

三宅島島内の火山ガス高濃度事象と八丈島高層風の特徴*

小山田 恵^{*1}・木下 紀正^{*1}・寺田 暁彦^{*2}
飯野 直子^{*3}・金柿 主税^{*1}

1. はじめに

東京の南160 km に位置する三宅島(第1図)は, 2000年7月8日に爆発的な噴火活動を開始し, その後, 8月には数回の激しい噴火があり, 9月1日に全島避難が決定された。

COSPEC 観測(風早ほか, 2003)によると SO₂放出量は2000年9月中旬には1万 t/day を超え, 3~10万 t/day に達する時もあり, 2001年の平均値は2万1千 t/day となっている。このような大量かつ長期的 SO₂ 放出は世界的にも前例がなく, 三宅島島内における環境基準を大きく上回る高濃度の SO₂ は住民の帰島にとって最大の障害になってきた。その後, 長期的減少傾向は見られるが, 2003年5月にいたっても, まだ避難が続いている。また, 三宅島起源と考えられる高濃度の火山ガスは本州各地でも観測されるほどである(永井ほか, 2001; 古野ほか, 2002)。

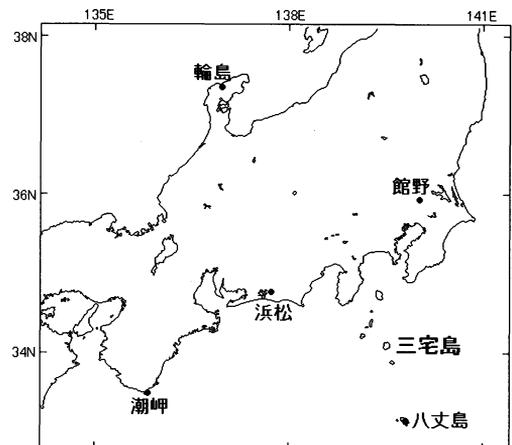
ここでは, 2000年末から始まった東京都による三宅島島内の火山ガス測定結果のうち, 特に SO₂ 濃度1時間値が1 ppm を超える高濃度が観測された場合に注目し, 2001年1年間について噴煙の衛星画像・地上観測映像および八丈島における高層気象データと合わせて検討し, 島内における火山ガス高濃度事象の基本的特徴を述べる。

2. 使用データと解析方法

2.1 三宅島の SO₂ 連続測定データ

東京都環境局は2000年11月以降三宅島島内に火山ガス測定局を設置して, SO₂・H₂S 連続測定を行っている。測定局の位置を第2図に示す。2000年12月までに三宅島空港局(空港局), 阿古今崎局(阿古局), 三宅支庁局(支庁局)の3局で測定が開始され, 2001年9月中旬から伊ヶ谷老人福祉館局(伊ヶ谷局), 逢の浜温泉局(逢の浜局), アカコッコ館局(アカコッコ局)の3局が新設され, 合計6局で測定が行われてきた。2002年3月には測定局はさらに10局に増設された。

三宅島の火山ガスは高温型で, H₂S 濃度よりも SO₂ 濃度が顕著に高濃度であるので, ここでは SO₂ の1時間値を解析する。なお, 東京都災害情報 <http://www.metro.tokyo.jp/SAIGAI/miyatop.htm> によると, 2001年の SO₂ 濃度の最高値は15.2 ppm (空港局01/4/20) である。



第1図 三宅島・八丈島の位置と周辺の高層気象観測点。

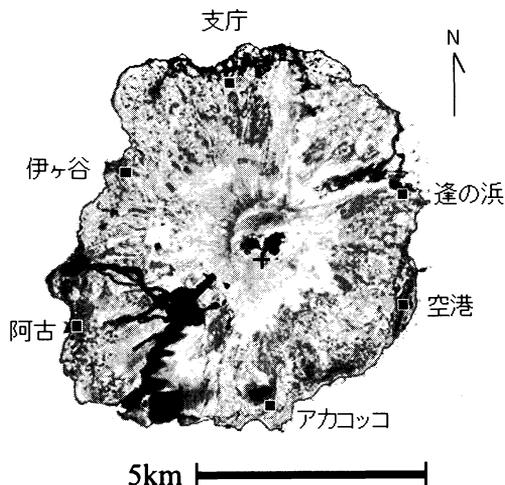
* Properties of high concentration events of volcanic gas at the foot of Miyakejima with respect to upper winds at Hachijojima.

