

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：25407

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14913

研究課題名（和文）将来都市気候特性を考慮した都市高温化対策の適所導入支援ツール作成

研究課題名（英文）Making Support Tools for the Effective Implementation of Urban Warming Mitigation Based on Future Urban Climate Characteristics

研究代表者

横山 真（Yokoyama, Makoto）

福山市立大学・都市経営学部・准教授

研究者番号：00848608

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大気海洋結合モデルMSSGを用いた都市気候の大規模数値シミュレーションを活用して現状および将来の都市気候の特徴を把握し、「どのようなエリア」に「どのような都市高温化対策」を用いれば、都市高温化緩和型の都市づくりが行えるかを示す計画支援ツールを作成することを最終目的として研究を進めた。研究期間全体を通して、広島県福山市を中心とした国内のいくつかの都市を対象に、MSSGによる数値シミュレーションを実施し、現状および将来の都市気候の特徴把握を進めてきた。またそれらの結果を踏まえて、各地の都市高温化緩和型の都市づくり実現に向けた計画支援ツールを試作してきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して作成を進めてきた「計画支援ツール」は、「どのようなエリア」に「どのような都市高温化対策」を用いれば、都市高温化緩和型の都市づくりが行えるかを示すものであり、地球温暖化の進行に伴い暑熱環境が悪化していく時代における安心・安全な都市空間の創出につながる点で、社会的な意義は大きいと考えられる。また都市気候の数値シミュレーション（MSSG）や将来気候のデータベース（d4PDF）を活用してこのようなツールを作成することは、環境分野の分析結果に基づいた都市づくりのあり方を考えていくという点で、都市計画分野における学術的な意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The final objective of this study was to make a planning support tools that indicates "which areas" and "which countermeasures" should be used to mitigate urban warming effects. This was studied by analysing the characteristics of the current and future urban climate using large-scale numerical simulations with the coupled atmosphere-ocean model MSSG. Throughout the research period, numerical simulations by MSSG were conducted for several cities in Japan, with a focus on Fukuyama City, Hiroshima Prefecture, to analyze the characteristics of both the current and future urban climates. Based on these simulation results, prototypes of planning support tools aimed at realizing urban climate mitigation in each city are also created.

研究分野：都市計画

キーワード：地球温暖化 都市ヒートアイランド 数値シミュレーション 計画支援ツール 都市計画 地球シミュレータ

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、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、各地の都市域では地球温暖化および都市ヒートアイランド現象による「都市高温化」が生じている。この高温化は夏季を中心に屋外空間の快適性低下を引き起こし、熱中症搬送者数も増加傾向にある等、人々の都市生活に深刻な悪影響を及ぼしている。また、さらに地球温暖化の進行に伴い世界の平均気温は今後も上昇していくと考えられ、暑熱環境のさらなる悪化が懸念される。

都市高温化への対策としては、都市内の風通し向上や緑化等の手法が多数存在し、先行研究ではそれらの効果が多く検証されている(例えば¹⁾²⁾)。そのため今後はこれらの都市高温化対策を積極的に導入し、都市高温化緩和に配慮した都市づくりを進めていくことが必要である。一方、効果的な都市高温化対策はその場所で活用可能な気候資源等の気候特性により異なると考えられる。例えば冷涼な海風が吹く沿岸部と風資源の乏しい内陸部では、同程度の都市内の風通し向上を施したとしてもその効果は大きく異なる。そのため都市高温化緩和に配慮した都市づくりを効果的に進めていく際には、対策導入場所の気候特性を踏まえた適材適所の都市高温化対策を選択し、導入すること(都市高温化対策の適所導入)が重要である。この実現のためには、「どのようなエリア」に「どのような都市高温化対策」を用いれば効果的かについて、都市づくりを行う人々に伝える計画支援ツールの作成が必要と考えられる。

