

# 作業への集中に着目した知的生産性の定量評価法

○ 下田 宏 宮城 和音 内山 皓介 大石 晃太郎 石井 裕剛 (京都大学)  
大林 史明 岩川 幹生 (パナソニック)

A Quantitative Evaluation Method for Intellectual Productivity Focusing on Work Concentration

\*H.Shimoda, K.Miyagi, K.Uchiyama, K.Oishi, H.Ishii (Kyoto University),  
F.Obayashi, M.Iwakawa (Panasonic)

**Abstract**— As a quantitative index to evaluate intellectual productivity, a concentration time ratio (CTR) has been proposed in this study, which is the time ratio between concentration state and non-concentration state on intellectual work. The CTR can be calculated from the solving time distribution when cognitive tasks with unified difficulty are given repeatedly. In addition, an appropriate cognitive task to measure the CTR has been designed and an experiment was conducted with 24 male subjects for three days where the CTRs under two illumination conditions had been compared. As the result, it was found that the CTR was not affected by learning effect and it has a possibility to evaluate the change of intellectual productivity affected by the change of room environmental conditions.

**Index terms**— Intellectual productivity, Concentration time ratio, Cognitive task

## 1 はじめに

我が国の部門別エネルギー消費の推移を見てみると、産業部門におけるエネルギー消費は 1970 年と比べて若干減少しているものの、業務部門におけるエネルギー消費は 2.8 倍にもなっている<sup>1)</sup>。これは、情報社会が到来し知的生産が社会の主な価値となったことに伴い、知的作業を行う場所であるオフィスビルが増加したためである。一方、東日本大震災以降、我が国の多くの原子力発電所が停止しており、特に需要の多い夏期の電力供給は逼迫している。オフィスビルでも冷房の設定温度を 28 にするクールビズだけでなく、照明の間引き運用も実施され省エネルギーに努めている。しかし、このような省エネルギー活動はオフィス執務者の快適性や作業効率に大きな影響を与える可能性があり、省エネルギーのために仕事の効率が悪くなり残業が増えることでかえってエネルギー消費が増大しては本末転倒である。

一方で、近年、オフィス環境を制御することでオフィス執務者の知的生産性を向上させようとする研究が盛んである<sup>2)</sup>。例えば、村上らは、オフィスビルにおいて、室温を変えた 2 条件下で社員の業務を模擬した作業を学生被験者を対象に実施し、室温が 25 から 27.5 に変化すると、校正作業では 2.1%、タイピングでは 1.3%、加算作業では 4.1%それぞれ作業量が低下したと報告している<sup>3)</sup>。

現在、知的生産性を計測する方法にはいくつかあるが、客観的で定量的な測定法としては認知タスクの成績による方法が用いられている。これは、オフィス作業で用いる認知能力を計測する認知タスクを用いて、あるオフィス環境でのタスクパフォーマンスを計測し、次に環境を変化させたときのタスクパフォーマンスを測定する。そして、環境変化前後でのタスクパフォーマンスを比較することで、環境変化に伴う知的生産性の变化を計測しようとするものである。しかし、認知タスクは繰り返し行うことで習熟し、後に行うほどそのパフォーマンスが向上するため、環境変化の前後で測定したパフォーマンスが習熟によるパフォーマンス変化

の影響を受け、正確な測定は難しいという課題がある。

本研究では、この課題を克服する新しい評価指標として、集中時間比率 (Concentration Time Ratio; CTR) を提案し、この評価指標が習熟の影響を受けず、環境変化に伴う知的生産性の变化を計測できることを示す。

## 2 知的生産性とその評価法

### 2.1 知的生産性とは

知的生産性とはオフィス等で行われる知的作業の効率を表す概念で、主に以下の 2 つに分けられる。一つは経済性を重視した考え方で、知的作業を行う環境のために投入した資本と、知的作業から得られた利益の比率をみるものである。もう一つは経済性については考えずに、単に知的作業の効率を評価するものである。

いずれの場合も「単位時間当たりの知的作業量」が重要な要素となるが、実際のオフィスでは定形的な作業から創造的な作業まで様々な作業が行われており、作業量を定量的に評価できるようなオフィス作業は少ない。創造的な知的作業は重要であるが、実際のオフィス作業では定形的な作業がほとんどの作業時間を占めている。そこで、本研究では評価の対象とする知的作業を定形的な作業とし、その単位時間当たりの作業量、すなわち作業効率を知的生産性と考えらる。

### 2.2 知的生産性の評価法

知的生産性の評価法は、主に以下の 4 つに分類することができる。

- (1) 主観評価による方法
- (2) 生理指標計測による方法
- (3) 実作業成果の計測による方法
- (4) 認知タスク成績による方法

(1) 主観評価による方法は、作業執務者に対してアンケートなどを実施し、作業環境が知的生産性に与える影響について、執務者の主観的な判断を集める手法である。作業環境の評価に焦点を当てたアンケートとしては、SAP<sup>4)</sup> などが知られており、実施が容易で多量のデータを手軽に収集できる利点がある。しかし、この方法は執務者の主観的な判断に基づいているため、客

