

# 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

中 村 圭 三

## 1. はじめに

三宅島は2000年6月末に、17年振りに火山活動を再開した。7月8日から頻繁に噴火を繰り返し、8月18日には2000年の一連の噴火活動の中でも最大級の山頂噴火があった。9月1日に全島避難が決定し、避難生活は現在も続いている。三宅島火山のSO<sub>2</sub>放出量測定結果(地質調査所, 2000)によると、SO<sub>2</sub>放出量は8月末から増加傾向にあり、9月下旬以降の日平均放出量は3万トンを超えている。このSO<sub>2</sub>ガスは南風によって関東地方の各地に移送され、度々異臭が確認された。三宅島の北北東約200kmに位置する千葉県佐倉市(図1)でも、しばしば異臭が確認された。

SO<sub>2</sub>ガスの降水への影響に関しては、横浜(加藤・梅田, 2001)などについて報告されている。そこで本稿では、三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響に関する研究結果について報告する。

## 2. 研究方法

千葉県佐倉市の敬愛大学において、2000年4月から小笠原計器製作所製自動雨水採水器(US-300)により、降水を1mmごとに分割採水した。採水した酸性雨は、メトラー・トレド社製pHメーター(MP-

230) および東亜電波工業製電気伝導度計(CM-60 S)で、pHおよびECについて測定した。

また、その成分については、島津製作所製イオンクロマトグラフ(LC-10A)によって陽イオン(Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) および陰イオン(F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)の11成分について分析した。なお、大気中のSO<sub>2</sub>に関しては、千葉県大気環境測定データを使用した。

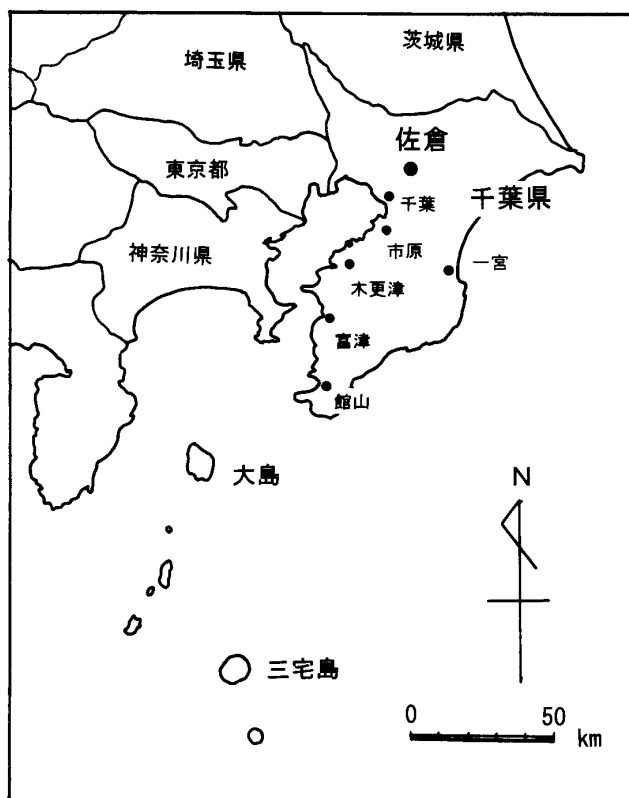


図1 観測地域

### 3. 火山ガス

#### 3.1 三宅島火山からのSO<sub>2</sub>放出量の推移

2000年8月末から2001年1月末までの期間における、三宅島火山からのSO<sub>2</sub>放出量の推移を図2に示す。8月末以来急増したSO<sub>2</sub>は、9月中旬以降一日の放出量が数万トン規模に達した。上記観測期間中のSO<sub>2</sub>放出量の日平均値は48000トンである。2001年1月までのSO<sub>2</sub>の総放出量は、約650万トンである。この量は、伊豆大島三原山が1988年から1990年の2年半にわたって放出した28万トンのすでに20倍以上に達している（風早，2001）。

#### 3.2 千葉県でのSO<sub>2</sub>観測結果

佐倉の他に、三宅島と佐倉を結ぶ直線上に位置する市原、館山および太平洋側に位置する一宮における2000年の大気中のSO<sub>2</sub>濃度（ppb）の経日変

化を、図3に示した。佐倉のSO<sub>2</sub>は、8月中旬頃までは日最高値が20ppbを超えることはほとんどなかったが、8月末から日最高値は急上昇し、9月12日には、129ppbを記録した。京葉工業地帯に位置する市原では、全般的に佐倉よりも高濃度であるが、8月中旬までの日最高値はほとんど30ppb以下であった。しかし8月末から急上昇し、9月12日には161ppbに達した。一方、房総半島南端部に位置する館山では、8月中旬までの日最高値は10ppbをわずかに超える程度であったが、8月末には前記の地点と同様に急上昇し、三宅島に近いのか市原よりも高濃度の日も出現した。さらに、太平洋側の一宮では付近に工業地帯が存在しないために8月中旬までの日最高値は極めて低濃度であったが、ここでも8月末に急上昇し、8月29日には250ppbを超える高濃度が出現した。

