

青山学院大学理工学部  
情報テクノロジー学科  
2024年度卒業研究論文

心拍変動を用いた学生の勉強に対する集中力向上手法の比較

2025年1月28日提出

指導教員 ロペズ・ギヨーム 教授

提出者学生番号 氏名  
15821066 中島 弥芳

# 心拍変動を用いた学生の勉強に対する集中力向上手法の比較

中島 弥芳 (15821066)

ロペズ研究室

## 1. はじめに

コロナウイルス蔓延を境にオンライン授業を導入する大学は増加した。それにより、学生の学習環境は多様化しており、学習の効率を高めるためには、集中力を向上させる方法の検討が重要となっている。実際に、全国大学生活協同組合連合会の調査では学習についての悩みを抱える大学生は約半数を占める結果になった。

そこで、本研究では学生のデスクワークに焦点を当て、心拍変動指標を用いて、仮眠(Nap), 音楽(Music), ストレッチ(Stretch)の3種類の休憩方法がデスクワークにおける集中力回復に与える影響を比較することを目的とした。

## 2. 関連研究

過去の研究では、ウェアラブルデバイスを活用した心拍変動解析によるストレス評価や集中力向上に関する手法が多く提案されている。例えば、浦野らは、心拍数に同期した光変化による心理状態の可視化が提案された[3]。さらに、三木ら[4]は、心拍データや瞬きの回数といった生体情報を用いて休憩時間の過ごし方の違いが作業パフォーマンスに与える影響を定量的に評価した。彼らは、「寝る」「スマートフォンを見る」「運動をする」など複数の休憩方法が集中力や作業パフォーマンスに与える効果を調査し、心拍変動を活用した新たな評価方法を提案している。

## 3. 休憩方法の回復効果検証実験

本研究はこれらの知見を基に、学生のデスクワークにおける集中力回復に最適な休憩方法を特定することを目指し、三木らが示した実験の改善点を参考にして休憩方法を選定した。10名の大学生(男9人、女1人)を対象に、静かな実験室において、以下の手順でデータを収集した。

1. 安静状態で心拍変動を3分間測定する。
2. 20分間の自由デスクワークをして、心拍変動の記録を行う。
3. 仮眠(10分), 音楽(3分), ストレッチ(3分)のいずれかの休憩を行う。
4. 各休憩方法の後に再び20分間のデスクワークをして、心拍変動を記録。

休憩方法の順番による影響を排除するため、1日1種類の休憩方法をランダムに選び、3日間にわたって実験を実施した。効果の比較には先行研究と同様に心拍変動指標のLF/HFを用いた。LFは低周波成分、HFは高周波成分を示し、LF/HF値が高い場合はストレスや緊張状態、低い場合はリラックス状態を示す。本実験では、先行研究[4]を参考にしてLF/HF値が2.0以上を「集中している状態」「ストレス状態」と定義した。

## 4. 休憩方法の回復効果の評価結果

### 4.1. 心拍変動指標の評価

本研究では、3種類の休憩方法(Music, Nap, Stretch)がLF/HFの変化量に与える影響を評価するため、休憩前後のLF/HFの平均値を比較した。t検定および一元配置分散分析(ANOVA)を実施した結果、休憩方法間におけるLF/HF比の変化量には統計的に有意な差は確認されなかった。表1に分散分析の結果、表2にt検定の結果をまとめた。

表1：分散分析の結果

指標	値
F値	0.38127
因子の自由度(df_factor)	2
残差の自由度(df_error)	27
因子平方和(SS_factor)	0.12911
残差平方和(SS_error)	4.5715

表 2 : t 検定の結果

	Music vs Stretch	Music vs Nap	Stretch vs Nap
t	-0.650	0.043	0.716
P(T<=t) 片側	0.266	0.483	0.246

さらに、Tukey HSD 検定による多重比較を行ったが、すべての休憩方法の組み合わせにおいて統計的な有意差は見られなかった(Music vs Nap の q 値 = 0.047, Nap vs Stretch の q 値 = 0.779, Music vs Stretch の q 値 = 0.732)。しかし、休憩方法ごとのLF/HF の平均変化量は、Music が 0.89(標準偏差 = 0.45), Nap が 0.88(標準偏差 = 0.47), Stretch が 1.02(標準偏差 = 0.30)であり、平均的な傾向として Stretch がやや高い結果を示した。また、標準偏差に着目しても Nap(0.47), Music(0.45) に比べて Stretch(0.30)が最も小さく、結果のばらつきが少ない。表 1 は多重比較検定の結果、表 2 は休憩方法ごとの統計量をそれぞれ示す。

表 3 : 多重比較検定の結果(TukeyHSD)

比較	平均の差	q 値	判定
Music vs Nap	0.009	0.047	有意差なし
Music vs Stretch	0.135	0.732	有意差なし
Nap vs Stretch	0.143	0.779	有意差なし

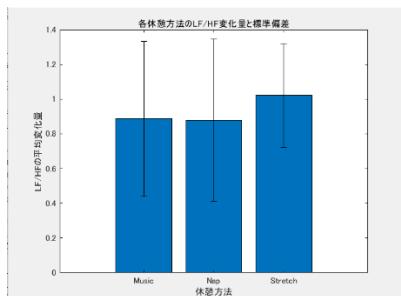


図 1 : 休憩方法ごとの統計量

#### 4-2. アンケートによる主観的評価

本実験後、休憩方法の集中力向上効果や設定時間の適切性、リラックス効果に関するアンケートを実施した。その結果、「仮眠をとる」が最も効果的と評価され、全回答者が肯定的だった。「ストレッチをする」や「音楽を聴く」も高評価を得ており、特に「ストレッチをする」はリラックス効果で 90%が肯定的だった。一方で、「音楽を聴く」と「仮眠をとる」の設定時間が短いとの意見や、仮眠時の体勢や環境条件が集中の妨げにな

るとの指摘があった。

#### 5. まとめ

本研究では、Nap, Music, Stretch の 3 つの休憩方法の効果を比較したが、解析結果では有意差が見られなかったものの、LF/HF の平均変化量は Stretch が一番高いことからことから、Music, Nap よりも集中力回復に効果的であると言える。また、標準偏差で Stretch の数値が最小だったことから、Stretch が他の休憩方法よりも効果の安定性が高く個人間の影響を受けにくいと考えられる。有意差が見られなかったのは以下の要因が関係していると考えられる。

1. 被験者数が 10 人と少なく、統計的検出力が不足していたこと。
2. LF/HF 比が個人ごとに異なる基準値や変化量を持つため、個人差が効果を埋もれさせた可能性があること。
3. LF/HF 比の感受性が高い一方で、短時間の休憩では十分な変化を検出しにくかったことが挙げられる。

さらに、音楽や仮眠の設定時間が適切でなかったとの評価や、休憩中の環境要因(仮眠の体勢や室内の明るさなど)が休憩効果を低下させた可能性も指摘された。本研究の結果を踏まえ、今後は、サンプルサイズの拡大、休憩時間や環境要因の改善、さらには主観的評価に加えて他の生理指標を併用した多角的な効果検証が必要であると考える。

#### 参考文献

- [1] Digital Knowledge 株式会社 : オンデマンド学習に関するレポート. [https://www.digital-knowledge.co.jp/wp-content/uploads/2023/11/report\\_ondemand.pdf](https://www.digital-knowledge.co.jp/wp-content/uploads/2023/11/report_ondemand.pdf) (参照日 2025/01/28)
- [2] 全国大学生活協同組合連合会 : 第 59 回学生・生活実態調査報告 <https://www.univcoop.or.jp/press/life/report.html> (参照日 2025/01/28)
- [3] 浦野健太, 廣井慧, 米澤拓郎, 河口信夫ほか: ドキドキをセンシングして可視化する LED ライティングデバイス, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2248 論文集, Vol.2020, pp.1616–1622 (2020).
- [4] 三木隆裕, 寺田努, 前田俊幸, 唐澤鵬翔, 安達淳, 塚本昌彦ほか: 休憩時間の過ごし方が作業パフォーマンスに及ぼす影響の調査, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2018, No.3, pp.1–8 (2018).

# 目 次

<b>第1章 序章</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景 . . . . .	1
1.1.1 コロナウイルスが授業形態に与えた影響 . . . . .	1
1.1.2 リモートワークによる集中力の低下 . . . . .	1
1.1.3 集中力向上に対する休憩の必要性 . . . . .	1
1.2 研究目的 . . . . .	2
1.3 本論文の構成 . . . . .	3
<b>第2章 関連研究</b>	<b>4</b>
2.1 ウェアラブルデバイスを活用した生体データの解析と応用に関する研究 . . . . .	4
2.2 ストレス・集中力評価と向上に関する研究 . . . . .	6
2.3 ロケーションや環境対応型の情報提示システム . . . . .	11
2.4 健康促進および休憩の効果 . . . . .	12
2.5 先行研究のまとめ . . . . .	13
<b>第3章 本研究で用いる技術や用語について</b>	<b>14</b>
3.1 心拍間隔と心拍変動 . . . . .	14
3.2 自律神経系 . . . . .	14
3.2.1 交感神経 . . . . .	15
3.2.2 副交感神経 . . . . .	15
3.3 心拍変動解析 . . . . .	16
3.3.1 時間領域解析 . . . . .	16
3.3.2 周波数領域解析 . . . . .	17
3.4 集中力の定義 . . . . .	18
<b>第4章 集中力回復のための休憩方法比較検証</b>	<b>19</b>
4.1 実験目的 . . . . .	19
4.1.1 実験概要 . . . . .	19
4.2 実験概要及び手順 . . . . .	19
4.3 集中力回復の評価に用いる指標 . . . . .	21

