

大気中に浮遊する粒子状物質 SPMとPM2.5

- 青空の再生に向けて -

大気環境担当 梅沢夏実

1 はじめに

大気中には非常に多くの粒子が浮遊している。それぞれの粒子は固体や液体から成っており、様々な発生源からの多種多様な物質を含んでいる。

大気中粒子のうち、粒径 $10\mu\text{m}$ (1mm の100分の1)以下の粒子を我が国では浮遊粒子状物質(SPM: Ssuspended Particulate Matter)と呼び、1972年に環境基準が定められた。一方、米国では1971年に粒径約 $45\mu\text{m}$ 以下の全粒子状物質について環境基準が定められたが、1987年には対象が粒径 $10\mu\text{m}$ 以下のPM10へ変更され、1997年には粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下のPM2.5について環境基準が設定された。このことから、我が国においてもPM2.5への関心が高まり、環境省では2000年にPM2.5測定方法の暫定マニュアルを作成し、現在も検討を進めている。

我が国におけるSPM濃度は1970年の半ばに急激に減少した後、長期間にわたってほぼ横ばいからわずかに減少傾向を示している。しかし、環境基準の達成率は2002年度には一般環境測定局(以下「一般局」という)で52.6%、自動車排出ガス測定局(以下「自排局」という)で34.3%と低く、今日の環境行政の重要な課題の一つとなっている。

2 粒子状物質について

大気中粒子の粒径は $0.001\sim 100\mu\text{m}$ 程度とされている。実際に都市域で大気中粒子状物質の粒径分布を調べると、その濃度はほとんど例外なく図1のような2つの山に分かれる。このうち粒径の大きい側は粗大粒子、小さい側は微小粒子と呼ばれている。

粗大粒子は土壌の巻き上げ、波しぶき(海塩粒子)、火山の噴煙など主として自然由来の粒子から成っている。一方、微小粒子は工場・事業場の煙突からのばいじん、ディーゼル排気微粒子(DEP: Diesel Exhaust Particulate)など、始めから粒子として発生した「一次粒子」と、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)、塩化水素、炭化水素などのガス状物質が大気中で光化学反応により粒子化した「二次粒子」から成っており、この微小粒子の大部分は人間活動によって発生すると推定される。このほか工場・事業場の煙突から出た直後の高温のガスが冷却等により粒子化する「凝縮性ダスト」もあり、大気中粒子状物質の発生・生成のメカニズムは複雑かつ多岐にわたっている。

人体に取り込まれた場合に粗大粒子は上気道(口から咽頭まで)への沈着が多く、くしゃみや鼻汁とともに排出されたり食道に飲み込まれた後排泄物とともに排出されるなど多くは体外に排除される。これに対して、微小粒子は下気道(咽頭から肺まで)に沈着する割合が多くなり、マクロファージや上皮細胞によって排除されるまでの間非常に長く呼吸器系に滞留することから健康に密接な影響を与えられられる。

