

酸性雨に関する調査研究

—酸性雨成分とエアロゾルとの関係について—

湯川幸郎 児玉仁 久米均*

1 はじめに

酸性雨は、直接雨滴に酸性物質が取り込まれたり、水滴中で酸性物質が生成して生ずるものである。¹⁾

よって、酸性雨の状況を評価するには、pHだけでなく酸性雨に溶け込んでいる陽イオン及び陰イオンについての検討が必要であり、いわゆる酸能力 ($\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{nss-Cl}^-$)、中和能力 ($\text{nss-Ca}^{2+} + \text{NH}_4^+$) といわれている要因についても併せて考えることが必要である。²⁾

また、酸性雨の問題は降水のみに限定される現象でなく、酸性雨現象の約半分を含むと推定されている非降水時の大気中のエアロゾルすなわち乾性沈着現象を検討しないでおくことは、現象の理解のうえで大きな欠落部分を残しておくことになる。³⁾

本県では、昭和58年環境庁第1次酸性雨対策調査と時期を同じくし、雨水成分調査を継続的に実施してきており、これまで⁴⁻⁵⁾、市街地が、バックグラウンド地や後背地に比べて降水中の成分濃度が高く、 nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} および夏期の NH_4^+ の比較的多くの量が、ウォッシュアウトによる局地的な取り込みがなされているということを報告した。

しかし、これまでは降水および降雪のみの検討であったため、前報⁵⁾ではアンダーセンエアサンプラーを用いて大気中のエアロゾルを粒度別3段に分級捕集し、これと降水中

成分の関係について解析を行ったが、降水中とエアロゾル中の成分量の関係については、若干の傾向をみることしかできなかった。

そこで今回は、大気中での各成分の存在形態や季節的変動等についてさらに詳細な検討をするために、大気中のエアロゾルを粒度別3段分級捕集から9段に分級捕集にして解析を行ったので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に、調査地点の特徴及び調査項目を表1に示した。

2.2 調査期間

2.2.1 降雨調査

平成5年4月から平成6年3月の52週を対象とした。(本山は、冬期を除く)

2.2.2 エアロゾル調査

平成5年6月から7月の6週および11月の4週を対象とした。これと併わせ、この期間中降雨も採取した。

2.3 採取方法

原則として月曜日14時から次週月曜日14時までの7日間を1検体とした。採取装置を図2に示した。

2.3.1 降雨調査

ろ過式採取器を用い、得られた試料は0.8 μm のメンブランフィルターでろ過したものを検体した。

* 現 生活環境部 環境保全課

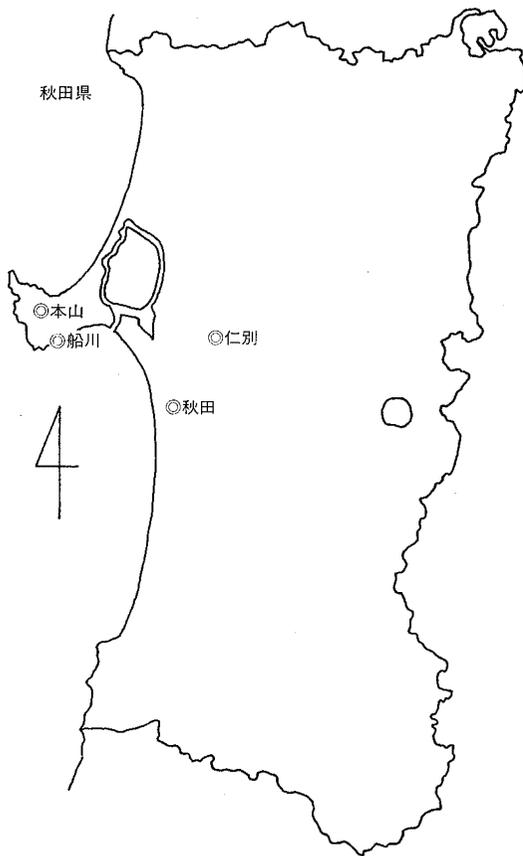


図1 調査地点

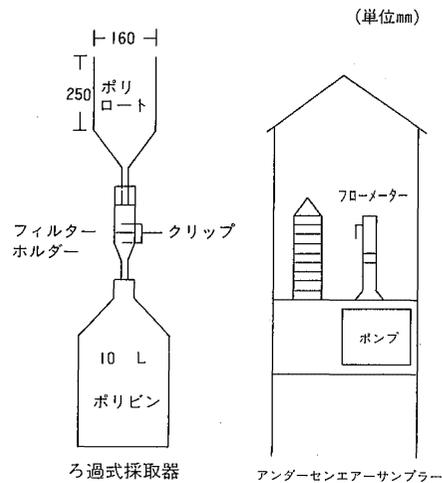


図2 採取装置

表1 調査地点及び調査項目

地点	設置場所	調査地点の特徴	調査項目	
			降雨	エアロゾル
中通	秋田市 秋田保健所屋上	海岸から約5kmの市街地、標高46m。	○	○
八橋	秋田市 環境技術センター敷地内	中通から南へ約3kmの市街地、海岸から約1km。		○
仁別	秋田市 旭川ダム管理事務所屋上	中通から北東へ約12kmの近山間部、海岸から約20km、標高約115m。	○	○
船川	男鹿市 船川局舎屋上	中通から北西へ約28km海岸から0.3km。	○	
本山	男鹿市 NTT本山無線中継所地内	中通から北西へ約40kmの山頂。海岸からの距離約3km、標高約650m。	○	

2.3.2 エアロゾル調査

アンダーセンエアサンプラーを用い、一定流量 (28.3ℓ/min) で吸引し、8段の各ステージと最後に取り付けられたバックアップフィルターによって9段に分級捕集した。試料捕集板にはステンレス鋼板を用いた。

