

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

上田 樹美^{*1} 辻 雄太^{*1} 下田 宏^{*1} 石井 裕剛^{*1}
大林 史明^{*2} 谷口 和宏^{*3}

Development of new cognitive task to calculate work productivity in office environment

Kimi Ueda^{*1}, Yuta Tsuji^{*1}, Hiroshi Shimoda^{*1}, Hirotake Ishii^{*1},
Fumiaki Obayashi^{*2} and Kazuhiro Taniguchi^{*3}

Abstract – The authors have been developing CTR (Concentration Time Ratio), a quantitative measurement method using the answering time distribution of receipt classification task as a cognitive task with uniformed difficulty. However, the receipt classification task has some problems. In this study, a new cognitive task has been proposed in a useful and more suitable style for measuring the intellectual concentration. The task, “comparison task”, has been developed based on the aspect of cognitive psychology and human information processing. Two experiments were conducted to assess the comparison task. One experiment was to confirm that the task employs linguistic ability and numerical ability, cerebral blood flow was measured by NIRS when conducting the task. As the result, it showed activation of prefrontal area and Broca’s area. The other experiment was to confirm that the answering time of the task was properly affected by the room environment. As the result, the calculated CTRs showed the difference of environmental conditions.

Keywords : office productivity, cognitive task, work environment, NIRS, environmental evaluation experiment

1. はじめに

知的生産性が向上すると利益の向上に直結するとした論文^[1]もあるように、昨今の業務には知的な集中を伴う作業が多く含まれており、作業環境の改善による知的生産性の向上を狙った研究は盛んにおこなわれている。一方で、知的生産性を定量評価する方法は未だ確立されておらず、数多くの研究を包括的に比較することができないことや、研究成果に普遍性がないこと等が課題として存在している。そこで本研究では、知的集中の定量評価に基づいて知的生産性の評価を行うという趣旨のもと、集中指標 CTR(Concentration Time Ratio)を開発してきた^[2]。

しかし、現在 CTR の解析対象である解答時間データを収集する認知課題には、実験実施の困難さやオフィス環境や学習環境における集中を図るための課題としての妥当性などの問題があった。そこで本研究では、これまで開発を進めてきた CTR の問題点を解決するため、知的集中計測に使用する新たな認知課題の開発を行った。

1.1 既往研究

これまで行われてきた知的生産性の評価方法には、大きく分けて主観評価によるもの^[3]、生理指標を用いるもの^[4]、直接業務成績を測るもの、仮想的な認知課題によるもの^{[5],[6]}の4種類の方法が存在する。それぞれに一長一短があるが、中でも仮想的な認知課題を用いる方法は、成績が定量的に評価可能な仮想認知課題を実施することで知的生産性を評価する方法であり、認知課題の形式によっては実環境においても共通の課題によって計測実験を実施することができ汎用的で比較可能な計測結果を得るために適した知的生産性の評価方法だと言えるだろう。

そこで本研究では、オフィス作業を模した仮想的な認知課題を用いて得た回答データを、後に説明する集中状態のモデルに基づいて解析し、習熟効果の影響を排除して知的生産性を評価する方法を開発してきた。集中指標の測定には、後に述べる集中指標の算出のための条件を満たしていると考えられる伝票分類課題が用いられてきた。

1.2 伝票分類課題

伝票分類は、難易度が均一な複数の問題からなる認知課題であり、オフィスで使われる認知能力の発揮具合が回答時間データに反映されるよう設計された課題である。被計測者に解答ルールをわかりやすく提示するために、問題の出題は伝票の形式を取っている。伝

*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

*3: パナソニック エコシステムズ株式会社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Panasonic Corporation Eco Solutions company

*3: Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.

票分類は、後述の集中指標の算出のための基本的な条件を満たした課題であるが、これまで実験を行うなかでいくつかの問題点が明らかになってきた。

伝票分類課題の実施のためには一人の被計測者に対して数千枚と大量の紙伝票が必要になるという物質的な制約に加えて、解答時間に紙をめくる作業にかかる時間のばらつきが含まれてしまうこと、正誤判定が難しいこと、認知課題としての抽象度が低いために起こる被計測者の心象の悪化、習熟による難易度低下が招く飽きや、作業を進めると伝票の束の減少が目視できることによるモチベーションの変化等の問題があった。

紙伝票による問題を解決するため、伝票分類の問題を電子デバイスで表示する方法も検討されたが、強く眠気を誘発し、紙伝票使用時の結果を再現することができない場合が多かったため、伝票分類課題では紙伝票を用いることが重要であると思われる。以上によって、これまで紙伝票をもちいて実験をしなければならないという状況が続いてきた。

