

# 令和4年度PM2.5成分分析調査結果について（報告）

倉敷市環境監視センター

## 1 調査目的

本調査は、大気環境中における微小粒子状物質（以下「PM2.5」という。）を捕集し、質量濃度及び成分分析を行い、環境中のPM2.5の実態を把握することを目的とする。

## 2 調査地点

松江局（松江3丁目11-26）

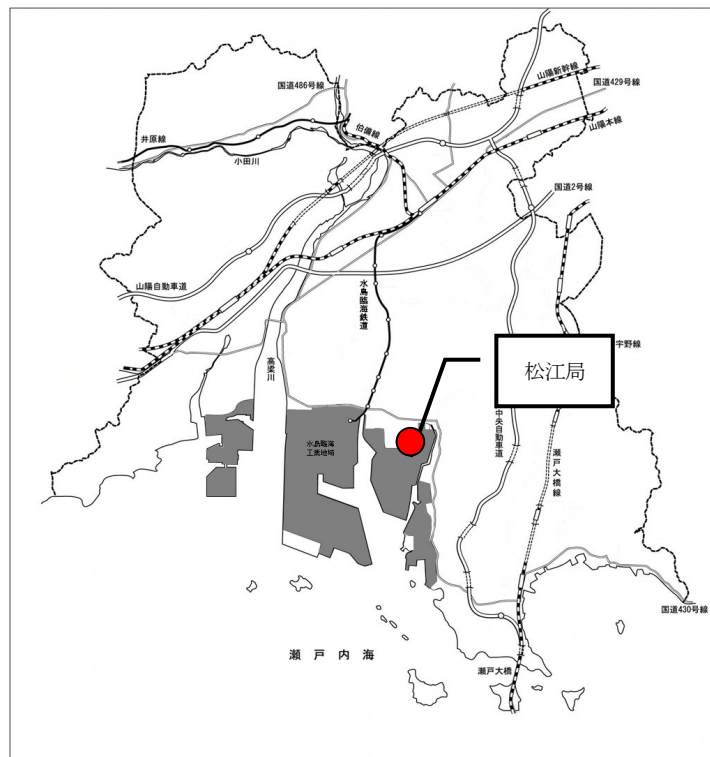


図1 調査地点

## 3 調査項目及び分析方法

表1 調査項目

	項目	分析方法
質量	質量濃度	重量法
イオン成分	Na <sup>+</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	水抽出-イオンクロマトグラフ法
炭素成分	有機炭素 (OC1、OC2、OC3、OC4) 元素状炭素 (EC1、EC2、EC3) 炭素補正值 (OCpyro)	サーマルオプティカル・リフレクタンス法
無機元素成分	Na、Al、K、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Mo、Sb、Cs、Ba、La、Ce、Sm、Hf、W、Ta、Th、Pb	無機元素の多元素同時測定法(酸分解/ICP-MS)

#### 4 採取

##### (1) 採取方法

「大気中微小粒子状物質 (PM2.5) 成分測定マニュアル」(以下「成分測定マニュアル」という。)の捕集法に準ずる。

##### (2) 頻度

年4回(春季、夏季、秋季、冬季)

各調査時期に連続14日間の採取を実施。

#### 5 調査結果

##### (1) 調査期間の気象

表2(1) 調査期間中の気象データ

季節	サンプリング実施時期				主風向	風速(m/s)	気温(°C)	湿度(%)	雨量(mm)	気圧(hPa)	日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	
春	2022年5月12日	10:00	～	2022年5月13日	9:50	ESE	2.0	19.7	91	6.0	1009.9	4.2
春	2022年5月13日	10:00	～	2022年5月14日	9:50	E	0.9	19.8	91	23.5	1005.2	4.3
春	2022年5月14日	10:00	～	2022年5月15日	9:50	NNE, NE	1.4	19.1	62	--	1010.7	16.2
春	2022年5月15日	10:00	～	2022年5月16日	9:50	NNE	1.1	17.7	60	--	1011.6	11.7
春	2022年5月16日	10:00	～	2022年5月17日	9:50	SW	1.3	18.6	61	--	1012.7	15.1
春	2022年5月17日	10:00	～	2022年5月18日	9:50	S	1.1	18.9	52	--	1017.2	20.3
春	2022年5月18日	10:00	～	2022年5月19日	9:50	SSW	1.0	21.0	47	--	1019.2	24.2
春	2022年5月19日	10:00	～	2022年5月20日	9:50	SW	1.3	21.4	52	--	1017.5	16.7
春	2022年5月20日	10:00	～	2022年5月21日	9:50	NNE	0.9	20.6	57	--	1013.3	7.8
春	2022年5月21日	10:00	～	2022年5月22日	9:50	N	1.5	19.2	63	--	1007.9	9.7
春	2022年5月22日	10:00	～	2022年5月23日	9:50	SW	1.7	22.8	57	--	1007.7	24.0
春	2022年5月23日	10:00	～	2022年5月24日	9:50	NNE	1.7	23.1	45	--	1013.5	22.0
春	2022年5月24日	10:00	～	2022年5月25日	9:50	NNE	1.8	24.3	57	--	1013.3	23.9
春	2022年5月25日	10:00	～	2022年5月26日	9:50	ESE	1.6	24.9	59	--	1008.7	21.3
夏	2022年7月21日	10:00	～	2022年7月22日	9:50	WSW, W	1.5	28.9	71	8.0	1002.7	10.7
夏	2022年7月22日	10:00	～	2022年7月23日	9:50	WSW	1.5	26.9	68	--	1004.4	17.8
夏	2022年7月23日	10:00	～	2022年7月24日	9:50	NE	1.5	27.5	62	--	1006.5	17.1
夏	2022年7月24日	10:00	～	2022年7月25日	9:50	NE	1.1	29.8	66	--	1007.6	18.1
夏	2022年7月25日	10:00	～	2022年7月26日	9:50	S	0.8	29.9	72	--	1009.4	14.6
夏	2022年7月26日	10:00	～	2022年7月27日	9:50	NNE, S	1.3	31.4	66	--	1009.0	20.7
夏	2022年7月27日	10:00	～	2022年7月28日	9:50	NE	1.2	29.3	81	2.5	1011.3	12.7
夏	2022年7月28日	10:00	～	2022年7月29日	9:50	ENE	1.0	31.6	63	--	1013.0	24.1
夏	2022年7月29日	10:00	～	2022年7月30日	9:50	SE	1.0	31.9	61	--	1013.1	23.0
夏	2022年7月30日	10:00	～	2022年7月31日	9:50	SE	1.1	30.8	69	--	1012.3	18.9
夏	2022年7月31日	10:00	～	2022年8月1日	9:50	NE	1.1	31.4	71	--	1012.6	20.1
夏	2022年8月1日	10:00	～	2022年8月2日	9:50	NE	1.5	32.3	60	--	1013.0	23.7
夏	2022年8月2日	10:00	～	2022年8月3日	9:50	S, SW	1.5	32.2	62	--	1013.2	22.4
夏	2022年8月3日	10:00	～	2022年8月4日	9:50	SW	1.9	31.4	67	--	1010.5	20.9
秋	2022年10月20日	10:00	～	2022年10月21日	9:50	N	1.4	16.9	62	--	1026.7	14.4
秋	2022年10月21日	10:00	～	2022年10月22日	9:50	NNE	1.2	20.4	65	--	1023.5	12.8
秋	2022年10月22日	12:00	～	2022年10月23日	9:50	NNE	1.1	21.1	73	--	1016.4	5.6
秋	2022年10月23日	10:00	～	2022年10月24日	9:50	NNE	1.5	19.7	51	--	1013.3	14.1
秋	2022年10月24日	10:00	～	2022年10月25日	9:50	NNE	1.3	14.7	63	--	1016.4	10.7
秋	2022年10月25日	10:00	～	2022年10月26日	9:50	NNE	1.5	14.0	63	--	1025.0	12.0
秋	2022年10月26日	10:00	～	2022年10月27日	9:50	NNE	1.4	15.8	62	--	1025.3	11.4
秋	2022年10月27日	10:00	～	2022年10月28日	9:50	NNE	1.4	15.6	73	--	1024.1	7.8
秋	2022年10月28日	10:00	～	2022年10月29日	9:50	NNE	1.0	17.8	59	--	1024.3	12.9
秋	2022年10月29日	10:00	～	2022年10月30日	9:50	NNE	1.5	15.1	55	--	1024.2	13.3
秋	2022年10月30日	10:00	～	2022年10月31日	9:50	NNE	1.4	欠測	欠測	--	欠測	欠測
秋	2022年10月31日	10:00	～	2022年11月1日	9:50	NNE	1.5	17.1	59	1.0	1021.2	11.9
秋	2022年11月1日	10:00	～	2022年11月2日	9:50	NNE	1.4	16.1	88	1.0	1018.4	1.7
秋	2022年11月2日	10:00	～	2022年11月3日	9:50	N	1.0	17.4	76	--	1017.5	9.6

表 2(2) 調査期間中の気象データ

冬	2023年1月19日	10:00	～	2023年1月20日	9:50	W	1.1	7.0	61	--	1022.1	6.0
冬	2023年1月20日	10:00	～	2023年1月21日	9:50	N, W	1.6	5.9	53	--	1023.3	5.3
冬	2023年1月21日	10:00	～	2023年1月22日	9:50	N	1.2	4.0	57	--	1027.1	10.4
冬	2023年1月22日	10:00	～	2023年1月23日	9:50	NNE	1.1	6.0	57	4.5	1023.4	6.3
冬	2023年1月23日	10:00	～	2023年1月24日	9:50	NNE	1.0	6.1	80	--	1014.8	3.3
冬	2023年1月24日	10:00	～	2023年1月25日	9:50	NW	3.0	-0.5	53	--	1016.1	9.9
冬	2023年1月25日	10:00	～	2023年1月26日	9:50	NW	1.5	0.5	56	--	1024.4	11.2
冬	2023年1月26日	10:00	～	2023年1月27日	9:50	N	1.6	4.2	59	--	1019.3	8.2
冬	2023年1月27日	10:00	～	2023年1月28日	9:50	W	2.0	2.9	64	--	1011.9	6.4
冬	2023年1月28日	10:00	～	2023年1月29日	9:50	NNE, WNW	2.1	1.8	59	--	1017.6	9.9
冬	2023年1月29日	10:00	～	2023年1月30日	9:50	NW	1.5	3.9	56	--	1017.6	9.1
冬	2023年1月30日	10:00	～	2023年1月31日	9:50	N	1.4	3.2	65	--	1020.7	11.3
冬	2023年1月31日	10:00	～	2023年2月1日	9:50	N	1.7	4.3	62	--	1019.7	10.7
冬	2023年2月1日	10:00	～	2023年2月2日	9:50	NNE	1.0	7.0	67	--	1017.4	4.7

風速、気温及び湿度は、調査期間中の1時間値の平均値を示した。雨量は、調査期間中の合計量を示した。

※10月22日は渋滞のため現地到着が遅れ、測定開始が12時からとなっている。

また、図2に松江局の風配図を示す。

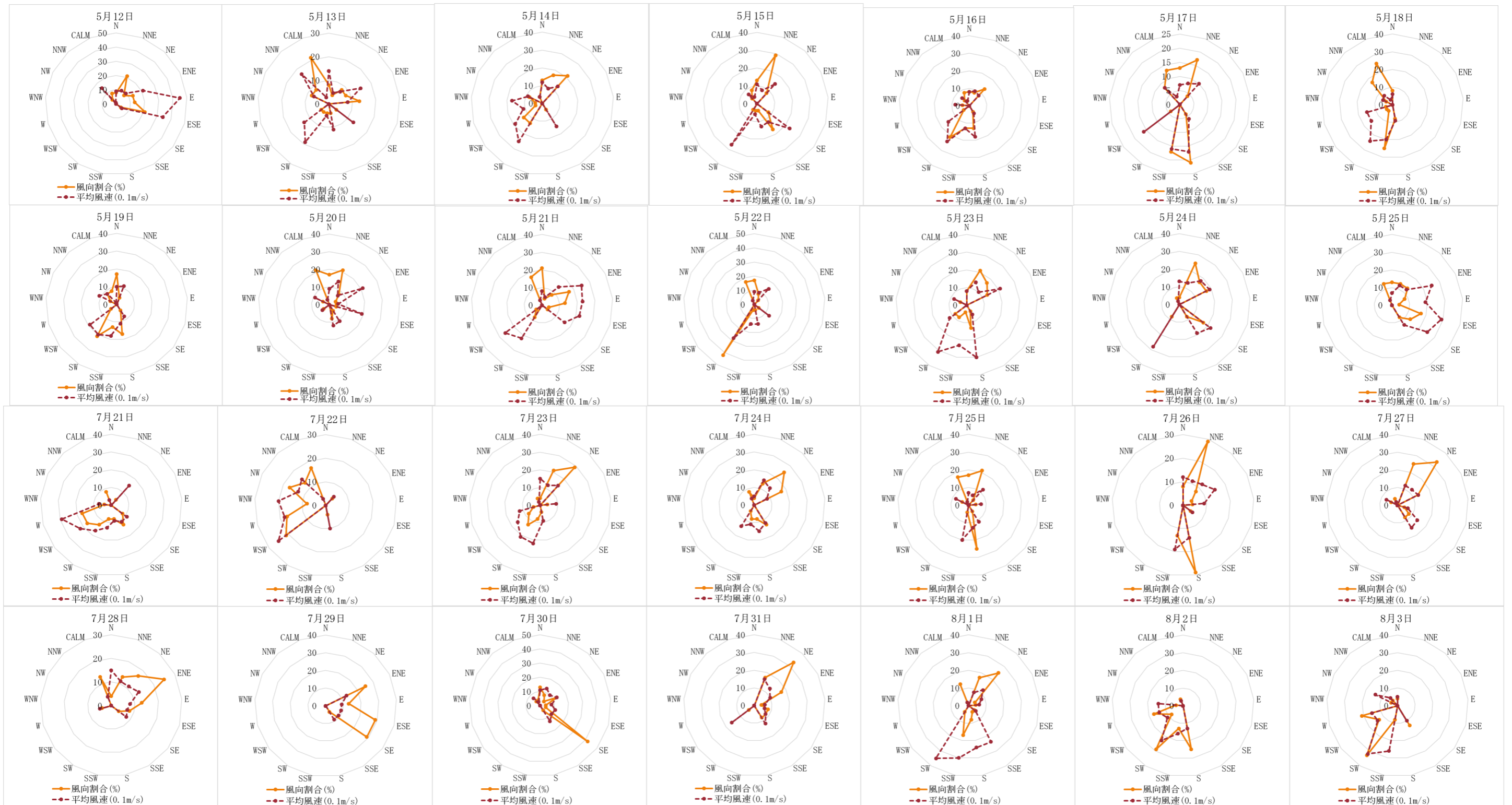


図2(1) 各調査日の風配図 (松江局) (風配図には静穏 (風速 0.5m/s 未満) を含む。)

