

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 海部県民事務所 [津島市西柳原町一丁目14] : 以下、「津島」とする。
- ② 知多県民事務所 [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

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⁺)	

(注) 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

2020 年 3 月 30 日から 2021 年 3 月 29 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、2004 年度調査より、2003 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。

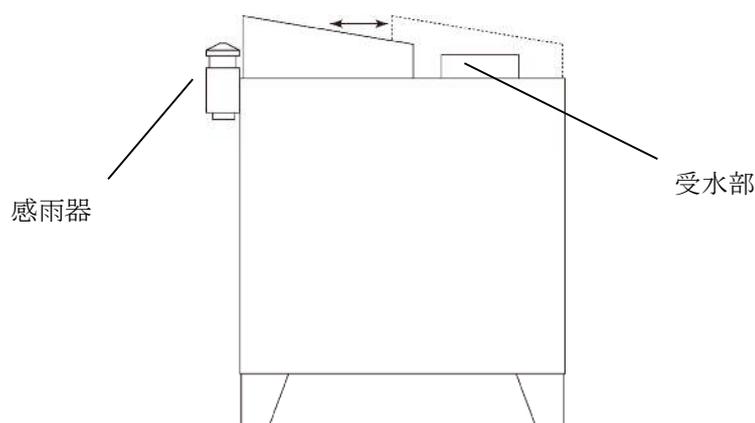


図 6 - 2 降雨時開放型捕集装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

2020年度に採取した総検体数は161検体で、その内訳は、津島：41検体、半田：36検体、岡崎：42検体及び豊橋：42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	2019年度 全県平均
降水量	mm/年	1966.5	1546.7	1817.9	2124.8		
pH	-	5.32	5.67	5.45	5.38	5.42	5.19
EC	mS/m	0.90	0.96	0.68	0.95	0.87	1.06
SO ₄ ²⁻	μmol/L	8.4	9.6	6.2	6.4	7.6	10.2
nss-SO ₄ ²⁻		7.7	8.5	5.6	4.8	6.5	9.0
NO ₃ ⁻		11.4	11.8	9.9	9.8	10.7	13.3
Cl ⁻		17.9	24.8	15.6	32.6	22.9	26.7
NH ₄ ⁺		14.1	29.4	11.2	9.9	15.4	16.8
Na ⁺		12.8	17.9	10.7	25.8	17.0	20.6
K ⁺		1.0	1.0	1.4	1.2	1.2	1.1
Ca ²⁺		4.1	4.0	3.1	2.5	3.4	3.8
nss-Ca ²⁺		3.9	3.6	2.9	2.0	3.0	3.4
Mg ²⁺		2.7	3.4	2.7	4.4	3.3	3.6

(注1) 降水量は試料体積を捕集面積で割り算出した。

(注2) 電気伝導率（EC）は、電気抵抗率の逆数で単位は「mS(ミリジーメンズ)/m(メートル)」で表す。

(注3) 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。

$$[\text{nss-SO}_4^{2-}] = [\text{SO}_4^{2-}] - (28.23 \div 468.3) \times [\text{Na}^+] = [\text{SO}_4^{2-}] - 0.06028 \times [\text{Na}^+]$$

