

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：83102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02812

研究課題名(和文) 大気微小粒子中のバイオマス起源有機粒子の同定と発生源の評価

研究課題名(英文) Assignment and Elucidation of Sources of Biomass-derived Organic Particles in Atmospheric Fine Particles

研究代表者

坂本 和彦 (Sakamoto, Kazuhiko)

一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター・その他・所長

研究者番号：20111411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：大気中微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の低減対策の検討には、暖候期と寒候期の主要成分である有機粒子の生成過程(一次/二次)と起源(化石燃料/植物)の解明が必要である。

2014年夏季と秋季に埼玉県北部の加須にて昼夜別に採取したPM<sub>2.5</sub>の有機分子マーカーと放射性炭素の分析を行い、次の点を明らかにした。(1)いずれの季節も植物起源粒子のPM<sub>2.5</sub>への寄与が無視できない。(2)夏季はイソプレンやテルペン由来の二次生成粒子、秋季はバイオマス燃焼由来の一次発生粒子の割合が高い。(3)PM<sub>2.5</sub>高濃度対策として、夏季は化石燃料起源粒子、秋季はバイオマス燃焼由来粒子の排出抑制が効果的と考えられる。

研究成果の概要(英文)：To review the counter measure of ambient fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), it is necessary to reveal the generating process (primary / secondary) and the origin (fossil fuel / biomass) of the organic particles which are major components in warm and cold periods together.

The analyses of the organic molecular markers and radio isotopic carbon for PM<sub>2.5</sub> collected during daytime and nighttime in summer and autumn in 2014 in the northern Saitama, Kazo clarified the following points; (1) The contribution of biomass origin particles to PM<sub>2.5</sub> mass can be not ignored in both seasons; (2) The ratio of the secondary organic particles generated from isoprene and terpene in the summer and the ratio of primary organic particles emitted from biomass open-burning in the autumn were high; (3) As the counter measure of PM<sub>2.5</sub> high concentration, emission reduction of precursors of fossil fuel-derived particles in summer and restriction of biomass open-burning in autumn are effective.

研究分野：環境動態解析

キーワード：環境分析 大気汚染防止・浄化 有機粒子 植物起源 二次生成 一次発生 炭素同位体分析 人為起源

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では、2009年9月に微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)に係る環境基準が設定された<sup>①</sup>。これまでの厳しい自動車排ガス対策やごみ焼却施設からのダイオキシン対策の効果もあり、自動車由来の一次発生炭素粒子濃度や塩化物濃度は大きく減少してきている<sup>②</sup>。化石燃料起源の一次発生炭素粒子濃度の著しい低下により、年間を通じてバイオマス由来の炭素粒子の相対的寄与が増加し<sup>③、④</sup>、その起源(化石燃料/バイオマス)や発生過程(一次発生/二次生成)を区別した有機粒子(OA)の組成分析の重要性が指摘されている<sup>⑤</sup>。東京都内におけるPM<sub>2.5</sub>の主要構成成分はOAと二次生成の硫酸塩と硝酸塩となり、それらの合計はPM<sub>2.5</sub>質量の6、7割を占めるようになっており、夏季はOAと硫酸塩、冬季はOAと硝酸塩が優勢となっている<sup>⑥</sup>。

OAには、化石燃料やバイオマス燃焼に伴って排出される一次発生有機粒子(POA)と大気中で揮発性有機化合物(VOCs)と窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)が光化学反応等により粒子化して生成する二次生成有機粒子(SOA)がある(図1)。さらに、POAとSOAには化石燃料由来のAPOAとASOAとバイオマス由来のBPOAとBSOAがある。加えて、OAを構成する分子種は極めて多様であり、二次生成の硫酸塩と硝酸塩と比較して、OAの組成や生成機構に関する解明が進んでいない。OAのうちでも人為起源のAOAと比較して、バイオマス由来の有機粒子(BOA)は分子組成や生成割合が把握されておらず、バイオマス由来の一次発生有機粒子(BPOA)と二次生成有機粒子(BSOA)の組成や発生機構の解明が最も遅れている。



図1 二次生成有機粒子(SOA)と一次発生有機粒子(POA)

