

## 報告 (Note)

### 環境大気における多環芳香族炭化水素の粒径別濃度分布と季節変動

杉山英俊, 齋藤 剛  
(環境保全部)

#### Seasonal Variation and Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ambient Air

Hidetoshi SUGIYAMA, Tsuyoshi SAITO  
(Environmental Conservation Division)

キーワード: 多環芳香族炭化水素, SPM, PM<sub>2.5</sub>, 環境大気

#### 1 はじめに

大気中に存在している浮遊粒子状物質(SPM)は粒径が 10 $\mu$ m以下の微粒子であり, 我が国では環境基準が設定され常時監視も続けられている。SPMの中で粗大粒子側[PM(2.5-10)]には土壌や海塩など自然由来の粒子が, またそれ以下の微小粒子側であるPM<sub>2.5</sub>にはディーゼル排ガス等燃焼過程から排出される粒子や二次生成粒子が多く含まれている。

PM<sub>2.5</sub>のような微小粒子は肺胞ないし下気道に沈着する割合が多いと言われており<sup>1)</sup>, 健康影響に対する懸念からPM<sub>2.5</sub>に関心が集まるようになってきた。SPM中には多数の多環芳香族炭化水素(PAHs)が含まれており, このPAHsの中には発癌性や変異原性を有するものが多い。従って, SPM中PAHsの粒径別濃度分布や挙動を把握することは, 化学物質による環境リスクを評価するうえで非常に重要であると考えられる。そこで, 今回, 平塚市内の環境科学センター近傍12地点において, 秋冬春夏の四季にわたり採取したPM<sub>2.5</sub>及びPM(2.5-10)中の13種類のPAHsについて分析を行ったところ, 若干の知見が得られたので報告する。

#### 2 実験方法

##### 2.1 調査地点

環境科学センター(平塚市四之宮 1-3-39)を含む平塚市内3km $\times$ 4kmの範囲で, 約1km四方のメッシュに区切った12地点を選定した。調査地点名は本文中M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11及びM12として示し, これらの地点は自動車等発生源の影響の少ない一般環境である。これら12地点について2002年11月(19~22日), 2003年2月(4~7日), 2003年5月(20~23日), 2003年8月(5~8日)の秋冬春夏の四季に試料を採取した。

##### 2.2 試料採取

分粒型ローボリュウムエアサンプラー<sup>2)</sup>の上段にPM(2.5-10)試料採取用ろ紙, 下段にPM<sub>2.5</sub>試料採取用のろ紙をセットした。このサンプラーを20L/分の速度で連続した3日間, 24時間ごとにろ紙を変え試料を採取した。得られた試料は恒温恒湿室に1日放置した後秤量した。秤量後の試料は分析を行うまで-40 $^{\circ}$ Cで保存した。ろ紙で捕集されないPAHsの量(破過量)を検討するため, PM<sub>2.5</sub>用のろ紙の下にさらに試料採取用のカセットを2個セットした。このカセットに厚さ25mmのウレタンを2個セットし, 20L/分で環境大気を吸引し, 以下同様に操作を行った。

##### 2.3 調査対象物質

調査対象としたPAHsは以下の13種類である。1:ベンゾ(a)アントラセン [B(a)A], 2:トリフェニレン, 3:クリセン, 4:ベンゾ(j)フルオランテン+ベンゾ(b)フルオランテン [B(j)F+B(b)F], 5:ベンゾ(k)フルオランテン [B(k)F], 6:ベンゾ(e)ピレン [B(e)P], 7:ベンゾ(a)ピレン [B(a)P], 8:ベリレン, 9:インデノ(1,2,3-cd)ピレン [I(1,2,3-cd)P], 10:ジベンゾ(a,h)アントラセン [DB(a,h)A], 11:ベンゾ(ghi)ベリレン [B(ghi)ベリレン], 12:コロネン, 13:ジベンゾ(a,e)ピレン [DB(a,e)P]。

なお, 本法ではB(j)FとB(b)Fはクロマト上分離できなかったため1物質として扱った。

##### 2.4 器具及び装置

GC/MSは日本電子(株)製 Autosun 200を使用した。妨害物質の除去にはWaters社製のC<sub>18</sub>カートリッジ Sep-Pak Vac RC (500 mg)を使用した。