捕集ろ紙にはFluoropore-80mmφ (住友電工製、4フッ化エチレン樹脂製フィルターAF07P)を用いた。試料採取前後のろ紙は、50%-CaCl₂で調湿済みのデシケータに48時間放置し恒量とした後、粉じん量を測定した。粉じん採取後のろ紙は、5mm幅程度に裁断し、各ステージ毎に50mlの目盛り付き比色試験管に入れた。これにアセトン2mlを加え、超音波抽出 (10min) した。これに、水2ml、4ml、10mlと段階的に加えながら、さらに3回抽出を行ったものを試料とした。

2.4 調査項目

2.4.1 降雨項目

降水量、pH、EC、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NH₄⁺

2.4.2 エアロゾル調査

粉じん量、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NH₄⁺

2.5 分析方法

分析方法を表2に示す。

表2 分析方法

分析項目	分 析 方 法
pH	JIS K0102.12.1
EC	JIS K0102.13
SO ₄ ²⁻	イオンクロマト法
NO ₃ ⁻	〃
Cl ⁻	〃
Na ⁺	〃
K ⁺	〃
Ca ²⁺	〃
Mg ²⁺	〃
NH ₄ ⁺	〃

3 調査結果及び考察

3.1 降雨について

月別降水量及び月別の平均pHを図3、図4に示した。降水量は、地点別に多少の差はあるが、月別推移は概ね似通ったパターンを示した。

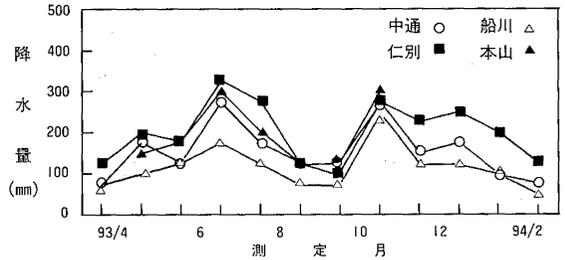


図3 降水量の推移

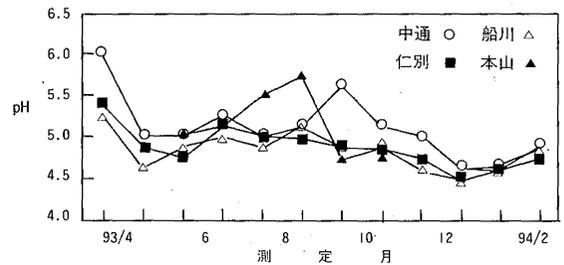


図4 pHの推移

検体毎でも、地点間に多少の差があるが、週毎の変動は概ね似通った傾向を示した。

pHは、各地点とも概ねpH4.5~5.5の範囲で推移した。

年平均では、大陸からの季節風を直接受けるバックランド地である標高650mの本山と都市部の中通が5.0、船川と仁別が4.8であり、本山と中通はやや高い傾向がみられた。

月平均の最高は、中通pH5.96 (4月)で、最低は本山pH4.41 (6月)であった。

また、市街地の中通ではpHの月別平均は、4.5~5.9と変動が大きかったが、後背地の仁

別では4.5~4.9と変動が少なかった。

降水及び非海塩粒子の平均成分濃度を表3、表4に、また、地点分布を海岸からの距離別に図5、図6に示した。なお、本山は冬期

間は調査が出来ないため、各地点ともに平成5年5月~11月の平均成分濃度を図に示した。

表3 降水中の平均成分濃度

項目		pH	EC μs/cm	SO ₄ ²⁻ μeq/l	NO ₃ ⁻ μeq/l	Cl ⁻ μeq/l	Na ⁺ μeq/l	K ⁺ μeq/l	Ca ²⁺ μeq/l	Mg ²⁺ μeq/l	NH ₄ ⁺ μeq/l
平成5年	中通 (5月~11月)	5.16	24.4	51.9	14.9	81.7	72.3	1.9	17.1	19.4	28.6
	仁別 (5月~11月)	4.94	25.3	40.9	13.7	66.6	78.6	2.2	9.8	18.0	33.2
	船川 (5月~11月)	4.88	28.0	40.0	14.5	77.0	88.6	2.2	12.6	20.0	15.6
	本山 (5月~11月)	5.03	21.6	32.0	9.1	72.5	64.5	3.4	9.3	14.3	15.2
年度	中通 (12月~3月)	4.69	101	151	21.2	610	512	11.2	58.5	124	33.2
	仁別 (12月~3月)	4.59	74.8	112	16.6	434	350	8.2	26.1	78.2	25.7
	船川 (12月~3月)	4.57	98.7	143	24.5	588	483	13.5	73.2	115	37.8
平成4年	中通 (4月~11月)	4.82	31.5	70.7	19.8	90.8	78.3	3.9	21.7	20.8	42.0
	仁別 (4月~11月)	4.60	17.9	58.1	18.3	84.3	71.2	3.1	11.9	18.0	28.4
	船川 (4月~11月)	4.73	39.2	63.5	22.6	149	132	5.3	21.7	31.4	31.4
	本山 (4月~11月)	4.73	30.3	49.9	16.4	102	86.3	4.9	12.2	21.7	23.6
年度	中通 (12月~3月)	4.64	78.2	114	22.2	416	353	9.5	55.5	84.1	43.4
	仁別 (12月~3月)	4.49	81.3	100	20.9	426	365	10.2	31.5	80.0	27.6
	船川 (12月~3月)	4.54	92.7	120	25.2	502	435	11.4	50.9	105	37.5

