

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

木下紀正*・西之園雅靖**・瓜生洋一郎**・金柿主税***
(1998年10月15日 受理)

Analysis of High Concentration Events of Aerosol and Volcanic Gas around Sakurajima Volcano

Kisei KINOSHITA*, Masayasu NISHINOSONO**, Youichiro URYU**
and Chikara KANAGAKI***

Abstract

High concentration events of suspended particulate matter (SPM) and sulfur dioxide at the foot of Sakurajima volcano during 1992 and downtown of Kagoshima city for five years since April 1993 were analyzed in connection with the wind data at high altitudes, surface weather map and video records of the volcanic clouds. The SO₂ and SPM data were provided by the Kagoshima city office as one-hour values throughout the years. Strong winds around the altitude of the summit, blowing down the volcanic gas with the ash clouds, were confirmed to be responsible for the high concentration events of SO₂ at the foot of the volcano in the downwind direction. The SPM concentration there in such cases were found to be high exhibiting strong correlation with the SO₂ concentration. At the measuring stations located at the distances 10-15 km separated from Sakurajima by the sea, strong winds were also found to be an important cause of high concentration events of SO₂ and SPM. Another mechanism for the events at the latter stations was the convection mixing in the daytime of good weather with mild or weak upper winds around the heights of the volcanic plumes. These results indicate that SPM and SO₂ from the volcano behave quite similarly, in contrast to the ash-fall from the plume near the volcano. In the downtown, there exist a few candidates of the events not attributed to the volcanic ejecta.

*鹿児島大学教育学部物理学教室 Physics Department, Faculty of Education,
Kagoshima University, Kagoshima 890-0065

**鹿児島大学工学部機械工学科 Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Kagoshima University, Kagoshima 890-0065

***熊本県 益城中学校 Mashiki Junior High School, Mashiki, Kumamoto 861-2233

1. はじめに

大気中には様々なエアロゾル粒子が浮遊しており大気汚染の大きな要因の一つとなっている。中でもSPM (Suspended Particulate Matter) と呼ばれる浮遊粒子状物質は人体に大きな影響を及ぼす恐れがある。SPMとは大気中に浮遊するエアロゾルの中で粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粒子のことを言い、その発生源は焼却炉等での物質の燃焼に伴う粉塵や自動車の排気ガス、スパイクタイヤなどの摩耗による粉塵などの人為的なものと、地表面から飛散した土壌粒子、海水が波の飛沫などによって飛散した海塩粒子、火山灰などの自然発生的なものがある¹⁾。

桜島火山は常時噴煙と共に大量の火山ガスを放出しており²⁾、その影響は、周辺地域はもとより九州各地の大気環境に影響を与え酸性雨の一因となっている^{3)~7)}。火山ガスの主成分は H_2O であり、 CO_2 もかなり含まれていると考えられるが、背景濃度との識別が困難であり今後の研究が待たれる。火山ガスの環境影響が問題になるのは主に二酸化硫黄 SO_2 であり、火口付近で急性中毒や喘息発作の誘因になると共に、大気中でゆっくり酸化されて硫酸エアロゾルに変わり、酸性降下物の重要な要素となる。一方、噴煙として認められるのは凝結した水分や火山灰であるが、それらは高濃度の火山ガスと一体となってガス成分を溶解・付着させながら大気中を移流・拡散していくと考えられる。火山灰のうち粗大な粒子ほど早く落下してしまうが、エアロゾルとして長く大気中に留まっている細かな灰粒子も多く、その中にはSPMとして分類される成分もかなり含まれている⁷⁾。

桜島の火山ガスの化学的特性、時間的な変動、空間的な分布については今まで様々な研究がなされており、これらの研究より火山ガスの濃度測定には、その放出の時期的、時間的な変動や、地形や気象条件が強く影響することなどが分かっている^{8)~11)}。SPMに関しても様々な研究がなされており、鹿児島県では宝来らによって桜島による降灰時のエアロゾルの挙動やエアロゾル組成元素の粒径分布の解析などが行われている。宝来らは、火山灰に含まれるSPMと火山灰の降灰量はあまり密接な関係には無く、降灰量からSPM濃度を推定するのは困難であることを報告している⁸⁾。SPMは粒径が非常に小さく、粒径の大きな火山灰とは滞留時間なども異なるため、大気中での正確な挙動は把握されていない。本研究では、桜島の火山ガスに含まれる SO_2 と、火山灰に比べて粒径のはるかに小さいSPMが挙動を共にし、またこれらの SO_2 やSPMは気象条件つまり気圧配置や高層風の風速、風向に強く影響を受けるという仮説のもと、鹿児島市内の5つの測定局(有村、黒神、市役所、鴨池、谷山)のデータ¹²⁾¹³⁾を用いてその解析を行う。

