

[研究報告]

硫黄酸化物の沈着量推計 - 三宅島雄山火山活動の影響 -

Estimation for Sulfur Deposition -the Influence of Miyakejima Volcano-

松田和秀*, Junling An**

Kazuhide MATSUDA and Junling AN

【要約】2000年夏季に火山活動が活性化した三宅島雄山から排出される二酸化硫黄が日本列島への硫黄酸化物の沈着に与える影響を調べるために、東アジア酸性雨モニタリングネットワークの国内遠隔測定局におけるモニタリングデータの解析及び長距離輸送モデルによる大気質・沈着シミュレーションを行った。解析対象期間は、噴火の前後1年間を含む1999年8月から2001年7月の2年間とした。ただし、シミュレーションは、2000年10月のみ実施した。これらの解析の結果から、その影響が顕著な地域は、関東地方に止まらず東海、中部、北陸地方まで広がっており、これらの地域での硫黄の沈着量は噴火後1.5~2倍程度増加したと推計された。また、噴火後1年間、これらの地域の沈着量は、噴火直後や特定の季節に限らず、年間を通して三宅島火山ガスの影響を受けていたことが示唆された。

キーワード：酸性雨, EANET, RAQM, 沈着速度, 火山ガス

1. はじめに

三宅島雄山は、2000年夏季にその火山活動が活性化し、その後、大量の火山ガス（二酸化硫黄）を放出し続けている。関東地方でこの火山ガスが原因とされる異臭騒ぎが起こった2000年8月以降、本州の広範囲にわたって二酸化硫黄の環境基準を上回る大気常時監視局が急増した¹⁾。気象庁の推計によると、噴火から1年の間、10000~50000 ton/day程度²⁾の二酸化硫黄が放出されており、この量は、東アジア全域から人為的に放出される二酸化硫黄の総量を日換算した値に匹敵するレベルである。本論文では、このような三宅島から排出される大量の二酸化硫黄が日本列島への硫黄酸化物の沈着に与える影響を調べるために、国内の酸性雨モニタリングデータを解析し、硫黄酸化物の湿性及び乾性沈着量を推計した。さらに、長距離輸送モデルによる大気質・沈着シミュレーションを行って、その影響の範囲とレベルについて評価を行った。

2. 方法

三宅島火山の広域影響を調べるためには、周辺に大規模な人為発生源がない遠隔地域でのモニタリングデータを解析することが有効である。本解析には、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)の国内遠隔測定局(利尻、竜飛岬、佐渡関岬、八方尾根、隠岐、梶原、辺戸岬、小笠原)において1999年8月から2001年7月の間にモニタリングされた二酸化硫黄及び降水中非海塩性硫酸イオンのデータを使用した。図1にこれらの測定局の配置を示す。また、乾性沈着量は沈着速度と大気中濃度の積より求め、沈着速度の計算にはWesely³⁾のパラメタリゼーションを基礎として作成された抵抗モデル^{4,5)}を用いた。計算に必要な気象データ(風速、気温、湿度、日射量、雲量)は測定局近傍の地方気象台及び気象測候所のデータを用い、1時間毎の沈着速度を算出した。また、推計対象沈着面は針葉樹に統一した。なお、モニタリングデータの制約から、当該推計においては粒子状硫酸塩の乾性沈着量は含まなかった。

次に、三宅島からの二酸化硫黄排出量の影響による増分を推計するため、長距離輸送モデルRegional Scale Air Quality Model^{6,7)}を用いて2000年10月の大気質・沈着シミュレーションを行った。このモ

* (財)日本環境衛生センター・酸性雨研究センター
Acid Deposition and Oxidant Research Center, JESC

** 中国科学アカデミー大気物理研究所
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy
of Science

デルはオイラー型で、今回のシミュレーションでは、水平 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、鉛直8層の分解能に設定した。気象場には、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 客観解析データを用いた。人為起源のSO₂排出量は国際応用分析システム研究所 (IIASA) が推計した2000年のインベントリー⁸⁾を用いた。三宅島からの二酸化硫黄排出量は、気象庁が行ったCOSPEC (Correlation Spectrometry) による観測結果²⁾を用い、日毎の排出量を与えた。火山ガスの排出がある場合と無い場合それぞれのシミュレーションを行うことにより、火山ガス影響による増分を推計した。