表4 非海塩粒子の平均成分濃度

項目		nss-SO ₄ ²⁻ μeq/l	NO ₃ ⁻ μeq/l	nss-K ⁺ μeq/l	nss-Ca ²⁺ μeq/l	nss-Mg ²⁺ μeq/l	NH ₄ ⁺ μeq/l
平成5年	中通 (5月~11月)	43.2	14.9	0.4	13.9	3.0	28.6
	仁別 (5月~11月)	31.5	13.7	0.6	6.4	—	33.2
	船川 (5月~11月)	29.3	14.5	0.3	8.9	—	15.6
	本山 (5月~11月)	24.2	9.1	2.0	6.5	—	15.2
年度	中通 (12月~3月)	89.3	21.2	0.4	13.9	3.0	33.2
	仁別 (12月~3月)	70.3	16.6	0.5	10.7	—	25.7
	船川 (12月~3月)	84.6	24.5	3.5	34.8	4.8	37.8
平成4年	中通 (4月~11月)	62.1	19.8	4.0	15.3	13.4	42.0
	仁別 (4月~11月)	49.6	18.3	1.6	8.8	1.7	28.4
	船川 (4月~11月)	55.7	22.6	2.5	15.9	1.4	31.4
	本山 (4月~11月)	39.6	16.4	3.1	8.5	2.0	23.6
年度	中通 (12月~3月)	89.3	22.2	0.4	36.2	7.5	43.4
	仁別 (12月~3月)	56.3	20.9	2.5	15.6	—	27.6
	船川 (12月~3月)	68.1	25.2	2.1	32.1	5.4	37.5

★ —は負の値を示す

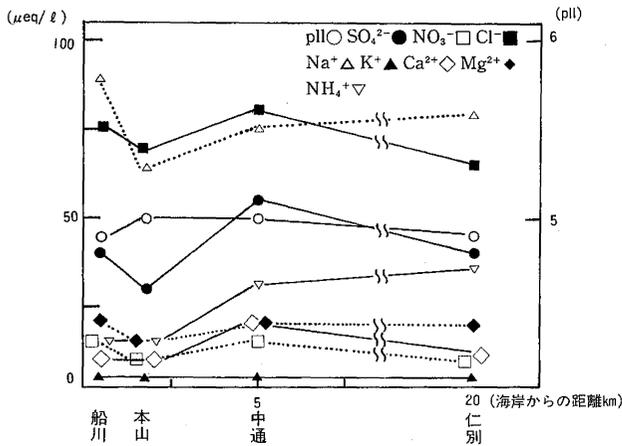


図5 降水中のpH及びイオン当量濃度

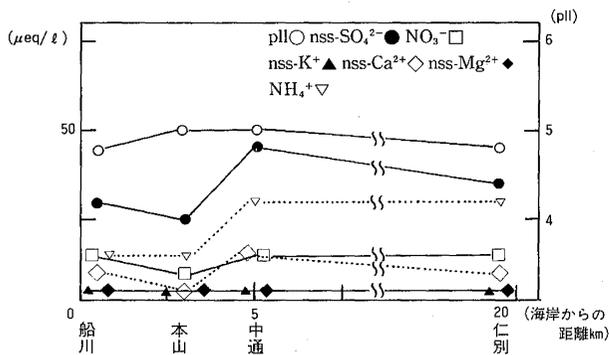


図6 降水中のpH及び非海塩粒子の平均濃度

各調査地点ともに、Na⁺を指標として各成分における非海塩成分量を計算した。nss-SO₄²⁻は、本山に比べ中通が2倍くらい高い値を示しており、中通に硫酸化物の主要な発生源が存在することを示していると考えられる。また、SO₄²⁻の発生源が存在しないと思われる仁別は、中通に次いで高い値を示して

いるが、これは中通等からの拡散、移流によってもたらされたと推測される。

NO₃⁻は、中通と船川及び仁別がほぼ同様な値を示した。これは、ほとんどが化石燃料の燃焼で生じたNO_xが光化学反応を受けてNO₃⁻となり雨水中に取り込まれるが、NO_xからNO₃⁻として降水の中に取り込まれるまでには数時間を要し、この間に汚染気塊は発生源からかなりの距離を輸送されることになる。したがって、3地点がほぼ同様な値を示したことは、NO_xの発生源からの反応を含む移流変質によるものと考えられる。⁶⁾

nss-K⁺は、市街地よりもバックランド地が高い値を示しており、土壌起源が主であると思われる。

Ca²⁺は、土壌やコンクリートに多く含まれているため、道路粉じんが大きな発生源になっており、また、そのほとんどが粗大粒子中(11~2.1μm)に含まれているため、降水時には発生源の近傍においてウォッシュアウトされるといわれているが⁷⁾、やはり発生源が多い市街地の中通や船川で高い値を示した。

NH₄⁺は、仁別、中通の順で高い値を示した。仁別が高い値を示したのは、局地的な取り込みによるものと思われる。

ウォッシュアウトおよびレインアウトによる取り込みについて考えた場合、海岸からの距離が3 km標高650 mの本山は、付近に発生源がなく標高も高いために、ウォッシュアウトによる取り込みはほとんどなく、レインアウトによる取り込みが大部分と考えられ、降水中の平均成分濃度は他の測定地点に比較して低い値を示している。

前述のように、各地点における降水量には多少の差はあるものの、週毎の変動は似た傾向があり、中通、仁別、船川および本山の測

定地点では、同一の雨雲によりもたらされる降水が多いと考えた場合、市街地の中通および船川また中通からの拡散、移流が考えられる仁別と本山のイオン濃度の差の大部分は、レインアウトによる取り込みと考えられる。

非海塩粒子については、図6より本山と中通、仁別および船川に nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- の成分に顕著な差がみられ、これらの成分がレインアウトにより地域的に取り込まれているのではないかと考えられる。

