

## 分担研究報告書

高等教育機関における効果的な安全教育プログラムのあり方

研究分担者 大島義人

## 高等教育機関における効果的な安全教育プログラムのあり方

研究分担者 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 大島義人

### 研究要旨:

高等教育機関における理工学研究において、実験研究現場の安全確保が重要な課題となっている。研究活動の特徴である新規性や独創性の追求に鑑み、大学等の研究教育機関では産業界で採用されている安全衛生管理とは性質の異なる手法が必要である。また、大学が社会に果たすべき重要な役割として、安全についての知識や感性が豊かな人材を育成・輩出するための新しい安全教育手法の確立が急務となっている。

本研究では、大学で行われている安全教育の現状と課題を踏まえ、単なる知識の伝達にとどまらず、体験的学習の要素や自主的なリスク認識の涵養の観点を加えた安全教育カリキュラムについて検討を行った。具体的には、体験型手法を取り入れた安全教育手法の実施例として、講義、学生実験、講習会のそれぞれについて、参加者体験型のプログラムを提案し、実際に大学の講習や講義において試行的に実施した。また、大学の実験研究における化学物質と安全意識との関係性について、実験現場の研究者や学生を対象とするアンケートや実測を行い、安全意識や取り扱い行動との関係性に関するデータを取得した。構造式から判断される危険有害性評価に関する解析の結果、学年が上がるにつれて、危険有害性を構造と結び付けて想起する能力が高まり、また総合的な危なさをより幅広い危険有害性と結びつけて考えるようになる傾向を確認した。化学物質の構造と危険有害性との関係に関する体系的な学習が、化学物質の危険有害性に関する知識の獲得や感性の醸成に有効であるとともに、OJT(On-the-Job Training)的実践教育によって様々な知識を化学物質の危険有害性の予測に結びつけるための教育上の方法論を整備することが、化学物質の危険性意識の醸成に繋がるより実効的な安全教育手法として重要であることを示した。

## 背景と目的

科学技術立国を支える理工学研究の推進において、実験研究現場の安全が確保されることが前提となることは論を待たない。大学をはじめとする高等教育機関や研究所の法人化に伴い、各機関において労働安全衛生法に対応するための安全衛生管理体制が整備されつつあるが、実際の実験研究現場における事故発生件数や傾向など、安全状況の実態には法人化前と比較してほとんど変化がないのが現状である。産業界で採用されている安全衛生管理手法が作業手順の標準化とその徹底に主眼を置いているのに対し、新規性や独創性が求められる大学での研究活動においては、研究分野の深化と多様化が進む中で、未知なる現象の解明や最適な方法論の試行錯誤的な探索に価値のある研究も多く、産業界の生産活動とは明らかに性質を異にする。また、安全についての知識や感性が豊かな人材を育成・輩出することが、大学が社会に果たすべき大きな役割の一つであることを考えると、現状の大学の安全教育は決して十分ではなく、影響因子が複雑に絡み合って構成される安全構造の本質的な理解とそれに基づいた新しい安全教育手法の確立が急務となっている。

このような大学で行われている安全教育の現状と課題を踏まえ、本研究では、単なる知識の伝達にとどまらず、体験的学習の要素や自主的なリスク認識の涵養の観点を加えた安全教育カリキュラムについて検討を行った。具体的には、大学

における安全講習を中心とした安全教育の現状と課題について整理した上で、体験型手法を取り入れた安全教育手法の実施例として、講義、学生実験、講習会のそれぞれについて、参加者体験型のプログラムを提案し、実際に大学の講習や講義において試行的に実施した。また、大学の実験研究における化学物質と安全意識との関係性について、実験現場の研究者や学生を対象とするアンケートや実測を行い、構造式から想起される危険有害性評価能力が身につくプロセスについて考察するとともに、化学物質の危険性意識の醸成に繋がるより実効的な安全教育手法について検討を行った。以下にその結果を示す。

## 現状の安全教育の課題を踏まえた新しい安全教育プログラムの提案

一般に、大学で行われている安全教育には、新たに実験を始める前の初学者や、研究活動の一環で実験作業を行っている学生・研究者に対する講習会形式の教育と、所属する研究室における OJT (On-the-Job Training) 的な実践教育に大別される。このうち、前者の講習会形式の教育については、一般に以下のような問題点があると言われている。

- ・主に新人を対象とする安全講習は、短時間でかつ広い受講対象を想定しているため、個々の受講者にとって関係のない内容が多く含まれる一方、自分が関連する分野で本当に必要な情報が十分に伝達される機会にもなっていない

い。

- ・講師の負担などの事情から開催頻度に限界があるため、年度途中で着任する教員や研究員などにとって、タイミングが悪いと長期間受講できない。
- ・受講者の理解度についてのチェックが十分でない。
- ・一般に、外国人に対する環境安全教育は未整備である。
- ・安全講習は、常識的な事項を再確認する機会といった側面が強く、通常の講義のような新しい知識の獲得機会に比べて、受講者のモチベーションが低い。また、魅力的で効果的な講習のあり方に関する検討も不十分である。

