

三宅島雄山の噴火による火山ガス汚染

早福正孝 辰市祐久 古明地哲人
上野広行 岩崎好陽 鎌滝裕輝

要 旨

2000年7月、三宅島が17年ぶりに噴火した。島内3カ所（三宅支庁、阿古、三宅島空港）の大気環境中の二酸化イオウ（SO₂）と硫化水素（H₂S）の濃度の測定結果について解析を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

島内3カ所の中で、空港の汚染が最も高かった。空港の最高濃度は、1時間平均値ではSO₂ 15.2ppm、H₂S 2.9ppm、5分値ではSO₂ 20.1ppm、H₂S 4.5ppmであった。空港のSO₂は、0.1ppm以上の濃度が全データの約1/4、1ppm以上の濃度では全データの1/10以上といった高濃度の出現頻度が非常に高かった。

1ppm以上の高濃度は日中よりも夜間に出現しやすく、高濃度出現の6～7割は夜間であった。空港はW、WSW、SW、阿古はNE、ENE、Eの風向のときに高濃度が出現しやすいことが明らかとなった。

キーワード：三宅島 火山噴火 火山ガス 二酸化イオウ 硫化水素

1 はじめに

2000年7月8日に三宅島の雄山は17年ぶりに噴火した。2001年7月現在の時点でもなお噴火は継続しており、島民は今も島外の各地で不自由な生活を強いられている。

本稿は、噴火から現在までの三宅島噴火についてその経緯を概観し、継続して観測している火山ガスによる島内の汚染の実態を報告する。

2 噴火から現在までの経緯

三宅島の噴火は、11世紀の頃から記録に残っており、その噴火形態の多くは山腹噴火が主で、山頂噴火の例は少なかった。1940年の噴火以来、約20年の周期で噴火が繰り返され、いずれも山腹噴火であった¹⁾。そして過去の三宅島の噴火は、概して短期間で治まった。

過去の噴火周期から、近々三宅島は再び噴火することが予測はされていた²⁾。2000年噴火は6月26日の海底地震を契機として、7月8日に17年ぶりの噴火となっ

た。今回の噴火は山頂の崩落で始まった。その崩落は直径700～800mにわたる大規模なものであった。その後も噴火と崩落は繰り返され、7月22日の段階で直径約1,200m、深さ約500mにまで拡大した。8月18日にはこれまでの最大規模の噴火が起き、噴煙高度は約14,000mにも達し、島内各地に降灰と噴石が観測された。降灰はその後も衰えず、各地の泥流被害を引き起こす要因となった。噴煙はその後も続き、その影響は本土各地にまで及び、8月23日には、東京都八王子市片倉の測定局で午後2時の二酸化イオウ（SO₂）濃度が0.935ppmにまで達した。二酸化イオウ濃度が高い時は、同時に腐卵臭のような悪臭が各地で報告されている。その後二酸化イオウだけでなく、各地に強酸性雨が観測され続けている。

8月24日に三宅村は児童、生徒の避難を決定した。続いて、9月4日には全島民一斉避難が実施された。2001年7月12日に10ヵ月ぶりにわずかな島民が一時帰島

するまで、島は復旧対策作業関係者のみの島となった。帰島できない最も大きな要因は、活発な噴火による火山ガスと火山灰による泥流の危険性が非常に高いことによる。特に火山灰の泥流による島内各地の寸断と決壊の惨状は大きかった(写真1～2)。そのため9月19日に東京都現地対策本部は、復旧のため国、東京都及び民間による本格的な復旧対策を開始した。その際大きな問題は火山ガス(写真3～4)への対応であった。そこで環境局は、ライフラインの維持・復旧作業の安全性確保のための火山ガス測定を開始した。このため研究所職員と環境局行政部門担当者は、この後頻繁に島へ赴くこととなった。環境局は、12月から島内3カ所(三宅島支庁(以降、支庁と略す)、阿古今崎(同、阿古)、三宅島空港(同、空港))に連続自動測定機で、火山ガスとして危険性が高くかつ量的に多い二酸化イオウと硫化水素(H₂S)の観測を開始した。観測データは、衛星通信を介して入手できるシステムとなっている。火山ガスの放出は、2000年噴火初期の8～9万トン/日といった高い放出量に比べるとかなり減少しているが、現時点(2001年7月)でもなお、1～2万トン/日放出している。火山ガス放出の終息時期は、火山専門家の間でも現時点では予測がつかない状態である。

