

論文の内容の要旨

論文題目 実験研究現場における化学物質のリスク低減を目指した 作業者の危険性意識及び実験作業行動の解析

氏 名 根津 友紀子

第1章 緒言

大学の実験研究では様々な化学物質が使用されている。化学物質は、それ自身が研究対象であるほかに、別の研究目的を果たす上での道具として使用されている場合など、その用途は目的によって異なる。また様々な化学物質に関する事故が起きている。東京大学における2010年度の実験中の事故は116件で、うち59件が化学物質に関する事故である。その内訳から、繰り返し同じような事故が起きていることや、慢性毒性は事故報告として顕在化しないことが特徴といえる。さらに大学の実験研究における主な作業者は学生である。

このような大学の化学物質の利用状況に対して、化学物質のリスク低減のために教育や管理が行われている。教育においては、講義、安全講習、学生実験などの実習、研究室における On-the-Job-Training などを通じてリスク低減しようという試みが行われている。管理においては、使用実態のモニタリングということで、大学では薬品管理システムを使って、研究室単位で化学物質(試薬、高圧ガス等)の入りと出の把握、半年に1回の作業環境測定による実験室における化学物質濃度の把握、実験廃棄物排出システムによって、実験室から廃棄される化学物質の内容が把握されているが、大学における化学物質に関するリスク低減を考えた場合、実験者が化学物質の危険有害性をどのように捉えているのか、また化学物質をどのように扱っているのかを知ることが重要であると考えられる。

そこで本研究は、大学実験研究の特徴を踏まえた化学物質のリスク低減のあり方について、アンケートや実験室のモニタリングによって得られたデータに基づいて考察を行う。方針は、化学物質の危険有害性の捉え方を、化学の専門家や学生に対し調査し、比較検討する。また、化学物質の扱いは、実際の実験室での試薬瓶の動きや、物質の拡散といった化学物質の動態や、実際の実験行動の観察によるケーススタディ的アプローチにより議論する。

第2章 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的解析

化学の専門家の化学物質に関する危険有害性についての認識を明らかにすることを目的とし、化合物の構造式から想起される危険有害性についてアンケートを行い、統計的に解析を行った。国内の10組織(9つの大学および1研究所)に所属する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43名を対象に、化合物の構造式を提示し、「毒性」、「刺激性」、「引火性」の各危険有害性と感覚的に感じる「危なさ」を5段階(5:非常に高い・強い、4:高い・強い、3:中程度、2:低い・弱い、1:非常に低い・弱い)で評価するアンケートを実施した。アンケートに用いた化合物は、大学における化学実験で汎用的に使われているおり、危険有害性について比較的良好に知られていると予想される化合物17物質(化合物群A、Fig.1)と、実験で取り扱うことがないと考えられる物質として、炭素数や骨格、官能基、結合などを適当に組み合わせて作成した化合物12物質(化合物群B、Fig.2)とした。

汎用的な化合物(化合物群A)への危険認識に関する解析として、GHS分類と区分を参考に化合物群Aの各危険有害性について参考指標値を5段階で設定したものを正解とし、教職員が回答した化合物群Aに対する最頻回答値と比較した。参考指標値からのズレが、±1以内が12～15物質と各危険有害性を教職員は比較的正しく認識している結果となった。

汎用的ではない化合物(化合物群B)の構造式に対する危険認識に関する解析として、探索的因子分析を用いることにより、構造式のどこに着眼して危険有害性を判断したかを検討した。毒性については、個別の化合物に含まれる元素や官能基が判断のよりどころになっていることが示唆された。刺激性については、構造から想起される酸性や反応性の高さ、引火性については、分子量や炭素数などが直接判断軸となっていることが示された。

これらの各危険有害性に関する評価軸を用いて、感覚的に危ないと感じる「危なさ」がどの危険有害性の評価軸が潜在的に働いているのかを、相関分析を用いて評価した。毒性、刺激性、引火性のそれぞれの評価軸が、0.5以上の相関を示すなど、危なさの評価軸に対して複合的に寄与することが示された。

第3章 化学系の大学生・大学院生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

化学系の大学生・大学院生の化学物質に関する危険有害性についての認識を明らかにすることを目的とし、化合物の構造式から想起される危険有害性についてアンケートを行い、統計的に解析を行った。既知の化合物の危険有害性の知識を問うのではなく、化学物質の危険有害性をどのように判断するかを検討するために、アンケートには汎用的でない化合物群Bを用いた。対象は、理学部化学科1年生21名(標本α)、工学部工業化学科3年生150名(標本β)、理学研究科化学専攻修士課程30名(標本γ)とし、第2章と同様に5段階で「毒性」、「刺激性」、「引火性」の各危険有害性と、感覚的に感じる「危なさ」について評価してもらった。

