

ノート

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）

西中須 暁 子 東小菌 卓 志 田知行 紘 太
 福 田 哲 也 江 下 聡 美¹ 平 瀬 洋 一

要 旨

3年間の大気常時監視におけるPM2.5とSPMの関係については、測定局間で差はあるものの、有意に高い相関がみられた。それぞれの項目における測定局間の相関も鹿屋局を除き、有意に高く、県内各局におけるPM2.5の日平均値が高い日に黄砂及び煙霧（以下「黄砂等」という。）が観測されている割合が高かったことから、越境由来の影響を大きく受けていることが示唆された。一方、特定の局のみで短時間の濃度上昇がみられる場合は、桜島の噴煙に多く含まれる二酸化硫黄の大幅な上昇や風向きから、桜島による影響が推察された。

キーワード：PM2.5，常時監視，質量濃度，二酸化硫黄

1 はじめに

本県におけるPM2.5の実態を把握するため、2011年度からPM2.5自動測定機を順次整備し2015年度までに県内6箇所まで測定を開始しており、成分分析についても、イオン成分を2013年秋季から、無機元素成分を2014年秋季から開始したところである。

前報¹⁾において、2013年度の常時監視における質量濃度測定結果について報告したが、その後、実施した成分分析結果及び2014～2015年度の常時監視結果を用いて県内における粒子状物質の地域特性について検討したので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に示す。PM2.5自動測定機が設置してある県の測定局6局（一般環境大気測定局（以下「一般局」という。）5局，自動車排出ガス測定局（以下「自排局」という。）1局）を対象とした。出水局，薩摩川内局及び羽島局は県の北薩地域に，南さつま局は南薩地域にありこれらは大陸に近い県の西側に位置する。霧島局は

県央地域にあり桜島の北方向に，鹿屋局は大隅地域にあり桜島の南東方向に位置する。なお，SPM自動測定機は，出水局及び南さつま局を除く9局に設置してある。

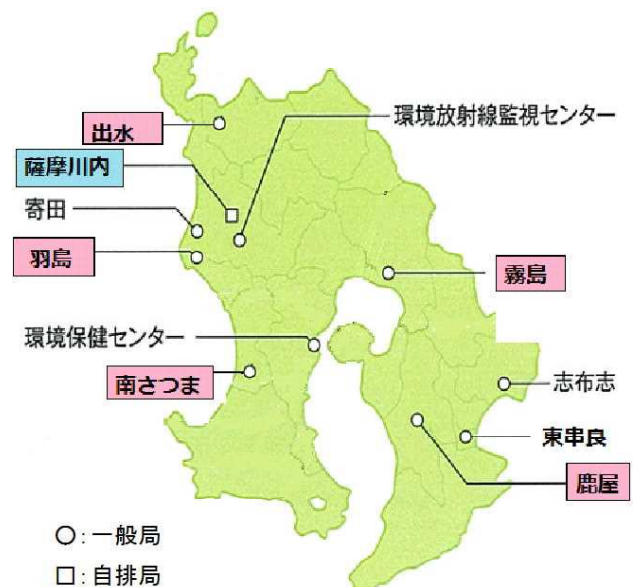


図1 調査地点

鹿児島県環境保健センター

1 北薩地域振興局保健福祉環境部出水支所

〒892-0835 鹿児島市城南町18番地

〒899-0202 出水市昭和町18-18

2. 2 調査期間

2013年4月1日から2016年3月31日までの常時監視測定結果を用いた。ただし、出水局及び南さつま局においては、2013年9月より測定を開始している。

2. 3 調査項目

各測定局における常時監視測定結果を用いた。なお、出水局及び南さつま局には、SPM自動測定機は設置されていない。

また、成分分析の試料採取を、鹿屋局及び環境保健センター局で実施した。成分分析に用いた総質量濃度は自動測定機の値を使用した。環境保健センター局には自動測定機がないため、参考値である。

黄砂等の気象条件については、鹿児島県地方気象台における気象月報から、鹿児島県本土のほぼ中心に位置する鹿児島島の観測結果を用いた。

3 結果

3. 1 質量濃度の状況

2013年度から2015年度のPM2.5年平均値の経年変化を図2に示す。年平均値はほぼ横ばいで、2015年度の出水局及び南さつま局を除いて、いずれも長期基準（年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下）を達成していなかった。また、既報²⁾でも報告したように、PM2.5の月平均値は、全ての測定局で、春季が最も高く、夏季が低く、秋季以降にまた高くなる季節変動を示した。

