

令和3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）

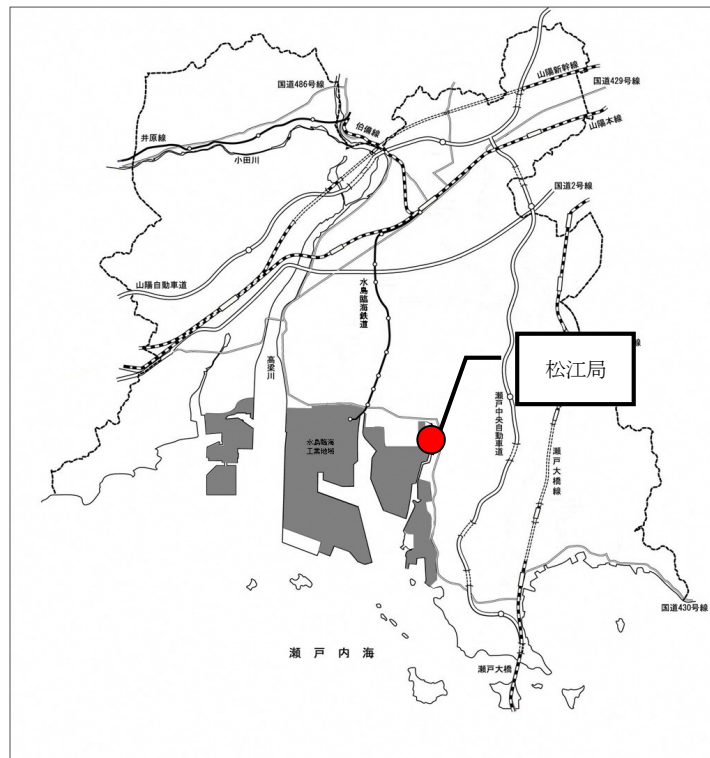


図1 調査地点

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 ⁺ 、NH ₄ ⁺ 、K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Ca ²⁺ 、Cl ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻	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(℃)	湿度(%)	雨量(mm)	気圧(hPa)	日射量(MJ/m ²)	
	2021年5月13日	10:00	～	2021年5月14日								9:50
春	2021年5月13日	10:00	～	2021年5月14日	9:50	WSW	1.1	21.0	76	--	1012.5	18.2
春	2021年5月14日	10:00	～	2021年5月15日	9:50	ENE	1.5	23.2	72	--	1013.2	19.7
春	2021年5月15日	10:00	～	2021年5月16日	9:50	NNE	1.5	22.2	81	0.5	1011.8	8.8
春	2021年5月16日	10:00	～	2021年5月17日	9:50	ENE	2.2	23.0	86	12.5	1006.1	11.7
春	2021年5月17日	10:00	～	2021年5月18日	9:50	S	1.6	23.1	82	1.0	1007.3	10.8
春	2021年5月18日	10:00	～	2021年5月19日	9:50	SSW	1.4	21.7	78	--	1010.1	6.8
春	2021年5月19日	10:00	～	2021年5月20日	9:50	NNE	1.5	21.4	78	--	1011.9	14.6
春	2021年5月20日	10:00	～	2021年5月21日	9:50	SSW	1.3	21.3	93	23.0	1005.4	3.5
春	2021年5月21日	10:00	～	2021年5月22日	9:50	WSW	2.6	20.4	68	--	1007.0	12.4
春	2021年5月22日	10:00	～	2021年5月23日	9:50	SW	2.4	20.2	68	--	1009.0	21.3
春	2021年5月23日	10:00	～	2021年5月24日	9:50	SW	1.6	23.5	59	--	1009.5	21.7
春	2021年5月24日	10:00	～	2021年5月25日	9:50	W	1.4	18.5	87	--	1007.5	8.4
春	2021年5月25日	10:00	～	2021年5月26日	9:50	WSW	1.7	21.1	56	--	1008.5	19.7
春	2021年5月26日	10:00	～	2021年5月27日	9:50	ESE	2.1	19.2	66	9.0	1008.7	11.9
夏	2021年7月22日	10:00	～	2021年7月23日	9:50	ENE	2.1	30.2	59	--	1010.4	24.5
夏	2021年7月23日	10:00	～	2021年7月24日	9:50	E	1.9	30.8	61	--	1009.4	27.3
夏	2021年7月24日	10:00	～	2021年7月25日	9:50	ENE	2.1	30.5	59	--	1009.0	26.1
夏	2021年7月25日	10:00	～	2021年7月26日	9:50	ENE	2.0	30.0	60	--	1007.3	23.4
夏	2021年7月26日	10:00	～	2021年7月27日	9:50	SSE	1.2	30.6	55	--	1002.9	26.4
夏	2021年7月27日	10:00	～	2021年7月28日	9:50	NE	1.6	30.2	60	--	1001.1	25.6
夏	2021年7月28日	10:00	～	2021年7月29日	9:50	SW	1.6	30.6	58	--	1001.6	25.6
夏	2021年7月29日	10:00	～	2021年7月30日	9:50	SW	1.5	30.7	65	--	1001.3	25.1
夏	2021年7月30日	10:00	～	2021年7月31日	9:50	SW	1.5	30.4	61	--	1001.6	25.3
夏	2021年7月31日	10:00	～	2021年8月1日	9:50	SW	1.6	31.0	59	--	1001.6	25.3
夏	2021年8月1日	10:00	～	2021年8月2日	9:50	NE	2.0	31.0	64	--	1002.8	23.2
夏	2021年8月2日	10:00	～	2021年8月3日	9:50	NE	1.8	30.7	64	--	1006.6	18.7
夏	2021年8月3日	10:00	～	2021年8月4日	9:50	NE	1.9	30.5	69	--	1010.6	22.9
夏	2021年8月4日	10:00	～	2021年8月5日	9:50	ENE	1.6	31.7	63	--	1008.5	21.6
秋	2021年10月21日	10:00	～	2021年10月22日	9:50	NE	1.7	15.7	56	--	1017.2	10.9
秋	2021年10月22日	10:00	～	2021年10月23日	9:50	NNE	1.5	15.9	60	--	1018.7	15.0
秋	2021年10月23日	10:00	～	2021年10月24日	9:50	NNE	1.7	14.3	58	--	1026.6	12.4
秋	2021年10月24日	10:00	～	2021年10月25日	9:50	NNE	1.7	14.6	63	--	1024.1	8.2
秋	2021年10月25日	10:00	～	2021年10月26日	9:50	NNE	1.1	13.0	89	22.5	1019.0	3.8
秋	2021年10月26日	10:00	～	2021年10月27日	9:50	NNE	1.4	17.0	72	--	1017.5	14.9
秋	2021年10月27日	10:00	～	2021年10月28日	9:50	N	1.0	16.9	68	--	1017.5	11.8
秋	2021年10月28日	10:00	～	2021年10月29日	9:50	NNE	1.2	16.8	56	--	1021.4	15.0
秋	2021年10月29日	10:00	～	2021年10月30日	9:50	NE	1.8	15.0	58	--	1023.5	12.5
秋	2021年10月30日	10:00	～	2021年10月31日	9:50	NE	1.9	17.5	69	6.5	1023.4	8.3
秋	2021年10月31日	10:00	～	2021年11月1日	9:50	N	1.2	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
秋	2021年11月1日	10:00	～	2021年11月2日	9:50	N	1.0	17.5	70	--	1019.4	12.1
秋	2021年11月2日	10:00	～	2021年11月3日	9:50	N	1.0	16.2	63	--	1016.7	14.1
秋	2021年11月3日	10:00	～	2021年11月4日	9:50	N	1.5	16.0	75	2.0	1015.8	10.5

表2(2) 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 ²)	
	2021年1月20日	10:00	～	2021年1月21日								9:50
冬	2021年1月20日	10:00	～	2021年1月21日	9:50	NNW	1.4	3.1	60	--	1024.3	11.9
冬	2021年1月21日	10:00	～	2021年1月22日	9:50	N	1.4	4.1	56	--	1028.6	9.5
冬	2021年1月22日	10:00	～	2021年1月23日	9:50	NE	1.6	4.8	61	--	1025.0	10.5
冬	2021年1月23日	10:00	～	2021年1月24日	9:50	NNE	1.2	4.7	87	7.0	1018.5	2.3
冬	2021年1月24日	10:00	～	2021年1月25日	9:50	NNE	1.5	4.8	64	--	1019.7	6.6
冬	2021年1月25日	10:00	～	2021年1月26日	9:50	N	0.9	4.4	70	--	1020.0	6.2
冬	2021年1月26日	10:00	～	2021年1月27日	9:50	NNW	1.3	7.5	58	--	1021.2	12.5
冬	2021年1月27日	10:00	～	2021年1月28日	9:50	N	0.9	6.8	64	--	1019.0	11.1
冬	2021年1月28日	10:00	～	2021年1月29日	9:50	W	1.3	7.9	54	--	1016.9	9.5
冬	2021年1月29日	10:00	～	2021年1月30日	9:50	WSW	1.4	6.4	54	--	1015.5	9.5
冬	2021年1月30日	10:00	～	2021年1月31日	9:50	W	1.0	5.2	62	--	1016.5	9.1
冬	2021年1月31日	10:00	～	2021年2月1日	9:50	N	1.3	5.0	58	--	1021.4	10.7
冬	2021年2月1日	10:00	～	2021年2月2日	9:50	W	2.1	5.4	61	--	1022.0	7.1
冬	2021年2月2日	10:00	～	2021年2月3日	9:50	WSW	1.7	6.4	54	--	1022.4	10.3

