

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－

小山田 恵¹・木下 紀正¹・金柿 主税¹・飯野 直子²

(2002年10月15日 受理)

NOAA Images of Miyakejima Plumes and High Concentration Events of Volcanic Gas － From January to September 2002 －

Megumi KOYAMADA¹, Kisei KINOSHITA¹, Chikara KANAGAKI¹
and Naoko IINO²

要 旨

2002年1月から9月までの三宅島火山活動について、鹿児島大学受信のNOAAデータを用い、噴煙の検出を行った。さらに、東京都環境局による三宅島島内の火山ガス連続測定データを、八丈島の高層風と比較して、その関係について解析した。その結果、強風時は風下山麓で数ppmの高濃度の二酸化硫黄が検出され、弱風時は島内で高濃度事象は見られなかった。また、噴煙画像との整合性も確かめられた。可視・近赤外の差画像に見られる噴煙は、2000年の爆発当初からみると薄くなってきている。しかし島内のSO₂濃度は、平均値は下がってきているものの、1時間値では場所によってはきわめて高濃度がしばしば見られる。

キーワード：リモートセンシング、火山災害、二酸化硫黄濃度、大気拡散

1. はじめに

2000年7月8日、三宅島雄山の噴火が始まり、9月1日に全島避難が行われた。COSPEC観測によるとその頃から大量のSO₂の放出が続いていたのが、現在は減少しつつある[1]。しかし、2002年夏でも島内の場所によっては火山ガス濃度の1時間値が数ppmを超えることがしばしば見られる。

¹鹿児島大学教育学部 ²鹿児島大学工学部

¹ Faculty of Education, Kagoshima University

² Faculty of Engineering, Kagoshima University

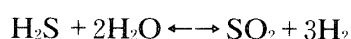
鹿児島大学受信のNOAA/AVHRRデータを用い、2000年8月からこれまでの噴煙の画像を作成し、東京都環境局の島内における火山ガス連続測定データと比較してきた[2-7]。2000年9月まではAerosol Vapor Index(AVI)で噴煙を検出できた。2000年10月以降は火山灰の少ない白色噴煙が主になり、可視と近赤外の差画像が効果的であり、RGB=band1:2:3のカラー画像も有効であることがわかった[6]。2002年3月から島内での観測点が10局に増設され、さらに詳しい火山ガスの分布が捉えられている。

ここでは、2002年1月から9月までの噴煙のNOAA画像を用い、当日のSO₂濃度および高層風と比較して、島内のSO₂高濃度事象について述べる。

2. 火山ガスについて

火山ガスによる事故では、湖底に蓄積したCO₂が急に溢れ出して約1700の人命が犠牲となったアフリカのニオス湖の事件(1986年)や、国内では1997年の八甲田山・安達太良山・阿蘇山の事故などがある[8]。しかし、火山に関する成書などに見られる高濃度火山ガスの理解は、比重が大きいことによる無風状態の低地での滞留を注意する一面的なものが多く、三宅島火山ガスのように噴火口から高温で放出される場合については適当とは云えない。ここでは、活発な山頂噴火を続けている桜島の研究を基礎に三宅島の噴煙と火山ガスの研究に取り組んだ結果を踏まえ[9]、三宅島火山ガスの動態をどう理解すべきかを述べる。この見解は2000年以来の学会発表[2-7]で述べるとともに、2001年秋に公表し学際的な検討を呼びかけたものである[10]。その後、関係者や[11]、マスコミ報道[12]でも徐々に理解されつつある。

温度と圧力によって、マグマに含まれる硫黄が他の元素と結合する化学平衡



は移動する。地下の高温高压で主であったH₂Sが、高温型火山ガスでは圧力低下によって主にSO₂に変わるのに対し、地表に近づきゆっくり冷却されるとH₂Sのまま低温型ガスの重要成分になり、草津白根など東日本に多い穏やかな噴気や温泉水に多く含まれている。比較的低温の噴気口や地中の割れ目からにじみ出るような低温型のガスでは、水蒸気が液化して分離した残りのガス成分は濃縮され、H₂Sが数百ppmもの高濃度になる。非常に高濃度のCO₂やH₂Sを含む低温型ガスが放出源付近の窪地や谷間などに濃集して滞留する危険については、従来なされてきた注意が適切である。

しかし、今回の三宅島の場合は、活発な火山活動で放出されたSO₂を多く含む高温型のガスであり、低温型とは振舞いが異なる。阿蘇や桜島の高温型火山ガスの研究では、その重要な成分であるSO₂は噴煙と挙動をともしることが推論され、その拡散は目に見える噴煙の様子から推測できることが分かった[9]。この推論は、ASTERセンサーによる三宅島噴煙とSO₂分布の対応からも支持されている[13]。風が強くなければ、上昇した噴煙と火山ガスは周りの空気を取り込んで温度が低下してからも一定の高度を維持しながら流れるので、地表のガス濃度はあまり高くない。降灰が激しくても、気体状態の分子は噴煙主部とともに上空に留まるので、島内ではガス被害の恐れ

は少ない。

島内海岸部のガス濃度が高まるのは、強風で噴煙が殆ど上昇せずにガスとともに吹き付けられるような時で、火口の風下にあたる狭い範囲に限られる。また、噴煙が吹き付けられるような海上も危険である。2000年9月20日、伊豆諸島航路から転用された東京都の作業船かとれあ丸2589tが、強風をさけて風下の阿古港に接岸しようとして火山ガスの直撃を受け、急いで避難したのはこのような状況である。そのあと島内の復旧作業は一時中断し、観測体制全滅の恐れさえあったが、強風の風下を避けるというポイントが関係者には徐々に理解されて来た。

なお、 SO_2 は空気の平均分子量の2倍以上あるから下に溜まりやすいということをよく耳にするが、これは静かに無限の時間をかけて達成される平衡状態についてのことで、分子拡散よりも様々なスケールの乱流拡散が卓越する現実の大気については誤解である。乱流の効果は分子量が100を超えるフロンガスを成層圏に運び、対流圏内で大気中の CO_2 比をほぼ一様に保ち、エアロゾル・雲や煙をすぐには落下させずに空中に留めている。

以上のような考察から、我々の見解は次のようにまとめられる。

1. 高温型の火山ガスは噴煙と行動を共にすると見なせるので、視認される噴煙から火山ガスの動態を推測できる。なお、三宅島では火山灰の少ない白色噴煙が多いため、低高度で水分が蒸発する環境では粒径の小さい硫酸エアロゾルなどの液状微粒子が薄く青白い煙となる場合があり、その中には高濃度の二酸化硫黄などが気体分子として存在していると推測される。
2. 弱風で噴煙が火口から数百m以上上昇している時、火山ガスも上昇し噴煙と共に高空を移流するので、島内や周辺海上における有毒ガスの危険はほとんど無い。なお、下流の陸上では日中の対流混合で火山ガスが平地に影響することがあるが、三宅島は大きくないので基本的に海洋性大気に支配され、対流混合による影響は少ない。
3. 強風で噴煙が殆ど上昇せず横に流れたり吹き降ろされたりする時、火山ガスは噴煙とともに火口の風下にあたる狭い幅の範囲に吹きつけられる。火山ガスは高濃度のまま遠くまで流れるので、島内と海上では狭い幅に当たる部分は危険性がある。有毒ガスの濃度によっては室内に待避して風向変化を待つか、風下から脱出するかしなければならない。なお、噴煙が海岸部まで吹き降ろされるほど風が強くない時、火山ガスの影響は山腹の途中までにとどまる。その平均的影響は植生の回復状況などから推測できるが、風下にあたることの多い方向で山頂に近い所ほど計器の腐蝕や植生回復の困難が大きい。

3. 解析データ

3.1 NOAA/AVHRR

2000年9月までは火山灰の多い噴煙であるため、4バンドと5バンドの差をとる Aerosol Vapor Index(AVI)で噴煙を検出できた。それ以降は火山灰の少ない白色噴煙が主になり、可視(band1)と近赤外(band2)の差画像で、噴煙と雲をほぼ区別して検出でき、 $R:G:B=\text{band1}:2:3$ の

画像を作ると、ほとんどの噴煙と雲を区別できた。可視・近赤外の差画像が三宅島噴煙に有効であり、朝夕も含めて日中のデータを解析した。

3. 2 東京都環境局のSO₂データ

東京環境局による島内での火山ガス連続測定は、2000年11月から支庁・空港・阿古で始まり、2001年9月中旬に逢之浜・アカコッコ館・伊ヶ谷の3局が増設された。そして、2002年2月に三池消防・三宅村役場・坪田・薄木の4局が増設された。測定局の位置を図1に示す。なお、気象庁も島内での火山ガス測定を行っている。

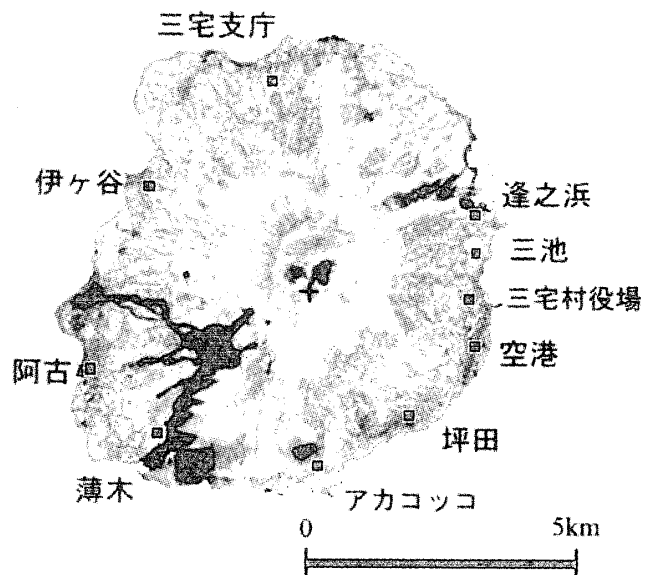


図1. 三宅島山麓の火山ガス連続測定体制。

図：測定局, +：噴火口。

3. 3 高層風

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、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、高層風を使用する。高層風の観測点と三宅島の位置関係を図2に示す。データは気象業務センターのダウンロードサービスを利用した。八丈島925hPaの高層風が10m/s以上の強風であるとき、三宅島で山岳波が形成され、風下山麓では高濃度の火山ガスが拡散しないまま、検出される。逆に弱風であるときは、熱浮力の効果が勝って噴煙は高く上昇し、島内ではSO₂は検出されないことがこれまでの解析の結果であった[2-7]。

