



集中の深さに着目した知的生産性の定量的評価

上田 樹美^{*1} 下中 尚忠^{*1} 下田 宏^{*1} 石井 裕剛^{*1}
大林 史明^{*2}

Development of intellectual productivity index measuring the depth of concentration

Kimi Ueda^{*1}, Shota Shimonaka^{*1}, Hiroshi Shimoda^{*1}, Hirotake Ishii^{*1},
and Fumiaki Obayashi^{*2}

Abstract

Authors have been developing the measuring index of intellectual working concentration based on the worker's concentration in order to evaluate the intellectual productivity in office environment. In this study, new model in concentration of the depth of concentration was proposed and new productivity index, CDI and MCTR were also proposed. Proposed model and index were evaluated by the analysis of conventional data, and it was confirmed that varying productivity can be discussed more detail by using proposed index than using conventional index.

Keywords : working state model, intellectual productivity, cognitive task, work environment, environmental evaluation experiment

1. はじめに

近年企業分野でのエネルギー消費量が多いことが問題視されており、空調機器の温度設定の緩和や照明の間引きなど、オフィス環境においてはさまざまな省エネルギー活動が行われている。しかし、過度な省エネルギー活動はオフィス環境を悪化させ、執務者の疲労蓄積が増大し健康被害が起こるだけでなく、執務者が業務として行う知的活動の効率(以下、知的生産性)が低下する危険がある。知的生産性の低下は労働の長時間化を招くため、省エネルギー活動が意図に反してエネルギー消費の増大や経済的な損害を引き起こす場合もある。このような損害を防ぐために、オフィス環境の設計を行う際には知的生産性を考慮して実施することが重要である。

以上のような背景から知的生産性を評価する必要がある、多くの研究によって知的生産性の評価方法の開発が行われており、既往研究には主観評価を用いるもの^{[1],[2]}、結果が定量化可能な認知課題を用いて評価するもの^[3]などがある。著者らも、これまで認知課題の回答時間データを解析することによって集中していた時間を算出し執務者の知的生産性を評価する指標であるCTR(Concentration Time Ratio)^[4]を開発し、様々な執務環境が知的生産性に与える影響を評価してきた^{[5],[6]}。CTRは、執務者の作業集中モデルに基

づいて認知課題の回答時間データを解析することにより、回答時間データに含まれる集中時の解答と非集中時の解答を分離し、総回答時間のうち集中して回答していた時間の割合を算出するものである。知的生産性の評価の際に対象とする知的作業は集中している際のみ進行すると考えられるため、集中時間が長い、つまりCTRが高いときを知的生産性が高いとして評価を行うことができる。しかし、CTRの算出に用いている執務者の作業集中モデルでは執務者の作業中の認知状態を集中と非集中の二状態であるとしている一方で、実際には執務者が認知資源を対象の作業にどれだけ割り当てているかを考慮していない。

そこで本研究では、対象の作業に割り当てる認知資源の量を「集中の深さ」と定義し、作業中に変化する集中の深さを考慮した新たな作業集中モデルを提案し、そのモデルに基づいて知的生産性を客観的かつ定量的に評価するための指標を開発する。さらに、執務環境の変化が知的生産性に与える影響を評価するための指標として活用することで、その有用性を評価する。本研究で開発する指標によって、知的生産性の変化を集中の深さという新たな観点から考察できるようになり、オフィス環境の改善をより多角的な視点から検討できるようになる。

1.1 既存指標(集中指標 CTR)

CTR^[4]では、Cardらの人間が認知行動を行う際の認知心理学的特性を記憶システムと処理システムに分類した人間情報モデル^[7]に基づいて、図1^[8]に示すように認知課題遂行時の執務者の認知状態を3つに

*1: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

*2: パナソニック株式会社 エコソリューションズ社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Panasonic Corporation Eco Solutions company

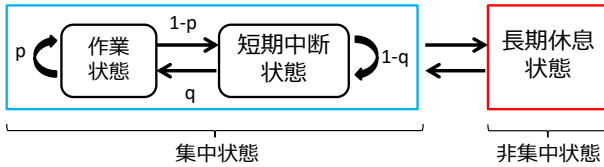


図1 作業中における3状態変動モデル

分類できるとしたモデルを仮定する。図1中の「作業状態」は作業に対して認知資源を割り当てており作業が進んでいる状態、「短期中断状態」は作業に対して認知資源を割り当てているが無意識的に作業が中断している状態、「長期休息状態」は作業に対して認知資源を割り当てておらず意識的に作業を中断し休息している状態をそれぞれ表している。さらに、CTRにおける集中の定義に基づいて、認知資源を作業に対して割り当てている作業状態と短期中断状態をあわせて「集中状態」とし、認知資源を作業に対して割いていない長期休息状態を「非集中状態」とした。

