

西丹沢山地における三宅島火山ガスの影響

阿相敏明，武田麻由子，相原敬次
(大気環境部)

Effects of Volcanic Gases from Miyakejima in the western part of Mt.Tanzawa

Toshiaki ASO, Mayuko TAKEDA, Keiji AIHARA
(Air Quality Division)

キーワード：三宅島火山ガス，西丹沢山地，二酸化硫黄，酸性雨，植物被害

1. はじめに

2000年8月末から三宅島の火山活動が活発化し，その噴煙の影響が関東一円に及んだ^{1), 2)}。

風早¹⁾は，三宅島火山からのSO₂放出量は平均値で48,000t/dと試算している。関東エリア，また神奈川県はSO₂排出量は300t/d, 30t/dと試算され，三宅島火山からの排出量はこれらの160、1600倍と桁違いに大きく，その影響が懸念された。

国設丹沢酸性雨測定所(標高920m)(以下丹沢測定所という。)において，2000年8月25日20時頃からSO₂濃度が上昇をはじめ，22，23時には200ppbを超えた。その後徐々に濃度は低下し，翌26日の16時には平常値に戻った。しかし，その後も断続的に200ppbを超える濃度が記録された。一方，降水についても9月以降pHの低い事例が多くなり，pH3.5前後の降水も観測されるようになった。これらの現象は三宅島火山ガスの影響と考えられ，樹木への影響が危惧された。

そこで，西丹沢におけるSO₂濃度及び降水のpHの状況を把握すると共に三宅島火山ガスの影響について検討を行った。

2. 調査方法

丹沢測定所は西丹沢における森林衰退の原因究明を目的として1995年に設置された。この丹沢測定所における大気中のNO_x，SO₂，O₃，1日毎の降水の成分，風向風速等の観測結果を用いて解析を行った。

2.1 測定地点

測定地点は西丹沢山地の南斜面，犬越路隧道脇(神奈川県足柄上郡山北町中川927-2，標高920m)にある。

2.2 測定方法

大気汚染物質の測定には堀場製作所製のNO_x計(APNA365)，SO₂計(APSA365)，O₃計(APOA360)を用いた。

降水の採取は小笠原計器製作所製の自動雨水採取装置(US-420)を用いた。採取単位は0時から24時までの1日毎である。

風向風速は小笠原計器製作所製の風向風速計(WS-B56)を用いた。

なお，SO₂計は低濃度測定用の高感度型であり，既知濃度のSO₂ガスを機器に導入した結果，200ppb以上は測定できないことが分かった。そこで，スケールオーバーしたデータについては>200ppbと表示した。また，平均値を求める場合は200ppbとして算出した。

2.3 分析項目及び分析方法

採取した降水については，pH，EC，SO₄²⁻，NO₃⁻，Cl⁻，NH₄⁺，Na⁺，Mg²⁺，Ca²⁺及びK⁺を測定した。測定方法はそれぞれ流通型ガラス電極法，電気電導度法，イオンクロマトグラフ法により行った。また，降水量は転倒マス雨量計により行った。

2.4 測定期間

1995年5月から2001年3月まで

3. 結果および考察

3.1 大気中SO₂濃度について

三宅島火山が活発化した2000年8月から2001年3月までのSO₂濃度の時間変化を図1-1及び図1-2に示す。

8月25日20時頃からSO₂濃度が上昇をはじめ，22，23時には200ppbを超えた，その後，9月，10月にも断続的に200ppbを超えることがあった。11月以降は平年より高濃度となっていたが，50ppbを超える濃度は月に1回程度であった。

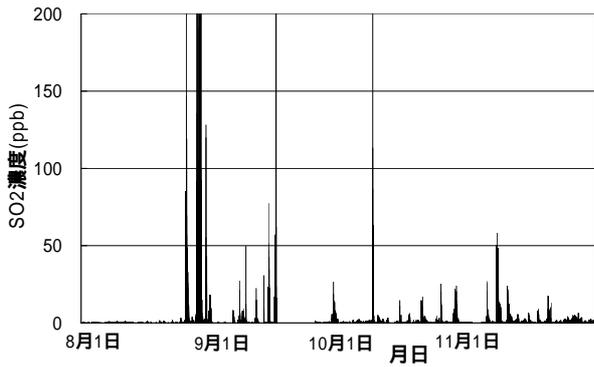


図1 - 1 丹沢測定所におけるSO₂濃度
(2000.8～11, 9/16～9/25は欠測)

