

エネルギー科学研究科  
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 知的生産性評価のための  
客観的集中指標の開発

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 大石 晃太郎

提出年月日： 平成25年2月8日(金)

# 目次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
<b>第 2 章 研究の背景と目的</b>	<b>2</b>
2.1 研究の背景	2
2.2 知的生産性に関する既往研究と課題	3
2.2.1 知的生産性の概念と定義	3
2.2.2 知的生産性の評価手法	3
2.3 研究の目的	8
<b>第 3 章 知的生産性評価における集中の評価指標の開発</b>	<b>9</b>
3.1 集中の客観定量評価指標の概念	9
3.1.1 評価の対象とする作業	9
3.1.2 集中とパフォーマンスの概念	10
3.1.3 集中-非集中モデル	14
3.2 集中の評価手法	15
3.3 集中の計測ツールの開発	19
3.3.1 認知タスクの設計指針	19
3.3.2 認知タスクの設計	20
3.3.3 計測ツールの実装	24
<b>第 4 章 集中指標による照明環境評価実験</b>	<b>26</b>
4.1 実験の目的	26
4.2 実験方法	26
4.2.1 実験の概要	26
4.2.2 環境条件	26
4.2.3 実験環境	30
4.2.4 被験者	30
4.2.5 実験手順	34

4.2.6	計測項目	34
4.3	実験結果と考察	37
4.3.1	パフォーマンス	37
4.3.2	集中	39
4.3.3	生理的脳疲労	43
4.3.4	主観的疲労	45
4.3.5	照明の主観評価	45
4.3.6	個人特性	47
4.3.7	主観的感性評価	51
4.4	考察	51
<b>第 5 章 結論</b>		<b>59</b>
謝 辞		61
参 考 文 献		62
付録 A アンケート類資料		65
付録 B 実験結果の一覧		68

## 目 次

2.1	Woods らによる拡張モデル	4
3.1	Card らの人間情報処理モデル <sup>[15]</sup>	11
3.2	人間をシングルプロセッサのコンピュータと考えた場合の情報処理の流れ	12
3.3	集中とパフォーマンスの概念	12
3.4	習熟によるパフォーマンス向上の例	13
3.5	3 状態モデル	14
3.6	解答時間ヒストグラム	18
3.7	対数正規分布における各パラメータ	18
3.8	集中時間の導出方法	19
3.9	単語分類タスクに用いた票	21
3.10	単語分類タスクの解答入力部 (3 × 3 × 3 バージョン)	22
3.11	単語分類タスクの解答入力部 (2 × 2 × 2 バージョン)	23
3.12	単語分類タスクの解答入力部 (5 × 5 バージョン)	23
3.13	暗算加算タスクの流れ	24
3.14	クライアントサーバー型によるタスク実装	25
3.15	単語分類タスク及び暗算加算タスクの出力ファイルの例	25
4.1	照明と測定データの関係	27
4.2	アンビエント照明の配置	29
4.3	実験室レイアウト	30
4.4	実験中の様子	31
4.5	T&A 環境の様子	31
4.6	タスクライト配置図	32
4.7	実験のタイムスケジュール	35
4.8	照明の主観評価用紙	36
4.9	単語分類パフォーマンス (条件間比較)	38
4.10	暗算加算パフォーマンス (条件間比較)	39

4.11 EM アルゴリズムによるフィッティングが成功した例	40
4.12 EM アルゴリズムによるフィッティングが失敗した例	40
4.13 単語分類タスクの集中時間比率 (条件間比較)	42
4.14 暗算加算タスクの集中時間比率 (条件間比較)	42
4.15 単語分類タスクの集中時間比率条件間比較	43
4.16 暗算加算タスクの集中時間比率条件間比較	43
4.17 フリッカー値 (全被験者平均)	44
4.18 フリッカー値 (条件間比較)	44
4.19 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコア (全被験者平均)	46
4.20 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア (全被験者平均)	46
4.21 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコア (条件間比較)	46
4.22 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア (条件間比較)	47
4.23 照明の主観評価 (明るい) (条件間比較)	47
4.24 照明の主観評価 (快適な) (条件間比較)	48
4.25 照明の主観評価 (好き) (条件間比較)	48
4.26 照明の主観評価 (目がさえる) (条件間比較)	48
4.27 照明の主観評価 (集中しやすい) (条件間比較)	49
4.28 照明の主観評価 (仕事のはかどる) (条件間比較)	49
4.29 照明の主観評価 (目が疲れる) (条件間比較)	49
4.30 MMS (倦怠) のスコア (条件間比較)	51
4.31 MMS (活動的快) のスコア (条件間比較)	51
4.32 MMS (非活動的快) のスコア (条件間比較)	52
4.33 MMS (集中) のスコア (条件間比較)	52
4.34 単語分類タスクの集中時間比率 (同じ条件で比較)	54
4.35 暗算加算タスクの集中時間比率 (同じ条件で比較)	54
4.36 単語分類タスクの集中時間比率 (条件間比較)	55
4.37 暗算加算タスクの集中時間比率 (条件間比較)	55
4.38 単語分類タスク集中時間比率 (群間比較)	56
4.39 暗算加算タスク集中時間比率 (群間比較)	56
4.40 暗算加算 (グループ S1) のヒストグラム例	57
4.41 暗算加算 (グループ S2) ヒストグラムの例	57
4.42 暗算加算の集中時間比率条件間比較 (グループ S1)	58

4.43 暗算加算の集中時間比率条件間比較（グループ S2） . . . . .	58
A.1 自覚症しらべ . . . . .	65
A.2 MMS . . . . .	66
A.3 KG 式日常生活質問紙 . . . . .	67

# 表 目 次

2.1	Performance Assessment Battery(PAB) の作業内容 . . . . .	6
2.2	SAP における評価項目 . . . . .	7
3.1	建築空間と知的活動の階層モデル . . . . .	10
4.1	実験における比較条件 . . . . .	27
4.2	実験室の室内環境 . . . . .	28
4.3	使用機材 . . . . .	28
4.4	最大消費電力時の机上面照度 . . . . .	28
4.5	消費電力の比較 . . . . .	29
4.6	被験者属性 . . . . .	33
4.7	照明条件の実施順 . . . . .	34
4.8	自覚症しらべの質問項目 . . . . .	36
4.9	得られたパラメータの例 (被験者 E02) . . . . .	40
4.10	単語分類タスクの集中時間比率 (%) 一覧 . . . . .	41
4.11	暗算加算タスクの集中時間比率 (%) 一覧 . . . . .	41
4.12	KG 式日常生活質問紙によるタイプ判別結果 . . . . .	50
4.13	集中時間比率による知的生産性の比較 . . . . .	53
B.1	単語分類タスクのパフォーマンス (問/分) 一覧 . . . . .	69
B.2	単語分類タスクのパフォーマンス (問/分) 一覧 . . . . .	69

# 第 1 章 序論

社会の持続的発展のために、人類の地球環境との共存は必要不可欠である。今や企業にとっても、地球環境へ配慮した経営は当たり前のものとなっている。環境負荷低減への取り組みとともに、昨今の電力不足を受け、特に節電への意識が高まっている。実施の容易さや経費削減にもつながるという理由から、実際の取り組みとしては、蛍光灯の間引きや冷暖房の調整といったオフィス環境の見直しが図られている。

しかし、エネルギー消費の削減に重点を置くあまり、照明や空調といったオフィス環境を悪化させてしまうと、オフィスワーカーの生産性低下を引き起こす危険性がある<sup>[1]</sup>。オフィスでの作業は書類作成や情報管理といった知的作業が大半を占めており、このような知的作業の効率は労働時間に大きく影響する。生産性が低下することで労働時間が長くなると、結果として、人件費やエネルギー消費の増大を引き起こすことになりかねない。このため企業においてオフィス環境の見直しを行う際、知的能力を用いたオフィス作業の効率、すなわち知的生産性を考慮することは必要不可欠となっている。

知的生産性の変化を測定するためには、これを評価する指標が必要である。従来、知的生産性を測定することを目的として、SAP<sup>[2]</sup>やPAB<sup>[3]</sup>など様々なツールが開発されてきた。しかし、これらのツールには、評価が主観的なため基準があいまいであることや、習熟の影響から評価結果の安定性に欠けるといった問題がある。

そこで、本研究では、知的生産性を定量的に測定する手法として、知的作業への集中に着目した新しい知的生産性評価手法を提案する。加えて、開発した評価指標を用いて、2つの照明環境下で知的生産性評価実験を行い、その実用性を確かめる。

知的生産性の客観的定量評価を実現すれば、新しい照明の導入や冷暖房の調整による影響を定量化し、最適なオフィス設計を提案することが可能になる。

本論文は序論を含めて、全5章で構成されている。第2章では研究の背景及び目的、並びに知的生産性に関する既往研究と課題をまとめる。第3章では集中の評価指標の概念及び計測ツールについて、第4章で、被験者を対象とした集中指標評価実験について述べる。最後に、第5章では、結論として本研究の成果をまとめ、今後の課題を述べる。



## 第 2 章 研究の背景と目的

本章では、まず本研究の背景について述べる。次に、知的生産性に関する既往研究についてまとめ、最後に研究目的を述べる。

### 2.1 研究の背景

近年、日本の業務部門でのエネルギー消費量は増加傾向にある。そのため企業では、地球環境への配慮やオフィスにおける経費削減のために、省エネルギーの取り組みを多く行なっている。容易に消費エネルギーを削減する方法としてクールビズ、ウォームビズと称した冷暖房の設定温度調整や、蛍光灯の間引きなどを実施している企業は多い。しかし、こういった取り組みはオフィスワーカーの仕事への悪影響を十分考慮しているとは言えず、執務環境の快適性が損なわれることで、オフィスワーカーの知的生産性が低下するおそれがある。知的生産性は高度情報化社会において企業価値となる。そのため、知的生産性の低下は企業の経済的価値の損失となり軽視できない。また、知的生産性の低下はオフィスワーカーの勤務時間増加にもつながる。一般的に、企業の支出の中で人件費の占める割合は、設備投資やエネルギーコストに比べて高い。そのため、勤務時間の増加は人件費の支出増加につながり、結果的にコスト増大となる。さらに、増加した勤務時間中に使用したエネルギーが削減エネルギー量を超えることで省エネルギーではなくなる恐れすらある。

以上のことから、単にコスト削減や省エネルギーのみに着目して環境を変化させることは不適切であり、知的生産性への影響も考慮してオフィス環境へ投資することが必要である。そのためには、オフィス環境の変化が知的生産性に与える影響を調べ、その効果を客観的に評価する指標が必要である。そこで、様々なオフィス環境においての知的生産性評価が行われているが、これまでは確立した知的生産性の評価手法が存在しなかった。

知的生産性の客観定量評価を実現すれば、新しい照明の導入や冷暖房の調整による影響を定量化し、最適なオフィス設計を提案することが可能になる。

## 2.2 知的生産性に関する既往研究と課題

### 2.2.1 知的生産性の概念と定義

現在、生産性と呼ばれているものの例としては労働生産性があり、それは「短期間に生み出された財・サービスのアウトプットを労働者数で割ったもの」と定義されている<sup>[4]</sup>。例えば、商品生産数や、売上あるいは利益、新規契約獲得数などがアウトプットの例としてあげられる。しかし、職種によりアウトプットの捉え方が異なっており、またホワイトカラーのオフィスワークにはアウトプットを定量評価できないものが多い。よって、オフィス環境の評価を目的と考えたとき、この定義を汎用的な尺度とするには課題が多い。

Woods ら<sup>[5]</sup>は、既往研究をもとに知的生産性に影響を与える要因を分析し、知的生産性を作業効率と関連コスト要因により決定されるものと考えた。図 2.1 にそのモデルを示す。知的生産性は、在室者の作業効率を経済指標に変換したものと捉え、このモデルでは、温度や照明、音等の物理的要因は生理的・心理的反応を経由して作業効率に影響し、知的生産性に影響を与えている。また給料やインセンティブ等のモチベーションに関わる要因は直接、作業効率に影響し、知的生産性に影響を与えると説明している。

以上で述べたように、知的生産性には様々な考え方があり、大別すると作業効率及び経済指標の2つの観点に分けられる。実用を考えると、今後、経済的観点での捉え方も必要になってくると考えられるが、投入コストに関わらず環境そのものを評価するためにも作業効率の視点からの評価が重要である。また、知的生産性向上を目指してオフィス環境を見直す際、労働時間の短縮による人件費の削減が主効果として期待される。これら2種類の観点の中で、労働時間に直結するのは作業効率である。よって、本研究では、単位時間あたりの知的作業量、つまり作業効率を知的生産性と定義する。

### 2.2.2 知的生産性の評価手法

従来、知的生産性評価を目的として開発されてきた手法としては、オフィス作業の作業量や効率を直接的に評価する手法や、仮想的なタスクの成績から間接的に評価する手法、個人の主観により評価する手法、人間の生理反応から推定する手法がある。それぞれの手法について詳細を下記で述べる。

#### (1) 直接計測による評価

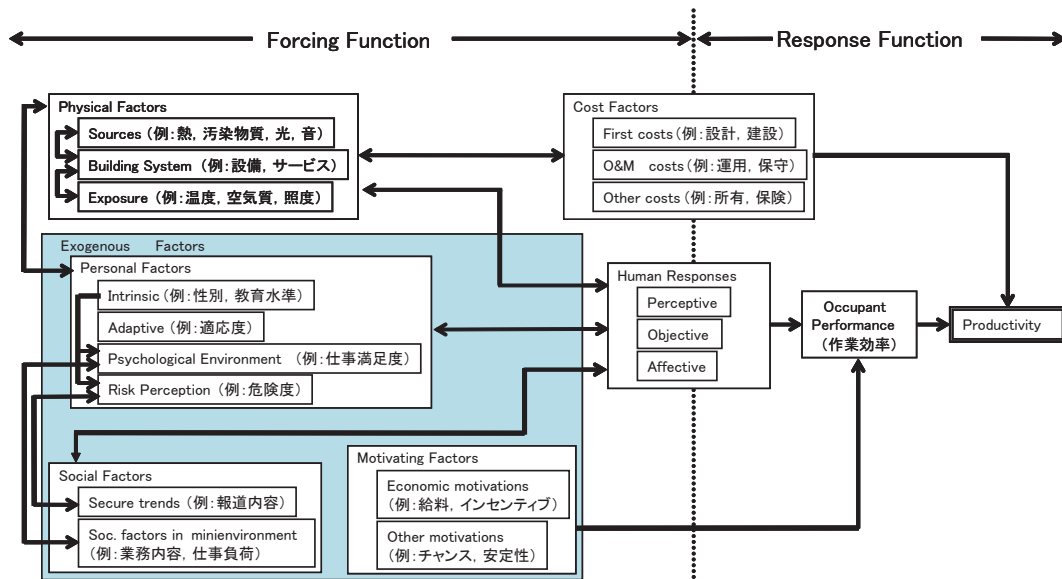


図 2.1: Woods らによる拡張モデル

知的生産性についても作業量や作業効率を直接計測可能な場合が存在する。橋本<sup>[6]</sup>らは、ASHIRAE1992Workshop on IAQにおいて以下の計測項目を列挙している。

- 作業スペースでの不在状況
- 作業時間あるいは作業の停止時間 (休憩や中断)
- 自発的な残業時間
- 疾病率の推移 (病欠など)
- あるプロセスに必要とする作業時間
- 商品生産数
- 売り上げあるいは利益
- 製品やサービスあたりのトータルユニットコスト
- 医療費削減による利益／健康管理費
- 新規得意先開拓数
- 退職率・転職率の推移、再雇用、教育費負担

- 出席率、全国的テストの平均点(学校を対象とした場合)

実際に直接計測による評価を行なっている例としては、Fiskら<sup>[7]</sup>による、病院のコールセンターの事例がある。コールに対する平均処理時間とオフィスの換気量等の環境要因との関係について検討を行なっており、換気量が高い時に作業効率が2%上昇し、逆に高温環境では作業効率の低下が認められたと報告している。その他では、Kronerら<sup>[8]</sup>は保険引受業務部門に個人毎に制御された環境システムを導入し、一定期間内に作成されたファイル数の測定結果から知的生産性の評価を試みた。

これらのアプローチは、アウトプットが定量的に測定可能な場合では有用である。しかし、実際のオフィスワークの多くは定量的な評価が難しい。

## (2) 仮想タスクによる評価

仮想タスクによる評価とは、定量的に測定が可能な作業を被測定者に与え、速度や処理数、精度などの測定値より知的生産性を評価する方法である。Wargoekiら<sup>[9]</sup>は、テキストタイピングなどからなるタスク成績と、空気質を左右する汚染物質濃度、換気量との関係を検討し、定量的な関係を得ている。

その他、コンピュータを用いて、知覚、判断など脳の高次の働きをテストするタスクも考案されている。その代表としてあげられるのが表2.1に示した、Walter ReedのPerformance Assessment Battery(PAB)<sup>[3]</sup>である。PABは、各タスクの成績により、仕事内容に依存せず知的生産性の比較が可能としている。しかし、PABの作業内容は実際のオフィスワークとは大きく異なっているため、作業成績のみに着目したこのツールでは、測定した結果が本当にオフィスワーカーの知的生産性を反映しているかに疑問がある。

また、オフィスワーカーの知的生産性を評価するパフォーマンステストとして、当研究室で開発してきたCPTOPがある<sup>[10][11][12]</sup>。CPTOPはオフィスワークを反映するような知的作業の定量的かつ客観的な評価を目指したものである。

ただし、一般に、仮想タスクの作業成績は、習熟の影響により作業を繰り返すたびに成績が向上する。よって、正確に計測するためには、長期間繰り返しタスクを実施し、その結果から習熟の影響を補正する必要がある。このため、評価指標としては安定性に問題がある。

## (3) 主観による評価

主観による評価とは、オフィスワークに対して、アンケートを実施し、自己申告により得られたデータを元に知的生産性を評価する手法である。例えば、室内環境の観点から生産性評価を試みる手法としてSAPがある。これは橋本ら<sup>[2]</sup>が室内環境についての主観評価に関する既往研究をまとめ、さらに独自に質問を加えたアンケートである。表 2.2 に SAP の評価項目を示す。これは主に室内環境（空間、光、温熱など）とその下位要素（上下温度差、広さ、快適感など）を主観評価し、環境全体を総合的に評価する。

主観による評価では、被測定者の先入観や偏見などが原因となり、個人によって結果が大きく異なる場合がある。よって、主観評価のみを用いた知的生産性の評価は信頼性が低く、客観的な方法とは言いがたい。

表 2.1: Performance Assessment Battery(PAB) の作業内容

作業名	作業内容
Two-letter Search	2 文字の目標アルファベットとアルファベット文字列が表示、文字列中に目標の 2 文字が存在するかを判断
Four choice serialreaction time	テンキーの 1、2、4、5 キー に対応する 4 つのボックスが表示、内一つが点減した際に点減するボックスの数字を入力
Interval production	時計の秒針が表示、自らが 1 秒と感じる間隔でボタンを押して秒針を動かす作業
Manikin	画面に人体、○および□の図形が人体周囲および左右の手に表示され、人体を囲んでいる図形と同じ図形を持っている方の手の左右を答える
Code Substitution	数字とアルファベットの対応表が与えられ、その後文字が画面に表示され、それに対応する数字を入力する作業
Matching to sample	はじめにサンプルの図形、その後 2 つの図形が画面上に並んで表示され、サンプルと同一の図形を選択する作業
Running memory	1 から 3 の数字が 1 文字ずつ次々と画面上に表示され、1 つ前に表示された数字をキーボードより入力する