3状態変動モデルによれば、集中状態は遷移確率が一定のマルコフモデルを形成しているため、解答時間データのうち集中状態のみを遷移したタスク1問あたりの解答時間 t の頻度ヒストグラム（以下、解答時間ヒストグラム）は、式1で表される対数正規分布関数 $f(t)$ で近似できる。

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

図2に、解答時間ヒストグラムと3状態変動モデルに基づく状態遷移の関係を示す。ただし、近似されるデータと近似する関数を同じ軸で比較するため、ヒストグラムの区間幅は対数軸で等間隔に設定した。対数正規分布のパラメータ 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、認知タスク1問を解答するのに必要な平均集中時間は $f(t)$ の期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ で算出できる。したがって、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で示すように求めることができる。

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

そして、認知タスクの実施時間 T に対する T_c の比率を CTR として式3で算出する。このように、CTR は作業時間全体に対する集中状態の時間割合を求めたものである。

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

1.2 既存指標の課題

CTRの算出過程で仮定している3状態変動モデルは、集中状態内部で作業状態と短期中断状態の遷移確

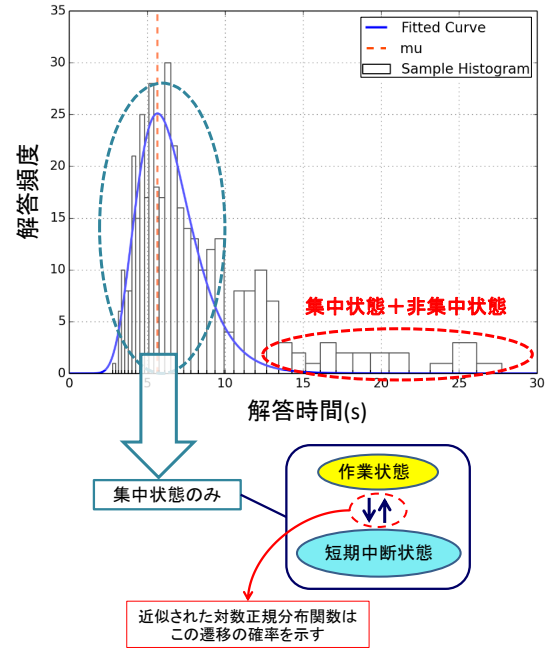


図2 認知タスクの解答時間分布例と対数正規分布近似

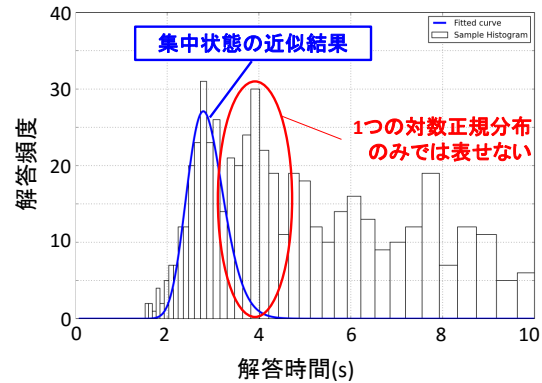


図3 1つの対数正規分布では近似できない解答時間ヒストグラムの例

率を一定と仮定することで、集中状態での解答時間の分布は1つの対数正規分布のみで表現されるとしている。しかし、執務者は認知資源の活用手法を様々に変化させられることが Baddeley [9] によって示唆されている。よって作業対象にどの程度認知資源を割いているかを「集中の深さ」と定義すると、集中の深さは作業中に変化すると考えられるが、既存指標では集中の深さの変化を仮定していない。

また、実際に得られた解答時間データのヒストグラムとその近似結果の例を図3に示す。この図では、解答時間の比較的短い部分の解答時間分布を集中状態として対数正規分布で近似し、それ以外は全て非集中状態として扱うように解析されている。しかし、非集中状態とみなされている部分にも対数正規分布を形成し

ているような回答時間分布が存在しており、全く非集中状態であるというには不適切である様子がうかがえる。すなわち、単一の対数正規分布では作業に対する集中を適切に表現できていない可能性があり、集中の深さが異なる複数の集中状態を考慮する必要がある。

