

2016年における桜島火山噴出物の大気環境影響

坂本 昌弥¹・木下 紀正²

Effect of Volcanic Ejecta from Sakurajima on the Atmospheric Environment in 2016

Masaya SAKAMOTO¹ and Kisei KINOSHITA²

キーワード：二酸化硫黄，浮遊粒子状物質，微小粒子状物質，噴煙

はじめに

鹿児島県屋久島町口永良部島新岳は2015年5月29日から噴火を始め、この火山噴火による重大な災害が起こる恐れがあるため、気象庁は2007年の噴火警戒レベル導入後（気象庁，2007），初めてそのレベルを5（避難）に引き上げた。この時発生したマグマ水蒸気爆発による噴煙は、火口上9,000m以上に達し、降灰は屋久島町のほか、西之表市や中種子町でも確認された。また新岳山腹には、火砕サージによる倒木や火砕物の堆積が確認された（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2015）。屋久島町から住民に対して島外への避難指示が出され、年末まで全島避難を強いられることになった。2017年10月においても火口から二酸化硫黄（以下、SO₂ と表記）ガスが日量200～400トンほど大気中に放出されており（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，2017），今後も引き続き噴火への警戒が行われている。なお、新岳の北西約3kmでは2014年9月からSO₂ガスの自動測定が行われ、この噴火の前から時々高濃度ガスが検知されていた（田知行ほか，2016）。

長野・岐阜両県境に位置する御嶽山では、2014年9月27日から7年ぶりに噴火活動が再開した。火口からの火山岩塊や火山礫等の噴出により、死者・行方不明者63人を出す戦後最大の火山災害となり（及川ほか，2015），また噴火当初に比較的低温と思われる火砕流が発生し、登山者の中には山頂付近でこれに巻き込まれ負傷するケースもみられた。山頂付近では硫化水素

（以下、H₂S と表記）ガスが最大で4ppm 検出され（及川ほか，2015），気象庁地震火山部火山監視・情報センター（2017）の測定では、同年9月は御嶽山の火口からSO₂ガスが、一日あたり500トン～1,500トン程度の範囲で大気中に放出していたことが確認されている。こうした火山ガスは生体に対する毒性を有する場合があるため、その動態を適切に監視する必要があるが、火山ガスに対する十分な監視網が構築している火山周辺自治体は少なく、現状ではこうした有事の際にシミュレーション研究が行われることが多い（例えば、橋本ほか，2016）。

2017年10月11日から6年ぶりに噴火活動を再開した宮崎・鹿児島両県境に位置する霧島山新燃岳では、噴火当初、高崎川上流域において1,000g/m³程度の降灰量があったと推定され（三輪ほか，2017），主な3回の噴火による降灰等の噴出量の合計は40万トンにも及ぶと考えられている（東京大学地震研究所，2017）。また噴火当初、大気中へのSO₂ガスの放出量は日量1～2万トン程度であったと推定され、この大量のSO₂ガスの放出率は、噴火中の比較的短時間の値としても非常に大きく、火山ガスを供給した大量の起源物質が噴火に関与していたことを示すと考えられている（産業技術総合研究所，2017）。

桜島の火山活動と火山ガス放出は最近大きな変化が見られる。ここでは気象庁関係の資料に基づき、簡単にまとめる。なお、行政改革で気象庁の火山監視業務は全国を4つのセンターに集約しているが、鹿児島地

1 九州ルーテル学院大学 環境学・理科教育学教室 〒860-8520 熊本市中央区黒髪3-12-16 e-mail: m-sakamoto@klc.ac.jp

2 鹿児島大学名誉教授

方気象台だけは現地体制が維持され、桜島などの火山監視を続けている。その報告の多くは福岡管区気象台にある火山監視・情報センターとの連名となっている。桜島南岳の噴火活動は1955年以来活発に続いたが、2006年以降の主な活動は側火口である昭和火口に移り、2009年からはその噴火活動が活発化した。2015年8月15日には噴火警戒レベルが4（避難準備）に引き上げられて9月1日まで維持され、居住地に重大な噴火が発生する可能性が考えられた（気象庁、2015）。

2011年には噴火回数が1,355回を記録し、続いて2012年、2013年も千回を超える噴火を記録したが、本研究の対象である2016年には153回とその噴火回数が極端に減少した（図1、鹿児島地方気象台、2017）。この噴火回数を月別にみると2016年2月～7月に集中しており、1月及び8月以降にはまったく観測されていない（図2、鹿児島地方気象台、2017）。また昭和火口及び南岳火口から大気中に放出された火山ガスは、1月～5月までは日量100～600トン程度と比較的多く出ていたが、7月以降は20～200トンに減少している（図3、鹿児島地方気象台、2017）。こうした2016年における桜島の火山活動を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（2017）は、「2016年8月以降、活動は低下した」と評価しており、火山ガスの放出量からみても2016年の桜島の火山活動は全般的には平穏であったといえる。しかし同年2月5日に発生した爆発的噴火では、噴石が山腹付近である3合目までに達したため、気象庁は噴火警戒レベルを2（火口周辺規制）から3（入山規制）に引き上げた（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台、2016）。また同年4月29日及び30日には、昭和火口東側に火砕流が約500m流下する現象が観測されており、この年は同様な火砕流が合計4回発生したことが観測されている（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、2017）。この年、昭和火口では爆発的噴火が47回（2015年：737回）発生しており、7月26日0時2分の爆発的噴火では、噴煙が火口縁上5,000mまで上昇したことが観測されている（図4a）。南岳山頂火口での爆発的噴火は発生していないが、4月13日16時38分に発生した小規模な噴火では、噴煙が火口縁上3,700mまで上昇していることが観測されている（図4b）。桜島では、7月26日以降小規模以上の噴火は観測されていない。始良カルデラの地下のマグマだまりの膨張は継続していることが測定されており、今

後火山活動が再び活発化する可能性が指摘されている（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、2016）。また、噴火しなくても噴煙やSO₂ガスが連続的に放出されるということも考えられるため、桜島の火山活動に関する様々な観測は今後も非常に重要である。

