

臨海部（工業地域）における酸性雨の特色

—臨海部及びその周辺住宅地における各種イオン成分(特にカルシウム)の動向—

The Characteristics of Acid Rain in Coastal Industrial Area

-Trends of Ion Component, especially Calcium, in Coastal Area and around -

豊田 恵子	Keiko	TOYODA
島田 ひろ子* ¹	Hiroko	SHIMADA
張山 嘉道* ¹	Yoshimichi	HARIYAMA
鶴見 賢治* ²	Kenji	TSURUMI
三澤 隆弘* ³	Takahiro	MISAWA
井上 俊明	Toshiaki	INOUE
大嶋 道孝	Michitaka	OSHIMA

キーワード：酸性雨，pH，カルシウム

Key words : acid rain, potential of hydrogen, calcium

1 はじめに

現在、川崎市では酸性雨調査の一環として、神奈川県及び県下各市と毎年共同で、年4回の「年間調査」と、梅雨期に一降雨毎採取する「梅雨期調査」の、2つのモニタリング調査を行っている。

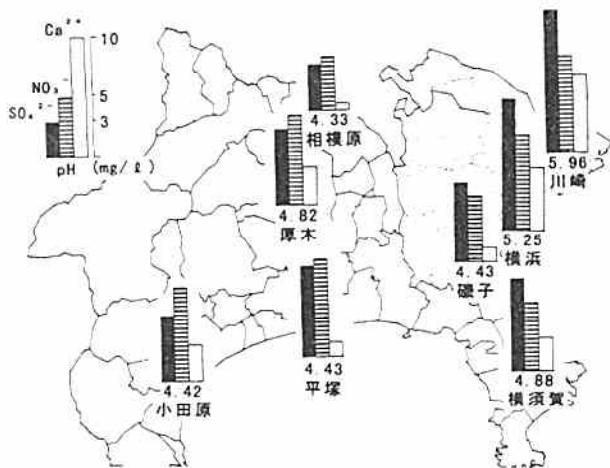
「梅雨期調査」について調査結果をみると、川崎市の臨海部地域における降雨の特徴として、pHが県内の他の地点に比べて高い値（酸性度が低い）を示していることがあげられる（図1）。また、特に降り始めの降雨では、pHはかなり高いことが明らかになっている（図2）。このような、市内臨海部における高pHの出現要因として、最も影響を与えているイオン成分がカルシウムであることは、前回本報第19号¹⁾で報告したとおりである。

酸性雨は広域的な汚染現象として知られているが、本市の臨海部のように、大規模な固定発生源と交通量の非

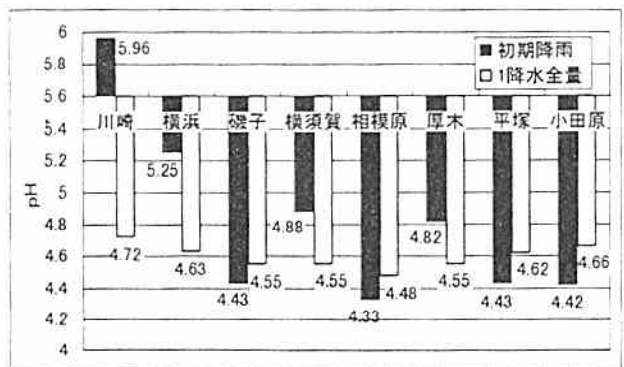
常に多い幹線道路が存在し、人為的活動の影響が大きい地域では、他の地域と異なり局所的な現象を示していると考えられる。つまり、本市臨海部では、降水の酸性化に大きく寄与する成分（硫酸イオン、硝酸イオン等）も他の地域に比べて多く存在するため、その酸性度を中和する役割を成すカルシウムの動向は、川崎市の臨海部における、酸性雨の性質を支配する重要な物質の一つであると考えられる。

そこで今回、市内臨海部の数地点において、①湿性及び乾性降水物を夏期・冬期に分けて、pH測定及びカルシウムなどのイオン成分を中心に成分調査を行うと共に、②風向別大気粉じん捕集装置を用いて採取した粉じんを夏期・冬期・春期・梅雨期に分けて、成分調査を行った。

これらの調査結果と風向頻度等気象データから、臨海部の工業地帯及び、これに隣接する住宅地における、各種イオン成分、特にカルシウム成分の動向について、若干の知見を得たので報告する。



過去10年間(1988~1997)における初期1mm降水の平均値



過去10年間(1988~1997)におけるpHの平均値

図1 神奈川県及び県下各市における共同調査結果

図2 神奈川県及び県下各市における共同調査結果(pH)

*1 環境局 公害部 公害監視センター
 *2 環境局 公害部 化学物質担当
 *3 環境局 公害部 大気課

2 調査方法

2.1 調査期間

- ①ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査
夏期：平成7年8月2日～9月20日
冬期：平成8年1月10日～2月28日
- ②風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査
夏期：平成7年8月2日～9月6日
冬期：平成8年1月24日～2月28日
春期：平成8年4月11日～5月13日
梅雨期：平成8年6月10日～7月11日

それぞれの調査期間を1週間毎に分け、4～5回のサンプリングを繰り返した。また、結果はその平均値で評価した。

2.2 試料採取地点とその概況

試料採取地点を図3に示した。

- ①ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査
 - 田島：川崎市公害研究所の屋上（地上高約10m）
住宅が密集しており、緑の少ない地域である。南東約500mのところを県道 東京大師横浜線、首都高速 横浜羽田空港線が通り、その先は臨海部工業地帯である。
 - 扇町：工業専用地域（地上高約4.5m）
調査地点は、臨海部工業地帯の中にあり、石油精製、化学工場等の大規模工場が林立している。北西約1600mのところを県道 東京大師横浜線、首都高速 横浜羽田空港線が通っている。
 - 千鳥：川崎市千鳥町ふ頭管理事務所の屋上（地上高約8.5m）
千鳥町の西側に位置し、周囲は運河を隔てて大規模工場がある。北西約1600mのところを県道 東京大師横浜線、首都高速 横浜羽田空港線が通っている。
 - 大師：川崎保健所大師健康ランチの屋上（地上高約12.5m）
住宅が密集しており、隣に大きな大師公園がある。南東約500mのところを県道 東京大師横浜

線、首都高速 横浜羽田空港線が通り、その先は臨海部工業地帯である。北約560mのところを国道409号線、南約220mのところを国道132号線が通っている。

- ②風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査
 - 田島（春期・梅雨期）：川崎市公害研究所の屋上（地上高約10m）
 - 千鳥（夏期・冬期）：川崎市千鳥町ふ頭管理事務所の屋上（地上高約8.5m）

2.3 採取方法

- ①ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査
酸性降下物の採取は、図4に示すように口径が200mmのテフロン製ローと、雨水を貯蔵するためのポリエチレン製容器（5ℓ）より構成されている。ろ過式採取装置を用いて、降水による降下物と乾性降下物を、一括して採取する方法により実施した。

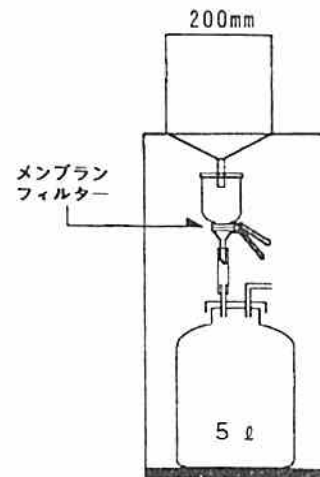


図4 ろ過式酸性雨採取装置

- ②風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査
粉じんの採取は、図5に示すような風向別大気粉じん捕集装置（日本公害防止技術センター製 風向別ローポリウムエアサンプラーWDS-10N）を用いて行った。ただし、梅雨期の調査では、粗大粒子側に多く含



