

大阪市における環境大気中繊維状粒子の定性分析に関する考察

古市裕子、榎元慶子

Qualitative Analysis of Fiber-shaped Particles in the Osaka City Atmosphere

Yuko FURUICHI and Keiko MASUMOTO

Abstract

The concentrations of airborne asbestos have been measured in Osaka city since 1989. The average annual asbestos concentration in the air decreased from 0.86 f/L in the fiscal year of 1989 to 0.066 f/L in the fiscal year of 2009. Because the Asbestos Monitoring Manual of the Ministry of the Environment was revised in 2010 (the 4.0th Edition), the measurements at this time were changed as total fiber concentrations in air and the average atmospheric concentration of Osaka city increased slightly to 0.16 f/L. We report the result of qualitative analyses using polarized light microscopy and scanning electron microscopy (SEM/EDX) for fibrous particles sampled in the fiscal year of 2010.

Key words: asbestos, environmental atmosphere, phase contrast microscope, polarized light microscope, scanning electron microscope

I 緒言

アスベスト(石綿)は天然に産する繊維状結晶の鉱物で、耐酸性、耐アルカリ性、耐熱性、絶縁性や機械的強度に優れており、古くから電気製品、自動車等の工業材料や、建物の屋根材や壁材等の建築材料として幅広く用いられてきた。しかし、アスベストの繊維状結晶の束は、容易に細長く(数 μm レベル)裂け、吸い込んで肺の中に入ると肺組織に刺さって、長い潜伏期間を経た後、肺がん、悪性中皮腫(悪性の腫瘍)などの疾病を引き起こすおそれがあると指摘された。そのため、日本国内では段階的にその使用が規制された[1]。しかし、アスベスト建材を使用した建物の劣化や不適切な解体・改修工事によって、環境大気中にアスベストが飛散する事例や苦情は全国各地で見られており、大気中アスベスト濃度をモニタリングすることは、市民健康を守る観点から、非常に重要である。

アスベストは天然鉱物であり、蛇紋岩系のクリソタイル(白石綿)と角閃石系のアモサイト(茶石綿)、クロシドライト(青石綿)、アクチノライト、アンソフィライト、トレモライトの6種から成る[2]。このうち、日本国内での使用

量が最も多いのはクリソタイルであり、約9割を占めていると言われている。

大阪市では平成元年度(1989年)から大気中アスベストモニタリングを環境庁(省)アスベストモニタリングマニュアルに基づいて、実施してきた。また、モニタリング調査開始以前からも、空气中アスベストに関する研究報告を行ってきた[3-5]。

環境庁(省)は平成5年(1993年)、平成19年(2007年)に順次マニュアルを改訂しており、平成22年(2010年)にアスベストモニタリングマニュアル第4.0版[6]が直近で改訂されている。特に、第4.0版の改訂では、これまでの位相差顕微鏡及び生物顕微鏡を用いた、アスベスト繊維数濃度(クリソタイル)を求める方法ではなく、位相差顕微鏡で観察される「長さ $5\mu\text{m}$ 以上、幅 $3\mu\text{m}$ 未満で、かつ長さとの比(アスペクト比)が3:1以上の繊維状物質」を総繊維数濃度として、計数することになった点が大きく異なる。マニュアルの改訂にともなって、計数対象となる粒子が増加するため、過去のアスベスト濃度データと経年比較をする際に、モニタリング結果が一時的に濃度上昇したかにみえる可能性がある。大阪市におけるアスベスト環境モニタリング調査において、平成22年

度から、総繊維数濃度で測定したところ、平成21年度のアスベスト濃度0.066本/Lから平成22年度は0.16本/Lに増加した[7]。そこで、平成22年度の濃度増加がマニュアルの改訂によるものか、アスベスト濃度の増加によるものなのかを検証するため、定性分析を試みた。

なお、アスベストモニタリングマニュアル第4.0版では、総繊維数濃度が1本/Lを超過したものについては、電子顕微鏡法により、アスベストを同定することになっている。電子顕微鏡法では、より高い倍率で分析できる反面、1視野面積が位相差顕微鏡法よりも小さくなるため、視野数をより多く観察する必要がある。

本報では大阪市アスベストモニタリングの経年変化についての考察を行った。また、平成22年度モニタリングで観察された繊維状粒子について、偏光顕微鏡法および走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型X線解析装置(SEM/EDX)法で定性分析を行った結果について報告する。偏光顕微鏡法については、アスベストモニタリングマニュアル第4.0版では、解体現場における測定法の参考資料で紹介されているが、一般環境大気での報告例は少ない。

