

周波数解析による顕微鏡画像からのアスベスト結晶検出手法 Asbestos Detection Method with Frequency Analysis for Microscope Images

○ 熊谷 光 (埼玉大) 森下 壮一郎 (東京大)
正 川端 邦明 (理研) 正 浅間 一 (東京大)
三島 健稔 (埼玉大)

Hikaru KUMAGAI, Saitama University, 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama
Soichiro MORISHITA, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba
Kuniaki KAWABATA, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama
Hajime ASAMA, The University of Tokyo
Taketoshi MISHIMA, Saitama University

Increased health damage caused by asbestos has become a problem recently. Removal of asbestos from building materials or rendering it harmless are common means of alleviating asbestos hazards. In the process, a judgment of whether asbestos are included in building materials is required. Complying with an official method, particles and asbestos in microscope images of samples made from pulverized building materials should be counted to judge whether the samples contain asbestos. This task is performed manually and requires enormous amount of time and burden. Asbestos containing judgment support system with image processing is being developed to improve its efficiency. However, low brightness particles must not be detected because of judging not harm but harmless, detecting low brightness asbestos is difficult. This study is intended to establish a method is also able to detect low brightness asbestos, we propose an asbestos detection method focusing on frequency distribution of the image.

Key word: Image Processing, Computer Vision, Frequency Analysis, Asbestos, Particle Counting

1 はじめに

アスベスト曝露による悪性中皮腫等の健康被害が近年問題になっている。深刻化するアスベスト問題への対策として、建材中にアスベストが含まれているか否かを調査するアスベスト分析が行われている。アスベスト含有の定性分析の一つに分散染色法があり[1]、公定法[2]によると合計9つの標本作製し、商業的に使用されている3種類のアスベストについて浸液により分散色の変化した3つの標本から、顕微鏡観察により計3000個の粒子を計数しなければならない。標本の顕微鏡写真の一部を図1に示す。そして、計数した3000個の粒子中に4本以上のアスベスト結晶が含まれている場合、その試料を有害であると判定する。現在



Fig. 1 Example of microscopic appearance of asbestos

これらのアスベスト結晶及び粒子の計数を目視で行っているため大変な労力と時間を要し、アスベスト分析作業を非効率化させる最大の要因となっている。目視で行っている計数の様子を図2に示す。

この作業の効率化を図るため、画像処理によるアスベスト含有判定支援システムが開発されている[3]。しかし、このシステムに用いられている粒子およびアスベスト結晶検出手法では、輝度値の低いアスベスト結晶の検出は困難で



Fig. 2 Expert on counting particles and asbestos

あった。アスベスト結晶の検出漏れは有害な試料を無害と誤判定してしまう可能性があるため、アスベスト結晶の検出は厳密に行われる必要がある。本研究では輝度値の高い粒子およびアスベスト結晶だけでなく輝度値の低いアスベスト結晶も検出できる手法の確立を目的とし、顕微鏡画像の周波数分布に着目したアスベスト結晶検出手法を提案する。

2 アスベスト検出手法

アスベスト結晶を検出する手法として、RGB値を用いて検出する手法[4]や分散染色による色の変化を利用してアスベスト結晶を検出する手法[5]、Support Vector Machine(SVM)を用いて粒子が含まれているか否かを判別する手法[6]などが提案されている。RGB値を用いて検出する手法は小領域内のRGB値の分布から粒子候補領域を特定する手法であるが、粒子およびアスベスト結晶の形状を考慮していないので、同じようなRGB値をもつ粒子、アスベスト結晶、ノイズを判別することができない。よって、それらは閾値処理などにより同時に検出され、輝度値の低い粒子が高い精度で検出される。その結果、アスベスト結晶を4本以上計数する前に3000個の粒子を計数してしまい、有害な試料を無害な試料と判定してしまう可能性がある。分散染色によ

