

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04665

研究課題名（和文）機械学習によるアスベストの自動計測手法と緊急時暴露評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of automatic measurement method of asbestos by machine learning and emergency exposure evaluation system

研究代表者

近藤 明（KONDO, AKIRA）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：20215445

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：位相差顕微鏡画像中のアスベスト繊維を検出するCNNモデルを開発した。モデルの学習にはアスベストを含む建材等が使用された建築物の解体工事現場等で環境省アスベストモニタリングマニュアルに準じて採取された試料、およびアスベスト繊維と形状が似ている非アスベスト繊維の試料を用いた。また、同モデルの検出結果を用いて、位相差顕微鏡画像中のアスベスト繊維数を推計するモデルを作成した。開発したモデルについて、アスベスト繊維の検出精度は正解率98%以上であった。また、計数精度について、熟練者による計数値と比較した相対誤差は30%程度であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発されたCNNモデルを用いることで、熟練した技術者でなくても一定の精度でアスベスト繊維の計数ができるようになるため、行政等によるアスベスト漏洩監視業務の省力化や高速化が期待される。今後、アスベスト含有建築物の建て替え等は増加すると予測されているため、漏洩監視業務の省力化・高速化は、少ない人員で多数の現場の監視を行う必要のある漏洩監視業務の効率化に資する。

研究成果の概要（英文）：A CNN model was developed to detect asbestos fibers in phase contrast microscope images. The model was trained using samples collected in accordance with the Ministry of the Environment's asbestos monitoring manual at demolition sites where asbestos-containing building materials were used, as well as samples of non-asbestos fibers that are similar in shape to asbestos fibers. Using the detection results of the model, another model was also developed to estimate the number of asbestos fibers in phase-contrast microscope images. The accuracy of the developed model in detecting asbestos fibers was higher than 98%. The relative error of the model's counting accuracy compared to the counts by skilled workers was about 30%.

研究分野：大気汚染

キーワード：アスベスト 畳み込みニューラルネットワーク 画像分類 位相差顕微鏡 大気汚染

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、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

アスベストとは繊維状鉱物の総称であり、かつては建材等に多量に使用されてきた。しかし、空气中に飛散したアスベストが中皮腫等の原因になることが明らかになると、段階的に規制が行われ、2005年に一部を除いて輸入・加工・使用が全面的に禁止された。しかし、建材として使用されたアスベストは現在も環境中に多量に残留しており、建物の解体時や、災害等による建築物の損傷時にはアスベスト繊維が大気中に飛散する恐れがある。国交省の予想によると、2020年から2040年にかけて建築物の解体によるアスベストの排出量がピークを迎え、排出されるアスベストは年間100万トン前後に及ぶ。

環境省のアスベストモニタリングマニュアル[1]によると、環境中のアスベスト濃度は、大気サンプリングによりメンブランフィルタ上に捕集した粒子を位相差顕微鏡および電子顕微鏡で観察することで求められる。アスベスト計数の特徴として、繊維の個数濃度を計数する点、計数対象が繊維の幾何的形狀によって定義されている点が挙げられる。このため、他の大気汚染物質とは異なり、未だ自動計測が普及しておらず、人の目による計測が行われている。このことがアスベスト計測の高速化を妨げ、また測定結果が測定者や測定機関によって変動する原因となっている。

したがって、大気中のアスベスト繊維の自動計測手法を開発することは、計測の高速化、高精度化を図る点で非常に重要であると考えられる。

2. 研究の目的

前述のとおり、現在の大気中のアスベスト計測は、その高速化、計数結果のばらつきに課題がある。これは特に解体工事現場等への行政への立ち入り検査時などに問題となり、アスベスト計数に時間がかかるため、アスベスト繊維の漏洩等が確認された時点で工事業者等に指導を行っても、その時点で当該工事が終了している場合などがある[2]。そこで、行政による立ち入り検査等をより実効性のあるものにするためには、特に高濃度のアスベストを迅速に検出する必要がある。本研究では、位相差顕微鏡画像中のアスベストの計数をCNNを用いた機械学習モデルを用いて行うことで、計数作業の高速化を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

