

都市地域における大気中および住民の肺内の無機繊維の種類と繊維サイズの比較

酒井 潔* 久永 直見^{2*} 柴田 英治^{3*}
児嶋 昭徳* 竹内 康浩^{4*}

目的 都市住民の肺内無機繊維のうち、大気由来の可能性のある繊維、大気経路で吸入されたが肺から排除または肺内で溶解したと考えられる繊維、肺内で生成した可能性のある繊維を推定することである。

方法 都市大気試料21個ならびに職業的石綿曝露歴がないと考えられた都市住民の剖検肺36例を対象とした。肺組織は凍結乾燥・低温灰化法で、大気試料はメンブランフィルター捕集・直接転写法で電子顕微鏡観察用標本を作製した。無機繊維の種類と同定と計数ならびに繊維サイズの計測は分析電子顕微鏡で行った。非石綿繊維の種類は含有率30%以上の元素の組合せで26種類に分類した。

結果 1. 大気および肺組織の両者から検出された無機繊維はクリソタイル、アモサイト、アクチノライト、トレモライトと非石綿繊維11種類であった。大気および肺組織の構成割合の平均値は無機繊維の種類によって大きく異なっており、AlとSiを主成分とする繊維では大気16.3%と肺組織62.3%、SとCaを主成分とする繊維では43.7%と0.0%、PとFeを主成分とする繊維では0.4%と18.4%であった。

2. 大気だけに検出された無機繊維は非石綿繊維15種類で、そのうち10種類の構成割合の平均値はいずれも0.5%以下であった。

3. 肺組織のみに検出された無機繊維はクロンドライトだけであった。

4. 石綿の長さや直径は大気と肺組織の間で有意差はなかったのに対して、非石綿繊維の長さや直径は大気の方が肺よりも有意に大きいか、あるいは大きい傾向にあった。

結論 大気の調査時期と調査場所が都市住民が吸入した大気と対応していないという制約はあるが、大気由来で肺内残留性の高い無機繊維として角閃石系石綿やAlとSiを主成分とする繊維、逆に大気由来で肺内残留性が低い無機繊維としてSとCaを主成分とする繊維、肺内で生成した可能性がある無機繊維としてPとFeを主成分とする繊維が示唆された。

Key words : 都市大気, 剖検肺, 石綿, 非石綿繊維, 繊維サイズ, 分析電子顕微鏡

I 緒 言

大気中の石綿や非石綿繊維の種類ならびに濃度に関する報告はすでに多数ある¹⁻¹⁰⁾。職業的石綿曝露歴のない一般住民の肺内の石綿や非石綿繊維

の種類ならびに濃度に関しても、いくつかの報告がある¹¹⁻¹⁸⁾。しかし、著者らの知る限り、大気と一般住民の肺組織との間で無機繊維の種類や繊維サイズを比較した報告はない。

本研究では、都市地域の大気および職業的な石綿曝露歴を見出せなかった同地域居住者の肺組織を対象として、両者間で石綿を含む無機繊維の種類別の構成割合と繊維サイズの比較を行い、肺内無機繊維の由来と肺からの消失メカニズムを推定することにより、大気中無機繊維によるヒトの肺の汚染を保健の観点から評価する際に有用な示

* 名古屋市衛生研究所

^{2*} 労働省産業医学総合研究所

^{3*} 名古屋大学医学部保健学科検査技術科学専攻

^{4*} 名古屋大学大学院医学研究科環境労働衛生学教室
連絡先: 〒467-8615 名古屋市瑞穂区萩山町 1-11
名古屋市衛生研究所 酒井 潔

唆を与えることを目的とした。

II 方 法

1. 対象

1) 都市大気

大気試料は1988～95年に名古屋市内のビルの屋上で採取された21個である。それらのビルの所在区、採取年月日、天候を表1に示した¹⁹⁾。試料空気はメンブランフィルター（直径47 mm、孔径0.8 μm ）に毎分10 Lで午前10時頃から午後2時頃にかけて4時間捕集した²⁰⁾。

2) 都市住民

都市住民は36例で、それらの死亡年、死亡年齢、性別、死因を表2に示した。これらは1978～88年に名古屋市内のK病院で剖検された53例の中で、遺族からの聴き取り調査で職業的な石綿暴露歴が見出されなかった者であった¹⁷⁾。性別は男女いずれも18例で、死亡年齢の平均値（最小値～最大値）は63.6歳（38～80歳）、死亡年次は1980～88年であった。喫煙歴は34例で判明し、喫煙歴のあった者21例（男性7例、女性14例）、喫煙歴のない者13例（男性11例、女性2例）であった。居住歴については全員入院時に名古屋市およびその周辺市町に10年以上在住していた。

2. 分析方法

1) 電子顕微鏡観察用標本作製方法

(1) 大気：フィルターにカーボン蒸着した後、その一部（3 mm 四方）をカーボン膜を張った電顕グリッド（200メッシュ、Ni製、VECO）に載せ、アセトン蒸気でフィルターを溶解・除去した（以下、直接転写法という²¹⁾）。

(2) 肺組織：分析に用いられた試料はホルマリン固定された肺のうち供与を受けた左肺上葉の一部である。試料の組織表面を蒸留水で洗浄して1～3 gを細片化した後、凍結乾燥した。よく混合した乾燥試料約50 mg（精秤）を低温灰化処理（40 W、 O_2 50 ml/分、24時間）し、蒸留水に懸濁・超音波分散処理したものを吸引ろ過（ニュークリポアフィルター、直径47 mm、孔径0.2 μm ）した。フィルターにカーボン蒸着した後、その一部（3 mm 四方）をカーボン膜を張った電顕グリッド（200メッシュ、Ni製、VECO）に載せ、クロロホルム蒸気でフィルターを溶解・除去した（以下、低温灰化法という¹⁷⁾）。

表1 大気試料の所在区、採取年月日、天候および空気中石綿・非石綿繊維濃度

No.	所在区	採取年月日	天候* (6-18時)	繊維濃度 (本/L)	
				石綿	非石綿繊維
1	東	88. 7. 6	曇時々晴	44.1	1,662
2	千種	88. 7. 6	曇時々晴	2.0	231
3	北	88. 7. 8	曇一時晴	20.1	415
4	中	88. 7.11	曇一時雨	7.4	104
5	中	88. 7.13	曇一時雨	19.2	384
6	昭和	88. 7.14	雨	6.1	104
7	瑞穂	88. 7.14	雨	4.7	71.8
8	千種	88. 8.19	曇後雨	127	1,716
9	守山	88. 9.26	晴時々曇	10.1	343
10	港	89. 1.24	快晴	17.3	240
11	港	89. 1.24	快晴	39.6	293
12	南	89. 1.27	曇一時雨	49.0	990
13	中村	89.11. 4	晴	60.0	1,000
14	中	90. 2.14	雨一時曇	40.2	852
15	中	90. 2.19	雨	35.3	749
16	中川	90. 2.22	薄曇	17.0	329
17	名東	90. 2.22	薄曇	29.3	1,699
18	昭和	95. 1.10	晴一時みぞれ	1.4	43.4
19	昭和	95. 1.11	晴一時曇	12.6	203
20	昭和	95. 1.12	曇時々晴	8.0	201
21	東	95. 2.28	晴後一時雨	13.1	72.7