2. 解析データ

2.1 SO_2 とSPMデータ

鹿児島市では、環境保全課によって鹿児島市内4ヶ所(市役所、谷山、有村、黒神)の測定局が一般環境大気測定の目的でおかれているが、鴨池測定局が新たに自動車排出ガスの測定のため1996

年に開設された¹²⁾。5ヶ所の測定局の位置を図1に示す。また表1にそれぞれの測定局の測定項目、測定局と桜島南岳の方位、直線距離を示す。桜島南岳の方位は測定局を基準として北から東回りに求めた。これは各測定局が火口の下流に当たる場合の風向である。本研究においてはSO₂とSPMのデータを使用した。それぞれのデータは、環境大気中の濃度が1時間毎の積算値として、それぞれppbと $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の単位で表されている¹³⁾。

本稿では、1992年の桜島山麓の有村と黒神におけるSO₂データと黒神におけるSPM、SO₂の相関について、3と4で検討する。さらに5で桜島対岸の市街地側3カ所における1993年4月から5年間のSO₂高濃度事象と、それに伴うSPM濃度について報告する。

これらの解析において高濃度事象の基準を次のように設定する。SO₂の値が100ppbを超える時の事象を高濃度事象として捉え、この事象をSO₂ peak 値、SPM peak 値、peak 値の時刻差、それぞれの事象の継続時間と開始時刻で特徴づける。また、それぞれの高濃度事象の開始時刻や継続時間は、SO₂とSPMのバックグラウンド値をそれぞれ20ppbと60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満と設定して求めた。

表1. 各測定項目、測定局と桜島南岳の方位ならびに直線距離

測定局	設置年月	方位(°)	距離(km)	二酸化硫黄	浮遊粒子状物質	窒素酸化物	オキシダント	風向・風速
1.市役所	1973年12月	101	9.7	○	○	○	○	○
2.鴨池	1996年3月	80	10.0	○	○	○	○	○
3.谷山	1977年12月	64	14.6	○	○	○	○	○
4.有村	1980年12月	350	2.8	○	○			○
5.黒神	1988年2月	266	4.6	○	○			○

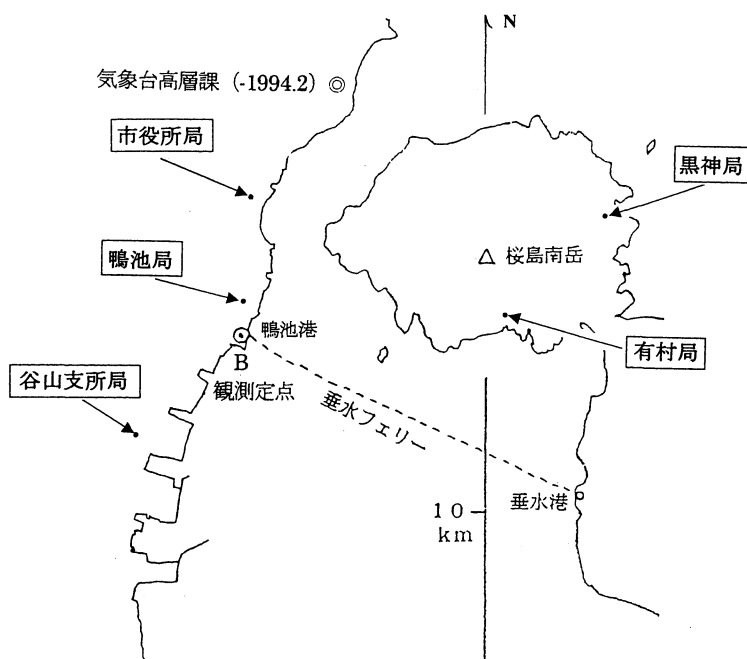


図1. 鹿児島市所管の測定局位置図

2. 2 風データについて

SO₂とSPMの挙動は、風向や風速に強く依存していると考えられる。このSO₂、SPMデータには、毎時の地上風データ(瞬時値)が付随しているが、地上風は局所的・時間的変動が著しいので、より上空の風向・風速が必要となる。そこで、今回の解析には、毎時間ではないが上空の風向・風速を与えてくれる1日4回の高層風データを使用する。

