HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	化学物質のリスクアセスメントとモデル計算
Author(s)	片谷, 教孝; 古橋, 規尊; 中杉, 修身
Description	第2回衛生工学シンポジウム（平成6年11月10日（木）-11日（金） 北海道大学学術交流会館） . 2 モデル解析 . 2-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 51-55
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7583
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-2-4_p51-55.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

2-4

化学物質のリスクアセスメントとモデル計算

○片谷 教孝（山梨大・工）　古橋 規尊（富士通ｴﾌ･ｱｲ･ﾋﾞｰ㈱）
中杉 修身（国立環境研）

１．はじめに

近年の科学技術の進歩、特にエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジー等のいわゆる先端産業の発展に伴い、多くの新たな化学物質が製造・使用されるようになり、従来から使用されている物質でも、その製造・使用量が急激に増加している例が少なくない。それらの化学物質の中には、発ガンなどの毒性を有するものが多いことが知られている。これらの化学物質は、正常な製造・使用の過程においてもその一部が一般環境の大気や水などの媒体中に侵入し、それらが人体や生態系に暴露されることによって有害な影響をもたらしうることは、既に多数指摘されているところである。また事故が発生すれば、その侵入量・暴露量は格段に増大する可能性がある。そこで、これらの環境汚染や人体暴露を防止するための有効な対策の実施が急務となってきており、その一つの段階として、それらの有害性や危険性を事前に予測評価するリスクアセスメントの概念が生まれてきた。

本報では、このリスクアセスメントの概念と、その中で用いられるモデル計算手法について、ケーススタディの結果をまじえて動向を紹介する。

２．化学物質のリスクアセスメントとリスクマネジメントの考え方

環境の汚染等により、人体に対して悪影響が及ぶ可能性があるとき、その可能性のことをリスクと呼ぶ。このリスクを事前に予測評価することをリスクアセスメントといい、その結果に基づいてリスクの増大を防ぐ対策をとることをリスクマネジメントという。もともとリスクアセスメントという用語は、プラント事故などによる危険から従業員や周辺住民を保護することを目的として、主として安全工学の世界で用いられてきた。しかし近年になって、有害な化学物質が通常の製造・使用の過程においても環境に侵入する場合があることが明らかとなり、それらの通常時におけるリスクを対象としたリスクアセスメントの概念が別に確立されつつある。

また、化学物質のリスクマネジメントにおいては、リスクの大小だけでなく、対策効果の期待値や対策に要する費用など、多くの要因を取り入れた総合的な判断に基づくことが必要であると考えられている。

図１は、米国ＥＰＡが示した総合環境管理計画（ＩＥＭＰ）におけるリスクアセスメント、とリスクマネジメントのフローを示したものである。

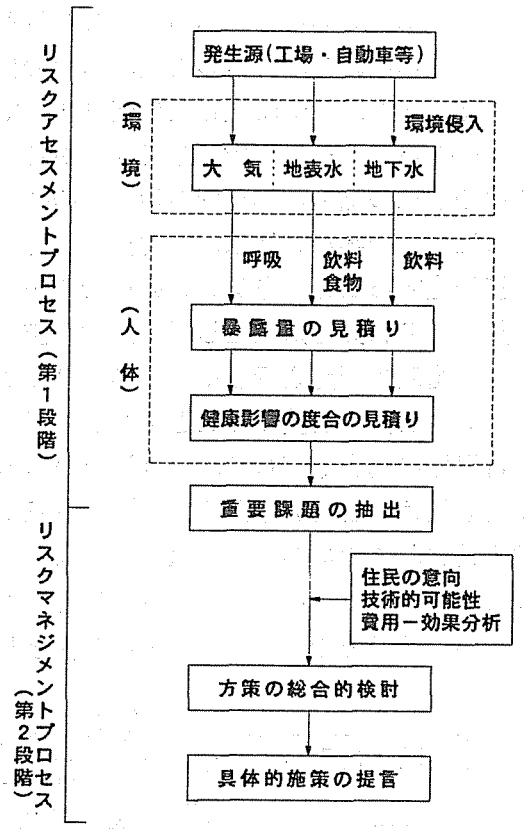

図１　ＥＰＡが示したﾘｽｸｱｾｽﾒﾝﾄとﾘｽｸﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄの流れ

