

# 多重管拡散デニューダーを用いた大気中のガス, 粒子分別捕集調査

Simultaneous Measurement of Gaseous and Particulate Species  
in the Atmosphere Using Annular Denuder System

岩 渕 美 香	Mika	IWABUCHI
豊 田 恵 子	Keiko	TOYODA
井 上 俊 明	Toshiaki	INOUE
高 橋 篤	Atsushi	TAKAHASHI
林 久 緒*	Hisao	HAYASHI

キーワード：多重管拡散デニューダー，ガス状物質，粒子状物質

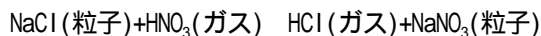
Key words : annular denuder system, gaseous and particulate species

## 1 はじめに

窒素酸化物や硫黄酸化物等のガス状物質から光化学反応等により、粒子が生成される過程を粒子の二次生成といい、微小粒子の主要発生源の一つとなっている。二次生成された粒子の中には硫酸塩、硝酸塩、塩化物塩といったイオン性粒子や揮発性炭化水素から生じた有機粒子などが存在するが、その生成過程には気象条件やオゾン、種々のラジカル等が関係しており反応機構や大気中での挙動を複雑なものとしている。

しかし、粒子状物質、特に粒径  $10 \mu\text{m}$  以下の浮遊粒子状物質の 60~70% を占める微小粒子の主要発生源である二次生成粒子の濃度を正確に把握することと、これまで十分に明らかではなかった粒子の二次生成反応過程の解明は、粒子状物質の低減対策を進める上で非常に重要である。

一般に、大気中の粒子状物質の測定は、一定期間大気を吸引して紙上に捕集する。その際、大気中の酸性及びアルカリ性ガスが紙上で反応し、粒子のガス化による揮散や粒子化したガスが紙に保持吸着されるいわゆるアーティファクトが生じる。このことによって各成分濃度が過小評価あるいは過大評価される。このような紙上のアーティファクトには、例えば、次のような反応があげられる。



そこで、これらのアーティファクトを防ぎ、正確に成分濃度を測定するためには酸性及びアルカリ性ガスと粉じんを分別捕集する必要がある。ガスと粒子の分別捕集法については、多段ろ紙法<sup>8,10,12,13</sup>)や多重拡散デニューダー<sup>2,4,5,6,7,9,11</sup>)、ハニカムデニューダー<sup>3</sup>)、その他の形状のデニューダー<sup>1,14</sup>)とろ紙を組み合わせたサンブラなどがある。

今回、ガス・粒子の分別捕集法として多重管拡散デニューダー法を用いて光化学反応が活発になる夏期に環境大気調査を行ったので、調査結果およびサンプリング方法に関する検討結果について報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 試料採取地点と採取期間

試料採取地点を図1に示した。なお、資料採取地点の概要は次のとおりである。

- ・ 公害研究所屋上（地上高約 10m）
- 住宅が密集しており、緑の少ない地域である。調査地点より南東約 500m 先を東京大師横浜線、高速横浜羽田空港線が走り、その先は臨海工業地帯である。



図1 試料採取地点

試料採取は24時間単位で行い、10回の調査を行った。採取期間は次のとおりである。

- Run No. 1 : 2000年7月11~12日
- Run No. 2 : 2000年7月18~19日
- Run No. 3 : 2000年7月24~25日
- Run No. 4 : 2000年7月27~28日
- Run No. 5 : 2000年7月31日~8月1日
- Run No. 6 : 2000年8月3~4日
- Run No. 7 : 2000年8月7~8日
- Run No. 8 : 2000年8月10~11日
- Run No. 9 : 2000年8月21~22日
- Run No. 10 : 2000年8月23~24日

なお、比較のため、3段分級に組み替えたアンダーセン・ロウポリウム・エアサンブラ(ALV)を並行稼働させた(但しRun No. 2, 3及び9を除く)。ALVの下段ろ紙には粒径が  $2.1 \mu\text{m}$  以下の粒子が捕集される。また常時監視データは田島一般環境大気測定所のデータを使用した。