## 2. 研究の目的

本研究では、2014年の夏季と秋季に日中と夜間に分けてPM<sub>2.5</sub>を採取し、BPOA(有機分子マーカー: レボグルコサン等)とASOA(有機分子マーカー: 二塩基酸類等)やBSOA(有機分子マーカー: *cis*-ピノン酸、2-メチルテトラロール等)の分析を行い、OAの生成過程を解明するとともに、それらのPM<sub>2.5</sub>中のOAへの起源別(AOA/BOA)寄与を調べるため、放射性同位体炭素(<sup>14</sup>C)の測定を行い、季節別に植物起源/化石燃料起源の割合を調べる。なお、当初計画では有機炭素(OC)と元素状炭素

(EC)に分別して<sup>14</sup>C測定を行う予定であったが、<sup>14</sup>C測定に必要とする試料量を考慮して、ここでは全炭素(TC)について、植物起源/化石燃料起源を推定するために<sup>14</sup>C測定を行い、有機分子マーカー濃度との関係を考察する。

## 3. 研究の方法

### (1) PM<sub>2.5</sub>試料の採取

埼玉県環境科学国際センター(埼玉県加須市)は周囲を田圃に囲まれており、周辺に大規模な工場や幹線道路などの発生源はない。一方、同センター周辺では、これまでに秋季の収穫期以降に農業残渣や枯れ草等の野外焼却が頻繁に行われていることが確認されている<sup>⑦</sup>。そこで、同センターにて、2014年の夏季と秋季にPM<sub>2.5</sub>捕集用の分級器<sup>⑧</sup>を装着したハイボリュームエアサンプラーを用いPM<sub>2.5</sub>試料を採取した。両季節とも試料は9時00分(日中)及び21時00分(夜間)にサンプリングを開始し、8時間採取した。大気吸引量は各時間帯とも355.1 m<sup>3</sup>である。

### (2) 化学成分分析

① 水溶性無機イオン: PM<sub>2.5</sub>試料について、陽イオン5成分(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>)及び陰イオン3成分(Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)をイオンクロマトグラ(Thermo Fischer Scientific: Dionex ICS-2100)で分析した。

② 炭素成分: OC及びECの分析は、フィルター試料の捕集部分からφ8 mmをくり抜き、熱光学式炭素分析計(DRI: model 2001A)を用いてIMPROVEプロトコル<sup>⑨</sup>により行い、炭化は反射強度(TOR)によって補正した。成分分析で得られた結果にHanら(2007)<sup>⑩</sup>によるchar-ECとsoot-ECの定義を加え、炭素成分をOC1、OC2、OC3、OC4、PyOC(OC分析中に炭化したOC)、char-EC(= EC1-PyOC)、soot-EC(= EC2)及びEC3に分類して、整理した。

③ 有機成分: 代表的なイソプレン由来の有機分子マーカーである2-メチルテトラロール(2-メチルトレイトール、2-メチルエリトリトール)<sup>⑪</sup>、α-ピネン由来の有機分子マーカーである*cis*-ピノン酸<sup>⑫</sup>及びバイオマス燃焼の有機マーカーとしてレボグルコサンを主な分析対象として、BSTFAを用いる誘導体化法<sup>⑬、⑭</sup>により試料調製を行い、GC/MSによる測定を行った。

④ 炭素同位体: <sup>14</sup>C分析はパレオラボ(株)において、コンパクト500 kV加速器質量分析計(AMS)(NEC, 1.55SDH, U.S.A.)を用いて行われた。バイオマス起源の指標であるパーセント現代炭素(pMC)は、レファレンス値として1950年の<sup>14</sup>C濃度を基準に算出した。δ<sup>14</sup>Cが-25.0‰の試料を用いた規格化を行うことにより、同位体分別効果を補正した。

## 4. 研究成果

### (1) 炭素成分濃度の経日変動

2014年の夏季(7月26日-8月6日)と秋季

(10月29日-11月13日)における日中/夜間別PM<sub>2.5</sub>各試料中のTC、EC(=char-EC+soot-EC+EC3)及びOC(=OC1+OC2+OC3+OC4+PyOC)濃度の推移を図2に示す。夏季は、8月1日夜間の採取開始時を除くと、

