

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25709053

研究課題名（和文）海陸風循環が沿岸都市の都市気候形成に及ぼす影響の包括的研究

研究課題名（英文）Research on Sea and Land Breezes Affecting to Urban Climate on Coastal Cities

研究代表者

川本 陽一（KAWAMOTO, Yoichi）

九州大学・芸術工学研究科（研究院）・助教

研究者番号：70569730

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 17,700,000円

研究成果の概要（和文）：都市化の進展により多くの都市でヒートアイランド現象、大気汚染等が都市気候問題として顕在化している。海陸風循環は沿岸都市の都市気候形成や大気汚染物質の輸送過程に多大な影響を及ぼすため、その挙動を正しく評価する必要があるが、上空の風環境の観測データは限られている。本研究では、リモートセンシング機器の一つであるドップラーライダーを用いて都市上空の風環境の観測を行い、観測データを充実させた。また、北九州・福岡大都市圏の気候変化を数値シミュレーションにより検証した。その結果、当該地区の約30年間の都市化の進展により、ヒートアイランド現象が進むだけでなく、福岡都心部に吹き込む海風が弱まる可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Due to the progress of urbanization, problems of urban climate such as urban heat island phenomenon, air pollution, etc. are actualizing in many cities. In the coastal cities, the use of the sea breeze to mitigate the urban heat island phenomenon has attracted attention. However, upper air observations data are limited. In this research, to accumulate data for the urban climate in the Fukuoka-Kitakyushu metropolitan area, the fourth largest metropolitan area in Japan and located in coastal area, upper air observation with Doppler LIDAR were carried out. On the other hand, to represent the progress urbanization over about three decades, the National Land Numerical Information land-use fractions dataset for Japan in 1976 and 2009 were utilized in numerical simulations with a meso-scale meteorological model. The results of this comparison suggested that the urbanization process weakened sea breeze penetration.

研究分野：建築・都市環境工学

キーワード：都市気候 都市環境 ヒートアイランド 風環境 海陸風 リモートセンシング 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

全地球規模のグローバルスケールの気候変動が世界共通の喫緊の課題として取り込まれている一方、産業革命期ロンドンでのヒートアイランド現象の発見以降、都市部でのローカルスケールの気候変動も多く観測され、都市に固有の都市気候と呼ばれている。現在は世界人口の約半数が都市に居住し、都市部での気候変動は今後更に多くの地域、特に急激な都市化が進む一方でインフラ整備が遅れがちである新興国において懸念される。日本では1970年代から東京のヒートアイランド現象に関して研究が進められ、関係府省連絡会議による2004年の「ヒートアイランド対策大綱」の策定を経て、多くの研究が成されてきた。しかし都市化進展による気候変動はヒートアイランド現象に限った問題ではなく、ゲリラ豪雨と俗称される夏期の都市部での短時間強雨と都市化の関連が示唆されており、また都市部を発生源とする汚染物質による大気汚染も、各種規制により改善しているとは言え未だ完全な問題解決を得たとは言いがたい。

都市への人口集中が進む一方、1995年時点で世界人口の39%が海岸線から100 km以内に、29%が50 km以内に、20%が25 km以内に居住している。特にアジアにおいては、メガシティと呼ばれる人口1,000万人以上の都市圏の多くが沿岸部に位置している。沿岸部の都市ではその都市気候形成において海陸風循環が大きな役割を果たす。夏期の都市部の暑熱な環境を緩和するため、日中に発達する海風を市街地へ導入する事を目的とした都市計画が検討されている。一方で大気汚染に着目すれば、海風は都市部に起因する汚染物質を内陸部へ輸送する役割を果たす。また東京首都圏では、都市化の影響により東京湾・相模湾・鹿島灘から進入する海風の収束位置が変わったことでゲリラ豪雨が増加しているとの説、ヒートアイランド現象により都市部で上昇流が発生し都市上空に積乱雲が発達しやすい状況となったとする説があるが、未だ確定的な理解は成されていない。

