

札幌市における大気環境中のアスベスト 濃度について (第1報) —地域別特性—

Environmental Airborne Asbestos Fibers Concentrations in Sapporo

塩田 恒雄 横田 秀幸 鈴木 寿一 伊藤 正範
前田 博之 清水 良夫 富所 謙吉 高杉 信男

Tuneo Shioda, Hideyuki Yokota, Toshikazu Suzuki
Masanori Ito, Hiroyuki Maeda, Yoshio Shimizu,
Kenkichi Tomidokoro and Nobuo Takasugi

大気環境中のアスベスト濃度の地域別特性を把握するため、昭和62年11月18日と20日の2日間、市内8ヶ所(幹線道路沿線1ヶ所、商業地域1ヶ所、住宅地域4ヶ所、郊外2ヶ所)で同時測定を行ない、光学顕微鏡法及び電子顕微鏡法により分析を実施した結果、光学顕微鏡法で、アスベスト濃度が高かったのは、幹線道路沿線(最低0~最高0.79 f/ℓ)幾何平均値0.30 f/ℓであり、次いで商業地域(0.16 ~ 0.24 f/ℓ)0.20 f/ℓ、住宅地域(0.08 ~ 0.31 f/ℓ)0.13 f/ℓ、郊外(0 ~ 0.23 f/ℓ)0.06 f/ℓの順であり、特に、幹線道路沿線は、郊外のバックグラウンド地域の5倍高かった。

環境庁が公表した国内のアスベスト濃度と比較しても、幹線道路沿線1/3、商業地域1/6、住宅地域1/9、郊外1/9といづれの地域も、全国平均値(幾何平均)を下廻った。

アスベスト濃度と粉じん量、及び気象条件の風速に1部(11月20日)相関が認められた。

また、同一試料を用いて、電子顕微鏡法によるアスベスト濃度の測定をしその結果を比較検討した。

1 緒 言

アスベストは建築材料、自動車のブレーキ部品等に用いられ、安価なうえに物性的にきわめてすぐれた特性から各方面に利用され、その種類も数千以上に及ぶといわれている。

一方、近年、このアスベストが肺がんや悪性中皮質腫などの発症と強い関連をもつ発がん性物質であることが明らかにされたことから、大気環境中にもアスベスト繊維が検出され、その広汎な使用に伴う環境汚染の問題についても、国際的な関心が寄せられてきている。

また、未規制物質であるアスベストの特性として、いったん、大気環境中に放出されると分解、変質をすることなく、環境蓄積性が懸念されること、高濃度ばく露を受けた労働者に発がん率が有意に高いこと及び環境濃度も系統的に明らかにされていない等のことから、環境濃度をはじめとする実態把握に努め、環境中への排出を低減するための技術的検討を行う必要性が高いと云われている。¹⁾

今回、大気環境中におけるアスベスト濃度の地域別特性の実態把握を行うため、市内の幹線道路

沿線、商業地域、住宅地域及び郊外の各地域の中から、8測定地点の調査を実施し、総粉じん量、気象要因、及び電子顕微鏡法との関連について、検討を加えたので報告する。

2 調査方法

2-1 調査期間

昭和62年11月18日と11月20日

2-2 測定器具

- (1) オープンフェイス型サンプラー：柴田化学
機器工業 Ⅴ As-2 型
- (2) 吸引ポンプ：NRK 製ローポリウムエアサ
ンプラー UP-50
- (3) メンブランフィルター：Mi llipore AA
(孔径 $0.8\mu m$ 、 $\phi 47mm$)
- (4) 光学顕微鏡：干渉位相差顕微鏡(オリンパ
スBH-2)
- (5) 電子顕微鏡：透過電子顕微鏡(日立800 型、
トップエントリー方式)

2-3 試料採取方法

オープンフェイス型のフィルターホルダーに、メンブランフィルターを取付け、採じん面が地上に対して垂直になるよう保持し、ホルダーの高さを地上約1.5mとし、10ℓ/分で2～4時間、空気を吸引した。

2-4 気象概況及び気象条件

札幌管区气象台観測課及び公害部の大気汚染観測局の日原簿等を資料とした。

2-5 分析方法

採取した試料を当所で開発した戸紙カッター器で2等分し、一方を光学顕微鏡による計数用、他の一方を電子顕微鏡による計数用に使用した。

分析は、アスベストモニタリングマニュアル²⁾(以下「マニュアル」という。環境庁大気保全局)により実施した。

(1) 光学顕微鏡法

① 標本の作製

採取試料(フィルター)

清浄にしたスライドガラスの中央にフィルターを透明にする液(フタル酸ジメチル1:ジュウ酸ジェチル1:メンブランフィルター0.05g/ml)を1滴、滴下する

フィルターの採じん面を上にして、滴下した溶液の上に乗せる

フィルターがやや透明になってから、よく洗浄したカバーガラスを上に乗せて気泡が入らないよう軽く押す

フィルターが透明になってから計測

② 計数法

①で作製した試料を、干渉位相差顕微鏡を用いて、倍率400倍(対物×40、接眼×10)で計測した。

繊維の計数は、 $5\mu m$ 以上の長さで、長さとの比が3:1以上のものについて行ない、繊維が観察された場合、生物顕微鏡に切り替え、その際、見えなくなるか、又は非常に見えにくくなった繊維をアスベストとして計数し、50視野について行った。

アスベスト繊維数濃度は次式から求めた。

$$F = \frac{N \cdot A}{a \cdot v \cdot n}$$

F: 繊維数濃度(繊維数 f / ℓ)

N: 計数繊維総数(繊維数 f)

A: 採じんした面積(cm^2)

V: 採気量(ℓ)

n: 計数した視野の数

なお、干渉位相差微鏡の視野面積は、 $0.102mm^2$

であり、採じん面積は 962.11 mm^2 であった。

(2) 総粉じん量

粉じんを捕集したフィルターを、温度 20°C 、湿度 55% の室内で 24 時間放置後、 $10 \mu\text{g}$ 電子天秤で秤量し、捕集前後の重量差により濃度を算出した。

(3) 電子顕微鏡法 (ニュークリポアフィルター法)

使用器具および試薬、試料の処理方法については、マニュアルによって行った。

低温灰化装置はヤマト LTA-154 型を使用し、その灰化条件は供給酸素量、 100 ml/min (1 kg 圧) 灰化温度 200°C 以下 100 W 灰化時間、 1 時間である。真空蒸着装置は日立 HUS-5GB 型で、カーボン蒸着条件は高さ 85 mm 、真空度 $0.5 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ 以下である。

TEM 観察用試料メッシュは Cu 製の英国製 (MAXTA - FORM) H1 型 200 メッシュを用い、クロロフォルムのもとで蒸着フィルター片をその上に置き、フィルター部分を溶解除去して 1 試料につき 2 枚作成した。

大気中のアスベストの定量はマニュアルに従って行った。TEM 観察用試料メッシュを透過電子顕微鏡で繊維の形態を観察し、さらに電子線回析法により、アスベスト繊維 (主としてクリソタイル系) の確認を行い、それを計数してアスベスト繊維数濃度を定量した。

アスベスト繊維数濃度 F は次式から求められる。ここで、ニュークリポアフィルターの有効透過面積は $2.2 \times 10^8 \mu\text{m}^2$ 、観察網目の面積は $100 \times 100 (\mu\text{m})$ 正方角としている。吸引空気量 (ℓ) は試料の集じん濾紙面積の $1/2$ を測定に用いたので、 2 倍とする。

$$F(f/\ell) = \frac{\text{フィルターの有効透過面積}}{\text{網目の面積}} \cdot$$

$$\frac{\text{計数繊維数}(f)}{\text{観察網目数}(n)} \cdot \frac{2}{\text{吸引空気量}(\ell)}$$

$$= \frac{1}{n} \times 2.2 \times 10^4 \times \frac{2}{\ell}$$

この調査で観察に使用した試料メッシュは各検体平均 1 メッシュで、その観察網目数は 5 個とした。

網目の観察はその全視野を加速電圧 150 kv (スポットサイズ $3 \mu\text{m}$)、倍率 $15\text{K} \times$ で走査し、必要に応じ、すえ付けの実体双眼拡大鏡 (約 7 倍) で繊維の形態を観察した。次に制限視野電子線回析装置 (SA-DIFF, 制限視野可動絞 $30 \mu\text{m}$ 、カメラ長 0.6 m) に切りかえ、その回析パターン像がアスベスト (クリソタイル系) かどうかを確かめ、回析パターン像と繊維の形態像を撮影し、再度繊維の確認と長さとの計測を行った。なお、撮影の条件は形態像はオートで 2 秒間 (露光量 $3 \times 10^{-11} \text{ クーロン/cm}^2$)、回析像はマニュアルで 16 秒間 (又は 30 秒間)、フジ F G フィルムを使用した。

3 調査地域及び測定地点

測定地点は、図 1 に示すとおりである。調査地域別の測定地点名及び概要は、表 1 に示した。



图1 测定地点

表1 調査地域別測定地点及び概要

| 調査地域 | 測定地点 | | | 概 要 |
|-------------|------|-------------------|------------|--|
| | No. | 場 所 | 所 在 地 | |
| 幹線道路 沿 線 | 1 | 時計台南側 (国道12号線) | 中央区北1西2 | 市中心部に位置し、東西を貫通する国道12号線沿で、交通量も市内の主要幹線の中でも比較的多く、周囲はビル街が隣接している。 |
| 商業地域 | 2 | 白石連絡所横 | 白石区本通り南 | 市中心部より、南西部約4.5 kmに位置し、国道12号線より西側約30mの地点で商店が多い。なお、地点より南側約30m附近に昭和37年頃建設のKデパート(鉄筋コンクリート造)の解体工事が行われていた。(地下室の天井を中心に、スレート及び断熱材等のアスベスト製品等が一部使用されていた) |
| 住宅地域 | 3 | 西観測局横 | 西区24軒2-3 | 市中心部より、北西部約3.5 kmに位置し、大気汚染一般環境局の地点で、周囲は住宅等が多い。北西部約1.3 km附近に、スレート工場がある。 |
| | 4 | 南保健所裏 | 南区真駒内幸町1 | 中心部より、南部約8 kmに位置し、冬季オリンピックの際の選手村跡地として利用され住宅団地マンションが密集している。 |
| | 5 | 篠路観測局前 | 北区篠路4-9 | 中心部より北部約10 kmに位置し、大気汚染一般環境局を地点とした。周囲は、市街化区域の郊外であり、住宅団地及び畑作農家が点在しており、北部2 kmに石狩湾がある。 |
| | 8 | 手稲観測局横 | 西区前田2-12 | 中心部より北西部約12 kmに位置し、大気汚染一般環境局を地点とした。周囲は郊外の市街化区域であり、住宅団地が密集している。JR手稲駅が近い。 |
| 郊 外 | 6 | 野幌森林公園内 | 白石区小野幌53-2 | 中心部より南西部約12 kmに位置し、市街化調整区域であり、北海道開拓記念館等の観光施設があり、約2,000 haの森林に囲まれた公園内を地点とした。 |
| | 7 | 芸術の森内 | 南区常盤 | 中心部より南部約14 kmに位置し、将来芸術大学等の構想がある森林約25 haを有する芸術の森公園内を地点とし、バックグラウンドを予想した。 |

