

東京都における浮遊粒子状物質汚染*

朝来野 国彦**・渡辺 武春**・小野塚 春吉**
伊瀬 洋昭**・菅 邦子**・石黒 辰吉**

1. 緒 言

東京都の浮遊粒子状物質（SPM）汚染は、昭和30年代の石炭ボイラーから排出されるばい煙、40年代の自動車排気ガスによる交差点周辺の鉛、鋳さい投棄によるクロム等いくつかの社会問題を提起しながら推移してきた。監視行政の一環として、SPMの連続測定はDigitalダスト計により、34局で実施されている。

東京のような、工業地帯に臨接した大都市のSPM中には、重金属、多環芳香族炭化水素等の未規制有害物質が含まれている。これらの微量有害成分は、近年都市部で増加傾向が著しい、肺ガンとの関係から注目されている。疫学的手法等による、環境因子と疾患との関係を明らかにするためには、SPM総量の把握だけでは十分とは言えない。われわれは、44年度から都内全域に、10～12地点を設定し、定期的にSPMを採取し、微量有害成分の分析を行ってきた¹⁻³⁾。

本報告は、44年度から53年度までの10年間に測定した結果について、汚染の推移とその要因、組成の変化等についてまとめたものである。

2. 調査方法

2.1 調査地点

調査地点は、図1に示した様に、対照地点を含めて都内全域に12地点を選んだ。各調査地点周辺の環境は、工場地域（江東、板谷）準工場地域（荒川、板橋、江戸川）住宅地域（世田谷、衛生研究所）都心部（公害研究所、東京タワー）郊外（立川）に分けられる。試料採取は、露場に設置した小河内を除いて、屋上に置き砂塵の直接的な影響を避けた。

2.2 試料採取

試料採取は、ガラス繊維濾紙を装着したハイボリューム、エアースAMPLER（Hi-Vol）を用いて行なった。採取日は、44年度～47年度は毎月3回、48年度以降は毎



図1 調査地点

1. 東京都公害研究所（千代田区）
2. 都立衛生研究所（新宿区）
3. 江東区役所（江東区）
4. 板谷保健所（大田区）
5. 世田谷区役所（世田谷区）
6. 板橋区立産業文化会館
7. 荒川区役所（荒川区）
8. 江戸川区役所（江戸川区）
9. 東京都立川合同庁舎（立川市）
10. 小河内貯水池管理事務所（奥多摩町）
11. 小笠原支庁（小笠原父島）
12. 東京タワー（港区）

月2回、曜日が重複しないように設定した。また、48年度以降は、カスケード型の分粒装置を装着し、直径10 μ m以上の粒子をドーナツ型濾紙上に分離捕集した。

2.3 重金属の分析法

Hi-Volで捕集した試料は、25℃ 50%の恒温恒湿槽に48時間以上放置し、恒量に達した後秤量した。重金属の分析は、酸分解抽出の後、直接原子吸光法によった。抽出操作等分析法の詳細は、調査報告書を参照されたい⁴⁾。原子吸光分析では感度が悪いAlは、放射化分析法によった。ガラス繊維濾紙は、多量のNaが含まれており、放射化分析の際に妨害となり適当ではない。しかし、都内全域の情報を知る必要があるので、サンプリングネッ

** Air Pollution by Suspended Particulate Matters in Tokyo.

** Kunihiro ASAKUNO, Takeharu WATANABE, Harukichi ONODUKA, Hiroaki ISE, Kuniko SUGA, Tatsukichi ISHIGURO（東京都公害研究所大気部）The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection.

