

生活環境化学物質の経路別摂取量調査 —揮発性有機化合物を例にして—

玉川 勝美¹⁾, 安藤 剛²⁾, 福原 守雄³⁾

Studies on the intake of chemicals in living life through different routes —Volatile organic chemicals—

Katsumi TAMAGAWA, Katashi ANDOH, Morio FUKUHARA

1. はじめに

ケミカルアブストラクトに収載されている化学物質の数は、1998年12月現在で1,882万種を超えており、毎日新たに4,500種以上の化合物が合成されている¹⁾。このうち日常的に使用されている化学物質の数は約10万種類、年間生産量は約4億トンを超えると推定されている。これらの化学物質が我々の生活を支え、より豊かにしていることは事実であるが、反面、環境汚染を通じて健康上重大な影響を及ぼしている可能性のあることも否定することはできない。例えば癌は、1981年以降わが国の死亡原因の第1位を占めており、癌予防に対する社会的関心は極めて高い。ヒトの癌の原因因子としては様々なものが考えられているが、その中で重要な因子として環境中の発がん物質を指摘する報告が1977年に Doll ら²⁾, Wynder ら³⁾によって最初に行われており、その後も多くの研究者によって同様の指摘がなされている⁴⁻⁶⁾。すなわち、発癌因子の60~90%は外部環境に由来しており、その改善によっては予防も可能であるという。癌の予防法として早期発見、早期治療は重要な意味を持つが、これで減らせるのは癌による死亡者数であって、発生数ではない。癌の発生そのものを減らすためには、環境中に存在する様々な発がん物質のリスクを定量的に評価し、リスクの高いものを効率的に低減化する対策をとることが重要である。

有害化学物質に対する対策については、最近、国際的にも様々な取り組みがなされてきており、1992年6月にリオデジャネイロで開催されたUNCED (国連環境開発会議)でもリオ宣言やアジェンダ21に取り上げられている。また米国では1990年に大気浄化法(CAA)が改正され、189の有害大気汚染物質が新たに規制対象として取り上げられた。またわが国でも1993年に水質汚濁防止法が改正され、有害

化学物質の環境基準が強化され、さらに、1996年には大気汚染防止法が一部改正になり化学物質対策が強化されている。特に、今回の改正ではわが国では初めて、低濃度の化学物質による長期曝露影響という点から規制が強化され、有害大気汚染物質として新たに234物質がリストアップされた。そして、このうちのアクリロニトリル、ベンゼン、塩化ビニルモノマーなど22物質については「優先取り組み物質」として大気環境中のモニタリングが求められている。

有害化学物質による環境汚染の実態については、これまで地方自治体の衛生・環境・保健各研究所や大学、その他の試験研究機関によって数多くの報告がなされてきている。しかしこれらの多くはある化学物質について、食品、飲料水、河川水、大気など個別の環境中心の濃度調査が殆どであり、人にどのくらいどのような物質が実際に取り込まれているかという、空気、食品、飲料水など経路別の摂取量についての報告例は少ない。ましてある特定の個人を対象に実際の曝露量と、その生活環境媒体の汚染実態を関連して調査した事例は少ない。その理由として、汚染物質ごとにあらゆる媒体で調査法が確立しているとは限らないこと、ほとんどの試験研究機関では環境媒体ごとに組織が縦割りになっているため組織横断的な調査が行いにくいこと、調査対象者の負担が大きく、なかなか協力者が得られないこと、などが挙げられる。

著者らは1994年以来、厚生科学研究「がん克服戦略研究事業」に参加し、揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)の一般生活環境での経路別摂取量調査を行ってきた。この調査では、大阪、仙台、東京の住民を対象に揮発性有機化合物(VOC)について、食事、飲料水、空気(室内空気、屋外大気)の媒体毎に、人体にどのくらいの量が摂取されているかについての個人曝露量を調べ、それをもとにそのリスク評価を行うとともに、その発生源の究明を試みてきた。本稿ではこの調査を例に、経路別摂取量調査と発がん性のリスク評価の実際について述べる。

ここでVOCを取り上げたのは、これらが工業薬品の原

1) 仙台市衛生研究所, 2) 大阪府立公衆衛生研究所,

3) 国立公衆衛生院

料, 抽出溶媒, 電子部品の洗浄剤として使用され, また溶剤や燃料などの共存物質としても含まれ, その用途の広さや使用量の多さと相まって, 空気, 食事, 飲料水など広く一般生活環境を汚染している可能性が考えられたからである。実際わが国では1981年に地下水の新たな汚染物質として顕在化したが, その後地下水のみならず, 屋外大気や表流水, 底質など環境全体を広く汚染していることが明らかになった⁷⁾。最近では建材などから VOC が揮散することによって住居環境を汚染し, シックビル症候群や化学物質過敏症などの原因となっているとの指摘もなされている⁸⁾。さらに VOC には慢性中毒症状を示す物質, 発がん性の疑われる物質も少なくない⁹⁻¹¹⁾。例えば, IARC (International Agency for Research on Cancer: 国際癌研究機関) の発がん性評価では, 人に対して発がん性を示すグループ 1 (Carcinogenic to humans) に分類されているベンゼン, また人に対しておそらく発がん性を有するグループ 2 A (Probably carcinogenic to humans) に分類されているトリクロロエチレン, テトラクロロエチレンや, 人に対して発癌性を示す可能性があるグループ 2 B (Possibly carcinogenic to humans) に分類されているクロロホルム, 四塩化炭素, プロモジクロロメタン, p-ジクロロベンゼンなどがある。

