

A-6 フロン等対策技術の総合評価に関する研究  
(2) フロン等対策技術の環境影響評価に関する研究

研究代表者

国立環境研究所

中杉 修身

環境庁 国立環境研究所

地域環境研究グループ

中杉 修身

社会環境システム部 資源管理研究室

天野 耕二

平成3～5年度合計予算額 17,524千円

(5年度予算額 5,341千円)

[要旨]

フロン等の対策技術が二次的に環境に及ぼす影響を総合的に評価する方法を検討した。

まず、フロン等の対策技術の動向を把握し、それらの実施と多様な環境影響の係わりについて考察し、二次的環境影響を及ぼすおそれのある対策技術を抽出した。さらに、それらの中で比較的情報の得られるノンフロン代替物質のいくつかが及ぼす環境影響について定量的な評価を試みた。また、定量的な評価に必要な化学物質環境挙動モデルの開発を行った。

[キーワード] フロン、排出抑制技術、代替技術、環境影響評価、環境挙動モデル

1. 序

フロン等(特定フロン、1,1,1-トリクロロエタンや四塩化炭素)による成層圏オゾン層の破壊が観測され、それに伴う紫外線の増加による人の健康や生態系に対する影響が地球規模の環境問題として大きく取り上げられた。フロン等はオゾン層を破壊するだけでなく、地球温暖化の原因ともなり、全廃されることになったが、オゾン層の破壊は当初考えられていたよりも深刻な状況にあり、その時期を1996年に早め、オゾン層破壊能の相対的に小さい代替フロンも2030年までに全廃することになった。

しかし、これらの物質は、不燃性である、油脂の溶解性が高い、沸点が低い、毒性が比較的低いなどの優れた特性を有しており、洗浄剤、発泡剤、噴射剤、冷媒など、生産の場でも、家庭においても、様々な用途に使われてきた。このため、これらの物質の環境への排出を抑制する技術が開発されるとともに、製造・使用の禁止・制限に対して代替品や代替技術の開発が急である。しかし、洗浄剤としてこれらの物質と代替関係にあるトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンは飲料水や大気を通じての直接的曝露が人の健康にリスクをもたらすことが懸念されている。排出抑制や代替物質の使用が、オゾン層破壊の防止に効果があっても、他の面の環境破壊を通して人の健康や生態系に悪影響を及ぼしては何もならない。オゾン層破壊の防止にあたって、多側面から環境影響を評価し、総合的に見て環境影響の少ない方法を採用することが必要となる。

## 2. 研究の目的

フロン対策技術を選定・実施するにあたって、あらかじめその実施に伴う環境影響を多側面から総合的に評価し、できるだけ二次的な影響が少ない技術を採用することが必要となる。その対策技術が及ぼす環境影響が、オゾン層破壊に伴う環境影響に比べて、少なくとも小さくなければならない。本研究では、オゾン層を破壊する環境負荷の削減に向けて、適切な対策技術の評価・選定手法を確立することを目的として、①フロン等対策技術の環境影響を評価する手順と②評価に必要な化学物質環境挙動予測モデルの開発を行った。

## 3. 研究方法

評価手法の開発では、まず、①対策技術の種類毎に、人の健康や生態系に及ぼす影響など、その実施に伴って発生する可能性のある環境影響の抽出・整理を行った。次に、②対策技術の実施に伴う環境影響の評価手順を検討し、それに係わる評価手法を検討した。最後に、③フロン等対策技術の中でも、特に二次的な影響が懸念される代替溶剤を例にとり、直接的な曝露が人の健康に与える影響を中心に、必要な情報の整備を行い、定量的な評価を試みた。

一方、環境挙動予測モデルの開発では、まず、①大気、表流水と土壌の3つの環境要素から構成されるボックスを想定し、環境要素間の移行、ボックス間の移流とボックス内での反応を記述し、環境濃度の時間値を推定するモデルを作成した。次に、②揮発性物質についての環境濃度の実測データを用いて、モデルの検証を行い、さらに、③慢性的な影響を評価するために平均的な暴露量を予測する平衡論モデルへの改良を行った。

