

東京都における大気中微小粒子(PM_{2.5})と浮遊粒子状物質の週平均濃度(平成16年度)

栗田雅行*, 瀬戸博*

Weekly Average Concentrations of Ambient Fine Particles (PM_{2.5}) and Suspended Particulate Matter in Tokyo, Jun. 2004 - May 2005

Masayuki KURITA* and Hiroshi SETO*

Keywords : 大気中微小粒子 ambient fine particles (PM_{2.5}), 浮遊粒子状物質 suspended particulate matter, 週平均濃度 weekly average concentration, 粗大粒子 coarse particles

はじめに

環境基本法は、国民の健康で文化的な生活を確保する上で公害の防止がきわめて重要であることを明確化した公害対策基本法を引き継ぎ、大気汚染物質のひとつとして、浮遊粒子状物質(suspended particulate matter, 以下SPMとする)の環境基準を定めている。このSPMは、粒径が10 µm以下のものと規定され、国及び地方公共団体により設置された常時監視測定局により、年間を通じて測定されている。一方、粒子状物質の大きさと健康との関係は学術的には古くから研究されていたが、粒径がSPMよりさらに小さい2.5 µm以下の微小粒子(いわゆるPM_{2.5})¹⁾が注目されるようになったのは、1997年の米国におけるPM_{2.5}の規制による。日本においては、行政による調査研究や学術的調査研究が一部において実施されているもののPM_{2.5}の規制はなく、SPMに比べより健康への悪影響が指摘されるPM_{2.5}について、データがほとんどないためにその実態は未解明のままである。

東京都福祉保健局では、平成16年度から3年間をかけて「大気汚染とぜん息発症に関する影響調査」を実施し、大気汚染によるぜん息等の医療費助成患者と粒子状物質との関連を検討している。本報告は、その一環として行った粒子状物質の測定において、主に平成16年度分にあたる2004年6月から2005年5月までの一年にわたる測定結果である。著者らは、既報^{2), 3)}において、毎月3日間のPM_{2.5}濃度等を報告した。本報告は週単位の粒子状物質を通年にわたり測定したもので、連続データとしてさらに貴重な基礎資料となり得るだろう。

実験方法

1. 試料採取地点

大気中のSPMとPM_{2.5}を採取した地点は、青梅市、立川市、小平市及び大島町にあるそれぞれ西多摩保健所、多摩立川保健所、多摩小平保健所及び島しょ保健所大島出張所と、新宿区にある東京都健康安全研究センターの計5地点

とした(以下、それぞれ、青梅、立川、小平、大島、新宿とする)。採取地点を図1に示した。

2. 試料採取期間

試料は、2004年6月1日から2005年5月31日までの1年間に毎週火曜日から翌週火曜日の午前9時までの1週間にわたり5地点同時に連続採取した。2004年6月1日から8日までの1週間の採取試料を1とすると、地点ごとに52の試料を得た。以下では、試料の採取開始日を1週間の採取試料の名称として用いる。ただし、2004年11月23日及び2005年5月3日は祝日のため、前日のそれぞれ22日と2日に試料採取の終了と翌週分の採取開始を行なった。したがって、2004年11月16日及び同22日の試料の採取期間は、それぞれ6日間と8日間となり、同様に2005年4月26日と5月2日の試料の採取期間も通常の7日間ではなく変則となった。

3. 試料採取方法

試料採取、特にPM_{2.5}の採取については、環境庁(当時)から公表された「大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})質量濃度測定方法暫定マニュアル」⁴⁾を参考にした。粒子状物質を粒径の大きさから選別する機能(カット特性)として、10 µmより大きい粒子を100%除去する慣性衝突捕集板(以下、インパクターとする)と、その下流側に位置する2.5 µm

