

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04417

研究課題名(和文) モバイルセンサーを用いた気候環境と人体生理反応のポータブル型環境モニタリング

研究課題名(英文) Portable environmental monitoring of climatic environment and human physiological responses by mobile sensors

研究代表者

一ノ瀬 俊明 (Ichinose, Toshiaki)

国立研究開発法人国立環境研究所・社会システム領域・主幹研究員

研究者番号：30231145

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：モバイルセンサーを用いた気象要素と人体の生理的反応に関するポータブル型環境モニタリングを実施すべく、先行研究で開発されたシステムの改良を行った。モバイルセンサー計測データリアルタイムシェアリングシステムの設計について、コストとベネフィットを指標にした代替案同士の比較検討結果をもとに、熱環境計測ユニットの試作品を完成させた。コロナ禍の影響により、フィールドでの検証を十分行えなかったため、太陽放射の少なからぬ部分を占める近赤外領域の体感温熱環境影響についての検討を行った。可視領域のみならず近赤外領域までを含めた色彩別の反射率25%の違いは、夏季晴天時において約15℃の温度差をもたらしていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屋外快適性を高めるための街区や建築のデザインを属地的に実現するための(高空間・高時間解像度)基礎データとして用いることができる。また、市民参加型の近隣環境モニタリングシステムとしての活用も期待できる。そのシステムを試行する段階で、モニタリングデータをリアルタイムで利用者がシェアするフィードバックシステムを構築することにより、環境そのものへの市民啓発、地方自治体における近隣環境政策への貢献も期待できる。さらに、収集されるビックデータを用いたローカル・リアルタイムでのリスク情報共有に関する社会実験や、都市街区デザインについての指針づくりにもつながるものと思われる。

研究成果の概要(英文)：In order to perform environmental portable monitoring of meteorological factors and physiological reactions of the human body using mobile sensors, we improved the system developed in our previous research projects. Regarding the design of real-time sharing system of measurement data in the mobile sensors, we completed a prototype of the thermal environment measurement unit based on the results of comparative studies among alternatives using cost and benefit as indicators. Due to the influence of the COVID-19 pandemic, it was not possible to conduct sufficient field campaign for the verification, so as a related analysis, we examined the effects of the near-infrared radiation, which accounts for a considerable part of solar radiation, on the physiological thermal environment. Not only in the visible range but also in the near-infrared range, the 25% difference in reflectance by color caused a temperature difference of about 15 deg C in sunny summer.

研究分野：環境学，地理学

キーワード：モバイルセンサー モニタリング 気候 人体生理 IoT

## 1. 研究開始当初の背景

近年都市空間では、地表面の人工物化、風通しの悪化、人工排熱の増加、緑の喪失などにより高温化が進行し、その快適性が損なわれている。また、竜巻や集中豪雨等の異常気象が頻発し、熱中症患者も増加している。これらの対策として、予防や回避行動といった適応策の推進が考えられる。そのためには、地域の気候特性を把握し、実態に即した警戒情報システムの構築が不可欠である。

日本では、建築学、都市環境学、生気象学などの分野において、体感温熱環境に関する面的把握の必要性が提唱されているが、その評価は実現されていない。その理由として、都市域では地覆や建築環境が複雑であり、現象の面的分布を把握するためには、多数の定点観測データが必要となり、多額の予算と労力を要するということが挙げられる。特に放射や風は局地的な周囲の環境に左右される。また日本では、屋外での体感温熱環境を表現する場合、湿度が大きく関わってくることで指摘されている。環境省では、2006年から気温、湿度、輻射熱から計算された WBGT 指数による熱中症予報を行っている。しかし、それは気象台やアメダスによる日最高気温等をもとに算出された値を用いたものであり、都市内の様々な被覆面での値とは異なる。さらに、風の効果は含まれていないため、SET\*、PMV など他の指標との比較検討が必要である。加えて、心拍数や皮膚温など人体の生理的反応のデータをリアルタイムに得ることは容易ではない。

筆者らは 2010 年に、本研究で構築を目指しているシステムのプロトタイプ開発を開始したものの、当時の通信インフラ事情 (2G、現在は 5G) やセンサーの開発進捗状況にかんがみて、実用に耐えるシステムの構築は不可能であった。しかしその後の数年間で状況が大きく改善されたため、今回の開発再開に踏み切ることとなった。

