

第6章 酸性雨等実態調査

1 目 的

湿性沈着物、乾性沈着物及び酸性霧について、pH、各種汚染物質の濃度等を調査し、酸性沈着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。

海部事務所 (以下、「津島」とする。)

知多事務所 (以下、「半田」とする。)

西三河事務所 (以下、「岡崎」とする。)

環境調査センター東三河支所 (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 のとおりとしました。

表 6 - 1 調査項目及び分析方法

調査項目	略号	分析方法	調査項目	略号	分析方法
pH	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^+	同上
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^+	同上
硝酸イオン	NO_3^-	同上	カルシウムイオン	Ca^{2+}	同上
塩化物イオン	Cl^-	同上	マグネシウムイオン	Mg^{2+}	同上

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 17 年 3 月 28 日から平成 18 年 3 月 27 日まで

エ 試料採取方法

試料の採取に当たっては、図 6 - 2 に示す酸性沈着物自動採取装置（小笠原計器製 US - 400 型）を用い、各降雨の全量を採取しました。

酸性沈着物自動採取装置は、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ます。

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毎に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。

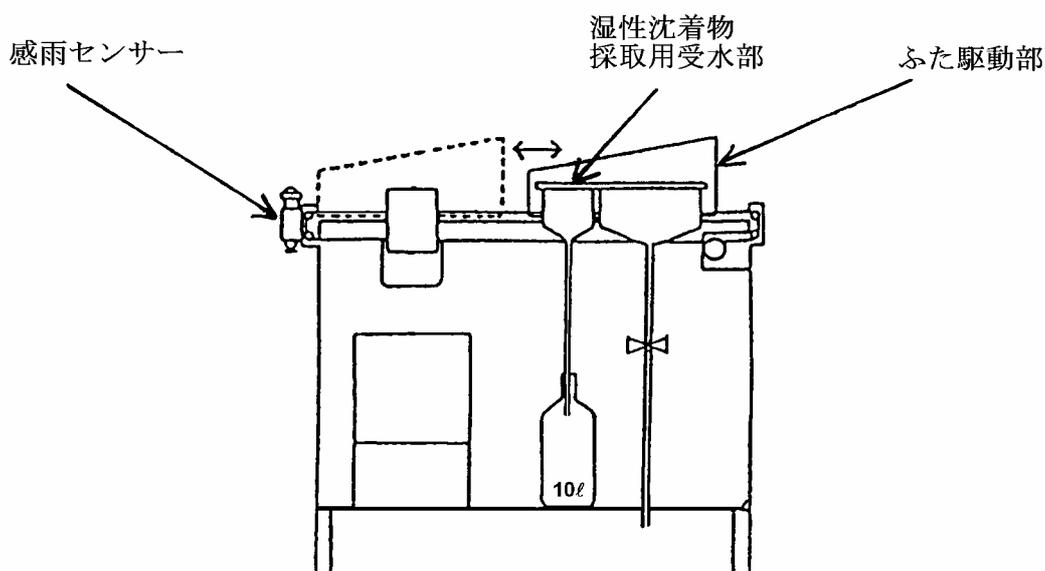


図 6 - 2 酸性沈着物自動採取装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

平成 17 年度に採取した総検体数は 1 8 0 検体で、その内訳は、津島：4 9 検体、半田：4 5 検体、岡崎：4 1 検体及び豊橋：4 5 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 pH、EC、成分別濃度の年平均値は表 6 - 2 のとおりです。

表 6 - 2 年間降水量及び pH、EC、成分別濃度の年平均値

項目 調査地点 (検体数)	降水量	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	mm/年	-	mS/m	μ mol/l							
津島(49)	1340.0	4.41	3.98	63.6	64.7	67.0	53.6	50.4	2.9	21.8	7.7
半田(45)	1398.9	4.89	4.51	65.4	69.4	66.9	120.0	49.1	4.1	18.7	7.9
岡崎(41)	1108.4	4.63	3.00	30.9	42.7	27.1	44.2	22.3	1.4	12.7	3.9
豊橋(45)	1214.7	4.78	2.82	30.9	42.0	42.7	35.7	37.5	1.9	19.0	6.7
全検体平均値		4.68	3.60	48.4	55.2	51.8	63.6	40.5	2.6	18.3	6.6
16 年度平均値		4.83	3.08	35.7	41.2	63.7	52.9	51.7	2.0	15.7	7.5

(7) pH

pH の地点別年平均値の範囲は 4.41 (津島) ~ 4.89 (半田) でした。

これらの値は、平成 17 年度に環境省が公表した「平成 15 年度酸性雨対策調査結果」の地点別年平均値の範囲(4.40 ~ 5.04)内でした。

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 きざみに区切った全降雨の分布状況は図 6 - 4、地点別の分布状況は図 6 - 5 のとおりです。