4 調査結果と考察

調査結果は、表2に示すとおりである。

表2 アスベスト濃度測定結果

| 調査地域 | 所在地 | 測定地点 | | 測定年・月・日 | 測定時間 | 光学顕微鏡法 | | 地域別平均(f/l) (幾何平均) | 総粉じん量(mg/l) | 車両台数 (台数/10分) | 気象状況 | | | | 特記事項 | | | |
|--------|----------|------------|-------------------|----------|---------|-------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|---------|-----------------------|-----------|------|------|-----------------|-------|-------|
| | | No. | 位置 | | | 濃度(f/l) | 地点別平均 (幾何平均) (f/l) | | | | 天候 | 気温 ($^{\circ}C$) | 湿度 (%) | 風向 | | 風速 (m/s) | | |
| 幹線道路沿線 | 中央区北1西2 | 1 | 時計台南測 (国道12号線) | 62.11.18 | ① 8:00 | 0.66 | 0.20 | 0.30 | 69.6 | 649 | 晴れのちくもり | 4.7 | 47 | SSE | 2.8 | テレビ塔観測局(30m) | | |
| | | | | | ② 10:00 | 0.33 | | | | | | 113.0 | 640 | 6.0 | | | SSE | 2.2 |
| | | | | | ③ 12:00 | 0 | | | | | | 139.1 | 550 | 7.7 | | | S | 2.9 |
| | | | | | ④ 14:00 | 0.66 | | | | | | 33.3 | 656 | 8.9 | 42 | | S | 1.5 |
| | | | | | ④ 16:00 | | | | | | | | | | | | SSE | |
| | | | | | ① 8:10 | 0.63 | | | | | | 266.7 | 509 | -0.2 | 55 | | WNW | 2.6 |
| | | | | | ② 10:10 | 0.31 | | | | | | 250.0 | 603 | 1.1 | | | NW | 3.1 |
| | | | | | ③ 12:10 | | | | | | | | | | | | WNW | |
| | | | | | ④ 14:10 | 測定器具故障 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ④ 16:10 | 0.79 | | | | | | 341.7 | 688 | 2.2 | | | NW | 2.2 |
| 商業地域 | 白石区本通り南 | 2 | 白石連絡所横 | 11.18 | 9:45 | 0.24 | 0.20 | 0.20 | 4.2 | | | | | | | | | |
| | | | | 11.20 | 9:46 | 0.16 | | | | | | | | | | 95.8 | | |
| 住宅地域 | 西区24軒2-3 | 3 | 西観測局横 | 11.18 | 9:52 | 0.08 | 0.14 | 0.13 | 8.9 | | | 6.5 | | E | 2.4 | | | |
| | | | | 11.20 | 11:13 | 0.23 | | | | | | | | | | | 157.9 | 1.4 |
| | 南区真駒内幸町1 | 4 | 南保健所裏 | 11.18 | 9:40 | 0.31 | 0.16 | | | 37.5 | | | | | | | | |
| | | | | 11.20 | 10:00 | 0.08 | | | | | | | | | | | | 120.8 |
| | 北区篠路4-9 | 5 | 篠路観測局前 | 11.18 | 11:13 | 0.18 | 0.12 | | | 37.7 | | | 7.3 | | SSE | 3.0 | | |
| | | | | 11.20 | 9:58 | 0.08 | | | | | | | | | | | | 134.1 |
| | 西区前田2-12 | 8 | 手稻観測局横 | 11.18 | 10:30 | 0.27 | 0.15 | | | 65.7 | | | 7.1 | | ESE | 3.1 | | |
| | | | | 11.20 | 10:30 | 0.08 | | | | | | | | | | | | 150.8 |
| | 郊外 | 白石区小野幌53-2 | 6 | 野幌森林公園内 | 11.18 | 10:20 | 0.08 | | 0.14 | 0.06 | 16.3 | | | | | | | |
| | | | | | 11.20 | 10:15 | 0.23 | | | | | | | | | | | |
| 南区常盤 | | 7 | 芸術の森内 | 11.18 | 9:55 | 0.08 | 0.04 | | 41.7 | | | | | | | | | |
| | | | | 11.20 | 10:00 | 0 | | | | | | | | | | | | 100.0 |

4-1 光学顕微鏡法によるアスベスト濃度

(1) 地域別結果

① 幹線道路沿線(時計台)

国道12号線沿の測点1の大気中アスベスト濃度の経時変化を他の結果と共に図2に示す。

アスベスト濃度の測定は、1日、午前8:00~2時間毎に、4回の測定を2日間行った結果、測定値の範囲は、最低0~最高0.79

f/l 、幾何平均0.30 f/l であった。

アスベスト濃度の経時変化では、午前8:00~(0.65 f/l)と午後2:00~(0.73 f/l)が、日中の約2倍の高さであったが、交通量との相関は、図3に示すとおり、特に有意差は認められなかった。

② 商業地域(白石連絡所)

測点2のアスベスト濃度測定は、1日4時

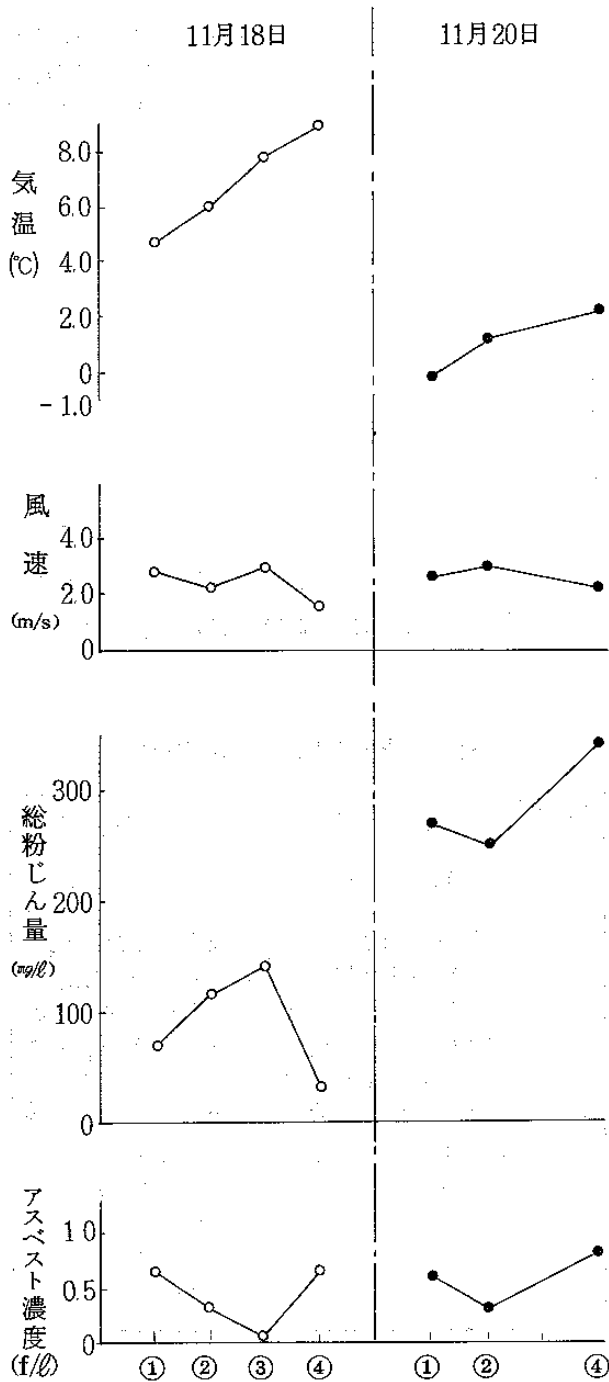


図2 幹線道路沿線(時計台)の経時変化

間を2日間行なったが、測定値の範囲は、0.16 f/l ~ 0.24 f/l、幾何平均 0.20 f/l であった。

2日目が若干濃度が高かったが、風向が南東の割には、ビル解体工事からのアスベストの影響は、特に認められなかった。

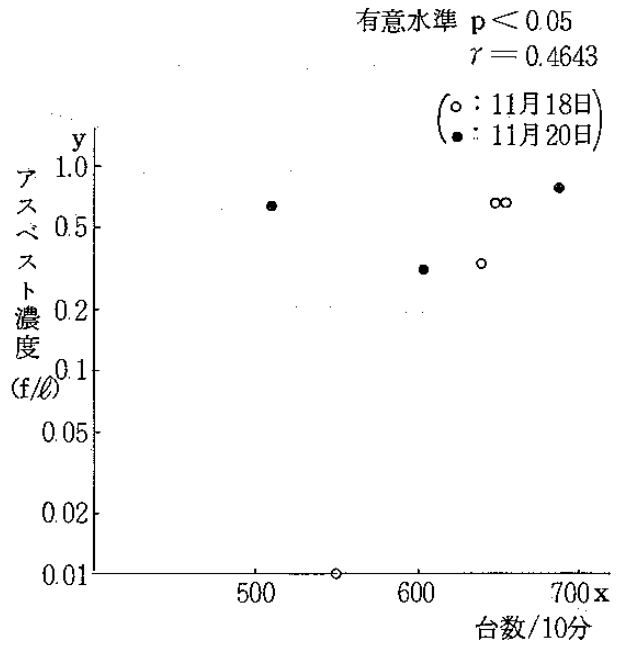


図3 アスベスト濃度と交通量との相関

③ 住宅地域(西観測局他3ヶ所)

住宅地域におけるアスベスト濃度の測定は測点3、4郊外の住宅である測点5、8の計4地域で、1日4時間を2日間行なった。測定値の範囲は、0.08 f/l ~ 0.31 f/l、幾何平均 0.013 f/l であり、測点別では、濃度の高かったのは測点4 (0.16 f/l)、次いで測点8 (0.15 f/l)、測点3 (0.14 f/l)、測点5 (0.12 f/l)の順であり、測点間の濃度差は、大きくはなかった。