2. 目的

本研究ではこれまでに、3状態変動モデルに基づいた集中指標 CTR を用いて様々な作業環境が知的生産性に与える影響の評価実験を行ってきた。しかし1.2項で述べたように、3状態変動モデルは作業中の集中の深さの変化を考慮できていない。最も深い集中状態ではない浅い集中状態においても知的作業は進行するため、CTR だけでは必ずしも知的生産性を適切に評価できていない可能性がある。

そこで本研究では、3状態変動モデルに集中の深さの変化を反映した新たなモデルを提案し、集中の深さの変化を考慮することでより詳細に知的生産性を定量的に評価できる指標を新たに開発する。この研究によって、集中指標に基づく知的生産性の評価を集中の深さという新たな観点から行うことが可能になり、知的生産性に影響を与える要因や知的生産性が変化するメカニズムを解明するための研究に活用できると考えられる。また、知的生産性を従来より多角的に解釈できるようになり、省エネルギーを目指したオフィス環境の改善方法を提案する助けとなる新たな知見を得ることができる。

3. 提案手法

3.1 集中の深さに着目した作業集中モデル

人は知的作業を行う際、作業対象に認知資源を割り当てて遂行している。認知資源とは、注意や認識など人が脳を活用する際に必要となるリソースを指しており、個人ごとに一定のリソース量を持っているとされている。以下では、ある対象に認知資源を割くことを、対象に注意を向けると呼ぶ。したがって、人が一度に注意を向けられる情報の数は、認知資源のリソース量の制限によって上限がある。また、脳内で短期的に情報の保持、記憶する機構を指すワーキングメモリは、ある対象に認知資源を割いて注意を向けることでその対象を記憶として保持でき^[10]、その後ワーキングメモリ内に保持された情報を操作することで知的作業を遂行できる。

知的作業中の情報処理を想定すると、常に認知資源のリソース量の使い方が変化しないとは言えない。例えば、認知資源のリソース量全てを作業対象に割くことで、ワーキングメモリで保持する情報を全て作業対象に充てられる。この場合、認知資源のリソースの一

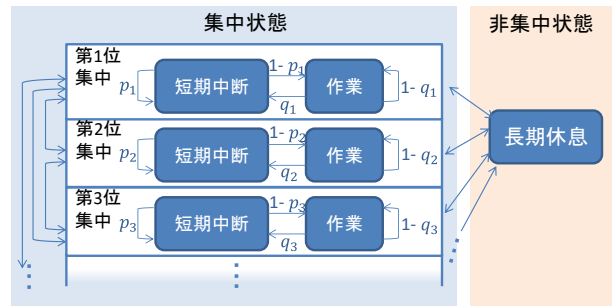


図4 集中の深さを考慮した作業集中モデル

部のみを作業対象に割く場合と同じ量の知的作業をより短時間で処理できることはもちろん、ワーキングメモリ内に保持している幅広い情報を関連付けることができ、より高度な認知処理が可能になる可能性がある。一方、認知資源のリソース量の一部を作業対象に割り、残りは対象の作業以外に割かれている場合は、ワーキングメモリで保持する情報の一部は対象の作業以外が占めることとなる。すると、作業対象に関して一度に保持できる情報が減ることにより、作業処理に要する時間は長くなると言える。よって、作業対象に認知資源を割くことを集中と定義し、作業対象へ認知資源のうちどれだけ割くかを集中の深さと定義すれば、集中の深さは必ずしも一定ではなく作業中にも変化し得ると言える。

以上の考察に基づいて、図4のように従来の3状態変動モデルに集中の深さの概念を反映したモデルである作業集中モデルを作成した。

第1位集中は、作業対象にほとんど全ての認知資源を割いており、周辺環境や疲労感など作業内容以外の要素に注意が奪われない状態を表している。作業に対して意図的に意識を集約させて没頭している場合にこの集中状態を形成する。第2位集中は、認知資源の一部が作業対象以外に割かれており、何らかの外乱に注意が奪われている状態、あるいは作業対象に向ける認知資源を意図的に制限している状態を表している。作業に対して意図的に意識を集約させているが音や気温など不快な要因に注意が向いている場合や、作業に対して意識を集約させていない場合にこの集中状態を形成する。第3位集中やそれより浅い集中状態では、作業対象に認知資源をほとんど割いておらず、作業への意識が散漫で外乱にも注意を奪われている状態を表している。

本研究では、解析の対象として第一位集中と第二位集中に着目し、第三位集中やそれより浅い集中状態で処理された解答は知的生産性に与える影響が十分小さく非集中状態と見なせるとして解析・評価を行う。これは、著者らがこれまで複数の認知タスクの解答時間