アスベスト検出の機械学習モデルを開発するためには、学習に供する教師データが必要となる。本研究では、アスベスト含有建築物の解体現場等で実際に採取された試料から位相差顕微鏡画像を撮影し、顕微鏡画像中のアスベスト繊維を熟練者がマークすることによって、教師データを作成した。また、アスベスト繊維と誤認しやすいガラス繊維などの非アスベスト繊維に対する分類精度の向上のため、非アスベスト繊維をから作成した試料の位相差顕微鏡画像も教師データに加えた。

機械学習モデルは、当初、既存の比較的簡易なCNNモデルを参考に独自に設計したCNNモデルを用いた。その後、検出精度の向上を目的として、既存の比較的複雑な学習済CNNモデルをベースに、fine-tuningを行うように変更した。

開発したCNNモデルは、アスベストの検出（顕微鏡画像中のある小領域が、計数対象のアスベスト繊維を含むかどうかの分類）のみを行う。そのため、検出結果から計数を行うアルゴリズムを開発した。

4. 研究成果

モデルの学習、テストに用いるため、アスベスト繊維やアスベスト繊維と紛らわしい非アスベスト繊維の位相差顕微鏡画像を収集した。アスベスト繊維画像は複数の解体工事現場等から環境省アスベストモニタリングマニュアルに準拠して試料採取し、位相差顕微鏡画像を撮影した。撮影した位相差顕微鏡画像の枚数は227枚であり、アスベストの種類はアモサイトとクリソタイルからなる。一方、アスベスト繊維と紛らわしい繊維として、ワラストナイト、ガラス繊維、アクリル繊維、セラミック繊維、パルプ、ロックウール、ポリプロピレン、滑石、石膏から試料を作成した。これらの位相差顕微鏡画像は198枚である。モデルの学習には、位相差顕微鏡画像から教師データに適さない部分を除外した残りの部分を小領域に分割して用いる。小領域画像の枚数は合計約37万枚である。

また、モデルはImageNetデータセット[3]で訓練済みのXception[4]をベースとし、元のモデ

ルの出力層に代えてグローバルプーリング層と全結合層、新たな出力層を加えた。

開発したモデルを、モデルの学習に用いたものとは別のデータを用いてテストしたところ、98%以上の正解率でアスベストの検出ができた。本モデルによるアスベストの検出例を図 1 に示す。モデルがアスベストを検出した個所は赤く色づけ（画素の R 値が加算）されている。本モデルは顕微鏡画像を分割した小領域ごとにアスベストの検出判定を行なっている。小領域は互いに重複しているため、顕微鏡画像の 1 つの画素は複数回のアスベストの検出判定を受ける。検出結果はアスベストが検出された回数が多いほど赤みを強く（R 値を大きく）示すため、アスベスト繊維がある場所は R 値が高く、その周辺は R 値がやや低く見える。

同モデルでアスベストを検出した結果に対して、アスベストが検出された領域の数を数えることでアスベスト繊維の数を推定した。このとき、アスベストが多数検出された領域が隣接している場合、それは 1 本のアスベスト繊維であるとみなした。そのような仮定の下でアスベスト繊維数を推定し、熟練者が計数した数と比較すると、モデルはアスベストの繊維数を 27%の誤差（過小評価）で推定することができた。

アスベスト繊維の計数は熟練者が行っても誤差が大きいことが知られている。井上らの調査によると、同一のアスベスト繊維の試料について複数の計数機関に計数を依頼したところ、作業環境測定法に基づく登録機関 4 機関においても、位相差顕微鏡画像中のアスベスト繊維の計数値は標準偏差が 22%程度であった[5]。このことを踏まえると、本モデルの 27%の誤差は、十分とまでは言えないものの、許容可能な大きさであると考えられる。

