

3 - (1) 化学物質による環境汚染防止のためのリスクアセスメント

国立公害研究所 中杉修身

1. はじめに

近年、トリクロロエチレン等による地下水汚染、廃棄物処理や農業に関連するダイオキシン、クロルデンやトリブチルスズ化合物による生物汚染等、化学物質による環境汚染が大きな社会的関心を集めている。

これら化学物質による環境汚染は、従来の重厚長大産業による硫黄酸化物、窒素酸化物や有機汚濁等による環境汚染と異なり、次のような特徴を有している。

- ① 汚染物質の数が非常に多い。
- ② 微量の汚染が深刻な被害をもたらす。
- ③ 汚染物質が環境中で容易に分解されない。
- ④ 汚染物質の発生源及び環境への侵入源が多様である。

汚染物質が環境中で分解されないことは、汚染を放置しておいたのでは浄化が難しいことを意味しており、また、微量の汚染が問題となることは、低い濃度レベルまで浄化する必要があることを意味している。このため、これら化学物質による汚染は、一旦、汚染されると浄化するには、多くの時間と資源を必要とし、従来型の環境汚染にも増して未然防止が重要となる。

未然防止のためには、汚染物質の環境への侵入を防ぐことが必要となる。しかし、微量の汚染を防ぐためには、微量の汚染物質の侵入をも防ぐ必要がある。また、汚染物質の発生源や環境への侵入源が多様であることは、排出段階あるいは環境への侵入段階で汚染を防止することが困難であることを意味している。それゆえ、化学物質による環境汚染を防止するためには、事前に当該物質によるリスクアセスメントを実施し、それに基づいてその化学物質の生産、使用、廃棄等の適切な管理を行うことが重要である。

本報告では、わが国における化学物質の環境汚染防止のための体制を概括し、その中でリスクアセスメントが果たすべき役割を整理し、それぞれの場面でのリスクアセスメント、主として暴露アセスメントの方法について検討する。

2. 化学物質による環境汚染防止のための法制度¹⁾

従来、自然界には存在しなかった化学物質に生物が暴露されると、なんらかの影響を受けることは、容易に想像できる。それ故、この影響を防止するための法制度は比較的古くから整備されている。

化学物質の人への暴露は、それらが製造されてから分解されるま

化学物質の種類	P C B	トリ クロ ロ エチ レン	水 銀 化 合 物	デ ィ ル ド リ ン	フ タ ル 酸 エ ス テ ル
化学物質の流れ					
製 造 ・ 輸 入	労働安全衛生法				
販 売	化審法	化審法	毒劇物法	農薬取締法	
使 用					
廃 棄 ・ 処 理					
排 ガ ス					
排 水	水質汚濁防止法				
廃 棄 物	廃掃法		廃掃法		
環 境 利 用					
水 道 水		水道法			

図1 各種法制度による化学物質管理の形態（代表的物質に対する例示）

での流れの各過程染で起こり、それぞれの過程での暴露を防ぐ必要がある。しかし、一方、管理すべき化学物質の数は非常に多い。このため、わが国では図1に例示するように、縦軸に化学物質の流れをとり、横軸に化学物質の種類をとったマトリックスの各要素を表1に示すような各種の法制度で管理することによって化学物質の人への暴露を防止してきた。

各法制度は規制の対象とする行為と化学物質の種類によって、二つに分類できる。一つは、製造されてから環境へ排出されるまでの流れの中のある過程に着目して化学物質を管理するものである。汚染された資源を利用する過程に着目したもの、たとえば水道法のように飲料水としての利用過程を管理するものも、この範疇に含まれる。二つめは特定の物質を対象に、その流れ全体を管理するものである。

化学物質による環境汚染を防止するための法制度にも、この二つのタイプのものがある。流れのある過程に着目したものは、化学物質の環境への侵入段階を管理するもので、排ガス、排水及び廃棄物の排出を管理する法律が中心となる。特定の物質を対象にその流れを管理するものは、主として工業的に使用される化学物質を対象とする化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）である。一方、化審法の規制対象でない化学物質については、それぞれを対象として管理する法律の中で環境汚染防止のための配慮がなされている。例えば、農業取締法の中では公共用水域の水質汚濁を防止するために、水質汚濁性農薬を指定し、その使用方法を制限している。

2.1 環境への侵入を防止するための法制度

化学物質の環境への侵入を防止するために、排ガス、排水及び廃棄物の排出が、それぞれ大気汚染防止法、水質汚濁防止法及び廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）によって規制されている。

