

危険情報の提示による化学実験の安全技能向上支援原理の基礎検討

宗官 祥史[†] 稲川 暢浩^{††} 品川 徳秀^{††}
江木 啓訓^{†††} 藤波 香織^{††}

A Study on On-site Safety Training for Chemistry Experiment

AKIFUMI SOKAN[†] NOBUHIRO INAGAWA^{††} NORIHIDE SHINAGAWA^{††}
HIRONORI EGI^{†††} KAORI FUJINAMI^{††}

1. はじめに

近年、快適性や効率性を重視した空間のスマート化が多くなされている^{1), 2)}。化学実験のような特殊作業においては分子構造を学習するためのタンジブルな学習システム³⁾やユビキタスコンピューティングによる発展した教育を提供する化学実験室⁴⁾などが提案されている。その一方で、特殊作業に従事する非熟練者の安全技能の向上を目的とした空間の活用は国内外見渡しても十分な普及に至っていない。

そこで、本研究では非熟練者による化学実験のような特殊作業の安全教育の徹底を目指し、実験作業を通じて安全確保に関わる技能を向上し、さらには作業を通じて座学では得られないような学習効果を促進するようなシステムの設計原理を明らかにする。

2. 安全技能向上のために

2.1 安全教育と支援システムの在り方

本研究では安全教育のためのシステムを提案するが、最終的なゴールは作業者がシステムから独立し、システム無しでも安全に化学実験を行えるようになることである。安全確保のためのシステムが何もかも指示し解決すれば、結局システムに依存してしまいそのシステムなしでは危険を回避することができなくなって

しまう。これでは、作業者の独立という本質的な安全教育には繋がらない。

2.2 曖昧さの活用

そこで、我々は警告として表示するメッセージに曖昧さを持たせることを提案する。曖昧さを用いることは、直面した状況に複数の解釈を与えることができ、同時に作業者に思考の機会を与え、関連する事項への認識を増加させると考えられている⁵⁾。Sanger らによれば、交通標識において従来のものとは異なるような、指し示す対象や意味を曖昧にした標識⁷⁾を用いたところ、標識を認識した者の安全に貢献したという⁶⁾。

本研究では、危険を知らせるメッセージを以下の3つの曖昧さをもって提示することで、安全に実験を進めつつ作業者自らが危険な状況を理解でき、応用できるようにする。

・ 意味的曖昧さ

提示する情報が持つ意味に曖昧さを付加する。ここでは、意味的に曖昧であるものを画像情報、意味的に曖昧ではないものを文字情報と定める。図1のように画像情報による提示は曖昧性を孕んでおり即座に意味を理解できない場合がある。それに比べて、文字情報は正確にその意味が伝わる。



図1 意味的曖昧さの違い

・ 空間的曖昧さ

提示する空間に曖昧さを付加する。最も曖昧でない提示例は対象となる物体上に情報を提示することであ

[†] 東京農工大学 工学部 情報工学科

Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{††} 東京農工大学 工学府 情報工学専攻

Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{†††} 東京農工大学 総合情報メディアセンター

Information Media Center, Tokyo University of Agriculture and Technology

り、この着想は外国語の獲得学習にも利用されている⁸⁾。一方で、固定域に提示すると対象を即座に特定することができないために、作業者が状況理解に努めることが期待される。

• 時間的曖昧さ

提示する時間に曖昧さを付加する。物体の動作に関連させて、危険が生じる場面の直前に情報を提示することを時間的に曖昧でないとし、提示を事前に行うことで時間に曖昧性を持たせる。危険が生じる場面は、ヒヤリ・ハット情報を元にデータベース管理される。

3. 実験

3.1 実験目的

前述の3種の曖昧さと作業者の危険回避および学習効果の関連性を明らかにする実験を行った。ここで、前者は化学実験中に危険を認識し対処することができる能力、後者は危険を知らせる提示を一度認識したことにより次回の実験では提示が無くても自発的に危険を回避し、未然に防ぐことができる能力を示す。

