

第6章 酸性雨実態調査

1 目 的

湿性沈着物及び乾性沈着物について、pH 及び各種成分等の分析を行い、県内の酸性雨（酸性沈着物）の実態を把握するとともに、これらの対策に必要な基礎資料を得る。

2 湿性沈着物調査

(1) 調査方法

ア 調査地点

図6-1に示す次の4地点で調査を実施しました。

- ① 尾張県民事務所海部県民センター [津島市西柳原町一丁目 14] : 以下、「津島」とする。
- ② 尾張県民事務所知多県民センター [半田市出口町一丁目 36] : 以下、「半田」とする。
- ③ 西三河県民事務所 [岡崎市明大寺本町一丁目 4] : 以下、「岡崎」とする。
- ④ 環境調査センター東三河支所 [豊橋市富本町字国隠 20-8] : 以下、「豊橋」とする。

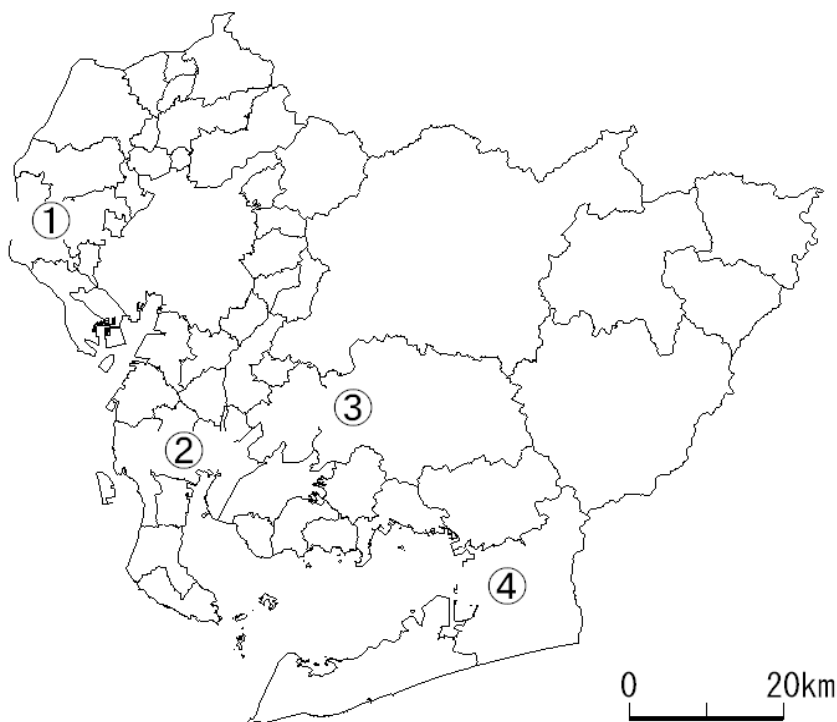


図6-1 調査地点 (平成23年3月31日現在)

イ 調査項目及び分析方法

調査項目及び分析方法は表 6-1 のとおりです。

表 6-1 調査項目及び分析方法

調査項目	分析方法	調査項目	分析方法
pH	ガラス電極法	アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺)	イオンクロマトグラフ法
電気伝導率 (EC)	電気伝導率計法	ナトリウムイオン (Na ⁺)	
硫酸イオン (SO ₄ ²⁻)	イオンクロマトグラフ法	カリウムイオン (K ⁺)	
硝酸イオン (NO ₃ ⁻)		カルシウムイオン (Ca ²⁺)	
塩化物イオン (Cl ⁻)		マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	

※ 分析方法は、湿性沈着モニタリング手引き書 (第 2 版) (平成 13 年 3 月 環境省) に準拠した。

ウ 調査期間

平成 22 年 3 月 29 日から平成 23 年 3 月 28 日まで

エ 試料採取方法

試料の採取に当たっては、図 6-2 に示す降雨時開放型捕集装置を用い、約 1 週間毎に降雨の全量を採取しました。

降雨時開放型捕集装置は、感雨センサーにより、降雨時は湿性沈着物採取用の受水部が開き、非降雨時は受水部が閉じる自動開閉方式となっているため、非降雨時における乾性沈着の影響を受けないものです。

また、平成 16 年度調査より、平成 15 年度以前の調査で採用していた各降雨の全量を採取する方法から、原則、1 週間 (7 日) 毎に降雨の全量を採取する方法へ変更しました。

