

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：34406

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20469

研究課題名（和文）季節遷移による温度変動の指向性を考慮した住宅の居住者行動モデルの開発

研究課題名（英文）Development of occupants' behavioural model considering with thermal variation by seasonal transition

研究代表者

今川 光 (Imagawa, Hikaru)

大阪工業大学・工学部・助教

研究者番号：60910867

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、冬季から気温が上昇して夏季に至る「気温上昇期」と、夏季から気温が低下して冬季に至る「気温低下期」の違いが、熱的な居住者行動に影響を与えるかを検討した。このために2021年6月から2024年3月までに住宅18世帯を対象にフィールド調査を実施し、データを収集した。窓開放とエアコン冷暖房、着衣量に焦点を当てて分析を行い、エアコン冷暖房と着衣量は上記の季節遷移の違いの影響があったと考えられた。また、外気温を説明変数とした着衣量モデルについて上記期間ごとに算出した。さらに、重回帰分析によるモデル化を行ったところ、どちらの期間もエアコン冷暖房使用状況に応じて着衣量が更に変化することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

居住者行動（環境調整行動）の実施は、季節に応じた快適性である適応的快適性の実現に欠かせない要素の一つである。本研究では、エアコン冷暖房と着衣量について、気温上昇期と気温下降期で差異を確認できた。また着衣量については各期間ごとにモデル化することができた他、エアコン冷暖房使用状態によっても着衣量が異なることが明らかとなった。居住者行動の研究は、空間運営の方針や建築の計画、建築シミュレーション時の行動制御において、基礎資料として役立つ。今回、これらの季節遷移の方向性の違いと居住者行動の関係性の理解を進めたことで、居住者の適応的快適性の実態に即した快適かつ省エネルギーな空間設計・運用に寄与できると考える。

研究成果の概要（英文）：Japan have wider seasonal change for thermal climate included with hot and humid summer and cold winter. It is important to adopt to our lifestyle with adaptive thermal comfort. The occupants' behavioural models have been developed by many previous studies. However these are not implemented with the directions of seasonal change of outdoor climate. In order to clarify the occupants' behaviours corresponded to directions of seasonal change we have conducted the longitudinal field survey in 18 dwellings of Kansai region of Japan from June 2021 to March 2024. In this survey the field measurement to thermal environmental parameters and questionnaire survey have been conducted simultaneously. We have analysed to cooling and heating by air-conditioning(AC), window open and clothing insulation, the cooling by AC and clothing insulation were affected by direction of seasonal change. We have also developed the occupants behavioural model of clothing insulation considering with above direction.

研究分野：建築環境工学

キーワード：居住者行動 環境調整行動 適応的快適性 住宅 フィールド調査 確率モデル 季節

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「人々の室内熱的快適性は室内だけでなく室外の温熱環境とも対応関係がある」。これは外気温と室内快適温度の関係性を表現する「適応モデル<sup>1)</sup>」で明らかにされているが、この背景には人々が着衣調整や機器使用などの居住者行動(または環境調整行動)により、その室外環境変動に対して適応することが理由である。適応的アプローチを上手に活用することで、許容できる室内温熱環境はある程度の変動幅を持ち、省エネルギーに配慮する快適空間の創出にも貢献できる。

熱的快適性に関わる居住者行動の研究の1つに、その行動の頻度や状態と気温の関係を数式で表す「居住者行動モデル<sup>例えば 2),3)</sup>」が挙げられる。近年の日本でも住宅やオフィスのエアコン冷暖房および窓開閉、扇風機の使用頻度や着衣状態(着衣量)のモデル開発事例が挙げられている。

いくつかの先行研究において、居住者行動モデルは年間の気候変動に着目するために外気温を説明変数に設定している。一方で、年間変動を想定した居住者行動モデルでは外気温 15~20℃において同じ外気温帯となる春季と秋季の両ケースが混在するが、温度が上昇傾向の春季と下降傾向の秋季では居住者の体感や行動も異なるのではないかと考えられた。もしそうであれば、この差異は従来手法のモデル(図 1(a))に反映されていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、居住者行動頻度や着衣状態について、①冬季から気温が上昇して夏季に至る「気温上昇期」と、夏季から気温が低下して冬季に至る「気温低下期」の違いが居住者行動に影響を与えるかを検討し、②これらの差異を反映した居住者行動モデルを開発することである。なお、図 1(b)にエアコン冷房での開発モデルの予想図(申請当初)を示す。

