

# 薩摩半島地域で測定された微小粒子状物質 ～出水局・南さつま局のPM<sub>2.5</sub>について～

坂 本 昌 弥

## Fine particulate matter in the atmosphere of the Satsuma Peninsula area in Japan

Masaya Sakamoto

### 【要約】

桜島火山から比較的遠距離に位置し、東シナ海に面した出水局ならびに南さつま局（両局の距離75km）では、2014年から2018年の5か年においてPM<sub>2.5</sub>の1時間値濃度が年間を通して互いに強い正の相関を示し、特に冬季から春季にかけて、強い正の相関がみられた。また薩摩川内局で測定されたSPMの1時間値濃度とも強い正の相関を示す場合が多く、これも冬季から春季にかけて特に顕著であった。

### 【キーワード】 PM<sub>2.5</sub>、SPM、相関、高濃度事象

## 1. 研究の背景と目的

1990年代から鹿児島大学噴煙火山ガス研究グループは、行政による大気環境測定データや衛星画像、ならびに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二酸化硫黄SO<sub>2</sub>ガスが引き起こす高濃度事象の挙動や特徴についての研究をおこなってきた。また桜島火山火口から大気中に放出される粒子状物質（浮遊粒子状物質SPM、微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>）及び二酸化硫黄SO<sub>2</sub>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・木下，2017c，坂本，2018、及びその参考文献）。なかでも坂本（2019a）、坂本（2019b）は、桜島火山地域及びその近隣地域（鹿児島市、鹿屋市等）では、火山活動によって大気中に放出されるSO<sub>2</sub>ガスと粒子状物質（SPM，PM<sub>2.5</sub>）との間に、強い正の相関もしくは正の相関が見られるケースが多数あることを示した。しかしこれらの研究をおこなうにあたって、火山活動によって大気中に放出される粒子状物質と、その他に由来する粒子状物質の

識別に課題が残った。その他に由来する粒子状物質は、人間の社会活動系（ボイラーや焼却炉などばい煙を発生する施設や粉じんを発生する施設、自動車、航空機、船舶等の交通機関）、自然環境系（黄砂、海洋、大気物質の化学反応によって生じた粒子等）等が考えられ、桜島火山の火山活動によって生じる自然災害を評価する際に、これらとの明確な識別は必要である。

本研究は、2014年から2018年における桜島火山の影響がほとんどみられない鹿児島県出水市及び南さつま市で測定された大気中の微小粒子状物質（PM<sub>2.5</sub>）の濃度データを用いて、火山活動以外に由来する粒子状物質の濃度変化を解析し、桜島火山による火山性粒子状物質研究の背景データを得ることを目的とした。

## 2. 微小粒子状物質の測定

### 2.1 測定局の位置

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。本研究でも用いた微小粒子状物質（以下、PM<sub>2.5</sub>）測定局は、出水局（桜島南岳山頂火口か

ら63km)、南さつま局(桜島南岳山頂火口から38km)である。この2局では、PM<sub>2.5</sub>の大気濃度測定以外の測定は実施していない。そのため同時に大気中に存在している浮遊粒子状物質(以下、SPM)の濃度を推定するために、薩摩川内局(桜島南岳山頂火口から43km)で測定されているSPM濃度データを用いて、相関を算出した。この薩摩川内局では、坂本(2019a)、

坂本(2019b)により、SPMとPM<sub>2.5</sub>の大気中濃度は強い正の相関があることが明らかになっている。また2018年において環境省の基準である1時間値100ppbを超えるSO<sub>2</sub>高濃度事象は発生しておらず(坂本, 2019b)、現状では桜島火山の火山活動の影響は非常に小さいと考えられる。

## 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ならびに鹿児島市環境局環境保全課は、県内各地に設置している測定局において、大気中のPM<sub>2.5</sub>ならびにSPM濃度の1時間値を継続して測定している。本研究では、2014年から2018年にかけて出水局ならびに南さつま局において測定されたPM<sub>2.5</sub>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)データを、坂本・木下(2015)と同様の方法で解析した(表1)。解析対象とした有効な測定時数の総計は、出水局46,443時間、南さつま局46,654時間であった。

本研究で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時間値での基準がないため、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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



