

目 次

A 石綿

1.はじめに	1
2.石綿の鉱物学的特性と産業利用	3
2.1 石綿とは	3
(i) 石綿・アスベスト・アミアントス	3
(ii) 石綿の定義	3
2.2 石綿の鉱物学	6
(i) 科学組成	6
(ii) 物性	7
(iii) 産状	7
(iv) 結晶構造	11
2.3 石綿の用途	16
(i) 産出量	17
(ii) 利用状況	19
(iii) 流通経路	28
2.4 タルクと石綿	33
(i) タルクとは	33
(ii) タルクの鉱物学	33
(iii) タルクの産状と成因	36
(iv) タルクの産業利用	39
(v) まとめ	40
参考文献 (2.1 ~ 2.4)	42
参考書	46
2.5 石綿曝露の機会	47
(i) 職業性曝露の機会	47
(ii) 非職業性曝露の機会	54
2.6 石綿の環境大気中への出現	64
2.7 小括	70
参考文献 (2.5 ~ 2.7)	72
3.動物実験	83
3.1 石綿の毒性	83
(i) 細胞障害性	83
(ii) 炎症作用と繊維原性 (fibrogemesity)	84

(iii) 肺胞マクロファージに対する作用	90
(iv) 生化学的反応に対する影響	91
3. 2 発がん性	95
(i) 各種石綿の単独曝露による成績	95
(ii) 石綿繊維の種類別による発がん性の比較と石綿以外の繊維の発がん性	96
(iii) 石綿と諸種発がん剤、放射線照射などとの併用曝露	99
(iv) 繊維の長さ、直径、巾の違いによる発がん性	102
(v) 繊維構成成分元素と高温処理による発がん性への影響	104
(vi) 投与方法と投与量による発がん性への影響	106
(vii) 動物の種差間での発がん性の違い	108
3. 3 石綿の生体内沈着と浄化・転移	109
(i) 肺内沈着と浄化および転移	109
(ii) 経口摂取曝露後の生体内移転	111
3. 4 免疫系への影響	114
3. 5 小括	115
(i) 石綿の生体内沈着と転移・排泄	115
(ii) 石綿の毒性	115
(iii) 石綿の発がん性	116
参考文献 (3.1 ~3.5)	119
4. 試験管内実験	127
4. 1 石綿繊維の赤血球に対する作用	127
(i) 石綿繊維の溶血作用	127
(ii) 石綿繊維による溶血作用の防止因子	129
(iii) 石綿繊維の物理化学的变化と溶血性	130
(iv) 石綿繊維の溶血の機序	131
参考文献 (4.1)	135
4. 2 石綿繊維のマクロファージに対する作用	137
(i) 石綿繊維の種類とマクロファージの細胞毒性	137
(ii) 石綿繊維のマクロファージに対する反応性	137
(iii) 石綿繊維の物理化学的性質の変化とマクロファージの反応性への影響	143
(iv) マクロファージに対する石綿繊維の反応性と 石綿繊維による溶血作用との関連	148
参考文献 (4.2)	150
4. 3 石綿繊維の培養細胞、器管培養に対する作用	153
(i) 石綿繊維の培養細胞に対する影響	153
(ii) 器管培養に対する石綿繊維の影響	161
参考文献 (4.3)	163