観性に欠け、知的生産性の定量的な評価が難しいという欠点がある。

(2) 生理指標計測による方法は、心拍や脳波等の生体反応を計測することで知的生産性を評価する手法である。生理指標を用いた知的生産性評価として、例えば西原らは、知的作業時の脳血流量を計測し評価に用いている<sup>5)</sup>。この手法では、作業内容に関わらず客観的な計測が可能であり、知的生産性が変化する生体的なプロセスを考察しやすいという利点がある。しかし、計測に特別な機材を用いる必要があり、計測時の執務者への負担も大きいため、その影響を考慮する必要がある。また計測した生理指標と知的生産性の関係が不明瞭であり、知的生産性の定量的な評価は難しい。

(3) 実作業成果の計測による方法は、オフィスで実際に実施されている作業の中で、計測可能な作業量を知的生産性の評価に用いる手法である。例えば、Fiskらはコールセンターでの処理件数を用いて、室温や換気量と知的生産性の関係性を評価している<sup>6)</sup>。この手法は、実際のオフィス作業を用いて作業効率を定量評価していることから、その評価結果は知的生産性を定量的に表しているといえるが、実際のオフィスでは定量的に作業量が計測可能な作業はほとんどなく、この手法で評価が可能な場合は稀である。

(4) 認知タスク成績による方法は、作業量が定量評価可能で、定形的な知的作業で用いる認知能力を評価する認知タスクを執務者に実施させ、その処理量や精度などのタスク成績により知的生産性を評価する手法である。例えば、Wargockiらは、テキストタイピングなどの認知タスクの成績と、空気質を示す汚染物質や換気量との関係を検討して定量的な関係を導いている<sup>7)</sup>。この方法では、知的生産性評価に用いられる認知タスクセットとしてPABテスト<sup>8)</sup>やCPTOP<sup>9)</sup>などがある。認知タスク成績による評価方法は定量的で客観的な評価が可能という利点があるため、知的生産性を定量評価したい場合には最もよく用いられる。例えば、執務環境を変更する前後にて、同じ執務者が同じ認知タスクを行い、単位時間当たりの作業成績を比較することで執務環境変更前後における知的生産性の变化を定量的に評価することができる。しかし、同じ執務者が同じ認知タスクを繰り返す場合、その認知タスクへの習熟から後で実施するタスクの成績の方が良くなり、執務環境変更後に行った認知タスクの成績変化は、執務環境変更の効果と習熟効果の両方の効果が含まれており、それらを定量的に切り分けて考えることが難しいという課題がある。

### 2.3 認知タスク成績による評価方法の課題

前述のように、認知タスク成績による評価方法では、習熟効果により認知タスクを繰り返すほど、その作業成績は向上していく。Bohlenらによると、タスク成績は累積実施時間に伴い、一定の改善率で極限值に近づいていくとしている<sup>10)</sup>。習熟効果によるタスク成績向上の例として、著者らが過去に実施した知的生産性の評価実験の結果<sup>9)</sup>の一部をFig. 1に示す。

この評価実験は、高照度照明の覚醒効果が知的生産性に与える影響を調べたもので、各被験者が18日間にわたって実験に参加し、様々なタスクを毎日複数回ずつ実施した。Fig. 1は、ある被験者が20分間にわたって

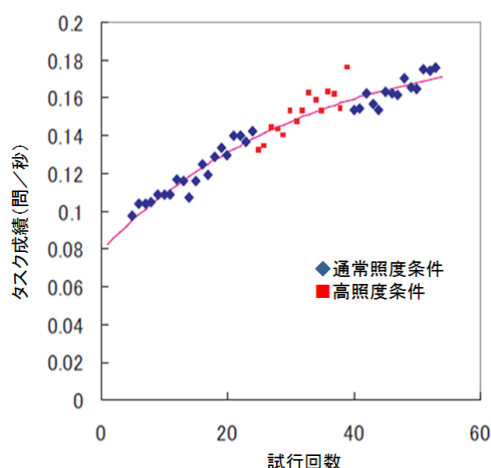


Fig. 1: Learning effect.

実施した伝票処理タスクの成績が、試行回数とともにどのように変化したかを示した結果である。実験の終盤におけるタスクの作業成績は最初に比べて、タスクへの習熟の効果から80%程度向上している。また、習熟による作業成績の変化は、試行回数が少ない前半ほど顕著である。この効果は、Fig. 1に示した以外の被験者やタスクの成績に関しても同様にみられた。執務環境が知的生産性に与える影響は、多くの研究で数%~十数%として報告されているが、習熟効果によってタスク成績が大きく変動する可能性があるため、執務環境条件間でタスク成績に差が生じた場合でも、習熟効果による変化と執務環境による変化を切り分けることは難しい。

この他の課題としては、与えた認知タスクが多様なオフィス作業を反映できるかという問題があげられる。オフィスでの業務は多岐にわたるため、特定の認知タスクを実施してそのタスク成績に変化が生じた場合に、オフィス業務でもその作業効率が同様に変化するという保証はない。例えば、メールの文面を作成するような場合、文章を作成とキーボード入力の方の作業を行うことになるが、その生産性をテキストタイピングタスクの成績のみから評価するのが適当かどうかは疑問が残る。

