III　調査研究

熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析結果について（令和 2 年度(2020 年度)）

西岡良樹　佐々木一夫*[1]　福田善秀　濱野晃　近藤芳樹

*[1] 食品保健課

1　はじめに

微小粒子状物質（PM2.5）については、平成 21 年 9 月に環境基準が設定され、熊本市においてもその実態を把握するため監視体制を強化している。質量濃度の自動測定装置は、平成 24 年に神水本町に設置したのを皮切りに順次増設し、平成 26 年度は 6 箇所に、その後測定装置の移設・増設により、平成 27 年 3 月末からは 8 箇所で常時監視を行っている。

また、PM2.5 の発生源等を解明し対策に役立てるため、その成分についても、平成 25 年から神水本町でフィルタ捕集を行い質量濃度の測定とイオン成分・無機元素成分の分析を開始した。平成 26 年度からは、新たに粒子中の炭素成分についても分析を開始するとともに、試料捕集地点（以下「地点」という。）を 3 箇所とした。その後測定地点を環境総合センターの 1 地点に見直した。本報では令和 2 年度に実施した PM2.5 成分測定結果について、その概要を報告する。

2　調査の概要

(1) 地点及び試料捕集期間

令和 2 年度は、環境総合センター屋上（3 階、地上高 11.1 m）に専用の捕集装置を設置し、PM2.5 のフィルタ捕集と成分分析を実施した。

地点概要を表 1、測定局位置を図 1 に示す。

表 1　地点概要

地点名	所在地	概要
環境総合センター	東区画図町大字所島 404-1	市東部に位置する平坦な田園地帯

「環境総合センター」は周囲に圃場が多い郊外の田園地帯で、バックグラウンドとしての意味合いを持つ。

試料の捕集期間については、環境省が定める「微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析ガイドライン」[1)]（以下「分析ガイドライン」という。）に基づいた、年度ごとの望ましい期間に従い、季節ごとに 14 日間連続で捕集・分析を実施することを基本とした。2 台捕集装置を設置し、四フッ化エチレン樹脂（PTFE）製フィルタと石英繊維製フィルタを用いて試料の捕集を行った。なお、捕集時間は各日午前 10 時から翌日同時までの 24 時間とした。実際の捕集状況は表 2 のとおりである。

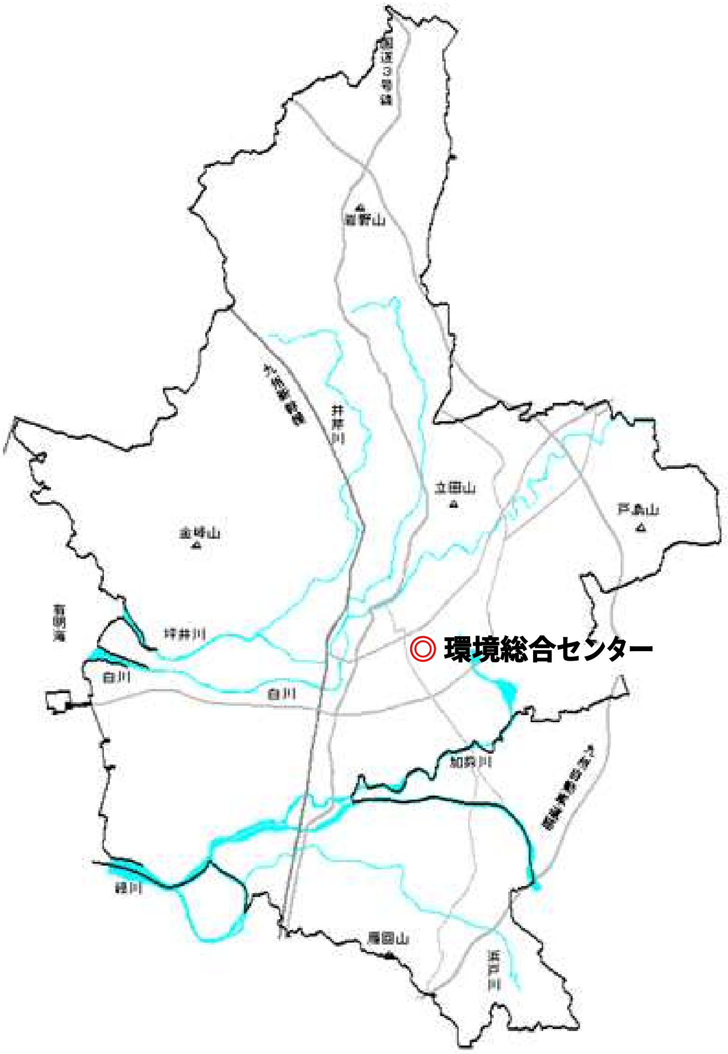

図 1　調査地点の位置（令和 2 年度、熊本市域）

表 2　捕集状況

年度	区分	計画期間（捕集開始日基準）	欠測日等
令和 2 年度	春季	—	新型コロナ対応のため中止
	夏季	令和 2 年 7 月 23 日～8 月 5 日	
	秋季	令和 2 年 10 月 22 日～11 月 4 日	
	冬季	令和 3 年 1 月 21 日～2 月 3 日	

春季は新型コロナウイルスの検査対応に人員を費やしたため、やむを得ず中止した。夏季から冬季にかけては欠測等なかった。

(2) 試料捕集及び分析の方法、測定項目

試料の捕集及び分析方法は、分析ガイドライン及び環境省が定める「大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル」[2)]（以下「成分測定マニュアル」という。）に基づき実施した。具体的な方法は表 3 に、測定項目は表 4 に示す。

表 3　捕集及び分析方法

項目	方法
粒子捕集	PM2.5 ロウボリウムエアサンプラ（Thermo Fisher Scientific FRM2025i）を用い、PTFE 製フィルタ（Pall Teflo）及び石英繊維製フィルタ（PALLFLEX PRODUCTS 2500QAT-UP）に捕集
質量濃度測定	捕集後の PTFE 製フィルタを、環境制御チャンバ（electro-tech systems Model 5532）を用い 21.5 ± 1.5 ℃、相対湿度 35 ± 5 %で 24 時間コンディショニングした後に精密天秤（METTLER TOLEDO XP2UV）で秤量
イオン成分測定	捕集後の PTFE 製フィルタを超純水に浸漬し、超音波照射で成分を抽出した溶液をディスクフィルタ（東洋濾紙 13HP020CN）でろ過し、イオンクロマトグラフ装置（サーモフィッシャーサイエンティフィック社製「Integrion システム」）で陰イオン AS17-C カラム・陽イオン CS16 カラムにより測定
無機元素成分測定	捕集後の PTFE 製フィルタを硝酸（関東化学 Ultrapur）・フッ化水素酸・過酸化水素（関東化学 Ultrapur）の混合液に浸漬し、マイクロ波加熱装置（Anton Paar Multiwave PRO）を用いて加熱分解・濃縮した溶液を誘導結合プラズマ-質量分析装置（Agilent Technologies 7800）で測定
炭素成分測定	捕集後の石英繊維製フィルタをサーマルオプティカル・リフレクタンス法分析装置（Sunset Laboratory OC/EC Lab Instrument Model 5）で IMPROVE プロトコルにより測定