## 4. 研究結果と考察

### 4.1 環境影響の同定と評価の手順

文献調査等によってフロン等対策技術の動向を把握し、その内容に基づいて典型的に整理するとともに、環境影響評価の手順と評価の視点を明らかにした。

#### (1) フロン等対策技術の動向

フロン等対策技術は大きく排出抑制技術と代替技術に分類される。フロン等の製造・使用はいずれは禁止されるが、耐久財など一部ではその後もフロン等が使用されることになり、使用に伴う環境への漏出を防止することが必要となる。また、現在使用されているフロン等はいずれは廃棄されることになるが、適正処理によって環境への漏出を防止することが必要となる。

わが国では1986年には特定フロンの約1/2が洗剤、約1/4が発泡剤、約1/5が冷媒、約1/10が噴射剤として用いられていたが、噴射剤の代替が進む一方で、冷媒の代替が遅れており、1993年には冷媒向けの出荷割合が1/3に増えている。一方、四塩化炭素は大部分がフロンの製造原料に使われているが、一部で反応溶剤などにも使われている。また、1,1,1-トリクロロエタンはほとんどが洗剤として、金属の脱脂やドライクリーニングに使われている。

溶剤として使用されたフロン等は、一部は廃溶剤として廃棄されるが、洗剤過程での大気へ揮散が最も大きな環境侵入経路と考えられる。発泡剤としての使用は、軟質フォームでは発泡過程での大気への漏出が大きく、硬質フォームでは廃棄物処理における破碎などの過程で大気へ漏出するものが多い。冷媒として使用されたフロンは一部は使用中に漏出するが、大部分は廃棄物処理に伴って環境へ侵入する。使用された噴射剤は全てが大気へ侵入していく。

噴射剤や冷媒として使用中のフロン等の漏出を抑制するのは困難であるが、その他の排出経路については排ガス処理や廃棄物処理を行って環境への侵入を防ぐことが必要となる。この処理技術として分離回収と分解処理が考えられる。

排ガスからフロン等のガス状物質を分離回収する方法として吸着法、圧縮法や冷却法などが考えられる。吸着させたフロン等は脱離させて冷却法などで回収する。吸着剤として最も一般的なものは活性炭であり、様々な形状の活性炭が用いられている。冷蔵庫やカークーラー等からのフロン等の回収には、圧縮法が用いられる。

一方、フロン等の分解処理は現状では焼却処理が中心であるが、プラズマ分解、超臨界水分解、様々な触媒を用いた分解、ナフタレニドなどの薬品を用いた分解、紫外線や放射線による分解、超音波分解など、様々な技術が研究・開発されている。活性炭に吸着されたフロン等は、回収しない場合は活性炭に吸着したまま焼却処理される。

装置やシステムの改良などによるフロン等の使用量を少なくする技術も一種の代替技術といえるが、フロン等の製造・使用はいずれは全面的に禁止されるため、短期的にしか適用できない対策である。フロン等の製造・使用が禁止されたら、フロン等に代わって代替物質を使用するか、代替物質も必要としない製造工程に改める必要がある。たとえば、洗浄剤を用いた洗浄工程を必要としない製造工程への変更が行われている。一方、代替物質には、オゾン破壊能を低くした代替フロンと、フロンと化学構造の全く異なるノンフロン代替物質が考えられている。代替フロンの環境影響については、オゾン破壊能を含めて別なグループで行っているため、本研究ではノンフロン代替物質を主たる対象として検討を行った。

## (2) 評価の手順と視点

人間活動に係わる環境影響には、オゾン層破壊、地球温暖化、酸性雨、海洋汚染、有害物質越境移動、熱帯林減少、野生生物減少、砂漠化、途上国公害問題などの地球環境問題、大気汚染、水質汚濁、土壌・地下水汚染、生態系破壊、騒音・振動、地盤沈下、悪臭、廃棄物、景観悪化、日照・電波障害などの地域環境問題が考えられる。1つ1つの環境影響だけでも、定量的評価を行うには、多くの項目について正確な情報が必要となるが、それらを整備するには多くの時間と資金が必要となる。最初から全ての環境影響項目について詳細な情報を整備し、定量的評価を行うのは現実的ではない。まず、環境影響項目のチェックリストを作成し、影響の有無あるいは程度をチェックし、その中から重大な環境影響をもたらすおそれがある項目やその程度が分からない項目について、情報の収集・整備を行い、定量的に環境影響を評価するのが実用的である。