表 2.2: SAP における評価項目

	項目		項目
一般的 事項 ・ 基本 情報	回答日	光 環 境	明るさ
	名前		作業面の手暗がりへの不満
	所属		グレア・まぶしさ
	性別		モニタへの映り込みへの不満
	年齢（あるいは生年月日）		仕事への影響（照明）
	職務内容		視覚的プライバシーへの満足
	現在の体調	温 熱 環 境	温冷感
	現作業スペースでの継続勤務時間		温度感（全身）
	座席位置情報（外壁からの距離）		気流感の有無（全身）
座席位置情報（窓からの距離）	放射感の有無		
プロ ビダ テク イテ 関イ 連	モチベーション		快適感
	室内環境（総合的）の影響		上下温度差
	「個人生産性」の程度	温度変動の有無	
	仕事への集中のしやすさ	着衣状態	
	災害・事故・防犯に対する不安	仕事への影響（温熱環境）	
	コミュニケーションし易い	空 気 環 境	空気の汚れ（新鮮さ）
協働作業性	空気の淀み におい		
空 間 環 境	広さ・スペース		仕事への影響（空気質）
	インテリアに対する印象		ほこりっぽさ
	デスク周りのスペース	音 環 境	騒音の程度
	デスクの使い心地		騒音に対する感度・満足
	調整性について		音源（不満）の特定
	仕事への影響（デスク）		仕事への影響（音環境）
	椅子の使い心地/快適性		プライバシー
	椅子の調整性について		そ 他の
	仕事への影響（椅子）	仕事への影響（清掃・メンテ）	
	机・家具等什器の配置		
配線の不備・不足			
	収納スペース		

#### (4) 生理指標による評価

生理指標による評価は、人間の生理反応から知的生産性を推定する手法である。例えば、田辺<sup>[13]</sup>らは頭部血中酸素濃度を計測し、知的生産性の評価を試みている。客観評価ができる点が生理指標による測定の特長であるが、作業効率との関係が明らかになっていないため、測定結果の解釈には統一された見解がないという問題がある。

### 2.3 研究の目的

従来の知的生産性評価の方法には、個人の先入観や偏見が原因となり、個人によって大きく結果が異なるという問題や、作業成績にのみ着目しているため習熟の影響を受け、オフィス作業に従事するオフィスワーカーの知的生産性を正しく反映できていないという問題がある。

そこで、本研究では、知的生産性を定量的に測定する手法として、知的作業への集中に着目した新しい評価指標を開発することを目的とする。本論文における集中とは、認知資源を作業対象に一定期間以上割り当てている状態のことであり、これによって直接アウトプットを計測するのではなく、記憶や、計算、思考などの知的作業の元となる要素の計測を実現する。本研究ではさらに、開発した評価指標が、実際の照明環境の評価に適用可能かどうかを被験者実験により確かめる。本指標を用いることで、新しい照明の導入や冷暖房の調整による影響を定量化し、最適なオフィス設計を提案することが可能になる。

## 第 3 章 知的生産性評価における集中の評価指標 の開発

本章では、まず集中による評価指標の概念について述べる。続いて、その評価手法を述べ、その後、評価指標を用いた計測ツールについて説明する。

### 3.1 集中の客観定量評価指標の概念

#### 3.1.1 評価の対象とする作業

知的作業を分類したモデルに、村上ら<sup>[14]</sup>の提案する建築空間と知的活動の階層モデルがある。このモデルでは、表 3.1 に示すように知的作業を三つの階層に分けている。第一階層の情報処理は、知識や情報の定型処理・事務処理である。具体的には、文字や図形の認識にかかわる視覚認知、音声認識に関わる聴覚認知、判断や操作に関わる動作制御が含まれる。

第二階層の知識処理は、知識や情報の調査や探索、加工処理、知的価値向上である。具体的には知識蓄積に関わる記憶や知識加工に関わる計算が含まれる。これら第一階層、第二階層は、成果を定量評価しやすいため、アウトプットの計測により測定可能であると考えられる。

第三階層の知識創造は、価値創造やイノベーションなどの新しい価値を創造する処理である。例えば、分析・統合などの収束的思考、想起やひらめきなどの拡散的思考が含まれる。この層では、第一階層と第二階層と異なり、質を重視して考える必要があるため評価が難しい。近年、知識創造の重要性は高まっているが、実際のオフィスワークにおいては、知識創造に相当する作業時間の占める割合は情報処理や知識処理と比較して小さいと考えられる。

そのため、本研究では、第一階層、第二階層を評価指標の対象とし、第三階層は対象外とする。しかし、村上らのモデル<sup>[14]</sup>によると、集中がすべての階層の知的作業において必要とされる能力であると示されている。また、3.3 で述べるように、本研究では、脳が情報の処理に使えるパワーである認知資源を一定期間作業対象に割り当てている状態を集中と定義しているが、第三階層の知的作業においても、認知資源の割当



は行われている。これらの理由から、第三階層の知的作業についても集中に着目した本評価指標で測定が可能であると考えられることもできる。

表 3.1: 建築空間と知的活動の階層モデル

第一階層 (情報処理)	知識情報の定型処理、事務処理
第二階層 (知識処理)	知識情報の調査探索、加工処理、知的価値向上
第三階層 (知識創造)	価値創造、イノベーション

### 3.1.2 集中とパフォーマンスの概念

本研究で対象とする第一階層および第二階層の知的作業は、シンボル処理としてシングルプロセッサのコンピュータのアナロジーで考えることができる。Cardら<sup>[15]</sup>は人間の認知心理学的特性を、コンピュータとのアナロジーの観点から、記憶システムと処理システムに分類し人間情報処理モデルを考案した。そのモデルを図3.1に示す。人間情報処理モデルを参考に、人間の作業処理のプロセスをモデル化して考えたときの情報処理の流れを図3.2に示す。この情報処理の流れの中で、一定期間認知資源を対象に割り当てている状態を集中、認知資源を対象に割り当てていない状態を非集中と定義する。

建築空間と知的活動の階層モデルをもとに考案した集中とパフォーマンスの概念を図3.3に示す。3.1.1で述べたとおり、集中は知的作業のすべての段階で関連する重要な要素と考えられている<sup>[14]</sup>。一方、パフォーマンスを単位時間当たりの処理数と定義すると、第一階層、第二階層の知的作業はアウトプットを計測することができるため、パフォーマンスを認知タスクにより測定することは可能である。しかし、オフィスワークに必要な能力を全て盛り込んだ認知タスクを準備することは容易ではない。また、パフォーマンスは作業への習熟により変化するため、安定した指標とするのは難しい。例として、榎本ら<sup>[12]</sup>が示したCPTOPの数列穴埋めタスクにおける、習熟によるパフォーマンス向上を図3.4に示す。榎本らは、1回の試行毎に一定の改善率である一定値に近づくと仮定し、式3.1に示す習熟曲線を最小二乗法で導出し、補正を試みた。

$$y = k - ab^x \tag{3.1}$$

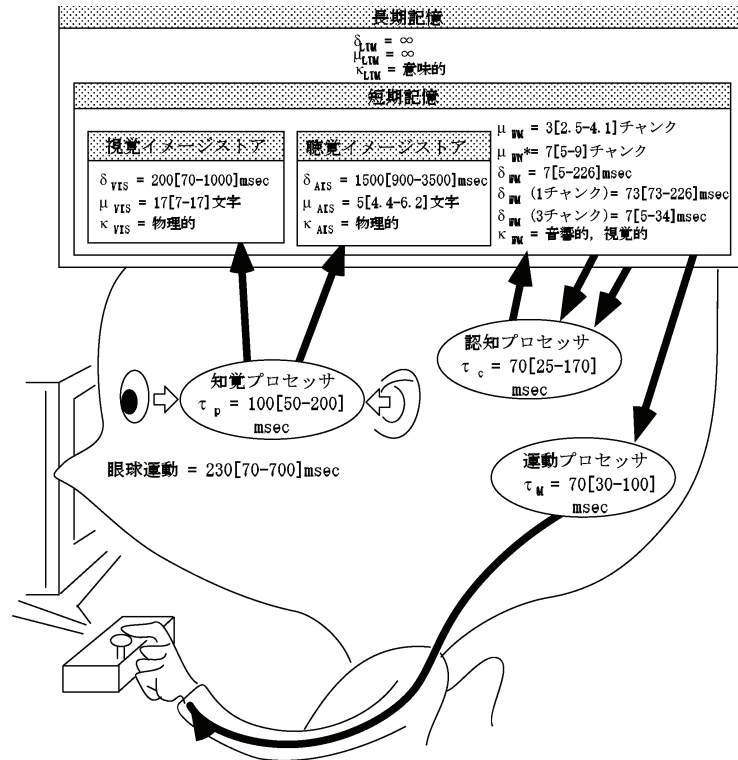


図 3.1: Card らの人間情報処理モデル [15]

ここで、 $k$  は習熟完了時のパフォーマンス、 $a$  は初期値により決定される定数、 $b$  は改善率から決定される定数、 $x$  は試行回数を表す。求めた曲線の  $k$  と各試行における  $y$  の比を各試行での実測値にかけることで補正する。ただし、習熟曲線を導出するためには、数十セットを超える回数のタスク実施が必要である。

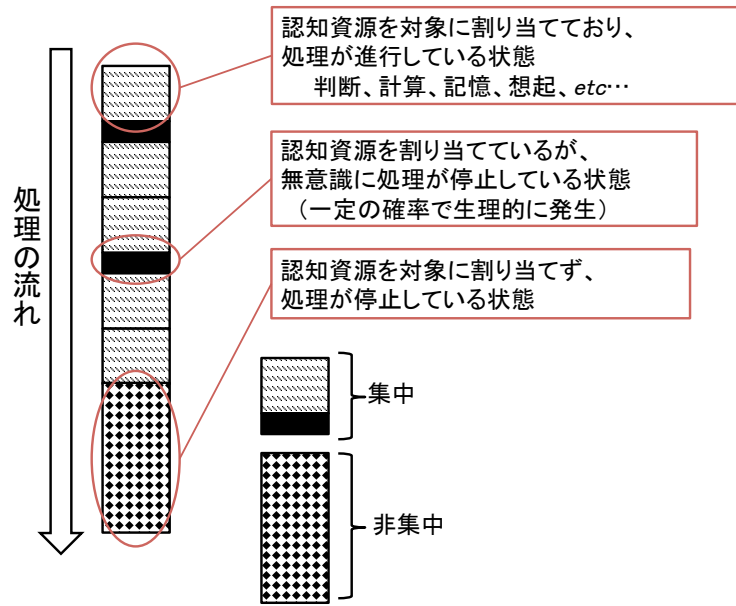


図 3.2: 人間をシングルプロセッサのコンピュータと考えた場合の情報処理の流れ

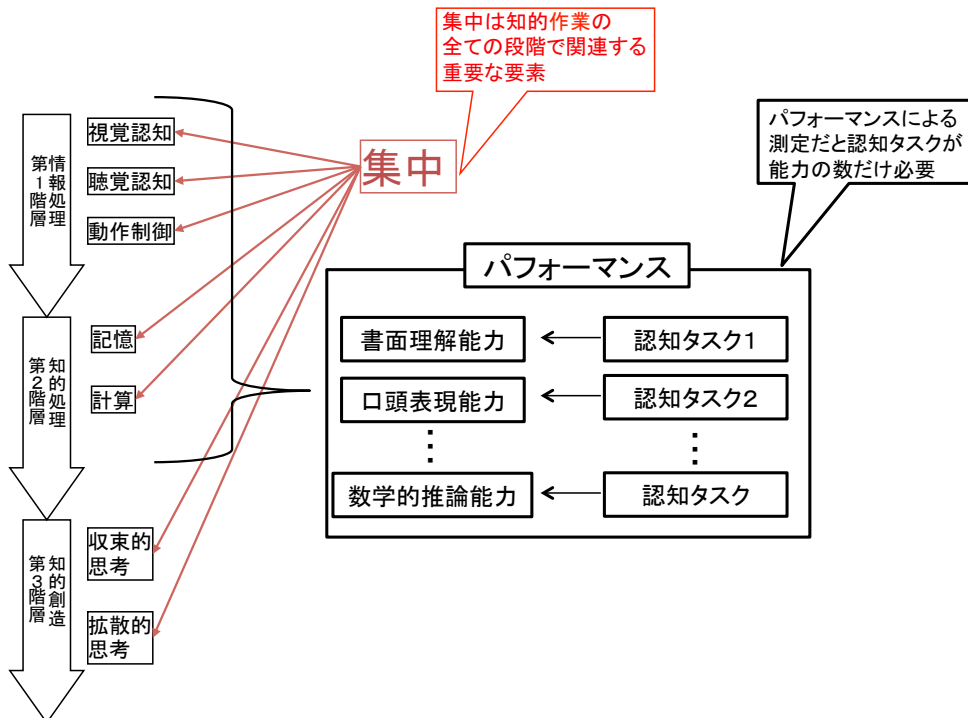


図 3.3: 集中とパフォーマンスの概念

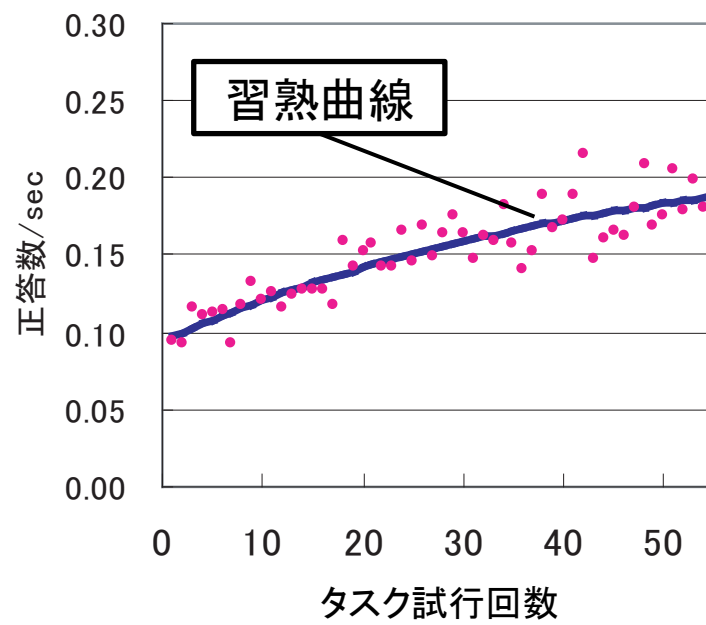


図 3.4: 習熟によるパフォーマンス向上の例

### 3.1.3 集中-非集中モデル

人間情報処理モデルをもとに、宮城らは、知的活動の第一階層、第二階層を対象とした、知的生産性変動の過程を数理的に説明するモデルを作成した<sup>[16]</sup>。宮城らはここで、人間が知的作業を実施している際には(1)作業状態、(2)短期休息、(3)長期休息の三つの状態があり、図3.5のように一定の確率で作業状態が遷移すると考えた。

#### (1) 作業状態

認知資源を対象に割り当てており、作業の処理が進行している状態

#### (2) 短期休息

認知資源を対象に割り当てているが、無意識に作業の処理が短時間停止している状態（一定の確率で生理的に発生）

#### (3) 長期休息

認知資源を対象に割り当てず、長時間にわたって休息を取っている状態

金<sup>[17]</sup>、河野<sup>[18]</sup>は、実際にこの3状態モデルを用いて、作業に対する意欲、つまりモチベーションが知的生産性に与える影響を説明できることを明らかにし、モデルの妥当性を示した。

前項で述べた集中および非集中の定義より、上記のモデルのなかで、認知資源の割り当ての行われている(1)作業状態及び(2)短期休息を集中、認知資源の割り当てが行われていない(3)長期休息を非集中と考えることができる。

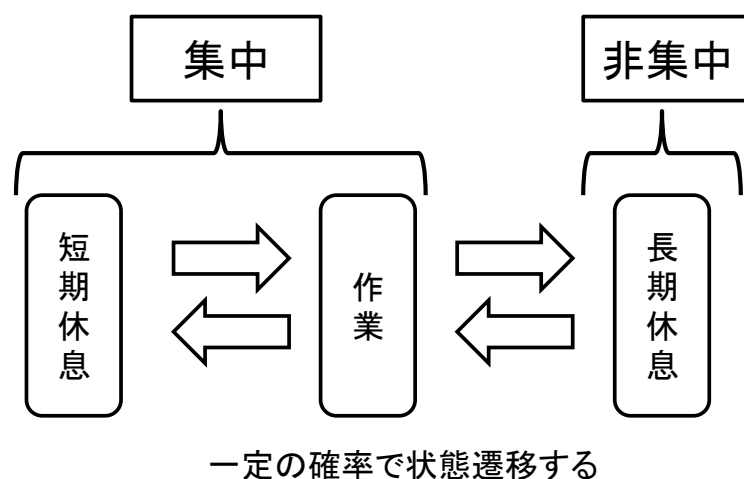


図 3.5: 3 状態モデル

## 3.2 集中の評価手法

3.1.3で述べたモデルでは、難易度が一定であり連続して実施する形式のタスクを行った際、実際に一問を解くのにかかる時間の度数分布が対数正規分布に似た形状を持っていたことから、図3.6に示すように、1問あたりの解答時間 $t$ のヒストグラムは式3.2で表される二つの対数正規分布の確率密度関数の重ね合わせで近似し、評価することができる<sup>[18]</sup>。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1 t} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] \cdot p \cdot t + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2 t} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \cdot (1 - p) \cdot t \quad (3.2)$$

なお、図3.7に示すように、 $\mu_1, \mu_2$ は平均解答時間、 $\sigma_1, \sigma_2$ は解答時間の標準偏差、 $p$ は分布の高さに対応する。次に、この2つの対数正規分布について考える。この対数正規分布をそれぞれ、図3.6の左側にある解答時間の短い分布 $f_1(t)$ と右側にある解答時間の長い分布 $f_2(t)$ に分けると、

$$f_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1 t} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] \cdot p \cdot t \quad (3.3)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2 t} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \cdot (p - 1) \cdot t \quad (3.4)$$

と書ける。 $f_1(t)$ は解答時間の多くをしめており、作業状態と短期休息状態のみがマルコフモデルとして含まれると考えられる。マルコフモデルでは、この2状態を遷移すると考えることで対数正規分布が説明できる。 $f_2(t)$ は、解答時間が長くなっており $f_1(t)$ の対数正規分布から逸脱したものである。したがって、これらは作業状態と短期休息状態に合わせて長期休息状態が含まれると考えられる。図3.8に合計解答時間を3状態に分類し、更に $f_1(t)$ と $f_2(t)$ について配分したものを示す。これより、 $f_1(t)$ の面積 $S_1$ が作業時間+短期休息時間の合計時間、 $f_2(t)$ の面積 $S_2$ が作業時間+短期休息時間+長期休息時間の合計時間を示す。

$S_1$ は式3.5に示すように、 $S_1$ における期待値 $E = \exp\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1^2}{2}\right)$ と $S_1$ に含まれる解答数 $N_1$ の積で表される。

$$S_1 = \exp\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1^2}{2}\right) \cdot N_1 \quad (3.5)$$

期待値  $E$  を、一問を解くのに必要な標準的な解答時間と考えると、 $S_2$  のうち作業状態と短期休息分  $S_3$  は、期待値  $E$  と  $S_2$  に含まれる解答数  $N_2$  の積で求められる。

$$S_3 = \exp\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1^2}{2}\right) \cdot N_2 \quad (3.6)$$

期待値  $E$  と総解答数  $N$  は  $N_1 + N_2$  であるので、集中時間は式 3.7 で示すように、これらの積で求めることができる。

$$Ct = \exp\left(\mu_1 + \frac{\sigma_1^2}{2}\right) \cdot N \quad (3.7)$$

本研究では、タスクの実施時間に対する集中時間の割合を集中指標とする。

対数正規分布を決定するために必要なパラメータを図 3.7 に示す。これらのパラメータは、EM アルゴリズム [19][20] を用いた最適化問題として導出する。EM アルゴリズムは不完全な観測データから混合正規分布を推定するのに有効である。また、遺伝的アルゴリズムを用いるよりプログラムコードが簡潔で、処理速度が速いため EM アルゴリズムを用いる。以下、EM アルゴリズムによる対数正規分布のフィッティングの具体的な方法について述べる。

