

資料

火山活動が大気環境に与える影響に関する調査研究（第I報）

Surveillance about Influence of Volcanic Activity
on Atmospheric Environment (I)

田知行 紘 太¹ 和 田 加奈子² 佐 保 洪 成
及 川 恵 子 桐 原 仁 志³ 岡 村 俊 則

1 はじめに

当センターでは、これまでに桜島の火山灰の粒度分布は100 μm をピークとした粗大粒子が大半を占めており、10 μm 以下の粒子が1.9～10.3%で存在することを報告している¹⁾。また、常時監視データ、成分分析結果及び気象データ等の解析により本県における微小粒子状物質（以下「PM_{2.5}」という。）及び浮遊粒子状物質（以下「SPM」という。）は桜島の火山活動の影響を受け、質量濃度が上昇することや成分組成が変化することも報告している^{2)～6)}。

今回、桜島の火山活動時におけるPM_{2.5}及びSPMの影響について定量的に調査するために、火山灰の指標となり得る特有の希土類元素を選定し、その濃度からPM_{2.5}及びSPMの火山灰量について推定を行った。また、火山活動時のSO₂濃度とSO₄²⁻濃度の挙動からPM_{2.5}及びSPMの二次生成の影響についても併せて考察を行ったので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に示す。

桜島島内の南東に位置し、桜島の火山活動の影響によりSO₂濃度の上昇がみられる有村局及び桜島火口から南東約30kmに位置する鹿屋局において調査を行った。

また、霧島局、羽島局及び鹿児島市役所局における常時監視データを使用し、調査期間におけるSO₂濃度、PM_{2.5}質量濃度及びSPM質量濃度の比較を行った。

2.2 調査期間

2019年度に14日×4季節の調査を行った。調査期間を表1に示す。



図1 調査地点

表1 調査期間

季節	期間
春季	2019年 5月28日～2019年 6月10日
夏季	2019年 8月24日～2019年 9月 6日
秋季	2019年11月15日～2019年11月28日
冬季	2019年12月 5日～2019年12月18日

1 北薩地域振興局保健福祉環境部
2 県民健康プラザ鹿屋医療センター
3 鹿児島地域振興局保健福祉環境部

〒895-0041 薩摩川内市隈之城町228-1
〒893-0013 鹿屋市札元一丁目8-8
〒899-2501 日置市伊集院町下谷口1960-1

2. 3 SO₂濃度, PM_{2.5}質量濃度及びSPM質量濃度

SO₂濃度, PM_{2.5}質量濃度及びSPM質量濃度は, 常時監視データを使用した。ただし, 有村局にはPM_{2.5}自動測定機が設置されていないため, PM_{2.5}質量濃度1日平均値は, 常時監視マニュアルに基づき, フィルター捕集-質量法により測定を行った。

それぞれの測定局における自動測定機を表2に示す。

表2 自動測定機

測定局	SO ₂	PM _{2.5}	SPM
有村局	紀本電子工業(株) SA-731	-	紀本電子工業(株) PM-711
鹿屋局	紀本電子工業(株) SA-731	紀本電子工業(株) PM-712	紀本電子工業(株) PM-711
霧島局	東亜DKK(株) GFS-312B	紀本電子工業(株) PM-712	東亜DKK(株) DUB-317C
羽島局	紀本電子工業(株) SA-731	紀本電子工業(株) PM-712	紀本電子工業(株) PM-711
鹿児島市役所局	紀本電子工業(株) SA-731	東亜DKK(株) FPM-377	紀本電子工業(株) PM-711

(注) 上段は製造会社名, 下段には機種名を記載している。

2. 4 捕集

PM_{2.5}は, 環境大気常時監視マニュアル第6版⁷⁾(以下「常時監視マニュアル」という。)及び大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})成分測定マニュアル⁸⁾(以下「成分測定マニュアル」という。)に基づき, PM_{2.5}サンプラ(Thermo社製, 2025i)を使用して24時間ごとにPTFEフィルタに捕集を行った。

