

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00526

研究課題名(和文) 里山における大気汚染物質と熱の輸送・拡散過程の解明

研究課題名(英文) Analysis of atmospheric transport and dispersion of mass and heat in a woodland

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：風洞実験によって森における大気浄化におよぼす流体力学的効果を解析した。樹木密度が大きい森では森の中央でトレーサガスの濃度が最小となった。この現象は樹木密度が大きい都市近郊の里山の二酸化窒素濃度でも確認された。樹木密度が大きいと、森の風下で渦領域ができ、森の風上と風下の両方からトレーサガスが森に流入するためと考えられる。また、都市近郊の里山で温熱環境の観測を行い、里山は場所や時間によっては暑さ指数を1ランク改善する効果があることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、森における大気浄化は樹木による沈着・吸着や森での光解離による消失の観点から議論されてきた。本研究は樹木密度が大きい森では、遮蔽による流体力学的効果が大気汚染物質の輸送に大きく影響をおよぼすことを示した。また、都市近郊の里山で暑熱環境緩和の効果を確認した。近年、自然環境がもつ機能を活用するグリーンインフラの一つの効果として、樹木や森による大気の浄化や熱環境の改善が注目されている。グリーンインフラの導入にあたって、本研究で明らかになった森内外の汚染物質の輸送メカニズムや里山の暑熱環境緩和効果の成果は有益である。

研究成果の概要(英文)：This research aims to investigate the air purification in forests from an aerodynamic perspective by means of wind tunnel experiments. There were minimum concentrations of the tracer gas in the center of a dense forest. Similar field observation results of nitrogen dioxide concentration were obtained in a woodland with a high density of trees near the city. This is because the dense forest induces a recirculation zone behind the forest and the tracer gas inflows into the forest from both the windward and leeward sides. We also observed the thermal environment in the woodland. It was found that the woodland has the effect of improving the heat stress index (WBGT) by one rank depending on the location and time of day.

研究分野：大気環境

キーワード：大気環境 熱環境 里山 森 樹木 大気浄化 風洞実験 グリーンインフラ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2010年に名古屋で開催された生物多様性条約締約国会議を契機に SATOYAMA (里山) イニシアティブの効果的な推進が謳われている。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、人と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きた。しかし、里山がもつ大気浄化や温熱環境改善について物理的な観点からの体系的な取り組みは見あたらなかった。なお、本研究代表者らは先行研究(引用文献①)で里山における大気浄化の実態把握や風洞実験によるメカニズム解明に取り組んでいた。

### 2. 研究の目的

本研究では里山で大気汚染物質と気象の立体的な観測を行い、それらを風洞実験でシミュレーションする。その結果、森や樹木による大気汚染物質の流体力学的な遮蔽効果、森や樹木の温熱環境改善効果、樹冠を介した森上空とキャノピー層の汚染物質と熱の交換に係るメカニズムを明らかにすることを目的とする。これらの結果をもとに里山の内外における物質と熱の輸送・拡散過程を解明する。成果は里山の管理や植林による都市大気汚染、温熱環境の緩和計画に貢献する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 大気汚染物質と温熱環境の立体的な実態把握

滋賀県大津市にある龍谷大学瀬田キャンパスに隣接している里山「龍谷の森」において、大気汚染物質と気象の観測を実施した。龍谷の森は瀬田丘陵のほぼ中央に位置し水平面積は38haである。コナラ、アカマツなど約120種の樹木が生え、樹高は15m程度、樹木密度は870本/haである。葉面積指数LAIは夏季に5.0、冬季に2.6であった。二酸化窒素NO<sub>2</sub>の捕集をパッシブサンプラー(小川商会、OG-SN-S、OG-SN-10)で行い、抽出した亜硝酸イオンを分光光度計で定量することでNO<sub>2</sub>濃度を求めた。サンプラーは森の25m高鉄塔を用いて鉛直濃度分布が把握できるように、また、森の外縁～中央～外縁の地表1.5m高に水平濃度分布が把握できるように設置した。捕集期間は4～8日である。

温熱環境については、瀬田キャンパスと龍谷の森において、JISに適合した電子式湿球黒球温度指数計(京都電子工業、WBGT-213B、以後、電子式指数計)と黒球を使用しない熱中症指数モニター(エー・アンド・デイ、AD-5696、以後、熱中症指数モニター)によって暑さ指数(WBGT、湿球黒球温度)や気温、湿度、サーモグラフィ(アズワン、TIM-03)によって地表面温度の分布を観測した。測定位置は地表面温度を除いて高さ1.5mである。温熱環境による身体影響を把握するために、血圧、脈拍、体表温度に加えて、心拍計(ユニオンツール、WHS-2)とCOCOMI<sup>®</sup>を内蔵したスマートセンシングウェア<sup>®</sup>(東洋紡)によって心拍波形の計測を行った。