### EM アルゴリズムを用いた解析方法

EM アルゴリズム (Expectation Maximization algorithm) は隠れ変数が観測できない状況において、モデルパラメータを最尤推定する方法である [19][20]。期待値を算出する E ステップと、それを最大化し最尤値を更新する M ステップを繰り返すことでパラメータを推定する。まず、実際に得られた観測データ群を  $\mathbf{y}$  とする。また、ある確率密度関数に沿った完全なデータ群を  $\mathbf{x}$  とすると、欠測データ群は  $\mathbf{z}$  は  $\mathbf{z} = (\mathbf{x}, \mathbf{y})$  と書ける。そして、パラメータを  $\theta$  とし、あるガウス関数に基づく確率密度関数  $p(\mathbf{z}|\theta)$  を導く。観測データの条件付き確率は

$$p(\mathbf{z}|\theta) = p(\mathbf{x}, \mathbf{y}|\theta) = p(\mathbf{y}|\mathbf{x}, \theta)p(\mathbf{x}|\theta) \quad (3.8)$$

となる。この確率を用いて尤度関数は

$$L(\theta|\mathbf{z}) = L(\theta|\mathbf{x}, \mathbf{y}) = p(\mathbf{x}, \mathbf{y}|\theta) \quad (3.9)$$

と表せる。

Eステップ (Expectation-Step) において、観測データを用いて、対数をとった尤度関数の期待値を関数  $Q(\theta, \theta^{(i-1)})$  として以下のように定義する。

$$Q(\theta, \theta^{(i-1)}) = E [\log p(\mathbf{x}, \mathbf{y} | \theta) | \mathbf{x}, \theta^{(i-1)}] \quad (3.10)$$

ここで、 $\theta^{(i-1)}$  は期待値の計算に用いた現在のパラメータを示し、 $\theta$  は  $Q$  を増加させる新しいパラメータを示す。

そして M ステップ (Maximization-Step) において、 $Q$  を最大化する新しいパラメータ  $\theta^{(i)}$  を求める。

$$\theta^{(i)} = \arg \max_{\theta} Q(\theta, \theta^{(i-1)}) \quad (3.11)$$

これをプログラムとして実装する場合、考えるべきことは初期値と収束条件である。

EM アルゴリズムでは、観測データが完全な確率密度関数と違っている時に、最尤値局所解に陥る可能性がある。そのために、適切な初期値設定が必要である。今回は収束に必要な条件を予め設定し、局所解に陥る原因となるパラメータ  $\mu$  の初期値は取得したデータの範囲内でランダムに選出する。 $\mu_2$  は、 $\mu_2 = 2\mu_1$  として、この2つの値がデータの範囲内に収まるように  $\mu_1$  を選んだ。

- $\mu_1$  が解答時間ヒストグラムの最頻値付近であること
- $\mu_1 < \mu_2$  かつ  $\sigma_1 < \sigma_2$  であること

次に収束条件を設定する。ランダムに設定した初期値を用いてパラメータを更新すると、通常ではある一定の値に収束していく。1000回のEMステップを行っても収束しない場合は次の初期値設定を行い、これを繰り返す。収束条件は前回のパラメータに対して更新したパラメータの変化値が  $10^{-3}$  以下とした。これは観測データの有効数字を基に算出している。この時に、パラメータが十分に考えられる範囲にあるか調べ、条件を満たさない場合は次の初期値設定を行い繰り返して最適なパラメータを導出する。パラメータ範囲の条件は、以下のようにする。

局所解に陥る場合は、収束条件に反する場合が多く、この条件設定によって局所解に陥る確率は大きく減少する。

しかし、局所解問題を解決する事は非常に難しく、解を算出するために恣意的な部分が存在する。今回は、これら部分については課題としており、パラメータの取り扱い方についての考察に重点を置く。



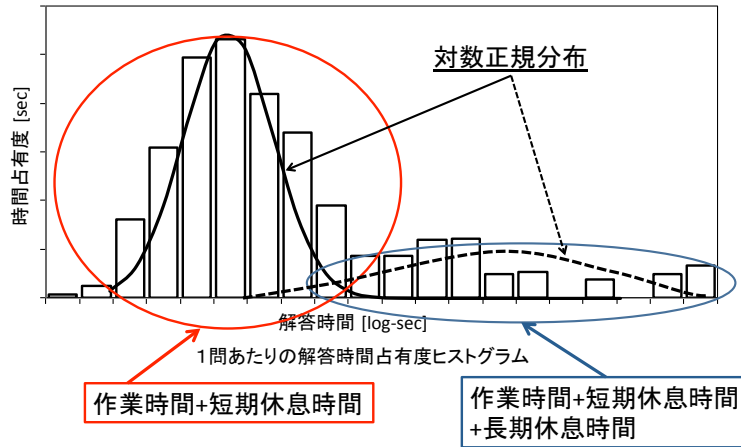


図 3.6: 解答時間ヒストグラムの例

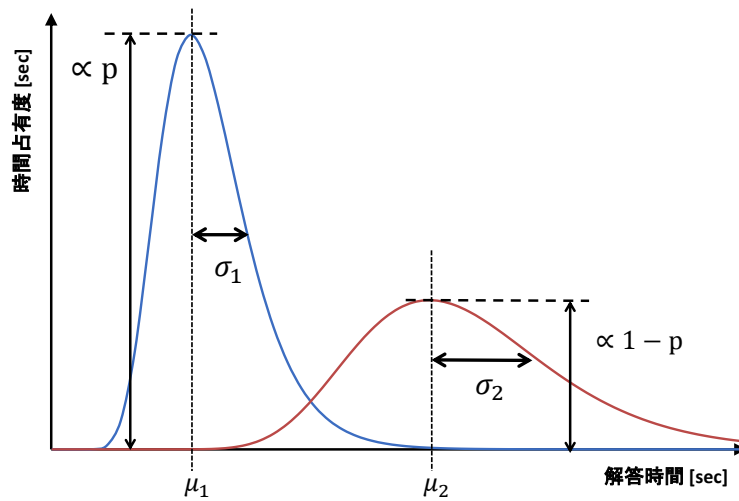


図 3.7: 対数正規分布における各パラメータ

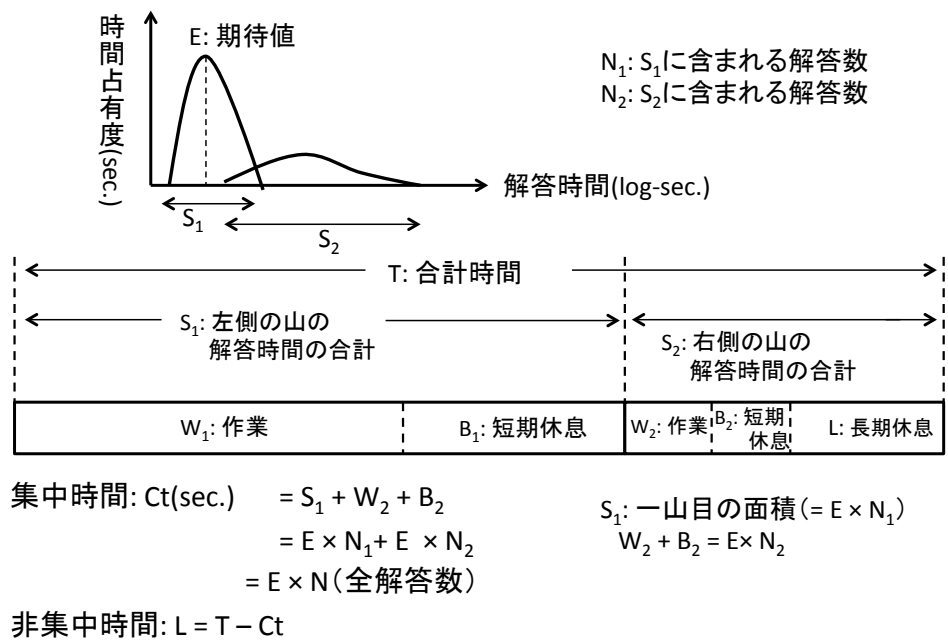


図 3.8: 集中時間の導出方法

### 3.3 集中の計測ツールの開発

#### 3.3.1 認知タスクの設計指針

認知タスクは以下の要求を満たすように設計する。

- 条件 1. 執務者自身のペース配分で、設問を連続してこなしていく形式であること
- 条件 2. 難易度が均一な問題を多く作成できること
- 条件 3. 解答戦略が途中で変わらないこと

条件 1 が必要な理由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られるためである。条件 2 および条件 3 は、本測定ツールでは一問毎の解答時間に着目してヒストグラムを作成するため、難易度のばらつきや解答戦略の変更によって解答に要する時間が変動しないようにするためである。

河内ら<sup>[10]</sup>は、仕事に必要な能力を分類した Handbook of Human Abilities<sup>[21]</sup>をもとに、オフィスワーカーへのインタビューを行い、オフィス作業に必要な能力を抽出した。それらの能力は、言語系の能力、あるいは計算系の能力のどちらかに大別するこ

とができるものが多い。このため、本研究では言語系の能力を用いるタスクと計算系の能力を用いるタスクの二つを設計する。

### 3.3.2 認知タスクの設計

前項で述べた要件を満たすツールとして、下記の単語分類タスクと暗算加算タスクを提案する。単語分類タスクが言語系の能力を、暗算加算タスクが計算系の能力を含む。また、短期的に記憶した内容を操作するワーキングメモリを用いるタスクは、記憶の減衰が起こった場合に作業を最初からやり直す必要があり、長期休息や知的生産性に与える影響が異なると考えられる。このことからワーキングメモリを用いるタスクとして暗算加算タスクを、用いないタスクとして単語分類タスクを設計する。これらのタスクは、PCやタブレットなどの身近なデバイス上で実施可能なように設計する。これは、ツールの準備や実施を容易に行えるようにするためである。具体的なタスクの内容は以下のとおりである。

#### (1) 単語分類タスク

単語分類タスクは、提示された1つの単語を3種類の要素によって計27通りに分類するタスクである。分類の1つ目の要素は先頭文字の種類で、「ひらがな」「カタカナ」「漢字」の3種類に分類する。視覚的に判断されるため、もっとも認知的な負荷が低い。2つ目の要素は先頭文字の母音であり、「い」「う」「お」の3種類である。「あ」が省かれている理由は、他の母音に比べて視覚的な判断が容易であるためである。また、「え」が省かれている理由は、「え」に属する単語数が他と比較して少ないためである。先頭文字があ行の単語も、判断の難易度が低下するために設問からは除外する。この要素は視覚的な文字から音への変換が必要なため、文字種類よりも認知負荷が高い。最後は単語のカテゴリーで、「動物・植物」「地名・人名」「人工物」に分類する。これは意味理解が必要なため、もっとも認知負荷が高い。

文字の提示には図3.9に示したような紙の票を用い、分類結果の入力には図3.10に示すようなタブレット上の入力インタフェースを用いる。紙の票はA5の紙を横長に使用し、文字の大きさは28ポイントで作成する。例えば、このタスクで「きつね」という設問が表示された場合は、「ひらがな、母音い、動物・植物」に位置するボタンを押す。なお、入力部には、漢字が読めない、知らない単語であるなどの理由から、判別できない問題をスキップするために「判別不可」のボタンも用意する。個人差はあるが、休息を挟まない場合には、設問毎の解答には5-10秒程度の時間を要する。

なお、何種類に分類するかを決める際、提示された単語を2種類の要素で、「先頭文字の種類：ひらがな、漢字」「先頭文字の母音：い、う」「カテゴリー：動物・植物、地名」と計8通りに分類するバージョンや、5種類の要素で「先頭文字の母音：あ、い、う、え、お」「カテゴリー：動物、地名、料理名、色名、道具名」と計25通りに分類するバージョンも作成して検討した。その結果、図3.11に示すような計8通りに分類するバージョンでは、項目数が少ないため、難易度が低下し、ヴィジランス作業に近いタスクとなったため不採用とした。一方、図3.12に示す計25通りに分類するバージョンでは、難易度が一定の問題が作りづらいという問題があり不採用とした。一方、3種類の要素で計27通りに分類する実験で利用したバージョンは、問題作成が容易であることや、認知負荷が適切であったことから採用とした。

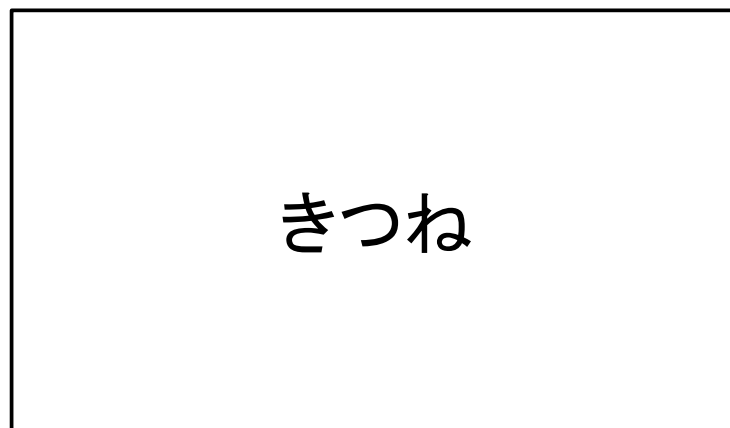


図 3.9: 単語分類タスクに用いた票

## (2) 暗算加算タスク

暗算加算タスクの概要を図3.13に示す。暗算加算タスクはPC上で動作させ、入力にはテンキーを用いる。暗算加算タスクでは、最初に提示された加算数を記憶してEnterキーを押し、次に提示された被加算数と暗算で足し合わせ、テンキーで解答を入力する。最後にEnterキーを押すと新たな被加算数が表示されるので、これを繰り返す。提示される数は、繰り返し上がりのない2桁+2桁を基本とした。これは、難易度を一定にするためである。実際の運用にあたっては、桁数や繰り返り上がりの有無を変更することで、作業執務者の計算能力に合わせて適切な負荷を与えることが可能であると考えられる。個人差はあるが、2桁繰り返し上がりなしでは、休息を挟まない場合には、設問毎の解答には2-5秒程度の時間を要する。

	動物・植物	地名・人名	人工物
ひらがな			
先頭母音い	0	0	0
先頭母音う	0	0	0
先頭母音お	0	0	0
カタカナ			
先頭母音い	0	0	0
先頭母音う	0	0	0
先頭母音お	0	0	0
漢字			
先頭母音い	0	0	0
先頭母音う	0	0	0
先頭母音お	0	0	0

図 3.10: 単語分類タスクの解答入力部 (3 × 3 × 3バージョン)

取り消し		
ひらがな	動物・植物	地名
先頭母音 い	<input type="text"/>	<input type="text"/>
先頭母音 う	<input type="text"/>	<input type="text"/>
漢字	動物・植物	地名
先頭母音 い	<input type="text"/>	<input type="text"/>
先頭母音 う	<input type="text"/>	<input type="text"/>

図 3.11: 単語分類タスクの解答入力部 (2 × 2 × 2 バージョン)

取り消し					
	先頭母音 あ	先頭母音 い	先頭母音 う	先頭母音 え	先頭母音 お
動物	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
地名	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
料理名	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
人名	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
道具	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

図 3.12: 単語分類タスクの解答入力部 (5 × 5 バージョン)

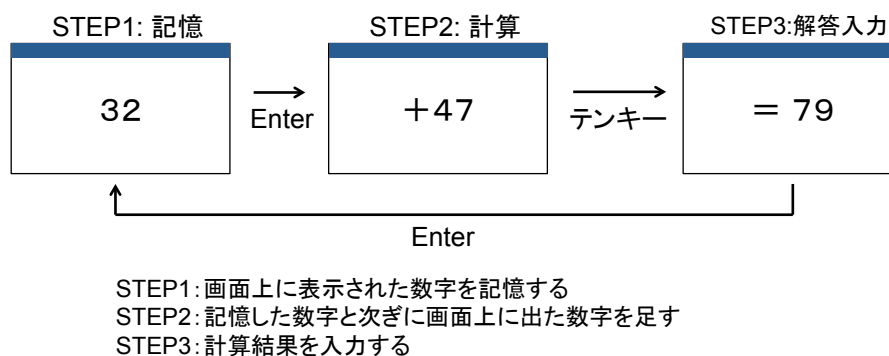


図 3.13: 暗算加算タスクの流れ

### 3.3.3 計測ツールの実装

本計測ツールは、クライアント/サーバー型で構成されるタスク部分と、解析プログラム部分より構成される。単語分類タスク及び暗算加算タスクはhtml及びPHPを用いて作成し、サーバーにより管理した。クライアント/サーバー型によるタスク実装の概要を図3.14に示す。クライアント/サーバー型とした理由は、タスクの実施ログの回収や導入が容易であるからである。単語分類タスクではタブレットPCのブラウザにより、暗算加算タスクではPCのブラウザによりサーバーにアクセスして利用する。単語分類タスクではタッチパネルのタブレットPCを用いた。これは解答の入力が容易であるからである。暗算加算タスクではテンキーを使用するため、PCを用いた。タスクの実施ログは一問を解くのにかった解答時間や、テンキーを押下したタイミングがcsv形式でサーバーに保存される。単語分類タスク及び暗算加算タスクの出力ファイルの例を図3.15に示す。

得られた実施ログの中から解答時間を入力とし、Pythonで記述したEMアルゴリズムのプログラムを用いて、3.2で述べた集中時間の導出に必要なパラメータを出力する。なお、タスクを30分間実施して得られた実施ログからパラメータの導出にかかる時間は約3秒である。

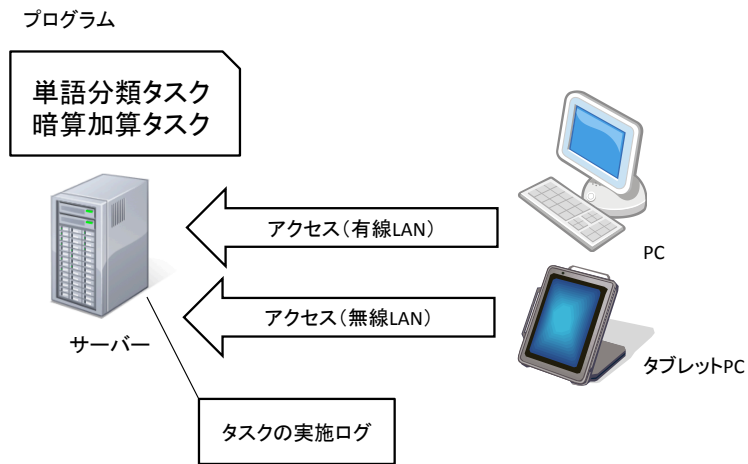


図 3.14: クライアントサーバー型によるタスク実装

単語分類タスクの出力の例

経過時間 (n sec)	解答時間 (n sec)
11569	11569
22894	11325
36086	13192
44221	8135
52176	7955
61108	8932
69714	8606
⋮	

→ 一問あたりの解答時間を解析プログラムへ

暗算加算タスクの出力の例

経過時間(sec)	ENTER1 入力時間(sec)	NUM1 入力時間(sec)	ENTER2 入力時間(sec)	解答時間(sec)	数字1	数字2	解答	正否
9.351	3.519	4.664	1.168	9.351	73	24	97	1
12.911	0.664	2.256	0.64	3.56	31	63	94	1
19.671	1.096	4.976	0.688	6.76	23	13	36	1
24.975	0.712	3.792	0.8	5.304	75	13	88	1
29.671	0.896	2.864	0.936	4.696	43	54	97	1
34.559	0.584	3.736	0.568	4.888	24	45	69	1
38.359	1.144	2.032	0.624	3.8	43	16	59	1
⋮								

図 3.15: 単語分類タスク及び暗算加算タスクの出力ファイルの例



## 第 4 章 集中指標による照明環境評価実験

本章では、3章で提案した集中の評価指標の実用性を検証するために実施した被験者実験について述べる。

### 4.1 実験の目的

本実験では、開発した評価ツールと評価指標が実際の照明環境の評価に適用可能であるかどうかを確認することを目的とする。加えて、集中に着目した本評価手法が、習熟の影響を受けないことを確認する。