現地の復旧対策をより迅速化するため、島内に火山ガス除去装置付きの「クリーンハウス」と呼ばれる退避・宿泊施設が完成した。これは高濃度の火山ガスが地上に達したとき、島内作業の安全性を確保するための基地となっている。東京都災害対策本部は夜間滞在に関する基本方針を出し^{3,4)}試行期間終了後、現在本格的な夜間滞在做して復旧作業を継続している。2001年7月現在でクリーンハウスは、島内数カ所に設置されている。

3 調査目的と調査方法

火山ガスの調査目的は、①現地復旧対策作業時における作業者の労働安全性からみた安全性確保のための測定と②島民が島内における生活が可能か否かの判断のための健康面から見た環境濃度の実態把握にある。

火山ガスの測定手法は、大きく分けて前期と後期に分けられる。前期は2000年12月に自動測定機による観測が開始するまでの、ガス検知管を主とした測定期間である。ガス検知管による測定は作業現場近くの濃度測定を行った。従って、測定箇所は広範囲に渡っていた。



写真1 泥流による道路の決壊 (2000/9/19)



写真2 泥流に押し流された地面 (2000/9/19)
(後方の立ち木の白いテープが付いているところまで地面であった(高さ約1.5～2m))



写真3 噴煙が立ち昇る三宅島 (2000/9/19)



写真4 海上に這い降りる噴煙(阿古港沖) (2000/9/20)

原則としてSO₂とH₂Sをほぼ同時刻に測定した。

後期は、自動測定機を主とした測定期間である。自動測定機に供給する電気は、復旧作業の進捗状態にかかっている。泥流等の影響により停電がかなりあるため、欠測数も多い。自動測定機の配置は図1に示す3カ所である。自動測定は2000年12月13日から開始した。

SO₂自動測定機(理研計器製 100AH型)は、紫外線蛍光式測定法で、2001年6月19日までは、検出下限値は0.1ppmで、6月20日以降は0.01ppmである。H₂S自動測定機(光明理化学工業製 TH-D 4A型)は、定電位電解式測定法で、検出下限値は、0.1ppmである。データは、衛星通信を介して対策本部のある神津島と環境局(新宿)にリアルタイムに送信されるシステムになっている。濃度値は、連続測定 of 5分毎の瞬時値とそれを平均化した1時間平均値とに整理されている。本稿では、主として後期の測定結果について解析を加えた。

気象観測は東京管区気象台が行っており、そのデータを用いた。風向・風速は坪田(空港付近)と阿古の2カ所、支庁近辺は、現在観測されていない。気温は神着(支庁付近)と坪田で観測されているが、電力事情が悪いためデータ取得数は少ない。