II 方法

1) 大阪市アスベストモニタリング

(1) 調査地点及び調査時期

調査地点は以下の通りである。サンプリングは本市環境局(現在)の計画に基づいて実施され、その後、環境科学研究所に搬入されたものを分析した。

平成元年度から平成9年度夏まで①扇町中学校(北区)(平成7年度から天満中学校)②平尾小学校(大正区)③淀中学校(西淀川区)④大宮中学校(旭区)⑤摂陽中学校(平野区)の5地点で、夏季・冬季に実施した。ただし、平成元年度の夏季のみ③は③'淀川区役所(淀川区)でサンプリングした。平成9年度冬からは天満中学校の閉校に伴い、⑥勝山中学校(生野区)に変更して、平成15年度まで市内5地点で実施した(図1-1)。

平成17年度調査では、①旧済美小学校(北区)②此花区役所(此花区)③堀江小学校(西区)④難波中学校(浪速区)⑤淀川区役所(淀川区)⑥聖賢小学校(城東区)⑦茨田北小学校(鶴見区)⑧清江小学校(住之江区)⑨南港中央公園(住之江区)⑩摂陽中学校⑪今宮中学校(西成区)の11地点で夏季のみ実施した(図1-2)。

平成18年度以降は、①平尾小学校②淀中学校③勝山中学校④大宮中学校⑤摂陽中学校、以上5地点を継続観測地点として毎年、実施している。また、⑥都島区役所(都島区)⑦福島区役所(福島区)⑧中央区役所(中央区)⑨港区役所(港区)⑩天王寺区保健福祉センター(分館)(天王寺区)⑪東淀川区役所(東淀川区)⑫東成区役所(東成区)⑬阿倍野区役所(阿倍野



図1-1 測定地点(平成元年度～平成15年度)
ただし、平成元年度夏季のみ③'(淀川区役所)
平成9年度夏季まで①から⑤の5地点
平成9年度冬季から平成15年度まで②～⑥の5地点

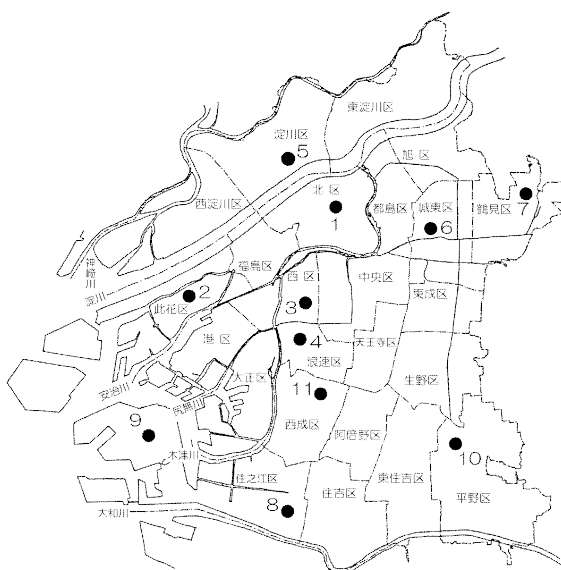


図1-2 測定地点(平成17年度)

区)⑭住吉区役所(住吉区)⑮東住吉区役所(東住吉区)の10地点と ⑯旧済美小学校(平成21年度は菅北小学校(北区))⑰此花区役所 ⑱淀川区役所⑲聖賢小学校⑳清江小学校㉑今宮中学校㉒堀江小学校(平成21年度は九条南小学校(西区))㉓茨田北小学校㉔難波中学校㉕南港中央公園の10地点について隔年に入れ替え、継続監視地点に加えて、計15地点で夏季のみ実施している(図1-3)。



図1-3 測定地点(平成18年度～平成22年度)

○①～⑤は継続観測地点で毎年実施

●⑥～⑮、⑯～⑳はそれぞれ10地点を隔年で入替

(2) 分析方法

アスベストモニタリングマニュアルに準拠して行った。細かな改訂はあるものの、調査方法は以下のとおりである。

直径47mm、孔径0.8 μ mのニトロセルローズ製メンブレンフィルタで空気を10L/分で4時間吸引し、2400Lの空気中の粒子を捕集した。フィルタの一部をカットしてスライドガラスに載せ、アセトン蒸気を噴霧して透明化処理を行い、トリアセチンを滴下し、カバーガラスを載せて位相差顕微鏡法用標本を作製した。

この標本を位相差顕微鏡で観察し、計数した繊維数から生物顕微鏡に切り替えて計数した繊維数の差をアスベスト濃度とした。平成19年度までは顕微鏡視野の全体を50視野について計数していたが、モニタリングマニュアルが第3版に改訂されたことを受け、平成20年度からはアイピースグレイティクルの直径300 μ mの大円内を100視野計数している。平成22年度はマニュアルが第4.0版に改訂されたため、位相差顕微鏡で計数した繊維数のみから、総繊維数濃度を算出した。

2) 環境大気中繊維状粒子の定性分析

(1) 偏光顕微鏡法[8,9]

