

令和元年6月25日現在

機関番号：83102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00619

研究課題名(和文) 公園・緑地のPMの除去機能に着目した地方都市大気汚染の軽減に関する研究

研究課題名(英文) Studies on mitigation of local city air pollution focusing on PM capture and elimination function in parks and green areas

研究代表者

大泉 毅 (OHIZUMI, tsuyoshi)

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・情報管理部・部長

研究者番号：10450800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：都市公園樹木による粒子状物質(PM)の捕捉・除去機能評価を目的に、新潟市の公園でPMの大気濃度を粒径別に14週間連続観測し対照地点と比較した結果、10ミクロン超粒子(PM>10)、10-2.5ミクロン粒子(PMc)、及びPM2.5の平均濃度比(公園内/外)はそれぞれ0.86、0.90、0.94で濃度は公園内で低く、公園樹木によるPM除去効果が確認された。このことは、降水中のPMに含有する元素状炭素の林内外での沈着量比と調和的であった。また、PMに含有する多環芳香族炭化水素類は林内で濃度が低く、樹冠による健康リスクの軽減が示唆され、有機マーカー成分測定からPM2.5の長距離輸送が推測された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本海を挟んでアジア大陸と対峙する新潟県においては、数十年前から大陸で発生する硫黄や窒素の酸化物を原因とする酸性雨の影響を受け、また、近年は同様の原因物質に起因し視覚的にも認識しやすいPM2.5の高濃度イベントの発生により、越境大気汚染に対する市民の関心は高い。これまで欧米において主に沈着モデルを用いたシミュレーションの結果として評価されていた都市公園の樹木によるPMの捕捉・除去効果について、ここでは実測による評価を行ったことに大きな意義がある。公園・緑地が立地する自治体とこれらの研究結果の共有を図るとともに、今後の都市公園に係る施策に反映するための方策や課題について検討していきたいと考える。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the capture and elimination function of atmospheric particulate matter (PM) by trees in urban parks, PMs with different diameters were collected weekly for 14 months in Niigata city. The concentrations of mass, ionic components, etc., were measured and compared with the data observed at the control site. As a result, the averaged concentration ratio (in / outside park) of large-sized particles (PM>10), middle-sized particles (PMc) and PM2.5 were 0.86, 0.90, and 0.94, respectively. In particular, in the tree growing season, the ratio of PM>10 tended to be very small, 0.3 to 0.8. These results were harmonized with the comparison results of wet depositions of elemental carbon collected in and outside park. Additionally, mitigation of PM health risks by the park trees was recognized by the comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations collected in and outside park and long-range transportation of PM2.5 was suggested by the analysis of organic marker of PM2.5.

研究分野：大気環境化学、同位体地球化学

キーワード：PM2.5 公園・緑地 捕捉・除去 越境大気汚染

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

PM<sub>2.5</sub>による大気汚染は、近年の東アジア全域の共通課題である。大気中のPMに対して森林の樹冠は自然界におけるエアフィルターとしての役割を果たし、米国では都市の公園・緑地化によってPM<sub>2.5</sub>の健康リスクが大幅に低減できる可能性が示唆されている。しかしながら、これらの研究は沈着モデルによる計算結果であり、樹木による実際の捕捉・除去量は評価されておらず、また、我が国でもPMの樹木による浄化機能に着目した研究はほとんどない。一方、近年、我が国の西日本や日本海側ではアジア大陸で発生するSO<sub>2</sub>等に由来する汚染物質の移流が示唆され、実際、2014年2月には、新潟市内においても環境基準値の約3倍に相当するPM<sub>2.5</sub>の全国最高濃度が観測された(96 μg m<sup>-3</sup>)。越境大気汚染の軽減には国際的な取り組みが必要であり進捗は容易ではないが、大気中のPM<sub>2.5</sub>等の樹木による捕捉・除去機能を実測により評価・検討し都市計画等に反映することは自治体単位でも実施可能であり、それらの取り組みが期待される。