また今後の地球温暖化や気候変動の進行に伴って、地域の気候特性が変化し、都市高温化対策に活用可能な気候資源の分布や効果等が将来的に変化していくことも予想される。本研究で想定している都市づくりには短期的なものだけでなく、今後10年や30年をかけて中長期的に進めていくものも含まれるため、計画支援ツールに将来都市気候の観点を取り入れることは都市高温化緩和に配慮した都市づくりを進めていく上で重要である。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では国内のいくつかの都市域を対象地として、都市気候の数値シミュレーションを実施し、対象地の現状都市気候および将来都市気候をそれぞれ把握することを第1の目的とした。また、それらの分析結果等を踏まえた上で「どのようなエリア」に「どのような都市高温化対策」を用いれば都市高温化緩和型の都市づくりが行えるかを示す計画支援ツールを作成することを第2の目的として研究を進めた。

3. 研究の方法

本研究では、主に数値シミュレーションを用いて、対象地における都市気候の空間分布や時間変化を把握する。具体的には、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)が開発を進めている大気海洋結合モデルMulti-Scale Simulator for the Geoenvironment(MSSG)³⁾を用いて、数値シミュレーションを行った。MSSGはスーパーコンピュータである「地球シミュレータ」上で稼働し、その大気モデルでは地球全体から街路内まで様々なスケールの大気現象を広範囲かつ高解像度に計算することができる。

また、MSSGによる数値シミュレーションの入力条件に、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムにより作成された「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」⁴⁾を用いることで、対象地の将来都市気候を予測した。d4PDFでは、全球平均温度が産業革命以降に1.5℃、2℃、4℃上昇した場合の世界各地の気候状態が予測され、それらの結果がデータベースとして公開されている。今回はその内の「2℃上昇」のデータを用いて、対象地のより詳細な将来都市気候の数値シミュレーションを行っている。

さらに、以上の数値シミュレーション結果や分析結果を基に、多変量解析や都市づくりのステークホルダーとの意見交換等を通して、計画支援ツールを作成している。

4. 研究成果

本研究を通して得られた研究成果の内、主なものを以下に示す。

(1) 将来都市気候特性に基づく福山市のゾーニングと気温形成要因分析

ここでは、沿岸都市である広島県福山市の都市域を対象に、MSSGを用いて現状都市気候と将来都市気候をそれぞれ計算し、将来の海風の冷却効果に基づく都市気候ゾーニングを行った。また重回帰分析を用いてゾーン毎の気温形成要因分析を行い、「夏季屋外熱環境に対する情報提供ツール」を作成した。

まず、日中に海から吹く冷涼な海風は、都市に冷却効果をもたらしながら進む一方で、海岸線から遠くなるほど徐々にその冷却効果を失うと考えられる。そこで、海風の冷却効果を表す「顕熱移流量」を計算結果に基づき算出した。図1に、その空間分布を示す。顕熱移流量が負の値の場合は、その場所に対する冷却効果を有していることとなる。図1を見ると、顕熱移流量の値は、海岸線から徐々に大きくなり、福山市の北部には0以上の正の値となるエリアも一部見られる。つまり、これらのエリアに吹く風には冷却効果がほぼなく、場合によっては気温上昇をもたらすと考えられる。

