

報 告

東京タワーにおける高度別TSP中の重金属成分の経年季節変化と分布

鎌 滝 裕 輝 古明地 哲 人 秋 山 薫
 (保健部)
 渡 邊 武 春 朝来野 国 彦

1 はじめに

東京都では全浮遊粒子状物質（以下、TSPという。）中の微量重金属の動向を把握するために、1969年8月からモニタリングを行っている。特に、1971年11月からは、立体調査として東京タワーの3測定点（25、125、225m地点）についても定期的に行っている¹⁾。TSPの高度別動向調査については、郊外や山岳地帯での調査が報告されているが、都市部では報告されていない。さらに、長期間における高度別調査報告もほとんどない。筆者らは、東京都内におけるTSP中の重金属汚染の鉛直構造を究明するために東京タワーの高度別調査を行ってきた。捕集されたTSP中の重金属成分は、自然起源、人為起源からの寄与など多くの情報を含んでいるので、これを分析することは、TSP中の重金属自体の動向やTSPの分布状況を把握するために必要である。本報告は、筆者らが、1971年11月から1990年3月までの試料を年度毎に採取後、次年度に分析を行ったTSPの東京タワー立体調査から得られたTSP中重金属成分の季節（夏、冬）別変化から、東京都における経年的な高度別TSPと重金属成分の動向の特徴について報告する。

2 調 査

(1) 調査地点

調査は、図1に示すように東京タワー（港区）の科学館4階建屋上（地上25m）、大展望台屋上（地上125m）、特別展望台屋上（地上225m）の3地点で行った。

(2) 試料採取

試料採取は、ガラス繊維ろ紙（1971年11月から1980年3月まで）又は石英繊維ろ紙（1980年4月以降）をハイボリュームエアサンプラー（Hi-Vol）に装着して行った⁶⁾。採取期間は、1971年11月から1975年3月までは月3回、1975年4月から1980年3月までは月2回、1980年4

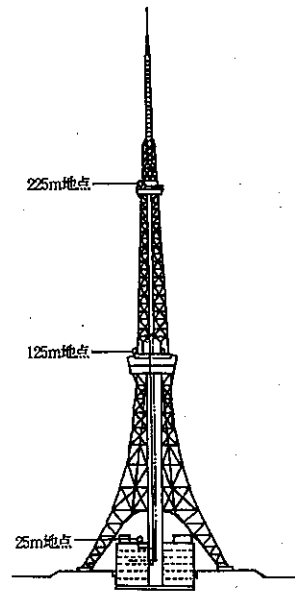


図1 東京タワーにおける調査地点

月以降は月1回行った⁶⁾。採取時間は、測定日午前10時から翌日午前10時までの24時間行った。

(3) 重金属の分析方法

Hi-Volで採取した試料は、25°C、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。その質量からろ紙の質量を差し引き、1 m³当りの質量をTSP濃度（μg/m³）とした。重金属分析は、試料の酸抽出後、直接原子吸光法により行った⁶⁾。分析項目は、カドミウム（Cd）、クロム（Cr）、鉄（Fe）、マンガン（Mn）、ニッケル（Ni）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn）の合計7種類である。ただし、Znの分析は1979年3月から行った。

3 結果と考察

(1) TSPの動向

表1に、1971年11月から1990年3月までの、TSP及び重金属の年平均値を高度別(25, 125, 225m)に示した。

また、図2～図6にはTSP, Fe, Ni, Pb, SO₂の季節別経年変化を各高度毎に示した。

TSPは、経年的にみると夏期(6月～8月)には各高度共減少傾向を示しているが、冬期(12月～2月)はほ

表1 各年におけるTSP及び重金属成分の大気中濃度

(1) 夏の濃度(6～8月の平均値)