^{*1} Megumi KOYAMADA, Kisei KINOSHITA, Chikara KANAGAKI, 鹿児島大学教育学部。

^{*2} Akihiko TERADA, 東京大学地震研究所(現 北海道大学地震火山研究観測センター)。

^{*3} Naoko IINO, 鹿児島大学工学部。

© 2003 日本気象学会



第2図 東京都環境局による三宅島の火山ガス測定局の位置(■)。2001年の6局体制。

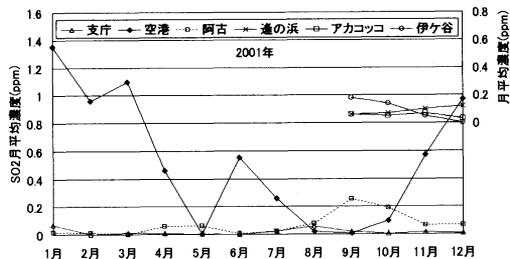
SO₂の環境基準は1時間値が0.1 ppmであるが、三宅島では非常に高濃度であることが多いので、本稿では1 ppm以上の高濃度事象に着目して議論する。なお、産業従事者のガスマスク着用基準は2 ppmで、これが現地作業でも適用されている。

2.2 八丈島高層風データ

三宅島の地表における火山ガスの濃度に支配的影響を与えるのは、三宅島雄山(814 m)の山頂高度付近の風である。しかし、山頂風の直接測定は無く、地上風は建物などの影響を受けやすいので、925 hPaの風を使用する。第1図に示すように、三宅島に最も近い高層観測点で、海上孤島という条件も一致するので、八丈島925 hPaの高層風を三宅島山頂風の代用として使用する。なお、925 hPa気圧面は海拔高度で約830 mになり、三宅島雄山の標高にほぼ相当する。

2.3 気象衛星 NOAA データ

鹿児島大学大学院連合農学研究科の衛星画像受信装置(ELM社製)で受信したNOAA/AVHRRデータを使用した。バンド1の可視とバンド2の近赤外の差画像は噴煙が白く、雲は黒く表示される。これは、火山性エアロゾルの粒よりも雲の粒が大きいためであると考えられる。粒径の小さな雲が白く表示される場合があり、そのときはバンド3Aの短波長赤外を使ってRGB画像を作ると雲と噴煙を完全に区別できる(小山田ほか, 2001; Kinoshita *et al.*, 2003)。これらの波長域は太陽の反射光を観測しているので夜間は利用できないが、日中に1日2~3回の観測データがある。こ



第3図 2001年の島内火山ガス測定局のSO₂月平均濃度。9月測定開始の3局は右軸で示す。

のような方法による2001年の噴煙検出結果は以下のホームページに掲載している。

<http://arist.edu.kagoshima-u.ac.jp/miyake/miyake2001/miyake2001.htm>

2.4 御蔵島カメラ

東大地震研火山センターでは、噴煙の運動を解析するために三宅島の南南東約20 kmにある御蔵島に自動噴煙撮影システムを設置して、2000年8月から2002年5月13日まで三宅島の火口付近およびその上空の自動連続撮影を行った。カメラは北北西を向いているため、画像の右方向(東)は空港局に、左方向(西)は阿古局周辺に対応する。御蔵島からの雄山火口近傍の画像は2000/9/1から公開を開始し、2001/12/6までは06:00~18:40の20分間隔の画像、2001/12/7からは09時・12時・15時の画像を公開した。

