

青 山 学 院 大 学

理 工 学 研 究 科

理工学専攻 知能情報 コース

修 士 論 文

学 生 番 号 35623235

氏 名 柴 武志

研究指導教員 Guillaume Lopez

理工学専攻修士論文要旨

提出年度： 2024 年度

提出日： 2025 年 1 月 31 日

専修コース： 知能情報 コース

学生番号： 35623235

学生氏名： 柴 武志

研究指導教員： ロペズ・ギヨーム 教授

(論文題目)

昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリー

(内容の要旨)

現在、動画鑑賞は多くの人に親しまれている余暇活動の一つとして定着しており、その主な鑑賞媒体としてスマートフォンが広く利用されている。しかし、スマートフォンによる動画鑑賞では、画面サイズの制約により視聴覚刺激が限定されるため、映画館やテレビのような大画面での鑑賞と比較して没入感や情動体験の強度が弱まっていることが指摘されている。また、横揺れや風などの 4D 技術は映画館でしか体験できないため、スマートフォンでの動画鑑賞体験の拡張及び、それに伴う情動体験の強化に課題がある。本研究は、動画鑑賞中のユーザの脈拍変動に基づいて判定する昂りに連動したフィードバックを行うことで、スマートフォンを用いた動画鑑賞体験の拡張を目指す。

アクション動画鑑賞中のユーザの昂り状態を判定する機械学習モデルを構築するにあたり、9 名の被験者を対象に、アクション動画鑑賞中の脈拍変動データをスマートウォッチの脈拍センサから、昂りの時間情報を主観表記から収集した。脈拍変動指標を用いて 11 個の特徴量を算出し、主観的昂りの時間情報を基に「昂り」あるいは「昂りでない」のラベルを付与して、ランダムフォレストによる分類モデルを構築した結果、重視している再現率において、82% の精度で「昂り」と分類することを確認した。この機械学習モデルを応用し、アクション動画鑑賞時にスマートウォッチの脈拍センサを用いた、リアルタイムな昂り判定するアプリケーションを開発した。さらに、判定結果に連動して振動と照明が同期した擬似心拍刺激を提示するアクセサリーを製作した。前述アプリケーションで、「昂り」と判定された場合、ユーザの脈拍数情報をクラウド経由でアクセサリーに送信し、それに基づき振動と照明が同期した擬似心拍刺激を提示する。アクセサリーはスマートフォンを装着可能なハンドケース型に設計し、振動は振動アクチュエータを用いて手のひらに、照明は赤色 LED にてアクセサリー周囲に提示される。

本システムを用いたアクション動画鑑賞による情動体験への影響を検証するため、12 名の被験者を対象にアクション動画鑑賞実験を実施した。暗室環境で、被験者は 30 分程度のアクション動画鑑賞をシステムの使用条件と非使用条件の 2 条件で実施した。条件の順序は被験者ごとにランダムに設定し、同一動画を別日に鑑賞させた。鑑賞後、Self-Assessment Manikin を用いた主観的情動を評価し、使用条件では System Usability Scale によるシステムのユーザビリティについても評価した。情動評価において、システムを使用した方が快-不快、覚醒度、主導感（没入感）の全ての尺度で有意に高い評価が認められた。さらに、両条件の鑑賞順序による情動評価のバイアスが確認されなかつたことで、本システムが情動評価に有効な影響を与えた。また、ユーザビリティ評価では、使用条件におけるアクション動画鑑賞を経て、十分に許容されるユーザビリティを持つものとして高く評価された。一方で、脈拍変動指標の変化を、周波数領域指標の 1 つである LF/HF（低周波と高周波の強度の比）に着目して比較したが、両条件間の顕著な違いは確認されなかつた。したがって、本研究のシステムは、主観的な情動評価には影響を与えたものの、生理指標に対する擬似心拍刺激の効果は限定的であることが分かった。

今後の展望として、熱や香りの噴射などの他のフィードバック手法との組み合わせを検討し、スマートフォンアクセサリーを拡張することで多様な動画鑑賞体験を創出する。また、アクション動画だけではなく、コメディ動画や恋愛動画など多種なジャンルにも対応するシステムを実現に取り組む。

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Smartphone Accessory for Enhancing the Video Viewing Experience Linked to Arousal

Student Name: Takeshi Shiba

ID Number: 35623235

Degree: Master of Engineering

Course: Intelligence and Information

Thesis Advisor: Professor Guillaume Lopez

Abstract

Currently, smartphones are used as the main medium for watching videos. However, it has been pointed out that the size of the screen reduces the intensity of the immersive and emotional experience compared to large screens, such as in a movie theater or television. Moreover, 4D technologies such as lateral shaking and wind can only be experienced in movie theaters.

This research aims to extend the view experience of videos on smartphones by providing feedback linked to the user's arousal. Specifically, it produced a smartphone accessory that presents multi-modal pseudo-heartbeat stimulation based on the user's state of arousal while watching action movies.

In the developed system, the user's current state of arousal is estimated using a machine learning model created in preliminary experiments based on pulse rate variability (PRV) data acquired by the pulse rate sensor of a smartwatch. The accessory is designed as a case that holds the smartphone in its center and can be held with both hands. It can provide vibration to the palm using a vibration actuator and illumination using red light from LEDs surrounding the case. The pseudo-heartbeat stimulation is adjusted according to the user's pulse rate at the timing of arousal judgment.

The system's effectiveness was verified by conducting an action video-watching experiment on 12 subjects who watched a 30-minute action video under two conditions: using and not using the system. After watching the video, subjective emotional evaluation was conducted using the Self-Assessment Manikin and usability evaluation using the System Usability Scale. The results of the emotional experience evaluation showed that the developed system provided significantly higher in valence, arousal, and dominance (sense of immersion). Besides, the usability evaluation proved that the developed system had sufficiently acceptable usability. Changes in PRV indices under both conditions were compared, focusing on the LF/HF (PRV frequency spectrum low and high-frequency power ratio) value. Still, no significant differences were observed between the two conditions, indicating that the effect of pseudo-heartbeat stimulation on LF/HF was limited.

Future prospects include considering the combination with other feedback methods, such as heat and scent injection, and expanding the accessory to handle a wider variety of genres, including comedy and romance videos

昂りに連動した動画鑑賞体験拡張
スマートフォンアクセサリー

柴 武志

2025/01/31

目次

第1章 序章	4
1.1 研究背景	4
1.1.1 動画鑑賞の普及とスマートフォン利用の現状	4
1.1.2 動画鑑賞体験を拡張する取り組み	6
1.1.3 スマートフォンを利用した鑑賞体験における課題	7
1.1.4 動画鑑賞における情動強化の重要性	8
1.1.5 エンターテイメント領域への生体信号の活用	9
1.2 研究の目的および目標	9
1.3 本論文の構成	10
第2章 関連研究	11
2.1 情動と心拍変動	11
2.1.1 感情の種類と情動	11
2.1.2 心拍変動と情動の関係	13
2.1.3 心拍変動を用いた情動評価に関する研究	14
2.2 動画鑑賞と情動	15
2.2.1 動画に対する印象及び嗜好に関する研究	15
2.2.2 動画鑑賞中の生理反応と映像の関係に関する研究	16
2.2.3 動画鑑賞時の情動評価に関する研究	16
2.3 外部刺激によるユーザ体験の強化	18
2.3.1 振動刺激による影響に関する研究	18
2.3.2 照明刺激による影響に関する研究	20
2.3.3 温冷刺激による影響に関する研究	21
2.3.4 生体信号に基づいた演出変化による影響に関する研究	22
2.4 情動喚起の機序理論とその応用	22
2.4.1 情動喚起の機序	22
2.4.2 擬似心拍刺激を利用した情動喚起に関する研究	23
第3章 脈拍変動を用いたアクション動画鑑賞時の昂り状態の分類	26
3.1 アクション動画鑑賞時の脈拍間隔の収集	26
3.1.1 脈拍間隔の収集目的	26
3.1.2 収集実験の概要	26
3.1.3 アクション動画鑑賞に関する質問票	27
3.1.4 収集実験の手順	29
3.2 疲労感および興奮度合いに関する質問票の結果	30
3.2.1 疲労感に関する質問票への回答結果	30

3.2.2	興奮度合いに関する質問票への回答結果	31
3.3	脈拍間隔に対する特徴量の算出	31
3.3.1	記録した脈拍間隔および情動的な昂り	31
3.3.2	脈拍変動の解析手法	33
3.3.3	時系列の脈拍間隔に対する前処理	34
3.3.4	特徴量の算出	35
3.4	ラベル付けとデータセットの作成	37
3.4.1	ラベル付けの目的	37
3.4.2	ラベル付けの基準	37
3.4.3	データセットの作成	38
3.5	機械学習アルゴリズムの選定と機械学習モデルの作成	39
3.5.1	機械学習アルゴリズムの選定	39
3.5.2	選定した機械学習アルゴリズムによる分類性能	40
3.5.3	機械学習モデルの作成	41
第4章	昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリー	43
4.1	システムの概要	43
4.1.1	システムの構成	43
4.1.2	システムの動作の流れ	44
4.2	昂り判定に連動した擬似心拍刺激	45
4.2.1	擬似心拍刺激を提示する目的	45
4.2.2	振動を提示する機器の検討	46
4.2.3	振動を利用した擬似心拍刺激	49
4.2.4	照明を利用した擬似心拍刺激	51
4.2.5	ユーザの心拍数に基づく擬似心拍刺激の対応	52
4.3	昂りに連動したスマートフォンアクセサリー	53
4.3.1	振動提示の設計	53
4.3.2	照明提示の設計	54
4.3.3	スマートフォンアクセサリーの構造	55
4.3.4	スマートフォンアクセサリーを使用した動画鑑賞方法	58
第5章	スマートフォンアクセサリーによるアクション動画鑑賞時の情動体験の影響	59
5.1	アクション動画における鑑賞体験への影響の検証	59
5.1.1	実験目的	59
5.1.2	実験概要	59
5.1.3	鑑賞体験を測定する指標	60
5.1.4	実験手順	61
5.2	定性評価の結果および考察	63
5.2.1	システムの有無での情動評価の比較	63
5.2.2	システム無での1回目と2回目の鑑賞時の情動評価の比較	66
5.2.3	システム有での1回目と2回目の鑑賞時の情動評価の比較	69
5.2.4	快適性および使用感の評価	72

5.2.5	擬似心拍刺激を伴うアクション動画鑑賞の評価	73
5.2.6	情動評価の結果に対する考察	74
5.2.7	快適性および使用感の評価に対する考察	75
5.3	定量評価の結果および考察	75
5.3.1	昂りの判定回数の比較	75
5.3.2	脈波変動指標の変化について	79
5.3.3	脈波変動指標の変化および昂りの判定回数に対する考察	80
第6章	結論	82
6.1	まとめ	82
6.2	今後の展望	82
謝辞		84
参考文献		85
付録A	本研究に関する発表実績	95

第1章 序章

本章では、本研究における背景および研究目的、本論文の構成について述べる。

1.1 研究背景

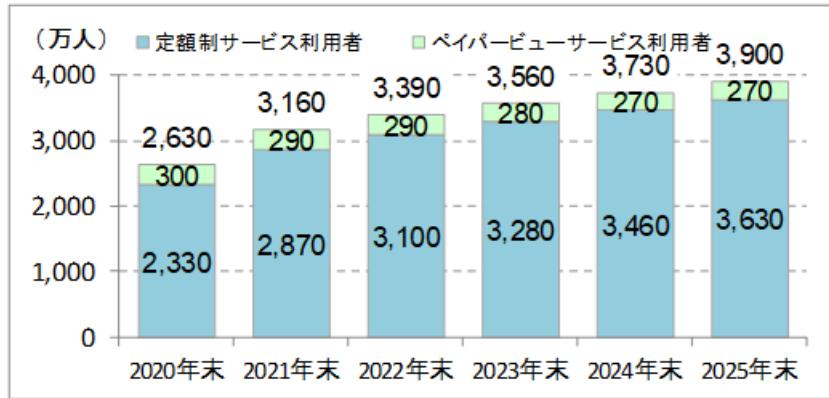
1.1.1 動画鑑賞の普及とスマートフォン利用の現状

近年，人々にとって動画鑑賞が身近な娯楽活動であることが確認される。日本生産性本部が実施した「国民の余暇意識および余暇活動への参加実態調査」によれば，2020年の調査結果[1]では「動画鑑賞（レンタル，配信を含む）」の推計参加人口が約3900万人に達し，余暇活動として初めて首位を記録した。この背景には，新型コロナウイルス感染症の拡大による在宅需要の増加が主な要因として示唆され，多くの人々にとって動画鑑賞が主要な余暇活動となったことが考えられる。さらに，2023年の調査結果[2]では，動画鑑賞の推計参加人口は約3600万人と算出され，国内観光旅行（避暑，避寒，温泉など）や外食（日常的なものを除く）に次いで3位となった。この順位変動には，新型コロナウイルス感染症が5類感染症へ移行したことに伴い，人々の余暇活動が外出を伴う形で活発化したことが影響していると示唆される。しかしながら，動画鑑賞は依然として余暇活動の上位に位置しており，2020年に首位を記録して以降，堅調に推移している。

加えて、ICT 総研が実施した「有料動画配信サービス利用動向に関する調査」によれば、2023 年の調査結果 [3] では有料動画配信サービスの推計利用者数が 2022 年末時点で約 3390 万人と算出され、今後も緩やかな増加傾向が見込まれている。図 1.1 は、当社が算出した有料動画配信サービス利用者数の推計値を基にした需要予測を示している。この増加傾向の背景としては、動画配信サービス間の競争激化に伴う市場拡大が寄与していると示唆される。特に、多くのサービス提供者が独自コンテンツの制作や多様なジャンルの動画配信を強化している点が注目される。このような取り組みにより、利用者は自身の嗜好に応じたコンテンツを選択しやすくなり、新規利用の促進および既存利用者による継続利用が後押しされていることが考えられる。

以上の調査結果より、動画鑑賞が人々にとって主要な余暇活動であり、身近な娯楽として定着していることが明らかである。特に、在宅需要の増加や動画配信サービスの競争によるコンテンツの多様化が、その定着に寄与していると考えられる。これらの要因を背景に、動画鑑賞は引き続き人々の日常における重要な娯楽活動として位置づけられる。

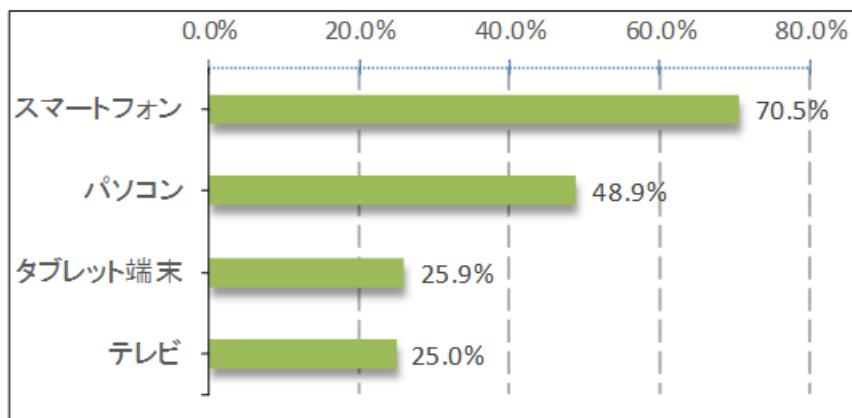
また、動画鑑賞が人々の日常に定着する中で、鑑賞するための端末として「スマートフォン」が広く利用されていることが確認される。図1.2は、前述のICT総研が実施した調査結果に基づく、動画配信サービスにおける視聴端末の利用率を示している[3]。この図から、スマートフォンを利用した動画鑑賞が最も高い割合を占めていることが示唆されている。この傾向は、スマートフォンの利便性および多機能性による影響が大きいと考えられる。具体的には、動画配信サービス各社がスマートフォン向けに最適化されたアプリケーション



* ICT総研による利用者数推計。無料サービスは対象外とした。
 * 定額制サービス … 月額料金で見放題となるサービス。
 * ペイパービュー(PPV)サービス … 1本ごとに課金されるサービス。
 * 1人のユーザーが定額制とPPVの両方を利用する場合は定額制サービス利用者としてカウント。

図 1.1: 有料動画配信サービス利用者数 需要予測 ([3] より引用)

ションを提供している点に加え、第5世代移動通信システム（5G）の普及により、高速かつ安定した通信環境が整備され、快適な動画再生が可能となったことが要因として挙げられる。この結果、スマートフォンを利用した動画鑑賞は、場所や時間に縛られることなく、利用者が好きな時に好きな場所で楽しめる活動として広く支持されていると推察される。さらに、モバイル社会研究所が実施した「スマートフォンでの動画視聴についての調査」[4]に基づく図1.3で示すスマートフォンでの1日の動画視聴時間によると、スマートフォンでの動画鑑賞時間に関して、20代以下の回答者の6割以上が1日に2時間以上をスマートフォンで動画鑑賞に費やしており、回答者全体で4割を超えていたことが明らかとなった。また、10代男女および20代女性の約3割が、1日に6時間以上をスマートフォンで動画鑑賞に費やしていることが判明した。加えて、よく鑑賞する動画コンテンツとして、ゲーム、アニメ、音楽、映画などのエンターテイメント系コンテンツを挙げた回答者のうち、4割以上が1日に2時間以上をスマートフォンでの動画鑑賞に充てていると回答した人に該当することが確認された。



* 動画サービス利用者3,700人に対するWebアンケート調査結果。複数回答。
 * YouTubeなどの無料動画サービスを含む。

図 1.2: 動画配信サービスの視聴端末の利用率 ([3] より引用)

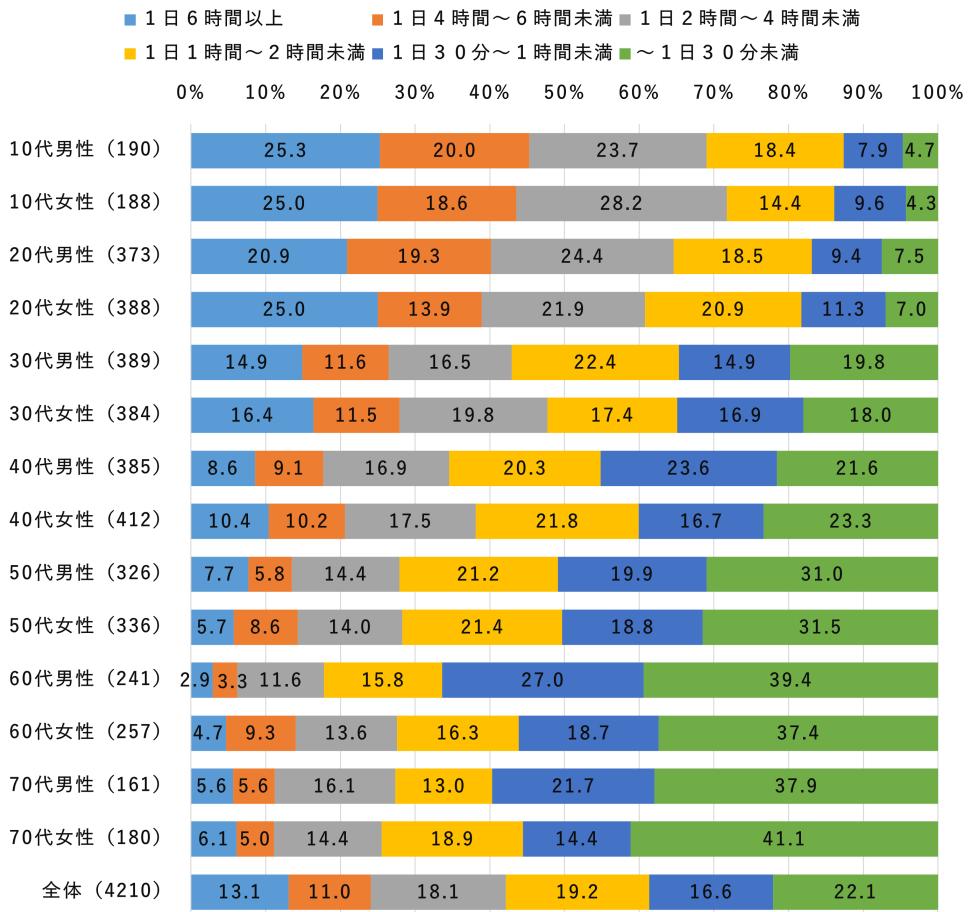


図 1.3: 性年代別 「スマートフォンでの1日の動画視聴時間」 ([4] より引用)

以上の調査結果より、動画鑑賞が人々の日常生活に定着している中で、鑑賞するための端末として「スマートフォン」が広く利用されていることが明らかである。スマートフォンは、その利便性や多機能性により、動画鑑賞に適したデバイスであると考えられる。総じて、現在の動画鑑賞の利用動向を踏まえると、動画鑑賞は多くの人々に親しまれている余暇活動の一つとして定着しており、その主流となる鑑賞方法はスマートフォンを利用したものであると見られる。

1.1.2 動画鑑賞体験を拡張する取り組み

動画鑑賞は、従来の平面的な鑑賞体験を超えて、より没入感のある体験へと拡張されつつある。その代表例として、映画館における4D映画が挙げられる。4D映画は、視覚や聴覚に加えて触覚や嗅覚を活用することで、観客が体全体で映画を感じられる新たな映像体験を提供する技術である[5][6]。図1.4は、CJ 4DPLEX社が開発した映画館用の環境効果技術を示している。この技術では、映像に連動して座席が動くほか、風、香り、水しぶきなどの特殊効果が用いられ、「アトラクション型の鑑賞体験」として観客に高い没入感をもたらすことが可能となっている。さらに、VR(仮想現実)技術を活用した新たな視覚的鑑賞体験の提供も試みられている[7]。VR技術は、360度の視点で映像を映し出すことが可能であり、視聴者の頭部や身体の動きに応じて映像の視点が変化するため、視聴者は

まるで物語の中に自らが存在しているかのような臨場感を体験できる。このような映像世界に入り込む感覚は、VRを活用した鑑賞体験の大きな特徴であり、強力な没入感を与えることが可能である。



図 1.4: CJ 4DPLEX 社製の 4D 映画対応シート ([6] より引用)

これらの技術は、強力な没入感を提供する手法として確立されている一方で、映像と視聴者の間には依然として受動的な鑑賞構造が存在していた。しかし、近年では、視聴者が映像に介入する新しい鑑賞体験が提供され始めている。その代表例として、動画配信サービス Netflix による「インタラクティブ動画」が挙げられる [8]。インタラクティブ動画では、視聴者が物語の分岐点で提示される選択肢に対する選択を行い、選んだ選択肢に応じて物語が進行する仕組みが採用されている。視聴者が選んだ選択肢により異なる結末やシナリオが展開されるため、視聴者自身が能動的に物語の形成に関与できる。このような鑑賞体験は、従来の受動的な動画鑑賞とは大きく異なるものであり、動画鑑賞における革新的な手法として注目されている。

これらの手法により、動画鑑賞に対する期待は、従来の平面的な鑑賞体験を超え、より没入感のある体験の拡張へと変化する。その結果、今日の動画コンテンツの消費形態は多様化している。さらに、鑑賞構造の受動的な関係を拡張し、能動的な関係を取り入れた動画鑑賞体験を提供することは、鑑賞体験の価値を高め、動画鑑賞を促進する上で大きな意義を持つと考えられる。

1.1.3 スマートフォンを利用した鑑賞体験における課題

現在までに、スマートフォンの平均画面サイズは拡大傾向 [9] だが、多くが片手に収まる程度の画面サイズである。スマートフォンを使用した動画鑑賞では、スマートフォン特有の画面サイズによって没入感のある体験に影響を及ぼすことが指摘されている [10][11]。

Rigby らは、異なる画面サイズが没入感にどのように影響するかを調査した [10]。初めて鑑賞する映画コンテンツを対象に、4.5 インチのスマートフォン、13 インチのノートパソコン、および 30 インチのモニターでそれぞれ 10 分間鑑賞した後、没入感に関する質問票を用いて評価した。その結果、スマートフォンで鑑賞した場合、没入感のスコアが最も低く、ノートパソコンおよびモニターで鑑賞した場合と比較して、没入感に有意な影響を与える主効果が確認された。Dunaway らは、スマートフォンの画面サイズがニュース視聴時の注意力や感情的反応に与える影響を調査した [11]。ノートパソコン内でウィンドウサイズを調整することで、大画面（約 13 インチ幅）とスマートフォンサイズに対応する

小画面（約4.5インチ幅）の画面サイズを再現した。各条件で、国内外のポジティブおよびネガティブなニュース映像を視聴させ、皮膚電気活動および心拍変動を測定した。結果として、小画面条件ではより心拍変動が減少する傾向が確認された。また、大画面条件では、ニュースのネガティブな内容と皮膚電気活動の増加との関連がより強く見られた。両者の研究によって、スマートフォンのような小型画面は、視聴者の鑑賞体験の質や感情的反応に与える影響が比較的に低下する可能性が示唆された。

このように、一般的なスマートフォンを使用した動画鑑賞では、画面サイズの制約により視聴覚刺激が限定されるため、没入感や情動体験の強度が映画館やテレビのような大画面での鑑賞に比べて弱まる傾向がある。この課題に対応するための技術として、風や水しぶきなどの大掛かりな4D要素が挙げられるが、これらがスマートフォン向けに実用化された例は確認されない。そのため、スマートフォンを用いた動画鑑賞では情動体験を高めるという課題がある。

1.1.4 動画鑑賞における情動強化の重要性

鑑賞者の感情を巧みに刺激することは、動画作品の価値を高める重要な要因の一つである。感情変動や視覚的動きが鑑賞体験に与える影響は、映画や動画の魅力を強化する役割を果たしていることが示されている[12][13]。

Bergerらは、感情変動（sentiment volatility）が映画評価に与える影響を分析した[12]。台詞に含まれる感情を感情価の得点として定量化し、映画全体の一定の時間単位またはシーン単位での差異によって感情の転換頻度を測定した結果、感情変動が大きい作品ほど、観客や批評家から高く評価されている傾向が確認された。この効果はスリラーなど刺激的なジャンルで顕著であり、ロマンスでは弱いことが示された。Dayanらは、映画の感情喚起の要因としてローカルモーション（物体や人の動き）とグローバルモーション（カメラの動き）に注目し、脳活動との関係を調査した[13]。感情を含むシーンまたは中立的なシーンの映像クリップを視聴中の脳活動を測定した結果、感情的な場面でのグローバルモーションは、脳の広範囲な感情応答領域を活性化し、自己運動の錯覚を通じて感情的反応を引き起こすことが示された。

また、動画鑑賞による感情喚起には多くの利点が確認される。まず、感情的な喚起が動画に対する印象の向上に寄与することが示されている[14]。さらに、感情的に喚起された動画は、その快楽体験によって動画の継続的な鑑賞を促進する効果があり[15]、視聴者の社会的つながりを強化する要因として機能することが確認されている[16]。

Cahillらは、12本の感情的に刺激的な動画と12本の中立的な動画を提示した際の脳活動をポジトロン断層法（PET）で測定し、3週間後に自由再生テストを用いて記憶評価を行った[14]。その結果、感情的に刺激的な動画に対する平均的な扁桃体の活動は中立的な動画よりも高いことが確認された。また、扁桃体の活動レベルは、記憶として想起された動画の数と強い相関を示していた。Zaidelは、映画というメディアに対する人々の長期的な関心と、映画鑑賞を繰り返す行動の原因について、神経基盤の観点から見解を述べた[15]。映画ジャンルに関係なく観察される現象として、映画鑑賞が繰り返される理由には、音楽、映像美、ストーリーへの共感が相互作用し、ドーパミン報酬系を通じて強力な快楽体験を記憶する点が挙げられる。この快楽体験を再び求める傾向が、映画鑑賞を継続させる要因であると示唆された。Bergerらは、96人の学生を対象に、感情的な覚醒が社

会的伝達に与える影響を調査した[16]。実験群には感情的に興奮する動画を、対照群には中立的な動画を提示した後、両群に中立的な記事や画像を提示し、「これを他人と共有したいですか」という質問に対して7段階評価を収集した。その結果、実験群は対照群に比べて他者と内容を共有したいという意欲が有意に高いことが確認された。

以上のことから、動画鑑賞において視聴者の感情を巧みに喚起し、それを持続的な体験へと結びつけることが重要であるといえる。感情的な喚起は、作品への印象を向上させるだけでなく、視聴者の継続的な関心を促し、動画の魅力を高める重要な要因となる。また、感情的な体験は視聴者間の社会的なつながりを強化する役割も担っており、動画鑑賞における情動強化が鑑賞体験の質を向上させる鍵となる。

1.1.5 エンターテイメント領域への生体信号の活用

近年の健康管理の領域において、スマートウォッチを用いて脈拍数、皮膚温、血圧などの生体信号データを収集し、個人の健康状態をリアルタイムで管理する技術が進展している。そして、スマートウォッチをはじめとする生体信号を取得する機器の小型化に伴い、エンターテインメント領域において生体反応を活用する取り組みが進んでいる。特に、ゲームや音楽の分野では、生体信号やそれに基づくユーザの感情を反映することで、体験をより没入的かつインタラクティブにする技術が開発されている[17][18][19][20]。

具体例として、人工知能を利用した感情分析を手掛けるOvomind社は、ホラーゲームにおいて、ユーザの手首に装着されたスマートバンドから取得する皮膚温度、脈拍数、発汗などの生体信号を基に感情を分析し、推定された感情状態に応じて、ゲーム画面の視野を狭めたり、赤くなる演出を加えたりするなど、感情状態に連動した演出を取り入れている[19]。これにより、ユーザ側はプレイ中の自身の感情状態を認識することが可能であり、ゲーム体験の向上に効果を発揮する。一方、Mindset Innovation社は、独自開発した脳波(EEG)センサを搭載したスマートヘッドホンを活用し、ユーザの脳波を基に集中状態やリラクゼーション状態をリアルタイムで監視する技術を開発している[20]。この技術では、脳波状態を基に複数の音源を用いた音響刺激を提供することで、ユーザを目標とする精神状態(集中、リラックスなど)へ導くことを支援している。

このように、生体情報を活用したエンターテインメントは、個々のユーザに最適化された体験を提供する可能性を秘めており、没入感の向上やインタラクティブな関係の構築を通じて、新しい体験を提供する領域に発展することが考えられる。

1.2 研究の目的および目標

現在、動画鑑賞は多くの人に親しまれている余暇活動の一つとして定着しており、その主な鑑賞媒体としてスマートフォンが広く利用されている。また、動画コンテンツの消費形態は、受動的な構造から能動的な構造にまで広がり、鑑賞体験が多様化している。しかし、スマートフォンによる動画鑑賞では、画面サイズの制約により視聴覚刺激が限定され、映画館やテレビのような大画面での鑑賞と比較して没入感や情動体験の強度が弱まる傾向が指摘されている。この課題を補う手法として、横揺れや風などの4D技術のような体験拡張技術がスマートフォン向けに実用化された例は未だに確認されない。そのため、

スマートフォンでの動画鑑賞を対象とした動画鑑賞体験の拡張や、これに伴う情動体験の強化の課題がある。

本研究では、動画鑑賞中のユーザの脈拍変動を活用し、脈拍変動から判定される昂り状態に応じたフィードバックを行うことで、スマートフォンを用いた個人の動画鑑賞時の情動体験を強化させるための手法を提案し、スマートフォンによる動画鑑賞体験を拡張することを目的とする。本論文では、この目的に向けて、アクション動画を対象に次の3点を目標として取り組む。

1. アクション動画鑑賞時の昂りに連動して、振動および照明による擬似心拍刺激を与えるスマートフォンアクセサリーの製作
2. スマートフォンアクセサリーを用いた情動体験への有用性の検証

1.3 本論文の構成

本論文は以下の章分けによって構成する。

第1章では、研究背景、研究目的及び論文の構成について述べる。

第2章では、関連研究について述べる。

第3章では、脈拍変動を用いたアクション動画鑑賞時の昂り状態の分類について述べる。

第4章では、昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリーについて述べる。

第5章では、スマートフォンアクセサリーによるアクション動画鑑賞時の情動体験の影響について述べる。

第6章では、本論文のまとめと今後の展望について述べる

第2章 関連研究

本章では、本研究における関連研究について述べる。

2.1 情動と心拍変動

2.1.1 感情の種類と情動

感情とは何かという問い合わせに対して、心理学の分野を中心として議論されているが、統一された定義や見解は未だ定まっていないとされている。これまでに、「喜怒哀楽や好惡など、物事に感じて起こる気持」[21]と説明されるほか、”主観的情感（気持ち）”および”人間らしいもの”といった定義的特徴が当てはまるところから、「高次な認知活動を反映するもの」[22]と捉える見方や、Ortony らによる「人、物、出来事、環境についてする評価的な反応である」[23]という広義的な定義で説くことがある[24]。

進化論で知られる Darwin は、動物と人間の表情を対象とした比較観察を通じて、その類似性から動物と人間の感情が同質であると認識できるとし、人間が獲得している感情表現は進化的かつ適応的なものであると言及した[25]。そして、Ekman らは、表情による感情表現が普遍的であるかどうかを検証するため、非識字文化の人々を対象に調査を行った[26]。その結果、非識字文化の人々も、西洋や東洋の識字文化圏の人々と同様に、特定の感情を特定の表情と関連付けていることが明らかとなり、表情による感情表現が文化を超えて普遍的であることを支持する証拠が得られた。また、6つの感情（喜び、悲しみ、怒り、恐怖、驚き、嫌悪）が人間が備え持つ基本感情であることが示唆された。

他方、Russell は感情は離散的ではなく連続体の中で変化することを提唱し、快－不快次元、および覚醒－眠気次元の 2 つの次元軸によって構成される 2 次元座標を用いた場合、全ての感情はこの平面上で円環に配置されることを言及した[27]。図 2.1 は、提唱された 2 次元座標系に基づく感情の円環モデルを示す。この円環モデルでは、興奮、怒り、憂鬱といった異なる感情が明確な境界を持たず、それらの感情が徐々に変化し、その間に微妙な変化や中間的な感情を経て、他の感情に移行する様子を表現することが可能である。また、感情の二極性を包括したモデルについても言及している[28]。図 2.2 のように、感情を快－不快の感情価次元と、活性－不活性の活性度次元という 2 つの次元軸で捉えることによって、感情を「ポジティブ感情（PA）」および「ネガティブ感情（NA）」という抽象的なレベルで理解し、その二極性を表現している。