このように、三宅島の火山噴火の影響により2000

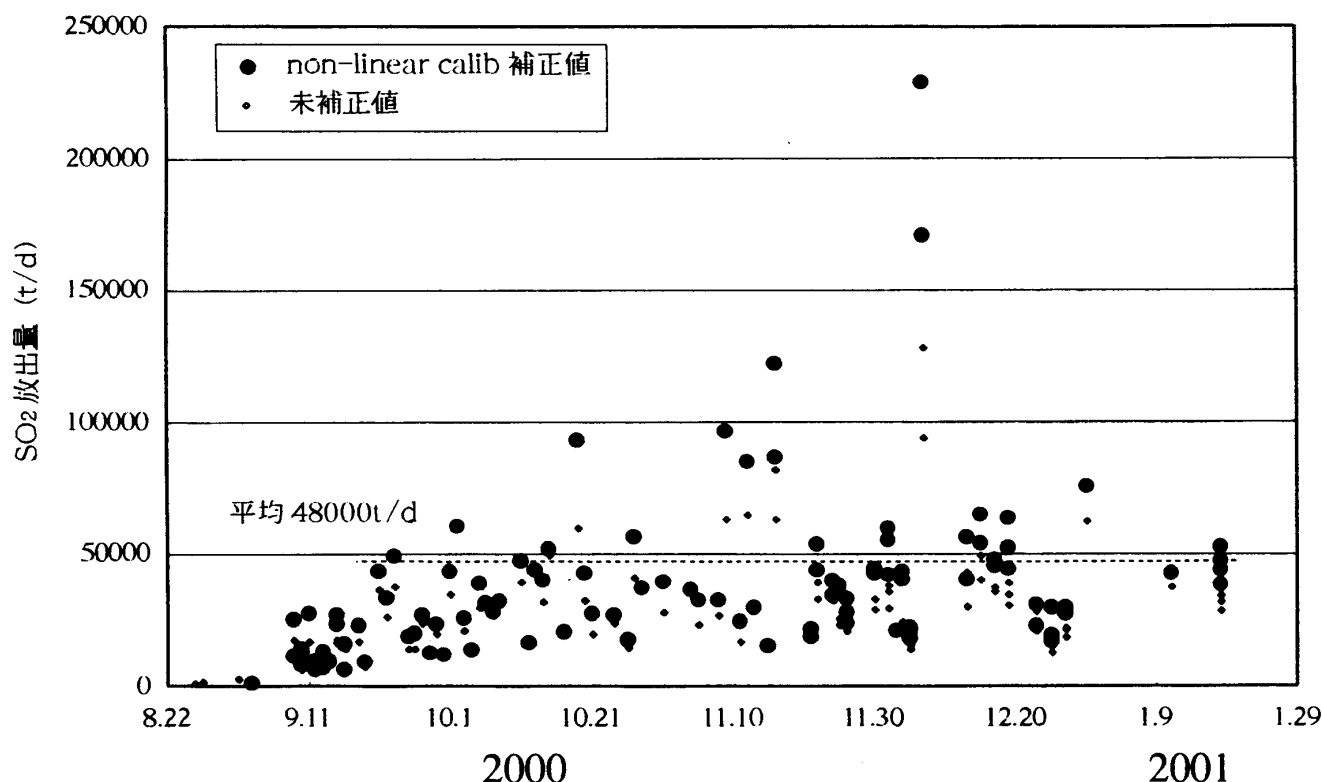


図2 三宅島火山からのSO<sub>2</sub>放出量の時間的推移（2001，風早）

# 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

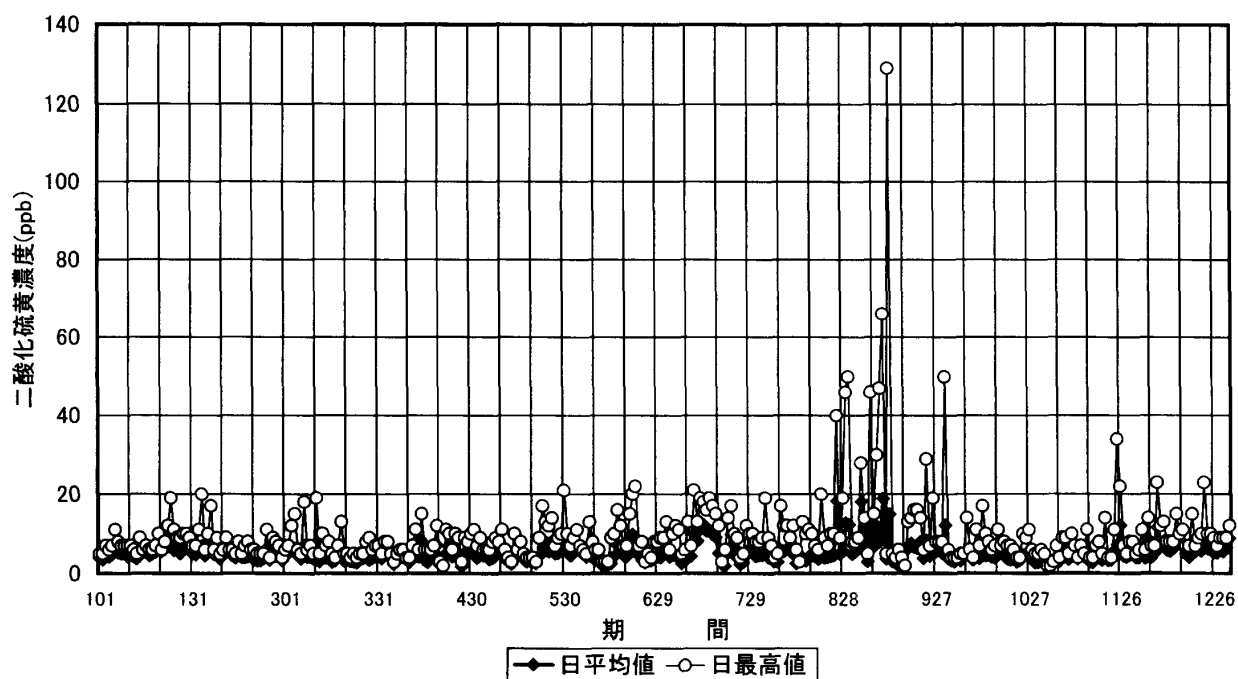


図 3-1 佐倉（江原新田3304）における2000年の二酸化硫黄濃度の経日変化  
（千葉県大気環境測定データから作成。以下の図も同様）

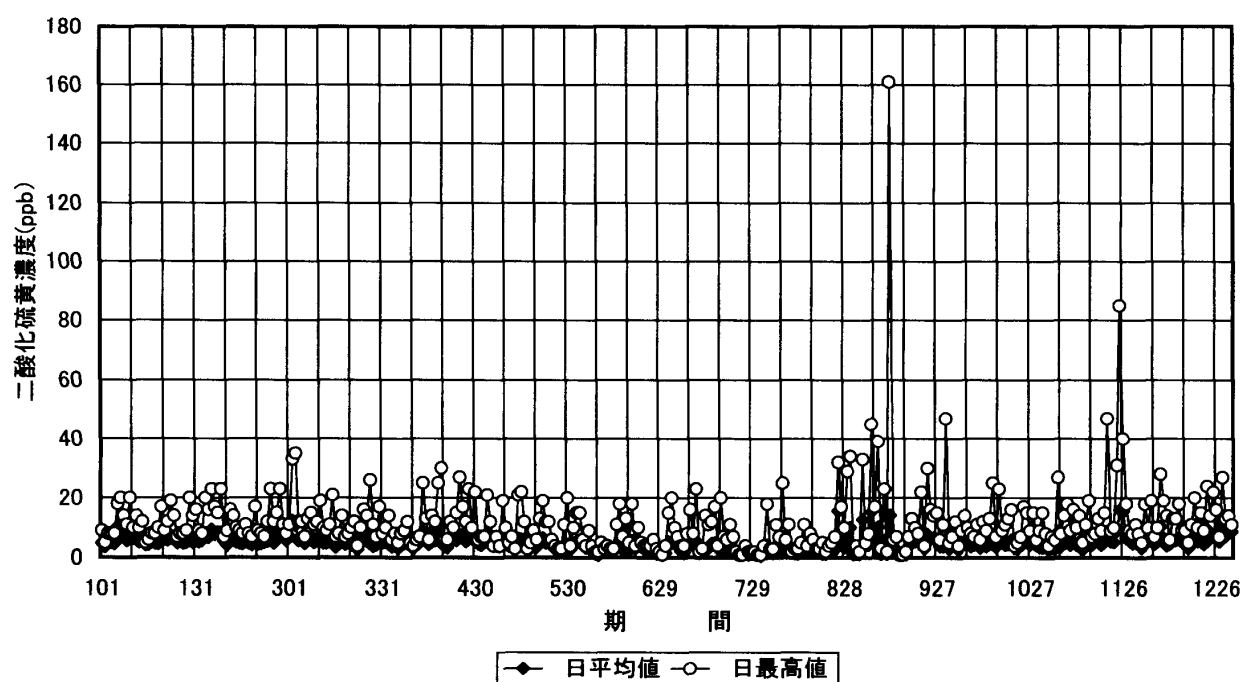


図 3-2 市原（廿五里4109）における2000年の二酸化硫黄の経日変化

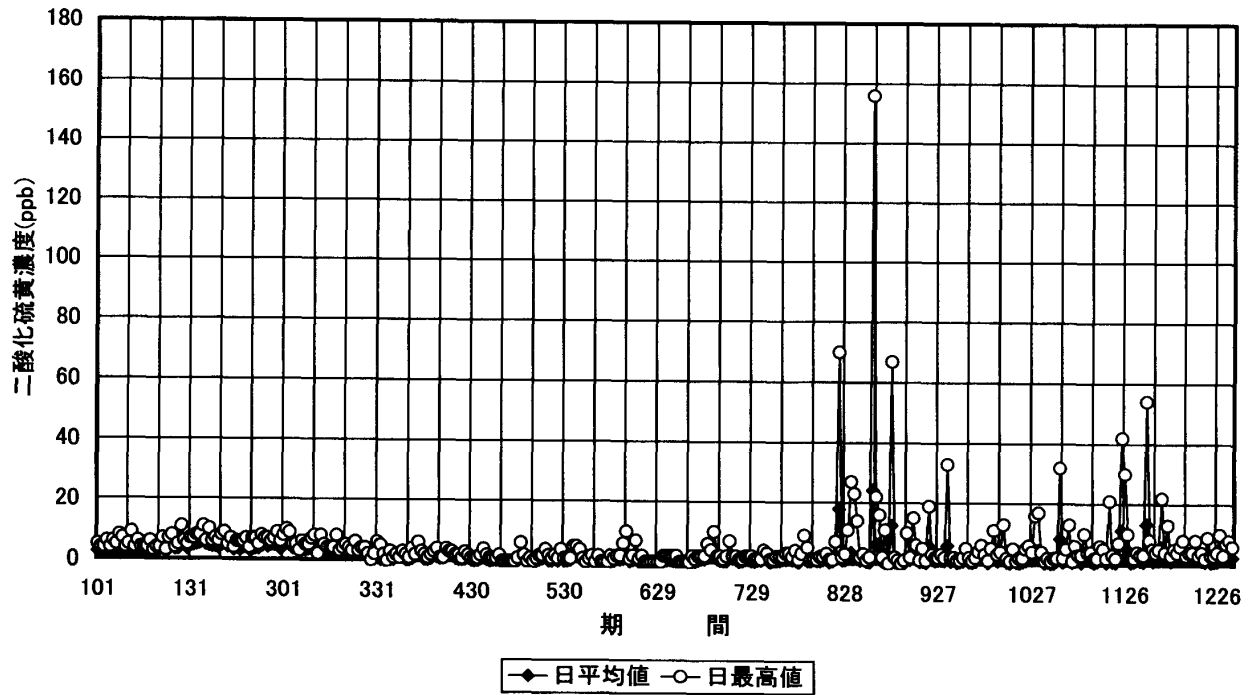


図 3-3 館山（亀ヶ原9102）における2000年の二酸化硫黄の経日変化

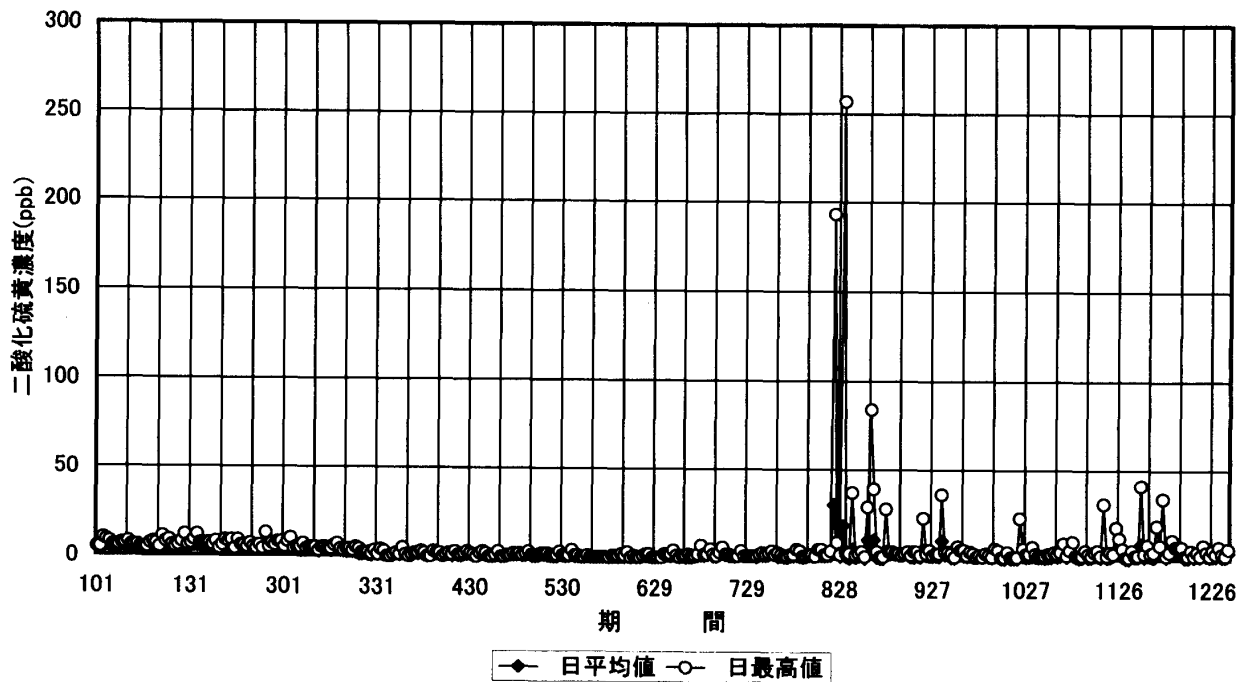


図 3-4 一宮（東浪見0702）における2000年の二酸化硫黄の経日変化

## 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

年8月末以降、千葉県各地で高濃度のSO<sub>2</sub>が観測された。

### 3.3 降水量

6月と7月には、100mmを超える降水が一度づつあり、これらの月の降水量はそれぞれ218mm、および172mmであった。また、9月から11月にかけては、40mmを超える降水が、毎月一度づつあった。一方、12月の降水は極端に少なく、17mmであった(図4)。

## 4. 研究結果

### 4.1 成分濃度の時間的推移

#### 4.1.1 pH

2000年4月から2001年3月までの期間に観測された各降水の1mm目から5mm目まで、および6mm

以上のそれぞれのpHの時間的推移を図5に示す。この図によると、降水1mm目のpH値が最も低く2mm目以降のpHは次第に高くなるという一般的傾向が認められるが、三宅島火山からのSO<sub>2</sub>放出量が急増し始めた8月末ころよりpHが急減し始めた。その後も低pH化が継続し、pHの最低値は10月2日の降水1mm目のpH3.12であった。

#### 4.1.2 EC

ECの値は降水1mm目が最も高く、次第に数値が低くなる傾向にある。9月頃までのECは、1mm目の最高値でも170  $\mu$ S/cm程度であったが、その後300  $\mu$ S/cmを超える値も出現するようになり、10月2日の降水1mm目は、最高値387  $\mu$ S/cmを記録した(図6)。