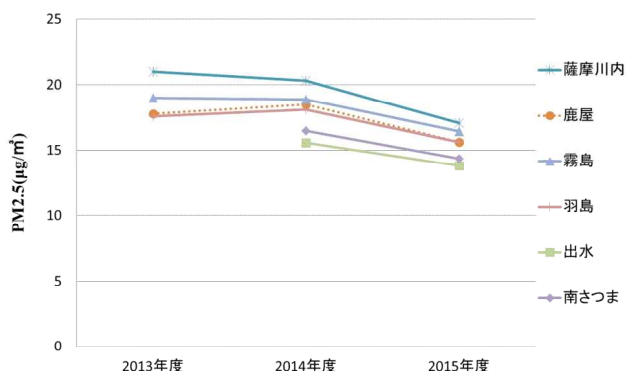


図2 各測定局のPM2.5の経年変化

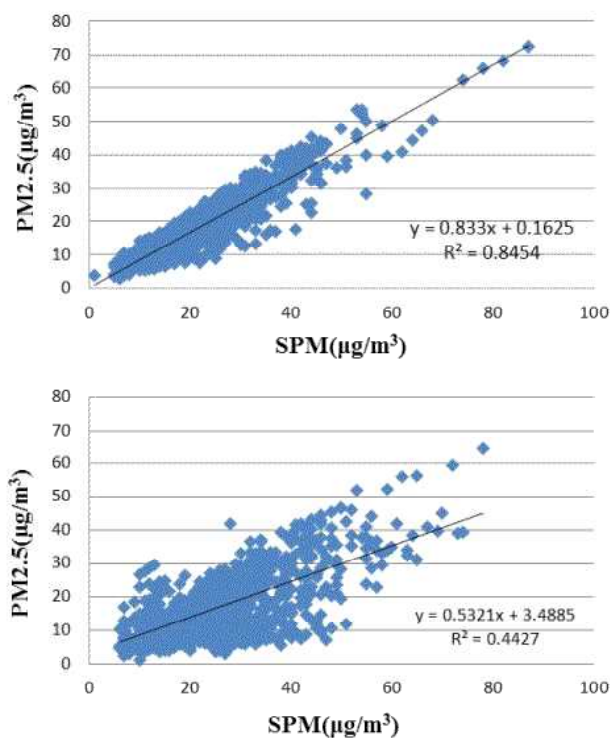
3. 2 SPMとPM2.5の相関性

各測定局におけるSPMとPM2.5の日平均値の相関係数について表1に、それぞれの測定局のPM2.5とSPMの相関関係を図3に示す。相関係数は、0.665～0.981であった。測定局別では、鹿屋局で低く粒子状物質中のPM2.5

の占める割合が低いことを示し、自排局である薩摩川内局で高くなり、PM2.5の占める割合も高かった。また、鹿屋局において、季節的な影響として、夏から秋にかけて特に相関性が低くなる傾向が見られた。その他の測定局においては、年間を通じて相関に大きな変動は見られなかった。

表1 SPMとPM2.5の相関係数

	鹿屋	薩摩川内	霧島	羽島
全体	0.665	0.919	0.901	0.854
春	0.870	0.968	0.967	0.960
夏	0.768	0.890	0.920	0.768
秋	0.723	0.930	0.903	0.916
冬	0.918	0.970	0.981	0.962



(上:薩摩川内局,下:鹿屋局)

図3 PM2.5とSPMの日平均値相関

3. 3 SPM及びPM2.5における測定局間の相関

各測定局間におけるPM2.5の日平均値の相関係数を表2に、SPMの日平均値の相関係数を表3に示す。

3. 3. 1 PM2.5の相関

鹿屋局においては、他の測定局との相関が低い。鹿屋局を除く測定局については、周囲に特異な発生源がなく、

互いに相関が高いことから、広域的な要因の影響を受けていると考えられ、鹿屋局においては、他局に比べ、地域発生源による影響があると考えられる。

3. 3. 2 SPMの相関

PM2.5に比べ、測定局間で差が生じており、地域発生源による影響があると思われる。特に鹿屋局において、他測定局との相関が低かった。

表2 各測定局間におけるPM2.5の日平均値の相関係数

	薩摩川内局	霧島局	羽島局	出水局	南さつま局
鹿屋局	0.894	0.933	0.874	0.867	0.890
薩摩川内局		0.933	0.943	0.948	0.949
霧島局			0.909	0.923	0.926
羽島局				0.936	0.951
出水局					0.932

表3 各測定局間におけるSPMの日平均値の相関係数

	薩摩川内	霧島	羽島	環境保健センター	寄田	環境放射線監視センター	志布志	東串良
鹿屋局	0.679	0.817	0.748	0.785	0.752	0.791	0.842	0.883
薩摩川内局		0.890	0.882	0.743	0.890	0.913	0.753	0.748
霧島局			0.848	0.844	0.852	0.901	0.874	0.857
羽島局				0.762	0.951	0.887	0.788	0.744
環境保健センター					0.786	0.841	0.828	0.881
寄田						0.914	0.770	0.754
環境放射線監視センター							0.838	0.823
志布志								0.892