トワークが整備されている Hi-Vol の試料を用いた。原子吸光用に抽出した試料を、各測定点毎に一年分を混合し(20~22検体)0.4 ml をセルローズ濾紙に滴下乾燥し、放射化分析用の試料とした。放射化分析は、武蔵工業大学原子力研究所の原子炉 MU-1 気送管で、3 分間照射後、ただちに γ 線スペクトルを Ge(Li) 検出器により測定した。

2・4 Bap の分析法

Bap の測定は、①真空昇華、薄層クロマトグラフィー、分光蛍光光度法、②超音波抽出(ベンゼン)、薄層クロ

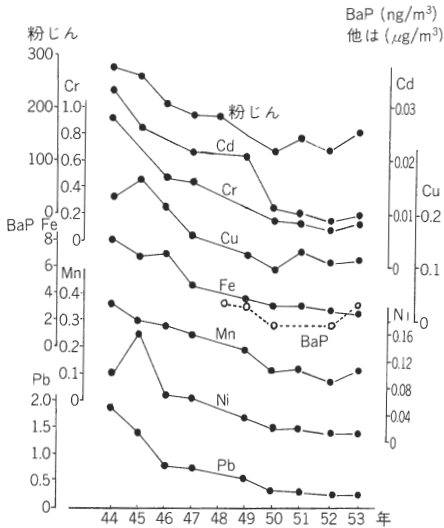


図2 粉じん金属成分の経年変化(23区平均・全粒子)

マトグラフィー、分光蛍光光度法、③アセトニトリル抽出高速液体クロマトグラフィーの3方式によった。各々の分析法の互換性は良いことが確認されているが⁵⁻⁷⁾、詳細については、別報に示した⁴⁾。

3. 結果および考察

3・1 汚染の推移

SPM, 重金属, Bap の経年変化は、図2に示すように、いずれも減少傾向にある。規制対策の奏効を示すものであるが、主要因として重油燃料の改質と集じん機の設置が考えられる。重油系燃料の東京都内における消費量

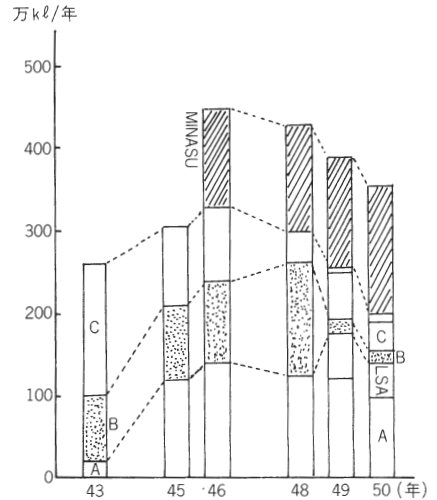


図3 重油系燃料の消費量の推移

表1 施設種類別集じん機の設置状況⁸⁾

施設種類	集じん機の設置状況 (昭和52年を100)																						
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
ボイラ(電気業, ガス業を除く)										10													
金属溶解炉										10													
金属加熱炉																							
石油加熱炉(ガス業を除く)																							
窯業炉	セメント焼成	100																					
	陶磁器焼成																						
	ガラスタンク・ルツボ																10						
	その他																10						
反応炉																							
乾燥炉	骨材																						
	その他																						
製鉄・製鋼, 電気炉																							
産業廃棄物焼却炉(清掃業を除く)																							
銅・鉛・亜鉛精練																							
鉛二次精練溶解炉																							
鉛系顔料製造施設																							

は図3に示すように推移しており、ばいじん排出量の多いC重油の使用量が、48年以降著しく減少している。また、集じん機の設置状況は、表1⁸⁾に示すように、52年度を100とすれば、46年度が60、44年度は20である。ガソリン自動車からの寄与が大きい鉛は、新宿区牛込柳町交差点周辺の高濃度汚染を契機としてガソリンの無鉛化が推進された46年度から、顕著な減少傾向を示している。