4 . 4 石綿繊維の変異原性	167
(i) 微生物を用いた変異原性試験	167
(ii) 哺乳類細胞を用いた変異原性試験	167
参考文献 (4.4)	176
4 . 5 小 括	179
(i) 細胞系に対する石綿繊維の影響の小括	179
(ii) 石綿繊維の変異原性についての小括	180
5 . 石綿の人体影響	181
5 . 1 石綿関連疾患の臨床疫学研究	181
5 . 1 . 1 石 綿 肺	181
(i) はじめに	181
(ii) 病 理	181
(iii) 臨床病状	184
(iv) 診 断	192
(v) 合 併 症	193
(vi) 治 療	194
(vii) 病 因	194
参考文献 (5.1.1)	200
5 . 1 . 2 胸膜病変	210
(i) 石綿胸膜炎 asbestos pleurisy	210
(ii) びまん性胸膜肥厚 diffuse pleural thickening	217
(iii) 胸膜肥厚斑 pleural plaques	220
(iv) 無気肺性偽腫瘍 atelectatic pseudotumor または円形無気肺 rounded atelectasis	237
参考文献 (5.1.2)	243
5 . 1 . 3 肺 が ん	250
(i) 頻 度	250
(ii) 発生部位	252
(iii) 病理組織像	253
(iv) 臨床所見	254
(v) 治 療	254
(vi) 病 因	254
参考文献 (5.1.3)	256
5 . 1 . 4 中 皮 肿	260
(i) 臨床および病理	260
(ii) 発生頻度 (罹患・死亡状況)	263
(iii) 石綿曝露との関係	270

(iv) 非職業性石綿曝露との関連	275
(v) 石綿以外の中皮腫発生要因	278
参考文献(5.1.4)	284
5. 1. 5 その他の腫瘍	296
(i) 消化器がん	296
(ii) 喉頭がん・上気道がん	300
(iii) 卵巣がん	303
(iv) 悪性リンパ腫	304
(v) その他の腫瘍のまとめ	305
参考文献(5.1.5)	308
5. 2 職業曝露による影響	311
(i) 鉱山	311
(ii) 石綿製品製造業	314
① 石綿紡織業	314
② 石綿セメント業	318
③ 摩擦材・断熱材製造業	326
④ 防毒マスク製造	329
(iii) 造船業労働者	334
(iv) 断熱作業者	337
(v) その他	341
参考文献(5.2)	350
5. 3 非職業性曝露による影響	356
(i) 大気中の石綿による影響	356
(ii) 飲料水中の石綿による影響	359
参考文献(5.3)	366
5. 4 石綿と喫煙との相互作用	369
(i) 肺がん	369
(ii) 中皮腫	370
参考文献(5.4)	373
5. 5 生体内石綿	374
(i) 石綿小体	375
(ii) 非被覆纖維uncoated fibres	388
(iii) 生体内石綿のまとめ	412
参考文献(5.5)	415
5. 6 小括	421
6. 石綿の人体への影響の評価	425
6. 1 石綿の種類と量一反応関係	425

6. 1. 1 石綿の種類	425
6. 1. 2 石綿のサイズ・形状	429
6. 1. 3 量一反応関係	433
参考文献 (6.1)	439
6. 2 一般住民への影響の評価	442
6. 2. 1 低濃度曝露の評価のためのモデル	442
(i) 曝露評価と影響評価	442
(ii) 肺がんのモデル	446
(iii) 中皮腫のモデル	447
6. 2. 2 低濃度曝露のリスクアセスメント	450
(i) Enterline の推計	450
(ii) Acheson & Gardner の見解	451
(iii) Nicholson の試算	453
(iv) アメリカ N R C の見解	454
(v) カナダ Ontario の Royal Commission の結論	459
(vi) Peto の見解	462
6. 2. 3 リスクアセスメントの問題点	462
参考文献 (6.2.1 ~6.2.3)	467
6. 3 小括	471
7. 総括	472

B ゼオライト

1. はじめに	477
2. ゼオライトの鉱物学と産業利用	478
2. 1 ゼオライトの鉱物学	478
(i) ゼオライトの化学組成	478
(ii) ゼオライトの分類	479
(iii) ゼオライトの産状	483
(iv) わが国のゼオライト資源	484
2. 2 ゼオライトの産業利用	484
2. 3 繊維状ゼオライトについて	487
参考文献 (2.1 ~2.3)	490
3. ゼオライトの生物学的影響	492
3. 1 動物実験	492
参考文献 (3.1)	493
3. 2 In Vitro での実験	494