鹿児島湾の中央に位置する桜島火山で発生する火山ガスの周辺の大気環境への影響については、鹿児島県及び鹿児島市による環境大気測定監視網が重要な資料を提供している。これまで鹿児島大学噴煙火山ガス研究グループによってSO₂高濃度事象を中心として研究がすすめられ、衛星画像や地上撮影画像を用いた噴煙の挙動解析も行い、火山ガスの濃度変化やその挙動に影響を与える地形や気象の特性理解について新しい知見が得られた（例えば、木下ほか、1998；坂本・木下、2005；坂本・木下、2014および引用文献）。これらの研究で、大気中に存在する粒径10 μ m以下の浮遊粒子状物質（Suspended Particulate Matter、以下SPM）も、桜島火山から大量に放出され、周辺ではSO₂ガス濃度と相関を持ちつつ増減する機会が多いことが明らかになってきた。ただし、SPMについては火山起源のほかにも様々な原因や影響が考えられる。それが火山起源の場合、局所性が強く時間変化も大きいのに対し、黄砂や遠方からの汚染気塊の場合は広域的で緩やかに変化することが多い（小山田・木下、2000）。黄砂とSPM濃度の密接な関係は、衛星画像解析と結び付けてさらに研究された（増水ほか、2001；Iino et al., 2004）。

近年、大気汚染物質として有効粒径2.5 μ m以下の微小粒子状物質（Particulate Matter 2.5、以下PM_{2.5}）が注目されてきた。前報（坂本・木下、2015）では、桜島の外で通年のPM_{2.5}濃度データが初めて得られた2013年について解析し、鹿児島湾周辺ではPM_{2.5}濃度がSO₂ガス・SPM濃度と相関を持ちつつ増減する機会がしばしば見られ、時間変化や気象条件から桜島火山噴出物の寄与であることが明らかになってきた。これは2014～2015年データの解析でも確かめられた（坂本・木下、2017a；坂本・木下、2017b）。しかしこのPM_{2.5}については、SPM以上に黄砂や汚染気塊など火山起源のほかにも様々な原因や影響が考えられる。SPM及びPM_{2.5}の挙動を含め、鹿児島県の大気環境研究は鹿児島県環境保健センターにおいて継続的・多面的に進められており、火山起源に対する背景濃度

についても多くの重要な知見が得られている（肥後ほか，2014；四元ほか，2014；西中須ほか，2015；西中須ほか，2016）。

これらの研究の成果を踏まえ，本稿では桜島の火山活動が急激に沈静化したとも見られる2016年におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}の濃度変動や相関及び高濃度事象の発生条件に関する特徴等について検討する。

1. データと研究方法

鹿児島県及び鹿児島市は，大気中に存在するSO₂・SPM・PM_{2.5}の濃度を鹿児島県下広域に設置された環境大気測定局において測定している。本研究では，図5及び表1に示した鹿児島県環境林務部環境保全課および鹿児島市環境局環境保全課が管理している環境大気測定局17局の1時間値データを用いた。ただし表1で示すようにPM_{2.5}については8局のみで測定されている。データ解析は，坂本・木下（2015）と同様の方法で行った。簡単に記すと，2016年に環境大気測定局17局で測定されたSO₂・SPM・PM_{2.5}の濃度1時間値データを用い，SO₂ガスの場合，環境基準（環境庁，1973）に基づき，SO₂ガス濃度の1時間値が0.10ppm（=100ppb）を超える場合，これをSO₂高濃度事象とした。SPMの場合も環境基準（環境庁，1973）をもとに，1時間値が100 μ g/m³以上である場合，これをSPM高濃度事象とした。PM_{2.5}については，先行研究を参考に1時間値が35 μ g/m³以上である場合を高濃度事象の基準とした。またSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度の相関については，その一つの1時間値をXとし，同日同時刻の他の一つをYとし，XとYの共分散をXの標準偏差とYの標準偏差の積で除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。そしてこれにより算出された数値（-1 \leq r \leq 1）によって，SO₂・SPM・PM_{2.5}濃度の相関の程度を判断した。なお，本論を含め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，2017）。本研究において特に断らない限り風向・風速は925hPaの値である。これらの測定時刻は9時，21時の2回である。そして風向D(°)と，風速S(m/sec)を用いて解析した。文章中では風向・風速をD°・S m/secと示すこととする。

2. 鹿児島県下におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}の高濃度事象

表2は，鹿児島県下に設置されている17測定局の2016年1月1日～12月31日までの366日，8784時間におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度の測定時数・欠測時数及び欠測率を示したものである。測定局によって測定時数や欠測時数が異なるのは，測定機器の保守点検・故障等による欠測及びその修理時間のためである。

表3は，表2と同期間において測定されたSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の最高値，高濃度事象発生時数及びその発生率を示したものである。表4に示す2013年の結果（坂本・木下，2015）と比較すると2016年の測定値は，最高値・高濃度事象発生時数がいずれも大きく減少し，発生率も低下している。個別の測定局では，SO₂・SPM高濃度事象が頻繁に発生していた有村局・赤水局及び黒神局といった桜島島内の測定局の高濃度事象が大きく減少し，発生率も低下している。2001年～2015年において全測定局で発生した高濃度事象は，有村局・赤水局の占める割合が多く，特に西高東低の気圧配置による北風が卓越する冬季に多く発生し，夏季には減少する有村局の傾向が全体に対し支配的であった（坂本，2014；坂本・木下，2015；坂本・木下，2017）。しかし，図6に示す月別の変化では，2016年ではSPM高濃度事象が夏季に比較的多く発生している。他方，PM_{2.5}高濃度事象は黄砂が高い濃度で観測される春季を含む1月～5月に多く見られる傾向にあった。小山田・木下（2000）は年間を通して黄砂が飛来することによるSPM濃度変動の可能性について言及しているが，桜島火山に由来する粒子状物質が大気中に少ない場合，相対的に大気環境に対して黄砂や大気汚染物質等が大きく影響した可能性が考えられる。SPMとPM_{2.5}高濃度事象の月別の変化の違いはさらに検討が必要である。

3. 鹿児島県下におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}の相関

桜島島内4局におけるSO₂・SPM濃度1時間値の月別相関係数を図7に示す。弱い正の相関以上の値が出る月は全体の22.9%であり，火山性であるSO₂ガス濃度とそれ以外から供給される可能性を持つSPM濃度の間には，4月の有村局だけを例外として，明瞭な相関関係がみえない。これは桜島火山に起源を持つSPMの存在割合が小さく，他に起源を持つSPMが大気中に多かった可能性を表している。