を計測してきた経験から、第三位集中やそれより浅い集中状態で処理された解答が長期休息状態を遷移した解答との区別が困難なほど情報処理が遅く、解答時間分布にも対数正規分布として近似できる部分が第三位集中以降ははっきりと出現しない場合が多いからである。

3.2 集中の深さを考慮した知的集中評価指標の開発

既存の集中指標である CTR は、全作業時間中に占める集中状態の時間のみを指標として表していた。しかし、前項で述べた通り、集中の深さは作業効率の向上や作業内容の高次化などパフォーマンスに深く関わっていることから、集中の深さを常に一定と仮定して算出している CTR だけでは知的生産性の評価に不十分と考えられるため、本研究では作業集中モデルに基づいて集中を評価するための新たな2つの指標を開発した。

パラメータの算出は、既存手法である CTR を算出する方法を応用して行う。算出されるパラメータとそれぞれの意味を表1に示す。上田ら^[11]が開発した比較課題のような難易度が均一かつオフィス作業で用いる能力を要するタスクを使用して得た解答時間データを対象とし、第一位集中での解答時間分布を従来の CTR で想定していた集中状態と同様に近似し、パラメータ (μ_1, σ_1, p_1) を決定する。ここで μ_n は第 n 位集中状態での回答時間期待値、 σ_n^2 は第 n 位集中状態で形成される対数正規分布の分散、第二位集中の解析では、第一位集中を近似した際の結果を用いて得た差分解答時間データを用いる。差分解答時間データは、解答時間データの各点とそれに対応する第1位集中曲線の値との差分を求め、それを昇順に並び替えて5点移動平均によって平滑化して得られた疑似的な解答時間データである。この差分解答時間データに対して、同様に対数正規分布で近似を行うことによって、第二位集中状態でのパラメータ (μ_2, σ_2, p_2) を得る。さらに、第一位集中と第二位集中のそれぞれで処理された解答数を求めるために、元の解答時間データを最もよく表現する解答数の配分を近似により求め、パラメータ (N_1, N_2) を算出する。最終的な近似結果の例を図5に示す。

$$E_k = e^{\mu_k + \frac{\sigma_k^2}{2}} \quad (k = 1, 2) \quad (4)$$

$$T_l = E_l \cdot N_l \quad (l = 1, 2) \quad (5)$$

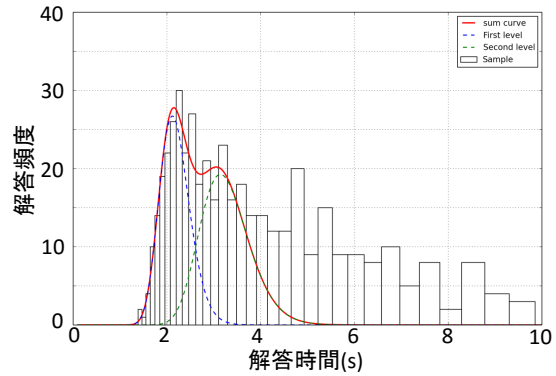


図5 解答時間ヒストグラムと近似結果の例

パラメータ	意味
N	総解答数
T	総解答時間
N_1	第1位集中での解答数
E_1	第1位集中の解答時間期待値
T_1	第1位集中の時間
N_2	第2位集中での解答数
E_2	第2位集中の解答時間期待値
T_2	第2位集中の時間

以上の方法によって算出したパラメータを用いて、MCTR (Multi-Concentration Time Ratio) と CDI (Concentration Depth Index) をそれぞれ式6と式7によって計算し、これを新たな集中指標として提案する。MCTR は CTR より多くの集中を評価して集中時間比率を表す値として図のように算出される。CDI は集中時間全体に占める第一位集中の支配率を表す値として図のように算出される。

$$MCTR = \frac{T_1 + T_2}{T} \quad (6)$$

$$CDI = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad (7)$$

集中時間を表す指標 MCTR は、作業時間全体において第1位集中と第2位集中を遷移した時間の合計が占める割合を表しており、第3位集中やそれより浅い集中状態を非集中状態とみなした場合の全集中時間の比率を意味している。集中時間が長いほどこの指標は大きな値を持ち、実際の作業の遂行は集中状態で行われているため、MCTR が大きいほど知的生産性が高いと考えられる。第1位集中のみを評価対象としていた既存指標 CTR と比べ、新たに第2位集中を評価できていることから、MCTR は CTR より執務者の多様な状態を対象に集中時間比率を表せていると言える。集中の深さを表す指標 CDI は、第1位集中と第2位集中を遷移した時間の合計において第1位集中を

