

The 23rd Lung Cancer Mass Screening Seminar

環境中に飛散した石綿はどこまで影響が及ぶか

車谷典男¹・熊谷信二²

Brief Review on the Range of the Affected Area by Neighborhood Exposure to Industrial Origin Asbestos

Norio Kurumatani¹; Shinji Kumagai²

¹Department of Community Health and Epidemiology, Nara Medical University School of Medicine, Japan; ²Department of Environmental Health, Osaka Prefectural Institute of Public Health, Japan.

ABSTRACT — Because asbestos has been extensively used in the world since the early 20th century, there are many factories which have now stopped handling asbestos and asbestos-containing products. Therefore an investigation on the range of the affected area by neighborhood exposure is important to interpret a causal inference about mesothelioma encountered among residents and to create policies for protecting the community from asbestos-related health hazards. In the present paper we made a brief review on this issue. Few studies have focused on the mortality risk of mesothelioma among residents and the residential distance from an asbestos source of industrial origin. Those studies revealed that a significantly increased mortality risk of mesothelioma was observed within half a mile of an asbestos factory in London, within 1,000 and 2,000 meters of asbestos mines, asbestos factories or shipyards in South Africa and some European countries, respectively, and beyond 2,500 meters of an asbestos cement factory in Italy. Our study on mesothelioma deaths around a now-closed asbestos cement pipe plant also indicated that an increased mortality risk of the disease was found in the area as far as 1,500 meters away from the plant. Public health policymakers, health professionals and companies should recognize that neighborhood exposure to asbestos can pose a serious risk of mesothelioma to residents over a wide area.

(JLCC. 2009;49:63-68)

KEY WORDS — Asbestos, Epidemiological studies, Neighborhood asbestos exposure, Mesothelioma

Reprints: Norio Kurumatani, Department of Community Health and Epidemiology, Nara Medical University School of Medicine, 840 Shijyocho, Kashihara-shi, Nara 634-8521, Japan (e-mail: knorio@naramed-u.ac.jp).

要旨 — 石綿は20世紀初頭から世界各地で大量に使用されてきたため、石綿または石綿製品の取扱い事業場は現在も含め数多くある。それ故、石綿が近隣に及ぼす影響範囲の検討は、一般住民に発見される中皮腫の石綿曝露源を考える上でも、地域全体を石綿関連疾患から予防するためにも重要である。本稿ではその影響範囲に関する文献的解説を試みた。事業場活動を原因とする石綿曝露源と周辺住民の中皮腫による死亡リスク上昇との関連を検討した研究は実は極めて少ない。しかし、それらの研究によれば、英国ロンドンの石綿製造工場の場合は800 m以内で、南アフリカとヨーロッパ諸国の石綿鉱山

や石綿製品製造工場、さらには造船所の場合はそれぞれ1,000 mと2,000 m以内で、またイタリアの石綿セメント工場の場合には2,500 mを超えても、中皮腫死亡の有意なリスク上昇が認められている。著者らが検討した旧石綿セメント管製造工場近隣住民の中皮腫死亡リスクも、工場から1,500 m離れた所まで有意な上昇を認めた。公衆衛生担当者と医療関係者そして企業は、石綿の近隣曝露が広い範囲にわたって中皮腫の重大なリスク上昇をもたらすことを十分認識する必要がある。

索引用語 — 石綿, 疫学研究, 近隣石綿曝露, 中皮腫

¹奈良県立医科大学地域健康医学教室; ²大阪府立公衆衛生研究所生活環境部。

別刷請求先: 車谷典男, 奈良県立医科大学地域健康医学教室,

〒634-8521 奈良県橿原市四条町840 (e-mail: knorio@naramed-u.ac.jp).