3．リスクアセスメントと予測モデル

化学物質のリスクアセスメントの基本的な考え方は、式(1)により表される。

$$R = E \times Pot \quad (1)$$

ここで、R：個人の生涯リスク、E：暴露量、Pot：毒性ポテンシャル、である。この暴露量Eは(2)式で表すことができるので、(1)式は(3)式のように書換えられる。

$$E = Y \times Z \quad (2)$$

$$R = Y \times Z \times Pot \quad (3)$$

ここで、Y：環境(大気、水、食物など)中の化学物質濃度、Z：暴露定数、である。さらに個人リスクに人口を乗じることにより、地域単位のリスクを求めることができる。

(3)式から、リスクを算定するのに必要な数値は、環境濃度、暴露定数、毒性ポテンシャルの3つであることがわかる。このうち、暴露定数とは人間の平均的な呼吸量や飲料水摂取量であり、比較的容易に求めることができる。また毒性ポテンシャルは動物実験や疫学調査などによって得ることができ、物質によって状況は異なるものの、ある程度の知見が蓄積されている。これに対して環境濃度の値は、評価すべき地域や時点ごとに変動するため、ケースバイケースで求める必要がある。リスクの現況の把握に必要な環境濃度の値を得るのに最も確実な方法は、各物質を環境中で直接測定することである。この場合の問題は、数多くの物質を対象として時間的、空間的に高い密度で測定を行うには、あまりにも多くの労力と費用を要することである。近年は分析機器の進歩も著しく、自動測定が可能な物質も増えてきているため、以前よりは問題は解消されつつあるが、それでもリスクの評価に十分なデータを得ることは容易なことではない。そこでそれを補うための手段として、モデル計算が用いられる。このような目的に用いられる予測モデルは、対象空間内における各物質の物理的及び化学的な挙動を微分方程式で表し、それを解析的にあるいは数値計算により解く形のものが主体である。ただし、通常の大気汚染や水質汚濁を対象とした予測モデルと異なり、大気、水、土壌などの複数の媒体を考慮し、各媒体相互間の移動プロセスを考慮したモデルとすることが必要であり、微分方程式系は複雑なものにならざるを得ない。モデル計算の概略の流れを示したものが図2である。

図2に示したように、モデルの主要な入力データとしては、環境侵入量と気象・水象データ及び輸送・化学反応等に関するパラメータが挙げられる。環境侵入量は製造・使用・貯蔵の過程で揮発や排気・排水などにより環境中に侵入する量であり、廃棄物処理による侵入もここに含まれる。この侵入量の求め方としては、大別して次の2通りの方法がある。

1) 製造・使用・貯蔵施設の直近や敷地境界での実測値を初期濃度として、侵入量に代替させる。
2) 製造量、使用量に単位製造量(使用量)あたりの環境侵入量を乗じて総侵入量を求める。

1)の方法は、日本においてもいくつかの法規制において採用されており、実測値を用いる点で現実的であるが、測定の労力と費用の問題と、測定値の代表性の問題があり、必ずしも有効といえない場合がある。これに対して2)の方法は、環境侵入率(単位取扱量あたりの環境侵入量)をあらかじめ定め、各施設ごとの製造・使用・貯蔵量に基づいて推計するものである。この方法は、大規模な施設のように製造・使用・貯蔵量が常時把握されてい

