

桜島における火山ガスに関わる大気環境の動態分析 —桜島有村地区を中心として—

坂本 昌弥

Dynamics analysis of atmospheric environment related with volcanic gas at Arimura station in Sakurajima

SAKAMOTO, Masaya

Abstract

At Arimura station located in the south of Sakurajima, SO₂ high concentration events exceeding environmental standards occur frequently. When compared year by year, the occurrence frequency differs by about 26 times. Moreover, when Arimura station measures SO₂ gas high concentration event, it is often under specific weather conditions. When there are many eruptive activities at Sakurajima volcano, a strong positive correlation is found between the SO₂ gas released into the atmosphere from the crater and the SPM concentration at Arimura station. At that time, it can be assumed that the SO₂ gas high concentration event, the SPM high concentration event, and the ash fall amount start to increase simultaneously. Based on this fact, administrative agencies should evaluate hazards related to the volcanic activity of Sakurajima volcano.

Keywords : ash fall, Sulfur dioxide, SPM, high concentration event, hazard evaluation.

日本語要旨

桜島南麓に位置する有村局では、環境基準を超える SO₂ガス高濃度事象が比較的頻繁に測定される。2001年～2017年に測定されたこの高濃度事象を年毎に比較すると、その発生頻度は最大約26倍異なる。また有村局で SO₂ガス高濃度事象が測定される場合は、特定の気象条件下であることが多い。桜島火山で噴火活動が多くみられる場合、有村局では火口から大気中に放出される SO₂ガス濃度と大気中の SPM 濃度の間には正の相関、もしくは強い正の相関が見られる。このことから SO₂ガス高濃度事象・SPM 量高濃度事象・降灰量は同時に増加し始めることが想定できる。それゆえこのことを踏まえ、桜島火山の噴煙活動に関するハザード評価を行うべきである。

キーワード : 降灰, 二酸化硫黄ガス, SPM, 高濃度事象, ハザード評価

1. はじめに

海上孤立峰とみなすことができる桜島では、その活発な噴煙活動により、多くの噴煙が南岳火口及び昭和火口から大気中に放出されている。その量は2017年では二酸化硫黄（以下、 SO_2 ）が日量100～1,900 t、火山灰の総噴出量が約91万 t（2016年：約87万 t）であったと推測されている（福岡管区気象台地域火山監視・警報センター・鹿児島地方気象台，2018）。海上孤立峰である活火山から大気中に放出された火山ガスが引き起こした自然災害は、2000年から4年半もの間全島避難となった平成12年（2000年）三宅島噴火災害の例がよく知られている。この災害による火山ガス高濃度事象は、火口から環境基準を大きく超える高濃度の SO_2 ガスが、強風によって風下の居住地へ継続して運ばれるという、従来あまり想定されてこなかったタイプの火山災害であった（例えば、飯野ほか，2002a；飯野ほか，2002b；飯野ほか，2003；木下ほか，2006）。 SO_2 ガスは、一時的に呼吸器や眼、喉頭などの粘膜を刺激する刺激性物質を含み、生理学的には可逆性の気管支収縮を起こさせる性質があるとされている（内山，2001）。

鹿児島大学噴煙火山ガス研究グループは、桜島火山昭和火口の南約3 km に位置する有村局での測定データの分析をはじめとして、桜島火山の周辺における SO_2 ガスの濃度変化に関する研究を1990年代から進め、更に衛星画像や地上観測映像等による噴煙の挙動解析を同時に行うことによって、特定の気象条件下において発生する SO_2 ガス濃度の変化における特徴を明らかにしてきた（木下，1992；木下ほか，1994；木下ほか，1998a；木下ほか，1998b；坂本・木下，2005）。加えて同研究グループによって火山性の浮遊粒子状物質 SPM（Suspended Particulate Matter）及び微小粒子状物質 $\text{PM}_{2.5}$ （Particulate Matter 2.5）と SO_2 ガス濃度の相関についても研究を進められている（坂本・木下，2015；坂本・木下，2017a；坂本・木下，2017b）。

有村局が立地する有村地区での大気環境の経年変化については、これまで詳細な研究がおこなわれていないため、本研究では、11世帯（14人）が居住する桜島山麓に位置する有村地区（鹿児島市，2018）における2001年～2017年の SO_2 ガス濃度・SPM 濃度の変化の特徴及びその相関を中心として、桜島火山周辺の大気環境の一端を分析した。

2. 有村地区の大気環境

2.1 降灰量

現在、鹿児島県は県内62箇所において桜島の降灰量を観測し、その観測結果を公開している（鹿児島県，2018）。桜島南側約3 km に位置する有村局（図1）の2001年～2017年における桜島火山の噴火回数及び年別降灰量（図2）、月別降灰量（図3）を示す。

