

三宅島の「雲, 雨, 日照, 風」による火山ガス濃度変化

藤原宏章*・小野幸治**・鳩岡正喜***

1. 調査の目的と背景

三宅島の雄山は、2000年の噴火以降火山ガスの噴出を続け、2009年8月現在でも約1500トン/日という大量な有害ガス(SO₂)を放出している。そのため、三宅島の卓越風である西風の風下の地域は、現在も火山ガス高濃度地区として居住禁止とされ、一部の島民は避難状態が続いている。

火山ガスの流れは基本的には風に依存し、一部が居住地まで達するが、観測されるSO₂濃度は時間によって大きく変動する。そこで、SO₂濃度が増減する要因を、水溶性という性質を持つSO₂が雲や降水の存在によって受ける影響と、大気安定・不安定による影響の2つを、地上で観測しているSO₂濃度を比較することにより調べた。さらに、風速の強弱が居住地で観測されるSO₂濃度に与える影響を気象庁非静力学モデルJMANHMを用いて調べた。

2. 雲・降水が地上SO₂濃度に与える影響について

SO₂は水に溶解する性質を持っているので、山頂で放出されたSO₂が地上の居住地に到達する間に、雲や降水から影響を受けていることが考えられる。その影響の度合いを調べるために、雲の有無、降水の有無の2つに分けて調査を行った。

2.1 雲の有無が地上濃度に与える影響

三宅島測候所は2009年9月まで、一日4回(03, 09, 15, 21時)の地上気象観測を行っており、その観測要素の1つに雲底高度があった。(三宅島測候所は

* Hiroaki FUJIWARA, 三宅島測候所(現所属: 東京管区気象台)。

** Kouji ONO, 三宅島火山防災連絡事務所。

*** Masayoshi HATOOKA, 横浜地方気象台。

© 2009 日本気象学会

2009年10月1日に無人化され三宅島特別地域気象観測所となり、雲量や雲底高度の観測は廃止となった。) 三宅島では雲底の高度の目安としているものが島中央部の雄山しかなく、過去の記録で雲底高度が雄山の標高より低いときは、雄山に雲がかかっていたと考えられる。そこで夜間で目視が難しい03時、21時のデータを除いた2006年、2007年の2年分の09時と15時の雲底高度データを利用し、雲の存在が地上のSO₂濃度に与える影響を調べた。

地上のSO₂濃度データは三宅村による島内14ヶ所の自動測定器のデータ(1時間値)を利用した(第1図)。その結果を第2図に示す。ここで、地点最大濃度とは、時間ごとの14ヶ所中の最大値のこととする。なお、最低雲高が不明の場合(多くは山に雲がかかっていなかった場合と考えられる)の地点最大濃度の平均値は0.56 ppmだった。第2図を見るとわかるように、観測されるSO₂濃度は雲底高度が低いほど低値になっている。このことから、山頂から放出されたSO₂は、居住地に達するまでに通過する雲の量が多いほど、観測される値が低値になると推測される。雲底高度が200 m以下になると最低雲高が不明の場合の平均値(0.56 ppm)の半分以下の濃度になっている。

2.2 降水が地上濃度に与える影響

次に降水の有無とSO₂濃度の関係を調査した(第1表)。調べたのは、2007年の09時と15時で、正時に雨を観測した場合のほかに、正時ちょうどにたまたま測候所で降っていない場合を考慮に入れ、1時間内と、3時間内に降水があった場合も調べた。その結果、3時間以内に降水がなかった場合は0.54 ppmだったのに対し、正時に雨の場合で0.31 ppm、1時間以内の降水で0.34 ppm、3時間以内で0.37 ppmと、降水があったときは、降水が無かったときに比べ、平均して約6割の濃度になっていることがわかる。

3. 大気安定度が地上濃度に与える影響について

一日の中でSO₂濃度は平均すると第3図のように日中低く夜間に高くなっていることがわかる。その理由として、日中の日射が地表面を暖め不安定になり、対流活動が起きることにより、地表付近に流されてきたSO₂を拡散していることが考えられる(第4図)。