気象については、龍谷の森の鉄塔での連続観測に加え、キャンパスと森上空でドローン(ルーチェリサーチ、SPIDER CS-6; DJI、M600Pro)による計測を行った。ドローンには風速計(FT Technologies、FT-702)、温湿度センサー(SENSIRION、SHT35)が搭載されている。また、パーフルオロカーボン(PDCH)を用いたトレーサガス拡散実験を実施した。

#### (2) 風洞実験による輸送・拡散過程の解明

気象庁気象研究所の大型気象風洞装置を用いてトレーサガス拡散実験と気流実験を行った。風洞の試験区間の長さは18m、幅は3m、高さは2mである。トレーサガスは100%のプロパンを用いた。内径2mmのΓ型パイプから床面と平行に放出されたトレーサガスはサンプリングプローブで捕集され、水素炎式全炭化水素分析計(Beckman Industrial、Model400)で分析される。濃度の平均化時間は3minである。気流と変動成分の測定はアルゴンレーザとバースト・スペクトラム・アナライザを組み合わせたレーザドップラー流速計LDV(Spectra-Physics、Stabilite 2017; Dantec Dynamics、60X17)を用いて100Hzで5min間行った。粒子はフォグジェネレータ(Safex、フォグ液Dantec Super)で発生させる。風洞試験区間入口のアンクルや床面の粗度を調整して、熱的に中立な大気境界層の気流特性を再現した。中立状態の実験風速は境界層の外側で5m/sに設定した。

樹木列自身の基本的な気流、拡散特性を把握するために、水平に紐をはったネット、針葉樹模型1列、広葉樹模型1列の実験を行った。ネットの空隙率は33%、50%、67%で高さ30mmと100mmのものを風洞全幅にはった。針葉樹模型、広葉樹模型はそれぞれ黒木製作所の一般樹木模型(高さ40mm、110mm)、丸形一般樹木模型(高さ110mm)である。樹木模型は平板に数mm埋め込む。針葉樹模型は22.5mm間隔で27本、広葉樹模型は50mm間隔で11本をもって1列を構成した。このとき、樹木模型列の中央と風洞幅中央が一致し、樹木どうしが密に触れ合う。トレーサガスの放出位置は樹木列の上流1.55m、風洞幅の中央、高さは60mmである。

森の模型は上述の針葉樹模型、広葉樹模型で製作した。長さ900mm、幅600mmの平板に千鳥状

に 50mm 間隔、207 本で製作した森を「樹木密度小」、格子状に 22.5mm 間隔、1080 本で製作した森を「樹木密度大」とする。樹木密度は樹木密度小で 383 本/m<sup>2</sup>、樹木密度大で 2000 本/m<sup>2</sup>となる。高さ 110mm の針葉樹模型の森については樹木密度小と大、高さ 110mm の広葉樹模型の森については樹木密度小の実験を行った。模型 1 列の場合と同様に、森の幅中央と風洞幅の中央が一致するように設置した。トレーサガスの放出位置は森の前面の上流 1.55m (森の中央からは 2m)、風洞幅の中央、高さは 0、60、120mm である。模型縮率を 1/150 とすると樹木密度大では樹木密度が 890 本/ha となり、龍谷の森の樹木密度 870 本/ha とほぼ相似とみなすことができる。実験は熱的に中立な状態で行うことを基本としたが、針葉樹の樹木密度小については森の上流の床面を 10℃、20℃加熱した実験も行った。加熱実験のみ風速は 3m/s に設定しており、大気との相似においては非常に弱い不安定条件にあたる。また、長さ 900mm、幅 600mm の範囲に龍谷の森の 1/500 の地形模型を製作し、高さ 40mm の針葉樹模型を平板の樹木密度大と同じ配列で 1080 本植えた。図 1 で緑の濃い箇所が地形の高いところである。樹木本数の相似は満たしていないが、通風の観点から十分に密な状態といえる。地形模型を対象に樹木があるときとないときの実験を行った。



