

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32631

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02302

研究課題名(和文) 温熱環境適応が知的生産性に与える影響

研究課題名(英文) Effects of thermal adaptation on cognitive performance

研究代表者

西原 直枝 (Nishihara, Naoe)

聖心女子大学・現代教養学部・准教授

研究者番号：90611129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、室内温熱環境を対象とし、温熱環境に適応する際の行動や心理反応である温熱環境適応が知的生産性に与える影響を明らかにすることである。本研究では、日常生活における着衣や気流調整などの温熱環境適応範囲を把握し、温熱環境適応が知的生産性に与える影響について、人工気候室における実験室実験により評価した。執務者のメンタルワークロードの指標として近赤外線分光による脳内酸素代謝測定を行い、定量的に精神的負担を評価した。また、持続可能なライフスタイルを実現する上で、温熱環境適応行動を、衣・住生活教育の中に位置づけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温熱環境が知的生産性に与える影響については、温熱環境適応という観点をを用いて明確にした研究はこれまでほとんどなかった。本研究で得られる知見は、快適かつ知的生産性の高い室内環境を実現する上で基礎的なデータとなる。また、温熱環境適応の考え方は、空調制御や衣服調整など、生活者の適応行動にかかわるため、得られる知見は、生活者のライフスタイルをより持続可能にするという視点においても親和性が高い。本研究で得られる居住者の温熱環境への適応に関する知見について、居住者である使い手側からの視点で衣生活や住生活の教育を検討することにより、持続可能なライフスタイルの実現の一助となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to investigate the impact of thermal adaptation behavior on cognitive task performance. The experiments with participants in a climatic chamber were conducted to investigate the hypothesis that thermal adaptive opportunities available to building occupants affect their cognitive performance and mental workload. The change rate of cerebral blood flow was measured by Near Infra-Red Spectroscopy (NIRS) and interpreted as the metric of mental workload in subjects while performing cognitive tasks with, or without access to thermal adaptive opportunities such as regulable fan induced air flow and clothing insulation adjustment. Thermal adaptive opportunities at 28°C has a potential for reducing building energy demand. Additionally, the thermal adaptation behaviors were positioned within the context of education on clothing and living, aiming to achieve a sustainable lifestyle.

研究分野：建築環境学、被服衛生学、家庭科教育学

キーワード：温熱環境適応 知的生産性 熱的快適性 着衣 ライフスタイル

1. 研究開始当初の背景

エネルギー消費による二酸化炭素などの温室効果ガスの排出は、地球温暖化をはじめとした気候変動を引き起こす原因となっている。オフィスなどの業務等部門および家庭部門の民生部門のエネルギー消費は、日本におけるエネルギー消費全体の約3分の1を占めている。人間はその90%以上の時間を室内で過ごしており、オフィスや家庭をはじめとする室内での省エネルギーを図ることが喫緊の課題となっているが、それと同時に、室内で生活する人の健康性、快適性、生産性を保つ必要がある。

本研究では、室内温熱環境を対象とし、居住者の温熱環境適応が快適性や生産性に与える影響に着目した。温熱環境における快適性の研究においては、「不快な環境変化に対して、人は自ら快適性を回復しようとする」¹という原則のもとに熱的快適性を捉える、温熱環境適応（Thermal Adaptation）の概念が着目されている。環境に適応しようとする行動や心理反応が、私たちの快適な温度範囲を広げていることが指摘されておりアダプティブモデルとよばれている^{1,2}。省エネルギー性の高い室内環境が求められるなか、単に暑くも寒くもない熱的中立な状態を一律に求めるだけでなく、人間の環境への適応特性を考慮した工夫を行うことができれば、空調や建物などの設計目標を緩和し省エネルギーを図る方法の可能性が広がる。本研究では、この考え方を知的生産性研究にも援用し、温熱環境適応を考慮して、室内温熱環境と快適性、生産性の関係について研究を行うこととした。