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/terada/kansi/>

ここでは噴煙の移流を見るために、10秒間隔の広角の画像データを主に参照した。

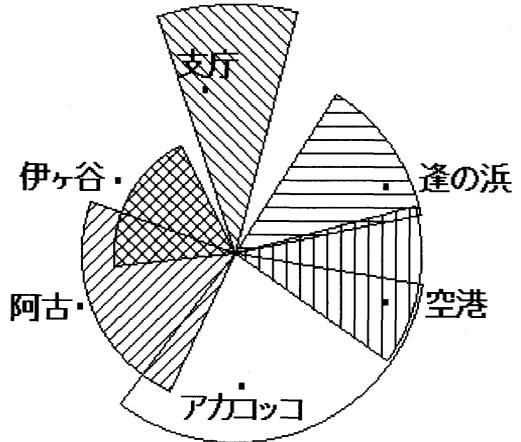
3. 島内SO₂高濃度事象の傾向

第1表に示す2001年1年間の各測定局の観測・欠測・1 ppm以上と2 ppm以上の観測時間から明らかにように、火口東側の空港局では全観測時間の1割以上の時間で1 ppm以上の高濃度SO₂が測定されている。第3図に示す各測定局の月平均濃度から、特に冬は空港局で高濃度事象が起こる傾向が強いことがわかる。これは北西の季節風の影響で、強風が継続的であったためと考えられる。

1 ppm以上の高濃度事象と八丈島の925 hPa高層風との対応を第2表に示す。各測定局からの火口の方位(北を0°として時計周りに360°表記)と1 ppm以上の濃度が発現した総時間数をあわせて記している。高層風(925 hPa)は、各局で高濃度事象が起こっていると

きの、一番近い時間の高層風の風向・風速について平均と標準偏差を求めたものである。風向については、0°を挟んで大回りの平均とならないよう確認し、対象となるアカコッコの180°以下の風向には予め180°を足して、平均をとった。点検のための定期的な15時の欠測や観測時刻のちょうど中間の0・6・12・18時に高濃度事象が起きているときは、前後の風向・風速を内挿して扱った。ただし、2観測時刻以上連続で欠測のときは事象を省いたため、第1表の1ppm以上の時間数と完全には一致しない。第4図では、第2表の平均風速と風向の平均値±標準偏差をそれぞれ扇形の長さおよび角度として示した。図中の■は各局の火口からの方位と距離に対応している。これをみると、基本的特徴として、強風の時に風下で高濃度事象が起きていることがわかる。支庁局・逢の浜局・空港局・アカコッコ局の平均風速から標準偏差を引いた値は、6.5~12.6 m/sとなり、概ね7 m/s以上の場合は風下での高濃度事象を予測するための目安になると考える。ただし、阿古局や伊ヶ谷局では風速がそれほど大きくなくても高濃度事象が起こる場合があり、アカコッコ局では標準偏差角度が広がっている。これは6時間おきの高層風データでは、風の時間変化を捉えるのに限界があることや、台風や低気圧、前線などで局所的に急激に風が変化するような場合に、南南東に110 km離れた八丈島の925 hPa高層風と三宅島山頂高度付近の風との差異が大きくなるためと考えられる。その他、三宅島の地形の影響なども考えられるが、今後更なる検討が必要である。

風向とSO₂濃度の関係をより詳しく知るために、高層風の測定時間である3・9・15・21時に測定局が風下になる全てのSO₂濃度について検討した。ただし、高層風が欠測の場合は内挿せずに省いた。風下の定義を、第2表に示した各測定局の火口の方位から±10度とし、6局分についてまとめて風速ごとの平均SO₂濃度と標準偏差を



第4図 各測定局における2001年のSO₂濃度1時間値の1ppm以上に対応する八丈島925 hPaの風向・風速の平均と標準偏差。

第5図に示す。x軸は風速、y軸は濃度値で、各風速に対する平均値と標準偏差を示す。グラフから、1ppm以上の高濃度事象が起きているのは、ほぼ風速7 m/s以上であると云える。風速7 m/s以上の平均SO₂濃度は1.42 ppmであり、標準偏差は2.05 ppmである。

一方、風速6 m/s以下の平均SO₂濃度は0.10 ppmであり、標準偏差は0.34 ppmである。平均SO₂濃度が環境基準の0.1 ppmに匹敵するが、この結果には10月

