

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04378

研究課題名（和文）空調オフィスにおいて積極的に選択される行動的適応手段に関する研究

研究課題名（英文）Conditions for Actively Selected Behavioral Adaptation Means in Air-Conditioned Offices

研究代表者

中野 淳太（Nakano, Junta）

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：30350482

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、空調されたオフィスにおいて、熱的快適性の改善に寄与する行動的適応手段の条件を明らかにすることを目的とした。まずパーソナル空調の動向について調査し、人体から最も離れた天井からの吹き出し方式に集中していることがわかった。また、最新のASHRAE温熱環境基準では、個人による環境調節が熱的快適性にポジティブに働くと明記され、そのための要件が明らかにされた。空調された学生ラウンジでは、滞在時間が長いほど適応行動回数は増加し、着衣調節が主であった。着衣量は室温と最も相関が高く、調節時の変位量はベースの着衣量に比例していた。4人以上の大人数でいることが適応行動の阻害要因になりうることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築分野では室内環境に対するニーズが多様化している一方、2050年のカーボンニュートラル社会に向けた抜本的なエネルギー削減策が求められている。執務者の温熱環境適応の考慮により室内環境条件の緩和が可能になるが、環境適応研究は主に自然換気オフィスを対象に行われてきた。空調されたオフィスを対象とし、熱的快適性の改善に寄与する行動的適応手段の条件に着目した点に本研究の意義がある。最新の温熱環境基準および国内パーソナル空調の動向を分析し、求められる要件を整理した。オフィスでの調査は実現しなかったものの、空調されたカフェテリアにおいて行動的適応特性と非熱的要因の影響について定量的評価を行った。

研究成果の概要（英文）：This study aims to identify the conditions for behavioral adaptation measures that contribute to improved thermal comfort in air-conditioned offices. Trends in personal air conditioning systems were investigated and found to be concentrated in ceiling-supply systems, which are the most distant from the human body. In addition, the latest ASHRAE thermal environment standard specifies that personal environmental control positively affects thermal comfort, and the requirements for the system were identified. In the air-conditioned student lounge, the number of adaptive behaviors increased with time spent there, mainly due to clothing adjustment. The amount of clothing was most correlated with room temperature, and the amount of adjusted clothing was proportional to the base clothing. Being in a large group of four or more people was found to be a potential disincentive for adaptive behavior.

研究分野：建築環境工学

キーワード：熱的快適性 温熱環境適応 行動的適応 着衣調節 パーソナル空調

1. 研究開始当初の背景

経済産業省では、2030年までに新築建築物の平均でZEBを実現することを目標に掲げている。オフィスビルにおける運用エネルギーの約3割を占める空調分野の省エネは世界各国に共通する課題であり、開閉可能な窓のある自然換気オフィスについては、ASHRAE 55¹⁾ 温熱環境基準でも執務者の温熱環境適応の考慮による熱的快適域の拡大が認められるようになった。執務者が窓・着衣等で自身の温熱環境を調節するという主体性を発揮することで、受け身な立場でいるよりも広い環境範囲で快適でいられるという研究結果を反映している。環境適応の概念は、執務者の満足度を高めるとともに省エネにもつながることが期待されている。

空調分野では、執務者の環境適応の自由度を高める手法として、パーソナル空調が提案されている。個人差の解消により不満足者率を0に近づける手法として1990年代に脚光を浴びたが、環境適応の観点から改めてその可能性が見直されている。しかし、環境適応研究は主に非空調（自然換気）空間を対象としており、温熱環境基準に採用されているadaptive modelも冷房設備のある建物には適用できない。世界の動向を見ると、ISO 16596においてpersonalized environmentに関する規格が作られようとしている。また、2016年に米国で提案されたオフィス執務者の健康性影響指標、WELL Building Standardにもindividual thermal controlという項目が含まれており、空調オフィスにおける環境適応の計画的導入に対するニーズは高い。具体的な導入事例として、同一空間内に多様な環境を用意して利用者が自由に選択できるようにすること、あるいは個人で環境調節できる設備的手段（PCS: personal comfort system）を導入することが提案されている。これらの措置により適応行動の選択肢（適応機会）が増えることは事実であるが、それ以上の情報は提供されていない。