\* 環境局環境企画室

## 2.2 試料採取装置

使用した多重管拡散デニューダー試料採取装置（以下 DS とする）を図 2-1 ~ 2 に示した。1 台の DS は 2 本のデニューダー及び 3 枚のろ紙を装着したろ紙ホルダーから構成されている。この DS を 2 台並行稼働して調査を行った。

大気は 16.7l/min で 24 時間吸引した。粒子径 2.5 μm 以上の粒子状物質はサイクロンでカットされる。



図 2 - 1 : 多重管拡散デニューダー試料採取装置

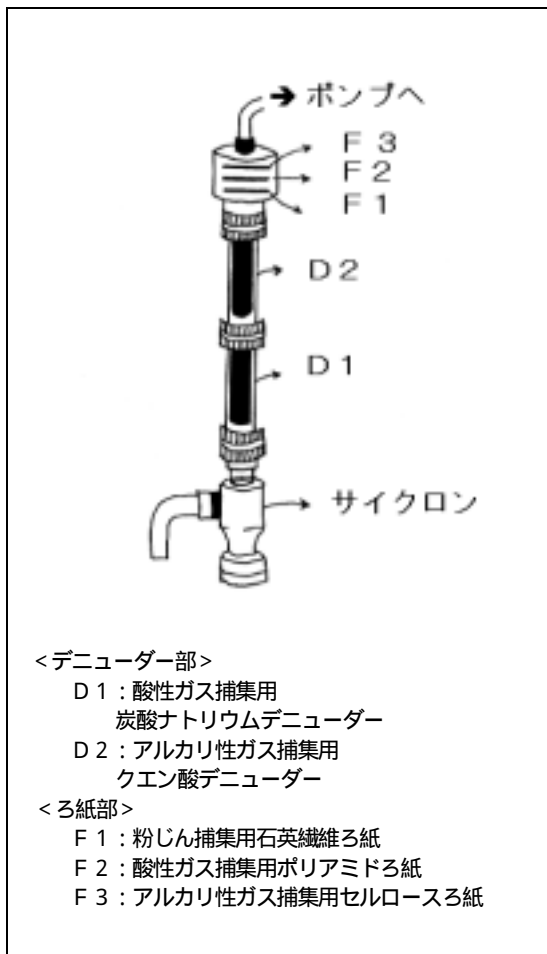


図 2 - 2 : 多重管拡散デニューダー試料採取装置

### 2.2.1 デニューダー部

デニューダー管 (URG 社製、2000-30 × 242-3CSS) は表面がエッチング加工された 3 重管である。

捕集液は次のとおりである。

D1 : 酸性ガス捕集用炭酸ナトリウムデニューダー

1%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - 1%グリセリン溶液 (1 : 1 メタノール/水)

D2 : アルカリ性ガス捕集用クエン酸デニューダー

1%クエン酸溶液 - 1%グリセリン溶液 (1 : 1 メタノール/水)

捕集液をデニューダーに塗布する方法は次のとおりである。すなわち、捕集液を一方の端を栓で閉じたデニューダーに注ぎ入れ、約 30 秒静かに振り混ぜた後、余分な捕集液を捨て窒素ガスで乾燥した。

### 2.2.2 ろ紙部

使用したろ紙は以下のとおりである。

F1 : 粉じん捕集用ろ紙

47mm に打ち抜いた石英繊維ろ紙  
 (日本ポール社製, Pallflex 2500QAT-UP),

F2 : F1 から揮散した酸性ガス捕集用ろ紙

ポリアミドろ紙  
 (日本ポール社製, ウルチポア N66),

F3 : F1 から揮散したアルカリ性ガス捕集用ろ紙

1%クエン酸溶液 - 1%グリセリン溶液  
 (100%メタノール) を含浸させた後乾燥した  
 セルロースろ紙  
 (Whatman 社製, No.41)

