

# 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た。

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 一宮保健所         | (以下、「一宮」とする。) |
| 半田保健所         | (以下、「半田」とする。) |
| 新城保健所設楽支所     | (以下、「設楽」とする。) |
| 環境調査センター東三河支所 | (以下、「豊橋」とする。) |

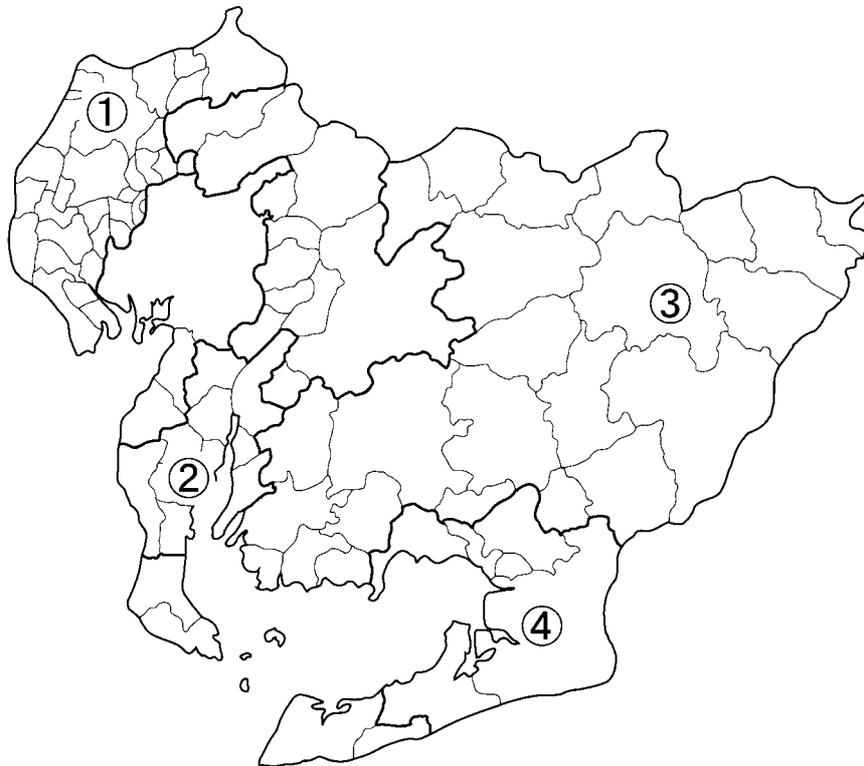


図6-1 調査地点

## イ 調査項目及び分析方法

調査項目	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	$\text{NH}_4^+$	イオンクロマトグラフ法
電気伝導率	EC	導電率計法	ナトリウムイオン	$\text{Na}^+$	同上
硫酸イオン	$\text{SO}_4^{2-}$	イオンクロマトグラフ法	カリウムイオン	$\text{K}^+$	同上
硝酸イオン	$\text{NO}_3^-$	同上	カルシウムイオン	$\text{Ca}^{2+}$	同上
塩化物イオン	$\text{Cl}^-$	同上	マグネシウムイオン	$\text{Mg}^{2+}$	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13年3月27日から平成14年3月26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、乾性沈着物採取容器が閉じる仕組みになっており、非降雨時は、その逆に乾性沈着物採取容器が開き、受水部が閉じる自動開閉方式となっている。

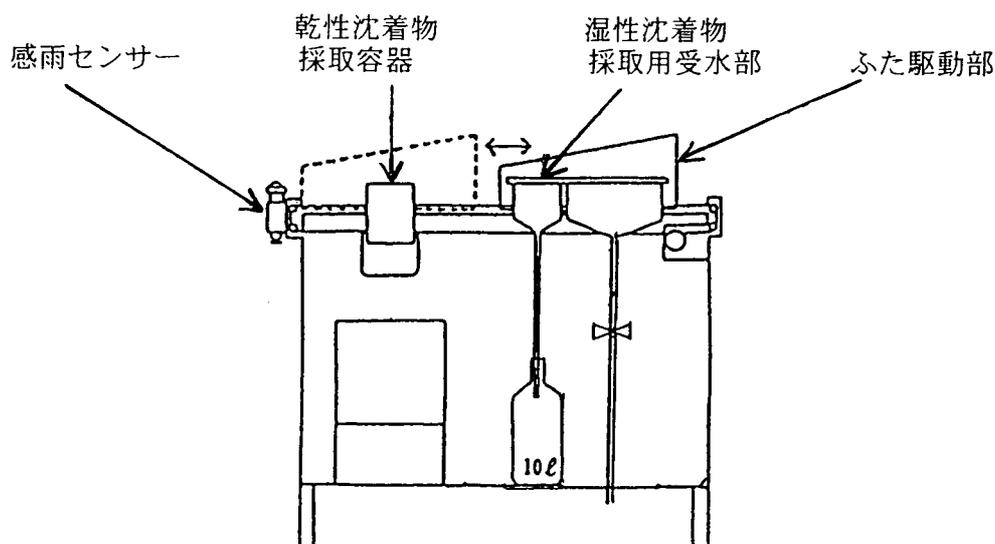


図6-2 酸性沈着物自動採取装置

## (2) 調査結果

### ア 試料採取状況

平成13年度に採取した総検体数は216検体で、その内訳は、一宮：36検体、半田：52検体、設楽：68検体及び豊橋：60検体であった。

## 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6-1のとおりである。

表6-1 年間降水量及びpH、EC、成分別濃度の年平均値

調査地点 (検体数)	降水量	pH	EC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	mm/年	-	mS/m	μmol/l							
一宮 (36)	(1,285)	(4.57)	(3.30)	(39.8)	(45.6)	(42.0)	(54.4)	(28.6)	(2.1)	(13.7)	(5.0)
半田 (52)	(1,300)	(4.89)	(3.83)	(52.2)	(52.0)	(51.4)	(86.0)	(34.7)	(2.6)	(18.8)	(6.9)
設楽 (68)	2,402	4.57	3.15	36.3	37.4	25.9	16.2	22.5	3.1	14.3	4.9
豊橋 (60)	1,303	4.85	3.76	44.8	56.7	53.3	47.1	43.8	3.4	25.3	9.0
全降雨平均 (216)		(4.73)	(3.51)	(43.1)	(47.7)	(42.4)	(48.1)	(32.4)	(2.9)	(18.4)	(6.5)
12年度平均 (232)		(4.86)	(3.24)	(40.1)	(45.7)	(48.5)	(54.4)	(36.2)	(3.9)	(19.3)	(6.8)

(注) 一宮、半田及び全降雨平均は、一宮が9月に、半田が8月から9月の間に機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