対策技術のもたらす環境影響の評価の手順はリスクアセスメントと同じように考えることができる。まず、対策技術が発生する環境負荷を見積もり、その負荷がもたらす環境状態の変化を予測する。環境状態の変化の予測は数学モデル等を用いて行う。その一方で、環境状態の変化の程度とそれがもたらす影響の関係を明らかにしておく。これらの結果を合わせて、環境状態の変化がもたらす環境影響の程度を定量的に評価する。

対策技術の環境影響を総合的に評価するには、実施に伴って生ずる環境影響だけでなく、対策技術に必要な資材（装置設備や化学試剤など）の製造から廃棄に至るまでのライフサイクルにおける環境影響を考える必要がある。例えば、塩化メチレンやイソプロパノール等の代替溶剤の環境影響を評価するには、その使用工程だけでなく、それらを製造したり、廃溶剤として廃棄する

時の環境影響も合わせて評価する必要がある。また、分離回収されたフロン等の評価では、再利用するにしても、分解処理するにしても、それに伴う環境影響も考慮する必要がある。

多様な環境影響評価項目を考慮しなければならないが、1つの環境負荷が多くの環境影響に係わっており、特に大きな環境影響を及ぼす環境負荷を中心に考えていくとよい。技術の環境影響評価にあたって重要な視点は、①エネルギーをどのくらい消費するか、②水や木材などの資源をどのくらい使用するか、③有害物質を使用していないか、④有害物質が非意図的に生成しないか、⑤どのような廃棄物をどのくらい発生するか、⑥土木工事などによる物理的な自然破壊はないか、などである。

これらの視点で、対策技術そのものやそれに必要となる資材のライフサイクルについて検討を加えることにより、多様な環境影響が評価できる(表1)。エネルギーの大量消費は地球温暖化、酸性雨、大気汚染などの問題を引き起こす。資源の大量消費は、資源の種類によって熱帯林の減少や地盤沈下など多様な環境影響をもたらす。有害物質の使用や生成は、クロスメディアの環境汚染を通じて人の健康や生態系にリスクをもたらし、廃棄物処理の面でも問題となる。大量の廃棄物の発生は埋立処分による自然環境の消滅を引き起こし、また有害廃棄物の発生は非意図的な生成も含めて有害物質による環境汚染の原因となる。

表1 環境負荷と環境影響の関連

	地球 温暖化	酸性雨	熱帯林 減少	大気 汚染	水質 汚染	土壌 汚染	地盤 沈下	自然 破壊
エネルギーの大量消費	◎	◎		◎		○		○
資源の大量消費	○		◎	○	○		◎	○
有害物質の使用				◎	◎	◎		○
廃棄物の発生				○	◎	◎		◎
物理的な自然破壊					○			◎

#### 4.2 環境影響の定性的な評価

フロン等対策技術に係わる既存情報を収集し、それが及ぼす環境影響の定性的な評価を行った。それらが人類や生物の生存にどれだけのリスクを与え、生活の快適性をどれだけ阻害するかを、先にあげた視点から評価した。

##### (1) 排出抑制技術

排出抑制技術の1つである分解処理技術では、エネルギーの消費量、有害物質の使用や非意図的な生成が問題となる。特に、フロン等の分解による有害物質の生成が重要な評価の視点となる。フロン等が分解されれば、それに含まれる塩素とフッ素に見合った塩素化合物やフッ素化合物が生成する。分解処理ではほとんどが塩化水素やフッ化水素などの無機化合物になるが、塩素やフッ素の物質収支が完全にとれていない場合も多く、途中で生成する有機塩素あるいはフッ素化合物が分解されずに残留している可能性がある。

焼却処理では、塩素化ダイオキシンやホスゲン等の毒性の高い有機塩素化合物の生成が報告され、固体触媒による分解では、中間体として有機塩素化合物の生成が報告されている。毒性の高

い有害物質は、GC/MSなどの高感度の分析法を用いて調べる必要があるが、塩素化ダイオキシンなどの生成が現段階で十分にチェックされている例はほとんどなく、実用化に向けての解明すべき課題である。ただし、焼却処理がそうであるように、適切な運転条件、例えば十分な温度と滞留時間を設定すれば、有害物質の非意図的な生成を抑制することができ、併せて適切な排ガス処理を行うことによって、環境への侵入を防ぐことはできると考えられる。