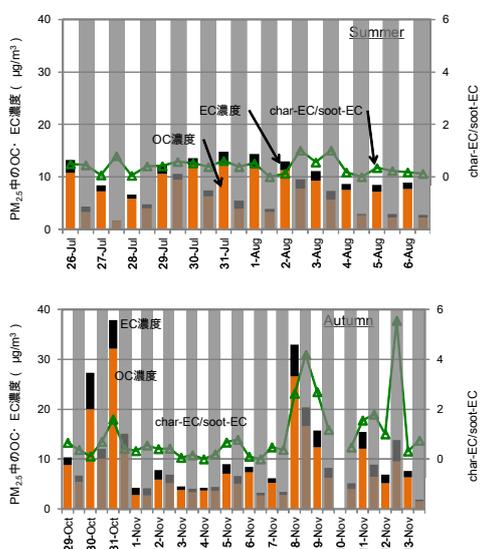


図2 2014年の夏季と秋季におけるOC、EC濃度ならびにchar-EC/soot-EC濃度比の経日変動(白色:日中、灰色:夜間)

ほぼ晴天に恵まれていたが、秋季には10月31日夜~11月1日夜、11月6日の日中、9日の日中、11日~12日午前中などに降雨があり、その合間を縫うようにPM<sub>2.5</sub>高濃度が見られた。

TCの平均濃度は、夏季が $11.1 \pm 1.6$  [日中]、 $5.3 \pm 1.6 \mu\text{gC m}^{-3}$  [夜間]、秋季が $13.2 \pm 5.5$  [日中]、 $7.8 \pm 2.5 \mu\text{gC m}^{-3}$  [夜間]であり、い

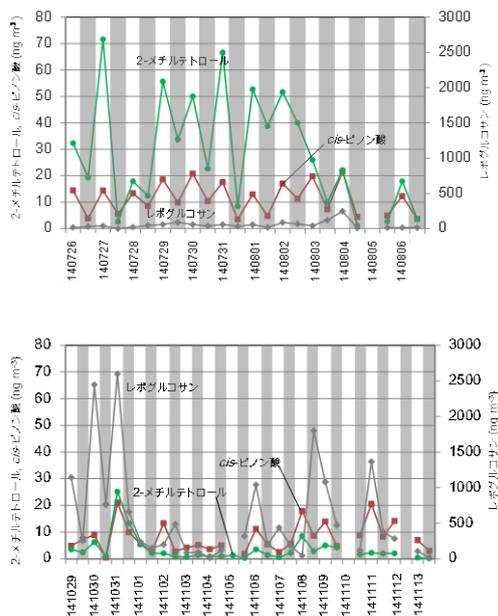


図3 2014年の夏季(上)と秋季(下)における生物起源有機分子マーカー濃度の日変動(白色:日中、灰色:夜間)

れも秋季の方が高かった。また、OC濃度は、TCの8割前後を占めていた。Hanら(2007)<sup>④</sup>によって農業残渣等の野焼きでは、比較的低温による燻し燃焼のためchar-ECが多く発生し、そのためchar-EC/soot-EC比が高くなることが報告されている。そこでchar-EC/soot-EC比を求め、図2にその比の経日変化を示した。その比の平均値を比較すると、図から明らかなように夏季で日中: $0.34 \pm 0.12$ 、夜間: $0.45 \pm 0.20$ 、秋季で日中: $0.84 \pm 0.45$ 、夜間: $1.12 \pm 0.76$ と季節間で明確な差があり、秋季平均の方が大きくかつ変動の幅が大きかった。このことから、秋季には農業残渣等の野焼きがPM<sub>2.5</sub>濃度の変動に相当大きな影響を与えていることが推察される。

## (2) 有機分子マーカー濃度の経日変動

有機分子マーカー(2-メチルテトラール、cis-ピノン酸及びレボグルコサン)の大気中濃度の推移を図3に示す。イソプレン由来の有機分子マーカーである2-メチルテトラールの濃度は、夏季には $42.2 \pm 11.1$  [日中]、 $16.3 \pm 7.8 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]、秋季には $4.7 \pm 3.2$  [日中]、 $2.4 \pm 1.6 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]であった。

