

# 琉球大学学術リポジトリ

大気中の浮遊微粒子中の金属成分の研究(Zn, Cd, Fe, MnおよびNiの含有量)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2012-02-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 兼島, 清, Kaneshima, Kiyoshi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/23495">http://hdl.handle.net/20.500.12000/23495</a>

## 大気中の浮遊微粒子中の金属成分の研究

(Zn, Cd, Fe, MnおよびNiの含有量)

兼 島 清\*

## Chemical Analyses of Trace Metals in Particulates of Urban Aerosol

Kiyoshi KANESHIMA

## Abstract

In order to know the nature of particulates in urban aerosol, chemical analyses of trace metals in particulates were conducted.

The samplings of particulates were made at Tokyo, Osaka, Kitakyushu and Sapporo, and trace metals such as cadmium, zinc, iron, manganese and nickel were analysed.

The Andersen Sampler was used to determine the distribution of suspended particulates, and collected samples were divided into four stages depending upon their particle size, and were analysed by atomic absorption method. The results obtained are as follows:

The distribution of metals in particulates show the characteristic pattern of particle size. The contents of cadmium and zinc in particulates tend to increase in the fine particulates and the distribution of zinc show the peak in concentration at 1.6 to 0.6  $\mu$ . The iron and manganese are concentrated in the coarse particulates, but the concentration of the nickel depends upon the distribution pattern of particle size.

To see the state of metals in particulates, the dissolution experimentes were carried out. The results show that the cadmium and zinc are very soluble as compared with manganese and nickel, on the contrary, the iron is seldom soluble in water.

## 1. はじめに

最近日本の都市地区に於ける大気汚染の問題はその深刻の度を年々増しつゝあり、その防止と対策は緊急を要しかつ重大な問題と言わねばならない。

大気汚染には有害ガスと共に浮遊微粒子による汚染も大きな問題で、その研究は大気汚染の実態を究明するうえからも重要なことと考える。

最近各都道府県では色々と大気汚染の測定を行ない、大気中の浮遊微粒子に関する報告も多く見られ、またその化学組成の問題にも関心が示され、その化学分析の報告も見られるようになった。大気汚染の人体に対する影響を考えると、汚染物質の化学組成は重要であるが、この際各粒度別による化学組成を知ること即ち微粒子そのものが何であるかを確めることはその影響を明らかにする上に最も大事なことと考える。大気中の浮遊微粒子の金属成分については最近鈴木ら(1967)が尼崎、西宮、旭川市に於て浮遊微粒子を捕集し、その金属成分で特にCu, Cr, Ni, Ti, Fe, V, Cdなどについて分析を行った報告があり、<sup>(5)</sup>また大喜多(1968)は大容量のカスケードインパクターを用い大気中のエアロゾル中の巨大粒子、及び大粒子を分離捕集してその粒子中の硫酸塩や無機塩などの測定を行なっている。<sup>(6)</sup>しかし粒度別による金属成分の含量に関する報告は少ない。

受付: 1972年11月20日

\*琉球大学理工学部化学科

今回は各粒度別による金属含量の相違を明らかにするため、大気中の浮遊微粒子をAndersen Samplerを用いて、日本の主要都市である東京、大阪、北九州市や札幌市など大気汚染地帯といわれる地域に於て、大気中の浮遊微粒子を各粒度別に捕集し、微粒子中の金属成分で特にFe, Mn, Ni, ZnおよびCd等の人体に影響の大きい5つの金属元素について分析を行い、粒子の大きさの相違による各金属元素の含量の相違や、金属の種類による粒子への分配のパターンの異なること、また土壌中のこれら金属成分との関連について考察した。また浮遊微粒子中のこれら金属の存在状態について検討を行なうため金属を水や醋酸アンモニウム溶液などで溶出実験を行なった。これらのことについて報告する。