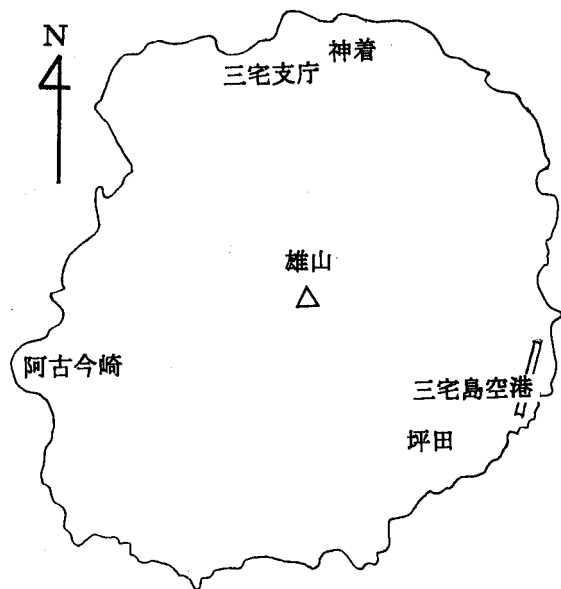


図1 三宅島における測定地点図

4 結果と考察

1) 前期

島内の通電復帰される前の測定手段としてとして、ガス検知管によって島内各地を測定した。期間中の最高濃度はSO₂で6 ppm、H₂Sで0.6ppmであった。噴煙

が山の斜面を這い降りて海面にまで達したときは(写真3)、当時の対策本部が設置されていた「かとれあ丸」の船内においてもSO₂で1.0ppm、H₂Sで0.25ppmの汚染状況であった(2000年9月21日)。その結果、この日の島内の作業が直ちに中止となった。そのほかのガスとしては、例数が少ないが塩化水素(HCl)が0.2ppm観測された(10月11日)。窒素酸化物(NO_x)、フッ化水素(HF)及びアンモニア(NH₃)は検出されなかった。放出された火山ガスは雨に取り込まれpH3.5という強い酸性雨が観測された(11月5日)。成分分析の結果、SO₄²⁻の濃度が高かったので、SO₂、SO₃ガスによる影響が推測された⁵⁾。

2) 後期

ア 最高濃度

2000年9月21日以降12月までの約3ヵ月間のSO₂の日平均放出量は42,000トン/日で、その後2001年5月21日までの平均放出量は30,000トン/日となり、明らかに放出量は減少していると、火山噴火予知連絡会は発表している⁶⁾。爆発的な火山噴火による全地球のSO₂の放出量は1年当たり4Tg(Tg=10¹²g=10⁶ton)であり、それに爆発を伴わないSO₂の放出量9Tgを合わせて13Tgが毎年火山から大気へ供給されているとされている⁷⁾。仮に三宅島の爆発的放出量を30,000トン/日として1年間継続して放出したとすると約11Tg(1,100万トン)となり、全世界の放出量に匹敵する量を三宅島雄山が放出していることになる。さらに爆発的放出量の4Tgのみを比較すれば三宅島だけで、その約3倍近い量を放出していることになる。

このような放出量が多いことは、当然それは地上の

表1 1時間平均値の最高値

単位: ppm

	SO2	H2S
支庁	6.1	1.5
阿古	3.8	0.6
空港	15.2	2.9

(2000/12/13~2001/7/4)

表2 5分値の最高値

単位: ppm

	SO2	H2S
支庁	9.5	2.5
阿古	5.9	1.6
空港	20.1	4.5

(2000/12/13~2001/7/4)

大気中のガス濃度へも影響されることになる。後期の連続測定期間中のSO₂とH₂Sの最高濃度は、1時間平均値を表1に、5分値を表2に示すように、3カ所ともにいずれも非常に高濃度である。特に空港における1時間値のSO₂の15.2ppmとH₂Sの2.9ppm、さらに5分値のSO₂の20.1ppmとH₂Sの4.5ppmは他の2地点とはかけ離れた濃度差となっている。労働環境における許容濃度は、8時間平均値でSO₂が2ppm(アメリカTWA (Time Weighted Average) 基準値)、H₂Sが10ppm⁸⁾である。島内のSO₂は、生活の場における大気環境基準値である0.1ppm(1時間平均値)とはほど遠い濃度である。この結果から、復旧作業環境としても非常に危険性が高いといえる。

後期の観測期間中で最も高濃度が出現した2001年4月20日のSO₂とH₂Sの5分値の経時変化の例(空港)を、それぞれ図2及び3に示す。島東部にある空港のこの日は、1日中WSWないしはWの2~4m/sの風が吹いていたが15~19時の間だけSWの清浄な海風が入り込んだため、それまでの高濃度は一挙に解消された。その後再びWSWないしはWの2~4m/sの風が吹いたため濃度は再び上昇した。この日はおそらく三宅島雄山の山腹を這い降りた噴煙が、風速が弱いことも関係し、