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31日～11月1日 監視センター局停電のため欠測

また、図2に松江局の風配図を示す。

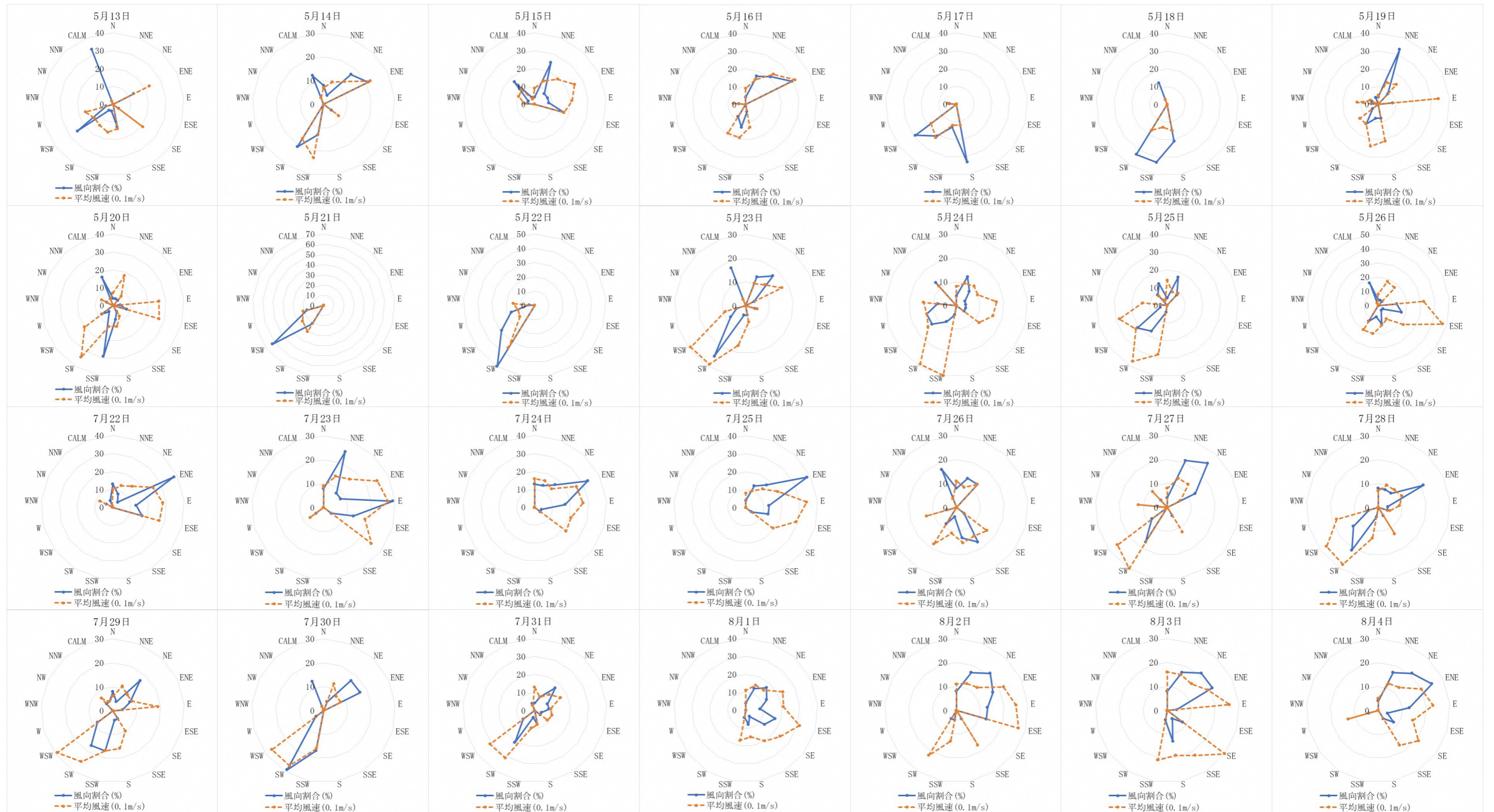


図 2(1) 各調査日の風配図 (松江局) (風配図には静穏 (風速 0.5m/s 未満) を含む。

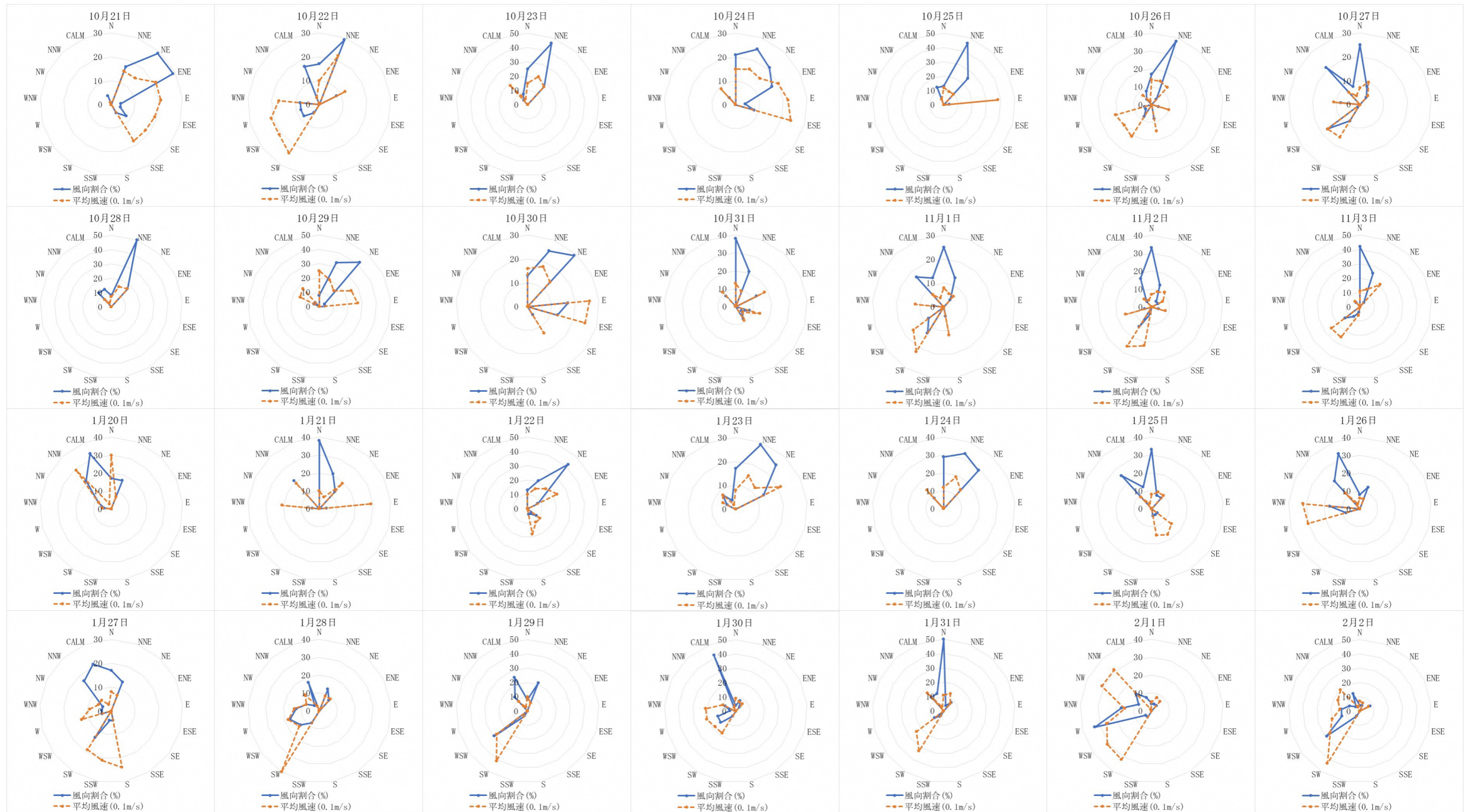


図 2 (2) 各調査日の風配図 (松江局) (風配図には静穏 (風速 0.5m/s 未満) を含む。)

(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。

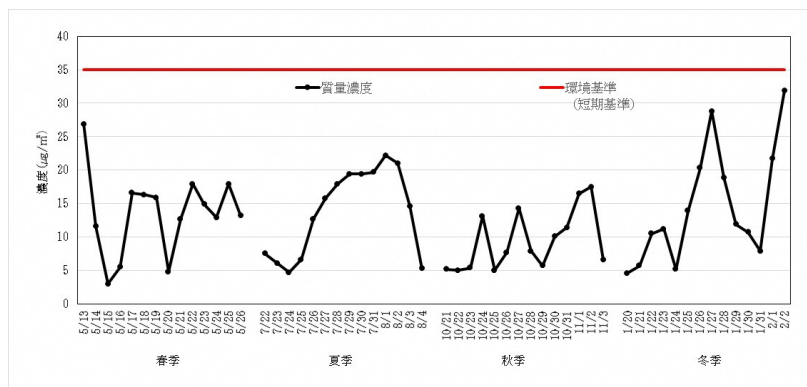


図3-1 質量濃度測定結果

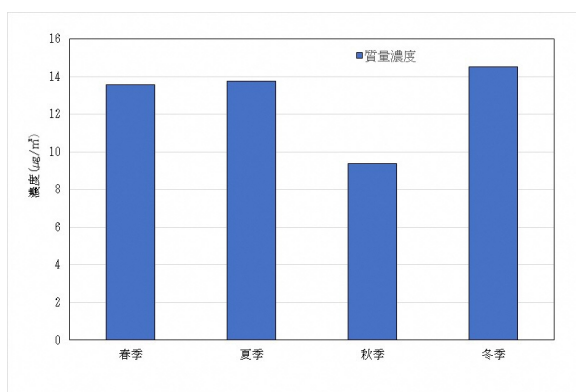


図3-2 季節ごとの質量濃度測定結果

測定日ごとの日平均値は、 $3.0 \sim 31.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、環境基準値（短期基準： $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）未満であった。

各季の平均値は、 $9.4 \sim 14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、四季を通じてみると、冬季の平均値が最も高かった。なお、年間の平均値は、 $12.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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。

