

3 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5年度(2023年度)）

原田千恵 神崎剛志 藤原基 坂口美鈴 近藤芳樹

1 はじめに

微小粒子状物質（PM2.5）の環境基準は平成21年9月に設定され、熊本市においてもその実態を把握するため常時監視を行っている。質量濃度は平成24年に神水本町に自動測定装置を設置して測定を開始し、その後測定装置の移設・増設を経て平成27年3月末からは8箇所での測定を行うようになった。

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分析を行っている。まず平成25年に神水本町でフィルタ捕集による試料採取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、平成26年度からは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、大気汚染常時監視測定局の配置見直し等を経て現在は基本的に環境総合センター1箇所での試料採取を行っている。本報では令和5年度に実施したPM2.5成分測定結果について概要を報告する。

2 調査の概要

(1) 地点及び試料捕集期間

上記のとおり、現在は基本的に環境総合センター屋上（3階、地上高11.1m）1箇所のみで専用の捕集装置を用いて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19、位置を図3に示す。

表19 地点概要

地点名	所在地	地域の状況
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

試料の捕集期間は、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。）に基づき全国で時期を統一することが有効であるとされており、例年事務連絡で調査時期が示されている。本市もこの事務連絡に従い、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（これに加えて、精度管理のための二重測定を2日間行った）。また、装置の不具合等により捕集できなかった場合は、可能な限り期間を延長して少なくとも14日分の試料を確保するよう努めた。捕集装置は2台設置し、それぞれ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を捕集した。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。捕集状況は表20のとおりである。

(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。捕集及び分析方法は表 21 に、測定項目は表 22 に示す。また、炭素成分測定については、令和 5 年度は外部分析機関へ委託して行った。

表 21 捕集及び分析方法

項目	方法
粒子捕集	PM2.5 ロウポ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 °C、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・フッ化水素酸・過酸化水素 (いずれも関東化学 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 22 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)、炭化補正值 (OCpyro)

3 調査結果

(1) 質量濃度

各期間の質量濃度について、測定結果概要を表 23 に示す。

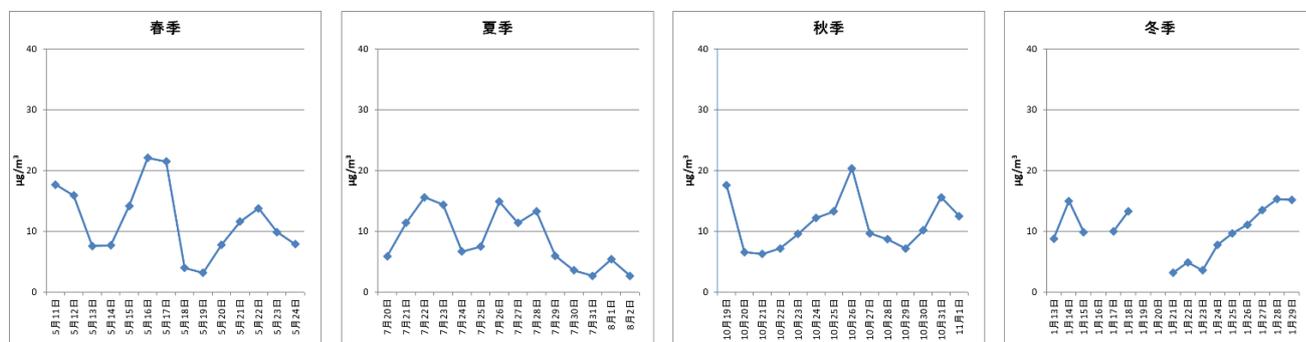
表 23 質量濃度測定結果概要

区分	平均値(最小～最大)	高濃度日	特徴的な気象内容
春季	11.8 (3.2～22.1)	なし	煙霧 (5月17日)
夏季	8.7 (2.7～15.6)	なし	特になし
秋季	11.2 (6.3～20.4)	なし	特になし
冬季	10.1 (3.2～15.3)	なし	煙霧 (1月13日)
年間	10.4 (2.7～20.4)	なし	

(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

※ 高濃度日：1日平均値が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日

平均質量濃度は、年間で $10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。季節ごとでは春季・秋季の濃度がやや高く、夏季に濃度が低い傾向であった。1日平均値が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日はなく、 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の日は45日(全捕集期間の80.4%)であった。また、捕集期間中に黄砂の観測日はなく、煙霧の観測日は春季に1日、冬季に1日であった。



各期間の濃度変化を折れ線グラフで比較したものを図 4 に示す。質量濃度の変動はいずれの季節も同程度で推移した。

図 4 質量濃度変化

各期間の平均質量濃度と成分構成の概要を図 5 に示す。なお、ナトリウム・カリウム・マグネシウム・カルシウムについてはイオン成分及び無機元素成分の両方で分析・測定しており、この図ではいずれもイオン成分として扱った。