3. 3 ゼオライトの催奇性	495
参考文献 (3.2 ~3.3)	495
4. ゼオライトの曝露に関連ある健康障害	496
参考文献 (3.4)	499
5. まとめ	501

5. 石綿の人体影響

5.1 石綿関連疾患の臨床疫学研究

5.1.1 石綿肺

(成田 亘啓)

- (i) はじめに
- (ii) 病理
- (iii) 臨床病状
- (iv) 診断
- (v) 合併症
- (vi) 治療
- (vii) 病因

参考文献 (5.1.1)

5.1.2 胸膜病変

(横山 邦彦)

- (i) 石綿胸膜炎 asbestos pleurisy
- (ii) びまん性胸膜肥厚 diffuse pleural thickening
- (iii) 胸膜肥厚斑 pleural plaques
- (iv) 無気肺性偽腫瘍 atelectatic pseudotumor

または円形無気肺 rounded atelectasis

参考文献 (5.1.2)

5.1.3 肺がん

(成田 亘啓)

- (i) 頻度
- (ii) 発生部位
- (iii) 病理組織像
- (iv) 臨床所見
- (v) 治療
- (vi) 病因

参考文献 (5.1.3)

5.1.4 中皮腫

(森永 謙二)

- (i) 臨床および病理
- (ii) 発生頻度 (罹患・死亡状況)
- (iii) 石綿曝露との関係
- (iv) 非職業性石綿曝露との関連
- (v) 石綿以外の中皮腫発生要因

参考文献 (5.1.4)

5.1.5 その他の腫瘍

(横山 邦彦)

- (i) 消化器がん
- (ii) 喉頭がん・上気道がん
- (iii) 卵巣がん
- (iv) 悪性リンパ腫
- (v) その他の腫瘍のまとめ

参考文献 (5.1.5)

42-9

悪性中皮腫の第一例」として報告している。Kahnら¹²² (1980) は、30年前第2次世界大戦中に造船所で働き石綿曝露をうけたことのある60歳の白人男性の肺内に透過電子顕微鏡(TEM)によりアモサイトが同定された心膜中皮腫症例を報告している。Beckら¹²³ (1982) は、東ドイツのがん登録より1970年から1978年の間に15例(男13、女2)の心膜中皮腫が登録されており、うち3例に石綿曝露歴を認めたと報告している。第1例は、1923年から1957年まで大きな化学工場に勤務し、その間ソーダ隔膜として使われている石綿紙の取り替え作業に従事していた。労働現場での調査で隔膜交換時に石綿紛じんの飛散が証明されている。第2例は、煉炭製造工場で石綿コードが使われている乾燥機の修繕やとりこわしをしていた。第3例は、紡績工場で働いていたときに羊毛の動きが良くなるように、手でタルクを塗布したり、ふきとったりしていた。当時使用していたものと同じ産地のタルクを調べると2~5%石綿が含まれていることが判明し、石綿含有タルクの曝露によるものと認定されたとしている。

iv) 非職業性石綿曝露との関連

Wagnerら⁷¹ (1960) が33例の胸膜中皮腫のうち16例がクロシドライト鉱山近隣居住者であったこと、Newhouseら¹²⁴ (1965) が83例の胸膜及び腹膜中皮腫のうち11例(全て胸膜)に石綿工場の近隣居住歴があったこと、また9例(胸膜7例、腹膜2例)は、石綿工場や造船所で働いていた夫や兄弟の汚染された衣服などを介して石綿曝露を受けていたこと、これらの報告によって、中皮腫の発生は職業性曝露のみならず近隣曝露や家庭での曝露

(household exposure) によっても生じることが明らかとなった。これまでに各国より報告された非職業性石綿曝露例は約300例(1%)^{77,83,125~130}である(表5.1.4.13)。