以上の背景を踏まえ、本研究では沿岸都市を対象とし、観測と数値シミュレーションにより都市気候形成のメカニズムを解明する事を目的とする。

2. 研究の目的

本研究は以下に示す3つの目的から構成される。

(1) 都市形態解析

都市気候の数値シミュレーションで広く利用されるメソスケール気象モデルとは、気象分野で開発された気象予報や気象現象の研究のために用いられる数値シミュレーションモデルである。気象学ではメソスケールとは2~2,000 kmと定義され、都市気候で対象とする現象のスケールに対応する。メソスケール気象モデル中の地表面のエネルギー収支・運動量収支の計算では、従来の都市の取り扱い

は平板を仮定した"Slab Model"と呼ばれる簡素なモデルが用いられていた。それに対し筆者は建物群による影響を統計的に取り扱う「都市キャノピーモデル」と呼ばれるサブモデルを組み込み、建物群による日射・赤外放射の反射や日陰、地表付近の平均風速の低下、等を考慮可能となった。都市キャノピーモデルは筆者らのみが開発しているのではなく、同様のモデルが世界中に存在する。その様な状況下、King's College LondonのGrimmond教授(研究当時)をリーダーとした国際的なモデル相互比較プロジェクトが行われ、筆者らのモデルは観測結果と比較して十分な解析精度を有し、他のモデルと比しても良好な結果が得られた。しかし一方で都市キャノピーモデルの適用は、良好な結果を得るには適切な都市形態が入力値として必要となる。これまでは東京の都市形態に関しては東京都が整備しているGIS(Geographic Information System)データから作成したが、他の地域に関しては現時点ではその様なデータベースが未整備である。また都市キャノピーモデルでは、解析メッシュ内の建物形状を平均値により再現するのが一般的であるが、様々な高さの建物が建ち並ぶ日本の都市で果たして平均値のみで都市形態を再現出来るのか、との問題も残る。上記を踏まえ、日本の詳細な都市形態解析を第1の目的とした。

(2) 都市上空の風環境の観測

既往研究(若手研究(A) H.22~H.24、課題番号:22686053)では東京首都圏上空の観測を行い、東京湾から進入する海風の性状を捉える事が出来た。当該観測ではリモートセンシング機器であるドップラーライダーを使用し、海岸線から近い東京都内と、より内陸に位置する埼玉県内の2点で同時観測を行った。上空の風観測は地上観測に比してデータが少なく、また沿岸部と内陸部での上空風の特性的差異を同時に観測した事が当該観測の特徴であり、データの蓄積は重要である。東京首都圏以外にも沿岸に位置する都市圏は日本に多く、各都市圏での観測データを蓄積する事は沿岸都市の都市気候の一般的な特性の解明のためには欠かす事が出来ない。そこで、九州地方の主要都市である福岡都市圏において、海風を対象とした上空の風観測を夏期に行い観測データを蓄積する事を第2の目的とした。

(3) 都市気候問題の数値シミュレーション

メソスケール気象モデルを用いて、福岡都市圏を対象として沿岸都市の都市気候の包括的な数値シミュレーションを行う事を第3の目的とした。これまではヒートアイランド現象や海風等の個別の事象に着目した数値シミュレーションを行ってきたが、都市気候はそれらが相互に複雑に関連して起こる事象である。沿岸都市の気候変動の全体像を捉えるためにはヒートアイランド現象、海陸風循環等を包括的に検討する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 都市形態解析

日本国内の建物形状を網羅的に収録した「ArcGIS データコレクション詳細地図 2012 全国版」を用い、解析には ArcGIS 10.2 を使用した。当該データセットでは日本国内の 46,974,800 棟の建物形状及び建物高さを含む。ただし、当該データセットでは建物高さについて、階高を一律 3 m とし、階数を乗じた値が収録されているため、実際の建物高さを正確に収録している訳では無い。

集計には基準地域メッシュ(3次メッシュ)に従って分類し行った。基準地域メッシュは緯度 30 秒、経度 45 秒の間隔であり、概ね東西 1 km、南北 1 km の 1 km²の範囲となる。複数のメッシュに跨がる建物については、按分せず建物の重心が含まれるメッシュに含めた。建物を含むメッシュは 1,120,000 メッシュであった。

