

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： 集中の深さに着目した  
知的生産性の定量的評価

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 下中 尚忠

提出年月日： 平成29年2月10日(金)

# 論文要旨

題目：集中の深さに着目した知的生産性の定量的評価

下田宏研究室, 下中 尚忠

要旨：

近年、多くの企業は省エネルギー化を目指し、その一環としてオフィス環境の改善を試みている。しかし、過度な省エネルギー化はオフィス環境を悪化させ、執務者の知的生産性を低下させて労働時間を増大させるなどかえってエネルギー消費を助長しかねない。そのため、省エネルギーと知的生産性への配慮を両立させる必要があり、知的生産性を評価する必要があるが生じている。知的生産性を評価する指標としては、総作業時間に占める集中時間の割合  $CTR$ (Concentration Time Ratio) が提案されてきた。集中とは執務者が認知資源を作業対象に割り当てて作業を遂行することを指し、知的作業中の執務者の状態を表す3状態変動モデルに基づいて推定される。しかし、3状態変動モデルでは集中状態と非集中状態しか判別できず、 $CTR$ では集中状態の中でもどれだけ多くの認知資源を作業対象に割り当てたかを表す集中の深さを考慮できていない。

そこで本研究では、集中の深さの変化を考慮して知的作業中の執務者の状態を表す作業集中モデルを提案し、知的生産性を評価する指標として、総作業時間に占める集中時間の割合  $MCTR$ (Multi-Concentration Time Ratio) と総集中時間に占める最も深い集中時間の割合  $CDI$ (Concentration Depth Index) を開発した。そして、作業モチベーションや作業環境が知的生産性に与える影響の比較実験の結果を集中の深さの観点から分析し、異なる深さの集中状態における認知タスク1問当たりの解答時間期待値と  $MCTR$  と  $CDI$  を算出した。その結果、いずれの実験でも条件間で解答時間期待値に有意な差は見られなかったことから、作業集中モデルの妥当性を示すと同時に、人は個人ごとに離散的な認知処理速度を持っている可能性を示した。また、モチベーションの向上や温熱刺激のある執務環境が集中の深さに影響して知的生産性を向上させることを  $MCTR$  と  $CDI$  を用いて定量的に示した。さらに、 $MCTR$  と  $CDI$  では集中時間と集中の深さを別々に解釈できるようになったことで、不快要因が集中の深さに影響する可能性や主観的な疲労感が集中時間に影響する可能性を示した。

今後、様々な執務条件が知的生産性に与える影響を集中の深さの観点から評価することで、省エネルギー性の高いオフィス環境の構築に貢献できるほか、執務者の知的生産性が変化するメカニズムを解明するための手掛かりとして活用できる。

# 目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.2 知的生産性に関する既往研究	4
2.2.1 知的生産性の定義	4
2.2.2 知的生産性の評価手法	4
2.2.3 集中指標 <i>CTR</i> の算出手順	10
2.2.4 集中指標 <i>CTR</i> の課題	12
2.3 研究の目的	13
第 3 章 集中の深さに着目した作業集中モデルと知的生産性評価手法の提案	14
3.1 集中の深さに着目した作業集中モデル	14
3.1.1 集中の深さ	14
3.1.2 作業集中モデル	15
3.2 知的生産性の定量的評価手法	18
3.2.1 集中の深さを考慮した集中指標の概要	18
3.2.2 集中評価ツール	19
3.2.3 集中指標の算出アルゴリズム	20
3.2.4 集中指標の算出	30
3.3 作業モチベーションの差を用いた提案手法の確認実験	33
3.3.1 実験の目的	33
3.3.2 実験の方法	34
3.3.3 実験の結果	41
3.3.4 考察	43
第 4 章 提案手法を用いた環境評価実験データの解析	46
4.1 実験解析の目的	46

4.2	統合温熱制御実験の概要 . . . . .	46
4.2.1	実験の目的 . . . . .	46
4.2.2	実験の方法 . . . . .	47
4.3	実験の結果 . . . . .	54
4.3.1	既存手法による解析結果 . . . . .	54
4.3.2	提案手法による解析結果 . . . . .	54
4.4	考察 . . . . .	57
	<b>第 5 章 結論</b>	<b>59</b>
	<b>謝 辞</b>	<b>62</b>
	<b>参 考 文 献</b>	<b>64</b>
	付録 A モチベーション実験の結果の詳細	A-1
	付録 B 統合温熱制御実験の結果の詳細	B-1

## 目 次

2.1	Woods らによる拡張モデル . . . . .	4
2.2	タスクの繰り返しによる成績の変化と習熟曲線 . . . . .	8
2.3	Card らの人間情報処理モデル . . . . .	9
2.4	作業中における 3 状態変動モデル . . . . .	9
2.5	認知タスクの解答時間分布例と対数正規分布近似 . . . . .	11
2.6	1 つの対数正規分布では近似できない解答時間ヒストグラムの例 . . . . .	12
3.1	認知資源の割り方と集中の深さ . . . . .	16
3.2	集中の深さを考慮した作業集中モデル . . . . .	16
3.3	比較問題における集中の深さと解答時間のイメージ . . . . .	17
3.4	集中評価ツールの概要 . . . . .	19
3.5	比較問題の解答画面 . . . . .	20
3.6	2 つの集中状態に対応する対数正規分布 . . . . .	21
3.7	算出手順の概要 . . . . .	22
3.8	近似する対数正規分布関数と解答時間ヒストグラム . . . . .	23
3.9	解答時間の並び替え . . . . .	23
3.10	累積分布関数の最適化 . . . . .	24
3.11	差分解答時間データの作成 . . . . .	25
3.12	第 2 位集中曲線の近似結果例 . . . . .	26
3.13	深さが異なる集中の複合による問題 . . . . .	26
3.14	問題数の配分 . . . . .	27
3.15	集中状態ごとの処理問題数の決定方法 . . . . .	28
3.16	集中状態ごとの処理問題数の最適化例 . . . . .	28
3.17	解答時間データと集中複合曲線の例 . . . . .	29
3.18	解答時間ヒストグラムと近似結果の例 . . . . .	29
3.19	集中の時間指標 $MCTR$ . . . . .	31
3.20	集中の深さ指標 $CDI$ . . . . .	31
3.21	第 1 位集中が支配的なヒストグラム例 . . . . .	32

3.22	第2位集中が支配的なヒストグラム例 . . . . .	33
3.23	モチベーション実験のプロトコル . . . . .	35
3.24	数独の例 . . . . .	36
3.25	比較環境の詳細 . . . . .	37
3.26	モチベーション実験の執務室のレイアウト . . . . .	39
3.27	モチベーション実験の執務室風景 . . . . .	40
3.28	モチベーション実験における $E_1$ と $E_2$ の条件間比較 . . . . .	41
3.29	モチベーション実験における $MCTR$ 平均値の条件間比較 . . . . .	42
3.30	モチベーション実験における $CDI$ 平均値の条件間比較 . . . . .	43
4.1	統合温熱制御の概要 . . . . .	48
4.2	設計した条件の詳細 . . . . .	48
4.3	統合温熱制御実験のプロトコル . . . . .	50
4.4	統合温熱制御実験の執務室のレイアウト (Group1~5) . . . . .	51
4.5	統合温熱制御実験の休憩室のレイアウト (Group1~6) . . . . .	52
4.6	統合温熱制御実験の執務室風景 . . . . .	52
4.7	統合温熱制御実験の執務室のレイアウト (Group6) . . . . .	53
4.8	統合温熱制御実験における $CTR$ 平均値の条件間比較 . . . . .	54
4.9	統合温熱制御実験における $E_1$ と $E_2$ の条件間比較 . . . . .	55
4.10	統合温熱制御実験における $MCTR$ 平均値の条件間比較 . . . . .	56
4.11	統合温熱制御実験における $CDI$ 平均値の条件間比較 . . . . .	57

# 表 目 次

2.1	知的生産性の主な評価手法とその特徴 . . . . .	5
2.2	SAP の評価項目 . . . . .	6
2.3	建築空間と知的活動の階層モデル . . . . .	9
3.1	算出されるパラメータ . . . . .	30
3.2	モチベーション実験中の環境制御 . . . . .	38
3.3	モチベーション実験中の室内環境の統制方法 . . . . .	38
3.4	グループ別の実験実施期間と参加人数 . . . . .	38
3.5	モチベーション実験における $E_1$ と $E_2$ の算出結果 . . . . .	42
3.6	モチベーション実験における $MCTR$ の算出結果 . . . . .	42
3.7	モチベーション実験における $CDI$ の算出結果 . . . . .	43
4.1	統合温熱制御実験中の室内環境の統制方法 . . . . .	47
4.2	統合温熱制御実験の条件と日程 . . . . .	49
4.3	グループ別の実験実施期間と参加人数 . . . . .	50
4.4	統合温熱制御実験における $CTR$ の算出結果 . . . . .	55
4.5	統合温熱制御実験における $E_1$ と $E_2$ の算出結果 . . . . .	56
4.6	統合温熱制御実験における $MCTR$ の算出結果 . . . . .	56
4.7	統合温熱制御実験における $CDI$ の算出結果 . . . . .	56
A.1	低モチベーション条件における $E_1$ の算出結果 . . . . .	A-2
A.2	高モチベーション条件における $E_1$ の算出結果 . . . . .	A-3
A.3	低モチベーション条件における $E_2$ の算出結果 . . . . .	A-4
A.4	高モチベーション条件における $E_2$ の算出結果 . . . . .	A-5
A.5	低モチベーション条件における $MCTR$ の算出結果 . . . . .	A-6
A.6	高モチベーション条件における $MCTR$ の算出結果 . . . . .	A-7
A.7	低モチベーション条件における $CDI$ の算出結果 . . . . .	A-8
A.8	高モチベーション条件における $CDI$ の算出結果 . . . . .	A-9
B.1	標準条件と温熱制御条件における $CTR$ の算出結果 (Group1~3) . . . . .	B-2

B.2	標準条件と温熱制御条件における $CTR$ の算出結果 (Group4~6) . . . . .	B-3
B.3	標準条件と温熱制御条件における $E_1$ の算出結果 (Group1~3) . . . . .	B-4
B.4	標準条件と温熱制御条件における $E_1$ の算出結果 (Group4~6) . . . . .	B-5
B.5	標準条件と温熱制御条件における $E_2$ の算出結果 (Group1~3) . . . . .	B-6
B.6	標準条件と温熱制御条件における $E_2$ の算出結果 (Group4~6) . . . . .	B-7
B.7	標準条件と温熱制御条件における $MCTR$ の算出結果 (Group1~3) . . . . .	B-8
B.8	標準条件と温熱制御条件における $MCTR$ の算出結果 (Group4~6) . . . . .	B-9
B.9	標準条件と温熱制御条件における $CDI$ の算出結果 (Group1~3) . . . . .	B-10
B.10	標準条件と温熱制御条件における $CDI$ の算出結果 (Group4~6) . . . . .	B-11

# 第 1 章 序論

近年は ICT やロボット技術などが著しく発達し、産業や生活など多くの場所で社会を支えている。一方日本では、人口減少や高齢化社会など生産年齢人口が深刻に落ち込む社会問題として「2025 年問題」<sup>[1]</sup>を目前に控えている。そこで、将来的な生産力の低下を防ぐためにも、単純作業の労働はコンピュータに代替させ、人はオフィスでアイデアの構築や情報管理のような、社会として高価値な知的作業に多くの労力を費やすように作業内容が変化しつつある。したがって、知的作業の効率を表す知的生産性は、企業にとって大きな経済効果をもたらす要素であると言える。

一方、2011 年の福島第一原子力発電所事故以来、日本国内ではほとんどの原子力発電所が稼働を停止して電力供給が逼迫したことを背景に、従来より消費電力の削減が広く求められるようになった。そのため企業では、冷暖房の設定温度を調整や照明の間引きを始めとしてオフィス環境を省エネルギー化するために様々な工夫を凝らしている。しかし、過度な省エネルギー化はオフィス環境を悪化させ、労働者の健康被害だけでなく執務者の知的生産性を低下させる危険性がある。知的生産性の低下は労働時間の長時間化を招き、かえってエネルギー消費の増大や経済的な損害を引き起こしかねない。以上により、企業がオフィス環境を設計・変更する際には執務者の知的生産性への影響を十分に配慮することが重要と言え、そのためには知的生産性を評価する必要がある。

知的生産性の評価はこれまでも様々な方法が提案されてきた。例えば本研究室では、知的生産性を客観的かつ定量的に評価するための指標として集中時間比率  $CTR$ (Concentration Time Ratio)<sup>[2]</sup>を開発し、様々な執務環境が知的生産性に与える影響を  $CTR$ を用いて評価してきた。 $CTR$ は執務者の作業への集中に着目した指標であり、執務者が認知資源を作業対象に割り当てることを集中と定義して、知的作業を遂行する執務者の状態遷移を表したモデルである 3 状態変動モデル<sup>[3]</sup>に基づいて算出される。しかし、3 状態変動モデルは執務者の状態を集中状態と非集中状態のいずれかとしか判別しておらず、集中状態の中でもどれだけ多くの認知資源を作業対象に割り当てたかを表す「集中の深さ」の変化を考慮していない。そこで本研究では、3 状態変動モデルに集中の深さの変化を反映した新たなモデルを提案し、そのモデルに基づいて知的生産性を客観的かつ定量的に評価するための指標を開発する。そして、執務環境が知的生産

性に与える影響を評価するための指標として活用することで、その有用性を確認する。この研究によって、知的生産性を新たな観点から考察できるようになり、知的生産性を考慮したオフィス環境の改善を従来より多角的な視野から検討できるようになる。

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、研究の背景と知的生産性の定義を述べ、知的生産性の評価手法に関する既往研究を述べる。その後、知的生産性を評価するための既存指標 *CTR* の問題点と、それを踏まえた本研究の目的と意義を述べる。第3章では、集中の深さの定義と新たに提案する作業集中モデルについて述べ、そのモデルに基づいて知的生産性を評価するために開発した指標の意義と算出アルゴリズムの詳細を述べる。その後、作業集中モデルの妥当性を確認するために実施したモチベーション実験について述べる。第4章では、過去に実施した環境評価実験を開発した指標に基づいて評価し、その結果と考察を述べる。最後に、第5章では、本研究の結論と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とその課題について述べ、最後に本研究の目的を述べる。

### 2.1 研究の背景

近年、多くのオフィスでは、環境配慮を背景とした省エネルギー活動が推進されている。特に 2011 年の東日本大震災以来、節電や省エネルギーの推進は顕著になり、環境省でもオフィスの推奨環境などが掲げられてきた。具体的には、夏季の冷房温度を 20℃に、冬季の暖房温度を 28℃にするといった空調設定温度の緩和、クールビズやウォームビズによる服装変更、間引き照明による照度調整などが挙げられる。しかし、過度な省エネルギー活動がもたらす作業環境の悪化は、オフィス執務者の知的生産性を低下させる危険性があり<sup>[4]</sup>、省エネルギーと執務者の知的生産性の維持、向上の両立を目指す必要が生じている。そして、効率的に省エネルギーと知的生産性の維持、向上を実現するためには、知的生産性を評価し、作業環境が知的生産性に与える影響を確認することが不可欠となる。

知的生産性を評価する試みとしてはこれまでに、主観評価を用いた手法<sup>[5]</sup>や、仮想タスクの作業成績を用いた手法<sup>[6]</sup>などが提案されてきた。そのほか、本研究室でも集中指標 *CTR* を用いた知的生産性の評価手法を提案してきた<sup>[2]</sup>。この手法は、執務者が認知資源を作業対象に割り当てることを集中と定義し、仮想タスクの作業パフォーマンスから作業中の集中時間を求め、作業時間全体に占める集中時間の割合を集中指標として算出することで知的生産性を評価する手法であり、照明環境<sup>[7]</sup>や気流環境<sup>[8][9]</sup>が知的生産性に与える影響の評価に用いられてきた。

しかし、*CTR* による評価手法で想定している 3 状態変動モデルは、集中状態での解答時間分布がある一定の分布を形成すると仮定しているため、集中状態中の集中の深さの変化までは考慮できていない。ここで、集中の深さとは、作業対象にどの程度認知資源を割いているかという意味で用いている。実際の作業では、外乱要因の有無などによって集中の深さは変化しており、作業パフォーマンスに影響を及ぼし得ると考えられるため、集中時間だけでなく集中の深さも評価する必要がある。

そこで本研究では、集中の深さの変化を考慮した新たな状態変動モデルを考案し、そのモデルに基づいた集中指標による知的生産性の定量的な評価手法を検討する。

## 2.2 知的生産性に関する既往研究

### 2.2.1 知的生産性の定義

一般に知的生産性とは、知的作業におけるインプットに対するアウトプットの比率を示すが、インプットやアウトプットの定義は必ずしも1つではなく、知的生産性の意味はそれに応じて変化する。そこで Woods ら<sup>[10]</sup>は既往研究をもとに、知的生産性は作業効率と経済要因により決定されると定義した。図 2.1 にそのモデルを示す。このモデルでは、物理的環境要因は生理的・心理的反応を經由して作業効率に影響し、知的生産性に関わるとしている。本研究は、オフィスにおける作業環境の改善が知的生産性に与える影響の評価への利用を目指しているため、図 2.1 に基づいて単位時間あたりの知的作業の量を知的生産性の定義とする。

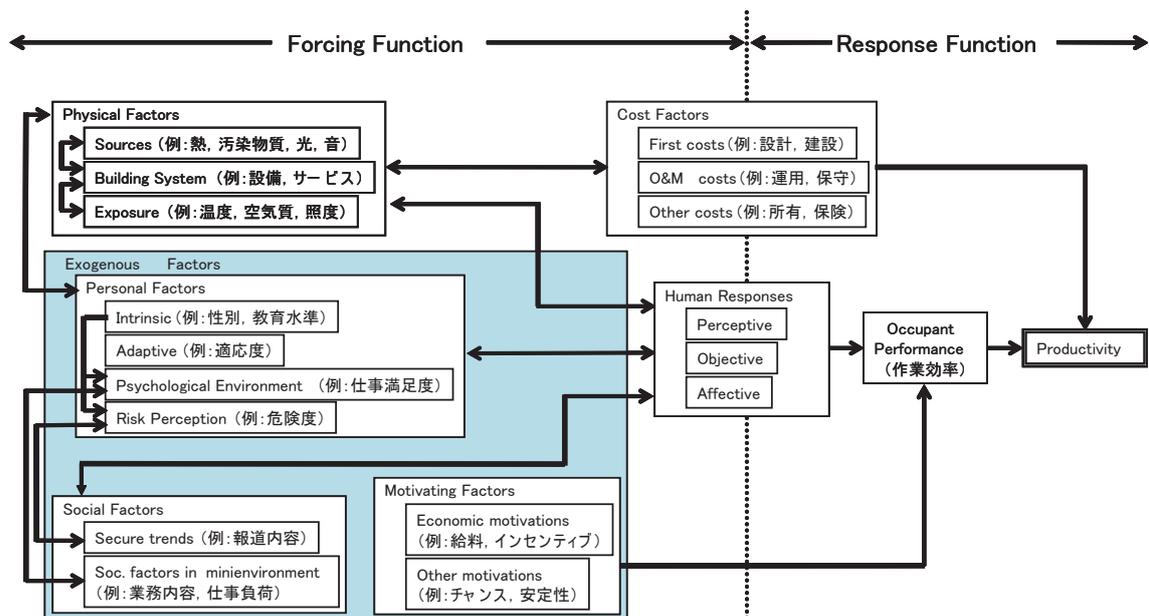


図 2.1: Woods らによる拡張モデル

### 2.2.2 知的生産性の評価手法

知的生産性は正確に評価することが難しく、その評価手法について多くのアプローチが行われてきた。過去に提案された主な評価手法は、表 2.1 のように大きく 4 つに分

類できる。以下に、それらの概要を述べる。

表 2.1: 知的生産性の主な評価手法とその特徴

評価手法	特徴
主観による評価手法	計測が容易だが客観性が低い
生理指標による評価手法	客観性が高いが計測が困難
仮想タスクの作業成績による評価手法	客観性が高いが実際の作業と関連が曖昧
集中指標による評価手法	客観性が高いが創造的作業の評価が困難

### 1) 主観による評価手法

主観による評価手法は、作業モチベーションや快適性、疲労などの主観項目に関するアンケート調査を実施し、知的生産性への影響を評価する手法である。例えば、杉浦ら<sup>[5]</sup>は既往研究を基に、表 2.2 に示す評価票 SAP (Subjective Assessment of workplace Productivity) を作成し、個人属性や室内環境、作業効率の主観を評価している。また、西川ら<sup>[11]</sup>は VAS (Visual Analogue Scale) を用いて作業生産性の主観的な申告値を測定することで、作業環境の主観的印象や実際の作業成績との関係を調査している。

主観による評価は、目的に応じて項目を多様に変化させられることや、計測データの大量収集が容易であることが利点として挙げられる。しかし一方で、個人ごとの感覚の差異が結果に大きく影響を与えること、実際の作業効率を評価できず客観性に欠けることが問題点として挙げられる。

### 2) 生理指標による評価手法

生理指標による評価手法は、脳波や心拍など、作業中の生理信号を計測して知的生産性への影響を評価する手法である。例えば、西原ら<sup>[12]</sup>は頭部血中酸素濃度から脳の活動を予測してメンタルワークロードを計測し、作業成績との関連を調べている。また、國政ら<sup>[13]</sup>は心拍変動と瞳孔径を計測して作業成績との関係を分析し、心拍変動と瞳孔径の計測データから作業成績を推定する手法を開発している。

生理指標による評価は、計測データの時間分解能が高いこと、評価が客観的であることが利点として挙げられる。しかし一方で、計測に特別な装置を要し対象 1 人あたりの計測に多くの時間を要することや、計測値と知的生産性の関係にはまだ不明な点が多いことが問題点として挙げられる。

### 3) 仮想タスクの作業成績による評価手法

表 2.2: SAP の評価項目

	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 ィテ 関ィ 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		
空 間 環 境	広さ・スペース		におい
	インテリアに対する印象		仕事への影響（空気質）
	デスク周りのスペース	ほこりっぽさ	
	デスクの使い心地	音 環 境	騒音の程度
	調整性について		騒音に対する感度・満足
	仕事への影響（デスク）		音源（不満）の特定
	椅子の使い心地/快適性		仕事への影響（音環境）
	椅子の調整性について		プライバシー
	仕事への影響（椅子）		そ 他の
	机・家具等什器の配置	仕事への影響（清掃・メンテ）	
配線の不備・不足			
収納スペース			

仮想タスクの作業成績による評価手法は、オフィス作業を模して定量評価が可能な形で設計された認知タスクを計測対象者が実施し、作業速度や正答率などの作業成績を用いて知的生産性を推定する手法である。用いる認知タスクは、暗算課題やテキストタイピング課題などのように主にオフィスで用いられる能力を要求するようデザインされる。例えば、Wargocki ら<sup>[6]</sup>は空気中の汚染物濃度と換気量の変化に対するテキストタイピング課題の作業成績の変化を調べ、定量的な関係として導出している。また、本手法で用いる仮想タスクとして、PAB(Performance Assessment Battery)<sup>[14][15]</sup>やCPTOP(Cognitive Performance Test of Productivity)<sup>[16][17]</sup>などが提案されてきた。PABは知覚や判断などといった脳の働きを計る7種類のタスクの成績によって知的生産性を比較できるとしており、CPTOPはオフィスワークで重要な能力として抽出した11種類の能力をそれぞれに対応したテストで計ることで、知的生産性の評価を目指したものである。

作業成績の計測では異なる条件下で同じタスクを繰り返し実施する必要があるが、その作業成績は、タスクの繰り返しによって作業に習熟し作業効率が向上する習熟効果の影響を受ける。そのため、特定の作業環境が知的生産性に与える影響を評価する場合には、計測した作業成績の変化から作業環境による影響と習熟効果による影響とを区別することが困難になり評価精度が落ちるといった問題がある。Bohlen<sup>[18]</sup>らは、作業効率にはある極限值が存在し、作業の累積時間によって一定の割合で近づいていくとしており、これに基づいて、計測した作業成績から習熟曲線を近似して補正することで、習熟の影響を補正できるとする研究<sup>[17][19]</sup>もある。図2.2は、CPTOPのタスクにおける習熟によって向上するパフォーマンスと近似した習熟曲線の例である。

仮想タスクの作業成績による評価は、単位時間あたりの知的作業の成績を知的生産性として定量的に計測できること、作業成績を用いるため客観的に評価できることが利点として挙げられる。しかし一方で、仮想タスクを用いているため実際のオフィスワークの生産性を必ずしも評価できていないこと、習熟曲線を求める場合は個人ごとに時間をかけて十分なデータ数を得る必要があり、計測対象者への負担が大きいことが問題点として挙げられる。

#### 4) 集中指標による評価手法

集中指標による評価手法は、知的作業を行うには人が作業に認知資源を割り当てて注意を向ける必要があることに注目し、作業対象に認知資源を割り当てることを集中と定義して、その集中を推定することで知的生産性の評価を試みる手法である。集中指標による評価手法例として、本研究室ではこれまで、作業中の集中時間の比率  $CTR$ (Concentration