体感温熱環境の空間的分布については、Matzarakis ら (2006) が RayMan モデルを用いて PET という指標の分布を解析し、その指標の有効性を明らかにしている。国内でも、都市域の様々な空間における WBGT、SET\*、PMV 等の体感温熱指標を比較した事例 (山田ら、2000; 大橋ら、2009 など) はあるが、一時点の局所的な解析であり、季節的な比較や広域的な評価に関しては検討の余地がある。広域的な体感温熱環境の評価については、井幕・堀越 (2011) が日本における不快指数の分布を解析しているが、都市域や街区といったローカルスケールでは評価されていない。そこで本研究では、体感温熱環境の面的把握手法の確立を目的として、モバイルセンサーを用いた気象要素と人体の生理的反応に関するポータブル型環境モニタリングを行なう予定である。また、様々な時空間スケールにおいて汎用可能な調査方法と、体感温熱環境の評価法の検討も行う。

(参考文献) 大橋ら (2009): 日本生気象学会雑誌, 46, 59-68. 山田ら (2000): ランドスケープ研究, 63, 543-546. 井幕・堀越 (2011): 人間と生活環境, 18(2), 67-82. Matzarakis et al. (2006): PLEA, Vol. II, 449-453.

## 2. 研究の目的

本研究では、都市の街区スケールにおけるモバイルテクノロジーを応用したリアルタイムの大気・熱環境データの収集・空間分布表示システムの構築を目的とする。これは、屋外快適性を高めるための街区や建築のデザインを属地的に実現するための (高空間・高時間解像度) 基礎データとして用いることができる。さらに屋外温熱環境に限らず、大気汚染濃度や騒音レベル、磁場など各種環境要素についても扱う対象に含めることにより、市民参加型の近隣環境モニタリングシステムとしての活用も期待できる。そのシステムを試行する段階で、モニタリングデータをリアルタイムで利用者がシェアするフィードバックシステムを構築することにより、環境そのものへの市民啓発、地方自治体における近隣環境政策への貢献も期待できる。また、収集されるビックデータを用いたローカル・リアルタイムでのリスク情報共有に関する社会実験や、都市街区デザインについての指針づくりにもつながるものと思われる。

本研究におけるモバイルセンサーを用いたポータブル型環境モニタリングには、様々な空間スケールにおいて、多地点のデータを瞬時にかつ長期間にわたって得られる利点がある。また、気象要素のみならず、心拍数等人体の生理的反応をリアルタイムにモニタリングする調査方法は、本研究独自の視点である。この結果にもとづき体感温熱環境の時空間分布を解析した研究事例はなく、新しいアプローチである。学術的には都市環境学、地理学、生気象学などの境界領域といえる。

本研究の成果は、都市環境における熱中症予報システム構築や、適切な予防策実施の基礎資料となりうる。すなわち、様々な時間、空間スケールでの暑熱障害、寒冷障害の警戒情報を発信することが可能になる。ケーススタディとして得られた成果を、全国各地の自治体へ応用可能であると考えられる。また異常気象への適応策という点では、適切な服装による外出や暑さを回避するための自主的な行動が促進されるものと期待される。また、エアコンなどエネルギー消費の無駄を自主的に減らすことにもつながる。さらに自治体等への貢献として、人に優しい熱環境 (道路や公園) 創造、まちづくりの基礎資料となりうる。加えて、本研究の有用性として、2020 年夏季に開催される東京オリンピックに関し、競技者のもとより、海外からの来客の健康管理、熱中

症予防対策、競技会場周辺の熱環境評価等への応用が期待される。本研究の成果は、今後地球温暖化等の影響で、暑熱環境の悪化が危惧される東南アジア諸国の環境対策への技術援助にも活用が望まれる。

また本研究は、異常気象や猛暑下における人間行動の地域的特徴や、そのリスク評価、警戒情報システムの構築の基礎資料を提供する役割を担う。気象環境や人体の生理反応、人間行動を多地点でかつリアルタイムに測定した例は過去に無く、この方法は数値シミュレーションや数値モデルでは得ることが難しい貴重な一次データを取得できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、体感暑熱環境の面的把握手法の確立を目的として、モバイルセンサーを用いた気象要素と人体の生理的反応に関するポータブル型環境モニタリングを、東京都区部等をモデルケースとして実施する。また、得られた結果にもとづき、様々な時空間スケールにおいて汎用可能な調査方法と、体感暑熱環境の面的評価の方法について検討する。