図 1 風洞実験状況と森の模型

#### 4. 研究成果

##### (1) 大気汚染物質と温熱環境の立体的な実態把握

##### ①二酸化窒素 NO<sub>2</sub> 濃度の樹冠上空から林床にかけての減少

森の中でのオゾン O<sub>3</sub> などの大気汚染物質濃度の減少については国内外で調査事例が多く、樹冠から林床にかけておよそ 30~50%減少することが報告されている。研究代表者らも先行研究で龍谷の森において O<sub>3</sub> と NO<sub>2</sub> の観測を行い、樹冠上空から林床にかけてほぼ単調に濃度が減少すること、樹冠上空に対する林床の濃度減少は O<sub>3</sub> で 50%、NO<sub>2</sub> で 30%であることを示した。本研究で 2017 年と 2018 年の 8~12 月に森の 25m 高鉄塔を用いて NO<sub>2</sub> 濃度を観測した結果も同様であった。2017 年は 12 回観測、2018 年は 16 回観測の平均で、林床では樹冠上空と比べて濃度がそれぞれ 23% と 47%減少した。龍谷の森において国内外の森と同程度の大気汚染物質の濃度低下を確認した。

##### ②NO<sub>2</sub> 濃度の林縁から森中央にかけての減少

これまで面積が 400m<sup>2</sup> 程度の小さな樹林を除いて、森を横断して大気汚染物質濃度を観測した事例はなかった。本研究では 2017 年と 2018 年の 8~12 月に龍谷の森の外(キャンパス)、林縁、森の中の合計 8~9 箇所で NO<sub>2</sub> の地表濃度を測定した。図 2 は 2017 年 10 回、2018 年 16 回の NO<sub>2</sub> 地表濃度分布である。観測地点①~⑨の位置は図 3 に示されている。特徴的なことは全てのケースで森のほぼ中央⑤、⑥の地点で濃度が最小になったことである。従来、森の中の大気汚染物質の濃度減少は樹木による沈着・吸着の観点から議論されることがほとんどであったが、図 2 に示される森の中央部での濃度の最小は、樹木による遮蔽効果で森の内部に汚染物質が流入しにくいことを示唆している。

図 2 は樹木密度が大きい北東~南西方向の観測結果である。北~南方向でも同様の観測を行い、森の中央部で NO<sub>2</sub> 濃度が最小になる結果を得たが、北東~南西方向と比べると濃度の低下の割合は小さかった。これは北~南方向の遊歩道に沿って風が通りやすくなっていたためと考えられる。このことは森内部の大気汚染物質の濃度分布に通風性、つまり樹木による遮蔽の効果が寄与していることを裏付けている。龍谷の森の北端から南方向に放出したトレーサガス拡散実験では、明確な濃度分布は得られなかったが森の入口付近より出口付近の濃度が高くなるケースがあった。

##### ③暑さ指数 WBGT や気温、地表面温度の森での低下

観測に使用した電子式指数計の測定値を、JIS の WBGT 指数の測定法である電動式アスマン通風乾湿計、ベルノン式 150mm 径グローブサーモメータの測定値で検定したところ、WBGT は 1℃以内、気温は 2℃以内、黒球温度は 5℃以内、相対湿度は 1%以内で一致した。黒球を使用しない熱中症指数モニターでは WBGT は 1℃以内で一致したが、気温は過大、湿度は過小になった。そのため熱中症指数モニターのデータは予め求めておいた電子式指数計との相関式で補正した。

電子式指数計を用いて、キャンパスと龍谷の森で温熱環境の観測を 2017 年 8~9 月の 12 時~14 時半に合計 14 日行った。キャンパスの校地面積は龍谷の森の約 6 割に相当する 23ha で、路面はグラウンドなどを除いてコンクリートなどの保水力、日射反射率が小さい素材である。図 3 に 14 日平均の龍谷の森内外の WBGT 分布を示す。龍谷の森では日本スポーツ協会が定める熱中症予防運動指針で、付近の木が伐採されている森ラボの地点を除いて警戒ランク (25~28℃) であるのに対し、キャンパスでは嚴重警戒ランク (28~31℃) の地点が目立つ。14 日間、全地点平