図3 試料採取地点

まれると考えられているカルシウムに、調査の視点をおいたため²⁾、図6のように、サイクロンとトップカバーの間に空間(約20mm)を設けることにより、10 μ mカットせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した。

ろ紙は、石英繊維フィルター(Pallflex 2500QAT-UP 径:47mm ϕ)を使用した。



図5 風向別大気粉じん捕集装置

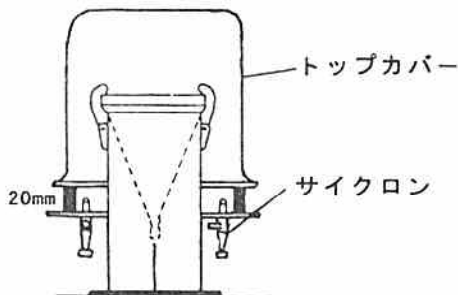


図6 風向別大気粉じん捕集装置(拡大図)

2.4 分析項目及び分析方法

2.4.1 分析項目

- ①ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査
採取されたろ液について、pH、導電率(EC)、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- を分析した。
- ②風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査
採取されたろ紙を分割し、水溶性成分及び炭素成分を分析した。
水溶性成分は超純水で抽出し、抽出されたろ液について、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- を分析した。

2.4.2 分析方法

pHはイオン電極法、導電率は導電率計、水溶性イオンはイオンクロマトグラフ法、炭素成分はCHNコーダーを用いた元素分析法で分析した。

イオンクロマトグラフ、CHNコーダーの分析条件は次に示すとおりである。

●イオンクロマトグラフ

装置：IC-7000(横河アナリティカルシステムズ)

検出器：電気伝導度検出器

陰イオン分析

プレカラム：ICS-A2G

分離カラム：ICS-A23

溶離液：2.5mmol 炭酸ナトリウム

1mmol 炭酸水素ナトリウム

陽イオン分析

プレカラム：ICS-C2G

分離カラム：ICS-C25

溶離液：5mmol 酒石酸

1mmol 2,6-ピリジンジカルボン酸

●CHNコーダー

装置：MT-3(柳本製作所)

炭素成分における有機炭素(Corg)の分離温度はヘリウム気流中550 $^{\circ}$ Cとし、Corgを分析後、温度を900 $^{\circ}$ Cに設定し元素状炭素(Cel)の分析を行った。総炭素濃度(CT)は $CT = Corg + Cel$ として求めた。

3 調査期間中の気象

気象庁監修の「気象」^{3)~10)}によると調査期間中の気象概況は次のとおりである。

- 夏期(8月・9月)：8月は太平洋高気圧に連続して覆われ、晴れて暑い日が続いた。月平均気温は高い地域が多く、月降水量は半年の50%以下であった。9月に入ると、戦後最大級の台風(9/17)が関東の南東海上を通過したが、月平均気温・降水量は半年並みであった。
- 冬期(1月・2月)：1月中旬には温暖な気圧の峰がゆっくりと通り、暖かい日が続いた。下旬は冬型となった日が多かった。月平均気温は例年より1 $^{\circ}$ C程高くなり、月降水量は半年の40%以下であった。2月は寒暖の変動が大きく、中旬前半には3月下旬から4月初旬並の陽気となり、降水は少雨傾向にあった。
- 春期(4月・5月)：4月中旬までは寒気が入り気温がかなり低い日があったが、下旬には移動性高気圧に覆われ天気の良い日が続き、気温が上がった。5月は月初めは例年より高い気温となったが、その後寒気の影響で気温は低くなった。月日照時間は半年よりも少なかった。
- 梅雨期(6月・7月)：6月、梅雨入りはほぼ例年並であったが、太平洋側ではまとまった雨が少なく、月降水量も半年よりも少なかった。7月にはいると、太平洋高気圧に覆われ気温が高い日が多かった。月降水量は例年の3倍程度と多かった。

表1 成分分析結果

		降水量 (mm)	pH	導電率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	nss-				
														SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
夏	田島	199.5	4.76	24.3	0	12.0	8.82	4.77	6.51	23.1	2.54	0.49	1.57	11.8	2.93	23.0	2.19	0.46
	扇町	235.0	4.84	27.7	17.5	18.9	9.52	5.59	7.80	27.7	3.62	0.59	1.66	18.7	3.65	27.7	3.24	0.55
	千鳥	222.4	4.99	20.5	13.3	12.2	7.40	5.31	9.71	12.2	2.10	0.43	2.17	11.9	2.78	12.1	1.60	0.38
	大師	162.7	4.93	19.6	11.5	11.2	7.73	4.22	6.23	19.2	2.33	0.22	1.09	11.1	2.94	19.1	2.07	0.19
冬	田島	72.4	6.26	34.0	0	5.89	4.09	5.59	3.85	8.51	1.14	0.26	3.06	5.52	2.03	8.37	0.44	0.20
	扇町	59.6	6.37	56.5	0	10.4	3.83	5.83	4.82	13.4	1.23	1.46	3.33	10.0	1.94	13.3	0.48	1.38
	千鳥	60.6	6.10	44.9	0	6.86	3.73	5.05	7.99	7.38	1.06	0.23	2.90	6.51	1.67	7.25	0.40	0.38
	大師	69.2	5.81	33.4	0	5.50	4.09	5.41	4.28	7.13	1.09	0.28	3.06	5.13	1.90	6.99	0.40	0.22

4 結果及び考察

4.1 ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査

表1に夏と冬、それぞれの調査地点における降水量、全調査期間の平均pH、導電率及び各イオン成分の平均沈着量を示した。イオン成分における"nss-"はNa⁺を基準として算出した非海塩成分(non sea salt 以下nss-とする)である。

(1) 降水量

今回の調査期間では、夏期に大師が162.7mmと少なかったものの、その他の地点は200mm前後、冬期は60mm前後と地点間の差は特にみられなかった。

また、夏期は冬期の3.5倍程度の降水量があった。

(2) pH

pHの夏冬、各地点における調査期間(1週間)毎の最高値、最低値、平均値を図7に示した。また、pHの標準偏差は表2に示した。

夏期のpHは3.87~6.92、冬期は5.23~7.11と夏期の方が各地点とも変動が大きく、冬期の方が変動が少なかった。

pHの平均値をみると、夏期が4.76~4.99程度であるのに対して、冬期は5.81~6.37と夏期よりも高い値となった。すなわち、どの地点においても、冬期の方が夏期よりも酸性度が低かったといえる。

地点別にみると、夏期は千鳥>大師>扇町>田島、冬期は扇町>田島>千鳥>大師の順に酸性度が低かった。

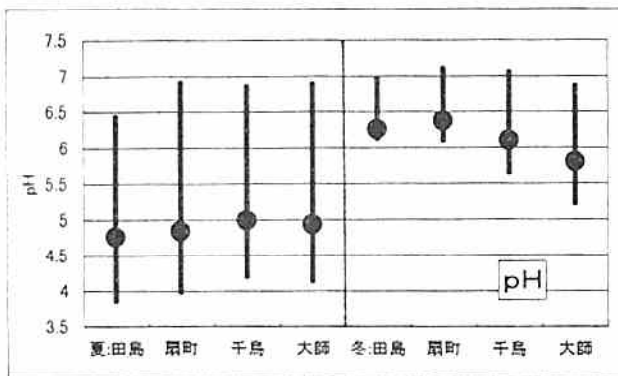


図7 pH(最高値・最低値・平均値)

表2 pHの標準偏差

	夏期	冬期
田島	0.99	0.31
扇町	1.18	0.40
千鳥	0.95	0.46
大師	1.04	0.53

(3) 導電率(EC)

ECの夏冬、各地点における調査期間毎の最高値、最低値、平均値を図8に示した。

夏期は6.5~125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、冬期は14.9~154.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と全体的に冬期の方が高めであった。また、夏期では4地点中3地点において、ECの最低値が一桁という低い数値となった。