2. 環境化学物質の経路別摂取量の調査法

どのような環境中化学物質が人体にどのくらいの量摂取されているかについて, 食事, 飲料水, 空気などの媒体毎に調べ, それを総合して個人曝露量を求める経路別摂取量の調査法について概説する。各媒体毎のより詳しい調査法とその問題点は, 本特集の各論を参照されたい。

2-1) 食事経由による摂取量調査

人が食事経由で摂取する化学物質を測定するための食事試料のサンプリング法として, 代表的なものはマーケットバスケット方式 (Market basket method) と陰膳方式 (Duplicate portion method) の2つがある。マーケットバスケット方式は市場で流通している食品をいくつかの群に分類してそれぞれを購入し, これを分析した後, 厚生省の国民栄養調査により群ごとの一日摂取量を乗じて対象とする物質の一日摂取量を算出するものである。この方法は一日摂取量の総量とともに食品群ごとの汚染実態も把握できるため, 汚染源の特定もある程度可能である。陰膳方式は実際の朝, 昼, 夕食など一日に食する食品を全て提供してもらうもので, 一日摂取量の実態を把握するのに適している。

食品の分析では, 一般に検体中に多くの夾雑物質が多く含まれるため, 必ず精製工程が必要になる。VOC についての分析では対象物質の沸点が低いため, 通常の分析で用いられる溶媒抽出/濃縮/精製という分析操作は使えない。豊田ら¹²⁾は食品中のクロロホルムの分析にパージトラップ法を用い, 濃縮/精製の操作なしで分析し67~94%程度の回収率を得ている。著者ら¹³⁾は食品中のトリハロメタンの分析法として, エチレンブromaidの分析に用いられている Dean-Stark 蒸留装置に蛇管式冷却管を組み合わせて, n-ヘキサンに捕集する方法を検討し, 61~105%の回収率

を得ている。山田ら¹⁴⁾は同様の方法を用いて概ね90%以上の良好な回収率を得ている。この方法は p-ジクロロベンゼンの分析でも良好な結果が得られており¹⁵⁾, 食品中の VOC の分析に広く適用が可能であるものと考えられる。

2-2) 飲料水経由による摂取量調査

水道水では水道管直結栓水でも早朝には比較的高濃度の金属が検出されることがあり^{16,17)}, 配管等からの溶出の可能性が疑われている。従って水道水をサンプリングする場合にも, あらかじめ十分に流した後の試料水を採取することが望ましい。

飲料水中の VOC の測定法として上水試験方法¹⁸⁾では, パージトラップーガスクロマトグラフ (ノ質量分析) 法, ヘッドスペースーガスクロマトグラフ (ノ質量分析) 法, 溶媒抽出ーガスクロマトグラフ法の3つの方法が指定されている。測定が可能な VOC としては四塩化炭素, トルエン, ベンゼン, ナフタレンなどを含む57物質が挙げられており, このうちパージトラップーガスクロマトグラフ/質量分析法では57物質に, ヘッドスペースーガスクロマトー/質量分析法はジクロロエタン, ジクロロプロペン等を除く53物質に適用が可能とされている。パージトラップーガスクロマトグラフ (ノ質量分析) 法は基本的に検水中の VOC をパージしてトラップ管に濃縮し, これを加熱してガスクロマト (ノ質量分析計) に導入する方法である。ヘッドスペースーガスクロマトグラフ (ノ質量分析) 法は一定温度で気-液平衡状態にある気相から一定量を機器に導入し分析する方法である。溶媒抽出法ーガスクロマトグラフ法は検水中の VOC をヘキサン等の有機溶媒で抽出し, ガスクロマトグラフで分析する方法である。これら3つの方法のうち, パージトラップ法とヘッドスペース法は検出感度は高いものの, 一般に実験室内の汚染の影響を受けやすい。一方, 溶媒抽出法は室内汚染の影響を受けにくく, 操作も比較的簡単ではあるが, 対象物質の沸点が抽出溶媒と近い場合には測定が困難になるという欠点がある。伊藤ら¹⁹⁾はこの欠点をカバーする目的で, n-ヘキサンより沸点が低いn-ペンタンを抽出溶媒として用い, クライオ・フォーカシングした後, 機器に加熱導入する方法により, ヘッドスペース法に匹敵する感度が得ている。

