

室内環境を変化させたときの知的集中の定量的評価

Quantitative evaluation of intellectual concentration when changing indoor environment

宮崎 大輔[†], 上田 樹美[†], 石井 裕剛[†], 下田 宏[†], 大林 史明[‡]
 Daisuke Miyazaki, Kimi Ueda, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Fumiaki Obayashi

[†]京都大学大学院エネルギー科学研究科, [‡]パナソニック株式会社ライフソリューションズ社
 Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Life Solutions Company, Panasonic Corporation
 miyazaki@ei.energy.kyoto-u.ac.jp

概要

オフィスの室内環境を改善することで知的作業に対する集中が向上し、労働生産性が向上することが期待できる。室内環境として温熱環境、気流環境および照明環境の3つの環境に着目し、それぞれの環境において知的集中の向上が期待される環境を提案し、実際にどの程度知的集中が向上するのかを実験を行うことで定量的に評価した。その結果、3つ全ての室内環境において提案環境の方が標準環境に比べて知的集中が有意に高くなった。

キーワード: 温熱環境, 気流環境, 照明環境, 認知タスク, 知的集中, 集中時間比率

1. はじめに

オフィス環境における労働生産性を向上させるために、デスクワークなどの知的な生産活動において、費やされた時間や資本に対して得られる成果の効率を表す知的生産性の向上に注目が集まっている。一人でいう定型作業では、知的作業に対する集中である知的集中を向上させることで知的生産性が向上すると考えられ、執務空間を改善し集中を促進させる方法が有効であると考えられる。しかし、改善された環境下における知的作業の集中を定量的に評価した研究は少ない。

そこで、本研究では、認知タスクの解答時間から算出される、集中している時間割合を表す集中時間比率CTR(Concentration Time Ratio)を知的集中の定量的評価指標とし、室温や照明などの室内環境を変化させたときの知的集中を定量的に評価することを目的とする。

2. 知的集中の定量評価方法

著者らは、知的作業の集中を客観的かつ定量的に評価するための認知タスクおよび評価指標を開発した[1]。本章では、知的集中評価のための認知タスクである比較問題と知的集中の評価指標である集中時間比率CTRについて述べる。

2.1. 認知タスク

知的集中の評価指標である集中時間比率CTRを算出するための認知タスクとして、比較問題[2]という認知タスクを用いた。比較問題は、iPadに表示される2つの単語の意味カテゴリーの比較と2つの数字の大小比較を行う認知タスクであり、実際のオフィスワークで必要な言語処理能力、数字取り扱い能力、判断能力を全て必要とする。単語比較では、提示された2つの単語が地名、人工物、動物、植物の4つの意味カテゴリーのうち同じカテゴリーに属するものか、異なるカテゴリーに属するものかを判断する。一方数字比較では、4桁の数字2つが不等号で繋がれて表示され、その不等式が正しいか誤りかを判断する。解答はこれら2つの比較結果の組み合わせに相当するボタンをタップすることで行い、タップすると次の問題へ移る。参加者には解答時間が終了するまで次々と解き進めてもらう。比較問題の実際の問題画面および解答方法の例を図1に示す。

