

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

酒井 潔* 久永 直見^{2*} 奥野 元保^{3*}
神山 宣彦^{2*} 篠原也寸志^{2*} 柴田 英治^{4*}
上島 通浩^{4*} 山中 克己* 竹内 康浩^{4*}

表層地質に蛇紋岩が含まれている地域（以下、蛇紋岩地域という）から10 km 以内に居住する農山村住民16例ならびに10 km より遠くに居住する農山村住民5例の肺内石綿濃度とその繊維サイズを分析電子顕微鏡を用いて調査した。これらの結果相互と既報の都市住民53例の結果とを比較検討した。得られた結果は以下のとおりであった。

1. 今回調査した農山村住民の全例から石綿が検出され、その種類はクリソタイル、アモサイト、クロンドライト、アクチノライト、トレモライトであった。

2. 蛇紋岩地域から10 km 以内の農山村男性8例の肺内アクチノライト・トレモライト濃度の幾何平均値（ 1.78×10^6 本/乾燥 g）は蛇紋岩地域から10 km より遠くの農山村男性5例（ 0.32×10^6 本/乾燥 g）や都市男性34例（ 0.31×10^6 本/乾燥 g）と比較して有意に高く（ $p < 0.01$ ），蛇紋岩地域から10 km 以内の農山村女性8例（ 0.59×10^6 本/乾燥 g）も都市女性19例（ 0.16×10^6 本/乾燥 g）より有意に高かった（ $p < 0.05$ ）。蛇紋岩地域の岩石にクリソタイルとともにアクチノライトとトレモライトが含まれていたため、蛇紋岩地域から石綿が大気中に飛散し、周辺住民がそれらを吸入していた可能性が考えられた。クリソタイル濃度では地域による違いがみられなかったのは、肺内での滞留性が小さいことによる可能性があると考えられた。

3. 蛇紋岩地域から10 km 以内の住民のクリソタイル、アモサイト・クロンドライトならびにアクチノライト・トレモライトの長さの幾何平均値が蛇紋岩地域から10 km より遠くの住民のそれよりも大きい傾向は認められなかった。

Key words : 石綿, 繊維サイズ, 蛇紋岩, 住民, 分析電子顕微鏡

I 緒 言

職業的石綿曝露歴を見いだせない住民の多くの肺から石綿が検出されたこと^{1,2)}ならびに大気中から石綿が普遍的に検出されたこと^{3,4)}は、石綿が一般環境中に広く存在していることを示している。世界保健機構（WHO）³⁾によると、電子顕微鏡法（長さ5 μm 以上の繊維が対象）による大気中石綿濃度は農村部では概して検出限界（1本/L）を下回っており、都市部の大半でも10本/L以下であったと報告している。この結果から、WHO⁵⁾は一般環境中の石綿に起因する石綿肺の発生は考えられず、中皮腫および肺がんの危険性

は検出不可能なほど低いと評価している。

一方、石綿曝露に関係している胸膜肥厚斑の罹患率の増加が石綿鉱山や石綿鉱床の近くの住民で観察されている⁶⁻⁸⁾。肺内石綿濃度は過去の石綿曝露をある程度反映するとされており^{9,10)}、石綿鉱山周辺の住民の肺内石綿濃度はそうでない住民より高いという報告もある^{11,12)}。わが国でも旧石綿鉱山周辺の住民で胸膜肥厚斑を有する者が多数見出されており¹³⁾、この地域の石綿に関連した職業歴のない住民の肺内石綿小体濃度は旧鉱山の近くに居住していた住民ほど高かったことが報告されている¹⁴⁾。現在わが国には採掘（回収を除く）を行っている石綿鉱山はないが¹⁵⁾、石綿を含む蛇紋岩は広範囲に分布している¹⁶⁾。とりわけ表層地質に蛇紋岩が含まれている地域（以下、蛇紋岩地域という）では地滑りなどの自然現象や土木工事などの人為作用によって蛇紋岩が露出すれば石綿が大気中に飛散し、周辺住民はその石綿を吸入して肺内石綿濃度が高くなることが考えられる。蛇

* 名古屋市衛生研究所

^{2*} 労働省産業医学総合研究所

^{3*} 愛知県立愛知病院

^{4*} 名古屋大学医学部衛生学教室

連絡先 〒467 名古屋市瑞穂区菰山町 1-11

名古屋市衛生研究所 酒井 潔

紋岩地域周辺の住民の肺内石綿濃度が高ければ、その地域の住民での石綿関連疾患の発生率も高まる可能性が考えられる。著者らの知る限り、わが国では蛇紋岩地域の住民を対象とした胸膜肥厚斑などの石綿関連疾患の調査報告は平岡らの報告^{13,17)}以外にはなく、同地域の住民の肺内石綿(小体)濃度に関する報告も神山らの報告^{14,18)}以外には見当たらない。

そこで、第一に蛇紋岩地域の住民の肺内石綿の種類と濃度の把握、第二に蛇紋岩地域の住民とそうでない住民との間での肺内石綿濃度の比較、第三に蛇紋岩地域の住民の肺内石綿濃度に影響を及ぼす要因の検討、第四に蛇紋岩地域の住民における肺内石綿の繊維サイズの特徴の把握のために、蛇紋岩地域に近い一医療機関で得られた肺組織中の石綿濃度とその繊維サイズを分析電子顕微鏡を用いて測定するとともに、居住歴、職業歴ならびに喫煙歴の調査を行った。

II 方 法

1. 対象

蛇紋岩地域を含む農山村地域に居住していた住民(以下、農山村住民という)は、1989~93年に愛知県新城市内のS病院で手術または剖検された患者の中で、肺組織が得られた21例(手術切除肺17例、剖検肺4例)である。性別は男性13例と女性8例であり、手術あるいは死亡年齢の平均値(最小値~最大値)は63.5歳(18~85歳)であった。肺組織のうち15例はパラフィンに包埋、6例は10%ホルマリンで固定されていた。肺組織の採取部位は右肺上葉、右肺下葉が各5例、左肺上葉が2例、左肺で肺葉不明が1例、肺葉不明が8例であった。