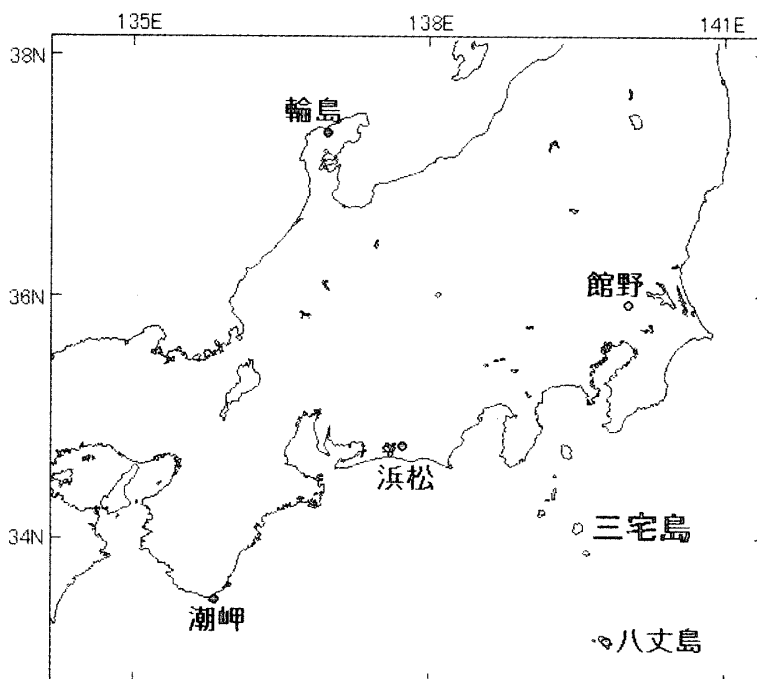


図2. 三宅島・八丈島の位置と周辺の高層気象観測点。

4. 結果

4.1 高濃度が検出されている場合

2002年1月28日の3・9・15・21時の風向は、 $286 \cdot 286 \cdot 284 \cdot 258^\circ$ と安定している。風速は、 $23 \cdot 20 \cdot 13 \cdot 14\text{m/s}$ と強風であった。図3(a)のNOAA画像は、噴煙があまり広がらずライン状に移流しており、強風であったことを示している。図3(b)のグラフでは、 SO_2 は島内東側山麓の空港局・逢の浜局のみで検出され、とくに空港局で3時に4.71ppmの高濃度である。図3(a)が受信されたころの SO_2 濃度は1.52ppmで、図3(b)の中の矢印で示している。また、東大地震研究所火山センターの三宅島噴煙カメラ“御蔵島カメラ”では、東北東に吹き降ろす噴煙がみられ、典型的な強風のパターンがみられた。(c)に観られる斜めのぼやけた格子は、強化ガラスのワイヤーである。
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/MIYAKE/kansi/index.html>

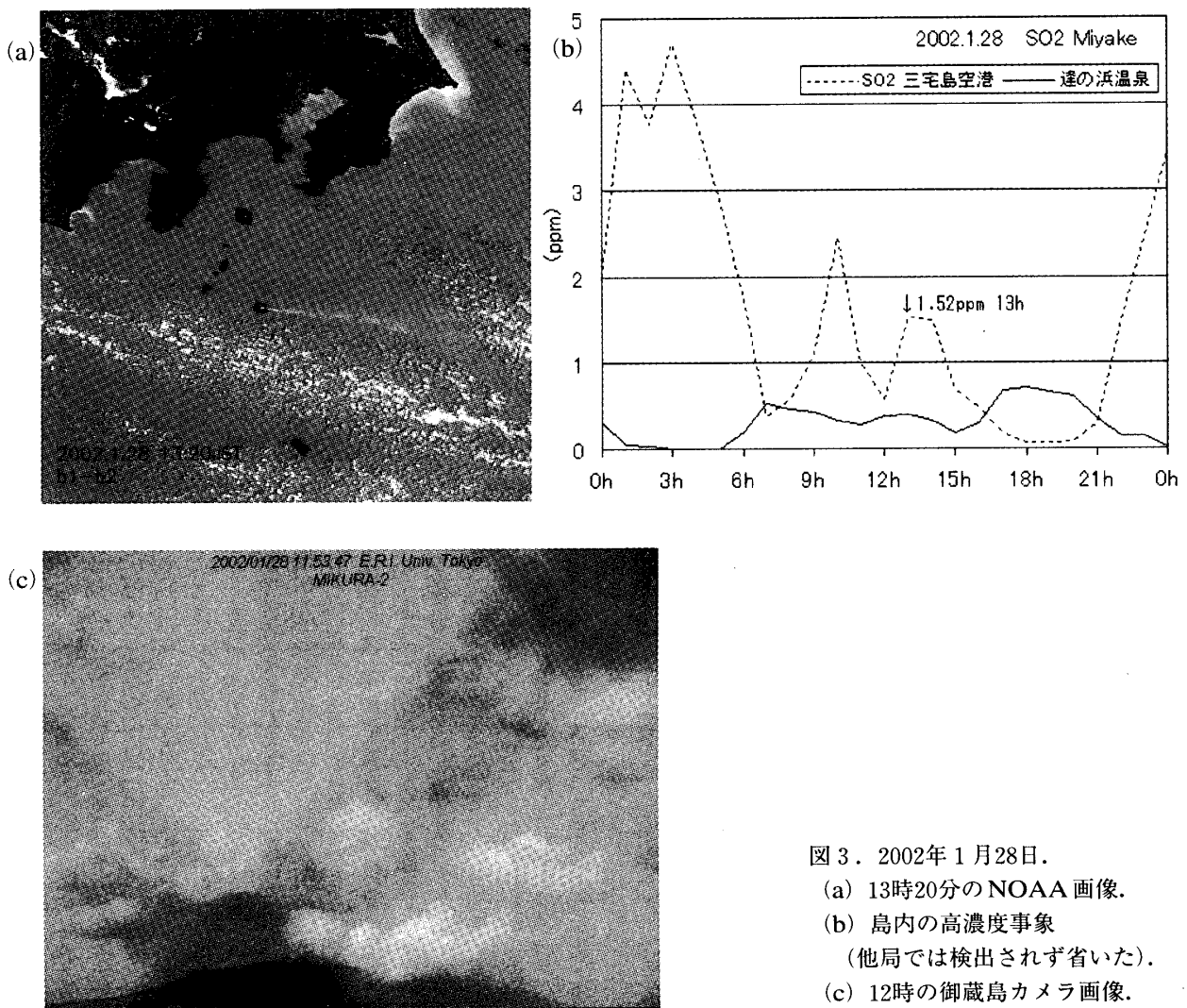


図3. 2002年1月28日.
 (a) 13時20分のNOAA画像.
 (b) 島内の高濃度事象
 (他局では検出されず省いた).
 (c) 12時の御蔵島カメラ画像.

2002年3月13日の3・9・15・21時の風速は、10・12・7・3 m/sと変化が大きく、風向も25・43・61・174°と変化が大きい。天気図では移動性高気圧に覆われている。図4(a)のNOAA画像を見ると、午前中強風であったわりに楕円に広がっているのは、大きく風向が変化したためと思われる。図4(b)のSO₂グラフでは、12時までは火口から南西の薄木局で高濃度であるが、それ以降島内は低濃度になり、西南西の阿古局や、北の支庁局で1 ppm以下のSO₂が検出されている。図4(a)が受信されたころのSO₂濃度は0.60ppmで、図4(b)の中の矢印で示している。この日の最高濃度は11時に薄木局で3.94ppmであった。12時の御蔵島カメラでは、図4(c)のように南西方向に流れる噴煙がみられ、グラフに見られるSO₂検出局と合致している。