2-3) 空気経由による摂取量調査

空気中の揮発性化合物の調査法としては, 真空ビン, テドラバッグ (プラスチックバッグ), キャニスター (金属製容器) などに試料空気を捕集し, GC や GC/MS などの分析機器に直接, あるいは低温濃縮させた後に加熱導入する方法, 吸引ポンプを用いて活性炭, カーボシブや Tenax GC などの固体吸着剤に吸引捕集し, これを溶媒脱着や加熱により分析機器に導入する方法 (アクティブサンプリング法), パッシブサンプラーで自然吸着により汚染物質をサンプリングし, 溶媒脱着後, 分析機器に注入する方法 (パッシブサンプリング法) などがある。

真空ビンやテドラバッグを用いる方法は一般に瞬間値を計測する場合に用いるものであり, 代表値を求める場合は多数回の計測が必要となる。キャニスターを用いるサンプ

リングではマスフローコントローラーを取り付けることにより極微量(毎分3ml程度)で吸引することができ、一日単位の長期サンプリングが可能である。

アクティブサンプリング法はポンプを用いて捕集管に吸引捕集するもので、通常、数時間から数日程度の調査に用いられている。汚染濃度の算出のために試料空気の吸引流量の確認を、通常はガスメーターや石鹼膜流量計などを用いて行なう。この方法はポンプ台数による調査規模の制約、電源確保、ポンプの騒音の問題などがあり、室内や個人暴露量の調査のようにサンプリングが深夜に及ぶ場合には騒音対策が不可欠となる。最近では、バッテリー駆動の携帯型のミニポンプが市販されており、消音対策も必要なく個人暴露調査にも使用可能になりつつある。

パッシブサンプリング法は、自然吸着により汚染物質を吸着捕集するもので、特殊な機器や電源を必要としないことから、個人暴露量調査に最も適している^{20,21)}。ここで用いるサンプラーは分子拡散を利用して吸着剤に揮発性化学物質を自然吸着させるもので、労働環境用として既に様々なものが市販されていたが、最近、この種のサンプラーがppbレベルの一般環境の調査にも適用され始め、これを用いた調査例が多く報告されるようになった²²⁻²⁴⁾。吸着剤には粒状活性炭を使ったものが多く、その他にTenaxなどのポーラスポリマービーズ、CarboxenやCarbotrapなどを用いたサンプラーがある。これらのチューブを個人が24時間携帯したり、環境中に一定時間曝露させた後、捕集剤を取り出し測定し、暴露空気中の濃度への換算はそれぞれの市販品に定められている換算式によって行う。

2-4) その他の経路による摂取量調査

以上の3媒体経路の他にも人体へ化学物質が取り込まれる経路があるが、その寄与率は比較的に小さいとみてよい。ただし低沸点有機塩素化合物の場合は、経皮吸収も無視できない。例えば、Cliffordら²⁵⁾はシャワーによる曝露について、皮膚経路によるクロロホルムの吸収量は経気道摂取量とほぼ程度であるとしている。

3. 経路別摂取量の実態調査例

次に実際に報告されている環境化学物質の経路別摂取量調査の例をみえる。現在最も問題となっているダイオキシン類のリスク評価のために環境庁が行った調査「ダイオキシンリスク評価検討会」(1997年5月)報告書²⁶⁾の中では、食事、大気、水、土壌からの摂取量をそれぞれ推計している。食事からの摂取量は大阪府下で行った高山ら²⁷⁾のマーケットバスケット方式の結果と、環境庁が行った9都道府県での陰膳方式による結果をもとに、0.26~3.26pgTEQ/kg/dayという値を出している。この量はドイツ(2.2pg/TEQ/kg/day)、カナダ(2.3pg/TEQ/kg/day)、米国(0.3~3.2pg/TEQ/kg/day)など諸外国とほぼ同レベルである。大気については昭和61年度から行っている環境庁の「未規制大気汚染物質モニタリング調査」結果をもとに大都市地域、中小都市地域、バックグラウンド地域に分け摂取量の推計を行っている。水、土壌についてもMiyataら²⁸⁾、大

表1. 我が国における一般的な生活環境からのダイオキシン曝露量の推定²⁸⁾

	大都市地域 pg/kg/day	中小都市地域 pg/kg/day	バックグラウンド地域 pg/kg/day
食物	0.26~3.26	0.26~3.26	0.26~3.26
大気	0.18	0.15	0.02
水	0.001	0.001	0.001
土壌	0.084	0.084	0.008
計	0.52~3.53	0.50~3.50	0.29~3.29