探索的因子分析により、各標本集団において危険有害性ごとにそれぞれ2～3つの評価軸が抽出された。標本αにおいては、毒性、刺激性において特定の構造に着目しない評価軸が抽出された、一方で毒性においては、フッ素元素、刺激性においては酸性を想起する構造が評価軸にあることも示された。引火性

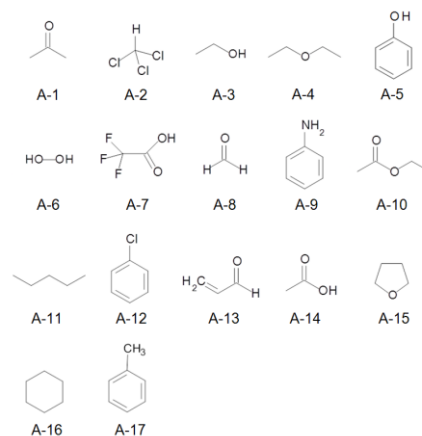


Fig.1 化合物の構造式(化合物A)

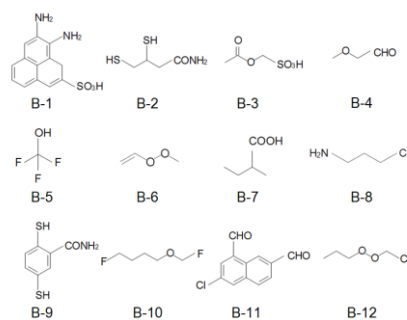


Fig.2 化合物の構造式(化合物B)

においては、炭素数や酸素原子といった構造の特徴を判断軸にしていることが示唆された。標本 β 、標本 γ の評価軸においては、着目する構造が異なる結果であったが、標本 α に比べて具体的な元素、官能基や結合、骨格など具体的な構造に着目する結果となった。第2章における教職員との比較から、評価軸を構成する化合物との具体的に類似性は見られなかった。

相関分析により、感覚的に感じる「危なさ」がどの危険有害性に潜在的に影響を受けているかを検討した結果、標本 α 、 β においては、毒性、刺激性の評価軸が大きく寄与しており、引火性については寄与がみられず、標本 γ においては、毒性、刺激性、引火性において複合的な寄与が見られた。しかしながら、教職員のようなバランスのとれた寄与ではなかった。

第4章 RFID システムを用いた実験室における化学物質の扱い方に関する解析

化学物質の取扱いに関する安全を考えるうえで、実験中の試薬の動態を知ることは重要である。実際の実験室にある試薬の保管庫からの出入庫、実験室内での移動軌跡をモニタリングすることで、試薬の扱い方を議論する。本調査には、保管庫からの試薬の出入庫と、出庫後、試薬が実験室のどこに置かれたかについて RFID システムを用いて、試薬の特定とその時間を記録した。識別のために、試薬瓶には、固有番号が付いた RF タグを添付した。試薬は保管庫から持ち出す際に、RFID

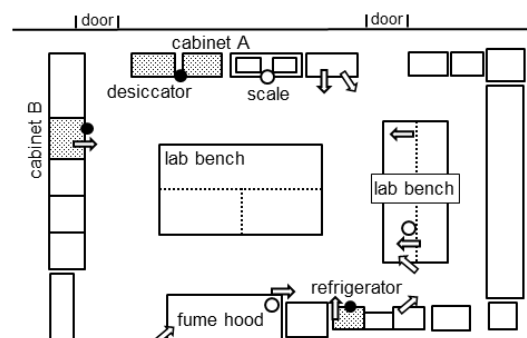


Fig.3 実験室のレイアウト

リーダライタで、RF タグを読み取り、固有番号と時間が記録される。移動場所は、エリアで感知する RFID システムにより、実験台、ドラフト、天秤台に置かれた時間から、持ち去られる時間を 1 s ごとに記録する。返却時には RFID リーダライタにタグを読み取らせ、返却とする。モニタリングの対象は、ある国内の大学の高分子化学を専攻とする実験室(Fig.3)とし、主な実験者は 11 名である。保管場所からの試薬の出入庫の解析から、反応や分析に使用する試薬で、予め使用量が決まっているものについては、比較的短い時間でもとの保管場所に戻される一方、実験の進行状況に応じて使用量が変化するものや、冷蔵されていたものを室温まで戻す必要がある試薬については、出庫してから保管場所に戻るまでに要する時間が長くなる傾向が観察された。

