

川崎市における粗大粒子(PM_{10-2.5})及び微小粒子(PM_{2.5})の成分組成(2010年度)Analysis of PM_{10-2.5} and PM_{2.5} in the Atmosphere of Kawasaki City (2010)

山田 大介 Daisuke YAMADA
 中松 弘明 Hiroaki NAKAMATSU
 中村 清治 Seiji NAKAMURA

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、高津、麻生)及び道路沿道3地点(池上、二子、宮前平)の計6地点で粒径別にPM_{10-2.5}(粒径2.5~10 μ mの粒子)及びPM_{2.5}(粒径2.5 μ m以下の粒子)のサンプリングを平日は2日間、週末は3日間の間隔で各季節2週間ずつ行い、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、2010年度のPM_{2.5}の年平均値は一般環境3地点で20~21 μ g/m³、道路沿道で25~31 μ g/m³、PM_{10-2.5}では一般環境で10~12 μ g/m³、道路沿道で12~16 μ g/m³であった。PM₁₀(PM_{2.5}とPM_{10-2.5}の合計値)中のPM_{2.5}の割合は、一般環境で63~65%、道路沿道63~67%であった。更に、PM_{2.5}の発生源の寄与率をPMF解析により求めた結果、PM_{2.5}に対する二次生成粒子の寄与率は一般環境では50%以上、道路沿道でも40%以上を示しており、二次生成粒子の寄与が大きいことが明らかになった。

キーワード： 粒子状物質、PM_{10-2.5}、PM_{2.5}、水溶性有機炭素、発生源寄与率

Key words : Particulate matter, PM_{10-2.5}, PM_{2.5}, Water-soluble organic carbon, Contribution rate

1 はじめに

環境基本法では、大気中の粒径10 μ m以下(100%カット)の浮遊粒子状物質(SPM)について環境基準が定められている。また、2009年9月には粒径2.5 μ m以下(50%カット)の微小粒子状物質(以下、PM_{2.5})の環境基準が年平均値15 μ g/m³、日平均値が35 μ g/m³以下と定められた。そして、環境省は2011年7月にPM_{2.5}の成分分析ガイドラインを公表し、PM_{2.5}の濃度及び構成成分の実態把握を図っている。

川崎市では、2003年度からPM_{2.5}サンプラー(マルチノズルカスケードインパクター(以下、MCI)サンプラー)を用いて粒径2.5~10 μ mの粗大粒子(以下、PM_{10-2.5})とPM_{2.5}について分級捕集を行い、粒子状物質濃度及び成分組成の調査を実施している¹⁾。

2010年度の調査では、以下の状況を受けて測定期間と成分分析について一部見直しを行った。

測定期間については、これまで各月に1週間連続捕集による調査を行ってきたが、2010年度では環境省が関東甲信静で実施した調査に合わせ、各季節2週間とした。また、サンプリングの間隔も環境省の調査に合わせ、平日2日間、週末3日間とし、2週間で6回、年間で計24回のサンプリングを行った。

成分分析については、炭素成分の分析を従来のCHNコーダーによる熱分離法から、2007年7月に環境省が策定した『大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})測定方法暫定マニュアル改定版』に従い、カーボンアナライザーによる熱分離・光学補正法とした。

以下、PM_{2.5}及びPM_{10-2.5}の実態を把握するため、PM

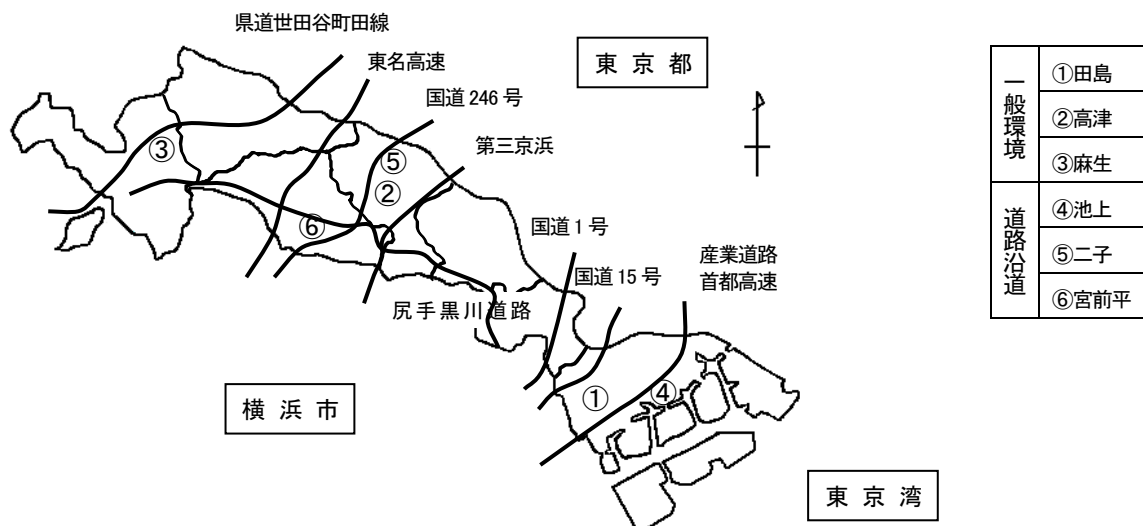


図1 試料採取地点

濃度、イオン成分濃度、炭素成分濃度、金属成分濃度を分析し、さらにその結果を基に Positive Matrix Factorization 法 (以下、PMF 法) による発生源解析を行ったので、その結果について報告する。