##### 2.5 GC/MS測定条件

分離カラムはスペルコ製 PTE-5(0.25mm $\times$ 30m; 膜厚0.25 $\mu$ m)を使用した。

GC/MS 操作条件は以下の通り。

注入口温度：280

カラム温度：60（1分）- 30 /分 - 250（0分）  
- 3 /分 - 280（0分）- 20 /分 - 300（10分）

SIM 測定において定量用の M/Z はそれぞれの物質の分子イオンを用い、確認用には特徴的なフラグメントピークを用いた。

## 2.6 分析方法

1日を単位として連続して3日間採取したろ紙試料各半分を使い、合計1.5枚分を1試料とした。

これらの試料を細切し、50ml 共栓付き遠沈管に入れ、ジクロロメタン 30ml を加えた後 10 分間超音波処理した。遠心分離後、上澄み液を 200ml ナス型フラスコに取り、再度ジクロロメタンで抽出を繰り返した。上澄み液を合わせロータリーエバポレーターで 1~2ml 程度に濃縮した。これにヘキサン 30ml を加え、再度 1~2ml 程度に濃縮し、これをカラムクロマトグラフ用の試料とした。洗浄済み C<sub>18</sub> カートリッジにこの試料を入れ、2% アセトン含有ヘキサン 7ml で自然落下により溶出した。得られた溶出液を N<sub>2</sub> 気流で濃縮し、内部標準物質 [B(a)Ad<sub>12</sub> 及びベリレン d<sub>12</sub>] を加えた後 200 μl とした。そのうちの 1 μl を GC/MS に注入し、検量線から試料中の PAHs 濃度を求めた。破過量検討のための試料は、試料採取後、ろ紙にはジクロロメタン 30ml、ウレタンにはアセトン 30ml を加え以下同様に操作を行った。

## 3 結果と考察

### 3.1 分析方法の検討

今回採取した試料は分析方法を検討する前に試料採取を行ったため、PAHs がどの程度捕集できるかわからなかった。そこで、分析方法の検討は、13物質以外に大気環境中で検出頻度及び濃度が高いフルオランテン、ピレンも含め行った。

#### 3.1.1 クリーンアップ方法

SPM 中には多くの有機物質を含むため、溶出液を直接 GC/MS に注入すると目的物質の定量の妨害となるばかりでなく感度の低下やカラムの劣化を早める原因となる。そこで、妨害物質を除去するためのカラムクロマトグラフィーについて検討した。抽出溶媒であるジクロロメタンは溶出力が強いいため抽出試料はヘキサンに転溶した。C<sub>18</sub> カートリッジを 2% アセトン含有ヘキサン 10ml で洗浄し、洗浄液をカラムヘッドまで流下させた。

PAHs 標準物質各 0.5ppm を含む混合溶液 1ml を試験管に取り、10~20 μl 程度に濃縮、これにヘキサンを加え、約 1ml とした。このヘキサン溶液

を C<sub>18</sub> カートリッジにバスツールピペットで加え、カラムヘッドまで流下させた。容器を 2% アセトン含有ヘキサン 1~2ml で洗浄し、同様に操作した後、2% アセトン含有ヘキサン 10 ml を加え、自然落下させた。2ml ずつ 10ml を分取し、溶出順に Fr1 から Fr5 までを得た。Fr 1 における PAHs の溶出割合は 78~90%、Fr2 では 10~19% であり、Fr2 までにほとんどの PAHs が溶出されることがわかった。

なお、試料により溶出条件が若干異なる場合も考え、溶出溶媒は 8ml とした。

#### 3.1.2 回収率

PAHs 標準物質各 0.5ppm 溶液 1ml を取り、N<sub>2</sub> 気流で 10~20 μl 程度に濃縮した。これにヘキサン 3ml を加え混合、そのうち 1ml を取り 2.6 の分析方法に従って一連の分析を行った。残りの 2ml 溶液の濃度を標準として得られた結果を表 1 に示した。本法による定量限界は 0.01ng/m<sup>3</sup> である。表 1 に示したように、PAHs の回収率は 88% 以上と良好であった。

#### 3.1.3 破過量試験

大気中の PAHs はガスと粒子の 2 つの状態で存在する。吉岡らはハイボリュームエアサンプラーで 800L/min で吸引するとフルオランテン、ピレンの捕集率が低いと報告している<sup>3)</sup>。そこで、今回の試料採取方法による PAHs の捕集効率について検討した。環境科学センター 2 階ベランダに上記試料採取装置を設置し、2.2 試料採取方法に従って SPM を採取した。採取は 2003 年 11 月 3 日~6 日にかけて行った。ろ紙の上段からウレタンの下段までに捕集された各 PAHs の量を 100% とし、各段階における存在割合を表 1 に示した。