### 4. 研究成果

#### 1. 既存システム改良の検討

体感暑熱環境の面的把握手法の確立を目的として、モバイルセンサーを用いた気象要素と人体の生理的反応に関するポータブル型環境モニタリングを、東京都区部等をモデルケースとして実施するため、ここ数年で取得された夏季典型暑熱日における東京都心航空機リモートセンシング地表温度画像の解析作業、ならびに地上におけるバイタルセンサー等を用いた人体生理・暑熱環境の移動観測データの解析作業を行った。また、2010年以降実施してきた関連先行プロジェクトにおける成果の問題点を洗い出し、この間センサーの開発環境が2Gから5Gへと変化したことを踏まえ、5G時代に適応した観測システムの開発に関する検討を進めてきた。従前の関連研究においては2Gの通信環境下で類似のシステムを開発し、複数の観測事例を蓄積してきたが、リアルタイムのデータシェアリングシステムとしては根本的に無理な部分があったことが明らかになったため、今年度は前年度における検討にもとづき、5G環境下での基本的な部分の開発から実施し、1km四方程度の狭領域における動作が担保されることをめざすべきであるとの結論に至った。さらに近年の航空機観測事例のうち、2016年夏のデータは飛行時間帯が正午前後であり、時差補正の必要があまり大きくなかったのに対し、2017年秋のデータは午後に寄っていたことや、空気が乾燥して午後後の地表冷却が速かったため、時差補正の適用には慎重な検討が必要であることが指摘された。

#### 2. モニタリングシステムの開発

従前の関連研究においては2Gの通信環境下で類似のシステムを開発し、複数の観測事例を蓄積してきたが、リアルタイムのデータシェアリングシステムとしては根本的に無理な部分があったことが明らかになったため、5G環境下での基本部分の開発から実施し、1km四方程度の狭領域における動作が担保されることをめざした。モバイルセンサー計測データリアルタイムシェアリングシステムの設計には複数の可能性があるため、コストとベネフィットを指標にして代替案同士の比較検討を行い、その結果をもとに、熱環境計測ユニット（気温と湿度、位置・時刻情報）の試作品を完成させた。試作品の製作はアカデミックエクスプレス株式会社（つくば市）との共同開発として行っている（図-1）。

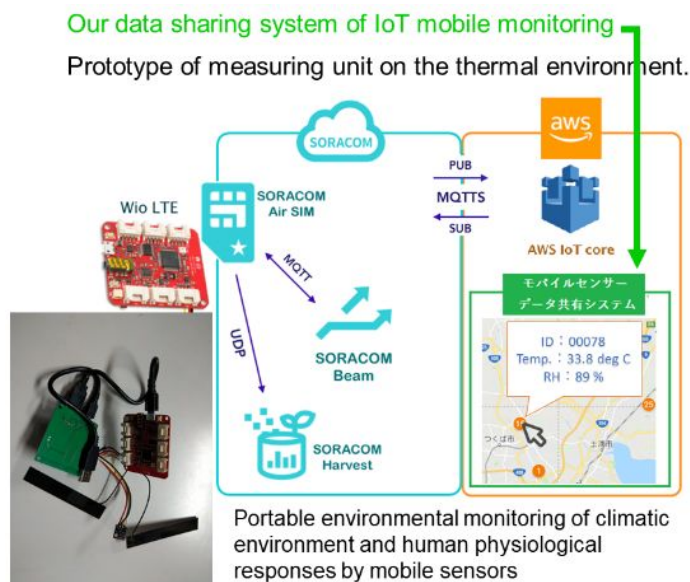


図-1 開発されたシステムの概要

またセンサーの試作品に対し、実用性を高めるべく高度化を行った。ここではフィールドにお

ける電力消費量を削減するため、データサンプリング時やデータ転送時以外における電力供給を停止するための制御機能を追加した。また時計機能内蔵の必要性が生じたため、リアルタイムクロックというハードウェアを追加している。

さらにこれらの作業と並行して、従前取得された東京地区におけるヘリコプター観測による地表面熱画像の再解析を行った。これは東京地区における本研究でのベースマップをなすものである。主な作業工程は、空撮された可視画像を用いた GCP データ(目立つ建物など)の取得、幾何補正、GIS による接合作業、地理座標を付与したラスタ 画像化である。