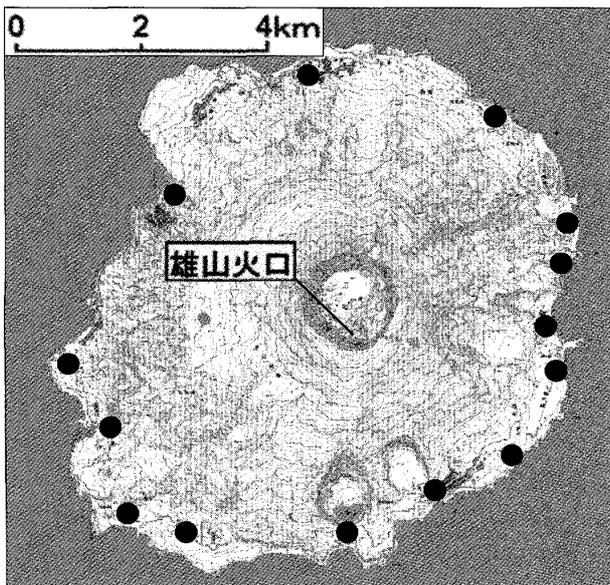
そこで、空気の安定度と居住地に届くSO₂の濃度の関係を、大気の安定度の指標である、ブランチバイサラ振動数を用いて調べた。

ブランチバイサラ振動数(N)は次式から求められ、安定度が強いほど数字が大きくなる。ここで

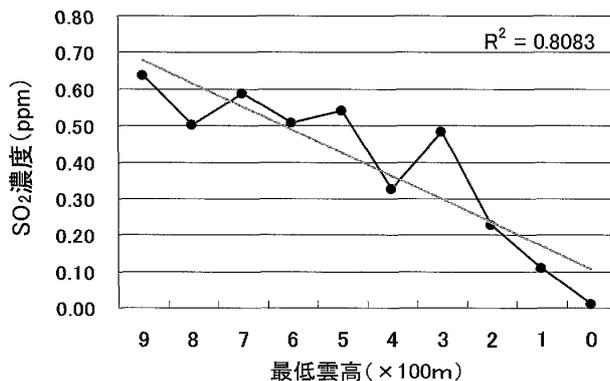
$$N^2 = (g/\theta) \delta\theta/\delta z$$

gは重力加速度、θは温位、zは高さである。今回は地上気温を三宅島測候所の実測値、雄山山頂付近の気温を毎時大気解析の925 hPaの値を用い、夜の03時、昼の15時の2つのNを2007年の1年間分求めた。ここでは2項で述べたように、降水粒子による吸収の影響を除くため、前後3時間に降水がない場合のみを扱った。

第5図に03時と15時の散布図を示す。その結果、03時、15時ともに良い相関は見られないが、赤丸で囲ってある部分のように、03時には約2 ppm以上、15時は約1.5 ppm以上の高濃度のSO₂が観測されているときの多くは、ブランチバイサラ振動数が高く、大気が安定している状態であることがわかった。



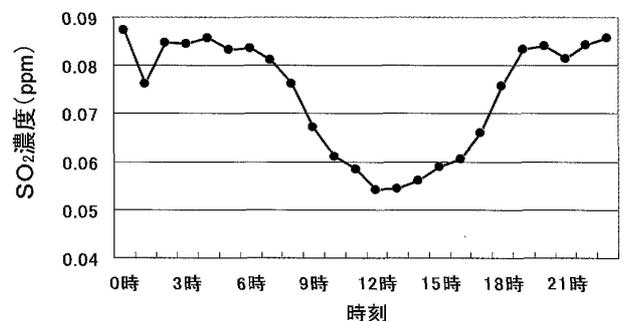
第1図 SO₂ガス観測地点(国土地理院発行の2万5千分1地形図を使用)。



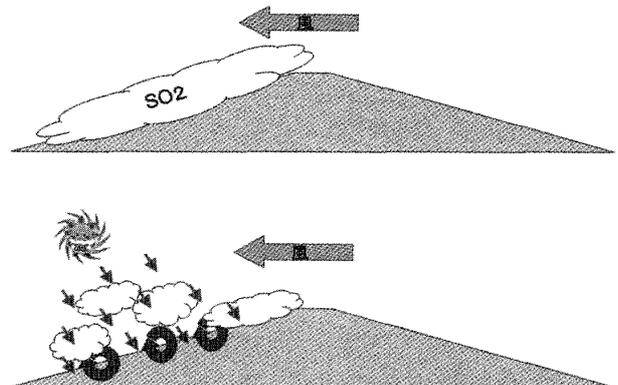
第2図 雲底高度と地点最大濃度平均値の関係。

第1表 降水の状態別SO₂地点最大濃度の平均値。

降水の状態	SO ₂ (ppm)	データ数
雨	0.31	107
1時間以内	0.34	183
3時間以内	0.37	257
3時間以内に雨なし	0.54	473



