

# 鹿児島地方の大気環境<sup>※</sup>

## ～浮遊粒子状物質の影響～

坂本 昌 弥

### Atmospheric Environment in Kagoshima — Influence of Suspended particulate Matter —

Masaya Sakamoto

**【要約】** 鹿児島県下に設置されている大気測定局において、SPMは特定の気圧配置時の強風下で高い濃度が測定される場合がある。特に2010年3月21日3時前後では、2001年以降最も高いSPM濃度が、鹿児島県下に広く設置されている測定局の中の10局で同時に測定された。SPMとPM<sub>2.5</sub>の濃度には、強い正の相関がある場合が多く、また季節に関係なく連動した挙動を示す。加えて鹿児島地方の2016年のSPM高濃度事象は、季節性が見られず、特に冬季の発生回数が少なかった。SPM及びPM<sub>2.5</sub>高濃度事象は局所的に発生する場合があり、ここでは2015年10月17日19時前後に霧島局において急激に濃度が上昇する現象がみられた。

**【キーワード】** 浮遊粒子状物質、SPM、微小粒子状物質、PM<sub>2.5</sub>、黄砂、高濃度事象

## 1. 研究の背景と目的

中国大陸内部の黄河流域や砂漠地帯に主な発生源があり、気象条件により広く拡散することが知られている黄砂は、現在その発生頻度と被害が甚大化しており、その原因としては急速に広がりつつある過放牧や農地転換による土地の劣化等との関連性が強く指摘されている(環境省, 2018)。また黄砂が大気の運動によって拡散する過程で、大気汚染物質の発生が多い地域を通過する場合、これら大気汚染物質が黄砂に付着することもあるため、近年、黄砂の拡散現象は、世界規模の環境問題として認識されるようになってきている。

日本へ飛来する黄砂の粒子の大きさは、4 μm前後のものも多く、一部2.5 μm以下の微小な粒子も含まれているため、PM<sub>2.5</sub>の測定値も上昇することがある(環境省, 2018)。

鹿児島県内の大気環境データの経年変化の統計的な考察は、藪ほか(2004)、肥後ほか(2014)、東小菌ほか(2016)によって行われている。またこれまで鹿児島地方における黄砂の移流拡散に関する科学

的研究は、木下ほか(1999a)、木下ほか(1999b)、木下ほか(2000)、小山田・木下(2000)、増水ほか(2001)等が顕著なものであるが、ここで黄砂の移流拡散の様相は、NOAA / AVHRR データによって東北アジアの広域にわたってつかむことができ、得られた結果は気象モデルに基づくシミュレーションとおおむね一致することが明らかになった。また従来、黄砂は晩冬～春季に発生しやすいと考えられていたが、こうした研究により1年を通して発生していることが示唆された。大気中に存在する火山性の浮遊粒子状物質SPM(Suspended Particulate Matter)・微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>(Particulate Matter 2.5)については、坂本・木下(2015)、坂本・木下(2017)で考察されており、ここでは両者は互いに強いもしくは高い正の相関が見られる場合があり、また黄砂のみならず発生起源が火山にある粒子状物質が、気象条件によっては長距離移流するケースについても明らかにされている。

本研究では、鹿児島県下の2010年以降のSPM濃度に関する特徴的な事象を述べ、SPMが鹿児島地方の大気環境へ与える影響について検討した。

## 2. 研究方法

本研究で用いたSPM濃度データは、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が県内17か所に設置した大気環境測定局における測定値である。SPM濃度は、濾過捕集による重量濃度測定方法によって測定された重量濃度と直線的な関係を有する量が得られる光散乱法もしくはベータ線吸収法によって測定されている（鹿児島県，2011）。またSPM高濃度事象の定義は、環境基準（環境庁，1973）をもとに、先行研究である小山田（2000）および小山田・木下（2000）等を参照し、「1時間値が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること」とした。PM<sub>2.5</sub>についても濾過捕集による方法によって測定された質量濃度と等価な値が得られると認められる自動測定機によって測定されている（鹿児島県，2011）。PM<sub>2.5</sub>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<sub>2.5</sub>の環境基準である「1年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下である」に準拠し、「1時間値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であること」を高濃度事象の基準とした。このPM<sub>2.5</sub>測定局は鹿児島県では8局のみであり、SPM測定局とは異なり、薩摩半島側で多く、桜島を含む大隅半島側では少ない。

本研究では、気象庁がウェブ公開している高層気象データを用いて風速・風向を分析した。（<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）。ここで特に断らない限り、風向・風速は9時・21時の2回に測定された925hPaの値を用いている。風向・風速については文章中では $D^\circ \cdot \text{Sm}/\text{sec}$ と示すこととする。風向 $D$ （ $^\circ$ ）は北風を $0^\circ$ とし、時計回りに何度の方角から風が吹いてくるかを表現した。例えば $180^\circ$ の風は南風、 $270^\circ$ の風は西風となる。