## 2. 試料の捕集および分析法

### 2-1 大気中の浮遊微粒子の捕集方法

大気中の浮遊微粒子は次の3つの方法によった。

#### 2-1-1 High Volume Air Sampler の利用による方法

浮遊微粒子は大阪市に於ては大阪公害監視センターの屋上で、札幌市に於ては北海道立衛生研究所の屋上で、北九州市に於ては北九州市小倉の国設測定局中央観視局の屋上でガラス繊維濾紙上に24時間吸引を行なって捕集した。ガラスファイバー濾紙は1日以上デシケーター中で放置して後重量測定したものを使用した。捕集後再びデシケーター中に1日放置した後秤量した。

#### 2-1-2 東京都の試料

東京都の試料は全部国立公衆衛生院3階の実験室の窓から外に向けて東洋濾紙社製メンブランフィルター(径105mm, TM-80(0.8 $\mu$ ))を用いた捕集装置で真空ポンプで吸引して捕集した。

#### 2-1-3 各粒度別による試料の捕集

各粒度別による試料の捕集はAndersen Samplerを用いた。その構造はアルミニウム製の6段階の円型ブロックから成り、そのブロックの底には細かなくなりぬき孔200個を有し、各段ごとにこの孔は径を異にし下段に行くほど径は小さくなる。この装置に各段ごとに捕集板がつき、その捕集板上に東洋濾紙製メンブランフィルターTM-2 径80mmを敷き、最後の段に続く吸引パイプにミリポアー社製のミリポアーフィルター径40mm(0.1 $\mu$ )を置き、最も微細な粒子を捕集した。この装置を用いてこの方法による粉塵の捕集の検討は大道(千葉公害衛生研究所)<sup>(1)</sup>も行なっている。捕集場所は2-1-1, 2-1-2と同じである。

### 2-2 金属元素の分析法

大気中浮遊微粒子を捕集したガラス繊維濾紙は $\frac{1}{2}$ または $\frac{1}{3}$ に切り取り、プラズマ酸素を用いる低温灰化装置を用いて有機物を酸化除去した後、250ccのビーカーに入れ時計皿で覆い厚生省環境衛生局公害部公害課による方法<sup>(2)</sup>に従い次のように処理した。

20%塩酸20ccに30%過酸化水素水4ccを加え1時間ホットプレート上で加熱して後濾過し再びこの操作をくりかえし、濾液を一つにして蒸発し塩酸を除いて後1:50の硝酸液で溶解して10ccの定容フラスコに入れて一定量とし、その溶液についてCdとNiは直接原子吸光度計によって測定を行い、Mnについては $\frac{1}{10}$ にうすめた液を用い、ZnやFeについては1/50にうすめた液について原子吸光度で測定した。この際ガラス繊維濾紙のブランクを測定し補正を行った。Znの場合、札幌と大阪で使用したゲルマン社製ガラス繊維濾紙はZn含量が異状に多くブランク値

が高すぎたためZnの測定を断念した。東京でメンブランフィルターを使用したときは、濃硝酸と過塩素酸5ccを加えて加20cc熱して湿式分解法によって試料を処理した後20%塩酸と30%過酸化水素水による処理を行った。メンブランフィルターはブランク値も低くZnの定量は差支えない。

3. 結果と考察

3-1 大気中の浮遊微粒子中の金属元素含量

Andersen Samplerによって捕集した浮遊微粒子は各段ごとにその粒子径を異にし、その捕集される粒子は吸引する空気の流速によって各段に集まる粒子の大きさも異って来るが、通常1 cf/minの流速のときDonnellら(1970)<sup>(3)</sup>によると次の表のような粒径のものが得られている。

Table 1 Andersen Sampler aerodynamic effective cut-off diameter( $\mu$ m)

stage	1	2	3	4	5	6
Diameter ( $\mu$ )	9.2	5.7	3.3	1.8	0.98	0.54

分析は捕集される試料の量が少ないのでそのことを考慮して、その中のStage 1と2を合わせてAとし、Stage 3と4を合わせてBとし、Stage 5と6を合わせてCとし、最後のミリポアフィルターをDとして4段階に分けて行った。

処理は前記と同様濃硝酸20ccに過塩素酸5ccを加えて湿式分解後20%塩酸で溶解し、後蒸発乾固近くまで加熱して塩酸を除き1:50の硝酸に溶解して原子吸光法で測定した。