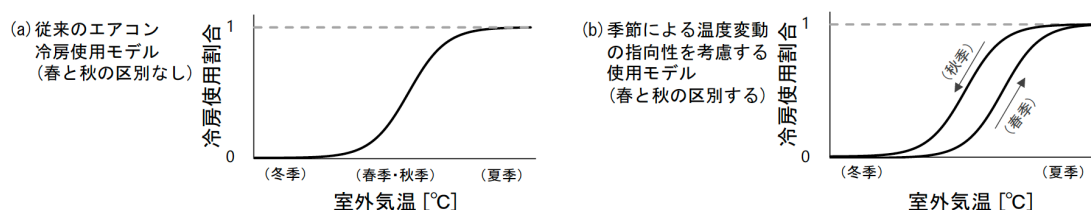


図 1 エアコン冷房使用モデルの概念図。(a)の従来手法に対して、(b)は春季・秋季の温度変動の指向性を反映したモデルとなる。

### 3. 研究の方法

本研究では、実際に生活している住宅において、測定器による温熱物理環境の継続的な測定と居住者行動の状態や熱的快適性を申告するアンケート用紙を併用した、長期フィールド調査を実施することで、居住者行動モデルの開発のためのデータを収集した。調査期間は 2021 年 6 月~2024 年 3 月であり、合計 18 世帯の住宅に本調査を協力していただいた。

測定調査では、リビングに測定機器を常設させていただき、気温や相対湿度、CO<sub>2</sub> 濃度などを 10 分間隔で測定した。また、外気温は気象庁の公開しているデータを用いた。アンケート申告では、アンケート冊子を用いて快適性と居住者行動の状態について、申告時の状態を回答してもらった。本アンケートは居住者自身の都合が合うタイミングに、1 日 4 回まで申告可能とした。居住者行動の状態については、窓開閉・エアコン冷暖房使用・着衣量などを回答してもらった。窓については、開放幅によらず開放・閉鎖のどちらかを二者択一で申告してもらった。エアコン冷暖房については、不使用時は 0、使用時は設定温度数値もしくは除湿、送風などの設定を冷房・暖房ごとに記入してもらった。着衣量はイラスト尺度<sup>4)</sup>を用いて clo 値を回答してもらった。

なお、本報告書におけるエラーバーは 95%信頼区間を示している。

### 4. 研究成果

#### (1) 窓開放およびエアコン冷暖房使用のモデルの開発

##### ① 年間変動

はじめに、窓開放とエアコン冷暖房の使用についての分析結果を示す。これらの行動は、行動頻度に着目し、割合で表現している。

居住者行動の年間推移を明らかにするため、図 3 に各月の居住者行動割合を示す。エアコン暖房使用割合をみると、11 月頃から上昇し、12 月から 2 月の割合は 0.70 を超える傾向にあった。この、11 月からエアコン暖房使用を選択する傾向は、図 1 で述べた 11 月以降の平均室内温度が同等の値をなったことの要因として、対応していると考えられる。

次に、採涼のための居住者行動について確認する。窓開放割合は 6 月や 9 月と比較して 7~8 月の方が低い傾向にあった。これに対応するように、エアコン冷房使用割合は 7~8 月が高くなっている。これらの関係性については、「エアコン使用時は運転効率の観点から窓は閉鎖する」ためと考えられる。これについて、図 3 でも示す通り、エアコン使用と窓開放が同時実施されるケースがほぼないことが分かった。

