

2018年における鹿児島地方の大気環境 ～大気中に存在するSO₂・SPM及びPM_{2.5}について～

坂本 昌 弥

Sulfur dioxide and particulate matter in the atmospheric environment at Kagoshima in 2018

Masaya SAKAMOTO

【要約】

本研究は、鹿児島県内の大気環境測定局のうち、2018年に7測定局（鹿児島市役所・谷山支所・喜入・鹿屋・霧島・羽島・薩摩川内）において測定されたSO₂、SPM、PM_{2.5}の各濃度を比較検討し、鹿児島県内の大気環境における桜島火山の噴煙の影響について考察した。桜島火山の火口に比較的近い位置にある鹿児島市役所局では、他の測定局と比較してSO₂/SPM及びSO₂/PM_{2.5}値の変動が大きく、またSO₂とSPM及びSO₂とPM_{2.5}間は春季及び秋季に正の相関が見られる。同局で冬季及び夏季には強い正の相関があったSPMとPM_{2.5}値は、春季及び秋季ではそれが減少し、この傾向は鹿児島市役所局以外の測定局では顕著にみられない。

【キーワード】 二酸化硫黄、浮遊粒子状物質、微小粒子状物質、相関、高濃度事象

1. 研究の背景と目的

環境行政の一環として鹿児島県及び鹿児島市は、大気中に存在するSO₂（二酸化硫黄）濃度を測定するため、これまで県内各地17か所に大気環境測定局を整備してきた。鹿児島大学噴煙火山ガス研究グループは、1990年代からこの大気環境データ及び衛星画像や地上観測映像等を用いて、桜島火山がその火口から大気中に放出するSO₂ガスが引き起こす高濃度事象の特徴を明らかにし、また桜島火山火口から大気中に放出される粒子状物質のうち、浮遊粒子状物質SPM（Suspended Particulate Matter）と微小粒子状物質PM_{2.5}（Particulate Matter 2.5）、及びSO₂ガス濃度の相関についてもさまざまな議論を重ねてきた（例えば、木下，1992；木下ほか，1994；木下ほか，1998a；木下ほか，1998b；坂本・木下，2005；坂本，2014；坂本・木下，2015；坂本・木下，2017a；坂本・木下，2017b；坂本，2018，坂本，2019及びその参考文献）。特に坂本・木下（2015）、坂本・木下（2017b）で考察されているが、この2種の粒子状物質には強い正の相関もしくは正の相関が見られ

る場合が頻繁に発生しており、また桜島火山が発生起源であると考えられる粒子状物質が、特定の気象条件によって長距離移流するケースや特定地域に吹き付けるケースなどがある。

本研究では、2018年に475回の噴火及び246回の爆発的噴火を記録している（気象庁，2019）桜島火山周辺の各測定局のうち、7測定局（鹿児島市役所・谷山支所・喜入・鹿屋・霧島・羽島・薩摩川内）の2018年測定値を比較し、鹿児島県内の大気環境に対する火山噴煙の影響について考察することを目的とした。

