

メコラス®の精度評価

1. メコラス®の精度の評価方法

メコラス®の AI モデルが予測した繊維について、後段の画像解析により繊維長、繊維幅、アスペクト比を求め、「アスベストモニタリングマニュアル」の繊維計数基準に適合するものを計数対象繊維として選抜した。なお、検出した繊維の形状により、繊維長、繊維幅を正確に求めることが困難な場合は判別不能と判定した。

評価データで計数対象とされている繊維の画素とメコラス®により予測された繊維の画素が重なっており、かつ、画像処理で計数対象繊維と判定されている場合に正しく予測されたと判断した。

メコラス®の精度は検出精度と計数精度の2つで評価した。検出精度は、繊維の計数はせず、検出できているかどうかだけで判定する。重なっている繊維は1つの集合体とみなし、本数の相違は無視するものとする。計数精度では、重なっている繊維であっても個体ごとに計数対象繊維の数をカウントする。

精度指標は、再現率(Recall)と適合率(Precision)の2つを用いた。再現率は熟練測定者が計数対象とした繊維状物質のうちメコラス®が推定できたものの割合、適合率はメコラス®が計数対象と判定した繊維状物質のうち熟練測定者が計数対象と判定したものの割合である。それらは次の式で計算される。

$$\text{Recall} = \text{真陽性(True positive)} / (\text{True positive} + \text{偽陰性(False negative)}) \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \text{True positive} / (\text{True positive} + \text{偽陽性(False positive)}) \quad (2)$$

ここで、

真陽性: メコラス®が推定した繊維状物質のうち、熟練測定者が計数対象とした繊維数

偽陰性: エキスパート分析者が計数した繊維のうち、メコラス®が検出しなかった(見落とし)繊維数。

偽陽性: メコラス®が検出した繊維のうち、エキスパート分析者が検出しなかった(数えすぎ)繊維数。

また、再現率と適合率は一般にトレードオフの関係にあるため、F1 スコアによっても評価を行った。

F1 スコアは次式で計算される。

$$\text{F1 スコア} = 2 \times \text{Recall} \times \text{Precision} / (\text{Recall} + \text{Precision}) \quad (3)$$

例を図1に示す。左側がエキスパートによる検出・計数結果、右側がメコラス®による検出・計数結果である。赤が計数対象となった繊維状物質(エキスパートによる計数対象繊維に1~9の番号を付与)、青がサイズあるいはアスペクト比が計数基準を満たさず計数対象とならなかった繊維状物質である。検出精度で評価する場合は、2本の繊維が重なった集合体が2つ(番号2, 3, および6, 7)あるがこれらを個体識別せずに1つとカウントする。この場合、7つの繊維の集合体全てを検出できているので再現率は1.0、システムが検出した8個体のうち、1個体が誤検出なので、適合率は0.88になる。計数精度で評価する場合は、2つの繊維の集合体(番号2, 3, および6, 7)は個体を識別して4つとカウントする。計数対象繊維9本のうち、メコラス®では重なっている繊維を識別できずに7本と計数したため再現率は0.78、検出した8本のうち、1本が誤検出なので適合率は0.88になる。

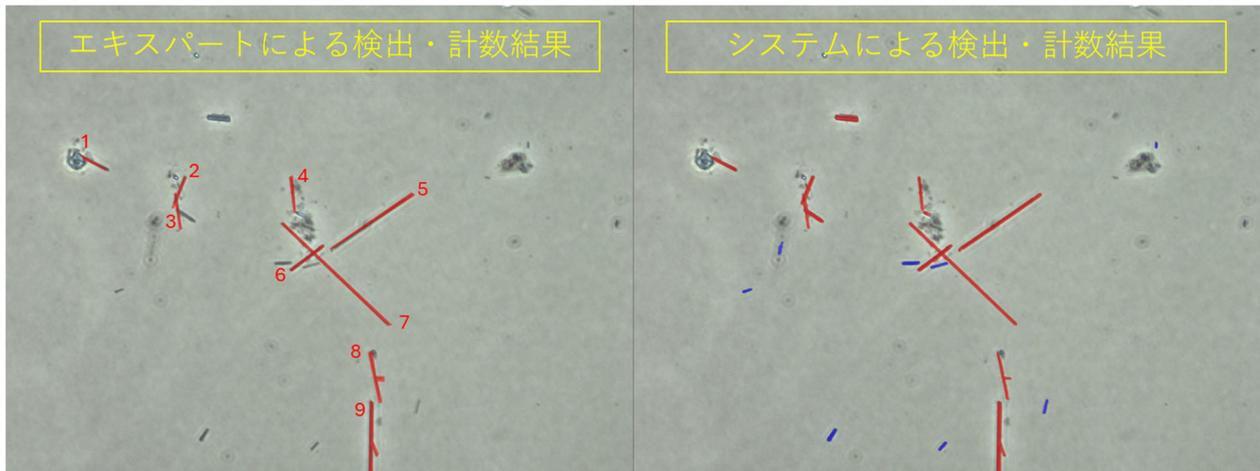


図1 検出精度と計数精度

2. 精度評価結果

エキスパート分析者が検出した繊維およびその集合体数とメコラス®による繊維検出の結果を表1と表2に示した。検出精度で評価した場合、再現率 0.95、適合率が 0.71、F1 スコアは 0.81 であった。真陽性(TP)が 92 本、誤検出である偽陽性(FP)が 37 本、見逃しである偽陰性(FN)は 5 本であった。見逃しは少なく、繊維およびその集合体を高い精度で検出できている。