SPM 汚染のピークは、われわれが測定を開始した44年以前である。44年以前の濃度は、30年度から行なっている降下ばいじんの観測結果から算出した。新宿区(衛

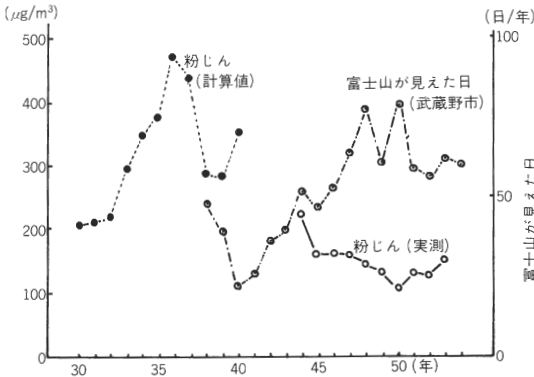


図4 粉じん(新宿区)濃度と富士山が見えた日の経年変化

生研究所)で、51年度~53年度に測定した、降下ばいじんとSPMの年平均値は、黄砂等による異常値を除くとほぼ一定している。この関係を、30年度~40年度の降下ばいじんの測定結果にも成り立つと仮定し、新宿区(衛生研究所)に於けるSPMの経年変化を試算した。東京の大気汚染の感覚的指標として、富士山が見える日数がある。衛生研究所の西方へ約10km離れた武蔵野市の成蹊高校で、同校の気象天文観測所が、38年以来観測⁹⁾した、富士山が見えた日数の経年変化と、新宿区(衛生研究所)に於けるSPM濃度を、図4に示した。もっとも富士山が見えにくかったのは40年で、年間わずか22日であったが、SPM汚染が改善された50年には、80日見えるようになった。観測時間(午前9時)や天候の関係を考慮していないので、大気汚染状況だけを示すものではないが、SPM汚染と良い対応を示している。

44年度~53年度10年間の最高値(24時間採取)を、表2に示した。各汚染物質とも、44年度と45年度に集中している。重油中に多量に含まれているFe, Ni, V等が、10年間の平均値に比較して高濃度であることから、ばい煙発生施設からの寄与が高かったことがうかがえる。

各金属のSPM中の含有量を、46年度と51年度について整理したのが図5である。Pb, cd, Mn, Fe等の含有率が51年度には大幅に減少しており、これらの金属を含まない発生源、たとえばディーゼル車, Sulfate, Nitrate

表2 成分別最高値と出現年月日 (µg/m³)

成分	粉じん	Pb	Fe	Mn	Cu	Cd	Ni	V	Cr
最高値	1,215	9.64	37.2	2.30	0.90	0.156	0.792	0.380	0.520
場所	江東	江東	梶谷	江戸川	梶谷	江東	梶谷	荒川	公研
年	46	44	45	44	44	45	45	44	44
月日	3.19	2.18	10.24	3.10	10.10	6.26	10.12	12.30	10.30
平均値	179	0.700	4.78	0.203	0.156	0.018	0.060	0.078	0.034

注) 平均値は23区の昭和44年~53年値、(Vは44, 46, 47年)

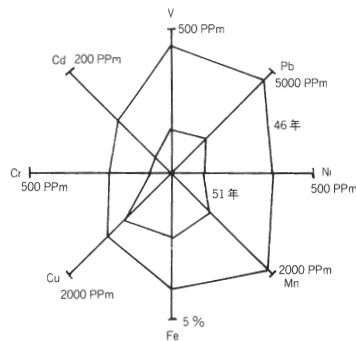


図5 粉じん中の重金属の含有率(千代田)

等の二次成分等の比率が大きくなったことを示している。各々の発生源寄与率については、別の機会に検討する。

対照地点の小河内、小笠原と23区の平均を比較すると、表3に示すように、重金属ではPb、Cr、cd等が高濃度となっている。Bapは小笠原の500倍以上になっているが、小河内が比較的高いことから、輸送中に紫外線や

表3 対照地点との濃度比(53年度)
23区平均との比率

地 点	粉じん	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	BaP
小河内	3.6	9	15	1.3	8	10	3.6	8	16
小笠原	4.2	>18	8	0.8	20	20	—	25	546

表4 Alの分析結果と土壌寄与率

場 所	SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al (%)	C.F (%)	土壌寄与 のSPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
公 研	119	0.79	0.66	9.8	12
江 東	96	1.02	1.06	15.8	15
椛 谷	104	0.76	0.73	10.9	11
世 田 谷	84	0.71	0.85	12.7	11
板 橋	112	0.94	0.84	12.5	14
荒 川	112	1.16	1.04	15.5	17
江 戸 川	95	1.31	1.38	20.6	19
立 川	85	1.23	1.45	21.6	18
衛 研	118	1.61	1.36	20.3	24
タワー-25m	90	0.89	0.99	14.8	13
タワー-125m	75	0.52	0.69	10.3	8
タワー-225m	64	0.40	0.62	9.8	6

