

〔報告〕

PM_{2.5}に含まれる炭素成分の特徴

—炭素フラクション特性—

秋山 薫 上野 広行 三好 猛雄 横田 久司

石井 康一郎 樋口 幸弘* 伊藤 雄一*

(*東京都環境局環境改善部)

1 はじめに

大気中微小粒子状物質（以下、「PM_{2.5}」という）に含まれる炭素成分（有機炭素及び元素状炭素）の分析方法は、「大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）測定方法暫定マニュアル（改訂版）」¹⁾（以下、「暫定マニュアル」という）により定められている。

東京都が2008年から2009年にかけて実施したPM_{2.5}の大気環境調査では、捕集したPM_{2.5}についてこの暫定マニュアルに準拠した方法で炭素成分の分析を行い、後述の炭素成分の分析方法に示すように、有機炭素の4フラクション（OC1、OC2、OC3、OC4）及び元素状炭素の3フラクション（EC1、EC2、EC3）、並びに元素状炭素のフラクションに含まれるが、同時測定レーザ光により補正される有機炭素成分の熱分解炭素（以下、「Pyro」という）が得られた。そこでは、暫定マニュアルに示されているように、有機炭素は((OC1+OC2+OC3+OC4) +Pyro)として、元素状炭素は((EC1+EC2+EC3) -Pyro)として、全炭素は両者の和、(OC1+OC2+OC3+OC4+EC1+EC2+EC3)として求め、その概要は既に報告した²⁾。

ここでは、この暫定マニュアルに準拠した炭素成分の分析方法が、総合的なPM_{2.5}の大気環境調査としては東京都でははじめての例であることから、この調査で得られた各フラクションの炭素成分の特徴について報告する。また、PM_{2.5}と同時に調査した浮遊粒子状物質（以下、「SPM」という）についてもその結果を報告する。

2 調査方法

(1) 調査地点

調査地点は表1に示した。一般環境大気測定局（以下、「一般環境」という）9地点、自動車排出ガス測定局（以下、「道路沿道」という）8地点の、都内17地点である。調査地点の詳細は文献2)の通りである。

表1 調査地点

	一般環境	道路沿道
区部	① 中央区晴海	⑩ 永代通り新川
	② 港区白金	⑪ 京葉道路亀戸
	③ 練馬区練馬	⑫ 中原口交差点
	④ 足立区綾瀬	⑬ 甲州街道大原
	⑤ 江戸川区鹿骨	⑭ 北本通り王子
多摩部	⑥ 青梅市東青梅	⑮ 連雀通り下連雀
	⑦ 町田市中町	⑯ 甲州街道国立
	⑧ 小金井市本町	⑰ 青梅街道柳沢
	⑨ 多摩市愛宕	

(2) 調査期間

調査期間は表2に示した。2008年から2009年にかけての4季節、各季節2週間にわたって、毎日実施した。調査期間中のPM_{2.5}及びSPMの捕集は、概ね捕集日当日の9時30分に開始し、翌日の9時に終了した。

表2 調査期間

春期	2008/5/19 (月) ~ 6/ 2 (月)
夏期	2008/7/28 (月) ~ 8/11 (月)
秋期	2008/11/4 (火) ~ 11/18 (火)
冬期	2009/ 2/2 (月) ~ 2/16 (月)

(3) 捕集方法

PM_{2.5}の捕集はSIBATA LV-250型（インパクター方式）で行い、SPMの捕集にはSIBATA C-20型（重力沈降方式）を装着したローボリュウムサンプラーを用いた。

(4) 炭素成分の分析方法

炭素成分の分析は、前述の暫定マニュアルに準拠し、サーマルオプティカル・リフレクタンス法で行った。分析条件は表3の通りである。

表3 炭素成分の分析条件

炭素フラクション	設定温度	分析雰囲気
OC1	120℃	He
OC2	250℃	He
OC3	450℃	He
OC4	550℃	He
EC1	550℃	98%He+2%O ₂
EC2	700℃	98%He+2%O ₂
EC3	800℃	98%He+2%O ₂

