

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18491

研究課題名（和文）大学等の実験室における多様性をふまえた客観的な評価指標の深層学習による開発

研究課題名（英文）Development of an objective evaluation index based on diversity in university laboratories using deep learning

研究代表者

主原 愛（Shuhara, Ai）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：10825665

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：大学の研究現場の多様化は発想の源である一方、画一的な安全管理とはそぐわない。本研究は、多様性を考慮した安全管理のために、実験室の状況を定量化し、科学的に評価する手法の開発を目的とした。実験室で一般的な局所排気装置（ヒュームフード、Fume hood, FH）を対象に、専門家の評価を深層学習モデルに学習させ、写真からFHの使用状況の良し悪しを判定するモデルを構築し、高い正確率で評価を再現した。更に、数値評価の根拠となる箇所を、ヒートマップにより写真内へ可視化した。判断根拠箇所は現場でのチェック項目と類似していた。これにより本モデルが専門家の判断を機械的に再現する可能性が示されたと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した深層学習を用いたFHの写真からの使用状態評価手法は、一定程度の合理的な評価を機械的に算出でき、その根拠を写真内にヒートマップ画像として可視化できた。現状では専門家に依頼して初めて得られるFHの状態評価が、深層学習を使った手法を活用すると、写真一枚さえあれば、実験者自らでも非常に簡単に、平易な数値評価として、比較的高い精度で得られることを示している。様々なFHの使い方をとする研究現場で、日常的な活用が見込める手法となることは、現場の安全管理を行う上で大きな意義があると考えられる。今後、主観や思い込みを排除した自律的な安全管理を支援するツールとしての展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：While the diversity of university research sites is a source of ideas, it does not fit with uniform safety management. This study aimed to develop a method to quantify and scientifically evaluate laboratory conditions for safety management considering diversity. Expert evaluations were trained on a deep learning model of a local exhaust system (fume hood, FH) commonly used in laboratories, and a model was constructed to judge whether the FH was in good or bad condition from photographs, reproducing the evaluation with a high accuracy rate. In addition, the basis of the numerical evaluation was visualized in the photos using a heat map. The points on which the judgment was based were similar to the checkpoints in reality. This result indicates that the model can mechanically reproduce the judgment of experts.

研究分野：実験室学、環境安全

キーワード：使用状況評価モデル ヒュームフード、Fume Hood, FH 深層学習 ばく露防止 畳み込みニューラルネットワーク、CNN 勾配重み付きクラス活性化マッピング 実験室

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究の学際化やキャンパスの国際化などにより、大学の研究現場では多様化が進む。異なるバックグラウンドを持つ人が分野を超えて集うことは、研究活動に一定の概念に囚われない新しい発想を生み出す原動力になる一方で、画一的な方法で安全を目指す従来の考え方を、研究分野が多岐にわたり、常に新規性が求められる大学の研究現場へ適用することには矛盾がある。実験室において自由な行動を最大限許容し、個々の状況に応じて危険を予測する方法論が、研究者自らが模索すべき課題である。このような場の多様性をふまえた安全管理は、個々の状態や違いを安全の観点から把握することが前提だが、これまでにその適切な評価方法は確立しておらず、議論もあまりなされていない。この大きな要因は、異なる状態を安全の観点から客観的に評価するための基準があまり明確でないことであると考えられる。

そこで本研究では、多様な実験室の安全を考える上で、実験室の状況を定量化し、議論の根拠となる実験室の実態を科学的に表現することが必要であると考えた。実験室で使う装置の一例として、実験室内で一般的な局所排気装置(ヒュームフード、ドラフトチャンバー、以下、FHとする)に着目した。FHは実験室で研究分野横断的かつ実験作業網羅的に利用される特徴があり、実験室の象徴的な存在である。

### 2. 研究の目的

本研究では、実験室の状況を定量化し、議論の根拠となる実験室の実態を科学的に表現する指標を抽出することを目指し、FHの使用実態を表現する指標の抽出を目的とした。最終的には、FHの使用状況を撮影した写真を見て、使用実態を判断できる指標の探索を目指した。方針として、(1) FHにかかわる定量的データを収集し、(2) その関係性を解析して実態を表現する指標を抽出し、(3) 指標を画像データで活用できるようフィードバックすることとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 使用実態の定量的データの収集