4.3.1 定量効果について . . . . .	21
4.3.2 定性的評価について . . . . .	23
<b>第5章 比較検証実験の結果及び考察</b>	<b>26</b>
5.1 心拍変動指標のt検定による評価 . . . . .	26
5.2 心拍変動指標の一元配置分散分析・多重比較による評価 . . . . .	27
5.3 アンケートによる主観的評価 . . . . .	28
5.3.1 各休憩方法の効果についての評価 . . . . .	28
5.3.2 各休憩方法の設定時間についての評価 . . . . .	29
5.3.3 各休憩方法のリラックス効果 . . . . .	29
5.3.4 集中を妨げる要因 . . . . .	29
5.4 考察 . . . . .	30
5.5 実験の改善点 . . . . .	31
<b>第6章 結論</b>	<b>33</b>
6.1 まとめ . . . . .	33
6.1.1 集中度についての定量的評価 . . . . .	33
6.1.2 集中度についての定性的評価 . . . . .	33
6.2 今後の展望 . . . . .	33
<b>謝辞</b>	<b>35</b>
<b>参考文献</b>	<b>38</b>

# 第1章 序章

本章では、社会的な背景をもとに研究の位置付けを明確にする。1.1節では、研究背景としてコンテンツ視聴における現状と課題について述べる。1.2節では、背景に挙げた課題を踏まえた本研究の目的を定義する。1.3節では、本論文の構成について述べる。

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 コロナウイルスが授業形態に与えた影響

日本における大学(国公立大学、私立大学)では、2020年の新型コロナウイルス感染症の拡大後、急速にオンデマンド授業の導入が進んだ。Digital Knowledge 株式会社の調査によると、2023年11月時点で、オンライン授業を日常的に取り入れている大学が過半数を占めている[1]。

図 1-1: ([1] より引用)

### 1.1.2 リモートワークによる集中力の低下

全国大学生活協同組合連合会が9,873人の大学生に2023年11月に実施した調査によれば、約半数の大学生が学習に関する悩みを抱えていることが明らかになっている。同調査では、学生の生活全般について幅広く調査が行われており、授業や課題に対するモチベーションの低下や、学習時間の確保の難しさ、オンライン授業の増加による集中力の低下が主な課題として挙げられている[2]。

図 1-2: 大学生に対する「日常生活の中で悩んでいることや気にかかっていること」の質問に対する回答結果【%】([2] より引用)

### 1.1.3 集中力向上に対する休憩の必要性

現代の労働環境において、長時間の集中作業は生産性を低下させるだけでなく、精神的および肉体的疲労を招く原因となる。Diamond Harvard Business Review の記事によれば、

適切なタイミングでの休憩は、集中力の持続や業務効率の向上に不可欠であるとされている。以下に、そのポイントをまとめる [3].

- 集中力の持続には限界がある

集中力には自然な限界があり、特に連続的な作業では注意力が低下する「集中力の波」が発生する。この波を意識し、適切なタイミングで休憩を取ることが、集中力を持続させるカギであると指摘されている。例えば、25分作業し5分休憩を取る「ポモドーロ・テクニック」は、短期的な集中力を最大化する方法として広く実践されている。

- 休憩が脳に与えるポジティブな影響

休憩には、脳をリフレッシュさせる効果がある。短時間でも意識的に作業から離ることで、脳が過剰なストレスから解放され、次の作業に向けたリカバリーが可能になる。また、特定の休憩方法（仮眠、軽い運動、リラクゼーションを目的とした音楽など）が脳の神経活動を活性化し、注意力や判断力の向上に寄与することが報告されている。

- 適切な休憩が生産性を高める

長時間働き続けることが必ずしも高い生産性をもたらさない点が強調されている。むしろ、定期的な休憩を挟むことで、集中力がリセットされ、より高い効率で作業を再開できる。休憩を取らずに作業を続ける場合、最終的にはエラーやミスの増加、創造性の低下が発生しやすくなる。

- 休憩の方法とタイミングの重要性

記事では、どのような休憩が有効かについても議論されている。特に、短時間の仮眠やストレッチ、音楽を聞くことなどは、集中力の回復に効果的であるとされる。また、休憩のタイミングを個々人の集中力のリズムに合わせて調整することが推奨されている。

## 1.2 研究目的

1.1節で述べたように、コロナウイルスの影響でリモートワークが増加することで多くの社会人が仕事に集中できていないという悩みを抱えている。このことから、コロナウイルス以後デスクワークで集中力を保つことが難しいと感じている人が増加していると予想される。この問題を解決するためには、デスクワークに効果的な休憩方法を特定し、社会人に限らずデスクワークをするすべての人に集中力の回復を図る。そこで本研究では、テレワーク環境下での集中力低下に対し、複数の休憩方法の効果を比較・検証を行う。

また、本研究では、効果的な休憩方法を選定するため、既存の知見および先行研究([4])の結果を考慮した。具体的には、「音楽を聴く」、「仮眠をとる(10分)」、「ストレッチをする」の3つを休憩方法として採用した。先行研究において「飲食をする」休憩方法は顕著な効果が確認されなかったため本研究では除外した。また、ManpowerGroup株式会社によるウェブサイトを基に[5]「音楽を聴く」という先行研究で扱われていない休憩手法を新たに追加し、「運動」に関しては負荷が軽く身体的疲労が少ない「ストレッチ」に変更した。さらに、先行研究[6]では仮眠時間の延長の必要性が指摘されていたため、本研究では先行研究よりも長い仮眠時間を設定し、その効果を最大化することを目指した。

### 1.3 本論文の構成

第1章では、本論文の研究背景、研究目的、及び本論文の構成について述べた。第2章では、先行研究について述べる。第3章では、専門用語、システム概要について述べる。第3章では、専門用語、システム概要について述べる。第4章では、実験概要について述べる。第5章では、実験結果、考察について述べる。

## 第2章 関連研究

本章では、に関する研究について述べる。2.1節ではウェアラブルデバイスを活用した生体データの解析と応用に関する研究、2.2節ではストレス・集中力評価と向上に関する研究、2.3節ではロケーションや環境対応型の情報提示システムに関する研究、2.4節では健康促進および休憩の効果の研究について述べる。

### 2.1 ウェアラブルデバイスを活用した生体データの解析と応用に関する研究

閨間らは、メガネ型ウェアラブルデバイス（JINS MEME）とスマートウォッチ（Apple Watch）を用い、歩行中の心拍と視線活動を測定することで、異性への好意を判定する手法を提案した。被験者に街を散策してもらい、視線活動や心拍数のデータを収集した後、まばたきの回数と心拍数が増加する際の映像を分析した結果、被験者の好みの異性が映る場合にこれらの変化が確認され、心拍数と視線活動が好意と一定の相関を持つ可能性が示唆された。また、移動平均フィルタを用いてノイズを除去したデータの分析では、まばたきの回数と心拍数の相関係数が0.4295を示し、心拍とまばたきの増加が好意を抱く状況で顕著になることが明らかになった。一方で、好意以外の要因によってデータに影響が及ぶ場合も確認され、さらなる検証が必要であるが、簡易な装置による好意の自動判定システムの可能性が示された[4]。

吉村らは、ウェアラブルデバイスを活用し、観光地の評価を旅行者の内面状態から推定する手法を提案した。Android Wearを用いて安静状態および歩行中の心拍数を計測し、その精度を筋電式心拍計（my Beat）と比較した結果、運動の影響を除外すれば信頼性が高いことが確認された。また、観光地での内面状態を想定し、動画視聴中の心拍数を分析したところ、心拍数が高い状態を平均的に維持する特性が見られ、運動中とは異なる変化が観測された。この結果から、心拍センサを活用した内面状態の推定が可能であることが示唆され、観光地評価における個別ニーズへの対応や観光地の改善に活用できる可能性が示された[7]。

浦野らは、ウェアラブルデバイスで計測した心拍数に基づき、心拍信号に同期した光の変化を用いて心理的緊張や興奮をリアルタイムで可視化する図2-1に示されているようなLEDデバイスを提案した。既存の心拍計測デバイスが提示情報をユーザ個人に限定するのに対し、本デバイスは発光パターンを用いて心拍情報を視覚的に共有可能とすることで、

他者とのインタラクションを促進する。具体的には、光学式心拍センサとマイコンを組み合わせ、ユーザの心拍数に応じた発光パターンを生成し、心理状態を他者に伝える仕組みを開発した。実験では、心拍波形を忠実に反映した発光パターンが心理状態の共有を可能にすることが確認され、ゲームやイベント、医療分野での応用可能性が示唆された [8]。

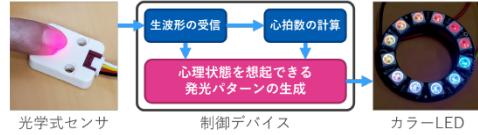


図 2-1: 光学センサ、デバイス本体、LED の構成 ([8] より引用)

青木らは、個人に適応した住空間サービスを実現するため、心拍数を含むマルチモーダルデータを用いて体感温度や気分の変化を分析する手法を提案した。高齢者や学生を対象に行った住空間実験では、心拍数や温湿度データ、気分などの主観的・客観的情報を収集し、それらを統合した分析ツールを用いて体感状況の変化パターンを解析した。その結果、体感温度と心拍数の変化には一定の相関があり、心拍数データが体感温度の推定や快適性向上に寄与する可能性が示された。これにより、住空間の自動制御や個人化サービスの設計への応用が期待される [9]。

角田らは、心拍数と呼吸数の長期的な変動の類似性を利用し、コンテンツ視聴による気分変化を非侵襲的に推定する手法を提案した。従来の主観評価法や顔表情解析法におけるユーザ拘束やノイズの影響を克服するため、コメディ動画視聴中の心拍・呼吸データを収集し、フィルタ処理により動作ノイズを除去したデータを分析した。その結果、心拍数と呼吸数の同期が気分変化と密接に関連することが確認され、この手法の有効性が示された。提案手法は、コンテンツ提供者による効果的な作品評価や個人の視聴体験向上に寄与する可能性を持つ [10]。

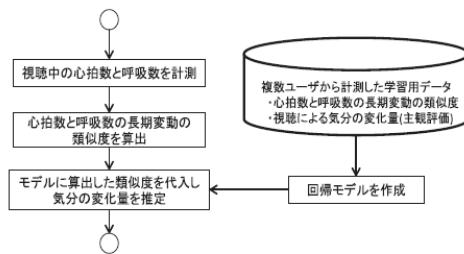


図 2-2: 提案手法図 ([10] より引用)