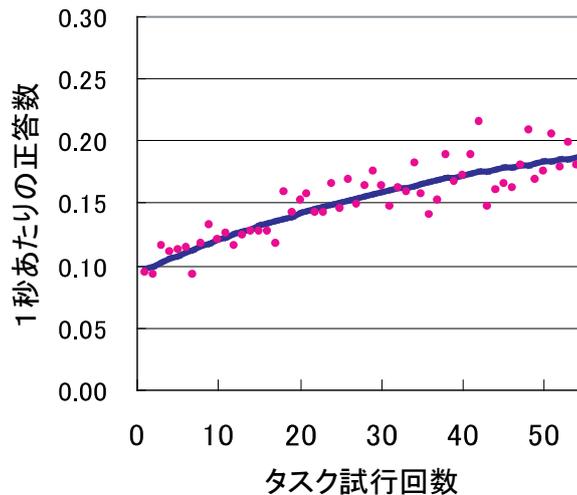


図 2.2: タスクの繰り返しによる成績の変化と習熟曲線

Time Ratio) を集中指標として算出する手法<sup>[2]</sup>を提案してきた。

知的作業を分類したモデルとして村上ら<sup>[20]</sup>は、表 2.3 に示す建築空間と知的活動の階層モデルを提案した。このモデルでは、知的作業を情報処理、知識処理、知識創造の 3 つの階層として表現している。また、人間の知的作業行程について Card ら<sup>[21]</sup>は、図 2.3 に示す人間情報モデルを考案している。ここで、建築空間と知的活動の階層モデルのうち第 1 階層の情報処理と第 2 階層の知識創造については、シンボル処理という点で Card の人間情報モデルと同様に説明することができる。そこで宮城ら<sup>[3]</sup>は知的作業の進行と集中という概念を結び付け、知的作業中の執務者の状態遷移を表すモデルとして、図 2.4 に示す 3 状態変動モデルを提案した。このモデルは、知的作業中の執務者の状態を「作業状態」、「短期中断状態」、「長期休息状態」の 3 つに分類しており、作業状態は作業対象に注意を向けており実際に作業が進んでいる状態、短期中断状態は作業対象に注意を向けているが無意識に作業が中断している状態、長期休息状態は作業対象に注意を向けず疲労などにより意識的に作業を中断している状態と定義した。さらに、作業対象に注意を向けているかに注目することで、作業状態と短期中断状態を集中状態、長期休息状態を非集中状態として集中を表現している。Bills<sup>[22]</sup>は作業中に無意識的に生じる短い意識の中断を Blocking と定義しており、Blocking が生じることは避けられないと述べている。この見解は、短期中断状態の存在と関連づけられると考えられる。

CTR は、この 3 状態変動モデルに基づいて作業成績を解析し、執務者が作業中に集中していた時間を推定して算出している。CTR を用いて知的生産性の評価を試みた研

表 2.3: 建築空間と知的活動の階層モデル

第1階層	知識情報の定型処理、事務処理 (情報処理)
第2階層	知識情報の調査探索、加工処理、知的価値向上 (知識処理)
第3階層	価値創造、イノベーション (知識創造)

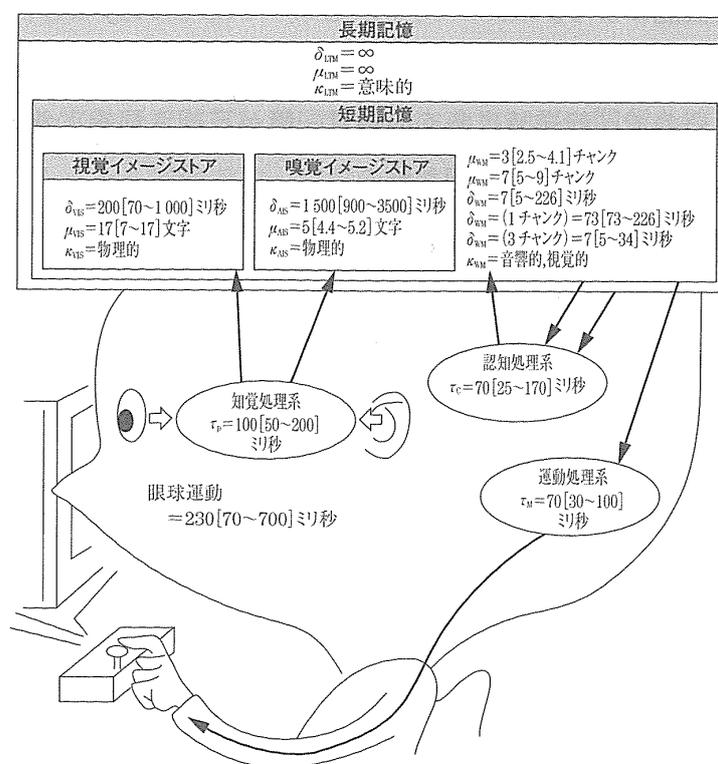


図 2.3: Card らの人間情報処理モデル



図 2.4: 作業中における3状態変動モデル

究として、例えば金川ら<sup>[7]</sup>はタスク&アンビエント照明の作業環境と天井照明のみの作業環境での知的生産性を比較検討し、タスク&アンビエント照明が集中時間を増加させることを示した。

集中指標による評価は、客観的かつ定量的に評価できることや、習熟の影響を無視して短い計測時間でも評価可能であることなどが利点として挙げられる。しかし一方で、表 2.3 で示した価値創造のように集中が必ずしも生産性に結びつかない作業は評価できないことが問題点として挙げられる。

以上のように、この集中指標を用いた評価手法は、表 2.3 の第 1 階層と第 2 階層に該当する限り知的生産性を作業内容を問わず汎用的に評価できるため、本研究ではこの手法に注目することとする。

### 2.2.3 集中指標 $CTR$ の算出手順

本項では、集中指標による評価手法の 1 つとして開発された既存指標  $CTR$  を算出する手順について述べる。

$CTR$  は、難易度が均一な認知タスクを一定時間行って得られた 1 問当たりの解答時間群（以下、解答時間データ）を解析して算出する。タスクの解答時間の解析方法については多くの検討が行われており<sup>[23]</sup>、解答時間データを特定の分布で近似する方法が多く用いられている<sup>[24]</sup>。近似に用いる代表的な分布の例としては対数正規分布<sup>[25]</sup>、Ex-Gaussian 分布<sup>[26]</sup>、Wald 分布<sup>[27]</sup>等が挙げられるが、 $CTR$  の算出では対数正規分布を用いている。以下に、その理由と具体的な算出手順を述べる。

3 状態変動モデルによれば、集中状態は遷移確率が一定のマルコフモデルを形成しているため、解答時間データのうち集中状態のみを遷移したタスク 1 問あたりの解答時間  $t$  の頻度ヒストグラム（以下、解答時間ヒストグラム）は、式 2.1 で表される対数正規分布関数  $f(t)$  で近似できることが分かっている<sup>[28]</sup>。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \cdot p \quad (2.1)$$

図 2.5 に、解答時間ヒストグラムと 3 状態変動モデルに基づく状態遷移の関係を示す。ただし、近似されるデータと近似する関数を同じ軸で比較するために、ヒストグラムの区間幅は対数軸で等間隔になるよう設定している。対数正規分布のパラメータ  $\mu$  と  $\sigma$  については、 $e^\mu$  が分布の最頻値、 $\sigma$  が分布の標準偏差を意味しており、認知タスク 1 問を解答するのに必要な平均集中時間は  $f(t)$  の期待値  $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$  で算出できる。したがって、集中状態の総時間  $T_c$  は期待値  $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$  と総解答数  $N$  を用いて、式 2.2

で示すように求めることができる。

$$T_c = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot N \quad (2.2)$$

そして、認知タスクの実施時間  $T$  に対する  $T_c$  の比率を  $CTR$  として式 2.3 で算出し、作業時間全体に対する集中状態の時間割合を求めている。

$$CTR = \frac{T_c}{T} \quad (2.3)$$

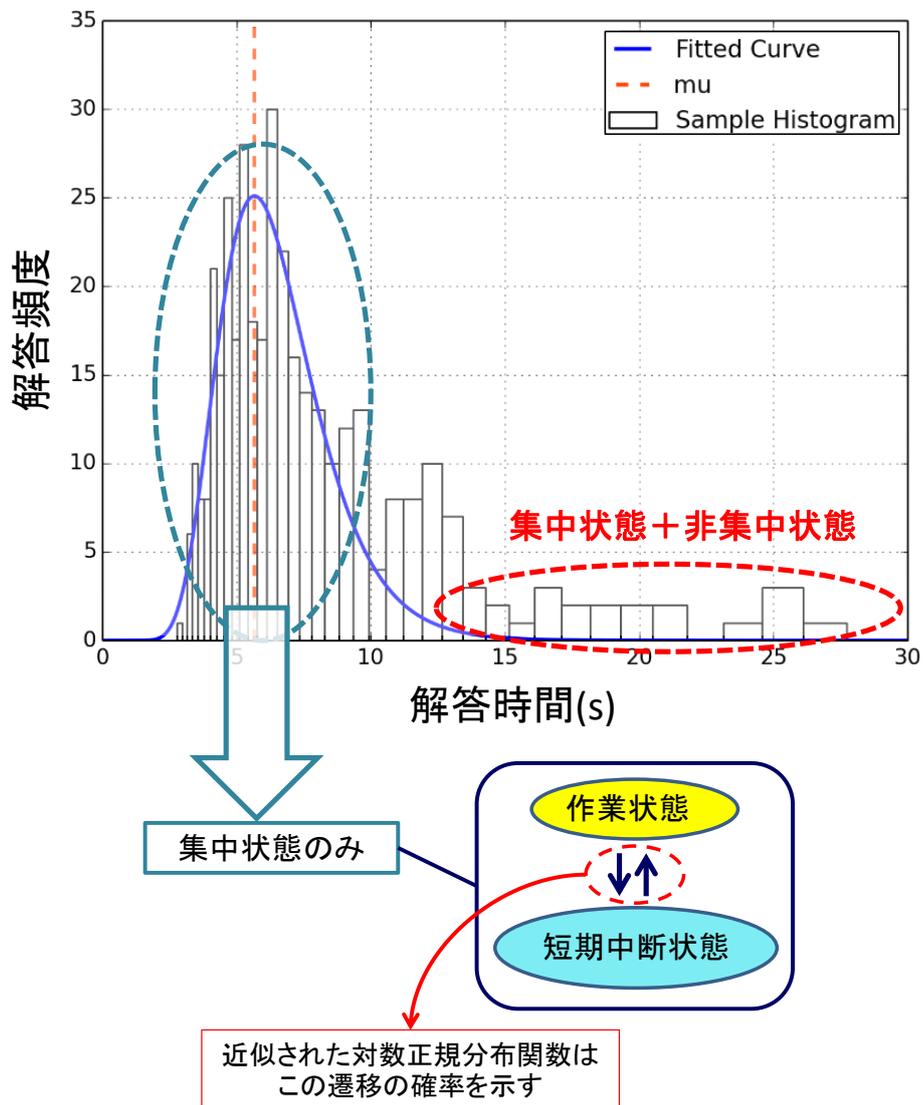


図 2.5: 認知タスクの解答時間分布例と対数正規分布近似

## 2.2.4 集中指標 $CTR$ の課題

$CTR$ の算出過程で仮定している3状態変動モデルは、集中状態内部で作業状態と短期中断状態の遷移確率を一定と仮定することで、集中状態での解答時間の分布は1つの対数正規分布のみで表現できるとしている。しかし、執務者は認知資源の活用手法を様々に変化させられることがBaddeley<sup>[29]</sup>によって示唆されており、作業対象にどの程度認知資源を割いているかを示す集中の深さは変化していると考えられる。3状態変動モデルでは集中の深さについて言及していないため、集中の深さが変化することを考慮すれば、集中状態をさらに細かく分類すべきであると言える。

また、実際に得られた解答時間データのヒストグラムとその近似結果の例を図2.6に示す。この図では、解答時間の比較的短い部分に対数正規分布と似た解答時間分布が見られ、集中状態として近似されている一方で、それより解答時間が長い部分にも同様の解答時間分布が生じている。すなわち、単一の対数正規分布では集中を表現できていない可能性があり、複数の集中状態を考慮する必要があると考えられる。

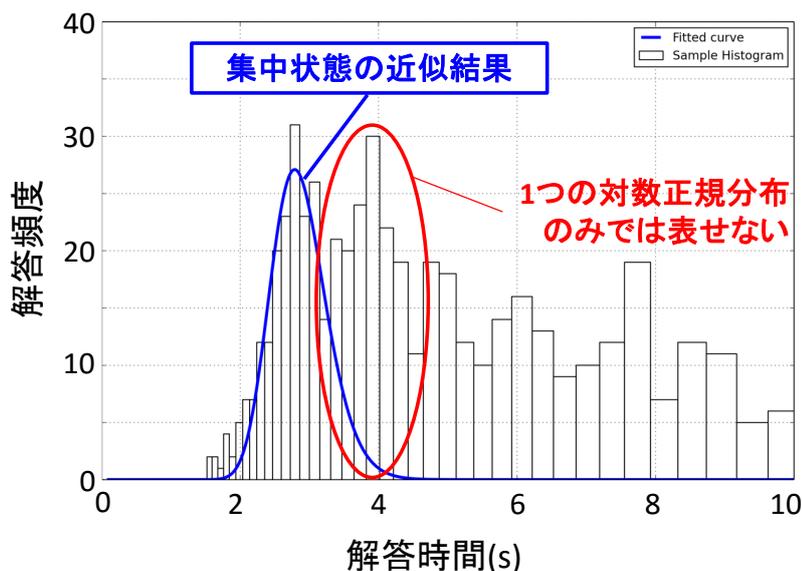


図 2.6: 1つの対数正規分布では近似できない解答時間ヒストグラムの例

以上から、集中指標による評価手法に集中の深さの変化を反映し、より多角的な視野から評価するためには、3状態変動モデルおよびそれをを用いた解析手法を改善する必要がある。

## 2.3 研究の目的

本研究室ではこれまでに、3状態変動モデルに基づいた集中指標 *CTR* を用いて様々な作業環境が知的生産性に与える影響の評価実験を行ってきた。しかし 2.2.4 項で述べたように、3状態変動モデルは作業中の集中の深さの変化を考慮できていないため、*CTR* だけでは必ずしも知的生産性を適切に評価できていない可能性がある。

そこで本研究では、3状態変動モデルに集中の深さの変化を反映した新たなモデルを提案し、そのモデルに基づいて、集中の深さの変化を考慮して知的生産性を定量的に評価するための集中指標を新たに開発する。そして、作業環境が知的生産性に与える影響の比較実験を解析、考察することを目的とする。この研究によって、集中指標に基づく知的生産性の評価を、集中の深さという新たな観点から行うことが可能になり、知的生産性に影響を与える要因や知的生産性が変化するメカニズムを解明するための研究に活用できると考えられる。また、知的生産性を従来より多角的に解釈できるため、省エネルギーを目指したオフィス環境の改善方法を提案するための新たな知見として貢献できると考えられる。

## 第 3 章 集中の深さに着目した作業集中モデルと 知的生産性評価手法の提案

本章ではまず、認知資源の割り当て方に着目した集中の深さの変化を表現する作業集中モデルについて述べる。そして、そのモデルに基づき、集中の深さの観点から知的生産性を定量的に評価する手法とその詳細なアルゴリズムについて述べる。最後に、提案手法によって得られた解析結果が知的生産性評価のための集中指標として利用できるか確かめるため、作業モチベーションの差が知的生産性に与える影響を調べるための被験者実験を実施し、提案手法を用いて解析することで、その影響を評価、考察する。

### 3.1 集中の深さに着目した作業集中モデル

#### 3.1.1 集中の深さ

人は知的作業を行う際、作業対象に認知資源を割り当てて遂行している。認知資源とは、注意や認識など人が脳を活用する際に必要となるリソースを指しており、個人ごとに一定のリソース量を持っているとされている。以下では、ある対象に認知資源を割くことを、対象に注意を向けると呼ぶ。したがって、人が一度に注意を向けられる情報の数は、認知資源のリソース量の制限によって上限がある。また、脳内で短期的に情報の保持、記憶する機構を指すワーキングメモリは、ある対象に認知資源を割いて注意を向けることでその対象を記憶として保持でき<sup>[30]</sup>、その後ワーキングメモリ内に保持された情報を操作することで知的作業の遂行につなげることができる。

Baddeley によれば、認知資源のリソース量によって認知活動は制限されており、そのリソース量の中で注意の焦点化や注意の分割などの機能によって認知活動を様々に変化させることができるとされている<sup>[29]</sup>。また Miller<sup>[31]</sup> は、一度にワーキングメモリで保持できる情報の量にも一定の上限量があり、情報の塊を意味する「チャンク」で表現するとその上限量は  $7 \pm 2$  個のチャンクとして表せるとしているほか、Cowan<sup>[32]</sup> も同様にワーキングメモリで保持できる情報の上限量は  $4 \pm 1$  個のチャンクで表せると提案している。

これらの先行研究に基づけば、一度に注意を向けることのできる情報の数にもワーキングメモリに保持できる情報の数にも上限が存在しており、対象に注意を向けて初めてワーキングメモリに対象の情報を保持できることや、ワーキングメモリで保持できる情報の上限量は注意の制御と深く関わっていると示唆されている<sup>[33]</sup>ことから、ワーキングメモリで保持できる情報量は認知資源のリソース量によって決定されることが考えられる。すなわち、人間はある対象により多くの認知資源を割くほど、対象の様々な情報をワーキングメモリに保持できることを意味しており、どの対象にどの程度注意を向けるかを変化させることで、ワーキングメモリに保持する情報の内容も変化させられると考えられる。

知的作業中の情報処理を想定すると、認知資源のリソース量全てを作業対象に割くことでワーキングメモリで保持する情報を全て作業対象に充てられる。この場合、認知資源のリソース量の一部のみを作業対象に割く場合と比べ同じ知的作業量をより短時間で処理できることはもちろん、ワーキングメモリ内に保持している幅広い情報を関連付けることができるため、より高次の認知処理が可能になる可能性がある。例えば、2桁の数同士の足し算では、1桁目の和、繰り上がりの有無、2桁目の和が全てワーキングメモリ内に存在することで、暗算での処理が可能になる。一方、認知資源のリソース量の一部が作業対象以外に割かれた場合は、ワーキングメモリで保持する情報の一部は作業対象以外が占めることとなる。すると、一度に保持できる作業対象の情報が減ることにより、作業処理に要する時間は長くなる。2桁の数同士の足し算の例では、1桁目の和、繰り上がりの有無、2桁目の和の情報を同時に保持できなくなり、筆算で計算の途中経過を紙に書き写すなど外部記憶が必要となってしまう。

以上に基づき、作業対象に認知資源を割くことを集中と定義し、作業対象にどれだけ多くの認知資源を割くか、すなわち認知資源の割き方を集中の深さと定義すれば、図3.1に示すように、集中の深さは必ずしも一定ではなく作業中にも変化し得ると言える。ここでは、作業対象により多くの認知資源を割くほど集中が深いとしており、作業時間の短縮や認知処理能力の高次化によるパフォーマンス向上が期待できるため、知的生産性を左右する要素の1つとして集中の深さを評価することが重要となる。

### 3.1.2 作業集中モデル

3.1.1項で定義した集中の深さの評価を可能にするため、2.2.2項で示した3状態変動モデルに集中の深さの概念を反映したモデルである作業集中モデルを図3.2に示す。このモデルでは3状態変動モデルと同様、集中状態は認知資源を作業対象に割いている

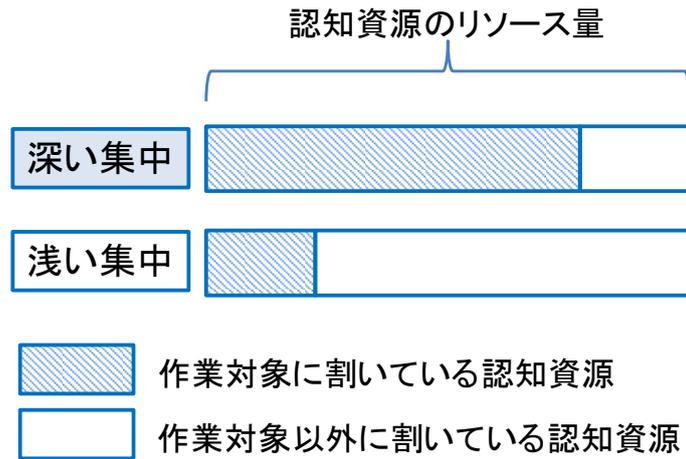


図 3.1: 認知資源の割り方と集中の深さ

状態、非集中状態は認知資源を作業対象に割かず意図的に休息している状態と定義している。そして、3状態変動モデルの集中状態が集中の深さに応じて第1位集中、第2位集中…と複数に分類され、それぞれに遷移確率が一定のマルコフモデルを形成すると仮定している。図 3.3 は、3.2.2 項で後述する比較問題の実際の解答時間ヒストグラムと分類した各集中状態のイメージ図を示している。以下に、各集中状態の概要を述べる。

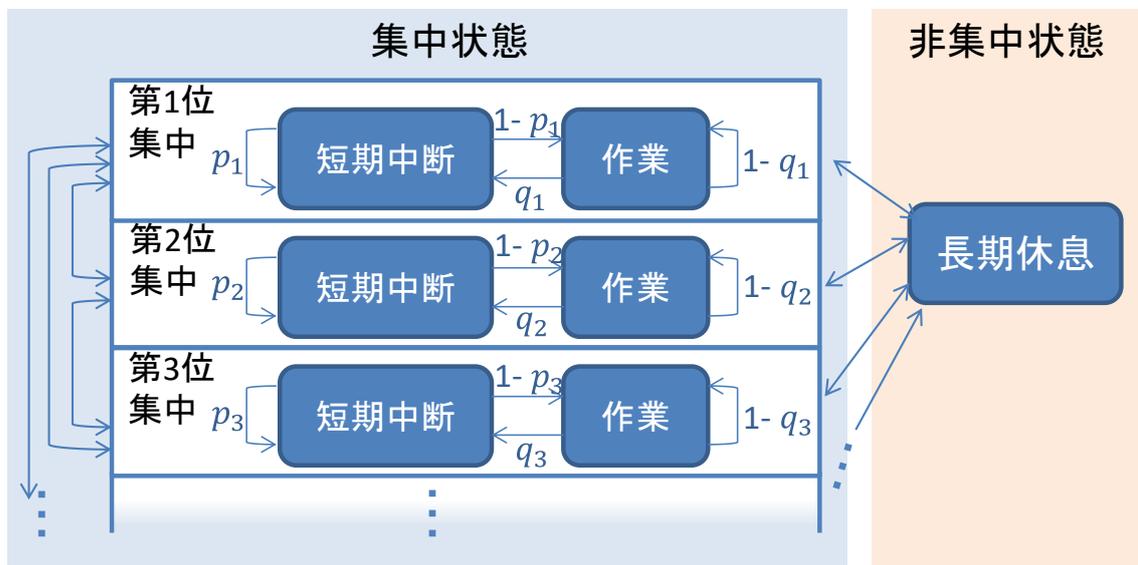


図 3.2: 集中の深さを考慮した作業集中モデル

第1位集中は、作業対象にほとんど全ての認知資源を割いており、周辺環境や疲労感など作業内容以外の要素に注意が奪われない状態を表している。作業に対して意図

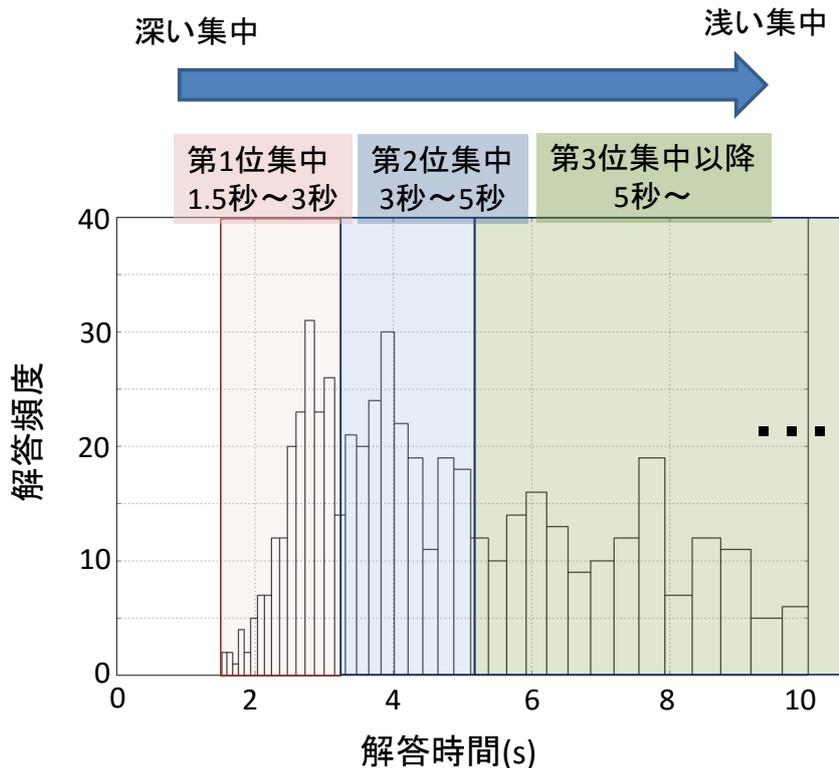


図 3.3: 比較問題における集中の深さと解答時間のイメージ

的に意識を集約させて没頭している場合にこの集中状態を形成する。図 3.3 に示す比較問題の解答時間データの例では、おおよそ 1.5 秒～3 秒での解答がこの集中状態で処理されている。

第 2 位集中は、認知資源の一部が作業対象以外に割かれており、何らかの外乱に注意が奪われている状態、あるいは作業対象に向ける認知資源を意図的に制限している状態を表している。作業に対して意図的に意識を集約させているが音や気温など不快な要因に注意が向いている場合や、作業に対して意識を集約させていない場合にこの集中状態を形成する。図 3.3 に示す比較問題の解答時間データの例では、おおよそ 3 秒～5 秒での解答がこの集中状態で処理されている。