I. 石綿と中皮腫

中皮腫と石綿との関連性を初めて明確に指摘したのは、ヨハネスバーグのじん肺研究機関の病理医であった Wagner ら¹である。相次いで経験した中皮腫症例の中に、クロシドライト鉱山周辺や石綿堆積場で子供の頃に遊んでいた者と、病理組織学的に石綿肺所見が証明される者とを彼らは見いだした。このことを契機に、胸膜中皮腫 33 例について職業歴と居住歴などに関する case series analysis を行ない、18 人に職業性曝露歴があり、残る者のうち 1 人には家庭内曝露が、そして 13 人には職業性の曝露歴はないもののクロシドライト鉱山近隣での居住歴があったことを明らかにした。

石綿取扱事業場から環境中に飛散した石綿が、どの範囲の地域に影響を及ぼすかの知見は、診療現場で遭遇する中皮腫症例の石綿曝露源を判断する臨床医にとっても、地域住民の健康対策を立案実行すべき地域保健行政にとっても重要である。しかし、近隣曝露に関する疫学研究は上述の Wagner 以来、10 数件²³を数えるが、具体的な影響範囲についての研究は、石綿鉱山を含めて石綿取扱事業場が国内外に多く存在したにもかかわらず、現在に至るも極めて少ない。本論では、著者らが経験した兵庫県尼崎市の旧石綿セメント管製造工場近隣の中皮腫発生事例⁴も含めて、工場住居間の距離に言及した研究を取り上げ、石綿の近隣曝露がどの程度の範囲まで影響が及び得るかを紹介する。

II. 近隣曝露に関する海外の疫学的知見

1. 英国の石綿製品製造工場の近隣曝露事例（1965 年）

Newhouse ら⁵は、1917 年から 1964 年までに英国のロンドン内の病院で病理組織検査により中皮腫と診断された 83 人を症例とした症例対照研究を行っている。職業と居住歴が判明した症例 76 人のうち 31 人には職業性の石綿曝露歴があった。この 31 人と家庭内曝露のあった 9 人を除いた残り 36 人中 11 人 (30.6%) に石綿製品製造工場 (Cape Asbestos 工場) から 0.5 マイル (800 m) 以内の居住歴があり、対照群 67 人中の 5 人 (7.5%) に比べ有意に多かったことが示されている。オッズ比を計算すると 5.2 (95% 信頼区間: 1.7~17.5) となる。同工場では、クロシドライトを中心に少量のアモサイトとクリソタイルが使用されていたが、使用量についての記述はない。初回曝露から死亡時までの平均潜伏期間は、職業性曝露群の 29.4 年や家庭内曝露群の 37.9 年に比べ、近隣曝露群は 48.6 年と長いことも報告されている。上記の Wagner らの研究では、近隣との表現のみで距離は示されていないため、この Newhouse らの報告が工場周辺地域の影響範囲を具体的に示した最初の研究である。

2. 米国の石綿製品製造工場の近隣曝露事例（1997 年）

米国 New Jersey 州 Somerset 郡に位置して約 3 km 四方の面積を持つ Manville 地区の北東角に、北米最大の石綿製品製造工場があった。1912 年から 1980 年までの操業期間中、最も多い時期には 3,500 人の労働者が雇用されていたという。石綿の使用量などは不詳であるが、95% までがクリソタイルであったとされている。Berry⁶は、New Jersey 州の癌登録を用いて、工場周辺の 1979 年から 1990 年までの中皮腫の罹患リスクを検討し、州全体の年齢調整罹患率 (年間 100 万人あたり) は男性 24.7、女性 4.1 であったのに対し、Manville 地区 (人口約 11,000 人) では男性 635.6、女性 95.9 との高い値を得ている。さらに、上記工場の労働組合員名簿などから職業性曝露の可能性のある者を除外した中皮腫の SIR (standardized incidence ratio: 標準化罹患比) を算出し、男性 10.1 (5.8~16.4)、女性 22.4 (9.7~44.2) と、いずれも有意な過剰発生が認められたことを報告している。ただし、家庭内曝露の有無が検討できていないため、過大評価の可能性はある。