東海林らは、スマートウォッチを用いて動画鑑賞中の心拍変動を解析し、鑑賞者の感情を客観的に評価する手法を提案した。従来の主観的なアンケート評価や複数のセンサを使用した負荷の大きい方法に代わり、心拍変動データと機械学習モデルを組み合わせて、鑑賞者

の感情を自動推定する実験を行った。実験部屋の全体図を図2-3に示す。ホラー動画を対象とした評価では、F1値が90%以上という高精度を達成し、視聴体験を基にした動画推薦や評価システムへの実用化可能性が示唆された[11]。



図2-3: 実験部屋の全体図 ([11]より引用)

野本らは、スポーツ観戦中の情動を脈拍変動（PRV）を用いて客観的に評価する手法を提案した。Android Wear搭載のウェアラブルデバイスを用いて心拍データを取得し、KNNアルゴリズムを活用して観戦中の喜びや興奮、平静さなどを分類するモデルを構築した。評価実験では、喜びや興奮の感情を80%以上の精度で分類できることが確認され、スポーツ観戦時の心理的変化をデータに基づいて理解する手法として有効性が示された。今後は、観戦体験の向上やイベント設計への応用が期待される[12]。

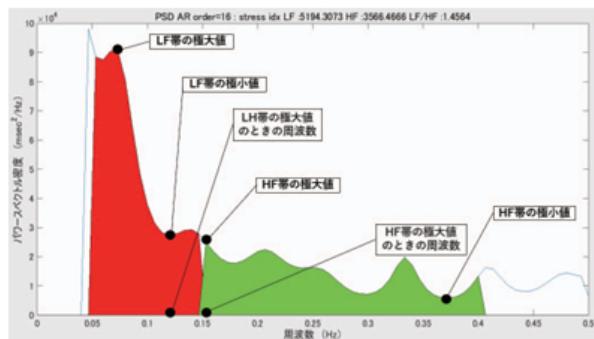


図2-4: 実装した脈拍間隔ノイズ処理手法を説明するコメント付き脈拍変動 PSD プロット ([12]より引用)

## 2.2 ストレス・集中力評価と向上に関する研究

田島らは、腕時計型ウェアラブルデバイスを活用し、98名の母親を対象に心理的ストレス反応と心拍変動や睡眠などの生理的データの関連性を分析するとともに、ストレス対処行動の変化を検討した。4週間のデータ収集期間の結果、心理的ストレス反応と生理的データの間に有意な相関が確認されたものの、個人差が大きく共通のパターンは得られなかった。一方、ストレス対処行動においては、調査期間後に高ストレス群でポジティブな再評価

型の対処行動が顕著に増加した。この変化は、ウェアラブルデバイスを通じたストレス認識とデータの可視化が自己管理意識を高めたことが要因と考えられる。これらの結果は、育児支援としてのストレスマネジメントツールの可能性を示唆している [13]。

伊村らは、医療現場における医師のストレス推定手法として、ウェアラブルセンサデバイスを活用して心拍変動や睡眠データを解析する方法を提案した。7名の医師を対象に最大8週間データを収集し、心拍数の低周波成分と高周波成分の比率や睡眠深度データを基に疲労やストレスを推定した。結果、医師のストレス状態を高精度で推定可能であり、ストレス軽減のための休息の必要性を判断できることが示された。本手法は、医療現場の過酷な労働環境における医師の健康管理や医療事故の未然防止に寄与する可能性がある [14]。



図 2-5: リング型ウェアラブルデバイス [14] より引用)



図 2-6: 腕時計型ウェアラブルデバイス ([14] より引用)

鈴木らは、長距離運転中のドライバーが適切な休憩を取るためのストレス推定システムを提案した。スマートウォッチで取得した心拍変動データを高速フーリエ変換し、低周波成分と高周波成分の比率を基にストレス状態を分類するモデルを構築した。9名の被験者による実験では、サポートベクタマシンを用いたストレス状態の分類精度が73%に達し、運転中のストレス評価に実用性があることが示唆された。本手法は、ドライバーの事故防止や安全運転支援への応用が期待される [15]。

宮崎らは、オンライン授業における集中力持続を目的としたシステムを提案した。Node-RED を用いて構築されたシステムは、5分ごとに受講者の顔写真を撮影し、顔の有無に基づいて集中力を推測する。集中力が低下した場合には、光やアロマといった刺激を自動的に提供し、注意を引き戻す仕組みを導入した。実験結果から、本システムがオンライン授業中の受講者の集中力を効果的に維持し、学習効率の向上に寄与する可能性が確認された [16]。

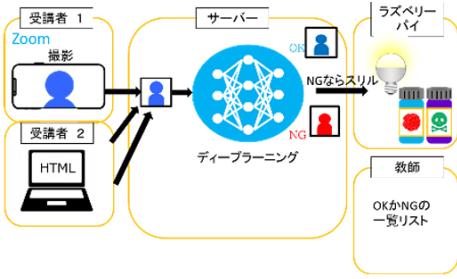


図 2-7: システム構成図 ([16] より引用)

森川らは、スマートグラスを活用して複合現実空間に仮想の壁を表示し、周囲の視野を制限することで学習や作業時の集中力を向上させる手法を提案した。これまでの研究では、視野や周辺情報を制御して集中を高める手法が検討されていたが、固定された設備を必要とすることが多かった。本研究では、スマートグラスを使用することで携帯性を向上させ、自習室のような集中環境をどこでも再現可能にした。開発されたシステムでは、ユーザーの視界に仮想的な壁を表示し、周囲の人や物からの気を散らす要素を排除する。実験により、ユーザーが集中して作業に取り組める環境を簡易かつ効果的に提供できることが示され、この手法の教育や作業支援への応用可能性が示唆された [17]。

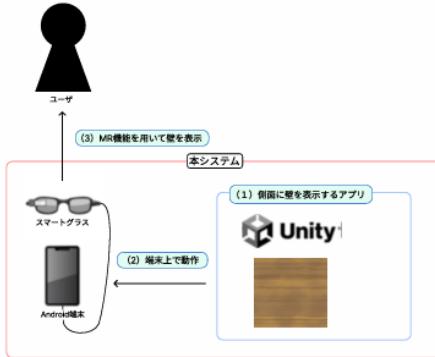


図 2-8: システム構成図 ([17] より引用)

菅野らは、大勢の聴衆の前でのプレゼンテーション時に生じる緊張を緩和するため、心拍情報のフィードバック手法を提案した。視覚、聴覚、触覚の3種類の虚偽心拍情報を用い、それぞれのフィードバックが発表者に与える影響を比較検証した。具体的には、視覚フィードバックでは心拍数のグラフ表示、聴覚では心拍音の再生、触覚では心拍に応じた圧力デバイスを用いた。実験では発表者が最も知覚しやすいのは視覚的フィードバックである一方、触覚と聴覚も緊張を緩和する効果が認められた。本手法は、プレゼンテーションスキルの向上や緊張の制御を支援するシステム設計に有用である可能性が示された [18]。

河端らは、焦電センサを用いて学習中の脚部動作を非接触で計測し、精神疲労が蓄積したタイミングで適切な休憩を提案するシステムを開発した。22名の被験者を対象に、脚部動

作の頻度と精神疲労の関係を分析し、動作計測の正確性を評価した結果、目視計測との一致率は 89.2 %に達した。さらに、脚部動作の変化に基づき休憩を提示するシステムを提案し、個別に適応した休憩タイミングの提示が学習効率向上に寄与することが示唆された。本手法は、集中力の維持と疲労軽減を目的とした学習支援の有効なアプローチを提供する [19]。

濱谷らは、スマートフォン内蔵センサやウェアラブルセンサを用いて、タイピングや動画視聴などの行動中に取得した加速度、心拍数、皮膚導電率などのデータを分析し、集中度を推定する手法を提案した。1名の被験者を対象に40分間のデータ収集を行い、集中行動とセンサデータの相関を分析した結果、集中時には特定の生理指標に特徴的な変化が見られることが確認された。本手法は、集中度の可視化とパフォーマンス向上のためのシステム開発に活用可能であり、教育や職場環境での応用が期待される [20]。



図 2-9: システム図（[20] より引用）

川崎らは、スマートウォッチを用いて勉強中の心拍数データを収集し、集中、眠気、疲労といった精神状態の度合いを連続的に推定するシステムを提案した。被験者2名を対象にした実験では、心拍数の変化パターンから各状態を識別するモデルを構築し、F1値が 78 %以上の精度で分類が可能であることを確認した。短期的な休憩提案と長期的なフィードバックによる学習効率向上が期待され、教育分野での応用可能性が示された [21]。

徳田らは、オフィス環境における不適切な割り込みを軽減し、適切なタイミングでのコミュニケーションや休憩を誘発することで行動変容を促進することを目的として、ユーザの集中度を3段階で可視化するシステム(図 2-10)を提案した。具体的には、JINS MEMEというアイウェアを利用してユーザの集中度を瞬きの頻度と姿勢の安定性から正確に計測し、スマート IoT 照明の Philips hue によって集中度を「フロー状態」「集中状態」「集中していない状態」の3段階で可視化するシステム(図 2-11)である。従来のマウスやキーボード利用に基づく手法では対応が難しかった読書や思考中の状態についても、本システムは正確に計測可能であり、生産性向上や疲労軽減への貢献が見込まれる。今後の課題としては、提案システムの実用性評価、他デバイスとの組み合わせによる精度向上、集中度の

提示方法の拡張が挙げられる [22].

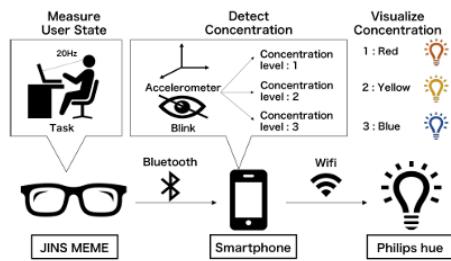


図 2-10: 提案システムの概要 ([22] より引用)



図 2-11: フロー状態(赤), 集中状態(黄), 集中していない状態(青) ([22] より引用)

橋らは,PC 作業中の集中力向上を目的として,視線を作業エリアに誘導する視覚刺激の効果について検証を行った. 視覚刺激として,「白地」「黒地」「内向き縞模様」「外向き縞模様」「ランダムドット」の5種類の背景パターンを設定した(図 2-12). 被験者には,これらの背景を表示した PC 画面上で計算問題を解答させ,その際の瞬目頻度,音に対する反応時間,正答率,主観的集中度を測定した. なお,実験は図 2-13 に示すような環境で行われた. 実験の結果,内向き縞模様の視覚刺激が他の条件と比較して最も高い集中力向上効果を示した. 具体的には,瞬目頻度の減少,計算問題の正答率の向上,主観的集中度の上昇が確認された. 一方,外向き縞模様やランダムドットでは集中度が低下する傾向が見られた. これらの結果から,内向き縞模様の視覚刺激が作業エリアへの注意を促進し,集中力を高める有効な手段であることが示唆された.