なお、測点3より北西約13 km離れたAスレート工場からのアスベストの影響は、2日目の風向が北西系(3 m/s)であったが、高濃度は認められなかった。

④ 郊外(芸術の森他)

市内の郊外におけるバックグラウンド測点6、7のアスベスト濃度測定は、1日4時間の2日間行ない、測定値の範囲は、0 ~ 0.23 f/l、幾何平均 0.06 f/l で、測点別では測点6が0.14 f/l、測点7が0.04 f/l と測点7が低かった。

(2) 地域別の比較

測定値の2日間の幾何平均を比較すると、図4のとおり濃度が高かったのは幹線道路0.30 f/l であり、次いで商業地域0.20 f/l、住宅地域0.13 f/l、郊外0.06 f/lの順であった。

なお、幹線道路沿線は、郊外のバックグラウンドの約5倍の濃度であった。

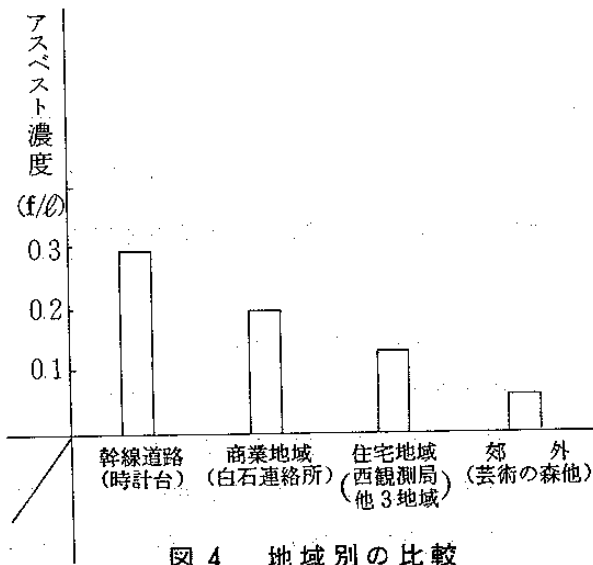


図4 地域別の比較

(3) 総粉じん量との相関

アスベスト濃度と粉じん量の日別の関係を図5に示す。

この図から、11月18日は、相関が認められなかったが、11月20日が $r=0.9194$ と有意性が高かった。

このことは、大気中に放出されたアスベストは、通常環境条件下では、分解、変質をせず、地表に沈降したものは、容易に再発じんする特異性があると云われていることから、道路粉じん中にも含まれていることが推察された。

(4) 気象との関係

① 天気概況

調査当日の天気概況(札幌管区気象台天気相談所提供)は、表3のとおりである。

(○ 11月18日 $r=0.0132$)
 (● 11月20日 $r=0.9194$)
 (0.1%有意)

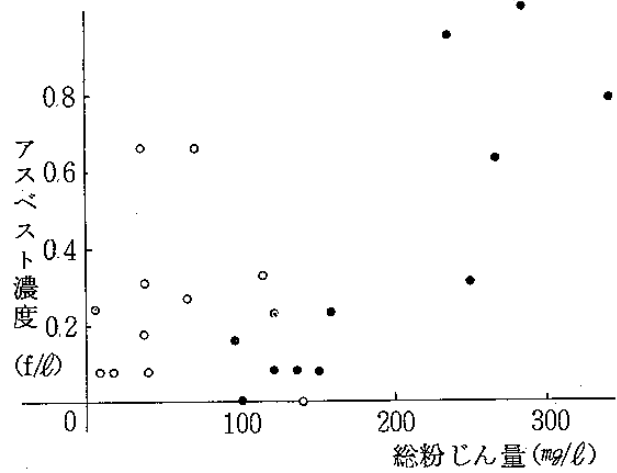


図5 アスベスト濃度と粉じん量の相関

表3 調査期間中の気象概況

| 項目 | 11月18日(水) | 11月20日(金) |
|------|--|--|
| 天気 | 晴のちくもり | 晴初め一時雪 |
| 天気概況 | 本州方面に中心をもつ移動性高気圧に覆われたため、天候は晴れで、日中は南寄りの風、風速4m/s前後、気温も7℃と平年並みのおだやかな天気となった。 | 前半、千島方面に発達した低気圧は、弱い冬型の気圧配置となり、最初雪も降ったが、その後、本州方面の高気圧に覆われ、日中は晴れて、北西の風が4m/s前後となったが、気温は平年に比べて4~5℃低かった。 |

② 気象条件との関係

札幌管区気象台観測課及び4ヶ所の公害部大気汚染観測局の気象条件の測定結果は、表4のとおりである。

11月18日は、おだやかな秋晴れであったが、20日は、弱い冬型の影響で気温が低く、気象条件も全く異なる現象が見られたが、アスベスト濃度と風速との関係(図6)で11月20日の

表4 気象観測調査結果

| 場 所 日 気 象 条 件 | 札幌管区 気象台観 | | テレビ塔 観測局 | | 西観測局 | | 篠路観測局 | | 手稲観測局 | |
|---------------------------------|--------------|------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|-----------|-------------|-------------------|---------------|
| | 11.18 | 11.20 | 11.18 | 11.20 | 11.18 | 11.20 | 11.18 | 11.20 | 11.18 | 11.20 |
| 天候 | 晴のち くもり | 晴初め 1時雪 | | | | | | | | |
| 風向 | 南々東 東南東 | 北西 | 南々東 | 北西 北西 西 | 南東 南東 東南東 | 北西 北西 西 | 南々東 南東 | 西 西 西 | 東南東 東南東 東南東 | 北西 北西 西 |
| 風速 (m/s) | 3.3 | 3.3 | 2.3 | 3.2 | 2.4 | 3.0 | 3.0 | 4.2 | 3.1 | 4.7 |
| 温度 (℃) | 7.0 | 1.3 | 6.5 | 1.3 | 6.5 | 1.4 | 7.3 | 1.1 | 7.1 | 1.1 |
| 湿度 (%) | 45 | 49 | - | - | - | - | - | - | - | - |

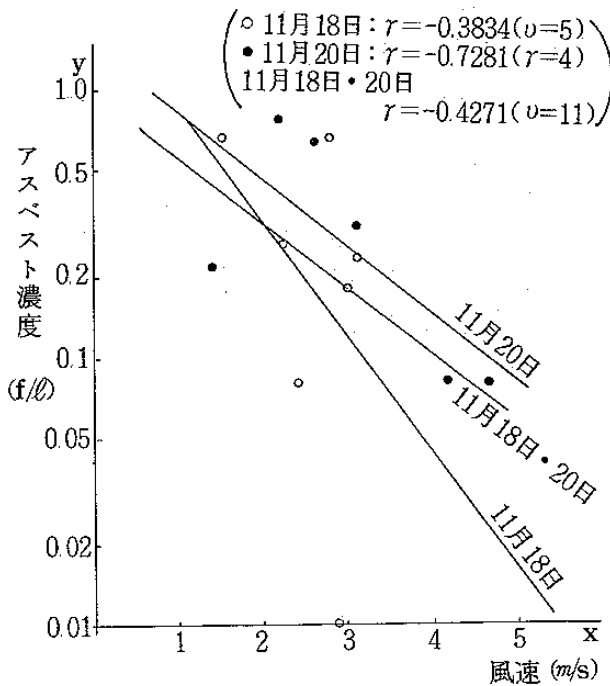


図6 アスベスト濃度と風速との相関

相関が $r = -0.7281$ と、有意ではなかったが、逆相関の傾向が認められたので、今後更に検討したい。なお、主風向は、北西風であった。

その他の気象条件との関係では、相関は、見られなかった。

(6) アスベストモニタリング事業結果（環境庁）との比較

環境庁は、昭和60年度に大気環境中のアスベストについて、全国的な環境濃度調査を行い、全国的濃度を把握しており、その結果は「昭和60年度アスベストモニタリング事業結果報告書」にまとめられているが、昭和63年3月に公表されたので、今回の測定結果との比較を表5に示した。

表5

単位 (f/l)

| 地 域 | 標本数 | 最小値 ~ 最大値 | 幾何平均 | 幾何標準偏差 |
|-------------------|------------|------------------------------|----------------|--------|
| ①内陸山間地域 | 48 | 0 ~ 14.18 | 0.78 | 3.72 |
| ②離島地域 | 18 | 0 ~ 1.38 | 0.09 | 4.30 |
| ③住宅地域 | 110 (8) | 0.26 ~ 6.22 (0.08 ~ 0.31) | 1.16 (0.13) | 1.90 |
| ④商工業地域 | 0.4 (2) | 0.30 ~ 6.12 (0.16 ~ 0.24) | 1.15 (0.20) | 1.92 |
| ⑤農業地域 | 36 | 0 ~ 1.67 | 0.52 | 2.75 |
| ⑥アスベスト製品製造事業所所在地域 | 72 | 0 ~ 6.25 | 0.83 | 3.37 |
| ⑦廃棄物処分場等周辺 | 73 | 0 ~ 5.83 | 0.78 | 4.07 |
| ⑧アスベスト製品生産事業所周辺 | 71 | 0.60 ~ 44.23 | 5.35 | 2.49 |
| ⑨蛇紋岩地域 | 36 | 0.49 ~ 34.37 | 2.53 | 3.66 |
| ⑩高速道路沿線 | 36 | 0.39 ~ 2.10 | 1.11 | 1.45 |
| ⑪幹線道路沿線 | 140 (7) | 0 ~ 10.00 (0 ~ 0.29) | 1.00 (0.30) | 3.39 |

単位 (f/l)

| 地域区分 | 夏 | | | 冬 | | |
|-----------|-----|------|--------|-----------|----------------|--------|
| | 標本数 | 幾何平均 | 幾何標準偏差 | 標本数 | 幾何平均 | 幾何標準偏差 |
| バックグラウンドⅠ | 36 | 0.30 | 5.07 | 30 (4) | 0.51 (0.06) | 5.60 |
| バックグラウンドⅡ | 116 | 1.13 | 2.14 | 114 | 0.92 | 2.15 |
| 発生源Ⅰ | 126 | 1.59 | 4.16 | 126 | 1.64 | 4.59 |
| 発生源Ⅱ | 92 | 0.97 | 2.72 | 0.4 | 1.09 | 3.34 |

* () 内は今回の札幌市測定結果

表をみても明らかな様に、市内のアスベスト濃度は、地域別の全国幾何平均と比較して、幹線道路沿線(0.30f/l)が1/3、商業地域(0.20f/l)が1/6、住宅地域(0.13f/l)が1/9、郊外バックグラウンドが1/9と、4地域共、低い濃度であった。