##### (A) 置かれるモノについて

使用中のFH内部の様子を写真撮影した。写真は、(640×480 pixel)は、ある国立大学の科学系実験室(化学・バイオ・機械系など44研究室)に設置されたFHに対し、天板面上の作業空間部分を、デジタルカメラで正面から撮影し、120台分を収集した。その画像から「何が」「どう置かれているのか」について、試薬や装置などモノの種類、FH天板の占有面積や形状・高さに基づく占有体積などの大きさ、モノが置かれる位置やモノの並び方などの情報を収集した。

##### (B) 行われる作業について

FHを使用するある国立大学の科学系研究室(同上)に対してインタビュー調査を行い、FH内での作業内容や試薬、FHの使用人数や作業時間など抽出した。併せて、作業の様子についてビデオ撮影を実施し、その使われ方を記述する際の参考データとした。

##### (C) 設置される実験室の状態について

同上の大学の試薬管理システムに記録されている同上の研究室に対して、研究室毎の試薬の使用履歴から、2018年度の年間試薬使用量の情報を収集し、薬品種類や使用量などの使用特性についてデータ抽出を行った。また、FHの置かれた実験室で作業する人の情報に対して、実験室内の人の動き方に関するデータを、Wi-Fiによる電波強度を用いて取得し、その時系列的変遷を収集した。

#### (2) 定量的データの関係性の深層学習による解析

前述の(1)で収集したデータについて、フレームワークとしてTensorflowをバックエンドとしたKerasを使用して、(A)や(B)と(C)の関係性を解析する回帰モデルの構築を行った。この会で黄では、収集した写真画像はグレースケールに変換し、リサイズ後、正規化した。また、十分な学習効果を確保するために、データは上述の120枚に、回転、シフト、明度変更等の統計的な画像処理を施して2400枚とした。

#### (3) 指標の画像データへのフィードバック

前述の(2)で得られた指標が、写真画像の中でどのように現れているのかについて考察し、その現れ方について整理した。

### 4. 研究成果

#### 4-1. 定量化データを用いた解析

上記(1)で抽出された種々の定量データを用いて、それらの関係性を検討するための深層学習モデルを構築した。結合層の数を変えるなど代表的な構造のモデルを複数構築して解析し、こ

のうち全結合層6層のモデルの解析から、面積占有率と化学物質使用量、空間占有率と化学物質使用量の正の相関関係性などといったデータ間で一定程度の関連性を示すケースが認められ、本手法での解析によって指標が抽出できる可能性を示した。ただし、ここでの解析を通して、FHの各種条件を定量化した情報だけからそれらの関係性を判断すると、それらの関係性のみを単純に明らかにすることとなり、FHの個々の状態を安全の観点から客観的に評価するためには、不十分であると考えられる。そこで、FHの状態を表現する定量データに加え、FH使用者やFH管理者、FHメーカーなどの視点に応じた評価が欠かせないと考え、使用者目線での情報の一つとして使用用途に関する情報を取り入れて検討することとした。

#### 4-2. 使用用途指標に基づくFHの状態評価

FHの状態を、使用用途に関する指標で定量的に評価することを目指して解析した。ここでいう「使用用途」とは、「FH使用者がどのような目的でFHを用いるのか」のことであり、本研究では、FH使用実態に関する既報の論文で報告されている用途を、指標(4指標)として用いることとした。具体的には、「特定の実験目的」「研究室メンバー内で共通の作業」「未使用の器具の保管場所・未使用」「試薬や廃棄物の保管」の4指標である。解析は、まず、4-1で収集済みの写真画像120枚に対して、各指標に該当するのかわからないのか、FH使用者が評価を行って、使用用途ラベル付きの画像データを解析のための「教師データ」として作成した。これを学習する畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network、以下CNN)手法を用いたモデル(TensorflowをバックエンドとしたKeras、全9層)を構築し、上記の各指標に対する各写真画像の状態評価が正規化した値として算出されるよう設計した。この結果から、FHの状態が、前述の4指標の「適合度」として算出されるモデルを構築することができ、指標でFHの状態を評価できる可能性が示された。これにより、評価者の感覚で捉えられがちな個々のFHの状態が、科学的・定量的に評価できる可能性が示された。