平均値では、夏期が19.6~27.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であったのに対して、冬期は33.4~56.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と夏期の2倍程度となった。これは、今回の調査期間における降水量が、夏期に多く、冬期に少なかったということから、「降水量が少ないときはばらつきが大きい、降水量が多くなるに従い減少する¹⁰⁾」というECの特性と一致したと考えられる。

地点毎にみると、夏冬共に臨海部の工業地域の中に存在する地点である扇町が最も高く、住宅街で公園なども近隣にあり、比較的周辺に緑の多い大師で最も低かった。

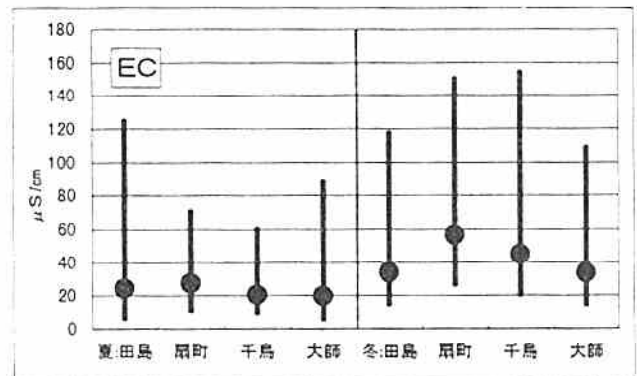


図8 EC(最高値・最低値・平均値)

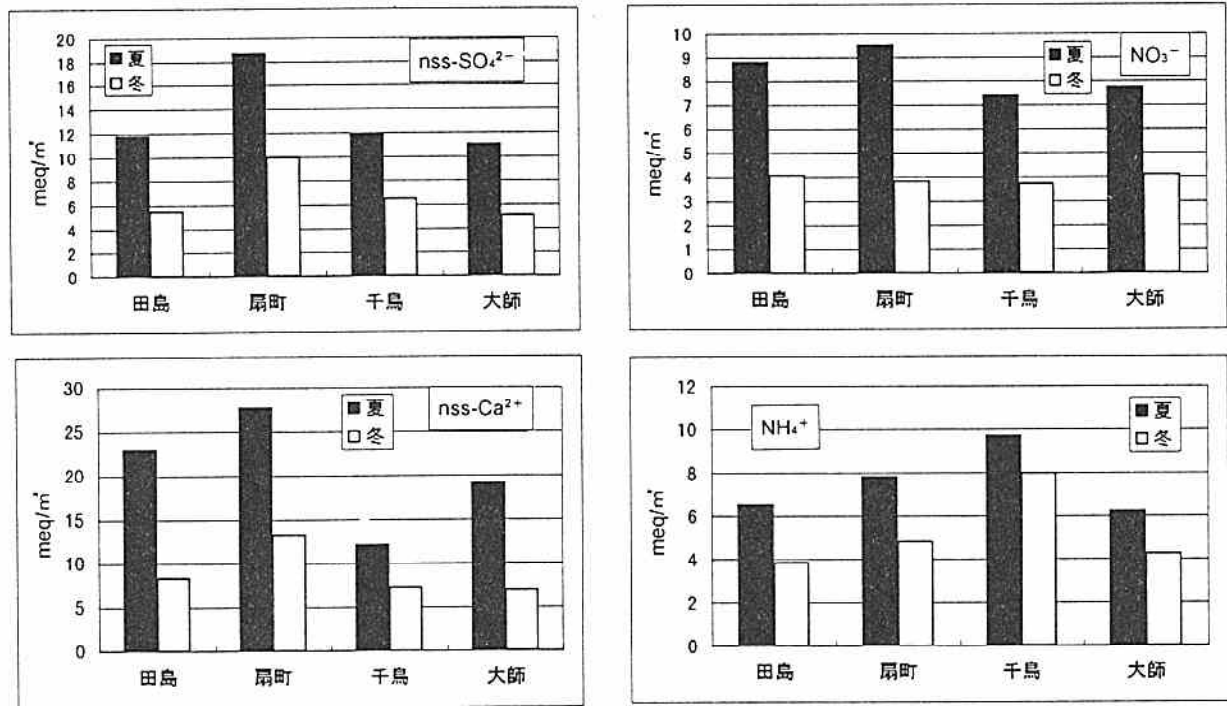


図9 水溶性イオン成分沈着量

(4) 水溶性イオン成分沈着量

各地点における水溶性イオン成分沈着量を、主要4成分 (nss-SO₄²⁻, NO₃⁻, nss-Ca²⁺, NH₄⁺) について図9に示した。

4成分共に、夏期の方が沈着量が多く、nss-SO₄²⁻, NO₃⁻, nss-Ca²⁺は冬期の2倍前後、NH₄⁺は1.5倍前後であった。nss-SO₄²⁻, NO₃⁻に関しては、冬期に比べ日射が強く、気温の高い夏期に、SO_x, NO_xの光化学反応が促進するためと考えられ、NH₄⁺に関しては前駆物質であるNH₃ガスの大気中の濃度の上昇に伴い、夏期にNH₄⁺の濃度も高くなるためと考えられる。

●nss-SO₄²⁻

nss-SO₄²⁻に関しては、夏冬共に扇町が最も沈着量が多く、それに千島が続いた。しかし、扇町と千島の間では大きな差があり、また千島は他の2地点と大きな差はみられなかった。夏期における扇町では、田島、大師、千島各地点の約1.5倍の沈着量となった。これは、扇町及びその周辺に多数設置されている、発電ボイラ、廃棄物焼却炉等のばい煙発生施設や船舶から排出される、ばいじん、SO_xなどの局所的な発生源の影響を強く受けているためと考えられる。

●NO₃⁻

NO₃⁻に関しては、冬は各地点とも同程度の沈着量であったのに対して、夏は扇町が若干多く、最も少ない千島の約1.5倍の沈着量となった。しかし、扇町とその他の地点で、nss-SO₄²⁻程大きな差がみられないことから、NO₃⁻の発生源としては、工業地帯近傍であるということの他にも原因があると考えられる。NO₃⁻の発生源の一つとして、自動車からの影響も考えられている。しかし、各地点と主要道路との距離は、

田島、大師から首都高速 横浜羽田空港線(通行量57000台/12時間〔昼間〕大型車混入率36.6%)¹²⁾及び県道 東京大師横浜線(通行量37000台/12時間〔昼間〕大型車混入率51.1%)¹³⁾までの距離が約500m、扇町、千島からの距離が約1600mであり、道路からの直接の影響は認められず、固定及び移動発生源による広域的な汚染が考えられる。

●nss-Ca²⁺

nss-Ca²⁺に関しては、夏冬共に扇町が最も沈着量が多く、夏期には、田島>大師>千島の順に少なくなっている。これに対して、冬期は他の3地点ではほとんど変化はなかった。Ca²⁺の発生源としては、自動車走行に伴いアスファルト舗装道路の骨材が微粒子状になったものの巻き上げや¹⁴⁾、セメント工場、粉じん発生施設等から排出される粒子などが考えられている。川崎市の臨海部は、多くの大規模工場が林立する工業地帯を有するため、道路ダスト等の土壌系粒子の他にも近傍の排出源からの影響を受けやすいが、今回の夏期調査では、直接に工場の発生源の影響を受けやすい扇町を除けば、主要道路である首都高速 横浜羽田空港線や県道 東京大師横浜線との距離に近い田島・大師の方が、主要道路から距離のある千島の約1.5~2倍の沈着量となっており、道路からの影響も十分受けていることが伺えた。つまり、南風の吹くことが多い夏期には、主要道路の北側に位置する田島、大師において、特に道路の影響を受けていたということが考えられる。一方、扇町に関しては、道路の影響に加えて、採取地点付近にある粉じん発生施設(主に石炭、石灰石、鉄鉱石の堆積場及びベルトコンベア等)の影響も受けたものと考えられる。