(5) アスベスト繊維の大きさ

計測したアスベスト繊維は、長さが5 μm から10 μm 迄のものが大半であった。

参考迄に、オリンパスNew VANOXAHBS光学顕微鏡で(位相差及び微分干渉)撮影したアスベストを写真1~3に示した。

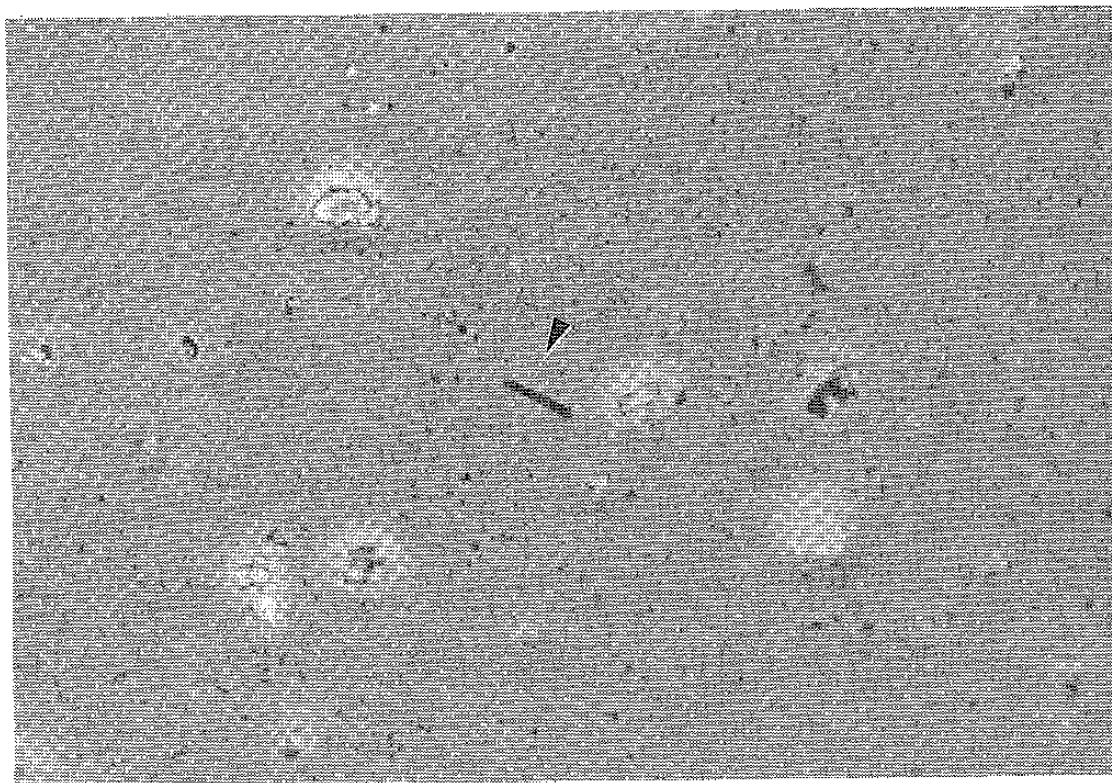


写真1：幹線道路(測定地点No.1) 位相差

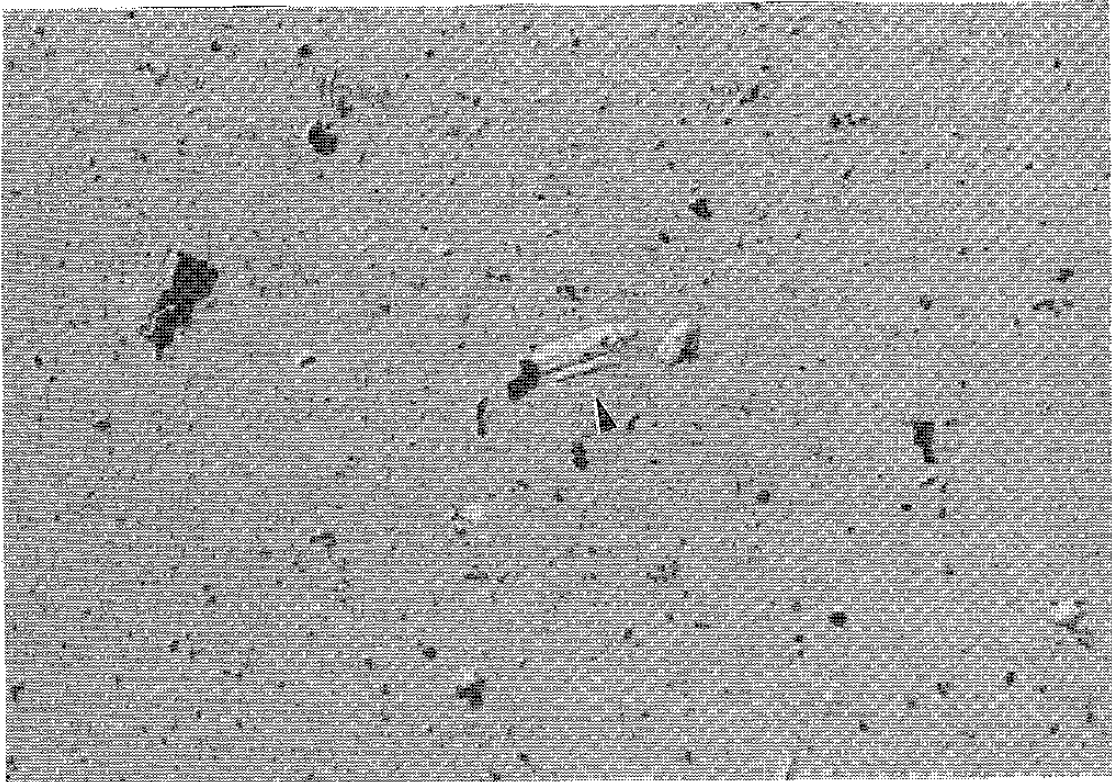


写真2：住宅地域（測定地点 No. 3—②） 微分干涉

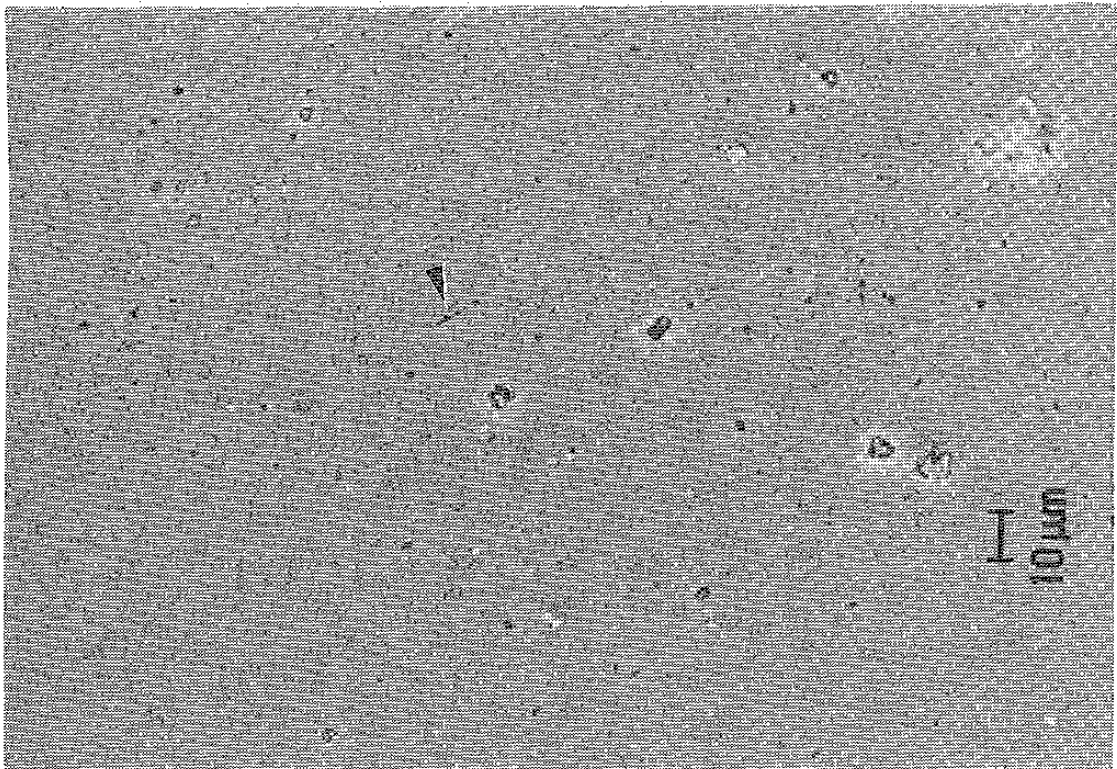


写真3：商業地域（測定地点 No. 2） 位相差

4-2 電子顕微鏡法によるアスベスト濃度

(1) 地域別結果

表6から明らかなように、地域別の大気環境中のアスベスト(クリソタイル)濃度の測定範囲は0~24.4f/l、平均濃度9.9f/l、標準差7.89f/l、分布型は左傾、鈍峰であるが、歪度($g_1 = 0.3447$)、尖度($g_2 = -0.8232$)から有意とならず正規は保留となった。(検定の有意水準は5%とし、*印で示す。以下同じ)

地域別の比較をすると、商業地域と住宅地域の平均濃度はそれぞれ14.7、13.7f/lと高く、幹線道路沿線は7.5f/l、郊外5.5f/lと低い値となった。しかし地域間に有意の差はなかった。(Welchの検定)

(2) 大気中のアスベストの繊維長の分布

全調査地域で検出されたアスベスト(クリソタイル)の繊維の長さとの分布(N=49)を図7に示した。この分布から明らかなように、検出されたアスベスト繊維数の90%が長さ4.0 μm 、巾0.2 μm で囲まれた三角形の領域の範囲内にみられた。長さ5.0 μm 以上の繊維は3本検出された。