感情の類義語として、情動という言葉がある。情動とは、「怒り、恐れ、喜び、悲しみなどのように、比較的急速に引き起こされた一時的で急激な感情の動き」[21]と説明されるほか、「交感神経や内分泌系の活動によって引き起こされる、身体の興奮状態（生理的覚醒）を伴う強い感情」[24]と述べられている。本論文では、動画鑑賞中の身体的反応や一時的な興奮状態に焦点を当てるため、情動を感情を含む概念として用いる。

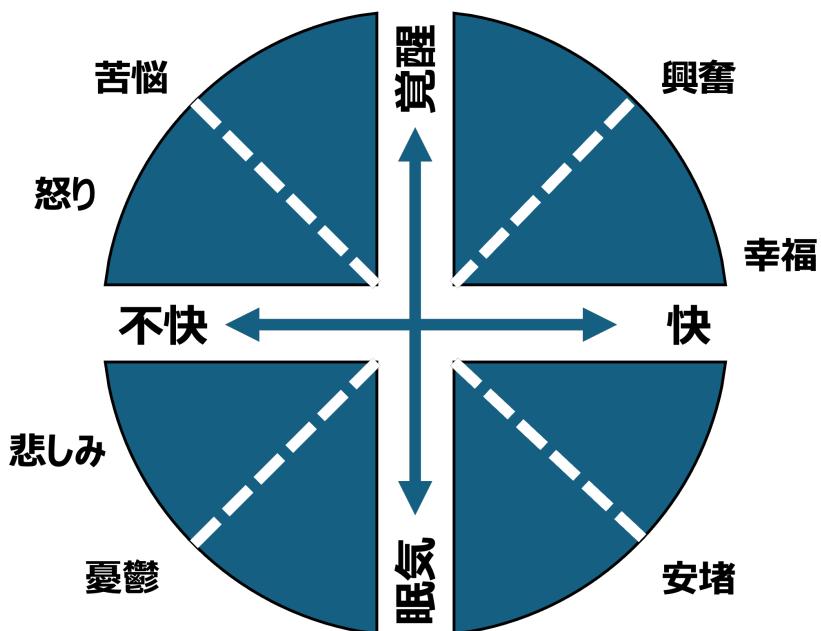


図 2.1: 感情の円環モデル ([27] 中の図を基に作成)

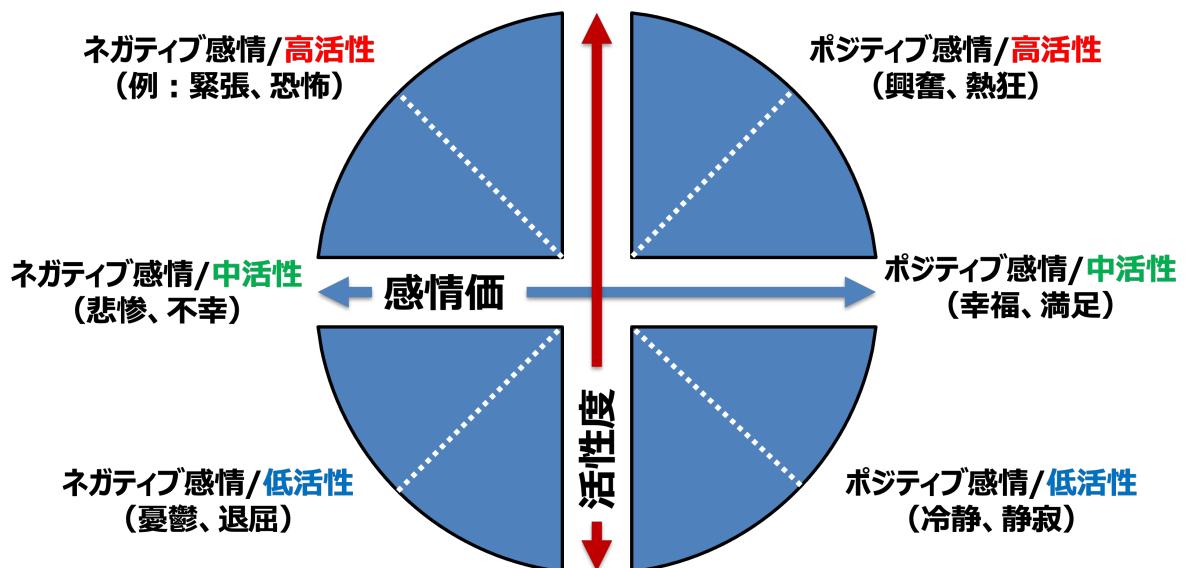


図 2.2: PA・NA を包括した円環モデル ([28] 中の図を基に作成)

2.1.2 心拍変動と情動の関係

心臓は収縮と弛緩の運動を繰り返すことによって律動的に拍動を続いている。図2.3は心電図波形を表している。心電図は、心臓の電気的活動による電位差を電極を用いて、体表面から非侵襲的に測定することによって得られる。心電図波形に見られるように、律動的な拍動間の時間間隔を心拍間隔（RRi: R-R interval）と呼ぶ。一般に、心拍間隔は常に一定ではなく、変動する。睡眠などの安静時および有酸素運動などの運動時の心臓の鼓動の違いが意識的に確認できるように、心身の状況の変化によって心拍間隔は変化する。この心拍間隔の周期的な変動を「心拍変動（HRV: Heart Rate Variability）」と呼ぶ。

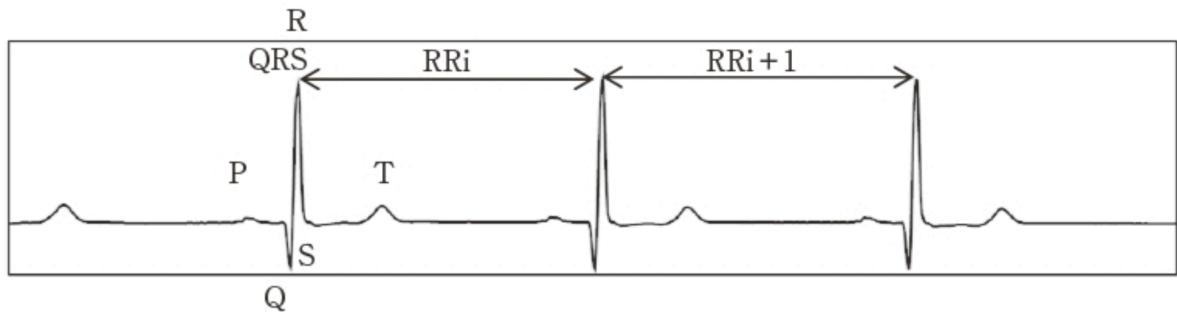


図 2.3: 心電図波形 ([29] より引用)

心拍間隔にみられる周期的な変動は自律神経系の機能との関係を持つ。というのも、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るという関係性が示されている[29]。自律神経系とは呼吸や血圧の他、発汗や消化などの生命活動に必要な機能を調節する役割を持つ神経系であり、この自律神経系には、大きく分けて「交感神経」および「副交感神経」の2種類の神経が存在する。これら2種類の神経は心身に対して互いに相反する作用を持ち、心身が健やかな状態であるためには、互いに優位状態（働きの強さ）が一方的な偏りなく活動している状態でなければならない。一般に、交感神経は心身に興奮や緊張を引き起こす神経系である。交感神経が優位に働く際、心臓の活動が活発化し、心拍数の増加、血管の収縮、瞳孔の拡大、そして発汗などの身体的变化が生じる。一方で、副交感神経は心身に休息や安静を促す役割を担う神経系である。副交感神経が優位に働く際、心臓の活動が抑制され、心拍数の減少、血管の拡張、瞳孔の縮小などの身体的变化が生じる。活動状況の例として、交感神経が副交感神経より優位に活動している場合、心身上では心拍数の増加や発汗などの变化が生じる。

心拍間隔にみられる周期的な変動に影響を与える自律神経系の働きにおいて、情動体験による影響があることが示唆されている。Ohiraらは、快または不快な情動を喚起させる画像を提示した際の脳活動を陽電子断層撮影法（PET）で観測すると同時に、心拍や皮膚伝導反応、強い情動が誘発された際に分泌される副腎皮質刺激ホルモン（ACTH）の血中濃度を測定した[30]。その結果、情動的な刺激を有する画像が提示された際に、扁桃体が活発になり、皮膚伝導反応とACTH濃度に正の相関関係が確認された。つまり、情動を司る扁桃体が活発になることで、自律神経系も活発になることが示された。この他に、Ekmanらは、情動が自律神経系の反応を引き起こす際に、それが情動ごとに異なる特徴を持つかどうかを調査した[31]。被験者に特定の情動を引き出すための顔面プロトタイプを構築し、さらに、過去の強い情動体験（怒り、悲しみ、恐怖など）を再現させ、その際

の自律神経活動を記録した結果、情動ごとに心拍数や皮膚温の変化量が異なることが確認された。つまり、情動間で自律神経系の活動は異なることが示唆された。

前述を踏まえて、心拍変動と自律神経、および自律神経と情動には関係性があることが示唆されている。情動は自律神経系の活動に影響を与え、自律神経系は心拍や発汗などの様々な身体的变化を制御しているということに基づいて、心拍などの生体信号を解析することによって、情動を判別することが可能であることが考えられる。

2.1.3 心拍変動を用いた情動評価に関する研究

Subahni らは、ストレスの身体への影響に注目し、ビデオゲーム中のユーザの精神的ストレスに対して心拍変動（HRV）に基づいた指標からの観察を検証した[32]。レースが題材のゲームを使用し、試遊前後に閉眼および開眼の時間を設けて安静時的心拍変動を測定することで、ゲーム中の変化の比較対象とした。HRV は時間領域と周波数領域で分析された。結果、ゲーム中の平均心拍数は有意に増加し、標準偏差（SDNN）は有意に減少して交感神経の活性化を示した。さらに、交感神経と副交感神経のバランスを示す LF/HF 比は、ゲーム中に休息時よりも高くなったことが確認された。

Rakshit らは、パルスオキシメータから得られる光脈波信号を基に心拍変動の特徴量を算出し、時間領域および周波数領域の特徴量に基づいて感情認識を行った[33]。図 2.4 は実験時の様子を示している。被験者には「Happy」「Sad」「Neutral」の感情を引き起こす動画クリップを視聴させ、その間に光脈波信号を収集した。収集した光脈波信号から算出された心拍変動の特徴量をデータセットとして、サポートベクターマシンを用いて分類モデルを構築し、1 個抜き交差検証を行った。その結果、全体の平均分類精度は 83.8% であることが確認された。

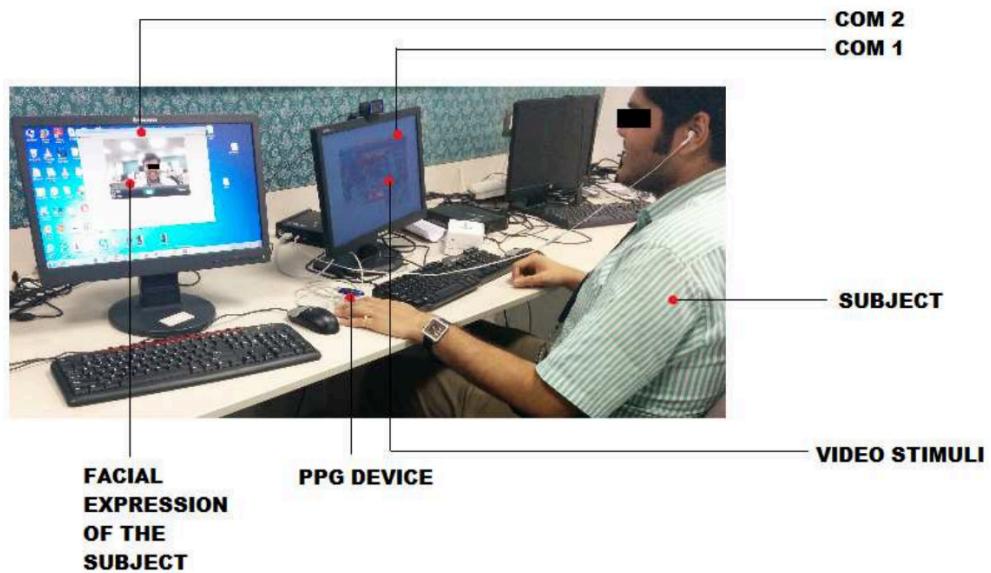


図 2.4: 動画クリップ鑑賞による実験時の様子 ([33] より引用)

Choi らは、国際感情画像システム（IAPS）を用いて、感情を評価するツールとしての心拍変動の妥当性を検証した[34]。被験者は「Happy」「Unhappy」「Neutral」の画像を見た際、自己評価マネキン（SAM）で主觀的感情を評価し、同時に心拍信号が記録された。

分析の結果、「Unhappy」画像で覚醒度が高い場合にのみ、誘発性と有意な正の相関、支配性と有意な負の相関が確認された。これにより、強い情動が誘発される場合に限り、HRVによる感情評価が可能であることが示唆された。

Wu らは、中国感情動画システム（CAVS）を用いて、特定の感情が心臓の働きに与える影響を調査した[35]。「Amused」「Fearful」「Angry」「Neutral」の感情を強く引き起こす動画を選定し、被験者に提示後、主観的感覚の評価を行い、同時に心電図から心拍変動を収集した。分析の結果、「Amused」は他の感情と比較して心拍数を低下させ、心拍変動を増加させることが確認され、これにより「Amused」が副交感神経の活性化と関連していることが示唆された。さらに、「Angry」は「Fearful」と比較して心拍変動が高いことから、ネガティブな感情の中でも特定の感情を区別できる可能性が示唆された。

Yu らは、脈拍センサから取得した心拍間隔および心拍変動を基に、ユーザーのストレス度合を測定し、樹木の成長を隠喩的に用いた視覚化によるバイオフィードバックシステムを提案した[36]。本システムでは、過度なストレスがかかると樹木が徐々に枯れ、反対にバランスの取れた状態では樹木が丈夫に成長する様子をリアルタイムで表現する。提案されたシステムの使用により、呼吸を意識したストレス管理や動機付けが促進され、健康な樹木を維持しようとする行動が確認された。

多田らは、心拍数の上昇率と計算課題の正解率との間に負の相関があることに着目し、心拍数の分散に基づいて休憩を促すシステムを開発した[37]。システムの有無による計算課題を実施した結果、システム通知による休憩の実施回数は多かったものの、誤答数などに有意差がなく、頻繁な通知音が課題作業や心拍に影響を及ぼした可能性が示唆された。

2.2 動画鑑賞と情動

2.2.1 動画に対する印象及び嗜好に関する研究

金らは、動画視聴時の嗜好評価（気に入る・気に入らない）に影響を与える感情や印象を調査した[38]。被験者に4本のスクリーンセーバー映像を各20秒間提示し、最も気に入る映像と気に入らない映像を選択させた後、16の感情語と14項目の形容詞対による印象評価を行った。結果として、「動き」と「登場する要素」の2つの印象と「緊張」という感情が嗜好評価に関わる重要な要素であることが確認された。特に「気に入る」では興味、楽しさ、安心が、「気に入らない」では混乱、困惑、嫌悪が有意に高い選択傾向を示し、「緊張」は嗜好評価に依存して意味合いが変わることが示唆された。

Topal らは、映画の評価や論評に含まれる感情的側面を分析し、感情マップとして可視化することで新たな映画選択手法を提案した[39]。映画情報サイトであるIMDbから134本の映画に対する157,344件の論評を収集し、各ジャンルのカテゴリには少なくとも10本の映画があるように整理した。各映画の上位100件の論評を対象に、論評に含まれる語句をSenticNet データベースを用いて感情モデル（sensitivity, pleasantness, aptitude, attention）に基づいた感情次元とレベルで分類し、その結果をヒートマップとして映画の感情的特徴を表現した。評価として、様々な映画に適用した結果、同一ジャンルの高評価映画でも感情マップが異なる一方、低評価映画では類似した反応が見られることが確認された。

2.2.2 動画鑑賞中の生理反応と映像の関係に関する研究

Sakuragi らは、喜劇および悲劇動画の視聴によって誘発される笑いや悲しみが、自律神経系や気分に与える影響を分析した[40]。Profile of Mood States (POMS) を用いて主観的な気分を評価し、心拍変動のスペクトル分析により自律神経系の活動を測定した。喜劇動画の視聴時には交感神経系 (LF/HF) の反応が確認され、視聴後には視聴前の状態に戻った。一方、悲劇動画では交感神経系の反応が緩やかに増加し、視聴後もその影響が持続したことが確認された。この結果より、笑いは自律神経系に強力な一過性の影響を与え、悲しみは中程度の影響を与えるながら持続的効果をもたらすことが示唆された。

村瀬らは、視聴覚刺激による情動誘発の有無と自律神経系への影響を調査した[41]。滑稽、穏和、恐怖、不快動画を選定し、被験者に心電図計と呼吸計を装着して視聴させ、視聴後に情動を質問表で評価した。結果、滑稽、穏和、恐怖動画では85～93%，不快動画では57%の被験者が想定する情動を認知した。自律神経系の変化では、滑稽動画で交感神経が有意に活性化し、副交感神経が抑制された。一方、不快、恐怖、穏和動画では交感神経が抑制され、副交感神経が活性化した。心拍数に有意な差はなかったが、滑稽・穏和動画では増加し、不快・恐怖動画では減少する傾向が見られた。不快動画で交感神経の活性が見られなかっただけでなく、不快情動の認知の割合が低い影響が示唆された。

宮本らは、動画視聴中のユーザの皮膚抵抗増加量、皮膚抵抗値、指尖皮膚温、心拍数の生体信号を用いて、動画に対するユーザの嗜好性との関連を調査した[42]。動画中の皮膚温減少場面が多い被験者ほど、動画に対して高い評価を示す傾向が確認され、動画に対する嗜好性を判断する上で指尖皮膚温を用いることが有効な手段であることが示唆された。

Fukumoto らは、ホラー映画が与える心理生理学的影響を調査し、恐怖感と生理的変化の関係を調査した[43]。10名の男性被験者を対象に、映画視聴中の心電図、呼吸、皮膚電気活動を測定した後、主観的な恐怖を感じた場面を尋ねた。呼吸のみを分析した結果、恐怖を感じた場面では呼吸の強度が増加し、呼吸周期も加速していることが確認された。この特徴は全ての被験者で有意に見られた。

Vermeulen らは、動画視聴中のユーザの心拍数変化を基に、情動的な見所をまとめた動画クリップを生成するシステムを提案した[44]。手首装着型センサで心拍数を測定し、見所検出の実現可能性を調査した結果、特に嫌悪感、面白さ、悲しさ、恐ろしさを感じる場面で心拍数の減速が確認された。この結果を基に、嫌悪感のある動画で心拍数の減速が見られる部分を見所としてクリップを作成し、編集の専門家が作成したクリップと比較したところ、専門家の見所は心拍数の変化と Heartefact の両方と一致する傾向が見られた。

2.2.3 動画鑑賞時の情動評価に関する研究

代蔵らは、動画鑑賞者の興奮反応に合わせて動画の音量を調整することで、鑑賞者の興奮を意識されること無く促進させる動画鑑賞システム E3-Player を開発した[45]。図 2.5 は、当システムを利用した動画鑑賞の概要図を示している。手のひらの皮膚コンダクタンス反応に基づく興奮に応じた音量変化によって、興奮の平均反応量が高いことが示され、興奮を促進させることができることが可能であることが示唆された。一方で、すべての興奮反応に対して音量を変化させたとしても、興奮を促進させることができないことも示唆された。

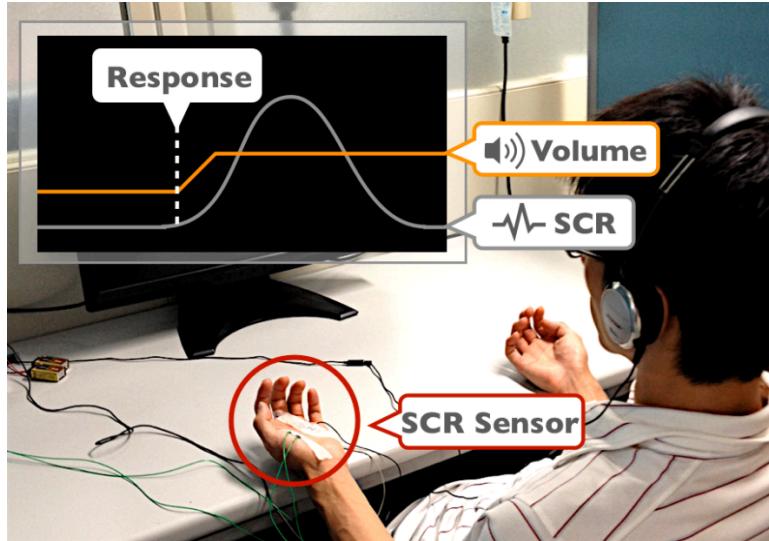


図 2.5: E3-Player 概要図 ([45] より引用)

角田らは、心拍数と呼吸数の長期変動の類似性が人の心的状態を表す可能性に着目し、これを用いてコンテンツ視聴時のユーザの気分変化を推定する手法を提案した [46]。まず、コンテンツ視聴中の心拍数と呼吸数、視聴前後の気分状態を測定し、心拍数と呼吸数の長期変動の類似度と視聴前後の気分変化量を算出した。それらを学習データとして回帰モデルを構築し、20名のコメディ映像の視聴時データを用いて評価を行った。1名のデータを入力とし、残り19名のデータで構築した回帰モデルで推定した結果、実測値との相関が高い推定値が得られ、提案手法の有効性が確認された。

吉田らは、映画視聴時の情動を心拍変動から機械学習で判別できるかを検討した [47]。被験者はホルター心電計を装着し、映画視聴中に喜び、心配、驚き、悲しみ、嫌悪、怒りのいずれかの情動が生じた際にボタンを押して情動と時刻を記録した。ボタンが押された前後1分、2分、3分間のRRI、LF、HFを特徴量として機械学習で分類した。結果、前後1分間のRRIで「心配」が再現率0.620、前後1分間のLFと前後3分間のHFで「悲しみ」がそれぞれ再現率0.582、0.560で判別された。これにより、心拍変動による情動分類では、快よりも不快の情動の方が再現率が高いことが確認された。

東海林らは、スマートウォッチから取得した心拍変動を用いて、客観的に恐怖を感じたとする箇所と心拍変動の反応との関係を分析した [48]。暗室でのホラー動画鑑賞時に取得した心拍変動から算出する自律神経機能のバランスを示すストレス指標(LF/HF)を用いた分析の結果、恐怖を感じたとする箇所の約15秒前から約25秒後にかけて、ストレス指標の反応が持続することが確認された。

竹下らは、鑑賞者の恐怖感に応じて再生速度が変化するインタラクティブなホラー動画鑑賞システムを提案した [49]。図2.6は、ホラー動画鑑賞システムの概要図を示している。スマートウォッチを用いて取得する心拍変動から算出された周波数領域成分を基に、恐怖を感じているか否かを推定し、その推定結果に基づいてスマートフォン上のホラー動画の再生速度を制御する。本システムを利用したホラー動画の鑑賞において、「印象に残る」「動きがある」「スリルを感じる」といった印象が抱かれることが確認され、恐怖に関連する印象を増幅させる効果があることが示唆された。



図 2.6: ホラー動画鑑賞システムの概要図 ([49] より引用)

2.3 外部刺激によるユーザ体験の強化

2.3.1 振動刺激による影響に関する研究

Lemmens らは、映画鑑賞体験を感情的に没入させるため、映画の場面に同期して触覚刺激を与える振動アクチュエータを用いたウェアラブル触覚ジャケットを提案した [50]。図 2.7 は、振動アクチュエータが備えられたウェアラブル触覚ジャケットを示している。ジャケットには 64 個の振動アクチュエータが内蔵され、専用ソフトウェアを使って多様な刺激パターンを提示できる。被験者は、ジャケットの有無の条件で 7 つの動画クリップを視聴し、条件別の視聴後に興奮度合いおよび没入感を評価するアンケートに回答した。結果として、没入感を評価する複数の項目で有意に高い得点が得られた。さらに、客観的な評価では、触覚刺激を伴う視聴時に皮膚伝導レベルの平均値が複数のビデオクリップで増加したことが確認された。



図 2.7: ウェアラブル触覚ジャケット ([50] より引用)

Seim らは、手の触覚刺激に対する振動感知能力を調査した [51]。実験では、コイン型の振動モータを用いて、1) 刺激位置による知覚精度、2) 指の複数同時振動の知覚精度、3)

振動モータ（ERM と LRA）別の知覚精度を評価した。各実験の結果では、指先から手の中心（手のひら）に向かうにつれて知覚精度が有意に向上し、複数の同時触覚刺激の知覚能力は低く、特に3つ以上の同時刺激でその傾向が顕著だった。また、ERM と LRA による振動モータ別で知覚精度に有意差は見られないことが確認された。

Mazzoni らは、振動による触覚提示を備えたウェアラブルなグローブを設計し、振動触覚刺激を通じて映画に含まれる音楽によって誘発される感情（Mood music）を増幅できるかを検証した[52]。図2.8は、触覚提示を備えたグローブのプロトタイプを示している。振動触覚刺激は、ユーザのフィードバックに基づいて段階的に設計され、低強度・低周波の刺激が落ち着きを与え、低強度・高周波では興奮感を高め、高強度・高周波では緊張感を増幅させることができることが確認された。また、Mood music を含む映画クリップを振動触覚刺激と組み合わせて視聴した結果、映像の評価自体は変わらないものの、興奮度が高まることが確認された。



図2.8: グローブのプロトタイプ ([52] より引用)

Ablart らは、対象者に触れずにフィードバックを提示する空中触覚刺激が短編映画を題材とした視聴体験に与える影響を調査した[53]。事前に、皮膚電気反応データから感情的ピークが現れた1分間の映画を選定し、その感情的ピークに基づいて空中触覚刺激を設計した。参加者を2つのグループに分け、触覚刺激の有無で映画を視聴させた後、2週間後に再度評価を行った。結果として、触覚刺激がある条件では好意度と覚醒度が有意に高く、皮膚電気反応でも高い値が確認された。これにより、空中触覚刺激が視聴体験の質を高める可能性が示唆された。

Jeong らは、椅子を意図的に左右に傾けるモーション効果が、鑑賞中の感情や生理的反応に与える影響を調査した[54]。被験者には生体信号を測定するセンサを装着させ、モーション効果の有無で異なる映画クリップを鑑賞させた後、感情や没入感に関するアンケートを実施した。その結果、モーション効果により脈拍が減少し、皮膚コンダクタンスレベルが増加したことが確認された。また、覚醒感と没入感が高まることも明らかとなり、モーション効果が観客を興奮させ、没入させるのに有効であることが示唆された。

Kosuge らは、ハグシーンを視聴しながら上半身に振動刺激を与えることで、感情がどのように変化するかを調査した[55]。振動刺激には、胸部前後に接触する2つのコイルモーターを使用し、ハグシーンの開始時に50Hzの振動を2秒間与えた。被験者は8つのハグシーンを視聴し、そのうち3から5つのシーンで振動刺激を受けた。各シーンの視聴

後、感情に関する10個の形容詞で評価を行った結果、振動刺激のあるハグシーンにおいて「喜び」の感情が増幅または抑制される可能性が示唆された。

Cerdan らは、特定のタイミングで振動が発生するコインモーターを装着したグローブを設計し、感情的刺激を含む映像を視聴する際の視聴者の脳波を、振動の有無による2条件で記録し、触覚刺激の影響を評価した[56]。触覚刺激を含む映像視聴時には、前頭部および眼窩前頭部の脳領域において、活動がより広範かつ活発になることが示された。これにより、振動による触覚刺激が追加されることで、注意に関連する脳領域の活動が増加し、その結果、感情処理に関連する領域の活動も強まることが示唆された。

Tara らは、映像視聴時の上半身への振動刺激のタイミングが皮膚コンダクタンス反応や主観的評価に与える影響を調査した[57]。ホラービデオでは怪物の初出現と同時の振動が恐怖反応を最大化し、400ミリ秒以上の遅延では効果が減少した。一方、フィギュアスケートではジャンプ時の振動が興奮を促し、最適なタイミングは視聴者ごとに異なった。また、110Hz以上の振動は映像体験を劣化させる可能性が示唆された。

2.3.2 照明刺激による影響に関する研究

Ortiz らは、照明の色彩が室内空間での感情に与える影響を調査した[58]。LEDストライプとマイコンを用いて光色（赤、オレンジ、黄、緑、水色、青、紫、ピンク）を制御し、被験者は白い壁の部屋で各色にさらされた際の感情をアンケート（緊張、娯楽、魅力など）で評価した。結果、暖色系の光は緊張感があり、熱く、好ましくないと評価され、寒色系の光は悲しさを伴うが、心地よいと評価された。また、感情に対する色の影響は男女で類似しており、LEDストライプの色の特性として説明できることが示唆された。

Iwamoto らは、デート中のユーザ同士の不安を解消する手法として、ユーザの興奮度合いをLEDの光色で視覚的に表示することでデートセッションを支援するソファ「Lovable Couch」を提案した[59]。光電式容積脈波センサで取得した心拍信号から興奮度合いを算出し、その興奮度合いに基づいてソファに備わるLEDを赤色点灯する仕組みを構築した。システム評価の結果、このシステムを通じて相手の愛情度の推測に役立ち、非言語的コミュニケーションを支援し、不安を和らげる効果がある可能性が示唆された。

Wilms らは、色相（青、緑、赤）、明度（低、中、高）、彩度（低、中、高）の3次元の色空間を操作し、色の刺激が情動に与える影響を主観的評価と生体信号で調査した[60]。被験者は30通りの光色刺激をLEDパネルで提示され、自己評価マネキン（SAM）を用いて感情を主観評価し、同時に皮膚コンダクタンス反応（SCR）と心拍数を記録された。結果として、主観的評価において色の変化は価値（valence）よりも覚醒（arousal）に強い影響を与え、特に彩度および明度を調整した上で赤が最も覚醒度を高めることが示された。さらに、赤への色相の移行でSCRが増加し、覚醒度の評価と一致した。このことから、色の感情への影響は色相、明度、彩度の組み合わせで決まり、それらの相互作用を考慮することが重要であると示唆された。

Weijs らは、明度（低、中）と彩度（中、高）が異なる赤色または青色の仮想室内環境を用いて、色の刺激が情動に与える影響を主観評価と生体信号で調査した[61]。被験者は各光色条件で暴露され、自己評価マネキン（SAM）で感情を主観評価し、同時に皮膚電気活動（EDA）と心電図を記録された。結果では、主観評価と光色条件の間に有意な相関は見られなかったが、明度が心拍数と心拍変動（RMSSD）に有意な影響を、色相がEDA

に影響を与えることが確認された。特に、低明度・高彩度および中明度・中彩度の赤色条件でEDAが高かった。このことから、色の感情への影響は色相だけでなく、明度や彩度も重要であることが示唆された。

Buechnerらは、赤色刺激が情動の覚醒および価値（感情的な肯定性・否定性）の認知に及ぼす影響を調査した[62]。310名の被験者を、赤色条件または青色条件のテストとニュートラル条件に分け、テスト条件ではネガティブな写真を、ニュートラル条件では自然風景写真を4枚提示した。各写真の枠は条件に応じた色で囲まれており、5秒間の観察後に覚醒度と価値を主観評価した。結果、赤色は刺激の価値に関係なく覚醒度の認知を高め、ネガティブ画像を見た被験者において、赤色は中立的な画像に比べて否定的な価値の認知を強化することが確認された。

Kimらは、動画視聴における情動体験を強化するために、情動に基づいたインタラクティブな照明制御システムを提案し、動画視聴中に赤色光と青色光の2種類の照明条件での生理的反応を評価した[63]。図2.9は、任意の動画に対して照明を照射した際の様子を示している。興奮を促す動画視聴中に赤色光を使用した場合、心拍間隔と高周波・超低周波比率が有意に低下し、一方で、リラックスする動画視聴中に青色光を使用すると、これらの値が有意に増加することが確認された。この結果から、情動状態に応じた照明制御が情動体験の質を向上させる可能性が示唆された。



図2.9: 各動画鑑賞時に制御された光色で照射される様子 ([63]より引用)

Shinらは、明るさと色温度を制御した直接と間接照明（ダウンライト400lx、アップライト300lx）と直接照明（ダウンライト700lx）の2つの照明環境で、直接と間接照明を併用した環境が感情や脳活動に与える影響を調査した[64]。脳波を測定中に各照明環境が4分間提示され、その後に照明環境についての感情を評価した。直接照明と間接照明を併用した環境では、直接照明環境に比べてシータ波と「快適」に有意な相関があり、直接照明と間接照明の併用が空間の快適性や情動的な反応に影響を与えることが示唆された。

2.3.3 溫冷刺激による影響に関する研究

馬場らは、ペルチェ素子を使用した温冷刺激提示機能を組み込んだゲームコントローラを用いて、温度変化量とユーザの反応速度の関係性を調査した[65]。制作したゲームコントローラは、一般的なコントローラへの応用を考慮した形状設計とし、温冷刺激モジュールを実装可能なサイズで構築した。実験の結果、温冷刺激提示後のユーザの反応時間において、温冷感とともに約3秒で温度変化を知覚できることが確認された。特に冷却提示に関

しては、温度の下降速度が速くなるほど、温度変化の知覚反応時間が有意に速くなることが明らかとなった。

Tsuruno らは、動画鑑賞時の興奮を高めるために、温熱刺激が興奮的知覚を増強するかどうかを検証した[66]。温熱刺激装置を使用し、左前腕に温熱刺激を与え、興奮反応は皮膚コンダクタンスの変化を用いて記録した。被験者は温熱刺激の有無による2つの条件下で3本の動画を視聴し、視聴後に感情の度合いに関するアンケートに回答した。結果として、温熱刺激の有無による興奮感には有意差が確認されなかったが、ある動画においては緊張感に有意差が認められた。これにより、温熱刺激の提示時の温度変化速度が影響を与える可能性が示唆された。