環境への適応のしやすさには、適応するために有効な手段（適応機会）の豊富さが影響すると言われている。半屋外環境やオフィスでの適応行動を調査すると、季節的な大きな環境変化に対しては、着衣による緩やかな行動的適応が見られる。一方で、短時間の環境変化に対しては、明らかに不快な環境であっても適応しようとししない利用者が一定数いることも確認されている。また、パーソナル空調の導入されたオフィスにおいては、導入当初は積極的な利用が見られるものの、徐々に特定の人にしか利用されなくなる実態が報告されている。環境適応を有用な温熱環境計画手法として定着させるには、適応機会を増やすだけでなく、有効に活用されるための条件についての情報が不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、空調されたオフィスにおいて、熱的快適性の改善に寄与する行動的適応手段（適応機会）の条件を明らかにすることである。これまでの環境適応に関する知見は、主に自然換気（非空調）の空間と空調空間での行動や申告結果の違いを比較することで得られてきた。利用者による自発的な環境への適応が前提となるため、「非空調空間であること」が最も適応に与える影響が大きい要因とされてきた。また、心理的適応の効果が大きいという点が注目されてきた。反面、空調された空間において適応を促進する手段については解明が進んでいない。環境適応がコンセプトとしては受け入れられても、温熱環境計画手法として根付いていないのは、適応機会が備えるべき条件と利用者への提示方法が明確になっていないためと考えられる。

これまでの環境適応研究は、環境や行動が選択された結果を物理的に、また心理的に分析することで行われてきた。選択行動の結果のみを見た場合、それが積極的選択の結果であったか、消極的選択の結果であったかが不明である。積極的選択の結果に対する不満は大きくなりやすいため、アンケート等から原因の特定がしやすい。しかし、消極的選択の結果に対する小さな不満は表面化しにくく、長期間に渡って利用する空間ほど潜在的ストレスの蓄積につながると考えられる。これまでの環境適応研究において、この観点が欠けていたために、適応手段の有効性を評価する上で齟齬が生じていたと考えられる。

本研究は、選択に関する認知心理学の知見を考慮し、空調されたオフィスにおいて実際に利用されやすい行動的適応手段の条件、および利用者への提示方法を明らかにする。

3. 研究の方法

1) 近年、室内環境をめぐるニーズが大きく変遷しながら複雑化している中、パーソナル空調が、同一空間で多様な環境を提供できる技術として見直されている。空調されたオフィスにおける行動的手段として、日本国内におけるパーソナル空調に関する文献および事例調査を行った。また、世界的に広く参照されているASHRAE 55-2023 温熱環境基準において、個人による環境調節の自由度を高めるパーソナル空調やpersonal control system (PCS)に関連する項目が追加されており、その動向を調査した。

2) 本研究の計画当初は、適応機会の異なる空調オフィス空間において、適応行動に関する実測調査を行う予定であった。パーソナル環境調整装置の有無、座席選択の自由度、着衣調節の自由度に差があった場合の適応行動の違いを調査することを目的としていた。手法としては、夏季、秋季、冬季において1週間程度、環境測定およびアンケート調査を行い、(a) 人感センサや機器

作動状況による適応行動の記録、(b)アンケートによる心理量調査、(c)温熱環境測定という3つの手法を組み合わせる計画であった。しかし、調査時がコロナ禍の影響が残っている時期であり、予定していた企業の協力が得られなかった。また、在宅ワークを交えた働き方の移行期にあり、オフィスの使い方も平常時とは異なっている状況であった。そこで、大学の空調された学生ラウンジを対象に、一年を通じた環境適応行動特性の調査を行った。