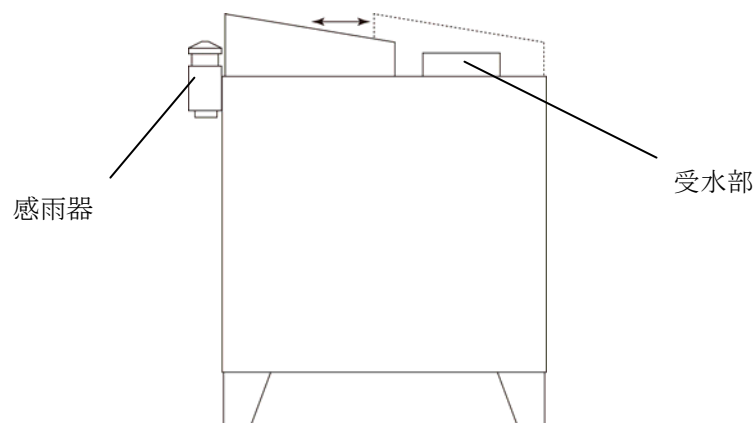


図 6-2 降雨時開放型捕集装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

平成 22 年度に採取した総検体数は 165 検体で、その内訳は、津島：42 検体、半田：42 検体、岡崎：38 検体及び豊橋：43 検体でした。

イ 年間降水量及び pH、EC、成分別濃度の年平均値

年間降水量及び降水の pH、EC、各イオン濃度（モル濃度で表す。以下同じ。）の年平均値は表 6-2 のとおりです。

pH の平均値は H⁺濃度の降水量の重みつき平均値の pH 換算値を、EC と各イオン濃度の平均値は降水量の重みつき平均値を算出しています（全県平均も同様に算出。）。

表 6-2 年間降水量及び pH、EC、成分別濃度の年平均値

項目	単位	津島	半田	岡崎	豊橋	全県平均	21年度 全県平均
降水量	mm/年	1905.9	1950	1432.2	1589.1		
pH	-	4.75	4.44	4.96	5.24	4.73	4.81
EC	mS/m	1.46	2.23	1.01	0.87	1.45	1.80
SO ₄ ²⁻	μmol/L	15.4	16.4	8.6	8.2	12.6	15.1
nss-SO ₄ ²⁻		14.8	15.5	8.0	7.0	11.8	12.8
NO ₃ ⁻		19.4	35.7	17.1	9.7	21.3	19.8
Cl ⁻		16.9	20.4	14.1	24.1	19.0	47.6
NH ₄ ⁺		23.6	18.9	16.4	11.8	18.0	18.4
Na ⁺		10.8	14.8	9.7	20.1	13.9	39.1
K ⁺		0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	1.2
Ca ²⁺		4.7	5.2	4.4	5.7	5.0	6.7
nss-Ca ²⁺		4.4	4.9	4.2	5.3	4.7	5.8
Mg ²⁺		2.1	2.5	1.9	2.8	2.3	5.1

注 1) 降水量は試料体積を捕集面積で割り算出した。

注 2) 非海塩性硫酸イオン濃度 [nss-SO₄²⁻]及び非海塩性カルシウムイオン濃度[nss-Ca²⁺]は、以下の方法で算出した。

$$[nss-SO_4^{2-}] = [SO_4^{2-}] - (28.23 \div 468.3) \times [Na^+] = [SO_4^{2-}] - 0.06028 \times [Na^+]$$

$$[nss-Ca^{2+}] = [Ca^{2+}] - (10.12 \div 468.3) \times [Na^+] = [Ca^{2+}] - 0.02161 \times [Na^+]$$

（海水中の濃度を Na⁺ :468.3mmol/L, SO₄²⁻ :28.23mmol/L, Ca²⁺ :10.12mmol/L とする。気象庁編：海洋観測指針，第 1 部，財団法人気象業務支援センター，pp31(1999)）