### 2. 研究の目的

本研究は、越境大気汚染が顕在化する日本海側の中核都市である新潟市において、独自に開発した葉面付着量の直接測定法や公園・緑地内外でのPMの採取・分析により、汚染物質の越境輸送に対する国内対策の一つとしてPMの公園・緑地の樹木による捕捉・除去効果を評価し、それらの知見を行政と共有することにより汚染の緩和に寄与することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) **PMの採取と分析**：新潟市中央部に位置する鳥屋野潟は新潟市内の代表的な潟湖の一つで、湖畔は都市公園「鳥屋野潟公園」（以下、「公園」と称す）となっている。公園の一角の樹木が茂った林床にサンプラーを設置した。周辺林分（約0.26 ha）内には、高木・低木合わせて355本の樹木が確認され、そのうちケヤキ等の落葉高木が144本、ニシキギ等落葉低木が125本で落葉種の割合が76%と高い。2016年10月3日にサンプラー上部の全天空写真を撮影し、LAI（Leaf area index）を測定したところ、1.27と疎な林であるという結果であった。

公園から西北西へ約5km離れた新潟市亀田一般環境測定局（以下、「亀田局」、もしくは「公園外」と称す）を公園外の地点として、公園は2016年1月26日、亀田局は2015年12月1日に大気PMの採取を開始し、共に2017年3月21日まで、それぞれ14月間及び16月間試料採取を継続した。

大気中PMの採取には東京ダイレック製の10 L min<sup>-1</sup>用PM<sub>10</sub>及びPM<sub>2.5</sub>インパクターを装着したNILU製オープン式フィルターパックを用い、同装置に石英繊維ろ紙あるいはテフロンろ紙を装着して吸引流速10 L min<sup>-1</sup>の一週間採取を継続して実施した。テフロンろ紙は質量、42種の無機元素成分及び15種のイオン成分、また、石英繊維ろ紙は炭素成分、23種の多環芳香族炭化水素類（以下、PAHsと称す）及び9種の有機マーカ成分の測定に供した。測定方法は環境省の「環境大気常時監視マニュアル第6版」<sup>①</sup>及び「PM<sub>2.5</sub>成分測定マニュアル」<sup>②</sup>に準じた。

(2) **降水と葉面付着物の採取と分析**：PMの流入経路を考慮し、樹冠外に湿性沈着する降水中のPM（林外雨PM）、一旦樹木表面に乾性沈着した後に洗脱され樹冠内の降水に含まれるPM（林内雨PM）、さらに降水によって洗脱されず樹木葉面に強固に付着しているPM（葉面PM）の観測を実施した。林外雨PMと林内雨PMは、フィルターホルダーを装着したロート（直径：15 cm）を用い、林外雨PMは亀田局、林内雨PMは公園のケヤキ樹冠下において、直接降水中のPMを石英繊維ろ紙上に捕集した。また、葉面PMは、公園において外気に十分に暴露されている高さ2・3 mの枝から樹木葉を採取し、実験室に持ち帰り純水で洗浄・風乾後、5gの葉を20 mLのクロロホルムで30秒程度葉面を洗浄し、浮遊した付着物質を石英繊維ろ紙上に捕集し、OC/EC炭素分析計（DRI 2001A）を用いて元素状炭素（EC）の分析を行った<sup>③</sup>。なお、公園で優占的な高木であること、また新潟駅南口の東西約1kmには約200本が植えられた「けやき通り」があり新潟市内の象徴的な街路樹となっていることから、ケヤキを主要な対象木とした。ECの分析にあたっては、比較的低温（550 °C）で燃焼するEC<sub>1</sub>はcharと呼ばれるバイオマス燃焼に由来する木炭成分を、高温で燃焼するEC<sub>2</sub>（700 °C）とEC<sub>3</sub>（800 °C）はsootと呼ばれるディーゼル機関等の化石燃料燃焼に由来するスス成分を反映していると考えられるため、それぞれ以下のように別々に評価することとした<sup>④</sup>。