大都市地域に居住していた住民(以下、都市住民という)は著者らがすでに報告した者¹⁹⁾、1978~88年に名古屋市内のK病院で剖検された53例である。性別は男性34例と女性19例で、死亡年齢の平均値(最小値~最大値)は64.4歳(38~80歳)であった。肺組織は全例左肺上葉から採取した。

なお、両地域の住民には中皮腫、石綿肺、胸部X線写真で結核の所見を伴わずに胸膜肥厚を有する症例は含まれていない。

2. 疾患、居住歴、職業歴、喫煙歴の調査

疾患名はカルテから、居住歴、職業歴、喫煙歴は患者本人および遺族からの電話による聞き取りによって調査した。職業的石綿曝露の推定は都市住民の場合と同様に横山ら²⁰⁾およびMoweら²¹⁾の分類方法に従って行った。蛇紋岩地域からの距離は表層地質が蛇紋岩である地域²²⁾の境界線から居住地までの直線距離とした。

3. 分析方法

電子顕微鏡観察用標本の作製、石綿の同定と計数および繊維サイズの測定は都市住民の場合¹⁹⁾と同様に低温灰化法で作製し、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(H-800, 日立製作所)を使用して行った。電顕法による石綿の計数は、長さ直径の比が3:1以上の粒子を繊維として、拡大倍率1万倍で繊維100本以上または電顕グリッドの網目100個を観察して行った。石綿の種類同定は繊維の形状と元素組成に基づいて行った。石綿濃度は肺組織乾燥重量1g当たりの本数で表示した。ただし、パラフィン包埋標本の場合、キシレンによるパラフィン除去処理時に脂肪などの脂溶性物質も同時に除去される結果、乾燥重量がホルマリン固定標本より小さくなり、石綿濃度が過大評価されるとされている^{23,24)}。そこで今回は、Karjalainenら²⁴⁾の場合と同様にパラフィン包埋標本の石綿濃度に0.8を乗じて補正した。農山村住民と都市住民について計測した石綿本数はそれぞれ473本と509本であり、1試料当たりの計測本数の平均値(最小値~最大値)は22.5本(4~60本)と9.6本(0~41本)であった。

4. 統計学的方法

都市住民の肺内石綿濃度の分布は対数正規型の分布であり¹⁹⁾、Friedrichsら²⁾も肺内繊維濃度は対数正規型の分布であったと報告している。したがって、肺内石綿濃度の平均値は幾何平均値で表示した。幾何平均値の計算で検出限界値未満の場合は検出限界値の2分の1として取り扱った。石綿濃度の差の検定はWilcoxon順位和法で行った。

農山村住民と都市住民の間での石綿の種類別検出割合の差の検定はFisherの直接確率計算法で行った。

石綿の長さ直径を10クラスに層別化して χ^2 検定によって分布型をみた結果、正規型の分布よ

りも対数正規型の分布に近かった。Churgら²⁵⁾やFriedrichsら²⁾も肺内石綿の長さや直径は正規型の分布よりも対数正規型の分布により近いと報告している。そこで、石綿の長さ、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(両側)法で行った。また蛇紋岩地域からの距離別のStanton繊維(長さ $\geq 8\mu\text{m}$ かつ直径 $< 0.25\mu\text{m}$ の繊維)²⁶⁾の観察本数の差の検定は χ^2 検定(1 \times m分割表)で行った。

複数の因子が肺内石綿濃度に及ぼす影響を検討するために、目的変数を肺内石綿濃度(対数変換値)、説明変数を蛇紋岩地域からの距離、石綿関連職業歴、喫煙歴として、3つの説明変数がすべて判明した66例(農山村住民20例、都市住民46例)を対象として、数量化理論I類による分析を行った。

III 結 果

1. 調査対象

1) 農山村住民

調査した21例のうち、手術切除例は17例、剖検例は4例であった。前者の疾患名は肺がん12例、気胸4例、直腸がんの肺転移1例であり、後者の死因は肺がん、腎不全、胃平滑筋肉腫、腸閉塞各1例であった。

職業歴が判明した者は21例中20例(95%)で、石綿曝露の可能性がより高いと推定される職業歴のある者(以下、石綿職業群という)が6例(29%:全員男性)であり、そのような職業歴がみだされなかった者(以下、非石綿職業群という)が14例(67%:男女各7例)であった。今回、石綿曝露の可能性がより高いと推定された職業歴は、左官、海軍工廠作業員、電気工事作業員、大工、建築現場監督、土木作業員であった。

喫煙歴は全例で判明し、喫煙歴のある者10例(48%:全員男性)、喫煙歴のない者11例(52%:男性3例、女性8例)であった。

居住歴について、19例は入院時に現住所に18年以上居住していたが、残り2例の居住期間は不明であった。蛇紋岩地域から10km以内に居住していた農山村住民は16例(76%:男性8例、女性8例)であり、蛇紋岩地域から10kmより遠くに居住していた農山村住民は5例(24%:全員男性)

であった。

2) 都市住民

死因、職業歴、喫煙歴ならびに居住歴はすでに報告しており¹⁹⁾、その概要は次のとおりであった。53例の死因は悪性新生物25例(肺がん・肝がん各4例、胃がん・直腸がん各3例、大腸がん2例など)、肝硬変8例、慢性気管支炎4例、心筋梗塞3例、脳梗塞3例、その他10例であった。職業歴は53例中49例(92%)で判明し、石綿職業群が13例(24%:全員男性)、非石綿職業群が36例(68%:男女各18例)であった。喫煙歴は48例(91%)で判明し、喫煙歴のある者34例(64%:男性26例、女性8例)、喫煙歴のない者14例(26%:男性3例、女性11例)であった。居住歴については全員が入院時に名古屋市およびその周辺市町村に10年以上在住していた。

2. 肺内石綿の種類とその検出割合

Tab. 1は石綿の種類ごとに検出された例数を蛇紋岩地域からの距離別に示したものである。石綿は男女ともに農山村住民の全例から検出され、その種類はクリソタイト、アモサイト、クロソドライト、アクチノライト、トレモライトであった。農山村住民の間では蛇紋岩地域から距離や性別による検出割合に有意差は認められなかったが、トレモライト、アクチノライトおよびアモサイトの検出割合は、高い方から蛇紋岩地域から10km以内に居住していた男性、同地域の女性、10kmより遠くに居住していた男性であった。