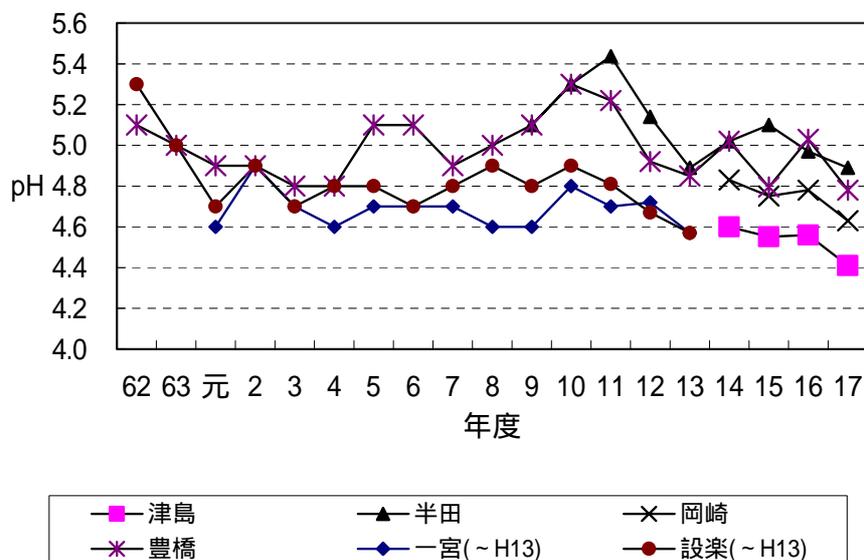


図 6 - 3 pH の年平均値の経年変化

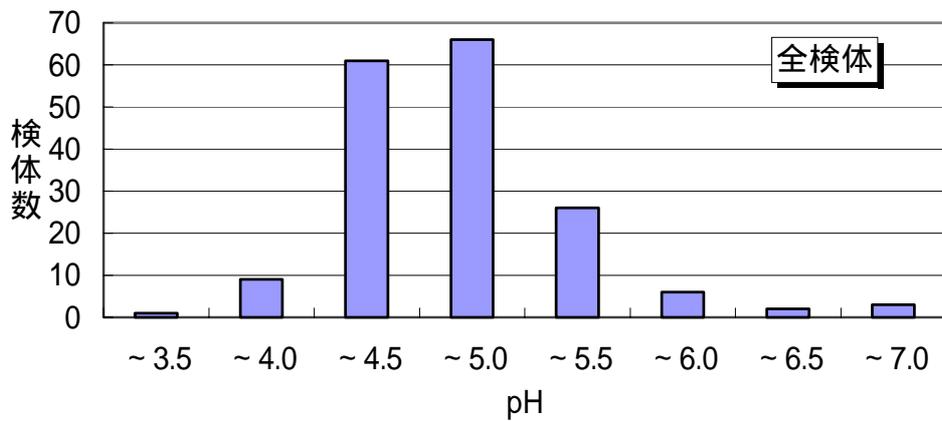


図6 - 4 全降雨のpHの分布状況

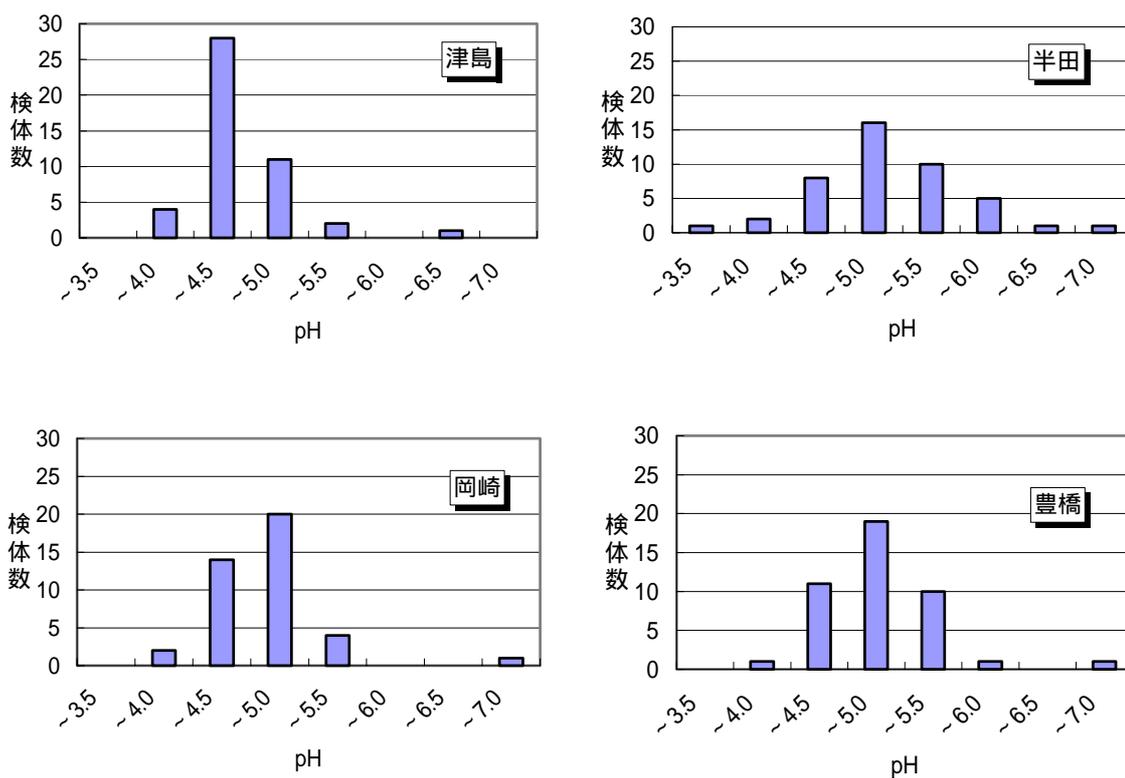


図6 - 5 pHの地点別分布状況

(イ) 電気伝導率 (EC)

ECは雨水中に含まれる各種イオンの濃度によって決まるため、雨水の汚染状態の指標となります (ECの値が大きいほど雨が汚れている)。

ECの地点別年平均値の範囲は、2.82 (豊橋) ~ 4.51 (半田) mS/mでした。半田ではECとpHが共に高いことから、酸性成分だけでなく塩基成分も多く含まれていることが推測されます。

(ウ) 陰イオン

SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及び Cl^- の地点別年平均値の範囲は、次のとおりでした。

SO_4^{2-} : 30.9 (岡崎、豊橋) ~ 65.4 (半田) $\mu\text{mol/l}$

NO_3^- : 42.0 (豊橋) ~ 69.4 (半田) $\mu\text{mol/l}$

Cl^- : 27.1 (岡崎) ~ 67.0 (津島) $\mu\text{mol/l}$

Cl^- については海塩由来のものがほとんどと考えられており、内陸部の岡崎では低い値でした。

SO_4^{2-} 及び NO_3^- については、津島及び半田で高く、岡崎及び豊橋で低めの値でした。

(イ) 陽イオン

NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} の地点別年平均値の範囲は、次のとおりでした。

NH_4^+ : 35.7 (豊橋) ~ 120.0 (半田) $\mu\text{mol/l}$

Na^+ : 22.3 (岡崎) ~ 50.4 (津島) $\mu\text{mol/l}$

K^+ : 1.4 (岡崎) ~ 4.1 (半田) $\mu\text{mol/l}$

Ca^{2+} : 12.7 (岡崎) ~ 21.8 (津島) $\mu\text{mol/l}$

Mg^{2+} : 3.9 (岡崎) ~ 7.9 (半田) $\mu\text{mol/l}$

5種の陽イオンの濃度を比較してみると、 NH_4^+ が他のイオン濃度に比べて高い傾向にあり、特に半田でその傾向が顕著にみられました。

Na^+ については海塩由来のものがほとんどと考えられており、津島、半田及び豊橋で高い値となっていました。同じく海塩粒子の影響が指摘されている Ca^{2+} についても津島、半田及び豊橋で高めの値となっていました。