1.3 目的

そこで本研究では、集中指標の計測をより簡単に行えるようにし、様々な環境での実験を適切に行うことを可能とするために、伝票分類の問題を解決した集中指標産出のための新たな認知課題の開発を行うことを目的とする。開発する認知課題は、次に説明する集中指標 CTR の計算に適した認知課題であり、また、知的生産性評価の需要の高いオフィス環境での計測を前提とするため、一般的な脳の認知活動に着目して作成され普及しているストループ課題 [7],[8] や GO/NO-GO 課題 [9] とは異なり、オフィス作業を抽象化したものである必要がある。開発する認知課題が満たすべき要件の説明のため、集中指標の計算方法について説明する。

2. 集中指標 CTR

本研究室で開発してきた CTR は、知的生産作業が集中している時間のみ進行するという仮定のもと、一定の作業時間のうちで集中していた時間の割合を算出することによって、知的生産性を評価する指標である。ここでは、執務者が目の前の作業の遂行のために認知資源を割り当てている状態のことを集中と呼んでいる。集中指標は作業成績を直接指標としない計算方法であるので、認知課題を繰り返すことによる習熟効果の影響を打ち消して評価することができるという特徴がある。

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 [9] に基づいて、認知課題遂行時の執務者の作業状態を 3 つに分類できるとした図 1 に示した 3 状

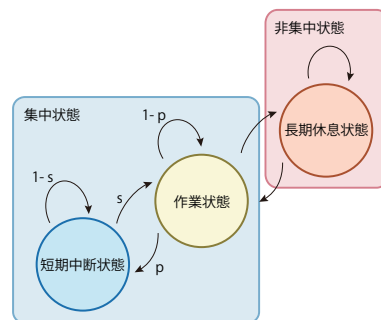


図 1 集中の 3 状態遷移モデル

Fig. 1 Concentration model of three states.

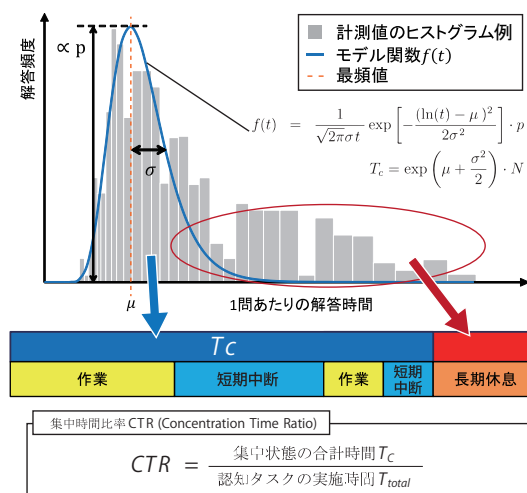


図 2 集中指標の算出方法

Fig. 2 Calculation model of the CTR method.

態モデル [10] が作成された。3 つの状態とは、作業に集中しており、作業が進む状態である「作業状態」、作業に注意を向けてはいるが無意識的に作業を中断し、作業が進まない状態である「短期中断状態」、さらに意識的に作業を中断し、作業が進まない状態である「長期休息状態」の三種類である。そのうち、認知資源を目の前の課題に分配している「集中状態」と「短期中断状態」を併せて「集中状態」、認知資源を目の前の課題に分配していない「長期休息状態」を「非集中状態」と定義したのが、集中-非集中モデル [11] である。これに基づく、難易度が変化しない課題を解答者に与えたとき、集中時の解答時間分布は対数正規分布に従うと考えることができるため、CTR は図 2 のように計算される。

3. 比較問題の開発

3.1 新しい認知課題に求められる条件

先に述べた集中指標の計算を適切に行う事が出来る解答時間データの収集のために、開発する認知課題は次の 3 つの条件を満たす必要がある。

1 つ目は、解答難易度が問題によって変化しないこと

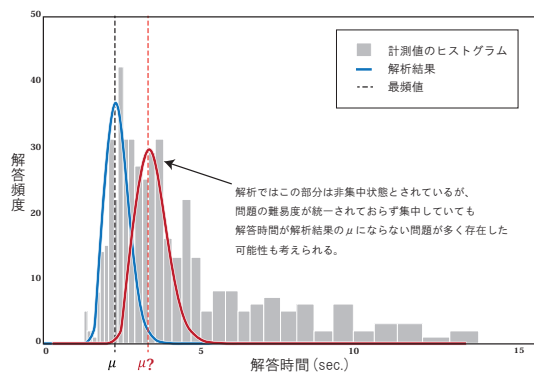


図3 難易度が変化した場合のヒストグラム例
Fig. 3 Example of answering time histogram of changed difficulties.