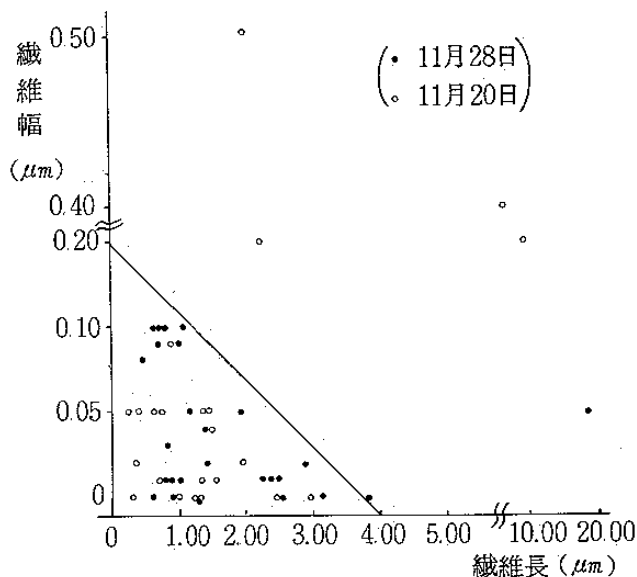


図7 大気中のアスベスト繊維の長さとの分布(クリソタイル)

図8に繊維長の度数分布(N=49)を示した。なお、繊維長5.0 μm 以上のもの(6, 9, 19 μm)については、長さ4.0 μm ~の度数を3として加えた。この分布は平均繊維長10.5 μm 、標準偏差 $1.59\mu m$ 、歪度 $g = 1.1136$ 、尖度 $g_2 = 0.6569$ で正規は否定され、対数正規分布である。(対数変換($\log_{10} X$)により分布は正規が保留となった。)

図8から繊維の長さ1.0 μm 未満が全体の34.7%、2.0 μm 未満が71.4%であった。これは57年度環境庁研究成果集に報告されている全国各地のアスベスト環境濃度調査の結果(表7)(71.3%、90.6%)と比較すると、いずれも低い比率を示した。1.0 μm 未満の繊維について、さらに検討を加えるために、環境庁の調査で検出されたアスベストの繊維長度数分布(N=700)を基準分布(全国)と考え、これに今回の調査で得た分布の全度数(N=49)をあてはめて、理論度数を算出し、比較検討した。なお、環境庁のアスベストの同定にはa)繊維状態、b)電子線回析の外にc)EDXスペクトルが用いられている。

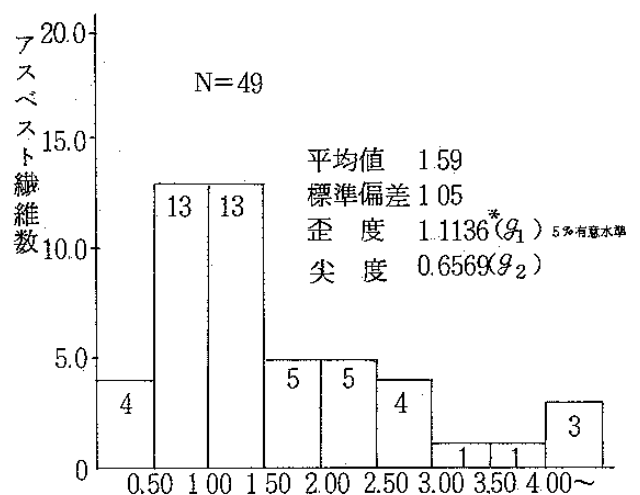


図8 大気中のアスベスト繊維長の度数分布

表6 地域別の大気中アスベスト濃度F(f/l)

| 調査地域 | 地点 | 検体 | 本 網目数 | F (f/l) | 分布型 |
|-------------|------|---------|-----------|---------|---|
| 幹線道路 沿線 | 1 | 111 | 2 / 5 | 15.7 | $y = 7$ $\bar{x} = 7.47$ $s = 7.93$ $g_1 = 0.8531$ $g_2 = -0.3946$ 正規 |
| | | 121 | 1 / 5 | 7.7 | |
| | | 131 | 0 / 5 | 0.0 | |
| | | 141 | 0 / 5 | 0.0 | |
| | | 112 | 0 / 5 | 0.0 | |
| | | 122 | 1 / 5 | 7.3 | |
| | | 132 | - | - | |
| | | 142 | 3 / 5 | 22.0 | |
| (平均) | | (1 / 5) | (7.5) | | |
| 商業地域 | 2 | 201 | 4 / 5 | 14.7 | |
| | | 202 | 4 / 5 | 14.7 | |
| | (平均) | | (4 / 5) | (14.7) | |
| 住宅地域 | 3 | 301 | 3 / 5 | 11.8 | $y = 8$ $\bar{x} = 13.16$ $s = 7.90$ $g_1 = 0.1388$ $g_2 = -0.4141$ 正規 |
| | | 302 | 4 / 5 | 14.3 | |
| | 4 | 401 | 0 / 5 | 0.0 | |
| | | 402 | 2 / 5 | 7.3 | |
| | 5 | 501 | 6 / 5 | 24.9 | |
| | | 502 | 4 / 5 | 14.3 | |
| | 8 | 801 | 2 / 5 | 8.3 | |
| | | 802 | 7 / 5 | 24.4 | |
| | (平均) | | (3.5 / 5) | (13.2) | |
| | 郊外 | 6 | 601 | 4 / 5 | |
| 602 | | | 1 / 5 | 3.7 | |
| 7 | | 701 | 1 / 5 | 3.7 | |
| | | 702 | 0 / 5 | 0.0 | |
| (平均) | | | (1.5 / 5) | (5.5) | |
| 全地域 (平均) | 1~8 | | 23 / 5 | 9.9 | $y = 21$ $\bar{x} = 9.94$ $s = 7.89$ $g_1 = 0.3447$ $g_2 = -0.8232$ 正規 |

表7からこの調査の分布は全国調査の基準分布と比較して右寄りの傾向を示し、長い繊維の検出率が高い。5 μm 以上の繊維の検出率は全国基準の約2倍となっている。0.5 μm 未満の繊維の検出が全国基準に比して約33%、0.5～10 μm の繊維が58%と低い結果に終わっている。

表7 全国基準分布と調査地域分布(札幌市)の比較

| アスベスト繊維長の階級 | 基準分布(全国)※ | 調査分布(札幌市)※※ | | t-F | $\frac{(f-F)^2}{F}$ | f/F |
|-------------|-----------|-------------|---------|------|---------------------|------|
| | 記)出現率(%) | 調査度数(f) | 理論度数(F) | | | |
| ～0.5 | 71.3 | 4 | 12.3 | -8.3 | 5.69 | 0.32 |
| 0.5～1.0 | | 13 | 22.6 | -9.6 | 4.08 | 0.58 |
| 1.0～2.0 | 19.3 | 18 | 9.5 | 8.5 | 7.61 | 1.89 |
| 2.0～3.0 | 5.0 | 9 | 2.5 | 9.5 | 20.06 | 3.60 |
| 3.0～4.0 | 1.1 | 2 | 0.5 | | | 4.00 |
| 4.0～ | 3.2 | 3 | 1.5 | | | 2.00 |
| 計 | 99.9 | 49 | 48.9 | | | 0.1 |

$\chi^2=37.3(\nu=2)$ 、 $p<0.001$ で調査分布は全国の基準分布からはづれている。
 ※分析法=a) 繊維状態 b) 電子線回折 c) EDXスペクトル
 ※※分析法=a) 繊維状態 b) 電子線回折
 記) 全国基準分布の出現率は“神山、(1982)”より引用。

以上の結果から考えられることは、今回の調査地点の環境要因の違いがあげられるが、検査方法の技術的要因によることも考えられるので、以下、関連事項について触れてみる。

試料作成の過程で、とくにアスベスト懸濁液(イソプロパノール)をろ過したフィルターのその後の取扱いが慎重でないと、蒸着処理を行う前にろ過物の一部がフィルター上から飛散する恐れがあったことは、試料メッシュの網目に繊維状物の脱落の跡がしばしば観察されていることで推察される。

次に、試料メッシュの観察の仕方について検討すると、今回の調査では倍率15K \times で繊維を観察しているため、蛍光板上でのアスベスト繊維の長さは0.5 μm が75 $\text{mm} \times 0.8 \div 6 \text{mm}$ 、0.05 μm では0.6 mm となっている。又回折パターン像が表れるのに必要な微細結晶の大きさを10 nm (スポ

ットサイズ2 μm のとき)とすると、蛍光板上では0.12 mm となる。これに対して、制限視野可動絞の径(最小絞30 μm を使用)は蛍光板上で約7 mm で、約0.6 μm の円内の視野に相当する。これは、0.5 μm 以下の微小繊維の識別のためには少々大きいが、可能な判定と考えられる。この調査では電子回折による判定がアスベスト同定の決め手としているが、これは別な見方からすれば、アスベストの微小繊維を見逃す要因となっているように思える。即ち、アスベスト繊維の結晶はその回折パターンの斑点の明るさが、とくに弱い傾向にあるように見え、中には観察以前に、すでに回折像の消失しているものがみられる。今回の調査においても、クリソタイルの回折像が電子線の照射により消失してゆくの観察されている。他の物質と共存のもとで観察する場合に、いろいろと障害となるのではないかとと思われる。背景の明るさの影響の問題、制限視野の中までどこまで他の物質と分離出来るかなど困難な事態に当面する。今後は電子線回折法についてさらに検討を進め、上述の試料作成処理の不備な点の解消に努力し、アスベスト検出の精度を高めたい。

(3) 大気中アスベスト測定濃度に関しての電子顕微鏡法と光学顕微鏡法の比較

電子顕微鏡法によるアスベスト繊維の測定結果から、(2)で述べたように、光学顕微鏡法の判定基準にあてはまる繊維が49本中3本検出され、6%の検出率となったが、環境庁の全国的な調査については3%にとどまっている。検出された3本の繊維の長さ(巾はそれぞれ6.0、0.4、9.0、0.2、19.0、0.1の細い繊維で(写真3、4)、いずれも住宅地域の同じ測点5から検出された。このことについて、さらに検討したい。

以上の結果から両測定法によるアスベスト測定濃度の相関々係は間接的な相関を意味するものと思われるが、結果は $r = 0.1814(\nu = 19)$

で有意とならなかった(図9)なお、光学顕微鏡法による濃度分布は対数正規分布となったので測定値はすべて対数変換($\log_{10} x$)した値を用いた。(以下同じ)

