

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(2007年度)

Analysis of PM(2.5-10) and PM2.5 in the Atmosphere of Kawasaki City (2007).

山田 大介	Daisuke	YAMADA
竹内 淨	Jo	TAKEUCHI
湯川 茂夫	Shigeo	YUKAWA
井上 康明	Yasuaki	INOUE

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 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子)とPM(2.5-10)(粒径 $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 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、2007年度のPM2.5の年平均値は一般環境で $17\sim 18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路沿道で $21\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM(2.5-10)では一般環境で $8\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、道路沿道で $9\sim 14\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM10(粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子)中のPM2.5の割合は、一般環境で64~67%、道路沿道65~69%であった。2006年度と比較して、PM2.5濃度は全地点で21~29%の減少を示し、PM(2.5-10)濃度も全地点で11~20%の減少を示した。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濃度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濃度は、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・ローボリウム・エアサンプラーを用いて粒子状物質を粗大粒子(粒径 $2.1\sim 11\mu\text{m}$)と微小粒子(粒径 $2.1\mu\text{m}$ 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 $2.5\mu\text{m}$ 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

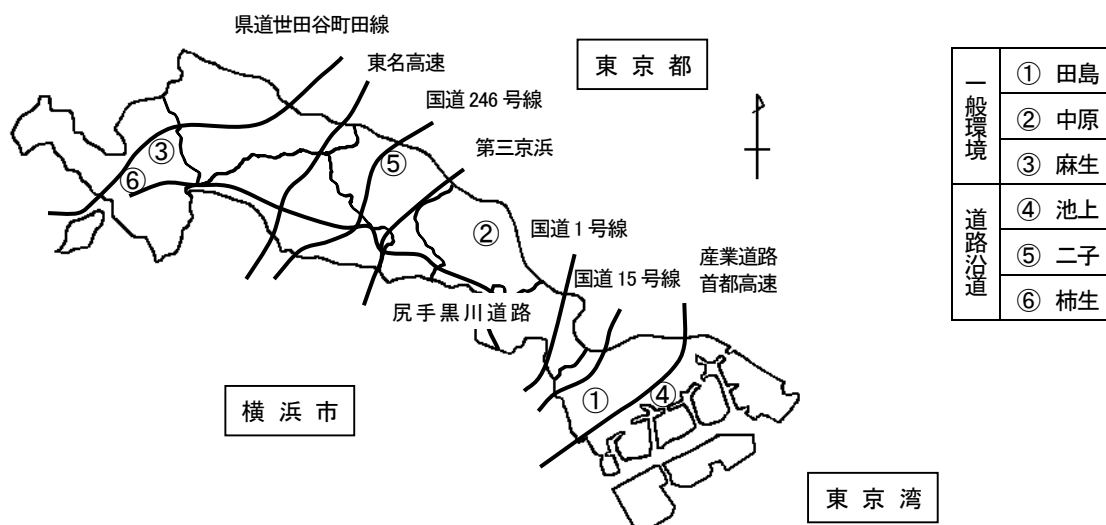


図1 試料採取地点

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、2007 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

2007 年 4 月から 2008 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、産業道路の上に首都高速横羽線が高架で走っている地点にあ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に隣接した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 段階フィルターを PM(2.5-10) として使い、3 段階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、ブランカー紙を、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 項目の分析は、イオンクロマトグラフィーで行った。試料中のイオン成分は、2005 年度の報文に従って抽出した⁴⁾。分析条件の詳細を表 1、2 に示す。

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	3.0 mM Na ₂ CO ₃ /1.0 mM NaHCO ₃
流量	1.2 mL/min
サプレッサー電流	50 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	100 mA
サンプル注入量	100 μ L

(3) 炭素分析

ヤナコ分析工業(株)製 CHNコーダー MT-6 により、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⁾。

(4) 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⁺、有機炭素濃度 (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)}。なお、表内の EC は元素状炭素を、OC は有機炭素を示す。

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	0
Al	0.062	0.0000003	0.01	0.0097	0.00079	0
K	0.01	0.011	0.013	0.146	0.00064	0
Ca	0.051	0.012	0.045	0.087	0.0037	0.00137
V	0.00023	0.000000058	0.00013	0.000002	0.0074	0
Mn	0.0016	0.000000058	0.022	0.000094	0.000083	0
Fe	0.086	0.00000029	0.157	0.011	0.0096	0
Zn	0.0013	0.000000029	0.052	0.044	0.0009	0.00021
EC	0.023	0	0.0084	0.028	0.371	0.55
二次発生源粒子						
SO ₄ ²⁻	0.0028	0.0768	0.41	0.11	0.22	0.044
NO ₃ ⁻	0	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺	0.038	0	0.0057	0	0.001	0
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、PM10 (PM(2.5-10)とPM2.5の合計)の2007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、全地点で5月、9月、3月に高濃度を示した。一般環境3地点では、南部の田島が高濃度で、北部の麻生が低濃度で推移し、中部の中原はそれらの中間であった。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、田島の順に高くなっていった。

PM2.5の経月推移をみると、5月と12月と3月に高濃度を示した。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。特に、高濃度を示した5月は田島で高く、12月は中原で高くなった。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。