3-1-1 カドミウムについて

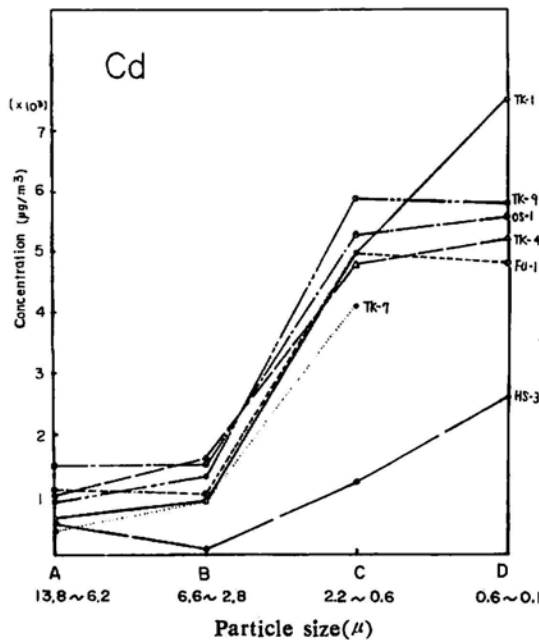


Fig. 1 The distribution of cadmium in particulates

東京(TK-1; TK-9, TK-4, TK-7), 大阪(OS-1), 北九州(FU-1) および札幌(HS-3)の各地で捕集した試料の分析結果をプロットしたのを図1に示す。Cdは図1に見るように微粒子の粒度が小さくなるにつれて、その濃度が増加し、特にB段階すなわち粒子の大きさが $6.6\sim 2.8\mu$ からC段階すなわち $2.2\sim 0.6\mu$ の大きさに移るところで急激な濃度の変化があり、 $0.6\sim 0.1\mu$ の最も粒子の細かい部分で最大値を示している。この傾向は底質についても見られる、すなわち公衆衛生院の山県<sup>(4)</sup>は吉野川(山形県)砂防堰堤の底質について調べCdが最も粒子の細かい部分に多いことを認めており、また岡田ら(1971)<sup>(8)</sup>も粒度 $1\text{mm}$ 以下のこの吉野川の試料について粒度別の分析を行ない同じ傾向のあることを報告し、その存在状態についても述べている。このように河川の底質中に於ても大気中の微粒子中に於けると同様な傾向のあることはカドミウムの地球化学的挙動上に於て興味のあることである。Cdは東京都で1971年2月から6月にかけて $0.005\sim 0.023\mu\text{g}/\text{m}^3$ で北九州市で5月に $0.009\sim 0.022\mu\text{g}/\text{m}^3$ で大阪市で4月に $0.012\sim 0.015\mu\text{g}/\text{m}^3$ で札幌で3月10日に $0.0029\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。