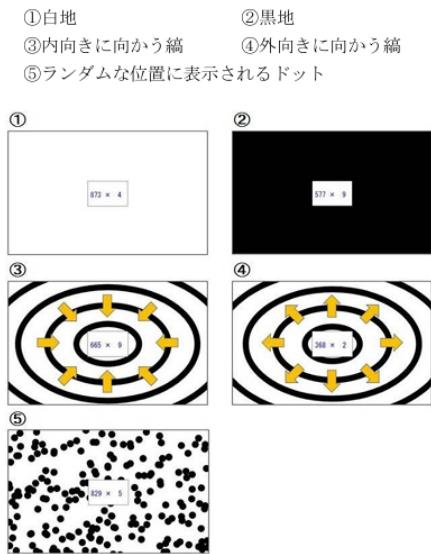


図4 用いた視覚刺激

図 2-12: 5 種類の背景パターン（[23] より引用）

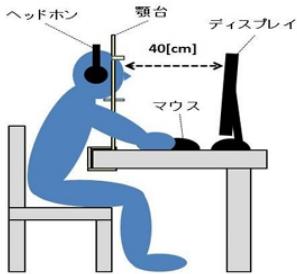


図2 実験環境

図 2-13: 実験環境（[23] より引用）

### 2.3 口케ーションや環境対応型の情報提示システム

小松らは、社会的接触の頻度を客観的に計測し、健康状態や行動変容の促進に役立てるため、腕時計型ウェアラブルデバイスを活用した会話時間計測手法を提案した。市販のデバイスに搭載されたマイクと機械学習モデルを組み合わせ、環境音と会話音を分類し、信頼度 50 %以上の場合を会話時間として記録する「OHANASHI」アプリを開発した。実験では、雑音と会話の判別精度が 85 %以上であることを確認し、被験者 7 名を対象に実際の生活環境で 2 週間計測を実施した。その結果、時刻ごとの会話パターンが可視化され、計測データが社会的接触への意識向上に寄与する可能性が示唆された [24]。

千葉らは、ウェアラブルデバイスを活用し、野外ミュージアムにおける健康増進と鑑賞体験の向上を目的としたシステムを提案した。心拍数やカロリー消費量を測定するリストバンド型デバイスとスマートフォンを連携させ、来館者が森林ウォーキングをしながら彫刻

や植物の情報を動的に得られる仕組みを構築した。プロトタイプの開発では、季節や時間帯に応じて情報を提供する機能や、SNSで感想を共有する機能も搭載した。調査結果から、森林セラピーや運動情報に対する高い需要が確認され、来館者の満足度向上に寄与する可能性が示された[25]。

吉田らは、スマートウォッチの消費電力削減とユーザ位置情報に基づく動的な情報提示を目的としたシステムを開発した。ジオフェンシング技術と音波を用いた位置推定手法を組み合わせ、エリアとブロック単位で位置を特定し、その場に関連する情報を自動的に提示する仕組みを構築した。実験では、部屋単位で情報を提示する精度が100%に達し、提示までの時間は1分以内が96%を占めた。また、エリア内外での切り替えにより、スマートウォッチのバッテリー消費を最小限に抑えられることが確認された[26]。

## 2.4 健康促進および休憩の効果

岡部らは、地域住民30名を対象に腕時計型ウェアラブルデバイスを用いたセルフモニタリングが歩数と睡眠時間に与える影響を検証した。1週目は通常活動を記録するコントロール期間、2週目はデバイスによるセルフモニタリング期間とし、VASを用いて健康意識の変化を調査した。結果、男性では歩数が平均7987歩から9529歩へと有意に増加したが、女性では有意差は見られなかった。また、睡眠時間に有意な変化はなかったものの、男女ともに健康意識は向上した。これにより、セルフモニタリングが男性の歩数増加や健康意識向上に寄与する可能性が示され、男女間での指導方法の差異の必要性が考察された[27]。

本多らは、寺院での坐禅が自律神経活動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。健常な成人11名を対象に、僧侶の指導下で15分間の坐禅を実施し、自律神経活動を測定した。結果、坐禅後に心拍数の低下やSDNNとLnTPの有意な増加が観察され、中程度の効果量を示した。これにより、坐禅が交感神経および自律神経機能を一過的に活性化する可能性が示唆された。本研究は坐禅が健康増進活動として有効であることを一般人に示す初めての実証的研究である[28]。

後藤らは、脚部動作時間を基に学習者の疲労を推定し、適切な休憩タイミングを提案するシステムを開発した。20名の大学生を対象に、休憩を取り入れた実験群と連続学習を行う対照群に分け、90分間の映像講義後にテストを実施した。結果、提案システムによる休憩タイミングの提示は集中力の維持と学習成果の向上に寄与した。脚部動作を非接触で計測する本手法は、学習環境を妨げずに適応可能な効果的な休憩管理手段を提供する[29]。

荻野らは、長時間作業の合間に運動を組み込むことで集中力と作業効率を向上させる効果を検証した。被験者は「休憩なし」「運動なし」「運動あり」の3条件で校正作業を実施し、生体情報と課題正答率を比較した。結果、運動あり条件では正答率が最も高く、運動が

集中力維持に有効であることが示された。本手法は短時間の運動を効果的に取り入れることで、作業パフォーマンスを向上させる可能性を示唆している [30]。

渡部らは、休憩時にクラシック音楽を聴取することで休憩後の作業遂行能力や主観的気分がどのように変化するかを検証した。35名の大学生を対象に、クラシック音楽聴取条件とノイズ音聴取条件で符号課題を実施した結果、クラシック音楽条件での作業量が有意に多く、集中力と活気が向上した。本研究は、音楽が作業効率や気分の改善に与える影響を定量的に示すものであり、効果的な休憩法の設計に寄与する [31]。

三木らは、オフィスワーカーの休憩時間の過ごし方が作業パフォーマンスに及ぼす影響を調査し、効果的な休憩手法を提案することを目的とした。被験者9名に対し、計算課題の実施前後で休憩時間を6種類（「寝る」「スマートフォンを見る」「運動をする」「タバコを吸う」「コーヒーを飲む」「食べ物を食べる」）に分け、心拍センサと眼電位センサを用いて生体情報を計測した。ストレス指標（LF/HF値）と瞬きの回数を分析し、休憩後の作業効率を評価した結果、「寝る」「運動をする」「タバコを吸う」が特にパフォーマンス向上に効果的であり、LF/HF値が高い状態での作業効率が向上することが確認された。一方、課題の順番による慣れや個人差がデータに影響する可能性も指摘され、さらなる検証が必要である。本研究は、休憩方法が作業効率やストレス軽減に与える影響を示し、個人に適した休憩設計の基礎を提供するものである [6]。

## 2.5 先行研究のまとめ

これまでの研究では、デスクワークに特化した効果的な休憩方法について、完全に結論付けられていない。そこで本実験では、デスクワークの作業を想定し、LF/HF(Low Frequency/High Frequency)を用いて休憩前後の集中度回復を計測し、その効果を比較・検討する。

# 第3章 本研究で用いる技術や用語について

本章では測定に用いる技術や用語について述べる。

## 3.1 心拍間隔と心拍変動

心臓は、収縮と拡張を周期的に繰り返すことで生命を維持している。この活動を細胞レベルで見ると、脱分極と活動電位、再分極と静止電位の繰り返しにより制御されている。図 3-1 は正常な心電図を示している。PP 間隔は、心房の興奮が始まってから次の興奮が始まるまでの時間を指し、RR 間隔は、心室の収縮から次の収縮までの時間を指す。正常な状態では、これらの間隔は規則正しく周期的である。また、心室が 1 分間に収縮する回数を心拍数と呼ぶ。RR 間隔を基に心室の興奮周期を求めて、心拍数を算出することが可能である [32]。



図 3-1: 正常心電図 ([32] より引用)

## 3.2 自律神経系

自律神経系は、身体の内臓機能や循環器、呼吸器、消化器、腺分泌などを無意識的かつ自動的に調節する神経系であり、主に交感神経系と副交感神経系の 2 つの主要な構成要素から成る。これら 2 つの系は、互いに拮抗的に働きながら、身体の恒常性 (homeostasis) を維持する役割を果たす。交感神経系は、ストレスや緊急事態において活性化され、心拍数

の増加、血圧の上昇、気管支の拡張、血糖値の上昇など、身体を活動的な状態に導く「闘争・逃走反応(fight-or-flight response)」を担う。一方、副交感神経系は、心拍数の減少、消化管の活動促進、エネルギー貯蔵の促進など、リラックス状態や回復を促進する「休息と消化(rest-and-digest)」を担う。自律神経系の中核は主に視床下部や延髄に位置し、外部環境や内部の代謝的要因に応じて活動を動的に調整する。また、自律神経系の機能は、心拍変動(heart rate variability, HRV)や皮膚電位反応(electrodermal activity, EDA)などの生理学的指標を通じて評価される。これにより、ストレスや精神的負荷の状態を客観的に把握することが可能である。自律神経系の異常は、高血圧や慢性疾患、精神疾患など多岐にわたる健康問題と関連し、その調節機構の理解は臨床医学や健康科学において重要な課題となっている。