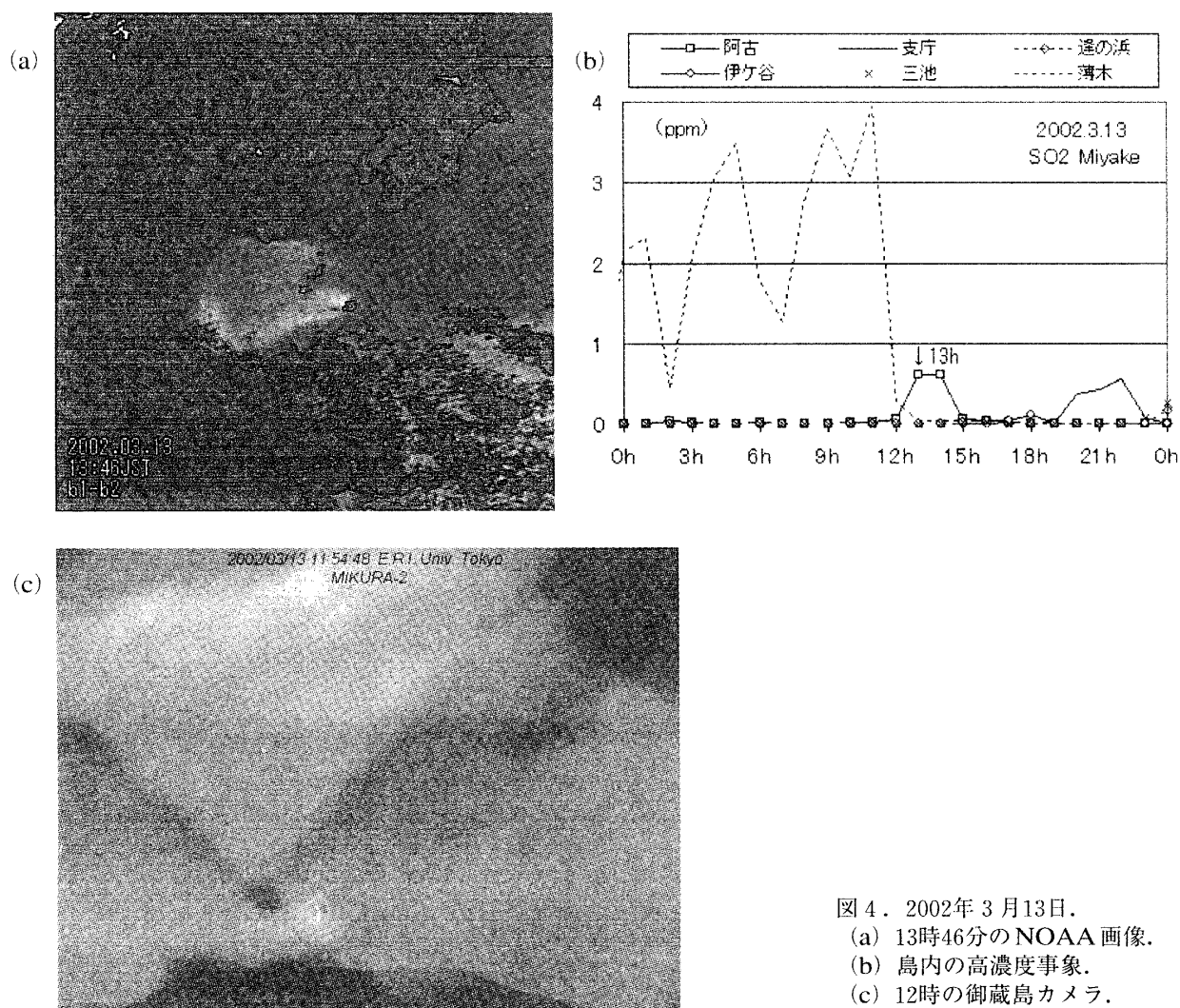


図4. 2002年3月13日.
(a) 13時46分のNOAA画像.
(b) 島内の高濃度事象.
(c) 12時の御蔵島カメラ.

2002年4月1日の3・9・15・21時の風向は3・42・196・240°と変化が大きい。これより、図5(a)の三宅島の西側の白い部分も噴煙であると考えられ、Fig. 5(b)の6時の薄木局で3 ppmを超える高濃度を引き起こしたと考える。風速が14・8・3・9 m/sであるので、3 m/sと弱風の15時前後は島内はほとんど低濃度である。しかし、10局すべてで3時間にわたる0.2ppm程度の増減が見られ、バックグラウンドであると考えられる。

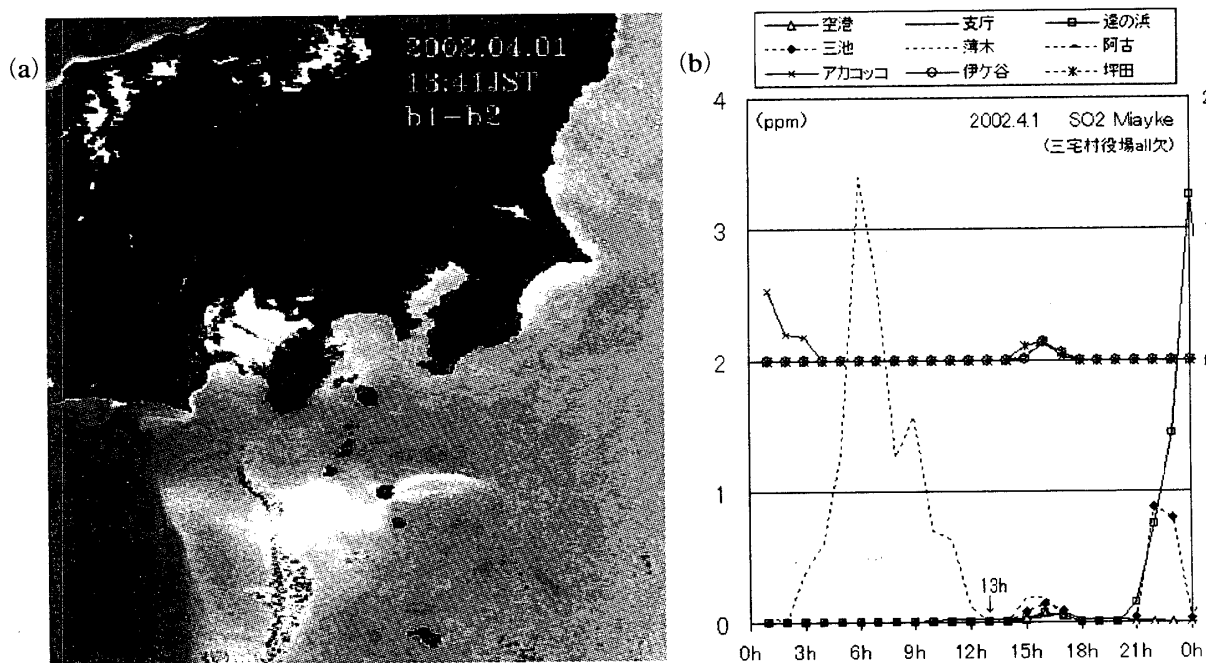


図5. 2002年4月1日 (a) 13時41分のNOAA画像 (b) 島内のSO₂濃度1時間値

2002年5月19日の3・9・15・21時の風向は263・251・233・218°と安定している。風速は6・7・7・7 m/sとそれほど強風ではないが、図6(b)のSO₂濃度では午前には7 ppmを超える高濃度事象があり、午後は1 ppm以下である。これは夜間の冷却による三宅島の局地風が高層風に加わったためと思われる。吹き降ろしのための風速の限界は、大気安定度や地形効果を含め、さらに検討が必要である。

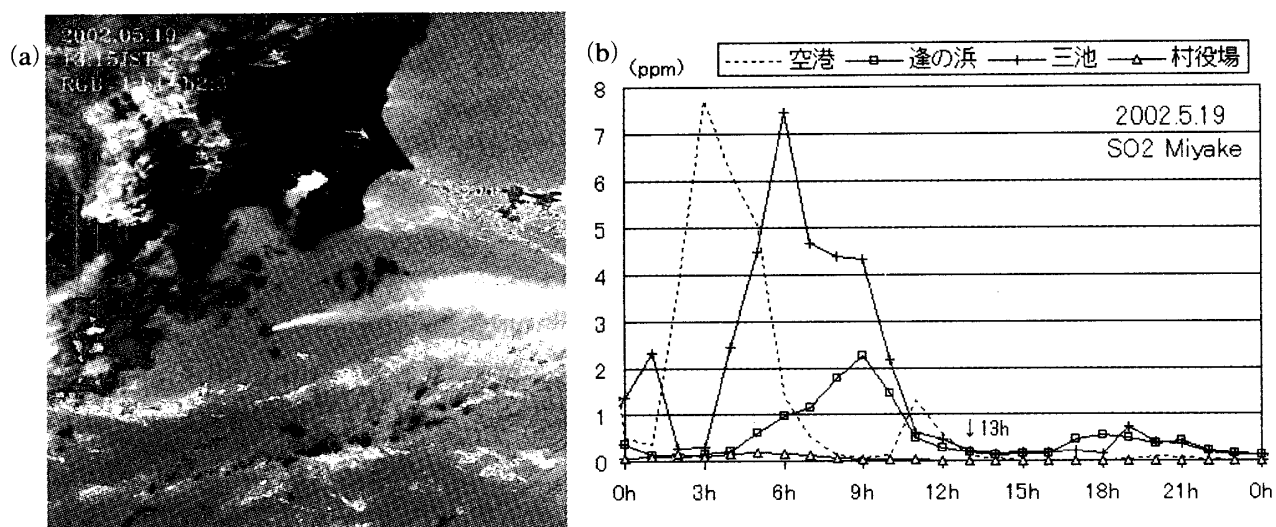


図6. 2002年5月19日 (a) 13時15分のNOAA画像 (b) 2002年5月19日のSO₂濃度1時間値

4. 2 低濃度の場合

2002年2月16日の3・9・15・21時の風向は $286 \cdot 17 \cdot 358 \cdot 228^\circ$ と安定せず、 $9 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 6$ m/sと弱風であった。この日は日本が移動性高気圧に覆われている。図7(a)では弱風のため、三宅島付近にとどまった噴煙が見られる。9時に風向が大きく変わったとき、図7(b)の SO_2 グラフでは、南西の阿古局で0.37ppmの小さなピークが現れている。21時に逢の浜局で2.14ppm、23時に空港局で0.91ppmの SO_2 濃度が現れているが、21時の風速は6 m/sと強風ではない。