偏光顕微鏡法での観察は位相差顕微鏡法で作製した標本をそのまま用いた。位相差顕微鏡で計数した繊維状粒子を偏光顕微鏡で探し出し、直交ニコル(ポラライザとアナライザを光路に入れた状態)でステージを360度回転させて、対角位・消光位を確認した。

次に、鋭敏色検板(レタデーション530nmの石膏薄片)を差し入れ、同じくステージを360度回転させなが

ら、伸張性の正負を確認した。

(2) 走査型電子顕微鏡法(SEM/EDX)法

モニタリング試料のメンブレンフィルタの残りを10mm角に切り取り、水溶性のカーボンペーストで試料台に接着した。乾燥後、表面にプラチナ蒸着を施し、標本とした。

SEM分析は、加速電圧20kV、倍率1000～3500倍で繊維状粒子の形状を観察することにより行った。位相差顕微鏡法の計数対象である、繊維状粒子(長さ5 μ m以上、幅3 μ m未満で、かつ長さとの比(アスペクト比)が3:1以上の繊維状物質)について、倍率を10000～50000倍まで上げ、EDXスペクトルを得た。

III 結果

1) 大阪市アスベストモニタリング

平成元年度から平成22年度までの幾何平均値を表1に示す。また、経年変化を大阪府、京都市、東京都と比較したグラフを図2に示す[6, 10-12]。

大阪市では、調査を開始した平成元年度は全測定地点の幾何平均濃度が0.86本/Lであったが、その後、徐々に平均濃度は減少し、平成21年度には0.066本/Lとなった。この年の調査は環境省モニタリングマニュアル第3版に基づき実施しており、検出下限濃度が0.057本/Lであったことから、ほぼ検出下限レベルであったといえる。

表1 大阪市内アスベスト幾何平均濃度(本/L)
ただし、平成22年度は総繊維数濃度(本/L)

調査年度	測定地点数	幾何平均濃度
平成元年	5	0.86
〃 2年	5	0.73
〃 3年	5	0.77
〃 4年	5	0.67
〃 5年	5	0.73
〃 6年	5	0.54
〃 7年	5	0.45
〃 8年	5	0.43
〃 9年	5	0.46
〃 10年	5	0.51
〃 11年	5	0.46
〃 12年	5	0.45
〃 13年	5	0.45
〃 14年	5	0.42
〃 15年	5	0.37
〃 16年	-	-
〃 17年	11	0.39
〃 18年	15	0.27
〃 19年	15	0.22
〃 20年	15	0.099
〃 21年	15	0.066
〃 22年	15	0.16

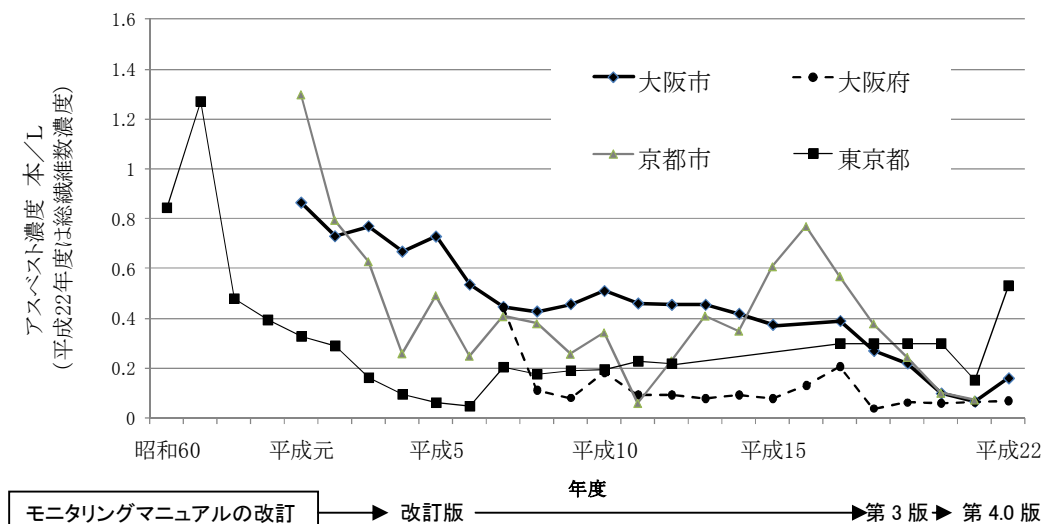


図2 大気環境中アスベスト濃度の経年変化 [6,10-12]

平成22年度にはマニュアルの改訂により、総繊維数濃度で測定結果を求めたところ、0.16本/Lとなった。

また、他都市と経年変化を比較すると、大阪市は京都市とほぼ同じ濃度レベルで推移していた。他都市は年度によって平均濃度の変動がみられたが、大阪市では比較の変動は小さく変化していた。