### 3.2.1 交感神経

交感神経系は、自律神経系の一部であり、身体がストレスや緊急事態に直面した際に活性化される「闘争・逃走反応(fight-or-flight response)」を担う神経系である。この系は、脊髄の胸髄および腰髄(T1-L2)から起始する神経節前線維(preganglionic fibers)と、交感神経幹または遠位の神経節に位置する神経節後線維(postganglionic fibers)で構成される。交感神経系の主要な役割は、身体を活動的かつ即応的な状態にすることであり、これには心拍数の増加、血圧の上昇、気管支の拡張、血糖値の上昇、瞳孔の拡大などが含まれる。交感神経系の神経伝達は、神経節前線維から分泌されるアセチルコリン(acetylcholine)を介して開始され、神経節後線維からは主にノルアドレナリン(norepinephrine)が放出される。このノルアドレナリンは、心臓や血管、呼吸器などの標的組織に作用し、各器官の機能を調節する。また、副腎髄質も交感神経系の一部とみなされ、ストレス時にはアドレナリン(adrenaline)とノルアドレナリンを血中に分泌する。このように交感神経系は、緊急時や身体的・精神的負荷がかかった状態において、エネルギー供給を増強し、適応的な応答を促進する役割を果たす。しかし、交感神経系の過剰な活性化は、高血圧やストレス関連疾患などの健康問題を引き起こす可能性があるため、その活動の調節は重要である。

### 3.2.2 副交感神経

副交感神経系は、自律神経系の一部であり、主に身体の「休息と消化(rest-and-digest)」に関連する活動を調節する。副交感神経系は、中枢神経系の脳幹部(迷走神経や顔面神経、舌咽神経を含む)および仙髄(S2-S4)から起始する神経節前線維と、標的器官の近傍や内部に位置する神経節後線維で構成される。副交感神経系の主要な機能は、エネルギーの保存と回復に貢献することである。これには、心拍数の減少、血圧の低下、消化液分泌の促

進、腸管の蠕動運動の活性化、瞳孔の収縮などが含まれる。これらの調整により、副交感神経系は身体をリラックス状態に導き、回復や再生を促進する。たとえば、食事後に消化活動を活発化させる一方で、身体の活動性を抑制してエネルギーを節約する。副交感神経系の神経伝達では、神経節前線維および神経節後線維のいずれにおいても、アセチルコリンが主要な神経伝達物質として機能する。アセチルコリンは、標的組織のムスカリン受容体 (muscarinic receptors) に結合し、特定の生理機能を誘導する。副交感神経系は、交感神経系と協調的に働くことで、身体の恒常性を維持する役割を果たす。しかし、副交感神経系の異常な機能低下は、消化不良や慢性的なストレス障害などの健康問題を引き起こす可能性がある。

### 3.3 心拍変動解析

前述にあるように、周期的な変動には自律神経系に関する呼吸と同期したゆらぎ、および血圧と同期したゆらぎが反映されているため、自律神経系の活動が心拍間隔の周期的な変動に影響を与えていているという関係性が示されている。つまり、心拍変動を解析することによって、自律神経系の活動状態を把握することが可能である。

#### 3.3.1 時間領域解析

時間領域解析は、心拍間隔 (RR 間隔) の変動を時間の観点から解析する手法であり、主に自律神経系の活動や心拍の規則性を評価するために用いられる。この解析では、心拍間隔を座標上にプロットし、その変動の大きさや傾向を観察する。具体的には、縦軸と横軸の単位がいずれも「時間」となり、縦軸には心拍間隔を示すミリ秒 [ms]、横軸には経過時間を示す秒 [s] を使用する。この方法では、時間軸上の変化として心拍間隔の増減を視覚的に捉えることができ、心拍の安定性やリズムの乱れを直感的に評価することが可能である。また、時間領域解析では、平均心拍間隔やその標準偏差、隣接する心拍間隔の差分に基づく統計指標 (例: SDNN, RMSSD, pNN50) を算出することにより、心拍変動の特徴を定量的に評価する。

特にこの手法は、心拍間隔が時間とともにどのように変化するかを明確に把握することに適しており、ストレス、疾患、運動負荷などの影響を解析する際に広く応用されている。一方で、時間領域解析は周波数特性や周期性の詳細な解析には向いていないため、必要に応じて周波数領域解析や非線形解析と組み合わせることが推奨される。

### 3.3.2 周波数領域解析

周波数領域解析は、心拍間隔の変動特性を周波数の観点から解析する方法であり、自律神経系の活動を詳細に評価するために広く用いられる。この解析手法では、時系列データとして得られる心拍間隔の変動を周波数帯域ごとに分離し、各帯域のエネルギーや寄与度を分析する。波形の周波数成分を分離するには、フーリエ変換 (FFT: Fast Fourier Transform) やウェルチ法などの信号処理技術を用いる。

具体的には、心拍間隔の変動を周波数として表現し、そのパワースペクトル密度 (Power Spectral Density, PSD) を求ることで、交感神経系および副交感神経系の活動状態を定量的に評価できる。

- 高周波数帯域 (**HF: High Frequency, 0.15~0.40 Hz**) : 副交感神経（迷走神経）の活動を反映し、呼吸と連動する心拍変動成分を示す。
- 低周波数帯域 (**LF: Low Frequency, 0.05~0.15 Hz**) : 交感神経および副交感神経の双方が関与する心拍変動成分を示すが、特に交感神経の影響が強いとされる。

これらの帯域のパワーを比較することで、交感神経と副交感神経のバランスや、交感神経の相対的な活動量を評価できる。特に、LF/HF 比は交感神経優位性を示す重要な指標であり、ストレス、疲労、精神的緊張の評価に活用される。

周波数領域解析は、心拍変動の周期性を明確に捉えられるため、時間領域解析では見えにくい情報を補完する。加えて、特定の周波数成分を取り出して解析できることから、自律神経系の活動状態をより精緻に理解する手法として有用である。

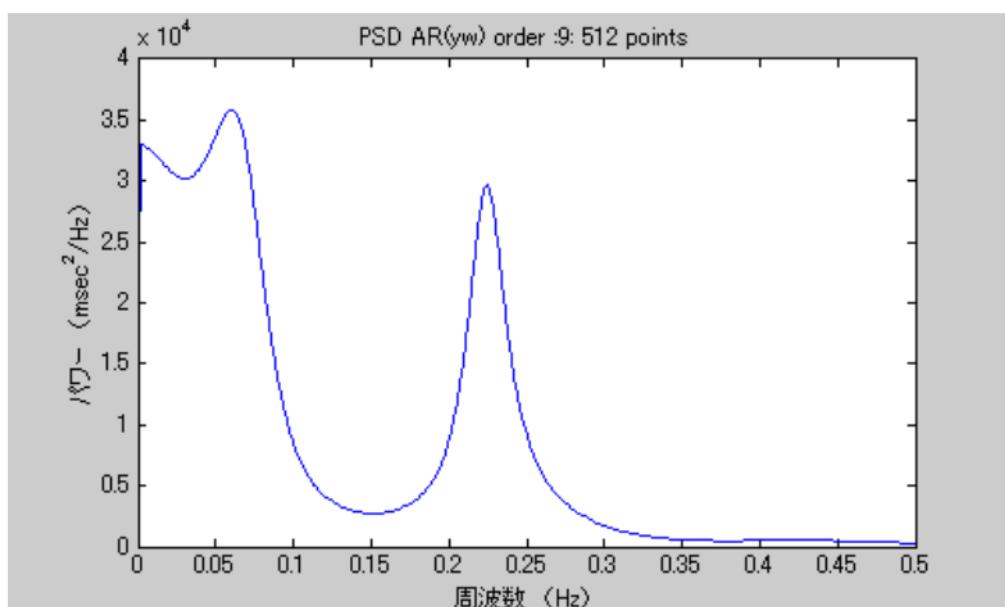


図 3-2: 心拍変動時系列データのパワースペクトル ([33] より引用)

### 3.4 集中力の定義

一般的に, LF/HF 値は 2 以上の時, 人はストレス状態にあり, LF/HF 値が 2 未満の時はリラックス状態にある. そこで, 本実験では集中している状態をストレスを感じている状態(リラックスしていない状態)と定義することとした [6].

# 第4章 集中力回復のための休憩方法比較検証

本章では、集中力を回復させるための休憩方法比較検証実験について述べる。評価実験における被験者は実験説明を受け、実験に対する同意書による同意をもって、実験に参加する。先行研究([6])では、仮眠、運動(ジョギング)、喫煙が作業パフォーマンスの向上に寄与することが示されている。しかし、運動に関しては負荷が過大であると結論付けられていたため、本研究ではストレッチ([34])に置き換えた。また、仮眠に関しては、先行研究における5分という短時間設定では十分な効果が得られないと考え、休憩効果を高めるために10分へと延長した。仮眠の時間設定はgirafeenapのウェブサイト([35])を参考にした。さらに、喫煙は非喫煙者に適用できないため、その代替として、ManpowerGroup株式会社のウェブサイト([5])を基に、音楽を聞くという新たな休憩方法を採用した。この手法は先行研究では検討されておらず、本研究において新たな視点として取り入れた。

## 4.1 実験目的

### 4.1.1 実験概要

実験では、集中力を回復させるために最適な休憩方法を比較するために3つの休憩方法で集中力の推移を比較検証する。

## 4.2 実験概要及び手順

本実験は、静かで空調設備も整った部屋で行い、実験中は被験者以外いない作業に集中しやすい環境で行った。今回の被験者は、大学生・大学院生の10人とする。

### 心拍数測定の実験手順

実験は次の手順で実施する。

1. 被験者に椅子に座った状態でスマートウォッチを装着してもらい、アプリ(RRI)を起動してもらう。
2. アプリ上で測定開始ボタンを押してもらい、そこから3分の安静時間おく。

3. 安静後，被験者には自由に20分間作業を実施してもらう。
4. デスクワーク後，各休憩をとってもらう。
5. 休憩後には再度20分間の自由な作業を行ってもらう。この際，休憩前後の集中度の比較をするため，休憩前後では同じ分量の作業を行ってもらう。
6. 作業終了後にアプリ上の測定終了ボタンを押してもらう。
7. 被験者には3回の実験後にアンケートの記入を実施してもらう。

図4-1は実験の手順を表した図である。休憩方法は，好きな音楽を聴く，軽いストレッチをする，仮眠するのいずれかを行う。また，休憩時間は仮眠の場合のみ10分で，他の2つの休憩は3分とする。各被験者この3種類の休憩方法でそれぞれ実験を行う際，集中力への影響を考え，1日1種類を3日間かけて行った。