また, 火山灰は有村局にPM_{2.5}サンプラ設置時に合わせてプラスチック製容器を設置したところ, 秋季に採取された。

SPMは, 自動測定機においてPTFEテープろ紙に1時間ごとにスポットとして捕集され, β線吸収法により質量濃度の測定が行われる。今回は, 有村局及び鹿屋局に設置されている自動測定機のテープろ紙を使用した。

2. 5 分析項目

火山活動時のSO₂による二次生成の影響を考察するためにSO₄²⁻を, PM_{2.5}及びSPMの火山灰含有量を推定するために無機元素を分析項目とした。

2. 6 成分分析

2. 6. 1 SO₄²⁻(イオンクロマトグラフ法)

(1) PM_{2.5}

成分測定マニュアルに基づき, 成分分析を行った。サポートリングを切除したフィルタの半分を超純水10mLで20分間超音波抽出を行い, イオンクロマトグラフ(日本ダイオネクス社製, ICS-1600)により測定した。

(2) SPM

成分測定マニュアルに準じ, 鹿屋局において2018年度にSPM質量濃度1時間値が50µg/m³を超過したときのテープろ紙を使用し, 分析に使用するスポットを1時間分, 2時間分, 3時間分及び4時間分で検討を行ったところ, 3時間分のスポットを使用することで分析が可能であることが分かった。

テープろ紙の半分を使用し, PM_{2.5}と同様の前処理及び測定を行った。

ブランクは, テープろ紙の未捕集部分を使用した。

2. 6. 2 無機元素(酸分解/ICP-MS法)

(1) PM_{2.5}

成分測定マニュアルに基づき, 成分分析を行った。サポートリングを切除したフィルタの半分をPTFE製容器に入れ, 硝酸7mL, 過酸化水素1mL, フッ化水素酸2mLを加えてマイクロウェーブ分解装置(Milestone社製, ETHOS EASY)によりマイクロ波加熱分解を行い, フィルタを除去した後, 液量が0.1mL程度になるまで加熱蒸発させ, 5%硝酸水溶液15mLで回収後, 50mLに定容したものをICP-MS(Agilent社製, Agilent 7900)により測定した。

(2) SPM

成分測定マニュアルに準じ, SO₄²⁻の成分分析と同様に分析手法の検討を行ったところ, 3時間分のスポットを使用することで分析が可能であることが分かった。

テープろ紙の半分を使用し, PM_{2.5}と同様の前処理及び測定を行った。

ブランクは, テープろ紙の未捕集部分を使用した。

(3) 火山灰

成分測定マニュアルに準じ, 成分分析に必要な火山灰の量について検討したところ, 10mg程度で分析が可能であることが分かった。

PM_{2.5}と同様の前処理及び測定を行った。

3 解析対象日の選定

気象庁では, 桜島の噴火の観測について, 爆発地震を観測し, 一定規模以上の空振又は大きな噴石の飛散を観測した場合又は噴煙の高さが火口の縁から概ね1000m以

上となった場合のみを公表している⁹⁾。

調査期間中の噴火の観測回数は春季が0回、夏季が1回（うち爆発1回）、秋季が55回（うち爆発33回）、冬季が40回（うち爆発26回）であり¹⁰⁾、秋季及び冬季に有村局においてSO₂濃度が上昇していることから（図2）、秋季及び冬季から解析対象日の選定を行った。