12年度平均は設楽が4月から5月の間で機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

### (ア) pH

pHの地点別年平均値の範囲は4.57(一宮及び設楽)~4.89(半田)であった。これらの値は、平成12年度の結果(4.63~5.14)よりも若干低い値であったが、14年9月に環境省が公表した「第4次酸性雨対策調査結果の取りまとめ」におけるpHの12年度の地点別平均値の範囲(4.51~6.15)とほぼ同程度であった。

pHの年平均値の経年変化は図6-3のとおりである。

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のとおりである。

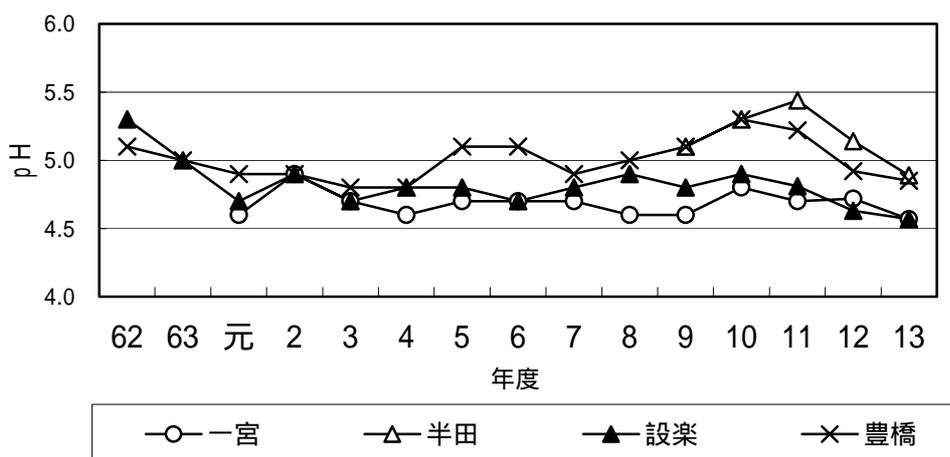


図6-3 pHの年平均値の経年変化

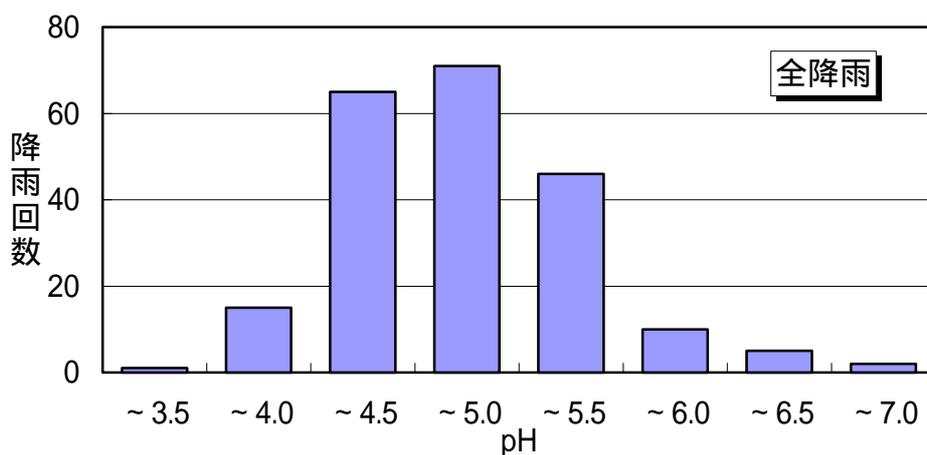


図6 - 4 全降雨のpHの分布状況

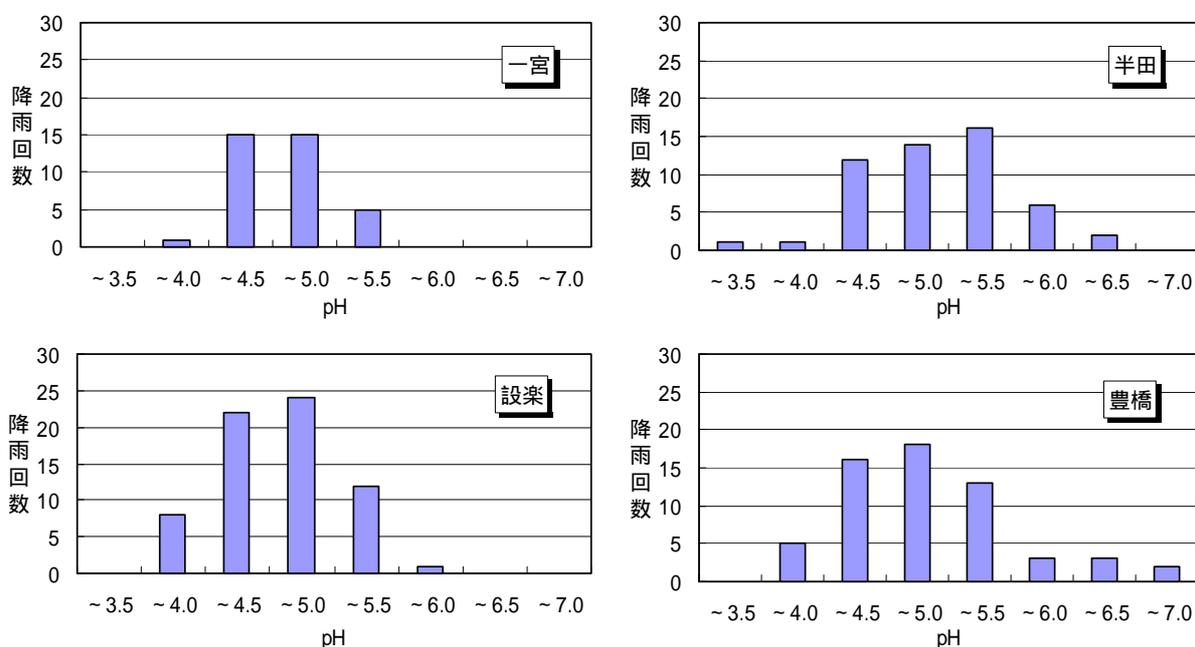


図6 - 5 pHの地点別分布状況

(イ) 電気伝導率 (EC)

ECの地点別年平均値の範囲は3.15 (設楽) ~ 3.83 (半田) mS/mであった。

(ウ) 陰イオン

$\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 及び $\text{Cl}^-$ の地点別年平均値の範囲は次のとおりであった。

$\text{SO}_4^{2-}$  : 36.3 (設楽) ~ 52.2 (半田)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{NO}_3^-$  : 37.4 (設楽) ~ 56.7 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{Cl}^-$  : 25.9 (設楽) ~ 53.3 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

3種の陰イオンの濃度を比較してみると、一宮及び豊橋は $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 、半田は $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 、設楽は $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ の順であった。

(I) 陽イオン

$\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 及び $\text{Mg}^{2+}$ の地点別年平均値の範囲は次のとおりであった。

$\text{NH}_4^+$  : 16.2 (設楽) ~ 86.0 (半田)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{Na}^+$  : 22.5 (設楽) ~ 43.8 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{K}^+$  : 2.1 (一宮) ~ 3.4 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{Ca}^{2+}$  : 13.7 (一宮) ~ 25.3 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