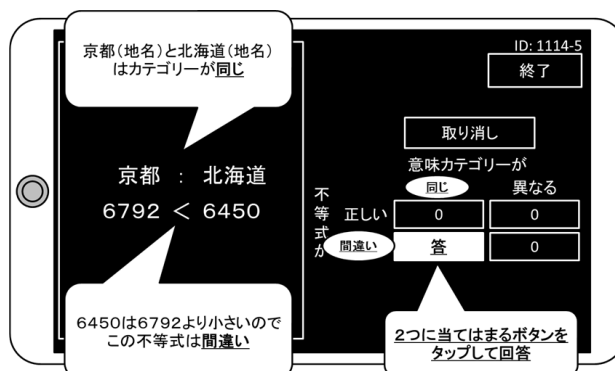


図1 比較問題の問題画面および解答方法

2.2. 集中時間比率 CTR

集中時間比率CTR(Concentration Time Ratio)は作業中に集中して作業に取り組んでいた時間の割合を表す指標であり、難易度が同程度の問題が連続する認知タスクを一定時間行って得られた1問あたりの解答時間データから以下に述べる方法で算出される。認知タスクの解答時間の頻度ヒストグラムおよびCTRの算出方法の概念図を図3に示す。宮城らは、作業中の執務者が集中状態、短期中断状態、長期休息状態の3状態を遷移するという図2に示す3状態遷移モデルを考案した[3]。この3状態モデルによると、作業状態、短期中断状態間の変動は遷移確率が一定のマルコフモデルに従うので、解答データのうち集中状態のみに着目すると、その解答時間の頻度ヒストグラムは式(1)で表される対数正規分布で近似できる。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

この対数正規分布のパラメータである μ と σ については、 e^μ が分布の最頻値、 σ が分布の標準偏差を意味しており、集中状態における認知課題1問あたりの解答所要時間の平均は $f(t)$ の期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ で算出できる。

よって、集中状態の総時間 T_c は期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ と総解答数 N を用いて式(2)で表せる。そして、式(3)に示すように認知課題の実施時間 T_{total} に対する T_c の比率が集中時間比率CTRと定義している。この集中時間比率CTRを実験の知的集中評価指標とした。このCTRを用いることで、知的集中を客観的かつ定量的に評価することができる。

$$T_c = \exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2}) \cdot N \quad (2)$$

$$CTR = \frac{T_c}{T_{total}} \quad (3)$$

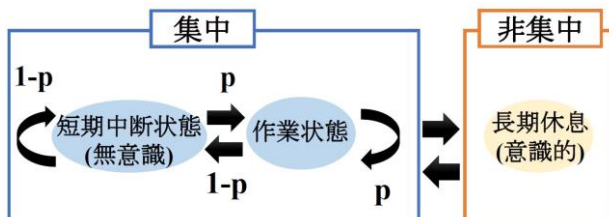


図2 3状態遷移モデル

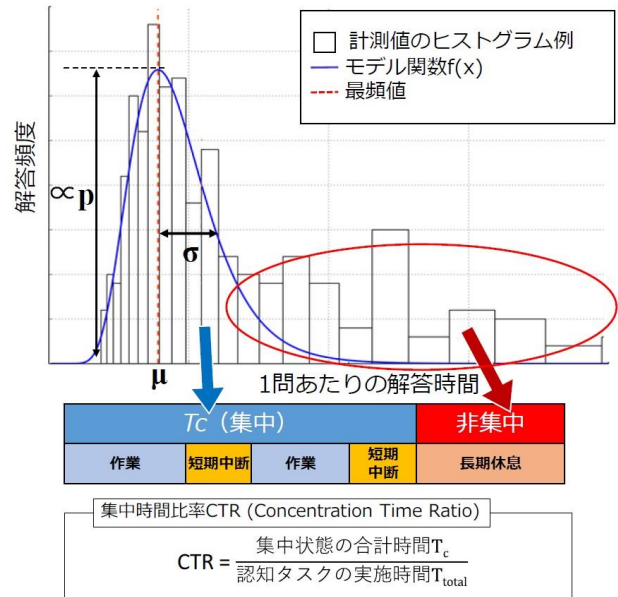


図3 認知タスクの解答時間の頻度ヒストグラムおよびCTRの算出方法の概念図

3. 室内環境の改善が知的集中に与える影響の定量評価実験

知的集中の向上が期待される室内環境を提案するとともに、その定量的評価として実験参加者を募り、数日間それぞれの同時刻に認知タスクを行った。実験実施日ごとに環境条件を変化させ、知的集中の向上が期待される室内環境(提案環境)と標準的な室内環境(標準環境)のそれぞれにおける集中時間比率CTRを環境間で比較評価した。本研究では、室内における人間の快適性への影響が大きいと考えられる温熱環境、気流環境および照明環境の3つの室内環境について知的集中が期待できる環境をそれぞれ提案した。本章では、それぞれの提案環境における知的集中の評価実験とその結果について述べる。