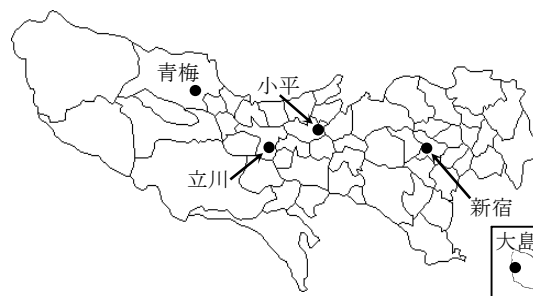


図1. 東京都内における大気中粒子状物質の採取地点

* 東京都健康安全研究センター環境保健部環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1

* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

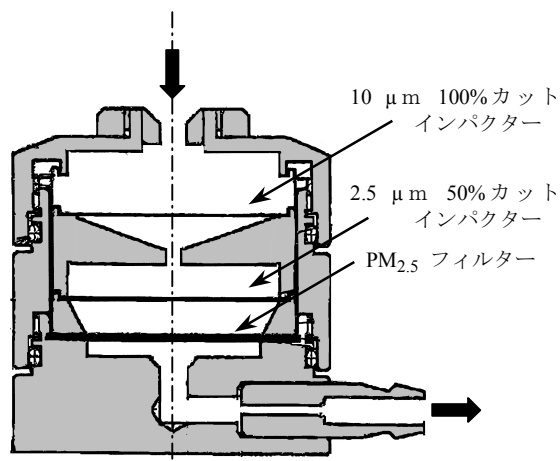


図2. フィルターホルダー断面の模式図

より大きい粒子、すなわち粒径が $2.5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ の粒子（以下、粗大粒子とする）を 50% 除去するためのインパクターが組み込まれたフィルターホルダー（柴田科学社製 NWPS-35HS）を試料採取に用いた。このフィルターホルダー断面の模式図を図 2 に示した。さらに、定流量装置や積算流量計を内蔵した吸引ポンプ（柴田科学社製 MP-Σ500）をシリコンチューブによりこのフィルターホルダーに最短距離で接続し、試料採取装置として全天候型のシェルターに入れ、毎分 2.5 L の流量で吸引して試料を採取した。全地点の吸引ポンプは、 20°C の恒温室内で、単一の標準流量計及び湿式ガスメータにより事前に較正したものを使用した。試料採取用のフィルターはフッ素樹脂で補強されたグラスファイバー材質（Pall 社製 T60A20 を東京ダイレック社が型抜きした製品）で、径の大きさが異なる 2 種類を用いた。すなわち、粗大粒子の採取には直径 25 mm のものを $2.5\text{ }\mu\text{m}$ インパクター上に置いて、そして $\text{PM}_{2.5}$ の採取には直径 35 mm のものをその下流側に固定して使用した（図 2）。

4. 質量濃度

粗大粒子のフィルターと $\text{PM}_{2.5}$ のフィルターは、1 枚ずつペトリスライド（MILLIPORE 社製 PD15047）に入れて保管し、試料採取する前と後に、 20°C の恒温室内に 1 日以上置いてから上皿電子天びん（Sartorius 社製 SC2-F）で $0.1\text{ }\mu\text{g}$ の値まで秤量した。上皿電子天びん内には、静電気対策用に 3.7 MBq の密封線源が設置されており、秤量時の再現性を高めている⁵⁾。加えて、週ごとの秤量では、フィルター間の秤量誤差を極力なくするため、秤量した後の風袋値がフィルターすべてで 0 値を示すまで、秤量を繰り返し行なった。また、粗大粒子と $\text{PM}_{2.5}$ の 2 種類のフィルターについて、週ごとに同一ロットである未使用フィルターをそれぞれ用意し、試料採取前後のフィルターを秤量する際に併せて測定し、電子天びんに大きな狂いがないか確認した。この未使用フィルターの相対的な平均偏差 ($n = 52$) は、粗大粒子と $\text{PM}_{2.5}$ ともに 0.005% 未満

であった。試料採取前後の秤量値の差を採取時の総吸引量で除して、粗大粒子と $\text{PM}_{2.5}$ の各質量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) とした。SPM 濃度は、この粗大粒子濃度に $\text{PM}_{2.5}$ 濃度を合算して求めた。

5. データの取扱い

上記 2 においても述べたように、週平均濃度は原則 7 日間の濃度としているが、測定の開始日または終了日が祝日のために採取期間が 6 または 8 日間となった週がそれぞれ 2 週あった。また、後述する結果にみられるように、試料採取ポンプの停止などによる欠測によって、データが得られなかった場合がある。そのため、後述する結果において、週平均濃度の時系列変化については、採取期間の日数にかかわらず得られた濃度を示した。しかし、地点間の濃度比較においては、5 地点すべてのデータがそろった完全データ（ある週で 1 地点でも欠測がある、または採取日数が 7 日間でない場合に、その週の残りの地点のデータも除外）である 32 週について集計解析し、平均±標準偏差として表した。