農山村住民と都市住民を比較すると、都市住民では53例中1例でのみ検出されたトレモライトが農山村住民では21例中19例で検出され、その検出割合は男女ともに都市住民より有意に高かった($p < 0.01$)。蛇紋岩地域から10km以内に居住していた農山村男性のアモサイトならびにアクチノライトの検出割合は都市男性より有意に高かった(アモサイト: $p < 0.05$ 、アクチノライト: $p < 0.01$)。

なお、本報では、角閃石系石綿を工業的に多く使われていたアモサイトとクロソドライトのグループ、ならびに工業的利用の少なかったアクチノライトとトレモライトのグループに分けて解析することとした。

3. 肺内石綿濃度

Tab. 2は蛇紋岩地域からの距離別に肺内石綿

Tab. 1 Incidences of asbestos by fiber type in the lungs of the rural and urban residents

Region	Distance from the serpentinite area	Sex	Number analyzed	Number of resident detected asbestos ⁺						
				Total asbestos	Chrysotile	Amphibole asbestos				
						Amosite	Crocidolite	Actinolite	Tremolite	
Rural	≤10 km	Male	8	8 (100)	8 (100)	8 (100)	2 (25)	8 (100)	8 (100)	**
	≤10 km	Female	8	8 (100)	8 (100)	6 (75)	3 (38)	6 (75)	7 (88)	**
	>10 km	Male	5	5 (100)	5 (100)	2 (40)	0 (0)	2 (40)	4 (80)	**
Urban	>70 km	Male	34	32 (94)	26 (76)	17 (50)	17 (50)	11 (32)	1 (3)	**
	>70 km	Female	19	19 (100)	18 (95)	6 (32)	14 (74)	8 (42)	0 (0)	**

⁺ : Number in parenthesis indicates the percentage of number of resident detected asbestos

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

Tab. 2 Lung asbestos concentrations by distance from the serpentinite area

Region	Distance from the serpentinite area	Sex	Number analyzed	Mean age	Fiber concentration (×10 ⁶ fibers/g dry lung)				
					Total asbestos	Chrysotile	Amosite·crocidolite	Actinolite·tremolite	
Rural	≤10 km	Male	8	60.0	3.93 (0.88-10.5)	0.79 (0.31-1.99)	0.67 (0.08- 5.85)	1.78 (0.08-5.63)	**
	≤10 km	Female	8	59.4	1.80 (0.61- 4.00)	0.37 (0.06-0.95)	0.23 (0.05- 2.42)	0.59 (0.08-3.13)	**
	>10 km	Male	5	70.3	1.60 (0.76- 4.01)	0.86 (0.35-1.94)	0.22 (0.07- 2.92)	0.32 (0.20-0.77)	*
Urban	>70 km	Male	34	64.1	2.64 (0.12-50.1)	0.93 (0.06-9.64)	0.95 (0.04-50.1)	0.31 (0.04-3.31)	**
	>70 km	Female	19	65.1	1.41 (0.18- 5.20)	0.74 (0.08-4.51)	0.39 (0.03- 2.58)	0.16 (0.03-0.81)	**

Geometric mean (minimum-maximum) * : p<0.05, ** : p<0.01

濃度を種類別に比較したものである。

アクチノライト・トレモライト濃度は、高い方から蛇紋岩地域から10 km 以内に居住していた男性、同地域の女性、10 km より遠くに居住していた男性、都市男性、都市女性の順であった。蛇紋岩地域から10 km 以内に居住していた農山村男性のアクチノライト・トレモライト濃度は10 km より遠くに居住していた農山村男性ならびに都市男性よりも有意に高く（農山村：p<0.05，都市：p<0.01），蛇紋岩地域から10 km 以内に居住していた農山村女性も都市女性より有意に高かった（p<0.05）。

クリソタイト濃度には、蛇紋岩地域からの距離

による有意差は認められなかった。また都市男性のアモサイト・クロソドライト濃度は、蛇紋岩地域から10 km より遠くに居住していた農山村男性ならびに都市女性より有意に高かった（p<0.05）。

Tab. 3は石綿関連職業歴の有無で肺内石綿濃度を比較したものである。石綿職業群の石綿種類別濃度が非石綿職業群よりも有意に高い場合が多かった都市住民と異なって、農山村住民では石綿職業群の男性の石綿種類別濃度は非石綿職業群の男性および女性よりも高い傾向にあったが、有意ではなかった。農山村住民と都市住民を比較した場合、農山村男性の石綿職業群のクリソタイト濃

Tab. 3 Lung asbestos concentrations by occupation with or without possible asbestos exposure

Region	Sex	Occupation with possible asbestos exposure	Number analyzed	Mean age	Fiber concentration (×10 ⁶ fibers/g dry lung)			
					Total asbestos	Chrysotile	Amosite·crocidolite	Actinolite·tremolite
Rural	Male	Yes	6	55.3	3.51 (0.76-8.95)	0.90 (0.35-1.99)	0.79 (0.18-2.92)	1.25 (0.20-5.63)
		No	7	71.0	2.27 (0.88-10.5)	0.76 (0.31-1.94)	0.27 (0.07-5.85)	0.71 (0.08-4.31)
	Female	No	7	64.6	1.95 (0.61-4.00)	0.39 (0.06-0.95)	0.29 (0.05-2.42)	0.57 (0.08-3.13)
							*	
Urban	Male	Yes	13	65.1	4.49 (1.71-16.9)	2.47 (0.45-9.64)	1.20 (0.23-7.23)	0.30 (0.07-1.14)
		No	18	62.6	2.05 (0.12-50.1)	0.58 (0.06-3.61)	0.92 (0.12-50.1)	0.30 (0.05-2.78)
	Female	No	18	64.7	1.38 (0.18-5.20)	0.73 (0.03-4.51)	0.37 (0.05-2.58)	0.16 (0.03-0.81)
							*	