### 3-1-2 亜鉛について

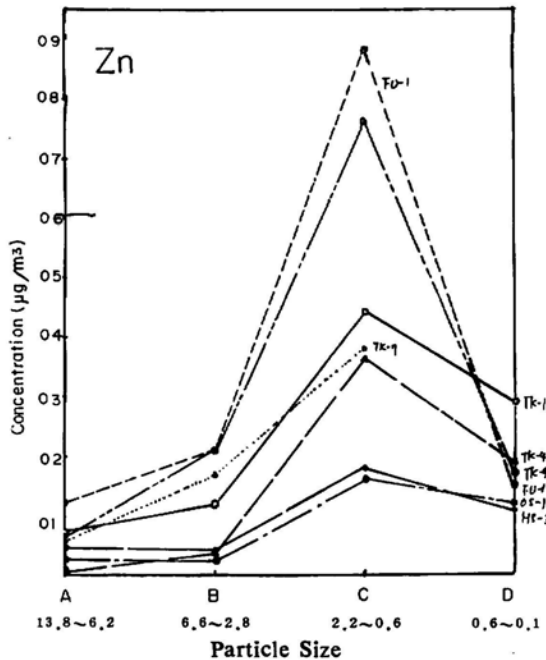


Fig. 2 The distribution of zinc in particulates

図2に亜鉛の各段階の粒度別の濃度の変化を示した。図に見るように、各地の試料について亜鉛は細かい粒子に濃縮される傾向があるが、粒子の最も細かい部分では急に濃度が低下し、最高濃度は何れの場合に於ても、粒子の最も細かい部分よりも一歩前のやや粗い方すなわち $2.2\sim 0.6\mu$ のところに見られる。この点はCdとその傾向を異にするところである。この傾向は河川底質にも見られる。すなわち山県<sup>(4)</sup>は前記の吉野川の底質について調べた結果、底質の最も細かい部分よりも粗い $70\sim 5\mu\text{m}$ の粒度のところでも最高濃度を示している。このように大気中の浮遊微粒子中に於ても、また河川の底質中に於てもCdとZnが同じような傾向の濃度分布のパターンを見せることは地球化学的に興味深いことである。CdはZnに比較して低

沸点で揮発し易い<sup>(7)</sup>ということから金属または酸化物としてZnまたはその化合物から蒸発分離して浮遊微粒子として最も微細な粒子の部分に濃縮されたものと考えられる。Znは東京都で2月から6月にかけて $0.05\sim 1.98\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ で北九州市で5月8日から10日にかけて $0.71\sim 1.40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。

3-1-3 鉄について

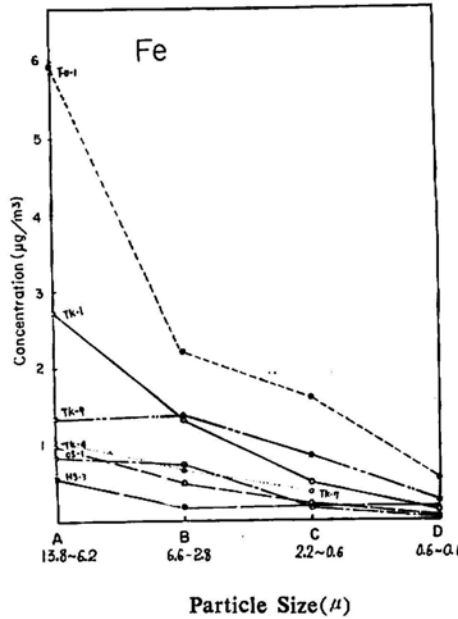


Fig. 3 The distribution of iron in particulates

鉄は図3に見るように各地の試料について粗い粒子に多く粒子が細くなるにつれてその濃度を低下し、最も細かい部分で最低値を示している。東京都で2月から6月にかけて、 $2.0\sim 7.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ を北九州市で5月8日から10日にかけて $18.6\sim 33.1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ と著しく高く製鉄工業による汚染を示している。大阪市で4月3日～5日の間に $5.5\sim 5.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

3-1-4 マンガンについて

Mnは図4に示すように、MnはFeとほぼ類似したパターンを示し、粗い粒子に多く細かい粒子に少ない傾向を示すがFeの場合ほどにはっきりしないものもある。しかしFeとMnの間には明瞭な正の相関が見られる、図5にこれを示す。図5に見るようにMnとFeはその挙動を共にしていることが見られる。東京都で $0.06\sim 0.22\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ で北九州市で $0.52\sim 0.62\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示す。