Char-EC = EC<sub>1</sub> - POC

Soot-EC = EC<sub>2</sub> + EC<sub>3</sub>

ここで、POC, pyrolyzed organic carbon は分析中に無酸素条件下で有機態炭素の熱分解によって生じる人工産物であり、レーザー光反射により補正される成分を示す。

### 4. 研究成果

(1) **PMの公園内外の濃度差**：観測期間中の公園内外のPM濃度とその濃度比を図1に示す。公園のPM濃度は、PM>10: 0.6~14.5、PM<sub>c</sub>: 2.2~19.9、PM<sub>2.5</sub>: 2.9~18.7 μg m<sup>-3</sup>、亀田局のPM濃度は、PM>10: 1.1~15.7、PM<sub>c</sub>: 1.9~21.6、PM<sub>2.5</sub>: 3.8~18.7 μg m<sup>-3</sup>の範囲にあったが、期間毎の濃度は両地点ともに概ねPM<sub>2.5</sub>>PM<sub>c</sub>>PM>10の順であり、いずれの粒径でも春季

に高濃度であった。

両地点の期間平均濃度比（公園内/公園外）は  $PM_{>10} : 0.86$ 、 $PM_c : 0.90$ 、 $PM_{2.5} : 0.94$  で、 $PM$  濃度はいずれも公園内で低く、粒径が大きい程比が小さくなった。特に樹木の繁茂期には  $PM_{>10}$  の濃度比が  $0.3\sim 0.8$  と小さくなる傾向がみられた。インファレンシャル法により気象データから推計した夏季の乾性沈着速度は、粗大粒子で  $3.1\sim 10.6\text{ cm s}^{-1}$ 、微小粒子で  $0.5\sim 1.0\text{ cm s}^{-1}$  と約 10 倍の違いがあり、このことが、繁茂期に  $PM_{>10}$  の濃度比が小さくなった一因と推察された。

ここでは、公園樹木による  $PM$  除去効果について、これまで殆ど事例が無かった実測による定量的評価の結果を示した。これらの結果及び(2)以降の解析結果に関してこれまでに学会等で発表を行った内容の一部は、既に公園が立地する自治体と知見を共有しており、今後、雑誌論文として投稿中及び投稿予定の詳細な研究成果についても同様に知見の共有を図り、都市公園に係る施策に反映するための方策や課題について検討していきたいと考えている。