毎日の天気の変化を支配する高・低気圧など主要な大気現象のメカニズムを理解し予測するには、地上観測だけでなく上空の気象観測、つまり高層気象観測が不可欠である。高層気象観測の基本的な手段は、気圧、気温、湿度を計測するラジオゾンデと、風向、風速を計測するレーウィン、及び両者を組み合わせたレーウィンゾンデである。このような高層気象観測網は、現在約850の観測点が全世界に配置されている。高層観測点の間隔については、世界気象機関(WMO)は陸上300km、海上1000kmを勧告しているが、これは高・低気圧や前線のような大規模現象の解析と天気予報を目的としたものである。日本では9時と21時のレーウィンゾンデ観測、3時と15時のレーウィン観測を全国18ヶ所で行っている。九州においては福岡、鹿児島、名瀬の3ヶ所である。今回は鹿児島での高層気象観測データを使用した¹⁴⁾。

2. 3 天気概況と噴煙のビデオ映像

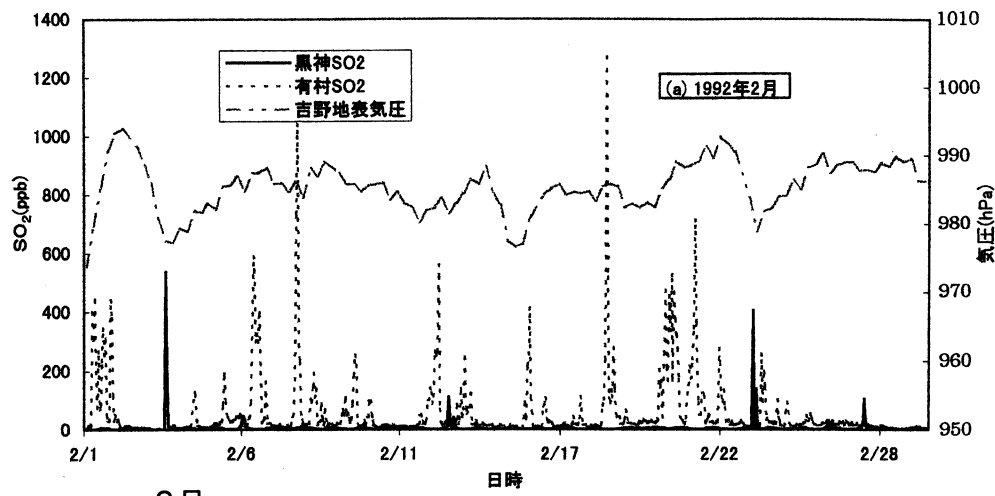
鹿児島市街地の測定局でSO₂高濃度事象が起こった日とその前後の日の、天気図や雲の動きなどの天気概況のTV録画と噴煙のビデオ映像を、その事象の確認のために用いた。噴煙の映像は鴨池港付近の定点からタイムラプス方式で撮影されたものである¹⁵⁾。桜島の南山麓にある有村については、強い北風による吹き下ろしでSO₂高濃度事象が発生し、噴煙の山岳波としての波打ちがしばしば見られることを前に報告した。他方、黒神の様子は定点撮影データからは見ることが出来ない。