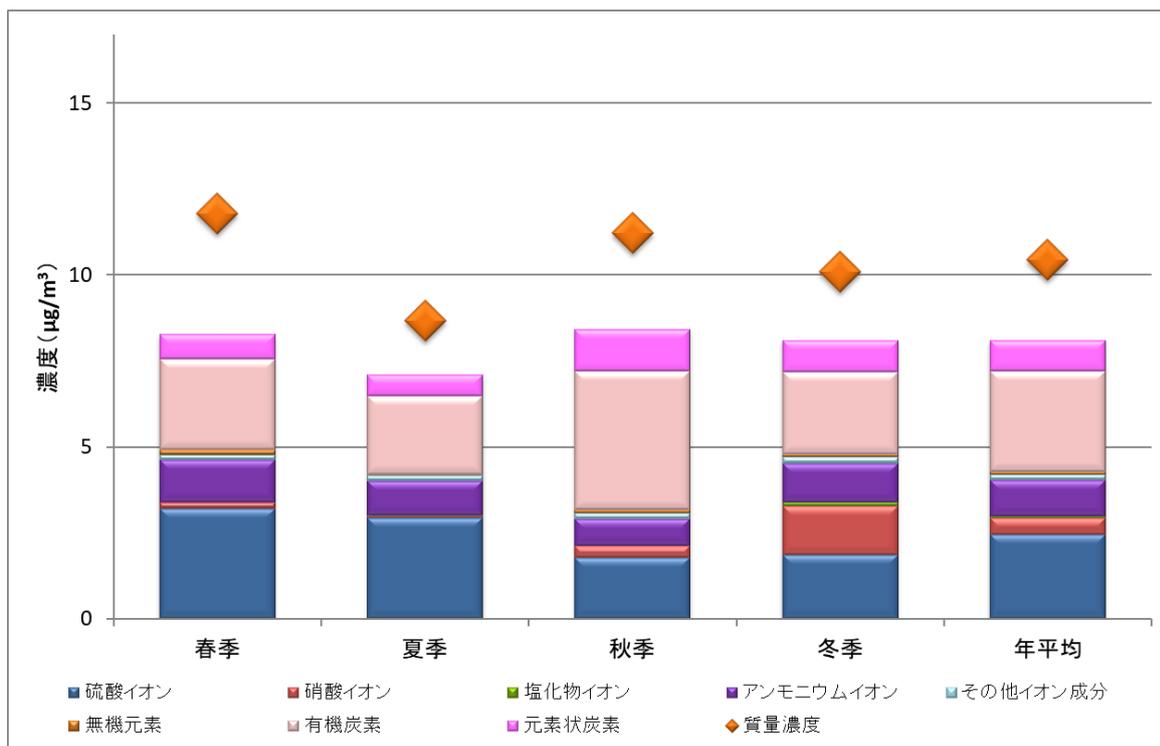


図5 各期間の平均質量濃度と成分構成

微小粒子状物質（PM_{2.5}）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である）と炭素成分である。

(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24と図6に、イオン成分の構成比を表25と図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26に、各期間中のイオン成分濃度変化を図8-1及び図8-2に示す。なお、平均値等の算出にあたり、検出下限値未満となった成分については濃度を「0」として扱った。

表 24 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	春季(n=14)	夏季 (n=14)	秋季 (n=14)	冬季 (n=14)	年間 (n=56)
質量濃度	11.8	8.7	11.2	10.1	10.4
SO ₄ ²⁻	3.22	2.93	1.77	1.86	2.45
NO ₃ ⁻	0.176	0.035	0.351	1.412	0.493
Cl ⁻	<0.0022	0.0306	0.0120	0.1205	0.0544
NH ₄ ⁺	1.23	1.01	0.781	1.14	1.04
Na ⁺	0.030	0.056	0.049	0.078	0.053
K ⁺	0.0814	0.0613	0.0915	0.0780	0.0781
Ca ²⁺	0.031	0.014	0.019	0.019	0.021
Mg ²⁺	0.0086	0.0071	0.0070	0.0098	0.0081
合計	4.77	4.16	3.08	4.72	4.20
割合	40.5%	48.0%	27.5%	46.8%	40.2%

(単位：μg/m³)

表 25 イオン成分の構成比

区分	春季	夏季	秋季	冬季	年間
SO ₄ ²⁻	67	71	57	39	58
NO ₃ ⁻	3.7	0.84	11	30	12
Cl ⁻	—	0.73	0.39	2.6	1.3
NH ₄ ⁺	26	24	25	24	25
Na ⁺	0.62	1.3	1.6	1.7	1.3
K ⁺	1.7	1.5	3	1.7	1.9
Ca ²⁺	0.66	0.33	0.63	0.41	0.5
Mg ²⁺	0.18	0.17	0.23	0.21	0.19

(単位：%)

表 26 質量濃度とイオン成分濃度変動の相関係数

区分	春季	夏季	秋季	冬季
SO ₄ ²⁻	0.96	0.96	0.86	0.74
NO ₃ ⁻	0.37	-0.68	0.66	0.92
Cl ⁻	—	-0.83	0.67	0.74
NH ₄ ⁺	0.96	0.97	0.93	0.93
Na ⁺	0.06	-0.59	-0.27	-0.59
K ⁺	0.82	0.59	0.82	0.89
Ca ²⁺	0.47	0.47	0.72	0.33
Mg ²⁺	0.67	-0.37	0.67	-0.21