第 3 位集中やそれより浅い集中状態では、作業対象に認知資源をほとんど割いておらず、作業への意識が散漫で外乱にも注意を奪われている状態を表している。図 3.3 に示す比較問題の解答時間データの例では、おおよそ 5 秒以上での解答がこの集中状態で処理されている。

各集中状態は、認知資源を割り当てる量を経由して、作業対象に関連づけられたワーキングメモリ内情報のチャンク数としてそれぞれ形成されているため、チャンク数の

大小によって離散的に表現されている。本研究室ではこれまで、比較問題だけでなく様々な認知タスクの解答時間を計測してきたが、多くの解答時間データで図3.3と同様に第3位集中やそれより浅い集中状態には固有の解答時間群が確認できず、2.2.4項で述べたような対数正規分布と似た解答時間群は2つ以内であった。これは、第3位集中やそれより浅い集中状態で処理された解答が長期休息状態を遷移した解答との区別が困難なほど情報処理が遅いことが原因であると考えられる。そこで本研究では、集中状態として評価する対象を第1位集中と第2位集中のみとし、第3位集中やそれより浅い集中状態で処理された解答は知的生産性に与える影響が十分小さく非集中状態と見なせるとして解析、評価を行う。本モデルを用いて異なる深さの集中を判別することで、集中の深さを反映した集中指標の算出が可能になると考えられる。

## 3.2 知的生産性の定量的評価手法

### 3.2.1 集中の深さを考慮した集中指標の概要

既存の集中指標である  $CTR$  は、全作業時間中に占める集中状態の時間のみを指標として表していた。しかし、3.1.1項で述べた通り、集中の深さは作業効率の向上や作業内容の高次化などパフォーマンスに深く関わっていることから、集中の深さを常に一定と仮定して算出している  $CTR$  だけでは知的生産性の評価に不十分と考えられる。そこで本研究では、作業集中モデルに基づいて集中を評価するための新たな指標を開発する。以下に、開発する新たな集中指標の方針とその意義を述べる。

まず、3状態変動モデルでは一律に集中と定義していた状態を、図3.2に示した作業集中モデルでは第1位集中や第2位集中として細かく分類できることから、認知タスク1問を解答するのに必要な集中時間の期待値を集中状態ごとに分けて算出できるようになり、 $CTR$  の算出過程より集中時間を細かく評価できると考えられる。したがって本研究では、深さの異なる複数の集中である第1位集中と第2位集中を対象に、集中時間の合計が総作業時間に占める割合として集中時間比率を表す指標を算出する。この指標によって、どれだけ作業内容への注意を継続させることが容易であったかを定量的に算出でき、作業効率を評価できるようになる。また、 $CTR$  より幅広い深さの集中を評価対象にできるようになる。

次に、作業集中モデルでは集中の深さごとに異なる分布を形成していることから、第1位集中と第2位集中を個別に評価できると考えられる。したがって本研究では、第1位集中と第2位集中の両方を含めた全集中時間の中に占める第1位集中の支配率を表

す指標を算出する。この指標によって、作業に取り組む上でいかに作業対象のみに注意を向けられたかを定量的に算出でき、3.1.1項で述べたような、深い集中がもたらす作業効率の向上や作業内容の高次化といった知的生産性の向上効果を評価できるようになると考えられる。

### 3.2.2 集中評価ツール

本項では、上記で提案した指標を算出するために開発したツールについて述べる。このツールは計測部と解析部から構成されており、図3.4にその概要を示す。

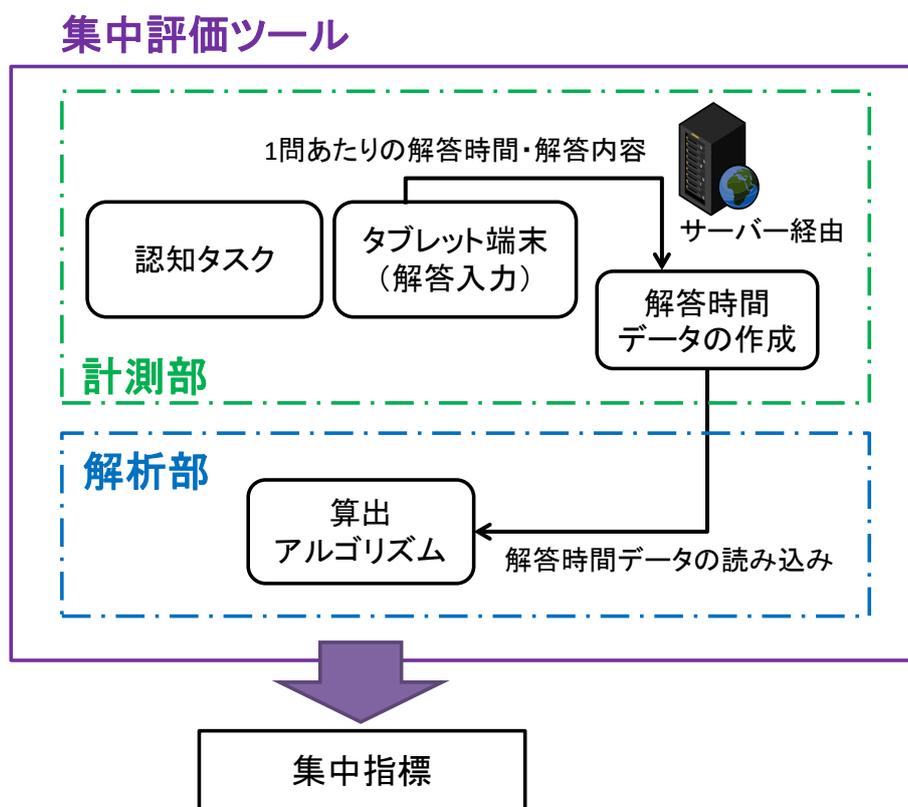


図 3.4: 集中評価ツールの概要

計測部は、被計測者が認知タスクの解答をタブレット端末上で入力し、タスク1問あたりの解答時間を記録した解答時間データの収集を行うための機構である。認知タスクには、難易度が均一でかつオフィス作業で用いる能力を要するタスクを用いる。用いるタスクの例に、上田らが開発した比較問題<sup>[34]</sup>が挙げられる。図3.5に、比較問題の概要を示す。比較問題は、出題部分に2つの単語と2つの数字が表示され、単語の意味カテゴリーの異同と不等号の正誤をそれぞれ2種類に分類し、その結果を4個のボ

タンの中から選ぶことにより解答する問題である。この問題では、オフィスで主に必要となる能力である、言語処理能力、数字処理能力、比較判断能力を要求するよう設計されている。

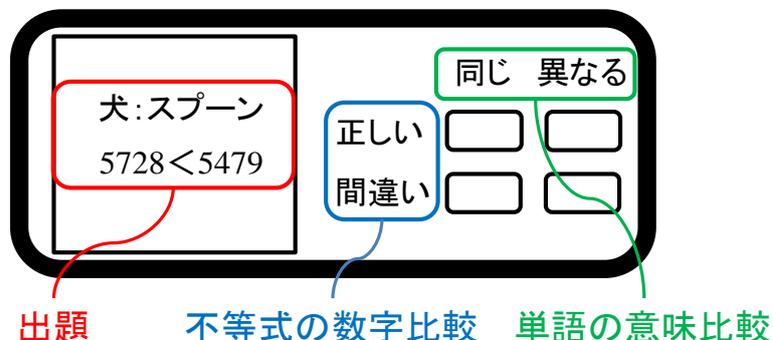


図 3.5: 比較問題の解答画面

解析部は、計測部で得られた解答時間データを入力して、集中指標を算出する機構である。その具体的な算出アルゴリズムについては、次項で述べる。

### 3.2.3 集中指標の算出アルゴリズム

本項では、3.2.2 項で述べた解析部で行う解析の具体的なアルゴリズムについて説明する。解析には一定時間の認知タスクの解答作業から得られた解答時間データを用い、その作業中の状態遷移を 3.1.2 項の作業集中モデルに基づいて判別して集中指標として定量的に算出する。なお、1 問を解答する間の集中の深さは一定であると仮定し、集中状態の判別における最小の分解能は解答 1 問単位であるとする。

作業集中モデルでは、集中の深さごとに遷移確率が一定のマルコフモデルを形成していることから、解答時間の頻度分布は集中の深さごとにそれぞれの対数正規分布と 1 対 1 に対応づけられることが分かる。図 3.6 に、作業集中モデルに基づいた 2 つの集中状態に対応する対数正規近似分布の例を示す。3.1.2 項で述べたように、第 3 位集中やそれより浅い集中状態の存在は否定できないが、それらで処理された解答は解答時間が長く長期休息状態を遷移した解答との区別が困難であり、また解答に長い時間がかかっていることから無視しても知的生産性への影響は小さい。そこで、本解析で近似する分布は、深さの異なる複数の集中状態のうち解答時間の最も短い第 1 位集中と第 2 位集中のみとする。

以上の仮定に基づき、第 1 位集中と第 2 位集中に対応する対数正規分布を解答時間データに近似する流れを図 3.7 に示す。図のように算出手順は 3 過程からなり、以下に

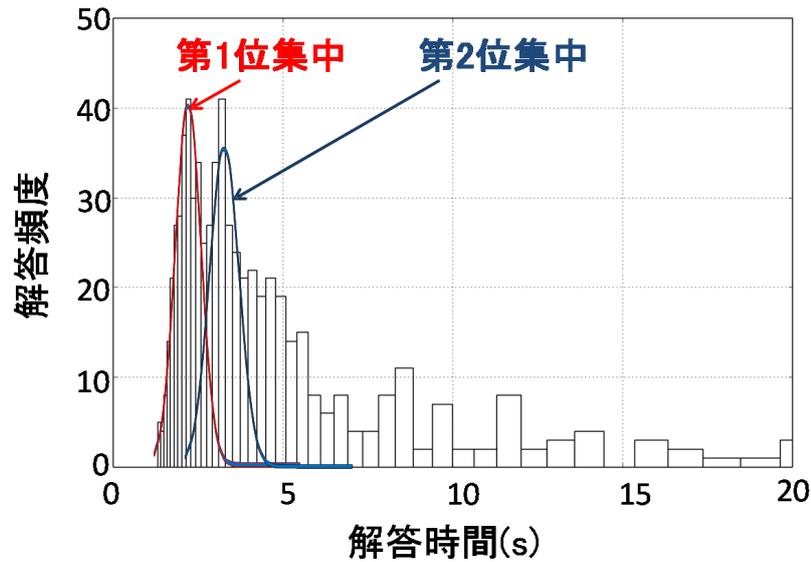


図 3.6: 2つの集中状態に対応する対数正規分布

それらの目的を示す。ただし、対数正規分布の累積分布関数  $F(t)$  は式 3.1、式 3.2 で表され、3つのパラメータ  $(\mu, \sigma, p)$  によって定義されるとし、第1位集中に対応する対数正規分布の累積分布関数  $F_1$  のパラメータを  $(\mu_1, \sigma_1, p_1)$ 、第2位集中に対応する対数正規分布の累積分布関数  $F_2$  のパラメータを  $(\mu_2, \sigma_2, p_2)$  とする。

$$F(t) = \frac{p}{2} \operatorname{erfc} \left( -\frac{\ln(t) - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right) \quad (3.1)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-s^2} ds \quad (3.2)$$

- (I) 第1位集中解析 被計測者の第1位集中での解答時間分布を表す第1位集中曲線  $F_1(\mu_1, \sigma_1, p_1)$  を求める。
- (II) 第2位集中解析 被計測者の第2位集中での解答時間分布を表す第2位集中曲線  $F_2(\mu_2, \sigma_2, p_2)$  を求める。
- (III) 解答配分解析 (I) と (II) で得たパラメータを用い、第1位集中で処理した解答数  $N_1$  と第2位集中で処理した解答数  $N_2$  をそれぞれ求め、集中指標を算出するためのパラメータを全て決定する。

以下では、これら3つの解析の概要を実行する順に説明する。

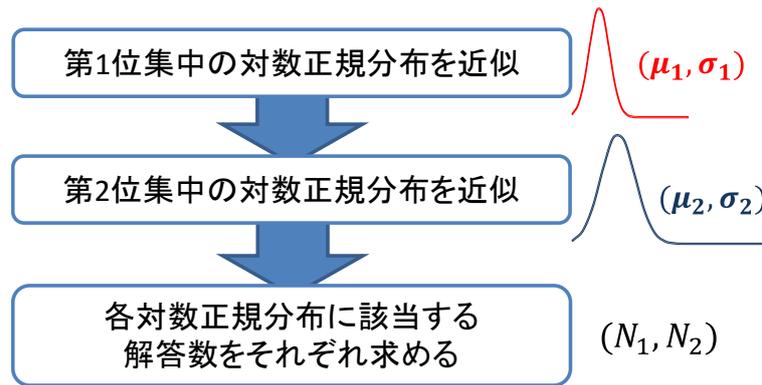


図 3.7: 算出手順の概要

### (I) 第 1 位集中解析

第 1 位集中解析では、解答時間データの中で解答時間が短いものを対象に対数正規分布に近似して、第 1 位集中曲線  $F_1(\mu_1, \sigma_1, p_1)$  を得る。近似の対象とする解答時間の選び方としては、解答時間  $t$  がデータ削減閾値  $Th(= e^{\mu+\sigma})$  に対して  $t < Th$  を満たすもののみとする。これは、第 1 位集中の近似に第 2 位集中や長期休息状態を遷移した解答が含まれにくくすることや、対数正規分布の形状を決定する重要な値である最頻値  $e^\mu$  が必ず近似に含まれるようにすることが理由である。図 3.8 に、解答時間データのヒストグラムと近似の例を示す。

実際の近似では、ヒストグラムの区間幅による近似精度の低下を防ぐため、図 3.9 に示すように解答時間を昇順に並び替えた後、5 点移動平均によって平滑化した累積分布を近似対象とし、これに式 3.1、式 3.2 で示した対数正規分布の累積分布関数を近似する。近似手法には最急降下法を用い、対象と累積分布関数との平均二乗誤差を目的関数として、それを最小化するように累積分布関数の 3 つのパラメータ  $(\mu, \sigma, p)$  の最適化する。図 3.10 に、対数正規分布の累積分布関数を用いた近似の例を示す。以上の手順により、第 1 位集中曲線のパラメータ  $(\mu_1, \sigma_1, p_1)$  を決定する。

### (II) 第 2 位集中解析

第 2 位集中解析では、解答時間データのうち第 1 位集中以外で処理された解答を、解答時間が短いものを対象に対数正規分布に近似して第 2 位集中曲線  $F_2(\mu_2, \sigma_2, p_2)$  を得る。

本解析ではまず、解答時間データから第 1 位集中を除去した差分解答時間データ  $F_{margin}$  を作成する。図 3.11 にその手順を示す。これは、(I) で得られた第 1 位集中曲線

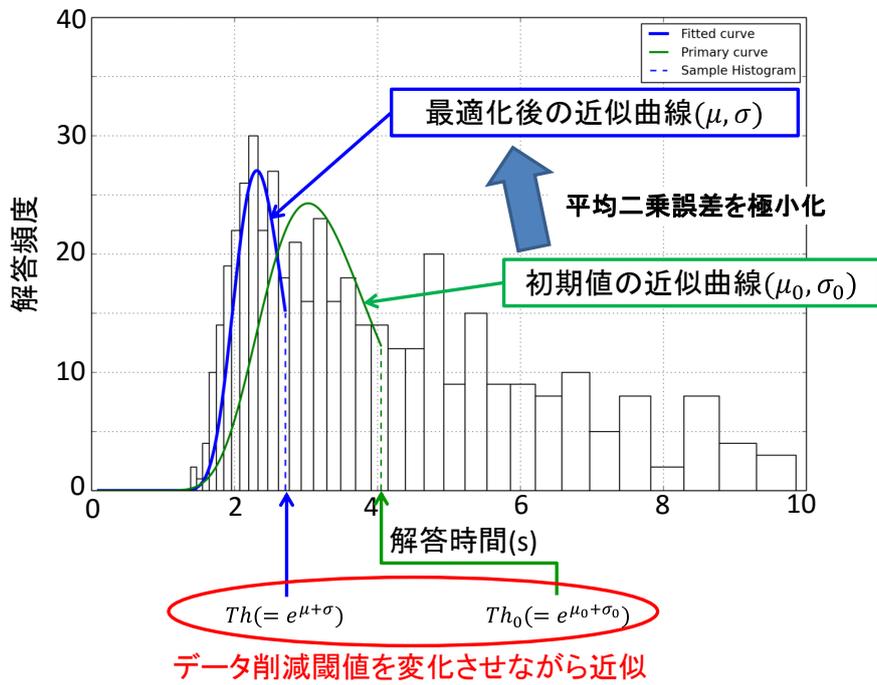


図 3.8: 近似する対数正規分布関数と解答時間ヒストグラム

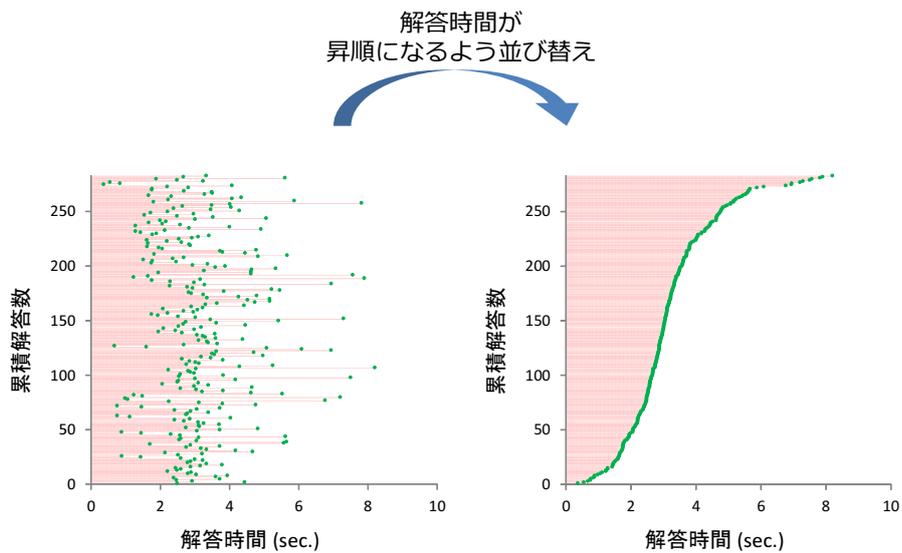


図 3.9: 解答時間の並び替え

## 最急降下法による最適化

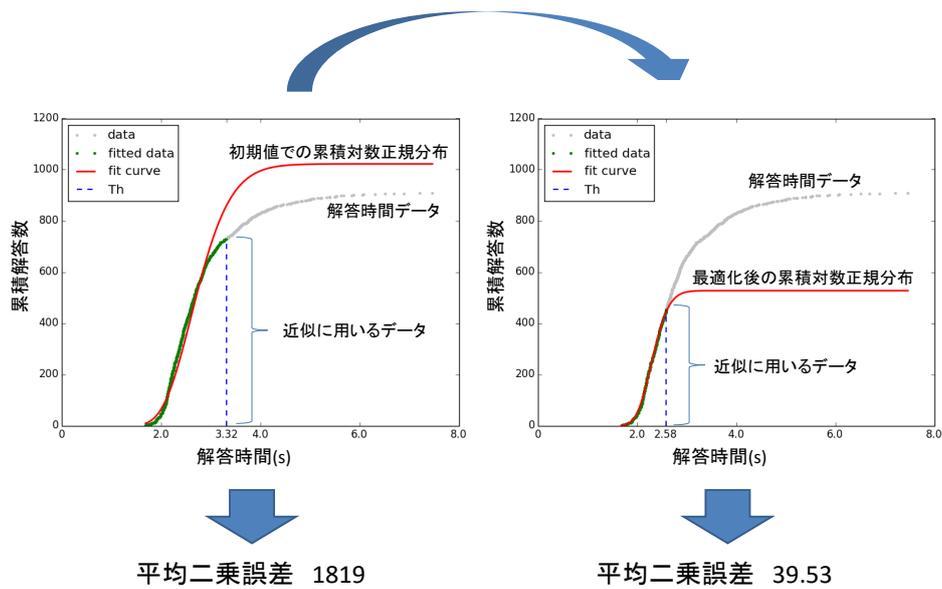


図 3.10: 累積分布関数の最適化

が第1位集中全体を表現できていることに注目し、解答時間データの各点とそれに対応する第1位集中曲線の値との差分を求め、それを昇順に並び替えて5点移動平均によって平滑化したものを作成することで、最も深い集中状態が第2位集中を表すような疑似的な解答時間データを得る過程である。

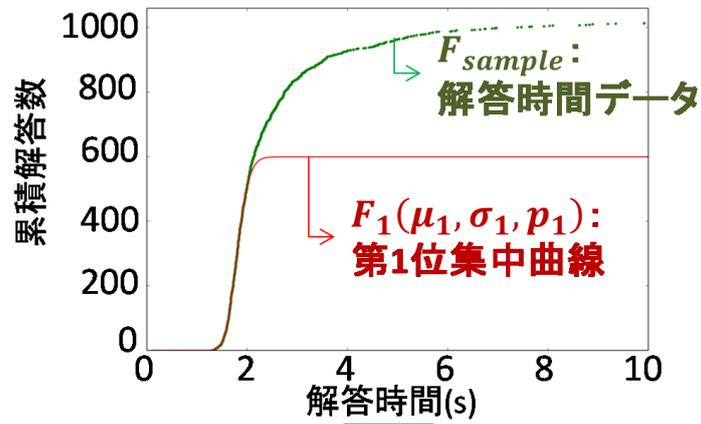
以上により、差分解答時間データを近似対象として (I) と同様の手法で近似することで、第2位集中曲線のパラメータ  $(\mu_2, \sigma_2, p_2)$  を得る。図 3.12 に、第2位集中曲線の近似結果の例を示す。

### (III) 解答配分解析

解答配分解析では、(I) と (II) で得られたパラメータと実際の解答時間データとを再度照合し、第1位集中で処理した解答数  $N_1$  と第2位集中で処理した解答数  $N_2$  をそれぞれ求める。(II) までの過程では近似対象を削減することで集中曲線を求めていたが、図 3.13 に示すように、第1位集中曲線には必ずしも近似されていない部分が存在しているため、深さが異なる集中の間は実際の解答に沿わない可能性がある。

そこで本解析では、図 3.14 に示すように、第1位集中曲線のパラメータ  $p_1$  と第2位集中曲線のパラメータ  $p_2$  を実際の解答時間と最も適合するようそれぞれ再調整し、その調整結果として  $N_1$ 、 $N_2$  を得る。

