

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340018

研究課題名(和文) フィールド観測と風洞実験による里山の大气浄化機構の解明

研究課題名(英文) Analysis of air purification in a woodland by field observation and wind tunnel experiment

研究代表者

市川 陽一 (ICHIKAWA, Yoichi)

龍谷大学・理工学部・教授

研究者番号：10371353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：滋賀県瀬田丘陵の里山、龍谷の森で大気汚染物質の濃度を観測したところ、樹冠から林床にかけて濃度が減少した。この濃度減少は樹木への沈着だけでなく、樹木の遮風効果によっても起こる。樹木模型を用いたトレーサガス拡散の風洞実験を行い、里山における大気浄化におよぼす両者の効果を区別した。また、龍谷の森はオゾンのシンクになっていることがわかった。微小粒子状物質PM2.5については、瀬田丘陵で観測した化学成分を近隣の市街地と比較し、自動車排ガスの影響による差を見いだした。

研究成果の概要(英文)：A decrease in the air pollutants concentration from the top of canopy to the forest floor was observed in the Ryukoku forest at Seta Hill in Shiga Prefecture. The decrease is due to not only the deposition onto leaf surfaces but also the effect of a tree wind break. We carried out wind tunnel experiment for the transport and dispersion in model trees and classified air purification in a woodland into the deposition of air pollutants and the effect of a tree wind break. We found that the Ryukoku forest was a net sink of ozone. For fine particulate matter PM2.5, the chemical component data at the Seta Hill were compared with those in the nearby urban area. There was the difference due to the influence of local sources such as automobile exhaust gases.

研究分野：大気環境工学

キーワード：里山 大気汚染 大気浄化 樹木 風洞実験 オゾン 窒素酸化物 PM2.5

## 1. 研究開始当初の背景

原始的な自然を保護するだけでなく、人間の営みによって維持されてきた二次的自然地域の持続可能な利用の重要性が認識され、生物多様性条約第10回締約国会議(2010年、名古屋開催)を契機に SATOYAMA イニシアティブの効果的な推進が謳われるようになった(①環境省自然環境局)。都市近郊の山林である里山においては、動物、植物、生態系に関する調査、研究や、自然との触れ合いや環境教育の場としての活動が精力的に行われている。しかし、里山をとりまく大気環境の物理、化学的な観点からの体系的な取り組みはなかった。

また、里山をとりまく都市や近郊の大気質は改善が見られるものの、依然として環境基準が達成できないオゾン  $O_3$  や近年社会的騒動になった微小粒子状物質  $PM_{2.5}$  などの問題があり、十分とは言えない。樹木の設置、配置の工夫によって大気汚染を緩和することができ、それに樹木の吸着作用が貢献することは知られているが、樹木のような通風性の障害物の流体力学的観点からの貢献については不明であった。

## 2. 研究の目的

フィールド観測と風洞実験をもとに、里山における大気汚染物質の浄化作用の実態把握およびその機構解明を行う。そのため、以下の3項目について明らかにする。

### (1) フィールド観測による大気質の実態把握

大規模森林内における  $O_3$  濃度や、酸性沈着の特性については、これまで実態や機構に関する研究成果が得られている。しかし、里山のような小規模な森における大気質については調査すら実施されていなかった。また、森林の場所や構成する樹種、大気汚染物質によって大気質の特性は変わる。そこで、本研究では龍谷大学および隣接の里山(龍谷の森)において、タワーや大学の施設を利用して、 $O_3$ 、窒素酸化物  $NO_x$  (一酸化窒素  $NO$ 、二酸化窒素  $NO_2$ )、 $PM_{2.5}$ 、揮発性有機化合物  $VOCs$  の濃度特性を把握し、林内における生成・消滅機構を明らかにする。

### (2) 風洞実験による林内濃度減衰の機構解明

里山内外における大気質特性の違いの主要な機構の一つは、樹冠による乾性沈着や樹木による吸着である。本機構による濃度減衰については既往の研究があり、ある程度の知見が得られている。もう一つの主要な機構は樹木があることによる流体力学的な特性の違いである。一般に障害物がある場合に、気流は障害物乗り越えることが知られており、ビルや谷間内の拡散についてはよく研究されている。しかし、樹木のような通風性の障害物がある場合の大気汚染物質の輸送、拡散現象に関する報告事例は少ない。ましてや、本機構を里山林内の濃度分布の実態と関連