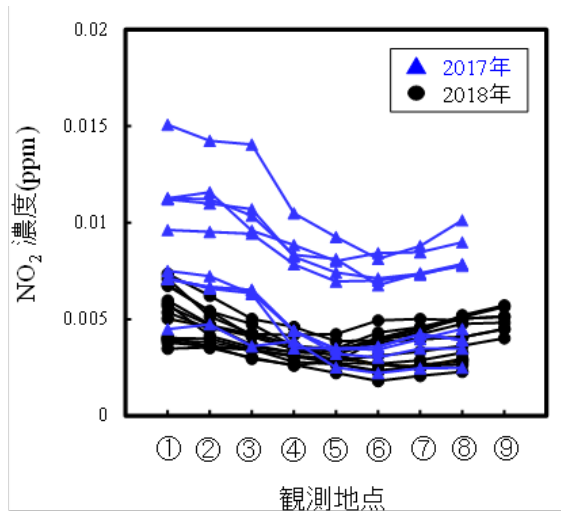
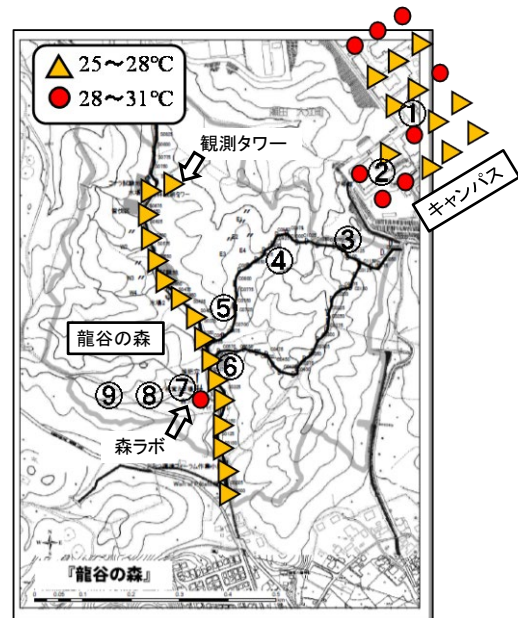


図2 龍谷の森内外のNO<sub>2</sub>濃度の水平分布  
(観測地点①～⑨は図3に示されている。)



地図データ：龍谷大学里山学術センター  
図3 龍谷の森内外のWBGTの分布  
(2017年夏季平均)

均で森のWBGT、気温、黒球温度、地表面温度はキャンパスより、それぞれ1.0℃、2.1℃、4.8℃、17.5℃低かった。相対湿度は森の方が10.4%高かった。WBGTと気温について森で最低になった地点とキャンパスで最高になった地点を比べると、14日平均で森の方がそれぞれ2.7℃、3.8℃低かった。熱中症予防運動指針ではWBGTや気温が3～4℃違うとランクが一つ変わる。

WBGTの経時変化について熱中症指数モニターによって2018年8～9月に合計8回、24時間連続で観測した。夏季平均でみると、森とキャンパスの最大の差は13時に出現し、森が2.9℃低かった。夜間はほとんど差がなかった。

以上から、龍谷の森は暑熱環境を緩和する効果があることを把握できた。

#### ④ 森の影響が樹冠上空におよぶ範囲

ドローンによる気温、相対湿度の観測を2017～2019年の夏季に実施した。2019年7月23日12時50分～13時10分の観測結果例を図4に示す。図には森の25m高鉄塔の観測結果も含んでいる。森は地表面近くで気温が低く、相対湿度が高い。樹冠の高さ15mより上空ではキャンパスの地表面や樹木の影響は小さい。他の観測ケースをあわせると、地表面や樹木の影響はせいぜい地上50～60m程度までしかおよんでいない。

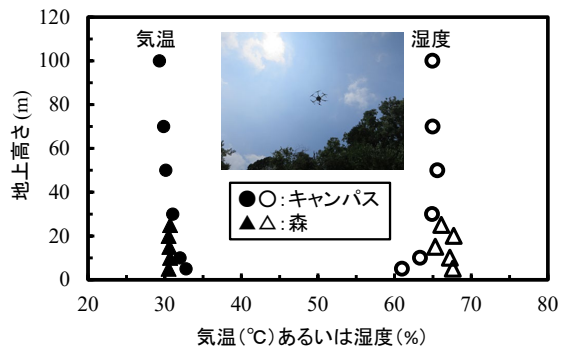


図4 龍谷の森内外の気温、湿度の鉛直分布  
(2019年7月23日13時頃の観測例)