##### 1) フルオランテン及びピレン

本法により試料採取を行った結果、PM(2.5-10) の粗大粒子中にはフルオランテンが 5.4%、ピレンが 2.8%、PM2.5 の微小粒子中には、それぞれ、13%、10%、ウレタン 1 段目には 73%、82%、ウレタン 2 段目には 8.6%、5.0% が捕集された。

従って、ろ紙による捕集率はフルオランテンで 18%、ピレンで 13% であり、今回の捕集方法では両物質はろ紙に捕集される量は少なく、大部分が気相に移行してしまうものと思われた。フルオランテン、ピレンは PAHs の中では大気中の濃度が高く<sup>4)</sup>、また、他の PAHs との比較により、PAHs の発生源の推定にも使用されている項目である<sup>5,6)</sup>。しかし、今回の捕集方法では破過量が多く、正確な濃度が把握できないと思われたため、この 2 物質は調査対象物質から除外した。

表1 試料採取時における捕集率及び回収率

	存在割合(%)					回収率 (%)
	1	2	3	4	1+2	
B(a)A	6.7	82	9.3	2.3	89	94
トリフェニレン	5.3	80	15	0	85	96
クリセソ	7.9	79	13	0.95	86	100
B(j)F+B(b)F	6.7	92	1.0	0	99	94
B(k)F	10	80	7.9	2.3	90	100
B(e)P	6.9	93	0	0	100	98
B(a)P	6.9	93	0	0	100	92
ペリレン	0	100	0	0	100	92
I(1,2,3-cd)P	5.5	93	2.0	0	98	94
DB(a,h)A	5.5	95	0	0	100	96
B(ghi)ペリレン	5.9	92	1.9	0.81	97	98
コロネン	6.3	92	1.7	0	98	100
DB(a,e)P	0	100	0	0	100	102
フルオランテン	5.4	13	73	8.6	18	88
ピレン	2.8	10	82	5.0	13	88

1:上段ろ紙[PM(2.5-10)], 2:下段ろ紙(<PM2.5), 3:上段ウレタン, 4:下段ウレタン

2) その他の PAHs

PM(2.5-10)には、ペリレン及びDB(a,e)Pは捕集されなかったが、他の13物質は2.8~10%捕集された。また、PM2.5には79~100%が捕集された。上段及び下段で捕集された量を総合すると85%~100%であった。従って、フルオランテン及びピレンを除いた他のPAHsはこの採取方法で採取できることがわかった。

3.2 SPMの粒径別濃度分布と季節変動

図1に各季節ごとの12地点におけるPM2.5の濃度とSPM(PM2.5とPM(2.5-10)の合計)の濃度との関係を示した。PM2.5の濃度とSPMの濃度が等しい場合をy=xとして示し、各季節ごとのデータ(n=12)により、回帰直線を求めた。

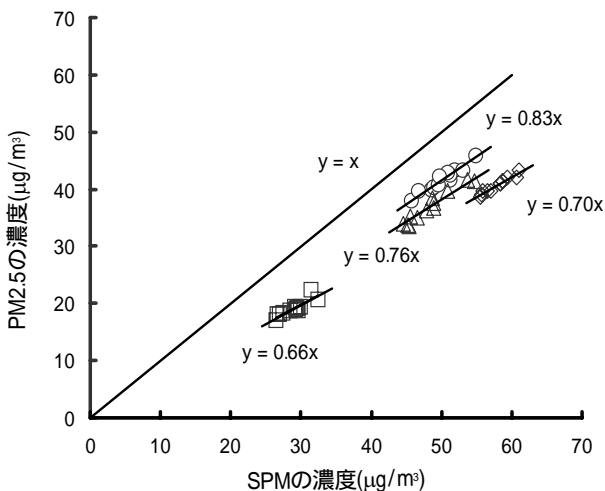


図1 PM2.5の濃度とSPMの濃度との関係

○:秋, ●:冬, △:春, ◇:夏

PM2.5の濃度は秋季で38.7~43.3 µg/m³, 平均40.7 µg/m³, 冬季で38.0~46.0 µg/m³, 平均41.7 µg/m³, 春季で33.6~41.3 µg/m³, 平均37.7 µg/m³, 夏季で17.1 µg/m³~22.4 µg/m³, 平均19.6 µg/m³であった。冬季及び夏季における平均値を他の一般環境における文献値<sup>7,8)</sup>と比較すると、冬季は若干低い、夏季は同程度であり、夏季よりも冬季のほうが高い傾向にあることが確認された。