3 結果

(1) 炭素濃度

① 地点別炭素濃度

PM_{2.5}及びSPMに含まれる炭素成分の地点別の炭素濃度を炭素フラクションに分けて図1、図2に示した。なお、ここで、各炭素フラクションの特性を見るにあたり、今回の調査でのPyroの大部分はEC1フラクションに含まれることから、EC1からPyroを引いて、この(EC1-Pyro)を一つのフラクション項目として仮定した。したがって、この報告での元素状炭素のフラクションは(EC1-Pyro)、EC2、EC3の3フラクションが得られる。この場合、これら3フラクションの和は(EC1+EC2+EC3-Pyro)となり、これは元素状炭素に等しい。

図1によれば、PM_{2.5}中の炭素濃度は道路沿道地点が一般環境に比較して高い傾向にある。これは、主要な元素状炭素フラクションの(EC1-Pyro)の濃度変化が、元素状炭素及び全炭素(有機炭素+元素状炭素)の濃度変動に大きく影響していることが認められ、一般環境に比べて自動車の影響が大きい道路沿道ではこのフラクションが特に高濃度であることに因っている。

次に、図2によれば、SPMについてもPM_{2.5}の場合と同様の傾向が認められた。

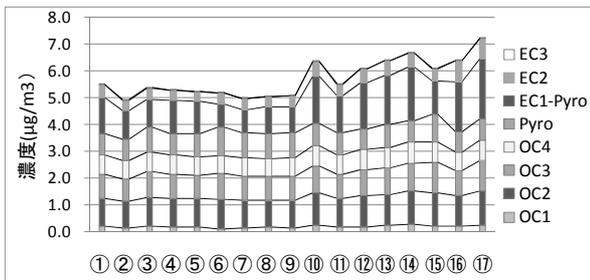


図1 PM_{2.5}中の地点別濃度

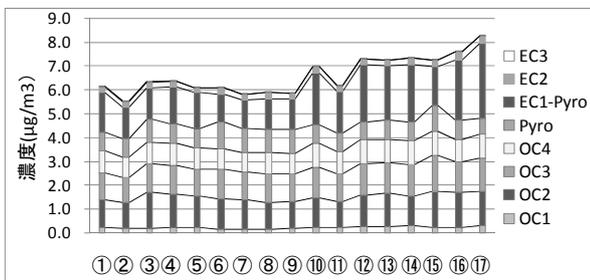


図2 SPM中の地点別濃度

② 季節別炭素濃度

調査した17地点を一般環境と道路沿道とに分けて、季節別の炭素濃度を炭素フラクションごとに求め、図3、

図4に示した。図3によれば、PM_{2.5}中の炭素濃度は、各季節とも道路沿道の濃度が一般環境よりも高かった。季節別に見ると、秋期の濃度が高いが、この秋期の濃度上昇は有機炭素成分に因るところが大きかった。一方、この有機炭素濃度は一般環境、道路沿道とも夏期が最も低い値であった。