※捕集期間中に5日以上検出下限値未満となったイオン成分は「-」表示とした。

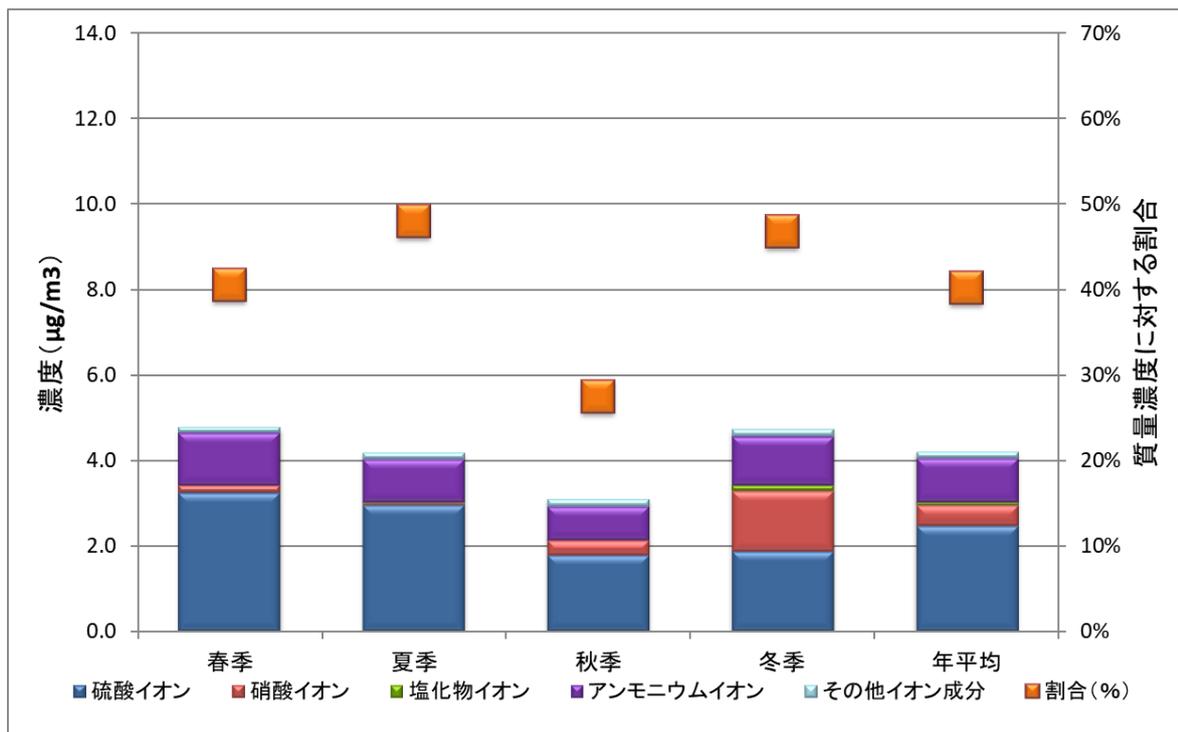


図6 イオン成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

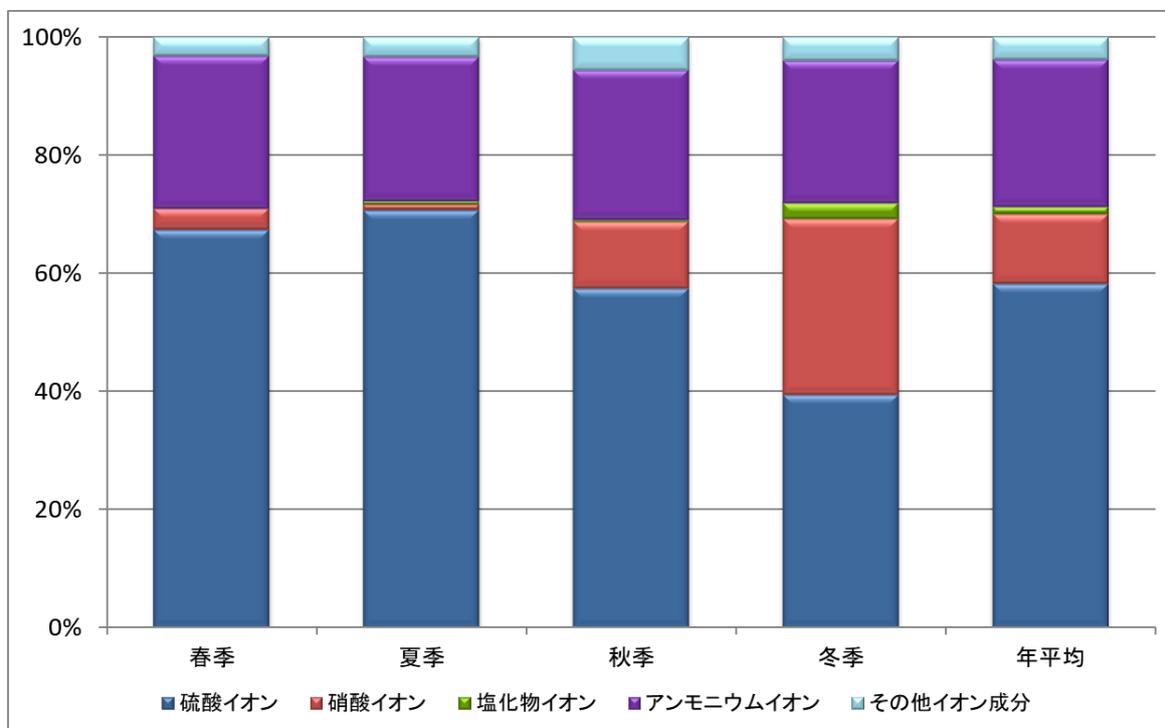


図7 イオン成分の構成比

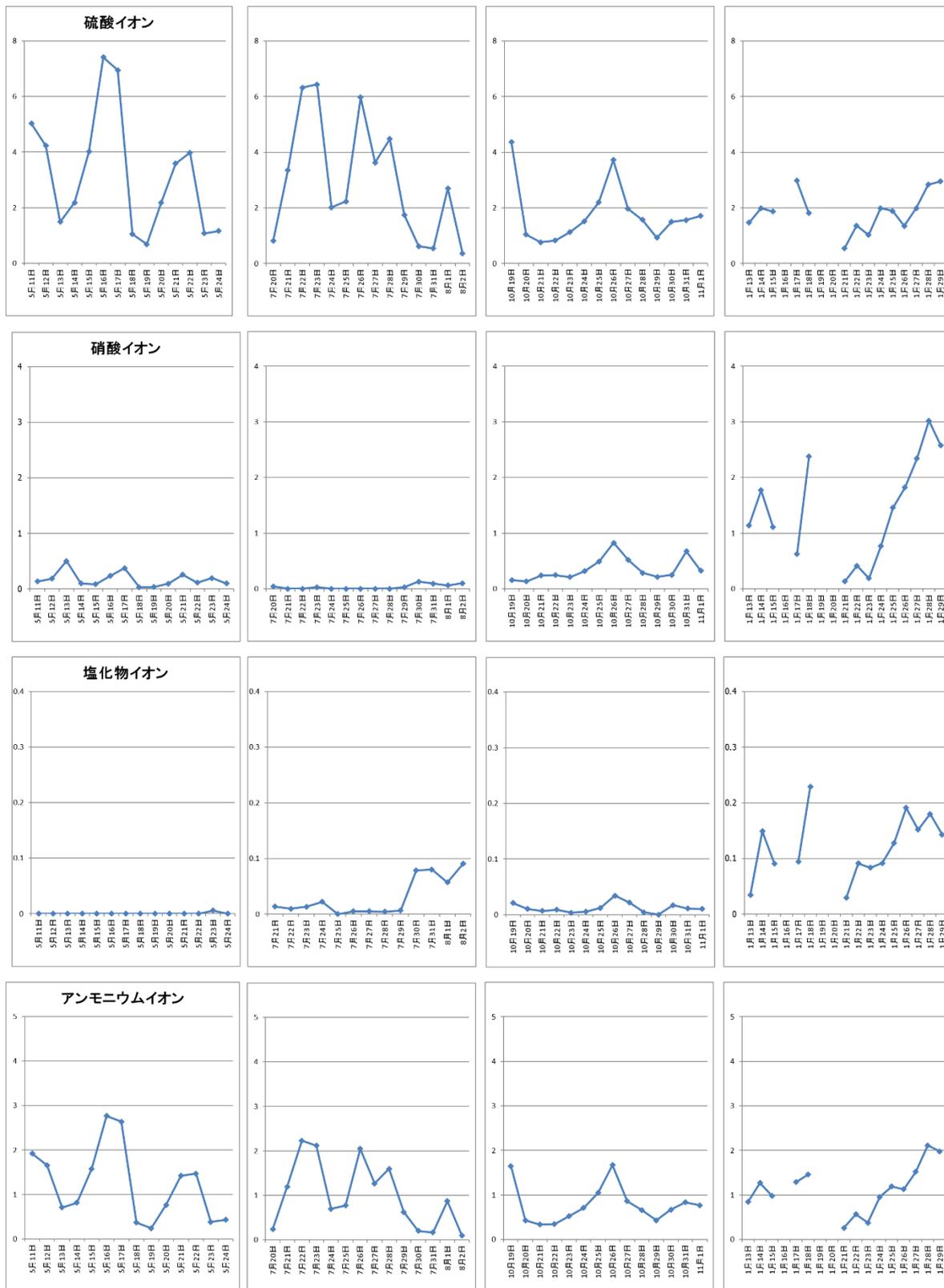


図 8-1 各期間中のイオン成分濃度変化(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

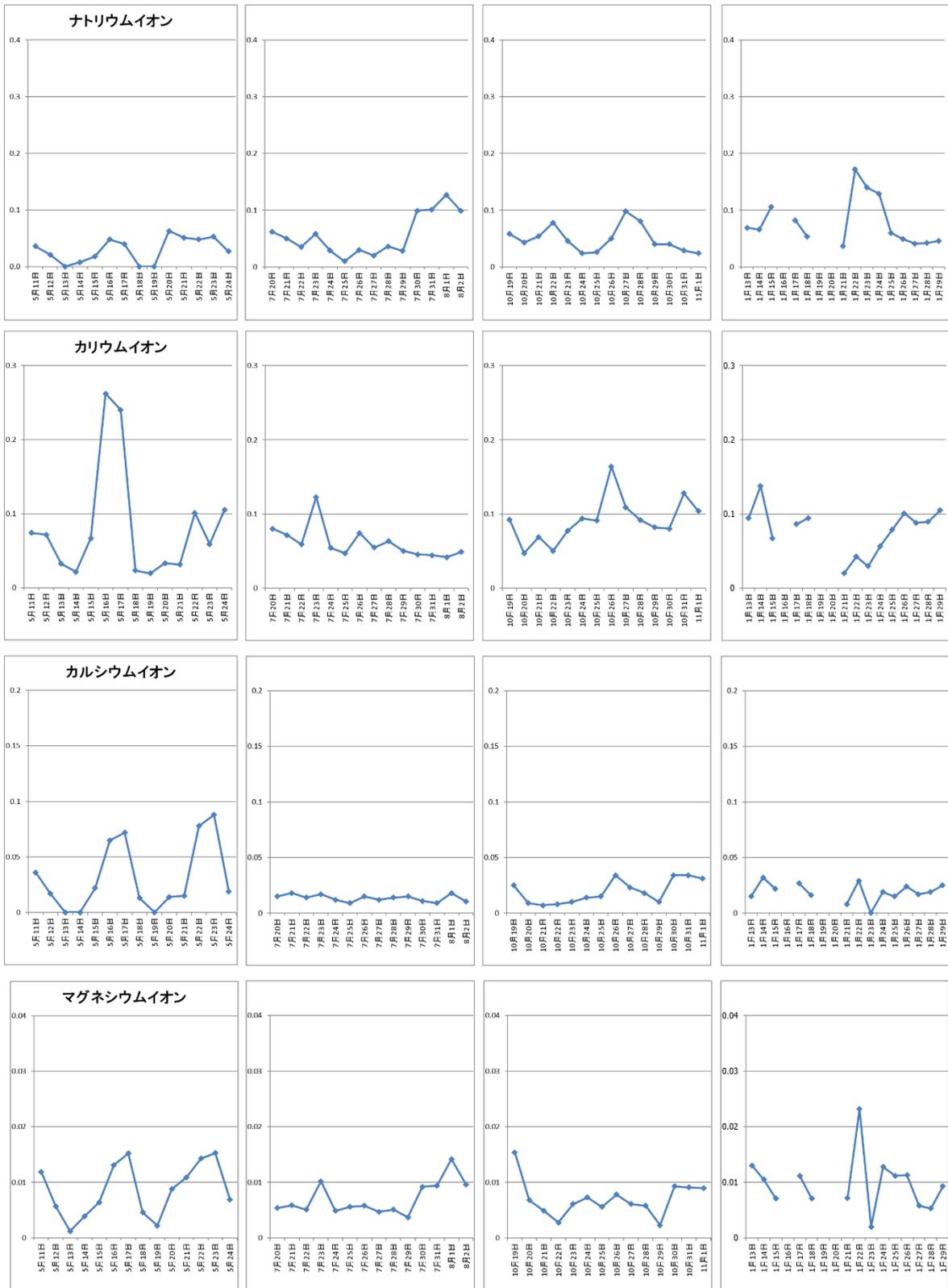


図 8-2 各期間中のイオン成分濃度変化(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