注 3) 電気伝導率（EC）は、電気抵抗率の逆数で単位は「mS(ミリ・メンズ)/m(メートル)」で表す。

(7) pH

pH の地点別年平均値の範囲は 4.44（半田）～5.24（豊橋）でした。

これらの値は、環境省が公表した「平成 21 年度酸性雨調査結果」の地点別平均値の範囲（4.50～5.18）及び全国平均値（4.82）とほぼ同程度でした。

pH の年平均値の経年変化は図 6 - 3 のとおりです。

また、pH を 0.5 きざみに区切った分布状況は図 6 - 4 のとおりです。

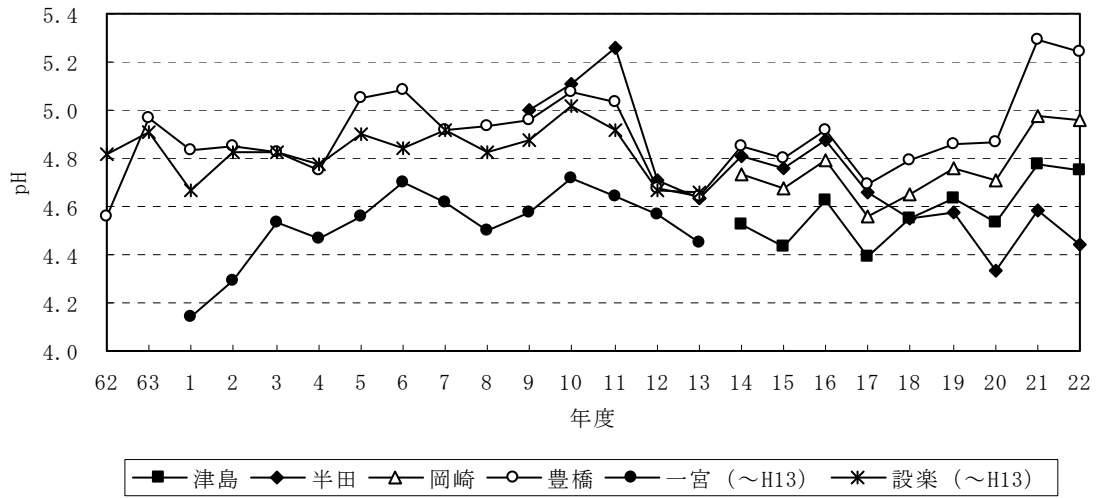


図 6 - 3 pH の年平均値の経年変化

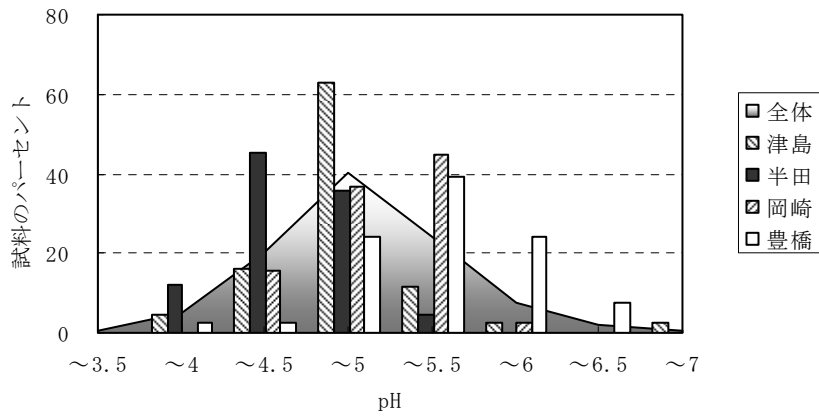


図 6 - 4 pH の分布状況

(イ) 電気伝導率 (EC)

地点別年平均値の範囲は、0.87(豊橋)～2.23(半田)mS/mでした。

(ウ) 陰イオン

陰イオンの地点別年平均値の範囲は、次のとおりです。

SO_4^{2-}	:	8.2 (豊橋) ～16.4 (半田)	$\mu\text{mol/L}$
nss- SO_4^{2-}	:	7.0 (豊橋) ～15.5 (半田)	$\mu\text{mol/L}$
NO_3^-	:	9.7 (豊橋) ～35.7 (半田)	$\mu\text{mol/L}$
Cl^-	:	14.1 (岡崎) ～24.1 (豊橋)	$\mu\text{mol/L}$

SO_4^{2-} は半田で高く、岡崎及び豊橋で低めの値でした。 NO_3^- は半田で高く、豊橋で低めの値でした。

Cl^- は海水の主要成分であり、海に近い豊橋、半田で高めの値でした。

(エ) 陽イオン

陽イオンの地点別年平均値の範囲は、次のとおりです。

NH_4^+	:	11.8 (豊橋) ～23.6 (津島)	$\mu\text{mol/L}$
Na^+	:	9.7 (岡崎) ～20.1 (豊橋)	$\mu\text{mol/L}$
K^+	:	0.5 (岡崎) ～ 0.7 (半田)	$\mu\text{mol/L}$
Ca^{2+}	:	4.4 (岡崎) ～ 5.7 (豊橋)	$\mu\text{mol/L}$
nss- Ca^{2+}	:	4.2 (岡崎) ～ 5.3 (豊橋)	$\mu\text{mol/L}$
Mg^{2+}	:	1.9 (岡崎) ～ 2.8 (豊橋)	$\mu\text{mol/L}$