Geometric mean (minimum-maximum) *: p<0.05, **: p<0.01

Tab. 4 Lung asbestos concentrations by smoking history

Region	Sex	Smoking history	Number analyzed	Mean age	Fiber concentration (×10 ⁶ fibers/g dry lung)			
					Total asbestos	Chrysotile	Amosite·crocidolite	Actinolite·tremolite
Rural	Male	Yes	10	65.9	2.86 (0.76-10.5)	0.78 (0.31-1.99)	0.54 (0.07-5.85)	0.95 (0.20-5.63)
		No	3	52.7	3.73 (2.71-5.05)	1.00 (0.63-1.94)	0.42 (0.19-0.76)	1.91 (0.77-3.75)
	Female	No	8	63.1	1.80 (0.61-4.00)	0.37 (0.06-0.95)	0.23 (0.05-2.42)	0.59 (0.08-3.13)
Urban	Male	Yes	26	63.6	2.79 (0.12-50.1)	0.96 (0.06-9.64)	0.97 (0.12-50.1)	0.36 (0.05-3.31)
		No	3	70.3	4.93 (2.19-16.2)	1.14 (0.17-8.09)	3.11 (1.09-8.09)	0.36 (0.17-1.01)
	Female	Yes	8	67.6	1.35 (0.18-3.81)	0.77 (0.12-3.27)	0.38 (0.06-2.58)	0.17 (0.03-0.54)
		No	11	63.3	1.46 (0.24-5.20)	0.71 (0.08-4.51)	0.40 (0.05-2.42)	0.16 (0.04-0.81)

Geometric mean (minimum-maximum) *: p<0.05

度およびアモサイト・クロソドライト濃度の幾何平均値は、都市男性の石綿職業群よりも非石綿職業群に近かった。全員が非石綿職業群であった女性のアクチノライト・トレモライト濃度は、農山村女性が都市女性よりも有意に高かった(p<0.05)。男性も石綿関連職業歴の有無にかかわらず農山村住民のアクチノライト・トレモライト濃度は、都市住民と比較して有意ではないものの高い傾向にあった。なお、蛇紋岩地域から10

km以内に居住していた農山村男性で石綿関連職業歴のある者は8例中4例、10kmより遠くに居住していた者では5例中2例で、石綿関連職業歴のある者がいずれかに偏って多い傾向は見られなかった。

Tab. 4は喫煙歴の有無で肺内石綿濃度を比較したものである。農山村住民の石綿種類別濃度は喫煙歴のある男性、喫煙歴のない男性、喫煙歴のない女性間に有意差は認められなかった。農山

村住民と都市住民を比較した場合、喫煙歴のない農山村女性のアクチノライト・トレモライト濃度が喫煙歴のない都市女性よりも有意に高かった ($p < 0.05$)。また男女ともに喫煙歴の有無にかかわらず農山村住民のアクチノライト・トレモライト濃度は都市住民よりも高い傾向にあった。なお、蛇紋岩地域から10 km 以内に居住していた農山村男性の中で喫煙歴のある者は8例中6例、10 km より遠くに居住していた者では5例中4例で、喫煙歴のある者がいずれかに偏って多い傾向は見られなかった。

また農山村住民および都市住民ともに年齢と肺内の石綿種類別濃度の間に有意な相関関係は認め

られなかった。

4. 蛇紋岩地域周辺の住民の肺内石綿濃度に影響を及ぼす要因の多変量解析による検討

Tab. 5 は目的変数 (石綿種類別濃度) に対する各説明変数 (蛇紋岩地域からの距離, 石綿関連職業歴, 喫煙歴) のカテゴリー・スコアとそのレンジ, カテゴリー・スコアから算出した各説明変数と目的変数との偏相関係数を示したものである。得られた各説明変数のカテゴリー・スコアによれば、蛇紋岩地域からの距離は、10 km 以内の住民のアクチノライト・トレモライト濃度を上昇させるように寄与していたが、クリソタイル濃度およびアモサイト・クロンドライト濃度について

Tab. 5 Scores by item categories and partial correlations obtained by using multivariate analysis (the quantification method type I of Hayashi)

Type of asbestos	Item	Category	Number of response	Category score	Range	Partial correlation
Total asbestos	Distance ^{A)}	> 10 km	51	-0.03	0.12	0.11
		≤ 10 km	15	0.09		
	Occupation ^{B)}	No	48	-0.11	0.40	0.38
		Yes	18	0.29		
	Smoking history	No	24	0.02	0.03	0.03
		Yes	42	-0.01		
Chrysotile	Distance ^{A)}	> 10 km	51	0.05	0.20	0.18
		≤ 10 km	15	-0.15		
	Occupation ^{B)}	No	48	-0.12	0.43	0.39
		Yes	18	0.31		
	Smoking history	No	24	0.03	0.05	0.05
		Yes	42	-0.02		
Amosite and Crocidolite	Distance ^{A)}	> 10 km	51	0.03	0.15	0.10
		≤ 10 km	15	-0.11		
	Occupation ^{B)}	No	48	-0.11	0.39	0.27
		Yes	18	0.28		
	Smoking history	No	24	-0.00	0.00	0.00
		Yes	42	0.00		
Actinolite and Tremolite	Distance ^{A)}	> 10 km	51	-0.14	0.62	0.47
		≤ 10 km	15	0.48		
	Occupation ^{B)}	No	48	-0.07	0.27	0.23
		Yes	18	0.20		
	Smoking history	No	24	0.06	0.09	0.08
		Yes	42	-0.03		

^{A)} : Distance from the serpentinite area

^{B)} : Occupation with possible asbestos exposure

は、低下させるように寄与していた。また石綿関連職業歴は、石綿関連職業歴のある住民の石綿濃度を上昇させ、石綿関連職業歴のない住民の石綿濃度を下げるように寄与していた。喫煙歴は、いずれの石綿濃度に対しても寄与は小さかった。

5. 肺内石綿の繊維サイズの分布

肺内から検出された石綿の長さ、直径、アスペクト比の幾何平均値と Stanton 繊維の観察本数を地域別にまとめて、Tab. 6 に示した。クリソタイルでは、都市住民の長さだけが蛇紋岩地域から 10 km より遠くに居住していた農山村住民よりも有意に長かった以外は、3 地域の間で有意差は認められなかった。アモサイト・クロソドライトの