2) 環境大気中繊維状粒子の定性分析

次に、平成22年度モニタリング調査で総繊維数濃度が0.5本/L以上だった試料で観察された、繊維状粒子について、偏光顕微鏡とSEM/EDXによる定性分析を行った。

位相差顕微鏡で観察すると、クリスタルはしなやかな繊維の形状をしており、その他の角閃石系アスベスト類については針状の繊維である。一般にクリスタルよりも角閃石系のアスベストの方が人に対する健康リスクが高いといわれており、特に注意が必要である。

そのため、今回の定性分析では針状繊維に注目して行った。

(1) 偏光顕微鏡法

偏光顕微鏡法ではまず、直交ニコルでの観察を行った。直交ニコルではポーライザーとアナライザーが直交して挿入されているため、顕微鏡を覗くと背景は真っ暗に見える。繊維状粒子をステージ上で360度回転させて、「明→暗」を4回繰り返したとき、この粒子は光学的異方体であることがわかる。すなわち、異方体の光学軸がポーライザーの振動方向と一致した時、または直交した時に、「暗」となりこれを消光位という。一方、消光位から45度の位置で最も明るくなる位置「明」があり、これを対角位という。アスベストは6種とも光学異方体であり、直消光もしくは直消光に近い場合、消光位は

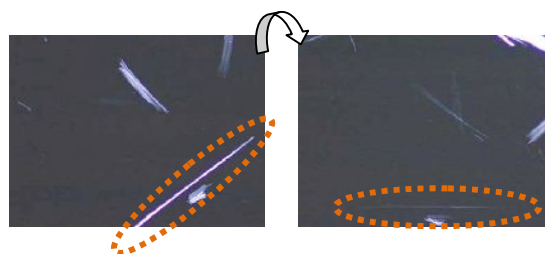


図3 アンソフィライトの直交ニコル観察

左:対角位、右:消光位 破線円内に繊維が見える
同じ繊維についてステージを45度回転させている

垂直位又は水平位になる。図3に参考例として、アンソフィライトの対角位と消光位の様子を示す。

繊維が斜めに位置しているときは、明るく白色に光って見えるが、同じ繊維を水平の位置にステージを45度回転させると、繊維は見えなくなる。(カメラが自動的に光量を調整するため、やや光って見えるが、肉眼ではほとんど見えない)

一方、ロックウールなどの非結晶質な物質の場合、光学的に等方的であるため、ポーライザーを通過した入射光はそのままアナライザーへと向かい、繊維状粒子は暗いままに見える。

図4にモニタリング調査で観察された繊維状粒子を、直交ニコルで観察した時の例を示す。左が位相差顕微鏡で観察された繊維状粒子、右が同じ粒子を偏光顕微鏡で観察した時の写真である。丸で囲んだ位置に、繊維状粒子がある。モニタリング測定結果を求める際は、左の位相差顕微鏡像を観察・計数している。針状に見えたその他の繊維についても同様の確認を行ったが、いずれの繊維状粒子とも対角位は観察されず、光学的に等方体であることが確認できた。

次に、鋭敏色検板(R=530nm)を差し入れ、レターデーション(光路差)が生じるか確認した。すなわち、n_{||}

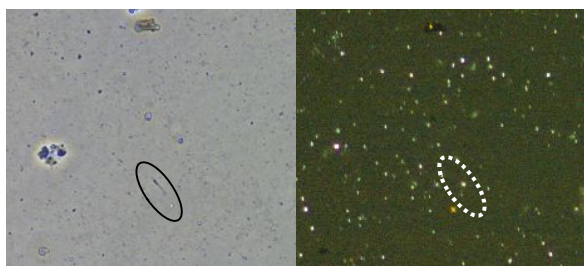


図4 モニタリング試料

左:位相差顕微鏡像、黒円内に繊維が見える
右:偏光顕微鏡像、白点線内に繊維が見えない

(粒子長辺に平行に振動する光の屈折率)と n_{\perp} (粒子長辺に垂直に振動する光の屈折率)に差があるかを確認した。アスベストは複屈折であるため、鋭敏色検板と繊維のX'とZ'の位置関係によって、相加するよう位置すれば、青紫～青色に見え、相減するよう位置すれば、橙～淡黄色に見える。 $n_{\parallel} > n_{\perp}$ の時、その繊維は「伸長性が正である」と言い、 $n_{\parallel} < n_{\perp}$ の時、その繊維は「伸長性が負である」と言う。アスベスト6種のうちクロシドライトのみ、伸長性が負であり、その他の5種は伸長性が正であることが知られている[13]。ただし、クロシドライトについては加熱履歴や、フィルター上では伸長性が正で観察される場合もあるようである。図5に参考例としてクリソタイルの検板を差し入れたときの写真を示す。写真中央部にある青色または黄色の繊維がクリソタイルである。左が繊維を検板に対して屈折率が相加するよう配置した場合であり、右がステージを90度回転させて相減するよう配置した場合である。