(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6-6のとおりでした。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。

また、イオン成分の大小関係を全検体でみると、陰イオンでは $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- >$

Cl⁻、陽イオンではNH₄⁺ > Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺の順でした。

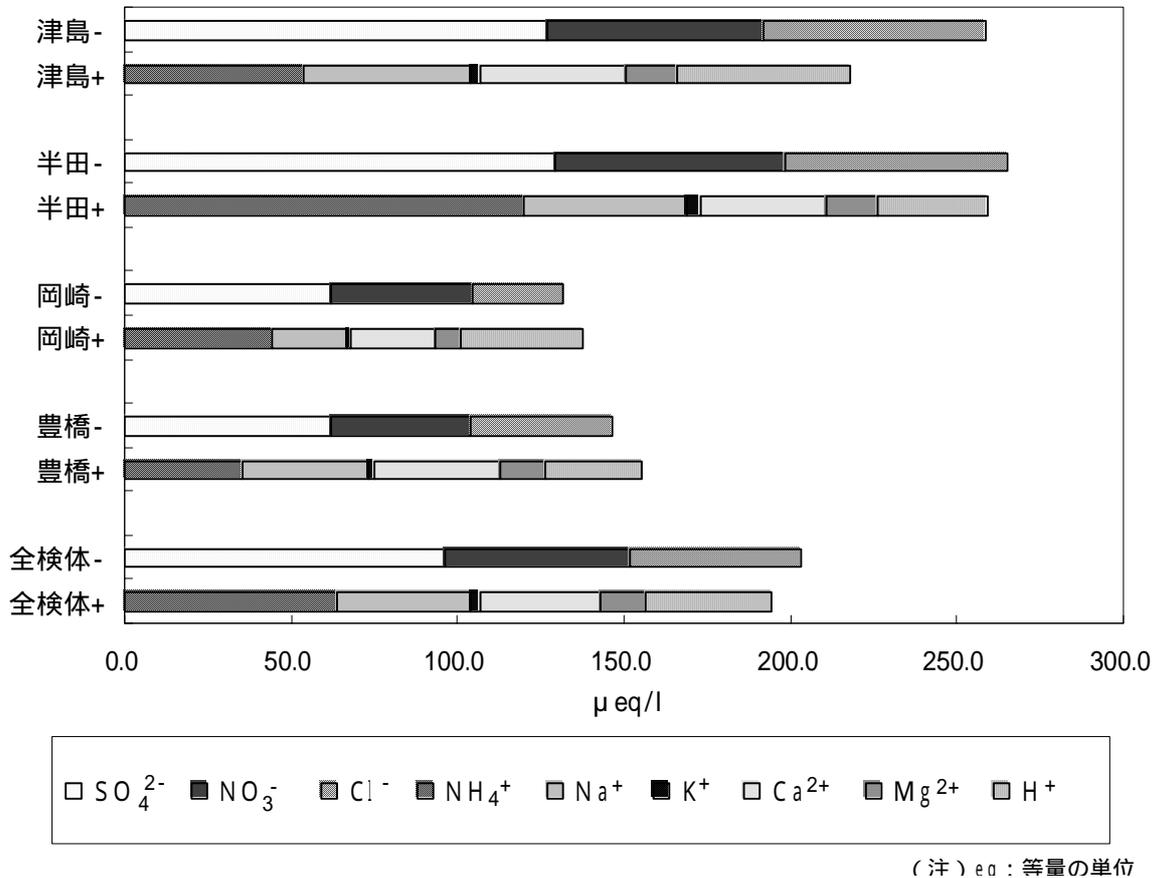


図6 - 6 イオン成分組成

(カ) イオン成分の年間沈着量

平成 17 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、表 6 - 3 及び図 6 - 7 に示した。また、図 6 - 8 に湿性沈着量（全イオンの湿性沈着量）と降水量の関係を示しました。

各イオンの湿性沈着量をみると、酸性成分である SO₄²⁻ 及び NO₃⁻ は、半田が最も多く、次いで、津島、岡崎、豊橋の順でした。

陽イオンの湿性沈着量では、H⁺ を除く全てのイオンで半田が最も多く、特に NH₄⁺ は、他の調査地点の 2 倍以上でした。なお、H⁺ は、津島が最も多くなりました。

各地点の年間降水量は、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かった半田が最も多い結果となりました。

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 調査地点	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
津 島	38.6	43.6	35.7	37.0	24.8	1.3	12.1	4.7	53.9
半 田	49.9	48.4	47.9	89.4	36.5	2.7	14.0	5.9	30.7
岡 崎	22.6	29.5	18.4	33.1	14.1	1.0	7.4	2.4	30.3
豊 橋	19.5	24.3	24.0	23.3	20.7	0.9	8.8	3.5	24.5
平均値	32.7	36.5	31.5	45.7	24.0	1.5	10.6	4.1	34.8
16 年度 平均値	38.8	36.7	98.5	50.0	83.2	2.9	12.5	10.5	36.3