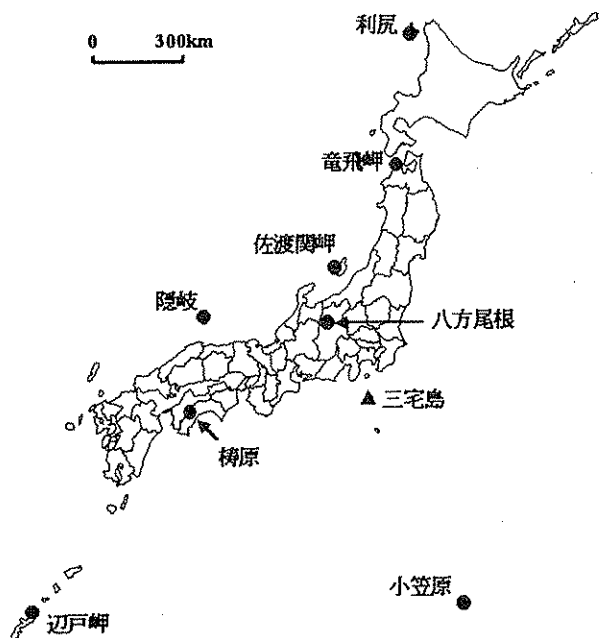


図1 三宅島及びEANET国内遠隔測定局の配置

3. 結果及び考察

3.1 噴火前後の硫黄沈着量の変動

図2に、EANETの国内遠隔局における1999年8月から2001年7月の間の大気中二酸化硫黄濃度の変動を示す。噴火が活性化した2000年8月を境に前後1年間を比較すると、噴火後明らかな増加が観測されたのは本州中央部(関東甲信越地域)に位置する八方尾根、佐渡関岬であった。また、西日本に位置する栲原、隠岐においても散発的な高濃度が観測された。他方、日本北部に位置する利尻、竜飛、日本

南方の太平洋に位置する辺戸(沖縄島)、小笠原(小笠原諸島父島)においては、明確な濃度上昇は見られなかった。

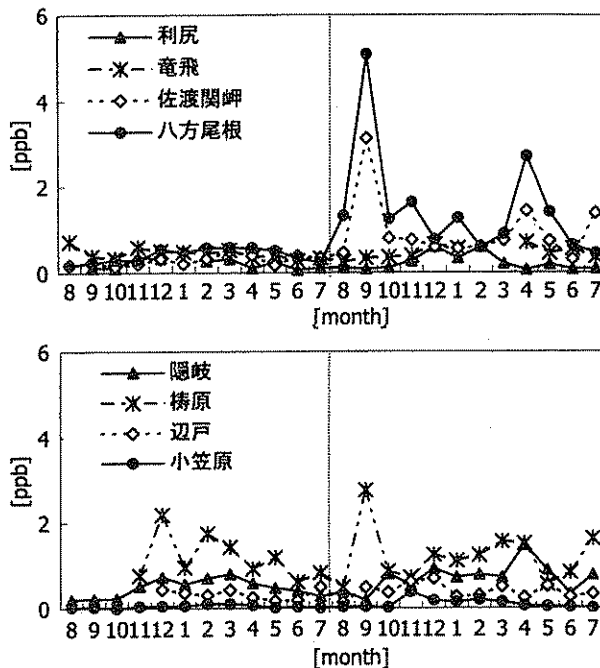


図2 EANET国内遠隔測定局における二酸化硫黄の変動(1999年8月~2001年7月)

次に、湿性沈着に二酸化硫黄の乾性沈着を加えた総沈着量を把握するため、特に三宅島火山ガスの影響が大きいと考えられた本州中央部に位置する八方尾根及び佐渡関岬において二酸化硫黄の沈着速度を計算し、その乾性沈着量を推計した。表1に、これらのサイトにおける乾性及び湿性沈着量を示す。噴火前と噴火後を比べると、両サイトにおいて、乾性沈着量で3倍以上、湿性沈着量で1.5倍以上の増加が見られる。これらの増加は、沈着速度及び降水量の変動では説明することはできず、三宅島火山ガスの影響によって大気中及び降水中の硫酸化物濃度が増加したことに起因すると考えられる。

また、増加率では乾性沈着の方が湿性沈着より大きい。総沈着量の増加に関しては、乾性沈着より湿性沈着量の増加分の寄与が大きいことが分かる。総沈着量の噴火後の増加は、八方尾根で約2倍、佐渡関岬で約1.5倍であった。

表1 佐渡関岬及び八方尾根における硫黄酸化物の沈着量(噴火前:1999年8月~2000年7月, 噴火後:2000年8月~2001年7月)