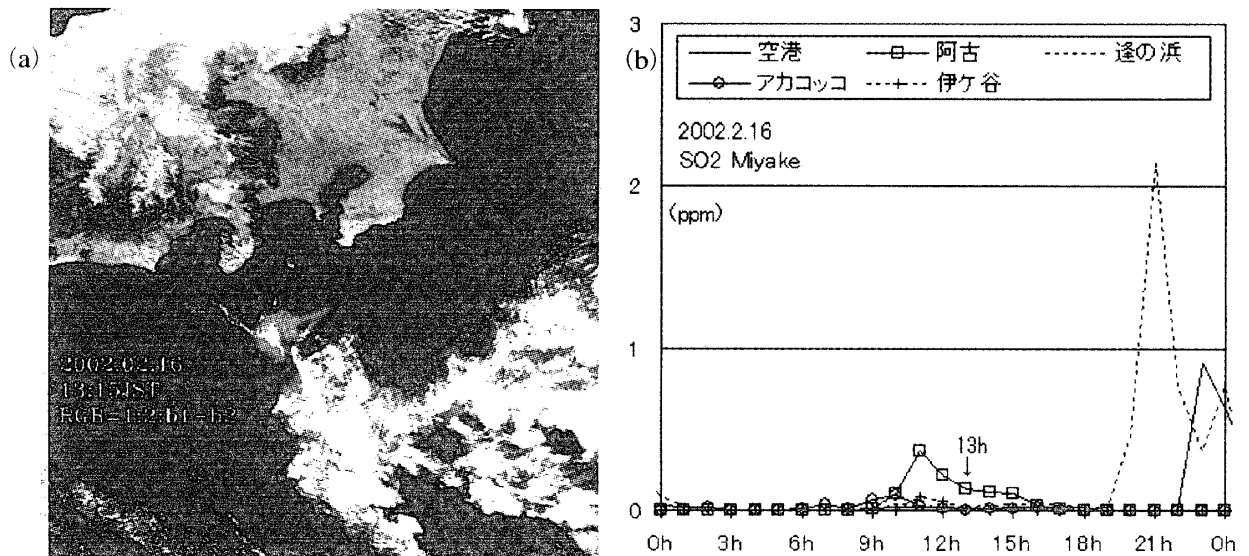


図7. 2002年2月16日 (a) 13時15分のNOAA画像. (b) SO_2 濃度1時間値

2002年5月28日の3・9・15・21時の風向は $228 \cdot 285 \cdot 292 \cdot 270^\circ$ であり、図8(a)でも東南東に噴煙が流れている。風速は $8 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 6$ m/sとあまり強風ではなく、図8(b)では島内で低濃度が続いている。この日の前日から夜間に雲があり、放射冷却による局地風は少なかったのが、図6に示した5月19日との違いと思われる。図8(a)が受信された13時ころの SO_2 濃度はすべて0 ppmであった。

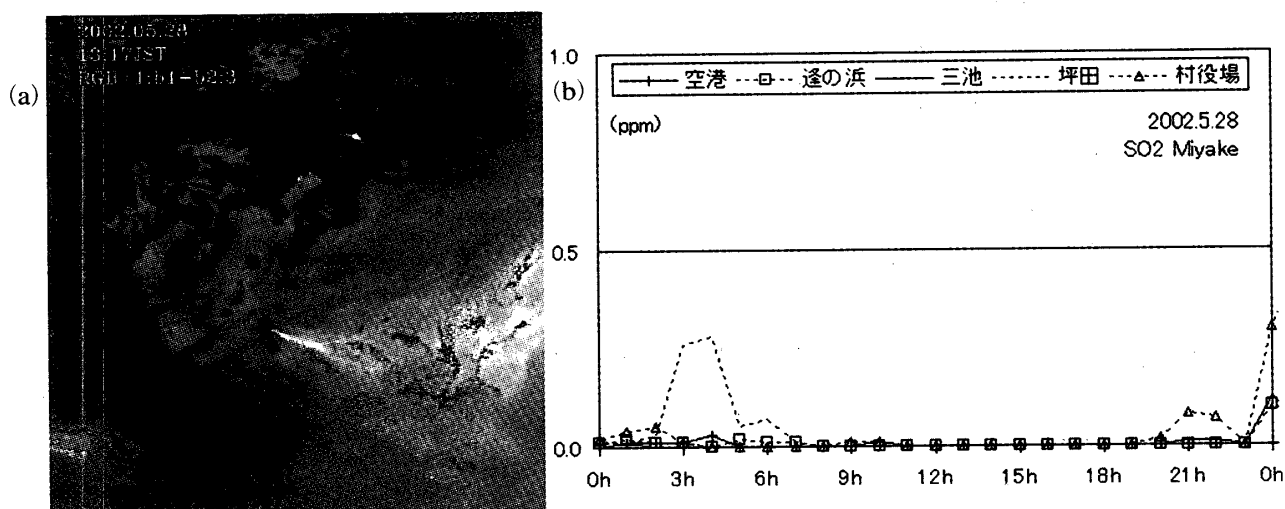


図8. 2002年5月28日 (a) 13時17分のNOAA画像. (b) SO₂濃度1時間値

2002年6月7日の3・9・15・21時の風向は33・76・313・208°と変化が大きく、風速は4・2・1・1 m/sと極めて弱風であった。本州は高気圧に覆われて晴天であった。図9(a)のNOAA画像では三宅島付近に滞留する噴煙がみられる。図9(b)のSO₂グラフでは島内は1日中1 ppm以下であり、図9(a)の受信された13時ころの濃度はごく低濃度であり、上空を漂っていると考えられる。

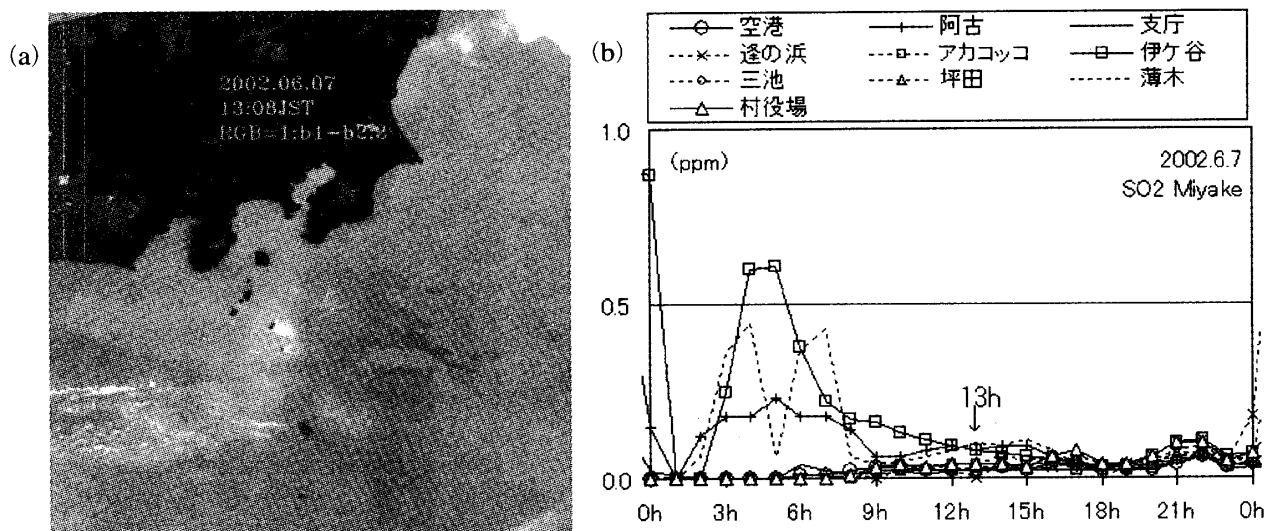


図9. 2002年6月7日 (a) 13時08分のNOAA画像. (b) SO₂濃度1時間値

4. 3 各月のSO₂濃度と高層風の比較

1月の高層風とSO₂のグラフを図10に示す。図10(a)はSO₂濃度1時間値の変動で、高濃度事象のおおい火口東側の空港局・逢の浜局は下段で、そのほかの局が上段になっている。1月の最高値は、空港局11日22時の6.81ppmであった。図10(b)の高層風と比較すると、風向が大きく変化するとき、東側以外の局で高濃度事象がでており、そのほかの時はほとんどゼロであった。また風速が10m/s以上、特に15m/sの強風であるとき、空港局の高濃度事象と連動している。

図10(b)の風向が大きく変動するときは、風速も連動して5 m/sほどに弱くなっている。240～300°の風向に安定している。鹿児島大学受信のNOAA画像で噴煙が見られたのは、1・9・10・11・27・28・30日であった。全て東側に流れる噴煙であった。

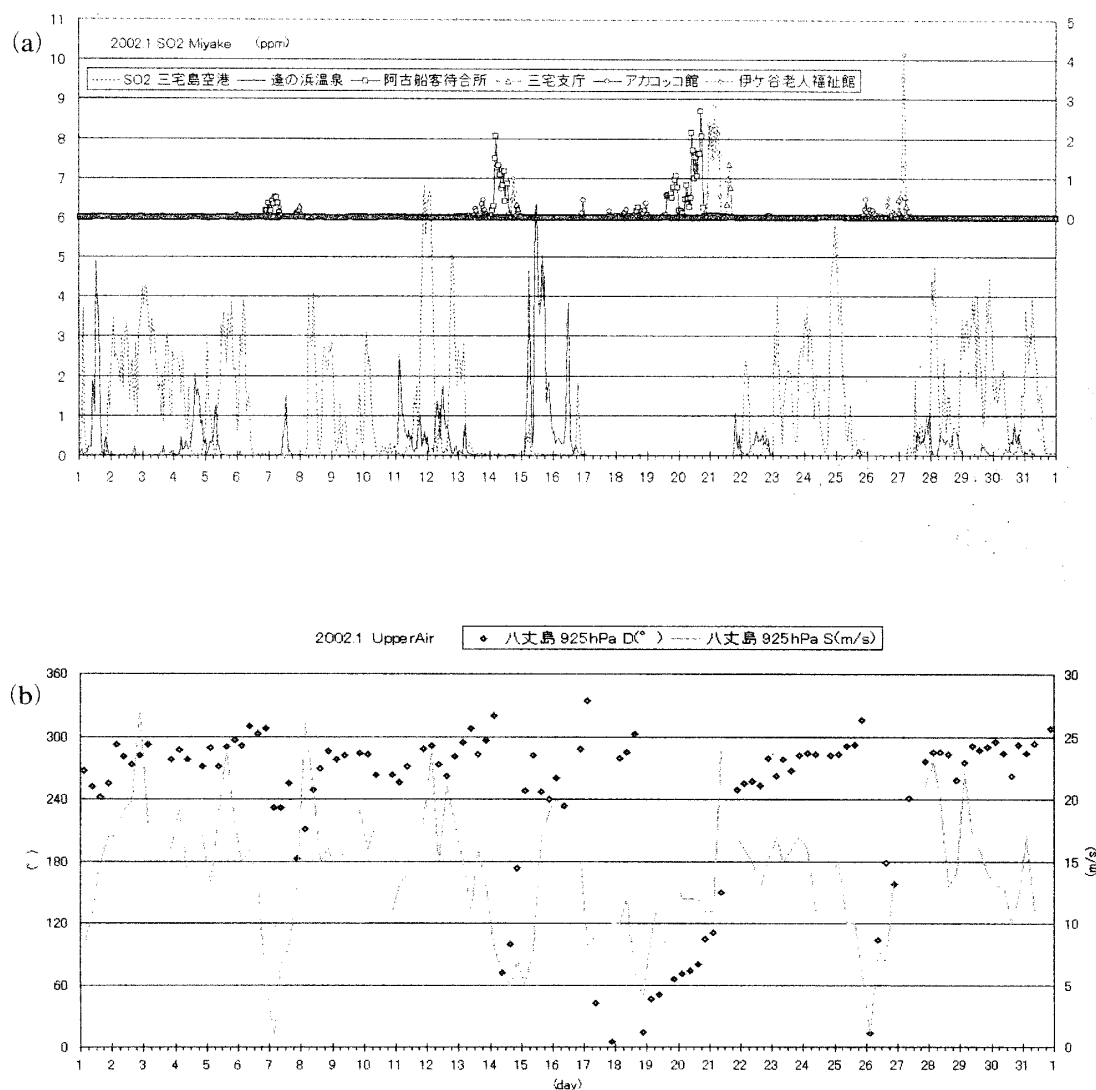


図10. 2002年1月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

2月の高層風とSO₂濃度1時間値のグラフを図11に示す。20日から三池局が加わり、21日から坪田・薄木局が加わった。村役場局はすべて欠測であった。2月の最高値は、空港局 8日14時 10.12ppmであった。