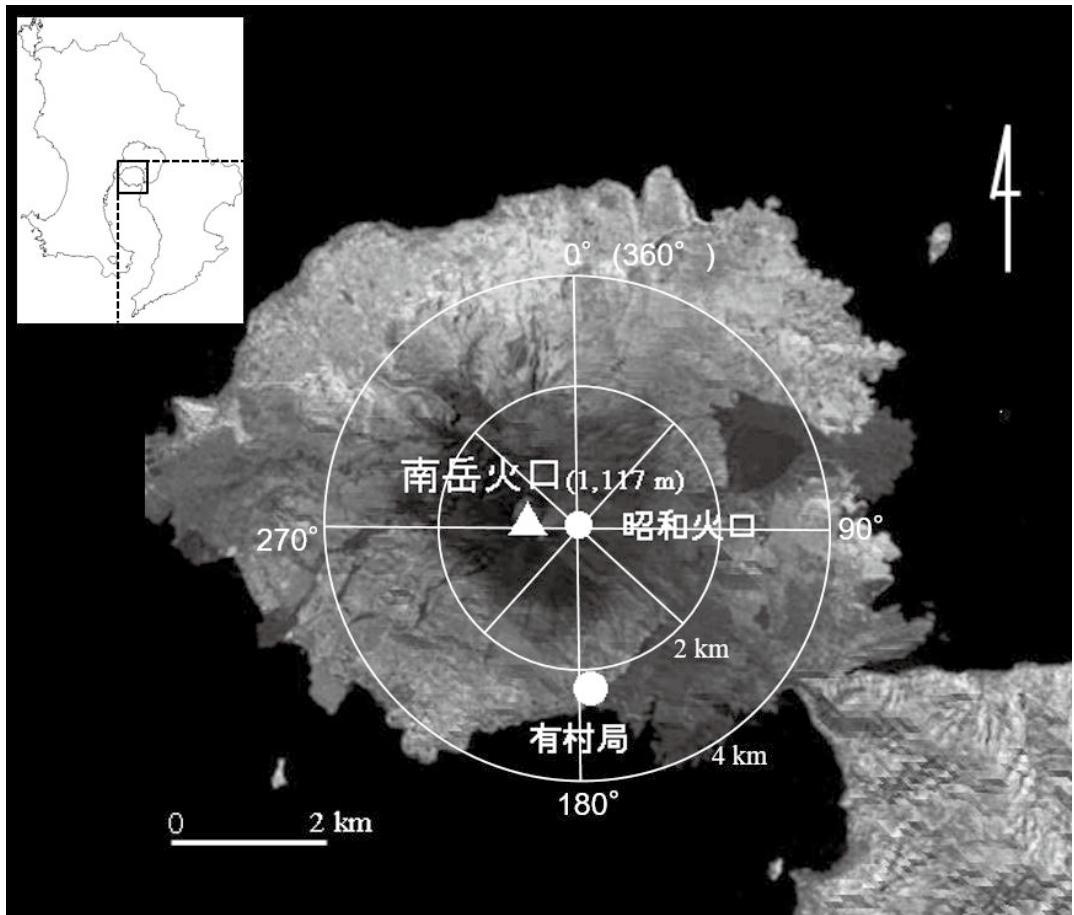


図1 桜島火山の地勢と有村局の立地。中央の同心円は、昭和火口からの距離を2 km 及び 4 km で示したものである。また、真北を0°として時計回り360°で昭和火口からの方位を示す。

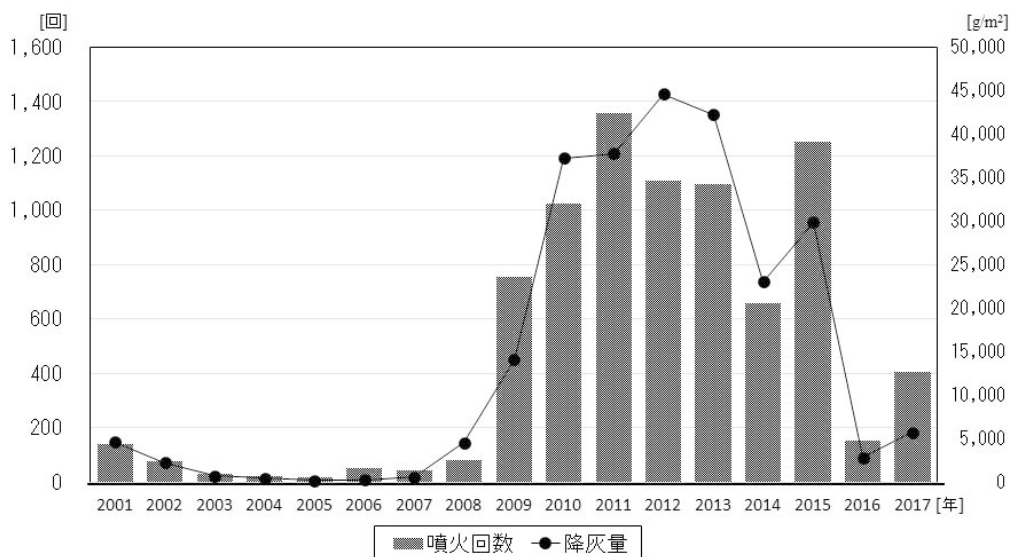


図2 2001～2017年における桜島火山の噴火回数と有村局における年別降灰量 [鹿児島県 (2018) をグラフ化]

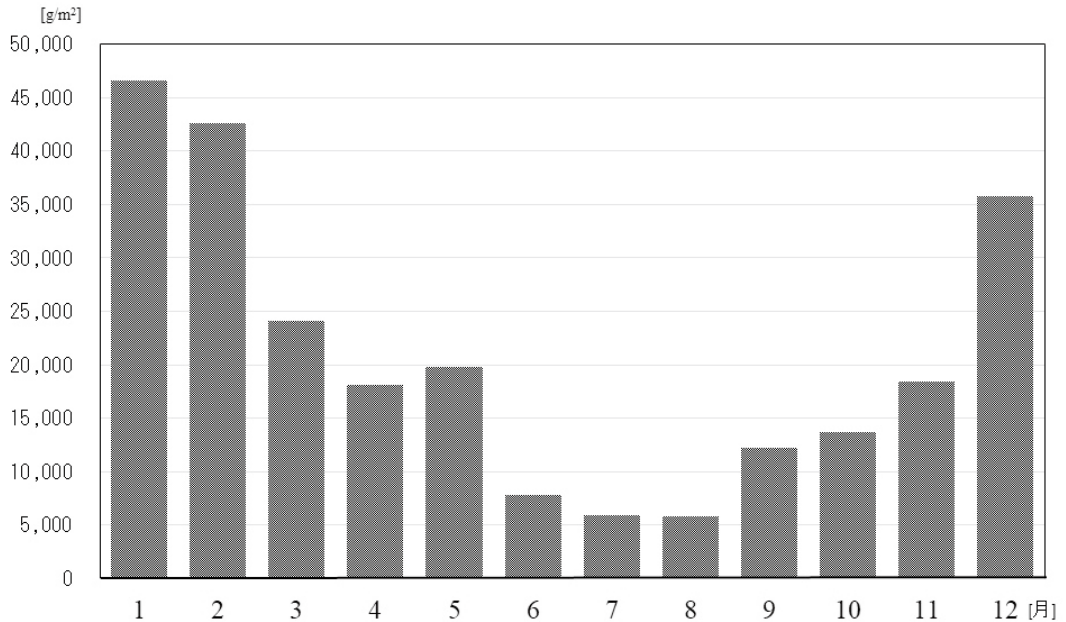


図3 2001～2017年における有村局の月別降灰量の累計〔鹿児島県（2018）をグラフ化〕

図2により2001年から2008年にかけて、桜島火山の噴火回数は比較的少なく、静穏な状況であったことがわかる。しかし2009年以降は噴火回数が増加するに従い、降灰量も増加し始める。2010年は1,026回噴火し、その際の有村局での降灰量は37,257 g/m²、2012年は1,107回の噴火が発生し、同局では44,624 g/m²の降灰量が観測されている。その後2016年及び2017年では噴火回数が減少し、降灰量も大きく減少している。