2.3.4 生体信号に基づいた演出変化による影響に関する研究

Dekker らは、ホラー型FPS(First Person Shooter)ゲームにおいて、生体信号に基づいてゲーム内の演出を動的に変化させることで、ゲーム体験を強化する手法を開発した[67]。指先で心拍変動とガルバニック皮膚反応を測定するセンサデバイスを装着したマウスを使用し、各生体信号に応じてゲーム内の音量や画面の色度などを調整した。その結果、ホラーゲームを好むユーザに対してはこの手法が効果的であることが確認されたが、ホラーゲームを好みないユーザには効果が限定的であることが示唆された。

荒木らは、脈拍測定バンドを用いて、ユーザの脈拍数に応じてホラーゲーム内の演出が変化するヘッドマウントディスプレイ対応のホラーゲームを開発した[68]。この手法によるホラーゲーム体験では、多くのユーザが強い恐怖を感じることが確認され、恐怖感を提供するコンテンツとして高く評価された。一方で、非常に強い恐怖感によりゲームの進行が困難になるユーザや、ほとんど恐怖を感じないユーザも確認され、恐怖感に対する個人差が存在することが示唆された。

2.4 情動喚起の機序理論とその応用

2.4.1 情動喚起の機序

James は、情動体験に先立って生理的活動が生じると示唆している[69]。つまり、外部刺激に対して不随意的に身体的変化が起こり、その後に脳がそれを知覚することで情動が生じるという機序である。具体例として、「熊に遭遇する」といった外部刺激に対し、心臓の鼓動が速くなったり、発汗が生じるなどの身体的反応が最初に発生し、それを脳が認識することで「恐怖」といった情動を体験すると説明される。この理論に基づくと、情動は身体的変化の結果として主観的に感じられるものであり、身体的変化がなければ情動も存在しないと考えられる。この機序理論は一般に「抹消起源説」と呼ばれる。

Cannon らは、情動体験には生理的活動の認知が必ずしも必要ではないと示唆している[70]。つまり、外部刺激に対して脳の中核である視床（視床下部）が処理を行い、この視床の働きによって情動が生じるという機序である。外部刺激に伴う身体的変化は、視床による処理過程の結果に過ぎないと考えられる。実験においても、脳と内臓をつなぐ神経を切除した動物において情動体験に変化が見られないことが確認された。この機序理論は一般に「中枢起源説」と呼ばれる。

Schachter らは、情動体験には生理的活動とそれに対する解釈（ラベル付け）の相互作用が生じると示唆している [71]. つまり、外部刺激に対して不随意的に身体的变化が生じ、その变化の原因に対する解釈が情動を引き起こすという機序である。具体例として、「熊に遭遇する」といった外部刺激に対し、心臓の鼓動が速くなったり、発汗が生じるなどの身体的变化が発生し、それと同時に「熊に襲われて負傷するかもしれない」という恐怖の認識が加わることで、これらの身体的变化が「恐怖」という情動として体験されると説明される。この機序理論は一般に「情動二要因説」と呼ばれる。

図 2.10 は上記の機序理論をまとめた概要図である。「抹消起源説」では、自律神経系の活動によって生じる身体的变化の認知が情動体験に繋がるとする理論が主張されている。一方で、「中枢起源説」は、視床を中心とした脳内機能の処理によって情動が体験されるとする理論であり、これに対して批判的な立場を取っている。情動喚起の機序に関しては、近年では身体的变化の認知が情動体験に影響を与える可能性が示唆され、「抹消起源説」を間接的に支持する考えが述べられている [72][73]。

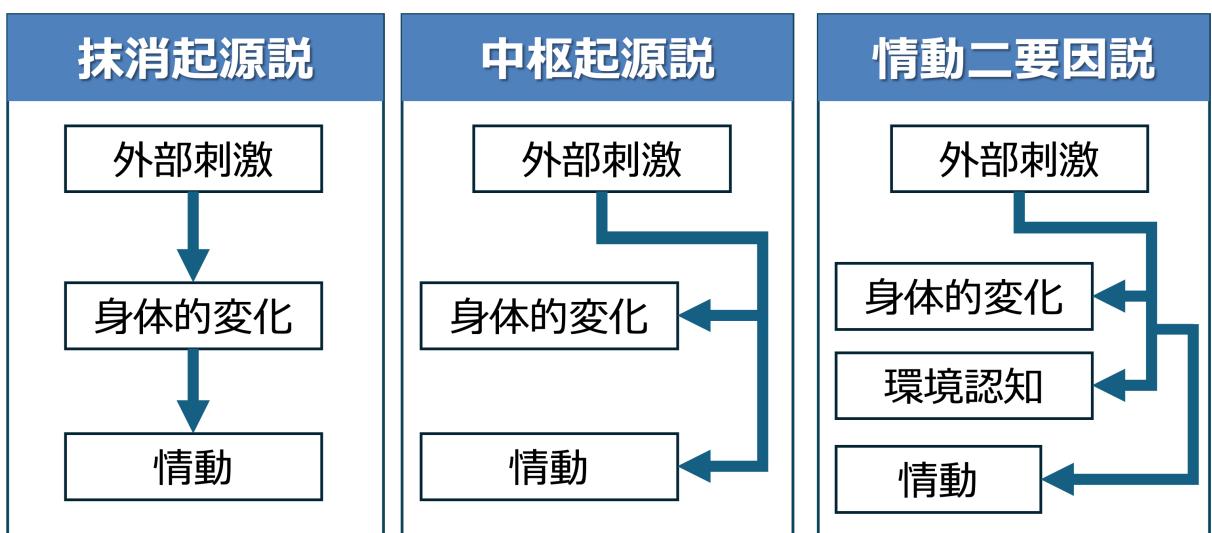


図 2.10: 情動喚起の機序理論の概要図

2.4.2 擬似心拍刺激を利用した情動喚起に関する研究

Valins は、感情的な刺激に対する評価が心拍などの内的反応の認知によってどのように影響されるかを検証した [74]. 被験者にセミヌードの女性のスライドを提示し、擬似的な心拍音を聴かせた。スライド中の女性の魅力を 100 点満点で評価させ、心拍音を自身のものと信じ込ませたグループと、無関係な音であると説明したグループで比較した結果、前者は心拍音を上昇させた際に女性の魅力得点をより高く評価した。これにより、擬似的な心拍音が情動評価に影響を与える可能性が示唆された。

Inamori は、擬似的な心拍音フィードバックがヌードスライドの評価に与える影響と、実際の心拍数との関連を調査した [75]. 被験者には、心拍数に応じて音源が移動することを説明し、12 枚のヌードの女性のスライドを心拍数の増加・減少・一定の 3 条件でランダムに提示した。スライド中の女性の魅力を 100 点満点で評価させた結果、心拍数が増加する条件で他の条件より有意に高い評価が得られた。また、スライド提示中の実際の心拍数は

すべての条件で低下していた。このことから、Valins の見解を支持し、環境刺激に対する認知的・感情的評価は、実際の心拍数の変化に関係なく、フィードバック条件により修正される可能性が示唆された。

Gray らは、偽の心拍フィードバックが感情評価に与える神経活動の影響を調査した [76]。実験では、3分間の運動条件（強弱のグリップ）中に感情的な顔画像（happy, angry, neutral）を提示し、感情強度を4段階で評価させた。同時に、実心拍と同期・非同期および偽の心拍音フィードバックを提示し、運動中は遅い心拍数、非運動時は速い心拍数のフィードバックを行った。結果、偽の心拍音は中立的な表情の評価を強調し、運動の有無は影響しないことが確認された。また、この行動変化に対応する脳活動は、右前部島皮質および扁桃体に見られた。これにより、右前部島皮質が身体的变化の認知やその解釈に重要な役割を果たすことが示唆された。

Nishimura らは、ユーザの好意的感情を制御するため、クッションに組み込まれた擬似心拍提示装置を開発した [77]。この装置は、実際の心拍数を基に擬似心拍音を振動として生成する。心拍数の増加・一定・提示なしの3条件でグラビア画像と組み合わせた結果、擬似心拍振動を提示した増加および一定の条件では、提示なしに比べて、好みとする写真の選択確率が高いことが確認された。これにより、周波数の調整が不要で、ランダムな心拍音の提示でも効果がある可能性が示唆された。

Ueoka らは、ホラー映像の没入感を高めるため、擬似的な心拍フィードバックを利用したロッカー型の3D 映画鑑賞環境を構築した [78]。図2.11はロッカー型の3D 映画鑑賞環境を示している。床面振動を用いて、リアルタイムで心拍数を参照し心拍振動を増加させる手法および、設定した心拍数まで段階的に振動を増加させる手法を比較した。ホラー映画鑑賞の結果、リアルタイムに心拍振動を増加させる手法では、擬似心拍の上昇に伴い実際の心拍数も同期して上昇することが確認された。これにより、振動フィードバックが恐怖体験を強め、ユーザの心拍数と同期した疑似心拍数の生成は心拍数の変化に効果的であることが示唆された。

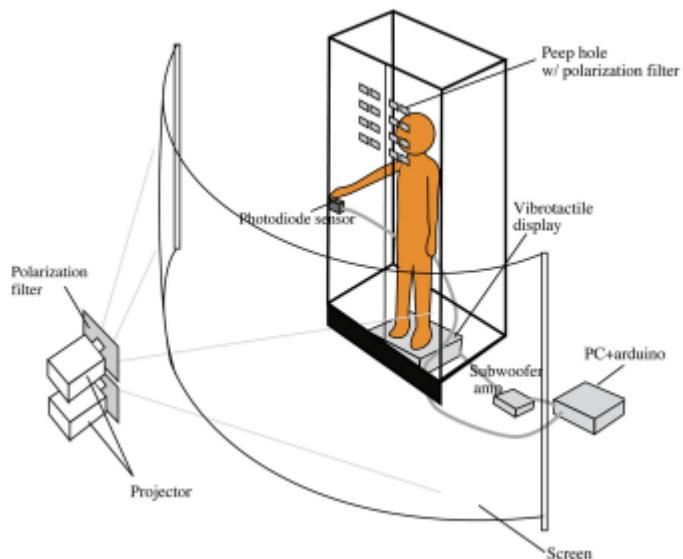


図 2.11: ロッカー型の3D 映画鑑賞環境 ([78] より引用)

Pescara らは、スマートウォッチの触覚振動アクチュエータを利用し、ゲーム内のヒットポイント（HP）を擬似的な心拍振動で表現するシステム「LifeTact」を開発した[79]。HPが100%では45bpm、1%では166bpmとし、HPが0%時には振動が徐々に停止するよう設定した。システムの評価では、画面上の視覚情報、視覚と触覚振動の併用、触覚振動のみの3条件でゲーム体験を比較し、質的アンケートを実施した。結果、触覚振動で残りHPを推定でき、システム全体の満足度が高いことが確認された。

Ogawa らは、ゲーム中に提示される偽心拍音を自身のゲーム体験と関連付けて認識することで、ゲームへの没入感やモチベーションにどのような影響を与えるかを調査した[80]。被験者は果物を拾うアクション性のあるゲームを3分間プレイ中、実際の心拍に同期した音や、心拍が徐々に加速・減速する偽心拍音をヘッドホンで提示され、その後ゲーム体験に関するアンケートに回答した。結果、+5 bpm/min で心拍音が加速するパターンは、モチベーションを維持し、ゲームに対する没入感を向上させる効果が確認された。ただし、この効果は心拍音が実際の心拍と関連付けられる場合に限られ、関連がないと知られると効果が得られないことが明らかになった。

Omata らは、スマートフォンの周囲に取り付けた視覚的および触覚的な擬似拍動提示装置を用いて、スマートフォンでの動画鑑賞体験を増幅させるデバイスを開発した[81]。デバイスは、スマートフォンの周囲に配置したプッシュ型ソレノイドを用いて擬似的な拍動を表現し、動画コンテンツに対する擬似心拍の提示タイミングは、事前にシーンに合わせて設定された。デバイスを用いてホラー、ジェットコースター、風景のビデオを鑑賞した結果、擬似拍動提示が主観的な感情評価に有意な効果をもたらすことはなかったが、鑑賞中に記録された心拍数は有意に上昇していることが確認された。

Wang らは、速い心拍を模した振動や音が実際の心拍数や不安感に与える影響を調査した[82]。評価実験は2種類行われた。1つ目の実験では、手首に振動器具を装着し、算数タスク中に120bpmの振動刺激の有無で心拍数と不安感を比較した結果、振動刺激の提示で心拍数と不安感が増加することが確認された。2つ目の実験では、Apple WatchとAirPodsを使用し、安静時の心拍数を30%増加させた振動、音、振動と音の併用、刺激なしの4条件で、安静中と算数タスク中に実施した。結果として、提示するモダリティが増えるごとに心拍数と不安感が段階的に増加し、特にタスク中の振動と音の併用条件で不安感が有意に高くなることが確認された。

Choi らは、ユーザーの心拍数に基づいて触覚刺激を提供する手首装着型のモバイル心拍数調整デバイス「ambienBeat」を開発した[83]。デバイスの触覚刺激の強さとリズムは、認知閾値を下回るように調整され、他の作業への干渉を最小限に抑えつつ心拍数を制御する。心拍数の任意な調節能力と作業への干渉性について、デバイスによる触覚刺激のほか、聴覚、視覚のフィードバックを用いて比較した。その結果、デバイスによる触覚刺激が最も効率よく心拍数を増減させる能力を有し、刺激によるタスクに対する散漫度合いが最も少ないことが確認された。これにより、触覚フィードバックが心拍数調節において低干渉かつ有効であることを示唆している。

第3章 脈拍変動を用いたアクション動画鑑賞時の昂り状態の分類

本章では、本研究におけるアクション動画鑑賞時の昂り状態の分類について述べる。

3.1 アクション動画鑑賞時の脈拍間隔の収集

3.1.1 脈拍間隔の収集目的

第2章で述べたように、心拍変動と自律神経、さらに自律神経と情動の間には密接な関連性があるとされている。具体的には、情動が自律神経系の活動に影響を与え、自律神経系が心拍や発汗といった身体的変化を制御するというメカニズムが考えられる。この関係に基づき、動画鑑賞中に記録された脈拍間隔を対象とした生体信号を分析し、その特徴量を用いることで、動画鑑賞中の情動を推定し評価することが可能であると考えられる。

本収集実験では、スマートフォンを使用したアクション動画鑑賞中の情動的な昂り状態（「昂り」あるいは「昂りでない」）と脈拍間隔を取得することを目的としている。その後、取得した脈拍間隔を基に、二値の昂り状態を区別するための特徴量を算出し、これらの特徴量に対応する二値の昂り状態をラベル付けしたデータセットを作成する。そして、機械学習アルゴリズムを適用してモデルを訓練し、このモデルにより動画鑑賞中の昂り状態を分類することを目指す。この方法により、スマートフォンを使用した動画鑑賞中の情動的昂り状態を推定するための基盤を構築できることが期待される。

3.1.2 収集実験の概要

本収集実験は、機械学習モデルによるアクション動画鑑賞時の昂り状態（「昂り」あるいは「昂りでない」）を分類するために必要なデータとして、スマートフォンを使用したアクション動画鑑賞中の情動的な昂り状態と脈拍間隔を取得することを目標として実施した。被験者は成人男女9名（21歳～24歳）で構成された。脈拍信号として脈拍間隔を測定するため、被験者にはスマートウォッチを手首に装着してもらい、冒頭から約30分程度の初めて観るアクション動画をスマートフォンで鑑賞した。実験環境として、アクション動画の鑑賞中に記録される脈拍間隔が動画以外の要因に影響されないよう、室内照明を消灯した暗室を使用し、暗室内では被験者は一人のみで動画鑑賞を実施した。図3.1は、本収集実験の全体図を示している。

本収集実験では、脈拍間隔の測定にPolar社製スマートウォッチ「M600」[84]を使用した。図3.2は、Polar社製M600の外観を示している。このスマートウォッチは、スポーツ向け機能とスマートウォッチの利便性を兼ね備えたデバイスであり、加速度センサ、環境光センサ、ジャイロスコープ、バイブルーションモータ、マイクが搭載されているさらに、

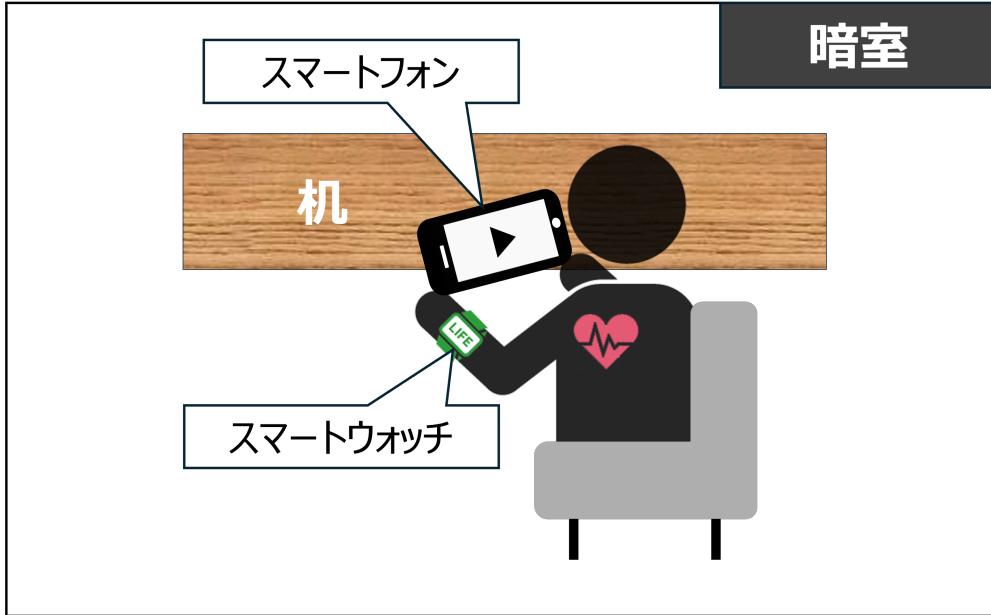


図 3.1: 収集実験時の全体図

Polar 社独自の 6 個の LED を使用した光学式脈拍センサを備えており、高精度な脈拍測定が可能である。また、アクション動画鑑賞時の脈拍間隔および情動的な昂り状態を記録するために、スマートウォッチ上で専用のアプリケーションを実装した。

図 3.3 は、実装したアプリケーションの起動時の画面を示している。画面上部には、実行中に記録される脈拍間隔が表示される。画面下部にはアプリケーションの実行開始ボタンが配置されており、このボタンを押すことで光学式脈拍センサを用いて脈拍間隔の取得および記録が開始される。本収集実験では、アクション動画を再生する前に実行開始ボタンを押す手順をとっている。そして、画面中央の橙色の領域はボタンとして機能し、被験者がアクション動画鑑賞中に自身の昂り状態を主観的に感じた際に押すことで、その時点の情動的な昂りを記録することができる。本研究で焦点を当てる「昂り」は、Russell らの感情の二極性を包括した円環モデル [28] (図 2.2) に基づき、縦軸で表される感情の強度を示す活性度が高い状態と定義する。「昂り」状態は活性度が高い状態を指し、興奮、緊張などの心理的覚醒状態を含む。この状態では、脈拍数の上昇、発汗、皮膚表面の毛の逆立ち（鳥肌）などの身体的变化が生じる。一方、「昂りでない」状態は活性度が低い状態を指し、リラックスや落ち着いた感情が含まれる。

また、実験で使用するアクション動画の題材に「ターミネーター 2」[85] を採用した。この題材を選定した理由は、国内外でアクション動画として評価が高く、冒頭約 30 分程度の間に逃走、銃撃戦、爆発などアクション性の高い映像が含まれており、被験者が鑑賞時に昂りを誘発されることが期待できるためである。アクション動画を再生するためのスマートフォンには、画面サイズが約 6.1 インチの「iPhone13 Pro」[86] を使用した。

3.1.3 アクション動画鑑賞に関する質問票

本収集実験では、疲労感に関する質問票と興奮度合いに関する質問票の 2 種類を取り入れている。まず、疲労感に関する質問票は、アクション動画鑑賞の前後で被験者の疲労感



図 3.2: Polar 社製 M600 ([84] より引用)

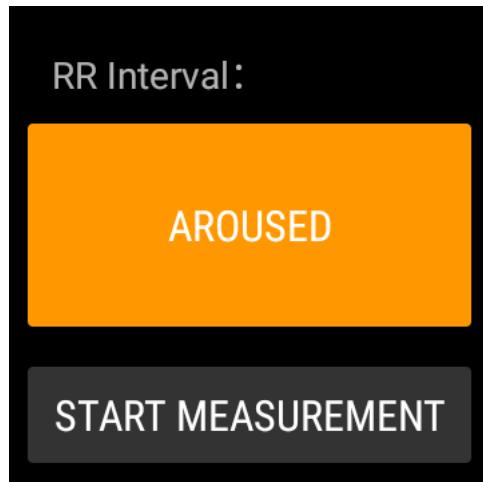


図 3.3: アプリケーションの起動時の画面

に変化があるかを確認することを目的としている。特に、全被験者において疲労感が増幅する傾向が見られた場合、取得した脈拍間隔に対して疲労感の影響を考慮する必要がある。表 3.1 は、本収集実験に取り入れた疲労感に関する質問票の質問項目一覧を示している。この質問票は、慢性的な倦怠感を評価するために開発された 10 項目の自己記入式質問票である Fatigue Assessment Scale (FAS) [87] を参考に設計したもので、短期的な身体的および精神的疲労の両方を評価する構成となっている。各項目は「まったく当てはまらない」から「とても当てはまる」までの 5 段階のリッカート尺度で回答し、総得点は 10 点から 50 点の範囲で評価される。得点が高いほど強い疲労を示しており、この総得点結果に基づいて被験者の疲労度を測定する。

そして、興奮度合いに関する質問票は、鑑賞したアクション動画が被験者に対して十分な興奮を与える動画として有用であったかを確認すること、およびアクション映画鑑賞で得られた脈拍間隔に情動的な興奮要素が反映されている可能性を確認することを目的としている。表 3.2 は、本収集実験に取り入れた興奮度合いに関する質問票の質問項目一覧を示している。この質問票は、興奮や満足感に焦点を当てた 10 項目の自己記入式質問票

で構成されている。各項目は「まったくそう思わない」から「非常にそう思う」までの7段階のリッカート尺度で回答し、総得点は10点から70点の範囲で評価される。得点が高いほど、鑑賞したアクション動画から強い興奮が得られたことを示しており、この総得点に基づいて被験者の興奮度合いを測定する。

表 3.1: 疲労感に関する質問票の質問項目一覧

番号	質問内容
1	倦怠感がある
2	とても疲れやすくなっている
3	日中活動できない
4	日中生活を送るために十分元気である
5	体力的に疲れ切っている
6	物事を始めるのが困難
7	明確に物事を考えるのが困難
8	何もやる気が起こらない
9	精神的に疲れ切っている
10	物事を行う時、とても集中できる

表 3.2: 興奮度合いに関する質問票の質問項目一覧

番号	質問内容
1	映画のアクションシーンは期待に応えましたか？
2	映画を観ている間、心拍数が上がったと感じましたか？
3	映画のストーリー展開に引き込まれましたか？
4	映画の映像効果は迫力がありましたか？
5	映画の音楽や効果音が興奮を助長しましたか？
6	映画のキャラクターに感情移入しましたか？
7	映画のテンポやリズムが良かったですか？
8	映画のアクションシーンが特に興奮させるものでしたか？
9	映画のストーリーやアクションシーンが緊張感を持続させましたか？
10	全体的に映画の冒頭 30 分に満足しましたか？

3.1.4 収集実験の手順

まず、実験開始前に被験者が提示されるアクション動画が初見であるかを確認し、確認後、被験者を実験室に案内して指定された座席に着席させる。着席後、現時点での疲労感を主観的に評価するため、質問票に回答してもらう。次に、被験者の手首にスマートウォッチを装着し、専用アプリケーションを起動する。アプリケーションの起動後、被験者には操作方法を説明するとともに、主観的な昂りの記録方法を説明する。ここで、心拍数の上昇や鳥肌といった身体的変化、または「ドキドキ」「ハラハラ」といった心理的興奮を感じた際に記録するよう案内する。その後、実験室の照明を消灯し暗室状態を作り出す。暗室内では、被験者に数分間安静を保つよう指示する。準備が整い次第、アクション

動画の再生を開始し、被験者は一人で動画を鑑賞する。鑑賞中、被験者はスマートウォッチのボタンを操作し、動画を通じて感じた主観的な昂りをリアルタイムで記録する。動画鑑賞が終了した後、被験者には再度質問票に回答してもらい、現時点での疲労感を評価する。また、アクション動画鑑賞による興奮度合いについても主観的に評価してもらう。図3.4は収集実験時の被験者の様子である。



図 3.4: 収集実験時の様子

3.2 疲労感および興奮度合いに関する質問票の結果

3.2.1 疲労感に関する質問票への回答結果

図3.5は、アクション動画鑑賞前後に実施した疲労感に関する質問票への全被験者の回答結果を示している。各被験者の鑑賞前後の疲労感が得点形式で示され、この変化量を基に疲労感への影響を確認した。結果として、被験者全体で鑑賞後の疲労感が増加する傾向は観察されなかった。また、変化に関しては統計的に有意な差がない (p 値 = 0.514 > 0.05) という結果が得られた。この結果から、アクション動画鑑賞が被験者の疲労感に大きな影響を与えるとは判断できない。したがって、アクション動画鑑賞が被験者の疲労感を増幅させた可能性は少ないと評価できる。

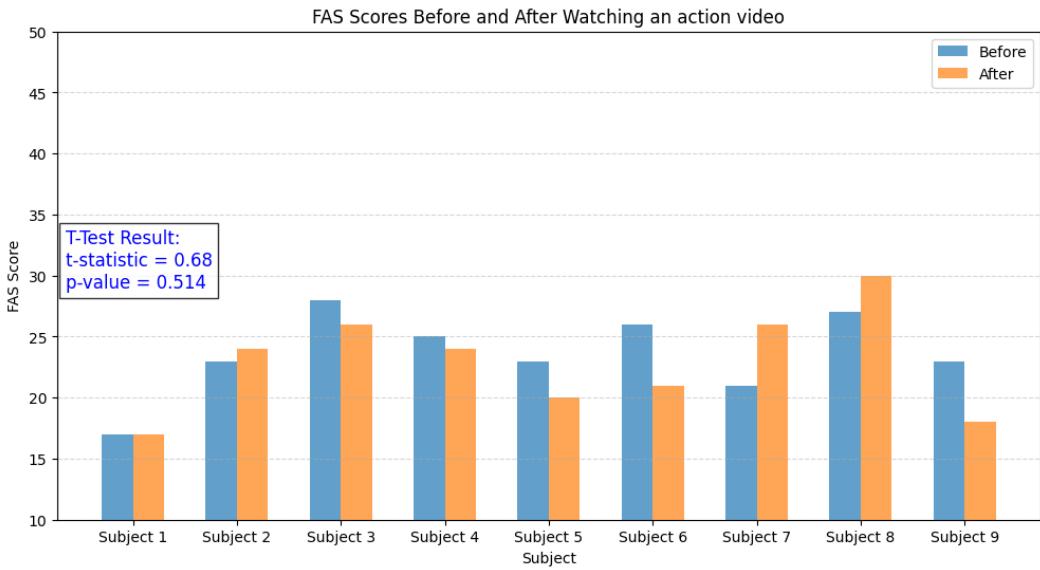


図 3.5: 鑑賞前後に実施した疲労感に関する質問票の回答結果

3.2.2 興奮度合いに関する質問票への回答結果

図 3.6 は、アクション動画鑑賞後に実施した興奮度合いに関する質問票への全被験者の回答結果を示している。各被験者の鑑賞後の興奮度合いが得点形式で示され、総得点を基に興奮度合いへの影響を確認した。結果として、全被験者のアクション動画に対する評価の平均点は 52.6 点、標準偏差は 6.7 点であることが確認された。この平均点は、各質問項目に対して「ややそう思う」と肯定的な評価がされている可能性を示している。また、標準偏差が 6.7 点であることから、得点分布に大きなばらつきは見られないことが考えられる。一方で、一名の被験者（図 3.6 中では”Subject 2”）の総得点が他の被験者と比較して低いことが確認された。この被験者からは、「ターミネーター同士のバトルはそこそこって感じでした」という意見が得られており、この意見が低得点と関連している可能性がある。しかし、全体としては、平均点が肯定的な評価の水準にあり、鑑賞後に一定の興奮が誘発されている傾向が考えられる。これらの結果に基づき、アクション動画鑑賞が被験者に一定の興奮を誘発させた可能性があると評価できる。また、アクション動画鑑賞時に記録された脈拍間隔において、興奮状態の影響が反映されていると考えられる。

3.3 脈拍間隔に対する特徴量の算出

3.3.1 記録した脈拍間隔および情動的な昂り

本収集実験では、各被験者のアクション動画鑑賞中の脈拍間隔および主観評価による情動的な昂りのタイムスタンプを収集した。図 3.7 は、被験者 A のアクション動画鑑賞中に記録された脈拍間隔に、情動的な昂り状態のタイムスタンプを重ね合わせたものを示している。青色のプロットは時系列における脈拍間隔を示し、赤い破線は被験者が情動的な昂りを記録したタイムスタンプを表している。この時点では、時系列における脈拍間隔の変動と情動的な昂りを記録したタイムスタンプの前後において変化を確認することはできない。また、図 3.8 は、被験者 B のアクション動画鑑賞中に記録された脈拍間隔に、情動的

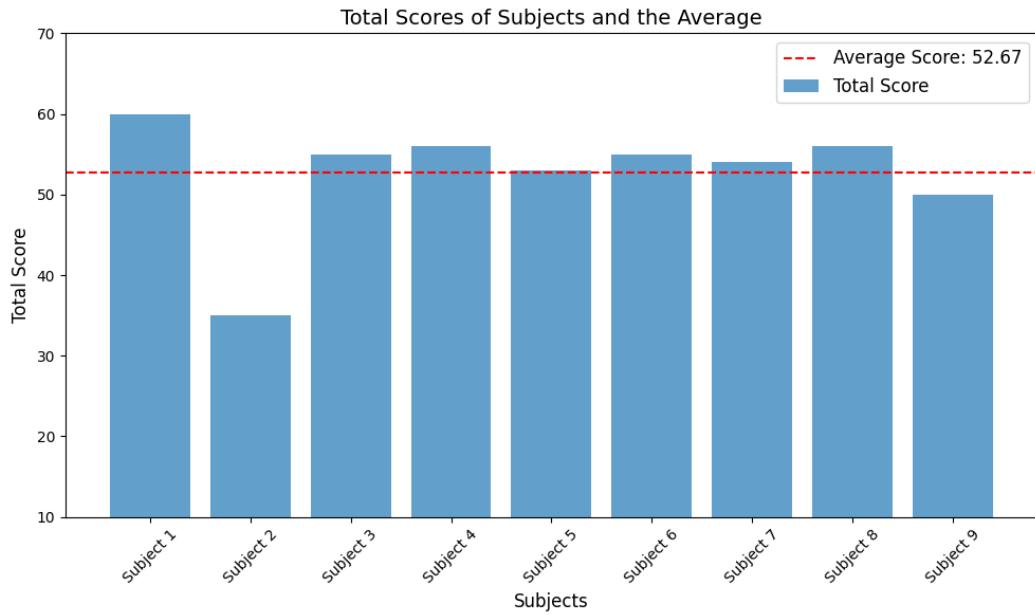


図 3.6: 鑑賞後に実施した興奮度合いに関する質問票の回答結果

な昂り状態のタイムスタンプを重ね合わせたものを示している。プロットを見る限り、両被験者における時系列の脈拍間隔の変動には明確な類似性は確認できない。しかし、情動的な昂りを記録したタイムスタンプの傾向として、鑑賞した動画の冒頭部分および終盤に記録が集中する傾向が見られる。実際に該当する部分は格闘、銃撃、爆発などのアクション性の高い映像が描写されている。

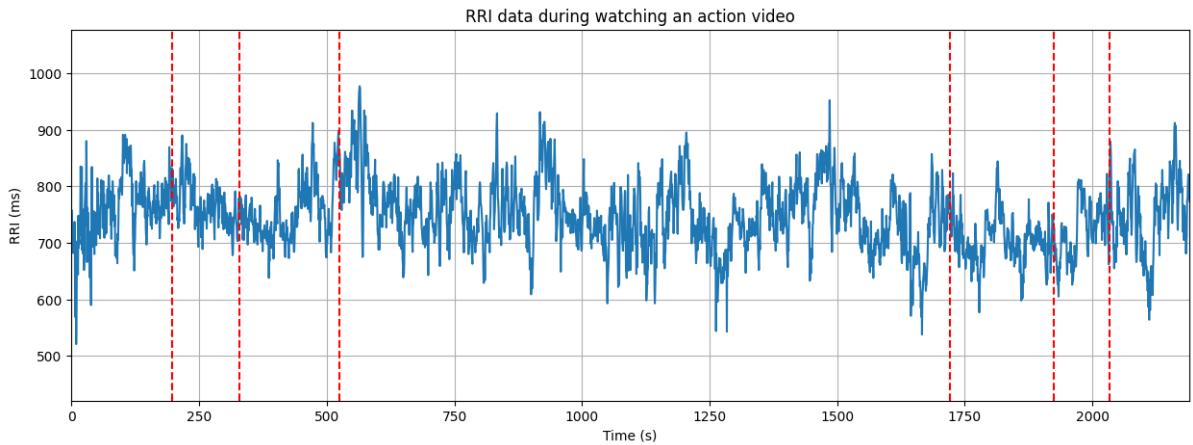


図 3.7: 被験者 A のアクション動画鑑賞中の脈拍間隔

本収集実験で得られた各被験者のアクション動画鑑賞中の脈拍信号を基に、脈拍間隔から特徴量を算出する。その後、情動的な昂りのタイムスタンプを用いて特徴量にラベル付けを行い、作成したデータセットを機械学習に適用することで、昂り状態を特徴量から分類できるようにする。