一方、化学的な反応によって分解する方法では、反応試剤に対応した反応生成物ができる。ナフタレニドやアルコラートによる分解では塩素やフッ素はナトリウム塩になるが、同時に置換ナフタレンあるいはアセトンなどが生成する。これらは毒性の高いものではないが、適切に処理する必要がある。

高温あるいは高圧条件で不燃性のフロン等を分解するには、エネルギーが必要となる。焼却処理でも不燃性のフロン等を分解するには補助燃料が必要となる。プラズマ分解や紫外線分解などではプラズマや紫外線を発生させるのにエネルギーを必要であり、超臨界水分解では加圧・加温にエネルギーが必要となる。触媒分解は比較的温和な条件で行われるため、エネルギー消費は少ないと考えられるが、十分な反応速度を得るためには排ガスを加熱する必要がある。希薄な排ガスを処理する場合には、処理量あたりのエネルギー消費量が高くなるため、吸着等により濃縮してから分解する方法も検討されている。

温暖化ポテンシャルの大きいフロンの環境への侵入を抑制すれば、地球温暖化の抑制にも大きな効果が期待できるが、できるだけエネルギー消費の少ない方法が望ましい。プラズマ分解法は焼却処理に比べてエネルギー代が少なくすむと報告されているが、実装置でのエネルギー消費に係わる情報はほとんどの技術で報告されていない。

一方、分離・回収技術では、エネルギー消費量、廃棄物の種類などが問題となる。吸着による分離回収では、廃吸着剤の処理が問題となる。吸着分離であれば、エネルギー消費は排ガスのブローが主になるが、吸着剤からの脱離とガス状物の冷却にもエネルギーが必要になる。直接冷却・回収したり、圧縮して回収する方法でも、冷却や圧縮にエネルギーを必要とする。エネルギー消費量は同じ活性炭吸着・脱離装置の中でも大きく異なり、個々に単位回収量あたりの消費量を調べる必要がある。

## (2) ノンフロン代替物質

ノンフロン代替物質については、有害物質の使用が問題となり、その製造や廃棄に係わる有害物質の非意図的な生成も問題となる。

フロン等の用途に対応して多様な代替物質が開発されている。洗浄用途にも多様なノンフロン代替物質が用いられているが、それらは①有機塩素化合物、②炭化水素、③アルコールやケトンなどの含酸素化合物、④界面活性剤の4つに大きく分類される。ドライクリーニングの洗浄剤としては石油系の洗浄剤が用いられている。その他の用途では代替フロンの使用が多いが、噴射剤には炭化水素などが、冷媒にはパーフルオロカーボンなどが、発泡には有機塩素化合物、炭化水素や二酸化炭素などが用いられている。

ノンフロン代替物質の中で最も有害性が懸念されるのは有機塩素化合物である。フロン等によく似た特性を有するトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンも、広範な地下水汚染を契機として第二種特定化学物質に指定され、製造・使用が制限されているため、装置の大幅な変更の必

要がない塩化メチレンの使用量が増大してきた。この物質も発がん性の疑いが持たれており、水質環境基準の見直しに際して基準項目に加えられた。

炭化水素としては、パラフィン系やナフテン系の脂肪族炭化水素が主に用いられている。炭化水素を噴射剤としたスプレーを密閉した室内で使用し、中毒した事例が報告されているが、発がん性物質であるベンゼン等と異なり、脂肪族炭化水素は急性毒性も低く、発がん性などの慢性毒性が確認されているものもない。また、水中で微生物分解され、大気中でOHラジカルによって分解されるため、環境中に長期には残留せず、直接暴露によって人の健康や生態系に影響を及ぼす可能性は少ないと考えられる。炭化水素の大気への排出は光化学スモッグの原因となるが、フロン等の代替で使用される炭化水素の寄与は小さいと考えられる。

水系の代替洗浄剤として高級アルコール系やアリカリ系などの界面活性剤が用いられる。これらの物質は、そのまま排出されると水質汚濁に寄与するが、通常の排水処理で分解されると考えられ、排出されたとしても人間活動に伴う有機汚濁負荷のごく一部を占めるに過ぎない。また、水質汚染を通じて直接暴露され、人の健康に被害を与える可能性は高くないと考えられる。