### 3. 鹿児島地方における2010年3月21日のSPM濃度

鹿児島県内の17測定局における2001年～2017年のSPM濃度データのうち、10測定局において2010年3月21日1時～5時に最高値を示した（表1）。これらは環境基準の5～8倍程度の濃度で鹿児島県下全域に飛来していることになる。

この17測定局を地域ごとにグループ化し、同日1

時～12時までの濃度の変化グラフを図1に示す。グループは、主として薩摩川内市を中心とした①県北グループ（環境放射線監視センター局、羽島局、寄田局、薩摩川内局）、大隅半島に位置する②大隅半島グループ（鹿屋局、志布志局、東串良局）、鹿児島市を中心とした③薩摩半島グループ（鹿児島市役所局、谷山支所局、鴨池局、喜入局、環境保健センター局）、及び桜島とその周辺に位置する④桜島グループ（有村局、黒神局、桜島支所局、赤水局、霧島局）とする。①グループは県北に位置するため、他のグループよりも早い時間に濃度が上昇し始め、6時にいったん測定値が減少し、11時には環境基準以下になる。これに対し、②、③、④グループは1時から濃度が上昇し始め、7時にいったん測定値が減少し、12時に環境基準以下となる。すべての測定局でグラフの推移曲線は同じような挙動を示していることがわかるが、①と他のグループでは、濃度変化に1時間の差が生じている。これは北から飛来したSPMが、県北に位置する測定局から測定され始めたことを示しており、高濃度事象の終息も同様に①グループは1時間早い。どのグループも高濃度事象の継続時間が11時間であり、途中でいったん測定値が減少する点は共通している。

測定位置と1時～5時における最高値、及び20日・21日の天気図を図2及び図3に示す。2010年3月20日21時の風向・風速は $243^\circ \cdot 19\text{m}/\text{sec}$ 、その翌日9時の風向・風速は $303^\circ \cdot 17\text{m}/\text{sec}$ であった。鹿児島地方では、20日は西風が支配的であったが、発達した低気圧が通過し、寒冷前線が南下することによって広域的に北西風が支配的となり、大陸から拡散してきた黄砂が鹿児島地方に飛来したと考えられる。そしてこの黄砂の飛来は、鹿児島地方のみではなく同時に全国各地で観測されている（気象庁，2018）ことから、SPMなどの粒子状物質が供給地から舞い上がり、西高東低の気圧配置によって生じた北方面からの風が支配的な時に日本各地で高濃度現象が測定されると考えられる。

2010年4月以降、鹿児島県内の17測定局うち徐々にPM<sub>2.5</sub>濃度測定が運用され始めたが、この3月21日のPM<sub>2.5</sub>濃度は不明である。しかし次章で述べる理由により、この時、PM<sub>2.5</sub>濃度も同時に高かった可能性が考えられる。

表 1 鹿児島県下の測定局における2001年～2017年のSPMの最高濃度値及び  
2010年～2017年のPM<sub>2.5</sub>の最高濃度値とその測定日

番号	観測対象 観測局	SPM			PM <sub>2.5</sub>		
		最高値(μg/m <sup>3</sup> )	発生日	時	最高値(μg/m <sup>3</sup> )	発生日	時
1	鹿児島市役所局	513	2010/3/21	3	138	2011/5/3	14
2	谷山支所局	557	2010/3/21	3	112	2015/3/22	21
3	有村局	2,690	2016/5/8	2	-	-	-
4	黒神局	862	2013/3/8	22	-	-	-
5	鴨池局	1,165	2005/5/12	14	168	2010/6/3	17
6	桜島支所局	1965	2006/3/28	13	-	-	-
7	赤水局	1,645	2008/12/21	9	-	-	-
8	喜入局	622	2006/8/11	18	97	2015/3/22	21
9	環境保健センター局	747	2010/3/21	3	-	-	-
10	鹿屋局	841	2004/7/15	11	216	2016/4/11	14
11	志布志局	626	2010/3/21	5	-	-	-
12	東串良局	2,755	2016/5/15	15	-	-	-
13	霧島局	684	2010/3/21	4	359	2015/10/17	19
14	環境放射線監視センター局	669	2010/3/21	2	-	-	-
15	羽島局	857	2010/3/21	2	128	2015/3/22	19
16	寄田局	727	2010/3/21	1	-	-	-
17	薩摩川内局	804	2010/3/21	2	130	2017/12/30	24