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

（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，p31(1999)）

(7) pH

pH の地点別年平均値の範囲は 5.32(津島)～5.67(半田)でした。

これらの値は、環境省が公表した「令和元年度酸性雨調査結果」の地点別平均値の範囲(4.65～5.23)及び全国平均値(4.93)より高い値でした。

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。

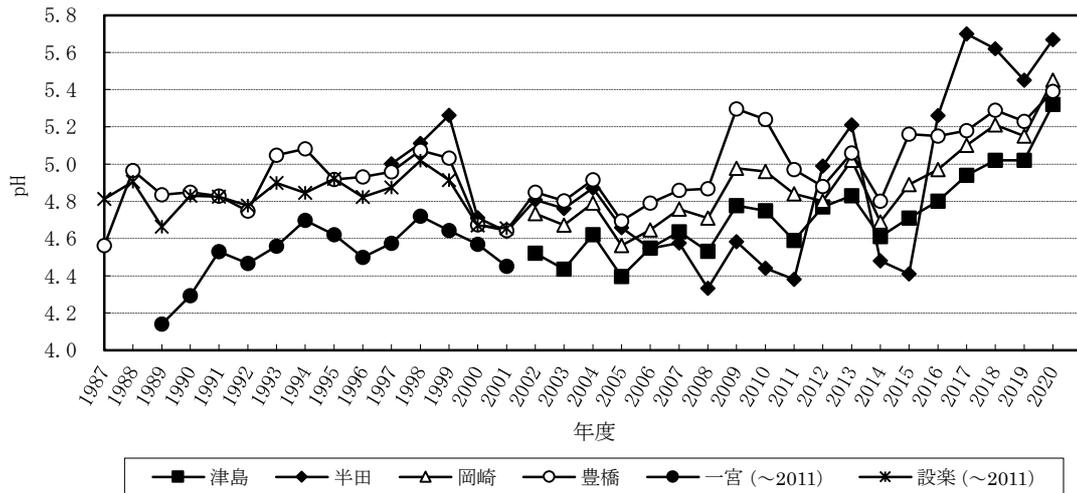


図 6-3 pH の年平均値の経年変化

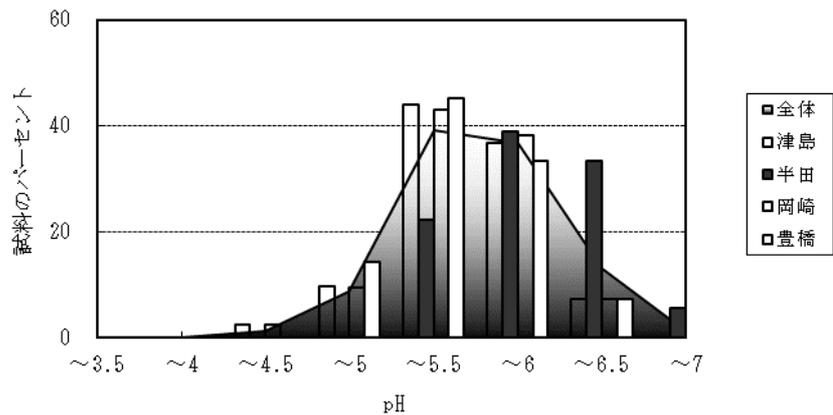


図 6-4 pH の分布状況

(イ) 電気伝導率 (EC)

地点別年平均値の範囲は、0.68 (岡崎)～0.96 (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-} : 6.2 (岡崎) ～ 9.6 (半田) $\mu\text{mol/L}$

nss- SO_4^{2-} : 4.8 (豊橋) ～ 8.5 (半田) $\mu\text{mol/L}$

NO_3^- : 9.8 (豊橋) ～ 11.8 (半田) $\mu\text{mol/L}$

Cl^- : 15.6 (岡崎) ～ 32.6 (豊橋) $\mu\text{mol/L}$

Cl^- は海水の主要成分であり、海に近い半田及び豊橋で高めの値でした。

他の陰イオンは半田で高く、岡崎及び豊橋で低めの値でした。

(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^+ : 9.9 (豊橋) ～ 29.4 (半田) $\mu\text{mol/L}$