3. 4 気象現象等と基準値超過との関係

2013年度から2015年度までの3年間で、いずれかの測定局で短期基準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した日（以下「超過日」という。）とその日の各測定局における日平均値を表4に示す。なお、表中の下線のある日付は黄砂等の観測日を表しており、日平均値の網掛けの数値は基準値より大きいことを表している。

いずれかの測定局で基準超過日となった日数は94日であり、その内黄砂等が観測された日数は58日あり、超過日の61.7%を占めた。

各測定局における超過日に、黄砂等が観測された割合及び総日数に対する超過日の割合について表5に示す。超過日に黄砂等が観測された割合は66.2～87.5%であり、総日数に対する超過日の割合は2.0～5.9%であった。

短期基準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に超過日と判断しているため、僅かに $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回ったため超過日にはなっていない測定局もあり、特に多くの測定局で基準超過となった日には、基準値を超過しなかった測定局においても基準値に近い値を示すことが多かった。このことは既報³⁾において、本県における高濃度事例は、後方流跡線等の解析により大陸からの移流による越境の影響が大きいことと一致する。

表4 PM2.5の基準超過日と日平均値

(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 日)

超過日	鹿屋	出水	薩摩川内	霧島	羽島	南さつま	超過日	鹿屋	出水	薩摩川内	霧島	羽島	南さつま
2013. 4. 16	30.8		29.4	35.3	29.7		2014. 5. 27	35.3	31.3	39.7	38.0	48.1	40.9
2013. 4. 19	37.2		33.1	41.0	26.9		2014. 5. 28	35.6	32.3	40.9	41.5	45.1	36.4
2013. 5. 5	32.7		32.8	39.1	27.3		2014. 5. 29	38.3	34.9	44.5	43.2	45.8	41.6
2013. 5. 8	23.8		41.3	42.6	31.6		2014. 5. 30	41.0	41.1	50.5	49.3	43.8	40.8
2013. 5. 9	32.0		36.9	43.7	26.9		2014. 5. 31	37.8	39.8	47.2	49.3	39.8	38.2
2013. 5. 12	26.6		40.9	33.5	47.5		2014. 6. 1	32.0	33.3	38.5	43.3	30.5	31.5
2013. 5. 13	25.3		50.1	28.9	42.8		2014. 6. 14	31.1	28.8	33.7	37.3	35.3	29.8
2013. 5. 21	38.3		45.0	37.5	45.1		2014. 7. 1	41.8	40.3	46.2	43.3	40.2	38.2
2013. 5. 22	59.4		72.4	67.3	76.8		2014. 7. 2	36.5	24.5	33.3	36.8	32.6	35.1
2013. 5. 23	64.7		68.0	69.0	66.2		2014. 7. 11	34.1	27.4	36.3	28.3	32.4	32.0
2013. 5. 24	52.4		65.8	61.7	58.2		2014. 7. 29	28.7	25.2	31.9	36.6	28.8	27.1
2013. 5. 25	29.6		48.9	35.5	41.4		2014. 9. 10	31.4	21.0	27.5	36.0	29.7	26.1
2013. 5. 30	37.8		35.7	41.7	31.4		2014. 9. 11	35.0	28.7	32.4	38.3	34.0	26.5
2013. 8. 12	39.0		31.0	33.2	26.1		2014. 9. 12	25.9	28.8	40.1	30.8	36.7	31.9
2013. 8. 13	39.4		27.4	32.7	19.7		2014. 9. 30	36.9	33.3	36.3	38.3	29.2	26.8
2013. 8. 14	39.8		27.5	31.7	20.8		2014. 10. 17	36.4	25.3	28.9	37.3	21.5	30.0
2013. 8. 15	41.0		25.3	44.0	16.4		2014. 11. 16	36.6	16.8	23.9	21.8	16.8	29.7
2013. 8. 16	33.0		34.3	29.5	36.6		2014. 12. 30	45.0	31.8	41.1	38.3	38.7	32.3
2013. 10. 31	40.2	34.7	41.5	40.6	41.6	34.7	2015. 1. 1	45.0	7.3	9.9	10.3	11.7	6.9
2013. 11. 1	44.4	38.8	52.2	47.7	46.5	45.3	2015. 1. 10	40.4	36.6	41.6	35.1	41.2	34.8
2013. 11. 2	29.9	28.3	39.0	35.7	31.7	29.7	2015. 1. 11	42.0	34.1	41.8	38.1	37.5	38.3
2013. 11. 8	41.9	38.6	41.9	46.0	47.4	42.7	2015. 1. 17	39.5	30.4	36.8	39.2	34.4	29.8