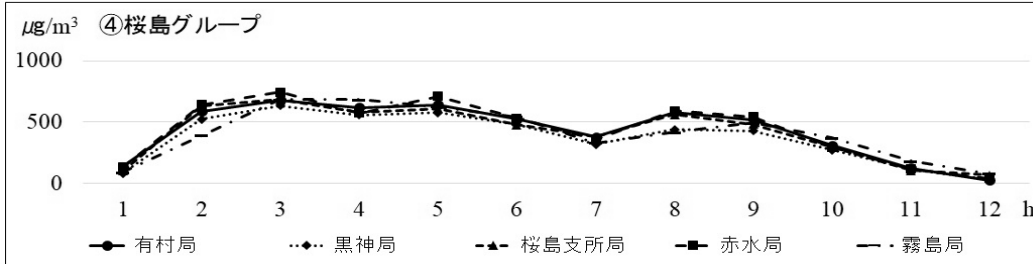
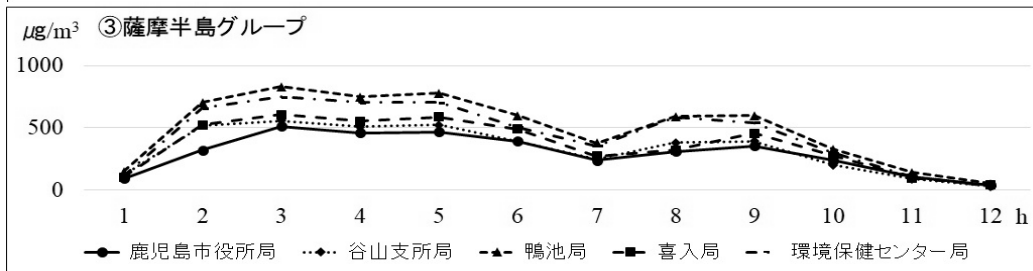
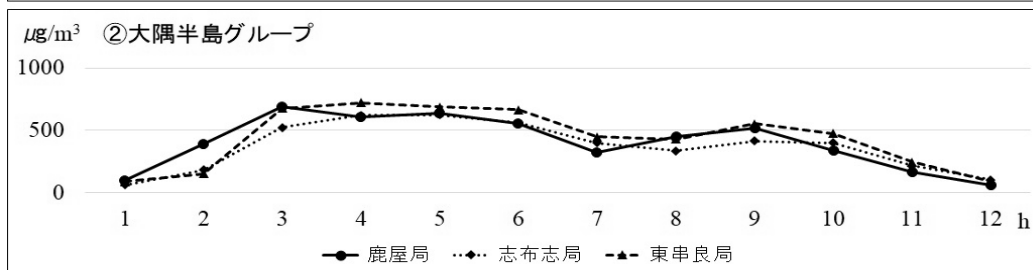
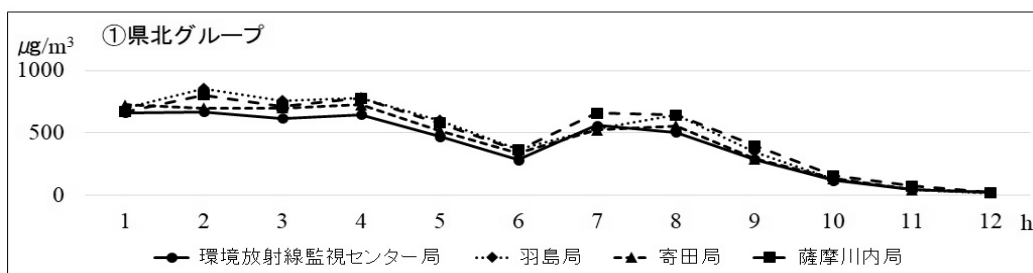