	八方尾根		佐渡関岬	
	噴火前	噴火後	噴火前	噴火後
SO ₂	0.4	1.5	0.3	1.0
沈着速度	0.30	0.27	0.28	0.28
乾性沈着	46	138	27	95
nssSO ₄ ²⁻	8.9	13.4	10.1	23.1
降水量	2167	2624	1413	951
湿性沈着	614	1122	456	703
総沈着量	660	1260	482	798

* SO₂ (ppb), nssSO₄²⁻ (μmol l⁻¹), 沈着速度 (cm s⁻¹) は年間平均値、降水量 (mm)、乾性・湿性・総沈着量 (mgS m⁻²) は年間積算値

Matsudaら⁹⁾は、長野県のアカツ林において実施した熱収支ポーエン比法による二酸化硫黄の乾性沈着フラックス観測の結果から、本推計で用いたWeselyのパラメタリゼーションより求めた沈着速度が、観測より求められた沈着速度に比べ小さくなる傾向があることを示した。また、高橋ら¹⁰⁾は、群馬県のスギ林で実施した林内雨・樹幹流法による観測を基に、二酸化硫黄の沈着速度は0.8~0.9 cm s⁻¹程度と推計しており、本調査で得られた値より大きい値を示している。国内でのこのようなフラックス研究事例は少なく、さらなる知見の蓄積が求められるが、本研究で推計された二酸化硫黄の乾性沈着量が過小評価になっている可能性は否定できない。また、本推計では、粒子状硫酸塩の乾性沈着量が含まれていないので、その分過小評価になっていることにも留意する必要がある。

図3に、八方尾根及び佐渡関岬における月毎の累積沈着量を示す。八方尾根において、噴火直後に総沈着量の急増が見られる。他方、回帰直線の傾きから判断すると、両サイト共に、噴火後1年間の累積沈着量の増加率は噴火前に比べ大きくなっており、これらのサイトにおける硫黄の沈着量は、噴火直後や特定の季節に限らず、年間を通して三宅島火山ガスの影響を受けていることを示唆している。

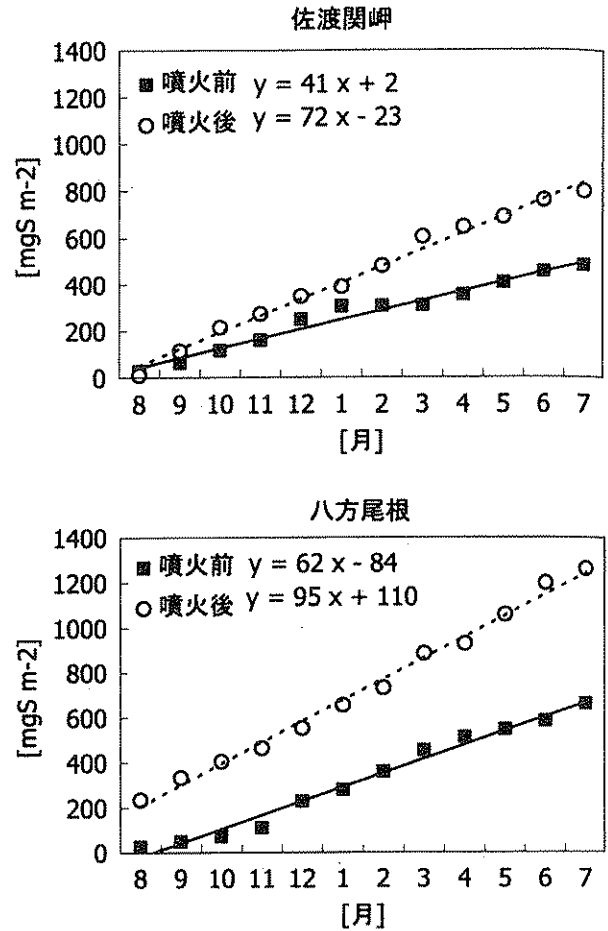


図3 佐渡関岬及び八方尾根測定局における硫黄酸化物の月毎累積沈着量 (SO₂乾性+nssSO₄²⁻湿性)