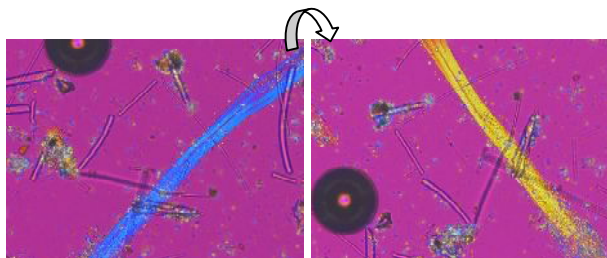


図5 クリソタイルの偏光顕微鏡像(検板挿入)

左 クリソタイルが青色で観察される
右 左の視野のまま、90度回転させたもので、繊維の色は黄色に見える

一方、ロックウールのように、複屈折でない繊維は n_{\parallel} と n_{\perp} に差がないため、ステージを回転しても色の変化はない。モニタリング調査で捕集された繊維状粒子についての写真を図6に示す。左は位相差顕微鏡法のと看と同じ位置で撮影したもの、右はステージを90度回転させて撮影したものである。レターデーションを示さなかったことから、環境中で捕集された繊維状粒子は複屈折ではなく、非アスベストであると判断した。モニタリングで0.5本/L以上の試料について、13粒子を偏光顕微鏡で確認したが、いずれも同様の結果であった。

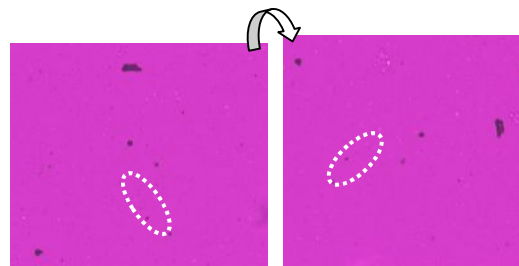


図6 モニタリング試料の偏光顕微鏡像

左 図4と同じ視野で、検板挿入
右 ステージを90度回転させたもの
白点線内に繊維はみえない

(2) SEM/EDX 法

次にSEM/EDXによる定性分析を行った。前処理の都合上、位相差顕微鏡法の標本をそのまま試料として供することはできないため、位相差顕微鏡で観察した同じ繊維状粒子をSEM/EDXで観察することはできない。そのため、サンプリング試料フィルタは位相差顕微鏡で用いたものの残りでSEM用の標本を作製した。モニタリングで捕集された繊維状粒子のSEM画像を図7に示す。背景に見えるのが、試料採取に用いたメンブランフィルタの空孔のある表面であり、その上に針状粒子が観察された。

続いて、この繊維についてEDX分析を行った結果を図8に示す。その結果、カルシウム、ナトリウム、マグネシウム等が含まれていたことが分かった。

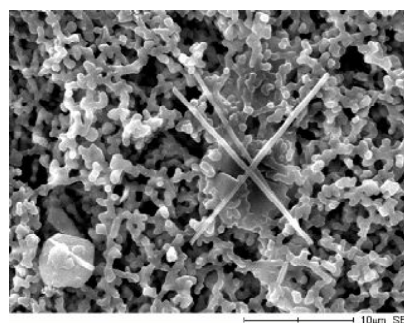


図7 モニタリング試料フィルタ上の針状繊維 (SEM 像)

