

## 【4】PM<sub>2.5</sub>個人曝露量実測方法に関する調査

### (1) 全体概要

微小粒子状物質の健康影響に関する疫学的知見を裏付けるためには、環境濃度と個人曝露濃度が有意に関連していることが前提である。しかし、生活時間のほとんどを屋内で過ごし、屋内大気環境を人工的に管理している現代生活において、果たしてこの前提がどこまで認められるのか確認する必要がある。また、微小粒子状物質の疫学調査研究において、さまざまな場面で個人曝露調査は重要な意味を持つ。しかし、これまでにPM<sub>2.5</sub>の個人曝露濃度測定法に関する報告は少なく、わが国ではSPMの個人曝露に関する報告がわずかにあるだけである。

個人曝露状況は生活様式で異なるため国による違いは大きく、諸外国の結果をそのまま適用することはできない。そこで微小粒子状物質等曝露影響調査疫学WGにおいても、PM<sub>2.5</sub>の個人曝露濃度の測定法に関する検討を行い、基本的な測定方法を確立し、個人曝露濃度を把握することとした。

### (2) 個人曝露量の実測方法に関する調査

#### (2.1) 個人サンプラの捕集特性に関する調査

微小粒子状物質の疫学調査の一環としておこなう個人曝露濃度測定に用いるPM<sub>2.5</sub>個人サンプリング法を確立するために調査法上の条件を検討し、この条件に合った個人サンプラの捕集特性試験を実施し、本調査に最適なサンプラを決定することを目的とした。

さらに、このサンプラを用いて一般地域住民を対象とした個人曝露量調査を実施することを念頭に置いて、横浜国立大学の学生を被験者として操作性、騒音などの問題の洗い出しとポンプの選定をかねた予備調査を行った。

#### (2.1.1) 個人曝露調査法の条件に関する検討

##### 1. 検討方法

微小粒子状物質の個人曝露調査法はその目的によって異なってくるが、本研究課題の目的は「PM<sub>2.5</sub>濃度が、急性さらには慢性的に症状、発症、死亡などにどう影響するか」ということである。そのため、ある程度の短期・長期曝露を調べることも可能にするという観点から、24時間を測定単位として、これに適合するポンプとサンプラの選定を行うこととした。長期曝露を評価する場合は、繰り返して複数回測定を実施することになる。

##### 2. 検討結果

###### 2.1 ポンプについて

PM測定のためにはポンプで空気を吸引することが(アクティブ法)が必須である。捕集試料の秤量、分析のためには吸引量は多い方が望ましい。一方、ポンプを携帯する対象者は作業環境測定の場合とは違い一般住民であり、高齢者やときには患者をも含むことを考慮する必要がある。

バッテリーの高性能化により4 L/min以上で24時間吸引させるタイプもあるが、重量や大きさの点で、小型軽量の2.0 L/min程度の吸引量に対応するポンプが好ましいという結論に至った。

また、ポンプが発生する騒音が小さいことも必要な条件であるが、夜間は防音箱に収納するなど特別な防音対策も必要である。

###### 2.2 サンプラについて

個人サンンプラ本体(フィルタホルダ)の要件としては、正確にPM<sub>2.5</sub>を分級捕集できることが第一条件である。また、既存のSPM濃度測定値と比較するために同時にPM<sub>10</sub>(あるいはSPM)が捕集できることが望ましい。

調査開始時点で入手可能なサンプラでこれらの条件に適したものとしては、SKC社製のスパイラル・サンンプラ(2.0 L/min)及びパーソナル・エクスポージャ・モニタ(PEM、2.0 L/min)、柴田科学製多段インパクト(Sibata、規程吸引量を2.5 L/minを1.5 L/minに変更)に限られた。

わが国の屋内生活は欧米と異なり土足でじん埃を室内に持ち込むことはないが、屋外に比べて綿埃など 10 μm 以上の粗大粒子が多く浮遊している。そこで、PM<sub>2.5</sub>のカット特性を保証するために、粗大粒子のインパクタあるいはサイクロンの捕集面にはグリース塗布などにより確実に粗大粒子を捕集して除外する仕組みが必要である。

### 2.3 測定法について

主に地域内で生活する一般を対象として、年間の個人曝露量を推定するためには、連続 1 週間、年 2 季節以上調査することが必要であろう。

地域内の一般環境大気測定局の測定値と地域住民の曝露濃度との関連を評価するために、個人曝露と同時に対象者の家屋内（居間など最低 1 カ所）と屋外（軒下など最低 1 カ所）で並行測定を行う。この際、測定局において、β線測定器などによる SPM 測定値と個人サンプラ捕集による PM<sub>2.5</sub> などとの対応を確認するための並行測定も必要である。

対象者への装着法は、就寝時以外はポンプをベルトで腰に装着して吸引口を襟首あたりに固定し、就寝時は専用の防音箱に入れ寝室内に置くことが望ましいが、現実的な調査の実施において、サンプラの重量や大きさ、操作性などの実情にあわせてどこまで条件を緩和するかは検討課題である。また、対象者の「粉じん発生作業」（調理、掃除など）や受動喫煙など環境汚染以外の粉じん発生を把握するために生活行動記録調査も不可欠である。

なお、個人曝露調査では 1 つのサンプルを得るためには対象者の協力はじめ多大なコストがかかり、対象者数は必要最小限にする必要があるため、喫煙者は初めから対象から除くべきであろう。

## （2. 1. 2）個人サンプラの捕集特性に関する予備実験

### 1. 川崎市内公園における並行測定試験

#### 1.1 検討方法

個人サンプラの捕集特性、機差、その他取り扱い上の問題点を明らかにするために、平成 12 年 8 月 16 日～26 日、川崎市川崎区田島町の田島ふれあい公園内において、曝露評価ワーキンググループの各種サンプラの同時測定に合わせて、表 4.2.1-1 の 3 種の個人サンプラ候補機種各 3 台を用いて 24 時間単位の PM<sub>2.5</sub> 濃度を測定し、PM<sub>2.5</sub> の標準サンプラとされる FRM2000（R&P 社 16.7L/min）との比較を行った（図 4.2.1-1）。

表 4.2.1-1 使用個人サンプラの概況

機種（メーカー）	分級原理	インパクタ 塗布材	使用フィルタ	吸引量*1
Spiral (SKC)	多孔インパクタ +サイクロン	なし	テフロンフィルタ（φ25mm）	2.0 L/min
PEM (SKC)	多孔インパクタ	オイル	サポートリング付きテフロン フィルタ（φ37mm）	2.0 L/min*2 （1 台 4.0 L/min）
Sibata(Sibata)	単孔インパクタ （2 段*3）	グリース又は 両面接着テープ	テフロンバインダガラス繊維フィルタ PM <sub>2.5</sub> ：φ19mm（18～22mm） PM <sub>2.5-10</sub> ：φ10mm	1.5 L/min

\*1 使用ポンプは、安定して吸引することを第一にして SKC の AirCheck 2000 などを用い、実際の個人サンプラ用ポンプとしての評価はしなかった。

\*2 PEM は No.1 と No.2 が 2 リットルタイプ、No.3 が 4 リットルタイプ。

\*3 Sibata は PM<sub>2.5-10</sub> を同時に捕集できる。



図 4.2.1-1 川崎市内の公園における 3 種の個人サンプラの並行測定試験（平成 12 年 8 月）

## 1.2 検討結果

フィルタ装着など取扱法の習熟などに関して難点があり、それが原因となった異常値も認められたが、全般的には今回検討に用いた 3 機種間の相関はおおむねよく、基準である FRM の測定値ともよい相関関係が認められた。FRM に最も近い値を示していたのは Sibata であった。