Na^+ は海水の主要成分であり、海に近い豊橋、半田で高い値でした。

(オ) イオン成分組成

イオン成分の地点別平均濃度についての当量組成は、図6-5のとおりです。

各地点ともほぼ、陰イオンと陽イオンのバランスがとれていました。

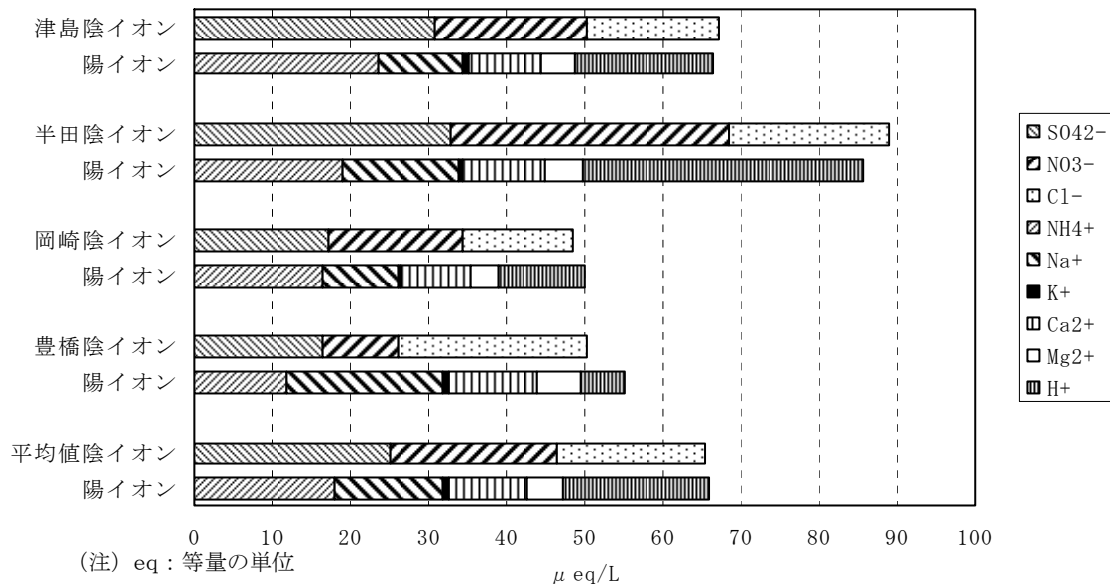


図6-5 イオン成分組成

(カ) イオン成分の年間沈着量

平成22年度の降水量及びイオン成分濃度から、各イオン成分が湿性沈着物として1年間に1m²当たり沈着した量を求めたものを、表6-3及び図6-6に示します。また、図6-7に年間降水量と全イオンの湿性沈着量の関係を示します。

各イオンの湿性沈着量をみると、SO₄²⁻は半田で最も多く、次いで津島、豊橋、岡崎の順でした。NO₃⁻は半田で最も多く、次いで津島、岡崎、豊橋の順でした。陽イオンについては、NH₄⁺は津島、Na⁺は豊橋、その他は半田が最も多い結果でした。台風の影響が強かった前年度と比べ、22年度は各イオンの沈着量が少ない結果でした。

年間降水量は半田が最も多く、次いで津島、豊橋、岡崎の順でした。

各地点の年間湿性沈着量は、年間降水量、各成分濃度の年平均値がともに高い半田が最も多い結果になりました。

表 6 - 3 イオン成分の年間沈着量 (湿性沈着物)

(単位: mmol/m²・年)

項目	津島	半田	岡崎	豊橋	全県平均	21年度 全県平均
SO ₄ ²⁻	29.4	32.0	12.3	13.0	21.7	29.1
nss-SO ₄ ²⁻	28.2	30.2	11.5	11.1	20.3	24.6
NO ₃ ⁻	37.0	69.6	24.5	15.4	36.6	38.0
Cl ⁻	32.2	39.8	20.2	38.3	32.6	91.7
NH ₄ ⁺	45.0	36.9	23.5	18.8	31.0	35.4
Na ⁺	20.6	28.9	13.9	31.9	23.8	75.3
K ⁺	1.1	1.4	0.7	1.0	1.0	2.3
Ca ²⁺	9.0	10.1	6.3	9.1	8.6	12.8
nss-Ca ²⁺	8.4	9.6	6.0	8.4	8.1	11.2
Mg ²⁺	4.0	4.9	2.7	4.4	4.0	9.8
H ⁺	33.5	70.2	15.8	9.1	32.1	29.6