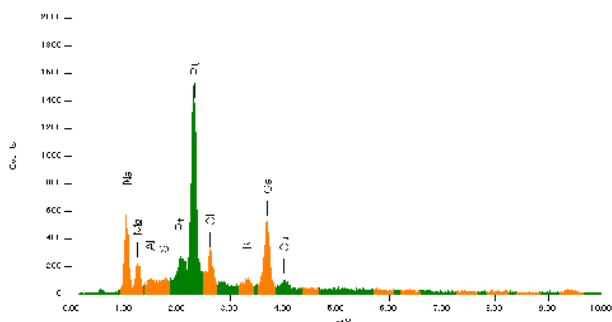


図8 図7で観察した繊維状粒子のEDXスペクトル

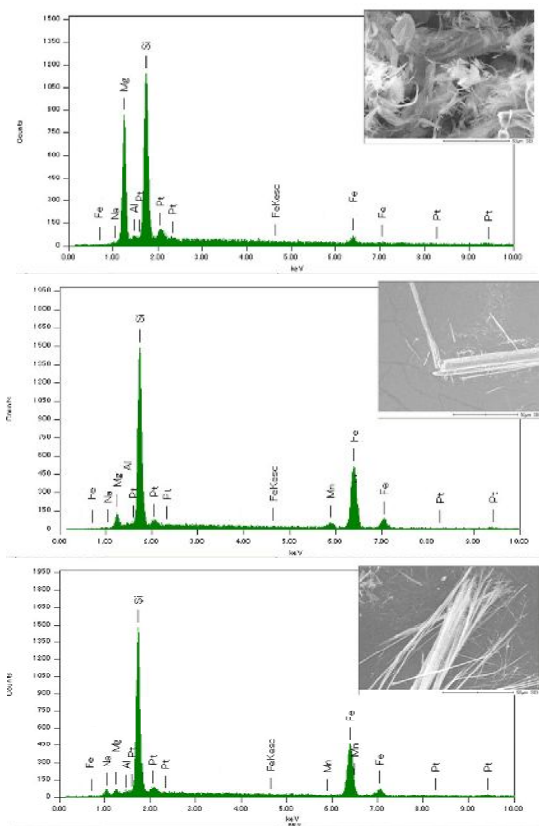


図9 アスベスト3種のEDXスペクトル
(上からクリソタイル、アモサイト、クロシドライト)

参考に、図9に主要なアスベストである、クリソタイル、アモサイト、クロシドライトの標準物質のSEM画像とそれぞれのEDXスペクトルを示す。

蛇紋岩系アスベストであるクリソタイルは、ケイ素とマグネシウムを卓越して含んでいるのが特徴であり、角閃石系のアスベストのアモサイト、はケイ素、鉄、マグネシウムを含んでいる。同じく角閃石系アスベストであるクロシドライトは、ケイ素、鉄、マグネシウムに加えてナトリウムを含むのが特徴である。

これらのEDXスペクトルと図8で示したEDXスペクトルを比較した結果、図7で観察された繊維はアスベストではないことが分かった。なお、その他のアスベストである、トレモライト、アクチノライト、アンソフィライトのEDXスペクトルとも比較したが、全く一致しなかった。

この他、同じフィルタ上で検出された繊維には、硫黄とカルシウムを含んだもの(図10)、塩素とナトリウムを含んだもの(図11)、ケイ素・アルミニウム・鉄・カリウムを含んだもの(図12)が検出された。

これらの繊維はそれぞれ、ジブサム(石膏)、海塩粒子由来物質、造岩鉱物の成分であるケイ酸塩鉱物の一種であると推測された。また、いずれの元素のスペクトルも明瞭でない、有機繊維と思われるものもあった。

これらの繊維状粒子は、位相差顕微鏡法では総繊維数として計数される可能性があるが、アスベスト繊維

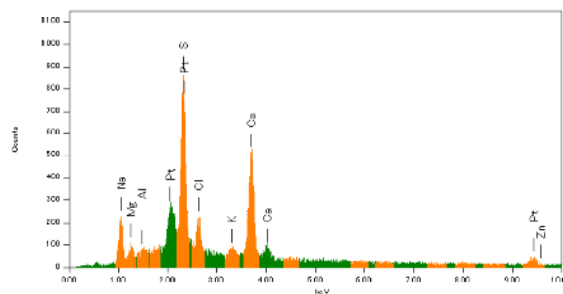


図10 環境試料中繊維状粒子のEDXスペクトル例1
(硫黄、カルシウム、ナトリウムなどを含んでいる)

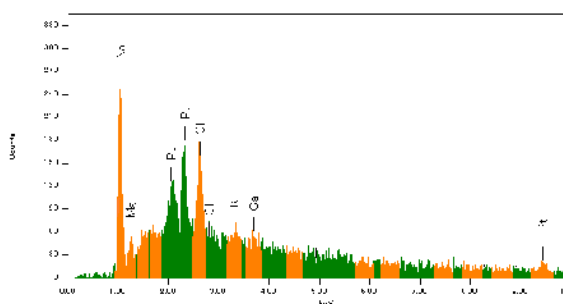


図11 環境試料中繊維状粒子のEDXスペクトル例2
(ナトリウム、塩素を含んでいる)

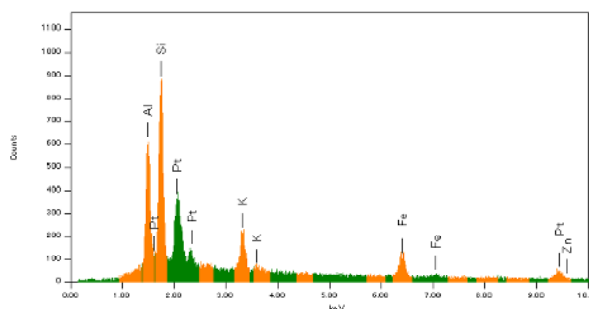


図12 環境試料中繊維状粒子のEDXスペクトル例3
(ケイ素、アルミニウム、鉄、カリウムを含んでいる)

ではなかったことが確認できた。

IV 考察

大阪市では、市内環境大気中のアスベスト濃度のモニタリング調査を平成元年から実施している。

この間、平成5年、19年、22年に計3回環境省(庁)の分析法マニュアルの改訂があった。平成5年の改訂で、アセトン/トリアセチンによる前処理が採用され、平成19年の3版の改訂では、従来のアスベスト濃度に並行して、総繊維数濃度も求めることが追記された。そして、平成22年の4.0版では総繊維数濃度のみ求めることになった。