イオン成分が質量濃度に占める割合は、年間平均で40.2%であり、夏季に比較的高かった。含有量は比較的春と冬に高く、次いで夏、秋の順に高かった（表24、図6参照）。主要成分は、春～秋季が硫酸イオン及びアンモニウムイオン、冬季が硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンであって、粒子中ではこれら成分が結合し硫酸アンモニウムや硝酸アンモニウムとなっていると推察された（表25、図7参照）。

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る。年間を通じて主要なイオン成分であり、質量濃度との相関も比較的高かった（表26参照）。構成比でみると、春季から秋季にかけては約60～70%を占めている（表25、図7参照）。

硝酸イオンは様々な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る。濃度は季節により大きく変動し、もっとも高いのは冬季であった（図8-1参照）。夏季の濃度が低いのは、気温等の条件により粒子を形成しにくい（あるいは粒子となった後に再び解離・気化している）ことが理由として考えられる。一方、秋季から冬季は気温が低くなるため粒子を形成しやすく、安定的に捕集され濃度が高くなったものと推察される。質量濃度との相関も冬季が高かった（表26参照）。

アンモニウムイオンは主に硫酸イオンや硝酸イオンと結合して粒子形成されることから、これらのイオン濃度とほぼ同様の挙動を示し（図8-1参照）、年間を通じて質量濃度との相関も高かった（表26参照）。

ナトリウムイオンは海塩などが起源であると考えられ、含有量は低かった（表24、表25参照）。質量濃度との相関も低い（表26参照）。

カリウムイオンは植物バイオマスの燃焼や肥料などを起源とすると考えられている。例年、含有量そのものは低い中、冬季を中心に高くなる傾向が見られるが、今回は明確な傾向はみられなかった。（表24、表25参照、図8-2参照）。