表 4　測定項目

項目	内容
イオン成分	硫酸イオン SO_4^{2-}、硝酸イオン NO_3^-、塩化物イオン Cl^-、ナトリウムイオン Na^+、カリウムイオン K^+、カルシウムイオン Ca^{2+}、マグネシウムイオン Mg^{2+}、アンモニウムイオン NH_4^+
無機元素成分	ナトリウム Na、アルミニウム Al、カリウム K、カルシウム Ca、スカンジウム Sc、バナジウム V、クロム Cr、鉄 Fe、ニッケル Ni、亜鉛 Zn、砒素 As、アンチモン Sb、鉛 Pb、マンガン Mn、コバルト Co、銅 Cu、セレン Se、モリブデン Mo、カドミウム Cd、バリウム Ba、トリウム Th、ベリリウム Be、チタン Ti、ルビジウム Rb、セシウム Cs、ランタン La、セリウム Ce、サマリウム Sm、ハフニウム Hf、タンタル Ta、タングステン W
炭素成分	有機炭素（OC1、OC2、OC3、OC4）、元素状炭素（EC1、EC2、EC3）、炭化補正値（OCpyro）

３　調査結果及び考察

（1）質量濃度

各期間・地点ごとの質量濃度について、測定結果概要を表 5 に示す。

表 5　質量濃度測定結果概要

区分	平均値(最小～最大)	高濃度日	特徴的な気象内容
夏季	13.1（4.1～38.4）	8月3日	煙霧：8月2日、8月3日、8月4日
秋季	12.6（7.0～26.2）	なし	特になし
冬季	12.1（4.0～26.6）	なし	特になし
年間	12.6（4.0～38.4）	計 1日	

（単位：μg/m^3）

※　高濃度日：　1日平均値が35 μg/m^{3}を超えた日

平均質量濃度は、年間値で 12.6 μg/m^3 であった。季節ごとでは夏季の濃度が高く、冬季に濃度が低い傾向であった。平成 26 年度及び平成 27 年度は秋季・冬季が高く夏季が低い傾向で、平成 28 年度からは冬季が高い傾向が続いていたが、令和 2 年度は夏季が高かった。これは夏季の測定期間中だけ煙霧が立て続けに発生したためだと考えられる。高濃度日は 1 日と出現日数は少なかった。1 日平均値が 15 μg/m^3 未満の日は 31 日（73.8 %）とここ数年多くなっているが、これらは気象要因などの一時的な現象の可能性も考えられるため、今後も継続的な監視が必要である。また、捕集期間中に黄砂の観測日はなく、煙霧の観測日は夏季に 3 日であった。

各年度各期間の濃度変化を折れ線グラフで比較したものを図 2 に示す。

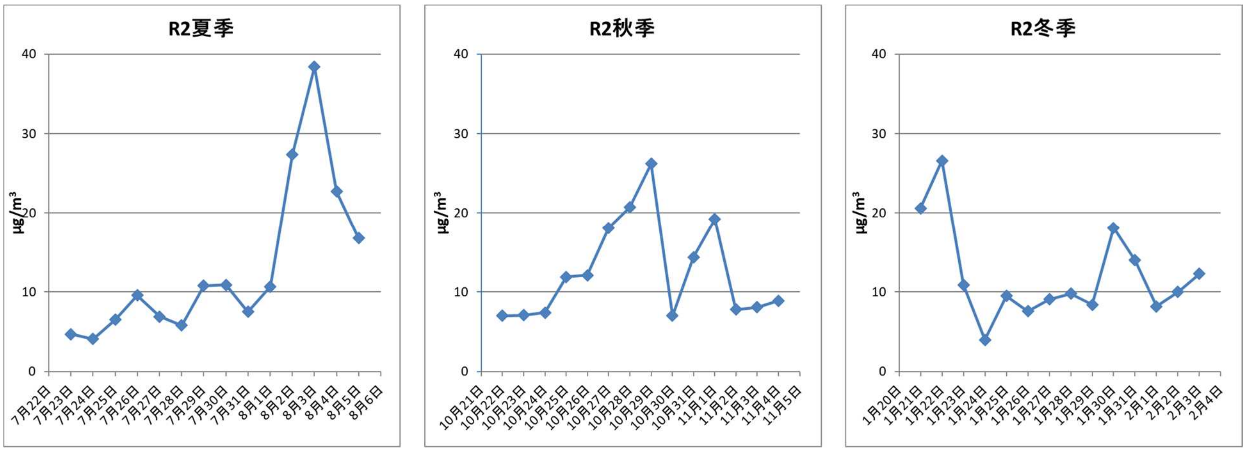

図 2　令和 2 年度の質量濃度変化

令和 2 年度の質量濃度及び濃度変化の挙動は、各季節同程度で推移したが、夏季に 8 月 2 日から 4 日にかけて煙霧が発生したため高濃度となった。

PM2.5 の濃度は、主として市域全体にわたる広域的な要因の影響を受けている一方、局地的な要因も一定の影響を与えていることが推察されるため、今後も継続して監視を続けていきたい。