各季節において、12地点の平均値と標準偏差から変動係数を求めたところ、PM2.5では秋季、冬季、春季、夏季でそれぞれ3.4, 5.1, 7.7, 7.1%であり、PM(2.5-10)ではそれぞれ3.3, 9.6, 7.5, 9.4%であった。従って、各季節において各地点間のPM2.5とPM(2.5-10)の濃度差は10%以内であり、地点間における差はほとんどなかった。特に、秋季においては変動幅が一番小さかった。また、各季節における回帰直線の傾き、すなわちPM2.5の濃度とSPMの濃度比は、秋季、冬季、春季、夏季それぞれ、0.70, 0.83, 0.76, 0.66であった。すなわち、冬季にはSPM中に占めるPM2.5の割合は83%と一番高く、夏季には66%と一番低いことがわかった。一方、PM(2.5-10)の粗大粒子は冬季が8.5 µg/m³, 夏季が9.8 µg/m³とほとんど変化はなく、冬季における濃度比の大きさはPM2.5の増加によるものであった。これらの結果から、健康影響が懸念されるPM2.5がSPM中の大きな部分を占めており、特に冬季に高い濃度を示すことがわかった。

3.3 PAHsの濃度分布

3.3.1 PM2.5中のPAHs

PM2.5中のPAHsの季節別濃度分布を図2に示した。四季を通して、B(j)F+B(b)Fの濃度が高く、特に秋季では1.01~1.92ng/m³, 平均1.55ng/m³と一番高い値を示した。その他B(a)A, クリセソ, B(e)P, B(a)P, I(1,2,3-cd)P, B(ghi)ペリレン, コロネンが比較的高い濃度で検出された。一方、トリフェニレン, ペリレン, DB(a,h)A, DB(a,e)Pが比較的低い濃度で検出され、特にDB(a,e)Pが夏季に0.01~0.02ng/m³, 平均0.014ng/m³と一番低い値であった。季節別ではすべての物質で秋季、冬季が高く、春季、夏季が低い傾向がみられた。濃度の一番高かった秋季と一番低かった夏季を、各物質ごとに平均値と比較すると、秋季のほうが4.71~8.2倍高い値を示し、季節間の測定値の開きが大きいことがわかった。各地点におけるPAHsそれぞれの測定値の変動係数を求めたところ、秋季で13.0~21.0%, 冬季で15.6~26.5%, 春季で8.70~19.7%, 夏季で8.61~24.6%であった。