4. 研究成果

1) 文献調査

・**パーソナル空調に関する文献調査** 1989年以降の国内パーソナル空調事例35件を「人体からの距離」と「システム構成の複雑さ」の2軸で整理した。マッピングの結果を図1に示す。2010年代の事例が圧倒的に多く、実用レベルのユニットが実物件に多数導入されるようになったことがわかる。分布は偏っており、影響の及ぶ範囲が壁近傍に限定される壁設置タイプの事例が最も少なかった。什器タイプは様々な工夫を凝らしたものが開発されているが、ファシリティマネジメントの自由度が影響し、導入事例は少なかった。また、床吹き出しロタイプは、全体空調が床吹き出し方式であることが前提となるため、事例数はそれほど多くなかった。最も多いタイプが、マップ右側の天井吹き出しロタイプで、近年、システム天井空間での適用事例が増えている。機能としては吹き出し口の開度調節、ダンパやファンによる風量調節、人感センサやIC社員証の情報と連携した自動制御など様々な種類が見られる。日本の工事区分、オフィスレイアウト変更への柔軟な対応、導入と維持にかかるコスト等の事情を総合した結果、人体からもっとも離れた位置より居住域への空調給気風量を調節する天井吹き出し方式に集中している傾向が明らかになった。

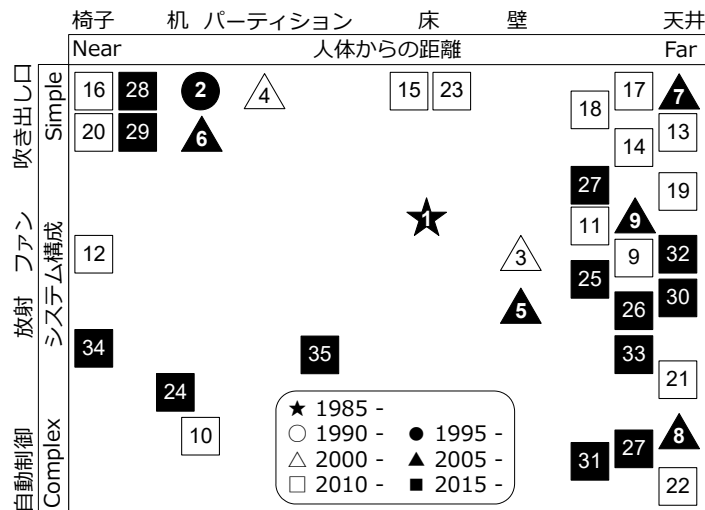


図1 国内パーソナル空調事例のマッピング

・**ASHRAE 55-2023に関する動向調査** 最新版の2023年度版では、個人で自由に環境調節をできることが熱的快適性にポジティブに働くと明記された基準となった。暑熱環境では、気流を併用することで設定室温を上昇させ、エネルギー削減を図ることができる。一方で、ドラフト（不快な気流）を回避するために気流速度の上限を定める項目が足かせになることがあった。一定要件を満たすことでドラフト条件が緩和され、積極的に気流を使えるようになった。代謝量が1.0~2.0 met、着衣量が0.0~1.5 cloの範囲にあり、気流速度が0.10 m/sを超える場合に適用できる。また、個人による気流の調節ができる状態であれば、気流速度の上限が撤廃された。一方で、通常のドラフト評価は首周りの気流に対して定義されているが、足元のドラフトについて項目が新規に追加された。

個人で環境調節を行える場合は、設定温度を緩和できる条件が追加された。しかし、その適用には、一定の環境調節レベルを満たす必要がある。環境調節手段へのアクセス性、手段の数、そして調節できる対象領域の組み合わせで5つのレベルが定義された。また、調節手段の能力として、5分以内にPMVで±0.5の調節ができることを求めている。今後のパーソナル空調開発の参考となる方向性が示されたと考えられる。