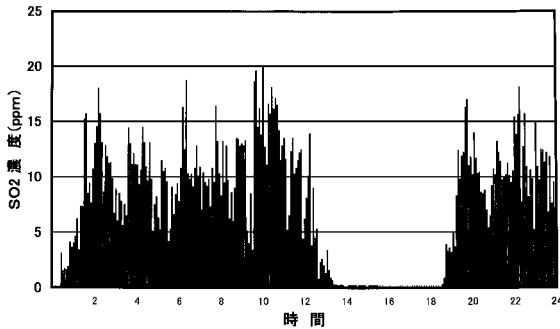


図2 高濃度SO₂(5分値)の経時変化の例
(空港: 2001/04/20)

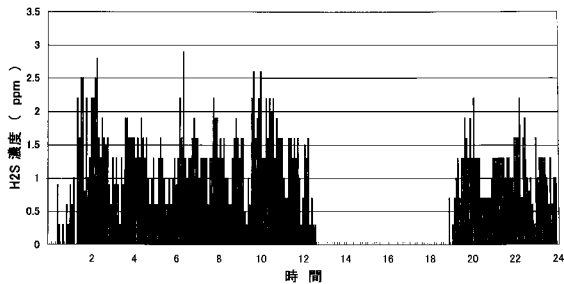


図3 高濃度H₂S(5分値)の経時変化の例
(空港: 2001/04/20)

島東部一帯を高濃度化させたものと思われる。しかし山頂に対して西側に位置する支庁と阿古は全く濃度は上昇することはなかった。空港は、1ppm以上の濃度が発生すると長時間に渡る例が多い。それに比べて支庁と阿古は2、3時間で高濃度が解消される場合が多い。従って、空港方面の復旧作業は十分気象情報に注意が必要である。

イ 高濃度火山ガスの発生割合

SO₂とH₂Sが、それぞれ0.1ppm及び1ppm以上の濃度が出現した回数と計測した全データに対する出現割合を表3に示す。0.1ppm以上の出現回数は、1ppm以上の出現回数をも含んでいる。いずれも空港が支庁及び阿古に比べ突出した出現回数と出現割合になっている。特に空港のSO₂は、0.1ppm以上の濃度が全体の1/4、1ppm以上が全体の1/10以上といった非常に出現割合が高い結果となっている。SO₂とH₂Sを比較するとSO₂の方がかなり出現回数及び出現割合が多い。空港の高濃度が出現しやすいのは、今回の観測期間が冬季期間を多く含むため、季節風の影響を受けている可能性がある。さらに気象観測地点が増え、夏季の期間を含めて解析を加えれば高濃度出現の要因がより明らかになるものと思われる。

表3 SO₂とH₂Sの1時間平均値が0.1ppm及び1ppmを超えた割合

		全データ数	A	B(%)	C	D(%)
支庁	SO ₂	4457	103	2.3	18	0.4
	H ₂ S	4584	30	0.7	4	0.1
阿古	SO ₂	3717	194	5.2	26	0.7
	H ₂ S	4185	49	1.2	0	0.0
空港	SO ₂	4480	1152	25.7	595	13.3
	H ₂ S	3908	743	19.0	213	5.5

A: 0.1ppm以上のデータ数(1ppm以上含む)、 C: 1ppm以上のデータ数
B(%) : A/計測全データ数、 D(%) : C/計測全データ数
(2000/12/13~2001/7/4)

ウ 日中と夜間の高濃度出現の違い

空港におけるSO₂とH₂Sの1ppm以上の高濃度の出現回数の経時変化をみたのが、図4である。SO₂とH₂Sは

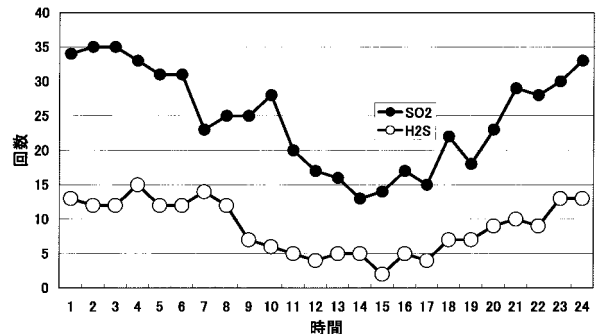


図4 1ppm以上の高濃度の発生回数の経時変化
(三宅島空港: 1時間平均値) 2001/12/13-2001/07/04

表4 1時間平均値が1ppm以上の濃度の日中と夜間の割合

		単位: %	
		SO ₂	H ₂ S
支庁	日中	22	25
	夜間	78	75
阿古	日中	50	0
	夜間	50	0
空港	日中	39	35
	夜間	61	65
全体平均	日中	39	35
	夜間	61	65