2001年から2017年における桜島火山の年間噴火回数と、同期間における有村局で測定された年間降灰量の月毎の相関を表現するため、以下の式（ピアソンの相関係数）を用いて算出すると、 $r = 0.95$ となり、強い正の相関があることがわかる。

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

以下、本研究では相関係数による表現を次のとおりとする。

$0 \leq r < 0.2$: 相関なし、 $0.2 \leq r < 0.4$: 弱い正の相関がある、 $0.4 \leq r < 0.7$: 正の相関がある、 $0.7 \leq r \leq 1$: 強い正の相関がある。

海上孤立峰である桜島火山では、噴火によって降灰が生じる可能性がある方向は、昭和火口が東側の山腹にあることを考慮しても全方位であることが、坂本・木下（2014）によって示唆されているが、その中でもこの結果から火口の南側に位置し山頂からも約3 km 弱にある有村局に特に大きな影響を与えていることがわかる。

次に2001年から2017年における月別降灰量の累計（図3）から、有村局では1月には46,562

g/m^2 、2月には $42,571 \text{ g/m}^2$ の降灰が生じたが、6月には $7,831 \text{ g/m}^2$ 、7月には $5,908 \text{ g/m}^2$ と大きく減少したことがわかる。これは冬季にみられる季節風の影響であり、先行研究で明らかになった SO_2 及び SPM の濃度変化と調和的である（木下ほか、1998a；坂本・木下、2005）。有村局では、2010年1月にこれまでに最大の降灰量 $10,997 \text{ g/m}^2$ を測定した。この月は149回の噴火を記録しており（福岡管区気象台地域火山監視・警報センター・鹿児島地方気象台、2018）、ここでも噴火回数が増えると降灰量も同じく増加する傾向にあった。

2.2 SO_2 濃度

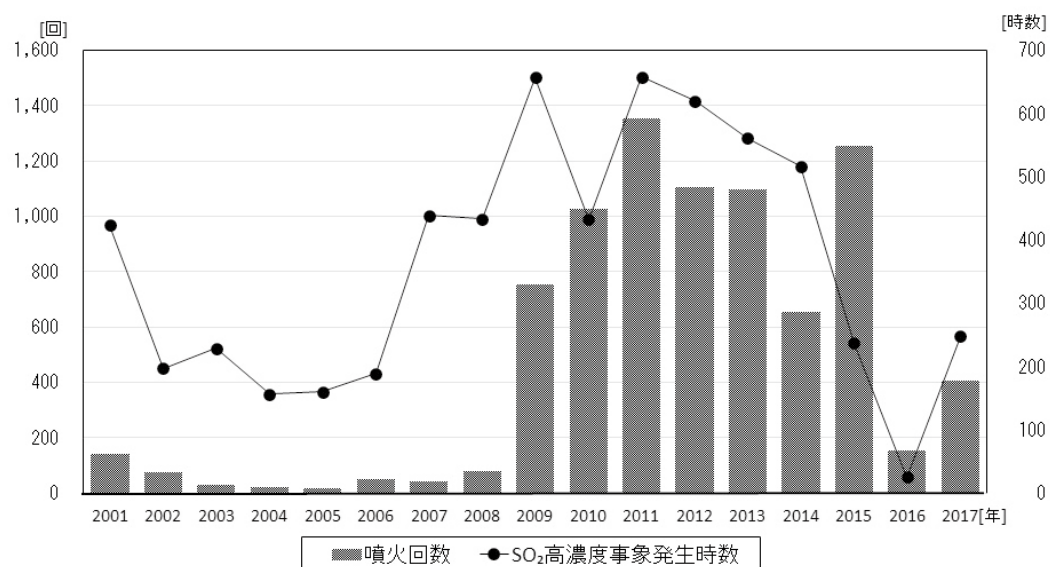
鹿児島県環境林務部環境保全課及び鹿児島市環境局環境保全課は、鹿児島県及び市下広域に設置している環境大気測定局において大気中の SO_2 及び SPM の濃度を1時間ごとに測定している。有村局でもこれらを測定しており、本研究では、この環境大気測定局（有村局）の1時間値データを用いた。ただし有村局では $\text{PM}_{2.5}$ の測定は行われていない。データ解析法は、坂本・木下（2015）と同様の方法で行った。2001年から2017年に有村局で測定された SO_2 及び SPM の濃度1時間値データ（当該時間内に行った測定の平均濃度）を用い、 SO_2 ガスの場合、環境基準（環境庁、1973a）に基づき、 SO_2 ガス濃度の1時間値濃度が100 ppb を超えた場合、これを「 SO_2 高濃度事象」として回数化した。SPM の場合も環境基準（環境庁、1973b）を参考に、1時間値が $100 \mu\text{g/m}^3$ 以上である場合、これを「SPM 高濃度事象」とした。また SO_2 と SPM の1時間値の相関については、前述したピアソンの積率相関係数 r を用い、相関係数を算出した。なお高濃度事象や濃度相関の検討では、特に断らない限り1時間値を用いている。短時間の急激な変動は日平均値などでは埋もれる恐れがあるからである。風速・風向のデータは、気象庁がHP上にて公開している過去の気象データ検索（高層）によるデータを使用した（気象庁、2018）。本研究において特に断らない限り風向・風速は925 hPa の値である。これらの測定時刻は9時、21時の2回である。そして北風を 0° 、東風を 90° とした風向 $D (^\circ)$ と風速 $S (\text{m/sec})$ を用いて解析した。文章中では風向・風速を $D^\circ \cdot S \text{ m/sec}$ と示すこととする。