Na^+ : 10.7 (岡崎) ～ 25.8 (豊橋) $\mu\text{mol/L}$

K^+ : 1.0 (津島、半田) ～ 1.4 (岡崎) $\mu\text{mol/L}$

Ca^{2+} : 2.5 (豊橋) ～ 4.1 (津島) $\mu\text{mol/L}$

nss- Ca^{2+} : 2.0 (豊橋) ～ 3.9 (津島) $\mu\text{mol/L}$

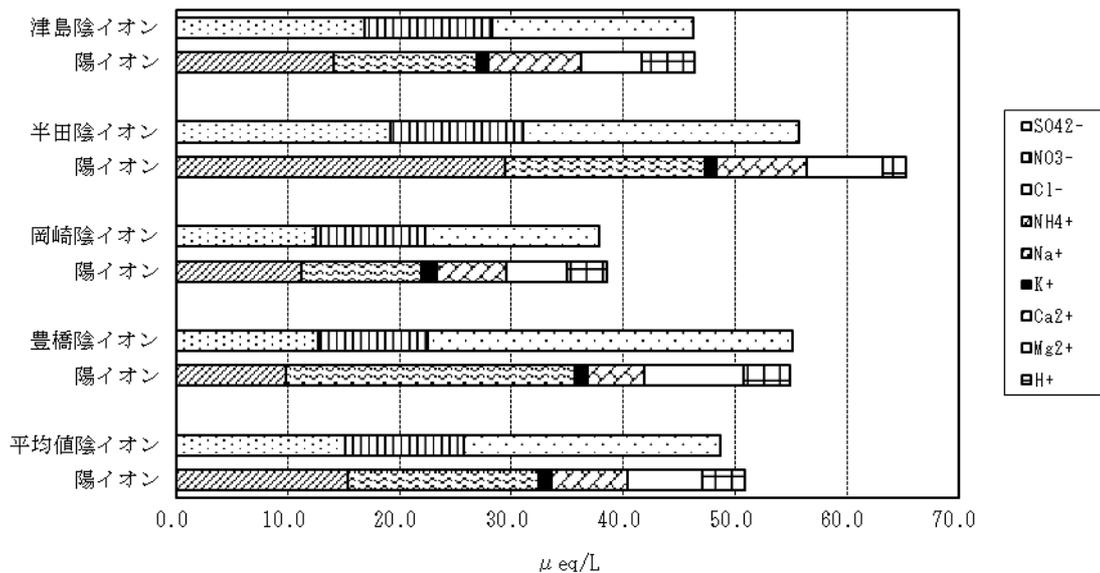
Mg^{2+} : 2.7 (津島、岡崎) ～ 4.4 (豊橋) $\mu\text{mol/L}$

Na^+ は海水の主要成分であり、海に近い半田及び豊橋で高めの値でした。

(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。

半田は陽イオンが陰イオンに比べてやや多かったですが、その他の地点については、陰イオンと陽イオンのバランスが取れていました。



(注) eq: 等量の単位

図 6-5 イオン成分組成

(カ) イオン成分の年間沈着量

2020 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 1 m² 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。

各地点の年間湿性沈着量は、豊橋が最も多く、岡崎が最も少なくなりました。そのうち陰イオンの湿性沈着量をみると、SO₄²⁻ は津島で最も多く、次いで半田、豊橋、岡崎の順でした。また、NO₃⁻ は津島で最も多く、次いで豊橋、半田、岡崎の順でした。陽イオンについてみると、NH₄⁺ は半田が、K⁺ は岡崎及び豊橋が、Ca²⁺ は津島が、Na⁺ と Mg²⁺ は豊橋が最も多くなりました。

年間降水量は豊橋が最も多く、次いで津島、岡崎、半田の順でした。

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	2019年度 全県平均
SO ₄ ²⁻	16.5	14.8	11.3	13.6	14.1	18.9
nss-SO ₄ ²⁻	15.1	13.1	10.2	10.2	12.2	16.6
NO ₃ ⁻	22.4	18.3	18.0	20.8	19.9	24.4
Cl ⁻	35.2	38.4	28.4	69.3	42.8	49.3
NH ₄ ⁺	27.7	45.5	20.4	21.0	28.7	31.0
Na ⁺	25.2	27.7	19.5	54.8	31.8	37.9
K ⁺	2.0	1.5	2.5	2.5	2.2	1.9
Ca ²⁺	8.1	6.2	5.6	5.3	6.3	7.1
nss-Ca ²⁺	7.7	5.6	5.3	4.2	5.7	6.3
Mg ²⁺	5.3	5.3	4.9	9.3	6.2	6.6
H ⁺	9.4	3.2	6.5	8.9	7.0	12.0