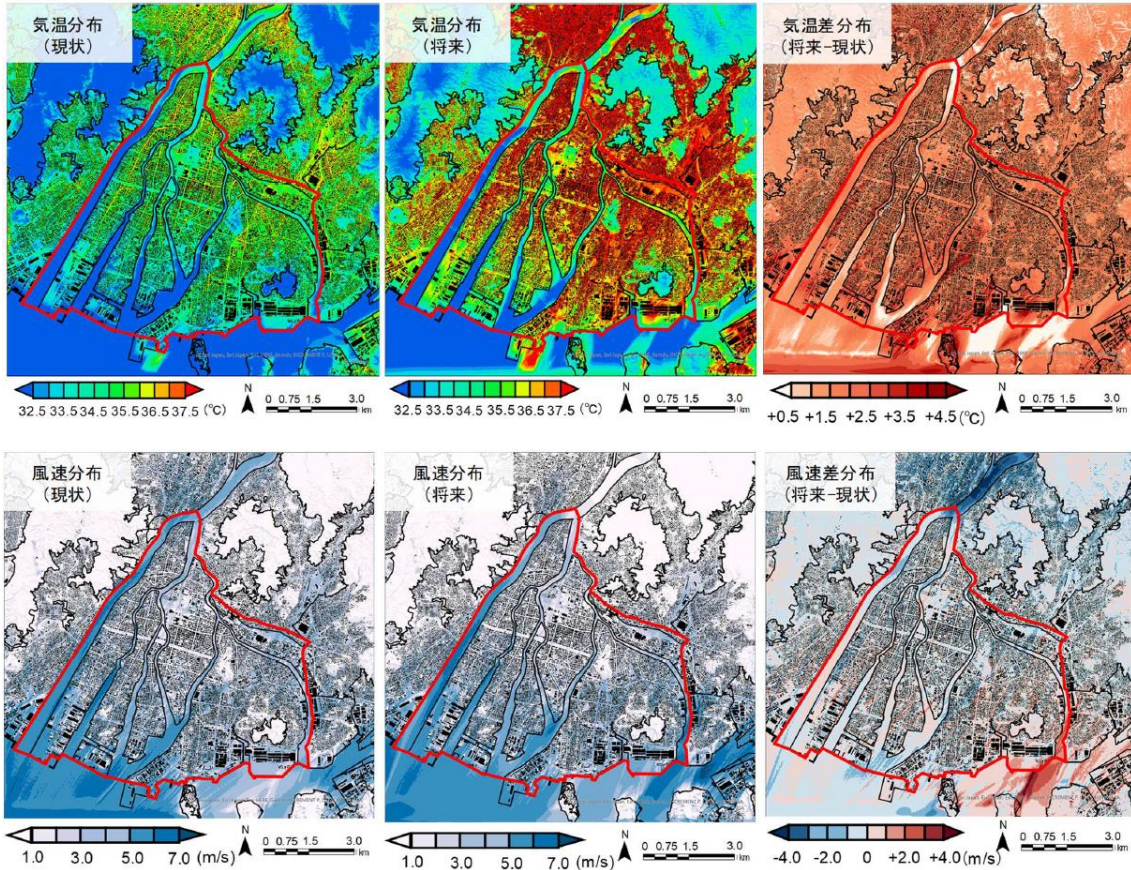


図3 広島デルタの気温分布（上段）と風速分布（下段）
（左：現状都市気候、右：将来都市気候）

図4 広島デルタの気温差分布（上）と風速差分布（下）
（将来－現状）

表1 シナリオ毎の平均気温

		人工被覆		自然被覆		全メッシュ
		建物敷地	道路	緑地	水域	
平均気温 (°C)	現状土地利用	36.62	37.02	35.41	33.17	35.74
	+10%シナリオ	36.5	36.85	35.38	33.11	35.63
	+20%シナリオ	36.29	36.58	35.26	33.06	35.45
	+30%シナリオ	36.18	36.48	35.94	32.99	35.30

表2 シナリオ毎の平均気温差

		人工被覆		自然被覆		全メッシュ
		建物敷地	道路	緑地	水域	
平均気温差 (°C)	+10%シナリオ	-0.12	-0.17	-0.03	-0.06	-0.11
	+20%シナリオ	-0.33	-0.44	-0.15	-0.11	-0.29
	+30%シナリオ	-0.44	-0.52	-0.55	-0.18	-0.44

(4) 都市熱環境から見た広場整備のアドバイスマップの作成

ここでは、将来的に都市空間の再編が行われる JR 福山駅南口の駅前広場（福山駅前広場）を対象地として MSSG による数値シミュレーションを行い、さらに都市熱環境に配慮した今後の広場整備と利用のあり方を示す計画支援ツールを作成した。具体的には、まず図5に示す対象地の「現状モデル」と福山駅前広場整備基本方針⁴⁾の将来イメージを参考に都市高温化対策を導入した「広場整備モデル」を作成し、これらを入力条件とした数値シミュレーションにより「都市熱環境の特徴」と「広場再編に伴う緑化がもたらす都市熱環境改善効果」をそれぞれ把握した。また、それらの分析結果と福山市が過去に行った福山駅前広場の利用者アンケートの結果を組み合わせ、都市熱環境に配慮しながら将来的にどのように広場の空間を整備し、利用していくと良いかを示した「都市熱環境から見た広場再編のアドバイスマップ」を作成した。