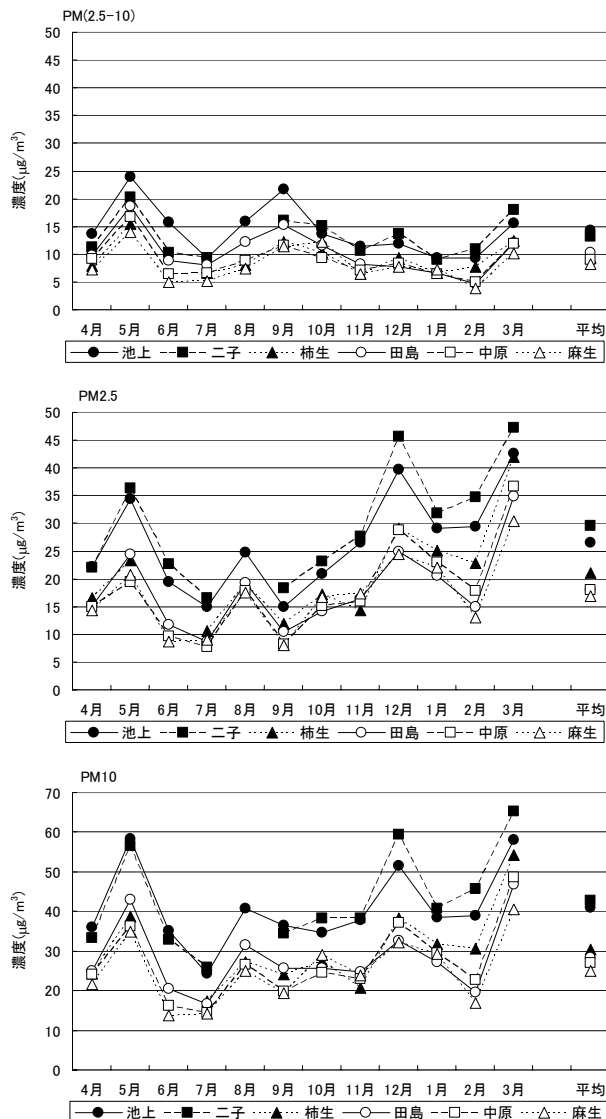


図2 粒径別粒子状物質の経月推移

PM10の経月推移はPM2.5と似ており、5月、12月、3月にピークを示した。

2007年度の年平均値をみると、PM2.5の濃度幅は道路沿道で21~30µg/m³、一般環境で17~18µg/m³であり、PM(2.5-10)は道路沿道で9~14µg/m³、一般環境で8~10µg/m³であった。PM10中のPM2.5の割合は、道路沿道65~69%、一般環境で64~67%であった。

図3に1998~2007年度のPM(2.5-10) (2002年度以前は粒径2.1~11µmの粗大粒子)と、PM2.5 (2002年度以前は粒径2.1µm以下の微小粒子)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地点とも同じ増減パターンを示した。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、2007年度は更に減少した。

2006年度と比較すると、PM(2.5-10)は全地点で1.5~2.3µg/m³ (11.4~20.3%)の減少を示した。PM2.5でも、全地点で4.1~7.8µg/m³ (20.8~29.0%)の減少を示した。

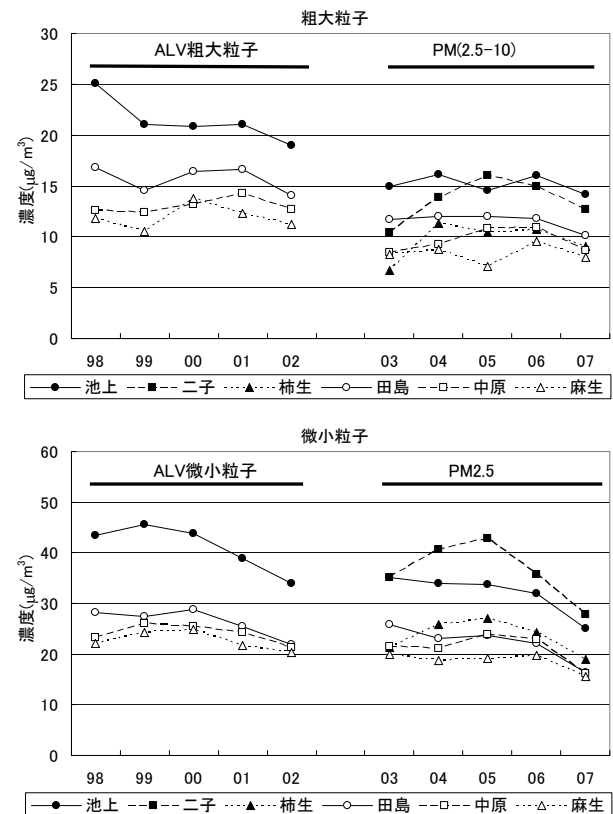


図3 粒径別粒子状物質の経年変化

3.2 水溶性イオン成分濃度

2007 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 6～9 に示した。年間平均濃度をみると、図 4 上より PM(2.5-10) 中