*: 愛知県気象月報（名古屋地方気象台）による

2) 繊維の計数および繊維サイズの計測方法

使用した顕微鏡はエネルギー分散型X線分析システム（7000Q, KEVEX）を装着した透過型電子顕微鏡（H800, 日立製作所）であった。繊維の計数は、粒子の長辺側がほぼ平行でかつ長さ（長径）と直径の比が3:1以上の粒子を繊維として、大気試料は拡大倍率2万倍で、肺組織は拡大倍率1万倍で、繊維100本以上または電顕グリッド網目50個以上を観察して行った。観察できた繊維サイズは、大気および肺組織いずれも長さ0.2 μm 、直径0.02 μm であった。大気試料の観察を拡大倍率2万倍で行ったのは、メンブランフィルターの溶解除去時にしわ状の模様が残り、繊維が見にくくなる場合があったためである。ただし、著者らが同一試料を倍率を変えて観察した結果では倍率1万倍以上であれば、拡大倍率の違いによる観察本数の有意差はない²²⁾。繊維の長さ（長径）と直径の計測は、繊維計数時に電子顕微鏡のディスプレイ装置の画面上において、長さは拡大倍率2千～2万倍で、直径は1万～5万倍で行った。計測した繊維本数は、大気で2,231本、肺組織で4,882本で、1

表2 職業的な石綿曝露歴を見出せなかった都市住民の死亡年, 死亡年齢, 性別および石綿・非石綿繊維濃度

No.	死亡年	死亡年齢	性別	死 因	繊維濃度 (百万本/乾燥g)	
					石綿	非石綿繊維
1	1982	80	男	肝臓がん	4.18	188
2	1982	61	男	すい臓がん	2.25	142
3	1982	68	男	悪性リンパ腫	0.69	184
4	1983	59	男	直腸がん	1.59	31.1
5	1983	61	男	ホジキン病	0.12	12.5
6	1983	67	男	胃がん	50.1	117
7	1984	56	男	肝臓がん+肝硬変	2.41	53.0
8	1984	65	男	心筋梗塞	0.79	46.7
9	1985	73	男	心筋梗塞	8.18	87.3
10	1985	69	男	大腸がん	3.39	417
11	1985	38	男	結核性髄膜炎+脳梗塞	2.69	9.25
12	1985	77	男	直腸がん	2.19	132
13	1985	67	男	胃がん	2.06	73.7
14	1985	58	男	肝硬変	1.54	23.4
15	1986	52	男	アルコール性肝硬変	2.07	42.8
16	1987	60	男	直腸がん	4.12	49.5
17	1987	53	男	肝硬変	1.26	50.7
18	1987	62	男	胆管がん	0.63	9.19
19	1980	65	女	胆のうがん	2.27	44.1
20	1981	66	女	心筋梗塞	2.02	105
21	1981	61	女	上腸間膜動脈閉塞症	1.62	52.2
22	1982	67	女	十二指腸平滑筋肉腫	1.60	40.9
23	1983	47	女	胃潰瘍+肝硬変	1.13	42.6
24	1983	55	女	慢性骨髄性白血病	0.53	0.70
25	1983	67	女	心臓弁膜症	0.18	5.81
26	1984	69	女	慢性気管支炎+肺気腫+肺結核	2.82	45.5
27	1985	65	女	肝硬変+肝臓がん	5.20	30.5
28	1985	66	女	乳がん	2.58	133
29	1986	58	女	クッシング病	3.81	34.0
30	1986	80	女	気管支喘息+慢性気管支炎	1.59	9.54
31	1987	65	女	アルツハイマー性老人性痴呆	4.39	24.5
32	1987	53	女	気管支肺炎	1.12	14.2
33	1987	72	女	多発性骨髄腫	1.08	2.89
34	1987	64	女	劇症肝炎	0.24	0.48
35	1988	66	女	肝臓がん+肝硬変	1.08	31.0
36	1988	79	女	連合弁膜症	0.77	25.0

試料当たりの計測本数の平均値(最小値~最大値)は, それぞれ106本 (65~195本) と136本 (9~210本) であった。

3) 繊維の種類分類

石綿の種類同定は繊維の形状と元素組成によって行った。石綿の中で, アクチノライトは単斜晶系のカルシウム-マグネシウム角閃石であるト

レモライトの鉄が置換した誘導体であり²³⁾, 観察本数も少なかったので, 一括して取り扱った(以下, アクチノライト類という)。非石綿繊維は, EDX (エネルギー別特性X線) スペクトルから得られた主要な成分元素の種類と含有率で分類した。すなわち, ナトリウムより原子番号の大きな元素を測定対象とし, 含有率30%以上の元素を主

成分としてその組合せで26種類に分類した。また、大気試料で明瞭なEDXスペクトルが得られない繊維は有機繊維とし²⁴⁾、繊維として計数しなかった。

3. 統計学的方法

繊維の長さと直径は、正規型分布より対数正規型分布に近かった²⁵⁾ので、繊維の長さ、直径、アスペクト比(長さ/直径)の平均値は幾何平均値で表示し、その平均値の差の検定はt検定またはWelchの検定で行った。

III 結 果

1. 無機繊維の濃度

石綿と非石綿繊維に分けた場合、大気中の石綿濃度の幾何平均値(最小値～最大値)は16.2(1.4～127)本/L、非石綿繊維濃度は332(43.4～1,716)本/Lであった(表1)。同様に肺組織中の石綿濃度は1.68(0.12～50.1)百万本/乾燥g、非石綿繊維濃度は30.2(0.48～417)百万本/乾燥gであった(表2)。

2. 無機繊維の種類

表3は大気および肺組織から検出された無機繊維の種類ならびに総本数に占める構成割合をまとめたものである。大気から検出された無機繊維はクリソタイル、アモサイト、アクチノライト類と非石綿繊維26種類、肺組織からはクリソタイル、アモサイト、クロソライト、アクチノライト類と非石綿繊維11種類であった。肺組織で検出された非石綿繊維11種類はいずれも大気からも検出された。肺組織で検出されたクリソタイル、アモサイト、アクチノライト類と非石綿繊維11種類の検出割合を男女別に大気と比較したが、性別による違いはなかった。