である。これは、解答時間データの分布における最頻値は、問題の難易度によって大きく変化するため、もし認知課題セットの中で難易度が統一されていなかった場合、図3のように最頻値の異なる二つの正規分布を重ねあわせたような分布を持つ解答時間データとなってしまう、集中指標を正しく計算することができないためである。

2つ目は、計測時間を通じて解答戦略が変化しないことである。解答戦略が変化すると、問題側で難易度を統一していたとしても、実際の解答難易度が変化してしまうため、練習による習熟以降の解答戦略の変化を防ぐような認知課題デザインが必要である。

3つ目は、適当な難易度設定にすることである。難易度が低すぎた場合、一定時間経って解答をする際に飽きを招きやすく、眠気や空想による中断が頻発し実験が成立しない可能性がある。一方難易度が高すぎた場合、一問一問の解答に時間がかかってしまうことによる意欲の低下や、単位時間に収集できる解答時間データの数が減ってしまい、実験が長時間化してしまうため、難易度は低すぎても高すぎてもいけない。

以上3つに加えて、オフィス環境における知的生産性の計測を目的とするため、開発する認知課題はオフィス作業を抽象化したものとする必要がある。今回は、オフィス作業において必要な知的能力を「言語を扱う能力」「数字をを扱う能力」に「判断力」を加えたものとし、そのうえである程度認知資源を配分しなければ回答できない問題として開発を行った。

3.2 開発した比較問題の概要

開発した比較問題の例を図4に示す。比較問題は、単語比較問題と数字比較問題が同時に出現される問題であり、それぞれの問題が「言語を扱う能力」と「数字を扱う能力」に対応している。

問題の出題形式をシンプルにすることで、習熟にかかる時間の短縮と解答戦略の変化を抑制することを実

図4 比較問題
Fig.4 Comparison task.

現している。

3.2.1 単語比較問題

単語比較問題は、4つの意味カテゴリー(動物・植物・人工物・地名)に属する単語から選ばれた2つの単語が同時に出現され、それぞれの単語が同じカテゴリーに属しているか異なるカテゴリーに属しているかを回答する問題である。単語比較問題では、難易度統制を行うために4つの意味カテゴリーに対して3つずつ小カテゴリーを用意した。小カテゴリーを用意することで、同じ意味カテゴリーに属する単語の中でも認知的に意味が近すぎることでカテゴリーが「同じ」だと判断するためにかかる時間が他の組み合わせより短いと言ったような難易度の変化を抑制している。また、小カテゴリーをある程度絞ることによって、課題への習熟を早める効果も見込める。実験の際には、比較問題の解答方法の説明に加えて出現する単語のリストを配布するが、意味カテゴリーのみを公開し、小カテゴリーは公開しない。

各意味カテゴリーに属する全ての単語は、一度に認識できる文字数であると考えられる5文字以内の単語であることを前提とし、単語そのものが日常語から遠すぎるなどによって難しすぎないか、異なる意味カテゴリー内に属する単語によって強く意味が協応してしまうことがないか等に関して事前の予備実験や聞き取り調査により検討を行ったうえで選出した。

単語比較問題において、連続して同じ意味カテゴリーの単語が出題されることで前の問題からのプライミング効果が発生して難易度が下がる可能性があるため、同じ意味カテゴリーの単語の出題が2問以上連続しないように調整した。

3.2.2 数字比較問題

数字比較問題は、数字の大小を比較する問題で、4桁の数字を不等号で繋いだシンプルな不等式が出題され、不等式が「正しい」か「間違い」かを回答する問題である。この問題は計算能力を問うものではなく、必要な情報に着目し数字を比較するという問題である

解答データ

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	//Name C:\User\01-09-SaveDate 09-Jan-2016 09:53:11 +0900							
2	0	Start	0	9:43:06				
3	3.734	3.734	122	16:43:09	122	1		
4	6.397	2.663	121	16:43:12	121	1		
5	8.884	2.487	112	16:43:14	112	1		
6	10.783	1.899	111	16:43:16	111	1		
7	12.834	2.151	122	16:43:18	122	1		
8	14.892	1.958	122	16:43:20	122	1		
9	17.184	2.292	111	16:43:23	111	1		
10	20.116	2.832	112	16:43:26	112	1		
11	22.816	2.7	121	16:43:29	121	1		
12	23.602	0.786	UNDO	16:43:29	112	UNDO		
13	24.126	0.524	122	16:43:30	121	0		
14	24.851	0.725	UNDO	16:43:30	112	UNDO		
15	25.209	0.358	121	16:43:31	121	1		

↓ CTR解析ソフトウェア

出力結果

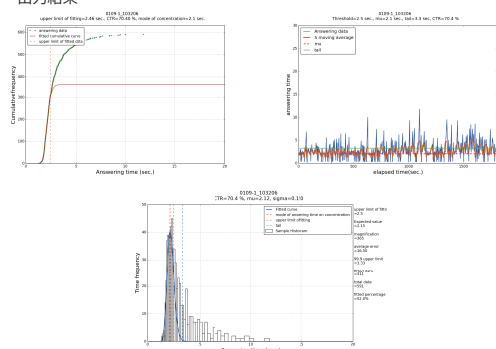


図5 比較問題の回答時間データと集中指標解析結果の例

Fig.5 Example of answering time data and CTR calculation results by using comparison task.