3.2 硫黄沈着量への影響推計

2000年10月を対象とし、Regional Scale Air Quality Model^{6,7)}を用いて、日本周辺域の大気質・沈着シミュレーションを実施した。ここでの総沈着量は、硫酸イオンの湿性沈着及び二酸化硫黄の乾性沈着に加え、粒子状硫酸塩の乾性沈着を含む。三宅島火山ガスの排出量を含む場合と含まない場合とのシミュレーションを行い、三宅島火山ガス影響による増加率 (100 x |(排出あり-排出なし) / 排出なし|) を推計した。硫黄酸化物の総沈着量の増加率分布を図4に示す。三宅島近傍から南東方向の海洋上約500kmの範囲で増加率が200% (3倍) を超える領域が出現した。陸域においても、50% (1.5倍) 以上の領域が本州中央部に進入しており、特に関東・東海地区、次いで中部・北陸地区において増加が顕著であった。推計期間が異なるが、モデル計算からも、八方尾根、佐渡関岬において噴火前、噴

火後とを比べた推計結果(表1)と同レベルの影響が確認された。

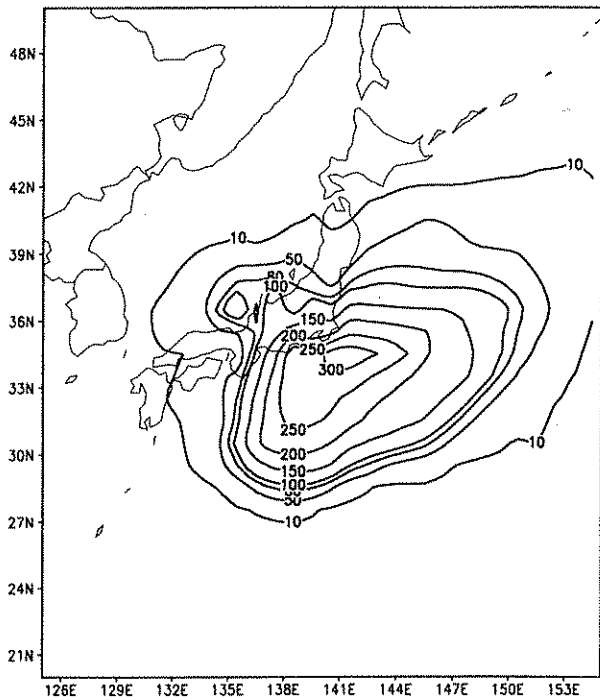


図4 長距離輸送モデルにより計算された三宅島火山ガス影響による硫酸化物総沈着量の増加率分布(2000年10月)

図5に、八方尾根、佐渡関岬における二酸化硫黄濃度の計算値と実測値の比較を示す。濃度レベルは過大推計の期間と過小推計の期間があるが、三宅島からの火山ガス影響と考えられる高濃度のピークに関しては、概ねタイミングを捕らえていることが分かる。また、EANET国内局において非海塩性硫酸イオンの月間湿性沈着量についても比較したところ、計算値と測定値はFactor 2の範囲にあった。これらの結果は、計算値が $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ の分解能であることや排出量の不確かさを考慮すると、概ね妥当な計算結果が得られていると考えられる。また、従来の長距離輸送モデルの計算の精度と比べて同レベルであると判断される¹³⁾。

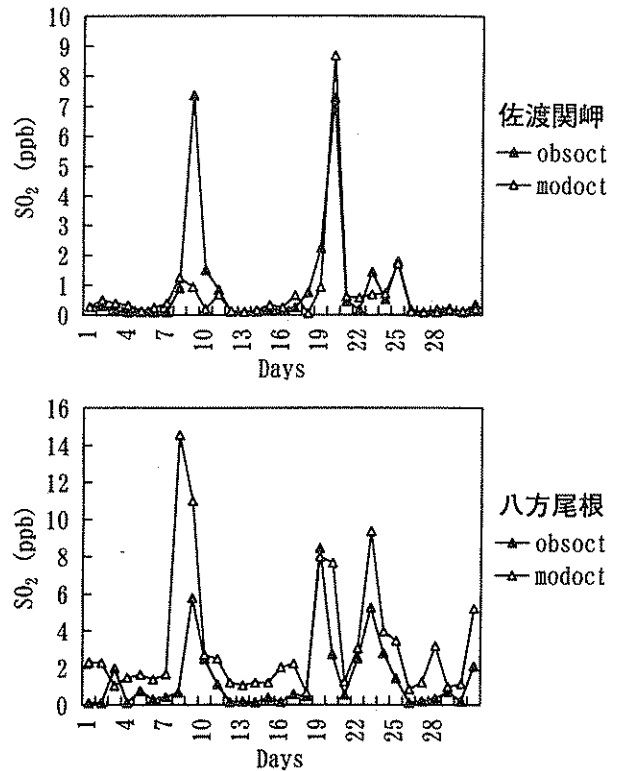


図5 佐渡関岬、八方尾根における2000年10月の二酸化硫黄濃度の計算値と実測値の比較 (obsoct: 観測値, modoct: 計算値)