注) 沈着量の算出は、イオン濃度が有効な試料から年間の降水量重みつき濃度平均値を算出し、それに年間の降水量を乗じて算出した (欠測期間中も平均値濃度の降水があるという仮定をして算出している。)

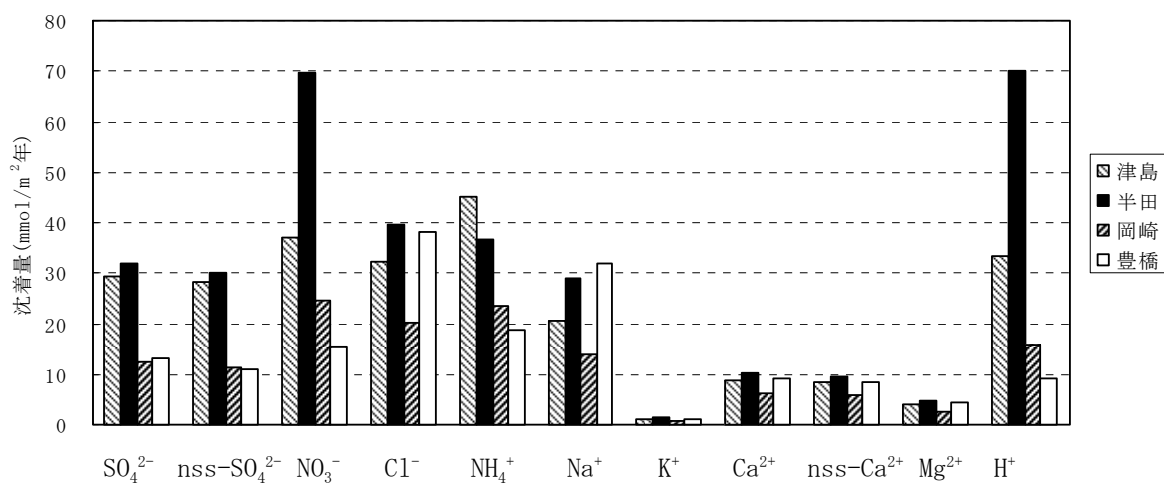


図 6 - 6 イオン成分の年間沈着量 (湿性沈着物)

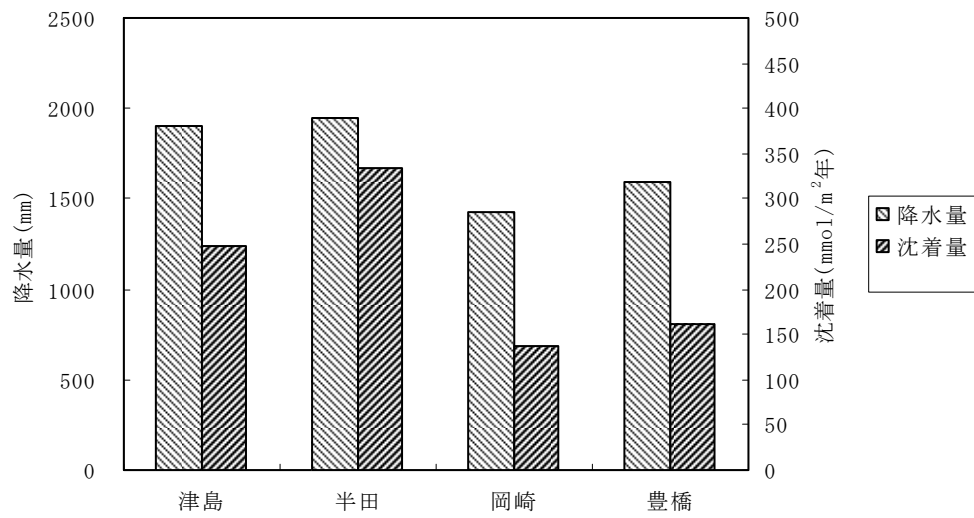


図6-7 年間降水量と年間湿性沈着量の関係

3 乾性沈着物調査結果

(1) 調査方法

ア 調査地点

環境調査センター東三河支所（豊橋）の屋上

イ 調査項目及び分析方法

調査項目及び分析方法は表 6-4 のとおりです。

表 6-4 調査項目及び分析方法

区分	調査項目	分析方法
ガス成分	SO ₂ (SO ₄ ²⁻) ※、HNO ₃ (NO ₃ ⁻) ※、 HCl (Cl ⁻) ※、NH ₃ (NH ₄ ⁺) ※	湿性沈着物調査と同じ
エアロゾル成分	SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、Cl ⁻ 、NH ₄ ⁺ 、Na ⁺ 、 K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	