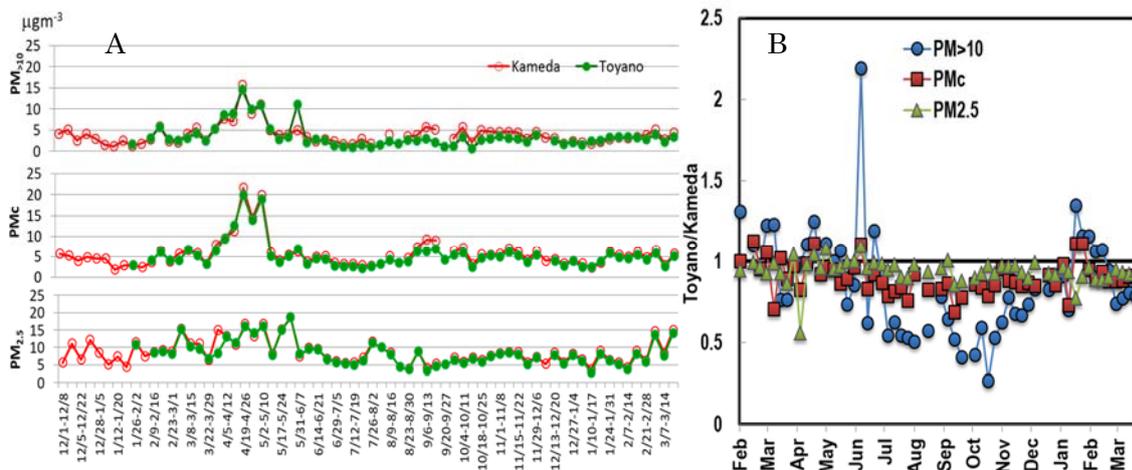


図 1 公園内外の  $PM$  濃度変動（2015 年 12 月～2017 年 3 月）

A : 質量濃度、B : 質量濃度比

(2) **降水による  $PM$  沈着、優占樹種の葉面  $PM$**  : 林外雨・林内雨による  $PM$  中の  $EC$  の累積沈着量を図 2 に示した。林内雨の方が期間を通じて、やや高く、樹木葉面から洗脱された乾性沈着成分の寄与が示唆された。2 月から 9 月までの累積沈着量は、林外雨で  $34.8\text{ mg m}^{-2}$ 、林内雨で  $44.3\text{ mg m}^{-2}$  であり、これらの差から見積もられた乾性沈着の寄与は  $9.6\text{ mg m}^{-2}$  であった。全体として Soot 成分の寄与が大きかった。

公園の代表樹種の 5 月に採取された葉面  $PM$  中の  $EC$  量を図 3 に示した。常緑樹では旧年葉の方が当年葉よりも多くの  $EC$  を付着していた。季節傾向は明瞭ではなく、10 月初旬に採取されたケヤキでは  $0.96\text{ mg m}^{-2}\text{ leaf area}$  であり、5 月よりもむしろ低く、 $PM$  が葉面への乾性沈着・脱離を繰り返していることが示唆された。

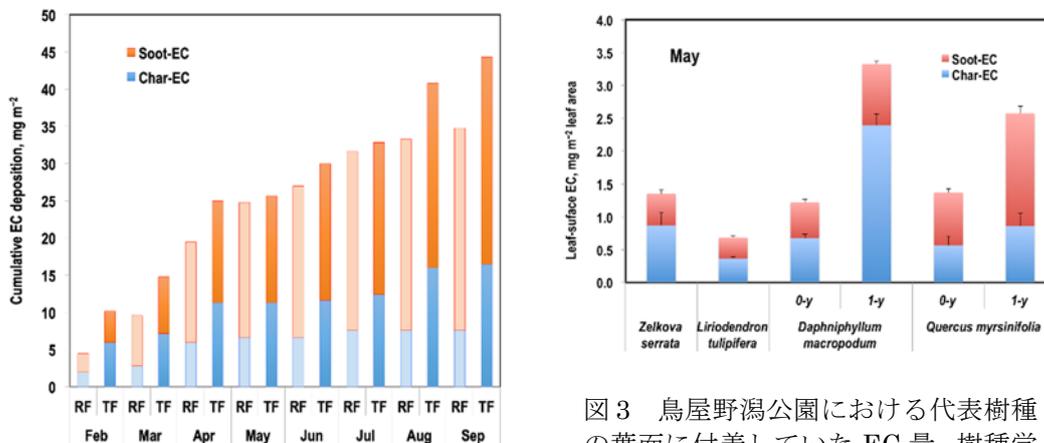


図 2 林外雨 (RF)・林内雨 (TF) による元素状炭素 (EC) の累積沈着量

図 3 鳥屋野潟公園における代表樹種の葉面に付着していた  $EC$  量. 樹種学名は左から、ケヤキ、ユリノキ、ユズリハ、およびシラカシ。常緑樹のユズリハとシラカシでは、当年葉 (0-y) と旧年葉 (1-y) も抽出・分析

公園の平均的な LAI を考慮して、土地面積当たりのケヤキ葉による EC 保持量を算出すると、10 月初旬時点では、 $2.4 \text{ mg m}^{-2}$  と推計される。林内雨 PM の結果も含めて実測からボトムアップ的に推計される同期間の樹冠への乾性沈着量は  $12 \text{ mg m}^{-2}$  と推計された。大気中の PM 濃度と気象データから算出される乾性沈着速度を用いたトップダウン的な推計では、2~8 月の EC 乾性沈着量は全粒径で  $303 \text{ mg m}^{-2}$  であった。これらの差の原因としては、公園では樹冠が開いており LAI が低いこと（一般的な閉冠した林分では 3~4）、土壌に直接沈着する成分もあり、トップダウン的な推計ではそれらも含めて沈着量を算出していることなどが挙げられる。定量的な議論にはまだ大きな余地はあるが、林内雨 PM や葉面 PM で示されたように、大気中の PM が乾性沈着により樹木葉面に捕捉されているのは事実であり、夏季に公園の PM 濃度が低下する現象の主要因であると考えられる。