$\text{Mg}^{2+}$  : 4.9 (設楽) ~ 9.0 (豊橋)  $\mu\text{mol/l}$

5種の陽イオン濃度を比較してみると、一宮、半田及び豊橋は $\text{NH}_4^+$ が、設楽は $\text{Na}^+$ が最も高かった。

(オ) 平成13年度と12年度におけるpH、EC及び成分別濃度の年平均値の比較

平成13年度と12年度におけるpH、EC及び成分別濃度の年平均値の比較は、図6-6のとおりである。

成分別濃度は、一宮では全般に減少傾向、半田では陽イオンの減少傾向、豊橋では全般に増加傾向が見てとれた。

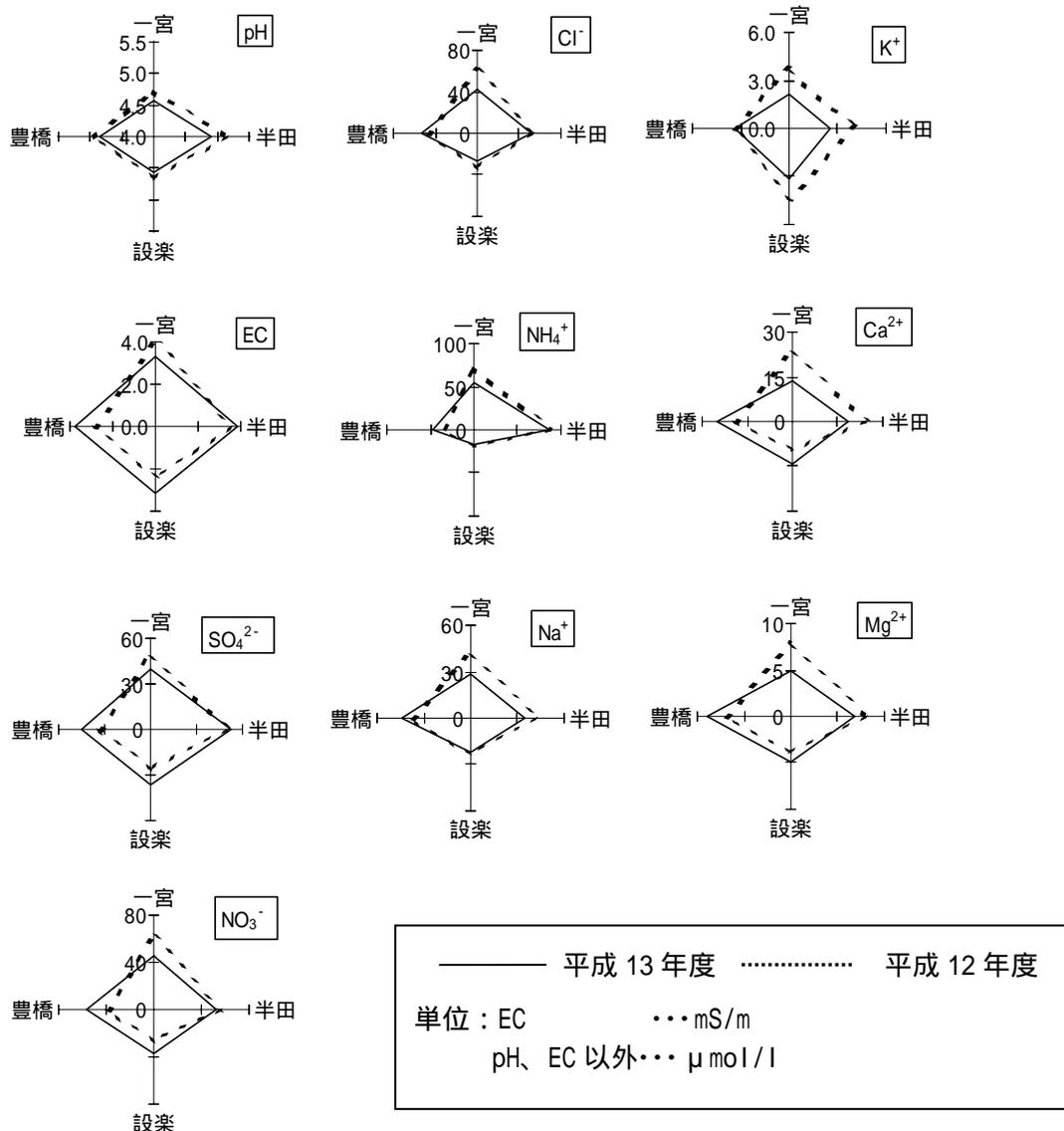


図6-6 平成13年度と12年度におけるpH、EC及び成分別濃度の年平均値の比較

## (カ) 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6-7のとおりである。

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た。また、イオン成分の大小関係を全降雨でみると、陰イオンでは  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 、陽イオンでは  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  の順であった。

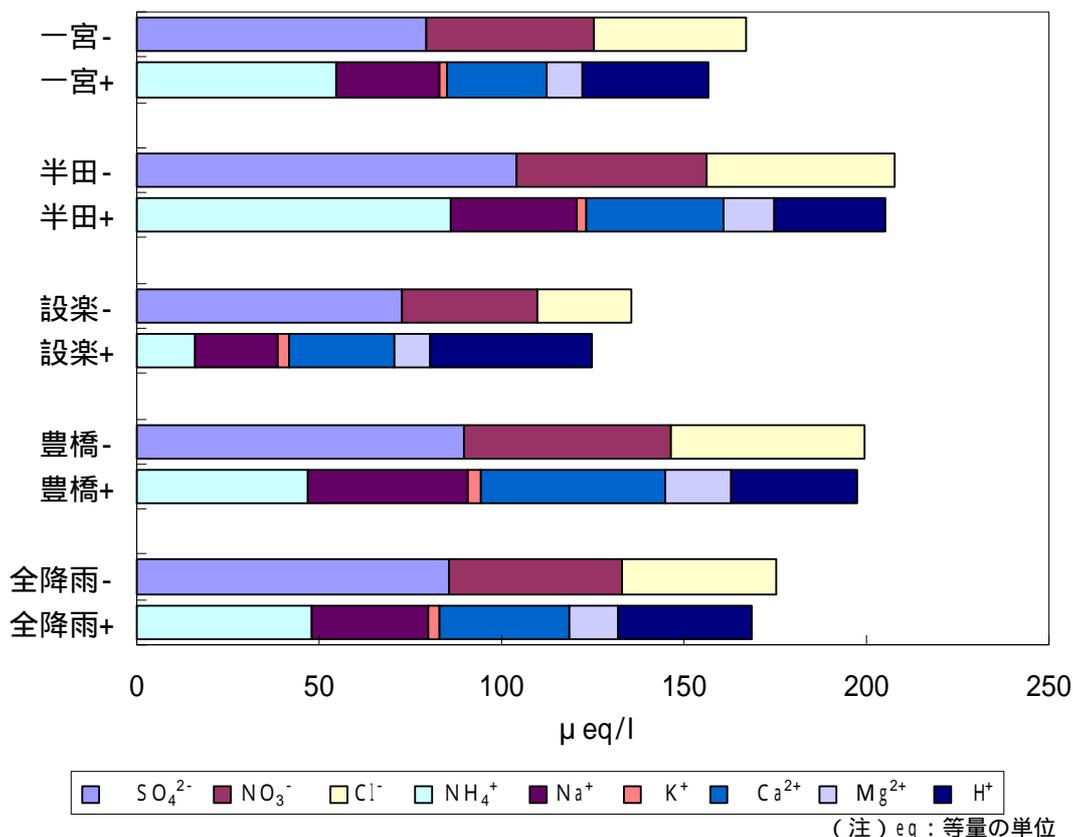


図6-7 イオン成分組成

## (キ) イオン成分の年間沈着量

平成13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  $1\text{ m}^2$  当たり沈着した量を求め、表6-2及び図6-8に示した。また、図6-9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た。