2. 鹿児島県内の大気環境

2.1 測定局

本研究に使用したデータを測定した測定局の位置を図1に示す。測定局は、海上孤立峰である桜島火山を中心として、鹿児島県及び鹿児島市によって県本土全域に設置してある。

昭和火口は桜島火山の東側の山腹高度約800mに

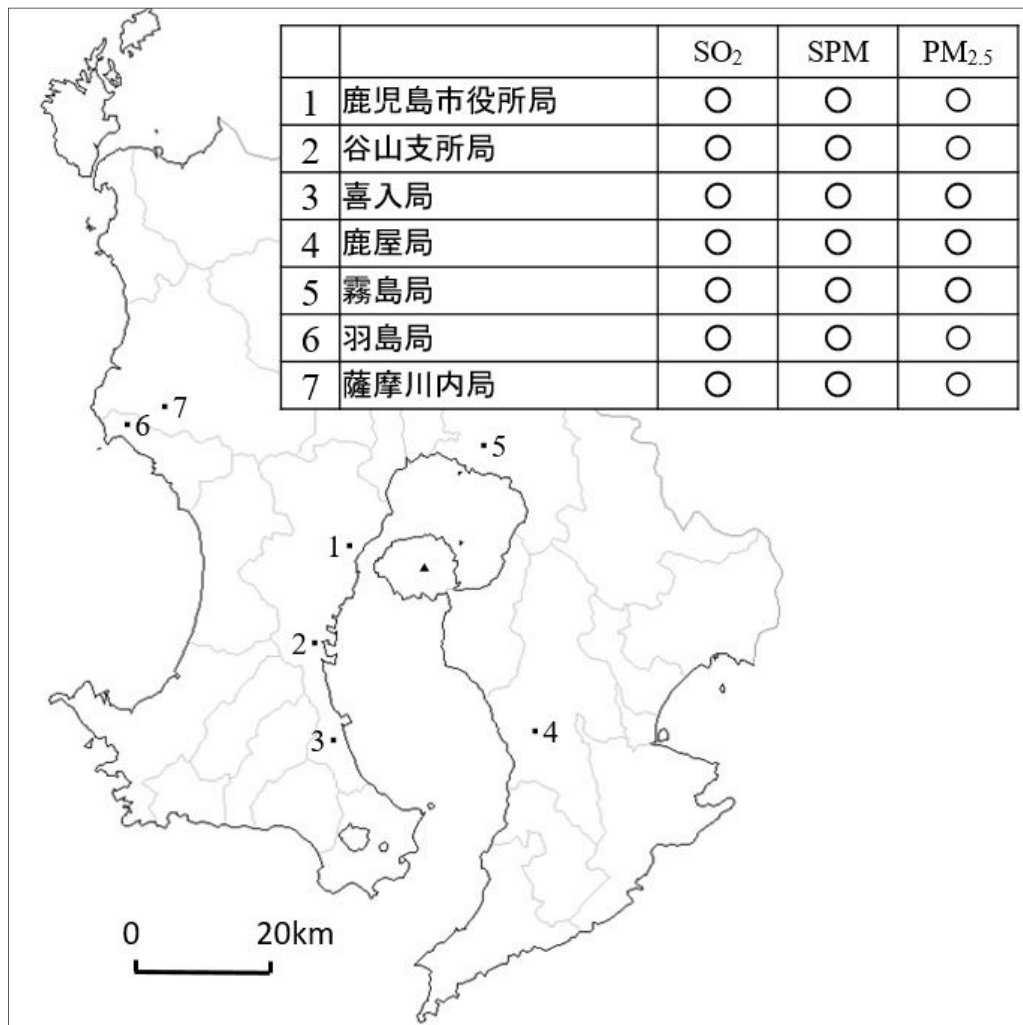


図1 本研究で用いた測定データの測定局の位置図と測定内容

位置する。噴煙は、山頂火口及び昭和火口から大気中に放出されているが、この活動によって生じる降灰及びSO₂、SPM、PM_{2.5}の高濃度事象は、桜島火山を中心として全方位で発生している（例えば、坂本・木下，2014）。その中でも山頂火口の周囲に位置する測定局（有村、黒神、桜島支所、赤水）では、特定の気象条件下で環境基準を大きく超えるSO₂及びSPM高濃度事象が高い確率で発生していることが明らかになっている（例えば、坂本・木下，2017c；坂本，2019）。

2.2 測定データの解析法と環境基準の根拠

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、各測定局において大気中のSO₂、SPM、PM_{2.5}の濃度を1時間ごとに測定している。データ解析は、坂本・木下（2015）と同様の方法で、2018年に各測定局で測定されたSO₂、SPM、PM_{2.5}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）を用いた（表1）。SO₂の場合、環境基準（環境庁，1973a）に基づき、SO₂ガス濃度の1時間値濃度が100ppbを超えた場合、これを「SO₂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100μg/m³以上である場合、これをSPM高濃度事象とした。PM_{2.5}の高濃度事象を定義する際、環境省の定めた環境基準（環境省，2009）には1時間値の規定がないため、PM_{2.5}の環境基準である「1年平均値が15μg/m³以下であり、かつ、1日平均値が35μg/m³以下である」に準拠し、「1時間値が35μg/m³以上であること」を高濃度事象の基準とした。SO₂、SPM、PM_{2.5}の高濃度事象発生日数は、24時間のうち1時間でも環境基準を超える高濃度事象が発生した場合、その日数を回数化した。

SO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比は、それぞれの1日の平均値をSO₂/SPM、SO₂/PM_{2.5}、PM_{2.5}/SPM

表1 2018年における各測定局のSO₂、SPM、PM_{2.5}測定値データ(1) 各測定局のSO₂測定データ

	測定局	測定日数	測定時数	未測定時数	欠測率[%]	最高値[ppb]	高濃度事象発生時数	高濃度事象発生率[%]	高濃度事象発生日数	高濃度事象発生日率[%]
1	鹿児島市役所	365	8,619	141	1.61	132	4	0.05	2	0.55
2	谷山支所	365	8,709	51	0.58	77	0	0	0	0
3	喜入	365	8,717	43	0.49	51	0	0	0	0
4	鹿屋	365	8,702	58	0.66	113	1	0.01	1	0.27
5	霧島	365	8,716	44	0.50	114	1	0.01	1	0.27
6	羽島	365	8,711	49	0.56	139	2	0.02	2	0.55
7	薩摩川内	365	8,715	45	0.51	54	0	0	0	0

(2) 各測定局のSPM測定データ

	測定局	測定日数	測定時数	未測定時数	欠測率[%]	最高値[μg]	高濃度事象発生時数	高濃度事象発生率[%]	高濃度事象発生日数	高濃度事象発生日率[%]
1	鹿児島市役所	365	8,642	118	1.35	180	4	0.05	2	0.55
2	谷山支所	365	8,728	32	0.37	190	12	0.14	8	2.19
3	喜入	365	8,384	376	4.29	124	12	0.14	6	1.64
4	鹿屋	365	8,720	40	0.46	118	10	0.11	4	1.10
5	霧島	365	8,737	23	0.26	149	13	0.15	2	0.55
6	羽島	365	8,731	29	0.33	114	5	0.06	3	0.82
7	薩摩川内	365	8,729	31	0.35	116	4	0.05	3	0.82