2) 空調された学生ラウンジにおける実測調査

・**調査概要** 東海大学湘南キャンパス内の19号館1階吹き抜けラウンジを対象とした。平面図を図2に示す。2層吹き抜けとなっている空間に6人用と4人用のテーブルが並べられており、学生が終日自由に使うことが可能であった。228席あるが、コロナ対応のため実際の使用は114席に制限されていた。2階スラブに設けられた6つのノズル吹き出し口より季節に応じた空調が行われていた。

2021年度は2021/10/13~12/22までの毎週水曜日の計10日間、2022年度は、2022/6/21~7/19までの毎週火曜日と2022/10/5~12/14までの毎週水曜日の計12日間とした。調査時間帯は、学

生の滞在人数が最も多い 11:00~15:00 の時間帯に行った。

調査方法としては以下の 3 手法を用いた。①滞在人数調査：対象空間を見渡せる 2 階より行動観察を行った。20 分間隔で各テーブルにいる人数全員を数え、滞在分布を記録した。②着衣・適応行動調査：利用者をランダムに抽出し、着席時刻、性別、年齢、グループ人数を記録した。その後、着衣チェックリストに目視で記入し、適応行動を起こすたびにその内容と時刻を退席するまで記録した。着衣量は各アイテムの clo 値を ISO9920 から参照し、合計値を求めた。③温湿度測定：室内全域を網羅するように、計 12 箇所です室内温湿度を測定した。測定点を図 2 に示す。感染対策で着席制限された席を選び、テーブル下の床上約 70cm に設置し、10 分間隔で記録した。また、調査建物の 1 階入口付近にて外気温湿度を測定した。

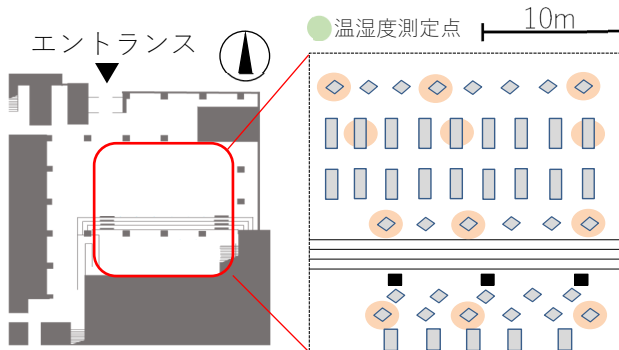


図 2 19 号館吹き抜けラウンジ測定点

・測定結果

①空気温度 調査時間帯の室温と外気温の平均値を図 3 に示す。室温は概ね 20°C 前後であったが、11/17 から暖房運転が始まり、12 月にかけて外気温との温度差が開いていった。10 月と 12 月の平均室温分布を図 4 に示す。いずれの月も入口付近に最低値、室内の奥側で最高値が見られた。10 月の最大の温度差は 1.4°C であったが、12 月では 2.8°C であった。

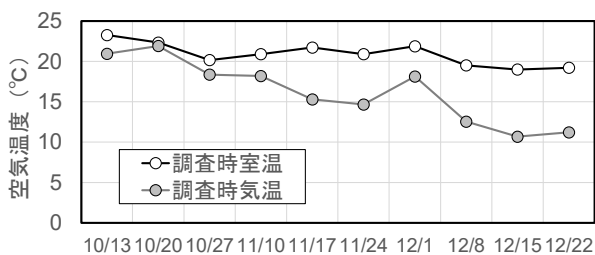


図 3 調査時平均室温・外気温

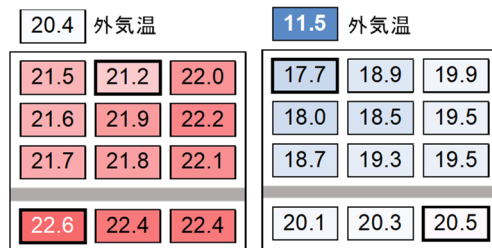


図 4 室温分布 (左：10 月、右：12 月)