無機繊維に占める石綿の構成割合の平均値は、大気では5.4%、肺組織では8.1%であった。また、大気中のクリソタイルおよびクリソタイル以外の石綿(以下、角閃石系石綿という)の構成割合の平均値は4.7%と0.6%であったのに対して、肺組織ではそれぞれ4.4%と3.6%であった。

3. 大気と肺組織の両者から検出された無機繊維

大気および肺組織の両者から検出された無機繊維(表3、分類I)は、クリソタイル、アモサイト、アクチノライト類と非石綿繊維11種類であっ

た。クリソタイルの構成割合の平均値は、大気および肺組織いずれもアモサイトやアクチノライト類の6倍以上であった。大気あるいは肺組織で構成割合の平均値が5%以上であった無機繊維は、AlとSiを主成分とする繊維、SとCaを主成分とする繊維、PとFeを主成分とする繊維、Feだけから成る繊維の4種類であった。分類Iの14種類中5種類は大気での構成割合の平均値がいずれも0.5%以下であった。AlとSiを主成分とする繊維の構成割合の平均値は、大気では16.3%、肺組織では62.3%であり、肺組織での構成割合は大気の約4倍であった。大気での構成割合の平均値が最大であったSとCaを主成分とする繊維は、大気では43.7%であったのに対して、肺組織では0.0%であり、住民1例でごく少量検出されただけであった。逆に、大気での構成割合の平均値が0.4%であったPとFeを主成分とする繊維は、肺組織では18.4%であった。

4. 大気だけに検出された無機繊維

大気だけに検出された無機繊維(表3、分類II)は非石綿繊維15種類であった。構成割合の平均値が5%以上であった無機繊維は、MgとSを主成分とする繊維とNaとSを主成分とする繊維であった。この2種類の非石綿繊維はいずれも21例中7例で検出されたが、観察本数の53%を占めた試料もあった。また15種類中10種類は大気での構成割合の平均値がいずれも0.5%以下であった。

5. 肺組織だけに検出された無機繊維

肺組織だけに検出された無機繊維(表3、分類III)はクロソライトのみであった。36例中24例で検出され、構成割合の平均値は2.4%であった。

6. 無機繊維の種類別繊維サイズ

表4は肺および大気における無機繊維の長さ、直径、アスペクト比を種類別にまとめたものである。大気と肺組織中の両者で検出した無機繊維14種類について、石綿では肺組織のクリソタイルのアスペクト比の幾何平均値が大気よりも有意に大きかった($p < 0.05$)。非石綿繊維3種類(AlとSiを主成分とする繊維、Feだけから成る繊維、Siだけから成る繊維)の長さおよび直径の幾何平均値は大気の方が肺組織より有意に大きかった($p < 0.01$)。また非石綿繊維2種類(PとFeを主成分とする繊維、SiとCaを主成分とする繊維)の直径の幾何平均値も大気の方が有意に大きく

表3 大気ならびに肺組織から検出された無機繊維の種類とその構成割合

分類	石綿の種類 または非石綿繊維の 主要な元素組成†	大気 (N=21)			肺組織 (N=36)		
		検出数	平均%*	(最小-最大%)	検出数	平均%*	(最小-最大)
I	S+Ca	21	43.7	(24-77)	1	0.0	(0-1)
	Al+Si	21	16.3	(4-35)	36	62.3	(37-94)
	Feのみ	19	6.0	(0-43)	22	1.2	(0-4)
	クリソタイル	21	4.7	(1-14)	33	4.4	(0-29)
	Siのみ	18	3.3	(0-9)	32	4.3	(0-23)
	Si	12	1.9	(0-9)	2	0.0	(0-1)
	Si+Ca	6	0.7	(0-6)	3	0.4	(0-7)
	Alのみ	10	0.7	(0-3)	9	0.3	(0-2)
	Mg+Si	7	0.6	(0-5)	13	0.5	(0-4)
	P+Fe	7	0.4	(0-2)	35	18.4	(0-47)
	アクチノライト/トレモライト	9	0.4	(0-2)	14	0.5	(0-5)
	Tiのみ	6	0.3	(0-2)	29	1.4	(0-5)
	アモサイト	2	0.2	(0-3)	16	0.7	(0-7)
	P+Ca	2	0.1	(0-1)	5	0.4	(0-5)
II	Mg+S	7	6.3	(0-53)	検出せず		
	Na+S	7	5.0	(0-53)	検出せず		
	Caのみ	14	1.6	(0-8)	検出せず		
	S+Fe	6	1.2	(0-9)	検出せず		
	Znのみ	8	0.8	(0-5)	検出せず		
	Cuのみ	3	0.5	(0-7)	検出せず		
	Sのみ	4	0.4	(0-3)	検出せず		
	Mg+P	3	0.2	(0-2)	検出せず		
	Si+Fe	3	0.2	(0-2)	検出せず		
	Crのみ	3	0.1	(0-2)	検出せず		
	Na+P	1	0.1	(0-2)	検出せず		
	Mg+Fe	1	0.1	(0-1)	検出せず		
	Si+S	2	0.1	(0-1)	検出せず		
	Mgのみ	2	0.1	(0-2)	検出せず		
Mnのみ	1	0.0	(0-1)	検出せず			
III	クロシドライト	検出せず			24	2.4	(0-15)
	その他	20	3.9	(0-11)	27	2.6	(0-25)

分類：I 大気および肺組織の両者で検出された無機繊維

II 大気だけで検出された無機繊維

III 肺組織だけで検出された無機繊維

†：主要な元素は構成比率30%以上のものを示す

*：大気21試料または肺組織36試料での平均値

($p < 0.01$), それらの長さも有意ではないものの大気の方が大きい傾向にあった。上記以外の種類の非石綿繊維の長さと同径の幾何平均値も、有意ではないが、大気の方が肺組織より大きい傾向にあり、逆にアスペクト比は大気の方が小さい傾向にあった。

大気と肺組織中の両者で検出してかつ計測本数

が100本以上であったクリソタイルおよび非石綿繊維5種類(AlとSiを主成分とする繊維, Feだけから成る繊維, SとCaから成る繊維, PとFeを主成分とする繊維, Siだけから成る繊維)の長さ, 直径, アスペクト比を男女別に大気と比較した結果, 性別による違いはなかった。

表4 大気ならびに肺組織から検出された無機繊維の種類別の長さ, 直径, アスペクト比

幾何平均(最小値-最大値)