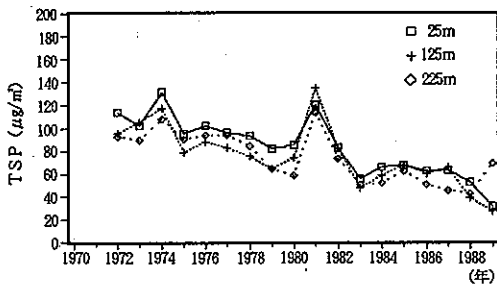
	TSP (μg/㎡)			Cd (ng/㎡)			Cr (ng/㎡)			Fe (μg/㎡)			Mn (ng/㎡)			Ni (ng/㎡)			Pb (ng/㎡)			Zn (μg/㎡)		
	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m
1971	114	95	92	5.7	4.6	5.6	21.0	24.0	24.0	2.66	2.27	2.56	117	108	121	57	48	43	313	268	253			
1972	102	105	89	5.2	6.3	5.2				2.34	2.38	2.02	93	108	96	63	66	59	307	317	257			
1973*	131	117	108	7.0	6.0	4.2				2.91	2.90	2.88	124	134	133	34	33	25	324	196	260			
1974	95	79	90	4.7	3.3	3.8	9.8	8.7	11.0	2.47	2.44	2.37	118	107	118	14	16	17	193	153	146			
1975	102	88	94	4.0	3.2	2.8	7.2	9.0	7.7	2.48	2.13	2.36	63	57	63	18	19	19	163	145	143			
1976	96	83	94	3.0	2.5	3.2	3.0	8.3	5.6	1.40	0.91	1.19	55	36	48	16	17	17	95	77	74			
1977	93	75	84	3.6	3.0	2.7	9.4	5.8	7.3	1.34	1.03	1.19	40	42	51	18	12	9	83	58	57			
1978	82	64	64	1.0	1.0	1.0	11.0	9.0	23.0	3.30	1.99	2.19	86	57	74	19	19	24	78	44	43	0.26	0.12	0.15
1979	85	74	58	4.8	4.6	4.8	11.0	16.0	10.0	1.83	1.75	0.96	63	68	41	22	24	15	91	78	84	0.31	0.28	0.32
1980	120	135	113	4.3	4.7	2.5	6.8	5.4	4.9	2.22	2.16	1.56	67	83	58	10	18	8	145	127	92	0.46	0.47	0.33
1981	83	82	73	2.9	3.1	2.6	7.4	8.3	11.0	1.70	1.69	1.74	62	74	96	18	28	26	106	103	104	0.41	0.35	0.54
1982	55	47	50	3.0	2.8	2.6	4.0	2.7	3.3	1.13	0.92	0.85	42	40	44	9	6	8	85	76	75	0.31	0.30	0.31
1983	66	58	52	1.2	1.6	0.8	7.0	6.3	7.6	1.47	1.62	1.15	52	61	51	12	12	15	41	95	70	0.16	0.30	0.23
1984	67	67	62	1.3	1.2	1.2	9.7	11.0	11.0	2.03	2.07	1.82	70	75	69	13	18	14	38	36	46	0.17	0.18	0.21
1985	62	60	50	2.4	2.3	2.1	11.0	10.0	9.3	1.95	2.04	1.70	58	60	57	13	13	11	58	53	74	0.23	0.22	0.23
1986	63	65	45	1.5	2.2	0.8	6.3	6.0	6.3	1.05	1.10	0.69	40	52	34	11	10	9	40	44	38	0.17	0.18	0.12
1987	52	38	42	2.1	1.4	1.4	7.3	4.0	6.0	1.61	0.90	1.05	53	33	37	9	3	4	78	31	58	0.25	0.15	0.19
1988	31	26	68	0.9	2.2	2.0	14.3	24.3	17.3	1.11	1.62	1.65	22	48	50	7	13	12	32	67	93	0.17	0.30	0.32

(2) 冬の濃度(12～2月の平均値)