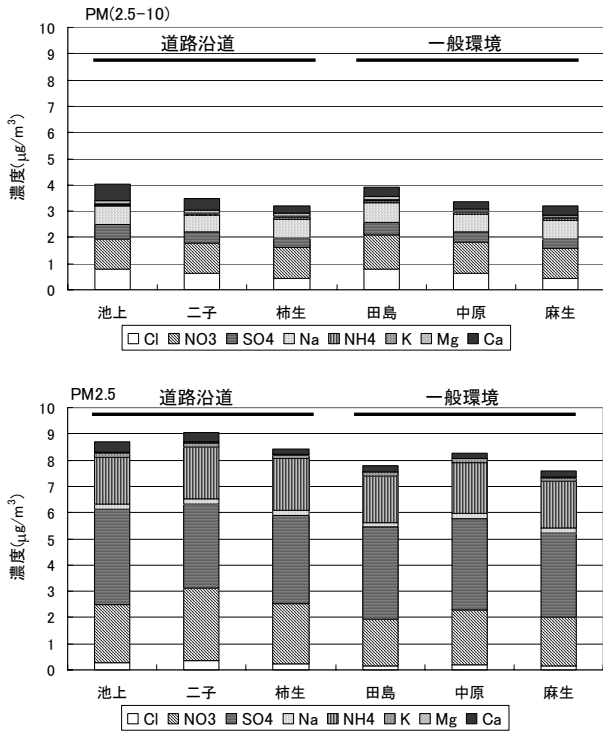


図 4 年間平均イオン成分濃度

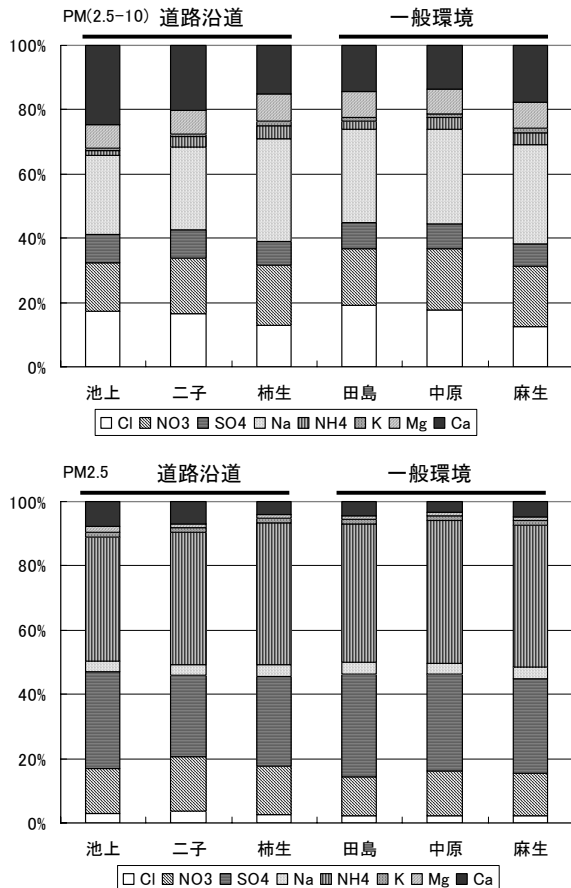


図 5 年間平均イオン当量比

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^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} であった。 Na^+ と Cl^- は、昨年度まで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が、今年度の Na^+ は柿生と麻生でも高くなった。また、 Ca^{2+} 及び SO_4^{2-} も、昨年度までは南部で高く、北部で低くなる傾向を示したが、今年度の麻生の Ca^{2+} は一般環境では最も高くなっていった。 NO_3^- は、田島と中原で高くなった。また、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 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。田島と麻生は、これら 4 地点よりも低濃度であった。

成分ごとにみると、 NO_3^- は二子が最も高く、柿生が次いだ。一方、 SO_4^{2-} は池上、田島といった南部で高くなり、 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、道路沿道が一般環境よりも 9～11% 程度高くなった。

図 5 のイオン当量比のグラフをみると、PM(2.5-10) の陰イオンは 40% 前後であり、陽イオンと陰イオンのバランスが崩れていた(図 5)。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^+ と Ca^{2+} が多くを占めており、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 1.8 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陽イオンの割合よりも 6.2～10.0% ほど低くなった。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。

各イオン成分の経月推移について、PM(2.5-10) を図 6 に、PM2.5 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^- 、 Mg^{2+} は、9 月に高濃度を示し、臨海部の田島や池上で高く、北部に向かうに従って濃度が低下したことから、海塩粒子由来と思われる。 SO_4^{2-} も、9 月の濃度が高く、臨海部の池上や田島で濃度が高いことから、海塩粒子由来の割合が高いと思われる。 NO_3^- は、上記のイオンと異なり、5 月、8～10 月、3 月に濃度が高くなった。また、5～11 月にかけて地域差が強く表れた。 Ca^{2+} は、地域差が強く表れており、池上で濃度が