図 1 グループ化した17測定局の2010年3月21日1時～12時におけるSPM濃度変化

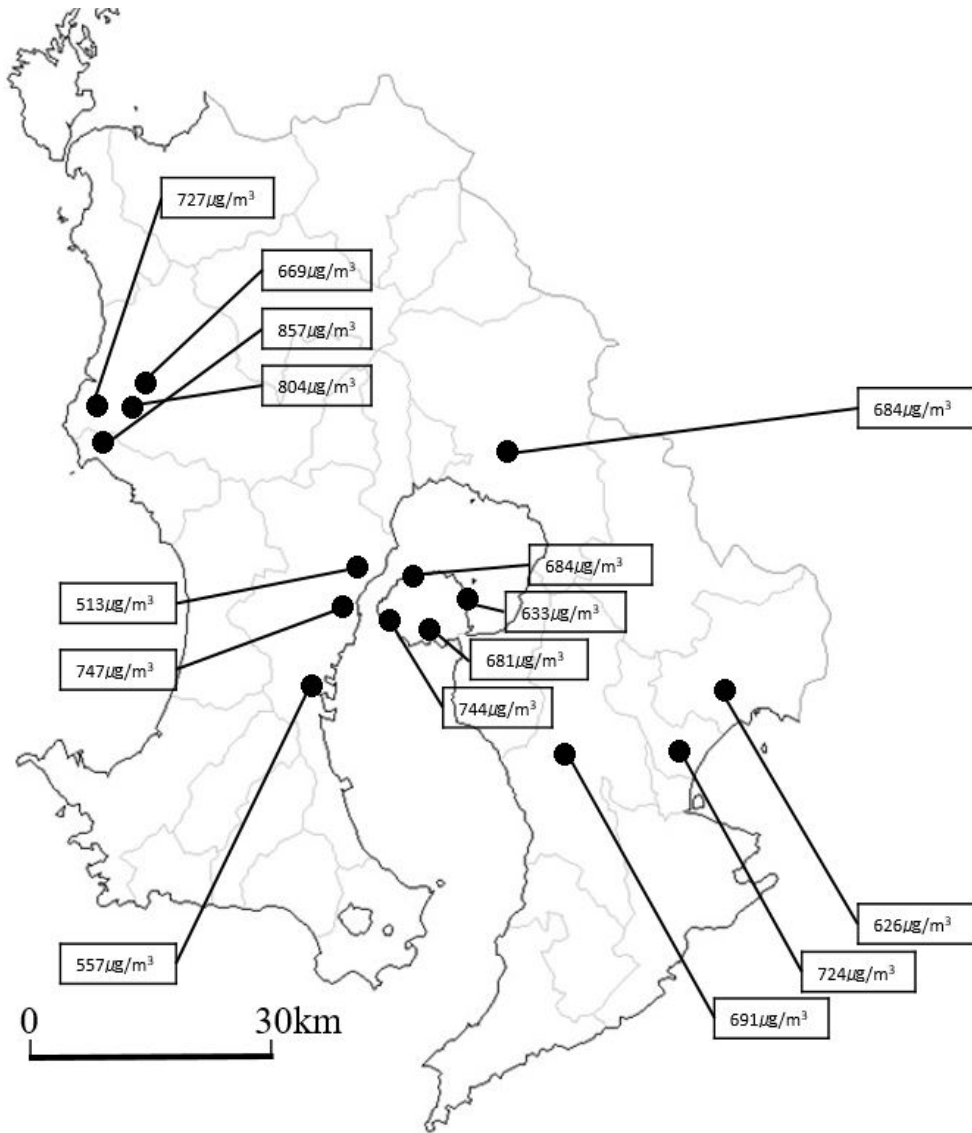


図2 鹿児島地方における2010年3月21日1時～5時におけるSPM濃度最高値

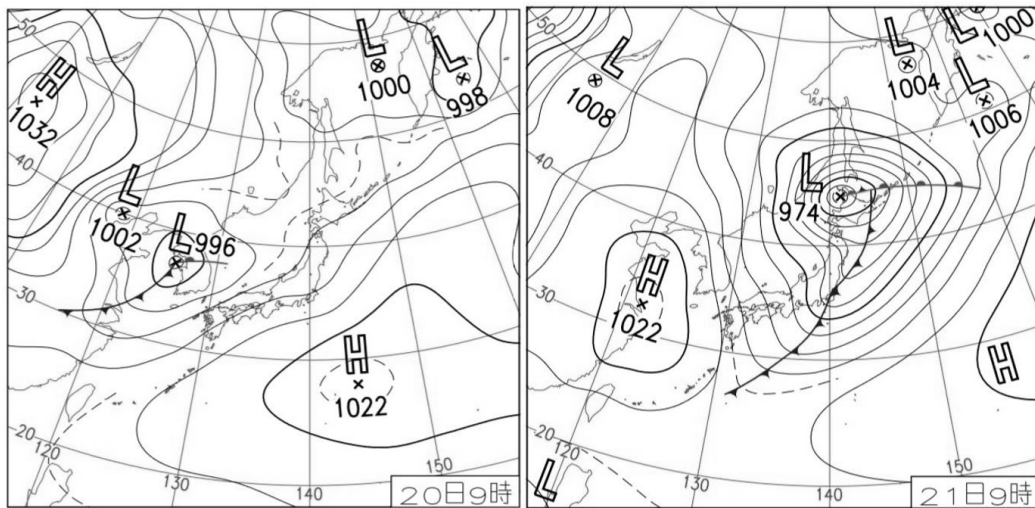


図3 2010年3月20日及び3月21日における9時の天気図(気象庁, 2018)



#### 4. 鹿児島地方におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>の相関

鹿児島地方の2014年～2016年における月別SPM・PM<sub>2.5</sub>濃度の相関の推移グラフを図4に示す。SPM濃度とPM<sub>2.5</sub>濃度の相関については、その一つの1時間値をX、同日同時刻の他の一つの1時間値を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  $r$  を用いて相関係数を算出した。そして得られた数値( $-1 \leq r \leq 1$ )によって、SPM・PM<sub>2.5</sub>濃度の相関を判断した。