分類	石綿の種類 または非石綿繊維の 主要な元素組成†	分析本数(本)		長さ(μm)		直径(μm)		アスペクト比 (長さ/直径)	
		大気	肺組織	大気	肺組織	大気	肺組織	大気	肺組織
I	S+Ca	999	1	1.23 (0.2-45.0)	0.7	0.200 (0.04-5.5)	0.05	6.1 (3.0-85.6)	14.0
	Al+Si	338	3,068	1.21** (0.2-17.0)	0.76 (0.2-20.0)	0.153** (0.03-3.3)	0.074 (0.02-3.0)	7.9** (3.0-38.5)	10.2 (3.0-25.0)
	Feのみ	132	53	1.06** (0.3-10.0)	0.65 (0.3-3.0)	0.212** (0.05-1.8)	0.085 (0.03-0.30)	5.0** (3.0-30.0)	7.6 (3.0-20.1)
	クリソタイル	101	148	0.77 (0.2-12.0)	0.94 (0.3-15.0)	0.045 (0.02-1.6)	0.045 (0.02-3.0)	17.2* (5.0-70.1)	20.6 (5.0-268)
	Siのみ	73	196	1.67** (0.3-120)	0.88 (0.2-8.0)	0.241** (0.06-2.8)	0.108 (0.02-1.0)	6.9 (3.0-34.0)	8.1 (3.0-46.5)
	Si	38	2	2.61 (0.4-15.0)	1.73 (1.0-3.0)	0.372 (0.06-2.2)	0.317 (0.20-0.50)	7.0 (3.6-20.1)	5.5 (5.0-6.0)
	Si+Ca	12	21	1.30 (0.5-3.0)	1.10 (0.4-3.0)	0.194** (0.08-0.50)	0.057 (0.03-0.20)	6.7** (3.2-22.4)	17.5 (8.0-50.0)
	Alのみ	15	19	1.20 (0.4-4.5)	0.97 (0.2-3.0)	0.193 (0.05-0.60)	0.119 (0.04-0.50)	6.2 (3.0-11.7)	8.1 (3.0-20.1)
	Mg+Si	12	19	2.43 (0.9-7.0)	2.54 (0.4-15.0)	0.356 (0.12-2.2)	0.260 (0.04-1.5)	6.8 (3.2-16.3)	9.8 (3.7-35.2)
	P+Fe	10	988	0.86 (0.5-3.5)	0.68 (0.2-7.0)	0.130** (0.05-0.45)	0.076 (0.02-0.70)	6.6* (3.3-11.9)	8.9 (3.0-75.2)
	アクチノライト/ トレモライト	11	25	2.03 (0.9-6.0)	3.58 (0.7-12.0)	0.213 (0.06-0.70)	0.301 (0.05-1.0)	9.5 (4.3-18.7)	11.9 (4.4-46.5)
	Tiのみ	7	72	0.93 (0.4-1.8)	0.81 (0.2-4.0)	0.150 (0.07-0.40)	0.114 (0.02-0.50)	6.2 (4.0-8.6)	7.1 (3.3-25.0)
	アモサイト	5	42	1.90 (0.7-5.5)	2.14 (0.3-22.0)	0.218 (0.08-0.40)	0.146 (0.04-0.80)	8.7 (6.2-13.7)	14.6 (3.7-50.0)
	P+Ca	2	16	0.75 (0.4-1.4)	0.86 (0.4-8.0)	0.200 (0.10-0.40)	0.069 (0.02-0.60)	3.7 (3.5-41.0)	12.4 (5.0-37.3)
	II	Mg+S	158	0	1.26 (0.4-8.0)	—	0.153 (0.06-1.2)	—	8.2 (3.0-41.7)
Na+S		118	0	0.88 (0.3-6.0)	—	0.143 (0.05-0.50)	—	6.2 (3.0-32.8)	—
Caのみ		32	0	1.41 (0.5-15.0)	—	0.273 (0.06-2.7)	—	5.2 (3.0-11.7)	—
S+Fe		29	0	1.46 (0.4-6.0)	—	0.243 (0.06-0.60)	—	6.0 (3.0-12.9)	—
Znのみ		17	0	0.83 (0.3-2.7)	—	0.135 (0.06-0.50)	—	6.2 (3.3-15.0)	—
Cuのみ		9	0	1.59 (0.6-5.5)	—	0.252 (0.08-0.70)	—	6.3 (4.0-9.2)	—
Sのみ		7	0	1.18 (0.4-7.0)	—	0.195 (0.10-0.80)	—	6.1 (3.6-58.6)	—
Si+Fe		5	0	1.90 (0.5-6.0)	—	0.268 (0.08-0.60)	—	7.1 (4.2-10.0)	—
Mg+P		3	0	1.52 (0.6-4.5)	—	0.269 (0.12-0.90)	—	5.7 (5.0-7.2)	—
Si+S		2	0	1.32 (0.7-2.5)	—	0.200 (0.10-0.40)	—	6.7 (6.3-7.0)	—
Mg+Fe		1	0	1.3	—	0.10	—	13.0	—
Mgのみ		3	0	1.38 (0.7-2.5)	—	0.174 (0.10-0.35)	—	8.0 (4.3-25.0)	—
Crのみ		3	0	0.83 (0.6-1.2)	—	0.208 (0.15-0.30)	—	4.0 (4.0-4.0)	—
Na+P		2	0	0.53 (0.4-0.7)	—	0.102 (0.08-0.13)	—	5.2 (5.0-5.4)	—
Mnのみ		1	0	0.6	—	0.10	—	6.0	—
III	クロソライト	0	99	—	1.26 (0.3-12.0)	—	0.092 (0.03-2.0)	—	13.6 (3.7-100)
	その他	86	113	1.11 (0.2-9.0)	0.77 (0.2-6.0)	0.171 (0.05-1.4)	0.090 (0.03-1.0)	6.5 (3.0-27.9)	8.6 (3.0-45.2)

分類: I 大気および肺組織の両者から検出された無機繊維の種類

II 大気だけに検出された無機繊維の種類

III 肺組織だけに検出された無機繊維の種類

*: p<0.05, **: p<0.01

†: 主要な元素は構成比率30%以上のものを示す

IV 考 察

1. 無機繊維の種類

元素組成から推定される非石棉繊維の種類についてはすでに報告した¹⁸⁾。すなわち、AlとSiを主成分とする繊維はハロイサイトやカオリナイトなどのような多種類のケイ酸アルミニウム塩鉱物が考えられた。またSとCaを主成分とする繊維としては石膏、Feだけから成る繊維としては酸化鉄、Siだけから成る繊維としては石英、Tiだけから成る繊維としてはルチル、MgとSiを主成分とする繊維(管状構造なし)としてはタルク、PとCaを主成分とする繊維としてはアパタイトが推定された。しかし、今回、多くの肺で検出されたPとFeを主成分とする繊維の種類は著者らの知る範囲では該当するものがなく、不明であった。