1月と同様に、風向は恒常的に東向きであり、風向が大きく変化して風下になるときだけ、図11(a)の右軸の局に高濃度が検出されている。

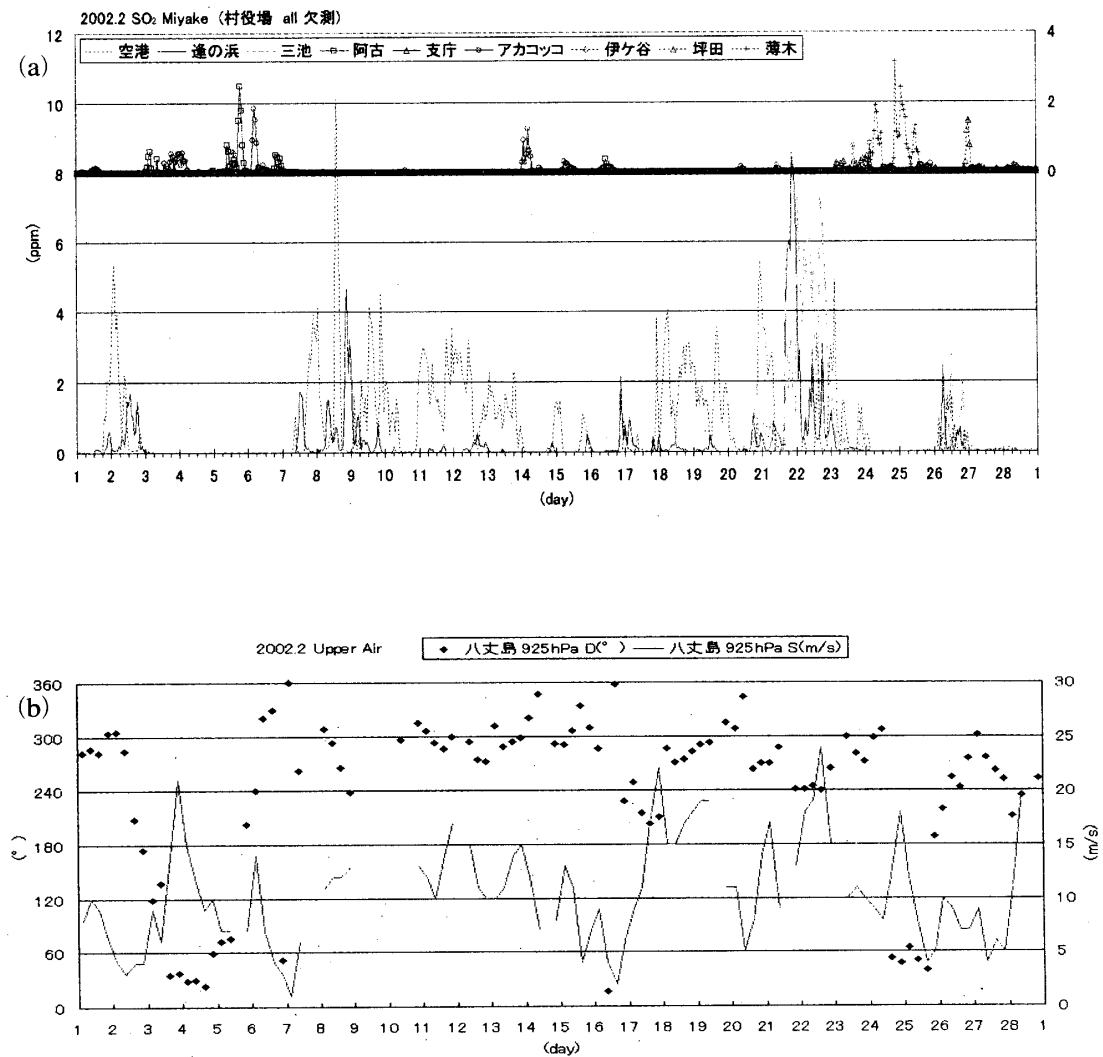


図11. 2002年2月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

3月の高層風と SO_2 濃度1時間値のグラフを図12に示す。3月の SO_2 最高値は逢の浜局21日3時に8.72 ppmであった。村役場局はすべて欠測であった。図12(b)の高層風で、15日15時33m/sの強風は日本海にあった低気圧の影響であると考え。22日の強風は前線の直下であり、27日は南岸を東進する低気圧の影響であると考え。

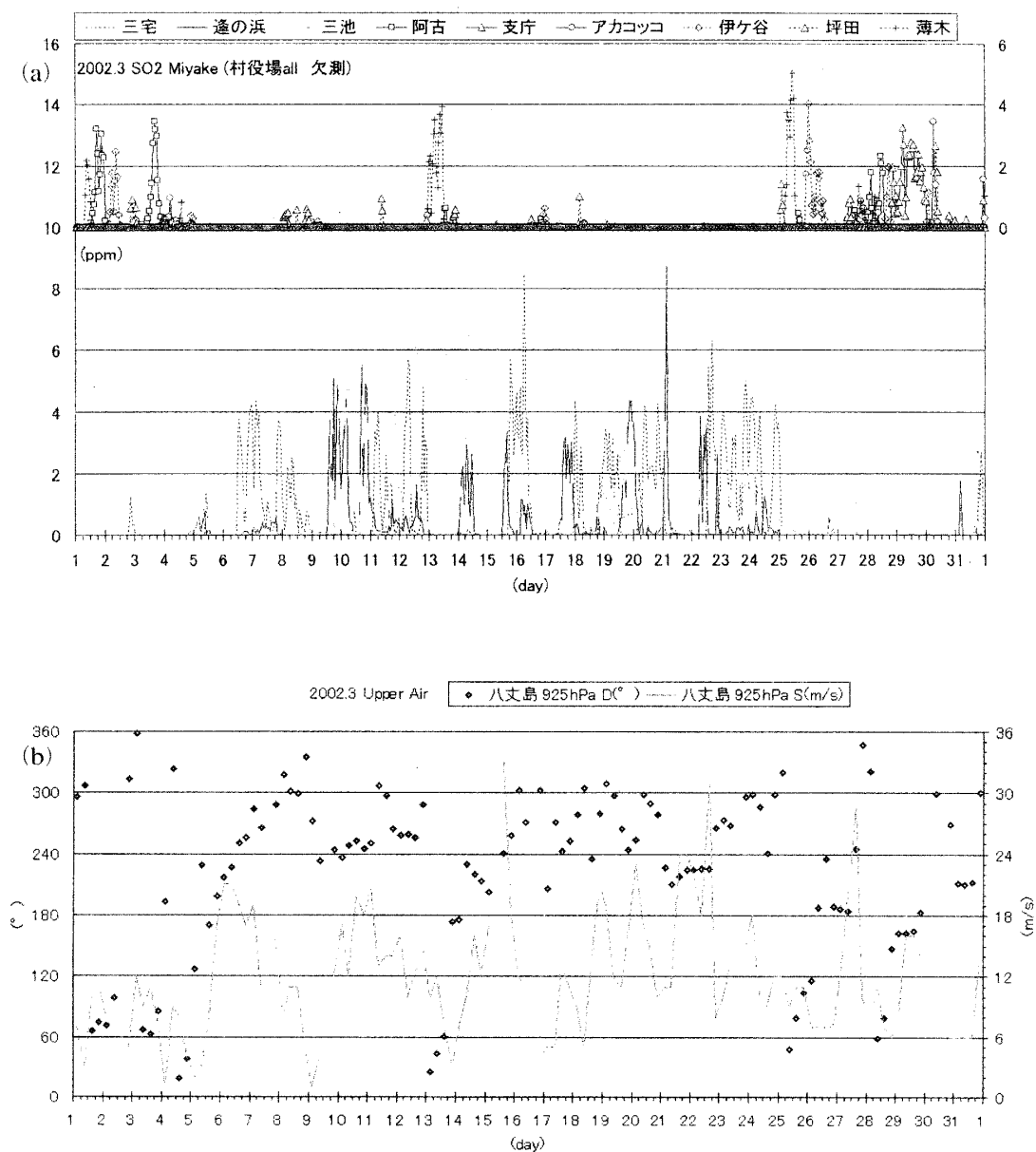


図12. 2002年3月 (a) SO_2 濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

4月の高層風とSO₂濃度1時間値のグラフを図13に示す。4月のSO₂最高値は空港局2日12時8.55ppmであった。村役場局はすべて欠測であった。図13(b)を見ると1～3月に比べて、0～60°の北向きの風向が多くなってきた。