大気汚染防止法は、大気汚染に関しての健康保護及び生活環境の保全を目的としている。環境への侵入を防止するための措置として排出基準、総量規制基準等に基づくばい煙の排出規制、自動車排ガス中の汚染物質の許容限度の設定及び特定物質に係る事故時の措置等が定められており、排ガスに含まれての環境への侵入とともに、事故に伴う侵入も対象としている。排ガスの規制は固定発生源と自動車に対して別に行われており、対象となる項目は硫黄酸化物、窒素酸化物、鉛化合物等、それぞれ7及び5項目である。また、事故時の措置を取るべき特定物質としては、28物質が指定されている。

水質汚濁防止法は、公共用水域の水質汚濁を防止し、国民の健康を保護し、生活環境を保全することを目的としたものである。排出基準及び総量規制基準に基づく排出水の規制によって汚染物質の環境への侵入が防止されている。規制対象項目は、健康項目としてPCB、水銀等の9項目、生活環境項目としては生物化学的酸素要求量、窒素、リン等が取り上げられている。

廃棄物処理法は、廃棄物の適正処理と清潔保持による生活環境の保全及び公衆衛生の向上を目的としている。廃棄物の処理基準及び処理施設の構造及び維持管理基準を設定することにより、化学物質の環境への侵入が防止されており、廃棄物の種類や有害物質の溶出の程度によって最終処分方法が指定されている。規制対象項目は水質汚濁防止法に準じている。

これらの法制度は基本的には、排出基準に基づく規制を行うことによって、環境汚染を防止しているが、現状では、昨今問題となっている化学物質について基準が設定されているものは、現在工業的に生産されている数と比べれば、ごくわずかである。また、これらの法律では大気や水質等、個々の環境要素を対象としているため、環境全体の汚染

表1 化学物質を管理するわが国の法制度

分野	法律名
公害対策	公害対策基本法 大気汚染防止法 水質汚濁防止法 農用地の土壌の汚染防止等に関する法律 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律 悪臭防止法
化学物質管理	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律 毒物及び劇物取締法 農業取締法 飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律 食品衛生法 薬事法 水道法 肥料取締法 消防法 高圧ガス取締法 火薬取締法
労働環境保全	労働安全衛生法 労働基準法 じん肺法
環境整備	廃棄物の処理及び清掃に関する法律 下水道法

を総合的に管理することはできない。

2.2 化学物質を総合的に管理する法制度

一方、化学物質による環境汚染を防止するための総合的な法制度として化審法が、PCB汚染を契機として立法化され、昭和49年から施行された。しかし、トリクロロエチレン等による地下水汚染を契機として、昭和62年4月より改正法が施行されている。

この法律では、法律の公布の際に既に製造・輸入・使用されている化学物質（既存化学物質）と新たに製造・輸入・使用しようとする化学物質（新規化学物質）に分けて管理している。

新規化学物質については、製造、輸入等の際に届け出を義務づけ、その分解性、蓄積性及び毒性を審査し、その結果に基づき制限を加えている。新規化学物質の審査は図2に示す手順で行われる。まず、好気的条件下での微生物による生分解試験を行い、分解性が評価される。この結果、分解性が悪いと判定されたものについて、次にオクタノール/水分配係数によって生物濃縮性の判断を行う。この結果、濃縮性が高いと予想されるものについては、次にこいを用いた濃縮度試験を行い、濃縮度が判定される。ここでも、濃縮度が高いと判定されたものについて、次に毒性試験が行われ、毒性が高いと判定されたものは、第一種特定化学物質に指定され、製造・輸入・使用が制限されることになる。一方、濃縮度試験で濃縮性が低いと判定された物質については、簡易な毒性試験を行い、毒性があると疑われる物質を指定物質に指定し、詳細な毒性試験を実施する。この結果、毒性が確認された物質は、第二種特定化学物質に指定され、製造・輸入・使用が制限される。昭和61年度までの届け出件数は3,551であり、この内、2,863件について安全確認がなされているが、大部分は分解性及び濃縮性の段階で安全確認されており、毒性試験まで実施されたものはわずか8件だけである²⁾。

既存化学物質についても、順次、新規化学物質と同様な審査がなされている。現在までに第一種特定化学物質に指定されているものは、PCB、PCN、ヘキサクロロベンゼン、アルドリン、ディルドリン、エンドリン、DDT、クロルデンの8物質で、いずれも既存化学物質である。現在のところ、第二種特定化学物質に指定されているものはないが、指定化学物質には、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルム、四塩化炭素と1,2-ジクロエタンが指定されている。