なお、春季及び夏季については、噴火の観測回数が少なく、いずれの測定地点もSO₂濃度が低かったことから除外した。

秋季及び冬季のPM_{2.5}質量濃度及びSPM質量濃度1日平均値をそれぞれ図3及び図4に示す。

3. 1 秋季

11月19日については、有村局においてSO₂濃度及びSPM質量濃度が他地点、前後日より高く、PM_{2.5}質量濃度も前後日より高かった。

気象庁の発表では、19日5:27に爆発が発生し、噴煙の流向が南東であった¹⁰⁾ことから、桜島の火山活動の影響を受けたことが考えられる。

以上より、秋季については11月19日の前後日を含めた11月18日～20日を解析の対象日とした。

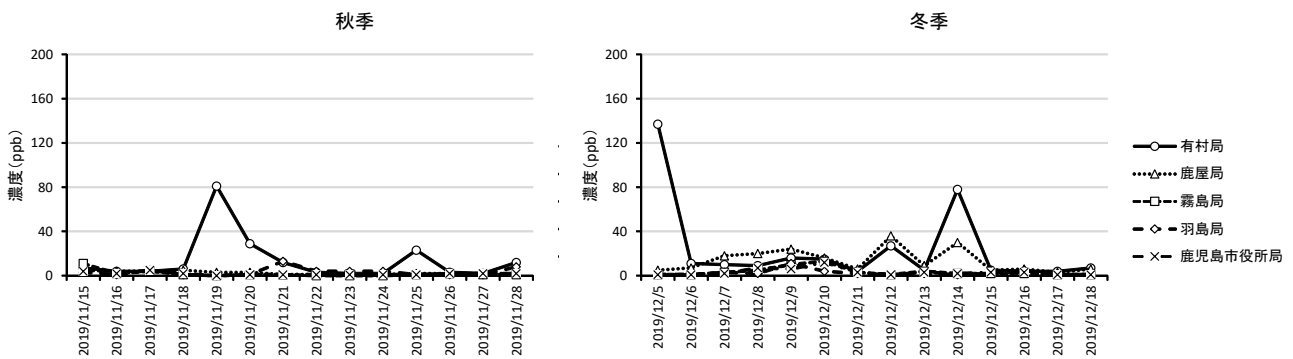


図2 SO₂濃度1日平均値

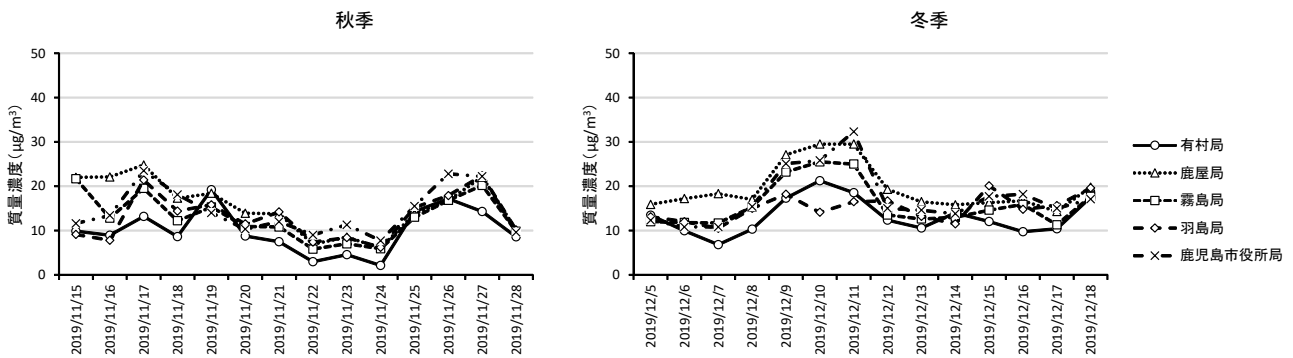


図3 PM_{2.5}質量濃度1日平均値

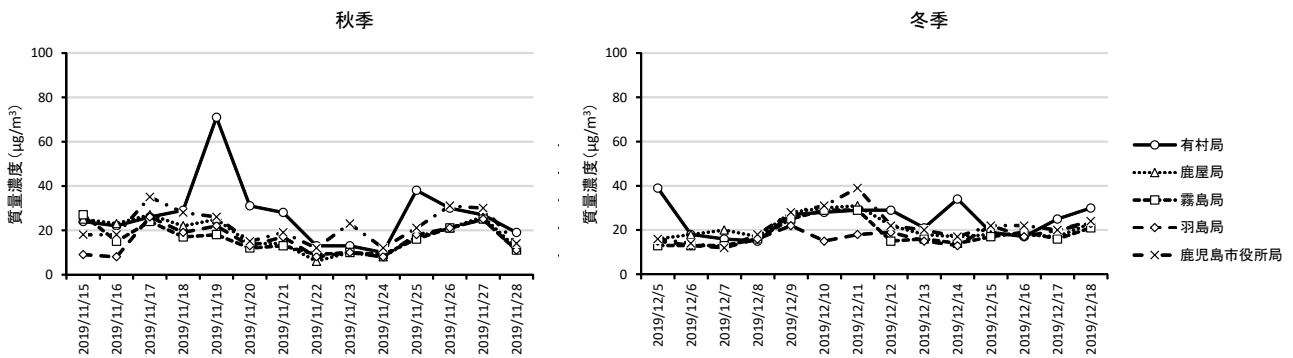


図4 SPM質量濃度1日平均値

3. 2 冬季

12月5日及び14日については、有村局においてSO₂濃度及びSPM質量濃度が他地点、前後日より高かった。

気象庁の発表では、5日17:56、14日13:06及び14日14:24に爆発が発生し、いずれも噴煙の流向が南東であった¹⁰⁾ことから、桜島の火山活動の影響を受けたことが考えられる。

以上より、冬季については12月5日及び14日の前後日を含めた12月5日～6日及び13日～15日を解析の対象日とした。

4 結果及び考察

4. 1 SO₄²⁻

4. 1. 1 PM_{2.5}

有村局及び鹿屋局におけるSO₂濃度及びPM_{2.5}中のSO₄²⁻濃度を図5に示す。

有村局においてSO₂濃度とSO₄²⁻濃度の挙動は類似しておらず、火山活動の影響を受けSO₂濃度が上昇したときにも、SO₄²⁻濃度に特段の上昇はみられなかった。

鹿屋局においては、秋季はSO₂濃度及びSO₄²⁻濃度がいずれも小さかった。また、冬季はSO₂濃度とSO₄²⁻濃度の挙動が類似しておらず、SO₄²⁻濃度に特段の上昇がみられなかったことから、いずれの地点においてもSO₂による二次生成の影響は小さかったことが考えられる。