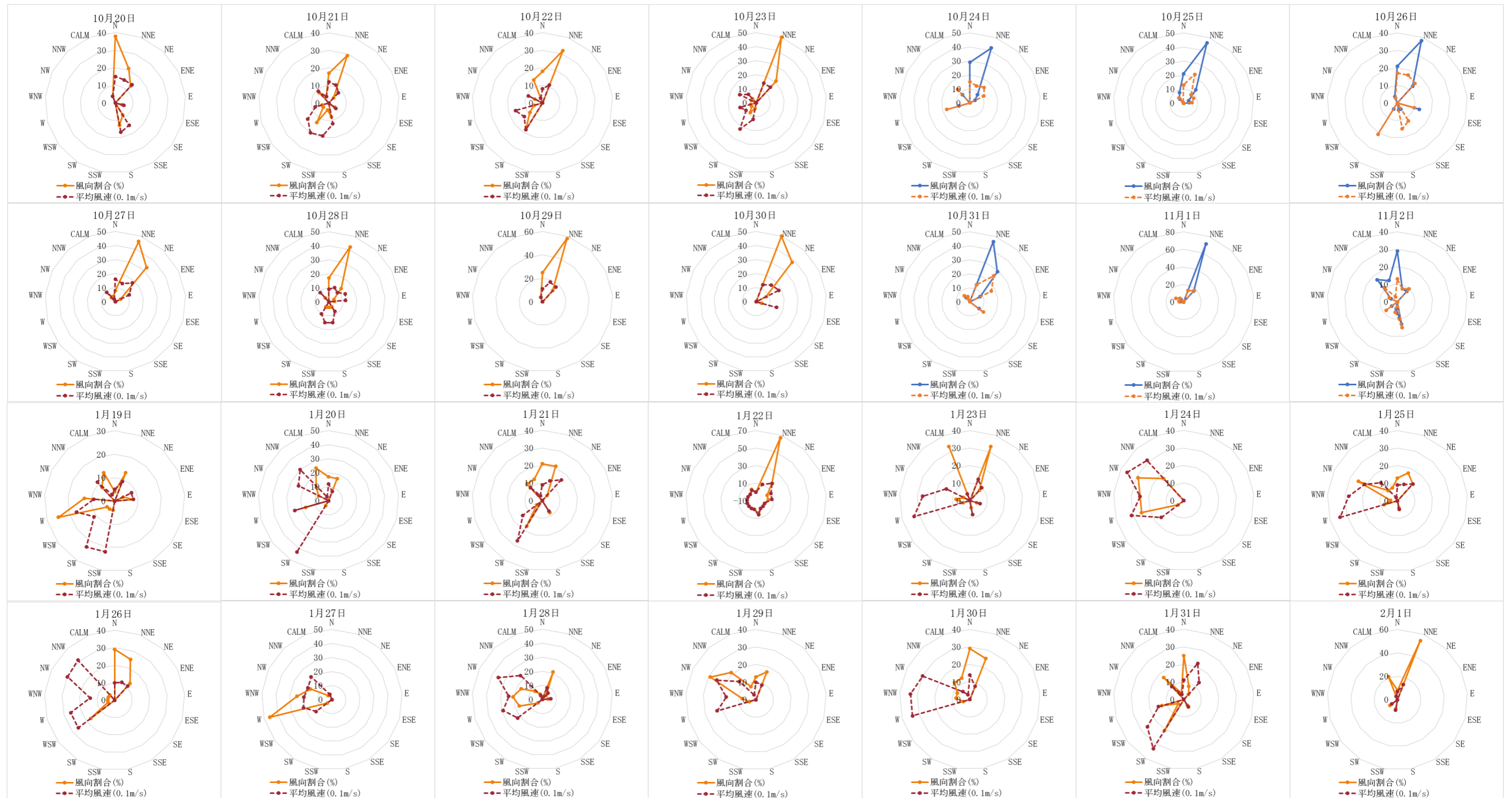


図2(2) 各調査日の風配図 (松江局) (風配図には静穏 (風速 0.5m/s 未満) を含む。)

## (2) 質量濃度

質量濃度の測定結果は、図3-1及び図3-2に示すとおりである。

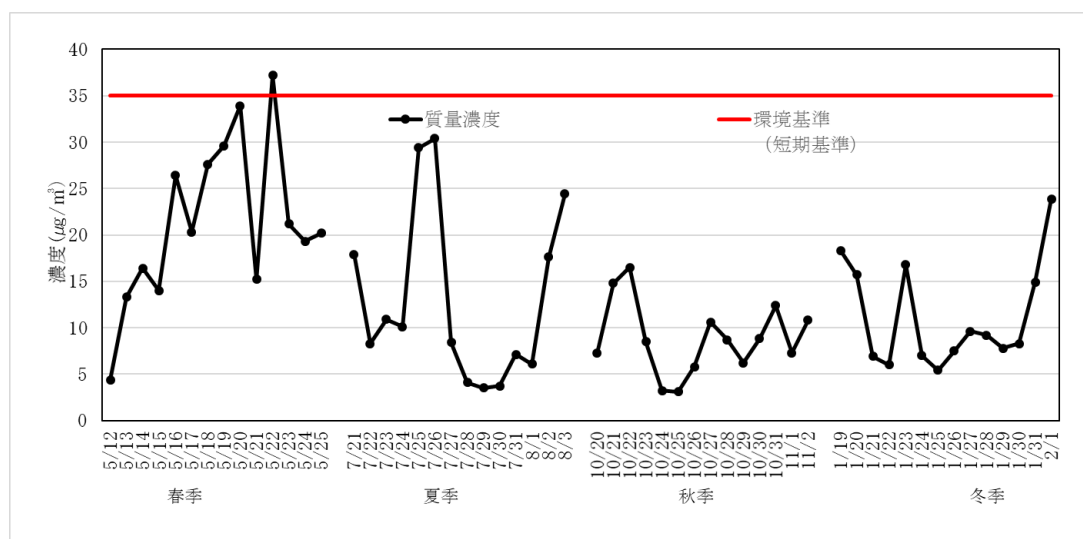


図3-1 質量濃度測定結果

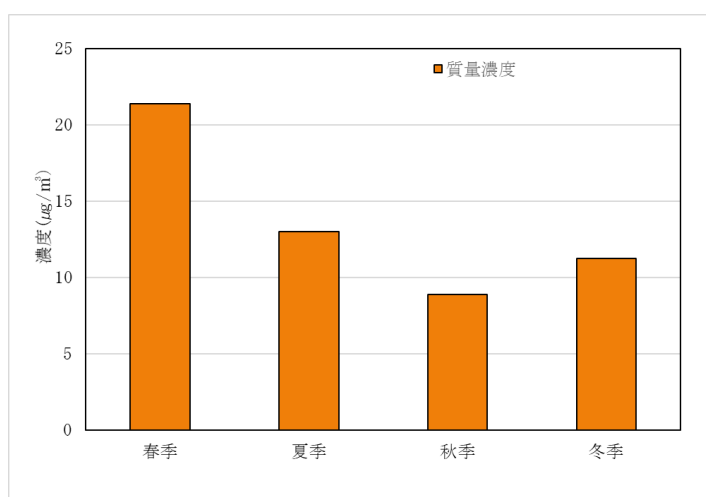


図3-2 季節ごとの質量濃度測定結果

測定日ごとの日平均値は、 $3.1 \sim 37.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、5月22日において  $37.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となり、環境基準値（短期基準： $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過した。それ以外の調査日については、環境基準を満足していた。

各季の平均値は、 $8.9 \sim 21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、四季を通じてみると、春季の平均値が最も高かった。なお、年間の平均値は、 $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、環境基準値（長期基準： $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）未満であった。

## (3) 質量濃度に対するイオン成分、無機元素成分及び炭素成分の組成割合

質量濃度に対する各成分の濃度及び割合は、図4-1及び図4-2に示すとおりである。なお、無機元素成分のうち、ナトリウム、カリウム及びカルシウムは、イオン成分と重複するた