塩化物イオンは海塩などを起源としていると考えられており、各季節で含有量が低い中（表24、表25参照）、冬季で高くなる傾向が見られた（図8-1参照）。

カルシウムイオン及びマグネシウムイオンは、各季節ともに含有量は低かった（表24、表25参照）。

(3) 無機元素成分

各期間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27、構成比を表28、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29に示す。平均値等の算出にあたり、検出下限値未満となった成分については濃度を「0」として扱った。

なお、春季は試料汚染の影響により、カルシウムと亜鉛を欠測とした。

表 27 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	春季(n=14)	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=56)
質量濃度	11.8	8.7	11.2	10.1	10.4
ナトリウム	50.3	39.9	37.7	63.7	47.9
アルミニウム	66.1	7.8	22.4	13.8	27.6
カリウム	104.1	26.6	81.7	71.2	70.9
カルシウム	欠測	9	27	21	19
スカンジウム	<0.017	<0.017	<0.017	<0.017	<0.017
バナジウム	0.6741	0.2140	0.4691	0.4207	0.44446
クロム	0.59	<0.15	0.29	0.44	0.44
鉄	61.7	7.0	30.3	25.9	31.2
ニッケル	<1.2	<1.2	<1.2	<1.2	<1.2
亜鉛	欠測	13.26	33.56	21.88	22.90
ヒ素	0.986	0.323	0.905	1.203	0.854
アンチモン	0.477	0.196	1.078	0.516	0.567
鉛	3.421	0.676	2.617	3.327	2.510
チタン	4.3	<0.7	3.8	3.0	3.7
マンガン	3.93	0.98	3.29	2.64	2.71
コバルト	0.043	<0.024	<0.024	<0.024	0.043
銅	2.72	0.41	1.01	0.93	1.27
セレン	0.646	0.210	0.501	0.459	0.454
ルビジウム	0.248	0.051	0.163	0.196	0.164
モリブデン	0.29	<0.06	0.16	0.37	0.27
カドミウム	0.155	0.037	0.089	0.135	0.104
セシウム	0.018	<0.004	0.011	0.013	0.014
バリウム	1.116	0.632	0.759	0.661	0.792
ランタン	0.037	<0.004	0.016	0.015	0.023
セリウム	0.095	0.007	0.028	0.022	0.038
サマリウム	0.0036	<0.0019	<0.0019	<0.0019	0.0036
ハフニウム	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
タンタル	<0.005	<0.005	0.010	<0.005	0.010
タングステン	0.154	0.057	0.092	0.125	0.107
トリウム	0.0079	<0.0015	0.0028	<0.0015	0.0054
ベリリウム	<0.026	<0.026	<0.026	<0.026	<0.026
合計	302	107	248	232	234
割合	2.6%	1.2%	2.2%	2.3%	2.2%

(単位：ng/m³、質量濃度のみ μg/m³)

表 28 無機元素成分構成比

区分	春季(n=14)	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=56)
ナトリウム	17	37	15.2	27	20
アルミニウム	21.9	7.3	9.0	6	11.8
カリウム	34	25	33	31	30
カルシウム	欠測	8.0	11	9.1	8
スカンジウム	—	—	—	—	—
バナジウム	0.22	0.20	0.189	0.18	0.19
クロム	0.20	—	0.118	0.19	0.189
鉄	20	7	12.2	11	13
ニッケル	—	—	—	—	—
亜鉛	欠測	12.4	14	9.4	9.8
ヒ素	0.33	0.30	0.36	0.52	0.37
アンチモン	0.16	0.18	0.43	0.22	0.24
鉛	1.1	0.63	1.05	1.43	1.07
チタン	1.42	—	1.54	1.28	1.58
マンガン	1.3	0.92	1.33	1.14	1.16
コバルト	0.014	—	—	—	0.018
銅	0.90	0.39	0.41	0.40	0.54
セレン	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19
ルビジウム	0.082	0.048	0.066	0.084	0.070
モリブデン	0.096	—	0.065	0.158	0.116
カドミウム	0.051	0.035	0.036	0.058	0.044
セシウム	0.0058	—	0.0043	0.0055	0.0059
バリウム	0.37	0.59	0.31	0.28	0.34
ランタン	0.0122	—	0.0065	0.0064	0.0096
セリウム	0.031	0.0068	0.0114	0.010	0.016
サマリウム	0.001	—	—	—	0.00154
ハフニウム	—	—	—	—	—
タンタル	—	—	0.00	—	0.0042
タングステン	0.051	0.053	0.037	0.054	0.046
トリウム	0.00262	—	0.00113	—	0.00229
ベリリウム	—	—	—	—	—

(単位：%)