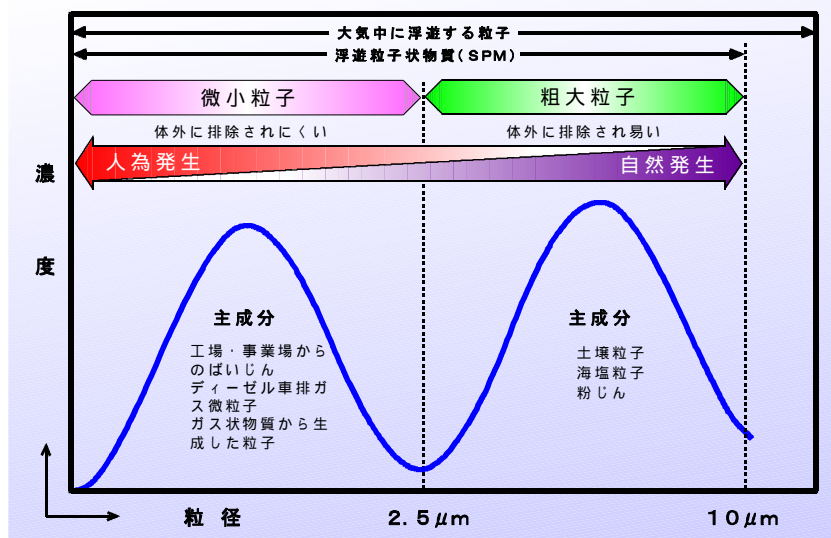


図1 大気中に浮遊している粒子状物質

3 SPMについて

3.1 SPMの調査方法

SPMは大気汚染常時監視項目の一つとして、埼玉県においても県市を合わせて現在一般局57局、自排局23局で測定されている。測定に用いられている代表的な線吸収方式の自動測定器では、サイクロン式の分級器によって分級されたSPMをロール状のろ紙へ1時間ごとに場所を変えて捕集し、そのろ紙及びその上に捕集されたSPMによる線の吸光度から試料大気中のSPM濃度を測定している。この捕集済みろ紙の例を写真1に示す。

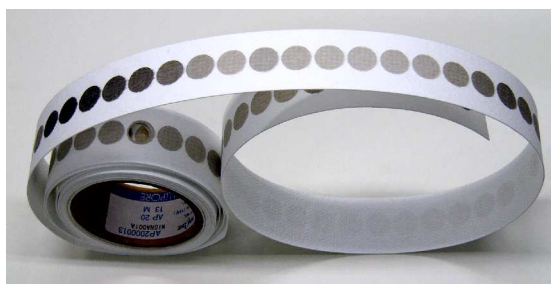


写真1 SPM自動測定器の捕集済みろ紙

3.2 SPMの調査結果

SPMの環境基準には表1に示すように短期的評価と長期的評価がある。

常時監視データに基づくSPMの長期的評価による環境基準達成状況の推移(一般局の例)を図2に示す。これによると多少の変動はあるものの、全国では20年以上にわたり60%前後の達成率が続いている。しかし、埼玉県の達成率は全国よりも低く、特に1998年以前にはほとんど達成できていなかった。なお、自排局は省略したが、一般局よりも更に低い達成率であった。

表1 浮遊粒子状物質(SPM)の環境基準

環境基準		1時間値の1日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であること。 (昭和48年5月8日環境庁告示)
評価方法	短期的評価	測定を行った日についての1時間値の1日平均値若しくは8時間平均値または各1時間値を環境基準と比較して評価を行う。
	長期的評価	1年間の測定を通じて得られた1日平均値のうち、高い方から数えて2%の範囲にある測定値を除外した後の最高値(1日平均値の年間2%除外値)を環境基準と比較して評価を行う。ただし、上記の評価方法にかかわらず環境基準を超える日が2日以上連続しないこと。

図2 SPM環境基準達成状況の推移(一般局の例)

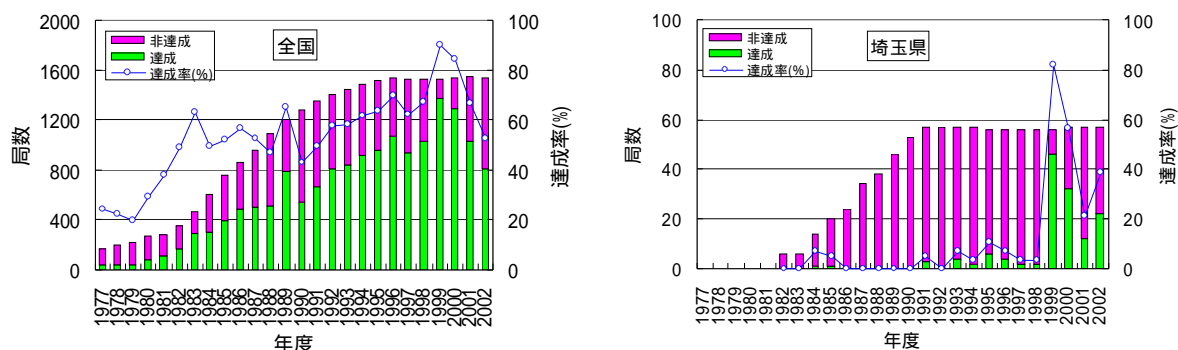


図3に平成6年度に行われたSPMの発生源寄与濃度の推定結果を示す。これによると、SPMに占める自動車の寄与は一般局で21.9%、自排局で43.0%であり、非常に大きいと考えられる。また、自動車由来のSPMのほぼ100%がディーゼル車と考えられている。そこで、SPMの削減を図るため、埼玉県では2001年5月に「彩の国青空再生戦略21」を策定し、2006年3月までにSPMの環境基準全局達成を目標とした取組を行っている。さらに、2002年10月からはいわゆる自動車 NO_x ・PM法(自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法)による規制が、また、2003年10月からは埼玉県生活環境保全条例など八都県市同時のディーゼル車規制が始まったところである。