ため、難易度統制のために問題を単純化している。4桁の数字の内、先頭の数字が異なっていると問題が極端に簡単になるため、先頭である千の位の数字は同じ数字になるように設定し、百の位の数に着目すると解答することができる問題となっている。

3.2.3 解答時間データの取得と集中指標解析

比較問題の実施には html と JavaScript を用いて記述された Web エージェント上で動作するアプリケーションを用いる。実際の回答時間データと解析結果の様子は図5の通りである。集中指標の計算は、現行の CTR 計算ソフトを用いて実施する。

4. NIRS による比較問題解答時の脳賦活計測実験

開発した比較問題が、実際に開発時の意図通り「言語を扱う能力」「数字を扱う能力」「判断力」等の高度な認知活動を伴う問題になっていることを近赤外分光器 (Near-infrared spectroscopy, 以下 NIRS) によって脳の賦活状態を観察することで検証した。この実験により、課題のデザインにおいて考えられていた多くの仮説を検証することができる。

4.1 実験の概要

実験は2015年12月10日、17日、18日の3日間で行われ、京都大学大学院修士課程にあ教大学院生5名が参加した。表1に参加者の詳細を示す。測定はパナソニックエコソリューションズ株式会社が管理す

表1 比較問題解答時の脳賦活測定実験の参加者一覧

Table 1 Participants list of NIRS experiment.

実施日	参加者 ID	性別	年齢
2015/12/10	1	男	24
2015/12/17	2	男	25
2015/12/17	3	男	23
2015/12/18	4	男	23
2015/12/18	5	男	23

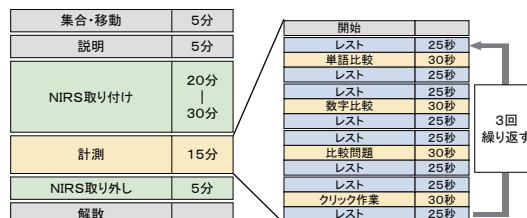


図6 脳賦活計測実験のプロトコル
Fig.6 Protocol of NIRS experiment.

る実験室で行われ、同社が所有する島津製作所製の FOIRE-3000 を用いて測定を行った。

4.2 実験方法

計測は図6に示したプロトコルで行われた。NIRSの受光・送光プローブの装着時間は被験者の負担軽減のため1時間に収まるように注意した。計測時には、図7のように機材を配置し、実験参加者が比較問題を実施している間に実験者の姿が視界に入ること、問題以外の部分に注意が向いてしまわないように注意した。

図6のプロトコルのように、本計測実験では単語比較問題と数字比較問題の脳活動の様子の違いを見るために、通常の比較問題に加えて、単語のみ比較問題と数字のみ比較問題を用意した。また、それぞれの問題においてボタンを押す動作に関わる脳活動が重畳していると考えられるため、ボタンを押す動作のみのコントロールタスクを用意し、測定後に他の結果から減算することとした。

測定位置は、比較問題の解答時に賦活すると考えられる「言語を扱う能力」「数字を扱う能力」「判断力」に対応した部分を確認するために、一般に計算や判断、短期記憶の活動が関わりとされる前頭葉の部分と、言語的な活動を司るとされているブローカ野やウェルニッケ野を含む側頭葉の部分を含むように設定した。また、NIRSによる測定では送光プローブと受光プローブの間が測定点となるので、図8のように測定点を定めた。

4.3 結果と考察

得られたデータは、同じ種類の課題の計測結果を加算平均し、コントロールタスクの加算平均を減算して表示する。以下、結果の図中の個々のグラフの見方を図9に示し、図10から図12に測定結果の例を示す。

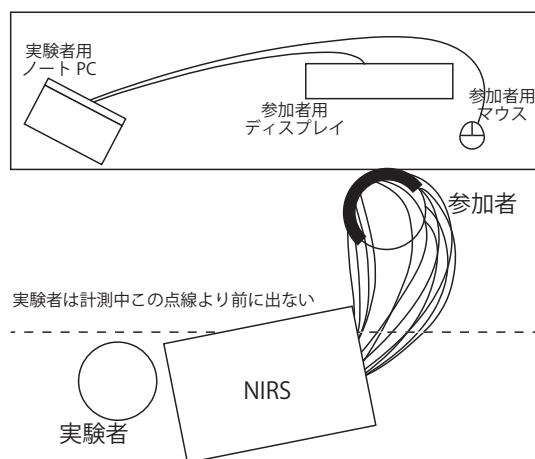


図 7 脳賦活実験実施時の機材配置
Fig.7 Room setting during NIRS experiment.