このような現状をふまえ、必要な受講者に必要な情報が確実に伝わる教育方法について検討する必要がある。

#### 1) 講習内容の体系的整理

分野や熟練度に応じて適切な講習・講義が受けられるための、講習会や講義の体系的な整理について検討する。初心者に対しての基礎教育と、分野・作業（物質）ごとの講習は明確に区別するべきであろうし、基礎の部分については、大学間での共有化可能な web ラーニングの活用も有効と考えられる。体系化が確立すれば、単位や受講履歴の互換も可能になる。

#### 2) 安全教育の講義化

安全に関する教育の内容を、単位を付与する学部・大学院の講義科目の一つとして整備する。具体的には、安全をテーマとする実験や演習の導入、web コンテ

ンツの活用など、自らが自発的に学び身につけることができる体験的学習の新しい方法論を取り入れる。この場合、そのコンテンツをできれば教科書としてまとめる必要がある。

#### 3) 教育機関としての安全教育

事故が起こらないことだけではなく、安全について主体的に考え、判断することができる人材の育成を目的とする点が、教育機関である大学と企業との安全管理手法に関する決定的な相違点である。そのためには、「べき」論に終始する教育では不十分であり、どこまで教えてどこから考えさせるかの境界が重要である。

一方、特に OJT 的な実践教育の重要性や、大学におけるボトムアップ的な安全教育体制の充実を考える上で、学生の教育だけではなく、以下に示すような指導側の教育や、教員と学生が一体となった教育体制が必要ではないかと考えられる。

#### 4) 現状に関する認識

学生が起こす実験事故の背景には、教員と学生との間の安全に関する認識レベルに大きな乖離があったり、事故に至るまでの実験計画や具体的な作業内容などを教員が十分に把握していないなど、コミュニケーション不足が事故の遠因となっているケースが散見される。教員側に対しては、研究室内での安全に関するコミュニケーションをはかり、学生の現状に関する理解を深めるための工夫が不可欠である。

#### 5) 各先端分野における「暗黙知」の顕在

化

大学においては、同じ組織（部局や学科）内でも研究室間で全く異なる分野の研究が行われているケースが多く、安全に関する知識も、研究室ごとに当該分野固有のノウハウを暗黙知として研究室内に継承しているのが現状である。このような先端的分野に固有の安全管理手法については、例えば各研究者が所有しているノウハウをマニュアル化することなどで顕在化し、学会活動などを通じて同一分野内で共有化できるような仕組みが有効であると考えられる。

安全教育に関するこれらの問題点を解決することを目的に、本研究では、以下に示す体験型手法を取り入れた環境安全教育プログラムを開発し、大学の講習や講義において試行的に実施した。

#### I. 大学院講義「環境安全システム論」

環境問題も安全問題もその解決には社会的ルールや適切な管理システムが必要であるが、その一方で、環境や安全を守るためのリスク回避には、自らが自分自身の健康や安全を守るための自主的行動が不可欠である。このような考え方に基つき、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻の大学院生を対象として、大学院講義「環境安全システム論」を実施した。この講義では、座学による講義形式の他、以下の演習や作業を通じて、環境安全における自主的リスク管理の重要性について考える新しい教育プログラムの提案を目指している。

#### 大学の環境報告書に関する考察

国内の各大学で発行されている環境報告書を読み、内容や表現方法、作成過程に関する特徴、統計的数値、双方向性、特徴的企画などを比較することによって、大学における研究活動と環境や安全に関する法律や規制との関係性、環境安全管理における自主的取り組みの重要性について考察させる。この課題を通じて、自分の大学を含め、大学の環境報告書の存在を初めて知った者も多く、ほとんどの学生は環境報告書に初めて触れる状況であったが、身近な題材でもあったため、比較的興味を持って取り組まれたようである。

#### 保護具に関する考察

特徴の異なる数種類の市販されている保護メガネを実際に着用させ、かけ心地、デザイン、機能性、見やすさ、視野の広さなどについて自由に評価させるとともに、技術的な改善点とともに、実験室における保護具の着用率を向上させるために有効な対策について議論させた。各メガネの評価において、好まれるメガネに偏りは小さく、製品の多様化の必要性があらためて裏付けられる結果になった。また、学生の立場から見た対策として、すぐに手の届くところに置かれることが重要であるという意見が多かったことは、着用率の向上に結びつく有用な情報であると考えている。

化学物質のリスク情報取得方法に関する演習

レーダーチャート方式による化学物質

の危険性表記法を活用して、化学物質の危険性をどの程度正しく認識しているか、またこの表記法を用いることによってどのように認識が変わったかを調べるための作業を行った。具体的には、メタノール、エタノール、クロロホルム、ベンゼン、水銀、シアン化カリウムの6つの化学物質について、特に情報を与えることなく、自分のイメージでレーダーチャートを書かせた後、各物質のGHSやMSDSに基づく正しいレーダーチャートを作成させ、両者を比較させた。作業や対象物質の種類によって、イメージと実際の相違は様々であったが、重要なことは、この教育手法が、化学物質の危険性に関する認識を新たに作る機会として機能しうることが確認できたことにある。漠然と「自分で調べる」という課題の与え方よりも具体的であり、また講義などで受け身に教わるよりも興味を持って自発的に取り組めるという点で、教育効果は高いと考えている。