### 4.2 実験方法

#### 4.2.1 実験の概要

本実験では、照明環境の変化に伴う知的生産性の変動を集中指標により測定することを目指した。図 4.1 に示すとおり、比較条件として照明環境を変化させ、開発した集中指標およびパフォーマンスにより知的生産性を測定した。認知タスクは単語分類タスクと暗算加算タスクを用いた。単語分類タスク及び暗算加算タスクにおいて、1分あたりの解答数をパフォーマンスとした。照明環境は、室内全体を均一に明るくするアンビエント照明のみの環境と、作業場所を他の場所より明るくするタスクライトとアンビエントを併用したタスクアンドアンビエント (以下 T&A) 環境の二種類を用いた。なおアンビエント照明のみと比較して T&A 環境では約 50% の消費電力削減となった。

照明以外の環境条件が知的生産性へ影響を与えることを防ぐために、室温などの室内環境は実験期間中一定となるように統制した。

#### 4.2.2 環境条件

企業で省エネを実践する際、知的生産性に影響を与える環境要因のうち、容易に実施できるものの一つが照明の調整である。従来の部屋全体を均一に明るくするアンビエント照明では、不在者のスペースや作業に利用していない場所も照らすことになり、

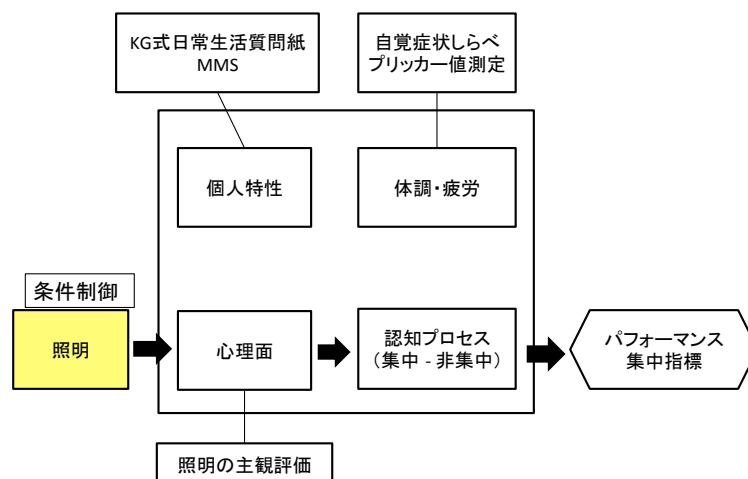


図 4.1: 照明と測定データの関係

エネルギーの無駄が多い。一方、作業に必要な領域だけを明るくするタスク照明を併用した T&A ではエネルギー削減になることから、その導入に注目が集まっている。このことから本実験では標準環境としてアンビエント照明を、比較条件として T&A を用い、各環境における知的生産性の評価を試みる。実験で比較した照明条件を表 4.1 に、その他の環境条件を表 4.2 に示す。

標準環境の照明は、アンビエント照明の机上面照度を 750lux、色温度を 5,000K とし、一般的なオフィス環境を模擬した照度とした。これに対して、比較条件では、机上面照度と色温度をそれぞれ、アンビエント照明を 100lux、3,000K、タスクライトを 650lux、6,000K に調整し、T&A 合成照度で机上面照度が 750lux となるようにした。使用した機材を表 4.3 に示す。既往研究では照明環境に関して、色温度の増加にともなって覚醒度が増す<sup>[22]</sup> という報告がある。また、アンビエント照明を暗く、タスクライトを明るくすることで照度差を設け、これにより執務者の作業スペースのみを強調することで、周囲の視覚的ノイズが減少することが期待される。これらのことから T&A 環境において集中が向上することが予想される。

表 4.1: 実験における比較条件

条件	アンビエント照明	タスク照明
標準	750lux (5,000K)	0lux
T&A	100lux (3,000K)	650lux (6,000K)

表 4.2: 実験室の室内環境

室温	湿度	二酸化炭素濃度	騒音
25 °C	20-40 %	800ppm 以下	55dBA 以下

表 4.3: 使用機材

製造メーカー	商品名	消費電力	備考
Panasonic	FHF 32EX-N-H (昼白色)	32W	$\phi = 25\text{mm}$ 、 $l = 1,198\text{mm}$
Panasonic	FHF 32EX-L-H (電球色)	32W	$\phi = 25\text{mm}$ 、 $l = 1,198\text{mm}$
Panasonic	SQ-LD500-W	7.6W	色温度 5,000K
Panasonic	SQ-LD500-W 異色温度タイプ	7.6W	色温度 7,000K

### 消費電力の導出

タスクライトの消費電力は1台あたり7.6Wであり、650luxに減光した状態で使用しているため、実際の消費電力は7.5Wとした。一方、アンビエント照明は図4.2のように配置されている。図に示す通り4箇所の制御がそれぞれ単独に可能となっている。照度の調整は信号線に印加する直流電圧を0.6Vから10.6Vまで変化させることにより行なっている。アンビエント照明にかかる電圧値は交流電圧100Vであるため、同一机上面においての最大消費電力値(32W)の時の照度を求め、比例式からその照度での消費電力を求める。

計測の結果を表4.4に示す。この表から直線近似することにより消費電力を計算した結果を表4.5に示す。したがって、T&A環境での照明の総消費電力は標準環境に対して45.7%となり、54.3ポイントの削減となる。

表 4.4: 最大消費電力時の机上面照度

制御箇所	最大机上面照度 [lux]
電球色 (東)	926
電球色 (西)	1,005
白色 (東)	1,900
白色 (西)	2,383

実際に実験を行う際は、電球色アンビエント照明部に直接黒い網をかぶせることで

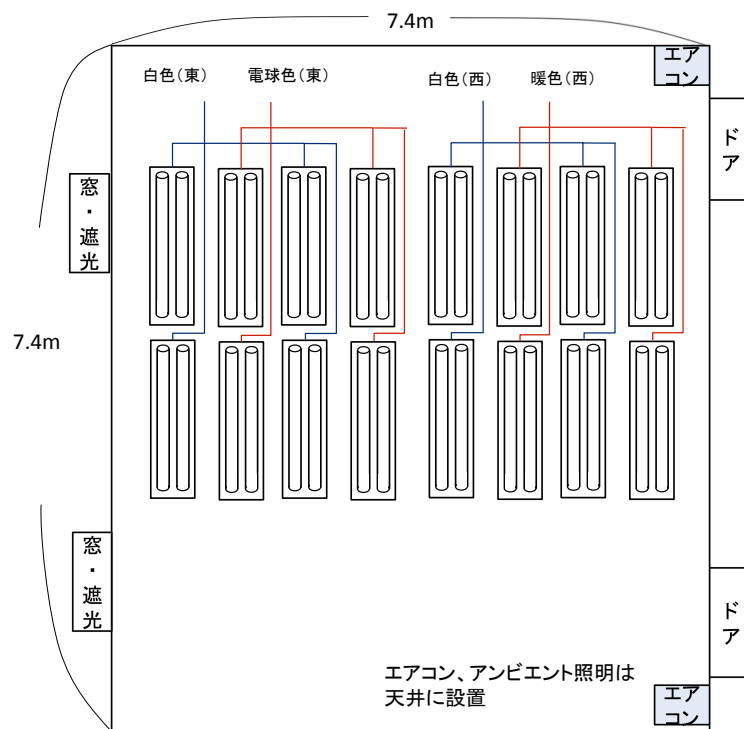


図 4.2: アンビエント照明の配置

表 4.5: 消費電力の比較

制御箇所	T&A [W]	アンビエント照明 [W]
電球色 (東)	27.6	0
電球色 (西)	25.5	0
白色 (東)	0	101.1
白色 (西)	0	80.6
タスクライト	30.0	0
合計	83.1	181.7

低照度を実現している。このため、必要な照度に対しての理論消費電力は実測値よりも低いはずであり T&A 環境での消費電力削減量は上記より大きいはずである。

### 4.2.3 実験環境

実験室のレイアウトを図 4.3 に、実験中の様子を図 4.4 に示す。窓は遮光し、外光が入り込まないようにした。実際のオフィスに近い環境にするため、視覚的外乱として各被験者の前方に机と椅子を配置し、机の上には本を並べて置いた。加えて、本棚を模したポスターを机の前に設置した。T&A 環境の様子を図 4.5 に示す。机上のタスクライト配置図を図 4.6 に示す。

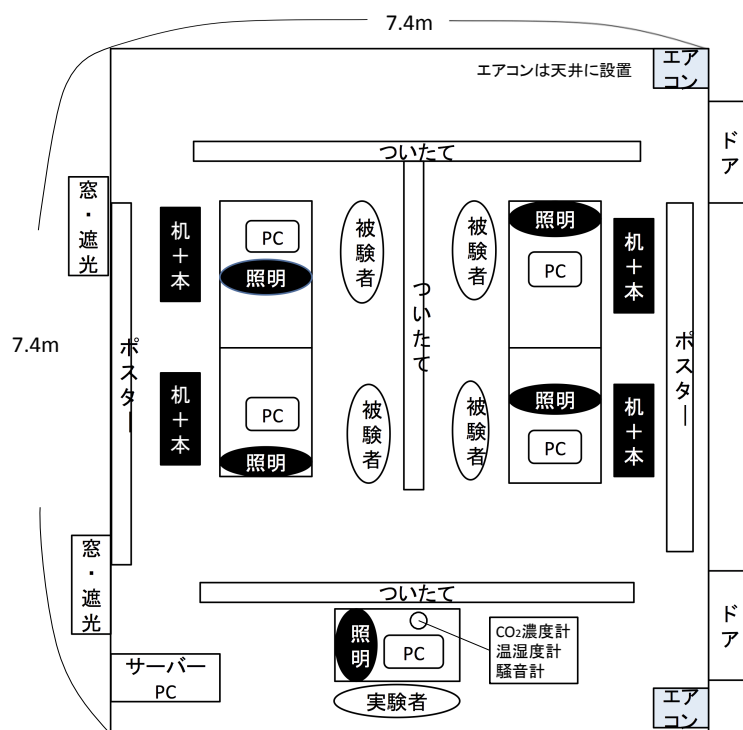


図 4.3: 実験室レイアウト

### 4.2.4 被験者

被験者は大学生 8 名 (20~25 歳)、派遣社員 11 名 (31~55 歳) の計 19 名であった。生理的な周期による影響を除去するため、被験者はすべて男性とした。被験者の属性を表 4.6 に示す。



図 4.4: 実験中の様子

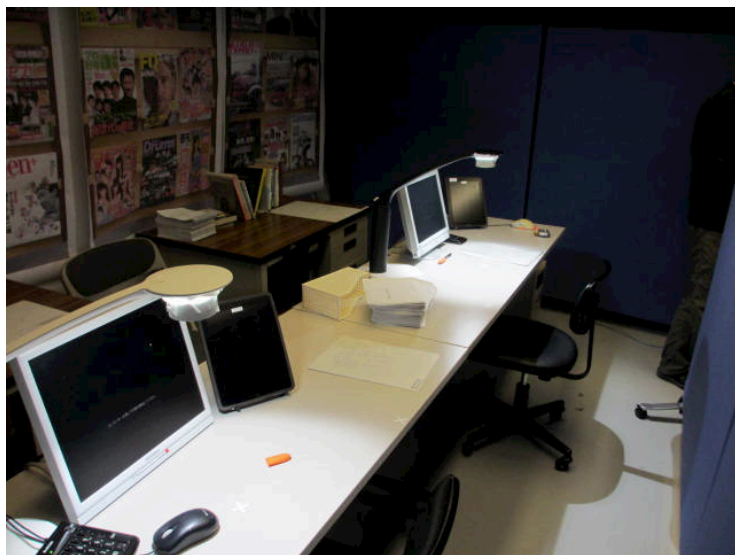


図 4.5: T&A 環境の様子

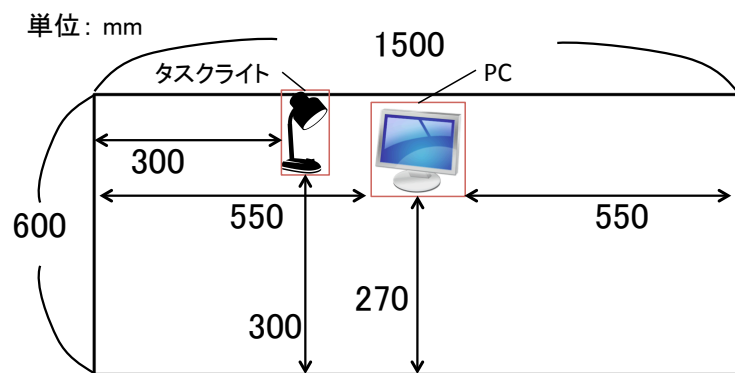


図 4.6: タスクライト配置図

表 4.6: 被験者属性

実験グループ	被験者番号	年齢	集中できる机上環境	集中できる周囲環境	自分を夜型だと思うか	負けず嫌いなタイプか	オフィス作業歴 (年)	オフィス作業歴のうちの PC 作業歴 (年)	電球色の環境に対して感じた印象
A	E01	43	明るめ	暗め	どちらでもない	はい	30	30	緊張する
	E02	47	暗め	暗め	はい	はい	3	3	どちらでもない
	E03	55	明るめ	明るめ	はい	どちらでもない	20	15	リラククス
	E04	53	明るめ	暗め	はい	いいえ	15	15	緊張する
B	E05	41	暗め	暗め	はい	どちらでもない	5	3	リラククス
	E06	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C	E07	31	明るめ	明るめ	いいえ	いいえ	7	7	リラククス
	E08	45	明るめ	暗め	どちらでもない	いいえ	10	10	緊張する
	E09	34	暗め	暗め	はい	いいえ	0	0	どちらでもない
	E10	23	明るめ	明るめ	いいえ	はい	10	10	緊張する
D	E11	21	明るめ	明るめ	いいえ	はい	0	0	リラククス
	E12	45	明るめ	暗め	はい	はい	0	0	どちらでもない
	E13	23	明るめ	明るめ	はい	はい	0.1	0.1	どちらでもない
E	E14	20	明るめ	明るめ	はい	はい	0	0	緊張する
	E15	36	明るめ	暗め	はい	はい	13	10	どちらでもない
F	E16	42	明るめ	暗め	はい	いいえ	20	20	どちらでもない
	E17	20	暗め	暗め	いいえ	はい	9	9	緊張する
	E18	25	明るめ	明るめ	いいえ	はい	0	0	どちらでもない
	E19	24	暗め	暗め	はい	いいえ	1	3	リラククス



#### 4.2.5 実験手順

実験は2012年11月末から12月中旬にかけて、京都大学工学部1号館233号室で行った。19名の被験者を6つのグループに分け、それぞれグループA、B、C、D、E、Fとした。

各グループの被験者は連続する3日間の実験に参加した。実験のスケジュールを図4.7に示す。実験初日の午前は実験説明とタスク練習である。一つのセットは単語分類タスク30分、暗算加算タスク30分及び前後のアンケート類から構成される。解析対象は、午後の二つのセットである。これは、昼食後2時間程度時間を空けることで、昼食後の眠気であるポストラランチディップの影響を避けるためである。各日最後の3セット目は、一日の最後の作業では作業意欲が向上する終末効果の影響を抑えるため実施した。この3セット目では単語分類を10分、暗算加算を10分実施した。実験中の飲食は、こちらで支給した昼食用の弁当と飲料水のみとし、また実験期間中はカフェインの含まれる飲食物を摂取しないよう教示した。

照明条件は、1日1条件とし、習熟の影響をみるために、1日目と3日目は同じ条件とした。また、前半と後半のグループの間でカウンターバランスをとった。すなわち、グループA、B、Cの前半グループは1日目：標準照明、2日目：T&A、3日目：標準照明の順で、グループD、E、Fの後半グループは1日目：T&A、2日目：標準照明、3日目：T&Aの順で実験を実施した。2つのグループにおける照明条件の実施順序を表4.7に示す。

表 4.7: 照明条件の実施順

	1日目	2日目	3日目
グループA、B、C	標準	T&A	標準
グループD、E、F	T&A	標準	T&A

#### 4.2.6 計測項目

本実験では、パフォーマンス、集中指標、生理的脳疲労、主観的疲労、照明の主観評価、個人特性、主観的感性評価を計測した。

##### (1) パフォーマンス

照明環境の違いがパフォーマンスに与える影響を調べるために、3.3で定義したとおり、単位時間当たりの解答数を計測した。

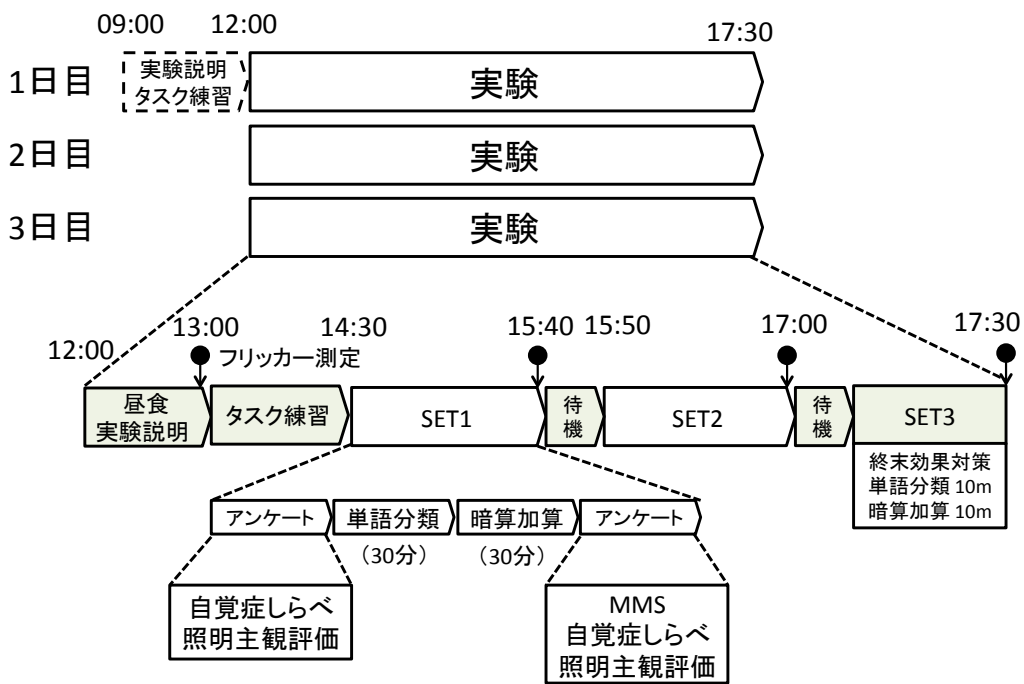


図 4.7: 実験のタイムスケジュール

## (2) 集中指標

3.1.3 で述べたとおり、タスクの実施時間に対する集中時間の割合を集中指標とし、計測した。

## (3) 生理的脳疲労

生理的脳疲労が1日の中で大きく変化しないことを確認するために、フリッカー値を昼食時と各セット終了直後に計測した。フリッカー値とは高頻度に点滅する光を見せた時の、光がちらついて見える限界値を指す。大脳皮質が疲労すると値が低下するという性質を持つため、疲労の指標として利用されている<sup>[23]</sup>。なお、一回につき連続して3回計測したうちの中央値を用いた。

## (4) 主観的疲労

疲労感や覚醒度が1日の中で大きく変化しないことを確認するために、日本産業衛生協会・産業疲労研究会が考案した自覚症しらべ<sup>[24]</sup>を実施した。自覚症しらべは、ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感の5項目に関して、各5問計25問の質問項目があり、これに対して1：まったくあてはまらない、2：わずかにあてはまる、3：少しあてはまる、4：かなりあてはまる、5：非常によくあてはまる、の5段階で回答し、各項目の合計点で評価する。本実験では、作業前後の覚醒度と眼疲労の変化を調べるために表 4.8 に示すねむけ感とぼやけ感の2項目について、各セットの直前、直