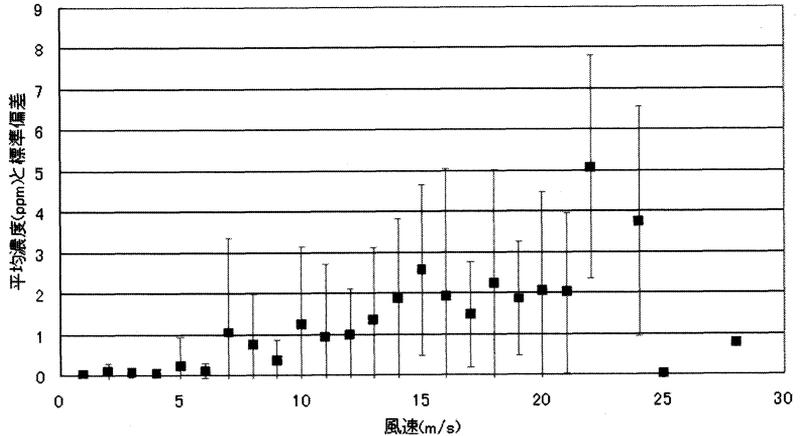
第1表 島内火山ガス測定局における2001年のSO₂濃度1時間値の観測・欠測・1ppm以上・2ppm以上の観測時間。

測定局	支庁	逢の浜	空港	アカコッコ	阿古	伊ヶ谷
総観測時間	8760	2927	8760	2927	8760	2927
欠測時間	509	946	968	46	1882	44
欠測(%)	5.8	32.3	11.1	1.6	21.5	1.5
有効観測時間	8251	1981	7792	2881	6878	2883
1ppm以上の時間	36	32	980	41	142	89
1ppm以上(%)	0.4	1.6	12.6	1.4	2.1	3.1
2ppm以上の時間	15	12	695	20	34	40
2ppm以上(%)	0.2	0.6	8.9	0.7	0.5	1.4

第2表 各測定局からの火口の方位と2001年のSO₂濃度1時間値の1ppm以上に対応する八丈島925 hPaの風向・風速の平均と標準偏差。

	火口の方位(deg)	1ppm以上の時間	風向(deg)		風速(m/s)	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差
支庁	170	32	177.9	15.6	18.6	6.0
逢の浜	245	32	235.0	22.7	14.0	5.4
空港	288	980	280.2	25.2	13.7	4.1
アカコッコ	357	40	337.8	59.2	14.0	7.5
阿古	71	141	67.6	42.6	11.3	6.1
伊ヶ谷	123	78	118.5	34.5	9.0	4.4

4日21時伊ヶ谷局の風速5 m/sで3.02 ppmという例外的な高濃度事象が大きく影響している。この1事象を除くと、平均SO₂濃度は0.06 ppmと環境基準値内であり、標準偏差は0.13 ppmとなる。この1事象については、夜間の局地風の影響などが考えられるが、さらに検討を要する。