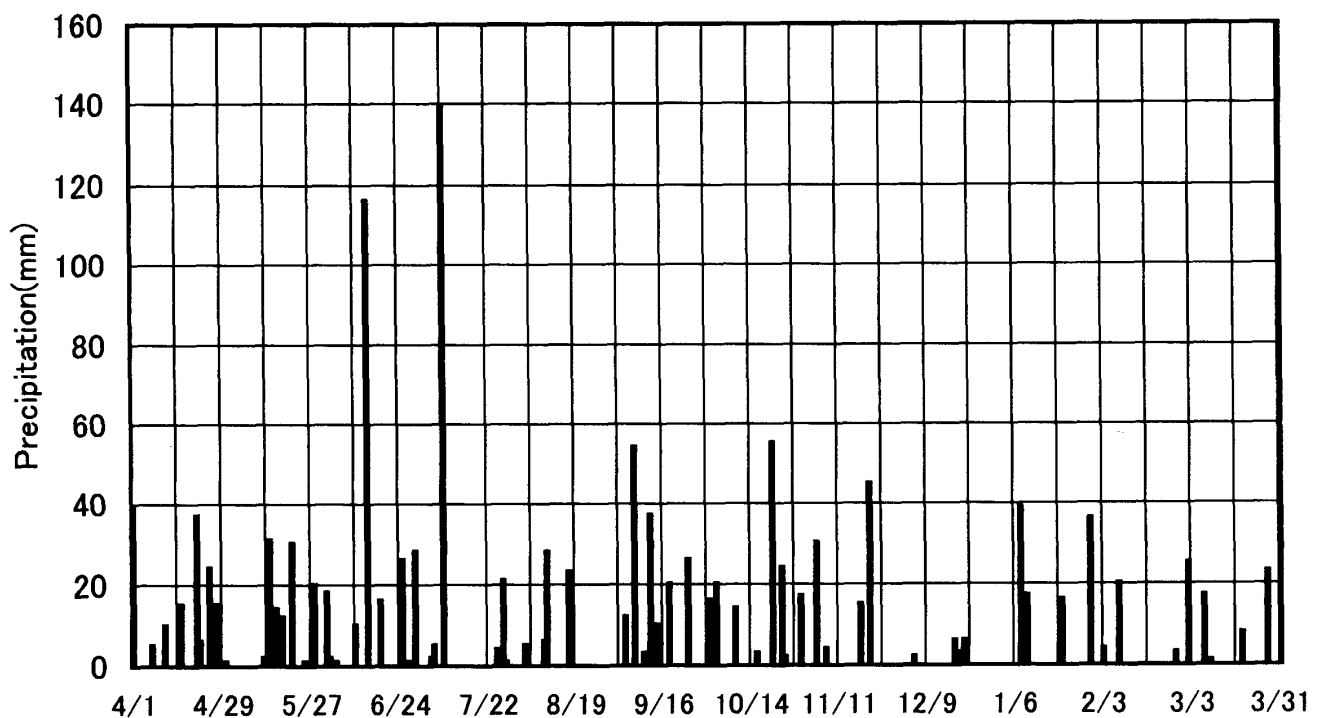


図4 2000年度の佐倉における降水採水日の降水量の時間的推移

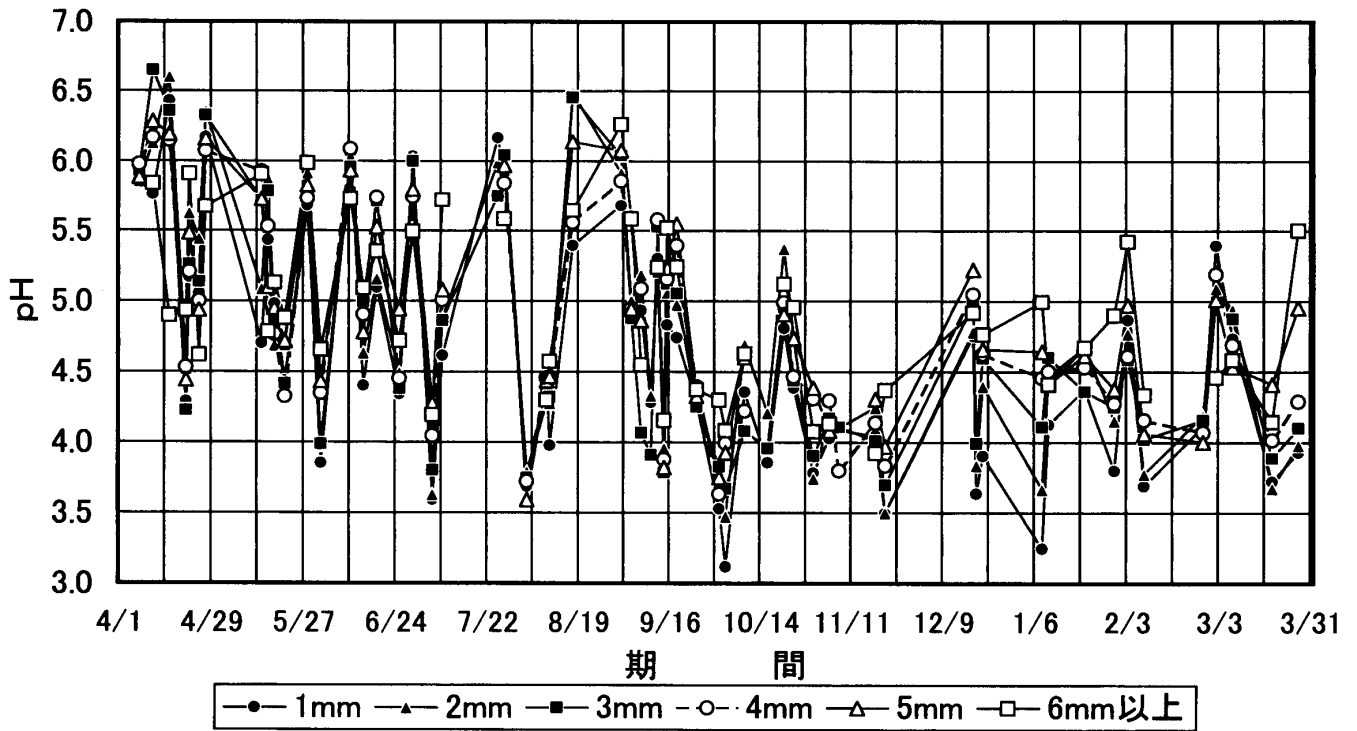


図5 2000年度に佐倉において1mmごとに分割採水した降水のpHの時間的推移

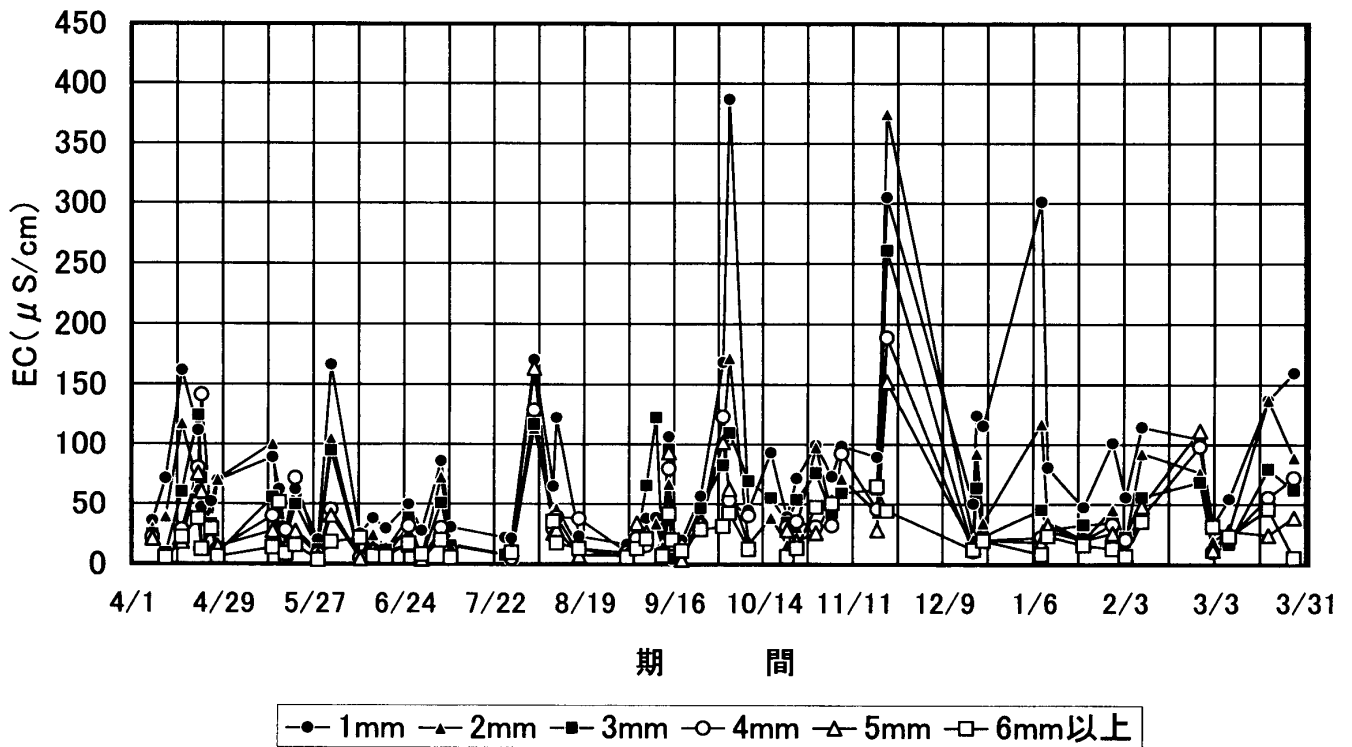


図6 2000年度に佐倉において1mmごとに分割採水した降水のECの時間的推移

## 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

### 4.1.3 $\text{NH}_4^+$

8月中旬までは、1mm目の値に0.1meq/l以上の値が頻繁に見られ、0.3meq/lを超える値も出現している。ところが、8月下旬からはほとんどが0.1meq/l以下と低濃度化している（図7-1）。

### 4.1.4 $\text{nss-Ca}^{2+}$

1mm目の値では、4月から5月に0.2meq/l以上の高濃度が散見されるが、5月末から9月半ばころまでは、0.1-0.2meq/lの範囲の値の頻度が高い。さらに、9月半ば過ぎから1月ころまでは極端に低濃度化し、ほぼ0.05meq/l以下にとどまっている（図7-2）。

### 4.1.5 $\text{NO}_3^-$

4月から8月ころまでは、最も濃度の高い1mm目の濃度が0.15meq/lを超えることが頻繁にあったが、9月から1月ころまでは見られなくなり、10月3日を除いて0.1meq/l以下であった。2月以降には0.15meq/lを超える値も出現した（図7-3）。

### 4.1.6 $\text{nss-SO}_4^{2-}$

4月から5月には0.4meq/lを超える値も出現しているが、6月から8月にかけては、ほぼ0.15meq/l以下であった。ところが、9月にはいと全般的に高濃度化し、0.15meq/lを超える値が急増し10月3日の1mm目は0.68meq/lに達した（図7-4）。

## 4.2 沈着量の経月変化

次に、2000年4月から12月までの月ごとの沈着量について検討した（図8）。

### 4.2.1 $\text{K}^+$

8月と12月に極端に少なかった以外は、ほぼ1meq/l/m<sup>2</sup>/month前後の沈着量であった。

### 4.2.2 $\text{NO}_3^-$

4月には、最も多い5meq/l/m<sup>2</sup>/monthの沈着量

があった。その後は、7月と12月に極端に少なかった以外は、2.5meq/l/m<sup>2</sup>/month前後の値を示した。

### 4.2.3 $\text{nss-Cl}^-$

6月までは0.3meq/l/m<sup>2</sup>/month以下と少量であったが、7月から増加に転じた。9月には最高値2.1meq/l/m<sup>2</sup>/monthに達し、その後減少した。

### 4.2.4 $\text{nss-SO}_4^{2-}$

$\text{NO}_3^-$ と同様、4月の沈着量は6.2meq/l/m<sup>2</sup>/monthと大きい。その後減少して、7月にはほぼ0 meq/l/m<sup>2</sup>/monthとなった。しかし、8月からは増加に転じた。9月には7.0meq/l/m<sup>2</sup>/monthを記録し、11月までは6 meq/l/m<sup>2</sup>/month 以上の値が継続した。

## 4.3 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間的推移

4月から8月までは3例を除いて5未満であったが、9月以降になると数値は急激に上昇し、5～10の値が頻発した（図9）。

特に9月から11月の値が大きく、11月21日に最高値21.95を記録した。

## 4.4 分率酸性度の時間的推移

分率酸性度 fractional acidity  $[\text{H}^+] / ([\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-])$  は、4月は全体的に低目の値であったが、5月・6月には1mm目から3mm目の値が急上昇し、0.8を超える値も出現するようになった（図10）。さらに、9月以降になると、4mm目以上の分率酸性度も上昇した。