遷移した時間が占める割合を表しており、2 番目に深い集中までの時間に占める最も深い集中時間の支配率を意味している。深い集中の時間が長いほどこの指標は大きな値となり、集中が深いほど作業速度が高く作業内容が高次化しているため、集中時間の長さが同じであっても CDI が大きいほど知的生産性が高いと考えられる。

このように、CDI によって既存指標 CTR では評価できなかった集中の深さの変化を評価できるようになり、MCTR と CDI を共に用いることで、知的生産性を従来指標 CTR より多角的な観点から評価することが可能になる。

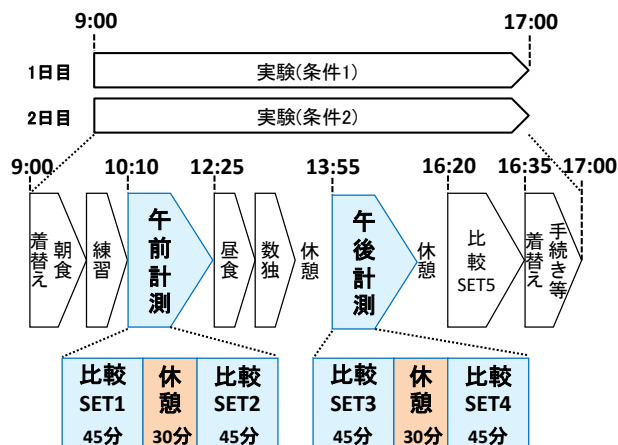
4. 作業モチベーションの差を用いた提案手法の確認実験

提案手法によって算出された指標が集中の評価に適しているかどうかの確認のため、作業モチベーションの差が知的生産性に与える影響を確認するために実施した被験者実験（以下、モチベーション実験）の内容を述べる。本実験では、知的生産性との関連研究が多いモチベーションに注目し、作業モチベーションの差が知的生産性に与える影響を提案手法によって評価すること、そして、提案手法で仮定している作業集中モデルが集中の評価として妥当であるか確認することを目的とした。

4.1 概要

実験は 2016 年 12 月 2 日から 2017 年 1 月 9 日にかけて実施され、健康な男子大学生または男子大学院生 35 名（19～26 歳、平均 21.8 歳）が参加し、1 グループ 8 名それぞれ 3 日間で実施し、実験条件の順序に関してカウンターバランスを取った。また、作業課題としては比較問題^[11]を用いた。実験条件は作業への取り組み方の指示によって区別された低モチベーション条件と高モチベーション条件の 2 条件が設定された。低モチベーション条件では、1 セット 30 分間の作業を一日 4 セット実施し、一日全体を想定した疲れないペースを参加者に意識させ、モチベーションがむやみに高くならないように抑制することとした。さらに、作業開始前の指示は全てのセットにおいて「間違えないように注意しながら、なるべく速く解き進めてください」とした。高モチベーション条件では、1 セット 10 分間の作業を一日の最後に一度だけ実施し、終末効果の影響も含めてモチベーションが高くなるように設定した。また、作業開始前の指示を「これから行う本日最後の作業は、10 分間と時間が短くなります。そのため、作業に集中して全力でかつ正確に問題を解き進めてください。」とした。

実験は図 6 に示すプロトコルに従って行われた。同



※数独, 比較SET5は計測対象外

図 6 モチベーション実験のプロトコル

時に執務環境に関する実験を行っていたため、低モチベーション条件では執務環境に差がある時間帯もあるが、執務者は環境変化による影響よりモチベーションの影響に左右される傾向が強いとされている^[12]ため、十分に条件間にモチベーションの差を生じさせることで環境差の影響を無視できるとした。

4.2 結果と考察

実験中に指示を守らず適切に作業を実施しなかった者、実験中に体調不良となったものの合計 6 名を実験の解析対象外とし、29 名の解答時間データを対象に提案手法で解析した。その結果を図 7 から図 9 に示す。

第 1 位集中と第 2 位集中の解答時間期待値を表す E1 と E2 を算出したところ、実験条件間での変化は確認されなかった。これはつまり、実験参加者はたとえモチベーションの変化などによって集中状態が変化したとしても、第一位集中と第二位集中として固有の状態を持つと考えることができ、作業集中モデルで仮定した異なる複数の集中状態の存在が裏付けられたと言える。

集中時間比率を表す MCTR と、最も深い集中時間の支配率を表す CDI を算出したところ、高モチベーション時は低モチベーション時と比べて集中して作業に取り組む時間がより長くなっており、さらにその集中時間のうち最も深い集中時間の割合が大きくなる傾向があることが分かった。MCTR と CDI がどちらも向上していることから、知的生産性は高モチベーション条件で高くなったことがわかる。特に MCTR は高モチベーション条件で有意に高くなり、外乱により集中を奪われなかったことに加えて、作業時間が短く疲労回復のための意図的な休憩が不要であったと推測できる。