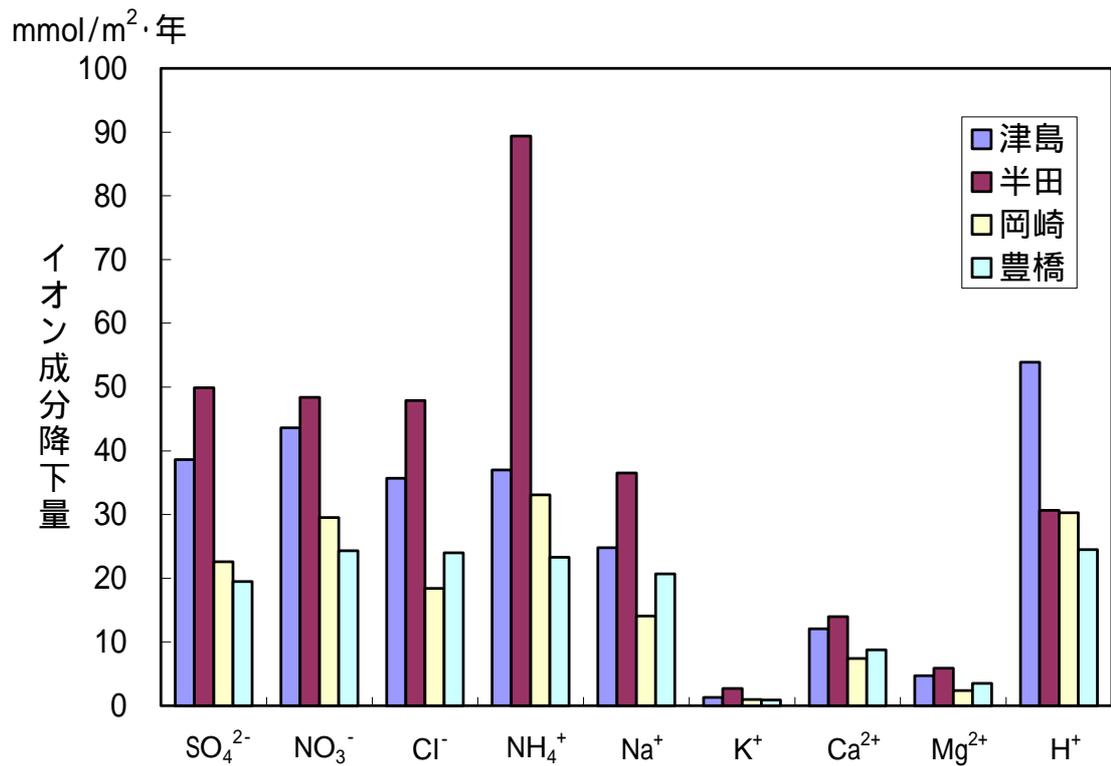


図 6 - 7 イオン成分の年間沈着量（湿性沈着物）

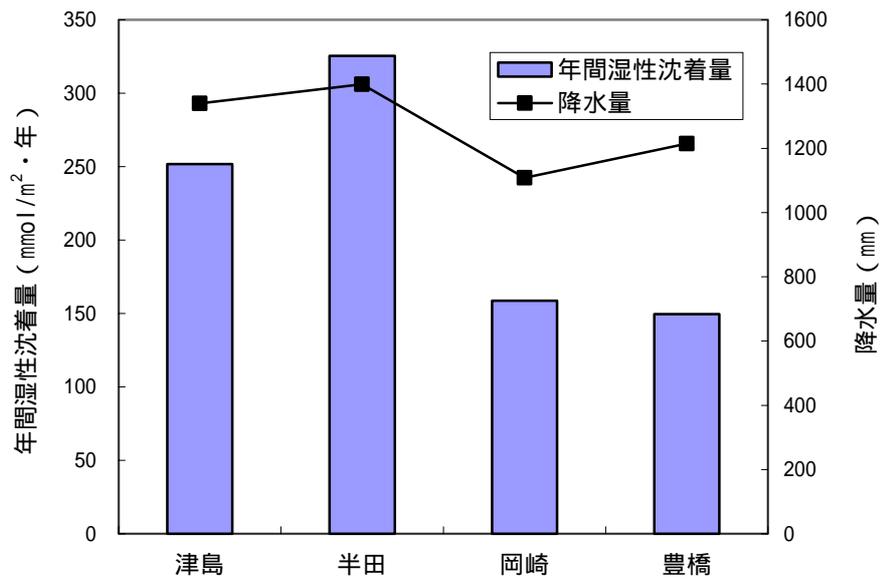


図6 - 8 湿性沈着量と降水量の関係

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 のとおりとしました。

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_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 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+}	

ウ 調査期間

平成 17 年 3 月 29 日から平成 18 年 3 月 27 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 L の吸引速度で連続採取を行い、吸引期間は 1 ~ 2 週間単位としました。

- ・ F 0 段：PTFE ろ紙（口径 0.8 μm ）：エアロゾル成分を捕集採取
 - ・ F 1 段：ポリアミドろ紙： HNO_3 、 HCl ガス、 SO_2 及び NH_3 ガスの一部を捕集
 - ・ F 2 段：6% K_2CO_3 + 2% グリセリン含浸セルロースろ紙：F 1 で捕集できなかった SO_2 及び HCl ガスなどを捕集
 - ・ F 3 段：5% H_3PO_4 + 2% グリセリン含浸セルロースろ紙： NH_3 ガスを捕集
- 採取装置の概略図を図 6 - 9 に示します。

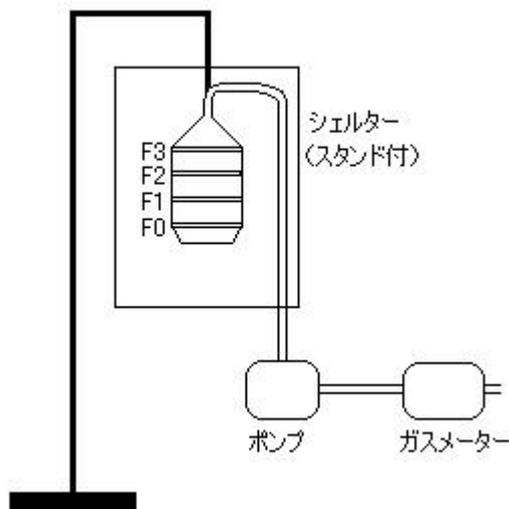


図 6 9 乾性沈着物採取装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況

平成 17 年度に採取した総検体数は 5 2 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年平均値、分析結果は表 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				単位 nmol / m ³			
	SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃				
年平均値	74.9	29.9	31.2	215.9				
最大値	144.6	120.6	63.0	341.0				
最小値	33.7	5.8	4.9	89.9				

	エアロゾル成分								単位 nmol / m ³
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
年平均値	62.3	53.6	19.2	129.5	37.7	4.3	12.0	5.0	
最大値	154.6	109.7	40.9	249.9	97.4	9.3	26.2	13.0	
最小値	19.0	20.1	3.6	51.3	12.8	1.0	4.5	1.7	

(7) ガス成分濃度

大気中のガス成分の月別濃度を図6-10に示しました。ガス4成分のうちNH₃濃度が最も高く、春から夏に高く冬場に低くなる傾向がありました。NH₃濃度は全体の約60%を占めました。