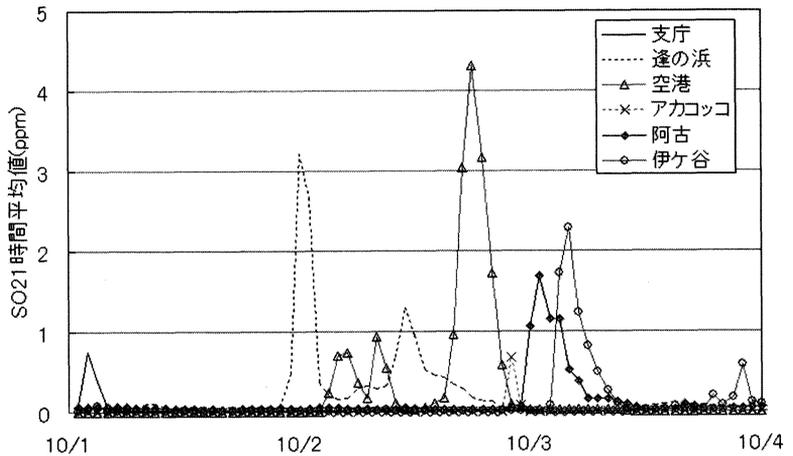


第5図 八丈島925 hPaの風向に対し雄山火口から±10°以内の風下の測定局における風速ごとの平均SO₂濃度と標準偏差。

4. SO₂高濃度事象の季節的な特徴

先に述べたように、冬季は北西の季節風が卓越するため、風下に当たる空港局では連日高濃度事象が続き、継続時間が最大で15～20時間と他の季節に比べて顕著に長い。

夏季は概ね太平洋高気圧におおわれて弱風であり、島内において高濃度事象が出現しにくいと考えられる。ただし、8月5～6日および8月19～20日の阿古局、8月21～22日の支庁局、8月31日の空港局の高濃度事象はすべて台風の影響による強風時に起こっている。



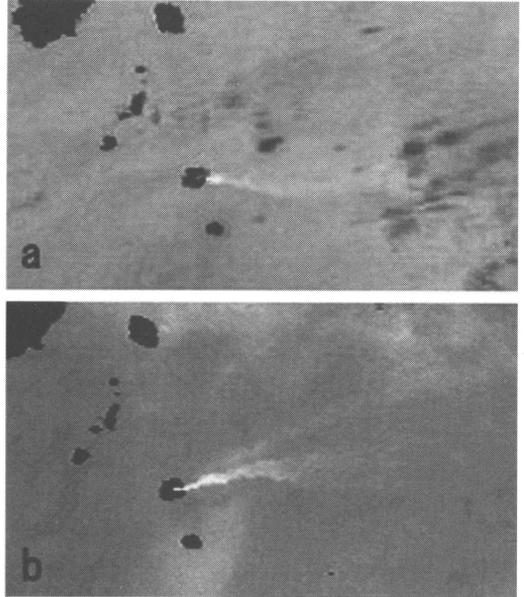
第6図 2001/10/1～10/4の島内火山ガス測定局のSO₂濃度1時間値。

春と秋は大陸からの移動性高気圧と低気圧が交互に通過する機会が多いため、夏や冬よりも高濃度事象出現の特徴が複雑である。秋季の典型的な例として、第6図に2001年10月1～4日の時系列を示す。2日から3日にかけて高濃度のピークが逢の浜局から空港局、阿古局、伊ヶ谷局と時計回りに移っていく。八丈島の925 hPaの高層風は2日の3・9・15・21時は249・271・284・295°で、3日には50・76・75・90°であり、風向の変化と風下側の測定局でのピーク出現は整合的である。ただし、3日は1～2日にかけて日本を東進した低気圧の後ろの高気圧に次第に覆われてきており、八丈島における風向変化とSO₂高濃度のピークの移動

には時間のズレがみられる。しかし、ここで注目される特徴は、高濃度事象の大部分は風下の1点だけで出現している点である。1時間値のみを見ると、隣接する2局で0.1 ppm以上検出されることがあるが、第6図のように高濃度事象のピークが重なることは無く、風向が変化して、風下に入った測定局で濃度が増加し、風下から外れると減少していく。ただし、風向が変わりピークが移っていても、SO₂濃度の高い状態が2～3時間続くことがあるのは、大量の火山ガスの一部が残留しているためか、地形の影響による局地的な風による吹き戻し、あるいは三宅島を迂回する風などによって火山ガスが流れてくるためと思われる。

5. 噴煙映像・衛星画像と SO₂濃度

噴煙の鉛直構造と SO₂高濃度事象の関係について、御蔵島カメラの噴煙映像や、産業技術総合研究所地質調査総合センター三宅島火山噴火緊急観測班 三宅島噴火情報に公開されているヘリコプターによる噴煙観測の写真 <http://www.gsj.jp/miyake2000/miyakeindex.html>などを参照し検討した。第3表に NOAA 画像が得られた日時について、地上観測の噴煙映像を確認し、対応する八丈島925 hPa 高層風の風向・風速および島内 SO₂濃度値についてまとめた。地上観測の噴煙映像で吹き降ろしが見られ、SO₂高濃度が観測されているとき、ほとんどの場合は7 m/s以上の強風で、測定局方向へ吹いている。吹き降ろしが見られても、流向が測定局から逸れている場合には、高濃度は観測されていない。このことから、強風による吹き降ろしが原因の高濃度事象は、ガスが吹きつけられる狭い範囲に限定されることが示唆される。一方、弱風で噴煙が上昇している場合は、島内でSO₂高濃度事象が観測されていない。ガスは噴煙とともに上昇していると考えられる。



第7図 NOAA画像。(a) 2001/12/1 13:38 JST, (b)2001/11/23 13:28JST.