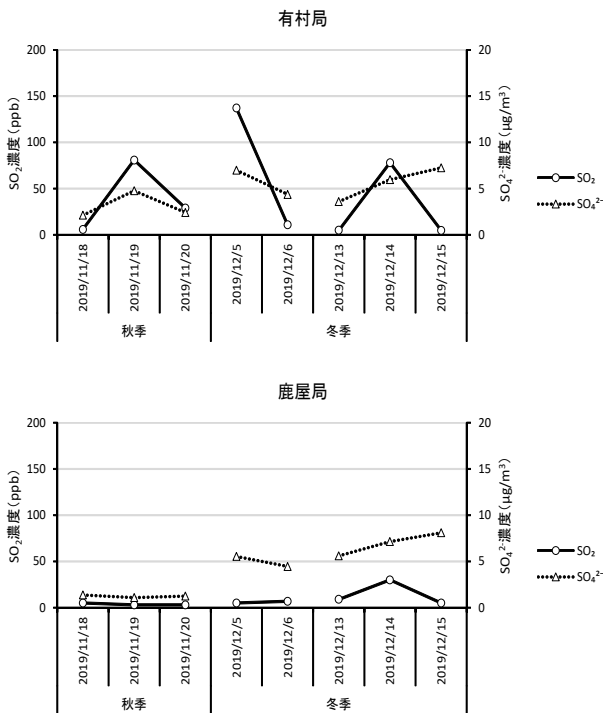


図5 SO₂濃度及びPM_{2.5}中のSO₄²⁻濃度

4. 1. 2 SPM

有村局におけるSO₄²⁻濃度、SPM質量濃度及びSO₂濃度の各3時間平均値を図6に示す。

SO₄²⁻濃度はSO₂濃度の挙動と類似しているが、SPM質量濃度と比較して小さいことから、大気中のSO₂濃度が高くて二次生成の影響は小さいと考えられる。

4. 2 無機元素

4. 2. 1 PM_{2.5}

有村局におけるPM_{2.5}中の無機元素のうち希土類元素濃度を表3に示す。

有村局においてY, Pr, Nd及びDyは調査期間中で桜島の火山活動の影響がみられなかった時期には定量されなかったが、SO₂濃度が上昇した日を中心に検出又は定量された。

一方、鹿屋局においては、これらの元素はいずれも定量されなかった。

また、La及びCeは火山活動の影響の有無にかかわらず検出又は定量される傾向があった。

これらのことから、Y, Pr, Nd及びDyが火山灰の指標となり得ると考えられる。

4. 2. 2 SPM

有村局におけるSPM中の無機元素のうち希土類元素濃度を表4に示す。なお、テープろ紙3時間分のスポット1日分(8検体)の分析結果からSPM中の無機元素濃度1日平均値を算出した。

Sc, Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er及びYbは、SPM質量濃度が高かった11月19日、12月5日及び14日のいずれかの日に定量された。これらの元素のうち、Sc, Y, Pr, Nd及びDyは上記の全ての日で定量された。

また、La及びCeは火山活動の影響の有無にかかわらず検出又は定量される傾向があった。

これらのことから、Sc, Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er及びYbは火山灰の指標となる可能性があり、そのうちSc, Y, Pr, Nd及びDyが特に有用な指標となり得ると考えられる。