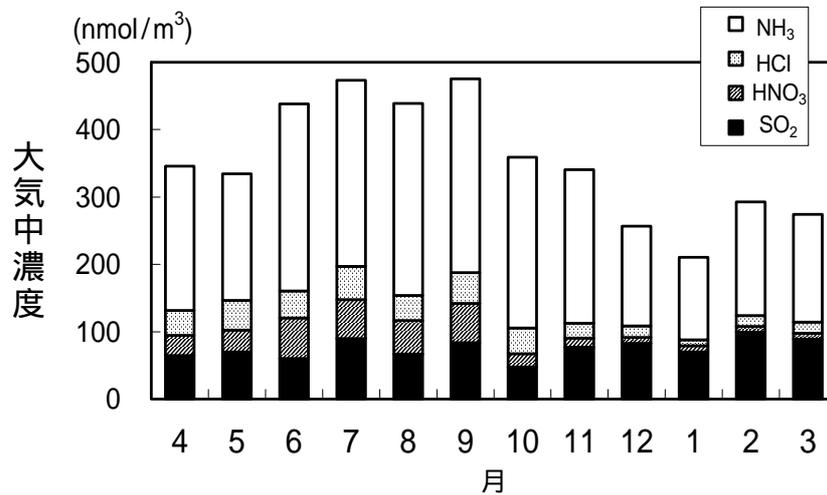


図6-10 ガス成分の経月変化

(1) 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6-11に示しました。エアロゾル成分8成分のうちNH₄⁺濃度が年間を通して高く、全体の約40%を占めました。

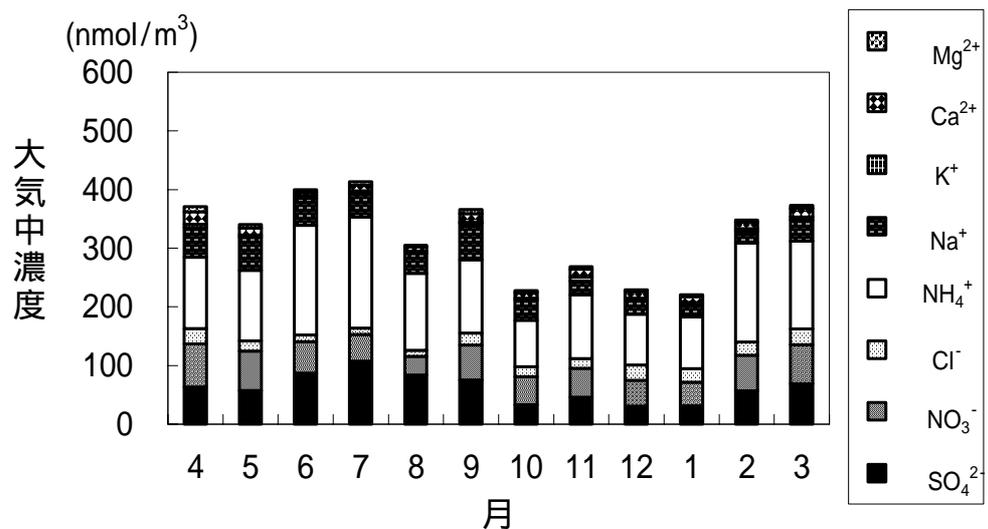


図6-11 エアロゾル成分の経月変化

(ウ) ガス、エアロゾル、total(ガス+エアロゾル)の経月変化

図6-12にガス成分、エアロゾル成分、ガス+エアロゾル成分の経月変化を示しました。春季及び冬季はガス成分とエアロゾル成分の比が1.0付近で差がありませんでしたが、夏から秋にかけてガス成分がエアロゾル成分より平均1.4倍高い濃度で推移しました。

ガス濃度が高めとなる夏季においては、両成分の和も高い傾向が毎年継続しています。

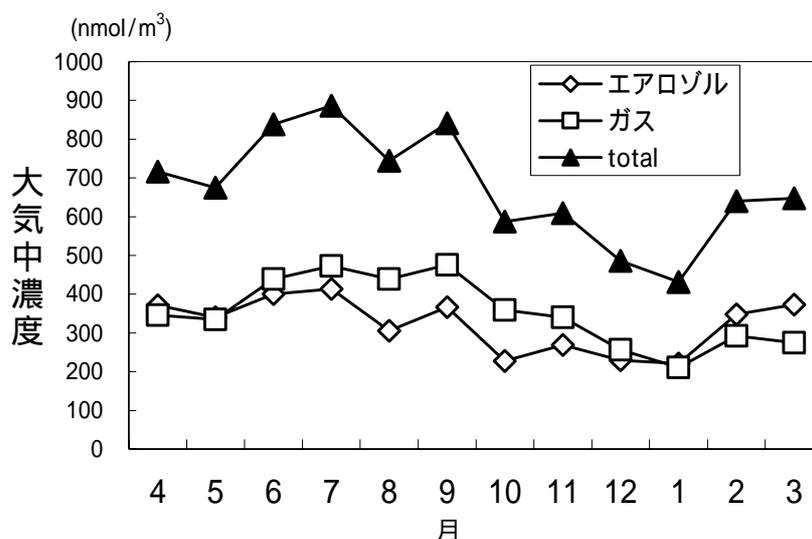


図6-12 ガス、エアロゾル、total(ガス+エアロゾル)の経月変化

(I) 各成分別ガスおよびエアロゾルの経月変化

乾性沈着の各成分の大気中濃度の経月変化を図6-13に示しました。

全体的な傾向として春から夏場に高くなるものに、 HNO_3 、 HCl 、 NH_3 、 Na^+ があり冬場に高くなるものに SO_2 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} がありました。

