

川崎市における粗大粒子(PM(2.5-10))及び微小粒子(PM2.5)の成分組成(2008年度)

Analysis of PM(2.5-10) and PM2.5 in the Atmosphere of Kawasaki City (2008).

山田 大介 Daisuke YAMADA
 中松 弘明 Hiroaki NAKAMATSU
 盛田 宗利[※] Munetoshi MORITA

要旨

大気中の粒子状物質による汚染状況を把握するため、一般環境3地点(田島、中原、麻生)及び道路沿道3地点(池上、二子、柿生)の計6地点で粒径別にPM2.5(粒径2.5 μm 以下の粒子)とPM(2.5-10)(粒径2.5~10 μm の粒子)のサンプリングを毎月行い、粒子状物質濃度、炭素成分、水溶性イオン成分、金属成分の分析を行った。その結果、2008年度のPM2.5の年平均値は一般環境3地点で19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路沿道で22~31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM(2.5-10)では一般環境で8~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路沿道で9~13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM10(粒径10 μm 以下の粒子)中のPM2.5の割合は、一般環境で65~70%、道路沿道67~70%であった。2007年度と比較して、PM2.5は各地点で1.1~3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の増加を示し、PM(2.5-10)は-1.3~+1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の増減を示した。更に、PM2.5の発生源の寄与率をCMB解析により求めた結果、池上と二子を除く4地点でディーゼル排気粒子よりも二次生成粒子の方が大きな寄与を示した。また、PM2.5中のディーゼル排気粒子の寄与率は道路沿道でより高くなったが、PM2.5中の二次生成粒子の寄与率は、一般環境と道路沿道でほぼ同じ濃度であった。

キーワード：粒子状物質、PM(2.5-10)、PM2.5、成分組成、寄与率

Key words : particulate matter, PM(2.5-10)、PM2.5、chemical composition、contribution rate

1 はじめに

川崎市では、以前から粒子状物質削減対策の一環として、一般環境及び道路沿道で大気中の粒子状物質の実態について調査を実施しており、1987年度からは、粗大粒子と微小粒子の粒径別にサンプリングを実施している¹⁾。2002年度までは一般環境3地点(田島、中原、麻生)及び道路沿道1地点(池上)において、アンダーセン・ローポリウム・エアサンプラー(ALV)を用いて粒子状物質を粗大粒子(粒径2.1~11 μm)と微小粒子(粒径2.1 μm 以下)に分級捕集し、その成分組

成について調査してきた。その結果、市内大気中の粒子状物質による汚染要因は、ディーゼル排気粒子から、燃焼時に発生するNO_xやSO₂等のガス状成分が光化学反応で粒子化する二次生成粒子に移行していることが示唆された²⁾。

2003年度からは、粒径2.5 μm 以下の微小粒子であるPM2.5の汚染状況をより詳細に調査するために、これまでの調査地点に加えて道路沿道2地点(二子、柿生)を追加し、PM2.5サンプラー(ニール・サンプラー)を

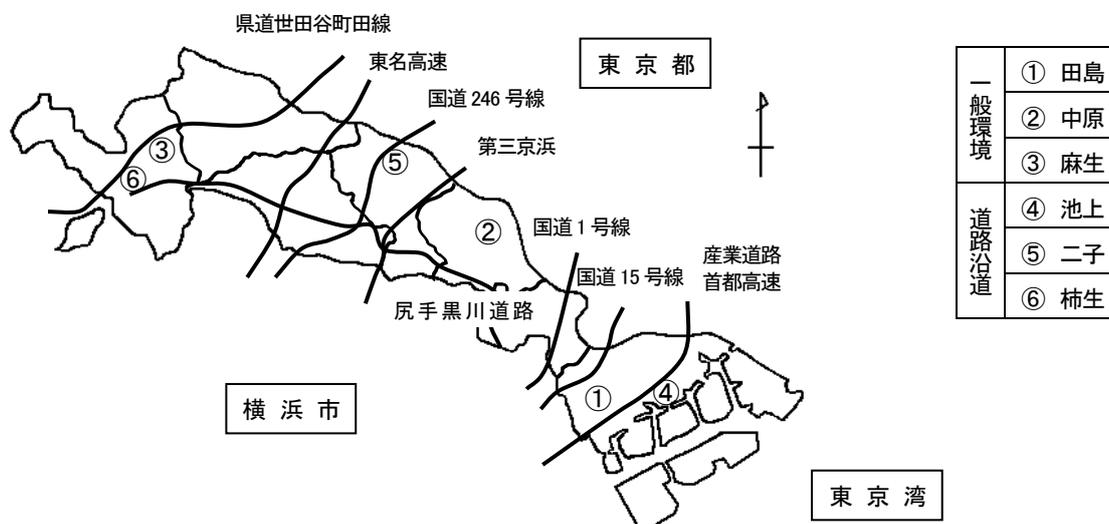


図1 試料採取地点

※ 現環境局環境対策部環境対策課

用いて粒子状物質を粒径 2.5~10 μ m の粗大粒子 (PM(2.5-10)) と粒径 2.5 μ m 以下の微小粒子 (PM2.5) について分級捕集を行い、粒子状物質濃度、成分組成等について調査を実施している³⁾。ここでは、2008年度の調査結果について報告する。

2 調査方法

2.1 調査期間

2008年4月から2009年3月まで、毎月1回7日間連続サンプリングを実施した。

2.2 調査地点

各試料採取地点を図1に示す。道路沿道の大気測定地点としては、産業道路沿道にあり、その上に首都高速道路横羽線が通る池上自動車排出ガス測定局(池上)、国道246号線沿いにある高津区役所建設センターの敷地内にある二子自動車排出ガス測定局(二子)、及び世田谷町田線と県道上麻生蓮光寺線の交差点にある柿生自動車排出ガス測定局(柿生)の3地点とした。

一般環境の大気測定地点としては、川崎市南部の臨海工業地帯に隣接した住宅地域にある川崎市公害研究所屋上(田島)、川崎市中部でJR南武線と国道409号線との交点にある中原区役所保健福祉センター屋上の中原一般環境大気測定局(中原)、及び川崎市北部の丘陵地で弘法の松公園に隣接している麻生一般環境大気測定局(麻生)の3地点とした。

2.3 試料採取

大気中の粒子状物質の捕集には、ニール・サンプラーを用いた。採集用フィルターは石英繊維フィルター(Pallflex2500 QAT-UP)を使用し、20L/minの空気吸引量で7日間連続捕集した。分析用試料は、2段目フィルターをPM(2.5-10)として用い、3段目のバックアップフィルターをPM2.5として用いた。

2.4 分析方法

(1) フィルターの秤量

石英繊維フィルターは、気温20 $^{\circ}$ C、湿度50%の恒温室内で48時間放置して恒量とした後、精密天秤(メトラー・トレド(株)製XP-205)で0.01mgまで正確に秤量した。秤量は、捕集前後に1回ずつ行った。また、ブランクロ紙を同時に5枚秤量し、誤差を修正した。

(2) 水溶性イオン成分

水溶性イオン成分8項目(Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺)の分析は、イオンクロマトグラフィー(ダイオネクス(株)製DIONEX DX-500)で行った。試料中のイオン成分は、2005年度の報文に従って抽出し

表1 陰イオンクロマトグラフィーの分析条件

陰イオン	
カラム	IonPac AS14
溶離液	3.5 mM Na ₂ CO ₃ /1.0 mM NaHCO ₃
流量	1.2 mL/min
サプレッサー電流	25 mA
サンプル注入量	100 μ L