2013. 11. 9	43.0	34.3	42.0	40.5	38.6	35.6	2015. 1. 19	42.9	32.3	39.8	32.7	36.7	31.3
2013. 11. 17	37.8	25.3	31.3	35.9	34.8	31.3	2015. 1. 20	46.7	30.2	43.5	39.9	29.0	28.3
2013. 12. 5	38.0	24.3	40.1	32.9	29.7	32.4	2015. 1. 21	35.7	33.1	37.8	36.4	29.4	27.0
2013. 12. 6	36.1	29.6	42.5	35.5	37.6	35.0	2015. 1. 27	33.0	27.5	31.4	30.6	36.3	30.1
2013. 12. 7	29.8	22.3	33.9	36.5	19.5	28.7	2015. 2. 5	46.6	32.7	40.3	40.4	40.2	32.1
2013. 12. 31	28.2	25.0	34.6	32.0	35.2	29.1	2015. 2. 16	26.1	23.6	31.6	25.7	35.9	28.1
2014. 1. 3	37.3	24.5	41.0	33.3	28.5	28.5	2015. 2. 17	36.1	30.5	37.0	33.3	36.0	29.7
2014. 1. 12	31.8	28.6	39.1	30.3	39.4	29.1	2015. 2. 18	44.0	33.7	39.5	35.8	38.0	32.1
2014. 1. 13	39.9	38.4	45.2	43.5	48.6	35.5	2015. 2. 24	22.8	25.4	28.0	28.8	36.7	26.3
2014. 1. 14	32.5	22.5	39.0	38.1	34.4	31.3	2015. 3. 14	37.5	36.3	38.8	34.5	39.3	35.7
2014. 1. 18	40.5	41.7	41.2	45.4	44.0	32.2	2015. 3. 22	56.1	54.1	62.4	54.3	64.0	52.9
2014. 1. 20	29.9	26.8	36.7	27.4	32.3	26.8	2015. 3. 27	38.4	20.8	30.9	32.0	25.3	31.2
2014. 1. 31	51.8	43.2	53.4	46.5	57.0	55.0	2015. 4. 2	21.3	35.5	26.0	31.6	25.7	22.6
2014. 2. 1	41.0	40.4	44.1	41.2	43.7	37.3	2015. 4. 25	36.4	25.4	34.0	30.1	31.4	29.0
2014. 2. 3	56.3	46.6	52.0	46.7	60.7	46.2	2015. 4. 26	37	19.7	28.0	38.6	25.6	28.2
2014. 2. 22	30.6	31.0	38.5	29.4	33.1	32.6	2015. 4. 27	33.4	25.1	31.5	33.7	36.5	27.5
2014. 2. 28	27.3	28.1	42.6	31.6	54.1	40.0	2015. 6. 13	35.2	29.8	36.4	39.9	32.7	31.4
2014. 3. 1	45.9	48.6	53.6	45.9	49.4	48.2	2015. 10. 17	26.3	25.6	30.9	43.1	27.1	26.3
2014. 3. 16	33.3	35.2	39.0	40.9	39.0	32.1	2015. 10. 22	37.3	31.0	35.6	33.8	29.6	28.1
2014. 3. 19	42.5	47.1	47.9	48.9	50.3	43.3	2015. 10. 25	22.4	27.6	37.8	37.8	37.9	37.4
2014. 3. 20	25.9	30.0	36.1	32.0	29.5	27.7	2015. 12. 27	41.5	38.6	43.1	40.0	42.0	39.8
2014. 4. 11	37.2	33.6	39.7	38.8	36.3	35.0	2016. 1. 5	32.8	35.3	36.6	41.1	41.2	37.9
2014. 4. 12	35.3	32.5	39.6	37.5	33.1	32.5	2016. 2. 1	42.0	34.9	40.9	42.3	38.0	37.9
2014. 5. 3	38.8	24.2	32.5	35.3	29.5	30.0	2016. 2. 27	33.3	29.8	35.5	33.9	30.2	28.1
2014. 5. 22	34.3	30.9	37.5	36.2	37.9	33.0	超過日数	56	19	65	62	52	24
2014. 5. 23	25.4	29.0	35.9	29.8	35.9	32.0							

表5 各測定局におけるPM2.5基準超過日と気象条件

測定局	鹿屋	出水	薩摩川内	霧島	羽島	南さつま
環境基準超過延べ日数(日)	56	19	65	62	52	24
超過日に黄砂等が観測された割合(%)	67.2	73.7	66.2	64.5	69.2	87.5
総日数に対する超過日の割合(%)	5.3	2.0	5.9	5.7	4.8	2.6

3. 5 地域的要因による影響

3. 5. 1 自動車排出ガスによる影響

調査期間において高濃度を示した、2013年5月21日か

ら25日について、PM2.5と窒素酸化物(以下「NOx」とする。)との相関について検討した。

NOxについては、PM2.5の二次生成に寄与していると

され、自動車排出ガスや燃料排出ガス中に含まれているとされている。しかし、反応性が高く、寿命は約1日と短いことから、広域輸送されず、地域由来の成分と考えることができる。