これらのろ紙はろ紙ホルダー (URG-2000-30F) に装着した。

### 2.3 試料の抽出

試料採取後のデニューダー管及びろ紙は次の方法で抽出した。

デニューダー管は一端を栓で閉じ、他方の端から水 10ml を加え軽く振り混ぜ、抽出液を共栓三角フラスコに移した。この操作は 2 回繰り返した。

SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>を SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>に酸化し、一括して分析をするために炭酸ナトリウムデニューダーの抽出溶媒として H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 水溶液を使用する報告<sup>5,10,15)</sup>があることから、本調査でも炭酸ナトリウムデニューダーで捕集された成分の抽出溶媒として 0.3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 水溶液を使用したところ、イオンクロマトグラフ (IC) のクロマト上に大きな妨害ピークが出現し、これがカラム上にメモリーとして残存してしまうことがわかった。そこで炭酸ナトリウム、クエン酸の両デニューダーとも抽出溶媒には水を使用することにした。

ろ紙ホルダー内の各ろ紙は共栓三角フラスコに移し、水を 10ml 加え 2.5 分 × 2 回超音波抽出した。

なお、F1, F2, F3 に捕集された各成分の濃度の合計値を粒子状成分濃度として取り扱った。

## 2.4 分析方法

抽出溶液を IC に導入した。IC の分析条件は次のとおりである。

- ・ IC 装置 : Dionex 社製 DX500
- 検出器 : 電気伝導度検出器
- 陰イオン : ガードカラム Ion Pak AG14  
分析カラム Ion Pak AS14  
オートサプレッサ Ion Pak ASRS-ULTRA  
溶離液 3.8mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-1.0mM NaHCO<sub>3</sub>溶液 (1.2ml/min)
- 陽イオン : ガードカラム Ion Pak CG12A  
分析カラム Ion Pak CS12A  
オートサプレッサ Ion Pak CSRS1  
溶離液 20mM メタンスルホン酸溶液 (1.0ml/min)

## 3 結果と考察

### 3.1 予備調査

本調査を行う前に予備調査を実施し, DS の各部に捕集される成分の確認を行った。

D1 抽出溶液から主な成分として Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が検出された他, 低濃度ではあるが SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> や C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, また保持時間から辛酸, 酢酸と考えられる成分が検出され, D1 では HCl, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> の他にガス状の有機酸類が捕集されることが確認された。

D2 抽出溶液からは主に NH<sub>4</sub><sup>+</sup> が検出され, D2 では NH<sub>3</sub> が捕集されることが確認された。また IC のクロマト上で NH<sub>4</sub><sup>+</sup> と K<sup>+</sup> の間に小さな未知ピークが認められたが, 今回の分析条件でこの付近にピークを持つ物質としてエタノールアミン類があることから, 実際に数種の標準物質で比較・確認したところモノエタノールアミンと未知ピークの保持時間が一致した。そこで未知成分はモノエタノールアミンである可能性が高く, ガス状のアミン類も捕集されることが推察された。

F2 抽出溶液からは Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が検出された。また, ポリアミドろ紙は酸性ガスの他にアルカリ性ガスである NH<sub>3</sub> も捕集することが報告されており<sup>16)</sup>, F2 抽出溶液からも NH<sub>4</sub><sup>+</sup> が検出された。

F3 抽出溶液では主に NH<sub>4</sub><sup>+</sup> が検出され, また D2 と同様に濃度は低いが, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> やモノエタノール

アミンと考えられる成分が検出された。

## 3.2 本調査

### 3.2.1 並行稼働の結果

2 台の DS を並行稼働させたことから, 作業行程で生じる誤差や機差の確認を行うため, 各 DS で捕集された各成分濃度の比 (DS 1 / DS 2) を求め表 1 に示した。ほとんどの物質で 0.8~1.2 の濃度比であったことから, 3.2.2 以降では 2 台の平均値を各成分の濃度として用いた。