結果及び考察

1. 週平均濃度の時系列変化

$\text{PM}_{2.5}$ と SPM それぞれの週平均濃度について、時系列変化を地点ごとに図 3 に示した。図中の新宿を除く 4 地点でプロットが連続していないのは、停電などによるポンプの停止によって欠測となったためである。1 年間での最高値を地点ごとにみると、 $\text{PM}_{2.5}$ では、青梅が 2005 年 4 月 5 日の $46.4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大島が 2004 年 7 月 13 日の $23.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、残りの 3 地点はすべて 2004 年 11 月 9 日に立川 $34.6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、小平 $34.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新宿 $35.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ同濃度であった。一方、SPM では、採取期間が 6 日間と通常より 1 日短かった 2005 年 4 月 26 日に $40.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ の最高値を示した大島以外の 4 地点では、すべて 2005 年 4 月 5 日に、青梅 $64.3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、立川 $51.6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、小平 $50.0\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新宿 $48.7\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ の最高値を記録した。別の表現として、SPM と $\text{PM}_{2.5}$ との差、すなわち粗大粒子の濃度としてみると、2005 年 4 月 26 日に全地点で最高値が認められ、その値は青梅 $21.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、立川 $20.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、小平 $19.9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大島 $20.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新宿 $20.0\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。5 地点すべてで同時期に、しかも週平均濃度が大島を含めほぼ $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのは、広域的な影響を一斉に受けたためで、それは黄砂ではないかと考えられる。

反対に、1 年間の最低値をみると、 $\text{PM}_{2.5}$ では 2004 年 7 月 27 日に小平 $9.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新宿 $8.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、SPM では小平が 2004 年 2 月 15 日に $15.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新宿が 2005 年 1 月 11 日に $14.1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。それ以外の地点では、 $\text{PM}_{2.5}$ と SPM の両方が 2004 年 12 月 28 日に最低値であり、その濃度を $\text{PM}_{2.5}/\text{SPM}$ として示すと、青梅 $7.3/9.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、立川 $10.0/13.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大島 $3.9/7.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これは、採取期間が年末年始であったために粒子状物質の排出が

極端に少なかったことと、年末に降雪があったことによるものと推察される。粗大粒子では、2004年12月28日

に最低あるいは2番目に低い濃度がすべての地点で観測され、青梅 $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、立川 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、小平 $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大島