3. 英国の石綿製品工場などの近隣曝露事例（1997 年）

英国では 1980 年代に中皮腫罹患率の高い地域の存在が社会的な関心を集めた。その中でイングランド北部の都市 Leeds での近隣曝露が問題となり、Leeds を含む Yorkshire 地区 (Leeds, Calderdale, York, Wakefield) で症例対照研究⁷が行われた。1958 年に閉鎖された Leeds の工場は主にクロシドライトを使用して、紡織品・断熱材・フィルターなど様々な石綿製品を製造し、1970 年に閉鎖された Calderdale の工場はクロシドライトとアモサイトとクリソタイルを使用していた。Yorkshire 地区の 1979 年から 1991 年までの死亡者で、病理組織検査により中皮腫と確定診断された症例と、性・死亡年齢・死亡時期を一致させた対照に、遺族の面接調査などを行い、職業・居住歴・同居者の職業などの情報を得ている。症例 185 人と対照 159 人が解析対象となったが、職業性曝露「あり」と「可能性あり」の者を除外し、さらに家庭内曝露「あり」と「可能性あり」の者も除外すると、症例 14 人と対照 56 人が残った。これらの中でいずれかの石綿製品工場から 500 m 以内に居住歴がある者はいずれも 5 人で、そのオッズ比は 6.6 (0.86~50)、これに石綿製品倉庫から 500 m 以内の居住歴のあった者を加えると症例 6 人に対して対照 9 人で、そのオッズ比は 2.3 (0.54~9.7) であったと報告されている。

4. 南アフリカの石綿鉱山などの近隣曝露事例（1999 年）

南アフリカにはいくつかの石綿鉱山があった。Cape 州北西部にクロシドライト鉱山、Transvaal 州北東部にクロシドライト鉱山とアモサイト鉱山、そして同州東部

Table 1. Adjusted Odds Ratio (OR) for Mesothelioma According to Nature of Asbestos Exposure⁸⁾

Asbestos exposure	OR	95%CI
Nature		
Occupational	80.6	15.7-414
Environmental	19.6	3.7-105
“Risk” occupation	15.9	2.9-84.3
Occupational		
Mining Cape crocidolite	85.5	14.5-505
Insulation	76.4	14.4-406
Asbestos cement	27.7	4.9-154
Environmental		
NW Cape	32.7	8.1-131
NE Transvaal	12.7	1.9-84.7

A referent group consisted of those who were unlikely to have been exposed to asbestos in any form. OR was mutually adjusted by multiple logistic regression analysis.

にクリソタイル鉱山があった。1893年に採鉱が始まり、生産量は1977年の38万トンピークに、1985年には16万トンに減少し、2002年に全ての鉱山が閉鎖になっている。こうした鉱山があった6つの都市（Greater Bloemfontein, Cape Town, Johannesburg, Kimberley, Port Elizabeth, Pretoria）の病院で、1988年から1990年代前半にかけて中皮腫と確定診断された患者について症例対照研究⁸が行われている。症例は病理組織検査で中皮腫と診断された123人である。面接調査で症例と対照の職歴・居住歴・両親の職業性石綿曝露歴などに関する情報を得ている。石綿鉱山付近の汚染地区（距離は決めず）での居住歴、あるいは石綿工場や石綿倉庫または造船所から1 km以内での居住歴がある場合に「近隣曝露あり」とされている。症例123人と対照222人を対象としたロジスティック回帰分析による調整済みオッズ比（Table 1）は、近隣曝露の場合、Cape州北西部（NW Cape）のクロシドライト鉱山近隣が32.7と最も高く、Transvaal州北東部（NE Transvaal）のクロシドライト鉱山およびアモサイト鉱山の近隣は12.7で、これらに対して同州東部のクリソタイル鉱山では近隣曝露例は認められていない。

5. 欧州3か国の石綿工場などの近隣曝露事例（2000年）

イタリア、スペインおよびスイスの6地域（Torino, Casale, Firenze, Barcelona, Cadiz, Geneve）で多施設共同研究が行われている。Torinoには石綿紡織工場・絶縁材工場・車両工場が、CasaleおよびBarcelonaには石綿セメント工場が、FirenzeおよびCadizには造船所があったが、これらの地域で1993年から1997年の間に病理組織検査で胸膜中皮腫と診断された患者の症例対照研

Table 2. Risk of Pleural Mesothelioma According to Levels of Environmental Exposure to Asbestos⁹⁾