### 3.2.2 各成分濃度

表 2 に DS のデニューダー部とろ紙部で捕集された各成分濃度の平均値を, また図 3, 4 に主な成分の期間濃度推移を示した。

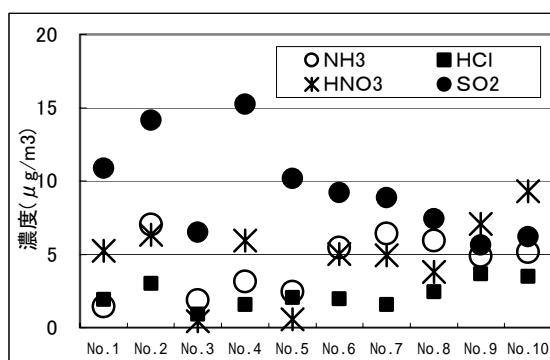


図3 デニューダー部で捕集された成分濃度

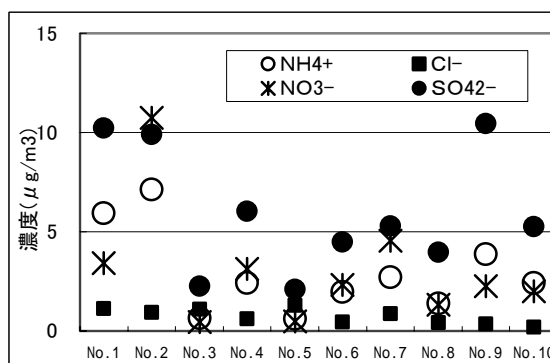


図4 ろ紙部で捕集された成分濃度

表1 2台のDSで得られた成分濃度の比

	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> デニューダー			クエン酸 デニューダー	ポリアミドろ紙			クエン酸ろ紙		
	HCl	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
AVG	1.03	1.01	1.06	1.02	1.11	1.00	0.99	0.96		
Range	0.79-1.25	0.82-1.25	0.87-1.26	0.82-1.18	0.93-1.68	0.94-1.14	0.84-1.22	0.83-1.09		
	粉じん捕集ろ紙									
	PM	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
AVG	0.94	0.98	0.98	0.92	0.99	0.97	0.94	0.98	1.00	
Range	0.81-1.13	0.84-1.15	0.81-1.07	0.70-1.09	0.87-1.15	0.80-1.22	0.67-1.06	0.83-1.12	0.92-1.08	

表2 各成分濃度(μg/m³)

	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> デニューダー			クエン酸デニューダー						
	HCl	HNO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>						
AVG	2.25	4.86	9.43	4.38						
Range	0.90-3.65	0.42-9.28	5.63-15.2	1.42-7.02						
	ろ紙部									
	PM	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
AVG	39.1	0.56	3.36	0.21	0.06	0.13	0.72	2.93	6.52	
Range	18.0-65.8	0.25-0.97	0.68-8.79	0.09-0.29	0.04-0.09	0.06-0.22	0.03-1.28	0.45-10.7	2.09-10.5	

デニューダー部で捕集された成分は、ほぼ類似した濃度変動を示した。また、成分濃度はSO<sub>2</sub>>HNO<sub>3</sub>、NH<sub>3</sub>>HClとなっており、HClは他の3成分に比べ低い濃度で変動も少なかった。

ろ紙部で捕集された成分は粉じん濃度と同じ濃度変動を示した。成分濃度はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>>Cl<sup>-</sup>となっており、特にCl<sup>-</sup>はほとんど濃度変化がみられず非常に低い濃度となっていた。

Cl<sup>-</sup>が夏期に濃度が低く、冬期に高い傾向を示すことは従来から指摘されている<sup>17,18)</sup>が、これについてはNH<sub>4</sub>Cl、NH<sub>3</sub>+HClの平衡が温度に大きく依存し、温度が高くなると平衡が右へ移動するためと考えられている<sup>18)</sup>。

3.2.3 イオン等量の関係

DSのろ紙部で捕集された成分のイオン等量の関係を図5に示した。近似曲線のx係数が1よりも小さくカチオン過剰と示されたが、F1のRun No. 1, 2で粉じんに占めるNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の割合が他のRunの平均に比べ2倍近くを示したため、これらの値に影響され、x係数が小さくなったものと考えられる。しかし、Run No. 1, 2で粉じんに占めるNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の割合が高くなった原因は不明である。