各イオンの湿性沈着量をみると、酸性成分である  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  は一宮が最も多く、次いで半田が多かった。

陽イオンでは、 $\text{NH}_4^+$  が一宮と半田が多かった。また、 $\text{H}^+$  は設楽が最も多く、次いで一宮が多かった。

豊橋では、海塩由来と思われる  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  が多かった。

設楽では降水量が他の地点の約1.8倍と多かったが、各イオン成分濃度が低いため、年間の湿性沈着量は、最も低い値となった。

表6 - 2 イオン成分の年間沈着量（湿性沈着物）

(単位：mmol/m<sup>2</sup>・年)

項目 調査地点	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>
一宮	(38.1)	(35.1)	(33.2)	(43.4)	(21.2)	(1.7)	(6.9)	(3.4)	(45.4)
半田	(36.1)	(26.5)	(41.2)	(49.6)	(23.8)	(1.7)	(7.9)	(5.5)	(30.0)
設楽	34.1	18.5	22.0	7.1	17.8	3.1	7.2	3.1	52.9
豊橋	27.1	21.0	52.5	20.9	43.0	2.3	8.1	5.9	29.7
平均値	(33.9)	(25.3)	(37.2)	(30.2)	(26.5)	(2.2)	(7.5)	(4.5)	(39.5)
12年度平均	(40.6)	(36.6)	(57.5)	(49.7)	(43.1)	(3.3)	(12.6)	(6.4)	(36.5)

(注)一宮、半田及び平均値は、一宮が9月に、半田が8月から9月の間に機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

12年度平均は設楽が4月から5月の間で機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

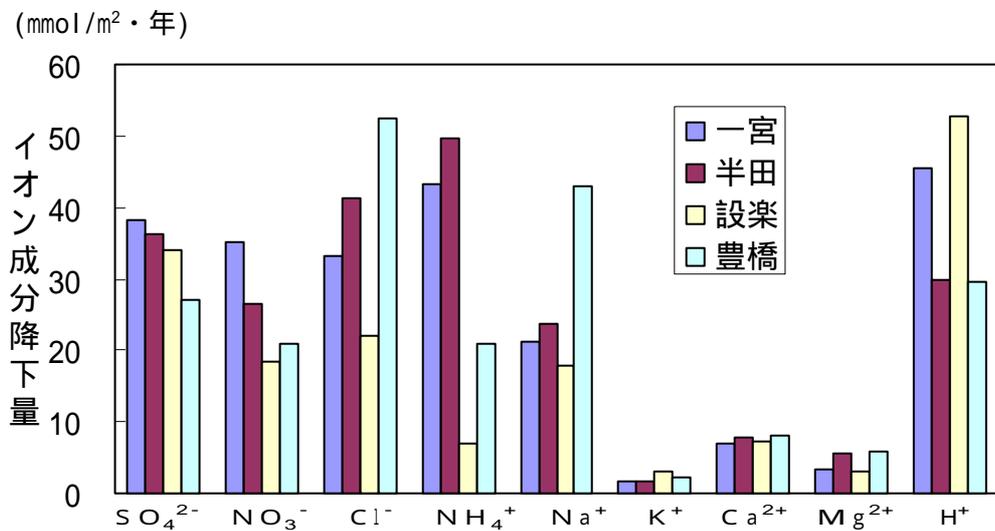


図6 - 8 イオン成分の年間沈着量（湿性沈着物）

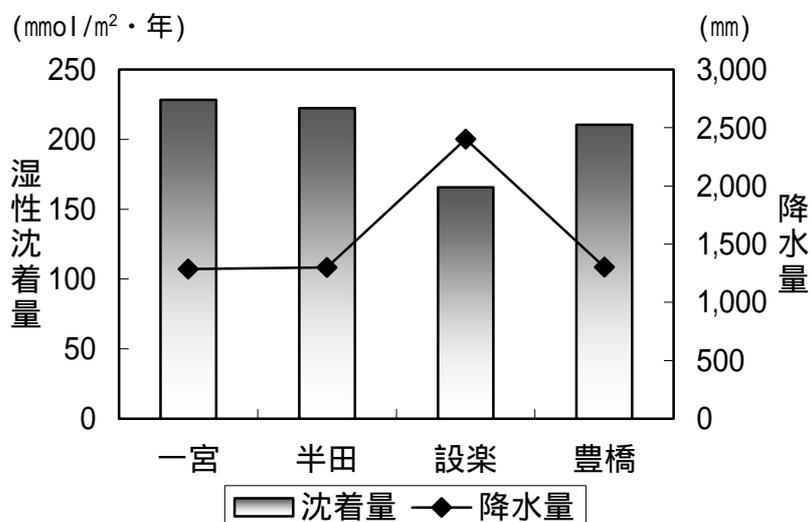


図6 - 9 湿性沈着量と降水量の関係

### 3 乾性沈着物調査結果

#### (1) 調査方法

##### ア 調査地点

湿性沈着物調査と同じ4地点（一宮、半田、設楽及び豊橋）

##### イ 調査項目及び分析方法

区分	調査項目	分析方法
水溶性成分	pH、電気伝導率(EC)、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Cl^-$ 、 $NH_4^+$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$	湿性沈着物調査と同じ
不溶性成分	沈着物量（不溶性成分重量）	重量法

##### ウ 調査期間

平成13年3月26日から平成14年3月26日まで

##### エ 試料採取方法

湿性沈着物調査と同じ酸性沈着物自動採取装置を用い、原則として1か月ごとに採取した。

#### (2) 調査結果

##### ア 試料採取状況

平成13年度に採取した検体数は45検体であり、その内訳は一宮が11検体（採取器に雨混入のため9月欠測）、半田が10検体（機器故障のため8月、9月が欠測）、他の2地点はそれぞれ12検体であった。各検体はそれぞれ、水溶性成分及び不溶性成分に分けてイオン成分別沈着量などを分析した。

##### イ 乾性沈着物の沈着物量及びpH、EC、成分別年平均沈着量

乾性沈着物のうち、水溶性成分のpH、EC及び各成分の沈着物量と不溶性成分の沈着物量は表6-3のとおりである。

表6-3 乾性沈着量

成分	水溶性成分										不溶性成分 沈着物量
	項目	pH	EC	$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$	$Cl^-$	$NH_4^+$	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	
調査地点(検体数)	-	mS/m	$\mu mol/m^2 \cdot 月$								$mg/m^2 \cdot 月$
一宮 (11)	(5.17)	(2.03)	(345)	(394)	(326)	(315)	(383)	(64)	(644)	(96)	(539)
半田 (10)	(5.97)	(2.53)	(522)	(372)	(689)	(462)	(462)	(91)	(1130)	(158)	(988)
設楽 (12)	5.48	1.15	152	135	211	122	157	98	348	52	487
豊橋 (12)	5.77	2.72	402	522	683	300	675	88	849	159	864
平均値 (45)	(5.60)	(2.11)	(355)	(356)	(477)	(300)	(419)	(85)	(743)	(116)	(719)
12年度平均(46)	(6.03)	(2.07)	(349)	(386)	(554)	(273)	(476)	(80)	(781)	(129)	(719)