図6に2つの広場整備モデルと現状モデルとの気温差（広場整備モデル－現状モデル）の分布を示す。図6より、芝生化した駅前広場では0.5°C以上の気温低下が見られ、特に広場整備モデル②では、気温低下が1°C以上の箇所がより広範囲に広がっていた。この大きな気温低減効果が得られた要因として、北側の駅舎と鉄道高架により駅前広場が袋小路の形状となっていること、風上に位置する南側の緑地整備と高層建物による風の吹きおろしが組み合わせられて冷涼な空気が駅前広場に流入していることが推察された。

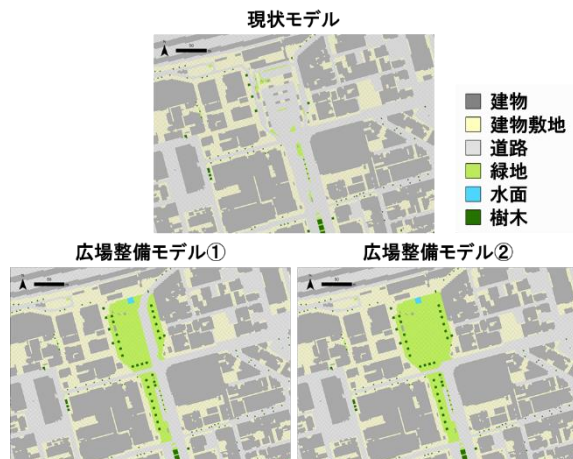


図5 福山駅周辺エリアの土地利用

図7に作成した「都市熱環境から見た広場再編のアドバイスマップ」を示す。図7では、数値シミュレーションを通して得られた「都市熱環境の特徴」と「広場再編に伴う緑化がもたらす都市熱環境改善効果」を踏まえ、風と日陰の特徴に基づいて対象地を5つのゾーンに分類している。さらに利用者アンケートの結果から抽出した利用者ニーズと組み合わせて、各ゾーンと対象地全体における整備および利用のイメージを3Dのイラストとともに提案した。例えばZone1（アイネス前）では、建物の影に入る時間が長く、南風日を中心に吹きおろしの風が吹くため、日陰の創出よりもベンチ等の滞留を促す施設を設置しながら空間を整備・利用していくことが効果的と考えられる。また、ここの緑化を進めることは、風下にある福山駅前広場の熱環境改善にもつながると考えられる。

さらに、数値シミュレーションやアドバイスマップに関する評価や改善点を探るため、福山駅前広場再編を担当する福山市役所の職員に対するヒアリングを実施した。結果として、数値シミュレーションに関しては普段は目に見えない都市熱環境の現象を可視化したことに対する肯定的な評価や数値シミュレーションの活用方法に関する意見が挙げられた。また、アドバイスマップに関しては、「広場の都市熱環境特性を踏まえた整備についてある程度理解できた」や「空間デザインの検討段階で参考にできる可能性はある」といった意見が挙げられ、今回作成したアドバイスマップの有効性を一定程度抽出することができた。

以上のような成果を通して、数値シミュレーションの結果に基づく各対象地の現状都市気候および将来都市気候をそれぞれ把握することができた。また将来の都市高温化緩和型の都市づくりに向けた計画支援ツールをいくつか作成することができた。今後の展望として、これらの成果を活用した都市づくりの実践やそのために必要な都市づくりにおける計画支援ツール活用のあり方の検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会編、「ヒートアイランドと建築・都市対策のビジョンと課題」、日本建築学会、2007
- 2) 竹林英樹・山田俊明・森山正和、「街区の空間特性が街路空間の風通し環境に及ぼす影響—気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と街路空間の風通しの関係の分析 その2—」日本建築学会環境系論文集、76(670)、pp.1087-1092、2011
- 3) 成田健一・菅原広史・横山仁・三坂育正・松島大、「皇居の冷氣生成機能と周辺市街地への熱的影響に関する実測研究」、日本建築学会環境系論文集、76(666)、pp.705-713、2011
- 4) Takahashi, R. Onishi, Y. Baba, S. Kida, K. Matsuda, K. Goto and H. Fuchigami, "Challenge toward the prediction of typhoon behavior and down pour", Journal of Physics: Conference Series, 454(1), 2013
- 5) M. Nosaka, M. Ishii, H. Shiogama, R. Mizuta, A. Murata, H. Kawase, H. Sasaki, Scalability of future climate changes across Japan examined with large-ensemble simulations at + 1.5 K, +2 K, and + 4 K global warming levels, Progress in Earth and Planetary Science, 7(27), 2020
- 6) 福山市建設局福山駅周辺再生推進部福山駅周辺再生推進課、「福山駅前広場整備基本方針」、2023