ここまでの検討で、FHの状態を定量的な値を用いて、客観的に表現する試みは一定の成果を上げたものの、実験室の安全を議論する上で重要な「使用状況の良し悪しを評価する指標の抽出」には至っていない。そこで、「使用状況の良し悪しを客観的に評価する」ことを実現する評価の仕組みを、深層学習の手法によってモデル構築することを目指すことにした。

#### 4-3. 使用状況評価モデルの構築

FHの写真画像に対してFH専門家に判定してもらった評価を、インデックス情報として元画像とセットにしたデータを深層学習させ、新たな写真画像の判定を行わせる手法を採用した。

##### 4-3-1. 深層学習で用いるCNNモデルの構築とその検証

学習に用いるFH画像の状態評価は、FHの納入やメンテナンスを行うFHメーカーの担当者に判定してもらった。評価者は、FHの構造、研究現場での使用状況やトラブルなどに精通する者1名が担った。判定は、良い状態を5、悪い状態を1とし、5段階で行われた。評価に用いた写真画像は上述4-1、4-2で使用した画像と同じデータセットを用いた。FH専門家の評価の付いた画像データを学習

表1 CNNモデルのアーキテクチャ

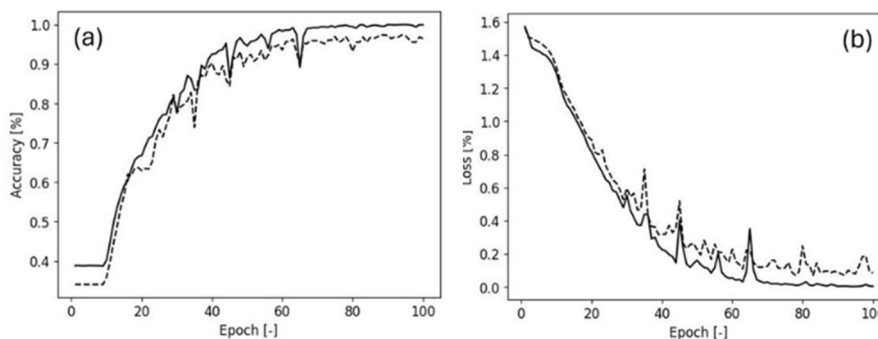
	Types of layers			
	Convolutional	Pooling	Fully Connected	Softmax
Customized CNN	2	2	2	1
AlexNet	5	5	3	1
MobileNet	20	1	1	1
ResNet-50	50	1	1	1

し、新たな画像データを入力すると、その評価を出力するモデルの構築には、PyTorchを使用してカスタマイズされたCNN(表1)を採用し、画像データとラベルデータを結合したデータセットを作成して画像データセットの学習を行った。

実際の研究現場で用いられるFHの写真画像に対して、FH専門家が判定した5段階評価

を深層学習させ、上記で構築したモデルに対して算出された正解率と損失の変遷の例を図1に示す。どのモデルにおいても、学習データと検証データによる正解率と損失のグラフは、学習の進捗に応じて正解率が向上し、同様に損失も正解率に反比例する形で収束する様子が観測され

図1 CNNモデルにおける正解率と損失の例(AlexNet)