図4-1: 実験の手順

また，図4-2，図4-3は実験中の作業中の様子であり，図4-4は仮眠の休憩中，図4-5はストレッチの休憩中，図4-6は音楽を聴く休憩中の様子である。



図 4-2: 実験風景



図 4-3: 実験風景



図 4-4: 休憩風景(仮眠)



図 4-5: 休憩風景(ストレッチ)



図 4-6: 休憩風景(音楽)

## 4.3 集中力回復の評価に用いる指標

### 4.3.1 定量効果について

t検定とは、ある仮説が正しいかどうかを判断するための仮説検定の手法の一つであり、t分布を利用して分析を行う。t分布は、最も一般的な分布である正規分布に基づいている

が、母集団(データ全体)に関する分散が分からぬ場合に使用される統計的分布である。この分布は、母分散が未知であるときに、標本データを基に母集団の特性を推定する際に役立つ。そのため、 $t$ 分布は標本サイズが小さい場合や母集団の分布が完全には分からぬ場合でも頻繁に使用される。 $t$ 検定の目的は、2つのグループの平均値の違いが偶然によるものか、それとも統計的に有意な違いがあるかを判断することである。この検定では、まず「帰無仮説」と呼ばれる仮説を立てる。帰無仮説は、調べたい仮説とは反対の内容を主張するもので、例えば「2つのグループの平均値には差がない」というものが典型的である。 $t$ 検定では、帰無仮説が正しいと仮定した場合のデータの発生確率( $p$ 値)を計算し、この $p$ 値を事前に設定した有意水準と比較する。もし $p$ 値が有意水準よりも低ければ、帰無仮説を否定し、「偶然では説明できない差がある」と判断する。これにより、元々の仮説(対立仮説)が支持されることになる。一般的に $t$ 値とは、2つのグループ間の平均値の差が統計的に意味があるかどうかを示す指標である。 $t$ 値が大きいほど、2つの平均値の間に差がある可能性が高くなる。 $p$ 値は、得られたデータが「帰無仮説が正しいと仮定した場合」に観測される希少性を表す。 $p$ 値が小さいほど、観測された結果が偶然による可能性が低いと考えられる。有意水準は、 $p$ 値がどの程度小さいときに「統計的に有意である」と判断するかを示す基準である。一般的に、有意水準は0.05に設定されることが多い。これは、5%以下の確率でしか起こらない事象を「偶然ではない」と見なすことを意味する([36])。また、分析の手順は以下のようになる。

1. 帰無仮説を設定する。
2. 実際のデータから $t$ 値を計算し、そこから $p$ 値を求める。
3.  $p$ 値を有意水準(通常は0.05)と比較する。 $p$ 値が有意水準よりも小さい場合、帰無仮説を棄却する。これにより、仮説(対立仮説)が統計的に有意であると判断される。

一元分散分析(ANOVA:Analysis of Variance)は、3つ以上のグループ間の平均値の差を統計的に検証するための手法であり、単一の独立変数(因子)が従属変数に与える影響を解析する際に用いられる。この手法では、グループ間の分散とグループ内の分散を比較し、観測された差が偶然によるものではないかどうかを判断する。帰無仮説と対立仮説の下、分散比( $F$ 値)を計算し、 $F$ 分布に基づく検定で有意性を評価する。一元分散分析の適用には、データが独立していること、正規分布に従っていること、そしてグループ間の分散が等しいことが条件とされる。この手法は、複数のグループ間での比較を効率的に行える([37])。

Tukeyの多重比較検定(Tukey法)は、3つ以上のグループ間で平均値の差を比較し、どのグループ間に有意な差が存在するかを明らかにするための統計手法である。この手法は、分散分析(ANOVA)で全体的な有意差が検出された後、具体的にどのグループ間で差があ

るのかを特定する際に用いられる。Tukey 法は他の多重比較法と比べて検出力が高く、検定の精度が優れているとされる。ただし、適用するためには各グループの分散が等しく、データが正規分布に従っていることが前提条件となる。Tukey 法は多重比較法の中でも非常によく用いられ、特に各グループのサンプルサイズが等しい場合に適している ([38]).

#### 4.3.2 定性的評価について

[H] 以下の図 4-7, 4-8, 4-9, 4-10 は評価実験で使用する評価アンケートである。11 個の質問で構成され、質問は「1. 全くそう思わない」から「5. とてもそう思う」の 5 段階での評価尺度を使用するもの、選択式のもの、自由記述のものを含む。

##### 集中度合いに関するアンケート

本アンケートは実験中の集中度合いに関するアンケートです。

今回の実験において、休憩(音楽を聴く)後の方が休憩前よりも集中力が上がった \* と感じますか。

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

今回の実験において、休憩(ストレッチをする)後の方が休憩前よりも集中力が上がったと感じますか。

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

図 4-7: アンケート問 1, 問 2

今回の実験において、休憩(仮眠をとる)後の方が休憩前よりも集中力が上がった。＊  
と感じますか。

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

休憩(音楽を聞く)の設定時間は適切だったと感じますか。＊

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

休憩(ストレッチをする)の設定時間は適切だったと感じますか。＊

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

図 4-8: アンケート問 3, 問 4, 問 5

休憩(仮眠をとる)の設定時間は適切だったと感じますか。＊

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

休憩中(音楽を聞く)、リラックスできましたか。＊

- とてもそう
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

休憩中(ストレッチをする)、リラックスできましたか。＊

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

図 4-9: アンケート問 6, 問 7, 問 8

休憩中(仮眠をとる)、リラックスできましたか。

- とてもそう思う
- そう思う
- どちらでもない
- そう思わない
- 全くそう思わない

休憩方法に集中を妨げる要因(音や体勢など)はありましたか。 \*

回答を入力 \_\_\_\_\_

どの休憩方法が日常生活でも取り入れやすいと感じますか。 \*

- 音楽を聴く
- ストレッチをする
- 仮眠をとる
- 全て取り入れやすい
- 全て取り入れにくい

図 4-10: アンケート問9、問10、問11

# 第5章 比較検証実験の結果及び考察

## 5.1 心拍変動指標のt検定による評価

3種類の休憩方法(仮眠, 音楽を聴く, ストレッチ)の効果を比較するために, 各被験者(10名)の休憩後と休憩前の作業時におけるLF/HF値を用いて分析を行った. 具体的には, 以下の手順で解析を実施した.

### 1. 変化量の計算

各休憩方法において, 被験者ごとに以下の式で変化量を算出した:

$$\Delta \text{LF}/\text{HF} = \text{平均値(休憩後の作業時の LF/HF)} - \text{平均値(休憩前の作業時の LF/HF)}$$

### 2. 組み合わせごとのt検定

3種類の休憩方法から2組ずつ(仮眠・音楽, 仮眠・ストレッチ, 音楽・ストレッチ)の合計3パターンの組み合わせについて, 対応のない2群間の平均値の差を検定するため, 独立標本t検定を行った. t検定の有意水準は $\alpha = 0.05$ とした.

表5-1, 5-2, 5-3は一対の標本による平均の検定によってt検定を行った結果の表である. 表から分かるようにどの組み合わせにおいても有意差は見られなかった.

表5-1: 音楽とストレッチ間のt検定の結果

項目	音楽	ストレッチ
平均	0.887	1.021
分散	0.200	0.089
観測数	10	10
ピアソン相関		-0.519
仮説平均との差異		0
自由度		9
t 値		-0.650
P 値(片側)		0.266
t 境界値(片側)		1.833

表 5-2: 音楽と仮眠間の t 検定の結果

項目	音楽	仮眠
平均	0.887	0.878
分散	0.200	0.218
観測数	10	10
ピアソン相関	0.048	
仮説平均との差異	0	
自由度	9	
t 値	0.043	
P 値 (片側)	0.483	
t 境界値 (片側)	1.833	

表 5-3: ストレッチと仮眠間の t 検定の結果

項目	ストレッチ	仮眠
平均	1.021	0.878
分散	0.089	0.218
観測数	10	10
ピアソン相関	-0.330	
仮説平均との差異	0	
自由度	9	
t 値	0.716	
P 値 (片側)	0.246	
t 境界値 (片側)	1.833	

## 5.2 心拍変動指標の一元配置分散分析・多重比較による評価

休憩方法(仮眠, 音楽, ストレッチ)がLF/HF値に与える影響を検討するため, 一元配置分散分析(ANOVA)およびTukeyの多重比較検定を用いて解析を行ったが, いずれの休憩方法においても統計的有意差( $p > 0.05$ )は認められず, LF/HF比の変化量( $\Delta$  LF/HF)の平均値は仮眠で  $0.88 \pm 0.47$ , 音楽で  $0.89 \pm 0.45$ , ストレッチで  $1.02 \pm 0.30$  であった.