(3) 各測定局のPM_{2.5}測定データ

	測定局	測定日数	測定時数	未測定時数	欠測率[%]	最高値[μg]	高濃度事象発生時数	高濃度事象発生率[%]	高濃度事象発生日数	高濃度事象発生日率[%]
1	鹿児島市役所	365	8,573	187	2.13	76	287	3.35	78	21.37
2	谷山支所	365	8,699	61	0.70	66	152	1.75	35	9.59
3	喜入	365	8,706	54	0.62	48	54	0.62	16	4.38
4	鹿屋	365	8,711	49	0.56	70	332	3.81	72	19.73
5	霧島	365	8,718	42	0.48	82	274	3.14	55	15.07
6	羽島	365	8,710	50	0.57	64	226	2.59	40	10.96
7	薩摩川内	365	8,734	26	0.30	73	252	2.89	49	13.42

によって求めた。SO₂、SPM、PM_{2.5}の各測定値は1日の中で大きく変化する場合があり、平均化するとその変化率が見えにくくなる恐れがあるが、1年間の大気環境の活動状況を概観するうえではその傾向を理解することができる。

3. 鹿児島県内7測定局のSO₂/SPM、SO₂/PM_{2.5}、PM_{2.5}/SPM

桜島火山の西方に位置する鹿児島市役所局における2018年のSO₂、SPM、PM_{2.5}の1時間値をピアソン

の積率相関係数によって月別に求めたグラフを図2に示す。

鹿児島市役所局において冬季及び夏季には強い正の相関がみられたSPMとPM_{2.5}値は、春季及び秋季ではそれが減少し、強い正の相関がみられなくなる。桜島火山から比較的遠距離に位置する霧島局、薩摩川内局や羽島局では、SPMとPM_{2.5}値は年間を通して互いに強い正の相関を示し、特に黄砂の影響が強いと考えられる春季にはその相関は非常に強い(坂本, 2019)。これは図7～図9においても年間を通してPM_{2.5}/SPMが安定して1前後で推移していることから理解できる。しかし図2にあるように、鹿

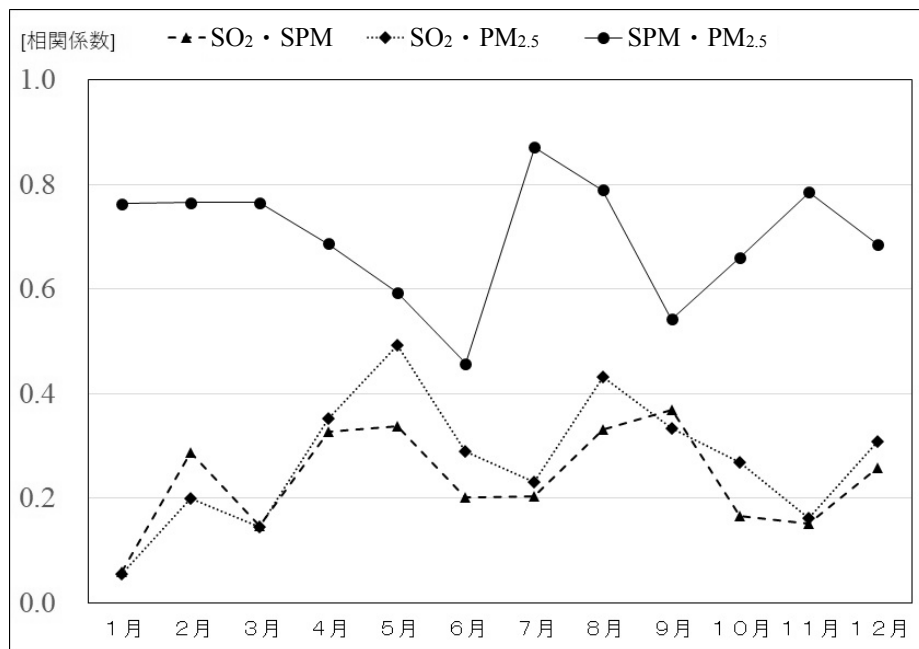


図2 鹿児島市役所局における2018年のSO₂、SPM、PM_{2.5}の1時間値の月別相関

鹿児島市役所局では春季にはSPMとPM_{2.5}値の相関が低下する傾向を示しており、相反してSO₂とSPM及びSO₂とPM_{2.5}の相関は高くなる傾向がみられる。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（2019）によると、桜島火山の火口から大気中に放出されたSO₂は、2018年は1日あたり概ね4,000ton以下で推移していたが、5月22日では1日あたり6,200tonと非常に多い状態となり、2017年（100～1,900ton）と比較して全体的には増加傾向にあったことが公表されている。桜島火山の活動が活発になり、大気中に火口からSO₂が連続的に大気中へ放出されるようになったため、火口に近い鹿児島市役所局では特定の気象条件下でこのような傾向を示したと考えられる。

鹿児島市役所局で測定されたSO₂、SPM、PM_{2.5}の1時間値の日平均値を用いて、SO₂/SPM、SO₂/PM_{2.5}、PM_{2.5}/SPMを算出し、グラフ化したものを図3に示す。同様に他の6測定局（谷山支所・喜入・鹿屋・霧島・羽島・薩摩川内）のグラフを図4～図9に示す。ほとんどの測定局では、その比が1～3程度と調和的であるが、鹿児島市役所局ではSO₂/SPM、PM_{2.5}/SPMに大きな違いがみられる。特に年間を通して相関が強い傾向にあるPM_{2.5}とSPMの濃度に変化が出ていることは興味深い。中でも1月