日中(7~18時)、夜間(19~6時)
(2000/12/13~2001/7/4)

ともに夜間の濃度が高く、日中が低い傾向を示している。日中(7~18時)と夜間(19~6時)の高濃度の出現傾向をみるため、1 ppm以上の高濃度の出現割合を示したのが表4である。空港のSO₂の割合が他地点とやや異なっているが、全体としては、SO₂とH₂Sとともに、6~7割程度が夜間に高濃度が出現しやすい傾向を示している。

この要因として、気温と風向・風速が考えられる。気温は島内2ヵ所で観測を行なっているが、電力事情が悪いためデータ数は少ない。そのうち神着の2001年5月と6月の月平均値の1日の経時変化は、いずれも日中と夜間の気温の差は約2.5℃である。一方、高濃度出現時の風速は日中と夜間はいずれも2~4m/sで、昼夜の差は少ない。これらがどの程度影響を及ぼすかは不明であるが、これからのデータの蓄積が重要と思われる。

1 ppm以上の高濃度出現時の風向別頻度を空港と阿古について示したのが図5、6である。空港では、W、WSW及びSWで、阿古ではNE、ENE及びEの時に高濃度が出現しやすい傾向を示している。この風向特性は雄山を中心に対照的になっているが、阿古と空港は地理的には雄山を中心にして対照的な位置にはない(図1)。阿古は雄山のWSW方向にあり、上記風向時に高濃度が発生しているのに対し、空港は位置的に雄山のESE方向にあるにもかかわらずSW系統の風向で高濃度になっている。現時点では、この原因の詳細は不明であるが、風速が弱いときには、噴煙が山腹から海上に向かって這い降りて来る(写真3)段階で、山体の形状(谷筋等)が噴煙の移流に影響を及ぼしている可能性がある。これら各3成分の風の発生時間別に示したのが図7、8である。空港及び阿古のいずれの地域についても、これらの高濃度の風系は夜間に発生しやすいことがわかる。従って、夜間における作業時には、気象と高濃度火山ガスには十分注意を要する。

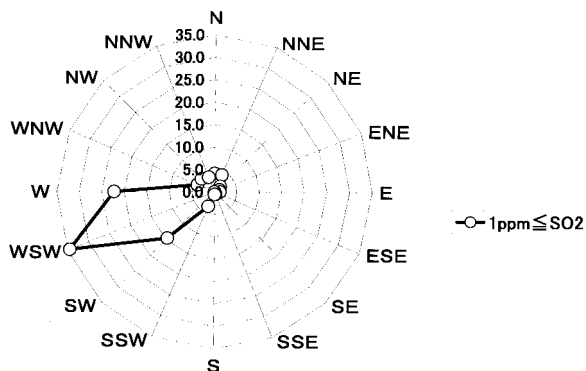


図5 高濃度時の風向特性(空港: SO₂) (単位: %)

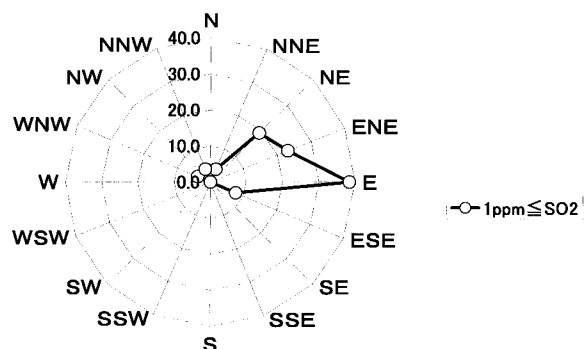


図6 高濃度時の風向特性(阿古: SO₂) (単位: %)