3. 環境汚染に関わるリスクアセスメントにおける暴露解析

わが国において、環境汚染を経由する化学物質の暴露とその影響の防止は、主として化審法、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、廃棄物処理法等によって行われている。これらの法律を運用する上では、リスクアセスメントが必要

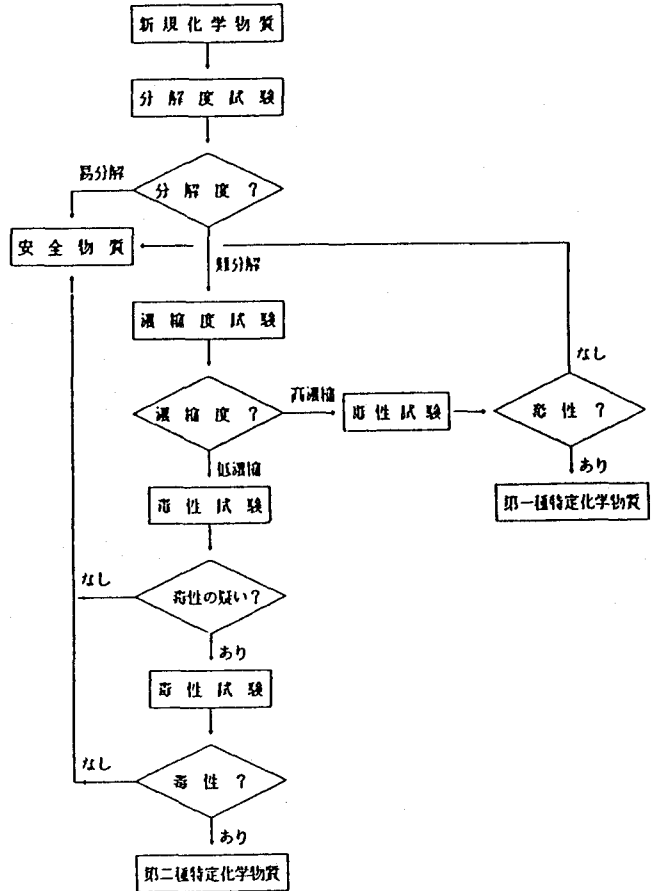


図2 改正化審法における審査の流れ

となり、その場面の主なものとして次のようなものをあげることができる。

- ① 新規化学物質の事前審査
- ② 既存化学物質の評価
- ③ 優先化学物質の選択
- ④ 基準等の設定
- ⑤ 汚染対策の実施

3.1 新規化学物質の事前審査におけるリスクアセスメント

化審法の新規化学物質の事前審査では、生分解性及び生物濃縮性試験による暴露量の評価と試験に基づく毒性の評価によって、一応、リスクアセスメントを実施している。しかし、ここでは、暴露量の評価と毒性の評価が切り離されてリスクが評価されている。このため、地下水汚染の問題となったトリクロロエチレン等が従来はなんら規制対象とはならなかったことが、化審法改正の一つの理由となっている。しかし、改正によっても、暴露量と毒性が切り離されて評価されており、より厳密なリスクアセスメントを実施するには、暴露量の評価と毒性の評価に基づくリスク評価が行う必要がある。

新規化学物質の事前審査での暴露アセスメントは、環境濃度や生体試料の測定値に基づくことはできず、モデルによる予測値に基づくことになる。モデルを用いた環境濃度の予測にも、化学物質の環境への侵入量や環境中での挙動に関連する多くの情報を必要とする。しかし、審査の時点で利用できる情報は、基本的には業者が届け出の際に提出したものが中心となる。

新規化学物質の届出に際して届け出る事項の中で、環境濃度の予測に直接用いることができる情報は、物理化学的性状、用途及び製造・輸入予定数量である。物理化学的性状としては、改正前の外観・性状、分子量、沸点、溶解度（水、溶剤）等に加えて、濃縮性の判定の助けとする項目としてオクタノール／水分分配係数を届けることになっており、その他の審査に利用できる情報を添付することになっている。最も情報が少ない場合には、これらに基づき、環境濃度を予測することが必要となる。

これらのわずかな情報では、化学物質の環境中での挙動を記述するモデルを構築することは実質上不可能であり、最低限必要な情報を別途、収集あるいは推定する必要がある。このためには、水溶解度、オクタノール／水分分配係数と土壌吸着係数等の間のような、化学物質の性状相互の関連を用いることが必要である。また、化学物質の構造と物理化学的性状との関連を用いることも考えられる。