(注)一宮、半田及び平均値は、一宮が9月に、半田が8月から9月の間に機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

12年度平均は設楽が4月から5月の間で機器故障があったため、参考値として( )書きで示す。

(7) pH

pHの地点別平均値の範囲は 5.17~5.97 であり、12 年度の結果 (5.05~6.60) に比べやや低下した。

pHの地点別平均値は、半田 > 豊橋 > 設楽 > 一宮の順で高かった。

なお、pHの経月変化は図 6 - 10 のとおりである。

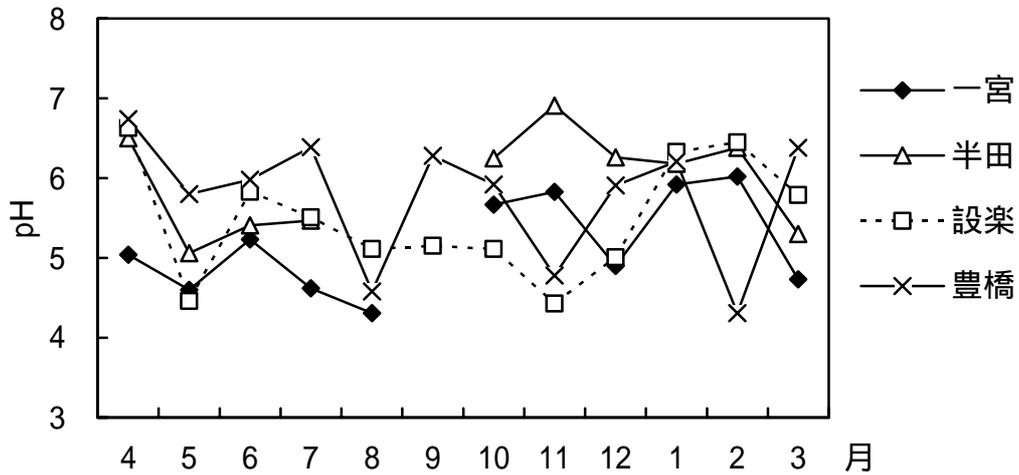


図 6 - 10 pHの経月変化

(1) 電気伝導率 (EC)

ECの地点別平均値の範囲は 1.15~2.72mS/m であり、12 年度の結果 (1.53~2.73) と同程度であった。

ECの地点別平均値は、豊橋 > 半田 > 一宮 > 設楽の順で高かった。

なお、電気伝導率の経月変化は図 6 - 11 のとおりである。

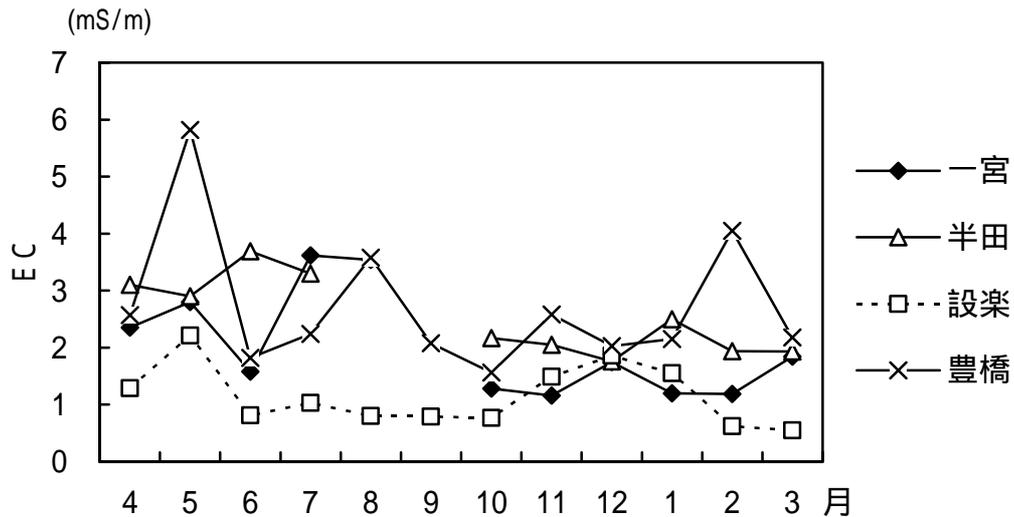


図 6 - 11 電気伝導率の経月変化

### (ウ) 成分別沈着量及び構成比

水溶性成分のうち、各イオン成分の年平均沈着量は、図6-12のとおりである。また、成分別沈着量の構成(mol)比を図6-13に示した。

成分別沈着量については、全地点で $\text{Ca}^{2+}$ の沈着量が最も多く、海岸から比較的近い半田と豊橋では $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ が高くなっていた。また、山間部である設楽では、 $\text{K}^{+}$ を除くイオン成分で他の地点の30~40%の沈着量であった。

酸性成分である $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^{-}$ の全地点平均沈着量は12年度に比べ変化はなかったが、三宅島噴火前の平成11年度と比較すると $\text{NO}_3^{-}$ は変化がなかったが、 $\text{SO}_4^{2-}$ は依然増加していた。中和成分である $\text{Ca}^{2+}$ の沈着量は若干減少していた。

成分別沈着量の構成(mol)比については、全地点で $\text{Ca}^{2+}$ の比率が最も高く、半田では $\text{Ca}^{2+}$ のみで約30%を占めていた。地点間でイオン組成に大きな差は見られなかった。