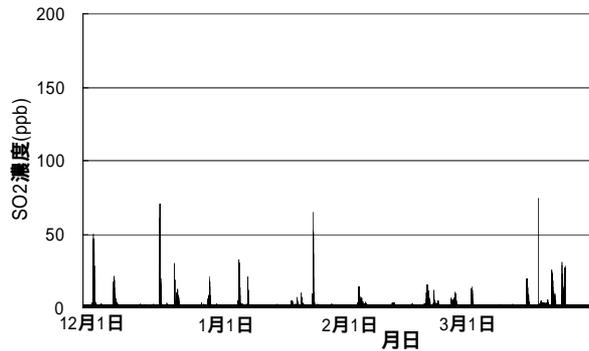


図1 - 2 丹沢測定所におけるSO₂濃度
(2000.12～2001.3)

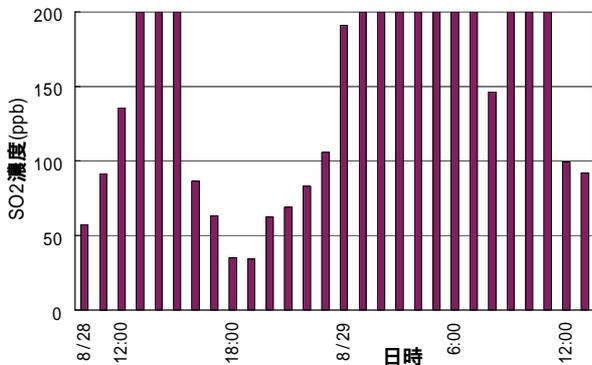


図2 丹沢測定所におけるSO₂濃度
(2000.8.28.10～8.29.13)

表1 丹沢測定所におけるSO₂汚染状況

| 年度 | 項目 | 月 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 年間 |
|------|--------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1999 | 平均値 | | 0.4 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.51 |
| | 時間最高値 | | 6.1 | 3.1 | 2.2 | 2.8 | 2.0 | 3.2 | 2.2 | 2.0 | 3.0 | 2.6 | 4.2 | 3.0 | 6.1 |
| | 日平均最高値 | | 1.1 | 1.7 | 1.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 1.3 | 1.1 | 2.0 | 1.3 | 1.8 | 1.7 | 1.8 |
| | > 200ppb 時間数 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | 平均値 | | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 8.2 | 4.5 | 2.2 | 2.6 | 3.0 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.32 |
| | 時間最高値 | | 3.5 | 3.5 | 5.8 | 2.2 | >200 | >200 | >200 | 58 | 71 | 65 | 16 | 31 | >200 |
| | 日平均最高値 | | 2.4 | 1.2 | 1.6 | 0.9 | 103 | 15 | 27 | 17 | 20 | 13 | 9.6 | 14 | 103 |
| | > 200ppb 時間数 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |

注) 濃度単位は ppb

SO₂ 高濃度が継続した 2000 年 8 月 28 日 10 時から 8 月 29 日 13 時までの SO₂ 濃度の時間変化を図 2 に示す。

8 月 28 日 13 時～15 時と 29 日 1 時～7 時、9 時～11 時の計 13 時間 200ppb を超える高濃度が出現した。付近の常時監視測定局における SO₂ 濃度は 8 月 28 日 14 時の相模原市役所で 712ppb、八王子市片倉で 935ppb を示していた¹⁾ことから西丹沢においてもかなりの高濃度であったことが推測される。