調整手順の概要を図 3.15 に示す。まず、第1位集中および第2位集中で処理された解



$F_{sample} - F_1$ で差分を求める

解答時間を昇順に並び替え

5点移動平均による平滑化

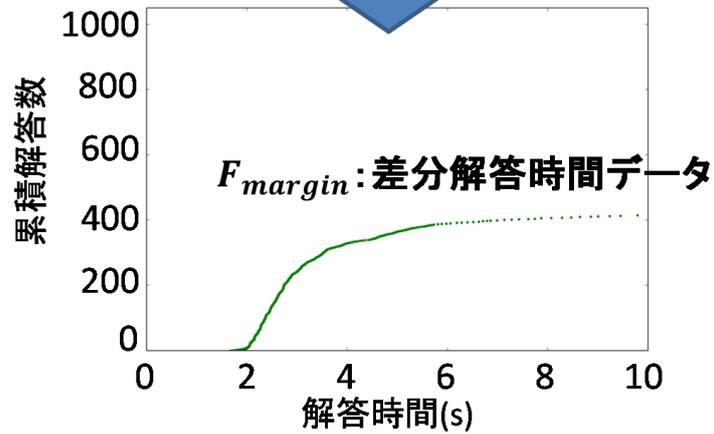


図 3.11: 差分解答時間データの作成

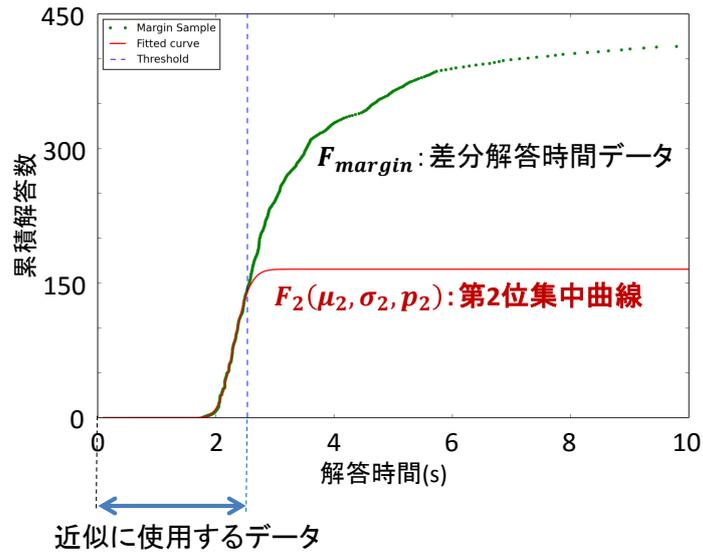


図 3.12: 第 2 位集中曲線の近似結果例

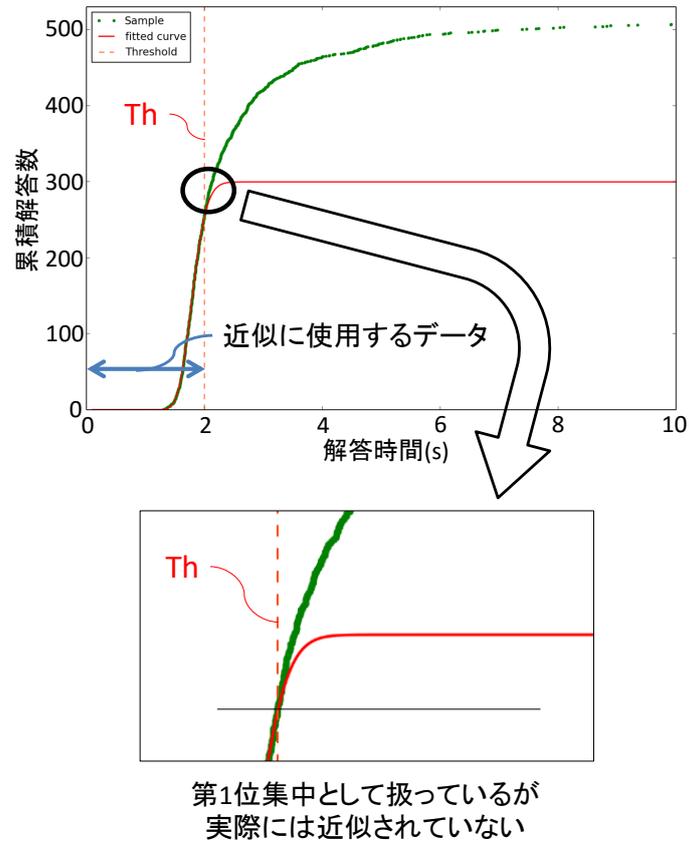


図 3.13: 深さが異なる集中の複合による問題

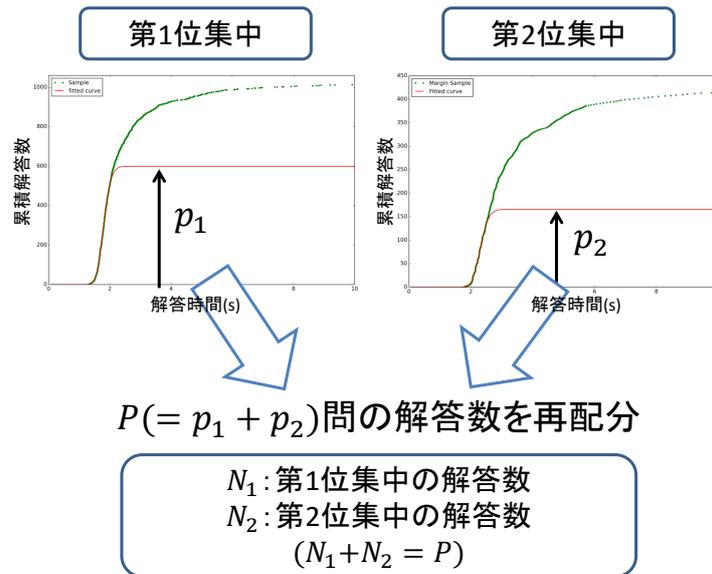


図 3.14: 問題数の配分

答数の合計  $P$  を、 $P = p_1 + p_2$  として求める。次に、 $[\ ]$  をガウス記号として  $N_1 + N_2 = [P](N_1 \geq 0, N_2 \geq 0)$  の制約条件で、集中複合曲線  $F_{sum}(= F_1(\mu_1, \sigma_1, N_1) + F_2(\mu_2, \sigma_2, N_2))$  と解答時間データとの平均 2 乗誤差  $\varepsilon(N_1, N_2)$  を、解答時間  $t$  が  $t < e^{\mu_2 + \sigma_2}$  となる解答を対象に求める。この時、1 問を解答する間の集中の深さは一定であるため  $N_1$  と  $N_2$  は共に整数とする。最後に、 $\varepsilon(N_1, N_2)$  が最小となる時の  $(N_1, N_2)$  を求める。調整後の解答時間データと集中複合曲線の例を図 3.16 に、集中複合曲線と集中曲線の例を図 3.17 に示す。以上により、実際の解答時間データと最も適合するパラメータが決定し、各集中状態で処理した解答数  $(N_1, N_2)$  が算出される。

このようにして、本手法で求めるパラメータ  $\mu_1, \sigma_1, N_1, \mu_2, \sigma_2, N_2$  を決定する。図 3.18 に、解答時間ヒストグラムと、第 1 位集中と第 2 位集中の近似結果の例を示す。

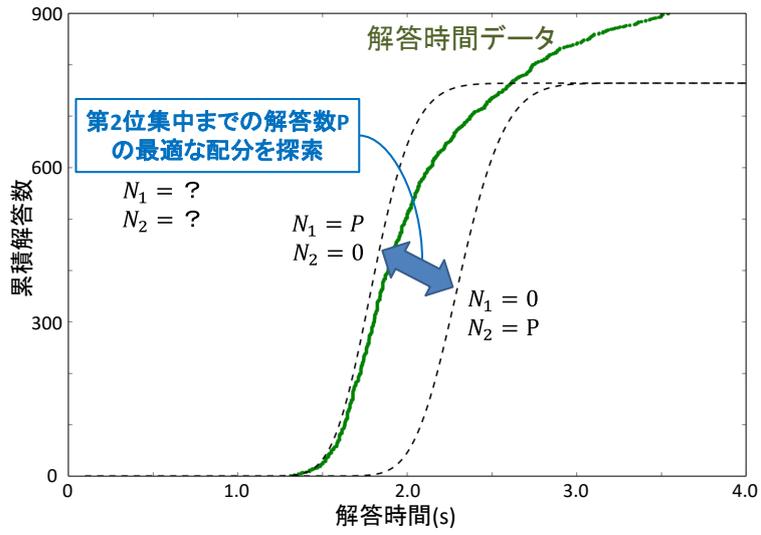


図 3.15: 集中状態ごとの処理問題数の決定方法

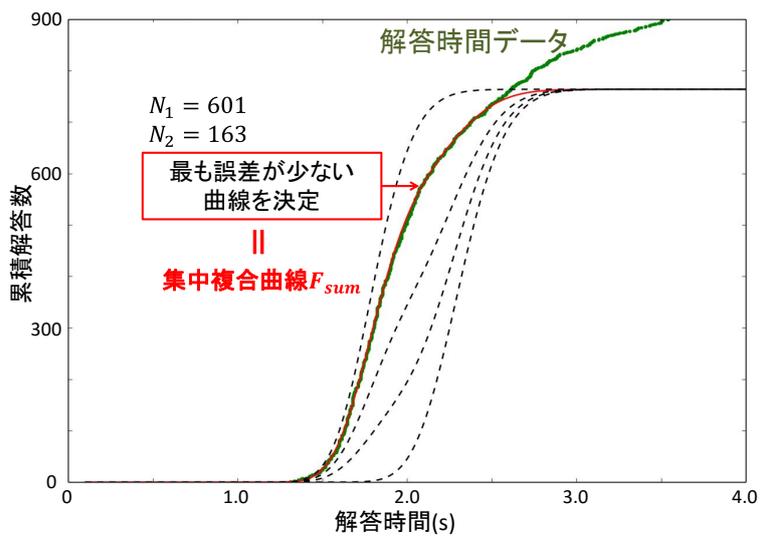


図 3.16: 集中状態ごとの処理問題数の最適化例

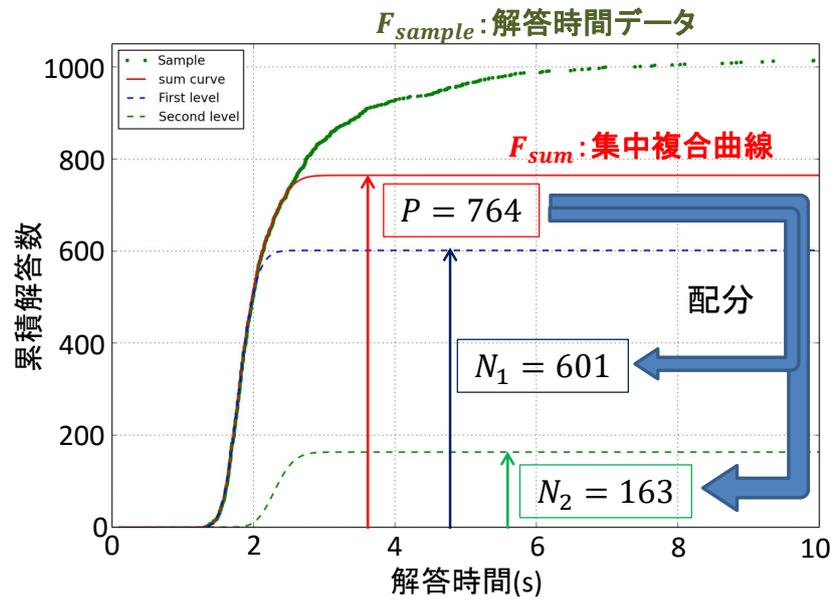


図 3.17: 解答時間データと集中複合曲線の例

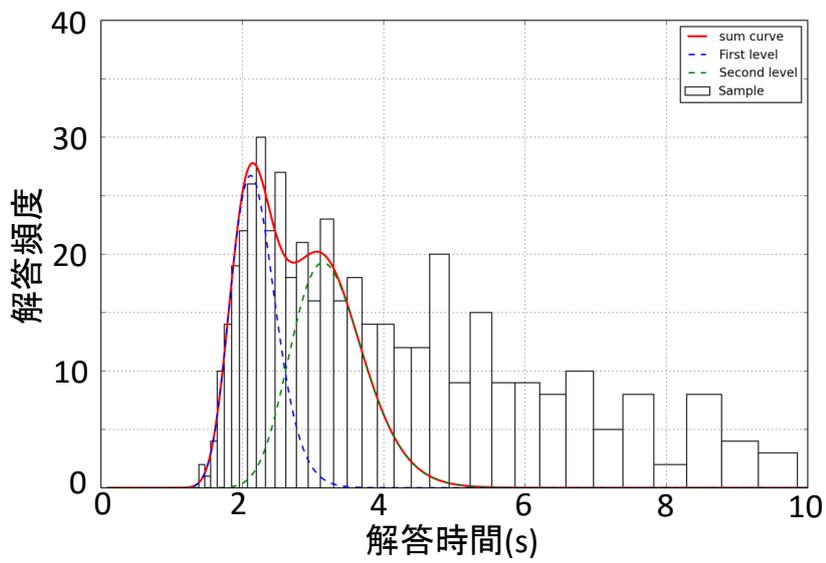


図 3.18: 解答時間ヒストグラムと近似結果の例

### 3.2.4 集中指標の算出

3.2.3 項で述べた解析手法によって求められたパラメータを表 3.1 にまとめる。解答時間の期待値  $E_1$ 、 $E_2$  は式 3.3 で、集中の時間  $T_1$ 、 $T_2$  は式 3.4 で算出される。

$$E_k = e^{\mu_k + \frac{\sigma_k^2}{2}} \quad (k = 1, 2) \quad (3.3)$$

$$T_l = E_l \cdot N_l \quad (l = 1, 2) \quad (3.4)$$

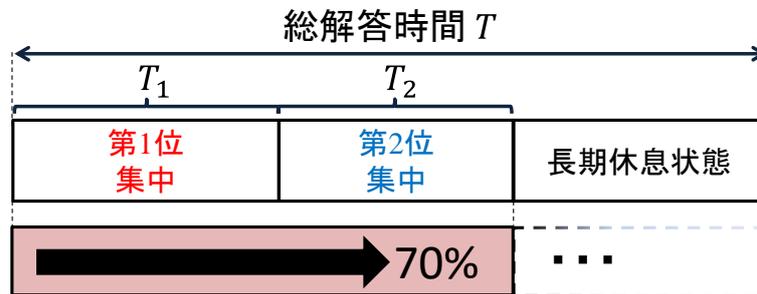
表 3.1: 算出されるパラメータ

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

本研究ではこれらのパラメータを用いて、 $CTR$  より多くの集中を評価して集中時間比率を表す値として算出される指標  $MCTR$  (Multi-Concentration Time Ratio) と、集中時間全体に占める第 1 位集中の支配率を表す値として算出される指標  $CDI$  (Concentration Depth Index) を開発した。 $MCTR$  の算出方法を式 3.5 に、 $CDI$  の算出方法を式 3.6 に示す。これらの指標は 3.2.1 項で述べたように、既存指標  $CTR$  の算出過程では考慮できなかった集中の深さの変化を反映した指標である。 $MCTR$  のイメージを図 3.19 に、 $CDI$  のイメージを図 3.20 に示す。

$$MCTR = \frac{T_1 + T_2}{T} \quad (3.5)$$

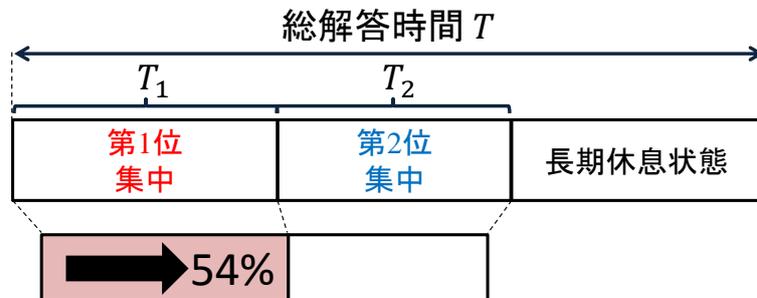
$$CDI = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad (3.6)$$



第2位集中までの時間比率  
(Multi Concentration Time Ratio)

$$MCTR = \frac{T_1 + T_2}{T}$$

図 3.19: 集中の時間指標  $MCTR$



第1位集中の支配率  $CDI$   
(Concentration Depth Index)

$$CDI = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$$

図 3.20: 集中の深さ指標  $CDI$

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

集中の深さを表す指標  $CDI$  は、第1位集中と第2位集中を遷移した時間の合計において第1位集中を遷移した時間が占める割合を表しており、2番目に深い集中までの時間に占める最も深い集中時間の支配率を意味している。深い集中の時間が長いほどこの指標は大きな値となり、集中が深いほど作業速度が高く作業内容が高次化しているため、集中時間の長さが同じであっても  $CDI$  が大きいほど知的生産性が高いと考えられる。図3.21は、第1位集中が第2位集中より支配的であり、 $CDI$  が50%より大きい解答時間ヒストグラム、図3.22は、第2位集中が第1位集中より支配的であり、 $CDI$  が50%より小さい解答時間ヒストグラムの例を示す。

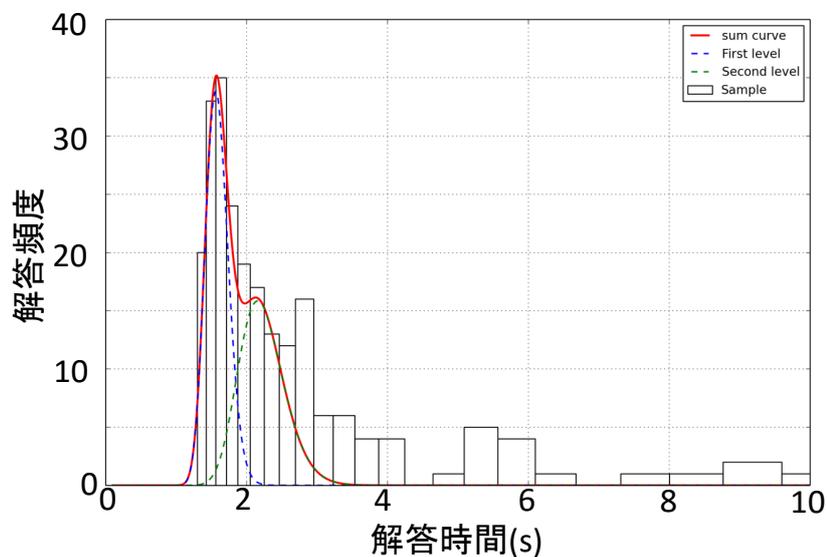


図 3.21: 第1位集中が支配的なヒストグラム例

さらに、 $MCTR$  と  $CDI$  を同時に参照すると、式 3.7 に示すように作業時間全体に占める第1位集中の時間割合を求めることができる。例えば、2つの解析結果を比較検討する際、一方の  $MCTR$  と  $CDI$  の値が共に上がれば式 3.7 の値も上がり、第

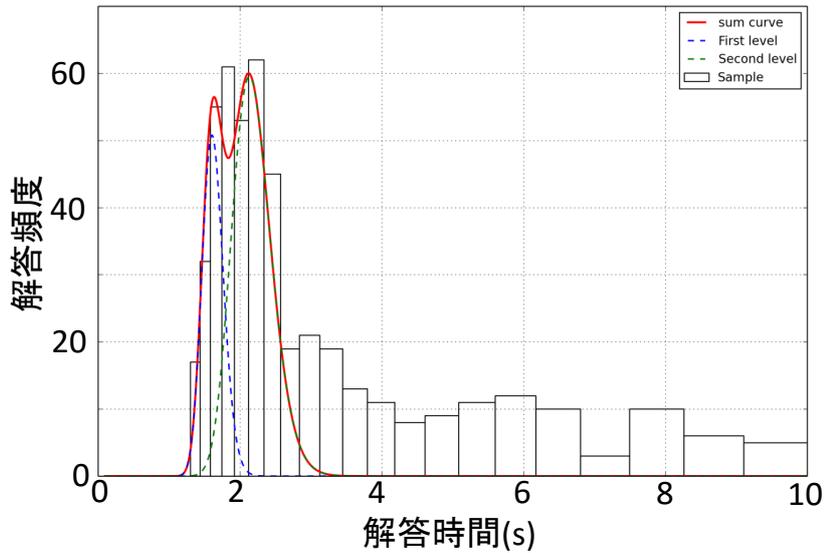


図 3.22: 第 2 位集中が支配的なヒストグラム例

1 位集中の時間が長くなっているため知的生産性が向上したと推察できる。

$$MCTR \times CDI = \frac{T_1}{T} \quad (3.7)$$

以上のように、既存指標  $CTR$  では評価できなかった集中の深さの変化を、新指標  $CDI$  によって評価できるようになる。さらに、 $MCTR$  と  $CDI$  を共に用いることで、知的生産性を新たな観点から評価することが可能になる。

### 3.3 作業モチベーションの差を用いた提案手法の確認実験

本節では、提案手法によって解析し算出された指標が集中の評価に適しているかどうかの確認を行う。そこで、まず作業モチベーションの差が知的生産性に与える影響を確かめることを目的に実施した被験者実験（以下、モチベーション実験）の方法を述べる。そして、モチベーション実験で得られたデータを提案手法で解析し、その解析結果に基づいて提案手法の妥当性を検討する。

#### 3.3.1 実験の目的

一般に、執務者の作業モチベーションは知的生産性に多大な影響を与えるとされている。例えば、作業環境がパフォーマンスに与える影響と個人の感情や事情などの心

理的な要因がパフォーマンスに与える影響を比較した場合、後者が前者を上回っており心理的な要因が行動を変化させていることが示唆されている<sup>[35]</sup>。また、計測用作業に取り組む際の教示を2種類に分けて作業モチベーションの差を作り出し、その差が集中状態に与える影響の評価を試みた研究<sup>[36]</sup>もある。この研究では、教示によるモチベーションの差異が集中の深さに影響を与える可能性を示唆している。

そこで本実験では、知的生産性との関連研究が多いモチベーションに注目し、作業モチベーションの差が知的生産性に与える影響を提案手法を用いて評価すること、そして、提案手法で仮定している作業集中モデルが集中の評価として妥当であるか確認することを目的とする。

### 3.3.2 実験の方法

実験では、健康な男子大学生または男子大学院生40名（19～26歳、平均21.8歳）に参加してもらった。実験条件は、作業への取り組み方の教示によって区別された、低モチベーション条件と高モチベーション条件の2条件とした。以下に、各条件の詳細とその狙いを述べる。

- 低モチベーション条件

作業30分間を1セットとし、1日につき4セット実施した。また、作業開始時に、「間違えないように注意しながら、なるべく速く解き進めてください」と教示した。

これにより、1日全体を想定した疲れないペースを意識させて、セット前に作業モチベーションが高くなるよう抑制している。また、以下に示す高モチベーション条件と比較して1セットの作業時間を長くすることで、相対的に作業モチベーションが低くなるよう抑制している。

- 高モチベーション条件

作業10分間を1セットとし、低モチベーション条件で4セットを行った後、1日間の最後の作業として1セット実施した。作業開始時に、「これから行う本日最後の作業は、10分間と時間が短くなります。そのため、作業に集中して全力でかつ正確に問題を解き進めてください。」と教示した。

これにより、1日の最後の作業であることが作業モチベーションを向上させる終末効果を与えているほか、連続する作業時間が短いため、作業中に疲労を意識して作業モチベーションが低下することを抑制している。さらに、既往研究<sup>[36]</sup>と同

様の教示を用いることで、低モチベーション条件より集中が深くなることを期待している。

実験参加者は8名を1グループとする5グループ（以下、実施順に Group1、Group2、Group3、Group4、Group5）に分け、実験は各グループで連続する3日間実施した。実験のプロトコルを図 3.23 に示す。

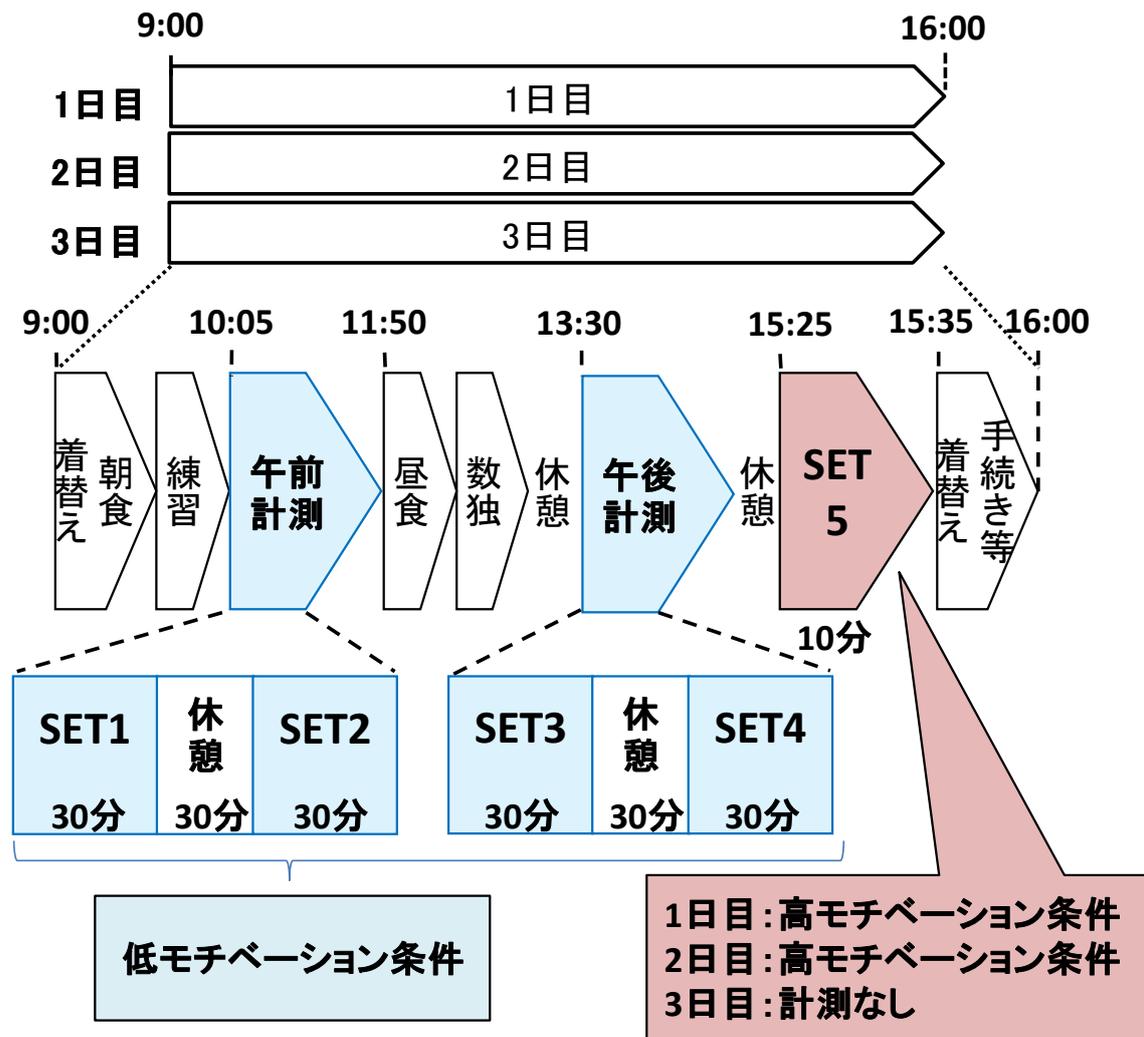


図 3.23: モチベーション実験のプロトコル

実験参加者に課す作業は 3.2.2 項で述べた比較問題とし、図 3.23 の通り、各日に 30 分間の比較問題を 4 回（以下、各日の実施順に SET1、SET2、SET3、SET4）、10 分間の比較問題を 1 回（以下、SET5）実施した。ただし、1 日目の SET1 から SET4 は作業に慣れるための練習とし、計測対象外とした。また、3 日目の SET5 では比較問題を実施せず、実験全体を通しての印象をアンケートで調査した。すなわち計測項目は、

2日目と3日目に低モチベーション条件下で実施したSET1からSET4の比較問題から得られた1人あたり計8つの解答時間データと、1日目と2日目に高モチベーション条件下で実施したSET5の比較問題から得られた1人あたり計2つの解答時間データである。ただし、同一の作業のみが連続する単調さを回避するため、SET2とSET3の間に30分間の数独をダミータスクとして実施し、計測対象外とした。数独は空欄に1～9の数字を埋めるパズルであり、図3.24にその例題を示す。