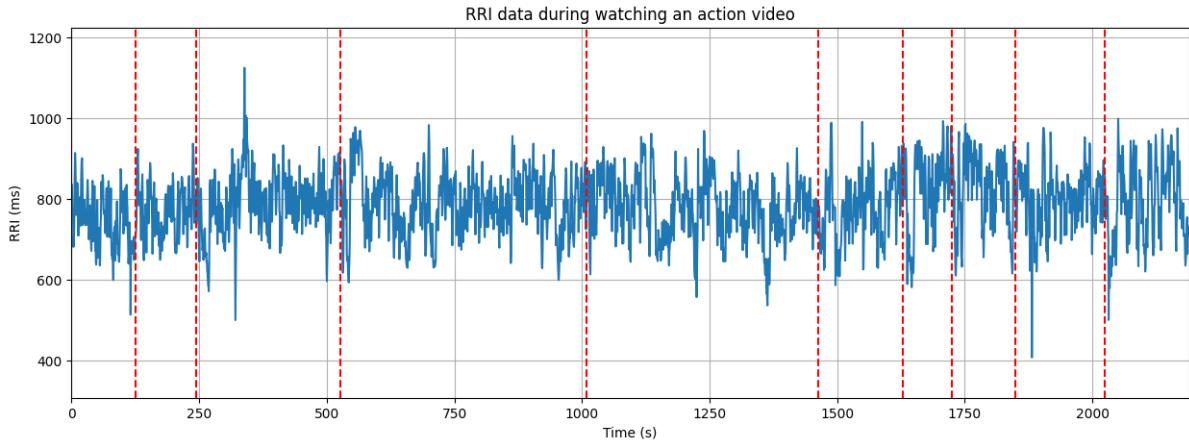


図 3.8: 被験者 B のアクション動画鑑賞中の脈拍間隔

3.3.2 脈拍変動の解析手法

動画鑑賞中の昂り状態を脈拍間隔から分類するためには、収集した時系列の脈拍間隔に見られる脈拍変動に基づき、二値の昂り状態を区別するための特徴量を算出する必要がある。この特徴量を算出する際には、脈拍変動の解析手法として主に「時間領域解析」と「周波数領域解析」の2つが用いられる。それぞれの手法は異なる観点から脈拍変動を評価するものであり、自律神経系の活動を多面的に解析することが可能である。

まず、時間領域解析（Time Domain Analysis）とは、時間に関連する指標を計算して心拍数や心拍間隔の変動を解析する手法である。この手法は複雑な計算を必要とせず、心拍リズムの変化を簡易に測定できる基本的なアプローチとして、心臓の自律神経活動を評価する際に広く活用されている。表3.3は、時間領域解析によって算出される主な指標を示している。一方、周波数領域解析（Frequency Domain Analysis）は、時間領域解析とは異なり、心拍間隔の変動を周波数成分に分解し、それぞれの成分の振幅をスペクトル密度として表現する手法である。スペクトル密度は、パワースペクトルやパワースペクトル密度（PSD: Power Spectral Density）とも呼ばれる。この解析により、自律神経系（交感神経および副交感神経）の活動を特定の周波数帯域に対応付けて評価することが可能となる。一般的な周波数領域解析手法としては、高速フーリエ変換や最大エントロピー法が用いられている[29]。表3.4は、周波数領域解析によって算出される主な指標を示している。

表 3.3: 時間領域解析で算出される主な指標 ([88] より引用)

指標	単位	定義
Mean	ms	心拍間隔全体の平均値
SDNN	ms	心拍間隔全体の標準偏差
RMSSD	ms	隣接する心拍間隔の差の二乗和の平均の平方根
SDSD	ms	隣接する心拍間隔の差の標準偏差
NN50		隣接する心拍間隔の差分が 50ms 以上の回数
pNN50	%	心拍間隔全体に対する隣接する心拍間隔の差分が 50ms 以上の割合

表 3.4: 周波数領域解析で算出される主な指標 ([88] より引用)

指標	単位	定義
LF	ms^2	0.04～0.15Hz のパワー
LF norm	nu	0.04Hz 以上のパワーに対する LF の割合
HF	ms^2	0.15～0.40Hz のパワー
HF norm	nu	0.04Hz 以上のパワーに対する HF の割合
LF/HF		HF に対する LF の割合
TotalPower	ms^2	0.40Hz までの総パワー

3.3.3 時系列の脈拍間隔に対する前処理

収集実験で記録された時系列の脈拍間隔から特徴量を算出するにあたり、生の脈拍間隔データには脈拍センサのノイズや外部要因（体動や接触不良）による異常値が含まれている可能性がある。このような異常値が特徴量の算出に使用されると、ノイズの影響によって算出結果が歪む可能性がある。そのため、具体的な特徴量の算出に先立ち、記録された生の脈拍間隔データに対して異常値を除去する前処理を行う。

本論文では、異常値を除去する前処理を「異常値検出」と「異常値の補完」の2つの段階で行う。異常値検出では、ノイズの影響によって正確に記録されていない可能性がある脈拍間隔値を特定する。次に、異常値の補完では、検出された異常値を新たに補完した脈拍間隔で置き換える処理を行う。異常値をそのまま削除する削除法ではなく、補完法を採用した理由として、脈拍変動に基づく特徴量の算出、特に周波数領域解析において削除法が推奨されていないことが示唆されているためである[89]。さらに、補完法は生データに含まれるサンプル数を保持できる点で優れているため、本研究では補完法を選択した。

まず、生の脈拍間隔データに対する異常値検出には、連続する脈拍間隔の差が 200ms 以上であるものを閾値として設定し、この閾値を超えた脈拍間隔を異常値として検出する方法を採用した。連続する脈拍間隔の差が 200ms 以上である場合、脈拍センサの誤検出である可能性が高いことに加え、心臓に何らかの疾患があることを示唆する可能性があるためである。本論文では、収集実験で記録された脈拍間隔データが連続的な正常洞調律で記録されていることを仮定している。そのため、連続する脈拍間隔の差が 200ms 以上である場合を異常値として検出する基準とした。

そして、検出された異常値に対する補完方法では、0次補完、線形補完、スプライン補完、非線形予測補完など様々なアルゴリズムが存在する[89]。本論文では、0次補完に相当する直近の3点の脈拍間隔から計算された平均値で補完する方法と、異常値が連続する場合には線形補完を用いて、直近の2点を結ぶ直線から指定する時間に対応する値で補完する方法を採用した。2種類の補完方法を採用した理由は、連続する異常な脈拍間隔に対して0次補完を利用すると、同じ平均値を使用することで脈拍間隔の時系列に平坦な形状が生じることが確認されたためである。一方、線形補完では傾斜状の形を作り出すことが確認されている。これらの特徴を考慮し、実際の脈拍間隔のトレンドを反映しつつ異常値を補完するために、2種類の補完方法を場合分けして使用するアプローチが相互に補完の問題を解決できると考えられる。

図 3.9 は、異常値検出および補完を行う前の生の脈拍間隔データを示している。一方、

図 3.10 は、異常値検出および補完を行った後の脈拍間隔データを重ね合わせて示している。異常値検出および補完を行う前の生の脈拍間隔データでは、周期的な変動が見られるものの、特に図中央付近で急激な値の変化が確認される。この変化は脈拍間隔の変動トレンドから大きく逸脱しており、脈拍センサのノイズや誤検出によるものであると考えられる。このようなノイズを処理しない場合、算出される特徴量が不正確になる可能性が高い。これに対して異常値の検出および補完を行った結果、急激な値の変化が解消され、正常な脈拍間隔データが得られることが確認された。これにより、脈拍変動の正確な解析に必要なデータ品質が確保される。

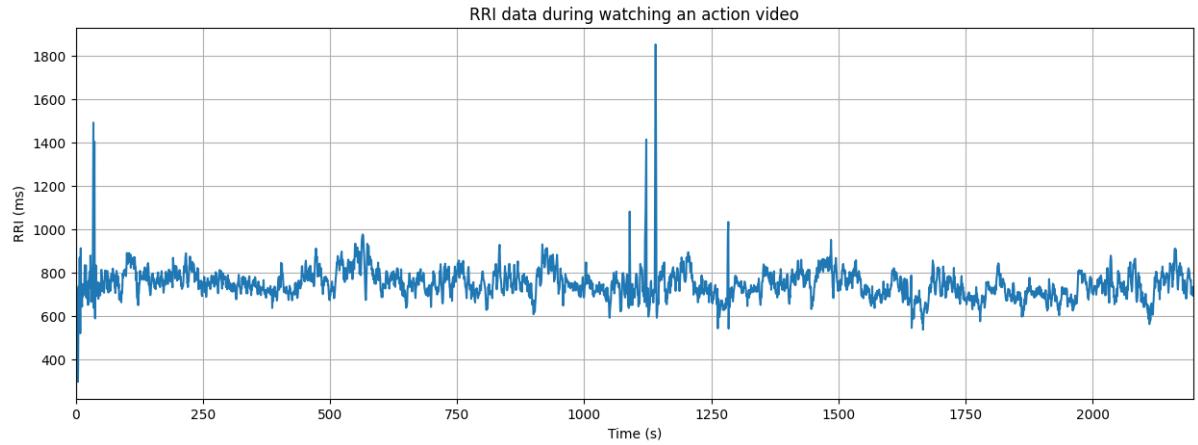


図 3.9: 異常値検出および補完する前の生の時系列脈拍間隔

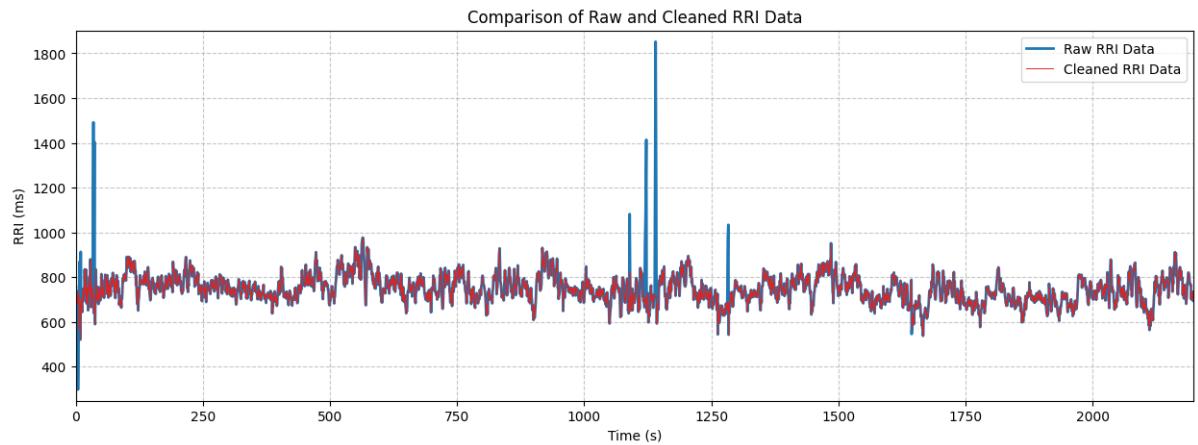


図 3.10: 異常値検出および補完前後の脈拍間隔データで重ね合わせ

3.3.4 特徴量の算出

脈拍センサのノイズや外部要因（体動や接触不良）による異常値を処理した時系列の脈拍間隔データに対して、時間領域解析および周波数領域解析を行い、それぞれの解析によって得られる特徴量を算出する。本論文では、解析を行う際の時系列の脈拍間隔に対する窓サイズを 240 秒、シフトサイズを 5 秒と設定した。この設定を採用した理由は、後の

機械学習モデルの分類性能評価において、この窓サイズおよびシフトサイズを用いることで他の設定よりも良好な分類性能が得られたためである。

周波数領域解析を行うには、等間隔の脈拍間隔データが必要となる。これは、通常の脈拍間隔データが心臓の拍動ごとにサンプル点を記録する形式であるため、時間軸上で等間隔になっておらず、周波数領域解析に適さないためである。そのため、本論文では、1秒間隔の脈拍間隔データに変換するため、リサンプリングを実施した。リサンプリングには線形補完を用い、1秒間隔のサンプル点を補完してデータを整えた。この処理により、周波数領域解析に適した等間隔のデータが得られるようにした。

また、周波数領域解析手法には、高速フーリエ変換（FFT: Fast Fourier Transform）を使用した。高速フーリエ変換とは、波形を正弦波の組み合わせとして仮定し、時系列データから周波数成分を効率的に求めるアルゴリズムである。通常、有限長のデータを無限長の周期信号として扱い、窓関数を適用することで信号端の不連続性による影響を軽減する[90]。周波数領域解析に高速フーリエ変換を利用した理由は、計算処理が高速であるという利点を持つためである。高速フーリエ変換には、データが短い場合にスペクトルの精度が低下する欠点があるものの、リアルタイムで周波数解析を行うような実装において、計算負荷を抑える必要があることを考慮し、本手法を利用した。

そして、異常値を処理した時系列の脈拍間隔データに対して時間領域解析を、1秒間隔にリサンプリングした脈拍間隔データに対して周波数領域解析を行い、二値の昂り状態を分類するための特徴量を算出した。表3.5は、本論文で時間領域解析および周波数領域解析に基づいて算出した特徴量を示している。時間領域解析では、窓サイズ内の脈拍間隔データにおける最大値、最小値、平均値などの標準的な指標を特徴量として算出した。一方、周波数領域解析では、高速フーリエ変換を用いて脈拍間隔の波形に含まれる周波数成分を求めた。その際、0.04~0.15Hzの低周波数帯（LF: Low Frequency）と0.15~0.40Hzの高周波数帯（HF: High Frequency）のパワースペクトルを算出し、それらの割合や総パワーを示す指標を含めて特徴量として加えた。

表3.5: 本論文で算出した特徴量

領域解析	指標	定義
時間領域解析	Max	心拍間隔全体の最大値
	Min	心拍間隔全体の最小値
	Mean	心拍間隔全体の平均値
	SDNN	心拍間隔全体の標準偏差
	RMSSD	隣接する心拍間隔の差の二乗和の平均の平方根
	pNN20	心拍間隔全体に対する隣接する心拍間隔の差分が20ms以上の割合
	pNN50	心拍間隔全体に対する隣接する心拍間隔の差分が50ms以上の割合
周波数領域解析	LF	0.04~0.15Hzのパワー
	HF	0.15~0.40Hzのパワー
	LF/HF	LFとHFの比率
	TotalPower	0.40Hzまでの総パワー

特徴量の算出では、時系列の脈拍間隔データに対して解析を行う際の窓サイズを240秒、シフトサイズを5秒と設定し、時間領域および周波数領域解析によって合計11個の特徴

量を算出した。時系列の脈拍間隔データを240秒の窓サイズで5秒ずつシフトすることで、各被験者ごとに特徴量を算出した時点の経過時間と、それに対応する11個の特徴量が組み合わさった時系列の特徴量データが作成される。この特徴量データに二値の昂り状態のラベル付けを行うことで、特徴量と情動状態の関連を学習する機械学習モデルの構築が可能となる。

3.4 ラベル付けとデータセットの作成

3.4.1 ラベル付けの目的

本研究では、アクション動画鑑賞時の二値の昂り状態を機械学習を用いて分類する。機械学習には「教師あり学習」と「教師なし学習」の2種類が存在するが、本研究では教師あり学習を利用する。教師あり学習とは、事前に用意した各入力データに対応する正解ラベルが付与された訓練データを用いてモデルを訓練し、新たなデータに対して分類（カテゴリ分け）や回帰（連續値の予測）を行う手法である。したがって、教師あり学習では、正解ラベルが付与された訓練データの準備が不可欠であり、昂り状態を分類するモデルを生成する上で重要な役割を果たす。ラベル付けでは、二値の昂り状態を分類する教師あり学習のための訓練データを作成することを目的とする。

3.4.2 ラベル付けの基準

本研究における二値の昂り状態のラベル付けには、収集実験中に被験者が鑑賞時に記録した主観評価による情動的な昂りのタイムスタンプを活用する。このタイムスタンプは被験者自身によって記録されたものであり、タイムスタンプが記録された時点およびその前後の脈拍間隔には、アクション動画によって引き起こされた情動的な昂りが反映されていると考えられる。したがって、特徴量に対するラベル付けは、設定したタイムスタンプの前後の区間に該当する特徴量を「昂り」とし、それ以外の特徴量をすべて「昂りでない」とする。

複数の研究では、動画鑑賞中に引き起こされた情動の時点を中心に、その前後を対応する情動のラベル付け区間として設定しており、前後数十秒から数分とされている[48][47]。本研究では、「昂り」とラベル付けするタイムスタンプの前後の区間を「前10秒」、「後30秒」と設定した。前10秒と設定した理由は、アクション動画鑑賞中に被験者が昂りを引き起こされ、それを知覚するまでの過程を考慮したためである。また、後30秒と設定した理由は、情動的な昂りの影響がアクション動画からの刺激と共に一定の持続時間を伴うことを考慮したためである。さらに、感情誘導後に脈拍変動における副交感神経指標(ANI: Analgesia Nociception Index)が2分以内に回復することを示した研究[91]や、皮膚電気活動における皮膚伝導反応が刺激提示後に即座に反応し、十数秒以内に収束する事象を確認した研究[92]を踏まえ、生体信号は情動喚起時に即座に反応し、短時間で回復することを考慮したためである。

図3.11は、本研究で行う二値の昂り状態のラベル付け方法を示している。プロット図中の赤破線は、被験者が鑑賞時に記録した主観評価による情動的な昂りのタイムスタンプを示しており、その前後の薄い赤色の領域は前10秒、後30秒の区間を表している。また、

複数の紺色枠は、窓サイズ240秒、シフトサイズ5秒で設定したスライディングウィンドウ手法による特徴量の算出範囲を可視化している。時系列の脈拍間隔データから算出された特徴量データは、特徴量を算出した時点の経過時間（例：0～240秒の脈拍間隔データから算出した場合、経過時間は“240秒”として記録）と、それに対応する11個の特徴量が組み合わさった時系列のデータである。その中で、経過時間が主観評価による情動的な昂り状態のタイムスタンプの前後区間内の時間に該当する場合、その特徴量に対するラベルを「昂り」とした。反対に該当しない特徴量にはすべて「昂りでない」とした。

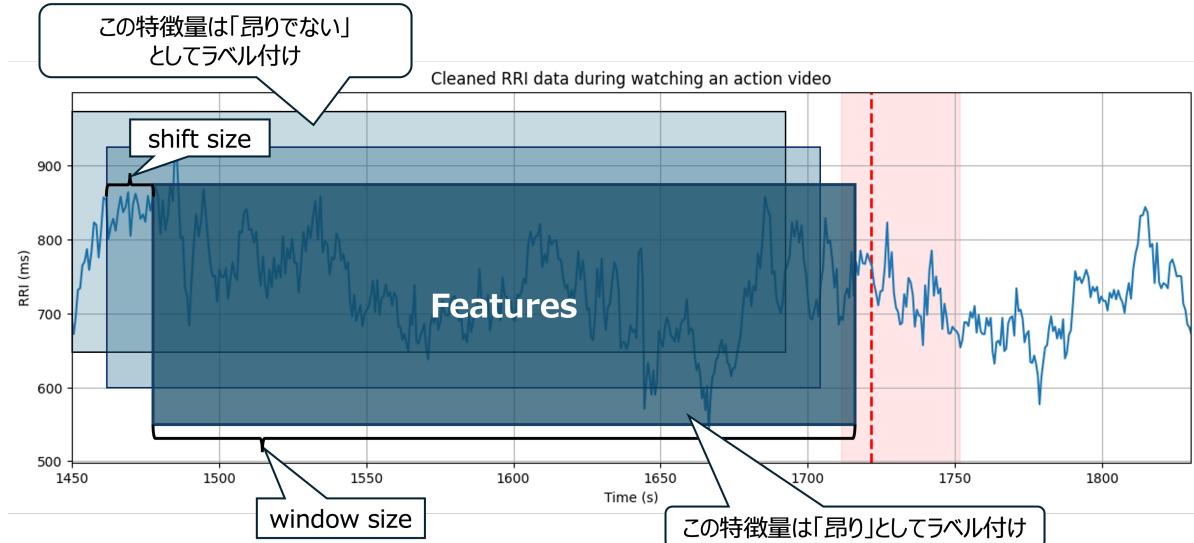


図 3.11: 算出した特徴量に対するラベル付け方法

3.4.3 データセットの作成

算出した時系列の特徴量データに対するラベル付け方法を設定し、それに基づいて全ての被験者から算出した特徴量データにラベル付けを行った。表3.6は、ラベル付けされた全ての特徴量をまとめて作成したデータセット内のラベルの分布を示している。機械学習用に作成したデータセットでは、時間領域および周波数領域から算出した11個の特徴量を1組として、合計3175組のラベル付けされた特徴量データが記録されている。その内訳は、約76%（2420組）が「昂りでない」とラベル付けされ、約24%（755組）が「昂り」とラベル付けされている。

表 3.6: 作成したデータセット内のラベルの分布

	昂り	昂りでない	合計
ラベル数	755	2420	3175
比率	23.8%	76.2%	100%

比率を見ると、「昂りでない」とラベル付けされた特徴量データが7割以上を占めており、このデータセットをそのまま機械学習に使用すると、クラス不均衡の問題が発生する可能性がある。クラス不均衡の問題とは、訓練された機械学習モデルが「昂りでない」（多数

派クラス) を過剰に予測し、「昂り」(少数派クラス) を正しく分類できなくなる可能性を示唆するものである。この問題を解決する方法の一つとして、少数派クラスである「昂り」のデータを増やすオーバーサンプリング手法が挙げられる。しかし、本研究では、作成したデータセットをそのまま使用し、モデルの分類性能を精度 (accuracy) だけでなく、少数派クラスである「昂り」を正しく分類できているかを示す再現率 (recall) などを用いて評価する。

3.5 機械学習アルゴリズムの選定と機械学習モデルの作成

3.5.1 機械学習アルゴリズムの選定

本研究では、アクション動画鑑賞時の二値の昂り状態でラベル付けされた特微量データを用いて、教師あり学習による機械学習を実施し、二値の分類タスクを行う分類モデルを作成する。分類モデルの作成にあたり、任意の機械学習アルゴリズムを選択し、どのアルゴリズムが二値の昂り状態をより高い精度で分類できるかを調査する必要がある。本研究では、複数の機械学習アルゴリズムを用い、学習させた機械学習モデルの分類精度を比較した。比較検証には、人工知能や機械学習の分野で広く活用されているプログラミング言語「Python」[93]を使用し、Python で利用可能なオープンソースの機械学習ライブラリ「scikit-learn」[94]を活用した。

分類精度の比較対象とした機械学習アルゴリズムは、ロジスティック回帰 (Logistic Regression)，サポートベクターマシン (SVM)，決定木 (Decision Tree)，ランダムフォレスト (Random Forest)，k 近傍法 (k-Nearest Neighbors)，ナイーブベイズ (Naive Bayes)，勾配ブースティング (Gradient Boosting) の合計 7 種類である。各アルゴリズムを用いて学習させた機械学習モデルの分類精度を評価するために、層化シャッフル k 分割交差検証を利用した。層化シャッフル k 分割交差検証とは、シャッフルしてランダム化したデータセットを k 個の等しいサイズの部分集合 (フォールド) に分割する際、各フォールド内の目的変数 (ラベル) のクラス分布がデータセット全体のクラス分布と一致するように調整する交差検証手法である [95]。この手法の主な利点は、クラス不均衡への対応である。クラスごとのデータ数に偏りがある場合でも、層化によって各フォールド内のクラス分布をデータ全体の分布に近似させることができるために、特定のクラスが欠落したり過剰に含まれたりするリスクを軽減し、評価の一貫性を保つことができる。一方、通常の k 分割交差検証では、データセットを単純に k 個のフォールドに分割するため、各フォールドのクラス分布が全体の分布と一致しない可能性がある。特にクラスの不均衡がある場合、あるフォールドに特定のクラスのデータがほとんど含まれない、または全く含まれないことが起こり得る。この結果、交差検証による分類精度の評価が不正確になる可能性がある。

表 3.7 は、層化シャッフル 10 分割交差検証を適用し、機械学習アルゴリズムを用いて学習した各モデルによる二値の昂り状態の分類精度を示している。また、図 3.12 は、各機械学習モデルの分類精度を棒グラフで可視化し、比較を容易にしたものである。結果として、ランダムフォレストに基づくアルゴリズムによる機械学習モデルが最も高い分類精度を示した。ランダムフォレストは、複数の決定木で予測されたクラスの多数決を基に分類結果を出力するアルゴリズムであり、過学習の影響が少ないという利点を持つ。以上の結

果を踏まえ、本研究では、アクション動画鑑賞時の二値の昂り状態を分類する機械学習モデルにランダムフォレストに基づくアルゴリズムを選定する。

表 3.7: 各機械学習モデルの平均分類精度の一覧

モデル名	平均精度	標準偏差
Logistic Regression	0.762	0.0
SVM	0.763	0.001
Decision Tree	0.905	0.015
Random Forest	0.936	0.013
K-Nearest Neighbors	0.910	0.012
Naive Bayes	0.719	0.017
Gradient Boosting	0.841	0.011

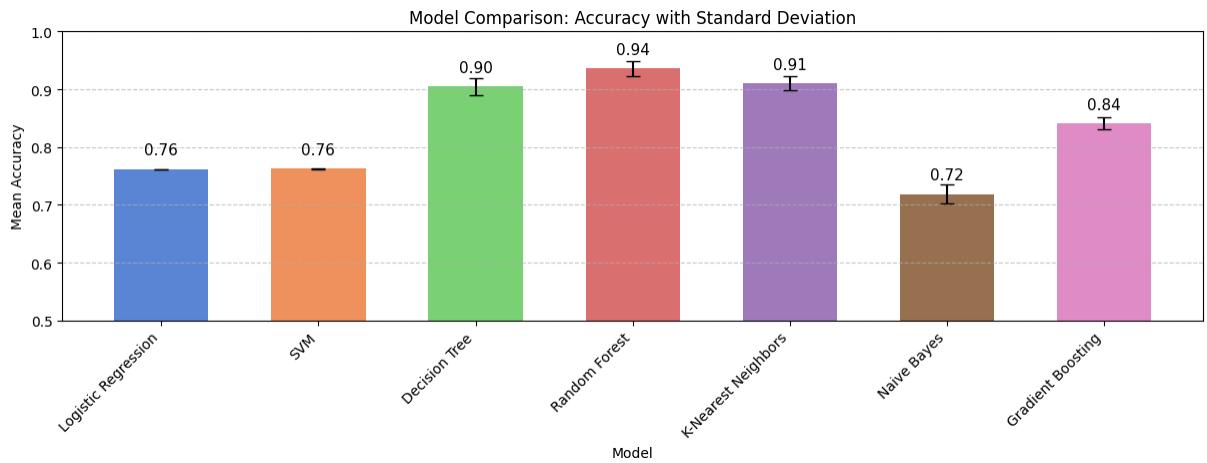


図 3.12: 機械学習モデルの分類精度の比較

3.5.2 選定した機械学習アルゴリズムによる分類性能

二値の昂り状態を分類する機械学習モデルとしてランダムフォレストに基づくアルゴリズムを選定したが、前項では層化シャッフル k 分割交差検証による平均の分類精度のみが評価されていた。したがって、より詳細な分類性能について評価し、特に「昂り」を正しく分類する能力を確認する必要がある。

表 3.8 は、層化シャッフル 10 分割交差検証によって得られたランダムフォレストに基づく機械学習モデルの詳細な分類性能を示す分類レポートの平均値を示している。また、図 3.13 は、同じ交差検証によって得られた分類結果をまとめた混同行列の平均を示している。分類レポートの平均を見ると、クラス 1（「昂り」）を正しく分類する指標である再現率 (recall) が 0.824 であることが確認できる。つまり、「昂り」とラベル付けされた特徴量に対して、機械学習モデルは 82.4% の精度で「昂り」と正しく分類する性能を持つことを示している。また、混同行列の平均では、誤分類された数も確認されるが、正しく分類された数がそれを上回っていることが確認され、モデルの性能の有効性を裏付けている。

表 3.8: 層化シャッフル 10 分割交差検証による分類レポートの平均

Class	Precision	Recall	F1-Score	Support
0	0.947	0.970	0.958	484
1	0.898	0.824	0.859	151
Accuracy	0.936	0.936	0.936	0.936
Macro Avg	0.922	0.897	0.908	635
Weighted Avg	0.935	0.936	0.935	635

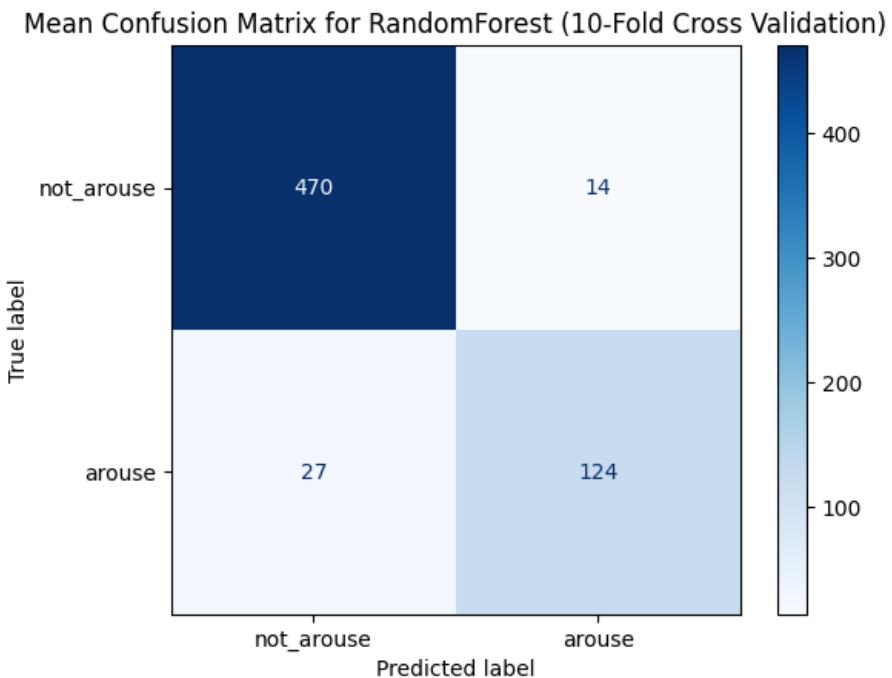


図 3.13: 層化シャッフル 10 分割交差検証による混同行列の平均

ランダムフォレストに基づくアルゴリズムによって学習した二値の昂り状態を分類する機械学習モデルは、分類精度の平均が他のモデルより高いことに加え、「昂り」とラベル付けされた特徴量を正しく分類する性能が確認された。したがって、アクション動画鑑賞時の二値の昂り状態を特徴量から分類するために、このランダムフォレストに基づく機械学習モデルを使用し、最終的に分類モデルを作成する。

3.5.3 機械学習モデルの作成

本研究では、ランダムフォレストに基づくアルゴリズムによって訓練された機械学習モデルをスマートウォッチ上で動作する専用アプリケーションに組み込む必要がある。そのため、機械学習モデルの作成には、オープンソースの機械学習ソフトウェアである WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [96] を利用する。WEKA は Java 言語で開発されたデータマイニングおよび機械学習ソフトウェアであり、分類、回帰、クラスタリング、関連ルールの発見、データの可視化など、多様なデータ分析に対応している。さらに、WEKA を利用することで、作成した機械学習モデルをファイル形式 (.model) とし

て保存できる。この形式は、WEKA のライブラリ（weka.jar）を用いることで、Java アプリケーションや Android アプリケーションに容易に組み込むことが可能である。

最後に、昂り状態を示すラベル付けがされた特徴量データを使用し、WEKA 上でランダムフォレストに基づくアルゴリズムによって訓練した二値の昂り状態を分類する機械学習モデルを作成した。このモデルをスマートウォッチ上の専用アプリケーションに組み込み、スマートウォッチで取得した脈拍間隔データから算出した特徴量を機械学習モデルに入力することで、鑑賞者の昂り状態を分類し、推定できる仕組みが構築される。

第4章 昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリー

本章では、昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリーについて述べる。

4.1 システムの概要

4.1.1 システムの構成

本研究では、スマートフォンを用いた動画鑑賞時において、ユーザの脈拍変動を基に「昂り」を判定し、その結果に連動して擬似心拍刺激を提示することで、動画鑑賞時の情動体験を強化する手法として、昂りに連動した動画鑑賞体験拡張スマートフォンアクセサリーを提案する。図4.1は、提案システムの全体構成を示す概要図を示している。

