

大学における化学物質の管理状況の把握と
実験室環境のリスク評価手法に関する研究

2007年

野村 直史

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景と目的	1
1.2 本論文の構成	3
1.3 濃度の単位について	4
第2章 本研究の背景となる法制度と先行研究	5
2.1 PRTR制度	5
2.1.1 PRTR制度とその特徴	5
2.1.2 PRTR制度成立の背景	5
2.1.3 日本におけるPRTR制度の導入	6
2.1.4 各国のPRTR制度の比較	7
2.1.5 PRTR制度導入後の排出量の変化	11
2.1.6 PRTRデータの利用とリスクコミュニケーション	12
2.2 労働安全衛生法と作業環境測定	12
2.2.1 労働安全衛生法と化学物質管理	12
2.2.2 作業環境測定方法と作業環境評価基準	14
2.2.2.1 許容濃度と管理濃度	14
2.2.2.2 作業環境測定の方法と作業環境評価	15
2.3 大学における化学物質管理とその課題	17
2.3.1 大学へのPRTR制度の導入と課題	17
2.3.2 PRTR制度導入直前の大学の有害物質管理システムの調査	19
2.3.3 化学物質管理コンピューターの導入	21
2.3.4 大学への労働安全衛生法の適用とその課題	22
2.3.5 実験室等の化学物質濃度に関する調査	23
2.3.6 実験に携わる研究者の健康影響に関する疫学研究	24
2.3.7 大学における作業環境測定	30
2.4 本研究における京都大学の位置づけ	30
第3章 大学で使用される化学物質の大気中への排出量の推定	35
3.1 はじめに	35
3.2 物質収支に基づく大気中への排出量の推定	35
3.2.1 京都大学での化学物質管理	35
3.2.2 対象物質, 調査の概要	36
3.2.3 薬品納入業者への調査	39
3.2.4 学内研究室への調査 —化学物質の使用状況の把握—	40
3.2.4.1 調査方法, 調査対象物質等	40
3.2.4.2 研究室への調査結果	42

3.2.5 廃液としての処理量	46
3.2.5.1 処理量の把握方法の概要	46
3.2.5.2 有機廃液中の塩素量に基づく処理量の推定	46
3.2.5.3 廃液分析に基づく処理量の把握	48
3.2.6 排水への移行量	52
3.2.7 大気中への排出量の推定	53
3.3 使用実態に基づく実験室での揮発量の推定	55
3.3.1 実験室における化学物質の揮発	55
3.3.2 実験時の揮発についての模擬実験	56
3.3.2.1 ロータリーエバポレータを用いた濃縮操作時の揮発	56
3.3.2.2 クロマトグラフィでの分取時の揮発	60
3.3.3 廃液ポリ容器からの揮発についての模擬実験	61
3.3.4 実験操作に伴う揮発量の推定	63
3.3.4.1 用途別揮発率の決定	63
3.3.4.2 溶媒回収装置の有無と研究室での使用量	65
3.3.4.3 実験時の揮発量の推定	65
3.3.5 廃液ポリ容器からの揮発量の推定	66
3.3.5.1 廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの揮発率	66
3.3.5.2 廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの使用割合	67
3.3.5.3 廃液ポリ容器からの揮発量の推定結果	68
3.3.6 使用実態から推定したクロロホルム, ジクロロメタンの大気中への排出量	70
3.4 まとめ	71
第4章 PRTRデータを利用した実験室環境評価手法の開発	75
—学生の健康リスク評価を念頭に—	
4.1 はじめに	75
4.2 大学実験室の作業環境測定とモデルを用いた実験室平均濃度の推定	76
4.2.1 使用量の多い研究室での作業環境測定	76
4.2.1.1 測定対象実験室と測定方法	76
4.2.1.2 作業環境測定結果	78
4.2.2 モデル計算による測定対象実験室内の平均濃度の推定	78
4.2.2.1 モデル式と推定方法	78
4.2.2.2 結果	80
4.3 学内の全研究室の実験室平均濃度の推定	82
4.3.1 推定方法	82
4.3.1.1 研究室ごとの使用量の把握	82
4.3.1.2 研究室ごとの排风量	83
4.3.1.3 実験時間と揮発率	84
4.3.2 使用量の把握結果と濃度の推定結果	84

4.3.2.1	研究室ごとの使用量の分布	84
4.3.2.2	研究室ごとの実験室平均濃度の推定	86
4.3.3	作業環境測定結果に基づく実験室平均濃度の分布範囲の検討	88
4.4	学生の健康リスク評価を念頭においた実験室環境評価手法の提案	90
4.4.1	実験室環境評価式	90
4.4.2	実験室環境評価基準	92
4.4.3	評価に用いるNOAELの検討	94
4.4.3.1	クロロホルムのNOAEL	94
4.4.3.2	ジクロロメタンのNOAEL	97
4.4.3.3	実験室環境評価に用いるNOAELのまとめ	102
4.5	PRTRデータを利用した実験室環境評価の実施	102
4.5.1	実験外濃度の決定	103
4.5.2	$MOE_L=10$, $MOE_L=100$ となる実験室濃度の算出	103
4.5.3	実験環境の評価結果	104
4.5.4	MOE_L に応じた実験室環境の改善と大気中への排出量の削減効果の試算	104
4.6	まとめ	105
第5章	本研究のまとめ	113
5.1	大学で使用される化学物質の環境中への排出量の推定	113
5.1.1	大学からの大気中への排出量の推定方法	113
5.1.2	大学での使用量と大気中への排出量	114
5.2	実験室で問題となる揮発プロセスについて	116
5.3	PRTRデータを利用した実験室環境の評価手法の提案	117
5.3.1	実験室の作業環境評価結果と学生を念頭においたリスク指標の必要性	117
5.3.2	新手法の特徴と今後の大学の化学物質管理への応用	118
謝辞		121
付録		123
付録1	業者納入量調査集計	124
付録2	第1回研究室調査 調査票	126
付録3	第2回研究室調査 調査票	128
付録4	第3回研究室調査 調査票	130

第1章 序論

1.1 本研究の背景と目的

環境問題に対する社会的な関心の高まりと共に、行政、企業、市民と立場の違いを越え、様々な人々がこの問題と向き合い、解決方法を模索している。また学問分野においても、文型や理系を問わず、あらゆる学問分野から環境問題にかかわる研究が行われるようになった。これは環境問題が時代のテーマとして認識されていることの現れである。本来、人と環境とは切っても切れない関係にあり、相互に影響を及ぼし合う存在である。20世紀の後半から叫ばれ始めた環境問題は、このことを改めて考えるきっかけを作ったといえ、人類の持続可能な発展を考える上では、環境との調和が必要不可欠であることが叫ばれるようになった。

1992年、リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議も、そうした視点に基づいて開催されたものであり、この会議で採択された「アジェンダ21：持続可能な発展のための人類行動計画」の19章では「有害化学物質の環境上適切な管理」が盛り込まれ、環境との調和を図り、持続可能な発展を実現する上で、化学物質の管理は欠くことのできないものであることが、世界的に認識された。

日本においても化学物質管理にかかわる様々な法律が整備されてきたが、2001年度から施行されたPRTR法（特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律）は、大学の化学物質管理に対する認識をかえる、大きなきっかけとなった。同法の対象事業所に大学が指定されたため、取り扱う化学物質の環境中への排出量等の把握をする必要が生じたからである。従来、大学で取り扱う化学物質については、種類は多いが個々の使用量は多くないと考えられてきたことなどから、その取り扱いに十分な関心が払われてきたとはいえない。また、化学物質管理は研究室ごとに委ねられていた面もあり、大学全体として管理する体制も十分に整えられているわけではなかった。また、研究室ごとに様々な使用がなされていることもあって、PRTRで求められるような環境中への排出量を求めることは、大学には容易ではない課題であった。

PRTR制度の導入から間もない2004年度からは国立大学の独立行政法人化により、国立大学法人が労働安全衛生法の対象となったことも、大学における化学物質の管理のあり方に大きな影響を与えた。それまで大学の実験室等は労働環境とはみなされてこなかったため、実験室環境濃度等の基礎的な情報がほとんどなく、構成員の大半を占める学生は短い在籍期間で入れ替わるこ

となどもあり、実験による学生や教官等への健康影響についても十分には検討されてこなかった。そのため、大学の研究者の安全衛生への意識は民間企業に比べて低く、特に理系の研究室では研究を優先し、安全面を二の次にしている関係者が多いとの指摘もある¹⁾。一方で、産業現場での労働災害等の防止を目的とする労働安全衛生法が、どの程度、教育研究機関である大学に適合するものであるのかや、大学としての安全衛生のあり方についても議論が必要であると考えられるが、そもそもこうしたことについて具体的な議論ができる材料が少ないのが実情である。

労働安全衛生法は1972年に施行された法制度であり、一方のPRTR法はそれよりも30年近く後の2001年に施行された法制度である。このように化学物質管理の歴史としては、まず化学物質を取り扱う労働者の保護の観点からの管理が進められ、その後、環境保護の観点からの管理が加わるという形になることが多いが、大学ではその逆に、環境リスクの低減を意識したPRTR制度が導入された後、実験者のリスク低減を意識した労働安全衛生法が適用された。さらに、これら二つの導入された時期が非常に近いという点も特徴的な事柄である。本来は、適正な化学物質管理とは周辺環境と取り扱う作業者の双方のリスクを低減するものであるべきである。現在、大学がおかれている状況はこうした観点を有した化学物質管理に取り組みやすい状況ともいえ、またそうした観点からの化学物質管理のあり方が模索されている状況でもある。

以上のような背景から、本研究は環境、実験者双方のリスク低減を視野に、大学における化学物質管理の状況を把握し、学生をはじめとする実験者のリスク評価を念頭においた、大学実験室環境に適した評価手法を検討することなどを通して、大学での適正な化学物質管理の促進に資することを目的とした。この目的を達するために必要な種々の基礎情報が不足していたため、本研究では、まずそうした情報を把握すること、またその把握手法そのものの確立が最初の目的となった。

本研究では京都大学を事例とし、使用量の多い有機溶剤系の化学物質を中心に、購入量、使用量、廃液としての処理量、大気中への排出量等の把握を試み、その把握手法の確立を目指した。また、実験室での揮発プロセスの検討や実験室環境中の化学物質濃度の測定などによって、実験室環境に関する基礎的な情報を集め、環境、実験者双方のリスク低減を目指した、大学での実験室環境の評価手法を考案した。

1.2 本論文の構成

第2章では、まず PRTR 制度や作業環境測定等の労働安全衛生法にかかわる基礎的な事項を整理した。次にそれらが大学に適応される際の課題について整理し、大学で取り扱われる化学物質の環境中への排出量等の把握や、実験室環境や実験者の健康影響にかかわる先行研究についての知見をまとめた。

第3章では、有機溶剤系の化学物質数種を対象に、なるべく複数の手法を用いながら購入量等の把握を行い、それらの結果をもとに物質収支に基づいての大気中への排出量を推定した。特に排出量の多かったクロロホルム、ジクロロメタンについては実験室での使用実態に基づく排出量の推定も実施し、先の結果と比較検討した。

第4章では、クロロホルム、ジクロロメタンを対象に、数研究室での作業環境測定を実施した。また、大学の実験室環境での低濃度の曝露や学生の健康リスク管理などを考慮し、PRTR データを利用した実験室環境評価手法を提案し、評価を実施した。

第5章では、本研究で得た知見を整理した。

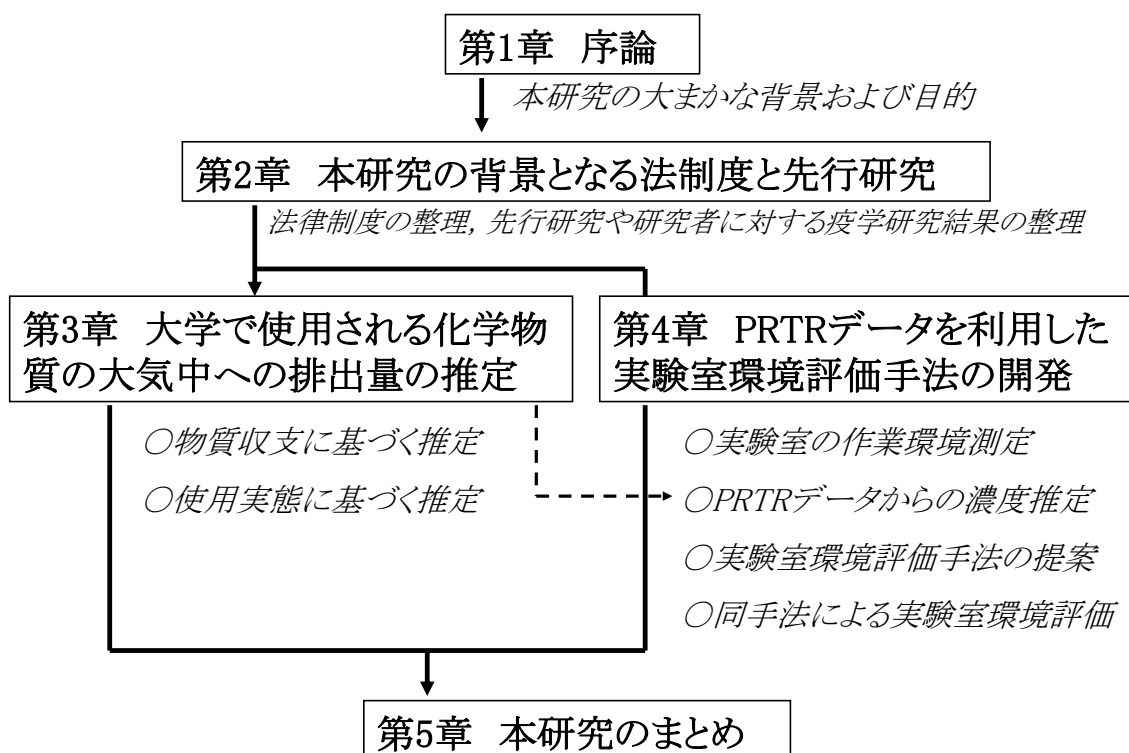


図 1-2-1 本論文の構成

1.3 濃度の単位について

本研究では、空気中の化学物質濃度として「mg/m³」と「ppm」の2種類を用いている。学術的には「mg/m³」を用いることが望ましいと考えられるが、作業環境測定を初めとする法制度や動物実験での曝露データ等では「ppm」表記のものも数多くみられ、比較を容易にするために、できる限り両方の単位で濃度を表記するようにした。研究機関等の報告で、両方の単位での濃度が併記されている場合はそのままの値を用い、それ以外の場合は以下の式を用いて換算を行っている²⁾。

$$mg/m^3 = ppm \times \frac{M}{24.47} \quad (\text{式 1-1})$$

ここで M は分子量である。特に濃度単位の変換を行っているのはクロロホルムとジクロロメタンであるが、これらの分子量としてはクロロホルム 119.38、ジクロロメタン 84.93 を用いた。

【第1章の参考文献】

- 1) 中野洋一：大学等の施設・設備の主な問題点と安全衛生対策，働く人の安全と健康，Vol.6, No.3, pp.34-44 (2005)
- 2) 厚生労働省安全衛生部環境改善室 編：作業環境測定ガイドブック 有機溶剤関係 (2003)

第2章 本研究の背景となる法制度と先行研究

2.1 PRTR 制度

2.1.1 PRTR 制度とその特徴

PRTR とは Pollutant Release and Transfer Register の略称で、日本語では「環境汚染物質 排出・移動登録」と訳される。1996 年に OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development: 経済開発協力機構) が加盟各国に実施を勧告した際の政府向けガイダンス マニュアル¹⁾は、「PRTR とは、潜在的に有害な汚染物質の様々な排出源からの大気、水、 土壌への排出量または廃棄物としての移動量に関する目録 (catalogue) または登録簿 (Register) である」と説明している。ここには、それまでの法規制とは異なる、PRTR 制度の二つの特徴が現れている。第一は、有害であることが明らかになった化学物質の みを対象とするのではなく、有害な可能性のある化学物質を幅広く対象としていること。 そして第二は、大気、水、土壌など環境媒体ごとの規制とは異なり、すべての環境媒体 を視野に入れていることである。

また同マニュアルでは、「PRTR は、関心あるすべての人と影響を受ける恐れのあるす べての人とが、化学物質の排出量や移動量に関する情報を定期的に入手できる正規の手 段であり、環境を保全し、持続可能な発展を推進する効果的かつ効率的な政策を促進す るための手段の一つである」としている。このように、化学物質管理を促進し、環境リ スクを総体として低減していくために、情報公開という手法を活用する点が、それまで の法規制とは異なる、PRTR 制度のもう一つの大きな特徴となっている。

2.1.2 PRTR 制度成立の背景

OECD による PRTR の実施勧告の契機となったのは、1992 年にリオデジャネイロで開 催された国連環境開発会議である。同会議で採択された「アジェンダ 21: 持続可能な発 展のための人類の行動計画」の 19 章「有害化学物質の環境上適切な管理」には、PRTR の基礎となる考え方が盛り込まれた。さらに、同時に採択された「リオ宣言」の第 10 原則には環境情報の共有や市民の政策決定プロセスへの参加の奨励が、第 15 原則には 「予防原則」の考え方が示され、これらも PRTR の精神の源流となっている。こうした 考えを、OECD が PRTR としてまとめる際には、既に存在していた米国の TRI (Toxic

Release Inventory：有害物質排出目録）やオランダの EIS（Emission Inventory System：排出目録制度）などの化学物質登録制度がモデルにされた²⁾。

米国の TRI は、有害化学物質の漏洩事故が国内外の化学工場で起こったのをきっかけに、1986 年、「緊急計画および地域住民の知る権利法（Emergency Planning and Community Right-to-Know Act）」に規定された制度で、87 年に施行された³⁾。この制度は、当初 330 の化学物質を対象にし、製造業等の対象施設が使用する物質の環境中への排出量等を EPA（Environmental Protection Agency：環境保護庁）と指定州機関に報告し、EPA が施設ごとのデータを公表することを定めたものである。情報公開の仕組みを有した化学物質登録制度であり、TRI は世界で最初の本格的な PRTR 制度とされている。

オランダの EIS は、国全体の排出量削減目標の設定等を目的として 1974 年に導入された⁴⁾。当初約 900 の化学物質を対象にし、企業からの自主的な報告をもとに、政府が大規模な固定発生源の排出データを集めることを可能にした。化学物質登録制度としては世界で最初のものであるが、政策のための基礎情報の収集に重点をおいたものであり、市民への情報公開が実施され、本格的な PRTR 制度として機能し始めたのは、米国の TRI が施行された後であった。

米国のように個人の知る権利に重点をおくのか、あるいはオランダのように環境政策のための基礎情報としての利用に重点をおくのか、現在、各国で導入されている PRTR 制度も、その重点のおき方で大きくこの二種類に分けられる⁵⁾。OECD は、情報公開と潜在的に有害な化学物質による環境リスクの低減を PRTR 制度の基本方針としつつ、詳細な目標については各国政府と関係団体で十分に議論が行われるべきであるとしている。

2.1.3 日本における PRTR 制度の導入

OECD の勧告を受け、1996 年 10 月、日本においても環境庁が PRTR 技術検討会を設置し、PRTR の実施の枠組や技術的事項を検討し始めた⁶⁾。1997 年 6 月からは一部の地域でパイロット事業が開始され、1999 年 7 月には「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（通称、PRTR 法または化学物質管理促進法）」が公布された。同法が 2001 年 4 月に施行され、日本においても PRTR 制度が本格的に実施されることとなった。この法律の目的は、「事業者による化学物質の自主的な管理の改善を促進し、環境保全上の支障を未然に防止すること」（第一条）であり、国は全国の対象事業者から集められた情報とその他の発生源からの排出量の推定結果をまとめ、対象

化学物質の排出量等の集計データを年1回公表する。ただし、個別事業所のデータについては公表されず、国民は開示請求をすることで、これを入手することができる。

PRTRの報告が求められる化学物質は、法律で「第一種指定化学物質」に指定されたもので、354物質ある。これらの物質は、環境中に広く継続的に存在し、人体・生態系に直接または間接的に悪影響を及ぼすものやオゾン層の破壊につながるおそれがあるもので、年間1t以上取り扱っている場合に排出量と移動量の報告義務が生じる。ただし、石綿、ベンゼンなどの発がん性物質は「特定第一種指定化学物質」に指定されており、報告義務の生じる取扱量が年間0.5t以上となっている。なお、この「取扱」とは、対象物質を「製造」または「使用」することを指す。また、事業者が第一種指定化学物質やそれを含む製品を他の事業者に出荷する際に、その相手方に対して、その物質の安全性や毒性に関する情報や取り扱い方法を記載したMSDS (Material Safety Data Sheet : 化学物質等安全データシート)を提供することが法律で義務付けられている。

一方、「第二種指定化学物質」に指定されている化学物質も81物質ある。これらは第一種と同じ有害性の条件に当てはまり、環境中に広く継続的に存在することが推定される物質で、排出量・移動量を国に届け出る必要はないが、第一種と同様にMSDSの提供が定められている。

対象となる事業者の業種は、すべての製造業をはじめ、産業廃棄物処分量、高等教育機関などであり、常時使用する従業員の数が21人以上の事業者とされている。京都大学などの大学もこうした条件にあてはまり、取り扱う化学物質の量によっては、PRTR法による報告義務が生じている。

2.1.4 各国のPRTR制度の比較

2001年にOECDが公表した報告書⁷⁾によると、2000年時点で何らかのPRTR制度を導入あるいは導入の見通しであった国は日本も含め19カ国であった。その後、2003年からはフランスでもPRTR制度が義務化された⁸⁾。これらの国のPRTR制度で要求される報告項目等についてまとめたものが、表2-1-1である。なお、欧州各国については、EU全体としてPRTRに取り組むための欧州PRTR規則が2005年に採択され、2007年度から同規則に基づく報告を行う予定となっている⁸⁾。

すべての環境媒体への排出の報告を求めているのか、廃棄物としての移動量の報告も含めるのか、また個別の事業所や施設のデータまで公開するのかなど、様式は国によっ

表 2-1-1 各国の PRTR 制度

国名	データ収集開始年	対象物質数	排出報告対象			廃棄物としての移動量	個別データの公開	集計結果の公開
			大気	水	土壌			
アイルランド	1995	50	○	○	○	○	○	○
	1995		×	×	○	○	○	○
イタリア	2003	39(大気), 28(水)	○	○	×	×	○	○
英国	1991	170 ^{注1)}	○	○	○	×	○	○
オーストラリア	1998	90	○	○	○	×	○	○
オランダ	1976	180	○	○	○	○	○	○
カナダ	1993	323 ^{注2)}	○	○	○	○	○	○
韓国	1999	388 ^{注3)}	○	○	○	○	○	○
スイス	2001	50	○	○	×	N/A	N/A	N/A
スウェーデン	N/A	N/A	○	○	○	N/A	N/A	N/A
スロバキア共和国	1998	200	○	○	×	○	○	○
チェコ共和国	N/A	N/A	○	○	○	○	×	○
デンマーク	1989	300	×	○	×	○	○	○
日本	2001	354	○	○	○	○	×	○
ノルウェー	1992	250	○	○	○	○	○	○
ハンガリー	N/A	200-250	○	○	○	○	N/A	N/A
フィンランド	1988	50	○	○	○	×	×	○
フランス	2003	43(大気), 37(水)	○	○	×	○	○	○
米国	1987	約650	○	○	○	○	○	○
ベルギー (フランドル地方)	1993	63(大気), 162(水)	○	○	×	△ ^{注5)}	×	○
メキシコ	1997	191	○	○	○	○	×	○
欧州PRTR規則	2007	91	○	○	○	○	○	○

N/A 回答なし(OECD調査)

注1)2002年度。2000年時点では183物質。

注2)2004年度。2000年時点では245物質。

注3)2005年度。2000年時点では80物質。

注4)開示請求により公開。

注5)水系への移動量に関しては報告義務あり。

て様々である。日本は開示請求によって個別の事業所のデータを入手できる仕組みとなっているが、今のところ、これは日本特有の方式となっている。

また、PRTRの対象施設・事業所の業種等にも様々な違いがある。表 2-1-2 は、主な PRTR 制度実施国における対象事業者等についてまとめたものである。どの国においても、主な対象は産業にかかわる施設や事業所である。欧州の PRTR 実施国での対象事業所については、アイルランドやイタリア等の表に記載していない国も含め、1996 年の EU の IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) 指令にほぼ準拠する形で定められている。IPPC は、研究のための施設は対象としておらず⁹⁾、米国、カナダ、オーストラリアなどでも研究機関は PRTR の報告対象となっていない。これらのことから、日本

表 2-1-2 主な実施国における PRTR 制度の対象事業所

	英国	オーストラリア	カナダ	韓国
制度名	PI (Pollution Inventory)	NPI (National Pollutant Inventory)	NPRI (National Pollutant Release Inventory)	TRI (Toxic Release Inventory)
対象業種	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料・電力生産 ○金属生産・加工 ○鉱物産業 ○化学産業 ○廃棄物処理・リサイクル ○その他の産業 ○下水処理業 ○放射性物質の使用許可を得ているサイト 	<p>以下に掲げる適用除外施設に該当しない施設。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○国境外にある固定施設で操業されている移動排出源 ○石油小売施設 ○20人未満のクリーニング施設 ○スクラップ金属処理 ○農業施設 <p>(実際には、各業種別に排出量の算定方法などを示したNPI産業ハンドブックが発行されている業種が報告対象となる。算定方法記載工程は以下。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ボイラー燃焼 ○エンジン燃焼 ○火薬爆発 ○燃料・有機溶剤の貯蔵 ○海事作業 ○鉄道操車場作業 ○汚水・排水処理 ○表面コーティング) 	<p>以下にかかざる適用除外施設に該当しない施設</p> <ul style="list-style-type: none"> ○教育・訓練施設 ○試験・研究施設 ○輸送車両整備・修理施設 ○燃料流通・保管・小売施設 ○対象物質を含む製品及び対象物質の卸・小売施設 ○農林水産に係る施設(加工・利用施設は除く) ○鉱物採掘のための施設(加工処理を行う施設は除く) ○石油・ガス掘削施設 ○歯科医業 	<ul style="list-style-type: none"> ○石油・原油及びウラン鉱業 ○金属鉱業 ○製造業 ○再生用加工原料生産業 ○電気・ガス・蒸気取扱業 ○水道事業 ○卸売及び小売業 ○運送業 ○旅行斡旋・倉庫及び運送関連サービス業 ○専門・科学・技術サービス業 ○写真処理業 ○下水処理・廃棄物処理及び清掃関連サービス業 ○廃棄物処理業 ○修理業 ○その他のサービス業 ○洗濯業
雇用者数	規定なし	規定なし	年間雇用者労働時間20,000時間以上の施設	事務職, 技術職, 日雇いを合わせた総従業員数30人以上
年間取扱量	規定なし	<ul style="list-style-type: none"> ○カテゴリー1:10トン/年以上。 ○カテゴリー1a(全VOC):25トン以上/年。 ○カテゴリー2a(CO, PAH, SO2等):400トン以上の燃料又は廃棄物を燃焼。あるいは、期間中に1トン/時間以上の燃料又は廃棄物を燃焼させたことがある。 ○カテゴリー2b(全2a物質, ダイオキシン, 重金属):2,000トン以上の燃料又は廃棄物を燃焼。あるいは60,000MW以上のエネルギーを消費。あるいは期間中に20MW以上の電力消費を行ったことがある。 ○カテゴリー3(全窒素, 全リン):全窒素15トン, 全リン3トン以上。 	<ul style="list-style-type: none"> ○231物質:含有率1%以上, 取扱量が10トン/年以上。 ○水銀:濃度によらず, 年間取扱量が5トン以上。 ○カドミウム:含有率0.1%以上, 取扱量が5kg/年以上。 ○ヒ素, 六価クロム, 鉛, テトラエチル鉛:含有率0.1%以上, 取扱量が50kg/年以上。 ○17多環芳香族化合物:合計50kg/年以上。 	発がん性, 突然変異誘発性, 生殖毒性があり, CMRとした15物質(鉛, 水銀, ヒ素, アスベスト等)については年間取扱量(製造+使用)が1トン以上。その他の物質については, 年間取扱量10トン以上。
集計データの公表頻度	毎年	毎年	毎年	毎年
個別データの公表	公表	公表	公表	2008年1月1日より公表予定
報告施設数	約5,000施設(2002年度)	3,618施設(2003-04年)	8,173施設(2003年)	1,384施設(2003年)

表 2-1-2 主な実施国における PRTR 制度の対象事業所（続き）

	日本	フランス	米国
制度名	PRTR		TRI (Toxic Release Inventory)
対象業種	<ul style="list-style-type: none"> ○金属鉱業 ○原油・天然ガス鉱業 ○製造業 ○電気業 ○ガス業 ○熱供給業 ○下水道業 ○鉄道業 ○倉庫業 ○石油卸売業 ○鉄スクラップ卸売業 ○自動車卸売業 ○燃料小売業 ○洗濯業 ○写真業 ○自動車整備業 ○機械修理業 ○商品検査業 ○計量証明業 ○一般廃棄物処分業 ○産業廃棄物処分業 ○高等教育機関 ○自然科学研究所 	IPPCの対象業種・活動 <ul style="list-style-type: none"> ○燃料・電力生産 ○金属生産・加工 ○鉱物産業 ○化学産業 ○飲品工業 ○廃棄物処理 ○リサイクル ○その他の産業 －畜産業 －パルプ・紙 －繊維・皮革 －3t/h以上、または10t/日以上 の廃棄物を排出している施設 	<ul style="list-style-type: none"> ○製造業 <1998年から非製造業7業種が追加> <ul style="list-style-type: none"> ○金属鉱業 ○炭鉱業 ○電力 ○RCRA-C 有機廃棄物処理処分業 ○化学物質及び化学品卸販売業 ○石油販売業 ○溶剤回収業
雇用者数	常勤従業員21人以上の事業者	雇用者数によるしきいはない。ただし、畜産については飼育規模によるしきいがある。	常勤従業員10人以上雇用している施設
年間取扱量	対象物質の年間取扱量(製造+使用)1トン以上(特定第一種指定化学物質は0.5トン以上)	なし	<ul style="list-style-type: none"> ○製造又は加工:25,000ポンド(約11,350kg)/年以上。 ○その他:10,000ポンド(4,540kg)/年以上。 ○残留性、生体蓄積性、有毒性のある物質(「PBT物質」と指定。全16種)については、100ポンド(約45kg)/年以上。 ○その中でも、特に残留性、蓄積性が高いものは10ポンド(約4.5kg)/年以上。
集計データの公表頻度	毎年	毎年	毎年
個別データの公表	開示請求による	公表	公表
報告施設数	41,079事業所(2004年度)	3,500の産業施設と300の畜産施設(2003年)	23,811施設(2003年)

のように高等教育機関・自然科学研究所が対象事業所に指定されているケースは、世界でも珍しいと考えられる。

2.1.5 PRTR 制度導入後の排出量の変化

PRTR 制度の導入により、有害化学物質の排出量の削減に繋がった代表例は米国である。情報が一般に公開されるため、近隣住民からの操業反対運動が起こることや自社のイメージが損なわれることを懸念した企業が、自主的に有害化学物質の排出削減に取り組むようになったことや、EPA と産業界の協力で進められた自主的削減プログラムの導入が功を奏し、1988 年から 2004 年までに、製造業施設における施設内外の化学物質処分量・環境中への排出量が 57%減少した¹⁰⁾。英国では 1998 年から 2001 年にかけて、アンモニアや四塩化炭素など 12 物質の排出量が 50%以上削減されたとする一方、1,3-ブタジエンなど排出量が増加した物質も 4 物質あったとしている¹¹⁾。オーストラリアでは 2004-2005 年にかけて、排出量が減少した物質と増加した物質がほぼ同数であった¹²⁾。

日本においても毎年、前年度の PRTR データの集計値が環境省から報告されており¹³⁾、その報告をもとに化学物質の環境中への総排出量、総移動量をまとめたものが図 2-1-1 である。報告事業者数は最初の 2 年が約 35,000、次の 2 年度が約 40,000 と 1 割ほど増加しているが、2004 年度の排出量は 2001 年度の排出量に比べて 14%減少している。ただし、各事業所とも PRTR データの算出方法がようやく定着してきた頃であるとも考えられ、排出量の動向については、さらなる経過を見てから評価する必要があるであろう。

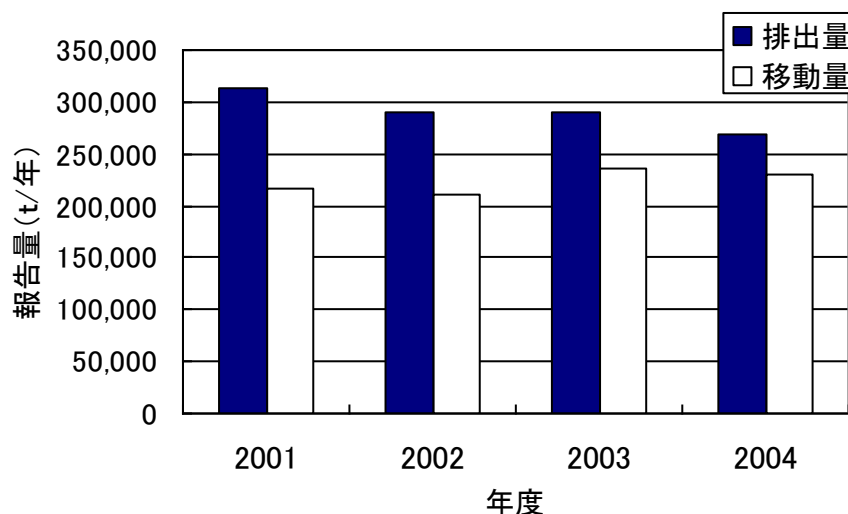


図 2-1-1 日本の PRTR 集計結果

2.1.6 PRTR データの利用とリスクコミュニケーション

PRTR 制度に基づいて集められる排出量等の情報は、行政にとって環境政策を決定する際の有用な情報となるだけでなく、事業者にとっては自らの化学物質の管理状況の把握に役立つものである。また、PRTR で報告されたデータが公表されるため、一般の市民も自分たちの地域の化学物質リスクについて知ることが可能となり、受容できるリスクとそうでないリスクを判断し、自分たちの意思決定に基づいた行動を取ることが可能となった。米国では事業者と地域住民で情報が共有されることで、産業界と住民との間の敵対関係が少なくなったとも言われている³⁾。こうした事例を参考に、日本においても、個別事業所の PRTR データをインターネット上で公開し、リスクコミュニケーションへの活用に取り組んでいる市民団体があるほか^{14,15)}、環境報告書等で自らの PRTR の報告値を公開し、社会責任の一つとして環境保全に取り組んでいる企業も多く見られる。

また、化学物質によるリスクを評価する際には濃度に関する情報が不可欠であるが、大気拡散モデルを用いることで、PRTR の報告値から大気中の化学物質濃度を計算している例もある¹⁶⁾。また、独立行政法人 産業総合技術研究所の化学物質リスク管理研究センター (CRM) でも独自の大気拡散モデルを開発し、PRTR の報告値から大気中の化学物質濃度を計算、化学物質のリスク評価に役立てている¹⁷⁾。

2.2 労働安全衛生法と作業環境測定

2.2.1 労働安全衛生法と化学物質管理

労働安全衛生法は、同法による改正前の労働基準法第 5 章 (安全及び衛生)、労働災害防止団体等に関する法律第 2 章 (労働災害防止計画) および第 4 章 (特別規制) を統合したものを母体として制定されたもので、1972 年に公布、施行された。この法律は、労働基準法と相まって、労働災害防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化など、職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境の形成を促進することを目的としている。労働安全衛生法の施行後、労働災害による死亡者数は急激に減少し、2005 年の死傷者数は 1,542 人と 1972 年の約 27% となり、大きな成果を上げているといえる^{18,19)}。

労働安全衛生法は安全衛生管理体制に関する規定など、幅広い内容を持つものである

が、化学物質管理と特に関連の深いものは第5章第2節の「有害物に関する規制」と第7章の「健康の保持増進のための措置」である。

第5章第2節では、黄りんマッチやベンゼンを含有するゴムのりなど、労働者に重度の健康障害を生ずるものについての製造や輸入、使用などを禁止している。また健康障害を防止するため、有害な化学物質の譲渡に際しては、有害性や取扱い上の注意などを表示する規定もあり、1999年のPRTR法の施行にあわせてMSDS制度にかかわる規定も設けられた。

第7章には、労働者の健康の確保のための「労働衛生の三管理」が規定されている。まず一つ目は、作業環境の測定等によって、作業環境を良好な状態に維持管理する「作業環境管理」。二つ目は、労働時間の調整等によって、作業に伴う個々の労働者の疲労やストレスが過度にならないように作業を適切に管理する「作業管理」。三つ目は、健康診断等によって、労働者の健康状態を的確に把握し、必要な措置を講ずる「健康管理」である。化学物質の使用を考えた場合に、これらの位置づけを示したものが図2-2-1である^{20,21)}。図からもわかるように、作業環境管理は健康障害の防止のための第一歩として欠くことのできないものである。

作業環境測定は、粉じんを著しく発散する屋内作業場や放射線業務を行う作業場など、労働安全衛生法施行令第21条に定められる作業場で実施しなければならない。「有機溶剤を製造し、又は取り扱う業務の屋内作業場」も同政令によって指定されているところであり、有機溶剤系の化学薬品が使用されている大学の実験室も対象となり得る。なお、有機溶剤中毒予防規則に基づき、有機溶剤の気中濃度の測定は6ヶ月ごとに実施しなければならない。

労働安全衛生法の施行後、1975年には作業環境測定法が制定され、作業環境測定は国から資格を認められた作業環境測定士または作業環境測定機関によって実施されなければならないことが定められた。さらに翌年には労働省告示第46号として作業環境測定基準が、1988年には労働省告示第79号として作業環境評価基準が示され、作業環境測定が法制度として確立されていった。