長さは 3 地域の間でいずれも有意差があり (p<0.01)、蛇紋岩地域から 10 km より遠くに居住していた農山村住民の直径は他の 2 地域よりも有意に大きかった (p<0.01)。一方、アクチノライト・トレモライトの長さ、直径、アスペクト比については 3 地域の間で有意差は認められなかった。動物実験で発がん性が最も強いとされる繊維サイズ (長さ≥8 μm、直径<0.25 mm)²⁶⁾を有する石綿の全石綿に占める割合は、10 km 以内の農山村住民が同地域から 10 km より遠くの農山村住民や都市住民よりも高い傾向にあったが、有意ではなかった。

Tab. 6 Length, diameter and aspect ratio of asbestos by fiber type in the lung of the rural and urban residents, and published data on the general population

Country	Fiber type	Region	Distance from serpentinite area	Number of fiber analyzed	Length ^{A)} μm	Diameter ^{A)} μm	Aspect ratio ^{A),C)}	Stanton fiber ^{B)} Number (%)	Criteria counting fiber
Japan (present)	Chrysotile	Rural	≤10 km	89	0.86 (1.90)	0.042 (1.77)	20.3 (2.0)	0 (0.0)	Aspect ratio ≥ 3
			>10 km	25	0.61 (1.55)	0.035 (1.45)	17.1 (1.4)	0 (0.0)	
		Urban	>70 km	250	0.89 (2.16)	0.043 (1.87)	20.9 (1.9)	1 (0.4)	
	Amosite·crocidolite	Rural	≤10 km	106	2.25 (2.29)	0.116 (2.07)	19.5 (2.0)	3 (2.8)	Aspect ratio ≥ 3
			>10 km	11	4.80 (2.93)	0.231 (1.80)	20.8 (2.1)	0 (0.0)	
		Urban	>70 km	215	1.47 (2.34)	0.104 (2.08)	14.1 (1.8)	1 (0.5)	
Actinolite, tremolite	Rural	≤10 km	232	2.88 (2.31)	0.298 (2.11)	9.7 (1.8)	6 (2.6)	Aspect ratio ≥ 3	
		>10 km	10	2.36 (2.10)	0.283 (1.91)	8.4 (1.5)	0 (0.0)		
	Urban	>70 km	44	3.35 (2.42)	0.293 (2.57)	11.5 (1.7)	1 (2.3)		
Germany ²⁾	Chrysotile	— ^{D)}	—	—	1.4 (2.1)	0.05 (1.7)	18 (2.5)	—	Length ≥ 1 μm and aspect ratio ≥ 5
	Amphibole	—	—	—	2.6 (2.5)	0.17 (2.1)	15 (2.4)	—	
Canada ¹¹⁾	Chrysotile	Urban	—	—	1.3 (2.0)	0.04 (1.7)	32 (3.0)	—	
	Tremolite	Urban	—	—	1.6 (2.0)	0.24 (1.9)	7 (1.9)	—	

A) Geometric mean (geometric standard deviation) B) fiber with length over 8 μm and diameter less than 0.25 μm

C) Length/diameter D) Not shown

* : p<0.05, ** : p<0.01, 2) and 11) indicate the number of references.

IV 考 察

1. 調査地域

今回調査した農山村住民の居住地域は主に愛知県新城市と南北設楽郡で、1例のみ北設楽郡に隣接した静岡県佐久間町に居住していた。この地域は木曽山脈から続く隆起準平原の高原状山地で、その大半は山林で占められている。この中に設楽盆地や津具盆地などが点在し、豊川などの河川に沿って平地が広がり、農林業がこの地域の主要な産業となっている²⁷⁾。地質学的に見るとこの地域には静岡県西部から渥美半島にかけて「三波川変成帯」と呼ばれる蛇紋岩を含む地層が分布している¹⁶⁾。その中で表層地質が蛇紋岩であるのは愛知県鳳来町から新城市にかけての約7km²の区域で²²⁾、その大半が広葉樹林や針葉樹林で覆われた山林である^{28,29)}。都市住民はこの蛇紋岩地域から北西に約70kmに位置する名古屋市およびその周辺に居住しており、名古屋市付近には表層地域が蛇紋岩である地域はない²²⁾。

今回調査した地域の蛇紋岩に石綿が含まれていることはすでに知られており³⁰⁾、著者らが当地域で相互に0.5~4km離れた6カ所で採集した岩石からはクリソタイルとともにアクチノライトおよびトレモライトを検出した。クリソタイルとともに少量のアクチノライトあるいはトレモライトが検出される場合があることは知られている^{31~33)}。大半が山林である蛇紋岩地域で大気中に石綿を含む粉じんを飛散させる発生源としては、土木工事などによって露出した岩盤やこの地域に散在する採石場が考えられた。また長い年月の間に蛇紋岩が風化流出して広く土壌を汚染している可能性も考えられた。米国ではクリソタイルを含む採石運搬時の道路沿いでのクリソタイルの飛散の報告もある³⁴⁾。

今回調査した蛇紋岩地域における大気中石綿濃度の測定報告はないが、この地域の北約25kmに位置して調査対象者が2人居住していた設楽町での大気中石綿濃度は1993年で0.15未満~0.30本/L³⁵⁾で、わが国のバックグラウンド値の幾何平均値(内陸山間地域:0.43本/L, 港湾地域:0.55本/L)⁴⁾以下であった。また都市住民が居住していた名古屋市の大気中石綿濃度の地域別幾何平均値は93年で0.20~0.28本/L³⁶⁾で、一般的な都市部の

幾何平均値(住宅地域:1.04本/L, 商業地域:1.42本/L)⁴⁾を下回っていた。全国の大気中石綿濃度の調査結果⁴⁾によると、蛇紋岩採石場周辺の幾何平均値は、12.3本/Lと高かったが、一採石場の調査例では採石場から遠ざかるとその濃度は急激に低下し、採石場から約250m離れた場所では一般的な都市部の大気中石綿濃度と同程度と考えられたとされている。また蛇紋岩が露出していない蛇紋岩地域での大気中石綿濃度は表層地質が蛇紋岩でない地域と変わらなかったと報告されている⁴⁾。今回調査した蛇紋岩地域の大半は山林で覆われていたが、蛇紋岩採石場や土木工事現場などのように蛇紋岩が地表に露出した場所からは大気中に石綿が飛散していた可能性も考えられた。