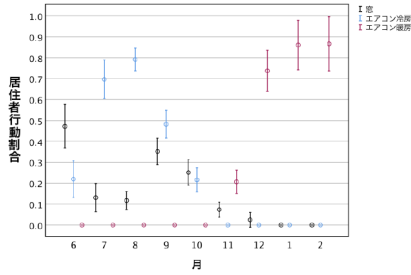


図2 各月の居住者行動割合

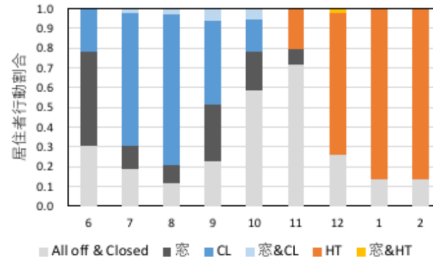


図3 併用パターンに基づく各月の居住者行動割合

### ②居住者行動モデルの算出

本調査対象住宅でも窓とエアコンの状態が季節に応じて変更されていたことが確認できたため、全期間での居住者行動モデルを算出しておく。図4に外気温2℃ごとの各居住者行動割合とこれらを回帰分析することで得られた居住者行動モデルの式および回帰曲線を示す。外気温2℃ごとの居住者行動割合について、窓開放では夏季の外気温帯から低下すると窓開放割合が上昇するものの、最高割合0.39となる22℃よりも低下すると割合も下降することがわかった。エアコン冷房使用では、夏季の外気温帯では0.70以上と高い割合で推移する傾向があり、外気温の低下に応じて割合も低下する傾向にあった。エアコン冷房が使用されない外気温帯は、約17℃以下であることもわかる。一方、エアコン暖房使用では外気温が約18℃から低下するに応じて割合が上昇し、約8℃以下では0.70以上になる傾向にあった。また、これらの割合値を用いて、ガウス関数やロジスティック関数を用いた居住者行動モデルが算出できた。

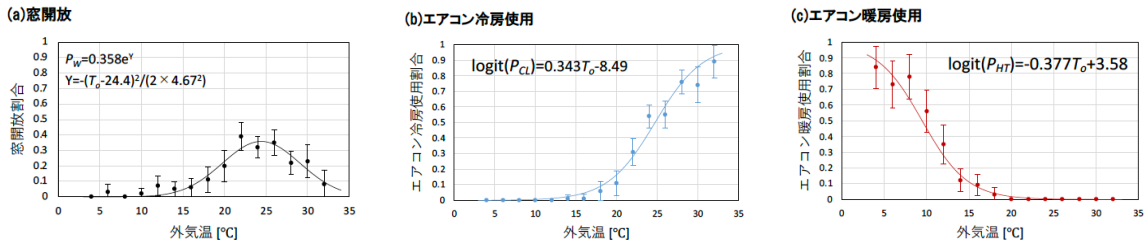


図4 窓開放およびエアコン冷暖房モデルの算出

### ③季節遷移を考慮した窓開放およびエアコン冷暖房使用のモデルの開発の必要性の検討

次に、前節で算出した居住者行動モデルを、季節遷移に応じたモデルとしての開発必要性を検討する。図5に、各月の居住者行動割合と月平均外気温の関係を示す。エアコン冷房使用割合は、6月よりも9月の方が有意に高い。一方、窓開放では、9月よりも6月の方が高い割合値であるが、95%信頼区間を考慮すると、有意な差ではなかった。95%信頼区間はデータ数に応じて変化することから、今後も調査およびデータ整理を進めることで、6月と9月の窓開放割合に有意な差が得られる可能性もある。

エアコン暖房使用について、同外気温帯である1月と2月では、エアコン暖房使用割合もほぼ同等の値を取っている。エアコン暖房使用について、分析時点で2月以降の継続調査のデータが含まれていないため、データ構築後の再分析で、11月と3月の使用差がみられる可能性がある。

以上より、現時点ではエアコン冷房使用割合の6月と9月において、同外気温帯において有意な差が算出されている。このため、エアコン冷房の居住者行動モデルに着目して、モデル開発の検討を行った。図6は各期間における外気温2Kごとのエアコン冷房使用割合である。ここで、6月～8月のデータを気温上昇期、7月～2月のデータを気温下降期と定義した。図6をみると、エアコン冷房使用割合は上昇期より下降期の方がわずかに高い値であるものの、95%信頼区間を考慮すると有意な差は得られていない。また、6月と9月の平均外気温に近い24℃台では、使用割合の差が広がる傾向もなかった。このことから本研究では、各期間でエアコン冷房使用モデルを算出しても、有意な差がないモデルが算出される可能性がある。