桜島の西側10.3kmの対岸に位置する鹿児島市役所局における SO₂・SPM・PM_{2.5} 濃度の相関を図8に示す。ここでは SPM・PM_{2.5} 濃度が年平均0.80の強い正の相関を示している。これに対して SPM・SO₂ 濃度では0.19、PM_{2.5}・SO₂ 濃度では0.22の相関係数の年平均であり、SO₂ 濃度と他との相関はほとんど認められない。

鹿児島県内で SO₂・SPM・PM_{2.5} 濃度が測定されている他の7局の月別相関係数の推移を図9に示す。PM_{2.5}・SPM 濃度の相関については、ほとんどの場合、各測定局で強いもしくは高い相関が認められる。特に北西からの風が強い冬季にはその傾向が強い。また県北に位置する測定局では相関が強くなる傾向があり、鹿児島市周辺の測定局では変動が大きくなる。これは桜島の噴煙活動のほかに交通による大気汚染や乾燥した農地からの風塵など、様々な要因が考えられる。年平均の SPM・SO₂ 濃度の相関係数については0.14～0.29であり、一年を通した相関はほとんど認められない。同様に PM_{2.5}・SO₂ 濃度の相関係数についても0.19～0.36であった。

こうしたことから、2016年における大気中の粒子状物質は、桜島火山にその供給起源を持つものよりも、他に起源を持つものが支配的であったことがわかる。

4. 有村局における SO₂・SPM の高濃度事象

有村局における2001年～2016年の SO₂・SPM 高濃度事象発生時数及びその発生率を図10に示す。火口の南方3kmの山麓に位置する有村局での SO₂ 高濃度事象の特徴は、2001～2012年では全測定局で測定された SO₂ 高濃度事象の61.9%を占め、その発生する際の特徴は、①西高東低の冬型の気圧配置下、②風速8m/sec以上、③風向が310°以上30°以下であり、火山活動が活発であった2009年～2013年では、SPM 濃度と高い正の相関を持つことが明らかになっている(坂本・木下, 2014)。2016年でも同局で発生した SO₂ 高濃度事象は、全測定局での発生時数の55.6%を占めているが、2013年と比較すると SO₂ 高濃度事象の時数は561時間から25時間と激減していた。また、これまで同局では1月を中心として冬季に SO₂ 高濃度事象が多発していたが(坂本, 2014)、図11に示すように2016年は1月には SO₂ 高濃度事象が測定されておらず、主に2月～5月に発生した。こうした傾向は図2に示した桜島の噴火回数と調和的にみえるが、噴火日時と高濃度事象が発生した日時は必ずしも一致しない。

SPM 高濃度事象に関しては、2009年から SO₂ 高濃度事象と高い正の相関を示していたが(坂本・木下, 2014)、2016年では図11に示すように4月を除いて強いもしくは高い正の相関はみられない。4月29日17時17分の噴火では、火砕流が昭和火口の南東側へ約500m 流下した(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, 2017)。この時の SO₂ 及びの推移を図12に示す。SO₂ 及び SPM 濃度のピーク値は4月29日1時に930ppb、229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、火砕流発生時の1時間値(18時)は2ppb 及び24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。噴火の噴煙が3,500m 上昇したあとに続いた灰煙は南東に吹き降ろされたが、有村局の東に逸れて高濃度事象をもたらさなかったと考えられる。28日16時～29日19時までの SO₂ 及び SPM 濃度の相関係数は0.92であり、ここでは強い正の相関が認められた。29日未明の強風で、噴出した SO₂ と SPM が有村局へ吹き付けたと思われる。

図11では、2、3月には SO₂ 高濃度事象に伴った SPM 高濃度事象がなく、火山灰や固体微粒子の少ない火山ガス主体の噴煙が多かったと思われる。この点はさらに検討を要する。

5. 考察とまとめ

本稿では、2016年の鹿児島県下17局における大気環境データの中で、特に SO₂ ガス・SPM・PM_{2.5} 濃度と互いの相関に注目して検討を行った。以下の(1)～(4)を考察とまとめとする。

- (1) 桜島火山の噴火活動の急激な低下とともに、火山起源と思われる SO₂ ガス・SPM・PM_{2.5} の高濃度事象も激減している。
- (2) 有村局は鹿児島県下で発生した SO₂ 高濃度事象の多くの割合を占めながら、2016年にはその回数が激減した。
- (3) 火山活動が低下すると、大気中に存在する SO₂ ガス濃度と粒子状物質 (SPM・PM_{2.5}) 濃度との相関はあまり見られなくなる。
- (4) 桜島から比較的距離のある測定局(羽島・薩摩川内・霧島局)では、年間を通して大気中の SPM・PM_{2.5} 濃度に強い正の相関が認められる。しかし近距離の測定局では、季節によって相関係数にばらつきがみられる。これは火山性の粒子状物質のほか、大気汚染物質等の影響と考えられる。春季に限らない広域的な黄砂や越境汚染物質の粒子状物質濃度へ