	Case n (%)	Control n (%)	OR	95%CI
No or background exposure	20 (37.7)	176 (75.9)	1	-
Low intensity	6 (11.3)	19 (8.2)	2.23	0.65-7.64
Middle intensity	13 (24.5)	19 (8.2)	9.48	2.46-36.5
High intensity	6 (11.3)	3 (1.3)	45.0	6.38-318
Unknown	8 (15.1)	15 (6.5)	3.42	1.15-10.2

究⁹が行われている。本人あるいは遺族の面接調査を行い、喫煙・放射線治療歴・職歴・同居者の職歴・居住歴・周辺環境についての情報を得ている。解析対象は症例215人と対照448人であったが、職業性曝露が確実な者と可能性がある者を除いて残った症例53人と対照232人について近隣曝露のリスクを評価している（Table 2）。その結果、石綿鉱山・石綿セメント工場・石綿織物工場・造船所あるいはブレーキライニング工場から500 m以内の居住歴がある者（high intensity）の調整済みオッズ比は45.0、500 mから2,000 mまでの居住歴がある者（middle intensity）は9.48、2,000 mから5,000 mまでの居住歴あるいは製鋼所・発電所・大規模化学工場などから500 m以内での居住歴がある者（low intensity）は2.23であったことが報告されている。曝露源から2,000 mまでが有意なリスク上昇ということになる。