### 3. COVID-19 の影響

コロナ禍以降野外観測や、予定していた国際会議が延期されており、課題自体も実施期間が 2022 年度まで延長となった。

関連する成果として、太陽放射の少なからぬ部分を占める近赤外領域の体感温熱環境影響に対する検討が不十分であったため、被服表面における反射スペクトルの分析を行った。可視領域のみならず近赤外領域までを含めた色彩別の反射率は、濃緑 87%、黒 86%、青 84%、緑 84%、紫 82%、赤 78%、灰 75%、黄 70%、白 63%となっており、従前可視領域の反射率だけを比較した時よりも、表面温度の大小との対応関係が明瞭となった。反射率 25%の違いは約 15°Cの温度差をもたらしている(図-2)。

また、風速の効果に関する実証実験(2020年7月29日~8月5日)を実施した。たとえば COVID-19 の流行で注目された、黒など濃色のマスクに関しても、呼気や動作で生じる気流(顕熱輸送)のほか、汗や呼気による湿り気(蒸発潜熱輸送)の影響が考えられる。実験結果からは、日射が弱まり、そこに約 1.0m/s の風が加わっても色彩による温度差は意外に縮まらず、顕熱輸送による温度差の明瞭な低減効果には歩く速さくらいの風速が必要であることが示された。またこれらの成果は、YouTube 国立環境研究所動画チャンネル「黒マスクおじさんの本音 ~ 熱くないのは何色? ~ (2020年8月10日)として、アウトリーチ活動にも貢献した。

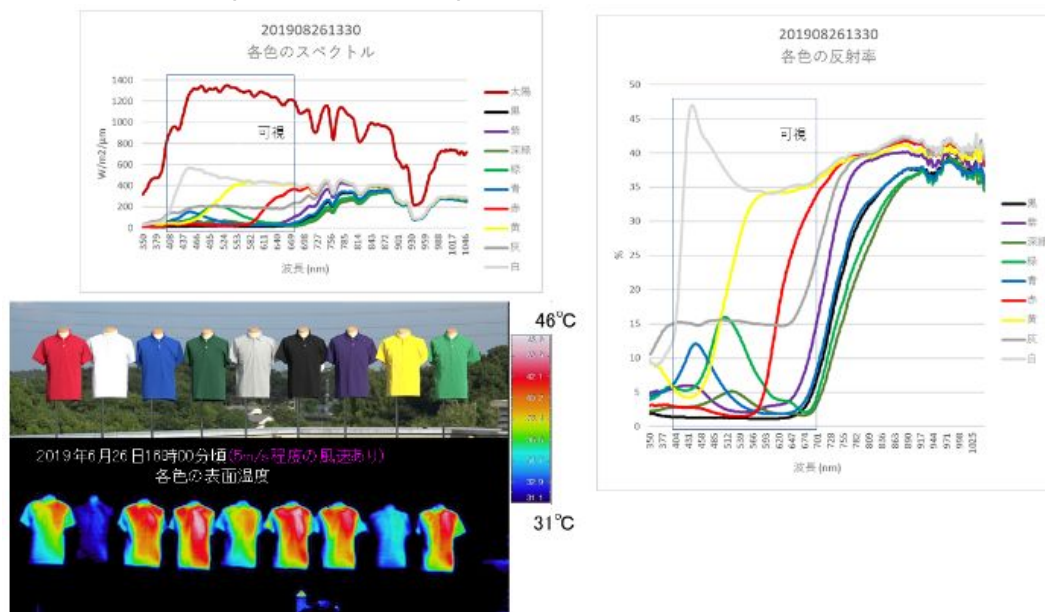


図-2 被服の色彩効果についての実験事例

### 4. 研究成果にもとづくアウトリーチ活動

関連する成果のうち、「対話の記録：科学者の研究について 一ノ瀬俊明×澤崎賢一」(75分、2022年制作)という映画作品は、「ファンダメンタルズ フェス mini アーティストと科学者交流の過程の展示」(2022年3月19日~3月25日:JR上野駅13番線ホーム)にて上映され、現在も YouTube Living Montage (<https://www.youtube.com/watch?v=whPpBKpMbD0>)にて公開されている。当該映画には研究代表者が主演として、中心市街地における観測データの取得を実演し、実際のデータを提示している。また、日本地理学会サマースクール「気候変動適応と地理学の貢献」(2021年9月3日)においてもオーガナイザーとして、本研究プロジェクトの成果を教材として扱っている。さらに、一ノ瀬俊明:(2021)みぢかな熱のせかい - はかって、知ろう, “温度” のこと。はまぎんこども宇宙科学館オンライン教室(2021年12月19日) ([https://www.yokohama-kagakukan.jp/event/sc\\_detail/378/2021/](https://www.yokohama-kagakukan.jp/event/sc_detail/378/2021/))でも講師として、本研究プロジェクトの成果を教材として扱っている。