表2 陽イオンクロマトグラフィーの分析条件

陽イオン	
カラム	IonPac CS12A
溶離液	20 mM メタンスルホン酸
流量	1.0 mL/min
サプレッサー電流	60 mA
サンプル注入量	100 μ L

た⁴⁾。分析条件の詳細を表1、2に示す。

(3) 炭素分析

ヤナコ分析工業(株)製CHNコーダーMT-6により、PM(2.5-10)は試料1/6、PM2.5は試料1/8を用いて分析した。He気流中燃焼炉600 $^{\circ}$ Cで揮発した有機物から生成したCO₂量から求めた炭素量を有機炭素量(OC)とした。また、別な試料を950 $^{\circ}$ C、He-O₂気流中で燃焼して生成したCO₂量から求めた炭素量を全炭素量(TC)とし、TCからOCを差し引いたものを元素状炭素(EC)とした。

(4) 金属分析

金属成分14項目(Na、Mg、Al、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb)について、ICP質量分析装置(横河Agilent社製Agilent 7500C)で分析した。

分級捕集した試料を2005年度の報文と同様にしてフッ酸・過塩素酸分解し、ICP質量分析装置で各金属成分を定量した⁴⁾。

(5) 発生源寄与率の推定

大気環境中の粒子状物質における各種発生源からの寄与を推定するため、各種発生源から排出される粒子状物質の含有成分組成と大気環境中の粒子状物質の濃度及びその含有成分を用いて、CMB法により発生源寄与濃度及び寄与率を計算した。

主要発生源種として、土壌系粒子、海塩粒子、固定発生源(鉄鋼系粒子、石油燃焼粒子、焼却炉粒子)、ディーゼル排気粒子の6種を設定した。また、SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、OCのうち、それぞれの主要発生源分を差し引いた濃度を二次生成粒子とした。なお、未知(不明)粒子濃度は、粒子状物質濃度から6発生源種及び二次生成粒子の合計濃度を差し引いた値とした。これらの計算の元となった発生源データを表3にあげる^{5,6)}。

表3 CMB解析に用いた発生源データ

	自然発生源		人為的発生源			
	土壌	海塩	鉄鋼	焼却炉	石油燃焼	移動発生源 (ディーゼル車)
一次 発生源 粒子	Na	0.011	0.3042	0.014	0.107	0.03
	Al	0.062	0.0000003	0.01	0.0097	0.00079
	K	0.01	0.011	0.013	0.146	0.00064
	Ca	0.051	0.012	0.045	0.087	0.0037
	V	0.00023	0.000000058	0.00013	0.000002	0.0074
	Mn	0.0016	0.000000058	0.022	0.000094	0.000083
	Fe	0.086	0.00000029	0.157	0.011	0.0096
	Zn	0.0013	0.000000029	0.052	0.044	0.0009
	EC	0.023	0	0.0084	0.028	0.371
	OC	0.028	0.0768	0.41	0.11	0.22
二次 発生源 粒子	SO ₄ ²⁻	0	0	0	0	0.044
	NO ₃ ⁻	0	0	0	0	0
	NH ₄ ⁺	0.038	0	0.0057	0	0.001
OC	0.038	0	0.026	0.013	0.029	0.168

出典：川崎市における浮遊粒子状物質調査、川崎市公害研究所年報、27、12~25(2000)⁵⁾

3 結果及び考察

3.1 粒子状物質濃度

各測定地点におけるPM(2.5-10)、PM2.5の2008年度の経月推移を図2に示す。

PM(2.5-10)の経月推移をみると、4月に高濃度を示した。池上では、6～7月にかけても高濃度を示した。また、10月の中原で突発的に濃度が増加したが、その原因は不明である。一般環境3地点では、南部の田島と中部の中原が同程度で、北部の麻生が低濃度で推移していた。道路沿道3地点では、二子と池上が高濃度で推移したが、柿生は一般環境の田島や中原よりも低濃度で推移した。年間平均濃度は、池上、二子、中原が高くなっていた。

PM2.5の経月推移をみると、4月、9月、2月に全ての測定地点でピークを形成した。また、7月と11月にもやや増加した。また、8月に大きく減少しているが、これはサンプリング期間中に降雨が続いたためと思われる。

一般環境3地点の経月推移を比較すると、濃度の上下はあっても相似形の推移パターンを示していた。道路沿道3地点では、二子と池上の濃度が高かったが、柿生は一般環境並の濃度であった。

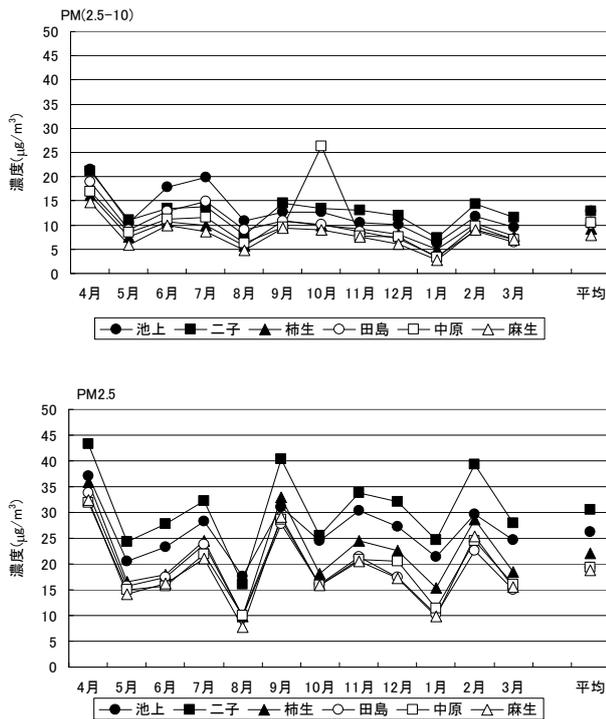


図2 粒径別粒子状物質の経月推移

2008年度の年平均値をみると、PM2.5の平均濃度は道路沿道で22～31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境で19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、PM(2.5-10)は道路沿道で8～13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境で8～10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM10中のPM2.5の割合は、道路沿道67～70%、一般環境で65～70%であった。

図3に1998～2008年度のPM(2.5-10) (2002年度以前は粒径2.1～11 μm の粗大粒子 (ALV粗大粒子)) と、

PM2.5 (2002年度以前は粒径2.1 μm 以下の微小粒子 (ALV微小粒子)) の経年変化を示した。

PM(2.5-10)では、一般環境3地点は田島の濃度が若干高いものの、3地点とも1998年度から減少傾向を示した。道路沿道の3地点は、一般環境と違ってそれぞれの増減パターンが大きく異なっていた (図3上)。

PM2.5では、一般環境3地点の経年変化はよく似た推移パターンを示した (図3下)。道路沿道の池上は、1998年度に一般環境の2倍近い濃度を示していたが、2003年度以降は一般環境との濃度差が縮まった。また、2003年度から調査を開始した二子と柿生は、PM2.5濃度が2006年度に初めて減少したが、2008年度は増加に転じた。

全地点で2008年度の粉じん濃度を2007年度と比較すると、PM(2.5-10)では-1.3～+1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の増減を示し、PM2.5では1.1～3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の増加を示した。