III1)のとおり、大阪市内平均のアスベスト濃度は穏やかに減少傾向を示している。その詳細を考察するため、平成元年、5年、10年、15年、20年の全地点による

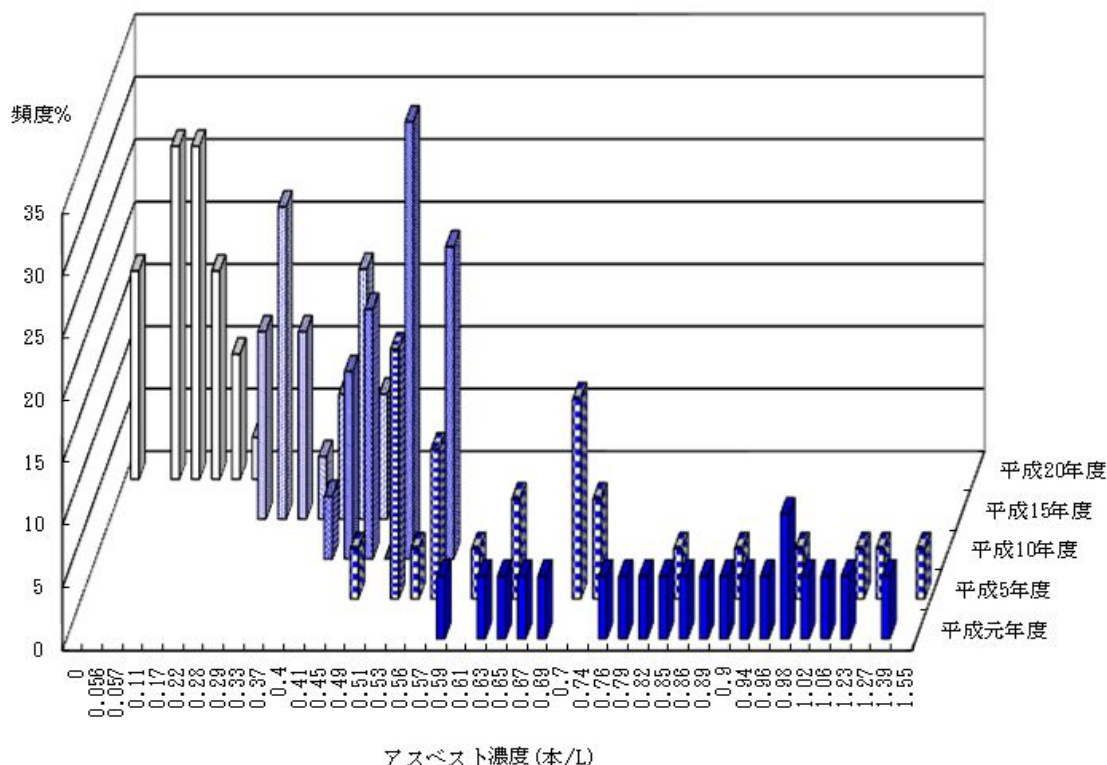


図13 各年度におけるアスベスト濃度出現頻度
(アスベスト濃度 0本/Lは検出下限値(0.057本/L)未満を表す)

アスベスト濃度別出現頻度を、図13に示した。平成元年度調査では0.59～1.39本/Lの範囲で広く分布しているのに対し、平成5年、10年では、0.4～0.6本/Lに最頻出ピークのある分布になり、平成15年度では、頻度のピークが0.3～0.5本/L、さらに平成20年度では、0.057～0.11本/Lの検出下限値近くで最頻出となっている。このことから、最近の空气中アスベスト濃度は、検出下限値レベルに値が集中している傾向がわかる。また、地点間やサンプリング日間での傾向は特に見られず、風向・風速についても、特に相関は見られなかった。

図14に、平成22年度から報告することになった総繊維数濃度(図中△)と、従前のアスベスト濃度(図中●)について、最近3年間の値を比較した。平成22年度は、総繊維数濃度が上昇したものの、アスベスト濃度は低く、安定した減少傾向を示している。すなわち、平成22年度の報告値として「濃度」が増加したように見えるのは、モニタリングマニュアルの改訂に伴って、報告値を総繊維数濃度に変更したことによると考えられる。

平成22年度の総繊維数濃度の増加は、前述のアスベストでない、針状繊維濃度の影響が大きかった。なお、針状繊維数濃度については、地点間やサンプリング日間での傾向は、特に見られなかった。