加えて、関連研究成果を用いて以下のアウトリーチ活動を展開した。気候変動適応ワークショップ「~気候変動の本質を学ぼう~ Mystery (ミステリー)」(2022年5月28日:辰野町にて)講師、つくばSTEAMコンパス みんなの「ものさし」で世界をさぐる! 研究者とつくる研究計

画「同じ日時でも場所が違えば温度はどれだけ変わるだろう？」(2022年12月：つくば市谷田部南小学校)出演，高垣博也監督映画「Wende2～未来へのアプローチ～」(2023年2月)出演，など。

また，本研究プロジェクトの成果に関連した内容で，民放ニュース番組などのメディアに37回出演し，アウトリーチ活動にも貢献した。

#### 5. UAVによる都市地表面温度観測と屋外温熱環境評価

野外観測システムへの導入を目指し，赤外線温度センサーを搭載したUAVを調達し，国内の地方都市を対象に，高解像度のデータ取得・分析を進めてきた。このUAVを用い，栃木県日光市足尾町(中山間地域の自然地域)，長野県上伊那郡辰野町(地方都市における市街地)，茨城大学工学部(日立市：大学キャンパス)などのフィールドを対象に，地表面温度の画像データおよび動画を，異なる季節・時刻において取得し，解析を行った(図-3)。



図-3 茨城大学工学部(日立市)におけるUAV観測事例

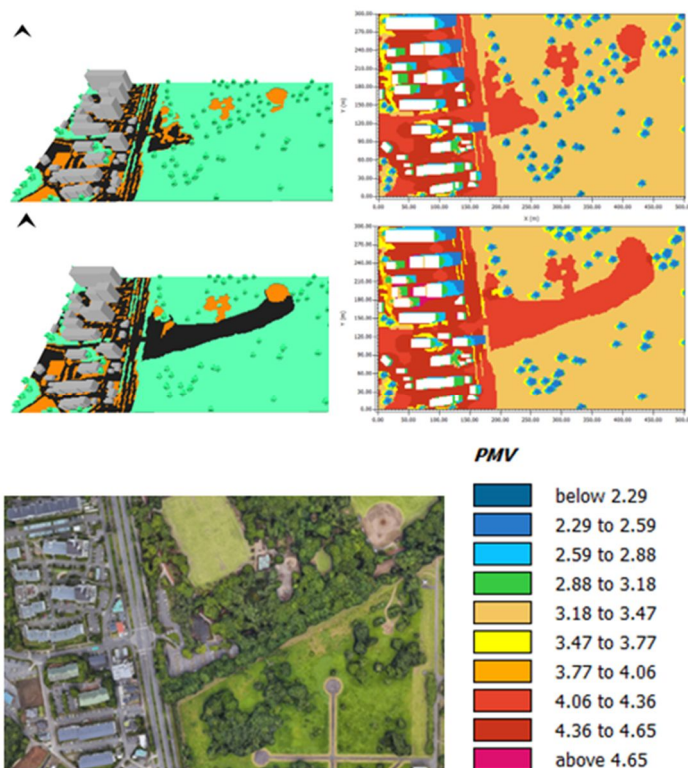


図-4 ENVI-metによる屋外温熱環境変化の評価事例(つくば市洞峰公園)

茨城大学工学部における7月の事例には，放射率の異なる地表面構成材料(コンクリート，レンガ，塗料，樹木，太陽光発電パネル，ガラス等)が含まれており，赤外線高反射率のガラス部位における表面温度推定手法の検討を進めたほか，衛星画像では把握困難な建物側面をUAV観測により補完し，まちづくりの検討に必要な建築材料，窓開口率などの建物性能や，室外機等の稼働状況などを把握するための有効な手段を示した。