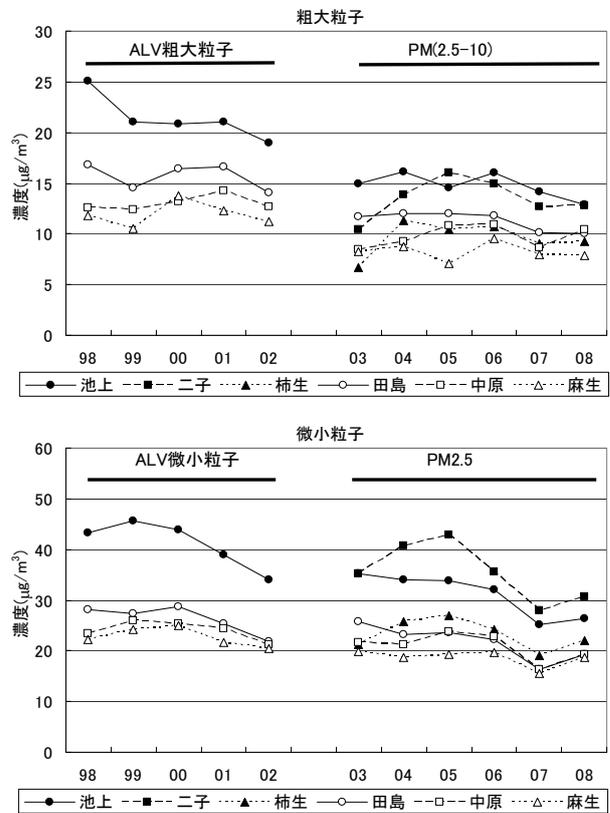


図3 粒径別粒子状物質の経年変化

3.2 水溶性イオン成分濃度

2008年度の各測定地点におけるPM(2.5-10)とPM2.5の水溶性イオン成分の年間平均濃度を図4に、年間平均イオン当量比を図5に、経月推移を図6～7に示した。年間平均濃度をみると、図4上よりPM(2.5-10)中に含まれる総イオン濃度は、南部で高く、北部に向かうに従って低下した。主成分はCl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺であった。Na⁺とCl⁻は、海岸線に近い池上と田島で高く、北部に向かうに従って低下していた。また、Ca²⁺及びSO₄²⁻も、南部で高く、北部で低くなる傾向を示した。NO₃⁻は、田島、二子、中原で高くなった。また、

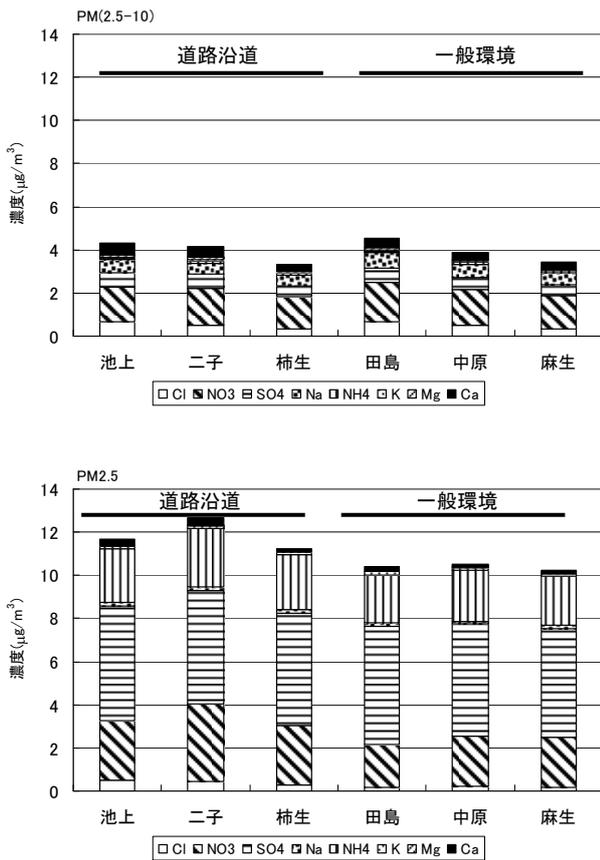


図4 水溶性イオン成分の年間平均濃度

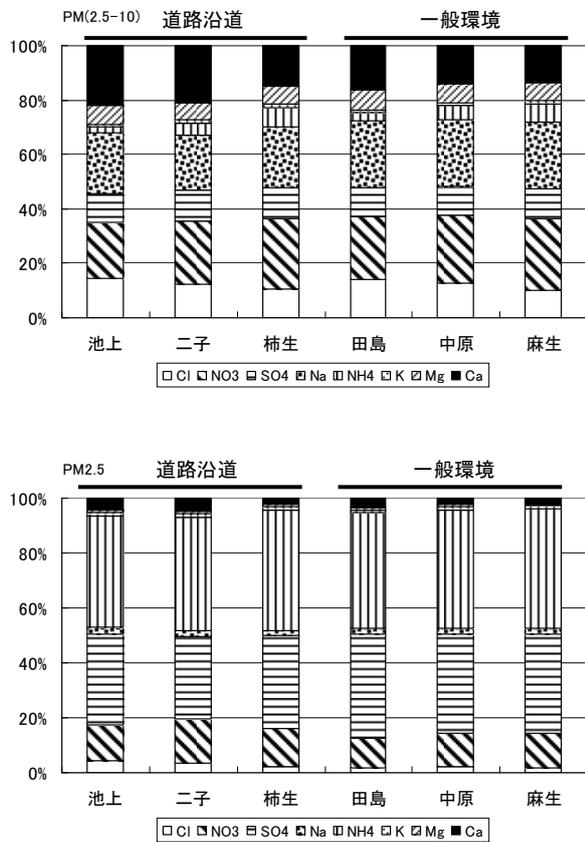


図5 水溶性イオン成分の年間平均イオン当量比

南部から北部のそれぞれの地域で道路沿道と一般環境の総イオン濃度を比較すると、大きな差は見られなかった。

PM2.5 中のイオン成分の年間平均濃度をみると、全地点で NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- といった二次生成粒子の構成成分が大半を占めた (図4下)。PM2.5 の総イオン濃度及び二次生成粒子は、二子をもっとも高く、池上、柿生、中原が続いた。成分ごとにみると、 NO_3^- は二子が最も高く、柿生と池上がそれに次いでおり、道路沿道で高くなる傾向を示した。一方、 SO_4^{2-} は田島、池上といった南部でやや高いが6地点の濃度差は小さく、また、 NO_3^- と SO_4^{2-} では高濃度を示す地点が異なった。

また、南部、中部、北部のそれぞれの地域で道路沿道と一般環境の総イオン濃度を比較すると、道路沿道が一般環境よりも10~20%程度高くなった。

次に、図5の年間平均イオン当量比のグラフをみると、PM(2.5-10)の陰イオンは46~48%であり、陽イオンと陰イオンのバランスが崩れていた (図5上)。イオンバランスが崩れた理由の1つとして、陰イオン中に分析していない炭酸イオンが含まれていた可能性がある。成分をみると、陽イオンでは Na^+ 、 Mg^{2+} 及び Ca^{2+} が多く、陰イオンでは Cl^- と NO_3^- が多かった。また、海塩粒子の指標となる Na^+ は、対になる Cl^- よりも全地点で過剰となり、その比は全地点の平均で1.9となった。

PM2.5 のイオン当量比をみると、全地点で陰イオンの割合が49~50%となり、陽イオンと陰イオンのバランスが取れていた (図5下)。主成分は、陽イオンでは NH_4^+ であり、陰イオンでは SO_4^{2-} と NO_3^- であった。 NH_4^+ の割合は全地点ともあまり変化はないが、 SO_4^{2-} の割合は二子で低く、 NO_3^- の割合は田島で低くなる傾向が見られた。