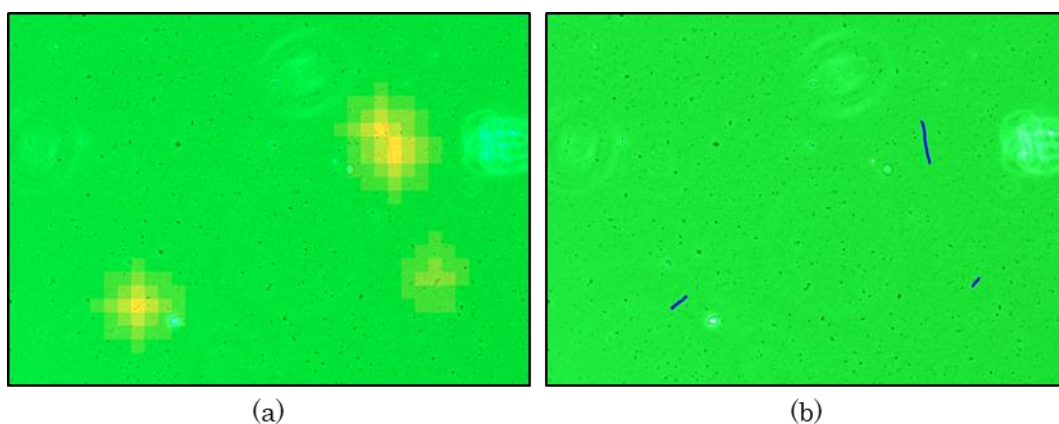


図1 (a) モデルによるアスベスト繊維検出結果 (b) 熟練者によりアスベスト繊維がマークされた画像

以上のように、本研究では CNN による機械学習を用いて、位相差顕微鏡画像中のアスベスト繊維を高速かつ高精度に検出・計数するモデルの開発を行った。モデルは本研究に用いたテストデータに対して許容可能な精度を示した。そのため、アスベスト繊維数の高速な計数が求められる行政の立ち入り検査等における活用などへの応用が期待できる。

今後の課題として、検出・計数のさらなる高速化と高精度化、多様な入力データに対する適用可能性の検証、データの前処理や後処理など、本検出・計数モデル以外の部分の整備が必要になると思われる。それらの課題が解決できた場合、本手法がアスベストモニタリングマニュアル等に定義されるアスベストの計数手法の 1 つに追加されることが可能になると期待される。

<引用文献>

- [1] 環境省: アスベストモニタリングマニュアル (第 4.1 版)
- [2] 飯田裕貴子, 村山武彦, 錦澤滋雄, 長岡篤, 本多将俊: アスベスト含有建築物の解体改修時立入検査に自治体を実施する大気中アスベスト濃度測定方法の検討, 環境と安全, 10 巻 3 号, pp.165-175, 2019
- [3] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L., Li, K., Li Fei-Fei: Imagenet: A large-scale hierarchical image database. 2009 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., Vol.1, pp. 248-255, 2009.
- [4] Chollet, F.: Xception: Deep Learning with Depthwise Sep-arable Convolutions. 2017 IEEE Conf. Comput. Vis. Pat-tern Recognit., Vol. 1, pp. 1800-1807, 2017.
- [5] 井上義雄, 加賀昭和, 山口克人: 石綿繊維の自動計数と肉眼計数間のクロスチェック, エアロゾル研究, 14 巻 2 号, pp.129-137, 1999.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 瀧本 充輝, 松尾 智仁, 前川 鈴世, 中坪 良平, 嶋寺 光, 近藤 明
2. 発表標題 機械学習によるアスベストの自動計測手法の開発
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井 美佑, 松尾 智仁, 嶋寺 光, 近藤 明, 瀧本 充輝, 中坪 良平
2. 発表標題 CNNを用いた顕微鏡画像におけるアスベスト繊維の自動検出方法の検討
3. 学会等名 2019年度大気環境学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2019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
研究分担者	嶋寺 光 (SHIMADERA Hikari) (20647367)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	松尾 智仁 (MATSUO Tomohito) (30793674)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	瀧本 充輝 (TAKIMOTO Mitsuteru) (60788264)	(財)ひょうご環境創造協会(兵庫県環境研究センター)・ 兵庫県環境研究センター大気環境科・研究員(移行) (84511)	

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