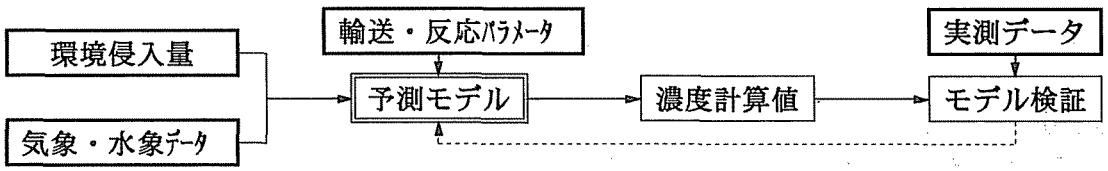

図2　モデル計算の流れ

る場合には容易に適用できるが、小規模な施設の場合にはこの製造・使用・貯蔵量の把握が困難である場合も多い。また環境侵入率の値は、米国などでは物質別、媒体別、工程別にある程度統一された値が用いられているようであるが、本来は各施設における排出防止設備や工程管理の状況に依存する量であり、一律の値を用いることは、かなり大胆な仮定をおくことになる。

4．非平衡モデルと平衡モデル

人体暴露量を求めるために、人間が摂取する空気、飲料水、食物などの環境媒体中に含まれる化学物質の量を把握することが必要であり、そのために環境濃度の予測モデルが用いられることは既に述べた。この予測モデルには大別して非平衡モデルと平衡モデルがある。

非平衡モデルは発生源からの環境侵入、物理的な輸送、化学反応などの過程を示した微分方程式系を数値的に解くことにより、時々刻々の環境濃度の変化を求めることができる点が特徴である。また濃度を空間の関数として求めることができるため、対象地域の内部における環境濃度の分布を推定することができ、人口の分布と重ね合わせることによって、リスクの分布を求めることも可能となる。ただし、これらの時間的あるいは空間的な濃度変化の信頼性は、計算に用いる入力データの持つ時間分解能に依存する。

これに対して平衡モデルでは、上記のような各過程による濃度変化が平衡に達した時点での濃度を求めるもので、多くの場合は対象地域全体を一つの均質な空間とみなして、地域全体での平均的な濃度を求めることになる。各過程が平衡に達するまでの時間スケールはさまざまであるが、多くの例では年平均値のような長期平均値を対象としている。平衡モデルでは、何らかの工夫をほどこさない限り空間的な濃度分布を考慮することが困難であるが、長期平均値が容易に求まることから、発ガン性のような慢性毒性によるリスクの推定には適しているとみることができる。なお筆者らは、平衡モデルを基本として地域的な分布を考慮するような試みも行っており、それについては別途発表を行う。

5．リスクアセスメントのケーススタディー

ここでは、あるコンビナート地域を対象として、複数媒体を考慮したいわゆるクロスメディア型のモデルを用いて環境濃度を予測し、それに基づいて地域リスクを推定した事例を紹介する。

(1) モデルの概要

用いたモデルの構成を図３に示す。ここでは大気、地表水、海水、土壌、底質の５つの媒体を考慮した。地下水も重要な媒体であるが、モデル計算においては省略した。ここでは非平衡型のモデルを採用し、これらの移動過程を考慮した微分方程式を通常の数値計算手法によって解いた。