(2) 都市上空の風環境の観測

2015年8月9日から9月30日と2016年5月11日から6月6日の2期間、九州大学大橋キャンパス(図1)にドップラーライダー Leosphere WINDCUBE V2 を設置し観測を行った。ドップラーライダーは大気中にレーザー光を放射、エアロゾルによる後方散乱光を受信しドップラー効果による周波数変化を解析する事によりエアロゾルの移動速度、即ち上空の風速を計測する観測装置である。ドップラーライダーの設置高度は地上 8 m、計測高度は 40~260 m、高度分解能は 20 m である。

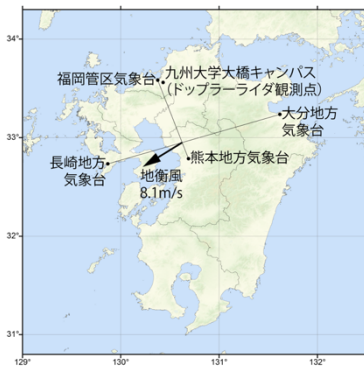


図1 ドップラーライダー観測点

(3) 都市気候問題の数値シミュレーション

本研究では都市化の進展が北九州・福岡大都市圏の夏期の都市気候に及ぼす影響を検討するため、メソスケール気象モデル WRF の地表面モデルに国土数値情報の土地利用 3 次メッシュデータを用いて解析を行った。当該データは最古が昭和 51 (1976) 年度、最新(研究当時)が平成 21 (2009) 年度に作成されており、これらの土地利用データを用いる事で 33 年間の都市化の影響を検討可能となる。2009 年の土地利用データを用いたケース(以下 case 09)を基準として、最古の 1976 年の土地利用データを用いたケース(以下 case 76)

との差異を検証し都市化の影響を検討した。

図2に示す Domain 1(東西 3000km×南北 2500km、水平方向解像度 25km)・2(同 750km×750km、5km)・3(同 200km×180km、1km)を 2-way ネスティングで解析し、Domain 3 の解析値を評価対象とした。

数値シミュレーションでは一部の条件を変更することにより、変更した条件の影響に着目した比較が可能となる。本研究では、同一の気象条件を用いて、地表面の条件、即ち都市化の進展の差異のみを変更し数値シミュレーションを行った。

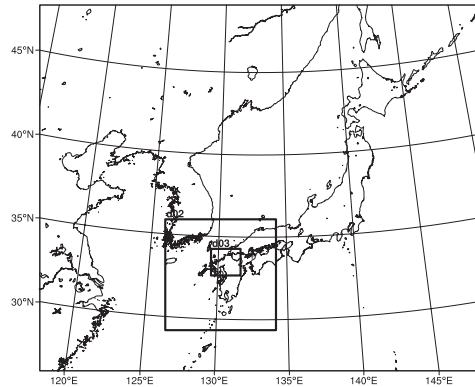


図2 数値シミュレーション 解析領域

4. 研究成果

(1) 都市形態解析

日本国内 46,974,800 棟の建物高さのヒストグラムを図3に示す。なお図3では省略しているが、建物高さ 174 m が 2 棟、177 m が 1 棟、180 m が 2 棟、210 m (ランドマークタワー) が 1 棟、234 m (福岡タワー) が 1 棟、333 m (東京タワー) が 1 棟、810 m (東京スカイツリー) が 1 棟であった。

高さ 6 m (2 階建て) の建物が 95.0% を占めるため、平均建物高さは 6.289 m であった。また分布性状は正規分布とならず、冪分布となった。冪分布は地震の規模と発生頻度の関係を示すグーテンベルグ・リヒター則などの自然現象や、経済において 80:20 の法則とも呼ばれるパレートの法則などの社会現象で見られる分布性状である。