近隣曝露例ではWagnerら⁷¹ (1960)、Webster³⁷ (1973)、Cochraneら¹²⁵ (1978) が南アフリカのクロシドライト鉱山のある地域に居住していた胸膜中皮腫例を報告している。Newhouseら¹²⁴ (1965) は、石綿工場から半マイル以内の所に住んでいた11例の胸膜中皮腫を報告している。Lieben¹²⁶ (1967) は、石綿紡織及び摩擦材製造工場の隣に生下時より8歳まで居住していた1例、断熱材製造工場の半マイル以内に19年間住んでいた1例、同じ断熱材製造工場の向い側で働いていた2例、2つの石綿工場から3/4マイル以内の所に住んでいた2例、石綿紡織工場から1.5マイル以内のバッテリー工場に長年働いていた2例、計8例の近隣曝露例を報告している。Dalquenら⁷⁰ (1969)、Bohligら¹²⁰ (1970) は、1958年から1968年の間にHamburgのある地域に胸膜中皮腫が集中的に発生したことを明らかにし、その原因として造船所や石綿工場での職業性曝露以外に、汚れた衣服を介しての家族への石綿曝露の危険性とともに、船の儀装を解く時に古い断熱材の解体から生じる大気汚染の危険性を述べている。Rubinoら¹⁴⁰ (1972) は、石綿紡織工場から100m以内に居住していた1例を報告している。GreenberryとDavies¹²⁷ (1974) は、石綿工場の敷地内及び隣接地に居住していた2例、石綿工場のすぐ隣で働いていた1例、石綿工場から200ヤードの所に居住していた1例、石綿使用工場から1/4マイルの所に居住していた1例、同じく石綿工場から半マイル以内が1例、1マイ

表5.1.4.13 非職業性石綿曝露による中皮腫症例

報告者	(年)	国	近隣曝露	家庭曝露	全報告数	文献
Wagnerら	(1960)	南アフリカ	15	1	33	71
Newhouseら	(1965)	イギリス	11	9	83	72
Borowら	(1967)	アメリカ	2	—	17	131
Liebenら	(1967)	アメリカ	8	3	42	132
Milne	(1969)	オーストラリア	1	—	15	133
Anspach	(1969)	東ドイツ	14	—	62	134
Hellerら	(1970)	アメリカ	—	1	10	135
McEwer	(1970)	スコットランド	—	1	80	58
Solomon	(1970)	南アフリカ	7	—	23	136
Ashcroft	(1970)	イギリス	—	1	22	137
Bittersohlら	(1971)	東ドイツ	—	1	26	138
Champion	(1971)	カナダ	—	1	2	139
Rubinoら	(1972)	イタリア	1	3	50	140
Webster	(1973)	南アフリカ	76	—	232	37
McDonaldら	(1973)	カナダ	—	5	71	45
Lillington	(1974)	アメリカ	—	1	2	141
Hainら	(1974)	西ドイツ	20	1	25	77
Greenbergら	(1974)	イギリス	12	5	246	12
Whitwell	(1977)	イギリス	—	1	100	91
Arulら	(1977)	イギリス	—	—	1	142
Theriault	(1978)	カナダ	—	1	53	19
Edgeら	(1978)	イギリス	—	1	50	18
Cochrane	(1978)	南アフリカ	13	—	70	93
Liら	(1978)	アメリカ	—	2	2	143
Viannaら	(1978)	アメリカ	1	10	52	79
Andersonら	(1979)	アメリカ	—	5	5	144
Eplerら	(1980)	アメリカ	—	3	4	128
Antman	(1980)	アメリカ	—	3	40	96
Lewis	(1981)	アメリカ	—	1	46	97
Bignon	(1982)	フランス	5	14	384	101
Chahinian	(1982)	アメリカ	3	4	69	145
Konetzke	(1982)	東ドイツ	—	7	915	27
Bianchiら	(1982)	イタリア	—	1	70	102
Hirschら	(1982)	フランス	—	1	36	47
藤井ら	(1983)	日本	—	—	—	146
Fischbeinら	(1984)	アメリカ	1	—	1	147
Martenssonら	(1984)	スウェーデン	—	2	4	148
Vogelzangら	(1984)	アメリカ	—	1	31	108
Booth	(1986)	イギリス	—	1	1	149
計			195	7	84	2976