PM(2.5-10)中の各イオン成分の経月推移を図6、PM2.5中の各イオン成分の経月推移を図7に示す。PM(2.5-10)中のイオン成分のうち、高い割合を示したのは Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} であった (図5上)。これらのイオンのうち、 Na^+ 、 Cl^- は、海塩粒子由来と思われるが、8月の Cl^- は高濃度であり、 Na^+ は低濃度であり、推移パターンが異なった。 SO_4^{2-} は、上記の2イオン成分とは異なる推移パターンを示し、4、6、7、9月に高濃度を示した。 NO_3^- は、 SO_4^{2-} と比較的よく似た推移パターンを示し、4、6、7月に高濃度となった。 Ca^{2+} は、4月と6月に高濃度を示した。

PM2.5中のイオン成分の経月推移を図7に示す。イオン成分のうち、高い割合を示したのは NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ といった二次生成粒子の構成成分であった (図5下)。これらのイオン成分のうち、 NO_3^- は4、5、9、11、12月に高濃度となっていた。また、測定地点ごとの濃度推移のパターンは似ているものの、濃度は道路沿道で高い傾向が見られた。一方、 SO_4^{2-} は、4、6、7、9月に高濃度となった。また、測定地点ごとの濃度差は小さく、全地点でよく似た濃度で推移していた。

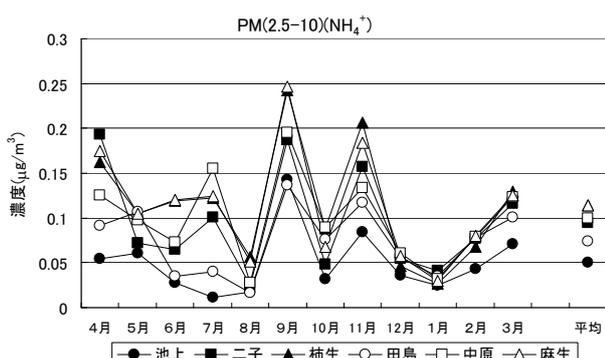
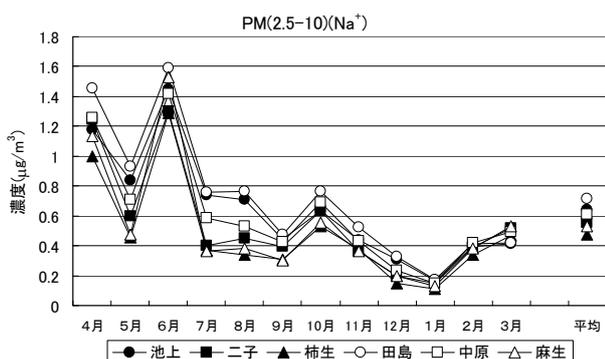
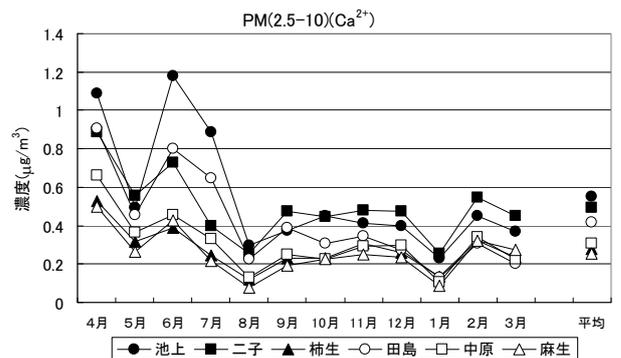
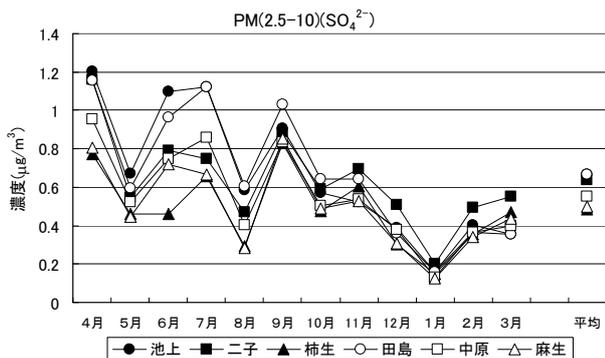
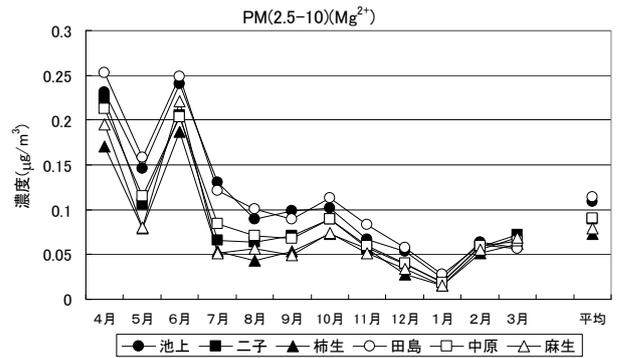
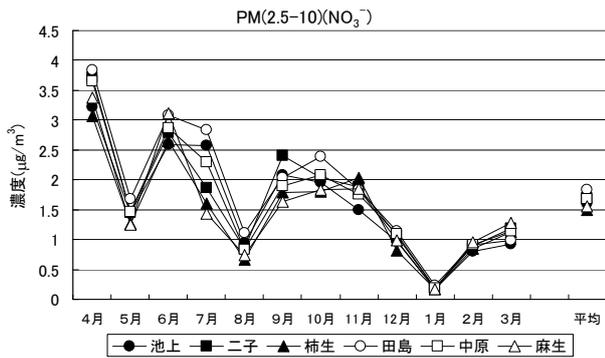
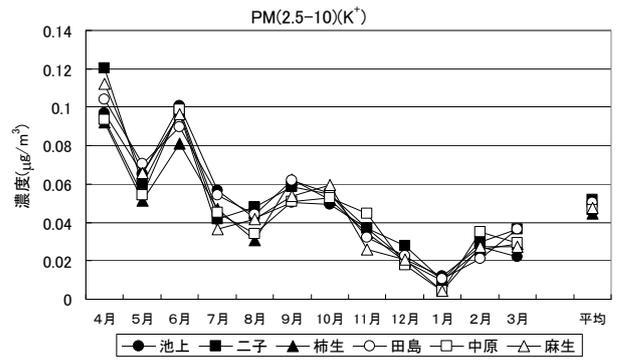
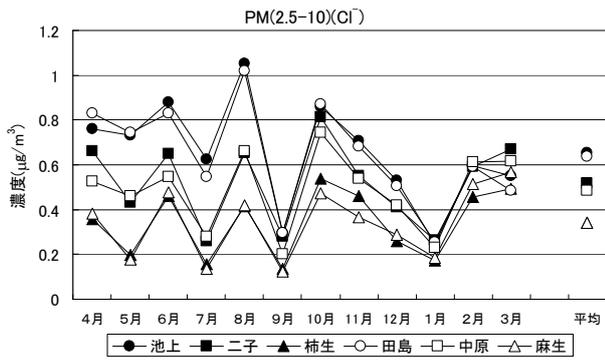


図6 PM(2.5-10)中のイオン成分の経月推移

NH_4^+ は、 NO_3^- と SO_4^{2-} のカウンターイオンとなるためか、 NO_3^- と SO_4^{2-} の両イオンが増加した4月と9月に大きな増加がみられ、また、6、7、11、12月にも増加がみられた。