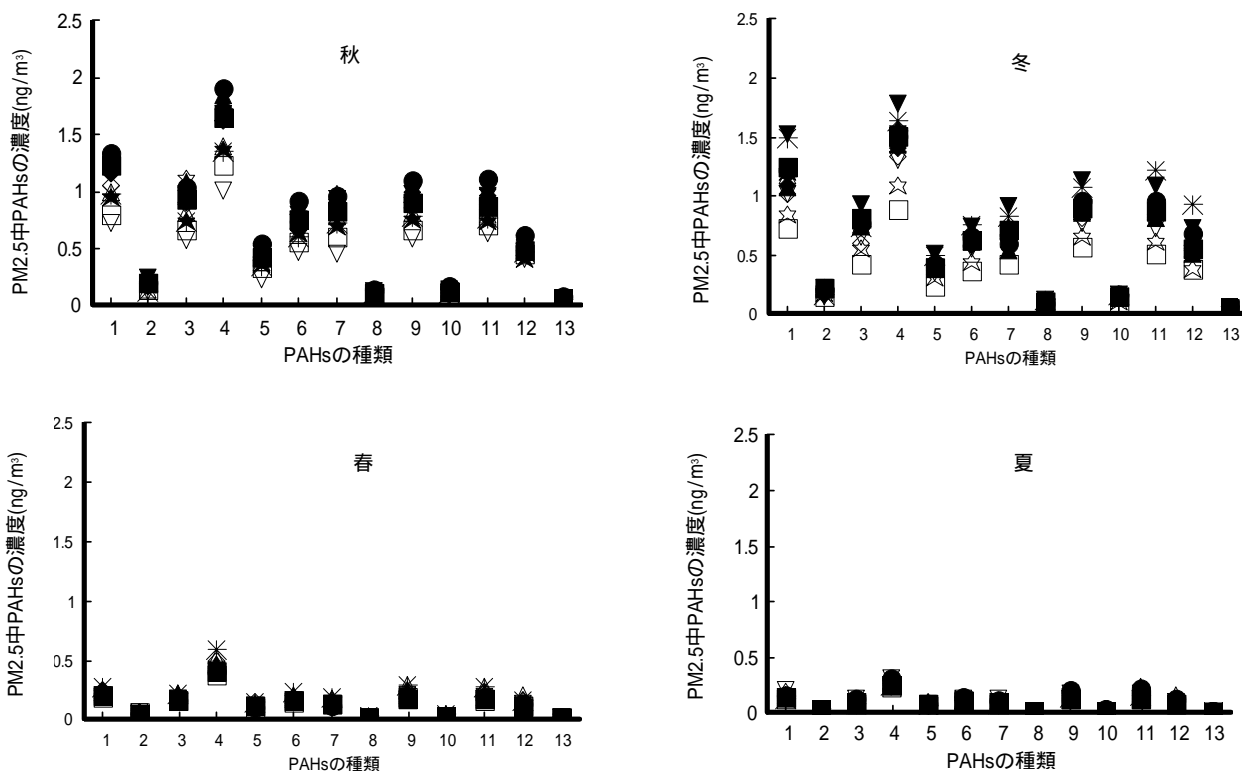


図2 PM2.5中PAHsの濃度分布

:M1、 :M2、 :M3、 :M4、 :M5、 :M6、 :M7、 \*:M8、 :M9、 :M10、 :M11、 :M12  
 1:B(a)A、 2:トリフェニレン、 3:クリセレン、 4:B(j)F+B(b)F、 5:B(k)F、 6:B(e)P、 7:B(a)P、 8:ペリレン、  
 9:I(1,2,3-cd)P、 10:DB(a,h)A、 11:B(g,h,i)ペリレン、 12:コロネン、 13:DB(a,e)P

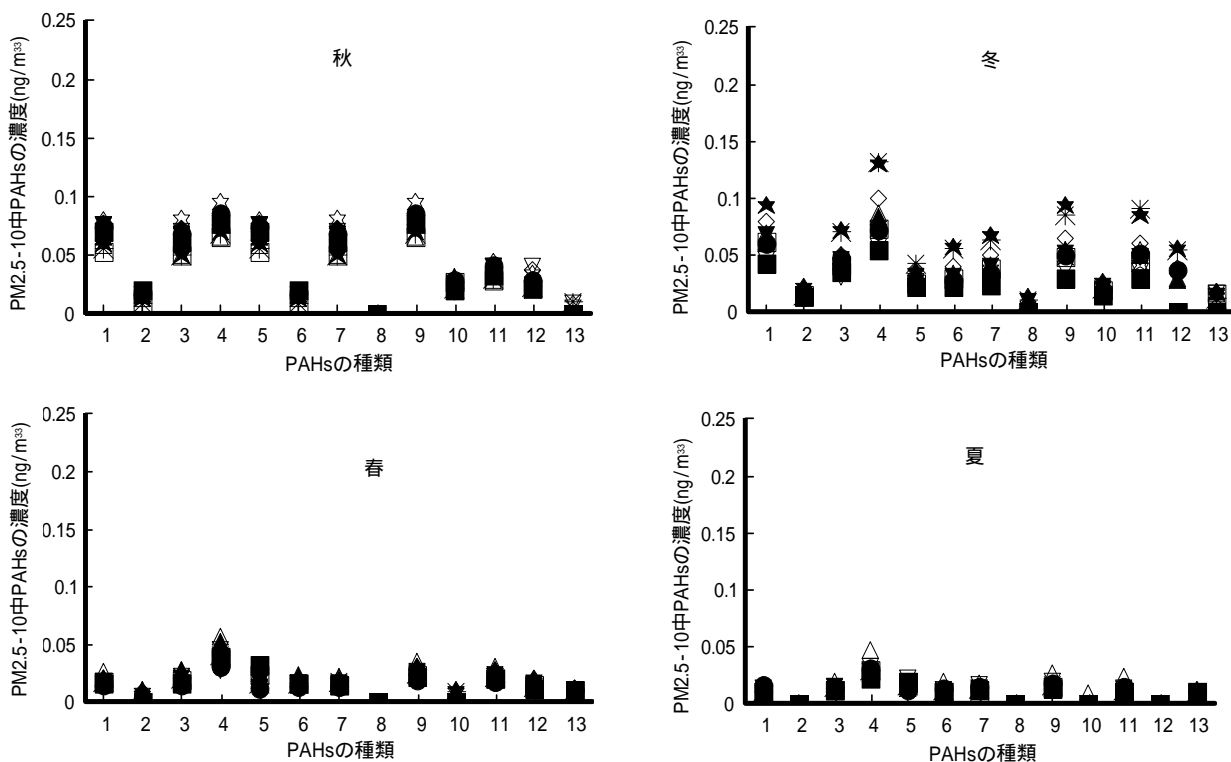


図3 PM2.5-10中PAHsの季節別濃度分布

:M1、 :M2、 :M3、 :M4、 :M5、 :M6、 :M7、 \*:M8、 :M9、 :M10、 :M11、 :M12  
 1:B(a)A、 2:トリフェニレン、 3:クリセレン、 4:B(j)F+B(b)F、 5:B(k)F、 6:B(e)P、 7:B(a)P、 8:ペリレン、  
 9:I(1,2,3-cd)P、 10:DB(a,h)A、 11:B(g,h,i)ペリレン、 12:コロネン、 13:DB(a,e)P