また、距離減衰についてみた場合、海岸から0.3Kmにある船川、5Kmの中通および約20Kmの仁別の降水および非海塩粒子の平均成分濃度は、 NO_3^- および海洋起源と考えられる Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} の各成分について、船川、中通がほぼ同様な値を示し、仁別が低くなる距離減衰パターンを示していた。

3.2 降水中のイオン比とpHの関係について

pHは、陰イオン及び陽イオン双方の濃度により影響されている。加藤ら⁹⁾は、陰イオンの計に対する陽イオンの比をとり降水のpHの関係をみた結果、 Ca^{2+} はややばらつきがみられるものの陰イオンとの比はpHと正比例の関係があること、また、 Ca^{2+} 以外の成分はpHとの明らかな関係はみられなかったと述べている。

そこで、降水のpH値を変動させる要因をみるために、陰イオンが降水の H^+ を増加させる酸性能力を持つものの、陽イオンがそれを抑制させる中和能力を持つという考えに立ち、陰イオンの計($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$)に対する陽イオンの比をとり、pHとの関係を見ることにした。市街地である中通の平成5年度における一週間毎の降雨について、陰イオンの計に対する Ca^{2+} および NH_4^+ の比をとり、そ

の結果を図7、図8に示した。

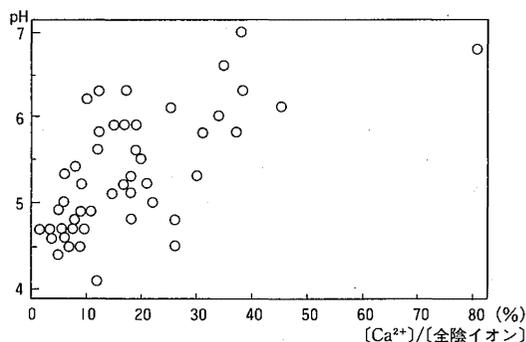


図7 $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{全陰イオン}]$ と pH の関係

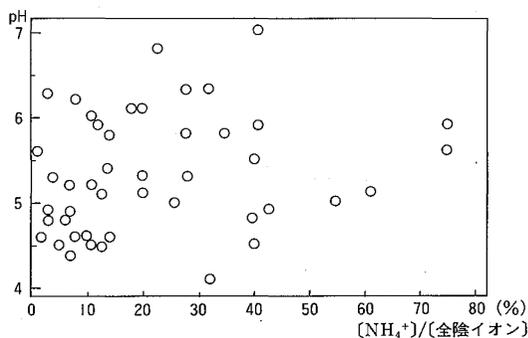


図8 $[\text{NH}_4^+]/[\text{全陰イオン}]$ と pH の関係

Ca イオンが少ない場合はばらつきがあったが、 $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{全陰イオン}]$ の%が高くなるにつれて、また30%以上のときはあきらかに正比例の関係にあることが推定された。

また、 Ca^{2+} とともに降水のpHを中和させるといわれている NH_4^+ については、大気中の NH_4^+ の存在形態がほとんど $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ または NH_4HSO_4 の塩の形で存在している⁹⁾と考えられ、また、図8より各地点ともにpHとの明らかな関係が認められないため、降水の