(2) 対象地域と対象物質

対象地域は一方が海に面したコンビナート及びその背後に隣接する住宅地域を含む約12㎞四方の地域である。周辺の工業地域からは

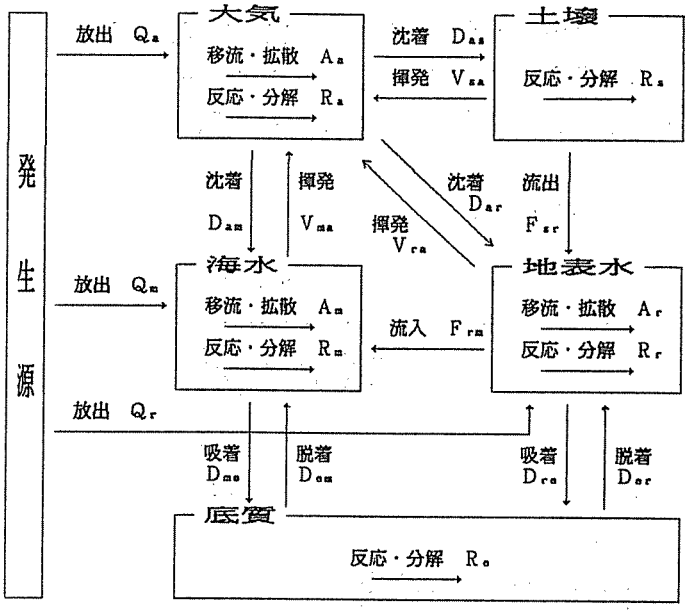

図３　モデルの基本構成

距離があり、化学物質の環境濃度は主として対象地域内の発生源に支配されているとみることができる。リスクアセスメントの対象物質はトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ベンゼン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、クロロホルム、ベンゾ(a)ピレンであり、そのうちモデル計算の対象としたのはトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ベンゼンの３物質である。

(3) 入力データ

固定発生源からの環境侵入量については、当該コンビナートに属する事業所に対するアンケート調査に基づいて、米国の文献値による環境侵入率を乗じて推定した。移動発生源(ベンゼンのみ)については、交通量データを基に、文献値のベンゼン排出係数を乗じて推定した。気象・水象データは関連する地方公共団体から提供を受け、輸送、化学反応、媒体間移動などのパラメータは文献値を用いた。

(4) 濃度計算結果

計算値を実測値と比較したものを図４、図５に示す。なお実測値のサンプリング時間(大気)は２時間であり、水質については瞬間採取であるが、そのまま計算値(１時間値)と比較した。また計算値にはバックグラウンド濃度が含まれていない。これらの結果から次のようなことがいえる。

① 大気中の濃度については他の媒体との間の移動過程の寄与があまり大きくない。

② 地表水や海水中の濃度は、発生源からの直接の侵入の他に大気経由の侵入もかなり寄与している。

表１　発ガンポテンシャルの値[2)]

物　質	ポテンシャル値 大気$(\mu g/m^3)^{-1}$	水質$(\mu g/\ell)^{-1}$
ベンゼン	8.0×10^{-6}	8.2×10^{-7}
トリクロロエチレン	1.3×10^{-6}	3.2×10^{-7}
テトラクロロエチレン	4.8×10^{-7}	1.5×10^{-6}
四塩化炭素	1.5×10^{-5}	
1,2-ジクロロエタン	2.6×10^{-5}	
クロロホルム	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}
ベンゾ(a)ピレン	3.3×10^{-3}	

③ 水質の実測値は１回の採水のみによっているため、時間的・空間的代表性が不明確である。

(5) リスクの試算結果

上記の濃度計算結果と実測結果を併用して、対象地域内における対象物質によるリスクを試算した。米国の事例では、発ガンリスクと非発ガンリスクに分けて評価しているが、ここでは発ガンリスクのみを対象とした。試算の方法は、モデル計算または実測により得られた環境濃度を前記の(3)式に代入し、発ガンポテンシャルの値は表１に示すような米国の文献値を用いた。なお、発ガンのような慢性毒性に対しては、環境濃度の年平均値を用いることが適当であるが、ここでは年間４回の測定および計算値の平均を、便宜的に年平均値とみなした。

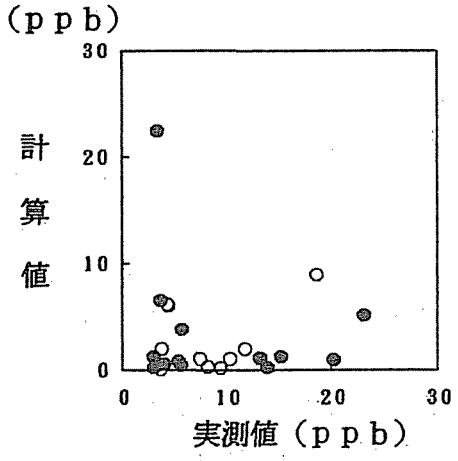

図４ 実測値と計算値の比較(大気)