## 3 集中に着目した知的生産性評価法

### 3.1 集中とは

集中とは「一つの事柄に注意を集中して物事に取り組むこと」であるが、本研究では、認知資源を一定期間対象に割り当てている状態を集中状態、対象に割り当てていない状態を非集中状態と定義する。そして集中状態は、著者らが知的生産性変動過程を説明するために提案してきた状態遷移モデル<sup>11)</sup>における3つの状態のうち、「作業状態」と「短期休息状態」の2状態に対応するものとし、非集中状態は「長期休息状態」に対応するものとする。この状態遷移モデルの詳細については、3.2で述べる。そして、数十分以上の長時間にわたって連続して知的作業をしている場合に、集中状態が全作業時間に占める時間比率を集中時間比率 (Concentration Time Ratio; CTR) と呼び、これを知的生産性評価の指標とする。

### 3.2 知的生産性変動を説明する状態遷移モデル

著者らは、知的生産性が変動する過程を情報処理プロセスの変化という観点から説明する数理モデルを提案してきた。このモデルでは、同程度の認知処理時間が必要な認知タスクの問題を連続で実施していると、その処理時間が著しく延びる問題があることに着目している。Fig. 2 は、難易度が同じ問題の認知タスクを連続的に被験者に与えたときの各問題の解答時間を示したものである。ほとんどの問題は数秒程度で解答できているが、その中には10～30秒程度かかって解答している問題がある。すなわち、執務環境変化等により知的生産性が変化する場合には、各問題の解答時間が一樣に変化するわけではなく、解答に長い時間がかかっている問題の数が変化することにより、全体として作業効率が変化していることがわかる。解答に長い時間がかかっている問題は特に難易度が高いわけではないことを考えると、この問題を解答する際に解答作業に集中しておらず、ある時間だけ休憩している状態であると考えることができる。

オフィスでの知的作業は、意識的で直列的な情報処理として捉えたと、Cardら<sup>12)</sup>の人間情報処理システムを参考に、周期が数十～百数十ms程度の認知ステップの連なりとみなせる。そして、Fig. 2 に示したような解答時間の延長は、ある一定の時間、情報処理が進行しないときがあると考えることができる。また、多くの数秒程度で解答できている問題も、難易度が一定であれば解答時間が一定であるはずにもかかわらず解答時間は少し変動している。これも短期間だけ情報処理が進行していないものとみなせる。そこで、本モデルではFig. 3 に示すように、知的作業中の情報処理の状態を「作業状態」「短期休息状態」「長期休息状態」の3状態に分類し、状態間の遷移によって知的生産性の変動を説明する。具体的には、

1. 知的作業中、以下の3状態間を交互に遷移しながら作業を行う。

作業状態：作業に集中しており、作業処理が進行している状態

短期休息状態：作業に集中しているが、無意識に作業が中断している状態。数十ms～数秒の中断が想定される。

長期休息状態：疲労などから意識的に作業が中断している状態。数秒～数十秒の中断が想定される。

2. 仮想的な精神疲労値 MF(Mental Fatigue) を仮定し、作業状態や短期休息状態では MF が増加し、MF が高いほど長期休息へ遷移する確率が高くなる。長期休息状態では MF が減少し、MF が低いほど作業状態へ遷移する確率が高くなる。
3. 作業状態と短期休息状態は、互いに一定の確率で遷移する。
4. 遷移確率や MF の変化速度は、室内環境など知的生産性を変動させる要因に応じて変化する。

なお、短期休息状態は Bills<sup>13)</sup> が Blocking として提案した、短い意識の中断に類似したものを想定してお

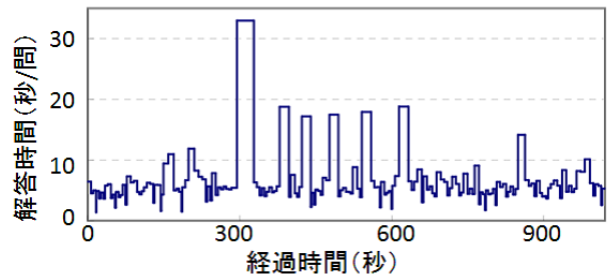


Fig. 2: A series of solving time.

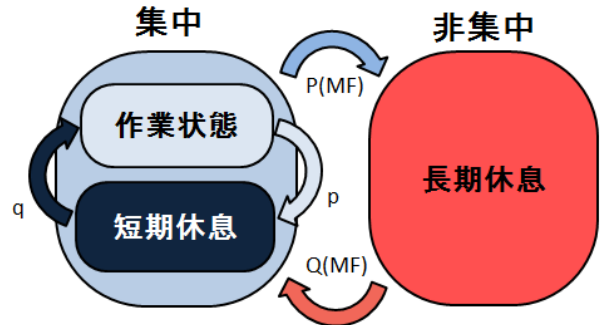


Fig. 3: Cognitive state transition model.