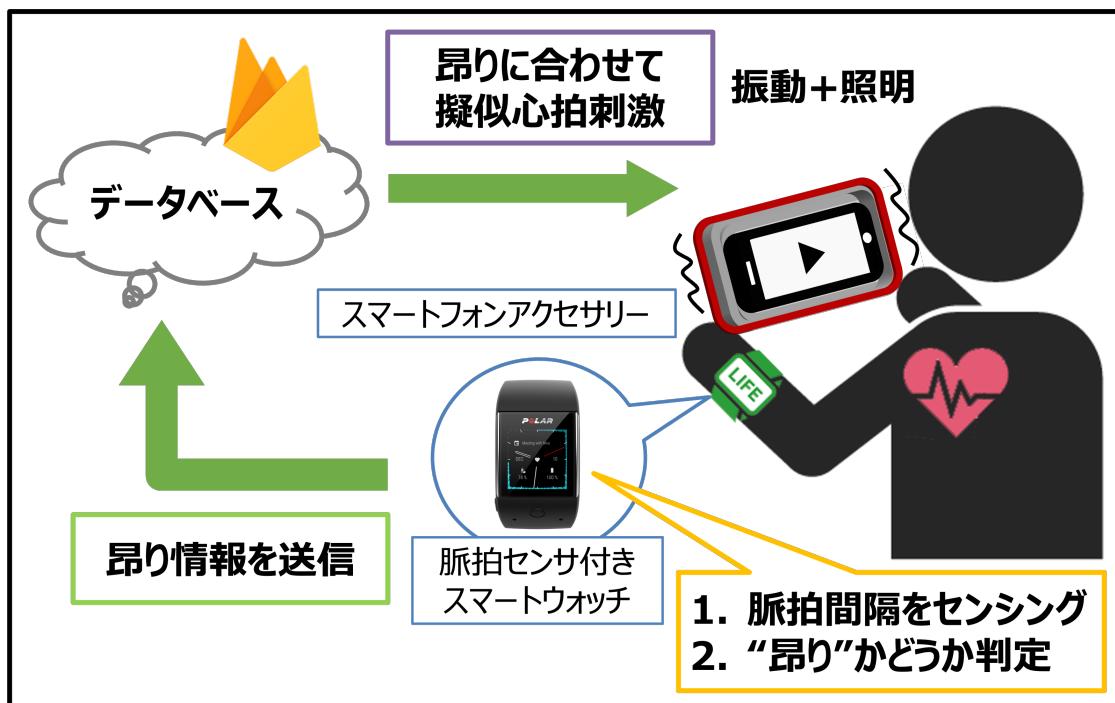


図 4.1: 提案システムの概要図

本システムは、大別して2つの構成に分かれている。1つ目は、スマートフォンを用いた動画鑑賞中のユーザの昂り状態を判定する部分であり、2つ目は、その判定結果に基づいて擬似心拍刺激を動画鑑賞中のユーザに提示する部分である。ユーザの昂り状態を判定する部分では、脈拍センサ付きのスマートウォッチで取得した脈拍データを活用し、機械学習モデルを用いてユーザの昂り状態を判定する。これにより、リアルタイムで動画鑑賞

中のユーザの情動的な昂り状態を把握することが可能である。昂り状態の判定結果に基づいて擬似心拍刺激を提示する部分では、判定された昂りに連動して、振動および照明による実際のユーザの脈拍数に基づいた擬似的な心拍刺激を、製作したスマートフォンアクセサリーを通じて提示する。

4.1.2 システムの動作の流れ

本研究のシステムの動作の流れを図 4.2 に示す。本システムを実現するために、脈拍センサ付きのスマートウォッチ、クラウドデータベース、マイクロコントローラを組み合わせて使用している。各領域のプログラムは、相互に通信を行いながら、リアルタイムでのデータ処理とユーザへのフィードバックを実現している。本研究のシステムにおける各領域で使用されるデバイスやソフトウェア、およびその処理内容について以下に説明する。

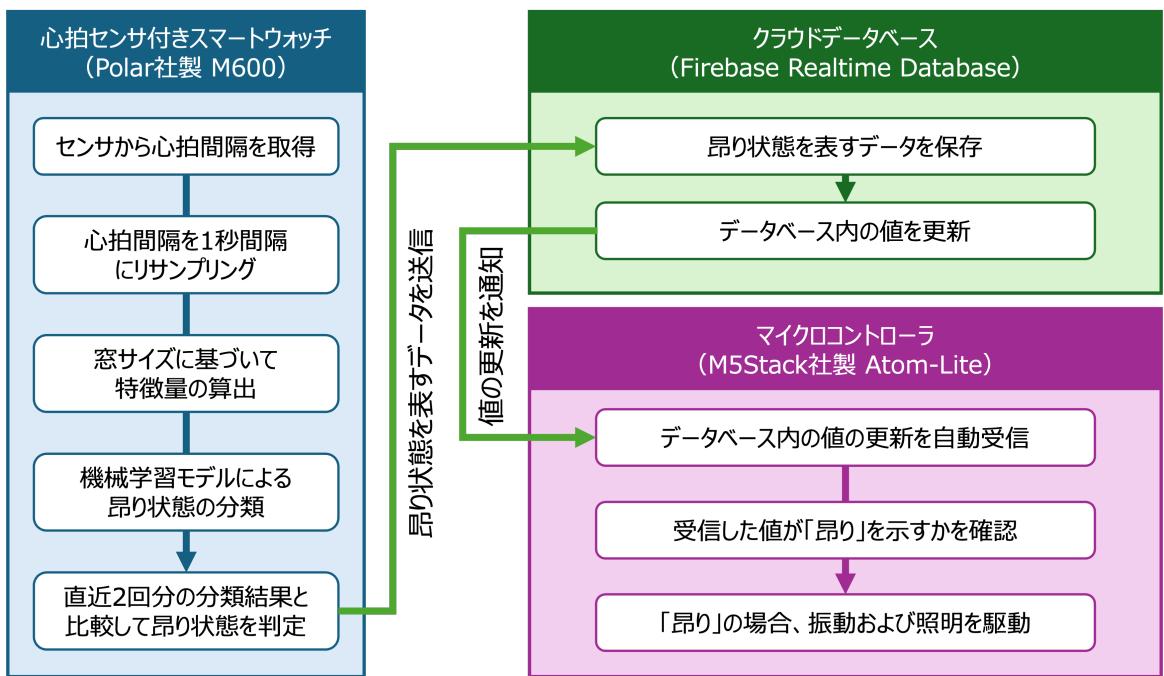


図 4.2: 本研究のシステムの動作の流れ

まず、脈拍センサ付きのスマートウォッチには Polar 社製「M600」[84] を使用する。処理内容は、主に 3 節で述べた「脈拍間隔に対する特徴量の算出」の過程をリアルタイムで実行し、「機械学習モデルの作成」で作成した二値の昂り状態（「昂り」または「昂りでない」）に分類する機械学習モデルを使用する。具体的には、スマートウォッチ上で行われるリアルタイムの処理は以下のように進行する。動画鑑賞中に取得される脈拍間隔データは、異常値についての処理の後、逐次専用のデータリストに格納される。この取得処理と並行して、脈拍間隔データを 1 秒間隔にリサンプリングし、別のデータリストに格納される。次に、リサンプリングされたデータリストが設定した 240 秒の窓サイズに達すると、特徴量の算出処理が開始される。この時点で、周波数領域の特徴量はリサンプリングされたデータリストから算出され、時間領域の特徴量は元の脈拍間隔データリストから 240 秒分のデータを抽出して算出される。算出された特徴量は、二値の昂り状態を分類する機械学習モデルに入力される。機械学習モデルはこれらの特徴量を基に昂り状態を分類し、分

類結果は直近2回分の分類結果と比較され、多数決に基づいて最終的な昂り状態が判定される。そして、判定した昂り状態を表したデータはクラウドデータベースに送信される。その後、設定した5秒のシフトサイズでデータリストをスライドさせて次の処理を開始する。

次に、クラウドデータベースとしてGoogle社が提供する「Firebase Realtime Database」[97]を使用する。Firebase Realtime Databaseは、クラウドホスト型のNoSQLデータベースであり、データをJSON形式で保存し、接続されたすべてのクライアント間でリアルタイムに同期する機能を備えている。このデータベースは、スマートウォッチで出力された昂り状態についてのデータを保存し、振動や照明によるフィードバックを駆動させるマイクロコントローラに更新されたデータを渡すようにして、データの橋渡し役を担う。

最後に、マイクロコントローラとして、M5Stack社が開発した超小型IoTデバイス開発モジュール「Atom-Lite」[98]を使用する。図4.3はAtom-Liteの外観を示している。Atom-Liteは、 $24 \times 24\text{mm}$ という非常に小型のサイズで設計され、多数のGPIOを備えており、ホームデバイスや玩具の製作など、組み込み用途への活用に適している。メイン制御には、Wi-Fi接続機能を統合したESP32-PICOチップを採用し、4MBのフラッシュメモリを内蔵している。本研究では、Atom-Liteをスマートフォンアクセサリーに組み込む形で使用する。このマイクロコントローラは、振動および照明を用いた擬似心拍刺激を駆動させる役割を担う。処理内容としては、Wi-Fiを介してクラウドデータベースに接続し、データベースから受信した昂り状態を表すデータを検証する。検証の結果、データが「昂り」を表すとされる場合、併せて送信されるユーザの脈拍数を基に、振動および照明が同期した擬似心拍刺激を提示させる。



図4.3: M5Stack社製Atom-Liteの外観および比較 ([98]より引用)

4.2 昂り判定に連動した擬似心拍刺激

4.2.1 擬似心拍刺激を提示する目的

本研究では、アクション動画鑑賞中の脈拍変動から算出した特徴量を基に、機械学習モデルを用いて判定される昂り状態に連動して、ユーザの脈拍数に基づいた「擬似心拍刺激」を提示する。昂りとする判定時に擬似心拍刺激を提示する理由は、動画鑑賞中のユーザの昂りを効果的に高める必要があるためである。

まず、情動がどのように生み出されるかについての理論を振り返る。情動に関する理論では、少なからず身体的変化が情動の形成に関与するとされている[69][70][71]。特に、抹

消起源説では、外部刺激により心拍数の上昇などの身体的変化を認知することで情動が生じると説明されている。この理論に基づいた関連研究では、視覚刺激とともに高い擬似心拍音を提示することで、対象の魅力が向上することが確認されている [74][75][77]。これにより、擬似心拍刺激が情動を意図的に操作できる可能性が示唆されている。

これらを踏まえ、本研究では、情動と生理的反応が互いに結びついていることに着目し、擬似心拍刺激が情動体験を促進する可能性があると仮定した。この仮定に基づき、ユーザの実際の脈拍数に基づいて意図的に高い擬似心拍刺激を提示することで、昂りを認識させ、さらに昂りを高めることができると仮説として検証する。

また、擬似心拍刺激をフィードバックする手段として、本研究では、動画鑑賞における振動と照明によるフィードバックの効果に着目した。振動については、ジャケットやグローブ型デバイスを用いて映像に合わせた振動を提示することで、緊張感や興奮を高める効果が示唆されている [50][52]。照明については、昂りを促す動画に赤色の光を提示することで、生理的な覚醒が上昇し、適切な照明が動画体験を向上させることが示唆されている [63]。これらの知見から、擬似心拍刺激に振動と照明を用いることで、動画鑑賞中の「昂り」をさらに高める効果が期待できる。

4.2.2 振動を提示する機器の検討

本研究では、擬似心拍刺激を提示するために振動を利用する。このため、振動機器を選定した。選定基準は、擬似心拍を利用したフィードバックにおいて、単調な音よりも心臓の拍動を模倣した音が効果的であることを示唆した研究 [80] を参考に、心臓の拍動を模倣できる多様な振動を提示可能であることに加え、動画鑑賞中の振動による雑音が発生しない静音性を備え、振動が十分に知覚できる強度を持つ振動機器を選定基準とした。

振動機器の選定にあたり、複数の振動機器を試用した。はじめに試用したのは、M5Stack 社製の振動ユニット「Unit Vibrator」[99] である。図 4.4 は、振動ユニット「Unit Vibrator」の外観を示している。この振動ユニットには、直流電圧で動作する小型ギヤードモータである N20 モータが搭載されており、モータの回転によって露出した偏心錘が回転し、振動を提示する仕組みである。Atom-Lite とは専用のケーブルを介して容易に接続でき、PWM 信号を使用して振動の強弱を調整することが可能である。しかし、偏心錘の回転により全体が振動する設計のため、強力な振動を起こすと、振動に伴うモータの動作音が大きいことが確認され、本研究の振動提示としては不十分であることが確認された。したがって、本研究ではこの振動モータユニットを採用しない。



図 4.4: M5Stack 社製 Unit Vibrator ([99] より引用)

次に試用したのは、コイン型振動モータである。図4.5は、本研究が試用したコイン型振動モータを示している。コイン型振動モータは直径10mmの小型モータであり、適切な動作電圧を供給することで円盤部分が振動する仕組みを持つ。このモータは局所的な振動提示に適している点が特徴である。振動モータを制御する機器として、使用可能なPIN数の関係上、Arduino社製の「Arduino UNO R4 Minima」[100]を使用した。ただし、この構成では振動の開始と停止のみが制御可能で、連続的な振動の強度を操作することはできなかった。そのため、振動の強さを自由に制御するために、SparkFun Electronics社製のモータドライバ「DRV2605L」[101]を使用し、振動モータで擬似心拍振動を表現可能にした。図4.6は、SparkFun Electronics社製のモータドライバ「DRV2605L」の外観を示している。そして、図4.7は、これらを活用したコイン型振動モータの全体像を示している。しかしながら、コイン型振動モータの小型性ゆえに振動が非常に弱いことが確認され、触覚として擬似心拍振動を知覚するには不十分であった。また、Arduinoを含む制御機器や配線、モータドライバが広範囲のスペースを必要とし、スマートフォンアクセサリーに組み込むには実用性が低いと判断された。以上の理由から、本研究ではコイン型振動モータを採用しないこととした。



図4.5: コイン型振動モータ

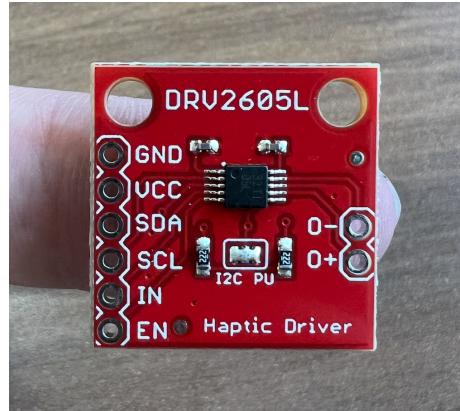


図4.6: SparkFun 社製 DRV2605L

最後に試用したのは、フォスター電機社製の振動アクチュエータ「ACOUSTICHAFTIC® 639897」[102]である。この振動アクチュエータは、重さ28g、直径25mm、高さ27mmのサイズを持ち、以前に使用した振動機器と比較して重く、大型である。図4.8は、フォスター電機社製の振動アクチュエータの外観を示している。本研究では、この振動アクチュエータを駆動させるために、BitTradeOne社が提供する触感デバイス開発モジュール「hapstak デジタル版」[103]を利用した。「hapstak デジタル版」は、振動による触感の再現を簡便に扱えるモジュールであり、付属する駆動回路基板を使用することで、M5Stack社製のAtom-Liteなどのマイコンからの命令で直接音声データを再生し、振動アクチュエータに振動を発生させることが可能である。さらに、振動アクチュエータにはマイコン側から駆動回路を通じて電源供給が行われるため、マイコン側への電源が確保できれば、複雑な配線を必要としない利便性を持つ。図4.9は、振動アクチュエータと駆動回路基板を接続した例を示している。この回路基板に、振動アクチュエータを制御するマイコンとマイコンへの電源を接続することで、振動アクチュエータの駆動が可能となる。

振動アクチュエータの駆動を体験するために、開発モジュールに付属する木製の組み立

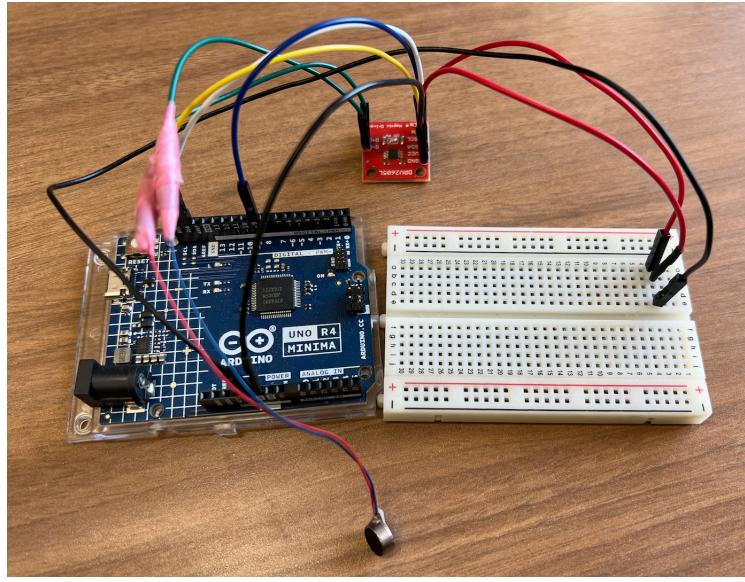


図 4.7: モータドライバを活用したコイン型振動モータの全体像



図 4.8: フォスター電機社製 ACOUSTICHAPTIC® 639897 ([102] より引用)

てボードを使用し、簡易的な振動提示デバイスを作成した。図 4.10 は、木製の組み立てボードの各パーツを示している。また、図 4.11 は、組み立てボードを用いて作成した振動提示デバイスの外観を示している。振動提示デバイスは、図に対して、左側に配置された振動アクチュエータ、中央の M5Stack 社製の小型開発モジュール「Atom-Matrix」[104]、右側の M5Stack 社製マイコンに電源を供給する外部バッテリー「Tail Bat」[105] で構成されている。このデバイスを使用し、マイコンに格納された複数の音声データを再生させ、振動アクチュエータを音声データに基づいて駆動させた。その結果、非常に強い振動を感じられたほか、再生した音声データの表現（恐竜の足音、銃の単発発射、心臓の拍動など）を触覚として正確に知覚することが可能であった。また、振動時の騒音は小さく、最大でも 30 デシベル程度であり、寝室程度の静謐性を備えていることが確認された。したがって、本研究では、擬似心拍刺激を提示する振動機器として、フォスター電機社製の振動アクチュエータ「ACOUSTICHAPTIC® 639897」を採用する。また、この振動アクチュエータを駆動するために、BitTradeOne 社が提供する「hapstak デジタル版」に付属する駆動回路基板を利用する。



図 4.9: ACOUSTICHAFTIC® 639897 と駆動回路基盤との接続例 ([103] より引用)

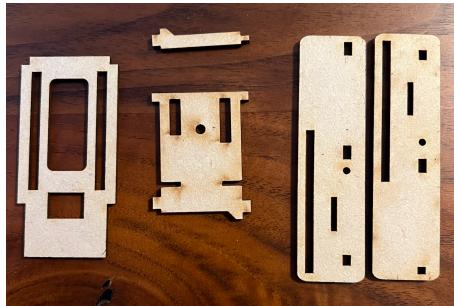


図 4.10: 木製の組み立てボード



図 4.11: 簡易的な振動提示デバイス

4.2.3 振動を利用した擬似心拍刺激

本研究で選定された振動アクチュエータを駆動回路基板を用いて動作させるには、他の振動機器とは異なり、あらかじめ特定の振動を作成して動作させる必要がある。具体的には、複数の心拍数を表現する擬似心拍を音声信号データとして作成した後、8ビット形式のバイナリデータに変換してマイコン（Atom-Lite）に格納する。「昂り」判定時には、マイコンから指定する心拍数を表現された擬似心拍の音声信号データを実行し、振動機器をデータに基づいて繰り返し振動させることで、擬似心拍振動が実現される。

本研究では、振動によって提示する擬似心拍を表現する音声信号データに、BitTradeOne社が提供する「Heartbeat」の音声信号データ [103] を利用した。この音声信号データを選定した理由は、振動アクチュエータを通じて体感した際に、心臓の拍動を限りなく模倣していることが確認されたためである。図4.12は、この音声信号データを基に再生時間を1秒に拡張して作成した心拍数 60 bpm の拍動を表現する音声信号データを示している。この音声信号データを実行し、振動機器を繰り返し振動させることで、心拍数 60 bpm の擬似心拍振動を提示することが可能となる。さらに、再生時間を調整した波形を作成することで、任意の心拍数を表現する擬似心拍振動も提示可能である。例として、再生時間を 0.86 秒に調整して作成した音声信号データを基に振動機器を駆動させることで、心拍数 70 bpm の擬似心拍振動を提示することが可能となる。

振動として提示される擬似心拍を表現する時系列の音声信号データについて、時系列の周波数成分の強さを確認するため、スペクトログラムとして可視化を行った。図4.13は、図4.12で示した再生時間 1 秒の一拍の拍動を表現する音声信号データに対するスペクトログラム解析の結果を示している。横軸は時間（秒単位）、縦軸は周波数を表し、赤線は

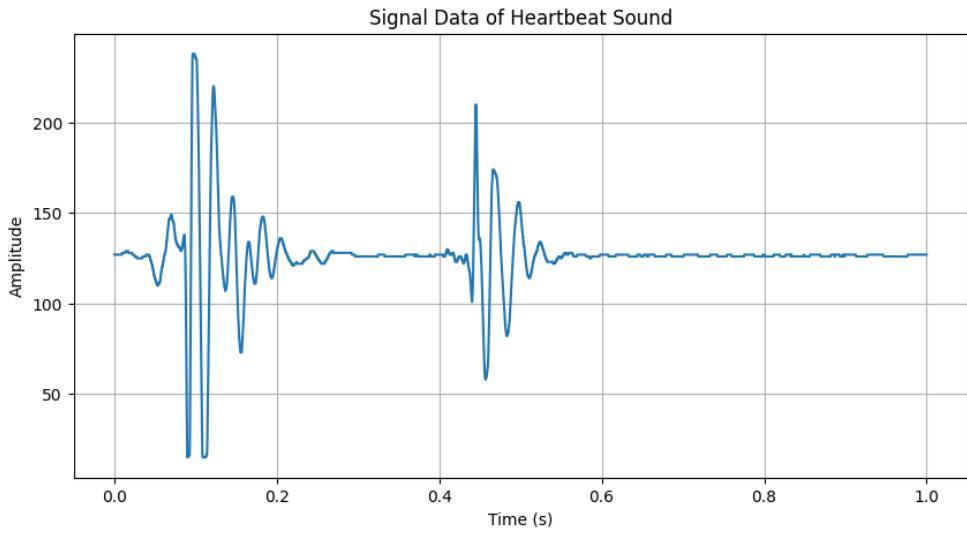


図 4.12: 再生時間 1 秒の一拍の拍動が表現された音声信号データ

各時間時点で最も強い周波数成分を折線で結んだものである。この赤線により、時間的な周波数変化が可視化されている。スペクトログラムの結果から、擬似心拍を表現する音声信号データにおいて、最も強い周波数の平均は 42Hz であることが確認された。この結果は、最も強い周波数成分が 42Hz 前後に集中していることを示しており、振動機器がこの周波数帯域（40～50Hz）に基づいて動作する際、体感的にこの周波数帯の振動が強調される可能性を示唆している。さらに、この周波数帯の振動は、人間が持つ振動に対する手のひらの知覚特性 [106] に基づき、十分に知覚可能な範囲に含まれる。また、110Hz 以上の振動が映像視聴を妨げるという研究 [57] の知見にも配慮した結果であり、映像鑑賞体験を損なわない振動であると考えられる。

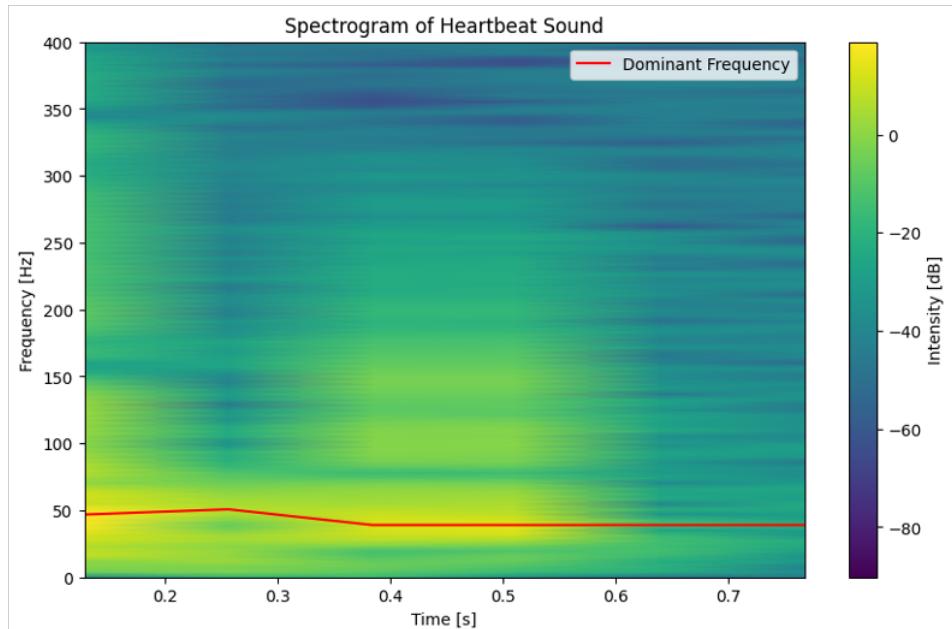


図 4.13: 図 4.12 の音声信号データに対するスペクトログラム解析の結果

4.2.4 照明を利用した擬似心拍刺激

本研究では、擬似心拍刺激を提示するために振動に加え、照明も利用する。照明では赤色光を活用した擬似心拍刺激を行う。これは、赤色光による情動への効果、視覚に対するフィードバックが他の感覚や認知に影響を与える錯覚効果、マルチモーダルな擬似心拍刺激による情動への効果という3つの観点に基づいて使用している。

赤色光による情動への効果は、赤色光の刺激が心理的および生理的な覚醒を促進する可能性に基づいている。関連研究によれば、赤色光は情動における覚醒度を高めることができており[58][60]、昂りを促す動画と共に赤色光を提示することで、生理的な覚醒が上昇し、動画体験の質が向上する可能性が示されている[63]。これらの知見は、赤色光がユーザの覚醒を促し、特にアクション動画鑑賞時に情動体験を高める効果を持つことを示唆している。視覚に対するフィードバックが他の感覚や認知に影響を与える錯覚効果は、感覚間相互作用に基づいている。Narumiらは、拡張現実技術を用いて食べ物の見た目のサイズを操作し、見た目の変化だけで満腹感の認識を変化させ、摂取量を制御できることを示した[107]。また、Banらは、視覚フィードバックを利用して指が触れる位置を変化させることで、実際には円柱形の物体に触れているにもかかわらず、異なる曲率やサイズを持つ仮想の形状に触れているような錯覚を誘発するシステムを開発し、85%の参加者がその錯覚を感じたと報告している[108]。これらの研究は、視覚的な操作が他の感覚や認知に大きな影響を与える可能性を示している。このような知見に基づき、視覚的な照明効果として赤色光を用いた擬似心拍刺激が、実際の身体反応であると錯覚される可能性が考えられる。さらに、マルチモーダルな擬似心拍刺激による情動への効果は、複数の感覚器に対して刺激を提示することで心理的および生理的な影響を強化する可能性に基づいている。関連研究では、提示するモダリティが増加するごとに心拍数と不安感が増加することが示唆されており[82]、赤色光による擬似心拍刺激の追加がアクション動画鑑賞時の昂り判定時の情動体験をさらに強化する可能性が考えられる。

本研究では、赤色光の擬似心拍刺激を提示する照明機器として、M5Stack社製のLEDテープ「SK6812 Digital RGB LED Strip」を使用した。図4.14は、使用したLEDテープの外観を示している。本研究で使用するマイコン(Atom-Lite)とLEDテープは、専用ケーブル[109]を用いることで容易に接続および制御が可能である。このLEDテープは、マイコンを通じて帯状に連なる各LEDに対して個別にRGBカラーや明るさを設定できる。また、任意の長さに切断や延長が可能であり、用途に応じた柔軟な対応が可能である。



図4.14: M5Stack社製 SK6812 Digital RGB LED Strip ([110]より引用)

図4.15は、LEDテープを用いた赤色光による擬似心拍刺激の光色の変化を示している。

この赤色光の擬似心拍刺激は、振動による擬似心拍刺激と同期して提示されるため、振動に合わせて赤色が強くなるように照明制御を行う。具体的には、図 4.12 に示されている音声信号データを基に、縦軸の振幅が大きくなるタイミング（振動機器が強く動作するタイミング）に合わせて赤色の色味および明るさを上昇させる。一方で、振幅が小さい、またはないタイミング（振動機器が弱く動作する、もしくは振動がほとんど感じられないタイミング）においては、赤色の色味および明るさを抑えるように制御する。

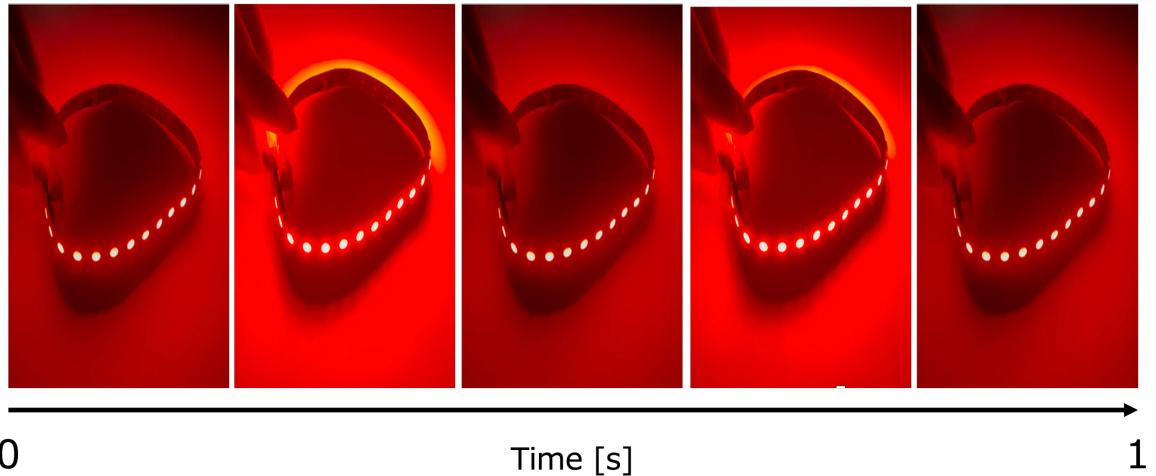


図 4.15: 赤色光を用いた擬似心拍刺激における心拍数 60 bpm の光色変化

4.2.5 ユーザの心拍数に基づく擬似心拍刺激の対応

本研究では、アクション動画鑑賞中のユーザの脈拍変動を基に機械学習モデルが「昂り」と判定した場合、その判定時のユーザの脈拍数を基に、振動および照明が同期した擬似心拍刺激を提示する。そのため、ユーザの脈拍数に応じて提示する擬似心拍刺激の設定を行った。表 4.1 は、判定時における実際のユーザの脈拍数と、それに対応する擬似心拍刺激の対応表を示している。

本研究では、提示する擬似心拍刺激の脈拍数を、実際の脈拍数よりも高く設定している。これは、実際の心拍に基づいた擬似心拍振動の提示手法において、意図的に高い擬似心拍を提示することで、実際の心拍数も同期して上昇することが確認された研究 [78] を参考にしたものである。この設定により、擬似心拍刺激がユーザの生理反応に影響を与え、情動的な昂りを高める可能性が期待できる。

表 4.1: 実際の脈拍数と擬似心拍刺激の対応表

実際の脈拍数 (bpm)	擬似心拍刺激 (bpm)
86 以上	100
76~85	90
66~75	80
65 以下	70

4.3 昂りに連動したスマートフォンアクセサリー

4.3.1 振動提示の設計

スマートフォンアクセサリーでは、振動提示を持ち手に当たる手のひらに提示する設計とした。この設計は、人間の手の繊細な知覚処理能力を参考にしている。脳の感覚野における、人体の様々な部位に生じた感覚に対する情報処理領域を表した脳地図[111]によると、手や指は大脳の大きな割合（約4分の1）を占有していることが確認されている。これは、手や指が非常に繊細で多様な感覚情報を処理する能力を持つことを示している。図4.16は、スマートフォンアクセサリーで擬似心拍振動を提示するためのデザインを示している。振動が持ち手部分に提示されることで、擬似心拍振動を手のひらで繊細に体感できることが考えられる。

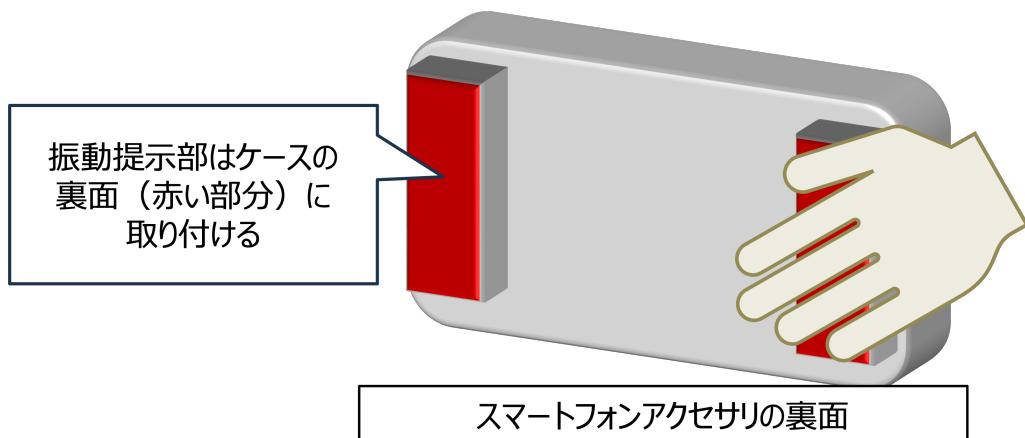


図4.16: スマートフォンアクセサリーに対する振動提示部のデザイン

本研究では、スマートフォンアクセサリーにおける擬似心拍振動を提示するため、振動提示部を3Dプリンタで造形した。図4.17は、モデリングしたデータを基に3Dプリンタで造形した振動提示部を示している。モデリングの際には、図4.11に示される簡易的な振動提示デバイスの振動アクチュエータやマイコンの位置関係を参考に、振動アクチュエータ、アクチュエータを制御するマイコン、および電源供給用の外部バッテリーを密接に配置できるよう設計した。さらに、図4.18は、振動機器などを取り付けた完成形の様子を示している。完成時に、振動アクチュエータで振動を起こした際、造形素材であるプラスチックとアクチュエータの接触により雑音が発生することが確認された。これを改善するため、接触部分にフェルトを挿入し、接触による雑音を軽減するとともに、振動を効率的に振動提示部全体へ伝達するよう工夫した。