※無機元素成分濃度平均値が検出下限値未満となった元素成分は「—」表示とした。

表 29 質量濃度と無機元素成分濃度変動の相関係数

区分	春季 (n=14)	夏季 (n=14)	秋季 (n=14)	冬季 (n=14)
ナトリウム	0.55	-0.46	-0.03	-0.46
アルミニウム	0.28	-0.05	0.45	0.54
カリウム	0.69	0.61	0.74	0.79
カルシウム	欠測	-0.64	0.09	0.22
スカンジウム	-1.00	—	—	—
バナジウム	0.82	0.73	0.55	0.84
クロム	0.78	-0.89	0.35	0.47
鉄	0.61	0.14	0.78	0.90
ニッケル	1.00	—	—	—
亜鉛	欠測	-0.05	0.48	0.43
ヒ素	0.90	0.78	0.22	0.59
アンチモン	0.84	-0.07	-0.05	0.77
鉛	0.94	0.65	0.62	0.63
チタン	-0.07	0.45	0.34	0.18
マンガン	0.84	0.20	0.78	0.73
コバルト	0.57	—	0.56	0.69
銅	0.14	0.33	0.65	0.84
セレン	0.90	0.71	0.81	0.85
ルビジウム	0.71	0.72	0.69	0.88
モリブデン	0.82	-0.55	0.67	-0.25
カドミウム	0.86	0.84	0.84	0.57
セシウム	0.62	—	0.19	0.36
バリウム	0.66	0.42	0.63	0.91
ランタン	0.33	-0.38	0.67	0.68
セリウム	0.55	-0.20	0.71	0.81
サマリウム	-0.31	—	0.73	—
ハフニウム	—	—	—	—
タンタル	—	—	0.73	—
タングステン	0.42	-0.03	0.15	0.43
トリウム	-0.23	—	0.59	-0.63
ベリリウム	—	—	—	—

※捕集期間中に5日以上検出下限値未満となった元素成分は「—」表示とした。

無機元素成分が質量濃度に占める割合は年間平均 2.2 %であり、春季に高く、夏季に低くなる傾向が見られた。含有量についても、春季が最も高かった。春季はカルシウムと亜鉛が欠測となり、含有量として積算されていないため、実際にはさらに高かったと思われる。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(表 28 参照)。その他の無機元素成分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っていた。

(4) 炭素成分

令和 5 年度は外部分析機関へ委託して炭素成分測定を行った。

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 30、構成比を表 31、各期間の質量濃度と炭素成分濃度変動の相関係数を表 32、各期間中の炭素成分濃度変化を図 9 に示す。

表 30 炭素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

区分	春季(n=14)	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=56)
質量濃度	11.8	8.7	11.2	10.1	10.4
OC1	0.056	<0.027	<0.05	<0.022	0.056
OC2	1.06	0.84	1.22	0.81	0.98
OC3	0.98	0.78	1.25	0.60	0.90
OC4	0.41	0.31	0.58	0.34	0.41
OCpyro	0.70	0.36	0.99	0.62	0.67
OC 小計	3.20	2.30	4.03	2.39	2.98
EC1	0.80	0.38	1.04	0.80	0.76
EC2	0.691	0.495	0.959	0.654	0.700
EC3	0.078	0.096	0.184	0.070	0.107
EC 小計	0.865	0.607	1.198	0.907	0.894
炭素合計	4.07	2.91	5.23	3.30	3.88
割合	34.5%	33.5%	46.6%	32.7%	37.1%

(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

※ 表 30 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 31 炭素成分構成比

区分	春季(n=14)	夏季(n=14)	秋季(n=14)	冬季(n=14)	年間(n=56)
OC1	1.39	—	—	—	1.5
OC2	26	29	23	25	25
OC3	24	27	24	18	23
OC4	10.2	10.8	11.0	10.4	10.6
OCpyro	17	13	19	19	17
OC 小計	79	79	77	73	77
EC1	20	13	20	24	19
EC2	17	17	18	20	18
EC3	1.9	3.3	3.5	2.1	2.8
EC 小計	21	21	23	27	23

(単位：%)

※炭素成分濃度平均値が検出下限値未満となった元素成分は「—」表示とした。

表 32 質量濃度と炭素成分濃度変動の相関係数

区分	春季 (n=14)	夏季 (n=14)	秋季 (n=14)	冬季 (n=14)
有機炭素 OC	0.91	0.67	0.91	-0.19
元素状炭素 EC	0.95	0.78	0.95	0.75
全炭素 TC	0.93	0.72	0.93	0.66