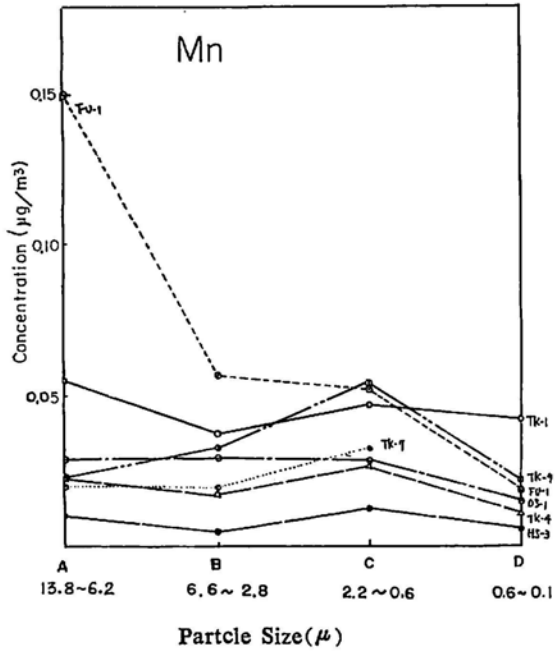


Fig. 4 The distribution of manganese in particulates

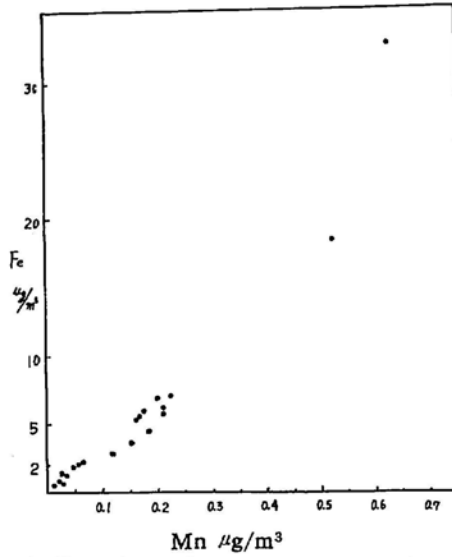


Fig. 5 The relationship between iron and manganese

3-1-5 ニッケルについて

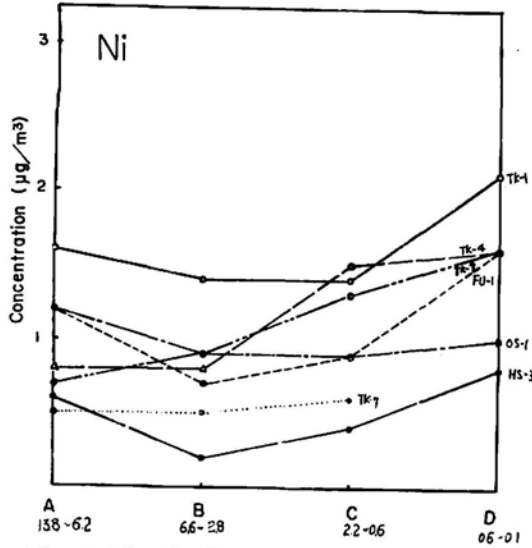


Fig. 6 The distribution of nickel in particulates

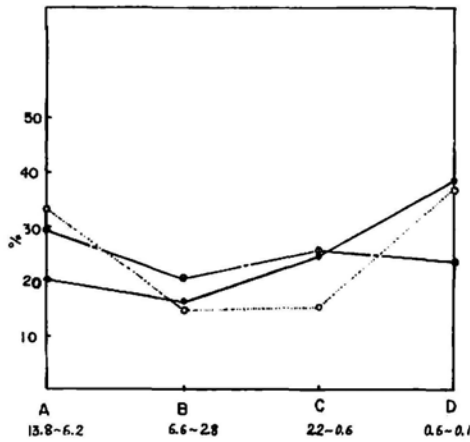


Fig. 7 The size distribution of suspended particulate in the atmosphere

図6に示すようにNiの場合は細かい粒子と粗い粒子に多く中間の粒子に少ない、この傾向は図7に示す粒子の分布曲線によく似てをり、色々な粒子にはほぼ均一に分布しているようである。東京都で $0.032 \sim 0.081 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を北九州市で $0.068 \sim 0.071 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。

このように金属元素は大気中の浮遊微粒子中でそれぞれ特有のパターンを示して分布していることは興味深い現象といわねばならない。

3-2 大気中の浮遊微粒子中のFe, Ni, Mn, ZnおよびCdの濃度と土壌との関連について



Table 2 Metallic components of suspended particulate in the atmosphere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(P: Particulate)