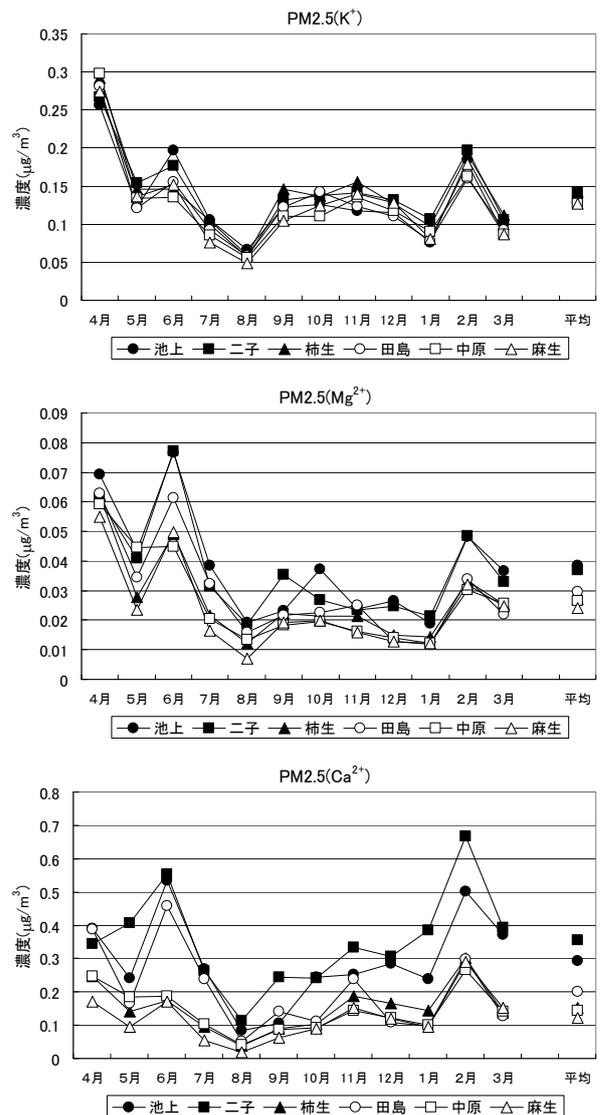
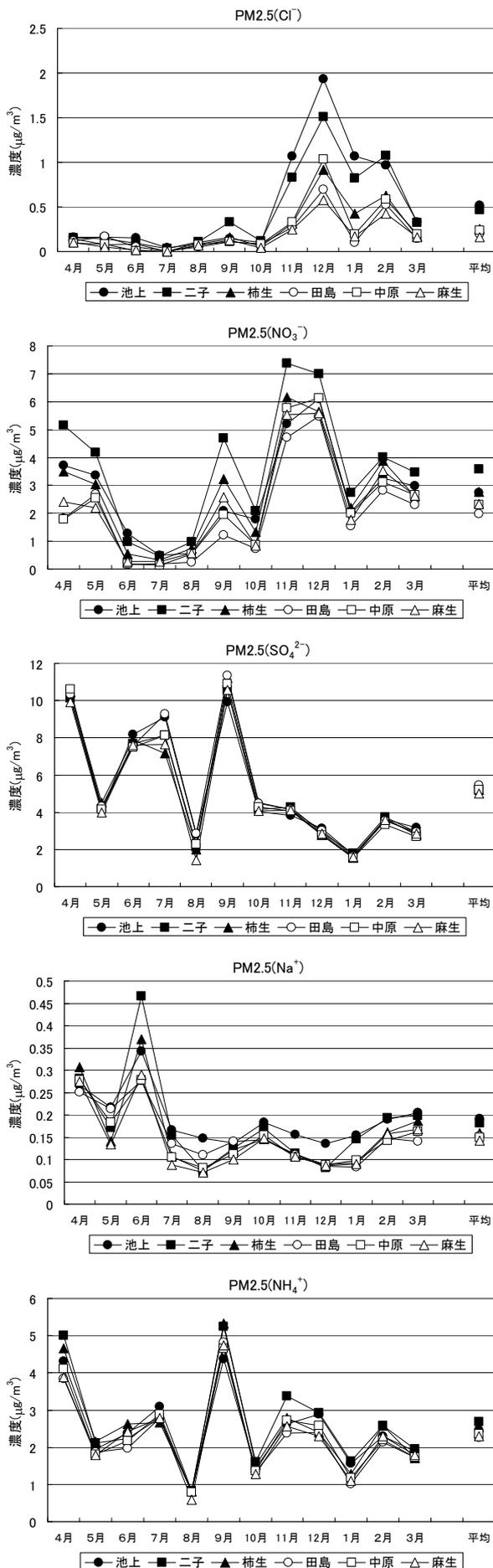


図7 PM2.5中のイオン成分の経月推移

3.3 炭素成分濃度

2008年度の各測定地点におけるPM(2.5-10)とPM2.5の炭素成分の年間平均濃度を図8に示した。PM(2.5-10)とPM2.5の炭素成分の含有量を比較すると、有機炭素(OC)、元素状炭素(EC)ともPM2.5に多く含まれていた。道路沿道のOCは3.4倍、ECは5.1倍であり、一般環境のOCは3.3倍、ECは5.0倍であった。

PM(2.5-10)についてみると、道路沿道3地点の平均が有機炭素(OC)で0.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、元素状炭素(EC)で1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、一般環境3地点の平均はOCで0.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECで0.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とどちらも道路沿道で高くなった。最も高かったのは、OCでは二子の0.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、ECでも二子の1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。OCとECを比較すると、麻生以外の5地点でECがOCよりも高くなった。また、OC/ECをみてみると、道路沿道の平均OC/ECは0.72、一般環境の平均OC/ECは0.94となった。

PM2.5についてみると、道路沿道3地点の平均がOCで2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECで5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、一般環境3地点の平均がOCで1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECで2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とどちらも道

路沿道で高くなった。最も高かったのはOC、ECともに二子であり、OCは $3.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECは $7.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

また、平均OC/ECをみると、道路沿道で0.49、一般環境では0.60となり、道路沿道でより小さくなった。OC/ECが小さいほどディーゼル車の影響が大きいといわれており、この結果は道路沿道でより強くディーゼル車の影響を受けていることを示した。

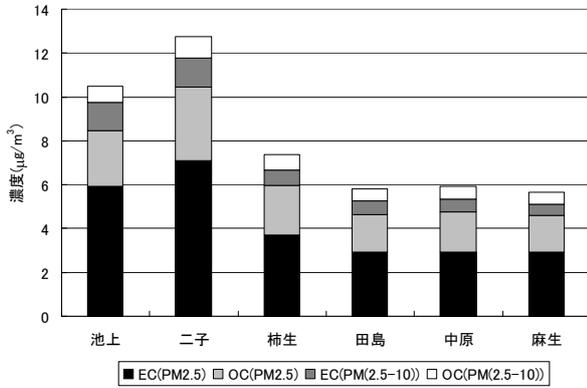


図8 年間平均炭素成分濃度

次いで、炭素成分の経月推移を図9～12に示す。

PM(2.5-10)のOCの推移パターンは、一般環境3地点では同程度の濃度で推移していた。一方、道路沿道3地点では、二子が高めの推移パターンを示した(図9)。ECの推移パターンは、OCと同様に一般環境3地点ではよく似たパターンを示していた。一方で道路沿道では3地点とも異なる濃度推移パターンを示した。また、柿生は一般環境並の濃度であったが、二子と池上は他地点と比べて高濃度で推移していた(図10)。

PM2.5のOCの推移パターンは、一般環境の3地点でよく似た推移パターンを示していた。一方で、道路沿道の3地点では一般環境よりも高濃度を示した(図11)。ECの推移パターンは、一般環境3地点ではよく似た推移パターンを示しており、道路沿道の柿生も若干濃度が高いながら一般環境によく似た推移パターンを示した。それに対して、ディーゼル車交通量の大きい二子と池上は異なる推移パターンを示し、濃度も非常に高くなった。このことは、一般環境や柿生と比べて、池上や二子ではディーゼル車から排出されるECの影響を大きく受けていることを示していると考えられる(図12)。