2 調査方法

2.1 調査期間

2010 年度の春夏秋冬で各 2 週間ずつ、平日 2 日間、週末 3 日間の計 6 回のサンプリングを実施した。詳細な日程は表 1 のとおり。また、夏季の宮前平の①、③、④はポンプ停止のため、欠測とした。

表 1 2010 年度の調査日程 (斜体は週末)

	①	②	③	④	⑤	⑥
春季	5/14 -17	5/17 -19	5/19 -21	5/21 -24	5/24 -26	5/26 -28
夏季	7/26 -28	7/28 -30	7/30 -8/2	8/2 -4	8/4 -6	8/6 -9
秋季	11/5 -8	11/8 -10	11/10 -12	11/12 -15	11/15 -17	11/17 -19
冬季	1/26 -28	1/28 -31	1/31 -2/2	2/2 -4	2/4 -7	2/7 -9

2.2 調査地点

各試料採取地点を図 1 に示す。2009 年度の報文²⁾と同様に、道路沿道の大気測定地点としては、産池上自動車排出ガス測定局 (池上)、二子自動車排出ガス測定局 (二子) 及び宮前平駅前自動車排出ガス測定局 (宮前平) の 3 地点とした。一般環境の大気測定地点としては、川崎市公害研究所屋上 (田島)、高津一般環境大気測定局 (高津) 及び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、MCI 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 3 段階で捕集した。分析用試料は、2 段階フィルターを PM_{10-2.5} 分析用とし、3 段階バックアップフィルターを PM_{2.5} 分析用とした。

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 21.5°C、湿度 35% の恒温室で 48 時間放置して恒量とした後、精密天秤で 0.001mg 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、ブランクろ紙を同時に 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、各フィルター 1/4 を用いて 2005 年度の報文に記載した分析法に従って実施した³⁾。

(3) 炭素分析

PM_{2.5} のフィルターを 1cm² に打ち抜いたものを試料とし、環境省が公開した『大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 測定方法暫定マニュアル改定版』及び Chow ら⁴⁾ の分析法に従い、カーボンアナライザー (SUNSET 製) を用いた IMPROVE 方式の反射補正により分析した。測定条件は表 2 に示した。また、光学補正は PM_{10-2.5} のようにスポットで捕集された試料には適さないことや、ディーゼル排気粒子等の燃焼由来の炭素成分及び二次生成有機粒子中の炭素成分は PM_{2.5} に偏在することから⁵⁻⁷⁾、炭素成分分析は PM_{2.5} に対してのみ実施した。

表 2 炭素分析の炭素フラクションと測定条件

フラクション	設定温度 (°C)	分析雰囲気
OC1	120	He
OC2	240	He
OC3	450	He
OC4	550	He
EC1	550	98%He+2%O ₂
EC2	700	98%He+2%O ₂
EC3	850	98%He+2%O ₂

(4) 水溶性有機炭素 (WSOC)

イオン成分と同様にフィルター 1/4 から超純水を用いて超音波抽出で抽出したものを試料とし、TOC 計 (株式会社島津製作所製 TOC-VCPH/CPN) により、Non-Purgeable Organic Carbon 法 (以下 NPOC 法) で分析した。

(5) 金属分析

金属成分 13 項目 (Mg、Al、K、Ca、V、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Cd、Sb、Pb) について、分級捕集したフィルター各 1/4 を ICP 質量分析装置 (Agilent 社製 7500c) により、2005 年度の報文に従って分析した³⁾。

2.5 PMF 法による発生源寄与率の推定

2009 年度まで発生源解析に用いてきた Chemical Mass Balance 法 (以下、CMB 法) は、炭素成分分析に熱分離・光学補正法のカーボンアナライザーによる分析では、CMB 法の発生源プロファイル中の OC と EC の比が異なってしまうため、2010 年度では CMB 法は困難になった。一方、PMF 法は、多くのデータを統計的に処理して発生源解析を行う手法で、発生源プロファイルを必要とせずに発生源解析が可能である⁸⁾。そこで、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、2010 年度の PM_{2.5} 濃度及びその含有成分を用いて、PMF 法により発生源寄与濃度及び寄与率を計算した。PMF 法のソフトウェアは、アメリカ合衆国の環境保護庁が公開している PMF3.0⁹⁾ を用いた。

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_{10-2.5}、PM_{2.5} の 2010 年度の季節毎の平均を図 2 に示す。

図 2 上の PM_{10-2.5} の季節変化をみると、全地点で秋季

に最大値を示したが、これは期間④の11/12-13に飛来した黄砂の影響を大きく受けたためと考えられる。黄砂が飛来した期間④を除くと、秋季のPM_{10-2.5}濃度は5.5(麻生)~11(池上) µg/m³となり、逆に季節間で最低の濃度となったことから11/12-13の黄砂の影響は非常に大きく、秋季の各地点のPM_{10-2.5}濃度を1.8~2.7倍に増加させていたことがわかった。なお、11月に東京周辺に黄砂が飛来したのは28年ぶりである。各測定地点の濃度を比較すると、道路沿道の池上が最も高く、一般環境の麻生が最も低かった。

図2下のPM_{2.5}をみると、最も高濃度を示したのは池上と高津では秋季であり、他の4地点では冬季であった。冬季は、期間⑤の2/6に煙霧が西方から飛来したため、PM_{2.5}が増加したと考えられる。期間⑤を除くと冬季のPM_{2.5}濃度は18(高津)~34(二子) µg/m³となり、季節ごとの濃度では二子は最も高いままだったが、他の5地点は秋季の次に高くなった。また、煙霧は冬季の各地点のPM_{2.5}濃度を1.2~1.4倍に増加させていたことがわかった。PM_{2.5}の季節変動をみると、春季及び夏季で濃度が低く、秋季及び冬季で濃度が増加していた。