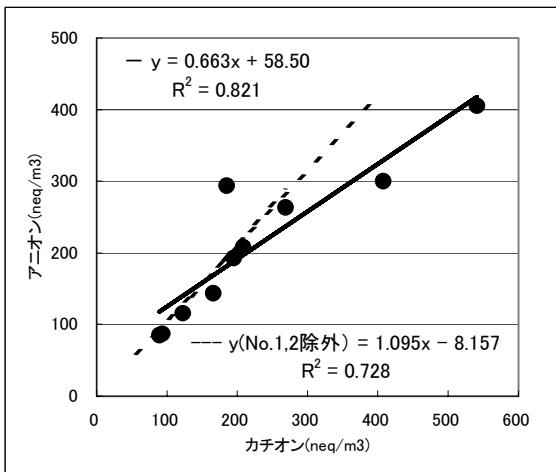


図5 ろ紙部のイオンバランス

次に、ろ紙部のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のイオン等量の合計値とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の関係を図6に、平衡稼働させたALV下段ろ紙で捕集された粉じん中のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の関係を図7に示した。

ALVで捕集した微小粒子中のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のイオン等量

は夏期には1:1の関係になることはこれまでも報告されており<sup>19,20)</sup>、今回並行稼働させたALVでもNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のイオン等量は約1:1であった。

一方、ろ紙部で捕集された粒子ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>に対応するイオンが不足していた。しかし、Run.No. 1, 2を除外したところNO<sub>3</sub><sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の合計値がNH<sub>4</sub><sup>+</sup>と1:1の関係にあり、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>のカウンターイオンとしてSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の両方が寄与していることが示唆された。

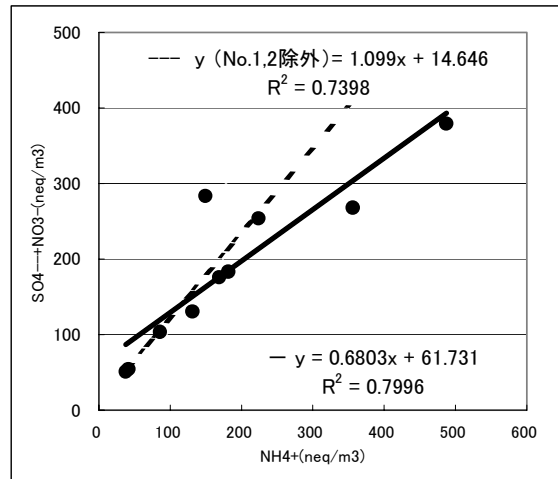


図6 ろ紙部のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の関係

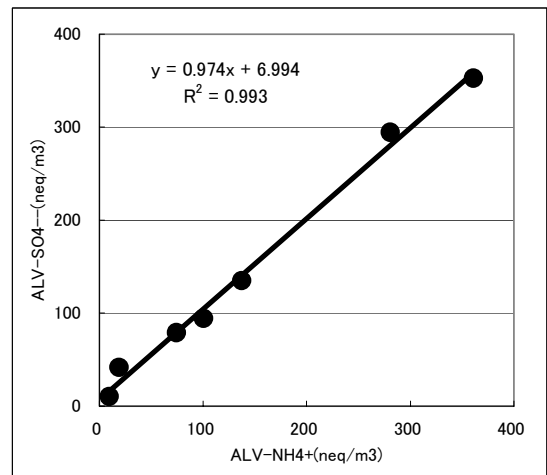


図7 ALV下段ろ紙中のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の関係

また、F2に捕集されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>とCl<sup>-</sup>の合計並びにF2及びF3に捕集されたNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の関係について図8に示した。

両者はほぼ1:1の関係にあり、F1から揮散した成分は主にNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>とNH<sub>4</sub>Clであると考えられた。