図1 本研究で用いた測定データの測定局の位置図

表1 2014年～2018年におけるPM<sub>2.5</sub>測定値データ

測定地	年	測定日数	測定時数	未測定時数	欠測率	最高値[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	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
出水市	2013	127	3002	46	1.51%	63	107	3.56%	20	15.75%
	2014	365	8724	36	0.41%	104	534	6.12%	81	22.19%
	2015	365	8733	27	0.31%	113	280	3.21%	55	15.07%
	2016	366	8757	27	0.31%	65	181	2.07%	39	10.66%
	2017	365	8716	44	0.50%	79	132	1.51%	27	7.40%
	2018	365	8731	29	0.33%	64	180	2.06%	37	10.14%
南さつま市	2013	127	3026	22	0.72%	79	175	5.78%	31	24.41%
	2014	365	8717	43	0.49%	86	567	6.50%	97	26.58%
	2015	365	8706	54	0.62%	110	360	4.14%	66	18.08%
	2016	366	8749	35	0.40%	61	185	2.11%	51	13.93%
	2017	365	8720	40	0.46%	63	157	1.80%	45	12.33%
	2018	365	8736	24	0.27%	74	165	1.89%	37	10.14%

※1: 表記2局では、2013年8月23日から測定を開始しているため、2013年は測定日数が127日である。

※2: 高濃度事象発生時数は1時間値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を測定した時数の総計である。

※3: 高濃度事象発生率は、測定時数に占める高濃度事象発生時数の割合である。

※4: 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ものである。

以上」を高濃度事象の基準とした。表中に出てくるPM<sub>2.5</sub>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。

### 3. 出水局におけるPM<sub>2.5</sub>高濃度事象の月別変動

2014年～2018年において出水局で測定された1時間値(計43,661時間)のうち、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるPM<sub>2.5</sub>高濃度事象の月別変動を図2に示す。

この5か年では、特に冬季から春季にかけて高濃度事象が発生することが多く、黄砂の発生時期とされる3月～5月(国立環境研究所, 2003)よりも発生期間は長い。

特に2014年は高濃度事象の発生回数が多く、1月、3月、5月においてその傾向が顕著である。なかでも5月26日～27日にかけては、大陸上の比較的広い範囲に発達した低気圧が存在し、南には東進する梅雨前線が位置しており、鹿児島市上空925hPaの気圧面で風向180°～330°、風速10m/s前後という気象条件下で黄砂が測定された(気象庁, 2014)。この時、黄砂は九州全域で観測されている。