都市キャノピーモデルでは建物群を統計的に取り扱うことから、ある程度の棟数を含むデータより論じる必要性があるため、以降は 1 メッシュに 1,000 棟以上の建物を含むメッシュを対象とする。建物データを含む 1,120,000 メッシュのうち建物棟数が 1,000 棟を超えるのは 14,347 メッシュ (1.28%) であった。この内、建物高さ平均値が最大である東京都千代田区丸の内 (3 次メッシュコード 53394611)、建物高さ標準偏差が最大である東京都新宿区西新宿 (同 53394525)、建物棟数が最大である福岡県北九州市小倉南区 (同 50306711) の建物高さのヒストグラムを図4に示す。これら 3 メッシュに関しては、建物高さは正規分布を示さず、冪分布に近い分布性状を示した。

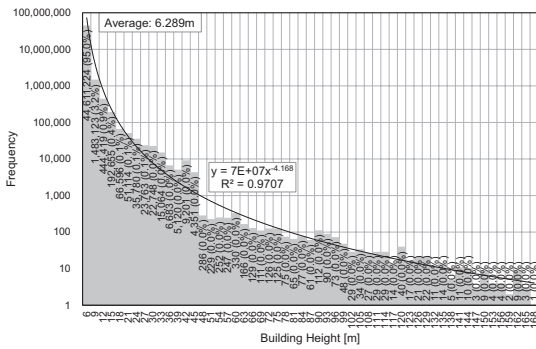
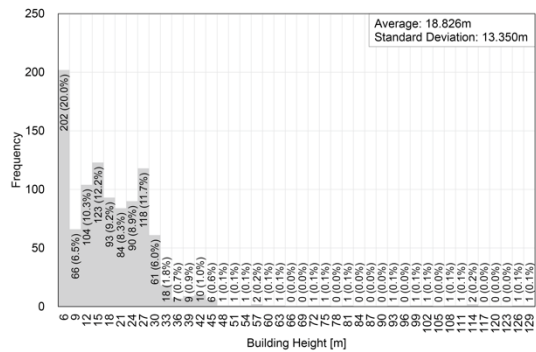
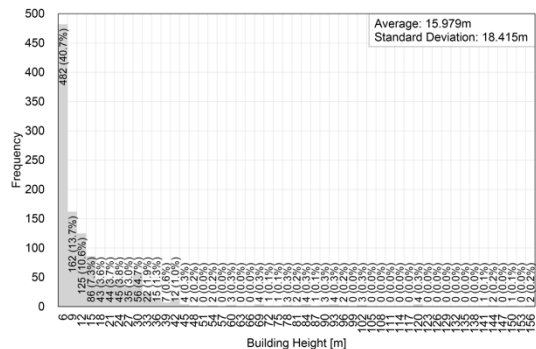


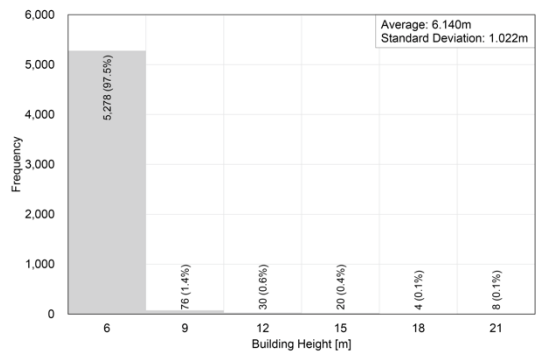
図3 建物高さヒストグラム (全国)
(縦軸は対数軸)



a) 丸の内



b) 西新宿



c) 小倉南

図4 メッシュ内建物高さヒストグラム

本研究では限られた数のメッシュであるが、建物高さの分布性状について報告した。この知見を元に、日本全域を対象とした都市キャンピーモデルの入力値としての街区形状データを整備する事が今後の課題である。

(2) 都市上空の風環境の観測

ドップラーライダー観測点は博多湾より南南東約 6 km に位置しているため、本研究では海風の風向を西北西 (292.5°) から北北東 (22.5°) の範囲とした。また風向に加え、ドップラーライダーにより観測された 12 高度の風速の平均値が 2 m/s を超えた場合を海風の進入と判定した。