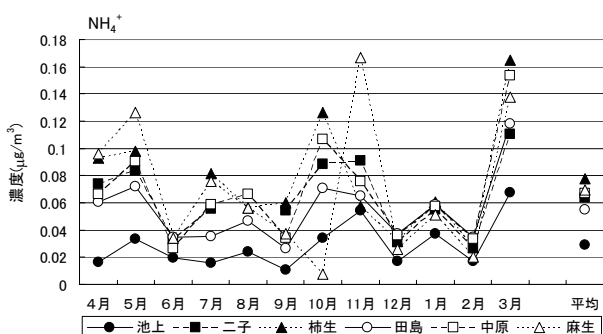
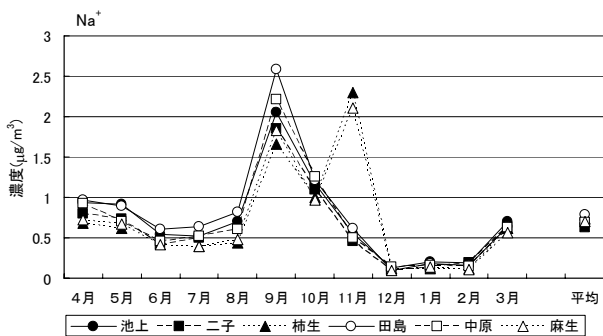
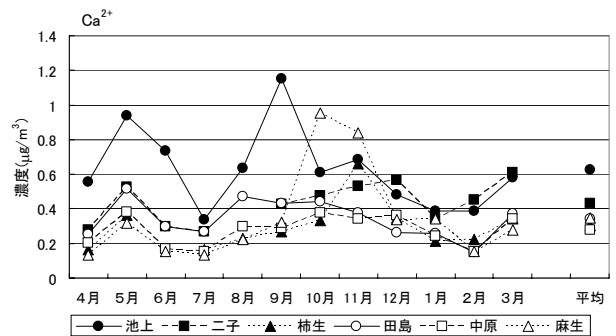
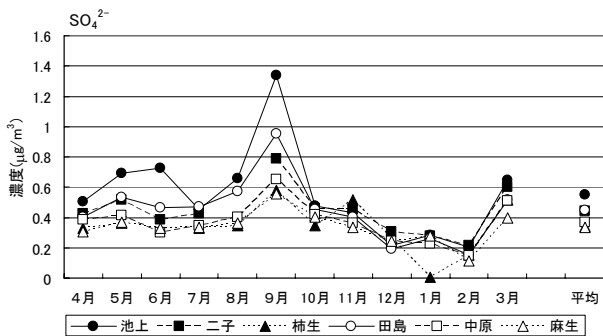
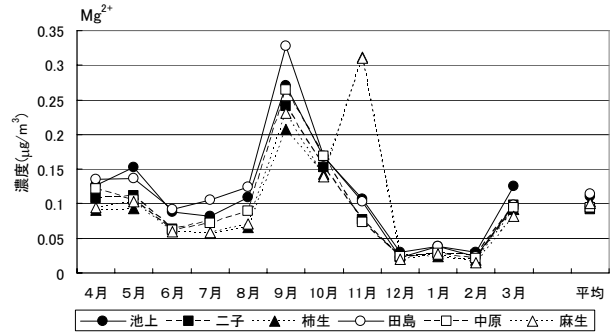
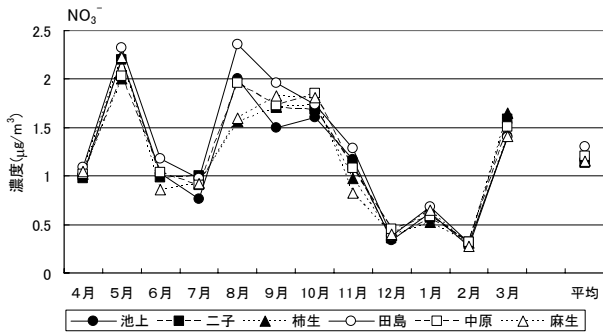
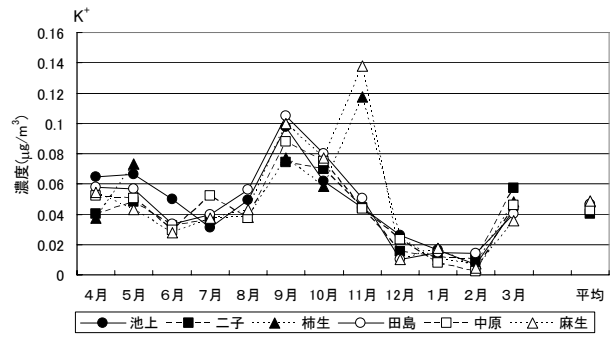
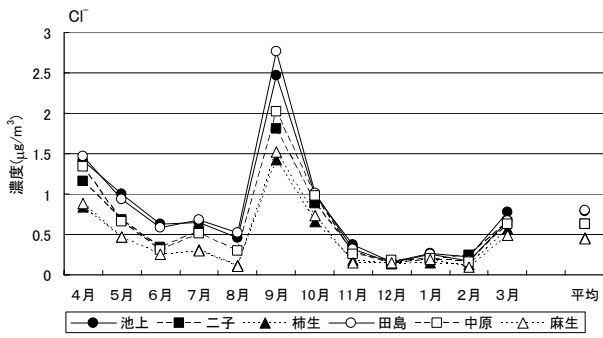


図6 PM(2.5-10)中のイオン成分の経月推移

高くなった。また、麻生でも10~11月にかけて濃度が高くなっていた。また、11月の柿生と麻生で Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} が高濃度を示しており、この時期に何らかの発生源が出現した可能性がある。

次に、PM_{2.5}中のイオン成分濃度を図7に示す。高い割合を示したのは、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ といった、二次生成粒子の主成分であった(図5下)。 NO_3^- は、 Cl^- と同様に、4~11月まで濃度が低く、12月に急増した。しかし、 Cl^- は2~3月にかけて低下したのに対し、 NO_3^- は2月に低下したものの3月に増加した。 SO_4^{2-} は、5月、8月、3月に高濃度を示した。これら3種のイオンのカウンターイオンとなる NH_4^+ は、8月、12~1月、3月に濃度が増加しており、特に3月に高濃度を示した。