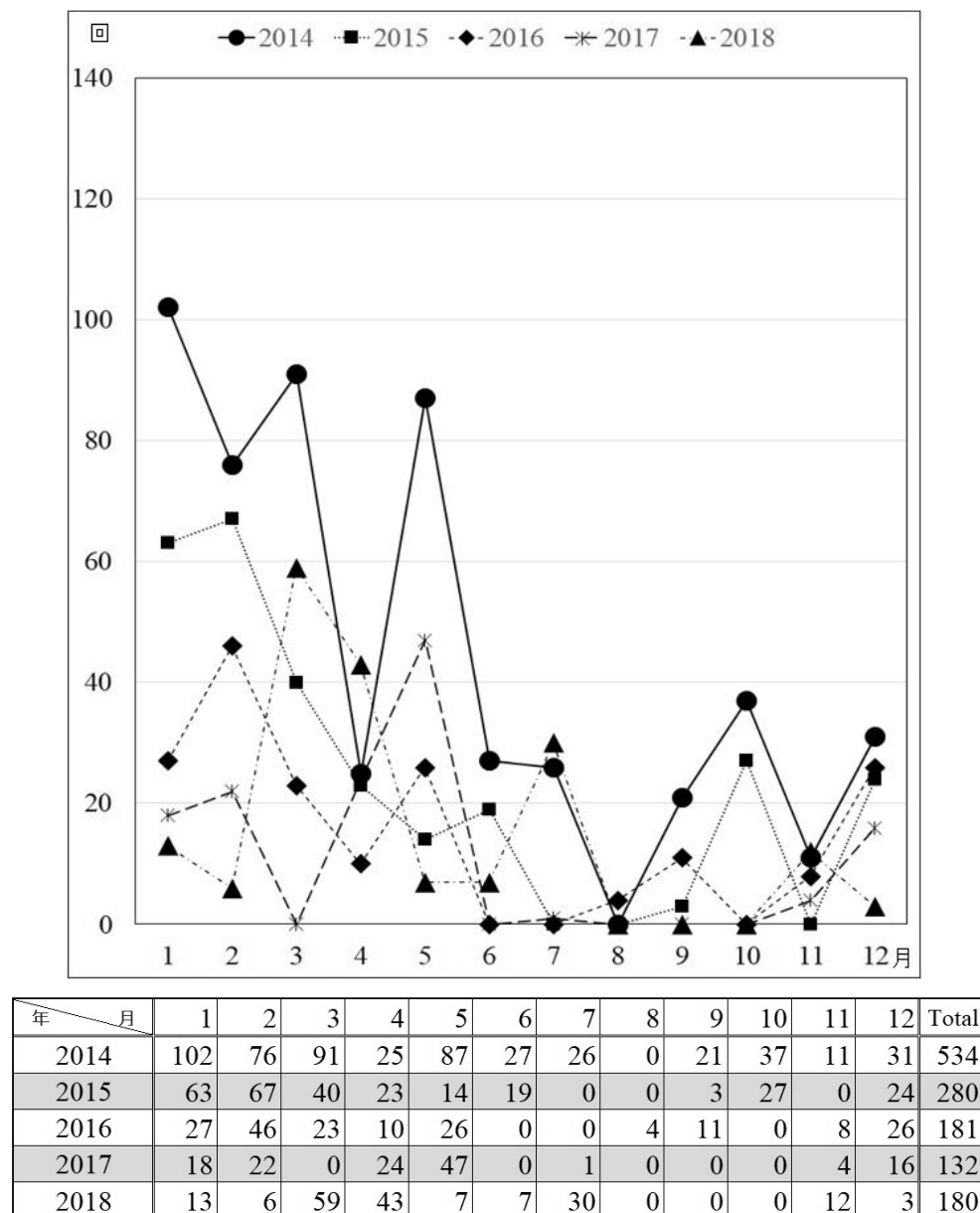


図2 2014年～2018年において出水局で測定されたPM<sub>2.5</sub>高濃度事象回数グラフ

#### 4. 南さつま局におけるPM<sub>2.5</sub>高濃度事象の月別変動

2014年～2018年において南さつま局で測定された1時間値（計43,628時間）のうち、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるPM<sub>2.5</sub>高濃度事象の月別変動を図3に示す。

ここでも解析した5か年のうちでは、特に冬季から春季にかけて高濃度事象が発生することが多く、黄砂の発生時期とされる3月～5月（国立環境研究所，2003）よりも発生期間が長いことがわかる。また出水局と同様に、南さつま局でも8月では高濃度事象の発生件数が急激に減少する傾向がみられる。

#### 5. 出水局と南さつま局のPM<sub>2.5</sub>濃度月別相関

2014年～2018年において出水局と南さつま局で測定された1時間値の月別相関を図4に示す。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、濃度の相関の程度を判断した。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時間値を用いる。これは日平均値を用いると、短時間での急激な変動が埋もれる可能性があるからである。