4. 2. 3 火山灰

無機元素のうち希土類元素の分析結果及び文献値¹¹⁾を表5に示す。

当センターでこれまで知見のなかった元素を含め、全ての項目で定量された。

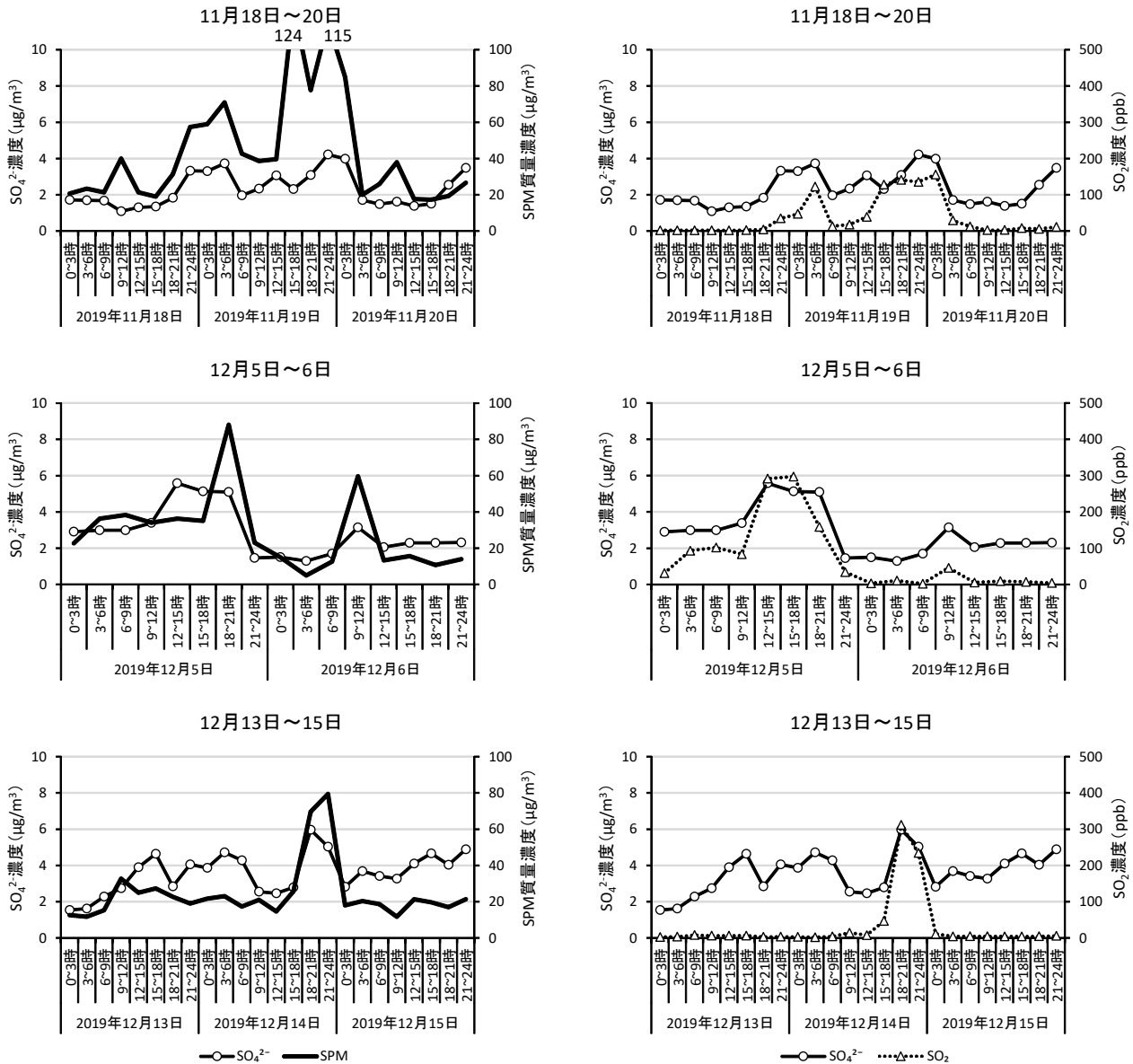


図6 SPMのSO₄²⁻濃度、SPM質量濃度、SO₂濃度の3時間平均値（有村局）

表3 PM_{2.5}中の希土類元素濃度（有村局）

(単位：ng/m³)

季節	月日	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
秋季	11/18	(0.054)	0.069	0.069	0.152	0.014	0.058	(0.011)	ND	(0.012)	ND	0.0103	(0.0025)	(0.007)	ND	(0.007)	ND
	11/19	(0.022)	(0.020)	(0.024)	(0.057)	(0.005)	(0.026)	ND	ND	ND	ND	(0.0039)	ND	ND	ND	ND	ND
	11/20	(0.042)	0.067	0.046	0.105	0.012	0.050	(0.011)	ND	ND	ND	0.0118	ND	(0.005)	ND	(0.008)	ND
冬季	12/ 5	(0.032)	(0.037)	0.049	0.099	(0.010)	0.044	ND	ND	(0.009)	ND	(0.008)	ND	(0.006)	ND	ND	ND
	12/ 6	ND	ND	(0.018)	(0.038)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	12/13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	12/14	(0.057)	0.075	0.072	0.132	0.018	0.074	(0.016)	ND	(0.018)	(0.0021)	(0.014)	ND	(0.008)	ND	(0.009)	ND
	12/15	ND	ND	0.043	(0.038)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(注) NDは検出下限値未満、()は検出下限値以上定量下限値未満を示す。

有効数字を3桁としたが、定量下限値（有効数字2桁）の桁まで示した。

表4 SPM中の希土類元素濃度 (有村局)

(単位: ng/m³)