4. まとめ

2000年夏季にその火山活動が活性化した三宅島雄山から排出されるの大量の火山ガスが日本列島への硫黄の沈着に与える影響を調べるため、噴火の前後1年間を含む1999年8月から2001年7月の2年間における国内酸性雨モニタリングデータの解析及び2000年10月における長距離輸送モデルによる大気質・沈着シミュレーションを実施した。これらの結果から、その影響が顕著な地域は、関東地方に止まらず東海、中部、北陸地方まで広がっており、これらの地域での硫黄の沈着量は噴火後1年間で1.5~2倍程度増加したと推計された。また、噴火後、これらの地域の沈着量は、噴火直後や特定の季節に限らず、年間を通して三宅島火山ガスの影響を受けていたことが示唆された。

5. 参考文献

- 1) Fujita S., Sakurai T. and Matsuda K. (2003) : Wet and Dry Deposition of Sulfur Associated with the Eruption of Miyakejima Volcano, Japan. *J. Geophys. Res.*, 108 (D55), pp4444-4452
- 2) 風早康平, 篠原宏志, 宇都浩三, 尾台正信, 森博一, 中堀康弘, 飯野英樹, 平林順一 (2002) : COSPECによるSO₂放出量測定. 第43回大気環境学会年会講演要旨集, pp120-123
- 3) Wesely M.L. (1989) : Parameterization of surface resistance to gaseous dry deposition in regional scale, numerical models. *Atmos. Environ.*, 23, pp1293-1304
- 4) Matsuda K., Fukuzaki N. and Maeda M. (2001) : A case study on estimation of dry deposition of sulfur and nitrogen compounds by inferential method. *Water Air Soil Polutl.*, 130, pp553-558
- 5) 松田和秀 (2002) : 酸性物質の乾性沈着量推計のための沈着速度抵抗モデルの開発. *日本環境衛生センター所報*, 29, pp41-45
- 6) An J., Ueda H., Wang Z., Matsuda K., Kajino M and Cheng X. (2002) : Simulations of Monthly Mean Concentrations of Nitrates in Precipitation. *Atmos. Environ.*, 36, pp4159-4171
- 7) An J., Ueda H., Matsuda K., Hasome H. and Iwata M. (2003) : Simulated impacts of SO₂ emissions from the Miyake volcano on concentration and deposition of sulfur oxides in September and October of 2000. *Atmos. Environ.*, 37, pp3039-3046
- 8) Klimont Z., Cofala J., Schopp W., Amann M., Street D.G., Ichikawa Y. and Fijita S. (2001) : Projections of SO₂, NO_x, NH₃ and VOC emissions in East Asia up to 2030. *Water Air Soil Polutl.*, 130, pp193-198
- 9) Matsuda K., Aoki M., Zhang S., Kominami T., Fukuyama T., Fukuzaki N and Totsuka T. (2002) : Dry Deposition Velocity of Sulfur Dioxides on a red pine forest in Nagano, Japan. *大気環境学会誌*, 37 (6), pp387-392
- 10) 高橋章, 佐藤一男, 若松孝志, 吉川邦夫 (2002) : インフェレンシャル法による森林への硫黄化合物の乾性沈着量の推定—SO₂の乾性沈着に及ぼす葉面のぬれの影響—. *大気環境学会誌*, 37 (3), pp192-205
- 11) 市川陽一 (1998) : 酸性物質の長距離輸送. *大気環境学会誌*, 33 (2), ppA9-A18

Summary

In order to research the influence on the Japanese Islands of the volcanic gas emitted from Miyakejima volcano that was reactivated in the summer of 2000, analyses on atmospheric sulfur compounds were conducted using the data monitored in Japanese remote monitoring sites of the Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). The target period was set for 2 years from August 1999 to July 2001 including one year before the eruption and one year after the eruption. Simulations of air quality and deposition were also conducted in October 2000 using Regional Air Quality Model. The analyses and the simulations indicated that the influence of the volcanic gas appeared remarkably in central Japan including Kanto, Tokai, Chubu, Hokuriku areas, and estimated that the sulfur deposition in the areas increased 1.5 - 2 times caused by the volcanic gas. It is also indicated that the influence on the sulfur deposition in the areas appeared not only just after the eruption and specific periods but also through a year after the eruption.