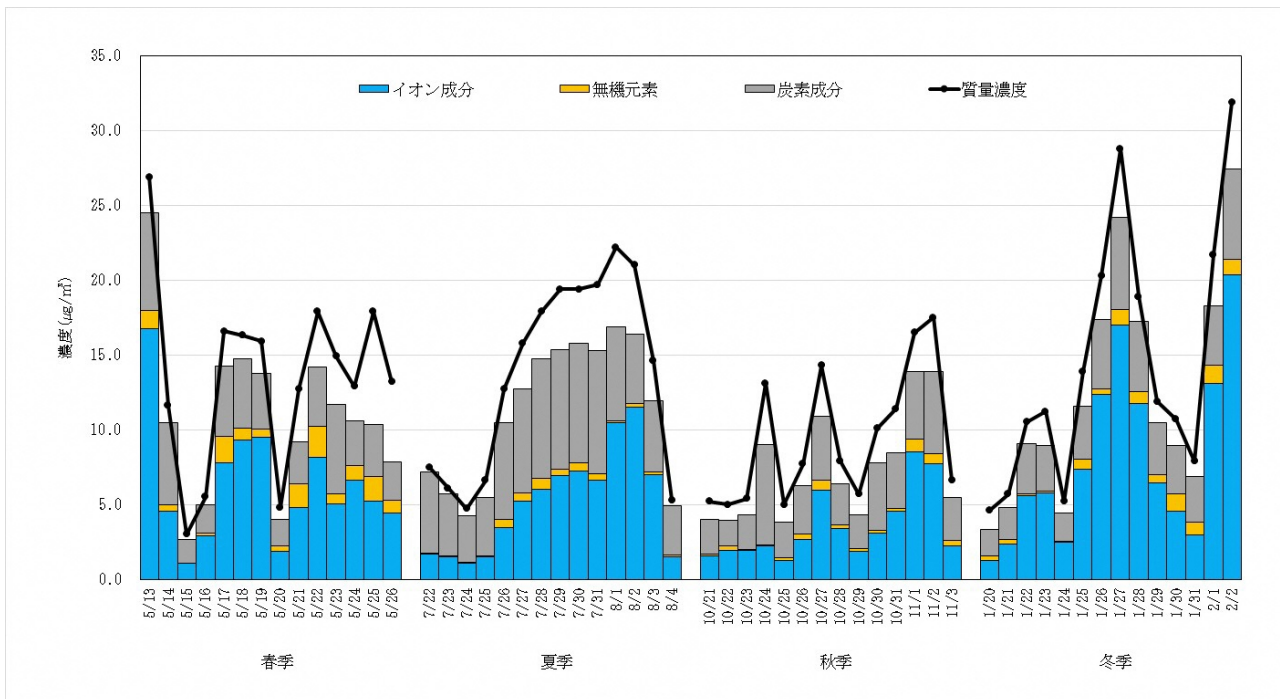


図4-1 質量濃度に対する各成分の濃度

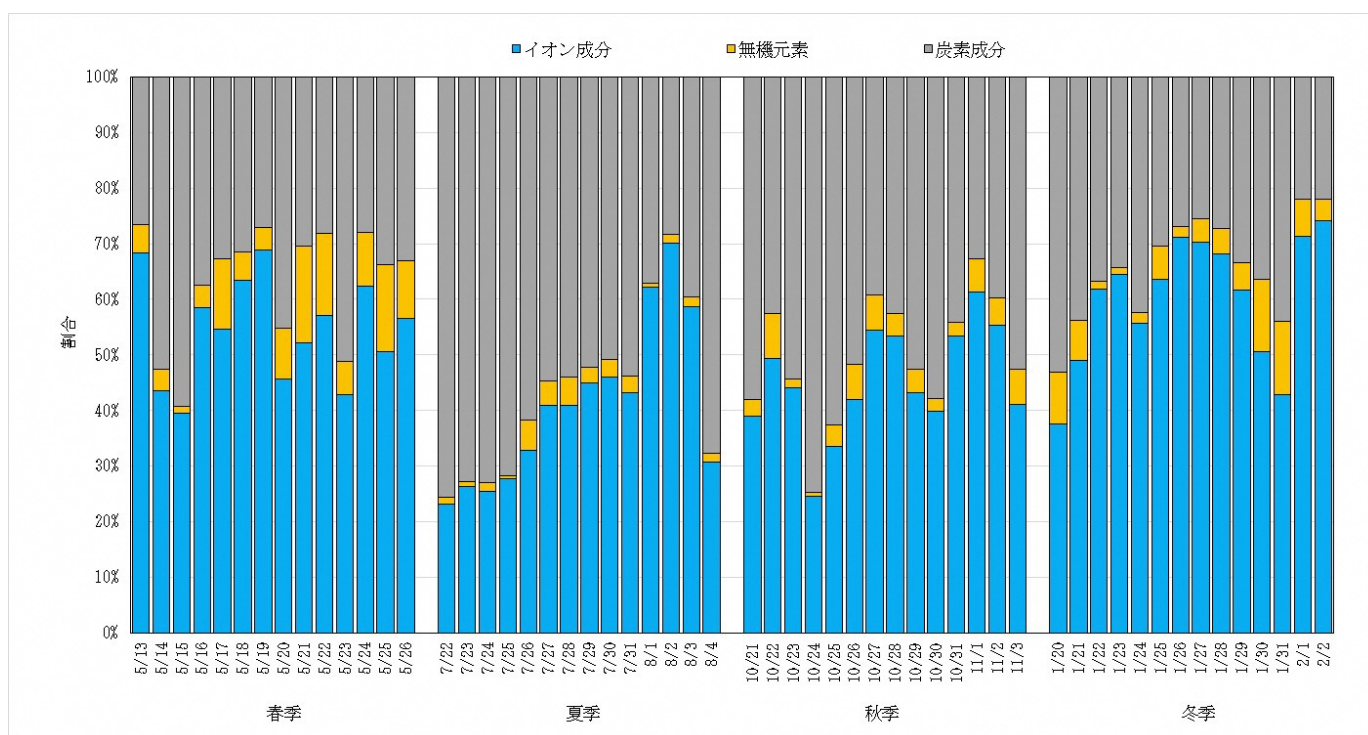


図4-2 各成分の割合

質量濃度に対する各成分のうち、春季及び冬季ではイオン成分の割合が最も高く、夏季及び秋季ではイオン成分と炭素成分の割合がほぼ同等であった。なお、質量濃度が最も高濃度であった2月2日はイオン成分の割合が最も高く、このうち硝酸イオン、硫酸イオン及びアンモニウムイオンの濃度が高かった。

(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。

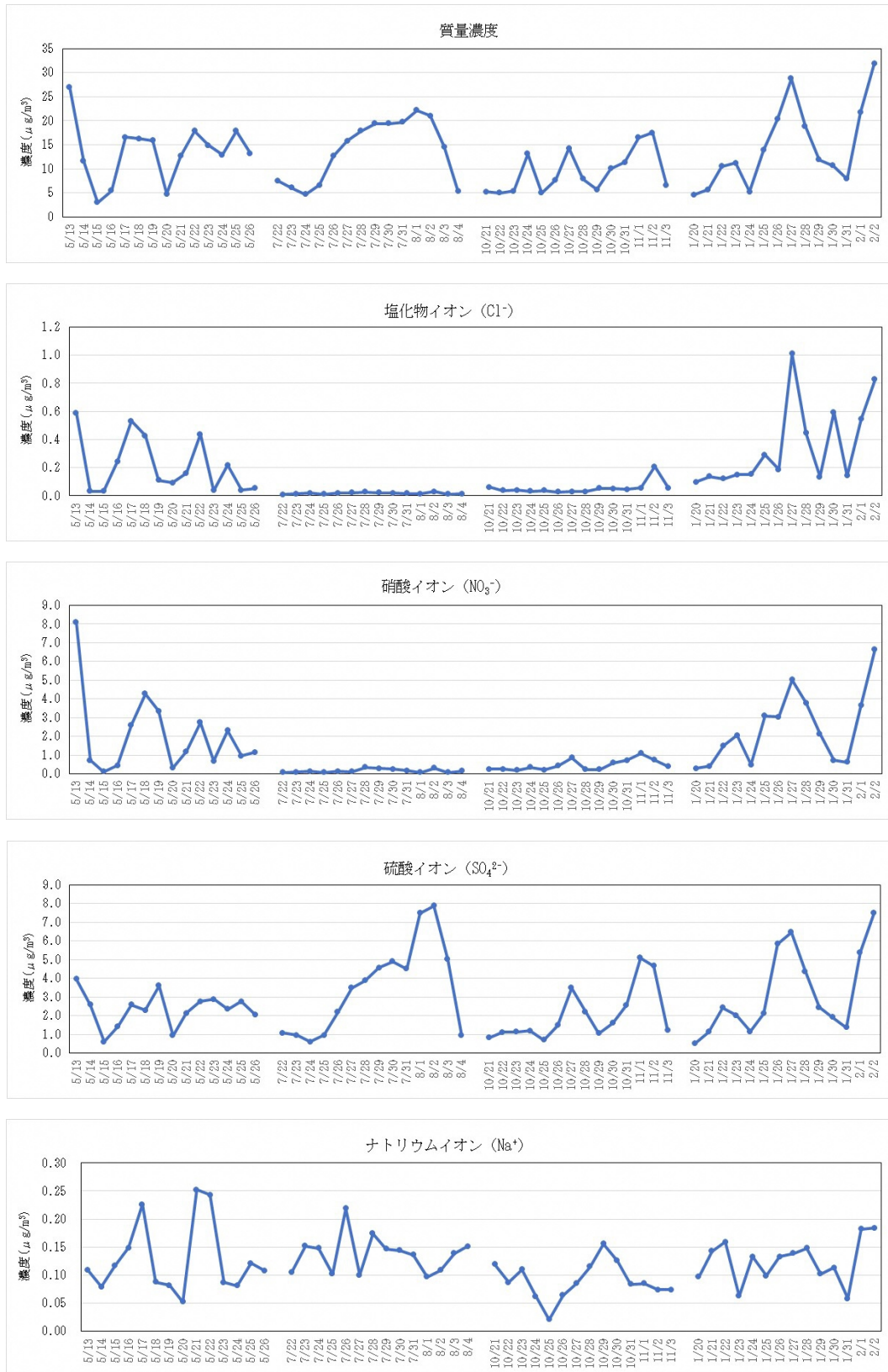


図5-1(1) イオン成分濃度測定結果

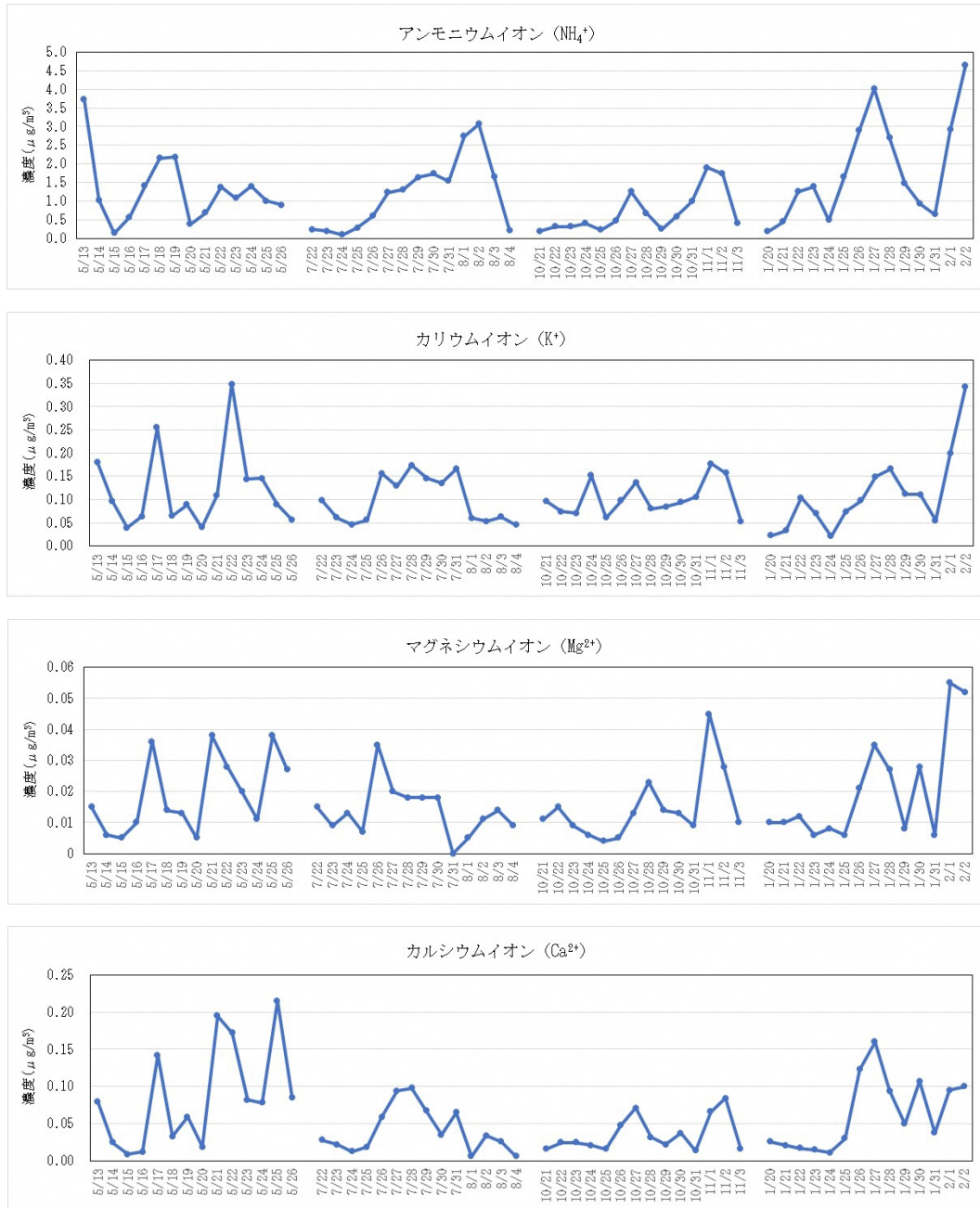


図5-1(2) イオン成分濃度測定結果

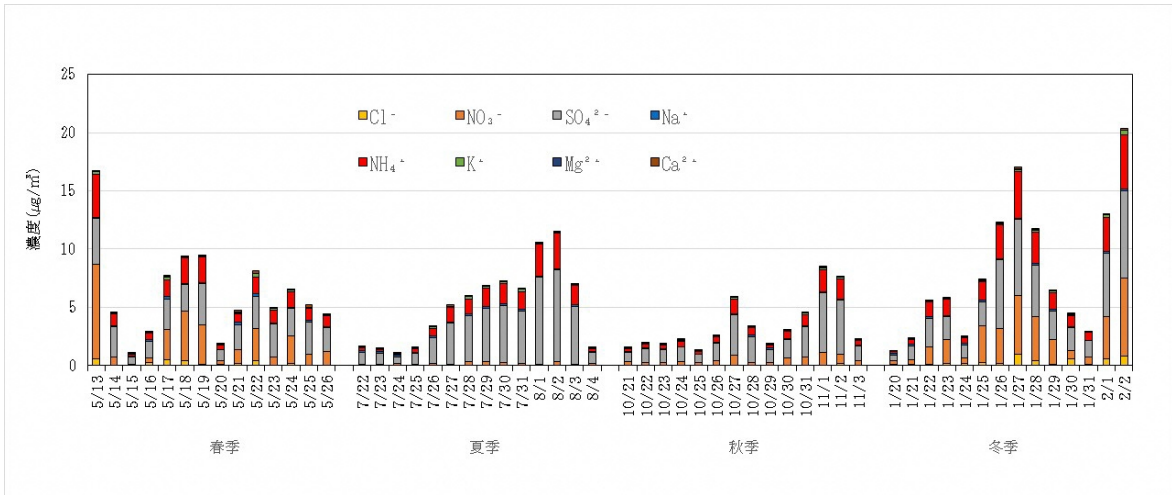


図 5-2 イオン成分濃度測定結果 (全体濃度)