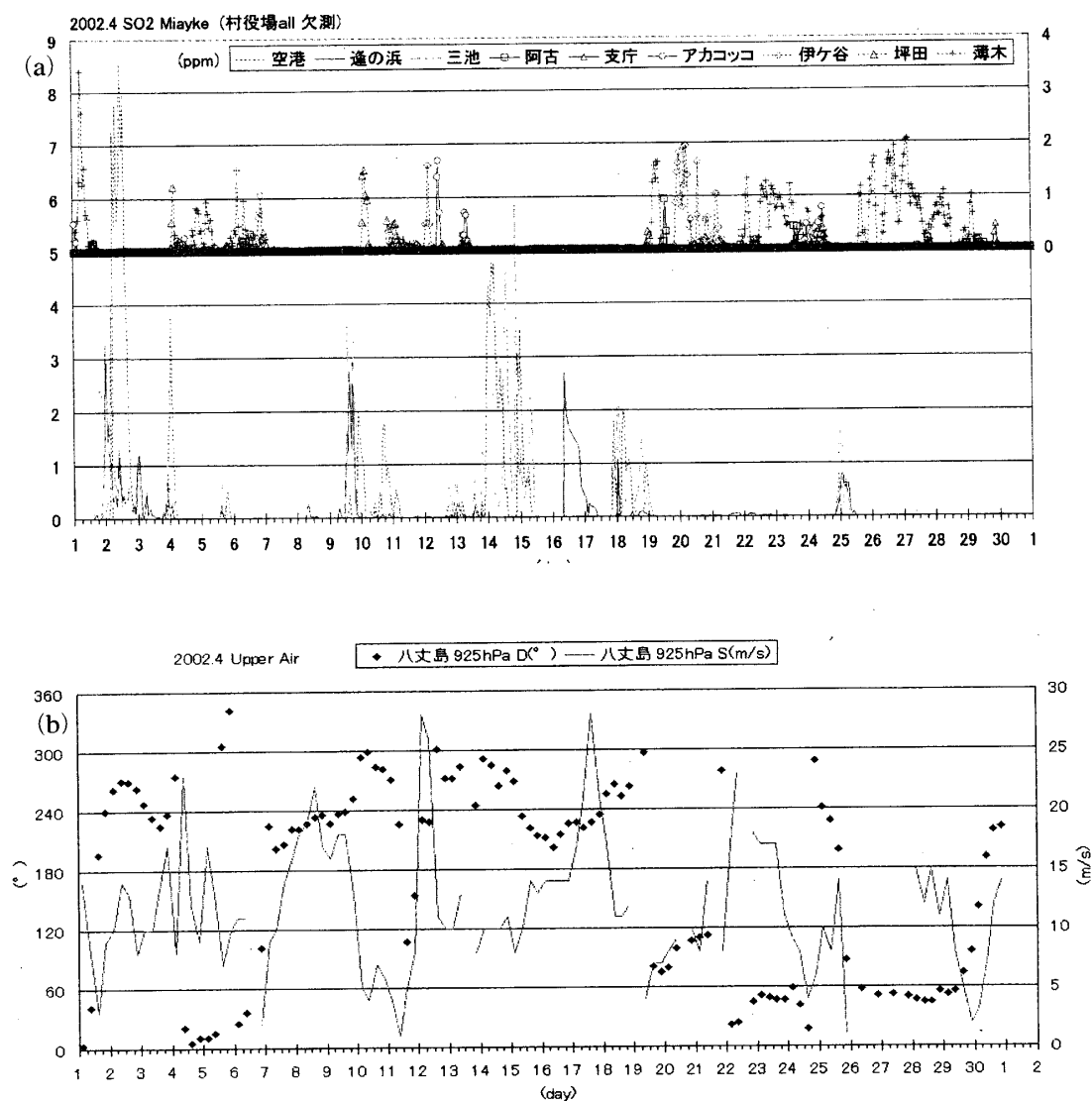


図13. 2002年4月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

5月の高層風とSO₂濃度1時間値のグラフを図14に示す。5月は移動性の気圧団の影響で、高層風の風向・風速が周期的に変化し、それに連動して風下の局で高濃度事象が起こっている。5月のSO₂最高値は空港局19日6時7.44ppmであった。

図14(a)のSO₂グラフを見ると、東部の4局（空港・逢の浜・三池・村役場）だけでなく、右軸で濃度を示している他の6局も高く、伊ヶ谷局でも19時の5.32ppmと高濃度である。

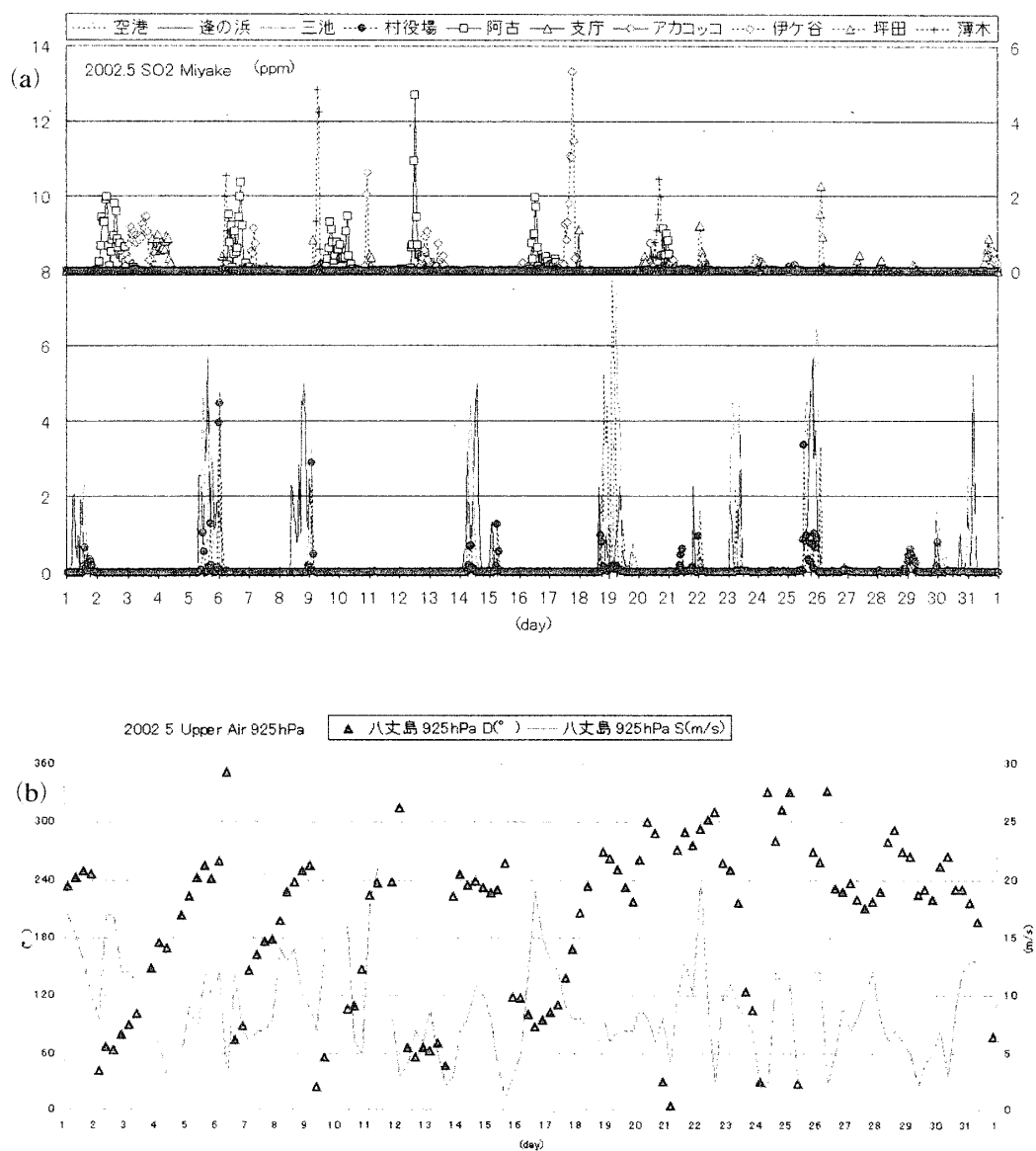


図14. 2002年5月 (a) SO₂濃度1時間値, (b) 高層風の風向・風速.

6月の高層風とSO₂濃度1時間値のグラフを図15に示す。6月のSO₂最高値は空港局19日1時の8.92ppmであった。図15(a)の左軸で濃度を示す空港・逢の浜・三池・村役場の22日以降は、欠測ではなくゼロである。6月からは村役場のデータがあり、空港局と近いとほぼ連動し、同じく19日1時に8.48ppmと高濃度である。