図4により、鹿児島県内でSPM濃度とPM<sub>2.5</sub>濃度を同一箇所測定している8測定局におけるピアソンの相関係数の3カ年平均値は、すべて0.7以上であり、強い正の相関があることがわかる。つまりSPM濃度とPM<sub>2.5</sub>濃度の増減はほぼ同時に連動しており、またここでは特徴的な季節性はみられない。県北の3測定局（羽島局・薩摩川内局・霧島局）で

は特にその傾向が顕著であり、年間を通してSPM濃度とPM<sub>2.5</sub>濃度の増減はほぼ同時に連動して発生している。

2014年～2016年におけるSPMとPM<sub>2.5</sub>の月別高濃度事象回数を図5に示す。中でも2014年及び2016年では、これらの粒子状物質が高濃度になる際の特徴のなかに季節性はみることができない。2016年は、夏季にSPM高濃度事象が多く発生しており、またPM<sub>2.5</sub>高濃度事象は、一年を通して発生していることがわかる。

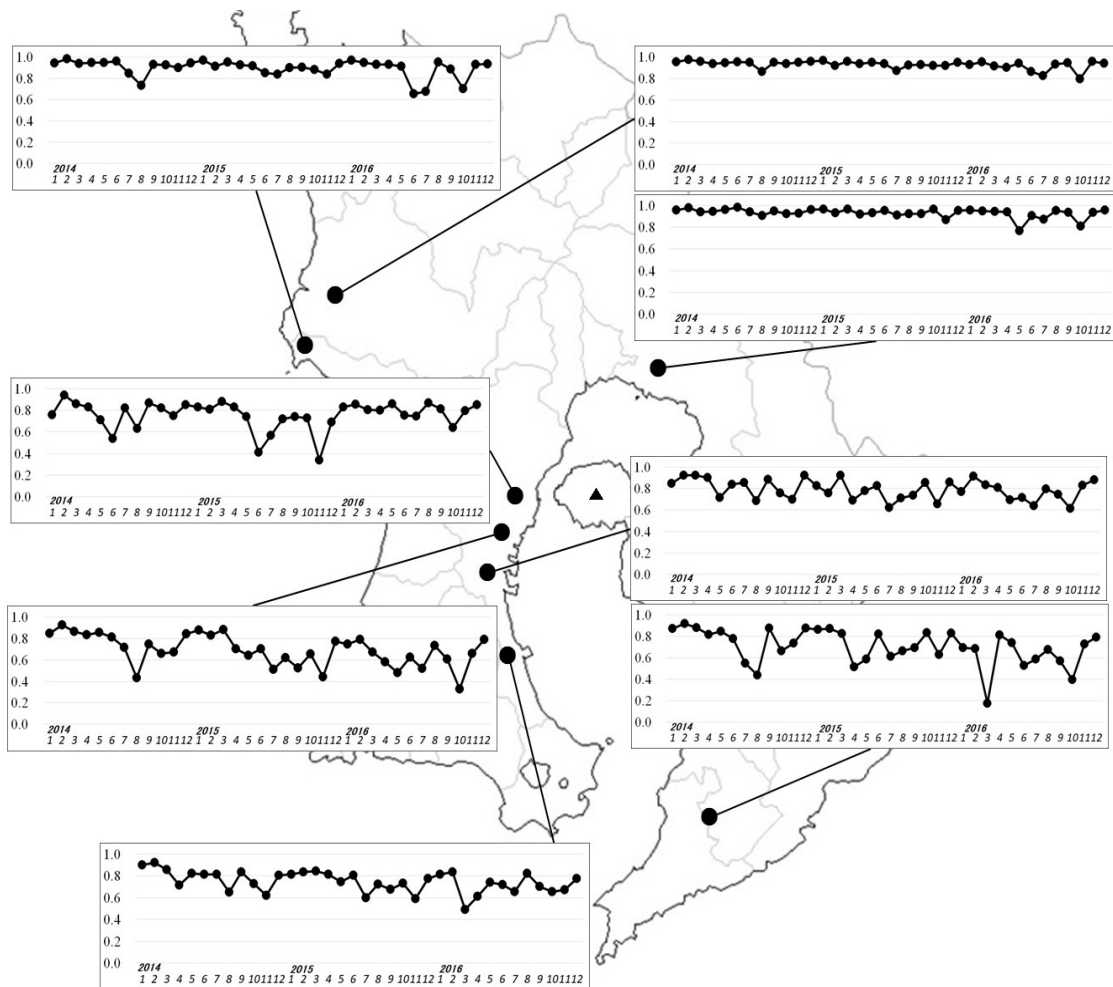


図4 2014年～2016年におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>濃度の相関係数の推移（坂本・木下，2017に加筆）