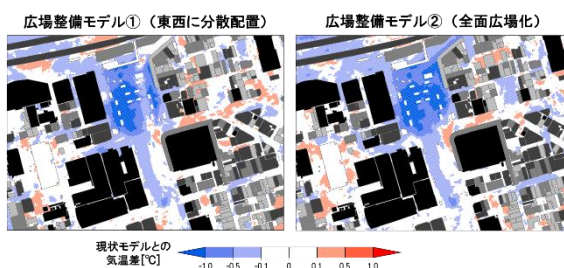


図6 福山駅周辺エリアの気温差分布 (広場整備モデルー現状モデル)

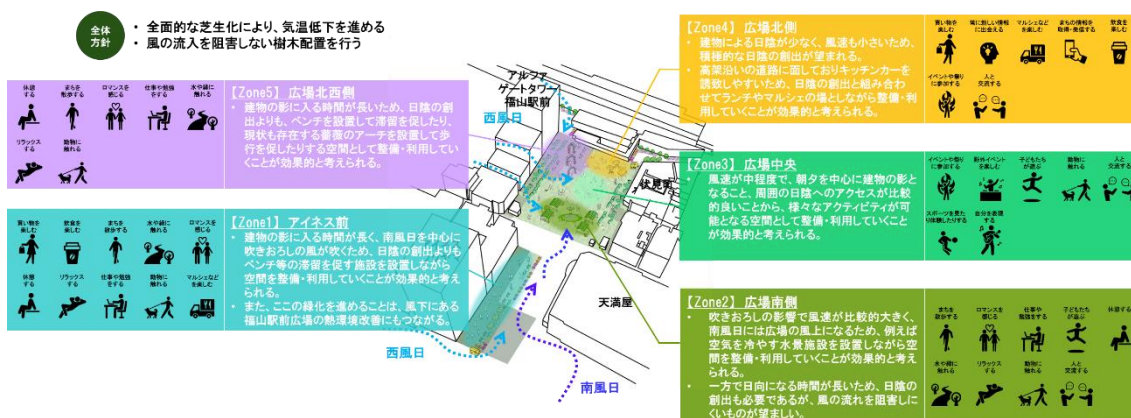


図7 都市熱環境から見た広場再編のアドバイスマップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yokoyama Makoto, Eguchi Mao	4. 巻 57
2. 論文標題 Study on the countermeasures to urban heat of street space focusing on walking routes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the City Planning Institute of Japan	6. 最初と最後の頁 524 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.57.524	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 上別府隆男, 玉井由樹, 塚本僚平, 堤行彦, 根本修平, 前山総一郎, 牧田幸文, 榎田 智子, 八幡浩二, 横山真	4. 巻 15
2. 論文標題 SDGsを活用した福山市の地方創生と持続可能性に関連する地域課題の可視化に関する研究 - SDGsから見た都市経営学 (部) の可能性と課題 -	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 都市経営	6. 最初と最後の頁 1-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 横山真, 田中健太, 井上莞志, 松尾薫, 田中貴宏	4. 巻 14
2. 論文標題 福山市の夏季気温分布傾向把握と地域類型化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 都市経営	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 YOKOYAMA Makoto, SASAKI Yui, MATSUO Kaoru, TANAKA Takahiro	4. 巻 28
2. 論文標題 熱環境・水環境からみた谷戸の類型化と都市温暖化・水害対策方針の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 918 ~ 923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.918	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 MATSUO Kaoru、INOUE Kanji、YOKOYAMA Makoto、TANAKA Takahiro、YOSHIHARA Toshiro	4. 巻 88
2. 論文標題 ADVICE MAP FOR EFFECTIVE SUPPORT OF URBAN THERMAL ENVIRONMENTAL DESIGN	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 3295 ~ 3305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.88.3295	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 -