自動車排出ガス測定局である薩摩川内局において、PM2.5とNOxとの相関を検討した。PM2.5とNOxの相関を示すグラフを図4に示す。また、各日のPM2.5及びNOxの日平均値を表6に示す。

NOxが低濃度で推移している場合でも、PM2.5濃度の上昇がみられ、また、相関係数も0.197と低いことから、NOxの比較的高い薩摩川内局においても、PM2.5とNOxの相関は低いことがわかった。

このことから、PM2.5高濃度時においてPM2.5の濃度上昇に対する地元発生源の1つである自動車排出ガスの寄与する可能性は低いと思われる。

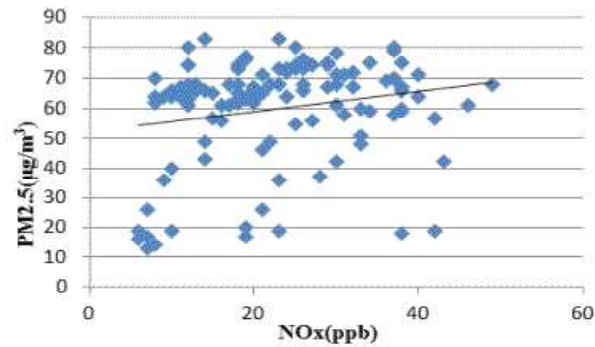


図4 薩摩川内局におけるPM2.5とNOxの相関

表6 PM2.5及びNOxの日平均値

年 月 日	PM2.5 (µg/m³)	NOx (ppb)
2014. 5. 21	40.5	6
2014. 5. 22	72.4	11
2014. 5. 23	68.0	8
2014. 5. 24	65.8	8
2014. 5. 25	48.9	6

3. 5. 2 桜島による影響

既報²⁾でも報告したように、PM2.5の高濃度が、短時間かつ特定の測定局のみで観測される要因として、桜島の二酸化硫黄及び降灰による影響が考えられる。このとき、PM2.5のみではなく、SPMとも非常に強い相関がみられた(図5)。桜島の降灰はSPMの占める割合が高いことから⁴⁾、このときの高濃度が桜島による影響であることが示唆される。

また、既報で報告した2015年1月1日のPM2.5高濃度観測日において、当日の風向を調べると、鹿屋局において

は1日を通じて、北西の風が多く観測されている。

同様の現象は、桜島北部に位置する霧島局においても観測されており(図6)、このときの風向も霧島局において南～南西方向が多く観測されるなど、桜島からの降灰による影響が窺える。

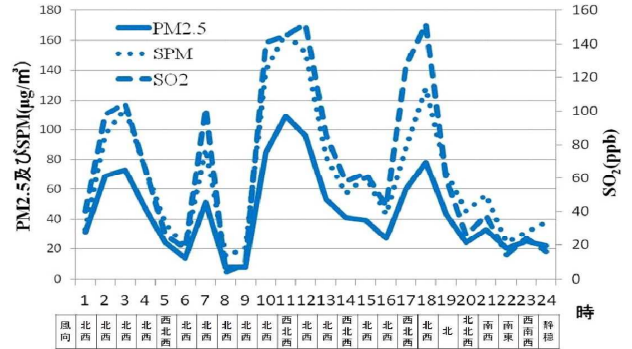


図5 鹿屋局における高濃度事例と風向(2015.1.1)

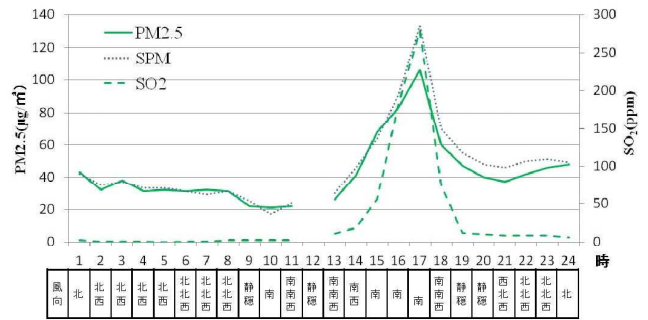


図6 霧島局における高濃度事例と風向(2013.3.8)

3. 6 成分分析結果

3. 6. 1 イオン成分

2013年度から2015年度の鹿屋局におけるイオン成分の成分組成を図7に、2013年度から2014年度の環境保健センター局におけるイオン成分の成分組成を図8に示す。また、それぞれの測定局におけるイオン間の相関係数を表7に示す。なお、図7及び図8において、折れ線は総質量濃度を示している。