各期間の平均質量濃度と成分構成の概要を図 3 に示す。

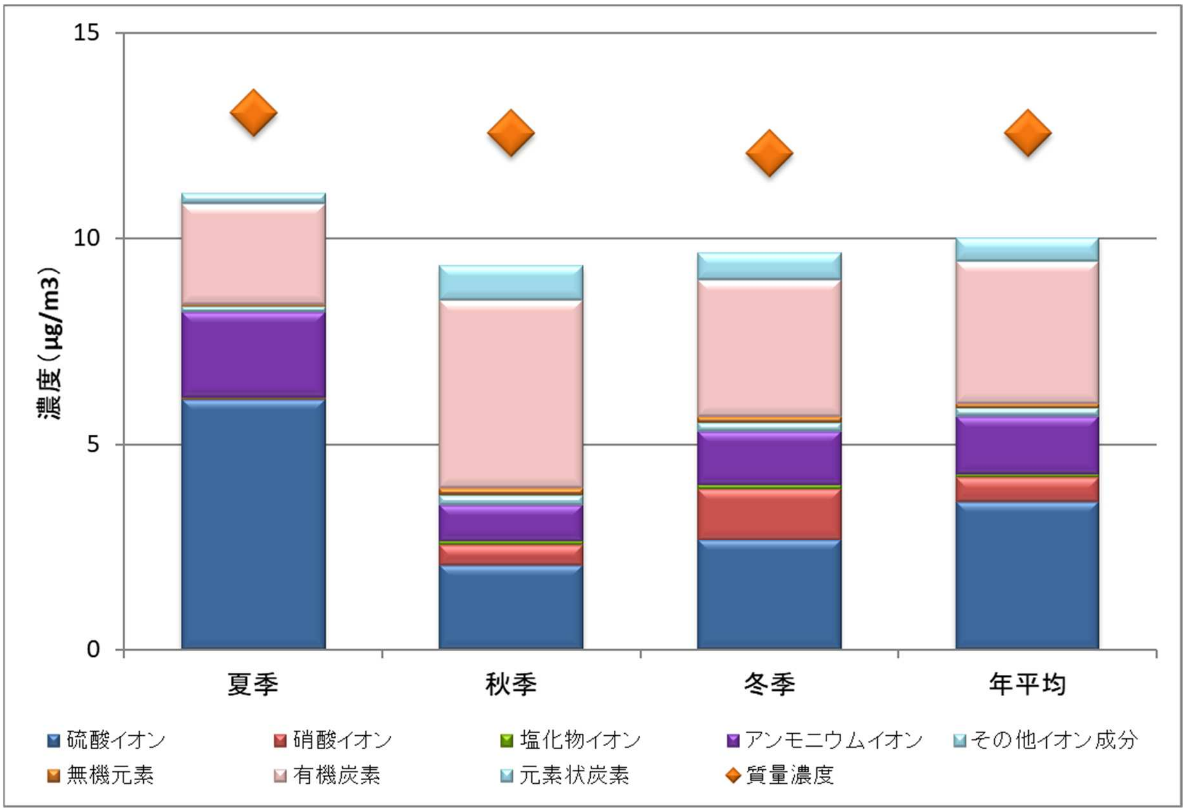

図 3　令和 2 年度の各期間の平均質量濃度と成分構成
※　重複して分析している成分はイオン成分として取り上げた。

微小粒子状物質（PM2.5）の主要成分はイオン成分（粒子中では結合して塩類として存在しており、主な成分は硫酸アンモニウムや硝酸アンモニウム）と炭素成分である。イオン成分は秋季に割合が低くなり、夏季が高かった。一方炭素成分は夏季に割合が低くなり、秋季は高かった。

このあと、各成分についての考察を述べる。

（2）イオン成分

各期間のイオン成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合を表 6 に、構成比を表 7 に、各期間中の質量濃度とイオン成分間の相関係数を表 8 に、イオン成分の濃度を図 4 に、イオン成分の構成比を図 5 に、各期間中のイオン成分濃度変化を図 6 に示す。なお、検出下限値未満となった項目は、ゼロ値として扱った。

表 6　令和 2 年度の質量濃度・イオン成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

区分	夏季 (n=14)	秋季 (n=14)	冬季 (n=14)	年間 (n=42)
質量濃度	13.1	12.6	12.1	12.6
SO_4^{2-}	6.08	2.07	2.67	3.61
NO_3^-	0.041	0.491	1.24	0.590
Cl^-	0.0259	0.0853	0.112	0.0742
NH_4^+	2.06	0.891	1.29	1.41
Na^+	0.081	0.098	0.084	0.088
K^+	0.0297	0.104	0.0879	0.0740
Ca^{2+}	0.011	0.026	0.032	0.023
Mg^{2+}	0.0104	0.0093	0.0107	0.0101
合計	8.34	3.77	5.52	5.88
割合	63.8%	30.0%	45.7%	46.8%

（単位：$\mu g/m^3$）

表 7　令和 2 年度のイオン成分構成比

区分	夏季	秋季	冬季	年間
SO_4^{2-}	73	55	48	61
NO_3^-	0.49	13	22	10
Cl^-	0.31	2.3	2.0	1.3
NH_4^+	25	24	23	24
Na^+	0.97	2.6	1.5	1.5
K^+	0.36	2.8	1.6	1.3
Ca^{2+}	0.13	0.69	0.58	0.39
Mg^{2+}	0.12	0.25	0.19	0.17

（単位：%）

表 8　令和 2 年度の質量濃度とイオン成分濃度変動の相関係数

区分	夏季	秋季	冬季
SO_4^{2-}	1.00	0.80	0.79
NO_3^-	―	0.92	0.86
Cl^-	-0.65	0.62	0.89
NH_4^+	1.00	0.87	0.97
Na^+	-0.39	0.15	-0.01
K^+	0.25	0.97	0.90
Ca^{2+}	0.54	0.37	0.29
Mg^{2+}	-0.34	-0.17	0.25