また、振動提示部の裏側に当たる手のひらで接触する把持部分は、丸みを帯びた形状に設計した。丸みを帯びた形状にすることで、手のひら全体に振動を効果的に伝えるとともに、スマートフォンアクセサリーの持ちやすさを向上させる効果がある。特に、動画鑑賞時にはスマートフォンアクセサリーを持ち続けることが多いため、持ちやすさは鑑賞体験に大きな影響を及ぼすと考えられる。把持部分に違和感があると、鑑賞中の集中が妨げられる可能性があるため、持ちやすさを重視した設計は重要性を持つ。



図 4.17: 造形した振動提示部

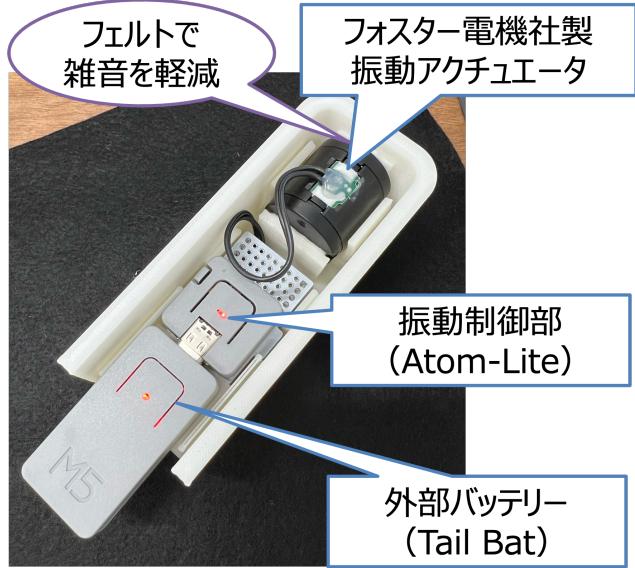


図 4.18: 振動機器などを取り付けた様子

4.3.2 照明提示の設計

スマートフォンアクセサリーでは、照明提示をユーザの視覚に直接的に提示する設計とした。図 4.19 は、LED テープを用いて光刺激による擬似心拍を提示するためのデザインを示している。LED テープはスマートフォンアクセサリーの側面に取り付けられ、各 LED の主な光の照射方向はユーザの目に直接向いていない。しかし、LED の点灯や輝きはユーザから視認可能である。この場合、光の照射方向は「間接的」に見えるが、視覚刺激としてはユーザが直接認識できるため、「直接的」とみなす。また、LED テープをスマートフォンアクセサリーの外側の側面に取り付ける理由は、擬似心拍刺激として照射される赤色光が、鑑賞する動画の色味に影響を与えることで、鑑賞体験に悪影響を及ぼす懸念を軽減するためである。

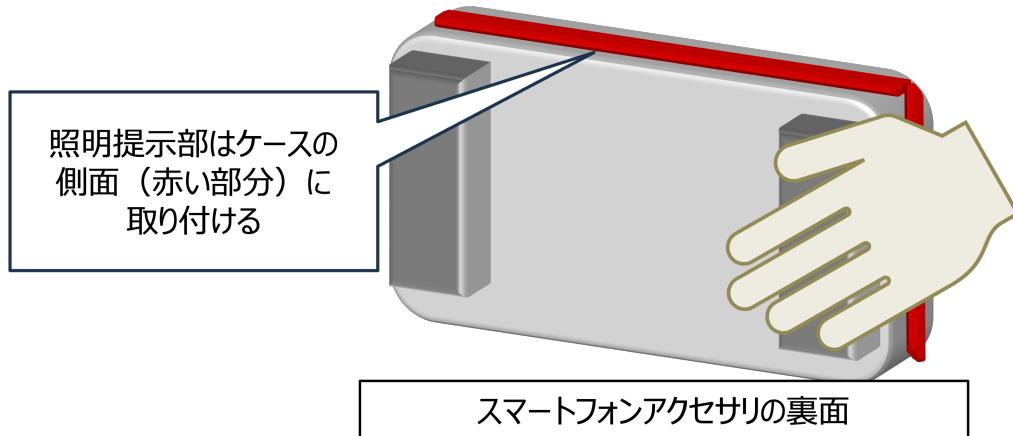


図 4.19: スマートフォンアクセサリーに対する照明提示部のデザイン

本研究では、スマートフォンアクセサリーの側面に LED テープを取り付ける際、角形シリコンチューブ [112] を活用した。LED テープをそのまま側面に取り付けると、持つ際

に直接手に触れて違和感が生じる可能性があるほか、LED 素子が直接見えることで光が点状に見え、場合によっては発色が白っぽく感じられることがある。この問題を解決するため、LED テープを角形シリコンチューブに通した状態で取り付けた。これにより、手に触れても違和感がなくなるとともに、光がやや拡散されることで色が柔らかく見えるという利点が得られる。図 4.20 は、LED テープを角形シリコンチューブに通した状態で取り付け、擬似心拍刺激に扱う赤色光を照射した様子を示している。



図 4.20: 側面に取り付けた LED テープによる赤色光照射の様子

4.3.3 スマートフォンアクセサリーの構造

振動提示および照明提示の設計を基に製作したスマートフォンアクセサリーを図 4.21 に示す。スマートフォンアクセサリーの大きさは、縦の長さが約 13cm、横の長さが約 21.5cm、厚さが約 6.3cm であり、単体での重さは 305g である。鑑賞端末であるスマートフォンは、バネの反発力をを利用して挟む方式で固定する。この固定方法により、一般的なスマートフォンのサイズ [9] に対応し、ほとんどのスマートフォンが装着可能となる。図 4.22 はスマートフォンアクセサリーの裏面を示しており、振動提示部が両側に配置されている。また、中央には照明機器を制御するマイコン（Atom-Lite）および電源供給用バッテリー（TailBat）を格納するポケットが取り付けられている。さらに、図 4.23 はスマートフォンアクセサリーの側面を示しており、厚さが約 6.3cm あるため、手のひらで覆うようにしてしっかりと把持することが可能である。

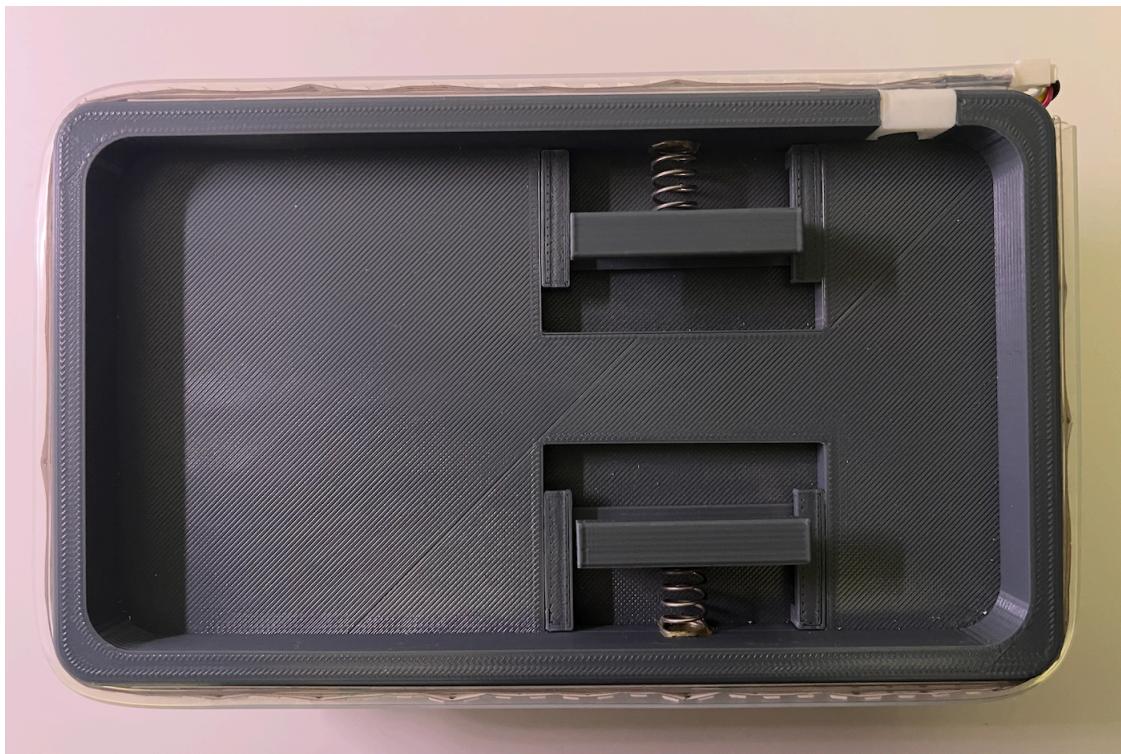


図 4.21: スマートフォンアクセサリー

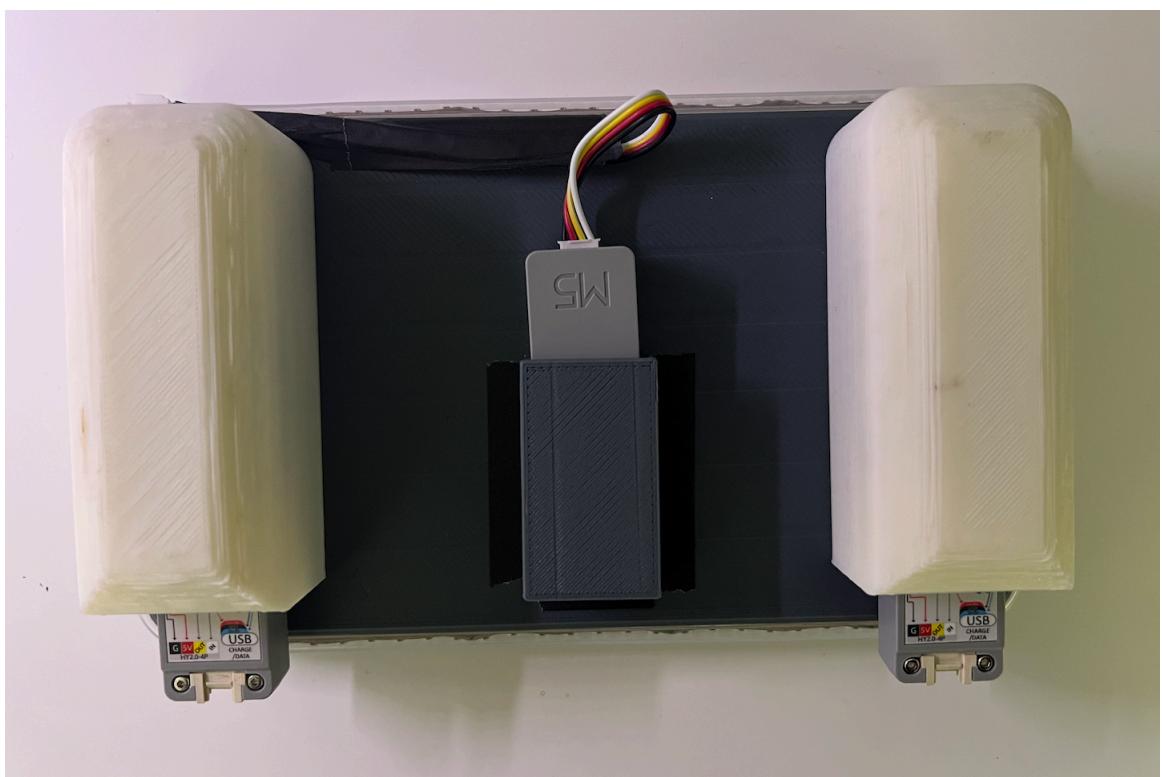


図 4.22: スマートフォンアクセサリー（裏面）



図 4.23: スマートフォンアクセサリー（側面）

4.3.4 スマートフォンアクセサリーを使用した動画鑑賞方法

スマートフォンアクセサリーを使用した動画鑑賞方法を以下に説明する。まず、Wi-Fiに接続したスマートウォッチを手首に装着し、専用アプリケーションを起動する。図4.24は、専用アプリケーションを起動した際の画面を示しており、画面上にはデータベースとの接続状況、脈拍センサの測定状況、昂りの判定状況が表示される。次に、鑑賞端末であるスマートフォンをスマートフォンアクセサリーに固定し、専用アプリケーションの画面下部にある開始ボタンを押下する。図4.25は、開始ボタン押下後の画面を示している。開始ボタンを押下すると、脈拍センサが脈拍間隔を取得し始め、取得したデータに基づいて昂りの判定が行われる。鑑賞終了後、スマートウォッチ上の画面下部をもう一度タップすることで、アプリケーションを終了する。

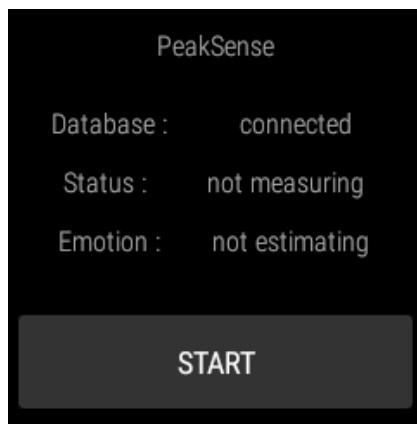


図 4.24: 専用アプリケーションの起動時の画面

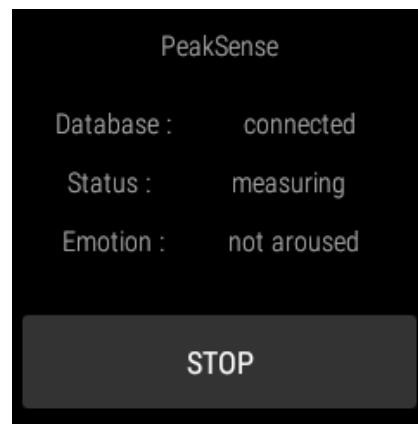


図 4.25: 専用アプリケーションの開始ボタンを押下した後

第5章 スマートフォンアクセサリーによるアクション動画鑑賞時的情動体験の影響

本章では、第4章で作成したシステムの評価実験の概要および実験方法について述べる。実験担当者は、臨床研究に携わる人のeラーニングサイト「ICR 臨床研究入門」にて、「研究倫理と被験者保護」および「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を履修している。また、本実験は、青山学院大学理工学部ライフサイエンス委員会の「人に係る研究」に関する審査・承認を受け実施され（承認番号 H23-035），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、実験に参加頂いている。

5.1 アクション動画における鑑賞体験への影響の検証

5.1.1 実験目的

本研究のシステムは、アクション動画鑑賞中のユーザの脈波変動を基に「昂り」を判定し、その結果に応じた擬似心拍を表現する振動および照明刺激を提示することで、情動的な昂りを高めることを目標として取り組んだ。そのため、評価実験では、アクション動画の鑑賞中に、脈波変動に基づく昂り判定と連動した擬似心拍刺激を与えることによって鑑賞体験にどのような影響を与えるかを検証することを目的とする。

5.1.2 実験概要

本実験では、昂りに連動した振動と照明による擬似心拍刺激を組み込んだ動画鑑賞型スマートフォンアクセサリーを使用したアクション動画鑑賞が、鑑賞体験に与える影響を検証するために実施した。被験者は成人男女12名（22歳～24歳）で構成された。実験環境として、アクション動画鑑賞中に記録される脈波間隔がアクション動画以外の要因に影響されないよう、室内照明を消灯した暗室に加え、イヤホンを使用した。被験者は暗室内で1人で実験を行い、脈波信号として脈波間隔を測定するためにスマートウォッチを手首に装着し、冒頭から約30分間の初めて観るアクション動画をスマートフォンで鑑賞した。本実験では、提案システムの効果を検証するため、システムを使用した場合と使用しない場合の2条件でアクション動画の鑑賞を行わせた。どちらの条件でも、同じ内容および時間のアクション動画を鑑賞したが、条件ごとに鑑賞日は別日に分けて設定した。さらに、システムを使用する場合と使用しない場合の順序は被験者ごとにランダムに設定した。図5.1は、本実験の全体図を示している。

本収集実験では、脈波間隔の測定にPolar社製スマートウォッチ「M600」[84]を使用した。また、実験で使用するアクション動画の題材に「ミッション：インポッシブル」シリーズ[113]を採用した。この題材を選定した理由は、国内外でアクション動画として評価が

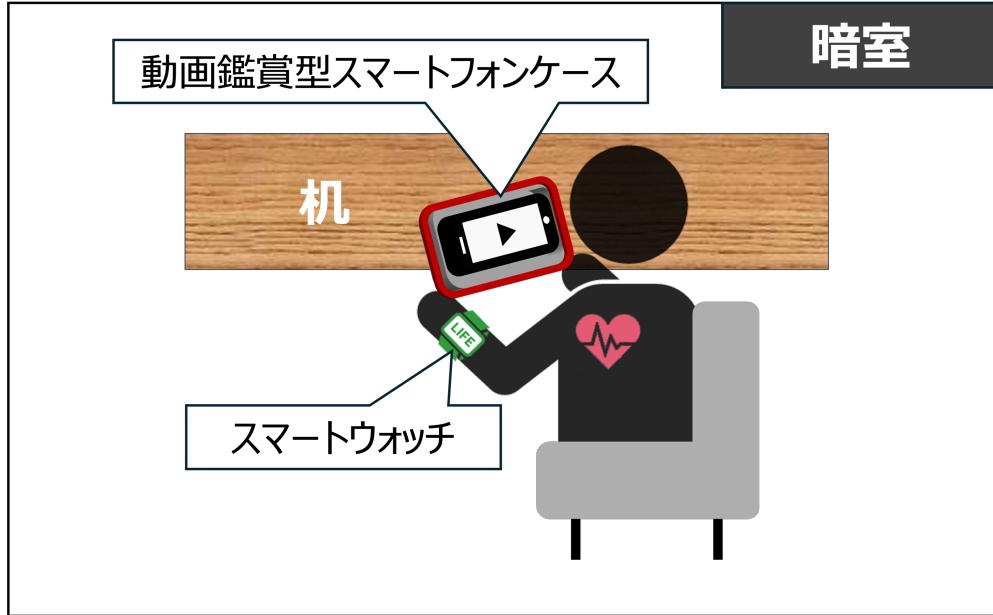


図 5.1: 実験の全体図

高く、冒頭約 30 分程度の間に逃走、銃撃戦、爆発などアクション性の高い映像が含まれており、被験者が鑑賞時に昂りを誘発されることが期待できるためである。本実験でアクション動画を再生するためのスマートフォンには、画面サイズが約 6.1 インチの「iPhone13 Pro」[86] を使用した。

5.1.3 鑑賞体験を測定する指標

本実験では、スマートフォンアクセサリーを使用したアクション動画鑑賞が鑑賞体験に与える影響を評価するため、質問票を活用した定性評価と、脈波信号を活用した定量評価の 2 つの手法を採用した。これらの手法を基に鑑賞体験の効果を測定し、差異をもって、鑑賞体験の向上の程度を評価する。質問票を活用した定性評価では、アクション動画鑑賞を通じた情動を評価するために「Self-Assessment Manikin (以下略称: SAM)」[114] を利用した質問票、および本研究のシステムの快適性や使いやすさを評価するために「System Usability Scale (以下略称: SUS)」[115] を利用した質問票を作成した。

本実験では、システムを使用した場合と使用しない場合のアクション動画鑑賞における主観的な情動を評価するため、情動反応を評価する非言語的な測定指標である SAM を使用した。この指標は、被験者が絵画を用いて自身の情動を直感的に評価する方法であり、快-不快 (Valence)、覚醒度 (Arousal)、主導感 (Dominance) の 3 次元に基づいて情動を詳細に測定するものである。快-不快は、喜びから悲しみまでの情動の幅を表し、覚醒度は情動の強度や興奮状態の度合いを示す。主導感は通常、自身の感情をどの程度コントロールできるかを測定する次元として定義される。図 5.2 は、SAM を用いた評価方法の一例を示している。本実験では、快-不快、覚醒度、主導感の 3 つの尺度について、それぞれ 9 段階の評価を行った。快-不快尺度では、「楽しい・心地よい」に相当する快表現を高得点とし、覚醒度尺度では、「興奮・刺激を感じた」に相当する覚醒度表現を高得点とした。主導感では、「感情のコントロールできない」に相当する主導感表現を高得点とした。

また、主導感については、鑑賞体験における没入感の尺度として再解釈する。通常の主導感は対象や状況に対する感情のコントロール度を評価する次元であるが、アクション動画鑑賞においては、鑑賞者が映像世界にどれだけ引き込まれるかを測定する尺度として用いる。この解釈に基づき、主導感が低い状態は鑑賞者が映像世界に深く引き込まれ、没入感が高い状態を示す。反対に、主導感が高い状態は、鑑賞者が映像世界を俯瞰的に捉え、没入感が低い状態を示す。この再解釈により、主導感の尺度を動画鑑賞体験における没入感の評価に特化した指標として活用する。被験者は、各尺度について提示された9つの人形の絵から、自身の情動状態に最も近いものを選択することで評価を行う。この評価方法は言語に依存しないため、文化的な違いや解釈のばらつきが抑えられるという特徴を持つ。本実験では、これらの再解釈および評価方法を通じて、アクション動画鑑賞における情動体験を捉える。

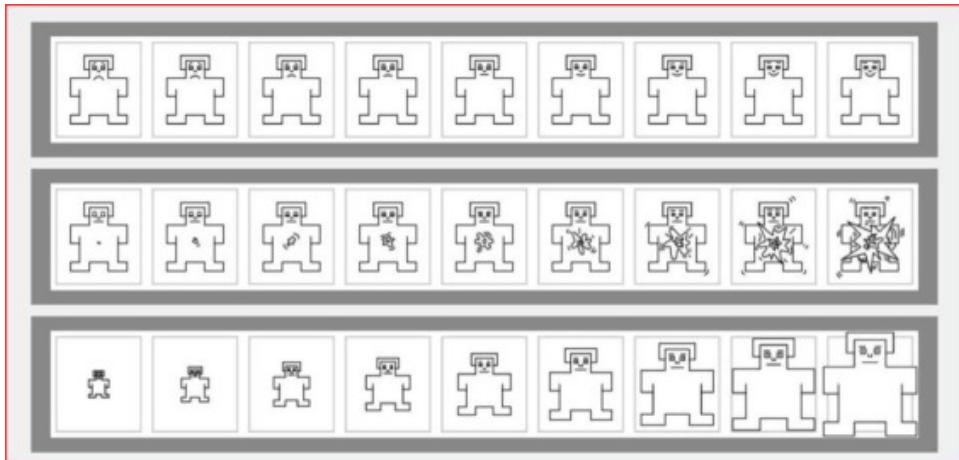


図 5.2: SAM (Self-Assessment Manikin) の一例 ([116] より引用)

一方で、システムを使用したアクション動画鑑賞において、システムの快適性や使いやすさを評価するため、本実験では製品やサービスのユーザビリティを測定する指標である SUS を使用した。この指標は、快適性や使いやすさに関する 10 個の質問で構成されており、それぞれの質問に対して 5 段階のリッカート尺度を用いて、「そう思う」から「そう思わない」までの範囲で回答する形式となっている。回答結果に基づいて各質問の得点に重みづけを施し、算出された総得点が 72 点以上であれば、ユーザビリティが良好 (good) であると判断できるとされる [117]。表 5.1 は、本実験で被験者に提示される SUS を用いた質問票の質問項目を示している。

5.1.4 実験手順

実験開始前に、被験者が提示されるアクション動画が初見であることを確認し、実験室に案内して指定された座席に着席させる。次に、被験者の手首にスマートウォッチを装着し、専用アプリケーションを起動して操作方法を説明する。システムを使用する条件では、スマートフォンを専用アクセサリーに装着させる。

その後、音量や画面の明るさを確認し、イヤホンを装着させた上で、実験室の照明を消灯して暗室状態を作り出し、数分間安静を保つよう指示する。準備が整い次第、アクション動画を再生し、被験者は暗室内で一人で動画を鑑賞する。動画鑑賞後、被験者には質問

表 5.1: SUS での質問項目

番号	質問内容
1	このシステムを頻繁に利用したいと感じた
2	このシステムは必要以上に複雑だと感じた
3	このシステムは使いやすいと感じた
4	このシステムを使えるようになるためには、専門の助けが必要だと感じた
5	このシステムはいろんな機能が上手くまとまっていると感じた
6	このシステムはちぐはぐな点が多すぎると感じた
7	このシステムの使い方は大抵の人がすぐに使いこなせると感じた
8	このシステムはとても扱いづらいと感じた
9	このシステムを使いこなせると自信がある
10	このシステムを使い始める前に使用法を学ぶことが多いと感じた

票を用いて主観的な情動評価を実施する。システムを使用する条件では、情動評価に加えてシステムのユーザビリティ評価も行う。図 5.3 は、実験中の被験者の様子である。

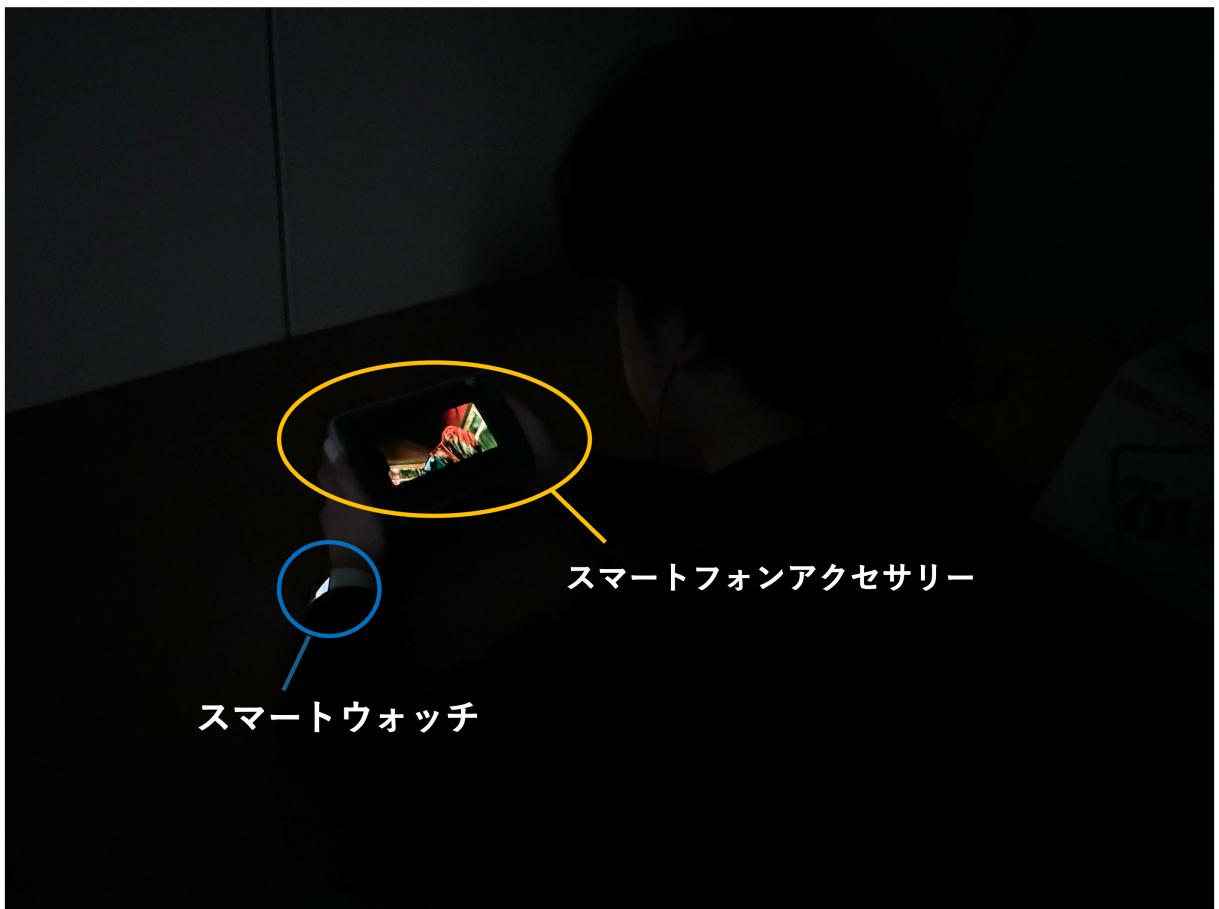


図 5.3: 実験時の様子

5.2 定性評価の結果および考察

5.2.1 システムの有無での情動評価の比較

システムを使用した場合 (with) と使用しない場合 (without) における情動評価を比較するため, SAM を利用した質問票を用いて評価を実施した. 図 5.4, 図 5.5, 図 5.6 は, 12 名の被験者がシステム使用の有無による条件間で実施した快-不快, 覚醒度, 主導感に対する情動評価の結果を箱ひげ図で示している. これらの図を通じて, システムの使用が各情動評価に与える影響を可視化している. まず, システム有無における快-不快尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると, システム有の条件では中央値および平均値がシステム無の条件よりも高い結果となった. また, システム有の条件では, 中央値よりも平均値が上回っていることから, 評価分布が上方向にシフトしていることが確認できる. この結果は, 本実験において, システムを使用したアクション動画鑑賞の体験が, 被験者的情動をポジティブな方向へと高める可能性を示唆していると考えられる.

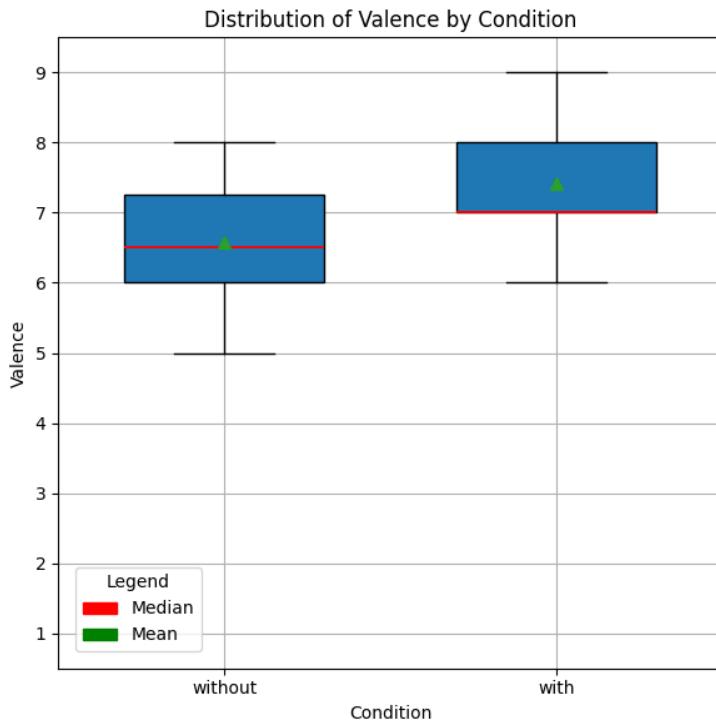


図 5.4: システム有無での快-不快 (Valence) 尺度の評価分布

次に, システム有無における覚醒度尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると, システム有の条件では中央値および平均値がシステム無の条件よりも高い結果が得られた. また, システム有の条件では中央値よりも平均値が上回っており, 評価分布が上方向にシフトしていることが確認できる. 一方で, システム無の条件では中央値よりも平均値が下回っており, 評価分布が下方向にシフトしていることが確認され, 両条件間で平均値の差が拡大している. この結果は, システムを使用したアクション動画鑑賞の体験が, 被験者的情動の強度をより高め, 興奮度合いを増加させる可能性を示唆していると考えられる.