研究課題の核心となる学術的な問いは、温熱環境が知的生産性に与える影響において、人間の適応特性がどのようにかわっているのかを明らかにすることである。人間は、温熱環境の変化に対して、行動性および自律性の体温調節を行っている。衣服の調節や窓の開閉、空調設定温度のコントロールなどは行動性体温調節であり、行動性体温調節で調整した上で、血管拡張・収縮や発汗、ふるえなどの自律性体温調節により温熱環境の変化に適応して生活を行っている。de Dearらは、自然換気を用いたオフィスと、空調されたオフィスにおける測定の比較により、自然換気オフィスの方が、行動性体温調節を基本とした人間が自ら環境に働きかけることによる行動的適応、環境への期待、またそこで行われる行動との適合性などと関連した心理的適応により、快適な温熱環境の範囲が広がることを示している³。

これらの温熱環境適応が快適性に与える影響については、すでにASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）の規準にその考え方がアダプティブモデルとして導入されている。一方で、温熱環境が知的生産性に与える影響については、温熱環境適応という観点を用いて明確にした研究はほとんどなく、研究進展が期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、室内温熱環境を対象とし、居住者の温熱環境適応が快適性や知的生産性に与える影響を明らかにすることである。

室内温熱環境と知的生産性に関する研究は、実験室実験あるいは実際のオフィスにおける現場実測など、これまでに国内外で多く行われてきた。欧州ではSeppänenら⁴が温熱環境と知的生産性に関し文献調査を行い、約22°Cを最適温度とした、逆U字型のモデルを発表している。一方で、de Dearらは、ピアレビュー研究を集めた文献調査により、知的生産性に最適な温熱環境条件についてはまだ明確になっていないとして、この22°Cを最適温度とするモデルに疑問を呈している⁵。このように、温熱環境が生産性に影響する可能性については一定の知見が得られているものの、明確になっていないことが未だ多いのが現状である。

本研究では、温熱環境適応の考え方を導入し、温熱環境と知的生産性の関係を明らかにする。これまでの研究で、作業効率だけでなく、知的作業を行う人間の生理・心理状態をあわせて評価し、温熱環境は知的作業時の人間の満足度、疲労やメンタルワークロードに影響を与え、それらが長時間続く場合は、作業成績にも影響が出る可能性を明らかにしてきた。本研究では、人間の温熱環境適応に着目して、着衣や気流などを用いた温度調節可能な範囲をとらえつつ、知的作業時の作業成績や、疲労、メンタルワークロード、主観申告などの測定を同時に行った。執務者のメンタルワークロードの指標として、近赤外線分光（NIRS）を用いた脳内酸素代謝測定を行う点の特徴である。また、生活者のライフスタイルをより持続可能なものにするために、省エネルギーでありながら、健康、快適かつ生産性の高い生活が求められるため、衣生活や住生活に着目し、生活者が実行可能な温熱環境適応の手法の位置づけを明確にし、持続可能なライフスタイルにつながる教育についても検討を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) 温熱環境適応が知的生産性に与える影響に関する被験者実験

本研究では、温熱環境適応が知的生産性に与える影響について、人工気候室における実験室実験により評価した。日常生活でよく行われる着衣や気流調整を、温熱環境適応の行動として取り上げ、その温熱環境適応範囲を把握し、知的作業時の作業効率、生理量、心理量を評価した。近年の研究動向をみると、Zhangら⁶は、知的作業効率に対して単一の最適温度を示す逆U字型の

モデルよりも、最適温度の範囲が広い拡張 U 字モデルの方が適していることを論じており、個別空調(PCS: Personal Comfort System)を使用することで、知的作業効率を低下させずに、空調設定温度範囲を緩和する可能性が示されている。本研究では、温熱環境が知的作業効率に与える影響について、逆 U 字型および拡張 U 字モデルの視点から、研究成果をもとに考察を行う。なお、この研究は、シドニー大学との国際共同研究として実施し、The University of Sydney's Human Research Ethics Committee (protocol number 2019/1044)の研究倫理審査の承認を受けて行った。