②滞在状況 滞在時間の中央値と延べ滞在人数を図 5 に示す。滞在人数は日によってまばらであり、11/17 が最大となった。座席数制限の関係から、延べ滞在人数の上限値は約 600 人となっていた。各調査日の滞在時間の中央値は約 35 分であり、日によって変動が見られた。滞在人数と滞在時間の間に関連は見られなかった。

グループ人数と滞在時間の中央値を図 6 に示す。5 人以上のグループは n 数が少なかったため除外した。1~3 人が約 35 分であったのに対して 4 人グループは 64 分であり、Steel-Dwass の検定で有意に長い結果となった。10 月と 12 月の月平均滞在者数の分布を図 7 に示す。両期間ともに室中央部に比べ、外周部のテーブルが利用されやすい傾向にあった。入口付近の座席の利用人数は室温の下がる 12 月に減少していたものの、その他の座席には室温の影響は見られなかった。

③適応行動 滞在中の環境適応行動として、上着の着脱、袖まくり、腕さすり、座席移動などが観察された。1 人当たりの適応行動回数を図 8 に示す。適応行動は室温と外気温の差が大きくなる 12 月以降に増加する傾向が見られた。また、適応行動の種類は、82~94%を着衣調節が占めていた。

滞在時間と適応行動回数の関係を図 9 に示す。滞在時間と行動回数には正の相関があり、滞在時間が長いほど適応行動を積極的に行う傾向が見られた。グループ人数と適応行動回数の関係を図 10 に示す。先の結果より 4 人の滞在時間が最も長いものの、行動回数は 1~2 人グループより Steel-Dwass の検定で有意に減少しており、大人数でいることは適応行動の阻害要因になっていたと考えられる。

④着衣量 各月の平均着衣量は 10 月 0.59 clo、11 月 0.70 clo、12 月 0.78 clo となった。調査時平均室温と着衣量の関係を図 11 に示す。Nakano et al.²⁾は半屋外環境において外気温と着衣量に相関があることを示しているが、本研究では室温との相関が最も高かった。ラウンジに来る前に教室等で着衣を調節していたためと考えられる。

着衣量と滞在中に調節された着衣変位量の絶対値の関係を図 12 に示す。着衣変位量は着衣量

と強い正の相関があり、ベースとなる着衣量が多いと、滞在時間中の着衣変位量も増加していた。

室温がエリアにおける滞在者の分布に与える影響は小さかった。適応行動回数は滞在時間が長いほど増加し、着衣調節が主であった。着衣量は室温と最も相関が高く、調節時の変位量はベースの着衣量に比例していた。4人以上の大人数でいることが適応行動の阻害要因になりうることがわかった。

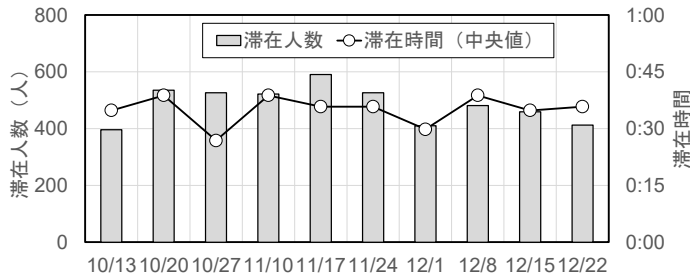


図5 滞在人数と滞在時間

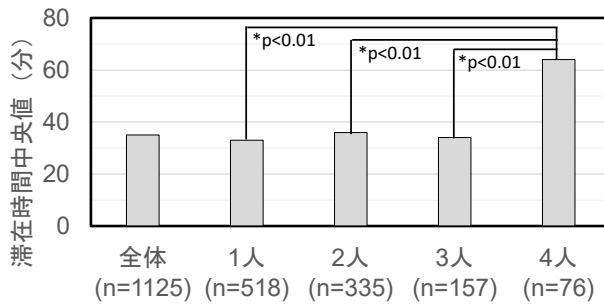
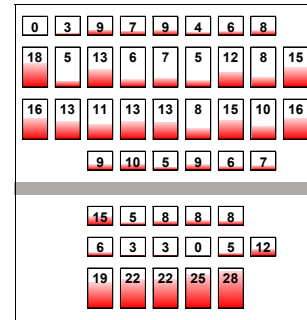