(3) **PM 中の PAHs の挙動**：測定対象とした 23 種の PAHs のうち、公園内外で 19 種の PAHs が検出された。PAHs の検出頻度と濃度は概ね  $\text{PM}_{2.5} > \text{PM}_{10} > \text{PM}_{10-2.5}$  の順であり、PAHs が  $\text{PM}_{2.5}$  に偏在する傾向が確認された。

$\text{PM}_{2.5}$  中の主要 PAHs 濃度は亀田局より公園で低く、樹木による有機化合物の除去効果が示唆された。PAHs 毎の毒性等価換算係数（発がん性を有するベンゾ[a]ピレンを 1.0 として、他の PAHs の毒性の強さを換算）<sup>⑤</sup> と  $\text{PM}_{2.5}$  中の PAHs 濃度の積の積算値として求められる PAHs 毒性等価換算濃度の公園内外の比は通年で 0.77 であり、特に秋季や冬季の高濃度期に公園内外の濃度差が大きいことから、公園内の高脂質の葉を有する針葉樹により PM 中の有機化合物が除去されることによる健康リスクの低減効果の可能性が示唆された（図 4）。

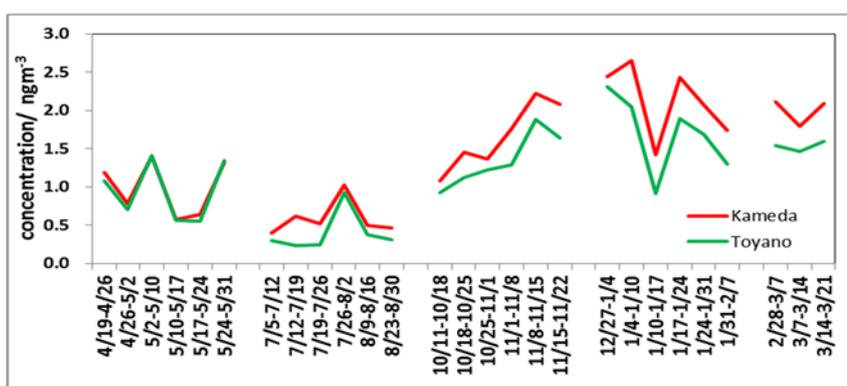


図 4 PM<sub>2.5</sub> の PAHs 毒性等価換算濃度  
(2016 年 4 月-2017 年 3 月)

(4) **有機マーカーによる PM 発生源の推定**：PM<sub>2.5</sub> の発生源や各発生源からの寄与割合を明らかにすることを目的に、公園及び亀田局で採取した PM<sub>2.5</sub> について、イオン、無機元素、炭素成分に加えて、レボグルコサン等の有機マーカー成分を測定したところ、レボグルコサン、マンノサンの濃度は秋季に最も高くなり、アゼライン酸を除くジカルボン酸類は春季、フタル酸は春季と冬季に濃度が高くなることが分かった（図 5）。バイオマス燃焼の影響についてレボグルコサン/マンノサン比、新潟県内における稲わらの処理状況、後方流跡線解析及び Fire Information for Resource Management System (FIRMS) による Fire spot の検出結果等を

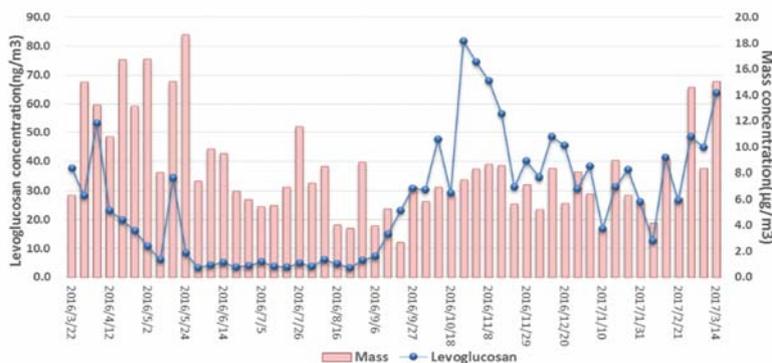


図 5 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度と PM<sub>2.5</sub> 中レボグルコサン濃度（亀田局）