1999 年度 2000 年度及びの SO₂ 濃度の月別の平均値、時間最高値、日平均最高値を表 1 に示す。

2000 年度の SO₂ 濃度の月別平均値、時間最高値、日平均最高値は、8 月以降高濃度となっており、1999 年度と比較してもかなり高く、特に 8～10 月で高濃度となっていた。2000 年度の SO₂ 年平均値は 2.32ppb となっており、1999 年度の約 5 倍の濃度となっていた。しかし、EPA(1971 年)から提案された secondary standard 20ppb に比べかなり低く、また、河野らは³⁾暴露実験を行い 10ppb 以下であれば可視害、生長阻害は見られないとしている。これらのことから、樹木に大きな影響を及ぼす濃度とは考えられない。しかし、日平均値の最高が 100ppb を示し、また 1 時間値が 200ppb を超えた時間数は 8 月に 15 時間あり、9 月に 4 時間、10 月に 1 時間の計 20 時間に及んでいる。気孔から進入した SO₂ は水と反応して亜硫酸となり生体内で生成されたアルデヒドと反応して毒性を呈する説や酸化されて硫酸となり葉緑素を破壊し、クロロシス等の被害症状を呈する等の説がある。被害の程度は濃度×暴露時間で現され、植物種によって異なる。米国連邦政府公衆衛生部大気汚染対策本部(1967)による植物に対する SO₂ の影響に関する資料では 500ppb で 8 時間や、200ppb で 4 日間等の値が示されている。

なお、春季から夏季の暖候期には植物の葉に影響を及ぼす高濃度の O₃ が観測されており⁴⁾⁻⁵⁾⁻⁶⁾、河野ら²⁾は 10ppb より高い濃度の SO₂ が付加された場合には O₃ に対する負の生長反応は相加以上

に作用を及ぼし、生長低下を増大させるとし、複合影響のあることを指摘している。

このことから、南風が吹いて直接三宅島火山ガスの影響を受けるときは SO₂ に感受性の高い樹木に影響を及ぼしている可能性が示唆され、南風の頻度が増す暖候期に注意深く観察していく必要があると思われる。

3.2 大気中 SO₂濃度の火山ガス影響の寄与率

1995年7月から2000年7月までと2000年8月から2001年3月までの大気中の月平均 SO₂濃度と NO_x濃度の関係を図3に示す。

1995年7月から2000年7月までは大気中 SO₂濃度(Y: ppb)と NO_x濃度(X: ppb)は

$$Y=0.17X - 0.30 \quad r=0.79 \dots (1)$$

と高い相関が見られた。それに対し、2000年8月以降は NO_x に対し SO₂ が高濃度であった。直線からの距離が火山ガスの影響であるものとして、前記(1)式を用い2000年8月以降の NO_x を代入し、通常時における月別の SO₂濃度を算出し、また月別実測値から算出した通常時の SO₂濃度を差し引くことにより火山ガスの影響を算出した。これを年間値として算出した。

その結果、2000年度の SO₂年平均値 2.32ppbの内、0.52ppbが火山ガス以外、1.80ppbが火山ガスの影響と算出され、火山ガスの影響の寄与率は78%と計算された。この火山ガスの影響がないと仮定した場合の2000年度の年平均値 0.52ppbは1999年度年平均値 0.51ppbと同等であり、この解析手法の妥当性が検証された。

3.3 降水のpH及びnss-SO₄²⁻等陰イオン成分濃度

1999及び2000年度における降水のpHの平均値及び最低値と nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Cl⁻の平均値を表2に示す。ここで、nssとは海塩起源以外

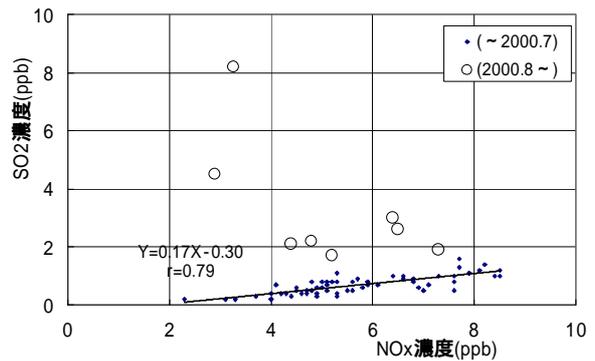


図3 丹沢測定所における大気中の月平均 NO_x濃度と SO₂濃度の関係(1995.7~2001.3)

(非海塩起源: non sea salt)の成分を示し、算出は Na⁺を基準とした。

2000年度における月別の降水 pHの平均値及び最低値は9月以降低くなっており、1999年度と比較しても9月以降低い値であった。また、月別の降水中の nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻の平均値は9月以降高くなっており、1999年度と比較しても9月以降は高くなっていた。しかし、NO₃⁻の値は9月以降変化は見られず、1999年度と比較してもあまり変わっていなかった。このことから、9月以降の pHの低下は nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻の影響と考えられ、火山ガスの SO₂、HClの寄与が示唆された。なお、1999年12月に nss-SO₄²⁻、NO₃⁻が高濃度となっているが、当月の降雨日は6日で総降水量が5mmとなっており、1日当たりの降水量が極端に少なかったためと考えられた。