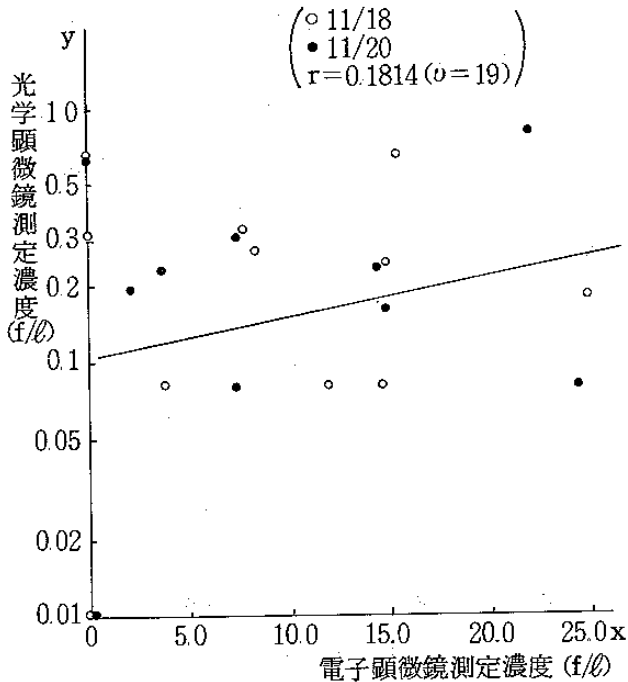


図9 大気中アスベスト測定濃度の電顕法と光顕法の相関関係

(4) 大気中アスベストの繊維状態と電子線回析像

今回の調査で観察したアスベスト(クリソタイル)とその他の判別不明のアスベスト様繊維の写真とその電子線回析写真の一部を本報告の終りに載せた。

この中でクリソタイル以外のアスベストもその確認を現在検討中である。その他、全く不明の繊維性鉱物も各検体に幅広く観察されている。これについては人工産物の疑いも考えられているので今後検討したい。(写真9、11)

5 結 語

今回、札幌市内の大気環境中のアスベスト濃度の地域別特性を把握するため、4地域8測点にお

いて調査を実施した。試料が21と少なく、十分な結果及び解析は出来なかったが、環境汚染の実態、粉じん、気象条件及び電子顕微鏡法との関連について、知見を得ることが出来たので、以下述べる。

- (1) 光学顕微鏡法によるアスベスト濃度の測定値の範囲は、最低0～最高0.79 f/l、平均0.26 f/lであった。
- (2) 地域別を比較すると、幾何平均値でアスベスト濃度が最も高かったのは、幹線道路沿線(時計台前) 0.30 f/l、次いで商業地域(白石連絡所) 0.20 f/l、住宅地域(西観測局他3) 0.13 f/l、郊外(芸術の森他1) 0.06 f/lの順であり、幹線道路沿線は、郊外のバックグラウンドの5倍相当であった。
- (3) 環境庁が公表⁹⁾(昭和63年3月)した国内でのアスベスト濃度と今回の結果を幾何平均で比較すると、幹線道路沿線が1/3、商業地域1/6、住宅地域1/9、郊外1/9といずれの地域も、全国平均を下廻った。
- (4) 測点別では、幹線道路沿線の時計台が最も濃度が高く、特に、午前8:00～と午後2:00～が日中の約2倍の濃度であったが、交通量との相関はなかった。

又、最高値は、時計台の0.79 f/l(11月20日、午後2:00～)であった。

- (5) 気象条件との関係では11月20日のアスベスト濃度と風速との相関($r = -0.7281$)は有意であったが、他とは、相関はなかった。
 - (6) 粉じん量との関係では、11月20日がアスベスト濃度との相関($r = 0.9194$)が有意であったので、今後、詳細な研究を行いたい。
 - (7) 光学顕微鏡法と同一試料を用いて、電子顕微鏡法との結果(アスベスト検出、同定、繊維濃度、繊維数の計測)について比較検討を行った。
- ① 電子顕微鏡法の測定結果から、調査地域のアスベスト濃度の測定値の範囲は、0～244 f/l、平均9.9 f/lであり、地域別間には、

有意差はなかった。

- ② 電子顕微鏡法によるアスベスト繊維の分析法について a) 繊維状形態と b) 電子線回折により行った。この結果について、種々の検討を行ったが、最適の分析方法は、EDX スペクトル法と報告¹⁾されていることから、今後EDX装置の機器を早急に整備することが必要である。

以上のことから本測定結果を基礎として更にアスベスト濃度の実態把握に努めると共に、解体工事などの発生源調査も併せて行い、対策上の資料とするため、継続して調査を実施していきたい。

最後に、アスベストの電子顕微鏡法について、ご指導賜わった産業医学総合研究所神山宣彦氏及び全般的なご指導、ご助言を賜わった北海道大学工学部溝口勲教授に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 環境庁大気保全局
大気規制課監修：アスベスト排出マニュアル
(昭和60年3月10日発行)ぎょうせい
- 2) 環境庁大気保全局
大気規制課：アスベストモニタリングマニュアル(昭和62年5月)
- 3) 神山宣彦：大気中の微小アスベスト粒子の電子顕微鏡による定量⁽²⁾ 昭和57年度環境保全型

研成果集 104-1~11

環境庁企画調整局

- 4) 木村菊二他：労働の科学、“特集/アスベストの諸問題” p 4~35(1987-12) 労働科学研究所出版部
- 5) 環境庁大気保全局：昭和60年度アスベストモニタリング事業結果報告(昭和62年3月)
- 6) 環境庁大気保全局企画課監修：大気汚染物質レビュー石綿ゼオライトのすべて(昭和62年2月20日)財団法人日本環境衛生センター

(写真説明)

| | | |
|------|--------|----------|
| 写真1. | 幹線道路沿線 | 検体No.142 |
| 2. | 商業地域 | No.201 |
| 3. | 住宅地域 | No.501 |
| 4. | 〃 | No.502 |
| 5. | 〃 | No.802 |
| 6. | 郊外 | No.602 |

アスベスト種：クリソタイル

| | | |
|------|--------|--------|
| 写真7. | 住宅地域 | No.501 |
| 8. | 幹線道路沿線 | No.112 |
| 9. | 住宅地域 | No.401 |
| 10. | 商業地域 | No.201 |
| 11. | 郊外 | No.702 |