縦軸は相関係数，横軸は月

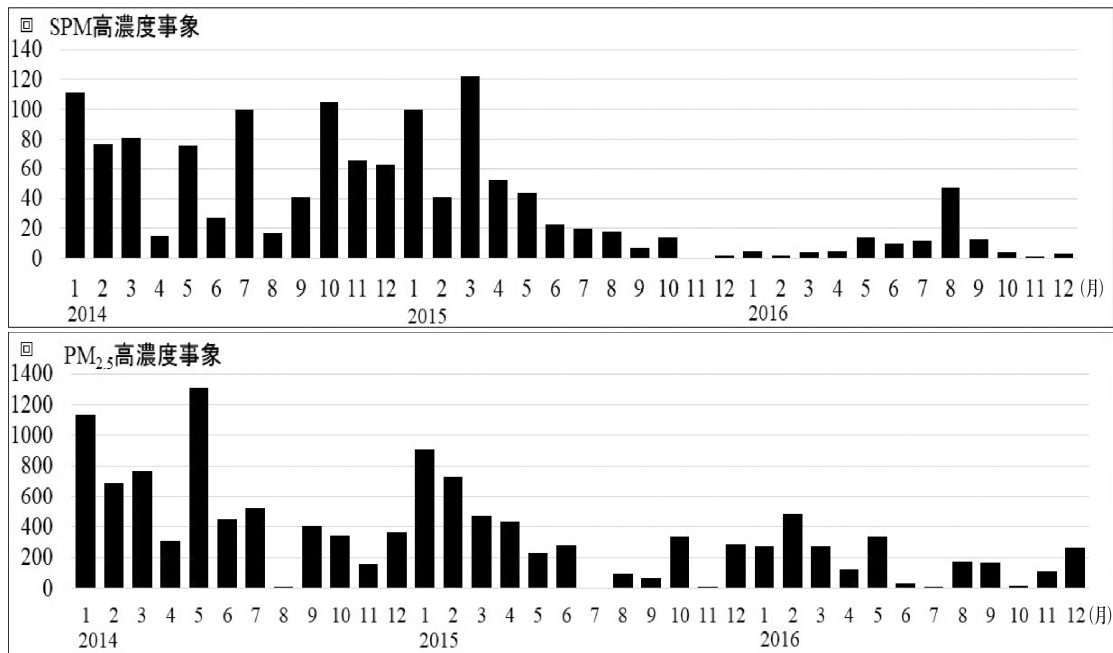


図5 2014年～2016年におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>高濃度事象回数グラフ (坂本・木下, 2017に加筆)

## 5. 2015年10月17日の霧島局におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>の相関

桜島火山の北東約20kmに位置する霧島局では、2015年10月17日にSPM濃度が19時に367 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 測定され、同時にPM<sub>2.5</sub>濃度も359 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 測定されている。この日の濃度変化及び位置図を図6に示し、図7に天気図を示す。この日の1時から24時のSPM濃度とPM<sub>2.5</sub>濃度の相関係数は0.99であることから、両者の挙動はほぼ同様であったと考えられる。

図6に示したように、ここでは他の測定局においてSPM高濃度事象は発生しておらず、この霧島局のみが高濃度である点が特徴である。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(2018)によると、この日の降灰及び桜島の噴火は観測されていない。図7をみると、17日9時に帯状高気圧が桜島の北方を通過しており、この時の風向・風速は、36°・4 m/secである。その後18日に向けて大陸から比較的勢力の強い高気圧が徐々に張り出してくるが、17日21時の風向・風速は121°・3 m/sec、18日9時の風向・風速は96°・4 m/secである。また17日15時に桜島南部に位置する有村局では272 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のSPM濃度が測定されている。以上のことから晴天によって気温が上昇し、桜島周辺の大気が温められたことによって対流混合(木下ほか, 1999a)が生じたため、高濃度事象が発生したと考えられるが、図6

の濃度変化に見られるように、急激に濃度が上昇するケースであるため、今後、衛星画像による画像分析や地上風等の詳細な検証が必要である。

## 6. 考察とまとめ

本研究では、鹿児島地方におけるSPM濃度を中心とした大気環境について論じた。以下の(1)～(4)を考察とまとめとする。

- (1) 2010年3月21日3時前後では、2001年以降で最も高いSPM濃度が同時に多くの測定局で測定された。
- (2) SPMとPM<sub>2.5</sub>の濃度には、強い正の相関がある場合が多く、季節に関係なく連動した挙動を示す。
- (3) 鹿児島地方の2016年のSPM高濃度事象は、季節性が見られず、特に冬季の発生回数が少なかった。
- (4) SPM及びPM<sub>2.5</sub>高濃度事象が局所的に発生する場合があります。ここでは2015年10月17日19時前後に霧島局において急激に濃度が上昇する現象がみられた。