それぞれのグラフの配置は実際の測定点の配置と対応しており、図中には各認知活動と結果データの位置との対応を示した。一般的に、ブローカ野では意味認識に加えて発話等動的な作業を、ウェルニッケ野では意味認識に加えて文脈の形成等静的な作業を行うとされている。また、聴覚野では黙読等の脳内で音韻を想像する際にも活性化することが知られている^[12]。

図 10 を見ると、単語比較問題ではタスク開始時から前頭葉とブローカ野の両方が活性化していることがわかる。また、図 11 に示した数字比較問題でも同様の部分が活性化しているが、前頭葉部分は単語比較問題より強く、ブローカ野部分は単語比較問題より弱く活性化している。どの部分がどの問題形式で強く活性化するかは参加者によって個人差があったが、数字比較問題でも聴覚野が活性化する参加者に関しては、比較する数字を脳内で音読して認識している可能性が考えられる。図 12 に示した単語・数字両方の比較問題での結果を見ると、単語比較や数字比較に比べて弱めだが、同様に前頭葉部分とブローカ野部分の活性化が観測された。単語・数字両方の比較問題での脳賦活が全体的に単語のみ、数字のみの問題よりも低くなるのは、両方の認知的処理を並行して行うことにより脳血流がそれぞれの活動領域に分散するためだと考えられる。

本実験により、開発した比較問題の解答時に大脳新皮質、主に前頭葉やブローカ野の活性化が見られ、高度な認知活動が誘発されていることが実際に確認できた。

5. 比較問題を用いた環境評価実験

本実験では、比較問題によって環境評価実験を実施し、開発した比較問題が集中指標による集中度測定のための課題として成立しているかどうか、さらに環境

表 2 実験室の環境の詳細

Table 2 Detail of the experimental room environment.

環境（温熱・照明）	室温	机上面照度
暑・A	25～26℃	300～350lux
暑・TA	25～26℃	1800lux 程度
涼・A	21～22℃	300～350lux
涼・TA	21～22℃	1800lux 程度

の変化による知的集中度変化を適切に計測できるか否かを確認することを目的とする。

5.1 実験の概要

本実験は 2016 年 1 月 9 日から 1 月 13 日の 5 日間で行われ、関西の高校、大学に通う生徒および学生 37 名が参加した。実験は京都大学吉田キャンパス工学部 1 号館地下一階にある 010 号室で行われた。

計測対象となる実験環境は、照明環境と温熱環境にそれぞれ 2 種類、合計 4 種類が用意された。それぞれの詳細を表 2 に示す。照明環境は、アンビエント照明のみの環境（以下 A 環境）と、全体照明に加えて手元をデスクライトで照らすことで集中度が上がるという知見のある^[13] タスクアンビエント照明環境（以下 A 環境）、温熱環境には、暑い環境と涼しい環境を用意した。

図 13 に本実験のプロトコルを示す。午前中には実験説明と作業説明に加え、作業自体への習熟と 30 分の作業を 2 回繰り返す流れへの習熟のために比較課題を 30 分間実施するタスクセットを 2 回実施する。集中度の変化が小さいと予想される温熱環境に関してはカウンターバランスを取るために順序を入れ替えたものを用意した。照明環境に関しては、それぞれの温熱環境において A 環境で課題を行った後 TA 環境で同様に課題に取り組むようにプロトコルを組んだ。照明環境では TA 環境の方が集中度が上がるのが確実であると考え、カウンターバランスはとらずに増減を観察することとした。変化させる順番に関しては、照明環境への順応時間の違い^{[14],[15]}を考慮し、ひとつの温熱環境中で A 環境から TA 環境に変化させて計測することとした。

また、それぞれのタスクセットの後に、環境評価のためのアンケートと体調の大きな変化の有無の確認のための自覚症しらべ^[16]を実施した。

5.2 実験結果と考察

実験の全参加者について、欠損なく結果を得ることができた。解答時間データは全て確認し、今回は記述量の関係で省略するが実験最後に実施した自由記述アンケートの内容も参考にしながら、実験途中で課題の遂行が困難になったような、明らかに参加者の体調やモチベーションに変化が起きたと考えられるデータに