3.2 実験方法

被験者は、実際の化学実験を模した実験空間・器具・薬品を使用し、後述するような模擬実験を行った。提示情報はプロジェクタにより実験卓上に投影される。なお、本実験はオズの魔法使い（Wizard-of-Oz）法⁹⁾により、情報提示タイミングや提示場所は実験者が制御した。一般的に、センシングや画像解析を用いた提示場所やタイミング決定の精度は100%完全ではない。よって、本実験の目的は提示された情報の曖昧さの効果の検証であることを踏まえて、システムそのものが有する曖昧さの介入が無い方法で実施した。この様子を図2に示す。



図2 実験の様子

被験者は、模擬実験を以下の手順で行った。

実験 A

1. 食塩水の加熱

2. 硫酸とアルミニウムの反応

3. 実験器具の片付け

実験 A により危険回避効果については検証可能だが、学習効果を調査するためには再度実験が必要である。そこで、中3日以上インターバルを経て再度手順が同様に扱う薬品や器具のみ異なる以下のような実験を行った。

実験 B

1. 砂糖水の加熱

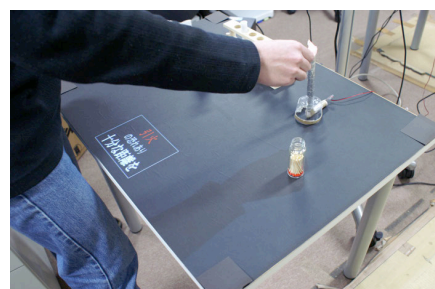
2. 硫酸とマグネシウムの反応

3. 実験器具の片付け

プロジェクタにより投影される提示情報には2.2節で述べた3種の曖昧さの要素を付加させ、曖昧さの強弱を High, Low で表す。例えば、意味的曖昧さ、距離的曖昧さ、時間的曖昧さの順に High, Low, Low と設定すると図3(a)のようになり、Low, High, Low と設定すると図3(b)のように提示される。



(a) 意味: High, 空間: Low, 時間: Low



(b) 意味: Low, 空間: High, 時間: Low

図3 3種の曖昧さ設定例

提示した情報は危険に関するものだけではなく実験に使用した薬品や生じた反応の解説といったダミーの提示も用意し投影した。これは、プロジェクタから情報が卓上に提示されるという普段直面していない状況はそれだけで刺激が強く、曖昧さの活用によるものとは関連が無い要因で被験者の意識に提示内容を浸透させてしまう点が無視できないからである。提示は実験 A, B とともに全10個、そのうち危険に関する提示は3個ずつであった。

各々実験が終了した後で、主観的な評価を行うため

にアンケートとインタビューを行った。

3.3 被験者

被験者には、化学実験の危険意識が同等であることが要求される。予備実験を行ったところ、一度でも化学実験を行ったことがある理系大学生は化学実験において事前指導無しでも酸についての危険意識、物の落下についての危険意識、火の取り扱いについての危険意識を持っていた。それを踏まえて、理系大学生および大学院生 24 名（男性 22 人、女性 2 人）が実験に参加した。また、化学を専門としている学生は化学実験における能力に明らかな差があると判断し、対象から外した。これらの被験者 3 人ずつを表 1 のようなグループに分類した。

表1 被験者を分類したグループ

グループ	意味的曖昧さ	空間的曖昧さ	時間的曖昧さ
1	High	High	High
2	High	High	Low
3	High	Low	High
4	High	Low	Low
5	Low	High	High
6	Low	High	Low
7	Low	Low	High
8	Low	Low	Low

3.4 実験結果

3.4.1 危険に対する意識

アンケート結果より、実験 B で危険に直面したときに実験 A で提示されていたことを想起対処の意識を抱いたという件数を図 4 に示す。最大数は 9 で、グループ 1~4 は数値にばらつきがあるのに対し、グループ 5~8 は一律に 1 件のみ報告された。