後に計測した。

表 4.8: 自覚症しらべの質問項目

I 群：ねむけ感	ねむい / 横になりたい / あくびがでる / やる気がとぼしい / 全身がだるい
V 群：ぼやけ感	目がしょぼつく / 目がつかれる / 目がいたい / 目がかわく / ものがぼやける

### (5) 照明の主観評価

心理面への照明の影響を調べるために、各セット直前直後に照明環境の主観評価のアンケートを実施した。アンケート用紙を図 4.8 に示す。現在の机上面の照明環境について感じる印象を「明るい-暗い」、「快適な-不快な」、「好き-嫌い」、「目がさえる-眠くなる」、「集中しやすい-集中しにくい」、「仕事ははかどる-仕事ははかどらない」の6つの項目に関して、7段階で回答し、「目が疲れない-目が疲れる」の1項目に関して4段階で回答し評価した。

■質問  
現在の照明環境について感じる印象を、7つのレベルから選んでチェックを入れて下さい。  
空間を見渡すのではなく、自席の机上面だけを見て、判断して下さい。

非常に かなり やや どちらでもない やや かなり 非常に

明るい |-----| 暗い

快適な |-----| 不快な

好き |-----| 嫌い

目がさえる |-----| 眠くなる

集中しやすい |-----| 集中しにくい

仕事ははかどる |-----| 仕事ははかどらない

目が疲れない |-----| 目が疲れる

図 4.8: 照明の主観評価用紙

### (6) 個人特性

被験者の個人特性が集中へ及ぼす影響を確認するために、KG 式日常生活質問紙<sup>[25]</sup>を最終日に実施した。

KG 式日常生活質問紙は、日常の行動に関する 55 項目の質問に関して、はい・いいえ・どちらともいえないの3段階で回答し、その合計点より、活動性と関連のあるタイ

タイプ A、タイプ B を判別する。タイプ A 行動パターンは、Friedman と Rosenman により提唱された活動性の指標<sup>[26]</sup>で、それぞれ次に示す特徴を持つ。

- タイプ A 行動パターン

- 自ら選んだものの、しばし明確には規定されていない目標を達成しようという強烈で持続的な欲求を持つ
- 競争心が異常に強い
- 常に周囲からの高い評価や昇進を望む
- 常に多くのしかも互いに関連の乏しい仕事に没頭しており、その結果いつも締切においまわられている
- 自分の精神的・肉体的活動の速度を常に進めようとする
- 精神的肉体的に著しく過敏で警戒的である

- タイプ B 行動パターン

- タイプ A 行動パターンの正反対の傾向。すなわち、欲求・野心・時間に対する切迫感・競争心・締切のある仕事へののめりこみなどが相対的に少ない行動パターン

## (7) 主観的感性評価

照明が人間の感性に与えるの影響を調べるために、各セット終了後に MMS<sup>[27]</sup>を計測した。MMS は、抑うつ・不安、敵意、倦怠、活動的快、非活動的快、親和、集中、驚愕の 8 尺度に関して各 10 問計 80 問の質問項目があり、これに対して、1：全く感じていない、2：あまり感じていない、3：少し感じている、4：はっきり感じている、の 4 段階で回答し、各尺度の合計点で評価する。本実験では特に倦怠、活動的快、非活動的快、集中の 4 尺度について計測した。

## 4.3 実験結果と考察

### 4.3.1 パフォーマンス

#### 単語分類タスク

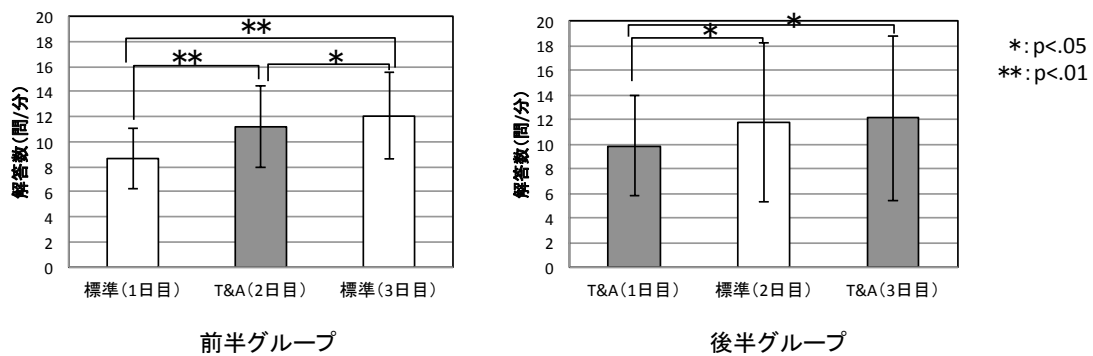


図 4.9: 単語分類パフォーマンス (条件間比較)

照明条件を変化させたときの単語分類タスクのパフォーマンスを図 4.9 に示す。それぞれ各条件間でパフォーマンスに差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。

前半グループ (グループ A、B、C) は、1 日目を標準 1、2 日目を T&A、3 日目を標準 2 とすると、T&A における成績は標準 1 における成績に比べて有意に高く ( $p < .01$ )、標準 2 における成績は T&A における成績に比べて有意に高かった ( $p < .05$ )。後半グループ (グループ D、E、F) について、1 日目を T&A1、2 日目を標準、3 日目を T&A2 とすると、標準における成績は T&A1 における成績に比べて有意に高く ( $p < .05$ )、T&A2 における成績は T&A1 における成績に比べて有意に高かった ( $p < .05$ )。

前半、後半のグループともに、1 日目から 3 日目にわたってパフォーマンスが向上しており、2 つの照明条件間での知的生産性の比較は困難である。この原因は作業への習熟によるものと考えられる。近藤ら<sup>[11]</sup>は習熟曲線により、パフォーマンスの正規化を行ったが、これには、数十セットを超えるデータがなければ、適切な補正式を求めることが困難である。このことから、本実験で得られたパフォーマンスの習熟効果をこの方法で補正することは難しい。

### 暗算加算タスク

照明条件を変化させたときの暗算加算タスクのパフォーマンスを図 4.10 に示す。それぞれ各条件間でパフォーマンスに差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。

暗算加算タスクについては、1 日目を標準 1、2 日目を T&A、3 日目を標準 2 とすると、T&A における成績は標準 1 における成績に比べて有意に高く ( $p < .01$ )、標準 2 における成績は標準 1 における成績に比べて有意に高かった ( $p < .01$ )。後半グループについて、1 日目を T&A1、2 日目を標準、3 日目を T&A2 とすると、T&A2 における成績は T&A1 及び標準における成績に比べて有意に高かった ( $p < .05$ )。

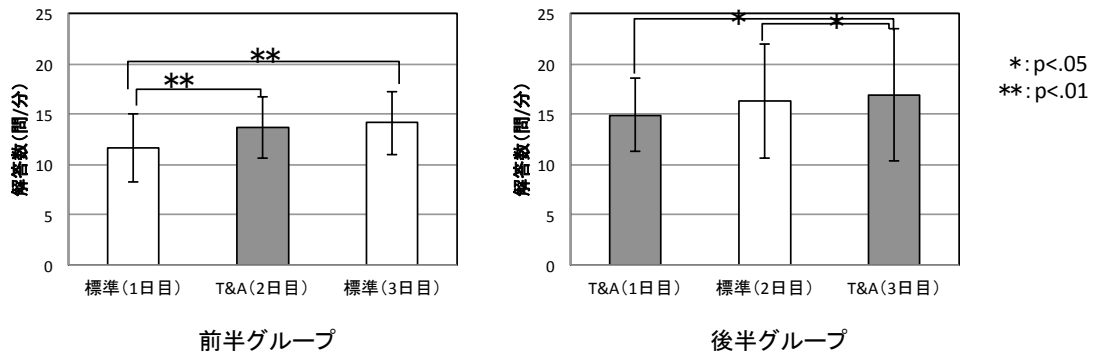


図 4.10: 暗算加算パフォーマンス (条件間比較)

暗算加算タスクにおいても、単語分類タスクの結果と同様に習熟の影響がみられるため、これにより2つの照明条件間のパフォーマンスを比較することは難しい。

### 4.3.2 集中

単語分類タスク及び暗算加算タスクを実施し得られたデータに対して、3.2で述べたEMアルゴリズムにより対数正規分布へのフィッティングを行い、2つの対数正規分布のパラメータを導出した。その一例を表4.9に示す。なお、 $\mu_1, \mu_2$ が平均解答時間に、 $\sigma_1, \sigma_2$ が解答時間の標準偏差に、 $p, 1-p$ が分布の高さにそれぞれ対応する。なお、実験データをEMアルゴリズムでフィッティングする際、局所解へ落ちてしまいフィッティングがうまくいかなかったデータに関しては無効データとし、解析対象から除外した。無効データは全データに対して2割程度存在した。この原因としては、単語分類の票をめくる際の時間の揺れや、キーの押し間違いなど3状態モデルでは想定していない外乱が解答時間に影響を与えたからだと考えられる。フィッティングの一例を図4.11に示す。また、解析対象から除外した例を図4.12に示す。実験で得られた単語分類タスクの集中時間比率の一覧を表4.10に、暗算加算タスクの集中時間比率の一覧を表4.11示す。なお、N/Aは上記で述べた無効データである。

表 4.9: 得られたパラメータの例 (被験者 E02)

パラメータ	1日目 SET1	1日目 SET2	2日目 SET1	2日目 SET2	3日目 SET1	3日目 SET2
$\mu_1$	1.82	1.77	1.55	1.53	1.56	1.57
$\sigma_1$	0.179	0.192	0.169	0.135	0.148	0.152
$\mu_2$	2.32	2.02	1.84	1.81	1.88	1.89
$\sigma_2$	0.260	0.271	0.343	0.230	0.286	0.256
$p$	0.703	0.701	0.647	0.510	0.760	0.667

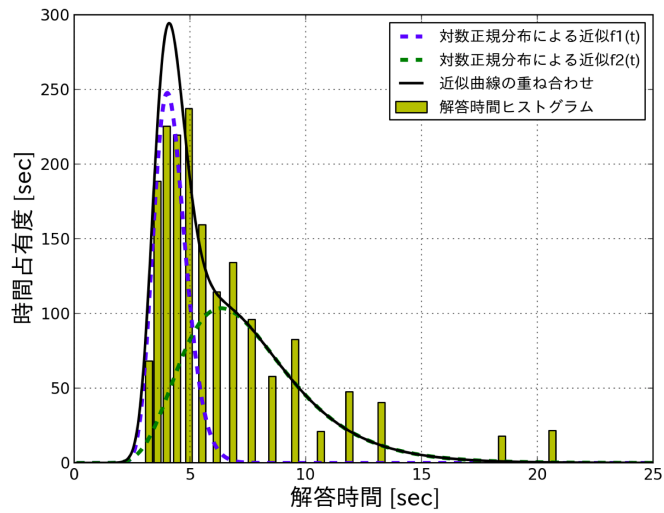


図 4.11: EM アルゴリズムによるフィッティングが成功した例

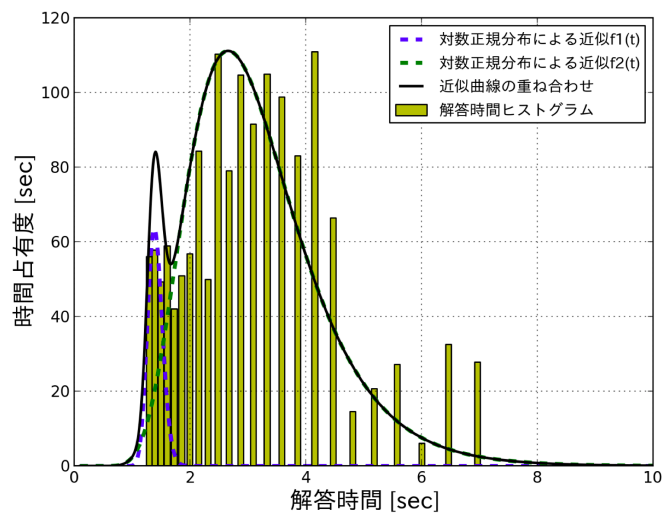


図 4.12: EM アルゴリズムによるフィッティングが失敗した例

表 4.10: 単語分類タスクの集中時間比率 (%) 一覧

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
1 日目 SET1	N/A	83.4	N/A	95.5	70.0	N/A	N/A	82.7	80.2	64.5	N/A	84.5	82.4	74.1	91.5	78.5	80.6	N/A	66.0
1 日目 SET2	N/A	91.5	N/A	N/A	N/A	N/A	90.0	70.5	N/A	86.1	90.1	N/A	80.8	91.3	N/A	70.1	N/A	N/A	53.9
2 日目 SET1	N/A	87.7	68.8	94.4	74.9	83.1	76.6	91.1	76.3	78.5	N/A	80.2	74.6	85.3	82.2	77.9	76.2	N/A	39.6
2 日目 SET2	N/A	85.7	N/A	91.2	58.4	78.3	80.1	83.2	71.6	83.8	N/A	77.7	75.0	84.8	75.6	77.9	N/A	70.1	36.4
3 日目 SET1	74.8	90.9	64.7	90.8	73.0	80.3	84.0	79.5	N/A	72.4	86.9	81.2	N/A	91.7	77.1	80.5	77.0	N/A	N/A
3 日目 SET2	69.4	88.0	65.3	82.8	77.2	88.2	75.8	81.7	64.7	69.9	N/A	80.0	N/A	85.8	84.5	83.6	N/A	N/A	30.5

表 4.11: 暗算加算タスクの集中時間比率 (%) 一覧

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
1 日目 SET1	N/A	87.4	80.8	80.9	70.7	N/A	72.9	89.8	90.8	79.4	96.8	N/A	90.0	81.4	N/A	90.5	N/A	N/A	59.2
1 日目 SET2	70.5	83.4	80.1	N/A	N/A	91.9	56.9	N/A	91.9	76.6	93.0	78.4	N/A	N/A	N/A	93.8	85.7	N/A	62.8
2 日目 SET1	N/A	82.1	90.3	80.1	64.8	94.0	70.6	85.2	88.1	72.0	88.1	76.5	92.2	86.8	85.8	91.0	88.0	N/A	36.8
2 日目 SET2	81.6	82.8	93.4	83.8	68.9	89.9	65.5	90.6	85.8	63.2	96.6	70.1	89.8	83.2	84.4	85.7	86.0	N/A	35.6
3 日目 SET1	85.6	88.7	96.0	78.7	65.1	96.1	N/A	N/A	77.7	67.2	N/A	81.0	N/A	88.4	84.8	89.2	87.1	35.5	31.7
3 日目 SET2	75.6	88.9	92.7	75.5	72.6	87.4	79.9	N/A	90.4	53.8	92.6	69.0	N/A	N/A	86.1	87.8	89.3	32.7	31.6



## 単語分類タスク

照明条件を変化させたときの単語分類タスクの集中時間比率を図 4.13 に示す。それぞれ各条件間で集中時間比率に差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。

その結果、前半及び後半、両グループとも条件間で、集中時間比率に有意差は認められなかった。

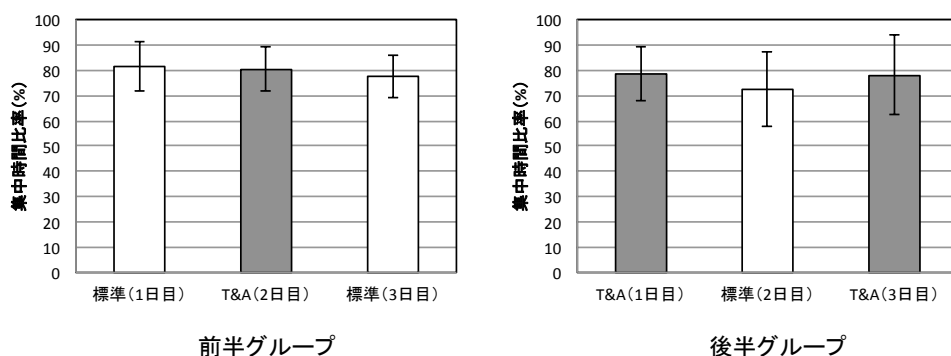


図 4.13: 単語分類タスクの集中時間比率 (条件間比較)

## 暗算加算タスク

照明条件を変化させたときの暗算加算タスクの集中時間比率を図 4.14 に示す。それぞれ各条件間で集中時間比率に差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。

その結果、前半及び後半、両グループとも条件間で、集中時間比率に有意差は認められなかった。

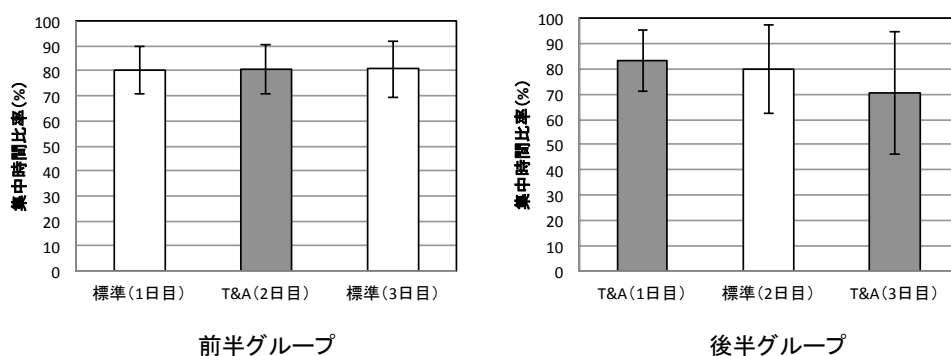


図 4.14: 暗算加算タスクの集中時間比率 (条件間比較)

全グループにおいて、標準条件と T&A 条件 の二つの条件間で集中時間に差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。単語分類タスクの結果を図 4.15 に、暗算加算

の結果を図 4.16 に示す。

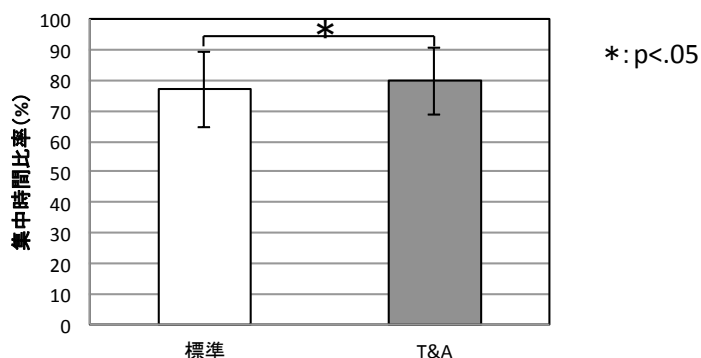


図 4.15: 単語分類タスクの集中時間比率条件間比較

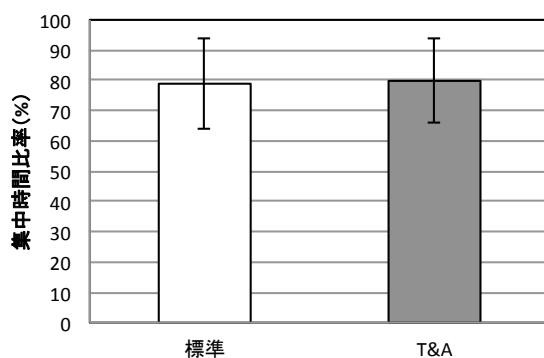


図 4.16: 暗算加算タスクの集中時間比率条件間比較

単語分類タスクにおいて、T&A 条件の集中時間比率が標準条件に比べて 2.7 ポイント有意に高かった ( $p < .05$ )。つまり、単語分類タスクでは、T&A 条件による集中時間比率の向上を確認することができた。一方、暗算加算タスクでは条件間で有意差はなかった。