表3にPM_{10-2.5}、PM_{2.5}の年平均濃度及びPM10(PM_{2.5}とPM_{10-2.5}の合計値)に対するPM_{2.5}の割合(%)を示した。年平均濃度はPM_{10-2.5}及びPM_{2.5}とも道路沿道で高く、特に池上と二子で濃度が高かった。PM_{2.5}の環境基準である年平均15µg/m³は、全ての地点で超過していた。

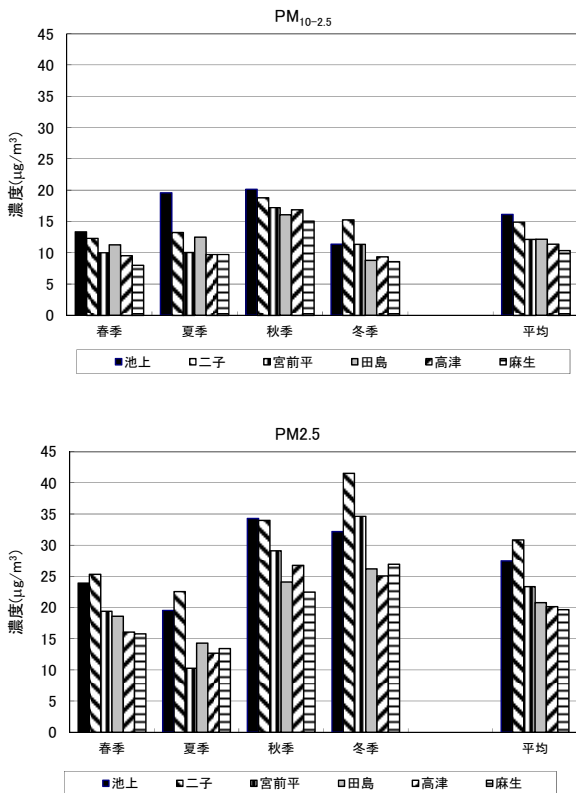


図2 PM_{10-2.5} (上) 及びPM_{2.5} (下) の季節変化

また、PM10 (PM_{2.5} とPM_{10-2.5}の合計値) に対するPM_{2.5}の割合は、一般環境で63~65%、道路沿道で63~67%であり、一般環境と道路沿道で差がなかった。

表3 PM_{10-2.5}及びPM_{2.5}の年平均濃度及びPM10*中のPM_{2.5}の割合

	道路沿道			一般環境		
	池上	二子	宮前平	田島	高津	麻生
PM _{10-2.5} (µg/m ³)	16	15	12	12	11	10
PM _{2.5} (µg/m ³)	27	31	25	21	20	20
PM _{2.5} /PM10 ※(%)	63	67	67	63	64	65

※PM10=PM_{2.5}+PM_{10-2.5}

3.2 水溶性イオン成分濃度

2010年度の各測定地点におけるPM_{10-2.5}とPM_{2.5}の水溶性イオン成分の年平均濃度を図3に示した。

PM_{10-2.5}中のイオン成分の年平均濃度は、図3上より南部で高く、北部に向かうに従って低下した。PM_{10-2.5}中の総イオン濃度のうち、5%以上を占めた成分はCl⁻、

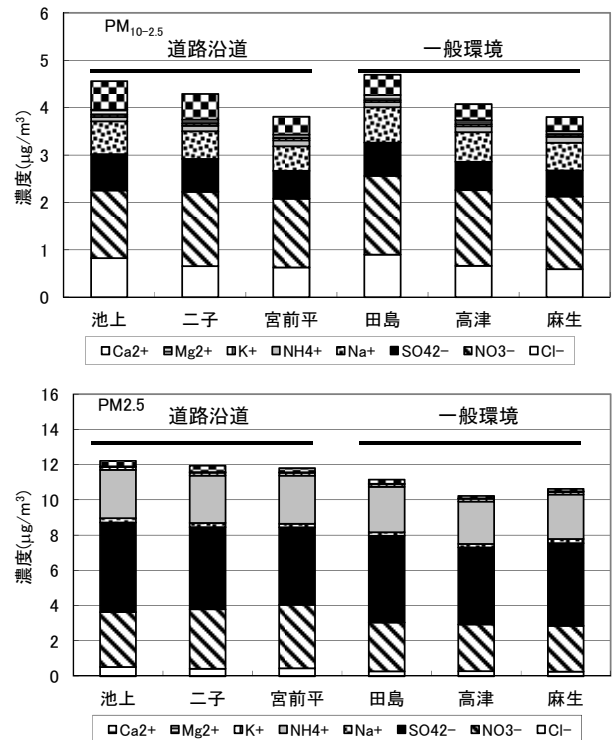


図3 PM_{10-2.5} (上) 及びPM_{2.5} (下) の水溶性イオン成分の年平均濃度

NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺であった。海塩粒子の主成分であるNa⁺とCl⁻は、海岸線に近い池上と田島で高く、北部に向かうにしたがって低下した。また、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平均濃度は、図3下より全地点でNH₄⁺、SO₄²⁻、NO₃⁻といった二次生成粒子の構成成分が大半を占めた。PM2.5 の総イオン濃度は道路沿道が一般環境よりも高かった。成分ごとにみると、NO₃⁻は二子が最も高く、宮前平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が、SO₄²⁻は一般環境が4.4~4.7μg/m³、道路沿道が4.1~5.1μg/m³と一般環境と道路沿道で差はほとんどなかった。