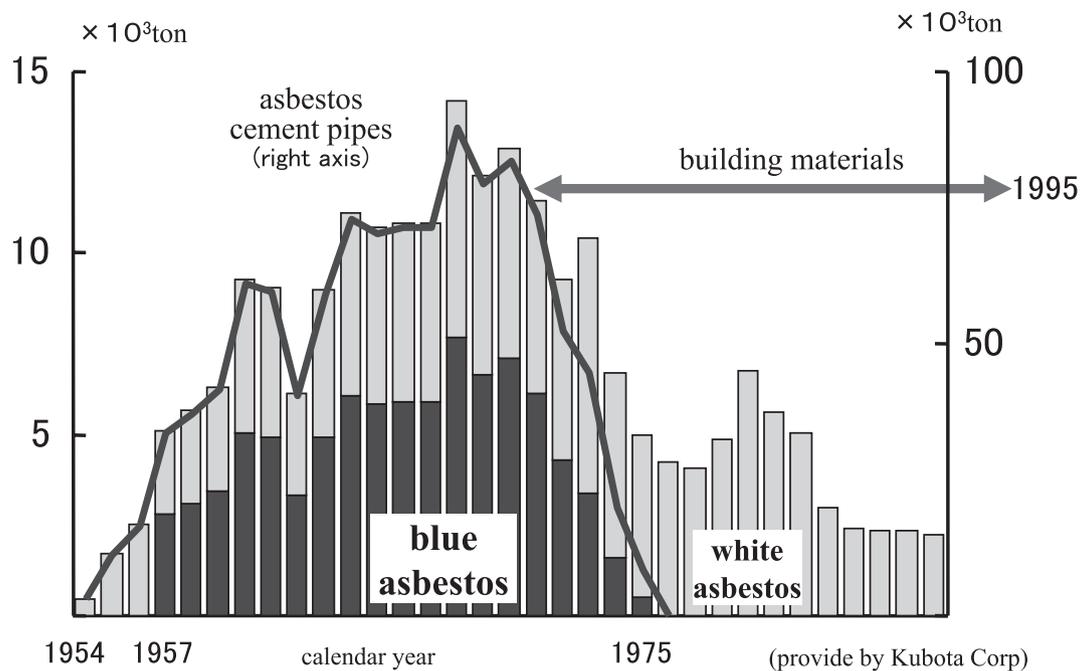
6. イタリアの石綿セメント工場の近隣曝露事例（2001年）

イタリア北西部に位置する人口41,700人の町Casale Monferratoにあった同国最大のEternit石綿セメント工場は、同町の中心部から風上方向に1,500 mの所で、1907年から1986年まで稼動していた。石綿ボード・石綿スレート・石綿セメント管などの製造にクロシドライトとクリソタイルが使用されていた。アモサイトは使用されていない。生産量が急減した1981年の石綿使用量は総量15,000トン、そのうち10%がクロシドライトであった。Magnaniら¹⁰は、この町を含む地域で1987年から1993年までに胸膜中皮腫と診断された患者の症例対照研究を実施している。職歴や居住歴などの情報を面接調査で得て、Eternit石綿セメント工場での勤務歴がない者を同石綿セメント工場から居住地までの距離で分類し、Casaleから遠方の地域住民の中皮腫死亡状況を基準に、家庭内曝露の有無を調整したオッズ比を算出している（Table 3）。中皮腫死亡者のうち居住歴が同工場の500 m以内であった者の調整オッズ比は27.7、500～1,499 mが22.0、1,500～2,499 mが21.0、2,500 m超で11.1と、いずれも有意に1を上回っていることが示されている。居住年数は触れられていない。こうした近隣曝露の曝露源

Table 3. Risk of Mesothelioma in Relation to Residence in Different Municipalities in Casale Monferrato, North Italy¹⁰⁾

Subjects	Case n (%)	Control n (%)	OR	95%CI
Occupation in the AC industry	27 (26.5)	13 (5.4)	52.5	12.5-220.0
Ever lived in Casale, distance from the AC industry				
< 500 m	5 (4.9)	2 (0.8)	27.7	3.1-247.7
500-1,499 m	41 (40.2)	52 (21.4)	22.0	6.3-76.5
1,500-2,499 m	9 (8.8)	12 (4.9)	21.0	4.9-91.8
> 2,500 m	4 (3.9)	9 (3.7)	11.1	1.8-67.2
Ever lived in any of the municipalities surrounding Casale	12 (11.8)	42 (17.3)	8.3	2.1-32.6
Never in any of the above-mentioned categories	4 (3.9)	113 (46.5)	1.0 (Ref)	

AC: asbestos cement pipe plant in Casale Monferrato. OR: adjusted odds ratio by multiple logistic regression analysis.

**Figure 1.** Asbestos consumption in the asbestos cement pipe plant.

として、同石綿セメント工場に加えて、例えば、歩道を固めたり運動場の水はけをよくしたりするために使用された同工場からの石綿や石綿セメント製品のくず、石綿原料の輸送経路なども想定されている。

III. 尼崎市の旧石綿管製造工場の近隣曝露事例

2005年6月29日の新聞報道が発端となったわが国の事例である。国内有数の石綿セメント管製造工場であったクボタ旧神崎工場(兵庫県尼崎市)は、操業開始当初、空き地が多い所に立地していたが、経済成長とともに周

辺に人家が立ち並び、結果として人口密度の高い地区の中心に位置することになった。石綿セメント管は、セメントを中心にクリソライトとクロシドライトを加えたもので、上水道の配水管や導水管、工業用水道配管などを用途としていた。1957年から石綿管製造が中止される1975年までの間に、多い年では約7,700トン、年平均約4,700トンのクロシドライトが使用されていた(Figure 1)。同工場では1978年から2004年までの間に従業員84人が石綿関連疾患を発症している。中皮腫は1986年の第1例に始まり、2005年の新聞報道時点で死亡42人、療養