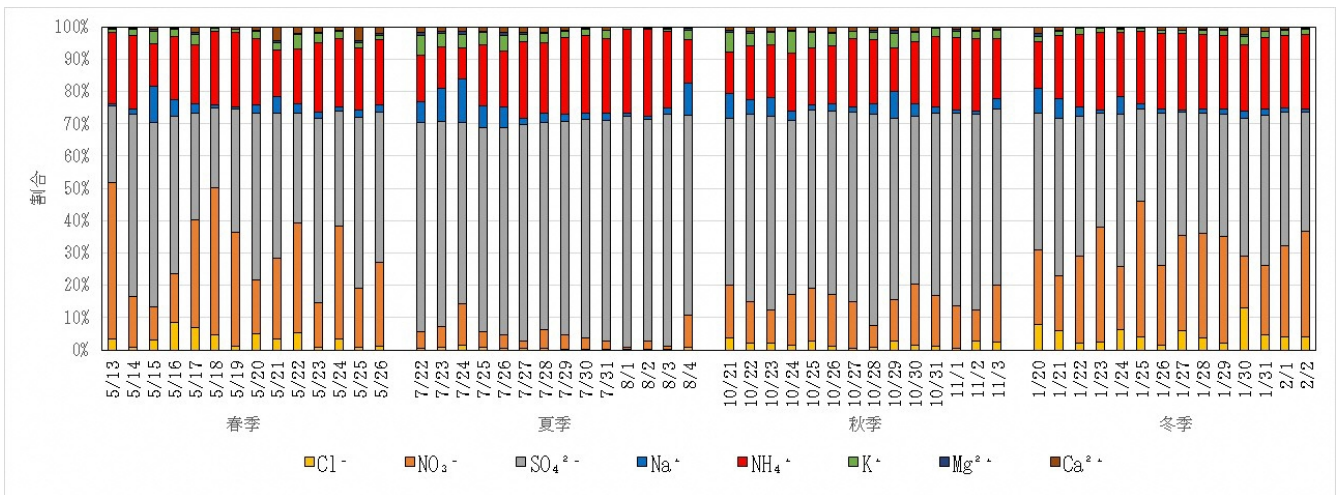


図 5-3 イオン成分濃度の割合

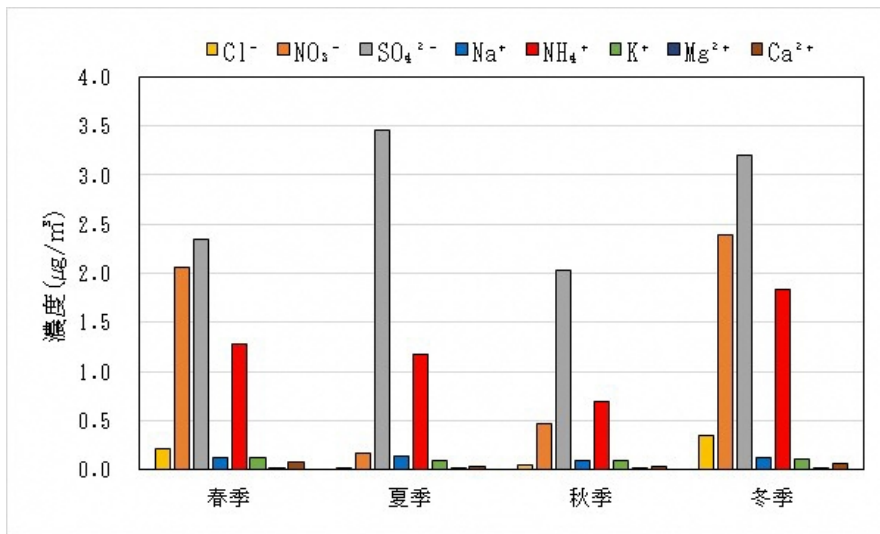


図 5-4 季節ごとのイオン成分濃度測定結果

測定日ごとの濃度では、イオン成分の中で濃度が高い硫酸イオン及びアンモニウムイオンが、四季を通じて質量濃度と同じような変動を示した。しかし、硫酸イオンとアンモニウムイオンをイオン成分濃度の割合で見ると、硫酸イオンは季節変動がみられるが、アンモニウムイオンは季節変動があまりみられなかった。硝酸イオンと硫酸イオンの濃度の和とアンモニウムイオンの濃度の相関係数が 0.99 を超えることから、アンモニウムイオンは硝酸イオン、硫酸イオン及びその両方の濃度の上昇に伴って上昇していることがわかる。また、イオン成分濃度が最も高い日となった2月2日には、ナトリウムイオンとカルシウムイオン以外のイオン成分が各イオン成分の測定日ごとの濃度に対して比較的高濃度となった。(図5-1~図5-3)

季節ごとの濃度では、硫酸イオンが全ての季節を通じて最も高かった。塩化物イオン及び硝酸イオンについて、夏季及び秋季以外で高濃度となる傾向であった。特に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。また、カリウムイオン及びマグネシウムイオンについて、季節ごとの変動が小さい傾向であった。(図5-4)