以上より、各月の値で比較するとエアコン冷房使用割合について季節遷移の差が現れたが、外

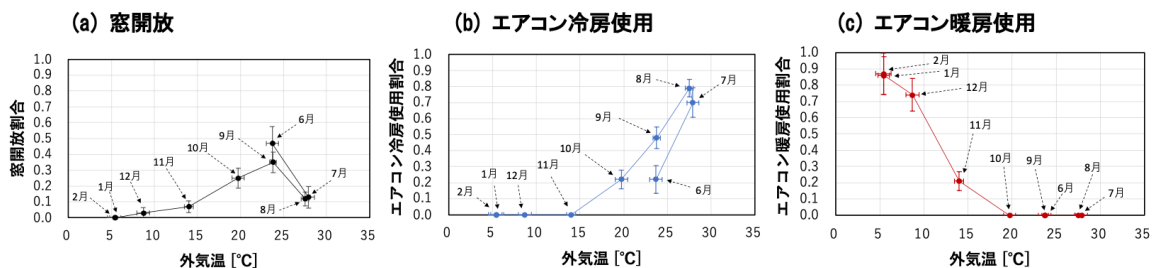


図5 各月の居住者行動割合と月平均外気温の関係

気温 2K ごとのエアコン冷房使用割合では差があらわれなかった。つまり、季節遷移に応じたエアコン冷房使用モデルは現段階では算出されない可能性が高いことを意味すると共に、外気温の上昇期内（または下降期内も同様に）において、同じ外気温であっても各期に入ってから経過日数なども関係していることが考えられるだろう。今後、日付などの時間軸も説明変数に組み込むことで改良される可能性が考えられた。

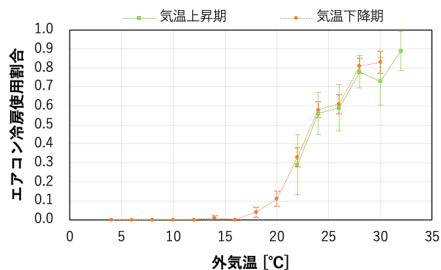


図 6 各期間におけるエアコン冷房使用割合と外気温の関係

## (2) 着衣量の分析

### ①年間変動と着衣量モデルの算出

次に、着衣量についての分析結果を示す。初めに、着衣量の年間変動を確認するため、図 7 に各月の平均着衣量を示す。本調査において夏季では 0.35clo 程で、冬季には 0.6clo 以上で推移する傾向である。エラーバーの範囲は冬季で広がるが、この理由として冬季では服装の素材や重ね着の枚数、個人の好みの服装といった個人差によるばらつきが関わると考えられる。また、図 8(a)において一次関数で回帰分析を行ったところ、外気温が上昇するにつれて着衣量も低下する関係が得られた。ただし、図 8(b)で示すように夏季の外気温帯の着衣量は 0.3~0.4clo で推移する傾向があることから、これら夏季の傾向に近似するモデル式で算出する必要がある。そのため、これらの平均着衣量から、ロジスティック関数を用いて着衣量モデルを算出した(図 8(b))。

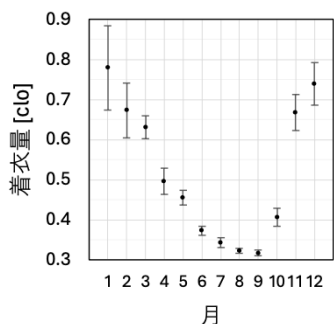


図 7 各月の平均着衣量

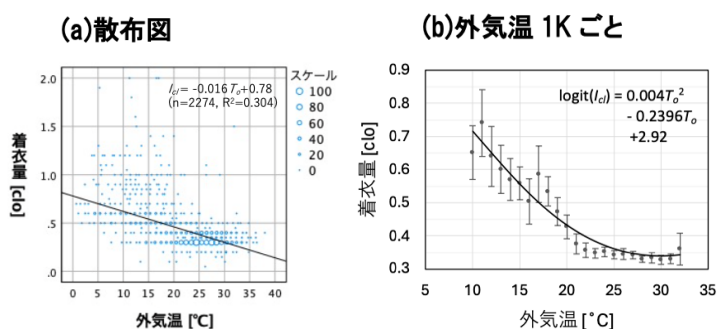


図 8 着衣量と外気温の関係

### ②季節遷移を考慮した着衣量モデルの開発

図 9 に着衣量と気温の各月平均を示す。「6 月と 9 月」「5 月と 10 月」では月平均外気温が同じ値を示しているが、着衣量は気温上昇期(5~6 月)の方が有意に高い。このことから、同じ気温帯であっても 5 月~10 月にかけては気温の下降期の方が薄着の傾向であることがわかる。なお、関東の住宅の非エアコン時を対象にした<sup>5)</sup>では逆の結果が得られている。