このように、提案する作業集中モデルの妥当性が実際の実験参加者の作業結果によって確認でき、それに

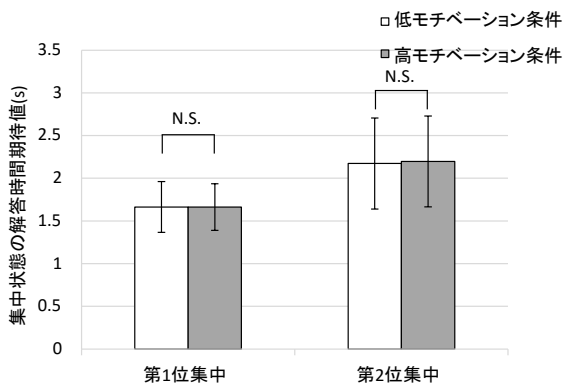


図7 モチベーション実験における E_1 と E_2 の条件間比較

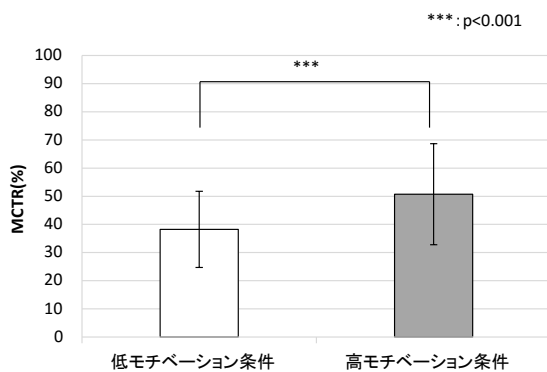


図8 モチベーション実験における MCTR 平均値の条件間比較

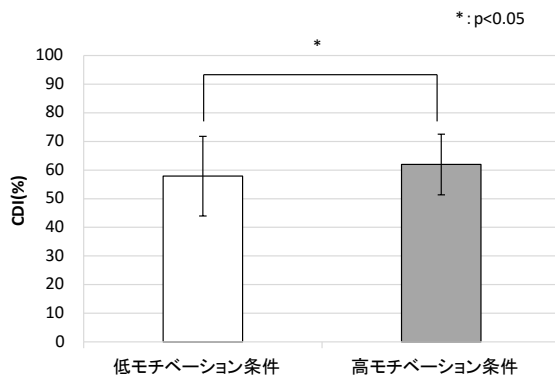
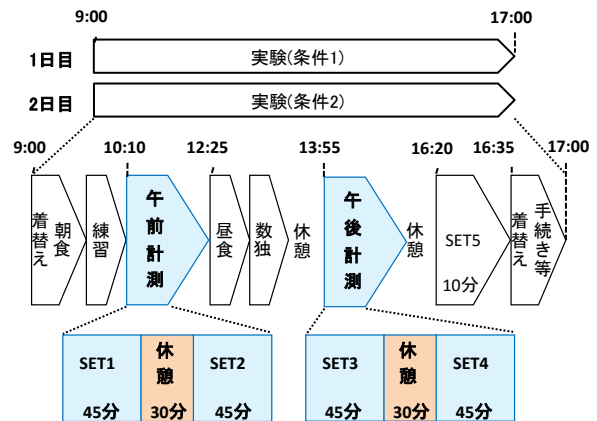


図9 モチベーション実験における CDI 平均値の条件間比較

に基づいた集中指標により知的生産性の評価を試みる提案手法が適切に利用できることが確認できた。さらに、教示や終末効果による作業モチベーションの向上が知的生産性を向上させていることが、集中指標 MCTR と CDI によって示された。

5. 提案手法を用いた環境評価実験データの解析

知的生産性の向上を目指したさまざまな執務環境を評価するために著者らが実施した被験者実験は、その



※数独, SET5は計測対象外

図10 統合温熱制御実験のプロトコル

ほとんどが CTR のみを用いて評価したものであり、集中の深さの変化について議論してこなかった。そこで、過去に実施した実験の再解析を実施し、MCTR と CDI を用いて改めて評価することで、提案指標の有用性を評価することを目的とした解析を行う。

5.1 解析対象データの概要

実験は2016年8月20日から10月8日にかけて実施され、健康な男子大学生または男子大学院生44名(18~26歳、平均21.5歳)が参加した。参加者は最大8名1グループごとに実施し、実験条件の順序に関してカウンターバランスを取った。また、作業課題としては前章同様に比較問題^[11]を用いた。