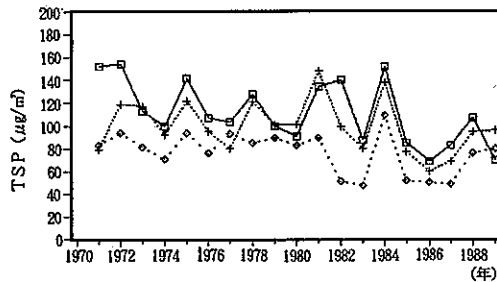
	TSP (μg/㎡)			Cd (ng/㎡)			Cr (ng/㎡)			Fe (μg/㎡)			Mn (ng/㎡)			Ni (ng/㎡)			Pb (ng/㎡)			Zn (μg/㎡)		
	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m
1971	152	79	83	9.7	4.8	5.4	29.0	19.0	21.0	3.11	2.57	2.49	153	85	98	49	24	28	502	341	258			
1972	154	119	94	10.4	7.9	6.1	25.0	25.0	25.0	3.24	2.55	2.61	179	166	152	40	88	64	512	352	255			
1973*	113	117	81	5.8	8.0	3.8				2.93	3.05	2.71	125	171	105	51	71	55	368	489	198			
1974	100	92	71	7.0	5.6	3.4				2.20	2.08	1.68	94	79	93	21	19	19	296	368	156			
1975	142	122	94	8.3	5.8	4.0	9.5	7.2	5.8	2.74	2.46	1.98	110	98	70	25	26	11	532	392	148			
1976	107	95	76	4.3	4.0	3.0	6.8	6.4	4.2	1.91	1.86	1.73	81	71	64	22	18	11	303	245	132			
1977	103	80	83	3.2	2.5	3.5	6.5	4.0	7.8	1.84	1.41	1.75	67	57	70	16	10	12	260	94	200			
1978	128	121	85	3.2	2.7	2.0	12.0	15.0	8.3	2.37	1.76	1.08	49	70	100	19	16	17	135	107	69			
1979	100	101	89	2.4	2.6	3.0	5.2	5.6	5.8	1.73	1.43	1.47	66	64	65	13	9	7	85	80	69	0.28	0.28	0.27
1980	91	101	83	2.4	2.8	2.5	7.0	6.0	7.5	1.31	1.28	1.29	67	67	64	8	7	10	79	70	72	0.31	0.27	0.31
1981	134	148	89	4.9	5.6	2.6	8.2	12.0	6.0	1.99	1.99	1.53	110	134	81	16	21	9	174	188	103	0.54	0.65	0.37
1982	140	99	51	11.0	9.0	1.8	11.0	8.9	5.1	2.39	1.73	1.13	102	80	51	14	14	8	201	145	64	0.75	0.59	0.26
1983	87	80	47	2.1	2.0	0.9	4.3	3.3	3.0	2.09	1.77	1.14	77	68	46	8	6	4	88	75	42	0.51	0.36	0.18
1984	152	138	109	6.1	5.0	3.2	12.0	12.0	7.7	3.17	2.92	2.20	110	102	78	16	17	13	133	110	84	0.52	0.45	0.49
1985	85	77	52	2.3	2.7	1.7	7.0	7.6	6.7	1.74	1.54	1.11	89	104	73	9	7	8	89	102	87	0.40	0.44	0.27
1986	69	60	50	2.1	1.7	1.6	5.7	7.0	6.3	1.85	1.60	1.50	71	62	61	9	5	8	85	69	55	0.32	0.26	0.21
1987	83	69	49	2.6	2.3	1.5	7.7	5.7	5.7	1.43	1.11	0.82	63	49	35	11	10	7	67	56	43	0.25	0.19	0.12
1988	107	95	76	3.0	2.4	2.0	11.7	11.7	7.7	2.28	1.83	1.52	79	71	57	16	14	18	101	84	68	0.49	0.47	0.37
1989	70	95	80	1.0	1.6	1.6	8.3	10.7	13.0	1.93	1.65	1.71	52	60	85	14	16	19	55	69	114	0.26	0.37	0.36