		使用から影響までの経路	対策の内容	対策の目的	測定項目等
労働安全衛生管理	作業環境管理	有害物質使用量 ↓ 発生量 ↓ 気中濃度 ↓	○代替 ○使用形態, 条件, 生産工程の変更 ○設備, 装置の改善 ○遠隔操作 ○自動化 ○密閉 ○局所排気装置 ○全体換気 ○建物の構造	発生の抑制 発散源からの隔離 作業場内からの除去	作業環境気中濃度
	作業管理	曝露濃度 ↓ 体内侵入量 ↓	○作業場所 ○作業方法 ○作業姿勢 ○曝露時間 ○呼吸保護具 ○教育	侵入の抑制	曝露濃度 生物学的モニタリング
	健康管理	反応の程度 ↓ 健康影響	○生活指導 ○休養 ○治療 ○配置転換	障害の予防	健康診断

図 2-2-1 化学物質曝露経路と三管理

2.2.2 作業環境測定方法と作業環境評価基準

2.2.2.1 許容濃度と管理濃度

作業環境測定の目的は、作業環境の実態を数量化して正しく把握し、客観的に環境改善の必要の有無や実施すべき措置について判断することであるが、当然ながらこのような判断をするためには一定の基準が必要となる。

労働者の健康保護を目的とした労働安全衛生にかかわる代表的な評価基準としては、米国の ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists : 米国産業衛生専門家会議) によって、1947 年から提案されてきた生物学的な許容濃度である TLV (Threshold Limit Values) がある。日本においても、1961 年から日本産業衛生学会によって化学物質の許容濃度が勧告されている。これらはいずれも、動物実験やヒトでの疫学研究の結果などに基づいて、長期間吸入による労働者の臨界影響の発生予防を目的に

示された曝露限界値であり、日本産業衛生学会は許容濃度を「労働者が1日8時間、週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に曝露される場合に、当該有害物質の平均曝露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度」²²⁾と定義している。こうした許容濃度は、おおよそ各物質の閾値付近の数値となっており、個人サンプラー等で測定した労働者の曝露濃度をこれと比較することで、労働者の健康影響の未然防止を目指すものである。米国では1971年に公的な連邦規準としてACGIHのTLVが採用され、環境評価のためのサンプリング方法などが定められた²³⁾。

しかし、日本の労働安全衛生法第65条で要求されている作業環境測定の対象は、労働者の働いている作業場であって、作業場で働いている労働者ではない²⁴⁾。そこで気中濃度の測定結果との比較により、作業環境の評価に用いることのできる指標として、管理濃度が提案された。これは、学会等が示す許容濃度などの曝露限界値や国際的な曝露規制の動向を踏まえつつ、実行可能なサンプリングや測定技術による制約、工学的対策の限界等を考慮して、行政的な見地から設定されたものであり、作業環境評価基準（厚生労働省告示第192号）に示されている。許容濃度と管理濃度は共に労働者の健康保護のための指標であるが、前者は法的拘束力のない曝露限界値の目安であり、後者は法的拘束力をもった作業環境評価のための基準値であって、曝露限界値を意味するものではない。

2.2.2.2 作業環境測定の方法と作業環境評価

作業環境測定は、作業環境測定基準（厚生労働省告示第191号）に基づいて行われ、有機溶剤の測定方法としては、多くの場合、試料採取には固体捕集法か直接捕集法、分析にはガスクロマトグラフ分析法が指定されている。また測定には、測定対象となる単位作業場所の有害物質濃度の平均的な状態を調べる「A測定」、有害物質の発散源に近接した作業位置で、気中の有害物質濃度が最も高くなると考えられる時間帯における測定である「B測定」の2種類があり、これらの結果から作業環境の管理状況の評価する。

A測定の測定点は、等間隔系統抽出によって測定作業場内から5個以上選ぶことになっており、A測定の結果を評価するにあたっては、作業場内における有害物質の濃度分布が対数正規分布であると考え、日変動などを考慮した統計的な手法が用いられる。評価に用いられるのは、高濃度側から5%に相当する濃度の推定値である「第1評価値(E_{A1})」

と、単位作業場における有害物質濃度の平均値の推定値である「第2評価値 (E_{A2})」であり、それぞれ以下の式に基づいて算出される。

$$\log E_{A1} = \log M + 1.645 \times \log \sigma \quad (\text{式 2-1})$$

$$\log E_{A2} = \log M + 1.151 \times \log^2 \sigma \quad (\text{式 2-2})$$

ここで M は幾何平均濃度、σ は幾何標準偏差である。日間の変動を考慮するためには、最低でも2日間の測定が望まれるが、測定基準では2日間測定は義務付けられていない。1日の測定値で評価する場合には、幾何平均についてはその日の測定結果から得られる値をそのまま用い、幾何標準偏差については以下の式を用いて日間の変動を考慮することになっている。

$$\log \sigma = \sqrt{\log^2 \sigma_1 + \log^2 \sigma_D} \quad (\text{式 2-3})$$

ここで σ₁ は1日の測定値から求めた幾何標準偏差であり、σ_D は経験的に σ_D の分布から上側 90% の推定値として σ_D = 1.95 が採用されている。

また、B 測定の結果を評価する場合には、第1評価値としては測定値そのものを用い、第2評価値としては測定値を 1.5 倍したものをを用いる。なお、B 測定を複数設定した場合は、最も高い濃度を B 測定値とする。

こうした評価値に基づき、表 2-2-1 のように管理区分が決定され、作業環境の管理状況が評価される。

表 2-2-1 A 測定及び B 測定を行った場合の作業環境評価基準

		A測定		
		第1評価値<管理濃度	第2評価値≤管理濃度≤第1評価値	第2評価値>管理濃度
B測定	B測定値<管理濃度	第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	管理濃度≤B測定値≤管理濃度×1.5	第2管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	B測定値>管理濃度×1.5	第3管理区分	第3管理区分	第3管理区分

第 1 管理区分であれば、当該単位作業場所での作業環境管理の状態は「適切」、第 2 管理区分であれば「なお改善の余地がある」、第 3 管理区分であった場合は「適切でない」と判断される。第 2、第 3 管理区分と判断された場合には、第 1 管理区分と判断されるまで繰り返し作業環境の改善に努めなければならない。第 1 管理区分であれば、法定頻度内で定期的に作業環境測定を実施し、第 1 管理区分が持続されていることを確認することとしている。また、2 年以上継続して第 1 管理区分と評価された場合には、所轄労働基準監督署長の許可を受け、有機溶剤の濃度測定は検知管方式による簡易測定に切り替えることができる。ただし、この際にもガスクロマトグラフィー等を用いた方法に基づく測定を 1 点以上で行う必要がある（作業環境測定基準第 13 条第 3 項）。

また、複数の物質を測定する場合には式 2-4 を用いて計算した換算値を各測定点の測定値とみなし、管理濃度に相当する値を 1 として評価を行う。

$$C = \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} + \dots \quad (\text{式 2-4})$$

ここで、C は換算値、C₁、C₂…は有機溶剤ごとの測定値、E₁、E₂は有機溶剤ごとの管理濃度を示す。

2.3 大学における化学物質管理とその課題

大学における化学物質管理で問題となるのは、有機溶剤等の化学薬品である。しかし、PRTR 制度の導入以前には、こうした化学物質の管理に対する取り組みは十分ではなかった。本節では、PRTR 制度、作業環境測定を中心とする労働安全衛生法の適用に際しての大学の化学物質管理にかかわる課題や、既存の調査研究等について整理した。

2.3.1 大学への PRTR 制度の導入と課題

大学ではクロロホルム、四塩化炭素等の一般の産業界ではあまり使用されない物質が取り扱われていることが指摘されており²⁵⁾、こうした物質の環境中への排出量が多い場合には、周辺環境への排出量に対して大きな寄与を示す可能性がある。従って、大学が

らの環境中への排出量についての把握は、周辺環境の保全を考える上で重要な事項である。しかし、そもそも大学全体での化学物質の使用量についての把握がなされてこなかったため、環境中への排出量を推定する必要性について議論する材料が十分でなかったことなどから、こうした取り組みが積極的に行われてこなかった。

使用量等の情報の集積がなされず、大学としての管理が進まなかった理由としては、次のような大学での化学物質の使用状況の特徴が挙げられる。

- ① 多くの場合、研究室ごとで化学物質が管理されており、使用用途も研究室によって様々であること。
- ② 使用される薬品の種類は多いが、ほとんどの場合、各研究室で使用される量は少ないこと。
- ③ 同様の実験でも装置や設備が研究室によって異なること。

こうした特徴は、環境中への排出量等の推定を困難にしている理由でもある。

PRTR 排出量等算出マニュアル²⁶⁾には、排出量と移動量の基本的な算出方法として、①物質収支による方法、②実測による方法、③排出係数による方法、④物性値を用いた計算による方法、の4つが示されている。しかし、それぞれ大学に適用する際には課題がある。

物質収支による方法は、大学全体での使用量と廃棄物としての移動量や下水（排水）への移行量などに基づいて、環境中への排出量を求めることができるため、大学での算出の際にも適用しやすい方法であると考えられる。しかし、研究室ごとで化学薬品が購入・管理されている場合が多いため、大学としての購入量、使用量を把握するにはかなりの手間がかかる。また、実験廃液も10L程度の容量の容器で保管・廃棄されているために、排出される廃液容器の数も多く、その平均的な性状を把握することが難しい。さらに性状が複雑であるために分析に手間がかかり、廃棄物としての移動量や大学内で廃液として処理された量についての把握も容易ではない。

実測に基づく方法については、実験排水等の集中管理されているものについては、排水中濃度と排水量から算出が可能であるが、多くの場合、排気についての集中管理は行われておらず、無数にある実験室からの排気中の化学物質濃度を測定して、大気中への排出量を算出することはほぼ不可能である。

また、実験設備や方法、使用条件等が研究室ごとで異なるため、実験プロセスごとの排出係数を一概に決定することはできず、同様に、物性値に基づいて各実験プロセスでの排出量を特定することも困難である。

海外においては、大学と同様に工程が複雑で連続的でもない医薬品の精製工場などでの排出量の推定が難しいことは指摘されていたが^{27,28)}、PRTR 制度が導入されている場合でも教育研究機関は報告対象となっていないため、大学での排出量の推定に関する知見の蓄積はほとんどない。そのため、日本で PRTR 法が施行された際には、大学としての環境中への排出量等の算出方法は十分に確立されておらず、どのような組織体制で取り組んでいくのかといった問題も含めて、手探りの対応を進めていくほかなかった。また、東京大学のように環境安全に取り組む組織を有している場合でも、導入当初は PRTR の対応については試行段階としていた²⁹⁾。

なお、東京都内の大学では PRTR 法の対応に加え、2000 年から施行された「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）」への対応も必要である³⁰⁾。同条例には、適正管理化学物質に指定されたベンゼン、ジクロロメタンなどの 58 物質の取扱量が 100kg 以上である場合に、環境中への排出量や廃棄物としての移動量に加え、使用量についても都に報告することが規定されている。

2.3.2 PRTR 制度導入直前の大学の有害物質管理システムの調査

PRTR 法が成立する直前にはいくつかの大学で、学内の有害物質の管理システムに関しての調査が実施された。

浜松医科大学では、重金属類や有機溶剤系の化学物質など計 15 種類を対象に、1997 年度の購入量と廃棄量、1998 年度 8 月の保管量についての調査がなされた³¹⁾。購入量については、会計課に保管してある各部局からの物品請求書の明細書により調査して集計され、保管量については会計課が行った化学薬品調査票をもとに集計された。また廃棄量については、重金属類は廃液の分析値や汚泥中の金属量から推定され、キシレンやクロロホルムなどの有機溶剤は排出者の申請に基づく濃度から推定された。有機溶剤については購入量と廃棄量がおおよそ一致する傾向が見られたが、年度末ごとの保管量の変化が把握されているわけではなく、厳密には使用量を推定することができなかった。また、有機溶剤の廃棄量は分析結果ではなく、排出者の報告に基づく推定であるため、正確な数値は捉えがたく、数値の信頼性の確保が課題であった。また、薬品が会計課を通

して購入されていることや、医科系のみで総合大学に比べると研究室数や使用する薬品の種類も限られていることから、大学としては購入量等の比較的把握しやすいケースであったと考えられる。

京都工芸繊維大学では、1999年1月に1997年度の化学物質の使用量と廃棄量、大気や排水への排出量について各研究室に対してアンケートを行っている³²⁾。対象としたのはPRTRパイロット事業の対象物質のうち有機溶剤30種類、無機化合物10種類の計40種類であった。アンケートに基づく有機溶剤の総廃棄量は約10,500Lであり、1997年度の有機廃液処理実績(約12,400L)とおおよそ一致したとしている。ただし、廃液の分析は行われておらず、個々の廃棄量に対する客観性の確保が課題であり、調査もれの有機溶剤の存在も否定はできないため、廃液量全体での比較にも限界がある。排水への移行については排水基準値が存在するベンゼンとジクロロメタンについては年間の濃度変化が報告されているが、排水への移行量についての推定は行われていない。ただし、ベンゼンやジクロロメタンはほぼ排水基準(ベンゼン0.1ppm、ジクロロメタン0.2ppm)を満たしており、排水への移行量は少ないとみられる。また大気への排出量についても、化学系の実験室ではほとんど5%以下であったとのアンケート結果が報告されているが、具体的な推定はなされていない。

長崎大学では、有機溶剤や重金属類など15種類の物質について、各研究室に対してアンケートを実施して、1997年度の購入量、残量、廃液量、沈殿物(固形物)、排出先などを調査した³³⁾。アンケートに基づいて推定された大気中への排出量は、クロロホルムで148kg(購入量の10%)、ジクロロメタンで28kg(購入量の2.2%)であり、キシレン、トルエン、ベンゼンについても購入量の5%未満であった。ただし、アンケート結果に基づく廃液量の推計値が、廃液回収業務の際に提供された情報(廃液処理伝票に記載された各物質の濃度等)に基づく推計値と一致せず、物質ごとの廃液量を推定するのはかなり困難であったとしている。また、排水への移行量についても十分な把握ができず、大学におけるPRTR制度の導入は現時点では難しいと結論している。

岡山大学は、1998年10月に学内の213の研究室及び研究施設に対してアンケートを行い、PRTRパイロット事業の対象であった178物質について、①これまでに使用したことがあるかどうか、②現在の保有量、③使用量の確認が可能であるか、の3点について調査を実施した³⁴⁾。150種の物質について使用実績があり、1研究室で使用されている化学物質数は最大で81、平均で19.6であった。経団連による2,510社に対する調査(回

答 1,585 社) の結果では、パイロット事業対象物質のうちで使用実績のないものは 29 物質であり³⁵⁾、調査規模を考えれば大学で使用されている化学物質の種類の高さを裏付ける結果となった。また、使用量の把握が半数以上の研究室で可能な物質は 12 物質のみであり、化学物質の使用実績のある 140 研究室のうち、使用量が全く確認できない研究室が 45 存在するなど、現時点では移動量の把握は困難であったと結論している。また、購入量については薬品納入業者 2 社への調査も試みられたが、納入量の算出は困難であるという回答結果であった。

これらの調査は研究室に対するアンケートによるものがほとんどであり、排出量の推定に至っているのは 1 大学のみであった。また、アンケートの結果と廃液処理業務上のデータが一致しないなど、アンケートで得た数値の信頼性をいかに確保するかという課題も共通のものであった。また有機溶剤については、分析によって物質ごとの廃液量を把握したケースはなかった。少量多品種と呼ばれる大学での化学物質の使用状況と、独立した研究室の集合体であるという大学の性質などのために、大学全体で行き届いた化学物質管理を実現することの難しさが明らかにされる結果となった。

2.3.3 化学物質管理コンピューターの導入

研究室ごとのデータの積み上げは大学での大きな課題であるが、PRTR 制度が本格的に導入されるようになると、こうした課題の解決のため、コンピューターを利用する大学が現れるようになった。東京工業大学はその代表例である。

東京工業大学では、東工大化学物質管理支援システム (TITech ChemRS) を民間と共同開発し、2001 年度から研究室の試薬管理を行っている³⁶⁾。このシステムは、研究室の試薬を Web を通じて登録し、購入、保管、使用、廃棄の管理を行うシステムである。各研究室では、試薬を購入した時、瓶に東工大固有のバーコードを張って登録し、使用の前後に使用した試薬と管理者を登録する。毒物、指定毒物は使用した試薬量をグラム単位で、それ以外の試薬については瓶単位で記録している。TITech ChemRS では MSDS 情報も検索でき、安全情報の提供にも寄与している。

こうしたコンピューターによる化学物質管理システムは、東北大学、東京大学、京都市芸繊維大学、京都大学、大阪大学などでも導入され、PRTR 法だけでなく、消防法などの様々な法制度の対応に利用されている³⁷⁾。

コンピューターによる化学物質管理は、企業のみならず、大学においても非常に有用

なシステムであるが、各研究室の取り組み具合によってはデータの信頼性が確保できない場合がある。信頼性を確保するためには、薬品管理システムのデータについて、何らかの吟味をする仕組みを同時に構築する必要がある。

2.3.4 大学への労働安全衛生法の適用とその課題

2004年度からの国立大学の独立法人化に伴って、罰則を伴わない人事院規則が適応されていた国立大学においても、罰則規定のある労働安全衛生法が適用されるようになった。それ以前には、大学が労働環境として捉えられることは少なく、大学における安全管理は、民間企業の安全管理と比較して格段に劣っているのが現状であると指摘されていた³⁶⁾。特に古くから使われている実験室では、実験者に対する健康影響などへの配慮は十分ではなく、ドラフト等の局所排気装置も十分に取り付けられていないといった場合がある。

2002年に、国立大学などの169の研究機関を対象に実施された実験施設についての調査では、化学物質を扱う実験室など約38,700室のうち、3分の1にあたる約13,600室で何らかの改善を要することが確認された³⁸⁾。1機関あたりの改善を要する実験室数は、全体の半数にあたる85機関が20室以下であった一方で、201室以上有するものも16機関あり、機関の規模や研究内容等により様々な状況であった。

改善を要する主な事項としては、局所排気装置（ドラフトチャンバー等）や排ガス処理装置（スクラバー等）の不足あるいは性能面の不十分、予備動力源（自家発電装置等）の未設置、緊急用洗浄設備の未設置、出入口数の不足や避難経路の不十分等であった。

こうした状況の理由として、同調査では以下のような点を指摘している。

- ① 実験装置や設備に関する安全管理が各研究室に委ねられている場合が多く、大学等全体を組織的に管理する体制や安全衛生管理について点検し、評価する体制が不十分なこと。
- ② 教職員の中で安全衛生管理対策に関する意識格差があり、一部には民間企業や海外の研究者と比べ、安全衛生への意識が希薄と言わざるを得ない状況があること。
- ③ 使用する化学物質の種類が多く、管理を煩雑にしていること。
- ④ 大学院生等の増加やコンピューター化による実験機器スペースの増加等に伴い、一部の実験室では十分なスペースの確保が難しくなっていること。

- ⑤ 競争的資金の拡充とともにプロジェクト的研究が増加する一方で、弾力的・流動的に使用できるスペースが不足していること。

古くからある実験室では構造上、実験設備の大幅な改善が難しい場合があると考えられる。また、設備の拡充や維持・管理には相当の費用が必要であり、安全管理組織を整えるにも人員が必要となる。限られた予算や人員の中、法制度にどのように対応していくかは大学としての大きな課題である。

また、教職員の間での安全衛生に対する意識の格差についての指摘もあるが、実験安全に関する手引書や事故事例をまとめた書籍等は存在するものの、実験室、特に化学系の実験室内の化学物質濃度に関する情報や実験者のリスクに関しての定量的な評価がほとんど存在せず、共通のコンセンサスを築くための基礎的な情報が不足しているのも事実である。

2.3.5 実験室等の化学物質濃度に関する調査

有機廃液処理施設の作業者の曝露濃度や解剖実習中のホルムアルデヒド濃度と自覚症状などについての報告は存在するが、一般の化学系の実験室での実験室内濃度の測定結果に関する報告はほとんどない。

井勝ら²⁵⁾は、日本全国 35 の大学に設置されている実験廃液処理施設の作業者 24 名に対して、廃液処理業務中の個人曝露濃度を測定した。ベンゼン、トルエン、キシレン、クロロホルム、四塩化炭素、ヘキサン、アセトンの 7 物質についての測定がなされたが、ほとんどの測定値は検出下限値未満であった。ただし、キシレン 5.8ppm、クロロホルム 10.2ppm、四塩化炭素 9.0ppm の曝露を同時に受けていた作業者も存在し、混合曝露としてみた場合には当時の許容濃度を超えていたと指摘している。また、廃液処理作業者 48 名に対する自覚症状の調査では、「物忘れをする」「物事に集中できない」「下痢をする」「皮膚があれる」といった症状の訴えが、事務系職員に比べて多かった。

Perkins らは解剖実習中のホルムアルデヒドの実習室濃度および学生と指導教官の個人曝露濃度を測定した³⁹⁾。実習室濃度は 0.5ppm であった一方で、指導教官の平均曝露濃度は 1.69ppm、学生は 1.53ppm と実習室濃度よりも高かったと報告している。

水城らは解剖実習に伴う身体症状や化学物質過敏症に関する問診を学生 95 名に対して行っているが、この時の解剖実習室中濃度は 0.06-1.5ppm であった⁴⁰⁾。なお、問診の

結果に基づき、治療中のアトピー性疾患を有する者、総 IgE が高い者、化学物質過敏に関する問診で症状数の多い者ほど実習中の身体症状数が有意に多く、実習に伴うホルムアルデヒド曝露が既存のアレルギー症状を増悪させる可能性などを指摘している。

圓藤らは、光触媒蛍光灯によるホルムアルデヒド濃度低減効果を調べるために解剖準備室の濃度を測定した⁴¹⁾。解剖前の濃度は 0.003-0.036ppm であったが、解剖作業を行った時の濃度は 0.028-0.20ppm と上昇したと報告している。

樺田らは、解剖実習室における気中ホルムアルデヒド濃度と学生 25 名の自覚症状について調査を行った⁴²⁾。解剖実習開始前のホルムアルデヒド濃度の平均値は 0.02-0.093ppm であったが、実習開始後は濃度が上昇し、最高時には 1.01-1.38ppm を示した。また自覚症状調査では、「喉が乾燥する」「目がチカチカする」「目がかゆい」「気分が悪い」「疲れている」などの症状の訴えが多かった。

解剖実習中のホルムアルデヒド濃度は多くの場合、WHO や厚生労働省の示す室内濃度指針値である 0.08ppm、日本産業衛生学会の示す許容濃度 0.5ppm を超えており、自覚症状等の調査結果から、解剖実習に携わる学生になんらかの健康影響を与えていることが考えられる。

2.3.6 実験に携わる研究者の健康影響に関する疫学研究

実験に携わる研究者の健康影響にかかわる研究としては、主に欧米で研究機関や企業の研究所に勤める研究者のがんや死亡率、女性研究者の流産等に関する疫学研究の結果が、1980 年頃から報告されている。

Meirik らはスウェーデンの 322 人の出産記録を調査し、妊娠期間中に大学などの実験室での作業実績を有する女性に流産の増加は見られなかったが、腸閉鎖症や狭窄症といった重度の奇形について有意な増加が見られたとしている⁴³⁾。

Hoar らは Du pont 社に勤務する 3,686 人の男性化学者について、1964 年から 1977 年にかけての死亡数とがん発生数を調査した⁴⁴⁾。同社に勤める化学者以外の男性 19,262 人との比較、米国全体での統計値との比較のいずれにおいても、肺がんの発生数と死亡数が有意に少なく、がん全体の発生数や総死亡数が有意に少なかった (SMR (標準化死亡比) = 82, SMR = 47)。一方、有意ではないものの大腸がんによる死亡数はやや多かった (SMR = 178, SMR = 174)。また、対象群の男性との比較では、ホジキン病、リンパ造血系がんなどによる死亡数もわずかに多かった (両者共に SMR = 120)。Du pont 社

では化学者の実験室での喫煙が禁止されており、こうした喫煙習慣が肺がんの発生数や死亡数の低下につながった可能性を指摘している。ただし、実験に伴う化学物質の曝露濃度については不明であった。

Maher らは、実験作業の経験を有する男性 1,510 人について、1950 年 1 月から 1978 年 12 月まで死亡記録を調査し、米国での死亡記録と比較した⁴⁵⁾。実験室作業経験者の総死亡数は 95、SMR は 55 であり、有意水準 1% で有意に低かった。これは、呼吸器系のがんによる死亡数 (SMR=28) が少なかったことなどによる。こうした死亡数が少なかった要因としては、医療への意識などのライフスタイルを含む社会経済的要因、喫煙習慣などをあげている。ただし、5 例あったリンパ球生産系のがんによる死亡は、すべて揮発性のポリマーを扱う部門での作業経験者であり、SMR が 312 と有意水準 5% で有意に高かった。

Carpenter らは、1971 年から 1980 年にかけて、化学者、物理・生物学者、実験助手で 15 歳から 64 歳のがん患者 2,265 名の記録を集め、同等の社会クラスで同年代の 82,378 名のがん患者と比較し、オッズ比を求めた⁴⁶⁾。研究者では、脳および神経系の腫瘍 (オッズ比 1.30, 95%信頼区間 1.09-1.55)、胃がん (オッズ比 1.23, 95%信頼区間 1.02-1.49) が有意に増加していた。発がんには過去の曝露状況が反映されているものと考えられ、実験室での曝露の影響が大きいと推定する一方、脳・神経系のがんや胃がんを除けば、全体としてはさほど大きなリスクの上昇はみられないとしている。

Belli らは 1960 年から 1989 年まで Italian National Institute of Health に勤務していた研究者 1,797 名 (男性 1,112, 女性 685) の死因別死亡数に関する疫学調査を実施した⁴⁷⁾。男性では全死亡数 (SMR=80)、がんによる死亡数 (SMR=64) とともに有意に少なかったが、糖尿病による死亡は有意に多かった (SMR=238)。また有意ではなかったが、すい臓がん、脳腫瘍、リンパ造血悪性腫による死亡に増加がみられた (それぞれ SMR=155, 159, 233)。一方女性では、乳がんによる死亡に有意な増加が見られた (SMR=288)。男性の死亡数が低い理由としては、アルコールやタバコの消費量が少ないことが考えられるとし、女性の乳がんの増加については発がん物質や放射性物質への曝露に関する情報はなく、病因は特定できないとした。また乳がんには、出産暦が関係している可能性もあり、個人的なリスク要因との関係も示唆されるとしている。

Taskin らは、症例 206 名、対象 329 名に対して流産の症例対象研究を実施した⁴⁸⁾。調査では、妊娠初期の 3 ヶ月間の職業曝露、健康状態、薬物治療歴、避妊経験、喫煙やア

アルコール消費量に関するアンケートを実施し、特に曝露状況については溶媒の使用量、使用時間、使用頻度、局所排気装置の使用の有無などの回答結果に基づいて曝露の程度を指標化した。アルコール消費量、出産・流産歴、妊娠期間中の熱病、妊娠初期の避妊等について調整して分析した結果、実験室での勤務経験のある女性は流産のオッズ比が 1.4 (95%信頼区間 0.9-2.2) とやや高かった。またトルエン、キシレン、ホルマリンを週 3 日から 5 日使用していた場合に、オッズ比の有意な上昇が見られた (各オッズ比 4.7, 3.1, 3.5)。溶剤への曝露指標が 50 を超える場合にも、オッズ比が有意に上昇した (オッズ比 2.3)。フィンランドでは実験室の作業環境測定はほとんど行われていないために具体的な濃度情報はないが、実験室でのキシレン濃度で記録のあるものでは、フィンランドの基準濃度 (8 時間 100ppm, 15 分 150ppm) の 2-25%であったとしている。

Cordiner らは 1971 年から 1986 年末までに、パリのパスツール研究所で少なくとも 6 ヶ月働いた 3,765 名 (男性 1,518, 女性 2,247) について 1987 年末までの死因別死亡数等の調査を行った⁴⁹⁾。フランスでの死亡記録との比較の結果、女性ではすい臓がんによる死亡数が有意水準 1% で有意に多く (SMR=490)、男性では骨肉腫による死亡が有意水準 5% で有意に多かった (SMR=553)。女性では脳腫瘍による死亡が増加したが、有意ではなかった (SMR=239)。男性の肺がんによる死亡数は有意に少なく、男女共に総死亡数では SMR が 72, 82 と有意に低かった。アンケート結果から、パスツール研究所における喫煙率はフランスの平均的な数値よりも低く、肺がんによる死亡数の減少に影響したとしている。

Pines らは Jerusalem Occupational Health Clinic において 1980 年から 1996 年に少なくとも一度は定期健診を受けたことがある、科学研究施設や企業の研究室で働く 783 名を対象に肝腎機能の定期検査結果を調査した⁵⁰⁾。肝機能の検査項目はアスパラギン酸アミノトランスフェスターゼ (SGOT)、アルカリフォスターゼ (AP)、乳酸脱水素酵素 (LDH)、ガンマグルタミルトランスペプチターゼ (GGTP)、腎機能の検査項目は尿素、クレアチンであった。また、いずれの実験施設でも主な曝露は化学物質に対してのものであり、有機溶剤、特に芳香族炭化水素系のものが主流であったとしている。エルサレム在住の 1,393 名の検査結果と比較した結果、実験従事者の初回の肝機能検査では、SGOT を除くすべての酵素で平均濃度が対象群よりも有意に低かった (有意水準 0.1%)。しかし、追跡を続けると共に酵素濃度は上昇し、10 年以上追跡調査をした実験者では、GGTP を除く全ての酵素の平均濃度が対象群よりも有意に高くなった (有意水準 0.1%)。ただし、

平均濃度は参考標準値内であったとしている。一方、腎機能検査においては特に一定の傾向はみられなかった。

これらの調査の結果を表 2-3-1 にまとめた。すい臓がんや脳腫瘍、リンパ造血系がんなど、いくつかの調査で共通した臓器のがんの増加が報告されているが、曝露実態についての把握がなされていないため、実験作業での化学物質曝露との直接の因果関係は不明瞭である。おそらく実験環境の化学物質濃度に関する情報は、いずれの国でもあまり充実していないものと判断される。また、実験に携わる研究者のがん発症数や死亡数が有意に低下したことを報告しているものが多いが、これらの死亡数の低下には肺がんなどの呼吸器系のがんの減少が影響している。Covey らは専門技術職に就く男性労働者における非喫煙者（喫煙を経験したことのない者）の割合が、他の職種に比べて高いことを報告しており⁵¹⁾、こうした研究者の喫煙習慣の影響が一因として考えられ、前述の疫学調査でも、対象となった研究者の喫煙率が低いことに触れているものが多くみられた。

Pines らは、実験作業への疫学研究について、次のような問題を指摘している⁵⁰⁾。

- ①実験室のタイプ、サイズ、装置や実験方法は多様であるため、疫学調査に必要な集団の均質性や、規模を確保することが難しい。
- ②扱っている化学物質の有害性がわかっているにもかかわらず、非常に多種類の化学物質を同時に使っていることを考慮する必要があるが、相互作用による人体への影響については不明確である。
- ③実験作業では比較的高い濃度での短時間曝露が問題となる一方で、長期間での平均濃度としてはかなりの低濃度となる。こうした断続的な曝露による健康影響に関する知見は十分ではない。

また、Pines らは同じ理由から、作業環境測定や生物学的指標の測定では、実験作業の潜在的健康影響の可能性は評価し得ないとの見方を示しており、実験作業者の身体機能や様々な臓器に対する無症候性の影響を早期に検出し、実験作業での曝露との関連を評価することが、実験作業への唯一の利用可能なリスク評価の方法であるとしている。

こうした結果を踏まえれば、実験室のリスク評価や実験に携わる研究者のリスク管理の際には、平均的には低濃度となる化学物質曝露に対する配慮、短期的な高濃度曝露に対する配慮、さらに複合曝露に対する配慮が必要であると考えられる。

表 2-3-1 実験に携わる研究者の疫学研究結果

発表年	1979	1981	1986	1991
国	スウェーデン	アメリカ	アメリカ	イギリス
調査対象	妊娠期間中に実験室で作業をしていた女性	Du pont社に化学者として勤務していた社員	Rohm and Haas社の研究部門に勤務していた白人男性	がん患者である化学者、物理・生物学者、実験助手(1970年のOffice of Population Censuses and Surveyの分類に基づく)
対象人数等	女性:245人	男性:3,686人	男性:1,510人	2,265人 (15歳-64歳)
調査内容	○流産の発生数 ○奇形の発生数	○部位別のがん発生数 ○死因別の死亡数	死因別の死亡数	がんの部位別のオッズ比
調査期間	1972年4月1日-1977年12月31日	1964年-1977年	1950年1月1日-1978年12月31日	1971年-1980年
比較対象	スウェーデンにおける出産記録	○Du pont社の化学者以外の社員 (男性:19,262人) ○Third National Cancer Survey (TNCS)	アメリカ合衆国の1950-1977年の死亡記録	同等の社会クラスで、別の職業の82,378人のがん患者
有意に上昇	肛門・食道の閉鎖症などの重度の奇形(p<0.01)	黒色腫(TNCSとの比較においてのみ)	リンパ球生産系のがんのSMR(揮発性のポリマー・溶剤を使用する部門の研究者において)(p<0.05)	○脳腫瘍, 神経系がん, 胃がん ○骨肉腫(物理・生物学者) ○非ホジキンリンパ腫(実験助手)
有意でないが上昇		○すい臓がん, 前立腺がん, 膀胱がん, リンパ造血系がんなどの発生数 ○大腸がん, ホジキン病, 白血病などの死亡数		
有意に低下		○がん全体の発生数と死亡数 ○肺がん発生数と死亡数	○がん全体の死亡数(p<0.01) ○呼吸器系がん(p<0.05) ○循環器系疾患(p<0.01)	頸部がん
備考		○有意差は95%信頼区間に基づいて判定。 ○黒色腫の増加は, Du pont社が南部にあることによる日射量の影響が考えられる。 ○化学者は実験室での喫煙は禁止されていた。	実験者の喫煙率や喫煙本は少なく, 呼吸器系がんの死亡数などへの影響を及ぼした可能性がある。	有意差は95%信頼区間に基づいて判定。
発表者	Meirik et al.	Hoar et al.	Maher et al.	Carpenter et al.

表 2-3-1 実験に携わる研究者の疫学研究結果（続き）

発表年	1992	1994	1995	1997
国	イタリア	フィンランド	フランス	イスラエル
調査対象	Italian National Institute of Healthの研究分野職員	フィンランド国内の大学実験室, 研究機関の実験室で作業していた女性	Pasteur Instituteで最低6ヶ月勤務していた研究者	科学研究施設や企業の研究室で働く研究者
対象人数等	男性:1,112人 女性:685人	女性:206人(流産), 36(奇形)	男性:1,518人 女性:2,247人	783人
調査内容	死因別の死亡数	○流産の発生数 ○奇形の発生数 ○出生児の体重	死因別の死亡数	○SGOT, AP, LDH, GGTP(肝機能検査値) ○尿素, クレアチン(腎機能検査値)
調査期間	1960年1月1日-1989年6月30日	1979年-1986年	1971年1月1日-1986年12月31日	1980年-1996年
比較対象	イタリア全国での死亡記録	流産は329人を病院の流産の記録から選出。奇形は105人フィンランドの奇形児の記録から選出。	フランス全国での死亡数	実験室に勤務していないエルサレム在住の1393人
有意に上昇	○糖尿病の死亡数(男性) ○乳がんの死亡数(女性)	○ドルエン, キシレン, ホルマリンを週3日以上使っていた者の流産のオッズ比 ○有機溶剤の曝露指標が50を超えていた者の流産のオッズ比	○骨肉腫の死亡数(男性)($p < 0.05$) ○すい臓がんの死亡数(女性)($P < 0.01$)	初回受診から10年以上たったグループのSGOT, AP, LDH
有意でないが上昇	○すい臓がん, 脳腫瘍, リンパ造血悪性腫瘍の死亡数(男性) ○肺がん, リンパ造血悪性腫瘍, 糖尿病の死亡数(女性)	ジクロロメタン, イソプロピルアルコール, トリクロロエチレンを週3日以上使っていた者の流産のオッズ比	白血病, 非ホジキンリンパ腫, すい臓がんの死亡数(男性)	
有意に低下	○総死亡数(男性) ○がん全体死亡数(男性) ○循環器系疾患の死亡数(女性)	実験室での作業経験がある者の出生児の体重は平均で133g軽かった。	肺がんの死亡数(男性)	初回受診時のGGTP, AP, LDH
備考	有意差は95%信頼区間に基づいて判定。	○有意差は95%信頼区間に基づいて判定。 ○奇形への影響は見られなかったが, 数が少ないので十分な結論を出すには至らない。	アンケートの結果、研究所の喫煙者の割合は、フランスの平均値よりも低く、肺がんリスクの低下の要因と考えられる。	○腎臓検査では一定の傾向は見られなかった。 ○肝臓では、勤務年数の増加と共に数値が上がる傾向が見られた。
発表者	Belli et al.	Taskinen et al.	Cordier et al.	Pines et al.