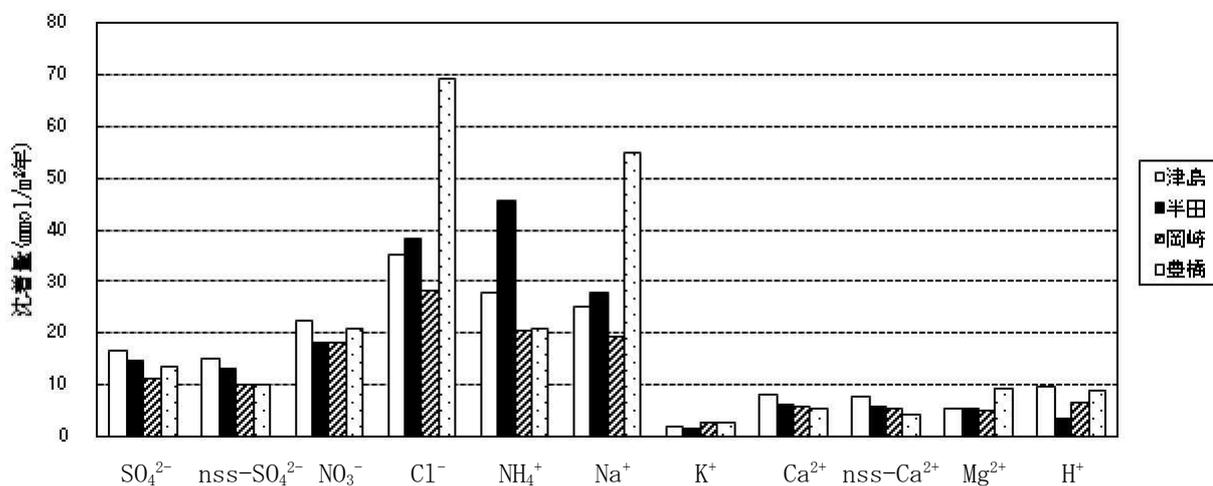


図 6-6 イオン成分の年間沈着量（湿性沈着物）

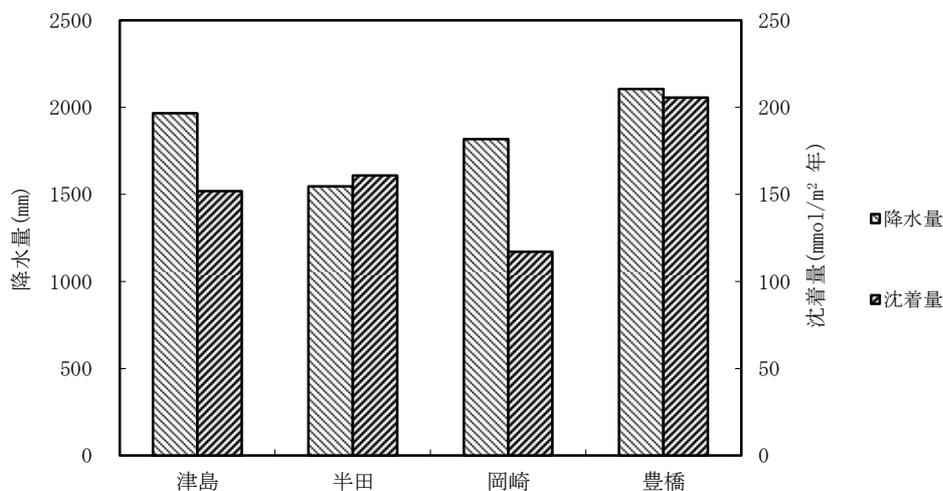


図 6-7 年間降水量と年間湿性沈着量の関係

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 [豊橋市富本町字国隠 20-8]

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⁻) 注、HNO ₃ (NO ₃ ⁻) 注、 HCl (Cl ⁻) 注、NH ₃ (NH ₄ ⁺) 注	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⁺	

(注) 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

2020年3月30日から2021年3月29日まで

エ 試料採取方法

環境省や全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会で採用しているフィルターパック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・酸性雨広域大気汚染調査研究部会酸性雨全国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2Lの吸引速度で連続採取を行い、1週間単位での採取を行いました。

- ・ I0段：石英繊維のドーナツ型ろ紙：エアロゾル成分（粗大粒子）を採取
- ・ F0段：PTFEろ紙（口径0.8μm）：エアロゾル成分（PM_{2.5}）を採取
- ・ F1段：ポリアミドろ紙：HNO₃、HCl、SO₂及びNH₃ガスの一部を採取
- ・ F2段：6%K₂CO₃+2%グリセリン含浸セルロースろ紙：F1段で採取されなかったSO₂及びHClガスなどを採取
- ・ F3段：5%リン酸+2%グリセリン含浸セルロースろ紙：F1段で採取されなかったNH₃ガスを採取