## 5. 火山噴火前後の成分比較

### 5.1 分率酸性度とpHとの関係

三宅島火山噴火以前の2000年4月から8月まで

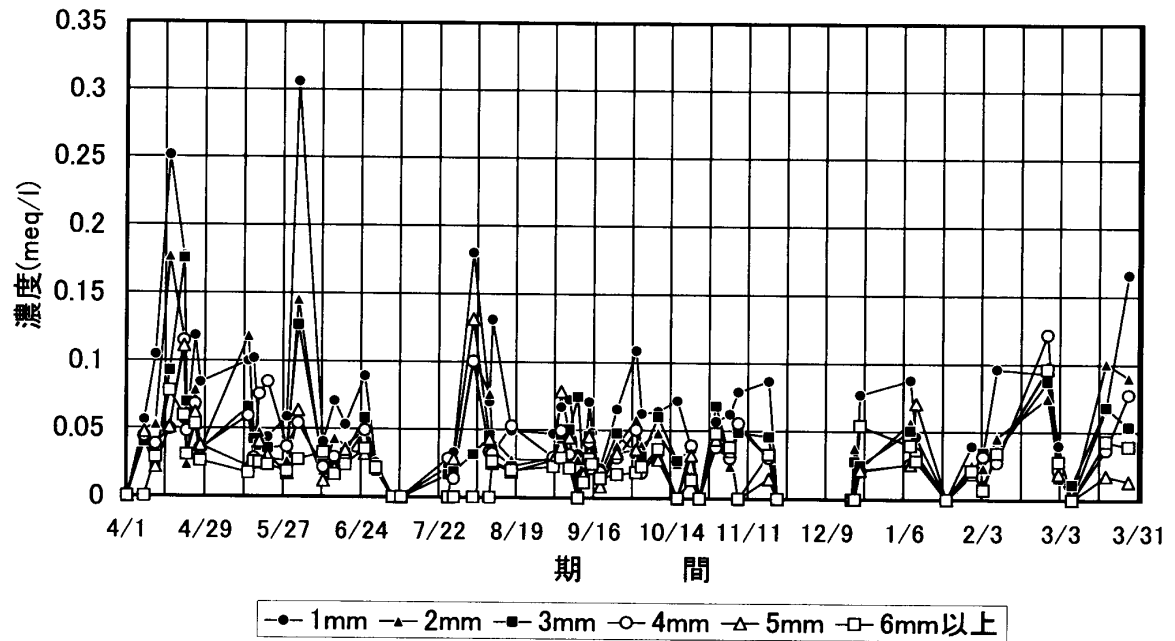


図 7-1 2000年度に佐倉において 1 mmごとに分割採水した降水の $\text{NH}_4^+$ 濃度の時間的推移

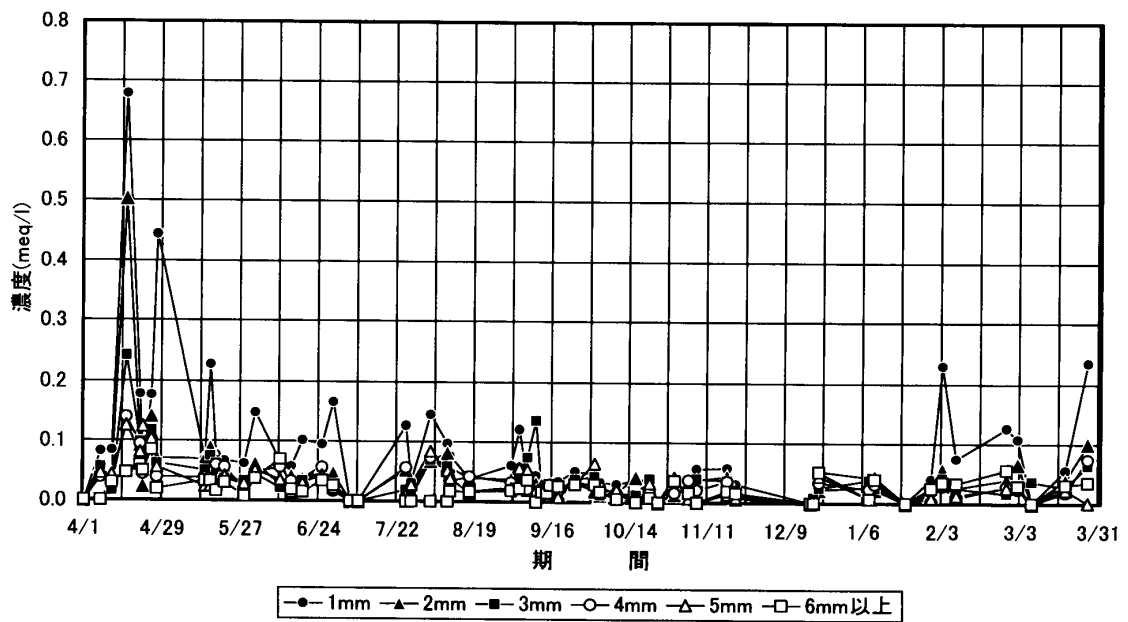


図 7-2 2000年度に佐倉において 1 mmごとに分割採水した降水のnss- $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の時間的推移