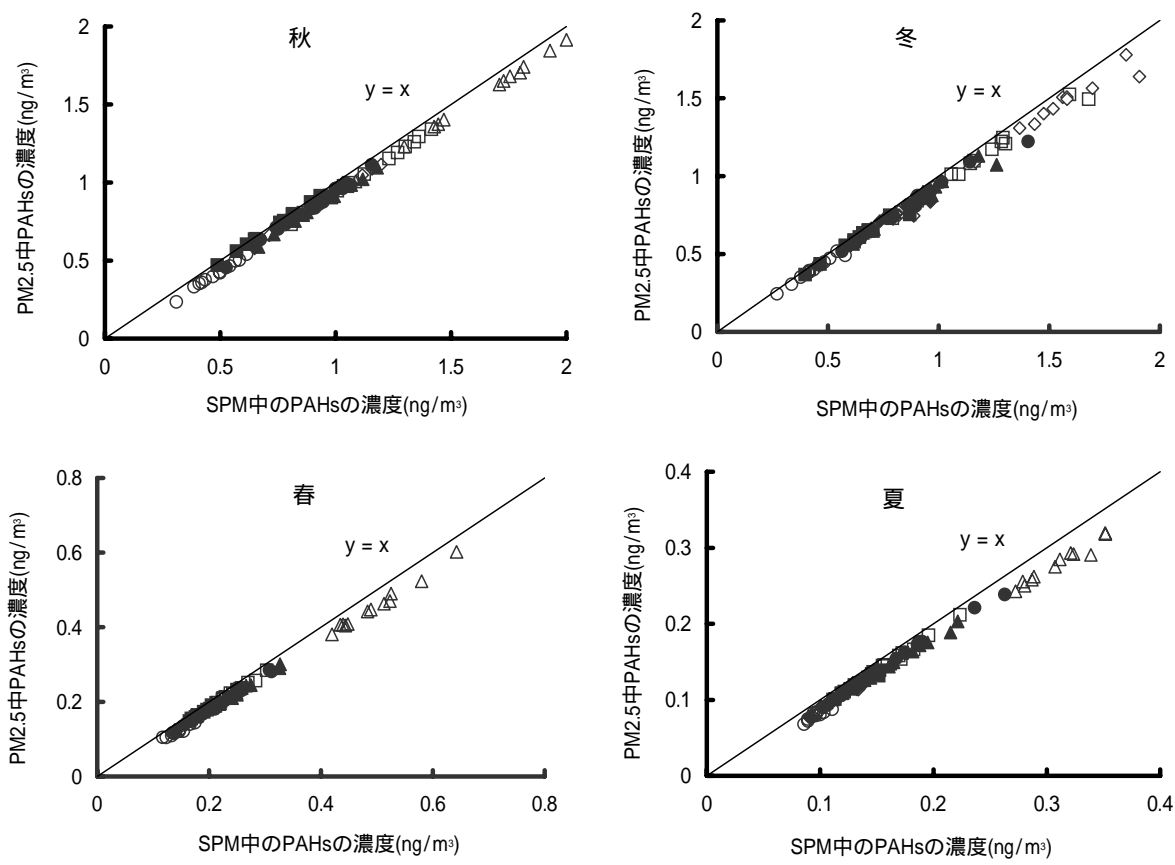


図4 PM2.5中PAHsの濃度とSPM中PAHsの濃度との関係

○:B(a)A、□:クリセン、△:B(j)F+B(b)F、◇:B(k)F、●:B(e)P、▲:B(a)P、▽:I(1,2,3-cd)P、◊:B(ghi)ペリレン

3.3.2 PM(2.5-10)中のPAHs

PM(2.5-10)中のPAHsの季節別濃度分布を図3に示した。PM2.5中と同様に季節別では秋季，冬季が高く，春季，夏季が低い傾向を示し，四季を通してB(j)F+B(b)Fの濃度が高かった。また，ペリレンは2月の4地点を除きすべてが不検出であり，コロネンは8月のすべての地点が不検出であった。その他トリフェニレン，DB(a,h)A及びDB(a,e)Pの3物質で不検出の地点があった。従って，すべての測定値が得られたのはB(a)A，クリセン，B(j)F+B(b)F，B(k)F，B(e)P，B(a)P，I(1,2,3-cd)P及びB(ghi)ペリレンの8物質であった。そこで，これら8物質について測定値の比較を行った。各季節ごとに各PAHsの12地点における測定値の平均値を求めたところ，測定値の一番高い秋季は測定値の一番低い夏季に比べて1.24～5.65倍高い値を示し，季節間のPAHsの測定値の開きが大きいことがわかった。また，12地点におけるPAHsの測定値の変動係数をそれぞれ求めたところ，秋季で11.5～20.1%，冬季で11.5～3.6%，春季で17.6～26.1%，夏季で13.3～29.0%であり，PM2.5と比較して変動幅は若干大きかった。

3.3.3 PM2.5中及びPM(2.5-10)中PAHsの濃度分布

図4にPM2.5中のPAHsの濃度とSPM中のPAHsの濃度(PM2.5中PAHsとPM(2.5-10)中PAHsを合計)との関係を示した。PM2.5中のPAHsの濃度とSPM中のPAHsの濃度が等しい場合をy=xとして示した。

SPM中のPAHsを平均値で比較すると8物質すべてが秋季で一番高く，ついで冬季，春季の順で，夏季が一番低かった。このことは，SPM中のPAHsの他の調査報告の中で11月～1月が高く，夏に低く<sup>9)</sup>，個々のPAHsは夏季より冬季において1桁程度高いという報告と同じ傾向を示した<sup>10)</sup>。

四季における12地点の測定値の各物質の傾き，すなわちSPM中のPAHsに占めるPM2.5中のPAHsの割合は，秋季ではB(k)Fの0.86～B(e)Pの0.98，冬季ではB(k)Fの0.92～B(e)Pの0.94，春季ではB(k)Fの0.85～B(a)Aの0.93，夏季ではB(k)Fの0.83～B(a)Aの0.93の範囲であった。従って，SPM中のPAHsの大部分はPM2.5中に存在していることがわかった。図1に示したSPM中のPM2.5の濃度割合に比べて，PAHsの濃度分布はPM2.5中のほうが高かった。このことは，微小粒子側であ

表2 各物質間の濃度相関

秋								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.966	1						