また、 $\alpha$ -ピネン由来の有機分子マーカーであるcis-ピノン酸の濃度は、夏季には $16.7 \pm 1.9$  [日中]、 $6.5 \pm 1.5 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]、秋季には $10.6 \pm 3.2$  [日中]、 $5.3 \pm 1.4 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]であった。これらの濃度は、日中増加/夜間減少という変動を繰り返し、光化学的な二次生成が示唆された。同様の傾向は、微弱ではあるが秋季にも見られた。これは照葉樹の落葉に伴いイソプレンの放出が抑制されるのに対し、落葉が少ない松柏類由来の $\alpha$ -ピネンは放出があまり抑制されないことが一因と考えられる。

レボグルコサンの濃度は、夏季には $64.5 \pm 38.1$  [日中]、 $43.4 \pm 21.1 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]であったが、秋季には $805.9 \pm 423.$  [日中]、 $400.6 \pm 224.2 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]とともに夏季の約12、9倍と顕著に増加した。一般にレボグルコサンの大気中濃度は秋季に増加しているが、今回の観測結果もこれを支持している。一方で、夏季(8月4日)の高濃度も試料採取地点周辺の野外焼却の実態の反映と考えられる。

光化学酸化の指標となるジカルボン酸(マロン酸(diC3)及びコハク酸(diC4))であるdiC3の大気中濃度は、夏季が $63.8 \pm 21.0$  [日中]、 $29.5 \pm 13.7 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]、秋季が $154.0 \pm 201.4$  [日中]、 $26.7 \pm 13.6 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]であった。一方、diC4の濃度は、夏季が $69.4 \pm 19.4$  [日中]、 $28.7 \pm 11.6 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]、秋季が $112.1 \pm 70.2$  [日中]、 $47.9 \pm 24.3 \text{ ng m}^{-3}$  [夜間]であった。光化学酸化の程度を表す指標として、diC3とdiC4の濃度比(diC3/diC4)が広く用いられている<sup>④</sup>。diC3はdiC4に比べ熱的安定性が低いことから、自動車排気など高温の内燃機関からの放出が卓越するケースではdiC3/diC4の値は低くなり、光化学反応による二次生成の影響が大きいケースでは

高くなると考えられる<sup>⑤</sup>。diC3/diC4 の値は、夏季が 2.3±2.0 [日中]、1.1±0.4 [夜間]、秋季が 1.7±1.5 [日中]、0.6±0.1 [夜間] であり、夏季の強い日射条件下における二次生成の影響がこの差に表れていると考えられる。

### (3) バイオマス由来炭素(BC)濃度の推定

AMSによる<sup>14</sup>C年代測定値から得られた標準現代炭素に対する試料炭素中の<sup>14</sup>C濃度の割合を示す現代炭素(pMC)の値を表1に示す。夏季試料の平均値は、日中が61%、夜間が69%であった。秋季試料の平均値は、日中が79%、夜間が63%であった。このことは、夏季と秋季のいずれにおいても、日中、夜間ともに人為起源の化石燃料由来の炭素よりもバイオマス由来の炭素の方が多いことを示している。なお、秋季のレボグルコサンは、日中の方が夜間に比べて数倍高濃度であったことと、表1に示した日中と夜間のpMCの割合の差は同様な傾向であった。

それぞれのpMC値を各試料のTC濃度に乘じて非化石燃料由来の炭素(BC)濃度を求め、TC濃度とBC濃度の差から求めた化石燃料由来の炭素(FC)濃度を求めた。それらの日内変化とともにOC濃度とEC濃度の日内変化を合わせて図4示した。BC濃度とFC濃度には明確な変化が観測された。夏季の日中/

表1 夏季・秋季のPM<sub>2.5</sub>試料中の現代炭素の割合

	日中の平均値±1σ (最小値 ~ 最大値)	夜間の平均値±1σ (最小値 ~ 最大値)
夏季	61 ± 5.6% (n=9) (50.7 ~ 74.4%)	69 ± 11.0% (n=8) (40.6 ~ 92.9%)
秋季	79 ± 5.4% (n=8) (63.2 ~ 86.5%)	63 ± 10.7% (n=8) (35.2 ~ 79.9%)