最後に, システム有無における主導感尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると, システム有の条件では中央値がシステム無の条件と同じ値を示しているものの, 平均値はシステ

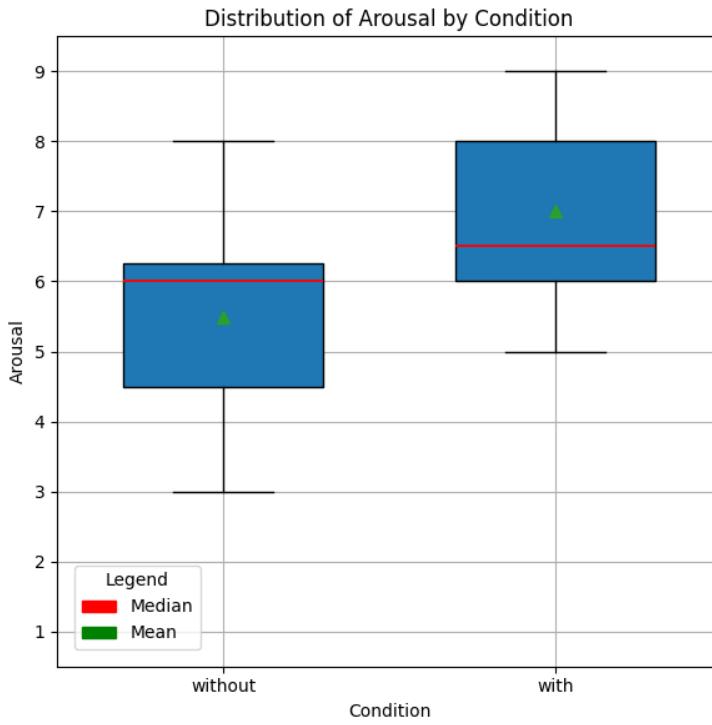


図 5.5: システム有無での覚醒度 (Arousal) 尺度の評価分布

ム無の条件よりも高い結果が得られた。また、システム有の条件では中央値よりも平均値が上回っており、評価分布が上方向にシフトしていることが確認できる。一方、システム無の条件では中央値よりも平均値が下回っており、評価分布が下方向にシフトしていることが確認され、両条件間で平均値の差が拡大している。この結果は、システムを使用したアクション動画鑑賞の体験が、被験者の没入感をより高める効果を持つ可能性を示唆していると考えられる。

また、表 5.2 は、各尺度におけるシステム有無の条件間での平均値およびその差分を示している。この結果から、システム有の条件が全ての尺度において平均値が高い傾向にあることが確認された。特に、覚醒度尺度では他の尺度よりも高い評価が得られていることが明らかとなった。しかしながら、これらの平均値の差は偶然によるものなのか、それとも統計的に有意な差であるのかを判断する必要がある。そこで、有意水準を 5% に設定し、システム有無の条件間での評価の違いについて、対応ありの t 検定を実施した。t 検定は、t 分布を利用して 2 つの集団の平均値の差が有意であるかを検定する [118]。t 分布は、正規分布を母集団とし、母分散が未知の場合に用いられる分布で、少ない標本数でも信頼性のある分析を可能にする。t 検定の過程では、まず帰無仮説を設定する。帰無仮説とは、「平均値に差がない」といった主張であり、検定の出発点となる仮定である。例えば、薬の効果を検証する場合、「薬を投与したグループと投与しなかったグループの平均値に差がない」という仮説が帰無仮説となる。次に、得られたデータから算出される t 値や p 値を基に仮説を検証する。t 値は平均値の差が偶然によるものかを示し、p 値は観測結果の希少性を示す指標である。一般的な有意水準 (0.05) を基準に、p 値がこれを下回る場合、帰無仮説を棄却し、「平均値の差が統計的に有意である」と判断する。

システムの有無での情動評価の比較では、帰無仮説を「システムの有無でのアクション

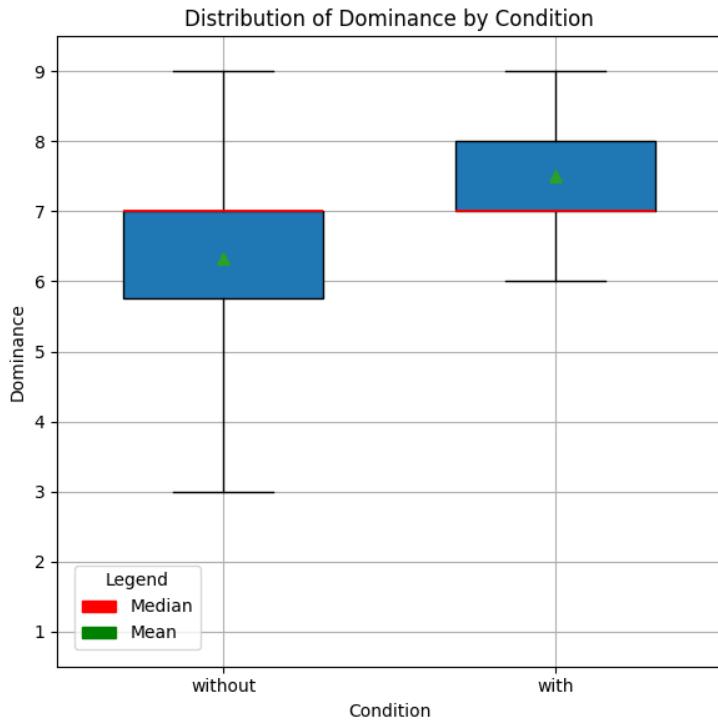


図 5.6: システム有無での主導感 (Dominance) 尺度の評価分布

表 5.2: システム有無での各尺度の平均と条件間の差

	快-不快尺度の平均	覚醒度尺度の平均	主導感尺度の平均
システム有	7.4	7.0	7.5
システム無	6.6	5.5	6.3
システム有無の差（有-無）	0.8	1.5	1.2

動画鑑賞体験において尺度の情動評価に差がない」と設定し、有意水準を 0.05 とした。表 5.3 は、対応あり t 検定を実施した結果を示している。この結果より、快 - 不快および覚醒度については、t 値が片側検定の棄却域 (1.796) に含まれており、p 値も有意水準未満であることから、システムの有無による情動評価に有意な差があると判断される。また、主導感については、t 値 (2.184) が片側検定の棄却域 (1.796) に含まれ、p 値 (0.026) も有意水準未満であることから、システム有の条件がシステム無よりも支配感を高めるという方向性の仮説を支持する結果が得られた。これらの結果から、帰無仮説は棄却され、快 - 不快、覚醒度、支配感のいずれについても、システムの有無による情動評価に差があり、システム有の条件がこれらの情動評価を向上させる可能性が示唆される。

表 5.3: システム有無での各尺度の情動評価に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
快-不快	2.803	0.009	1.796	0.017	2.201
覚醒度	3.317	0.003	1.796	0.007	2.201
支配感	2.184	0.026	1.796	0.052	2.201

5.2.2 システム無での1回目と2回目の鑑賞時的情動評価の比較

システムの有無による情動評価に差があり、システム有の条件がこれらの情動評価を向上させる可能性が示唆された結果を受けて、まずはシステム無での1回目と2回目の鑑賞時的情動評価を比較し、順序効果（1回目の鑑賞が2回目の鑑賞に影響を与えること）の有無を検証した。具体的には、同じアクション動画を2回鑑賞した場合、鑑賞回数（1回目と2回目）の違いが情動評価に与える影響を確認し、「情動の減衰」や「新奇性の低下」がどの程度起こるかを調べることを目的としている。図5.7、図5.8、図5.9は、12名の被験者がシステム無で鑑賞した際の順序（1回目と2回目）における快-不快、覚醒度、主導感に対する情動評価の結果を箱ひげ図で示している。なお、1回目と2回目の鑑賞における情動評価は、異なる6名ずつの被験者によって行われている。これらの図を通じて、システム無での鑑賞順序が情動評価に与える影響を可視化した。

まず、システム無での鑑賞順序における快-不快尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1回目の鑑賞では中央値および平均値が2回目の鑑賞よりも高い結果が得られた。また、この尺度において、2回目の評価の中央値が1回目の最小値を下回っていることが確認された。この結果は、快-不快尺度において、鑑賞順序による順序効果が存在することを示唆していると考えられる。次に、システム無での鑑賞順序における覚醒度尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1回目の鑑賞では中央値および平均値が2回目の鑑賞よりも高い結果が得られた。また、この尺度においては、1回目の中央値より下の評価が多数分布していることが確認された。この結果は、覚醒度尺度においても鑑賞順序による順序効果が存在する可能性を示唆していると考えられる。最後に、システム無での鑑賞順序における主導感尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1回目の鑑賞では中央値および平均値が2回目の鑑賞よりも高い結果が得られた。また、この尺度においても、1回目の中央値より下の評価が多数分布していることが確認された。この結果は、主導感尺度においても鑑賞順序による順序効果が存在する可能性を示唆していると考えられる。

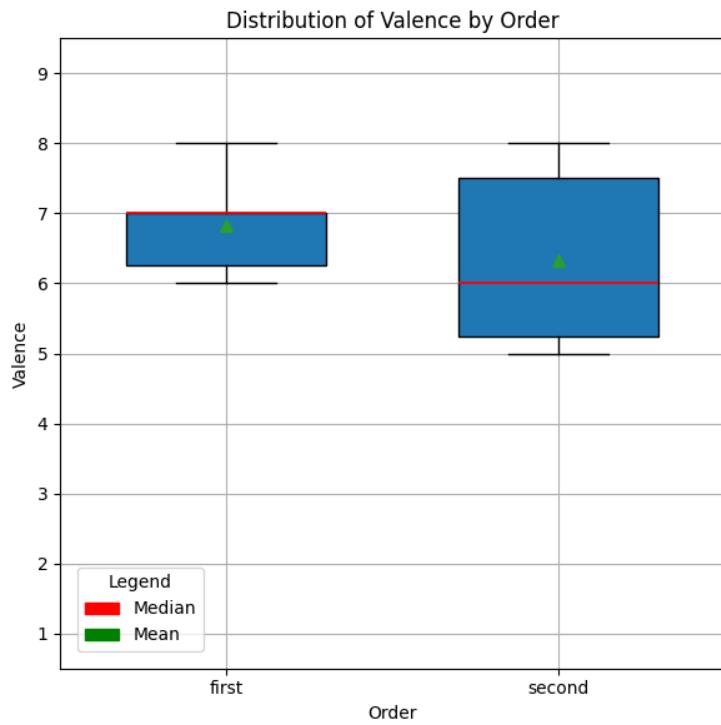


図 5.7: システム無での鑑賞順序における快-不快 (Valence) 尺度の評価分布

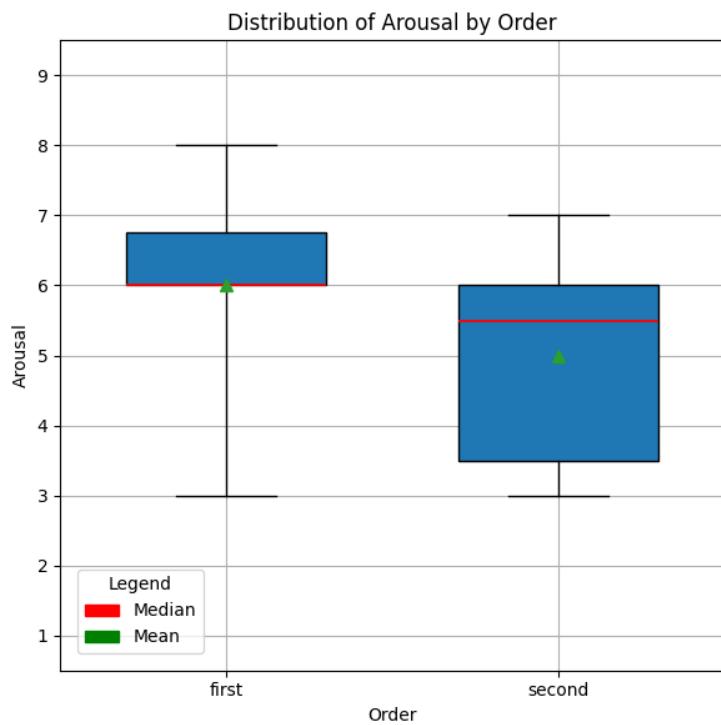


図 5.8: システム無での鑑賞順序における覚醒度 (Arousal) 尺度の評価分布

また、表 5.4 は、各尺度におけるシステム無での鑑賞順序の条件間における平均値およびその差分を示している。この結果から、システム無での 2 回目の鑑賞が全ての尺度において平均値が低い傾向にあることが確認され、鑑賞順序による順序効果が存在する可能性

が示唆される。しかしながら、これらの平均値の差が偶然によるものか、統計的に有意な差であるのかを判断する必要がある。そこで、有意水準を5%に設定し、システム無での鑑賞順序による評価の違いについて、対応なしのt検定を実施した。

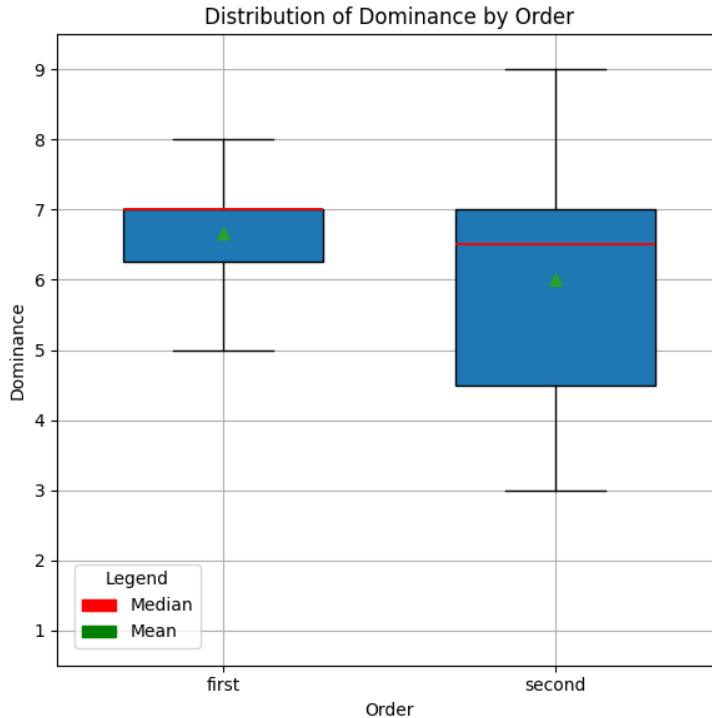


図 5.9: システム無での鑑賞順序における主導感 (Dominance) 尺度の評価分布

表 5.4: システム無での鑑賞順序における各尺度の平均と条件間の差

	快-不快尺度の平均	覚醒度尺度の平均	主導感尺度の平均
1回目	6.8	6.0	6.6
2回目	6.3	5.0	6.0
鑑賞順序における差 (2回目-1回目)	-0.5	-1.0	-0.6

システム無での鑑賞順序における情動評価の比較では、帰無仮説を「システム無での鑑賞順序におけるアクション動画鑑賞体験において各尺度の情動評価に差がない」と設定し、有意水準を0.05とした。表5.5は、対応なし t 検定を実施した結果を示している。この結果より、快 - 不快、覚醒度、および支配感について、いずれも t 値が片側検定の棄却域 (1.812) および両側検定の棄却域 (2.228) のいずれにも含まれず、p 値も有意水準以上であることから、システム無の鑑賞順序による情動評価に有意な差は確認されなかった。これらの結果から、帰無仮説は棄却されず、鑑賞順序が情動評価に影響を及ぼす可能性は低いことを示唆している。

表 5.5: 鑑賞順序における各尺度の情動評価に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
快-不快	0.785	0.225	1.812	0.451	2.228
覚醒度	1.035	0.163	1.812	0.325	2.228
支配感	0.674	0.258	1.812	0.515	2.228

5.2.3 システム有での 1 回目と 2 回目の鑑賞時的情動評価の比較

次に、システム有での 1 回目と 2 回目の鑑賞時的情動評価を比較し、システム使用による効果が鑑賞順序（1 回目・2 回目）に依存しないことを検証した。特に、システム有を 2 回目に使用した場合でも、情動評価に変化が見られるかを確認し、システムの効果が一貫して情動評価を向上させているかを明らかにすることを目的としている。また、システム無と有の条件を比較することで、有意差をもってシステム有の条件が情動評価を向上させる可能性を検討し、順序効果の影響を考慮する。図 5.10, 図 5.11, 図 5.12 は、12 名の被験者がシステム有で鑑賞した際の順序（1 回目と 2 回目）における快-不快、覚醒度、主導感に対する情動評価の結果を箱ひげ図で示している。なお、1 回目と 2 回目の鑑賞における情動評価は、異なる 6 名ずつの被験者によって行われている。これらの図を通じて、システム有での鑑賞順序が情動評価に与える影響を可視化した。

まず、システム有での鑑賞順序における快-不快尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1 回目と 2 回目の中央値および平均値には大きな違いが見られないことが確認された。また、分布の範囲においては、1 回目の方がわずかに広がりが大きいものの、全体的な評価の傾向は一貫している。この結果は、快-不快尺度において、鑑賞順序による順序効果が影響を及ぼしていない可能性を示唆していると考えられる。次に、システム有での鑑賞順序における覚醒度尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1 回目と 2 回目の中央値や平均値に大きな違いは見られないものの、2 回目では中央値および平均値がやや高い傾向が確認された。また、分布の範囲においては、2 回目の最大値が 1 回目の最大値を上回り、評価分布が上方向にシフトしていることが確認された。さらに、評価のばらつきも 2 回目の方が増加していることが示されている。この結果は、覚醒度尺度において、鑑賞順序が評価に影響を与える順序効果が存在する可能性を示唆していると考えられる。最後に、システム有での鑑賞順序における主導感尺度の評価分布を箱ひげ図で比較すると、1 回目と 2 回目の中央値および平均値には大きな違いが見られないことが確認された。しかし、分布の範囲においては、2 回目の方がわずかに広がりが大きく、評価のばらつきが増加していることが確認された。この結果は、主導感尺度において、鑑賞順序が評価に影響を与える順序効果が存在する可能性を示唆していると考えられる。

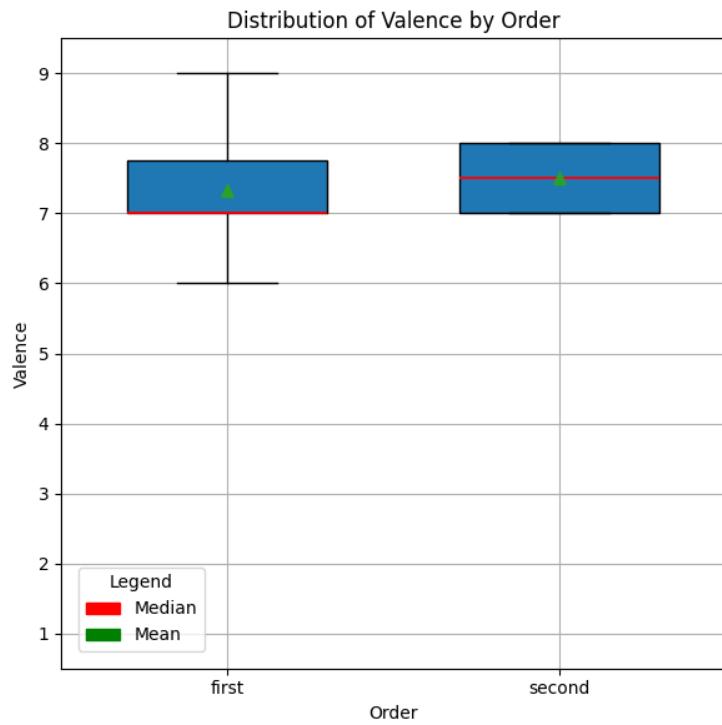


図 5.10: システム有での鑑賞順序における快-不快 (Valence) 尺度の評価分布

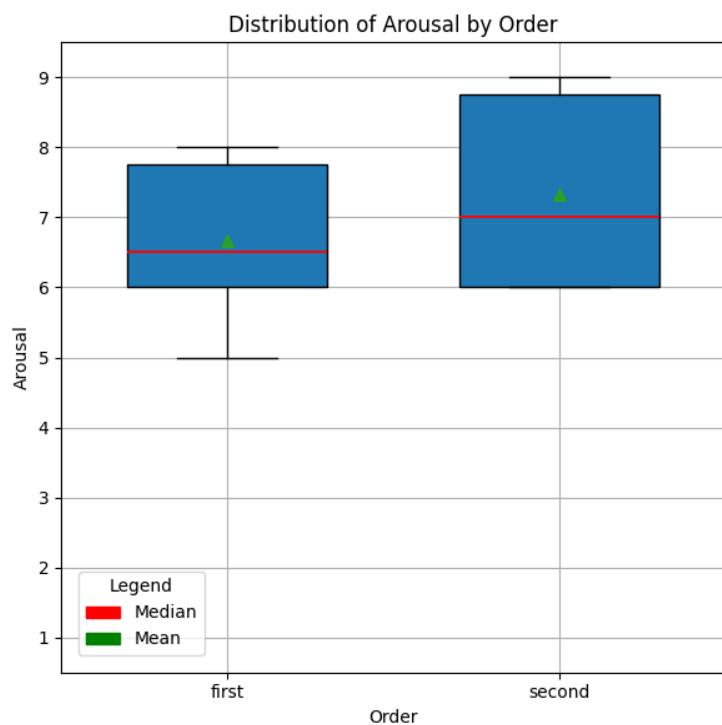


図 5.11: システム有での鑑賞順序における覚醒度 (Arousal) 尺度の評価分布

また、表 5.6 は、各尺度におけるシステム有での鑑賞順序の条件間における平均値およびその差分を示している。システム有での 1 回目と 2 回目の各尺度の情動評価を比較すると、類似した結果が得られる尺度もあれば、分布の違いが見られる尺度も存在したもの

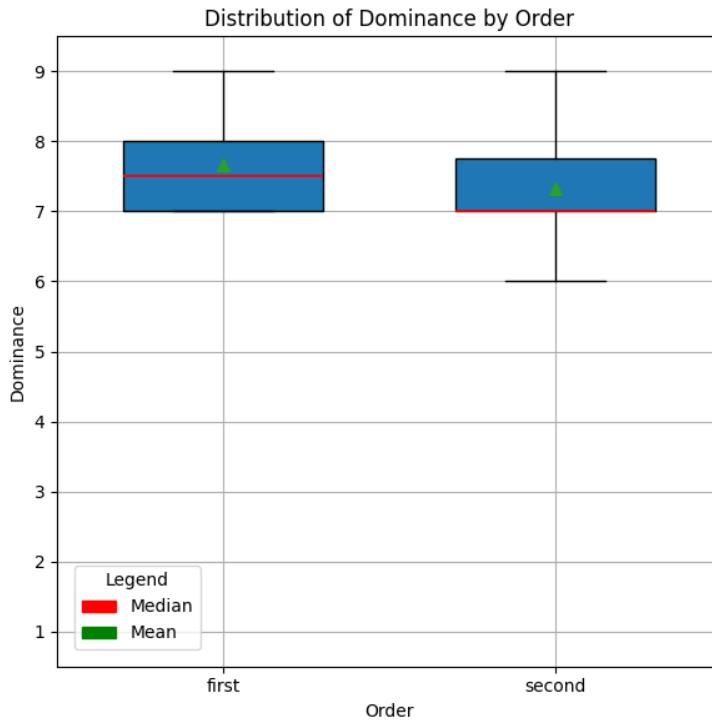


図 5.12: システム有での鑑賞順序における主導感 (Dominance) 尺度の評価分布

の、平均値の差は全体的に 0 に近い傾向を示していることが確認された。この結果は、鑑賞順序による順序効果が存在しない可能性を示唆していると考えられる。しかしながら、これらの平均値の差が偶然によるものか、統計的に有意な差であるかを判断する必要がある。そのため、有意水準を 5% に設定し、システム有での鑑賞順序による評価の違いについて、対応なしの t 検定を実施した。

表 5.6: システム有での鑑賞順序における各尺度の平均と条件間の差

	快-不快尺度の平均	覚醒度尺度の平均	主導感尺度の平均
1回目	7.3	6.7	7.7
2回目	7.5	7.3	7.3
鑑賞順序における差 (2回目-1回目)	0.2	0.6	-0.4

システム有での鑑賞順序における情動評価の比較では、帰無仮説を「システム有での鑑賞順序におけるアクション動画鑑賞体験において各尺度の情動評価に差がない」と設定し、有意水準を 0.05 とした。表 5.7 は、対応なし t 検定を実施した結果を示している。この結果より、快 - 不快、覚醒度、および支配感について、いずれも t 値が片側検定の棄却域 (1.812) および両側検定の棄却域 (2.228) のいずれにも含まれず、p 値も有意水準以上であることから、システム有の鑑賞順序による情動評価に有意な差は確認されなかった。これらの結果から、帰無仮説は棄却されず、鑑賞順序が情動評価に影響を及ぼす可能性は低いことを示唆している。

表 5.7: 鑑賞順序における各尺度の情動評価に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
快-不快	-0.349	0.367	1.812	0.734	2.228
覚醒度	-0.845	0.209	1.812	0.418	2.228
支配感	0.620	0.275	1.812	0.549	2.228

5.2.4 快適性および使用感の評価

本研究のシステムを使用したアクション動画鑑賞時におけるシステムの快適性や使いやすさを評価するため、SUS を利用した質問票を用いて評価を実施した。具体的には、スマートウォッチの装着からスマートフォンをスマートフォンアクセサリーに固定し、動画鑑賞を行う一連の操作に関するユーザビリティを被験者に評価してもらった。図 5.13 は、12 名の被験者が SUS の 10 項目に基づくユーザビリティに関する質問に回答し、それぞれの得点を重み付けして算出された SUS スコアを可視化したものである。この図を通じて、システム全体の快適性や使いやすさに関する評価結果を視覚的に確認することができる。全体の得点結果を見ると、12 名の被験者全員の得点は 75 点から 100 点の範囲に分布している。特に、図中で示されている被験者 2 および被験者 7 は満点（100 点）を記録しており、システムのユーザビリティについて非常に高い評価を与えていることがわかる。また、全被験者の平均点は 86.5 点であり、全般的に高い評価が得られていることが考えられる。一方で、最低得点を記録した被験者は被験者 9 であり、その得点は約 75 点であった。この結果は、全体として本システムが快適性や使いやすさにおいて良好な評価を受けたことを示している。

全被験者の平均点を基に、本システムを用いたアクション動画鑑賞におけるユーザビリティの評価を行った。図 5.14 は、SUS に基づく評価得点に対する評価尺度 [117] を示している。この評価尺度にある許容度（Acceptability）の基準を適用すると、全被験者の平均点である 86.5 点は「acceptable」に該当する。また、被験者から評価された最低点である約 75 点についても同様に「acceptable」に該当することが確認された。以上の結果から、本システムのユーザビリティは高く評価されており、十分に許容できるレベルの快適性と使いやすさを備えていることが示唆された。

また、本実験では、SUS で直接評価の対象として言及していない「システムの重さ」に関する評価を、SUS の質問票に加えて独自の評価を行った。この質問票では、それぞれの質問に対して 5 段階のリッカート尺度を用い、「そう思う」から「そう思わない」までの範囲で回答を得た。表 5.8 は、本システムを用いたアクション動画鑑賞時に使用したスマートフォンアクセサリーの重さに関する評価結果を示している。本実験で使用したスマートフォンアクセサリーは、スマートフォンを固定した状態での総重量が 510g であり、この重量が長時間の鑑賞において被験者に疲労を与える可能性が懸念された。「鑑賞時に固定したスマートフォンを含むスマートフォンアクセサリーは全体的に軽かった」という質問に対しては、評価は「どちらともいえない」に集中しており、アクセサリーの重量に対して中立的な意見が多かった。しかし、「スマートフォンアクセサリーを 60 分間持ち続けた場合、手や腕に疲れを感じないと思う」および「スマートフォンアクセサリーを 90 分間持ち続けた場合、手や腕に疲れを感じないと思う」という質問に対しては、否定的な評価

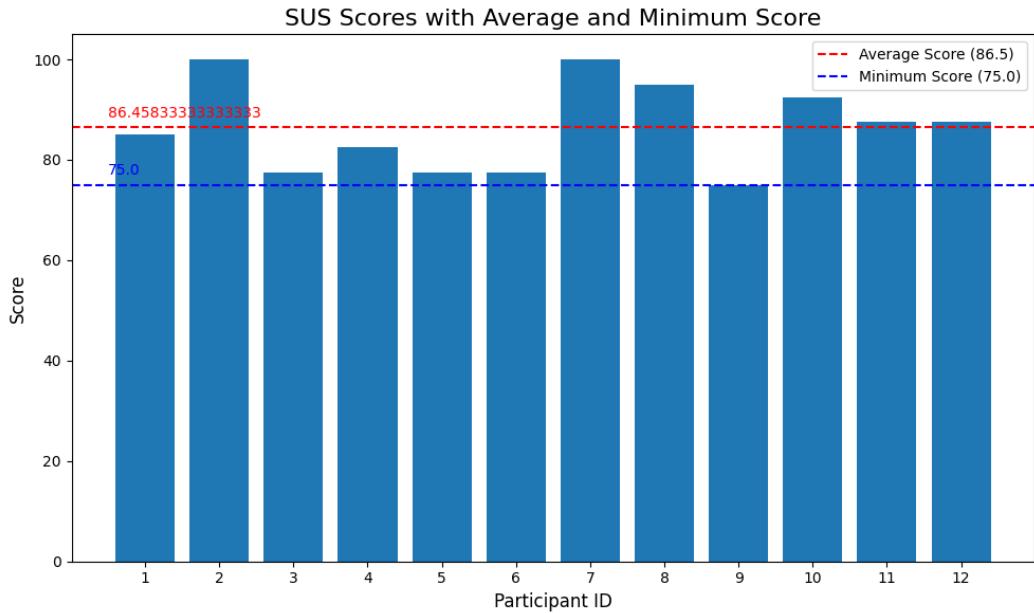


図 5.13: SUS に基づく各被験者の快適性と使用感に関する評価得点

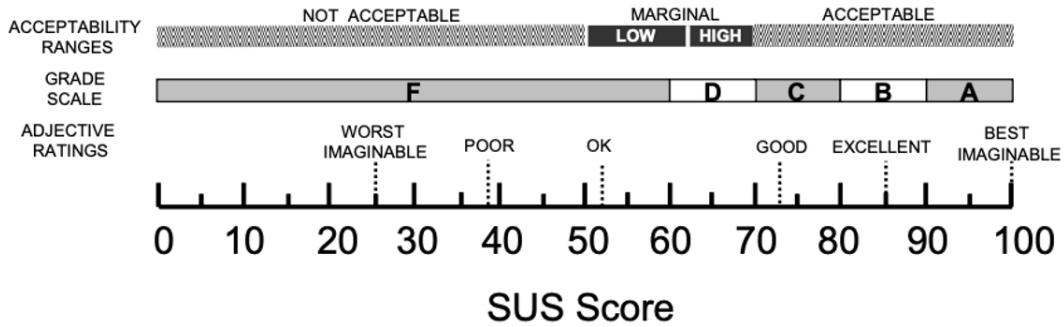


図 5.14: SUS に基づく評価得点に対する評価尺度 ([117] より引用)

が多く見られ、長時間の使用において重量感が疲労の蓄積を引き起こす可能性が示唆された。一方で、「スマートフォンアクセサリーの形状は持ちやすさに適している」という質問に対しては高い評価が得られ、アクセサリーの形状が被験者の使用感において好意的に受け止められたことが確認された。この結果から、スマートフォンアクセサリーの形状が持ちやすさを向上させる一方で、重量感が長時間の使用における課題として残されていることが考えられる。

5.2.5 擬似心拍刺激を伴うアクション動画鑑賞の評価

本実験では、システムを使用したアクション動画鑑賞後に実施した SUS によるユーザビリティ評価に加えて、擬似心拍刺激に焦点を当てたアクション動画鑑賞の独自の評価を行った。この評価では、それぞれの質問に対して 5 段階のリッカート尺度を用い、「そう思う」から「そう思わない」までの範囲で回答を得た。表 5.9 は、擬似心拍刺激を伴うアクション動画鑑賞に関する評価結果を示している。結果から、擬似心拍刺激がアクション動画鑑賞中の主観的な没入感や興奮度合いを高めることについて肯定的な評価が得られたことが確認された。特に、擬似心拍刺激はアクション動画鑑賞時の緊張感や興奮度を高め

表 5.8: スマートフォンアクセサリーの重さに関する評価

質問文（回答者：12名）	評価（5点満点）	評価（100%）
鑑賞時に固定したスマートフォンを含むスマートフォンアクセサリーは全体的に軽かった	3	60%
スマートフォンアクセサリーを持っている間、手や腕に疲れを感じなかった	3.25	65%
スマートフォンアクセサリーを30分間持ち続けた場合、手や腕に疲れを感じないと思う	3.5	70%
スマートフォンアクセサリーを60分間持ち続けた場合、手や腕に疲れを感じないと思う	2.5	50%
スマートフォンアクセサリーを90分間持ち続けた場合、手や腕に疲れを感じないと思う	1.92	38%
スマートフォンアクセサリーの形状や表面の材質は、持ちやすさに適している	4.5	90%

る点において有効であることが示された。また、「擬似心拍刺激がアクション動画鑑賞体験に良い影響を与えた」という質問項目においても高い評価が得られた。この結果から、スマートフォンアクセサリーによる昂りに連動した擬似心拍刺激は、アクション動画鑑賞時の情動の強度を高め、全体的な鑑賞体験の向上に寄与する可能性が示唆される。

表 5.9: 擬似心拍刺激を伴うアクション動画鑑賞に関する評価

質問文（回答者：12名）	評価（5点満点）	評価（100%）
擬似心拍刺激がアクション動画鑑賞中の没入感を高めたと感じた	4	80%
擬似心拍刺激がアクション動画鑑賞中の緊張感や興奮度を高めたと感じた	4.4	88%
擬似心拍刺激はアクション動画鑑賞の体験を新鮮なものにした	4.8	95%
擬似心拍刺激がアクション動画鑑賞の体験に良い影響を与えてた	4.4	88%

5.2.6 情動評価の結果に対する考察

本実験では、昂りに連動した擬似心拍刺激によるフィードバックを行うスマートフォンアクセサリーを用いたアクション動画鑑賞体験と、従来のスマートフォン単体でのアクション動画鑑賞体験における情動評価を、SAM を用いた主観的評価に基づいて比較した。

その結果、システムの有無による条件間の情動評価において、システムを使用した場合の方が快-不快、覚醒度、主導感の各尺度で評価が高く、すべての尺度において統計的に有意な差が認められた。また、鑑賞順序の影響を考慮し、システム無およびシステム有の順序ごとに情動評価を分析したところ、各尺度において有意差は確認されず、鑑賞順序による順序効果のバイアスが生じていないことが示唆された。これにより、鑑賞順序の影響ではなく、システムの有無そのものが情動評価に影響を与えたと考えられる。以上の結果から、スマートフォンアクセサリーを用いた昂りに連動する振動および照明による擬似心拍刺激のフィードバックは、ユーザに自身の昂りを認識させるとともに、興奮を促進させる効果を持つことが示唆された。このことから、本システムはアクション動画鑑賞時の情動体験を強化し、より没入感のある鑑賞体験を提供する可能性が高いと考えられる。

5.2.7 快適性および使用感の評価に対する考察

SUS を利用したシステムのユーザビリティ評価の結果では、平均点および最低点のいずれも、評価尺度における許容度の基準を満たしており、「acceptable」に該当することが確認された。これにより、本システムは十分に許容できるレベルの快適性と使いやすさを備えていることが示唆される。スマートフォンをアクセサリーに装着し、専用アプリケーションを起動・実行するだけで容易に使用できるシンプルな操作性とハンドケース型による負担のない設計が、ユーザビリティの高評価に寄与したと考えられる。

しかし、スマートフォンアクセサリーの重さに関する評価では、「鑑賞時に固定したスマートフォンを含むスマートフォンアクセサリーは全体的に軽かった」という質問に対し、多くの回答が「どちらともいえない」に集中した。これは、アクセサリーの重量に対して中立的な意見が多く、長時間の使用においては重さによる疲労感が蓄積する可能性があることを示唆している。動画鑑賞媒体として使用するスマートフォンの重さも影響を与える要因ではあるが、アクセサリー単体でも約 300g の重量があるため、サイズの縮小や軽量化など、よりコンパクトな設計を検討する必要があると考えられる。