3. 桜島山麓におけるSO₂高濃度事象

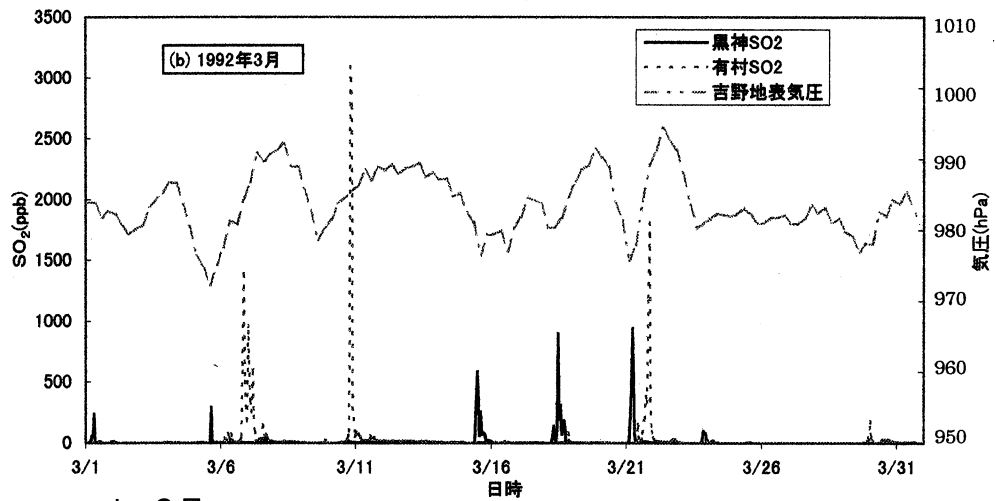
3. 1 SO₂高濃度事象にかかわる風の影響

1992年の有村におけるSO₂全データと地上風、高層風の解析により、高濃度が検出される場合の風向の平均値から、925hPaの風がもっとも北よりであり、高度が上がるとともに偏西風の影響で西よりにそれていくことがわかっている⁹⁾。また、有村の地上風のばらつきは大きい。気象台高層課のおかれていた吉野台地の地上風は高層風をある程度反映している。有村測定局は火口の南に位置するので、支配的なのは925hPaの北よりの強風である。また、このような強風は台風や低気圧との位置関係から理解される。なお、指定気圧面925hPaの高度は、海拔約830m程度である。

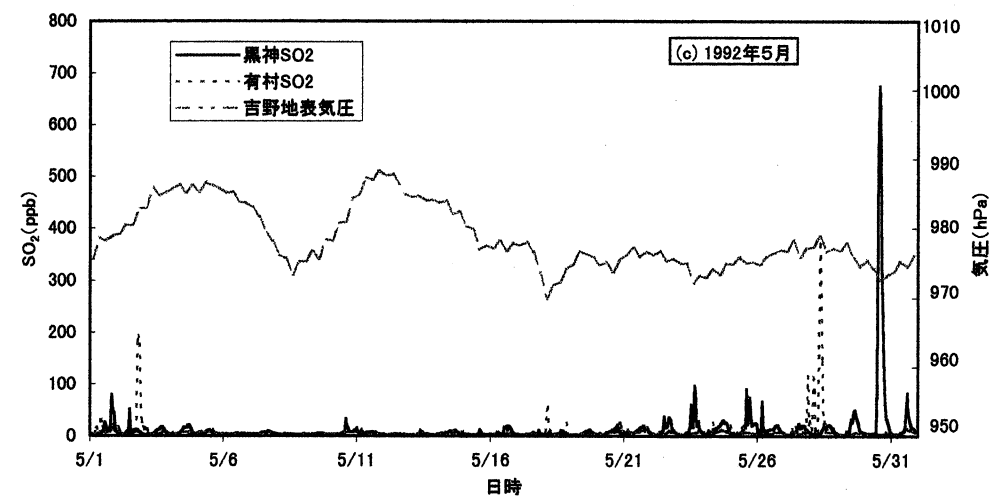
1992年の全データのうち、2月、3月、5月の有村と黒神のSO₂濃度、ならびに吉野の地表気圧をそれぞれ図2a, b, cに示す。またそれぞれの高層風データの内、925hPaの風向、風速の2日間だけの例を図2dに示す。



a. 2月



b. 3月



c. 5月

図2. 有村と黒神の SO₂濃度ならびに吉野地表気圧 (1992年)

2月6~7日

6, 3h	6, 9h	6, 15h	6, 21h	7, 3h	7, 9h	7, 15h	7, 21h
-	0 *	6 ↗	12 ↘	14 ↘	11 ↘	3 *	0 *

3月20~21日

20, 3h	20, 9h	20, 15h	20, 21h	21, 3h	21, 9h	21, 15h	21, 21h
7 ↗	7 ↗	11 ↘	13 ↗	20 ↗	19 ↘	10 ↘	13 ↗

5月8~9日

8, 3h	8, 9h	8, 15h	8, 21h	9, 3h	9, 9h	9, 15h	9, 21h
15 ↗	16 ↗	14 ↗	12 ↗	10 ↗	3 ↗	3 ↘	2 *

d. 2, 3, 5月の高層風(925hPa)の2日間の例. 数字は日時と風速(m/s).
 図2. 有村と黒神のSO₂濃度ならびに吉野地表気圧(1992年)

南岳火口に最も近い有村測定局において、SO₂高濃度事象が頻繁に発生している2月(図2a)などのSO₂濃度と鹿児島地方気象台の高層気象データ(925hPa)を対比すると、桜島の山頂付近が北風系の強風で噴煙が上昇せず、むしろ吹き降ろされているような状況で高濃度事象が起きていることがわかる。たとえば1992年2月7日3時に発生した399ppbの高濃度事象は、風速11~14 m/sの北よりの強風が吹いているときに発生している。有村で高濃度SO₂が検出される場合、気圧配置は西高東低で、特に九州東方にある低気圧の影響が大きい。