12日ではその比が86.2となっている。

図6に示す鹿屋局でのSO₂/SPM、SO₂/PM_{2.5}、PM_{2.5}/SPMには、鹿児島市役所局を除く他局よりも大きな変動幅がみられる。桜島火山の南東約30kmに位置する鹿屋局では、火口から大気中に放出されたSO₂ガスが特定の気象条件下（風向：320°前後、風速8 m/sec以上）では拡散せずに長距離移流する可能性があることが明らかになっている（坂本・木下，2014）が、2月5日前後では、比較的高い濃度のSO₂ガスが北西の風によって火口から鹿屋方面に吹き付けた。この時噴火及び爆発的噴火は記録されておらず、SPM及びPM_{2.5}の濃度は低いため、鹿屋局へSO₂ガスのみが移流してきたと思われる。桜島火山の高濃度の火山ガスは爆発的噴火もしくは噴火活動によって大気中に放出されるのではなく、火山活動が比較的活動状態になった場合、常態的に火口から大気中へ放出されることが考えられる。

図8～図9に示されるように、桜島火山の北西に位置する羽島局及び薩摩川内局では、大気中に存在するSO₂ガスは低濃度であり、また火山性の浮遊粒子状物質よりも大陸性の浮遊粒子状物質が支配的であるために、大気中に存在するPM_{2.5}/SPMはおおよそ一定である。