2000年度における降水の平均 pH及び最低 pHは4.65、3.52であり、1999年度の5.11、3.78と比べ年平均値で0.46低くなっていた。また、2000年度における降水中の nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Cl⁻は23.0、9.5、3.7 μeq/lであり、1999年度の8.7、8.7、0.9 μeq/lと比べ、NO₃⁻はほぼ同等であったが、

表2 丹沢測定所における降水の汚染状況 (非海塩成分)

| 年度 | 項目 | 月 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 年間 |
|------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 1999 | pH 平均値 | | 5.06 | 5.41 | 4.98 | 5.16 | 5.18 | 5.06 | 4.92 | 5.16 | 4.45 | 4.87 | 5.00 | 5.46 | 5.11 |
| | pH 最低値 | | 3.92 | 4.75 | 3.78 | 3.78 | 4.44 | 4.17 | 4.07 | 4.07 | 4.14 | 4.15 | 4.75 | 4.70 | 3.78 |
| | SO ₄ ²⁻ 平均値 | | 13.1 | 5.9 | 8.4 | 4.8 | 4.5 | 17.8 | 8.2 | 8.2 | 58.6 | 13.2 | 14.1 | 19.6 | 8.7 |
| | NO ₃ ⁻ 平均値 | | 12.6 | 3.8 | 9.3 | 7.0 | 3.8 | 13.6 | 12.6 | 8.3 | 121.3 | 16.7 | 19.0 | 12.4 | 8.7 |
| | Cl ⁻ 平均値 | | 0.5 | 5.1 | 1.9 | 1.6 | 1.8 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 1.2 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.9 |
| 2000 | pH 平均値 | | 5.04 | 4.69 | 4.96 | 5.21 | 4.96 | 4.16 | 4.22 | 4.64 | 4.15 | 4.61 | 4.49 | 4.70 | 4.65 |
| | pH 最低値 | | 4.65 | 3.96 | 4.26 | 3.86 | 4.07 | 3.52 | 3.70 | 3.76 | 3.66 | 3.96 | 3.94 | 4.01 | 3.52 |
| | SO ₄ ²⁻ 平均値 | | 24.4 | 30.9 | 9.5 | 7.7 | 12.8 | 53.8 | 58.0 | 21.1 | 86.0 | 21.9 | 45.0 | 21.3 | 23.0 |
| | NO ₃ ⁻ 平均値 | | 15.9 | 33.3 | 8.5 | 4.7 | 7.8 | 10.1 | 14.3 | 4.4 | 13.3 | 6.0 | 38.2 | 13.2 | 9.5 |
| | Cl ⁻ 平均値 | | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 0.1 | 1.8 | 23.9 | 5.2 | 4.0 | 19.2 | 4.1 | 1.1 | 2.3 | 3.7 |

注) 濃度単位は μeq/l

nss-SO₄²⁻は 2.6 倍，nss-Cl⁻は 4 倍程度高濃度となっていた。

2000 年度における降水の平均 pH 及び最低 pH は 4.65、3.52 であり、1999 年度に比べ低くなっていたが、以前に観測した当地(1995.7 ~ 1998.3)及び大山下社(1990.6 ~ 1993.3)における霧水の最低 pH2.72、2.55 より高い値である。河野ら⁷⁾は人工酸性雨を 1 日 8 時間、週 3 回、3 ~ 4 ヶ月間、46 樹種の樹木に暴露し、可視害の発現状況を調査した。その結果、pH 3 の降水で、針葉樹 0/11、常緑広葉樹 7/14、落葉広葉樹 14/21 の可視害の発現が見られ、感受性の違いを考察している。なお、pH 4 ではいずれの樹種でも可視害の発現は見られない。このことから樹木の酸性雨による可視害の閾値は pH 3 近くにあると思われる。河野ら⁸⁾はスギ、ヒノキ、サワラを対象に 2 年間の暴露実験を行ったところ、pH2 では可視被害が発現し生長阻害が見られたが、pH5.6 ~ 3.0 では生長阻害は見られないことを報告している。また、松村ら⁹⁾は、pH3 の降水でウラジロモミ、ケヤキの葉及び個体の乾重量が減少したことを報告している。今回の結果における最低 pH は 3.5 であり、pH3.5 ~ 4.0 の降水は 2 回/月程度と発現頻度がかかなり少ないことから、降水の低 pH により樹木に対し重大な影響を及ぼすとは考えられない。