用いて考察したところ、新潟市は秋～冬季には中国東北部で行われたバイオマス燃焼の越境汚染の影響を受けており、さらにその詳細内訳として、秋季は主に open burning、晩秋～冬季は主に家庭用燃料の燃焼の際に生じた PM2.5 の影響を受けていることが推測された。イオン成分等にこれらの有機マーカー成分も加えて PMF (Positive Matrix Factorization) モデルによる発生源解析を行った結果、PM2.5 の発生源として通年では 2 次生成硫酸塩の寄与が最も大きく、次いで 2 次生成有機粒子、バイオマス燃焼の順となり、石炭燃焼や石油燃焼といった化石燃料の燃焼による影響は少ないことが明らかとなった (図 6)。

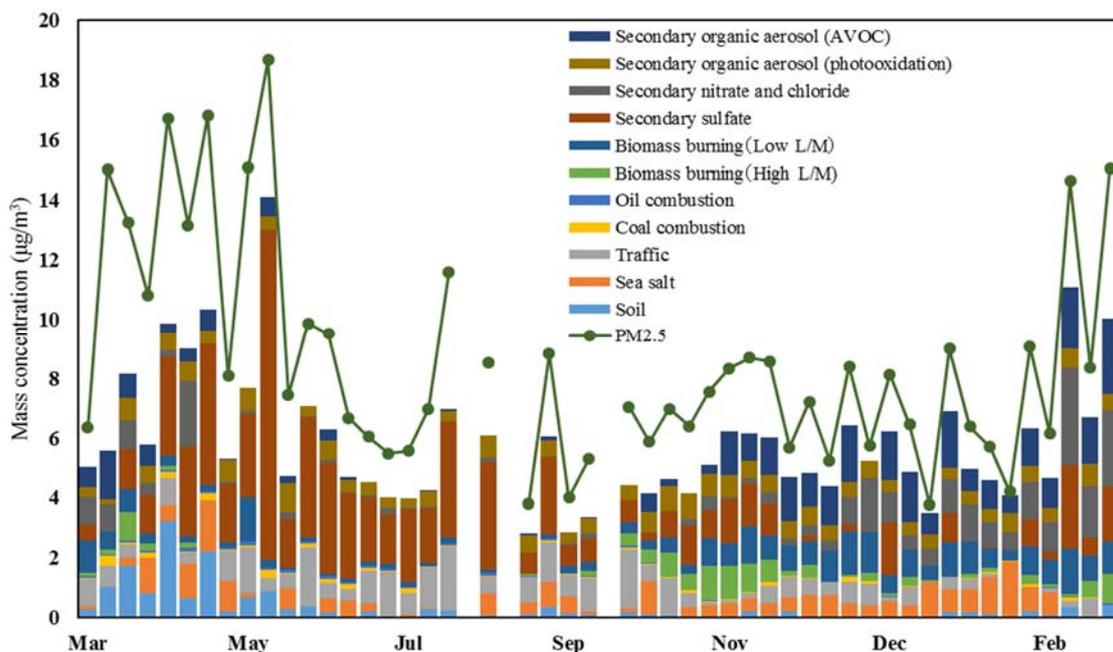


図 6 亀田局における各因子の PM2.5 質量濃度への寄与割合 (2016-2017)