出水局と南さつま市は、ほぼ南北75kmの距離間で

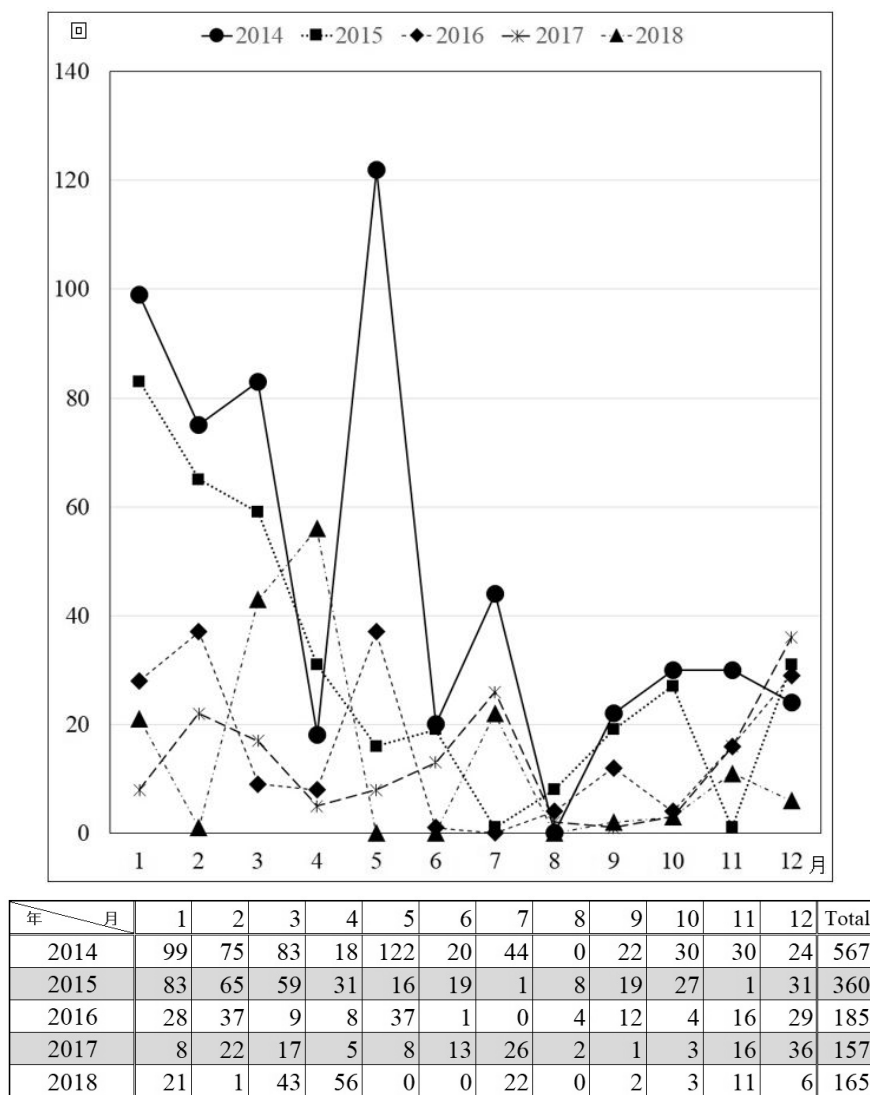


図3 2014年～2018年において南さつま局で測定されたPM<sub>2.5</sub>高濃度事象回数グラフ



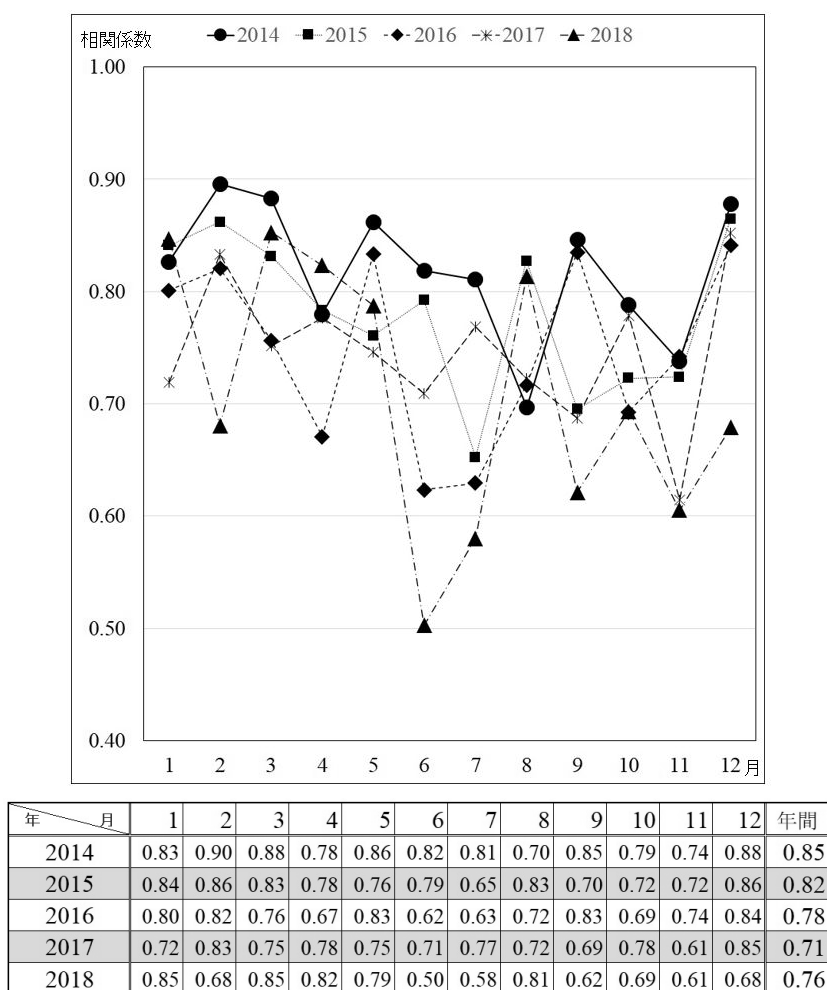


図4 2014年～2018年において出水局・南さつま局で測定されたPM<sub>2.5</sub>濃度1時間値の相関係数グラフ

位置しているが、大気中で測定されるPM<sub>2.5</sub>の濃度には、ほとんどの場合両測定局には、相関係数が0.7以上の強い正の相関が認められる。また年間を通した1時間値の相関では、2014年0.85、2015年0.82、2016年0.78、2017年0.71、2018年0.76となり、これも強い正の相関が認められる。

## 6. 出水局・南さつま局と薩摩川内局におけるSPM・PM<sub>2.5</sub>濃度の月別相関

2014年～2018年において出水局・南さつま局で測定された大気中のPM<sub>2.5</sub>濃度と、薩摩川内局で測定された大気中のSPM濃度の1時間値の月別相関を図5に示す。薩摩川内局は、出水局から見て南南西31km、南さつま局から見て北北西44kmに位置する。

黄砂の場合、タカラマカン砂漠やゴビ砂漠、黄土高原等で強い砂嵐によって巻き上げられると、太陽

放射によって暖められた大気境界層の中で500～2000m以上の高度まで上昇し、風に乗って東方へ移動する。エアロゾル状となった小さな黄砂は、自由大気中で3～4日で日本に到達するが、そのうち粒径の大きなものは次第に落下し、日本に到達する平均粒径は4μm程度と考えられている(国立環境研究所, 2003)。それゆえPM<sub>2.5</sub>よりもサイズの大きいSPMは4μm程度の粒子を含むため、黄砂の挙動を考える際に必要なものである。

図5に示した通り、出水局・南さつま局のPM<sub>2.5</sub>濃度と、薩摩川内局のSPM濃度の1時間値の月別相関には強い正の相関が認められ、それは年間を通して同様である。出水局、南さつま局及び薩摩川内局で測定された粒子状物質について考察する際、薩摩半島は東シナ海の東側に位置しているため、測定される粒子状物質の濃度変化は、国内の社会活動系に由来するものよりも大陸由来のものである可能性が高い。特に冬季から春季にかけて強い正の相関が見