採取装置の概略図を図6-8に示します。

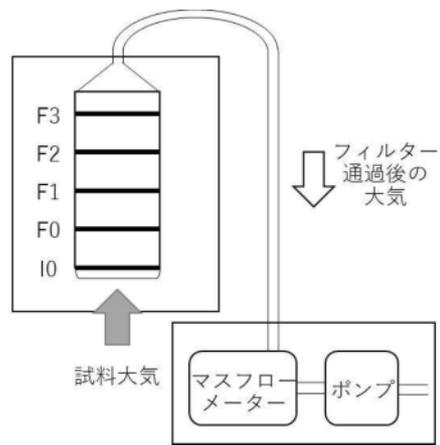


図6—8 乾性沈着物採取装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

2020年度に採取した総検体数は51検体でした。

計画では52検体でしたが、試料採取装置の不具合のため1検体少なくなりました。

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	15.1	12.3	14.9	129
最大値	19.5	26.3	24.5	216
最小値	8.10	4.01	5.11	77.7

(注) 年平均値は各月の測定日数を加重して求めた。

[エアロゾル成分] (粗大粒子+PM_{2.5}) (nmol/m³)

		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
年平均値	Total	24.9	28.0	25.7	45.9	37.1	3.86	7.10	7.08
	粗大粒子	4.68	21.3	24.6	5.38	32.1	1.75	5.80	5.35
	PM _{2.5}	20.3	7.08	1.63	40.4	5.32	1.88	1.41	1.84
最大値	Total	53.7	35.1	45.4	87.7	61.0	8.14	10.8	11.5
	粗大粒子	6.29	28.8	42.6	10.6	53.0	5.92	8.01	8.83
	PM _{2.5}	48.8	17.8	3.38	85.4	8.26	2.86	2.84	2.65
最小値	Total	10.6	13.4	12.6	17.8	16.4	2.61	3.76	4.22
	粗大粒子	2.30	10.9	11.9	2.30	13.4	0.412	2.97	2.80
	PM _{2.5}	8.28	2.15	0.446	15.4	2.61	0.920	0.672	1.19

(注) 年平均値は各月の測定日数を加重して求めた。また、粗大粒子及びPM_{2.5}はインパクタ設置後の測定値をもとに算出している。

(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。ガス成分全体としては、例年と同様、春から夏にかけて高く、秋から冬に低くなる傾向がみられました。また、ガス4成分のうちアンモニア（NH₃）濃度が最も高く、一年を通じてガス全体の7割ほどを占めました。

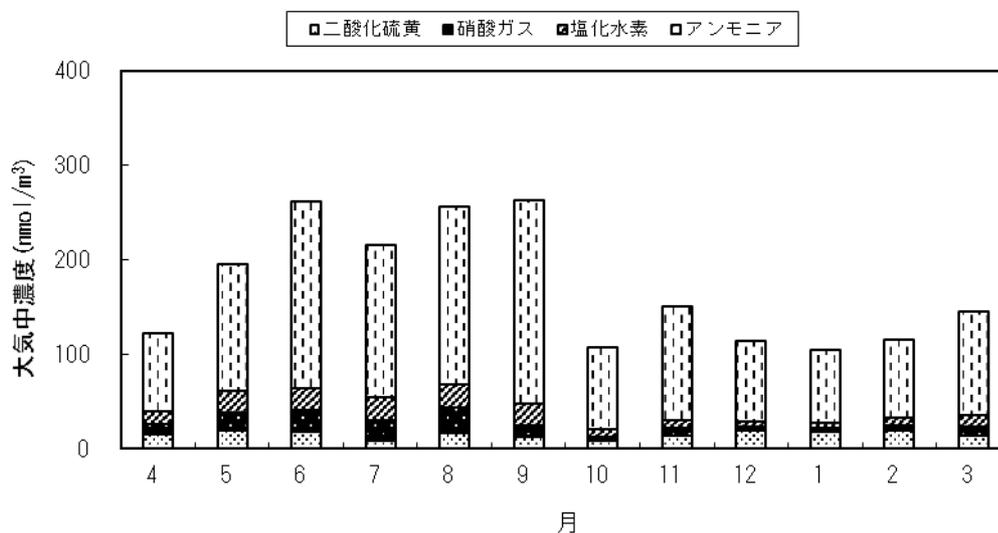


図6-9 ガス成分の経月変化

(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。エアロゾル成分全体としては、例年と同様、春から夏にかけて高く、秋から冬に低い傾向がみられました。また、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比較的高い月が多くなりました。また、例年は塩化物イオン（Cl⁻）及びナトリウムイオン（Na⁺）が夏季に高くなる傾向がみられましたが、2020年にはその傾向はみられませんでした。