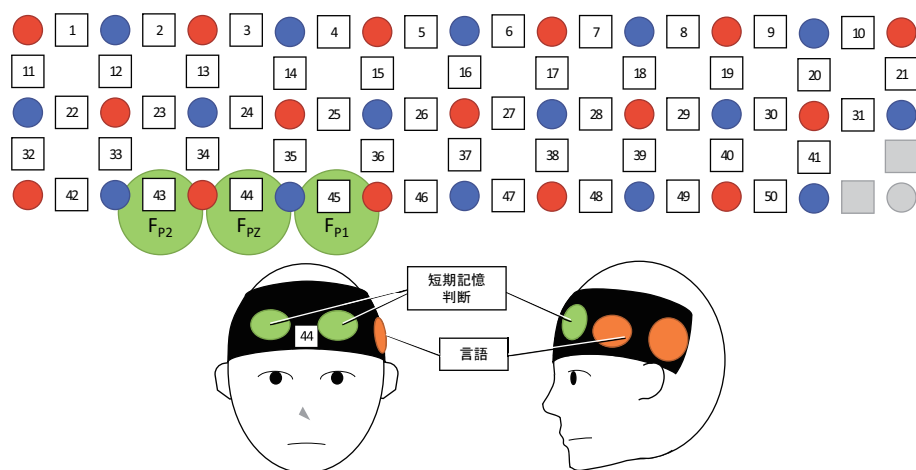


図 8 脳賦活計測実験時の測定点の位置
Fig. 8 Probe position of NIRS experiment.

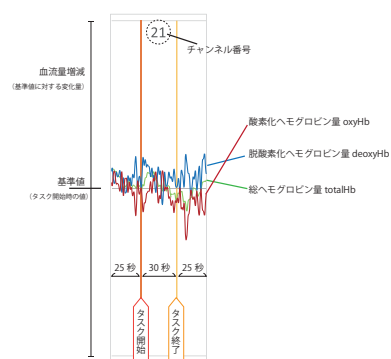


図 9 脳賦活計測結果の個々のグラフの見方
Fig. 9 A way of looking at NIRS result graph.

関しては以下の分析の対象外とし、また、CTR 解析時に μ の値が実験途中で大きく変動し集中時間として近似できたデータが少なくエラーが出た参加者のデータについても分析の対象外とし、最終的に 26 名のデータを分析対象とした。

図 14 に集中指標の計算結果を示す。二元配置分散分析の結果、環境ごとの集中指標の結果に有意差はなかったが、照明環境では A 環境が、温熱環境では涼環境が高い傾向となる結果になった。照明環境における主観評価は図 15 のように TA 環境の方が良かったため、集中指標が A 環境の方が高かったのは、休憩時間が短いことによる疲労蓄積の影響がカウンターバランスを取らなかったことにより結果に現れたと考えられる。温熱環境における主観評価は図 16 の方が良く、これは集中指標における結果と対応している。

今回の実験結果からは結論付けることはできないが、疲労の蓄積を上手くコントロールするプロトコルを組むことで、CTR への影響が少ないとされる環境要因の変化に対しても感度のある測定を行うことができる可能性が示唆されたと言える。伝票分類ではデータ取

得が困難であった誤答率に関しても、図 17 に示したように正しく取得できた。今後、データをさらに取得し、それらの結果に基づいて集中指標との併用方法などの検討が必要である。

6. 結論

比較問題解答中の脳賦活計測実験、比較問題を使用して実施した環境評価実験の結果から、今回開発した比較問題は CTR の解析にふさわしい認知課題となっていることがわかった。また、環境評価実験の解析結果により、比較問題は従来の伝票分類課題よりも習熟に必要な時間が短く、環境評価実験を短期化することが可能である。さらに、紙伝票を用いることによる実験実施の困難さや誤答率の計算ができないなどの制約を乗り越えることに成功した。

本研究で開発した比較問題が実用化できれば、様々な環境で手軽に集中度計測を行うことができるようになり、知的生産性を考慮した環境構築をこれまで以上に簡便に行えるようになる。これは知的生産性向上に向けた大きな一歩になるだろう。

参考文献

- [1] 国土交通省: 知的生産性研究委員会報告書. 2009.
- [2] H. Shimoda, K. Ooishi, K. Miyagi, K. Uchiyama, H. Ishii, F. Obayashi, M. Iwakawa: An Intellectual Productivity Evaluation Tool Based on Work Concentration. 15th International Conference on Human-Computer Interaction, Vol.16, pp.364-372, 2013.
- [3] 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.
- [4] N. Nishihara, S. Tanabe, Monitoring Cerebral BloodFlowfor Objective Evaluating of Relation-