大気で検出された非石棉繊維の種類を他の報告と比較して表5に示した。主な種類はSとCaを主成分とする繊維ならびにAlとSiを主成分とす

る繊維で、今回の結果とよく一致していた。これらはいずれも主要な造岩鉱物として岩石や土壌に普遍的に存在しているためと考えられた。

肺組織で検出された非石棉繊維の種類を他の報告と比較して表6に示した。AlとSiを主成分とする繊維は大半の報告で記載されており、Siだけから成る繊維、MgとSiを主成分とする繊維、Tiだけから成る繊維なども報告されていた。今回、36例中35例で検出されたPとFeを主成分とする繊維についての報告はなかった。

2. 大気と肺組織との間での無機繊維の種類別構成割合の比較

1) 大気と肺組織との間での比較時の問題点

一般住民の肺内無機繊維の種類や構成割合に対する大気中無機繊維の影響を知るためには、肺内無機繊維が吸入されたのと同期間の当該住民の生活地域における大気中無機繊維の種類、濃度ならびに構成割合の測定結果が必要である。しかし、一般住民の肺内無機繊維に関する報告はいくつかある^{11~18)}ものの、大気中無機繊維の種類や濃度

表5 大気中で検出された非石棉繊維の種類

文献 No.	主な元素組成 (繊維の種類)							備 考
	S+Ca	Al+Si	Si	Fe	Ti	Si+Ca	Al	
(1)	○ (硫酸カルシウム)	-	-	-	-	-	-	
(2)	○ (石膏)	○	○ (石英)	-	-	-	-	左記以外に硫酸アンモニウムを検出
(3)	-	○ (イライト)	-	-	-	-	-	
(4)	○ (石膏)	-	-	-	-	-	-	左記以外に硫酸アンモニウムを検出
(5)	○	○ (ハロイサイト)	-	○	-	○	-	
(6)	○ (石膏)	○	-	-	-	-	-	
(7)	-	○	○	○	○	○	○	左記の繊維を含めて24種類の繊維を検出
(8)	○ (石膏)	○	-	-	-	-	-	
(9)	○ (硫酸カルシウム)	-	-	-	-	-	-	
(10)	-	○	○	○	○	○	○	
今回	○	○	○	○	○	○	○	左記の繊維を含めて26種類の繊維を検出

○: 測定, -: 測定せず, () 内は各報告者が推定した物質名

表6 石綿職歴がないと考えられた住民の肺組織で検出された非石綿繊維の種類

文献 No.	主な元素組成 (繊維の種類)									備 考
	S+Ca	Al+Si	Si	Fe	Ti	Si+Ca	Al	P+Ca	Mg+Si	
(11)	○ (石膏)	○ (*)	○ (シリカ)	-	○ (ルチル)	-	-	○ (アパタイト)	○ (タルク)	*: アタパルジャイト, カオリナイト, ムライト, イライト, パイ ロフイライト, 長石, バーミキ ユライト/クロ ライト
(12)	-	○ (*)	○ (シリカ)	○ (鉄)	○ (チタン)	-	○ (アルミニウム)	○ (アパタイト)	○ (タルク)	*: カオリナイト, ムライト, 長石
(13)	-	○ (*)	-	-	-	-	-	-	-	*: ムライト, クロ ライト, 雲母, カオリナイト
(14)	?	○ (雲母)	?	?	○ (チタン)	?	?	?	○ (タルク)	左記の繊維を含め て20種類の繊維を 検出
(15)	-	-	-	-	○ (ルチル)	-	-	-	○ (タルク)	人造無機繊維は検 出されなかった
(16)	-	○ (*)	○ (石英)	-	-	-	-	-	○ (タルク)	*: ハロイサイト, ムライト
今回	○	○	○	○	○	○	○	○	○	左記の繊維を含め て11種類の繊維を 検出

○: 測定, -: 測定せず, ?: 検出された可能性あり, () 内は各報告者が推定した物質名

に関する長期間にわたる測定報告は見当たらない。今回の報告は、1988年から1995年に採取された大気試料と名古屋市およびその周辺市町に居住していた職業的な石綿曝露歴の見出だせなかった住民で1978年から1988年に剖検された者の肺組織との間で、無機繊維の種類とその構成割合を比較したものである。したがって、大気の採取地点と住民の居住地は一致しておらず、大気の調査期間と住民の吸入期間も一致していない。しかし、調査場所や時期が必ずしも一般住民の生活範囲や生活時期に対応していない大気の測定結果であっても、大気および肺組織の両者で検出された繊維、大気だけで検出された繊維、肺組織だけで検出された繊維に分類することができれば、肺内無機繊維のうち、大気由来の可能性のある繊維、大気経路で吸入されたが肺から排除または肺内で溶解された繊維、肺内で生成した可能性のある繊維を推定するうえで有用な示唆を得ることができると考える。

2) 大気と肺組織の両者から検出された無機繊維

クリソタイル、アモサイト、アクチノライト類ならびに Al と Si を主成分とする繊維を含めた11種類の非石綿繊維は、肺組織と大気の両者から検出されたので、肺組織中のこれらの無機繊維は大気に由来した可能性がある。肺組織中の石綿の構成割合の平均値ではクリソタイルが最も高かった。クリソタイルは角閃石系石綿と比較して肺内で溶解されやすく²⁶⁾、肺胞から気管に排泄されやすい^{27,28)}。しかし、今回の大気中クリソタイルの構成割合の平均値は角閃石系石綿の約8倍であり、また大気中石綿の大半はクリソタイルであると報告されている^{5,29,30)}ので、角閃石系石綿と比較して多量に肺内から検出されたと考えられた。一方、肺内の角閃石系石綿の構成割合の平均値(3.6%)は大気(0.6%)よりも高い傾向にあった。これは肺内での角閃石系石綿の残留性が大きい²⁶⁾ので、クリソタイルと比較して低濃度曝露でも肺内に蓄積したことによる可能性がある。

大気で多数検出された Al と Si を主成分とするケイ酸アルミニウム塩鉱物は肺組織から頻りに検出される鉱物であること^{31,32)}から、それらの繊維状鉱物も肺組織でその構成割合が高くなったと考えられた。大気での構成割合が最も高かった S と Ca を主成分とする繊維は石膏と推定されている^{2,6,8)}。石膏は主要な造岩鉱物のひとつであるが、大気汚染物質である二酸化硫黄から大気中で生成することも報告されている³³⁾。肺内で石膏を検出した報告はある¹¹⁾が、今回肺組織で検出されたのは1例で1本だけであった。肺組織からほとんど検出されなかった理由として、石膏は水に溶解するために肺に沈着していた間に溶解したことが考えられた。