SPM濃度の年平均値の推移を図4に示したが、横ばいから緩やかな減少傾向がみられている。それにもかかわらず、図2にみられるように最近2、3年の環境基準達成率がむしろ低下しているのは興味深い。この要因の一つとして、春先に飛来する黄砂の影響がある。中国北西部の黄砂が、低気圧の影響で生じた上昇気流により巻き上げられ、偏西風に乗って日本まで運ばれることによって、SPM濃度が上昇した日が2日以上連続したためと考えられている。

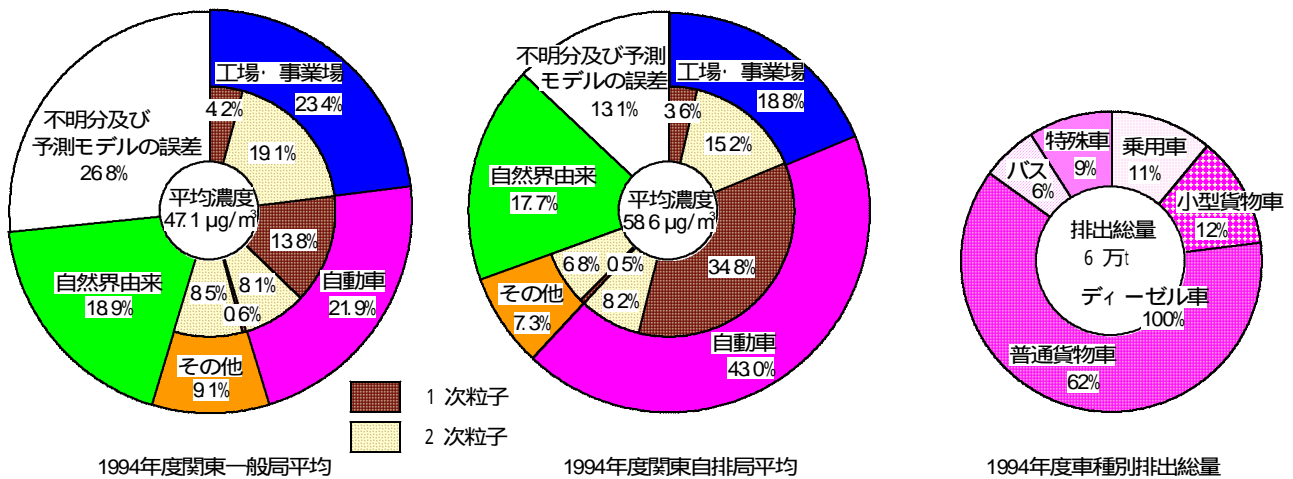


図3 SPMの発生源別寄与濃度割合

黄沙飛来時のSPMを捕集したろ紙を写真2に示した。写真の中央2列が黄沙飛来時、両側が対照であるが、通常黒色であるのに対し黄沙飛来時は黄色味を帯びていることが分かる。この時はSPM濃度が上昇したにもかかわらずPM2.5濃度に大きな変化がみられず、電子顕微鏡による観察によってもこれを裏付ける粗大粒子の多いことが確認された。また、イオン成分については黄沙成分であるカルシウムやマグネシウム濃度の上昇、黄沙に捕捉されたと推測される硫酸イオン濃度の上昇などがみられた。