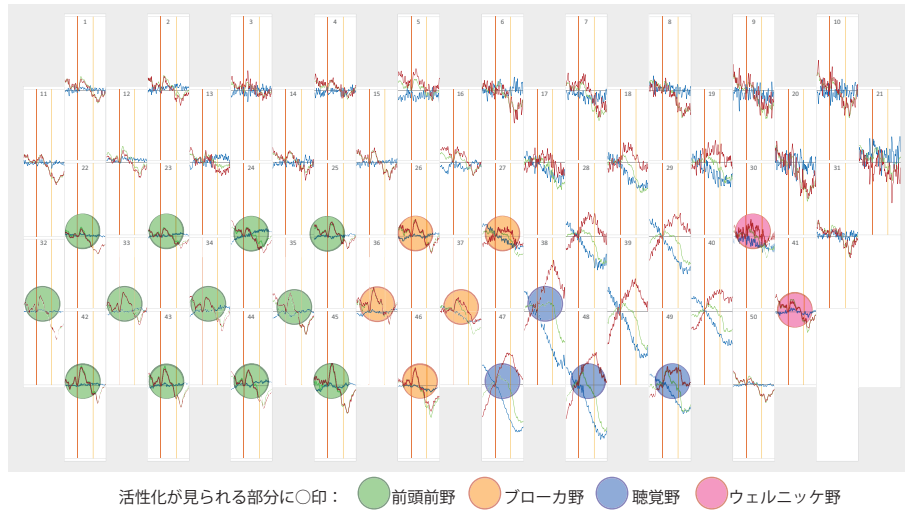


図 10 単語のみ比較問題解答時の脳賦活
Fig. 10 Results of Word-comparison task.

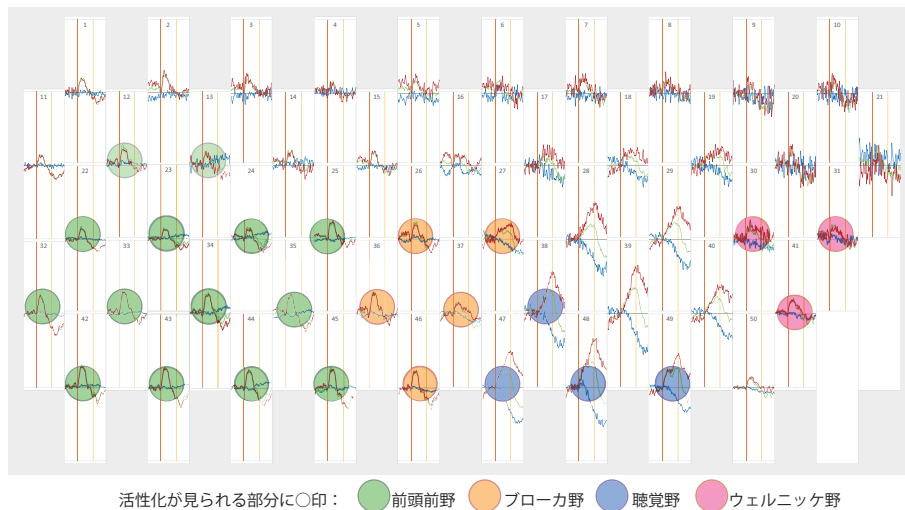


図 11 数字のみ比較問題解答時の脳賦活
Fig. 11 Results of Number-comparison task.

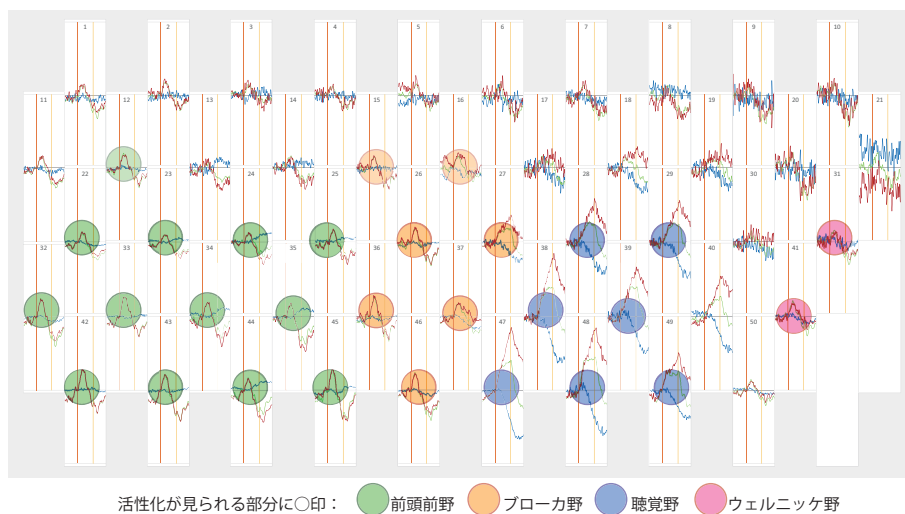


図 12 比較問題解答時の脳賦活
Fig. 12 Results of Comparison task.

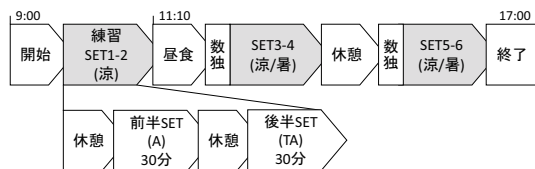


図 13 環境評価実験のプロトコル

Fig. 13 Protocol of environment evaluation experiment.