2001年から2017年にかけて、有村局では大気中の SO_2 濃度を147,751時間測定した（表1）。このうち100 ppb を超える高濃度事象が6,180時間（4.18%）発生した。特に2009年（657回）、2011年（658回）、2012年（620回）は7%を超える高濃度事象発生率であった。これに対して2016年は、 SO_2 高濃度事象が0.29%（25回）と最も少なく、ここでは最大約26.3倍の発生頻度差が生じている。2001年から2017年における最高値は、2015年1月23日3時に測定された 5.260 ppb である。これは冬型の気圧配置が強まり、北から強い季節風（ $352^\circ \cdot 15 \text{ m/sec}$ ）が吹いている中、4,000 m を超える爆発的噴火が発生したことに起因すると思われる。

加えて同じく2001年から2017年における桜島火山の年間噴火回数と、有村局で測定された年間 SO_2 高濃度事象発生時数の相関係数を求めると、 $r = 0.64$ となり、正の相関があることがわかる。つまり噴火回数と降灰量ほどの密接な相関ではないが、この SO_2 高濃度事象も噴火回数に応じて増加する傾向にある。

表1 2001～2017年において有村局で測定されたSO₂の測定日数、測定時数、未測定時数、欠測率、最高値、高濃度事象発生時数、高濃度発生率、高濃度事象発生日数、高濃度事象発生日率

年	測定日数 [日]	測定時数 [時間]	未測定時数 [時間]	欠測率 [%]	最高値 [ppb]	高濃度事象 発生時数 [時間]	高濃度発生 率 [%]	高濃度事象 発生日数 [日]	高濃度事象 発生日率 [%]
2001	365	8,708	52	0.59	1,230	423	4.86	84	23.01
2002	365	8,701	59	0.67	1,250	197	2.26	61	16.71
2003	365	8,666	94	1.07	1,100	229	2.64	64	17.53
2004	366	8,709	75	0.85	740	156	1.79	53	14.48
2005	365	8,423	337	3.85	990	160	1.90	50	13.70
2006	365	8,694	66	0.75	940	189	2.17	55	15.07
2007	365	8,715	45	0.51	1,670	439	5.04	113	30.96
2008	366	8,698	86	0.98	2,380	433	4.98	112	30.60
2009	365	8,689	71	0.81	4,530	657	7.56	114	31.23
2010	365	8,706	54	0.62	2,400	432	4.96	93	25.48
2011	365	8,706	54	0.62	2,360	658	7.56	115	31.51
2012	366	8,735	49	0.56	3,120	620	7.10	110	30.05
2013	365	8,718	42	0.48	4,810	561	6.43	97	26.58
2014	365	8,723	37	0.42	3,060	516	5.92	100	27.40
2015	365	8,727	33	0.38	5,260	237	2.72	49	13.42
2016	366	8,728	56	0.64	930	25	0.29	15	4.10
2017	365	8,705	55	0.63	1,910	248	2.85	58	15.89
合計	6,209	147,751	1,265	-	-	6,180	-	1,343	-

図4 2001～2017年における桜島火山の噴火回数と有村局におけるSO₂高濃度事象発生時数

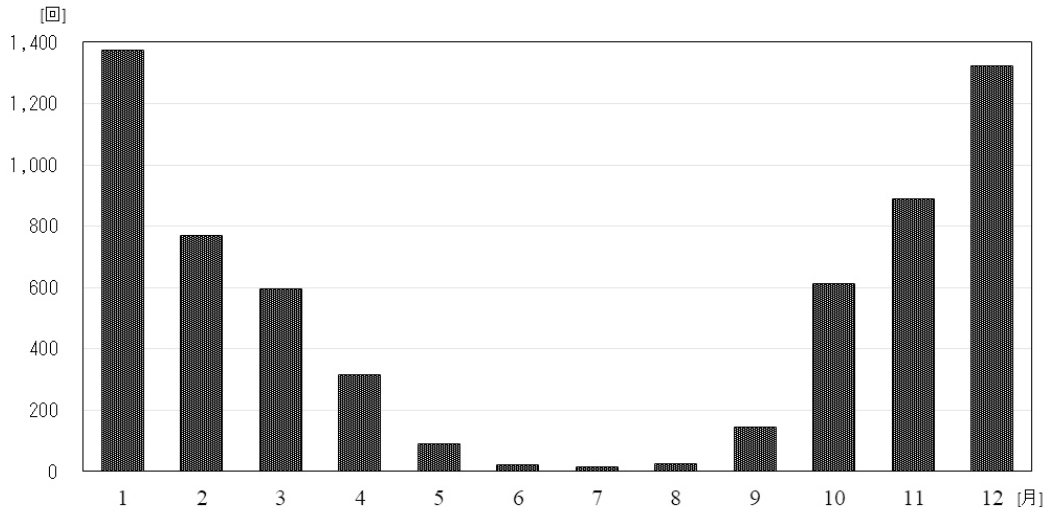


図5 2001～2017年における有村局の月別 SO₂高濃度事象の累計 [坂本・木下 (2014) に加筆]

しかしこれらは噴火現象が直接に SO₂高濃度事象をもたらすことを表現しているのではない。図4では噴火回数と年別の SO₂高濃度事象の累計時間数は比較的良好な相関を示しているように見えるが、例えば2017年1月及び2月では噴火が一度も観測されていないにもかかわらず、SO₂高濃度事象は2回及び6回測定されている。つまり噴火現象によって SO₂高濃度事象が発生するのではなく、噴火が多発するような活動的な状況下にある桜島火山では、噴火現象を伴わなくても火口から火山ガスが大気中に放出されることが常態化しており、これが特定の気象条件と重なった時、有村局で高濃度事象が測定されることが考えられる。有村局におけるこの現象は図5に示すように冬期に頻出する。これは日本列島を覆う西高東低の気圧配置時に卓越する北からの強い季節風下で生じる現象であると考えられ(木下, 1996; 坂本・木下, 2014), この特徴を統計データとして示したのが表2である。鹿児島地方気象台は9時及び21時に鹿児島地方の指定気圧面の気象データを測定している。それゆえ有村局で測定された SO₂高濃度事象のうち、発生時刻が9時及び21時の1時間値だけを抜粋して分析すると、SO₂高濃度事象は2001年から2017年に686時間発生している。このうち風向が30°以下310°以上(80°以内)という条件下で87.8%発生しており、風速については8 m/sec以上の強風下で78.4%発生している。そしてこの風向・風速が80°以内、8 m/sec以上という両方の条件を満たす SO₂高濃度事象は75.2%であった。特に2013年から2015年ではこの条件を満たす SO₂高濃度事象は82.6%であり、活発な桜島火山の活動時に特定の気象条件が重なることによって SO₂高濃度事象が発生することがわかる。