### 4.3.3 生理的脳疲労

各セット終了時のフリッカー値測定の結果を全被験者平均の結果を図 4.17 に示す。昼、SET1、SET2、SET3 のデータをそれぞれ対のある t 検定で比較した。一日の最後の施行である SET3 と、その他のセットを比べると、SET3 で有意に値が低くなっていた。つまり、SET3 終了後に大脳の疲労が確認された。これは、タスクを続けることで、大脳系の疲

疲労が蓄積したためと考えられる。しかし、フリッカー値の変動は小さいため、大脳系の疲労はパフォーマンスや集中に差を与えない程度であったと考えられる。

標準、T&Aの2つの環境間で、実験時の脳疲労がどのように変化するかを確認した。各条件間でのフリッカー値測定の比較を図4.18に示す。1日目、2日目、3日目のデータをそれぞれ対のあるt検定で比較した。前半グループではいずれの条件でもフリッカー値に有意差は見られなかった。つまり、前半グループにおいては、環境間で脳疲労に差は確認できなかった。一方、後半グループについては、1日目のT&A条件と比較して2日目の標準条件で有意に値が高くなっていた。また、1日目のT&A条件と比較して3日目のT&A条件で有意に値が高くなっていた。

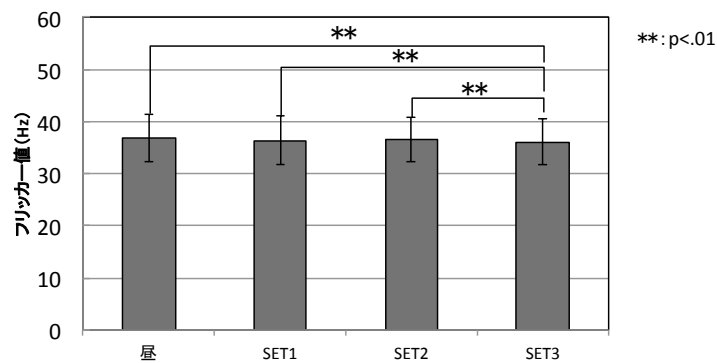


図 4.17: フリッカー値 (全被験者平均)

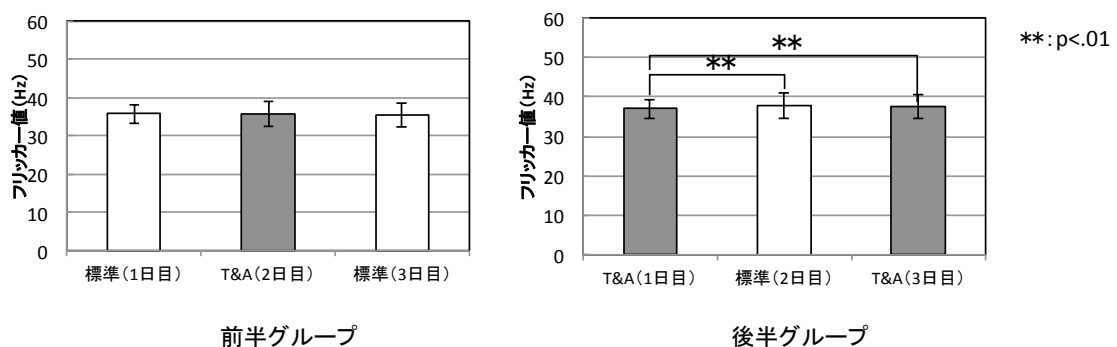


図 4.18: フリッカー値 (条件間比較)

#### 4.3.4 主観的疲労

各セット前後での自覚症しらべのスコアを図 4.19、図 4.20 に示す。SET1 の前、後、SET2 の前、後のデータをそれぞれ対のある t 検定で比較した。ねむけ感では、SET1 の後及び SET2 の前、SET2 の後のデータが SET1 前のデータに比べて有意に高くなっていた。これはタスクが面白みのない、やや単調なものであることから、眠気が誘発されたためだと考えられる。ぼやけ感では、SET1 の後及び SET2 の前、SET2 の後のデータが SET1 前のデータに比べて有意に高くなっていた。加えて、SET1 の後と比べて SET2 の前が、SET2 の前とくらべて SET2 の後でスコアが高くなる傾向が見られた。つまり、一日の中でぼやけ感が増している。これは、タブレット PC やディスプレイを注視して作業を行うため、目に疲れがたまっただけと考えられる。しかし、いずれもスコアの変動は小さいため、ねむけ感とぼやけ感はパフォーマンスや集中に差を与えない程度であったと考えられる。

標準、T&A の 2 つの環境間で、実験時の疲労や覚醒度がどう変化するかを確認した。各条件間での自覚症しらべのスコアの比較を、ねむけ感について図 4.21 に、ぼやけ感について図 4.22 に示す。1 日目、2 日目、3 日目のデータをそれぞれ対のある t 検定で比較した。その結果、ねむけ感について、前半グループでは 1 日目の標準条件と比較して、2 日目の T&A 条件、3 日目の標準条件で有意に値が低くなっており、2 日目の T&A 条件 に対して 3 日目の標準条件で値が有意に高くなっていた。後半グループについては、1 日目の T&A 条件 と比較して 3 日目の T&A 条件 で有意に値が低くなっていた。また、ぼやけ感について、前半グループではいずれの条件でも値に有意差はみられなかった。後半グループでは、1 日目の T&A 条件 と比較して、2 日目の標準条件、3 日目の T&A 条件で有意に値が低くなっていた。後半グループで 1 日目と比較して 2 日目、3 日目でぼやけ感の減少がみられたことから、図 4.18 に示したフリッカー値計測の後半グループの結果において、2 日目、3 日目の値が高くなっていたのは眼疲労の回復によるものと考えられる。

#### 4.3.5 照明の主観評価

標準条件、T&A 条件 の 2 つの環境間で、実験時の照明に対する印象がどのように変化するかを確認した。各条件間での照明の主観評価の比較の結果について「明るい」を図 4.23 に、「快適な」を図 4.24 に、「好き」を図 4.25 に、「目がさえる」を図 4.26 に、「集中しやすい」を図 4.27 に、「仕事がかどる」を図 4.28 に、「目が疲れる」を図 4.29

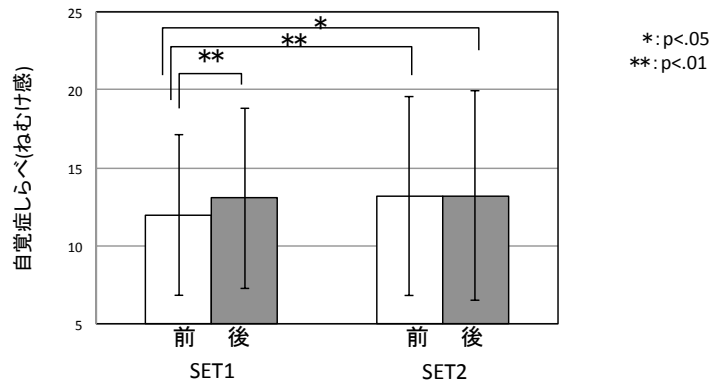


図 4.19: 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコア (全被験者平均)

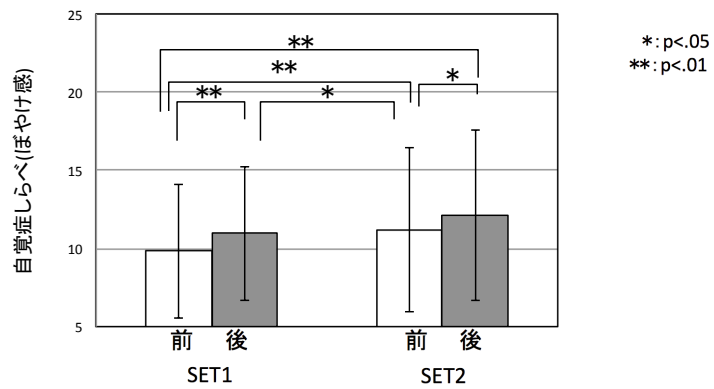


図 4.20: 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア (全被験者平均)

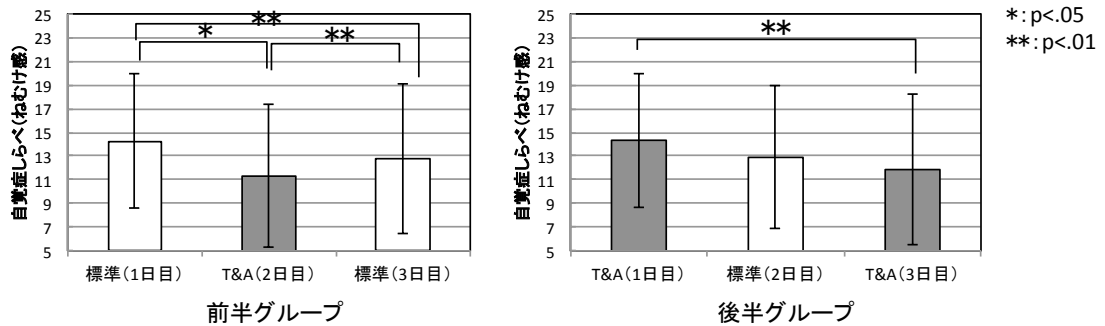


図 4.21: 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコア (条件間比較)

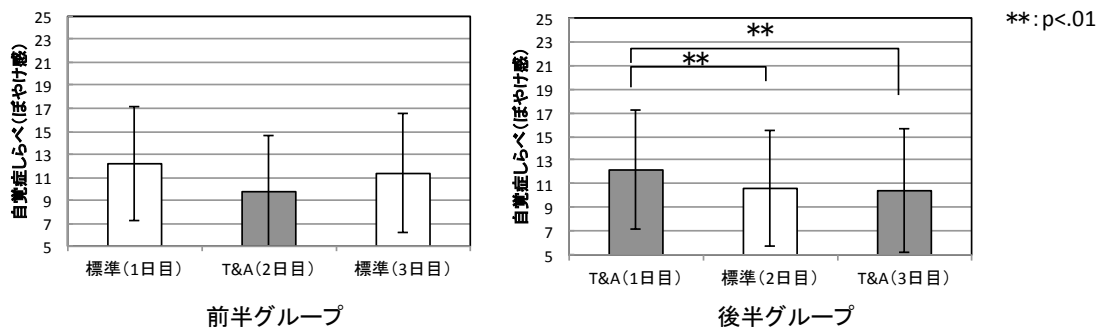


図 4.22: 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア (条件間比較)

に示す。1日目、2日目、3日目のデータをそれぞれ対のある t 検定で比較した。

後半のグループでは、「快適な」、「好き」、「目がさえる」、「集中しやすい」、「仕事  
がはかどる」のスコアが1日目のT&A条件と比較して3日目のT&A条件で有意に  
向上している。つまり、T&A条件では、その環境に慣れるにつれてポジティブな印象  
を持つようになった。

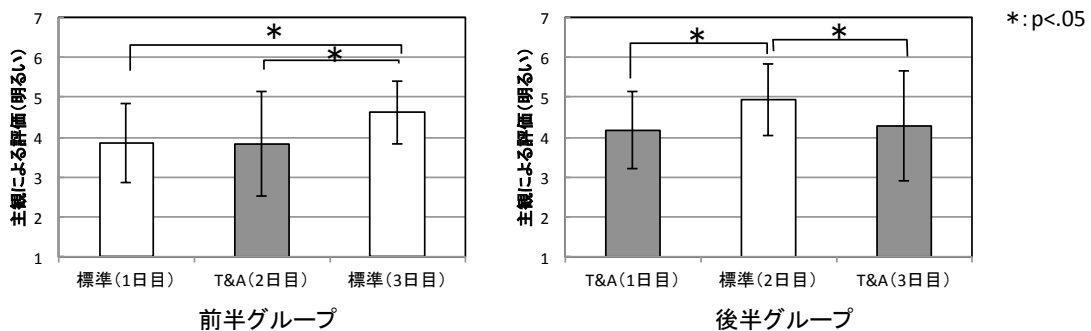


図 4.23: 照明の主観評価 (明るい) (条件間比較)

#### 4.3.6 個人特性

KG 式日常生活質問紙を用いたタイプ判別の結果を図 4.12 に示す。被験者のうち 10  
人が Type A であり、9 人が Type B であった。

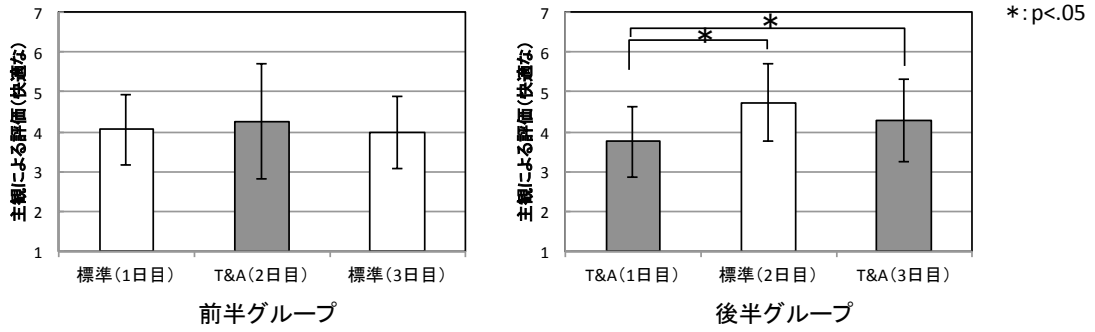


図 4.24: 照明の主観評価 (快適な) (条件間比較)

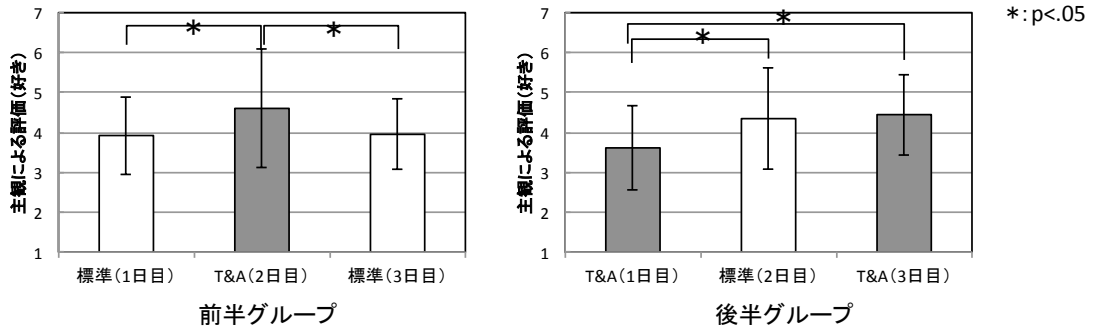


図 4.25: 照明の主観評価 (好き) (条件間比較)

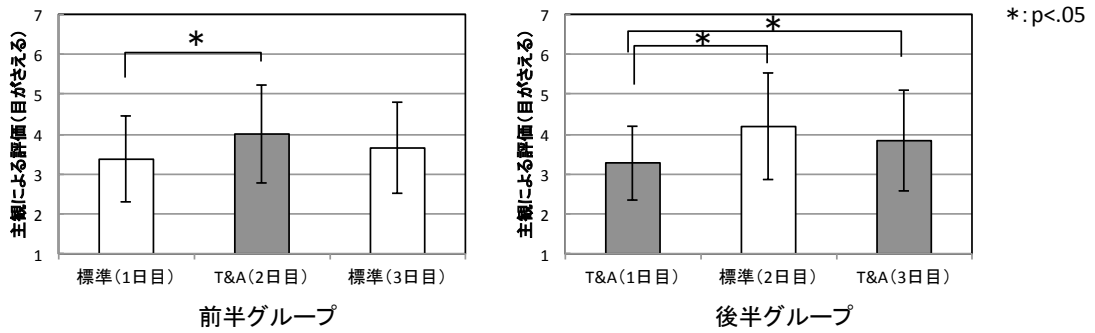


図 4.26: 照明の主観評価 (目がさえる) (条件間比較)

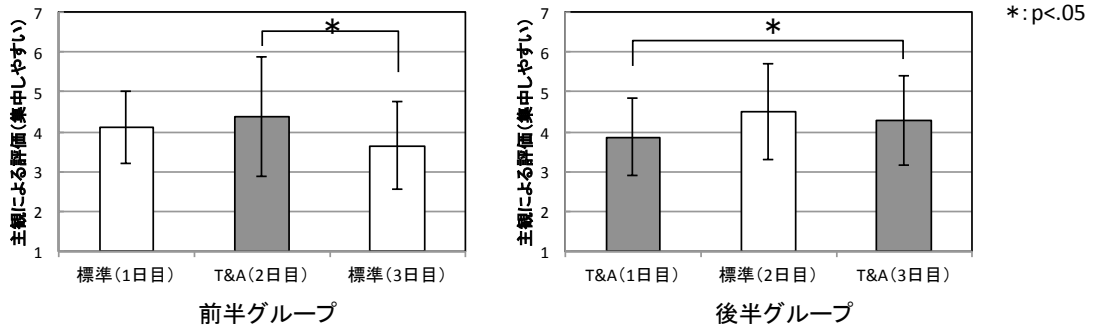


図 4.27: 照明の主観評価 (集中しやすい) (条件間比較)

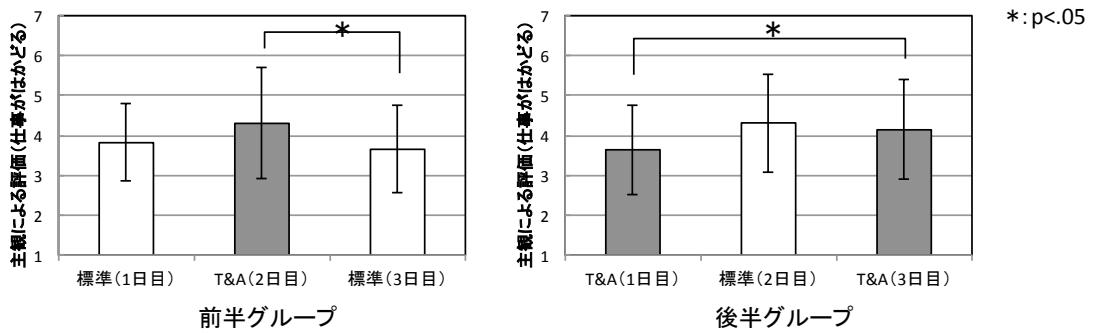


図 4.28: 照明の主観評価 (仕事がかどる) (条件間比較)

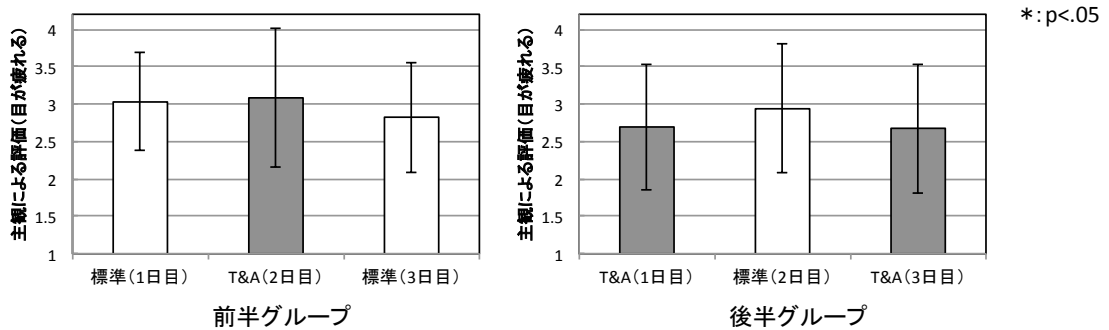


図 4.29: 照明の主観評価 (目が疲れる) (条件間比較)