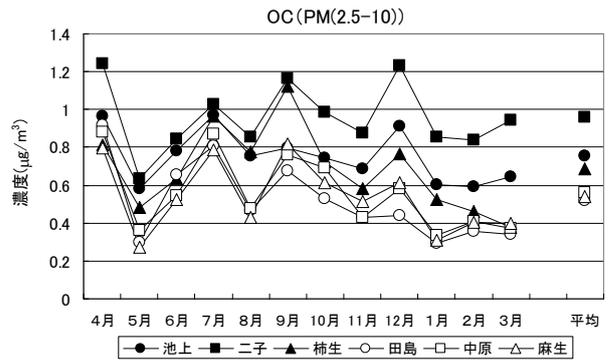


図9 PM(2.5-10)中のOCの経月推移

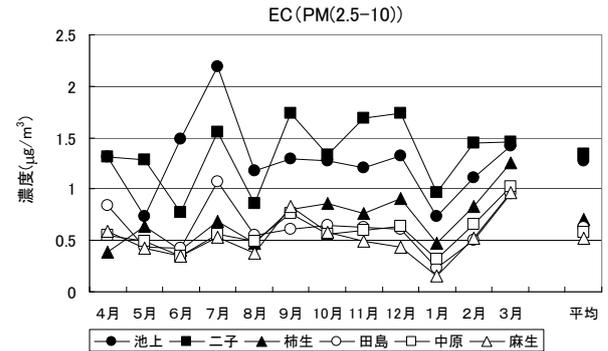


図10 PM(2.5-10)中のECの経月推移

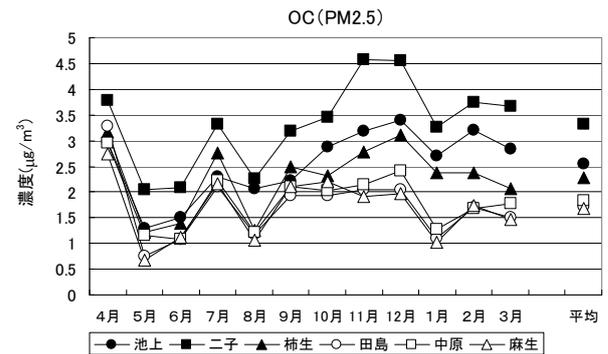


図11 PM2.5中のOCの経月推移

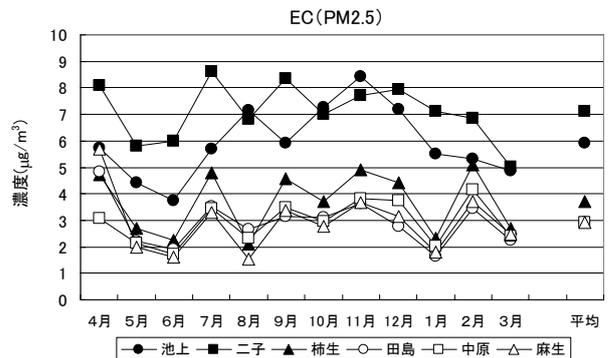


図12 PM2.5中のECの経月推移

表4 金属成分の年間平均濃度

元素	道路沿道						一般環境					
	池上		二子		柿生		田島		中原		麻生	
	2.5-10	2.5	2.5-10	2.5	2.5-10	2.5	2.5-10	2.5	2.5-10	2.5	2.5-10	2.5
Na	0.542	0.196	0.469	0.205	0.424	0.151	0.584	0.163	0.519	0.158	0.434	0.152
Mg	0.148	0.060	0.127	0.071	0.102	0.041	0.130	0.044	0.111	0.040	0.097	0.042
Al	0.339	0.211	0.374	0.329	0.271	0.178	0.257	0.179	0.251	0.162	0.255	0.186
K	0.090	0.134	0.098	0.148	0.080	0.122	0.079	0.126	0.077	0.115	0.075	0.225
Ca	0.661	0.327	0.562	0.418	0.302	0.159	0.437	0.220	0.329	0.159	0.286	0.151
V	0.002	0.008	0.001	0.004	0.001	0.004	0.002	0.008	0.001	0.005	0.002	0.010
Cr	0.005	0.005	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002
Mn	0.025	0.025	0.012	0.016	0.008	0.010	0.014	0.016	0.011	0.012	0.007	0.010
Fe	0.758	0.445	0.739	0.461	0.505	0.301	0.526	0.332	0.473	0.244	0.385	0.239
Ni	0.005	0.008	0.002	0.003	0.002	0.002	0.004	0.006	0.002	0.003	0.002	0.002
Cu	0.017	0.012	0.041	0.021	0.019	0.009	0.008	0.008	0.012	0.011	0.010	0.009
Zn	0.031	0.070	0.036	0.073	0.019	0.043	0.027	0.063	0.021	0.049	0.021	0.046
Cd	0.00005	0.00035	0.00005	0.00031	0.00004	0.00027	0.00005	0.00035	0.00004	0.00029	0.00004	0.00027
Sb	0.003	0.004	0.010	0.007	0.004	0.003	0.001	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Pb	0.004	0.013	0.005	0.012	0.002	0.010	0.003	0.012	0.002	0.010	0.002	0.010

3.4 金属成分濃度

2008年度の金属成分の年間平均濃度を表4に示した。PM(2.5-10)またはPM2.5で平均濃度が0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を上回ったのはNa、Mg、Al、K、Ca、Feであった。これらの金属は、自然発生源由来である海塩粒子(Na、Mg、K)や土壌粒子(Al、K、Ca、Fe)に多く含まれており、他の金属と比べて環境中に多く存在しているために濃度が高くなったと考えられる。また、K、V、Mn、Ni、Zn、Cd、PbはPM2.5に多く含まれており、それぞれ固定発生源や移動発生源等の人為的発生源の影響と考えられる。

また、2008年度からSbの調査も実施した。Sbは、PM(2.5-10)及びPM2.5の双方で二子で高濃度を示した。また、Sbは、PM(2.5-10)、PM2.5共に、道路沿道で高くなった。

3.5 粒子状物質の各成分の組成

2008年度のPM(2.5-10)及びPM2.5中の粒子状物質中に含まれる水溶性イオン成分、炭素成分、金属成分の年平均濃度を図13に、組成比率を表5に示した。また、各成分の合計値とPM濃度の差をその他とした。

PM(2.5-10)に占める成分の割合は、表5によりイオン成分が最も高くなっていた。その割合は、一般環境で37% (中原) ~45% (田島)、道路沿道で32% (二子) ~36% (柿生) であり、一般環境で高くなっていた。次いで高いのは金属成分であったが、17% (中原) ~21% (田島) であり、地点間で金属成分の割合には大きな差はなかった。OCの割合は5.2% (田島) ~7.5% (二子)、ECの割合は5.6% (中原) ~11% (二子) となり、OC、EC共に道路沿道で高くなる傾向を示していた。

PM2.5でも、表5からイオン成分の割合が最も高くなっていた。その割合は、一般環境で54% (田島) ~55% (麻生)、道路沿道で41% (二子) ~51% (柿生) で

あり、一般環境で高くなっていた。次いで高かったのECであり、その割合は、一般環境で15% (中原) ~16% (麻生)、道路沿道で17% (柿生) ~23% (二子) であり、道路沿道で高くなっていた。また、ECの割合は、道路沿道3地点を比較すると、柿生の割合が低かったが、一般環境3地点を比較すると、地点間で差はみられなかった。金属成分の割合は、4.7% (柿生) ~6.1%