## II. 「環境安全実験」の提案

安全配慮姿勢を持った人材を育成する上で、座学中心の講習で習う知識を実際の行動において実践できるようになるための教育手法の開発も重要である。本項目では、実験安全をテーマとした学生実験プログラムの提案を通じて、座学で習う安全知識の確認と、体験的に理解の促進を図る可能性について、検討を行った。具体的には、東京大学柏キャンパスにある実験室を用い、大学院生を対象として、

以下の3つの実験を、学生実験の試行として行った。

### 局所排気装置の使い方

局所排気装置の正しい理解と使用方法を学習することを目的とし、実験室にあるヒュームフードとスモークマシンを使って、面風速測定や、気流の可視化、サッシの開閉に関する注意、VAV (Variable Air Volume) の理解などを対象とした実験を行わせた。この実験内容とリンクする形で、局所排気装置の構造や関連法規などに関する講義、面風速や換気回数、省エネ効果などに関する演習と組み合わせ、教育手法としてプログラム化することが次の課題である。

### フェライト法による模擬実験廃液の処理

模擬実験廃液を自分で処理することによって、廃棄物処理に対する理解と分別の重要性について学習する。作業手順も簡単であり、危険性も少なく、1時間あまりで実施できる実験なので、準備や経費が少なく済む割に、教育効果は大きいと考えている。

### アイトラッキング手法を用いた視線の可視化

繰り返し作業による視線の変化、携帯メールによる作業への影響、急いで作業した時の視野の変化、などのテーマについて、アイカメラを用いて作業時の視線を解析し、行動パターンに関する知見を得る実験である。カメラの操作方法にノウハウが多少要求されることと、映像をコマ送りで解析する作業が繁雑であるこ

とは難点であるが、普段テレビなどでしか見る機会のない先端技術を使った実験なので、いずれの学生も非常に興味深く取り組んでいた印象を持っている。

全体的な今後の課題として、実験の対象となりうる単元の数を増やす努力とともに、また、この実験を普及させるためにはどのような実施形態が現実的なのか、などについて検討する必要があると考えられる。

### III. デモ実験を取り入れた安全講習

前述のように、知っていて当然、できて当たり前なことを羅列する座学形式の安全講習では、受講する側が受身の姿勢となりがちで、講習としての実効性が十分に上がらないことが問題となる。その意味では、「何を」教えるかだけでなく、「どのように」教えるかについての工夫も重要であり、単なる知識の伝達だけではなく、安全や危険に関する受講者の感性に訴えるための手法として、実演や動画によって危険を「見せる」ことが有効であると考えられる。

実践例として、分担者が所属する大学内および他大学の安全講習において、講習内で引火と爆発に関するデモ実験を取り入れ、受講後のアンケートによってその有効性を検証した。今回行ったデモ実験は、次の3つである。なお、いずれの実験も、事前の検討によって、危険性が十分にコントロールされた状況で行われている。

#### エタノールの着火と消火実験

アルミ板の上に噴霧されたエタノールに着火し、火の色や大きさを見せた上で、その火がぬれ雑巾によって簡単に消火できることを示す実験。エタノールに火が入った場合に、慌てて消火器を近づけて火を吹き飛ばしてしまう消火法が適切でないことも解説する。併せて、ヘキサンに引火した実験の動画を見せ、火の大きさや色がアルコールとは全く異なること、水をかけて消火しようとする、かえって火を拡大させてしまうので適切ではないことも説明する。

#### エタノールの爆発実験

下部に小さな穴を開けた空き缶にエタノールを噴霧し、紙のふたで密閉することでエタノールの爆発混合気を作った上で、下部の穴から着火して爆発させる（ふたの紙が吹き破れる）実験。と同じ少量のエタノールであっても、爆発混合気として全く異なる危険性があることを説明する。

#### エーテル蒸気の引火実験

斜めにセットされた長さ2mのポリカーボネート製の透明な筒の上部からジエチルエーテルを数滴滴下し、下部で火を着けて待っていると、数秒後に筒の下部から上部に向けて火が走る実験。有機溶媒の種類によって火の着き方が全く異なること、引火しやすい揮発性溶媒に火が着くと火炎が高速（秒速約10m）で移動すること、有機溶媒は一般に空気より重いので下に溜まること、などを説明する。

有機溶媒の引火や爆発については、一般の安全講習でも注意喚起される事項で

あり、事故事例等によってその危険性が紹介されることも多いが、このようなデモ実験を取り入れることにより、受講者にとってよりリアリティのある危険性として実感されることが期待される。

本年度、分担者が国内のある大学において、学部生、大学院生、教職員を対象に、デモ実験を含めた安全講習を実施し、講習後、内容に関する感想をアンケート（自由回答）形式で回答してもらった。その結果、学年や身分によらず、デモ実験の実演によって、講習会の印象は概ね好評であり、化学物質の危険認識に一定の効果があることが示された。

### **化学物質の危険性認識に関するアンケート調査及び危険性意識の醸成に繋がる実効的安全教育手法に関する検討**

大学の実験研究では、多くの研究室で多種多様な化学物質が使われているが、それぞれの危険有害性の種類や大きさは物質によって異なるため、実験者は、自分の実験研究で使用する物質の危険有害性を正しく把握し、それに応じて適切に取扱うことが要求される。また、大学などの実験研究においては、必ずしも汎用的な化学物質だけではなく、危険有害性が十分に明らかになっていない化合物を取り扱う機会もある。これらの背景から、実験現場で化学物質を取り扱う作業者が、化学物質の危険有害性をどのように理解し、認識しているかを知ることは、実験の安全を考える上で、また、実験研究における化学物質の安全な取扱いを教育す