め、グラフからは除いている。

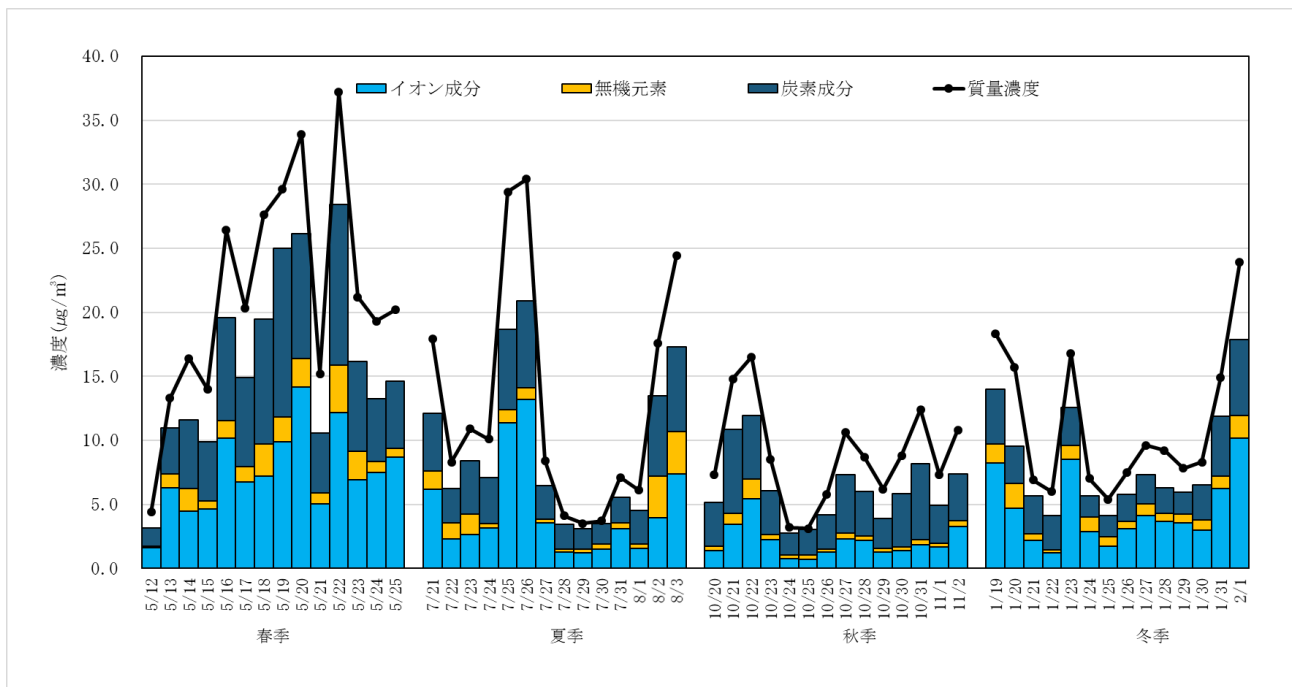


図4-1 質量濃度に対する各成分の濃度

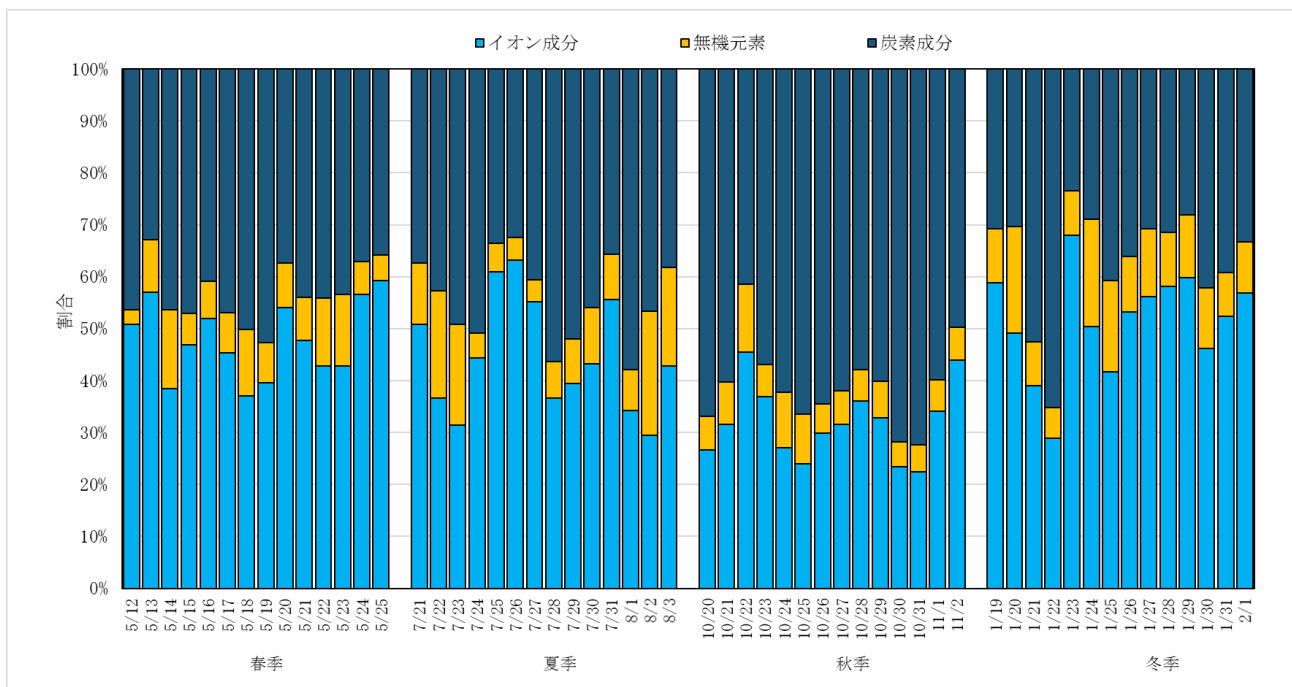


図4-2 各成分の割合

質量濃度に対する各成分のうち、春季、夏季及び冬季ではイオン成分の割合が最も高く、秋季では炭素成分の割合が最も高くなった。秋季は硫酸イオンやアンモニウムイオン量が少なかったが、これは、測定期間中北風の割合が多く、コンビナートの影響が他の季節よりも小さいためだと考えられる。