# 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

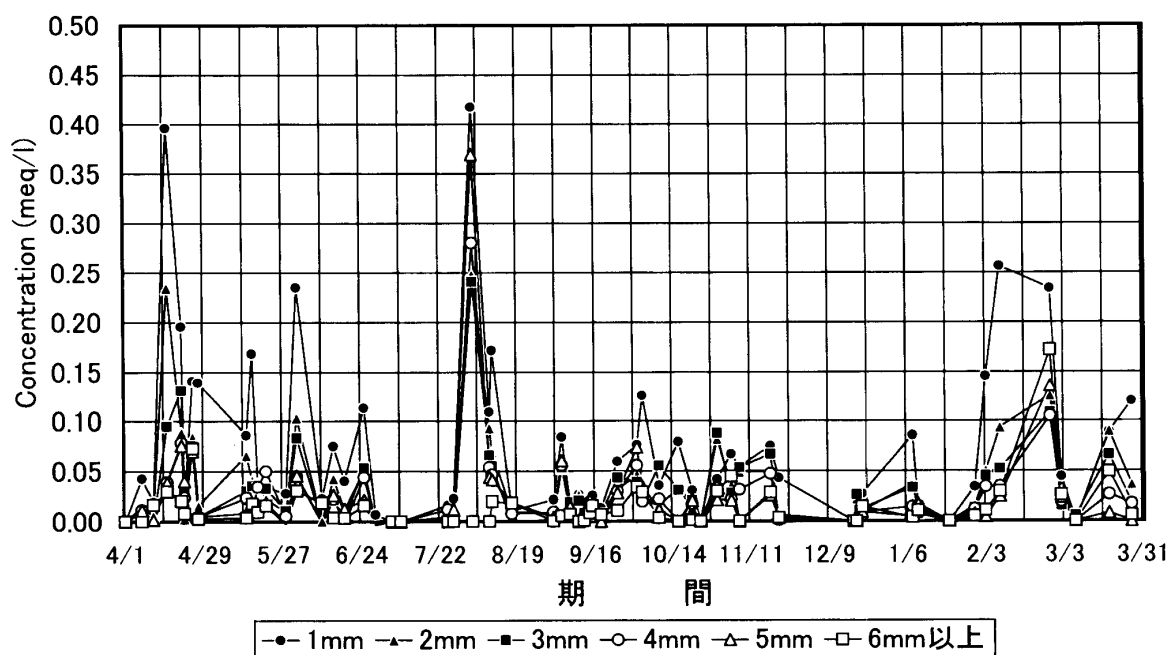


図 7-3 2000年度に佐倉において1mmごとに分割採水した降水の $\text{NO}_3^-$ 濃度の時間的推移

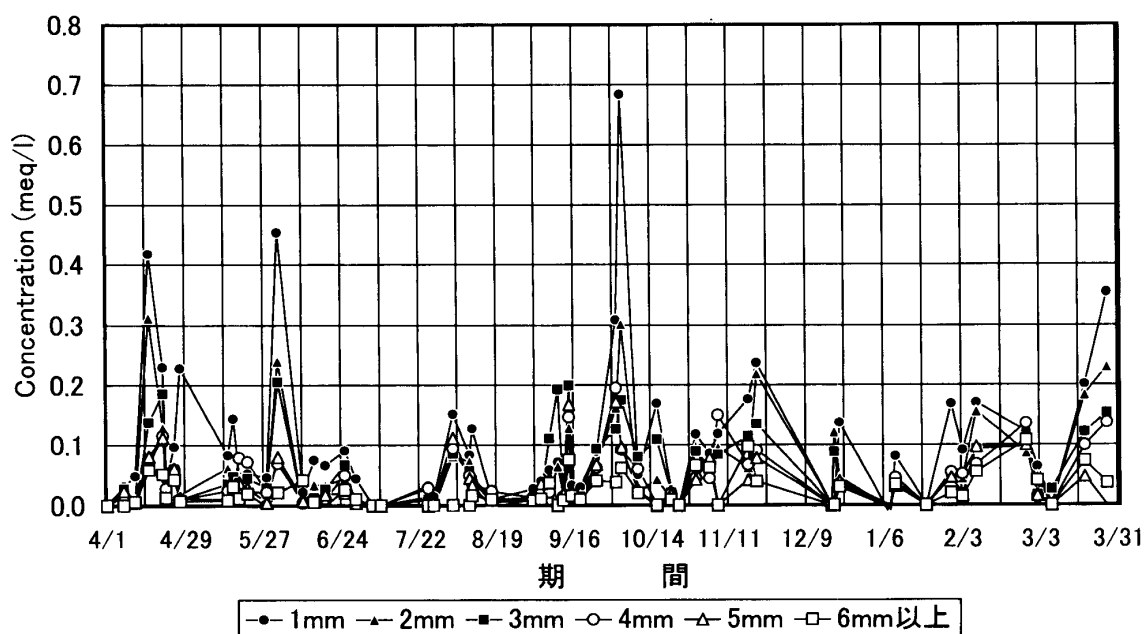


図 7-4 2000年度に佐倉において1mmごとに分割採水した降水のnss- $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の時間的推移

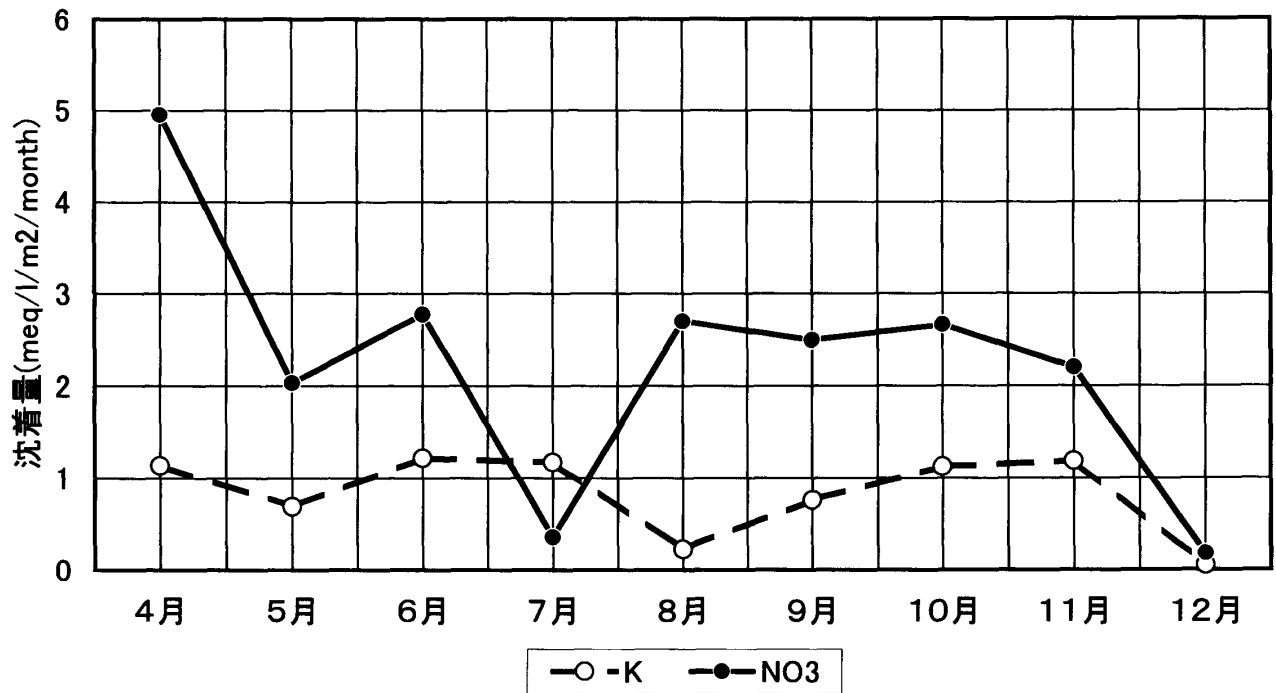


図8-1 2000年度の佐倉における酸性雨のK<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>沈着量の経月変化

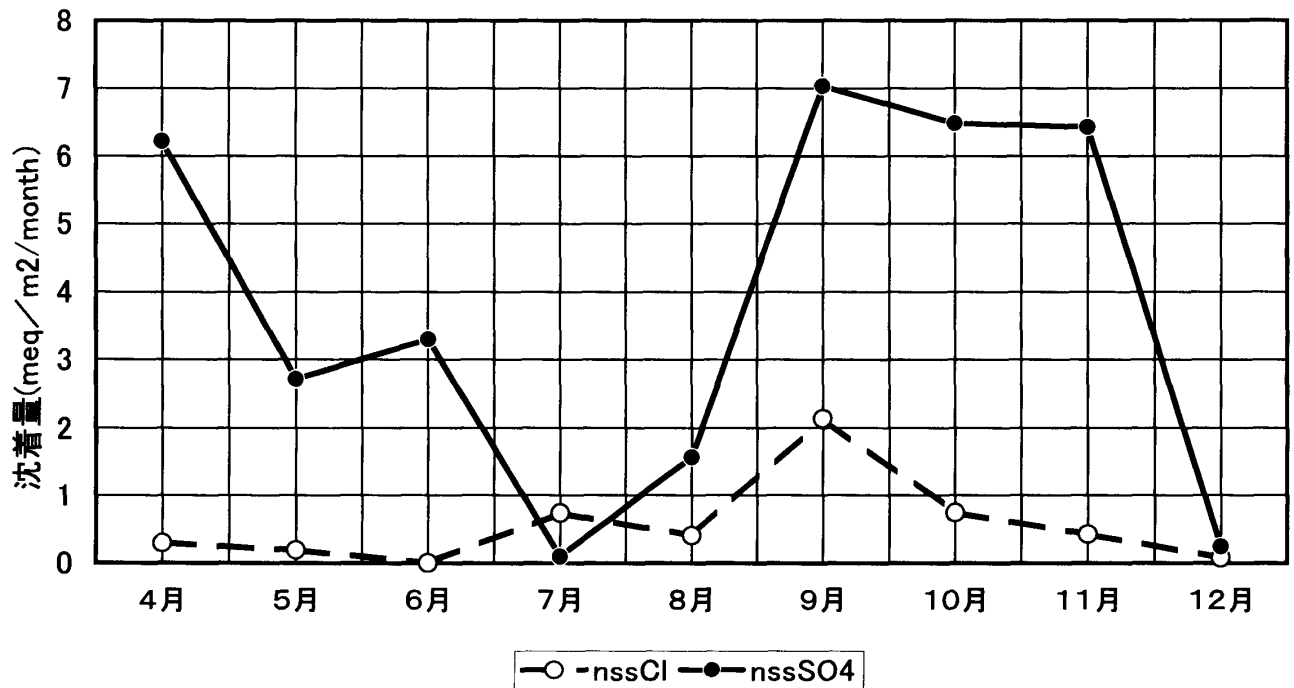


図8-2 2000年度の佐倉における酸性雨のnss<sup>-</sup>Cl<sup>-</sup>, nss<sup>-</sup>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沈着量の経月変化