る上で、重要な知見となると考えられる。

本研究では、大学の実験研究において頻繁に用いられる化学物質に注目し、化学物質と安全意識との関係性について、実験現場の研究者や学生を対象とするアンケートや実測を行い、構造式から想起される危険有害性評価能力が身につくプロセスについて考察するとともに、化学物質の危険性意識の醸成に繋がるより実効的な安全教育手法について検討を行った。以下にその概要を報告する。

#### **1. 化学の専門家の危険有害性に関する意識**

##### **(1) アンケート内容と解析手法**

国内の大学、高専、研究所において化学を専門とする教員や研究者、実験安全に関する業務に携わる43名を対象として、提示された化合物の構造式から判断する化合物の危険有害性を5段階で評価する形式のアンケートを実施した。質問に用いた化合物は、化学実験等で汎用的に使われており、危険有害性についても比較的よく知られていると予想される17物質（化合物群A）と、実験で取り扱うことがないと考えられる、架空の物質を含む12物質（化合物群B）である。この12物質は、炭素数や官能基、結合などを適当に組み合わせて作成した化合物である。

質問紙では、各構造式を提示した上で、その「毒性」、「刺激性」、「引火性」について、5段階で評価させた。同時に、構造式から判断する漠然とした危なさを、毒

性、刺激性、引火性などの個別の危険有害性を区別しない「総合的な危なさ」として、同様に5段階で評価させた。

汎用的な化合物である化合物群 A に対する回答を、GHS を基準とした各物質の危険有害性の参考指標値と比較することにより、回答者が各物質の危険有害性をどの程度正しく認識しているのかについて調べた。

また、化合物群 A および B のそれぞれの回答結果について、探索的因子分析 (EFA) を行い、「総合的な危なさ」を含む各危険有害性に関する評価軸を抽出し、グループ化された化合物の共通性を見出すことにより、どのような潜在的な因子から影響を受けて回答されたかを解析した。EFA の計算手法には主因子法を採用し、軸をプロマックス(斜方)回転して、得られたスクリープロットから因子の数(評価軸の数)を決定した。

さらに、「総合的な危なさ」の評価軸と各危険有害性の評価軸を相関分析 (CA) することにより、「総合的な危なさ」に対する各危険有害性の寄与の大きさを定量的に評価した。

なお、統計解析のソフトウェアには、IBM 社製の PASW Statistics 17.0.2 を使用した。

## (2) 解析結果

### (i) 化合物群 A の危険有害性評価

化合物群 A の 17 物質について、各危険有害性の回答分布と参考指標値を比較し、回答者が汎用的な化合物についてどの程度正しく評価したかについて考察した。

まず、「毒性」については、参考指標値と最頻回答を比較すると、両者が一致したのは 17 物質中わずかに 3 物質であり、その他の物質は全て危険有害性が高めに見積もられる結果となった。特に、アセトンやクロロホルム、フェノール、クロロベンゼン、トルエンなどにおいては、参考指標値よりもかなり高めに回答する傾向が見られた。そこで、経口による毒性だけではなく、臓器への影響などの慢性毒性に関わる参考指標値も加味し、その中で最も高い値をその物質の毒性の参考指標値として比較したところ、両者のズレが 17 物質中 15 物質で  $\pm 1$  以内に収まる結果となった。このことから、化学の専門家による毒性の評価においては、経口ばく露による急性毒性だけではなく、長期ばく露による慢性的な有害性も加味して判断されている可能性が示唆された。

一方、「刺激性」においては、17 物質中 14 物質で最頻回答値の参考指標値に対する差が  $\pm 1$  以内に収まり、参考指標値と回答傾向がよく一致した。また、「引火性」においては、最頻回答と参考指標値が同じ値を示したものが 17 物質中 12 物質となり、他の危険有害性と比べてもよく一致した。

以上の結果より、今回対象とした専門家においては、化合物群 A のような汎用的な化学物質の危険有害性について、安全管理上問題となるような危険有害性を概ね正しく認識していることが確認された。

### (ii) 化合物群 B の危険有害性評価

化合物群 B のアンケート結果では、化合物における回答分布について、目立って二極化することもなく、また極端に大きな標準偏差も見られないことから、今回の調査対象である化学の専門家における化合物群 B の危険有害性評価は比較的揃っていることが確認された。

(iii) 探索的因子分析による評価軸の抽出

化合物群 A および B のそれぞれの回答結果を用いて、EFA により各危険有害性の評価軸を抽出した。

化合物群 A について、各危険有害性のスクリープロットをもとに、「毒性」、「刺激性」、「引火性」の評価軸の数は、それぞれ 3 つ、3 つ、2 つと決定された。それぞれの評価軸に対して大きな因子負荷 ( $\pm 0.35$  以上) を持つ化合物の特徴を比較すると、いくつかの評価軸については構成する化合物群に共通する特徴が見られたものの、化合物の構造や官能基の種類に直接結びつくような共通性は、明確には表れなかった。これは、今回提示したような汎用的な化合物については、回答者に各化合物の危険有害性や物性に関する知識が十分にあるため、危険有害性の評価はこれらの知識に基づいて判断されることになり、結果として化合物の構造式との関係が明確に表れなかったためであると推測される。