#### ⑤ 森の暑熱環境による身体影響の緩和

20歳代前半の健康な男子が夏季にキャンパスと龍谷の森で運動を行い、その前後あるいは運動中にバイタルサインを計測した。運動は35秒に30回の屈伸と1分間に103回のももあげである。WBGTが28.8℃の森と31.3℃のキャンパスで屈伸運動前後の最高血圧の上昇は前者が23mmHg低かった。ももあげ運動の場合は、夏季10日間の平均でWBGTが28.0℃の森は31.2℃のキャンパスより最高血圧の上昇は5.1mmHg低かった。体表温度の上昇はキャンパス、森とも、また両運動とも高くても1℃程度と小さいが、0.5℃ほど森の方が小さかった。森のWBGTが低い場所では運動中の心拍波形の標準偏差は小さくなり、脈拍が速くなる頻度は少なかった。森は暑熱環境による身体影響を緩和する効果がある事例を示すことができた。

## (2) 風洞実験による輸送・拡散過程の解明

### ① 樹木模型の流体力学的特性

障害物風上、風下の風速低減率分布について、樹木模型の風洞実験結果をWang and Takle (引用文献②)の流体力学計算結果と比較することで空隙率を推定した。高さ110mmの針葉樹模型の空隙率は約30%であった。ネットを用いた風洞実験との比較では空隙率33%の結果に近かった。高さ110mmの広葉樹模型、高さ40mmの針葉樹模型の空隙率は高さ110mmの針葉樹模型の値より数%高かった。高さ110mmの針葉樹模型と広葉樹模型で速度欠損、スカラー量欠損にほとんど差は見られず、樹木背後での渦領域の形成や、キャノピー層上部風下での風速低下、滞留によるト

レーサガス濃度の上昇が確認された。また、トランクスペースではトレーサガスの流入が生じるが風速の増加により濃度は若干減少する。

## ② 森内外の輸送・拡散メカニズム

針葉樹模型の森・樹木密度小と大の風洞実験結果に共通する特徴として、森の幅中央鉛直断面では樹冠上空にトレーサガスが流れ、特に放出高さが 120mm では風下方向に最大濃度の位置が高くなった。これらの現象は樹木密度大で顕著であった。図 5 は地表面～樹木高さに対する積算平均濃度の風下方向の分布である。この図は放出高さが 60mm の結果であるが、放出高さ 0、120mm も同様に、樹木密度小はほぼ単調な濃度減少、樹木密度大は森の中央で最小となる濃度分布を示した。

流れ方向の風速の測定結果では、樹木密度小では森の風下方向に風速が低減するが逆流になることはない。一方、樹木密度大では森中央から出口にかけて、弱いながらもキャノピー層下部からトランクスペースにかけて逆流が生じていた。キャノピー層の水平断面については、樹木密度小では森内部への流れは認められなかったが、樹木密度大では森中央より風下部分で側面や森出口部分からの流入があった。

広葉樹模型の森・樹木密度小の気流・拡散の実験結果は針葉樹模型の森・樹木密度小の結果と同様であった。広葉樹模型は針葉樹模型より投影率（外接する四角形の面積に対する投影面積の割合）が高いため、森内部へのトレーサガスの輸送を若干妨げる。

龍谷の森の地形模型を対象とした実験では、樹木がない場合は森内部でトレーサガスの濃度は単調に減少した。樹木（密度大）がある場合は、森の出口や森内部の風下 1/4 地点のキャノピー層下部において逆流が生じ、森中央や森内部の風下 1/4 の地点で針葉樹模型の森・樹木密度大の結果と同様に濃度の低下が大きかった。森の上流を加熱した実験では、森の幅中央鉛直断面の濃度は、中立状態の実験より拡散が促進され 10～20%程度低くなった。

以上から森内外の輸送・拡散メカニズムとして、樹木密度小の場合、トレーサガスは森内部を樹木に妨げられながら主流風下方向に拡散されること、樹木密度大の場合、トレーサガスは森の風上と風下の両方から森内部へ流入し、森中央で濃度が最小になることが明らかになった。

## ③ 樹冠を介しての物質輸送

針葉樹模型の森・樹木密度小と大を対象に、樹冠直上における鉛直方向の瞬間速度の確率密度分布を求めた。森入口では樹木密度小、大ともに下降流はほとんど出現せず、上昇流は森で遮風されるため樹木密度大の方が強い。また、両樹木密度ともに風下に行くにつれて下降流の出現頻度が高くなった。樹木密度小では森内部の風上 1/4 より風下で、樹木密度大では森内部の風下 1/4 や出口で、樹冠を介したトレーサガスや同じスカラー量である熱の流入がほぼ同等に生じていると考えることができる。樹冠高さにおける流れ方向と鉛直方向の速度変動の相関係数は森入口を除いた平均で、樹木密度小のとき-0.4、樹木密度大のとき-0.2 であった。これは樹木密度大の方が鉛直輸送の抑制が大きいことを意味する。