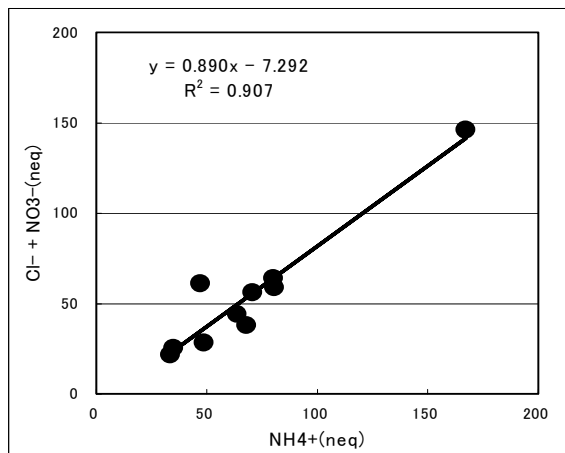


図8 F2とF3に捕集されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>及びNH<sub>4</sub><sup>+</sup>

### 3.2.4 揮散率

拡散デニューダー法では粉じんがろ紙に捕集される前でアーティファクトを引き起こす原因となるガス状物質がデニューダー部で除去されるが、粉じんに含まれるCl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>といった揮発性の高い成分はサンプリング中に再分解や再揮散が起こりやすい。

そこで、F1で捕集された成分がどれだけ揮散したか(以下、揮散率と呼ぶ)を図9及び表3に示した。また表3に1994年7～1995年6月に奈良県で実施された調査結果の中から7、8月における揮散率を示した。揮散率は松本<sup>6)</sup>の規定により次の計算式を使用した。

$$\text{NO}_3^-, \text{Cl}^- \text{の揮散率} = \text{F2捕集量} / (\text{F1とF2の捕集量の合計})$$

$$\text{NH}_4^+ \text{の揮散率} = (\text{F2とF3の捕集量の合計}) / (\text{F1} \sim \text{F3の捕集量の合計})$$

粒子状NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の揮散率は0.13～0.89と変動が大きく平均0.47であった。Cl<sup>-</sup>の揮散率は0.53～0.92の範囲で平均0.79であり、Run No. 5を除きほぼ一定であった。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の揮散率は0.33～0.88の範囲であり平均0.72であった。奈良県の結果と比較するとCl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>については若干高めであったが、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>についてはRun No. 3と5を除いてほぼ同等であった。

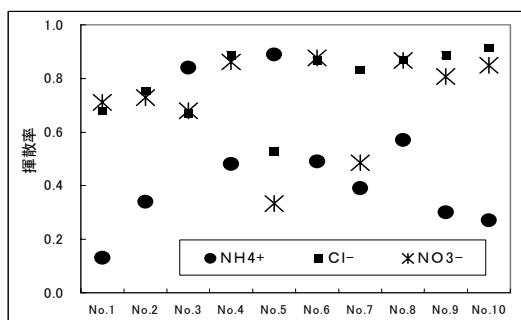


図9 揮散率

表3 揮散率

	川崎			奈良県(7～8月)		
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
AVG	0.47	0.79	0.72			
Range	0.13-0.89	0.53-0.92	0.33-0.88	0.18-0.22	0.59	0.38-0.55

表4には揮散率と常時監視局の気象データとの関係を示した。ろ紙からの揮散は気温が上昇すると促進されると予想されたが、サンプリング期間中は平均気温の変動が小さく、揮散率との間に明確な関係は認められなかった。

また、光化学反応が揮散率に与える影響をみるため日射量との関係も検討した。その結果NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の揮散率との間では正の関係が認められ、一方Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の揮散率とは弱い負の相関が認められた。

さらに粉じん量とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の揮散率との間に負の関係が認められた。

表4 揮散率と粉じん濃度、気象との関係

	PM濃度	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	気温	日射量
PM濃度	1.000					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.818	1.000				
Cl <sup>-</sup>	0.341	-0.527	1.000			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.261	-0.449	0.766	1.000		
気温	-0.207	0.352	0.114	-0.018	1.000	
日射量	-0.635	0.750	-0.388	-0.414	0.697	1.000