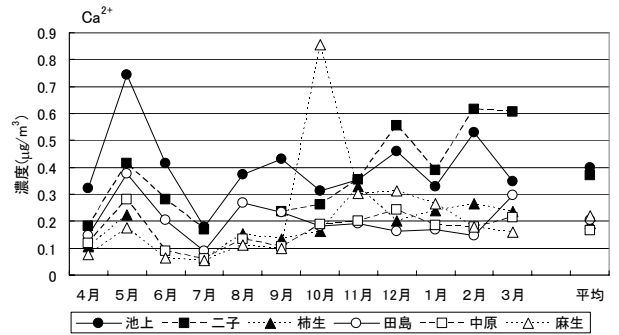
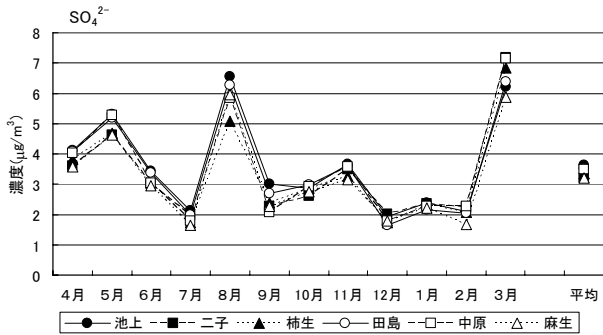
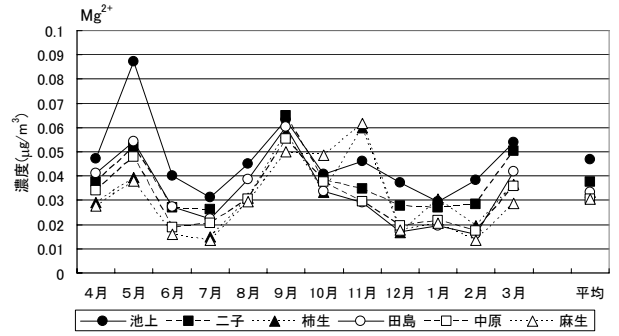
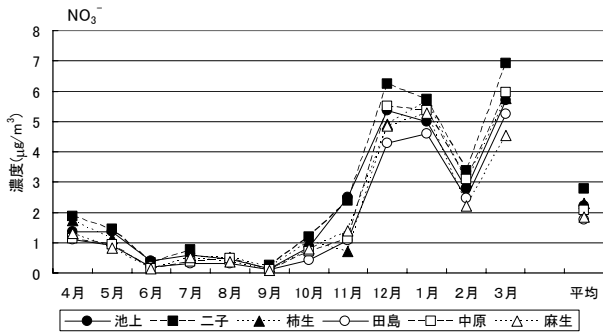
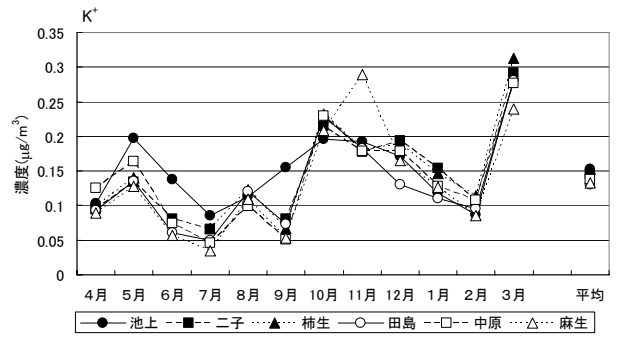
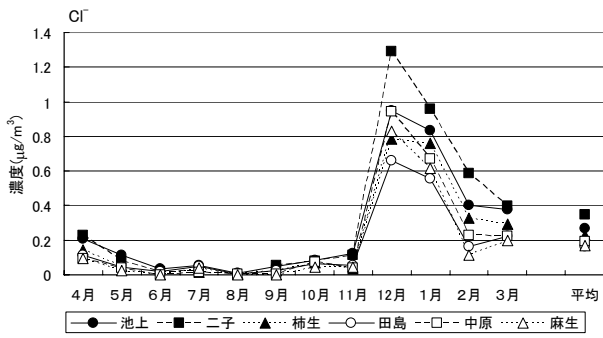
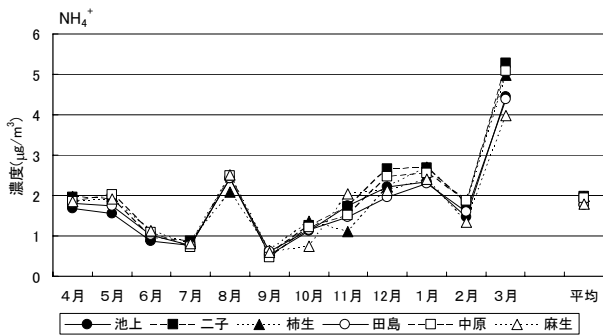
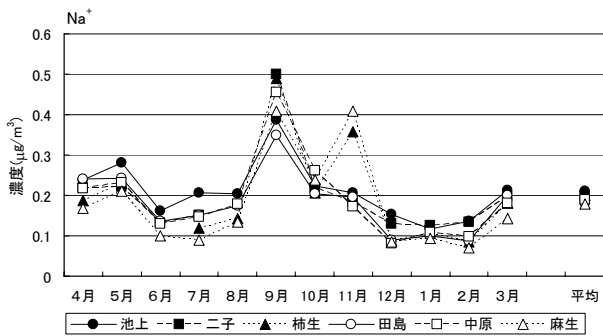


図7 PM2.5中のイオン成分の経月推移



3.3 炭素成分濃度

2007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。総炭素濃度は道路沿道で高く、二子>池上>柿生の順になった。一般環境3地点では、中原がやや高いものの、ほぼ同程度の濃度であった。

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0.74μg/m³、元素炭素(EC)で1.05μg/m³であり、一般環境3地点の平均はOCで0.46μg/m³、ECで0.50μg/m³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0.86μg/m³であり、ECでも二子の1.24μg/m³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0.70、一般環境の平均OC/ECは0.92となったことから、PM(2.5-10)ではOCの寄与が大きくなり、特に一般環境でその傾向が強かった。

PM2.5についてみると、道路沿道3地点の平均がOCで2.75μg/m³、ECで6.00μg/m³であり、一般環境3地点

の平均がOCで1.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECで2.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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3.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ECは7.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

また、平均OC/ECをみると、道路沿道で0.46、一般環境では0.65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強く受けていることを示した。