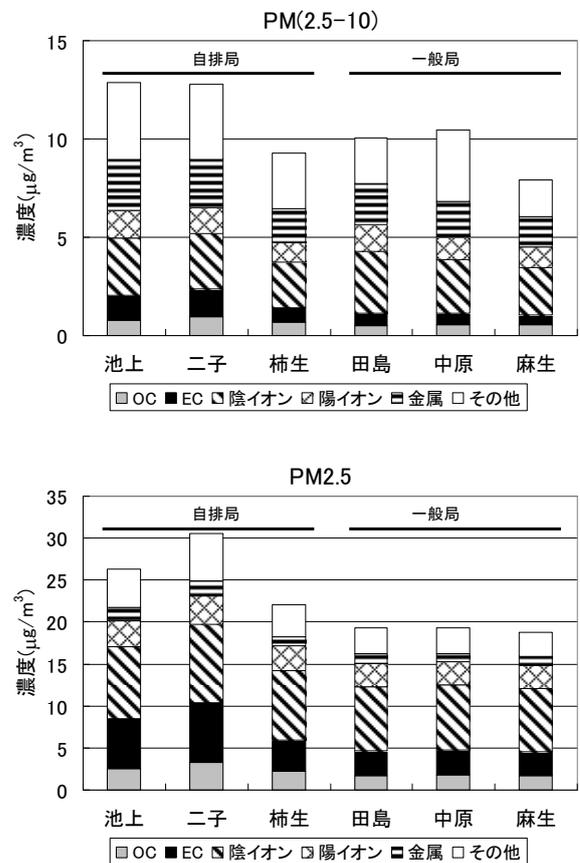


図13 粒子状物質及び各種成分の年間平均濃度

表5 粒子状物質中の各種成分の組成比率

PM(2.5-10)中の各成分の含有量(%)

	炭素成分		イオン成分		金属	その他
	OC	EC	陰イオン	陽イオン		
池上	5.9	9.9	22.7	10.9	20.4	30.2
二子	7.5	10.9	22.3	10.0	19.3	30.0
柿生	7.4	7.6	25.2	10.7	18.8	30.3
田島	5.2	6.2	31.3	13.7	20.7	22.9
中原	5.4	5.6	26.0	11.0	17.3	34.7
麻生	6.8	6.6	30.3	13.0	20.0	23.3

PM2.5中の各成分の含有量(%)

	炭素成分		イオン成分		金属	その他
	OC	EC	陰イオン	陽イオン		
池上	9.7	22.6	32.7	11.9	5.8	17.3
二子	10.9	23.2	30.3	11.1	5.8	18.7
柿生	10.3	16.7	37.3	13.7	4.7	17.3
田島	8.9	15.2	39.6	14.4	6.1	15.8
中原	9.5	15.2	40.0	14.5	5.0	15.8
麻生	9.0	15.6	40.2	14.5	5.8	14.9

(田島)であった。

3.6 粒子状物質の発生源寄与率の推定

2008年度のPM(2.5-10)及びPM2.5の構成成分を元に、表3の発生源データによるCMB解析を用いて発生源の寄与を推定した。得られたデータから求めた発生源寄与濃度を図14に、発生源寄与率を表6に示した。

PM(2.5-10)では土壌粒子の寄与率が最も高く、平均

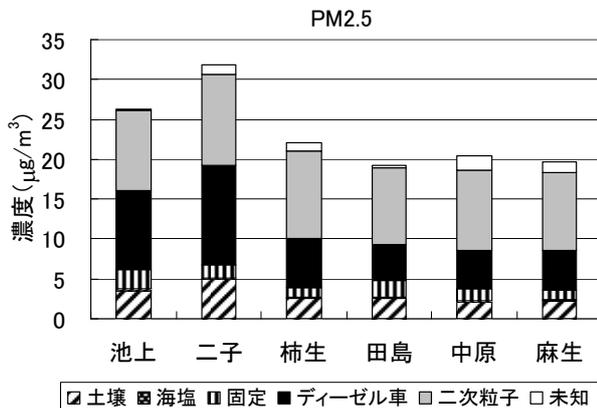
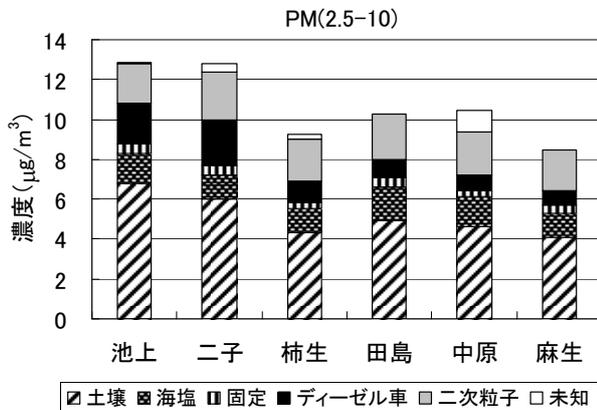


図14 年間平均発生源寄与濃度

で49%を占めていた。海塩粒子の平均寄与率は13%であり、両者を合わせた自然発生源由来粒子の平均寄与率は62%(56~67%)であった。土壌粒子及び海塩粒子の寄与濃度の合計は5.3(麻生)~8.3(池上) µg/m³であり、南部で高い傾向にあった。

PM2.5では、表6に示したようにディーゼル排気粒子と二次生成粒子の寄与率が高くなった。また、固定発生源の寄与率は、工業地帯を抱えている南部の田島と池上で高くなっていた。これらディーゼル排気粒子、二次生成粒子、固定発生源を合わせた人為的発生源由来粒子の寄与率は、全地点で80%を超えていた。一方で、ディーゼル排気粒子と二次生成粒子を比較すると、池上と二子を除く4地点で二次生成粒子の寄与率が高くなった。寄与濃度をみると、図14から二次生成粒子では道路沿道の平均が10.8µg/m³、一般環境の平均が9.9µg/m³とほぼ同等の濃度であったが、ディーゼル排気粒子では道路沿道の平均が9.6µg/m³、一般環境の平均が4.7µg/m³と道路沿道で高濃度を示した。

表6 年間平均発生源寄与率

PM(2.5-10)(%)

	池上	二子	柿生	田島	中原	麻生
ディーゼル車	15.5	18.0	11.9	9.0	7.6	8.9
二次粒子	15.5	18.8	22.7	22.9	21.0	26.6
土壌	52.9	46.9	46.5	48.8	44.0	52.0
海塩	11.7	9.4	13.0	16.9	14.3	15.2
固定発生源	3.9	3.9	3.2	5.0	2.9	5.1
未知	0.5	3.0	2.7	-2.6	10.2	-7.8

PM2.5(%)

	池上	二子	柿生	田島	中原	麻生
ディーゼル車	38.1	39.2	28.1	23.4	23.4	24.9
二次粒子	38.1	35.8	49.8	50.4	49.3	49.9
土壌	13.3	15.4	11.3	13.5	10.2	11.2
海塩	0.8	0.6	0.9	0.5	1.0	1.0
固定発生源	9.1	5.0	5.4	10.9	7.3	6.1
未知	0.6	4.0	4.5	1.3	8.8	6.9