※期間中に検出下限値未満が 5 日以上あった季節は“ ―”表示とした。

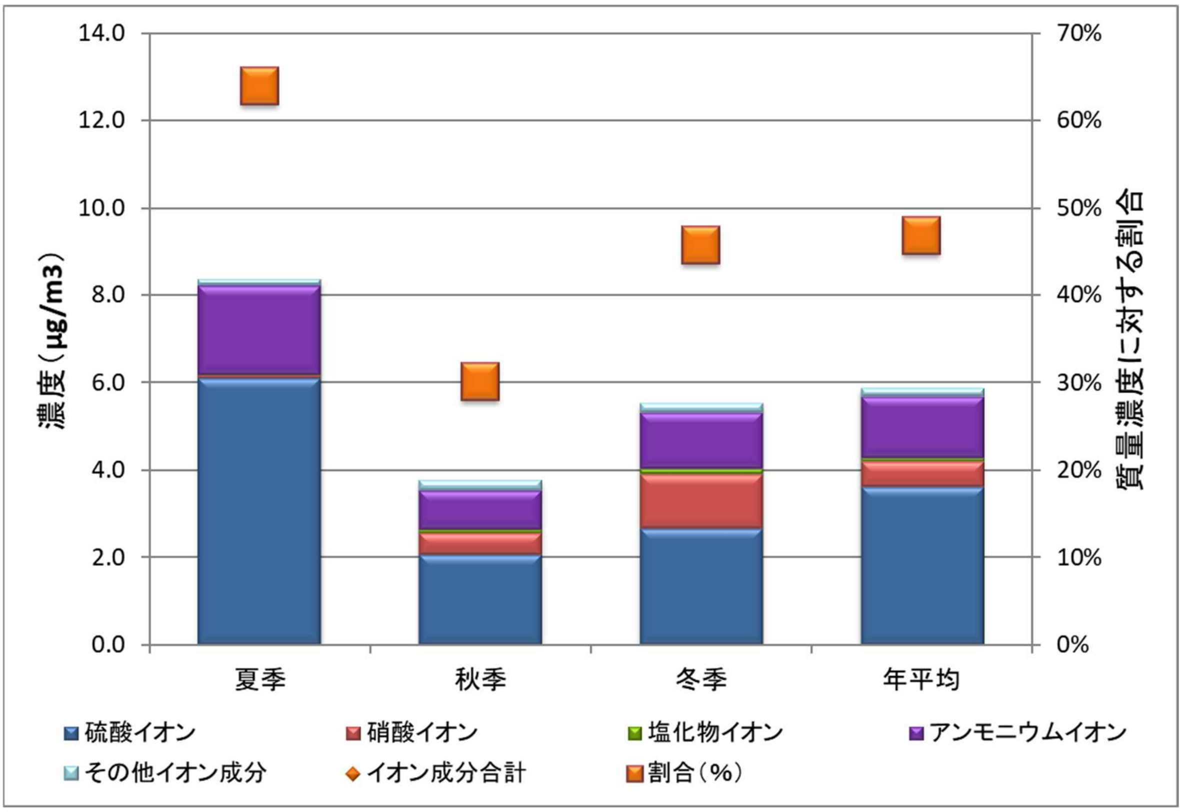

図 4　令和 2 年度のイオン成分構成と濃度

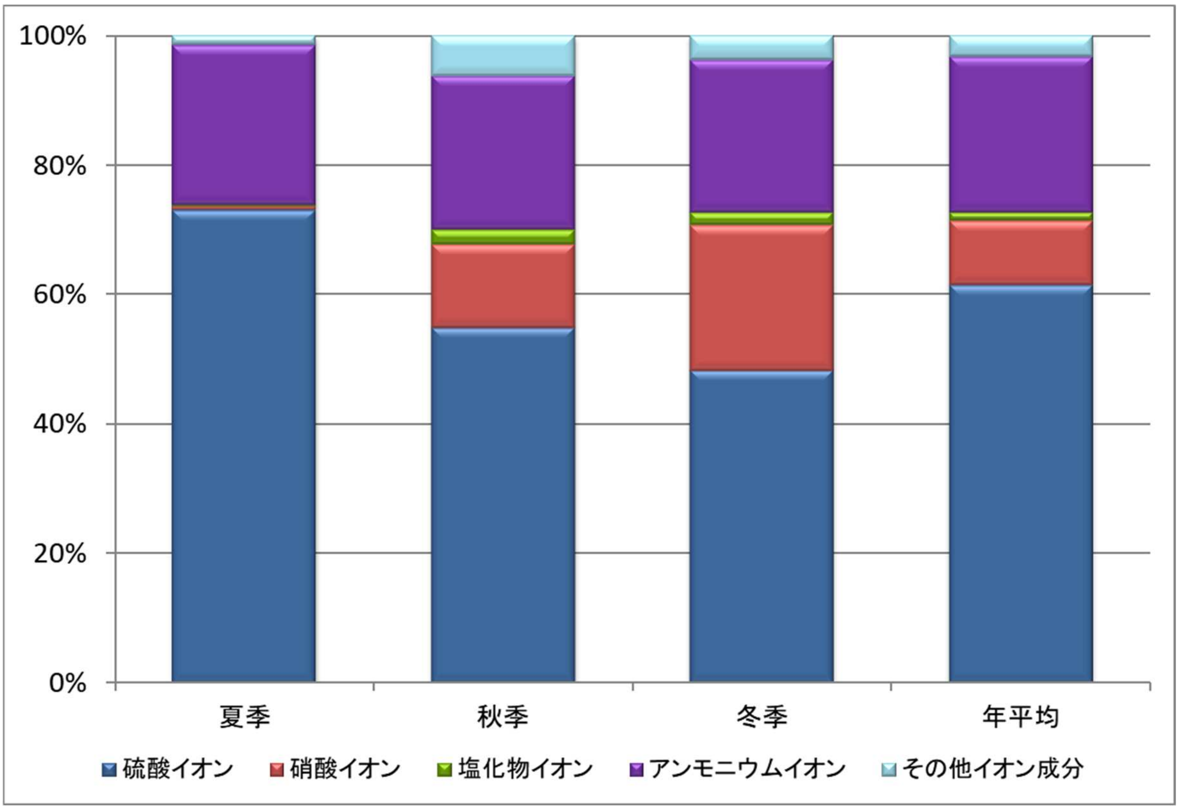

図 5　令和 2 年度のイオン成分の組成割合