●NH₄⁺

NH₄⁺に関しては、他の3成分とは異なり、夏冬共に千鳥が最も沈着量が多かった。臨海部の工業地帯の中に位置する扇町がそれに続くが、nss-SO₄²⁻、nss-Ca²⁺にみられたような、特異的に多い沈着量は示していない。

NH₄⁺はNH₃の発生強度に依存した変化をみせることが知られており、なかでも自然界では、土壤中のバクテリアの作用で夏期に多く発生するといわれているが、川崎の臨海部のような、都市域や工業地帯における、NH₄⁺塩やNH₃の発生源としては、肥料、化学工場、排煙脱硝装置等の人為的起源のものが考えられる¹⁴⁾。また、千鳥において、他の3地点に比べて多い沈着量を示したことに関しては、今後検討をする必要がある。

(5) 水溶性イオン成分割合

季節毎、各地点における水溶性イオン成分の当量濃度組成割合を図10に示した。

Ca²⁺の占める割合は全地点において、いずれも冬期より夏期の方が高かった。特に、住宅地である田島、大師では、工業地帯に位置する千鳥、扇町より、夏冬の差が大きく、南風の多い夏期に、両地点の風上側に位置する道路・臨海部工業地域からの影響を多く受けていたことが考えられる。地点間の差をみると、扇町がCa²⁺の占める割合が最も大きく、反対に千鳥は最も少なかった。しかし、NH₄⁺が占める割合は、どの地点よりも千鳥が大きく、扇町が少なかった。

大規模工場が林立する中にある扇町の特徴は、Ca²⁺の他にSO₄²⁻にもみられる。すなわち、どの地点と比較しても、SO₄²⁻の全体に対し占める割合は高く、25%程度を占めている。

(6) N/nss-S比

nss-SO₄²⁻に対するNO₃⁻の当量比は、降水の酸性化に硫酸イオンと硝酸イオンのどちらの寄与が大きいかを表す際によく用いられる。

図11に季節毎、各地点のN/nss-S比を示した。

N/nss-S比は大師、田島は0.7前後、千鳥では0.6前後、扇町では夏期は0.5、冬期は0.3と各地点の特徴を表していた。大師、田島は交通量が多い道路が近くを通っていることや、住宅街の中に立地されていることなど、比較的隣接の状況が似ているということもあり、同程度の値を示していた。扇町のN/nss-S比は冬期で0.3、夏期でも0.5と小さい値となっている。扇町は採取地点が、大規模工場の中に設置されていることから、近傍の固定発生源からのSO_xの影響を強く受けているということがうかがえる。

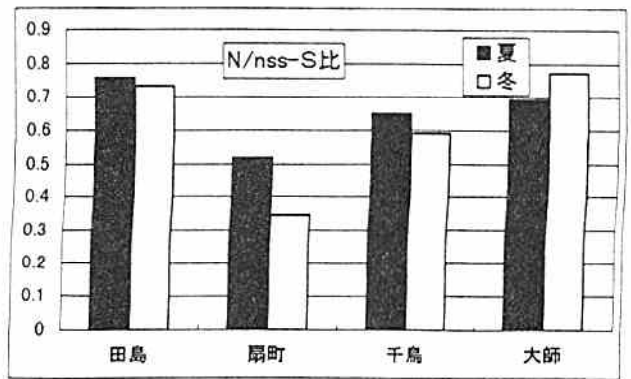


図11 N/nss-S比

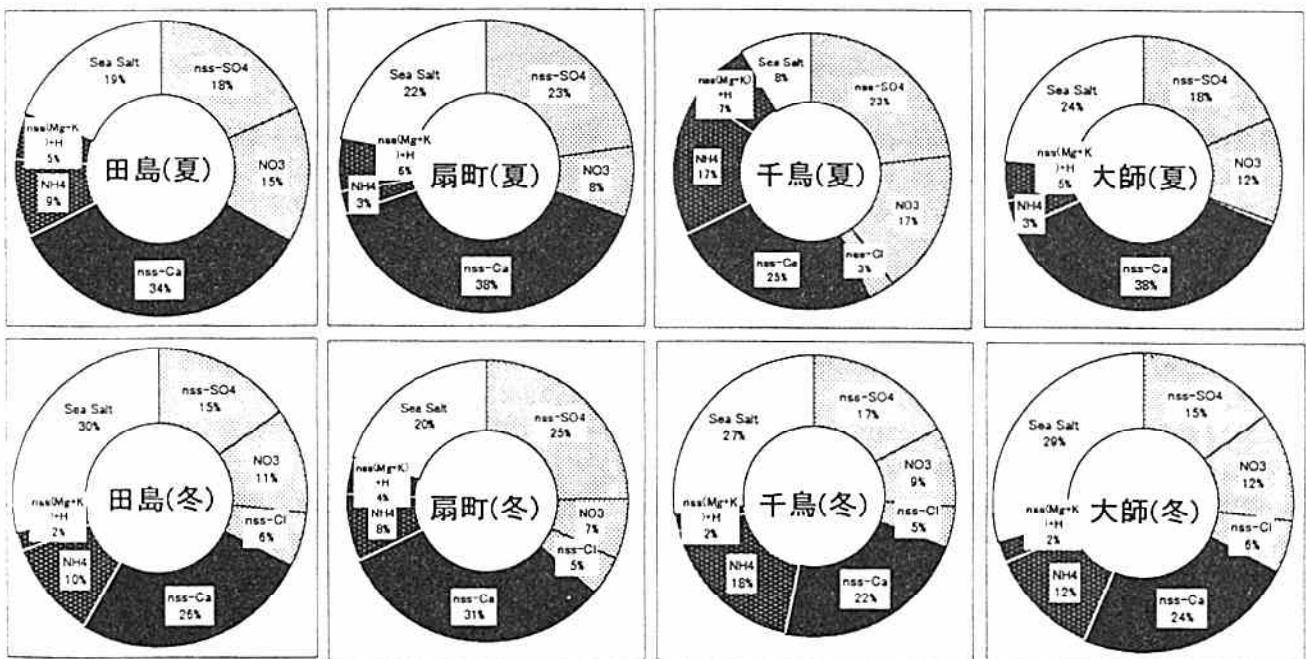


図10 水溶性イオン成分組成割合

これらの数値より、臨海部の工業地域に接する4地点は、いずれもnss-SO₄²⁻の影響を、NO₃⁻よりも大きく受けていると考えられる。また、前回、本報第24号¹⁵⁾で報告したように、川崎市内における降雨のN/nss-S比は、臨海部よりも内陸部の方が大きく、全国的にみても都市域では、nss-SO₄²⁻の影響をNO₃⁻よりも大きく受けており、今回の調査結果でもそれと同様の結果であった。

(7) 地点別のイオンバランス

降水のイオン成分が季節により、また地域によりどのような挙動を示すのかを調べるためにイオン当量濃度組成比を図12に示した。

全ての地点、いずれの季節においても、アニオンに比べ、カチオンの方が多かった。また、アニオンとカチオンの等量比では、田島と大師において夏冬の差が大きく、夏期は0.7前後、冬期は0.9前後となっており、千鳥、扇町では夏期、冬期とも0.8前後であった。