### 3.2.5 成分の存在割合

DSのろ紙部及びALV下段ろ紙で捕集された粉じん濃度を図10に示した。粉じん濃度はろ紙部ALV下段ろ紙となっていた。

表5には捕集された粉じんに占める各成分の存在割合を示した。存在割合が大きかったのはろ紙部及びALV下段ろ紙のどちらもSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>で、ついでNH<sub>4</sub><sup>+</sup>であった。Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は両者とも低い割合となっていた。

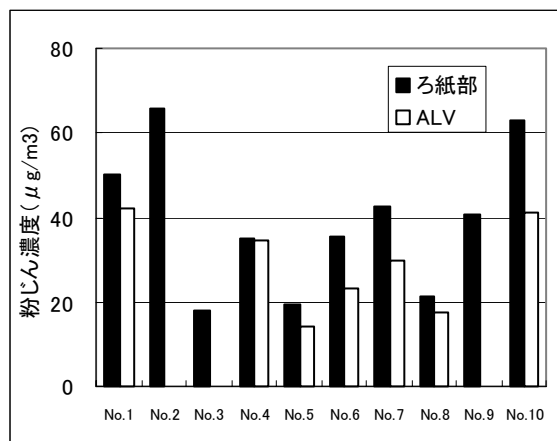


図10 ろ紙部とALV下段ろ紙の粉じん濃度

表5 粉じん中に占めるイオン成分の割合(%)

ろ紙部				
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
AVG	7.29	2.36	6.88	15.6
Range	3.50-12.9	0.61-6.59	2.46-10.7	10.8-20.5
ALV				
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
AVG	7.63	1.35	4.75	21.4
Range	0.55-15.5	0.69-2.48	1.86-6.47	1.51-40.3

## 4 おわりに

### 4.1 まとめ

多重管拡散デニューダー法でガス・粒子の分別捕集調査を行ったところ、次のことが確認された。

- (1) DSのデニューダー部で捕集された成分濃度は  
SO<sub>2</sub>>HNO<sub>3</sub> NH<sub>3</sub>>HCl  
となっていた。  
ろ紙部で捕集された成分濃度は  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>>Cl<sup>-</sup>  
となっており、特にCl<sup>-</sup>はほとんど濃度変化がみられず、非常に低い濃度となっていた。
- (2) ろ紙部で捕集された粒子に関しては、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>のカウンターイオンとしてSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の両方が寄与していることが分かった。  
一方、並行稼働させたALVではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>のイオン等量は概ね1:1で粒子中のアンモニウム塩は(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が主成分であった。
- (3) 粒子状NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の揮散率は0.13~0.89の範囲で平均0.47、Cl<sup>-</sup>の揮散率は0.53~0.92の範囲で平均0.79、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の揮散率は0.33~0.88の範囲で、平均0.72であった。
- (4) DSのろ紙部とALV下段ろ紙で捕集された粉じん中に占める各成分の存在割合を示した。存在割合が大きかったのはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>で、ろ紙部及びALV下段ろ紙の両者で大きかった。次いで、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>が大きかった。また、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>は両者とも低い割合となっていた。

### 4.2 今後の取り組み

今後は、デニューダーの捕集剤の有無が粉じん濃度、及び成分にどのような影響を与えるのかを確認し、さらに、気温や日射量といった気象条件による影響についてより明確にするための冬期調査を実施し、その結果と併せて検討したい。

## 文 献

- 1) 阿相敏明,金子幹宏,天野正明:拡散デニューダ管を用いた大気中酸性ガス状物質と粒子状物質の分別測定,大気汚染学会誌,25(1),30~40(1990)
- 2) 岡憲司:ガス状HNO<sub>3</sub>,HCl,HFのウレタンフォームによる捕集およびウレタン塗料環状デニューダーによる捕集,大阪府公害監視センター所報,16,