づけて研究した事例はなかった。そこで、本研究では風洞実験により、流体力学的な効果として樹木が林内の濃度減衰に及ぼす効果を定量的に明らかにする。また、沈着や吸着による効果と流体力学的な効果の寄与を区別する。

### (3) 都市大気改善策の提案

都市建物と樹木が複合した風洞実験により、都市大気改善に適した樹木の配置を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) フィールド観測による大気質の実態把握

滋賀県瀬田丘陵に位置する龍谷大学瀬田学舎と隣接する龍谷の森をフィールドとして、大気質の特性把握を行った。龍谷の森は38haの里山で、コナラ、ソヨゴ、アカマツ、ヒノキなどの樹高15~20m程度の林からなる。里山の中央部には樹冠を超える高さ25mの観測タワーが設置されている。

分子拡散の原理を利用したパッシブサンプラー(小川商会)により  $O_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$  濃度の観測を行った。サンプラーは3~5日間設置し、回収後、 $O_3$ の測定ではフィルターから硝酸イオン、 $NO$ 、 $NO_2$ の測定では亜硝酸イオンを抽出し、それぞれイオンクロマトグラフ(Dionex DX-500, ISC-1100)、吸光光度計(島津製作所 UV2550)で定量した。サンプリング地点は学舎構内と龍谷の森内で地表近くに合計10数箇所とした。また、学舎内の建物、龍谷の森内の観測タワーを利用して濃度の鉛直分布を測定した。観測タワーでは樹冠の上空、キャノピー層内、トランクスペースに合計最大12地点、サンプラーを設置した。

$O_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 濃度の5分ごとの濃度変動を把握するために、 $O_3$ については学舎内と龍谷の森内に紫外線吸収方式の自動計測器(ダイレック MODEL1100)、 $NO$ 、 $NO_2$ については化学発光方式の自動計測器(紀本電子工業 NA-623)を龍谷の森内に設置した。 $VOCs$ は龍谷の森内外で TenaxTA (60/80mesh、ジエールサイエンス)を充填した捕集管で捕集し、ガスクロマトグラフ質量分析装置 GCMS(島津製作所 QP2010)で分析した。

学舎内の  $PM_{2.5}$ ならびに粗大粒子  $PM_c$ (浮遊粒子状物質  $SPM$  から  $PM_{2.5}$ を除いたもの)の捕集及び質量濃度の1時間ごとの連続測定には、ベータ線式微小粒子状物質自動計測器(紀本電子工業 PM-712)を用いた。龍谷の森内の  $PM_{2.5}$ の捕集は分粒装置付きのダストセンサー(柴田科学 PDS-2改良型)で行った。 $PM_{2.5}$ と  $PM_c$ の無機イオンはイオンクロマトグラフ(陽イオンは島津製作所 PIA-1000、陰イオンは Dionex DX-500, ISC-1100)で分析した。金属元素成分の分析は、エネルギー分散型 X線分光器 EDS 付き走査型電子顕微鏡 SEM(日本電子 JED-2110/JSM-5410, JSM-6010LA)で行った。 $PM_{2.5}$ の長距離輸送は米国海洋大気庁 NOAA の HYSPLIT モデル(Trajectory モデル、

Volcanic Ash モデル) で解析した。

上記の観測にあわせて、魚眼光学センサー (LI-COR LAI-2000) による樹木の葉面積指数 LAI や、全天日射量 (プリード PCM-3A)、風向・風速、気温、湿度などの気象データも収集した。

### (2) 風洞実験による林内濃度減衰の機構解明

風洞実験は気象庁気象研究所で実施した。風洞の全長は50mで、試験区間の長さは18m、幅は3m、高さは2mである。郊外の大気境界層を模擬するために、試験区間入り口に格子とロッドを置き、床面には一辺10mmの立方体を粗度として敷き詰めた。境界層の外側の風速は5m/sである。境界層厚さは280mm、風速のベキ指数は1/7、流れ方向の乱流強度は地表近くで10%を超えた。