pHに与える影響は小さいものと考えられる。
 これらのことから、降水のpHを高める主な
 要因はCa²⁺が大きな関係をもたらしている

のではないかとされる。

3.3 エアロゾルについて

エアロゾルの粒度分布の測定は、汚染のバ

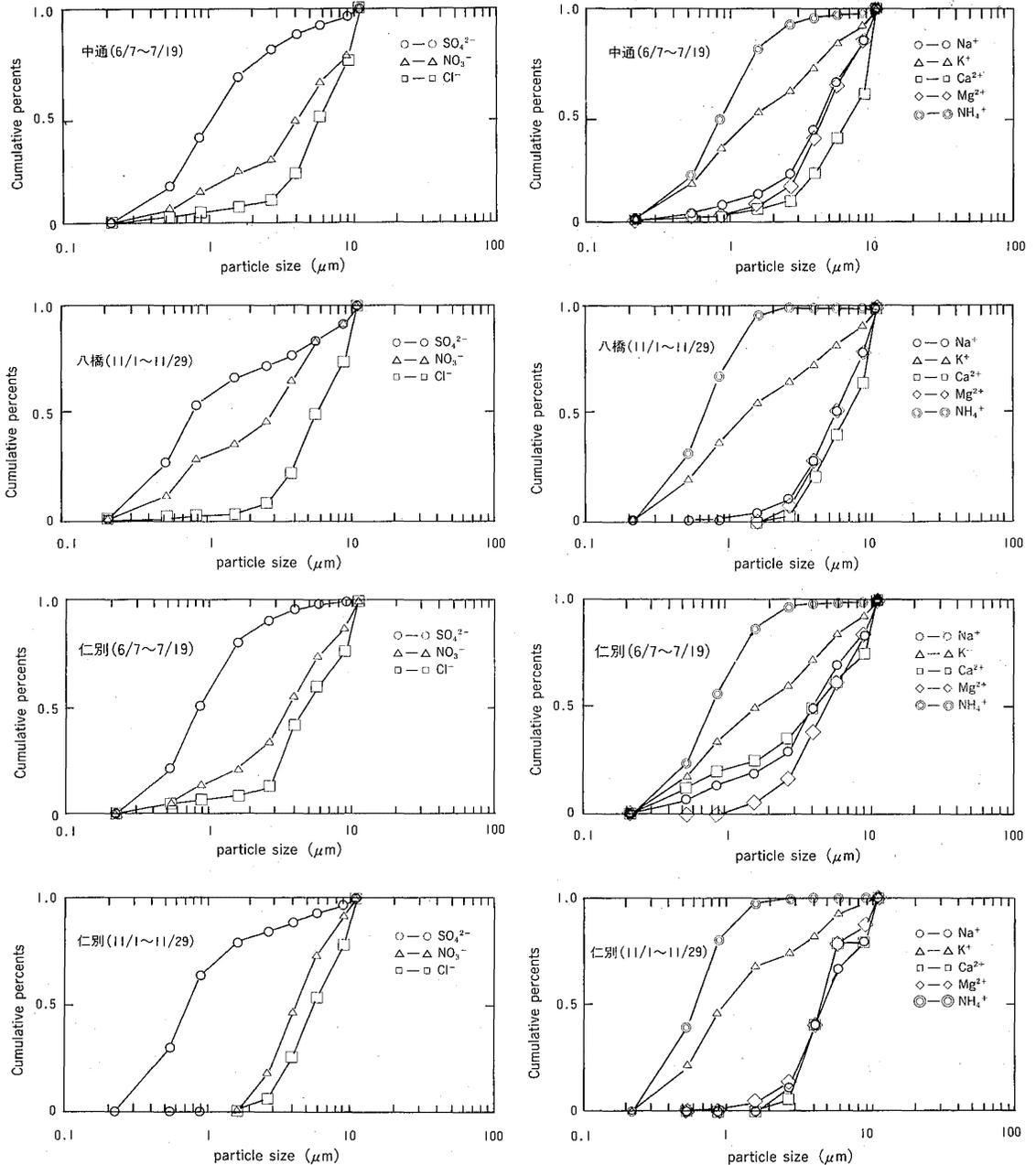


図9 各地点におけるエアロゾルの累積粒度分布曲線

ターンを把握しエアロゾルの発生源との関係あるいは挙動を知るうえで重要な手掛かりとなるといわれている。¹⁰⁾

そこで、各イオンの局地的な特徴を見るためにアンダーセンサンプラーを使用し、各地点のエアロゾルの粒度分布を検討してみた。

各地点のエアロゾルの累積粒度分布曲線および粒度分布曲線¹⁰⁾を、図9、図10に示した。

大気エアロゾル粒子の質量粒度分布は一般に粒径 $2\mu\text{m}$ 付近を境とし $0.5\sim 1\mu\text{m}$ と $4\sim 5\mu\text{m}$ に頂点を持った「2山型」を示すといわれており^{11,12)}、また、 $2\mu\text{m}$ 以上は機械的粉碎や自然発生源から生じた粒子、 $2\mu\text{m}$ 以下は燃焼過程や大気化学反応により生じる二次生成粒子といわれている。¹³⁾

よって粗大粒子を $2\mu\text{m}$ 以上、微小粒子を $2\mu\text{m}$ 未満とすることとした。

SO_4^{2-} は、ガス状大気汚染物質である硫酸酸化物が酸化され生成するとされており、粒度分布は微小粒子側に偏っているという報告があるが¹¹⁾、今回の調査でも各地点ともに $1.1\mu\text{m}$ 以下の範囲に集中しており同様な結果であった。

NO_3^- は、各地点ともに $2.1\sim 3.3\mu\text{m}$ にピークがやや見えるものの全体に存在していた。

これは、 NO_3^- はほとんどが化石燃料の燃焼で生じた NO_x が光化学反応を受けて生成されるため、光化学反応の進み具合により変化し、微小粒子側にはガス状大気汚染物質である二酸化窒素の酸化により生成された HNO_3 ガスと NH_3 ガスとの反応により生じた NH_4NO_3 の形態で、粗大粒子側には HNO_3 ガスと海塩由来の NaCl との反応により生じた NaNO_3 の形態で存在している¹¹⁾ ためでないかと思われる。

Na^+ および Cl^- は、両イオン共に粗大粒子

側に存在していた。

Cl^- の粗大粒子側における形態は、海塩粒子の NaCl であると思われるが、大気中で NO_2 から生成した HNO_3 と NaCl との反応により海塩粒子からの Cl^- の損失が生じ¹⁴⁾、粒子状物質中の Cl^-/Na^+ モル比が海水組成の比より小さくなるいわゆるクロリン・ロスにより、大気中の粒子状物質の Cl^-/Na^+ モル比は降水成分の Cl^-/Na^+ モル比と異なっていた。

NH_4^+ は、 SO_4^{2-} と同様に粒度分布は微小粒子側に偏っていた。

大部分の NH_4^+ は、人間の生活や生産活動あるいは土壤中の微生物の働き等により発生した NH_3 ガスが、大気中で H_2SO_4 ミストや HNO_3 ガスあるいは HCl ガスと反応して生成される¹¹⁾ ことによるとと思われる。

Ca^{2+} は $2.1\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子側に存在しており、土壌やコンクリートに多量に含まれているため市街地である中通および八橋ではおのおの仁別の4倍程度の量であった。

後背地である仁別は、低レベルで全体の範囲に存在していた。

K^+ は、微小粒子側に偏っており秋に高い傾向が見られた。

これは、 K^+ は稲わら等の植物体を燃焼させた灰に多く含まれている¹⁵⁾ ことから、秋期の稲わら焼きの際に発生した灰などによる微小粒子が、この季節に K^+ の濃度が高くなる原因のひとつではないかと考えられる。

Mg^{2+} は、海塩由来のイオンとされており、 Na^+ と同様に粗大粒子側に存在していた。

エアロゾルの粒度分布範囲は、粗大粒子側には、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および Cl^- 、微小粒子側には SO_4^{2-} 、 NH_4^+ および K^+ が、また NO_3^- は全体に存在していた。