数独タスク (No.1-1)  
参加者 ID \_\_\_\_\_

				9	5	1	3	
		6	8					
	8		7			3	9	
		5	9		4	8		
	7	1			6		2	
					1	4		
	2	7	6	3				

解答を終えたら、紙をめくって次の問題を解いてください

図 3.24: 数独の例

また本実験では、2種類の環境が知的生産性に与える影響の比較評価も目的として実施した。比較した環境は温熱刺激環境と標準環境であり、図3.25にその概要を示す。温冷感の指標にはFangerが考案したPMV(Predicted Mean Vote)<sup>[37]</sup>を用いた。PMVの値は-3(寒い)から+3(暑い)の7段階で温冷感を示しており、0を人体にとって快適な環境として表している。これらの環境は、図3.23の実験プロトコルのうち2日目と3日目のSET1からSET4における環境として設計した。表3.2に、比較のため実際に制御した環境の順序を示す。ただし、SET5における環境は一様に標準環境とした。したがって、高モチベーション条件と低モチベーション条件では執務環境に差が生じていることがある。しかし、3.3.1項で述べた通り、執務者は環境の影響と比べてモチベーションの影響に左右される傾向が強いとされているため、本実験では条件間で十

分にモチベーション差を生じさせることで環境差の影響を無視できるとした。ただし、意図的に変化させた環境要素以外の影響を抑えるため、二酸化炭素濃度、騒音、机上面照度は表 3.3 に示すように統制した。環境による影響の比較については杉田<sup>[38]</sup> が詳しく述べているため、本研究では考察しない。

※午前と午後で制御が異なるものは**午前/午後**で、  
休憩後の入室時の制御は**括弧()**内で表記

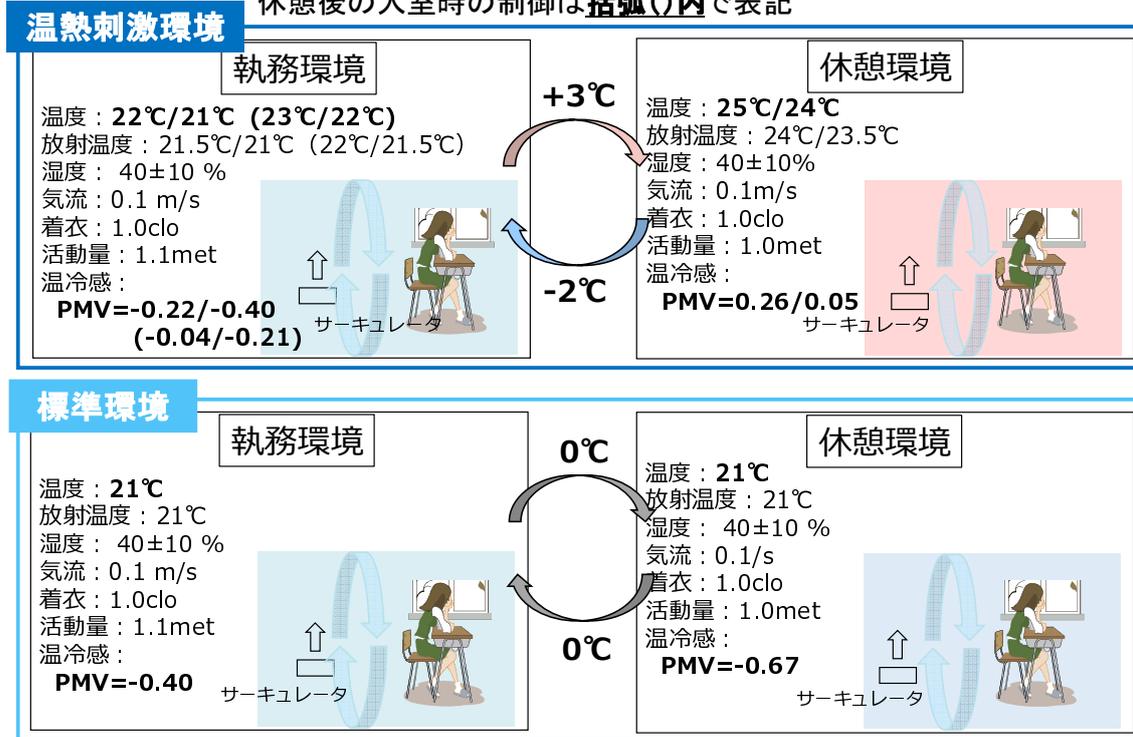


図 3.25: 比較環境の詳細

実験は2016年12月2日から2017年1月9日にかけて実施し、京都大学総合研究10号館010室を執務室とした。グループ別の実験実施期間と実際の実験参加者数を表 3.4 に示す。実験当日の体調不良や遅刻により参加できなかった実験参加者がいたため、参加人数が8人に満たないグループもあった。また、執務室のレイアウトを図 3.26 に、実際の実験中の執務室風景を図 3.27 に示す。執務室では、2人ずつ向かい合うよう着席した4人の参加者につき1人の実験者が監視するブロックを2つ作った。ブロック間は高さ165cmのパーティションによって区切られ、ブロック内では対向席と高さ120cmのパーティションによって、隣席および実験者とは高さ90cmのパーティションによって作業スペースを区切った。

表 3.2: モチベーション実験中の環境制御

	1日目	2日目	3日目
Group1	練習	標準環境	温熱刺激環境
Group2	練習	温熱刺激環境	標準環境
Group3	練習	標準環境	温熱刺激環境
Group4	練習	温熱刺激環境	標準環境
Group5	練習	標準環境	温熱刺激環境

表 3.3: モチベーション実験中の室内環境の統制方法

二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度
900ppm 以下	55dB 以下	650±20lux

表 3.4: グループ別の実験実施期間と参加人数

	実験の実施期間	実験参加者数
Group1	2016年12月2日～12月4日	8名
Group2	2016年12月9日～12月11日	6名
Group3	2016年12月16日～12月18日	7名
Group4	2016年12月23日～12月25日	8名
Group5	2017年1月7日～1月9日	6名

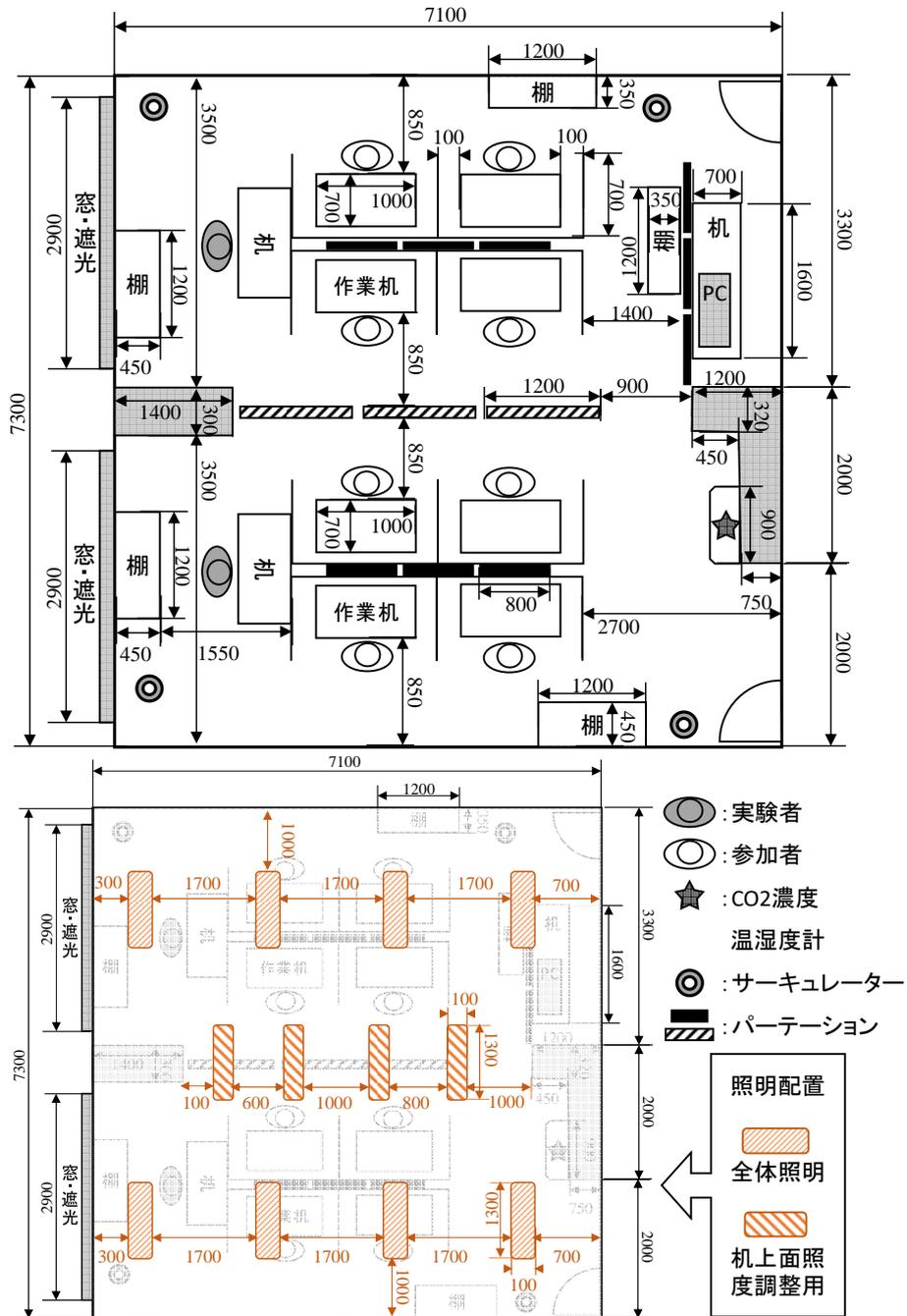


図 3.26: モチベーション実験の執務室のレイアウト



図 3.27: モチベーション実験の執務室風景

### 3.3.3 実験の結果

実際に参加した35名のうち、実験中に与えた教示を守らず適切に実験に参加しなかった者や実験参加中に体調不良となった者の合計6名を実験の解析対象外とし、その他の29名から得られた解答時間データを対象に提案手法で解析した。

解析の結果得られるパラメータ  $E_1$ 、 $E_2$  は、異なる集中の深さがそれぞれ形成した解答時間分布の平均値を意味している。もしこの値が同じ実験参加者で一定に保たれていれば、その実験参加者は第1位集中と第2位集中という不変で固有な作業速度を持っていると考えられる。この場合、図3.2の作業集中モデルで仮定したように、集中の深さは一定の離散的な状態として存在しているために固有の分布を形成していると言え、提案手法が想定している作業集中モデルは実際の知的作業過程を確かに表現できていると考えられる。そこで本解析では、提案手法の妥当性を確認するパラメータとして  $E_1$  と  $E_2$  を、知的生産性を評価するための集中指標として  $MCTR$  と  $CDI$  を算出した。全ての実験参加者について算出された5つの指標の値は付録Aに譲る。ただし、解析対象外の結果はN/Aと表記している。

まず、低モチベーション条件と高モチベーション条件との条件間で、 $E_1$  平均値と  $E_2$  平均値を比較した結果を図3.28に、その詳細を表3.5に示す。条件毎の平均値を参加者別に算出して条件間で対のある両側t検定で比較したところ、 $E_1$  と  $E_2$  共に条件間に有意な差は見られなかった。

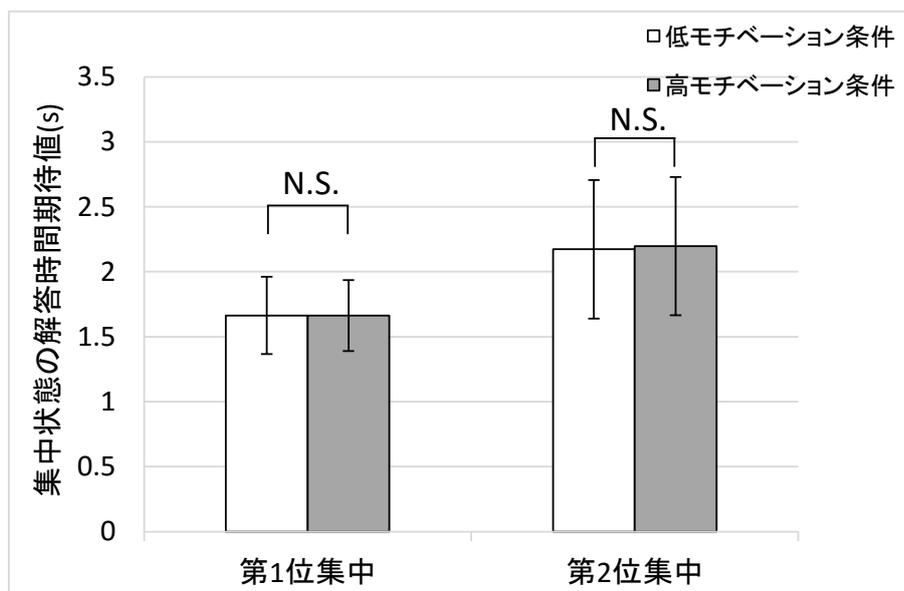


図 3.28: モチベーション実験における  $E_1$  と  $E_2$  の条件間比較

表 3.5: モチベーション実験における  $E_1$  と  $E_2$  の算出結果

		標準条件	温熱制御条件	p 値
$E_1$	平均値	1.66	1.66	0.98
	標準偏差	0.30	0.27	
$E_2$	平均値	2.17	2.20	0.53
	標準偏差	0.53	0.53	

次に、低モチベーション条件下での  $MCTR$  平均値と高モチベーション条件下での  $MCTR$  平均値を比較した結果を図 3.29 に、その詳細を表 3.6 に示す。条件毎の  $MCTR$  の平均値を参加者別に算出して条件間で対のある両側 t 検定で比較したところ、高モチベーション条件下での  $MCTR$  は低モチベーション条件下での  $MCTR$  と比較して有意に高かった ( $p < 0.001$ )。

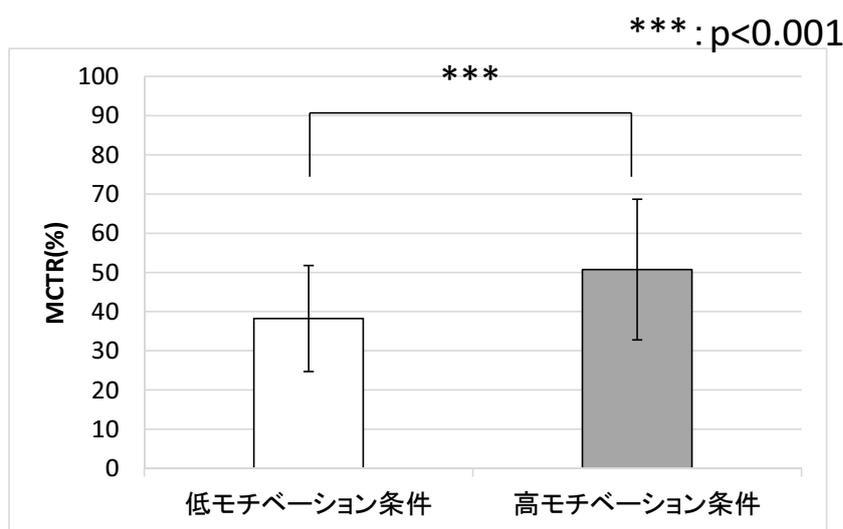


図 3.29: モチベーション実験における  $MCTR$  平均値の条件間比較

表 3.6: モチベーション実験における  $MCTR$  の算出結果

	低モチベーション条件	高モチベーション条件	p 値
平均値	38.2	50.7	$7.0 \times 10^{-6}$
標準偏差	10.6	14.6	

最後に、低モチベーション条件下での  $CDI$  平均値と高モチベーション条件下での  $CDI$  平均値を比較した結果を図 3.30 に、その詳細を表 3.7 に示す。条件毎の  $CDI$  の

平均値を参加者別に算出して条件間で対のある両側 t 検定で比較したところ、高モチベーション条件下での *CDI* は低モチベーション条件下での *CDI* と比較して有意に高い傾向を示した ( $p < 0.05$ )。

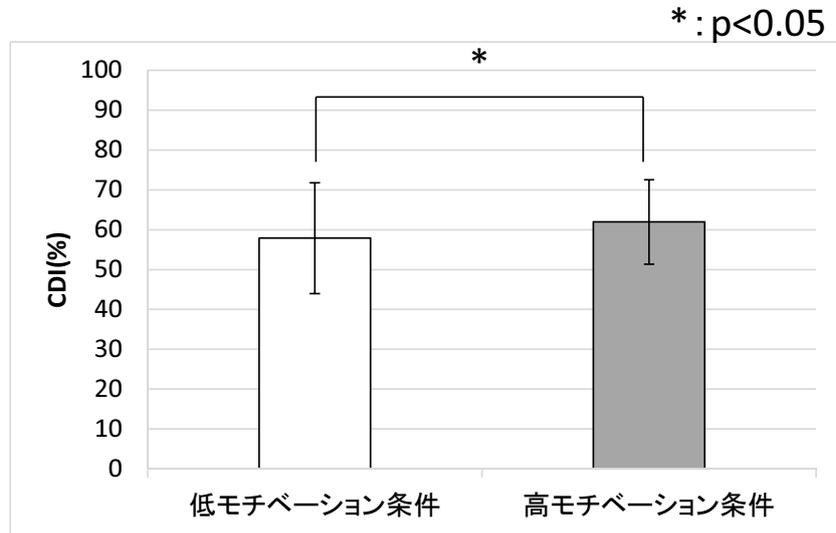


図 3.30: モチベーション実験における *CDI* 平均値の条件間比較

表 3.7: モチベーション実験における *CDI* の算出結果

	低モチベーション条件	高モチベーション条件	p 値
平均値	57.9	62.0	0.035
標準偏差	10.0	8.22	

### 3.3.4 考察

本実験は、作業モチベーションの差が集中時間や集中の深さに影響することを期待し、実験で得られた解答時間データを提案手法で解析して集中に関するパラメータを算出することで、作業集中モデルに基づいた集中の評価が妥当であるか確認することを目指した。さらに、作業モチベーションの差によって設計された高モチベーション条件と低モチベーション条件とを比較し、知的生産性の向上効果や集中の深さの変化を評価することを目指した。

まず、第1位集中と第2位集中の解答時間期待値を表す  $E_1$  と  $E_2$  を算出したところ、実験条件間での変化は確認されなかった。3.3.3 項で述べたように、 $E_1$  と  $E_2$  が一定の

値を示し変化しないとはつまり、実験参加者はたとえモチベーション変化等により集中状態が変わっても最も速い解答速度とその次に速い解答速度の固有の解答時間分布、すなわち第1位集中と第2位集中を持つと考えることができ、作業集中モデルで仮定した離散的な集中状態の存在を裏付けていると言える。したがって、本研究で提案した作業集中モデルとそれに基づいて集中指標を算出する解析手法によって、実験参加者の集中状態を適切に評価できると言える。

次に、集中時間比率を表す *MCTR* と、最も深い集中時間の支配率を表す *CDI* を算出したところ、高モチベーション時は低モチベーション時と比べて集中して作業に取り組む時間がより長くなっており、さらにその集中時間のうち最も深い集中時間の割合が大きくなる傾向があることが分かった。両指標が同時に向上していることから、作業モチベーションの向上によって少なくとも知的生産性が向上したことが分かり、加えて高モチベーション条件は高次の知的作業を遂行する上でも有効であったと考察できる。これは、高モチベーション条件において全力で作業に取り組むにあたり、10分間という短時間のタスクのために実験参加者が意図的に注意対象を絞り込んでいたことや、自身の疲労感や眠気感などの主観的な外乱要因に注意を奪われなかったことにより作業対象の認知処理活動に専念できたことが理由となったと考えられる。また、作業モチベーションは知的生産性に与える影響が大きいとされているため、実験条件が十分に作業モチベーションの差を生み出せていたことが *MCTR* や *CDI* の向上につながったと考えられる。

ただし、各条件下での *CDI* の変化には有意傾向は見られたものの有意な変化はなく ( $p = 0.035$ )、今回の実験条件は集中の深さより集中の長さへの影響がより大きかったと言える。これは、低モチベーション条件が連続30分間の作業であったのに対し高モチベーション条件は連続10分間の作業で計測しており、疲労回復のため作業中に意図的な休息を取る必要性が低かったことが理由として考えられる。また、実験条件間の執務環境の差はほとんどなかったが、低モチベーション条件は計測の半分が温熱刺激環境であった。温熱刺激環境と標準環境とを比較すると、温熱刺激環境は標準環境と比べて執務環境の主観的な快適性を向上させ、知的生産性を向上させた可能性が示唆されている<sup>[38]</sup>。本実験では高モチベーション条件の環境は常に標準環境としており、温熱刺激環境下で実施した低モチベーション条件の計測では外乱要因に注意を奪われにくくなったことが *CDI* を向上させてしまったため、モチベーション差による *CDI* の向上効果と環境差による *CDI* の向上効果が打ち消しあって差が表れにくかったと考えられる。そして、3.3.1項で述べたように心理的要因であるモチベーションは環境要因

より知的生産性に与える影響が大きいため、*CDI*の向上効果は有意な傾向にとどまったと考察できる。

以上により、提案する作業集中モデルの妥当性が実際の実験参加者の作業結果によって確認でき、それに基づいた集中指標により知的生産性の評価を試みる提案手法が適切に利用できることが確認できた。さらに、教示や終末効果による作業モチベーションの向上が知的生産性を向上させていることが、集中指標 *MCTR* と *CDI* によって示された。

## 第 4 章 提案手法を用いた環境評価実験データの解析

本章ではまず、本研究室で過去に行った統合温熱制御実験で得られたデータを提案手法で解析する目的について述べる。そして、統合温熱制御実験の概要について述べ、実験のデータを既存指標である  $CTR$  と本研究で開発した指標  $MCTR$ 、 $CDI$  を用いて評価し、統合温熱制御と知的生産性の関係を考察する。

### 4.1 実験解析の目的

本研究室ではこれまで、知的生産性の向上を目指した様々な執務環境を評価するため被験者実験を実施してきた。その際、評価指標として  $CTR$  のみを用いることが多く、集中の深さの変化については議論していなかった。

そこで、過去に  $CTR$  のみを用いて評価した実験の 1 つである統合温熱制御実験<sup>[38]</sup>のデータを対象とし、提案手法による解析で集中の深さを考慮した集中指標である  $MCTR$ 、 $CDI$  を算出して評価指標として用いることで、集中時間と集中の深さの 2 要素から実験結果を考察することを本解析の目的とする。提案手法に基づいた考察と既存手法に基づいた考察とを比較することで提案手法の有用性を示すとともに、統合的な温熱制御の改善が知的生産性に与える影響を新たな観点から考察することが可能になる。

### 4.2 統合温熱制御実験の概要

#### 4.2.1 実験の目的

知的生産性の向上を目指してオフィス環境を改善する試みは広く取り組まれている<sup>[39]</sup>。オフィス環境を構成する要素は様々であり、その例として温熱<sup>[40][41]</sup>や休憩環境<sup>[42][43]</sup>に注目した研究が行われてきた。しかし一方で、執務者の温熱感は執務環境と休憩環境とで独立ではなく影響し合うと考えられるが、執務環境と休憩環境の温熱を統合的に制御することが知的生産性に与える影響について検討した研究はほとんどない。統

合制御では、休憩環境と執務環境の相対的な温熱差による刺激（以下、温熱刺激）がモチベーションや疲労感に作用して知的生産性に影響を与える可能性がある。そこで本実験では、温熱刺激のある統合制御環境が温熱刺激のない統合制御環境に比べどれだけ知的生産性を向上させているか、集中指標を用いて評価することを目的とした。

#### 4.2.2 実験の方法

実験は2016年8月20日から10月8日にかけて実施し、健康な男子大学生または男子大学院生44名（18～26歳、平均21.5歳）に参加してもらった。実験条件は、執務室と休憩室に温熱差を設ける条件（以下、温熱制御条件）と、執務室と休憩室に温熱差を設けない条件（以下、標準条件）の2条件とした。温熱制御条件の概要を図4.1に示し、各条件の詳細な設定を図4.2に示す。温冷感の指標には3.3.2項と同様にPMVを用いている。温熱刺激についてGwakら<sup>[44]</sup>は、許容範囲内の温熱刺激は覚醒度を向上させ、パフォーマンスを向上させる可能性を脳波計測によって示した。さらにSchacterら<sup>[45]</sup>は、人の身体覚醒度の変化がモチベーションに作用して行動を変化させる可能性を示唆した。そこで温熱制御条件では、執務室を涼しい環境、休憩室を暖かい環境とし、部屋移動時の温熱刺激が覚醒度の向上と作業モチベーションの向上を介して知的生産性を向上させることを期待している。また、比較する条件以外の影響を抑えるため、二酸化炭素濃度、騒音、机上面照度は表4.1に示すように一定に統制した。実験室は、執務室を京都大学総合研究10号館010室、休憩室を同館008室とした。

表 4.1: 統合温熱制御実験中の室内環境の統制方法

二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度
800ppm 以下	55dB 以下	700±20lux

比較する2条件の実験順序のカウンターバランスをとるため、実験参加者は8名を1グループとする計5グループ（以下、実施順にGroup1、Group2、Group3、Group4、Group5）および4名を1グループとするグループ（以下、Group6）に分けられ、表4.2に示す順序で実験条件を決定した。実験は各グループで2日間に分けて実施され、Group1の1日目を2016年8月20日の土曜日、2日目を2016年8月27日の土曜日としたように、参加する曜日が各グループごとに同じになるように6日間空けて実施した。

実験のプロトコルを図4.3に示す。実験参加者に課す認知タスクは3.2.2項で述べた比較問題とし、各日に30分間の比較問題を4回実施した（以下、各日の実施順にSET1、