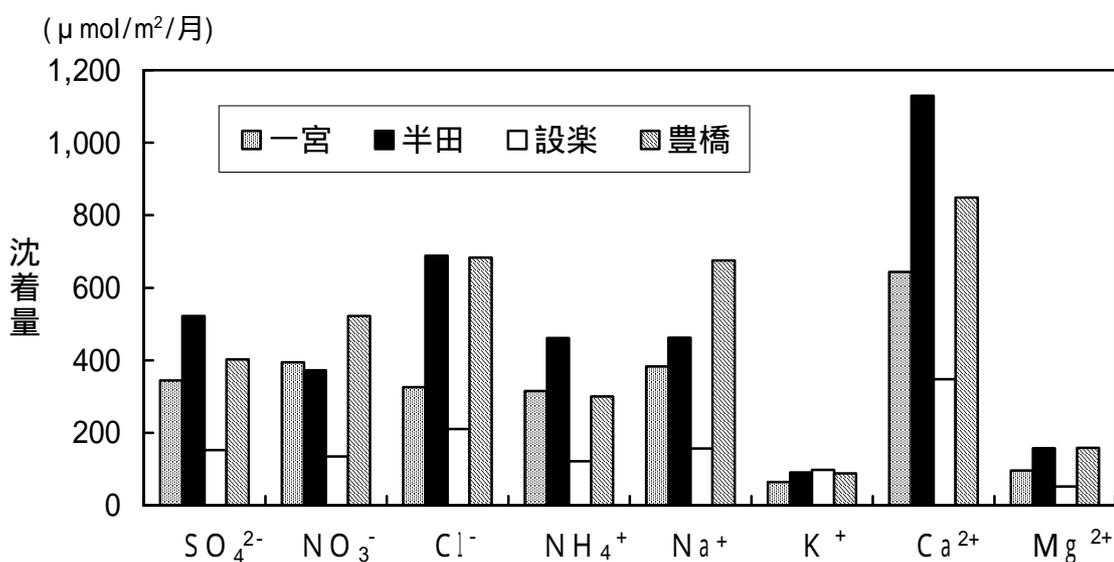


図6-12 各イオン成分の月平均沈着量

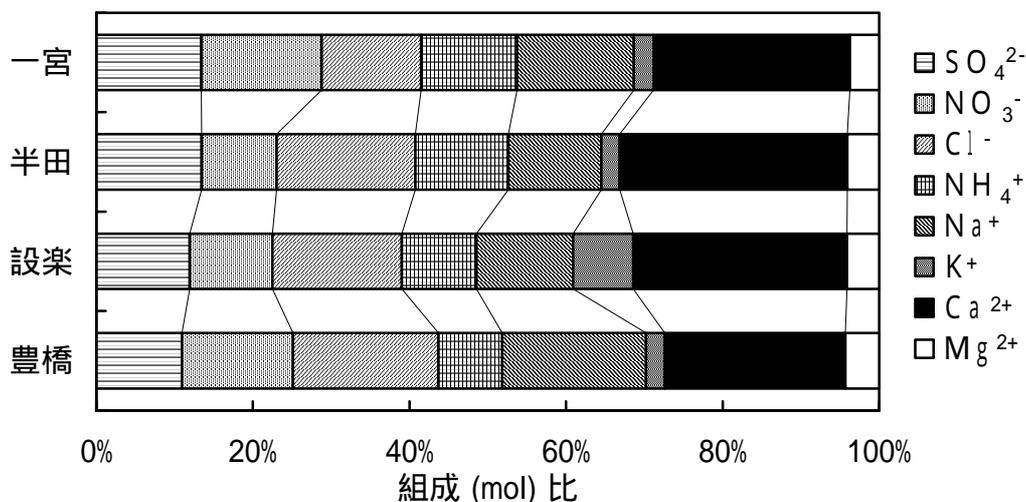


図6-13 水溶性成分における成分別沈着量の構成(mol)比

### (I) 不溶性成分の沈着物量の経月変化

不溶性成分の沈着物量の経月変化は、図6-14のとおりである。

各地点とも春季に増加する傾向がみられ、黄砂や花粉の影響によるものと考えられた。

また、不溶性成分の沈着量の地点別平均値は半田 > 豊橋 > 一宮 > 設楽の順で高かった。

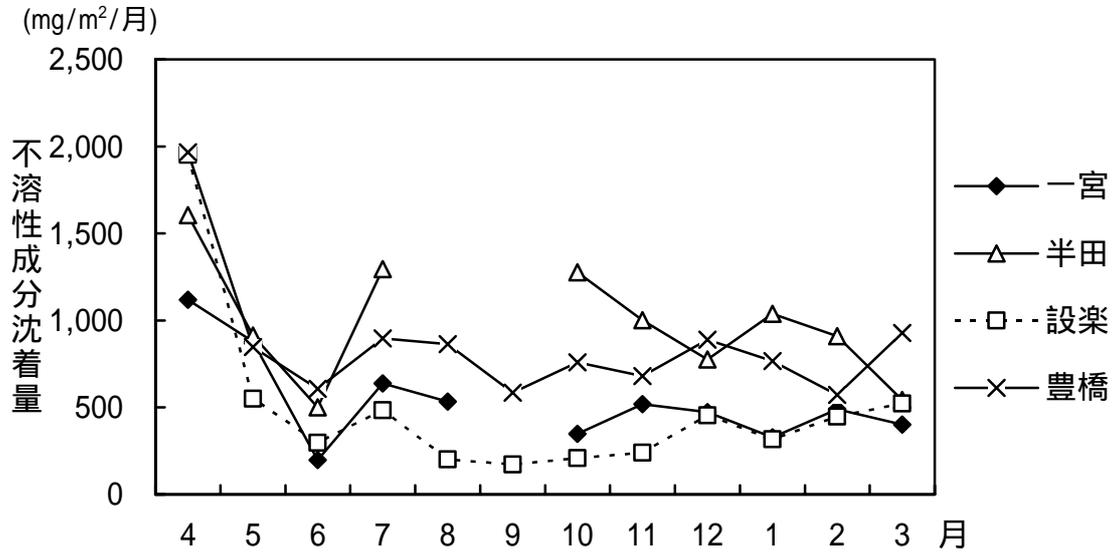


図6-14 不溶性成分の沈着量の経月変化

## 4 酸性霧調査結果

### (1) 調査方法

#### ア 調査地点

図6-15に示す次の地点で調査を実施した。

豊橋市ふれあいセンター（北設楽郡設楽町大字神田）

（以下「設楽(神田)」とする。）



図6-15 調査地点

#### イ 調査項目及び分析方法

pH、電気伝導率(EC)、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$

分析方法は、湿性沈着物調査と同じ。

#### ウ 調査期間

平成13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6-16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ある。