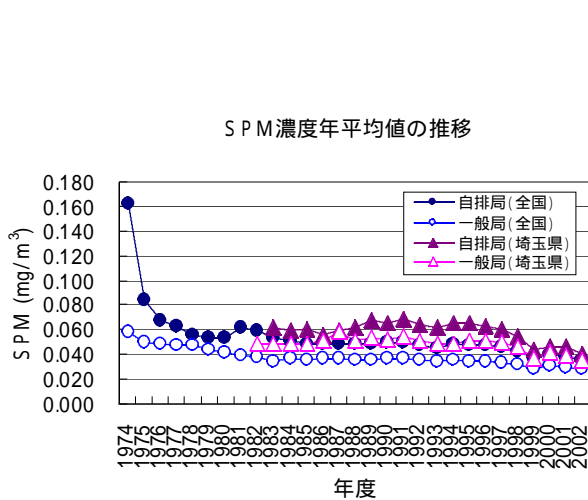


図4 SPM濃度年平均値の推移

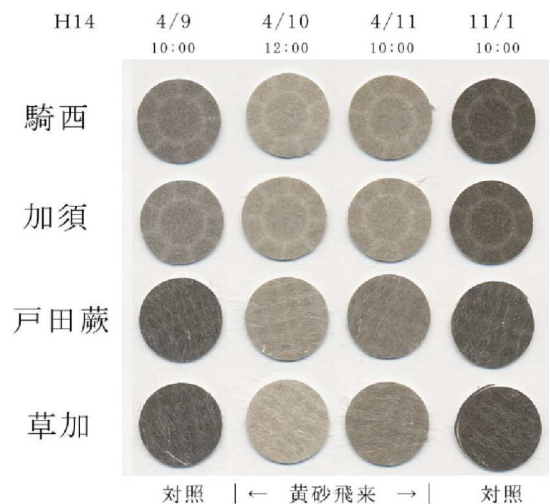


写真2 黄沙飛来時のSPM捕集ろ紙

4 PM2.5について

4.1 PM2.5の調査方法

PM10よりも死亡率や罹患率との関係がより強く認められることが疫学調査により明らかにされたことから、米国ではPM2.5の環境基準が設定されている。PM2.5の環境基準値設定に伴って、アメリカ環境保護庁(USEPA: United States Environmental Protection Agency) からPM2.5標準測定方法(FRM: Federal Reference Method)や等価測定法(FEM: Federal Equivalent Method)が示されている。FRM測定器ではインパクタ式分級器により分級されたPM2.5をろ紙上に捕集する。この捕集試料の例を写真3に示す。

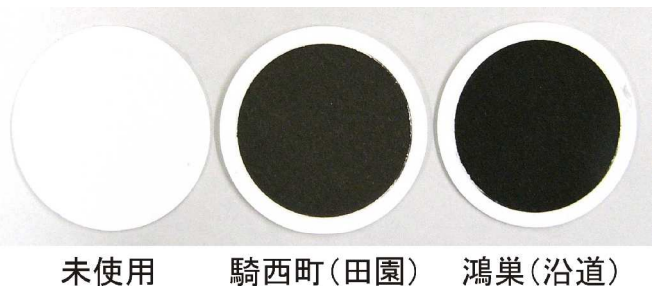


写真3 PM2.5の捕集試料

4.2 PM2.5の調査結果

環境科学国際センターでは2000年秋から現在までPM2.5の測定を実施している。この中から1週間ごとのサンプリングを行った1年間のPM2.5濃度を図5に示す。これによると、年間を通じて鴻巣の方が騎西よりも高い。

一般にSPMは初夏と初冬に高濃度となる時期があるが、PM2.5にも同じ傾向がみられたことからSPM高濃度時にはPM2.5の寄与が大きいことが分かる。

図5の期間内の特徴的ないくつかの時期におけるPM2.5の成分分析結果を図6に示す。図によると、騎西と鴻巣におけるPM2.5濃度の差は、ディーゼル車を中心とする自動車の走行に由来する元素状炭素(Cel)の差に起因しており、他の成分濃度に大きな差はみられなかった。また、交通量の減少する年末年始には両地点のPM2.5濃度及び主要成分濃度の差は小さかった。