3.1. 温熱環境

室温や温度などの環境要素が知的生産性へ及ぼす影響を調べた既往研究は執務環境における温熱制御についてのみに着目した事例がほとんどである[4][5][6]。しかし、休憩時の温熱環境も知的集中に影響を及ぼすと考えられる。そこで、執務時と休憩時の統合的な温熱環境制御に着目し、2つの環境間の温度差を考慮に入れた図4に示す温熱制御手法を提案し、知的集中の向上効果を定量的に評価することを目的として夏季に実験を実施した。執務室は涼しい環境、休憩室は執務室に比べ

て暖かい環境を設計し、執務室から休憩室へ入室する際に曝露される温刺激と、休憩室から執務室へ入室する際に曝露される冷刺激を与えるようにした。環境条件を上記の温熱制御手法を用いた提案環境と休憩室と執務室の温度差の小さい標準環境の2条件を設定した。室温は空調設備で制御し、室内の温度のむらが生じないようにサーキュレータを用いて空気を攪拌させた。実験は図5に示すようなスケジュールで2日間実施され、提案環境と標準環境をそれぞれ1日1条件とし、実験参加者でなるべく環境条件順序のカウンターバランスを取るようにした。SET1 から SET4 までの4SETをCTRの計測対象とし、実験参加者は1SETあたり45分間認知タスクとして比較問題を行った。提案環境および標準環境の2条件下で参加者のCTRの平均を算出した結果を図5に示す。標準環境と提案環境でのCTRに對のある両側t検定を行ったところ、提案環境でのCTRは標準環境より2.3%ポイント高くなり、有意に高い傾向が見られた($p<0.05$)。

