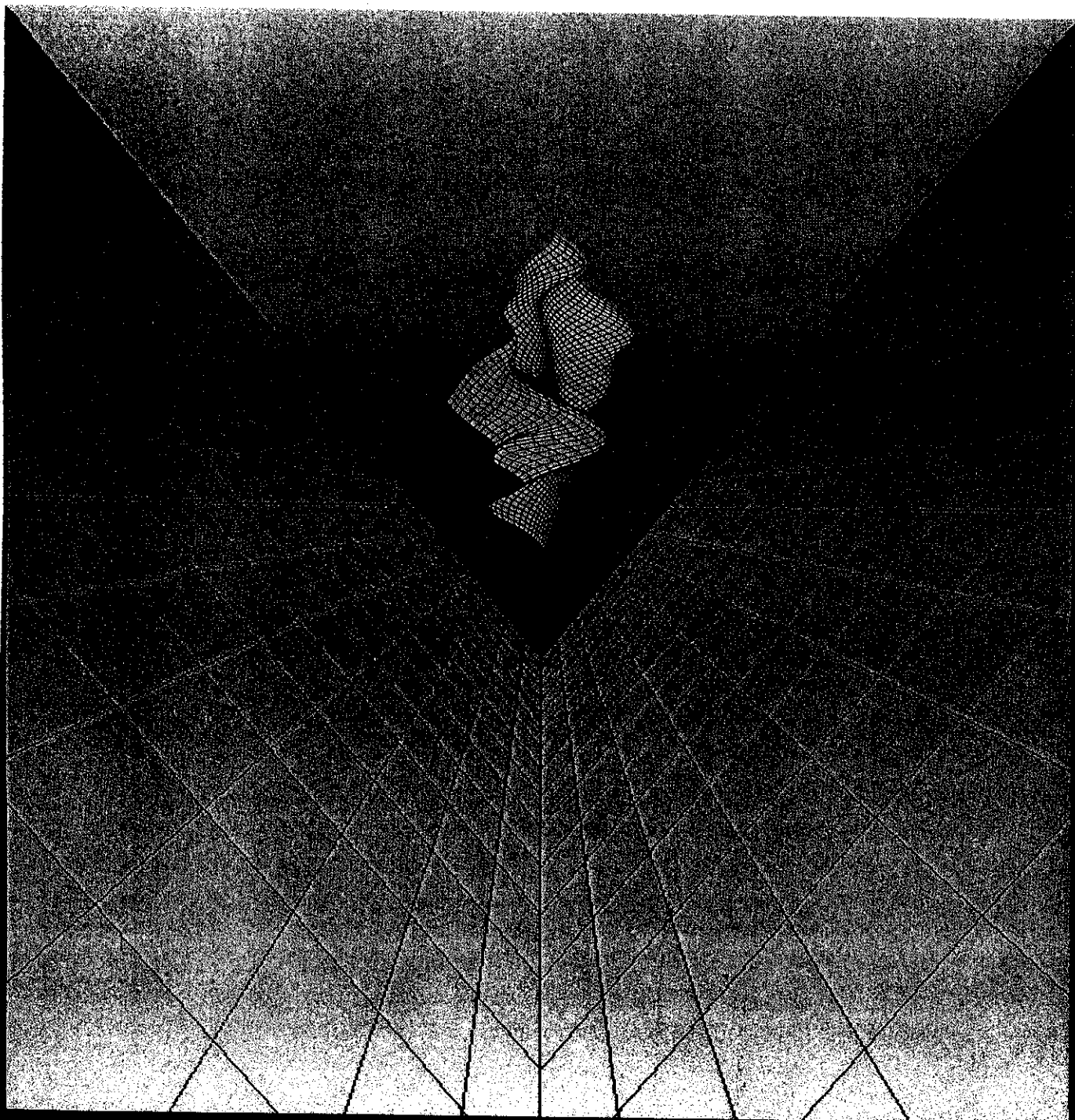


石綿・ゼオライトのすべて

環境庁大気保全局企画課監修



財団法人日本環境衛生センター

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) 化学組成	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 (fibrogenicity)	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) 繊維構成成分元素の変化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転移	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阻止因子	129
iii) 石綿繊維の物理化学的变化と溶血性	130
iv) 石綿繊維による溶血の機序	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, 器官培養に対する作用	153
i) 石綿繊維の培養細胞に対する影響	153
ii) 器官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的小括	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) 臨床症状	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 腫	260
i) 臨床及び病理	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) 非被覆繊維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-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NRC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