次に、火口に対して東に位置している黒神測定局では、高濃度事象が発生する場合、桜島山頂付近で吹き降ろしの強い西風が吹いているときに起こっている。したがって桜島山頂付近の925hPaの風が最も指標性が高いと考えられる。たとえば3月21日6時(図2b)にSO₂ 945ppbの高濃度事象が発生しているが、19~20m/sの西よりの強風の影響を強く受けていることがわかる。この傾向は黒神の全高濃度事象に共通のものであった。この時の気圧配置は、ほとんどの場合、日本海や九州北部に低気圧がある南高北低である。これらの気圧配置から、高濃度事象は春と夏に多いことが92年のデータ全体からも読み取ることができる(4月, 6月, 7月のグラフについては次節参照)。つまり黒神データは、北方の低気圧による強い西風の影響を受けることが分かる。

これらのことから、桜島山麓(有村, 黒神)における100ppb以上のSO₂高濃度事象は、上層が強風で噴煙や火山ガスが上昇せず、むしろ強制的に降下し観測点を直撃するような状況で狭い範囲に出現する。また、低気圧や台風の影響が重要であることが分かる。なお気圧配置から推測される上層の強風とSO₂高濃度事象のこのような関係は、山麓の西側や北側の測定点についても成立している¹⁰⁾。

しかし桜島山麓ではごくまれではあるが、1992年4月2日16時の黒神(次節図5a)のように風がかなり弱い時にSO₂高濃度事象が発生していることがある。この原因は、この事象が日中の弱風

時に起こっているため、対流混合であると考えられる。上昇した SO_2 が大気の上下の混合によって測定局の地表付近まで鉛直方向に拡散してきたものと思われる。対流混合の影響は下流の平地での SO_2 濃度上昇の重要な原因と考えられる⁶⁾。しかし火口から近距離の山麓では弱風時に限られると思われる。

また北よりや西よりの強風にもかかわらず、図 2c の 1992 年 5 月 9 日の黒神のように SO_2 高濃度事象が発生していないときがある。これは桜島の SO_2 ガスの放出が低レベルであったためと考えられる。

3. 2 SO_2 高濃度事象と桜島の火山活動

SO_2 放出量の直接測定は紫外線吸収スペクトルから推定する相関スペクトル法 (COSPEC) によって行われ、1978～1989 年の結果ではおおよそ 2000 t/day の値が得られている²⁾。しかし、これは九大島原地震火山観測所による年 1 日から数日の出張観測の結果である。雲仙普賢岳噴火のためそれも中断したあと、1995 年にはこれまでと同程度の結果が得られ、1996 年 12 月には 5100 t/day というこれまでで最高の値が報告されている¹⁶⁾。

他方、桜島の火山活動の日安として、鹿児島地方気象台の常時観測による爆発記録がある。図 3 に 1993～1997 年の年度別の爆発回数を示す¹⁷⁾。鹿児島地方気象台では爆発地震と爆発音・体感空振・噴石の飛散・空振計の記録から爆発を定義し、爆発に達しない強度だが中量以上の噴煙を伴う場合を噴火と呼んでいる。1993、1994 年および 1996 年 4 月以後は非常に穏やかな時期とされている。但し、1996 年 12 月 14 日未明には火山雷を伴う激しい爆発があり、その噴煙は四国沖から紀伊半島に達したのが衛星画像で認められた¹⁸⁾。

このような火山活動の推移と SO_2 放出量の関係は重要な問題である。COSPEC によるスポット測定を補うものとして、桜島山麓における SO_2 濃度の連続測定データを用いることが考えられる。もっとも、一点のデータからの SO_2 放出量の推定には、大気拡散の正確な情報が必要であり、濃度値はその時々風の影響を受けることは上の議論からも明らかである。そこで、ここでは、経年変

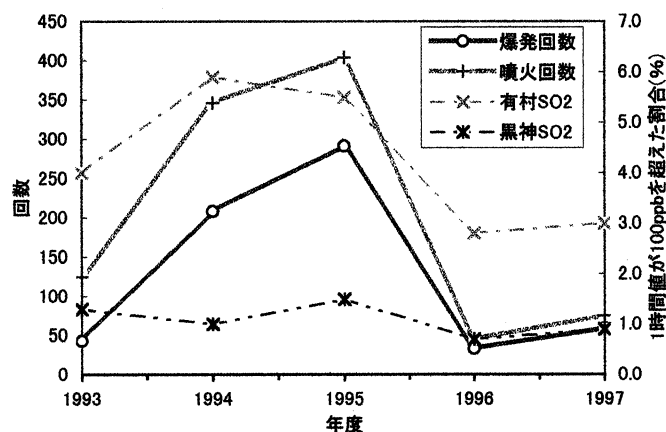


図3. 年度別の桜島の爆発回数および有村と黒神における SO_2 1 時間値が 100ppb を越えた割合