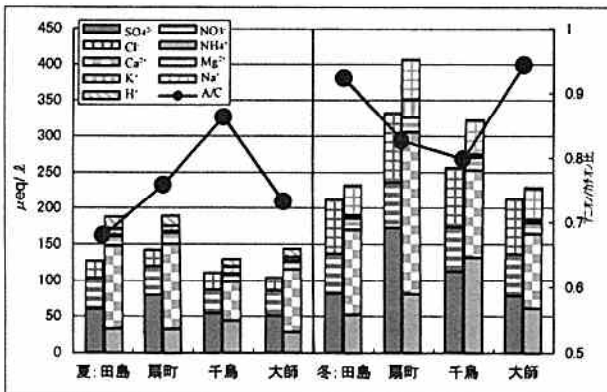


図12 イオンバランス

4.2 風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査

表3に夏と冬、それぞれの地点及び風向における粉じん濃度、全調査期間の各イオン成分の平均濃度を示した。

また、今回の調査期間中におけるそれぞれの地点の風向頻度を図13に示した。風向は北、東、南、西を中心とした、各90°区分とした。

千鳥における夏期、冬期では夏に南風が多く70%を超え、冬には北風が60%と多かった。一方、田島における

春期と梅雨期については、春に北風が45%、南風が34%、梅雨期には南風が41%、北風が35%と分散していた。両地点・全ての季節において、北風、南風合わせて8割程度となり、また東風は5%以下と少なかった。特に田島での春期、梅雨期の調査においては、東風が1%以下と非常に少なかった。

(1) 風向別浮遊粉じん濃度

夏、冬期に調査を行った千鳥では、西風の時に粉じん濃度が高く、春、梅雨期に調査を行った田島では、東風の時に最も高い濃度を示していた。特に、10μmカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した、田島の梅雨期調査においては、北、南、西の2倍程度の高い濃度であった。その他の風向では、顕著な傾向は認められなかった。

一般に大気汚染濃度を変動させる気象要因としては大気安定度などの他に、風向、風速及び降雨等が考えられるが、発生源近傍の測定地点では、特定の汚染源の風下に位置するか否かによって、濃度は大きく左右される。今回の調査において、千鳥は臨海部工業地帯の中心部に位置し、また、田島の東南の方角には、臨海部の工業地域が存在し、更に首都高速 横浜羽田空港線、県道 東京大師横浜線が通っていた。すなわち両地点においては、大規模工場、道路など、様々な発生源による影響を受けることが考えられる。

(2) 水溶性イオン成分濃度

図14に、主要4成分(nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Ca²⁺、NH₄⁺)について、風向別の濃度を示した。

●nss-SO₄²⁻

nss-SO₄²⁻に関しては、夏期、冬期調査を行った千鳥では、西風、南風が吹いた時に、若干高濃度ではあったが全体的にみるとほぼ均等な濃度であり、風向への依存性はなかった。濃度は、どの風向でも夏期の方が冬期よりも高濃度であった。春期、梅雨期に調査を行った田島では、梅雨期には東風の時に、最も高濃度を示していた。濃度は春期より、10μmカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した梅雨期の方が卓越しており、特に東風の時は約12倍となっていた。

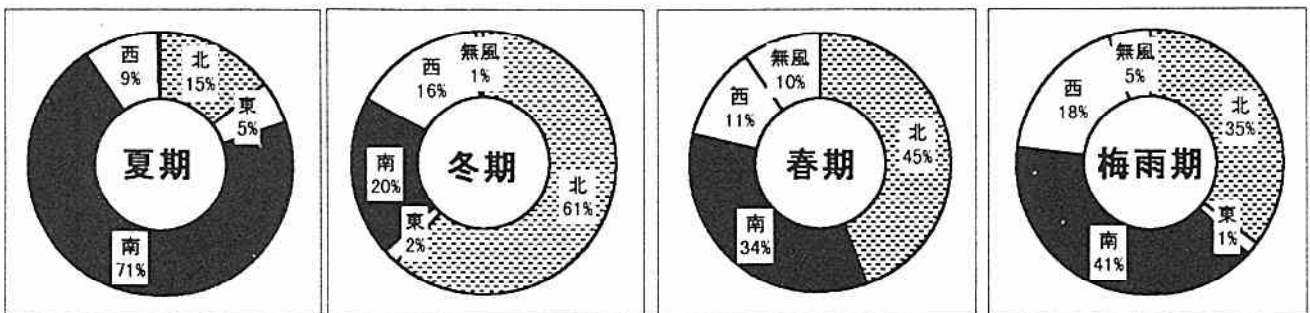


図13 風向頻度

表3 成分分析結果

		粉じん濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SO_4^{2-}	Cl^-	nss- Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	
千島	95-夏	北	56.7	8.94	4.17	0.68	5.08	1.60	0.33	0.62	1.81	8.49	0	1.53	0.11	0.56
		東	45.5	9.16	2.04	0.56	3.39	1.32	0.45	0.48	0.97	8.92	1.19	1.29	0.33	0.44
		南	43.0	11.2	0.71	0.06	2.27	0.76	0.20	0.37	1.66	10.8	0	0.69	0	0.31
		西	67.4	10.2	4.28	0.39	4.49	1.72	0.42	0.70	0.95	9.94	0	1.68	0.30	0.67
		CALM	106.3	10.1	4.00	1.99	2.25	4.42	2.89	1.26	1.58	9.68	0	4.36	2.70	1.21
		ALL	44.1	10.6	1.06	0.18	2.10	0.80	0.19	0.35	1.30	10.3	0	0.74	0.03	0.30
	96-冬	北	59.6	4.22	4.67	3.20	3.25	0.71	0.12	0.05	0.73	4.03	1.88	0.68	0.03	0.02
		東	65.1	4.57	6.17	2.33	4.37	0.55	0.60	0.15	0	4.57	2.33	0.55	0.60	0.15
		南	70.8	6.60	8.46	2.39	5.46	1.02	0.22	0.03	0.11	6.56	2.18	1.02	0.21	0.03
		西	82.1	6.21	7.14	5.29	5.74	1.30	0.22	0.02	0.17	6.17	4.99	1.29	0.20	0.01
CALM		114.1	9.11	5.92	6.21	3.68	0.72	0.75	0	0	9.11	6.21	0.72	0.75	0	
ALL	75.1	5.10	6.19	3.97	4.15	1.15	0.13	0.11	0.77	4.90	2.57	1.12	0.03	0.08		
田島	96-春	北	45.2	2.07	2.19	0.69	1.50	0.28	0.07	0	0.02	2.07	0.66	0.27	0.07	0
		東	64.9	1.51	0	2.48	0	0	0	0	0	1.11	2.48	0	0	0
		南	52.7	3.34	2.37	0.31	1.35	0.40	0.12	0.01	0.17	3.30	0	0.40	0.10	0
		西	52.6	2.83	2.33	0.48	1.62	0.43	0.14	0.13	0	2.83	0.48	0.43	0.14	0.13
		CALM	68.5	2.71	3.52	1.27	2.50	0.21	0.11	0.15	0	2.71	1.27	0.21	0.11	0.15
		ALL	49.4	2.36	2.07	0.46	1.30	0.36	0.07	0.03	0.21	2.31	0.09	0.35	0.05	0.02
96-6月	北	61.0	6.02	6.50	1.24	2.98	0.66	0.17	0.29	0.10	5.99	1.07	0.65	0.16	0.29	
	東	162.8	13.8	13.8	9.79	3.98	6.70	4.48	2.88	0	13.8	9.79	6.70	4.49	2.88	
	南	82.4	8.45	6.09	1.43	1.87	2.13	0.30	0.47	0.43	8.35	0.66	2.12	0.25	0.46	
	西	84.7	7.70	7.13	2.47	2.18	1.40	0.36	0.60	0.14	7.66	2.22	1.39	0.34	0.60	
	CALM	166.0	14.9	14.7	6.52	4.52	3.36	1.15	1.58	0	14.9	6.52	3.36	1.15	1.58	
	ALL	65.1	6.85	5.55	1.13	2.02	1.38	0.19	0.42	0.62	6.70	0.02	1.36	0.12	0.40	