含酸素化合物の代替物質としてイソプロパノールが多く使われているが、急性毒性は低い。変異原性を有するとの報告もあるが、微生物分解されるため、環境中に残留する可能性は低く、人の健康や生態系に影響を与える可能性は高くないと考えられる。この他にも、N-メチル-2-ピロリドンなどが代替洗浄剤として用いられているが、特に高い毒性が明らかになっているものはない。ただ、1,4-ジオキサンは指定化学物質であり、発がん性の疑いがある物質であり、既に環境中でも広く検出されているため、注意が必要である。

#### 4.3 塩化メチレンの代替使用による環境影響

##### (1) 現状の汚染による環境影響

1983年の化学物質環境安全性総点検調査によれば、大気からはほとんどのサンプルで塩化メチレンが $0.007\sim 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で検出されている。米国環境保護庁が塩化メチレンの $10^{-6}$ の発がんユニットリスクを $0.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ と設定しているが、検出されたサンプルのほとんどがこの値を超えており、最高濃度は1000倍に及んでいる。

一方、塩化メチレンは揮発性であるため、表流水中の濃度は高くないが、地下水からは比較的高濃度で検出されている。1982年の環境庁調査では検出率が低く、水質環境基準を超えるものはなかったが、1991年の調査では10%以上のサンプルから検出され、2%あまりのサンプルが基準を超えていた。

塩化メチレンは他の揮発性有機塩素化合物と比べて水溶解度が高いため、水に溶け込んだ塩化メチレンは、通常用いられる曝気法や活性炭吸着法では他の揮発性有機塩素化合物に比べて除去することが困難である。また、沸点が低いため、排ガスから回収するにもより低い温度が必要となる。これらのことは、塩化メチレンの環境への侵入を防ぐのは容易ではなく、また一旦汚染されると、その暴露を防ぐのも容易でないことを示している。

##### (2) 代替使用の増加の影響

増加し続けてきた他の塩素系溶剤の生産量が減少に転じているのに対し、塩化メチレンの生産量は増え続け、1992年には1983年に比べ2倍に増えている。塩化メチレンの用途は金属洗浄剤とし

表2 揮発性有機塩素・フッ素化合物の性状と汚染状況

化合物名	沸点 °C	水溶解度 g / l (20°C)	ヘンリー則定数 atm・m <sup>3</sup> /mol	オクタノール/水 分配係数 (対数)	OHラジカル反応 速度定数 (cm <sup>3</sup> /mol・sec)
塩化メチレン	39.8	20	0.00203	1.25	1.4x10 <sup>11</sup>
四塩化炭素	76.7	0.8	0.023	2.73	<0.1x10 <sup>14</sup>
トリクロロエチレン	86.9	1	0.0091	2.36	0.17x10 <sup>12</sup>
テトラクロロエチレン	121.1	0.15	0.0153	2.57	2.2x10 <sup>12</sup>
1,1,1-トリクロロエタン	74.1	0.9	0.03	2.51	0.12x10 <sup>13</sup>
フロン11	23.8	1.1	0.11	2.53	
フロン12	-29.8	0.28	2.98	2.16	
フロン113	48				

化合物名	生産量 (t / 年)		大気最高濃度 (μg/m <sup>3</sup> )	表流水最高濃度 (mg/l)	地下水最高濃度 (mg/l)
	1983年度	1992年度	総点検調査	公共用水域調査	環境庁調査
塩化メチレン	41,785	83,519	20(1983年)	0.12	0.12
四塩化炭素	40,800	49,539	6.1(1983年)	0.017	0.099
トリクロロエチレン	66,693	61,080	32(1979年)	0.036	11
テトラクロロエチレン	60,667	63,225	12(1980年)	0.044	38
1,1,1-トリクロロエタン	95,702	168,440	19(1983年)	0.8	6.4
フロンガス	127,723	169,594			
フロン11			5.1(1977年)		
フロン12			165(1976年)		
フロン113			35(1983年)		

での使用が最も多く、エアゾールや発泡用を含めると、フロン等と競合する用途への使用が3割程を占めており、フロン等やトリクロロエチレンの代替物質としての使用が、塩化メチレンの生産量が急増している一因となっていると考えられる。