森を対象に流体力学的観点から汚染物質の輸送・拡散過程のメカニズムを解析した研究事例は、これまで報告されていなかった。風洞実験で得られた樹木密度が大きい森の中央部でトレーサガス濃度が最小を示す結果は、樹木密度が大きい龍谷の森のNO<sub>2</sub>濃度の観測結果と同じである。このことは、遮蔽による流体力学的効果が森内部での濃度減少に寄与することを示している。これまで、森における大気汚染物質の濃度減少は樹木による沈着・吸着や森での光解離による消失の観点から議論されることが多かった。本研究により、今後は実際の森においても流体力学的観点からの検討が必要であると示すことができた。

自然環境がもつ機能を活用するグリーンインフラの一つの効果として、樹木や森による大気の浄化や熱環境の改善が注目されている。グリーンインフラの導入にあたって、本研究で明らかになった森内外の汚染物質の輸送・拡散メカニズムや里山の暑熱環境緩和効果は有益である。

## <引用文献>

①市川陽一、毛利英明、フィールド観測と風洞実験による里山の大気浄化機構の解明、KAKEN、<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-25340018/>、国立情報学研究所（2020.6.2アクセス）

②Wang, H., Takle, E. S.: Momentum budget and shelter mechanism of boundary-layer flow near a shelterbelt, *Boundary-Layer Meteorology*, 82, 1997, 417-435

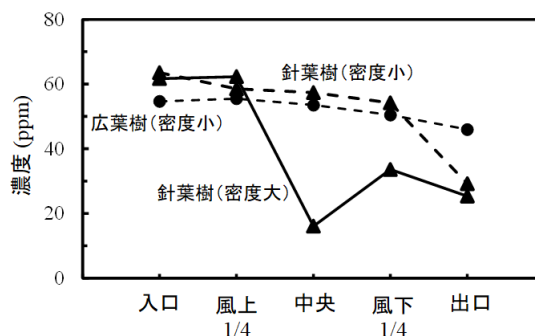


図 5 森内部の地表面～樹木高さの積算平均濃度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 市川 陽一、露木 敬允、薦田 直人、宮元 健太、廣畑 智也、中園 真衣、関 光一、毛利 英明、守永 武史	4. 巻 55
2. 論文標題 森林における大気汚染物質の輸送におよぼす遮蔽による流体力学的効果の解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大気環境学会誌	6. 最初と最後の頁 50 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11298/taiki.55.50">https://doi.org/10.11298/taiki.55.50</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mouri Hideaki, Morinaga Takeshi, Yagi Toshimasa, Mori Kazuyasu	4. 巻 96
2. 論文標題 Logarithmic scaling for fluctuations of a scalar concentration in wall turbulence	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 063101-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.96.063101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 市川陽一、和田佳久、山田侑里、横祐一、田中優介
2. 発表標題 都市近郊の里山による熱環境の改善
3. 学会等名 大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川陽一
2. 発表標題 都市近郊の里山の大气質と熱環境の改善効果
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部植物影響部会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川陽一、露木敬允、薦田直人、廣畑智也、中園真衣、毛利英明、守永武史
2. 発表標題 都市近郊の里山を対象とした大気汚染物質の輸送・拡散の風洞実験
3. 学会等名 大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田佳久、市川陽一
2. 発表標題 龍谷大学瀬田学舎におけるヒートアイランド現象の経時変化の実態把握
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 露木敬允、薦田直人、市川陽一、毛利英明、守永武史
2. 発表標題 風洞実験による森内の気流・拡散解析
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田侑里、田中優介、市川陽一
2. 発表標題 龍谷大学瀬田学舎におけるヒートアイランド現象の実態把握
3. 学会等名 大気環境学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 市川陽一
2. 発表標題 里山の大气質と熱環境の改善効果
3. 学会等名 龍谷大学REC BIZ-NET研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	毛利 英明 (Mouri Hideaki)  (10354490)	気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長  (82109)	
研究分担者	辻本 浩史 (Tsujimoto Hirofumi)  (40747490)	京都大学・防災研究所・特定教授  (14301)	
研究分担者	井上 実 (Inoue Minoru)  (60578954)	一般財団法人日本気象協会・担当部長  (82692)	
研究分担者	佐々木 寛介 (Sasaki Kansuke)  (10578967)	京都大学・防災研究所・特定准教授  (14301)	