3	0.968	0.942	1					
4	0.951	0.956	0.950	1				
5	0.966	0.944	0.994	0.955	1			
6	0.945	0.945	0.930	0.952	0.912	1		
7	0.966	0.949	0.980	0.946	0.975	0.960	1	
8	0.939	0.925	0.962	0.935	0.966	0.922	0.985	1

冬								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.917	1						
3	0.971	0.945	1					
4	0.941	0.866	0.964	1				
5	0.975	0.908	0.990	0.971	1			
6	0.930	0.815	0.904	0.924	0.898	1		
7	0.986	0.906	0.973	0.967	0.985	0.905	1	
8	0.958	0.811	0.922	0.931	0.960	0.873	0.976	1

春								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.766	1						
3	0.922	0.839	1					
4	0.564	0.505	0.740	1				
5	0.926	0.869	0.991	0.697	1			
6	0.855	0.733	0.905	0.773	0.875	1		
7	0.877	0.817	0.943	0.701	0.935	0.959	1	
8	0.852	0.773	0.935	0.725	0.930	0.939	0.979	1

夏								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.712	1						
3	0.750	0.826	1					
4	0.232	0.433	0.376	1				
5	0.613	0.750	0.948	0.336	1			
6	0.825	0.664	0.727	-0.03	0.735	1		
7	0.598	0.633	0.917	0.120	0.939	0.728	1	
8	0.354	0.576	0.822	0.194	0.902	0.542	0.935	1

1: B(a)A, 2: クリゼン, 3: B(j)F+B(b)F, 4: B(k)F, 5: B(e)P, 6: B(a)P, 7: I(1,2,3-cd)P, 8: B(ghi)ペリレン

るPM2.5にはディーゼル排ガス等燃焼過程から排出される粒子が多く含まれていることを実証すると考えられた。

また、秋季及び冬季にPM2.5及びPM(2.5-10)中のPAHs濃度が高い理由としては暖房等化石燃料の燃焼が多くなることや大気安定性が増すこと、逆に夏季に少ないのはこれらの燃焼が少ないことや光化学反応等による分解が進むこと、蒸気圧の上昇によるSPMからの気相への移動等が考えられた。