#### (4) イオン成分

イオン成分濃度の測定結果は、図5-1から図5-4に示すとおりである。なお、図5-1には、質量濃度との変動を比較するために、当該結果を参考として再掲している。

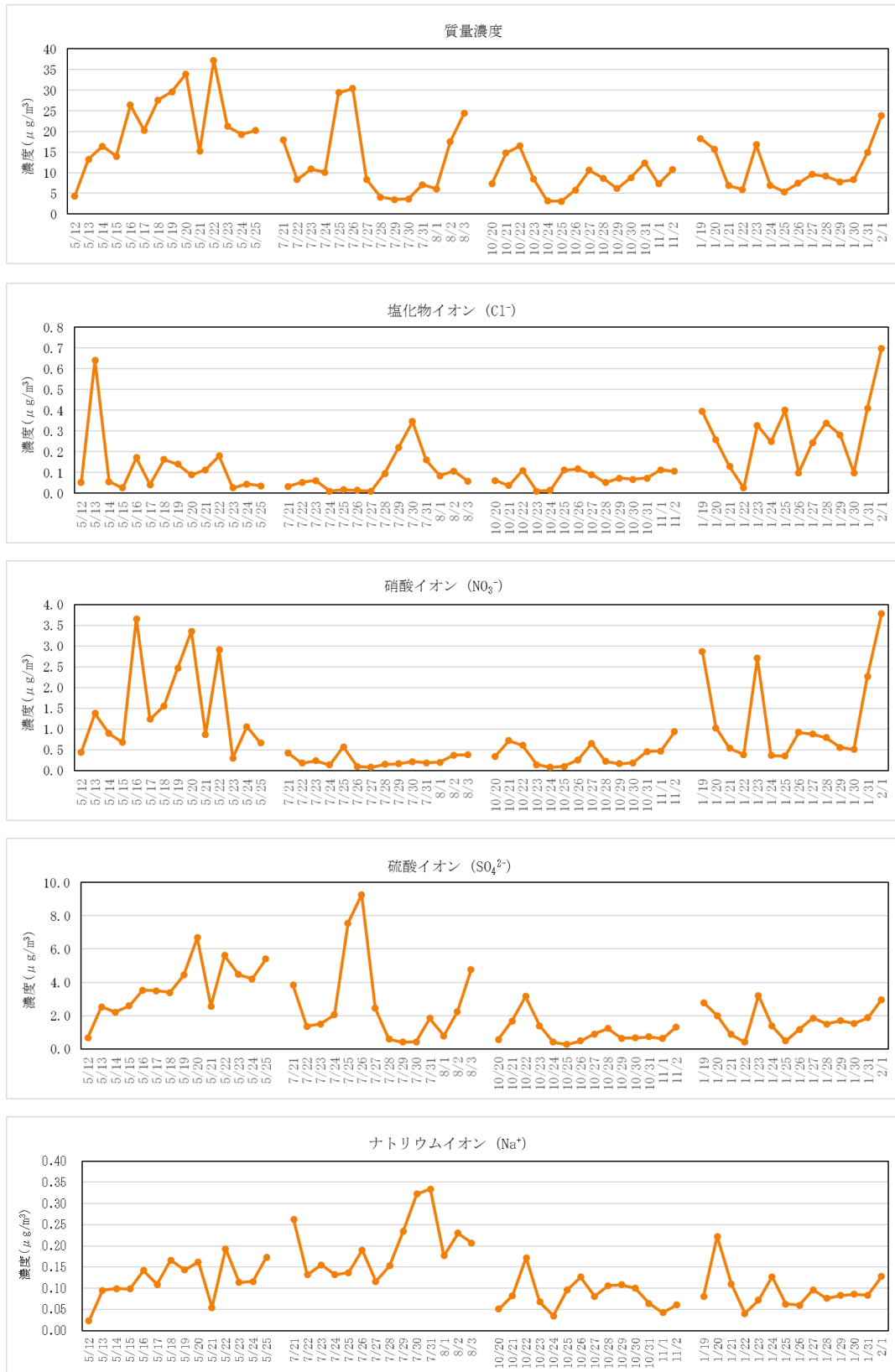


図5-1(1) イオン成分濃度測定結果



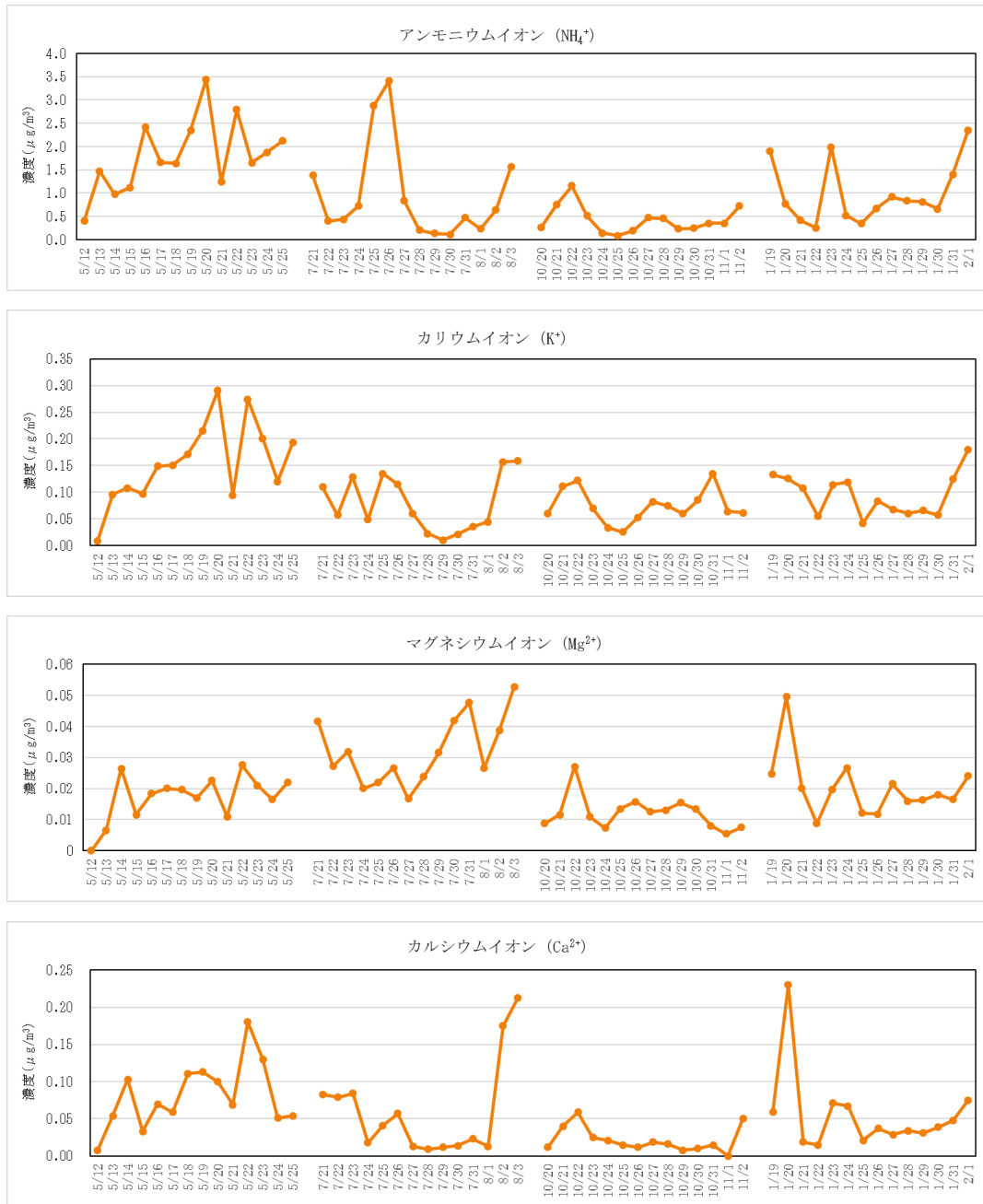


図5-1(2) イオン成分濃度測定結果

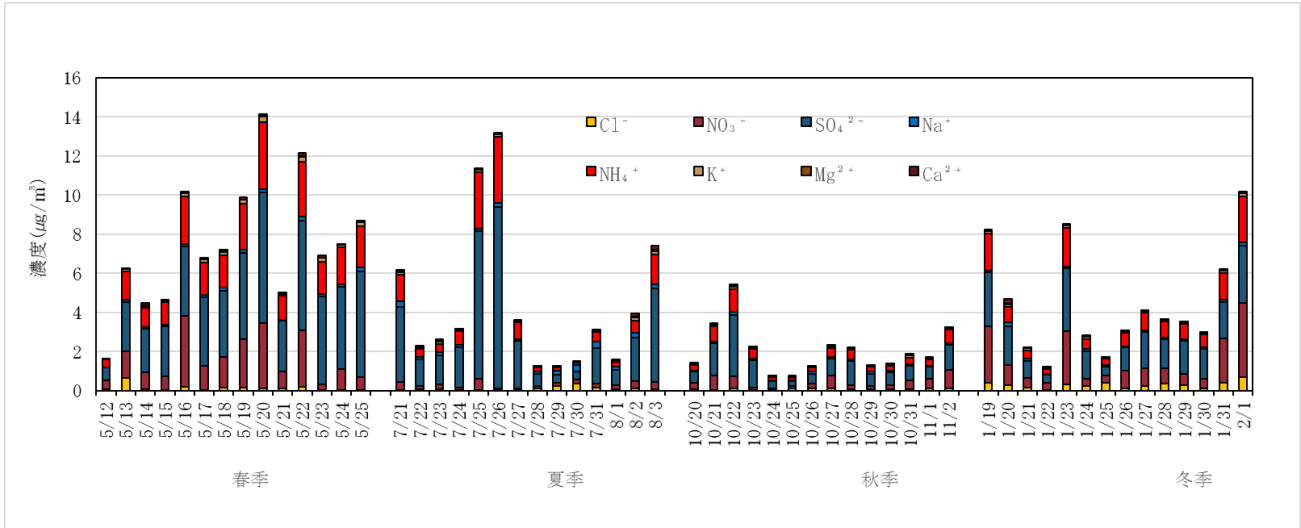


図5-2 イオン成分濃度測定結果（全体濃度）

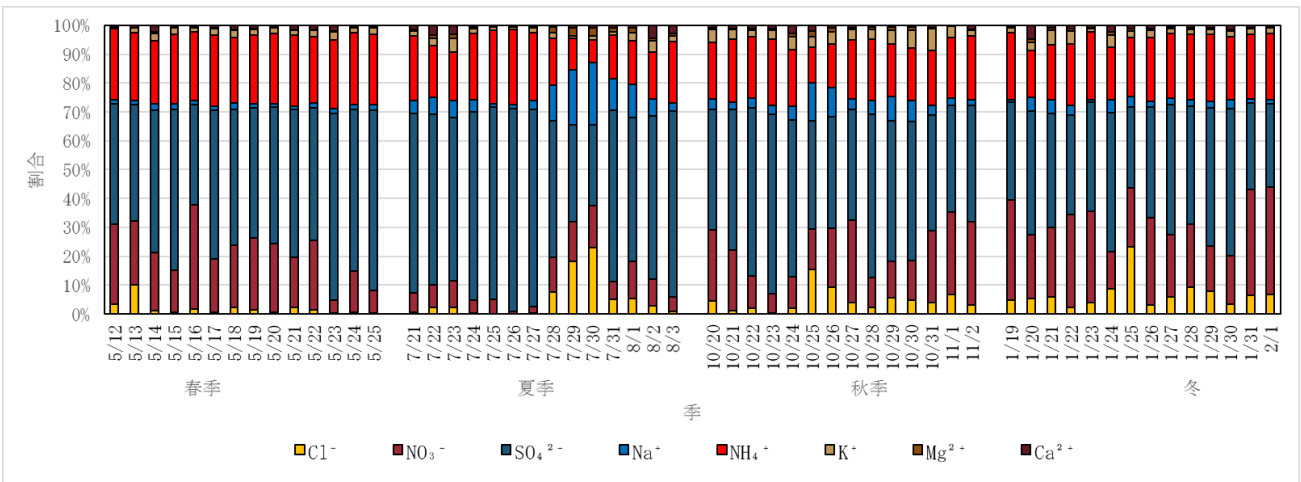


図5-3 イオン成分濃度の割合

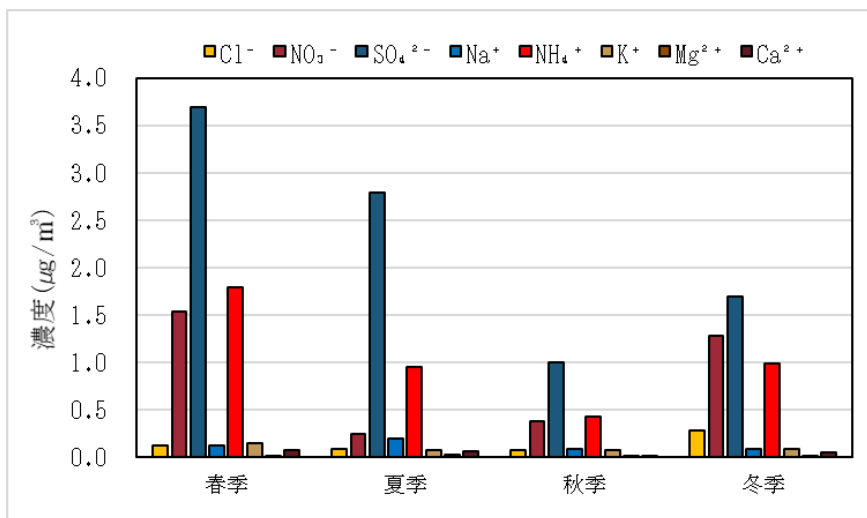


図5-4 季節ごとのイオン成分濃度測定結果

イオン成分は硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンが高い割合を示し、四季を通じて質量濃度の変動と同様に推移した。

季節ごとの変化を見ると、硫酸イオンは、全ての季節を通じて最も割合が高く、全体の38%～63%を占めていた。また、アンモニウムイオンは、四季を通じて割合があまり変わらず、21%～24%で推移していた。硝酸イオンについては、夏季5.5%～冬季28%と大きな差があった。硝酸イオンは自動車排ガス等で排出された窒素酸化物が大気中での光化学反応や降雨への溶解により、硝酸を形成し、大気中のアンモニアと反応することにより、硝酸アンモニウム塩を形成するといわれている。硝酸アンモニウムは微小粒子として長期間滞留するが、夏季等の高温下では生成されにくく、ガス状の硝酸及びアンモニアの存在割合が大きくなり、発生源からあまり輸送されずに沈着する可能性が高いため、夏季に低濃度であったと考えられる。

### (5) 炭素成分

炭素成分の測定結果は、図6-1から図6-4に示すとおりである。なお、図6-1には、質量濃度との変動を比較するために、当該結果を参考として再掲している。

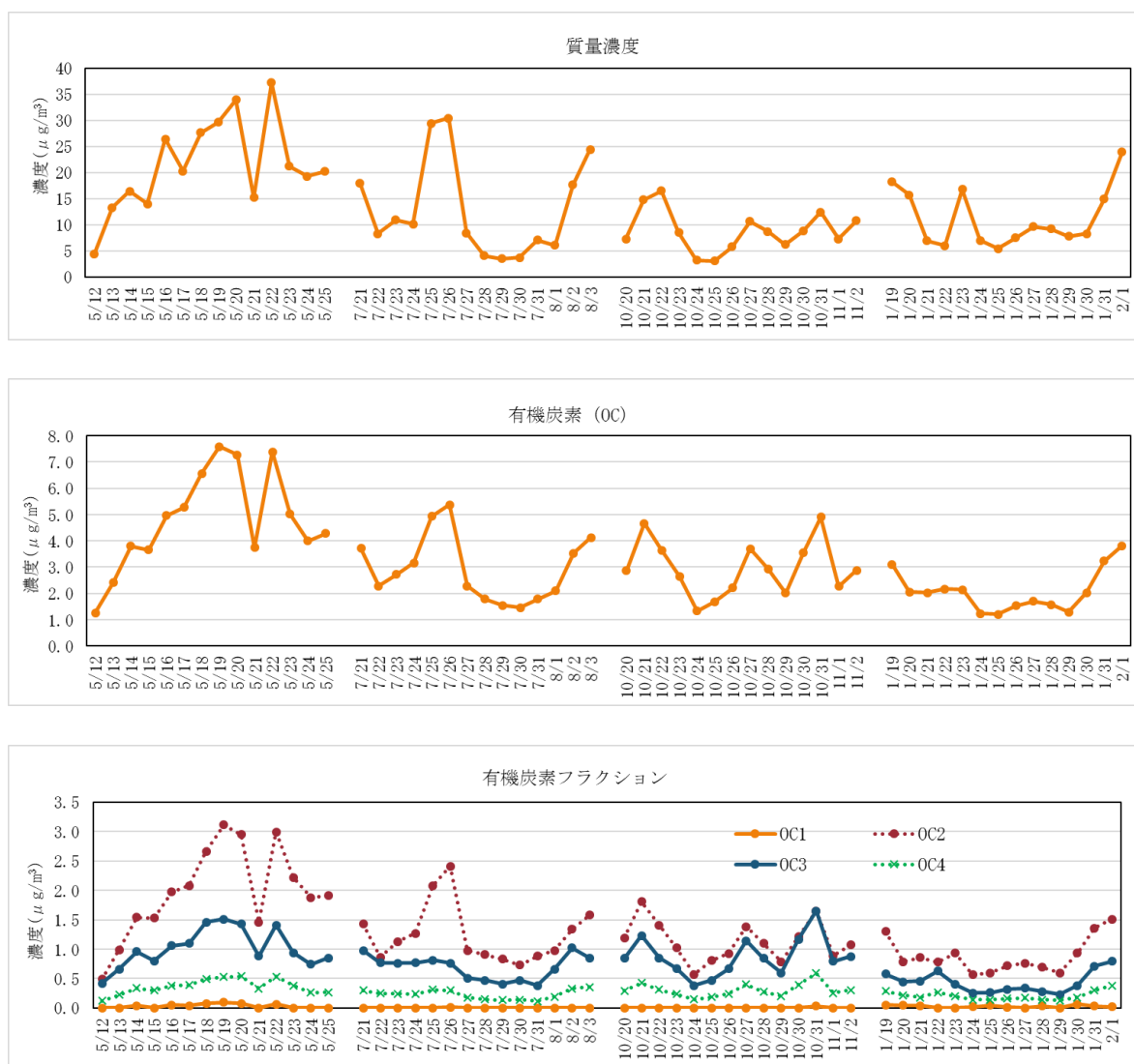


図6-1(1) 炭素成分濃度測定結果

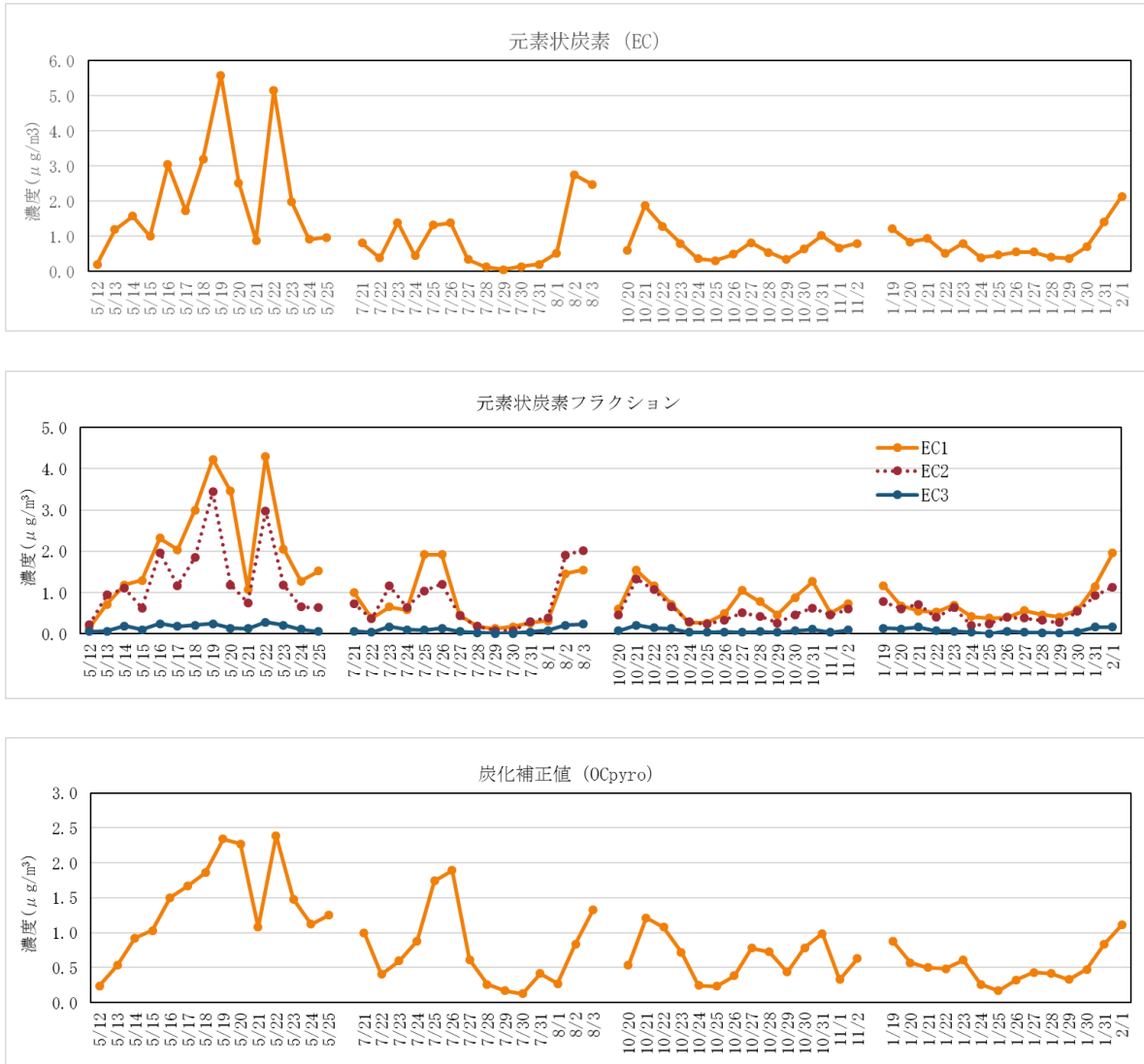


図6-1(2) 炭素成分濃度測定結果

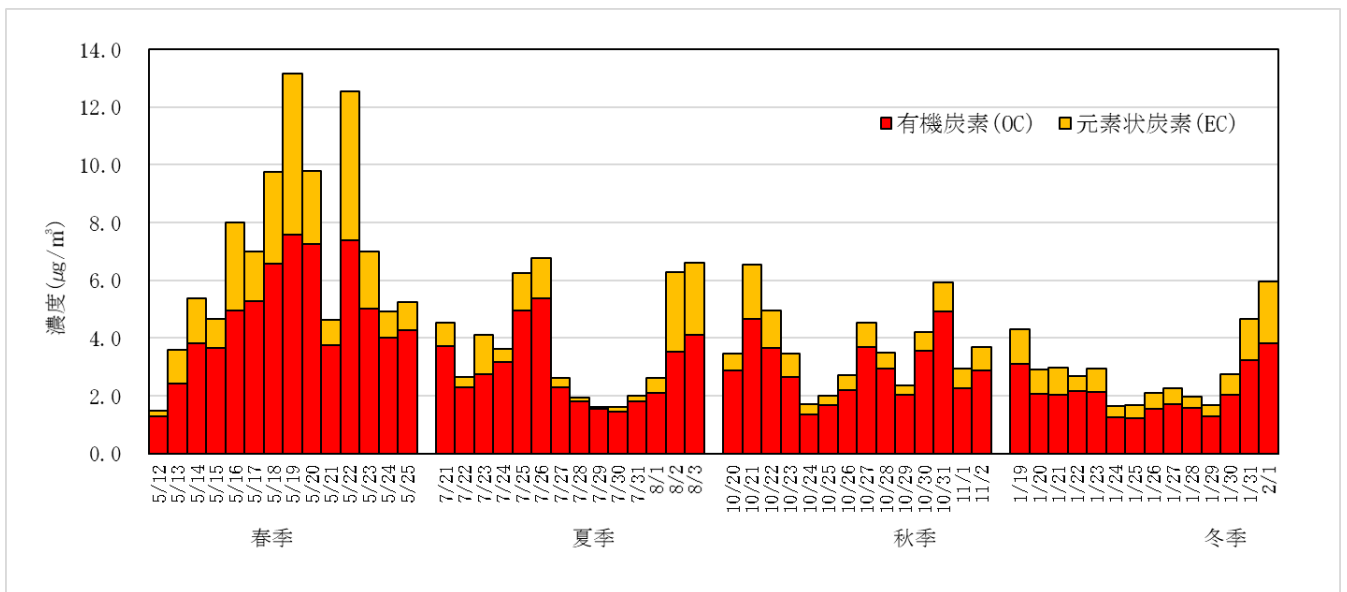


図6-2 炭素成分濃度測定結果 (全体濃度)