次に、PM_{10-2.5}及びPM2.5の各イオン成分の季節変動を図4に示した。

PM_{10-2.5}の総イオン濃度は夏季に最も高くなったが、夏季は南~東の風が卓越するため、海塩粒子の主要成分であるNa⁺とCl⁻が増加したためと考えられる。逆に

Na⁺とCl⁻が最も低かったのは冬季であった(図4上)。

PM2.5の総イオン濃度は、PM_{10-2.5}とは逆に冬季に最も高く、夏季に最も低くなった。二次生成粒子の代表的なイオン成分であるSO₄²⁻とNO₃⁻を比較すると、夏季はSO₄²⁻が陰イオンのほとんどを占めていたが、秋季では麻生以外の5地点でNO₃⁻がSO₄²⁻より高くなり、冬季では全地点でNO₃⁻がSO₄²⁻よりも高くなった。また、夏季の宮前平が他の4地点よりも低濃度であったが、これはSO₄²⁻濃度が増加した期間①と③がポンプ停止による欠測となったためであった(図4下)。

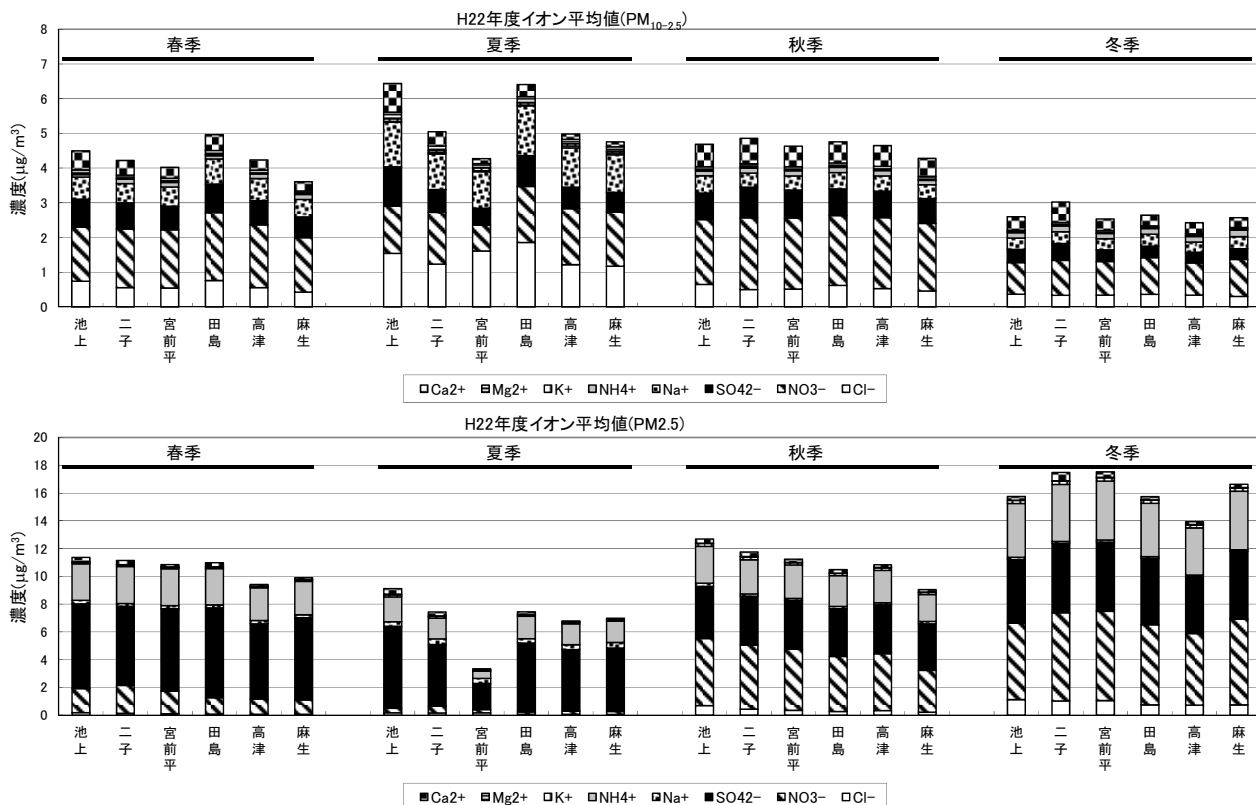


図4 PM_{10-2.5} (上) 及びPM2.5 (下) の水溶性イオン成分の季節変動

3.3 炭素成分濃度

2010年度のPM2.5の炭素成分の年間平均濃度を図5に示した。

PM2.5中の有機炭素(以下、OC)は、道路沿道3地点で3.9~4.7μg/m³、一般環境3地点で2.7~3.3μg/m³であり、元素炭素(以下、EC)は、道路沿道で2.5~5.2μg/m³、一般環境で1.5~1.8μg/m³であり、OCとECはともに一般環境より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4.7μg/m³、ECは5.2μg/m³であった。

次いで、OCの季節変動を図6、ECの季節変動を図7に示す。OCは春季(1.7~2.7μg/m³)と夏季(1.1~2.7μg/m³)では低く、秋季(4.2~6.8μg/m³)と冬季(3.6~6.9μg/m³)で増加した。秋季と冬季でOC濃度が高くなる理由としては、OCは半揮発性の成分を多く含むため、気温が低い秋季と冬季で粒子化する割