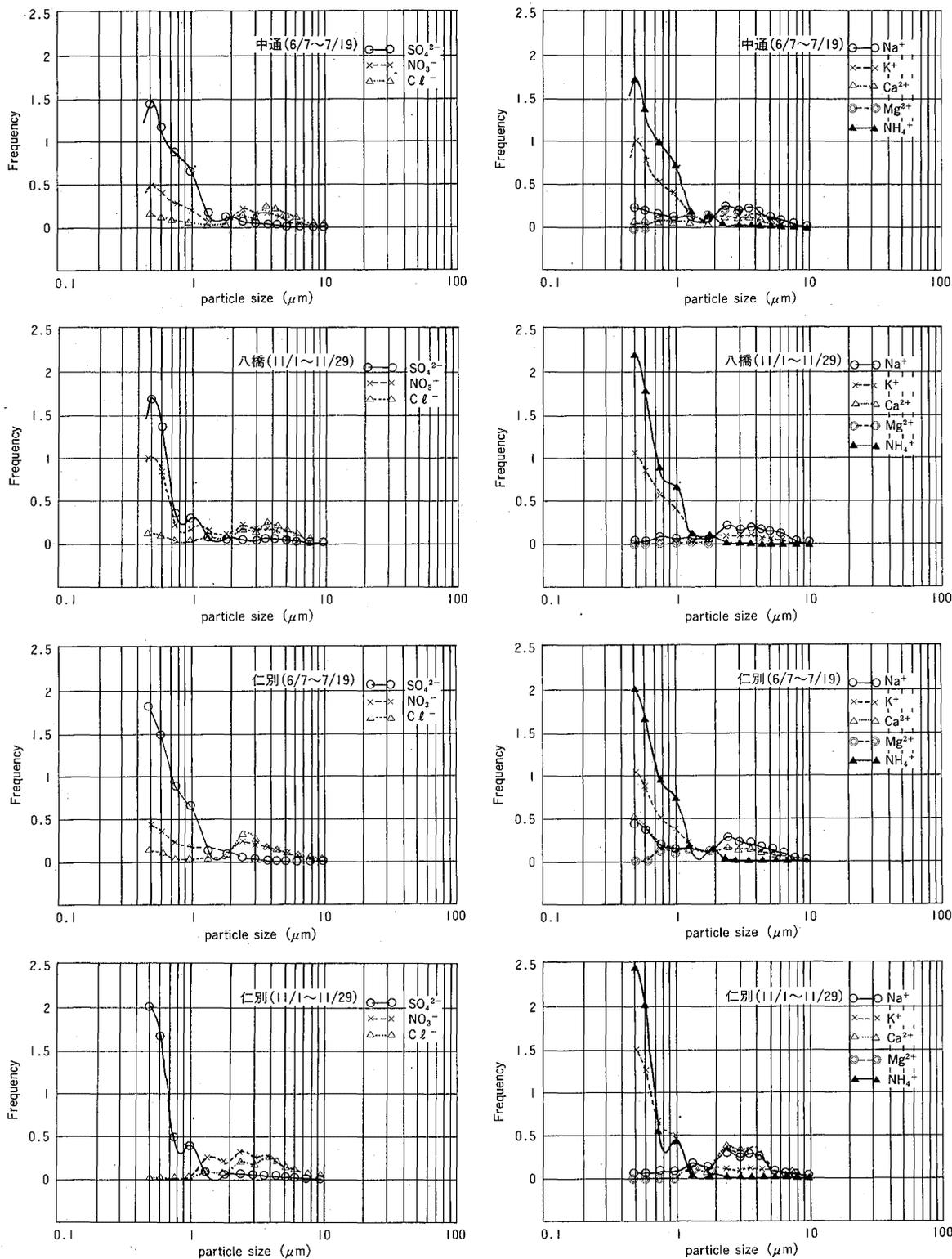


図10 各地点におけるエアロゾルの粒度分布曲線

地点別および季節別の相違は、仁別における秋期の NO_3^- が粗大粒子側にやや偏っていた以外は、各成分共に特に目立った相違は認められなかった。

3.4 エアロゾルの粗大粒子と降水のイオン平均濃度の関係について

大気中の粒子状物質の降水によるウオッシュアウトの影響を調査した結果、粒径 $5\mu\text{m}$ 付近の比較的大きな粒子は降水によって大部分が大気中から除去されるが、粒径 $0.5\mu\text{m}$ 付近の粒子は必ずしも降水によって除去されるとは限らないという報告がある¹⁶⁾、また、粒子状物質は、粒径の大きいものほど慣性衝突により雨滴に取り込まれやすいが、粒径が非常に小さくなると今度はブラウン運動により雨滴に取り込まれやすくなるので、一番捕捉されにくい粒子のは粒径は $0.1\mu\text{m}$ 付近と考えられているという報告もある。¹⁷⁾

よって、これらから雨滴に取り込まれにくい微小粒子に比べ、粗大粒子の成分は降水中心に取り込まれやすく、雨滴に取り込まれた粗大粒子の成分がpHに微妙に影響を与えているのではないかと考えることができる。

エアロゾルの粒度分布曲線および累積分布曲線より、粗大粒子側には Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および Cl^- の大部分が存在しているのが認められている。しかし、前述のように粗大粒子側の Cl^- は海塩粒子の NaCl であると思われる、pHに影響を与えないと思われる。

そこで、雨滴に陽イオンの粗大粒子が取り込まれやすいことを確認するために、エアロゾル調査を実施した時の降水のイオン平均濃度の成分組成比と、陽イオンで大気中ではガス状で存在しない Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} および K^+ のエアロゾル中の粗大粒子の成分組成比を検討してみた。

降水のイオン平均濃度の成分組成比を表5に、イオン当量濃度比を図11に示した。

梅雨期の降水の Ca^{2+} 平均濃度は、中通 $13.4\mu\text{eq}$ 、発生源のない仁別は $0.7\mu\text{eq}$ と大きな差が見られた。 NO_3^- は同濃度であったが、他成分の濃度は仁別では中通の70%程度の濃度であった。また、当量濃度比については、 Ca^{2+} および H^+ の当量濃度比に大きな差が見られたが、その他の成分はほぼ同様であった。