鹿屋局については、硫酸イオン及びアンモニウムイオンが多く、イオン成分のほぼ9割をしめている。また、総質量濃度にイオン成分が占める割合も、20～60%と非常に高い。総質量濃度と硫酸イオン及びアンモニウムイオンにおいて、高い相関を示した。

環境保健センター局については、鹿屋局同様に、硫酸イオン及びアンモニウムイオンが多いものの、鹿屋局に比べ硝酸イオンの占める割合が高いことがわかった。また、相関係数においても、総質量濃度と硫酸イオン及びアンモニウムイオンだけでなく、硝酸イオンについても高い値を示した。

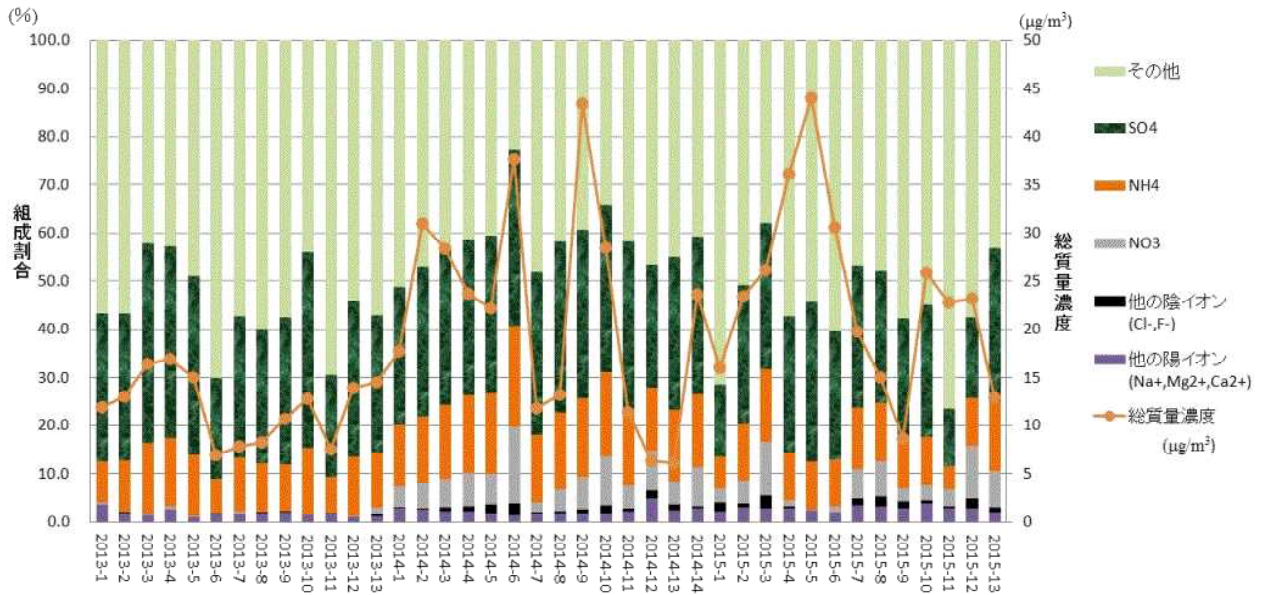


図7 鹿屋局におけるイオン成分組成



図8 環境保健センター局におけるイオン成分組成

表7 イオン成分間の相関係数

		鹿屋局									
		総質量濃度	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	その他
環境保健センター局	総質量濃度		0.476	0.602	0.936	0.263	0.878	0.878	0.582	0.660	0.868
	Cl	0.144		0.904	0.433	-0.159	0.648	0.469	0.091	0.316	0.170
	NO ₃	0.922	0.149		0.601	-0.168	0.816	0.588	0.027	0.266	0.277
	SO ₄	0.929	0.153	0.936		0.187	0.942	0.803	0.394	0.434	0.679
	Na	0.000	0.868	0.005	0.041		0.004	0.177	0.703	0.360	0.423
	NH ₄	0.932	0.150	0.952	0.998	0.020		0.776	0.208	0.356	0.528
	K	0.611	0.509	0.687	0.762	0.490	0.752		0.536	0.656	0.753
	Mg	0.047	0.402	0.093	0.138	0.762	0.109	0.481		0.774	0.786
	Ca	0.741	0.347	0.804	0.795	0.382	0.792	0.814	0.436		0.795
	その他	-0.283	0.815	-0.207	-0.248	0.777	-0.247	0.222	0.284	0.148	

3. 6. 2 無機元素成分

2015年度に鹿屋局で実施した無機元素成分の分析結果を図9に示す。なお、図中の折れ線は総質量濃度を示している。

鹿屋局において、捕集期間の総質量濃度は、7～15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較的lowく、アルミニウム、鉄、亜鉛が比較的高い割合を占めているものの、ナトリウム及びカリウムによって無機元素成分全体の57～97%を占められている。