り、解答時間の短い変動を説明するものである。一方、長期休息状態は解答時間の長い変動を説明する状態として導入しており、この状態に遷移している時間が知的生産性に大きな影響を与える。

このような状態遷移モデルを考えた場合、難易度が均一で同程度の解答時間が期待される認知タスクの問題を連続して解答した際の解答時間の頻度分布は、著者らが行った被験者実験の結果から、例えばFig. 4 のようになる。Fig. 4 は、横軸が解答時間の対数、縦軸はその解答時間区間に該当する解答の頻度である。作業状態と短期休息状態は互いに一定の確率で遷移するため、その頻度分布は式(1)で表される対数正規分布の山として表される。また、解答時に長期休息状態に遷移した場合には、長い解答時間の区間に別の山が生じる。

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

$f(t)$  : ある解答時間で解答された問題の頻度

$t$  : 解答時間

$\mu$  : 対数正規分布の最頻値

$\sigma$  : 対数正規分布の分散

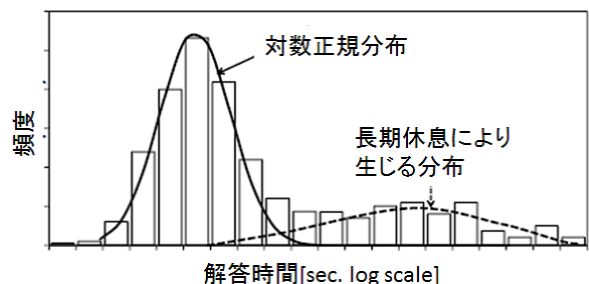


Fig. 4: Histogram of solving time.

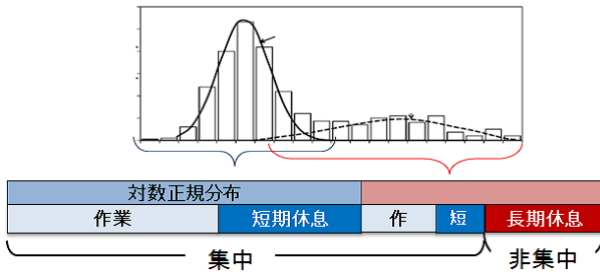


Fig. 5: Histogram of solving time and concentration time.

### 3.3 集中時間比率 CTR の導出方法

知的作業時の認知状態を上記の状態遷移モデルで仮定すると、Fig. 5 に示すように解答時間分布と各認知状態が対応する．ここで集中時間比率 CTR を全解答時間の合計に対して作業状態と短期休息状態の合計時間が占める割合と考え、難易度が一定の認知タスクを連続して  $T_{total}$  秒間実施させ、その間の総解答数が  $N$  問であった場合、集中状態での 1 問あたりの解答時間の平均値  $\overline{CT}$  が明らかになれば CTR は式 (2) で求めることができる．

$$CTR = \frac{\overline{CT} \cdot N}{T_{total}} \quad (2)$$

$CTR$  : 集中時間比率

$\overline{CT}$  : 集中状態での 1 問あたりの解答時間の平均値

$N$  : 総解答数

$T_{total}$  : 総作業時間

ここで、集中状態での 1 問あたりの解答時間の平均値  $\overline{CT}$  は、解答 1 問あたりの作業状態と短期休息状態の合計時間の平均値、すなわち式 (1) で表される対数正規分布の期待値として、式 (3) で求めることができる．

$$\overline{CT} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (3)$$

したがって、解答時間の頻度分布に対して、もっとも適切な対数正規分布による近似曲線を導出し、そのパラメータ  $\mu$ ,  $\sigma$ , および全解答時間の合計  $T_{total}$  と総解答数  $N$  から CTR を求めることができる．ここで対数正規分布への近似の際には、対数正規分布の右側すなわち長い解答時間の区間では、長期休息状態が生じた場合の頻度分布が重畳されているため、短い解答時間の区間での分布のみを利用して近似曲線を求めればよい．

### 3.4 集中時間比率 CTR と習熟効果

前述のように、同じ認知タスクを繰り返して解答すると、習熟効果により解答時間が短くなっていく．すなわち、タスクに習熟するということは、情報処理の過程が最適化され、1 問の解答処理に必要な時間が短くなることと捉えられる、この時、Fig. 6 上部のような、認知状態の遷移を考えると、同じ状態遷移でもその中で解答できる問題数は習熟後の方が多くなる．このため、タスク成績は習熟に従って向上すると解釈できる．一方、CTR は頻度分布をもとに認知状態の遷移の内訳を推定することで、タスクへ集中している時間

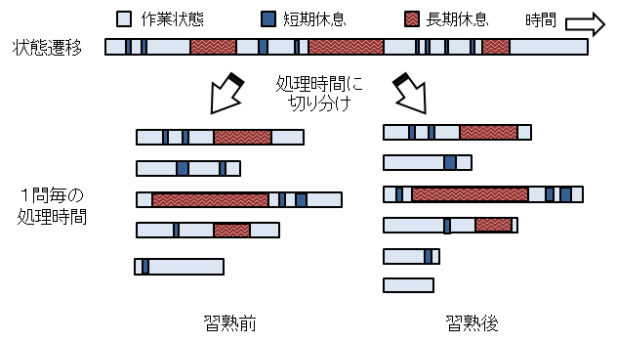


Fig. 6: Cognitive state transition and solving time of task.