季節	月日	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
秋季	11/18	(0.057)	(0.072)	0.097	0.215	0.0203	0.071	ND	ND	(0.016)	ND	(0.017)	ND	(0.013)	ND	(0.009)	ND
	11/19	0.393	0.520	0.508	1.13	0.123	0.492	0.105	0.026	0.101	(0.015)	0.099	(0.020)	0.055	(0.008)	0.054	(0.008)
	11/20	0.133	0.178	0.163	0.387	0.0392	0.162	(0.040)	(0.009)	(0.032)	ND	0.034	(0.009)	(0.021)	ND	(0.019)	ND
冬季	12/ 5	0.164	0.23	0.221	0.431	0.050	0.201	(0.044)	(0.011)	0.045	(0.007)	0.045	(0.009)	(0.025)	(0.004)	(0.024)	ND
	12/ 6	0.064	(0.09)	0.067	0.130	0.016	0.067	(0.022)	ND	(0.018)	ND	(0.018)	ND	(0.012)	ND	(0.009)	ND
	12/13	ND	ND	(0.017)	0.0260	(0.005)	(0.018)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	12/14	0.128	0.17	0.122	0.250	0.031	0.125	(0.036)	(0.011)	(0.032)	(0.006)	0.032	(0.008)	(0.021)	(0.004)	0.016	ND
	12/15	ND	ND	(0.018)	0.013	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(注) NDは検出下限値未満, ()は検出下限値以上定量下限値未満を示す。

有効数字を3桁としたが, 定量下限値 (有効数字2桁) の桁まで示した。

検出下限値未満のデータは当該検出下限値に1/2を乗じて得られた値を用い, 1日平均値を算出した。

表5 火山灰中の希土類元素濃度

(単位: µg/g)

	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
分析結果	28.1	22.2	13.3	30.6	3.60	15.0	3.62	1.01	3.85	0.627	4.01	0.831	2.50	0.362	2.44	0.362
文献値 ¹⁾	29	-	16	40	-	-	3.1	1.4	-	-	-	-	-	-	2.3	0.42

(注) 有効数字を3桁 (文献値の有効数字は2桁) とした。

4. 3 火山灰濃度の推定

4. 2の結果から, 有村局におけるPM_{2.5}及びSPMに含まれる火山灰濃度について, 火山灰の指標となり得る希土類元素ごとに推定を行った。

4. 3. 1 PM_{2.5}

Y, Pr, Nd及びDyが全て火山灰由来であると仮定し, PM_{2.5}に含まれる火山灰の濃度を次式により推定した。

$$\text{火山灰の推定濃度 (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = \text{PM}_{2.5}\text{の希土類元素濃度 (ng/m}^3\text{)} / \text{火山灰の希土類元素濃度 (}\mu\text{g/g)} \times 1000$$

有村局におけるPM_{2.5}に含まれる火山灰の推定濃度を算出すると, 表6のとおりとなる。

調査期間中のPM_{2.5}に含まれる火山灰の濃度は最大5.0µg/m³であったと推定された (12月14日)。

4. 3. 2 SPM

Sc, Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er及びYbが全て火山灰由来であると仮定し, SPMに含まれる火山灰の濃度を次式により推定した。

$$\text{火山灰の推定濃度 (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = \text{SPMの希土類元素濃度 (ng/m}^3\text{)} / \text{火山灰の希土類元素濃度 (}\mu\text{g/g)} \times 1000$$

有村局におけるSPMに含まれる火山灰の推定濃度を算出すると, 表7のとおりとなる。

調査期間中のSPMに含まれる火山灰の濃度は最大34µg/m³であったと推定された (11月19日)。

表6 PM_{2.5}に含まれる火山灰の推定濃度 (有村局)

(単位: µg/m³)

季節	月日	Y	Pr	Nd	Dy	PM _{2.5} 質量濃度 1日平均値
秋季	11/18	3.1	3.9	3.9	2.6	8.6
	11/19	(0.9)	(1.4)	(1.7)	(1.0)	19.2
	11/20	3.0	3.5	3.4	2.9	8.8
冬季	12/ 5	(1.7)	2.9	2.9	(1.9)	13.4
	12/ 6	-	-	-	-	10.0
	12/13	-	-	-	-	10.6
	12/14	3.4	5.0	4.9	(3.5)	14.0
	12/15	-	-	-	-	12.0