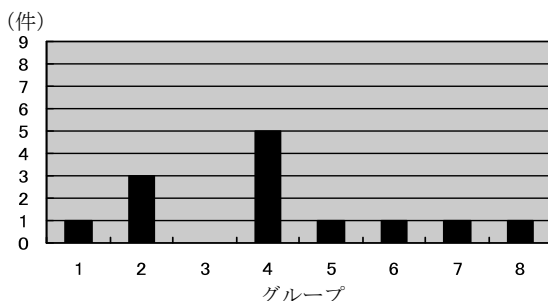


図4 危険への対処を認識した件数

3.4.2 インタビューの結果

各々のグループに実験中に取り入れた 3 種の曖昧さについて説明した後、自分が属する以外のグループを比較した上で危険回避と学習効果について主観的意見

を述べてもらった。3 種の曖昧さを踏まえて代表的な意見を以下に挙げる。

意味的曖昧さ

- 提示された文字を読むという行為そのものが注意を散漫にするため画像情報 (High) のほうが直感的であり、危険がどのようなものであったとしても察し、身構えることができる。
- 画像情報 (High) は色や形などイメージとして捉えることができるので記憶に残りやすい。
- 意味を曖昧にすると誤解を生むので、正確さが要求される危険回避には文字情報 (Low) が適する。
- 文字情報 (Low) は正確に情報を伝えるという利点に対して刺激が少ないという欠点を持つので、より意識に残るように工夫が必要。

空間的曖昧さ

- 固定場所に提示 (High) すると、作業を離脱しての視線移動が要求されるため、大雑把に実験を進めると危険についての提示自体に気がつかない。
- 固定場所に提示 (High) による提示対象の特定は、思考の余地を作り、それが学習を助ける。
- 対象の近くに提示 (Low) にすることにより、危険対象との関連付けができることから、回避が確実となり学習についても期待できる。

時間的曖昧さ

- 情報が事前に提示されている (High) と提示が背景化してしまい、危険意識が薄れる。逆に、危険な状況になる直前に提示してくれれば印象に残る。
- 危険な状況になる、それ自体を避けるべきである。それゆえ事前に提示しておくこと (High) が危険回避に望ましい。
- 事前の提示 (High) は、作業者に後に控えているタスクに起こりうる危険について心構えを与える。

4. 議論

4.1 危険学習に効果的な曖昧さ設定

アンケート結果より、実験に参加したどのグループも実験卓上に投影された危険情報をおよそ 80% という高い水準で知覚していた。その上で、被験者が実験中潜在する危険への意識を持つことができれば、危険を未然に回避できると期待される。図 4 より、グループ 4 が他グループと比較して高い数値を得ていることから、意味的曖昧さは High、空間的曖昧さは Low、時間的曖昧さは Low であることが危険の学習に有効であると考えられる。これは、時間的曖昧さを持たせず物体の動作に関連させ、且つ空間的曖昧性の無い場所に情報を提示した方が、直感的で意識への刺

激が強い画像情報と相互に影響し合い、その結果、相乗的に作業者に与える刺激が強くなったことに起因していると推測する。一方、意味的曖昧さの無い文字情報を用いたケース全て（グループ 5~8）で危険の学習効果が得られなかったのは、文章に目を通し内容を理解しなければ意識に残らないという文字情報の性質に起因していると考えられる。グループ 1, 3 は時間的曖昧さが高く事前に提示されることにより背景と同化してしまっただけで効果が得られなかったと考えられる。

また、危険への対処を認識した件数は、全危険提示に対して全体的に数値が低い。これは、本実験で用いた情報提示方法が、被験者の意識に残留するために必要な刺激を十分に与えることができなかったからであると考えられる。これに対しては、全てのグループに適用できるような、意識に刺激を与える方法を用いることで、全体的な数値の底上げが可能になると考えられる。例えば、提示情報出現の際に音を鳴らしたり提示した情報を点滅させたり、提示方法に多様性を持たせることが挙げられる。