測定結果に関して個々に検討した点を下記に列挙する。

- ① Spiral サンプラについては、同時測定サンプル間の濃度変動が大きかったが、これにはフィルタの性質（帯電による秤量誤差）も影響した。また、Sibata よりも濃度は高いが変動パターンは一致していた（表 4.2.1-2）。
  - ② PEM サンプラについては、衝突板に塗布したオイルがフィルタに付着して測定不能になった試料が多くでてしまった。また、フィルタの性質（帯電による秤量誤差）も重なり、日間の濃度変化の一致は他の 2 種間ほどよくはなかった（表 4.2.1-2）。
- ※ 評価に採用した値にも全くオイルの影響がないとは言えない。各回の低い濃度の方を採用すると、他の機種との結果が近くなる傾向があった。
- ③ Sibata の PM<sub>2.5</sub> 濃度に関しては、同時測定サンプル間の変動は小さく、信頼できる濃度が得られた（表 4.2.1-2）。このことは、用いたフィルタ（T60A20）が帯電しにくく秤量誤差が小さかったことも影響したと考えられた。
  - ④ Spiral と PEM に関しては異常値が多く機差に関する検討は十分出来なかったが、Sibata については機差の問題はなかった。他の 2 機種は、むしろフィルタ秤量時の誤差の方が大きかったと思われる（図 4.2.1-2）。
- ※ PEM はサポートリング付きフィルタの使用を前提とした設計になっている。Spiral や PEM に T60A20 のようなガラス繊維フィルタを装着する場合、現状のままではフィルタを破損する可能性があるため、何らかの対策が必要である。

- ⑤ PM<sub>2.5</sub>濃度が高濃度であった 8/25 の測定値を除くと、Sibata と Spiral との相関は 0.966 から 0.907 に落ち、PEM との相関 (0.868) と大差なくなった (表 4.2.1-3)。
- ⑥ EPA 仕様の PM<sub>2.5</sub>インパクトを持つ FRM の濃度 (基準と考えられる) は、一番低い値を示した Sibata よりもさらに若干低い値であった (図 4.2.1-3)。
- ⑦ Sibata のフィルタ秤量上の利点として、担体 (フィルタ) が小さいために重量が軽いことがあげられる。
- ⑧ 今回使用した SKC のポンプでは、定流量装置により設定流量は問題なく維持されていたようである (Sibata について吸引部に流量計を接続して確認したところ、初日は 1.50 L/min、7 日目の開始時点では 1.52 L/min であった)。

表 4.2.1-2 3種の個人サンプラによる測定日ごとのPM<sub>2.5</sub>濃度 (μg/m<sup>3</sup>)

調査日	FRM (基準)	Spiral		PEM		Sibata	
		平均	CV	平均	CV	平均	CV
8/16 (水)	16.0	31.9	16.7	22.9	4.1	21.9	1.6
8/17 (木)	20.9	37.8	51.7	25.8	2.4	20.8	2.7
8/18 (金)	19.1	41.8	57.1	26.3	11.3	27.2	0.9
8/19 (土)	21.4	28.0	8.0	29.1	--	23.7	2.2
8/20 (日)	16.0	21.9	4.1	31.5	43.7	16.7	5.8
8/21 (月)	23.8	29.7	7.3	34.5	15.0	27.2	2.2
8/22 (火)	39.2	64.6	50.1	51.0	1.3	48.9	1.9
8/23 (水)	36.1	47.2	13.1	60.5	7.8	42.6	1.7
8/24 (木)	31.0	43.8	31.9	38.6	--	32.9	3.7
8/25 (金)	67.2	106.8	17.8	--	--	72.6	1.1

\*CVは変動係数 (%)

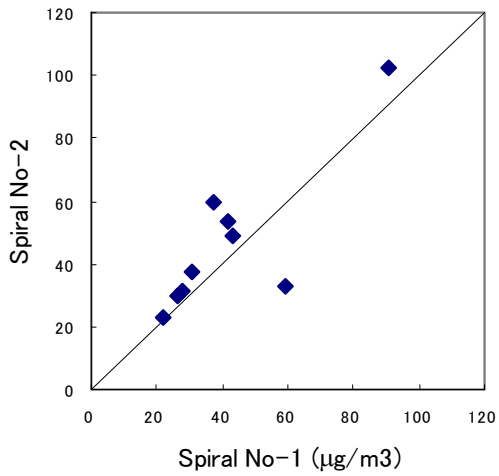
\*PEMの測定値は1~2サンプルの平均。8月25日は正常なサンプル無し。

表 4.2.1-3 各機種間のPM<sub>2.5</sub>濃度間の相関

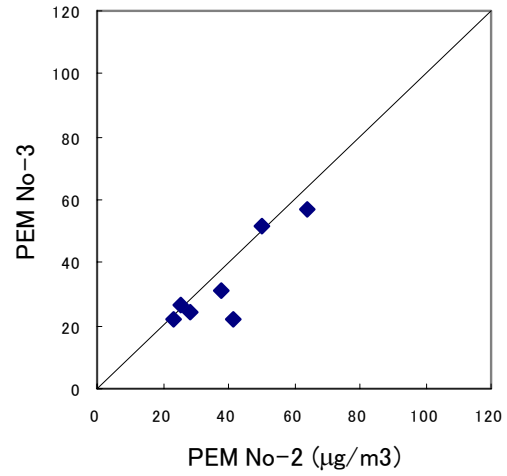
	Spiral	PEM*	Sibata
Spiral	1.000		
PEM	0.652	1.000	
Sibata	0.966	0.868	1.000

PEMのみ8/25の測定が欠測

Spiralの機差(異常値を除く)

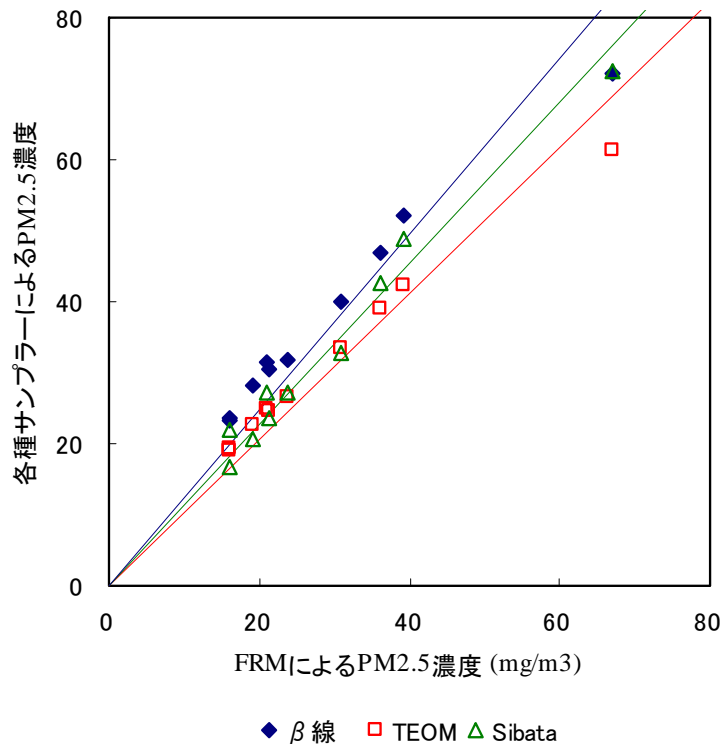


PEMの機差(異常値を除く)