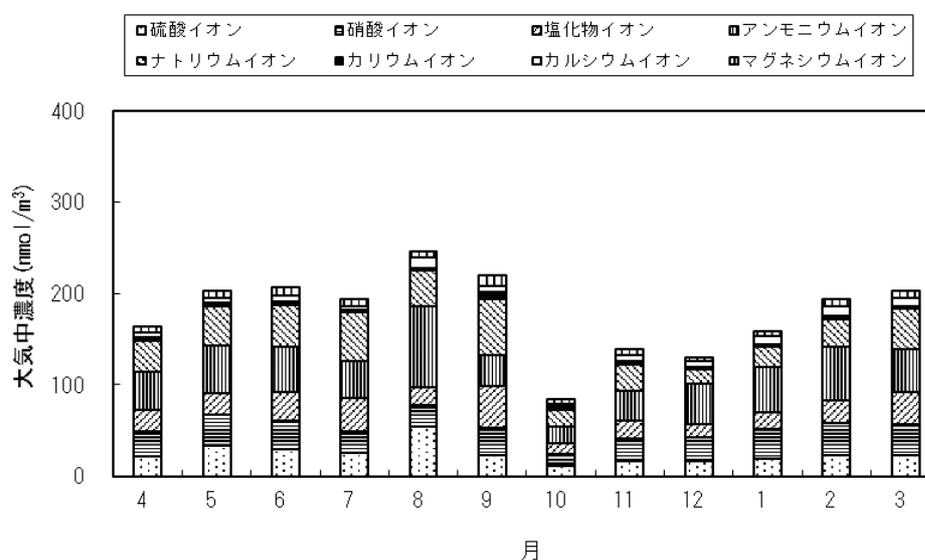


図6-10 エアロゾル成分の経月変化

また、エアロゾル成分のうち、粗大粒子及び PM_{2.5}成分の月別濃度を図6-11及び図6-12に示します。年間を通しての濃度変化は、各成分とも図6-10に示したエアロゾル成分全体と近い傾向を示しました。各成分の構成イオンを見ると、粗大粒子は硝酸イオン (NO₃⁻)、塩化物イオン (Cl⁻) 及びナトリウムイオン (Na⁺) が主要な成分であり、3種類のイオンで全体の6~9割程度を占めました。また、PM_{2.5}はアンモニウムイオン (NH₄⁺) が年間を通して4~6割程度を占め、冬季には硝酸イオン (NO₃⁻) の割合が高くなる傾向を示しました。