崎ら²⁹⁾の報告から摂取量を算出している。こうして求められたダイオキシン類の平均的な曝露の状況をまとめたのが表1である。日本では、ダイオキシン類はその大半を食物を経由して摂取していることが明らかで、一日摂取量の総量はほぼ0.29~3.53pg/TEQ/kg/dayと推定している。この他、一般的な環境から偏りがある環境における曝露の例として「魚からの摂取量が大きい場合」と「ごみ焼却施設周辺における曝露」が取り上げられ考察が加えられている。

他の有機塩素系化合物の報告例として、荒井ら³⁰⁾が1987年から3年間にわたって、横浜市内在住の女性延べ39人を対象に、クロルデンの食事、飲料水、空気からの経路別摂取量を調べたものがある。それによるとクロルデン類の総摂取量は0.07~3.57μg/日であり、最大でもADI(Acceptable daily intake, 一日許容摂取量)の1/7であった。経路別の寄与率ではクロルデン処理した家庭では室内空気>食事>水道水で、処理していない家庭では食事>室内空気>水道水の順であり、クロルデン処理の有無によって摂取経路が異なることを示している。大谷ら³¹⁾はホウ素の一日摂取量における水道水の寄与率について報告している。それによると食事からの摂取量は1.28~2.57mg/日、平均で1.92mg/日であり、水道水からの寄与率は0.89%以下~54%と地域によって大きな差が認められ、一般的な傾向は認められていない。中川ら³²⁾は多環芳香族炭化水素(PAHs)の食事、飲料水、空気からの経路別摂取量調査を行っている。PAHsとしては強い発癌性のあるベンゾ(k)フルオランテン、ベンゾ(a)ピレン、ベンゾ(g,h,i)ペリレンを取り上げ曝露量を推計している。その結果、PAHsの食事からの寄与率は夏期で81~89%、冬期で62~74%を占めており、PAHsはその大半を食事を経由して摂取していることを示した。

VOCについては文献調査による米国環境保護庁(U.S. EPA)の報告例がある。Shahら³³⁾は1975年から1985年までの屋外、室内空気中の揮発性化合物320物質の汚染データ約175,000件を集計し、その平均値を報告している。この報告で用いているデータは統一された調査法や分析法で行われたものではなく、厳密な意味での比較は困難ではあるが、EPAでは人体暴露量を総合的に把握する上で非常に有用のものであるとしている。統一的な方法で調査を行った例としては米国のTEAM study(Total Exposure Assessment Methodology Study)があり、Wallaceら³⁴⁾がノースカロライナ州とニュージャージー州の住民を対象にして

表2. 環境媒体からの低沸点有機塩素化合物の摂取量の推計値 ($\mu\text{g}/\text{日}/\text{人}$)³⁵⁾

化合物名	環境媒体	数	平均値	90パーセン タイル値
トリクロロエチレン	飲料水	673	0.97	0.48
	食事	84	1.65	3.61
	室内空気	304	18.5	39.0
	合計		21.1	43.09
テトラクロロエチレン	飲料水	644	0.34	0.42
	食事	84	1.03	2.10
	室内空気	304	18.6	33.8
	合計		19.97	36.32
四塩化炭素	飲料水	41	0.006	0.014
	食事	—	—	—
	室内空気	175	4.55	8.06
	合計		4.56	8.07

注) 文献³⁵⁾を一部改編して引用。

行った空気、飲料水などの実態調査の結果について報告している。わが国では環境中の揮発性化合物の汚染実態については自治体の衛生研究所、環境研究所や大学などに膨大な量のデータの蓄積がなされている。しかし、これらの物質の経路別摂取量の全体像を調べた例は少ない。藤田ら³⁵⁾はトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、四塩化炭素の3物質について、1979年から1988年までの10年間の全国の大気、室内空気、地下水、飲料水、食品に関する文献を集計し、日本人の平均的な摂取量を推計している。データの性格はEPAのものと同じであり、各文献の実験方法も同一のものではないが、わが国の汚染状況と経路別摂取量の全体像を把握する上で非常に有用なものといえる。その藤田らの報告³⁵⁾から一部を引用して表2に示した。この集計では飲料水経由の摂取量については、飲料水の日摂取量600mlに飲料水中の汚染濃度を乗じて求めている。飲料水の日摂取量の値は厚生省のマーケットバスケット方式による食品汚染物質摂取量調査で用いられている数値を用いている。食品経由の摂取量についてはデータが少ないことから陰膳方式による実測値を用いている。空気からの摂取量については空気中の汚染濃度に、WHO/UNEPの人体暴露計画 (HEALs project) で用いている一日呼吸量13m³を乗じて求めている。こうして、各物質について一日摂取量を推計してみるとトリクロロエチレンは一日あたり約21 μg 、テトラクロロエチレンは約20 μg 、四塩化炭素は約4.6 μg という値が得られた。