また環境保健センター局において、高濃度予測日に無機元素成分分析用の捕集を行った。通常、24時間捕集で1検体とするところを、高濃度を高分解でみるために、12時間捕集1検体とし、連続した3検体を採取した。各検体の質量濃度と採取日時は表8のとおり。

なお、測定した質量濃度については、恒温恒湿環境が整っていないため、参考値である。

無機元素成分の組成変化を、図10及び図11に示す。その結果、最も高い質量濃度であった検体において、鉄、アルミニウム及び鉛が多く含まれていた。また、鉄の占める割合が約3割と非常に高く、鉛の占める割合も高かった。高濃度時にはアルミニウム、鉄、鉛が多く含まれており、濃度低下に従いこれらの元素の含有量及び占める割合が低下し、高質量濃度検体では低かったナトリウムの割合が、質量濃度が減少するに従い、上昇していることがわかった。

表8 高濃度予測日における質量濃度と採取日時

検体	質量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	捕集日時
1	37.5	2015.12.16 0:00～12:00
2	14.2	2015.12.16 12:00～24:00
3	10.0	2015.12.17 0:00～12:00

4 考察及びまとめ

- 1) 本県におけるPM2.5は、硫酸アンモニウムが多く含まれていることや、高濃度時に黄砂等が確認されることが多いことなどから、越境汚染の影響を受けていると考えられる。(特に出水、羽島、南さつまの薩摩半島の3局は強く影響を受けている)
- 2) 地元発生源 (NOx) によるPM2.5の濃度上昇への影響は低い。
- 3) 特定の局のみで高濃度事例が観測される場合、地域的な影響を受けていると考えられる。
- 4) 今回の調査研究において、PM2.5の高濃度時から低濃度に変化する過程において、無機元素成分の含有量とその組成比に変化がみられたため、分解能をあげることでより細かな組成の変化が見られ、発生源解析の足がかりになる。

本県におけるPM2.5の実態把握については、観測を始めて期間が短く、データも少ないことから、今後とも実態の把握とデータの蓄積に努めていきたい。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 西中須暁子, 四元聡美, 他; 鹿児島県における微小粒子状物質に関する報告 (第I報), 本誌, 16, 87～95 (2015)
- 3) 四元聡美, 肥後さより, 他; 2013年度の鹿児島県におけるPM2.5高濃度事例, 本誌, 15, 77～81 (2014)
- 4) 宝来俊一, 西原充貴, 他; 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)