※ ガス成分については、処理を行い（ ）内の成分として分析した。

ウ 調査期間

平成 22 年 3 月 29 日から平成 23 年 3 月 28 日まで

エ 試料採取方法

環境省や全国環境研協議会酸性雨調査研究部会で採用しているフィルターパック法（4 段ろ紙法）による調査を行いました。詳細については全国環境研協議会・第 4 次酸性雨共同調査実施要領に従いました。

フィルターパックの構成は以下のとおりとし、毎分 1～2L の吸引速度で連続採取を行い、吸引期間は 1 週間単位としました。

- ・ F0 段：PTFE ろ紙（孔径 0.8 μm）：エアロゾル成分を捕集採取
- ・ F1 段：ポリアミドロ紙：HNO₃、HCl、SO₂ 及び NH₃ ガスの一部を捕集
- ・ F2 段：6%K₂CO₃+2%グリセリン含浸セルロースろ紙：F1 段で捕集できなかった SO₂ 及び HCl ガスなどを捕集
- ・ F3 段：5%H₃PO₄+2%グリセリン含浸セルロースろ紙：NH₃ ガスを捕集

採取装置の概略図を図 6-8 に示します。

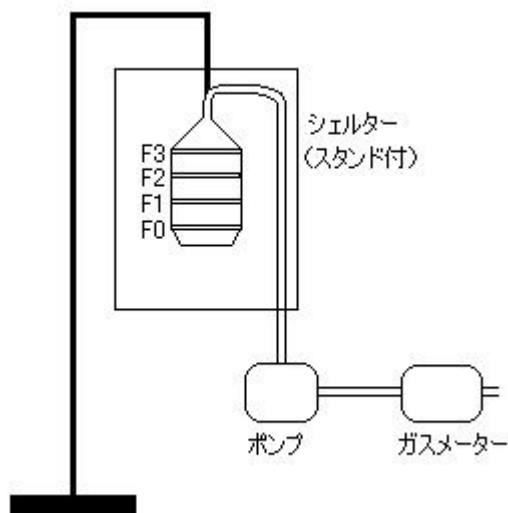


図 6—8 乾性沈着物採取装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

平成 22 年度に採取した総検体数は 51 検体でした。

イ 分析結果

乾性沈着のガス成分及びエアロゾル成分の分析結果（モル濃度で表す。以下同じ。）を月ごとに平均し、その最大値、最小値及び年平均値を求めました。その結果は表 6—5 のとおりです。

表 6—5 乾性沈着のガス成分及びエアロゾル成分

[ガス成分] (nmol/m³)

	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃
年平均値	43.5	22.6	28.3	191.1
最大値	69.6	46.1	62.1	299.4
最小値	30.9	7.9	14.6	77.4

[エアロゾル成分] (nmol/m³)

	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
年平均値	49.0	52.5	24.9	94.9	44.6	4.5	11.3	6.1
最大値	68.3	78.0	44.4	142.0	69.6	8.7	17.7	8.7
最小値	30.1	39.7	11.4	70.1	21.6	3.0	6.9	3.2

注) 年平均値は各月の測定日数を加重して求めた。

(ア) ガス成分濃度

大気中のガス成分の月別濃度を図6-9に示します。大気中濃度は、春から夏に高く冬季に低くなる傾向がありました。ガス4成分のうちアンモニア (NH₃) 濃度が最も高く、全体の7割弱を占めました。