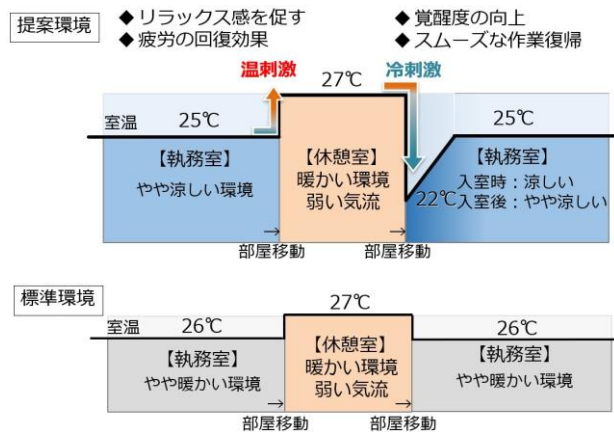


図3 執務室と休憩室の統合的な温熱制御環境（提案環境）および標準環境の概念図

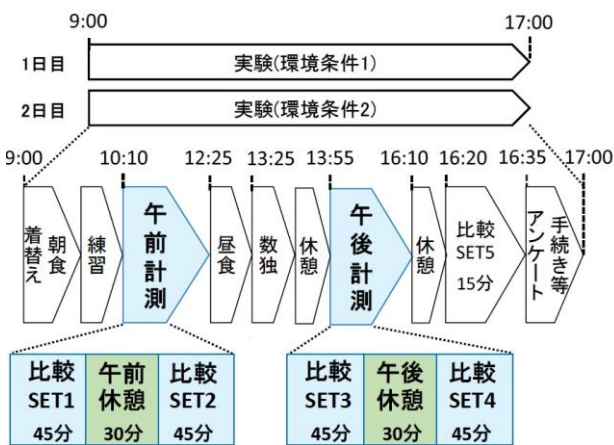


図4 温熱環境評価実験の実験スケジュール

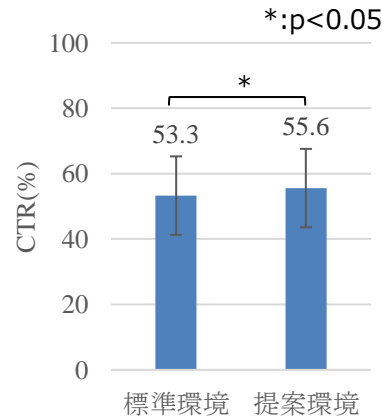


図5 温熱環境評価実験における CTR の実験参加者平均 (%) (N=28)

3.2. 気流環境

3.1 節で提案した温熱環境に関して、室温を短時間に大きく変化させることは困難であり、さらに一般的な空調では室内全体の温度を変化させてしまうため、個人毎の温熱制御には向かない。そこで、個人ごとに温熱環境を制御可能な気流に着目し、執務中と休憩中で風量を変化させることで温冷感の差を作る室内気流環境を提案し、知的集中の向上効果を定量的に評価することを目的として夏季に実験を実施した。提案した気流環境では、快適性を向上させるために執務中は涼しく、休憩中は暖かくなるように気流を制御した。さらに休憩中にはリラックス効果および疲労回復促進効果を得るために1fゆらぎの気流を曝露し、執務開始直後には覚醒度の向上と休憩からの作業復帰促進のために短時間の強風を曝露し、作業に対する集中の向上を期待した。気流を含めた温熱環境における快適性を示す指標として平均予測温冷感申告 PMV(Predicted Mean Vote)と呼ばれる指標がある[7]。PMVは温熱環境を構成する温度、湿度、平均放射温度、気流、着衣量、活動量の6要素が人間の熱的快適性に与える複合効果を評価する温冷感指標である。PMVは0の状態を熱的中立状態と定義し、-3から+3の値で人間の温熱快適性を表す。負の値は冷感を表し、正の値は温感を表す。気流に着目すると、風速が大きいときに気流が冷刺激となりPMVは低くなり、風速が小さいときにPMVは高くなる。そこで、タワー型の扇風機を図6に示すように1人当たり2台設置し、図7に示すように風速の制御を行った。実験は図8に示すスケジュールで3日間実施され、1日目を練習日とし、環境の適応と比較問題の習熟を目的と

した。2日目と3日目は提案環境と標準環境をそれぞれ1日1条件とし、実験参加者でなるべく環境条件順序のカウンターバランスを取るようにした。SET1 からSET4 までの4セットをCTR の計測対象とし、実験参加者は1セットあたり30分間比較問題を行った。提案環境および標準環境の2条件下で参加者のCTRの平均を算出した結果を図9に示す。標準環境と提案環境でのCTR に対するある両側t検定を行ったところ、提案環境でのCTR は標準環境より2.8%ポイント有意に高くなった($p < 0.01$)。