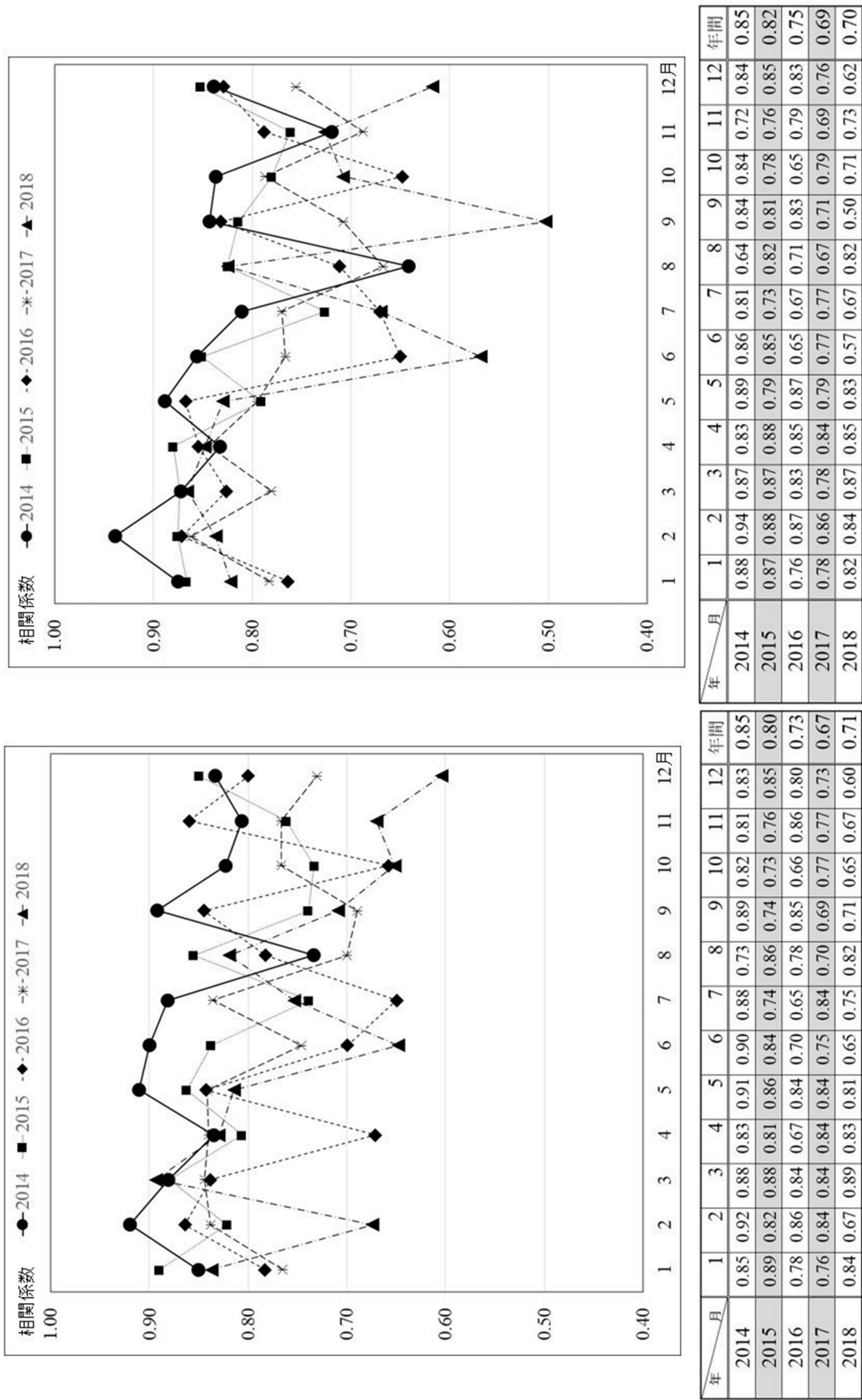


図 5 2014年～2018年における薩摩川内局で測定されたSPM濃度 1 時間値と、出水局（左）・南さつま局（右）で測定されたPM<sub>2.5</sub>濃度 1 時間値の相関係数グラフ

られることから、北～西の季節風が卓越する時期においてその傾向が強いと考えられる。

## 7. まとめ

先行研究から、桜島火山から比較的遠距離に位置する測定局では、SPMとPM<sub>2.5</sub>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ことが明らかにになっている（坂本，2019a）。本研究でもそれを裏付けるような結果となったが、さらに今回の研究対象とした2014年から2018年では、冬季から春季にかけて薩摩半島上で75kmの距離にある出水局ならびに南さつま局において、1時間値という比較的短い時間間隔の中で、PM<sub>2.5</sub>の濃度変化や高濃度事象が同じような傾向を示しながら挙動していることがわかった。またこれはSPMについても同様の濃度変化傾向を持つと推測される。

## 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<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。

## 引用文献・WEBSITE

環境省「微小粒子状物質に係る環境基準について（告示）」  
『<https://www.env.go.jp/>』2009.

- 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』**50**, 1998b, pp.11-27.
- 気象庁「指定気圧面の観測データ」  
『<https://www.data.jma.go.jp/>』2014.
- 国立環境研究所『環境儀』**8**, pp.1-14.
- 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**, 2019a, pp.19-32.
- 坂本昌弥「2018年における鹿児島地方の大気環境～大気中に存在するSO<sub>2</sub>・SPM及びPM<sub>2.5</sub>について～」『VISIO』**49**, 2019b, pp.69-77.