PM2.5に含まれるDEPは発がん性物質であるベンゾ[a]ピレン(B[a]P)を始めとする多環芳香族炭化水素類(PAHs)を含むことから、発がん性や気管支ぜんそく、花粉症などの関連が疑われている。そこで、PM2.5中のベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[k]フルオランテン(B[k]F)、ベンゾ[g,h,i]ペリレン(B[g,h,i]P)を分析したが、その結果を図7に示す。PAHs濃度が冬に高くなっているが、その原因としてはPM2.5濃度の上昇と気温が低いためにPAHsの揮発量が減少することなどが考えられる。

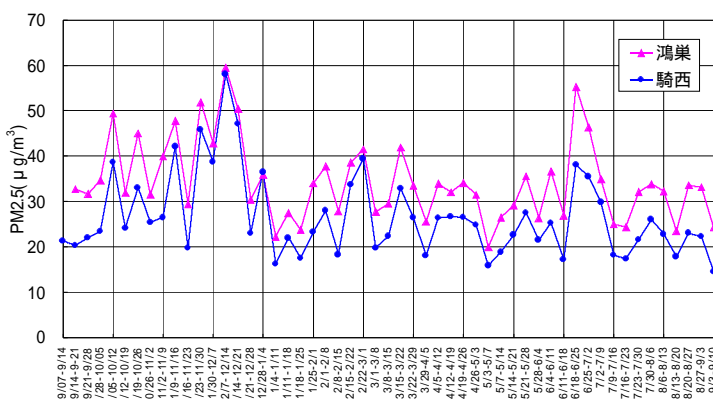


図5 PM2.5の年間変動(2000.9~2001.9)

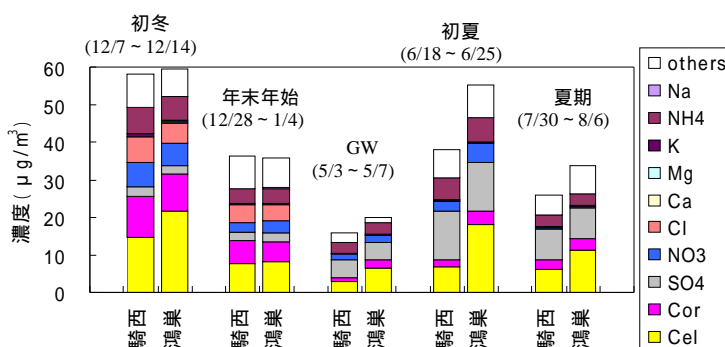


図6 PM2.5の成分分析結果

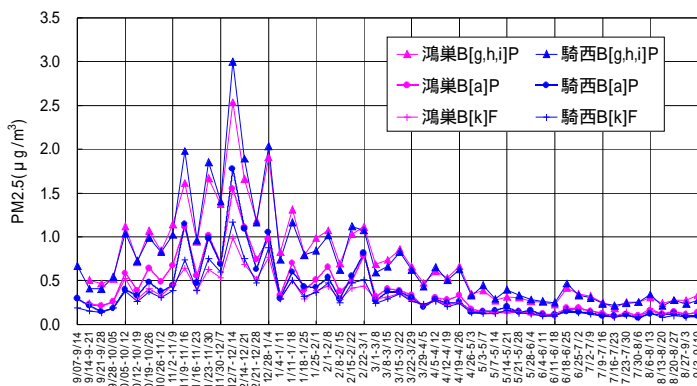


図7 PM2.5中のPAHs濃度分析結果

5 おわりに

ディーゼル車の規制が始まり、将来順次強化されていくことから、粒子状物質濃度の動向に関心が高まっているところである。また、最近PM2.5よりも更に小さく粒径1~100nm(100万分の1~100mm)のナノ粒子も注目され始めた。このような中、美しい青空を再生すべく行政と一体になって粒子状物質について更に調査・研究を進めていきたい。

用語解説

注1)SPM、PM2.5:正確にはSPMは10µmで100%カット、PM2.5は2.5µmで50%カットと定義されている。厳密な比較はできないがSPMを50%カットで表したとすると、PM7程度となる。

注2)粒径:球形粒子では幾何学的粒径として定義されるが、大気中の粒子状物質は非球形であることから、空気動力学径で表す。空気動力学径とは密度が1で終末沈降速度が等しい球形粒子の径として定義される。