表 4.12: KG 式日常生活質問紙によるタイプ判別結果

被験者番号	Type
E1	B
E2	A
E3	A
E4	B
E5	B
E6	A
E7	B
E8	A
E9	B
E10	A
E11	A
E12	B
E13	A
E14	A
E15	B
E16	A
E17	B
E18	A
E19	B

### 4.3.7 主観的感性評価

MMS について倦怠の結果を図 4.30 に、活動的快の結果を図 4.31 に、非活動的快の結果を図 4.32 に、集中の結果を図 4.33 に示す。

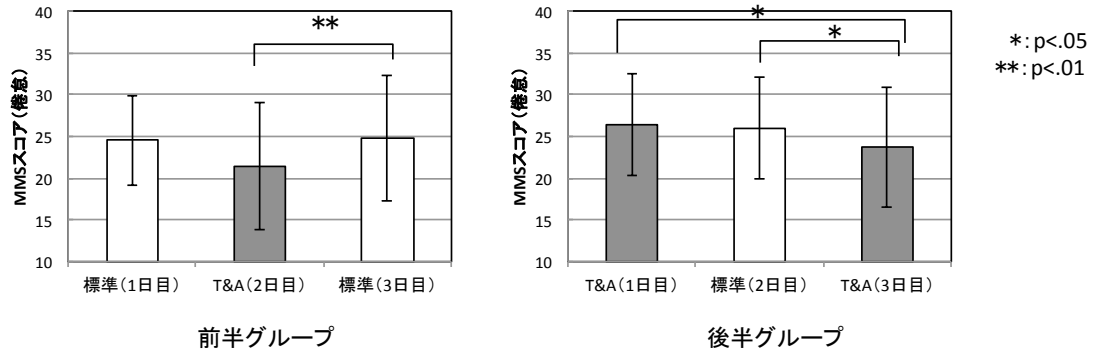


図 4.30: MMS (倦怠) のスコア (条件間比較)

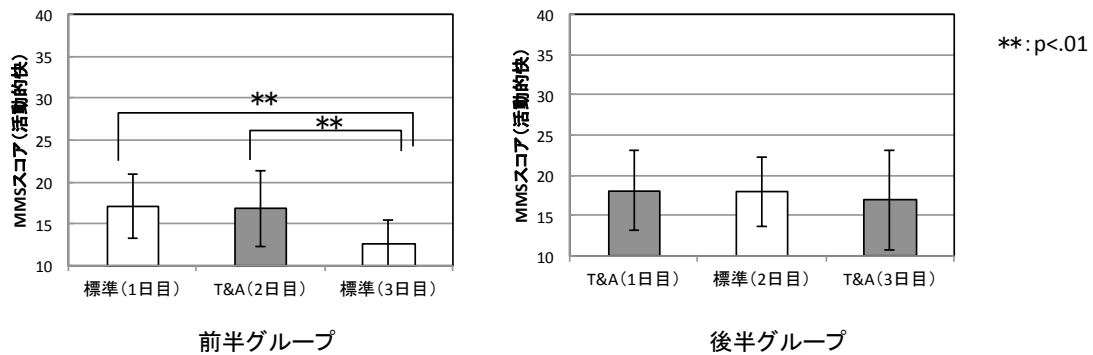
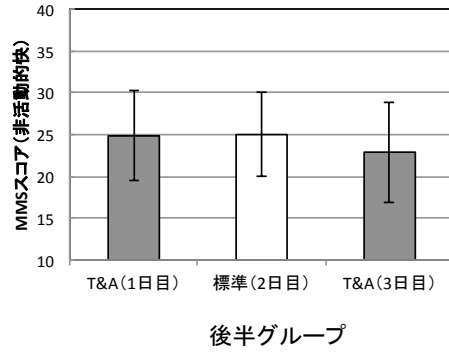
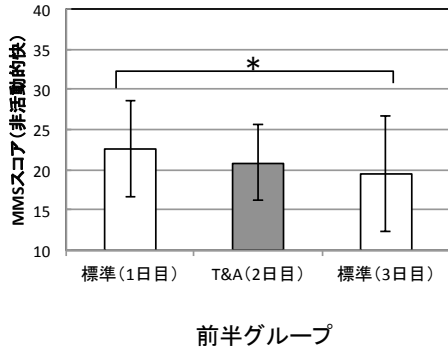


図 4.31: MMS (活動的快) のスコア (条件間比較)

## 4.4 考察

### 各照明条件における知的生産性の比較

4.3.1 で述べたとおり、パフォーマンスによる評価では、両タスクで各環境における知的生産性を比較することはできなかった。しかし、4.3.2 で述べたとおり、集中時間比率を用いた評価では、単語分類タスクにおいて T&A 環境が従来のアンビエント環境と比べて、有意に値が高い。表 4.13 に各環境での集中時間比率を示す。表に示したとおり T&A 環境では、アンビエント環境と比較して 2.7 ポイント向上している。3.1.1 で



\*: p<.05

図 4.32: MMS (非活動的快) のスコア (条件間比較)

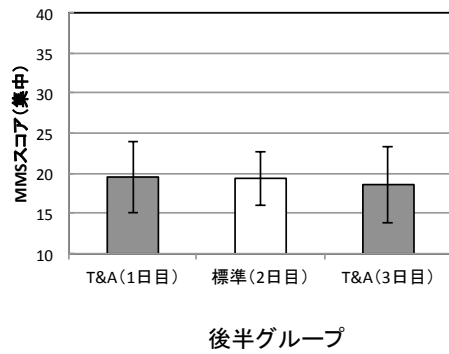
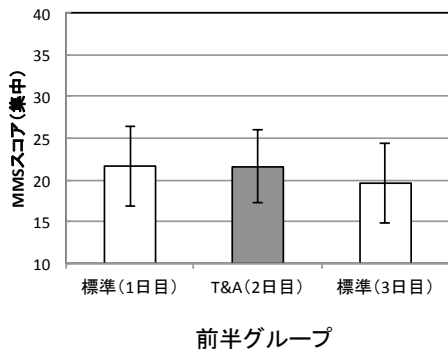


図 4.33: MMS (集中) のスコア (条件間比較)

述べたとおり、集中は知的作業のすべての段階で関連する要素であるため、T&A 環境はアンビエント環境と比較して知的生産性が約 3.5% 高い環境であることが示された。

表 4.13: 集中時間比率による知的生産性の比較

	アンビエント環境	T&A 環境	差
集中時間比率 (%) (全被験者平均)	77.1	79.8	2.7*

(\*:  $p < .05$ )

## 習熟の影響

4.3.1 で述べたとおり、パフォーマンスについては、単語分類タスク、暗算加算タスクともに習熟の影響が確認された。

全グループで、1 日目と 3 日目は同じ照明条件となっている。そこで、集中の時間比率における習熟の影響を検討するために、この二つの条件間で集中時間に差があるかどうかを対のある t 検定で比較した。その結果、同じ照明条件下では、集中時間比率に有意差はみられなかった。単語分類の結果を図 4.34 に、暗算加算の結果を図 4.35 に示す。

以上のことから、パフォーマンスは習熟の影響を受けるが、集中時間比率は習熟の影響を受けない知的生産性評価指標であるといえる。3.3 で述べたとおり、従来のパフォーマンスよる評価では、習熟の影響を補正するために同じタスクを複数回実施する必要があった。しかし、本指標では、比較したいオフィス環境ごとに一回計測を行うだけでよく、計測に要する時間を大幅に短縮できる。

## KG 式によるタイプ別の集中時間比率の検討

表 4.12 に示した 2 つのタイプで被験者を Type A 群及び Type B 群の 2 グループに分類し、それぞれのグループでの各条件間の集中時間比率を対のある t 検定で比較した。単語分類タスクの結果について図 4.36 に、暗算加算タスクの結果について図 4.37 に示す。結果より、TypeA に属する被験者では、標準環境と比較して T&A 条件で有意に集中時間比率が向上していた。よって TypeA 群では環境の変化による影響を受けやすいといえる。その理由としては、4.2.6 で述べたとおり、Type A の人は肉体的精神的に過敏である傾向を持っているためだと考えられる。

また、TypeA 群、TypeB 群間で集中時間比率に差があるかについて、不等分散の対応のない t 検定により群間比較を行った。各環境での群間比較の結果を単語分類タスクについて図 4.38 に、暗算加算タスクについて図 4.39 に示す。結果より、暗算加算タスクの標準、T&A 集中での集中時間比率において、Type B 群と比較して、Type A 群

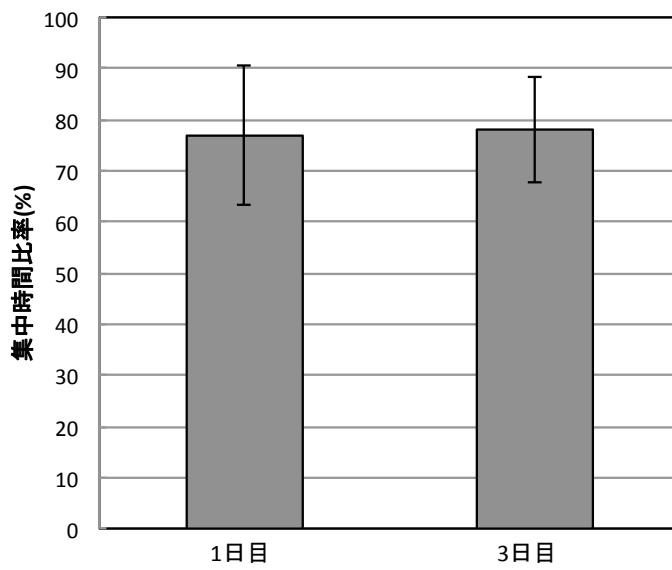


図 4.34: 単語分類タスクの集中時間比率 (同じ条件で比較)

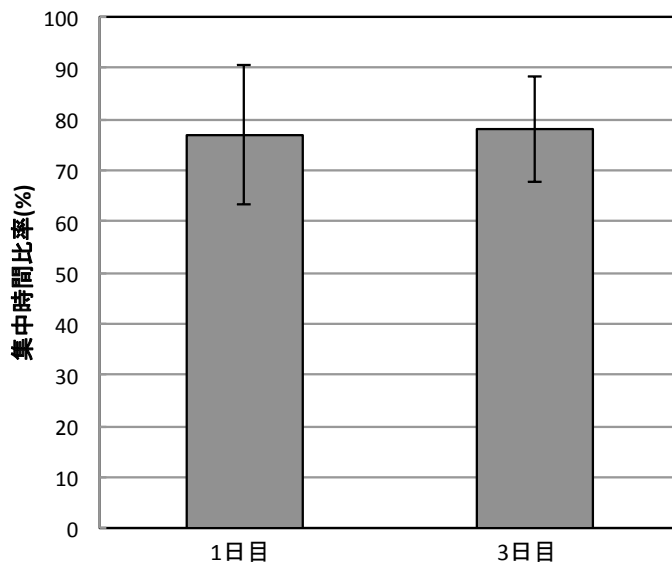


図 4.35: 暗算加算タスクの集中時間比率 (同じ条件で比較)

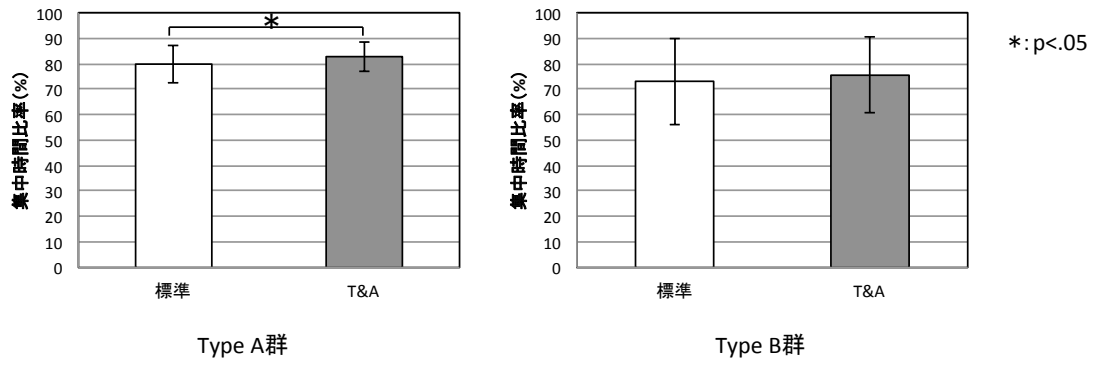


図 4.36: 単語分類タスクの集中時間比率 (条件間比較)

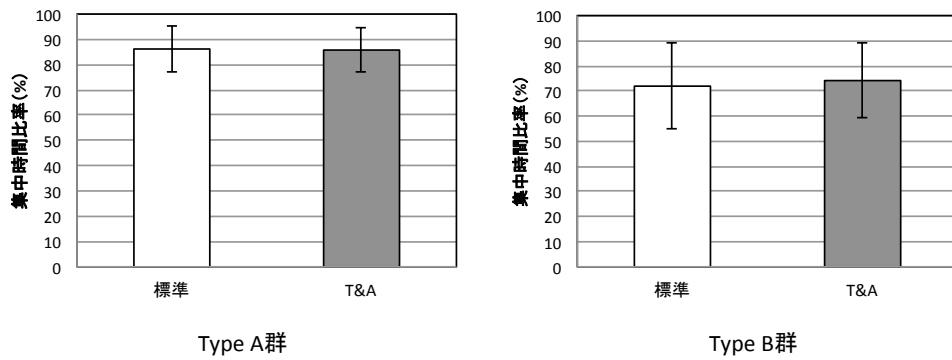


図 4.37: 暗算加算タスクの集中時間比率 (条件間比較)

で、有意に集中時間比率が向上していた。これは、Type A 群の人には競争心や作業意欲が高い傾向があるためだと考えられる。

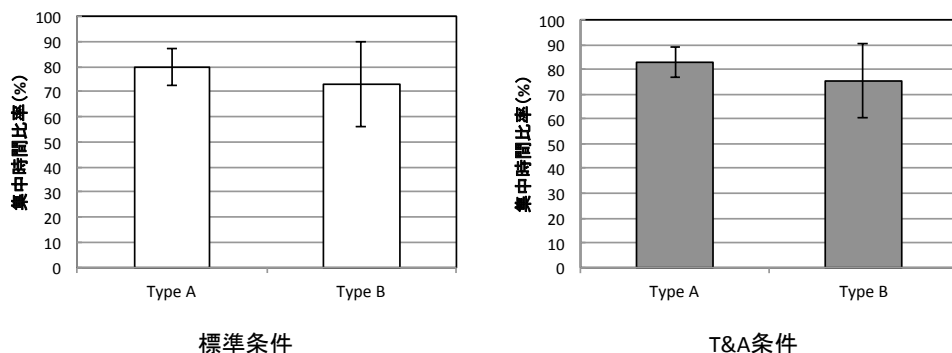


図 4.38: 単語分類タスク集中時間比率 (群間比較)

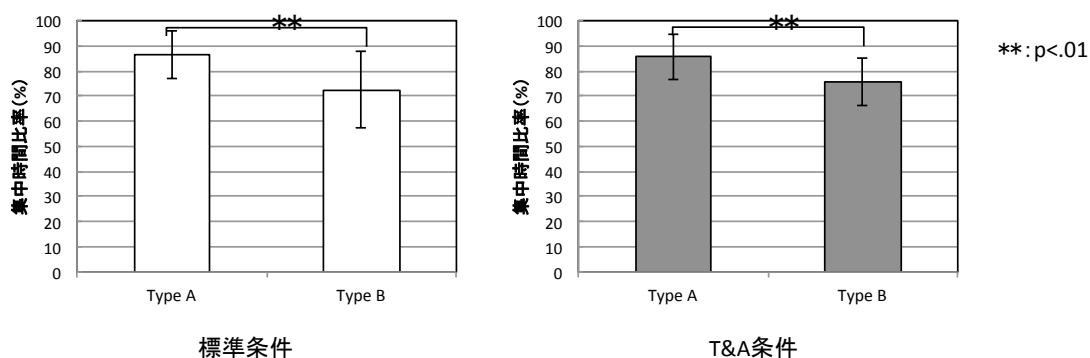


図 4.39: 暗算加算タスク集中時間比率 (群間比較)

### 暗算加算の検討

4.3.2において、単語分類タスクでは条件間の差が認められたにもかかわらず、暗算加算タスクで条件間の差が認められなかった原因を調べるため、各被験者のデータをグループに分けて解析を試みた。動作の観点から暗算加算と単語分類を比較すると、暗算加算の方では、身体動作が単語分類と比べて少ない。よって、動作が少ないことに起因した眠気が差が認められなかった原因である仮定し、タスク実施中に、15秒以上の休憩が多く見られる群 (グループ S1) と、見られない群 (グループ S2) とにグループ分けをした。グループ S1 の解答時間のヒストグラム例を図 4.40 に、グループ S2 の解答時間のヒストグラム例を図 4.41 に示す。

各条件間でそれぞれのグループの集中時間比率の平均に差があるかを対のある t 検

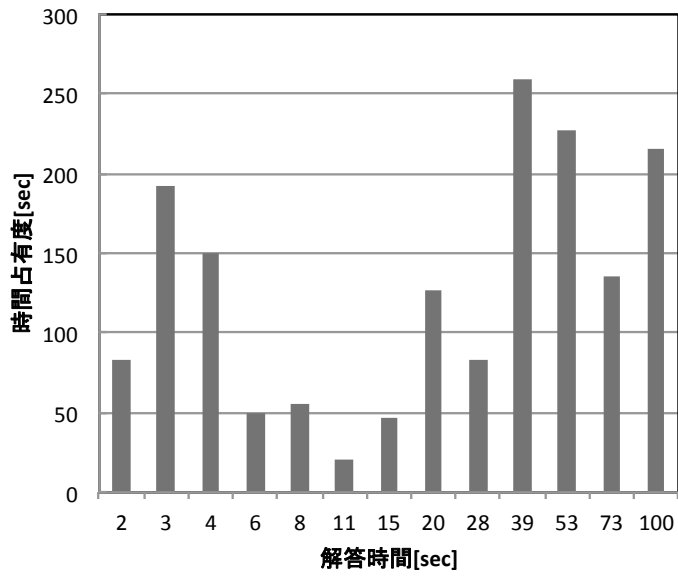


図 4.40: 暗算加算 (グループ S1) のヒストグラム例

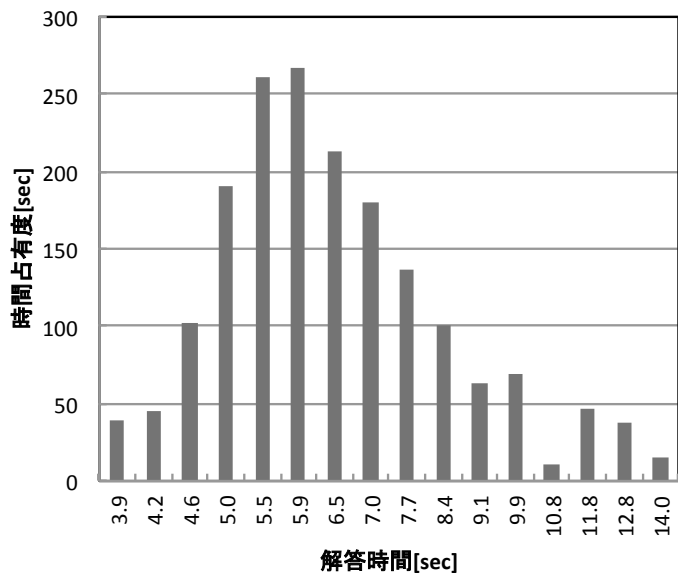


図 4.41: 暗算加算 (グループ S2) ヒストグラムの例



定で比較した。グループ S1 の結果を図 4.42 に、グループ S2 の結果を図 4.43 に示す。

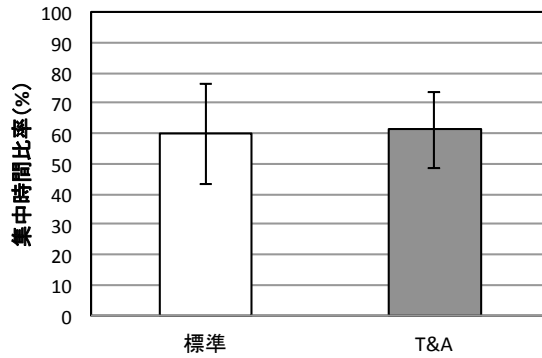


図 4.42: 暗算加算の集中時間比率条件間比較 (グループ S1)