第3図 2007年の時間別全地点SO₂平均濃度。

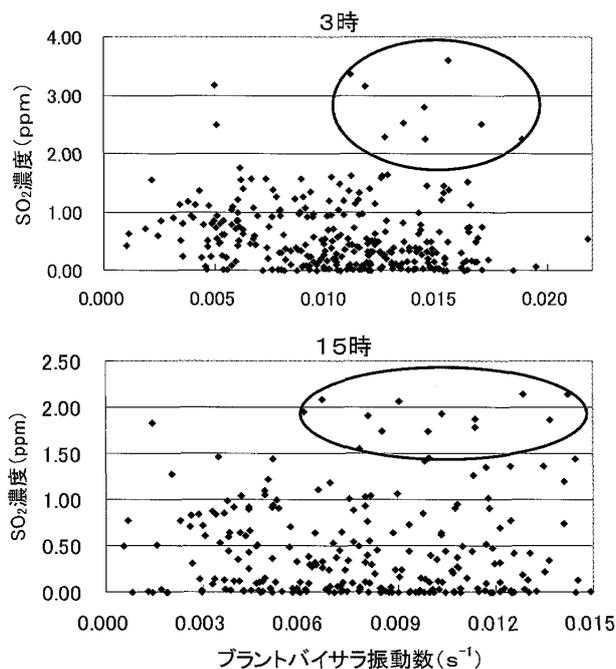


第4図 SO₂拡散のイメージ。

次に、地点最大濃度の平均値が1.0 ppm 未満のとき、1.0 ppm 以上のとき、2.0 ppm 以上のときの3通りに分けてプラントバイサラ振動数の平均を求めた(第2表)。15時の結果を見ると、大気安定度が弱くなるほど(N が小さいほど)地点最大濃度が低くなっている。それに対し、夜間である03時においては SO_2 濃度と大気安定度には対応がみられない。このことから、日照が出て気温が上昇することによる対流混合が SO_2 を拡散させ、地表付近の濃度を低くする一因となっていると考えられる。しかし、これについてはばらつきも大きいので、他の要素も影響していると考えられる。

4. 風速と SO_2 地上濃度の関係

ここまでで、 SO_2 の地上濃度の増減には雲や降水の存在と、大気の大気安定度が関係していることがわかった

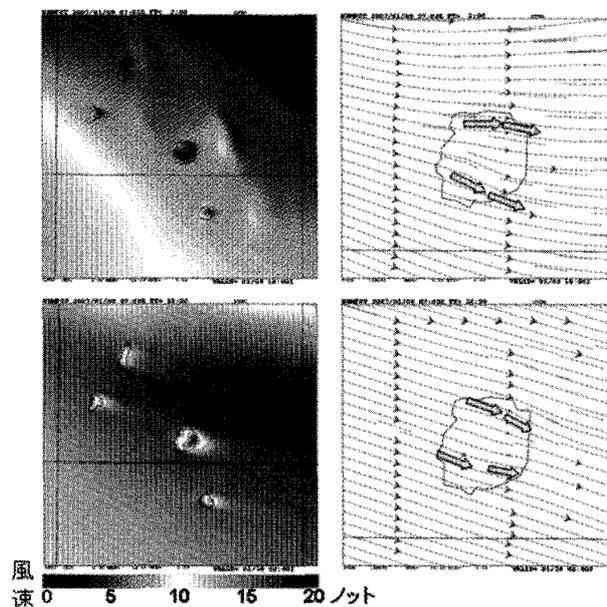


第5図 SO_2 濃度とプラントバイサラ振動数の関係(上図:03時, 下図:15時)。

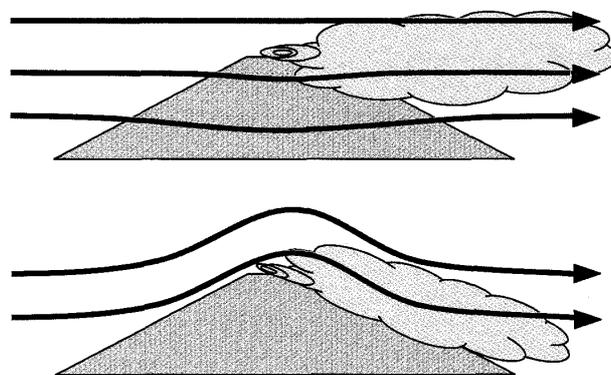
第2表 SO_2 濃度別プラントバイサラ振動数の平均値(単位: s^{-1})。

	3 h		15 h	
	N	出現頻度	N	出現頻度
1.0 ppm 未満	1.17×10^{-2}	68.5%	0.76×10^{-2}	75.2%
1.0 ppm 以上	1.05×10^{-2}	26.1%	0.93×10^{-2}	22.1%
2.0 ppm 以上	1.27×10^{-2}	5.4%	1.11×10^{-2}	2.8%