実験は、作用温度 22℃および 28℃、静穏気流下に制御された人工気候室にて行った。実験参加者は 18 名の男性とし、実験条件は、22 条件 (作用温度 22℃、温熱環境適応行動の機会なし)、28 条件 (作用温度 28℃、温熱環境適応行動の機会なし)、および 28w 条件 (作用温度 28℃、温熱環境適応行動の機会あり) の 3 つの条件を設定した。ここで、温熱環境適応行動としては、着衣調節および個別ファンの気流調整を対象とした。人間の適応や温度調節可能な範囲をとらえるため、典型的な着衣調整や気流調整の効果について、サーマルマネキンを用いた等価温度測定や、気流測定を行った。

実験参加者に、難易度を 3 段階に設定した認知課題 (n-back テスト) を課し、その作業成績を測定するとともに、近赤外分光法 (NIRS) を用いて測定した左額側の総ヘモグロビン濃度変化量により、作業時のメンタルワークロードを評価した。その他、皮膚温などの生理量および、温冷感などの温熱環境申告、疲労などの心理量の測定を行った。

(2) 持続可能なライフスタイルにつながる衣生活・住生活にかかわる教育検討

生活者のライフスタイルをより持続可能なものにするために、衣生活や住生活教育に着目をした。持続可能なライフスタイルに関する教育について、気候変動対策の視点から従来の家庭科教育や、衣生活および住生活にかかわる教育をとらえ直し整理した。(1) の「温熱環境適応が知的生産性に与える影響に関する被験者実験」の結果から示唆された着衣による温熱環境適応手法の位置づけを明確にするために、日常生活における代表的な衣生活にかかわるライフスタイルの変容についても取り上げ、CO₂ 削減効果を試算した。試算にあたり、温熱環境適応範囲の拡張に関しては、「夏季に冷房設定温度を 1℃下げる」および「冬季に暖房設定温度を 1℃上げる」を想定した。

4. 研究成果

(1) 温熱環境適応が知的生産性に与える影響に関する被験者実験

温熱環境に関する主観申告より、28w 条件は熱的中立であり、28 条件よりも、温熱満足度や熱的快適性が高く、22 条件と同程度であった (図 1)。一方で、平均皮膚温は 3 条件間で有意差があり、28w 条件で 33.6℃であり、22 条件の 32.1℃よりも有意に高く、28 条件の 34.5℃よりも有意に低かった (図 2)。この結果は、22 条件と 28w 条件とでは、皮膚温による生理量評価では等価ではないが、心理的には等価であると評価されたことを示している。知的作業として課した n-back テストの作業成績については、3 つの実験条件間で正確性および反応時間において有意差は認められなかった。近赤外線分光を用いて測定した総ヘモグロビン濃度変化量および主観的なメンタルワークロードについては、統計的な有意差には達しなかったものの、28w 条件は 3 つの実験条件の中で最も低い値であった (図 3)。