これらのことから、季節変動に応じた着衣量モデルの算出を行った。ここでは、月平均外気温を基に 2 月から 8 月を「気温上昇期」、8 月から 2 月を「気温下降期」と再定義している。図 10 に気温上昇期と気温下降期における外気温 2K ごとの平均着衣量を示し、それぞれの期間のデータで回帰分析によって得られた着衣量モデルも図 11 に示す。本調査のデータを用いた結果、22°C と 24°C では有意な差があった。得られた着衣量モデルで比較しても、約 21°C 以上では上昇期の方が着衣量は高い傾向を示した。ただし、図 9 では月平均外気温が約 20°C の 5 月と 10 月で平均着衣量に差がみられたが、図 10 のエラーバーでは有意な差が得られなかった。この理由として、外気温以外の要因についても考慮する必要性も考えられる。これについて、次節で重回帰分析を用いて検討を行った。

また、気温上昇期の着衣量モデルでは、14°C 未満を表現できておらず、これは春期のデータ数が少ない ( $n < 30$ ) ためである。今後、調査の継続とデータの整理を進めることで、該当外気温帯の着衣量の比較も実施したい。また、本着衣量モデルでは二次関数や三次関数を用いたロジスティック関数でモデル化をしたため、夏季や冬季の着衣量推移が精度良く表現できていない。図 1 で示したような、連結した居住者行動モデルの開発のために、季節遷移に応じた着衣量モデルの算出方法も再検討したい。

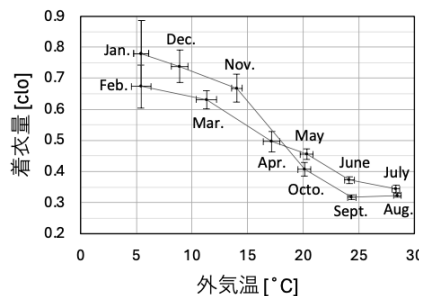


図 9 着衣量と外気温の各月平均

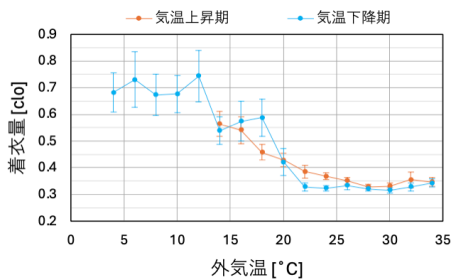


図 10 各期間の着衣量と外気温の関係

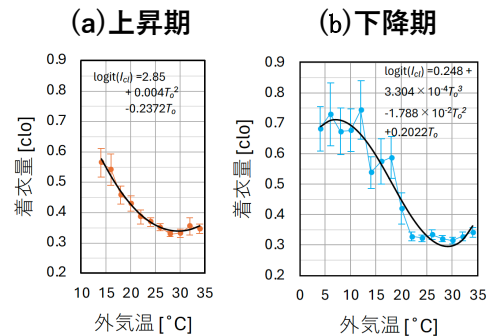


図 11 季節遷移に応じた着衣量モデル

### ③重回帰分析による各期間の着衣量変動要因の検討

前節の通り、着衣量モデルにおける外気温以外の説明変数の検討を、気温上昇期と気温下降期ごとに行った。本研究では外気温の他に、室内グローブ温度、窓、エアコン冷房、エアコン暖房、扇風機の使用状況を設定した。ただし、外気温と室内グローブ温度は多重共線性のため、外気温を抽出して、モデル化を進めた。重回帰分析の結果、以下の式が得られた。