の寄与も問題である。

謝辞

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，鹿児島市市民局安心安全課から火山ガス・SPM・PM_{2.5}濃度等の貴重な測定データの提供を受けました。深く感謝申し上げます。また気象庁，福岡管区気象台火山監視・情報センター，鹿児島地方気象台の多くのデータを参照し図の一部を記載しました。厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台(2016)：噴火警報(火口周辺)(桜島)(平成28年2月5日19時13分発表)。<http://www.data.jma.go.jp/>(最終閲覧日2017年11月24日)
- 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(2017)：平成28年(2016年)の桜島の火山活動。活動解説資料(平成29年10月)：1-8.
- 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(2017)：口永良部島の火山活動解説資料(平成29年10月)：1-8.
- 橋本明弘・福井敬一・高木朗充(2016)：御嶽山2014年噴火に関する火山ガス移流拡散シミュレーション。日本火山学会2016年度秋季大会予稿集：p.188.
- 肥後さより・四元聡美・東小蘭卓志・福田哲也・満留裕己(2014)：鹿児島県における粒子状物質などの地域特性に関する調査研究(第I報) SPM及びPM_{2.5}の観測結果について。鹿児島県環境保健センター所報，15：45-49.
- Iino, N., K. Kinoshita, A. Tupper and T. Yano(2004)：Detection of Asian dust aerosols using meteorological satellite data and suspended particulate matter concentrations, *Atmospheric Environment*. 38：6999-7008.
- 鹿児島地方気象台(2017)：桜島の月別噴火回数。<http://www.jma-net.go.jp/>(最終閲覧日2017年11月24日)
- 木下紀正・西之園雅靖・瓜生洋一郎・金柿主税(1998)：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.
- 小山田 恵・木下紀正(2000)：環境大気データによる黄砂と火山ガスの検出。平成11年度日本気象学会九州支部講演会講演要旨集：13-14.
- 気象庁(2007)：12月1日から噴火警報，噴火警戒レベルを発表します。報道発表資料。
- 気象庁(2015)：桜島の火山活動について，桜島に噴火警戒レベル4(避難準備の特別警報を発表)。<http://www.jma.go.jp/>(最終閲覧日2017年11月24日)
- 気象庁(2017)：過去の気象データ検索(高層)。<http://www.data.jma.go.jp/>(最終閲覧日2017年11月24日)
- 増水紀勝・木下紀正・小山田恵・岩崎亮治・鶴野伊津志・佐竹晋輔・矢野利明・飯野直子(2001)：GMS-5/VISSRとNOAA/AVHRRによる2001年春季黄砂の解析。日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集：71-74.
- 三輪学央・長井雅史・入山 宙(2017)：新燃岳2017年10月11日噴火の降灰調査結果。NIED WEBSITE, <http://www.bosai.go.jp/saigai/2017/>(最終閲覧日2017年11月24日)
- 西中須暁子・四元聡美・東小蘭卓志・福田哲也・平瀬洋一(2015)：鹿児島県における微小粒子状物質に関する報告(第1報)。鹿児島県環境保健センター所報，16：87-95.
- 西中須暁子・東小蘭卓志・田知行紘太・福田哲也・江下聡美・平瀬洋一(2016)：鹿児島県における粒子状物質などの地域特性に関する調査研究(第II報)。鹿児島県環境保健センター所報，17：43-50.
- 及川輝樹・山岡耕春・吉本充宏・中田節也・竹下欣宏・前野深・石塚吉浩・小森次郎・嶋野岳人・中野俊(2015)：御嶽山2014年噴火。火山，60：411-415.
- 坂本昌弥(2014)：桜島火山における二酸化硫黄高濃度事象と近赤外衛星画像を用いた火山防災研究。鹿児島大学大学院人文社会科学部研究科博士学位論文：127p.
- 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：p.77.

坂本昌弥・木下紀正(2017b): 桜島火山周辺の大気環境. 九州ルーテル学院大学研究紀要 VISIO, 47: 149-169.

産業技術総合研究所地質調査総合センター(2015): 口永良部島火山の噴火に関する情報[2015年5月29日]. GSJ 地質ニュース, 4: 221-224.

産業技術総合研究所(2017): 2017年10月12日霧島新燃岳火山ガス観測報告. 噴火予知連拡大幹事会提出資料: 7-8.

東京大学地震研究所(2017): 2017年10月11日霧島火山群新燃岳の噴火【最終更新10月20日】. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/> (最終閲覧日2017年11月24日)

四元聡美・肥後さより・東小蘭卓志・福田哲也・満留裕己(2014): 2013年度の鹿児島県におけるPM_{2.5}高濃度事例. 鹿児島県環境保健センター所報, 15: 77-81.

田知行紘太・福田哲也・西中須暁子・東小蘭卓志・肥後さより・平瀬洋一(2016): 口永良部島における大気中の二酸化硫黄濃度について. 鹿児島県環境保健センター所報, 17: 92-97

Effect of Volcanic Ejecta from Sakurajima on the Atmospheric Environment in 2016

Masaya SAKAMOTO¹ and Kisei KINOSHITA²

【Keywords】: SO₂, SPM, PM_{2.5}, volcanic plume

Abstract:

Air quality data at 17 stations in Kagoshima Prefecture in 2016 were analyzed, focusing on the correlations among the one-hour values of SO₂ gas, SPM and PM_{2.5} concentrations in the air. The results were summarized as follows:

- (1) With the marked decrease of the eruption activities of Sakurajima volcano, the high concentration events of SO₂ gas, SPM, and PM_{2.5} with volcanic origin decreased remarkably.
- (2) While Arimura station occupied a large proportion of the SO₂ high concentration events occurring in Kagoshima Prefecture, the number of the events decreased drastically in 2016.
- (3) The correlations of the SO₂ gas concentration with those of particulate matters SPM and PM_{2.5} drastically reduced, in conformity with the sharp decrease of the volcanic activities.
- (4) In the measuring stations relatively far from Sakurajima, a strong positive correlation was observed in the atmospheric SPM and PM_{2.5} concentration throughout the year. However, at the stations at relatively short distances from Sakurajima, the amount of the correlation coefficients also varied with the season. For such variations, the contributions of air pollutants may be responsible in addition to volcanic particulate matter. In general, contributions on particulate matter concentrations from Asian dust and trans-boundary pollutants, wide and unlimited to springtime, should be taken into account.

¹ Kyushu Lutheran College

² Prof. Emeritus, Kagoshima University

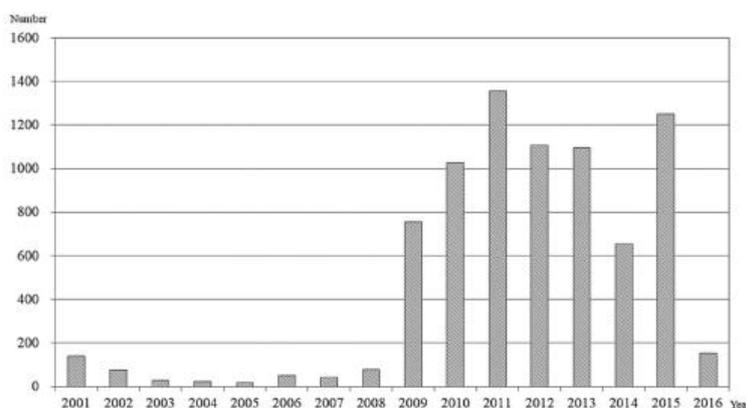


図1 2001年～2016年の桜島の噴火回数(鹿児島地方気象台, 2017)

