

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—

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

*環境政策課

1 はじめに

平成 21 年に微小粒子状物質（PM2.5）の環境基準が設定されて以降、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 箇所で開催監視を行った（なお、測定装置の移設・増設により、平成 27 年 3 月末には 8 箇所となった）。

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、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 年度は、試料捕集地点（以下「地点」という。）を 3 箇所に増やすとともに、新たに粒子中の炭素成分についても分析を開始したので、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

上述のとおり、平成 26 年度からは神水本町に加え、水道町・天明の大気汚染常時監視測定局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開始した。これにより、各地点間での成分比較が可能となり、発生源の解明に有用であると考えられる。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	区分
神水本町	中央区 神水本町 967-1	熊本平野の概ね中央に位置した近接商業地域で、主要幹線道路（国道 57 号熊本東バイパス及び県道熊本高森線）交差点近く	自動車排出 ガス測定局
水道町	中央区 水道町 13-2	中心市街地（商業地域）の主要幹線道路（国道 3 号及び県道熊本高森線）交差点近く	
天明	南区 奥古閑町 3097	市南西部に位置する平坦な田園地帯（市街化調整区域）で、有明海から東に約 3 km	一般環境 大気測定局

神水本町と水道町はともに自動車排出ガス測定局であるが、神水本町は国道沿いで比較的低層建築物が多いのに対し、水道町は中心市街地であり、中高層建築物に囲まれていることから排出ガスの滞留が多くなることが予想される。天明は田園地帯であり、バックグラウンドとしての意味合いを持つ。



- 1 赤い文字で示した測定局に捕集装置を設置した。
- 2 錦ヶ丘局には PM2.5 の質量濃度自動測定装置を設置していない。

図1 大気汚染常時監視測定局位置（平成26年度当初）

試料の捕集については、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」（以下「分析ガイドライン」という。）に基づき、年度ごとに望ましい試料捕集期間（以下「期間」という。）が定められている。本市もこれに基づいて測定を計画し、捕集・分析を実施した。各地点にはそれぞれ2台ずつ捕集装置を設置し、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24時間とした。実際の捕集状況は表2のとおりである。

表 2 捕集状況

区分	計画期間（捕集開始日基準）	備考
春季	平成 26 年 5 月 8 日～21 日	天明は 5 月 13～14 日、17～19 日に PTFE・石英とも未捕集（不足分を 22～26 日に追加捕集）。
夏季	平成 26 年 7 月 23 日～8 月 5 日	天明は 7 月 31 日～8 月 1 日、8 月 5 日に PTFE で未捕集（不足分の追加捕集なし）。
秋季	平成 26 年 10 月 22 日～11 月 4 日	天明は 10 月 28～29 日、11 月 1～4 日に石英で未捕集（不足分を 11 月 5～10 日に追加捕集）。
冬季	平成 27 年 1 月 21 日～2 月 3 日	天明は 1 月 21～24 日に PTFE・石英とも未捕集（不足分を 2 月 4～8 日に追加捕集）。

上記のとおり、天明に設置した捕集装置は不具合が頻発し、試料が未捕集となる日が多かった。このため、この報告において、データの比較は当初の計画期間の範囲で行うこととし、濃度平均値の算定など数値データの取り扱いについては、分析項目ごとに 3 箇所すべてでフィルタ捕集できた日を対象とすることとした。

(2) 試料捕集及び分析の方法、測定項目

試料の捕集と分析は、分析ガイドラインと、同じく環境省が定める「大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル」（以下「成分測定マニュアル」という。）に基づき実施した。具体的な捕集及び分析方法は表 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 、相対湿度 $35 \pm 5\%$ で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（DIONEX ICS-1600・ICS-2100）で測定
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 EL）・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 7500cx）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+} 及び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、マグネシウム Mg、銀 Ag、タリウム Tl 及びウラン U
炭素成分	有機炭素 (OC1、OC2、OC3、OC4) 元素状炭素 (EC1、EC2、EC3) 及び炭化補正值 (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

期間	地点	最大値		最小値		平均値	高濃度日数 ($35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超)	備考
		日付	濃度	日付	濃度	濃度		
春季	神水本町	2014/05/13	32.2	2014/05/20	6.3	18.7	0	
	水道町	2014/05/13	33.1	2014/05/20	7.1	19.8	0	
	天明	2014/05/21	26.6	2014/05/20	6.5	17.8	0	5/13 は未捕集
夏季	神水本町	2014/07/28	27.7	2014/07/31	4.3	12.9	0	
	水道町	2014/07/28	27.2	2014/07/31	4.6	13.5	0	
	天明	2014/07/29	26.6	2014/08/04	6.5	12.3	0	7/31 は未捕集
秋季	神水本町	2014/10/30	37.5	2014/10/22	7.9	20.5	1	
	水道町	2014/10/31	35.4	2014/10/22	7.5	21.1	2	
	天明	2014/10/30	33.7	2014/10/22	5.5	19.6	0	
冬季	神水本町	2015/01/21	42.6	2015/02/03	13.9	21.7	2	
	水道町	2015/01/21	42.3	2015/02/03	13.1	22.1	2	
	天明	2015/01/27	32.9	2015/02/03	13.8	20.1	0	1/21 は未捕集

(濃度単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

質量濃度は、夏季に低く、冬季に高くなる傾向がある。平成 25 年度は、夏季以外のすべてで質量濃度が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える観測日があったが、平成 26 年度は秋季と冬季のみであり、またその日数も少なかった。平均濃度についても、すべての期間・地点で $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満となった。

各期間の濃度変化を折れ線グラフで比較したものを図 2 に示す。

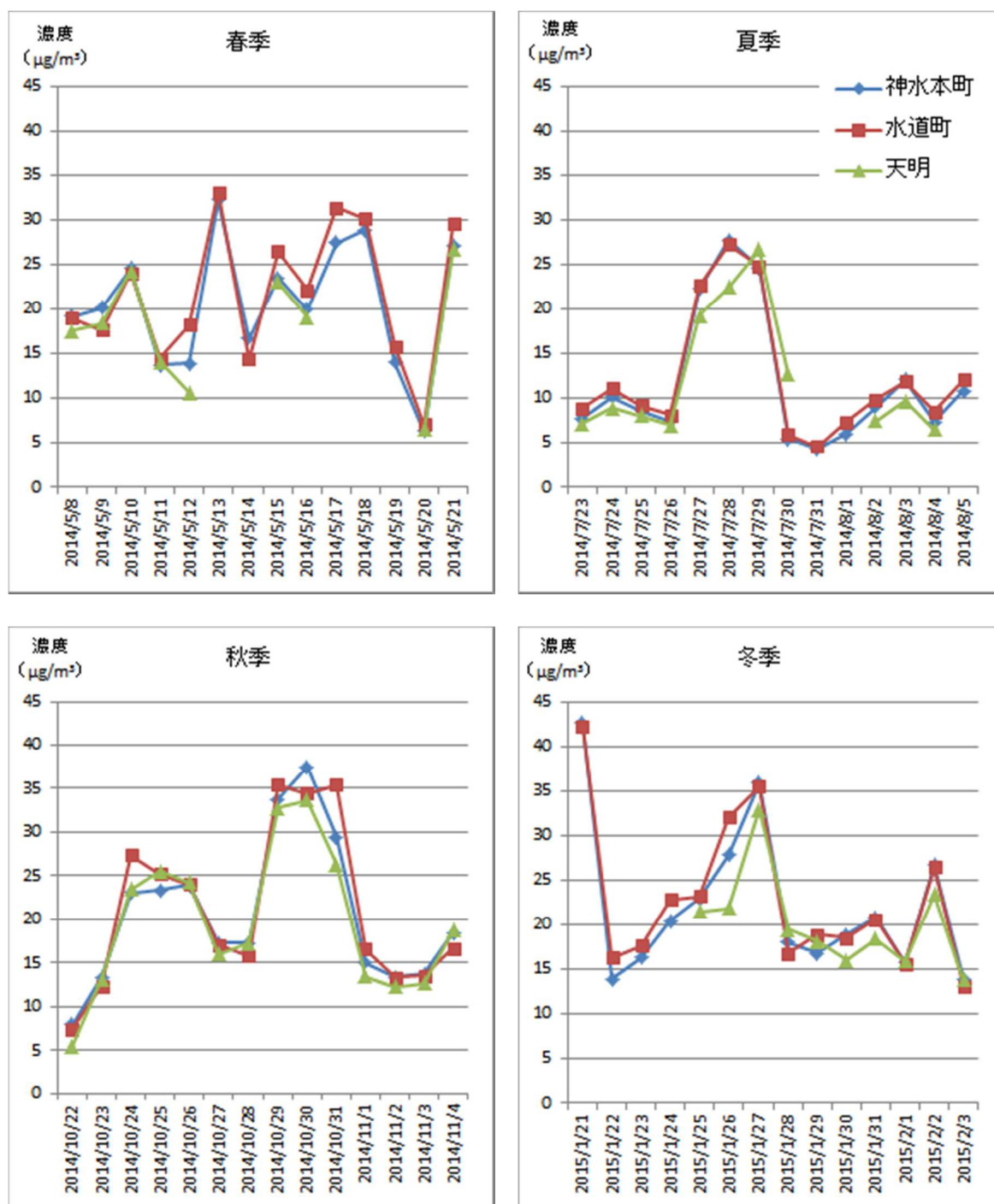
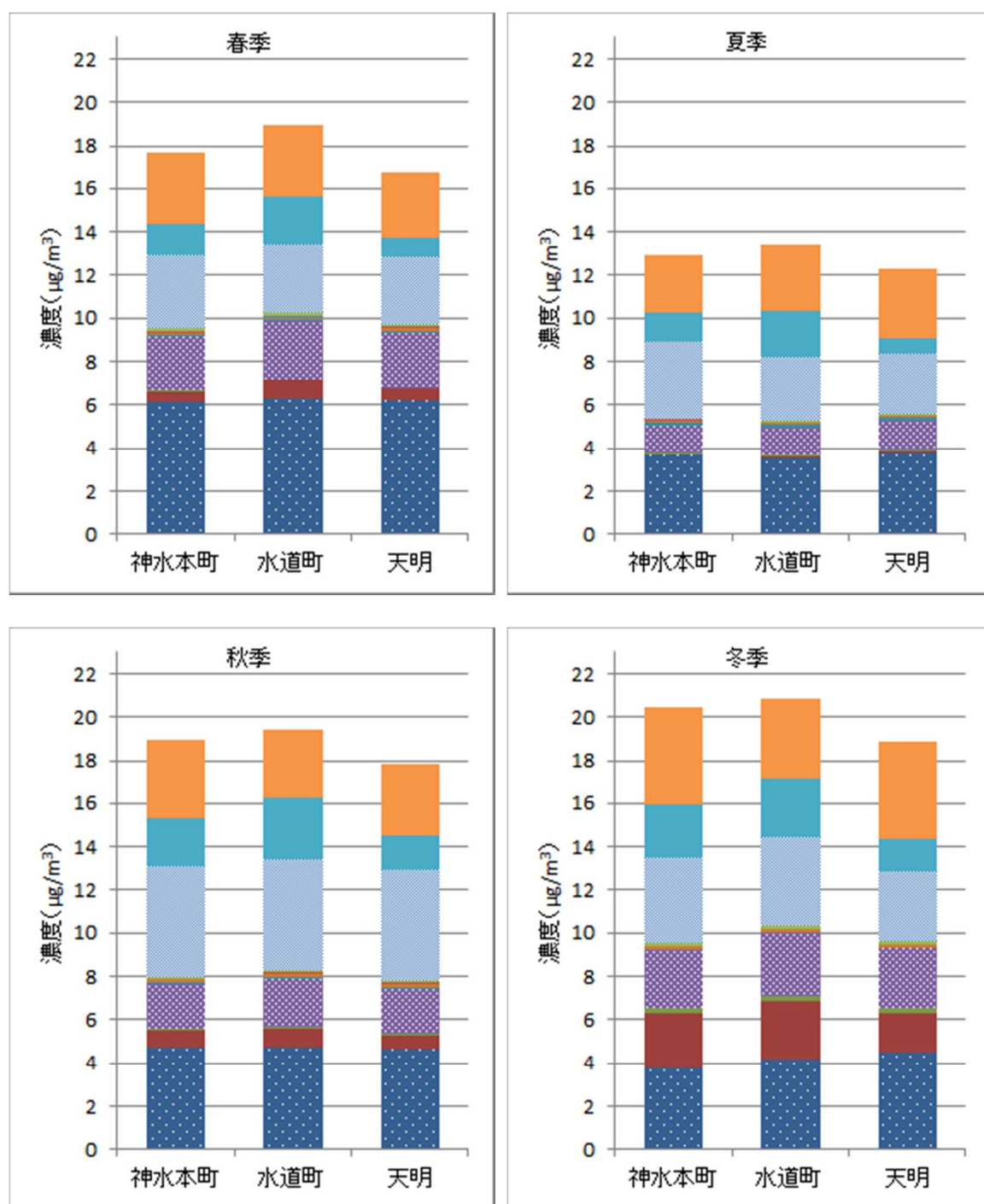