る手法は、染色の前後でアスベスト結晶の色が比較的顕著に変化することを利用しており、アスベスト結晶が検出しやすい。しかし、染色の前後で撮像によるズレが生じるので、このズレを補正する必要がある。この補正を誤ると、差分をとった際にアスベスト結晶でないものをアスベスト結晶と判定してしまう可能性がある。また、SVMによる手法はアスベスト結晶を含む画像を教師データとして、小領域内のアスベスト結晶の有無を判別するものである。この手法でもアスベスト結晶が高い精度で検出されているが、一つのサンプルに対して時間がかかるといった問題がある。

3 提案手法

本研究ではアスベスト結晶の形状に着目し、その周波数分布を確認することでアスベスト結晶を検出する手法を提案する。まず、2次元フーリエ変換による周波数解析を行うため、原画像のグレースケール化を行う。次に、2次元フーリエ変換による周波数解析を行い、アスベスト結晶の周波数分布を確認する。次に、アスベスト結晶の周波数分布からアスベスト結晶の向きを調べる。最後に、アスベスト結晶の向きに応じたエッジ強調処理を行い、アスベスト結晶を検出する。

3.1 グレースケール化

画像中に存在する輝度値の低いアスベスト結晶は、図3(a)と(b)のように黄または青に近似した色である。そのためアスベスト結晶を含まない(c)との区別が困難である。実際

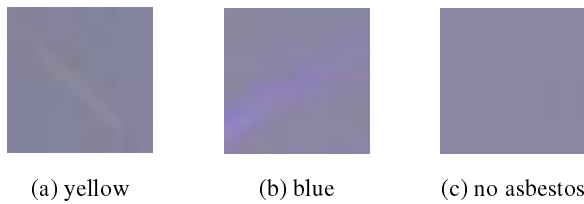


Fig. 3 Example of low brightness asbestos and no asbestos

に図3に対して主成分分析を行い、それぞれの第一主成分(PC1)の負荷量と累積寄与率を算出した結果を表1に示す。主成分分析は、多変量の計測値から変量間の相関を無くし、より低次元の変量によって元の計測値の特性を記述するための多変量データ解析手法である。表1から図3のサンプルにおいてRとGは相関が深く、Bは独立していると考えられる。このように図3(a)~(c)は同等の傾向を示しているが、検

Table 1 PC1 Factor loadings and contribution of Fig. 3

	Fig. 3(a)	Fig. 3(b)	Fig. 3(c)
Red(R)	0.934	0.751	0.73
Green(G)	0.958	0.71	0.86
Blue(B)	0.282	0.929	0.4
Cum.contribution(%)	62.35	64.51	48.38

出対象となる(b)においてBの負荷量が多い。しかし、カラーからグレースケールへ変換する方法として一般的に用いられる加重平均法[7]は式(1)となり、Bの重みが小さい。

$$V = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

よって本研究ではこの方法は適さないと考えられるので、実験的に式(2)で定義される単純平均法を用いることにした。

$$V' = \frac{R+G+B}{3} \quad (2)$$

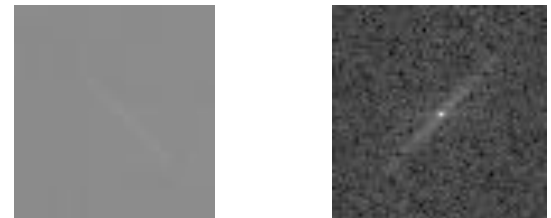
このV'をグレースケール値として用いることで、検出対象となるアスベスト結晶の輝度値を強調したグレースケール画像を得ることができる。

3.2 周波数解析

検出困難な輝度値の低いアスベスト結晶の特徴を調べるため、その周波数を解析する。しかし、原画像中には様々な色および形状の粒子が存在しているため、輝度値の低いアスベスト結晶の周波数のみを解析することは困難である。そこで、輝度値の低いアスベスト結晶のみが含まれるような小領域に区切って周波数解析を行う。本研究では対象となる640×480pixelの画像に対し、小領域のサイズを経験的に32×32pixelとした。また、周波数解析の手段として式(3)で定義される2次元フーリエ変換[8]を用いる。

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp\{-2\pi i(ux + vy)\} dx dy \quad (3)$$