海風は、日射による海面と陸面との温度差により生じる。また、広域の気圧傾度が小さい時により明瞭に観測される。そのため本報では、観測期間中に福岡管区気象台で日照時間が 12.0 時間 (日積算日射量 24.2 MJ/m²) と最大であった 2015 年 9 月 11 日の結果を示す。当該日は一日を通して雲量は 1 オクタ未満であり、快晴であった。また当該日の日平均海面気圧は、福岡管区気象台 1011.2 hPa、熊本地方気象台 1010.5 hPa、長崎地方気象台 1010.9 hPa、大分県気象台 1010.7 hPa であり、これらの気圧傾度力から算出した北部九州の地衡風は東北東 8.1m/s となり (図 1)、観測地点における海風の風向とは異なる。

図 5 にドップラーライダー観測による風速ベクトルの時間高度断面図を示す。09:00 より北寄りの風が吹き始めるが風速は低く、10:00 以降に 12 高度平均で 2 m/s を超える北寄りの風が観測された。

本研究では、春期及び夏期の福岡上空の海風を対象とし、ドップラーライダーを用いた観測を行い、観測データの充実を図った。今後は得られた観測データを用い、数値シミュレーションの精度検証や解析モデルの改良に役立てる。

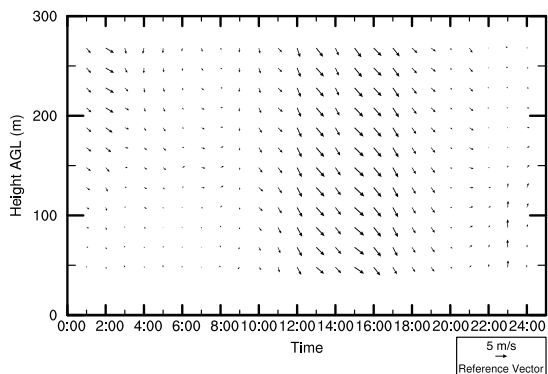


図5 風速ベクトル時間高度断面図
(2015年9月11日)

(3) 都市気候問題の数値シミュレーション

①都市化の進展がヒートアイランド現象に及ぼす影響

ヒートアイランド監視報告によると、北九州・福岡大都市圏の中心となる福岡は、夏期の最低気温の上昇が著しい。そこで本研究では、福岡県内での夏期の熱帯夜の発生日数に着目し検討した。

解析期間は、西日本で夏平均気温が 1946 年の統計開始以降で最も高い 2013 年 (研究当

時)を対象とした。2013年6月1日よりシミュレーションを始め、7月1日から8月31日までの62日間の1時間毎の出力値を評価対象とした。

表1に福岡県内のアメダス観測点14地点の熱帯夜日数の解析値と観測値を示す。ここで熱帯夜は発生時刻を問わず最低気温が25℃以上の日とした。case 09の解析結果は熱帯夜の適中率が最低60%、最高85%、平均70%となり、概ね熱帯夜を再現した。case 09とcase 76を比較すると14地点中11地点で熱帯夜日数の増加が見られた。

表1 熱帯夜日数

	case 76	case 09	観測
①宗像	19	20	29
②八幡	27	34	43
③空港北町	40	39	46
④行橋	15	24	33
⑤飯塚	24	28	31
⑥前原	23	33	41
⑦福岡	49	50	49
⑧博多	39	49	44
⑨太宰府	20	39	40
⑩添田	16	15	9
⑪朝倉	16	21	17
⑫久留米	19	32	42
⑬黒木	10	70	13
⑭大牟田	35	39	26

続いて図6にcase 09とcase 76の7月・8月平均気温の差分を示す。データは1時間毎62日分、計1488データの平均値であり、陸域のみを示している。福岡市中心部や北九州市中心部は気温の変化が小さく、その周辺地域で気温の上昇が見られる。これは1970年代から2000年代に掛けて都市のスプロール化とそれによるヒートアイランド現象の拡大を示す。Domain 3の陸域全体の平均で比較すると0.11℃の上昇となった。