図2 各期間の質量濃度変化

これらの結果でわかるとおり、いずれの地点においても濃度はほぼ同じであり、また、濃度
 が変化する際は顕著な変動を示すなどその挙動も同じ傾向となっている。その中でも、ともに
 自動車排出ガス測定局である神水本町と水道町の濃度変化がより近く、一般環境大気測定局で
 ある天明はこれに比べるとやや低い値で推移している。このことから、PM_{2.5}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、その一方で局地的な要因も一定の影響を与
 えていることがわかる。

各期間の平均質量濃度と成分構成の概要は図3のとおりである。



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。

図3 各期間の平均質量濃度と成分構成

- その他
- 元素状炭素
- 有機炭素
- 無機元素
- マグネシウムイオン
- カルシウムイオン
- カリウムイオン
- ナトリウムイオン
- アンモニウムイオン
- 塩化物イオン
- 硝酸イオン
- 硫酸イオン

この図でわかるように、粒子の主要成分はイオン成分（粒子中では結合し塩類として存在。主に硫酸アンモニウム・硝酸アンモニウム）と炭素成分である。イオン成分は夏季・秋季に割合が低くなり、春季・冬季に高くなる。炭素成分はこの逆の傾向を示す。

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・地点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、構成比を表7、イオン成分構成と濃度を図4、各期間中のイオン成分濃度変化を図5 - 1～4に示す。なお、定量下限値未満となった項目は、当該下限値の半分の値として扱った。

表6 イオン成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
SO ₄ ²⁻	6.2	6.3	6.3	3.7	3.6	3.8	4.8	4.8	4.6	3.8	4.2	4.5
NO ₃ ⁻	0.49	0.84	0.52	0.048	0.066	0.049	0.76	0.88	0.65	2.5	2.7	1.8
Cl ⁻	0.019	0.039	0.038	0.049	0.050	0.058	0.055	0.068	0.079	0.26	0.28	0.27
NH ₄ ⁺	2.5	2.6	2.5	1.3	1.3	1.4	2.1	2.2	2.1	2.7	2.9	2.7
Na ⁺	0.078	0.086	0.083	0.16	0.17	0.17	0.080	0.094	0.085	0.042	0.042	0.042
K ⁺	0.098	0.10	0.11	0.069	0.062	0.052	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15
Ca ²⁺	0.041	0.043	0.041	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	0.048	0.060	0.018	0.015	<0.015
Mg ²⁺	0.032	0.030	0.032	0.024	0.027	0.028	0.0098	0.016	0.018	0.0068	0.0056	0.0071
合計 (μg/m ³)	9.4	10	9.6	5.4	5.2	5.5	7.9	8.2	7.7	9.4	10	9.5
割合(%)	50	51	54	41	39	45	39	39	39	43	46	47

表7 イオン成分構成比

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
SO ₄ ²⁻	66	63	65	69	68	69	60	58	60	40	41	48
NO ₃ ⁻	5.2	8.3	5.4	0.98	1.3	0.89	9.6	11	8.4	26	26	19
Cl ⁻	0.20	0.38	0.40	0.91	0.96	1.0	0.69	0.84	1.0	2.7	2.8	2.9
NH ₄ ⁺	26	26	26	24	24	24	27	27	27	28	28	28
Na ⁺	0.83	0.85	0.86	2.9	3.2	3.2	1.0	1.2	1.1	0.45	0.41	0.45
K ⁺	1.0	1.0	1.1	1.3	1.2	0.93	1.6	1.7	1.7	1.4	1.3	1.6
Ca ²⁺	0.44	0.43	0.42	-	-	-	-	0.58	0.78	0.19	0.15	-
Mg ²⁺	0.34	0.30	0.33	0.44	0.52	0.50	0.12	0.19	0.24	0.072	0.055	0.075

(単位：%)