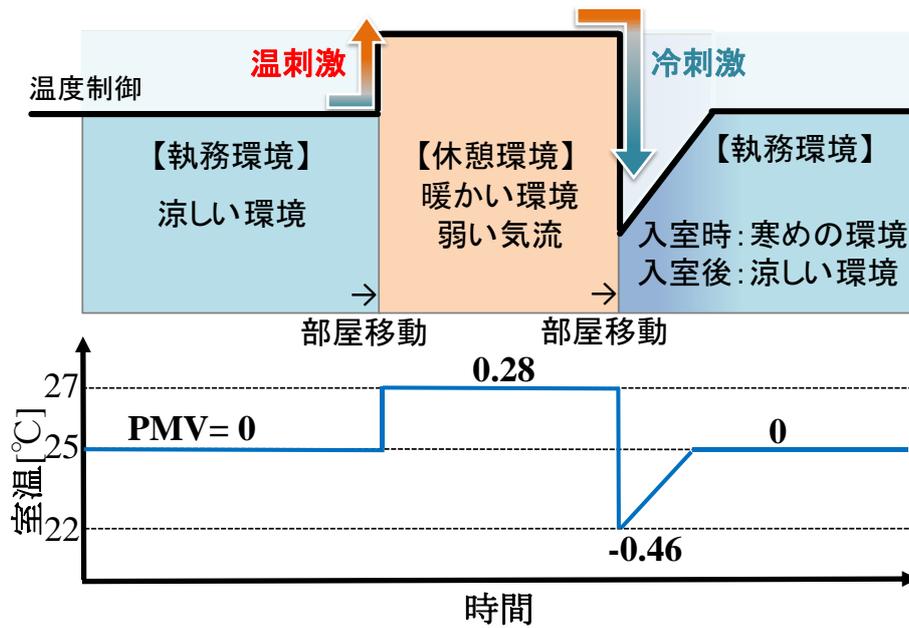


図 4.1: 統合温熱制御の概要

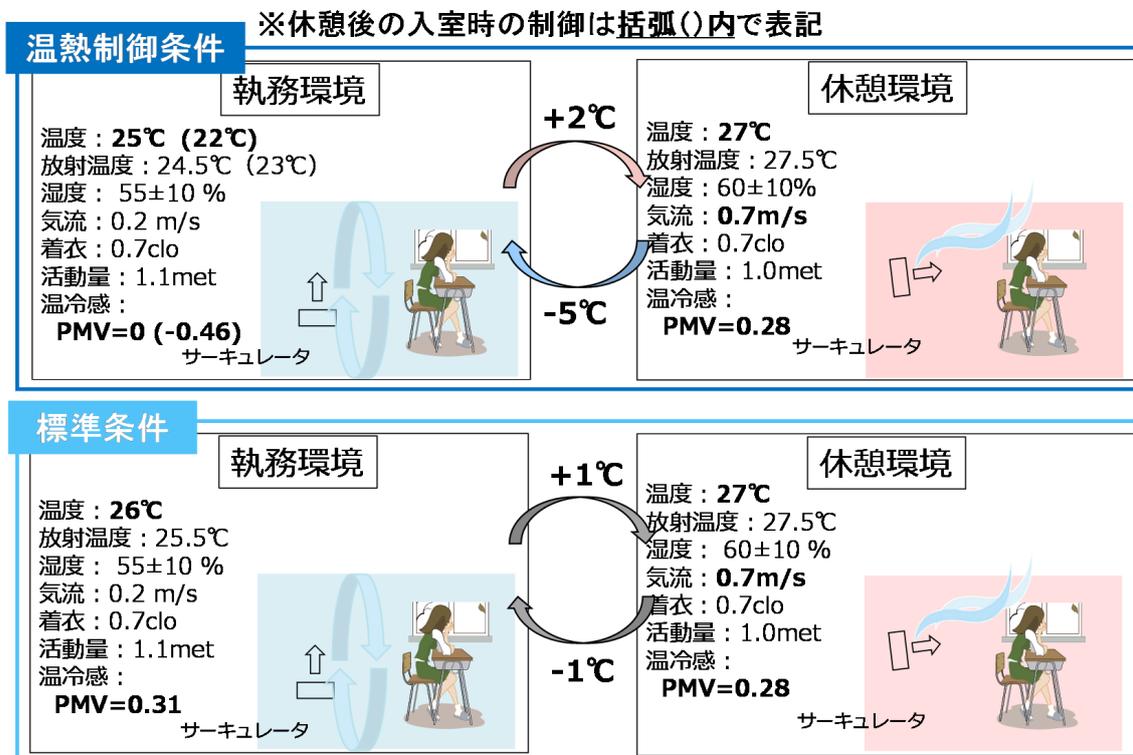


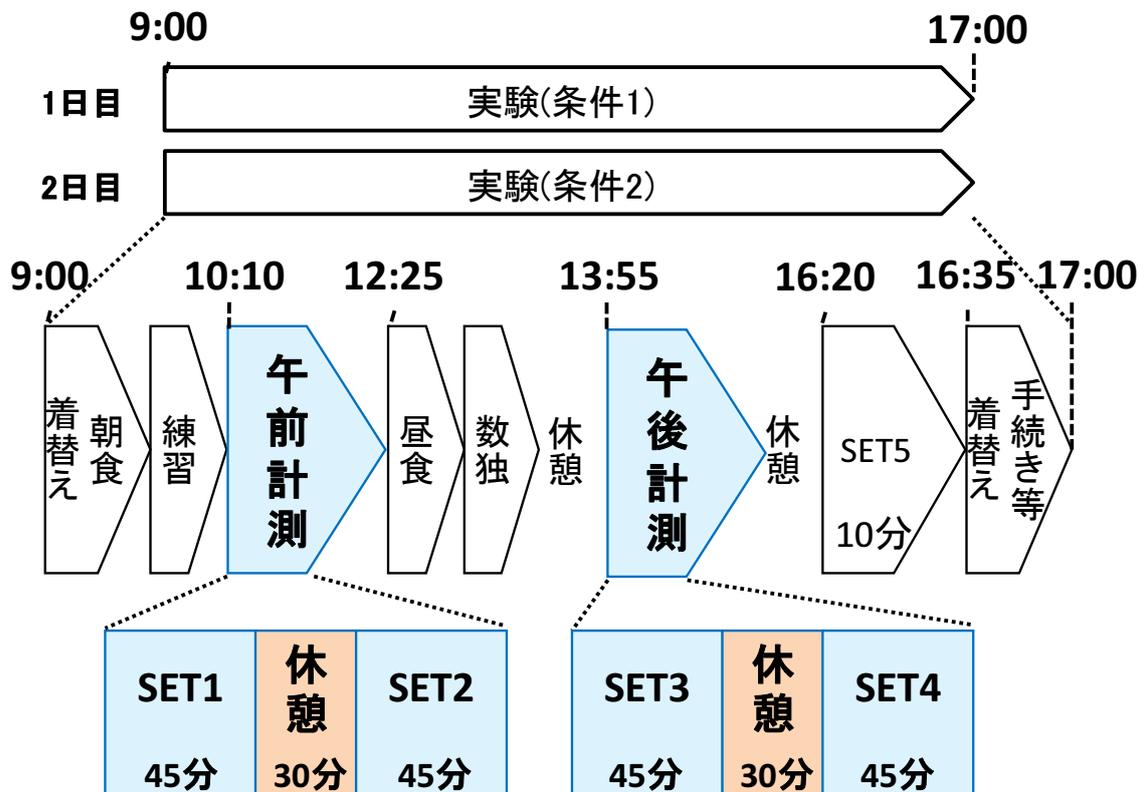
図 4.2: 設計した条件の詳細

表 4.2: 統合温熱制御実験の条件と日程

	1 日目	2 日目
Group1	標準条件	温熱制御条件
Group2	温熱制御条件	標準条件
Group3	温熱制御条件	標準条件
Group4	標準条件	温熱制御条件
Group5	標準条件	温熱制御条件
Group6	温熱制御条件	標準条件

SET2、SET3、SET4)。そのほか、終末効果が計測対象に影響することを回避するため、ダミータスクとしてSET4の後に10分間の比較問題であるSET5を実施し、計測対象外とした。ただし、2日目のSET5では比較問題を実施せず、実験全体を通しての印象をアンケートで調査した。さらに、同一の作業のみが連続する単調さを回避するためSET2とSET3の間に30分間の数独をダミータスクとして与えたが、これも計測対象外とした。数独は3.3.2項で述べたものと同様である。すなわち計測項目は、2つの条件下でそれぞれ実施したSET1からSET4の比較問題から得られた、1人あたり計8つの解答時間データである。作業への取り組み方の教示については、各作業間でモチベーションの差を生じにくくするために全ての作業で統一し、各SETの開始時に「間違えないように注意しながら、なるべく速く解き進めてください」と指示した。

グループ別の実験実施期間と実際の実験参加者数を表4.3に示す。Group1～Group5では実験当日の体調不良や遅刻により参加できなかった実験参加者がいたため、参加人数が8人に満たないグループもあった。また、執務室のレイアウトを図4.4に、休憩室のレイアウトを図4.5に示し、実際の実験中の執務室風景を図4.6に示す。執務室では参加者が4人ずつ向かい合うよう着席し、対向席は高さ120cmのパーテーションによって、隣席は高さ90cmのパーテーションによって作業スペースを区切った。ただし、Group6では参加者の人数に応じて執務室のレイアウトを図4.7のように変更して実施しており、作業スペースは対向席と高さ120cmのパーテーションによって、隣席および実験者とは高さ90cmのパーテーションによって区切った。



※数独, SET5は計測対象外

図 4.3: 統合温熱制御実験のプロトコル

表 4.3: グループ別の実験実施期間と参加人数

参加グループ	実験の実施期間	実験参加者数
Group1	2016年8月20日、8月27日	7名
Group2	2016年8月21日、8月28日	8名
Group3	2016年8月23日、8月30日	8名
Group4	2016年8月25日、9月1日	5名
Group5	2016年9月6日、9月13日	6名
Group6	2016年10月1日、10月8日	4名

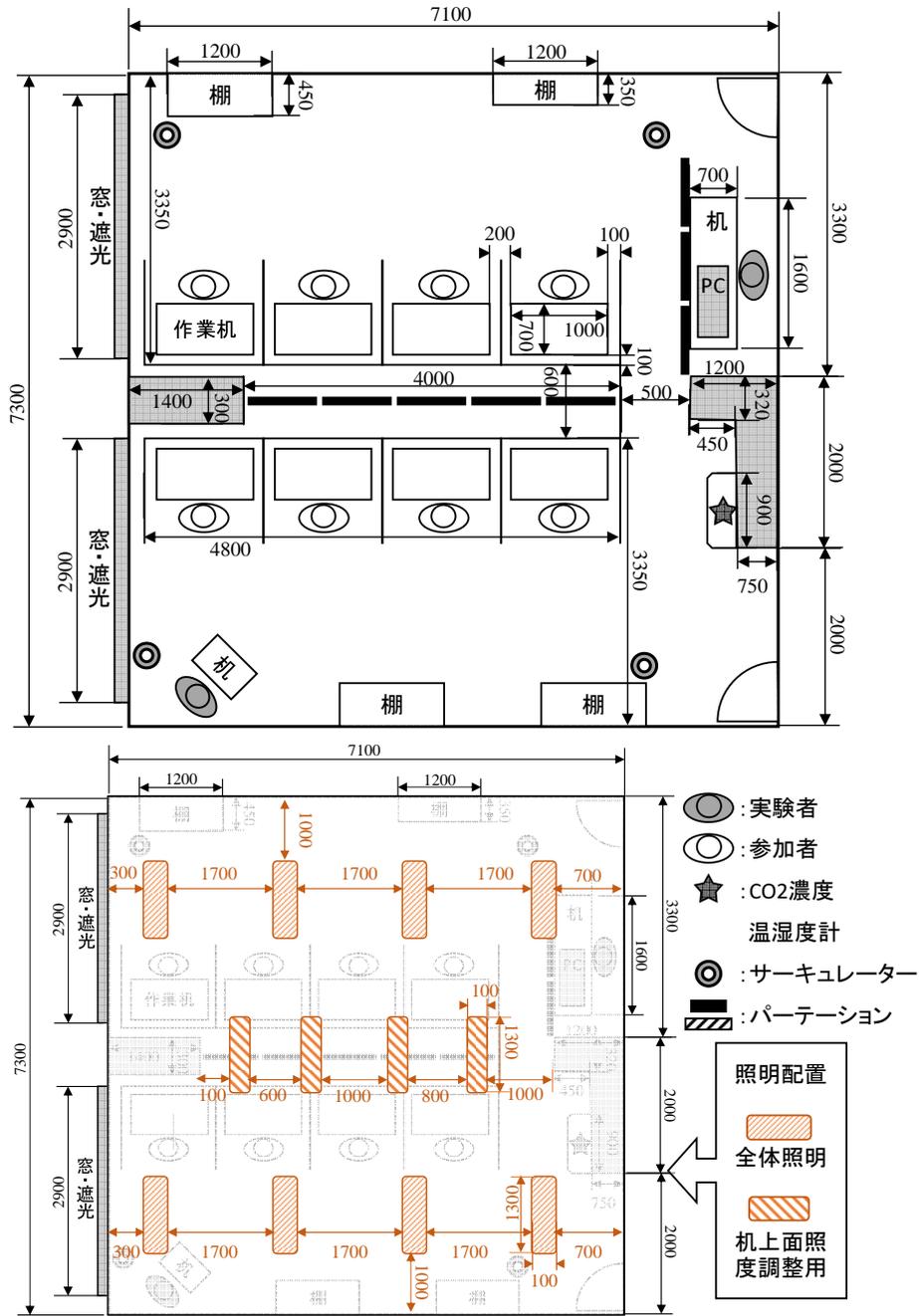


図 4.4: 統合温熱制御実験の執務室のレイアウト (Group1~5)

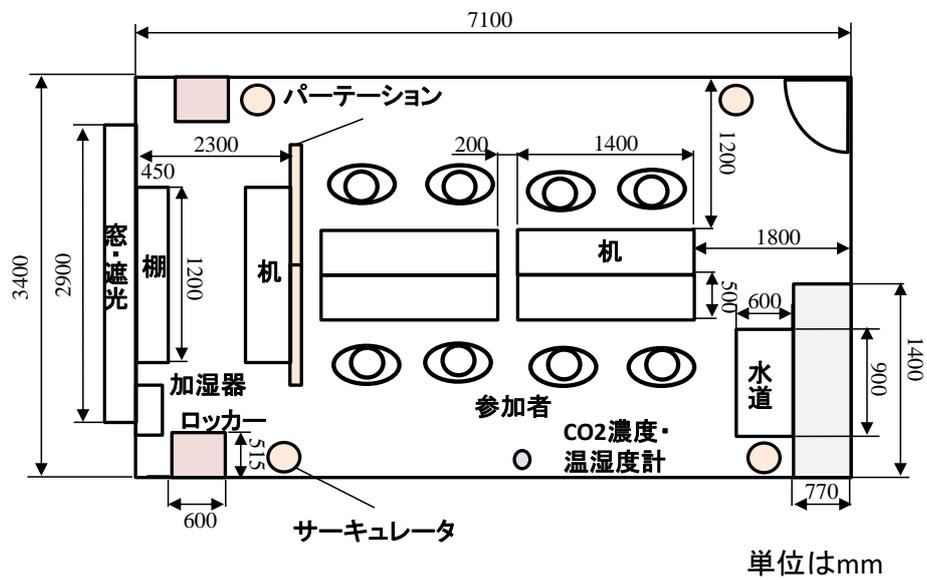


図 4.5: 統合温熱制御実験の休憩室のレイアウト (Group1~6)



図 4.6: 統合温熱制御実験の執務室風景

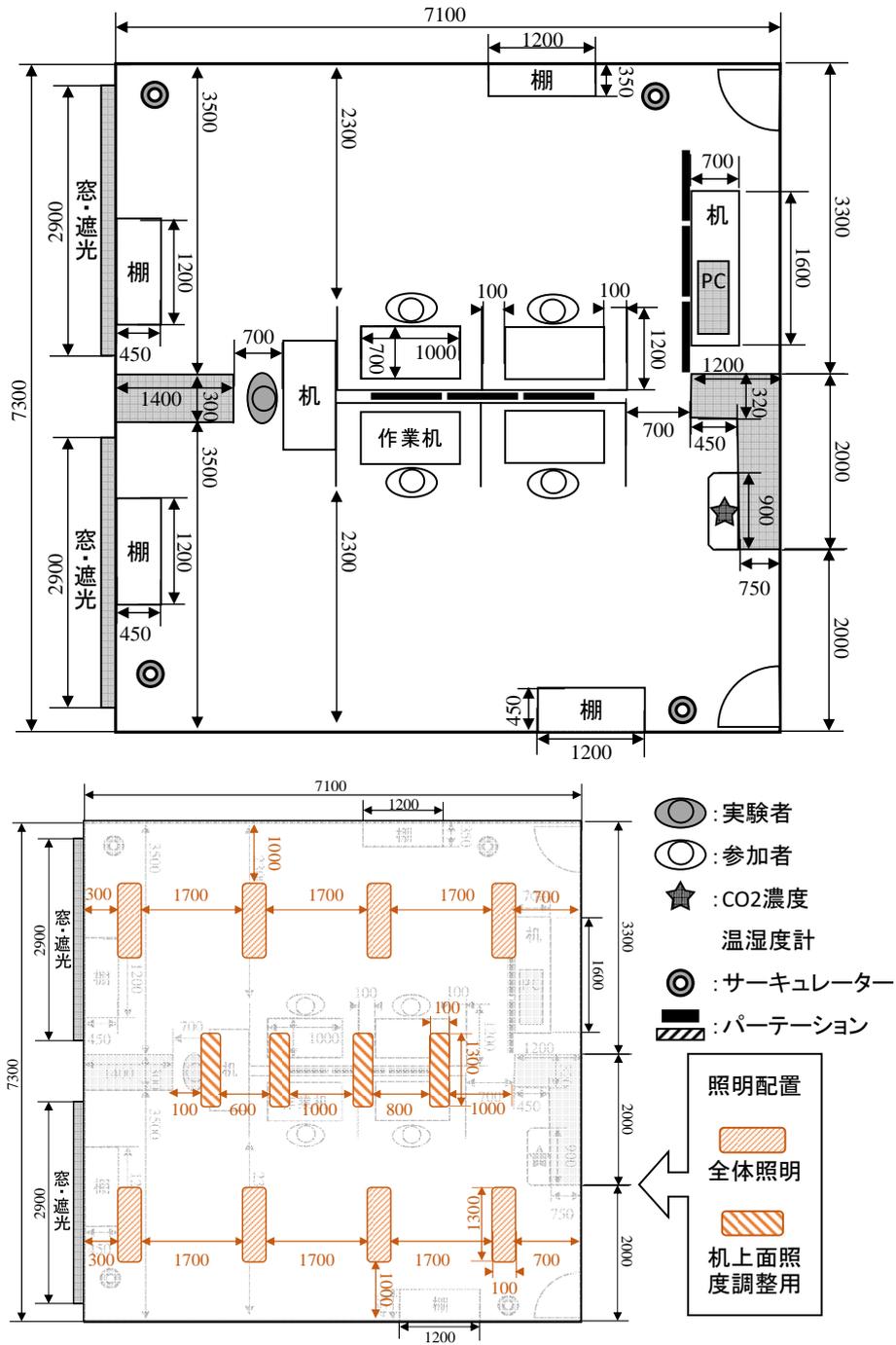


図 4.7: 統合温熱制御実験の執務室のレイアウト (Group6)

## 4.3 実験の結果

実際に参加した 38 名のうち、実験中に与えた教示を守らず適切に実験に参加しなかった者や実験参加中に体調不良となった者の合計 11 名を実験の解析対象外とし、その他の 27 名から得た解答時間データを対象に、既存手法で解析することで  $CTR$  を、提案手法で解析することで  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $MCTR$  および  $CDI$  を算出した。解析対象とした 27 名の実験条件の順序は、1 日目が温熱制御条件の参加者が 14 名、2 日目が温熱制御条件の参加者が 13 名であった。全ての実験参加者について算出された 5 つの指標の値は付録 B に譲る。ただし、解析対象外の結果は N/A と表記している。

### 4.3.1 既存手法による解析結果

解析対象者の解答時間データを解析して算出した  $CTR$  のうち、温熱制御条件下での  $CTR$  平均値と標準条件下での  $CTR$  平均値を比較した結果を図 4.8 に、その詳細を表 4.4 に示す。各条件下で得られた全ての  $CTR$  を対のある両側 t 検定で比較したところ、温熱制御条件下での  $CTR$  は標準条件下での  $CTR$  と比較して有意に高い傾向が見られた ( $p < 0.05$ )。

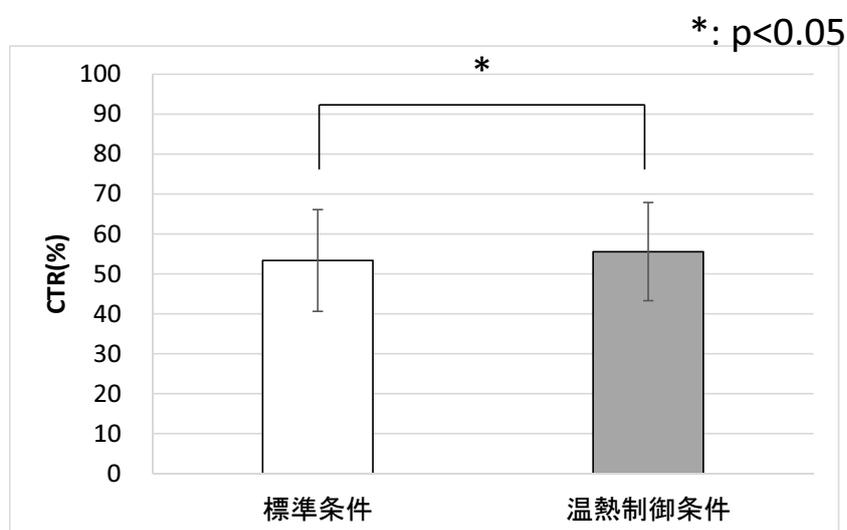


図 4.8: 統合温熱制御実験における  $CTR$  平均値の条件間比較

### 4.3.2 提案手法による解析結果

解析対象者の解答時間データを解析して、 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $MCTR$ 、 $CDI$  を算出した。

表 4.4: 統合温熱制御実験における  $CTR$  の算出結果

	標準条件	温熱制御条件	p 値
平均値	53.3	55.6	0.039
標準偏差	12.7	12.3	

まず、温熱制御条件と標準条件との条件間で、 $E_1$  平均値と  $E_2$  平均値を比較した結果を図 4.9 に、その詳細を表 4.5 に示す。各条件下で得られた全ての  $E_1$  および  $E_2$  を対のある両側 t 検定で比較したところ、共に条件間に有意な差は見られなかった。

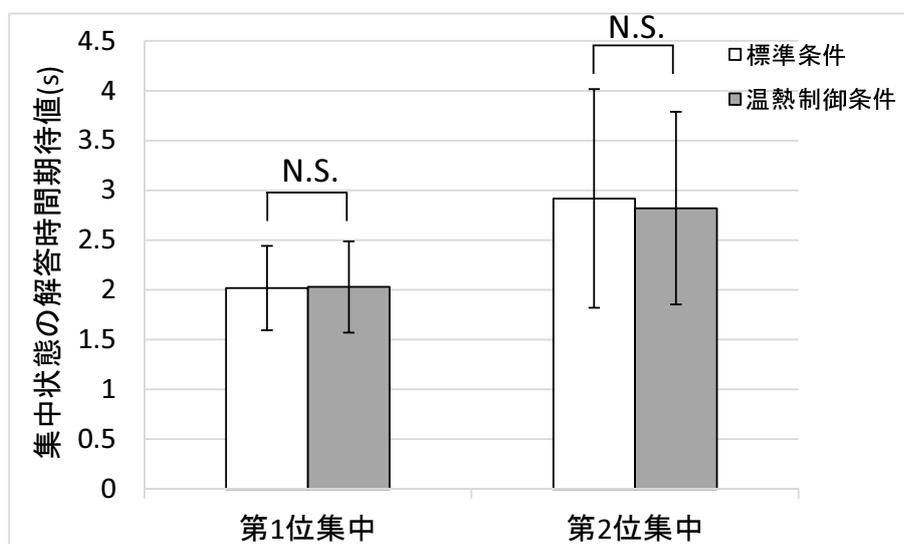


図 4.9: 統合温熱制御実験における  $E_1$  と  $E_2$  の条件間比較

次に、温熱制御条件下での  $MCTR$  平均値と標準条件下での  $MCTR$  平均値を比較した結果を図 4.10 に、その詳細を表 4.6 に示す。各条件下で得られた全ての  $MCTR$  を対のある両側 t 検定で比較したところ、条件間に有意な差は見られなかった。

最後に、温熱制御条件下での  $CDI$  平均値と標準条件下での  $CDI$  平均値を比較した結果を図 4.11 に、その詳細を表 4.7 に示す。各条件下で得られた全ての  $CDI$  を対のある両側 t 検定で比較したところ、温熱制御条件下での  $CDI$  は標準条件下での  $CDI$  と比較して有意に高かった ( $p < 0.01$ )。

表 4.5: 統合温熱制御実験における  $E_1$  と  $E_2$  の算出結果

		標準条件	温熱制御条件	p 値
$E_1$	平均値	2.02	2.03	0.55
	標準偏差	0.42	0.46	
$E_2$	平均値	2.92	2.82	0.075
	標準偏差	1.10	0.97	