トレーサガスはプロパンで実験に応じて濃度を5%と100%に変えた。トレーサガスは内径2mmのΓ型パイプから床面に平行に放出し、サンプリングプローブで吸引して水素炎イオン化検出器 (Beckman Model400) で分析・定量される。放出高さは0~240mm (8箇所) とした。流速はアルゴンレーザを用いたレーザドップラー流速計 LDV (Spectra Physics model2017) とバースト・スペクトラム・アナライザー (Dantec Dynamics F60) で測定した。また、グリセリンを塗布したニクロム線を用いたスモークワイヤ法により流れの可視化を行った。

実験に用いた樹木模型を図1に示す。(a)は板模型で1列に5~6個並んでいる。一つの幅は100mm、キャノピー層の高さは75mm、トランクスペースの高さは25mm、幅は12mmである。キャノピー層には直径6mmの穴を実験により0~36個空けた。(b)と(c)は針葉樹ジオラマ模型 (Plastruct Inc., FIR-90) と円錐3段重ね模型 (3次元プリンターで自作) で、キャノピー層の下部の幅はそれぞれ55mmと100mmである。キャノピー層とトランクスペースの高さは板模型と同じである。樹木模型列間の距離は約10cm、トレーサガスの放出位置は樹木模型列中央地点の風上2mである。樹木模型を対象とした実験にあわせて平地実験も行った。(d)はジオラマ模型 (黒木製作所) 群である。

### (3) 都市大気改善策の提案

風洞や実験方法については(2)と同様である。図1(e)に示すように、長さ600mm、幅100mm、高さ100mmまたは150mmの建物模型を300mm離して2つ置き、その間に樹木模型を2列並べ、建物、樹木の模型列間の中央、地表からトレーサガスを放出した。樹木は高さ75mmのニレとオークのジオラマ模型 (Plastruct Inc., ELM-70 と OAK-70) である。

## 4. 研究成果

### (1) フィールド観測による大気質の実態把握

#### ①オゾン、窒素酸化物、揮発性有機化合物

(a) 板模型



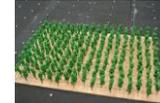
(b) ジオラマ模型



(c) 円錐3段重ね模型



(d) ジオラマ模型群



(e) 建物と樹木模型



図1 風洞実験の模型

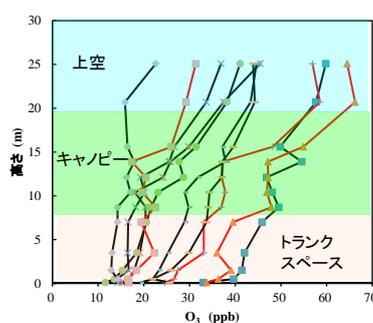


図2 龍谷の森のO<sub>3</sub>濃度の鉛直分布

パッシブサンプラーの測定結果から以下のことが把握できた。観測タワーで観測したO<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>濃度は、年間を通じて樹冠上空からキャノピー層、トランクスペース、林床にかけて減衰した。図2にO<sub>3</sub>の観測例を示す。樹冠上空と林床における濃度比率は年間平均でO<sub>3</sub>が50%、NO<sub>2</sub>が70%であった。これらの濃度減衰はLAIが4を超える夏季に大きかった。NO濃度については減衰が認められず、地表近く(高さ0.1m)で高くなった。学舎内のO<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>濃度の鉛直分布はほぼ一様なケースが多かった。龍谷の森内のO<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>濃度はともに森外より低くなり、水平方向の地表分布はO<sub>3</sub>で変動が大きく、NO<sub>2</sub>ではほぼ一様であった。

龍谷の森における自動計測器による測定結果から、O<sub>3</sub>濃度は日中に高く、夕方以降低くなる傾向があること、日中のO<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>の濃度は負の相関を示すこと、夏季の森内のO<sub>3</sub>濃度は昼夜継続して森外より低いことが得られた。

VOCsについては、龍谷の森内で森外より濃度が高くなったが統計的には有意な差でなかった(t検定、有意水準5%)。森内のイソ

ブレン濃度は日中の方が夜間より高いが、6.1ppt で大きな値ではなかった。 $\alpha$ -ピネンやリモネンなどは夜間に濃度が高かった。

以上から、龍谷の森では樹木の吸着や遮風の効果によると思われる  $O_3$  や  $NO_2$  濃度の減衰が見られる。遮風効果については(2)項で検討する。一般に日中は光化学反応により  $NO_2$  濃度が減少し  $O_3$  が生成される。森の中でも同様のことが起こっている。夜間には日中生成した  $O_3$  が林床の土壌から発生した  $NO$  と反応して減少するタイトレーション効果が働いている。 $O_3$  の方が  $NO_2$  より反応性に富むため、森内の濃度変動が大きかった。VOCs は森の中で発生は見られるものの濃度が低いため  $O_3$  生成の寄与は小さい。龍谷の森では  $O_3$  の生成と消滅の反応が平衡しており、全体としては吸着によって  $O_3$  のシンクとなっている。