(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。

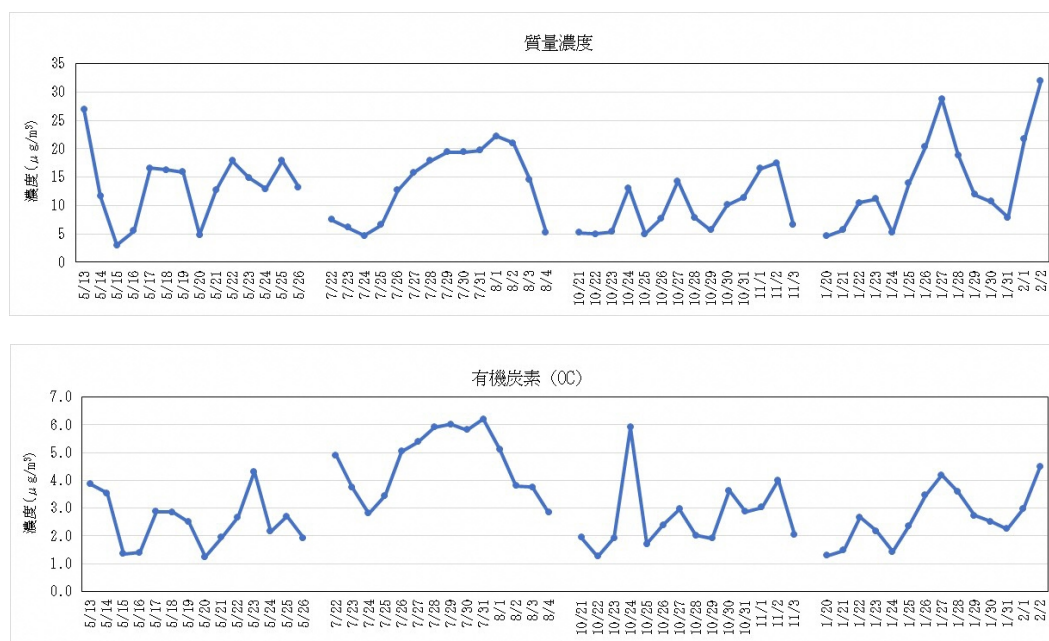


図6-1(1) 炭素成分濃度測定結果

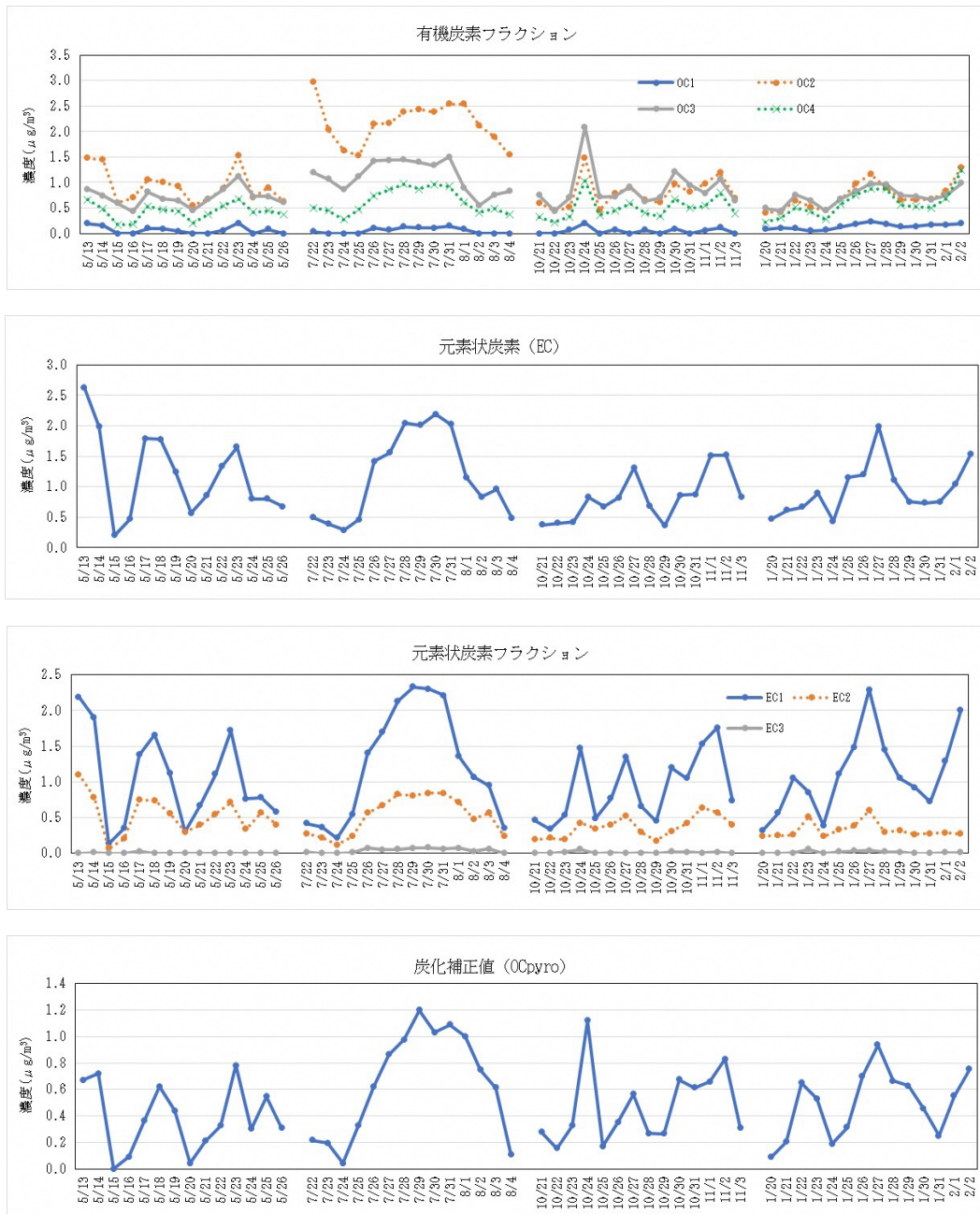


図6-1(2) 炭素成分濃度測定結果

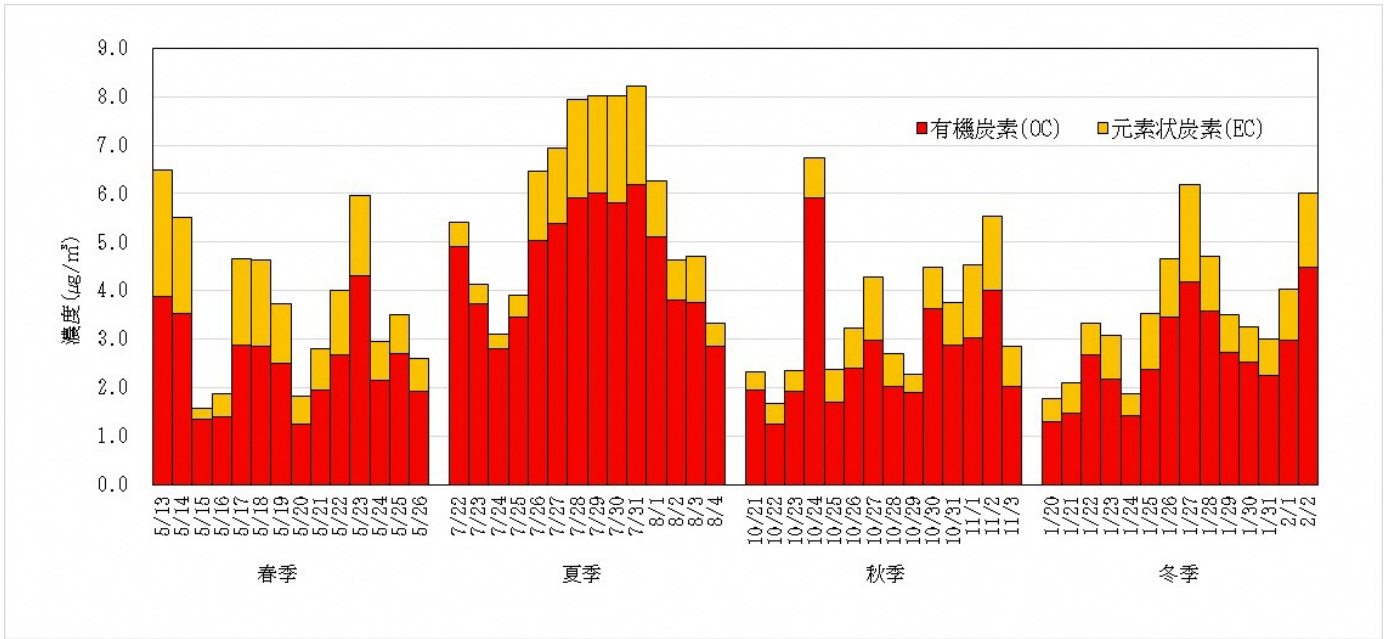


図 6-2 炭素成分濃度測定結果 (全体濃度)

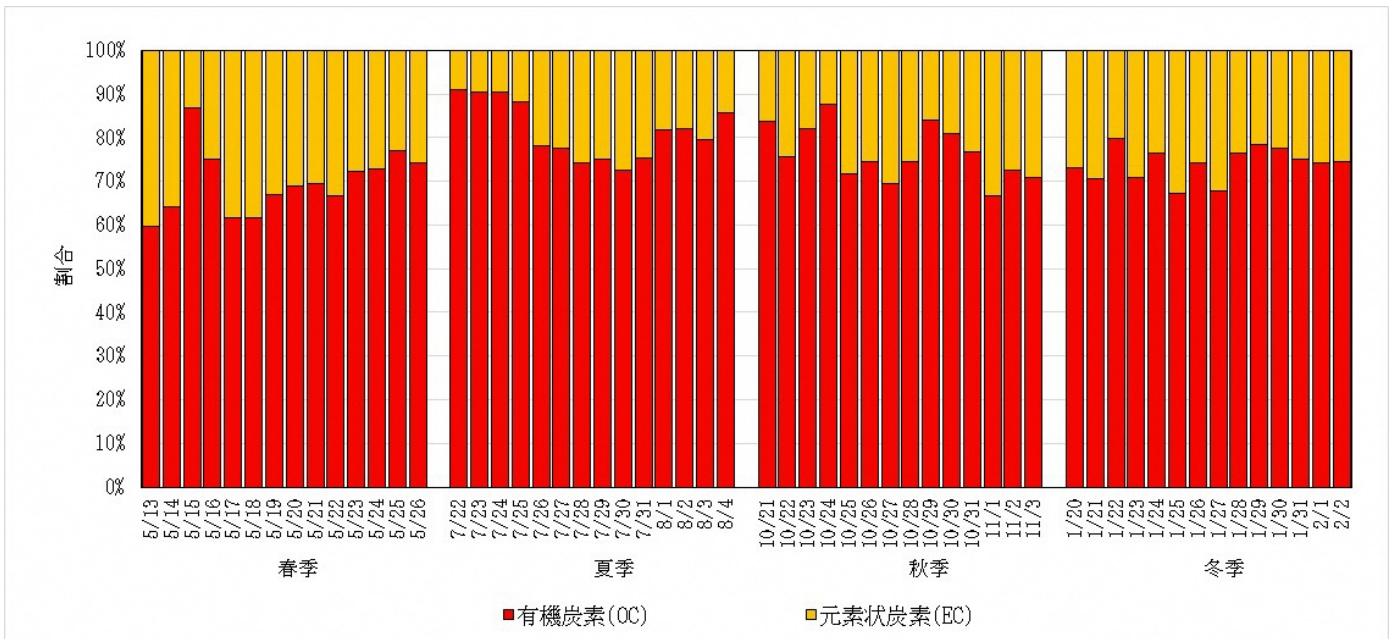


図 6-3 OCとECの割合

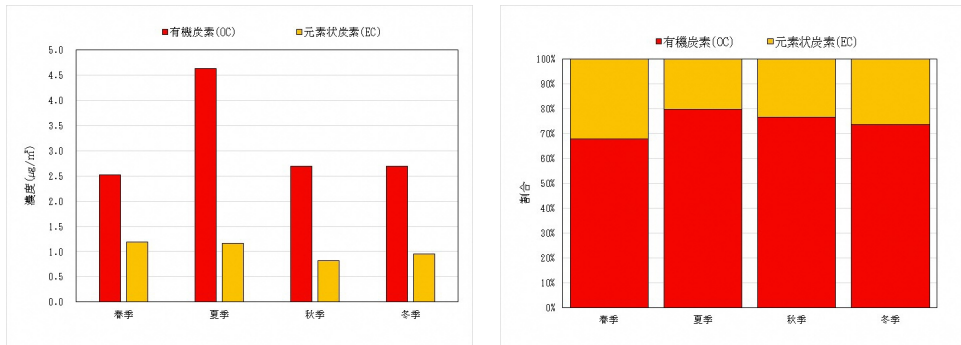


図6-4 季節ごとの炭素成分濃度測定結果及び割合

測定日ごとの質量濃度の変動に対して、有機炭素及び元素炭素どちらもほぼ同じような変動を示した。有機炭素と元素炭素の濃度を合計した全体濃度について、数日かけてピークを形成する傾向がみられるが、10月24日のみ、急に突出したピークを形成していた。有機炭素フラクション（OC1～OC4）について、夏季はOC2が最も濃度が高く、春季もほぼOC2が最も濃度が高くなりやすい傾向であった。秋季はOC2とOC3がほぼ同じ濃度で推移し、冬季はOC2～4がほぼ同じ濃度で推移していた。元素炭素フラクション（EC1～EC3）について、EC1、EC2、EC3の順に濃度が高い傾向となった。（図6-1、図6-2）

有機炭素と元素炭素の割合を比較した結果、全ての測定日で元素炭素の濃度より有機炭素の濃度が高くなった。（図6-3）

季節ごとの濃度では、有機炭素は夏季が高く、元素炭素は季節に因らずほぼ一定であった。元素炭素は、自動車排気や石油燃焼の指標元素とされており、石油燃焼の影響を受けている可能性がある。なお、有機炭素と元素炭素の割合については、季節による変動はほぼみられず、有機炭素が6割から8割を占めていた。（図6-4）