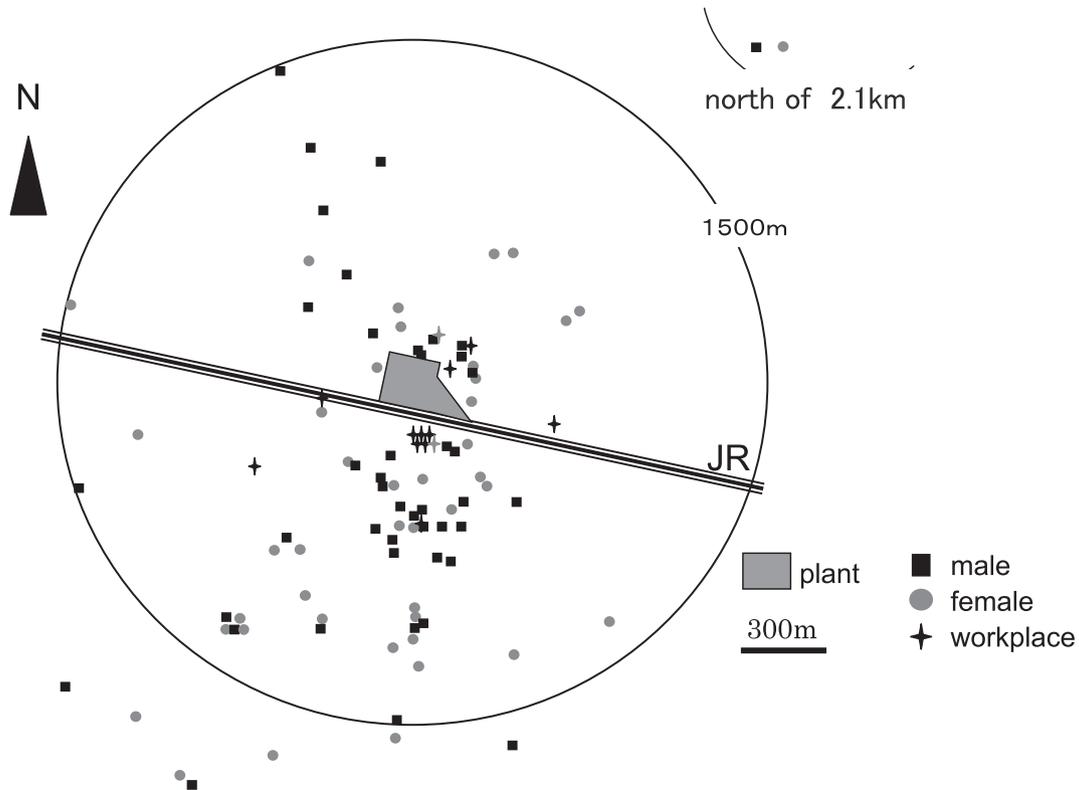


Figure 2. Location of homes or workplaces of 99 mesothelioma cases, who had no possibilities of occupational exposure to asbestos, as of Dec 31, 2005. The center of the circle with a 1,500-meter radius is the asbestos cement pipe plant.

Table 4. SMRs of Mesothelioma Deaths by Gender and Distance Among Residents Around the Asbestos Pipe Plant

	Residential distance	O/E	SMR (95%CI)	
Men	0-300	7/0.45	15.5	7.3-31.8
	300-600	9/1.92	4.7	2.3-9.0
	600-900	8/3.03	2.6	1.2-5.2
	900-1500	6/6.48	0.9	0.4-2.1
Women	0-300	5/0.14	35.2	13.9-83.0
	300-600	6/0.61	9.9	4.3-21.9
	600-900	5/0.96	5.2	2.1-12.3
	900-1500	11/2.05	5.4	2.8-9.7

O: observed deaths as of Dec 31, 2005. E: expected deaths based on the corresponding national mortality of mesothelioma. SMR: standardized mortality ratio.

中4人を数え、その病型内訳は胸膜中皮腫が18人、腹膜中皮腫が28人であった。

報道直後から、中皮腫と診断されたが職業性曝露は思いあたらないとする本人・遺族などからの問い合わせが関係者に相次ぎ、著者らはこれらの人たちについて面接

調査の機会を得た。その人数は2006年3月末で135人に達した。同工場でクロシドライトが使用されていた時期の居住地を示す住民票、社会保険庁から交付された被保険者記録照会回答票などをもとに、居住地、アルバイトも含めた職歴などを聞き取った。その結果、99人（男性54人・女性45人、死亡85人・治療中14人）については職業性や家庭内の石綿曝露は認め難く、病型別には1人を除き全員が胸膜中皮腫であった。