の比率を求めるものであるため、習熟の影響を受けない．知的生産性が、ある作業時間内にどの程度の時間を集中状態に割り当てられるかによるものとする、この CTR はタスクへの習熟の影響を受けずに知的生産性を評価する指標と考えることができる．

### 3.5 集中時間比率 CTR の計測方法

前述のように、知的生産性の評価のために集中時間比率 CTR を計測するためには、(1) 認知タスクと 1 問あたりの解答時間の計測、(2) 対数正規分布の解答時間分布への近似、(3) 対数正規分布のパラメータ、総タスク時間、総解答数からの CTR の算出、の 3 つのステップが必要である．このうち、(2)、(3) については、3.3 で述べているため、ここでは (1) 認知タスクと 1 問あたりの解答時間の計測方法について検討する．

本研究では、オフィス作業の知的生産性の評価を対象としているため、作業に必要な能力を主に言語能力と判断能力と考えた．そこで、認知タスクとして下記のような単語分類タスクを作成した．この単語分類タスクが満たすべき要件を以下に示す．

1. 認知能力として主に言語能力と判断能力を扱うこと
2. 被計測者が自分のペースで作業を続けることができること
3. 対数正規分布への近似を行うための十分な解答時間データが得られること
4. 各問題の難易度がほぼ一定であり、集中状態では 1 問あたりの解答時間にばらつきが少ないこと
5. 作業中に解答戦略が変化しない内容であること

要件 1 は、前述のようにオフィスの定形作業で用いる主な認知能力が言語能力と判断能力であると考えたためである．要件 2 は、実際のオフィス作業では数分単位の時間的制約がなく、自分のペースで取り組むことができる場合が多いと考えたためである．要件 3 は、対数正規分布として近似するための解答時間分布を得るために、ある程度の解答時間データが必要だからである．要件 4,5 は各問題の難易度のばらつきや解答戦略の変更などの集中以外の要因によって解答時間が大きく変動しないようにするためである．

以上の要件を満たすように設計した単語分類タスクの概要を述べる．本タスクは Fig. 7 に示すような A5 サイズの用紙の中心に書かれた 1 つの単語を定められ

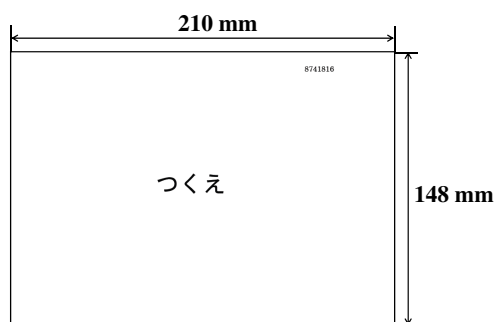


Fig. 7: Word slip.

たルールにしたがって分類するものであり、この用紙を数百枚重ねたものを1束として机の上に置く。1つの単語を分類すると用紙を捲って次の単語の分類へ移る。これらの単語はなるべく多くの人知っているものを選定する。

次に解答時間を計測する解答入力方法について述べる。分類結果の入力はタブレット端末上で行う。端末画面上には Fig. 8 に示すように、3種類のカテゴリを3通りずつ分類した計27通りのボタンが表示されており、用紙に書かれた単語を3種類の観点により分類したボタンをタップする。単語を分類する観点は、Fig. 9 に示すように、最初の文字の種類（ひらがな、カタカナ、漢字）、先頭文字の母音（「い」「う」「お」）、意味のカテゴリ（動植物、地名・人名、人工物）の3つであり、それぞれの観点については各3種類に分類し、その結果を端末上のボタンをタップすることで解答する。この時、前問の分類結果をタップした時刻からの時間をその単語を分類するために要した解答時間として記録する。これを数十分間繰り返すことで、その間の1問あたりの解答時間を収集する。タスクに集中している状態での認知タスクの1単語、すなわち1問あたりの平均解答時間は数秒程度であるため、例えば30分間の認知タスクを実施すると約200から600の問題を解答することができ、対数正規分布の解答時間分布への近似に十分な解答時間データを計測することができる。

## 4 被験者実験による評価

### 4.1 実験の目的

本実験は、集中時間比率 CTR が作業への集中を反映する指標であり習熟の影響を受けないこと、および、作業環境の変化に伴う知的生産性の変化を反映することを確認する。



Fig. 8: Display of a tablet for answering.

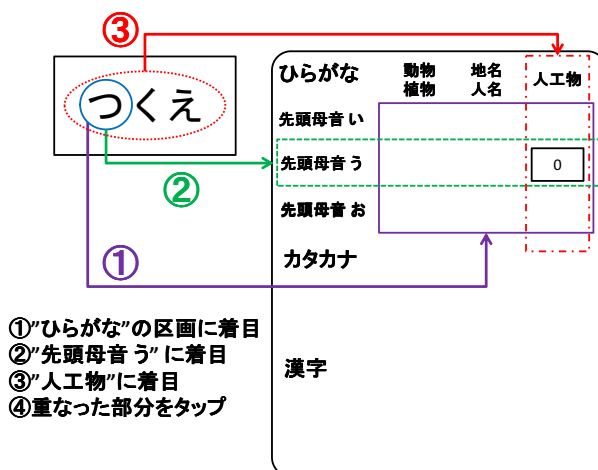


Fig. 9: An example of classification by three rules.



Fig. 10: A scene of experimental room.