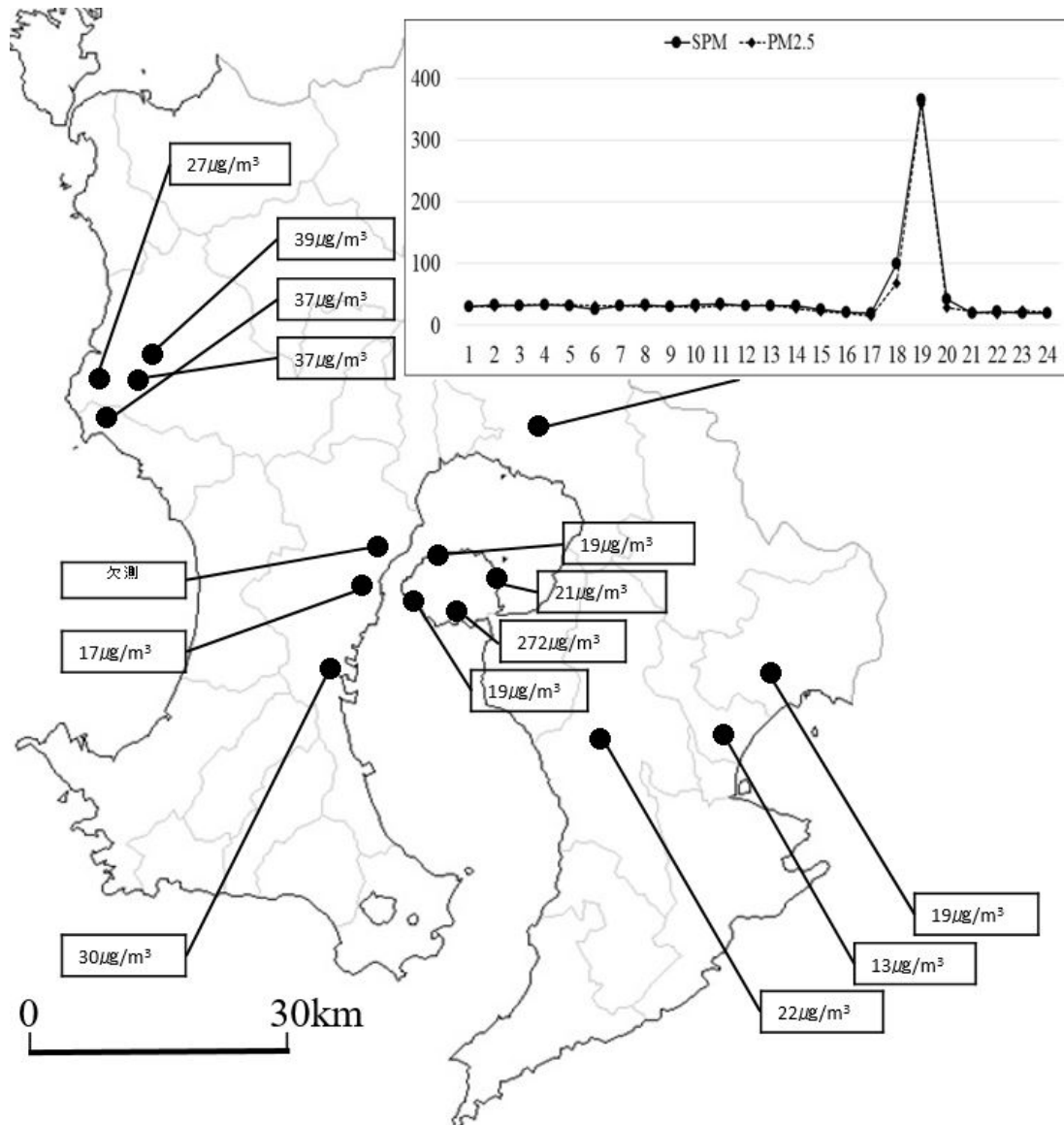


図6 2015年10月17日の霧島局におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>濃度グラフと他13局の19時のSPM濃度（有村局のみ15時のSPM濃度）