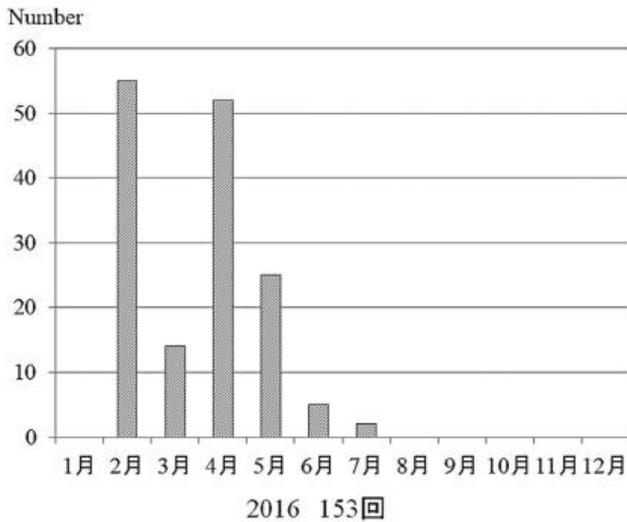


図2 2016年1月～12月における桜島の月別噴火回数（鹿児島地方気象台，2017）

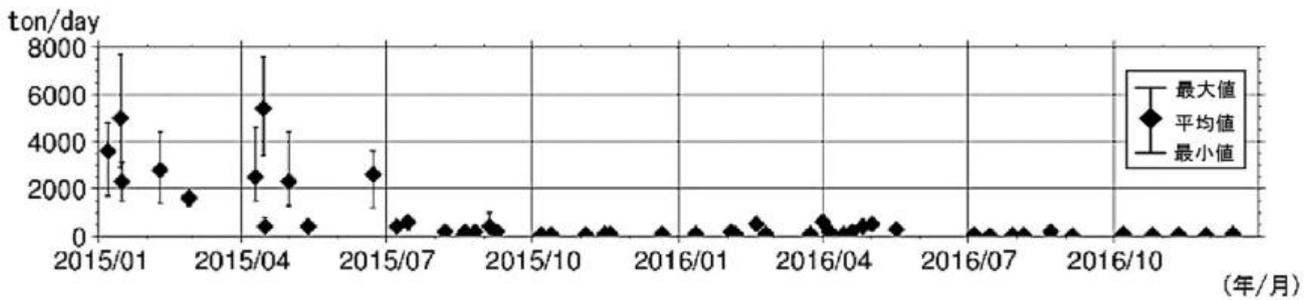


図3 2015年1月～2016年12月における桜島の火山ガス（SO₂）放出量（鹿児島地方気象台，2017）

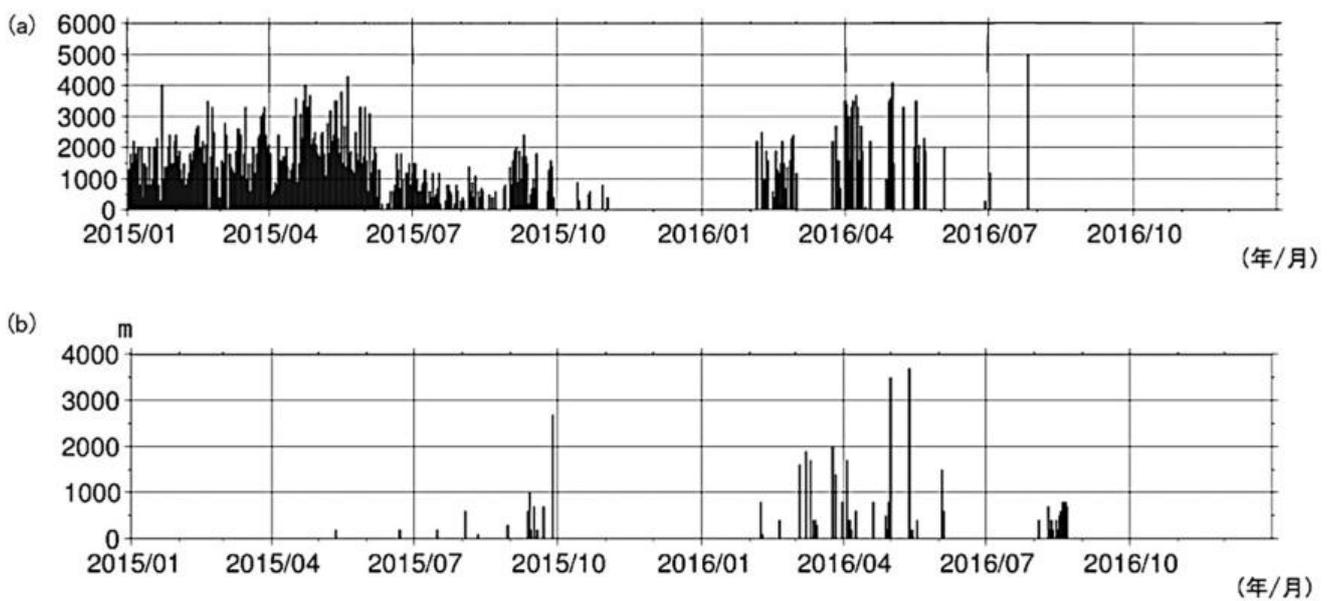


図4 2015年1月～2016年12月における桜島から大気中に放出された噴煙の高さ（日最高）
 (a) 昭如火口，(b) 南岳火口（鹿児島地方気象台，2017）

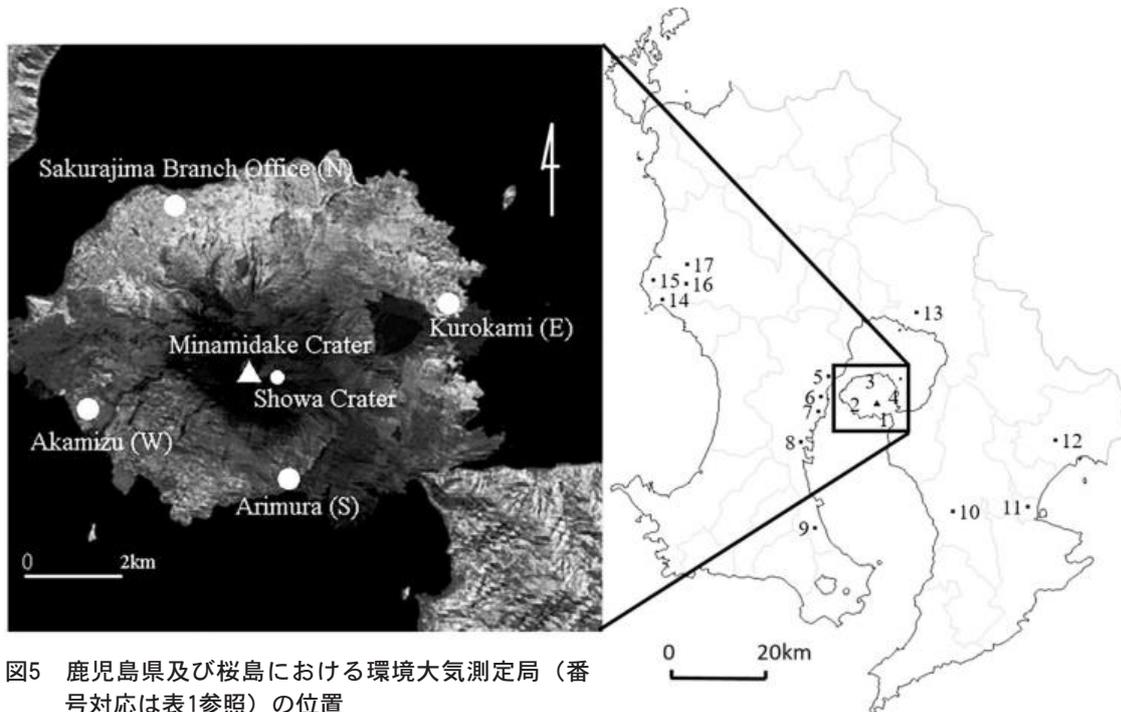


図5 鹿児島県及び桜島における環境大気測定局（番号対応は表1参照）の位置

表1 SO₂・SPM・PM_{2.5}の測定局と測定内容（測定局番号は図5と対応、○は測定実施を表す）

番号		SO ₂	SPM	PM _{2.5}	番号		SO ₂	SPM	PM _{2.5}
1	有村局 (S)	○	○	-	10	鹿屋局	○	○	○
2	赤水局 (W)	○	○	-	11	東串良局	○	○	-
3	桜島支所局 (N)	○	○	-	12	志布志局	○	○	-
4	黒神局 (E)	○	○	-	13	霧島局	○	○	○
5	鹿児島市役所局	○	○	○	14	羽島局	○	○	○
6	環境保健センター局	○	○	-	15	寄田局	○	○	-
7	鴨池局	○	○	○	16	薩摩川内局	○	○	○
8	谷山支所局	○	○	○	17	環境放射線監視センター局	○	○	-
9	喜入局	○	○	○					

表2 2016年の各測定局におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の測定時間・欠測時間・欠測率

番号	測定対象 測定局	SO ₂			SPM			PM _{2.5}		
		観測時数[h]	欠測時数[h]	欠測率[%]	観測時数[h]	欠測時数[h]	欠測率[%]	観測時数[h]	欠測時数[h]	欠測率[%]
1	有村局	8,728	56	0.6	8,613	171	2.0	-	-	-
2	赤水局	8,734	50	0.6	8,752	32	0.4	-	-	-
3	桜島支所局	8,709	75	0.9	8,738	46	0.5	-	-	-
4	黒神局	8,726	58	0.7	8,702	82	0.9	-	-	-
5	鹿児島市役所局	8,631	153	1.7	8,367	417	4.8	8,601	183	2.1
6	環境保健センター局	8,737	47	0.5	8,757	27	0.3	-	-	-
7	鴨池局	8,750	34	0.4	8,351	433	4.9	8,764	20	0.2