2.3.7 大学における作業環境測定

国立大学の独立法人化後、日本の各大学で作業環境測定が実施されるようになってきた。全国の主な国立大学法人をはじめ、公立・私立大学などの環境保全施設などにより組織されている大学等環境安全協議会は、同協議会に参加している大学等を対象に、2004年9月、労働安全衛生に関するアンケート調査を実施した。97機関のうち、60機関からの回答が得られ、2004年4月以降に作業環境測定を実施したのは13機関、測定を計画中であったのが40機関であった⁵²⁾。東京工業大学が、学内の実験室を対象に行ったベンゼンの作業環境測定では、第3管理区分のものはなく、第2管理区分と判断されたのも3実験室のみであった。これらの実験室はいずれも生命理工学部の実験室で、同学部の実験室全体の7%程度である。全体の実験室数に関する記載はないが、他の学部等の8部局の実験室では、すべて第一管理区分であった。そのため、大学の実験室の化学物質の揮発量は少量で、作業者である研究者自らの化学物質の自主管理が重要であるとしている⁵³⁾。

こうした作業環境測定のデータは、実験者の化学物質曝露情報につながるデータとして非常に有用である。また一方で、大学のような使用方法で、学生に対しての特殊健康診断が必要であるのかなどの議論もあるところであり⁵²⁾、学生も念頭においた定量的な実験室環境のリスク評価が必要であると考えられる。

2.4 本研究における京都大学の位置づけ

RRTR制度や労働安全衛生法などの法制度の適用に伴い、大学での化学物質管理に大きな関心が払われるようになってきたことを背景に、大学における化学物質管理の状況を把握、またその手法を確立し、リスク評価に基づいて大学の実験室環境を評価する手法について検討することを本研究の目的とし、その研究を遂行するにあたっては京都大学を事例として取り上げた。

京都大学は10の学部と17の大学院、13の附置研究所と20の教育研究施設等のほか、医療技術短期大学部、附属病院、附属農場などを有する総合大学であり、教員数2,878、事務系・技術系等の職員数2,239、学生数22,378と国内有数の規模を誇る大学である⁵⁴⁾。規模の大きさと研究内容・研究施設の多様性から、大学の組織としてはもっとも複雑な

ものの一つであり、こうした大学で化学物質の環境中への排出量等の把握手法を確立することは、他大学に適応する際も応用範囲の広いものであることが期待される。また、2002年10月ころから、一部の研究室を皮切りに薬品管理コンピューターシステムが導入され、現在では、全学規模のシステムとなっている。京都大学は全国の大学の中でも薬品管理コンピューターシステムが比較的早く導入された大学の一つであり、購入量や環境中への排出量の把握に対するコンピューターシステムの活用や、購入量等の把握の際に得た知見の反映についても考えやすい状況にあるといえる。

また、日本で最も伝統ある大学の一つでもあり、長く使用されている実験室も存在する一方で、2003年に完成した新キャンパスには最新の実験設備を整えた実験室が多数設置され、実験室の多様性を検討する上でも適していると考えられる。

【2章の参考文献】

- 1) ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT : POLLUTANT RELEASE AND TRANSFER REGISTERS(PRTRS) – A Tool for Environmental Policy and Sustainable Development – GUIDANCE MANUAL FOR GOVERNMENTS (1996)
- 2) NTS : PRTR とリスクコミュニケーション (2000)
- 3) 環境省 : リスクコミュニケーション事例等調査 (2001)
- 4) 大岡孝治 : 化学物質管理欧州調査報告, 社団法人 日本電機工業会 機関紙『電機』, Vol.640, pp.18-21 (2001)
- 5) 大塚直 : PRTR 法の法的評価, ジュリスト, No.1163, pp.115-121 (1999)
- 6) 環境庁環境保健部 : 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律について, ジュリスト, No.1163, pp.12-114 (1999)
- 7) ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT : WHY POLLUTANT RELEASE AND TRANSFER REGISTERS (PRTRs) DIFFER: A REVIEW OF NATIONAL PROGRAMMES, Series on Pollutant Release and Transfer Registers No.4 (2001)
- 8) 東京海上日動リスクコンサルティング株式会社 : PRTR 制度国際動向調査, 平成 17 年度環境省請負業務結果報告書 (2006)
- 9) Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control Official Journal L 257, pp.26-40 (1996)

- 10) Environmental Protection Agency : 2004 Toxics Release Inventory(TRI) Public Data Release Report, EPA 260-R-06-001 (2006)
- 11) Environment Agency : Pollution Inventory Data Report: Trends and Analysis 1998-2001 (2004)
- 12) Department of the Environment and Heritage, Australian Government : National Pollutant Inventory Summary Report 2004-2005 (2006)
- 13) 環境省 : PRTR インフォメーション広場 (<http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>)
- 14) エコケミストリー研究会 (<http://env.saftyeng.bsk.ynu.ac.jp/ecochemi/>)
- 15) 有害化学物質削減ネットワーク(T ウォッチ) (<http://www.toxwatch.net/>)
- 16) 社団法人 環境情報科学センター : PRTR & Risk Communication (<http://www.prtr-net.jp/index.php>)
- 17) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 産総研 化学物質リスク管理研究センター 共編 : 詳細リスク評価書シリーズ 3 トルエン, 丸善株式会社 (2005)
- 18) 労働省労働基準局安全衛生部安全課 : 平成 11 年における死亡災害発生状況, 労働省発表資料 (http://www.jil.go.jp/kisya/kijun/20000425_01_k/20000425_01_k_zu1.html) (2000)
- 19) 厚生労働省 : 平成 17 年 労働災害発生状況, 厚生労働省統計表データベースシステム (http://www.dbtk.mhlw.go.jp/toukei/kouhyo/indexkr_37_1.html) (2006)
- 20) 輿重治 : 作業環境管理の沿革と現状, 労働の科学, Vol.45, No.1, pp.30-34 (1990)
- 21) 輿重治 : 作業環境管理の現状と課題, 産業医学ジャーナル, Vol.17, No.2, pp.5-12 (1994)
- 22) 日本産業衛生学会 : 許容濃度等の勧告 (2006 年度), 産業衛生学雑誌, Vol.48, No.4, pp.98-123 (2006)
- 23) 輿重治 : 環境の管理水準としての管理濃度, 労働衛生, Vol.16, No.10, pp.22-37 (1975)
- 24) 輿重治 : 許容濃度と管理濃度について, 労働の科学, Vol.41, No.1 (1986)
- 25) 井勝久喜, 中島民江, 沖野知範, 村山忍三 : 廃液処理作業者の健康管理 1) 廃液処理作業者の有機溶剤曝露の実態, 産業医学, Vol.31, pp.355-362 (1989)
- 26) 経済産業省・環境省 : PRTR 排出量等算出マニュアル 第 3 版 (http://www.prtr-info.jp/prtr/html/manual/frame_0100.htm) (2004)
- 27) Cunningham, D. : Estimation of VOC emissions, J. Cleaner Prod, Vol.3, No.4, pp.225-228 (1995)
- 28) Shine, B. : Methods for estimating volatile organic compound emissions from batch processing facilities, J. Cleaner Prod, Vol.4, No.1, pp.1-7 (1996)
- 29) 幸田清一郎 : 東京大学における環境安全について, 安全工学, Vol.41, No.1, pp.10-19 (2002)

- 30) 東京都環境局：環境確保条例 (http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/soumu/jyourei_2000/)
- 31) 鈴木一成, 宮澤雄一, 牧原あゆみ, 松島肇：浜松医科大学における PRTR の試み, 大学等における有害物質の管理システム, 平成 10 年度科学研究費補助金研究成果報告書, pp.7-16 (1999)
- 32) 山田悦, 佐藤泰郎：京都工芸繊維大学における有害廃棄物の管理と分析, 大学等における有害物質の管理システム, 平成 10 年度科学研究費補助金研究成果報告書, pp.49-58 (1999)
- 33) 石橋康弘：長崎大学における環境汚染物質の移動状況調査, 大学等における有害物質の管理システム, 平成 10 年度科学研究費補助金研究成果報告書, pp.71-77 (1999)
- 34) 井勝久喜：大学における化学物質の取り扱い状況, 大学等における有害物質の管理システム, 平成 10 年度科学研究費補助金研究成果報告書, pp.71-77 (1999)
- 35) 篠原俊光：化学物質の自主管理推進を, 地球環境, Vol.29, No.9, 19-21 (1998)
- 36) 鈴木正昭, 大谷正義：大学における安全管理, 化学工学, Vol.66, No.5, pp.294-296 (2002)
- 37) 日本化学会 編：第 5 版 実験化学講座 4 基礎編Ⅳ 有機・高分子・生化学, 丸善株式会社 (2003)
- 38) 国立大学等の実験施設における安全衛生管理に関する調査研究協力者会議：安全で快適な教育研究環境の形成のために—国立大学等の実験施設における安全衛生対策の推進— (2003)
- 39) Pekins, J. L. and Kimbrough, M. S. P. H. : Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory, J. Occup. Med., Vol.27, pp.813-815 (1985)
- 40) 水城まさみ, 津田富康：人体解剖実習中のホルムアルデヒド曝露による身体症状発現とアトピー性素因との関連について, アレルギー, Vol.50, No.1, pp.21-28 (2001)
- 41) 圓藤陽子, 安部みき子, 中島裕司, 木山博資, 宮崎竹二, 竹内靖人, 小松晃雄, 圓藤吟史：光触媒蛍光灯による室内環境中ホルムアルデヒド濃度の低減化 その 1. 医学部解剖準備室における実験, 生活衛生, Vol.47, No.5, pp.261-268 (2003)
- 42) 樺田尚樹, 中島民治, 菊田彰夫, 川本俊弘, 嵐谷奎一：解剖学実習室における気中ホルムアルデヒド濃度評価と自覚症状調査, 産業医科大学雑誌, Vol.26, No.3, pp.337-348 (2004)
- 43) Meirik, O., Kallen, B., Gauffin, U. and Ericso, A. : Major malformations in Infants Born of Women who Worked in Laboratories While Pregnant, Lancet 8133, p.91 (1979)
- 44) Hoar, S.K. and Pell, S. : A Retrospective Cohort Study of Mortality and Cancer Incidence Among

- Chemist, J. Occup. Med., Vol.23, No.7, pp.485-494 (1981)
- 45) Maher, K.V. and Defonso, L.R. : A Historical Cohort Study of Mortality among Chemical Research, Arch. Environ. Health, Vol.41, No.2, pp.109-116 (1986)
- 46) Carpenter, L., Beral, V., Roman, E. and Davies, G. : Cancer in laboratory workers, Lancet 8774, pp.1080-1081 (1991)
- 47) Belli, S, Comba, P.,Santis, M.D., Grignoli, M. and Sasco, A.J. : Mortality study of workers employed by the Italian National Institute of Health, 1960-1989, Scand. J. Work Environ. Health, Vol.18, pp.64-67 (1992)
- 48) Taskinen, H., Kyyronen, P., Hemminki, K., Hoikkala, M., Lajunen, K. and Lindbohm, M.S. : Laboratory Work and Pregnancy, Journal of Occupational Medicine, Vol.36, No.3, pp.311-319 (1994)
- 49) Cordier S., Mousel M-L., Le Goaster C., Gachelin G., Le Moual, N., Mandereau, L., Carrat, F., Michaud, G. and Hemon, D. : Cancer risk among workers in biochemical research, Scand. J. Work Environ. Health, Vol.21, No.6, pp.450-459 (1995)
- 50) Pines, A., Alkaslassy, D., Klebanov, M., Lemesch, C., Ribak, J. and Lerman Y. : Liver and Kidney Function Tests as a Tool for Periodic Health Evaluation of Laboratory Workers, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol.837, pp.307-318(1997)
- 51) Covey, L. S. and Wynder, E. L. : Smoking Habits and Occupational Status, J. Occup. Med., Vol.23, No.8, pp.537-542 (1981)
- 52) 鈴木一成 : 国立大学等の法人化による「環境安全施設と労働安全衛生についてのアンケート」結果について, 大学等環境安全協議会会報 第 20 号, pp.65-76 (2005)
- 53) 長谷川紀子, 金子宏, 玉浦裕 : 大学等の安衛法 (有規則) への対応, 大学等環境安全協議会会報 第 20 号, pp.57-59 (2005)
- 54) 京都大学広報センター : 京都大学概要 2006 (2006)

第3章 大学で使用される化学物質の大気中への排出量の推定

3.1 はじめに

大学では実験等に多品種の化学薬品が使用されており，こうした化学物質の管理は，社会的な規範を示すべき教育研究機関である大学としては，もとより重要な課題である。しかし，こうした化学物質管理の取り組みはこれまで十分ではなく，PRTR法の施行によって，ようやくその関心が高まった。しかしながら，研究室ごとに化学物質が購入，使用されているため，大学の規模が大きくなるほど，PRTR法で求められる環境中への排出量等を推定することは困難である。

第2章第3節で述べたように，1999年の大学での有害物質の管理システムに関する報告¹⁾では，10大学のうち，大気中への排出量の推定に至ったのは1校のみで，4大学では購入量と廃棄量，また保管量等の一部を把握するにとどまり，残り5校は購入量の把握も困難であった。さらに，これらの排出量や購入量は，研究室へのアンケート結果のみによって把握されていたため，報告値の精度については十分な検討ができなかった。

そこで本章では，大学からの環境中への排出量の把握手法の確立を目的に，京都大学を事例として，同大学で取り扱われる有機溶剤系の化学物質数種について，購入量等をなるべく複数の方法で把握し，物質収支に基づく大気中への排出量の推定を行った。さらに，一部の物質では，その結果を学内の使用実態から考えられる揮発量と比較した。

3.2 物質収支に基づく大気中への排出量の推定

3.2.1 京都大学での化学物質管理

京都大学では，化学薬品の購入は研究室ごとで行われている。こうした物質の使用等にかかわる規定としては，1999年に「京都大学毒物及び劇物管理規定」が制定され，「毒物及び劇物取締法」で指定されている29種の毒物，94種の劇物に関しては，使用簿への使用者，使用量などの記録が義務付けられた。その他の物質については使用量や購入量等の記録を促す対策は取られてこなかったが，2002年10月ごろからは工学研究科の化学系等の48研究室を始まりとして，薬品管理コンピューターシステムによる在庫量等

の管理が始められた。

実験で生じた廃液は研究室ごとに所定の廃液ポリ容器（有機廃液であれば容積 10L のもの）で保管されたのち、学内にある京都大学環境保全センターに集められ、処理されている。有機廃液は有機廃液処理装置（KYS）による焼却処理，無機廃液は無機廃液処理装置（KMS）によるキレート処理等が施されている。ただし，2003 年から工学研究科の一部が新キャンパスに移転したことに伴い，以降は同センターがある吉田キャンパスで生じる廃液の処理が中心となり，その他のキャンパスでは外部の業者に委託するようになった。しかしながら，本研究で対象としている 2002 年度までの実験廃液については，ほぼ全て環境保全センターで処理されていた。

実験系排水路は，雨水系の排水路とは分離されており，キャンパスごとに一箇所に集められ，最終貯留層を経て公共下水道へ放流されている²⁾。放流点では，流量，pH，温度，電気伝導度が連続測定，定期的な水質測定が行われ，学内の実験排水の一括管理が行われている。

3.2.2 対象物質，調査の概要

2002 年度の調査対象物質は，2001 年度の業者納入実績に基づき，京都大学で PRTR 法の裾きり基準を超えて取り扱われている可能性が高い物質であるアセトニトリル，クロロホルム，ジクロロメタン，ベンゼン，トルエンとした。これらの物質を以後，本節での重点調査物質とし，大気中への排出量の推定を行った。図 3-2-1 は，これらの物質の学内でのフローと各調査方法を示したものである。また表 3-2-1 に，重点調査物質の毒性等を示した³⁾。

これらの化学物質は，薬品会社から研究室ごとに購入・保管され，各研究室で実験等に使用されたあと，有機廃液として学内の施設（KYS）で処理されるが，一部は実験室の流しやドラフトを通して，学外に排出されると考えられる。

購入量は，京都大学に薬品を納入している業者からの納入量の積み上げと，学内の研究室での購入記録の積み上げの 2 通りの方法で把握した。在庫量や使用量，使用実態については，研究室への調査を実施した。処理量については，廃液の分析によって求めた。またクロロホルムとジクロロメタンについては，KYS における塩素の物質収支に基づいても推定した。排水への移行量については，排水の分析によって求めた。大気中への排出量については，使用量，処理量，排水への移行量から物質収支に基づいて推定した。

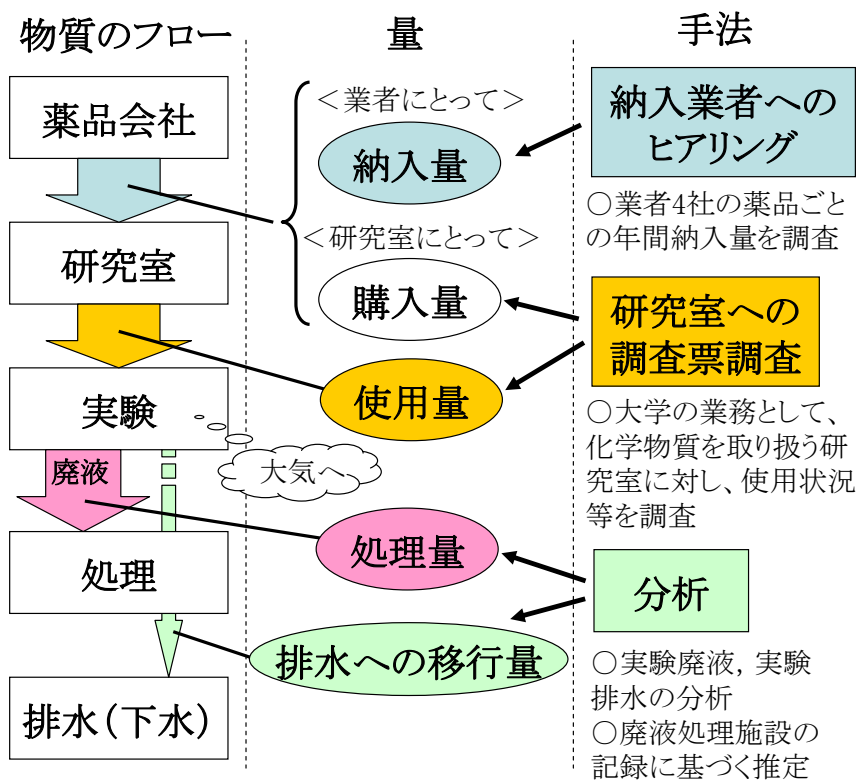


図 3-2-1 化学物質のフローと調査方法の概要

表 3-2-1 調査対象物質の毒性等

	アセトニトリル	クロロホルム	ジクロロメタン	トルエン	ベンゼン
別名	シアン化メチル	トリクロロメタン	塩化メチレン	メチルベンゼン	ベンゾール
沸点	81.7℃	61.2℃	39.75℃	111℃	80.1℃
水への溶解度(条件)	水とよく混和する。	7.95g/L(25℃)	20g/L(20℃)	0.54-0.58g/L(25℃)	1.8g/L
PRTR指定区分	第1種	第1種	第1種	第1種	特定第1種
環境中挙動等	○大気中で化学反応により分解(半減期:数ヶ月以上)。 ○水中、土壌では微生物によって容易に分解。	○大気中で化学反応により分解(半減期:約3-5ヶ月)。 ○微生物による分解は受けにくい。	○大気中で化学反応により分解(半減期:約2-4ヶ月)。 ○微生物による分解は受けにくい。 ○土壌に浸透し、地下水を汚染する可能性。	○大気中で光分解。 ○土壌、水中では微生物によって分解。ただし、地下水に侵入すると容易に揮発しない。	大気中で化学反応により分解(半減期:7-13日)。
毒性	変異原性(マウスを用いた試験で弱い陽性。試験管内での試験では陰性。)	○吸入曝露(ラット, 13週):鼻上皮の萎縮(LOAEL: 10mg/m ³) ○経口投与(イヌ, 7.5年):脂肪肝等(LOAEL: 15mg/kg/日) ○経口投与(マウス, 78週):肝がん(投与量: 138mg/kg/日) など	○試験管内の変異原性試験で陽性 ○経口投与(雌ラット, 2年):肝がん(58mg/kg/日) ○作業環境での高濃度曝露でヒトに神経症状などの症状の記録あり。 など	視野狭窄, 運動障害, 神経障害, 腎臓, 肝臓や血液への障害(ヒトへの長期間の曝露)	○変異原性試験で染色体異常。遺伝子に対する傷害性あり。 ○疫学調査で白血病を引き起こす十分な証拠あり。
IARC 発がん分類*	—	2B	2B	—	1
毒物及び劇物取締法	劇物	劇物		劇物	
PRTR対象選定理由	変異原性	発がん性, 変異原性, 経口慢性毒性	発がん性, 変異原性, 経口慢性毒性, 作業環境許容濃度	生態毒性	発がん性, 変異原性, 経口慢性毒性, 吸入慢性毒性, 作業環境許容濃度, 生態毒性

※IARC(国際がん研究機関)発がん分類

- 1:ヒトに対して発がん性を示す。
- 2:ヒトに対して発がん性を示す可能性がある。
 - 2A:可能性が高い(probable)
 - 2B:可能性がやや低い(possible)
- 3:ヒトに対して発がん性を評価するには十分な証拠が得られていない。
- 4:ヒトに対する発がん性はおそらくないと判定されるもの。

3.2.3 薬品納入業者への調査

化学物質の購入量を把握することを目的に、薬品納入業者の京都大学への納入実績を調査した。

京都大学に薬品を納入している業者はほぼ4社に限られており、これらの業者に聞き取りを行うことで、薬品別、研究科等の部局別（附属病院を含む）の納入実績を把握した。1999年度から2002年度にかけて、各年度、京都大学におおむね1t以上納入されている物質を表3-2-2に示す。なお、調査対象としたのは2000年度までは81物質（PRTR対象60物質、それ以外21物質）、2001年度以降はその中で納入実績の多いものを選び、2002年度は27物質（PRTR対象17物質、それ以外10物質）であった（付録1）。これらの納入量は、京都大学にとっては4社からの購入量であるが、研究室調査によって得た研究室回答の購入量と区別するため、以後、業者納入量と呼ぶ。

表 3-2-2 主な化学物質の納入量 (kg) 注1)

物質名	1999年度	2000年度	2001年度	2002年度
メタノール	24,642	29,272	24,333	23,452
エタノール	26,964	27,066	24,173	9,441 ^{注4)}
アセトン	16,459	17,411	15,457	17,950
ヘキサン	13,643	18,019	16,614	17,678
酢酸エチル	6,601	9,721	8,811	10,599
クロロホルム* ^{注2,3)}	7,445	7,996	9,073	10,527
ジエチルエーテル	4,854	7,252	9,042	7,215
ジクロロメタン*	5,313	6,964	6,255	6,387
トルエン*	3,618	3,465	3,045	3,316
アセトニトリル*	2,631	2,476	1,978	2,652
テトラヒドロフラン	1,970	1,987	1,912	1,926
イソプロピルアルコール	1,132	1,396	1,995	2,027
ベンゼン*	1,737	1,273	1,078	966
N, N-ジメチルホルムアミド*	667	1,027	985	1,766

注1) 業者への調査では、京都大学附属病院への納入量も含めて把握した。

注2) *はPRTR第1種指定化学物質

注3) 表中の網掛けの物質が重点調査物質

注4) 2002年度のエタノールの納入量は入札された分を含んでいない。

3.2.4 学内研究室への調査 —化学物質の使用状況の把握—

3.2.4.1 調査方法，調査対象物質等

(I) 調査概要

2003年6月，2002年度の研究室ごとの購入量，在庫量や使用量，化学物質の使用・管理状況等について把握するため，京都大学の理科系の研究室を対象に調査票調査を実施した。同様の調査は2001年11月，2002年3月にも実施しており，以降，実施した順に第1回調査，第2回調査，第3回調査と呼ぶことにする。本項では，主に第3回の調査結果を紹介する。

(II) 調査対象物質および調査内容

第3回調査の対象物質は，重点調査物質としたアセトニトリル，クロロホルム，ジクロロメタン，トルエン，ベンゼンの5物質にN,N-ジメチルホルムアミド，ホルムアルデヒドの2物質を加えた合計7物質とした。表3-2-3に第1回から第3回の各調査の内容を示した。

表 3-2-3 研究室への調査内容

	第1回	第2回	第3回
	2001年11月	2002年3月	2003年6月
購入量， 在庫量， 使用量の 把握対象 物質	○クロロホルム ○ジクロロメタン ○トルエン ○ベンゼン ○ホルムアルデヒド(ホルマリン)	○アセトニトリル ○クロロホルム ○ジクロロメタン ○トルエン ○ベンゼン ○ホルムアルデヒド(ホルマリン)	○アセトニトリル ○クロロホルム ○ジクロロメタン ○N,N-ジメチルホルムアミド ○トルエン ○ベンゼン ○ホルムアルデヒド(ホルマリン)
用途の把握対象	上記物質	アセトニトリル	N,N-ジメチルホルムアミド
その他の 質問項目	○調査対象物質の分別廃棄時の各物質の割合 ○毒劇物の使用記録の保管の有無 ○ジエチルエーテル，ヘキサン，ペンタン，テトラヒドロフラン，ジオキサン，酢酸エチル，メタノール，エタノール，イソプロピルアルコール，アセトン，アセトニトリル，アクリロニトリル，塩酸，硝酸，硫酸の年間使用量	○ロータリーエバポレーターでの溶媒回収装置の有無等 ○廃液ポリ容器の取扱い ○有機廃液量の把握の有無 ○取引のある納入業者	○実験室内での揮発工程とその揮発率の推定値 ○実験時の体調異変などのトラブルの有無

(Ⅲ) 調査票配布および回収方法

調査票は、まず京都大学の学内組織である環境保全委員会から各部局の事務に配布し、各部局で必要部数を用意して、各研究室に配布された。また回収も、部局ごとに回収された調査票を、環境保全委員会を通して回収した（付録 2-4）。大学の業務の一環として実施したため、原則として化学物質を使用する全ての研究室の回答を得られる形となっている。ただし付属病院については、調査の対象とはしなかった。

(Ⅳ) 調査票回収数

原則としては、化学物質を使用する全ての研究室から回答を得られたものと考えられ、第3回調査の調査票回収数は409であった。表 3-2-4 に、第1回から第3回の調査における部局ごとの回収数を示す。

表 3-2-4 各回の調査票回収数

部局名	第1回 (2001.11)	第2回 (2002.3)	第3回 (2003.6)	
医学研究科	20	17	19	
遺伝子実験施設	1	1	2	
医療技術短期大学部	9	6	7	
ウイルス研究所	8	11	16	
宇治地区 ^{注1)}	37	39	47	注1) 宇治地区にはエネルギー理工学研究所、化学研究所、宙空電波科学研究センター、防災研究所、木質科学研究所の5部局が含まれる。
エネルギー科学研究科	10	10	9	
環境保全センター	1	1	1	
原子炉実験所	11	8	14	
工学研究科	99	82	80	
国際融合創造センター	0	0	3	
再生医科学研究所	14	15	17	
情報学研究科	1	1	1	
生態学研究センター	1	1	5	
生命科学研究科	17	17	18	注2) 第3回の総合人間学部は、人間・環境学研究科として回答された。
総合人間学部	24	25	^{注2)}	
総合博物館	2	2	2	
地球環境学堂 ^{注3)}	-	-	1	注3) 地球環境学堂は2003年4月より設置
人間・環境学研究科	12	10	19	
農学部	62	63	78	
放射線生物研究センター	2	1	4	
放射線同位元素総合センター	1	1	2	
薬学研究科	17	14	17	
理学研究科	71	46	47	
霊長類研究所	9	9	0	
合計	429	380	409	

第1回、第3回に比べると第2回の調査票回収数はやや少ない。しかし、各研究室の毎回の回答の有無の把握については、大学内での部局の増設や廃止・統合、研究室名の変更や移動などがしばしば行われるためにかなり困難であるのが実状である。

3.2.4.2 研究室への調査結果

(I) 研究室回答購入量、在庫量、使用量の集計

第3回調査結果に基づく、使用量等の集計を表3-2-5に示す。業者納入量と区別するため、ここで得た購入量を、以後、研究室回答購入量と呼び、使用量についても研究室回答使用量と呼ぶ。研究室回答使用量については、2001年度末在庫量と研究室回答購入量の合計から2002年度末在庫量を減ずることによって算出した。

表 3-2-5 研究室回答購入量等の集計結果 (kg)

	2001年度 末在庫量 (A)	2002年度 末在庫量 (B)	研究室回 答購入量 (C)	研究室回 答使用量 (A+C-B)
アセトニトリル	596	662	2,163	2,097
クロロホルム	1,467	1,515	10,310	10,262
ジクロロメタン	1,559	1,404	5,026	5,181
N,N-ジメチルホルムアミド	284	347	1,398	1,335
トルエン	750	799	3,214	3,164
ベンゼン	614	594	997	1,018
ホルムアルデヒド	359	253	247	353

ホルムアルデヒドを除くすべての物質において、研究室回答購入量と研究室回答使用量がほぼ等しくなっており、購入された物質がその都度使用されている様子がうかがえる。この傾向は、第1回、第2回調査でも同様であった⁴⁾。従って、重点調査物質の使用量は、購入量と等しいと考えた。

(II) 業者納入量と研究室回答購入量の比較

業者納入量と研究室回答購入量を比較するため、2002年度の業者納入量から病院への納入分を除いたものと、先の研究室回答購入量を比較した(表3-2-6)。業者納入量から病院への納入分を除くのは、研究室への調査が病院を対象としていなかったためである。

表 3-2-6 業者納入量と研究室回答購入量の比較 (kg)

	業者納入量 (病院除く) (D)	研究室回答 購入量 (C)	D-C	(D-C)/D	毒劇法
アセトニトリル	2,586	2,163	424	16.4%	劇物
クロロホルム	10,387	10,310	77	0.7%	劇物
ジクロロメタン	6,387	5,026	1361	21.3%	
N,N-ジメチルホルムアミド	1,764	1,398	366	20.7%	
トルエン	3,316	3,214	102	3.1%	劇物
ベンゼン	966	997	-32	-3.2%	
ホルムアルデヒド	288	247	41	14.2%	劇物

研究室回答購入量と業者納入量は、両者共に正確な把握ができていれば一致するはずである。クロロホルム、トルエン、ベンゼンでは両者はほぼ一致しており、その差は業者納入量に対してほぼ 3%以内におさまるものであった。これに対して、アセトニトリル、ホルムアルデヒドでは、研究室回答購入量は業者納入量に比べて 15%ほど少なく、ジクロロメタン、N,N-ジメチルホルムアミドでは 20%ほど少なかった。

第 3 回の研究室への調査では、各研究室での購入量の把握方法についても尋ねた (表 3-2-7)。

「購入伝票」や「薬品管理コンピューターの記録」に基づいて把握している研究室が 7 割を占めた。「その他」と回答した場合には具体的な内容の記入を求めており、表にはその内訳も示した。多くの研究室が何らかの薬品購入・使用記録簿を作成しており、この記録に基づいて購入量を回答していた。ただし、在庫量を目視で確認しているものや、月平均の使用量から概算的な推定をしているものなどもあり、かなり大まかな方法で把握している場合も見受けられた。一方、毒物・劇物に指定されている化学物質のみを対象に記録をつけている研究室もあり、毒劇物に関してはより記録が徹底していると考えられた。実際に、研究室回答購入量と業者納入量にあまり差が見られなかったクロロホルム、トルエンはいずれも劇物に指定されている。また、ベンゼンも特定化学物質障害予防規則や化学物質審査法の対象とされており、特に管理が徹底されている物質と考えられる。差が生じている物質でも、劇物に指定されているアセトニトリル、ホルムアルデヒドに比べると、指定されていないジクロロメタン、N,N-ジメチルホルムアミドの差が大きい。従って、研究室回答購入量と業者納入量との差は、各研究室での記録が徹

底されていないことによって生じた可能性がある。

研究室回答購入量と業者納入量に差が見られる原因については、未回答の研究室の存在や、調査した4社以外の業者からの納入も考えられるが、記録が徹底されていると考えられる物質については両者がほぼ一致したこと、研究室によっては購入量の把握は必ずしも綿密ではないこと、ほとんどの物質で業者納入量は研究室回答購入量を上回っており、唯一下回ったベンゼンもその差はわずかであったことなどから、業者納入量が京都大学の薬品購入量をほぼ正確に表しているものと考えた。

表 3-2-7 各研究室での購入量の把握方法

研究室での購入量の把握方法	回答数	備考
1.購入伝票の記録	234	2と併用は7回答
2.薬品管理コンピューターの記録	49	3と併用は4回答
3.その他	98	1と併用は15回答
(その他の内訳)		
薬品購入・使用簿の記録	52	
毒劇物使用簿の記録	16	
対象化学物質の購入実績なし	10	
在庫量の確認(目視等)	8	
注文控え	4	
実測	2	
納入業者への問い合わせ	2	
規制対象薬品の購入は届出制	1	
研究者への問い合わせ	1	
月平均使用量から算出	1	
毒劇物およびPRTR対象物質使用簿の記録	1	
未回答	54	

(Ⅲ) 化学物質の用途別の使用割合

研究室ごとの各物質の用途別の使用割合とその研究室の各物質の使用量をもとに、それぞれの物質の大学全体での用途別の使用割合を算出した(図 3-2-2)。

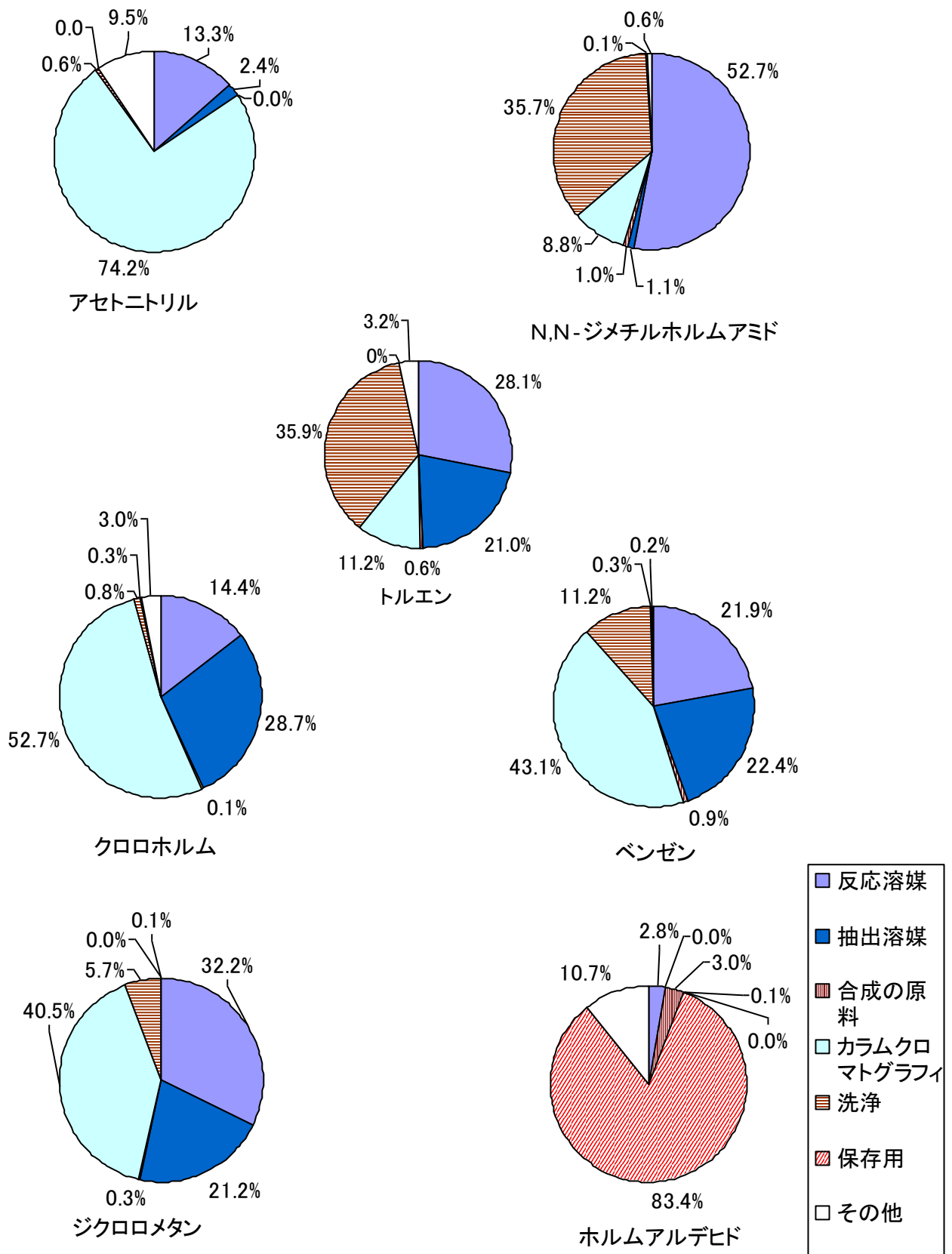


図 3-2-2 各物質の用途別の使用割合

アセトニトリルは、7割以上がクロマトグラフィで使用されている。クロロホルム、ジクロロメタン、ベンゼンは、反応・抽出溶媒としての使用がおおよそ4-5割、クロマトグラフィでの使用もおおよそ4-5割であり、大部分がこれらの目的で使用されている。N,N-ジメチルホルムアミドとトルエンは他の物質に比べると洗浄に用いられる割合が高くなっている。両者とも溶媒としても半分程度が用いられているが、N,N-ジメチルホルムアミドの場合は反応溶媒としての利用がほとんどである。また、ホルムアルデヒドは、保存用としての利用が大部分を占めている。

3.2.5 廃液としての処理量

3.2.5.1 処理量の把握方法の概要

重点調査物質（アセトニトリル、クロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、ベンゼン）は、実験等で使用された後、有機廃液として処理されるものばかりである。KYSに持ち込まれた有機廃液を分析して廃液中の重点調査物質の濃度を求め、持ち込まれた廃液量とから各重点調査物質の処理量を求めた。また、クロロホルムとジクロロメタンについては、有機廃液中の塩素量に基づいた処理量の推定も行った。

3.2.5.2 廃液分析に基づく処理量の把握

(I) 方法

KYSに持ち込まれる有機廃液は、可燃性有機廃液（含水率20%以下）と廃希薄水溶液（有機物濃度5%以下）の2種類に分けて処理されているため、それぞれサンプリングを行い、分析して廃液中の重点調査物質の濃度を求めた。