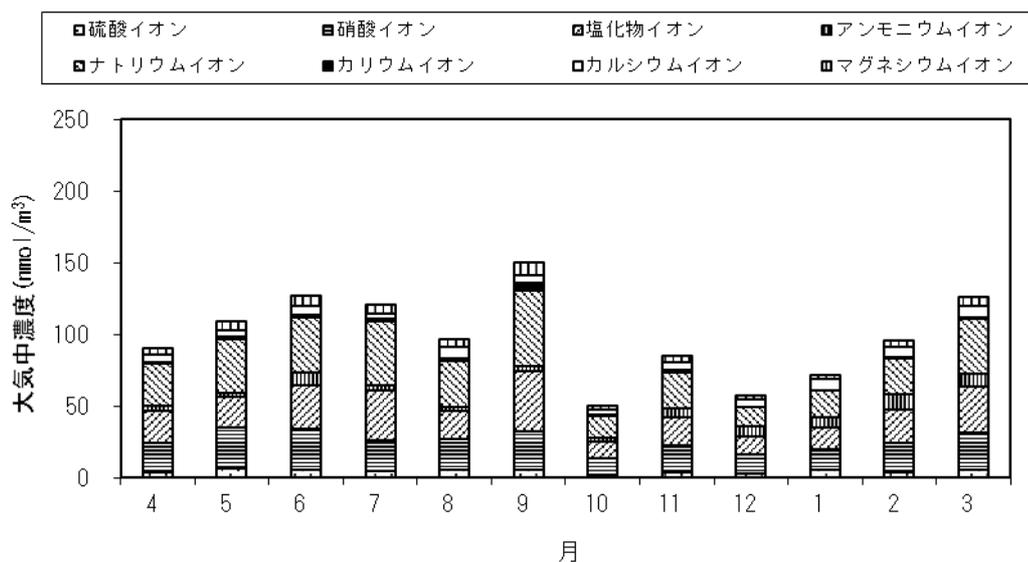


図6-11 エアロゾル成分 (粗大粒子) の経月変化

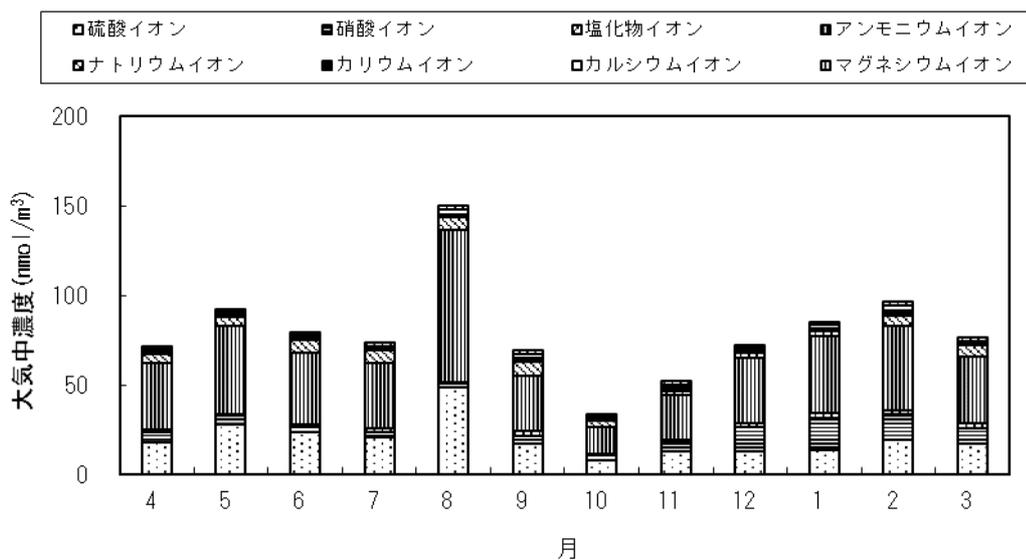


図6-12 エアロゾル成分 (PM_{2.5}) の経月変化

(ウ) ガス成分、エアロゾル成分、ガス及びエアロゾル成分の総計の経月変化

大気中のガス成分、エアロゾル成分、ガス及びエアロゾル成分の総計の経月変化を図6-13に示します。各成分及び総計ともに春から夏に高く、秋から冬に低くなる傾向は例年どおりでした。

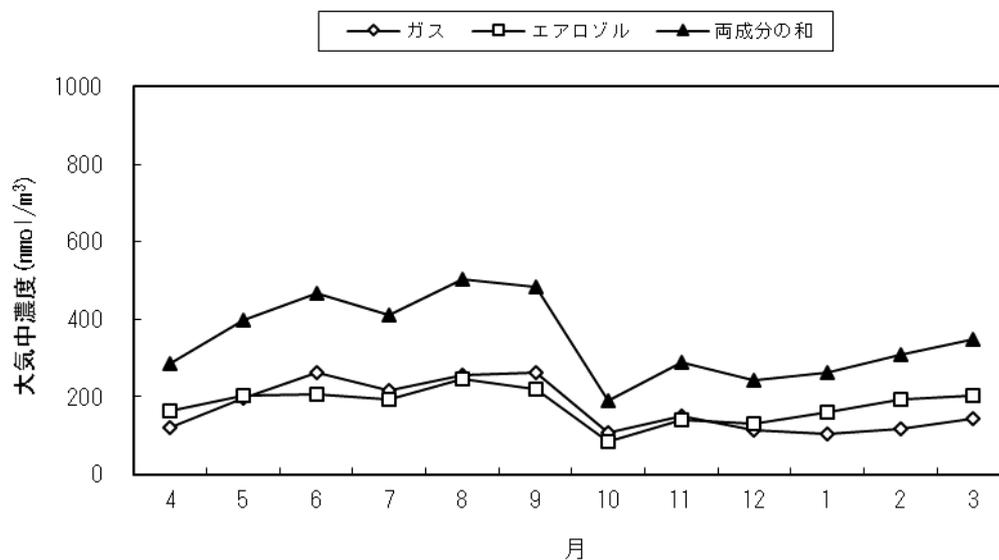


図6-13 ガス成分、エアロゾル成分、ガス及びエアロゾル成分の総計の経月変化

(エ) 大気中各成分別の経月変化

大気中各成分の経月変化を図6-14に示します。ほとんどの成分で春から夏にかけて高く、秋から冬にかけて低くなる傾向が見られました。また、8月から9月にかけて最も高くなる成分が多くなりました。