2. 肺内石綿の種類とその検出割合

検出された石綿は、クリソタイル、アモサイト、クロソドライト、アクチノライト、トレモライトであり、都市住民の場合と同様であった¹⁹⁾。トレモライトは都市住民では53例中1例(2%)しか検出されなかったが、農山村住民では21例中19例(90%)で検出され、アクチノライトも同様な傾向があった。このことは今回調査した農山村地域にトレモライトやアクチノライトの発生源が存在していることを示唆していると考えられた。また都市住民と同様に農山村地域の住民の肺からもアンソフィライトが検出されなかったのは、今回調査した蛇紋岩地域の岩石からはアンソフィライトは検出されず、また輸入石綿でのアンソフィライトの混入は微量であった³⁷⁾ことと矛盾しなかった。

3. 蛇紋岩地域住民の肺内石綿濃度とそれに影響を及ぼす要因

肺内石綿濃度は過去の石綿曝露をある程度反映する指標であるとされており^{9,10)}、トレモライト濃度は非職業的曝露のような低濃度の曝露についても反映することを示唆する報告もある³⁸⁾。また放牧されたヒツジの肺内石綿濃度はそれらが飼育された地域の大気中石綿濃度に関連があるという報告^{39,40)}もある。そこで、ヒトの肺内石綿濃度も石綿による環境汚染のような低濃度曝露の指標になりうると考えられた。

蛇紋岩地域から10km以内の農山村住民の肺内アクチノライト・トレモライト濃度はそうではない農山村住民や都市住民よりも有意に高かった。

都市住民の肺内アクチノライト・トレモライト濃度が低かった原因として、①アクチノライトやトレモライトはそれ自体が工業的に使用されることは少なかった⁴¹⁾ために、クリソタイル、アモサイト、クロソライトと比較して、職業的曝露を受ける機会が少なかったこと、②通常の大気中石綿の大半はクリソタイルであること⁴²⁾、③名古屋市近辺には表層地質に蛇紋岩が含まれている地域がないこと²²⁾が考えられた。石綿鉱山周辺の住民の肺内石綿濃度は都市住民よりも5~10倍高いとする報告がある^{11,12)}。またわが国でも神山¹⁸⁾は旧石綿鉱山周辺の住民の肺内からはクリソタイルとともに高濃度のアンソフィライトが検出されたことを報告している。そして、この背景要因として、旧石綿鉱山がアンソフィライトを中心に採掘しており^{17,18)}、その旧鉱山から周辺に飛散したアンソフィライトを吸入した可能性があることを述べている¹⁴⁾。今回の場合、調査した蛇紋岩地域で採集した岩石からクリソタイルとともにアクチノライトやトレモライトを検出した。農山村住民でも蛇紋岩地域から10 km 以内の住民の肺内アクチノライト・トレモライト濃度は蛇紋岩地域から10 km より遠くの住民より有意に高かった。これは蛇紋岩地域からの距離が石綿関連職業歴や喫煙歴よりその濃度に強く影響を与えていた数量化理論 I 類分析の結果と一致していた。したがって、蛇紋岩地域から10 km 以内の住民の肺内アクチノライト・トレモライト濃度が他の地域の住民よりも高濃度であった理由のひとつとして、蛇紋岩地域から大気中に飛散した石綿を蛇紋岩地域の近くに居住していた住民が吸入した可能性が考えられた。また蛇紋岩地域から10 km 以内の男性の肺内アクチノライト・トレモライト濃度は同地域の女性と比較して有意ではないものの高い傾向にあったのは、男性では碎石運搬作業員 (5.63×10⁶本/乾燥 g) や土木作業員 (3.75×10⁶本/乾燥 g) のような高濃度曝露が推定された者が含まれていたことによる可能性が考えられた。

クリソタイルの職業的曝露者での中皮腫発生の原因としてクリソタイルに混入していたトレモライトの可能性を指摘する報告^{43,44)}や一般住民での中皮腫発生にトレモライトが関与しているという報告⁴⁵⁾がある。またカナダ・ケベック州の石綿鉱山周辺の住民の中で胸膜肥厚斑がある者はない者

と比較してクリソタイル濃度はほぼ同じであったが、トレモライト濃度は有意に高く、石綿鉱山周辺の住民の胸膜肥厚斑はトレモライトに起因することを示唆する報告もある⁴⁶⁾。今回、著者らが得た蛇紋岩地域から10 km 以内の住民の肺内アクチノライト・トレモライト濃度はそうではない地域の住民と比較して有意に高いという結果は、今後、蛇紋岩地域周辺住民の健康への影響について検討する必要性を示唆すると思われた。

肺内クリソタイル濃度に関して、蛇紋岩地域から10 km 以内の住民のクリソタイル濃度は他の地域と比較して必ずしも高くなかった。この原因としては、①クリソタイルの肺内での滞留性はトレモライトなどの角閃石系石綿と比較して小さく⁴⁷⁾、クリソタイルは速やかに肺から排出あるいは肺内で溶解した可能性や、②他の地域ではより高度な職業的石綿曝露者が含まれていたために相殺された可能性が考えられた。一方、都市住民の石綿職業群のクリソタイル濃度は非石綿職業群より有意に高く、蛇紋岩地域から10 km 以内の住民でも有意差はないものの同様な傾向があった。また数量化理論 I 類分析でも肺内クリソタイル濃度に最も関連があったのは石綿関連職業歴であった。これは日本に輸入された石綿の大部分はクリソタイルで⁴⁸⁾、職業的に曝露される機会が多く、職業的曝露量は蛇紋岩地域に居住することによる曝露量より大きく、肺からの排出能力を大きく上回っていた可能性が考えられた。

蛇紋岩地域を含む農山村住民の間で喫煙歴の有無による肺内石綿濃度に差が認められなかったことは、都市住民¹⁹⁾や米国の場合⁴⁹⁾と同様であった。

今回の結果に影響する可能性のある要因として、肺がん患者の割合と肺組織の採取部位が考えられた。

農山村住民では21例中13例、都市住民では53例中4例が肺がん、前者で高率であった。肺がんは石綿関連疾患のひとつであり、肺がん患者の中には石綿関連疾患以外の患者と比較して石綿関連職業歴のある患者がより高率に含まれる可能性がある。そのため結果的には、肺がん患者を多く含む集団の肺内石綿濃度の方が高くなることも考えられる。そこで農山村住民を肺がん患者と肺がん以外の患者に分けて、肺内総石綿濃度を比較した