これらの用途に使用された塩化メチレンは、フロン等と同様に大気へ侵入する割合が高いと考えられる。しかし、OHラジカルとの反応が比較的速く、大気中の半減期は53~127日と推定されており、成層圏に侵入する割合も1%程度で、オゾン層を破壊する可能性は少ないと考えられる。しかし、分解しやすくとも、大量に排出されれば大気濃度は高くなる。1983年当時でも10<sup>-6</sup>の発がんユニットリスクをほとんどのサンプルが超えていたが、生産量が2倍を超えて増え続けて行けば、10<sup>-5</sup>の発がんリスクに近付いていくおそれもある。

一方、重い、土壌に吸着しにくい、難分解性であるなど、トリクロロエチレンなどと性状が似ており、適切な取扱いや処理を行わないと、土壌に浸透し地下水を汚染するおそれは十分にある。1982年の調査で見られなかった地下水の基準超過が、1991年の調査で見られたことは塩化メチレンの生産・使用量の増加に関連があるとも考えられる。1992年の水質環境基準の見直しにおいて

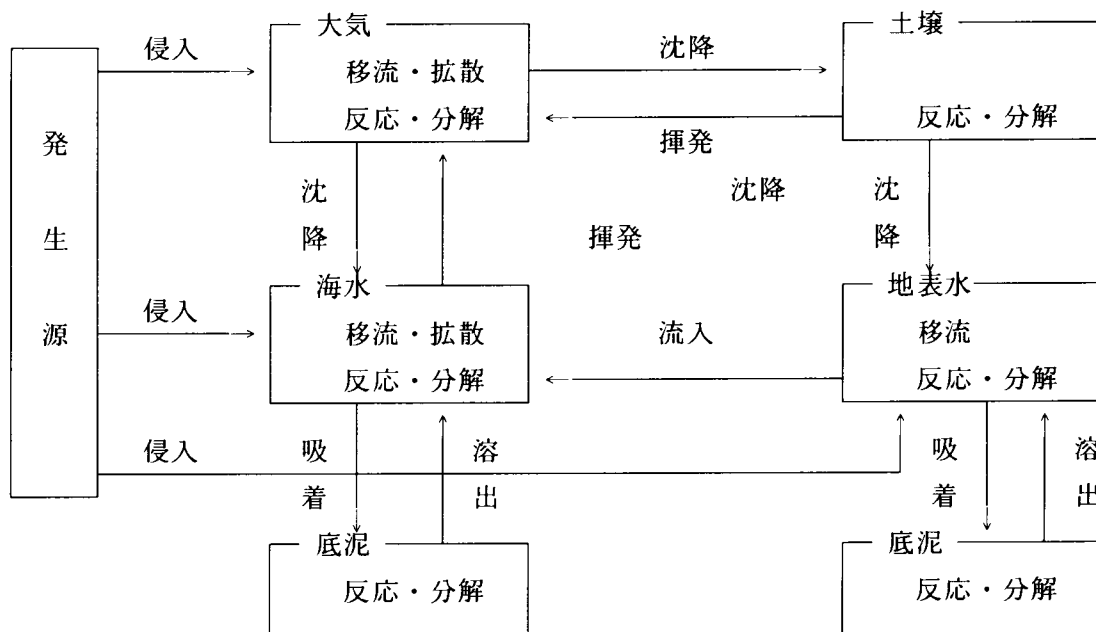
塩化メチレンが健康項目に加えられたため、排水や廃棄物に伴う環境への排出は抑制されることになったが、一部に最高で800倍に及ぶ暫定排水基準が設定されているように、相対的に水溶解度の大きな塩化メチレンは排水から除去しにくい物質であり、適切な代替物質とは言い難い。

#### 4.4 環境挙動モデルの改良

##### (1) 時間値予測モデルの開発

フロン等対策技術の環境影響を定量的に評価するには、対策の実施によって環境中に排出される有害物質のクロスメディアにおける濃度を予測することが必要となる。そこで、地域的なクロスメディア汚染分布を把握するモデルの作成を試みた。環境中の有害物質の暴露による影響では、微量の汚染で発現するため、長期的な暴露に伴う慢性影響が特に問題となる。このため、平均的な濃度を予測するモデルが必要となるが、モデルの検証に必要な有害物質の平均濃度は測定されていない。このため、まず時間濃度を予測するモデルの開発を試みた。