### 4.2 実験の方法

実験では、健康な男子大学生24名に連続する3日間に同じ内容の認知タスクを実施させた。その際に、指示により集中を促した試行でCTRが向上することを確認した。さらに、試行回数とともにタスク成績に習熟効果が生じることを確認した上で、1日目と3日目のタスク実施時のCTRを比較した。また、室内環境が知的生産性に与える影響をCTRの変化から確認できるかを検討するために、2日目に異なる照明条件を設けた。

実験は2013年3月に、照度制御が可能な実験室(W7.4 m × D7.4 m × H3.5 m)で行った。実験室の様子を Fig. 10 に示す。

タスクへの集中を被験者自身にコントロールしてもらうための条件として、タスク実施時に「通常指示」と「集中指示」の2種類の指示を与えた。通常指示では「この作業を毎日朝9時から夕方17時まで実施する」と考え、自分のペースで作業をしてください。その際、できる限り正確に作業をしてください」という指示を、集中指示では「できる限り速く正確に、集中して作業をしてください」という指示を試行の直前に与えた。

照明条件としては、Ambient 環境（以下 A 環境）と Task & Ambient 環境（以下 TA 環境）の2つを設けた。A 環境は通常のオフィスの照明環境を模し、天井照明のみを用いた作業環境である。一方、TA 環境は、天井のアンビエント照明を減灯する代わりに机上をタスク照明で補償する作業環境である。いずれも机上面照度は750luxになるように調整した。Table 1 に具体

Table 1: Illumination conditions

| 照明条件           | 天井設置環境光         | 机上タスクライト        |
|----------------|-----------------|-----------------|
| Ambient        | 750lux (5,000K) | 0lux            |
| Task & Ambient | 100lux (3,000K) | 650lux (6,000K) |

Table 2: Other conditions of experimental room

| 室温     | 湿度     | 二酸化炭素濃度   | 騒音       |
|--------|--------|-----------|----------|
| 25 ± 1 | 20-40% | 800ppm 以下 | 55dBA 以下 |

的な照明条件を示す．この TA 環境では，周囲に比べて机上面のみが明るく照らされているように見えるため，A 環境よりタスクに集中できるだけでなく，エネルギー消費も A 環境の 46% であり，知的生産性の向上と省エネルギーの両立を図ることができると期待した．また，照明以外の室内環境は，Table 2 の通りに設定した．

実験の手順を Fig. 11 に示す．実験は 1 日目のみ午前 9 時から開始し，実験説明と参加への同意手続きを行い，続けてタスクの練習も実施した．午後の日程は 3 日間とも同じで，日ごとに照明環境を変えた．その際，1 日目と 3 日目の照明条件を同じにし，2 日目を異なる照明条件とした．照明条件のカウンターバランスを考慮し，被験者の半数は 1 日目と 3 日目を A 環境，2 日目を TA 環境とし，残りの被験者は 1 日目と 3 日目を TA 環境，2 日目を A 環境とした．

実験期間中の午後は，まず被験者に配給した昼食を食べてもらったあと，生体リズムにより覚醒が低下する時間帯の作業を避け，室内で安静に待機させることで測定時の体調を整えた．待機時間後には，通常教示を与えて後述の 2 種類のタスクをそれぞれ 30 分間，2 回実施した．1 日の最後には，集中教示を与えて各タスクをそれぞれ 10 分間実施した．集中教示を行う試行は 1 日の最後に 1 回のみであり，実施時間も 10 分間と短くすることで，被験者がタスク終了まで集中を維持できるように設定した．なお，実験期間中は夜の睡眠時間を十分に確保し，過度の飲酒やカフェイン等の刺激物の摂取を控えるように指示した．また，実験時間中は用意した昼食と水以外の飲食を禁止した．

計測に用いたタスクは，暗算加算タスクと前述の単語分類タスクの 2 種類である．暗算加算タスクは，ダミータスクとして実施し，その作業成績は分析していない．単語分類タスクの解答時間は 3.5 で述べたようにタブレット端末で計測し，その計測結果を用いて実

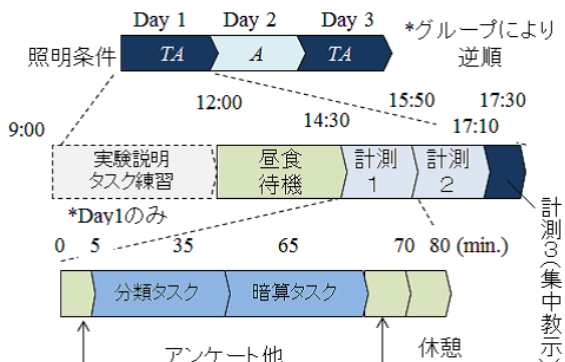


Fig. 11: Experimental procedure.

験後に単位時間当たりの解答数と CTR を算出した．

また，タスクの合間には，主観評価，生理脳疲労を反映するフリッカー値<sup>15)</sup>の計測も実施した．主観評価では，著者らが項目を設定した照明主観評価用紙に加え，自覚症しらべ<sup>16)</sup>，MMS<sup>17)</sup>，KG 式日常生活質問紙<sup>18)</sup>を実施した．これらの計測は本研究の主眼ではないため，その詳細や結果を割愛する．

#### 4.3 実験の結果

実験時のトラブルにより被験者 24 名中 6 名分のタスク解答時間が計測できなかった．また他にも，実験期間中に体調を崩して参加を取りやめるなどして，タスク解答時間の計測ができなかった被験者が 2 名いた．このため，以下では 16 名の被験者の実験結果を示す．