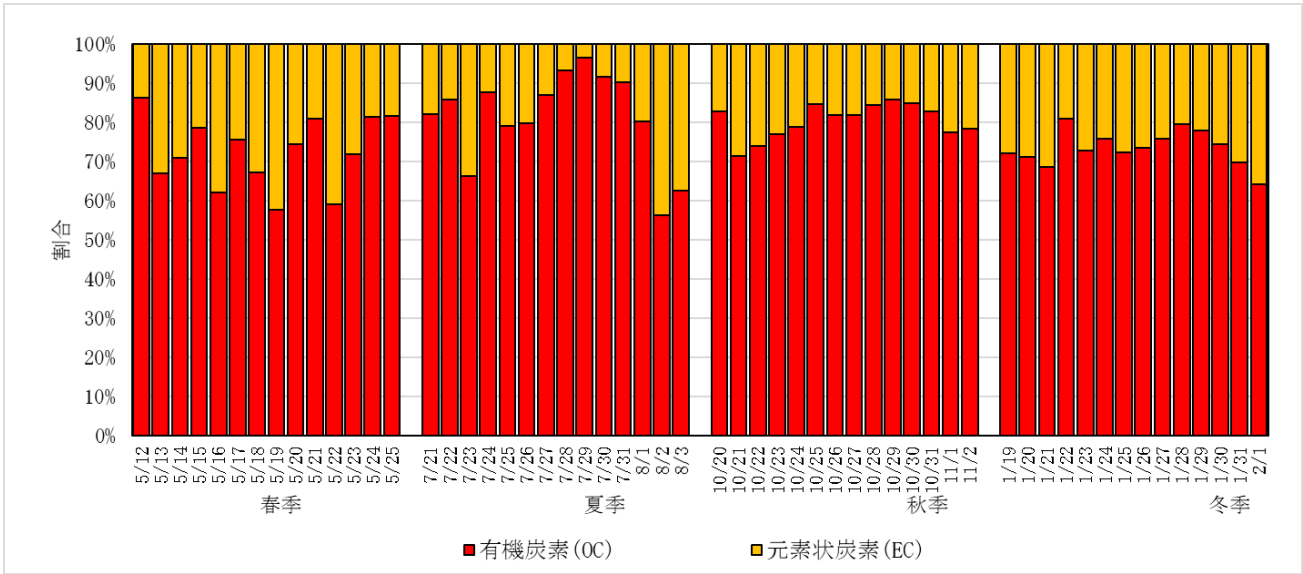


図6-3 OCとECの割合

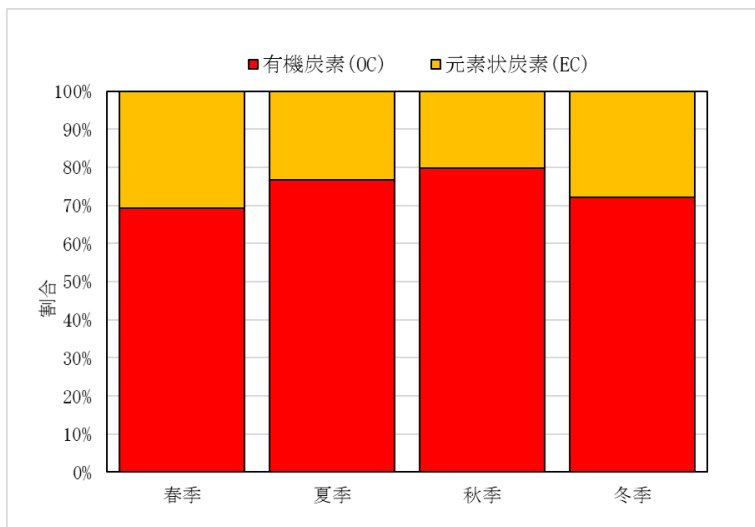
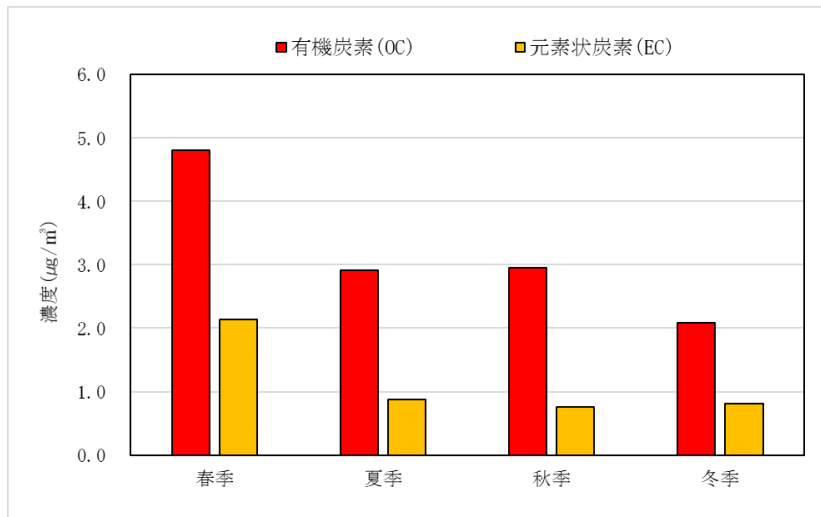


図6-4 季節ごとの炭素成分濃度測定結果及び割合

質量濃度の変動に対して、有機炭素（以下OC）及び元素状炭素（以下EC）どちらもほぼ同じような変動を示した。

OCとECの濃度を比較した結果、全ての測定日でOCの濃度が高くなった。

季節ごとの濃度では、OCは春季が高く、夏季と秋季が同程度、冬季が最も低かった。また、ECは春季が高く、他の3季が低かった。

OCとECの割合については、春季がEC31%で最も高く、次に冬季EC28%、夏季23%、秋季20%の順であった。ECは、自動車排気や石油燃焼の指標元素とされており、春季に最もコンビナートからの影響を受けている可能性が示唆された。