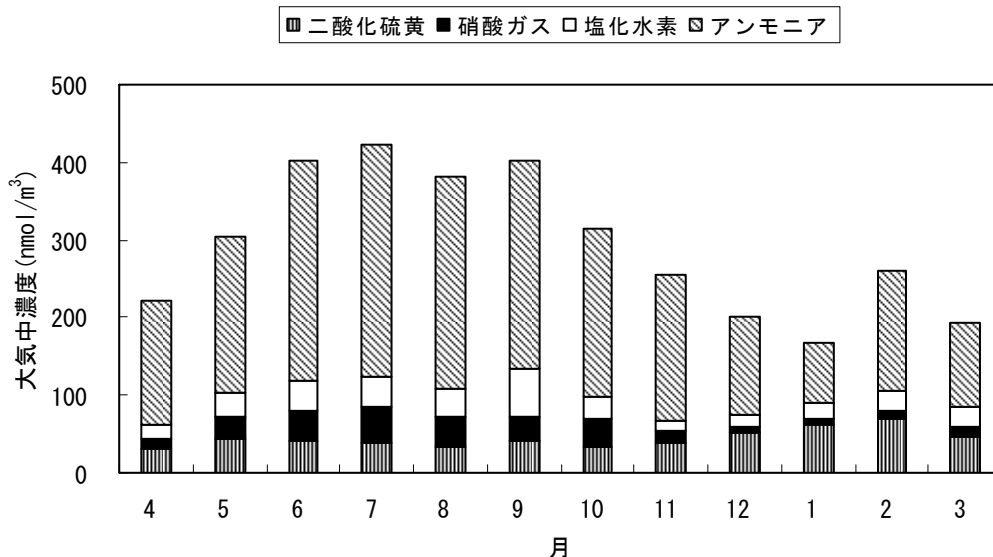


図6-9 ガス成分の経月変化

(イ) エアロゾル成分濃度

大気中のエアロゾル成分の月別濃度を図6-10に示します。エアロゾル成分8成分のうちアンモニウムイオン (NH₄⁺) 濃度が年間を通して高く、全体の3割強を占めました。

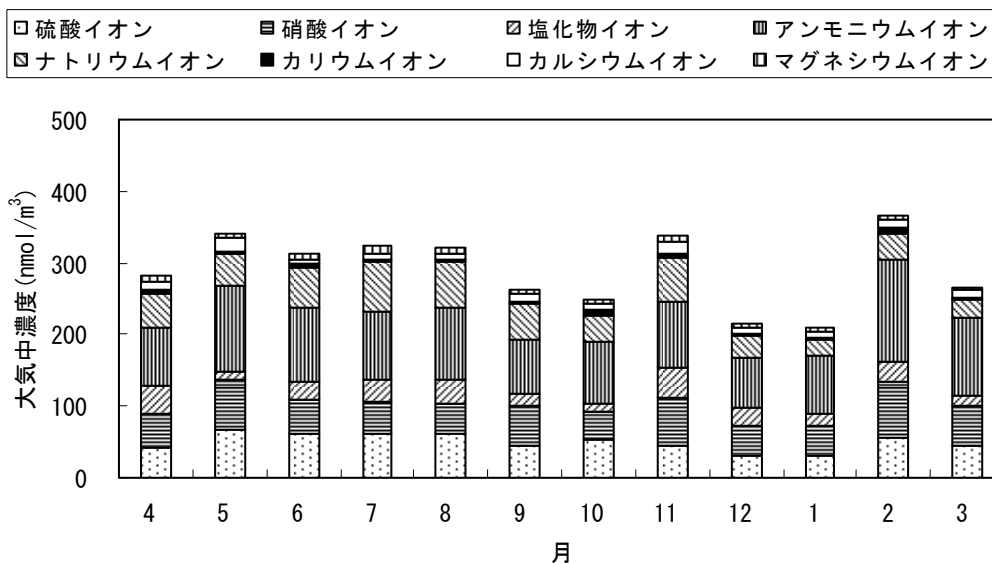


図6-10 エアロゾル成分の経月変化

(ウ) ガス成分、エアロゾル成分、ガス成分+エアロゾル成分の経月変化

図6-11にガス成分、エアロゾル成分大気中濃度の経月変化を示しています。11月、2月にエアロゾル成分が高く、ガス成分は夏季に高くなる傾向がみられました。また、12、1月には両成分ともに低くなる傾向は例年どおりでした。ガス成分とエアロゾル成分を足した両成分の和は夏場が最も高くなりました。