が、3項の結果からも、 SO_2 濃度変化にはまだ他の要因も影響していることがうかがえる。その他の要因として大きな影響を与えていると考えられるのは、風速の強弱である。大久保ほか(2006)によると、山頂付近の風が5 m/s 未満の弱風時では地上で高濃度となりにくいという記述があり、さらに山頂付近が8 m/s 以上であることが1 ppm 以上の高濃度が出現する条件であるという報告もある(飯野ほか 2003)。そこで、弱風時より強風時の方が、観測される濃度が高くなる理由を、一般風が10ノット(1ノット=0.51 m/s) 未満の弱風時(2007年1月9日18時)と、20ノット近い、やや強い風が吹いている場合(2007年1月10



第6図 上図10ノット未満, 下図約20ノット. 左が地上風速, 右が地上風の流線をあらわす。



第7図 SO_2 移流のイメージ(上図10ノット未満, 下図約20ノット.)

日02時)の2つの事例を, JMANHM を用いて比較することにより調べた(第6図).

第6図の上図と下図を比べると, 風向はほとんど変わらない. しかし地上付近の風の流線を見ると, 上の弱風時は島をよけるように大きく回りこんでいるのに対し, 下図は島をほとんど迂回することなく直進していることがわかる. 空気塊が山を乗り越えるか迂回するかの指標にフルード数 ($Fr = u/Nh$, u は風速, h は山の高さ. $Fr > 1$ のときに気流は障害物を乗り越えやすい)があるが, フルード数が1を超えるかどうかは, 山の高さとブラントパイサラ振動数が同じであれば, 風速のみに依存する. 第2表より N は約 1.0×10^{-2} , 雄山標高が $h = 775$ m なので, 風速 $u = 7.75$ m/s を超えると Fr が1を超え, 気流が山越えしやすい状態となる. そこから, 第6図上図の弱風の場合は, 山を乗り越えられず迂回して進んでおり, 下図のほうは山を乗り越えて進んでいると推測できる. 気流が山を乗り越えて進んだ場合, しばしば吹き降ろしの風が発生する. この吹き降ろしの風が, 第7図のように山頂から放出された SO_2 を居住地まで運び, 観測される濃度を高くしている可能性がある(第7図). この風速と火山ガス分布の関係については, 千葉ほか(2006)や Seino *et al.* (2004) による数値シミュレーションでも同様の結果が示されている.

5. まとめ

今回の調査で, 雄山にかかる雲の雲底高度が低いほど, 居住地に届く SO_2 濃度が低値になることが示された. 特に最低雲高が200 m 以下になると濃度は半分

以下に抑えられることがわかった. 降水の有無と SO_2 濃度の関係については, 観測時に雨が降っていた場合は, 降っていなかった場合の6割程度の濃度になることがわかった. 大気安定度と地上濃度の関係については, 夜間とは対照的に, 日中は安定度が低いほど観測される SO_2 濃度が低値になり, 日照による大気対流混合が SO_2 の拡散に参与している可能性が示された. さらに, 夜間(03時)では約2.0 ppm 以上, 日中(15時)では1.5 ppm 以上の高濃度が検出されている事例の多くは, 大気安定度が高い状態であることがわかった. JMANHM を用いた風の流線解析では, フルード数が1を上回る大気状態のとき(多くは風速が約8 m/s 以上のとき), 雄山を乗り越えたあとの吹き降ろしの風が, SO_2 を居住地まで運び, 観測される濃度を高くしている可能性が示された. これについてはもっと多くの事例を解析してみる必要がある.

参考文献

千葉 長, 佐々木秀孝, 清野直子, 佐藤純次, 2006: 火山ガスシミュレーション. 気象庁技術報告, (128), 154-160.
 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.
 大久保 篤, 平原洋一, 松下正志, 2006: SO_2 濃度特性. 気象庁技術報告, (128), 150-153.
 Seino, N., H. Sasaki, J. Sato and M. Chiba, 2004: High-resolution simulation of volcanic sulfur dioxide dispersion over the Miyake Island. Atmos. Environ., **38**, 7073-7081.

今年お世話になったレフェリーの方々 (2009年)

石渡 正樹	稲津 将	加藤 輝之	中村 尚	藤吉 康志	星野 俊介
木村 富士男	菅原 広史	杉 正人	眞木 貴史	増永 浩彦	水野 量
鈴木 修	鈴木 力英	清野 直子	村田 昭彦	村山 泰啓	森 修一
瀬古 弘	大楽 浩司	高橋 俊二	山崎 剛	山根 省三	山根 悠介
高藪 出	高藪 縁	坪井 一寛	吉田 聡	渡辺 幸一	渡部 雅浩
遠峰 菊郎	中井 専人	永井 智広			