SPMについても図4に示したが、PM_{2.5}の場合と同様の傾向が認められた。

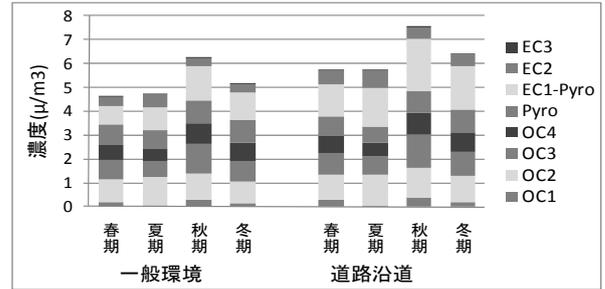


図3 PM_{2.5}中の季節別濃度

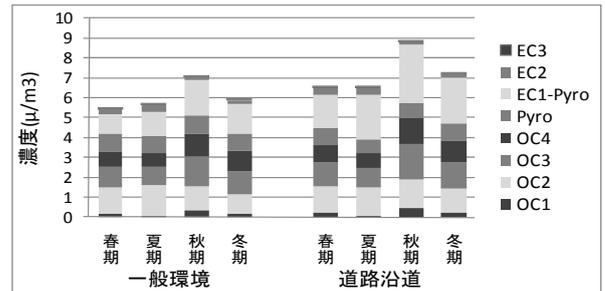


図4 SPM中の季節別濃度

(2) 炭素フラクション濃度及び全炭素中の割合

① PM_{2.5}中の炭素フラクション濃度

一般環境、道路沿道におけるPM_{2.5}について、季節別の炭素フラクション濃度を図5に示した。炭素成分フラクションとしては(EC1-Pyro)の濃度が最も高く、次いでOC2、OC3、Pyro、OC4、EC2、OC1の順であった。EC3の濃度は非常に低かった。また、一般環境と道路沿道と比較すると、低濃度のEC3を除けば道路沿道の濃度が高かった。しかし、Pyroについてはわずかではあるが、一般環

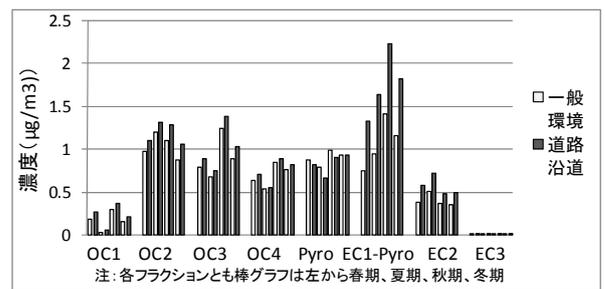


図5 PM_{2.5}中の炭素フラクション濃度

境の濃度が道路沿道よりも高かった。

次に、季節別に炭素フラクション濃度を見ると、低濃度のEC3を除いてOC1、OC3、OC4、Pyro、(EC1-Pyro)の濃度は秋期が最も高かった。OC2とEC2は夏期の濃度が高かった。また、OC2以外の有機炭素フラクションは夏期の濃度が最も低かった。

② 全炭素中の炭素フラクション割合

一般環境、道路沿道におけるPM_{2.5}について、季節別の、全炭素に占める炭素フラクション割合を求め、その結果を図6に示した。各フラクションの割合は一般環境と道路沿道を比べると、炭素フラクション濃度の場合と異なり、Pyro以外にもOC2、OC3、OC4の有機炭素フラクションは一般環境の方が高い割合であった。含まれる割合の低いEC3を除く(EC1-Pyro)、EC2の元素状炭素フラクションは道路沿道の割合が高かった。

次に、季節別に、全炭素に占める炭素フラクション割合を見ると、OC2は夏期の割合が高いが、これ以外の有機炭素フラクションは夏期の割合は低かった。低割合のEC3を除く元素状炭素フラクションでは、(EC1-Pyro)は夏期から冬期にかけて高く、春期の割合が低かった。EC2は夏期の割合が高く、秋期の割合が低かった。