Sibata (PM<sub>2.5</sub>) 2 vs.1, 2 vs. 3 :  $y=0.998x$  ( $r=0.998$ ),  $y=0.992x$  ( $r=0.994$ )

図 4. 2. 1-2 3種の個人サンプラの機差の検討



FRM 測定値 (x) に対する原点を通る回帰式と相関

β線 :  $y_1=1.237x$  ( $r=0.940$ )

TEOM :  $y_2=1.027x$  ( $r=0.963$ )

Sibata :  $y_3=1.134x$  ( $r=0.987$ )

図 4. 2. 1-3 FRM による PM<sub>2.5</sub> 濃度との相関

## 2. 川崎市内公園における並行測定試験

### 2.1 検討方法

「1. 川崎市内公園における並行測定試験」の追加試験として、日本環境衛生センターが平成 12 年 10 月 5 日～11 月 5 日、川崎市川崎区四谷上町の日本環境衛生センター屋上（6 階）において、表 4.2.1-1 と同じ 3 種の個人サンプラ候補機種各 3 台を用いて 24 時間単位の PM<sub>2.5</sub> 濃度を測定し、同一機種内でのばらつきや機種による差を調べるとともに、並行して測定した PM<sub>2.5</sub> の標準サンプラとされる FRM2000 との比較を行った。

### 2.2 検討結果

全体的な傾向としては、1. の試験結果と同じであった。測定結果に関して個々に検討した点を下記に列挙する。

- ① **Spiral** サンプラについて、3 台の機種内の濃度のばらつきは、1. の試験結果に比べて小さかった（表 4.2.1-4）。これは、フィルタの帯電影響を小さくし、秤量精度が良かったことが一因と考えられる。
- ② **PEM** サンプラについては、1. の試験と同様に衝突板に塗布したオイルがフィルタに付着して測定不能になった試料が多くみられ、これらの試料は秤量しても高い値となった。これらの試料を除いて処理しても、機種内のばらつきは他の 2 機種に比べて大きかった（表 4.2.1-4）。
- ③ **Sibata** サンプラについては、3 台の機種内の濃度のばらつきが 1. の試験と比べるとやや大きくなったが、問題ない範囲と考えられる（表 4.2.1-4）。
- ④ それぞれの機種における機種内の相関は、図 4.2.1-4 のように、**Spiral** と **Sibata** は同様にばらつきが小さく、**PEM** で大きかった。しかし、標準法である **FRM** と各機種の 3 台の平均値との関係は図 4.2.1-5 のように、傾きは **PEM** が最も 1 に近く、**Spiral** では若干高めに、**Sibata** では若干低めに見られたのに対し、相関は **Sibata** が最も良く、次いで **PEM** が良く、**Spiral** が比較的悪い結果となった。
- ⑤ 以上より、**Sibata** が **FRM** に比べて若干低めの値を示していたものの、**FRM** との相関及び機種内のばらつき結果もよく、この試験の内では最も良い結果を示した機種であったと言える。これに対し、**Spiral** では機種内のばらつきは小さいものの **FRM** との関係の上でやや劣り、**PEM** では **FRM** との一致は良いものの機種内のばらつきが大きいことやインパクトオイルの問題がみられた。しかしながら、10 月 27 日以降のデータを見る限りでは 3 台のサンプラにおいてそれほど差もみられず（表 4.2.1-4、図 4.2.1-5）、いずれも良好な結果とも考えられ、操作上の慣れの影響もあると考えられた。

表 4.2.1-4 3種の個人サンプラによる測定日ごとのPM<sub>2.5</sub>濃度 (μg/m<sup>3</sup>)

調査日	FRM (基準)	Spiral		PEM		Sibata	
		平均	CV	平均	CV	平均	CV
10/5 (木)	25.2	50.6**	--	33.7*	35.3	21.3	11.3
10/10 (火)	53.1	39.6**	--	55.7*	8.6	46.0	4.3
10/11 (水)	69.8	84.1	5.4	70.5*	6.7	65.1	5.4
10/12 (木)	30.3	43.4*	16.7	28.3*	32.8	28.2	6.1
10/16 (月)	21.1	23.0*	7.1	34.5*	30.1	17.0	4.6
10/17 (火)	43.7	47.2	5.1	41.3*	10.8	41.0	1.2
10/19 (木)	36.2	44.3*	15.7	35.9*	7.2	33.2	10.2
10/24 (火)	37.2	31.8	1.7	35.0*	0.2	28.5	7.5
10/25 (水)	63.1	73.3	9.9	65.8*	0.6	63.7	4.5
10/26 (木)	14.8	24.9	12.4	23.0	16.5	12.0	6.1
10/27 (金)	31.0	38.3	5.1	33.4	8.1	29.5	9.7
10/28 (土)	49.4	48.8	6.2	45.9	4.6	44.8	4.0
10/29 (日)	28.4	27.7	5.9	29.4	30.1	24.4	4.7
10/30 (月)	20.5	24.3	7.7	21.1	17.5	18.2	52.3
10/31 (火)	41.8	43.2	2.0	39.9	4.8	41.3	8.4
11/1 (水)	38.2	39.9*	6.7	37.2	10.2	35.3	4.0
11/2 (木)	18.1	16.7	11.6	15.1	15.5	11.9	10.9
11/3 (金)	14.8	17.7	9.5	15.9	29.7	12.2*	8.5
11/4 (土)	27.2	28.8	0.4	26.0	5.6	24.5	8.4
11/5 (日)	69.8	73.4*	2.1	68.5	2.3	69.8	1.9