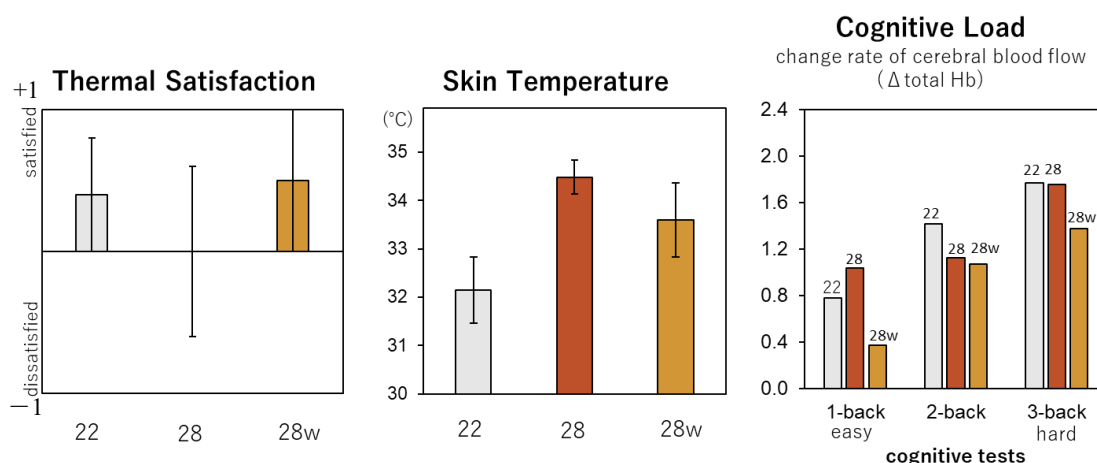


図1 温熱満足度

図2 平均皮膚温

図3総ヘモグロビン濃度変化量

以上の結果は、作用温度 28℃の条件において、温熱環境適応の機会の有無が、知的作業のための最適な温度環境範囲を拓ける重要な役割を果たすことを示唆している。着衣や気流調節といった温熱環境適応行動による知的作業のための最適な温度環境範囲の拡張については、人間と環境との間の熱平衡および体温調節反応の指標である皮膚温などの生理量による説明のみでは十分ではなく、心理的温熱環境適応によるものである可能性がある。これは、温度と知的作業効率の関係に関する拡張 U 字仮説モデルと一致している。建築環境設計において室内環境温度の

設定を緩和し、快適性および知的生産性を維持しつつ省エネルギーを図る範囲に幅がある可能性を示している。

なお、n-back テストの難易度が高くなるほど、総ヘモグロビン濃度変化量は増加し、知的作業中の心理的なメンタルワークロード (RTLX) との正の相関が認められた。近赤外線分光を用いて測定した総ヘモグロビン濃度変化量が、知的作業時のメンタルワークロードの指標として用いることができることを改めて確認した。以上の成果をまとめ、国際誌 *Science of the Total Environment* 誌に原著論文として掲載された⁷。

(2) 持続可能なライフスタイルにつながる衣生活・住生活にかかわる教育検討

温熱環境適応の考え方は、空調制御、衣服調整、活動内容による違いなど、生活者の適応行動にかかわるため、得られた知見は、空調設備等の技術的な基礎データとなるのみならず、生活者のライフスタイルをより持続可能にするという視点においても親和性が高い。生活者の立場から、持続可能なライフスタイルにつながる衣生活、住生活にかかわる教育を検討するため、現行の小学校、中学校、高等学校における家庭科教育の内容を中心に整理を行った^{8,9}。その上で、(1)の「温熱環境適応が知的生産性に与える影響に関する被験者実験」の結果から示唆された着衣による温熱環境適応手法の位置づけを明確にするために、日常生活における代表的な衣生活にかかわるライフスタイルの変容についても取り上げ、日常生活における温熱環境適応範囲における省エネ行動をはじめとした代表的な衣生活にかかわるライフスタイルの変容が、どの程度のCO₂削減効果があるのかを試算した。温熱環境適応範囲の拡張に関しては、「夏季に冷房設定温度を1℃下げる」および「冬季に暖房設定温度を1℃上げる」を想定し、同時に「衣服を長く大切に使う」「冷水洗濯および自然乾燥」などの行動についても年間のライフサイクルCO₂の試算により、これらの行動の有効性を検討した。これらの成果をまとめ、国際家政学会の大会 IFHEにて受理され、口頭発表を行った¹⁰。また、省エネルギーに寄与し、かつ快適、健康かつ生産性の高い生活の実現を目指し、温熱環境適応についての成果をわかりやすくまとめた Web ページを作成した。