繊維種：不明

※写真の引伸し倍率はほぼ等倍です。

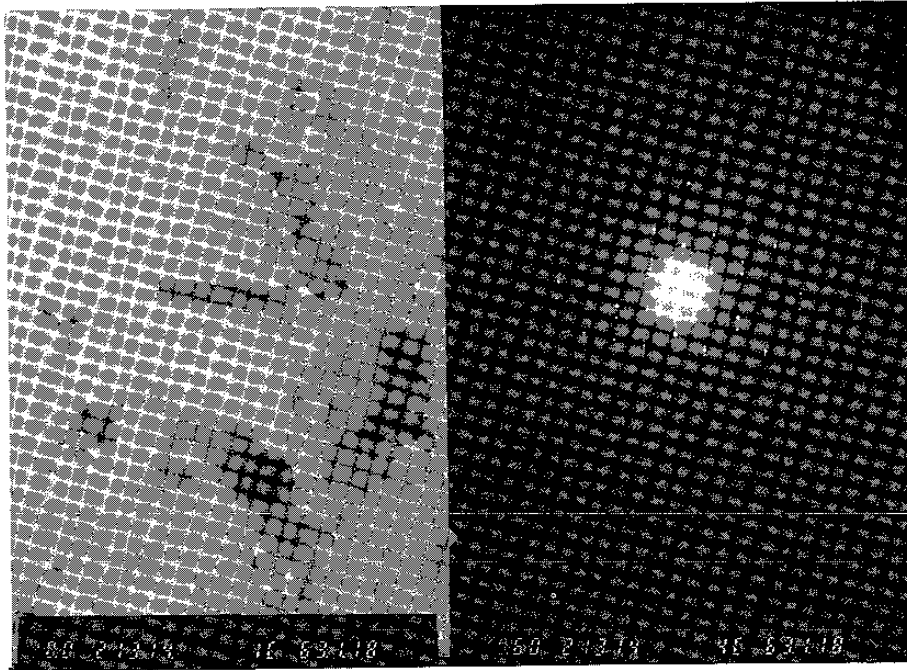


写真 1 : (20KX) 幹線道路沿線 No.142 クリソタイル

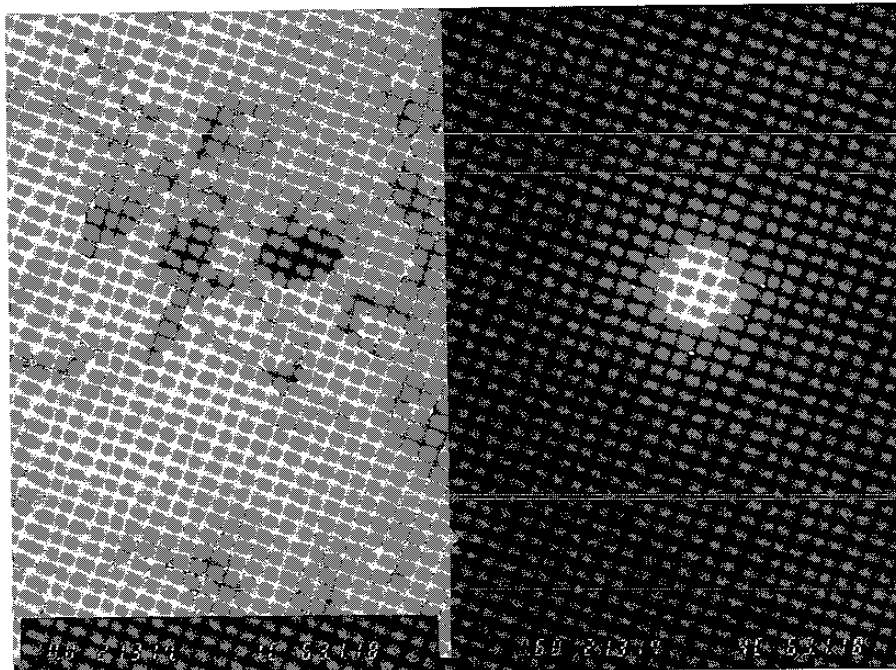


写真 2 : (20KX) 商業地域 No.201 クリソタイル

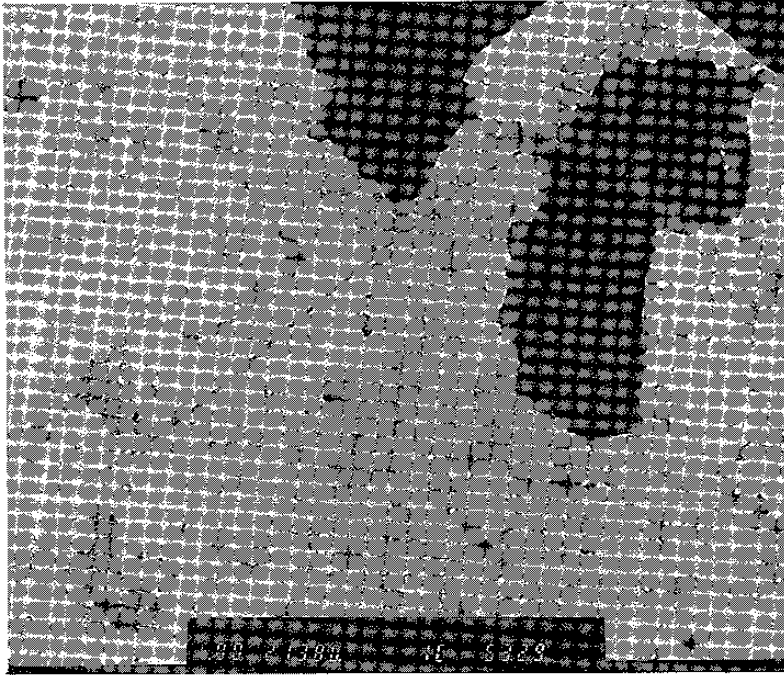


写真 3 : (5KX) 住宅地域 No. 501 クリソタイル

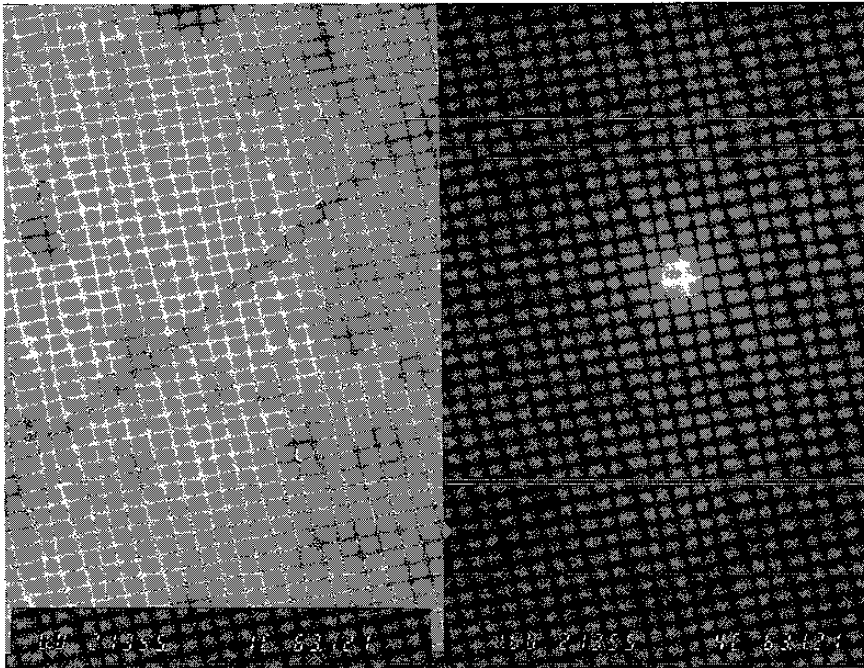


写真 3 : (20KX)

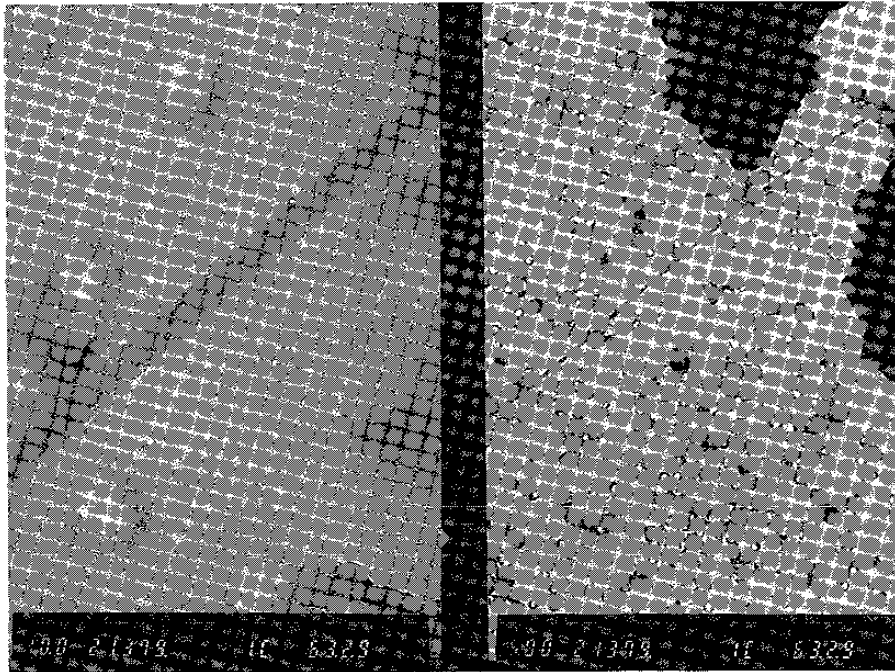


写真3：(40KX)

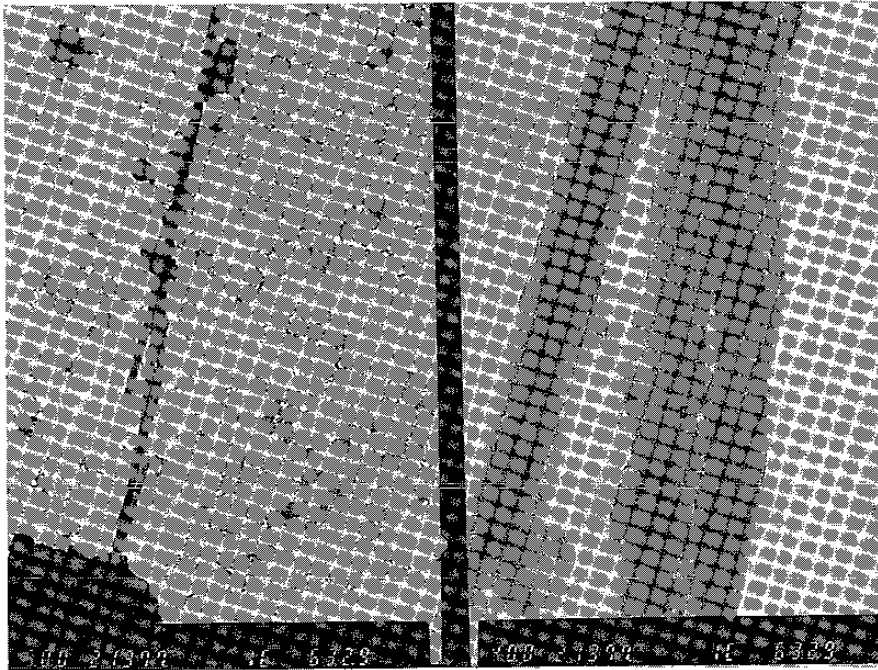


写真4：(5KX) 住宅地域No.502 クリソタイル

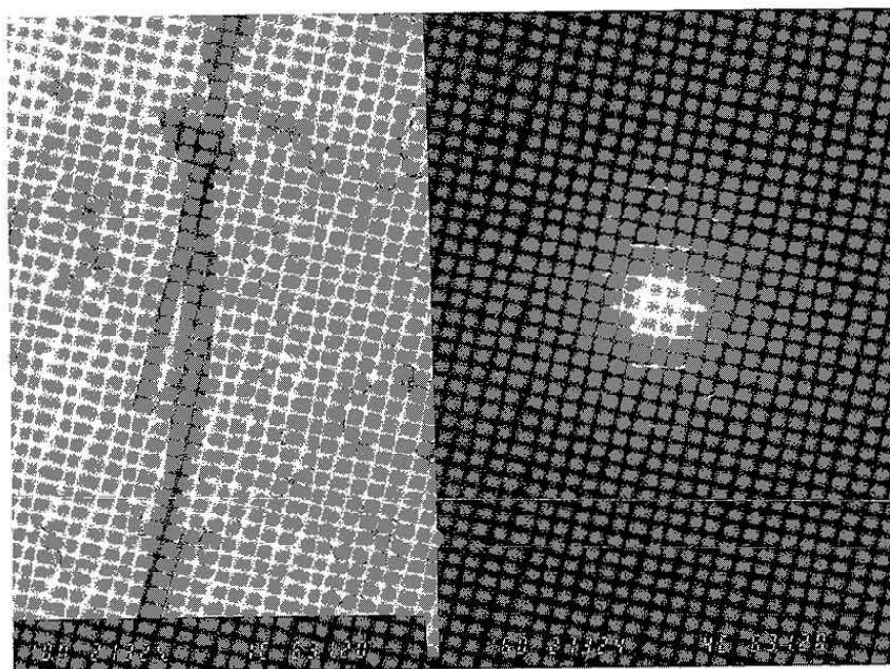


写真 4 : (10KX)