また，屋外体感温熱指標の分析に関しては，屋外温熱環境評価ツールENVI-metを適用し，UAV観測結果と近い結果を得た。さらに，つくば市の洞峰公園をフィールドとして，具体的な大規模地表面被覆改変計画の評価を，同様の手法で進めた(図-4)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 大西暁生・一ノ瀬俊明	4. 巻 20, 248-251
2. 論文標題 夏季の時系列データによる地表面温度のホットスポットとコールドスポットの抽出とその空間的な特徴ー 2020年8月を対象としてー	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 都市計画報告集	6. 最初と最後の頁 248-251
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 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 一ノ瀬俊明	4. 巻 17 (1)
2. 論文標題 気候変動適応と地理学の貢献	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 E-journal GEO	6. 最初と最後の頁 46-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4157/ejgeo.17.46	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 Lin, Y., T. Ichinose, Y. Yamao, H. Mouri	4. 巻 168
2. 論文標題 Wind velocity and temperature fields under different surface heating conditions in a street canyon in wind tunnel experiments.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 106500
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.buildenv.2019.106500	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 該当する
1. 著者名 Ichinose, T. and K. Liu	4. 巻 7
2. 論文標題 Mapping of research and policy concerning climate change and cities in Asia.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Art and Design	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.29727/JAD	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 該当する

1. 著者名 一ノ瀬俊明	4. 巻 89
2. 論文標題 ヒートアイランド現象とその対策	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 新都市ハウジングニュース	6. 最初と最後の頁 1-3
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 一ノ瀬俊明	4. 巻 2018
2. 論文標題 気候を活かしたまちづくりの可能性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NIES環境報告書	6. 最初と最後の頁 27-27
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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Ichinose, T.
2. 発表標題 Thermal physiological analysis with remote sensing and big data for urban design.
3. 学会等名 International Workshop on Urban Planning and Environmental Research Cooperation, オンライン, 令和4年3月; (Proceedings, 15-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 一ノ瀬俊明
2. 発表標題 まちづくりにできる都市温暖化対策 ~気候変動適応策として~
3. 学会等名 日本地理学会学術大会 (オンライン) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ichinose, T. and K. Matsumura
2. 発表標題 Racial difference of ordinary face temperature.
3. 学会等名 Knowledge Sharing Symposium on Machine Learning and Deep Learning in Geoinformatics (Online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一ノ瀬俊明
2. 発表標題 最小スケール気候変動適応策としての被服色彩選択効果について
3. 学会等名 日本地理学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一之瀬俊明
2. 発表標題 应对气候变化時代の景觀設計動向 (招待基調講演)
3. 学会等名 風景園林与小気候国際学術検討会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ichinose, T.
2. 発表標題 Development of Education Materials for Awareness of Junior Generation on Urban Heat Island Counteraction.
3. 学会等名 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (IC2UHI) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 平野勇二郎・一ノ瀬俊明
2. 発表標題 環境情報データベースを活用した福島県の温熱環境評価
3. 学会等名 第27回地理情報システム学会学研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平野勇二郎・一ノ瀬俊明
2. 発表標題 復興まちづくり計画への展開を目指した地域温熱環境評価
3. 学会等名 環境科学学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一ノ瀬俊明
2. 発表標題 ヒートアイランド対策について
3. 学会等名 東京大学ホームカミングデイ2018最先端技術シンポジウム Cool Tokyo (東京を冷やす) Stage II (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一之瀬俊明
2. 発表標題 気候変化与亜州城市 研究与政策的今日 (中国語)
3. 学会等名 台湾東海大学国際論壇「智慧与韧性：人居環境的新挑戰」招聘講演 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshida, Y., T. Ichinose, Y. Hirano
2. 発表標題 Study on building energy estimation using UAV equipped with an infrared camera.
3. 学会等名 2022 IAUC Virtual Poster Session (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ichinose, T.
2. 発表標題 Clothing color effect as a target of the smallest scale climate change adaptation.
3. 学会等名 2022 IAUC Virtual Poster Session (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野勇二郎・一ノ瀬俊明・吉田友紀子
2. 発表標題 福島県の復興に向けた熱環境評価の事例
3. 学会等名 日本地理学会学術大会
4. 発表年 2022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
研究協力者	吉田 友紀子  (Yoshida Yukiko)	茨城大学・工学部・助教	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	平野 勇二郎  (Hirano Yujiro)	国立研究開発法人国立環境研究所・社会システム領域・主幹 研究員	

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