(3) 年平均の濃度

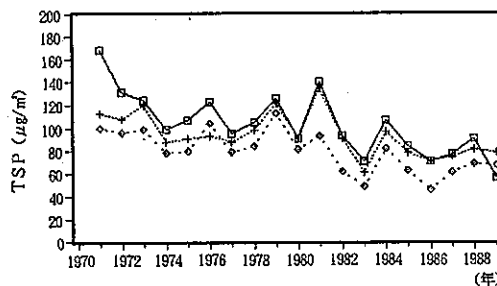
	TSP (μg/㎡)			Cd (ng/㎡)			Cr (ng/㎡)			Fe (μg/㎡)			Mn (ng/㎡)			Ni (ng/㎡)			Pb (ng/㎡)			Zn (μg/㎡)		
	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m	25m	125m	225m
1971	168	113	100	12.0	8.0	8.0	30.0	23.0	24.0	4.27	3.58	3.58	238	174	173	56	35	38	543	401	461			
1972	131	108	96	9.0	7.0	6.0	24.0	26.0	25.0	3.12	2.48	2.67	154	136	145	42	64	52	423	309	264			
1973*	125	120	99	6.0	6.0	4.0				2.43	2.38	2.23	118	128	103	58	60	57	345	344	212			
1974	99	88	78	6.0	5.0	3.0				2.22	2.02	1.90	103	97	92	24	24	30	314	250	180			
1975	107	91	80	6.0	4.0	3.0	9.0	7.0	7.0	2.31	2.10	1.83	96	87	81	17	18	11	280	210	120			
1976	123	93	104	4.0	3.0	3.0	7.0	8.0	7.0	2.26	1.91	2.61	80	64	78	20	20	14	230	200	150			
1977	95	88	79	3.0	3.0	2.0	5.0	6.0	5.0	1.61	1.40	1.19	56	53	44	17	12	11	176	138	75			
1978	105	98	84	3.0	2.0	2.0	10.0	13.0	7.0	1.63	1.21	1.21	48	54	63	18	12	10	114	91	62			
1979	126	122	113	3.0	3.0	3.0	7.0	7.0	8.0	1.86	1.69	1.58	83	77	69	12	11	10	112	99	73	0.38	0.34	0.30
1980	91	91	81	4.1	4.0	3.8	8.0	11.0	9.0	1.59	1.57	1.25	73	72	63	14	16	13	116	90	97	0.38	0.36	0.34
1981	140	134	93	4.3	4.2	2.3	7.4	8.9	6.2	2.43	2.35	1.61	95	110	66	16	19	10	160	149	88	0.50	0.54	0.33
1982	93	91	62	5.9	6.2	2.2	8.6	10.8	8.9	2.05	1.96	1.52	80	84	69	14	20	17	128	126	72	0.49	0.51	0.35
1983	71	61	49	2.7	2.4	1.8	4.0	3.0	3.0	1.48	1.26	0.94	56	53	43	8	7	8	85	64	61	0.37	0.35	0.27
1984	107	97	82	3.6	3.3	2.1	8.0	8.0	7.0	2.12	2.02	1.50	81	79	63	14	13	12	95	97	78	0.35	0.37	0.25
1985	84	78	63	2.6	2.6	1.9	9.0	9.0	8.0	2.02	1.80	1.44	83	85	67	11	10	9	84	81	69	0.40	0.38	0.29
1986	71	71	46	2.3	2.2	1.7	7.0	9.0	6.0	1.71	1.78	1.32	62	65	51	11	9	9	80	74	60	0.21	0.31	0.21
1987	77	75	61	2.0	2.5	1.1	7.0	7.0	7.0	1.37	1.33	0.94	56	60	41	11	12	9	50	53	42	0.20		



(1) 夏 (6~8月の平均)

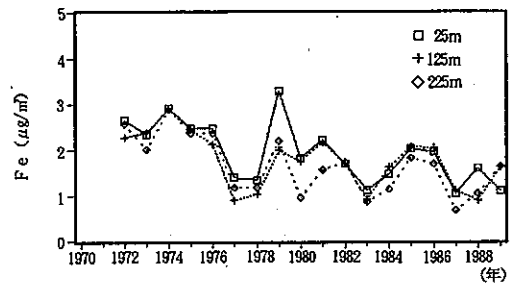


(2) 冬 (12~2月の平均)