次に、化合物群 B の EFA を行った。すでに述べた通り、化合物群 B は、化合物群 A とは違って、回答者にとって個別の化合物の危険有害性に関する知識が全くない、いわば未知の化合物と考えられる

物質群である。したがって、化合物群 B に関する回答について EFA を行うことによって、危険有害性にある程度十分な知識を有する専門家が、化学物質の構造式のどこを危険有害性と結びつけて判断するのかを直接測ることができると期待される。

化合物群 B の回答結果に対する EFA により得られたスクリープロットから、各危険有害性における評価軸の数を、「毒性」、「刺激性」は各 3 つ、「引火性」は 2 つと決定した。

「毒性」の各評価軸に因子負荷の高い物質の共通性から、官能基に硫黄が含まれている物質、フッ素やカルボン酸がついた物質、アルデヒド基がついた物質としてグループ化された。このように、未知の化合物の毒性については、化合物内に含まれる官能基や元素から判断している傾向が読み取れる。その際に、炭素の数や骨格などは、毒性を評価する上での判断基準になっていないことは注目される。

同様に、「刺激性」については酸性を判断する物質、酸素 酸素結合を持つ物質などの特徴が抽出され、後者については、反応性の高さを刺激性と結び付けて判断されている可能性が示唆された。また、「引火性」については、芳香環など炭素数が大きい化合物、不燃性を想起させる官能基がついている化合物といった特徴が抽出され、骨格要素である芳香環や炭素数、骨格についている官能基が重要な判断基準になっていると考えられる。

(iv) ピアソン積率相関分析による「総合的な危なさ」の要因の抽出

化学物質の構造式から判断される「総合的な危なさ」と、上記の毒性、刺激性、引火性といった具体的な危険有害性との関係について、化合物群 B の結果を用いて検討した。まず、総合的な危なさについての質問で得られた回答に対して、EFA を行い、総合的な危なさの評価軸と毒性、刺激性、引火性の各評価軸との相関分析を行った。

総合的な危なさのスクリープロットから、評価軸の数は 2 つとした。さらに、CA によって、この 2 軸と前述の危険有害性との相関を求めた。総合的な危なさの評価軸 1 においては、毒性の評価軸 1、刺激性の評価軸 1、引火性の評価軸 2 に中程度の正の相関がみられる。また総合的な危なさの評価軸 2 は、毒性の評価軸 2、刺激性の評価軸 2、引火性の評価軸 1 と評価軸 2 に中程度の正の相関がみられた。

これらの結果は、化学の専門家が未知の化合物の構造式を見て感じる総合的な危なさは、毒性、刺激性、引火性のいずれかの危険有害性に偏ることなく、複合的に寄与していることを示唆している点で興味深い。また、今回の回答者は、研究分野や経験が様々であり、慣れ親しんでいる化学物質も異なるはずであるが、未知の化合物群 B の各危険有害性に、統計的に有意な共通の評価軸が抽出されたことは、化学の専門家が化合物の構造式から判断する危険有害性の評価軸は、個

別の研究経験の内容に依存していないことを意味している。言い換えると、そのような揃った評価軸を持つプロセスについて、それぞれの熟練者が研究や業務において得た知識が自らの中で整理体系化されることによって、最終的な危険有害性を判断する指標が揃ってくることを意味していると考えられる。このような化学物質の危なさに関する普遍的な評価軸が存在するとすれば、化学物質の安全教育においても、有用な示唆を与えるものになり得ると期待される。

## 11. 学部・大学院生の危険有害性に関する意識

### (1) アンケート内容と解析方法

質問に用いた化合物は、専門家を対象に実施したアンケートで用いた質問のうち、化合物群 B (実験で取り扱うことがないと考えられる架空の物質を含む 12 物質) とした。アンケートは、化学系の大学 1 年生 21 名 (標本 ) 大学 3 年生 150 名 (標本 )、修士課程に在籍する 30 名 (標本 ) の合計 201 名を対象に実施した。また、専門分野の影響について検討するため、例として錯体化学に関する勉強会に参加する修士課程の学生 58 名 (標本 ) についても同じアンケートを実施した。得られた回答の解析手法は、専門家の場合と同様である。

### (2) 解析結果

#### (i) 危険有害性評価のばらつきについて

各標本の毒性、刺激性、引火性に関する回答のばらつきは、化学物質の構造か

ら想起される危険有害性に関する評価軸が、各標本集団でどの程度揃っているのかを表す一つの指標であると考えられる。先に示したとおり、化学の専門家に対する調査では、化合物における回答分布について、目立って二極化することもなく、また極端に大きな標準偏差も見られなかったことから、危険有害性に関する評価が比較的揃っていたが、学生に対するアンケート回答の標準偏差では、毒性や引火性において標本 の回答の分散が大きく、標本内での化合物に対する評価にバラツキがあることが示された。一方、標本 、 は相対的に分散が小さく、評価が比較的揃っている傾向を示した。刺激性については、どの標本においても同程度の分散であった。