8	谷山支所局	8,740	44	0.5	8,768	16	0.2	8,757	27	0.3
9	喜入局	8,734	50	0.6	8,721	63	0.7	8,748	36	0.4
10	鹿屋局	8,718	66	0.8	8,716	68	0.8	8,744	40	0.5
11	東串良局	8,689	95	1.1	8,711	73	0.8	-	-	-
12	志布志局	8,706	78	0.9	8,743	41	0.5	-	-	-
13	霧島局	8,737	47	0.5	8,753	31	0.4	8,739	45	0.5
14	羽島局	8,738	46	0.5	8,758	26	0.3	8,749	35	0.4
15	寄田局	8,735	49	0.6	8,751	33	0.4	-	-	-
16	薩摩川内局	8,738	46	0.5	8,759	25	0.3	8,752	32	0.4
17	環境放射線監視センター局	8,735	49	0.6	8,693	91	1.0	-	-	-

表3 2016年の各測定局におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の最高値・高濃度事象発生時数・発生率

番号	条件 測定局	SO ₂ > 100ppb			SPM > 100μg/m ³			PM _{2.5} > 35μg/m ³		
		最高値 [ppb]	発生時数 [h]	発生率 [%]	最高値 [μg/m ³]	発生時数 [h]	発生率 [%]	最高値 [μg/m ³]	発生時数 [h]	発生率 [%]
1	有村局	930	25	0.29	2690	26	0.30	-	-	-
2	赤水局	469	19	0.22	106	6	0.07	-	-	-
3	桜島支所局	27	0	0	94	0	0	-	-	-
4	黒神局	90	0	0	122	11	0.13	-	-	-
5	鹿児島市役所局	41	0	0	75	0	0	67	357	4.2
6	環境保健センター局	183	1	0.01	134	5	0.06	-	-	-
7	鴨池局	56	0	0	148	2	0.02	72	514	5.9
8	谷山支所局	31	0	0	197	6	0.07	63	249	2.8
9	喜入局	32	0	0	252	2	0.02	55	64	0.7
10	鹿屋局	39	0	0	236	20	0.23	216	212	2.4
11	東串良局	28	0	0	2755	33	0.38	-	-	-
12	志布志局	30	0	0	76	0	0	-	-	-
13	霧島局	24	0	0	100	1	0.01	160	228	2.6
14	羽島局	27	0	0	88	0	0	79	270	3.1
15	寄田局	26	0	0	148	2	0.02	-	-	-
16	薩摩川内局	65	0	0	151	1	0.01	74	369	4.2
17	環境放射線監視センター局	68	0	0	218	5	0.06	-	-	-