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	—	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	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
藤本ら	(1983)	日本	1	—	1	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Rohl¹⁴⁷⁾(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。本邦でも藤本ら¹⁴⁶⁾(1983)が, 石綿工場の近くに32歳から9年間居住していた主婦が69歳のときに胸膜中皮

腫で死亡し、神山ら¹⁵⁾ (1986) は、その患者の肺内から比較的短いクリソタイルを検出している。

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¹⁴⁾ (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	年齢	性	曝露源 (職種)	文献
Wagnerら	(1960)	胸膜	42	女	父 (クボフライト 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 (糸引・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 (ブレーキ工)	
		胸膜	66	女	夫 (配管工事)	
		胸膜	40	女	夫 (ブレーキ工)	
		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 (ブレーキ工)	
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 (ｽﾌﾟｰﾙ整備)	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

細胞障害性の検討では、従来からの赤血球、マクロファージの他に多くの培養株細胞及び初代培養細胞系、気管、肺などの器管培養系が用いられ、石綿の種類別に細胞に対する影響が検討された。一方、石綿側についても生体液、酸類、磨砕、加熱等の処理による反応性の変化が検討されたが、赤血球、マクロファージ、培養細胞で比較的一致した結果が得られている。石綿の生体反応を予知し、また生体影響機序を知る上での実験系として、試験管内実験の尚一層の進展が期待されている。

石綿繊維の変異原性については、微生物を用いた変異原性試験をはじめ、動物、ヒト由来の培養細胞系を用いた細胞の染色体異常誘起性、遺伝子変異原性、形態学的トランスフォーメーション等について、各種の石綿の影響が検討された。それらの成績から、石綿は弱い乍らそれ自身変異原性をもつと考えられ、またco-carcinogenとしての可能性を示す成績もある。動物実験では、石綿はそれ自身発がん作用を呈するとともに、発がんに対してむしろ補助的役割を果たしていることを実証する報告が多く、他の発がん剤を併用した場合、石綿単独曝露による発がん量よりも明らかに少ない量で発がん性のあることが証明されている。

なお今回の文献検索の範囲では石綿の催奇性に関する実験成績は得られていない。

わが国の戦後の石綿輸入量は年を逐って急上昇し、1961年以降の年間輸入量の累積だけでも約600万トンに達している。これらは加工、運搬、消費、廃棄の過程で発塵し、環境大気中に拡散して大気や水を汚染し、何らか

の製品に形を変えてわれわれの生活圏のすみずみにまで浸透している。建築物として蓄積しているものも、耐用年限やその他の必要に応じて解体・廃棄されることが多くなり、都市での石綿粉塵発生源にもなっている。

石綿は物理化学的にきわめて安定性が高く、通常環境条件下ではほとんど分解・変質することがないので環境蓄積性が高い汚染物質と言える。現時点では、一般環境大気中の石綿濃度の測定結果は、一般には作業環境濃度よりもはるかに低い水準にあり、外国でもわが国でも一般市民の健康に影響を与えている明らかな事実は今のところ見出されていないが、近年の年間20万～30万トンに及ぶ石綿の輸入・消費状況がこのまま続くとすれば、環境大気中の石綿濃度の上昇は必然である。

石綿の人体への影響を評価する指標としては、すでに石綿との因果関係が確定された石綿肺、胸膜肥厚斑・石灰化、肺がん、悪性中皮腫があげられる。石綿はそれ自体がん原性のある物質であり、したがっていかなる低濃度でも安全とする最少の閾値はない。肺がんと悪性中皮腫は現在の医療水準では治療困難であることから、環境大気中の石綿の人体影響を評価する指標としてこの二疾患を対象とすることに異論はないであろう。

現在産業利用されている石綿の大部分（95%）はクリソタイルであるが、角閃石族のクロソドライト、アモサイトも今なお一部において使用されている。職業曝露集団の疫学調査からは、これら三種の石綿のいずれもが肺がんと中皮腫に対してがん原性があることがみとめられたものの、その発がん力には差異があり、クロソドライト、アモサイト、ク