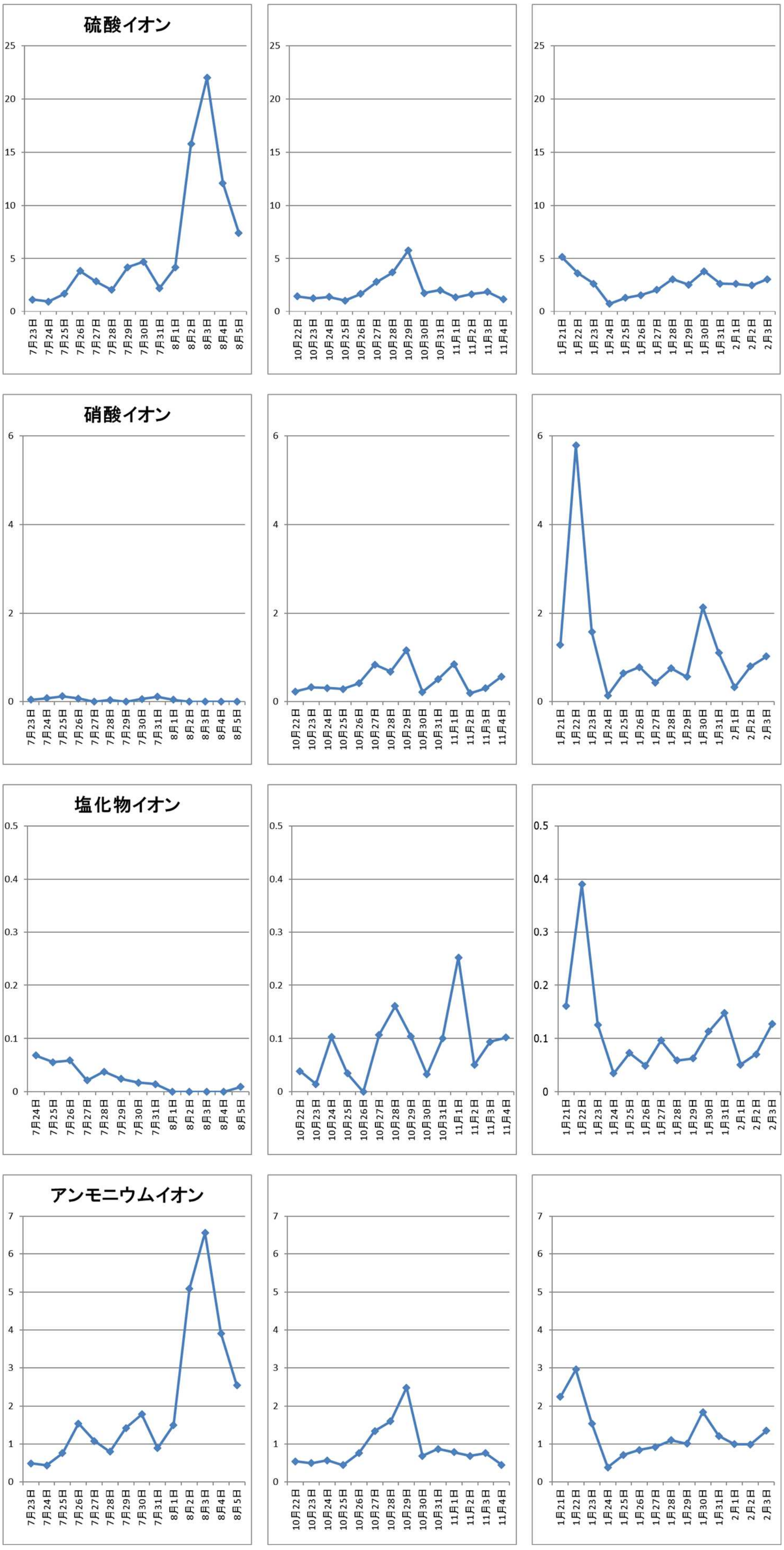

図 6-1　令和 2 年度の各期間中のイオン成分濃度変化(単位：μg/m³)

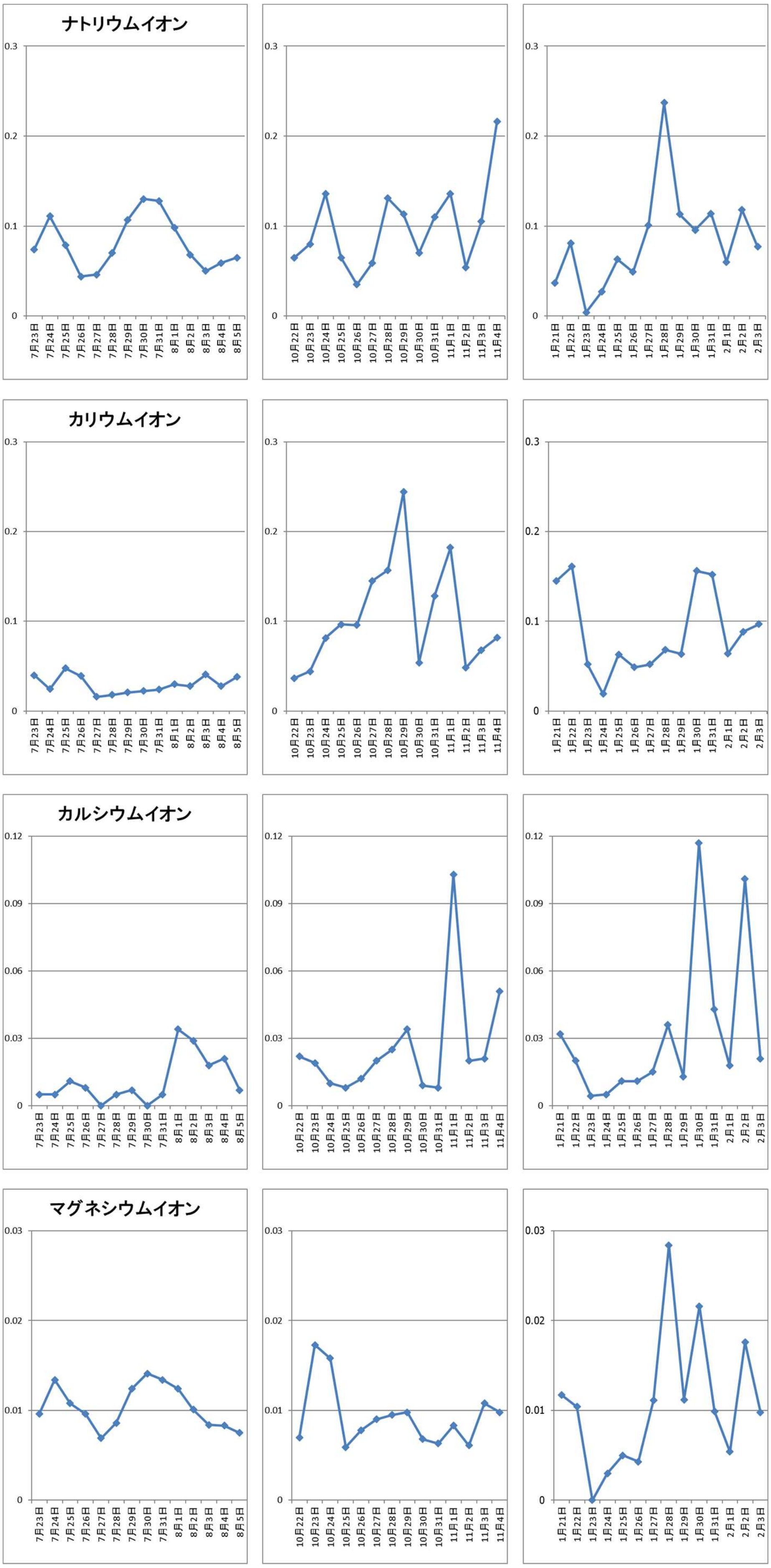

図 6-2　令和 2 年度の各期間中のイオン成分濃度変化(続き、単位：μg/m³)