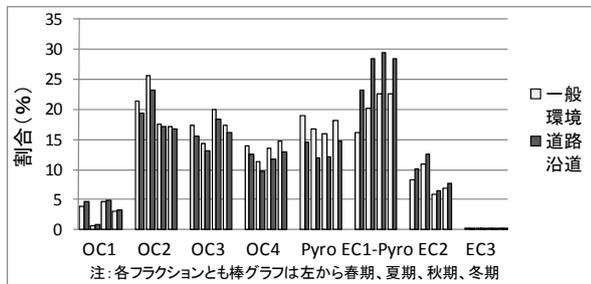


図6 全炭素中の炭素フラクション割合

(3) 主要な炭素フラクションの地域的特徴と季節特性

① PM_{2.5}中の炭素フラクション濃度と特徴

PM_{2.5}中の主要な炭素フラクション濃度を地点別、季節別に図7から図10に示した。図7はOC2フラクションの

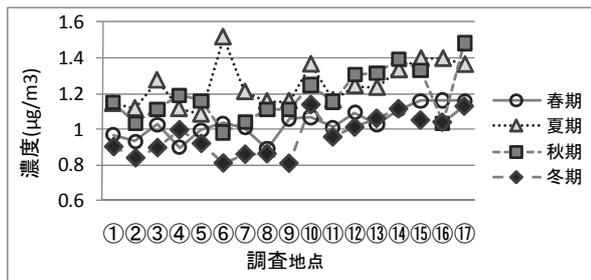


図7 PM_{2.5}中のOC2フラクション濃度

例である。既に述べたように、有機炭素フラクション濃度は秋期が高く夏期が低い、このOC2フラクションは夏期の濃度が高かった唯一の有機炭素フラクション例である。この夏期について見ると、一般環境では都心部から遠く離れた青梅市東青梅(調査地点⑥)が高濃度であった。また、道路沿道でも同様に多摩部(調査地点⑮~⑰)がやや高い傾向が認められた。

図8に示したOC3フラクションの例では、OC2と同様に道路沿道では多摩部が高い傾向が認められるが、季節的には大きく異なり、夏期が最も低濃度であった。

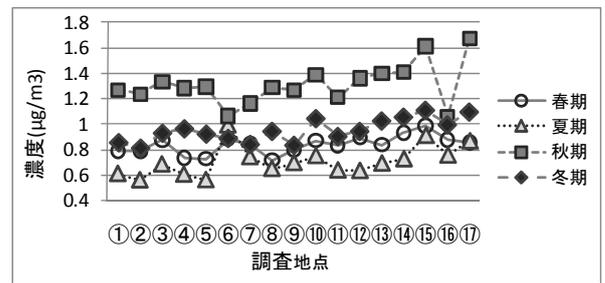


図8 PM_{2.5}中のOC3フラクション濃度

次に、一般環境と道路沿道を比較して一般環境の濃度が高かったPyroについて図9に示した。このフラクションは秋期、冬期が高濃度であり、夏期が低濃度であった。しかし、青梅市東青梅では夏期の濃度が最も高い値となった。

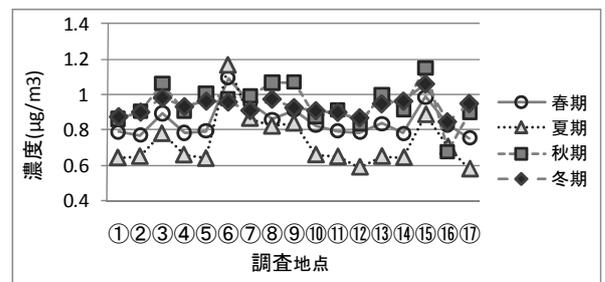


図9 PM_{2.5}中のPyroフラクション濃度

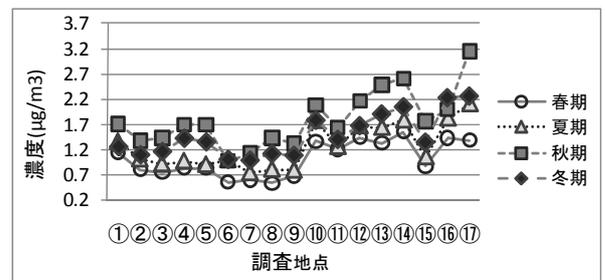


図10 PM_{2.5}中の(EC1-Pyro)フラクション濃度

図10には炭素フラクションとしての濃度が最も高い元素状炭素フラクションである(EC1-Pyro)を示した。図

によれば、道路沿道地点の濃度が高いが、交通量の少ない連雀通り下連雀（調査地点⑮）は低濃度であった。一般環境では多摩部（調査地点⑥～⑨）の地点の濃度が低い傾向であった。

② 全炭素中の炭素フラクション割合と特徴

主要な炭素フラクションについて、全炭素に占める割合を求め、地点別、季節別に図11から図14に示した。図11はOC2フラクションの例である。炭素フラクション割合で見ると、夏期の割合が明らかに高く、道路沿道よりも一般環境の方が高かった。一般環境では多摩部の割合が高いという結果ではなかった。