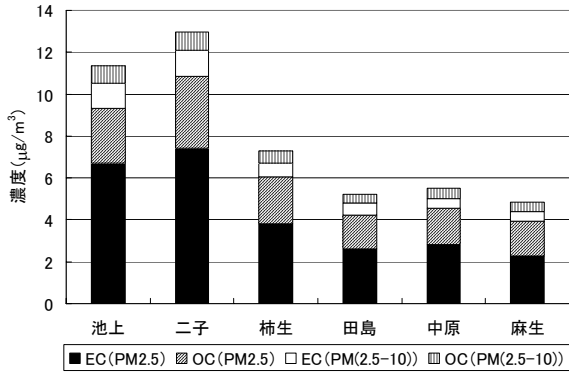


図 8 年平均炭素成分濃度

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が、道路沿道3地点は柿生が低めの推移パターンを示した(図9)。ECの推移パターンは、道路沿道、一般環境、共に異なっており、特に二子と池上では、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、道路沿道の3地点で高濃度を示したが、道路沿道と一般環境でそれぞれよく似た推移パターンを示していた(図11)。6地点とも12月と3月に濃度が増加した。

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、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(図12)。それに対して、自動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、池上や二子では自動車、特にディーゼル車から排出されるECの影響を非常に大きく受けていることを示していると考えられる。

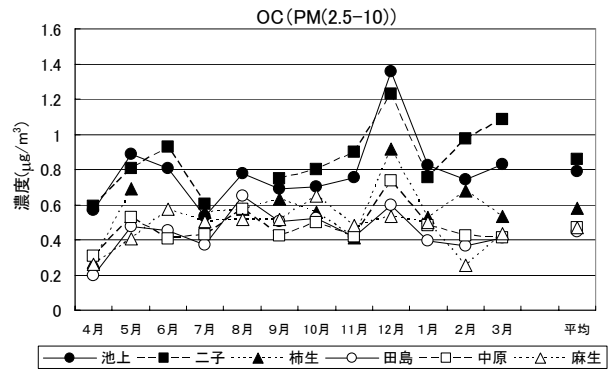


図 9 PM(2.5-10)中のOCの経月推移

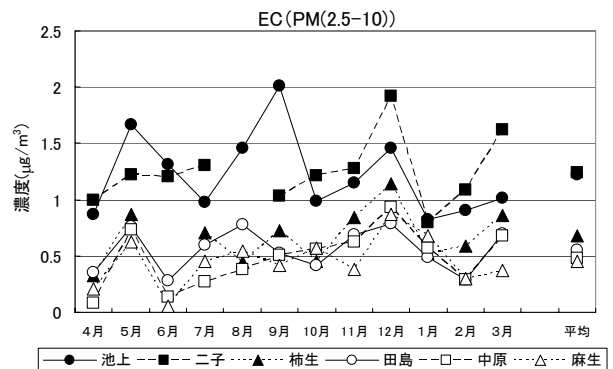


図 10 PM(2.5-10)中のECの経月推移

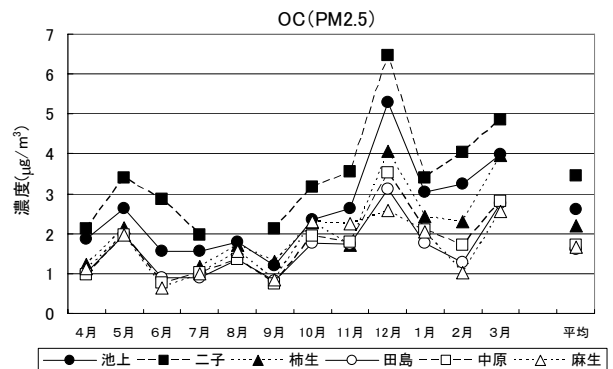


図 11 PM2.5中のOCの経月推移

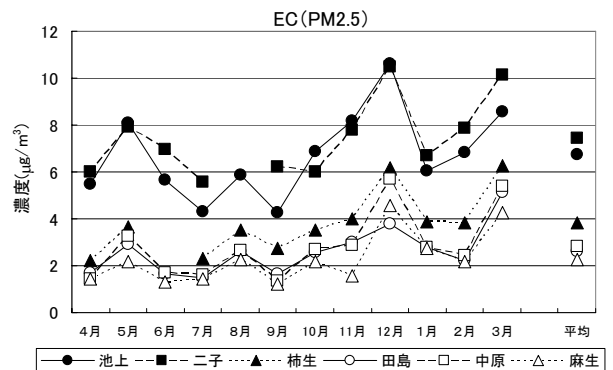


図 12 PM2.5中のECの経月推移

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	0.561	0.207	0.492	0.200	0.414	0.161	0.584	0.166	0.526	0.168	0.448	0.152
Mg	0.120	0.060	0.097	0.061	0.078	0.039	0.098	0.038	0.085	0.035	0.079	0.034
Al	0.273	0.219	0.271	0.302	0.213	0.181	0.185	0.142	0.174	0.136	0.182	0.148
K	0.179	0.238	0.181	0.295	0.142	0.245	0.154	0.288	0.143	0.304	0.068	0.224
Ca	0.571	0.352	0.382	0.358	0.229	0.163	0.284	0.171	0.225	0.127	0.242	0.157
V	0.001	0.005	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.003	0.0005	0.002
Cr	0.005	0.005	0.003	0.003	0.001	0.001	0.003	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001
Mn	0.028	0.033	0.008	0.012	0.006	0.009	0.009	0.014	0.007	0.010	0.005	0.008
Fe	0.643	0.487	0.491	0.379	0.375	0.263	0.366	0.287	0.292	0.205	0.229	0.171
Ni	0.004	0.007	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.006	0.001	0.002	0.001	0.002
Cu	0.014	0.035	0.040	0.022	0.018	0.014	0.007	0.008	0.013	0.008	0.007	0.011
Zn	0.026	0.075	0.027	0.061	0.016	0.042	0.020	0.052	0.016	0.044	0.014	0.040
Cd	0.00004	0.0003	0.00004	0.0002	0.00004	0.0002	0.00004	0.0003	0.00003	0.0002	0.00003	0.0002
Pb	0.003	0.013	0.003	0.010	0.002	0.009	0.002	0.010	0.002	0.009	0.003	0.008