しかし、2000 年度の H⁺沈着量は 55.2meq/m² と 1999 年度の 21.4meq/m² の 2 倍以上となっていた。火山ガスの降水への影響が 9 月以降であったことから三宅島火山の影響が今後とも継続すると、年間の H⁺沈着量は更に多くなることが予想され、長期的な土壌に対する影響についても視野に入れていく必要があると思われる。

また、霧については現在観測していないが、以前に観測していた pH よりも火山ガスの影響によりかなり低くなることが推測される。当地区の霧の pH が低くなる機構は、下層大気の北東風によって首都圏における汚染物質が神奈川県西部地域に移送された後、丹沢山地に進入する。これが山の斜面で上昇し、この上層の湿った南風との境界層で霧が発生し、首都圏からの汚染物質が取り込まれて pH が低下することが考えられる。この上層の南風の中に火山ガスが流入した場合には霧水の pH は更に低下することが示唆され、pH 3 以下の霧がかなりの頻度で発現している可能性があり、樹木の葉に対する影響が心配される。

3.4 降水中の nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻濃度及び pH の火山影響の寄与率

降水の pH の低下要因成分は主として nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、nss-Cl⁻であるが、この中で火山ガスの影響

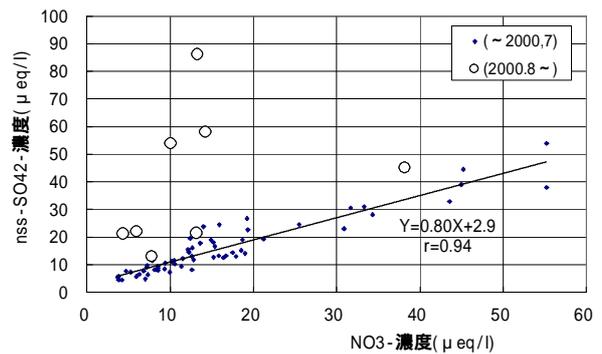


図 4 丹沢測定所における降水中の月平均 NO₃⁻濃度と nss-SO₄²⁻濃度の関係(1995.5 ~ 2001.3)

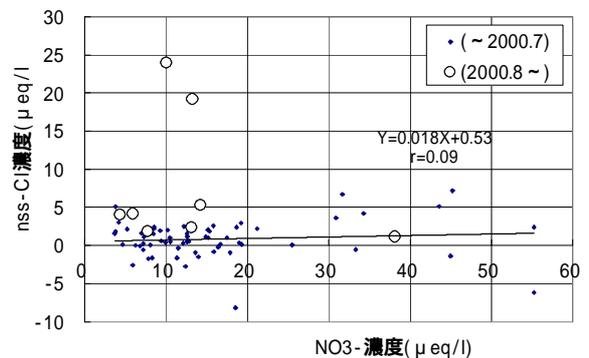


図 5 丹沢測定所における降水中の月平均 NO₃⁻濃度と nss-Cl⁻濃度との関係(1995.5 ~ 2001.3)

があるのは nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻であり、NO₃⁻はほとんどないことが知られている。また、3.3 に示したとおり 2000 年度と 1999 年度の濃度は NO₃⁻はほとんど変わらないが、nss-SO₄²⁻、nss-Cl⁻はかなり高くなっており前記のことを裏付けている。

そこで、丹沢測定所における降水中の月平均濃度について NO₃⁻と nss-SO₄²⁻、NO₃⁻と nss-Cl⁻との関係を火山ガスの影響前後(1995.5 ~ 2000.7 と 2000.8 ~ 2001.3)に分けて図 4、図 5 に示す。