一方、Churg と Wiggs¹²⁾は、Fe から成る繊維とアパタイト (P と Ca を主成分とする繊維) は肺内で生成する可能性があることを報告しており、また肺内での無機物への Fe や P の沈着も知られている³⁴⁾。今回、肺組織での構成割合の平均値が18.4%であった P と Fe を主成分とする繊維も、調査した住民の平均年齢が60歳を超えていたことを考慮すると、加齢に伴い、肺内で生成されたヘモジリンなどの可能性もあった。しかし、P と Fe を主成分とする繊維は大気からも少数ではあるが検出されており、大気由来と肺内生成とを区別することはできなかった。

3) 大気だけに検出された無機繊維

大気だけに検出された非石綿繊維15種類が肺組織で検出されなかった理由として、次の3点が考えられた。

第一点は鼻から吸入されたが肺胞などの呼吸域まで到達しなかった可能性である。鼻から吸入された粒子状物質は呼吸器官の各段階で捕捉され、相対沈降径が10 μm 以上の粒子状物質は肺胞などの呼吸域まで到達しない³⁵⁾。しかし、繊維状物質は10 μm 以上の長さでも肺胞まで入り込むとされていること³⁶⁾、今回の調査で大気中無機繊維の大半の長さはいずれも10 μm 未満であったことから、大気だけに検出された理由とはなりにくいと推測された。むしろ、吸入された繊維の相当部分は肺胞まで到達したと考えられた。

第二点は肺に沈着したが肺外に排泄されたり肺内で溶解して、分析時には検出限界以下まで減少した可能性である。肺外への無機繊維の排泄につ

いて、短繊維は長繊維よりも肺胞から気管への排泄されやすいこと³⁷⁾が報告されている。肺組織に残留していた無機繊維15種類 (表3, 分類I) の長さの平均値は0.65~3.58 μm であったので、肺に沈着した無機繊維全ての肺外への排泄は考えにくかった。肺以外の臓器への移動について、石綿は血流やリンパ流で体内の各臓器に移動するとされており³⁸⁾、著者ら^{39,40)}も肺以外の臓器から石綿や非石綿繊維を検出している。そこで肺に沈着した無機繊維の一部が肺以外の臓器に移動した可能性はあった。一方、肺内での無機繊維の溶解性について、肺に沈着したクリソタイルは角閃石系石綿よりも溶解されやすいこと²⁶⁾、ガラス繊維は石綿より早く溶解すること⁴¹⁾、ロックウールやセラミックファイバーも肺内で溶解が進むこと^{42,43)}が報告されている。そこで無機繊維が肺に沈着していた間に溶解し、肺内繊維濃度が今回の検出限界未満になった可能性は残る。

第三点は過去の大気中濃度は非常に低く、近年になって増加したために、肺組織中に検出されなかった可能性はある。しかし著者らはこの点に関して表3の15種類の非石綿繊維について論じるための資料を見出すことはできなかった。

4) 肺組織だけに検出された無機繊維

肺組織だけに検出された無機繊維については、過去には大気中存在していたが、現在では大気中からは検出されないほど少なくなってしまった可能性や、肺内で生成した可能性がある。クロンドライトは、大気で検出されており^{30,44)}、肺内での残留性も高いとされている²⁶⁾。そこで現在のクロンドライトの大気中濃度は非常に低い、大気由来の可能性も考えられた。

2. 無機繊維の繊維サイズ

大気中の石綿の繊維サイズに関する報告はすでに多くあるが、非石綿繊維の繊維サイズに関する報告はNicholson⁴⁵⁾も指摘しているようにほとんどない。著者らが1986~87年に調査した今回と同じ都市の大気13ヶ所の石綿(大半がクリソタイル)の長さ、直径、アスペクト比の平均値は、0.76 μm 、0.043 μm 、17.7であり³⁰⁾、今回のクリソタイルとほぼ同じ結果であった。一般住民の肺内の石綿や非石綿繊維の繊維サイズに関する報告も限られているだけでなく^{12,14)}、分析方法や計測基準が異なるので、今回の結果との比較は困難であっ

た。

今回、クリソタイトのAspect比以外の石綿の繊維サイズは肺と大気との間で有意な違いはなかったが、肺の非石綿繊維の長さとは直径は大気よりも有意に小さいか、あるいは小さい傾向にあったものが多かった。この原因として、次の3点が考えられた。

第一点は繊維サイズによる肺への入り込みやすさである。相対沈降径が $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子状物質³⁵⁾あるいは直径 $3\ \mu\text{m}$ を超える繊維⁴⁶⁾は肺胞などの呼吸域まで到達しないとされている。大気中の長くて太い繊維は鼻腔や気道上部で捕捉されやすいのに対して、短くて細い繊維は肺胞などの呼吸域まで到達しやすいことが、今回の結果に寄与していると考えられた。しかし、長さには有意差があった3種類の無機繊維のうち、長さが $10\ \mu\text{m}$ 未満の繊維の割合は、AlとSiを主成分とする繊維では98.2%、Feだけから成る繊維では99.6%、Siだけから成る繊維では94.5%を占めていた。一方、直径 $3\ \mu\text{m}$ を超える繊維が検出された無機繊維はSとCaを主成分とする繊維およびAlとSiを主成分とする繊維の2種類で、その割合はいずれも0.3%に過ぎなかった。したがって、長くて太い繊維の呼吸器上部での捕捉が、大気と肺内との長さの差の主因とは考えにくかった。また、著者らが知る限り、Aspect比が肺内での繊維の沈着に及ぼす影響に関する報告はなかった。

第二点は無機繊維の肺内での溶解のされやすさである。ラットの肺に沈着したガラス繊維やロックウール、セラミック繊維は肺内で溶解するとの報告がある^{41~43)}。したがって、肺内での繊維サイズが大気と比べて小さかった原因のひとつとして、肺内での無機繊維の溶解が考えられた。

第三点は無機繊維の肺からの排泄のされやすさである。長繊維は短繊維よりも肺外に排泄されにくいという動物実験報告³⁷⁾は、今回の結果と相反していた。しかし、肺胞などの呼吸域まで到達した大半の無機繊維の長さは $10\ \mu\text{m}$ 未満の短繊維であったために、繊維サイズによる排泄の違いの影響を受けにくかった可能性も考えられた。

3. 大気試料と肺組織の電顕標本作製方法の影響

大気試料の電顕標本は有機物が非常に少ないので直接転写法で作製したが、肺組織では肺組織中

の有機物を除去するために低温灰化法で作製した。直接転写法ではサンプリングした繊維本数や繊維サイズの分布に与える要因がないと考えられるのに対して、低温灰化法では低温灰化処理時や超音波分散処理時に繊維の破損が生じる可能性があるという指摘がある^{47,48)}。しかし、温和な条件(60 W 未満)ならば影響が少ないという報告⁴⁹⁾もあるので、今回の低温灰化条件(40 W)であれば繊維の破損の可能性は小さく、繊維本数や繊維サイズの分布に与える影響は小さいと考えられた。また低温灰化法で作製した肺の電顕標本には有機繊維は含まれていなかったが、大気試料の場合も無機繊維のみを計数したので、有機繊維による影響はないと考えられた。