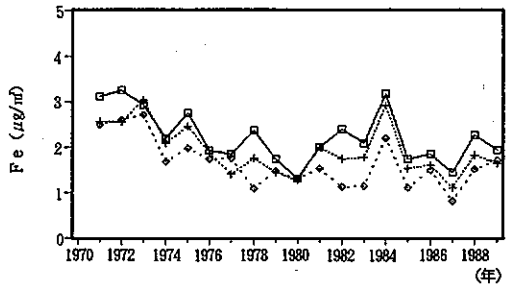


(3) 年平均

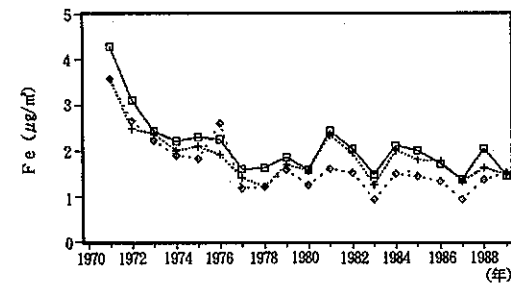
図2 TSP濃度の経年変化



(1) 夏 (6~8月の平均)



(2) 冬 (12~2月の平均)



(3) 年平均

図3 鉄濃度の経年変化

は横ばいである。高度別特性は、冬期には地表面に近いほど高濃度であるが、比較的濃度の低い夏期には濃度差がない。

(2) Fe及びMnの動向

Feの主な発生源は、表2に示したようにFeが7.5%程度含まれている土壌や路上堆積粉じん^{4,7,8)}の飛散、及び鉄鋼業や重油焼成施設の排出ガスである。図3に示したように、固定発生源に対する除じん対策(集塵装置の設置等)が立ち遅れていた1977以前は、高度差は見られない。これは、土壌飛散成分と固定発生源からの寄与が相互に関与していることによると思われる。しかし、集塵装置が

整備された1978年以降は、経年的にはほとんど変化がなく高度別の濃度差も見られない。また、Feと同様な動向はMnにも見られることから類似した発生源からの寄与があることがうかがわれる。ここ数年のFe及びMnは土壌及び道路粉じんからの寄与率^{4,7,8,11,12)}が、1978年以前に比べて大きくなっていることがうかがわれる。

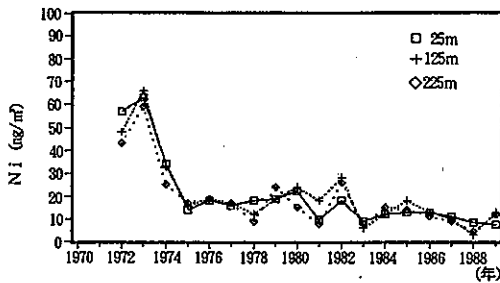
(3) Cd, Cr, Ni, 及びZnの動向

C重油等に含まれているNiは、1975年までに固定発生源の除じん対策によると思われる濃度の減少が見られるが、それ以降はほとんど変化がない。この傾向はCd, Cr, Znにも見られる。これらの元素は、Feなどに比べ