夜間の相違は、日中の盛んな社会活動により人為起源の影響が大きいためであり、ここで観測された夏季の傾向は前橋における夏季調査の結果<sup>⑥</sup>と同様であったが、秋季では逆

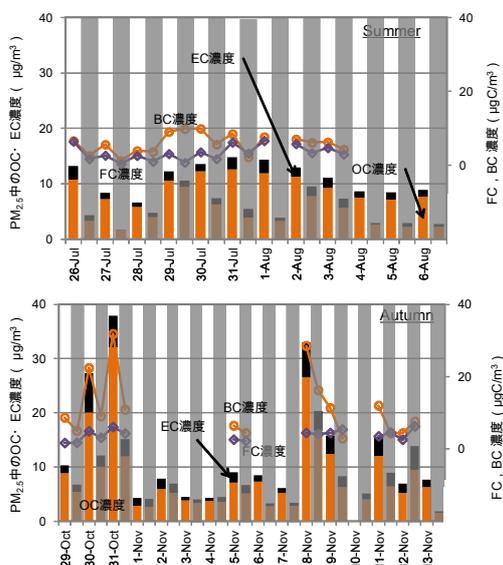


図4 大気中EC、OC濃度と<sup>14</sup>C分析値から求めたBC、FC濃度の経日変動(白色:日中、灰色:夜間)

の傾向であった。ここで観測された秋季の傾向は、既に述べたようにバイオマス燃焼由来の有機分子マーカであるレボグルコサンが夜間に比べて日中は数倍高濃度であったため、むしろ日中の方がFC濃度はかなり低くなったものと推定される。

### (4) 有機分子マーカ濃度とBC濃度の関係

BC濃度と、各試料から求めた各有機分子マーカ(MMC)の炭素濃度の和(2-メチルトテトロール: C-2-メチルトテトロール(CMT)、cis-ピノン酸: C-cis-ピノン酸(CPA)及びレボグルコサン: C-レボグルコサン(CLG)の和)の経日変動を図5に示す。夏季のBC濃度とMMC炭素濃度の和が類似した変化を示している。秋季も同様と見ることもできるが、むしろMMCの中の最大構成成分であるレボグルコサンの推移と一致する傾向であり、BC濃度は農業残渣等のバイオマスの野焼きが支配しているものと推察される。

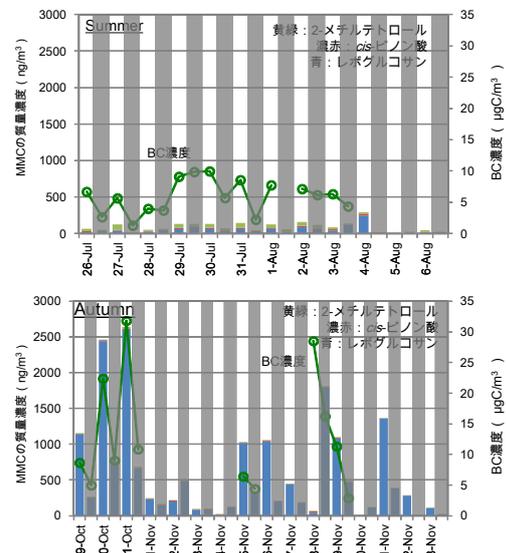


図5 大気中BC濃度と各有機分子マーカ(MMC: 2-メチルトテトロール、cis-ピノン酸及びレボグルコサン)の和の経日変動

### (5) PM<sub>2.5</sub>濃度に対するBCとFC濃度の関係

PM<sub>2.5</sub>濃度とBC又はFC濃度との相関を季節別、日中・夜間別に調べ、その結果を図6に示す。夏季の試料では、日中のFCのみがPM<sub>2.5</sub>と中程度の有意な相関(p=0.06)を、秋季試料では日中のFC、BCともにPM<sub>2.5</sub>と高い正の相関(FC: p<0.01, BC: p<0.01)を示した。このことは、夏季の日中のPM<sub>2.5</sub>高濃度には化石燃料由来の炭素(FC)が寄与しており、秋季の日中のPM<sub>2.5</sub>高濃度には化石燃料由来の炭素(FC)とともにバイオマス由来の炭素(BC)が寄与していることを示唆している。秋季の日中のPM<sub>2.5</sub>に対して、BCが大きく寄与しているものと考えられる。したがって、秋季のPM<sub>2.5</sub>濃度の低減対策として農業残渣の野焼き対策が重要であることを示している。