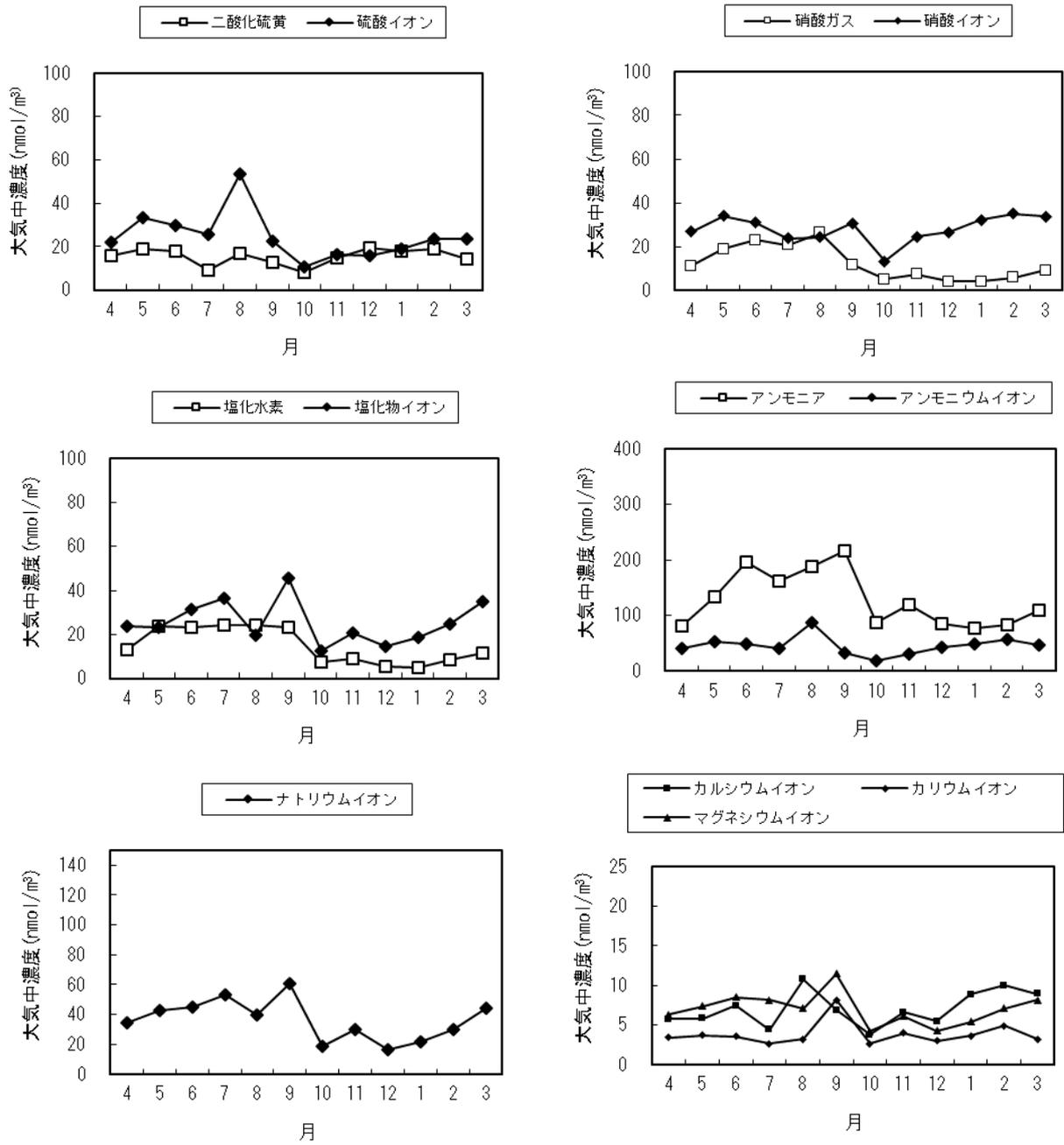


図6-14 乾性沈着各成分の大気中濃度の経月変化