#### (6) 無機元素成分

無機元素成分の測定結果は、図7-1から図7-4に示すとおりである。なお、図7-1には、質量濃度との変動を比較するために、当該結果を参考として再掲している。

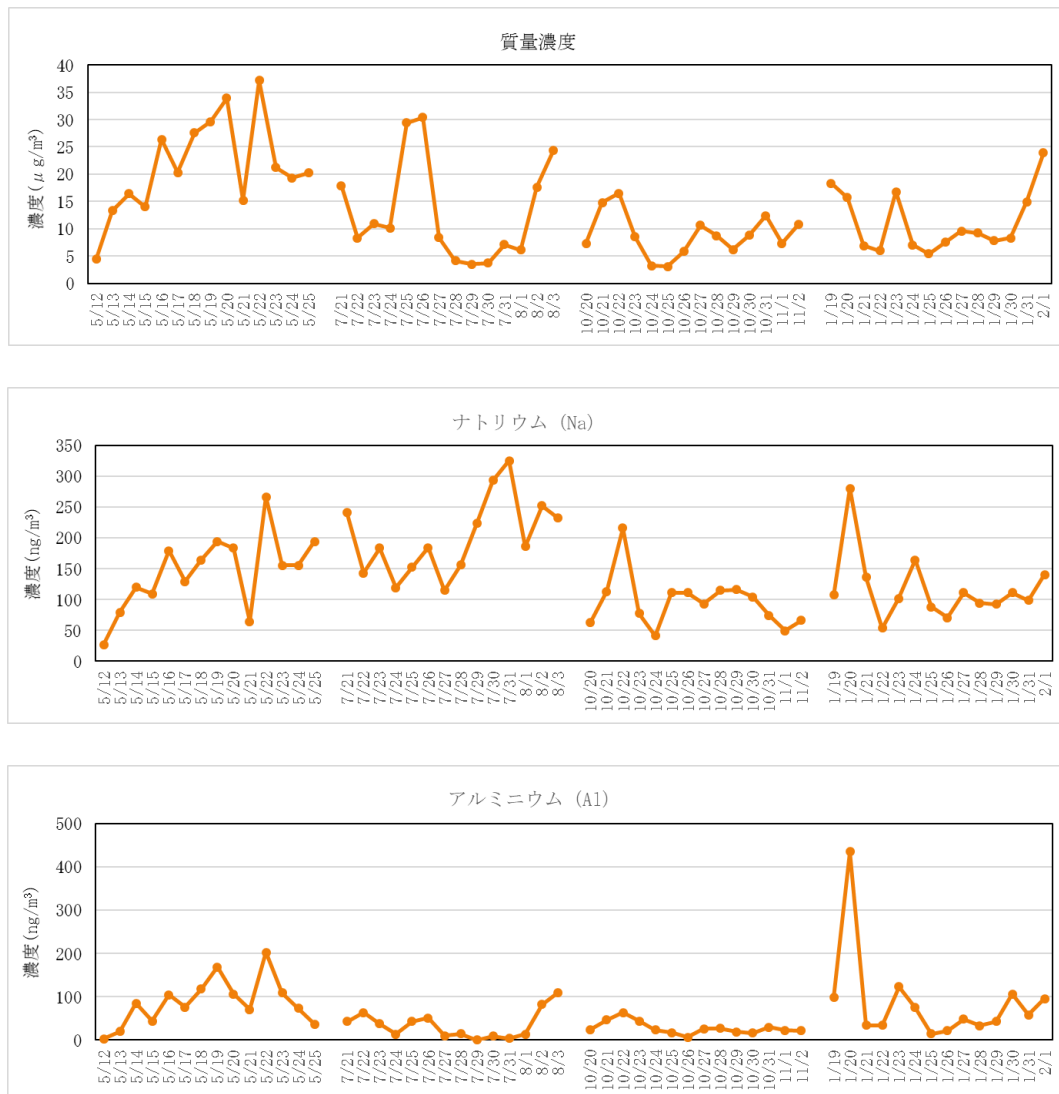


図7-1(1) 無機元素成分濃度測定結果

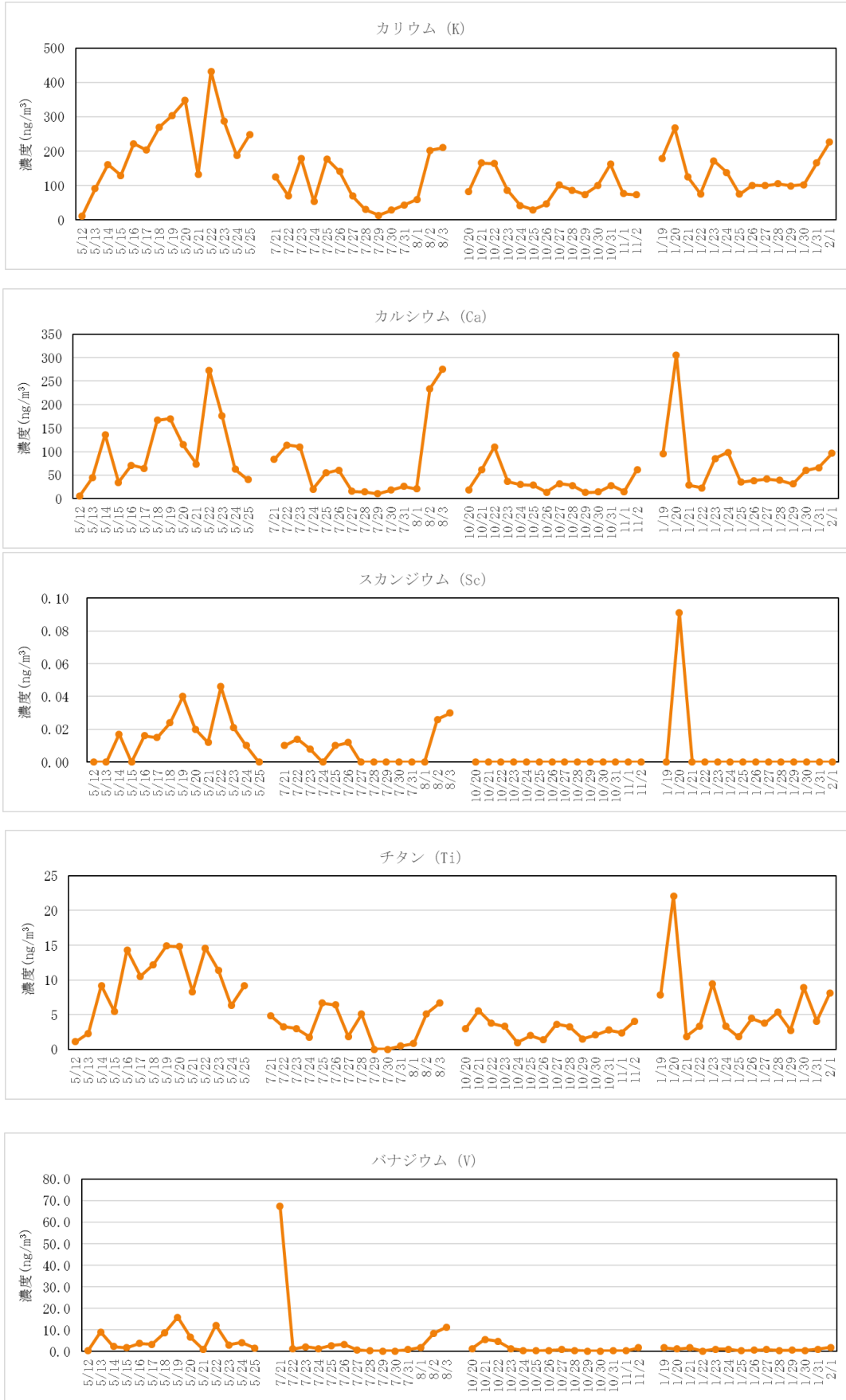


図 7-1(2) 無機元素成分濃度測定結果

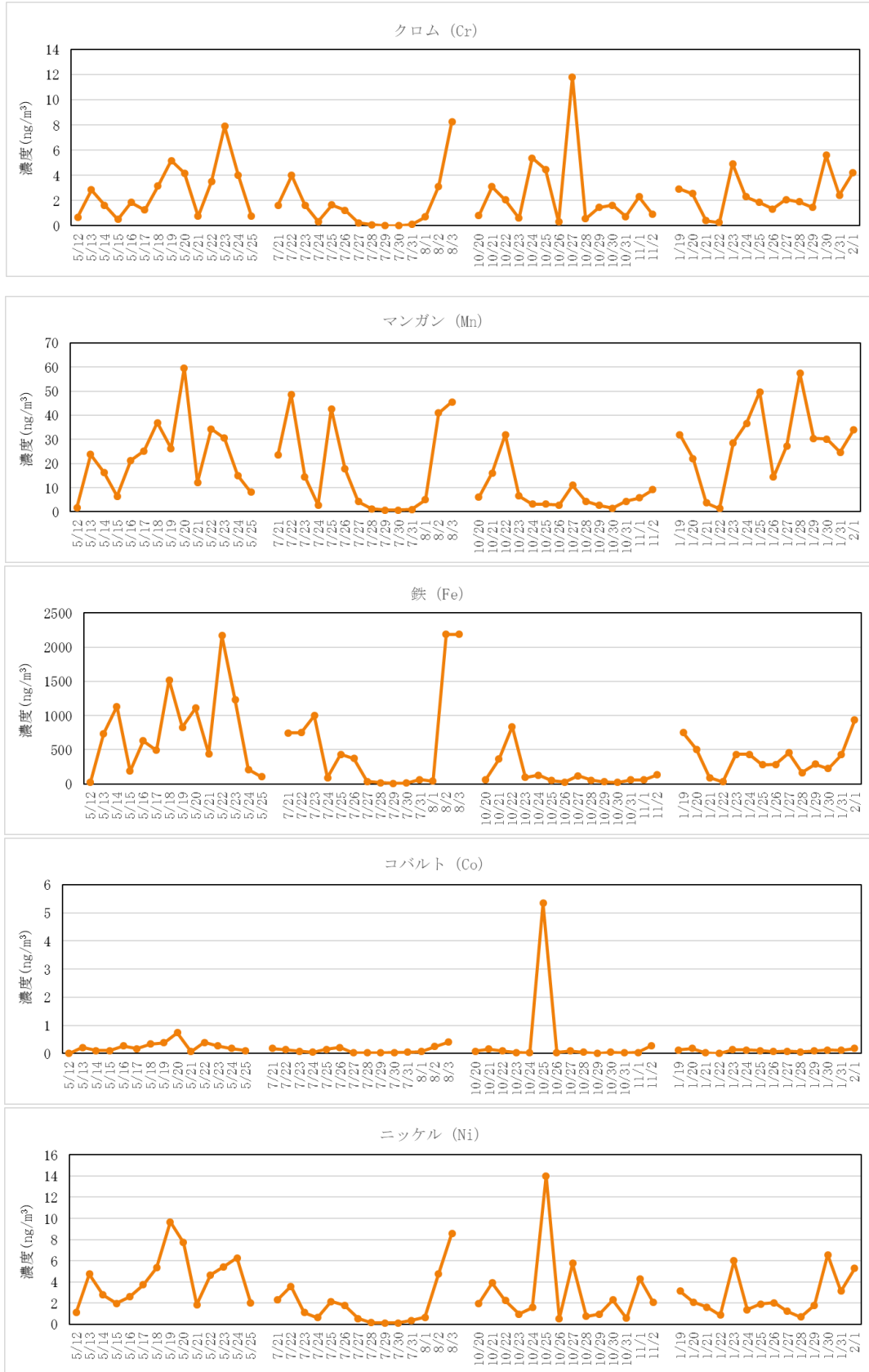


図7-1(3) 無機元素成分濃度測定結果



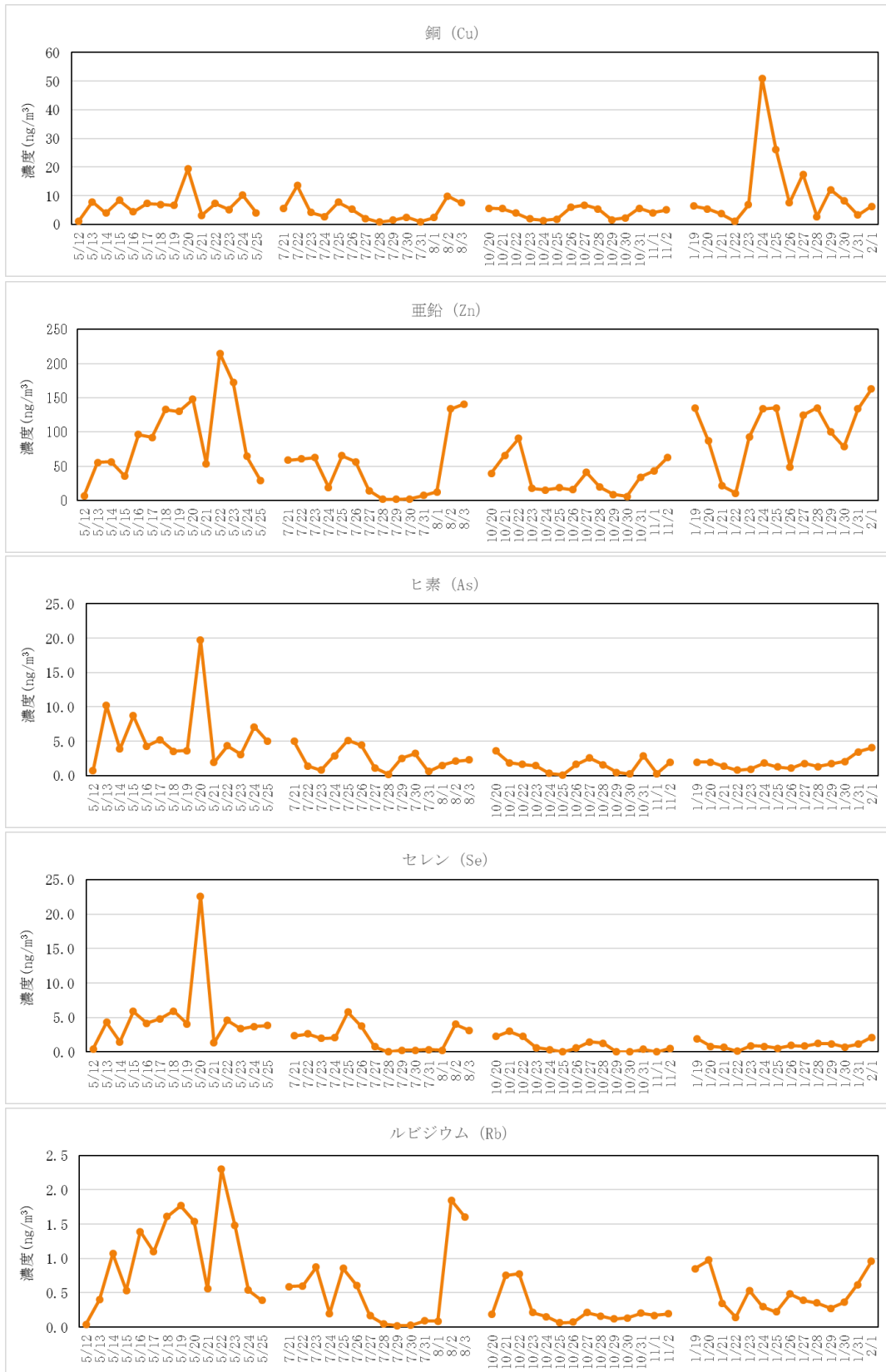


図7-1(4) 無機元素成分濃度測定結果