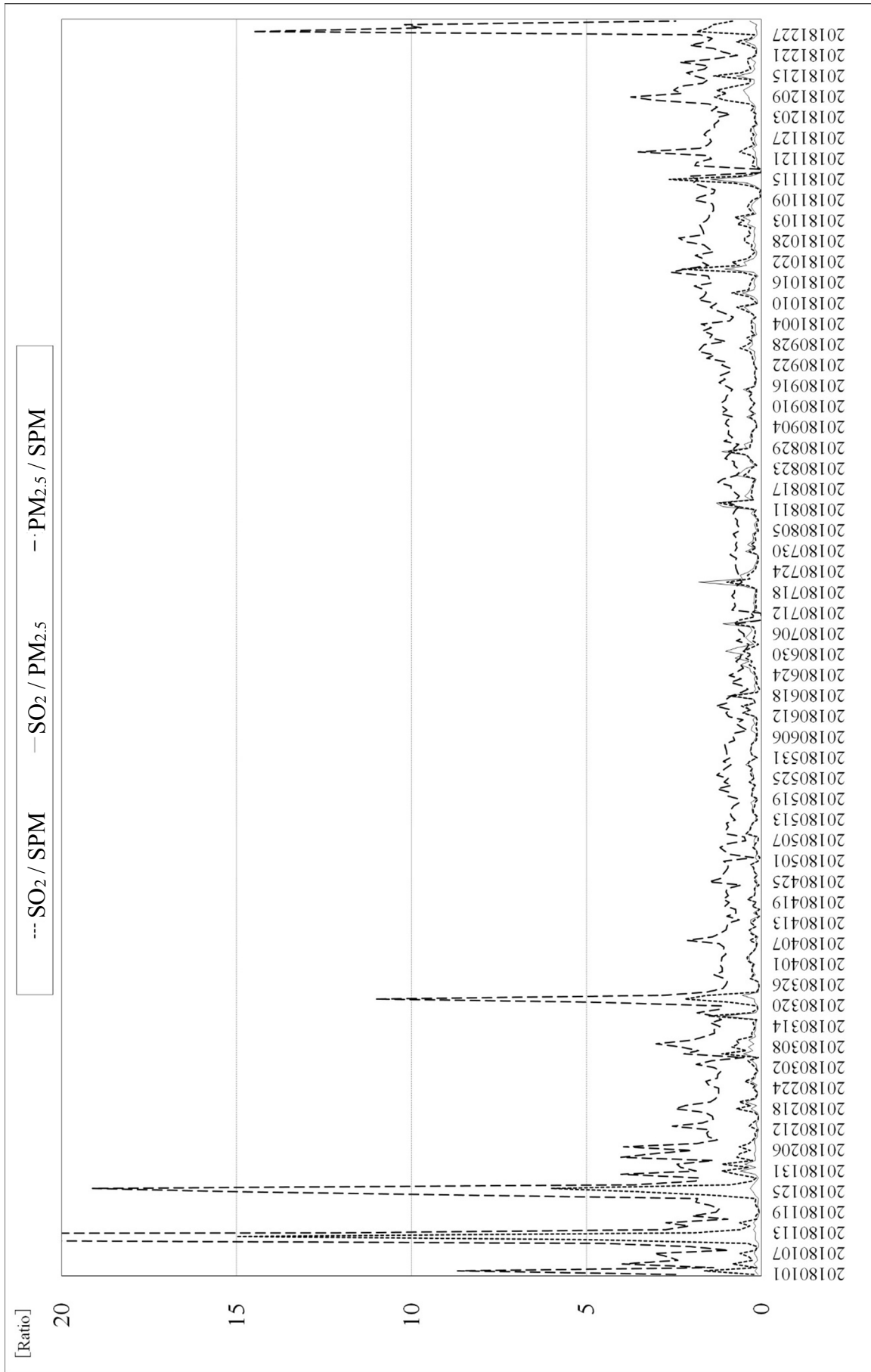


図3 鹿児島市役所局における SO_2 、SPM、 $\text{PM}_{2.5}$ の測定値比グラフ

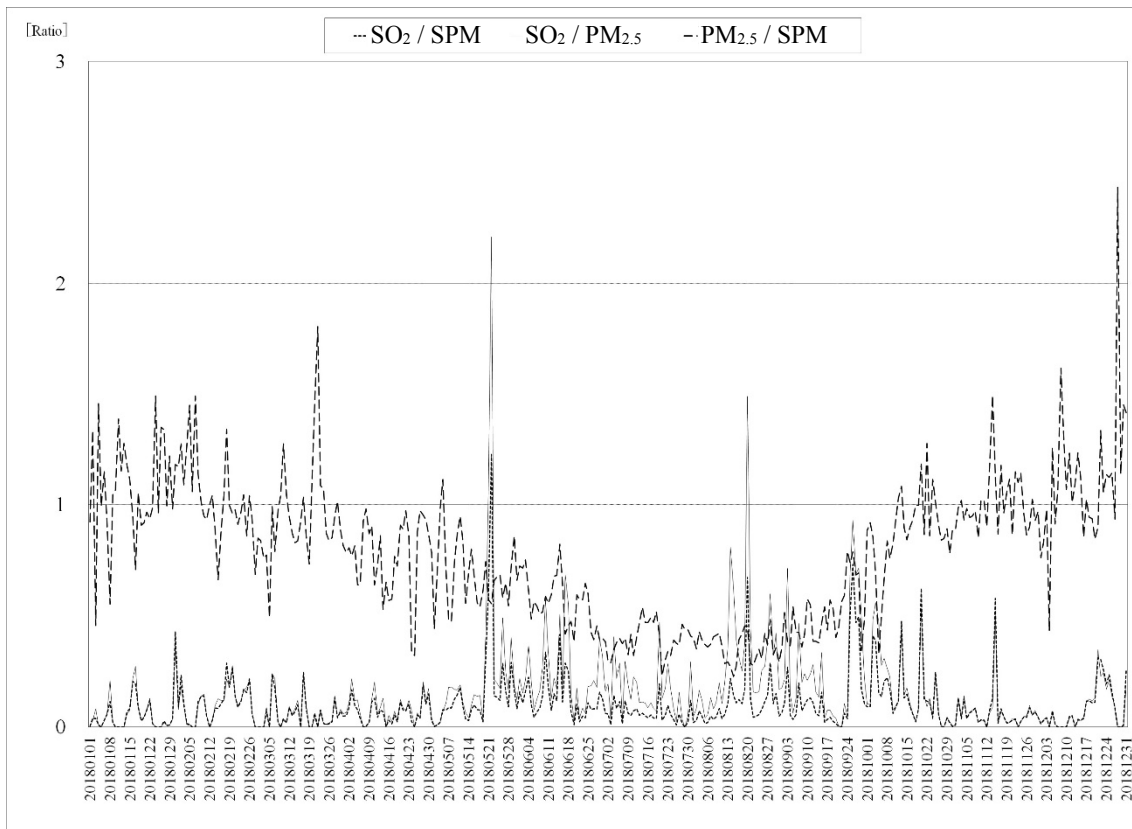


図4 谷山支所局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

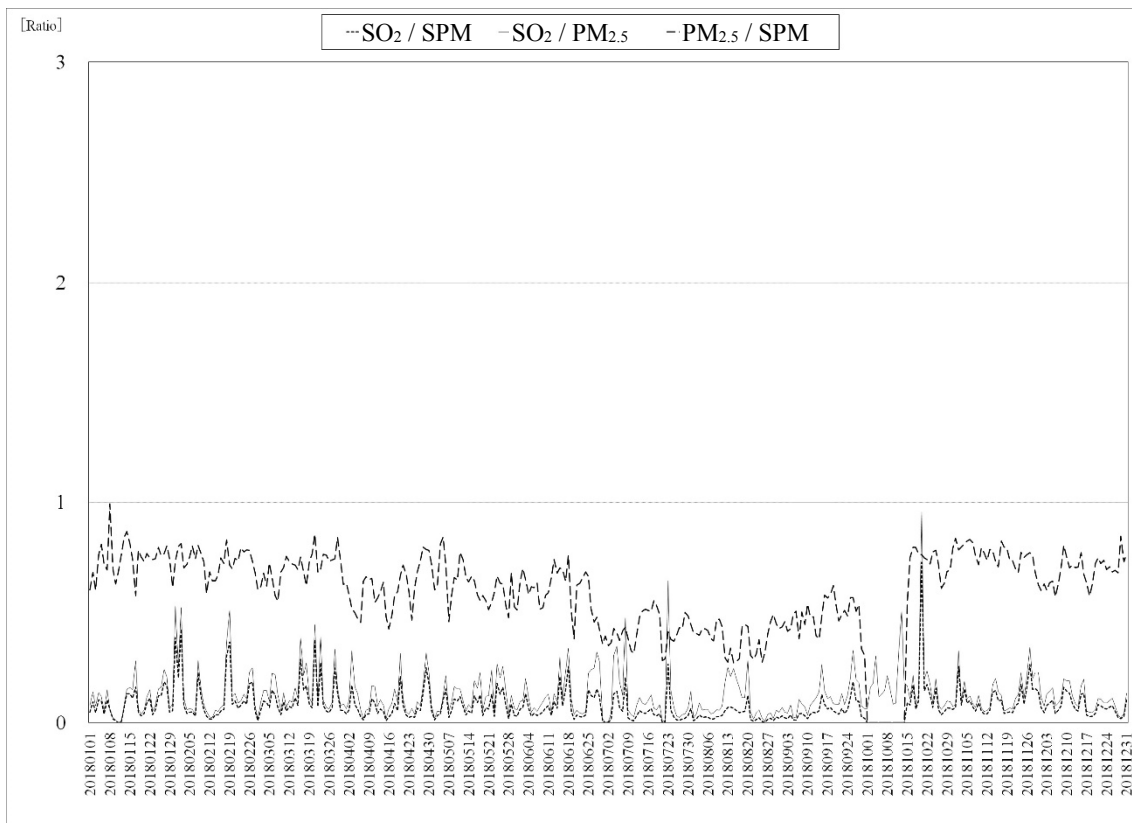


図5 喜入局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

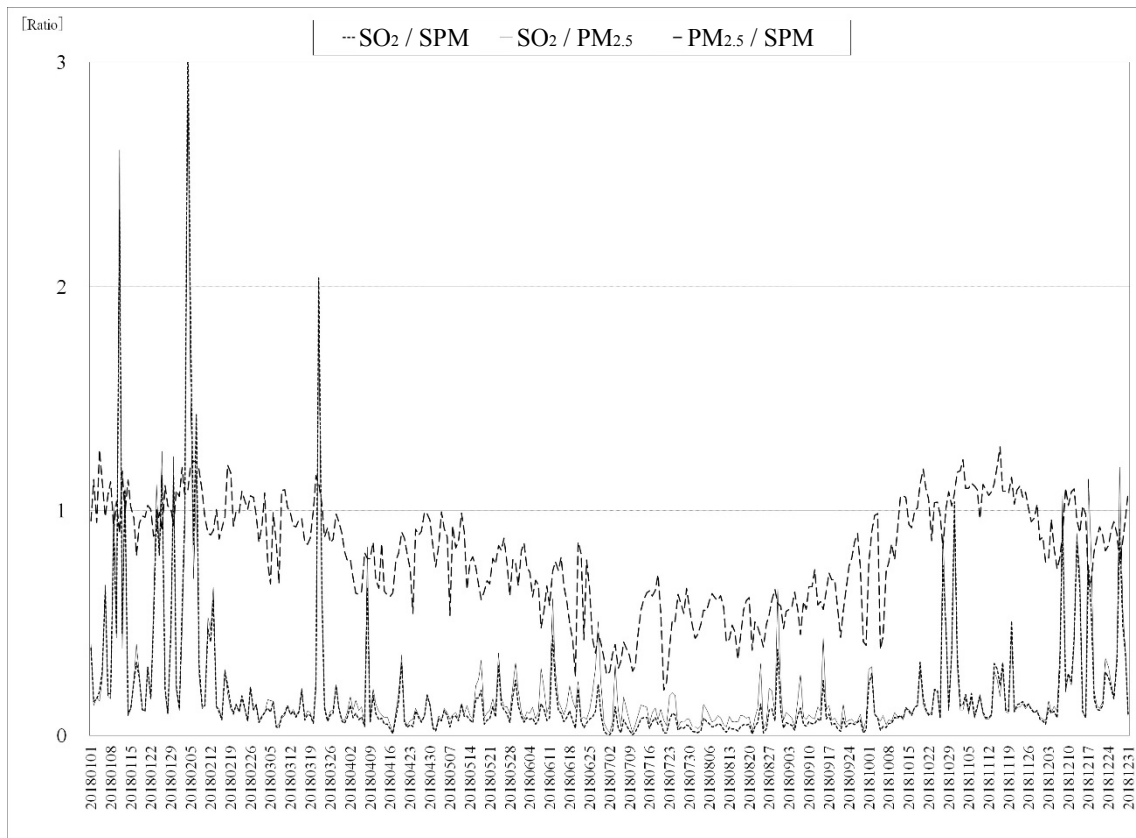


図6 鹿屋局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

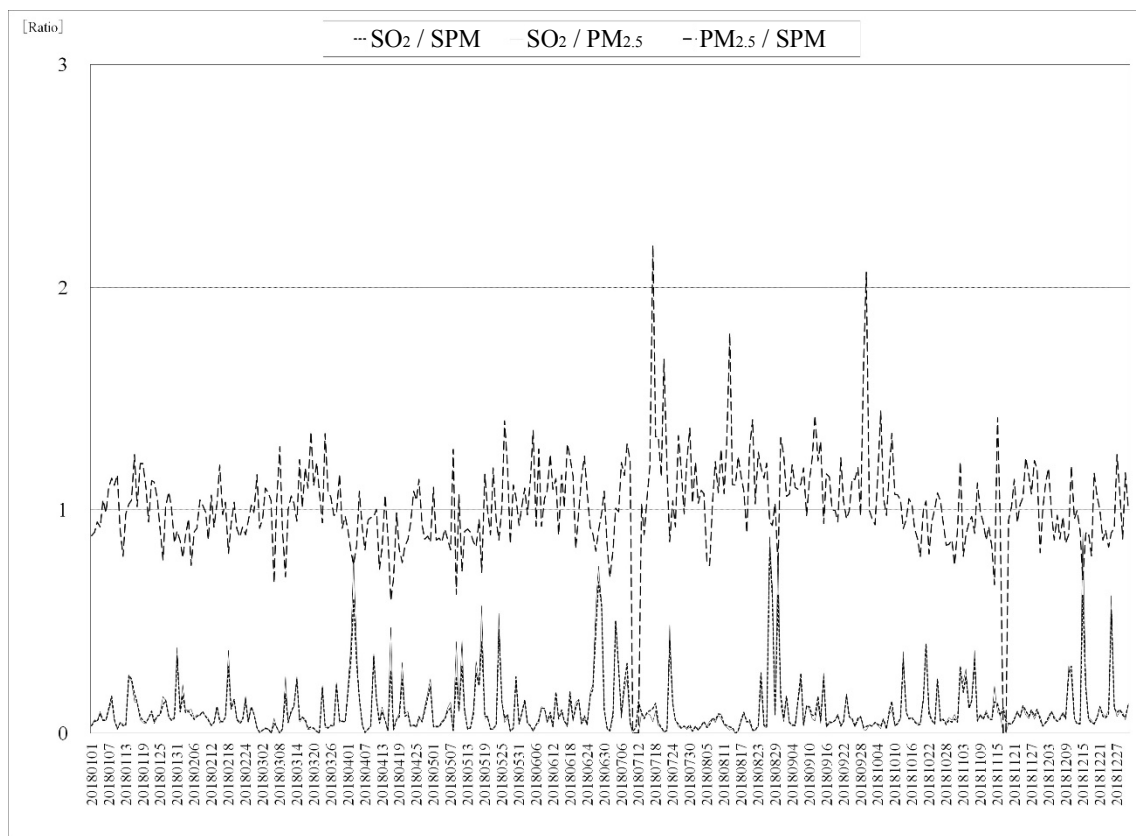


図7 霧島局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

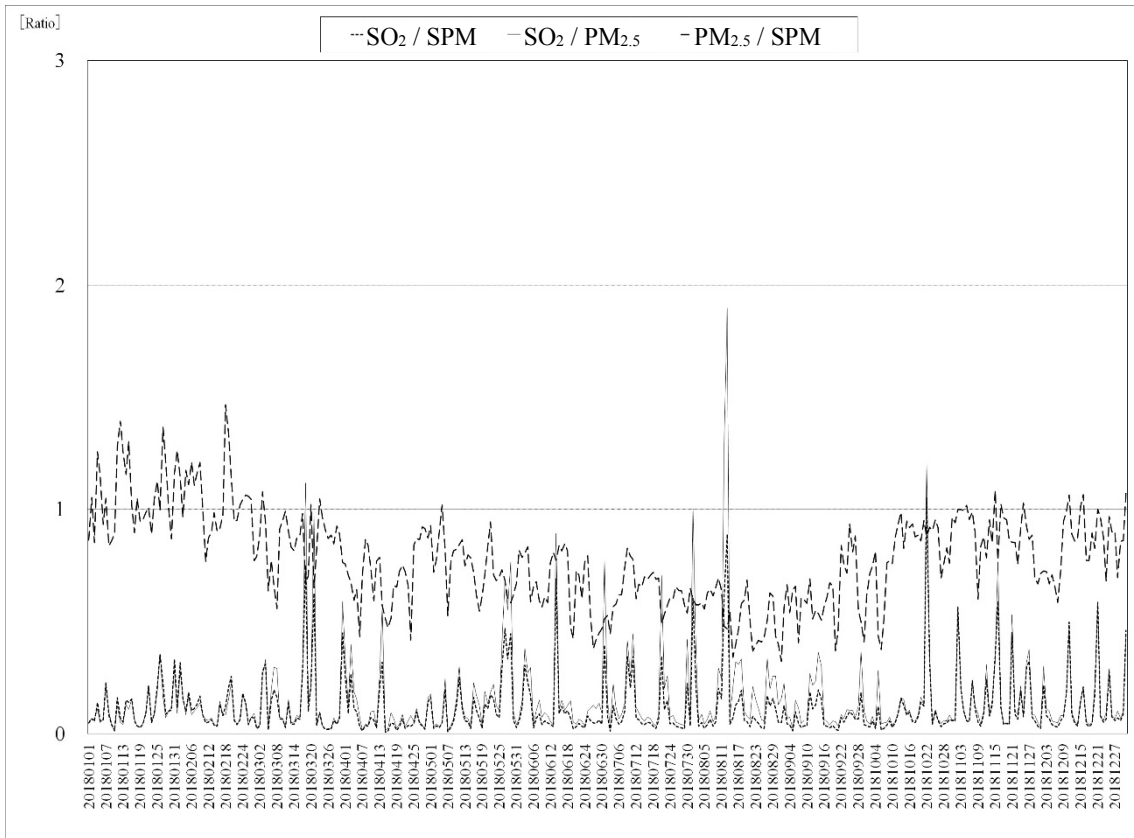


図8 羽島局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