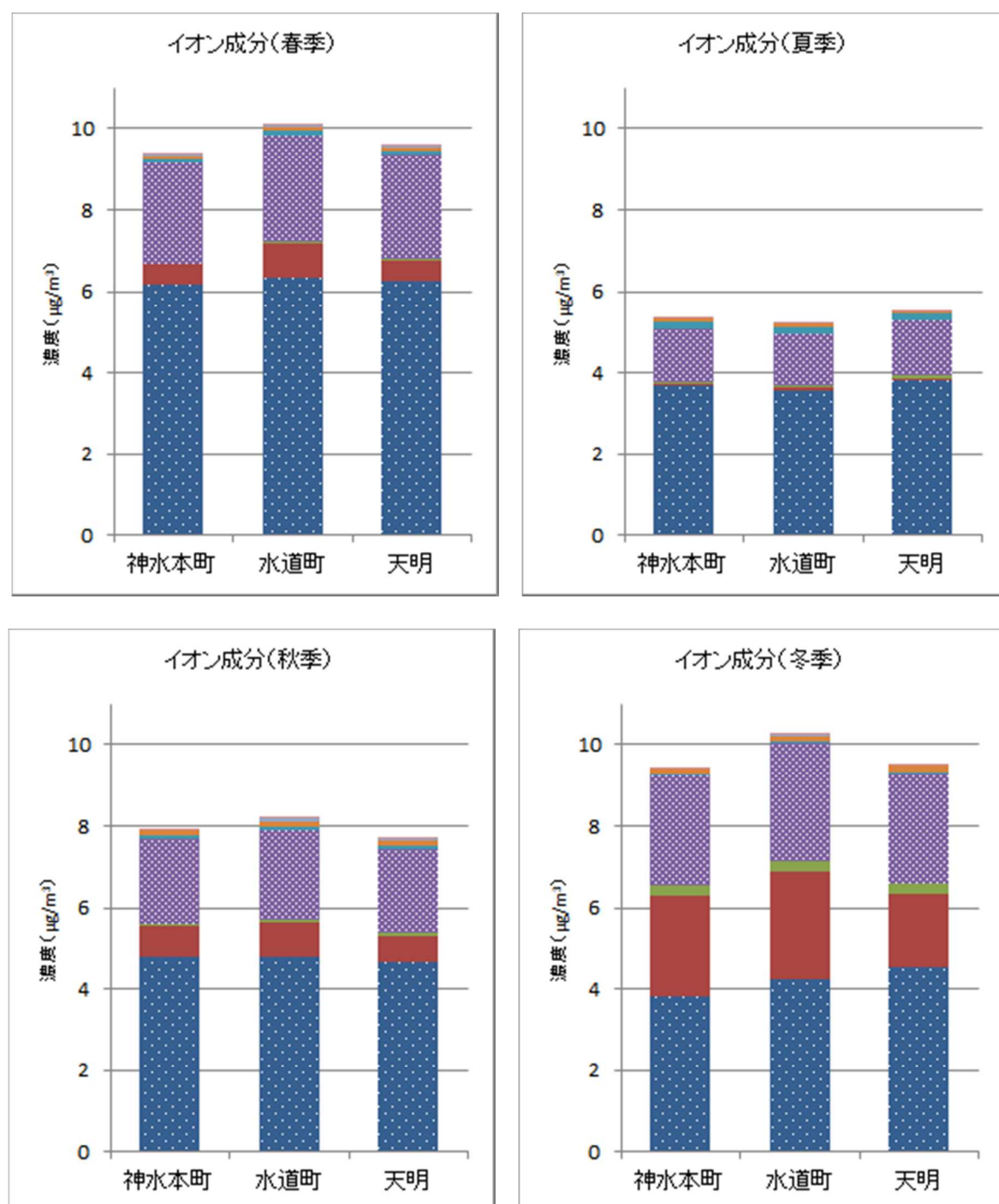


図4 イオン成分構成と濃度

■ マグネシウムイオン ■ カルシウムイオン ■ カリウムイオン ■ ナトリウムイオン
■ アンモニウムイオン ■ 塩化物イオン ■ 硝酸イオン ■ 硫酸イオン

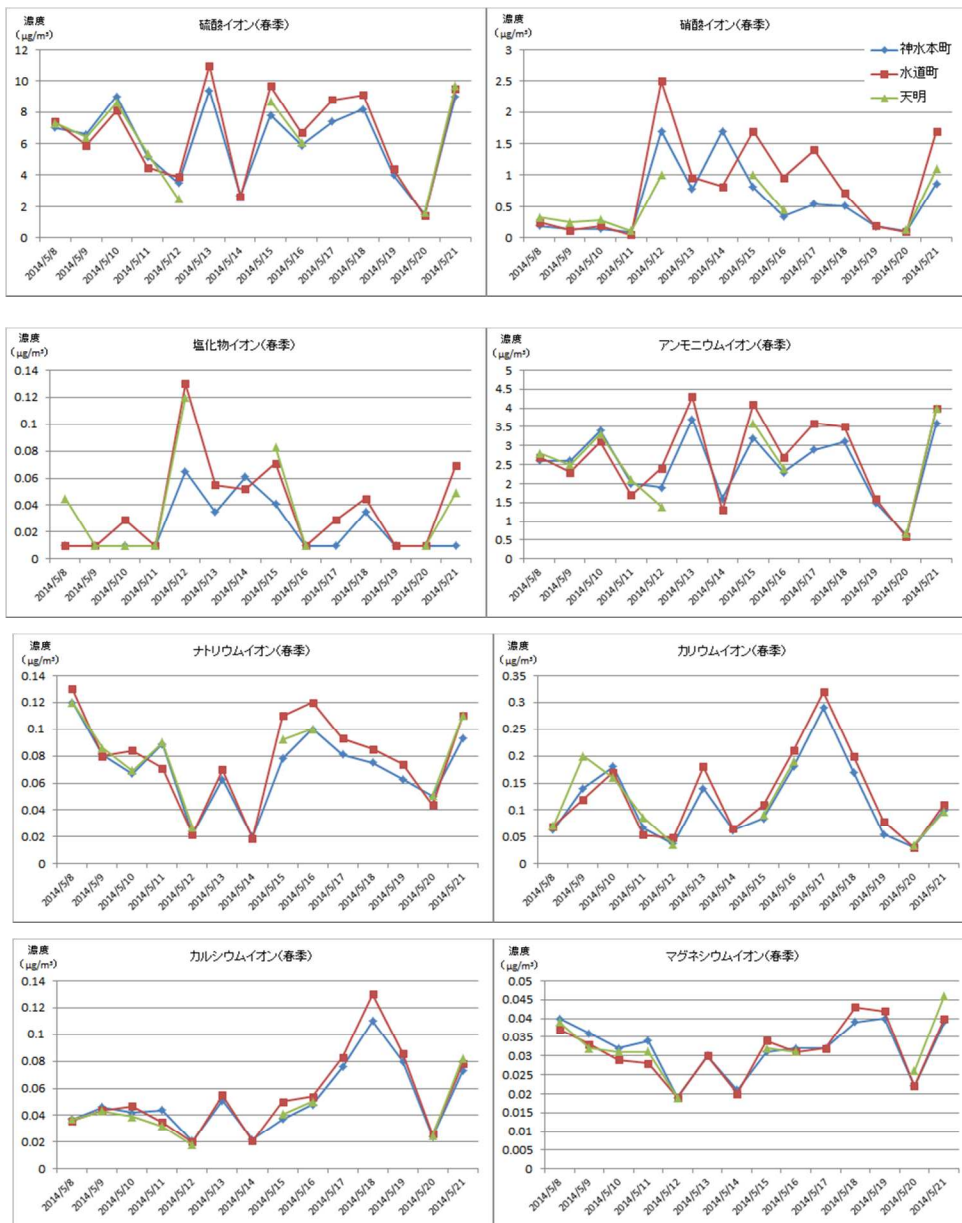


図5 - 1 各イオン成分の濃度変化 (春季)

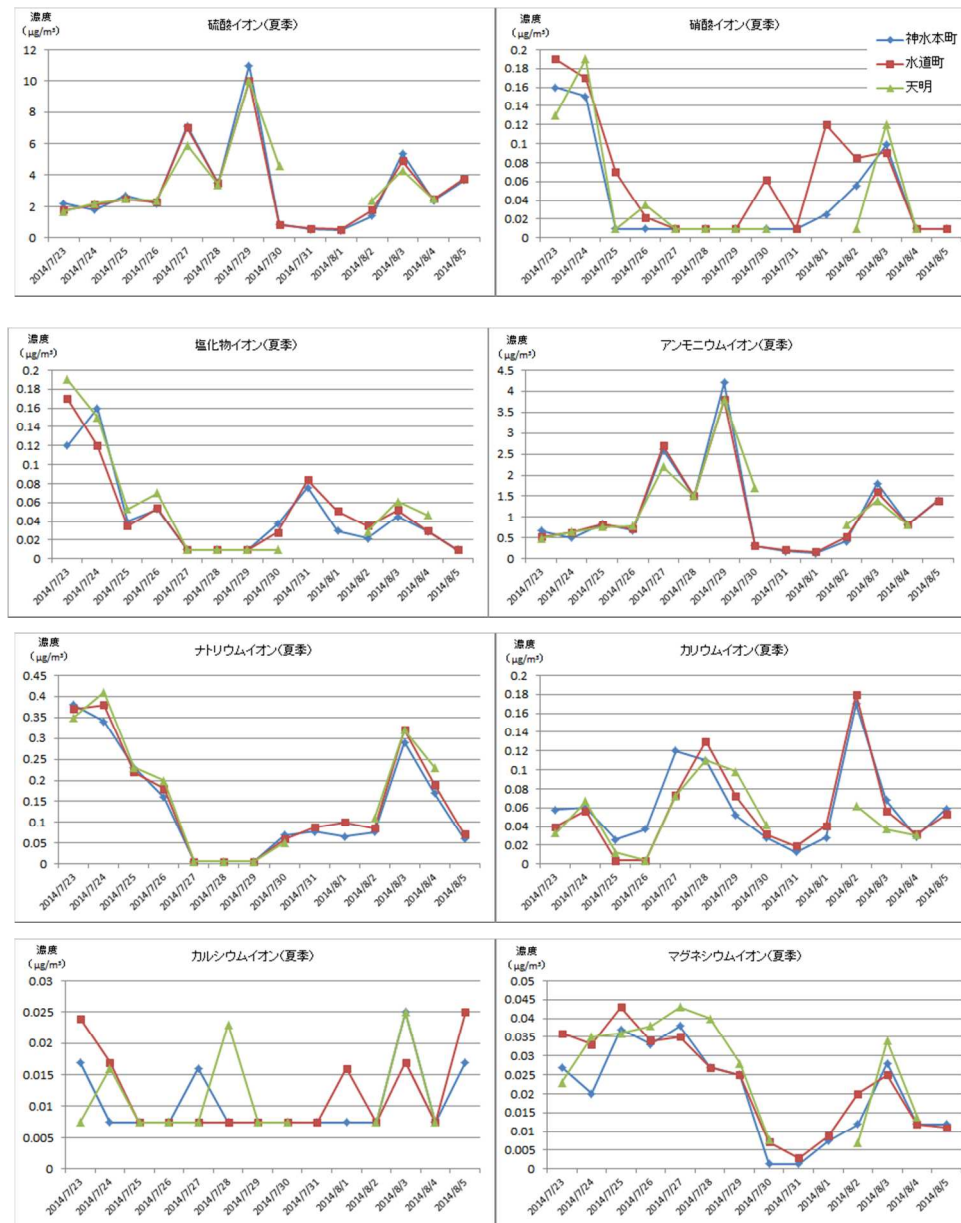


図5 - 2 各イオン成分の濃度変化 (夏季)