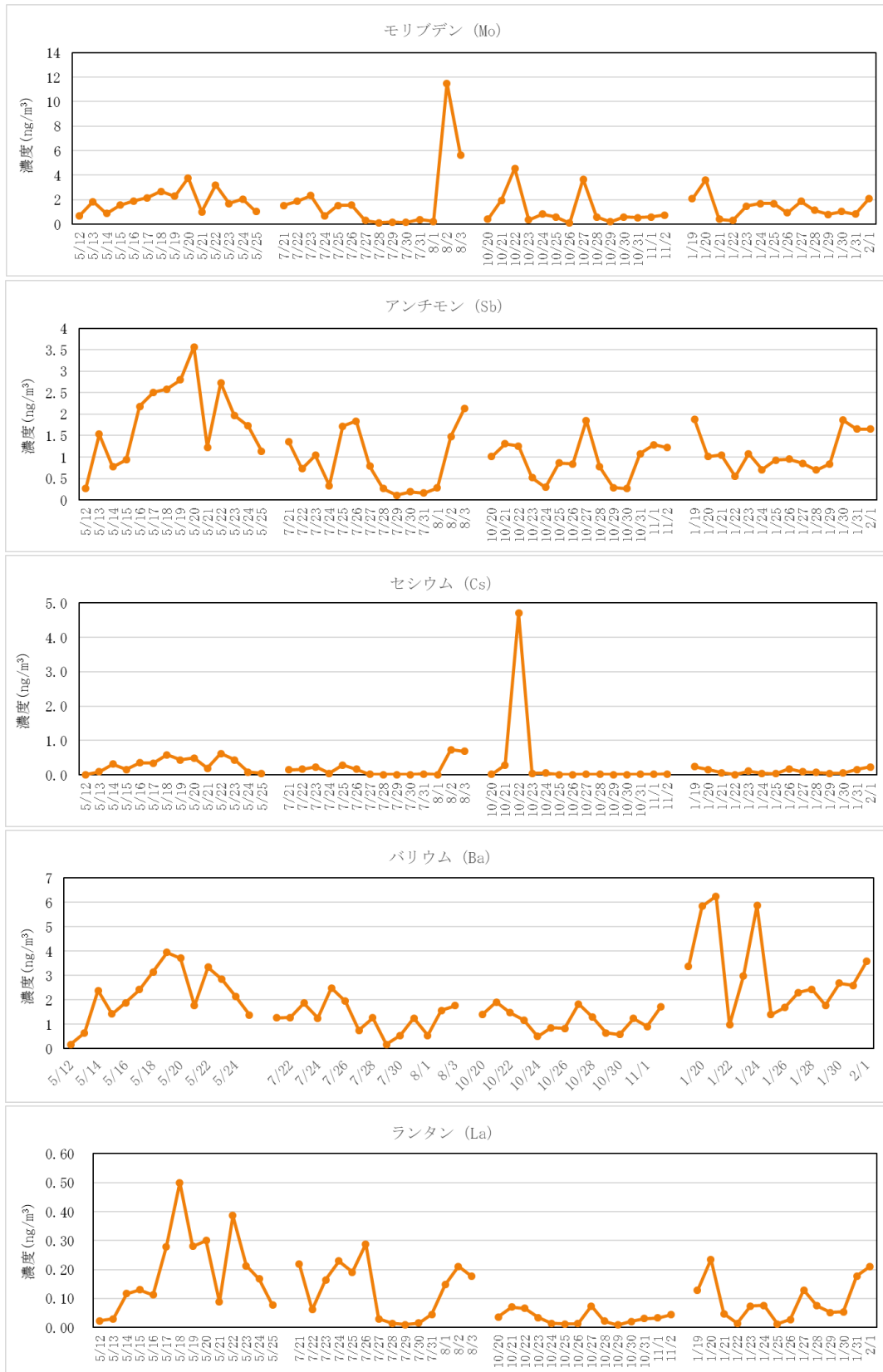


図7-1(5) 無機元素成分濃度測定結果

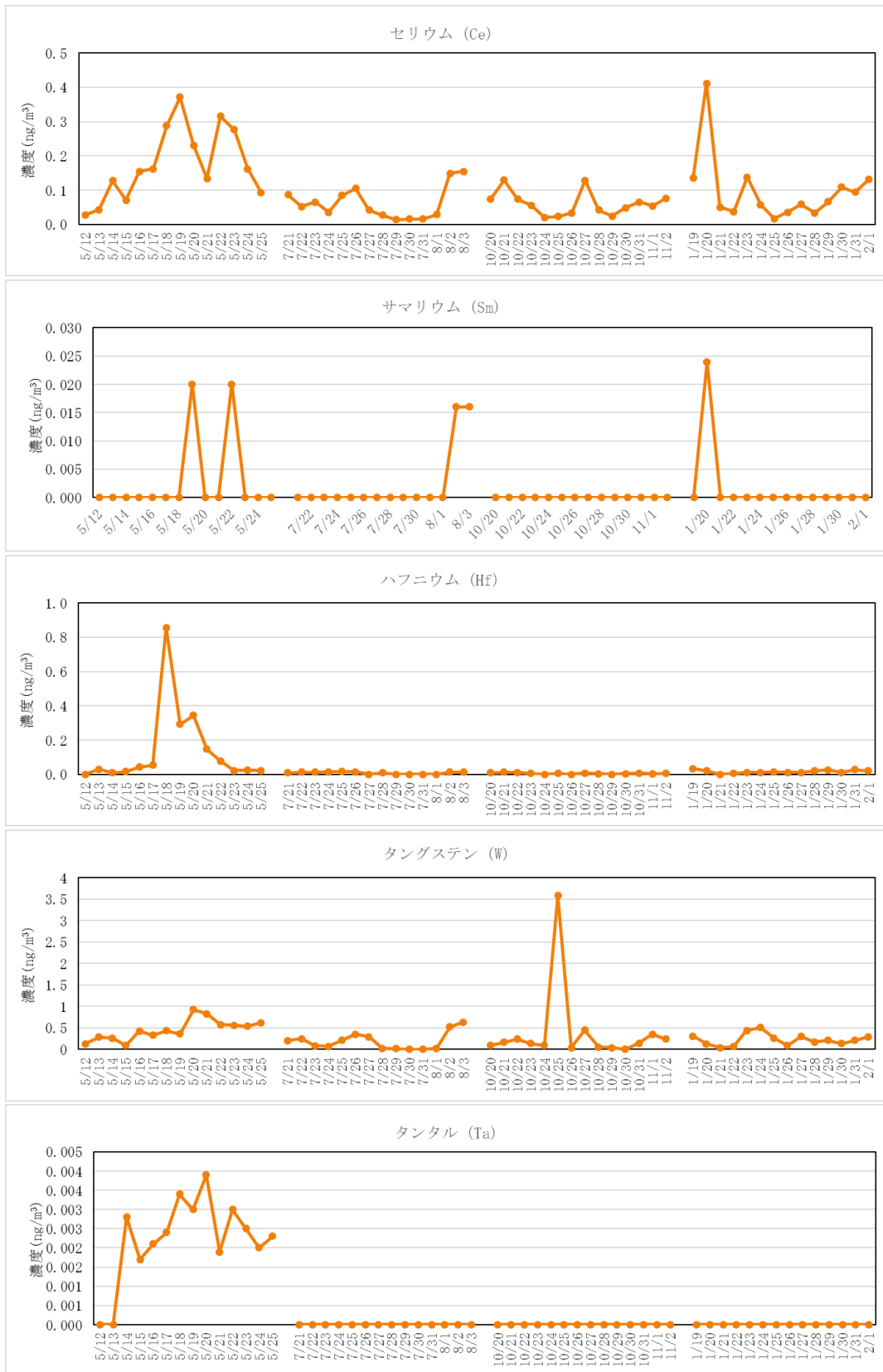


図7-1(6) 無機元素成分濃度測定結果

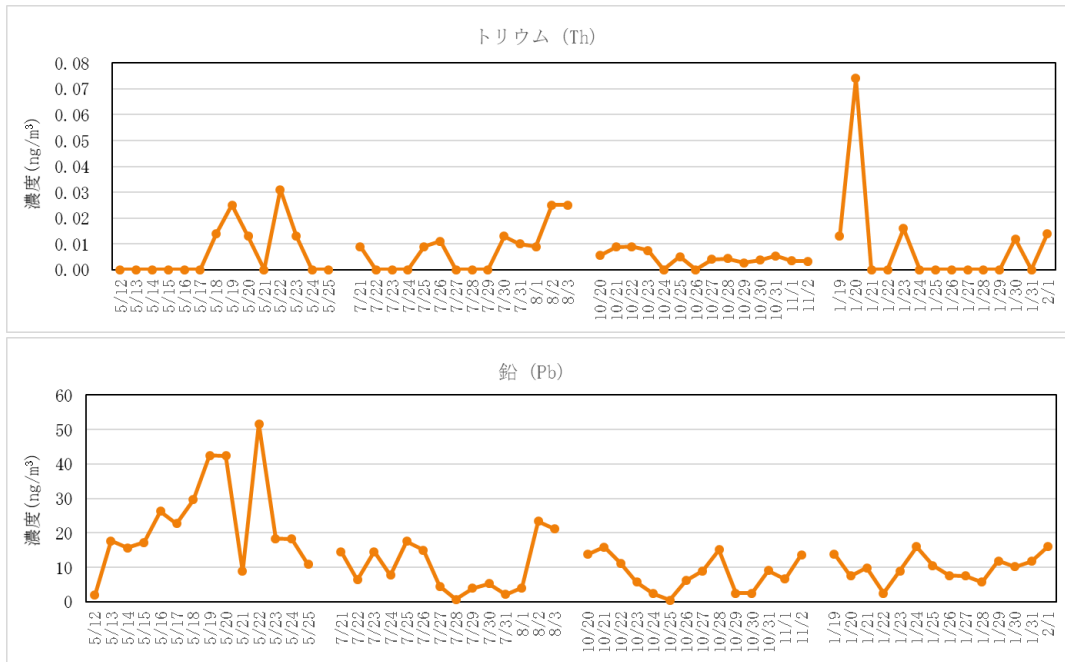


図 7-1(7) 無機元素成分濃度測定結果

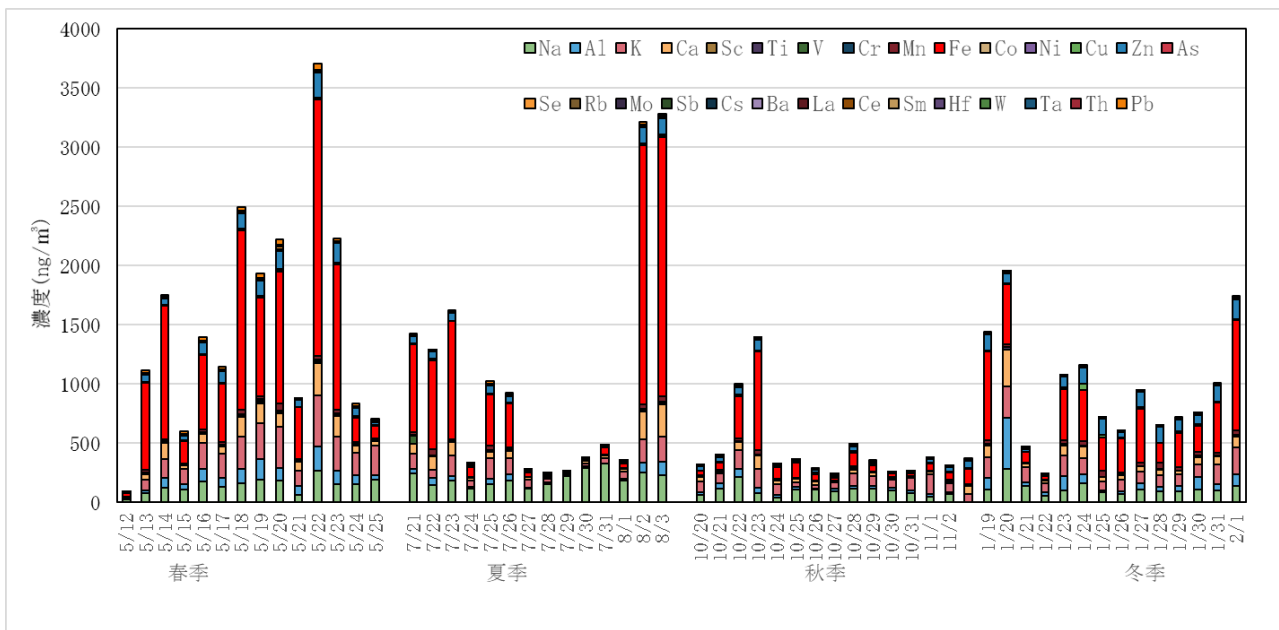


図 7-2 無機元素成分濃度測定結果 (全体濃度)

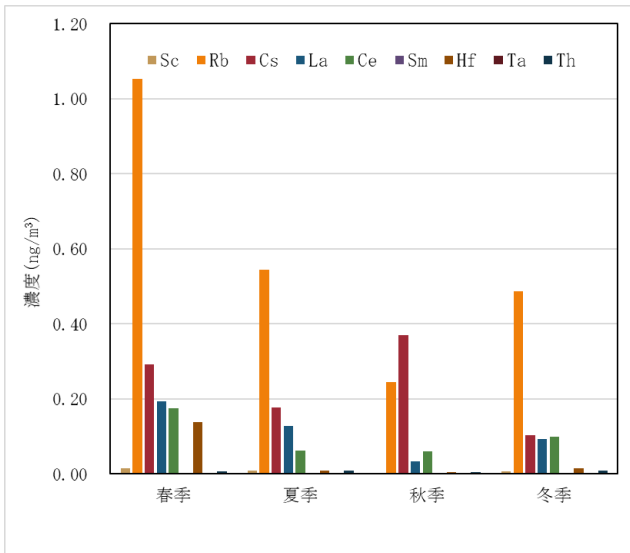
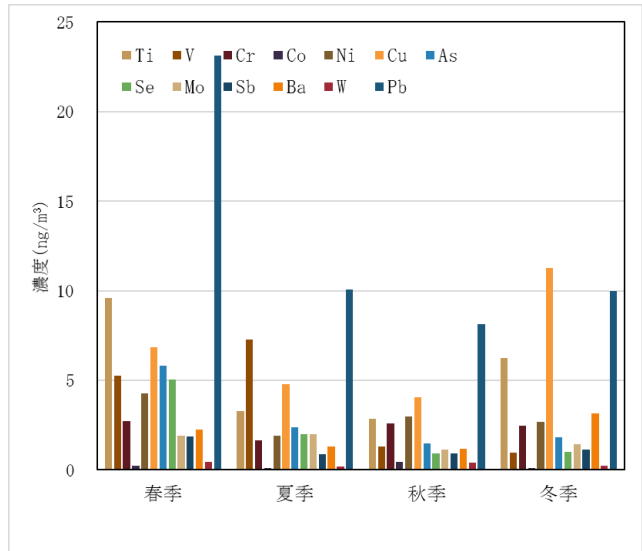
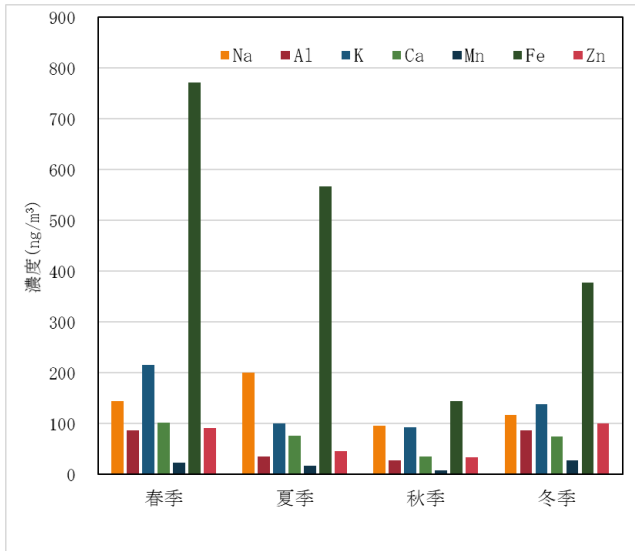