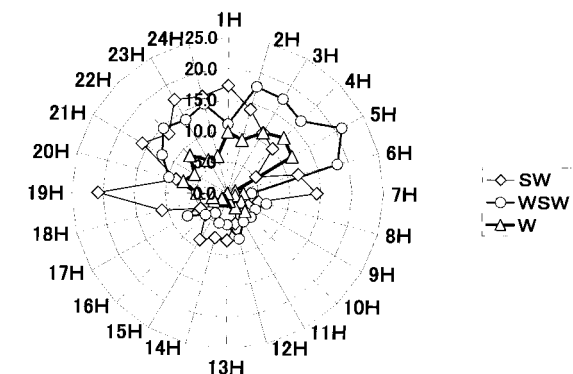


図7 風向SW, WSW, Wの時間別割合変化(空港) (単位: %)

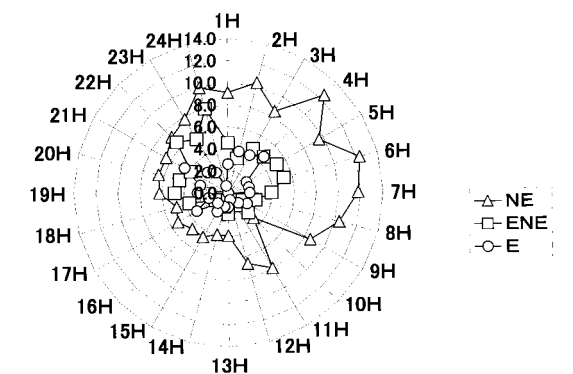


図8 風向NE, ENE, Eの時間別割合変化(阿古) (単位: %)

5 まとめ

2000年に爆発した三宅島島内の火山ガスの観測結果をまとめた結果、以下のことが判明した。

1) 検知管を用いた前期測定結果の最高濃度はSO₂が6 ppm、H₂Sが0.6ppmであった。

2) 後期測定結果から

①島内3ヵ所の測定地点の中では、空港が最も汚染が高かった。空港の最高濃度は、1時間平均値ではSO₂ 15.2 ppm、H₂S 2.9ppmで、5分値ではSO₂ 20.1ppm、H₂S 4.5ppmであった。

②空港のSO₂は0.1ppmが全データの1/4、1 ppmでは全データの1/10以上といった非常に高濃度の出現頻度が高い結果となっていた。SO₂はH₂Sよりも出現割合がかなり大きかった。

③3ヵ所の測定地点とも、1 ppm以上の高濃度は日中よりも夜間に出現しやすいことが明らかとなった。出現の6～7割は夜間であった。空港は、W、WSW、SW、阿古はNE、ENE、Eの風向のときに高濃度が出現しやすいことが明らかとなった。

謝 辞

本解析を行うにあたって、自動測定機の濃度データについては東京都環境局環境評価部、及び気象データについては東京管区気象台のデータを使用させて戴いたこと深謝いたします。

参考文献

- 1) 宮崎 務：三宅島噴火の経緯と現状、「三宅島噴火と広域大気汚染」講演会予稿集、大気環境学会、P. 1-5 (2001年2月28日)
- 2) 高橋 正樹、小林 哲夫(編)：関東・甲信越の火山Ⅱ、築地書院(1998)
- 3) 東京都災害対策本部：災害情報(第285報)東京都災害対策本部の対応等について--三宅島島内夜間滞在の試行期間の安全対策の基本方針について--、(平成13年5月1日)
- 4) 東京都災害対策本部：災害情報(第298報)東京都災害対策本部の対応等について--三宅島島内における作業等の今後の進め方について--、(平成13年6月29日)
- 5) 杉山 孝一：東京都における三宅島噴火の影響、「三宅島噴火と広域大気汚染」講演会予稿集、大気環境学会、P. 51-67 (2001年2月28日)
- 6) 第89回火山噴火予知連絡会資料：産業技術総合研究所地質調査研究センター、2001年5月28日
- 7) 兼岡 一郎、井田 喜明(編)：火山とマグマ、東京大学出版会、P. 149 (1997)
- 8) 日本産業衛生学会：許容濃度の勧告(2000)、産業衛生学雑誌、130-154,4,42 (2000)