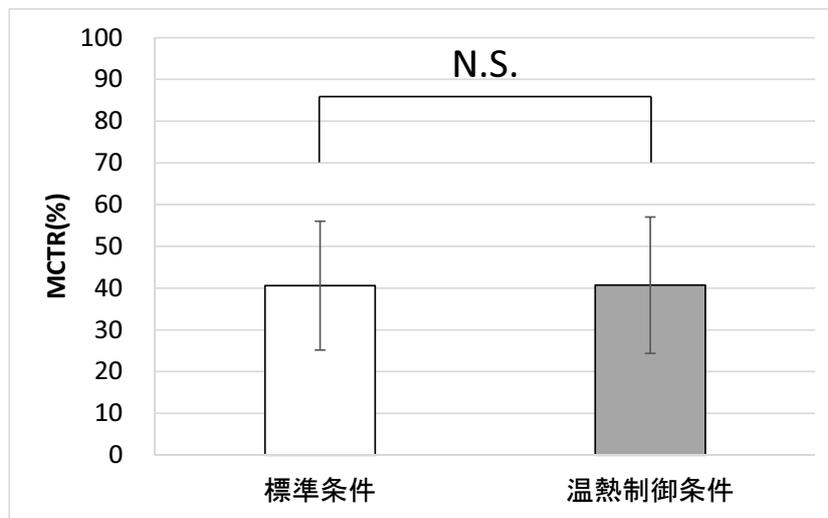


図 4.10: 統合温熱制御実験における  $MCTR$  平均値の条件間比較

表 4.6: 統合温熱制御実験における  $MCTR$  の算出結果

	標準条件	温熱制御条件	p 値
平均値	40.6	40.7	0.93
標準偏差	15.4	16.3	

表 4.7: 統合温熱制御実験における  $CDI$  の算出結果

	標準条件	温熱制御条件	p 値
平均値	56.7	61.9	0.008
標準偏差	14.1	13.5	

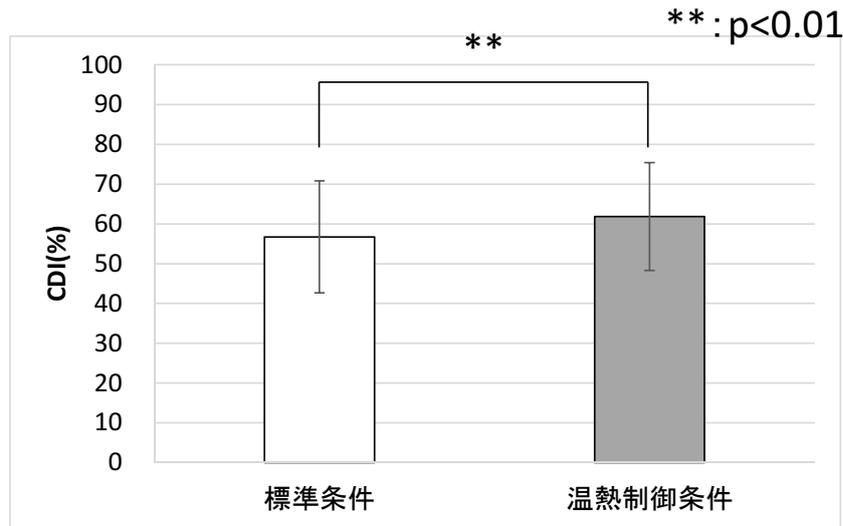


図 4.11: 統合温熱制御実験における *CDI* 平均値の条件間比較

#### 4.4 考察

本実験は、温熱制御条件が持つ温刺激と冷刺激が作業モチベーション向上や疲労回復をもたらし、標準条件と比較して知的生産性が向上することを期待して実施した。そして、その効果を集中指標を用いて定量的に評価して確認した。

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

一方、提案手法を用いた評価では、まず  $E_1$  と  $E_2$  が実験条件間で変化しないことが確認でき、これにより第1位集中と第2位集中において集中の深さごとの平均解答時間は一定の分布を形成していることが分かった。そのため、3.3.4項と同様に *MCTR* や *CDI* を用いて集中の深さを議論できると考えられる。さらに、実験参加者ごとに第2位集中を持っていることが確認できたことから実験参加者には2つ以上の集中状態が存在していると考えられ、提案手法では既存手法より多角的に集中を評価できると言える。

次に、*MCTR* と *CDI* の結果によれば、温熱制御条件は標準条件と比較して集中時間の長さには影響を与えず第1位集中の支配率を向上させていることが分かった。す

なわち、3.1.1項で議論したように、温熱制御条件の環境では標準条件の環境に比べて知的生産性が向上したと考えられる。また、第1位集中と第2位集中の総時間が変化せず第1位集中が長くなっていることから、標準条件では第2位集中となっていた時間の一部が、温熱制御条件ではより深い集中である第1位集中の時間に变化したとも考えられる。第1位集中の支配率が向上した理由としては、温熱制御条件ではSET2とSET4の開始時に冷刺激が与えられており、4.2.2項で述べたように温熱刺激が作業モチベーションを向上させたため、3.3節で述べたモチベーション実験と同様に深い集中の時間割合が向上したと考えられる。さらに、図4.2で示した執務室の温熱制御に注目すると、温熱制御条件では標準条件に比べPMVで表される温熱感がより中立に近くなっており、作業中に認知資源を奪う可能性がある不快要因が減ったため、集中がより深くなったと考えられる。また、集中時間の長さが変化しなかった理由としては、既往研究<sup>[46]</sup>では室内環境の満足感が疲労感に影響するとされている一方で、図4.2に示したように30分間全体の執務環境の条件差が温熱刺激と比べると相対的に小さくなり、執務環境の印象が類似して疲労感に差が生じなかったため、疲労回復を目的とした長期休息状態の必要性にも差が生まれなかったと考えられる。

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

以上の考察から、本実験で設計した温熱制御条件は作業中の集中の深さに作用して知的生産性を向上させる環境であったことが分かり、オフィス環境を改善するための手がかりとして活用できると考えられる。さらに、温熱制御条件が知的生産性を向上させる効果について、既存手法では集中時間が向上する傾向を介して示したが、提案手法では集中時間は変化せず集中がより深くなる効果を介して示すことで、知的生産性を新たな観点から評価できるようになったと言え、提案手法および開発した集中指標MCTR、CDIの有用性を示すことができたと思う。

## 第 5 章 結論

近年は環境配慮のため広く省エネルギー活動がうたわれるようになり、多くの企業はオフィス環境の省エネルギー化への取り組みとして、冷暖房の設定温度の調整や照明の間引きなどを取り入れた。しかし、これらの工夫がもたらすオフィス環境の悪化は執務者の知的生産性を低下させ、結果としてエネルギー消費の増大や経済的損失をもたらす危険性があり、省エネルギーと知的生産性の維持、向上を両立させるオフィス環境を模索するためにも、知的生産性を評価する必要がある。知的生産性を客観的かつ定量的に評価する指標としては、執務者が作業対象に認知資源を割り当てることを集中と定義して、3状態変動モデル<sup>[3]</sup>に基づいて集中を評価した指標である集中時間比率  $CTR$ (Concentration Time Ratio) が開発されてきた。しかし、3状態変動モデルは執務者の状態が集中状態か非集中状態かのみに着目しており、執務者がどれだけ多くの認知資源を作業対象に割いたかを表す「集中の深さ」を評価できないという問題があった。知的生産性は集中時間比率だけでなく集中の深さによっても影響されると考えられるため、知的生産性を評価するには集中の深さも評価する必要がある。そこで本研究では、集中の深さの変化を考慮して執務者の状態を推定する新たなモデルを提案し、そのモデルに基づいて知的生産性を客観的かつ定量的に評価するための指標を開発した。さらに、作業モチベーションや作業環境が知的生産性に与える影響の比較実験の結果を集中の深さの観点から分析することで、開発した指標の妥当性や有用性を検討した。

第2章では、研究の背景と知的生産性の定義を述べ、知的生産性の評価手法に関する既往研究を述べた。その後、知的生産性を評価するための既存指標  $CTR$  の問題点を述べ、最後にそれを踏まえた本研究の目的と意義を述べた。

第3章では、集中の深さの定義と新たに提案する作業集中モデルについて述べ、知的生産性を評価するために開発した新たな集中指標  $MCTR$  と  $CDI$  とその算出アルゴリズムを述べた。その後、作業集中モデルおよび評価指標としての  $MCTR$  と  $CDI$  の妥当性を確認するために実施したモチベーション実験について述べた。作業モチベーションが異なる2つの条件間で比較問題の1問あたりの解答時間期待値  $E_1$  および  $E_2$  を比較した結果、いずれも有意な差は見られなかったため、作業集中モデルの妥当性が裏付けられた。さらに、条件間で  $MCTR$  と  $CDI$  を比較した結果、 $MCTR$  ではモチベーショ

ンが高い条件の方がモチベーションが低い条件より有意に高くなり ( $p < 0.01$ )、*CDI*でも有意に高くなる傾向が見られた ( $p < 0.05$ )。以上により、作業モチベーションの向上が知的生産性を向上させることを客観的かつ定量的に示し、モチベーションが集中の深さより集中時間の長さに強く影響する可能性を示した。

第4章では、過去に本研究室で実施した統合温熱制御実験について述べ、*CTR*を用いた評価および*MCTR*と*CDI*を用いた評価について述べた。環境制御方法が異なる2つの条件間で*CTR*を比較した結果、温熱刺激のある条件の方が温熱刺激のない条件より有意に高い傾向が見られた ( $p < 0.05$ )。次に、条件間で $E_1$ および $E_2$ を比較した結果、いずれも有意な差は見られなかったため、ここでも作業集中モデルの妥当性が裏付けられた。最後に、条件間で*MCTR*と*CDI*を比較した結果、*MCTR*では有意な差は見られなかったが、*CDI*では有意に高くなった ( $p < 0.01$ )。以上により、温熱刺激が集中時間には影響せず集中の深さに影響して知的生産性を向上させることを客観的かつ定量的に示し、執務環境が集中時間の長さより集中の深さに強く影響する可能性を示した。さらに、*MCTR*と*CDI*による評価が*CTR*のみによる評価より多角的に知的生産性を評価できることを示した。

本研究では、知的生産性を客観的かつ定量的に評価するための集中指標として、集中時間の指標*MCTR*と集中の深さの指標*CDI*を別々に算出できるよう設計した。それにより、特定の条件が知的生産性に与える影響を評価する際に、集中時間に与える影響と集中の深さに与える影響の2つの要因に分解して分析することが可能になったため、執務者の知的生産性が変化するメカニズムを解明するための手掛かりになると考えられる。

さらに、本研究で提案した作業集中モデルでは、人が何らかの知的作業を遂行する際に、その作業速度が離散的な分布を示すことを仮定した。そして、実際の認知タスクの解答時間がそれを裏付ける結果を示した。したがって、既往研究がワーキングメモリで保持できる情報量を整数個のチャンクとして表した<sup>[31][32]</sup>ように、人は個人ごとに固有の認知処理速度を複数持っており、連続的には変化させていない可能性が考えられる。

しかし本研究では、執務者の集中状態は作業集中モデルのように存在すると仮定した上で、第3位集中やそれより浅い集中状態は知的生産性に与える影響が十分小さく、かつ解析時に非集中状態との判別が困難であることから非集中状態と見なして評価を行った。実際には第3位集中やそれより浅い集中状態でも知的作業は遂行されており知的生産性に少なからず影響を与えていると考えられるため、それらの集中状態も評価

できるよう解析手法を改良することが今後の課題である。また、*CDI* は異なる深さの集中状態をそれぞれの時間の長さで比較している指標に過ぎず、集中の深さと実際の作業効率との定量的な関係はまだ解明できていない。例えば、*MCTR* を向上させ *CDI* を低下させる環境が知的生産性を向上させているかどうかを定量的に示すことは困難である。したがって、各集中状態が示す分布のパラメータなどを用いて、集中状態ごとの知的生産性を比較検討することが今後の課題である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究会やチームミーティング等で研究に関するコメントや先行研究などの幅広い知見を頂いただけでなく、日頃の学生生活や就職活動まで気にかけて声をかけてくださった下田 宏 教授に心より感謝いたします。

研究に関するご指摘や幅広い視野から意見を頂いただけでなく、研究環境の整備や技術的なサポート、研究室内の催し事など、研究室での楽しく快適な空間を作ってくださいました石井 裕剛准教授に心より感謝いたします。

プロダクティビティチームとして知的生産性研究に関する多くの経験や知識を授けていただき、過去のデータの傾向やその解析コンセプトなど様々な助言を頂きましたパナソニック株式会社の大林 史明 様とパナソニックエコシステムズ株式会社の谷口 和宏 様に深く感謝いたします。

同じプロダクティビティチームとしてチームミーティングで意見を交わし、実験準備の雑務から実験の実施など分担して作業を担ってくださいました修士2回生の杉田 耕介 君、修士1回生の上田 樹美 さん、緒方 省吾 君に深く感謝いたします。

同期として共に研究室での学生生活を送り、研究では互いに手伝い励まし合ったり、普段は娯楽を共にするなど有意義で楽しい時間をくださった修士2回生の浦山 大輝 君、木村 太郎 君、遠藤 竜太 君に深く感謝いたします。

忙しい中、研究だけでなく就職活動や学生生活の相談など色々と面倒を見てくださった、一昨年度修士課程をご卒業された島村 祐太 さん、昨年度修士課程をご卒業された藤井 巧哉 さん、上東 大祐さん、金川 英弘 さんに深く感謝いたします。

研究室内で時間を共にし、それぞれの研究について議論しあったり気分転換に談笑したりと、毎日の生活を豊かにしてくれた研究室の皆様にご深く感謝いたします。

研究室生活にあたり、様々な事務手続きをしていただいたり宴会で談笑したり色々とお世話をしてくださった秘書の普照 郁美 さんと山田 美保 さんに深く感謝いたします。

また、長期間に渡る一人暮らしを支え続け、帰省の際には心休まるようもてなしてくれるなど、常に気にかけて世話をしてくれた家族および親戚の皆様にご心より感謝いたします。

修士1回生から現在に至るまでの2年間、研究者としての精神や社会に出る前の準備と心がけを学び、友人などかけがえのないつながりを持つことができたとても有意

義で幸せな時間を過ごすことができました。最後に、様々なご支援をいただきました  
すべての方々に深く感謝の意を表明いたします。ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 東京新聞: 2025年問題とは, 2014年2月5日, 亀岡 秀人.
- [2] Kosuke Uchiyama, Koutarou Ooishi, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Process of Evaluation Index of Intellectual Productivity Based on Work Concentration, ICSTE 2013, (2013).
- [3] Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model based on Work State Transition, The 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1491-1496, (2012).
- [4] 多和田 友美, 伊香賀 俊治, 村上 周三, 内田 匠子, 上田 悠: オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響, 日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第648号, pp.213-219, (2010).
- [5] 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・衛生工学学術講演論文集, Vol.123, pp.11-22, (2007).
- [6] Pawel Wargocki, David P Wyon, P Oie Fanger: Productivity is Affected by the Air Quality in Offices, Proceeding of Healthy Buildings 2000, pp.635-640, (2000).
- [7] Hidehiro Kanagawa, Kazune Miyagi, Hiroshi Shimoda, Yuta Shimamura, Hirotake Ishii, Kosuke Uchiyama, Fumiaki Obayashi: Proposal of Intellectual Productivity Evaluation Index and Quantitative Evaluation of Concentration Improvement Lighting, APCHI - ERGOFUTURE - PEI -IAIFI, (2014).
- [8] Shota Shimonaka, Yuta Shimamura, Masanari Furuta, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Kazuhiro Taniguchi, Fumiaki Obayashi: Objective and Quantitative Evaluation of Intellectual Productivity under Control of Room

Airflow, International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (STSS), pp.121-128, (2015).

- [9] 杉田 耕介, 古田 真也, 石井 裕剛, 下田 宏, 大林 史明, 谷口 和宏: 冬季における室内気流環境が知的集中に及ぼす影響の実験研究, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.423-428, (2016).
- [10] Nisha Sensharma, James Edward Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and Productivity, Healthy Building 2000, Workshop 9, (2000).
- [11] 西川 雅弥, 西原 直枝, 田辺 新一: 中程度の高温環境下の長時間作業が作業効率と疲労に与える影響に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 638 号, pp.525-530, (2009).
- [12] Naoe Nishihara, Shinichi Tanabe, Masaoki Haneda, Satoshi Uchida, Gen Kawaguchi, Yuri Akiyama: Objective measurement of mental workload that affects productivity in moderately hot environment, Healthy Buildings 2009, (2009).
- [13] 國政 秀太郎, 瀬尾 恭一, 下田 宏, 石井 裕剛: 知的作業中の生理指標計測による作業成績推定手法, システム・情報部門学術講演会 2016, (2016).
- [14] David R. Thorne, Sander G. Genser, Helen C. Sing, Frederick W. Hegge: The Walter Reed Performance Assessment Battery, Neurobehavioral Toxicology and Teratology, Vol.7, pp.415-418, (1985).
- [15] 西原 直枝, 田辺 新一: 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講演論文集, pp.173-176, (2002).
- [16] 岩川 幹生, 近藤 佑樹, 榎本 健治, 宮城 和音, 下田 宏, 石井 裕剛, 寺野 真明: 知的生産性改善評価のための新パフォーマンステストの開発, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2008, pp.273-280, (2008).
- [17] Kenji Enomoto, Yuki Kondo, Fumiaki Obayashi, Mikio Iwakawa, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Masaaki Terano: An Experimental Study on Improvement of

- Office Work Productivity by Circadian Rhythm Light, The 12th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, WMSCI 2008, Vol.VI, pp.121-126, (2008).
- [18] G.A.Bohlen, J.W.Barany: A Learning Curve Prediction Model for Operators Performing Industrial Bench Assembly Operations, International Journal of Production Research, Vol.14, pp.295-303, (1976).
- [19] Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano: Operational Management for Competitive Advantage, McGraw-Hill Higher Education, 11th ed, (2006).
- [20] 村上 周三: 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).
- [21] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, Allen Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, (1983).
- [22] Arthur G. Bills: Blocking: A New Principle of Mental Fatigue, The American Journal of Psychology, Vol.43, No.2, pp.230-245, (1983).
- [23] R. Harald Baayen, Petar Milin: Analyzing reaction times, International Journal of Psychological Research, 3(2), pp.12-28, (2010).
- [24] Jeffrey N. Rouder, Francis Tuerlinckx, Paul Speckman, Jun Lu, Pablo Gomez: A hierarchical approach for fitting curves to response time measurements, Psychonomic Bulletin and Review, pp.1201-1208, (2008).
- [25] Wim J. van der Linden: A Lognormal Model for Response Times on Test Items, Journal of Educational and Behavioral Statistics, Vol.31, No.2, pp.181-204, (2006).
- [26] Wolfgang Schwarz: The ex-Wald distribution as a descriptive model of response times, Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 33(4), pp.457-469, (2001).

- [27] Andrew Heathcote: Fitting Wald and ex-Wald distributions to response time data: An example using functions for the S-PLUS package, *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 36(4), pp.678-694, (2004).
- [28] 金 宏哲: 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, エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学, (2010).
- [29] Alan Baddeley: Exploring the central executive, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A, Human Experimental Psychology*, 49, pp.5-28, (1996).
- [30] Alan Baddeley: Working memory or working attention? In A.D. Baddeley & Lawrence Weiskrantz (eds.), *Attention: Selection, Awareness, and Control: A Tribute to Donald Broadbent*. New York: Clarendon Press, pp.152-170, (1993).
- [31] George A. Miller: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, 63, pp.81-97, (1956).
- [32] Nelson Cowan: The Magical Number 4 in Short-Term Memory: A Reconsideration of Mental Storage Capacity, *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), pp.87-114, (2001).
- [33] Andrew R.A. Conway, Nelson Cowan, Michael F. Bunting: The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity, *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol.8, Issue 2, pp.331-335, (2001).
- [34] 上田 樹美, 辻 雄太, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明, 谷口 和宏: オフィス環境における知的集中計測のための認知課題の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, (2016).
- [35] Robert Sommer: *Personal Space: The Behavioral Basis of Design*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, (1969).
- [36] 金川 英弘: 集中状態に着目した知的生産性評価の検討, エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学, (2016).
- [37] Poul O. Fanger: *Thermal comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*, (1970).

- [38] 杉田 耕介: 執務環境と休憩環境の統合温熱制御が知的集中に及ぼす影響の実験研究, エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学, (2017).
- [39] 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～, (2012).
- [40] Yu Yang, Baizhan Li, Hong Liu, Meilan Tan, Runming Yao: A study of adaptive thermal comfort in a well-controlled climate chamber, *Applied Thermal Engineering* 76, pp.283-291, (2015).
- [41] Maohui Luo, Bin Cao, Xiang Zhou, Min Li, Jingsi Zhang, Qin Ouyang, Yingxin Zhu: Can personal control influence human thermal comfort? A field study in residential buildings in China in winter, *Energy and Buildings* 72, pp.411-418, (2014).
- [42] 榎 究, 阿部 友紀, 木村 早希: 研究室の休憩スペースが学生の行動に及ぼす影響, 実践女子大学 生活科学部紀要第 53 号, (2016).
- [43] 大山 能永: 「リフレッシュルーム」の望ましき測定方法の提案, 日本建築学会計画論文集, 第 596 号, pp.1-6, (2005).
- [44] Jongseong Gwak, Motoki Shino, Kazutaka Ueda, Minoru Kamata: Effect of changes in the thermal factor on arousal level and thermal comfort, *IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics*, pp.923-928, (2015).
- [45] Stanley Schacter, Jerome Singer: Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state, *Psychological Review*, Vol.69(5), pp.379-399, (1962).
- [46] 羽田 正沖, 西原 直枝, 田辺 新一: 温熱環境と換気量が知的生産性に与える影響に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 638 号, pp.507-515, (2009).

## 付録 A モチベーション実験の結果の詳細

3.3節で述べたモチベーション実験において、低モチベーション条件と高モチベーション条件で算出されたそれぞれの  $E_1$  を表 A.1 と表 A.2 に示す。

低モチベーション条件と高モチベーション条件で算出されたそれぞれの  $E_2$  を表 A.3 と表 A.4 に示す。

低モチベーション条件と高モチベーション条件で算出されたそれぞれの  $MCTR$  を表 A.5 と表 A.6 に示す。

低モチベーション条件と高モチベーション条件で算出されたそれぞれの  $CDI$  を表 A.7 と表 A.8 に示す。

表 A.1: 低モチベーション条件における  $E_1$  の算出結果

グループ	実験参加者	2日目				3日目			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	1.51	1.47	1.59	1.53	1.44	1.43	1.44	1.43
	2	1.97	2.04	2.05	2.13	2.03	2.01	2.18	1.93
	3	1.21	1.21	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20
	4	N/A							
	5	1.41	1.40	1.39	1.41	1.37	1.37	1.37	1.35
	6	N/A							
	7	N/A							
	8	1.84	1.82	1.84	1.83	1.81	1.81	1.84	1.87
Group2	9	1.63	1.60	1.62	1.74	1.63	1.72	1.71	1.64
	10	1.55	1.65	1.64	1.65	1.65	1.59	1.70	1.62
	11	1.51	1.47	1.59	1.53	1.44	1.43	1.44	1.43
	12	2.00	1.99	1.92	1.92	1.79	1.88	1.86	1.87
	13	N/A							
	14	N/A							
	15	N/A							
	16	1.86	1.84	1.89	1.75	1.78	1.65	1.75	1.74
Group3	17	1.68	1.68	1.69	1.71	1.69	1.76	1.68	1.70
	18	2.15	2.39	2.37	2.20	2.21	2.02	2.13	2.19
	19	1.49	1.43	1.47	1.47	1.48	1.43	1.44	1.40
	20	1.42	1.43	1.39	1.40	1.36	1.40	1.39	1.40
	21	N/A							
	22	1.13	1.11	1.13	1.09	1.13	1.11	1.13	1.13
	23	N/A							
	24	1.92	2.15	2.11	2.07	1.99	2.09	2.13	2.09
Group4	25	1.59	1.49	1.50	1.66	1.51	1.53	1.54	1.57
	26	1.20	1.25	1.23	1.24	1.25	1.24	1.23	1.26
	27	2.06	1.98	2.16	2.11	2.04	1.99	1.98	2.06
	28	2.14	2.09	2.16	2.10	2.03	2.41	2.09	2.13
	29	1.37	1.36	1.32	1.33	1.34	1.33	1.33	1.36
	30	1.51	1.49	1.48	1.54	1.47	1.41	1.45	1.43
	31	1.74	1.73	1.67	1.71	1.62	1.60	1.62	1.61
	32	1.61	1.63	1.68	1.60	1.58	1.55	1.47	1.59
Group5	33	1.81	1.87	1.87	2.00	1.97	1.85	1.99	1.85
	34	2.19	2.05	2.05	2.12	2.23	2.07	2.02	2.05
	35	N/A							
	36	1.42	1.46	1.46	1.46	1.39	1.36	1.37	1.40
	37	N/A							
	38	N/A							
	39	1.89	1.90	1.90	1.98	1.83	1.79	1.83	1.88
	40	1.57	1.55	1.55	1.59	1.57	1.51	1.52	1.55

表 A.2: 高モチベーション条件における  $E_1$  の算出結果

グループ	実験参加者	1日目	2日目
		SET5	SET5
Group1	1	1.45	1.42
	2	1.98	1.89
	3	1.18	1.23
	4	N/A	N/A
	5	1.42	1.75
	6	N/A	N/A
	7	N/A	N/A
	8	1.64	1.72
Group2	9	1.57	1.62
	10	1.64	1.67
	11	1.45	1.42
	12	1.93	1.78
	13	N/A	N/A
	14	N/A	N/A
	15	N/A	N/A
	16	1.86	1.76
Group3	17	1.62	1.69
	18	2.26	2.21
	19	1.47	1.48
	20	1.68	1.36
	21	N/A	N/A
	22	1.67	1.13
	23	N/A	N/A
	24	1.79	1.99
Group4	25	1.51	1.28
	26	1.31	1.20
	27	2.18	2.08
	28	2.23	1.96
	29	1.34	1.33
	30	1.53	1.43
	31	1.63	1.62
	32	1.65	1.70
Group5	33	1.90	1.97
	34	2.07	2.23
	35	N/A	N/A
	36	1.35	1.39
	37	N/A	N/A
	38	N/A	N/A
	39	1.80	1.83
	40	1.66	1.57