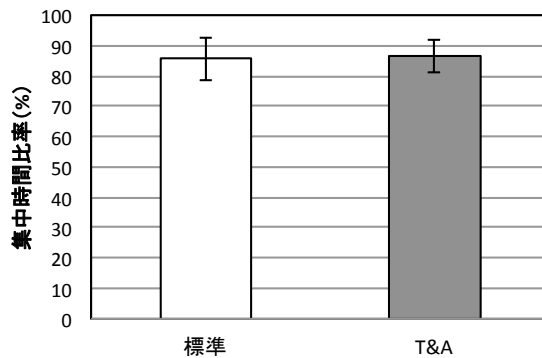


図 4.43: 暗算加算の集中時間比率条件間比較 (グループ S2)

その結果、グループ S1、グループ S2 とともに、条件間で集中時間比率に有意差はなかった。つまり、眠気が原因であるという仮定の成立は確認できなかった。暗算加算タスクにおいて差がでない理由は未解明であり、今後の課題である。

## 第 5 章 結論

これまで企業では冷暖房の調整や照明削減などで省エネを行い、コストを削減することを重視してきた。しかし、こういった取り組みがオフィスワーカーのち敵作業の効率、つまり知的生産性を下げ、結果として勤務時間が増加することでコスト増大となるおそれがある。このため、オフィスにおいては、オフィス環境が知的生産性に与える影響を考慮した環境改善が望まれている。しかし、現在確立した知的生産性の評価手法は存在しない。従来の知的生産性評価手法には、評価が個々の主観に依存するため定量評価ができないという問題や、仮想タスクのパフォーマンスにのみ着目しているため習熟の影響を受け、短期間の仮想タスク実施では正しくオフィスワーカーの知的生産性を反映できていないという問題がある。そこで、本研究では、これらの問題を解決するため知的作業への集中に着目した新しい評価指標を開発した。また、開発した集中指標を用いて、照明環境が生産性に与える影響を比較する実験を実施し、集中指標が習熟の影響を受けないことを確認した。従来のパフォーマンスによる評価では、習熟の影響を補正するために同じタスクを複数回実施する必要があった。しかし、本指標では比較したい環境ごとに一度計測を行うだけでよく、大幅に計測時間を短縮できる。また、提案する集中指標が、実際の環境変化に伴う集中の変動を抽出可能であることを示した。つまり、本指標を用いることで、新しい照明の導入等による知的生産性への影響を定量化し、比較することが可能になる。

第 2 章では、研究の背景として、現在までになされてきた知的生産性に関する研究についてまとめ、その評価手法について検討した。

第 3 章では、まず、提案する集中指標の概念を示し、続いて、その評価手法を述べた。また、集中指標を用いた計測ツールの開発について述べた。

第 4 章では、第 3 章で開発した集中指標を用いて、照明条件が集中に与える影響を調べるための被験者実験について述べた。その結果、本評価指標が、習熟の影響を受けず、また環境条件間の集中の変動を計測するのに十分であることを示した。

一方、認知タスクの種類によっては、環境間の集中の違いがみられないという課題があり、その原因究明が必要である。また、本研究で用いた集中時間比率は集中時間の総量の観点から集中を捉え指標としているが、この他にも、ヒストグラムの形状や得られたパラメータから集中の深さを捉えるなど、さらに研究を深めていく必要がある。

今後、集中指標を用いてオフィス環境を客観定量的に評価できるようになれば、より投資効率のよい、最適なオフィス設計を提案することができるようになると期待できる。そのため、本指標を用いた実証実験を実際のオフィスで行うなど、実用に向けて研究を発展させていくことが必要である。一方、人間は企業での生産性だけが全てではなく、働きがいや健康などの事項も重要である。よって、知的生産性を考える際、仕事のやりがいや達成感などの要素について考え、注意を払う必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって、研究の基本から論文執筆に至るまでご指導いただき、また、研究会やミーティング等で貴重な意見を下さった下田宏 教授に深く感謝いたします。

研究に関する指導のほか、実験環境の構築に至るまで研究活動全般に渡ってご指導頂いた石井裕剛 助教に心から感謝いたします。

本研究を進めるにあたって、実験の実施から解析に至るまで様々な局面でご指導・ご助力を頂いたパナソニック株式会社の大林史明様、岩川幹生様、斎藤孝様に心より感謝いたします。

実験の遂行や論文作成にいたるまでサポートして下さった博士課程の宮城和音さん、また修士1回生の内山皓介君、國政秀太郎君、池野裕俊君に心から感謝いたします。

気分転換に雑談をしたり、研究への助言をしていただいたりと研究を進める上で常に支えて頂いた研究室の皆様に深く感謝いたします。

さらに、研究室生活を送るにあたり、日頃からお世話をしていただいた普照郁美さんに心より感謝致します。

最後に、様々な御支援いただいたすべての方々に、心より深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 羽田, 西原, 中村, 内田, 田辺: 夏季室温緩和設定オフィスにおける温熱環境実測および執務者アンケート調査による知的生産性に関する評価, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.637, pp.389-396(2009).
- [2] 橋本, 寺野, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 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・衛生工学学会学術講演論文集(2004).
- [3] David R. Throne, Sander G. Genser, Helen C. Sing and Frederick W. Hegge: The Walter Reed Performance Assessment Battery, Neurobehavioral Toxicology and Teratology, Vol.7, pp.415-418(1985).
- [4] 中島: 日本経済の生産性分析, 日本経済新聞社(2006).
- [5] N.P.Sensharma and J.E.Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and Productivity, Healthy Building 2000, Workshop 9(2000).
- [6] 橋本, 寺野, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 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1~4報, 平成15年度空気調和・衛生工学学会学術講演論文集(2003).
- [7] W.J. Fisk, P.N. Price, D.Faulkner, D.P. Sullivan, D.L. Dibartolomeo, C.C. Federspiel, G. Liu, and M. Lahiff: Worker Performance and Ventilation, Part1, 2, Proceedings of Indoor Air 2002, pp.784-795(2002).
- [8] W.M. Kroner, and J.A. Stark-Martin: Environmentally Responsive Workstation and Office-Worker Productivity, ASHARE Transaction, Vol.100, pp.750-755(1994).
- [9] P.Wargocki, D.P.Wyon and P.O.Fanger: Productivity is Affected by the AirQuality in Offices, Healthy Building 2000, pp.635-640(2000).

- [10] 河内: 心理生理指標を用いたワークスペースプロダクティビティの統合的評価に関する基礎研究, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2004).
- [11] 近藤: オフィス環境評価のための新知的パフォーマンステストの開発と評価, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2007).
- [12] 榎本: オフィス環境評価のためのパフォーマンステストの実用化に向けた改良と評価, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2008).
- [13] 西原, 田辺: 自己調節可能な気流環境が知的生産性に与える影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会後援論文集, pp.173-176(2002-9).
- [14] 村上: 建築空間と知的活動の階層モデル, 2012.3.15 知的生産性研究委員会, 資料 No.5(2012).
- [15] S.K. Card, T.P. Moran and A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Erlbaum Associates(1983).
- [16] 宮城, 河野, 石井, 下田: 短時間の作業中断に着目した知的生産性変動の分析, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, pp.963-970(2011).
- [17] 金: オフィス照明が知的生産性に与える影響の数理モデル化に関する研究, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2010).
- [18] 河野: 意識的な休息に着目した知的生産性変動モデルの提案と評価, 京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2011).
- [19] Geoffrey J. McLachlan, Thriyambakam Krishnan, The EM Algorithm and Extensions, WILEY-INTERSCIENCE(2007).
- [20] Jeff A. Bilmes, A gentle Tutorial of the EM Algorithm and its Application to Parameter Estimation for Gaussian Mixture and Hidden Markov Models, , International Computer Science Institute(1998).
- [21] Edwin A .Fleishman, Maureen E. Reilly, Handbook of Human Abilities, Consulting Psychologists Press, pp.1-37(1992).
- [22] 金井, 勝浦, 岩永, 下村: 室内照明の色温度が作業中の覚醒度に与える影響, 日本生理人類学会誌第 44 回大会要旨集, Vol.5, pp.14-15(2000).

- [23] 西村, 森本: 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, Vol.22, No.4, pp.203-210(1986).
- [24] 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).
- [25] 田中, 中田, 山崎 : 某企業従業員における Type A の分布—KG 式日常生活質問紙による Type A 判別—, タイプ A, 3, pp.33-45(1992).
- [26] Friedman M, Rosenman RH, et al: Association of specific overt behavior pattern with blood and cardiovascular findings, JAMA 169, pp.1286-1296(1959).
- [27] 寺崎, 岸本, 古賀: 多面的感情状態尺度の作成, The Japanese Journal of Psychology, Vol.62, pp.350-356(1992).

## 付録 A アンケート類資料

4章の実験で利用したアンケート類の中で、自覚症しらべを図 A.1 に、MMS を図 A.2 に、KG 式日常生活質問紙を図 A.3 に示す。

### 自覚症しらべ

SET1 前 ・ SET1 後 ・ SET2 前 ・ SET2 後

被験者番号 \_\_\_\_\_

記入日 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

**いまのあなたの状態についてお聞きします。** つぎのようなことについて、どの程度あてはまりますか。すべての項目について、1「まったくあてはまらない」～ 5「非常によくあてはまる」までの5段階のうち、あてはまる番号1つに○をつけてください。

		ま つ た く あ て は ま ら な い	わ ず か に あ て は ま る	す こ し あ て は ま る	か な り あ て は ま る	非 常 に よ く あ て は ま る
1	目がかわる	1	2	3	4	5
2	目がいたい	1	2	3	4	5
3	あくびがでる	1	2	3	4	5
4	ねむい	1	2	3	4	5
5	やる気がとぼしい	1	2	3	4	5
6	ものがぼやける	1	2	3	4	5
7	全身がだるい	1	2	3	4	5
8	横になりたい	1	2	3	4	5
9	目がかれる	1	2	3	4	5
10	目がしょぼつく	1	2	3	4	5

図 A.1: 自覚症しらべ



## MMS

被験者番号 \_\_\_\_\_

日付 \_\_\_\_月 \_\_\_\_日 SET1 後・ SET2 後

以下の項目をよく読んで、今現在のあなたの感情状態に最もよく当てはまる答えを選んでください。

- 1 : 全く感じていない
- 2 : あまり感じていない
- 3 : 少し感じている
- 4 : はっきり感じている

1	活気のある	1	2	3	4
2	のんびりした	1	2	3	4
3	慎重な	1	2	3	4
4	つまらない	1	2	3	4
5	元気いっぱい	1	2	3	4
6	ゆっくりした	1	2	3	4
7	ていねいな	1	2	3	4
8	不機嫌な	1	2	3	4
9	気力に満ちた	1	2	3	4
10	のどかな	1	2	3	4
11	丁重な	1	2	3	4
12	ばからしい	1	2	3	4
13	はつらつとした	1	2	3	4
14	おっとりした	1	2	3	4
15	思慮深い	1	2	3	4
16	疲れた	1	2	3	4
17	快調な	1	2	3	4
18	のんきな	1	2	3	4
19	懸命な	1	2	3	4
20	退屈な	1	2	3	4

21	気持ちの良い	1	2	3	4
22	やわらいだ	1	2	3	4
23	用心深い	1	2	3	4
24	だるい	1	2	3	4
25	快適な	1	2	3	4
26	平静な	1	2	3	4
27	注意深い	1	2	3	4
28	無気力な	1	2	3	4
29	機嫌の良い	1	2	3	4
30	気長な	1	2	3	4
31	真剣な	1	2	3	4
32	ぼんやりした	1	2	3	4
33	陽気な	1	2	3	4
34	ゆったりした	1	2	3	4
35	鋭敏な	1	2	3	4
36	ぼやぼやした	1	2	3	4
37	さわやかな	1	2	3	4
38	ゆるんだ	1	2	3	4
39	緊張した	1	2	3	4
40	無関心な	1	2	3	4

☒ A.2: MMS

年	月	日
視察者番号		年齢
		歳

この用紙では、あなたの日常の生活についておたずねします。

目録のあなた自身の生活と態度についてありのままお答えください。あまり考え過ぎると答えられなくなり、気軽にどんどん答えてください。

各項目で、自分がその内容にあてはまると思ったら「はい」に○を、あてはまらないと思ったら「いいえ」に○をしてください。どれでもわからない場合やどちらともいえない場合は「？」のところに○をしていただいで結構ですが、あまり容易に？を使用しないでください。

- 例) スポーツの試合をみるのが好きである  
 はい ? いいえ  
 好きであるのなら  
 はい ? いいえ  
 好きでないのなら  
 はい ?  
 どちらともいえないのなら  
 はい ?

項目内容によってははいかつかの答えが考えられると思いますが、おおよそ平均して、現在のご自身によって一般的な回答をしてください。回答は人によって違うのが普通ですから、正しい回答や間違った回答というものはありません。

ひとつの項目もめがさずに、すべての項目にお答え下さい。

1	朝はだいたいすっきり起きられる	はい	?	いいえ
2	ずんだんことをよく考えることが多い	はい	?	いいえ
3	話すとき身振りが多い	はい	?	いいえ
4	いつも向かしていないと落ち着かない	はい	?	いいえ
5	犬やネコなどの動物が好きである	はい	?	いいえ
6	友だちなどから誹り屋だと思われる	はい	?	いいえ
7	仕事をしているとき、他の人が話しかけたりするといららしてくる	はい	?	いいえ
8	スポーツをするのが好きである	はい	?	いいえ
9	過去の腹立たいい出来事を思い出すと今でも腹が立つ	はい	?	いいえ
10	平凡な人生をおくりたい	はい	?	いいえ
11	しなけれならぬことがいくつかある	はい	?	いいえ
12	静かな音楽より迫力ある音楽を好む	はい	?	いいえ
13	負けず嫌いだと思う	はい	?	いいえ
14	夏の休暇には山より海へ遊びに行きたい	はい	?	いいえ
15	食事の後は必ずくつろぐ	はい	?	いいえ
16	口論することがたまにある	はい	?	いいえ
17	自分の性格がおこないには満足できない点が多い	はい	?	いいえ
18	寝つきはよい	はい	?	いいえ
19	トイレに行く時間さえも嫌いと聞くとがたまにある	はい	?	いいえ
20	仕事は人より速い	はい	?	いいえ

21	ずいぶん寝るほうだと聞くと	はい	?	いいえ
22	グループの中心になつて働くことが多い	はい	?	いいえ
23	理髪店や美容院に行く時間をつくるのに苦労する	はい	?	いいえ
24	声の大きさは普通か、小さい方である	はい	?	いいえ
25	よく食べる方である	はい	?	いいえ
26	他の人より努力していると思う	はい	?	いいえ
27	部屋の掃除をよくする	はい	?	いいえ
28	刺激的なことが好きである	はい	?	いいえ
29	誰かと話しているとき、その人がなかなか要点に入らないとせきたてたくなる	はい	?	いいえ
30	新聞をよく読む	はい	?	いいえ
31	「もう少しどうところを5分分」というように具体的な数字を言うことがときどきある	はい	?	いいえ
32	どちらかというとおどかしい方だと聞くと	はい	?	いいえ
33	一日の中でもゆつたりと落ち着ける時間はあまりない	はい	?	いいえ
34	一人や二人の競争相手はいつもいる	はい	?	いいえ
35	心配事で悩めぬことがときどきある	はい	?	いいえ
36	食事は人より速い	はい	?	いいえ
37	夢をよく見る	はい	?	いいえ
38	いい仕事をしたとき、その仕事が正當に評価されないと腹が立つ	はい	?	いいえ
39	のんきだと思つ	はい	?	いいえ
40	気分の変動がはげしい	はい	?	いいえ
41	海外で生活したいと思つることがよくある	はい	?	いいえ
42	むきになることが多い	はい	?	いいえ
43	昼食を取れないほど忙しいことがときどきある	はい	?	いいえ
44	期限のある仕事を、一つや二つはいつもかえていく	はい	?	いいえ
45	たとえ目上の人からでも、命令口調で言われたり、強制されると腹が立つ	はい	?	いいえ
46	早口な方である	はい	?	いいえ
47	テレビはよく見る	はい	?	いいえ
48	他人の成績が気になる方である	はい	?	いいえ
49	議論するときに相手を納得させることができる	はい	?	いいえ
50	夏より冬が好きである	はい	?	いいえ
51	短気な方だと思つ	はい	?	いいえ
52	何もなしでついついしているのは苦手である	はい	?	いいえ
53	歩くのが速い方である	はい	?	いいえ
54	トイレばかりにさわたり、不慣れた扱いを受けることがよくある	はい	?	いいえ
55	夜遅くまで勉強や仕事をする方がよくある	はい	?	いいえ

図 A.3: KG 式日常生活質問紙

## 付録 B 実験結果の一覧

4章で述べた照明環境評価実験について、単語分類タスクのパフォーマンスの結果を表 B.1、単語分類タスクのパフォーマンスの結果を表 B.2 に示す。

表 B.1: 単語分類タスクのパフォーマンス (問/分) 一覧

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
1 日目 SET1	5.08	7.95	7.18	7.12	7.45	8.70	11.17	9.47	9.69	6.87	9.46	11.96	17.68	9.06	12.39	10.16	9.27	4.83	4.60
1 日目 SET2	6.20	9.18	6.89	7.79	7.31	8.08	16.66	9.52	9.65	11.26	9.24	10.87	20.47	9.24	10.16	10.71	9.00	3.75	4.83
2 日目 SET1	8.68	10.99	7.88	9.86	8.54	10.57	17.68	12.37	15.94	10.63	8.62	12.59	27.01	11.12	17.40	11.08	12.30	4.92	4.59
2 日目 SET2	8.05	11.03	8.05	9.66	7.04	10.18	19.39	10.69	14.82	11.73	6.65	10.49	26.93	11.66	15.50	11.60	9.27	5.93	3.93
3 日目 SET1	10.00	11.33	8.01	10.21	9.71	10.80	16.39	16.21	14.04	10.66	8.47	11.96	23.95	13.13	18.40	12.95	13.29	4.60	3.10
3 日目 SET2	9.59	10.82	7.79	10.04	9.44	11.28	22.08	15.81	15.42	11.15	6.91	12.03	25.78	13.15	21.87	11.79	9.28	3.85	3.04

表 B.2: 単語分類タスクのパフォーマンス (問/分) 一覧

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
1 日目 SET1	5.09	13.90	12.31	13.56	7.59	9.69	9.31	14.00	16.45	15.29	12.21	13.14	21.25	15.84	18.19	18.23	15.83	7.78	12.53
1 日目 SET2	5.24	13.69	11.72	14.05	7.25	9.64	9.61	13.96	16.46	13.73	14.76	13.28	19.57	15.03	17.32	18.52	15.23	7.24	12.76
2 日目 SET1	9.65	15.16	13.22	15.82	8.64	11.49	10.48	16.03	18.67	17.48	13.02	13.99	22.13	17.99	23.47	21.49	20.82	7.72	8.40
2 日目 SET2	9.47	14.89	14.67	15.69	8.82	12.35	12.90	15.22	18.72	14.09	13.31	12.24	23.67	18.08	22.63	20.88	18.49	7.57	7.51
3 日目 SET1	10.73	17.12	16.16	17.33	8.72	13.53	9.03	16.42	16.91	16.28	14.17	14.11	25.31	18.50	24.33	23.20	20.98	6.63	8.16
3 日目 SET2	9.54	16.34	14.77	16.44	8.40	12.33	15.38	16.35	17.78	12.76	12.77	12.20	25.20	19.04	23.47	21.75	19.85	6.10	7.96