物質による餌の減少あるいは捕食者の増加によって、間接的にも影響を受ける場合があることを示した。

3. 今後の研究の方向

- ①Ⅰの動態解析については、個別の物質の特異性を生かした解析を行うと同時に、一般化を目指す。新しく加わった、内分泌攪乱性物質の研究を急ぎ、絶滅リスク評価の研究との連携ができるようにしたい。そうすれば、この分野でも、特色ある研究になる。
- ②Ⅱのバイオアッセイでは、水系と土壌系でデータを出し、Ⅲの手法で、生態リスク評価を行う。
- ③Ⅲの「生態リスク評価手法」については、多くの課題がある。まず、理論面では、さまざまな構造のある集団についての検討が必要である。また、Ⅲでは、実例を増やす必要がある。最終的には、ひとつの化学物質については、環境動態、人の健康リスク評価、生態リスク評価、経済評価、総合評価のすべてを行えるようにしたい。

ホームページ：<http://www.kan.ynu.ac.jp/~benz/>で「本日のベンゼン」（横浜国大環境科学研究センターで、大気中のベンゼン、NO_x濃度を毎時測定し、公表）