<引用文献>

- ① 環境省, 環境大気常時監視マニュアル第 6 版, 2010.
- ② 環境省, 大気中微小粒子状物質 (PM2.5) 成分測定マニュアル (2012), [www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html](http://www.env.go.jp/air/osen/pm/ca/manual.html) (2019.6.20 アクセス).
- ③ Sase H et al., Deposition Process of Sulfate and Elemental Carbon in Japanese and Thai Forests, Asian Journal of Atmospheric Environment, 2012, 6, 246-258.
- ④ Han YM et al., Different characteristics of char and soot in the atmosphere and their ratio as an indicator for source identification in Xi'an, China. Atmos. Chem. Phys., 2010, 10, 595-607.
- ⑤ 橋本正史・山岸豊, 多環芳香族炭化水素(PAH)の健康(発がん)リスク評価手法, 大気環境学会誌, 39, 2004, 119~136.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9 件)

- ① 武直子, 大泉毅, 高橋司, 高橋雅昭, 諸橋将雪, 佐瀬裕之, 中田誠, 新潟市内の公園における粒径別 PAHs 観測, 第 59 回大気環境学会年会, 九州大学 (2018).
- ② 高橋司, 武直子, 諸橋将雪, 高橋雅昭, 佐瀬裕之, 大泉毅, 新潟市における PM2.5 有機マーカー成分の特徴について, 第 59 回大気環境学会年会, 九州大学, (2018).
- ③ 武直子, 大泉毅, 高橋司, 高橋雅昭, 諸橋将雪, 佐瀬裕之, 中田誠, 新潟市内の公園における PM2.5 濃度の測定 (第二報), 第 58 回大気環境学会年会, 兵庫医療大学 (2017).
- ④ 高橋司, 武直子, 諸橋将雪, 高橋雅昭, 佐瀬裕之, 大泉毅, 箕浦宏明, 新潟市内における PM2.5 有機マーカー成分の特徴について, 第 58 回大気環境学会年会, 兵庫医療大学 (2017).
- ⑤ 佐瀬裕之, 小橋阜平, 諸橋将雪, 武直子, 高橋司, 高橋雅昭, 中田誠, 大泉毅, 大気沈着における境界面としての樹冠の役割, 「森林生態系の生物・環境モニタリング」第 11 回ワークショップ, 銀座ビジネスセンター (2017).
- ⑥ 佐瀬裕之, 小橋阜平, 諸橋将雪, 武直子, 高橋司, 高橋雅昭, 中田誠, 大泉毅, 大気沈着における境界面としての樹冠の役割, 第 128 回日本森林学会大会, 鹿児島大学 (2017).
- ⑦ Sase, H, Kobashi, K, Morohashi, M, Take, N, Takahashi, M, Takahashi, T, Nakata, M, Ohizumi, T, Removal of elemental carbon from the atmosphere by tree canopies in a city

park in Niigata, central Japan, The Second Asian Air Pollution Workshop, Research Center for Eco-Environmental Sciences (RCEES), Chinese Academy of Science (CAS), Beijing, China (2016).

- ⑧ 武直子, 大泉毅, 高橋司, 高橋雅昭, 諸橋将雪, 小橋阜平, 佐瀬裕之, 新潟市内の公園におけるPM2.5濃度の測定, 第57回大気環境学会年会, 北海道大学 (2016).
- ⑨ Sase, H., Ohizumi, T., Morohashi, M, Kobashi, K, Take, N., Takahashi, M, Matsuda, K, Nakata, M, Removal of particulate matters from atmosphere by tree canopies in Niigata, central Japan, The 1<sup>st</sup> Asian Air Pollution Workshop, Tokyo University, Japan (2015).

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：佐瀬 裕之

ローマ字氏名：(SASE, hiroyuki)

所属研究機関名：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

部局名：生態影響研究部

職名：部長

研究者番号 (8桁)：20450801

研究分担者氏名：武 直子

ローマ字氏名：(TAKE, naoko)

所属研究機関名：新潟県保健環境科学研究所

部局名：大気科学科

職名：専門研究員

研究者番号 (8桁)：00633679

研究分担者氏名：高橋 司

ローマ字氏名：(TAKAHASHI, tsukasa)

所属研究機関名：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

部局名：大気圏研究部

職名：研究員

研究者番号 (8桁)：60782688

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。