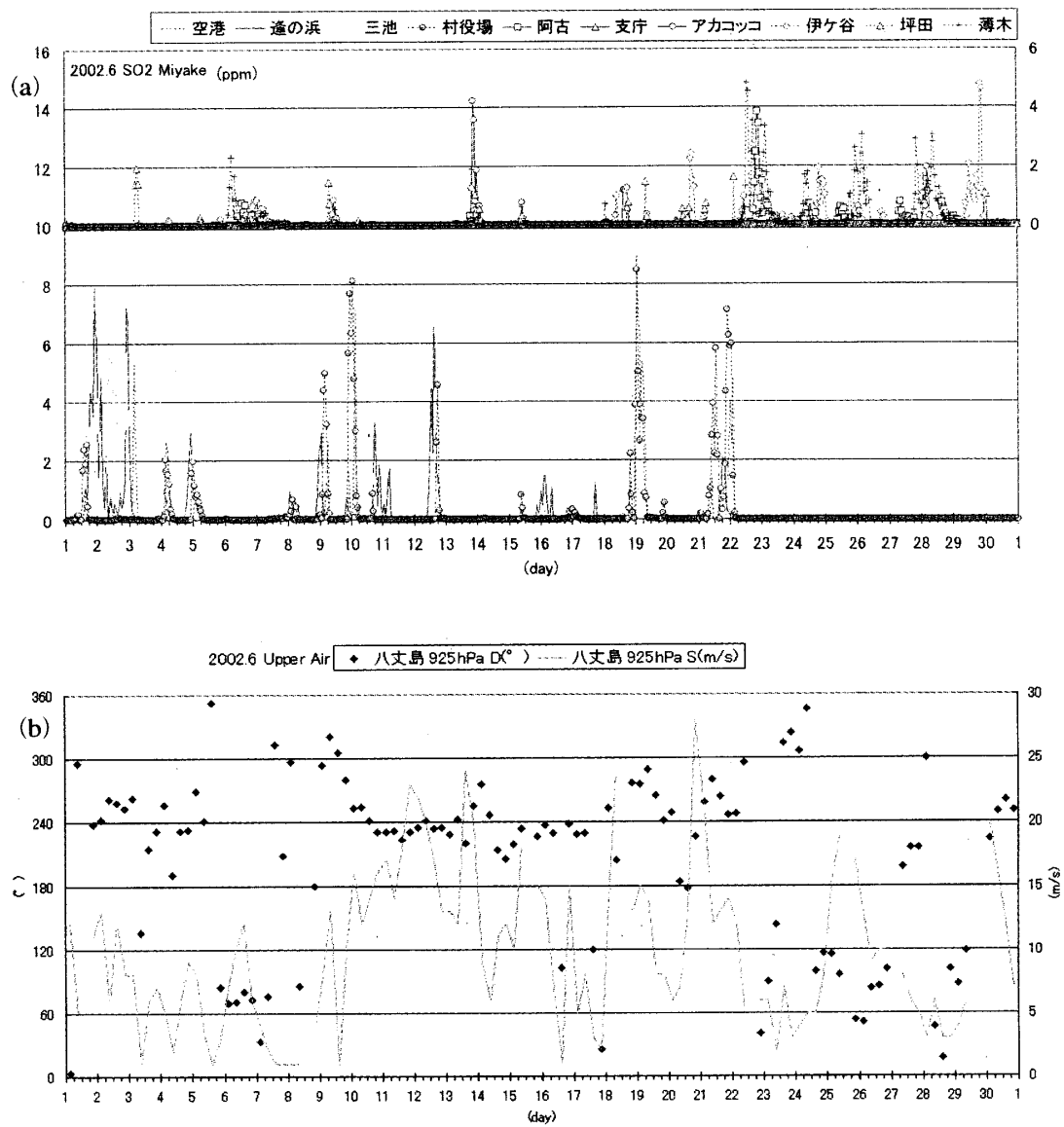


図15. 2002年6月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

7月の高層風とSO₂濃度1時間値のグラフを図16に示す。7月のSO₂最高値は三池局で31日19時の7.0ppmであった。

図16(a)のSO₂グラフを見ると、6月までに比べ、火口東側でも高濃度事象が少ない。これは、高気圧に覆われるためと思われる。図16(b)の高層風のグラフでは、風向は特に安定しており、同じような風向が数日続くのが見られる。風速も変化が緩やかであるが、11日3時30m/sは台風6号、16日9時の36m/sは台風7号である。