前述のとおり、粗大粒子を $2\mu\text{m}$ 以上、微小粒子を $2\mu\text{m}$ 未満として、粗大、微小粒子状物質それぞれのイオン平均濃度を表6に、イオン当量濃度比を図12に示した。

中通、仁別ともに Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} および Cl^- の大部分が粗大粒子に、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ および K^+ の大部分は微小粒子に含まれており、そのうち SO_4^{2-} 、 NH_4^+ で90%弱を占めていた。

粗大粒子および降水中の陽イオン組成比を表7および図13に示した。

粗大粒子中と降水中心との陽イオン組成比は、仁別梅雨期が少しずれているものの、中通では Ca^{2+} が粗大粒子41.0%、降水が44.8%、また、仁別秋期では Na^+ が粗大粒子62.8%、降水が62.1%と非常によく一致しており、これらのことから、 Ca^{2+} 、 Na^+ および Mg^{2+} らの粗大粒子成分が、降雨によりウオッシュアウトされて降水中心に取り込まれ、pHに影響を与えているのではないかとと思われる。

表5 降水中のイオンの平均濃度

単位: $\mu\text{eq}/\ell$

		H ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
中通 (n=6)		15.6	13.4	11.6	39.8	3.4	1.5	58.5	23.1	12.7
仁 別	梅雨期 (n=6)	23.6	0.7	7.2	26.4	2.6	1.1	34.3	22.9	9.1
	秋 期 (n=4)	14.0	17.5	196.4	28.2	44.7	5.5	68.9	16.0	134.1
	全 体 (n=10)	19.8	7.4	82.9	27.1	19.4	2.9	48.1	20.1	59.1

表6 粒子状物質中のイオンの平均濃度

単位: $\mu\text{eq}/\text{m}^3$

			Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
中通 (n=6)	粗大		3.2	3.2	1.1	1.0	0.4	2.8	2.2	1.8
	微小		0.4	1.4	16.2	0.2	0.8	14.9	1.1	0.3
仁 別	梅雨期 (n=6)	粗大	0.7	2.5	0.4	0.5	0.3	1.3	1.1	1.0
		微小	0.5	1.3	13.9	0.1	0.6	13.5	0.7	0.2
	秋 期 (n=4)	粗大	0.8	7.8	0.1	1.4	0.2	1.9	1.6	8.3
		微小	0.1	1.6	9.9	0.2	0.8	12.7	0.4	0.7
	全 体 (n=10)	粗大	0.7	4.6	0.3	0.8	0.3	1.5	1.3	3.9
		微小	0.3	1.4	12.3	0.1	0.7	13.2	0.6	0.4

表7 粗大粒子及び降水の陽イオン組成比

単位: %

			Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	合 計
中通 (n=6)	粗大		41.0	41.1	12.8	5.1	100
	降水		44.8	38.8	11.4	5.0	100
仁 別	梅雨期 (n=6)	粗大	17.1	62.8	11.6	8.5	100
		降水	6.0	62.1	22.4	9.5	100
	秋 期 (n=4)	粗大	7.6	76.7	13.5	2.2	100
		降水	6.6	74.4	16.9	2.1	100
	全 体 (n=10)	粗大	11.1	71.6	12.8	4.5	100
		降水	6.6	73.6	17.2	2.6	100