昭和51年度の平均

表6 昭和44年～53年に地表面に降下した金属量(23区平均)

元 素	浮遊濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	降下速度 (km/年)	降 下 量 ($\text{g}/\text{m}^2/10$ 年)	土壌重量 (kg/m^2) d=10cm	降下成分の土壌 中濃度 (ppm/10年)	都内平均* (ppm)
Cd	0.018	86	0.015	100	1.5×10^{-1}	0.5
Cr	0.034	823	0.280	100	28×10^{-1}	78
Fe	4.78	1,404	66.9	100	6.7×10^{-2} (%)	6 (%)
Mn	0.203	727	1.48	100	$1,480 \times 10^{-2}$	1,200
Ni	0.060	829	0.497	100	50×10^{-1}	34
Pb	0.700	224	1.57	100	157×10^{-1}	47
V	0.078**	84	0.066	100	660×10^{-2}	220

* 東京都環境保全局土壌対策室調査(48年～53年)

** 44, 46, 47年の平均

Ox等によって大気中で破壊されるために、小笠原が低いことによるものであろう。

3・3 土壌飛散の寄与

大都市を中心にして、SPMは環境基準を超えている。SPMの環境管理計画を検討するには、自然界からの寄与を知ることが必要である。行政担当からの要請もあって都内全域の土壌成分の寄与を求めた。放射化分析によって得られたSPM中のAl濃度と寄与率を表4に示した。東京の表層土のAl濃度は、砧公園(世田谷区)と清澄公園(江東区)の平均値6.7%とすれば、他の発生源から排出される粉じん中のAl含有率(表5)と比較すると非常に高い。したがって、大気中に浮遊している土壌飛散成分の最高値は、次式で求められる。

$$CF_{\text{soil}} = \frac{(\text{Al}/\text{SPM})_{\text{air}}}{0.067}$$

その結果、表5に示した様に、 10μ 以下のSPM中の土壌からの寄与は、都心部で $10(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、郊外で $20(\mu$

表5 発生源別Alの含有率(%)

土 壌	海 洋 ¹⁰⁾	鉄 鋼 ¹⁰⁾	廃棄物 ¹⁰⁾	重 油	自動車 (ディーゼル)
6.7*	0.001	1.1	0.42	0.17*	0.29*

* 著者の分析値

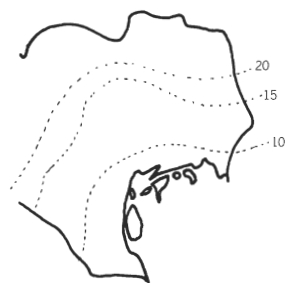


図6 SPM中の土壌成分($\mu\text{g}/\text{m}^3$) S. 51

g/m^3 前後が算出された。この値は、大阪¹⁰⁾や名古屋¹¹⁾の測定結果とほぼ一致している。地域分布の概略を図6に示した。

3.4 地表面への蓄積

重金属元素のような未分解物質は、地表面に降下した後の挙動についても、土壤飛散や溶出の点で注意を払う必要がある。降下ばいじんの測定は、図1に示す7地点で、51年度から実施している⁹⁾。51年度～53年度の23区内平均値について、降下量と浮遊量の比を求め(降下

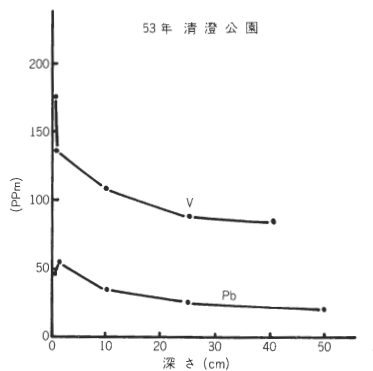


図7 土壤中金属の深度分布

速度と仮称)、44年度～53年度の平均浮遊濃度に、3年間の降下速度を乗じて、10年間の単位面積当りの降下量を算出した。また、表層土10 cmに、降下した成分が推積すると仮定し、土壤中の含有率を求めた。(表6) 通常の堆積状態では、土壤の比重は1として一般に計算されているので、ここでもそれにしたがった。FeやMn等の土壤含有率が本来的に高い元素を除けば、PbやCrが都内平均値との対比からみて高くなっている。