#### (ii) 探索的因子分析による評価軸の抽出

探索的因子分析 (EFA) により各危険有害性の評価軸を抽出した。スクリープロットを用いて評価軸の数を決定し、評価軸を抽出した。すでに述べた通り、これらの化合物は、架空の物質を含む 12 物質であって、回答者にとって個別の化合物の危険有害性に関する知識が全くない、いわば未知の化合物と考えられる物質群である。したがって、これらの化合物群に対して EFA を行うことにより、その標本集団の特徴として、化学物質の構造式のどこを危険有害性と結びつけて判断するのかを測ることができると期待される。

まず、標本 の回答結果について、毒性においては 2 つの評価軸が抽出されたが、その評価軸 1 は、様々な物質がグル

ープ化され、特定の官能基や構造に着目したのでなく、総合して判断されたと考えられる評価軸であった。評価軸 2 からは、フッ素が特別な元素として捉えられていることが示された。

刺激性においても 2 つの評価軸が抽出され、評価軸 1 は毒性と同様、特定の官能基や構造によるものではない評価軸として抽出された。評価軸 2 からは、酸性や酸化還元能を有する官能基を想起させる可能性が示唆された。

引火性においては、3 つの評価軸が抽出され、チオール基や芳香環といった不燃性、酸素原子、炭素数が、それぞれ評価軸として抽出された。

標本 では、毒性において 3 つの評価軸が抽出され、特に評価軸 2 に硫黄が、評価軸 3 にはシアノ基が評価軸となっていることから、標本 に比べて個別の構造に着目して判断された結果となった。刺激性においては 2 つの評価軸が抽出され、評価軸 1 には主な構成元素が炭素、水素、酸素であること、評価軸 2 はチオール基やスルホン酸基といった酸性を評価軸としていることが示唆された。引火性においては 2 つの評価軸が抽出され、それぞれ、分子量、酸素を持つことが評価軸となっていることが示された。このように標本 の評価軸は、標本 の評価軸よりも、構造上の特性を考慮して判断された評価軸であるといえる。

標本 の回答結果に関しても、毒性について 2 つ、刺激性について 3 つ、引火性について 2 つの評価軸が抽出された。

標本 においても、標本 と同様に構造上の特性を考慮して判断された評価軸が多い傾向にあったが、標本 で抽出された評価軸との具体的な類似性は見いだせなかった。

一方、標本 の回答結果では、毒性、刺激性について、官能基に基づく各 2 つの評価軸が明確に抽出され、引火性についても、分子の複雑さと分子量といった構造上の特性と結びつく 2 つの評価軸で判断されていることが示された。

### (iii) ピアソン積率相関分析による「総合的な危なさ」の要因の抽出

化学物質の構造式から判断される総合的な危なさが潜在的にどの危険有害性を考慮して判断されているかを検討するために、総合的な危なさの評価軸と今回検討した 3 つの各危険有害性の評価軸との関係を解析した。具体的には、各標本の総合的な危なさの評価軸を EFA によってそれぞれ抽出し、次に総合的な危なさの評価軸と毒性、刺激性、引火性の各評価軸との相関分析を行った。

標本 の相関分析の結果、総合的な危なさに対する毒性の相関係数は、0.81 ~ 0.85 といった高い相関を示した。また、刺激性においても 0.73 という値をはじめ、0.50 以上の中程度の相関を示している。一方で、引火性についてはほとんど相関が見られなかった。標本 の相関分析では、標本 ほど高い相関係数を示していないが、評価軸の数は総合的な危なさ毒性が一つずつ多くなっており、相関関係が複雑に絡み合う結果となった。一方

で同じように引火性についてはほとんど相関が見られなかった。標本 については、総合的な危なさ各危険有害性の相関関係に標本 のような複雑さはなく、毒性で 0.82、刺激性で 0.68 と比較的高い相関係数が得られており、評価軸が整理されているようにも捉えられる。また、標本 、 の双方で相関係数が低い結果であった引火性に対しては、高い相関を示しており、総合的な危なさには毒性と刺激性だけでなく、引火性も考慮していることが示された。

標本 については、二つの総合的な危険性と毒性、刺激性に強い相関を示すものの、引火性には非常に弱い相関しか見られなかった。

### (iv) 危険有害性の評価軸醸成過程に関する考察

標本 ~ の EFA の結果を比較すると、各標本で、毒性、刺激性、引火性を構成する化合物に明確な類似性は観察されなかった。個別の危険有害性の観点で整理すると、毒性においては、標本 で毒性を構造の個別性で判断していないのに対し、標本 および は具体的な構造に着眼している傾向が示された。刺激性においては、共通して酸性という化学物質の特徴を刺激性と結びつけて評価されていることが示された。引火性においては、酸素原子などの個別の構造を評価する一方で、炭素数や分子量など全体の構造から判断されることが示された。また、CA の結果では、標本 、 においては、毒性、刺激性を中心に考えるが、標本 は

引火性についても留意しているという結果となった。これらの結果を学年という切り口で比較した場合、学年が低い段階では構造における個別の特徴から判断する評価軸が少ない一方、学年が上がるにつれて、構造から判断される物性と危険有害性を結び付けて判断する傾向が示された。また総合的な危なさにおいて毒性、刺激性だけではなく引火性についても留意することが示唆された。