イオン成分が質量濃度に占める割合は、季節ごとで約 30～64 %を占めており、夏季に高く、秋季に低くなる傾向が見られた。含有量も夏季に高く、秋季に低かった。主要成分は夏～秋季に硫酸イオン及びアンモニウムイオンであり、冬季に硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンであって、その主成分は硝酸アンモニウムと硫酸アンモニウムであることが推察された。

硫酸イオンは、主に硫黄分を含む化石燃料の燃焼に由来し、大陸からの移流が影響していると推察されている。夏季に高く、イオン成分の約 7 割を占めていた。また、年間を通じて質量濃度との相関も高かった。

硝酸イオンは同じくさまざまな化石燃料の燃焼に由来し、大陸からの移流が影響していると推察される成分であり、夏季に濃度が低く、秋季から冬季にかけて濃度が高くなった。夏季は移流時の気温や湿度などで粒子状物質からガス化していることが推察される。一方、秋季から冬季は気温が低くなる大気環境中で比較的粒子状の硝酸アンモニウムなどの硝酸化合物として安定的に捕集され検出されたものと推察される。また、質量濃度との相関は秋季・冬季が高かった。

アンモニウムイオンについては、主に硫酸イオンや硝酸イオンとともに粒子形成されることから、これらのイオン濃度とほぼ同じような挙動を示し、年間を通じて質量濃度との相関も高かった。

ナトリウムイオンは、海塩などを起源とし、各季節で低い含有量であった。日ごとの質量濃度との相関も低かった。

カリウムイオンは、植物バイオマスや肥料などを起源とし、各季節で含有量が低かったが、日ごとの質量濃度との相関は秋季・冬季で高かった。

塩化物イオンは、海塩などを起源とし、各季節で含有量が低い中、冬季に最も高かった。日ごとの質量濃度との相関は、年間と通じて低い中、冬季が最も高かった。

カルシウムイオン及びマグネシウムイオンについては、各季節ともに含有量は低かった。

（3）無機元素成分

各期間・地点の無機元素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合を表 9、構成比を表 10、各期間の質量濃度と無機元素成分濃度変動の相関係数を表 11 に示す。なお、検出下限値未満となった項目は、ゼロ値として扱った。また、ナトリウム・カリウム・カルシウムはイオン成分としても測定を実施している。

表 9　令和 2 年度の無機元素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

区分	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=42)
質量濃度	13.1	12.6	12.1	12.6
ナトリウム	68.3	64.3	74.3	69.0
アルミニウム	16.9	27.8	38.6	27.7
カリウム	27.4	110	86.0	74.3
カルシウム	20	21	32	24
スカンジウム	<0.017	<0.017	<0.017	<0.017
バナジウム	0.191	0.416	0.471	0.359
クロム	<0.15	0.68	0.38	0.53
鉄	14.6	72.3	56.8	47.9
ニッケル	<1.2	<1.2	<1.2	<1.2
亜鉛	6.85	35.1	27.4	23.1
ヒ素	0.545	1.16	0.744	0.816
アンチモン	0.176	0.710	0.721	0.536
鉛	0.761	6.88	3.36	3.67
チタン	1.4	2.4	3.2	2.3
マンガン	0.99	9.04	4.44	4.82
コバルト	<0.024	<0.024	0.029	0.029
銅	0.68	1.38	1.14	1.07
セレン	0.232	0.797	0.513	0.514
ルビジウム	0.061	0.285	0.236	0.194
モリブデン	<0.06	0.35	0.37	0.36
カドミウム	0.024	0.175	0.123	0.108
セシウム	<0.004	0.025	0.018	0.022
バリウム	0.602	1.05	0.932	0.862
ランタン	0.004	0.028	0.025	0.019
セリウム	0.009	0.049	0.052	0.037
サマリウム	<0.0019	0.0020	0.0024	0.0022
ハフニウム	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
タンタル	0.006	<0.005	<0.005	0.006
タングステン	0.076	0.268	0.139	0.161
トリウム	<0.0015	0.0042	0.0055	0.0049
ベリリウム	<0.026	<0.026	<0.026	<0.026
合計	160	355	332	283
割合	1.2 %	2.8 %	2.8 %	2.2 %

（単位：ng/m^3、質量濃度のみ μg/m^3）

表 10　令和 2 年度の無機元素成分構成比

区分	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=42)
ナトリウム	43	18	22	24
アルミニウム	11	7.8	12	10
カリウム	17	31	26	26
カルシウム	12	5.8	10	8.6
スカンジウム	―	―	―	―
バナジウム	0.12	0.12	0.14	0.13
クロム	―	0.19	0.11	0.19
鉄	9.1	20	17	17
ニッケル	―	―	―	―
亜鉛	4.3	9.9	8.2	8.2
ヒ素	0.34	0.33	0.22	0.29
アンチモン	0.11	0.20	0.22	0.19
鉛	0.48	1.9	1.0	1.3
チタン	0.86	0.68	0.97	0.83
マンガン	0.62	2.5	1.3	1.7
コバルト	―	―	0.0087	0.010
銅	0.43	0.39	0.34	0.38
セレン	0.15	0.22	0.15	0.18
ルビジウム	0.038	0.080	0.071	0.069
モリブデン	―	0.10	0.11	0.13
カドミウム	0.015	0.049	0.037	0.038
セシウム	―	0.0071	0.0053	0.0076
バリウム	0.38	0.30	0.28	0.30
ランタン	0.0026	0.0080	0.0076	0.0068
セリウム	0.0056	0.014	0.016	0.013
サマリウム	―	0.00056	0.00072	0.00078
ハフニウム	―	―	―	―
タンタル	0.0035	―	―	0.0020
タングステン	0.047	0.075	0.042	0.057
トリウム	―	0.0012	0.0017	0.0017
ベリリウム	―	―	―	―

（単位：%）

表 11　令和 2 年度の質量濃度と無機元素成分濃度変動の相関係数

	ﾅﾄﾘｳﾑ Na	ｱﾙﾐﾆｳﾑ Al	ｶﾘｳﾑ K	ｶﾙｼｳﾑ Ca	ｽｶﾝｼﾞｳﾑ Sc	ﾊﾞﾅｼﾞｳﾑ V	ｸﾛﾑ Cr	鉄 Fe
夏 (n=14)	0.12	0.97	0.67	0.80	―	0.73	―	0.94
秋 (n=14)	0.01	0.20	0.96	0.21	―	0.72	0.16	0.13
冬 (n=14)	0.14	0.35	0.89	0.45	―	0.77	0.89	0.70