(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。

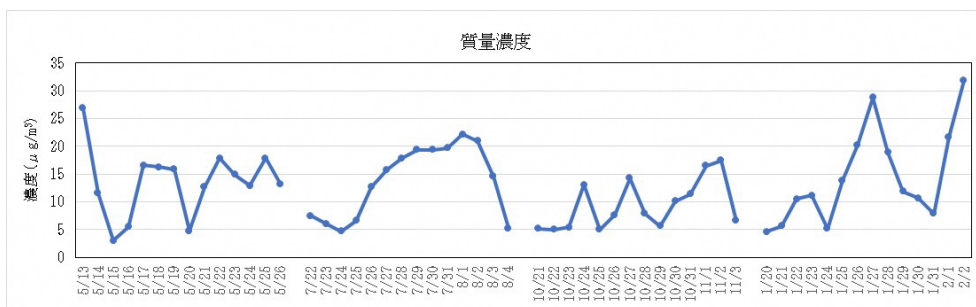


図7-1(1) 無機元素成分濃度測定結果

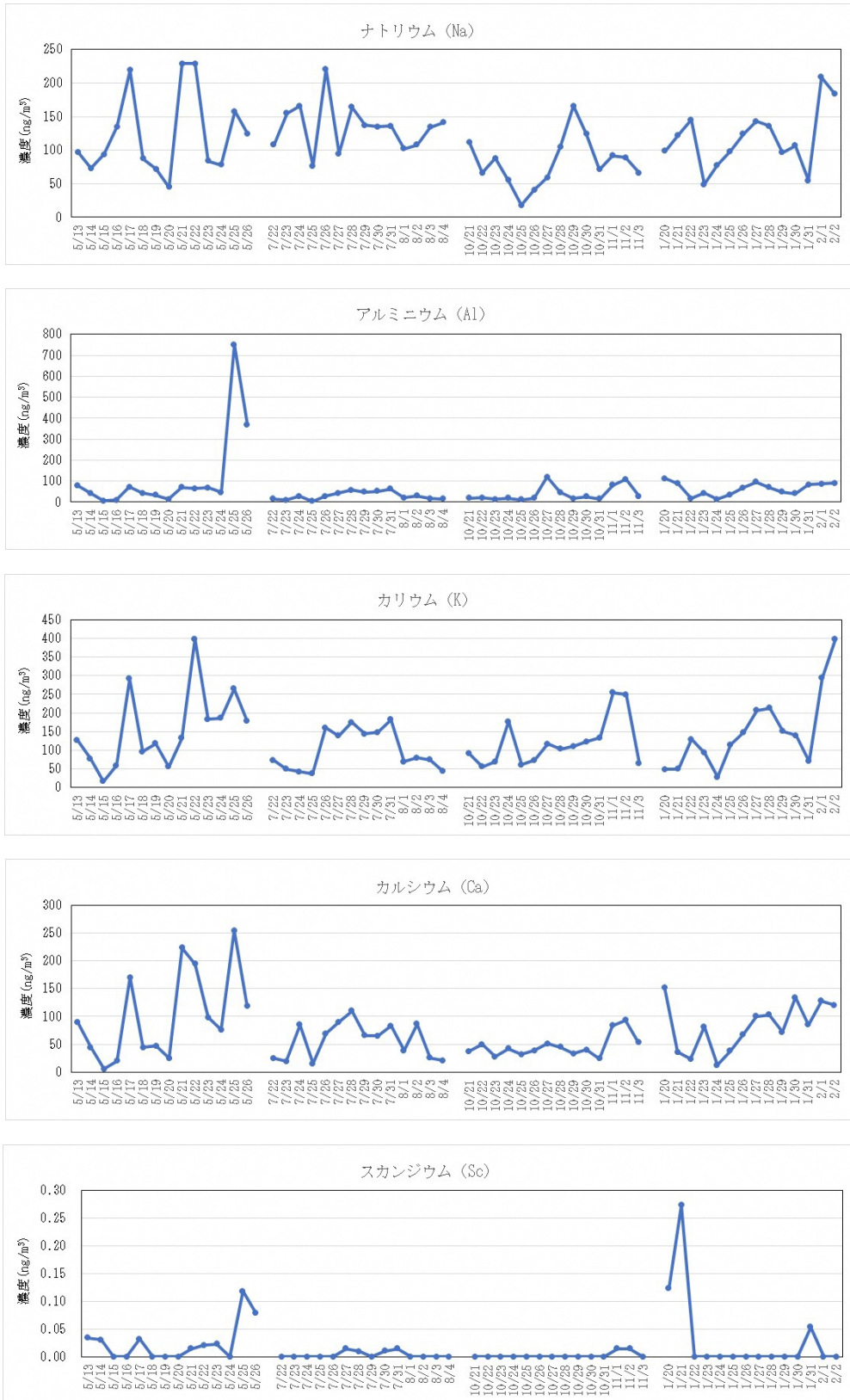


図 7-1(2) 無機元素成分濃度測定結果

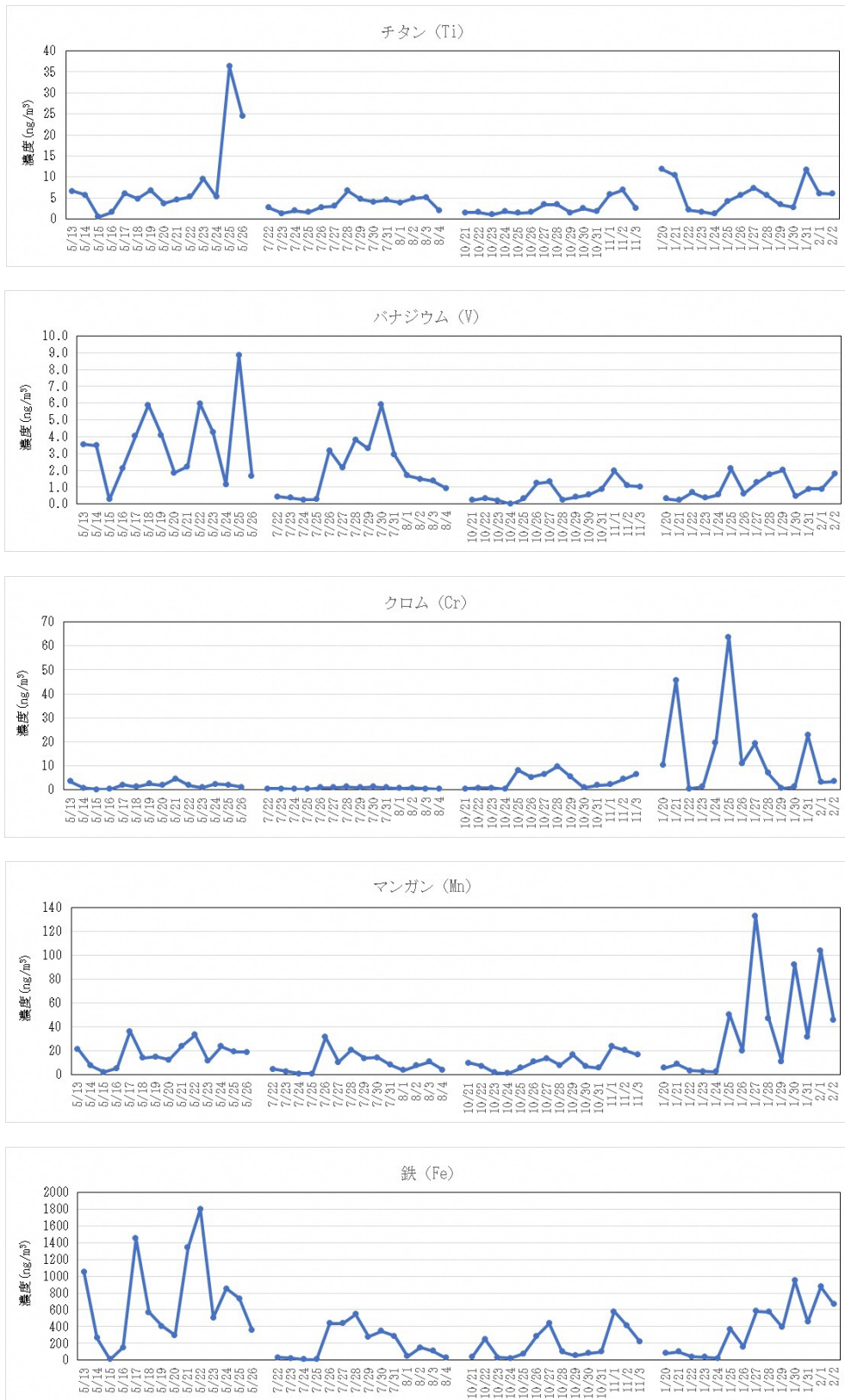


図 7-1(3) 無機元素成分濃度測定結果

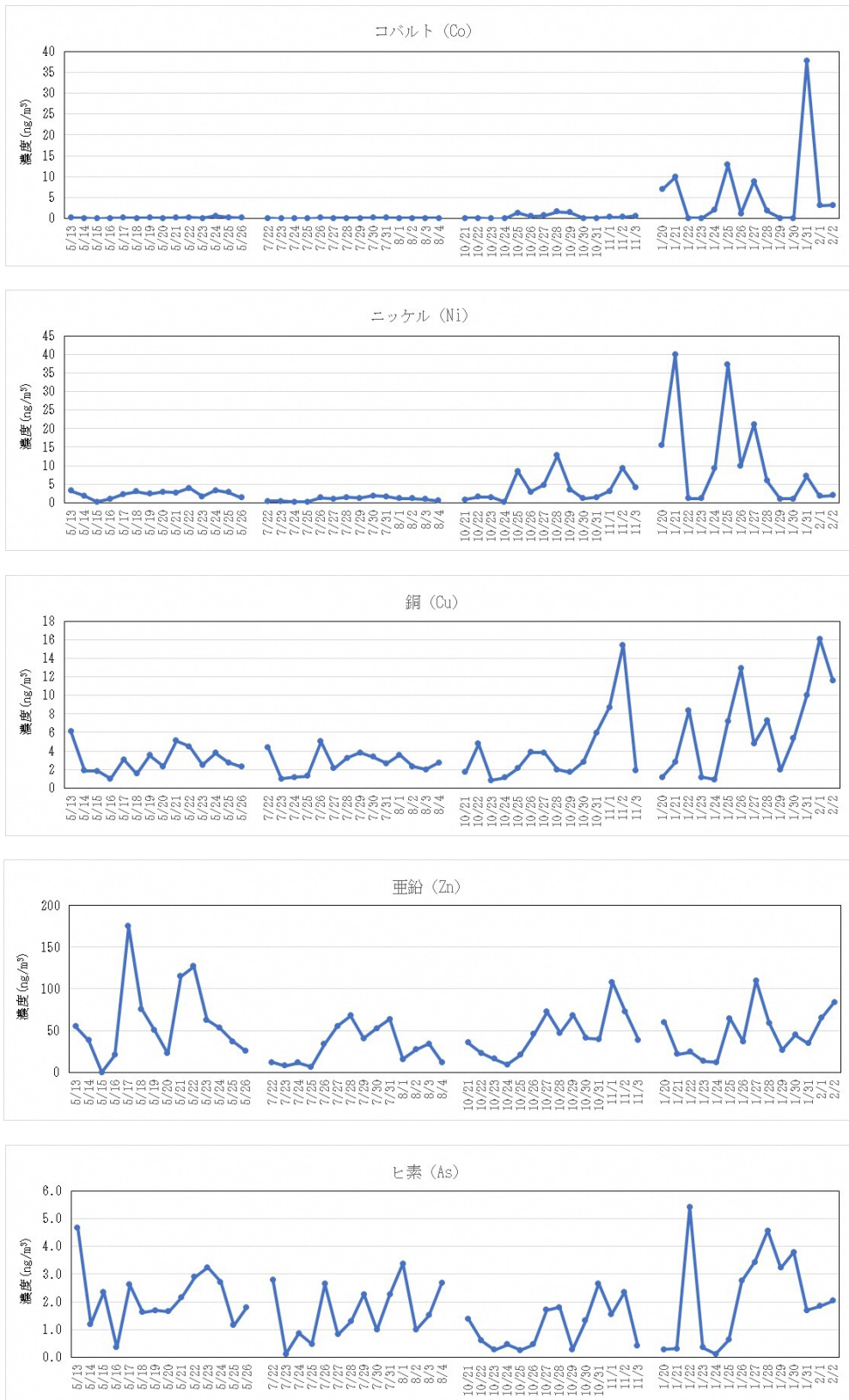