表層土の深度分布について、都立公園を中心に長期間状態が保存されている地点を中心に、調査を継続中である。総合的な検討は、分析が終了した時点に行なう予定であるが、江東区の清澄公園の分析例を図7に示した。Pb、Vとも表面付近で高濃度が認められるが、表6で得られた測定値と必ずしも量的に対応していない。調査例が少ないので現時点では詳しい解析はできない。

4. まとめ

東京都内の重金属、多環芳香族炭化水素等の未規制粒子状微量有害物質濃度を把握するために、昭和44年から10～12地点で、定期的な測定を継続して来た。各成分とも減少傾向にあり、規制対策の奏効を示している。もっとも顕著に減少したのはPbで、53年度は44年度の1/10になっている。

規制対策が緒についた44～45年度は、気象条件によっては高濃度が出現しており、各汚染物質とも10年間の平

均値の10倍前後を示している。

測定開始前の浮遊粒子状物質濃度は、降下ばいじんの測定値から推算したが、昭和36年度の平均値 $478(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ がもっとも高く、集じん機が整備されていない暖房用石炭ボイラーから、高濃度にばい煙が排出されていたことをうかがわせる。

自然界から発生した成分の主要を占める、土壤からの寄与を都内全域で測定したが、都心部で $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、郊外では $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後が年平均値として得られた。(Hi-Volによる 10μ 以下の測定値)

大気を負荷された重金属の地表への降下量は、土壤中の存在量が高いFeを除くと、Pbがもっとも高く、44年度からの10年間で $1.57\text{g}/\text{m}^2$ が降下しており、表層土10 cmに均一に固定していると仮定すると、16 ppmになり都内平均値の35%に達している。

今後の微量有害成分の環境監視は、変異原性テストや疫学等影響面と直結した展開がより有効と考えている。

おわりに、富士山の見えた日の観測結果を提供して戴いた、成蹊高校の内田先生、Hi-Volによる試料採取をお願いした各区役所、多摩環境保全事務所、小笠原支庁、小河内貯水池管理事務所の皆さまに厚くお礼申し上げます。(1981年12月、第8回環境保全・公害防止研究発表会で発表)

—引用文献—

- 1) R. Nagata, K. Asakuno: Air Pollution by Heavy Metals Contained in Particulate Matter in Tokyo, Annual Report of The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection., 1972, pp. 5～15.
- 2) 朝来野国彦: 浮遊粒子物質汚染の現状と計測の諸問題, 計装, Vol. 16, No. 8, pp. 18～22, 1973.
- 3) 朝来野国彦: 東京都における重金属汚染について, 東京都公害研究所年報, 1982.
- 4) 東京都公害研究所編: 浮遊粒子状物質等調査報告書, 1972, 1973, 1978, 1979, 1980, 1982.
- 5) 松下秀鶴, 江角凱夫: 大気粉じん中に含まれる多環性芳香族炭化水素の同定, 分析化学, Vol. 19, pp. 951～966, 1970.
- 6) 松下秀鶴, 嵐谷奎一, 半田 隆: 超音波抽出法を用いた大気浮遊粉じん中BaPの簡易分析法, 分析化学, Vol. 25, pp. 263～268, 1976.
- 7) 菅 邦子, 青木一彦, 石黒辰吉: 高速液体クロマトグラフィーを用いた多環性芳香族炭化水素の迅速分析法とその測定例, 東京都公害研究所年報, pp. 106～110, 1981.
- 8) 久保田寅英, 西井富士雄, 松森春雄: 東京都のばいじん削減対策について, 大気汚染学会要旨集, 1979.
- 9) 成蹊気象観測所編: 50年気象観測報告, 1977, 報告19号, 20号, 21号, 22号, 1978～1980.
- 10) 溝畑 朗, 眞室哲雄: 堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定(I), 大気汚染学会誌, Vol. 15, No. 5, pp. 198～206, 1980.
- 11) 角脇 怜: 浮遊粉じんによる都市大気汚染にせめる自然発生源からの負荷(II), 大気汚染学会誌, Vol. 14, No. 11・12, pp. 51～56, 1979.