ところ、肺がん患者の幾何平均値は 2.54×10^6 本/乾燥g、肺がん以外の患者は 2.25×10^6 本/乾燥gで、2群の間に有意差はなかったため、肺がん患者の割合が今回の結果に及ぼす影響は大きくないと考えられた。

肺組織の採取部位について、都市住民では全例左肺上葉であったが、農山村住民では特定の部位から得ることはできなかった。著者らは肺葉別石綿濃度の平均値が $2.9 \times 10^6 \sim 206 \times 10^6$ 本/乾燥gであった悪性中皮腫患者7例で、肺葉別石綿濃度に有意差を認めなかった⁵⁰⁾。またGibbsら⁵¹⁾は胸膜肥厚を有する患者13例で胸膜近くの肺組織と中心部の肺組織の間で繊維濃度に有意差は認められなかったと報告している。したがって採取した肺葉の違いが石綿の曝露程度の評価に及ぼす影響は小さいと考えられた。

4. 肺内石綿の繊維サイズ

一般住民の肺内石綿の繊維サイズに関する報告を、Tab. 6に付記した。今回の結果はこれまでの一般住民での結果と大差がないと考えられた。Churgら²⁵⁾は少量のトレモライトを含むクリソタイル鉱山の作業者と都市住民の間でクリソタイルならびにトレモライトの長さを比較した結果、幾何平均値で鉱山作業の方が長い傾向にあったことを報告している。今回の結果では、蛇紋岩地域から10 km以内の住民の肺内のクリソタイル、アクチノライト、トレモライトの長さの幾何平均値が蛇紋岩地域から10 kmより遠い住民より大きい傾向は認められなかった。この理由として蛇紋岩地域周辺の住民への石綿曝露が石綿鉱山作業者と異なって発生源から離れていたことが考えられた。

本調査にご協力いただいた島田悳院長をはじめとする新城市民病院の方々に深謝申し上げます。

(受付 '95.12. 7)
(採用 '96. 4.17)

文 献

- 1) Dodson RF. et al. A comparison of asbestos burden in non-urban patients with and without lung cancer. *Cytobios* 1988; 56: 7-15.
- 2) Friedrichs H, et al. Electron microscopy analysis of mineral fibers in human lung tissue. *Am J Ind Med* 1992; 22: 49-58.

- 3) WHO. Asbestos and other natural mineral fibres (Environmental health criteria 53). Geneva: WHO, 1986; 52-56.
- 4) 環境庁大気保全局大気規制課監修. アスベスト排出抑制マニュアル(増補版). 東京:ぎょうせい, 1988; 72-137.
- 5) WHO. Asbestos and other natural mineral fibres (Environmental health criteria 53). Geneva: WHO, 1986; 14-15.
- 6) Kiviluoto R. Pleural calcification as a roentgenologic sign of non-occupational endemic anthophyllite-asbestosis. *Acta Radiol* 1960; 194 Suppl: 1-67.
- 7) Constantopoulos SH, et al. Metsovo lung: Pleural calcification and restrictive lung function in North-western Greece and environmental exposure to mineral fibre as etiology. *Environ Res* 1985; 38: 319-331.
- 8) Burilkov T, Michailova L. Asbestos content in the soil and endemic pleural asbestosis. *Environ Res* 1970; 3: 443-451.
- 9) Whitwell F, Scott J, Grimshaw M. Relationship between occupations and asbestos-fibre content of the lung in patients with pleural mesothelioma, lung cancer, and other diseases. *Thorax* 1977; 32: 377-386.
- 10) Mowe G. Occupational asbestos exposure, lung-fiber concentration and latency time in malignant mesothelioma. *Scand J Work Environ Health* 1984; 10: 293-298.
- 11) Churg A. Lung asbestos content in long-term residents of a chrysotile mining town. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134: 125-127.
- 12) Case BW, Sebastien P. Environmental and occupational exposures to chrysotile asbestos: A comparative microanalytic study. *Arch Environ Health* 1987; 42: 185-191.
- 13) 平岡武典, 他. 肺癌検診にみられた胸膜病変の解析. *日胸疾会誌* 1990, 28: 1566-1573.
- 14) 神山宣彦, 平岡武典, 栗盛静江. 熊本県下の住民の肺内石綿分析から見た旧石綿鉱山及び工場による石綿環境汚染(1). *産衛誌* 1995; 37: S515.
- 15) 吉田國夫. 鉱産物の知識と取引. 東京:通商産業調査会, 1993; 490-508.
- 16) 都城秋穂. 岩石学Ⅲ 岩石の成因. 東京:共立出版, 1977; 222-228.
- 17) 平岡武典, 他. 旧石綿鉱山および工場周辺住民にみられた胸膜肥厚斑. *医療* 1992; 46: 603-610.
- 18) 神山宣彦, 平岡武典, 栗盛静江. 石綿鉱山及び同工場に由来する石綿環境汚染の実態を住民肺組織分析から推定する. *産医研年報* 1994; 平成5年度: 28-29.
- 19) 酒井 潔, 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: 762-769.