表 5-4: 分散分析の結果

指標	値
F 値	0.38127
因子の自由度 (df_factor)	2
残差の自由度 (df_error)	27
因子平方和 (SS_factor)	0.12911
残差平方和 (SS_error)	4.5715

表 5-5: 多重比較検定の結果 (Tukey HSD)

比較	平均の差	q 値	判定
Music vs Nap	0.009	0.047	有意差なし
Music vs Stretch	0.135	0.732	有意差なし
Nap vs Stretch	0.143	0.779	有意差なし

表 5-6: 休憩方法ごとの統計量

休憩方法	平均変化量	標準偏差
Music	0.89	0.45
Nap	0.88	0.47
Stretch	1.02	0.30

### 5.3 アンケートによる主観的評価

アンケートによる主観的評価を行った。本実験では、休憩方法に対する集中力向上の効果、設定時間の適切性、リラックス効果についてアンケート調査を実施した。その結果を以下に示す。

#### 5.3.1 各休憩方法の効果についての評価

- 音楽を聴く: 音楽を聴いた後に集中力が向上したと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 20 %、「そう思う」が 70 %であり、肯定的な回答が全体の 90 %を占めた。一方で、「どちらでもない」と回答した被験者は 10 %にとどまった。
- ストレッチをする: ストレッチを行った後に集中力が向上したと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 20 %、「そう思う」が 60 %で、肯定的な回答は全体の 80 %を占

めた。「どちらでもない」と「そう思わない」の回答がそれぞれ 10 %ずつ見られた。

- ・仮眠をとる：仮眠をとった後に集中力が向上したと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 40 %、「そう思う」が 60 %であり、全体で 100 %が肯定的な評価を示した。

### 5.3.2 各休憩方法の設定時間についての評価

- ・音楽を聞く：音楽を聞く際の設定時間について適切だと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 30 %、「そう思う」が 30 %であったが、「そう思わない」と回答した被験者が 40 %に上り、時間設定に課題があることが示唆された。
- ・ストレッチをする：ストレッチの設定時間について適切だと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 40 %、「そう思う」が 40 %で、肯定的な回答が全体の 80 %を占めた。一方で、「そう思わない」とする回答が 20 %見られた。
- ・仮眠をとる：仮眠の設定時間について適切だと感じた被験者は、「とてもそう思う」が 20 %、「そう思う」が 40 %であり、合わせて 60 %が肯定的であった。しかし、「そう思わない」と回答した被験者も 40 %を占め、時間設定の改善が必要であることが示された。

### 5.3.3 各休憩方法のリラックス効果

- ・音楽を聞く：音楽を聞いた際にリラックスできたと回答した被験者は、「とてもそう思う」が 50 %、「そう思う」が 50 %であり、全員が肯定的な評価を示した。
- ・ストレッチをする：ストレッチを行った際にリラックスできたと回答した被験者は、「とてもそう思う」が 40 %、「そう思う」が 50 %で、肯定的な回答が全体の 90 %を占めた。「どちらでもない」とする回答が 10 %見られた。
- ・仮眠をとる：仮眠をとった際にリラックスできたと回答した被験者は、「とてもそう思う」が 50 %、「そう思う」が 40 %で、肯定的な回答が全体の 90 %を占めた。「どちらでもない」と回答した被験者が 10 %存在した。

### 5.3.4 集中を妨げる要因

休憩中に集中を妨げる要因として、以下の項目が挙げられた。

- ・「特になし」と回答した被験者が 40 %と最も多かった。

- 一方で、「仮眠の体勢が寝づらかった」が 20 %, 「明るくて仮眠が取りづらかった」が 10 %といった仮眠中の物理的な要因が指摘された。
- その他、「スマートウォッチのバイブルーションが気になった」(10 %), 「音楽の時間が短すぎた」(10 %), 「休憩時間が適切でなかった」(10 %)といった設定上の課題も挙げられた。

以上のアンケート結果から主観的評価においては、「仮眠をとる」がもっとも集中力回復に効果的な休憩方法であり、次に「ストレッチをする」, 「音楽を聴く」の順に効果的な休憩方法だと言える。

## 5.4 考察

解析結果から、今回の実験で有意差が出なかった原因として、以下の要因が考えられる。

- サンプルサイズの不足:** 被験者数が 10 人と少ないため、統計的検出力が不足している可能性があります。サンプルサイズを増やすことで、ばらつきを減少させ、有意差が検出される可能性が高まります。
- 個人差の影響:** LF/HF 比は個人ごとに基準値や変化量が異なるため、被験者間のばらつきが効果を埋もれさせる可能性があります。同じ被験者を繰り返し測定するデザインを採用することで、この影響を軽減できます。
- LF/HF 比の特性:** LF/HF 比は感受性が高く、短時間の休憩では大きな変化が生じにくい場合があります。測定方法や他の補助指標の併用を検討する必要があります。
- 休憩方法の効果に対する個人差:** 各休憩方法における集中力向上の評価では、「とてもそう思う」と「そう思う」の回答が多数を占めた一方で、「どちらでもない」または「そう思わない」とした回答が一定数存在しました。このことから、休憩方法の効果には被験者間で個人差が大きく、統一的な効果を示すことが困難だったと推測されます。
- 休憩時間の適切性に関する評価:** 休憩時間について、「音楽を聴く」「ストレッチをする」「仮眠をとる」のいずれにおいても設定時間が適切でなかったとする回答が見られました。特に、「音楽を聴く」では「そう思わない」が 40 %, 「仮眠をとる」では「そう思わない」が 40 % に上っており、休憩時間が効果を十分に発揮するのに適していなかった可能性があります。
- 休憩中の環境要因:** 休憩中に集中を妨げる要因として、「仮眠の体勢が寝づらかった」「明るくて仮眠が取りづらかった」といった物理的要因や、「音楽の時間が短すぎた」

「休憩時間が適切でなかった」といった設定上の問題が挙げられました。これらの要因が、被験者における休憩効果を低下させたと考えられます。

- リラックス効果のばらつき: リラックス効果に関する評価では、肯定的な回答が多かったものの、「どちらでもない」とした回答も見られました。このことは、被験者が感じるリラックス効果に個人差があることを示しており、それが集中力向上の主観的評価に影響を及ぼした可能性があります。

## 5.5 実験の改善点

以上を踏まえ、以下の改善点が考えられる。

- サンプルサイズの拡大: 被験者数を増加させ、統計的検出力を向上させる。例えば、20人以上の被験者を対象とすることで、効果のばらつきを軽減し、有意差を検出する可能性を高める。
- 個人差を考慮したデザイン: 被験者間の個人差を軽減するため、同じ被験者に複数の休憩方法を繰り返し適用し、その前後で LF/HF 比を測定する「被験者内デザイン」を採用する。また、事前に被験者の基礎的な自律神経指標を測定し、個人差を補正する方法を検討する。
- 休憩時間の再設定: 各休憩方法において、効果が最大限発揮される適切な時間設定を再検討する。例えば、仮眠の時間を 20 分程度に延長し、音楽の聴取時間もリラックス効果を十分に引き出す長さに調整する。
- 環境要因の統一: 仮眠時の環境を改善するため、明るさを調整可能な部屋や快適な仮眠姿勢を取れる椅子やリクライニングを用意する。音楽の音量や選曲を統一することで、外的要因を最小限に抑える。
- 測定指標の追加: LF/HF 比以外にも、主観的なストレスレベルや集中力の自己評価アンケートを併用し、多角的に休憩方法の効果を評価する。また、他の生理指標(心拍数、血圧、皮膚電気活動など)の測定も検討する。
- 休憩方法のバリエーション拡大: 仮眠や音楽以外のリラックス手法(深呼吸法、瞑想など)を取り入れ、それぞれの効果を比較することで、より適切な休憩方法を特定する。
- リラックス効果の個別最適化: 被験者ごとに最適な休憩方法を事前に調査するプロセスを導入し、個別に最適化された休憩を提供する。例えば、リラックス効果が高い音楽のジャンルや仮眠の時間を事前に確認する。

これらの改善点を反映することで、実験結果の精度や信頼性が向上し、より明確な効果を示す結果が得られることが期待される。

# 第6章 結論

## 6.1 まとめ

本論文では、「音楽を聴く」「ストレッチをする」「仮眠をとる」の3種類の休憩方法においてどれが最も集中力回復に効果的かの検証を実施した。

### 6.1.1 集中度についての定量的評価

被験者のLF/HFスコアを用いてt検定、分散分析・多重比較を行った結果、統計的に有意な差があるとは言えなかった。本研究は、10人と少ないサンプル数での実験だったため、被験者によってLF/HFスコアの増減の差が激しく、より多くの被験者からLF/HFスコアを取ることでより精度の高い実験結果となり、有意な差が見られる可能性もあると考えられる。

### 6.1.2 集中度についての定性的評価

被験者に対してアンケートを行った結果、「仮眠をとる」「ストレッチをする」「音楽を聴く」の順で集中度が回復したという結果になった。数値としては有意差が見られなかつたが、被験者自身の感覚としては休憩方法によって集中度の回復に差が見られる結果となった。

## 6.2 今後の展望

本研究では、休憩方法が集中力向上に及ぼす効果を評価したが、有意差が見られなかつた。この結果には、個人差、設定時間、環境要因、リラックス効果のばらつきが関与している可能性が示唆された。今後の展望としては、休憩方法ごとの効果を最大化するために最適な時間設定を再検討し、事前調査やパイロット実験を通じて適切な休憩時間を特定する必要がある。また、仮眠時の体勢や光量、音楽の再生時間や音量の調整など、快適な休憩環境を提供するための物理的・設定上の問題の改善が求められる。さらに、休憩効果には個人差が大きいことが示唆されているため、クラスター分析や多変量解析を用いたデータ分析を通じて被験者の特性ごとに適した休憩方法を明らかにし、より多様なバックグラ

ウンドを持つ対象者を取り入れることで汎用性や適応性を高めることも重要である。加えて、生理的データと主観的評価を統合的に解析することで休憩効果を客観的に評価し、その科学的裏付けを強化する必要がある。これらの改善を通じて、休憩方法と集中力向上の関係をより明確にし、効果的な休憩設計を実現することで、オフィス環境や業務パフォーマンスの向上に貢献できると期待される。

## 謝辞

本稿の執筆に際し、ご指導していただいた青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科ロペス・ギヨーム教授、木村正子 助手に深く感謝申し上げます。研究室の設備・機器や研究環境を整えて下さった他、研究目標を達成するためのアドバイスやアイデアを提供して下さり、研究を最後まで取り組むことができました。そして、問題解決のために様々な視点でのご意見や励ましをいただいたロペズ研究室の先輩方、実験に参加していただきました被験者の皆様に深く感謝いたします。

## 質疑応答

戸辺 義人 情報テクノロジー学科 教授

Q	休憩前後の LF/HF 変化量を出したということは、作業が終わってすぐに LF/HF を計測したということですか。
A	実験が始まってから終了するまで心拍数を測り続け、実験後に休憩前のデータと休憩後のデータを抜き出し変化量を求めました。

戸辺 義人 情報テクノロジー学科 教授

Q	LF/HF の値はどのような時間変化を示したか。
A	なだらかではなく明らかな変化が見られました。具体的には、休憩に入ったタイミングで明 LF/HF は低下し、また作業を再開すると LF/HF は上昇する結果でした。