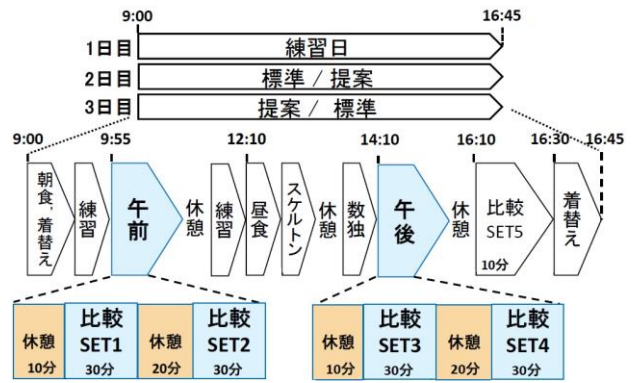


図8 気流環境評価実験の実験スケジュール

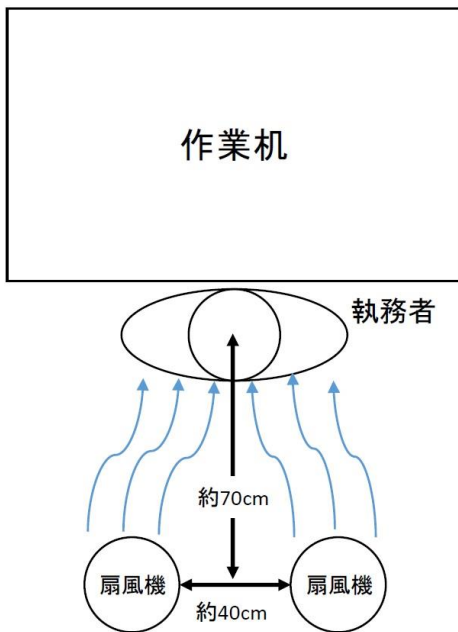


図6 気流環境の気流制御方法(Top View)

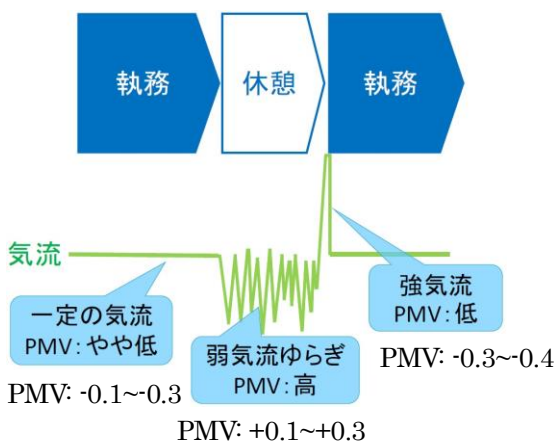


図7 扇風機を用いた風速制御方法

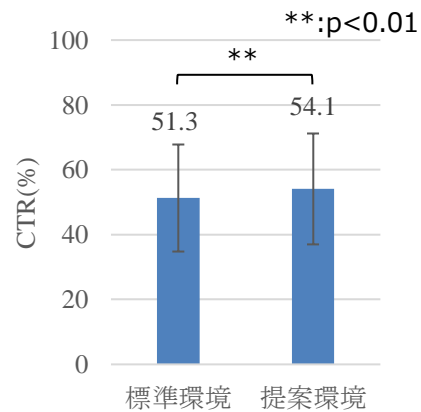


図9 気流環境評価実験における CTR の実験参加者平均 (%) (N=38)

3.3. 照明環境

照明環境において執務作業における知的集中を向上させる方法として、覚醒度の向上や作業に対する没入感の向上が有効であると考えられる。高照度の照明環境下において覚醒度が向上するという研究はなされている[8]が、没入感に着目した研究は少ない。そこで、作業機の机上面照度を周囲の照度に比べて高くなるように天井からのアンビエント照明とデスク上のデスク照明の照度をそれぞれ設定した従来のタスクアンドアンビエント照明(従来 TA 照明環境)と、さらにデスク照明として覚醒効果と文字の読みやすさを考慮に入れた色温度に設定した照明環境を提案した。本実験は4日間実施され、1日目を練習日とし2日目以降は環境条件の順序効果のカウンターバランスを取るように順序を変えて実施した。図10に示した提案環境、従来 TA 照明環境およびデスク照明のない標準環境の3条件下で参加者の CTR の平均を算出した。その結果を図11に示す。従来 TA 照明環境が標準環境に比べて CTR が3.4%ポイント向上させる効果が確認され、提案環境が

標準環境に比べて CTR が有意に高く、5%ポイント向上させる効果が確認された($p<0.01$).