図6 グループ人数と滞在時間

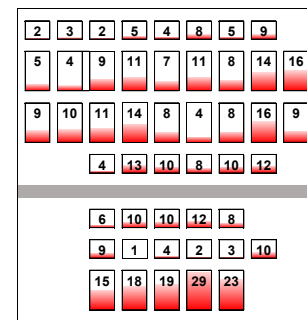


図7 平均滞在分布図 (上: 10月、下: 12月)

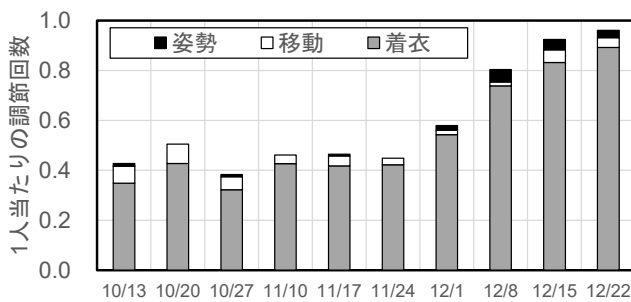


図8 一人当たりの適応行動回数

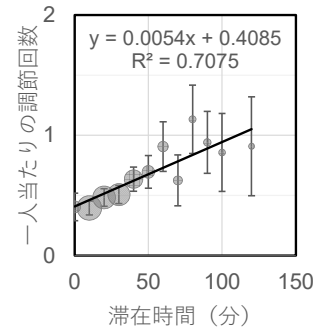


図9 滞在時間と調整回数

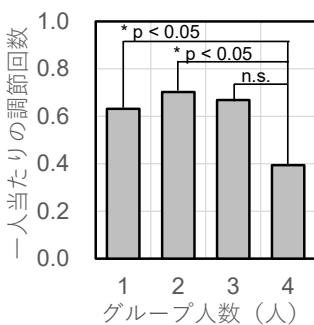


図10 グループ人数と調整回数

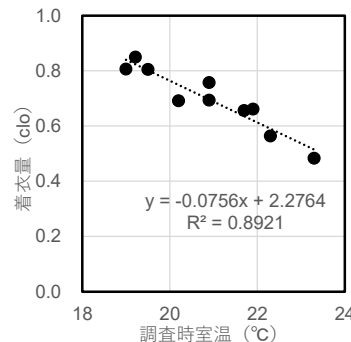


図11 室温と着衣量

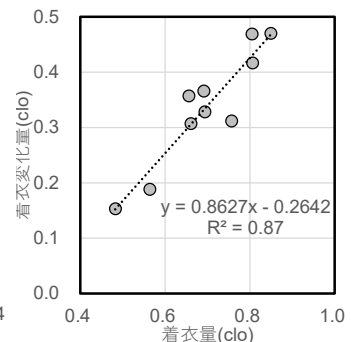


図12 着衣量と変位量

<参考文献>

- 1) ASHRAE : Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2023, 2023
- 2) Nakano, J., Tanabe, S.: Thermal Adaptation and Comfort Zones in Urban Semi-Outdoor Environments, Frontiers in Built Environment, 6, 2020 (<https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00034>)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野淳太
2. 発表標題 パーソナル空調の定義および最新温熱環境基準の動向
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会シンポジウム パーソナル空調から考える カーボンニュートラル時代の居住域環境のあり方
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野淳太
2. 発表標題 非熱的要素が学生ラウンジにおける温熱環境適応行動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------