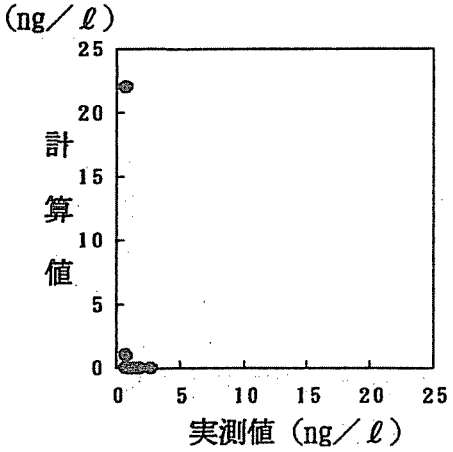

図５ 実測値と計算値の比較(水質)

表2　物質別、媒体別の発ガンリスクの試算結果

物　質	媒　体			
	大　気	地表水	地下水	海　水
ベンゼン	7.2×10^{-5}	6.6×10^{-10}	9.8×10^{-10}	1.1×10^{-9}
トリクロロエチレン	2.1×10^{-7}	2.6×10^{-10}	3.8×10^{-9}	4.8×10^{-9}
テトラクロロエチレン	3.1×10^{-7}	1.2×10^{-9}	5.9×10^{-9}	1.2×10^{-7}
四塩化炭素	4.3×10^{-5}	—	—	—
1,2-ジクロロエタン	5.6×10^{-5}	—	—	—
クロロホルム	3.1×10^{-5}	1.4×10^{-8}	2.3×10^{-7}	2.1×10^{-8}
ベンゾ(a)ピレン	8.2×10^{-6}	—	—	—
合　計	2.1×10^{-4}	1.6×10^{-8}	2.4×10^{-7}	1.5×10^{-7}

求められたリスクの値をまとめたものが表2である。ここに示された結果は多くの仮定に基づいているため、現時点ではその絶対値の信頼性は高いとはいえないが、相対比較は可能と考えられる。試算の結果から、次のような相対評価が得られる。ただしこれらは地域に固有の評価であり、地域が異なれば当然異なった評価が必要となる点に注意を要する。

① 物質別にはベンゼン、1,2-ジクロロエタンの値が大きく、以下四塩化炭素、クロロホルム、ベンゾ(a)ピレン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンの順となっている。

② 媒体別には大気が際立って大きく、以下地下水、海水、地表水の順となっている。

③ ベンゼンについては、自動車発生源の寄与がかなり大きい。

6．総　括

化学物質によるリスクの評価には、環境侵入量や人体暴露量を把握するための適切な予測モデルを開発することが必要と考えられる。本報告で示したケーススタディの結果から、これらのモデル計算によってリスクの推定が可能となることや、環境中の媒体間の移動が人体暴露量に対して大きく影響しうることが示された。またここで対象とした地域と物質の範囲では、ベンゼンによるリスクが大きく、また媒体別に見ると大気を経由するリスクが重要であることも注目される。

謝　辞

本研究は、環境庁企画調整局「総合化学物質対策検討調査」の一環として行われた調査結果をもとに、新たな考察を加えたものである。同庁をはじめ、関係機関の各位に深く感謝いたします。

参考文献

1) 名雪哲夫、片谷教孝；米国における化学物質リスクアセスメント・リスクマネジメントの実施事例、公害と対策、Vol.24、No.15、1575-1581 (1988) 及び Vol.25、No.2、162-168 (1989)

2) US-EPA; Santa Clara Valley Integrated Environmental Management Project - Revised Stage One Report. (1986)

3) 片谷教孝；環境中有害化学物質濃度の予測手法について(2)、第32回大気汚染学会講演要旨集、p481 (1991)