	標準環境	従来TA照明環境	提案環境
アンビエント照明	750lx, 5000K	300lx, 5000K	300lx, 6200K
デスク照明	なし	450lx, 5000K	450lx, 5000K

図 10 3つの照明環境の制御方法

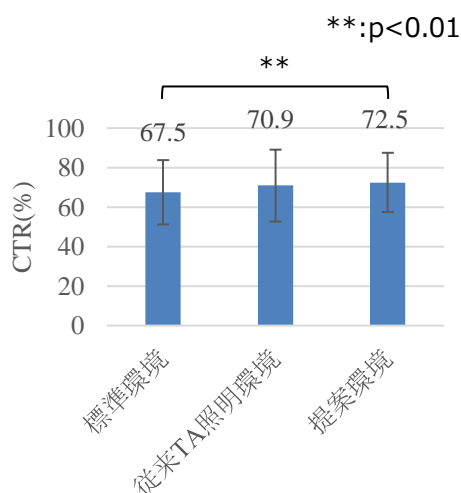


図 11 照明環境評価実験における CTR の実験参加者平均 (%) (N=21)

4. まとめ

本研究では、温熱環境、気流環境、照明環境の3つの環境において、知的集中の向上が期待される環境を提案した。次に、提案環境と標準環境間での集中時間比率 CTR を比較した。その結果、3つ全ての室内環境において提案環境の方が標準環境に比べて CTR が有意に高くなった。本研究によって、温熱環境、気流環境、照明環境の室内環境を改善することで知的作業に対する作業効率が向上することが確認できた。また、CTR を用いたことにより、提案環境下における知的集中が標準環境下に比べてどの程度の差があるのかを客観的かつ定量的に評価できることがわかった。よって、知的集中を向上させる室内環境を実際のオフィスに導入することで作業効率が向上し、さらには CTR を指標として用いることで、どの程度作業効率が向上するのかを定量的に評価することができると考えられる。しかし、

CTR は、難易度の変化しない連続した問題をある一定以上の時間解答したときの解答時間データから算出されるものである。よって、アイデアを必要とする創造的作業では適用できないが、実際のオフィスで行われる単純な事務的作業なら適用できる可能性があると考えられる。今後は、CTR を算出するために必要な比較問題のような認知タスクだけでなく、実際のオフィスにおける事務的作業に適用可能であり、かつその作業中に現在の知的集中をリアルタイムで測定できるような新たな知的集中評価指標の開発や他に考えられる室内環境の改善方法を提案し、知的集中評価実験を行いたいと考えている。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H01777 JSPS 科研費 18J20603 の助成を受けたものです。

文献

- [1] F. Obayashi, K. Miyagi, K. Ito, K. Taniguchi, H. Ishii, H. Shimoda, (2019) "Objective and quantitative evaluation of intellectual productivity under control of room airflow.", *Building and Environment*, Vol. 149, pp. 48-57.
- [2] 上田 樹美, 辻 雄太, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明, 谷口 和宏, (2016) "オフィス環境における知的集中計測のための認知課題の開発", *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集*, pp. 403-410.
- [3] K. Miyagi, S. Kawano, H. Ishii, H. Shimoda, (2012) "Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model Based on Work State Transition.", *The 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1491-1496.
- [4] W. Cui, G. Cao, J. H. Park, Q. Ouyang, Y. Zhu, (2013) "Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance", *Building and Environment*, Vol. 68, pp. 114-122
- [5] O. Seppanen, W. J. Fisk, Q. Lei, (2006) "Effect of temperature on task performance in office environment", *5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air Conditioning*.
- [6] T. K. Wai, W. H. Cahyadi, (2010) "Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness", *Building and Environment*, Vol. 45, No. 1, pp. 40-44.
- [7] ISO: Predicted Mean Vote, (1994), ISO 7730
- [8] 萩原 啓, 荒木 和典, 道盛 章弘, 斎藤 正己, (1997) "脳波を用いた覚醒度定量化の試みとその応用" *日本生体医工学学会*, Vol. 11, No. 1, pp. 86-92.