図 4、図 5 から明らかなように、火山活動が活発化した時期を境にして NO₃⁻濃度に対する nss-SO₄²⁻及び nss-Cl⁻濃度はかなり高くなっており、火山ガスの影響が認められた。

火山ガスの影響前の NO₃⁻(X: μeq/l)と nss-SO₄²⁻(Y: μeq/l)の関係は

$$Y=0.80X + 2.9 \quad r=0.94 \dots (2)$$

(NO₃⁻が 120 μeq/l 以上の月は前述したように降水量が極端に少ない特異月であるため計算から除いた。)

と強い相関が認められた。しかし、NO₃⁻(X: μeq/l)と nss-Cl⁻(Y: μeq/l)の関係は

$$Y=0.018X + 0.53 \quad r=0.09 \dots (3)$$

となっており、NO₃濃度と nss-Cl濃度の相関は低いものであった。このことは、nss-Clの濃度が低いこと、土壌起源の Na⁺の影響、大気中における HCl が化学的に活性であること等が考えられた。(2)、(3)式を用い3.2同様、火山ガスの影響について月別に算出し、年間値として集計した。

その結果、2000年度の nss-SO₄²⁻年平均値 23.0 μeq/lの内、11.5 μeq/lが火山ガスの影響と算出され、火山ガスの影響の寄与率は 50%で、また、nss-Clの年平均値 3.7 μeq/lの内、2.9 μeq/lが火山ガスの影響と算出され、火山ガスの影響の寄与率は 78%と計算された。

この nss-SO₄²⁻と nss-Clの計算値を用いて、火山ガスの影響がないときの 2000年度における降水の pH を算出した結果 pH 5.10 となった。実際の pH は 4.65 であったことから、火山ガスの影響によって pH が 0.45 低下したことが示唆された。

また、この火山ガスの影響がないと仮定した場合の 2000年度の pH、nss-SO₄²⁻及び nss-Clの年平均値 5.10、11.5 μeq/l、0.8 μeq/lは 1999年度のそれぞれの年平均値 5.11、8.7 μeq/l、0.9 μeq/lと近い値であった。

3.5 大気中 HCl濃度及びHF濃度

火山ガス主要成分の内、樹木に影響を及ぼすものとして SO₂ 以外に HCl、HF が考えられる。しかし、これらのガスは西丹沢では測定していない。

平林¹⁾は、種々の測定結果から三宅島の火山ガス組成を求めており、HCl/SO₂ は 1.5 ~ 3.2 であるとしている。また、三宅島の地上部において測定された HCl/SO₂ は 0.1 と低くなっており、SO₂ と HCl の比重の差による分離があったものと考察している。

降水中における火山ガス由来の nss-Cl/nss-SO₄²⁻のモル濃度比は 3.4 の試算によれば 0.5 となっており、火山ガス組成比と比べ nss-Cl が nss-SO₄²⁻より低いようである。上空においては三宅島から排出されたガスは丹沢まで移送される間にレインアウト、ウオッシュアウトにより水に溶解され大気から除去されが、溶解され易い HCl は SO₂ に比べ三宅島付近で多く沈着することが考えられ、離れるに従って nss-Cl/nss-SO₄²⁻は低くなることが推測される。HCl と SO₂ とは物理、化学的に活性がやや異なることから西丹沢における HCl 濃度を推測することは難しい。しかし、HCl の樹木に対する毒性は弱く、数十 ppm 以上のレベルと考えられることから三宅島火山ガスの HCl による西丹沢における樹木への影響は少ないものと考えられた。

一方、HF 濃度についての三宅島における測定

の報告はないが、火山ガスの影響があると思われる降水中には極微量の F が検出された。定量限界以下ではあるが 0.1 ~ 0.5 μeq/l と SO₄²⁻等の 1/250 程度であり、これから推測される大気中の HF 濃度はかなり低いものと思われる。しかし、HF の樹木に対する毒性は SO₂ よりも 100 倍程度強く ppb 程度であることから、今後、実測していく必要があるものと思われる。

4.まとめ

2000年8月末から三宅島の火山活動が活発化し、火山ガスによる丹沢山地における樹木への影響が懸念された。そこで丹沢測定所で観測している SO₂、酸性雨データ (pH、SO₄²⁻等) (1995.5 ~ 2001.3) を用いて火山ガスの影響について検討を行った。この結果、次のことが分かった。