合が高いことが挙げられる。濃度が高かった地点は、春季、夏季、冬季では二子であり、秋季では道路沿道の池上、二子、宮前平であった。

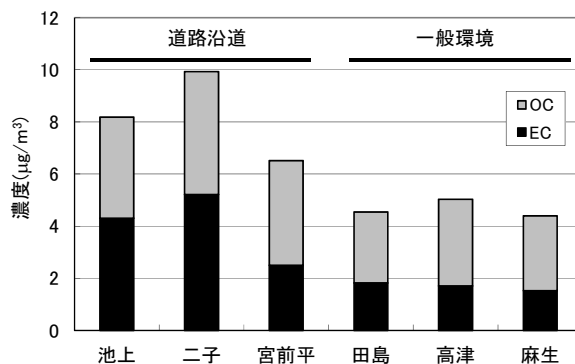


図5 年間平均炭素成分濃度

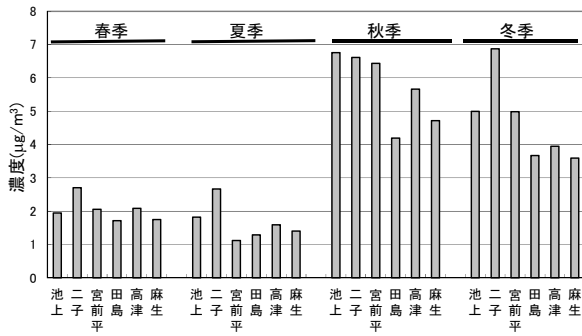


図 6 PM2.5 中の OC の季節変動

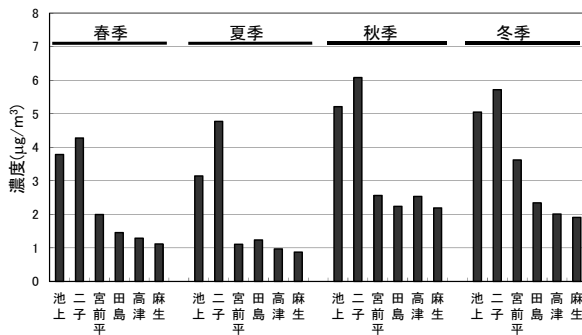


図 7 PM2.5 中の EC の季節変動

EC の季節変動をみると、OC と同様に春季(1.2～4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)と夏季(0.88～4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)で低く、秋季(2.2～6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)と冬季(1.9～5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)で高くなった。また、道路沿道で高く、特に池上と二子で高かった。

3.4 水溶性有機炭素

PM2.5 中の水溶性有機炭素 (以下、WSOC) を定量し、OC から WSOC を差し引いた物を水不溶性有機炭素 (以下、WIOC) とした。まず、WSOC と WIOC の年平均値を図 8 に示す。WSOC の濃度は 1.8 (麻生) ～ 2.4 (二子) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、道路沿道では 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境では 2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と大きな違いはなかった。

一方、WIOC は 0.88 (田島) ～ 2.4 (二子) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、道路沿道では 2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、一般環境では 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と道路沿道が一般環境の約 2 倍の高濃度を示した。これは、WSOC は二次生成有機粒子成分を多く含み、広域汚染の要因となるが、WIOC の主成分は炭化水素様有機炭素と言われており、未燃焼燃料やオイル等に含まれる炭化水素のためと考えられる⁵⁻⁶⁾。OC 中の WSOC と WIOC の割合をみると、WSOC の割合は道路沿道では 47～57%であり、一般環境では 61～70%と一般環境で高かった (図 9)。

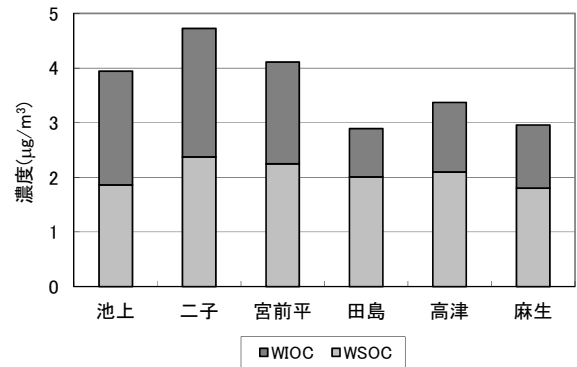


図 8 OC 中の WSOC 及び WIOC の年平均濃度

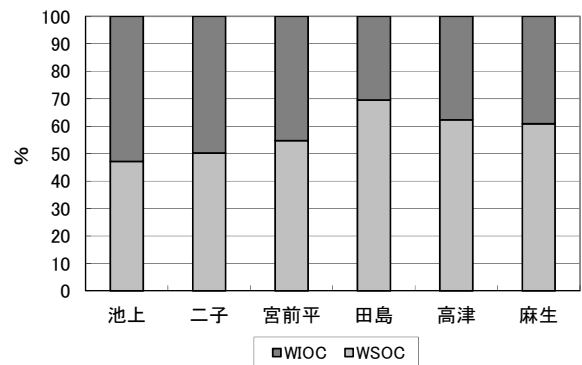


図 9 OC 中の WSOC と WIOC の割合

次に、WSOC の季節変動を図 10 に、WIOC の季節変動を図 11 に示す。WSOC は、春季と夏季に低く、秋季と冬季に増加した。最も低濃度だったのは夏季であり、最も高濃度だったのは秋季であった。