### 3.3.4 各物質間の相関

各季節別にSPM中における8物質の単相関を求めた結果を表2に示した(n=12)。秋季はすべての物質が0.9以上、また冬季はすべての物質が0.8以上の高い相関を示したが、春季、夏季の順に相関は低くなった。従って、同様な条件下で秋季及び冬季においては、単物質の測定でも他の物質の濃度の概要が把握できると思われた。

## 4 まとめ

環境科学センターを含む平塚市内3km×4kmの範囲で、一般環境の12地点を選び、秋冬春夏の四季別にPM2.5とPM(2.5-10)の試料を採取し、13種類のPAHsの環境濃度を測定した。

SPMの濃度は秋季及び冬季が高く、夏季が低かった。四季を通して、PM2.5及びPM(2.5-10)の濃度の地点間の変動は10%以内であった。PM2.5がSPMに占める割合は、冬が83%と最も高く、夏季が66%と最も低かった。PM(2.5-10)の濃度は冬季及び夏季でほとんど変化はなく、冬季にお

るPM2.5の濃度比の大きさはPM2.5の濃度の増加によるものであることがわかった。

PM2.5中のPAHsそれぞれの濃度は秋季が一番高く、一番低かった夏季と比較して4.7~8.2倍高い値を示し、各季節間の測定値の開きが大きかった。PM(2.5-10)中及びSPM中のPAHsでは、検出されない地点があった5物質を除いた8物質で比較するとPM2.5と同様に秋季が高く、夏季が低かった。SPM中のPAHsに占めるPM2.5中のPAHsの割合は四季を通じ、0.83~0.98であり、大部分のPAHsはPM2.5中に存在していることがわかった。

秋季及び冬季にPM2.5及びPM(2.5-10)中のPAHs濃度が高いのは暖房等化石燃料の燃焼が多くなることや大気安定性が増すこと、また夏季に少ないのはこれらの燃焼が少ないこと、光化学反応等による分解が進むこと、蒸気圧の上昇によるPMからの気相への移動等が考えられた。

各季節別に8物質の相関を求めたところ、秋季はすべてのPAHsが0.9以上、冬季は同様に0.8以上の高い相関を示したが、春季、夏季の順に相関は低くなった。従って、同様な条件下で秋季及び冬季においては、1物質の測定でも他の物質の濃度の概要が推測できると思われた。

このように、健康影響が高いと考えられるPM2.5はSPMの中でも多くの割合を占めており、また測定を行ったPAHsのほとんどがPM2.5中に含まれていた。PAHsの発ガン性、変異原性等の有害性を考慮すると、わが国においてもPM2.5に対する新たな対策が求められる。

#### 4 謝辞

各地点における PM2.5 及び SPM の実測値は、環境省の「地域の環境リスク管理手法開発モデル事業」<sup>11,12)</sup>においてその事業の一部を神奈川県が受託し、「地域環境管理モデル構築事業」として実施した報告書のデータを利用した。関係各位に感謝します。また、本報告における PAHs の分析は特定研究「化学物質の地域リスク評価手法に関する研究」の一部として行った。

#### 参考文献

- 1) 新田裕史：大気環境学会第 16 回関東支部総会講演会要旨集，1-9(2002)。
- 2) 神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会：神奈川県臨海地区大気汚染調査報告書，(2001)
- 3) 吉岡秀俊，秋山薫，泉川碩雄：東京都環境科学研究所年報，9-15(1996)。
- 4) 房家正博，雨谷敬史，大浦健，杉山智彦，杉崎充，松下秀鶴：環境化学，3(11)，525-537(2001)
- 5) 泉川碩雄，伊瀬洋昭，菅邦子，福岡三郎，船島正直，横田久司，中村健，梅原秀夫：東京都環境科学研究所年報，24-35(1989)
- 6) 泉川碩雄，伊瀬洋昭，菅邦子，福岡三郎，船島正直，横田久司，中村健，梅原秀夫：東京都環境科学研究所年報，3-10(1990)
- 7) 岩淵美香，原美由紀，高橋篤，松尾清孝：川崎市公害研究所年報，28，10-15(2001)。
- 8) 白井清嗣，三好康彦，鎌滝裕輝，中村優：東京都環境科学研究所年報，24-29(2001)。
- 9) 岩淵美香，張山嘉道，佐藤静雄：川崎市公害研究所年報，22，27-33(1996)
- 10) 環境省：環境保健クライテリア，NO.202，1-18(2002)。
- 11) 神奈川県：地域環境管理モデル構築事業，(2003)
- 12) 神奈川県：地域環境管理モデル構築事業，(2004)

特定研究 [平成 15～16 年度]

課題名：化学物質の地域リスク評価手法に関する研究