1) SO₂ 濃度は 2000年8月末から高濃度を示す時間帯が見られるようになり、8 ~ 10月に 200ppb を超える時間値が 20時間観測された。

2) SO₂ 濃度の 2000年度における年平均値は 2.32ppb であり、1999年度の 0.51ppb の約 4 倍を示した。2000年度年平均値の内 1.8ppb (78%) が火山ガスの影響であることが推計された。

3) 降水 pH は 2000年9月以降低くなっており、pH3.5 付近の降雨が見られ、2001年3月までに pH3.5 ~ 4 の降雨が 14日観測された。

4) 降水 pH の 2000年度における年平均値は 4.65 であり、1999年度の 5.11 より 0.46 低くなっていた。火山ガスの影響がない場合の 2000年度年平均値は pH5.10 と計算され、火山ガスの影響によって 0.45 低下したことが推計された。

5) 2000年度の降水中の nss-SO₄²⁻年平均値 23.0 μeq/lの内、11.5 μeq/lが火山ガス以外、11.5 μeq/lが火山ガスの影響と算出され、火山ガスの影響の寄与率は 50%と推計された。

6) 2000年度の降水中の nss-Clの年平均値 3.7 μeq/lの内、0.8 μeq/lが火山ガス以外、2.9 μeq/lが火山ガスの影響と算出され、火山ガスの影響の寄与率は 78%と推計された。

7) 火山ガスの影響が上記のとおり見られたが、このうち 200ppb を超える SO₂ が樹木に対し影響を及ぼしている可能性が示唆された。

8) SO₂ の年間値については、樹木に対し直接の影響は少ないものと考えられるが、O₃ との複合影響を考慮する必要がある。

9) 降水 pH については、樹木に対し直接の影響は少ないものと考えられるが、酸性霧については注意が必要と思われる。

10) H⁺沈着量は 55.2meq/m² と前年度の 2 倍以上となっており、長期的な土壌に対する影響につ

いて注意する必要があると思われる。

以上、西丹沢では8月以降三宅島火山ガスの影響を強く受けており、高濃度のSO₂及び酸性霧、また高濃度O₃との複合影響等樹木への影響が危惧された。この影響が今後とも長期継続すると西丹沢の樹木にとって大きなダメージとなることが懸念された。

なお、本報に使用したデータは、環境省による酸性雨対策調査の一環として実施し得られたものであり、2000年度のデータは確定されたものでなく変更される場合がある。

参考文献

- 1)大気環境学会：三宅島噴火と広域大気汚染(2001年2月28日)
- 2)加藤善徳，梅田てるみ：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，25，38-46(2001)
- 3)電力中央研究所：酸性雨の総合評価(電中研レビュー No.43，2001.2)
- 4)阿相敏明，相原敬次，中澤誠，若松伸司：丹沢大山における森林保全のためのオゾン許容量推定手法の開発 - 丹沢におけるオゾン汚染状況 - ，第41回大気環境学会講演要旨集，493(2000)
- 5)Takeshi IZUTA，Michiko UMEMOTO，Katsutoshi HORIE：Effects of Ambient Levels of Ozone on Growth, Gas Exchange Rates and Chlorophyll Contents of *Fagus crenata* Seedlings, J. Japan Soc. Air. Pollut., 31(2)95 ~ 105(1996)
- 6)松村秀幸，青木 博，河野吉久，伊豆田 猛，戸塚 績：スギ，ヒノキ，ケヤキの乾物成長とガス交換速度に対するオゾンの影響，大気環境学会誌，31(6)，247 ~ 261(1996)
- 7)河野吉久，松村秀幸，小林卓也：樹木の可視害発現におよぼす人工酸性雨の影響，大気環境学会，29(4)，206-219(1994)
- 8)河野吉久，松村秀幸，小林卓也「スギ，ヒノキ，サワラの生育に及ぼす人工酸性雨の影響」大気環境学会，30，191-207(1995)
- 9)松村秀幸，小林卓也，河野吉久：スギ，ウラジロモミシラカンバ，ケヤキ苗の乾物成長とガス交換速度に対するオゾンと人工酸性雨の単独及び複合影響，大気環境学会誌，33(1)，16 ~ 35(1998)