実験の結果として，単語分類タスクの単位時間あたりの解答数 (タスク成績) と，各問題の解答時間から算出した集中時間比率 CTR について，全被験者の平均値を各照明条件毎にまとめた結果を示す．ここで CTR は各被験者の各試行に対して個別に導出されたものであるが，全 144 試行 (16 名，3 試行，3 日間) のうち，1 試行分は実験機材のトラブルによる計測欠損があったので実験結果から除外した．また 5 試行の解答時間は，導出した対数正規分布での近似曲線の最頻値が前後のタスクセットでの最頻値から極端に離れていたことなどから，不適切なデータとして除外した．これらは被験者がタスク実施中に居眠りをしていた等の原因によるものである．実験結果の比較の際にはこれと対となる結果も検定対象から除外した．

Fig. 12 は，タスク成績と CTR の平均を実験日毎に比較したものである．対のある片側  $t$  検定の結果，2 日目と 3 日目のタスク成績は 1 日目に比べて有意に高かった ( $p < 0.001$ )．また，有意差はないが，3 日目のタスク成績の平均値は 2 日目よりも高かった．一方，CTR は 3 日間を通して有意差はなかった．

Fig. 13 は，タスク成績と CTR の平均を同日内の試行毎に比較したものである．対のある両側  $t$  検定の結果，集中教示を行った 3 回目の試行では，タスク成績，CTR のいずれもが，通常教示を行った 1 回目と 2 回目に比べて有意に高かった ( $p < 0.001$ )．また，2 回目の試行の CTR は，1 回目の試行に比べて優位に低い傾向があった ( $p < 0.05$ )．

Fig. 14 は，タスク成績と CTR の平均を照明条件ごとに比較したものである．ここでは，習熟の影響が大きい 1 日目の結果を省き，2 日目と 3 日目に実施したタスクの結果のみを比較した．対のある両側  $t$  検定の結果，タスク成績には照明条件間の有意差はなかった．一方，TA 環境の CTR は A 環境よりも有意に高い傾向があった ( $p < 0.05$ )．

#### 4.4 考察

Fig. 12 に示したように，タスク成績は日を重ねることで上昇した．これは習熟効果と考えられる．一方，CTR は実験日数の経過によらず有意な差がなかったが，これは 3 章で述べたように，CTR はタスクに集中している時間を評価しているため習熟の影響を受けなかったと考えられる．

また，Fig. 13 に示したように，1 日の中の 3 回目の試行ではタスク成績と CTR がともに上昇した．この試行では，被験者に集中教示を与え，また計測時間も

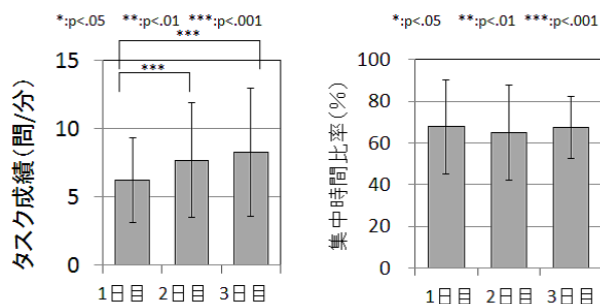


Fig. 12: Comparison of task performance and CTR in each day.

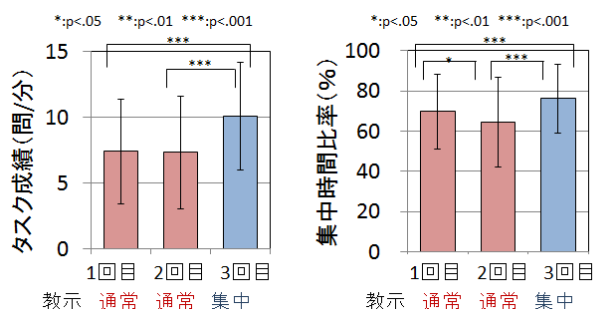


Fig. 13: Comparison of task performance and CTR in each task set.

短いため被験者の作業への集中が高く、CTR はそれを反映して上昇したと考えられる。

一方、各実験日での1回目の試行と2回目の試行を考えると、タスク成績は習熟の効果により上昇するが、CTR は習熟の影響を受けないので、差がないと予想できる。しかし、Fig.13 では、1回目の試行と2回目の試行のタスク成績に有意差がなく、CTR は2回目の試行のほうが有意に低い。これは、2回目の試行では1回目の疲労が残っており、集中が低下したことでタスク成績の低下が生じ、習熟効果によるタスク成績の向上を打ち消したためと説明できる。

また、Fig. 14 に示したように、照明条件間の比較では、タスク成績は変化しなかったが CTR は変化した。これは、CTR が習熟効果の影響を受けないため、照明条件が作業効率に与える影響のみをより正確に反映できたためと考えられる。

以上の結果から、本研究で知的生産性の評価指標として提案した CTR は、タスクへの習熟の影響を受けずに室内環境変化の影響を定量的に評価することができると考えられる。

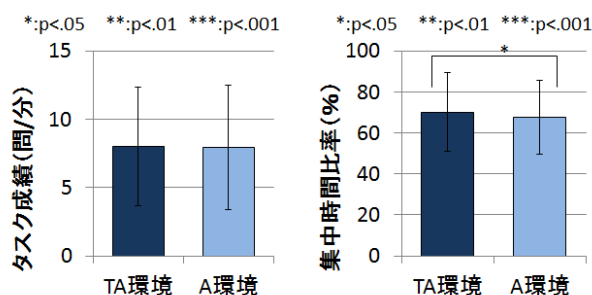


Fig. 14: Comparison of task performance and CTR in each illumination condition.