	ﾆｯｹﾙ Ni	亜鉛 Zn	ヒ素 As	ｱﾝﾁﾓﾝ Sb	鉛 Pb
夏 (n=14)	―	-0.13	0.28	0.66	-0.11
秋 (n=14)	―	0.74	0.68	0.92	0.08
冬 (n=14)	―	0.60	0.40	0.56	0.70

	ﾁﾀﾝ Ti	ﾏﾝｶﾞﾝ Mn	ｺﾊﾞﾙﾄ Co	銅 Cu	ｾﾚﾝ Se	ﾙﾋﾞｼﾞｳﾑ Rb	ﾓﾘﾌﾞﾃﾞﾝ Mo	ｶﾄﾞﾐｳﾑ Cd	ｾｼｳﾑ Cs
夏 (n=14)	―	0.18	―	0.41	0.65	0.43	―	0.15	―
秋 (n=14)	0.48	0.00	―	0.82	0.80	0.83	0.57	0.92	0.67
冬 (n=14)	0.55	0.79	0.68	0.74	0.89	0.73	0.66	0.92	0.23

	ﾊﾞﾘｳﾑ Ba	ﾗﾝﾀﾝ La	ｾﾘｳﾑ Ce	ｻﾏﾘｳﾑ Sm	ﾊﾌﾆｳﾑ Hf	ﾀﾝﾀﾙ Ta	ﾀﾝｸﾞｽﾃﾝ W	ﾄﾘｳﾑ Th	ﾍﾞﾘﾘｳﾑ Be
夏 (n=14)	0.14	―	0.70	―	―	―	-0.14	―	―
秋 (n=14)	0.80	0.62	0.40	―	―	―	0.72	0.09	―
冬 (n=14)	0.75	0.49	0.49	―	―	―	0.54	―	―

※期間中に検出下限値未満が 5 日以上あった季節は“ ―”表示とした。

無機元素成分が質量濃度に占める割合は、年平均 2.2 %を占めていた。秋季・冬季に高く、夏季に低くなる傾向が見られた。なお、含有量は秋季が最も高かった。主要成分は、ナトリウム(海塩起源)・アルミニウム・カルシウム・鉄(以上、土壌起源)・カリウム(植物バイオマスや肥料起源)などであり、これら主要 5 成分の合計は無機元素成分全体の 80 %以上を占めていた。

一方、割合が小さいその他の成分ではさまざまな起源を持ち、それぞれで濃度変化の挙動が異なる中、バナジウムは秋季・冬季に濃度が高く化石燃料（重油）由来、鉛及びヒ素は秋季に濃度が最も高く化石燃料（石炭）由来の発生源の影響が大きかったと考えられる。

（4）炭素成分

各期間・地点の炭素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合を表 12、構成比を表 13、各期間の質量濃度と炭素成分濃度変動の相関係数を表 14、各期間中の炭素成分濃度変化を図 7 に示す。

表 12　令和 2 年度の炭素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

区分	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=42)
質量濃度	13.1	12.6	12.1	12.6
OC1	<0.020	0.149	0.171	0.160
OC2	1.13	1.73	1.24	1.37
OC3	0.38	1.06	0.58	0.67
OC4	0.18	0.47	0.33	0.33
OCpyro	0.77	1.15	1.01	0.98
OC 小計	**2.47**	**4.56**	**3.33**	**3.45**
EC1	0.42	1.22	0.93	0.86
EC2	0.506	0.688	0.659	0.618
EC3	0.081	0.093	0.072	0.082
EC 小計	0.242	0.845	0.655	0.581
炭素合計	**2.71**	**5.40**	**3.98**	**4.03**
割合	20.8 %	43.0 %	33.0 %	32.1 %

（単位：μg/m^3）

※ 表 12　OC(有機炭素) 小計＝OC1+OC2+OC3+OC4+OCpyro
EC(元素状炭素) 小計＝EC1+EC2+EC3-Ocpyro

表 13　令和 2 年度の炭素成分構成比

区分	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=56)
OC1	ー	2.8	4.3	4.0
OC2	42	32	31	34
OC3	14	20	15	17
OC4	6.7	8.8	8.3	8.2
OCpyro	28	21	25	24
OC 小計	**91**	**84**	**84**	**86**
EC1	16	23	23	21
EC2	19	13	17	15
EC3	3.0	1.7	1.8	2.0
EC 小計	**9.0**	**16**	**16**	**14**

（単位：%）

表 14　令和 2 年度の質量濃度と炭素成分濃度変動の相関係数

	全炭素 TC	有機炭素 OC	元素状炭素 EC
夏 (n=14)	0.75	0.75	0.37
秋 (n=14)	0.91	0.89	0.96
冬 (n=14)	0.89	0.86	0.68