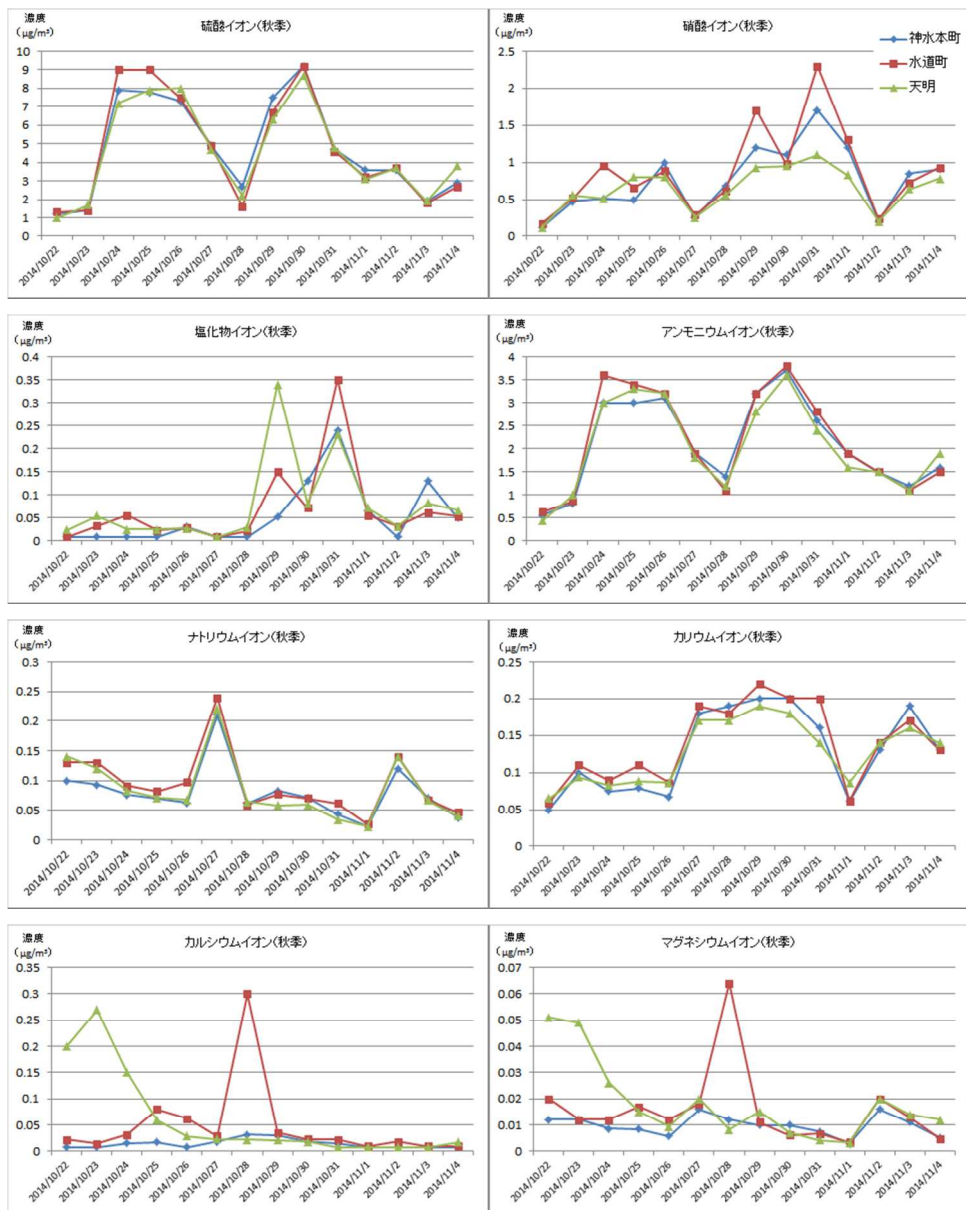


図 5 - 3 各イオン成分の濃度変化 (秋季)

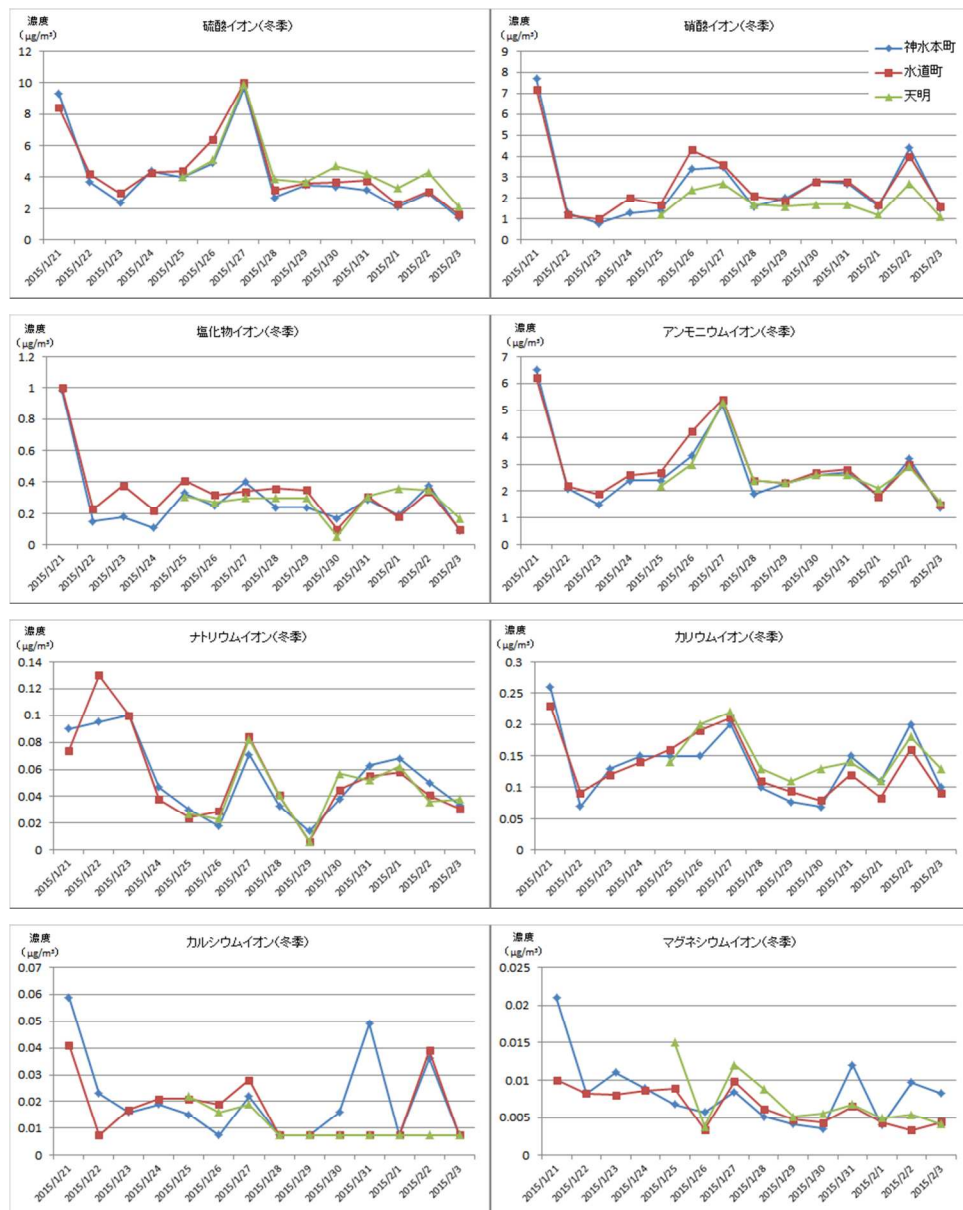
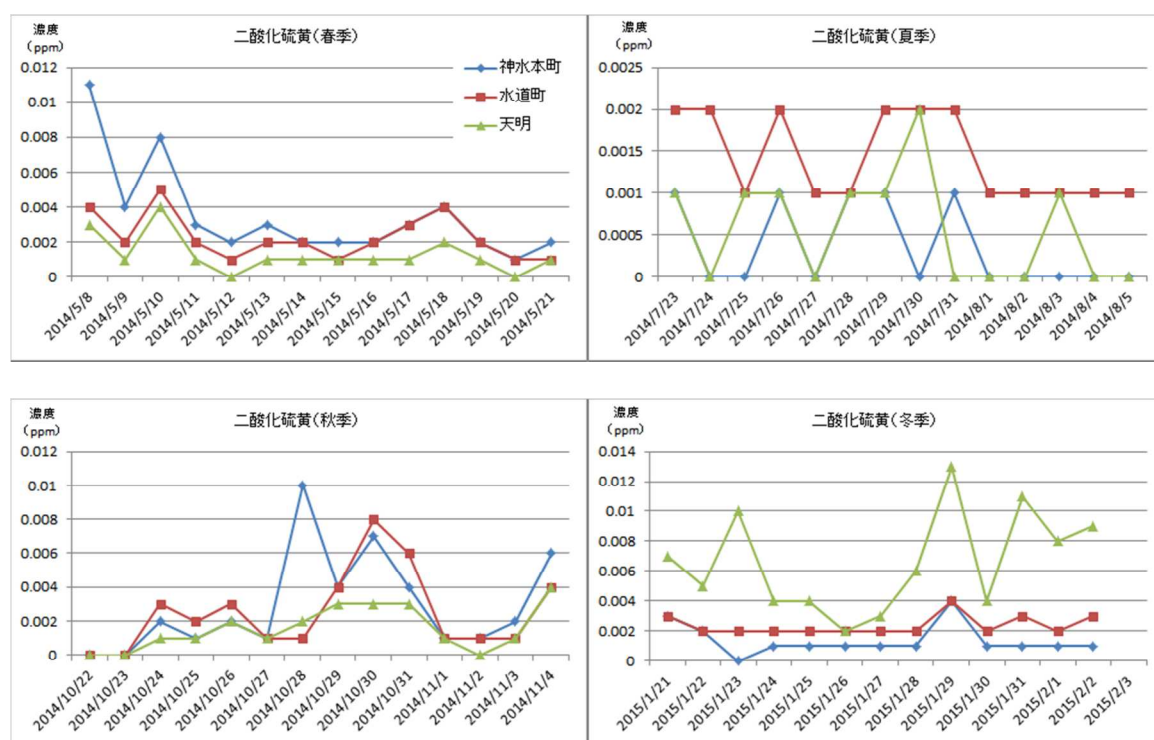


図 5 - 4 各イオン成分の濃度変化 (冬季)

イオン成分が質量濃度に占める割合は約 39～54%で、春季及び冬季に高く、夏季から秋季にかけて低くなる傾向がみられる。地点間では、天明で質量濃度に占める割合が高い傾向にあり、これは炭素成分との相対的な関係によるものと考えられる。主要成分はいずれの期間・地点でも硫酸イオン、硝酸イオン及びアンモニウムイオンであり、この3成分でイオン成分の90%以上を占める。

硫酸イオンは、主に硫黄分を含む化石燃料の燃焼に由来するものであり、現在日本国内では硫黄分が少ない燃料を使用していることから、大陸からの移流が影響していると推察されている。今回の分析結果でも、硫酸イオン濃度は各地点でほぼ同じように変動しており、主として市域全体にわたる広域的な要因が寄与しているものと考えられる。一方、小さいながら地点差もみられ、冬季は天明が他の地点よりも高い濃度となっていることが特徴的である。ここで、大気汚染常時監視測定局のデータに基づく二酸化硫黄（ SO_2 ）濃度変化を図6に示す。