はみられなかった。金属成分の割合は、5.3% (柿生) ~6.8% (麻生) であり、地点間に大きな差はみられなかった。

3.4 金属成分濃度

2007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)ないし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、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。

3.5 粒子状物質の各成分の組成

2007年度のPM(2.5-10)及びPM2.5中の粒子状物質濃度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。

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38% (中原) ~39% (麻生)、道路沿道で27% (二子) ~34% (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、16%~17%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4.3% (田島) ~6.7% (二子)、ECの割合は5.2% (中原) ~9.8% (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43% (田島) ~46% (中原)、道路沿道で31% (二子) ~40% (柿生) であり、一般環境で高くなっていた。次いで高かったのはECであり、その割合は、一般環境で14% (麻生) ~16% (中原)、道路沿道で18% (柿生) ~26% (二子) であり、道路沿道でより高くなっていた。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

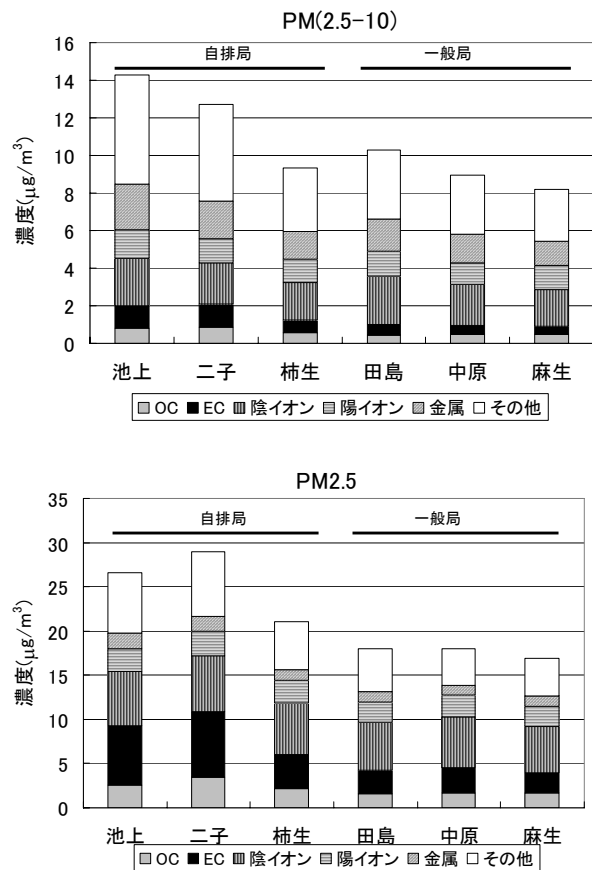


図13 粒子状物質及び各種成分の年平均濃度

表5 粒子状物質及び各種成分の組成割合

含有量(%)

PM(2.5-10)	OC	EC	陰イオン	陽イオン	金属	その他
池上	5.5	8.5	17.5	10.7	17.0	40.8
二子	6.7	9.8	17.4	9.9	15.7	40.5
柿生	6.2	7.3	20.9	13.5	16.0	36.2
田島	4.3	5.4	24.8	13.0	16.7	35.8
中原	5.2	5.2	24.6	13.0	16.6	35.3
麻生	5.7	5.6	23.7	15.6	15.6	33.7

3.6 粒子状物質の発生源寄与率の推定

2007年度のPM(2.5-10)及びPM2.5の構成成分を元に、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、平均で36%を占めていた(表6)。海塩粒子の平均寄与率は14%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50%(46~54%)であった。土壌粒子及び海塩粒子の寄与濃度は南部で高く、北部に向かうに従って低下しており、寄与率では池上と中原が54%と最も高く、田島が53%、柿生が50%、麻生が48%、そして二子が46%と最も低くなった。

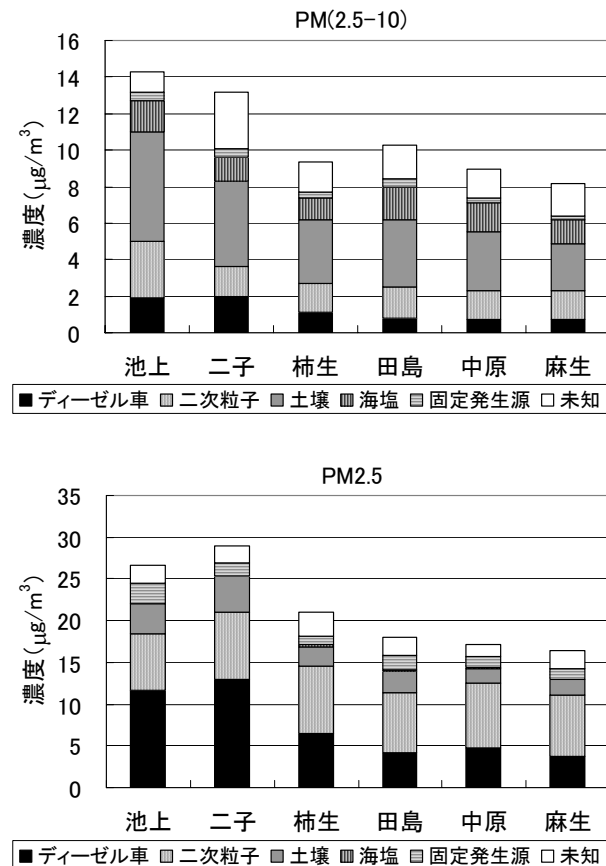


図14 年間平均発生源寄与濃度

PM2.5では、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(表6)。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った。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7割を超えていた。更に、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、二次生成粒子では道路沿道の平均が7.6µg/m³、一般環境の平均が7.4µg/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10.4µg/m³、一般環境の平均が4.2µg/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	13.3	15.2	11.8	7.8	7.8	8.6
二次粒子	21.7	12.1	17.1	16.5	17.9	19.6
土壌	42.0	35.7	37.4	35.9	35.7	31.8
海塩	11.9	9.9	12.8	17.5	17.9	15.9
固定発生源	3.5	3.8	3.2	3.9	3.3	2.4
未知	7.6	23.3	17.7	18.4	17.4	21.7