図 7-1(4) 無機元素成分濃度測定結果

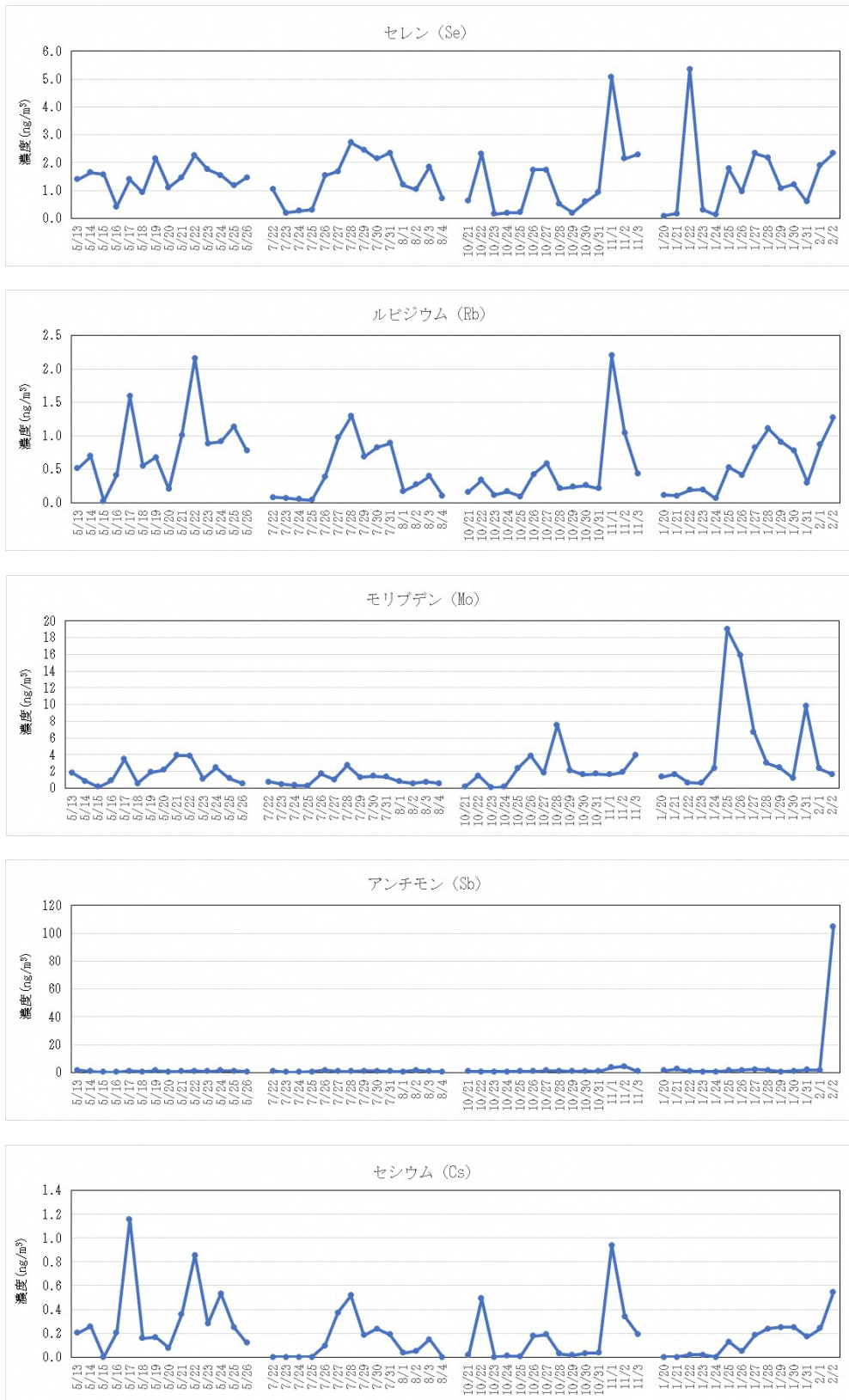


図 7-1(5) 無機元素成分濃度測定結果

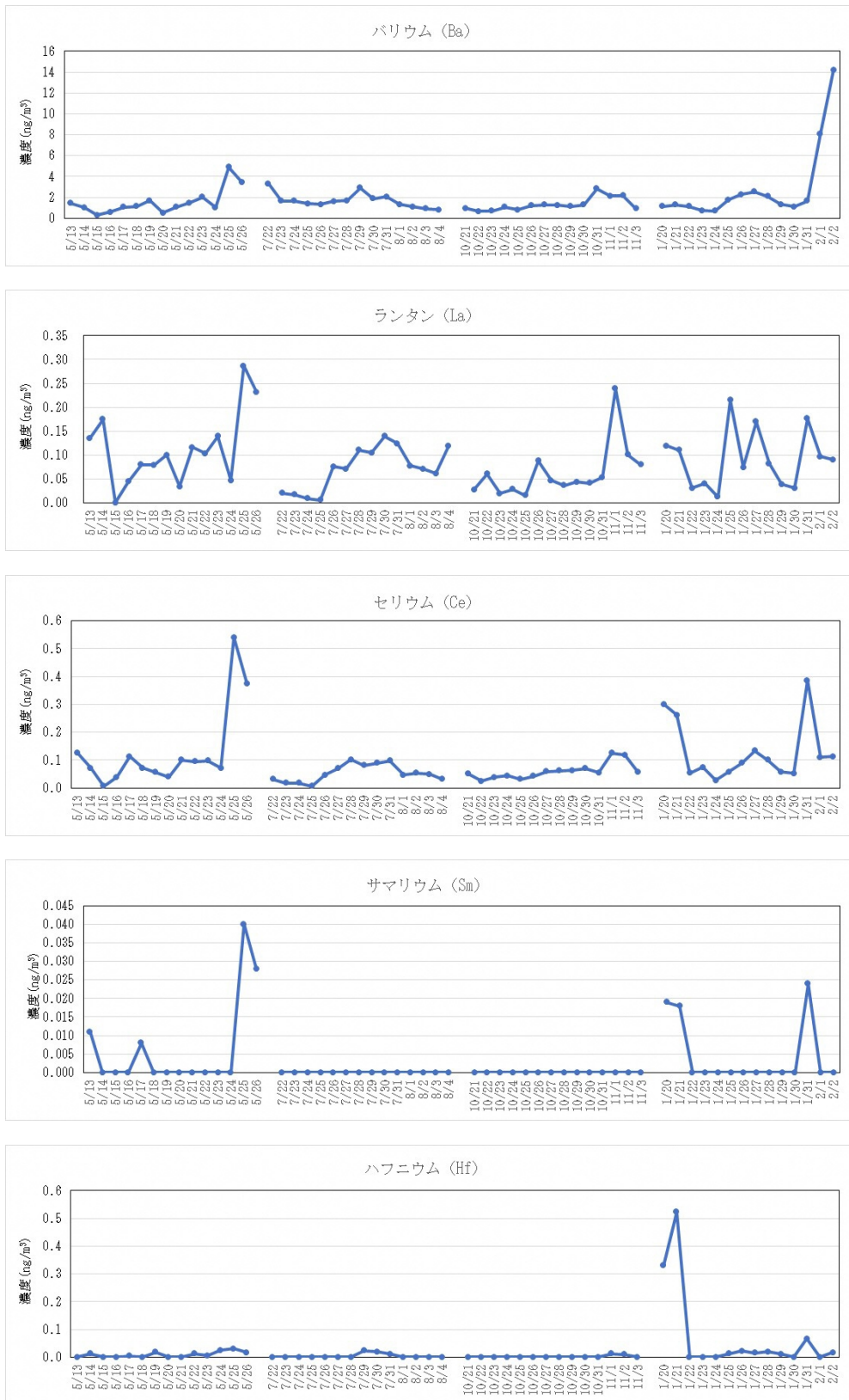


図 7-1(6) 無機元素成分濃度測定結果

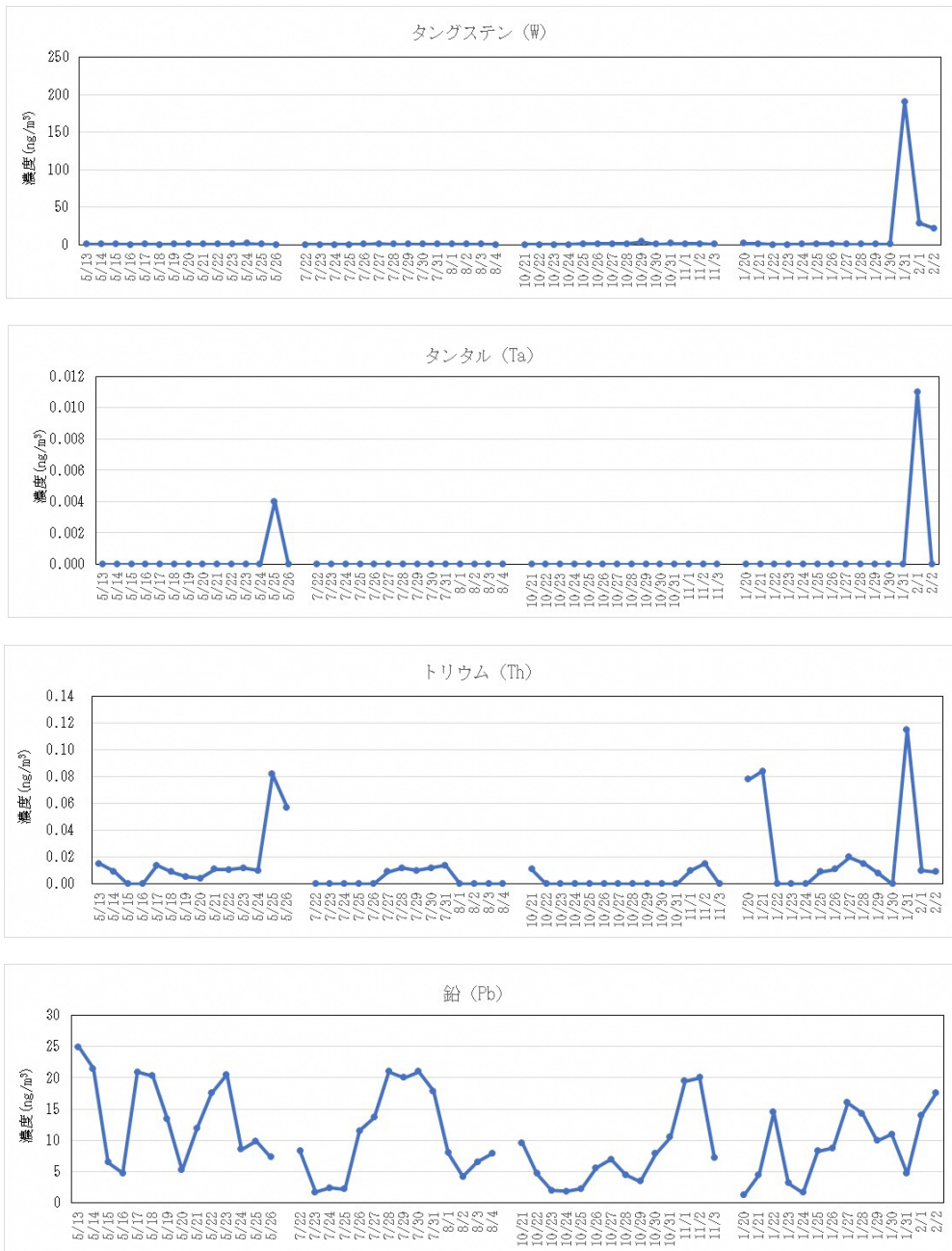


図 7-1(7) 無機元素成分濃度測定結果

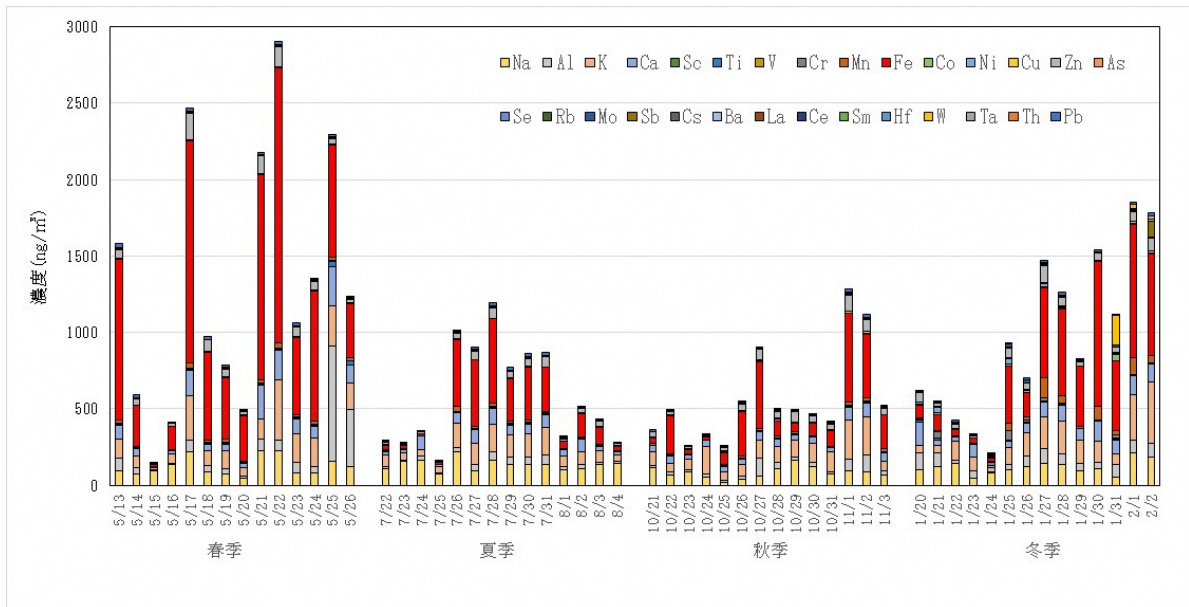


図 7-2 無機元素成分濃度測定結果 (全体濃度)