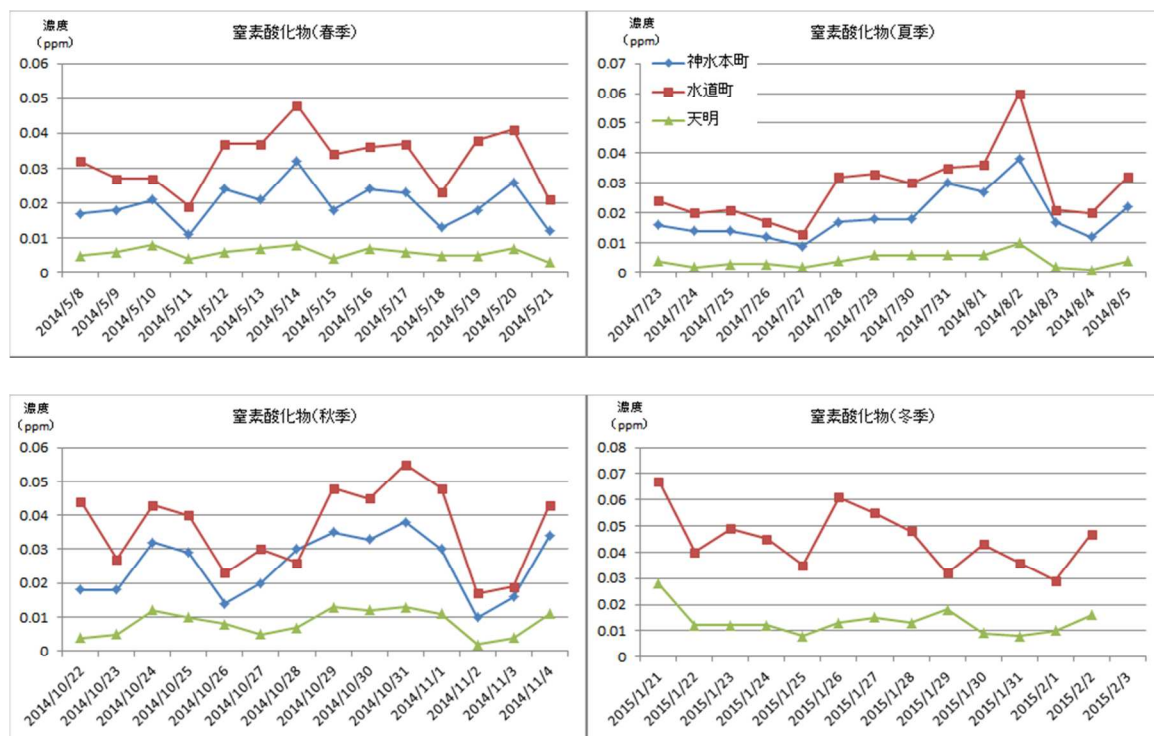


冬季は、2月3日にすべての測定局で欠測となった。

図6 各期間中の二酸化硫黄濃度変化

冬季は、他の期間と異なり天明で他の地点よりも SO_2 濃度が高くなっており、これが粒子中の硫酸イオン濃度に影響していると考えられる。期間の初めは $\text{PM}_{2.5}$ 試料が未捕集となったため比較ができないが、期間後半（1月28日～2月2日）に SO_2 濃度が高い値で推移したときには硫酸イオン濃度も高くなっていることが確認できる。冬季に天明で SO_2 濃度が高くなる理由としては、周辺が農地であることから、農業用温室暖房のボイラー使用などが考えられる。

硝酸イオンも燃料の燃焼に由来するが、硫酸イオンとは挙動が異なり、神水本町・水道町が天明よりも高い傾向にある。ここで、大気汚染常時監視測定局のデータに基づく窒素酸化物（ NO_x ）濃度変化を図7に示す。



冬季は神水本町測定局が全期間、水道町と天明が2月3日に欠測となった。

図7 各期間中の窒素酸化物濃度変化

幹線道路沿いである神水本町・水道町の NO_x 濃度は、天明と比較すると自動車排出ガスによって高い値を示しており、このことが粒子中の硝酸イオン濃度に影響していると考えられる。

また、硝酸イオンは、気温が低い期間ほど粒子中の濃度が高くなり、地点差も大きくなる傾向がある。硝酸イオンは、アンモニウムイオンと結合して硝酸アンモニウム粒子になった状態と、解離して気化した状態との間で平衡になっており、この平衡は温度が低いほど粒子化の方向に進むとされる。今回、冬季に神水本町・水道町と天明との間で明確な濃度差がみられたが、さらにデータの蓄積を進め各期間・地点における特徴をとらえる必要がある。

一方で、アンモニウムイオンは、硫酸イオンや硝酸イオンと異なり、同一期間で比較すると、いずれの地点でも質量濃度に対する割合がほぼ同じになるという特徴がみられた。この要因は不明であるが、今後継続して調査を行うことによりその解明につながることを期待される。

その他のイオン成分では、塩化物イオンが冬季に濃度・割合とも高くなっており、この要因としては、硝酸イオンと同じく温度による平衡の偏りが考えられる。また、海に近い天明においても他の地点と大幅な差はなく、距離が近いことによる直接的な海塩飛沫の影響は受けていないものと考えられる。カルシウムイオンとマグネシウムイオンは、秋季の期間序盤（10月22～24日）に天明で、また中盤（10月28日）には水道町でともに高濃度を観測するなど、濃度変動が同様の挙動をしていることが興味深い。

(3) 無機元素成分

各期間・地点の無機成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合を表8、構成比を表9に示す。
 なお、定量下限値未満となった項目は当該下限値の半分の値として扱い、ナトリウム・カリウムなどで明らかなコンタミネーションと考えられるデータは除外した。また、ナトリウム・カリウム・カルシウム・マグネシウムはイオン成分としても測定を行っている。

表8 無機元素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
ナトリウム	91	78	76	150	160	170	110	96	68	47	61	47
アルミニウム	59	53	61	16	11	16	29	37	21	38	19	18
カリウム	150	130	130	84	78	69	170	170	130	160	140	180
カルシウム	55	24	24	19	29	30	30	38	16	37	18	34
スズ	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043	<0.043
バリウム	2.7	2.6	2.5	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	2.0	1.8	1.9
クロム	0.65	0.77	0.52	0.23	0.18	0.22	0.40	0.47	0.35	0.73	0.77	0.60
鉄	87	83	75	24	23	19	45	52	36	65	60	50
ニッケル	1.1	0.94	0.92	0.70	<0.57	<0.57	<0.57	0.59	<0.57	0.73	0.78	0.82
亜鉛	23	28	24	9.2	10	9.7	21	26	22	33	27	28
砒素	1.1	1.0	0.97	0.48	0.45	0.48	1.0	0.95	0.93	1.7	1.4	1.6
アンチモン	0.92	0.77	0.71	0.40	0.35	0.36	0.88	0.91	0.71	1.3	1.1	1.1
鉛	8.8	8.1	9.0	2.6	2.5	2.6	4.4	4.8	4.6	9.5	8.3	9.2
マンガン	5.8	5.7	5.1	1.4	1.3	1.2	3.0	3.6	3.5	5.0	4.4	5.0
コバルト	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075
銅	2.3	3.0	1.5	1.8	1.6	1.1	2.3	2.3	1.3	3.7	2.6	2.2
セレン	0.99	0.93	1.0	0.39	0.37	0.43	0.87	0.81	0.80	0.99	0.74	0.91
モリブデン	0.22	0.18	0.12	<0.10	0.10	<0.10	0.24	0.31	0.19	0.44	0.50	0.34
カドミウム	0.22	0.20	0.23	0.090	0.081	0.092	0.17	0.18	0.19	0.32	0.27	0.32
バリウム	2.4	2.1	1.0	2.8	3.7	0.98	2.2	2.0	0.73	3.1	1.7	0.84
トリウム	0.0050	<0.0045	0.0061	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	<0.0045	0.0054	<0.0045
ベリリウム	<0.0067	<0.0067	<0.0067	<0.0067	<0.0067	0.016	<0.0067	<0.0067	<0.0067	<0.0067	<0.0067	<0.0067
マグネシウム	24	22	21	17	21	23	14	16	13	10	18	40
銀	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17
タリウム	0.13	0.13	0.095	0.028	0.027	0.040	0.14	0.12	0.11	0.088	0.080	0.083
ウラン	0.0042	0.0041	0.0043	<0.0023	<0.0023	<0.0023	<0.0023	<0.0023	<0.0023	0.0054	0.010	0.0059
合計 (ng/m³)	520	440	430	330	350	350	430	450	320	420	370	420
割合(%)	2.8	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	2.1	2.1	1.7	1.9	1.7	2.1