エキスパート分析者による繊維計数値とシステムによる繊維計数値の結果を表3と表4に示す。繊維1画像当たりのエキスパート分析者による繊維計数値は 1~16 本であり、メコラス®により検出された繊維数は 1~14 本であった。全画像エキスパート分析者による繊維計数値は 110 本であった。一方、システムにより検出された繊維数は 133 本であり、内訳は真陽性(TP)が 94 本、偽陽性(FP)が 38 本である。また、偽陰性(FN)が 16 本と偽陰性よりも偽陽性が多かった。繊維計数の精度に関しては、メコラス®の再現率は 0.85、適合率は 0.71、F1 スコアは 0.78 であった。

表1 実大気試料の PCM 画像に対するエキスパート分析者の
繊維計数値及びメコラス®の繊維検出結果

画像	エキスパート 分析者 計数値	メコラス®			計数値
		真陽性 (TP)	偽陽性 (FP)	偽陰性 (FN)	
A-7	1	1	1	0	2
A-8	1	1	0	0	1
A-12	1	1	0	0	1
A-16	1	1	0	0	1
B-3	1	1	2	0	3
B-4	4	3	1	1	3
B-11	1	1	0	0	1
B-13	3	3	0	0	3
C-2	3	3	2	0	5

C-6	11	11	4	0	17
C-11	7	7	0	0	7
D-4	1	1	5	0	6
D-7	5	5	2	0	6
D-10	7	7	1	0	8
D-12	2	2	1	0	4
D-14	6	6	1	0	7
E-6	15	14	3	1	18
E-7	7	6	4	1	11
E-15	11	10	4	1	16
E-16	4	3	3	1	6
E-19	5	5	3	0	8
	97	92	37	5	134

表2 検出精度の場合の各画像及び全画像に対する
再現率、適合率、F1 スコア

画像	再現率	適合率	F1 スコア
A-7	1	0.5	0.67
A-8	1	1	1
A-12	1	1	1
A-16	1	1	1
B-3	1	0.33	0.5
B-4	0.8	1	0.89
B-11	1	1	1
B-13	1	1	1
C-2	1	0.6	0.75
C-6	1	0.73	0.85
C-11	1	1	1
D-4	1	0.17	0.29
D-7	1	0.71	0.83
D-10	1	0.88	0.93
D-12	1	0.67	0.8
D-14	1	0.86	0.92
E-6	0.93	0.82	0.87
E-7	0.86	0.6	0.71
E-15	0.91	0.71	0.8
E-16	0.75	0.5	0.6
E-19	1	0.62	0.77
	0.95	0.71	0.81

表3 実大気試料のPCM画像に対するエキスパート分析者の
 繊維計数値及びメコラス®の繊維計数結果

画像	エキスパー	メコラス®			計数値
	ト分析者 計数値	真陽性 (TP)	偽陽性 (FP)	偽陰性 (FN)	
A-7	1	1	1	0	2
A-8	1	1	0	0	1
A-12	1	1	0	0	1
A-16	1	1	0	0	1
B-3	1	1	2	0	3
B-4	5	3	0	2	4
B-11	1	1	0	0	1
B-13	3	3	0	0	3
C-2	3	3	2	0	5
C-6	12	12	4	0	16
C-11	6	6	1	0	7
D-4	1	1	5	0	6
D-7	7	4	2	3	6
D-10	9	7	1	2	8
D-12	4	3	1	1	4
D-14	8	6	1	2	7
E-6	16	14	4	2	18
E-7	9	7	4	2	11
E-15	12	11	4	1	15
E-16	4	3	3	1	6
E-19	5	5	3	0	8
	110	94	38	16	133

表4 計数精度の場合の各画像及び全画像に対する
再現率、適合率、F1 スコア

画像	再現率	適合率	F1 スコア
A-7	1	0.5	0.67
A-8	1	1	1
A-12	1	1	1
A-16	1	1	1
B-3	1	0.33	0.5
B-4	0.57	1	0.73
B-11	1	1	1
B-13	1	1	1
C-2	1	0.6	0.75
C-6	0.81	0.76	0.79
C-11	1	1	1
D-4	1	0.17	0.29
D-7	0.57	0.67	0.62
D-10	0.78	0.88	0.82
D-12	0.75	0.75	0.75
D-14	0.75	0.86	0.8
E-6	0.83	0.83	0.83
E-7	0.78	0.64	0.7
E-15	0.8	0.75	0.77
E-16	0.75	0.5	0.6
E-19	0.83	0.62	0.71
	0.85	0.71	0.78

※ 本文書は、次に示す論文から抜粋し再編集したものです。

Yukiko Iida, Takashi Yamamoto, Kazuharu Iwasaki, Ken-Ichi Yuki, Kentaro Kiri, Hayato Yamashiro, Toshiyuki Toyoguchi, and Atsushi Terazono, Development of a rapid fiber-detection system using artificial intelligence in phase-contrast microscope images of actual atmospheric samples, *Frontiers in Analytical Science*, (25 June 2025), DOI : 10.3389/frans.2025.1571840, <https://www.frontiersin.org/journals/analytical-science/articles/10.3389/frans.2025.1571840/full>