PM2.5	池上	二子	柿生	田島	中原	麻生
ディーゼル車	43.6	46.0	30.8	23.4	27.4	23.1
二次粒子	25.6	27.7	37.9	40.1	45.5	44.5
土壌	13.5	15.2	11.4	13.9	9.9	11.0
海塩	0.4	0.0	0.9	1.1	1.2	0.6
固定発生源	9.0	5.5	5.2	9.5	7.6	7.3
未知	7.9	5.6	13.8	12.0	8.4	13.5

以上の結果から、PM(2.5-10)中の発生源種は、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中の発生源種は、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初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に偏在し、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) 2007年度の粒子状物質濃度は、2006年度と比較して、PM(2.5-10)は全地点で1.5~2.3µg/m³(11.4~20.3%)の減少を示し、PM2.5も全地点で4.1~7.8µg/m³(20.8~29.0%)の減少を示した。
- (2) PM2.5中のイオン成分は、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺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、PM2.5でも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は非常に高濃度で推移し、また他の4地点と全く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が大きく、一般環境3地点及

び道路沿道の柿生で最も寄与率が大きくなった。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が、二次生成粒子の寄与よりも大きくなった。また、ディーゼル排気粒子の寄与は道路沿道に偏在した局地汚染であり、二次生成粒子の寄与は全地点にわたる広域汚染であった。

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(PM_{2.5-10})、微小粒子(PM_{2.5})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(PM_{2.5-10})及び微小粒子(PM_{2.5})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 (2007年度の粒径状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	10.3	18.0	9.0	18.0	8.2	16.9
OC	0.45	1.61	0.47	1.72	0.47	1.66
EC	0.56	2.62	0.47	2.82	0.45	2.27
Cl ⁻	0.79	0.16	0.63	0.19	0.45	0.17
NO ₃ ⁻	1.31	1.76	1.21	2.08	1.15	1.86
SO ₄ ²⁻	0.45	3.53	0.37	3.50	0.34	3.21
Na ⁺	0.78	0.18	0.69	0.19	0.71	0.18
NH ₄ ⁺	0.06	1.77	0.07	1.95	0.07	1.79
K ⁺	0.05	0.13	0.04	0.14	0.05	0.13
Mg ²⁺	0.11	0.03	0.09	0.03	0.10	0.03
Ca ²⁺	0.34	0.21	0.28	0.17	0.35	0.22
Na	0.584	0.166	0.53	0.168	0.448	0.152
Mg	0.098	0.038	0.085	0.035	0.079	0.034
Al	0.185	0.136	0.174	0.133	0.182	0.145
K	0.154	0.288	0.143	0.304	0.068	0.417
Ca	0.284	0.171	0.225	0.127	0.242	0.157
V	0.001	0.005	0.001	0.003	0.0005	0.007
Cr	0.003	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001
Mn	0.009	0.014	0.007	0.010	0.005	0.008
Fe	0.366	0.287	0.292	0.205	0.229	0.171
Ni	0.002	0.006	0.001	0.002	0.001	0.002
Cu	0.007	0.009	0.013	0.008	0.007	0.011
Zn	0.020	0.052	0.016	0.044	0.014	0.040
Cd	0.00004	0.0003	0.00003	0.0002	0.00003	0.0002
Pb	0.002	0.010	0.002	0.009	0.003	0.008

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	14.3	26.6	13.2	29.6	9.4	21.1
OC	0.79	2.59	0.86	3.45	0.58	2.21
EC	1.22	6.73	1.24	7.42	0.68	3.83
Cl ⁻	0.78	0.27	0.63	0.35	0.42	0.21
NO ₃ ⁻	1.16	2.21	1.13	2.78	1.07	2.10
SO ₄ ²⁻	0.55	3.64	0.44	3.21	0.31	3.07
Na ⁺	0.72	0.21	0.628	0.201	0.67	0.18
NH ₄ ⁺	0.03	1.76	0.064	1.97	0.07	1.81
K ⁺	0.05	0.15	0.040	0.14	0.04	0.14
Mg ²⁺	0.11	0.05	0.091	0.038	0.09	0.03
Ca ²⁺	0.62	0.40	0.43	0.37	0.28	0.18
Na	0.561	0.208	0.493	0.201	0.380	0.149
Mg	0.120	0.060	0.097	0.061	0.071	0.036
Al	0.273	0.210	0.271	0.288	0.195	0.160
K	0.179	0.238	0.181	0.295	0.130	0.225
Ca	0.571	0.352	0.382	0.358	0.210	0.150
V	0.001	0.005	0.001	0.003	0.001	0.002
Cr	0.005	0.005	0.003	0.003	0.001	0.001
Mn	0.028	0.033	0.008	0.012	0.006	0.009
Fe	0.643	0.487	0.491	0.379	0.343	0.241
Ni	0.004	0.007	0.001	0.002	0.001	0.002
Cu	0.014	0.035	0.040	0.022	0.016	0.013
Zn	0.026	0.075	0.027	0.061	0.015	0.038
Cd	0.00004	0.0003	0.00004	0.0002	0.00003	0.0002
Pb	0.003	0.013	0.003	0.010	0.002	0.008