# 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

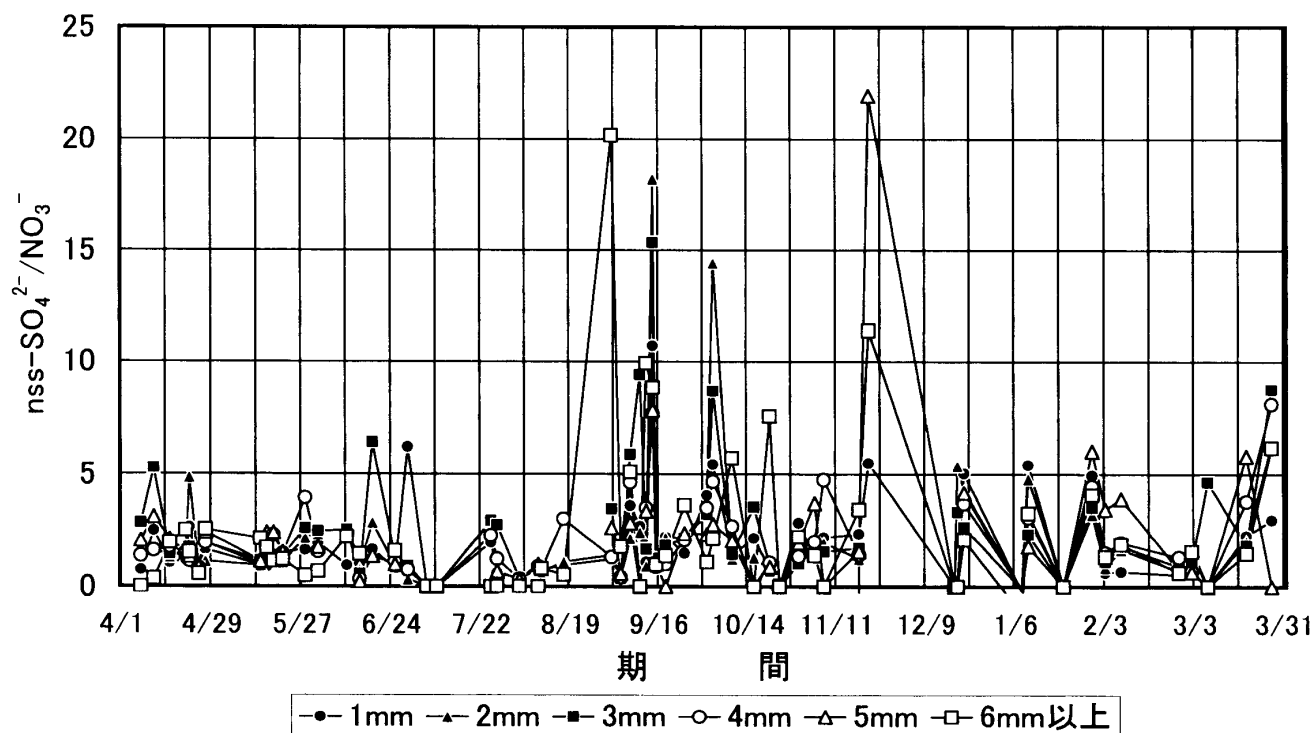


図9 2000年度に佐倉において1 mmごとに分割採水した降水の $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ の時間的推移

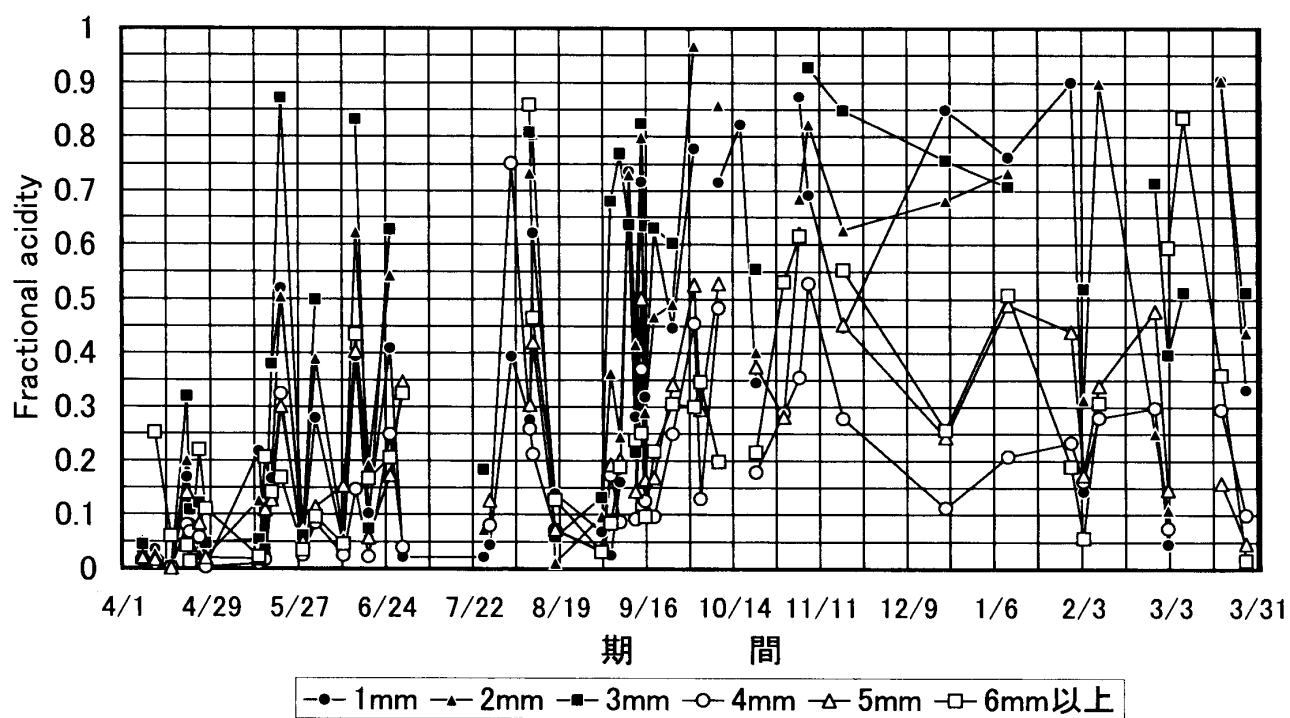


図10 2000年度に佐倉において1 mmごとに分割採水した降水の分率酸性度の時間的推移

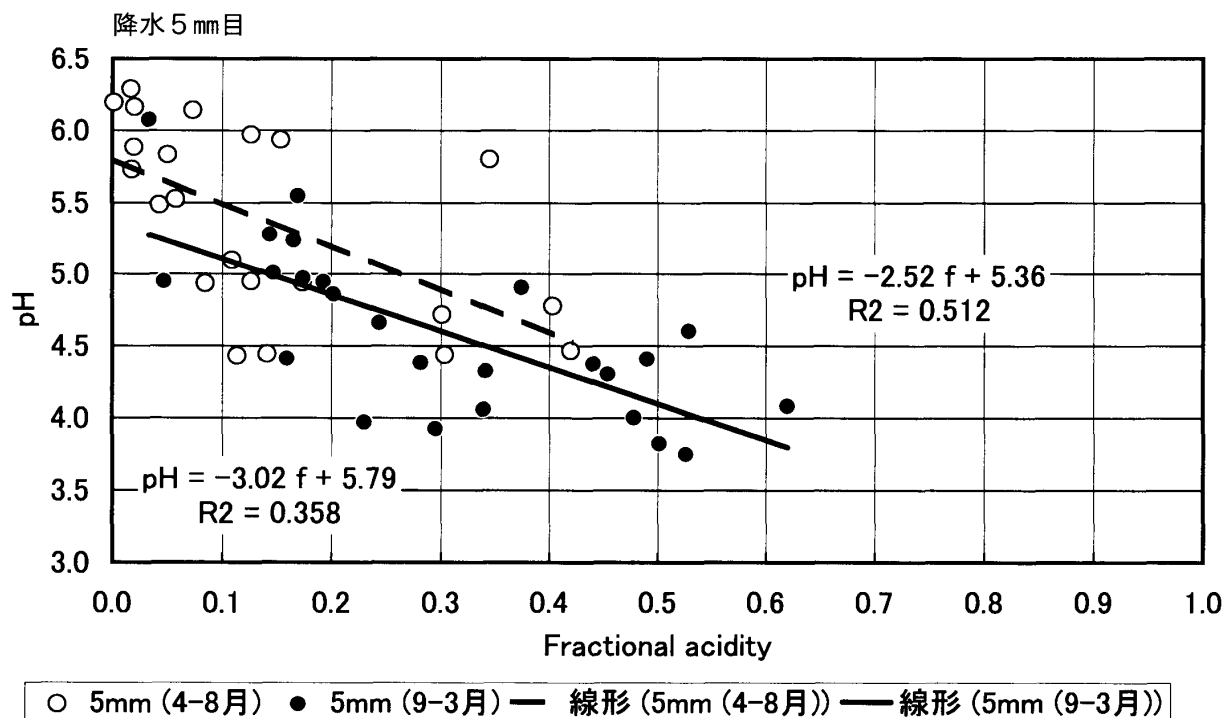
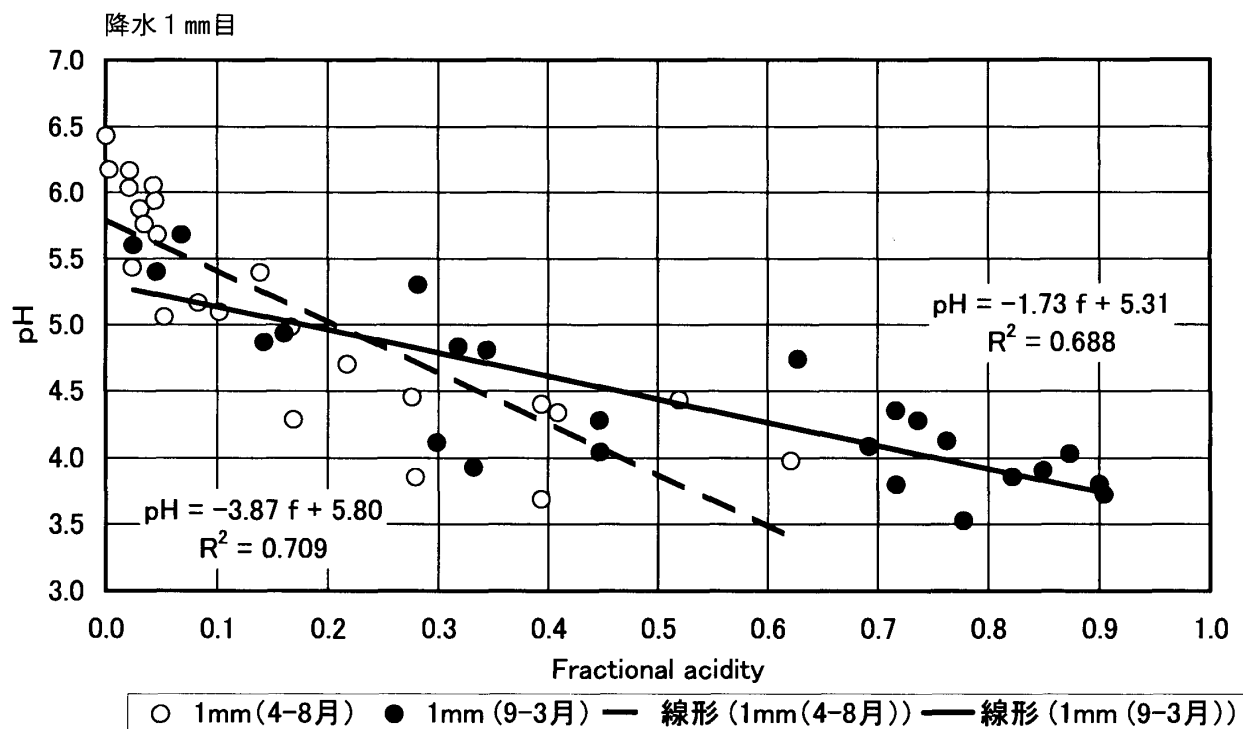