4. ホルマリン固定された肺組織中無機繊維の安定性

ホルマリン液中で保存された肺組織の重金属がホルマリン液に溶出することは知られている⁵⁰⁾。しかし、肺に沈着した石綿は肺組織に固定されて容易に離脱されない⁵¹⁾。著者の知る限り、ホルマリン液中での石綿の消失や元素組成の変化を示した報告はない。ガラス繊維などの人造無機繊維以外の非石綿繊維の各種溶液での安定性に関する報告はないが、石綿のように非水溶性の無機繊維については肺組織から離脱あるいは溶解する可能性は低いと考えられた。

(受付 '97. 9.29)
(採用 '98. 7.24)

文 献

- Middleton AP. On the occurrence of fibres of calcium sulphate resembling amphibole asbestos in samples taken for evaluation of airborne asbestos. *Ann Occup Hyg* 1978; 21: 91-93.
- Spurny KR, Stober W, Opiela H, et al. On the evaluation of fibrous particles in remote ambient air. *Sci Total Environ* 1979; 11: 1-40.
- Berry JP, Henoc P, Galle P, et al. Chemical and crystallographic microanalysis of fine particles in the urban atmosphere. *Environ Res* 1980; 21: 150-164.
- Spurny KD, Stober W. Some aspects of analysis of single fibers in environmental and biological samples. *Int J Environ Anal Chem* 1981; 9: 265-281.
- 神山宣彦. 大気中の微小アスベスト粒子の電子顕微鏡による定量(2). 昭和57年度環境保全研究成果集 1982; 104: 1-11.

- 6) Litzistorf G, Guillemin M, Buffat P, et al. Ambient air pollution by mineral fibres in Switzerland. *Staub-Reinhalt Luft* 1985; 45: 302-307.
- 7) Iburg J, Marfels H, Spurny K. Immissionsmessungen von faserigen stauben in der Bundesrepublik Deutschland V. Messungen an drei unterschiedlichen standorten in Raum Bayreuth. *Staub-Reinhalt Luft* 1987; 47: 271-274.
- 8) Marconi A, Cecchetti G, Barbieri M. Airborne mineral fibre concentrations in an urban area near an asbestos-cement plant. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. *Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90)*. Lyon: IARC, 1989; 336-346.
- 9) Rodelsperger K, Teichert U, Marfels H, et al. Measurement of inorganic fibrous particulates in ambient air and indoors with the scanning electron microscopy. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. *Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90)*. Lyon: IARC, 1989; 361-366.
- 10) Schnittger J. Messung und identifizierung anorganischer fasern in der aussenluft. *VDI Ber* 1993; 1075: 283-295.
- 11) Churg A. Nonasbestos pulmonary mineral fibers in the general population. *Environ Res* 1983; 31: 189-200.
- 12) Churg A, Wiggs B. Mineral particles, mineral fibers, and lung cancer. *Environ Res* 1985; 37: 364-372.
- 13) Johnson NF, Haslam PL, Dewar A, et al. Identification of inorganic dust particles in bronchoalveolar lavage microphages by energy dispersive X-ray microanalysis. *Arch Environ Health* 1986; 41: 133-144.
- 14) Case BW, Sebastien P. Environmental and occupational exposures to chrysotile asbestos: a comparative microanalytic study. *Arch Environ Health* 1987; 42: 185-191.
- 15) Paoletti L, Eibenschutz L, Cassano AM, et al. Mineral fibres and dusts in lungs of subjects living in an urban environment. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. *Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90)*. Lyon: IARC, 1989; 354-360.
- 16) Friedrichs KH, Brockmann M, Fischer M, et al. Electron microscopy analysis of mineral fibers in human lung tissue. *Am J Ind Med* 1992; 22: 49-58.
- 17) 酒井 潔, 久永直見, 青木 毅, 他. 都市住民の剖検例における肺内石綿繊維濃度ならびにその繊維サイズ. *日本公衛誌* 1991; 38: 762-770.
- 18) 酒井 潔, 久永直見, 青木 毅, 他. 都市住民の剖検例における肺内非石綿繊維濃度ならびにその繊維サイズ. *日本公衛誌* 1993; 40: 302-312.
- 19) Sakai K, Kohyama N, Hisanaga N, et al. Airborne fiber concentrations and fiber size distributions in buildings determined by analytical transmission electron microscopy. *Indoor Air '96* 1996; 973-978.
- 20) 環境庁大気保全局規制課, 編. *アスベストモニタリングマニュアル*. 環境庁大気保全局, 1987.
- 21) Ortiz LW, Isom BL. Transfer technique for electron microscopy of membrane filter samples. *Am Ind Hyg Assoc J* 1974; 35: 423-425.
- 22) 酒井 潔, 久永直見, 児嶋昭徳, 他. 石綿繊維計数に必要な電子顕微鏡の観察倍率. *産業医学* 1992; 34: 466-467.
- 23) WHO. *Asbestos and other natural mineral fibres (Environmental Health Criteria No. 53)*. Geneva: WHO, 1986; 17-23.
- 24) Casuccio GS, Janocko PB, Lee RJ, et al. The use of computer controlled scanning electron microscopy in environmental studies. *J Air Pollut Control Assoc* 1983; 33: 937-943.
- 25) 酒井 潔, 久永直見, 奥野元保, 他. 蛇紋岩地域の住民の肺内石綿濃度ならびにその繊維サイズ. *日本公衛誌* 1996; 43: 551-562.
- 26) Bellmann B, Konig H, Muhle H, et al. Chemical durability of asbestos and of man-made mineral fibres in vivo. *J Aerosol Sci* 1986; 17: 341-345.
- 27) Middleton AP, Beckett ST, Davis JMG. Further observations on the short-term retention and clearance of asbestos by rats, using UICC reference samples. *Ann Occup Hyg* 1979; 22: 141-152.
- 28) LeBouffant L, Bruyere S, Daniel H, et al. Behaviour of asbestos fibres in the respiratory system as revealed by animal experiments. *Rev Fr Mal Respir* 1979; 7: 707-716.
- 29) Kohyama N. Airborne asbestos levels in non-occupational environments in Japan. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. *Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90)*. Lyon: IARC, 1989; 262-276.
- 30) 酒井 潔, 久永直見, 三谷一憲, 他. 石綿吹付施工室内の空気中石綿濃度. *日本公衛誌* 1990; 37: 109-117.
- 31) Paoletti L, Falchi M, Batisti D, et al. Mineral lung burden of an urban population. *Atmo Environ* 1991; 25B: 381-385.
- 32) Kalliomaki P-L, Taikina-aho O, Paakko P, et al. Smoking and the pulmonary mineral particle burden. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. *Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90)*. Lyon: IARC, 1989; 323-329.
- 33) Zhou G, Tazaki K. Seasonal variation of gypsum in