龍谷の森を例に  $O_3$ 、 $NO_2$  の濃度減少の実態、 $O_3$  がシンクとなるメカニズムが把握できた。里山における大気浄化を評価する事例として有益である。大気浄化の程度は里山によって異なるため本研究のような事例を積み重ねる必要がある。

## ②粒子状物質

瀬田丘陵の  $PM_{2.5}$  濃度が環境基準を超える高濃度となる主な原因は黄砂であった。黄砂飛来時には、SEM-EDS による金属成分の分析の結果、Al、Ca、Fe、Mg、Si などの黄砂の成分元素が強く検出された。また、越境汚染や国内都市部から発生した硫酸化物などの人為起源の影響が大きい、桜島噴煙の影響を受けることもあった。

無機イオン成分の分析の結果、年間を通じて硝酸イオン  $NO_3^-$  よりも硫酸イオン  $SO_4^{2-}$  が卓越していること、 $SO_4^{2-}$  は主に微小粒子側に  $(NH_4)_2SO_4$  の形で存在すること、 $NO_3^-$  は  $SO_4^{2-}$  と比べると微小粒子、粗大粒子の両方に存在するが夏季には粒子からほとんど揮散することがわかった。

$PM_{2.5}$  に含まれるアンモニウムイオン  $NH_4^+$  と  $SO_4^{2-}$  の変動は基本的に連動していた。これは  $NH_4^+$  と  $SO_4^{2-}$  の前駆物質であるアンモニア  $NH_3$  と二酸化硫黄  $SO_2$  の排出量分布が概ね一致しているためである。しかし、2013年の夏季のように桜島噴火と高温弱風の影響で  $SO_4^{2-}$  濃度が大きな値を示すときもあった。また、冬季には  $NO_3^-$  が  $NH_4^+$  と結合し粒子中に存在したため  $NH_4^+$  濃度が高くなる傾向があった。瀬田丘陵の  $NH_4^+$  と  $SO_4^{2-}$  の比は 0.79 で、沖縄辺土岬の 0.56 より高く、瀬田丘陵近隣の天津市街地の 1.32 より低かった。瀬田丘陵の値が沖縄県辺土岬より高いのは国内の  $NH_3$  の発生源の影響を受けたため、市街地より低いのは自動車排ガスなどの局地的な  $NH_3$  の発生源の影響を受けにくいためと考えられる。

瀬田丘陵の  $PM_{2.5}$  の  $NO_3^-$  濃度は天津市街地の 1/3 程度であった。これは、瀬田丘陵は市街地ほど自動車排ガスの影響を受けていないためと考えられる。 $PM_{2.5}$  濃度が高い日には瀬田丘陵の方が市街地より  $NH_4^+$  濃度が低かった。

主要な無機イオンに対する瀬田丘陵の  $NH_4^+$  の割合はアメリカの農業地域と同程度であった。瀬田丘陵の  $NH_4^+$  濃度に周辺の森や田園の影響はあるものの、市街地と比べて自動車排ガスの寄与が小さいと言える。龍谷の森内では  $PM_{2.5}$  の質量濃度や  $SO_4^{2-}$  濃度は低かった。これは樹木が森の中への大気汚染物質の輸送を妨げる遮風効果のためと考えられる。

滋賀県は  $PM_{2.5}$  の環境基準の達成と非達成の境にある重要な地域にもかかわらず、実態把握が遅れていた。わが国の  $PM_{2.5}$  の動態を把握する上で重要な滋賀県で初めて、 $PM_{2.5}$  の体系的な研究結果を得た。また、森や里山が点在する丘陵地帯で  $PM_{2.5}$  の実態が明らかにされたことは、東アジアの越境汚染の解析や、市街地との違い、里山の影響などを把握する上で有益である。最近  $PM_{2.5}$  濃度の低下が見られるが中長期的な変動を把握するとともに、森や里山が  $PM_{2.5}$  の成分におよぼす効果についても評価する必要がある。