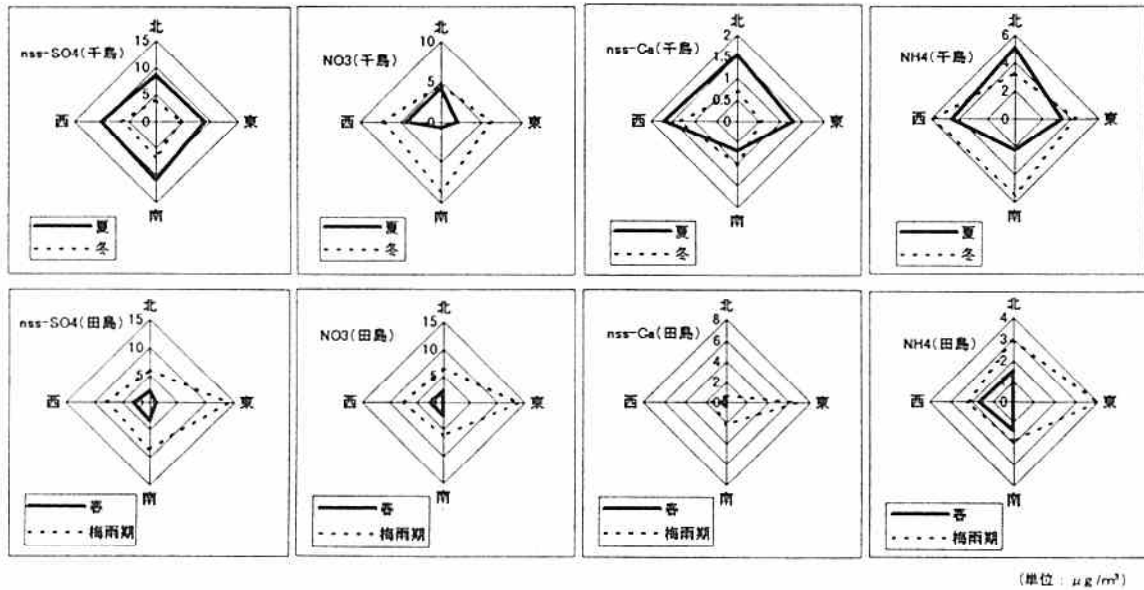


図14 風向別成分濃度

●NO_x

NO_xに関しては、夏期、冬期調査を行った千島では、夏期には北、西風の時が最も高く、南風の時が最も低濃度となった。一方、冬期は南風の時に最も高い濃度となった。また、濃度はどの風向でも、冬期の方が高かった。春期、梅雨期に調査を行った田島では、梅雨期において東風時、最も高濃度であった。いずれの風向においても、10μmカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した梅雨期の方が、高濃度を示した。

●nss-Ca²⁺

nss-Ca²⁺に関しては、千島においては、夏期、冬期共に西風時に最も高濃度であった。また、南風の時を除くと、夏期の方が濃度が高くなっていた。田島での調査においては、梅雨期に特に、東風時に高濃度を示していた。濃度は全ての風向において、春期調査よりも10μmカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した梅雨期調査の方が、高い値を示していた。千島の西側約2.2km、田島の東側約1.4kmの臨海部工業地帯には、セメント工場等が存在し、カルシウム濃度に影響を及ぼしている発生源の一つと考えられる。

●NH₄⁺

NH₄⁺に関しては、千島では夏期の北風の時に高濃度となり、冬期には南風及び西風の時に高濃度となった。また、北風時を除くと、夏期よりも冬期調査の際の濃度の方が高かった。春期、梅雨期調査を行った田島では梅雨期において、東風の時に卓越した濃度を示していた。また、春期調査よりも10μmカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した梅雨期調査の結果の方が、全ての風向において高濃度を示していた。

(3) 水溶性イオン成分中のカルシウムの割合

風向別の水溶性イオン成分当量濃度組成割合を、図15に示した。

カルシウムの占める割合は、千島においては全ての風向において、冬期よりも夏期の方が多かった。田島における梅雨期と春期については、ほぼ同程度もしくは梅雨期の方が若干カルシウムの占める割合が大きかった。

風向別にみると、千島では、夏期、冬期調査ともに西風の時にカルシウムの占める割合が他の風向に比べて若干大きかった。田島では春期、梅雨期調査ともに、東風の時の割合が最も多かった。

(4) 炭素成分濃度

表4及び図16に有機炭素(Corg)、元素炭素(Cel)濃度を、調査時期・風向別に示した。

炭素成分濃度は、田島、千島両地点及び全ての季節において、有機炭素よりも元素炭素の方が高濃度であった。特に田島で調査した、梅雨期においては、元素炭素濃度が有機炭素濃度の4倍から6倍程度と高濃度を示していた。風向別にみると、有機炭素濃度は風向による大きな違いはみられないものの、元素炭素濃度では、夏、冬調査時には、千島において西風が吹いているとき、また梅雨期調査時には、田島において東風、南風が吹いている時に、高濃度を示していた。一方、田島における春期調査では、有機炭素、元素炭素濃度ともに風向による特徴はみられなかった。

一般に、ディーゼルエンジン等の燃焼過程から発生する炭素成分は、粒子状物質中に占める割合が高く、その影響度も高いとされており、ディーゼル排ガス粒子の約65%程度は元素炭素で構成されている¹⁹⁾²⁰⁾といわれている。調査結果からも、交通量の多い道路が東南500m先を通る田島では、梅雨期に明らかにその方角の元素炭素濃度が高くなっており、ディーゼル排ガスの影響がうかがえる。一方、主要道路から少し距離のある千島における道路との関係は、田島の結果ほど際だった特徴はみられなかった。また、元素炭素に関しては、千島