- aerosol and its effect in the acidity of wet precipitation on the Japan Sea side of Japan. *Atmo Environ* 1996; 30: 3301-3308.
- 34) Brody AR, Hill LH. Interstitial accumulation of inhaled chrysotile fibers and consequent formation of microcalcifications. *Am J Pathol* 1982; 109: 107-114.
- 35) Phalen R, Hinds WC, John W, et al. Rationale and recommendations for particle size-selective sampling in the workplace. *Appl Ind Hyg* 1986; 1: 32-44.
- 36) Chung A, Warnock ML. Asbestos fibers in the general population. *Am Rev Respir Dis* 1980; 122: 669-678.
- 37) Holmes A, Morgan A. Clearance of anthophyllite fibers from the rat lung and the formation of asbestos bodies. *Environ Res* 1980; 22: 13-21.
- 38) Lee KP, Barras CE, Griffith FD, et al. Pulmonary response and transmigration of inorganic fibers by inhalation exposure. *Am J Pathol* 1981; 102: 314-323.
- 39) Huang J, Hisanaga N, Sakai K, et al. Asbestos fibers in human pulmonary and extrapulmonary tissues. *Am J Ind Med* 1988; 14: 331-339.
- 40) 酒井 潔, 久永直見, 山中克己, 他. 悪性胸膜中皮腫患者の各臓器における石綿濃度とその繊維サイズ. *名古屋市衛研報* 1994; 40: 38-43.
- 41) Morgan A, Holmes A, Davison W. Clearance of sized glass fibres from the rat lung and their solubility in vivo. *Ann Occup Hyg* 1982; 25: 317-331.
- 42) Morgan A, Holmes A. Solubility of rockwool fibres in vivo and the formation of pseudo-asbestos bodies. *Ann Occup Hyg* 1984; 28: 307-314.
- 43) Yamato H, Hori H, Tanaka I, et al. Retention and clearance of inhaled ceramic fibres in rat lungs and development of a dissolution model. *Occup Environ Med* 1994; 51: 275-280.
- 44) Sebastien P, Billon MA, Dufour G, et al. Levels of asbestos air pollution in some environmental situations. *Ann NY Acad Sci* 1979; 330: 401-415.
- 45) Nicholson WJ. Airborne mineral fibre levels in the non-occupational environment. In: Bignon J, Peto J, Saracci R, ed. Non-occupational exposure to mineral fibres (IARC Scientific Publication No. 90). Lyon: IARC, 1989; 239-261.
- 46) WHO. Asbestos and other natural mineral fibres (Environmental Health Criteria No. 53). Geneva: WHO, 1986; 25-28.
- 47) Morgan A, Holmes A. Concentrations and dimensions of coated and uncoated asbestos fibres in the human lung. *Br J Ind Med* 1980; 37: 25-32.
- 48) Spurnly KR, Stober W, Opiela H, et al. On the problem of milling and ultrasonic treatment of asbestos and glass fibers in biological and analytical application. *Am Ind Hyg Assoc J* 1980; 41: 198-203.
- 49) Gylseth B, Baunan RH, Bruun R. Analysis of inorganic fiber concentrations in biological samples by scanning electron microscopy. *Scand J Work Environ Health* 1981; 7: 101-108.
- 50) 高田 勲, 中村健一, 梶塚永子, 他. 保存人体臓器中の重金属—Pb, Cd, Cu, Zn—. *日衛誌* 1978; 32: 691-697.
- 51) Bignon J, Sebastien P, Gaudichet A, et al. Analysis of mineral particles recovered by broncho-alveolar lavage for the diagnosis of dust related lung diseases. *Am Rev Respir Dis* 1978; 117 supplement: 218.
-

TYPES AND DIMENSIONS OF MINERAL FIBERS IN THE ATMOSPHERE AND FROM LUNGS OF RESIDENTS IN THE URBAN AREA

Kiyoshi SAKAI*, Naomi HISANAGA^{2*}, Eiji SHIBATA^{3*}
Akinori KOJIMA*, Yasuhiro TAKEUCHI^{4*}

Key words: Urban atmosphere, Autopsied lung, Asbestos, Nonasbestos fiber, Fiber dimension, Analytical electron microscopy

Objective: The objective of this study was to estimate the types and origin of the mineral fibers in the lungs of residents in the urban area.

Methods: Mineral fibers in the atmosphere from 21 urban areas were analyzed by direct transfer-analytical transmission electron microscopy (ATEM). Lung tissues of 36 urban residents without occupational asbestos exposure were also analyzed by ATEM after low temperature ashing. Measurement of dimensions of all types of mineral fibers, identification of asbestos, and classification of nonasbestos fibers according to the combination of main elements were carried out.

Results:

1. Chrysotile, amosite, actinolite, tremolite and 11 types of nonasbestos fibers were found in both the lung tissues and the atmospheric samples. The fibers, mainly composed of Al and Si, contributed 16.3% and 62.3% of the atmospheric samples and lung tissues respectively. On the other hand, the proportion of the fibers mainly composed of S and Ca were 43.7% and 0.0% in the atmosphere and lung tissues respectively. Those fibers mainly composed of P and Fe were 0.4% and 18.4% in the atmosphere and lung tissues respectively.

2. Fifteen types of nonasbestos fibers were found exclusively in the atmosphere. The average proportions for ten of these were less than 0.5% each.

3. Crocidolite was found exclusively in the lung tissues.

4. No significant difference in the geometric mean of length and diameter of asbestos was found between the atmospheric samples and lung tissues. Some types of nonasbestos fibers had significantly larger length and diameter in the atmospheres than in the lung tissues ($p < 0.01$).

Conclusion: The results suggest that mineral fibers found in lung tissues could be classified into three groups on the basis of their behavior. 1) Some fibers, such as amphibole asbestos and fibers composed of Al and Si, are inhaled from the atmosphere and remain in the lung tissues for a long time. 2) Some fibers, such as those composed of S and Ca, are inhaled from the atmosphere and eliminated from the lung tissues within a relatively short time. 3) Some fibers found more in the lung tissues than in the atmospheres, such as those composed of P and Fe, are suspected to be generated in the lungs.

* Nagoya City Public Health Research Institute

^{2*} National Institute of Industrial Health, Ministry of Labour

^{3*} Department of Medical Technology, Nagoya University School of Health Sciences

^{4*} Department of Occupational and Environmental Health, Nagoya University Graduate School of Medicine