## (2)風洞実験による林内濃度減衰の機構解明

### ①通風率の影響

樹木の模型と実物の通風率を相似させることによって、樹木後方の風速分布を再現できると言われている。本研究では、板模型のキャノピー層部分に直径6mmの穴を0、6、12、18、36個(開口率0~14%)空けて通風率の影響を検討した。トレーサガス濃度の鉛直分布は板模型2列の中央地点で測定した。樹冠の下方で、穴36個の濃度は穴0や6個の濃度よりおよそ20~30%高かった。穴36個と12、18個の違いは約10%であった。穴0個は通風がないため樹木としては現実的でない。常緑針葉樹の中には通風率(開口率に相当)が12%の樹種が報告されている。そこで、以下の実験では穴36個の板模型を選択した。

### ②樹冠の影響

森は樹冠、キャノピー層、トランクスペースで構成されている。大気汚染物質の動態を知る上で、樹冠を通した流出入は重要である。樹冠設置の有無別に、板模型4列(穴36個)の中央地点でトレーサガス濃度の鉛直分布を測定した。樹冠模型として開口率0、15、28%の金網を用いた。樹冠があるとき(開口率0~28%)とないとき(開口率100%)で濃度分布に大きな差は現れなかった。これは、トレーサガスは主に穴を開けたキャノピー層やトランクスペースから森の中に流入したためである。このことはスモークワイヤ法による可視化実験やLDVの測定でも確認した。樹冠高さで風速は弱く、樹冠の上下で風向きが逆であったため、瞬間的には樹冠を通したトレーサガスの流出入はあるが正味の量は少ない。

### ③龍谷の森の観測結果の再現

龍谷の森の外(龍谷大学瀬田学舎)で観測された  $NO_2$  濃度の鉛直分布はほぼ同様であった。これは、様々の放出高さからの排ガスの影響を受けているためと考えられる。そこで、

各放出高さに対する風洞実験の濃度分布を積算平均して評価することにした。樹木模型の風洞実験は板模型 2、4、8 列（穴 36 個、樹冠なし）で行った。トレーサガスの測定位置は樹木列中央である。図 3 に龍谷の森の NO<sub>2</sub> 濃度の鉛直分布と風洞実験から求めた結果を示す。風洞実験で各放出高さに対する結果を積算平均する際、平地で一樣な鉛直分布になるように放出高さごとに重み付けした。濃度は平地あるいは龍谷の森の外の樹冠高さにおける濃度で正規化している。板模型 2、4、8 列の樹冠下方の濃度は、それぞれ平地の濃度と比べて 5、30、50%減少している。年間平均の NO<sub>2</sub> 濃度分布は 2 列と 4 列の風洞実験結果の間にある。風洞実験の結果はキャノピー層やトランクスペースで濃度が一樣になっている。一方、龍谷の森での観測結果は樹冠から林床にかけて徐々に減少している。森の中の全体的な濃度減少は樹木の遮風効果、濃度勾配は風洞実験では再現できない樹木による吸着効果と考えることができる。板模型 4 列の結果は夏季の NO<sub>2</sub> 濃度の観測結果に近い。これは板模型 4 列と龍谷の森で LAI が高くなる夏季の通風率が同程度であることによる。

#### ④ 樹木模型形状・樹木模型内測定位置の影響

図 1(a)～(c)の樹木模型 2 列の風洞実験では、積算平均した樹木列内の鉛直濃度分布は一樣で、三者に大きな違いは見られなかった。ただし、個別の放出高さの濃度分布には違いがあるので、一樣化のメカニズムは異なる。図 1(d)のようにジオラマ模型を 104～207 本敷き詰めて森を再現した風洞実験結果から以下のことがわかった。樹木密度が密な場合は森内でトレーサガス濃度の一樣化が見られたが粗の場合には顕著でなかった。また、森内の濃度分布が相似になるには樹木高さの 4～5 倍の吹走距離が必要である。

樹木模型の風洞実験により森の中の大気汚染物質の輸送・拡散現象を模擬した。このようなシミュレーションは国内外において事例がなく本研究が初めてである。本風洞実験により、森の大気汚染物質の浄化作用のメカニズムである吸着効果と遮風効果を区別