(注) ()は定量下限値未満の濃度を使用して算出したことを示す。

表7 SPMに含まれる火山灰の推定濃度（有村局）

(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

季節	月日	Sc	Y	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	SPM質量濃度 1日平均値
秋季	11/18	(2)	(3)	6	5	-	-	(4)	(4)	(5)	(4)	29
	11/19	14	23	34	33	29	26	26	25	22	22	71
	11/20	5	8	11	11	(11)	(9)	(8)	8	(8)	(8)	31
冬季	12/ 5	6	10	14	13	(12)	(11)	12	11	(10)	10	39
	12/ 6	2	(4)	4	4	(6)	-	(5)	(4)	(5)	(4)	18
	12/13	-	-	(1)	(1)	-	-	-	-	-	-	21
	12/14	5	8	9	8	(10)	(11)	(8)	8	(8)	7	34
	12/15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19

(注) ()は定量下限値未満の濃度を使用して算出したことを示す。

5 まとめ

2019年度に有村局における $\text{PM}_{2.5}$ 及びSPMが桜島の火山活動から受けた影響について定量したところ、以下のことが分かった。

- 1) 調査期間中、 $\text{PM}_{2.5}$ 及びSPMへの SO_2 による二次生成の影響は小さかったと考えられる。
- 2) $\text{PM}_{2.5}$ はY, Pr, Nd及びDyが、SPMはSc, Y, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er及びYbが火山灰の指標となる可能性があり、SPMについては、特にSc, Y, Pr, Nd及びDyが有用な指標となり得ると考えられる。
- 3) $\text{PM}_{2.5}$ に含まれる火山灰の濃度は最大で $5.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定された。
- 4) SPMに含まれる火山灰の濃度は最大で $34\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定された。

今回、2019年度の試料について成分分析及び解析を実施したところ、鹿屋局において桜島の火山活動の影響が確認されなかったが、今後も引き続き調査を行い、有村局及び鹿屋局における大気環境が桜島の火山活動から受ける影響について知見を蓄積したい。

謝辞

有村局における $\text{PM}_{2.5}$ サンプラの設置及びSPM自動測定機テープろ紙の提供に御協力をいただいた鹿児島市環境保全課に深謝いたします。

参考文献

- 1) 宝来俊一, 西原充貴, 右田譲; 桜島火山灰の物理的・化学的性状, 鹿児島県環境センター所報, 9, 73

～78 (1993)

- 2) 肥後さより, 四元聡美, 他; 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), 本誌, 15, 45～49 (2014)
- 3) 西中須暁子, 東小菌卓志, 他; 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), 本誌, 17, 43～50 (2016)
- 4) 田知行紘太, 福田哲也, 他; 鹿児島県における $\text{PM}_{2.5}$ の地域特性と発生源解析に関する調査研究 (第I報), 本誌, 18, 62～67 (2017)
- 5) 田知行紘太, 和田加奈子, 他; ケイ素の分析結果からみる $\text{PM}_{2.5}$ の発生源解析, 本誌, 19, 92～98 (2018)
- 6) 田知行紘太, 和田加奈子, 他; 鹿児島県における $\text{PM}_{2.5}$ の地域特性と発生源解析に関する調査研究 (第II報), 本誌, 20, 35～47 (2019)
- 7) 環境省水・大気環境局; 環境大気常時監視マニュアル第6版 (平成22年3月)
- 8) 環境省水・大気環境局; 大気中微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$) 成分測定マニュアル (平成24年4月19日)
- 9) 気象庁; 噴火に関する用語,
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/kazanyougo/funka.html> (2021/2/24アクセス)
- 10) 気象庁; 火山に関する情報の発表状況,
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/volinfo.php> (2021/2/24アクセス)
- 11) 大津睦雄, 宝来俊一, 柳川民夫; 桜島火山灰の元素組成と水溶性イオン, 鹿児島県環境センター所報, 4, 59～67 (1988)