図11 三宅島火山噴火前後の佐倉の降水における分率酸性度とpHとの関係  
 噴火前：2000年4月～8月 噴火後：2000年9月～12月

## 三宅島火山ガスの佐倉の酸性降水におよぼす影響について

の期間と、噴火以後の9月から2001年3月までの期間の2グループに分けて、それぞれの分率酸性度とpHとの関係について、降水1mm目と、5mm目の場合について検討した（図11）。

### 5.1.1 1mm目の降水

分率酸性度とpHとの関係を示す図11によると、4月から8月までの分率酸性度は、ほぼ0.6以下を占め0.1以下に最も集中していることがわかる。

一方、9月以降になると、分率酸性度の分布範囲は0.9まで広がり、その中の50%が0.6以上の値を示している。

分率酸性度（f）とpHとの関係を見ると両者は負の相関を示し、

4月から8月までは、

$$\text{pH} = -3.87 f + 5.80 \quad R^2 = 0.709$$

9月から2001年3月までは、

$$\text{pH} = -1.73 f + 5.31 \quad R^2 = 0.688$$

で表される。

### 5.1.2 5mm目の降水

4月から8月までは、

$$\text{pH} = -3.02 f + 5.79 \quad R^2 = 0.358$$

9月から2001年3月までは、

$$\text{pH} = -2.52 f + 5.36 \quad R^2 = 0.512$$

で表され、1mm目よりも分率酸性度の分布範囲が狭い。

## 5.2 pH、EC、各種成分沈着量の比較

pH、ECおよび各種成分の沈着量について、火山噴火前4か月間（5～8月）と噴火後の4か月間（9～12月）のそれぞれの平均値について比較した結果を表1に示す。

加重平均によって求めたpHの平均値は、pH4.840

表1 佐倉の降水におけるpH・EC・各種成分沈着量の三宅島噴火前後の比較

沈着量 (meq/m <sup>2</sup> /月)	5～8月平均 (A)	9～12月平均 (B)	差 (B-A)	倍率 ((B/A))
pH	4.840	4.274	-0.566	0.883
EC (μS/cm)	37.663	55.104	17.440	1.463
Na <sup>+</sup>	2.556	5.614	3.058	2.196
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.258	2.299	-0.958	0.706
K <sup>+</sup>	0.827	0.781	-0.047	0.943
Mg <sup>2+</sup>	1.433	1.700	0.266	1.186
Ca <sup>2+</sup>	3.146	3.287	0.141	1.045
nss-Mg <sup>2+</sup>	0.853	0.424	-0.428	0.498
nss-Ca <sup>2+</sup>	3.035	3.042	0.007	1.002
Cl <sup>-</sup>	3.041	7.391	4.351	2.431
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.966	1.883	-0.083	0.958
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.226	5.717	3.492	2.569
nss-Cl <sup>-</sup>	0.334	0.845	0.511	2.530
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.918	5.042	3.124	2.628

噴火前：2000年5月～8月

噴火後：2000年9月～12月

から4.274へと0.566低下した。それとは逆に、ECは $37.663\mu\text{S}/\text{cm}$ から $55.104\mu\text{S}/\text{cm}$ へと $17.44\mu\text{S}/\text{cm}$ 、率にして1.463倍増加した。

沈着量についてみると、噴火後に2倍以上増加したのは、 $\text{Na}^+$  (2.196倍)、 $\text{Cl}^-$  (2.431倍)、 $\text{nss-Cl}^-$  (2.530倍)、 $\text{SO}_4^{2-}$  (2.569倍) および $\text{nss-SO}_4^{2-}$  (2.628倍) であった。一方、大きな減少が見られたのは、 $\text{NH}_4^+$  (0.706倍)、および $\text{nss-Mg}^{2+}$  (0.498倍) であった。また、変化量の少なかったのは、 $\text{K}^+$  (0.943倍)、 $\text{Mg}^{2+}$  (1.186倍)、 $\text{Ca}^{2+}$  (1.045倍)、 $\text{nss-Ca}^{2+}$  (1.002倍)、および $\text{NO}_3^-$  (0.958倍) であった。

### 5.3 考察

三宅島火山からの $\text{SO}_2$ 放出量が急増し始めた2000年8月末以降、佐倉における降水のpH値は急降下し、降水の酸性化が強まった。火山噴火前後で、降水中の $\text{NO}_3^-$ の濃度にはほとんど変化が認められなかったのに対し、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ は2.6倍に増加していることから、三宅島火山から放出された $\text{SO}_2$ が、その主な原因であることは明白である。

また、降水の酸性化は、pHと分率酸性度との関係から、噴火後にアルカリによる中和が弱まり、その傾向は初期降水ほど強いことも明らかになった。

## 6. まとめ

三宅島火山からの $\text{SO}_2$ ガス放出量が急増し始めた2000年8月末ころより、佐倉の酸性降水に次のような影響が認められるようになった。

1. 8月末ころより、pHの低下傾向が顕著となった。
2. 三宅島火山噴火前の5月から8月までの4か月間と、噴火後の9月から12月末までの4か月間の平均値を比較すると、pHは0.56低下した。  
また、 $\text{Na}^+$ は2.196倍、 $\text{nss-Cl}^-$ は2.530倍、 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ は2.628倍それぞれ増加した。
3. 分率酸性度  $[\text{H}^+] / ([\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-])$  は、9月以降高い値を示し、その傾向は、初期降水ほど強い。

## 参考文献

- 風早康平(2001)：三宅島噴火における火山性の噴出量．三宅島噴火と広域大気汚染，17-25.
- 加藤善徳・梅田てるみ(2001)：三宅島火山ガスによる酸性雨への影響．横浜市環境科学研究所報．No.25，38～46．
- 地質調査所(2000)：火山噴火予知連絡会伊豆部会資料．

## ABSTRACT

### Effect of Miyakejima Volcanic Gases on Acid Precipitation in Sakura

Keizo NAKAMURA

SO<sub>2</sub> gas release quantity from the Miyakejima volcano began to increase rapidly from the end in August, 2000. As the result , it seemed to come to be effective in the acid precipitation of Sakura next.

1. From the end August, the declining tendency of pH became remarkable.
2. In comparison with the mean value in 4 months from May to August and for 4 months for December from September, pH lowered 0.56. And, Na<sup>+</sup>, nss-Cl<sup>-</sup> and nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> respectively increased 2.196 times, 2.53 times and 2.628 times.
3. The fractional acidity  $[H^+]/([nss-SO_4^{2-}]+[NO_3^-])$  shows the high value after September.