表 2 2001～2017年において有村局で測定された SO₂高濃度事象と風向・風速の関係 [坂本・木下 (2014) に加筆]

項目	2001-2017	2001-2008	2009-2012	2013-2015	2016-2017
・9時と21時における全測定時数 [時間]	12,370	5,809	2,915	2,186	1,460
・9時と21時に測定されたSO ₂ 高濃度事象時数 [時間]	686	257	247	144	38
全測定時数に対するSO ₂ 高濃度事象/測定割合 [%]	5.5	4.4	8.5	6.6	2.6
・風向が30°以下, 310°以上で発生したSO ₂ 高濃度事象時数 [時間]	602	224	221	128	29
全SO ₂ 高濃度事象時数に対する割合 [%]	87.8	87.2	89.5	88.9	76.3
・風速 8 m/sec 以上で測定されたSO ₂ 高濃度事象時数 [時間]	535	195	195	126	22
全SO ₂ 高濃度事象全時数に対する割合 [%]	78.4	75.9	78.9	87.5	57.9
・風向が30° 以下, 310°以上で風速 8 m/sec以上のSO ₂ 高濃度事象時数 [時間]	516	190	185	119	22
全SO ₂ 高濃度事象時数に対する割合 [%]	75.2	73.9	74.9	82.6	57.9

2.3 SPM 濃度

2001年から2017年にかけて、有村局では大気中の SPM 濃度を147,735時間測定した（表3）。このうち100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度事象が2,088時間（1.41%）発生した。特に2011年、2013年は3%を超える高濃度事象発生率であった。これに対して2006年・2016年・2017年は、0.3%以下という発生率であった。

2001年から2017年間ににおける最高値は、2016年5月8日2時に測定された2,690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。これはその他の SPM 高濃度事象と比較すると突出して高い値である。この日桜島火山では爆発的噴火が記録されており、その影響であると思われるが、詳細については不明である。

図6にあるように、噴火回数が増加すると、同時に SPM 高濃度事象も増加する傾向にある。加えて同期間における桜島火山の年間噴火回数と、有村局で測定された年間 SPM 高濃度事象発生時数の相関係数を求めると、 $r = 0.74$ となり、強い正の相関がみられる。つまりここでは噴火回数と SO₂高濃度事象の相関よりも噴火回数（降灰量）の影響を受けることがわかる。

有村局における SPM 高濃度事象発生の特徴を表4に示す。SO₂高濃度事象で行った分析と同様に、9時及び21時に鹿児島地方の指定気圧面の気象データとあわせて SPM 濃度を抜粋して分析すると、SPM 高濃度事象は2001年から2017年に208時間発生している。このうち風向が30°以下310°以上（80°以内）という条件下で76.0%発生しており、風速については8 m/sec 以上の強風下で79.8%発生している。そしてこの風向・風速が80°以内、8 m/sec 以上という両方の条件を満たす SPM 高濃度事象は66.8%であった。

表 3 2001～2017年において有村局で測定された SPM の測定日数、測定時数、未測定時数、欠測率、最高値、高濃度事象発生時数、高濃度発生率、高濃度事象発生日数、高濃度事象発生日率

年	測定日数 [日]	測定時数 [時間]	未測定時数 [時間]	欠測率 [%]	最高値 [ppb]	高濃度事象 発生時数 [時間]	高濃度発生 率 [%]	高濃度事象 発生日数 [日]	高濃度事象 発生日率 [%]
2001	365	8,711	49	0.56	417	226	2.59%	66	18.08
2002	365	8,699	61	0.70	549	89	1.02%	28	7.67
2003	365	8,664	96	1.10	674	36	0.42%	22	6.03
2004	366	8,709	75	0.85	569	38	0.44%	27	7.38
2005	365	8,423	337	3.85	638	28	0.33%	18	4.93
2006	365	8,694	66	0.75	694	19	0.22%	16	4.38
2007	365	8,709	51	0.58	639	92	1.06%	22	6.03
2008	366	8,701	83	0.94	606	54	0.62%	17	4.64
2009	365	8,705	55	0.63	872	141	1.62%	53	14.52
2010	365	8,632	128	1.46	692	174	2.02%	69	18.90
2011	365	8,741	19	0.22	972	277	3.17%	75	20.55
2012	366	8,764	20	0.23	967	231	2.64%	79	21.58
2013	365	8,743	17	0.19	965	273	3.12%	72	19.73
2014	365	8,745	15	0.17	922	245	2.80%	78	21.37
2015	365	8,752	8	0.09	943	124	1.42%	35	9.59
2016	366	8,613	171	1.95	2,690	26	0.30%	13	3.55
2017	365	8,730	30	0.34	357	15	0.17%	8	2.19
合計	6,209	147,735	1,281	-	-	2,088	-	698	-