戸辺 義人 情報テクノロジー学科 教授

Q	LF/HF の値になだらかではなく明らかな変化が見られたということは、休憩方法に関わらず作業をやめれば LF/HF 値は下がるという仮説も立てられますか。
A	本実験では、何もせずに過ごす休憩を比較していないので確実な結論は出せませんが、その可能性もあると考えます。

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	LFの周期はどれくらいで設定されていますか。
A	本実験は5分で設定しました。

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	20分間のデスクワークはどれくらいの負荷になっていますか。
A	より現実的な設定で行うために各被験者に自由なデスクワークを行ってもらったため作業の負荷については把握できていません。また、自由なデスクワークを行ってもらうに当たり、前半の20分と後半の20分がそれぞれ同程度の負荷のものという条件のみを課しました。

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	仮眠、音楽、ストレッチ以外に被験者が実際に普段行っている休憩方法も比較基準として行いましたか。
A	本実験では、仮眠、音楽、ストレッチ以外の休憩方法は行えていないので、今後の改善点として参考にさせていただきます。

山下優依 情報テクノロジー学科 戸辺研究室助手

Q	被験者のコンディションが実験結果に大きく関係すると思うのですが、被験者が実験前に何を行っていたかのアンケートは取りましたか。
A	それについてのヒアリングは行えていません。ただ、3日間とも同じ時間帯に実験を行ったのでよほど1日のルーティーンが決まっていない人でない限り、3日間のコンディションに大きな差はないと考えます。

## 参考文献

- [1] DigitalKnowledge 株式会社：オンデマンド学習に関するレポート，[https://www.digital-knowledge.co.jp/wp-content/uploads/2023/11/report\\_ondemand.pdf](https://www.digital-knowledge.co.jp/wp-content/uploads/2023/11/report_ondemand.pdf). (参照日 2025/01/28).
- [2] 全国大学生活協同組合連合会：第 59 回学生生活実態調査報告，<https://www.univcoop.or.jp/press/life/report.html>. (参照日 2025/01/28).
- [3] ダイヤモンド・オンライン：休憩の取り方で、生産性とウェルビーイングは劇的に向上する，<https://dhbr.diamond.jp/articles/-/9732?page=2>. (参照日 2025/01/23).
- [4] 関間莉央, 小池崇文ほか：ウェアラブルデバイスによる心拍・視線移動の測定を用いた歩行時における異性への好意判定手法の検討，第 79 回全国大会講演論文集，Vol. 2017, No. 1, pp. 979–980 (2017).
- [5] Japan, M.: 会社での休憩時間の過ごし方 ～リフレッシュ方法 6 選～，<https://www.manpowergroup.jp/staff/column/career/how-to-spend-rest-time-in-company.html>. (参照日 2025/01/23).
- [6] 三木隆裕, 寺田努, 前田俊幸, 唐澤鵬翔, 安達淳, 塚本昌彦ほか：休憩時間の過ごしが作業パフォーマンスに及ぼす影響の調査，研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)， Vol. 2018, No. 3, pp. 1–8 (2018).
- [7] 吉村梓, 打越大成, 岩本健嗣, 松本三千人ほか：観光地評価のための腕時計型心拍センサによる内面状態推定手法，第 77 回全国大会講演論文集， Vol. 2015, No. 1, pp. 131–132 (2015).
- [8] 浦野健太, 廣井慧, 米澤拓郎, 河口信夫ほか：ドキドキをセンシングして可視化する LED ライティングデバイス, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2248 論文集， Vol. 2020, pp. 1616–1622 (2020).
- [9] 青木涉, 桐山伸也ほか：心拍センシングに基づくマルチモーダル体感状況理解，第 79 回全国大会講演論文集， Vol. 2017, No. 1, pp. 161–162 (2017).

- [10] 角田啓介, 江口佳那, 吉田和広, 渡部智樹, 水野理ほか: 心拍と呼吸を用いたコンテンツ視聴による気分変化の推定: コメディ視聴における検討, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス & システム (CDS), Vol. 7, No. 1, pp. 44–52 (2017).
- [11] 東海林綾, 竹下怜花, 横窪安奈ほか: 心拍変動解析を用いた動画鑑賞の客観的評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 1149–1154 (2021).
- [12] 野本大雅, 花田祥典, 横窪安奈ほか: 脈拍変動を用いたスポーツ観戦時における情動の客観的評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 588–592 (2020).
- [13] 田島真沙美ほか: 母親のストレスマネジメントに関する研究: 腕時計型ウェアラブルデバイスを用いて, 紀要, Vol. 58, pp. 35–47 (2023).
- [14] 伊村一成, 後藤佑介, 酒井晃二, 小原雄, 田添潤, 三浦寛司, 廣田達哉, 内山彰, 乃村能成ほか: ウェアラブルセンサデバイスを用いた医師のストレス推定手法の提案, 研究報告電子化知的財産・社会基盤 (EIP), Vol. 2021, No. 5, pp. 1–8 (2021).
- [15] 鈴木伊織, 佐藤文明ほか: ウェアラブル端末により検知した心拍変動に基づくストレス推定, 研究報告コンピュータセキュリティ (CSEC), Vol. 2020, No. 30, pp. 1–7 (2020).
- [16] 宮崎裕哉, 杉村博ほか: オンライン受講者向け集中力持続支援システム, 第 84 回全国大会講演論文集, Vol. 2022, No. 1, pp. 269–270 (2022).
- [17] 森川聖也, 吉野孝ほか: スマートグラスを用いた視界の制限による集中力向上手法の提案, 第 85 回全国大会講演論文集, Vol. 2023, No. 1, pp. 197–198 (2023).
- [18] 菅野真功, 小林稔ほか: プレゼンテーション時における心拍フィードバックによる緊張緩和手法の検討, 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2019, No. 45, pp. 1–6 (2019).
- [19] 河端留奈, 相川大吾, 江木啓訓ほか: 脚部動作計測に基づいて学習活動の休憩を提案する手法, 第 82 回全国大会講演論文集, Vol. 2020, No. 1, pp. 55–56 (2020).
- [20] 濱谷尚志, 内山彰, 東野輝夫ほか: 種々のセンサを併用した集中度センシング法の検討, 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), Vol. 2015, No. 10, pp. 1–6 (2015).

- [21] 川崎勇佑, 横窪安奈ほか: 勉強中における心拍数を用いた精神状態度合の推定, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 936–942 (2021).
- [22] 徳田博行, 高橋雄太, 音田恭宏, 金谷勇輝, 荒川豊, 安本慶一ほか: アイウェアによる集中力センシングに基づいた行動変容システムの設計, 2017 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2017 (2017).
- [23] 橋卓見, 岡部浩之, 佐藤未知, 福嶋政期, 梶本浩之: PC 作業時の集中力向上のための作業用壁紙, *Interaction* (2012).
- [24] 小松勇輝, 下条和暉, 西山勇毅, 瀬崎薫ほか: 腕時計型ウェアラブルデバイスを用いた会話時間計測手法の構築に向けて, 第 84 回全国大会講演論文集, Vol. 2022, No. 1, pp. 219–220 (2022).
- [25] 千葉桂也, 阿部昭博, 市川尚, 富澤浩樹, 工藤彰ほか: ウェアラブルデバイスを活用した健康増進型野外ミュージアム鑑賞支援システムの提案, 第 79 回全国大会講演論文集, Vol. 2017, No. 1, pp. 807–808 (2017).
- [26] 吉田崇洋, 井口信和, 野田潤ほか: ユーザロケーションに応じた腕時計型ウェアラブルデバイスによる動的な情報提示システムの開発, 第 78 回全国大会講演論文集, Vol. 2016, No. 1, pp. 409–410 (2016).
- [27] 岡部真子, 佐々木新介: 腕時計型ウェアラブルデバイスでのセルフモニタリングが地域住民の歩数と睡眠時間にもたらす効果, ヒューマンケア研究学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 1–7 (2022).
- [28] 本多祥子, 太田洋一: 一般人による寺院での坐禅が自律神経機能に与える影響, 健康レクリエーション研究= Japanese journal of health recreation, Vol. 17, pp. 23–31 (2022).
- [29] 後藤和彦, 相川大吾, 江木啓訓ほか: 脚部動作計測に基づく学習効果向上のための休憩提案システム, 第 83 回全国大会講演論文集, Vol. 2021, No. 1, pp. 129–130 (2021).
- [30] 萩野隼: 休憩時の運動が生体情報と集中力に及ぼす影響, 日本知能情報ファジィ学会 ファジィシステムシンポジウム 講演論文集 第 36 回ファジィシステムシンポジウム, 日本知能情報ファジィ学会, pp. 35–36 (2020).
- [31] 渡部貴史, 小林未来: 休憩時の音楽聴取が作業遂行に及ぼす影響, 新潟医療福祉学会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 39–39 (2020).

- [32] 看護 roo: 心電図波形の名称と意味～幅と高さ | 心電図とはなんだろう, <https://www.kango-roo.com/learning/1708/> (2015). (参照日 2022/1/7).
- [33] ストレスと自律神経の科学: ストレス指標の HF, LF とは?, [http://hclab.sakura.ne.jp/stress\\_novice\\_LFHF.html](http://hclab.sakura.ne.jp/stress_novice_LFHF.html). (参照日 2022/6/22).
- [34] Work, H.: 集中力を高める休憩の取り方：生産性を上げるためのポイント, <https://note.com/hiromoneywork/n/n1202c250d8e0>. (参照日 2025/01/23).
- [35] G-NAP: 仮眠の効果 ~15~20 分程度の仮眠で疲労回復効果~, <https://g-nap.com/post-987/>. (参照日 2025/01/23).
- [36] Surveroid: t 検定とは ~データ分析手法の基本~, [https://surveroid.jp/mr-journal/data\\_analysis\\_method/5Xiot](https://surveroid.jp/mr-journal/data_analysis_method/5Xiot). (参照日 2025/01/23).
- [37] JMP: 一元分散分析 (ANOVA) とは, [https://www.jmp.com/ja\\_jp/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html](https://www.jmp.com/ja_jp/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html). (参照日 2025/01/23).
- [38] Radi-Toko: 3 群以上パラメトリックデータを Tukey 法で多重比較する, <https://radi-toko.com/statistic-tukey/>. (参照日 2025/01/23).