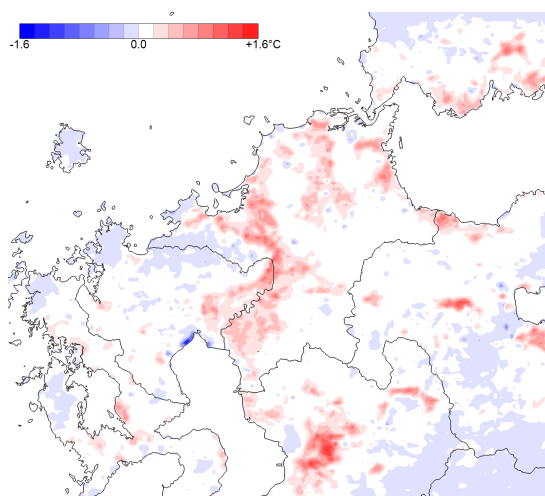
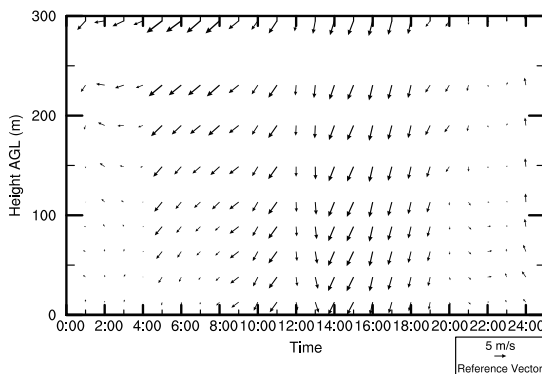


図6 7月・8月の平均気温の変化 (case 09 - case 76)

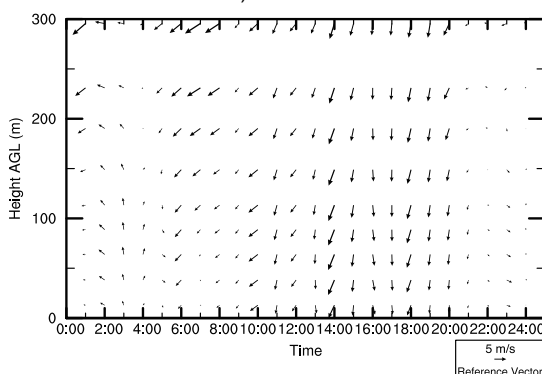
②都市化の進展が海風の進入に及ぼす影響

ドップラーライダーを用いた上空風の観測結果と比較するため、2015年9月11日を対象とした数値シミュレーションを行った。①と同様、異なる土地利用データを用いた以外は気象条件など同一の条件とした。

図7に数値シミュレーションによる風速ベクトルの時間高度断面図を示す。ドップラーライダーによる観測値と比較すると、両ケース共に観測結果(図5)を再現出来ているとはいえない状況である。メソスケール気象モデルでの風環境の解析精度の向上は今後の課題である。両ケースを比較すると、都市化の進んだcase 76は09:00に海風が進入するのに対してcase 09は10:00と遅く、またその風速も弱い。この結果より、都市化の影響によりヒートアイランド現象が進むと、気温の上昇のみで無く福岡都心部に吹き込む海風が弱まる可能性が示唆された。



a) case 76



b) case 09

図7 風速ベクトル時間高度断面図 (2015年9月11日)

本研究ではメソスケール気象モデル WRFの地表面サブモデルのmosaic機能を用い、国土数値情報の1976年及び2009年の土地利用データから土地利用割合を作成し、北九州・福岡大都市圏を対象として33年間の都市化の影響を検討した。

暑熱であった2013年夏期の気象条件を共通に用い、両年度の土地利用データのみ変更して比較した結果、都市のスプロール化が進行したcase 09は多くの観測地点で熱帯夜日数が増加し、また福岡県を中心とした北部九