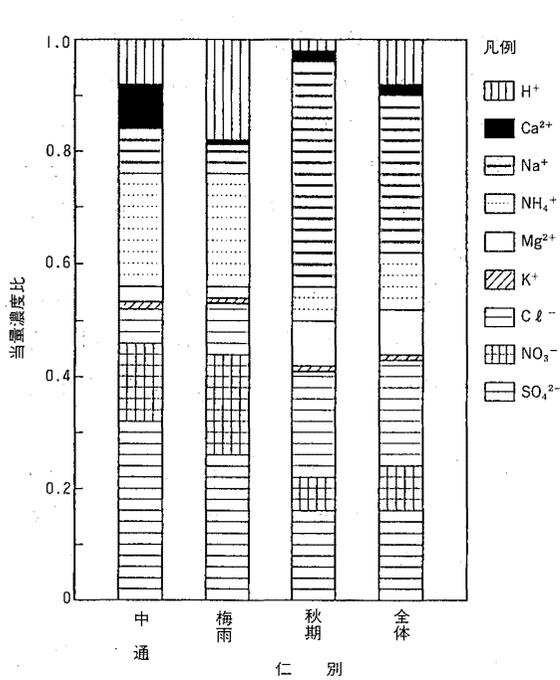


図11 降水中のイオン当量濃度比

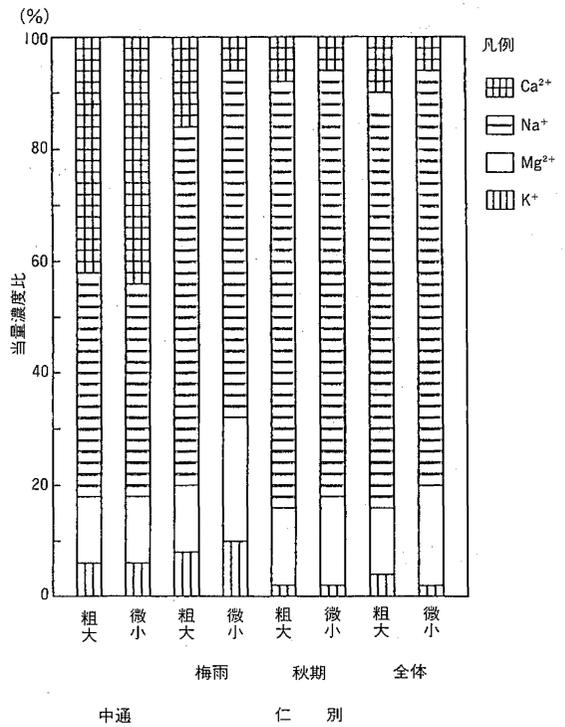


図13 粒大粒子および降水の陽イオン組成比

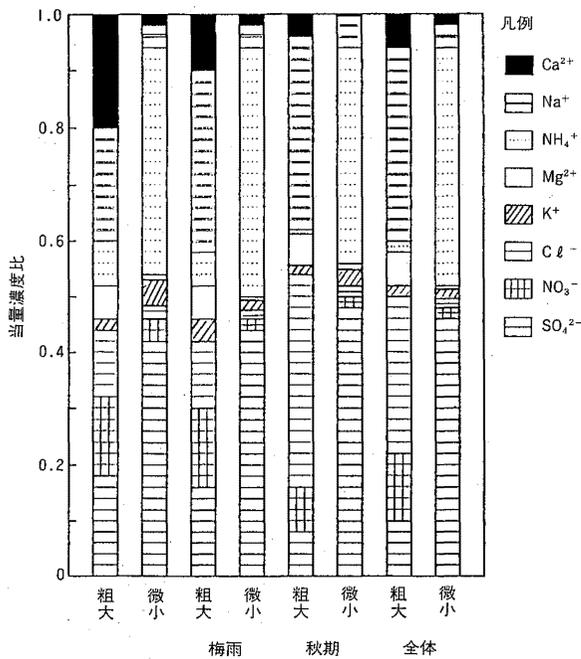


図12 粒子状物質のイオン当量濃度比

4 まとめ

酸性雨の状況を評価するには、pHだけでなく酸性雨に溶け込んでいるイオンや非降水時の大気中のエアロゾルについても併せて検討し解析を行う必要がある。

そこで、降水によるエアロゾルの取り込み過程を解明するため、降水と粒子状物質の同時調査を実施した。ここでは、粗大粒子中と降水中の陽イオン組成比について検討してみた。

1) pHの年平均では、大陸からの季節風を直接受けるバックランド地である標高650mの本山と都市部の中通が5.0と高く、船川と仁別が4.8であり、本山と中通はやや高い傾向がみられた。

2) 降水および非海塩粒子中の平均成分濃

濃度は、共にバックグラウンド地である標高650mの本山と他の測定地点とは、大きな差が認められた。

ほとんど全てレインアウトにより取り込まれていると思われる本山と異なり、他の地点でウォッシュアウトによる影響が大きくみられ、また、海洋起源が主である成分の距離減衰や汚染源から排出される成分の拡散、移流が認められた。

- 3) 降水中の全陰イオンと陽イオンの比をとりpHとの関係を調べた結果、降水のpHを高める主な要因は Ca^{2+} であることがわかった。
- 4) エアロゾルの粒度分布範囲は、粗大粒子側には Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および Cl^- 、微小粒子側には SO_4^{2-} 、 NH_4^+ および K^+ が、また、 NO_3^- は全体に存在していた。
- 5) 粗大粒子と降水成分中の陽イオン成分組成比は非常によく一致しており、粗大粒子成分が降水によってウォッシュアウトされ、pHに影響を与えているのではないと思われる。

参 考 文 献

- 1) 村野健太郎：酸性雨と酸性霧 裳華房
- 2) 加藤善徳、矢本てるみ：日本各地の降水のpHと酸性能力 横浜市環境科学研究所年報 第17号 1993
- 3) 古明地哲人、朝来野国彦：乾性降下物採集法およびその化学成分特性の検討 大気汚染学会誌 第29巻 第2号 1994
- 4) 児玉仁、井島辰也、成田理、久米均：市街地と後背地における酸性雨及びその降水成分に関する調査研究 秋田県環境技術センター 第19号 (1991)
- 5) 児玉仁、井島辰也、久米均：酸性雨に関する調査研究—Washoutに関する考察— 秋田県環境技術センター 第20号 (1992)
- 6) 古明地哲人：乾性、湿性降下物中化学成分と降水量の地点特性 東京都環境科学研究所年報 1991
- 7) 島田ひろ子、張山嘉道、緒方行治：川崎における酸性雨(第1報)—臨海部の実態と地域特性— 川崎公害研究所年報 第19号 1993
- 8) 加藤善徳、草野一、鶴田治雄：降水及び粒子状物質の同時調査 酸性雨に関する調査研究報告書 横浜市環境科学研究所年報 1993. 3
- 9) 牧野宏、才木義夫、野島秀子：雨水成分と大気汚染との関係 全国公害研会誌 Vol. 1 No. 2
- 10) 藤村満、橋本芳一：アンダーセン・サンプラーによるエアロゾルの粒度分布の解析 BUNSEKI KAGAKU VOL. 24 (1974)
- 11) 大野達雄：大津市地域におけるエアロゾルとそのイオン成分の粒度分布と季節変動 滋賀県立衛生環境センター年報 1991
- 12) 笠原三樹夫：大気中における粒子の挙動—生成・変質・除去— 大気汚染学会誌 第29号 第6号 1994
- 13) 松本光弘：田園都市地域におけるエアロゾルの無機イオン成分 大気汚染学会誌 第21号 第6号 1986
- 14) 鈴木伸、編：大気環境の科学、I、大気の光化学 東京大学出版会 1979
- 15) 斎藤勝美、武藤一、滝澤行雄、小玉幹夫：稲わら焼却灰の化学組成について 第30回大気汚染学会講演要旨集 1989

- 16) 小林英生、橋本芳一：エアロゾルの粒度
分布に対する降水の影響 第17回大気汚染
研究全国協議会大会講演要旨集 1976
- 17) 玉置元則：大気の汚染と雨水の酸性化—
我が国の酸性雨の現状と課題 PPM—
1984/3