<可燃性有機廃液のサンプリング、分析方法>

可燃性有機廃液は、各廃液ポリ容器からKYS内の廃溶媒タンクに移され、このタンクで攪拌されたのち、焼却炉に輸送される。サンプリングは、攪拌中の廃溶媒タンクから採取することで実施した。2002年5-7月、2003年1-3月にかけて、廃液搬入時に10mL程度ずつ採取し、サンプル量は合計で960mLであった。サンプルは黄褐色の上層（以後、上層廃液）と茶褐色の下層（以後、下層廃液）の2層に分かれており、上層廃液の容量は612mL、下層廃液の容量は348mLであった。

各層のサンプルを採り、ろ過を行ったのち、それぞれ1回の分析につき7.5 μ Lずつを

マイクロシリッジによってガスクロマトグラフィに導入した。分析条件を表 3-2-8 に示す。カラムの昇温条件については、目的物質や廃液に応じて、表に示す 2 通りの方法を用いた。検量線は、アセトニトリル、クロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、ベンゼンの試薬（和光純薬製）から作った標準液をもとに作成し、得られた検量線から各廃液中の対象物質濃度を求めた。

< 廃希薄水溶液のサンプリング、分析方法 >

KYS に持ち込まれた廃希薄水溶液は、KYS 内の廃希薄水溶液タンク（内容量 950L）に貯留され、水による希釈が行われたのち、焼却炉に輸送される。廃希薄水溶液の測定用サンプルは、このタンクから採取した。サンプリングは 2001 年 11 月から 2002 年 1 月にかけて、一回につき 100mL 程度ずつ、計 8 回実施した。各サンプル 4 μ L と内部標準溶液としてフルオロベンゼン 0.01mg/mL メタノール溶液（東京化成製フルオロベンゼン 1mg/mL をメタノールで 100 倍希釈したもの） 4 μ L を、蒸留水 10mL を入れたバイアル瓶に加え、65 $^{\circ}$ C で 45 分間保持したのち、ヘッドスペース法にて試料をガスクロマトグラフ質量分析計に導入した。分析条件を表 3-2-9 に示す。検量線は、標準溶液（VOCs20 成分混合 1mg/mL メタノール溶液、東京化成製）を用いて作成した。

表 3-2-8 ガスクロマトグラフィの分析条件（可燃性有機廃液）

装置	GC-14A(島津製作所)
カラム	SBS-200(島津製作所) 3.1m \times 3.2mm
カラム温度1	50 $^{\circ}$ C(7分) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/分 \rightarrow 140 $^{\circ}$ C(15分)
カラム温度2	80 $^{\circ}$ C(3分) \rightarrow 10 $^{\circ}$ C/分 \rightarrow 140 $^{\circ}$ C(15分)
注入口温度	200 $^{\circ}$ C
キャリアガス	ヘリウム(50mL/分)
検出器	TCD(150 $^{\circ}$ C)

表 3-2-9 ガスクロマトグラフ質量分析計の分析条件（廃希薄水溶液）

装置	GCMS-QP5050A(島津製作所)
カラム	AQUATIC(GL Sciences) 0.25mm \times 60m \times 1mm
カラム温度	50 $^{\circ}$ C(2分) \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/分 \rightarrow 190 $^{\circ}$ C
気化室温度	180 $^{\circ}$ C
インターフェース温度	200 $^{\circ}$ C
試料注入	スプリット
キャリアガス	ヘリウム
カラム入口圧	100kPa
検出法	SIM

(II) 分析結果および処理量の算出

2002 年度に KYS で処理された可燃性有機廃液は 74,061L であった。サンプルの上層

廃液と下層廃液の容量比から、処理された可燃性有機廃液のうち 47,214L が上層廃液、26,847L が下層廃液であるとした。

2002 年度に持ち込まれた廃希薄水溶液は 26,318L、これに希釈用に加えられた水を合計すると 62,893L であった。

廃液中の各物質濃度の分析結果と廃液量、それらから算出した各物質の廃液としての処理量を表 3-2-10 に示す。

表 3-2-10 廃液分析と分析結果に基づく処理量

	可燃性有機廃液				廃希薄水溶液		合計処理量 (kg)	含有塩素量 (kg)
	上層廃液		下層廃液		濃度 (g/L)	処理量 (kg)		
	濃度 (kg/L)	処理量 (kg)	濃度 (kg/L)	処理量 (kg)				
アセトニトリル	0.0145	684	0.0275	739	—	—	1,423	—
クロロホルム	0.0805	3,800	0.0506	1357	0.27	17	5,174	4,610
ジクロロメタン	0.0230	1,086	0.0228	613	0.51	31.8	1,731	1,445
トルエン	0.0303	1,429	0.0197	529	0.01	0.6	1,959	—
ベンゼン	0.0104	491	0.0101	270	0.03	2.2	763	—
廃液量(L)	47,214		26,847		74,061			

分析結果では、ベンゼンの処理量は業者納入量の 80% に達したが、クロロホルムでは半分程度、ジクロロメタンは業者納入量の 27% しか処理されていない結果となった。

3.2.5.3 有機廃液中の塩素量に基づく処理量の推定

(I) 概要

KYS で処理される有機廃液中に含まれる塩素原子は、燃焼時に水素と反応し、ほとんどすべてが塩化水素 (HCl) になる。KYS では、この塩化水素を苛性ソーダ (NaOH) によって中和処理している。また、発生した HCl の中にはダストと混じり、バグフィルタを通過する際に飛灰として除去されるものや、焼却炉出口の煙道に塩として付着するものも存在し、排ガスとして大気中に排出されるものもわずかに存在する。従って、苛性ソーダ消費量、飛灰や煙道付着塩の重量、排ガス中の HCl 量などをもとにして、KYS で焼却処理された有機廃液中の塩素量を把握することができる。

一方、業者からの納入量実績に基づけば、京都大学が購入した全有機塩素化合物に含まれる塩素量のうち 98% がクロロホルムとジクロロメタンに含有される塩素であった

(表 3-2-11)。従って、有機廃液中の塩素はほぼクロロホルム、ジクロロメタンに由来するものであると考えられる。

表 3-2-11 京都大学で購入された有機塩素化合物と含有塩素量

	塩素含有率	購入量(kg)	塩素量(kg)	割合 [*] (%)
クロロホルム	0.891	10,527	9,380	62.9
ジクロロメタン	0.835	6,387	5,333	35.7
1,2-ジクロロエタン	0.717	85	61	0.4
四塩化炭素	0.922	86	79	0.5
トリクロロエチレン	0.810	84	68	0.5
合計			14,921	

※塩素量合計に対する割合を示す。

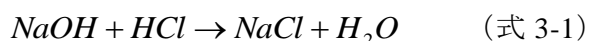
そこで、苛性ソーダの消費量などから把握した有機廃液中の塩素量をもとに、クロロホルム、ジクロロメタンの処理量を推定した。

(II) 有機廃液中の塩素量把握方法

KYS で処理された有機廃液中の塩素量は、以下の各量をもとに把握した。

< 苛性ソーダと反応した塩素量 >

苛性ソーダと塩化水素の反応は次の通りである。



従って、以下の式で反応した塩素量を求めることができる。

$$\text{塩素量(kg)} = \frac{\text{苛性ソーダ消費量(kg)}}{\text{NaOHの分子量}} \times \text{Clの原子量} \quad (\text{式 3-2})$$

2002 年度に消費された苛性ソーダは、KYS の記録から 8,037kg であった⁵⁾。

<飛灰中の塩素量>

2002年度のKYSの記録に基づき、飛灰重量と飛灰中塩素濃度から求めた。飛灰重量は114kg、塩素濃度は43%であった。

<煙道付着塩中の塩素量>

煙道に付着する塩としては、NaClのほかにもCaCl₂、Na₂SO₄などが考えられるが、すべてNaClと仮定した上で、含有される塩素の重量を求めた（式3-3）。

$$\text{塩素量(kg)} = \text{煙道付着塩量 (kg)} \times \frac{\text{Clの原子量}}{\text{NaClの分子量}} \quad (\text{式 3-3})$$

煙道に付着した塩の重量は、2000年度のKYSの記録から160kgであった⁶⁾。

<排ガス中の塩素量>

排ガス中のHCl濃度と排ガス量とから算出した。HCl濃度はKYS記録に基づく年間平均濃度（2.53mg/m³）とした。年間排ガス量については、一時間あたりの平均排ガス量（4,580m³/時間）とKYSの年間運転時間（665時間）から算出し、3.04×10⁶m³であった⁵⁾。

(Ⅲ) 有機廃液中の塩素量の把握結果

表3-2-12に各量の把握結果を示した。

表3-2-12 KYSの記録に基づく有機廃液中の塩素量

項目	重量(kg)
苛性ソーダと反応した塩素量	7,124
飛灰中の塩素量	49.1
煙道付着塩中の塩素量	97.1
排ガス中HClに含まれる塩素量	7.5
合計	7,278

表3-2-12に示す塩素量の合計値が、KYSで処理された有機廃液中に含まれる塩素量であると考えられる。

(IV) 塩素量に基づくクロロホルム、ジクロロメタンの処理量の推定結果

表 3-2-10 から、分析に基づくクロロホルム、ジクロロメタンの処理量に含有される塩素量は 6,055kg であった。一方で、KYS で処理された有機廃液中の塩素量は表 3-2-12 から 7,278kg であり、廃液分析値の塩素量よりも 1,223kg 多い。従って、クロロホルム、ジクロロメタンの分析値はやや過小評価となっていた。原因としては、サンプリングや分析による誤差、測定試料の保管中の揮発などが考えられる。

図 3-2-3 に示すように、分析値での 1,223kg の不足分が全てジクロロメタンの過小評価によると考えた場合（ケース I）、クロロホルムの過小評価によると考えた場合の 2 通りについて、各物質の処理量を求めた（表 3-2-13）。

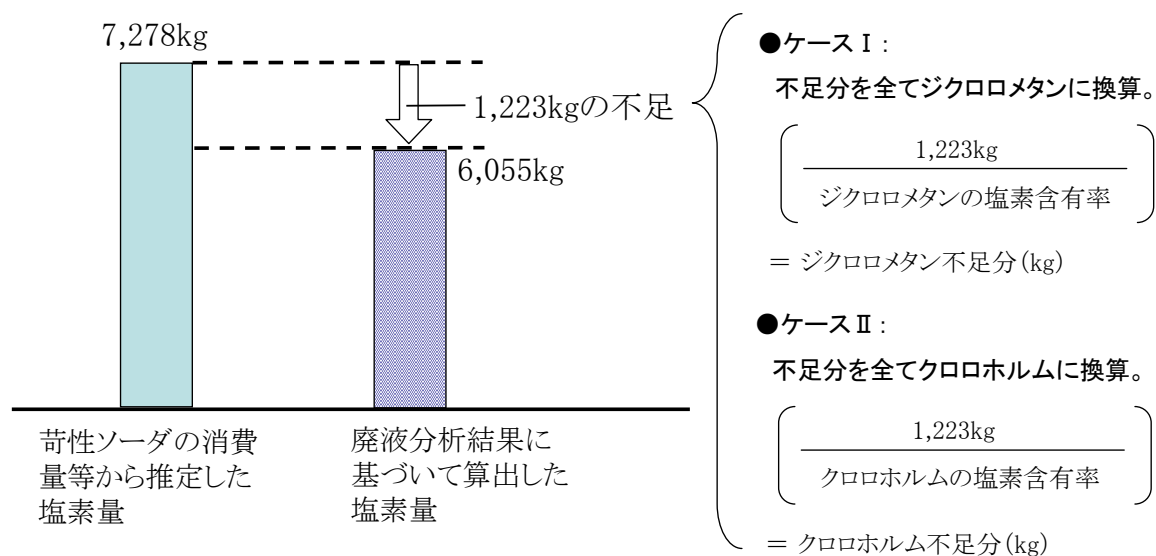


図 3-2-3 KYS の記録と廃液分析値に基づく有機廃液中の塩素量の比較

表 3-2-13 塩素量に基づくクロロホルム、ジクロロメタンの処理量の推定 (kg)

	ケース I	ケース II
クロロホルム	5,174	6,546
ジクロロメタン	3,195	1,731

クロロホルムの処理量は最大で約 6,550kg, ジクロロメタンの処理量は最大で約 3,200kg との結果になった。

3.2.6 排水への移行量

排水への移行量は, キャンパスからの排水中の対象物質の濃度と排水量より算出した。排水基準の定められているジクロロメタン, ベンゼンに関しては, 学内の排水管理施設内で週に一度測定されており, その平均値をもとに排出量を推定した。

アセトニトリル, クロロホルム, トルエンについては, 2003 年 1 月に本部キャンパスの排水から 500mL のサンプルを採取し, ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて排水中の各物質の濃度を測定した。分析方法はヘッドスペース法を用い, 廃希薄水溶液とほぼ同条件で実施したが, 用いた装置, カラム温度等に違いがあるので, 表 3-2-14 に示した。

表 3-2-14 ガスクロマトグラフ質量分析計の分析条件 (排水分析)

装置	GCMS-QP5000(島津製作所)
カラム	VOCOL(SUPELCO) 0.25mm×60m×1.5mm
カラム温度	40°C(1分)→3°C/分→100°C→7°C/分→250°C(5分)
気化室温度	100°C
インターフェース温度	230°C
キャリアガス	ヘリウム
カラム入口圧	1.0kg/cm ²
検出法	SIM

分析結果と移行量の算出結果を表 3-2-15 に示す。なお 2003 年度の排水量は, 排水管理施設の記録から 468,660m³であった。

表 3-2-15 排水への移行量

	濃度(mg/L)	年間移行量(kg)
アセトニトリル	0.168	78.8
クロロホルム	0.213	75.8
ジクロロメタン	0.0308	14.4
トルエン	0.00122	0.572
ベンゼン	0.00420	1.97

水とよく混和するアセトニトリルは濃度が高く、水への溶解度の小さいベンゼンとトルエンの濃度は低い結果となった。クロロホルムとジクロロメタンでは、ジクロロメタンの水への溶解度の方が大きい、濃度としては低くなっている。ジクロロメタンは水質基準が定められており、京都大学でも減圧蒸留の際に用いられるアスピレーターポンプを水との接触がないダイヤフラムポンプへ切り替えるなどの対策が取られてきたことなどが、その要因であると考えられる⁷⁾。

3.2.7 大気中への排出量の推定

重点調査物質は、使用後に廃液として研究室内の廃液ポリ容器に保管されるが、こうした有機廃液は消防法や防火対策上の理由からも比較的速やかに処理を行っている⁸⁾。従って、各年度に発生した有機廃液は大部分がその年度中に処理されると考えられるため、学内での滞留時間は比較的短く、年単位での物質収支を取ることが可能である。

用途別の使用割合から、重点調査物質は合成の原料としてはほとんど用いられていないため、「使用量－処理量－排水への移行量」から大気中への排出量を算出した(図 3-2-4)。

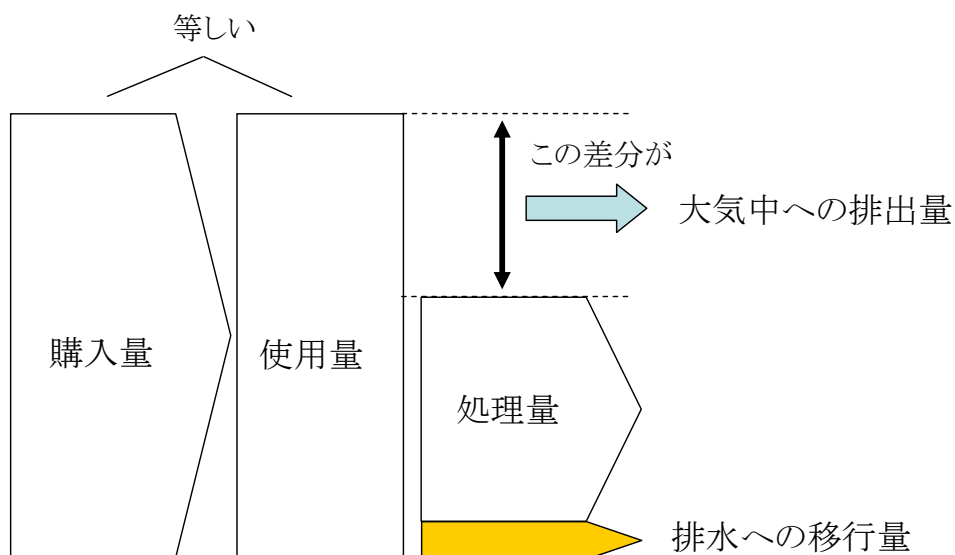


図 3-2-4 物質収支に基づく大気への排出量の算出

ここで廃棄物としての移動量として、ろ紙などへの付着によるものも考えられるが、微量であるを見なして検討からはずした。また土壌への排出についても、廃液輸送時に誤ってこぼすことなどが考えられるが、無視できる程度の量であると考えた。

また、使用量は業者納入量と等しいとした。これは、研究室への調査の結果から使用量は購入量と等しいと考えられ、さらに購入量としては業者納入量がより正確であると考えられたためである。

2002年度の重点調査物質5種について、使用量、処理量、排水への移行量の調査結果と、それらから求めた大気中への排出量を表3-2-16、3-2-17に示す。大気中への排出量が使用量に占める割合を大気排出率とした。

表3-2-16 クロロホルム、ジクロロメタンの大気中への排出量等 (kg)

	使用量	処理量	排水への移行量	大気中への排出量	大気排出率(%)
クロロホルム	10,527	5,174-6,546	76	3,905-5,277	37-50
ジクロロメタン	6,387	1,731-3,195	14	3,178-4,642	50-73

表3-2-17 その他の重点調査物質の大気中への排出量等 (kg)

	使用量	処理量	排水への移行量	大気中への排出量	大気排出率(%)
アセトニトリル	2,652	1,423	79	1,150	43
トルエン	3,316	1,959	1	1,356	41
ベンゼン	966	763	2	201	21

最も少ないベンゼンでも使用量の2割が、最も多いジクロロメタンでは使用量の最大7割が揮発している結果となった。処理量は、それぞれ分析やサンプリングによる誤差などで過小評価となっている可能性も考えられるが、クロロホルムとジクロロメタンについてはKYSに持ち込まれる有機廃液中の全塩素量からの推定も行っており、これらの物質の大気中への排出量が多い可能性は高いと考えられる。

大気中への排出としては、大きくわけて各研究室で実験中に揮発して換気扇やドラフトを通じて排出されるものと、KYSで十分に処理されず、そのまま排ガス中に混じって

大気中へ排出されるものの2種類が考えられる。しかし、KYSの排ガス中に含まれる物質として検出されたものは、クロロホルム、ジクロロメタンのみであり、その量は年間でそれぞれ3.8kg、0.7kgと購入量に比べればごくわずかである⁸⁾。従って、大気への排出量はほぼ全てが実験室での揮発によるものと考えられる。

クロロホルムとジクロロメタンは、2001年度の調査でも使用量の半分程度以上が大気中に排出されていることが推定された。一方で、実験室での薬品管理にあたっている教員へのヒアリングでは、実験室での揮発量は使用量の1-2割程度との認識がほとんどであった⁴⁾。

2年度続けて大気排出率が高かったクロロホルム、ジクロロメタンについては、学内の実験プロセスにおける揮発率を検討し、使用実態から考えられる実験室での揮発量についても検討する必要があると考えられた。

3.3 使用実態に基づく実験室での揮発量の推定

3.3.1 実験室における化学物質の揮発

有機溶剤を取り扱う作業場において、床にこぼれた有機溶剤、ふたをしない容器、あるいは塗装したパーツ、溶剤の染み込んだウェスなどが作業場の化学物質の蒸気・ガス濃度を高める原因になることはよく知られている⁹⁾。ビーカーやフラスコ等に薬品を一時的に取り置く場合や、廃液ポリ容器で廃液を保管する場合など、実験室においても、ふたをしない容器類からの揮発はしばしば起こっているものと考えられる¹⁰⁾。また容器の移し替え時などに誤って有機溶剤をこぼすことなどによる損失、蒸留・濃縮操作での未回収、さらに実験装置からの漏出なども考えられ、回収不能となったこれらの有機溶剤は実験室内で揮発し、大気中へ排出されることが考えられる。しかしながら、実験時に用いられる溶媒等の揮発量や装置からの漏出等による損失量については、多くの場合、実験の目的・結果に影響しない事柄であり、実測等による記録が残されていることはあまりない。

物質収支に基づく推定結果から、実験室での揮発率が高い可能性が示唆されたクロロホルム、ジクロロメタンを中心に、代表的な実験操作に伴う揮発量と廃液ポリ容器からの揮発量などを測定した。こうした結果をもとに各プロセスでの揮発率を決定し、実験

室での各物質の使用実態を加味して、クロロホルム、ジクロロメタンの実験室における揮発量を推定した。

京都大学においては、クロロホルム、ジクロロメタンのいずれにおいても、ほぼ全てが反応・抽出溶媒かクロマトグラフィに利用されていた（図 3-2-2）。これらの実験操作の後には、後処理としてロータリーエバポレータを用いた蒸留・濃縮操作が施されるため、エバポレータを用いた濃縮時の揮発量は、これらの物質の実験室での揮発量に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、実験操作時の揮発としては、このエバポレータを用いた濃縮操作時の揮発量、液体クロマトグラフィ（中圧カラムクロマトグラフィ）を用いた分析時の分取操作における揮発量を測定した。

3.3.2 実験時の揮発についての模擬実験

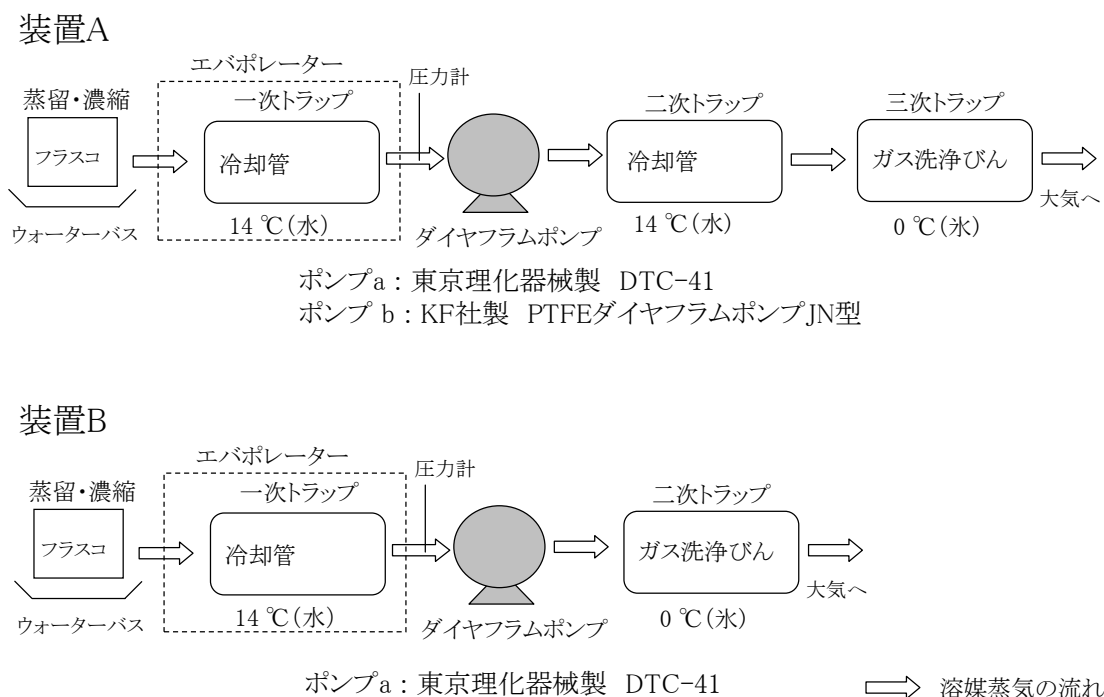
3.3.2.1 ロータリーエバポレータを用いた濃縮操作時の揮発

（I）有機溶媒の回収率の測定方法

ロータリーエバポレータでは、減圧下で気化させた物質を冷却管等の回収装置で回収しているが、回収方法の違いにより、回収量が大きく変化することが考えられる。京都大学の化学系の研究室で実際に用いられている装置を用いて、クロロホルム、ジクロロメタンの回収率を調べた。実験に用いた装置の概略図を図 3-3-1 に示す。クロロホルムについては、装置 A において真空到達度の違う 2 種類のダイヤフラムポンプ（ポンプ a、ポンプ b）を用いて測定を行い、ジクロロメタンについてはさらに装置 B でも測定を実施した。装置 B もまた化学系実験室で実際に用いられているものであり、ダイヤフラムポンプとしては、ポンプ a が用いられていた。また、いずれの装置においても一次トラップはロータリーエバポレータ（東京理科器械製 N-1N）付属の冷却管であった。普段の実験時の使用法に即し、コック等による減圧度の調整は実施しなかった。

装置 A では、フラスコ内で気化した物質は、ダイヤフラムポンプ通過前に冷却管（一次トラップ）で回収され、ポンプ通過後にもう一度冷却管（二次トラップ）を通ったのち、さらに氷で冷却されたガス洗浄瓶（三次トラップ）を通り、最終的にドラフト内に排気される。一次トラップ、二次トラップで捕集された溶媒を回収するフラスコは氷で冷却し、一度回収された物質が再び気化することを抑制するようにした。なお、冷却には水道水（14℃）を用いた。装置 B はダイヤフラムポンプの前までは同一の構造であるが、ポンプ通過後の二次トラップがガス洗浄びんとなっている。

各物質 100mL をフラスコにいれ、ウォーターバスで温めながらロータリーエバポレータを用いて完全に気化させたのち、各回収装置（フラスコ、ガス洗浄瓶）の重量の増加分を調べることで回収量を求め、気化させた物質の重量で除することにより回収率を求めた。



※一次トラップはエバポレーターに付属のもの。二次以降のトラップは各研究室で独自に取り付けられた溶媒回収装置。

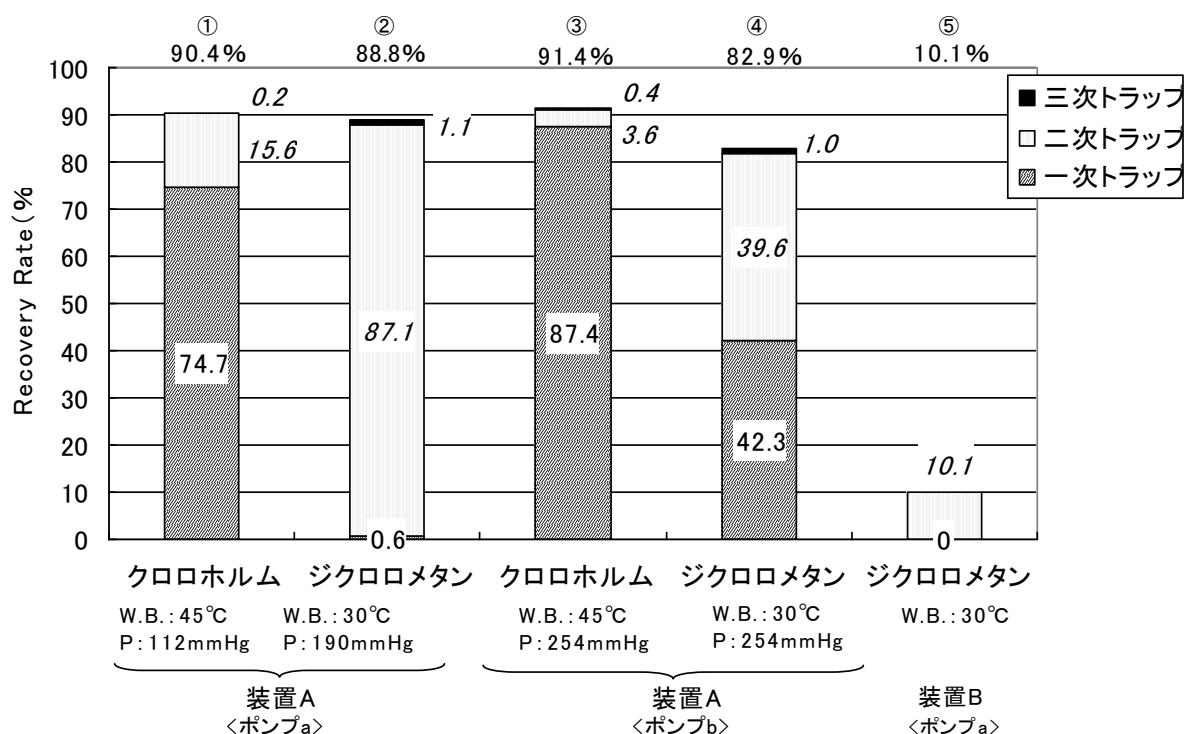
図 3-3-1 ロータリーエバポレータの概略図

(II) 回収率の測定結果

結果を図 3-3-2 に示す。ロータリーエバポレータ付属の一次トラップでの回収率をみると、ポンプ a の場合、クロロホルムの回収率は 75%であったが、ジクロロメタンはほぼ回収されなかった。ポンプ b では、クロロホルムとジクロロメタンの回収率が 87%、42%となり、減圧の度合いが小さい方が、一次トラップでの回収率が高くなる結果となった。

装置 A は一次トラップも二次トラップも水道水を用いた冷却管を用いているが、ポン

プ a でのジクロロメタンの回収率をみると、一次トラップでの回収率が 0.6%であるのに対し、二次トラップでの回収率が 87%と非常に高くなった（グラフ②）。従って、溶媒回収の観点からは、ポンプ通過後の常圧下での回収が有効であると考えられた。ただし、同じ常圧下での回収でもガス洗浄びんではジクロロメタンで 10%の回収率しか得られなかった（装置 B）。この結果は、実際にこの装置を使用していた研究者の認識（回収率 80-90%）を大きく下回るものであり、研究者が十分に認識していない、揮発率の高い実験プロセスであることがわかった。



※斜体字は常圧力下での回収。
※“W.B.”は、ウォーターバス温度
※“P”は、減圧側の圧力。

図 3-3-2 エバポレータでの蒸留時の溶媒回収率

ポンプを保護する観点からは、ポンプ前の減圧下での回収も重要であるが、実験結果からは十分な効果を得られない場合もあると考えられた。一方で、必ずしも高価な溶媒

回収装置を取り付けなくとも、ポンプ後の常圧下での回収であれば、水道水を用いた冷却管でも 90%程度以上の回収率が見込まれる結果となった。ポンプ後の常圧下での回収は、溶媒の濃縮に要する時間に影響を与えることなく、装置からの揮発量低減を可能にする対策であり、コストの面から考えても、実験室環境、周辺環境のリスク低減に効率的な対策であると考えられる。

エバポレータを用いた濃縮の際の溶媒回収率についてはいくつかの報告がある。原田はポンプとして循環式電動アスピレータを用いた場合における、濃縮時の溶媒回収率についての実験結果を紹介している¹¹⁾。500mLの溶媒を用い、ロータリーエバポレータに10℃の冷却水を流し、バス温度40℃、アスピレータ水温15℃の条件下で回収率を求めた結果、減圧調整をしない状態ではクロロホルムの回収率が85%、ジクロロメタンの回収率は68%であった。なお、この時の装置内の圧力はクロロホルムが131mmHg、ジクロロメタンが277mmHgであった。一方、同様の実験条件で、ポンプのみを圧力調整可能なダイヤフラムポンプに取り替え、各溶媒の沸点が40℃となるように減圧度を調整した場合には、いずれの溶媒においても回収率は99%となった。この時の圧力はクロロホルムが218mmHg、ジクロロメタンが499mmHgであった。ただし、減圧調整した場合には蒸留濃縮に要する時間が増加し、クロロホルムで21分、ジクロロメタンで26.5分と減圧調整しない場合のそれぞれ1.5倍、2.1倍になった。

伊藤らはヘキサンを用い、ウォーターバス温度の変化に伴う回収率と蒸留・濃縮に要する時間の変化を調べた¹²⁾。減圧調整を行わない場合と、減圧度を70mmHgに保った場合の2通りの条件下で、ヘキサン100mLをロータリーエバポレータで蒸留し、バス温度は0-50℃まで10℃ずつ変化させた。回収に用いた冷却管の冷媒温度は-45℃であった。減圧度を調整しなかった場合、バス温度上昇とともに回収率は低下し、30℃の時に回収率78%で最小となった。バス温度が30℃より高くなると回収率は上昇し、50℃では90%となった。一方、蒸留・濃縮に要する時間はバス温度が上昇すると共に短くなり、0℃で700秒、50℃で200秒であった。減圧度を70mmHgにした場合には、20℃未満では揮発は起こらず、回収率は20℃で最大の99%、50℃で最小の93%となった。濃縮時間は20℃で530秒、50℃では210秒であった。以上の結果から、時間と回収率を考慮し、ヘキサンの濃縮操作の条件としては、減圧度70mmHg、バス温度30℃が最も効率がよいと結論している。

溶媒回収装置の回収率については、バス温度と冷却水温度における溶媒の飽和蒸気圧

の差のみから理論回収率が求められている場合もあるが、実際には溶媒の飽和蒸気圧とポンプの排気量が相互に影響して回収率が変化すると考えられる。また、減圧度の調整によって回収率は向上するが、濃縮に要する時間が増えてしまうため、時間の効率の面から各研究室での取り組みは十分でない可能性もある。

3.3.2.2 クロマトグラフィでの分取時の揮発

(I) 方法

化学系の研究室で実際に用いられている中圧液体クロマトグラフィを用いて、クロロホルムを溶出溶媒とした分取操作を行ったのち、目的物質の精製等を想定して、ロータリーエバポレータによる濃縮操作を行い、溶媒の揮発量を求めた。

実験に用いた中圧液体クロマトグラフィ（ケムコ社）の概略図を図 3-3-3 に示す。クロロホルム 500mL を入れた 500mL 容の三角フラスコ内から、液送用ポンプで $1-2\text{kg/cm}^2$ に加圧してクロロホルムをカラムクロマトグラフィに流し、50mL 容の三角フラスコ 15 個に約 20mL ずつに分けて採取した。



図 3-3-3 中圧液体クロマトグラフィの概略図

500mL 三角フラスコの開口部は、外部からの異物の混入を防ぐため、アルミ箔で覆った。一方、分取したクロロホルムは、昼食等でしばらく放置されることを想定し、そのままの状態でも 2 時間放置した。その後、分取した順に 5 個ずつをまとめてナス型フラスコに移し、ロータリーエバポレータで濃縮を行った。この時のロータリーエバポレータは、先の装置 A（ポンプ a）を用いた。

分取操作前後の 500mL 容の三角フラスコの重量の減少分から、クロロホルムの「使用量」を求めた。また、一つのフラスコに分取が終わるごとに内容量を測定し、これら

を足し合わせたものを「分取量」とした。すべての分取操作が終わった時点での 15 本の 50mL フラスコの内容量の合計を「放置前」重量，2 時間放置後のものを「放置後」重量，ナス型フラスコに移し替えた直後の内容量の合計を「移替後」重量，さらにそれらの濃縮操作の際に回収装置で回収された総量を「回収量」とし，それぞれ測定した。

(II) 結果

図 3-3-4 に各測定値と，それぞれの段階での重量が使用量に占める割合を残存率とを示した。

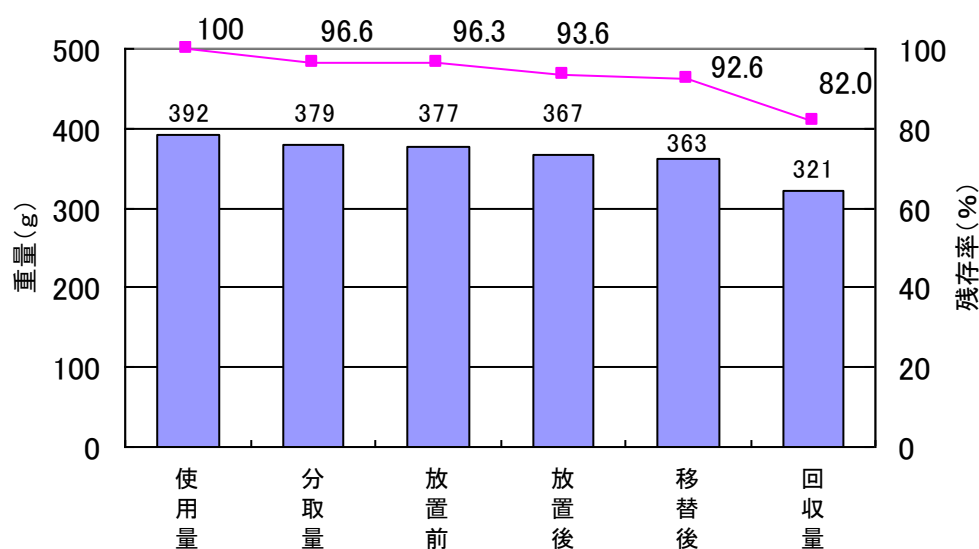


図 3-3-4 液体クロマトグラフィを用いた際の損失量

クロマトグラフィの装置自体からも 3%程度の損失があった。さらに放置時に 3%程度，移し替え時に 1%，濃縮操作で 10%程度の損失がみられ，最終的には使用量の 18%は回収されずに損失した形になった。未回収分に関しては，最終的には全量が大気中に排出されたと考えられる。

3.3.3 廃液ポリ容器からの揮発についての模擬実験

(I) 方法

実験で生じた有機廃液は全て所定の容器で廃棄されるが，ふたを開けて使用されてい

る場合などでは容器からの揮発量が多くなると考えられる。クロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、メタノール各 250mL をよく攪拌した後に一つの廃液ポリ容器に入れたものを 3 つ用意し、一つはふたを開けた状態で運転中のドラフト内に静置(ポリ容器 A)、一つはふたを開けた状態でドラフト外に静置(ポリ容器 B)、さらにもう一つはふたをした上でドラフト外に静置して(ポリ容器 C)、取り扱い方法による揮発量の違いを調べた。ポリ容器 A とポリ容器 B は 4 日間静置し、ポリ容器 C は 4 週間にわたって静置した。ポリ容器のふたはねじ式のものであるが、ポリ容器 C では完全に閉め切り、回転不能となった時点から半回転だけ戻して使用した。これは容器内で揮発した物質が原因での爆発等を避ける目的で、ふたは閉めすぎないように指導することを考慮したものである。