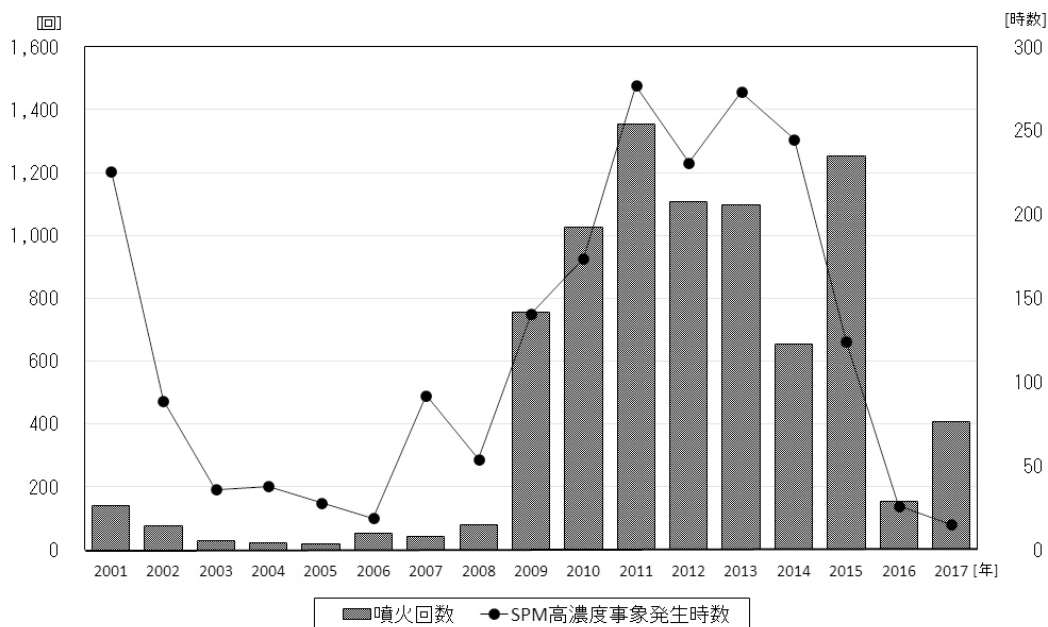


図 6 2001～2017年における桜島火山の噴火回数と有村局における SPM 高濃度事象発生時数

表 4 2001～2017年において有村局で測定された SPM 高濃度事象と風向・風速の関係 [坂本・木下 (2014) に加筆]

項目	2001-2017	2001-2008	2009-2012	2013-2015	2016-2017
・9時と21時における全測定時数 [時間]	12,353	5,809	2,911	2,186	1,447
・9時と21時に測定されたSPM高濃度事象時数 [時間]	208	50	86	70	2
全測定時数に対するSPM高濃度事象測定割合 [%]	1.7	0.9	3.0	3.2	0.1
・風向が30°以下, 310°以上で発生したSPM高濃度事象時数 [時間]	158	32	67	57	2
全SPM高濃度事象時数に対する割合 [%]	76.0	64.0	77.9	81.4	100
・風速 8 m/sec 以上で測定されたSPM高濃度事象時数 [時間]	166	39	67	58	2
全SPM高濃度事象全時数に対する割合 [%]	79.8	78.0	77.9	82.9	100
・風向が30°以下, 310°以上で風速 8 m/sec以上のSPM高濃度事象時数 [時間]	139	27	58	52	2
全SPM高濃度事象時数に対する割合 [%]	66.8	54.0	67.4	74.3	100

2.4 SO₂ と SPM の相関

2001年から2017年における有村局の SO₂濃度と SPM 濃度の月別相関係数を表5に示す。ここで示すそれぞれの1時間値を比較することによって得られた月別及び年別の相関と図2に示した年間の噴火回数によって次のような期分けを行った。

I 期 (平穏期): 顕著な相関が見られず, 年間噴火回数が100回以下 (2001年～2008年)

II 期 (噴火多発期): 正の相関もしくは強い正の相関が多く見られ, 年間噴火回数が1,000回前後 (2009年～2015年)

III 期 (準平穏期): 再び相関が見られなくなり, 年間噴火回数が500回以下 (2016年～2017年)

また表6に有村局と鹿児島市役所局で測定された SPM の月別相関係数を示す。ここでは表5とは逆に, 桜島火山の噴火活動が沈静化していた時期である I 期では正の相関が見られ, その噴火活動が活発化した II 期では相関が特に冬季に見られなくなり, 再びそれが沈静化した III 期では再度正の相関が見られるようになったと考えられる。つまり有村局の大気環境は, 平穏期である I 期では, 桜島火山の噴煙活動から受ける影響よりも産業や交通機関及び東アジア等からの影響を受ける場合が多いが, 噴火活動が活発化した II 期では火口から大気中に放出された噴煙中に含まれる粒子状物質の影響が大きくなった。このため桜島火山の西側に位置することにより噴煙活動や風向の影響をあまり受けなかった鹿児島市役所局との相関が失われる傾向にあったと推測される。

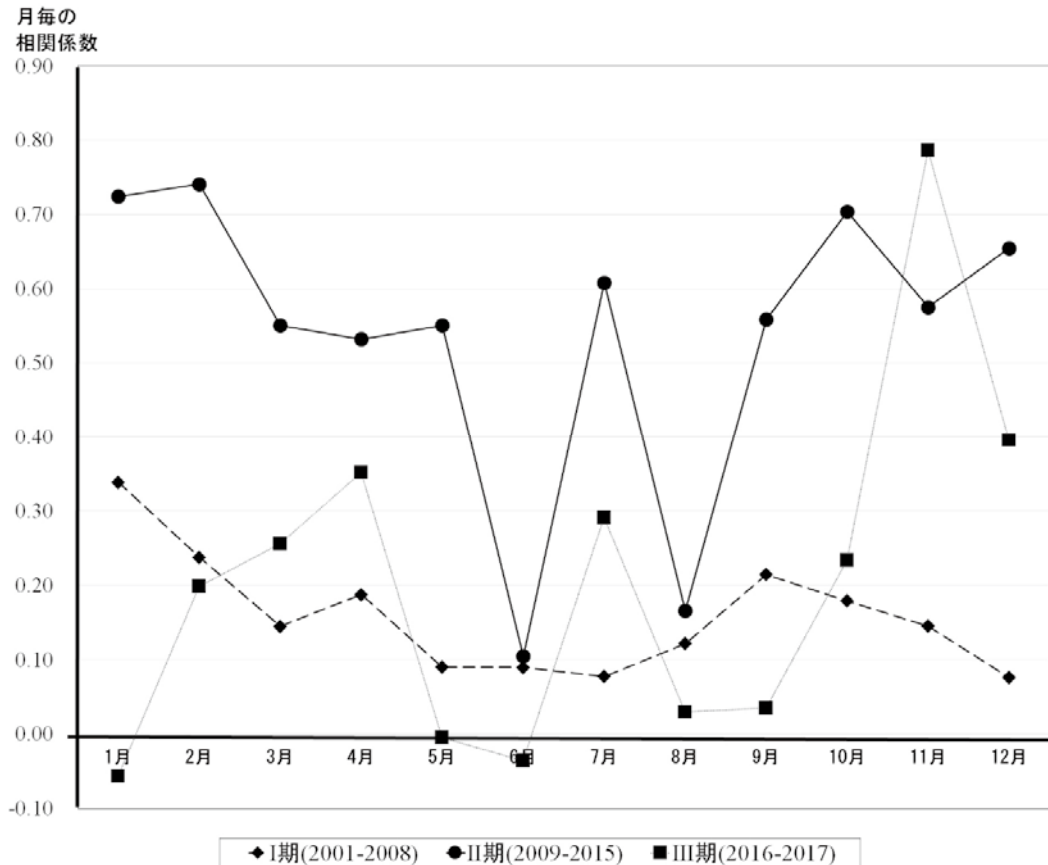
表5の月別平均を図7に示す。ここでは表5で正の相関もしくは強い正の相関がみられた II 期では, 特に冬季においてその傾向が顕著であることがわかる。