\* 試料検体数は n=2,

\*\* 試料検体数は n=1

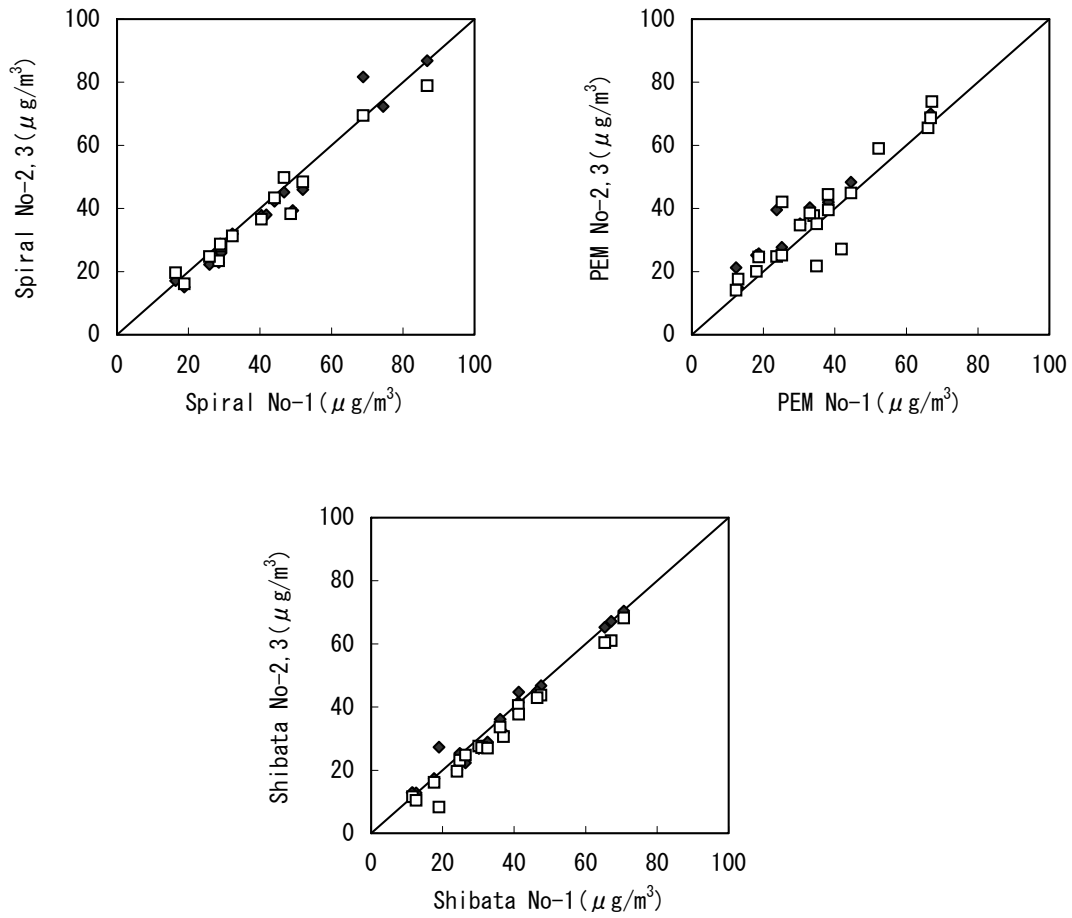


図 4. 2. 1-4 FRM による  $\text{PM}_{2.5}$  濃度と 3 種の個人サンプラ（平均値）との相関

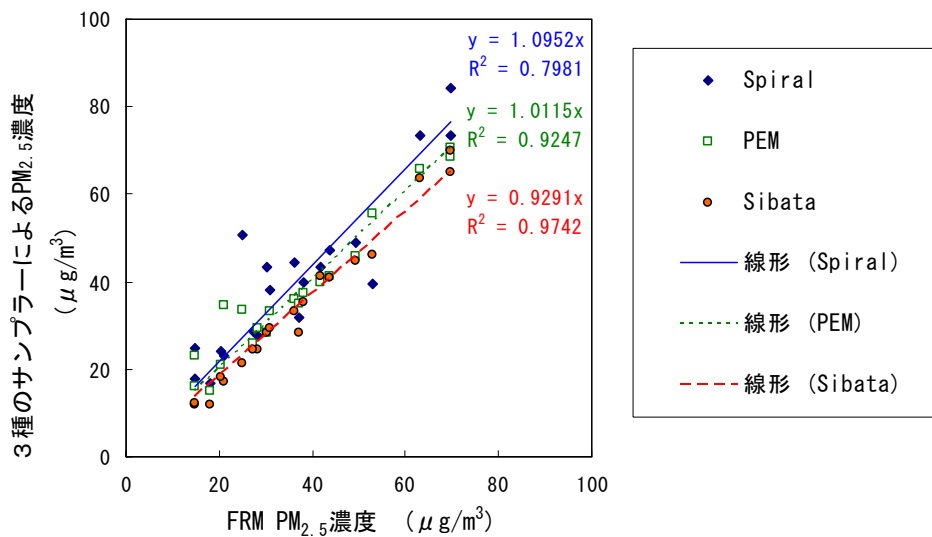


図 4. 2. 1-5 FRM による  $\text{PM}_{2.5}$  濃度と 3 種の個人サンプラ（平均値）との相関



### 3. 横浜国大屋上における個人サンプラ並行測定試験

#### 3.1 検討方法

平成12年8月に川崎で行った3種の個人サンプラ捕集特性試験の結果、PEMとSibataの測定成績が良かったが、操作上の問題（フィルタの汚損）やフィルタ材質による差などによる影響があったため、この2種の個人サンプラについて、これらの点について更に検討した。

調査期間は平成12年12月6日～平成13年1月13日で、横浜市保土ヶ谷区常盤台の横浜国立大学環境科学研究センター（現環境情報4号棟）屋上で実施した。

既設のTEOMの脇にPEM、Sibataの2種の個人サンプラ各2台及びFRM2000を設置し、24時間（一部8時間+16時間）単位で並行測定を行い、PM<sub>2.5</sub>濃度を測定した。また、一部は帯電のため秤量しにくいテフロン系のフィルタを用いた（表4.2.1-5、図4.2.1-6）。

なお、使用ポンプは、今回も安定して吸引することを第一にしてSibata Σ300、SKC AirCheck 2000などを用い、実際の個人サンプラ用ポンプとしての評価は行わなかった。

表 4.2.1-5 調査期間ごとの調査内容

調査開始日	PEM、Sibataの使用フィルタ	測定間隔など
平成12年12月6日(水) ～12月12日(火)	T60A20（一部TX40）	24時間捕集を7回
平成12年12月13日(水) ～12月19日(火)	T60A20（一部TX40）	8時間捕集（10時～18時）と16時間捕集（18時～翌日10時）を各7回
平成12年12月20日(水) ～13年1月13日(火)	テフロン系フィルタ	24時間捕集を12回 （圧損増加によるポンプ停止のための追加を含む）

#### 3.2 検討結果

PEM、Sibataとも個人サンプラとして十分な機能を持つものと考えられたが、価格、PM<sub>10</sub>の同時測定などの有利な点をもつSibataのサンプラを今後の調査研究では採用することとした。また、日内変動を把握するためにpDRなど粉じん濃度モニターの併用は有効であると考えられた。

測定結果及び主な検討結果を下記に列挙する。

- ① 調査日程は表4.2.1-5のとおり。当初10回ずつの繰り返しを予定していたが、測定上のトラブルなどがあり若干変更した。また、途中でポンプが止まったものでも、15時間以上捕集していた場合にはその値を採用した。
- ② 捕集前後各2回の秤量時の差はT60A20の場合、PEMでは0.8μg（最大1.5μg）、Sibataでは0.5μg（0.9μg）であったのに対し、テフロンフィルタの場合、PEMでは0.8μg（2.6μg）、Sibataでは1.2μg（2.1μg）と若干大きかったが、捕集量に対しては0.2～0.3%（最大1.1%）で測定上問題になる大きさではなかった。
- ③ サンプラ2個の測定値の差はPEMが平均1.7μg/m<sup>3</sup>（0.1～8.2μg/m<sup>3</sup>）、変動係数は平均5.3%（0.2～26.8%）、Sibataはそれぞれ2.1μg/m<sup>3</sup>（0.2～8.5μg/m<sup>3</sup>）、変動係数は平均5.8%（0.3～17.18%）とともに小さかった。
- ④ FRMの測定値に対して、PEMもSibataも非常によい相関を示し、傾きも1に近かった（図4.2.1-7、図4.2.1-8）。