図 7-3 季節ごとの無機元素成分濃度測定結果

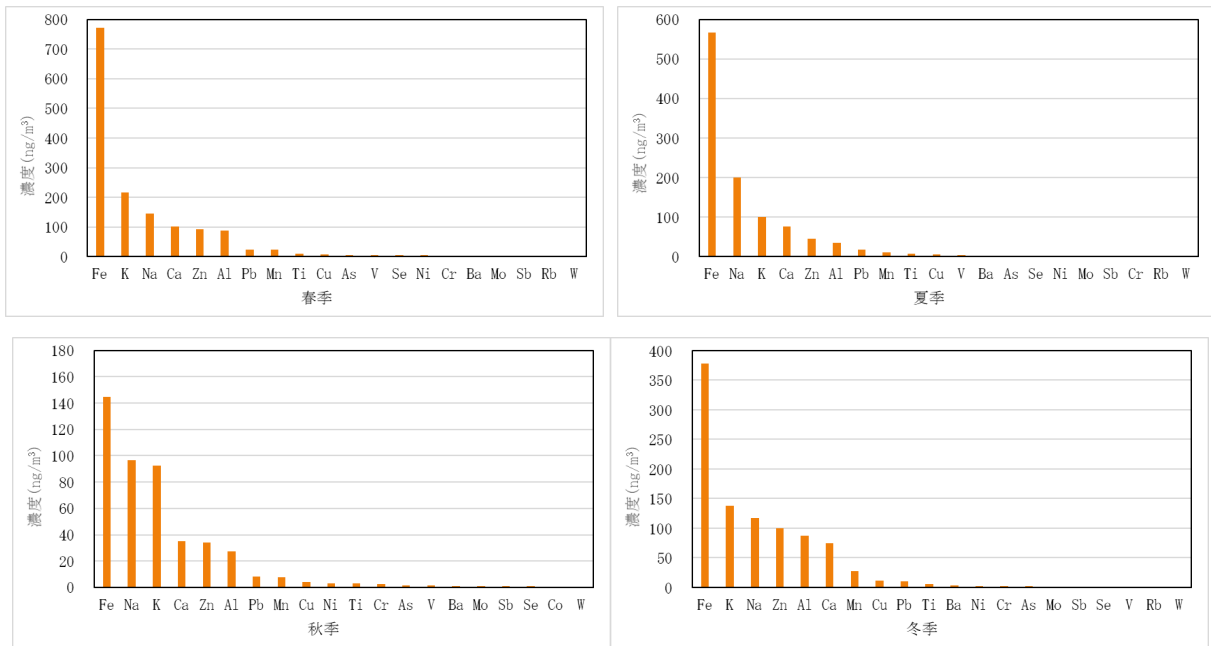


図7-4 季節ごとの無機元素成分濃度の順位（29成分のうち上位20成分について表示）

全体の濃度でみると、年間の測定日のうち、5月22日が最も高い濃度となり、質量濃度と一致する結果であった。鉄の割合が最も多いが、カリウム、カルシウム、亜鉛なども高濃度であった。

季節ごとの濃度では、年間を通じてナトリウム、アルミニウム、カリウム、カルシウム、マンガン、鉄及び亜鉛の各成分は、変動はあるものの無機元素成分の中では多く存在していた。このうち鉄は、全ての季節で最も高い濃度を示したが、特に春季が高濃度であった。

無機元素成分は、成分測定マニュアルによると、発生源の指標となる成分があり、上記の結果と関連付けると次のとおりとなる。

表3 各日で高濃度及び通年で高濃度を示した成分と発生源指標の関係

5月22日	8月3日	10月23日	1月20日	通年	成分名	海塩粒子	土壌	道路粉じん	自動車排気	ブレーキ粉じん	タイヤ粉じん	鉄鋼工業	石油燃焼	廃棄物焼却	野焼き
○			○	○	Na	○								○	
○			○	○	Al		○	○							
					Si										
○				○	K									○	○
○	○		○	○	Ca		○	○				○			
					Sc		○	○							
○			○	○	Ti		○	○		○		○			
○	○				V								○		
	○				Cr							○		○	
	○			○	Mn							○			
○	○			○	Fe			○		○		○			
					Co										
	○				Ni							○	○		
				○	Cu					○		○		○	
○	○			○	Zn						○	○		○	
					As									○	
					Se										
○	○				Rb										
	○				Mo										
○					Sb					○				○	
○	○				Cs										
			○		Ba					○					
					La										
					Ce										
					Sm										
					Hf										
					W										
					Ta										
					Th										
○					Pb										

表3では、各季節で最も無機元素濃度が高かった日で特に高濃度であった成分（測定期間中の上位5番以内に入ったもの）を示す。

無機元素濃度が春季及び年間の測定日で最も高かった5月22日に高濃度であった成分について、海塩粒子、道路粉じん、鉄鋼業及び廃棄物焼却等の発生源指標と共通する成分が多くみられた。

夏季で最も高かった8月3日に高濃度であった成分について、鉄鋼工業及び石油燃焼の発生源指標と共通する成分が多くみられた。

秋季で最も高かった10月23日は全ての成分で濃度が低く、発生源と結びつけることはできなかった。

冬季で最も高かった1月20日は海塩粒子及び道路粉じんの発生源指標と共通する成分が多くみられた。

年間を通じてみると、成分濃度から、道路粉じん、ブレーキ粉じん、鉄鋼工業及び廃棄物焼却が発生源として多く存在していると考えられる。

鉄鋼工業を示す指標のうち、鉄は年間を通じて濃度が高く、カルシウム、亜鉛及びマンガンも比較的濃度が高かった。廃棄物焼却を示す指標では、カリウムは春季に高い傾向を示し、ナトリウムは夏季に高い傾向を示した。

## 6 質量濃度の高濃度時の要因解析

今回の調査では、5月22日の質量濃度の日平均値 $37.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、環境基準（短期基準： $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過し、年間の測定日の中で最も濃度が高かった。この日は、無機成分も最も高く、炭素成分は2番目、イオン成分は3番目に濃度が高かった。

このため、高濃度時の気象状況を調べるために、空気塊の由来と移流経路を求める解析手法として用いられている、後方流跡線解析を行った。その結果は図8に示すとおりである。

また、夏季及び冬季で最も質量濃度が高濃度となった、7月26日（全体の3番目）及び2月1日（全体の9番目）についても後方流跡線解析を行った。その結果は図8に示すとおりである。

なお、秋季で最も高濃度となった10月22日については、全体の18番目であり、特に高濃度とは言えないためここでは省略する。



5月22日6時起点（遡及時間：72時間）

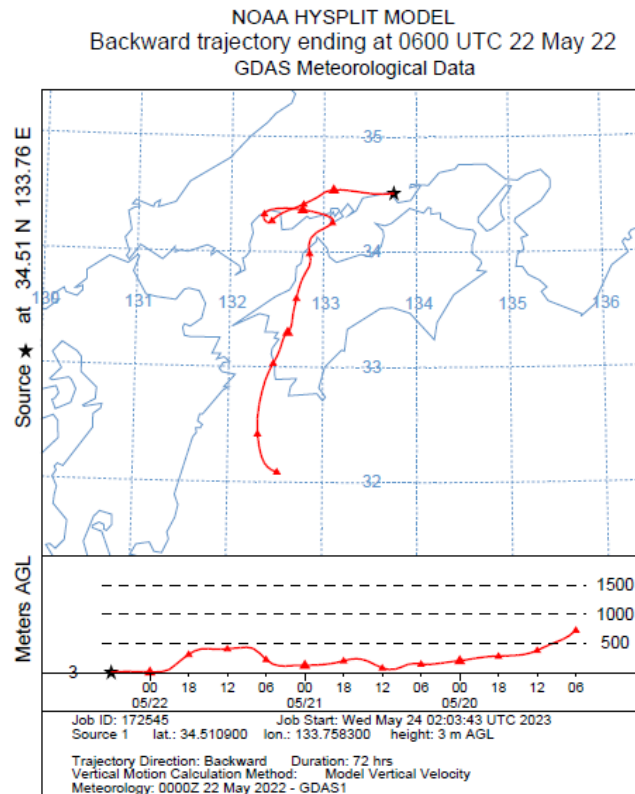


図8(1) 後方流跡線解析図(観測地点高度: 3m NOAA HYSPLIT MODEL)  
(掲載元: ARL, HYSPLIT Trajectory Model Results)

5月22日の要因解析について、松江局到達3日前までは大陸からの移流はなく、広島県と岡山県の瀬戸内海沿いに長く滞在していることが見られた。同日は高濃度であった無機元素成分が鉄鋼工業の発生源指標とほぼ共通したことから、周辺の鉄鋼工業事業場の影響と推測される。

風配図(図2)からも、当日は主に南西方向から比較的強い風が吹いていることが分かり、大陸からの移流ではなく、コンビナート由来であることが推測される。

7月26日6時起点（遡及時間：72時間）

2月1日6時起点（遡及時間：72時間）

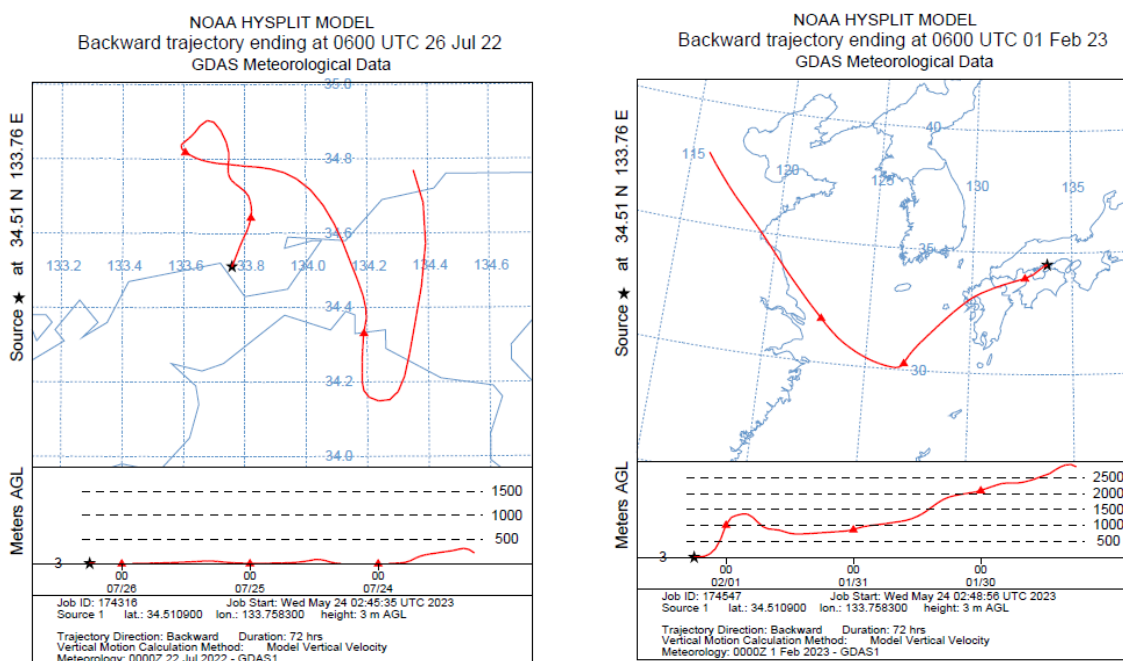


図8(2) 後方流跡線解析図(観測地点高度:3m NOAA HYSPLIT MODEL)  
(掲載元:ARL, HYSPLIT Trajectory Model Results)

7月26日については、瀬戸内海に空気塊が滞留しており、大陸からの移流はなかった。同日は、気温が高く、松江局において昼間のオキシダント濃度の日平均値が年間で最も高かった。このことから、発生源からの一次生成粒子に加えて、窒素酸化物等が拡散されずに蓄積し、光化学反応が進むことにより、二次粒子の生成が促進され、質量濃度が上昇したものと推測される。

2月1日については、大陸からの空気塊の移流が見られるが、大陸-朝鮮半島-日本海-松江測定局という最短ルートではなく、一度東シナ海まで南下した後、九州を横断し、瀬戸内海を経由して移流している。越境移流の影響もあったと推測されるが、成分について大きく他の測定日と異なるものではなかった。

## 7 まとめ

質量濃度について、四季の中で春季が最も濃度が高く、環境基準を超過した日が1日あった。質量濃度に対する各成分の割合は、春季、夏季及び冬季が、イオン成分、炭素成分、無機元素成分の順であり、秋季が炭素成分、イオン成分、無機元素の順であった。

イオン成分について、硫酸イオンが全ての季節で最も高かった。次にアンモニウムイオンが春季から秋季では高かったが、冬季は、硝酸イオンがアンモニウムイオンを上回った。

炭素成分について、OCとECの濃度を比較した結果、全ての測定日でOCの濃度が高かった。季節ごとの濃度では、OCは春季が高かった。OCとECの割合については、春季が最も高くなり、コンビナートの強い影響が示唆された。

無機元素成分について、年間を通じてナトリウム、アルミニウム、カリウム、カルシウム、

マンガン、鉄及び亜鉛の各成分は、季節で変動はあるものの成分の中では多く存在していた。このうち鉄は、全ての季節で最も高い濃度を示したが、特に春季が高濃度であった。

発生源指標と成分濃度の関係から、年間を通じてみると、道路粉じん、ブレーキ粉じん、鉄鋼工業及び廃棄物焼却が発生源として多く存在していると考えられる。

後方流跡線解析により、高濃度の要因は異なっていると推測することができた。