表9 無機元素成分構成比

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
ナトリウム	18	18	18	44	47	49	24	21	21	11	16	11
アルミニウム	11	12	14	4.8	3.1	4.6	6.6	8.2	6.6	9.2	5.1	4.3
カリウム	29	28	29	26	22	20	39	37	41	37	38	42
カルシウム	11	5.5	5.5	5.9	8.3	8.6	6.9	8.5	5.0	8.9	4.8	8.1
スカルシウム	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
バリウム	0.51	0.60	0.59	0.41	0.39	0.42	0.32	0.32	0.43	0.47	0.48	0.47
クロム	0.12	0.18	0.12	0.070	0.052	0.062	0.092	0.10	0.11	0.18	0.21	0.14
鉄	17	19	17	7.3	6.8	5.4	10	12	11	16	16	12
ニッケル	0.20	0.21	0.21	0.21	-	-	-	0.13	-	0.17	0.21	0.20
亜鉛	4.5	6.5	5.5	2.8	3.0	2.8	4.8	5.8	6.6	8.0	7.4	6.6
砒素	0.21	0.23	0.23	0.15	0.13	0.14	0.24	0.21	0.29	0.41	0.38	0.37
アンチモン	0.18	0.17	0.16	0.12	0.10	0.10	0.20	0.20	0.22	0.32	0.30	0.27
鉛	1.7	1.8	2.1	0.79	0.72	0.75	1.0	1.1	1.4	2.3	2.3	2.2
マンガン	1.1	1.3	1.2	0.42	0.37	0.35	0.70	0.80	1.1	1.2	1.2	1.2
コバルト	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
銅	0.45	0.67	0.35	0.56	0.46	0.31	0.53	0.51	0.40	0.89	0.70	0.53
セレン	0.19	0.21	0.23	0.12	0.11	0.12	0.20	0.18	0.25	0.24	0.20	0.22
モリブデン	0.043	0.041	0.027	-	0.030	-	0.056	0.069	0.060	0.11	0.14	0.082
カドミウム	0.042	0.047	0.052	0.028	0.023	0.026	0.040	0.040	0.057	0.076	0.074	0.077
バリウム	0.47	0.47	0.24	0.85	1.1	0.28	0.51	0.45	0.22	0.74	0.47	0.20
トリウム	0.00097	-	0.0014	-	-	-	-	-	-	-	0.0015	-
ヘリウム	-	-	-	-	-	0.0044	-	-	-	-	-	-
マグネシウム	4.6	4.9	5.0	5.3	6.1	6.7	3.2	3.7	4.0	2.5	4.9	9.5
銀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
タリウム	0.026	0.030	0.022	0.0085	0.0079	0.012	0.031	0.026	0.033	0.021	0.022	0.020
ウラン	0.00081	0.00092	0.0010	-	-	-	-	-	-	0.0013	0.0027	0.0014

(単位：%)

無機元素成分が質量濃度に占める割合は約 1.7～2.8%で、春季・夏季に高く秋季・冬季に低くなる傾向がある。期間や地点により変動はあるものの、主要成分はカリウム・ナトリウム・カルシウム・鉄・アルミニウムなど土壌・海塩に由来すると考えられるものである。これら主要成分は、無機元素成分全体の 90%程度を占めている。

一方、割合が小さいその他の成分はさまざまな起源をもち、それぞれに濃度変化の挙動が異なる。各地点でよく似た挙動を示す元素（バナジウム）と、地点ごとのばらつきが大きい元素（バリウム）について濃度変化を比較したグラフを図 8 - 1～2 に示す。

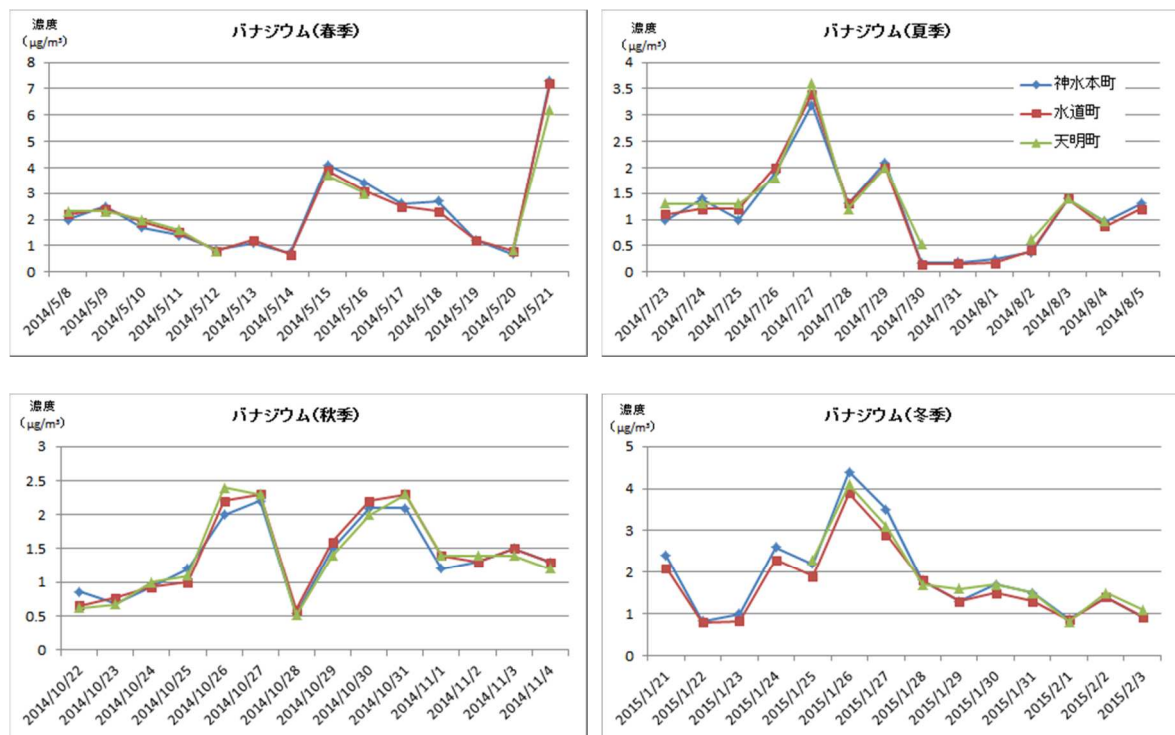


図 8 - 1 バナジウムの濃度変化

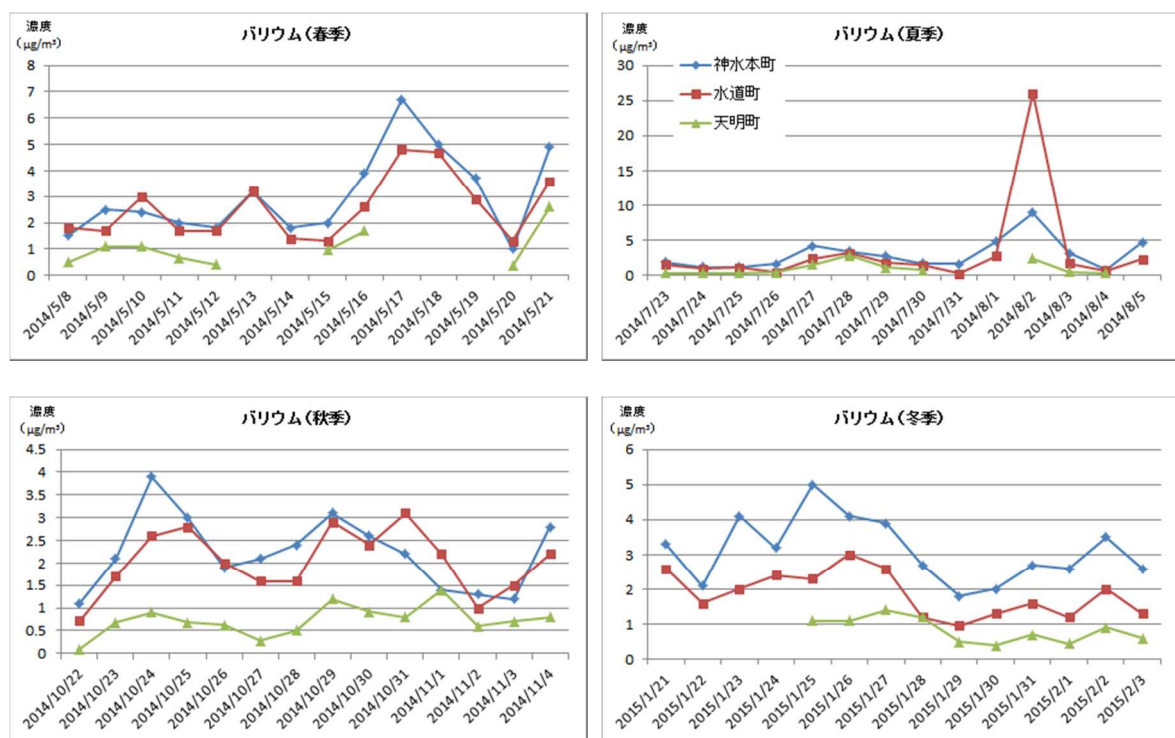


図 8 - 2 バリウムの濃度変化

このように、成分により濃度変化が異なることは、発生源を推測するための判断材料となる。バナジウムはいずれの期間・地点でもほぼ同じ濃度変動となっており、市域全体にわたる広域的な要因が影響していると推測される。また、バリウムはいずれの期間においても神水本町・水道町が天明よりも高い濃度で推移しており、特に水道町では夏季に顕著な高濃度が観測されていることから、局地的な要因が大きく影響していることが考えられる。このように、各成分で挙動が大きく異なるため、今後継続して調査を行いデータを蓄積していくことが重要である。

(4) 炭素成分

炭素成分は、平成 26 年度から新たに測定を開始した成分である。各期間・地点ごとの炭素成分濃度及び質量濃度に対する割合を表 10、構成比を表 11 に示す。

表 10 炭素成分濃度平均値及び質量濃度に対する割合

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
OC1	0.12	0.093	0.066	0.027	0.018	0.016	0.14	0.12	0.11	0.21	0.24	0.13
OC2	1.4	1.3	1.1	1.6	1.1	1.1	1.8	1.7	1.5	1.4	1.5	1.0
OC3	0.64	0.61	0.62	0.89	0.88	0.74	1.2	1.2	1.1	0.75	0.83	0.56
OC4	0.30	0.31	0.28	0.30	0.30	0.28	0.46	0.51	0.62	0.35	0.36	0.28
OCpyro	1.0	0.89	1.1	0.70	0.60	0.71	1.6	1.6	1.8	1.2	1.2	1.3
OC 合計	3.5	3.2	3.1	3.5	2.9	2.8	5.1	5.1	5.2	4.0	4.1	3.3
EC1	1.2	1.5	1.1	0.95	1.1	0.80	2.5	2.8	2.3	1.9	2.0	1.5
EC2	1.1	1.4	0.78	1.0	1.5	0.50	1.2	1.5	0.94	1.7	1.8	1.2
EC3	0.11	0.12	0.088	0.13	0.14	0.093	0.14	0.13	0.11	0.15	0.15	0.12
EC 合計	1.4	2.2	0.89	1.4	2.1	0.68	2.2	2.9	1.6	2.5	2.7	1.5
合計 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4.9	5.4	4.0	4.9	5.1	3.5	7.3	8.0	6.7	6.4	6.8	4.8
割合 (%)	26	27	23	38	38	28	36	38	34	30	31	24