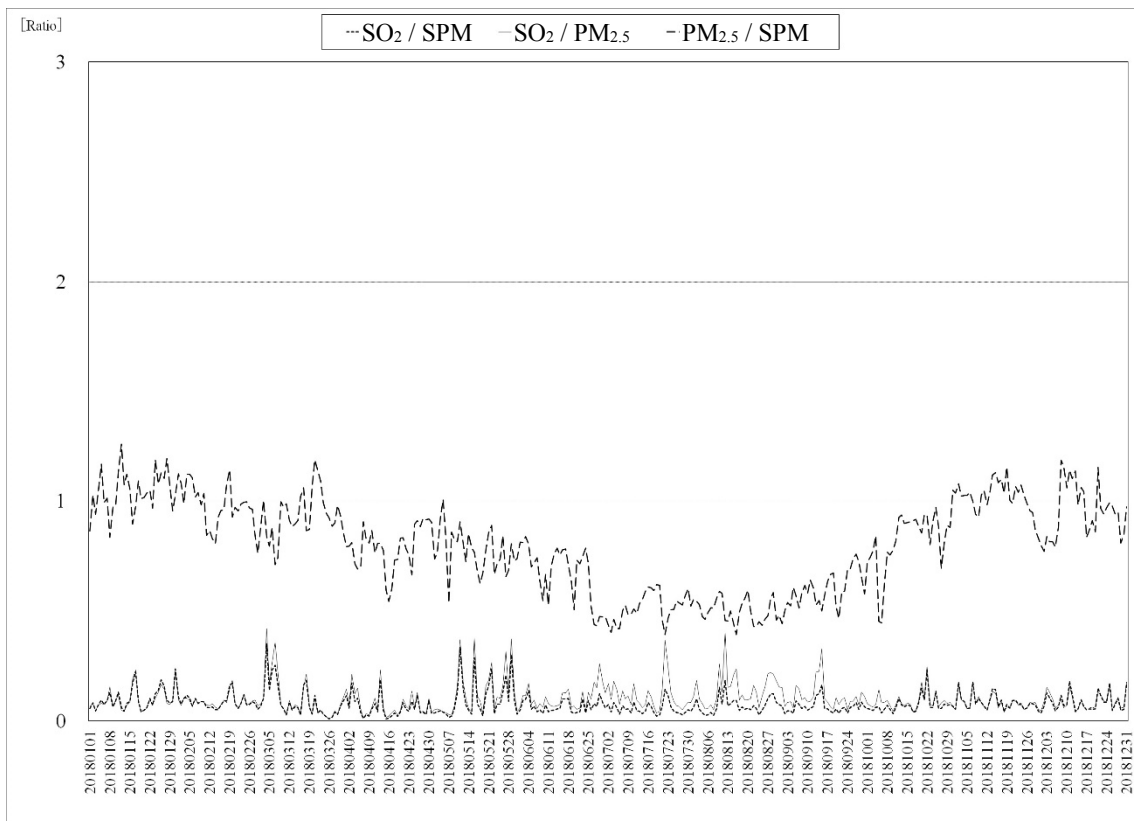


図9 薩摩川内局におけるSO₂、SPM、PM_{2.5}の測定値比グラフ

4. まとめ

桜島火山の西方に位置する鹿児島市役所局では、2018年のSO₂、SPM、PM_{2.5}の1時間値濃度の日平均をSO₂/SPM、SO₂/PM_{2.5}、PM_{2.5}/SPMで比較した場合、他局に比べその変動量が大きい。また鹿児島市役所局では、冬季及び夏季には強い正の相関がみられたSPMとPM_{2.5}値は、春季及び秋季ではそれが減少し、強い正の相関がみられなくなる。

桜島火山から比較的遠距離に位置する霧島局、薩摩川内局や羽島局では、PM_{2.5}/SPMが安定して1前後で推移していることから、浮遊粒子状物質の移流には相似性があると推測される。

桜島島内に位置する各測定局（有村・黒神・桜島支所・赤水）では、SO₂・SPM濃度は測定されているが、PM_{2.5}濃度は測定されていない。それゆえ桜島火山が大気中に放出する噴煙に含まれるPM_{2.5}の存在は、坂本・木下（2017c）等によって他の測定値との相関から推測されているに過ぎない。このPM_{2.5}濃度は、地域住民の健康への影響も大きいため、今後早急に実測されるべき項目である。

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。