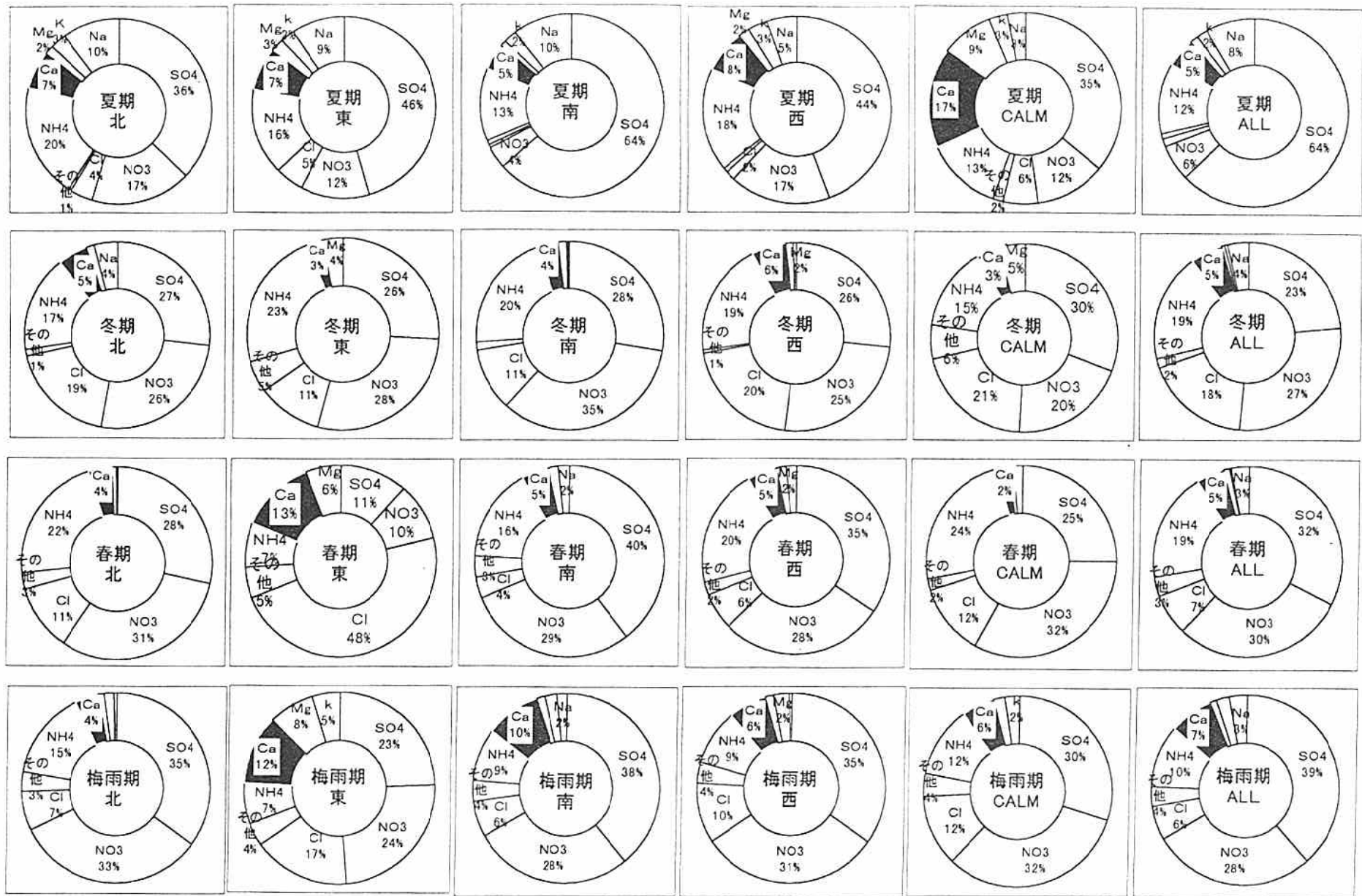


図15 水溶性イオン成分組成割合

表4 炭素濃度

		有機炭素	元素状炭素 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
千鳥	北	21.2	44.3
	東	16.1	34.2
	南	11.6	40.9
	西	16.9	57.6
	CALM	3.3	36.6
	ALL	14.5	43.2
千鳥	北	20.5	47.8
	東	1.1	58.6
	南	25.1	63.4
	西	19.4	69.6
	CALM	1140.4	238.4
	ALL	27.7	64.3
田島	北	7.1	26.7
	東	N.D	N.D
	南	9.0	28.5
	西	3.8	26.4
	CALM	9.0	48.8
	ALL	10.0	30.1
田島	北	12.3	47.4
	東	N.D	89.3
	南	14.7	86.1
	西	12.6	52.4
	CALM	27.2	234.4
	ALL	16.0	54.8

では夏期調査での結果よりも冬期調査での濃度の方が高く、田島では $10\mu\text{m}$ カットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した梅雨期の方が春期よりも高濃度であった。

春期の東風に関しては、図13で示したとおり非常に短時間であり、ろ紙上に捕集した粉じんも極微量であったため、NDとした。

Corg/Cel, Corg/CT, 及びCel/CTを図17に示した。

Corg/Celに関して、千鳥においては、冬期の東風の際に有機炭素が非常に低濃度であったため小さくなったことを除けば、夏期・冬期の差はあまりなかった。風向別では、西風の際に約0.3と、他の風向に比べて元素状炭素の割合が多くなった。田島においては、調査期間、風向ともに際だった特徴はみられなかった。

CTに対する元素状炭素の割合は、いずれの風向にも季節の差は特に認められず、千鳥においては70%程度を占め、田島においては80%程度を占めていた。千鳥と比較して田島の方が、CTに対する元素状炭素の割合が高かったのは、前述のとおり、主要道路からの距離が関係していると考えられる。

5 まとめ

今回、川崎市のカルシウムイオン濃度が県内の各地点に比べて高いことから、ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査と、風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査を行った。風向別に大気汚染物質を捕集する方法は、局地的な汚染状況を把握するには適した方法ではあるが、地点によっては、今回の田島における東風のように、ほとんど試料を捕集できない風向もあり、分析に至らないこともある。今後調査を行う際には、調査地点をより細かく検討する必要があると思われる。