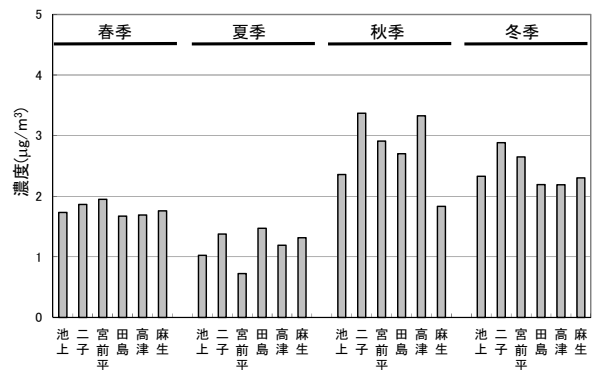


図 10 WSOC の季節変動

WIOC も、WSOC 以上に春季と夏季で低く、秋季と冬季で高い濃度を示していた。特に道路沿道で高くなる傾向を示していた。

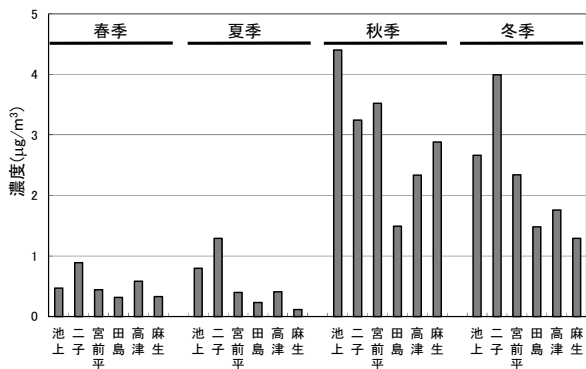


図 11 WIOC の季節変動

3.5 金属成分濃度

2010 年度の金属成分の年間平均濃度を表 4 に示した。PM_{10-2.5} または PM2.5 で平均濃度が 0.1µg/m³ を上回ったのは 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 (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、Sb、Pb は PM_{10-2.5} よりも PM2.5 に多く含まれていたが、臨海部の池上と田島で高い V、Mn、Ni、Pb は固定発生源の影響、道路沿道で高い K、Zn は移動発生源の影響を受けたものと推測される¹⁰⁻¹¹⁾。Cd は全地点で等しく低濃度であり、バックグラウンド的なものと考えられる。2008 年度から分析を開始した Sb は、一般環境よりも道路沿道で高く、さらに二子と宮前平では PM2.5 よりも PM_{10-2.5} に多く含まれていた。Sb は自動車のブレーキパッドに使われており、ブレーキパッドから排出される Sb の質量濃度は粒径 4~6µm で最も濃度が高いとの報告されている¹²⁾。そのため、道路沿道の PM_{10-2.5} 中の Sb は、自動車のブレーキパッド由来と推測される。

表 4 金属成分の年間平均濃度

(µg/m³、Cd (斜体表記) のみ ng/m³)

元素	道 路 沿 道						一 般 環 境					
	池 上		二 子		宮 前 平		田 島		高 津		麻 生	
	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5
Mg	0.20	0.078	0.18	0.14	0.17	0.13	0.19	0.085	0.16	0.086	0.18	0.11
Al	0.41	0.33	0.52	0.60	0.47	0.55	0.40	0.29	0.41	0.32	0.46	0.45
K	0.13	0.22	0.18	0.29	0.18	0.27	0.14	0.19	0.14	0.22	0.16	0.25
Ca	0.82	0.41	0.72	0.62	0.48	0.35	0.60	0.31	0.46	0.22	0.51	0.23
V	0.0023	0.011	0.0020	0.0058	0.0018	0.0058	0.0024	0.0092	0.0017	0.0052	0.0016	0.0054
Mn	0.032	0.030	0.012	0.015	0.012	0.015	0.014	0.017	0.0094	0.011	0.0091	0.011
Fe	1.0	0.63	0.76	0.60	0.83	0.73	0.60	0.44	0.44	0.29	0.45	0.29
Ni	0.0032	0.0071	0.0029	0.0035	0.0026	0.0035	0.0028	0.0068	0.0017	0.0028	0.0027	0.0031
Cu	0.014	0.012	0.039	0.022	0.029	0.016	0.0080	0.0080	0.0091	0.0070	0.0075	0.0054
Zn	0.027	0.080	0.039	0.065	0.027	0.063	0.028	0.046	0.025	0.041	0.021	0.042
Cd	<i>0.075</i>	<i>0.37</i>	<i>0.070</i>	<i>0.31</i>	<i>0.057</i>	<i>0.28</i>	<i>0.060</i>	<i>0.30</i>	<i>0.057</i>	<i>0.28</i>	<i>0.056</i>	<i>0.28</i>
Sb	0.0016	0.0020	0.0048	0.0040	0.0029	0.0027	0.00070	0.0014	0.00087	0.0016	0.00070	0.0022
Pb	0.0046	0.019	0.0032	0.013	0.027	0.011	0.0033	0.013	0.0027	0.011	0.0022	0.012

3.6 PM2.5の発生源寄与率の推定

2010年度のPM2.5の構成成分を元に、PMF解析を用いて発生源の寄与を推定した。まず、PMF解析から算出されるQ値とQ Theory (Q Theory=(成分数×データ数)-発生源数×(成分数+データ数))の交点から、発生源数を6~7個とし(図12)、更に発生