FRMとPEMのPM<sub>2.5</sub>濃度： $PEM=0.953 \times FRM+2.6$  (R<sup>2</sup>=0.948)

FRMとSibataのPM<sub>2.5</sub>濃度： $Sibata=0.960 \times FRM$  (R<sup>2</sup>=0.971)

- ⑤ FRMとTEOMとの相関も良かったが、TEOMの濃度が低くなる傾向があった。

FRMとTEOMのPM<sub>2.5</sub>濃度： $TEOM=0.515 \times FRM+4.2$  (R<sup>2</sup>=0.901)

- ⑥ 秤量にはMettler Toledo社のUMT2とUM3（ともに0.1μg単位）を用いた。帯電しやすいフ

フィルタとして、テフロン系のフィルタを用いた結果では、ガラス繊維系（T60A20、TX40）に比べ秤量誤差は大きかったが、概ね  $2\mu\text{g}$  以下におさまり、捕集量に対する変動の割合も 1%以下であった（今回から天秤の秤量室内に  $\alpha$  線源を置いた効果もみられたようである）。

- ⑦ Sibata は捕集面積が小さいため、Nuclepore フィルタでは 24 時間捕集の途中で圧損が大きくなり、ポンプが停止することがあった。



図 4. 2. 1-6 横浜国大屋上の並行試験（平成 12 年 12 月～13 年 1 月）

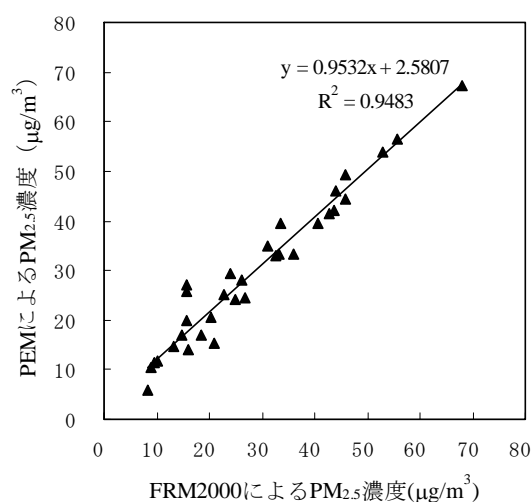


図 4. 2. 1-7 FRM と PEM の PM<sub>2.5</sub> 濃度

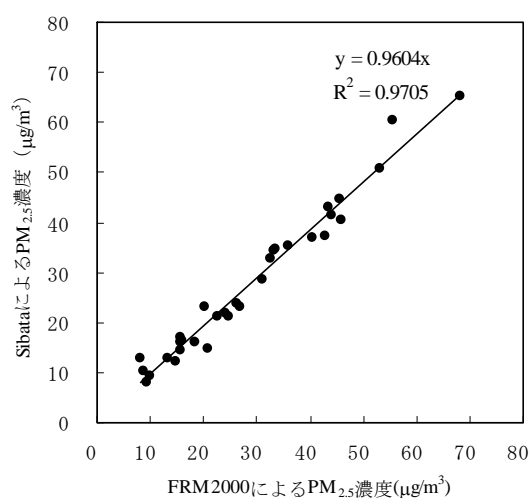


図 4. 2. 1-8 FRM と Sibata の PM<sub>2.5</sub> 濃度

#### 4. 横浜国大屋上における Sibata と FRM2000 との並行測定

##### 4.1 検討方法

既に 3 回の予備試験で PM<sub>2.5</sub> の個人サンプラとしては、柴田科学製の個人サンプラが操作性に優れ安価でかつ十分本研究課題に答えられるという結果が得られたが、さらに FRM との平行測定をする機会を得たのでその結果を検討することとした。

測定場所は前回と同じ横浜国立大学環境科学研究センター（現環境情報 4 号棟）屋上である。調査期間は平成 13 年 3 月 16 日～3 月 30 日である。

##### 4.2 検討結果

今回も Sibata 個人サンプラと FRM2000 による PM<sub>2.5</sub> 濃度の相関は非常によく、回帰直線の式

は  $y=1.051x$  ( $N=15, r=0.994$ )であった (図 4.2.1-9)。これはサンプリング実施日中に異常に高濃度な日があったことが影響していたためであるが、これを除いても  $y=1.069x$  ( $N=14, r=0.979$ )であった。

また、川崎の8月の調査では直線の傾きは1.134(FRMの測定値よりSibataの値が13.4%多い)、横浜の12月の調査では0.960(FRMの測定値よりSibataの値が4%少ない)であったのに対し、今回は1.051あるいは1.069であった。測定場所、測定時期によってわずかに異なっていたが、3回の測定値を全て使用した回帰直線は  $y=1.018x$  ( $n=57, r=0.980$ )であり、Sibataの個人サンプラの捕集特性はFRM2000と相違しないものと考えられた (図 4.2.1-10)。

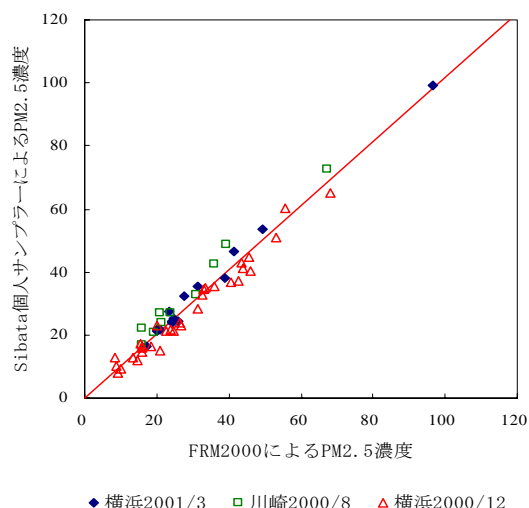
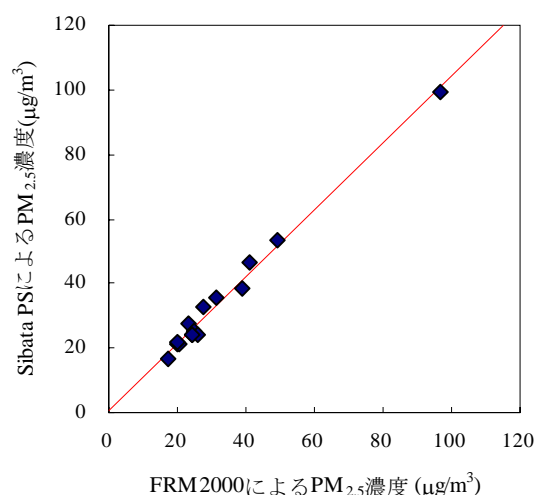


図 4.2.1-9 横浜国大屋上におけるFRM2000とSibata個人サンプラによるPM<sub>2.5</sub>濃度

図 4.2.1-10 過去3回のFRM2000とSibata個人サンプラによるPM<sub>2.5</sub>並行測定結果

## 5. 個人サンプラの改良

### 5.1 検討目的

PM<sub>2.5</sub>個人曝露調査用に作成したフィルタホルダ(柴田科学製 ATPS-20H)を川崎、横浜における測定で使用した結果、バックアップフィルタの材質によっては24時間捕集で目詰まりによる圧損の増加で定流量捕集が出来ないことがあった。また、高濃度汚染の中国都市での捕集では2.5ミクロンカットへ気流を絞り込む面に粉じんが付着する現象が確認された。これらの問題点を解消するため、サンプラの改良を行うこととした。