また、梅雨期調査で行った、 $10\mu\text{m}$ カットせず

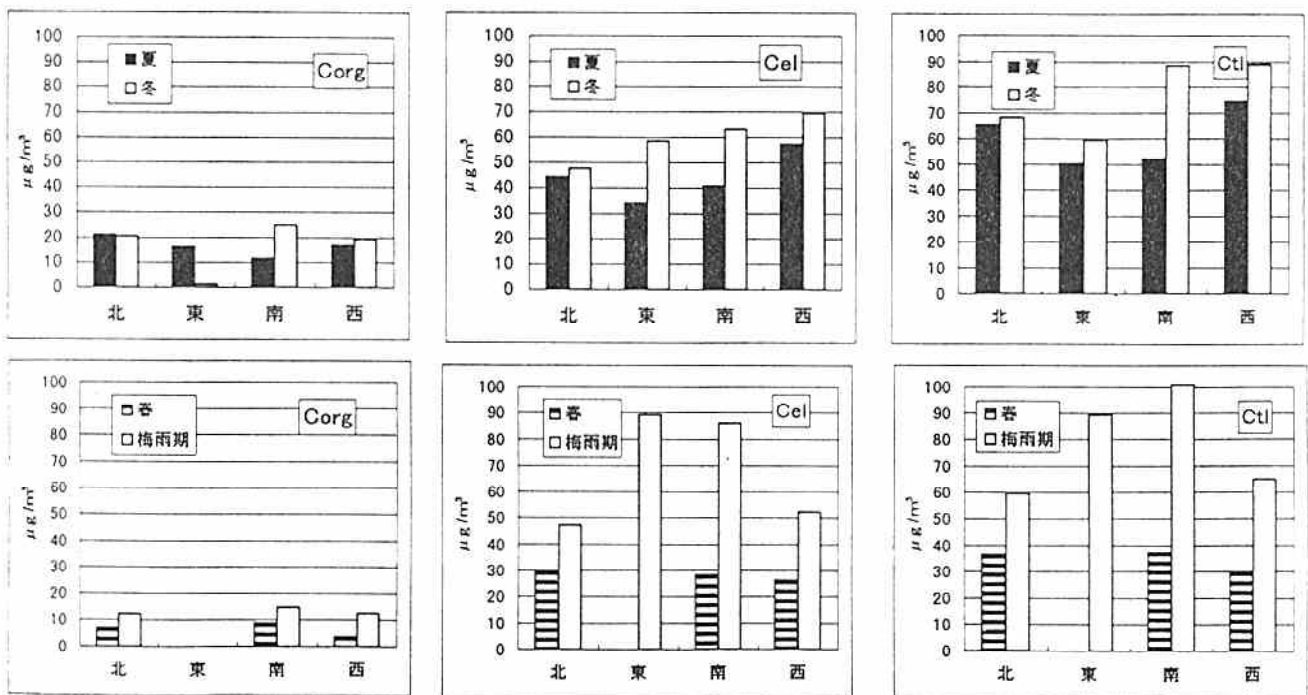


図16 炭素濃度

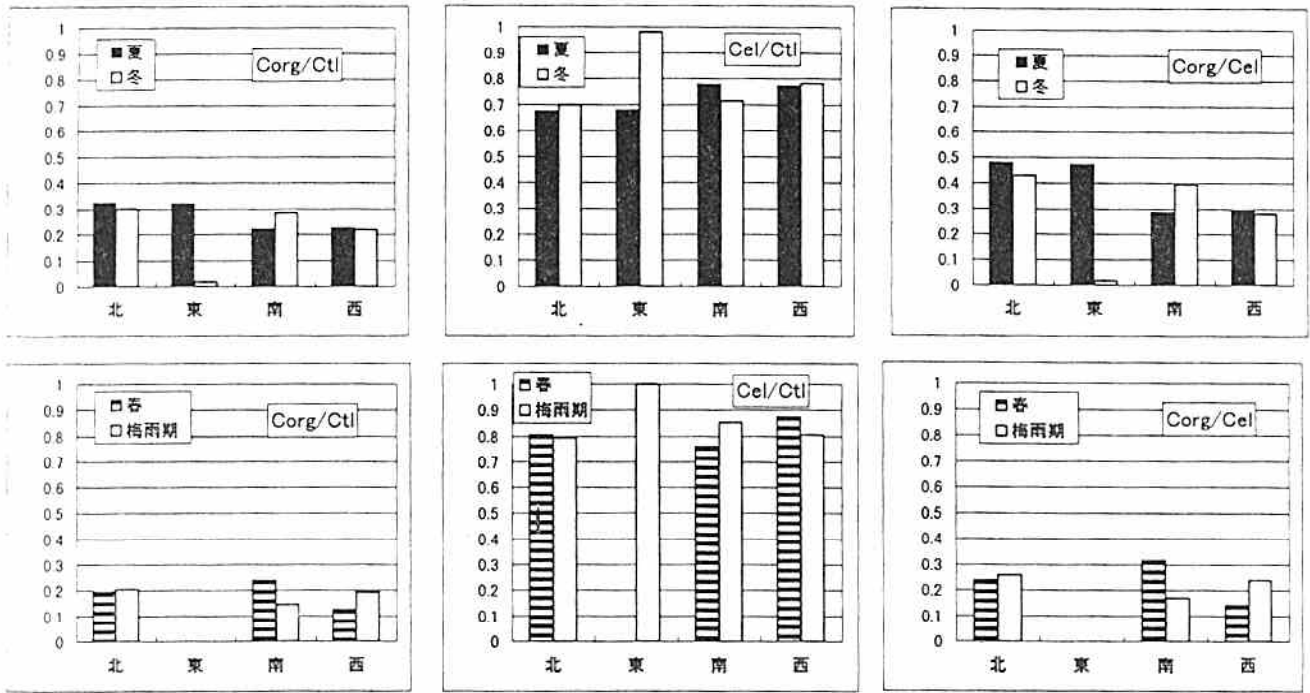


図17 炭素成分組成割合

の粒径範囲の粒子を捕集する方法は、カルシウム等の粗大粒子側に多く含まれると考えられている成分に注目する際は、有効であると考えられた。

今回の調査は、川崎市の臨海部4地点における調査であり、その範囲は約3km四方という狭いエリアで行われた。しかし、この4地点の比較でも、各地点にそれぞれ特徴的な結果を示した。これにより、工業地帯である川崎の臨海部における降水では、採取地点の近傍の状況により降水の性質が変わる、つまり局所発生源の影響を大きく受けるということが考えられた。

①ろ過式酸性雨採取装置を用いた降水の調査

(1) 夏期と冬期のpHを比較すると、夏期のpHは地点間のばらつきが大きく、冬期の方が変動が少なかった。また、全ての地点において、夏期よりも冬期の方が、酸性度が低かった。

(2) ECは、夏期、冬期共に、臨海部の工業地域に位置する扇町が最も高く、住宅地であり、比較的周辺に緑が多い大師で最も低かった。

(3) 水溶性イオン成分沈着量では、主要4成分

($nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- 、 $nss-Ca^{2+}$ 、 NH_4^+)とも、夏期に比べて冬期の方が沈着量が多かった。

$nss-SO_4^{2-}$ に関しては、臨海部の工業地域内に位置する扇町にて最も沈着量が多く、ばい煙発生施設等の局所発生源の影響が考えられた。

NO_3^- に関しては、地点間の沈着量差は、ほとんどみられなかった。 NO_3^- の沈着量と道路からの距離とでは、直接の関連性はみられなかったため、固定及び移動発生源による、広域的な汚染と考えられる。

また、 $nss-Ca^{2+}$ に関しては、 $nss-SO_4^{2-}$ 同様、扇町に

おいて、最も沈着量が多かった。これは、自動車走行に伴う影響の他にも、採取地点付近に存在する粉じん発生施設(石炭、石灰石、鉄鉱石などの堆積場やベルトコンベア)の影響が大きいと考えられる。

(4) 水溶性イオン成分において、カルシウムが占める割合は全地点において冬期よりも夏期の方が高かった。特に田島、大師では夏冬の差が大きく、南風の多い夏期に道路や工業地域からの影響を多く受けていることが考えられた。また、カルシウムの占める割合は、扇町において最も高かった。

(5) $N/nss-S$ 比は、大師、田島では0.7前後、千鳥では0.6前後、扇町では夏期は0.5、冬期は0.3であり、扇町では近傍の固定発生源の影響を強く受けていることが考えられた。また、いずれの4地点でも、 $nss-SO_4^{2-}$ の影響を NO_3^- よりも大きく受けていた。

(6) イオンバランスは、全ての地点・季節において、アニオンに比べ、カチオンの方が多かった。また、アニオンとカチオンの当量比では、田島と大師において夏冬の差が大きく、夏期は0.7前後、冬期は0.9前後であった。

②風向別大気粉じん捕集装置を用いた粉じんの調査

(1) 粉じん濃度は、夏、冬期調査を行った千鳥では、西風の時に最も濃度が高く、春、梅雨期調査を行った田島では、東風の時に最も高い濃度を示していた。

(2) 春期、梅雨期調査を行った田島における主要4成分の水溶性イオン成分濃度は、全ての風向にて「10 μ mカットをせず全ての粒径範囲の粒子を捕集した方法」で行った梅雨期調査の方が、明らかに高くなった。

(3) 炭素成分濃度は、田島、千鳥及び、全ての季節にお

いて、有機炭素よりも元素状炭素の方が高濃度であった。有機炭素濃度には、風向きによる大きな違いはみられなかったものの、元素状炭素濃度では、千鳥では西風が吹いている時に、田島では東風、南風が吹いている時に高濃度を示していた。千鳥では、主要道路から距離があるため際だった特徴はみられないが、田島の東南500mには、交通量の多い道路が通っており、ディーゼル排ガスの影響が考えられた。

文 献

- 1) 島田ひろ子, 張山嘉道, 緒方行治: 川崎市における酸性雨(第1報) - 臨海部の実態と地域特性 -, 川崎市公害研究所年報, 19, 28~41 (1993)
- 2) 横浜市公害研究所: 道路周辺地域における浮遊粉じん及び含有成分の粒径分布に関する調査, 浮遊粉じんの発生源推定に関する調査報告書, 71~84 (1989)
- 3) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 462, 95(10), 24~26 (1995)
- 4) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 463, 95(11), 24~26 (1995)
- 5) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 467, 96(3), 24~26 (1996)
- 6) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 468, 96(4), 24~26 (1996)
- 7) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 470, 96(6), 24~26 (1996)
- 8) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 471, 96(7), 24~26 (1996)
- 9) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 472, 96(8), 24~26 (1996)
- 10) 財団法人 日本気象協会: 気象, 気象庁監修 No. 473, 96(9), 24~26 (1996)
- 11) 渡辺善徳, 草野一: 横浜市における酸性降水, 横浜市公害研究所報第12号, 5~17 (1987)
- 12) 川崎市土木局: 川崎市平成6年度全国道路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査報告書
- 13) 宮城県公害技術センター報告書: スパイクタイヤ装着地域における道路粉じん実態調査報告書(1982)
- 14) 関東通商産業局: 平成8年度 大都市地域における浮遊粒子状物質(SPM)調査報告書(1997)
- 15) 豊田恵子, 井上俊明, 大嶋道孝, 島田ひろ子, 張山嘉道: 川崎市における酸性雨(第3報) - 1993年以降の雨の傾向について -, 川崎市公害研究所年報, 24, 5~13 (1998)
- 16) 谷口徹, 中島正臣, 岡本真一, 開沼泰隆, 塩沢清茂: 粒子状炭素発生源の化学成分組成についての研究 - 稲わら焼きおよびディーゼル排気中粒子について -, 第27回大気汚染学会講演要旨集, 320 (1986)
- 17) 芳住邦雄, 渡辺武春, 石井康一郎, 吉岡秀俊, 朝来野国彦, 田村健夫, 菅道彦, 吉野昇: 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