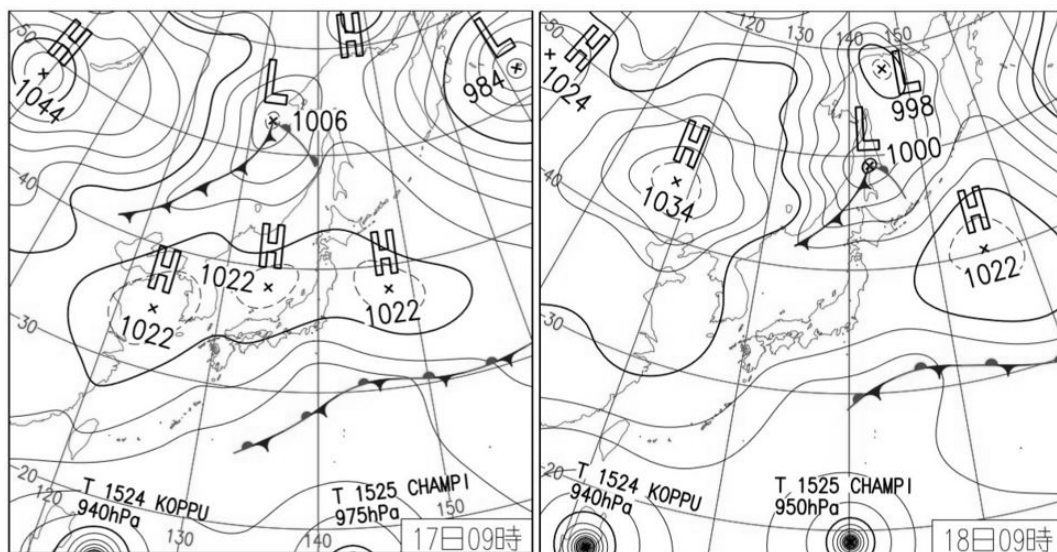


図7 2015年10月17日及び10月18日9時の天気図（気象庁，2018）

## 謝 辞

鹿児島県環境林務部環境保全課、鹿児島県危機管理庁危機管理防災課、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<sub>2.5</sub>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、鹿児島地方気象台から多くのデータの提供を受けました。厚く感謝申し上げます。鹿児島大学木下紀正名誉教授からは示唆に富んだ多くのご意見を賜りました。心から感謝申し上げます。

## 注

※本研究の一部内容は、日本地質学会第125回学術会議（2018札幌：2018年9月5日～7日、於：北海道大学）において、「2017年における桜島火山噴出物の大気環境影響（Effect of volcanic ejecta from Sakurajima on the atmospheric environment in 2017）」『日本地質学会第125回学術大会講演要旨』p. 143.（発行済）として発表をおこなう予定であったが、北海道胆振東部地震によって中止となり、要旨集のみで公表した。

## 参考文献・Website

- ・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「平成27年（2017年）の桜島の火山活動」（最終閲覧日：2018年9月22日）<https://www.data.jma.go.jp/>
- ・東小藺卓志・西中須暁子・田知行紘太・福田哲也・平瀬洋一「鹿児島県における大気環境（第II報）」『鹿児島県環境保健センター所報』17, 2016, pp. 84-91.
- ・肥後さより・四元聡美・東小藺卓志・福田哲也・満留裕己「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）」『鹿児島県環境保健センター所報』15, 2014, pp. 45-49.
- ・鹿児島県「大気・騒音調査結果」2011.（最終閲覧日：2018年9月9日）. <http://www.pref.kagoshima.jp/>
- ・環境庁「大気汚染に係る環境基準について」『環境庁告示25号、昭和48年5月8日』1973.
- ・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>
- ・環境省「黄砂（Dust and sandstorm : DSS）」2018.（最終閲覧日：2018年9月20日）.  
<https://www.env.go.jp/air/dss/>
- ・木下紀正・西之園雅靖・瓜生洋一朗・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』1999a, 50, pp. 11-27.
- ・木下紀正・岩崎亮治・飯野直子・鶴野伊津志・天野宏欣「NOAA データによる1998年4月黄砂の広域的解析」『日本リモートセンシング学会第26回学術講演会論文集』1999b, pp. 253-256.
- ・木下紀正・岩崎亮治・鶴野伊津志・天野宏欣・飯野直子・矢野利明・増水紀勝「NOAA / AVHRR データによる噴煙・考査の検出と水蒸気量評価」『CEReS 共同利用研究会「衛星画像データに対する大気補正：周辺効果の評価」』2000, pp. 46-51.
- ・気象庁 日々の天気図. 気象庁HP. 2018.（最終閲覧日：2018年9月10日）.  
<http://www.data.jma.go.jp/>
- ・小山田 恵「桜島噴煙の移流と火山ガスの研究」『鹿児島大学教育学部卒業論文』2000.
- ・小山田 恵・木下紀正「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』2000, pp. 13-14.
- ・増水紀勝・岩崎亮治・小山田 恵・木下紀正・鶴野伊津志・佐竹晋輔・矢野利明・飯野直子「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』2001, pp. 71-74.
- ・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』2017, p. 77.
- ・藪平一郎・谷元エリ・上大園智徳・大西正巳・松留道雄・川元孝久「鹿児島県における大気環境」『鹿児島県環境保健センター所報』5, 2004, pp. 70-77.