表 5 2001～2017年において有村局で測定された SO_2 と SPM の月別相関係数及び年間の相関係数、月毎の相関係数

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間の 相関
2001	0.63	0.58	0.35	0.46	0.09	0.21	0.19	0.19	0.26	0.50	0.35	0.23	0.29
2002	0.06	0.40	0.13	0.27	0.15	0.19	0.15	0.13	0.72	0.38	0.25	0.26	0.25
2003	0.28	0.19	0.28	0.30	-0.02	0.12	-0.10	0.19	0.00	0.43	0.02	-0.05	0.12
2004	0.17	-0.04	0.13	0.00	0.17	0.07	0.00	0.06	0.02	0.08	0.41	-0.07	0.06
2005	0.34	0.06	0.02	-0.02	0.07	0.21	0.02	0.26	0.06	-0.08	-0.04	0.03	-0.03
2006	-0.01	0.05	-0.02	0.18	0.07	0.07	0.06	0.21	-0.06	0.15	0.09	0.05	0.02
2007	0.21	0.01	0.01	0.20	0.00	0.20	0.26	0.02	0.05	-0.08	-0.02	0.04	0.00
2008	0.00	0.18	0.01	0.33	0.37	0.14	0.38	0.02	0.07	0.25	0.20	0.05	0.09
2009	0.60	0.28	0.67	0.63	0.08	0.10	0.85	0.09	0.24	0.67	0.68	0.69	0.58
2010	0.48	0.71	0.47	0.52	-0.01	0.08	0.23	-0.07	0.12	0.61	0.24	0.11	0.45
2011	0.27	0.14	0.58	0.83	0.46	0.29	0.09	0.16	0.71	0.32	0.56	0.80	0.58
2012	0.69	0.90	0.73	0.13	0.93	0.03	0.40	0.15	0.15	0.31	0.65	0.51	0.70
2013	0.81	0.68	0.57	0.76	0.12	0.24	0.14	0.13	0.85	0.71	0.62	0.65	0.60
2014	0.88	0.85	0.70	0.39	0.06	0.17	0.12	0.49	0.47	0.90	0.55	0.75	0.77
2015	0.87	0.66	0.77	0.23	0.07	0.28	0.40	0.27	0.06	0.00	0.16	0.26	0.69
2016	0.19	0.30	0.33	0.66	0.01	0.29	0.16	0.04	0.14	0.03	0.00	0.03	0.07
2017	-0.01	0.00	0.13	0.07	0.06	-0.03	0.28	0.06	0.05	0.22	0.81	0.37	0.19
月毎の 相関	0.67	0.68	0.48	0.40	0.34	0.08	0.36	0.13	0.39	0.63	0.42	0.57	

表 6 2001～2017年において有村局で測定された SPM と鹿児島市役所局で測定された SPM の月別相関係数及び年間の相関係数、月毎の相関係数

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間の 相関
2001	0.03	0.25	0.70	0.67	0.66	0.58	0.62	0.71	0.72	0.35	0.43	0.34	0.50
2002	0.58	0.51	0.85	0.82	0.47	0.72	0.42	0.51	0.31	0.52	0.63	0.47	0.64
2003	0.68	0.56	0.54	0.53	0.56	0.65	0.46	0.62	0.40	0.32	0.39	0.53	0.51
2004	0.63	0.42	0.23	0.38	0.30	0.50	0.52	0.35	0.53	0.50	0.12	0.06	0.33
2005	0.18	0.68	0.48	0.32	0.38	0.64	0.47	0.78	0.57	0.49	0.54	0.41	0.52
2006	0.72	0.61	0.87	0.53	0.37	0.67	0.21	0.42	0.42	0.46	0.67	0.67	0.48
2007	0.75	0.76	0.70	0.90	0.86	0.64	0.79	0.62	0.17	0.49	0.68	0.37	0.67
2008	0.73	0.73	0.74	0.52	0.58	0.51	0.40	0.62	0.46	0.36	0.47	0.11	0.49
2009	0.13	0.58	0.11	0.05	0.54	0.58	0.20	0.40	0.53	0.34	-0.06	0.04	0.18
2010	0.30	0.15	0.80	0.46	0.58	0.19	0.53	0.29	0.51	0.11	0.44	0.61	0.52
2011	0.11	0.49	0.06	0.34	0.79	0.60	0.73	0.74	0.03	0.54	0.18	-0.03	0.33
2012	0.13	0.03	0.31	0.52	0.01	0.62	0.48	0.28	0.30	0.09	0.15	0.12	0.16
2013	0.10	0.14	0.54	0.28	0.77	0.50	0.75	0.67	0.05	0.00	0.25	0.03	0.22
2014	0.08	0.02	0.10	0.48	0.51	0.49	0.67	0.38	0.50	-0.06	0.03	0.07	0.12
2015	0.04	0.16	0.37	0.50	0.18	0.40	0.36	0.70	0.61	0.41	0.17	0.58	0.21
2016	0.74	0.63	0.69	0.51	0.26	0.39	0.49	0.34	0.47	0.32	0.62	0.72	0.27
2017	0.62	0.77	0.73	0.68	0.68	0.65	0.86	0.74	0.36	0.52	0.18	0.43	0.64
月毎の 相関	0.21	0.23	0.53	0.47	0.35	0.54	0.52	0.56	0.35	0.18	0.30	0.11	