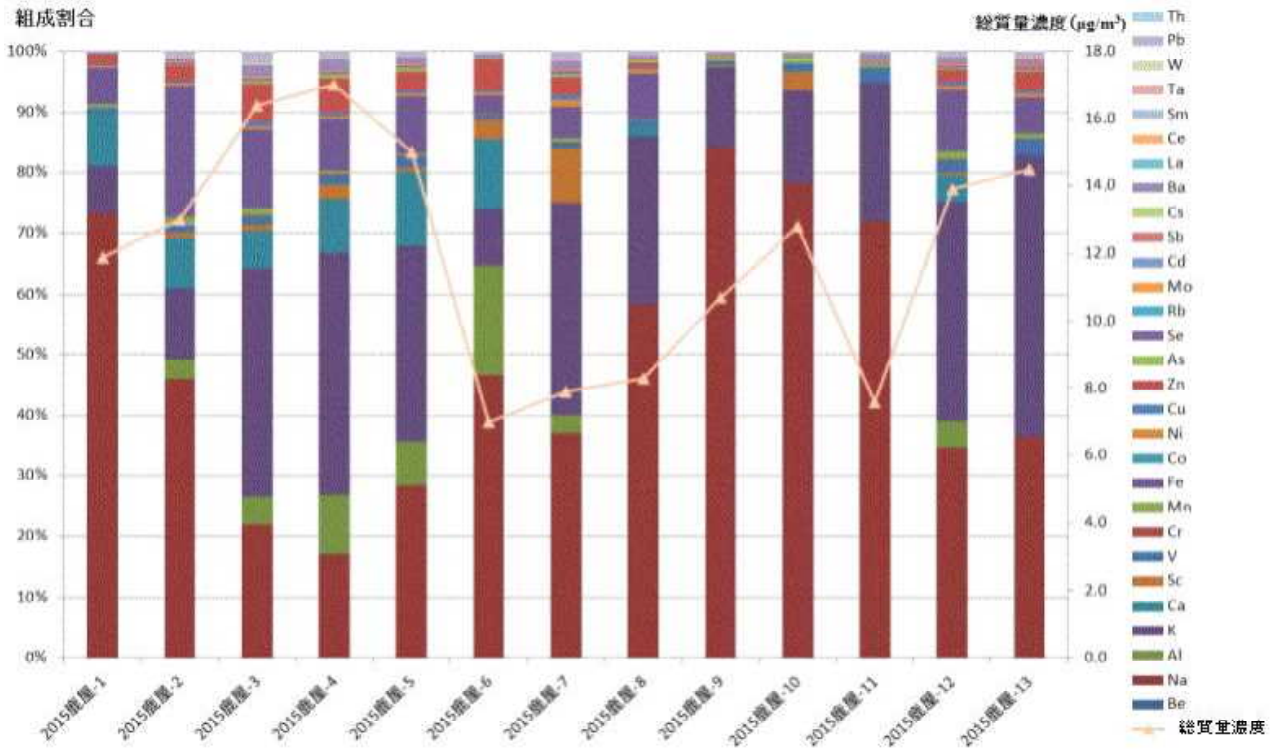


図9 鹿屋局における無機元素成分組成

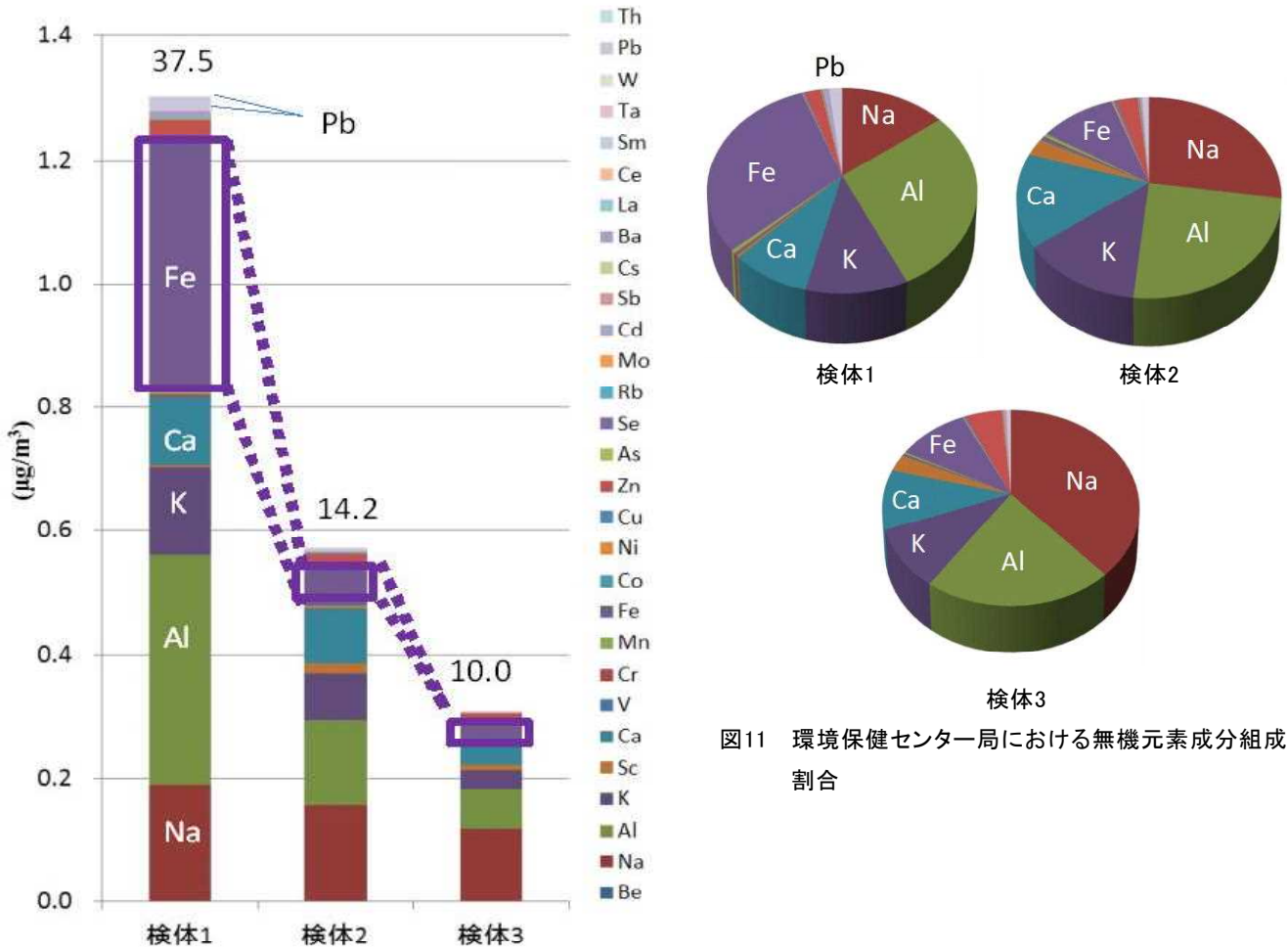


図10 環境保健センター局における無機元素成分組成

図11 環境保健センター局における無機元素成分組成割合