Location	No.	Cd	Zn	Mn	Fe	Ni	Particulate ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Fe/P'	Cd/P'	Zn/P'	Mn/P'	Ni/P'	Date (1971)
Sapporo	HS-1	0.0025	0.05	0.05	1.9	0.021	0.099	$1.9 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-4}$		Mar. 10
"	HS-2	0.0029	0.04	0.04	1.3	0.014	0.123	1.0	2.3	3.2	1.1		Mar. 11
Tokyo	TK-2	0.010	0.12	0.12	2.8	0.032	0.051	5.5	19.6	23.5	6.2		Feb.22-25
"	TK-3	0.005	0.06	0.06	2.0		0.112	1.7	4.4	5.3			Mar.4-6
"	TK-5	0.012	0.05	0.20	7.0	0.047	0.187	3.7	6.4	$2.6 \times 10^{-4}$	10.6	2.5	Mar.15-17
"	TK-6	0.049	1.78	0.17	6.0	0.081	0.177	3.4	27.6	100.5	9.6	4.5	Mar.22-25
"	TK-8	0.007	0.43	0.06	2.1	0.058	0.079	2.6	8.8	54.4	7.5	7.3	Apr.15-19
"	TK-10	0.016	1.07	0.15	3.6	0.065	0.136	2.6	11.7	78.6	11.0	4.7	Apr.20-23
"	TK-12	0.011	0.88	0.17	5.7	0.066	0.160	3.5	6.8	55.0	10.6	4.1	Apr.28-30
"	TK-13	0.010	0.72	0.19	4.5	0.046	0.109	4.1	9.1	66.0	17.4	4.2	May.14-15
"	TK-15	0.022	0.94	0.22	6.1	0.072	0.192	3.1	11.4	48.9	11.5	3.7	May.21-22
"	TK-16	0.023	1.98	0.22	7.0	0.078	0.284	2.4	8.0	69.7	7.8	2.7	May.31-Jun.1
Osaka	OS-2	0.012	0.21	0.21	5.9	0.034	0.182	3.2	6.5	11.5	1.9		Apr. 3-4
"	OS-3	0.015	0.16	0.16	5.5	0.047	0.174	3.1	8.6	9.2	2.7		Apr. 4-5
Kita Kyushu	FU-2	0.009	0.71	0.52	18.6	0.071	0.169	11.0	5.3	42.0	30.7	4.2	May. 8-9
"	FU-3	0.022	1.40	0.62	33.1	0.068	0.355	9.3	6.1	39.4	17.4	1.9	May. 9-10
Mean		0.014	0.99	0.19	7.0	0.053	0.162	$3.9 \times 10^{-2}$	$9.0 \times 10^{-5}$	$55.7 \times 10^{-4}$	$11.9 \times 10^{-4}$	$3.6 \times 10^{-4}$	

表2に札幌2試料, 東京10試料, 大阪2試料および北九州2試料の大気浮遊微粒子中の金属成分中Fe, Mn, Ni, ZnおよびCdの5種の分析結果を示す。さらに表には浮遊微粒子との比すなわち微粒子中の濃度も示した。微粒子中の5つの金属成分と土壌中のその金属成分の関連について検討するため, 名古屋, 三重, 岐阜, 大阪や岡山の各県で採集された表面土壌試料について特にその微細部分について(約60メッシュ以下) これら金属成分の分析を行った, その結果を表3に示す。

Table 3 Concentration of metals in soils(ppm).

Location	No.	Cd	Zn	Mn	Fe	Ni	Cd/Zn	Cd/Fe	Mn/Fe
Gifu	GI-1A	1.3	101	1150	40000	36	$1.3 \times 10^{-2}$	$0.03 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-2}$
Nagoya	NA-1A	0.6	59	260	15800	10	1.0	0.04	1.6
Miye	OA-1A	1.2	95	460	30800	21	1.2	0.04	1.5
Osaka	O-1A	0.8	63	340	15000	10	1.2	0.05	2.2
Okayama	OK-1A	1.5	68	710	55800	152	2.2	0.03	1.2
Mean		1.1	77	584	31500	45.8	$1.4 \times 10^{-2}$	$0.04 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-2}$