一方実際の摂取量を調査した例としては、わが国では著者らの大阪^{36,37)}、仙台^{20,22)}での報告がある。一例として図1に大阪での調査結果を示した。調査は主婦を対象に1990~1992年の冬季に連続3日間、食事、飲料水、室内空気の汚染濃度の調査を行っている。食事は陰膳方式により一日分の食事を、室内空気は居間で24時間ポンプ吸引したものを試料としている。また、飲料水と空気の摂取量は一日それぞれ2L、20m³という値を用いている。調査した物質

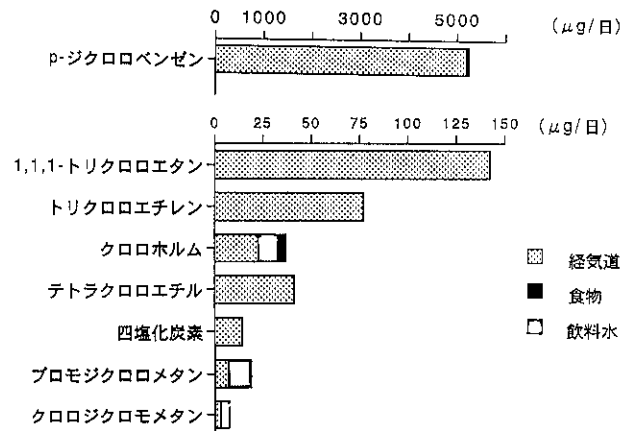


図1. 経路別の低沸点有機ハロゲン化合物の一日摂取量 (大阪市, 1990~1992)

の全摂取量を足したもので比較すると、最も摂取量の多い物質はp-ジクロロベンゼン (5,241 $\mu\text{g}/\text{日}$)であり、次いで1,1,1-トリクロロエタン (142 μg)、トリクロロエチレン (80 μg)の順であった。クロロホルムは約1/2が空気経由であり、水道水からは1/3、残り1/6は食事からであった。また、ブロモジクロロメタン、クロロジブロメタンは4割は空気、5割以上が水道水由来で、食事からはごくわずかであることが示された。

力岡ら³⁸⁾は長崎におけるVOCの調査について報告している。食品のサンプリングはマーケットバスケット方式を用い、国民栄養調査における食品分類に準じ、全食品を13群に分類し、それぞれについて分析している。その結果を見ると、他の報告と同様に空気からの摂取量が大半を占めていることがわかる。また、食品群別の比較では、1,1,1-トリクロロエタンについては3群の「砂糖、菓子類」と8群の「その他の野菜類」からそれぞれ、0.01-0.032 $\mu\text{g}/\text{日}/\text{人}$ 、0.079-0.177 $\mu\text{g}/\text{日}/\text{人}$ が検出されている。

表3に以上の各報告例をまとめ比較した。地域によって若干の差が認められたが、一日摂取量は一般に個人の生活習慣に左右される割合が大きい。そのためこの地域差が地域的な環境汚染の差をそのまま反映したものかどうかはさらに検討をする必要がある。環境データから推計した藤田の値 (表2) は実測で求めた大阪の値に比べ若干高めであり、仙台や長崎の値とほぼ同レベルであった。

低沸点有機塩素化合物以外のVOCの経路別摂取量については、玉川らが延べ20家庭の主婦を対象に3日間にわたりベンゼン、トルエン、キシレンなど6種類の揮発性芳香族炭化水素の経路別摂取量を調べている^{20,39,40)}。最も摂取量の多かったのはトルエンで684~713 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、次いで、m-キシレン、o-キシレンの順でベンゼンの一日摂取量は62~98 μg と推定した。調査した全ての物質で経気道摂取量は一日摂取量の90%以上を占め、空気汚染が非常に重要で

表3. VOCの経路別一日摂取量の報告例の比較

	推計値 (藤田ら)	実測値 (μg)			
		大阪 1990-1992 (N=30)	仙台 1995, 12月 (N=30)	仙台 1996, 8月	長崎 1990, 1991
1,1,1-トリクロロエタン	21	142	25	7.7	10.7-14.3
四塩化炭素	4.6	15	14	14	5.5-7.9
トリクロロエチレン		80	5.4	2.7	1.8-18.7
テトラクロロエチレン	20	42	12	15	1.9-2.3
クロロホルム		47	30	29	13.2
ブロモジクロロメタン		19	6.3	5.2	
クロロジブロモメタン		7.6	1.6	1.3	
p-ジクロロベンゼン		5,241	283	583	

あることを示した。Wallaceら⁴¹⁾はTEAM Studyによる調査結果を報告しているが、それによれば、米国の8都市800人の集計結果では室内のベンゼンの24時間の中央値は4~18μg/m³で、外気は2~16μg/m³であった。飲料水や食品中のベンゼンは痕跡程度であり、ほとんど無視しようとしている。一般人の場合、ベンゼンの主要な曝露源は喫煙とガソリン車であり、喫煙者のいる家庭ではない家庭に比べベンゼン曝露が50%増加すると推定している。