表4 2013年の各測定局におけるSO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の最高値・高濃度事象発生時数・発生率
(坂本・木下, 2015に基づく)

番号	条件 測定局	SO ₂ > 100ppb			SPM > 100μg/m ³			PM _{2.5} > 35μg/m ³		
		最高値 [ppb]	発生時数 [h]	発生率 [%]	最高値 [μg/m ³]	発生時数 [h]	発生率 [%]	最高値 [μg/m ³]	発生時数 [h]	発生率 [%]
1	有村局	4,810	561	6.43	965	273	3.12	-	-	-
2	赤水局	1,040	239	2.73	808	243	2.79	-	-	-
3	桜島支所局	287	7	0.08	214	61	0.72	-	-	-
4	黒神局	918	124	1.43	862	147	1.72	-	-	-
5	鹿児島市役所局	105	1	0.01	211	11	0.13	121	943	10.93
7	鴨池局	379	14	0.16	448	39	0.45	93	960	11.11
8	谷山支所局	176	12	0.17	207	16	0.21	77	623	8.26
9	喜入局	64	0	0	130	8	0.10	85	266	3.96
10	鹿屋局	151	7	0.08	348	22	0.25	109	830	9.53
13	霧島局	278	3	0.03	133	12	0.14	106	815	9.37

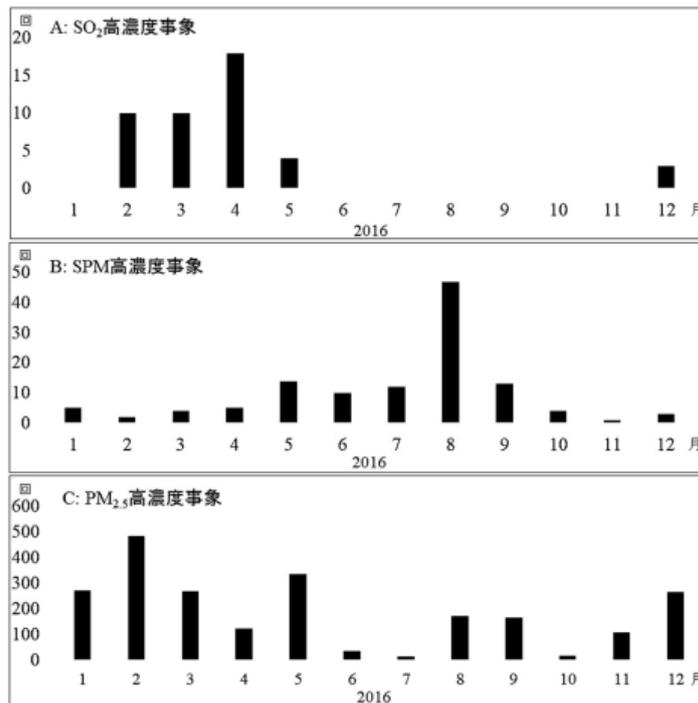


図6 2016年における全測定局の月別SO₂・SPM・PM_{2.5}高濃度事象発生時数の合計

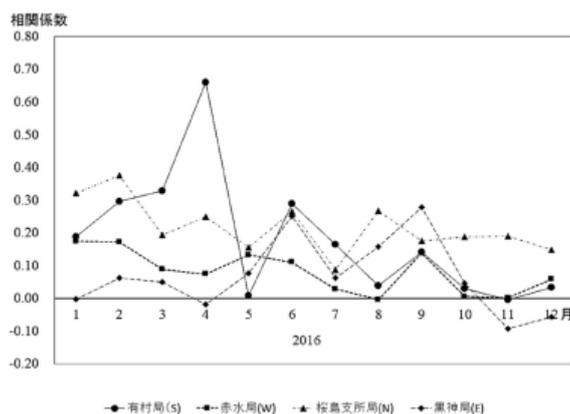


図7 2016年における桜島島内4局の SO₂・SPM 濃度1時間値の月別相関係数

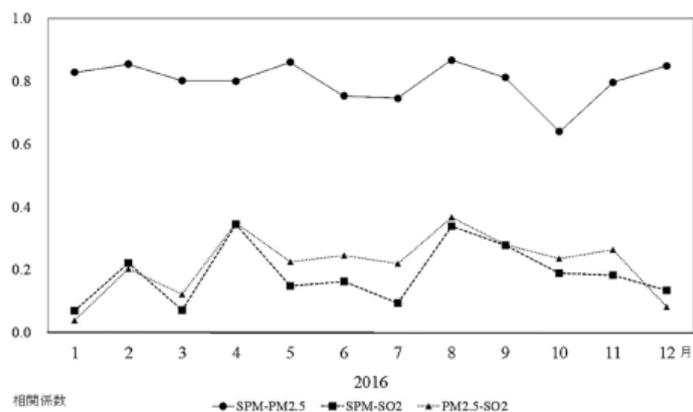


図8 2016年における鹿児島市役所局の SO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の月別相関係数