## 5 まとめ

本研究では、知的生産性を定量的に示す指標として、従来法のような認知タスクのタスク成績ではなく、タスク実施中に集中してタスクに取り組んでいる時間の割合を示す集中時間比率 CTR を提案した。CTR は、知的作業を実施している人が作業に集中している状態と集中していない状態の2状態を遷移するモデルに基づき、難易度が一定の認知タスクを繰り返して解答する際の解答時間の分布から計算することができる。さらに、本研究では定形的なオフィス作業を対象に適切な認知タスクを設計するとともに、この認知タスクを用いて照明条件が異なる作業環境における CTR を導出する被験者実験を実施した。その結果、CTR がタスクへの習熟の影響を受けずに室内環境変化の影響を定量的に評価できる可能性を示した。

国土交通省住宅局が設立した知的生産性研究委員会の報告書では、オフィス作業の内容を(1)情報処理、(2)知識処理、(3)知識創造の3階層に分類している<sup>19)</sup>。本研究で提案した認知タスクは単語分類作業であり、これは(1)情報処理と(2)知識処理の両方に属するため、計測できる CTR はこの2つの階層に属する知的作業への集中の程度と考えることができる。しかし、同報告書では、集中がすべての階層の知的生産性に影響を与えるとしており、CTR が(3)知識創造を含む知的作業の生産性をも評価できる可能性も考えられる。

## 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁、エネルギー白書 2013 (2013)
- 2) Lawrence Berkley National Laboratory, Indoor Health and Productivity Project, <http://gaia.lbl.gov/IHP/>, (2013年9月18日現在)
- 3) 多和田友美, 村上周三, 伊香賀俊治, 亀田健一, 内田匠子, 三枝隆晴, 小倉悠, 室内環境と知的生産性・空調負荷の評価: (その1) 実オフィスにおける温熱環境と作業効率の被験者属性別の検討, 日本建築学会関東支部研究報告集 I (78), 601/604 (2008)
- 4) 橋本哲, 寺野真明, 杉浦敏浩, 中村政治, 川瀬貴晴, 近藤靖史, 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究第5~6報, 平成16年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集 (2004)
- 5) N. Nishihara, S. Tanabe, Monitoring Cerebral Blood Flow for Objective Evaluating of Relationship Productivity and Thermal Environment, Proceedings of IAQVEC 2007, 655/662 (2007)
- 6) W. J. Fisk, P. N. Price, D. Faulkner, D. P. Sullivan, D. L. Dibartolomeo, C. C. Federspiel, G. Liu, M. Lahiff, Worker Performance and Ventilation: Analyses of Time-series Data for a Group of Callcenter Workers, Proceedings of Indoor Air 2002, 784/795 (2002)
- 7) P. Wargocki, D. P. Wyon, P. O. Fanger, Productivity is Affected by the AirQuality in Offices, Healthy Building 2000, 635/640 (2000)
- 8) D. R. Throne, S. G. Genser, H. C. Sing, F. W. Hegge, The Walter Reed Performance Assessment Battery, Neurobehavioral Toxicology and Teratology, 7, 415/418 (1985)
- 9) K. Enomoto, Y. Kondo, F. Obayashi, M. Iwakawa, H. Ishii, H. Shimoda, M. Terano, An Experimental Study on Improvement of Office Work Productivity by Circadian Rhythm Light, proceedings of WMSCI 2008, VI, 121/126 (2008)

- 10) G. A. Bohlen, J. W. Barany, A Learning Curve Prediction Model for Operators Performing Industrial Bench Assembly Operations, International Journal of Production Research, 14, 2, 295/303 (1976)
- 11) K. Miyagi, S. Kawano, H. Ishii, H. Shimoda, Improvement and Evaluation of Productivity Variation Model based on Working State Transition, Proceedings of IEEE SMC2012, 1491/1496 (2012)
- 12) S. K. Card, T. P. Moran, A. Newell, The Psychology of Human-Computer Interaction, Erlbaum Associates (1983)
- 13) A. G. Bills, Blocking: A new principle of mental fatigue, American Journal of Psychology, 43, 230/245 (1931)
- 14) 芳賀繁, 日本語版 NASA-TLX によるワークロード測定 各種室内実験課題に対するワークロード得点の感度, 人間工学, 32, 2, 71/79 (1996)
- 15) 西村武, 森本一成, 精神疲労推定のための CFF の測定方法と条件の検討 -VDT 作業による疲労を対象として-, 人間工学, 24, 4, 203/210 (1986)
- 16) 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)
- 17) 寺崎正治, 岸本陽一, 古賀愛人, 多面的感情状態尺度の作成, The Japanese Journal of Psychology, 62, 350/356 (1988)
- 18) 田中雄治, 中田すみ, 山崎勝之, 高田和美, 宮田洋, 某企業従業員における TypeA の分布-KG 式日常質問用紙による TypeA 判別-, タイプ A, 3, 68/73 (1992)
- 19) 知的生産性研究委員会, 平成 23 年度知的生産性研究委員会報告書 ~ 知的生産性に優れた空間の設計と評価 ~, 国土交通省住宅局 (2012)