以上の結果から、PM(2.5-10)中の発生源の種類は、道路沿道と一般環境を問わず主に自然発生源由来粒子で占められており、その大半は土壌粒子であった。逆にPM2.5中の発生源の種類は、主に人為的発生源由来粒子で占められていた。そのうち、ディーゼル排気粒子は二子をはじめとする道路沿道で高く、二次生成粒子は道路沿道と一般環境を問わず全測定地点で同程度の濃度であったことから、ディーゼル排気粒子は道路沿道を中心に存在し、二次生成粒子は市内全域にわたって均一に広がっているものと思われた。

4 まとめ

- (1) 2008年度の粒子状物質濃度は、2007年度と比較して、PM(2.5-10)は全地点で $-1.3 \sim +1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の増減を示し、PM2.5も全地点で $1.1 \sim 3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の増加を示した。
- (2) PM2.5中のイオン成分は、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ といった二次生成粒子成分が大半を占めた。
- (3) PM2.5の炭素成分濃度をみると、道路沿道で高濃度を示し、全地点でECがOCよりも高濃度となった。経月推移をみると、自動車交通量の大きい二子と池上のECは高濃度で推移し、また他の4地点と異なる推移パターンを示した。一般環境3地点と柿生のECは、よく似た推移パターンを示した。
- (4) 粒子状物質の発生源の寄与についてCMB法で解析すると、PM(2.5-10)では土壌粒子や海塩粒子といった自然発生源由来粒子から構成されていた。PM2.5では、ディーゼル排気粒子や二次生成粒子といった人為的発生源由来粒子が主成分を占めていたが、特に二次生成粒子の寄与率が高かった。また、二次生成粒子の寄与率は、一般環境の方が道路沿道に比べて寄与率が高い傾向を示し、最も寄与率が高かったのは一般環境の田島であった。一方、道路沿道の池上と二子では、ディーゼル排気粒子の寄与率が二次生成粒子と同等もしくは高く、他の地点と異なりディーゼル車からの排気ガスの影響を大きく受けていることが伺えた。

文献

- 1) 早坂孝夫、小池順一、井上康明、黒沢芳則、佐藤静雄：川崎市における大気中の粒径別浮遊粉じんの性状に関する調査研究、川崎市公害研究所年報、第15号、5～14(1988)
- 2) 山田大介、鈴木隆生、米屋由理、岩渕美香、高橋篤、原美由紀、松尾清孝、井上俊明：川崎市内における粒径別粒子状物質中の金属成分分析及び発生源寄与率の推定、川崎市公害研究所年報、第31号、5～16(2004)
- 3) 鈴木隆生、山田大介、米屋由理、高橋篤、井上俊明：川崎市における粗大(PM2.5-10)、微小粒子(PM2.5)の成分組成(2003年度)、川崎市公害研究所年報、第31号、71～77(2004)
- 4) 山田大介、鈴木隆生、高橋篤、井上俊明：川崎市における粗大粒子(PM2.5-10)及び微小粒子(PM2.5)の成分組成(2004年度)、川崎市公害研究所年報、第32号、9～18(2005)
- 5) 松尾清孝、菊地美加、岩渕美香、原美由紀、高橋篤、木所義之：川崎市における浮遊粒子状物質調査、川崎市公害研究所年報、第27号、12～25(2000)
- 6) 柴田幸雄、井上俊明、松尾清孝、林久緒、黒澤芳則、志水正樹、中村清治：固定発生源から排出される煤塵の成分組成について、川崎市公害研究所年報、第11号、59～71(1984)
- 7) 山田大介、竹内浄、原久男、井上俊明：2006年初夏におけるSPMの高濃度解析、第33回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集、28～29(2006)

付表 (2008年度の粒径別粒子状物質の各種成分の年間平均濃度)

一般環境 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	田 島		中 原		麻 生	
	PM(2.5-10)	PM2.5	PM(2.5-10)	PM2.5	PM(2.5-10)	PM2.5
PM	10.0	19.3	10.5	19.3	7.9	18.7
OC	0.52	1.72	0.56	1.84	0.54	1.68
EC	0.63	2.93	0.58	2.94	0.52	2.93
Cl ⁻	0.64	0.19	0.49	0.23	0.34	0.17
NO ₃ ⁻	1.84	1.99	1.68	2.31	1.55	2.34
SO ₄ ²⁻	0.67	5.45	0.55	5.19	0.50	5.02
Na ⁺	0.72	0.15	0.61	0.15	0.53	0.14
NH ₄ ⁺	0.07	2.26	0.10	2.35	0.11	2.30
K ⁺	0.05	0.13	0.05	0.13	0.05	0.13
Mg ²⁺	0.11	0.04	0.09	0.03	0.08	0.02
Ca ²⁺	0.42	0.20	0.31	0.14	0.26	0.12
Na	0.58	0.163	0.519	0.158	0.434	0.152
Mg	0.13	0.044	0.111	0.040	0.097	0.042
Al	0.26	0.179	0.251	0.162	0.255	0.186
K	0.079	0.126	0.077	0.115	0.075	0.225
Ca	0.437	0.220	0.329	0.159	0.286	0.151
V	0.002	0.008	0.001	0.005	0.002	0.010
Cr	0.003	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002
Mn	0.014	0.016	0.011	0.012	0.007	0.010
Fe	0.526	0.332	0.473	0.244	0.385	0.239
Ni	0.004	0.006	0.002	0.003	0.002	0.002
Cu	0.008	0.008	0.012	0.011	0.010	0.009
Zn	0.027	0.063	0.021	0.049	0.021	0.046
Cd	0.00005	0.00035	0.00004	0.00029	0.00004	0.00027
Sb	0.001	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Pb	0.003	0.012	0.002	0.010	0.002	0.010

道路沿道 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	池 上		二 子		柿 生	
	PM(2.5-10)	PM2.5	PM(2.5-10)	PM2.5	PM(2.5-10)	PM2.5
PM	12.9	26.3	12.8	30.6	9.3	22.1
OC	0.75	2.55	0.96	3.33	0.69	2.28
EC	1.27	5.93	1.39	7.11	0.71	3.70
Cl ⁻	0.65	0.52	0.52	0.46	0.34	0.26
NO ₃ ⁻	1.60	2.74	1.70	3.59	1.49	2.76
SO ₄ ²⁻	0.67	5.32	0.64	5.22	0.50	5.22
Na ⁺	0.64	0.19	0.55	0.18	0.48	0.16
NH ₄ ⁺	0.05	2.47	0.10	2.69	0.11	2.55
K ⁺	0.05	0.13	0.05	0.14	0.05	0.14
Mg ²⁺	0.11	0.04	0.09	0.03	0.07	0.03
Ca ²⁺	0.55	0.29	0.50	0.35	0.28	0.15
Na	0.542	0.196	0.469	0.205	0.424	0.151
Mg	0.148	0.060	0.127	0.071	0.102	0.0410
Al	0.339	0.211	0.374	0.329	0.271	0.178
K	0.090	0.134	0.098	0.148	0.080	0.122
Ca	0.661	0.327	0.562	0.418	0.302	0.159
V	0.002	0.008	0.001	0.004	0.001	0.004
Cr	0.005	0.005	0.003	0.003	0.002	0.002
Mn	0.025	0.025	0.012	0.016	0.008	0.010
Fe	0.76	0.445	0.739	0.461	0.505	0.301
Ni	0.005	0.008	0.002	0.003	0.002	0.002
Cu	0.017	0.012	0.041	0.021	0.019	0.009
Zn	0.031	0.070	0.036	0.073	0.019	0.043
Cd	0.00005	0.00035	0.00005	0.00031	0.00004	0.00027
Sb	0.003	0.004	0.010	0.0070	0.004	0.003
Pb	0.004	0.013	0.005	0.012	0.002	0.010