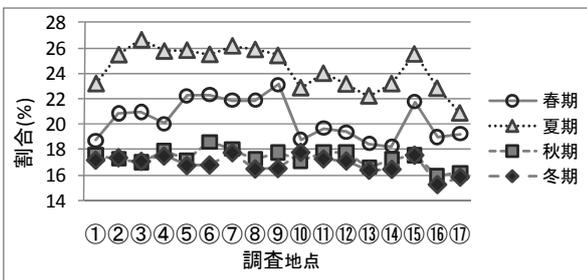


図11 全炭素中のOC2のフラクション割合

次に、OC3のフラクション割合を図12に示した。秋期の割合が高く、夏期が低い。夏期の場合、一般環境では多摩部の地点が高い傾向であった。

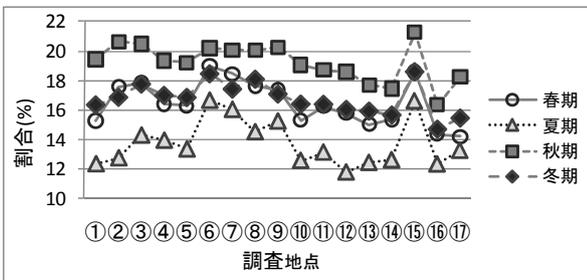


図12 全炭素中のOC3のフラクション割合

図13にはPyroのフラクション割合を示した。このフラクションはいずれの季節も道路沿道よりも一般環境の割合が高く、その一般環境では多摩部の地点が区部よりも

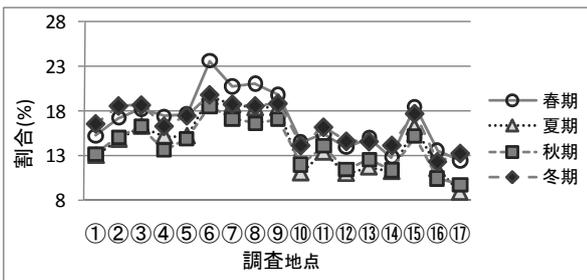


図13 全炭素中のPyroのフラクション割合

高い傾向であった。季節としては春期や冬期が高いが、季節間の差は比較的少なかった。

図14には元素状炭素成分である(EC1-Pyro)のフラクション割合を示した。Pyroフラクションとは対照的にいずれの季節も一般環境よりも道路沿道の割合が高かった。車の走行量の少ない連雀通り下連雀では低い値であった。また、一般環境では多摩部では区部に比べて低い傾向であった。季節としては、秋期や冬期の割合が高く春期が低かった。

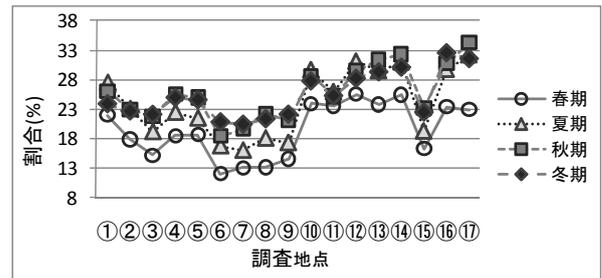


図14 全炭素中の(EC1-Pyro)のフラクション割合

4 おわりに

東京都内の大気環境におけるPM_{2.5}については、現状では新たに設定された環境基準を必ずしも満たす状況にはない。ここで報告した炭素成分はPM_{2.5}に含まれる主要な成分であり、重量組成比で3割近くを占めている。この報告で、PM_{2.5}中の炭素成分についてフラクション別の地域的特徴及び季節特性が得られた。この特徴や特性は、それらの発生源や生成機構を反映しているものと推定される。今後は、発生源における排出粒子中の炭素成分のフラクション特性の把握に加えて、都が共同研究で実施したPM_{2.5}に含まれる放射性炭素同位体測定(国立環境研究所)やレボグルコサン分析(埼玉大学)の調査結果などを合わせて、PM_{2.5}中の炭素成分の発生源等について検討して行く予定である。

参考文献

- 1) 環境省、大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 測定方法暫定マニュアル 改訂版 (2007)
- 2) 三好猛雄ら、PM_{2.5}大気環境調査について、東京都環境科学研究所年報2009、P110-113 (2009)
- 3) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会浮遊粒子状物質調査会議、平成20年度浮遊粒子状物質合同調査報告書 (CD版)