ここに、F(u, v)はf(x, y)の2次元周波数スペクトル、f(x, y)は画像上の任意の画素の位置(x, y)における輝度値、u, vはそれぞれ周波数を表す。単純平均法を用いてグレースケール変換した画像を32×32pixelの小領域に分割し、その一部を図4(a)に示す。そして、図4(a)に対してフーリエ変換を行い、得られたパワースペクトルを図4(b)に示す。中心に近いところに存在する成分は低周波成分を表しており、中心から遠いところに存在する成分は高周波成分を表している。図4より、輝度値の低いアスベスト結晶の周波数分布



(a) Region of interest(ROI) (b) Power spectrum of Fig. 4(a)

Fig. 4 Two dimensional Fourier transform

が視覚的に顕著になったことが確認できる。

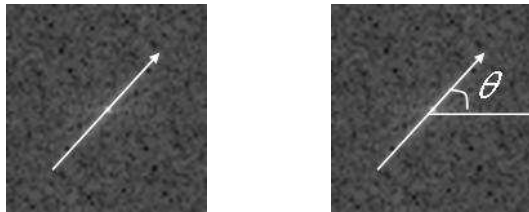
3.3 共分散行列の固有値展開

アスベスト結晶の周波数分布から各ベクトル要素間の共分散を求め、その主成分となっているベクトルを算出する。これを算出することにより、同じような輝度値をもつ粒子、アスベスト結晶、ノイズなどが小領域に混在する場合にアスベスト結晶のみを強調するような処理が可能となる。その結果、単純な閾値処理により輝度値の低い粒子は検出せず、同じような輝度値をもつアスベスト結晶は検出できるようになると考えられる。そこで、各小領域の共分散行列から第一固有ベクトルを算出し、アスベスト結晶の周波数分布からアスベスト結晶の向きを求める。共分散行列は式(4)で定義される。

$$\mu = \frac{1}{\sum_y \sum_x f(x, y)} \sum_y \sum_x f(x, y) \mathbf{w}, \quad \mathbf{w} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\Sigma = \frac{1}{\sum_y \sum_x f(x, y)} \sum_y \sum_x f(x, y) (\mathbf{w} - \mu)(\mathbf{w} - \mu)^T \quad (4)$$

ここに、 Σ は共分散行列、 μ は輝度値の平均ベクトル、 $f(x,y)$ は画像上の任意の画素の位置 (x,y) における輝度値、 w は座標ベクトルを表す。式(4)で求めた共分散行列の固有値展開を解くことで固有値 λ_1 と $\lambda_2(\lambda_1 \geq \lambda_2)$ を算出する。アスベスト結晶は細長い形状なので、結晶のアスペクト比が大きくなると考えられる。よって λ_1 と λ_2 からアスペクト比を算出することで小領域内にアスベスト結晶が存在するか否かの判別を行うことができる。次に、固有方程式から第一固有値 λ_1 に属する第一固有ベクトル v_1 を算出し、算出した固有ベクトルを図5(a)に示す。なお、アスベスト結晶の方向を表す角度 θ を図5(b)のように定義する。このように、第



(a) Primary eigen-vector (b) Angle of Fig. 5(a)

Fig. 5 Eigen-value decomposition of covariance matrix

一固有ベクトルを算出することでアスベスト結晶の方向を確認する。

3.4 エッジ検出

小領域内の輝度値の低いアスベスト結晶のみを強調することで、何らかの閾値処理を行った際にその結晶のみ検出できるようになると考えられる。そこで、アスベスト結晶の輝度値を強調する手法としてエッジ検出を用いる。本研究ではそのエッジ検出手法としてソーベルフィルタを用いる。ソーベルフィルタはエッジを強めたい方向が分かっている場合に、そのエッジの方向のみを強調することができる一次微分フィルタである。本研究ではアスベスト結晶の角度に適したエッジ強調を行うため、通常の 3×3 ではなく 5×5 のマスクサイズを用いる。水平方向のソーベルフィルタを Δ_x 、垂直方向のソーベルフィルタを Δ_y とし、それぞれ図6に示す。図6のフィルタを用いて角度を考慮したソーベル