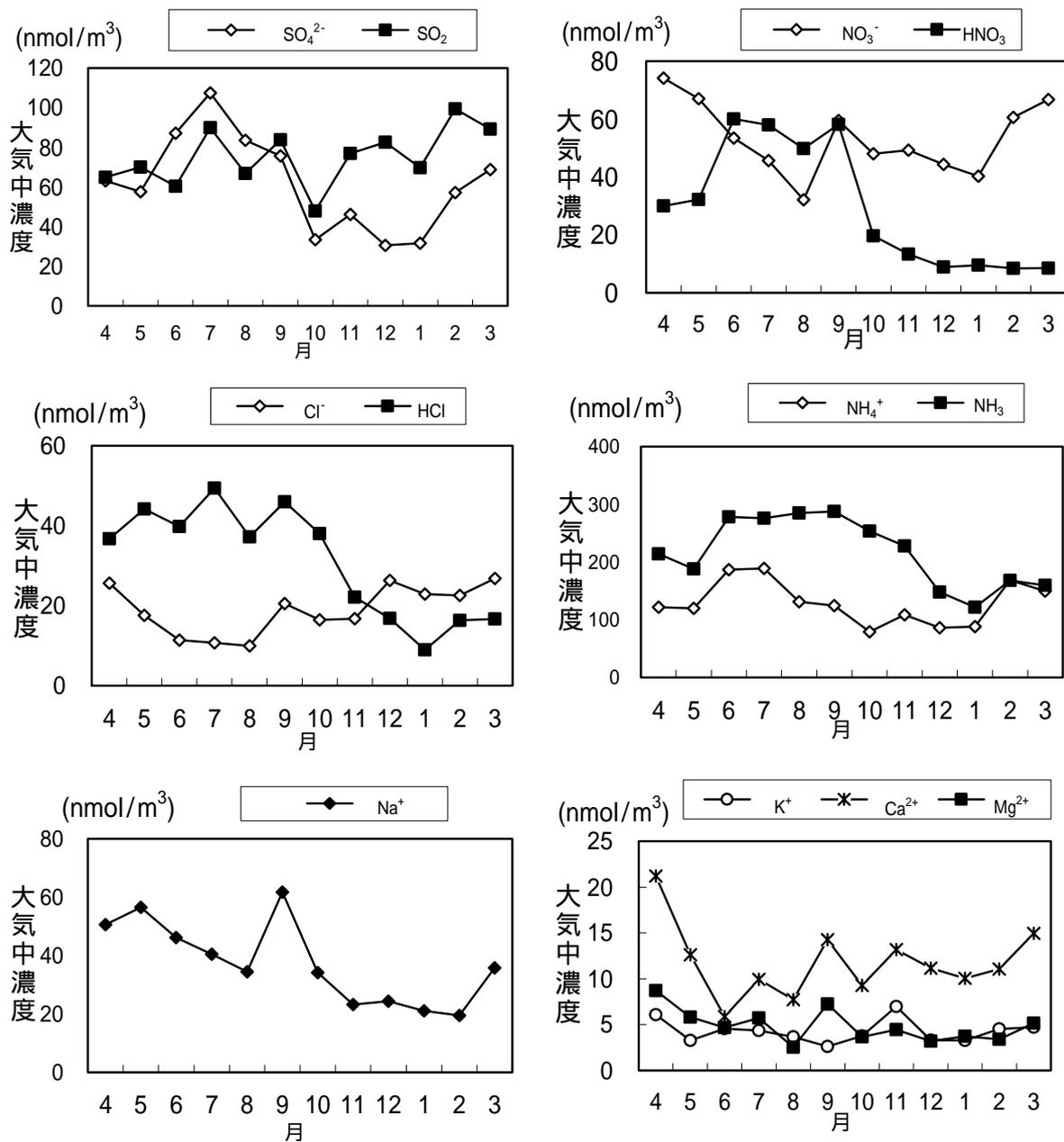


図6 13 乾性沈着各成分の大気中濃度の経月変化

4 酸性霧調査結果

(1) 調査方法

ア 調査地点

図6 - 14 に示す次の地点で調査を実施しました。

愛知県森林林業センター林木育種場（額田郡大字明見字黒谷地内）（以下「額田（明見）」とする。）



図6 - 14 調査地点

イ 調査項目及び分析方法

pH、電気伝導率（EC） SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}

分析方法は、湿性沈着物調査と同じ。

ウ 調査期間

平成17年6月から11月まで

エ 試料採取方法

霧の採取については、図6 - 15 に示す自動霧水捕集装置（臼井工業研究所製FWG - 800型）を用いました。この装置は、霧を感知すると自動的に扉が開いてファンが作動し、細いテフロン線を縦に多数張った霧水捕集ネットにより、霧水を捕集するものです。

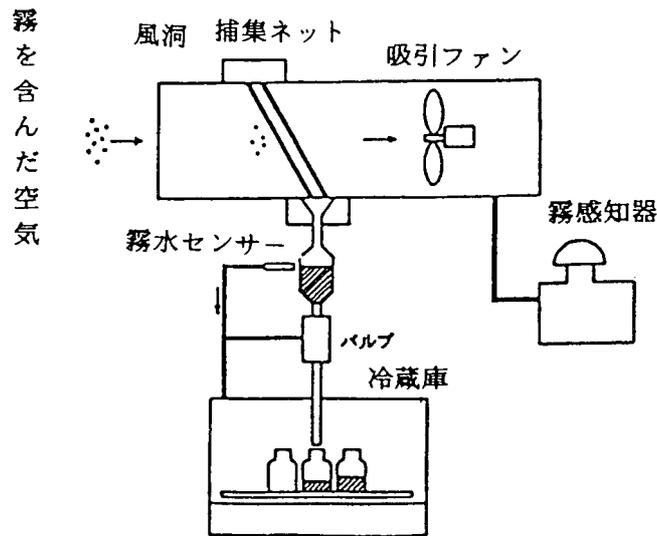


図 6 - 15 自動霧水捕集装置

(2) 調査結果

ア 試料採取状況及び霧の発生状況

分析に必要な量（約 30ml 程度）が採取できたのは、7 検体でした。

図 6 - 16 及び図 6 - 17 に霧の発生・消滅頻度、霧の維持時間を示しました。

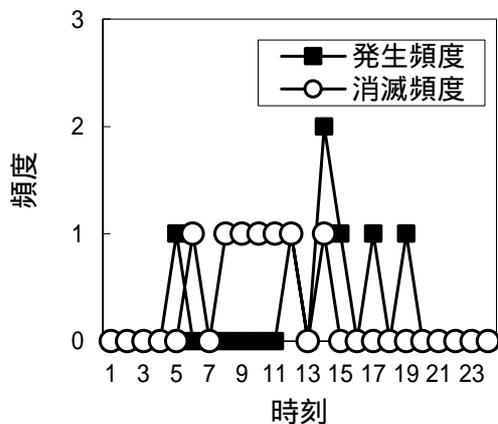


図 6 - 16 霧の発生消滅時刻

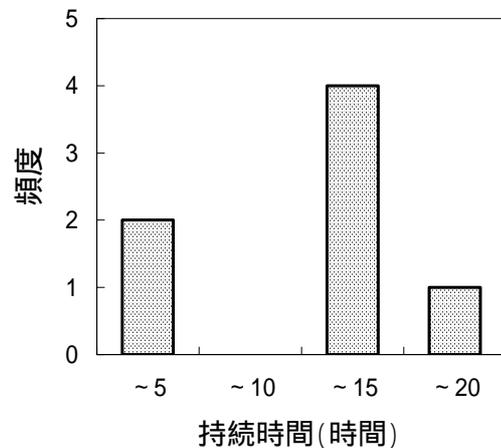


図 6 - 17 霧の持続時間の分布状況

イ 霧の pH、EC 及び成分別濃度

霧の pH、EC 及び成分別濃度は表 6 - 6 のとおりです。また、平成 16 年度の霧の調査と同時期の雨（湿性沈着物調査における県内 4 地点の平均値）についても併せて示しました。