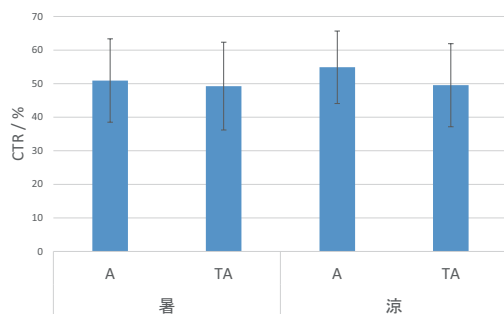


図 14 CTR 変化の様子

Fig. 14 Results of CTR.

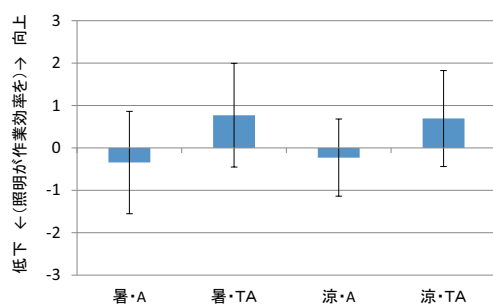


図 15 照明によって作業効率が向上したか否か (7段階評価)

Fig. 15 Subjective lighting effect on concentration.

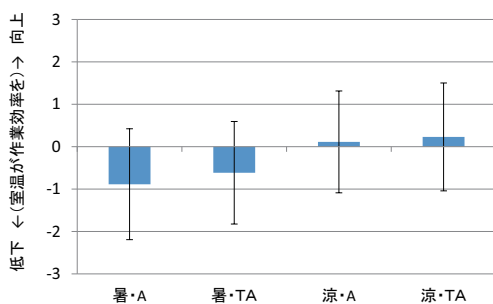


図 16 室温によって作業効率が向上したか否か (7段階評価)

Fig. 16 Subjective thermal effect on concentration.

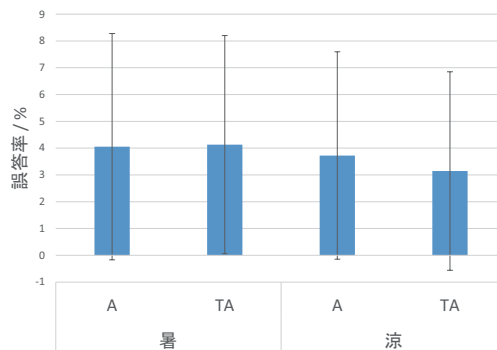


図 17 誤答率

Fig. 17 Error rate.

- ship Productivity and Thermal Environment, Proceedings of IAQVEC 2007, 655/662 (2007)
- [5] P. Wargocki, D. P. Wyon, P. O. Fanger: Productivity is Affected by the Air Quality in Offices. Healthy Building 2000, pp.635-640, 2000.
 - [6] D. R. Throne, S. G. Genser, H. C. Sing, F. W. Hegge: The Walter Reed Performance Assessment Battery. Neurobehavioral Toxicology and Teratology, Vol.7, pp.415-418, 1985.
 - [7] K. Miyagi, S. Kawano, H. Ishii, H. 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.
 - [8] C. M. MacLeod: Half a Century of Research on the Stroop Effect: An Integrative Review. Psychological Bulletin Vol.109, No.2, pp.163-203, 1991.
 - [9] B. Dubois, A. Slachevsky, I. Litvan, B. Pillon: The Fab: a frontal assessment battery at bedside. Neurology 2000, Vol.55, pp.1621-1626, 2000.
 - [10] S. K. Card, T. P. Moran, A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction. Erlbaum Associates, 1983.
 - [11] K. Uchiyama, K. Oishi, K. Miyagi, H. Ishii, H. Shimoda: Process of Evaluation Index of Intellectual Productivity Based on Work Concentration. ICSTE 2013, 2013.
 - [12] 内山皓介, 宮城和音, 石井裕剛, 下田宏, 大林史明, 岩川幹生: 知的生産性評価のための集中指標算出ツールの開発. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.16, No.1, pp.29-40, 2014.
 - [13] K. Brodmann: Vergleichende Lokalisationlehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. J.A. Barth, Leipzig, 1909.
 - [14] 島村祐太, 下田宏, 宮城和音, 金川英弘, 石井裕剛, 内山皓介, 大林史明: 集中評価指標を用いた集中度向上照明の知的生産性評価 4. 集中度向上照明のオフィス適用評価. 日本建築学会大会学術講演梗概集, Paper No.40015, pp.29-30, 2014.
 - [15] 照明学会編: 照明ハンドブック (第2版). オーム社, pp.25-27, 2003.
 - [16] H. D. Baker: The course of foveal light adaptation measured by the threshold intensity increment. Journal of the Optical Society of America, 39, pp.172-179, 1949.
 - [17] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会編: 産業疲労ハンドブック. 労働基準調査会, 1988.