- 20) 横山邦彦, 森永謙二. 石綿取り扱いの労働衛生管理概論(まとめ). 産業医学ジャーナル 1986; 9(6): 5-18.
- 21) Mowe G, Gylseth B. Occupational exposure and regional variation of malignant mesothelioma in Norway, 1970-79. *Am J Ind Med* 1986; 9: 323-332.
- 22) 糸魚川淳二. 愛知県防災会議地震部会. 愛知県の地質・地盤 (その2)[表層地質]. 愛知県, 1979; 愛知県表層地質図 (5万分の1).
- 23) Roggli VL, Pratt PC, Brody AR. Asbestos content of lung tissue in asbestos associated diseases: A study of 110 cases. *Br J Ind Med* 1986; 43: 18-28.
- 24) Karjalainen A, Meurman LO, Pukkala E. Four cases of mesothelioma among Finnish anthophyllite miners. *Occup Environ Med* 1994; 51: 212-215.
- 25) Churg A, Wiggs B. Fiber size and number in workers exposed to processed chrysotile asbestos, chrysotile miners, and the general population. *Am J Ind Med* 1986; 9: 143-152.
- 26) Stanton MF, et al. Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous minerals. *J Natl Cancer Inst* 1981; 67: 965-975.
- 27) 人文社観光と旅編集部編. 愛知県郷土資料事典 観光と旅 23. 東京: 人文社, 1989; 205-221.
- 28) 国土地理院. 1: 50000地形図 三河大野. 東京: 国土地理院, 1976.
- 29) 国土地理院. 1: 50000地形図 田口. 東京: 国土地理院, 1983.
- 30) 加藤 昭, 松原 聡, 野村松光. 鉱物採集の旅⑤ 東海地方をたずねて. 東京: 築地書館, 1979; 54-61.
- 31) Churg A. Asbestos fiber content of the lungs in patients with and without asbestos airway disease. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 470-473.
- 32) 仲座政宏, 東 敏昭, 佐藤敏彦. 環境測定技術者のための石綿および代替繊維写真集. 東京: リコーテクニクス, 1989; 27-32.
- 33) Mukherjee AK, et al. An environmental survey in chrysotile asbestos milling processes in India. *Am J Ind Med* 1992; 22: 543-551.
- 34) Rohl AN, Langer AM, Selikoff IJ. Environmental asbestos pollution related to use of quarried serpentine rock. *Science* 1977; 196: 1319-1322.
- 35) 愛知県環境部大気保全課編. 平成5年度大気汚染調査報告書. 愛知県環境部, 1994; 112.
- 36) 名古屋市環境保全局総務課編. 平成5年度公害の現況. 名古屋市環境保全局, 1994; 26.
- 37) 神山宣彦. アスベストの種類と悪性中皮腫について. 産医研年報 1989; 昭和63年度: 20-21.
- 38) Case BW, Sebastien P. Fibre levels in lung and correlation with air samplers. *IARC Sci Publ* 1989; 90: 207-218.
- 39) Baris YI, et al. Epidemiological and environmental evidence of the health effects of exposure to erionite fibres: A four-year study in the Cappadocian region of Turkey. *Int J Cancer* 1987; 39: 10-17.
- 40) McConnochie K, et al. Mesothelioma in Cyprus: The role of tremolite. *Thorax* 1987; 42: 342-347.
- 41) Parmeggiani L, ed: Encyclopaedia of occupational health and safety: Third (Revised) edition. ILO Geneva 1983: 185-187.
- 42) 神山宣彦. 大気中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.
- 43) Churg A, DePaoli I. Environmental pleural plaques in residents of a Quebec chrysotile mining town. *Chest* 1988; 94: 58-60.
- 44) McDonald JC, McDonald AD. Asbestos and carcinogenicity. *Science* 1990; 249: 844.
- 45) McConnochie K, et al. Mesothelioma in Cyprus. *IARC Sci Publ* 1989; 90: 411-419.
- 46) Churg A, Chrysotile, tremolite, and malignant mesothelioma in man. *Chest* 1988; 93: 621-628.
- 47) Bellmann B, et al. Chemical durability of asbestos and of man-made mineral fibres in vivo. *J Aerosol Sci* 1986; 17: 341-345.
- 48) 久永直見, 酒井 潔. 石綿労働者の健康保護をめぐる今日の問題点. 社会医学研究 1990; 9: 45-53.
- 49) Churg A, Warnock ML. Asbestos fibers in the general population. *Am Rev Respir Dis* 1980; 122: 669-678.
- 50) Sakai K, et al. Asbestos and nonasbestos fiber content in lung tissue of Japanese patients with malignant mesothelioma. *Cancer* 1994; 73: 1825-1835.
- 51) Gibbs AR, et al. Fiber distribution in the lungs and pleura of subjects with asbestos related diffuse pleural fibrosis. *Br J Ind Med* 1991; 48: 762-770.

CONCENTRATION AND FIBER SIZE OF ASBESTOS IN LUNGS OF RESIDENTS LIVING CLOSE TO THE SERPENTINITE AREA

Kiyoshi SAKAI*, Naomi HISANAGA^{2*}, Motoyasu OKUNO^{3*},
Norihiko KOHYAMA^{2*}, Yasushi SHINOHARA^{2*}, Eiji SHIBATA^{4**},
Michihiro KAMIJIMA^{4**}, Katsumi YAMANAKA*, Yasuhiro TAKEUCHI^{4**}

Key words: Asbestos, Fiber size, Serpentinite, Resident, Analytical transmission electron microscopy

Concentrations and fiber size distribution of asbestos in the lung tissue of 16 (8 males and 8 females) rural residents living close to the serpentinite area (neighboring group) were analyzed by low temperature ashing-analytical transmission electron microscopy, and were compared with those of 5 (5 males) rural and 53 (34 males and 19 females) urban residents living away from the serpentinite area (reference group). The results are as follows;

1. Pulmonary asbestos fibers were found in all rural residents. The types of asbestos fibers were chrysotile, amosite, crocidolite, actinolite, and tremolite. These findings were very similar to results for urban residents.
2. In males, the geometric mean concentration of actinolite-tremolite in the neighboring group (1.78×10^6 fibers/g dry lung) was significantly higher than those in the reference groups (rural: 0.32×10^6 , urban: 0.31×10^6 , $p < 0.01$). In females also, the geometric mean concentration of actinolite-tremolite in the neighboring group (0.59×10^6) was significantly higher than that in the reference group (urban: 0.16×10^6 , $p < 0.05$). There were no significant differences in the actinolite-tremolite concentrations between males and females in the neighboring group.
3. The serpentinite in this area have contained not only chrysotile but also both actinolite and tremolite. There was no significant relationship between actinolite-tremolite concentration and occupational history in the neighboring group. It is possible that actinolite and tremolite are liberated from the serpentinite to the atmosphere and inhaled by the residents near the serpentinite area which increases pulmonary actinolite-tremolite concentration.
4. The difference in the geometric mean concentration of chrysotile between the neighboring and the reference group was not statistically significant for both sexes, possibly due to the poor durability of chrysotile in the lung tissue.
5. There were no significant differences in the geometric mean of fiber length and diameter of actinolite-tremolite between the neighboring and the reference group.

* Nagoya City Public Health Research Institute

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

^{3*} Aichi Prefectural Hospital, Aichi Prefecture

^{4**} Department of Hygiene, Nagoya University School of Medicine