表 6 - 6 霧の pH、EC 及び各成分濃度の地点別結果

項目		pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	H ⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	全イオン
	調査地点	-	mS/m	μ mol/l									
額田	平均値	6.02	69.75	932.4	2719	1226	11.5	1747	1723	730.4	302.9	241.5	9634
	最大値	7.31	279.0	3450	13773	3306	63.1	10198	4323	2672	1217	799.2	
	最小値	4.20	4.04	77.1	67.7	45.1	0.05	90.9	41.8	19.5	15.7	7.4	
平成16年度	平均値	6.45	51.91	480.3	1123	1885	0.75	491	1994	416.1	280.8	295.9	690.4
(雨)	平均値	4.52	3.57	38.1	53.2	37.8	30.5	57.0	34.1	2.0	14.8	5.8	273.2
霧/雨比率		1.3	1.3	19.5	24.5	51.1	32.5	0.4	30.7	50.5	360.5	20.5	42.0

(7) pH及び電気伝導率(EC)

pH及びECの変動は図6-18のとおりです。

pHの平均値は6.02、最大値は7.31、最小値は4.20であり、昨年度の平均値6.45よりやや低下しました。また同時期の湿性沈着物調査における雨と比較すると、雨のpHの4.52に対し高い値を示しました。

ECにおいては一部の検体で高い値がありましたが、平均値は69.75mS/mで、同時期の雨の20倍程度でした。ECとpHの関係では、一般的にECが高い検体はpHが低い傾向にありますが、今回の霧の場合は特に顕著な傾向はありませんでした。

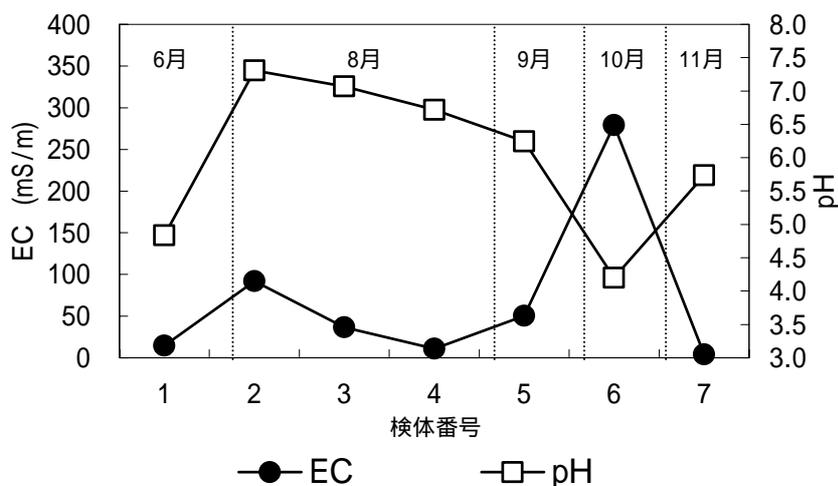


図 6 - 18 霧の pH と EC の変動

(イ) イオン成分

イオン成分の平均濃度を比較してみると、陰イオン濃度の平均値は、 $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順でした。