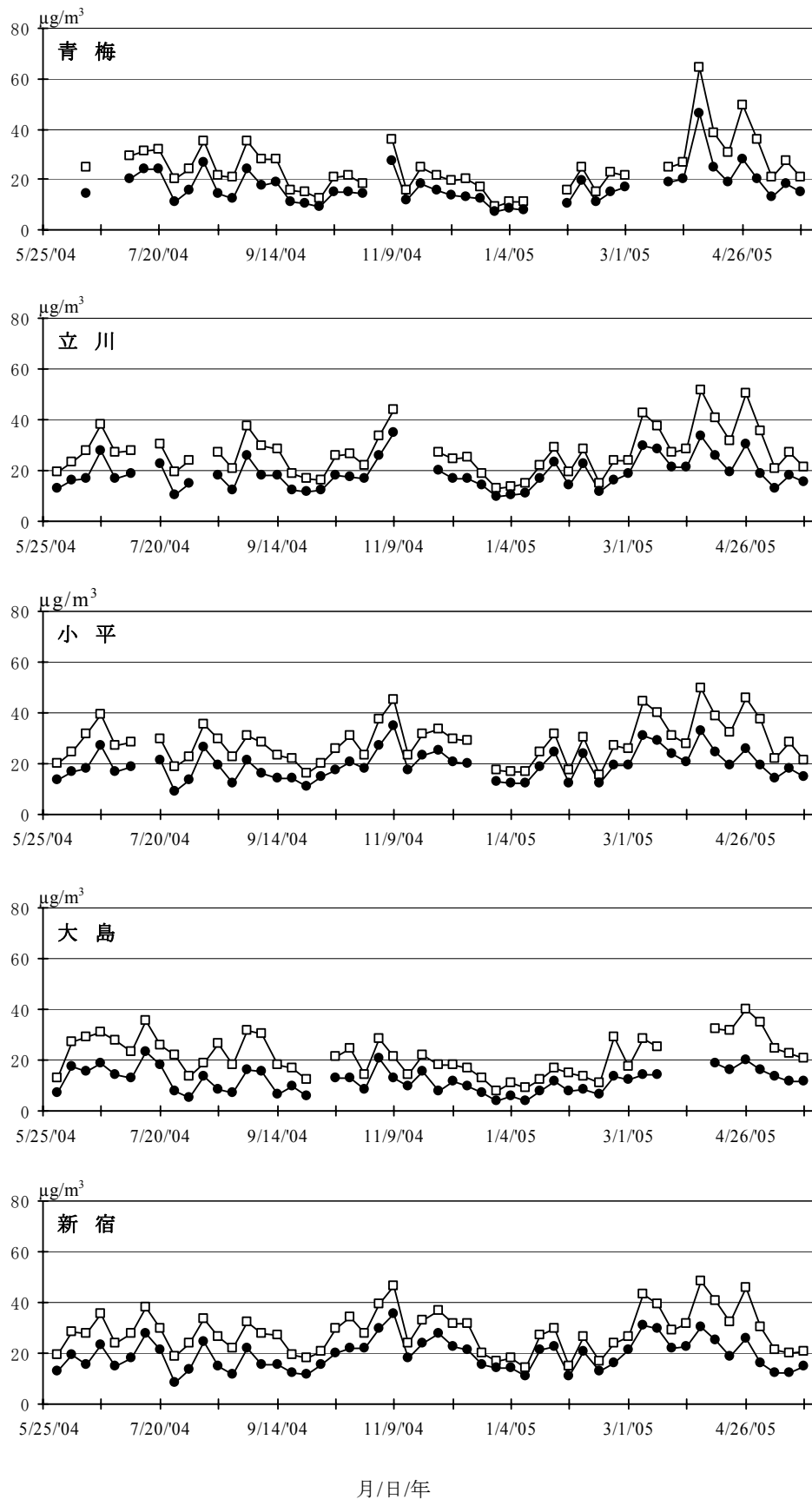


図3. 東京都内5地点における2004年6月から2005年5月までの $\text{PM}_{2.5}$ と SPM の週平均濃度の変動
—●—, $\text{PM}_{2.5}$; —□—, SPM .

表1. 地点別の週平均濃度の要約 (n = 32)

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

地 点	PM _{2.5}		SPM	
	平均	S.D.	平均	S.D.
青 梅	15.4 ± 5.0	7.3	22.5 ± 7.1	9.2
立 川	17.0 ± 5.3	10.0	24.9 ± 7.2	13.2
小 平	17.6 ± 5.2	9.1	25.9 ± 6.8	15.8
大 島	10.6 ± 4.2	3.9	20.2 ± 7.0	7.5
新 宿	17.3 ± 5.7	8.5	25.9 ± 7.5	14.1

3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 新宿 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった(立川・小平は2番目に低い濃度)。このことは、年末の降雪によって粗大粒子のまきあげが防止されたことが一因であろう。

PM_{2.5}とSPMの時系列変化は、5地点すべてにおいてほとんど平行して変動しているのが認められる。このことは、PM_{2.5}とSPMの週平均濃度の間で求めた相関係数が、青梅 0.97, 立川 0.95, 小平 0.93, 大島 0.89, 新宿 0.92と非常に高い値であったことから支持される。加えて、地点間の変動パターンを比較してもその類似性は高く、このことは、前述した週平均濃度の最高値と最低値の時期が地点間でほぼ一致したことからも裏付けられる。地点間の変動パターンに関するこの類似性は、次の2においてさらに検討する。

2. 地点別週平均濃度の比較

新宿を除く4地点ではいくつかの欠測があり(図3), 週平均濃度の地点間比較を行うために、5地点の完全データである32週についての解析結果を表1に示した。大島ではPM_{2.5} 10.6 ± 4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM 20.2 ± 7.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とどちらも5地点のうちで最も低濃度であった。次に低濃度であるのは青梅で、PM_{2.5} 15.4 ± 5.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM 22.5 ± 7.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。残る3地点は、平均値ではPM_{2.5} 17-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM 25-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とすべて近い値であり、標準偏差ではPM_{2.5}で大島を除き5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上、SPMで5地点ともほぼ7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、最小と最大は、完全データを対象としたため、上記1の結果とは異なった。SPM週平均濃度の平均値に対するPM_{2.5}週平均濃度の平均値の比を算出すると、大島の0.52に対し、残り4地点はすべて0.7に近く、大島と他の4地点では大気汚染の特性が異なることが推察される。

次に、これら32データについて、地点間の相関を検討した。PM_{2.5}の相関係数表を表2に示した。大島と他の4地点との相関係数は0.46-0.70と相対的に低いが、それ以外の組合せでは0.69-0.93と比較的高かった。相関係数が低い組合せは大島と新宿で0.46, また高い組合せは、青梅と立川、及び小平と新宿の場合でともに0.93, 立川と小平で0.92であった。一方、SPMの相関係数表を表3に示した。SPMの相関は、PM_{2.5}と同様の結果で、大島と他の4地点との相関係数は0.53-0.76と相対的に低いが、それ以外の組合せでは0.75-0.95と比較的高かった。相関係数が低い組合せは大島と新宿で0.53, また相関係数が高い組合