### 5.2 検討方法

捕集粉じんによる圧損の増加を緩和する方法としては、①圧損の少ないフィルタを用いる、②捕集量を減らす、③捕集面積を増やす、等がある。また、内部付着の解決には①衝突面の流速を減らす、②衝突面までの距離を長くする、③衝突面の傾斜角度を大きくする、等があり、これらの対策に関して検討した。

図 4.2.1-11 にフィルタホルダ(柴田科学製 ATPS-20H)の構造と、改善が必要と考えた箇所の番号をグレーで示す。

### 5.3 検討方法

#### 5.3.1 圧損の緩和策について

①のフィルタによる対応は成分分析などの用途に合わせた既存フィルタを用いることが前提であるので、ここでは検討の対象外である。②の捕集量を減少させるという対応については、通常の1.5 L/minで24時間捕集の捕集時間を8時間程度まで減少させることは不可能ではないが、実際の調査手法の変更や手間の増加を考えると現実的ではない。また、吸引量を1.5 L/min以下にすることはサンプラのカットオフ特性を変更してしまうことになり無理である。そこで、圧損の増加に対しては、③のバックアップフィルタの捕集実効面積を増加させることとした。初期モデルのサン

プラではφ18mm からφ20mm のフィルタを用いながら捕集面がφ11mm（有効捕集面積は95mm<sup>2</sup>）であった。そこで、捕集面をφ16mm（有効捕集面積は201mm<sup>2</sup>）に変更したことにより捕集面積は2.1倍となった。従来の捕集経験では圧損の大きなフィルタでも15時間以上は可能であったので、通常では24時間まで可能となる。この改造にはフィルタホルダ部の改造(図4.2.1-11の⑨のスペーサー及び⑬、⑮のパッキン開口部の拡大、⑯ステンレスメッシュ面の拡大)が必要であった。

なお、これ以上高濃度の場合には捕集時間を短縮する必要がある。なお、繊維フィルタしか用いない場合には今回の改造の必要はない。

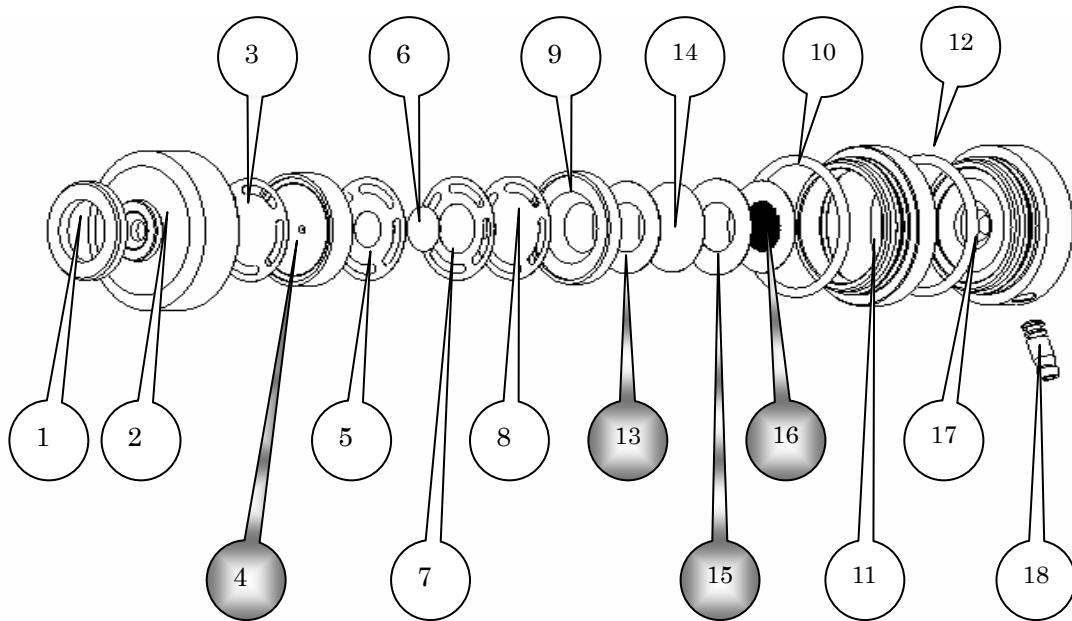


図 4. 2. 1-11 フィルタホルダ (ATPS-20H) の各部の名称と組み立て順序

部品の名称は、①ノズルカバー (POM)、②10μm カットノズル (POM&A5056)、③SUS304 インパクト (4つ穴、中央部にグリースを塗布する)、④2.5μm カットノズル (POM&A5056)、⑤SUS304 インパクト (穴径φ8mm)、⑥φ10 フィルタ、⑦SUS304 インパクト (穴径φ11mm)、⑧SUS304 インパクト (4つ穴)、⑨スペーサー (POM)、⑩Oリング S-28 (NBR)、⑪中間リング (POM)、⑫Oリング S-28 (NBR)、⑬PTFE パッキン、⑭φ20 フィルタ、⑮PTFE パッキン、⑯SUS φ16 メッシュ、⑰ホルダ (PON)、⑱チューブコネクタ (POM)

改善対象の部品としては、圧損関連では⑭のバックアップフィルタの前後⑨⑬⑮⑰、内部付着関連では④で起こるため③及び②、④の検討を行った。

### 5.3.2 内部付着に対して

検討した対応策のうち、②衝突面までの距離を長くする、及び③衝突面の傾斜角度を大きくすること(図4.2.1-11の④の変更)は、サンプラの形状を大幅に変更することになるため、今回は①流速を落とすことで対応することとした。図4.2.1-11の④の2.5ミクロンカットノズル面での流速を落とす方策として、吸引流量1.5L/minを減らすことは捕集特性を変えてしまうためにできないので、10ミクロン以上の粒子を捕集するグリースを塗布したステンレス板(図4.2.1-11の③)の通気孔面積を拡大して流速を下げることにした。従来のステンレス板では4つの穴の面積は合計で約85mm<sup>2</sup>であったが、これを大きな3つ穴として合計約140mm<sup>2</sup>(1.65倍)の面積を確保した。これにより、流速は0.61倍になり、付着量を大幅に減少させることが期待できる。この改良により、捕集量に対する割合は無視できるレベルになっていることが確認された。

## 6. 個人サンプラ APTS-20H の PM<sub>2.5</sub> カット特性について

柴田科学製の個人サンプラ（フィルタホルダ） APTS-20H の PM<sub>2.5</sub> カット特性に関して、以下の方法で確認した。

試験粉体として、2.5 $\mu$ m を挟んで大小数種の単一な粒径を持つポリスチレンラテックスを粒子発生器からガラスチェンバに導入し、2 台のパーティクルカウンタで個数濃度を計測した。1 台は PM<sub>10</sub> インパクタにグリース塗布板、PM<sub>2.5</sub> インパクタにガラス繊維フィルタ（Pallflex T60A20）を置いた APTS-20H を途中につなぎ、もう 1 台は何も途中につながない状態で、同時に測定した 2 台の個数濃度の比率から PM<sub>2.5</sub> インパクタの透過率を求めた。