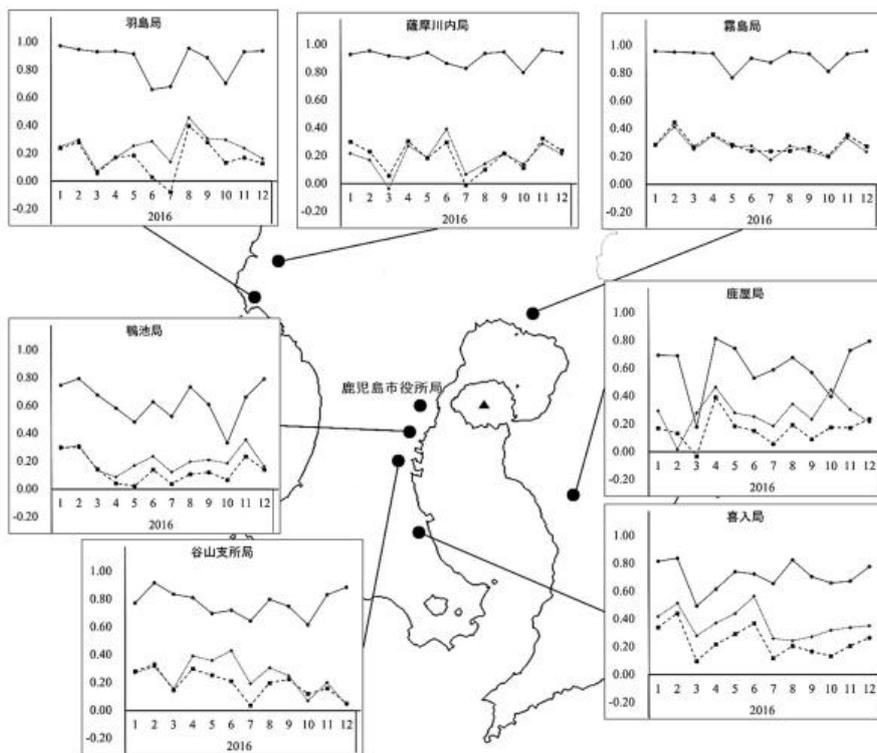


図9 鹿児島県内の各測定局の位置及び2016年の SO₂・SPM・PM_{2.5}濃度1時間値の月別相関係数の推移 (図中グラフの縦軸は相関係数、横軸は月)

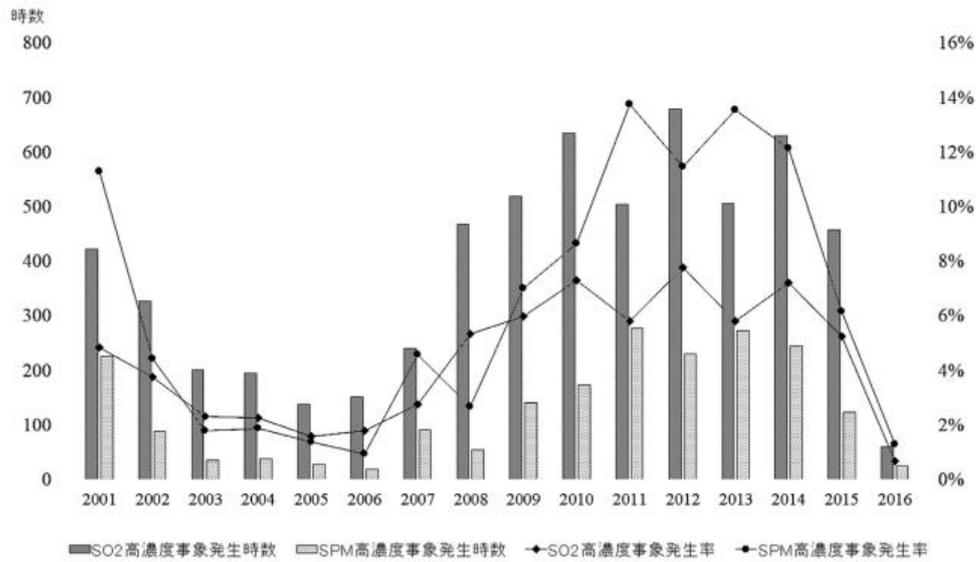


図10 2001年～2016年における有村局のSO₂・SPM高濃度事象の発生時数及び発生率の推移

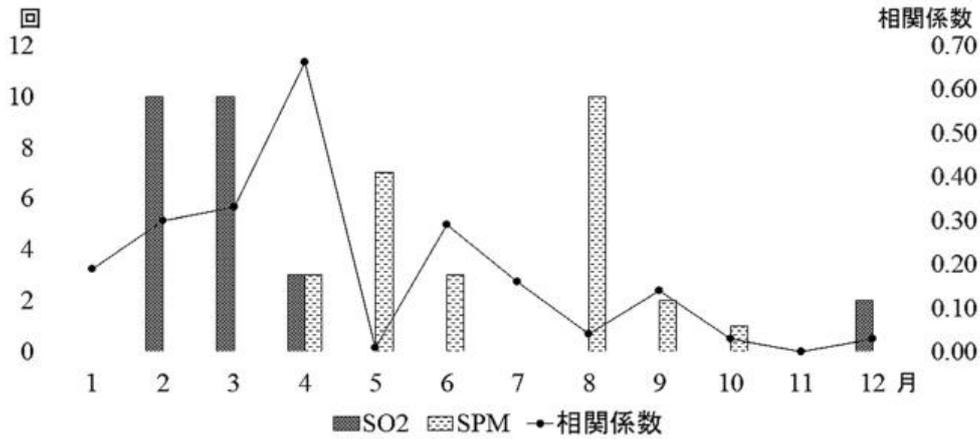


図11 2016年の有村局におけるSO₂・SPM高濃度事象の発生時数及び相関係数の推移

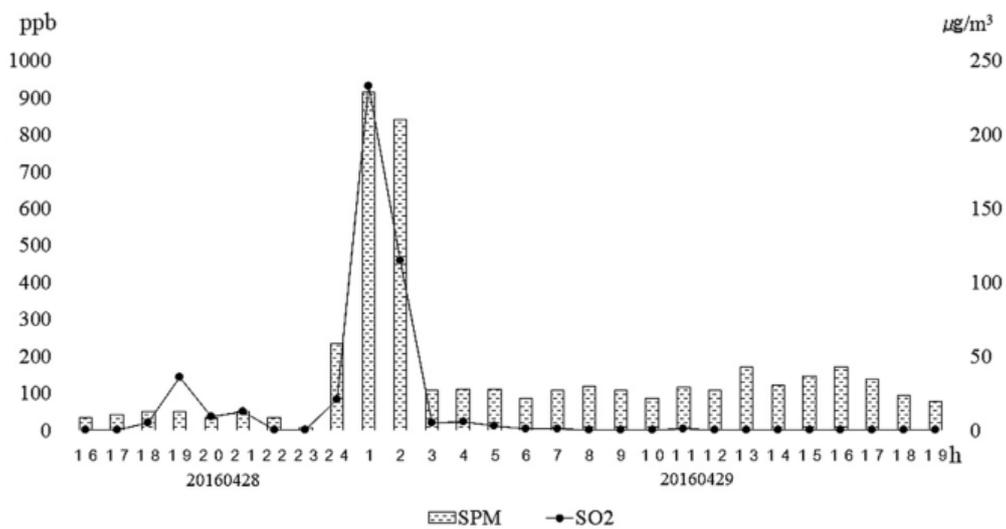


図12 2016年4月28日～29日の有村局におけるSO₂・SPM濃度1時間値の推移