-2	-1	0	1	2
-2	-1	0	1	2
-2	-1	0	1	2
-2	-1	0	1	2
-2	-1	0	1	2

2	2	2	2	2
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1
-2	-2	-2	-2	-2

(a) Horizontal enhancement Δ_x (b) Vertical enhancement Δ_y

Fig. 6 Sobel filter for edge detection(5×5)

フィルタを考える。本研究で用いるソーベルフィルタを Δ とすると、 Δ の各フィルタ係数は式(5)で定義できる。

$$\Delta = \Delta_x \cos \theta + \Delta_y \sin \theta \quad (5)$$

実際に作成したソーベルフィルタを図4(a)に適用した結果を図7(a)に示す。このように輝度値の低いアスベスト結晶のみを強調するフィルタリングを行うことで、図7(b)のように単純な閾値処理で結晶を検出することができる。

本手法のフローチャートを図8に示す。



(a) Sobel edge enhancement of Fig. 4(a) (b) binarized Fig. 7

Fig. 7 Sobel edge detection and binarization

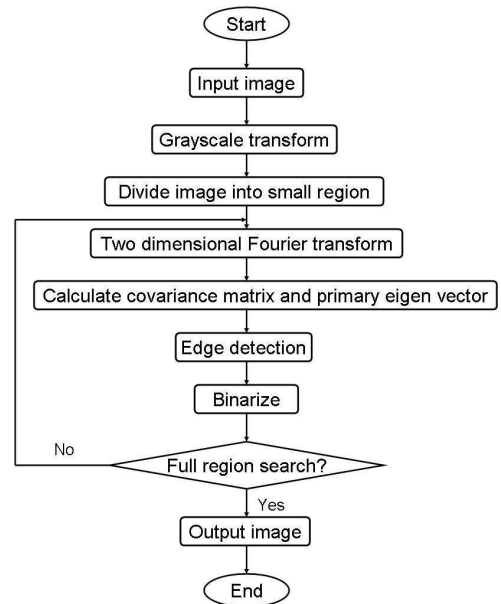


Fig. 8 Flowchart of proposal method

4 実験

理化学研究所から提供された顕微鏡画像(640×480pixel)21枚に対して、提案した手法を用いて実験を行った。提案手法により計数した粒子数、アスベスト結晶数と各画像中の粒子およびアスベスト結晶数に対するこれらの割合を評価した。しかし、計数した粒子には画像中に存在する粒子を検出できなかった数(検出漏れ数)、画像中で粒子でないものを粒子として検出した数(誤検出数)も考慮されているので、各々の数および計数した粒子数に対するこれらの割合も評価した。また、計数を正しく行っているか否かを判断する方法として、図9のように原画像に含まれる粒子を熟練者が目視により計数した画像があるので、この画像と結果画像を照らし合わせることで計数したか否かを確認する。本手法は輝度値の低いアスベスト結晶を強調することで検出する手法であり、実際に輝度値の低いアスベスト結晶が検出できているか否かを確認する。

4.1 結果

計数例として図10の原画像を入力とし、本手法を適用して出力した結果を図11に示す。本手法により赤い丸で囲った輝度値の低いアスベスト結晶が検出されていることが確認できる。原画像21枚に含まれる粒子の数は889個、アスベスト結晶の数は40本である。これに対し、提案手法により検出した粒子の数は957個、アスベスト結晶の数は37本、検出漏れの数は106個、誤検出の数は178個だった。また、原画像21枚に対する提案手法の粒子計数率は107.6(%)、アスベスト結晶計数率は92.5(%)、検出漏れ率は11.9(%)、誤検