州の領域平均で 0.11 °C の平均気温の上昇が認められた。

晴天日の 2015 年 9 月 11 日を対象にドップラーライダーによる観測と数値シミュレーションを比較した結果、都市化の進展により海風の進入時間が遅れ、またその風速も弱まる傾向が見られた。しかし現状では風環境に関してメソスケール気象モデルを用いた数値シミュレーションの解析精度はまだ十分とは言えず、解析精度の向上が今後の課題である事も示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- ① Yoichi Kawamoto, Effect of Urbanization on the Urban Heat Island in Fukuoka-Kitakyushu Metropolitan Area, Japan, *Procedia Engineering*, 査読有, Vol.169, 2016, pp.224-231, DOI:10.1016/j.proeng.2016.10.027
- ② Yoichi Kawamoto, Fundamental Urban Morphology Analysis for Use in Urban Canopy Model, *Journal of Heat Island Institute International*, 査読有, Vol.9-2, 2014, pp.44-48, http://www.heat-island.jp/web_journal/Special_Issue_7/JGM/25_kawamoto.pdf
- ③ 吉門洋, 中島虹, 川本陽一, 大岡龍三, 東京の市街化地域を通過する海風の熱収支, *天気*, 査読有, Vol.61, 2014, pp.541-548, http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2014/2014_07_0019.pdf

〔学会発表〕 (計 10 件)

- ① 川本陽一, リモートセンシングと数値解析による北九州・福岡大都市圏上空の海風の把握, 日本建築学会大会, 2016 年 8 月 25 日, 福岡大学 (福岡県・福岡市)
- ② Yusuke Sano, Alicia Murga, Kazuhide Ito, Yoichi Kawamoto, Dynamic downscaling analysis of air quality from urban to human scale: Part 1 Integration of WRF and CFD to predict wind pressure coefficient, *Indoor Air 2016*, 2016 年 7 月 5 日, Ghent University (Gent, Belgium)
- ③ Yoichi Kawamoto, Effect of Urbanization on the Urban Heat Island in the Fukuoka-Kitakyushu Metropolitan Area, Japan, 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 2016 年 6 月 1 日, National University of Singapore (Singapore, Singapore)
- ④ 川本陽一, 北九州・福岡大都市圏の都市

化が都市気候に与える影響の検討, 日本建築学会大会, 2015 年 9 月 5 日, 東海大学 (神奈川県・平塚市)

- ⑤ Yoichi Kawamoto, Effect of urbanization on the urban climate in coastal city, Fukuoka-Kitakyushu metropolitan area, Japan, 9th International Conference on Urban Climate, 2015 年 7 月 21 日, Centre de Congrès Pierre Baudis (Toulouse, France)
- ⑥ Takamasa Hasama, Yoshiaki Itou, Koji Kondo, Manabu Yamamoto, Tetsuro, Tamura, Yoichi Kawamoto, Mitsuo Yokokawa, Large-Eddy Simulation of Wind Pressure Prediction for High-Rise Building on Urban Block, 14th International Conference on Wind Engineering, 2015 年 6 月 22 日, Centro de Eventos PUCRS (Porto Alegre, Brazil)
- ⑦ 挾間貴雅, 伊藤嘉晃, 近藤宏二, 山本学, 田村哲郎, 川本陽一, 横川三津夫, 実街区に建つ高層建築物に作用する風圧予測のためのハイパフォーマンスコンピュータの活用, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014 年 12 月 10 日, タワーホール船堀 (東京都・江戸川区)
- ⑧ 挾間貴雅, 伊藤嘉晃, 近藤宏二, 山本学, 川本陽一, LES を用いた高層建築物の風圧予測における中層街区の影響評価, 第 23 回風工学シンポジウム, 2014 年 12 月 4 日, 東京大学 (東京都・文京区)
- ⑨ Yoichi Kawamoto, Fundamental Urban Morphology Analysis for Use in Urban Canopy Model, 7th Japanese German Meeting in Urban Climatology, 2014 年 10 月 7 日, Leibniz University (Hannover, Germany)
- ⑩ 川本陽一, 都市形態解析に基づく都市キャンपी層内の不均一性に関する考察, 日本建築学会大会, 2014 年 9 月 6 日, 神戸大学 (兵庫県・神戸市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://researchmap.jp/read0152491>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川本 陽一 (KAWAMOTO, Yoichi)

九州大学・大学院芸術工学研究院・助教

研究者番号: 70569730