先に示した化学の専門家の結果では、化合物の構造式を見て感じる総合的な危なさは、毒性、刺激性、引火性のいずれかの危険有害性に偏ることなく、複合的に寄与していることを示唆するものであった。また、研究分野や経験が様々である専門家であっても、化合物の構造式から判断する危険有害性の評価軸は共通のものとして現れていることから、それぞれの熟練者が研究や業務において得た知識が自らの中で整理体系化されることによって、最終的な危険有害性を判断する指標が揃ってくる可能性を明らかにした。今回の結果は、学年の進行とともに、比較的広い範囲の危険有害性を総合的に判断する傾向が強まることを示しており、学生の実験研究に関する経験を通して、評価軸は化学の専門家へと近づいていく傾向が示唆された。

一方で、同じ専門分野の修士学生を対象としている では、構造式から想起される危険有害性についての知識や感性はある程度習熟しているものの、化学物質の総合的な危険性という点については、

毒性や刺激性が非常に強く相関する一方で、引火性には相関が見られなかった。この結果は、対象が錯体化学という専門分野でよく扱われる物質や作業が背景的に関係しており、標本集団の化学物質への扱い方が危険性に関する感性に影響していると考えられる。

### まとめと今後の展望

以上のように、本研究では、高等教育機関における効果的な安全教育プログラムのあり方について、体験的学習の要素や自主的なリスク認識の涵養の観点を加えた新しい安全教育手法の提案を目指して検討を行った。

安全教育プログラムについては、これまでに各大学等で行われている安全教育の現状と課題を整理した上で、単なる知識の伝達にとどまらず、講義、学生実験、講習会などで体験型手法を取り入れた新しい教育手法を提案し、実際に大学・大学院の講習や講義において試行的に実施した。授業評価やアンケートなどから、一定の教育効果があることを確認することができた。今後は、各プログラムの内容を精査し、コンテンツの充実を図るとともに、体験的学習の要素や自主的なリスク認識の涵養に関する観点で、プログラムの実施効果を評価・検証する方法論について検討を進めることが期待される。

化学物質の危険性に関する感受性の醸成については、化学を専門とする教員や研究者、実験安全に関する業務に携わる教職員を対象に、化合物の構造式を提示

し、構造式から想起される物質の危険有害性を評価するアンケートを実施し、統計学的手法を用いて、危険有害性の評価軸について、解析を行った。化学の専門家においては、構造式から判断される総合的な危なさについては、各危険有害性が複合的に寄与して判断されていることが示され、化学の専門家においては、個々の研究経歴は違っていても、それぞれの研究において得た知識が自らの中で整理体系化されることによって、最終的に危険有害性を判断する普遍的指標に向かって揃ってくる可能性が示された。一方、化学系の大学・大学院生においては、学年が上がるにつれて、化学物質の構造の特徴から危険有害性を想起する能力が高まる傾向や、総合的な危なさをより幅広い危険有害性と結びつけて考えるようになる傾向があることが明らかになり、学年が上がることによって、化学物質の危険有害性に精通する専門家の評価軸に近づいていく可能性が示唆された。また、錯体化学を専門とする学生に対するアンケート結果から、構造式から想起される危険有害性についての知識や感性はある程度習熟しているものの、化学物質の総合的な危険性という点については、専門分野でよく扱われる物質や作業といった標本集団の化学物質への扱い方が危険性に関する感性に影響している可能性が示唆された。

化学系の学生の場合、学年の進行に伴って、講義などを通じて化学物質の構造と物性の関係を学ぶ機会が増えるのが通

常であるが、化学物質の危険有害性に特化した講義はほとんど行われていない。逆に、大学で行われる安全講習では、個々の物質の危険有害性についての注意喚起が主たる目的であり、化学物質の構造と危険有害性とを関連づけて体系的に解説する内容の講習は非常に希であるのが現状である。このようなギャップを解消し、物質の構造と危険有害性との関係について体系的に学習させることができれば、化学物質の危険有害性に関する知識の獲得や感性の醸成に有効ではないかと考えられる。また、実験の経験が危険有害性に関する感性の醸成に影響を与える可能性を示唆する本研究の結果に鑑み、研究現場の特徴である OJT ( On-the-Job Training ) 的实践教育を通じて、様々な知識を化学物質の危険有害性の予測に結びつけるための教育上の方法論を整備することが、化学物質の危険性意識の醸成に繋がる実効的な安全教育手法として有効であると期待される。

## 研究発表

### 【論文】

- ・三宅淳巳, 大島義人, 新井充, "化学物質等安全管理情報システムの構築と活用", *環境と安全*, **3(1)**, 39-43 (2012).
- ・根津友紀子, 林瑠美子, 大島義人, "化学の専門家が構造式から想起する化学物質の危険有害性に関する統計学的解析", *環境と安全*, **4(3)**, 185-194 (2013).
- ・根津友紀子, 林瑠美子, 大島義人, "Radio Frequency Identification システム及

び web カメラを用いた化学実験室における試薬の動態に関するケーススタディ", *環境と安全*, **5(1)**, 9-17 (2014).

・ Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, "Case study of experimental behavior analysis in an academic chemical laboratory using fixed-point observation via web cameras", *Journal of Environment and Safety*, **5(2)**, 99-105, 2014.

・ Ai Shuhara, Yoshito Oshima, "Comparative Statistical Analysis of the Safety Management Approach and Academic Field Impact on Experimenter Awareness and Behavior", *Journal of Environment and Safety*, 2015 (in press).