物質ごとの揮発量を調べるために、ポリ容器内の混合溶媒の分析を行った。すべての容器で実験開始前に 1mL ずつサンプリングを行って分析を実施し、ポリ容器 A については 1 日後、ポリ容器 B については 2 日後、ポリ容器 C に関しては 4 週後に 1mL ずつサンプリングを行って分析を実施した。分析条件は、KYS での可燃性有機廃液の分析を実施した時と同様であった。分析に基づく各物質の濃度と容器内の混合溶媒の重量とから、各物質の重量を求め、測定期間の前後での差を取ることで揮発量を求めた。

(II) 結果

混合溶媒の初期重量は 1,100g であったが、ポリ容器 A では 1 日で 16%、4 日間で 54% の減少がみられ、ポリ容器 B では 1 日で 6%、4 日間で 21% の重量の減少がみられた。ドラフト内では、溶媒の揮発量が増加する結果となった。また、ふたをしていたポリ容器 C では、重量の減少は 4 日間で 1.4%、4 週間で 7.2% であった。

各物質の揮発量と揮発率を表 3-3-1 に示した。ふたを開けてドラフト内に 1 日置いておくと、ジクロロメタンで 30%、クロロホルムで 14% 程度が揮発し、ドラフト外でふたを開放していた場合には 2 日間でジクロロメタンが 23%、クロロホルムが 8% 程度揮発する結果となった。また、ふたを閉めていた場合でも、4 週間でジクロロメタンが 15%、クロロホルムが 5% 程度揮発し、ふたをして廃液を保管している期間でも揮発が起きていることが考えられる結果となった。

廃液ポリ容器の取り扱い方法によって、廃液中の物質の揮発量は大きく変化し、特にジクロロメタンのように沸点の低い物質では、ふたをすることなくドラフト内に容器が設置されている場合にはかなり高い割合で揮発する。

表 3-3-1 各物質の揮発量と揮発率

		ポリ容器		
		A	B	C
ふたの状態		開	開	閉
ドラフト		内	外	外
測定		1日後	2日後	4週間後
揮発量(g)	クロロホルム	49.8	28.9	18.2
		14.2	8.2	5.2
	ジクロロメタン	101.9	75.6	51.3
		30.3	22.5	15.2
揮発率(%)	トルエン	2.4	4.3	1.9
		1.1	1.9	0.8
	メタノール	25.4	18.6	8.0
		13.7	10.3	4.3
温度(°C)		18	18	10

3.3.4 実験操作に伴う揮発量の推定

3.3.4.1 用途別揮発率の決定

クロロホルム、ジクロロメタンの学内の揮発には、その用途から考えて、エバポレータでの濃縮操作での揮発量が大きく寄与していると考えられる。また実験の結果、エバポレータでの揮発量は、研究室独自に溶媒回収装置（二次トラップ以降）をつけているかどうかで回収率が大きく異なった。そこで、実験室での揮発量については、溶媒回収装置を使用している場合とそうでない場合の2通りにわけて考え、実施した実験結果に基づき、それぞれの用途で考えられる揮発率（用途別揮発率）の最大値と最小値を決定した（表 3-3-2, 表 3-3-3）。

反応・抽出の揮発率は、反応や抽出過程での揮発はないものとし、後処理でのエバポレータを用いた濃縮時の揮発をもとに設定し、クロマトグラフィについては、中圧液体クロマトグラフィでの分取操作から濃縮に至るプロセスでの揮発率に基づいて算出した。また保存の揮発率については、ふたをつけた有機廃液ポリタンクで混合溶媒を4週間静置した際の各物質の揮発率から算出した。

クロロホルムやジクロロメタンの用途については、比率はわずかであるが合成の原料、洗浄、その他の用途もある。合成の原料については揮発率 0、洗浄やその他の操作に関しては、使用方法や操作内容によってかなりばらつきがあるものと考えられるが、揮発率は 100%とした。

表 3-3-2 クロロホルムの用途別揮発率

用途	用途別揮発率 (%)	設定根拠
反応・抽出	最大 18	装置Bでの回収率をもとに計算(二次トラップでのガス洗浄びんの回収率は、冷却管(水)の半分と仮定)。
	最小 9	装置Aポンプb使用での回収率から計算。
溶媒回収装置を使用している場合 クロマトグラフィ	最大 35	液体クロマトグラフィでの分取操作時の溶媒回収率から計算。ただし、放置時間を12時間とした。放置時の揮発量は2時間放置の際の6倍とした。濃縮時の揮発率は18%(上記条件)とした。
	最小 16	液体クロマトグラフィでの分取操作時の溶媒回収率から計算。濃縮時の揮発率は9%(上記条件)。
保存	5	廃液ポリ容器の4週間での揮発率。
反応・抽出	最大 25	装置Aポンプa使用時の一次トラップでの回収率をもとに計算。
	最小 13	装置Aポンプb使用時の一次トラップでの回収率から計算。
溶媒回収装置を使用していない場合 クロマトグラフィ	最大 41	液体クロマトグラフィでの分取操作時の溶媒回収率から計算。ただし、放置時間を12時間とし、濃縮時の揮発率を25%(上記条件)とした。
	最小 19	液体クロマトグラフィでの分取操作時の溶媒回収率から計算。ただし、濃縮時の揮発率を13%(上記条件)とした。
保存	5	廃液ポリ容器の4週間での揮発率。

表 3-3-3 ジクロロメタンの用途別揮発率

用途	用途別揮発率 (%)	設定根拠
反応・抽出	最大 90	装置Bでの回収率をもとに計算。
	最小 11	装置Aポンプa使用での回収率から計算。
溶媒回収装置を使用している場合 クロマトグラフィ	最大 94	液体クロマトグラフィでの分取操作において、装置からの損失と移し替え時の損失率はクロロホルムと同じとした。分取後の放置時間を12時間とし、その際の揮発量はクロロホルムとジクロロメタンの飽和蒸気圧の比をもとに推定。濃縮時の揮発率は90%(上記条件)とした。
	最小 21	同上。ただし、分取後の放置時間は2時間とし、濃縮時の揮発率は11%(上記条件)とした。
保存	15	廃液ポリ容器の4週間での揮発率。
反応・抽出	最大 100	装置Aポンプa使用時の一次トラップでの回収率をもとに計算。
	最小 58	装置Aポンプb使用時の一次トラップでの回収率から計算。
溶媒回収装置を使用していない場合 クロマトグラフィ	最大 100	液体クロマトグラフィでの分取操作において、濃縮時の揮発率が100%(上記条件)。
	最小 62	液体クロマトグラフィでの分取操作において、装置からの損失と移し替え時の損失率はクロロホルムと同じとした。分取後の2時間の放置の際の揮発量はクロロホルムとジクロロメタンの飽和蒸気圧の比をもとに推定。濃縮時の揮発率は58%(上記条件)とした。
保存	15	廃液ポリ容器の4週間での揮発率。

3.3.4.2 溶媒回収装置の有無と研究室での使用量

研究室への第2回調査票調査では、ロータリーエバポレータでの蒸留・濃縮時における回収装置の使用の有無について調査した。クロロホルムとジクロロメタン、それぞれの使用実績があった研究室のうち、回収装置を使用していると回答した研究室（以後、「回収装置使用研究室」とする）での使用量と、その使用量が全研究室での使用量（2001年度の「研究室回答使用量」）に占める割合を示したものが表 3-3-4 である。

表 3-3-4 回収装置使用研究室での使用量

	クロロホルム	ジクロロメタン
2001年度の研究室回答使用量(kg)	6,070	3,499
回収装置使用研究室での使用量(kg)	4,355	2,176
回収装置使用研究室での使用量の 研究室回答使用量に占める割合(%)	72	62

クロロホルムでは回収装置を使用している研究室での使用量は、研究室回答使用量の72%を占めた。一方、ジクロロメタンでは62%を占める結果となった。

3.3.4.3 実験時の揮発量の推定

表 3-3-4 の使用割合をもとに、2002 年度における回収装置使用研究室とそれ以外の研究室での使用量を業者納入量（2002 年度）から求めた。ついで図 3-2-2 に示す用途別の使用割合からそれぞれの研究室での用途別の使用量を求め、さらに表 3-3-2、表 3-3-3 に示す揮発率からそれぞれの研究室での実験時の揮発量を求めた（表 3-3-5、表 3-3-6）。

回収装置使用研究室とそれ以外の研究室での揮発量を合計すると、クロロホルムで大学の使用量の 17-32%、ジクロロメタンでは 37-95%が実験時に揮発していると推定された。

表 3-3-5 クロロホルムの実験時の揮発量

	用途	反応・抽出	合成の原料	クロマトグラフィー	洗浄	保存	その他	合計
回収装置使用研究室	使用量(kg)	3,280	8	4,011	61	23	228	7,611
	用途別揮発率(%)	9-18	0	16-35	100	5	100	—
	揮発量(kg)	296-590	0	642-1,404	61	1	228	1,227-2,285
上記以外の研究室	使用量(kg)	1,257	3	1,537	23	9	87	2,916
	用途別揮発率(%)	13-25	0	19-41	100	5	100	—
	揮発量(kg)	164-314	0	292-630	23	0	87	567-1,055
大学全体	使用量合計(kg)							10,527
	揮発量合計(kg)							1,794-3,340
	実験時揮発率(%)							17.0-31.7

※(実験時揮発率) = (揮発量合計) × 100 / 使用量合計

表 3-3-6 ジクロロメタンの実験時の揮発量

	用途	反応・抽出	合成の原料	クロマトグラフィー	洗浄	保存	その他	合計
回収装置使用研究室	使用量(kg)	1,619	4	1,979	30	11	113	3,756
	用途別揮発率(%)	11-90	0	21-94	100	15	100	—
	揮発量(kg)	178-1,457	0	416-1,860	30	2	113	738-3,462
上記以外の研究室	使用量(kg)	1,134	3	1,387	21	8	79	2,631
	用途別揮発率(%)	58-100	0	62-100	100	5	100	—
	揮発量(kg)	658-1,134	0	860-1,387	21	2	113	1,619-2,622
大学全体	使用量合計(kg)							6,387
	揮発量合計(kg)							2,357-6,084
	実験時揮発率(%)							36.9-95.3

※(実験時揮発率) = (揮発量合計) × 100 / 使用量合計

3.3.5 廃液ポリ容器からの揮発量の推定

まず廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの各物質の揮発率を決定し、取り扱い方法ごとの使用量をもとに、大学全体での廃液ポリ容器からの揮発量を求めた。

3.3.5.1 廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの揮発率

研究室への第2回調査票調査では、廃液ポリ容器のふたの扱いや設置場所についても

回答を求めており、ふたの使用の有無（常時開放しているか、廃液投入時のみに開放するか）、設置場所がドラフトの内か外かで4つのタイプにわけられた。廃液ポリ容器に廃液を投入している期間を「使用時」、廃液ポリ容器が一杯になった後、廃棄されるまでふたをして保管されている期間を「保管時」とし、廃液ポリ容器からの揮発実験での揮発率（表 3-3-1）をもとに、取り扱い方法ごとの各期間の揮発率を決定した（表 3-3-7）。タイプ1と2の使用時の揮発率は、廃液投入の際に1日に1時間はふたが開放されるとして算出した。

表 3-3-7 廃液ポリ容器からの揮発率（%）

		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4
取り扱い	ふたの状態	閉	閉	開	開
	ドラフト	外	内	外	内
	使用時	0.3	0.8	4.1	14.2
クロロホルム	保管時 2週間		2.6		
	4週間		5.2		
	使用時	1.0	1.8	11.3	30.4
ジクロロメタン	保管時 2週間		7.6		
	4週間		15.2		

<揮発率の決定方法>

○使用時

(タイプ1) = (ポリ容器Bの2日間の揮発率) / 2日 × 1時間 / 24時間
+ (ポリ容器Cの4週間の揮発率) × 23時間 / (24時間 × 28日)

(タイプ2) = (ポリ容器Aの揮発率) × 1時間 / 24時間
+ (ポリ容器Cの4週間の揮発率) × 23時間 / (24時間 × 28日)

(タイプ3) = (ポリ容器Bの2日間の揮発率) / 2日

(タイプ4) = (ポリ容器Aの揮発率)

○保管時

(2週間) = (ポリ容器Cの4週間の揮発率) / 2

(4週間) = (ポリ容器Cの4週間の揮発率)

3.3.5.2 廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの使用割合

研究室への第2回調査での回答をもとに、廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの使用量（2001年度）とそれが研究室回答使用量の合計に占める割合を求めた（表 3-3-8）。

表 3-3-8 廃液ポリ容器の取り扱い方法ごとの使用量

		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	合計
クロロホルム	タイプ別研究室回答使用量(kg)	3,085	602	970	1,412	6,070
	合計使用量に占める割合(%)	50.8	9.9	16.0	23.3	
ジクロロメタン	タイプ別研究室回答使用量(kg)	1,279	1,000	635	584	3,499
	合計使用量に占める割合(%)	36.6	28.6	18.2	16.7	

廃液ポリ容器をドラフト内に設置し、ふたを開放している研究室（タイプ 4）での使用量は、クロロホルムで 23%，ジクロロメタンでは 17%を占めた。

3.3.5.3 廃液ポリ容器からの揮発量の推定結果

廃液ポリ容器のタイプ別の使用割合（表 3-3-8）と、2002 年度の業者納入量に基づき、2002 年度の廃液ポリ容器の取り扱いタイプごとの使用量を推定した。さらに各使用量と表 3-3-5、表 3-3-6 で求めた実験時の揮発率とから、揮発しなかった分が廃液として投入されることとして取り扱いタイプごとの廃液量を算出し、表 3-3-7 に示す揮発率をもとに廃液ポリ容器からの揮発量を推定した。使用後の廃液ポリ容器が廃棄されるまでの保管期間を 2 週間から 4 週間とし、実験時の揮発量と廃液ポリ容器からの揮発量の合計が最大、最小となる場合を考える目的で、実験時の揮発率が最大のケースでは保管期間を 4 週間、実験時の揮発率が最小のケースでは保管期間が 2 週間として計算を行った。以上の結果を表 3-3-9、表 3-3-10 に示す。

実験時の揮発率が最大で廃液保管期間が 4 週間の場合は、クロロホルムで 584kg、ジクロロメタンで 66kg、実験時の揮発率が最小で廃液保管期間が 2 週間の場合はクロロホルムで 660kg、ジクロロメタンで 605kg の揮発量となった。ジクロロメタンで保管期間 4 週間の場合の揮発量が保管期間 2 週間に比べて少ないのは、実験時の揮発率を最大としており、使用量のほとんどが実験時に揮発した計算になるためである。

条件によっては、廃液ポリ容器からの揮発量が大学全体の使用量の 1 割近くになる計算となった。また保管期間を 4 週間とした場合には、保管期間での揮発量が廃液ポリ容器からの揮発量全体の 5 割から 6 割を占める結果となり、揮発防止の観点からも廃液の処理は早めに行われるべきであると考えられた。

表 3-3-9 廃液ポリ容器からの揮発量（クロロホルム）

	タイプ1		タイプ2		タイプ3		タイプ4		全体タイプ合計				
使用量(kg)	5,350		1,045		1,683		2,449		10,527				
実験時揮発率(%)	17.0	31.7	17.0	31.7	17.0	31.7	17.0	31.7	17.0	31.7			
廃液量(kg)	4,441	3,654	867	714	1,397	1,149	2,033	1,673	8,737	7,190			
使用期間	揮発率(%)		0.3		0.8		4.1		14.2				
	揮発量(kg) <A>		13	11	7	6	57	47	289	238	366	301	
廃液残量(kg)	4,427	3,643	860	708	1,340	1,102	1,744	1,435	8,371	6,889			
保管期間	保管日数		14	28	14	28	14	28	14	28	14	28	
	揮発率(%)		2.6	5.2	2.6	5.2	2.6	5.2	2.6	5.2			
		揮発量(kg) 		115	189	22	37	35	57	45	75	218	358
合計揮発量 (kg) <A+B>		128	200	29	43	92	104	334	312	584	660		

<計算方法>

- (廃液量) = (使用量) × (100 - 実験時揮発率) / 100
- (使用期間揮発量) = (廃液量) × (使用期間揮発率) / 100
- (廃液残量) = (廃液量) - (使用期間揮発量)
- (保管期間揮発量) = (廃液残量) × (保管期間揮発率) / 100
- (合計揮発量) = (使用期間揮発量) + (保管期間揮発量)
- (総揮発量) = Σ (各タイプでの合計揮発量)

表 3-3-10 廃液ポリ容器からの揮発量（ジクロロメタン）

	タイプ1		タイプ2		タイプ3		タイプ4		全体タイプ合計				
使用量(kg)	2,335		1,825		1,160		1,067		6,387				
実験時揮発率(%)	36.9	95.3	36.9	95.3	36.9	95.3	36.9	95.3	36.9	95.3			
廃液量(kg)	1,473	110	1,152	86	732	55	673	50	4,030	300			
使用期間	揮発率(%)		1.0		1.8		11.3		30.4				
	揮発量(kg) <A>		15	1	21	2	83	6	205	15	323	24	
廃液残量(kg)	1,459	109	1,131	84	649	48	469	35	3,707	276			
保管期間	保管日数		14	28	14	28	14	28	14	28	14	28	
	揮発率(%)		7.6	15.2	7.6	15.2	7.6	15.2	7.6	15.2			
		揮発量(kg) 		111	17	86	13	49	7	36	5	282	42
合計揮発量 (kg) <A+B>		126	18	107	14	132	14	240	21	605	66		

<計算方法>

- (廃液量) = (使用量) × (100 - 実験時揮発率) / 100
- (使用期間揮発量) = (廃液量) × (使用期間揮発率) / 100
- (廃液残量) = (廃液量) - (使用期間揮発量)
- (保管期間揮発量) = (廃液残量) × (保管期間揮発率) / 100
- (合計揮発量) = (使用期間揮発量) + (保管期間揮発量)
- (総揮発量) = Σ (各タイプでの合計揮発量)

3.3.6 使用実態から推定したクロロホルム，ジクロロメタンの大気中への排出量

実験時の揮発量と廃液ポリ容器からの揮発量を合計することで，各物質の実験室での揮発量を推定した。

実験時の揮発量が最大で，廃液ポリ容器の保管期間が4週間の場合の揮発量が実験室での揮発量の最大値となり，実験時の揮発量が最小で，廃液ポリ容器の保管期間が2週間の場合の揮発量が実験室での揮発量の最小値となる。そして，これらが使用実態から推定した，京都大学からの大気中への排出量の最大値，最小値となる（表 3-3-11）。

表 3-3-11 使用実態から推定した大気への排出量

		使用実態に基づく	物質収支に基づく
クロロホルム	大気への排出量(kg)	2,378-4,000	3,905-5,277
	大気排出率(%)	23-38%	37-50%
ジクロロメタン	大気への排出量(kg)	2,962-6,150	3,178-4,642
	大気排出率(%)	46-96%	50-73%

実験等での揮発率と学内での使用実態から推定した大気中への排出量は，物質収支に基づく結果とおおよそ一致し，両者の結果からクロロホルムでは使用量の3割から4割程度が，ジクロロメタンでは使用量の5割から7割程度が大気中へ排出されていると考えられた。クロロホルムについては使用実態に基づいて推定した大気への排出量が物質収支に基づく推定値よりもやや小さくなっているが，廃液ポリ容器の揮発実験などは室温の低い時期に測定したものであり，こうした影響により使用実態に基づく推定値がやや小さくなっている可能性もある。また，実験室での揮発率は1割から2割とする実験従事者との認識との不一致は，溶媒回収装置での未回収や廃液ポリ容器からの揮発など，十分に認識されていないプロセスからの揮発量によるものと考えられた。

使用実態に基づく推定結果とおおよそその一致がみられたことから，物質収支に基づいて求めた大気中への排出量は，大学の使用実態を反映したものであると考えられる。従って，大学のように様々な用途や装置で化学物質が用いられている研究機関においても，使用量，処理量，排水への移行量等を本章第2節で用いた手法で把握していけば，物質収支に基づき，大気中への排出量をほぼ正確に推定できると考えられた。

3.4 まとめ

大学は独立した研究室の集合体であり、化学物質の使用状況も個々の研究室で様々であるため、大学全体での購入量の正確な把握や使用実態の把握は容易ではない。本章では、なるべく複数の方法を用いつつ、購入量等の積み上げや処理量の把握を行い、大学からの大気中への排出量の推定を行った。

購入量については、研究室での記録が徹底されていると考えられる物質では研究室回答購入量と業者納入量とが一致した。また、研究室での購入記録は必ずしも綿密ではなく、大学での購入量としては業者納入量がより正確であると判断された。業者納入量は大学の購入量の把握に利用でき、コンピューターシステムでの研究室の購入記録の積み上げの際にも、得られたデータの正確さについて検討する材料になると考えられる。

研究室への調査の結果、クロロホルム、ジクロロメタン等の重点調査物質では購入量と使用量がほぼ一致していた。従って、重点調査物質等の有機溶剤系の化学物質では、購入量を把握することで使用量を把握できると考えられた。本研究では、業者納入量を大学での使用量として大気中への排出量の推定に利用した。

処理量や排水への移行量については、廃液や排水をガスクロマトグラフィやガスクロマトグラフ質量分析計で分析することで対象物質の濃度の測定ができ、廃液量、排水量とかけあわせることで把握が可能であった。クロロホルム、ジクロロメタンの処理量については処理施設の記録に基づき、廃液中の塩素量に着目した処理量の推定も実施し、分析値がやや過小評価である結果となったため、塩素量から考えられるそれぞれの物質の最大処理量についても検討した。

以上の方法を用いて物質収支に基づいて推定した大気中への排出量は、大学での使用実態から推定した実験室での揮発量とおおよそ一致し、大学での使用実態をほぼ正確に反映した推定結果であったと判断された。

実験室では、回収装置による溶媒の未回収や廃液ポリ容器からの揮発など、実験者が十分に認識していないプロセスでの揮発が、大気中への排出量に大きく寄与していることがわかった。この結果を踏まえ、2006年度に発行された京都大学環境報告書¹³⁾では、実験者に蒸留・濃縮時の溶媒回収装置の使用の徹底を呼びかけている。これはPRTR制度を念頭においた大気中への排出量の把握の結果もたらされたものであり、事業者の自主的な化学物質管理の改善の促進につながった例として、PRTR制度の効果を示すもの

である。

実験室での揮発としては、ドラフトから直接大気中へ排出されるものと、ドラフト外で揮発し、ドラフトや実験室の換気扇等の排風装置から大気へ排出されるものとが考えられる。しかし、特に古くから使われている実験室では、ドラフト等の設備は整っていない場合も多いと考えられ、ドラフトの利用は十分でない可能性がある。本研究でもドラフト外に設置された廃液ポリ容器が設置されている場合が確認されており、推定結果からはその揮発量がクロロホルムで年間最大 300kg、ジクロロメタンで年間最大 260kgとなる。また、2005 年度に京都大学環境保全センターが実施した研究室へのアンケート調査では、溶媒回収装置を使用していると回答のあった 41 研究室のうち 22 研究室で、溶媒回収装置からの排ガスが実験室内に排気されていた¹³⁾。本研究での蒸留・濃縮時の揮発量の検討結果もふまえれば、かなりの量の有機溶媒がドラフト外で揮発している可能性がある。従って、大気中への排出量が特に多かったクロロホルム、ジクロロメタンでは実験者のリスク評価が必要であると考えられた。

【第 3 章の参考文献】

- 1) 高月紘（研究代表者）：大学等研究機関における有害物質の管理システム，平成 10 年度科学研究費大学補助金研究成果報告書（1999）
- 2) 京都大学環境保全センター，京都大学施設部：京都大学における実験排水の管理（1992）
- 3) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート 2005 年度版（2005）
- 4) 野村直史，水谷聡，鈴木靖文，渡辺信久，高月紘：京都大学における化学薬品の物質収支の把握，環境衛生工学研究，Vol.18, No.1, pp.19-26（2004）
- 5) 真島敏行：京都大学有機廃液処理装置(KYS)について，環境保全，No.18, pp.91-98（2003）
- 6) 真島敏行：京都大学有機廃液処理装置(KYS)について，環境保全，No.16, pp.86-92（2001）
- 7) 本田由治，高月紘：有機溶剤に関連する水質規制，環境保全，No.10, pp.13-19（1995）
- 8) 高月紘，酒井伸一，水谷聡，真島敏行，本田由治：大学の研究活動と化学物質管理－PRTR 法の適用に向けて－，環境保全，No.15, pp.11-25（2000）
- 9) 原邦夫，熊谷信二，中明賢二：蒸気・ガス状化学物質の職業性曝露を推定する数理モデルの応用－曝露アセスメント・健康リスクマネジメントのために－，労働科学，Vol.77, No.11, pp.439-461（2001）

- 10) Mayo, D.W., Pike, M.R. and Bucher, S.S., eds : *Microscale Organic Laboratory*. John Wiley & Sons, p.9 (1986)
- 11) 原田俊郎 : 塩化メチレンなどの有機塩素化合物の排出問題とその対策, 京都工芸繊維大学環境科学センター報「環境」, Vol.1.7, pp.20-23 (1995)
- 12) 伊藤詣二, 東田卓, 関戸利将, 藤原徳一, 難波邦彦 : 有機溶媒の回収と有効利用, 大阪府高専研究紀要, Vol.39, pp.51-56 (2005)
- 13) 京都大学環境・安全・衛生委員会, 京都大学環境報告書ワーキンググループ : 京都大学環境報告書 2006 詳細版 (<http://www.kyoto-u.ac.jp/kankyo/reports.html>) (2006)

第4章 PRTR データを利用した実験室環境評価手法の開発 —学生の健康リスク評価を念頭に—

4.1 はじめに

2004年度から国立大学が独立行政法人化されたことに伴い、各大学の実験室で作業環境測定が行われ始めている。しかし、こうした作業環境測定には多額の費用がかかるのは確かであり、作業環境測定を続けていくにあたっての大学内での体制作りや人員の確保などは大きな課題である。

また一方で、大学実験室で作業している学生は法律上の労働者にはあらず、学生をどのような立場として考えるかは実験室環境を適正に管理していく上で非常に重要で、議論の余地の残る問題となっている。学生と労働者とでは、実験作業によって賃金を得ているか否かという違いがあり、実験作業によって何らかの健康障害が生じたと考えられる場合にも、労務管理として配置転換を行うなどの対策は講じにくい。また、大学実験室の中には、実験室内に論文の作成や文献の整理などを行うデスクが配置されているケースもあり、こうした実験室内の化学物質濃度の管理にあたっては、居住環境や一般環境に近い視点も必要になると考えられる。

さらに近年、化学物質過敏症やシックハウス・シックスクール症候群が社会問題化しており、低濃度での化学物質曝露に対する配慮も必要とされるようになってきている。実際に、解剖実習中のホルムアルデヒド曝露が学生の既存のアレルギー症状を増悪させる可能性¹⁾や、化学物質過敏症を発症した大学教授の女性が、同じ階の実験室でエチルエーテルやアセトンを使った実験が行われるようになって、症状が深刻化した例などが報告されている²⁾。

一方で、PRTR制度の導入から5年程度が経過し、薬品管理コンピューターによる研究室ごとの化学薬品購入量の把握や、実験廃液の分析方法の確立など、PRTRデータの報告体制は各大学で整いつつあるものと考えられ、研究室ごとの使用量や実験廃液として廃棄される有機溶媒の量などの情報については把握しやすくなってきている。PRTRは環境リスクの低減、また事業所周辺等とのリスクコミュニケーションを念頭においた制度であるが、大学で報告体制が整いつつあるPRTRデータを実験室環境の管理にも活用していくことができれば、非常に有効な手法になることが期待される。

本章では、まず PRTR データから実験室内での揮発率が高いことが推定されたクロロホルム、ジクロロメタンの 2 物質の使用量の多い研究室の協力を得て、実験室内の作業環境測定を実施した。次いで、測定を実施した研究室の化学物質使用量と揮発率から推定した揮発量とドラフトや換気扇の排風量とから、モデルを用いて実験室内濃度を求め、実測値とモデル値の比較を行った。さらに、京都大学内の各研究室の使用量に基づき、学内の他の実験室の平均濃度の分布を推定した。

また、研究室で実験に従事する学生の健康リスク評価や実験室環境の改善を念頭に、クロロホルムとジクロロメタンの低濃度での影響を考慮した管理基準と実験室環境の管理状況を評価する式とを考案した。最後に、モデルによる実験室平均濃度から所属学生の年間平均曝露濃度を求め、考案した評価基準をもとに実験室環境の評価を行った。

4.2 大学実験室の作業環境測定とモデルを用いた実験室平均濃度の推定

4.2.1 使用量の多い研究室での作業環境測定

4.2.1.1 測定対象実験室と測定方法

京都大学においてクロロホルムとジクロロメタンの使用量の多い 3 研究室の協力を得て、実験室内での作業環境測定を実施した。実験室 X, Y はそれぞれ研究室 X, Y が使用している新キャンパス内の実験室であり、ドラフトも多く、学内では最も設備の整った実験室に分類される。一方、研究室 Z が使用している実験室 Z-1, Z-2 は旧キャンパス内の実験室であり、学内にある比較的古い実験室の典型例である。研究室 Z は他にも 2 つの実験室を所有していたが、クロロホルムとジクロロメタンは主に Z-1, Z-2 を含む 3 実験室で使用されていた。

各実験室のクロロホルム、ジクロロメタンの使用量、ドラフト数等について、表 4-2-1 に示す。

実験室 X 内にはブースで仕切られたデスクスペースがあり、実験室 Y 内には扉つきの扉で仕切られたデスクスペースがあった。実験室 Z-1, Z-2 内には研究用のデスクが仕切り等を設けることなく設置されていた。

表 4-2-1 各研究室の化学物質の使用量とドラフト等の設置状況

実験室		X	Y	Z	
				1	2
クロロホルム	使用量 (kg/年)	355	233	181	
	<順位* >	<8>	<10>	<16>	
ジクロロメタン	使用量 (kg/年)	343	114	197	
	<順位* >	<4>	<11>	<6>	
床面積 (m ²)		198	168	56	56
ドラフト数		21	25	1	1
換気扇数		0	0	2	2

※京都大学内での使用量の順位

作業環境測定は、厚生労働省の定める作業環境測定基準に則って実施し、実験室 Z の作業環境測定については同年に大学業務として行われた作業環境測定とあわせて実施した。サンプリングは直接捕集法であり、フレックスポンプ（近江オドエアーサービス社製 DC1-NA 型）を用いて、1 測定点につき 10 分間で 2L の空気試料を採取した。得られた試料のうち、1mL をガスクロマトグラフィ(ヒューレッドパッカー社製 HP5890)で分析を実施した。分析条件を表 4-2-2 に示す。

表 4-2-2 ガスクロマトグラフィの分析条件

装置	HP5890 (ヒューレッドパッカー社製)
カラム	DB-624 (J&W) 0.542mm × 30m × 3.0mm
カラム温度	40°C (4分) → 15°C/分 → 85°C (4分) → 15°C/分 → 200°C (2分)
試料注入	スプリット
キャリアガス	窒素 (30mL/分)
検出器	FID

4.2.1.2 作業環境測定結果

作業環境測定結果を表 4-2-3 に示す。

表 4-2-3 作業環境測定結果

研究室	X		Y		Z				
					1		2		
測定物質	クロロホルム		ジクロロメタン		クロロホルム		ジクロロメタン		
管理濃度 (ppm)	10	100	10	100	10	100	10	100	
A測定 (ppm)	A1	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	0.1	2.0
	A2	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	0.1	1.0
	A3	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	0.1	1.0
	A4	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	0.1	1.3
	A5	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	1.7	1.0
	A6	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-
B測定 (ppm)	B1	4	2	<1	<1	0.1	1.0	24.3	1.0
	B2	<1	<1	<1	<1	0.1	1.0	9.6	1.0
	B3							0.1	2.3
第1評価値	3.00	3.00	3.00	3.00	0.30	3.00	1.86	4.04	
第2評価値	1.25	1.25	1.25	1.25	0.12	1.25	0.49	1.58	
管理区分	I		I		I		III		
測定日	2003年12月				2004年9月				

注)X,Yの測定での定量下限値は1ppm。Zではクロロホルムが0.1ppm, ジクロロメタンは1ppmであった。

A 測定では、Z-2 を除くすべての実験室の測定点で、定量下限値かそれよりも低い濃度であった。一方、B 測定では一部にやや高い濃度になったものも見受けられた。X の B1, Z-2 の B2 は液体クロマトグラフィーの近傍での測定で、どちらの装置も廃液回収容器の密栓状態が不十分であった。また、Z-2 の B1 はロートをさした状態で室内に置かれている廃液ポリ容器のすぐ近くの測定点であり、容器からの揮発が高濃度の一因となったことが推察された。Z-2 では、この B1 でのクロロホルム濃度が管理濃度 (10ppm) の 1.5 倍を超えていたため、第 3 管理区分と評価されたが、その他の実験室はすべて第 1 管理区分となり、作業環境は適切に管理されていると評価された。

4.2.2 モデル計算による測定対象実験室内の平均濃度の推定

4.2.2.1 モデル式と推定方法

作業環境測定を実施した研究室 X, Y, Z の各研究室について、年間使用量をもとに一時間あたりの使用量を概算し、図 4-2-1 に示す定常状態での完全混合モデル式を用い

て、実験室内の平均濃度を推定した。

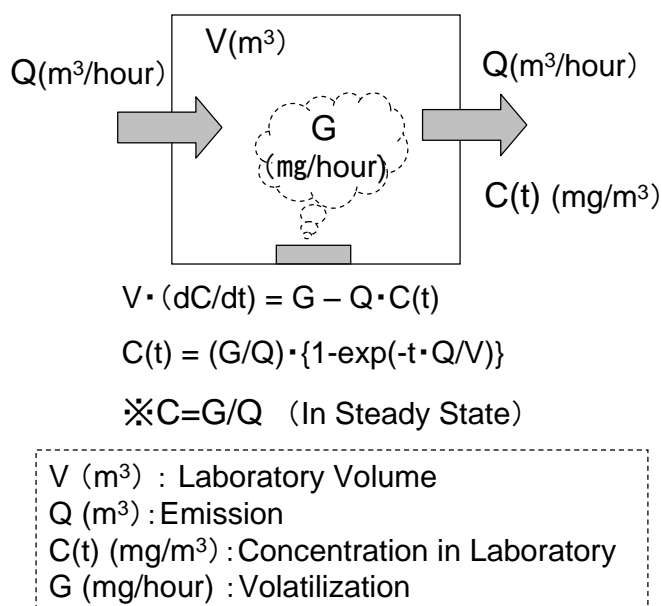


図 4-2-1 完全混合モデル式

図に示すモデル式で実験室内濃度を推定するためには、単位時間あたりの揮発量と排风量（換気量）が必要である。

単位時間あたりの揮発量は、単位時間あたりの使用量に揮発率を乗じることで求めた。揮発率としては、PRTR データから得られる大気排出率（大気中への排出量/使用量）を用いることとした。第 3 章での検討から京都大学では、クロロホルムで 3 割から 4 割、ジクロロメタンで 5 割から 7 割程度の揮発率が考えられるが、両物質の飽和蒸気圧の違いも考慮して、クロロホルムの揮発率は 30%、ジクロロメタンの揮発率は 70% と仮定した。また、揮発としてはドラフト内で起こるものもあると考えられるが、実験室での揮発は全てドラフト外で生じると仮定した。この仮定は生じうる最も高い平均濃度を計算するための条件でもあり、得られた結果を実験室環境でのリスク評価に用いていく際には、安全側の評価のための仮定とみなすことができる。

また、年間使用量から単位時間あたりの使用量を求めるためには、年間実験時間が必要である。実験時間については、研究室 Z の学生 13 名にアンケート調査を実施した。

排风量については使用されている機種のカatalog値、実測等によって求めた。

以上をまとめると、実験室平均濃度を求める式は次式のようなになる。

$$\begin{aligned} \text{実験室平均濃度}(mg/m^3) &= \frac{\text{揮発量}(mg/hour)}{\text{排風量}(m^3/hour)} \\ &= \frac{\{\text{年間使用量}(mg)/\text{年間実験時間}(hour)\} \times \text{大気排出率}(\%)}{\text{排風量}(m^3/hour) \times 100} \quad (\text{式 4-1}) \end{aligned}$$

4.2.2.2 結果

(I) アンケート結果と年間実験時間

研究室 Z に所属する学生 13 名に、1 週間の平均実験時間及び平均実験室滞在時間を尋ねたところ、実験時間は平均で週 35 時間、論文やデータ整理等も含め実験室に滞在する時間は平均で週 55 時間であった（表 4-2-4）。

表 4-2-4 学生の実験室滞在時間と実験時間

	最大	最小	平均
滞在時間(時間/週)	75	10	55
実験時間(時間/週)	60	7	35

週に 5 日間、実験が行われているとすると、平均的に 1 日 7 時間程度は実験が行われていると考えられた。

年間の実験日数については、年間授業日数である 150 日から、土日や年末年始の休日を除いた 250 日程度であると推察されるが、今回の推定にあたっては、その平均である 200 日とし、アンケートの結果とあわせて、年間の実験時間は 1,400 時間と仮定した。

(II) ドラフト、換気扇の排風量

研究室 X, Y で使用されていたドラフトは排風量が 400-1,200m³/時のものであり、研究室 Z で使用されていたドラフトと換気扇の排風量は、測定時の実測データから、それぞれ 1,000-1,500m³/時、500-700m³/時であった。