もう一つの方法は、統計モデルによる推定である。統計モデルでも、情報の少ない段階では他の方法と比較しても予測精度に大きな違いはない。また、入手できる情報に応じてモデルを選択して予測することができる。統計モデルによる予測から残留性が大いと考えられる化学物質を選択し、次に性状に関するより詳細なデータの収集や推定を行い、化学物質の環境中での挙動を記述したより詳細なモデルでの予測を行う等、段階的な暴露解析を行うことが、現実的な方法として有効であろう。

一方、毒性試験によって毒性に関する情報を得るには、多くの時間を必要とするため、新規化学物質の審査においては、構造活性相関の助けを借りる場面が多くなる。

3.2 既存化学物質あるいは指定化学物質の評価におけるリスクアセスメント

化審法においては指定化学物質あるいは既存化学物質についても、特定化学物質の指定やそれらによる汚染防止の措置の判断に際してリスクアセスメントが必要となる。しかし、この場合には、新規化学物質の審査に比べてリスクアセスメントに利用できる情報は増えていることが期待される。すなわち、既存化学物質について判定を下す際には既に環境安全生総点検調査が実施されている場合もあり、環境濃度についてかなりの情報が得られている場合が多いと考えられる。一方、指定化学物質については、有害性調査等が行われるが、同時に環境汚染の状況を調査することも可能である。

それゆえ、この段階での暴露量の推定は、基本的には、環境濃度の測定値に基づき、行われると考えられる。しかし、分析方法の制約から、リスクアセスメントを実施するために必要な精度で、測定値を得ることができない場合も

考えられる。このような場合には、モデルを用いて環境濃度を予測することが必要となる。また、一部の地域における測定結果を補足し、環境濃度の全国的な地域分布を得るためにも、モデルの助けを借りる必要が生ずる。さらに、環境汚染を通じての総暴露量を推定するためには、環境調査が行われている環境媒体を通じての暴露だけでなく、その他の環境媒体の汚染に伴う暴露量も推定する必要がある。この場合に、すべての環境媒体について調査を行う代わりに、あるいはその前にモデルを用いて予測することも考えられる。

この段階では、モデルに基づき予測するために必要となる情報についても、それを収集、推定することができる。新規化学物質に比べて多くの情報の下での予測が可能となるため、できるだけ詳細なモデルを用いて環境濃度を推定することが必要となる。ここでは、標準的な環境における化学物質の挙動を記述したモデルを用いてわが国における平均的な環境濃度を推定したり、それらのつながりとして実際の環境を記述することによって地域的な濃度分布を求めることができる。

一方、毒性情報も、指定化学物質の有害性調査等や既存の調査研究によってかなり得られ、より詳細なリスクアセスメントが可能となる。

3.3 優先化学物質の選択におけるリスクアセスメント

化学物質による環境汚染の特徴の一つは、対象物質の数が非常に多いことである。このため、優先物質の選択は化学物質、とくに既存化学物質を管理する上で、様々な場面で必要となる。例えば、環境安全性総点検調査の中でもプライオリティ・リストが作成され、その中から毎年調査物質が選択されている。また、リスクアセスメントに必要な情報を整備するにしても、問題となる可能性の高いものから優先的情報を収集することが重要である。

環境調査にしろ、データベースの整備にしろ、基本的には環境汚染に伴うリスクが高い物質から優先的に実施すべきであり、このため、優先物質の選択を行う際にもリスクアセスメントを行うことが必要となる。しかし、いずれの場合にせよ、優先物質選択の段階では情報は少なく、その中でリスクを評価することが必要となる。また、化学物質間の相互比較を行うためには、リスクアセスメントに用いる情報もできるだけ同じレベルのものにすることが必要であり、情報の少ない化学物質に合わせた方法で行うことになる。また、逆に優先物質の選択は、他の場面でのリスクアセスメントに比べて要求される精度は低い。

モデルにしても、より少ない情報の下で予測が可能な統計モデルが有効である。定性的な情報に基づく統計モデルや、環境濃度に影響を与える要因に評点を与えて求めるスコアリング法も有効である。暴露アセスメントだけでなく、毒性情報に関しても情報が少ない段階でリスクアセスメントを実施しなければならないため、スコアリング法が有効な方法となる。

しかし、環境安全性総点検調査の見直しの中では、環境調査物質の選択だけでなく、対象とする環境媒体をも選択することを考えている。この場合には、環境媒体毎の濃度、その相対的な大きさを知ることが必要となり、標準的環境を想定し、そこでの化学物質の挙動を記述したモデルが有効な手段となる。