測定の結果、図 4.2.1-12 に示すように、粒径 2.5 $\mu$ m における透過率は 51.% となっており、カットオフの中心径については概ね WINS インパクタと一致する良好な成績であった。

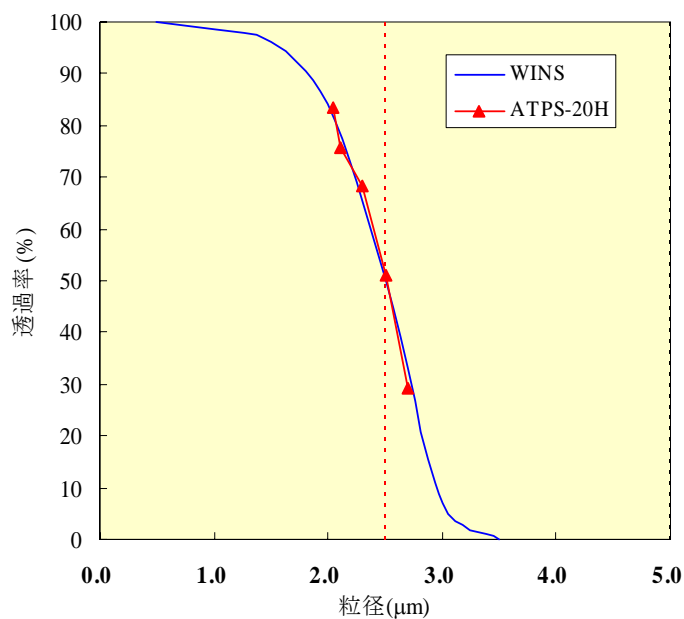


図 4.2.1-12 APTS-20H の PM<sub>2.5</sub> カット特性

## (2. 2) 個人曝露調査法の検討 — 学生を使った個人曝露調査法の検討 —

### (2. 2. 1) 概要

平成 13 年度以降、一般地域住民を対象とした個人曝露量調査を実施することを念頭に置き、横浜国立大学の学生を対象として、操作性、騒音などの問題の洗い出しとポンプの選定をかねた予備調査を行った。さらには、横浜国立大学環境科学研究センター1号館（現：環境情報4号棟）屋上に設置した R&P 社（東京ダイレック）製 FRM-2000 による定点測定データを利用し、固定測定局データと個人曝露量との関係についての予備的検討を行った。

### (2. 2. 2) 測定方法

横浜国立大学環境科学研究センターから、徒歩約 20 分程度の範囲内に済む横浜国立大学大学院生約 10 人を募集し、PM<sub>2.5</sub>個人曝露量測定を実施した。

測定期間・項目等の詳細は以下の通りである。測定開始に先立ち、平成 13 年 3 月 13 日（火）に機器の取り扱い等の説明会を開き、測定内容等を記載した印刷物を配布した。

測定期間：平成 13 年 3 月 14 日（水）から 3 月 31 日（土）までの任意の 10 日間

測定場所：個人曝露量、家庭内外の 3 カ所

測定内容：PM 測定に関しては、柴田科学社製 PM 個人サンプラ（フィルタホルダ）を、柴田科学社製ミニポンプ MP-Σ300 に接続して実施。個人曝露量測定は内蔵バッテリーを使用し、家庭内外の測定の場合は外部電源を使用  
フィルタバジ NO<sub>2</sub>（アドバンテック東洋株式会社製）を用いた NO<sub>2</sub>濃度測定（測定場所は PM に同じ）

オンセット社 HOBO H8Pro を用いた、家屋内の温湿度連続測定

測定時間：24 時間サンプリング×10 回（おおむね午前 10 頃から測定を開始）

その他：生活記録調査票への記入を依頼するとともに、測定実施に関する問題点などを自由に記載してもらった。

### (2. 2. 3) 結果

ここでは個人曝露量測定に関する報告を行う。個人曝露量測定に協力が得られたのは、男 9 人、女 1 人の計 10 人であった（対象者 A～K、J が女性）。このうち、喫煙者は C、G、H、K の 4 人であった。以下では、個人曝露測定結果の概要と、試験調査に対する各人のコメントの要約を示す。

#### 1. 個人曝露量測定結果

個人曝露量測定結果を、FRM 測定値と併記して示す（表 4.2.2-1、図 4.2.2-1）。期間中の FRM による PM<sub>2.5</sub>濃度は、最高が 97.2 μg/m<sup>3</sup>、最低が 11.1 μg /m<sup>3</sup>、平均で 29.2 μg /m<sup>3</sup>であった。個人曝露量は期間中平均で見ると、若干高めな値が得られている傾向が認められる。各測定日の値をそれぞれ検討すると、FRM 濃度の変動傾向及び濃度値とおおむねよい一致を示しているケースも認められると考えるが、全般的にはかなりばらつきが認められている。図 4.2.2-1 では喫煙者を点線で示しているが、喫煙者で高い値が得られる傾向が認められ、喫煙による個人曝露量への寄与が認められるが、非喫煙者でも高い値が得られている場合も認められた。

個人曝露量と家屋内濃度、家屋外濃度の比較結果を図 4.2.2-2 及び図 4.2.2-3 に示す。本報告書では、すべてのデータが独立であるとして集計を行った。個人曝露量と家屋内濃度の相関係数は 0.44 (P<0.001) であり、個人曝露量と家屋外濃度の相関係数は 0.31 (P=0.003) であった。個人曝露量を基準変数とし、家屋内、家屋外濃度それぞれを説明変数とする回帰直線を求めたところ、

$$\text{個人曝露量} = 0.58 \times \text{家屋内濃度} + 23.3 \quad (R^2 = 0.20)$$

$$\text{個人曝露量} = 0.56 \times \text{家屋外濃度} + 22.4 \quad (R^2 = 0.09)$$

であった。いずれの式においても切片は統計的に有意であるが、参考までに原点を通る直線を求めてみると、

$$\text{個人曝露量} = 1.04 \times \text{家屋内濃度}$$

$$\text{個人曝露量} = 1.09 \times \text{家屋外濃度}$$

であった。

本報告書では、生活記録や対象者の居住地域（ex. 沿道／後背、FRM 測定点との距離など）との関係や NO<sub>2</sub> などとの関係は検討していない。これらの点についても検討を加え、濃度レベルに及ぼす要因及びその寄与の程度について検討する必要があるとともに、定点測定と周辺住民の個人曝露量との関係を検討する必要がある。