温熱環境に着目した環境設計を行う研究には執務環境と休憩環境のそれぞれに別個に着目したものが多く存在しているものの、両者を統合的に制御しているものは少ないことから、知的生産性の向上を狙った統合制御環境を提案環境条件として評価実験を行った。ここでは詳細を省くが、本実験では休憩室を含めて総合的に制御した環境(以下、温熱制御条件)と、一般的なオフィス環境を想定した標準条件の2条件を設定した。解析対象となる作業は図10のように1セット45分を一日に4回実施した比較問題の解答時間データである。終末効果の影響を防ぐために5回目のセットを実施し、作業開始前の教示はモチベーションの差を防ぐために一律とした。

5.2 結果と考察

教示を守らず適切に実験に参加しなかった者や実験中に体調不良となった者の合計11名を解析対象外とし、最終的に27名の解答時間データを対象に解析を行った。既存手法であるCTRの解析結果を図11に示す。

次に、提案手法によって算出した E_1 、 E_2 、MCTR、CDIの結果をそれぞれ図12、図13に示す。

既存手法 CTR による解析では、温熱制御条件は標準条件と比べて集中時間比率 CTR を有意に向上させる傾向が確認でき、温熱制御条件は集中時間を長くする効果を介して知的生産性を向上させていると推察できた。しかしこの結果では、1つの解答時間データ内に含まれる全ての解答が第1位集中で処理されたと仮定しており、集中の深さが変化していないことを前提としているため、2つ以上の集中状態を持つ執務者は集中を十分に評価できていない可能性がある。

一方、提案手法を用いた評価では、まず前提として E1 と E2 が実験条件間で変化しないことが確認でき、これにより第1位集中と第2位集中において集中の深さごとの平均解答時間は一定の分布を形成していることが分かり、本実験のデータでも MCTR と CDI を利用して集中の深さの観点から議論できると確認した。実験参加者ごとに第2位集中を持っていることが確認できたことから実験参加者には2つ以上の集中状態が存在していると考えられ、提案手法では既存手法より多角的に集中を評価できると言える。

さらに MCTR と CDI の結果によれば、温熱制御条件は標準条件と比較して集中時間の長さには影響を与えず第1位集中の支配率を向上させていることが分かった。よって、温熱制御条件の環境では標準条件の環境に比べて知的生産性が向上したと考えられる。また、第1位集中と第2位集中の総時間が変化せず第1位集中が長くなっていることから、標準条件では第2位集中となっていた時間の一部が、温熱制御条件ではより深い集中である第1位集中の時間に变化したとも考えられる。しかし、MCTR には条件間で差がないことから、温熱刺激の影響は作業時間全体に及ぶわけではなく、結果として疲労回復を目的とした長期休息状態の必要性には条件間に差が生まれなかったと考えることができる。

ここで既存手法と提案手法の評価結果を比較すると、CTR では温熱制御条件が集中時間を長くする効果を示しており、MCTR では温熱制御条件が集中時間に影響しないと示している点で、評価結果間で矛盾が生じている。しかし、MCTR の結果では第2位集中の時間の一部が第1位集中の時間に变化している可能性を先に述べた。この場合、CTR では第2位集中を非集中状態として評価しているため、第2位集中から第1位集中へ集中の深さを変化させることが集中時間を評価するはずの CTR を向上させてしまったことが、評価結果間に矛盾を生じた原因であると考えられる。このように、提案手法によって MCTR と CDI を算出することで知的生産性の解釈がより詳細になったと言え、提案指標の有用性を確認することができた。