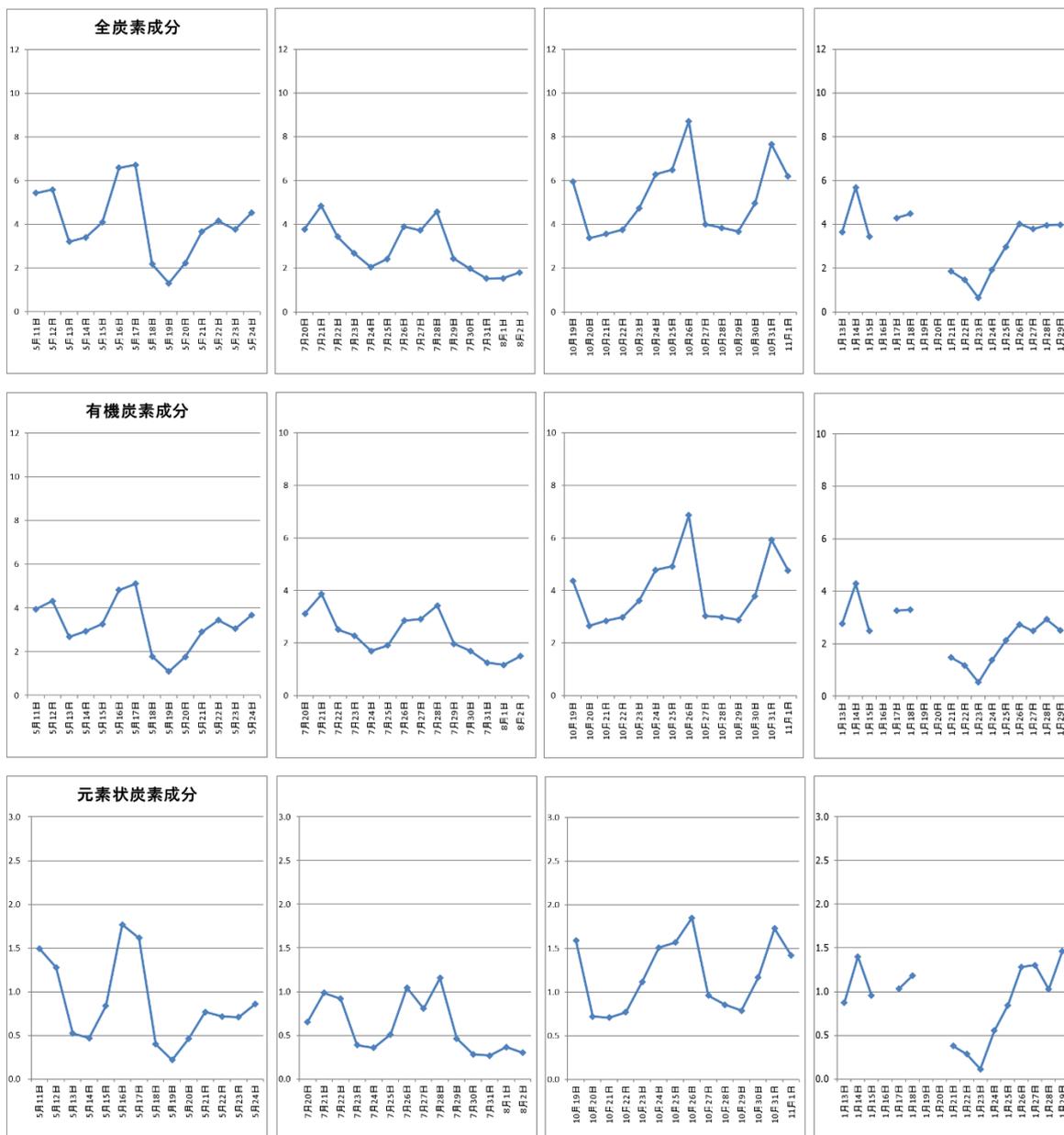


図9 各期間中の炭素成分濃度変化(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

炭素成分濃度は、年間平均で $3.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、夏季に低く秋季に高かった。また、質量濃度に占める割合は年間平均 37.1% であり、秋季に高く、その他の季節はほぼ同程度であった（表 30 参照）。質量濃度との相関は春季、秋季で高かった（表 32 参照）。

成分別では、元素状炭素成分（EC）の濃度が夏季に低い傾向がみられたが（表 30、図 9 参照）、これは夏季では、元素状炭素成分のうち EC1（正確には炭化補正值（OCpyro）を差し引いたもの）が他の季節に比べて少な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、夏季以外における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. 質量濃度は、春季・秋季に高く、夏季に低い傾向であった。1日平均値が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える観測日はなく、 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の日は45日（全捕集期間の80.4%）であった。
2. イオン成分が質量濃度に占める割合は、年間平均で40.2%であった。含有量は比較的春と冬に高かった。主要成分は、春季・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、その主成分は硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムであると推察された。
3. 無機元素成分が質量濃度に占める割合は、年間平均で2.2%であった。主要成分は、ナトリウム・アルミニウム・カルシウム・鉄・カリウムなどであった。
4. 炭素成分が質量濃度に占める割合は、年間平均で37.1%であった。濃度は夏季に低く、秋季に高くなる傾向であった。炭素成分別では、元素状炭素成分の濃度が夏季に低い傾向がみられ、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一年報，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一年報，No.21，51-65，2013.
- 5) 緒方美治、飯銅和浩、渡邊隆、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一年報，No.22，47-61，2014.
- 6) 飯銅和浩、坂口美鈴、緒方美治、渡邊隆、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—，熊本市環境総合センター一年報，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、渡邊隆、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一年報，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、渡邊隆、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一年報，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.
- 12) 西岡良樹、佐々木一夫、福田善秀、濱野晃、近藤芳樹：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析結果について（令和2年度(2020年度)），熊本市環境総合センター年報，No.28，25-41，2020.
- 13) 飯銅和浩、西岡良樹、福田善秀、濱野晃、近藤芳樹：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析結果について（令和3年度(2021年度)），熊本市環境総合センター年報，No.29，29-45，2021.
- 14) 原田千恵、飯銅和浩、藤原基、坂口美鈴、近藤芳樹：熊本市における微小粒子状物質（PM2.5）の成分分析結果について（令和4年度(2022年度)），熊本市環境総合センター年報，No.30，27-43，2022.