(Ⅲ) モデルを用いた実験室内の平均濃度の推定

クロロホルムの揮発率 30%，ジクロロメタンの揮発率 70%，年間実験時間が 1,400 時間との仮定の下で，式 4-1 から実験室内の平均濃度を求めた（表 4-2-5）。なお，研究室 Z は全部で 4 つの実験室を保有しており，クロロホルムとジクロロメタンの使用実績があるのは実験室 Z-1，Z-2 を含む 3 実験室であった。従って，実験室 Z-1，Z-2 での年間使用量については，研究室 Z の年間使用量の 3 分の 1 として計算した。研究室 X，Y については，それぞれ 1 実験室のみの使用であったので，研究室での使用量をそのまま各実験室での使用量として計算している。

表 4-2-5 モデルを用いた実験室平均濃度の推定

研究室	X	Y	Z-1	Z-2	
使用量(kg/年) クロロホルム	355	233	60.3	60.3	
ジクロロメタン	343	114	65.7	65.7	
ドラフト数	21	25	1	1	
ドラフト排風量(m ³ /hour)	400-1,200	400-1,200	1,000-1,500	1,000-1,500	
換気扇数	0	0	2	2	
換気扇排風量(m ³ /hour)	—	—	500-700	500-700	
総排風量(m ³ /hour)	8,400-25,200	10,000-30,000	2,000-2,900	2,000-2,900	
クロロホルム	使用量(g/hour)	254	166	43	43
	揮発量(g/hour)	76.1	49.9	12.9	12.9
＜モデル値＞					
	濃度 (mg/m ³)	3.0-9.1	1.7-5.0	4.5-6.5	4.5-6.5
	濃度 (ppm)	0.6-1.8	0.3-1.0	0.93-1.3	0.93-1.3
＜実測値＞					
	第2評価値(ppm)	1.25	1.25	0.12	0.49
ジクロロメタン	使用量(g/hour)	245	81	47	47
	揮発量(g/hour)	172	57	33	33
＜モデル値＞					
	濃度 (mg/m ³)	6.8-20.4	1.9-5.7	11.3-16.4	11.3-16.4
	濃度 (ppm)	1.4-4.2	0.4-1.2	2.3-3.3	2.3-3.3
＜実測値＞					
	第2評価値(ppm)	1.25	1.25	1.25	1.58
(モデル値濃度/第2評価値)の平均				1.9-3.1	
(モデル値濃度/第2評価値)の平均 (Z-1でのクロロホルム濃度除く)				1.1-2.0	

実験室 X と Y におけるクロロホルム濃度と実験室 Y におけるジクロロメタン濃度のモデル値は、これらの実験室での実測（作業環境測定）の定量下限値であった 1ppm 程度以下であり、A 測定の結果がいずれの測定点においても 1 ppm 未満であったこととよく一致していると考えられた。

作業環境測定における平均濃度である第 2 評価値とモデル値を比較すると、Z-1 でのクロロホルム濃度ではモデル値が 7.8 倍から 10.8 倍とかなりの過大評価となっていたが、その他のものについては、モデル値は第 2 評価値の 3 倍以下、低濃度側の推定結果だけで比較すると 2 倍以下の値となっており、おおよその一致が確認された。従って、モデル計算によって得た実験室平均濃度は、実験室のスクリーニング的なリスク評価等に利用していくことが可能であると考えられた。

一般に作業環境測定では、管理濃度の 10 分の 1 を精度良く測れる程度の測定が求められる（作業環境測定基準第 10 条第 2 項，作業環境評価基準第 2 条第 2 項）。クロロホルムの管理濃度は 10ppm，ジクロロメタンの管理濃度は 50ppm(2004 年度以前は 100ppm) であり、それぞれ 1ppm，5ppm が現在の作業環境測定で最低限要求される定量下限値である。モデルによって推定した実験室の平均濃度はおおよそこの定量下限値付近の濃度であり、実験室レベルの使用量では、かなりの割合で揮発がおこっている場合でも、ドラフトや換気扇等の排風装置による換気の影響で、室内の平均濃度は作業環境測定の定量下限値程度になる結果となった。逆に、作業環境測定で問題とならない濃度であっても、年間の揮発量が使用量の 3 割，7 割に達する結果となった。

4.3 学内の全研究室の実験室平均濃度の推定

4.3.1 推定方法

本章第 2 節と同じ条件でモデル計算を行い、学内でクロロホルム，ジクロロメタンの使用実績があった実験室の平均濃度を推定した。

4.3.1.1 研究室ごとの使用量の把握

2003 年 6 月に実施した研究室に対する調査票調査（第 3 章第 2 節参照）の結果からクロロホルム，ジクロロメタンの使用量の分布を求めた。

4.3.1.2 研究室ごとの排風量

一つの研究室が所有している実験室の数は一つとは限らず、一つの研究室で複数の実験室を所有している場合もある。完全混合モデルを用いて実験室内濃度を推定するためには、本来であれば、各研究室の所有実験室数を把握し、各実験室での排気装置の数を確認する必要がある。しかしながら、薬品の使用実績のある研究室だけでも 200 以上あり、各研究室の実験室所有数を把握し、さらにその実験室一つ一つの排風量について把握することが困難であったため、以下の方法によって各研究室が所有する実験室の排風装置の総数を仮定した。

研究室で使用する化学物質の総量は、その研究室の規模を反映すると考え、2003 年 6 月の研究室への調査票調査で把握した 7 物質の合計使用量に応じ、表 4-3-1 のように研究室ごとのドラフト数や換気扇数を決定した。新キャンパスにある実験室はドラフト数が多く、換気扇を持たない構造のものが多くことから研究室 X や Y を参考にドラフト数のみを変化させ、旧キャンパスでは実験室 Z-1, Z-2 のような実験室が一つの典型例であることから、これらの実験室の排風設備（ドラフト 1 台、換気扇 2 台）を基本単位として増減させた。

表 4-3-1 ドラフトと換気扇数

合計年間使用量	新キャンパス		旧キャンパス	
	ドラフト数	ドラフト数	換気扇数	
1,500kg以上	40	7	14	
1,250kg以上	30	6	12	
1,000kg以上	30	5	10	
750kg以上	20	4	8	
500kg以上	20	3	6	
250kg以上	10	2	4	
250kg未満	10	1	2	

最大濃度を求める目的で、ドラフトと換気扇の 1 台あたりの排風量は本章第 2 節第 2 項で示した最小値（ドラフト：400m³/時間、換気扇：500m³/時間）を用いた。

4.3.1.3 実験時間と揮発率

年間の実験時間は前節と同じく 1,400 時間として、年間使用量から単位時間あたりの使用量を求めた。

また前節と同様に、PRTR データからクロロホルムの揮発率を 30%、ジクロロメタンの揮発率を 70%とした。ドラフト数が少ない実験室や、ドラフト内に実験装置が設置されているために、ドラフト内で十分な作業スペースを確保できない実験室もあることや、溶媒回収装置の排ガスをドラフト経由で放出していない実験室も多いこと³⁾、ふたをしない廃液ポリ容器が実験室内に設置されているケースがあることなどを考慮し、さらに実験室平均濃度の最高値を計算する目的から、揮発はすべてドラフト外でおきると仮定した。

4.3.2 使用量の把握結果と濃度の推定結果

4.3.2.1 研究室ごとの使用量の分布

第2回の研究室への調査票調査の結果では、クロロホルムの使用実績があったのは 209 研究室、ジクロロメタンは 74 研究室であった。研究室ごとの使用量の分布図を図 4-3-1、図 4-3-2 に示す。

使用実績のある研究室のうち、年間使用量が 10kg 以下のものはクロロホルムで 147 研究室 (70%)、ジクロロメタンで 37 研究室 (50%) を占め、ごく少量の使用である研究室が多いことがわかった。一方、最も使用量の多い研究室はクロロホルムで年間 1,400kg、ジクロロメタンで年間 1,500kg 使用しており、上位 10 研究室での使用量の合計が大学全体の使用量に占める割合はクロロホルムで 60%、ジクロロメタンで 76%となった。使用量の多い上位 10-20 研究室での化学物質管理状況が、大学全体の排出量等に大きな影響を及ぼすと考えられ、これらの研究室での化学物質管理は大学としても重要な課題である⁴⁾。

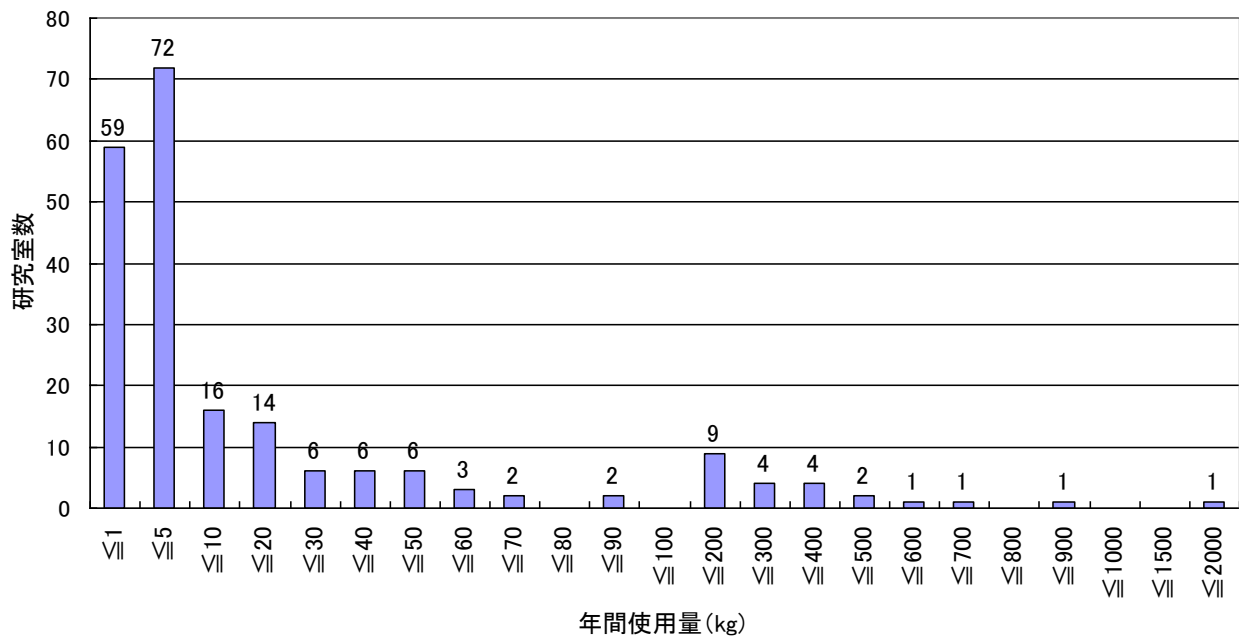


図 4-3-1 クロロホルムの年間使用量の分布

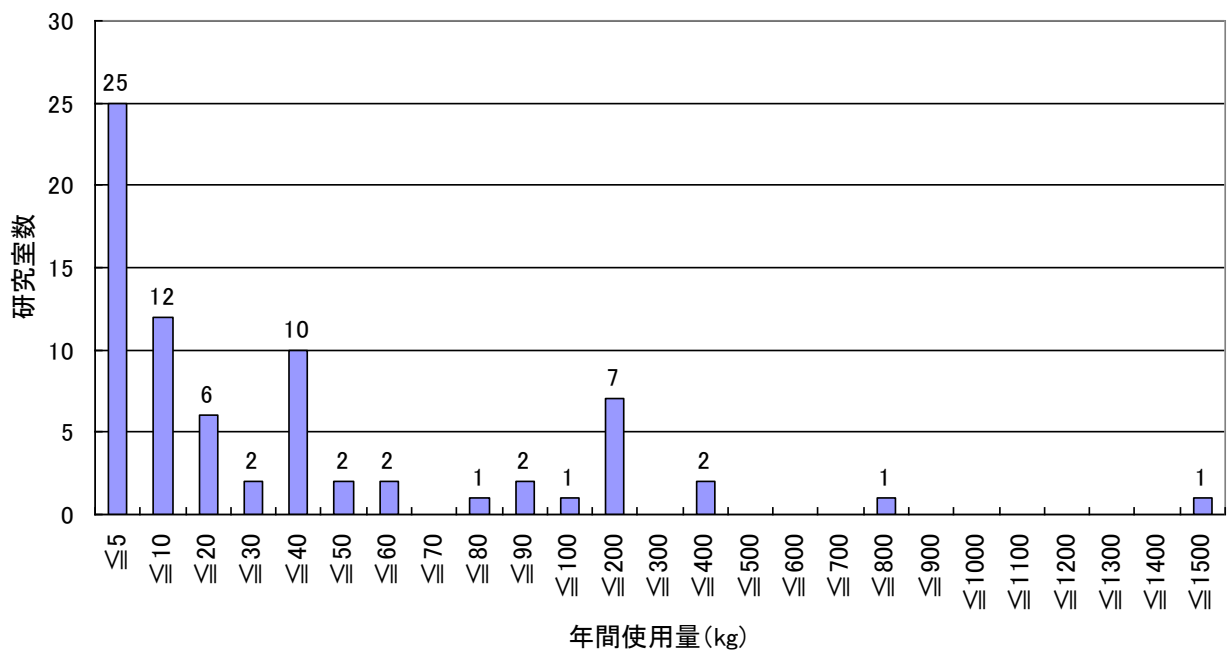


図 4-3-2 ジクロロメタンの年間使用量の分布

4.3.2.2 研究室ごとの実験室平均濃度の推定

式 4-1 を用いて、表 4-3-1 のように排風装置の数を仮定することで求めた、研究室ごとの実験室平均濃度を図 4-3-3、図 4-3-4 に示す。

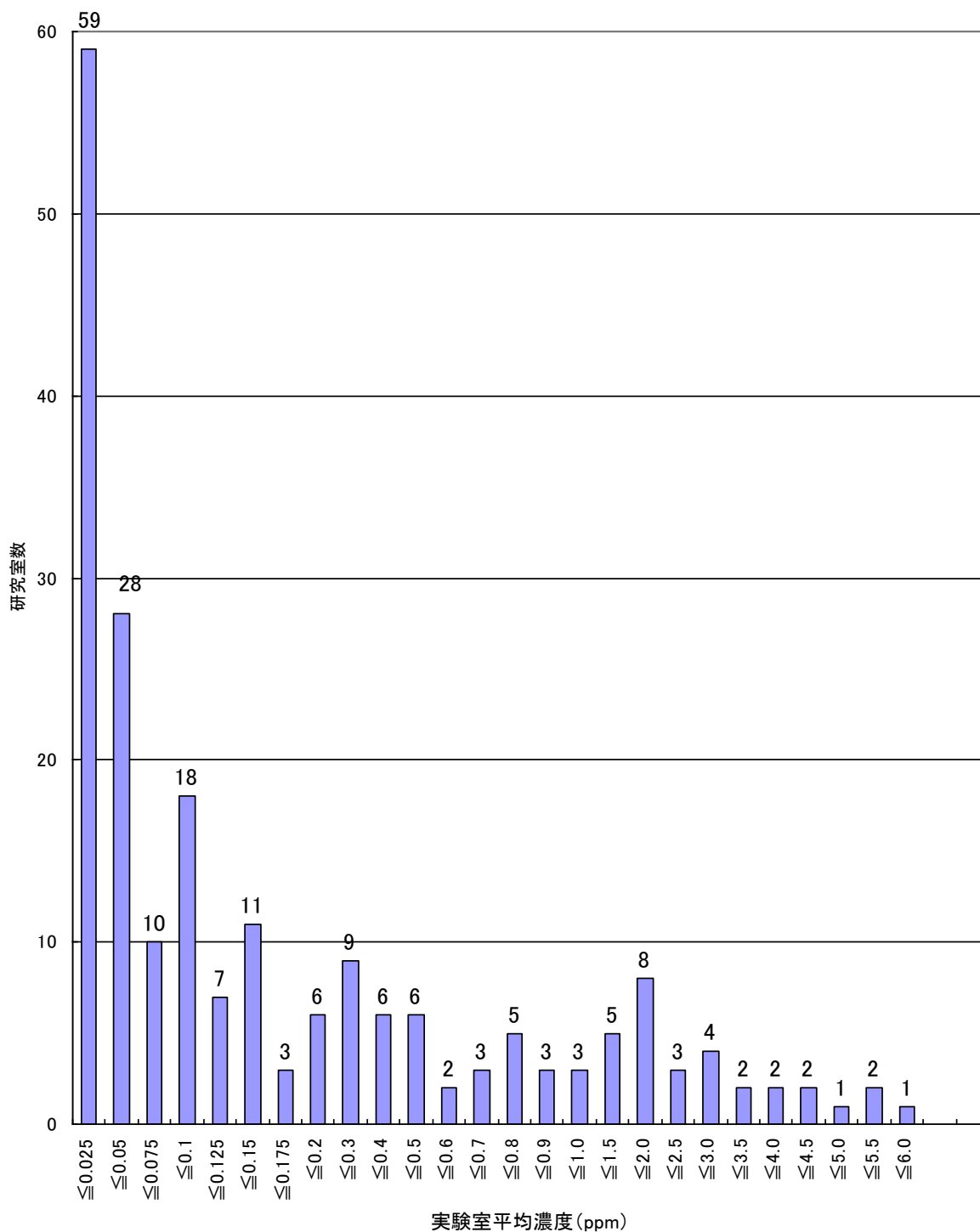


図 4-3-3 クロロホルムの実験室平均濃度

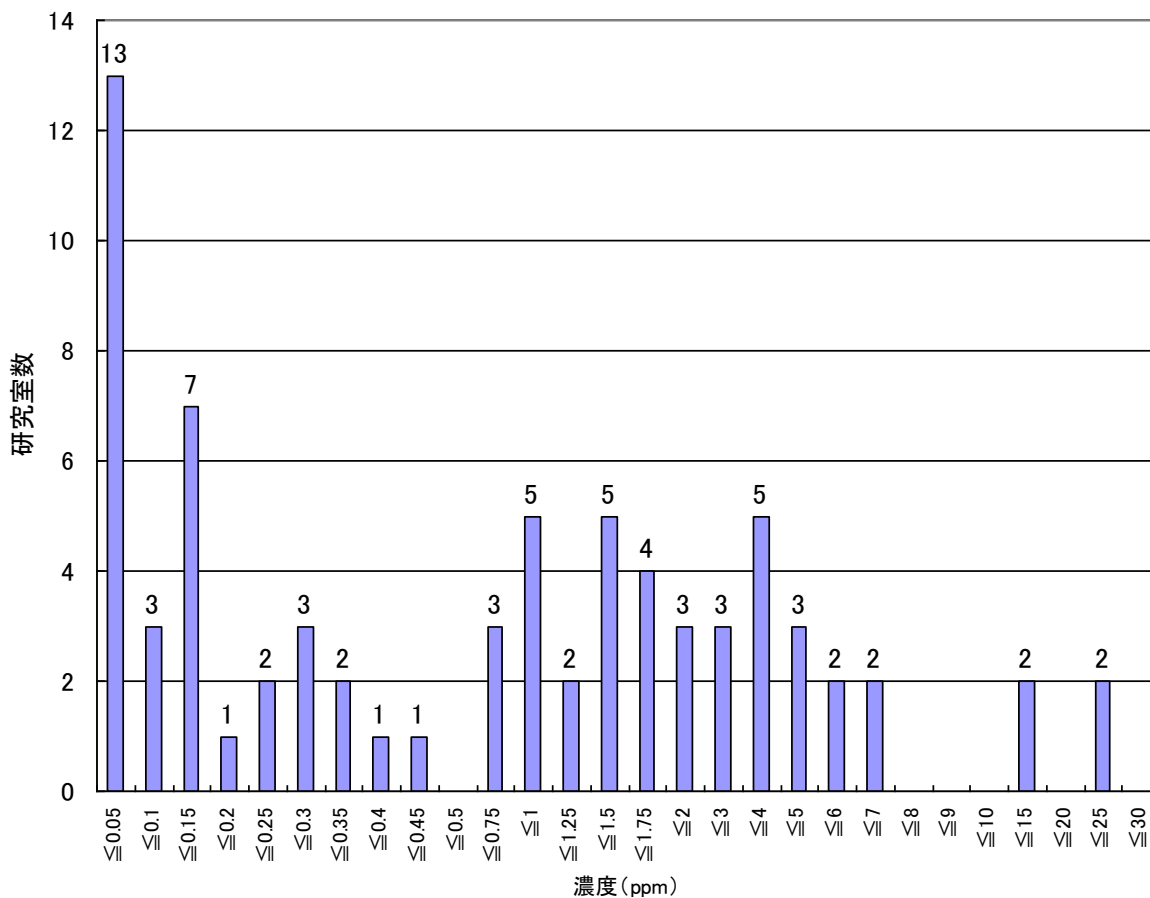


図 4-3-4 ジクロロメタンの実験室平均濃度

所有する実験室の平均濃度が、管理濃度の10分の1以下であると推定された研究室は、クロロホルムでは179研究室(86%)、ジクロロメタンでは66研究室(89%)であった。大学実験室では、これらの物質の平均濃度がかなり低濃度側に分布していることが推察された。従って、作業環境測定では大学実験室の管理状況を十分に区分できない可能性が考えられた。平均濃度で考えた場合、実験作業に従事する多くの学生は、作業環境測定で想定されるよりも低濃度での曝露を受けており、実験室環境の評価や実験室内でのリスク評価をする際には、こうした低濃度での曝露に配慮すべきであると考えられた。

また、作業環境中の有害物質濃度は低濃度側に偏った分布を示し、対数正規分布に近いと考えられており⁵⁾、実験室平均濃度も低濃度側に分布した対数正規分布に近いものとなるはずである。モデルを用いて推定した実験室平均濃度も低濃度側に偏った分布を

示しており、そうした傾向と一致していると考えられる。

4.3.3 作業環境測定結果に基づく実験室平均濃度の分布範囲の検討

京都大学では学内で有機溶媒等の化学物質を使用する実験室を対象に、2004年度から年2回、作業環境測定が実施されている。測定が実施された実験室数は2004年度には783、2005年度には788であった。測定の前に実験室へのヒアリングを行い、その実験室で使用量が多いと推定される物質を測定対象とし、測定は作業環境測定基準に基づいて行われた。定量下限値は物質によって様々であったが、おおよそ0.1-1ppmであった。

作業環境測定の結果、ほとんどすべての実験室が第1管理区分であり、作業環境管理の状況は適切であると判断された。ただし、2004年度には第3管理区分と判断された実験室が3箇所（総数の0.4%）存在し、第2管理区分と判断された実験室も4箇所（0.5%）存在した。2005年度は第3管理区分と判断された実験室はなかったが、第2管理区分と判断された実験室が5箇所（0.6%）あった。原因となった物質ではクロロホルムが最も多く5件、次いでジクロロメタンとメタノールが2件ずつ、ノルマルヘキサンとベンゼンが1件ずつであった。また、個々の物質での評価では第1管理区分であったが、混合濃度の評価法（式2-4）にもとづき、第2管理区分となった実験室もあった。

表4-3-2、表4-3-3に2004-2005年度の測定で、第2、第3管理区分と判断された実験室におけるクロロホルム、ジクロロメタンの濃度を示す。

新キャンパスにあるドラフト数の多い実験室でも第2、第3管理区分となったものがみられた。特にドラフト外でクロロホルムが取り扱われていた実験室Cのケースでは、かなり高濃度のクロロホルムが検出され、不注意な実験操作による短期的な濃度上昇が起こったものと考えられる。

表4-3-2には、これまでの作業環境測定でクロロホルムが原因で第2、第3管理区分であると判断された全ての場合が含まれており、実測上のクロロホルムの最高濃度についての判断ができるものであると考えられる。従って、実験室Cにおける第2評価値（54ppm）が、クロロホルムの実験室平均濃度の実測上の最高値である。実験室内の平均濃度と考えられる第2評価値では、次に高いものが実験室Bの6.0ppm、ついで実験室Aの5.3ppm、実験室Hの4.4ppmであった。実験室Cでの測定値を、不注意な使用による特異的な高濃度値と考えれば、クロロホルムの実験室平均濃度は6ppm以内の範囲に分布していると考えられ、モデルに基づいて推定した平均濃度の分布範囲と一致した。

表 4-3-2 第 2, 第 3 管理区分と判断された実験室でのクロロホルム濃度

実験室		実験室Z-2	実験室A	実験室B	実験室C	実験室D	実験室E	実験室F	実験室G	実験室H
キャンパス		旧	旧	旧	新	旧	新	新	旧	旧
測定年度		2004	2004	2004	2004	2004	2004	2005	2005	2005
A測定 (ppm)	A1	0.1	0.1	1.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	A2	0.1	1.6	0.9	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	A3	0.1	3.1	6.1	9.9	0.1	0.1	0.1	0.1	3.4
	A4	0.1	1.9	4.0	69.2	0.1	0.1	1.9	0.1	3.4
	A5	1.7	4.7	8.5	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1	2.8
	A6						0.1	1.9	0.1	3.4
	A7									1.7
	A8									1.1
B測定 (ppm)	B1	24.3	4.9	6.1	4.7	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
	B2	9.6			0.2		0.1			
	B3	0.1								
	第1評価値	1.86	20.47	20.88	161.39	0.30	0.30	4.10	0.30	17.04
	第2評価値	0.49	5.29	6.04	54.34	0.12	0.12	1.06	0.12	4.40
	B測定値	24.3	4.9	6.1	4.7	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
管理区分 (クロロホルム のみで評価)	A測定	1	2	2	3	1	1	1	1	2
	B測定	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	総合	3	2	2	3	1	1	1	1	2
判定の主な原因物質		クロロホルム	クロロホルム	クロロホルム	クロロホルム	メタノール	メタノール	混合	ヘキサン	クロロホルム

表 4-3-3 第 2, 第 3 管理区分と判断された実験室でのジクロロメタン濃度

実験室		実験室J	実験室Z-2	実験室C	実験室E	実験室F	実験室J
キャンパス		旧	旧	新	新	新	旧
測定年度		2004	2004	2004	2004	2005	2005
A測定 (ppm)	A1	74.9	2.0	1.0	1.0	1.0	51.5
	A2	54.2	1.0	1.0	1.0	1.0	43.3
	A3	30.0	1.0	1.0	1.0	1.0	8.6
	A4	7.8	1.3	1.0	1.0	1.0	10.9
	A5	8.2	1.0	1.0	1.0	1.0	10.1
	A6				1.0	1.0	
	A7						
	A8						
B測定 (ppm)		73.4	1.0	1.0	1.0	1.0	4.7
			1.0	1.0	1.0		
			2.3				
	第1評価値	185.44	4.04	3.00	3.00	3.00	111.26
	第2評価値	51.90	1.58	1.25	1.25	1.25	33.47
	B測定値	73.4	2.3	1	1	1	4.7
管理区域 (ジクロロメタン のみで評 価)	A測定	2	1	1	1	1	2
	B測定	1	1	1	1	1	1
	総合	2	1	1	1	1	2
判定の主な原因物質		ジクロロメタン	クロロホルム	クロロホルム	メタノール	混合	ジクロロメタン

クロロホルムと同様に、表 4-3-3 にはジクロロメタンが原因で第 2 管理区分となった全てのケースが含まれており、2004 年度の実験室 J での第 2 評価値が、これまでの実測に基づくジクロロメタンの実験室平均濃度の最高値であると考えられる。実験室 J は化学洗浄室として使用されており、2004 年度の第 2 評価値は 52ppm、2005 年度は 33ppm であった。この 2005 年度の値が、実測上、2 番目に高いジクロロメタンの実験室平均濃度と考えられる。従って、学内の実験室でのジクロロメタンの平均濃度は、この濃度以下の範囲に分布していると考えられる。モデルによって推定した実験室平均濃度もこの範囲（25ppm 以下）に分布しており、この結果と矛盾しなかった。

今回実施したモデル計算では、大気排出率を研究室での平均的な揮発率とみなしているために、各研究室の揮発率の違いは考慮していない。また、各研究室の排風装置数を正確に把握して計算したものではないために、研究室ごとに実測濃度と予測濃度を比較した場合には、必ずしも一致しないと考えられる。しかし、低濃度側に偏った分布を示し、分布の濃度範囲も実測結果と一致していることから、学内の実験室平均濃度のおおよその分布状況が推定できているものと考えられた。

4.4 学生の健康リスク評価を念頭においた実験室環境評価手法の提案

4.4.1 実験室環境評価式

一般環境中の化学物質のリスク評価において、非発がん物質や遺伝子損傷性のない発がん物質のリスク評価に用いられる方法として、MOE (Margin of Exposure : 曝露余裕度) がある (式 4-2)。

$$MOE = \frac{NOAEL}{\text{曝露量}} \quad (\text{式 4-2})$$

USEPA は、MOE を「最もふさわしい、あるいは最も敏感な動物種の実験の結果から求めた無毒性量 (NOAEL : No Observed Adverse Effect Level) の、可能性のあるすべての経路からの人への曝露量に対する比」としており、MOE の値と、人と実験動物の種差、個人差などを考慮して決定される不確実係数の積とを比較することでリスクを評価するも

のとしている⁶⁾。MOE では、数字が大きいほど安全性が高いと判断され、USEPA では MOE が 100 より大きければ「リスクは小さい、あるいは無視できる」、100 以下で 10 より大きければ「リスクが存在する可能性がある」、10 以下であれば「明らかにリスクがある」として、リスク評価に利用している⁷⁾。また NOAEL の代わりに LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) を用いる場合には、LOAEL の NOAEL への換算を考慮し、10、100 の 10 倍、すなわち 100、1,000 と比較することでリスクの程度を区分している。

独立行政法人 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター（以後、CRM）では種差、個人差だけでなく、データの質等を考慮した不確実係数との比較によって、リスクの評価に利用している場合もある⁸⁾。また、環境省の健康リスク初期評価では、NOAEL と曝露量の予測最大量の比によって MOE を求め、10、100 と比較することによって該当物質に対する追加的なリスク評価の必要性の有無を判断している⁹⁾。この際の NOAEL はヒトに対するものとし、動物実験の結果を利用する場合は、得られた NOAEL を 10 で除したのち、MOE の計算に使用している。このように、機関によって使用方法や細かな定義に若干の違いがあるが、NOAEL に対する曝露量の比である点は共通している。

この MOE の考え方にに基づき、PRTR データに基づく学内の平均的揮発率と各研究室の使用量、排风量とから求めた実験室平均濃度を利用し、実験に従事する学生のスクリーニング的な健康リスク評価を念頭においた実験室環境評価の式として、次式を考えた。

$$MOE_L = \frac{NOAEL}{\text{年間平均曝露濃度}} \quad (\text{式 4-3})$$

他の MOE との区別を容易にするため、Laboratory を意味する L を添え字として付した。NOAEL としては吸入曝露の NOAEL (mg/m³) を用い、環境基準の設定根拠となったものや一般環境のリスク評価に用いられた動物、ヒトの NOAEL を使用する。

また、年間平均曝露濃度(mg/m³)は、次式を用いて計算する。

$$\text{年間平均曝露濃度} = \frac{C_L \times T_L \times D_L + C_{out} \times \{(24 - T_L) \times D_L + 24 \times (365 - D_L)\}}{24 \times 365} \quad (\text{式 4-4})$$

なお、 C_L は実験室平均濃度(mg/m^3)、 T_L は1日の実験室滞在時間(時間/日)、 D_L は年間の実験室滞在日数(日/年)、 C_{out} (mg/m^3)は実験室外の平均濃度である。従って、式4-4は実験室内での曝露だけでなく、一般環境での曝露も考慮した式となっており、実験室とそれ以外の場所での曝露濃度の時間加重平均である。ただし、ここで実験室外の平均濃度としては、一般大気濃度、室内濃度の実測値のうちで最大のものを使用することとする。実験室平均濃度は、実測値にもとづいて評価することも可能であるが、以降は大学として複数の研究室を同時に管理することを考え、PRTRデータが利用可能な式4-1から算出した濃度で評価することとする。

なお、式4-1を用い、PRTRに基づく大気排出率と使用量、排风量とから計算した実験室平均濃度によって評価する場合、完全混合モデルの性質上、実験を行っていない時間、すなわち揮発のない状態では実験室平均濃度は0となることに注意する必要がある。式4-1で用いた年間実験時間が、式4-4に用いた年間実験室滞在時間(1日滞在時間×年間滞在日数)よりも短い場合、式4-4によって計算される年間平均曝露濃度は過大評価となる。従って、式4-4に用いる年間実験室滞在時間は、式4-1に用いる実験時間を超えないことが望ましい。以降の実験室環境の評価では、本章第2節及び第3節で用いた年間実験時間である1,400時間(1日7時間×年間200日)を式4-4における実験室滞在時間として計算した。

4.4.2 実験室環境評価基準

MOEは不確実係数の積との比較をすることで、リスク評価に利用するものであるが、一般環境での評価や環境基準の設定の際に用いられる不確実係数積は、化学物質を使用する実験環境に適用するには大きすぎる場合もある。そこで、USEPAでのリスクの判定や、環境省の健康リスク初期評価と同様に、安全係数として10、100を考え、この値と比較することでNOAELと年間平均曝露濃度との比である MOE_L を区分し、実験室環境の管理状況を評価することとした(表4-4-1)。

表 4-4-1 MOE_L 値と実験室環境の評価

MOE _L レベル	評価	対策等
MOE _L > 100	安全衛生上, 問題はない。	特別な対策は必要ないと判断される。引き続き, 良好な実験室環境の維持, 管理に努める。
100 ≥ MOE _L > 10	安全衛生上, 注意を要する。	実験室内の発散源の確認, 蒸留・濃縮をはじめとする実験プロセスでの揮発率について確認し, 揮発量の低減の余地がある場合には, 対策を講じる。
10 ≥ MOE _L	安全衛生上, 対策を講じるべきである。	実験室での揮発率について確認し, 得られた揮発率をもとに実験室内濃度を再計算する。それでもMOE _L が10以下となる場合には, 実験室内の揮発量低減対策を講じ, 特殊健康診断等により, 実験室を使用する学生の健康状態を確認する。

MOE_L を使った実験室環境の管理方法としては, 次のようなものが考えられる。

式 4-1 を用いて, PRTR に基づく大気排出率と研究室の使用量, 排风量から計算した実験室平均濃度に基づき, MOE_L が 10 以下となった場合はその旨を当該研究室に連絡し, 実験室内での揮発率や排风量, 実験時間等を確認した後, MOE_L の再計算を要請する。再計算の結果, 再度 MOE_L が 10 以下となる場合には, 必要な揮発低減策を講じると共に, 健康診断等によって研究室に所属する学生等の実験者の健康状態を確認する。当該研究室が所有する実験室での揮発率が低い場合など, 再計算の結果, MOE_L が 100 を超える際には, 以後, その揮発率を用いて計算を実施する。再計算の結果, MOE_L が 10 よりは大きいが 100 以下である場合には, 揮発量の低減対策, 排風設備の確認や実験時間の調整などの対策を講じる。

式 4-1 を用いて求めた MOE_L が 10 よりは大きいが 100 以下であった場合, 当該研究室にその旨を連絡し, 実験室での揮発率を確認し, 必要に応じて揮発低減対策を講じてもらう。万一, 揮発率が大きく, MOE_L が 10 以下となる場合は, 揮発低減対策を講じてもらうと共に, 研究室に所属する学生等に対して健康診断等を実施する。

このような作業を繰り返すことで, 大学側としては実験プロセスでの揮発量に関するデータも蓄積でき, 大学での化学物質管理に利用していくことができると考えられる。

4.4.3 評価に用いる NOAEL の検討

NOAEL の検討にあたっては、実験室で作業する学生が労働者ではないことを考慮し、一般環境と実験室環境との整合性が保たれるように配慮しつつ、日本の環境基準の設定根拠となったものや一般環境のリスク評価に用いられている NOAEL、労働環境に関わる指針値である許容濃度の提案をもとに検討を行った。

4.4.3.1 クロロホルムの NOAEL

(I) 基準値等の根拠となっている NOAEL 等

わが国の一般大気環境に関わる基準値としては、環境省で提案が検討されている指針値として年平均値 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下¹⁰⁾がある。また、労働者の健康にかかわる指針値としては産業衛生医学会から提案されている 3ppm がある¹¹⁾。また、わが国の一般環境に関わる初期リスク評価としては、環境省の化学物質の環境リスク評価¹²⁾、CRM が web 上で公開しているクロロホルムの初期リスク評価⁸⁾などがある。それぞれの評価の根拠となった NOAEL や不確実係数等を表 4-4-2、表 4-4-3 に示す。

発がん性については、いずれの評価でも疫学調査や動物実験の結果から、動物での発がん性の証拠はあるが、ヒトでの発がん性についての証拠は不十分であるとしている。しかし、マウスやラットとヒトとの間に、クロロホルムに係る代謝メカニズムや発がんメカニズムの違いを示す明確な知見はなく、ヒトの発がん性を否定する目だった知見もないこともあり、環境省、CRM のいずれも発がん性に関するリスク評価を行っている。また、現在提案されている環境省の指針値でも発がん性は考慮されている。クロロホルム及びクロロホルムの代謝物には直接の遺伝子毒性はないとの報告が多いことから¹³⁾、いずれの機関の評価でもクロロホルムは閾値を持つ発がん物質として扱われており、環境省と CRM では評価の際に Yamamoto ら¹⁴⁾の動物実験で得られたマウスの腎がんの NOAEL5ppm を 24 時間連続曝露補正した値が使用されている。また産業医学会では、特に発がんをエンドポイントとしての評価は行わず、発がん以外の病変を予防する観点から許容濃度を勧告している。Hard らは、ラットの腎腫瘍発生の前段階として、クロロホルムによる細胞毒性と慢性的な再生性増殖があることを指摘しており¹⁵⁾、こうした報告をもとに産業医学会では発がん以外の病変の予防が、がん発生の予防にもつながると判断している。