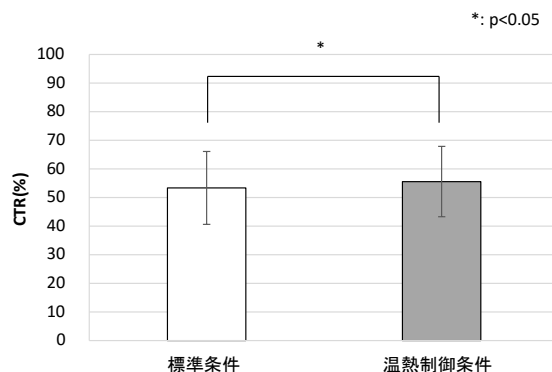


図 11 統合温熱制御実験における CTR 平均値の条件間比較

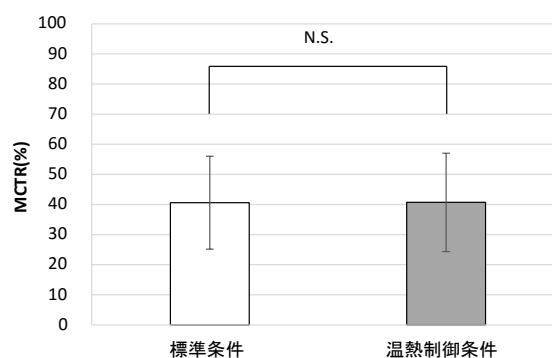


図 12 統合温熱制御実験における MCTR 平均値の条件間比較

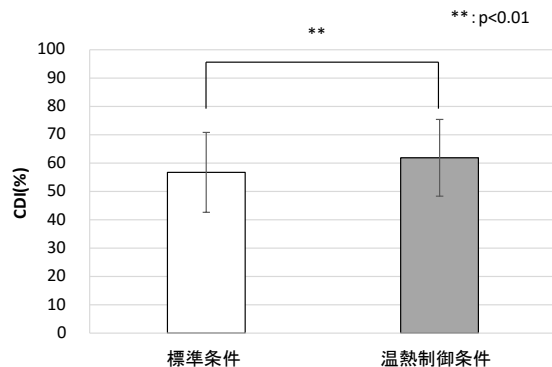


図 13 統合温熱制御実験における CDI 平均値の条件間比較

6. まとめ

本研究では、著者らが開発してきた CTR で考えることが出来ていなかった集中の深さに着目した作業集中モデルを新たに提案し、それに基づいて算出した知的生産性の新たな評価指標である MCTR と CDI を提案した。作業集中モデルの仮定の妥当性はモチベーションを変化させる実験により確認し、環境による知的生産性の影響を調査した実験データを提案手法で

再度解析することによって、従来指標では実施できなかった集中の深さの観点からの考察が可能になったことを示した。

しかし、本研究では作業集中モデルにおいて第三位集中やそれより浅い集中状態を無視した解析を行ったが、実際にはこれらの状態においても知的作業が遂行されると考えられるため、今後はより多くの集中状態も考慮に入れられるようさらなる改良が必要である。また、更なる実験を通して集中の深さと実際の作業効率との定量的な関係についても考察を深めていかなければならない。

参考文献

- [1] 杉浦 敏浩, 橋本 哲, 寺野 真明, 中村 政治, 川瀬 貴晴, 近藤 靖史: ワークプレイスプロダクティビティの評価方法, 第1報-プロダクティビティ評価方法の整理と標準的な評価票の提案, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, Vol.123, pp.11-22, (2007).
- [2] 西川 雅弥, 西原 直枝, 田辺 新一: 中程度の高温環境下の長時間作業が作業効率と疲労に与える影響に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第638号, pp.525-530, (2009).
- [3] Pawel Wargocki, David P Wyon, P Oie Fanger: Productivity is Affected by the Air Quality in Offices, Proceeding of Healthy Buildings 2000, pp.635-640, (2000).
- [4] Kosuke Uchiyama, Koutarou Ooishi, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Process of Evaluation Index of Intellectual Productivity Based on Work Concentration, ICSTE 2013, (2013).
- [5] Shota Shimonaka, Yuta Shimamura, Masanari Furuta, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Kazuhiro Taniguchi, Fumiaki Obayashi: Objective and Quantitative Evaluation of Intellectual Productivity under Control of Room Air-flow, International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (STSS), pp.121-128, (2015).
- [6] 杉田 耕介, 古田 真也, 石井 裕剛, 下田 宏, 大林 史明, 谷口 和宏: 冬季における室内気流環境が知的集中に及ぼす影響の実験研究, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.423-428, (2016).
- [7] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, Allen Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, (1983).
- [8] Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: 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, (2012).
- [9] Alan Baddeley: Exploring the central executive, The Quarterly Journal of Experimental Psychology A, Human Experimental Psychology, 49, pp.5-28, (1996).
- [10] Alan Baddeley: Working memory or working attention? In A.D. Baddeley & Lawrence Weiskrantz (eds.), Attention: Selection, Awareness, and Control: A Tribute to Donald Broadbent. New York: Clarendon Press, pp.152-170, (1993).
- [11] Kimi Ueda, Yuta Tsuji, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Fumiaki Obayashi, Kazuhiro Taniguchi: Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model based on Work State Transition, 2016 International Conference on Communication and Information Systems, pp.58-64, (2016).
- [12] Robert Sommer: Personal Space: The Behavioral Basis of Design, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, (1969).