ル以内が2例、1.25マイル以内が1例、造船所から半マイル以内が2例あったと報告している。ArulとHolt¹⁴²(1977)は、43歳女性の胸膜中皮腫患者が、石綿肺についてのテレビ番組を見ている時に、5歳から7歳の間に石綿工場の近くに住んでおり、その頃よく石綿工場のそばで遊んでいたことを思い出したとい

う興味深い例を報告している。FischbeinとRohr¹⁴³(1984)は、10年間大きな海軍造船所に隣接する工場で働いていた56歳の胸膜中皮腫患者の肺内から大量のアモサイトを検出したことを報告している。

19(1983)年、石綿工場の近くで30年間共同居住していた女性が69歳のときに胸膜中皮

腫で死にし。神山ら¹⁵⁹ (1986) は、その患者の肺内から比較的短いクリンタイルを検出し、
といふ。

他方、家庭内石綿曝露による中皮腫で、診

断時年齢及び曝露源の判明している症例を表
5.1.4.14にまとめた。これらの多くは夫や
父親を介しての曝露である。Lillingtonら¹⁴⁰
(1974) は、9年間の職業性石綿曝露歴のあ

表5.1.4.14 家庭での石綿曝露による中皮腫症例

報告者	(年)	部位	年令	性	曝露源 (職種)	文献
Wagnerら	(1960)	胸膜	42	女	父(クモドライ 鉱山)	71
Newhouseら	(1965)	胸膜	44	男	姉(石綿紡織工場)	72
		胸膜	44	女	姉(石綿紡織工場)	
		胸膜	65	女	夫(造船所・断熱作業)	
		胸膜	55	女	夫(航行・断熱作業)	
		腹膜	70	女	夫(石綿工場)	
		胸膜	45	女	夫(造船所)	
		胸膜	42	男	姉(石綿紡織工場)	
		胸膜	63	女	娘(石綿工場)	
		腹膜	74	女	夫(鉄道客車製造)	
Liebenら	(1967)	腹膜	3	女	父(断熱作業)	132
		胸膜	40	女	父(断熱作業)	
		腹膜	67	女	息子(造船所・断熱作業)	
Champion	(1971)	胸膜	31	男	父(断熱作業)	139
Lillingtonら	(1974)	胸膜	51	女	夫(不明)	141
Li ら	(1978)	胸膜	50	女	夫(造船所・断熱作業)	143
		胸膜	34	女	父(造船所・断熱作業)	
Viannaら	(1978)	胸膜	85	女	夫(靴製造)	79
		胸膜	79	女	夫(フレキライング)	
		胸膜	66	女	夫(配管工事)	
		胸膜	40	女	夫(フレキライング)	
		胸膜	44	女	夫(断熱作業)	
		胸膜	31	女	夫(断熱電気工事)	
		腹膜	51	女	夫(断熱作業)	
		胸膜	30	女	夫(断熱作業)	
		胸膜	75	女	父(断熱電気工事)	
		胸膜	77	女	夫(フレキライング)	
Epler ら	(1980)	胸膜	60	女	夫(石綿工場)	128
		胸膜	56	女	夫(石綿工場)	
		胸膜	27	男	父(造船所・断熱作業)	
Lewis ら	(1981)	胸膜	47	女	母(石綿工場)	97
Hirschら	(1982)	不明	57	女	夫(炉-火整備)	47
Martenssonら	(1984)	胸膜	50	女	父(鋳造業)	110
		胸膜	58	男	父(鋳造業)	
Vogelzang ら	(1984)	腹膜	30	女	夫(電気工事)	108