この表2と表3とから, 微粒子中のFeは平均39000ppmで土壌の場合の31500ppmとほぼ同等の値を示しており, またMnも微粒子中で平均1190ppmで土壌中の584ppmの2倍ほどで大きな差異は見られない。しかしCdとZnの場合にはこれと大きな相異があり, Cdは大気中の微粒子中で平均90ppmで土壌中で平均1.1ppmと大差があり, Znも大気中の微粒子中で平均5570ppmで土壌には平均77ppmとその濃度のオーダーに大きな相違がみられる。CdやZnは土壌よりも大気中の微粒子中に濃縮されている。またNiは平均微粒子中に360ppmで土壌の平均45.8ppmの約10倍に近い。

このことは前に述べたように, これらの金属が大気中の微粒子中に於ても土壌や河川の底質に於ても細かい部分に濃縮される傾向があることなどから人為的に排出される各種の汚染微粒子は勿論, 風などによって舞い上りやすい土壌の微粒子の部分により多くこのような金属を含むため両方からの影響によって大気中の微粒子に濃縮されたものと推定される。

Table 4 Particle size and concentration of Cd and Zn in the soil

Particle size (mesh)	Cd(ppm)	Zn(ppm)	Sample No.
42- 80	2.6	147	T-1A
80-150	3.1	147	
150-250	3.2	147	
250-	3.5	180	

土壌に於ても表4に示すように粒子がより細くなるにつれてZnもCdも濃縮されることは以上のことを裏付け, また岡田ら(1971)<sup>(8)</sup>の吉野川の底質についての研究結果もこれとほぼ一致している。

### 3-3 溶出実験

大気中の浮遊微粒子中の金属元素がどのような形態で存在するのか, その手掛りを得るた

めに、捕集した試料についてガラス繊維ごと一定量をビーカーに入れ、水と1M酢酸アンモニア溶液をもって溶出実験を行った。実験は水の場合250ccのビーカーに試料を入れ水20ccを加えて時計皿で覆い1時間ホットプレート上で加熱して後濾過する。この操作を2回行って濾液を10ccに濃縮し原子吸光法によって各々の金属を測定した。また1M酢酸アンモニア溶液を試料一定量に20cc加え加熱後濾過して水洗し、この操作を2回繰り返す、濾液は集めて濃縮し、1:50の硝酸で10ccにうすめて原子吸光法で金属成分の分析を行った。その結果を表5に示す。

Table 5 Dissolution experiments with water &amp; 1 M. ammonium acetate solution

		Cd	Zn	Mn	Fe	Ni(%)
water	mean	32.7	72.1	30.8	1.8	34.0
	max.	75.0	85.9	53.0	5.2	54.2
	min.	5.6	60.5	0.6	0.2	4.2
1 Mol NH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> Solution	mean	88.1	77.6	48.2	1.1	36.5
	max.	96.0	81.3	63.0	3.0	48.5
	min.	80.0	74.0	37.0	0.1	25.3
Number of samples		8	4	8	8	8

表5に見るようにCdの場合は水で抽出した時平均32.7%がまた1M酢酸アンモニアの場合は平均88.1%が可溶性である。これはCdがより微細粒子として存在することや或は微粒子の表面にコーティングした状態で存在するかなどが考えられ、何れにしても可溶性が大きいことはCdの人体への影響を考えるとその作用が割合に速く来ることは予想されることである。