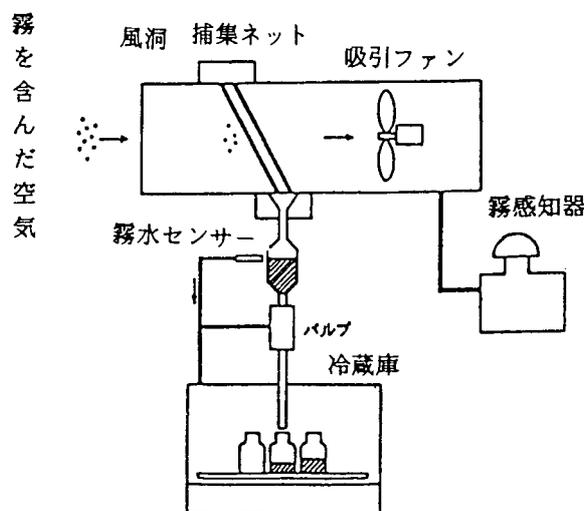


図6-16 自動霧水捕集装置

## (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、12 検体であった。

霧は、図 6 - 17 に示すように夜間にかけて発生し、朝方に消滅する傾向がみられた。

また、霧の持続時間は図 6 - 18 に示すように 5 時間以下が約 60% を占めた。

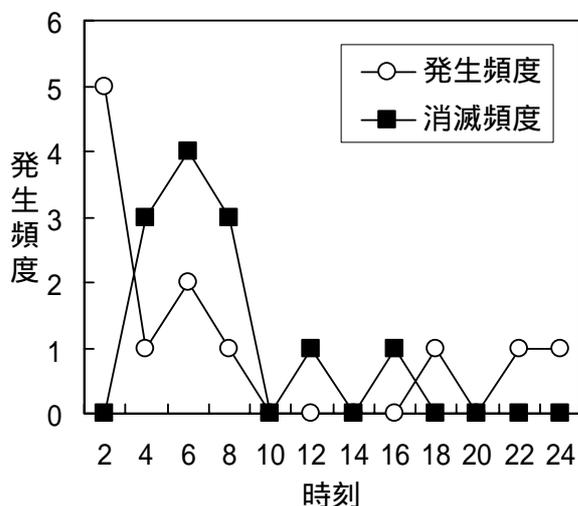


図 6 - 17 霧の発生消滅時刻

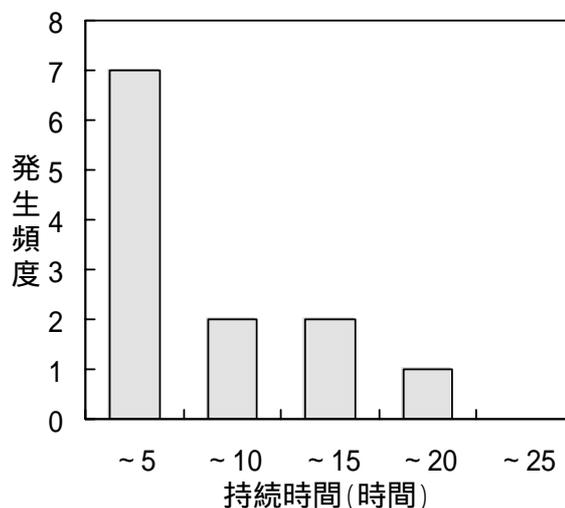


図 6 - 18 霧の持続時間の分布状況

### 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 - 4 のとおりである。また、13 年度の霧の調査と同時期における新城保健所設楽支所での湿性沈着物調査結果についても併せて示した。

表 6 - 4 霧の pH、EC 及び各成分濃度の地点別結果

調査地点	項目	pH	EC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	全イオン
		-	mS/m	μ mol/l									
設楽(神田)	平均値	5.74	12.79	266.9	175.5	111.0	17.3	422.7	123.7	95.0	63.5	74.4	1350.1
	最大値	7.02	39.87	1085.5	693.6	444.4	160.7	625.1	401.1	235.2	426.6	66.6	
	最小値	3.79	1.77	31.4	33.1	11.7	0.0	84.2	6.7	10.2	5.4	2.5	
設楽(神田) (12年度)	平均値	6.58	7.58	63.2	20.6	225.0	0.3	141.2	224.8	72.3	25.3	32.3	805.0
設楽(雨)	平均値	4.46	3.92	43.6	42.8	24.5	59.9	22.9	22.1	3.3	11.6	4.7	235.3
霧/雨 比率		1.3	3.3	6.1	4.1	4.5	0.3	18.5	5.6	28.7	5.5	15.7	5.7

**(7) pH及び電気伝導率( EC )**

pH及びECの変動は図6-19のとおりである。

pHの平均値は5.74であり、最大値は7.02、最小値は3.79であり、12年度のpHの平均値6.58に比べて低下していた。新城保健所設楽支所における同時期の湿性沈着物調査結果と比較すると、pHは雨の4.46に対して高い値を示した。

ECは、一部の検体で高い値があったが概ね13mS/m程度で、同時期の雨の3倍程度であった。また、ECとpHの関係では、一般的にECが高い検体はpHが低くなる傾向にあるが、13年度の検体の中にはEC、pHともに高い検体があり、霧中のイオン成分中の中和成分の比が高いものはこのような傾向にあった。

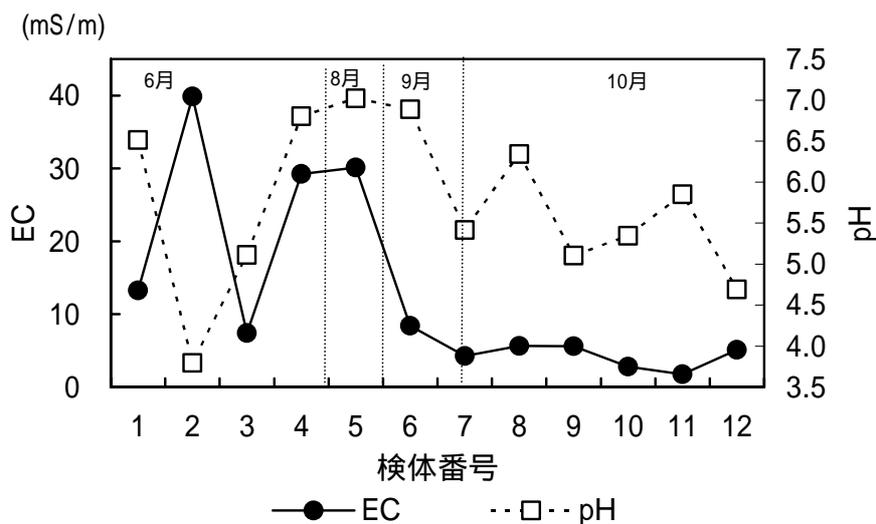


図6-19 霧のpHとECの変動

**(1) イオン成分**

イオン成分の平均濃度を比較してみると、陰イオンは $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ の順であり、陽イオンは $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ の順であった。

12年度と比べて全体的に $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{NO}_3^-$ が高くなっており、pHが低下傾向にあった。