OC 合計=OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OCpyro、EC 合計= EC1 + EC2 + EC3 - OCpyro

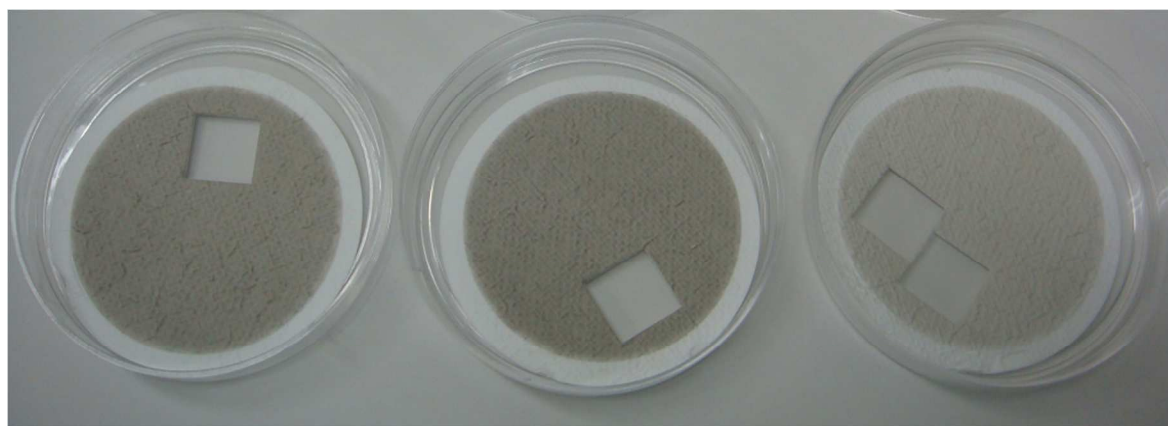
表 11 炭素成分構成比

期間	春季			夏季			秋季			冬季		
地点	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明	神水本町	水道町	天明
OC1	2.0	1.5	1.3	0.48	0.31	0.38	1.6	1.2	1.2	2.8	2.9	2.1
OC2	23	20	22	28	20	25	20	18	18	18	19	17
OC3	11	9.8	12	16	16	18	13	12	13	9.8	10	9.2
OC4	5.1	5.0	5.6	5.3	5.3	6.6	5.1	5.3	7.2	4.5	4.5	4.6
OCpyro	17	14	21	13	11	17	18	16	21	16	15	21
EC1	21	25	21	17	20	19	28	29	27	25	24	24
EC2	18	23	15	18	26	12	13	16	11	22	22	19
EC3	1.8	1.9	1.7	2.4	2.5	2.1	1.5	1.3	1.3	2.0	1.8	1.9

(単位：%)

炭素成分が質量濃度に占める割合は約 23～38%である。炭素成分濃度は秋季及び冬季に高くなる傾向があるが、イオン成分濃度の季節変動がより大きいので、質量濃度に占める割合で見ると冬季は低くなる。

各地点における捕集後の石英繊維製フィルタ画像(平成 27 年 1 月 30 日捕集分)を図 9、同日の炭素成分濃度を表 12、各期間・地点ごとの濃度変化グラフを図 10 - 1～2 に示す。



左から、神水本町、水道町、天明の順で並べた。四角い穴は測定のためにフィルタを切り抜いた部分である。

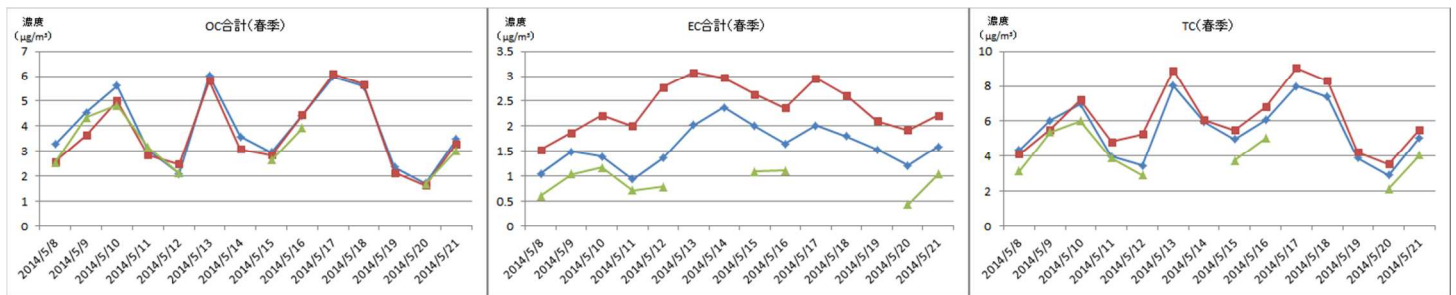
図 9 捕集後の石英繊維製フィルタ(平成 27 年 1 月 30 日)

表 12 平成 27 年 1 月 30 日の地点・フラクション別炭素成分濃度

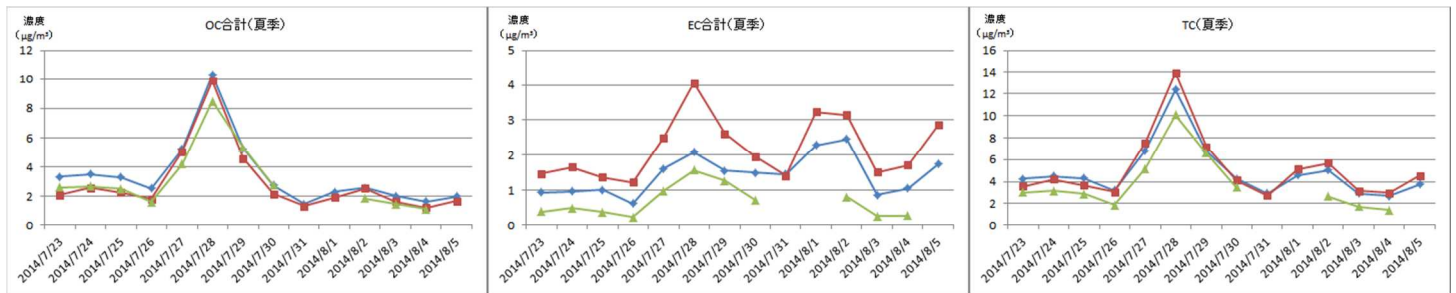
	神水本町	水道町	天明
有機炭素(OC)	2.8	3.7	2.5
元素状炭素(EC)	1.8	2.0	0.77
全炭素(TC)	4.7	5.7	3.3

(単位：μg/m³)