気温上昇期:  $I_{cl} = -0.011T_o + 0.080S_{HT} - 0.029S_W + 0.60$

気温下降期:  $I_{cl} = -0.015T_o + 0.076S_{HT} - 0.036S_{CL} + 0.76$

$I_{cl}$ : 着衣量[clo]、 $T_o$ : 外気温[°C]、 $S_{HT}$ : エアコン暖房使用状態[-]、 $S_W$ : 窓開閉状態[-]、 $S_{CL}$ : エアコン冷房使用状態[-]であり、それぞれ使用時(開放時)に1、不使用時(閉鎖時)に0が代入される。なお、窓と扇風機の状態は有意な回帰係数が得られなかった。

回帰係数を比較すると、どちらの期間もエアコン暖房使用状態に応じて、約0.08cloの変動があることがわかった。これは「同じ室内外気温であっても、暖房を使用する寒い時期であればさらに厚着をしている」ことを意味すると考えられ、冬季の着衣量のばらつきの1要因と推測される。さらに、今後の追加分析でエアコン暖房モデルも季節遷移に応じて異なる傾向が明らかとなった場合、着衣量モデルにも影響を与えることを意味する。また、採涼行動についても、気温上昇期では窓開放で、気温低下期ではエアコン使用状態で着衣量がわずかであるが低下していた。採涼行動については、季節遷移期に応じて着衣量に影響を与える行動が異なる可能性がある。

## 5. まとめ

本研究では、関西地域の住宅18世帯において、温熱物理環境測定とアンケート申告を併用した長期フィールド調査してデータを収集した。ここから、「春季を含む気温上昇期」と「秋季を含む気温低下期」という「季節遷移の違い」に応じた居住者行動の違いを分析し、季節遷移の違いを反映した居住者行動モデルの開発について検討した。

- ① 窓開放およびエアコン冷暖房使用の割合、着衣量のどれも、季節変動に応じて変動しており、居住者達は季節に応じて変更していた。そのため、これらのどの行動も、外気温を説明変数とした居住者行動モデルを開発することができた。
- ② 各月の各行動割合および平均着衣量について、平均外気温との対応関係をみると、特にエアコン冷房使用と着衣量については、気温上昇期と気温下降期で有意な差がみられた。ただし、エアコン冷房モデルについては、季節遷移を考慮したモデル化には至らなかった。
- ③ 着衣量モデルについて、季節遷移を考慮したモデルを開発し、約21°C以上では上昇期の方が着衣量は高い傾向を示した。
- ④ 季節遷移を考慮した着衣量モデルを、重回帰分析で開発したところ、どちらの期間もエアコン暖房の使用時に0.03clo上昇する傾向があった。エアコン暖房使用モデルも季節遷移に応じたモデルが開発された場合に、着衣量の変動にも影響を与える可能性が挙げられた。また、これらは冬季の着衣量のばらつきの1要因である可能性として推測された。

本研究では、いくつかの居住者行動において、季節遷移に応じたモデル化の必要性が考えられ、また、居住者行動同士で影響し合うために、全ての居住者行動モデルにおいて検討する必要性があることが明らかとなった。一方、本研究では一部期間において十分なデータ数が得られず、分析ができなかったり有意な差が現れなかったケースがみられた。住宅における長期フィールド調査は現在も継続していることから、今後データがさらに増加した段階で再分析を行いたい。

## 6. 参考文献

- 1). Nicol et al.: Adaptive thermal comfort -Principles and practice-, Routledge, 2012
- 2). Takasu et al., Building and Environment, Vol.118, pp.273-288, 2017
- 3). KC et al., Journal of Building Engineering, Vol.19, pp.402-411, 2018
- 4). 今川ら, 日本建築学会環境系論文集, Vol.81, No.728, pp.875-883, 2016
- 5). 今川ら, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 41307, pp.631-632, 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 今川光
2. 発表標題 外気温に基づいた関西地域の住宅における窓開放及びエアコン冷暖房使用の分析
3. 学会等名 令和4年度日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今川光
2. 発表標題 関西地域の住宅における季節変動を考慮した居住者行動の比較
3. 学会等名 2022年度日本建築学会大会（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今川光
2. 発表標題 適応的快適性とフィールド調査について
3. 学会等名 日本建築学会第23回近畿環境工学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今川光
2. 発表標題 関西地域の住宅における季節遷移を考慮した着衣量モデルの検討
3. 学会等名 2024年度日本建築学会大会（関東）
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
---------	---------