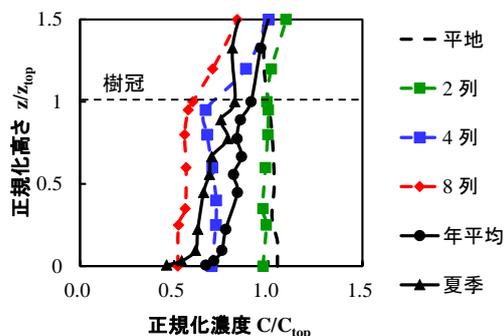


図 3 龍谷の森の NO<sub>2</sub> の観測結果（年平均、夏季）と風洞実験結果（平地、2 列～8 列）の比較（ $z_{top}$  は樹冠高さ、 $C_{top}$  は  $z_{top}$  の濃度）

することができた。より現実的な森の再現は今後の課題である。

#### (3) 都市大気改善策の提案

風洞実験の結果、建物高さの 3/4 の樹高のオークを樹冠間に隙間があるように配置したとき、建物間（ストリートキャニオン）の大気汚染が緩和した。樹木を樹冠が接するように密に配置すると、汚染物質の上空への輸送・拡散が抑制されて地表近くは濃度が高くなる。建物高さが高いと汚染物質の上空への輸送・拡散が抑制され、エルムの場合はオークより遮風効果が小さいため地表の道路際では大気汚染の緩和効果は小さかった。

ストリートキャニオンを対象とした大気汚染の研究は多いが、樹木まで含めた事例は少ない。地表付近では遮風するように、上空へは輸送・拡散が促進するように樹木を配置することの重要性が得られた。実用にあたっては建物と樹木の形状、位置関係などを詳細に検討する必要がある。

#### <引用文献>

①環境省自然環境局、里地里山の保全・活用 SATOYAMA イニシアティブとは、<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/initiative.html> (2106.5.31 アクセス)

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

①三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における PM<sub>2.5</sub> の無機イオン成分の解析、環境技術、査読有、45 巻 3 号、2016、pp. 146-154

② Mouri, H., Mathematical model for logarithmic scaling of velocity fluctuations in wall turbulence, Physical Review, 査読有、vol. 92, 2015, pp. 063003-1-4, 10.1103/PhysRevE.92.063003

③ Ichikawa, Y., Mukai, S., Nishimoto, M., Mouri, H., Hori, A., Analysis of air purification in a woodland by field observation and wind tunnel experiment, International Journal of Environmental Pollution and Remediation, Vol. 3, 査読有、2015, pp. 33-41, 10.11159/ijepr.2015.005

④三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における微小粒子状物質 PM<sub>2.5</sub> の 2013 年の高濃度解析、土木学会論文集 G (環境)、査読有、70 巻 5 号 2014、pp. I\_71-I\_77、[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/70/5/70\\_I\\_71/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej/70/5/70_I_71/_article/-char/ja/)

〔学会発表〕(計 21 件)

①市川陽一、森の中の大気汚染物質の輸送と拡散—滋賀県瀬田丘陵の里山での観測と風洞実験、大気環境学会近畿支部研究発表会（招待講演）、2015 年 12 月 25 日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

②前田朋也、坪井歩、嶋寺光、近藤明、市川

陽一、滋賀県里山林内におけるオゾン濃度の日内変動、大気環境学会近畿支部研究発表会、2015年12月25日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

③ Ichikawa, Y., Mukai, S., Nishibori, D., Mouri, H., Kawabata, Y., Hori, A., Influence of the shape of trees on atmospheric dispersion in a forest, The 13th International Conference on Atmospheric Science and Applications to Air Quality (ASAAQ13) (国際会議), 2015年11月13日、Kobe International Conference Center（兵庫県・神戸市）

④ 市川陽一、向井駿介、西堀太貴、毛利英明、川端康弘、堀晃浩、都市と森のキャノピー層内の大気拡散(5)樹木形状の影響、大気環境学会年会、2015年9月15日、早稲田大学（東京都・新宿区）

⑤ 前田朋也、市川陽一、乾雄人、近藤明、嶋寺光、滋賀県瀬田丘陵における大気質評価(9)：森林内のBVOCsの実態把握、大気環境学会年会、2015年9月15日、早稲田大学（東京都・新宿区）