以下では典型的な強風時と弱風時の場合について述べる。

第7図 a, b にそれぞれ12月1日と11月23日の NOAA 画像を示す。12月1日は3・9・15・21時の風速は、16・9・8・8 m/s と強風で、11月23日については3・欠・2・3 m/s ときわめて弱風であった。12月1日の NOAA 画像で噴煙は空港局方向の狭い範囲に移流し、11月23日の画像の噴煙は下流部に少し拡がりを持ち、空港・逢の浜局方向に移流している。このように両日も西よりの風で噴煙は東に流れている。12月1日は第8図に示すように空港局で1日中高濃度事象が起り、隣の逢の浜局以外はほとんどゼロであった。強風による吹き降ろしによって、狭い範囲で高濃

第3表 噴煙映像に対応する八丈島925 hPa 高層風および島内 SO₂濃度。(NOAA 衛星データによる噴煙画像が得られた日)。

月	日	噴煙映像			高層風(八丈島, 925hPa)		SO ₂ 濃度		
		時刻	ソース	状況	風向	風速	時刻	状況	
1	12	29	9:56	ヘリ観測	吹き降ろし	294	14	9h	空港: 2.7 ppm (9h)
		31	15:45	御蔵カメラ	上昇	296	7	15h	高濃度なし
		9	13:22	御蔵カメラ	上昇	292	6	15h	高濃度なし
2	11	10	8:05	御蔵カメラ	吹き降ろし	270	8	9h	空港: 3.0 ppm (9h)
		22	8:03	御蔵カメラ	上昇	304	8	9h	高濃度なし
		27	10:45	御蔵カメラ	上昇	152	3	9h	高濃度なし
		13	10:00頃	ヘリ観測	吹き降ろし	267	12	9h	空港: 2.1 ppm (9h)
4	11	16	10:00頃	ヘリ観測	上昇	293	11	9h	高濃度なし
		23	7:50	御蔵カメラ	上昇	47	2	9h	高濃度なし
		13	14:48	御蔵カメラ	上昇	230	2	15h	高濃度なし
5	11	18	7:49	御蔵カメラ	上昇	235	3	9h	高濃度なし
		6	10:00頃	ヘリ観測	吹き降ろし	276	12	9h	空港: 8.7 ppm (9h)
7	11	1	9:29	御蔵カメラ	吹き降ろし	281	16	9h	空港: 1.02 ppm (9h)
		3	12:48	御蔵カメラ	上昇	224	6	15h	高濃度なし
		4	12:00頃	ヘリ観測	吹き降ろし, 逸れる	254	13	15h	高濃度なし
		6	14:00頃	ヘリ観測	吹き降ろし, 逸れる	259	17	15h	高濃度なし
		10	8:49	御蔵カメラ	上昇	33	2	9h	高濃度なし
		11	5:49	御蔵カメラ	上昇	233	6	9h	高濃度なし
		15	7:49	御蔵カメラ	上昇	182	3	9h	高濃度なし
8	12	21	16:42	御蔵カメラ	上昇	145	2	15h	高濃度なし
		13	15:54	御蔵カメラ	上昇	138	2	15h	高濃度なし
		14	8:54	御蔵カメラ	上昇	93	5	9h	高濃度なし
9	11	23	9:54	御蔵カメラ	上昇せず	246	11	9h	高濃度なし
		9	25	5:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	3	9	9h
10	11	12	14:54	御蔵カメラ	上昇せず	261	8	15h	高濃度なし
		31	7:54	御蔵カメラ	上昇	331	5	9h	高濃度なし
11	12	4	13:54	御蔵カメラ	上昇・吹き降ろし	47	8	15h	高濃度なし
		23	15:54	御蔵カメラ	上昇	113	2	15h	高濃度なし
		24	15:54	御蔵カメラ	上昇	144	2	15h	高濃度なし
		25	13:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	74	1	15h	空港: 1.23 ppm (14h)
		26	9:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	280	16	9h	空港: 2.56 ppm (10h)
12	11	28	14:54	御蔵カメラ	上昇せず	269	9	15h	高濃度なし
		1	14:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	292	8	15h	空港: 5.16 ppm (15h)
		2	13:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	258	11	15h	空港: 2.31 ppm (14h)
		8	14:54	御蔵カメラ	上昇	295	8	15h	高濃度なし
		12	13:54	御蔵カメラ	上昇	239	3	15h	高濃度なし
12	11	23	14:54	御蔵カメラ	吹き降ろし	297	11	15h	空港: 1.39 ppm (14h)