このモデルは、対象地域をメッシュ分割した各ボックス毎に大気、地表水、海水、土壌及び底泥といったメディアから成る環境を考え、各ボックスに存在する発生源からの排ガス、排水と廃棄物を通じての排出量と隣接するボックスからの各メディア毎の移流・拡散による流入量を各ボックスの増加量とし、隣接するボックスへの移流・拡散による流出量とボックス内での各メディアにおける分解量を各ボックスの減少量とし、これに各メディア間の移行による増減を加えて、各ボックス内のメディア毎に物質収支を表現したモデルである（図1）。対象地域の広さによるが、概ね1kmメッシュに分割し、それぞれのメッシュの地表面を土壌、河川・湖沼水と海水に分割し、その上に大気と考えた。大気については、風速や日射量に基づき求めた大気安定度に従って上方への拡散も考慮した。各変数はできるだけ文献値を用いるか、物理化学的性状から推定したが、一部の変数の決定とモデルの検証は、内陸都市のトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン及びベンゼンの大気と表流水の調査結果を用いて行った。大気については計算値の1時間値を3時間吸引したサンプルの濃度と、表流水については





採取時点の計算値と濃度を比較した。

大気は、ベンゼンを除いて全般的に計算値が実測値よりも低い。表流水は、大気よりは実測値と計算値の整合はよいが、逆にベンゼンの計算値が実測値を上回っている。この原因として、バックグラウンド濃度を考慮していないこと、未把握の発生源がある可能性があること、汚染物質の排出パターンが分からないこと、媒体間の移動を過大あるいは過小評価していることなどが考えられる。

## (2) 平均濃度予測モデルの開発

有害物質の慢性毒性のリスク評価に必要な平均濃度を予測するモデルの開発を試みた。モデルの基本的構成は、時間濃度予測モデルと同じである。ボックス間の移流による移動は、平均風速あるいは平均流速の流れが各方位の風向や流向の割合に応じて起こるとし、各ボックス内の濃度を乗じて算定した。また、時間濃度予測モデルでは、速度論的に扱った各メディア間の移行は、瞬時に平衡が成り立つとして、各計算時間毎にボックス内の有害物質を各メディアに平衡定数に従って分配した。計算結果は実測値よりも若干低い値を示し、時間値予測モデルと同じような結果であった。このモデルでは排出パターンの変化は関係なく、バックグラウンド濃度の評価が問題であると考えられた。

## 5. 本研究で得られた成果

フロン等対策技術を典型的に整理し、その動向を把握した。次に、フロン等対策技術の環境影響評価の手順として、まず多様な環境影響項目について定性的な影響評価を行い、重大な環境影響を及ぼすおそれのある項目やその程度が分からない項目について詳細な評価を行う手順を提案し、多様な環境影響を評価する上で重要な視点を明らかにした。

この手順に基づき、排出抑制技術と代替フロン技術について評価を試みた。排出抑制技術のそれぞれについて問題となる環境影響評価項目を整理したが、技術の多くが開発途上であることもあって、定量的な評価に必要となる情報が得られるものはほとんどなかった。ノンフロン代替物質の多くは高い毒性が明らかになっているものではなく、またそれらの生産量全体に占めるフロン等の代替使用の割合が低いことから、人の健康や生態系に及ぼす影響は大きくないと考えられた。しかし、水質環境基準に追加された塩化メチレンは、汚染状況や生産動向等に基づき評価を行い、代替としての使用が急増していること、大気や地下水の汚染状況が現状でも高いレベルにあり、相対的に処理も難しいことから、代替物質として適当でないことを指摘した。

また、定量的な評価に必要となる環境挙動予測モデルの開発を行った。まず、時間濃度を予測する速度論型モデルを開発し、実測データを用いて検証した後、慢性暴露量を把握する年平均濃度予測モデルの開発を行った。

### 〔研究発表の状況〕

#### 口頭発表

- 1) 片谷教孝・古橋規尊・中杉修身：有害物質の環境侵入量と人体暴露量の予測手法について、第24回安全工学シンポジウム、1994年7月6日（予定）