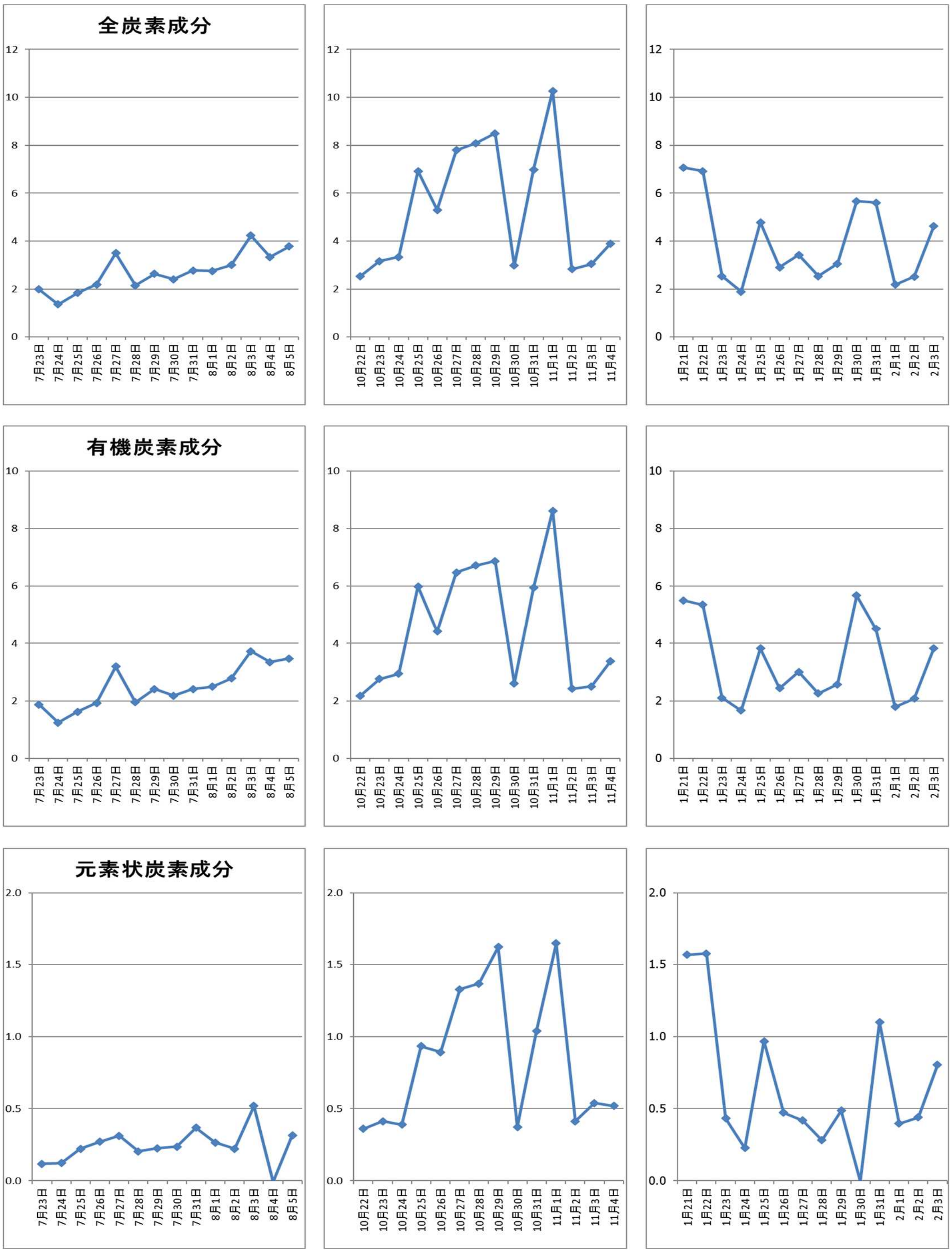

図 7　令和 2 年度の各期間中の炭素成分濃度変化(単位：µg/m^3)

炭素成分が質量濃度に占める割合は、年平均で約 32%占めており、秋季に高く、夏季に低くなる傾向であった。質量濃度との相関は夏季の元素状炭素以外は年間を通して高かった。

成分別では、元素状炭素成分の濃度が秋季・冬季に高い傾向がみられたが、これは元素状炭素成分のうち EC1（正確には炭化補正値（OCpyro）を差し引いたもの。）が EC2 及び EC3 に比べて多いことによるものである。EC1 は低温での不完全燃焼時に生成する成分（いわゆる「すす」の状態となった炭素）と考えられており、局所的なバイオマス燃焼の影響が推察された。

（5）まとめ

1. 平均質量濃度は、夏季に高く、冬季に低い傾向であった。また、35 μg/m^3 を超える観測日は夏季の 1 日間であった。
2. 1 日平均値が 15 μg/m3 未満の日は 31 日（73.8 %）と多くなっていた。
3. イオン成分が質量濃度に占める割合は、季節ごとで約 30～64 %を占めており、夏季に高く、秋季に低くなる傾向が見られた。主要成分は、夏季・秋季に硫酸イオン及びアンモニウムイオンであり、冬季に硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンで、その主成分は硝酸アンモニウムと硫酸アンモニウムであると推察された。
4. 無機元素成分が質量濃度に占める割合は、年平均 2.2 %を占めていた。秋季・冬季に高く、夏季に低くなる傾向が見られた。主要成分は、ナトリウム(海塩起源)・アルミニウム・カルシウム・鉄(以上、土壌起源)・カリウム(植物バイオマスや肥料起源)などであった。
5. 無機元素成分のうち、バナジウムは秋季・冬季に濃度が高く化石燃料（重油）由来、鉛及びヒ素は秋季に濃度が最も高く化石燃料（石炭）由来の発生源の影響が大きかったと推察される。
6. 炭素成分が質量濃度に占める割合は、年平均で約 32 %を占めており、秋季に高く、夏季に低くなる傾向であった。
7. 炭素成分別では、元素状炭素成分の濃度が秋季・冬季に高い傾向がみられ、局所的なバイオマス燃焼の影響が推察された。

文献

1）環境省：水・大気環境局，　微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析ガイドライン，2011.

2）環境省：水・大気環境局 大気環境課長・自動車環境対策課長，大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル，2014.

3）緒方美治、武原弘和、近藤芳樹、藤井幸三：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の実態調査（平成 25 年 2 月～3 月），熊本市環境総合センター年報，No.20，49-58，2012.

4）緒方美治、飯銅和浩、坂口美鈴、吉田芙美香、福田照美、近藤芳樹、藤井幸三：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 25 年度），熊本市環境総合センター年報，No.21，51-65，2013.

5）緒方美治、飯銅和浩、渡邉隆、坂口美鈴、清藤順子、吉田芙美香、福田照美、近藤芳樹、藤井幸三：熊本市における PM2.5 の高濃度予測時の 6 時間分解能観測による無機元素成分を中心とした発生源解析―平成 26 年 3 月～6 月の 4 期間の事例―，熊本市環境総合センター年報，No.22，47-61，2014.

6） 飯銅和浩、坂口美鈴、緒方美治、渡邉隆、清藤順子、吉田芙美香、福田照美、近藤芳樹、藤井幸三：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 26 年度）—地点間比較を中心に—，熊本市環境総合センター年報，No.22，62-82，2014.
7） 緒方美治、飯銅和浩、吉田芙美香、福田照美、坂口美鈴、渡邉隆、清藤順子、津留靖尚、濱野晃、近藤芳樹、藤井幸三：熊本市における PM2.5 の高濃度予測時の 6 時間分解能観測による無機元素成分を中心とした発生源解析（その 2）—平成 26 年 12 月、27 年 1 月、27 年 2 月の 3 つの事例—，熊本市環境総合センター年報，No.23，2015.
8） 緒方美治、飯銅和浩、吉田芙美香、福田照美、坂口美鈴、渡邉隆、清藤順子、津留靖尚、濱野晃、藤井幸三：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 27 年度），熊本市環境総合センター年報，No.24，44-55，2016.
9） 佐々木一夫、緒方美治、吉田芙美香、濱野晃、藤井幸三：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 28 年度），熊本市環境総合センター年報，No.25，36-55，2017.
10) 佐々木一夫、緒方美治、濱野晃、近藤芳樹：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 29 年度），熊本市環境総合センター年報，No.26，35-51，2018.
11) 西岡良樹、佐々木一夫、緒方美治、濱野晃、近藤芳樹：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析（平成 30 年度、平成 31 年度），熊本市環境総合センター年報，No.27，43-71，2019.