[学会発表] 計18件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Migitera, T., Tamura, S., Tanaka, T., Matsuo, K., Yokoyama, M.
2. 発表標題 Evaluation of the street characteristics affecting thermal environments in the downtown of Hiroshima
3. 学会等名 13th International Symposium on Architectural Interchange in Asia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 右寺智哉, 田村将太, 田中貴宏, 松尾薫, 横山真, 杉山徹, 井上莞志
2. 発表標題 広島市都心部における街路別の熱環境の現況分析 - 暑熱緩和型計画支援ツールの作成に向けて -
3. 学会等名 令和3年度日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 右寺智哉, 忽那直哉, 田村将太, 田中貴宏, 松尾薫, 横山真, 杉山徹
2. 発表標題 広島市都心部における街路類型別の暑熱緩和策の影響評価 - 暑熱緩和を目的とした計画支援資料作成に向けて -
3. 学会等名 2022年度日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上莞志, 田中健太, 田中貴宏, 松尾薫, 横山真, 杉山徹, 吉原俊朗
2. 発表標題 適材適所の都市熱環境デザインを支援するアドバイスマップのあり方に関する研究 - 広島都心部を対象とした専門家協働ワークショップを通して -
3. 学会等名 第19回日本都市計画学会中国四国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾薫, 井上莞志, 横山真, 田中貴宏
2. 発表標題 広島市の都市環境気候地図の作成に関する研究 - その10 広島市デルタ市街地の都市気候ゾーニング -
3. 学会等名 令和2年度日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 右寺智哉, 福田桃花, 平野一貴, 田村将太, 田中貴宏, 松尾薫, 横山真, 井上莞志
2. 発表標題 広島市都心部の暑熱緩和型計画支援ツール作成に関する研究 - 街路毎の熱環境の現況分析及び特性把握 -
3. 学会等名 2021年度日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yokoyama, M., Tanaka, T., Sugiyama, T., Sadohara, S.
2. 発表標題 Study on the Differences in the Formation Factors of the Climatic Environment between Urban Areas with Different Urban Climate Characteristics
3. 学会等名 17th International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Matsuo, K., Inoue, K., Tanaka, K., Yokoyama, M., Tanaka, T., Sugiyama, T.
2. 発表標題 Analysis on the Factors of Temperature Distributions in the Urban Central Area of Hiroshima Delta
3. 学会等名 17th International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中健太・井上莞志・田中貴宏・横山真・松尾薫・杉山徹
2. 発表標題 広島県福山市における夏季の気温分布に関する研究
3. 学会等名 2020年度日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山真・田中健太・井上莞志・松尾薫・田中貴宏
2. 発表標題 広島県福山市における都市高温化対策に関する研究 - その1 実測調査に基づく気温分布傾向把握と地域類型化 -
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makio, T., Matsuo, K., Takeda, S., Kaga, H., Yokoyama, M.
2. 発表標題 Research on Visualization based on Climate Analysis of the Influence of Green Space on the Thermal Environment Using MSSG Model
3. 学会等名 The 5th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山真, 松尾薫, 田中貴宏
2. 発表標題 広島県福山市における都市高温化対策に関する研究 - その2 気温と海岸距離との関連分析 -
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松尾薫, 井上莞志, 横山真, 田中貴宏
2. 発表標題 広島市の都市環境気候地図の作成に関する研究 - その11 都心部の都市熱環境デザイン改善を支援するアドバイスマップのあり方 -
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉本晴太, 忽那直哉, 前田丞, 田村将太, 田中貴宏, 松尾薫, 横山真, 杉山徹
2. 発表標題 広島デルタ市街地を対象とした都市気候の将来変化把握 - 将来都市気候に配慮した熱環境改善策導入に向けて -
3. 学会等名 2023年度日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2024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
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------