#### 【口頭発表 (国際シンポジウム等)】

・ Kengo Tomita, Ai Shuhara, Rumiko Hayashi, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima, "Proposal for practical database system for research institutes of chemical information", *SETAC Asia-Pacific Meeting 2012*, 熊本, ポスター (2012).

・ Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, "Statistical analysis on student perception of the risk of chemical substances in Japanese universities", *SETAC Asia-Pacific Meeting 2012*, 熊本, ポスター (2012).

・ Yoshito Oshima, "A New Approach of EHS Education in Japanese Universities", *第1回大学における安全衛生教育国際シンポジウム ~ 世界標準の安全衛生教育の確立をめざして ~*, 愛媛, 口頭発表(招待講演)

(2013).

・ Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, "Study on relationship between handling behavior of chemical substances and laboratory layout in university", *4th Conference on Safety and Health in Research and Education Enhancing Competencies*, Singapore, 口頭発表, (2013).

・ Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, "A case study approach for visualizing handling behavior of chemical substances in chemical laboratory", *1st International Conference on Laboratory Safety in Science & Education*, Incheon, ポスター (2013).

・ Kiichi Obuchi, Yoshito Oshima, "Profile analysis on experimenters' behaviors in laboratory experiments", *1st International Conference on Laboratory Safety in Science & Education*, Incheon, ポスター (2013).

・ Ai Shuhara, Yoshito Oshima, "Statistical Analysis of Questionnaire Survey of Safety Awareness and Behavior in University Laboratories", *1st International Conference on Laboratory Safety in Science & Education*, Incheon, ポスター (2013).

・ Yoshiko Tsuji, Toshio Mogi, Tomohiro Tobino, Yoshito Oshima, "Toward the Comprehensive, Effective and Concrete Program for Environment and Safety", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, 口頭発表 (2014).

・ Kiichi Obuchi, Yoshito Oshima, "Profile

Analysis on Experimenters' Behaviors in Titration Operation by Mathematical Method", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, ポスター (2014).

・ Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, " Direct Observation of Experimental Behavior and Treatment of Chemical Substances in Academic Chemical Laboratory", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, ポスター (2014).

・ Yuki Nabeshima, Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima, " Analysis on the Influence of Laboratory Design and Operations on Airflow in Experimental Laboratory ", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, ポスター (2014).

・ Ai Shuhara, Yoshito Oshima, " Survey on Actual Status of Usage of Fume Hood in Experimental Laboratories", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, ポスター (2014).

・ Ai Shuhara, Michiko Ito, Yoko Ishiguro, Takeshi Imoto, Yoshito Oshima, "Development of Supporting Framework for Motivated High School Students' Research Activity on Environment Safety and Risk", *1st Asian Conference on Safety Education in Laboratory (ACSEL2014)*, Tokyo, ポスター (2014).

#### 【口頭発表 ( 国内学会等 )】

・ 主原愛, 林瑠美子, 春原伸次, 飯本武志, 大島義人, "『フード屋の魂』～研究現場における局所排気装置の適切な管理・運用を支援する教育コンテンツの開発～", 平成 24 年度放射線安全取扱部会年次大会, 愛媛, ポスター (2012).

・ 根津友紀子, 林瑠美子, 大島義人, "実験作業における化学物質のイメージと行動の関係", 第 2 回 REHSE 研究発表会, 愛媛, 口頭発表 (2013).

・ 主原愛, 大島義人, "実験安全に関する習慣の背景要因の統計学的手法による解析", 第 2 回 REHSE 研究発表会, 愛媛, 口頭発表 (2013).

・ 村田和香, 山本仁, 大島義人, "実験室巡視に基づく実験環境における危険性の分類と実験作業との関係", 第 2 回 REHSE 研究発表会, 愛媛, 口頭発表 (2013).

・ 小淵喜一, 大島義人, "水の秤量作業における作業者の内在的パラメータの抽出手法の開発", 日本認知心理学会 第 11 回大会, 東京, ポスター (2013).

・ 根津友紀子, 林瑠美子, 大島義人, "ケーススタディ的アプローチによる実験室での化学物質の取扱われ方の解析", 第 3 回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2014).

・ 主原愛, 岡勝紀, 春原伸次, 大島義人, "実験室におけるヒュームフードの使用実態の解析と合理的な使用についての検討", 第 3 回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2014).

・ 小淵喜一, 大島義人, "実験作業における

行動予測に向けた作業行動のモデル化", 第3回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2014).

・主原愛, 大島義人, "ヒュームフード天板表面の評価手法に関する検討", 第4回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2015).

・根津友紀子, 大島義人, "大学実験室における実験台の使われ方解析", 第4回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2015).

・鍋島優輝, 根津友紀子, 山本仁, 大島義人, "大学実験室内気流の可視化および室内レイアウトが気流に及ぼす影響の解析", 第4回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2015).

・辻佳子, 茂木俊夫, 藤井武則, 大島義人, "思考力・実践力習得のための環境安全教育教材創成", 第4回 REHSE 研究発表会, 東京, 口頭発表 (2015).

#### 【解説記事】

・大島義人, "研究施設の安全性と省エネルギー - 多様性を考慮した実験室システムのあり方とユーザー側の課題 - ", クリーンテクノロジー, **22(11)**, 1-5 (2012).