実験室内における試薬の移動については、出庫された全試薬瓶のうち、作業を行う場所のみに移動して保管庫に戻るケースが約 7 割を占め、複数の場所に移動する残りの 3 割についても、冷蔵試薬の加温や、別の作業場所に移動する前後の拠点として、実験台を経由するケースが多いことが明らかになった。

使用された場所を解析したところ、保管場所を出庫した試薬が保管場所に戻るまでに、いずれかの場所で一度だけ使用されること、試薬の種類によって、常に同じ作業場所で使用される場合と異なる作業場所で使用される場合の 2 ケースに大別されること、試薬の使用場所は概ね決まっているものの、他の作業場との作業場の共有が試薬の使用場所に影響することなどが示された。

第5章 定点観測による実験室での化学物質の扱い方に関する解析

実際の実験作業においてどのように化学物質が扱われているのかを検討するべく、実験室の様子を Web カメラで定点観測し、第4章における RFID システムによる化学物質の移動履歴の測定結果や実験者の実験ノートからの情報取得、実験室内の化学物質拡散濃度の測定を行

Table 1 作業場 A における化学物質接触時間割合

作業	時間		割合 (a)/(b)
	接触時間(a)	作業総時間(b)	
再沈殿	4.1 min	23.5 min	17.4%
洗浄	11.9 min	48.2 min	24.6%
抽出	17.5 min	69.1 min	25.3%
濾過	5.6 min	25.0 min	22.4%

実験作業における化学物質接触時間に関する解析を行うために、実験者 A が行った実験作業のうち、再沈殿、生成物の洗浄、抽出、ろ過について、各一連の作業における試薬瓶を取り扱うことによる生じる化学物質への接触時間割合を算出した(Table 1)。その結果、作業時間の最大 3 割程度が、接触が避けられない時間であることが示された。また、その接触時間帯では実験者が実験の目的を優先する一方で、作業の合理性を求めるために、実験者が意図していない化学物質のばく露機会が生じることが示唆された。

Figure 1 is a schematic diagram of the laboratory layout. It shows various pieces of equipment and storage areas, each with a pie chart indicating its usage frequency. The layout includes an entrance (入口) at the top, a storage area (貯蔵庫) with a frequency of 65, a draft area (ドラフト) with a frequency of 73, a central experimental area (実験台) with a frequency of 120, and another experimental area (実験台) with a frequency of 52. There are also storage areas (貯蔵庫) with frequencies of 75 and 73. The diagram also shows a sink (シンク) and a storage area (貯蔵庫) with a frequency of 75. The layout is divided into sections by walls and equipment.

実験作業中における実験者の個人ばく露濃度の測定は、実験室に滞在時間帯に実験者にパッシブサンプラーをつけてもらい、そのサンプラーを分析することにより行った。対象物質は、ジエチルエーテル、アセトン、テトラヒドロフラン、トルエン、ジクロロメタン、クロロホルムの7種類とした。

また、実験室における化学物質拡散濃度の測定は、各実験台と廃液タンク付近にパッシブサンプラーを設置し、実験室のメイン稼働時間帯(約 8 時間)に行った。今回の 5 日間における測定では、実験室の各地点での濃度分布は観察されなかった。今回の測定においては 8 時間の平均値のため、より時間分解能を高めた濃度測定により、実際の実験室で随時行われる瞬間的な濃度上昇を伴う作業が、実験空間を共有している他の実験者への影響を含め、空間内への拡散について詳細に検討する必要性が示された。

2章においては、経歴の異なる化学の専門家から、構造式から想起される危険有害性に関する共通の評価軸を抽出し、熟練者としての危険有害性の評価軸を明らかにした。3章においては、学生の母集団ごとに、構造式から想起される危険有害性に関する共通の評価軸を抽出し、母集団間、専門家のそれと比較した。4章においては、実際の実験室における試薬の移動のモニタリングから、実験研究に特有の化学物質の扱い方を明らかにできる可能性を示した。5章においては、実際の実験室における実験行動と化学物質の拡散のモニタリングから、実験作業中の予定された作業と、予定されていない作業におけるリスクの違いを踏まえた低減対策をとることの重要性を示した。