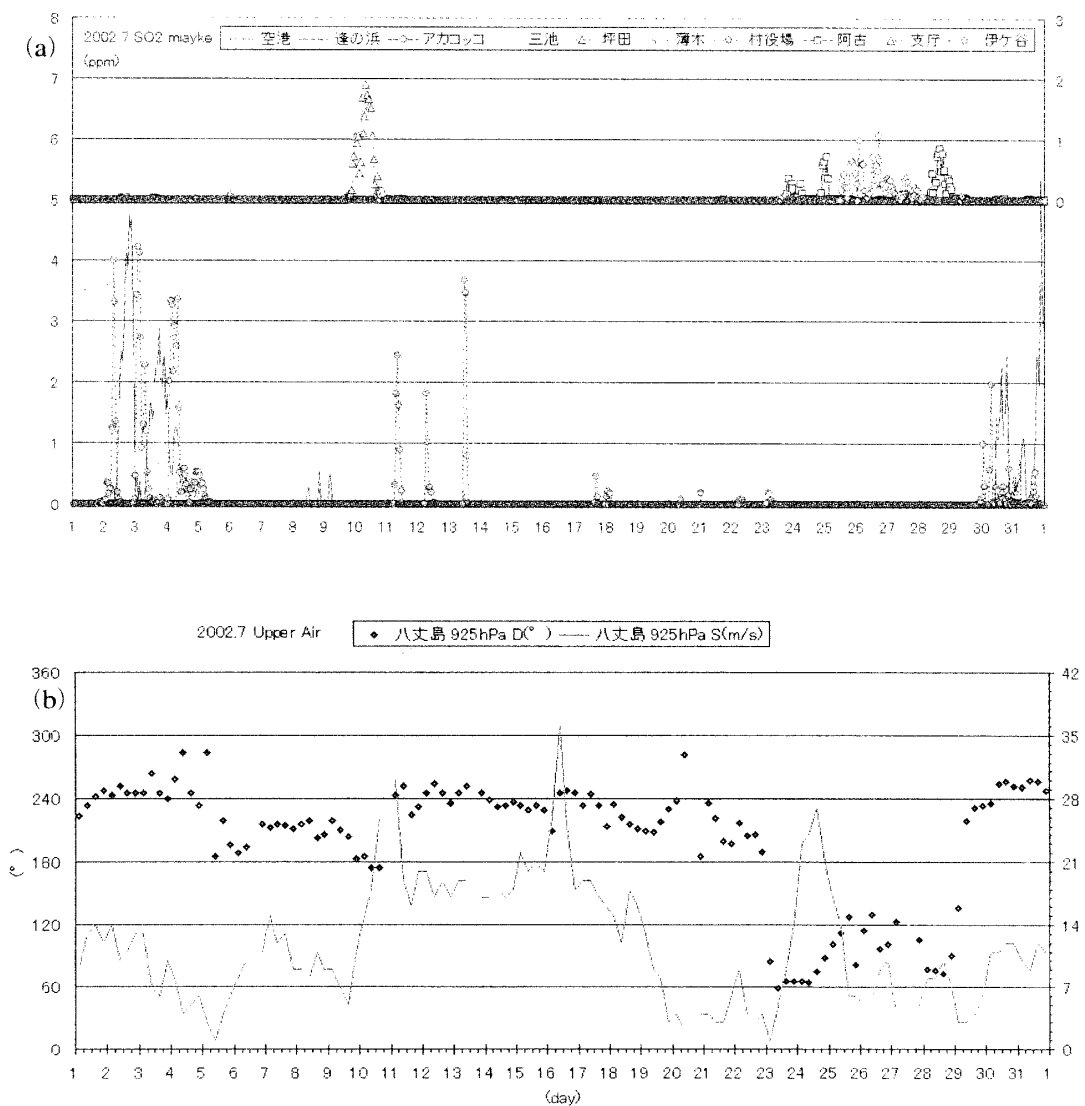


図16. 2002年7月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

8月のSO₂濃度1時間値のグラフを図17に示す。8月のSO₂最高値は村役場局1日13時の8.58 ppmであった。

図17(b)の高層風を見ると7月に引き続き、15日までは風向は安定しているが、台風13号の接近・通過で16～19日は風向が大きく変化し、風速は最高になっている。

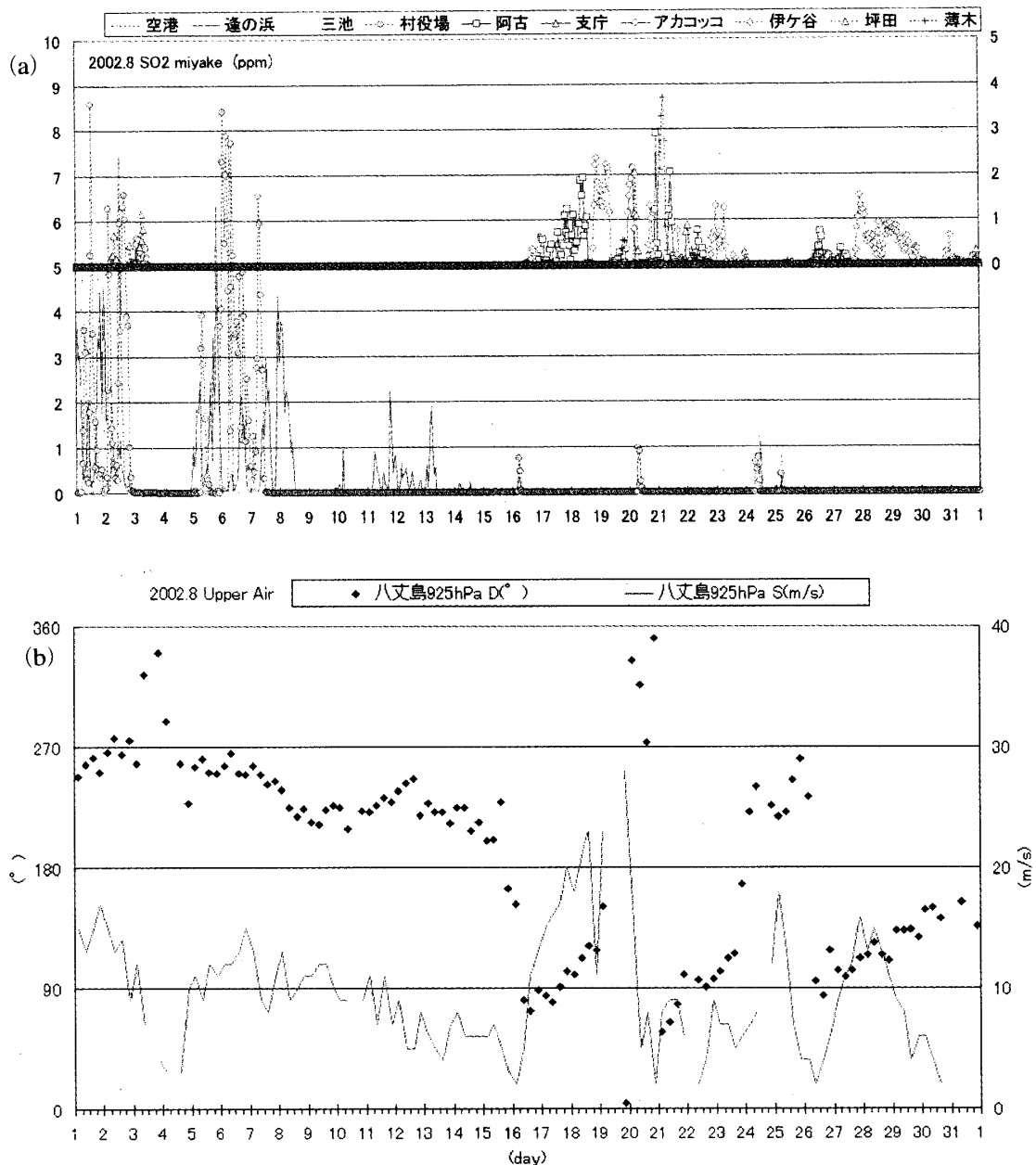


図17. 2002年8月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

9月のSO₂濃度1時間値のグラフを図18に示す。9月のSO₂最高値は薄木局で21日18時2.87ppmであった。

図18(a)のSO₂グラフでは、火口東側の局よりも、右軸で濃度を示した他の局に高濃度事象がおおくなっている。

図18(b)の高層風も風向の変化が目立ち、これらは西からの移動性の気団の影響と考える。22日21時の30m/sの強風は台風19号の影響である。

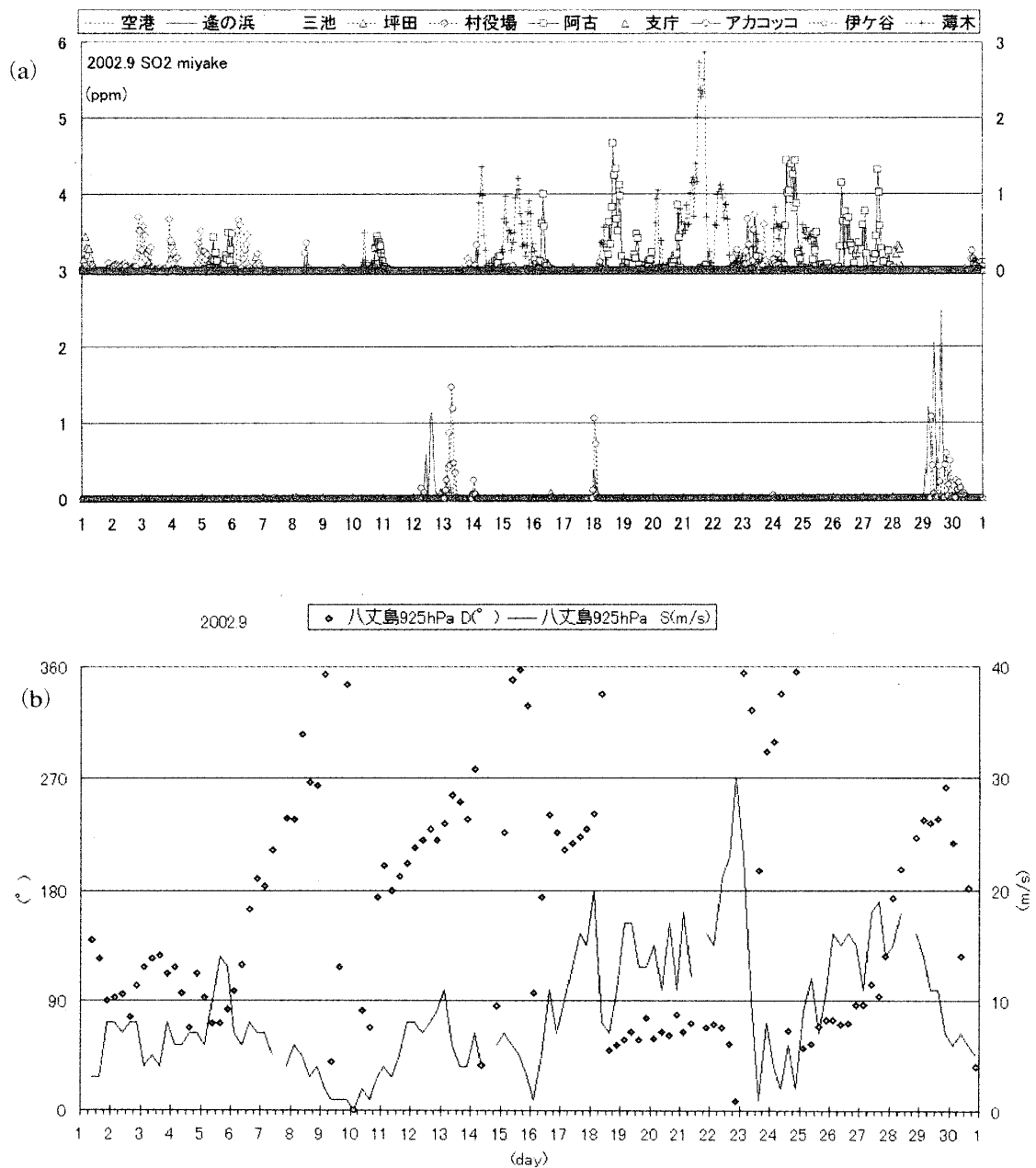


図18. 2002年9月 (a) SO₂濃度1時間値. (b) 高層風の風向・風速.

5. まとめ

2002年1月から9月までの三宅島について、噴煙のNOAA画像と、三宅島島内の火山ガス連続測定データと八丈島の高層風を比較検討した。その結果、強風時は風下山麓で数ppmの高濃度の二酸化硫黄が検出され、弱風時は島内で高濃度事象は見られなかった。また、噴煙画像との整合性も確かめられた。

また、可視・近赤外の差画像に見られる噴煙も、2000年の爆発当初からみると薄くなってきている。しかし、島内のSO₂濃度は、平均値は下がってきているものの、1時間値では場所によってはきわめて高濃度がしばしば見られる。

解析した画像は下記のHP：SiNG Kagoshima「O. 2002年NOAA/AVHRRによる三宅島の噴煙」に掲載している。<http://www-sci.edu.kagoshima-u.ac.jp/sing/>

謝辞：三宅島のSO₂データを提供された東京都環境局と、NOAAデータを提供された鹿児島大学衛星画像受信・解析システム運用委員会に感謝いたします。東大地震研究所寺田暁彦氏には火山ガスについての議論と噴煙映像の提供に感謝致します。

参考文献

- [1] COSPEC 観測結果 <http://staff.aist.go.jp/kazahaya-k/miyakegas/COSPEC.html>
- [2] 小山田恵・木下紀正・飯野直子・金柿主税、三宅島噴煙と火山ガス移流の衛星データによる検討，日本リモートセンシング学会第29回学術講演会論文集，37-40，2000.
- [3] 木下紀正・小山田恵・飯野直子，金柿主税，三宅島火山ガスの動態と気象条件，自然災害科学研究西部地区部会報，25，145-148，2001
- [4] 小山田恵・木下紀正・飯野直子・金柿主税，三宅島噴煙と火山ガス移流の衛星データによる検討Ⅱ—2000年10～12月—，日本リモートセンシング学会第30回学術講演会論文集，57-60，2001.
- [5] 小山田恵・木下紀正，衛星画像に見る三宅島島内の火山ガス濃度，日本火山学会2001年度秋季大会講演予稿集，127，2001.
- [6] 小山田恵・木下紀正・飯野直子，2001年夏季のNOAA/AVHRRに見る三宅島噴煙，日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集，149-150，2001.
- [7] 飯野直子・木下紀正・小山田恵・金柿主税・寺田暁彦，三宅島山麓における火山ガス濃度変動と帰島問題，第21回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，145-146，2002.
- [8] 宇井忠英編：火山噴火と災害，東京大学出版会，1997.
下鶴大輔：火山のはなし—災害軽減に向けて—，朝倉書店，2000.
- [9] 噴煙火山ガス研究グループ：噴煙と火山ガスの動態を探る—三宅島2000年噴火にあたって—，鹿児島大学，2001. <http://www-sci.edu.kagoshima-u.ac.jp/volc/gas/>
- [10] 木下紀正，火山ガスの正しい理解を—三宅島の噴煙活動をめぐって—，科学 71，1277-1279，2001.
- [11] 火山噴火予知連絡会見解，2001.10.
東京都災害対策本部の対応等について（第377報）2002.
- [12] 西日本新聞科学欄，火山ガス 「風」に支配された挙動 はるばると長旅も，2001.7.17.
BSデジタル放送 910 ch.，火山ガスと気象条件，2001.10.28.
TBS報道特集，三宅島火山ガスの脅威，2001.10.28.
NHKニュース10，なぜ高濃度 三宅島火山ガス，2002.3.5.
毎日新聞東京版，三宅島高濃度ガス 観測は強風時だけ，2002.9.8.

南日本新聞, 噴火続く三宅島の火山ガス, 2002.9.21.

- [13] 浦井稔, ASTER報告, 日本リモートセンシング学会第30回学術講演会論文集, 62-63, 2001.

NOAA Images of Miyakejima Plumes and High Concentration Events of Volcanic Gas

- From January to September 2002 -

Kisei KINOSHITA¹, Megumi KOYAMADA¹, Chikara KANAGAKI¹ and Naoko IINO²

¹Faculty of Education, Kagoshima University

²Faculty of Engineering, Kagoshima University

Abstract

We detected Miyakejima plumes from January to September 2002 using NOAA/AVHRR data received at Kagoshima University. We compared these data with the volcanic gas continuous measurement data at Miyakejima by Tokyo environmental bureau, and the upper wind data at Hachijojima, and analyzed the relationship among them. We found that the SO₂ high concentration events of several ppm happened at Miyakejima downstream of the source, when winds were strong. On the other hand, when winds were calm, such events were not found. Consistency of these results with the flow of plumes was verified. Satellite images of the plumes detected by the difference of visible and infrared bands turned out to be rather thin compared with the plumes in 2000 and 2001. Although the mean values of the SO₂ concentration have gone down, hourly values are often high at some stations.