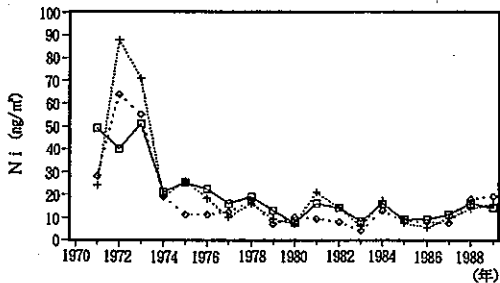
表2 各種発生源における元素比率^{4, 7, 8)}

発 生 源	単位 %										
	Ca	Na	Al	K	Mn	V	Sc	Fe	Cae*	Cao*	Br
グローバル土壌	5.7	1.4	6.7	2.7	0.076	0.011	0.0012	3.6	0	0	0
東京都内土壌	2.28	0.659	8.85	0.796	0.135	0.0302	0.00291	7.48	3.94	1.63	0.0064
道 路 粉 塵	6.9	1.08	6.83	0.97	0.135	0.019	0.0019	7.40	4.00	0.72	0.00043
海 塩	1.2	30.42	3.0×10^{-5}	1.1	5.3×10^{-6}	5.8×10^{-6}	1.0×10^{-7}	2.9×10^{-5}	0	0	0.19
重 油 燃 焼	0.085	1.0	0.21	0.085	0.012	0.92	9.0×10^{-6}	0.46	0	0	0
鉄 鋼 工 業	4.5	1.4	1.0	1.3	2.2	0.013	1.3×10^{-4}	15.7	0	0	0.014
廃 棄 物 焼 却	1.1	12	0.42	20	0.033	0.0027	4.6×10^{-5}	0.62	6.7	1.7	0.083
ガソリン自動車	0	0	0.07	0.444	0.0113	4.3×10^{-5}	2.0×10^{-5}	0.71	30.1	26.3	5.95
ディーゼル自動車	0	0	0	0.43	0.023	0.01	0	0	65.0	20.0	0.017

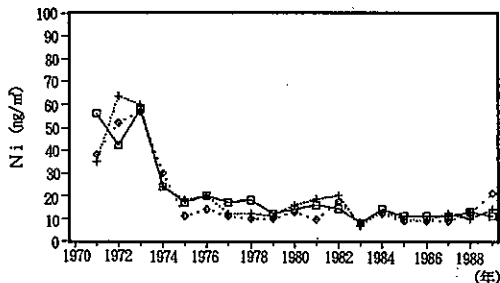
* : Cae, Cao はそれぞれ元素状炭素、有機炭素を示す。



(1) 夏 (6~8月の平均)



(2) 冬 (12~2月の平均)



(3) 年平均

図4 ニッケル濃度の経年変化

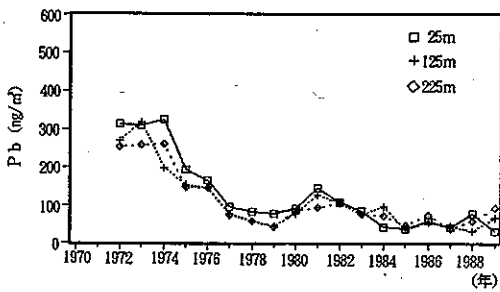
て濃度が低く、広域的な汚染によるものと考えられる。

(4) Pbの動向

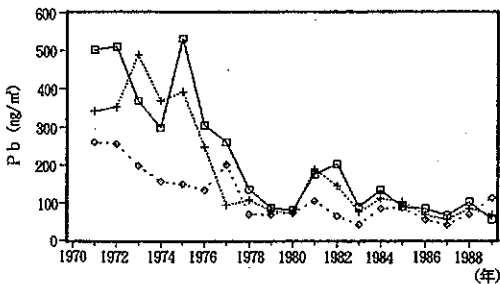
有鉛ガソリンやハイオクタン価ガスに混入されていたPbは、年平均の経年変動(図5の(3)参照)¹⁾が、調査当初(1971年)の濃度と比べて現在ではほぼ1/10程度にまで減少している。経年変動¹⁾では、1970年から段階的に実施された有鉛ガソリンの無鉛化などの影響によるところが大きい。また、3測定点において、高度が高くなるに従ってPbの濃度が低くなる傾向が現れていることから、自動車等の低い高度の発生源の寄与が大きいことがうかがわれる。¹⁾夏冬(図5の(1),(2)参照)共に1978年までPbの濃度は減少し、それ以後はほとんど同じ濃度で推移している。冬では、3測定点において、高度が高くなるに従って濃度が減少する傾向があり、高度別の濃度変化が現れている。これに対して夏では、ほとんど現れていない。年平均の経年変化は高度による濃度の差が現れているため、夏に比べて高い濃度になる冬の影響を受けていることが分かる。しかし、225m地点の濃度変化は、夏冬共ほとんど変化がないことから、高い高度では、季節による相違が見られず、最近のPbの分布は広域的になってきていることがうかがわれる。