3.4 基準等の設定における暴露解析

大気汚染防止法、水質汚濁防止法等では、今後、新たな汚染が見出されるに応じて、環境基準や排出基準、あるいは目標が設定されることになると考えられるが、その場合には基準設定のためのリスクアセスメントが必要となると考えられる。排出基準等の設定は一方では生産、家庭生活等の人間活動を制約することになり、その設定の基礎となるリスクアセスメントは精度の高いものであることが要求される。このためには、詳細なリスクアセスメントに必要な情報を既存情報の収集だけでなく、調査・実験等によって取得することが必要である。

基準を設定する際には、環境汚染のみならず、他の経路を通じての暴露をも合わせた総暴露量に基づくリスク評価を行い、その中で環境汚染を経由する暴露がどの程度まで許容されるかと言う観点から、基準等を設定していくことになる。このため、環境汚染のみならず、すべての経路からの暴露量を把握することが必要となる。

また、正確にリスクを評価するためには、暴露を受ける集団ごとにリスクを評価する必要があり、地域ごとの時間、空間的に代表性のある環境濃度の情報が必要となる。時間的な代表性を得るためには、まず、詳細な調査を実施することにより、環境濃度の時間的変動の特性を把握することが必要となる。また、空間的にも、排出源を中心とした変

化を把握することのできる調査が必要となる。

しかし、一方で基準項目をむやみに増やすことは、それに基づき規制等を実施していく上でも、また、監視を続けて行く上でも、要する費用が莫大になりすぎる事が考えられる。それゆえ、なんらかの総合的な指標について基準を設定することも必要と考えられる。この場合に、暴露情報にしても、毒性情報にしても、総合的な指標に対応した情報を取得することが必要となる。

3.5 事後対策の実施における暴露解析

汚染が見出された時にどのような対応を取るべきかは、本来、その汚染に伴うリスクとその対応に要する費用との比較によって選択されるべきである。すなわち、見出された汚染に対する対策の必要性及びその内容を判断する際にも、リスクアセスメントが必要となる。

この場面でのリスクアセスメントは、特定の汚染事例について実施することになる。基本的には、汚染状況について詳細な調査が実施され、汚染機構もある程度解明された段階でリスクアセスメントが実施されることになる。

対策の必要性、緊急性を判断するためには、現状の汚染状況におけるリスクを評価することになり、暴露量の推定は測定値に基づき行われることになる。また、地域住民や生物の生体試料の測定値も、汚染対策の必要性の判断に利用することができる。また、詳細な空間分布を求めるためにはモデルを活用することも必要となるが、地域特性を反映したモデルを用いることが必要となり、化学物質の侵入した環境媒体の動きを中心に記述したモデルも有効と考えられる。

対策案を選択する際には、その対策の実施に伴うリスクがどのように削減されるかを推定することが必要となる。ここでのリスクアセスメントでは、測定値に基づき暴露量を推定することはできず、モデルを用いて環境濃度を推定することが必要となる。ここでは、対策の実施に伴う環境濃度の時間的変化を把握できるモデルを利用することになるが、一方では地域特性を表現していることが必要となる。環境媒体の動きとともに、化学物質の環境中での分解、媒体間移動などをとも記述したモデルを用いることが必要となる。

4. おわりに

化学物質の環境汚染に伴うリスクアセスメントは、3. であげたような場面の他にも、多様な場面で用いられることになると考えられるが、それぞれの場合が必要としているリスクの内容、精度、範囲等に応じて、適切な方法を採用することが重要である。

それぞれのリスクアセスメントで必要となる手法、例えば、環境濃度予測モデル、環境濃度モニタリング方法、分析方法等を改良していくことも重要であるが、いずれの方法を採用するにせよ、暴露量の推定においても、毒性評価においても、化学物質に関する多くの情報が必要である。この情報をいかに整備していくかが、重要な課題と言える。リスクアセスメントの方法の選択は基本的にはどの程度の情報が利用できるかどうかによって決まってくるものである。一般的には、多くの情報が得られれば、より精度の高いリスクアセスメントが可能となるが、情報の精度が低い場合には、必ずしもリスクアセスメントの精度は、情報の数に比例しない。このため、精度の高い情報を得る必要があるが、数多い化学物質の対して精度の高い、多くの情報を一度に整備することは不可能である。

このため、情報を整備する優先物質の選択から始めて、精度の異なるリスクアセスメントを段階的に実施していくことによって、化学物質を管理していくことになるであろう。また、それぞれの段階でのリスクアセスメントも、情報の整備状況の変化に応じてより精度の高いものに変えていくことが必要となろう。

引用文献

- (1) 日本環境協会(1986) 化学物質環境運命予測手法の現状と課題－化学物質環境運命予測手法開発調査委員会第二分科会報告書。
- (2) 日本化学物質安全・情報センター(1987) 情報A 4月号。