図7 2001～2017年における有村局のSO₂濃度とSPM濃度の期別相関係数

3. 有村地区における環境基準を超える大気環境への対応

有村地区では、桜島の火山活動が活発になると、例えば2012年では44,624 g/m²の降灰があり、同時に100 ppb を超える SO₂高濃度事象が1年のうち7.10%、100 μg /m³を超える SPM 高濃度事象が2.64%測定された。今後、桜島火山が2012年に測定された活動を大きく上回ることは十分に想定されるため、SO₂ガス及びSPMの粒子状物質に対する総合的な調査及び研究を進め、それを基にした適切なハザード評価を実施し、その結果、必要な防災対策を迅速に実施していくべきである。

4. まとめと課題

以下の(1)～(6)をまとめと課題とする。

- (1) 桜島南麓に位置する有村局で測定される環境基準を超えるSO₂ガス高濃度事象は、平穏期(2001年～2008年及び2016年～2017年)と噴火多発期(2009年～2015年)では、発生頻度が年比較で最大約26倍異なる。
- (2) 2001年～2017年を通して、有村局でSO₂ガス高濃度事象が発生する場合は、①冬型の気圧配置、②風向が30°以下、310°以上の80°以内、③風速が8m/sec以上の強風下、である場合が

多い。

- (3) SO₂高濃度事象は噴火現象によって発生するのではなく、噴火が多発するような活動的な状況下において、噴火現象を伴わなくても火口から火山ガスが大気中に放出されることが常態化しており、これが特定の気象条件と重なった時、測定局で高濃度事象が測定される。
- (4) 噴火多発期における有村局では火口から大気中に放出される SO₂ガスと SPM 濃度に正の相関もしくは強い正の相関が見られる場合が多い。
- (5) 噴火多発期に有村局で測定される SPM は、火口から大気中に放出された噴煙の影響を大きく受けるため、SO₂ガスや他の測定局で測定された SPM との相関から桜島火山起源の物質を含んでいることが推測される。また平穩期及び準平穩期では、噴煙の影響が小さくなるため、測定された SPM の中に含まれる桜島火山起源の物質が少なくなることが推測される。
- (6) 課題として、今後、有村地区における SO₂ガス及び SPM に関するハザード評価を詳細に行い、必要とされる防災対策を実施する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、鹿児島県環境林務部環境保全課、鹿児島県危機管理局危機管理防災課、鹿児島市環境局環境保全課には貴重なデータの提供を受けました。また鹿児島大学名誉教授木下紀正先生は有意義なご示唆を数多くいただきました。加えて二人の匿名の査読者には大変有益なコメントをいただきました。この場を借りて深く謝意を申し上げます。

引用文献・WEBSITE

- 福岡管区気象台地域火山監視・警報センター・鹿児島地方気象台（2018）：平成29年（2017年）の桜島の火山活動。 <http://www.data.jma.go.jp/>（最終閲覧日2018/8/29）。
- 飯野直子・木下紀正・小山田恵・金柿主税・寺田暁彦（2002a）：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要旨集，145-146。
- 飯野直子・木下紀正・小山田恵・金柿主税・寺田暁彦（2002b）：三宅島火山噴煙と火山ガスの移流拡散形態。第48回風に関するシンポジウム講演要旨集，9-10。
- 飯野直子・小山田恵・木下紀正・金柿主税（2003）：三宅島の衛星画像と火山ガス高濃度事象。南太平洋海域調査報告，37，66-75。
- 鹿児島市（2018）：H27年国勢調査。 <https://www.city.kagoshima.lg.jp/>（最終閲覧日2018/12/6）
- 鹿児島県（2018）：桜島降灰量観測結果。 <http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/>（最終閲覧日2018/8/20）。
- 環境庁（1973a）：大気汚染に係る環境基準について。昭和48年5月16日告示。
- 環境庁（1973b）：微小粒子状物質に係る環境基準について。昭和48年5月8日告示。
- 木下紀正（1992）：火山噴煙の観測と解析。気象利用研究，5，51-54。
- 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論文集，79-84。
- 木下紀正（1996）：火山噴煙の上昇と移流・拡散。可視化情報，16，230-235。
- 木下紀正・池辺伸一郎・金柿主税・直江寛明・今村和樹（1998a）：高濃度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・論文集, **22**, 133-138.
- 木下紀正・西之園雅靖・瓜生洋一郎・金柿主税 (1998b): 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・飯野直子・坂本昌弥・金柿主税 (2006): 三宅島火山ガスの動態と防災体制. 科研費特定領域「火山爆発のダイナミクス」2005年度研究成果報告書, 406-414.
- 気象庁 (2018): 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php> (最終閲覧日2018/8/20).
- 坂本昌弥・木下紀正 (2005): 2001年の桜島における火山ガス高濃度事象. 鹿児島大学教育学部研究紀要自然科学編, **56**, 11-20.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2014): 桜島火山ガスの挙動と防災. 地域政策科学研究, **11**, 1-25.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2015): 桜島火山噴出物の大気環境影響. 鹿児島県立博物館研究報告, **34**, 49-64.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2017a): 2014-2015年における桜島火山ガスと大気粒子状物質の相関. 日本火山学会講演予稿集2017年度秋季大会, 77.
- 坂本昌弥・木下紀正 (2017b): 2016年における桜島火山噴出物の大気環境影響. 鹿児島県立博物館研究報告, **37**, 89-99.
- 内山厳雄 (2001): 火山性ガスと健康影響について. 三宅島噴火と広域大気汚染 ―特別講演要旨集― (大気環境学会編), 大気環境学会, 45-46.