表 4.2.2.-1 個人曝露量測定結果

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	FRM
3月14日	24.0		17.6				40.2				13.0
3月15日			18.6			26.4	14.3				11.1
3月16日	18.1		19.7			91.4	18.0				23.9
3月17日		62.0					136.7				97.2
3月18日	47.3	43.2				41.2		53.2		74.1	49.8
3月19日	28.2	36.5	36.8	85.4		122.9		31.8		185.4	39.5
3月20日	48.8	47.3	33.4	43.3		32.2	36.3				41.8
3月21日	36.5	36.0		60.1	158.1	56.1	78.1	52.3	37.2		28.1
3月22日	26.4	37.0		27.4	28.0	25.2	116.2	26.6		42.6	24.9
3月23日	21.1	29.7	46.7	37.9	40.0			42.7		22.5	20.5
3月24日	26.5	20.4	99.1	25.9	26.1			30.0	94.1	31.7	25.4
3月25日	22.0	28.7	24.0		23.6	19.5			20.9		26.5
3月26日		49.2	13.3					35.1		19.2	17.7
3月27日				26.5	24.3	24.3		26.4	34.2	26.7	21.4
3月28日			19.0	40.7	26.9			30.4	19.7	61.1	32.0
3月29日				23.2	15.7				1.8	25.7	24.7
3月30日				24.2				21.0	18.8		20.5
3月31日											28.6
4月1日						23.3			59.6	86.3	20.1
4月2日									21.9		17.9
平均	29.9	39.0	32.8	39.5	42.8	46.3	62.8	35.0	34.2	57.5	29.2
測定該当日のFRMの平均	29.3	37.1	25.1	27.9	25.4	28.7	34.3	28.0	24.1	27.6	

単位：μg/m<sup>3</sup>

網掛け部分は喫煙者を示す。

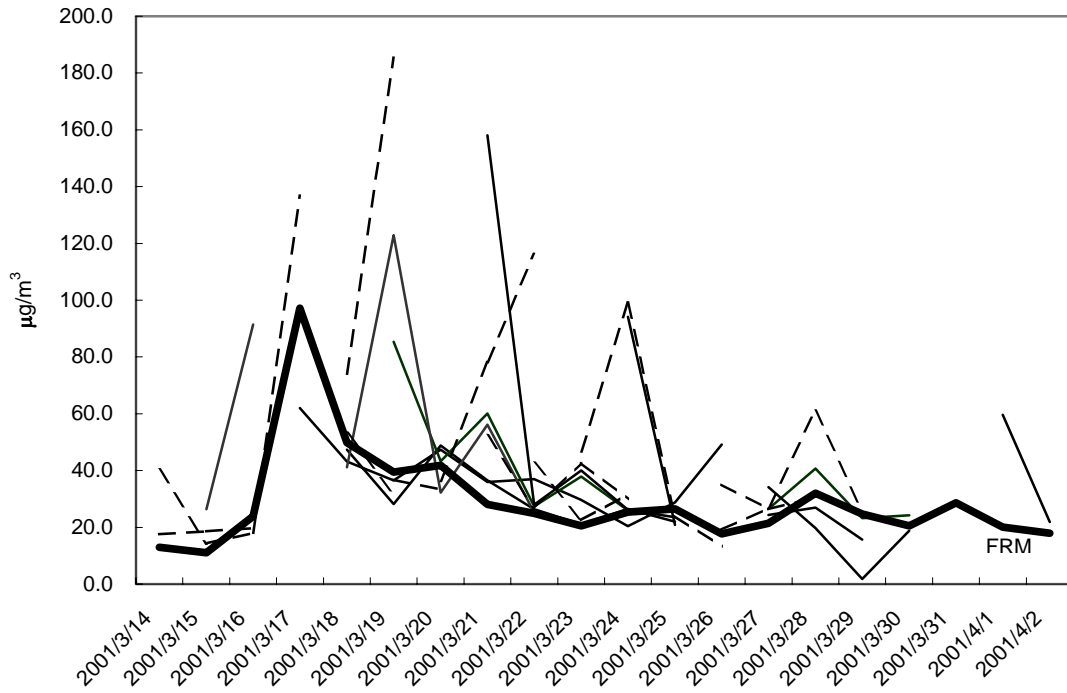


図 4. 2. 2-1 個人曝露量の推移

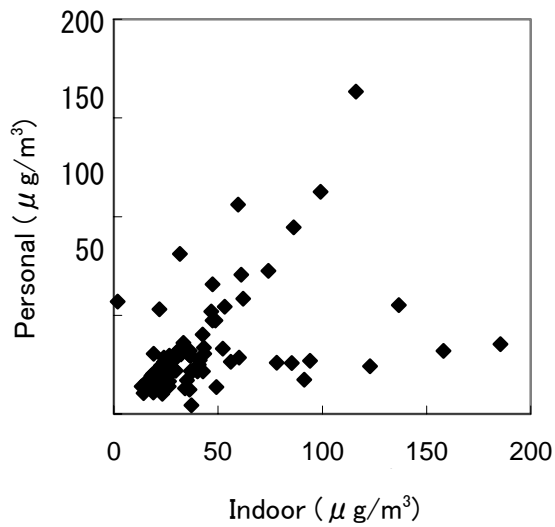


図 4. 2. 2-2 個人曝露量と家屋内濃度の関係

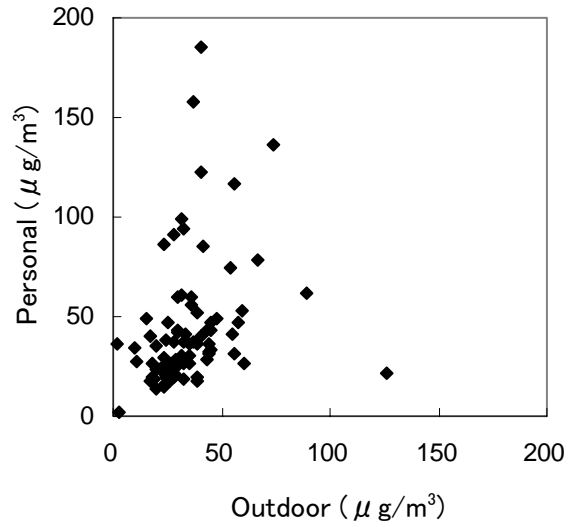


図 4. 2. 2-3 個人曝露量と家屋外濃度の関係



## 2. 対象者からの改善に向けたコメント等

各対象者から、サンプラ装着を含めて、測定についての感想や、今後の調査実施の際の改善点について自由に意見を集めた。比較的多く、また共通に指摘された点は以下の通りである。

- ・ 取り扱い説明書  
イラストなどをふんだんに取り入れ、より視覚的に訴えた方がよいとの指摘があった。
- ・ サンプラヘッドの取り付け  
サンプラヘッドの向が一定しないことに対してコメントがあった。
- ・ サンプラの交換  
PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>バッジの交換を、毎日3カ所ずつ実施することに結構時間をとられるとの指摘があった。今回、FRM フィルタの交換時刻と合わせるように午前中の交換をお願いしたが、交換回数(使用サンプラ数)、さらには交換等の時間帯の検討も必要かもしれない。
- ・ ポンプの騒音  
ケースに入れればほとんど音は気にならない(逆にケースにいれていないと気になる)との指摘があった。
- ・ ポンプの携帯性  
特にケースに入れた際の大きさ、重さに違和感を覚えていた。日常生活を妨げないためにも、より小型・軽量化が求められる。
- ・ 外部バッテリー  
家屋外での測定時に電源の確保の問題ありとの指摘があった。
- ・ 生活行動記録の記入方法  
どの程度のことまで記載すればよいのか迷う箇所があるとの指摘があった。
- ・ 生活パターン  
通常の日常生活の中での測定実施をお願いしたが、逆にサンプラを装備したことによって、生活パターンが影響を受ける可能性があることが指摘された。
- ・ 測定期間  
今回の測定ではやや長めの10日間を設定して実施した。途中から煩わしさを感じている人も多かった。本調査では、無理のない日程を設定する必要もある。