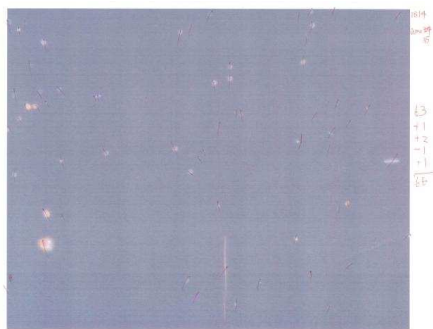


Fig. 9 Example of an image counted by an expert



Fig. 10 An input image

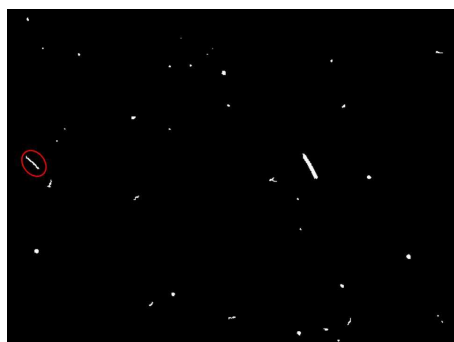


Fig. 11 An output image obtained using the proposal method

出率は18.6(%)となった。

4.2 考察

実験結果より、粒子を過剰に計数したことが確認できる。これは気泡など画像上のノイズが原因であると考えられる。また、検出漏れの多くは輝度値の低い粒子であり、輝度値の高い粒子およびアスベスト結晶の検出漏れは少なかった。ここで、アスベスト結晶の検出のみに着目すると検出率は92.5%と高い精度を示しており、比較的輝度値の低いアスベスト結晶の検出に成功したことを確認した。しかし、輝度値の低いアスベスト結晶の検出漏れも見られた。原因として輝度値の高い粒子が小領域内に含まれており、周波数解析による角度の算出ができていないことが挙げられる。

5 おわりに

本研究は、輝度値の低いアスベスト結晶も検出する手法の確立を目的とし、アスベスト結晶の形状に着目して2次元フーリエ変換による周波数解析を行った。そして、アス

ベスト結晶の周波数分布を解析したことにより、アスベスト結晶の向きを求めることができた。それによって、その向きに応じたアスベスト結晶のエッジを強調する手法を用いることが可能になった。そして、アスベスト結晶を検出するための本手法の有効性を示すために実験を行った結果、アスベスト結晶の計数率が92.5%となり、高い精度でアスベスト結晶の検出に成功した。この結果から、輝度値の低いアスベスト結晶検出手法が確立できたと考えられる。今後は、小領域内に輝度値の高い粒子と低いアスベスト結晶が混在している場合に輝度値の低いアスベスト結晶の周波数のみを解析できる手法を考案する、また小領域の適切な解像度を決定する手法[9]を用いて本手法を適用する予定である。

参考文献

- [1] Walter C. McCrone : “Detection and Identification of Asbestos by Microscopical Dispersion Staining”, Environmental Health Perspectives, Vol.9, pp.57-61, 1974.
- [2] 島弘志 : “JIS A 1481 建材製品中のアスベスト含有率測定方法”, 財団法人日本規格協会.
- [3] 川端邦明, 溝口博, 浅間一, 三島健稔, 堀田一弘 : “画像処理に基づいたアスベスト定性分析支援手法に関する研究”, 平成19年度廃棄物処理等科学研究研究報告書, 2008.
- [4] 石津健一, 竹村裕, 溝口博 : “アスベスト定性分析支援の為の粒子検出画像処理~ 色空間の分散に基づく背景領域の効果的除去~”, 関東学生会第47回学生員卒業研究発表講演前刷集, pp.325-326, 2008.
- [5] Yoshitaka Moriguchi, Kazuhiro Hotta and Haruhisa Takahashi : “Asbestos Detection From Microscope Images Using Support Vector Random Field of Local Color Features”, Proc. 15th International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Assembly, 2008.
- [6] 野本敦夫, 堀田一弘, 高橋治久 : “色と形状のカーネルの和を用いた顕微鏡画像からのアスベスト検出”, 2008年電子情報通信学会総合大会予稿集, p.250, 2008.
- [7] Kenneth R. Castleman : “Digital Image Processing”, Prentice Hall Professional Technical Reference, 1979.
- [8] 長尾真 : “画像認識論”, コロナ社, 1983.
- [9] 渡邊岳大, 森下壮一郎, 川端邦明, 浅間一, 三島健稔 : “アスベスト定性分析のための自動粒子計数における画像特徴の解像度依存性”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会論文集, pp.319-322, 2008.