4. 人体に対するリスク評価

以上より、環境中のそれぞれの化学物質の実際の人体暴露量が得られたので、これをもとに人に対するリスクを評価することになる。医薬品の副作用と異なり、環境化学物質のヒトでの毒性度は、事故による突発的な人体曝露がない限り不明なことが多い。そこで一般に動物を用いた毒性実験の結果を用いて予測することになる。動物実験では環境濃度と比べ極めて高濃度で毒性の評価が行われているが、それで得られた用量-反応曲線から数学的なモデルを用いて低濃度に外挿し、実際の環境レベルでのリスクを推計することが行なわれている。数学的モデルとしては、One-hit model (linear model), Probit model, Weibull model, Multi-stage modelなどが知られている。One-hit modelは発癌が少なくとも1回の発がん物質のアタックによって起こるとしたものであり、低用量域では用量の一次式に近くなることからlinear modelとも呼ばれている(下参照)。このモデルは一般に放射線や強い求電子性の発がん物質による癌によく適合し、弱い発がん物質にはあまり適合しないといわれており、低用量域では他のモデルに比べリスクが高めに出ることが知られている。U.S.EPAではこのモデルを採用しているが、これは「規制」という観点からリスクを高めに見積もるという現実的な意味と、変異原性試験では低濃度で直線性があること、変異原性と発癌性にある程度の相関性が認められることによる。

One-hit model: $P(d) = 1 - \exp(-\beta d) \approx \beta d$

(注: dが非常に小さい時)

P(d): リスク, d: 用量, β : ユニットリスク

藤田らは文献から我が国の低沸点有機塩素化合物の環境

濃度を推計し、発癌リスクを求めている³⁵⁾。食事、飲料水のいずれについても、ユニットリスクはU.S.EPAが水道水中の低沸点有機塩素化合物のリスク評価に用いた値を用いている。それによると、トリクロロエチレンの発癌リスクは 1.78×10^{-6} 、テトラクロロエチレンは 1.01×10^{-6} 、四塩化炭素は 4.55×10^{-6} と推計されている。これは人口100万人あたり、1.78人がトリクロロエチレンによる発癌によって死亡する可能性があるということを意味しており、我が国全体で計算すると、トリクロロエチレンによる癌死亡者数は年間2.5人という計算になる。どの程度のリスクを社会的に許容するかは判断の分かれるところではあるが、FDAでは 10^{-6} をPAでは 10^{-5} をその基準ととらえており、我が国でも1996年の大気汚染防止法改正の際の有害大気汚染物質規制では 10^{-5} を規制基準のボーダーラインとしている。

これまでの経路別摂取量調査から、揮発性化合物は呼吸器経路の摂取量が曝露の大半を占めることが明らかになっている。藤田らの報告³⁵⁾でも、トリクロロエチレンは経気道摂取のリスクがリスク全体の89%を占めており、四塩化炭素では空気経路のリスクが99%以上を占めることを指摘している。大気汚染物質のリスク評価については、これまでいくつかの報告例があるが、そのほとんどは空気中の汚染濃度をもとに推計したものであり、実際の個人暴露濃度をもとに求めたものはほとんど見られない。表4に経気道の個人暴露濃度とそれをもとに計算した発がんリスクの推計値を示した²⁰⁾。発がんリスクの疑われる7物質の中で最もリスクの高かった物質はp-ジクロロベンゼンで最大で 110×10^{-6} であり、次いでベンゼン、クロロホルムの順であった。現在ベンゼン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンなど、大気汚染物質として重点的に対策や規制が取られているものがあるが、ここで述べた調査結果からみればこれら以外の環境中の他の化学物質の対策と規制も早急に取り組むべきであるということが示唆される。

対策の重要性を判断するという観点から、これらの物質の推計リスクを我が国における他の原因での死亡リスクと比較してみよう。p-ジクロロベンゼンの生涯発がんリスク($54 \sim 110 \times 10^{-6}$)をみると、警察白書(1994)(表5)により報告されている自然災害によって死亡するリスク(3.4×10^{-5})よりも高いが、火災によって死亡するリスク($5.9 \times$

表 4. 経気道による個人暴露濃度と発がんリスクの推計²⁰⁾

	個人暴露濃度 (ppb)	ユニットリスク* $\times 10^{-6}(\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	過剰発癌リスク ($\times 10^{-6}$)
p-ジクロロベンゼン	2.2~4.7	4	54~110
ベンゼン	0.64~1.2	8	25~39
クロロホルム	0.20~0.21	10	25~39
四塩化炭素	0.11	15	10~11
テトラクロロエチレン	0.086~0.11	(0.6)	(0.36~0.46)
トリクロロエチレン	0.025~0.049	(1.3)	(0.18~0.35)
トリクロロエタン	0.15~0.22	0.003	0.003~0.004

* L.A.Wallace, TEAM Study (1980-1988).