(5) SO₂の動向

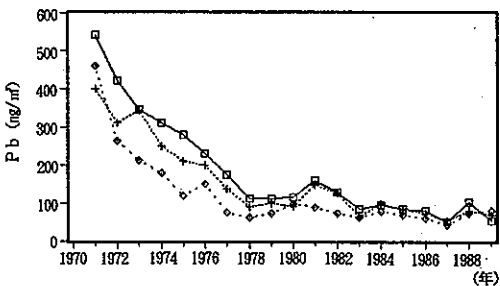
図6に示したSO₂の経年の濃度変化は、高度別濃度変化に関する報告で述べられているように、夏の125m地点での濃度が高い値を示していることからガス状物質の逆転層ができていと考えられる。^{14, 15)}冬では、3測定点において、高度が高くなるに従って低くなる濃度差が現れている。上記の傾向は毎年現れている。



(1) 夏(6~8月の平均)



(2) 冬(12~2月の平均)



(3) 年平均

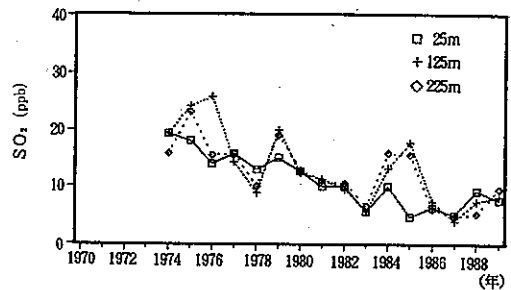
図5 鉛濃度の経年変化

また、冬の傾向は、3測定点において、高度が高くなるに従って濃度が低くなるPbと同じような変動であることから、夏のガス状物質の逆転層によるTSPへの影響があることがうかがわれる。そのために、夏におけるTSP濃度がばらつくと思われる。

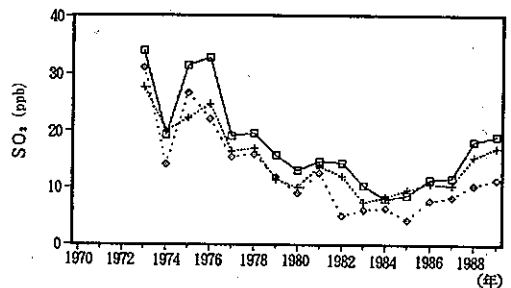
4 まとめ

東京都の重金属各元素の鉛直構造の特徴については、上記のことからその分布は次の3つに分類することができる。

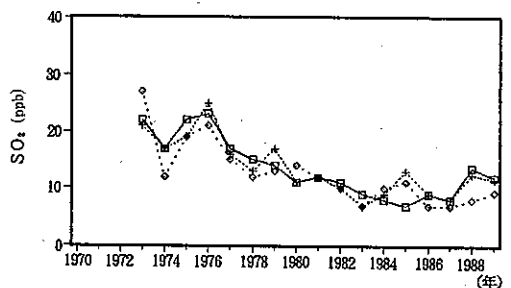
ア Fe型分布



(1) 夏(6~8月の平均)



(2) 冬(12~2月の平均)



(3) 年平均

図6 二酸化硫黄濃度の経年変化

固定発生源における集じん装置の普及等の影響により発生源寄与の高度による変化のあった分布。

(ア) 1978年以前は、25、125、225mの高度別による濃度差が見られない。

(イ) 高い高度の発生源(鉄鋼業や重油燃焼施設等からの排出)寄与及び低い高度の発生源(土壌及び道路粉じんの飛散)寄与による相加した分布)