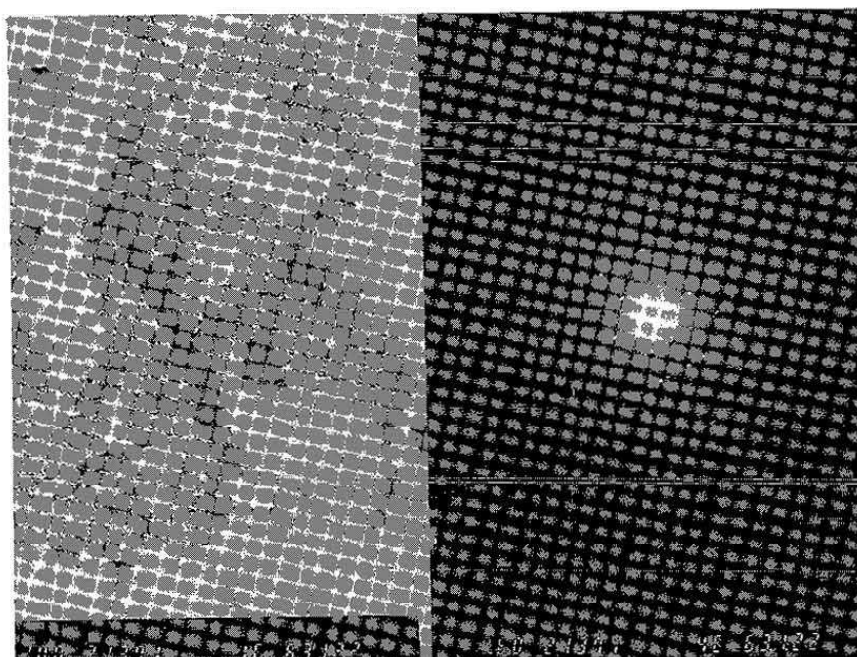


写真 5 : (20KX) 住宅地域 No.802 クリソタイル



写真6：(20KX) 郊外 No.602 クリソタイル

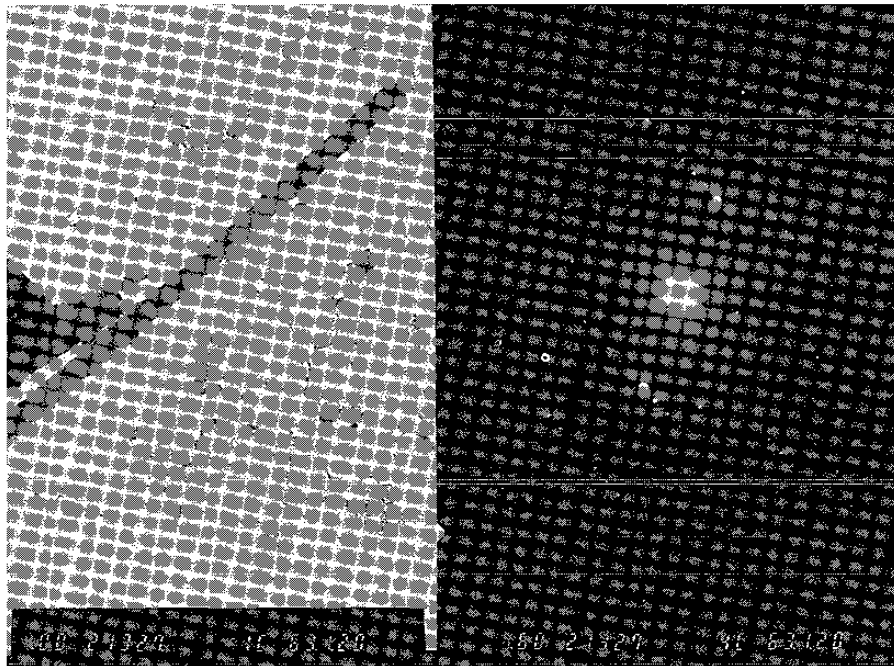


写真7：(9KX) 住宅地域 No.501 不明

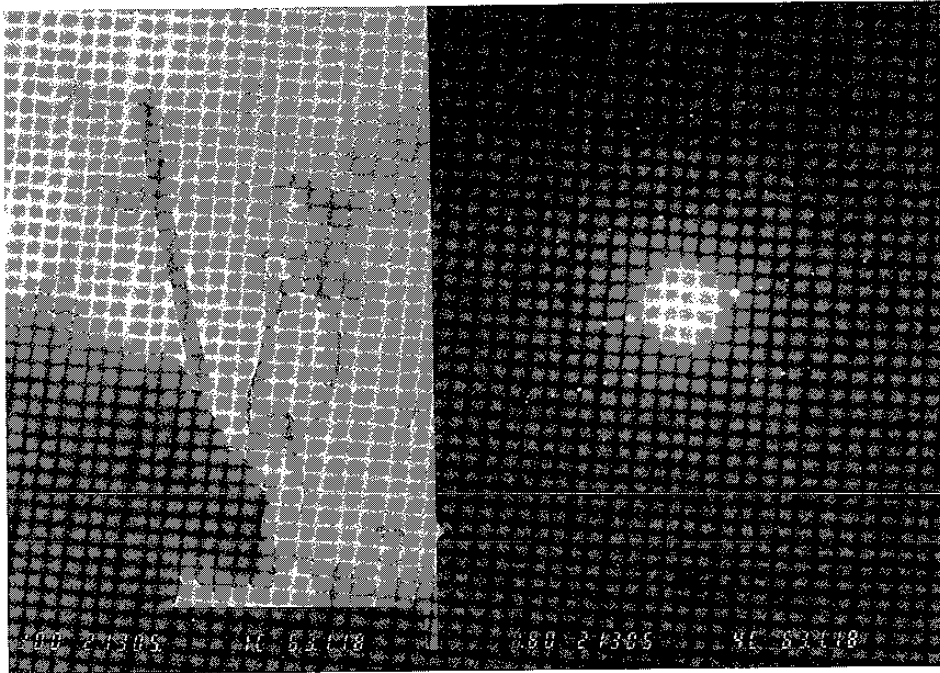


写真 8 : (20KX) 幹線道路沿線 No. 112 不明

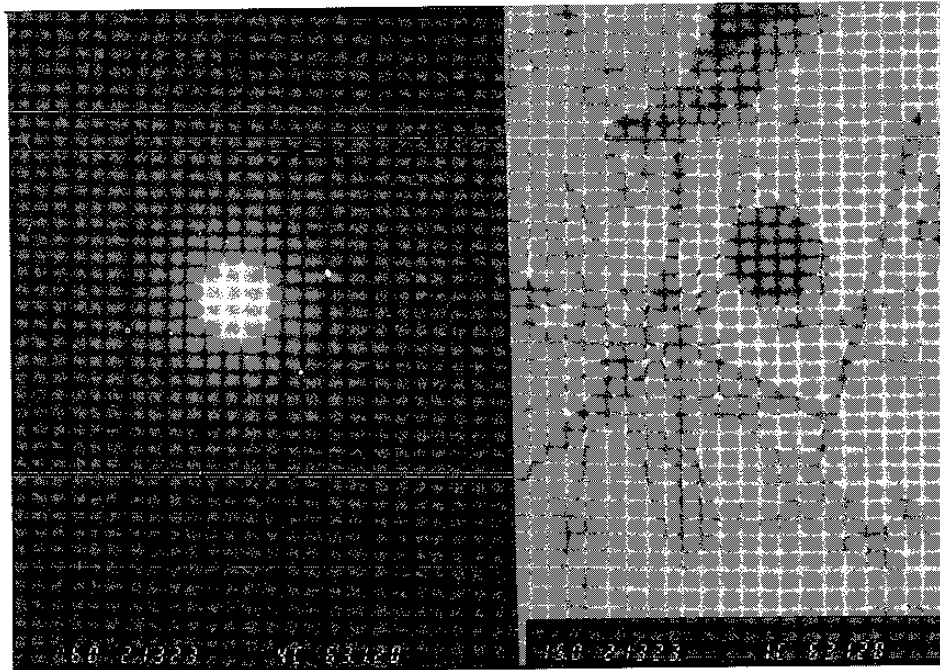


写真 9 : (15KX) 住宅地域 No. 401 不明

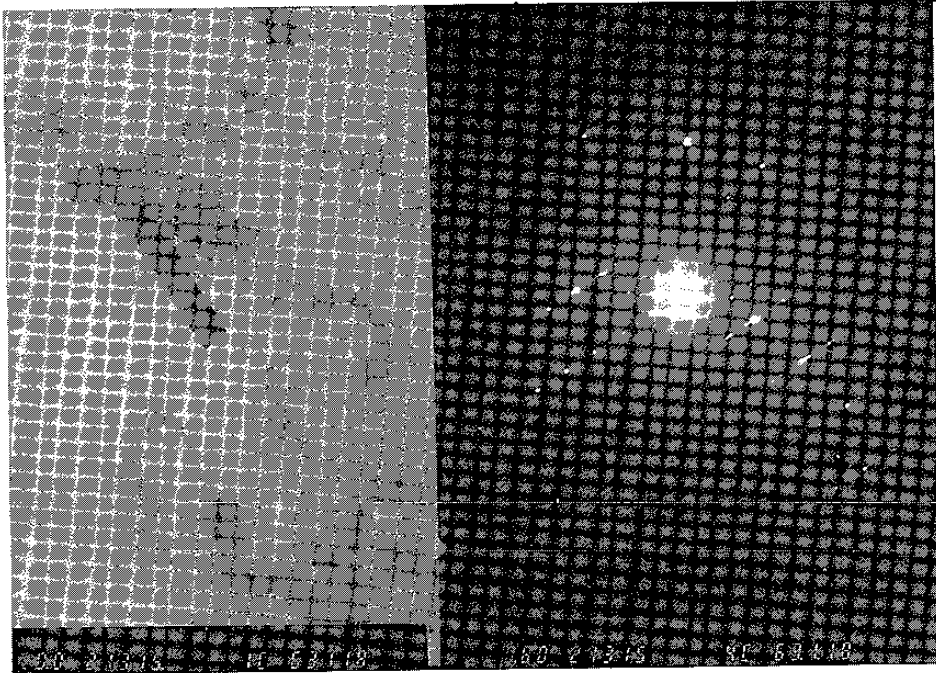


写真 10: (20KX) 商業地域 No. 701 不明

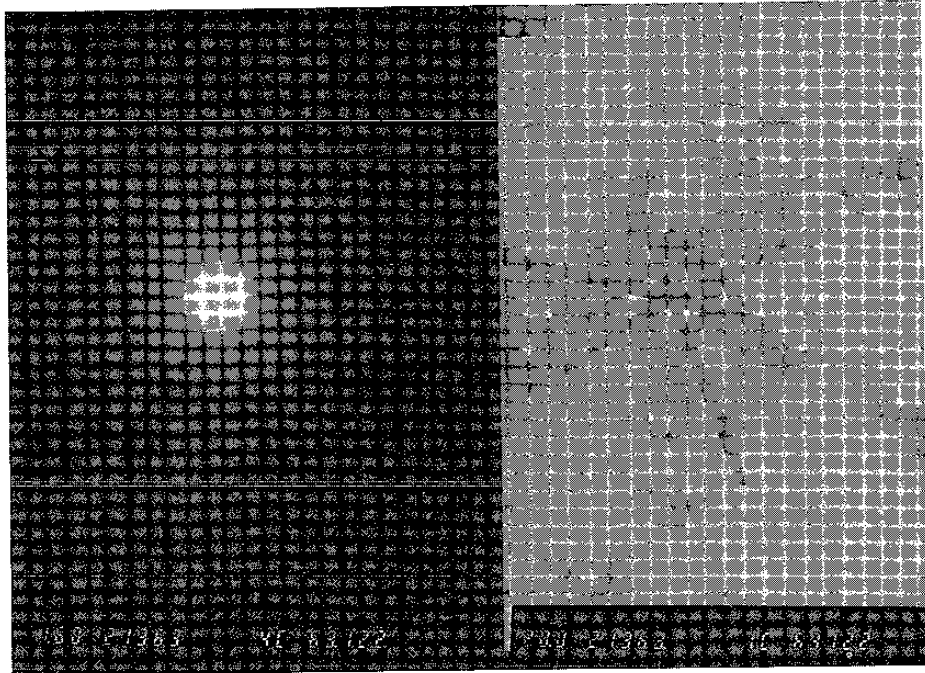


写真 11: (20KX) 郊外 No. 702 不明