表2. PM_{2.5}週平均濃度の相関係数表 (n = 32)

	青 梅	立 川	小 平	大 島	新 宿
青 梅	1				
立 川	0.93	1			
小 平	0.76	0.92	1		
大 島	0.70	0.62	0.54	1	
新 宿	0.69	0.85	0.93	0.46	1

表3. SPM週平均濃度の相関係数表 (n = 32)

	青 梅	立 川	小 平	大 島	新 宿
青 梅	1				
立 川	0.95	1			
小 平	0.81	0.92	1		
大 島	0.76	0.70	0.64	1	
新 宿	0.75	0.88	0.93	0.53	1

せは、青梅と立川が0.95, 小平と新宿が0.93であった。これらの結果から、前述したPM_{2.5}/SPM比の結果に加え、大島は他の4地点と異なる大気汚染を反映していることが示唆された。

3. 新宿地点における週平均濃度の代表値

新宿の地点だけは他の地点と異なり、1年間すべてにわたり52週のデータが得られた(図3)。ただし、祝日の関係で採取期間が6日間と8日間の場合が2回ずつあったので、これら計4週を除いた48データの解析を行なった。その結果、代表値は、PM_{2.5} 19.1 ± 6.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM 27.9 ± 8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、表1における地点別に比較した新宿に比べ、PM_{2.5}とSPMのどちらも平均と標準偏差ともに大きくなっている。これは、2005年3月など濃度の高い時期(図3)が含まれた結果であろう。

今後は、本報告の対象とならなかった2005年6月以降のデータについても同様に集計解析し、気象要素などを加味しながら、さらに検討を加えたい。

ま と め

東京都内の5地点、青梅・立川・小平・大島・新宿において、2004年6月1日から2005年5月31日までにわたり、PM_{2.5}とSPMの週平均濃度を測定し、次の結果を得た。

- 1) PM_{2.5}の最高濃度は、青梅が2005年4月5日の46.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 大島が2004年7月13日の23.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、残りの3地点はすべて2004年11月9日に立川 34.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 小平 34.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 新宿 35.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。粗大粒子の最高濃度は、2005年4月26日に全地点でほぼ20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。
- 2) 最低あるいは2番目に低い粗大粒子濃度が2004年12月28日にすべての地点で観測され、青梅 1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 立川 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 小平 4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 大島 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 新宿 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これは年末の降雪が一因であろう。
- 3) 5地点の完全データである32週を解析した結果、大島

は $\text{PM}_{2.5}$ $10.6 \pm 4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM $20.2 \pm 7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とどちらも 5 地点のうちで最も低濃度であった。次に青梅が $\text{PM}_{2.5}$ $15.4 \pm 5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM $22.5 \pm 7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。残る 3 地点は平均値が $\text{PM}_{2.5}$ $17.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM $25.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とすべて近い値であった。 $\text{PM}_{2.5}$ / SPM 比は、大島 0.52 に対し、残り 4 地点はすべて 0.7 に近く、大島と他の 4 地点では大気汚染の特性が異なることが推察された。

4) 地点間の相関は、 $\text{PM}_{2.5}$ と SPM とともに大島と他の 4 地点との間で相対的に低い、それ以外の組合せではそれぞれ 0.69-0.93 と 0.75-0.95 で比較的高かった。

5) 1 年間、全 52 週の試料が得られた新宿では、うち 48 週の完全データの代表値として、 $\text{PM}_{2.5}$ $19.1 \pm 6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SPM $27.9 \pm 8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が得られた。

これらのデータは、貴重な基礎資料となり得るだろう。

謝 辞 本報告は、平成 16 年度より東京都福祉保健局健康安全室環境保健課が主体で実施している「大気汚染と

ぜん息発症に関する影響調査」の一環として得たデータに基づいている。試料採取等にご協力いただいた環境保健課、並びに西多摩・多摩立川・多摩小平保健所及び島しょ保健所大島出張所の環境衛生監視員の方々に感謝します。

文 献

- 1) Wilson, W. and Suh H.: *J Air Waste Manag Assoc*, **47**, 1238-1249, 1997.
- 2) 栗田雅行, 大橋則雄, 上原眞一: 東京健安研セ年報, **54**, 315-318, 2003.
- 3) 栗田雅行, 大橋則雄, 上原眞一: 東京健安研セ年報, **55**, 227-233, 2004.
- 4) 環境庁大気保全局企画課: 大気中微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$) 質量濃度測定方法暫定マニュアル, 2000.
- 5) 根津豊彦, 坂本和彦: 大環誌, **37**, A1-A12, 2002.