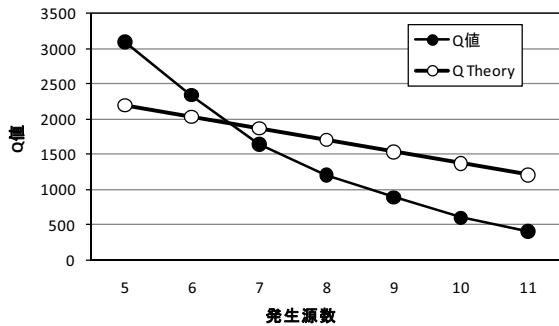


図12 Q値及びQ Theoryの推移

源を6個とした場合と7個とした場合の発生源プロファイルと比較した結果、7個に決定した。

次に発生源数7個のときの発生源プロファイルを検討し(表5)、さらに発生源寄与濃度(図13)及び寄与率(表6)を算出した。

PM2.5の発生源寄与濃度をみると、ディーゼル車の寄与濃度は道路沿道で高く(3.0~6.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、一般環境で低かった(1.1~1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。一方で、二次生成粒子の寄与濃度は、道路沿道(12.5~13.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)と一般環境(11.5~12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)で大きな差はなかった。また、表8の発生源寄与率をみると、ディーゼル車、重油燃焼、廃棄物焼却を合計した人為的発生源由来の一次粒子の寄与(12%(麻生)~25%(池上)よりも、二次生成粒子の寄与濃度(42%(二子)~60%(麻生))が高く、PM2.5の寄与には二次生成粒子が一次粒子よりも大きいと考えられた。

表5 PMF解析より得られた発生源プロファイル (%)

	ディーゼル車	重油燃焼	廃棄物燃焼	硫酸系二次粒子	硝酸系及び有機炭素系二次粒子	道路粉じん	土壌粒子
OC	36	31	0	4.1	20	37	3.1
EC	44	29	0	5.3	9.5	0	0
Cl ⁻	1.7	0	6.0	0	1.5	0	0.77
NO ₃ ⁻	6.9	8.1	19	1.0	32	0	3.9
SO ₄ ²⁻	4.3	5.4	18	64	16	19	0
Na ⁺	1.9	1.2	9.1	1.9	0	0	0.65
NH ₄ ⁺	0	0	0	22	20	0	0
Mg ²⁺	0.32	0	0.70	0.26	0.027	0.25	0.11
Ca ²⁺	4.1	0.40	0	0.43	0.47	5.8	0.26
Al	0	2.4	0	0.60	0.15	5.9	57
K	0.080	0	31	0.097	0.077	5.4	11
V	0.022	0.29	0.098	0	0.0036	0	0.25
Mn	0.0045	0.82	1.2	0.0047	0.0072	0.39	0.096
Fe	0	19.5	9.7	0.060	0.083	24	21
Ni	0.015	0.18	0.12	0	0.0021	0	0.12
Cu	0.027	0.13	0.28	0.0014	0.0018	1.4	0.15
Zn	0.092	1.5	3.0	0	0.024	1.2	1.8
Cd	0.00012	0.0031	0.054	0.00023	0.00007	0.0053	0.00044
Sb	0.0036	0.0062	0.18	0.0015	0	0.24	0
Pb	0	0.26	2.3	0.0018	0.00444	0.20	0

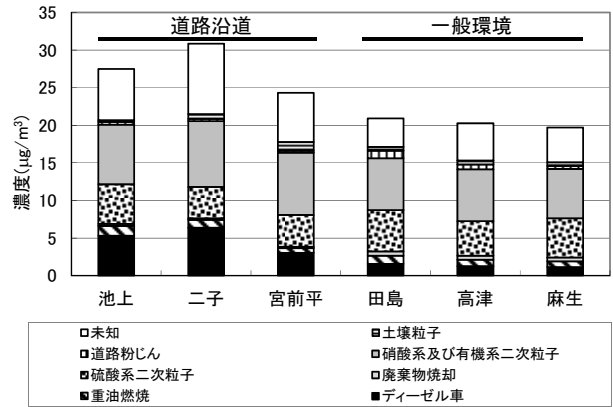


図13 年間平均発生濃度

表8 年間平均発生源寄与率 (%)

	池上	二子	宮前平	田島	高津	麻生
ディーゼル車	19	21	12	7.4	6.1	5.6
重油燃焼	4.8	3.4	2.6	5.2	4.2	4.0
廃棄物焼却	0.94	0.66	0.67	2.6	2.7	2.5
硫酸系二次粒子	19	14	17	26	23	27
硝酸系及び有機炭素系二次粒子	29	28	34	33	34	33
道路粉じん	1.3	0.94	1.1	4.9	3.2	2.0
土壌粒子	0.84	2.0	4.7	2.4	2.5	2.6
未知	25	30	27	18	24	23

4 まとめ

- (1) 2010年度の市内6地点の粒子状物質の年平均濃度は、PM_{10-2.5}は10~16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM2.5は20~31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、PM_{10-2.5}及びPM2.5は道路沿道で濃度が高くなった。また、PM2.5の環境基準である年平均15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回った地点はなかった。
- (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、OCとECともに道路沿道で濃度が高くなった。季節変動をみると、OCとECともに春季夏季に低く、秋季冬季に高くなった。
- (4) 二次有機粒子の指標となるWSOCは、道路沿道と一般環境でほぼ同じ濃度であった。また、季節変動はOCやECと同様に、春季夏季に低く、秋季冬季に高くなった。
- (5) PM2.5の発生源の寄与についてPMF法で解析したところ、硫酸系二次粒子や硝酸系及び有機炭素系二次粒子といった二次生成粒子の寄与率が、ディーゼル車や重油燃焼等の一次粒子の寄与率よりも高い割合を占めた。

謝辞

PMF 解析について、多くのご助言を頂きました高崎経済大学の飯島明宏講師に深く感謝いたします。また、WSOC の分析をして頂きました、川崎市衛生研究所の岸美紀様に深く感謝いたします。