度事象が起きていることがわかる。一方、11月23日は島内全6局のSO₂濃度が01~17時まで0.1 ppm以下であった。噴煙の鉛直運動を御蔵島カメラの映像で見ると、12月1日の映像では、噴煙は火口から熱浮力にもかかわらず上昇せず、強風に吹き降ろされて、山麓にそって流れるのが見られた。一方、11月23日の映像では、噴煙は火口から上空に上がっており、吹き降ろしが見られなかった。

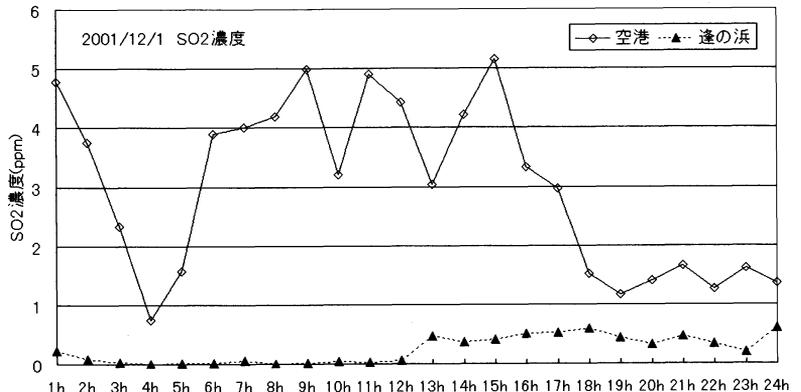
6. おわりに

三宅島島内測定局でのSO₂濃度1時間値1 ppm以上の高濃度事象について、噴煙の衛星画像や地上観測映像および八丈島の925 hPa高層風データと合わせて比較、検討した。2001年1年間のデータについて以下のような基本的な特徴がわかった。三宅島では概ね7 m/sを超える強風時に噴煙が吹き降ろされ、風下山麓で高濃度のSO₂が検出される。一方、弱風時には噴煙が上昇し、風下でも島内に高濃度事象はほとんどみられない。

このような結果は、これまでの桜島火山ガスの移流拡散についての研究でも同様である(木下ほか, 1994, 1999, 2000)。火山ガスは噴煙とほぼ挙動をともにするので、その動態は噴煙の流れから推測できる。噴煙の水平方向の移流拡散は衛星画像から、鉛直構造は地上観測からつかむことができる。なお、11月25日などの例外事例については、飯野ほか(2003)で検討した。さらに、2002年1~9月の三宅島火山ガスについての検討を進めた(小山田ほか, 2003)。

島内の高濃度事象のメカニズムを明らかにするためのシミュレーション研究として、気象場予測モデルとラグランジュモデルによる拡散パートからなる100 mメッシュの拡散モデルによる研究では、特定の事例についての大体の再現性が得られている(Sasaki *et al.*, 2002)。大気の安定度と噴煙の挙動の関係についての風洞実験や数値実験では、実際の噴煙の挙動と比較して、定性的な理解が得られている(内田・大屋, 2003)。