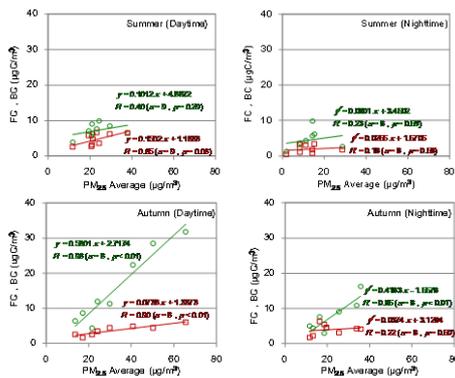


図6 PM<sub>2.5</sub>濃度に対する大気中BC(緑色)、FC(赤色)濃度との相関

## (6) まとめ

埼玉県郊外の田園地帯に位置する環境科学国際センター（埼玉県加須市）において、2014年夏季（7/26～8/6）及び秋季（10/29～11/13）におけるバイオマス由来有機粒子を対象として、PM<sub>2.5</sub>の採取及び組成分析を行い、それらの季節変化について検討した。また、一部の試料についてはTCに占めるバイオマス由来炭素(BC)と化石燃料由来炭素(FC)の割合を調べるため、<sup>14</sup>Cの測定も行った。それらの結果より、以下のことが分かった。

- ・イソプレン由来の有機分子マーカーである2-メチルトетроールの濃度は、夏季に比べて秋季には著しく減少した。一方、 $\alpha$ -ピネン由来の有機分子マーカーであるcis-ピノン酸の濃度は、夏季と秋季ではほぼ同レベルであった。

- ・これらの濃度は夏季と秋季で逆転するが、これは照葉樹の落葉に伴いイソプレンの放出が抑制されるのに対し、落葉が少ない松柏類由来の $\alpha$ -ピネンは放出があまり抑制されないことが一因と考えられる。

- ・バイオマス燃焼の有機分子マーカーであるレボグルコサンの濃度は、野外焼却が多く見られる秋季には顕著に増加した。

- ・夏季における現代炭素割合(pMC)は日中が51 - 74 (平均61) %、夜間が41 - 93 (平均69) %であり、一部を除いていずれもBCの割合がFCよりも高く、PM<sub>2.5</sub>へのBCの大きな寄与が明らかであった。なお、日中の方がBCの割合は低く、夜間と比較して化石燃料由来の一次排出炭素粒子並びに二次生成炭素の寄与が高かった。また、日中のPM<sub>2.5</sub>濃度とFC濃度には中程度の正の相関がみられ、PM<sub>2.5</sub>濃度上昇にはFCが寄与しているものと推定された。

- ・秋季における現代炭素割合(pMC)は日中が63 - 87 (平均79) %、夜間が35 - 80 (平均63) %であり、夏季よりもBCの割合がFCよりもさらに高く、PM<sub>2.5</sub>へのBCの大きな寄与が明らかであった。なお、日中のPM<sub>2.5</sub>濃度に対するBC濃度またはFC濃度の間には高い正の相関がみられ、日中のPM<sub>2.5</sub>濃度上昇にはBCとFCがともに寄与していたが、その傾きからBCのより大きな寄与が推定された。

- ・季節別、日中/夜間別に、高濃度を示した日

中のPM<sub>2.5</sub>濃度に対するBC濃度、FC濃度の相関を調べた結果、夏季はFCとの正相関、秋季はBCとFCについて高い正相関がみられ、高濃度域の濃度低減には、夏季はFC、化石燃料由来の一次発生炭素粒子ならびに二次生成炭素粒子の低減が、秋季はバイオマス由来の一次発生粒子の低減が効果的であると推定された。