Figure 2は、クロシドライトの使用時期に、これら99人が1年以上居住または勤務していた場所と、旧石綿管製造工場の敷地中央を中心とした半径1,500mの円を描いたものである。地域分布に男女差はない。全体的には東西方向に少なく、南北方向に多い。北側より南側に多く、それも少し西側に偏りを見せている。こうした分布は、この地域の風向によく一致していることを確認している。中皮腫に独立した死因コード(C45)が与えられたICD10（国際死因分類第10版）の施行日（1995年1月1日）以降の、半径1,500m圏内に居住歴を持つ死亡者57人の中皮腫死亡リスクを求めると、男性は観察死亡数30人に対し日本全国の中皮腫死亡率を基礎にした推定曝露集団の期待値は11.9人でSMR（standardized mortality

ratio：標準化死亡比)は2.5(1.8~3.6)、女性は27人に対して期待値は3.8人でSMRは7.2(4.9~10.4)と、男女ともに有意なリスク上昇を示した。さらに同心円状に地域を分割してSMRを求めた場合(Table 4)、半径300m以内では男性は15.5、女性は35.2と極めて高い値を示した。男性では半径900m、女性では半径1500mまで中皮腫死亡の有意なリスク上昇が認められた。

今回の著者らの調査対象者は、新聞報道を契機に関係者に問い合わせをしてきた人たちであることから、観察死亡数を少なく見積もっている可能性が高い。また、観察値から職業性曝露があった者は除いているが、SMRの期待値の算出に用いた全国の中皮腫死亡率には職業性曝露のある者が少なからず含まれている。これらの理由から、全体的にリスクの過小評価につながっている。とりわけ男性の場合、全国死亡には職業性曝露による中皮腫が相当程度含まれていることは容易に推測されるため、女性のSMRが近隣曝露のリスクをより正確に表現していると考ええる。

旧石綿セメント管製造工場の近隣に居住歴があり、かつ職業性曝露のない複数の者に胸膜プラークが発見されている報告や、クボタが公表している当時の石綿セメント管製造工程は、同工場から周辺環境中へ石綿が飛散していた可能性を示している。一方、尼崎市の調査では、同工場周辺でこれほど多量のクロシドライトを使用していた事業所は他には発見されていない。

IV. 結 論

以上、発生源からの影響距離が検討可能な疫学研究結果を紹介した。使用された石綿の種類、使用量、作業工程、立地条件などによって、影響が及ぶ範囲は当然異なる。ここで紹介した研究は、いずれも被害が大きいものであり、影響範囲の上限を示していると考えるのがよい

のかも知れない。総括的には曝露源から少なくとも2,000m前後の範囲まで、近隣曝露による中皮腫死亡の有意なリスクが生じ得ると判断できよう。

REFERENCES

1. Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P. Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province. *Br J Ind Med.* 1960;17:260-271.
2. Gardner MJ, Saracci R. Effects on health of non-occupational exposure to airborne mineral fibres. *IARC Sci Publ.* 1989;90:375-397.
3. Bourdès V, Boffetta P, Pisani P. Environmental exposure to asbestos and risk of pleural mesothelioma: review and meta-analysis. *Eur J Epidemiol.* 2000;16:411-417.
4. Kurumatani N, Kumagai S. Mapping the risk of mesothelioma due to neighborhood asbestos exposure. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008;178:624-629.
5. Newhouse ML, Thompson H. Mesothelioma of pleura and peritoneum following exposure to asbestos in the London area. *Br J Ind Med.* 1965;22:261-269.
6. Berry M. Mesothelioma incidence and community asbestos exposure. *Environ Res.* 1997;75:34-40.
7. Howel D, Arblaster L, Swinburne L, Schweiger M, Renvoize E, Hatton P. Routes of asbestos exposure and the development of mesothelioma in an English region. *Occup Environ Med.* 1997;54:403-409.
8. Rees D, Myers JE, Goodman K, Fourie E, Blignaut C, Chapman R, et al. Case-control study of mesothelioma in South Africa. *Am J Ind Med.* 1999;35:213-222.
9. Magnani C, Agudo A, González CA, Andron A, Calleja A, Chellini E, et al. Multicentric study on malignant pleural mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos. *Br J Cancer.* 2000;83:104-111.
10. Magnani C, Dalmaso P, Biggeri A, Ivaldi C, Mirabelli D, Terracini B. Increased risk of malignant mesothelioma of the pleura after residential or domestic exposure to asbestos: a case-control study in Casale Monferrato, Italy. *Environ Health Perspect.* 2001;109:915-919.