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6-20、陽イオン濃度は図6-21のとおりである。

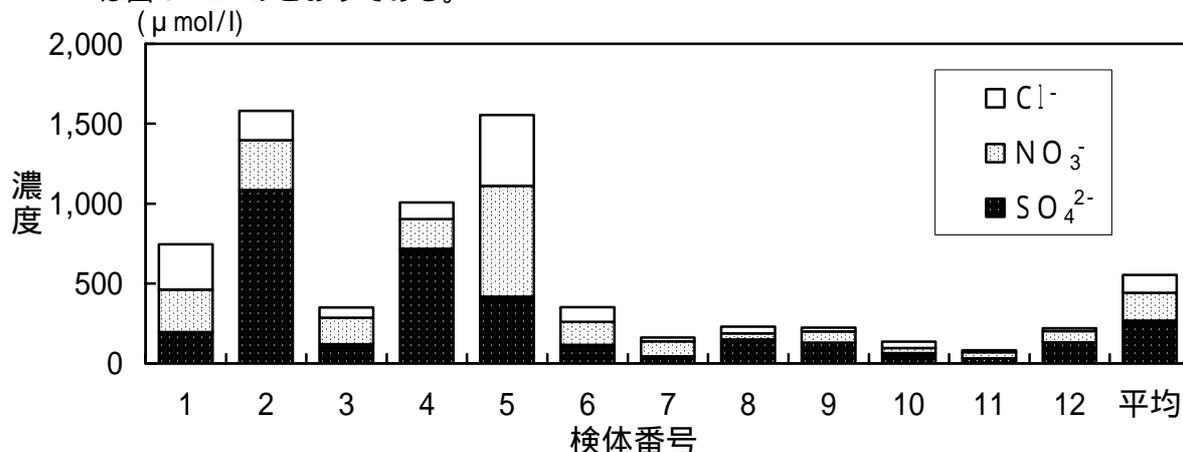


図6-20 霧中の陰イオン濃度

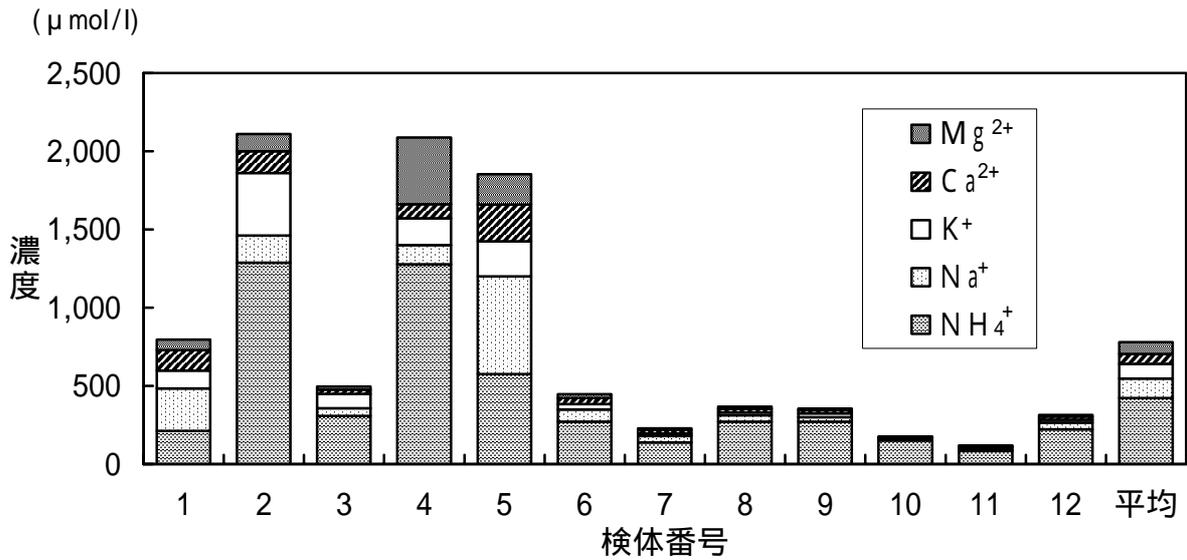


図 6 - 21 霧中の陽イオン濃度

(ウ) イオン成分組成

イオン成分の平均濃度の当量組成は、図 6 - 22 のとおりであり、霧と雨を比較すると、酸性成分である  $\text{SO}_4^{2-}$  の割合はほぼ同じであったが、 $\text{NO}_3^-$  の割合は霧の方が低くなっており、中和成分である  $\text{NH}_4^+$  の割合は霧の方が高くなっていった。また、霧は雨に比べてイオン成分濃度が 6 倍程度高い値であった。

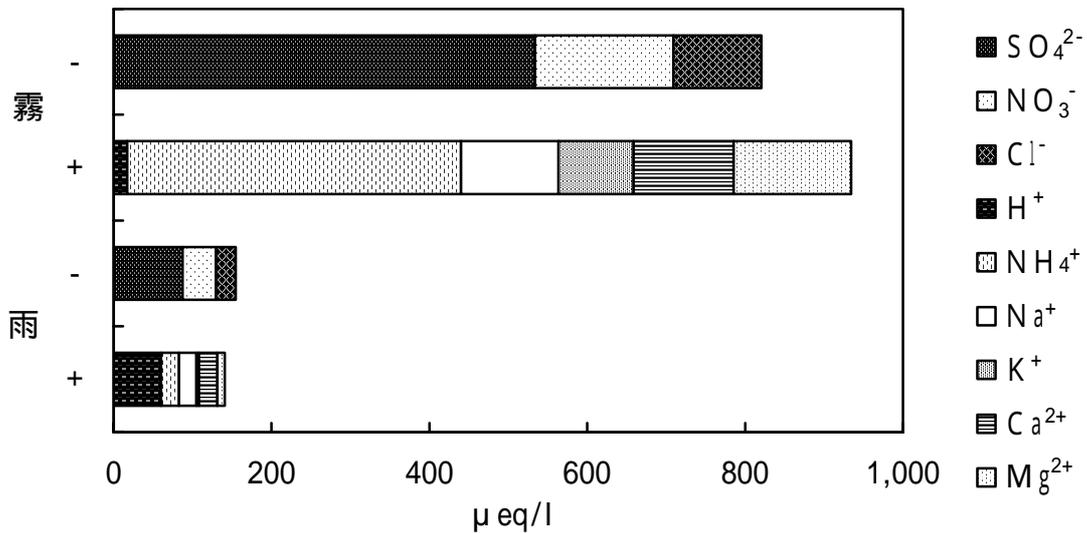


図 6 - 22 イオン成分組成

### (I) 平成 13 年度と 12 年度におけるイオン成分の平均濃度の比較

平成 13 年度のイオン成分の平均濃度を 12 年度と比較すると、図 6 - 23 のとおりである。

イオン濃度の平均値は 12 年度の約 1.7 倍であった。大幅に上回ったのは  $\text{SO}_4^{2-}$  の 4.2 倍、 $\text{NO}_3^-$  の 8.5 倍、 $\text{NH}_4^+$  の 3 倍であり、逆に下回ったのは  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  で、12 年度の 0.5 倍程度であった。

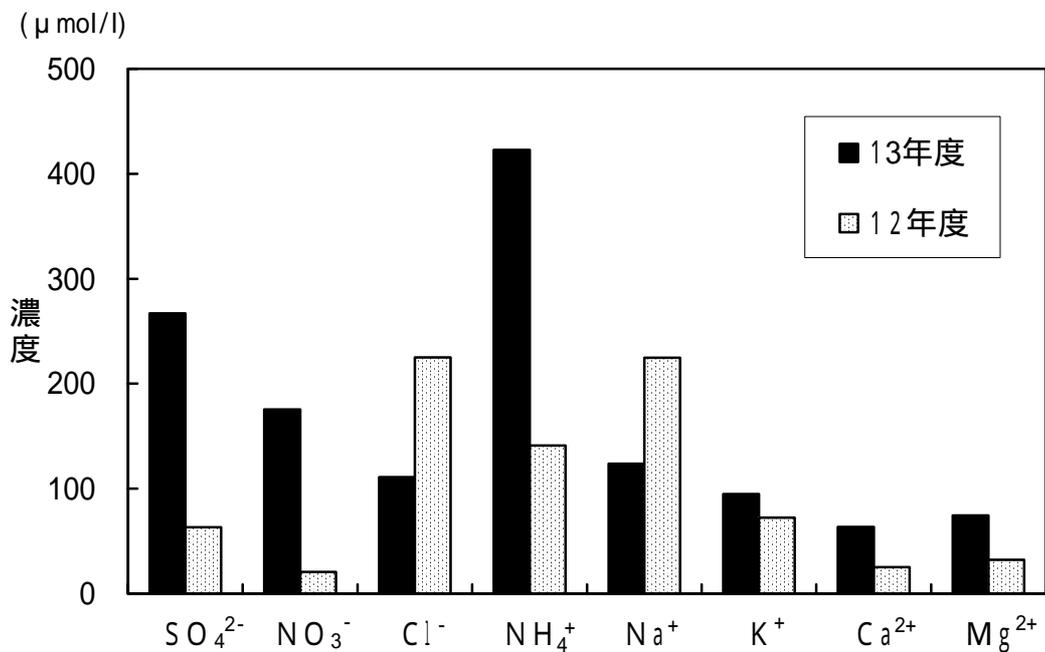


図 6 - 23 平成 13 年度と 12 年度におけるイオン成分の比較