表 A.3: 低モチベーション条件における  $E_2$  の算出結果

グループ	実験参加者	2日目				3日目			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	1.94	1.98	1.94	1.80	1.92	1.82	1.89	1.88
	2	3.05	3.13	2.85	2.80	2.76	2.50	3.14	2.42
	3	1.35	1.40	1.36	1.42	1.35	1.34	1.37	1.37
	4	N/A							
	5	1.69	1.61	1.62	1.64	1.58	1.66	1.77	1.63
	6	N/A							
	7	N/A							
	8	2.57	2.19	2.32	2.33	2.57	2.68	3.01	2.60
Group2	9	1.96	2.03	2.04	2.18	1.97	2.18	2.12	1.89
	10	2.13	2.38	2.25	2.30	2.21	2.01	2.57	2.42
	11	1.94	1.98	1.94	1.80	1.92	1.82	1.89	1.88
	12	2.32	2.32	2.18	2.31	2.23	2.13	2.40	2.24
	13	N/A							
	14	N/A							
	15	N/A							
	16	2.67	2.68	2.79	2.11	2.47	2.14	2.18	2.34
Group3	17	2.17	2.38	2.57	2.65	2.33	2.73	2.13	2.41
	18	3.45	3.70	4.08	3.40	3.08	3.43	3.22	3.61
	19	2.00	1.85	1.90	2.16	1.96	1.84	1.85	1.68
	20	1.56	1.61	1.63	1.63	1.49	1.60	1.60	1.59
	21	N/A							
	22	1.45	1.26	1.45	1.36	1.31	1.28	1.27	1.21
	23	N/A							
	24	2.48	2.74	2.57	2.59	2.50	3.07	2.75	2.66
Group4	25	1.98	2.05	1.92	2.05	2.13	2.26	2.03	1.86
	26	1.36	1.47	1.49	1.38	1.47	1.44	1.41	1.47
	27	3.09	2.49	2.65	2.84	2.80	2.73	2.66	3.66
	28	2.72	2.63	2.85	2.60	2.56	3.43	3.37	2.80
	29	1.52	1.52	1.60	1.61	1.59	1.51	1.56	1.57
	30	1.79	1.74	1.73	1.86	1.84	1.76	1.81	1.79
	31	2.25	2.27	2.07	2.24	2.26	2.18	2.22	2.11
	32	2.12	2.26	2.53	2.10	2.13	2.12	1.85	2.06
Group5	33	2.62	2.86	2.85	2.35	3.56	2.62	2.53	2.53
	34	2.80	2.75	2.69	2.94	3.11	2.80	2.79	2.79
	35	N/A							
	36	1.64	1.77	1.89	1.69	1.53	1.64	1.75	1.75
	37	N/A							
	38	N/A							
	39	2.33	2.49	2.61	2.53	2.35	2.33	2.33	2.33
	40	1.79	1.68	1.78	1.69	1.75	1.79	1.76	1.76

表 A.4: 高モチベーション条件における  $E_2$  の算出結果

グループ	実験参加者	1日目	2日目
		SET5	SET5
Group1	1	1.80	1.69
	2	2.48	2.45
	3	1.34	1.40
	4	N/A	N/A
	5	1.75	2.46
	6	N/A	N/A
	7	N/A	N/A
	8	2.37	2.45
Group2	9	2.37	1.83
	10	2.40	2.19
	11	1.80	1.69
	12	2.23	2.05
	13	N/A	N/A
	14	N/A	N/A
	15	N/A	N/A
	16	2.71	2.72
Group3	17	2.40	2.33
	18	3.44	3.08
	19	1.80	1.96
	20	2.54	1.49
	21	N/A	N/A
	22	2.40	1.31
	23	N/A	N/A
	24	2.40	2.50
Group4	25	1.91	1.75
	26	1.51	1.33
	27	3.06	3.46
	28	3.31	2.77
	29	1.56	1.54
	30	1.76	1.73
	31	1.90	2.18
	32	2.01	2.28
Group5	33	2.64	3.56
	34	2.82	3.11
	35	N/A	N/A
	36	1.54	1.53
	37	N/A	N/A
	38	N/A	N/A
	39	2.25	2.35
	40	1.94	1.75

表 A.5: 低モチベーション条件における *MCTR* の算出結果

グループ	実験参加者	2日目				3日目			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	49.66	43.30	40.81	31.90	44.60	35.12	57.38	44.81
	2	46.95	45.96	41.65	22.25	38.08	24.93	34.29	19.75
	3	18.72	27.11	30.73	35.76	28.29	35.48	36.12	29.22
	4	N/A							
	5	45.04	28.72	26.64	16.40	49.20	49.25	65.93	42.59
	6	N/A							
	7	N/A							
	8	50.26	33.72	34.92	29.36	49.31	48.91	44.98	32.12
Group2	9	40.50	51.77	52.24	38.69	50.30	50.49	50.09	26.30
	10	30.61	30.85	28.22	24.48	32.87	29.12	44.42	36.38
	11	49.66	43.30	40.81	31.90	44.60	35.12	57.38	44.81
	12	40.46	51.71	57.27	61.20	58.16	33.12	65.10	55.47
	13	N/A							
	14	N/A							
	15	N/A							
	16	36.39	38.36	39.60	20.41	32.26	26.92	27.16	34.19
Group3	17	25.67	40.03	46.19	50.42	60.32	35.71	14.52	23.27
	18	63.80	46.82	63.16	52.19	72.82	72.56	42.97	48.27
	19	63.24	50.95	50.71	61.37	69.42	54.13	45.78	39.33
	20	12.53	21.91	21.20	23.55	15.40	19.24	23.91	20.08
	21	N/A							
	22	34.96	12.60	40.17	20.18	24.92	29.70	18.88	16.12
	23	N/A							
	24	32.03	34.98	32.57	16.16	61.65	44.10	33.03	32.91
Group4	25	49.89	21.75	36.66	51.12	57.18	76.62	50.60	55.41
	26	17.55	23.87	23.05	14.93	28.76	26.04	22.38	22.86
	27	39.90	25.17	30.18	41.01	40.65	24.75	25.51	32.18
	28	42.84	40.16	41.51	31.10	41.90	44.03	51.15	36.16
	29	11.60	12.31	16.34	18.20	20.77	16.45	17.09	13.45
	30	54.36	43.84	41.96	43.44	70.54	71.54	59.90	53.41
	31	40.13	48.15	33.52	41.65	42.70	45.20	46.25	40.98
	32	38.85	42.69	45.53	26.14	31.62	30.31	18.44	24.99
Group5	33	59.83	36.34	36.34	30.53	56.94	31.86	41.45	53.93
	34	20.16	24.95	24.95	20.78	41.78	26.84	29.86	38.35
	35	N/A							
	36	32.54	44.84	44.84	29.41	33.69	40.43	38.96	57.83
	37	N/A							
	38	N/A							
	39	56.31	49.66	49.66	53.56	79.52	62.25	63.79	52.48
	40	45.40	30.81	30.81	27.10	50.46	68.92	56.13	53.49

表 A.6: 高モチベーション条件における *MCTR* の算出結果

グループ	実験参加者	1日目	2日目
		SET5	SET5
Group1	1	68.89	48.17
	2	35.20	36.95
	3	18.60	35.84
	4	N/A	N/A
	5	38.99	59.91
	6	N/A	N/A
	7	N/A	N/A
	8	53.70	65.04
Group2	9	86.64	48.95
	10	45.72	39.88
	11	68.89	48.17
	12	38.25	67.75
	13	N/A	N/A
	14	N/A	N/A
	15	N/A	N/A
	16	66.19	65.25
Group3	17	57.48	60.32
	18	72.32	72.82
	19	60.06	69.42
	20	60.65	15.40
	21	N/A	N/A
	22	78.89	24.92
	23	N/A	N/A
	24	57.01	61.65
Group4	25	44.36	77.69
	26	16.52	12.11
	27	45.24	70.83
	28	53.81	35.69
	29	21.38	28.53
	30	42.01	53.83
	31	39.45	52.45
	32	38.53	48.68
Group5	33	50.29	56.94
	34	73.71	41.78
	35	N/A	N/A
	36	17.89	33.69
	37	N/A	N/A
	38	N/A	N/A
	39	76.65	79.52
	40	51.78	50.46

表 A.7: 低モチベーション条件における *CDI* の算出結果

グループ	実験参加者	2日目				3日目			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	49.66	43.30	40.81	31.90	44.60	35.12	57.38	44.81
	2	46.95	45.96	41.65	22.25	38.08	24.93	34.29	19.75
	3	18.72	27.11	30.73	35.76	28.29	35.48	36.12	29.22
	4	N/A							
	5	45.04	28.72	26.64	16.40	49.20	49.25	65.93	42.59
	6	N/A							
	7	N/A							
	8	50.26	33.72	34.92	29.36	49.31	48.91	44.98	32.12
Group2	9	40.50	51.77	52.24	38.69	50.30	50.49	50.09	26.30
	10	30.61	30.85	28.22	24.48	32.87	29.12	44.42	36.38
	11	49.66	43.30	40.81	31.90	44.60	35.12	57.38	44.81
	12	40.46	51.71	57.27	61.20	58.16	33.12	65.10	55.47
	13	N/A							
	14	N/A							
	15	N/A							
	16	36.39	38.36	39.60	20.41	32.26	26.92	27.16	34.19
Group3	17	25.67	40.03	46.19	50.42	60.32	35.71	14.52	23.27
	18	63.80	46.82	63.16	52.19	72.82	72.56	42.97	48.27
	19	63.24	50.95	50.71	61.37	69.42	54.13	45.78	39.33
	20	12.53	21.91	21.20	23.55	15.40	19.24	23.91	20.08
	21	N/A							
	22	34.96	12.60	40.17	20.18	24.92	29.70	18.88	16.12
	23	N/A							
	24	32.03	34.98	32.57	16.16	61.65	44.10	33.03	32.91
Group4	25	49.89	21.75	36.66	51.12	57.18	76.62	50.60	55.41
	26	17.55	23.87	23.05	14.93	28.76	26.04	22.38	22.86
	27	39.90	25.17	30.18	41.01	40.65	24.75	25.51	32.18
	28	42.84	40.16	41.51	31.10	41.90	44.03	51.15	36.16
	29	11.60	12.31	16.34	18.20	20.77	16.45	17.09	13.45
	30	54.36	43.84	41.96	43.44	70.54	71.54	59.90	53.41
	31	40.13	48.15	33.52	41.65	42.70	45.20	46.25	40.98
	32	38.85	42.69	45.53	26.14	31.62	30.31	18.44	24.99
Group5	33	59.83	36.34	36.34	30.53	56.94	31.86	41.45	53.93
	34	20.16	24.95	24.95	20.78	41.78	26.84	29.86	38.35
	35	N/A							
	36	32.54	44.84	44.84	29.41	33.69	40.43	38.96	57.83
	37	N/A							
	38	N/A							
	39	56.31	49.66	49.66	53.56	79.52	62.25	63.79	52.48
	40	45.40	30.81	30.81	27.10	50.46	68.92	56.13	53.49

表 A.8: 高モチベーション条件における *CDI* の算出結果

グループ	実験参加者	1日目	2日目
		SET5	SET5
Group1	1	59.45	81.72
	2	64.70	62.04
	3	41.25	50.79
	4	N/A	N/A
	5	34.00	62.89
	6	N/A	N/A
	7	N/A	N/A
	8	68.15	77.77
Group2	9	69.42	79.95
	10	69.77	63.10
	11	59.45	81.72
	12	69.60	84.75
	13	N/A	N/A
	14	N/A	N/A
	15	N/A	N/A
	16	67.77	61.36
Group3	17	53.04	62.43
	18	56.35	57.53
	19	61.96	47.53
	20	54.58	56.30
	21	N/A	N/A
	22	66.90	58.75
	23	N/A	N/A
	24	53.44	66.74
Group4	25	73.59	66.86
	26	50.83	56.09
	27	59.76	55.07
	28	63.00	53.19
	29	51.80	48.42
	30	54.37	54.77
	31	78.17	46.50
	32	59.88	68.55
Group5	33	63.77	53.31
	34	71.03	59.63
	35	N/A	N/A
	36	49.41	79.44
	37	N/A	N/A
	38	N/A	N/A
	39	78.97	77.37
	40	55.42	59.40

## 付録 B 統合温熱制御実験の結果の詳細

第4章で述べた統合温熱制御実験において、Group1～3およびGroup4～6の標準条件と温熱制御条件で算出された  $CTR$  を表B.1と表B.2に示す。

Group1～3およびGroup4～6の標準条件と温熱制御条件で算出された  $E_1$  を表B.3と表B.4に示す。

Group1～3およびGroup4～6の標準条件と温熱制御条件で算出された  $E_2$  を表B.5と表B.6に示す。

Group1～3およびGroup4～6の標準条件と温熱制御条件で算出された  $MCTR$  を表B.7と表B.8に示す。

Group1～3およびGroup4～6の標準条件と温熱制御条件で算出された  $CDI$  を表B.9と表B.10に示す。

表 B.1: 標準条件と温熱制御条件における *CTR* の算出結果 (Group1~3)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	70.7	68.2	66.8	68.3	55.3	58.1	51.6	58.8
	3	81.5	76.1	80.4	80.1	84.5	81.6	79.2	78.6
	4	56.8	54.8	53.9	47.9	59.1	53.5	53.0	46.6
	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	33.3	47.5	48.1	59.2	40.9	41.5	55.4	45.3
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	50.2	39.6	42.2	31.0	57.8	45.8	41.2	41.7
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	58.5	53.9	47.5	44.4	62.2	66.8	63.0	65.9
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	48.5	37.6	56.3	51.6	53.9	34.1	44.0	50.6
	14	63.6	68.8	66.8	56.1	55.5	53.0	53.2	47.8
	15	N/A	N/A	40.0	41.5	N/A	N/A	38.9	33.2
	16	N/A	N/A	22.6	23.6	N/A	N/A	30.4	33.3
Group3	17	73.6	62.3	64.6	68.4	61.0	56.8	57.2	54.3
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	48.0	49.2	44.5	37.9	55.4	56.2	56.2	52.1
	20	59.4	54.7	59.4	49.2	69.3	62.0	68.2	55.1
	21	53.8	57.1	55.5	45.2	65.1	72.0	68.1	54.8
	22	63.3	55.6	57.2	54.3	59.5	60.9	65.3	56.5
	23	32.9	31.0	42.0	29.0	48.2	42.5	42.5	30.3
	24	56.2	43.0	46.9	38.6	68.5	59.1	62.4	50.7

表 B.2: 標準条件と温熱制御条件における *CTR* の算出結果 (Group4~6)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	59.4	51.3	N/A	N/A	52.9	45.2	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	58.6	60.4	72.6	73.5	66.1	62.8	58.4	52.6
	30	42.7	38.1	46.6	36.1	57.3	50.4	44.4	40.5
	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	54.8	56.2	N/A	N/A	46.4	38.3	N/A	N/A
	34	67.2	67.0	66.2	66.5	67.1	68.1	66.5	63.4
	35	62.0	67.2	67.0	63.6	76.5	67.4	69.0	66.2
	36	51.8	42.7	N/A	N/A	29.8	26.3	N/A	N/A
	37	46.5	43.5	41.4	45.6	39.2	48.7	40.9	56.3
	38	55.1	45.6	47.4	42.6	54.0	71.3	74.0	67.0
	39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	58.3	65.4	43.8	49.8	61.1	70.3	56.3	65.0
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 B.3: 標準条件と温熱制御条件における  $E_1$  の算出結果 (Group1~3)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	2.25	2.06	2.03	2.14	2.10	2.07	2.04	2.12
	3	2.09	2.06	2.02	2.09	1.97	1.96	2.03	2.08
	4	2.48	2.27	2.39	2.89	2.53	2.59	2.43	2.33
	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	2.02	2.13	1.99	2.08	1.94	2.07	1.94	1.94
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	2.14	2.10	2.12	2.08	2.28	2.18	2.18	2.13
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	1.34	1.34	1.35	1.39	1.41	1.35	1.34	1.37
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	1.80	1.71	1.77	1.73	1.88	1.49	1.96	2.02
	14	1.93	1.81	1.77	1.79	2.03	2.01	2.06	2.00
	15	N/A	N/A	2.71	2.65	N/A	N/A	3.49	2.97
	16	N/A	N/A	2.20	2.07	N/A	N/A	2.05	2.06
Group3	17	1.79	1.77	1.76	1.81	1.97	1.87	1.88	1.91
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	1.49	1.49	1.49	1.47	1.49	1.48	1.47	1.49
	20	2.00	2.03	2.03	2.05	2.11	2.14	2.06	2.04
	21	2.21	2.52	2.47	2.56	2.60	2.66	2.56	2.60
	22	2.20	2.14	2.13	2.05	2.23	2.07	2.23	2.26
	23	1.85	1.86	1.83	1.75	1.75	1.81	1.84	1.80
	24	3.38	3.16	3.29	3.29	3.68	3.40	3.01	3.20

表 B.4: 標準条件と温熱制御条件における  $E_1$  の算出結果 (Group4~6)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	2.25	2.22	N/A	N/A	2.00	1.96	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	1.73	1.71	1.73	1.77	1.70	1.64	1.72	1.55
	30	1.84	1.77	1.68	1.76	1.80	1.68	1.69	1.70
	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	1.88	1.85	N/A	N/A	1.89	1.87	N/A	N/A
	34	1.55	1.53	1.52	1.52	1.49	1.47	1.47	1.46
	35	1.57	1.52	1.50	1.48	1.49	1.44	1.43	1.41
	36	1.92	2.17	N/A	N/A	1.86	1.85	N/A	N/A
	37	2.71	2.60	2.43	2.57	2.31	2.50	2.57	2.57
	38	2.25	2.25	2.22	2.20	2.09	2.14	2.08	2.01
	39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	1.85	1.86	1.95	1.93	2.03	2.08	1.93	2.06
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 B.5: 標準条件と温熱制御条件における  $E_2$  の算出結果 (Group1~3)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	2.95	3.13	2.89	3.47	3.30	3.06	3.13	3.17
	3	2.86	2.92	2.82	3.00	2.95	2.65	2.76	2.93
	4	4.17	3.32	3.34	5.14	3.95	3.87	3.53	4.25
	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	3.26	2.80	2.50	2.82	2.47	2.91	2.66	3.11
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	2.72	3.70	3.19	2.68	3.03	2.93	3.28	3.30
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	1.76	1.74	1.65	1.77	1.79	1.59	1.66	1.82
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	2.31	2.46	2.58	2.33	2.38	2.07	2.24	2.54
	14	2.39	2.32	2.27	2.27	2.45	2.41	2.37	2.39
	15	N/A	N/A	5.04	4.83	N/A	N/A	6.29	5.09
	16	N/A	N/A	3.72	3.06	N/A	N/A	2.86	2.59
Group3	17	2.29	2.48	2.33	2.28	2.46	2.43	2.31	2.32
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	1.76	1.85	1.75	1.69	1.78	1.95	1.79	1.67
	20	2.88	2.81	3.28	3.10	3.21	3.16	3.50	3.10
	21	2.92	3.84	3.67	3.54	3.73	3.97	3.97	3.33
	22	3.07	2.90	2.81	3.16	3.17	2.95	3.06	3.05
	23	2.49	2.55	2.54	2.51	2.22	2.41	2.54	2.47
	24	6.92	7.01	5.73	7.78	6.50	6.72	4.10	4.06

表 B.6: 標準条件と温熱制御条件における  $E_2$  の算出結果 (Group4~6)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	3.05	3.06	N/A	N/A	2.44	2.52	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	2.49	2.50	2.31	2.47	2.18	2.04	2.30	2.11
	30	2.17	2.25	2.06	2.21	2.17	2.17	2.22	2.34
	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	2.64	2.30	N/A	N/A	2.26	3.35	N/A	N/A
	34	1.73	1.74	1.73	1.70	1.67	1.69	1.69	1.67
	35	2.05	1.85	1.69	1.80	1.72	1.70	1.72	1.71
	36	2.42	3.02	N/A	N/A	2.20	2.08	N/A	N/A
	37	4.10	4.45	3.52	3.53	3.49	4.25	3.49	3.62
	38	3.07	3.05	3.17	3.22	2.73	2.82	2.98	2.56
	39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	2.79	2.60	2.45	2.74	2.85	2.75	2.33	2.88
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 B.7: 標準条件と温熱制御条件における *MCTR* の算出結果 (Group1~3)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	51.3	67.1	54.7	65.8	49.7	47.5	44.5	48.0
	3	75.1	73.2	78.7	83.3	90.0	75.9	71.5	79.4
	4	54.5	41.1	39.2	42.9	50.9	38.4	41.9	43.9
	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	31.3	31.1	29.5	46.5	25.8	29.8	44.3	45.2
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	36.1	38.7	33.8	17.0	40.0	30.7	34.8	34.2
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	44.3	35.7	23.2	27.7	44.8	37.7	40.9	54.6
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	38.1	31.1	47.6	39.6	34.5	19.3	27.0	41.8
	14	45.6	54.3	51.6	38.3	26.0	27.8	23.0	23.5
	15	N/A	N/A	38.8	40.8	N/A	N/A	34.5	30.6
	16	N/A	N/A	17.2	14.2	N/A	N/A	18.0	16.0
Group3	17	56.6	57.1	55.5	53.7	34.8	38.2	32.4	27.1
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	17.0	25.0	14.2	10.5	23.7	36.8	26.2	17.8
	20	45.6	37.2	51.1	38.2	65.8	52.3	70.4	45.8
	21	39.1	51.0	46.7	33.1	53.8	66.5	65.1	33.5
	22	50.0	35.1	36.9	48.9	44.5	49.9	52.8	38.6
	23	20.5	20.1	27.5	19.4	27.3	26.3	31.5	17.4
	24	75.9	50.5	41.3	50.8	86.7	83.7	41.6	25.2

表 B.8: 標準条件と温熱制御条件における *MCTR* の算出結果 (Group4~6)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	45.8	38.2	N/A	N/A	30.9	29.7	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	49.3	52.6	63.0	69.5	46.5	44.7	43.4	39.8
	30	14.3	17.0	19.5	15.3	26.8	30.2	23.9	25.4
	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	41.2	31.8	N/A	N/A	23.7	37.8	N/A	N/A
	34	30.4	38.5	38.3	33.3	32.6	48.7	40.9	36.8
	35	52.9	49.9	34.2	41.2	50.1	44.2	41.4	41.8
	36	30.3	42.6	N/A	N/A	16.1	5.8	N/A	N/A
	37	36.6	40.8	29.2	30.7	26.0	41.0	24.9	42.4
	38	41.9	25.9	35.1	33.6	35.0	59.2	68.9	51.4
	39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	55.5	54.5	21.0	35.6	54.2	57.5	30.6	54.7
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 B.9: 標準条件と温熱制御条件における *CDI* の算出結果 (Group1~3)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	76.4	58.3	72.2	64.0	52.4	63.8	50.0	66.7
	3	75.2	64.4	67.4	61.3	71.7	77.9	73.9	59.7
	4	62.0	67.4	72.8	59.0	72.8	77.9	75.9	59.7
	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	34.6	45.2	75.7	63.0	72.6	68.1	72.0	51.0
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	75.7	56.9	54.6	68.8	69.2	74.1	53.5	59.9
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	47.5	59.9	51.0	42.2	46.7	71.4	60.3	49.9
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	60.4	58.8	73.1	80.9	54.7	19.5	76.9	48.2
	14	58.9	74.2	68.7	54.6	30.3	37.2	59.1	39.7
	15	N/A	N/A	65.8	69.5	N/A	N/A	73.3	65.9
	16	N/A	N/A	44.5	60.1	N/A	N/A	59.4	75.9
Group3	17	87.2	56.0	65.9	72.1	41.2	49.6	55.9	48.1
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	39.6	33.8	57.6	54.9	45.2	38.9	51.0	70.3
	20	73.8	77.5	76.7	67.4	66.9	71.1	63.1	58.7
	21	61.0	60.4	64.1	60.7	66.3	67.7	64.4	73.1
	22	43.8	39.3	38.6	37.0	53.6	55.2	56.3	54.2
	23	56.8	51.0	61.8	46.0	77.3	69.9	54.2	55.7
	24	33.5	35.7	55.7	35.2	40.5	30.2	75.5	71.3

表 B.10: 標準条件と温熱制御条件における *CDI* の算出結果 (Group4~6)

グループ	実験参加者	標準条件				温熱制御条件			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	51.7	68.0	N/A	N/A	81.0	82.1	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	64.3	67.9	74.1	72.0	82.6	84.6	76.2	70.0
	30	51.5	46.4	45.7	51.6	66.6	60.3	59.3	50.5
	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	56.7	79.4	N/A	N/A	86.2	36.0	N/A	N/A
	34	51.4	44.8	47.7	52.4	59.3	68.3	65.8	60.7
	35	19.5	45.2	68.2	43.0	74.9	58.7	57.8	47.0
	36	47.5	16.7	N/A	N/A	61.3	75.7	N/A	N/A
	37	59.3	52.8	58.9	74.6	75.2	71.9	73.0	65.8
	38	30.3	39.3	40.4	29.9	50.5	72.3	77.9	81.1
	39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	56.8	55.0	63.7	43.1	37.3	52.6	74.8	51.1
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A