表 4-4-2 クロロホルムの発がん性にかかわる評価

発表(年)	基準値・報告書名等	NOAEL・不確実係数等	根拠
環境省 (2006)	大気環境濃度指針値 (案) (年平均18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)	NOAEL 4.3mg/m ³ ----- 不確実係数積 250	Yamamotoら(2002)によるマウスの2年間の吸入曝露実験(6時間/日, 5日/週)でのNOAELである5ppm(腎がん)を24時間連続曝露に補正。 発がんの影響の重大性, 種差, 並びに個体差(乳幼児や高齢者等を含む)を考慮。
産業衛生 医学会 (2005)	許容濃度 (3ppm)	—	クロホルムに遺伝子毒性はなく, 動物実験における発がんは細胞傷害性と組織の再生の過程で引き起こされると考えられる。しかし, 量反応関係を明らかにした疫学的知見がないことから, げっ歯類の吸入毒性試験における肝臓, 腎臓の非腫瘍性の病変を予防すべき影響とした。
環境省 (2003)	環境リスク評価	—	動物実験の結果, 動物に対しては発がん性の十分な証拠があるが, ヒトに対しての疫学調査からは十分な証拠はないと判断。発がん性に関しては, 定量的な環境リスク評価は行わず。
産業技術 総合研究 所(CRM) (2005)	化学物質の初期リスク評価書 Ver.1.0 No.16 クロホルムリスク評価	NOAEL 7.4mg/kg/日 ----- 不確実係数積 1,000	Yamamoto(2002)らによるマウスの2年間の吸入曝露実験(6時間/日, 5日/週)でのNOAELである5ppm(腎がん)を24時間連続曝露に補正し, マウスの呼吸量(0.05m ³ /日)と体重(0.03kg)から摂取量に換算。 動物とヒトの種差についての不確実係数(10) 個人差についての不確実係数(10) 発がん性を考慮した不確実係数(10)

表 4-4-3 クロロホルムの発がん以外の毒性にかかわる評価

発表(年)	基準値・報告書名等	NOAEL・不確実係数等	根拠
環境省 (2006)	大気環境濃度指針値 (案) (年平均18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)	LOAEL 4.3mg/ m^3 不確実係数 250	Yamamotoら(2002)によるマウスの2年間の吸入曝露実験(6時間/日, 5日/週)でのLOAELである5ppm(鼻腔の骨肥厚等)を24時間連続曝露に補正。 LOAELを用いたこと, 種差, 並びに個体差(乳幼児や高齢者等を含む)を考慮。
産業衛生 医学会 (2005)	許容濃度 (3ppm)	NOAEL* 26.1mg/ m^3	CYP2E1によるクロロホルムの代謝活性の影響の考察からヒトの標的臓器を肝臓とし, 動物実験で肝臓を標的臓器とした場合, Yamamotoら(2002)の動物実験(6時間/日, 週7日)から肝毒性(脂肪性変化)のNOAELは30ppm(マウス, ラット)。げっ歯類の鼻腔への影響は, ヒトに適用する積極的な根拠に乏しいと判断。
環境省 (2003)	化学物質の環境リスク評価	NOAEL 4.3mg/ m^3	吸入曝露による中・長期毒性の動物実験の信頼性のある最小値として, Yamamoto(2002)らのNOAEL5ppm(腎組織の病変)を採用し, 連続曝露補正を行った。
産業技術 総合研究 所(CRM) (2005)	化学物質の初期リスク評価書 Ver.1.0 No.16 クロロホルムリスク評価	LOAEL 1.9mg/kg/日 不確実係数積 5,000	Templinら(1996)のラットでの13週連続吸入曝露(6時間/日, 7日/週)のLOAEL2ppm(鼻甲介の萎縮)を24時間連続曝露に補正。ラットの体重(0.35kg), 呼吸量(0.26 m^3 /日)から吸入による吸入率を100%として1日1kgあたりの摂取量に換算。 動物とヒトの種差についての不確実係数(10) 個人差についての不確実係数(10) LOAELを用いたことによる不確実係数(10) 試験期間についての不確実係数(5)

※産業衛生医学会では, 連続曝露補正は行っていないが, マウス・ラットでの肝毒性のNOAEL30ppmが許容濃度の提案の際に, 参考にされたと考えられるので, これを連続曝露補正した。

非発がん性の影響では、2ppm, 5ppm といった濃度でラットやマウスの鼻腔への影響が報告されている^{16,14)}。環境省, CRM のいずれもこの濃度をもとに非発がん毒性のリスク評価を行っている。

クロロホルムの毒性の発現には、代謝酵素 CYP2E1 による代謝が重要な役割を果たすが¹⁷⁾、ミクロソームを用いてクロロホルムの代謝活性を比較したところ、肝臓、腎臓とも、マウス>ラット>ヒトの順に代謝率が減少し、ヒトの腎臓のミクロソームでのクロロホルム代謝活性は検出下限値未満であった¹⁸⁾。こうした結果から、産業衛生医学会ではヒトの標的臓器は肝臓として、Yamamoto ら¹⁴⁾の動物実験でのマウス、ラットでの肝毒性の NOAEL30ppm (肝臓の脂肪性変化) をあげている。また、人の鼻粘膜では CYP2E1 は今のところ検出されておらず¹⁹⁾、このことから産業衛生医学会では、環境省, CRM がリスク評価で参照したラットやマウスの鼻腔への影響については、これをヒトに適用する積極的な根拠に乏しいとしている。

(II) 実験室環境評価に用いる NOAEL の決定

表 4-4-2, 表 4-3-3 に示す基準値等の根拠とされている NOAEL の中で、最も低いものはマウス腎がんの NOAEL で 5ppm である。マウス等の鼻腔への影響を示す LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) としては、これよりも低いものが報告されているが、ヒトの鼻腔への影響については今後の知見の集積が待たれるところである。一方で、マウスの腎がん NOAEL についても、ヒトにおける低濃度での腎毒性の知見の集積が必要とされると考えられるが、同程度以下の濃度でマウスやラットの鼻腔への影響が観察されていることや、一般環境の指針値との整合性も加味し、本研究ではマウスの腎がんの NOAEL である 5ppm (24.4mg/m³) を連続曝露補正した、0.89ppm (4.3mg/m³) を用いて実験室環境を評価することとした。

4.4.3.2 ジクロロメタンの NOAEL

(I) 基準値等の根拠となっている NOAEL 等

ジクロロメタンについては、わが国では大気環境基準値として年平均 0.15mg/m³ (0.52ppm) 以下が定められている²⁰⁾。労働者の健康にかかわる指針値としては、産業衛生医学会から許容濃度 50ppm (170mg/m³) が提案されている²¹⁾。また、クロロホルムと同様に CRM もリスク評価を実施しており²²⁾、それぞれの評価基準となった NOAEL,

表 4-4-4 ジクロロメタンの発がん性にかかわる評価

発表(年)	基準値・報告書名等	NOAEL・不確実係数等	根拠
環境省 (2000)	大気環境基準 (年平均0.15mg/m ³)	—	ヒトの発がん性の可能性を完全に除外できないものの、その可能性は小さいと判断する。発がん性については、非発がん影響のNOAELから基準値を求める際の不確実係数で考慮した。
産業衛生 医学会 (2005)	許容濃度 (50ppm)	—	ジクロロメタンの発がんメカニズムに寄与するGSTT1遺伝子がnullでない人では、遺伝子毒性の可能性がゼロではないが、発がんに要する濃度は非常に高いことから、発がんを許容濃度を設定するに当たつてのcriticalなエンドポイントとすることは妥当性を欠くと判断。
産業技術 総合研究 所 (2005)	詳細リスク評価書	発がんユニットリスク $1.5 \times 10^{-9} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	ジクロロメタンの曝露によって、マウスの肝内で生産されるDNAとタンパク質の架橋構造であるDNA-protein crosslink(DPX)の量と肝発がん率の関係、ヒト肝におけるDPXとマウス肝内のDPXの産生量の間係を用い、ヒトにおける肝発がん率を求めた。

表 4-4-5 ジクロロメタンの発がん以外の毒性にかかわる評価

発表(年)	基準値・報告書名等	NOAEL・不確実係数等	根拠
環境省 (2000)	大気環境基準 (年平均0.15mg/m ³)	NOAEL* 68.5mg/m ³	疫学研究の結果を中心とするとNOAELを明確に示すことは困難であるが、労働者でおそらく健康への悪影響がないと期待される濃度として300mg/m ³ を示している。
		不確実係数 (連続曝露補正をしていない, ヒトNOAELの推定値300mg/m ³ に対する)	乳幼児・高齢者など高感受性者に対する係数 10 労働環境と一般環境の曝露時間・状況の違い 10 NOAELが明確でないこと, ヒト発がん性や限定的ではあるが, 生殖影響を示す知見があることにも配慮した係数 20
産業衛生 医学会 (2005)	許容濃度 (50ppm)	NOAEL 明示せず	COHb生成による中枢神経系への影響を防止し, 遺伝子毒性発現リスクおよび発がんリスクが実質的に無視できる濃度として提案。
産業技術 総合研究 所(2005)	詳細リスク評価書	NOAEL 124mg/m ³ 不確実係数積 100	Nitshckeら(1988)によるラットの2年間反復吸引曝露試験(6時間/日, 5日/週)におけるNOAEL200ppm(肝脂肪変性)を連続曝露に換算。 動物とヒトの種差についての不確実係数(10) 個人差についての不確実係数(10)

※労働者での疫学研究結果をもとに, 環境省が示したNOAEL値300mg/m³を, 労働時間(1日8時間, 年間250日)で24時間連続曝露に補正して表示した。

不確実係数等を表 4-4-4, 表 4-4-5 に示す。

発がん性については、環境省と産業衛生医学会では、ジクロロメタンの発がん性は否定できないものの、発がん性があるとしてもかなりの高濃度でなければ発現はしないとの見方から、発がんをエンドポイントとしての評価は実施していない。CRM では、ヒト疫学調査の結果からはジクロロメタンの発がん性について十分な証拠は得られていないが、マウスでは明らかな発がん性があり、提唱されている発がんメカニズムから種差は説明可能であるとして、Casanova ら^{23,24)}の手法をもとにユニットリスクを算出し、評価に用いている。得られたユニットリスク値は、これまでの疫学調査の規模では発がん影響が観察されない程度の小さいもので、過去の疫学調査の結果とも矛盾しないとしている。

非発がん影響については、大気環境基準値の決定に際して、ボランティアへの曝露実験²⁵⁾や、労働者の疫学研究²⁶⁾などのヒトの曝露データから労働者でおそらく健康への悪影響が見られないと期待できる濃度レベルとして 300mg/m³ (86.4ppm) が示されている。一方、Kelly はジクロロメタン曝露を受けていた男性作業員 8 名で精子の奇形率・数・活動度などの生殖影響が見られ、NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) の測定結果によれば、これらの作業員が働いていた作業場での平均曝露濃度は 68ppm (3.3-154.4ppm) であったと報告している²⁷⁾。この平均曝露濃度は環境省の示した濃度よりも低い。しかし、Kelly があわせて報告している、ジクロロメタンの代謝産物の一酸化炭素とヘモグロビンが結合したカルボキシヘモグロビン (COHb) 濃度の測定結果から判断すると、多くの作業員において測定前の曝露濃度は 100ppm (347mg/m³) 以上であったと推定される。この結果から、環境省、産業衛生医学会ともに NIOSH による曝露濃度の測定値はかなりの過小評価であったと判断している。ただし、精巣萎縮が報告されている 1 名の作業員については、曝露の 8 時間後の COHb 濃度が 1.2% であり、COHb の半減期を 13 時間として考えると曝露直後には 1.8% 程度であったことになる。一方、50ppm のジクロロメタンに 7.5 時間曝露された後の COHb 濃度は 1.9% と報告されており^{20,21)}、この作業員の COHb 測定前の曝露濃度は 50ppm 程度であったと推定される。なお、この男性の曝露期間は 2.9 年であり、その間の曝露濃度の変化については不明である。また NIOSH の測定結果によれば、これらの作業員がスチレン (7.2-40.8ppm) やキシレン、トルエン、アセトン (各 0.2-0.3ppm 程度) にも同時に曝露されており、さらに作業員がジクロロメタンの入ったバケツに手をつけて洗浄作業をしていたことなど

も考慮すると、精巢への影響がジクロロメタン蒸気のみによるものであるかどうかの判断が難しく、基準値の設定の際にこの曝露濃度がそのまま採用されるには至っていない。環境省は環境基準の設定に際し、ジクロロメタンの生殖影響の可能性については、不確実係数の中で考慮している。

CRM では、ジクロロメタンの非発がん毒性について、

- ①動物実験では中枢神経系の抑制効果、肝臓に対する影響、血中 COHb 濃度の増加が共通して観察されており、このうち、肝臓に対する影響は比較的低濃度の反復投与毒性試験でも確認されている。
- ②肝臓への影響がヒトで観察された報告はないが、既存の疫学研究の数が十分とは言えず、また非腫瘍性変化の種差に対する検討はほとんど行われていないために、肝臓への影響がヒトでは生じないと結論することはできない。

の 2 点を考慮し、ラットの 2 年間反復吸引曝露試験（6 時間/日，5 日/週）²⁸⁾における NOAEL200ppm（肝脂肪変性等）を連続曝露（24 時間/日，7 日/週）に換算した 35.7ppm（124mg/m³）をもとにリスク評価を行っている。

（Ⅱ）実験室環境評価に用いる NOAEL の決定

発がん影響については、CRM がユニットリスク値を用いて評価している。しかし、このユニットリスクを用いた計算では、実験作業中の曝露濃度が 50ppm の場合でも、3 年間の実験作業による発がんリスクは 2.4×10^{-6} となり、今回の実験室環境評価では、発がんは critical なエンドポイントではないと判断した。

表 4-4-4、4-4-5 から、発がん以外の影響では、基準値等の根拠として採用されている NOAEL の中で最も低いものは、環境省が示している労働環境での NOAEL300mg/m³（86.4ppm）である。しかし、過小評価であると考えられるものの、平均曝露濃度が 68ppm（236mg/m³）の男性作業者に生殖毒性がみられたとの報告も存在し、生殖毒性は将来子供を生き育てる世代である学生の健康影響としては無視できないものであると考えられる。また、これらの男性作業者には他物質に同時に曝露されたことによる影響の可能性も考えられるが、実験環境でも様々な溶媒等の化学物質が同時に使用されており、ジクロロメタンを含む混合曝露は十分起こりうるものであると推察される。従って、数値の

不確実性はあるものの、実験室環境のリスク評価にあたっては、Kelly による報告は十分に考慮されるべきものであると判断した。年間平均曝露濃度との比較に用いることから、報告された平均曝露濃度 68ppm を労働時間（1日8時間、年間250日）を考慮して連続曝露値に補正することで、15.5ppm（53.8mg/m³）を得る。この値は、環境省の示す NOAEL300mg/m³ を同じく労働時間で曝露補正した 68.5mg/m³，CRM が示した NOAEL124mg/m³ よりも低く、また生殖毒性のみられた男性作業者の曝露濃度の平均値は、実際にはより高かったと考えられることなども考慮すれば、NOAEL として採用しても大きな矛盾は生じないと考えられる。ただし、肝毒性や精巣毒性等、ジクロロメタンの低濃度の毒性についての更なる知見の集積を行いつつ、今後十分に議論していくべき値である。

4.4.3.3 実験室環境評価に用いる NOAEL のまとめ

本節の検討から、実験室環境評価に用いる NOAEL を表 4-4-6 にまとめた。

表 4-4-6 実験室環境評価に用いる NOAEL

	NOAEL	毒性
クロロホルム	4.3mg/m ³ (0.88ppm)	腎がん(マウス)
ジクロロメタン	53.9mg/m ³ (15.5ppm)	生殖毒性(労働者)

いずれも今後、吟味していく必要がある値であると考えられるが、現在の一般環境のリスク評価での採用値と大きな相違はない程度の値である。

4.5 PRTR データを利用した実験室環境評価の実施

クロロホルム、ジクロロメタンの2物質について、式 4-1 を用い、PRTR データと使用量から推定した実験室平均濃度（第3節参照）を利用し、第4節で提案した実験室環境評価式を用いて、京都大学内の実験室環境の評価を実施した。

4.5.1 実験室外濃度の決定

表 4-5-1 に各物質の大気中濃度，室内濃度の測定最大値を示す^{29,30)}。

表 4-5-1 クロロホルム，ジクロロメタンの一般大気濃度と室内濃度の最大値

測定対象	物質	濃度	出展
一般大気濃度	クロロホルム	4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	環境省(2001)
	ジクロロメタン	190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
室内濃度	クロロホルム	13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	厚生省(1999)
	ジクロロメタン	154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

式 4-4 に用いる実験室外濃度は，一般環境大気と室内濃度の最大値の中で高い方の濃度を採用することとし，クロロホルムは 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0027ppm)，ジクロロメタンは 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.055ppm) とした。

4.5.2 $\text{MOE}_L=10$ ， $\text{MOE}_L=100$ となる実験室濃度の算出

第 2 節と同様に，実験室滞在時間は実験時間と等しく，1 日 7 時間，年間 200 日の 1,400 時間とした。第 3 節で求めた実験室平均濃度との比較によって実験室環境の評価ができるように，前項で決定した実験室外濃度をもとに， $\text{MOE}_L=10$ ， $\text{MOE}_L=100$ となる実験室濃度 C_{10} ， C_{100} を求めた (表 4-5-2)。

表 4-5-2 $\text{MOE}_L=10$ ， $\text{MOE}_L=100$ となる実験室濃度 C_{10} ， C_{100}

濃度 (ppm)	$C < C_{100}$	C_{100}	$C_{100} \leq C < C_{10}$	C_{10}	$C_{10} \leq C$
クロロホルム	$\text{MOE}_L > 100$	0.04	$100 \geq \text{MOE}_L > 10$	0.54	$10 \geq \text{MOE}_L$
ジクロロメタン		0.68		9.43	
	安全衛生上，問題はない濃度である。		安全衛生上，注意を要する濃度である。		安全衛生上，対策を講じるべき濃度である。

実験室平均濃度が C_{10} 以上であれば，安全衛生上の対策が必要であると判断され， C_{100} 未満であれば，安全衛生上の問題はないと判断される。

4.5.3 実験室環境の評価結果

評価結果を表 4-5-3 に示す。

表 4-5-3 実験室平均濃度に基づく評価結果

濃度 (ppm)	$C < C_{100}$	$C_{100} \leq C < C_{10}$	$C_{10} \leq C$
実験環境の状況	安全衛生上、問題はない。	安全衛生上、注意を要する。	安全衛生上、対策を講じるべきである。
クロロホルム	87研究室 31.6%	78研究室 46.4%	44研究室 22.0%
ジクロロメタン	35研究室 47.3%	35研究室 47.3%	4研究室 5.4%

実験室内の平均濃度が C_{10} を超え、 MOE_L が 10 以下となった研究室はクロロホルムで 46 研究室 (22%)、ジクロロメタンで 4 研究室 (5.4%) あり、これらの実験室では所属する学生の年間平均曝露濃度が、NOAEL に近いことが考えられ、安全衛生上の対策を講じるべきであると判断された。

大学の実施された実験室の作業環境測定では、第 2、第 3 管理区分となる場合はほとんどなかったが (1%未満)、本手法での評価では、低濃度の実験室環境についてもその管理状況を区分することができ、個々の研究室に応じた対策を講じる目安とすることで、大学での化学物質管理に活用できることが確認できた。

4.5.4 MOE_L に応じた実験室環境の改善と大気中への排出量の削減効果の試算

先の実験室環境評価結果を踏まえ、

- ① $MOE_L \leq 10$ であった研究室が揮発の低減対策に取り組み、 $MOE_L > 100$ となった場合
- ② $MOE_L \leq 100$ であった全ての研究室が揮発の低減策に取り組み、 $MOE_L > 100$ となった場合

の 2 通りの場合について、排出量や排風装置からの排気中の化学物質濃度を計算し、改善前と比較した (表 4-5-4)。ただし、実験時間と実験室滞在時間は 1,400 時間とし、排风量については改善の前後で変化しないものとした。また、ドラフト等の排風装置の中には、出口付近で活性炭等を用いて排気中の化学物質を除去する仕組みを持っているものもあるが、実験室で揮発したものは全て大気中へ排出されるとして計算した。

表 4-5-4 実験室環境の改善に伴う大気中への排出量の変化

	クロロホルム			ジクロロメタン		
	改善前	改善後 [※]		改善前	改善後 [※]	
		①	②		①	②
排出量 (g/hour)	2,198	168	75	2,589	1,214	402
削減率 (%)		92.4	96.6		53.1	84.5
平均濃度 (mg/m ³)	4.8	0.4	0.2	10.3	4.8	1.6
平均濃度 (ppm)	1.0	0.1	0.03	3.0	1.4	0.5

※改善後①:MOE_L ≤ 10の研究室のみが, MOE_L > 100に改善した場合

改善後②:MOE_L ≤ 100の研究室の全てが, MOE_L > 100に改善した場合

クロロホルムでは、MOE_L ≤ 10の研究室だけが揮発の低減対策に取り組むことでも、排出量が90%削減される結果となった。ジクロロメタンの場合でも、MOE_L ≤ 10であった4研究室での揮発量が削減されるだけで、大学全体からの排出量が50%削減される計算となり、本手法による実験室環境の評価に基づく対策を取ることで、実験者の曝露濃度の低減だけでなく、大気中への排出量の低減が期待される結果となった。

第3章での揮発実験の結果を踏まえれば、必ずしも多大な費用をかけずとも、ふたなし容器での溶媒の放置を避ける、濃縮・蒸留の際には減圧ポンプのあとにも水道水を利用した冷却管を取り付けるなど、少しの工夫と配慮で揮発量を大幅に低減できる実験プロセスが存在すると考えられる。また、PRTR データをもとに MOE_L で実験室環境の評価をすることで、そうした揮発に対してのリスク認知を深め、揮発量の低減対策への動機付けとする効果も期待できる。

4.6 まとめ

PRTR 制度の運用から5年が経ち、コンピューター管理システムの導入^{31,32)}などによって、大学での PRTR データは算出しやすくなってきていると考えられる。本章では、PRTR データに基づく揮発率と使用量、また排風装置の排风量とから求めた実験室内の平均濃度と作業環境測定での平均値と考えられる第2評価値を比較し、実験室環境においては、PRTR データを室内濃度の推定に活用することができると考えられた。そこで、大学での PRTR データは実験室環境の管理状況の評価やリスク評価に利用できると考え、

PRTR データを活用し、学生の健康リスク評価を念頭に、実験室環境の評価をする手法を考案した。本手法は、次のような手順によっている。

- ① PRTR の報告で把握が求められる大気中への排出量と、大学での使用量から大気排出率を求め、これを実験室での平均的な揮発率とみなす。
- ② 揮発が全て実験室内で起こっていると仮定して、①で得た揮発率、実験時間と各研究室（または実験室）での使用量と排风量から実験室内の平均濃度を推定する。
- ③ その結果得られた実験室内平均濃度と、一般環境中での対象物質濃度の測定値の最大値とから、実験室滞在時間を考慮して当該実験室滞在者の年間平均曝露濃度を求める。
- ④ 一般環境のリスク評価や環境基準の設定に用いられた NOAEL に基づいて決定した NOAEL と、③で算出した実験室平均曝露濃度との比である MOE_L によって、実験室環境の評価を行う。

揮発が全て実験室内で起こっているとする仮定は、最も高濃度となることが考えられる状況での濃度の推定となり、その濃度での NOAEL 値との比較に基づいて、実験室環境を評価するため、安全側の評価につながると考えられる。今回の推定では、研究室ごとの実験室数やドラフト等の排風装置の数などについて正確な把握ができなかったために、大学全体でのおおよその濃度分布を推定するにとどまったが、学内の実験室ごとの単位時間あたりの使用量、排风量を正確に把握することができれば、より正確な推定、評価ができるはずである。

PRTR データを利用した本手法には、次のようなメリットがある。

- ①低濃度での実験室環境の評価が可能である。

ほとんどの実験室では化学物質の使用量はそれほど多くなく、排風装置による換気の影響で、実験室の平均濃度は低濃度であることが推察されるが、特に作業環境測定のような測定の場合は、定量下限値の問題があり、こうした低濃度での実験室環境は十分に区分できない可能性がある。本手法は PRTR データにもとづき、モデル計算で平均濃度を求めるため、作業環境測定上の定量下限値以下の濃度についても計算が可能であり、この濃度を利用することで、低濃度の実験室環境も評価、区分することが

可能である。

本手法では MOE を利用したリスク評価方法に則って、実験室環境を評価したが、PRTR データを利用することで、実験室で直面する低濃度の化学物質曝露について、ユニットリスクにもとづく生涯発がんリスクの計算等の様々なリスク評価を実施していくことも可能であると考えられる。

また、モデル計算による濃度の算出は、実際に測定を実施するよりも費用的な負担を小さくすることにもつながるはずである。

実験室では揮発率が高いにもかかわらず、排風装置等の影響で、作業環境測定では問題とならない程度の濃度にしかならない場合もあるが、低濃度の実験室環境を評価することで、実験プロセスでの揮発量の把握や、実験プロセスの見直し、装置の適正な使用による揮発量の低減などの対策を講じるインセンティブを使用者に与えることが期待される。

②モニタリング的な実験室環境の評価が可能である。

コンピューターによる使用量の把握と、廃液の分析などが定期的に行われている場合、その時々での大学の使用状況に応じた実験室内の平均濃度を求めることができ、モニタリング的な実験室環境の評価が可能である。ドラフトの運転状況等の情報もコンピューターで把握できるようにしておけば、その実験室の利用実態にあった評価が可能となるはずである。

作業環境測定は、統計的な手法を用いることで濃度の日変動等も考慮して、作業環境の管理状況を判断するものであるが、測定がなされた時の作業の状況が平均的なものであるかは、少なからず議論がなされる場所である。逆に本手法は、平均使用量や平均曝露濃度など、平均的な状況についてのみ評価するものであり、作業環境測定と相互に補完しあう評価法ともなりうる。

③学内の安全衛生対策の効率化のための情報として活用できる。

本手法での実験室環境評価結果をもとに、各研究室（または実験室）での作業環境測定や特殊健康診断等の必要性の有無を議論していくことで、効率的な安全衛生対策の実施につながることを期待できる。

④揮発そのものの低減策を促すことが期待される。

本手法は揮発量に基づいて実験室濃度を計算しており、揮発量の低減が実験室平均濃度に反映され、年間平均曝露濃度の低減につながる。従って、実験環境と周辺環境のリスク低減を目指す際の最も根本的な対策である、揮発量の低減に対して、より積極的な動機付けをすることが期待される。また、揮発率の低減だけでは十分な改善が難しい場合には、実験の効率化や装置の改善などによる使用量の削減も検討されるべきであろう。さらに、こうした対策でも改善が難しい場合には、必要とされる排风量や排風装置の効果の勘案についても議論される必要があると考えられる。

⑤複数の実験室を同時に評価することが可能となる。

作業環境測定は個々の実験室で行われ、個々の実験室を評価していくものであるが、PRTR データを利用する本手法では、複数の実験室からの廃液をまとめて分析することで、複数の実験室を同時に、スクリーニング的に評価をしていくことが可能である。

また、本手法で用いた実験環境の平均濃度の算出式も、実験室環境の判定方法も比較的簡便であるため、本手法に基づいて、実験者自らが使用している薬品の揮発量と実験室の排风量とから実験室平均濃度を計算し、NOAEL と比較することで、自身の実験作業に伴うリスクの認知をすることも容易であると考えられる。取り扱う物質のリスクを知ってから実験を行えば、リスクを知らない場合に比べて有意に曝露濃度が低減することが報告されており³³⁾、こうしたリスク認知は実験者の曝露量の低減に非常に有効であると考えられる。こうした認識のもとに十分に注意して実験を行うことは、短期的に高濃度となる曝露を避けることなどにもつながることが期待される。

また、最近の化学物質汚染に関する問題は、低濃度曝露における有害性評価に関心が移ってきており、実験時のリスク計算を自ら行うことによって、低濃度曝露のリスクに対する感覚を有する化学者が育っていくことは、将来を担う人材を育成する大学にとって重要なことであると考えられる。

一方で、本手法には課題も存在する。

①濃度を過小評価する可能性がある。

完全混合モデルについては、濃度を過小評価する可能性があることが指摘されてお

り³⁴⁾、揮発プロセスがすべて実験室内で起こるとしていることや、排風量を最小値で見積もるといった配慮はしているが、モデル式の性質についてもよく把握しておく必要がある。

また本手法では、平均濃度をもとに曝露濃度等を推定しており、短期的に高濃度となるような曝露情報を得ることができない。また、実験室内で空気の滞留や、気流の影響で高濃度になりやすい場所が存在する場合、そうした場所での作業時間が長ければ、曝露濃度が高くなることに注意する必要がある。ただし、こうした欠点は作業環境測定の実施により、ある程度補いうるものであると考えられる。

②PRTR データが正確であることが望まれる。

PRTR データを利用しているため、そのデータがある程度正確でなければ意味のある実験室環境の評価はできない。多種の薬品が不規則に混じった廃液の分析は必ずしも容易ではなく、こうした PRTR データ算出上の課題は、そのまま残ることとなる。

③一般環境中の濃度が高い物質については、安全衛生上の問題がないとする実験室濃度域が存在しなくなる。

一般環境での曝露とあわせて年間平均曝露濃度を求め、その値と NOAEL を比較しているため、一般環境中で $MOE < 100$ となる物質については、理論上、 $MOE_L < 100$ の実験室平均濃度が存在しなくなる。一般環境での濃度が高いからこそ、厳しい管理が要求されるという側面もあるが、こうした物質をどのように捕らえ、大学での管理に取り組んでいくかは議論を要する問題である。

④NOAEL の設定の問題。

科学的知見に基づき、一般環境やこれまでの基準値との整合性を保ちつつ、かつ大学の実験環境の特性を把握しながら NOAEL を設定していくためには多くの議論と時間が必要である。またそれが大学の実験室環境の管理、学生の健康管理に実用上有効な指標となりうるかどうかについても常に確認していく必要がある。さらに厳密なリスク評価の指標として考えた場合には、設定した NOAEL に対する安全係数の意味や年間平均曝露濃度の妥当性等についても十分な議論をしていく必要があると考えられる。

しかし、多くの場合、使用方法や実験プロセスに問題がなければ、実験室中の化学

物質濃度は作業環境で想定されるよりもずっと低濃度にすることができるはずであり、また学生という特殊な人口を抱える組織としても、大学独自に低濃度での管理指標について検討することは意義のあることである。

【第4章の参考文献】

- 1) 水城まさみ, 津田富康: 人体解剖実習中のホルムアルデヒド曝露による身体症状発現とアトピー性素因との関連について, アレルギー, Vol.50, No.1, pp.21-28 (2001)
- 2) Michihiro Kamijima, Kiyoshi Sakai, Eiji Shibata, Tetsuya Yamada, Seiichiro Itohara, Hiroyuki Ohno, Ritsuko Hayakawa, Mariko Sugiura, Kenihi Yamaki and Yasuhiro Takeuchi: Case Study 2-Ethyl-1-hexanol in Indoor Air as a Possible Cause of Sick Building Symptoms, J. Occup. Health, Vol. 44, pp.186-191 (2002)
- 3) 京都大学環境・安全・衛生委員会, 京都大学環境報告書ワーキンググループ: 京都大学環境報告書 2006 詳細版 (<http://www.kyoto-u.ac.jp/kankyo/reports.html>) (2006)
- 4) 高月紘, 渡辺信久, 水谷聡, 鈴木靖文, 野村直史: 京都大学における化学物質の物質収支の把握, 環境保全, No.18, pp.73-83 (2003)
- 5) 厚生労働省安全衛生部環境改善室 編: 新訂 労働衛生管理とデザイン・サンプリングの実務 (2003)
- 6) United States Environmental Protection Agency: Guidelines for Development Toxicity Risk Assessment (1991)
- 7) United States Environmental Protection Agency: Flexographic Ink Options: A Cleaner Technologies Substitutes Assessment, Vol.1 (2002)
- 8) 独立行政法人 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター: 化学物質の初期リスク評価書 Ver.1.0 No.16 クロロホルム, (<http://www.safe.nite.go.jp/management/data/16/initrisk.html>) (2005)
- 9) 環境省 環境リスク評価室: 化学物質の環境リスク評価 第1巻 (2002)
- 10) 環境省: 別添2 クロロホルムに係る健康リスク評価について(案), 報道発表資料(『指針値算出の具体的手順』の一部改定について)並びに「アセトアルデヒド, クロロホルム, 1,2-ジクロロエタン及び 1,3-ブタジエンに係る健康リスク評価について」に対する意見の募集について),

- (<http://www.env.go.jp/info/iken/h180711a/a-4.pdf>) (2006)
- 11) 産業衛生医学会：許容濃度暫定値（2005 年度）の提案理由，産業衛生学雑誌，Vol.47, pp.178-182（2005）
 - 12) 環境省 環境リスク評価室：化学物質の環境リスク評価 第2巻（2003）
 - 13) United States Environmental Protection Agency：Chloroform（CASRN 67-66-3），Integrated Risk Information System（IRIS）（2001）
 - 14) Yamamoto, S., Kasai, T., Matsumoto, M., Nishikawa, T., Arito, H., Nagano, K. and Matsushima, T.：Carcinogenicity and Chronic toxicity in rats and mice exposed to Chloroform by inhalation, J. Occup. Health, Vol.44, pp.283-293（2002）
 - 15) Hard, G.C., Boorman, G.A. and Wolf, D.C.：Re-evaluation of the 2-year chloroform drinking water carcinogenicity bioassay in Osborne-Mendel rats supports chronic renal tubule injury as the mode of action underlying the renal tumor response, Toxicol. Sci., Vol.53, pp.237-244（2000）
 - 16) Templin, M.V., Larson, J.L., Butterworth, B.E., Jamison, K.C., Leininger, J.R., Mery, S., Morgan, K.T., Wong, B.A. and Wolf, D.C.：A 90-day chloroform inhalation study in F-344 rats: profile of toxicity and relevance to cancer studies, Fundam. Appl. Toxicol., Vol.32, pp.109-125（1996）
 - 17) Constan, A. A., Wong, B. A., Everitt, J.I., Butterworth, B.E.：Chloroform inhalation exposure conditions necessary to initiate liver toxicity in female B6C3F1 mice, Toxicol. Sci., Vol.66, pp.201-208（2002）
 - 18) Coley, R.A., Mendrala, A.L., Smith, F. A., Staats D. A., Gargas, M.L., Conolly, R.B., Andersen, M.E. and Reitz, R. H.:Development of a physiologically based pharmacokinetic model for chloroform, Toxicol Appl Pharmacol, Vol.103, pp.512-527（1990）
 - 19) Ding, X. and Kaminsky, L. S.：Human Extrahepatic Cytochromes P450: Function in Xenobiotic Metabolism and Tissue-Selective Chemical Toxicity in the Respiratory and Gastrointestinal Tracts, Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol., Vol.43, pp.149-173（2003）
 - 20) 環境庁大気環境保全局：今後の大気汚染物質対策のあり方について（第六次答申）（2000）
 - 21) 産業衛生医学会：許容濃度の提案理由（1999）
 - 22) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，産総研 化学物質リスク管理研究センター：詳細リスク評価書シリーズ4 ジクロロメタン，丸善株式会社（2005）

- 23) Casanova, M., Conolly, R. B. and Heck, H. D. : DNA-Protein cross-Links(DPX) and cell proliferation in B6C3F₁ Mice but not syrian golden hamsters exposed to dichloromethene: Pharmacokinetics and risk assessment with DPX as dosimeter, *Fundam. Appl. Toxicol.*, Vol.31, pp.103-116 (1996)
- 24) Casanova, M., Bell, D. A. and Heck, H. D. : Dichloromethane Metabolism to formaldehyde and reaction of formaldehyde with nucleic acids in hepatocytes of rodents and humans with and without glutathione S-transferase T1 and M1, *Fundam. Appl. Toxicol*, Vol.37, pp.168 -180 (1997)
- 25) Ott, M.G., Skory, L.K., Holder, H. H., Bronson, J.M., Williams, P.R. : Health evaluation of employees occupationally exposed to methylene chloride, *Scand. J. Work Environ Health*, Vol.9, Suppl.1, pp.1-38 (1983)
- 26) Soden, K. J. : An evaluation of chronic methylene chloride exposure, *J Occup Med*, Vol.35, pp.1-38 (1983)
- 27) Kelly, M.:Case Reports of individuals with oligospermia and methylene chloride exposures, *Reproductive Toxicology*, Vol.2, pp.13-17) (1988)
- 28) Nitschke, K.D., Eisenbrandt, D.L., Lomax, L.G., Rao, K.S.: Two-generation inhalation reproduction study in rats. *Fundam Appl Toxicol*, Vol.11, pp.247-251 (1988)
- 29) 環境省環境管理局：平成 12 年度地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果 (2001)
- 30) 厚生省生活安全衛生局企画課生活化学安全対策室：居住環境中の揮発性有機化合物の全国実態調査について (1999)
- 31) 鈴木正昭, 大谷正義：大学における安全管理, *化学工学*, Vol.66, No.5, pp.294-296 (2002)
- 32) Tamita, K., Tonokura, K., Yamamoto, K. and Nakanishi, T. : Current situation of Web-Based chemical registration system in the University of Tokyo, *Environ. Scien.* , Vol.13, No.4, pp.201-205 (2006)
- 33) 益田文教, 平野良江, 関根嘉香：大学の教育課程における化学物質個人曝露量に対するリスクコミュニケーションの効果, *東海大学紀要*, 39, pp.181-19 (2003)
- 34) 原邦夫, 熊谷信二, 中明賢二：蒸気・ガス状化学物質の職業性曝露を推定する数理モデルの応用—曝露アセスメント・健康リスクマネジメントのために—, *労働科学*, Vol.77, No.11, pp.439-461 (2001)