⑥ 三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における大気質評価(8)：PM<sub>2.5</sub>の無機イオン成分の動態把握、大気環境学会年会、2015年9月15日、早稲田大学（東京都・新宿区）

⑦ 三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における2014年上期のPM<sub>2.5</sub>の濃度・成分解析、大気環境学会近畿支部研究発表会、2014年12月26日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

⑧ 向井駿介、西堀太貴、市川陽一、毛利英明、川端康弘、堀晃浩、樹木形状が大気拡散の風洞実験におよぼす影響、大気環境学会近畿支部研究発表会、2014年12月26日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

⑨ 市川陽一、西嶋里美、窪田健大、向井駿介、毛利英明、堀晃浩、都市と森のキャノピー層内の大気拡散(4)：建物の風洞実験とCFD計算、大気環境学会年会、2014年9月17日、愛媛大学（愛媛県・松山市）

⑩ 向井駿介、橋本栞、市川陽一、毛利英明、堀晃浩、都市と森のキャノピー層内の大気拡散(3)：森林キャノピー層を対象とした風洞実験と野外観測、大気環境学会年会、2014年9月17日、愛媛大学（愛媛県・松山市）

⑪ 三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における大気質評価(7)：2012年度高濃度日におけるPM<sub>2.5</sub>のイオン成分の解析、大気環境学会年会、2014年9月17日、愛媛大学（愛媛県・松山市）

⑫ 西元将洋、市川陽一、池崎正之、滋賀県瀬田丘陵における大気質評価(6)：里山林内におけるオゾンと窒素酸化物濃度の特性、大気環境学会年会、2014年9月17日、愛媛大学（愛媛県・松山市）

⑬ 三原幸恵、藤本友悠、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵と京阪神地域におけるPM<sub>2.5</sub>濃度の関連性の検討、環境技術学会年次大会、2014

年9月5日、京都大学（京都府・京都市）  
⑭ 三原幸恵、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>の2013年の高濃度解析、土木学会地球環境シンポジウム、2014年9月3日、中央大学駿河台記念館（東京都・千代田区）

⑮ Ichikawa, Y., Nishimoto, M., Mukai, S., Hashimoto, S., Mouri, H., Hori, A., Analysis of air purification in a woodland by field observation and wind tunnel experiment, 4th International Conference on Environmental Pollution and Remediation (国際会議), 2014年8月11日、Prague (Czech Republic)

⑯ 市川陽一、瀬田丘陵大気質の謎：PM<sub>2.5</sub>の飛来は？森の中のオゾンは？、龍谷大学新春技術講演会（招待講演）、2014年1月15日、大津プリンスホテル（滋賀県・大津市）

⑰ 西元将洋、池崎正之、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵におけるオゾンと窒素酸化物濃度の実態把握、大気環境学会近畿支部研究発表会、2013年12月26日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

⑱ 三原幸恵、小林勇介、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における夏季のPM<sub>2.5</sub>の濃度解析、大気環境学会近畿支部研究発表会、2013年12月26日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

⑲ 向井駿介、橋本栞、市川陽一、毛利英明、堀晃浩、樹木とキャノピーを模擬した大気拡散の風洞実験、大気環境学会近畿支部研究発表会、2013年12月26日、大阪府立大学なんばセンター（大阪府・大阪市）

⑳ 市川陽一、佐々木拓也、向井駿介、毛利英明、堀晃浩、前山徳久、都市と森のキャノピー層内の大気拡散(2)通風性構造物の風洞実験、大気環境学会年会、2013年9月19日、朱鷺メッセ（新潟県・新潟市）

㉑ 西元将洋、市川陽一、滋賀県瀬田丘陵における大気質評価(4)里山林内のオゾンと窒素酸化物の季節変動、大気環境学会年会、2013年9月19日、朱鷺メッセ（新潟県・新潟市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

市川 陽一 (ICHIKAWA, Yoichi)  
龍谷大学・理工学部・教授  
研究者番号：10371353

### (2) 研究分担者

毛利 英明 (MOURI, Hideaki)  
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部  
第5研究室・室長  
研究者番号：10354490

### (3) 連携研究者

宮浦 富保 (MIYAUURA, Tomiyasu)  
龍谷大学・理工学部・教授  
研究者番号：90222330