## <引用文献>

- ① 中央環境審議会大気環境部会，微小粒子状物質に係る環境基準の設定について（答申），第26回中央環境審議会大気環境部会（2009）。
- ② 高橋克行，箕浦宏明，國見均，坂本和彦：東京都心の微小粒子と成分濃度の長期（1994-2004）変動，大気環境学会誌，**43**，315-322（2008）。
- ③ Takahashi, K., Hirabayashi M., Tanabe, K., Shibata, Y., Nishikawa, M., and Sakamoto, K.: Radiocarbon content in urban atmospheric aerosols, *Water Air & Soil Pollution*, **185**, 305-310（2007）。
- ④ Minoura, H., Morikawa, T., Mizohata, A., Sakamoto, K.: Carbonaceous aerosol and its characteristics observed in Tokyo and South Kanto Region, *Atmos. Environ.*, **61**, 605-613（2012）。
- ⑤ 坂本和彦：微小粒子状物質に関する問題の背景と現状，環境管理，**49**(6)，4-13（2013）。
- ⑥ 米持真一，梅沢夏実，松本利恵：埼玉県北部のPM<sub>2.5</sub>濃度と化学組成の5年間の観測結果，大気環境学会誌，**42**，129-142（2007）。
- ⑦ 兼保直樹：ハイボリューム・エアサンプラー用PM<sub>2.5</sub>インパクター(HVI2.5)の開発，大気環境学会誌，**45**，171-174（2010）。
- ⑧ Chow, J. C., Watson, J. G., Pritchett, L. C., Pierson, W. R., Frazier, C. A., Purcell, R. G.: The DRI thermal/ optical reflectance carbon analysis system: Description, evaluation and application in U.S. air quality studies. *Atmos. Environ.*, **27A**, 1185-1201（1993）。
- ⑨ Han Y., Cao J., Chow J.C, Watson J.G., An Z., Jin Z., Fung K., Liu S.: Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC, *Chemosphere*, **69**, 569-574（2007）。
- ⑩ Kourtchev, I., Ruuskanen, T., Maenhaut, W., Kulmala, M., Claeys, M.: Observation of 2-methyltetrols and related photo-oxidation products of isoprene in boreal forest aerosols from Hyytiälä, Finland, *Atmos. Chem. Phys.*, **5**, 2761-2770（2005）。
- ⑪ Kleindienst, T. E., Jaoui, M., Lewandowski, M., Offenber, J.H., Lewis, C.W., Bhave, P.V., Edney, E.O.: Estimates of the contributions of biogenic and anthropogenic hydrocarbons to secondary organic aerosol at

a southeastern US location, *Atmos. Environ.*, **41**, 8288–8300 (2007).

- ⑫ 萩野浩之, 小瀧美里, 坂本和彦: さいたま市における初冬季の微小粒子中のレボグルコサンと炭素成分, *エアロゾル研究*, **21**, 38-44 (2006).
- ⑬ Kumagai, K., Iijima, A., Shimoda, M., Saitoh, Y., Kozawa, K., Hagino, H., Sakamoto, K.: Determination of dicarboxylic acids and levoglucosan in fine particles in the Kanto plain, Japan, for source apportionment of organic aerosols, *Aerosol Air Qual. Res.*, **10**, 282-291 (2010).
- ⑭ Kawamura, K., Ikushima, K.: Seasonal changes in the distribution of dicarboxylic acids in the urban atmosphere, *Environ. Sci. Technol.*, **27**, 2227-2235 (1993).
- ⑮ Fushimi, A., Wagai, R., Uchida, M., Hasegawa, S., Takahashi, K., Kondo, M., Hirabayashi, M., Morino, Y., Shibata, Y., Ohara, T., Kobayashi, S., Tanabe, K.: Radiocarbon (<sup>14</sup>C) diurnal variations in fine particles at sites downwind from Tokyo, Japan in Summer, *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 6784-6792 (2011).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 坂本和彦, 高橋克行, 工藤慎治: 大気中における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と対策-第3回-PM<sub>2.5</sub>に係る越境汚染と低減対策の課題, **44** (11), 3-12 (2017).
- ② 坂本和彦, 高橋克行, 工藤慎治: 大気中における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と対策-第2回-PM<sub>2.5</sub>に係る大気監視体制の整備ならびにPM<sub>2.5</sub>汚染の特徴, 環境と測定技術, **44** (8), 3-15 (2017).
- ③ 坂本和彦, 高橋克行, 工藤慎治: 大気中における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と対策-第1回-微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の発生と健康影響, 環境と測定技術, **44** (7), 3-9 (2017).
- ④ Sasaka, K., Wang, Q., Sakamoto, K.: Comparison of Plant-derived Carbonaceous Components (Organic Molecular Markers and <sup>14</sup>Carbon) in PM<sub>2.5</sub> in Summer and Autumn at Kazo, Japan, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 査読有, **11**, 165-175 (2017): <http://asianjae.org/browse.html>