(イ) 1978年以後は、3測定点において、高度が高くなるに従って濃度が低くなり、高度による差が見られる。

(低い高度の発生源(土壌及び道路粉じん飛散)寄与による分布)

また、Feの分布と同様な変動をする元素としてMnがある。

イ Ni型分布

経年的に25, 125, 225mの高度による濃度差が見られない広域的分布。

また、Niの分布と同様な変動をする元素としてCd, Cr, Znがある。

ウ Pb型分布

経年的に3測定点(25, 125, 225mの地点)において、高度が高くなるに従って濃度が低くなり、高度による差が見られる低い高度の発生源(自動車等)寄与による分布。

おわりに、本報告の試料採取にあたり、長年に渡って協力していただいている東京タワーの関係各位に深く感謝致します。

また、この調査は当研究所において、Pb等の重金属元素の分析を担当された多くの研究員により継続されてきたものである。

(1990年1月, 第17回環境保全・公害防止研究発表会(一部)発表)

参考文献

- 1) 鎌滝裕輝ら：東京都における浮遊粒子状物質の経年動向, 第17回環境保全・公害防止研究発表会講演集, p.42 (1990).
- 2) 功力正行ら：大気エアロゾルの鉛直分布測定(6), (7), 第26回大気汚染学会講演要旨集, p.585~586 (1985).
- 3) B.C.Gaelli Purghart et.al.: Metals in Airborne Particulate Matter in Rural Switzerland, Atmospheric Environment, 24, p.2191~2206 (1990).
- 4) 芳住邦雄ら：東京都における浮遊粒子状物質へのリセプターモデルによる発生源寄与の評価, 東京都環境科学研究所年報1989, p.3~10.

- 5) Glen E. Gordon et.al.: Consideration for Design of Source Apportionment Studies, Atmospheric Environment, 18, p.1567~1582 (1984).
- 6) 東京都公害研究所編：浮遊粒子状物質等調査報告書, 公害研究所資料1-2-4, 5, 昭和53年3月, 昭和54年3月.
東京都公害研究所編：浮遊粒子状物質等測定データ集, 公害研究所資料1-2-6~8, 昭和55年3月, 昭和57年2月, 昭和59年3月.
東京都環境科学研究所編：浮遊粒子状物質等測定データ集, 環境科学研究所資料1-2-9~12, 昭和61年3月, 昭和62年3月, 昭和63年8月, 平成2年3月.
- 7) 千葉県公害研究所編：浮遊粒子状物質発生源寄与率調査(中間報告), 昭和59年12月, 昭和61年9月, 昭和62年7月.
- 8) 芳住邦雄ら：リセプターモデルによる浮遊粒子状物質発生源寄与の算定, 東京都環境科学研究所年報1988, p.58~62.
- 9) 久保田寅英ら：東京都のばいじん削減対策について, 第20回大気汚染学会講演要旨集, p.282 (1979).
- 10) 朝来野国彦ら：東京都における浮遊粒子状物質汚染, 全国公害研会誌, 7, p.61~65 (1982).
- 11) 吉岡秀俊, 芳住邦雄：環境大気における浮遊粒子状物質中の金属成分への土壌寄与, 東京都環境科学研究所年報1989, p.75~78.
- 12) 吉岡秀俊ら：東京都における粒子状物質中のAl, Mn, V, Na及びClの粒径分布, 東京都環境科学研究所年報1990, p.59~62.
- 13) 東京都環境保全局大気保全部編：大気汚染常時測定局測定結果報告, 昭和48年12月~平成2年2月.
- 14) 大平俊男, 福岡三郎：東京タワーの春季における高度別亜硫酸ガス濃度と気象条件との関係, 東京都公害研究所年報1970, p.65~69.
- 15) 福岡三郎ら：東京タワーにおける高度別亜硫酸ガス濃度と気象条件との関係について — 第2報 —, 東京都公害研究所年報1971, p.28~33.