表 5. 我国における事故等による死亡数, 死亡率

	死亡数	年間死亡率	生涯リスク (死亡)
交通事故	10,649人	8.5×10^{-5}	6.0×10^{-3}
歩行者	2,886人	2.3×10^{-5}	1.6×10^{-3}
水難	1,360人	1.0×10^{-5}	7.0×10^{-4}
火災	1,041人	8.4×10^{-6}	5.9×10^{-4}
自然災害	59人	4.8×10^{-7}	3.4×10^{-5}
銃器発砲	38人	3.1×10^{-7}	2.2×10^{-5}
山崩れ等	10人	8.0×10^{-8}	5.6×10^{-6}
落雷	4人	3.2×10^{-8}	2.2×10^{-6}

* 警察白書(1994)

10^{-4} よりも低いことがわかる。発がん性リスク評価は数学的モデルの採り方によって推計値に大きく変動するという欠点も指摘されているが、従来のこの種の議論が環境中の化学物質のレベルのみに終始していたことを考えると、環境汚染に対する評価手法として実際の人体暴露量から評価することが意味あることと言えよう。

6. おわりに

生活環境中の化学物質を人体暴露を視点に、その経路別摂取量調査と、その結果からみたりリスク評価について VOC を中心に述べてきた。このようなリスク評価法は、従来の環境中のレベルをもとにしたリスク評価と比較し、人に対してはより実際的かつ正確なリスク評価ができると思われる。またこのような評価をもとにすれば、環境中のレベルが高い、あるいは発がんの危険性があるというだけでその化学物質に対して大規模な研究調査や、厳しい規制や対策をとるような無駄を省き、本当に現実的にリスクの高い物質に対して効率的な対策と規制をとることができると思われる。今後、他の様々な環境化学物質のリスク評価に、このような観点から人における経路別摂取量調査を行ない、行政の施策に有用なデータが集められるよう期待したい。

参考文献

- 1) CAS Database: An Overview, www.cas.org/casdb.html
- 2) Doll, R.: Strategy for detection of cancer hazards to man, *Nature*, 265, 585-96, 1977.
- 3) Wynder, E. L. and Gori, G. B.: Contribution of the environment to cancer incidence: an epidemiologic exercise, *J. Natl. Cancer Inst.*, 58, 825-32, 1977.
- 4) 河内卓: 環境発癌物質の存在の理法とその考え方, 蛋白質・核酸・酵素, 23, 422-428, 1978.
- 5) International Agency for Research on Cancer: Annual Report 1977, IARC, Lyon.
- 6) Office of technology assessment: Cancer risk, assessing and reducing the dangers in our society, Westview Press: Boulder, Co, 1982.
- 7) 環境庁: 昭和63年度指定物質環境残留性検討調査, 12, 11, 1989.
- 8) 松村年郎: 化学物質による室内空気汚染-VOC とホルムアルデヒドについて, 大気環境学会誌, 31, A154-A164, 1996.
- 9) 浦野紘平, 川本克也, 阿部欣文, 大竹正寿: 低沸点有機塩素化合物の大気中濃度と摂取量評価, 公害と対策, 24, 45-54, 1988.
- 10) 山根靖弘: 環境汚染物質と毒性, 有機物質編, 南江堂, 1980.
- 11) OSHA Chemical sampling information, U. S. Department of Labor, www.osha-slc.gov/ChemSamp_data/CH_232900.html
- 12) 豊田正武, 石坂孝, 齊藤行生: 食品中の微量クロロホルムの定量, 食衛誌, 27, 245-251, 1986.
- 13) 玉川勝美, 三島靖子, 関敏彦, 角田行: 食品経由によるトリハロメタンの一日摂取量, 食衛誌, 29, 156-160, 1988.
- 14) 山田信之, 佐藤尚美, 高畑寿太郎, 玉川勝美, 加藤丈夫: 陰膳方式による揮発性有機化合物の一日摂取量調査 (第一報), 仙台市衛生研究所報, 24, 125-133, 1994.
- 15) 山田信之, 梶直貴, 星崎早苗, 高畑寿太郎, 玉川勝美, 加藤丈夫: 陰膳方式による揮発性有機化合物の一日摂取量調査 (第二報) 仙台市衛生研究所報, 26, 135-142, 1996.
- 16) 大金由夫, 広島紀以子, 加藤由美, 玉川勝美, 鈴木俊雄, 三島靖子, 関敏彦, 角田行: 早朝開栓時水道水の金属について, 仙台市衛生試験所報, 15, 229-233, 1985.
- 17) 伊藤和男, 松下武彦, 山下信成: 水道水中の配管などから溶解する金属について, 名古屋市衛生研究所報, 16, 47-50, 1966.
- 18) 上水試験方法: 日本水道協会, 厚生省生活衛生局水道環境部監修 (1993年版).
- 19) 伊藤英幸, 磯田信一, 中村泰子, 山本親男, 鳥羽和憲: クライオフォーシングを用いた飲用水中の低沸点有機ハロゲン化合物の分析法, 横浜衛生研年報, 32, 123-127, 1993.
- 20) 玉川勝美, 加藤丈夫, 伊藤善通: 揮発性有害化学物質による室内空気汚染と個人暴露量, 仙台市衛生研究所報, 26, 194~199, 1996.