〔学会発表〕(計7件)

- ① 佐坂公規, 米持真一, 長谷川就一, 梅沢夏実, 松本利恵, 野尻喜好, 王青躍, 坂本和彦, 埼玉県北部における夏季と秋季のPM<sub>2.5</sub>中に含まれる植物起源炭素成分の比較, 第58回大気環境学会年会講演要旨集, p. 371 (2017).
- ② Sasaka, K., Wang, Q., Sakamoto, K., The

Ratio of plant-derived carbon in PM<sub>2.5</sub> in Summer and Autumn in Kazo, Japan, *Asian Aerosol Conference 2017* (2017).

- ③ 坂本和彦, 微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の現状—組成と対策—, 第25回環境化学討論会プログラム集, p. 68-69 (2016).
- ④ 佐坂公規, 米持真一, 長谷川就一, 梅沢夏実, 松本利恵, 野尻喜好, 王青躍, 坂本和彦, 埼玉県北部におけるPM<sub>2.5</sub>中の植物由来炭素成分の測定, 第57回大気環境学会年会講演要旨集, p. 348 (2016).
- ⑤ Sasaka, K., Wang, Q., Sakamoto, K., Seasonal variation of plant-derived carbonaceous components in PM<sub>2.5</sub> in Kazo, Japan, 17th IUAPPA World Clean Air Congress and 9th CAA Better Air Quality Conference, 2016.
- ⑥ 佐坂公規, 米持真一, 長谷川就一, 梅沢夏実, 松本利恵, 野尻喜好, 竹内庸夫, 坂本和彦, 埼玉県北部におけるPM<sub>2.5</sub>中の一次排出/二次生成指標成分の季節変化, 第56回大気環境学会年会講演要旨集, p. 286 (2015).
- ⑦ 坂本和彦, 微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と組成, 第75回分析化学討論会要旨集, p. 30 (2015).

〔その他〕(計7件)

- ① 坂本和彦, 我が国における大気中における大気粒子状物質汚染と越境汚染, エコ兵庫, No. 86, 1-4 (2017).
- ② 坂本和彦, PM<sub>2.5</sub>の現状と課題, 平成28年度大気環境対策セミナー—PM<sub>2.5</sub>の現状と今後の展望について— (2017).
- ③ 坂本和彦, PM<sub>2.5</sub>の排出実態について, 平成27年度大気環境対策セミナー—PM<sub>2.5</sub>の現状と今後の課題について— (2016).
- ④ 坂本和彦, 微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と課題—南関東—, 2015年度酸性雪(雨)シンポジウム (2016).
- ⑤ 坂本和彦, わが国における微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の汚染の現状と課題, JASIS2015 (2015).
- ⑥ 坂本和彦, PM<sub>2.5</sub>の現状と課題, NIES-JAMA 大気環境と健康影響コンファレンス (2015).
- ⑦ 坂本和彦, 大気環境の現状と展望, 空気調和・衛生工学, **89** (12), 1059-1064 (2015).

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

坂本 和彦 (SAKAMOTO, Kazuhiko)

(一般財団法人)日本環境衛生センター・アジア大気汚染研究センター・所長

研究者番号: 20111411

(2)研究分担者

佐坂 公規 (SASAKA, Kouki)

埼玉県環境科学国際センター・主任研究員

研究者番号: 80415398