文献

- 1) 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(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)
- 2) 山田大介、中松弘明、中村清治：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(2009年度)、川崎市公害研究所年報、第37号、5~16(2010)
- 3) 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(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)
- 4) Chow J. C., Watson J. G., Crow D., Lowenthal D.H., Merrifield T.: Comparison of IMPROVE and NIOSH carbon measurements. *Aerosol Sci. Technol.*, 34, 23-34 (2001)
- 5) Kondou K., Miyazaki Y., Takegawa N., Miyakawa T., Weber R. J., Jimenez J. L., Zhang Q., and Worsnop D. R.: Oxygenated and water-soluble organic aerosol in Tokyo, *J. Geophys. Res.*, 112, D01203, doi:10.1029/2006JD007056. (2007)
- 6) Kumagai K., Iijima A., Tago H., Tomioka A., Kozawa K., Sakamoto K.: Seasonal characteristics of water-soluble organic carbon in atmospheric particles in the inland Kanto plain, Japan, *Atmos. Environ.*, 43, 3345-3351 (2009)
- 7) 近藤豊、竹川暢之、小池真、宮崎雄三、駒崎雄一：都市域における炭素性エアロゾル生成過程、*J. Aerosol. Res.*, 21(4)、287~296(2006)
- 8) 飯島明宏：大気モデル ー第5講 レセプターモデルー、大気環境学会誌、第46号、A53~A60(2011)
- 9) <http://www.epa.gov/heads/products/pmf/pmf.html>
- 10) 溝畑朗、真室哲雄：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定(I)、大気汚染学会誌、第15巻、198~206(1980)
- 11) 日置正、中西貞博、向井人史、村野健太郎：降水中微量金属元素濃度比と鉛同位対比による長距離輸送と地域汚染の解析、大気環境学会誌、第43号、100~111(2008)
- 12) Iijima A., Sato K., Yano K., Tago H., Kato M., Kimura H., Furuta N.: Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter, *Atmos. Environ.*, 41, 4908-4919(2007)

付表 (2010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		高 津		麻 生	
	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5
PM	12	21	11	20	10	20
OC		2.7		3.3		2.9
EC		1.8		1.7		1.5
WSOC		2.0		2.1		1.8
Cl ⁻	0.90	0.28	0.67	0.30	0.59	0.26
NO ₃ ⁻	1.7	2.8	1.6	2.6	1.5	2.6
SO ₄ ²⁻	0.70	4.9	0.60	4.4	0.55	4.7
Na ⁺	0.75	0.21	0.62	0.21	0.58	0.23
NH ₄ ⁺	0.10	2.6	0.13	2.4	0.13	2.5
K ⁺	0.043	0.14	0.043	0.16	0.041	0.16
Mg ²⁺	0.11	0.032	0.084	0.027	0.079	0.029
Ca ²⁺	0.43	0.23	0.34	0.14	0.30	0.15
Mg	0.19	0.085	0.16	0.086	0.18	0.11
Al	0.40	0.29	0.41	0.32	0.46	0.45
K	0.14	0.19	0.14	0.22	0.16	0.25
Ca	0.60	0.31	0.46	0.22	0.51	0.23
V	0.0024	0.0092	0.0017	0.0052	0.0016	0.0054
Mn	0.014	0.017	0.0094	0.011	0.0091	0.011
Fe	0.60	0.44	0.44	0.29	0.45	0.29
Ni	0.0028	0.0068	0.0017	0.0028	0.0027	0.0031
Cu	0.0080	0.0080	0.0091	0.0070	0.0075	0.0054
Zn	0.028	0.046	0.025	0.041	0.021	0.042
Cd	0.000060	0.00030	0.000057	0.00028	0.000056	0.00028
Sb	0.00070	0.0014	0.00087	0.0016	0.00070	0.0022
Pb	0.0033	0.013	0.0027	0.011	0.0022	0.012

道路沿道 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	池 上		二 子		宮 前 平	
	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5	PM _{10-2.5}	PM2.5
PM	16	27	15	31	13	24
OC		3.9		4.7		3.7
EC		4.3		5.2		2.4
WSOC		1.9		2.4		2.2
Cl ⁻	0.83	0.83	0.66	0.43	0.73	0.41
NO ₃ ⁻	1.4	3.1	1.6	3.4	4.5	3.2
SO ₄ ²⁻	0.77	5.1	0.69	4.7	0.59	4.4
Na ⁺	0.69	0.25	0.58	0.25	0.60	0.25
NH ₄ ⁺	0.096	2.7	0.12	2.7	0.12	2.6
K ⁺	0.045	0.17	0.044	0.16	0.048	0.15
Mg ²⁺	0.11	0.041	0.085	0.035	0.083	0.032
Ca ²⁺	0.60	0.31	0.54	0.37	0.35	0.22
Mg	0.20	0.078	0.18	0.14	0.17	0.13
Al	0.41	0.33	0.52	0.60	0.47	0.55
K	0.13	0.22	0.18	0.29	0.18	0.27
Ca	0.82	0.41	0.72	0.62	0.48	0.35
V	0.0023	0.011	0.0020	0.0058	0.0018	0.0058
Mn	0.032	0.030	0.012	0.015	0.012	0.015
Fe	1.0	0.63	0.76	0.60	0.83	0.73
Ni	0.0032	0.0071	0.0029	0.0035	0.0026	0.0035
Cu	0.014	0.012	0.039	0.022	0.029	0.016
Zn	0.027	0.080	0.039	0.065	0.027	0.063
Cd	0.000075	0.00037	0.000070	0.00031	0.000057	0.00028
Sb	0.0016	0.0020	0.0048	0.0040	0.0029	0.0027
Pb	0.0046	0.019	0.0032	0.013	0.027	0.011