- 21~27(1995)
- 3) C.Sioutas,P.Y.Wang,S.T.Ferguson,P.Koutrakis: Laboratory and Field Evaluation of An Improved Glass Honeycomb Denuder/Filter Pack Sampler, Atmospheric Environment,30(6), 885~895(1996)
- 4) 岡 憲司:環状デニューダーによるアンモニア,塩化水素および硝酸ガスの同時捕集法の検討( ),大阪府公害監視センター所報,18,49~54(1997)
- 5) 松本光弘:二重管拡散デニューダー法による大気中のガスとエアロゾルの測定,環境技術,26,No12, 40~51(1997)
- 6) 坂本和彦,石井弓美子,石谷治,根津豊彦,楠谷義和,白井忠:都市における大気エアロゾルの酸性度と多環芳香族炭化水素濃度の測定,第15回エアロゾル科学・技術研究討論会要旨集,49~51(1998)
- 7) 坂本和彦,古杉美華子,横川博司,石谷治:大気中カルボン酸のガス粒子分布に関する研究,第15回エアロゾル科学・技術研究討論会要旨集, 55~57(1998)
- 8) 瀬勝,酒井哲男,大場和生,山神真紀子,鬼頭圭:パッシブ採取法によりセルロースろ紙に吸収される無機イオン成分,名古屋市環境科学研究所所報,28, 47~50(1998)
- 9) 岡 憲司:環状デニューダーによるアンモニア,塩化水素および硝酸ガスの同時捕集法の検討( ),大阪府公害監視センター所報,19,47~52(1999)
- 10) 松本光弘,植田直隆,青山善幸,都築英明,西川嘉範,田口圭介,玉置元則,平木隆年,正賀充,酒井哲男,北瀬勝:インファレンシャル法による東海・近畿・北陸地域における乾性沈着量の評価:全国公害研会誌,24(4),18~26
- 11) B.Amati,V.DiPalo,M.Possanzini: Simultaneous Determination of Inorganic and Organic Acids in Air by Use of Annular Denuders and Ion Chromatography, Chromatographia,50,No.3/4, 150~154(1999)
- 12) 玉置元則,平木隆年,藍川昌秀,田口圭介,西川嘉範,松本光弘:4段ろ紙法による乾性沈着量測定の問題点,第40回大気環境学会講演要旨集,p262(1999)
- 13) 松本光弘,村野健太郎:粒径10μmと2.5μmカットを付けた4段ろ紙法による大気中のガス成分およびエアロゾルのイオン成分の測定,第40回大気環境学会講演要旨集,p261(1999)
- 14) 岡 憲司:多層平行板型デニューダーによるアンモニアと塩素化水素ガス捕集の検討,大阪府公害監視センター所報,20,65~70(2000)
- 15) 松本光弘,植田直隆,小野泰美:二重管拡散デニューダー法による大気中の酸性・アルカリ性ガスとエアロゾルの精密測定,奈良県衛生研究所年報,32, 39~46(1997)

- 16) 松本光弘, 玉置元則, 平木隆年, 藍川昌秀, 田口圭介, 西川嘉範: 4 段ろ紙法による乾性沈着測定の問題点(2), 第 41 回大気環境学会講演要旨集, p331 (2000)
- 17) 柿本均, 横江斉, 北村守次: 大気浮遊粉じんの化学組成からみた札幌・東京・金沢 3 都市の大気環境比較, 石川県保健環境センター研究報告書, **35**, 35~48(1998)
- 18) 大塚治子, 角脇怜: 愛知県における環境大気中の微小粒子と粗大粒子の濃度と組成, 愛知県環境調査センター所報, **27**, 9~25(1999)
- 19) 岡 憲司, 田口圭介, 吉村健一郎, 井上香織: 浮遊粉塵中の主要な水溶性無機イオン成分, 大阪府公害監視センター所報調査第, **8**, 21~36(1985)
- 20) 平成 10 年度関東 SPM 浮遊粒子状物質合同調査結果報告書, 一都三県公害防止協議会