<引用文献>

- 1) Humphreys, M.A. and Nicol, J.F., Understanding the adaptive approach to thermal comfort,ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
- 2) Brager, G.S. and de Dear, R.J., Thermal adaptation in the built environment: A literature review,Energy and Buildings, 27(1), pp.83-96, 1998
- 3) de Dear, R.J. and Brager, G.S. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104, 145-167,1998
- 4) Seppänen O., Fisk WJ, Lei QH., “Room temperature and productivity in office work”, Proceedings of Healthy Buildings 2006, 243-247, 2006
- 5) de Dear R. J., Akimoto T, Arens EA, Brager G, Candido C, Cheong D, Li B, Nishihara N, Sekhar SC, Tanabe S, Toftum J, Zhang H, Zhu Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years, Indoor Air, 23(6), 442–461, 2013
- 6) Zhang, F., de Dear, R., Hancock, P. Effects of moderate thermal environments on cognitive performance: a multidisciplinary review. Appl. Energy 236, 760–777, 2019
- 7) Nishihara, N., Xiong, J., Kim, J., Zhu, H. de Dear, R. Effect of adaptive opportunity on cognitive performance in warm environments, Science of The Total Environment, 823, 2022, 10.1016/j.scitotenv.2022.153698
- 8) 西原直枝「家庭科教育と SDGs - 住生活領域の学習と SDGs」日本家庭科教育学会誌, 64(2), 147-150, 2021
- 9) 西原直枝「気候変動と私たちの身近な生活」グローバル共生, 43-49, 2022
- 10) Nishihara, N. Impacts of Behavior of Consumption and usage of Clothing on Life Cycle CO₂ emissions, Congress abstracts of International Federation for Home Economics XXIV World Congress, 43-44, 2022

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 西原直枝 | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 気候変動と私たちの身近な生活 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 グローバル共生 | 6. 最初と最後の頁 43-49 |
| 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 Naoe Nishihara | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Impacts of Behavior of Consumption and Usage of Clothing on Life Cycle CO2 emissions. | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Congress abstracts of International Federation for Home Economics XXIV World Congress | 6. 最初と最後の頁 43-44 |
| 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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Naoe Nishihara, Jing Xiong, Jungsoo Kim, Hui Zhu, Richard de Dear | 4. 巻 823 |
| 2. 論文標題 Effect of adaptive opportunity on cognitive performance in warm environments | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Science of The Total Environment | 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） 10.1016/j.scitotenv.2022.153698 | 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 西原直枝 | 4. 巻 64(2) |
| 2. 論文標題 家庭科教育とSDGs - 住生活領域の学習とSDGs- | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本家庭科教育学会誌 | 6. 最初と最後の頁 147-150 |
| 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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 西原直枝 | 4. 巻 231 |
| 2. 論文標題 気候変動の課題と私たちの生活 アニメーション作品を用いたオンライン授業 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 くらしと教育をつなぐWe | 6. 最初と最後の頁 44-45 |
| 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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Naoe Nishihara |
| 2. 発表標題 Does adaptive opportunity affect cognitive performance in warm environments? |
| 3. 学会等名 IEQ Lab seminar, The University of Sydney (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名 西原直枝 |
| 2. 発表標題 室内環境における脳内酸素代謝測定を用いた知的生産性評価 |
| 3. 学会等名 日本建築学会近畿支部空気環境部会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Naoe Nishihara |
| 2. 発表標題 Impacts of Behavior of Consumption and usage of Clothing on Life Cycle CO2 emissions |
| 3. 学会等名 XXIV International Federation for Home Economics World Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 西原直枝 (分担執筆: 第3章, 第14章第4節-3), 吉田武男 監修、河村美穂 編著 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 ミネルヴァ書房 | 5. 総ページ数 220 |
| 3. 書名 初等家庭科教育 | |

〔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 | | |
|---------|--------------------------|--|--|
| オーストラリア | The University of Sydney | | |