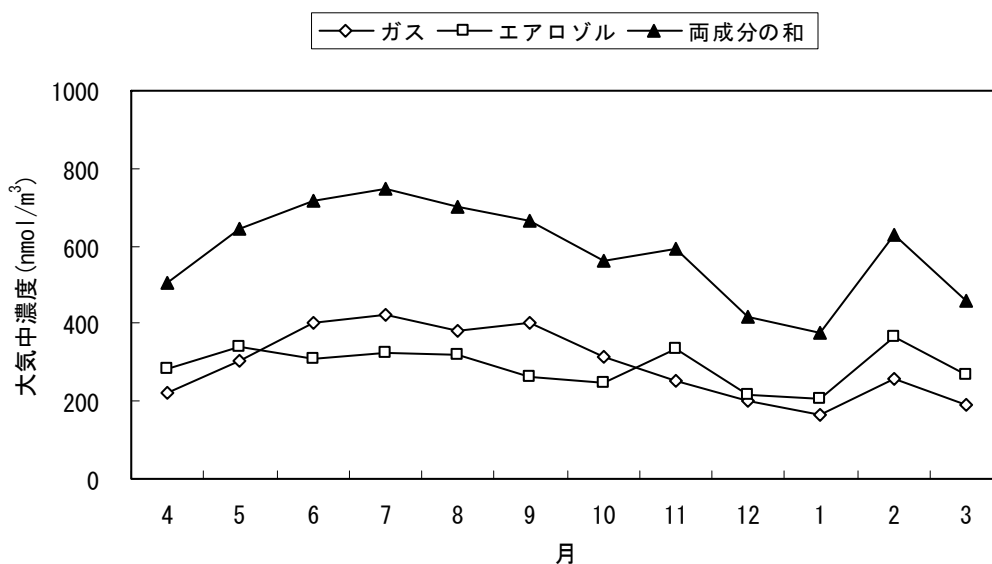


図6-11 ガス成分、エアロゾル成分大気中濃度の経月変化

(エ) ガス成分別、エアロゾル成分別大気中濃度の経月変化

各成分の大気中濃度の経月変化を図6-12に示しています。

ガス成分では、硝酸ガス、塩化水素、アンモニアが春季から夏季に高くなり、エアロゾル成分では、硫酸イオンが春季から夏季に高くなる傾向がみられました。

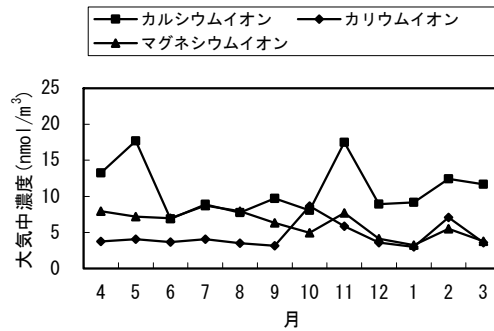
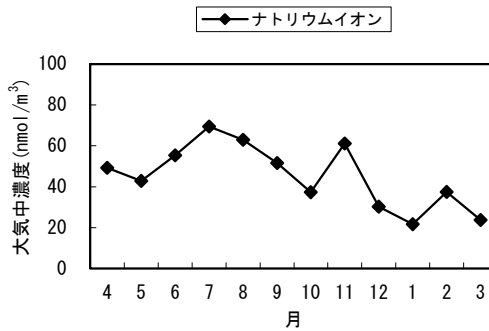
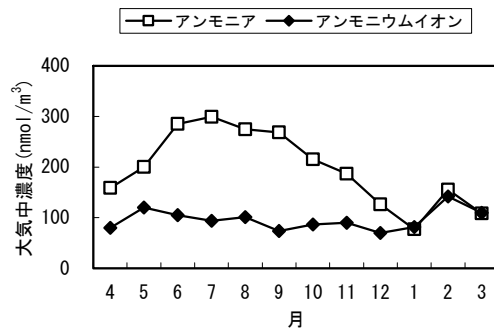
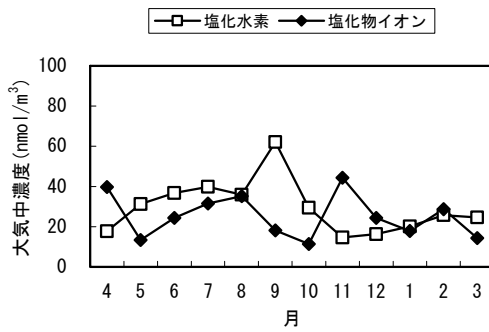
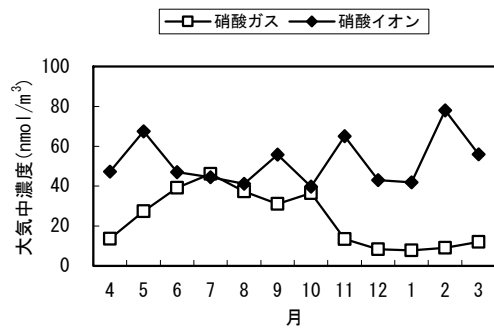
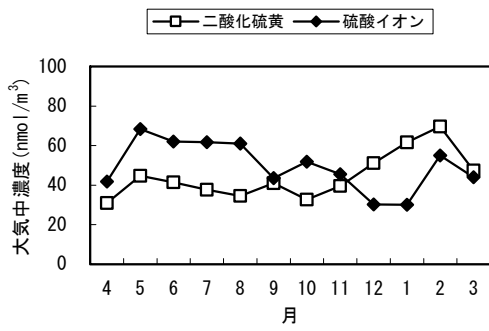


図6-12 乾性沈着物成分の大気中濃度の経月変化