(a) 正解率、(b) 損失、X軸:エポック数、Y軸:正解率または損失

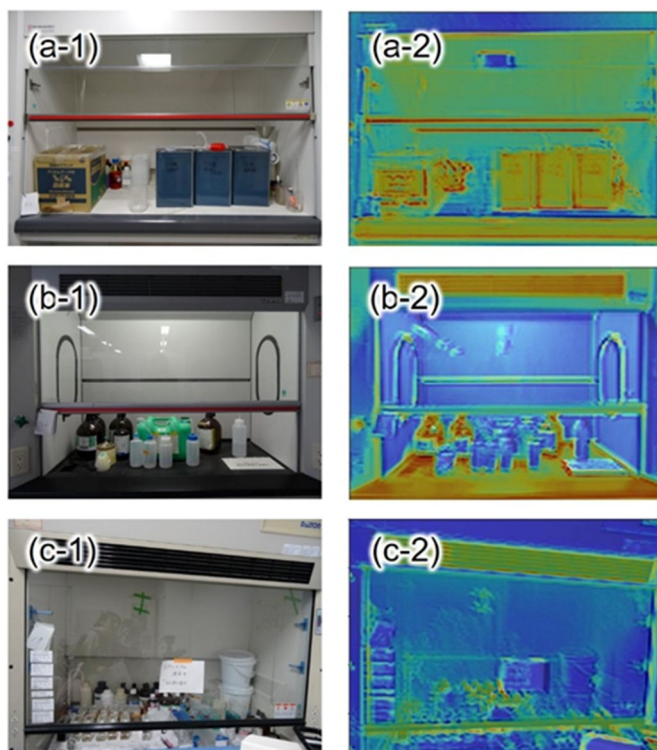
た。この結果から、今回構築した CNN モデルを利用すると、専門家が判定する FH の状態評価を、FH の写真データから有意に再現できることが明らかとなった。この事実は、写真からの状態評価の判断に、どの CNN モデルの深層学習を利用した場合でも、専門家の評価を一定程度再現することから、FH の状態評価における深層学習の手法の適用は合理的であることが示唆されたと考えられる。また、現状では専門家に依頼して初めて得られる FH の状態評価が、深層学習を使った手法を活用すると、写真一枚さえあれば、実験者自らでも非常に簡単に、平易な数値評価として、比較的高い精度で得られることを示している。様々な FH の使い方を研究現場で、日常的な活用が見込める手法となることは、現場の安全管理を行う上で大きな意義があると考えられる。

#### 4-3-2 . Grad-CAM を用いた CNN モデルの判断根拠の視覚化

上述 4-3-1. で構築したモデルで再現した専門家の FH の状態の評価値について、評価の根拠はブラックボックス化しているため、ここでは実際の画像のどの部分が判断に強く寄与しているのかを明らかにする検討を行った。これにより、本モデルの判断根拠が視覚的に説明できることが期待される。

CNN モデルが画像分類を行った際の判断根拠を可視化する手法には、Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) を採用し、数値評価が写真の何を根拠に算出されるのか

図 2 ヒートマップの例



オリジナル写真: (a-1), (b-1), (c-1),  
ヒートマップ付き写真: (a-2), (b-2), (c-2)  
重要度 (高) 赤 ~ 黄 ~ 青 (低)

表 2 Grad-CAM で評価予測貢献度の高いエリア

Types of area	Ratio [%]
Objects on the top board	48
Top board with no objects	32
Workspace	28
Sashes	25
Exhaust vent	17
Exterior wall surface	12
Near baffle plate	11

をヒートマップとして写真内への可視化することを試みた (図 2)。ヒートマップの色は赤 ~ 黄 ~ 青色の順に、重要度が高いと判断された順を示している。表 2 に、赤 ~ 黄色で評価予測寄与度が高かったエリアの上位リストを示す。全ての FH で必ず判断根拠になる特定のエリアはなく、FH によって判断根拠となるエリアに特徴のあることが明らかとなった。モデルが抽出した判断根拠のエリアと現場で用いられるチェック項目等の項目が類似していることから、本モデルが人の判断根拠を機械的にある程度再現できたと考えられる。

#### 4-4 . まとめ

以上のように、本研究で開発した深層学習を用いた FH の写真からの使用状態評価手法は、一定程度の合理的な評価を機械的に算出でき、その根拠を写真内にヒートマップ画像として可視化できることが明らかとなった。研究の当初に掲げた目的に対し、客観的な使用状態を評価する指標ではないが、使用状態を評価する機械的な算出モデルを、一定程度の精度を有するモデルとして開発できたと考えられる。

これにより、FH の性能発揮に重要な状態評価を行う方法を構築できたことは、作業者の安全確保の観点から大きな意義があると考えられる。本研究で着目した客観的な状態評価は、今後、主観や思い込みを排除した自律的な安全管理を支援するツールとしての展開が期待される。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ai SHUHARA, Yoshito OSHIMA	4. 巻 -
2. 論文標題 深層学習を用いたヒュームフードの写真からの使用状態評価手法の開発	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Environment and Safety	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ai Shuhara, Yoshito Oshima
2. 発表標題 Examining the relationship between fume hood usage and laboratory activities through photo analysis
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ai Shuhara, Yoshito Oshima
2. 発表標題 Development of auto-judgment system for fume hood condition by deep learning
3. 学会等名 The 10th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 主原愛, 大島義人
2. 発表標題 深層学習を用いたヒュームフードの写真からの使用状態評価手法の開発
3. 学会等名 研究実験施設・環境安全教育研究会, 第十三回研究成果発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------