4.2 3種の曖昧さの効果に影響を与える要素

結果として、提示された情報に対する各グループの被験者の主観的意見は、曖昧さレベル High, Low どちらかが一律に危険回避・学習効果において有効であると結論付けるものではなかった。これは、曖昧さの設定を体系化するためには今回提案した3種の曖昧さ以外にも様々なパラメータを与え、検討・分析する必要があることを示唆している。例えば、「色彩」や「文字数」は意味的曖昧さの2次属性のようなもので、「モノクロの画像」と「適した色彩の簡潔な文字列」では意味的曖昧さの設定上は前者が High、後者が Low となるのだが、意識への刺激レベルは今回の実験で用いた提示とは異なると推測される。また、「危険のレベル」や「作業者の性質・性格」も考慮の余地がある。危険のレベルが致命的であれば、作業者に気付かせることが第一であり、曖昧さを関与させるべきではない。一方、解釈に失敗した場合でも大事には至らないような危険に対するシステムの過保護は必ずしも適当ではない。そして、慎重に実験を進める性格の作業員には危険を自ら発見・対処に繋がるような曖昧さの設定が効果的であると考えられる。また、「危険の種類」も考慮すべき点である。例えば、卓上から物を落とす危険や火の扱いに関する危険のような普遍的危険と、硫酸の吸水性に関する危険のような限定的危険とでは、提示された情報が単なる壁紙のように背景と同化してしまう危険性に違いがあると考えられる。これは、限定的な危険は実験毎に異なるものが存在す

るため、提示される情報は実験者にとって新鮮であると考えられるからである。

5. まとめと展望

本稿では、化学実験作業を通じて安全確保に関わる技能を向上し学習効果を促進するような情報提示方法として、曖昧さの活用を基礎検討した。今回実施した実験では、Wizard-of-Oz 法を用いたが、最終的には画像解析やセンシングによって物体位置や作業状況の把握を行う予定である。また、今後は本検討により明らかになったパラメータの制御を加えた上で追加実験を行い、より確固とした安全技能向上支援の理論体系構築を進めると同時に、センシングによる状況認識にも着手していく。

謝辞 化学実験における危険事例について助言をいただいた東京農工大学工学部化学システム工学科ウレッド レンゴロ氏に感謝いたします。本研究は、科研費（基盤研究（C）：21500117）「化学実験非熟練者の安全技能を向上するスマート実験室に関する研究」の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) B. Brumitt et al., "EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments", *Handheld and Ubiquitous Computing*. HUC 2000, Springer-Verlag, New York, pp. 12–29, 2000.
- 2) C. Kidd, et al. "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Experience", *CoBuild 99*, 1999.
- 3) M. Fjeld, et al. "Chemistry Education: A Tangible Interaction Approach", *INTERACT2003*, pp. 287–294, 2003.
- 4) M. Sakamoto and M. Matsuishi, "Hands-on training for chemistry laboratory in a ubiquitous computing environment", *SUTC'08*, pp. 561–563, 2008.
- 5) W. Gaver, et al. "The History Tablecloth: Illuminating Domestic Activity", *DIS '06*, pp. 199–208, 2006.
- 6) P. Sengers and B. Gaver. "Staying open to interpretation: engaging multiple meanings in design and evaluation", *DIS'06*, pp. 99–108, 2006.
- 7) T. McNichol. *Roads Gone Wild*. *Wired*, Vol. 12, No. 12, December 2004. <http://www.wired.com/wired/archive/12.12/traffic.html>.
- 8) S. S.Intille, et al. "Ubiquitous Computing in the Living Room: Concept Sketches and an Implementation of a Persistent User Interface", *UbiComp'03*, pp. 265–266, 2003.
- 9) J.F.Kelley, "An interactive design methodology for user-friendly natural language office information applications", *ACM Trans on Office Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 26–41, 1984.