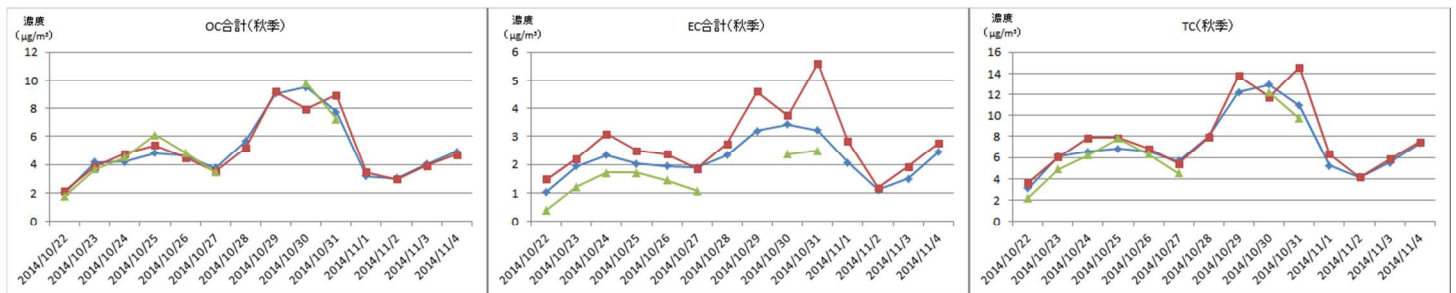
春季



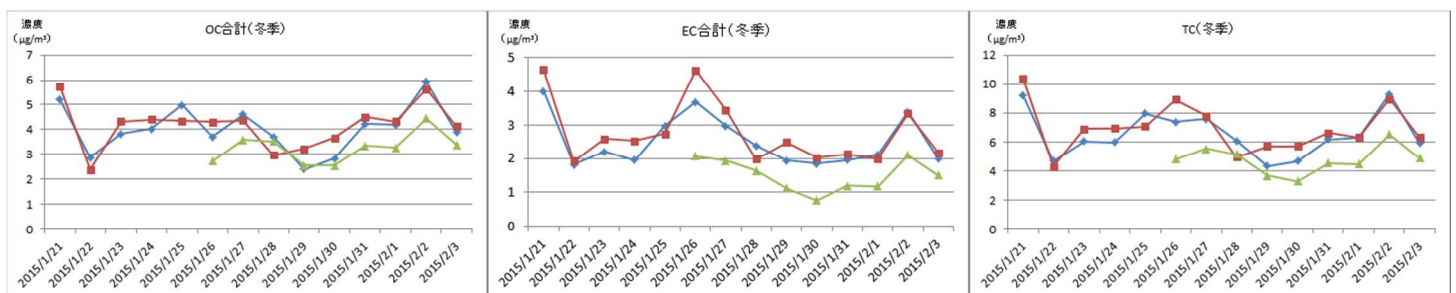
夏季



秋季



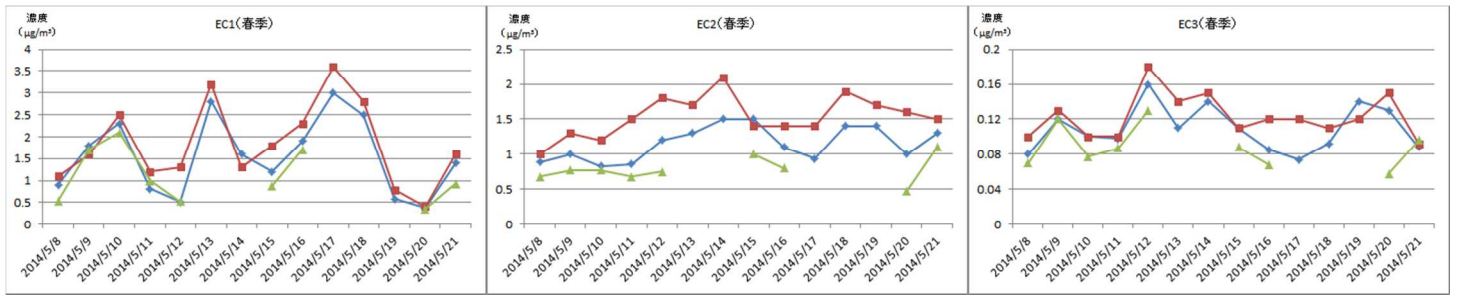
冬季



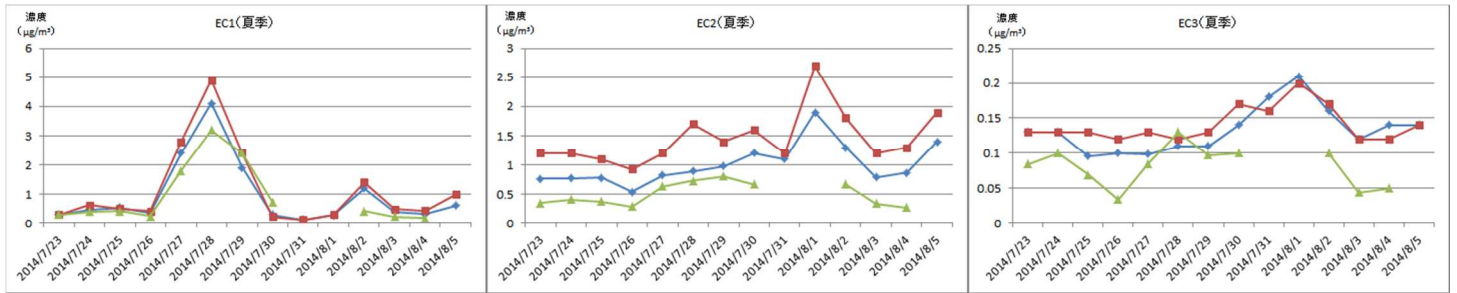
◆ 神水本町
 ■ 水道町
 ▲ 天明

図 10 - 1 炭素成分(有機炭素・元素状炭素・全炭素)の濃度変化

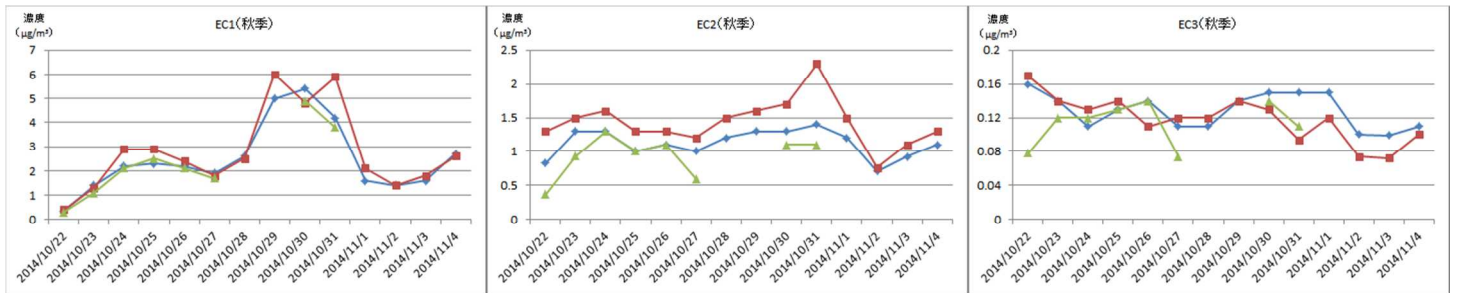
春季



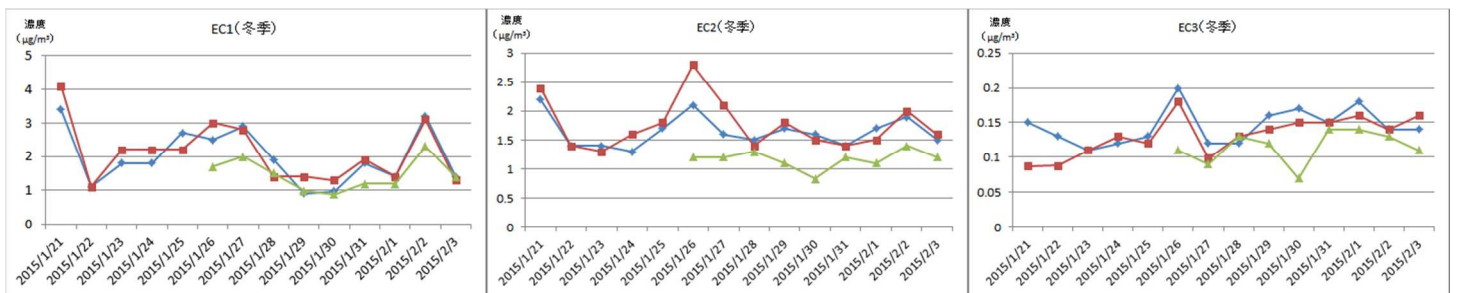
夏季



秋季



冬季



◆ 神水本町
 ■ 水道町
 ▲ 天明

図 10 - 2 元素状炭素成分（フラクション別）の濃度変化

フィルタ画像からは、地点により色調が異なること、グラフからは、炭素成分でも有機炭素（OC）と元素状炭素（EC）で濃度変化が異なった挙動を示していることがわかる。冬季以外の期間は、OC がいずれの地点でもほぼ同じ挙動を示している一方、EC は地点により値が大きく異なり、水道町＞神水本町＞天明という順ではっきりとした濃度差がみられる。また、冬季は OC・EC とともに各地点の濃度変化にばらつきが大きく、神水本町・水道町が天明よりも高い値で推移している。EC の中でも特に EC2 は各地点の濃度差が大きく、これが EC 全体の濃度差につながっている。成分測定マニュアルによると、EC1（正確には、炭化補正值（OCpyro）を差し引いたもの）は主にバイオマス燃焼など低温での不完全燃焼により生成する炭素成分、EC2 及び EC3（正確には、同じ条件で検出される OCpyro を差し引いたもの）は、主としてディーゼル排気など高温における不完全燃焼時に生成する成分で、いわゆる「すす」の状態となった炭素であるとされる。交通量の多い神水本町・水道町の EC 濃度が天明に比較して高い値をとるのは、自動車排出ガスが多い沿道環境の影響を受けているためと考えられ、捕集後フィルタの色調差もこれと対応している。

また、夏季においては、いずれの地点でも期間の中盤（7月27～29日）で特異的な濃度上昇を示したことが興味深い。中でも、7月28日は炭素成分濃度が増加しているのに対しイオン成分濃度は減少しており、水道町では炭素成分が質量濃度の約51%を占めるに至った。この期間は風速が小さくなっていたことが気象庁の観測データにより確認されている。

4 まとめ

市内3箇所でPM2.5をフィルタ捕集して質量濃度や成分の分析測定を行い、各期間・地点による比較を行った結果、次のようなことがわかった。

- (1) いずれの地点においても、質量濃度の変動はほぼ同じ挙動を示しており、市域全体にわたる広域的な要因が大きく寄与しているものと考えられる。一方で、濃度に一定の地点差があることも確認でき、局地的な要因の寄与も認められる。
- (2) いずれの地点においても、粒子の主要成分はイオン成分による塩類（硫酸アンモニウム・硝酸アンモニウム）と炭素成分であり、期間により割合が変動する。
- (3) イオン成分は質量濃度の約39～54%を占める。この中で割合が高いのは硫酸イオン・硝酸イオン・アンモニウムイオンで、この3成分でイオン成分全体の90%以上を占める。硫酸イオンは、各地点でほぼ同じ濃度変動を示すが、冬季に天明で値が高くなるなど小さいながら地点差もみられる。硝酸イオンは神水本町・水道町が天明より高い傾向にある。また、気温が低い期間ほど濃度が高く、地点ごとの濃度差も大きくなる傾向がある。アンモニウムイオンは、同一期間で比較すると、いずれの地点でもほぼ同じ割合になるという特徴がある。
- (4) 無機元素成分は質量濃度の約1.7～2.8%を占める。この中で割合が高いのは土壌・海塩に由来するカリウム・ナトリウム・カルシウム・鉄・アルミニウムなどの成分で、無機元素成分の約90%を占める。その他の成分は、バナジウムのように、いずれの地点でもほぼ同じ濃度変化をするものや、バリウムのように、他の地点と比較して常に濃度差がみられるものなど、元素ごとにそれぞれ異なった挙動を示し、継続的なデータの蓄積で発生源（特に、局地的な要因）の解明につながることが期待される。
- (5) 新たに測定を開始した炭素成分は、質量濃度の約23～38%を占める。炭素成分の中でも、元素状炭素はすべての期間で地点による濃度差が大きく、交通量の多い地点が高い値で推移し

ていることから、自動車排出ガスの影響を受けていることが推察される。

今回、複数箇所で試料捕集・分析を行うことによって地点間比較ができるようになり、熊本市における PM2.5 の状況がより細かくわかるようになった。大気汚染常時監視測定局のデータも、局地的な要因の影響をとらえる材料となることがわかった。今後も継続して調査を行い、PM2.5 の実態解明につなげていきたい。また、無機元素成分については、その起源によって元素比が特徴付けられることが知られており、過年度の成分分析では、元素比の時系列変化を調べる手法によって移流の影響を考察する試みを行ってきたところである。今回の報告では、他の項目も含め、地点間比較を主に考察を行っているため、この手法による解析は行っていないが、各地点の測定データに同じ手法を適用することにより、起源についてさらに多くの情報が得られるものと考えられる。