第5章 本研究のまとめ

5.1 大学で使用される化学物質の環境中への排出量の推定

5.1.1 大学からの大気中への排出量の推定方法

大学においては、化学物質の使用法が多様で複雑であることから、大学で使用される化学物質の環境中への排出量等について把握することは非常に困難であった。本研究では、なるべく複数の方法を用いて把握を進めることで、クロロホルム、ジクロロメタンといった有機溶剤系の化学物質について、業者納入量（購入量）と処理量、排水への移行量とから、物質収支に基づいて、大気中への排出量が推定できることが確認できた。以下、各量の把握方法についてまとめる。

<購入量の把握>

購入量の把握方法としては、大学に薬品を納入している業者の納入実績を積み上げる方法、研究室での購入記録を積み上げる方法などが考えられる。本研究では両者を把握し、比較した結果、各研究室での購入量の把握方法などから、業者の納入実績に基づくものが、購入量としてはより正確なものであると判断した。ただし、研究室で管理の行き届いている物質では、納入実績の積み上げによって得た値と研究室での購入記録の積み上げによって得た値とがほぼ一致することが確かめられた。従って、薬品管理コンピューターなどで大学全体での薬品購入量を把握している場合でも、主要納入業者からの納入量をあわせて把握しておくことで、データの正確性について吟味できると考えられる。実際に、現在、京都大学で使用されている薬品管理コンピューターシステムでも、その薬品登録率の把握に、納入実績との比較が用いられている。

<使用量の把握>

研究室への調査票調査の結果、アセトニトリル、クロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、ベンゼン、N,N-ジメチルホルムアミドの6物質では、年間購入量と年間使用量はほぼ一致した。従って、これらの物質では購入量を把握することで、使用量がほぼ正確に把握できると判断された。本研究では、クロロホルム等の物質の使用量は、購入量としてより正確であると判断された業者納入量と等しいとして大気中への排出量の推定を行った。

<処理量の把握>

物質収支に基づいて大気への排出量を推定する際には、処理量はもっとも大きな影響を与える因子である。そのため、処理量の正確な把握は、化学物質フローの把握を進める上で重要な課題となる。

廃液の性状は複雑であり、汚染状況に注意を払う必要があるが、ガスクロマトグラフィやガスクロマトグラフ質量分析計などの分析機器で、分析が可能であった。また、クロロホルム、ジクロロメタンの処理量については、学内の焼却施設の記録から、廃液中に含有される塩素量に着目した推定も行った。大気中への排出量を推定したい物質が、特有の原子を含んでくる場合であれば、こうした原子の挙動も推定に利用できると考えられる。

<排水への移行量>

実験排水の集中管理が行われている場合、排水への化学物質の移行量を推定することは比較的容易である。京都大学でも、実験排水は集中管理がなされており、ジクロロメタン等の排水基準のある物質については、定期的に濃度が測定されている。

しかし、これまでの調査結果では、排水への移行量は、使用量に対する比率からすれば、ごくわずかであった。

<大気への排出量>

調査対象とした物質は、合成の原料としての利用がほとんどなく、使用量から処理量と排水への移行量を減ずることで、大気中への排出量を推定した。また、有機廃液処理装置の排ガスから排出されるものはごくわずかであり、大気への排出量は、実験室内で揮発しているものがほぼすべてであると考えられた。

クロロホルム、ジクロロメタンについては、実験室での揮発に関していくつかの実測を行い、実験工程等での揮発率と大学での使用実態とから揮発量を推定した。その結果と物質収支に基づいて把握した大気への排出量はほぼ一致していた。従って、本研究で用いた手法により、物質収支に基づく大気中への排出量の推定は可能であると判断された。

5.1.2 大学での使用量と大気中への排出量

大学での化学物質の使用実態は、少量多品種といわれており、クロロホルムやジクロロメタンの使用量の分布から、使用量の少ない研究室が多いことが確かめられた。一方で、年間 1,000kg

を超える化学物質を使用している研究室も存在し、各研究室での使用量にはかなりのばらつきがある。また、クロロホルムは大学全体では10 t以上購入、使用されており、かなり大規模に使用されている物質が存在することも明らかとなった。こうしたことを取り扱う事業者自らが知ることが化学物質管理においては重要であると考えられ、大学での購入量があきらかになったこと自体、PRTR 制度の意義があらわれているといえる。

2003 年度の PRTR 報告値をもとに、京都大学からの排出量が、京都府全体での排出量に占める割合を示したものが図 5-1-1 である。一般産業での使用が少ないクロロホルムでは、排出量に対する寄与率が非常に高くなっている。

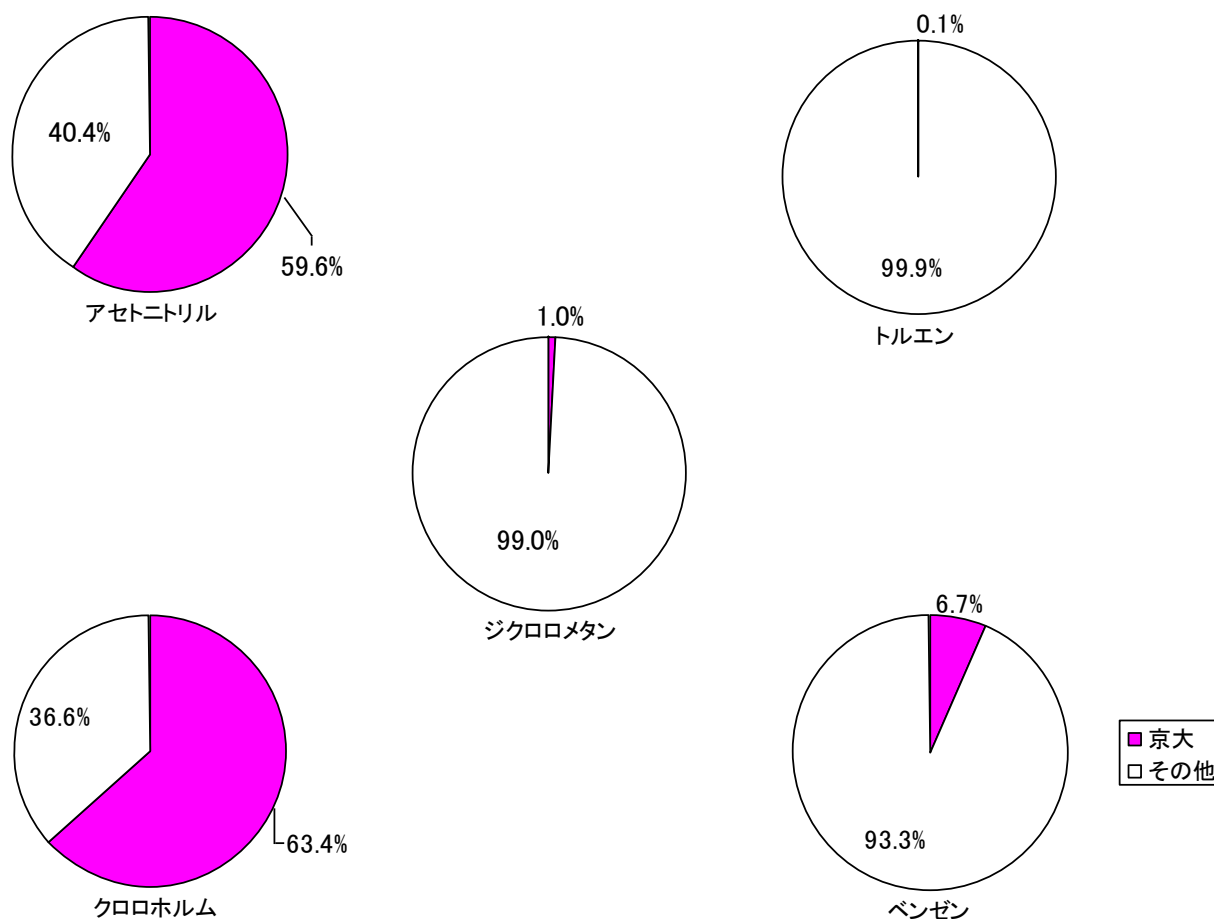


図 5-1-1 2003 年度の PRTR 結果に基づく、京都府での大気排出量への京都大学の寄与率

表 5-1-1 2004 年度の PRTR 報告値における環境中への排出量上位 5 業種¹⁾

	アセトニトリル	クロロホルム	ジクロロメタン	トルエン	ベンゼン
環境中への排出上位5業種	化学工業 (94%)	パルプ・紙・紙加工品製造業 (51%)	金属製品製造業 (17%)	輸送用機械器具製造業 (16%)	化学工業 (37%)
	食料品製造業 (3%)	化学工業 (33%)	化学工業 (14%)	プラスチック製品製造業 (12%)	石油製品・石炭製品製造業 (18%)
	自然科学研究所 (2%)	電気機械器具製造業 (11%)	輸送用機械器具製造業 (12%)	出版・印刷・同関連産業 (13%)	鉄鋼業 (17%)
	倉庫業 (1%)	高等教育機関 (2%)	プラスチック製品製造業 (12%)	パルプ・紙・紙加工品製造業 (11%)	燃料小売業 (13%)
	高等教育機関 (0%)	自然科学研究所 (1%)	木材・木製品製造業 (10%)	化学工業 (8%)	石油卸売業 (3%)

表 5-1-1 には、2004 年度の PRTR 報告における、物質ごとの環境中への排出量の上位 5 業種があげられているが、やはりクロロホルム、アセトニトリルといった物質で高等教育機関が上位に入っており、大学での化学物質管理の重要性が再認識される結果となっている。

5.2 実験室で問題となる揮発プロセスについて

本研究では、クロロホルム、ジクロロメタンの大気への排出量が多いことがわかり、大学として何らかの揮発低減策を講じる必要があると判断された。揮発量の低減は作業環境を適性に保つ上での基本的事項であり、大学周辺環境へのリスク低減からも重要な意味を持つものである。

<蒸留濃縮時の揮発>

実験室内で問題となる揮発プロセスとしては、溶媒の蒸留・濃縮時の揮発がある。蒸留・濃縮時の回収装置は各実験機器メーカーから販売されているが、必ずしも高額な回収装置を設置しなくとも、減圧ポンプのあとに水道水による冷却管を取り付けるだけで回収効率は向上する。

また、溶媒回収量には濃縮時の減圧度やバス温度も影響を及ぼすと考えられ、各実験室で使

用している装置にあった最適な実験条件を設定することが重要である。

<ふたなし容器での静置>

溶媒の入ったビーカーや三角フラスコ，特に廃液ポリ容器を密栓不十分の状態でも置いておくことも，大学全体の揮発量に無視できない影響を及ぼすことが考えられた。作業環境測定の際にも，ふたなしの廃液ポリ容器の周囲の濃度があがっていることがしばしばあり，廃液投入時，廃液保管時の揮発量に注意を払う必要がある。一杯になった廃液ポリ容器は，できるだけ速やかに処理することが望まれる。これは，消防法の主旨から見ても重要である。また，液体クロマトグラフィを用いた分取操作の際も，分取後に三角フラスコ，試験管などを長時間放置しないことも重要である。

<ドラフトの使用について>

ドラフトは実験者の曝露量の低減に有効であることが知られており，Taskinenらはフュームフードなどの局所排気装置による曝露低減効果を6分の1としている²⁾。一方で本研究の廃液ポリ容器からの揮発実験では，ドラフト内ではドラフトの外よりも揮発量が多くなる結果となった。ドラフトは実験者の曝露量の低減には有効で，安全な実験環境の実現のために十分活用されるべき装置であるが，ドラフト内ではドラフト外よりも揮発速度が速くなるため，揮発量そのものを低減する対策とはならないことに注意が必要である。

5.3 PRTR データを利用した実験室環境の評価手法の提案

5.3.1 実験室の作業環境評価結果と学生を念頭においたリスク指標の必要性

<実験室での作業環境測定結果>

実験室での作業環境測定の結果，定量下限値程度の濃度が多く検出され，実験室内の化学物質濃度は総じて低いことがわかった。ただし，京都大学で化学物質を使用する全研究室を対象に行われた作業環境測定の結果では，ドラフトの多い実験室内であっても，不適切な使用をしている場合には，実験室内濃度は高濃度となり，第2，第3管理区分と判断された実験室もあった。しかし，その割合は1%にも満たず，ほとんどの実験室の作業環境測定結果は第1管理

区分であった。適正な化学物質の使用がなされれば、実験室内濃度は、管理濃度で要求されるよりもずっと低い濃度となると考えられた。また一方で、一般に行われている作業環境測定のみでは、実験室環境をその管理状況に応じて十分に区分することができないことが考えられた。

<モデル計算に基づく実験室内の平均濃度の推定>

全研究室での使用量をもとに、PRTR で得た大気排出率を実験室での平均的な揮発率とみなして、完全混合モデルを用いて、実験室内の平均濃度を推定したところ、実験室内の平均濃度は低濃度側に分布していると推定された。実験室平均濃度が作業環境測定で要求される最低限の定量下限値（管理濃度の10分の1）未満である実験室も多数存在すると考えられた。実験室でのリスクを評価、実験室環境の評価の際には、こうした低濃度の化学物質に対する評価が必要であると考えられた。

<学生を念頭においた健康リスク指標の必要性>

学生は法律上、労働者とは異なる。また、実験室内に学習スペースを有している場合もあり、そのリスク評価には、労働環境よりも一般環境に近い視点が必要になると思われる。こうした要求は、実験室内の平均濃度が低いことによる低濃度の化学物質曝露のリスク評価の必要性ともマッチングするものである。

5.3.2 新手法の特徴と今後の大学の化学物質管理への応用

本研究で提案した実験室環境の評価手法は、学生の健康リスク評価を念頭に、一般環境でのリスク評価に利用されたものや環境基準の根拠とされたものを参考に決定した NOAEL と、PRTR データに基づく揮発率と各研究室（または実験室）での使用量とドラフト等の排风量から、完全混合モデルを用いて計算した実験室内平均濃度と一般環境中での曝露濃度から求めた年間平均曝露濃度を比較して、実験室環境を3区分にわけて評価するものである。

特徴としては、以下のようなものがあげられる。

- ①PRTR データで把握可能な量を基礎としているため、既存の PRTR データの把握システムを利用できる。
- ②実験室内濃度のモニタリング的な評価が可能である。
- ③計算値によって平均濃度を求めるため、各実験室で濃度測定を実施することに比べれば費用

がかからず、また作業環境測定の定量下限値以下の濃度レベルについても扱うことができる。

④健康リスクのスクリーニング手法を基礎としているため、実験室での比較的低濃度の化学物質曝露による健康リスクの認知につなげていくことが可能である。

本手法は、実験室の安全衛生的な管理を進めていく上で、作業環境測定と相互に補完しあう評価手法として利用が可能であると考えられる。また、作業環境測定は個々の実験室でなされ、その測定値に基づいて、個々の作業場を評価していくものであるが、PRTR データを利用することで、本手法では複数の実験室を同時に評価することが可能になると考えられる。

本手法では、実験者の年間平均曝露濃度を一般環境のリスク評価等に用いられる NOAEL の 100 分の 1 を目指して管理していくものであるが、揮発がすべて実験室内で起こるとする仮定の下で、実験室内での健康リスクを一般環境で要求されるリスクレベルに近い濃度で管理しておけば、周辺環境へのリスクもほぼ無視できる程度に管理できることが期待される。ただし、使用量が非常に多く、揮発量の低減だけでは十分に MOEL 値を改善できない実験室では、揮発量が最小になるような対策を取った後、ドラフト内での揮発プロセスを考慮する必要性が生じる可能性もあると考えられる。また、実験装置の改善や効率化による使用量の削減についても検討が必要であると思われる。

また、本手法では評価の過程で大学全体での排风量と揮発量を計算するため、これらの数値から排風装置の排気口での平均化学物質濃度を求めることもできる。

PRTR も労働安全衛生管理も、リスクの低減を最終的な目標としている。大学と研究室、学生と教官と事務職員など、様々な構成員に対して共通の認知を可能とするような、大学の化学物質の使用実態に適したリスク評価を行うことは、大学での化学物質管理が有意義なものとなっていくために、必要不可欠であると思われる。

また、学生が定期的に入れ替わっていく大学では、実験操作に不慣れな学生が常に一定の割合で存在していると考えられるが、こうした学生の実験操作の習熟も実験室環境の安全確保のためには重要な課題である。実際に、溶接作業者に対する粉塵の個人曝露濃度を 3 日間測定した結果、溶接技術を修得して間もない技術者は溶接経験 10 年以上の作業者の平均 3.5 倍の曝露を受けていたとの報告があり³⁾、実験操作への習熟もまた、実験者の曝露量の低減、リスクの低減につながっていくことが期待される。

リスク認知を促していくための情報発信は、教育研究機関である大学では教育という形でな

されていくはずであり、また実験者の作業への習熟度を向上させていくこともまた教育によって可能となるはずである。教育を通してリスクの低減につとめ、安全な実験室環境を創造していくことは、大学に最もふさわしいリスク低減のあり方、また化学物質管理のあり方であるといえるだろう。

【第5章の参考文献】

- 1) 環境省：リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート 2005年度版（2005）
- 2) Taskinen, H., Kyyronen, P., Hemminki, K., Hoikkala, M., Lajunen, K. and Lindbohm, M.S. : Laboratory Work and Pregnancy, *Journal of Occupational Medicine*, Vol.36, No.3, pp.311-319 (1994)
- 3) 木村菊二：環境の粉塵濃度と個人暴露濃度（第2報），*労働科学*, Vol.51, No.6, pp.313-321 (1975)

謝辞

本研究は、本当に多くの方々の協力があって進めることができたものであり、このような論文の形にまとめることができたのは、そうした温かなご協力とご支援があったからです。博士後期課程の3年間、指導教官としてお世話になった内山巖雄先生には、いつもお忙しい中でもじっくりと相談にのっていただき、親身になってアドバイスをいただきました。そして、必要な視点を与えていただいたことに心から感謝しております。また、松井利仁先生からは研究に取り組む観点を学ばせていただきましたし、村山留美子先生にも様々な助言をいただきました。学部、そして修士とお世話になった高月紘先生からは、博士進学にあたって「ドクターは自分で道を切り開いていかなければならない」というメッセージをいただきました。博士課程での3年間を支える一言で、大きな力になりました。また修士課程、さらに博士課程進学後も指導していただいた渡辺信久先生には、いつも学術的な観点を教えていただき、課題を認識しつつ研究を進めることを学ばせていただきました。いつも私には欠けている観点を与えてくださり、感謝しております。学部のころからお世話になった水谷聡先生にもよく指導していただき、いつも気にかけて声をかけていただいたことに感謝しております。京都大学環境保全センターの酒井伸一先生にも、保全センターの実験室で実験をさせていただくなど、非常にお世話になりました。京都大学物質エネルギー化学専攻の木下知己先生には、実験操作での揮発量の測定で快く実験室を使わせていただいたほか、薬品管理コンピューターシステムの管理に携わっていらっしゃる立場からも様々な助言をいただきました。また材料化学専攻の大嶋幸一郎先生には、京都大学の環境安全保健機構の機構長を務めていらっしゃることから、作業環境測定に関する情報の提供をしていただき、学内の労働安全衛生に熱心に取り組んでいらっしゃる姿からはいつも刺激と感銘を受けました。環境保全センターの技術職員でいらっしゃる真島敏行氏には、KYS運用にかかわる様々な情報を提供していただきました。同じく環境保全センターの技術職員の本田由治氏には廃液や排水の分析について多くのご指導を賜りました。鈴木靖文氏には、研究室への調査票調査や業者への納入量調査でサポートをしていただきました。さらに、内山研究室の皆様、そして環境保全センターの皆様にも心からの感謝を伝えます。

そして、いつもよく支えてくれた家族にも感謝の気持ちを伝えます。そして、今年の7月この世を去った父にも心からの感謝を伝えます。最後まで精一杯生きる姿勢をみせ

てもらったので、私も最後まで挑戦することができました。また、落ち込んだときに「おまえならできる」と声をかけてくれたので、再び立ち上がることができました。本当にありがとう。

ここに名前を挙げた方以外にも実に多くの方の支えをいただきました。そうした多くの方々のご協力を、まだまだ形にできなかつたところもありますが、本研究が、日々、研究活動に勤しまれている方々の健康保護や、環境との調和を目指して化学物質管理に取り組んでいらっしゃるの方々にとって、一助になれば幸いに思います。

野村直史

付録

付録 1 業者納入量調査集計

付録 2 第 1 回研究室調査 調査票

付録 3 第 2 回研究室調査 調査票

付録 4 第 3 回研究室調査 調査票

付録1 薬品納入量調査集計

京都大学に化学薬品（化学物質）を納入している主な業者4社を対象にヒアリングを行い、京都大学への納入量を把握した。

表IV-1 各年度の京都大学への納入量（1） <単位：kg>

PRTR政 令番号	物質名	1999年度	2000年度	2001年度	2002年度
1	亜鉛の水溶性化合物	17.3	14.4	-	-
2	アクリルアミド	135.2	108.8	122.6	102.9
7	アクリロニトリル	0.4	0.1	-	-
11	アセトアルデヒド	2.4	0.8	-	-
12	アセトニトリル	2,631.5	2,476.9	1,977.5	2,651.8
25	アンチモン及びその化合物	0.3	0.0	-	-
42	エチレンオキシド	-	-	-	0.0
43	エチレングリコール	329.6	218.8	233.5	262.7
44	エチレングリコールモノエチルエーテル	2.3	0.9	-	-
45	エチレングリコールモノメチルエーテル	4.9	2.0	-	-
58	1-オクタノール	14.2	8.7	-	-
60	カドミウム及びその化合物	0.9	1.4	-	-
63	キシレン	598.8	617.1	653.6	679.2
67	クレゾール	0.7	10.4	-	-
68	クロム及び3価クロム化合物	1.0	2.3	-	-
69	6価クロム化合物	9.5	8.3	-	-
77	クロロエチレン	0.0	0.0	-	-
90	2クロロ-4,6ビス(エチルアミノ)-1,3,5-トリアジン	0.0	0.0	-	-
95	クロロホルム	7,445.3	7,996.6	9,072.7	10,527.1
96	クロロメタン	0.0	0.0	-	-
108	無機シアン化合物	1.3	0.7	-	-
110	N,N-ジエチルチオカルバミン酸S-4-クロロベンジル	0.0	0.0	-	-
112	四塩化炭素	73.0	125.8	88.6	86.1
113	1,4-ジオキサン	228.0	276.0	238.7	163.1
116	1,2-ジクロロエタン	294.2	150.1	131.9	84.7
117	1,1-ジクロロエチレン	0.0	0.0	-	-
118	cis-1,2-ジクロロエチレン	0.0	0.0	-	-
137	1,3-ジクロロプロペン	0.0	0.0	-	-
145	ジクロロメタン	5,313.4	6,964.1	6,255.4	6,386.6
172	N, N-ジメチルホルムアミド	667.3	1,027.4	985.3	1,766.2
175	水銀及びその化合物	7.7	7.5	-	-
176	有機スズ化合物	1.7	1.9	-	-
178	セレン及びその化合物	1.0	0.6	-	-
200	テトラクロロエチレン	1.8	1.3	-	-
204	テトラメチルチウラムジスルフィド	0.0	0.0	-	-
207	銅水溶性塩(錯塩を除く)	28.9	11.6	-	-
209	1,1,1-トリクロロエタン	0.0	0.0	-	-
210	1,1,2-トリクロロエタン	0.1	3.5	-	-
211	トリクロロエチレン	135.4	66.5	59.5	84.1
213	トリクロロトリフルオロエタン	0.0	0.0	-	-
227	トルエン	3,618.2	3,465.2	3,045.3	3,316.3
230	鉛及びその化合物	2.7	2.9	-	-
231	ニッケル	0.0	0.0	-	-
232	ニッケル化合物	9.3	6.1	-	-
240	ニトロベンゼン	7.2	6.6	-	-

注) 表中の「-」は、その年度にその物質に関する納入量の調査を行わなかったことを示す。

表IV-2 各年度の京都大学への納入量 (2) <単位 : kg>

PRTR政 令番号	物質名	1999年度	2000年度	2001年度	2002年度
241	二硫化炭素	192.6	170.0	110.1	111.8
243	バリウム及びその水溶性化合物	10.7	4.1	-	-
252	砒素及びその無機化合物	0.2	0.3	-	-
254	ヒドロキノン	0.8	2.8	-	-
259	ピリジン	75.3	81.4	-	-
266	フェノール	237.1	176.1	200.4	256.9
268	1,3-ブタジエン	0.0	0.0	-	-
269	フタル酸ジ-n-オクチル	1.0	0.5	-	-
270	フタル酸ジ-n-ブチル	4.6	2.0	-	-
283	フッ化水素及びその水溶性塩	51.1	45.0	-	-
299	ベンゼン	1,737.9	1,274.0	1,078.5	966.2
304	ホウ素及びその化合物	229.7	201.4	-	-
305	ホスゲン	0.0	0.0	-	-
310	ホルムアルデヒド	439.4	414.2	402.5	334.8
311	マンガン及びその化合物	27.9	18.2	-	-
354	リン酸トリ-n-ブチル	0.0	0.5	-	-
PRTR対 象外	塩酸	891.9	1,075.3	964.1	429.1
	硫酸	492.8	466.8	863.1	776.1
	硝酸	96.5	76.3	-	-
	アセトン	16,459.6	17,411.6	15,457.3	17,950.4
	エタノール	26,964.5	27,066.6	8,817.1	9,440.5
	ジエチルエーテル	4,854.3	7,252.6	9,042.4	7,215.2
	ヘキサン	13,643.3	18,019.2	16,614.2	17,678.3
	メタノール	24,642.8	29,272.2	24,332.8	23,451.6
	酢酸エチル	6,601.5	9,721.7	8,810.6	10,598.6
	ヘプタン	21.7	40.0	-	-
	イソプロピルアルコール	1,132.4	1,395.7	1,995.0	2,027.3
	テトラヒドロフラン	1,970.5	1,987.5	1,912.0	1,925.8
	メチルエチルケトン	65.8	27.0	-	-
	アクリルアルデヒド	0.0	0.0	-	-
	アンモニア	0.0	0.0	-	-
	アンモニア水	53.6	54.0	-	-
	塩素	9.0	14.8	-	-
	臭素	4.2	8.7	-	-
	亜酸化窒素	0.0	0.0	-	-
	二酸化炭素	0.0	0.0	-	-
硫化水素	0.5	0.5	-	-	

注) 表中の「-」は、その年度にその物質に関する納入量の調査を行わなかったことを示す。

付録2 第1回研究室調査 調査票

PRTR法のための京都大学における化学物質使用量に関する調査

PRTR法（PRTRとは、Pollutant Release and Transfer Resisterの頭文字をとったもので、環境汚染物質排出・移動登録と訳される。法律の正式名称は、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」）が成立し、京都大学も一事業所として、354種類の化学物質の環境への排出量を、2002年より報告、公開することが義務づけられました。具体的には、京大内で使っている化学薬品について、購入量、使用量、各種環境媒体への移動量等を把握する必要があります。ただし本年度は、学内での使用量の特に多い5物質（ベンゼン、クロロホルム、ジクロロメタン、トルエン、ホルマリン：以下、“対象5物質”という。）について、重点的に調査したいと考えております。つきましては、貴研究室での化学薬品の使用状況について、調査を行いたいと考えております。お忙しいところを恐縮ですが、研究室の実態を調査の上、以下の調査にお答え下さい。

部局名・専攻名・講座名・研究室名	
記入された方のお名前・肩書き	
内線番号とe-mailアドレス	

(1) 貴研究室での対象5物質の所有量、年間使用量を教えてください。 単位：kg kg未満は四捨五入

物質名	前年度保管量* 13.3月末 (A)	今年度購入量 13.4.1～10.31 (B)	現在の在庫量 13.10.31 (C)	使用量 13.4.1～10.31	
				算出値(A+B-C)	(実測値**)
例 ベンゼン	5	10	7	8	8
ベンゼン					
クロロホルム					
ジクロロメタン					
トルエン					
ホルマリン					

*昨年度2月の各研究室への調査データがあれば、それを使って下さい。

**研究室内での帳簿への記録等により、使用量が正確に分かっている場合は、その値を書いて下さい。なければ空欄で結構です。

(2) 貴研究室では、対象5物質をどのように使っていますか？全使用量を10としたときの各実験に用いる割合で示して下さい。

物質名	反応溶媒	抽出溶媒	合成の原料	ガムクロマト	洗浄	保存用	その他
例ベンゼン	4	1	3	2	0	0	0
ベンゼン							
クロロホルム							
ジクロロメタン							
トルエン							
ホルマリン							

← ← ← ← ← 具体的な用途をお書き下さい。 ← ← ← ← ←

薬品名	用途

* この(1)(2)の2点については、来年の2月頃、本年度の実績について、再度調査いたします。各研究室に於いて、データの集積等、ご準備いただきますよう、お願いいたします。

- (3)対象5物質のKYS（有機廃液処理装置）での処理量を把握するために、各物質を分別貯留していただき、環境保全センターで分析・把握したいと考えています。そのために各研究室で、ジクロロメタンとクロロホルムを含む廃液、トルエンとベンゼンを含む廃液、ホルマリンを含む廃液を、それぞれ別の貯留容器に保管していただきたいと思います。具体的には、以下のようになります。

ジクロロメタン，クロロホルムを含む廃液	→ 分別容器Aへ
トルエン，ベンゼンを含む廃液	→ 分別容器Bへ
ホルマリンを含む廃液	→ 分別容器Cへ
それ以外の可燃性有機廃液	→ 分別容器Dへ
それ以外の水溶性有機廃液	→ 分別容器Eへ

ただし、このように分別していただいた分別容器A～Cには、対象5物質以外の物質も含まれると思います。実際には、貯留した廃液中の対象5物質は、どの程度の割合を占めるでしょうか？

分別容器の種類	割合 (V/V)
分別容器A中のジクロロメタンとクロロホルムの割合	%
分別容器B中のトルエンとベンゼンの割合	%
分別容器C中のホルマリンの割合	%

- (4)京都大学毒物劇物管理規程により、トルエン、クロロホルムなどの毒劇物については、使用量を各研究室で記録し、保管することとなっていますが、実際に記録は保管されていますか？

保管されている

保管されていない

- (5)貴研究室における以下の薬品の年間使用量をお聞かせ下さい。また、これ以外の物質で年間に100kg以上、使用している薬品があれば、使用量と併せてご記入下さい。

薬品の種類	年間使用量 (kg or L)
ジエチルエーテル	
ヘキサン	
ペンタン	
THF (テトラヒドロフラン)	
ジオキサン	
酢酸エチル	
メタノール	
エタノール	
イソプロピルアルコール	
アセトン	
アセトニトリル	
アクリロニトリル	
塩酸	
硝酸	
硫酸	
その他ありましたらお書き下さい(足らなければ追加して下さい)。	

ご協力、誠に有り難うございました。

ご質問は、環境保全センターまでお願いします。

また、不明点についてこちらから問い合わせさせていただく場合があることをご了承下さい。

付録 3 第 2 回研究室調査 調査票

PRTR 法のための京都大学における化学物質使用量に関する調査

昨年 11 月に実施した「PRTR に関する調査」にご協力いただきありがとうございました。

法律に基づいた年次報告をするにあたり、前回の 5 物質に新たにアセトニトリルを加えた 6 物質について使用量等の把握が求められます。つきましては、お忙しいところを恐縮ですが、研究室の実態を調査の上、以下の調査にお答え下さるようお願い致します。また、学生実験で使用している薬品についても、記入していただきますよう、お願い致します。

部局名・専攻名・講座名	
研究室名もしくは学生実験室名	
記入された方のお名前・肩書き	
内線番号と e-mail アドレス	

(1) 以下の化学薬品 6 物質について、貴研究室の 2 月末での在庫量、今年 2 月末までの使用量を教えてください。なお単位は kg もしくはリットルとし、薬品ごとに○をつけてください。

化学薬品名	単位	在庫量		購入量	使用量	
		前年度末* 13.3 末 (A)	現在 14.2 末 (B)	今年度 13.4~14.2 (C)	算出値 (A+C-B)	使用記録合計 値**
例 ベンゼン	kg・ Ⓛ	5	7	10	8	8
ベンゼン	kg・L					
クロロホルム	kg・L					
ジクロロメタン	kg・L					
トルエン	kg・L					
ホルマリン	kg・L					
アセトニトリル	kg・L					

*昨年度 2 月の各研究室への調査データがあれば、それを使ってください。

**研究室内の帳簿への記録等により、使用量が正確にわかっている場合は、その値を書いてください。なければ空欄で結構です。

(2) 貴研究室では、アセトニトリルをどのように使っていますか。全使用量を 10 としたときの各実験に用いる割合で示してください。使用していない場合は空白で構いません。

化学薬品名	反応溶媒	抽出溶媒	合成原料	ガムクロマト	洗浄	保存用	その他
例	4	1	3	2	0	0	0
アセトニトリル							

「その他」の用途で使用している場合、具体的な用途をお書きください。

{ }

(3) 貴研究室で化学物質を安全に使用したり、効率的に使用するために工夫されている点はありませんか。該当する番号すべてに○をつけてください。

1. ローターエバポレータに溶媒回収装置をつけている。
2. 薬品が空気に触れないよう、密閉系の実験装置を使用している。
3. 回収装置で回収された薬品を再使用している。
4. そのほか

()

(4) 貴研究室において、有機廃液用の廃液タンクの取り扱いはどうしていますか。

A: 廃液タンクのふたについて

1. 実験中は廃液タンクのふたを開けている。
2. 実験中も廃液タンクのふたは閉めている。(注ぎ込む時だけ開ける)

B: 使用中の(満杯になっていない)廃液タンクの設置場所について

1. ドラフトの中に置いている。
2. ドラフトの外に置いている

(5) 貴研究室が KYS で処理した有機廃液の量を把握していますか。

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1. 記録されている。 | } 1、2 の場合には今年度の量をご記入ください。 |
| 2. おおよそ推定できる。 | |
| 3. 推定できない。 | |
- 有機廃液 () L
水溶性希薄廃液 () L

(6) 化学薬品を納入する業者についてお尋ねします。N 社、W 社、S 社の 3 社以外から化学薬品を購入していることはありますか。(少量のサンプル等は除きます)

1. ない (3 社のみ)
2. ある

↓

3 社以外からの購入がある研究室にお尋ねします。おもてページに示した 6 物質を購入している場合には、その購入量を教えてください。

薬品名	年間購入量 (kg もしくは L)

ご協力ありがとうございました。

ご質問は、環境保全センターまでお願いします。また不明点についてこちらから問い合わせさせていただく場合があることをご了承ください。

付録4 第3回研究室調査 調査票

化学物質の使用状況と、実験室の安全に関する調査

PRTR法に基づいた年次報告をするにあたり、京都大学で使用している化学物質のうち7物質について、使用量等の把握が求められます。

そのためには皆様のご協力が欠かせませんので、研究室の実態を調査の上、以下の調査にご協力いただきますようお願い致します。なお、学生実験室も対象となります。

部局名		専攻名		講座名	
研究室名もしくは学生実験室名					
記入された方のお名前・肩書き					
内線番号		e-mail			

(1)以下の7つの化学物質について、貴研究室の在庫量(前年度頭と年度末)、前年度の購入量、前年度の使用量を教えてください。なお単位は kg もしくはリットルとし、物質ごとに○をつけてください。単位は記入もれのないようにご注意ください。

化学物質名	単位 (必ずいづれかに○をつけてください)	在庫量		購入量	使用量	
		前年度頭 14.4 頭 (A)	前年度末 15.3 末 (B)	前年度 14.4~15.3 (C)	算出値 (A+C-B)	使用記録 合計値**
例 ベンゼン	kg・ <input checked="" type="radio"/> L	5	7	10	8	8
アセトニトリル	kg・L					
クロロホルム	kg・L					
ジクロロメタン	kg・L					
トルエン	kg・L					
ベンゼン	kg・L					
N,N-ジメチルホルムアミド	kg・L					
ホルマリン	kg・L					

**研究室内の帳簿等への使用量の記録がある場合は、その値を書いてください。なければ空欄で結構です。

(2)上記の表において、購入量はどのように把握していますか。該当する番号を○で囲んでください。その他の項目を選択された場合は、お手数ですがその内容を記入してください。

1. 購入伝票の記録に基づいて
2. 物質管理コンピューターの記録に基づいて
3. その他 →具体的に()

(3) 貴研究室では、N,N-ジメチルホルムアミドをどのように使っていますか。全使用量を 10 としたときの各実験に用いる割合で示してください。使用していない場合は空白で構いません。

	反応 溶媒	抽出 溶媒	合成 原料	カラムク ロマトグ ラフィ	洗浄	保存 用	その 他	(その他の場合の用途)
例	4	1	3	2	0	0	0	
N,N-ジメチル ホルムアミド								

(4) 昨年の調査から、化学薬品の大気揮散が大きいという推計結果となりました。貴研究室で先の 7つの化学物質を用いた実験をされている場合、実験に使用した化学物質が大気中に揮散しやすいと考えられる操作工程がございましたら、ご記入願います。また、その際、使用量のどの程度が大気中に揮散しているか、推測が可能であれば、ご回答ください。

例：抽出過程で 4 割程度揮散

(5) 実験中等に化学物質によるトラブルの経験がありましたら、該当するもの全てに○をつけ、また原因となる化学物質が推定できる場合には、()内に名称をお書きください。

1. 有機溶媒使用時に気分が悪くなったことがある。
物質名()
2. 化学物質が原因と見られる手荒れやアレルギー症状を起こしたことがある。
物質名()
3. 化学物質による目や体の損傷、火傷などをしたことがある。
物質名()
4. その他 []
物質名()

ご協力ありがとうございました。ご質問などございましたら、環境保全センターまでお願い致します。またご回答について、こちらから問い合わせさせていただく場合があることをご了承ください。