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（2019）：平成30年（2018年）の桜島の火山活動。
<http://www.data.jma.go.jp/>（最終閲覧日2019/8/14）。
- 環境庁「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」。1973a。
- 環境庁「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」。1973b。
- 環境省「微小粒子状物質に係る環境基準について（告示）」2009。（最終閲覧日；2018年9月9日）。
<http://www.env.go.jp/press/11546.html>
- 木下紀正「火山噴煙の観測と解析」『気象利用研究』5，1992，pp.51-54。
- 木下紀正・今村和樹・金柿主税「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』1994，pp.79-84。
- 木下紀正・池辺伸一郎・金柿主税・直江寛明・今村和樹「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』22，1998a，pp.133-138。
- 木下紀正・西之園雅靖・瓜生洋一郎・金柿主税「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』50，1998b，pp.11-27。
- 坂本昌弥・木下紀正「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』56，2005，pp.11-20。
- 坂本昌弥・木下紀正「桜島火山ガスの挙動と防災」『地域政策科学研究』11，2014，pp.1-25。
- 坂本昌弥・木下紀正「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』34，2015，pp.49-64。
- 坂本昌弥・木下紀正「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』，2017a，p.77。
- 坂本昌弥・木下紀正「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』，37，2017b，pp.89-99。
- 坂本昌弥・木下紀正「桜島火山周辺の大気環境」『VISIO』，47，2017c，pp.149-169。
- 坂本昌弥「鹿児島地方の大気環境」『VISIO』48，2018，pp.33-40。
- 坂本昌弥「桜島における火山ガスに関する大気環境の動態分析」『地域政策科学研究』16，2019，pp.19-32。