陽イオン濃度の平均値は $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ の順でした。

なお、検体ごとのイオン成分濃度について、陰イオン濃度は図6-19、陽イオン濃度は図6-20のとおりです。

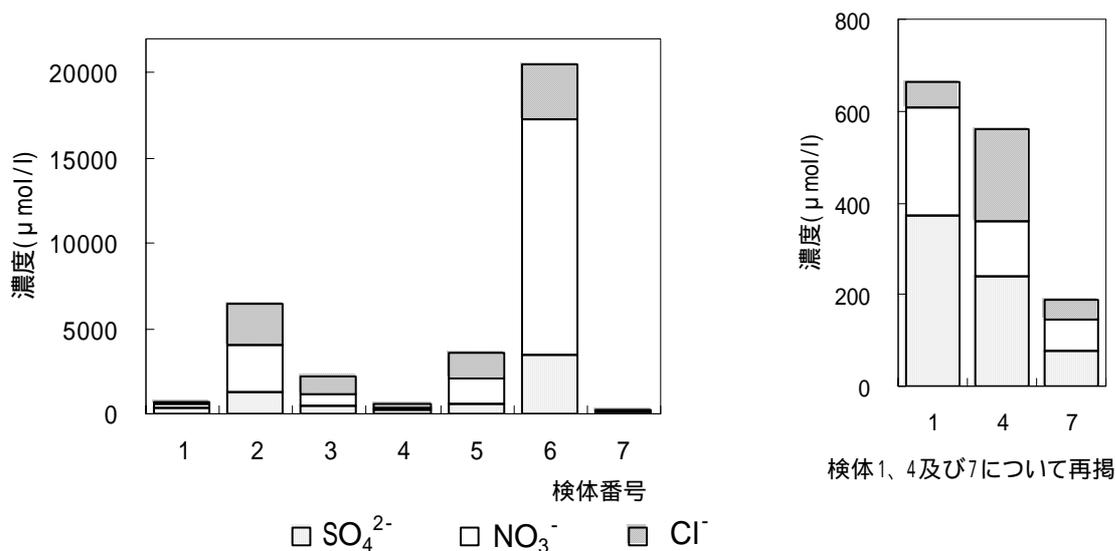


図6-19 霧中の陰イオン濃度

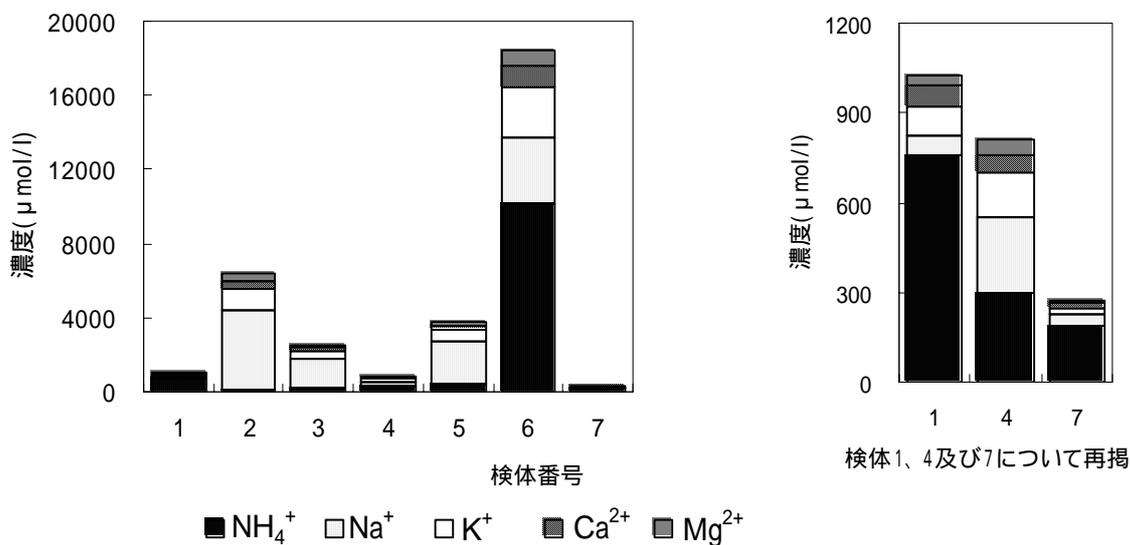


図6-20 霧中の陽イオン濃度

(ウ) イオン成分組成

霧及び同時期の雨のイオン成分の平均濃度の当量組成は図6-21のとおりです。

霧と雨を比較すると、酸性成分である SO_4^{2-} 及び NO_3^- の割合は、雨が全イオンの

約 30%程度に対して、約 40%と高くなっていました。また、霧は雨に比べ陰イオンが約 37 倍、陽イオンが約 45 倍高い値でした。

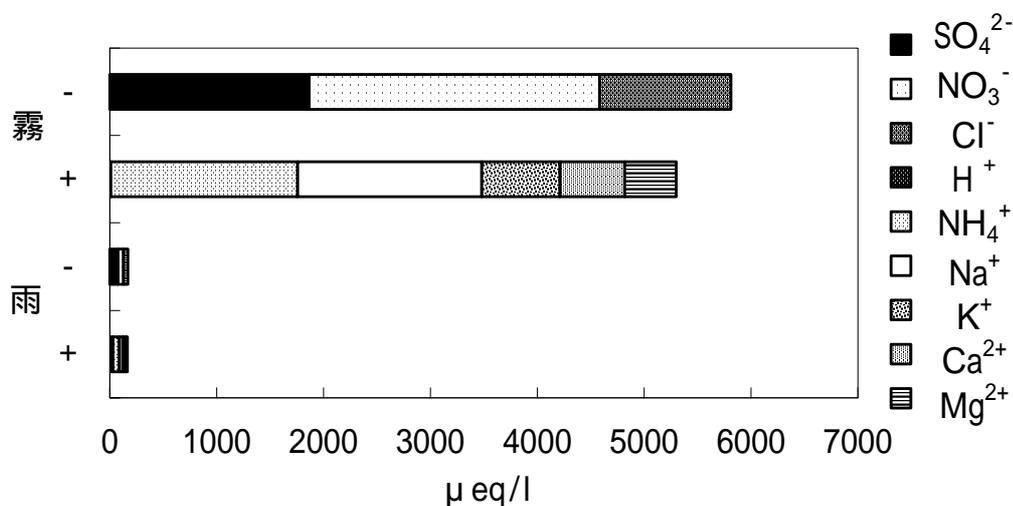


図 6 - 21 イオン成分組成

(I) 平成 17 年度と 16 年度におけるイオン成分の平均濃度の比較

平成 17 年度のイオン成分の平均濃度を平成 16 年度と比較すると、図 6 - 22 のとおりであり、Na⁺、Cl⁻、及びMg²⁺を除くイオン成分の平均濃度は昨年度の平均値を上回りました。酸性成分であるNO₃⁻が最も濃度が高く、昨年度の約 2.4 倍であったほか、SO₄²⁻は昨年度の約 2 倍と高くなっていました。また、中和成分であるNH₄⁺は昨年度の約 3.6 倍と高くなっていました。

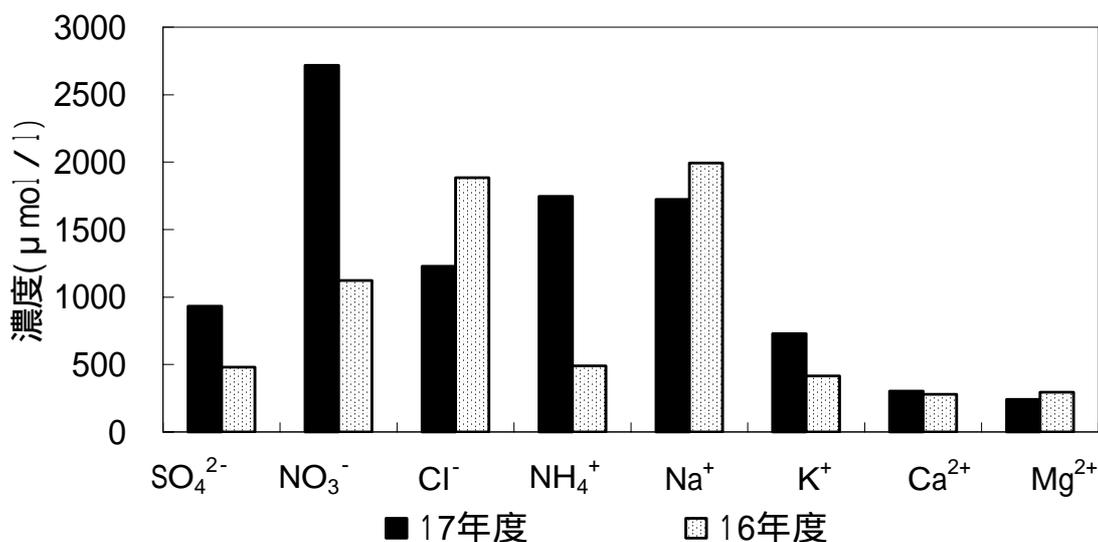


図 6 - 22 平成 17 年度と 16 年度におけるイオン成分の比較