- 21) 玉川勝美, 加藤丈夫, 伊藤善通: 揮発性有害大気汚染物質の簡易測定—その応用例と可能性, 環境技術, 25, 661~668, 1996.
- 22) 玉川勝美, 口田圭吾, 東海敏一, 千葉恵, 加藤丈夫, 関敏彦: パッシブガスクューブ法による低沸点有機塩素化合物の経気道個人暴露量の評価, 環境化学, 3, 709-716, 1993.
- 23) 口田圭吾, 佐藤慎二, 情野正道, 玉川勝美, 加藤丈夫: 大気環境中低沸点有機塩素化合物濃度の発生源周辺における環境調査, 環境化学, 5, 683-688, 1995.
- 24) 雨谷敬史, 烏蘭参丹, 松下秀鶴: パッシブサンプラーを用いた空気中有機ハロゲン化合物の簡易分析法, 大気環境学会誌, 31, 191-198, 1996.
- 25) Clifford, P. W., Paul, J. L. and Wan, K. J.: Exposure to volatile organic compounds resulting from showering with chlorinated water, Indoor Air '90, 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, pp.495-500 (Toronto, 1990).
- 26) ダイオキシンリスク評価検討会報告書: 平成9年5月, ダイオキシンリスク評価検討会
- 27) 高山幸司, 宮田秀明, 青笹治, 味村真弓, 樫本隆: 日本における食事経由のダイオキシン関連物質の摂取量, 食品衛生学雑誌, 32, 525-532, 1991.
- 28) Miyata, H., Aozasa, O., Ota, S., Chang, T. and Yasuda, Y.: Estimated daily intakes of PCDDs, PCDFs and non-ortho coplaner PCBs via drinking water in Japan, Chemosphere, 26, 1547-1536, 1993.
- 29) 大崎靖彦, 松枝隆彦, 黒川陽一: 土壌中のダイオキシン類の濃度レベル, 環境化学, 2, 523-531, 1992.
- 30) 荒井香陽子, 佐藤昭男, 木川寛: 日常生活におけるクロルデン類の一日総摂取量, 横浜衛研年報, 30, 89-92, 1991.
- 31) 大谷倫子, 佐々木喜一, 竹内正博, 幸喜稔, 田畑彰久, 川崎睦男, 相澤貴子, 真柄泰基: 水道水中のホウ素とその一日全摂取量への寄与に関する研究, 水道協会雑誌, 67, 36-43, 1998.
- 32) 中川友夫, 瀬下昭子, 山本親男, 佐藤洋子, 川村太郎: 生活環境中の Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) の摂取量に関する調査, 横浜衛研年報, 30, 113-11, 1991.
- 33) Shah, J. and Singh, H. B.: Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air, Environ Sci Technol., 22, 1381-1388, 1988.
- 34) Wallace, L. A.: The TEAM study; Personal exposures to toxic substances in air, drinking water, and breath of 400 residents of New Jersey, North Carolina, and North Dakota, Environ Res, 43, 290-307, 1987.
- 35) 藤田昌彦: 日本人の低沸点有機塩素化合物の摂取量と生涯危険率の評価, 公衆衛生院研究報告, 39, 149-162, 1990.
- 36) 安藤剛, 西宗高弘: 生活環境中揮発性有機ハロゲン化合物の曝露実態, 大阪府立公衛研所報・労働衛生編, 第32号, 21-26, 1994.
- 37) 吉田俊明, 安藤剛, 福原守雄: 住居環境における揮発性有機塩素化合物への曝露実態とその体内吸収量の推定, 大気環境学会誌, 33, 371-383, 1998.
- 38) 力岡有二, 馬場強三, 豊村敬郎: 低沸点有機塩素化合物の摂取量調査, 長崎県衛生公害研究所報, 34, 147-150, 1991.
- 39) 玉川勝美, 山田信之, 赤松哲也, 高畑寿太郎, 加藤丈夫: 揮発性有機化合物の食品, 空気, 飲料水からの経路別摂取量, 環境化学 (in press).
- 40) 玉川勝美, 加藤丈夫: 揮発性化合物による室内空気汚染—仙台市民を対象にした実態調査, 仙台市衛生研究所報, 24, 141-147, 1994.
- 41) Wallace LA: The exposure of the general pollution to benzene, Cell Biol Toxicol., 5, 297-311, 1987.