またZnの場合もCdと同様で水で72.1%が酢酸アンモニウム溶液で77.6%が可溶性で溶け易い塩類として存在することが認められる。

これに反しFeは水で1.8%、1M酢酸アンモニウム溶液で1.1%とほとんど不溶性である。これは鉄が不溶性の酸化物か或は微粒子の核の部分に主として塊となっていることなどが推定される。NiとMnは水でNiが34.0%、Mnが30.8%とはほぼ同等で、1M酢酸アンモニウム溶液でNiが36.5%、Mnが48.2%でこれもお互に近い値を示している。そしてこれらはCdやZnの可溶性なものFeの不溶性のものの中間くらいを占めている。これはCdやZnがより微細な粒子として存在する傾向のあることや、さらにはFeがそのM.P.が1553°CでありMnがM.P.1264°CでありNiが1452°Cであることなどから燃焼炉や溶接のスパークその他金属が揮散して冷却する際M.P.の高い順に固結することなどを考えたとき鉄が核の部分に入りその周囲にNiやMnがそれを覆い、まるでテンブラのようになったと考えると、鉄がほとんど溶け難くCdとZnが最も溶け易く、その中間にNiやMnなどが来て、そしてZnのM.P.が419°CでCdが321°CであることからMnの殻のさらに外がわにZnがそして一番外側にCdが覆っているとのモデルを考えるとこれらの事実の説明もよく出来る。

#### 4. まとめ

大気中の浮遊微粒子の金属元素特にZn, Cd, Mn, Ni, Feの5元素について粒度別の分布をしらべ、CdやZnは細かい粒子に多いがZnは最も細かい部分よりやや粗いところにピークのあることや、Feは粗い粒子に多く、そして金属はそれぞれ特有のパターンをもって微粒子中に分布していることを明かにした。また土壌と大気中の微粒子との間には、FeやMnはさほど大きな差異は見られないが、CdやZnは土壌よりも大気中の浮遊微粒子中により多く濃縮されていることを明かにした。

また溶出実験によってCdやZnは可溶性の状態 で存在し、Feはほとんど不溶性でMnとNiはその中間的な状態であることなどを確かめた説明にZnやCdは粒子の細かい部分に多いことやFeは粒子の核の部分にありその外側にNi, Mn, Zn, Cdなどの順に殻をつくっていることなどのモデルを推定して考察を行なった。

### 5. 謝 辞

終りにこの研究を行うにあたり色々とお指導をたまわった国立公衆衛生院労働衛生部の鈴木武夫部長ならびに大喜多敏一室長に心から厚く感謝します。また貴重な御助言をいただき、土壌や降下塵の試料等をお世話下さいました同院放射線部の山県登部長に厚く謝意を表します。原子吸光分析その他実験に御協力下さった同院の葛原由章氏、岩島清氏、三島昌夫氏ならびに玉城美佐子氏に感謝します。北は北海道から南は九州まで全国にわたっての試料の捕集には各道府県や市の衛生研究所や公害監視センターなどの心からの御援助をいただいた、色々とお協力下さいました職員の皆様に心から感謝します。

この研究はW.H.O.の援助によるものであり心から感謝の意を表します。

(1971年10月日本地球化学討論会講演於東京)

### 参 考 文 献

- (1) 大道貞男：大気中浮遊ばいじん粒度分布に関する研究(1), 空気清浄第6巻第5号1-4。
- (2) 厚生省環境衛生局公害部公害課：浮遊ふんじん中のカドミウムの分析法, 昭和45年12月11日
- (3) Hugh O. Donnell, T. L. Montgomery and M. Corn(1970) : Routine Assessment of the Particle Size-Weight Distribution of Urban Aerosols, *Atmospheric Environment* 4, 1-7
- (4) 日本公衆衛生協会：カドミウム環境汚染調査方法の標準化に関する研究報告：昭和45年3月30日
- (5) 鈴木武夫, 大喜多敏一, 岩島清, 門馬俊子, 田中康治, 藤沢甲子雄 (1967) : 尼崎, 西宮, 旭川市の大気中浮遊微粒子中の金属成分の捕集分析, 公衆衛生院研究報告16巻1号1-14
- (6) Toshiichi Okita (1968): Concentration of Sulfate and Other Inorganic Materials in Fog and Cloud Water and in Aerosol. *J.Meteorological Soc. Japan, Series I* 46, No. 2, 120-127.
- (7) J.W. Mellor (1957): A comprehensive treatise on Inorganic and Theoretical chemistry vol IV. 436-460.
- (8) 岡田昭彦, 矢吹英雄, 島誠(1971):山形県吉野川流域における微量化学成分の分布について, 理研報告47, 131-138.