ここでは、多量のデータを分析し、その基本的特徴



第8図 2001年12月1日の空港・逢の浜局のSO₂濃度1時間値の変化。

を述べた。住民の帰島後の安全を考えると、直感的でわかりやすい高濃度の予測が重要になると思われる。現在、鹿児島地方の天気予報では桜島上空1500 mの風(実測と予測)が示されているが、同様に三宅島上空1000 mの風の情報が提供されれば、実際の噴煙の流れも見ることによって、住民はある程度、ガスの挙動の予測ができると考える。さらに詳細な事例解析やシミュレーション研究によって火山ガスの動態を解明することは、災害防止のためにも重要である。

最後に、2000年8月の爆発噴煙から2003年現在まで鹿児島大学で受信し、噴煙検出ができた画像および、1か月ごとのSO₂のグラフは、すべて以下のホームページで公開している。

<http://arist.edu.kagoshima-u.ac.jp/miyake/>

他方、観測日は限られるがLANDSAT, SPOT等による狭域高分解能の衛星画像は宇宙開発事業団地球観測センターのホームページ<http://www.eoc.nasda.go.jp/>や(財)リモートセンシング技術センターのホームページ<http://www.restec.or.jp/>で公開されている。また、ASTERセンサーによる三宅島噴煙のSO₂量の推定の研究では、SO₂と噴煙がよく対応している。結果は(財)資源環境観測解析センターのホームページ<http://www.science.aster.ersdac.or.jp/>に公開されている。

謝辞

三宅島島内の貴重な環境大気データを提供された東京都環境局に感謝いたします。また、NOAA/AVHRRデータを提供された鹿児島大学大学院連合農学研究科

に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 古野朗子, 永井晴康, 梅山信昭, 茅野政道, 2002: 三宅島火山性ガスのリアルタイム広域拡散予測と解析, 大気環境学会誌, 37, 23-34.
- 飯野直子, 小山田 恵, 木下紀正, 金柿主税, 2003: 三宅島噴煙の衛星画像と火山ガス高濃度事象, 南太平洋海域調査研究報告, (37), 66-75.
- 風早康平, 篠原宏志, 齊藤元治, 尾台正信, 森 博一, 中堀康弘, 飯野英樹, 平林順一, 2003: 三宅島火山からの大量ガス放出, 南太平洋海域調査研究報告, (37), 24-31.
- 木下紀正, 今村和樹, 金柿主税, 1994: 桜島山麓における二酸化硫黄高濃度時の風系, 第13回風工学シンポジウム, 79-84.
- 木下紀正, 西之園雅靖, 瓜生洋一郎, 金柿主税, 1999: 桜島火山周辺におけるエアロゾルと火山ガスの高濃度事象の解析, 鹿児島大学教育学部研究紀要, 自然科学編, 50, 11-27.
- 木下紀正, 小山田 恵, 日高耕一, 2000: 桜島噴煙の2点観測と火山ガスの高濃度事象の解析, 鹿児島大学教育学部研究紀要, 自然科学編, 51, 37-56.
- Kinoshita, K., C. Kanagaki, N. Iino, M. Koyamada, A. Terada and A. C. Tupper, 2003: Volcanic plumes at Miyakejima observed from satellites and from the ground, Proc. SPIE 4891, Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Clouds III, part of SPIE's 3rd Int. Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symp., October 2002, Hangzhou, China, 227-236.
- 小山田 恵, 木下紀正, 飯野直子, 2001: 2001年夏季のNOAA/AVHRR にみる三宅島噴煙, 日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集, 149-150.
- 小山田 恵, 木下紀正, 金柿主税, 飯野直子, 2003: 三宅島噴煙のNOAA 画像と火山ガス高濃度事象—2002年1月～9月—, 鹿児島大学教育学部研究紀要, 自然科学編, 54, 1-20.
- 永井晴康, 寺田宏明, 茅野政道, 2001: 2000年8月28日に関東地方で発生した異臭騒ぎと三宅島噴火との関連: 数値シミュレーションによる考察, 天気, 48, 227-230.
- Sasaki, H., N. Seino, J. Sato and M. Chiba, 2002: Development of a dispersion model for volcanic gas over Miyake Island, J. Meteor. Soc. Japan, 80, 1279-1288.
- 内田孝紀, 大屋裕二, 2003: 種々の安定成層場における三宅島火山ガスの数値的考察, 南太平洋海域調査研究報告, (37), 32-39.