図 7-3 季節ごとの無機元素成分濃度測定結果

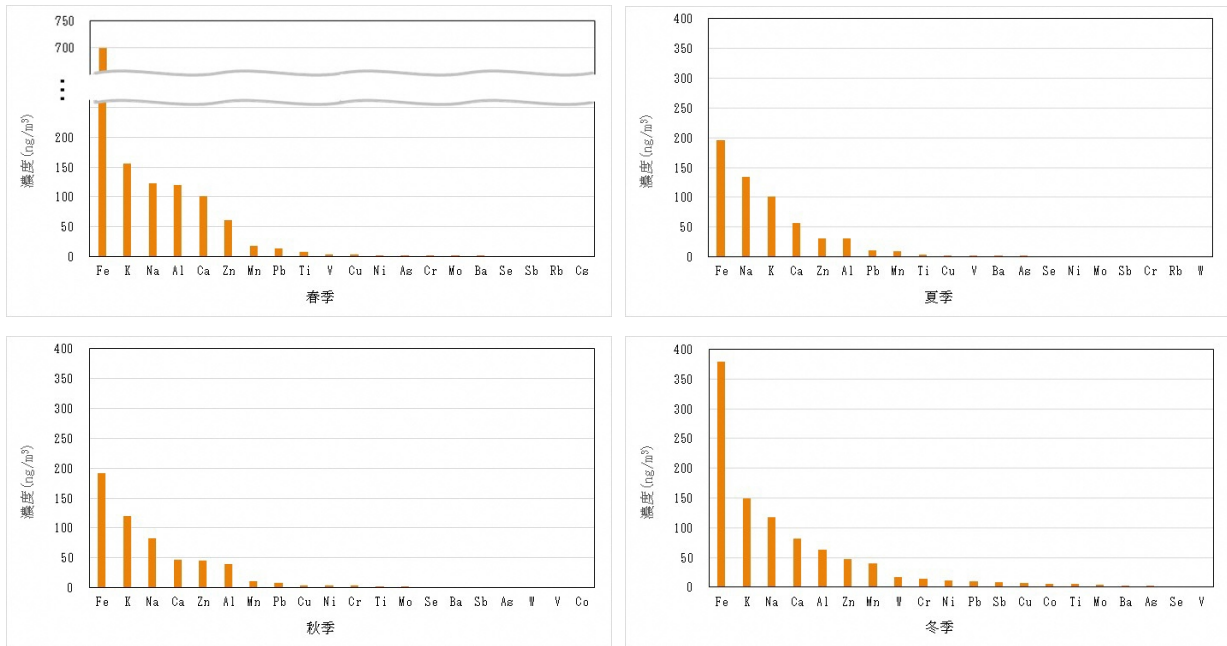


図7-4 季節ごとの無機元素成分濃度の順位 (29成分のうち上位20成分について表示)

無機元素成分全体の濃度で見ると、年間の測定日のうち、5月22日が最も高い濃度となり、質量濃度が最も高濃度だった2月2日とは異なる結果となった。(図7-2)

2月2日に最も高い濃度であった成分は29成分のうちアンチモン及びバリウムのみであったことに対し、5月22日には、年間を通して無機元素成分濃度の順位1～3位に入った鉄、カリウム及びナトリウムが最も高い濃度を示し、この日の無機元素成分全体濃度の80%以上を占めていた。なお、主風向は2月2日が西南西、5月22日が南西であった。(図7-1、図7-4)

季節ごとの濃度では、前年度と同様に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。(図7-3、図7-4)

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	7月28日	11月1日	2月1日	2月2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
○					○	Fe			○		○		○			
○			○	○	○	K									○	○
○					○	Na	○								○	
○					○	Ca		○	○				○			
○					○	Zn						○	○		○	
			○		○	Mn							○			
			○	○		Cu					○		○		○	
		○		○		Sb					○				○	
			○	○		Ba					○					
○						V								○		

表3では、発生源指標がある、かつ、各季節で最も無機元素濃度が高かった日及び最も質量濃度が高かった日で特に高濃度であった成分のみ抜粋している。

無機元素濃度が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、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。

質量濃度が年間の測定日で最も高かった2月2日に高濃度であった成分について、ブレーキ粉じん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。

無機元素濃度が冬季で最も高かった2月1日に高濃度であった成分について、廃棄物焼却、ブレーキ粉じん及び鉄鋼工業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、カリウムは春季及び冬季に高い傾向を示し、ナトリウムは秋季に低い傾向を示した。

6 質量濃度の高濃度時の要因解析

今回の調査では、2月2日の質量濃度の日平均値が $31.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、環境基準（短期基準： $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は超過していないが、年間の測定日で最も濃度が高く、イオン成分濃度が最も高い日となった。また、5月13日の質量濃度の日平均値 $26.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が冬季以外の測定日で最も濃度が高かった。

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。

2月3日8時起点 (溯及時間 : 72 時間)
 NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectory ending at 0800 UTC 03 Feb 22
 GDAS Meteorological Data

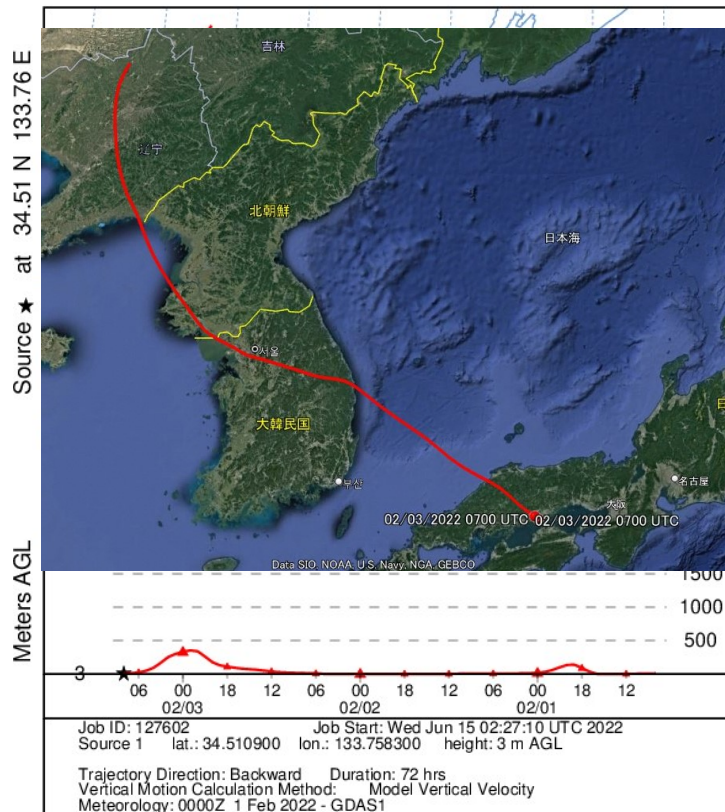


図8(1) 後方流跡線解析図 (観測地点高度 : 3m NOAA HYSPLIT MODEL)
 (掲載元 : ARL、HYSPLIT Trajectory Model Results、
<https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajresults.pl?jobidno=120329>、
 2022/06/29/17:12)

5月14日6時起点 (遡及時間 : 72 時間)
 NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectory ending at 0600 UTC 14 May 21
 GDAS Meteorological Data

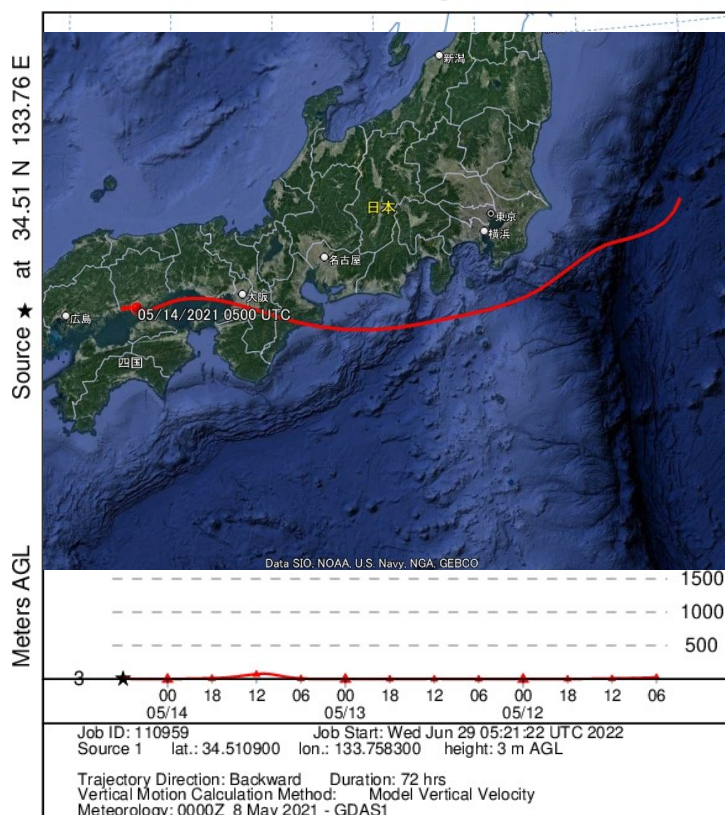


図 8 (2) 後方流跡線解析図 (観測地点高度 : 3 m NOAA HYSPLIT MODEL)
 (掲載元 : ARL、HYSPLIT Trajectory Model Results、
<https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajresults.pl?jobidno=110959>、
 2022/06/29/15:50)

2月2日の要因解析について、大陸からの空気塊の移流がみられたことから越境移流の可能性が示唆された。また、5月13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、阪神工業地帯を通過した後、瀬戸内海を通過して水島に上陸し、笠岡市で折り返して再び水島へ飛来していることがわかった。両日ともに質量濃度で大きい比重を占めるイオン成分で、硝酸イオン及び硫酸イオンが高濃度であることからものの燃焼による影響並びにアンモニウムイオンが高濃度であることから土壌による影響と推測される。また、5月13日について、無機元素成分に着目すると、石油燃料の燃焼等により大気中に排出されるヒ素と鉛が高濃度となっており、人為的活動に由来している可能性が高いと推測される。

7 まとめ

質量濃度について、日平均値及び年間平均値ともに環境基準値未満であった。四季の中で冬季が最も濃度が高く、質量濃度に対する各成分の割合は、イオン成分、炭素成分、無機元素成分の順であった。なお、秋季ではイオン成分と炭素成分の割合がほぼ同等であった。

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。また、イオン成分濃度が最

も高い冬季の2月2日には、ナトリウムとカルシウム以外の各イオンの濃度が増えていた。

炭素成分について、有機炭素と元素状炭素の割合は季節による変動はほぼみられず、有機炭素が6割から8割を占めていた。季節ごとの濃度では、有機炭素は夏季が高く、元素状炭素は季節に因らずほぼ一定であった。

無機元素成分について、前年度と同様に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、令和3年度の測定日における高濃度の要因は越境移流の可能性やものの燃焼及び土壌による影響と推測することができた。