酒井らが報告しているように[14]、都市大気中には非アスベスト繊維が多数、存在しており、これらの繊維状

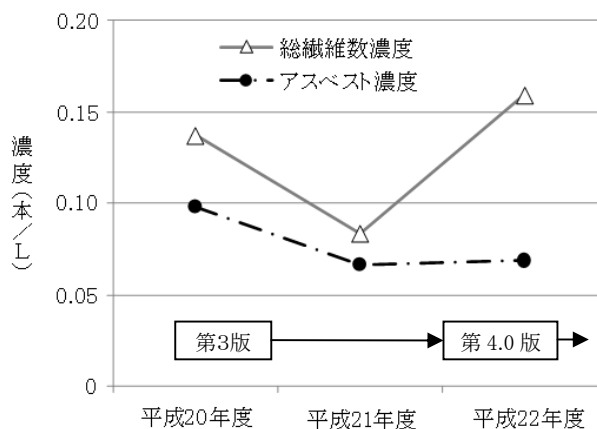


図14 総繊維数濃度とアスベスト数濃度経年変化

粒子とアスベスト繊維を位相差顕微鏡法で見分けることは、原理的に限界がある。今回の調査では、検出された針状繊維にアスベストは確認されなかったが、アスベストでない鉱物繊維の中には、ウィンチャイト、リヒテライト、エリオナイトなど、がんを引き起こすことが知られているものもあり、アスベストと同様の注意が必要である。なお、これらの物質についても、偏光顕微鏡法、SEM/EDX法でロックウールやジプサムなどと区別することができる。

今後も、総繊維数濃度だけでなく、そこに含まれる繊維状粒子の挙動について着目して調査していくことは、

市民の健康影響未然防止の観点から、重要であり、その際、必要に応じて、電子顕微鏡法や偏光顕微鏡法など他の分析法を組み合わせることは有効である。

V まとめ

平成元年から実施してきた、大阪市アスベストモニタリング調査の結果をまとめた。市内幾何平均濃度は平成元年に0.86本/Lであったが、平成21年度には0.066本/Lまで減少した。平成22年6月に環境省マニュアルが改訂されたことを受け、平成22年度の測定結果は総繊維数濃度に変更になり、平均濃度は0.16本/Lとなった。なお、測定地点、測定日、風向、風速などとアスベスト濃度には相関は見られなかった。

平成22年度モニタリング試料を用いて、偏光顕微鏡法および走査型電子顕微鏡法(SEM/EDX)法を行った結果、総繊維数として計数されたものの中に、ジプサム(石膏)など、複屈折性でない、非アスベスト繊維が確認された。

謝辞 アスベスト分析について終始ご指導いただき、環境科学研究所で長年アスベスト研究に携わってこられた、森義明 元企画調整課長に深謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生労働省,アスベスト(石綿情報)これまでの主要政省令改正(労働安全衛生法関係), <http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/seirei/index.html>, (2011/6/30).
- 2) 厚生労働省労働基準局通達(平成17年3月18日付基発第0318003号)。「石綿障害予防規則の施行について」
- 3) 森義明, 藁科宗博, 加藤敬香, 岡三知夫, 神浦俊一, 田中正宣. 環境に関わるアスベスト粒子の分析について(Ⅰ)電子顕微鏡と電子線回折併用による大気中アスベストの濃度表現. 阪市環科研報(昭和55年度) 1981; 43: 104-112.
- 4) 森義明, 神浦俊一, 寺南芳一, 田中正宣. 立地特性別アスベスト環境濃度調査. 阪市環科研報(昭和56年度) 1982; 44: 24-28.
- 5) 森義明, 寺南芳一, 岡本章良, 神浦俊一, 田中正宣. 立地特性別アスベスト環境濃度調査(Ⅱ). 阪市環科研報(昭和57年度) 1983; 45: 40-44.
- 6) アスベストモニタリングマニュアル. 第4.0版: 環境省水・大気環境局 大気環境課; 2010.
- 7) 大阪市環境白書 平成22年版; 2010: 35頁.
- 8) 黒田吉益, 諏訪兼位. 偏光顕微鏡と岩石鉱物. 第2版. 共立出版株式会社; 1983.
- 9) 都城秋穂, 久城育夫. 岩石学Ⅰ: 偏光顕微鏡と造岩鉱物: 共立出版株式会社; 1972.
- 10) 大阪府環境農林水産総合研究所, アスベスト大気濃度調査結果, http://www.epcc.pref.osaka.jp/center_etc/asbestos/index.html, (2011/6/30).
- 11) 京都市衛生公害研究所年報 2010; 76: 47.
- 12) 東京都環境局, アスベストQ&A 基本的知識, <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/faq/asbestos/index.html>, (2011/6/30).
- 13) 小坂浩, 宇野泰明. アスベスト及び代替繊維の偏光顕微鏡による分析・測定法について. 空気清浄 2009; 46(6): 22-26.
- 14) 酒井潔, 久永直見. 名古屋市の1地点における大気中石綿および非石綿繊維濃度の5年間の変動. 大気環境学会誌 1999; 34: 386-397.