5.3 定量評価の結果および考察

5.3.1 昂りの判定回数の比較

本実験では、システムを使用した場合と使用しない場合でのアクション動画鑑賞において、脈波変動の特徴量を基に機械学習モデルを通して「昂り」かどうかを分類し、直近の分類結果と比較して判定された「昂り」の回数を記録した。この「昂り」の判定回数を基に、システムの有無によるアクション動画鑑賞中の昂りの判定回数を比較する。図 5.15 は、システム有無でのアクション動画鑑賞中における昂りの判定回数の分布を箱ひげ図を用いて示している。分布結果を見ると、システムを使用した場合では、中央値および平均値がシステムを使用しない場合よりも高いことが確認された。また、システム有の条件下では、評価分布が全体的に上方向にシフトしており、両条件の平均値の差が顕著である。また、表 5.10 は、システム有無の条件間におけるアクション動画鑑賞時の昂りの判定回数の平均値およびその差分を示している。この結果から、システム有の条件では平均値が顕著に高い傾向にあることが確認された。この結果は、システムを使用することで提示さ

れるフィードバックが、アクション動画鑑賞中の昂りの頻度が増加し、システムが情動体験の強化に寄与する可能性を示唆していると考えられる。しかしながら、これらの平均値の差が偶然によるものか、統計的に有意な差であるかを判断する必要がある。そのため、有意水準を5%に設定し、システム有無の条件間における昂りの判定回数の違いについて対応ありのt検定を実施した。

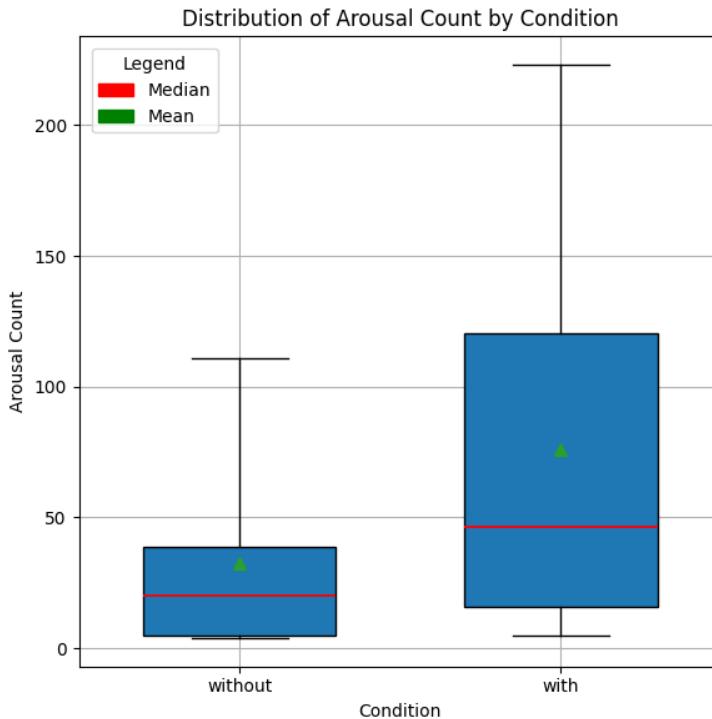


図 5.15: システム有無でのアクション動画鑑賞時の「昂り」の判定回数の分布

表 5.10: システム有無でのアクション動画鑑賞時の「昂り」の判定回数の平均と条件間の差

「昂り」の判定回数の平均	
システム有	75.9
システム無	32.7
システム有無の差（有-無）	43.2

システムの有無による「昂り」の判定回数の比較では、帰無仮説を「システムの有無でのアクション動画鑑賞体験において「昂り」の判定回数に差がない」と設定し、有意水準を0.05に設定した。表 5.11 は、対応あり t 検定を実施した結果を示している。この結果から、昂りの判定回数において t 値が片側検定の棄却域 (1.796) に含まれ、さらに p 値も有意水準未満であることが確認された。これらの結果を踏まえ、帰無仮説は棄却され、システムの有無が昂りの判定回数に影響を及ぼしていることが示された。また、システム有の条件では昂りの回数が増加する傾向が見られ、システムによるフィードバックが情動体験の強化に寄与する可能性が示唆していると考える。

昂りの判定回数においても、システムの有無に差がある結果を受けて、順序効果の有無

表 5.11: システム有無での「昂り」の判定回数に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
判定回数	2.451	0.016	1.796	0.032	2.201

を検証した。図 5.16 は、システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の分布を箱ひげ図で示している。分布結果を見ると、システム無での鑑賞順序における 1 回目と 2 回目の平均値はほとんど同じであることが確認された。また、中央値は 1 回目がわずかに低いものの、分布の範囲において 1 回目と 2 回目の間に大きな違いは見られず、全体的に似通った傾向を示している。また、表 5.12 は、システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の平均値およびその差分を示している。この結果から、システム無での鑑賞順序において、「昂り」の判定回数に差異はないことが考えられる。しかしながら、これらの平均値の差が偶然によるものか、統計的に有意な差であるかを判断する必要がある。そのため、有意水準を 5% に設定し、システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の違いについて対応なしの t 検定を実施した。

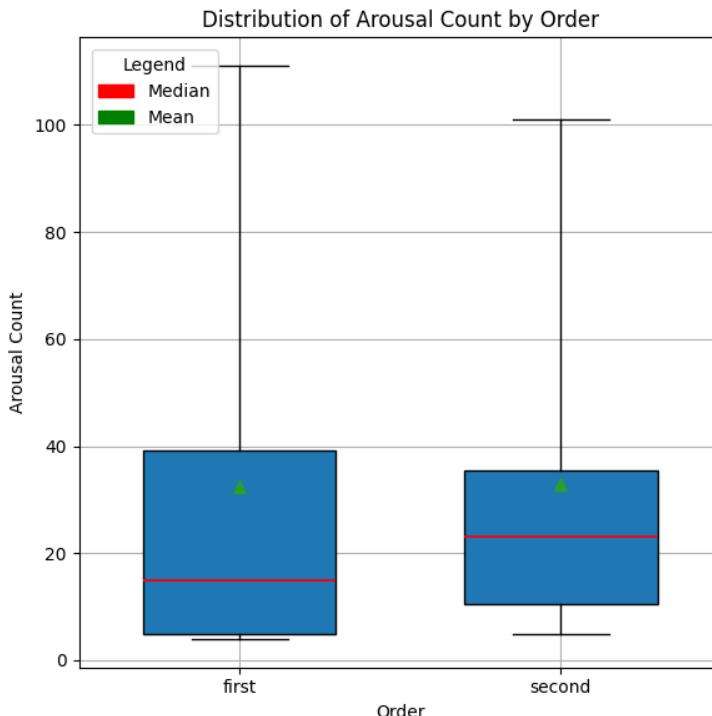


図 5.16: システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の分布

表 5.12: システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の平均と条件間の差

「昂り」の判定回数の平均	
1 回目	75.9
2 回目	32.7
鑑賞順序における差 (2 回目-1 回目)	43.2

システム無での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の比較では、帰無仮説を「システム無での鑑賞順序におけるアクション動画鑑賞体験において「昂り」の判定回数に差がない」と設定し、有意水準を 0.05 とした。表 5.13 は、対応なし t 検定を実施した結果を示している。この結果より、昂りの判定回数について、いずれも t 値が片側検定の棄却域 (1.812) および両側検定の棄却域 (2.228) のいずれにも含まれず、p 値も有意水準以上であることから、システム無の鑑賞順序による昂りの判定回数に有意な差は確認されなかつた。これらの結果から、帰無仮説は棄却されず、システム無での鑑賞順序が「昂り」の判定回数に影響を及ぼす可能性は低いことを示唆している。

表 5.13: システム無での鑑賞順序の「昂り」の判定回数に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
判定回数	-0.030	0.488	1.812	0.977	2.228

図 5.17 は、システム有での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の分布を箱ひげ図で示している。分布結果を見ると、1 回目の中央値および平均値が 2 回目の中央値および平均値よりも顕著に高いことが確認された。また、分布範囲においても、1 回目が高い判定回数で広がりを持つ傾向が見られる。この結果から、システム有での鑑賞順序において、1 回目の判定回数が高いことが示され、順序効果が影響している可能性が考えられる。さらに、表 5.14 は、システム有での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の平均値およびその差分を示している。この結果から、システム有の条件において鑑賞順序が「昂り」の判定回数に顕著な差をもたらしていることが確認された。しかし、これらの平均値の差が偶然によるものか、統計的に有意な差であるかを判断する必要がある。そのため、有意水準を 5% に設定し、システム有での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の違いについて対応なしの t 検定を実施した。

表 5.14: システム有での鑑賞順序の「昂り」の判定回数の平均と条件間の差

「昂り」の判定回数の平均	
1 回目	95.8
2 回目	56.0
鑑賞順序における差 (2 回目-1 回目)	-39.8

システム有での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の比較では、帰無仮説を「システム有での鑑賞順序におけるアクション動画鑑賞体験において「昂り」の判定回数に差がない」と設定し、有意水準を 0.05 とした。表 5.15 は、対応なし t 検定を実施した結果を示している。この結果より、昂りの判定回数について、いずれも t 値が片側検定の棄却域 (1.812) および両側検定の棄却域 (2.228) のいずれにも含まれず、p 値も有意水準以上であることから、システム有の鑑賞順序による昂りの判定回数に有意な差は確認されなかつた。これらの結果から、帰無仮説は棄却されず、システム有での鑑賞順序が「昂り」の判定回数に影響を及ぼす可能性は低いことを示唆している。

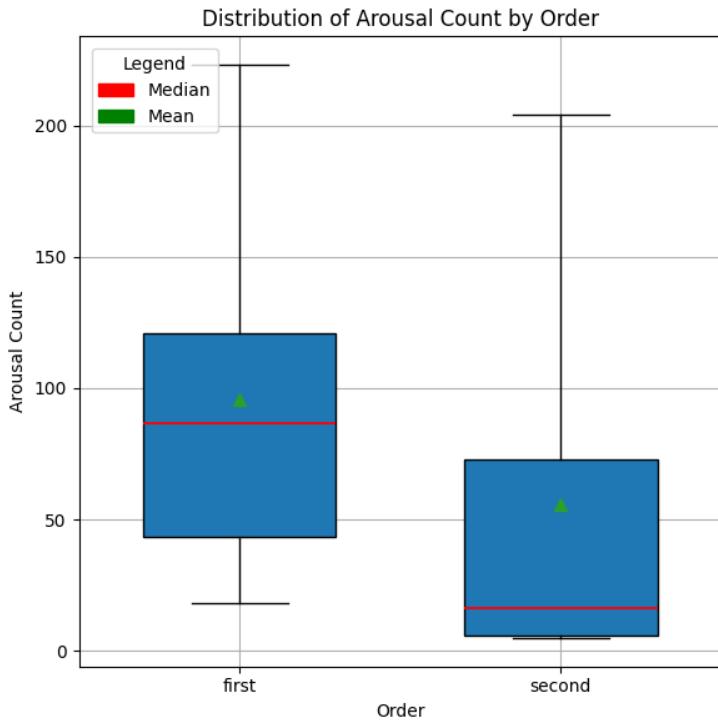


図 5.17: システム有での鑑賞順序における「昂り」の判定回数の分布

表 5.15: システム有での鑑賞順序の「昂り」の判定回数に関する検定統計量と p 値の結果

尺度	t 値	片側検定 p 値	片側検定境界値	両側検定 p 値	両側検定境界値
判定回数	0.892	0.197	1.812	0.393	2.228

5.3.2 脈波変動指標の変化について

本実験では、アクション動画鑑賞によって誘発される興奮的情動が脈波変動に与える影響を検証するため、情動的興奮時に周波数領域指標の一つである「LF/HF」が増加したことが見られた研究 [40][32] を参考に、「LF/HF」に注目し、システムの有無によるアクション動画鑑賞中のこの指標の変化の差異を比較した。

30 分間のアクション動画鑑賞において、システムの有無に応じた LF/HF の変化を比較するため、窓サイズ 240 秒、シフトサイズ 5 秒で算出された LF/HF の時系列データを用いて、開始から 30 分までの 10 分ごとの区間を設けた。各被験者（12 名）ごとに、それぞれの区間における LF/HF の平均値を算出し、システム有無での違いを検討した。図 5.18 は、システム有無における 10 分ごとの LF/HF の平均値の差（システム有 - システム無）の推移を示したものである。図中において、値が高い方向に推移している場合、システム有の条件における LF/HF の平均値が高いことを意味し、システム使用時により強い興奮が誘発されている可能性が考えられる。しかし、10 分ごとの LF/HF の平均値の差の推移において、平均値は 0 付近（ベースライン付近）を推移しており、システムの使用時と非使用時で LF/HF に顕著な変化は見られない。

一方で、一部の被験者の 20~30 分の区間において、システムの使用時と非使用時で LF/HF が顕著に異なることが確認された。図 5.19 は、該当する被験者 A のシステムの有

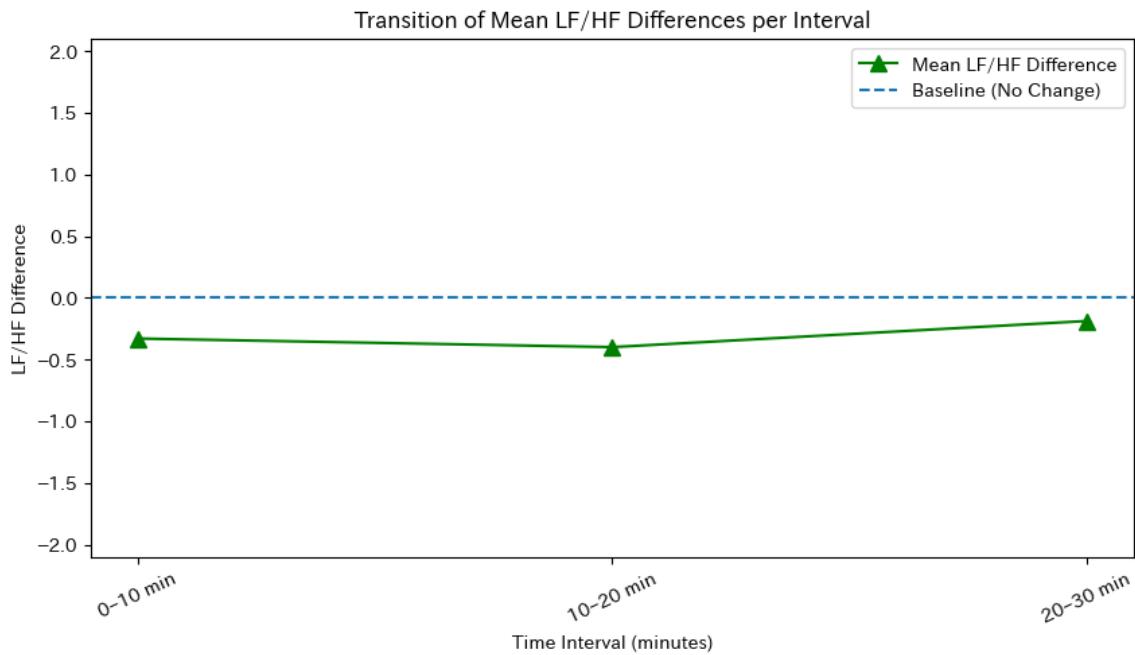


図 5.18: システム有無における 10 分ごとの LF/HF の平均値の差の推移

無による LF/HF の時系列的な変化を示し、加えて、システム有の条件で昂りと判定され、擬似心拍刺激によるフィードバックが行われたタイミングを縦の赤色破線で示している。この被験者において、20~30 分の区間では、システム無の条件では LF/HF が減少傾向にあるのに対し、システム有の条件では昂り判定による、連続的な擬似心拍刺激のフィードバックが行われることで、LF/HF が増加している。この結果は、一部の被験者に対して、擬似心拍刺激によるフィードバックが自律神経活動に影響を与え、交感神経優位な状態を促進する可能性を示唆していると考えられる。

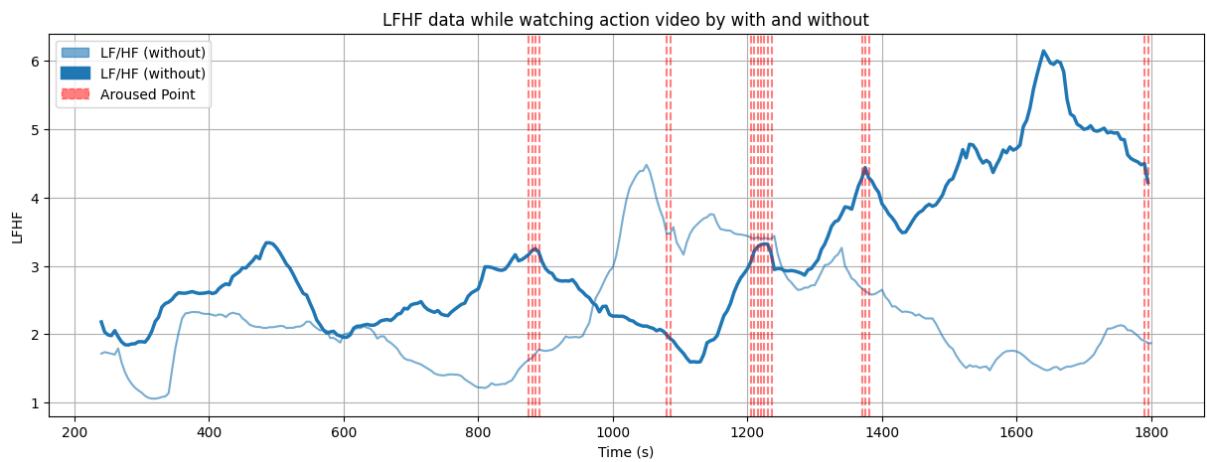


図 5.19: 被験者 A のシステムの有無でのアクション動画鑑賞時の LF/HF の推移

5.3.3 脈波変動指標の変化および昂りの判定回数に対する考察

本実験では、周波数領域指標の一つである「LF/HF」に着目し、システムの有無によるアクション動画鑑賞中のこの指標の変化の差異を比較した。その結果、システムの有無に

によるアクション動画鑑賞時の LF/HF の推移に、顕著な違いは確認されなかった。この結果は、昂りに連動した振動および照明による擬似心拍刺激が、交感神経と副交感神経のバランスに大きな影響を及ぼしていない可能性を示唆している。したがって、本研究のシステムは主観的な情動評価には影響を与えたものの、生理指標における交感神経活動と副交感神経活動の相対的な比率に対する擬似心拍刺激の効果は限定的であると考えられる。本実験では「LF/HF」に着目したが、被験者の「手に汗を握る感覚があった」という感想から、興奮に伴う発汗度合いへの影響に着目した評価を今後の検討とする。

一方で、システムを使用したアクション動画鑑賞では、使用しない場合と比較して、脈波変動の特徴量を用いた昂りの分類モデルによる「昂り」の判定回数が有意に増加することが確認された。この結果は、システムを使用することで、フィードバックを通じて昂りの回数が増加する効果があることを示唆している。さらに、フィードバックに対する期待感が脈波信号に影響を与え、昂る回数の増加を促している可能性も考えられる。

第6章 結論

6.1 まとめ

本研究では、個人の動画鑑賞における情動体験を強化することを通じて、スマートフォンでの動画鑑賞体験の拡張を目的とし、アクション動画鑑賞中にスマートウォッチを用いて取得するユーザの脈拍変動を基に、機械学習モデルによってリアルタイムに「昂り」を判定するアプリケーションを使用して、判定結果に応じて振動および照明が同期した擬似心拍刺激を提示するスマートフォンアクセサリーを製作した。

本システムによる動画鑑賞体験への影響を検証するため、システム使用の有無による2条件でアクション動画鑑賞を実施し、Self-Assessment Manikin を用いた主觀的情動評価の比較および System Usability Scale を用いたユーザビリティ評価を行った。その結果、システムを使用した場合の方が、快-不快、覚醒度、主導感（没入感）のすべての尺度において評価が高く、統計的に有意な差が認められた。また、システム有無の鑑賞順序別の情動評価では、有意な差は確認されず、順序効果の影響は生じていないことが示された。これにより、システムの使用が情動評価に有効であることが示された。さらに、ユーザビリティ評価の結果、システムを使用したアクション動画鑑賞後に十分に許容可能なユーザビリティを有すると高く評価された。

一方で、両条件における脈拍変動指標の変化について、周波数領域指標の一つであるLF/HFに着目して分析した結果、30分間のアクション動画鑑賞中の10分ごとの推移において、使用条件と非使用条件の間に顕著な違いは確認されなかった。したがって、本システムは主觀的な情動評価には影響を与えたものの、LF/HFに対する擬似心拍刺激の効果は限定的であることが確認された。しかしながら、生理指標に関しては、動画鑑賞中の発汗度合いなど、興奮に関連する他の生理指標について検討が必要であり、今後の課題として取り組む必要がある。

以上の結果を踏まえ、昂りに運動して振動および照明が同期した擬似心拍刺激を提示するスマートフォンアクセサリーは、従来の動画鑑賞と比較して、使用時の負担を抑えつつ、興奮をより高める効果を有し、主觀的な情動体験の強化に寄与することが示された。この成果を基に、本システムはスマートフォンによる動画鑑賞体験の拡張手法として有用であると考えられる。

6.2 今後の展望

今後の展望としては、図6.1に示すように、本システムにおけるさらなる取り組みとして、熱を利用した温冷提示やアロマを活用した香りの提示など、他のフィードバック手法との組み合わせを検討し、スマートフォンアクセサリーを拡張することで、多様な動画鑑賞体験の創出を目指す。また、動画鑑賞中のフィードバックが適切なタイミングで行われ

ない場合、鑑賞体験を損なうリスクが高まることが考えられる。そのため、動画鑑賞時の昂りをより正確に判定するために、多様な年齢層や性別の被験者データを収集し、分析および分類精度の向上を行う必要がある。さらに、本研究で対象としたアクション動画に限定せず、コメディ動画や恋愛動画など、さまざまなジャンルの動画にも対応できる動画鑑賞システムの実現に取り組む。

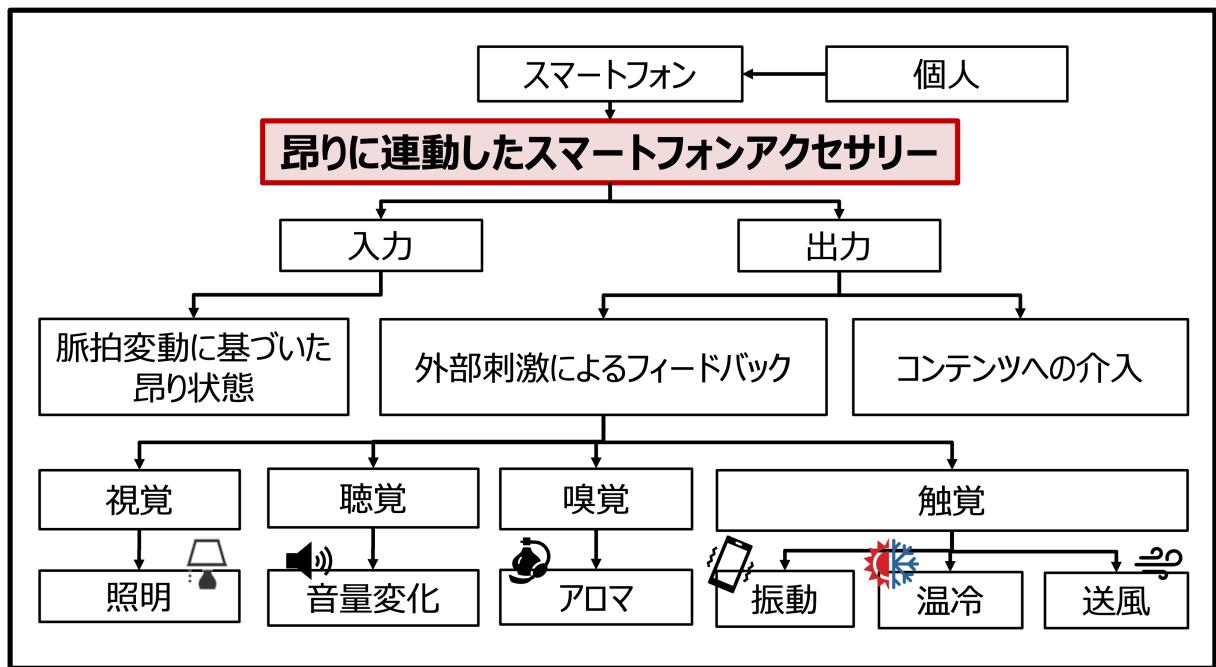


図 6.1: 本システムにおける今後の取り組み

謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11961 の助成を受けたものです。

本稿の執筆に際し、研究方針から丁寧なご指導を賜りました、青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 Guillaume Lopez 教授に深く感謝申し上げます。また、副査として、提案手法や実験手法に対して様々な意見やご助言をいただきました青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 DURST, Martin Jakob 教授に深く感謝申し上げます。そして、研究会などを通して客観的な視点でのアイデアの提供や、励ましをいただきましたウェアラブル環境情報システム研究室の皆様、並びに、貴重な時間を割いて実験に協力していただいた被験者の皆様に深く感謝いたします。最後に、学部生の時から常に心身を支えてくださった家族の皆様に心より感謝申し上げます。

2025年1月31日
柴武志

参考文献

- [1] 日本生産性本部. レジャー白書 2021 卷頭要約. https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/summary2021_leisure.pdf, 9 2021. (最終参照日 : 2023/10/17) .
- [2] 日本生産性本部. レジャー白書 2024 卷頭要約. https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/summary2024_leisure.pdf, 10 2024. (最終参照日 : 2024/12/17) .
- [3] ICT 総研. 2023 年有料動画配信サービス利用動向に関する調査. <https://ictr.co.jp/report/20230421.html>, 4 2023. (最終参照日 : 2023/10/17) .
- [4] モバイル社会研究所. 10 代男女の約 3 割が 1 日 6 時間以上スマホで動画を観聴. <https://www.moba-ken.jp/project/lifestyle/20241021.html>, 10 2024. (最終参照日 : 2024/12/17) .
- [5] MediaMotion. Mx4d motion efx experience. <https://www.mediamation.com/mx4d-theatres/>. (最終参照日 : 2024/2/12) .
- [6] CJ 4DPLEX. 4dx. <https://www.cj4dplex.com/4dx>. (最終参照日 : 2024/2/12) .
- [7] NHK. 映画を変えるか 「vr 映画」が切り開く新たな映像体験. https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2023/04/special/story_vr_movie/. (最終参照日 : 2024/2/12) .
- [8] Netflix. Interactive tv shows and movies on netflix. <https://help.netflix.com/en/node/62526>. (最終参照日 : 2024/2/12) .
- [9] 株式会社 BCN. スマホの平均画面サイズ、「5.87 インチ」で高止まり？iphone の歴史とともに振り返ってみた. https://www.bcnretail.com/market/detail/20230325_321595.html, 3 2023. (最終参照日 : 2024/10/19) .
- [10] Jacob M Rigby, Duncan P Brumby, Anna L Cox, and Sandy JJ Gould. Watching movies on netflix: investigating the effect of screen size on viewer immersion. In *Proceedings of the 18th international conference on human-computer interaction with mobile devices and services adjunct*, pp. 714–721, 2016.
- [11] Johanna Dunaway and Stuart Soroka. Smartphone-size screens constrain cognitive access to video news stories. *Information, Communication & Society*, Vol. 24, No. 1, pp. 69–84, 2021.

- [12] Jonah Berger, Yoon Duk Kim, and Robert Meyer. What makes content engaging? how emotional dynamics shape success. *Journal of Consumer Research*, Vol. 48, No. 2, pp. 235–250, 2021.
- [13] Eran Dayan, Avi Barliya, Beatrice de Gelder, Talma Hendler, Rafael Malach, and Tamar Flash. Motion cues modulate responses to emotion in movies. *Scientific reports*, Vol. 8, No. 1, p. 10881, 2018.
- [14] Larry Cahill, Richard J Haier, James Fallon, Michael T Alkire, Cheuk Tang, David Keator, Joseph Wu, and James L McGaugh. Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information. *Proceedings of the National Academy of sciences*, Vol. 93, No. 15, pp. 8016–8021, 1996.
- [15] Dahlia W Zaidel. The art of film: Perspective on neural clues to repeated attraction to movie watching. *Neuropsychologia*, Vol. 180, p. 108485, 2023.
- [16] Jonah Berger. Arousal increases social transmission of information. *Psychological science*, Vol. 22, No. 7, pp. 891–893, 2011.
- [17] Red Meat Games. Bring to light. <https://redmeat.games/bring-to-light/>. (最終参照日：2024/6/17) .
- [18] Flying Mollusk. Nevermind. <https://nevermindgame.com>. (最終参照日：2024/6/17) .
- [19] OVOMIND. Ovomind home. <https://ovomind.com/>. (最終参照日：2024/10/15) .
- [20] ENO. Audio neuro-stimulation angle. <https://getenophone.com/pages/audio-neuro-stimulation-angle>. (最終参照日：2024/6/17) .
- [21] 新村出編. 広辞苑（第六版）. 岩波書店, 2008.
- [22] 白井真理子, 武藤世良, 中村真. 日本感情心理学会員が考える「感情とは何か」(1)—感情=情動なのか—. 感情心理学研究, Vol. 28, No. Supplement, pp. ps17–ps17, 2020.
- [23] Andrew Ortony, Gerald L Clore, and Allan Collins. *The cognitive structure of emotions*. Cambridge university press, 2022.
- [24] 大平英樹編. 感情心理学・入門. 有斐閣アルマ, 2010.
- [25] Ursula Hess and Pascal Thibault. Darwin and emotion expression. *American Psychologist*, Vol. 64, No. 2, p. 120, 2009.
- [26] Paul Ekman and Wallace V Friesen. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 17, No. 2, p. 124, 1971.
- [27] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 39, No. 6, p. 1161, 1980.

- [28] James A Russell and James M Carroll. On the bipolarity of positive and negative affect. *Psychological bulletin*, Vol. 125, No. 1, p. 3, 1999.
- [29] 日本生理人類学会編. 人間科学の百科辞典. 丸善出版, 2015.
- [30] Hideki Ohira, Michio Nomura, Naho Ichikawa, Tokiko Isowa, Tetsuya Iidaka, Atsushi Sato, Seisuke Fukuyama, Toshihiko Nakajima, and Jitsuhiro Yamada. Association of neural and physiological responses during voluntary emotion suppression. *Neuroimage*, Vol. 29, No. 3, pp. 721–733, 2006.
- [31] Paul Ekman, Robert W Levenson, and Wallace V Friesen. Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *science*, Vol. 221, No. 4616, pp. 1208–1210, 1983.
- [32] Ahmad Rauf Subahni, Likun Xia, and Aamir Saeed Malik. Association of mental stress with video games. In *2012 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012)*, Vol. 1, pp. 82–85. IEEE, 2012.
- [33] Raj Rakshit, V Ramu Reddy, and Parijat Deshpande. Emotion detection and recognition using hrv features derived from photoplethysmogram signals. In *Proceedings of the 2nd workshop on Emotion Representations and Modelling for Companion Systems*, pp. 1–6, 2016.
- [34] Kwang-Ho Choi, Junbeom Kim, O Sang Kwon, Min Ji Kim, Yeon Hee Ryu, and Ji-Eun Park. Is heart rate variability (hrv) an adequate tool for evaluating human emotions?—a focus on the use of the international affective picture system (iaps). *Psychiatry research*, Vol. 251, pp. 192–196, 2017.
- [35] Yan Wu, Ruolei Gu, Qiwei Yang, and Yue-jia Luo. How do amusement, anger and fear influence heart rate and heart rate variability? *Frontiers in neuroscience*, Vol. 13, p. 1131, 2019.
- [36] Bin Yu, Mathias Funk, Jun Hu, and Loe Feijls. Stresstree: A metaphorical visualization for biofeedback-assisted stress management. In *Proceedings of the 2017 conference on designing interactive systems*, pp. 333–337, 2017.
- [37] 多田有輝, 伊藤淳子, 宗森純ほか. スマートウォッチを用いた人の状況判定システムの開発. 2020 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2020, , 2020.
- [38] 金多賢, 北島宗雄, 李昇姫. 映像に対する嗜好と感情反応・印象評価の関係. 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 181–189, 2014.
- [39] Kamil Topal and Gultekin Ozsoyoglu. Movie review analysis: Emotion analysis of imdb movie reviews. In *2016 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*, pp. 1170–1176. IEEE, 2016.
- [40] Sokichi Sakuragi, Yoshiki Sugiyama, and Kiyomi Takeuchi. Effects of laughing and weeping on mood and heart rate variability. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, Vol. 21, No. 3, pp. 159–165, 2002.

- [41] 村瀬千春, 川本利恵子, 杉本助男. 視聴覚刺激による情動の変化-心拍変動の分析. *Journal of UOEH*, Vol. 26, No. 4, pp. 461–471, 2004.
- [42] 宮本晴司, 代蔵巧, 棟方渚, 小野哲雄ほか. 生体信号を用いた動画視聴中のユーザ評価の推定. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, Vol. 2015, pp. 568–573, 2015.
- [43] Makoto Fukumoto and Yuuki Tsukino. Relationship of terror feelings and physiological response during watching horror movie. In *Computer Information Systems and Industrial Management: 14th IFIP TC 8 International Conference, CISIM 2015, Warsaw, Poland, September 24-26, 2015, Proceedings 14*, pp. 500–507. Springer, 2015.
- [44] Jo Vermeulen, Lindsay MacDonald, Johannes Schöning, Russell Beale, and Sheelagh Carpendale. Heartefacts: augmenting mobile video sharing using wrist-worn heart rate sensors. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, pp. 712–723, 2016.
- [45] 代蔵巧, 棟方渚, 小野哲雄ほか. E3-player: 鑑賞者の興奮を促進させる動画鑑賞システム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集, Vol. 2013, pp. 272–277, 2013.
- [46] 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.
- [47] 吉田豊, 山本健人, 湯田恵美, 早野順一郎ほか. 心拍変動へ機械学習適用による映画視聴時の情動判別. 研究報告電子化知的財産・社会基盤 (EIP), Vol. 2018, No. 10, pp. 1–2, 2018.
- [48] Reika Takeshita, Aya Shoji, Tahera Hossain, Anna Yokokubo, and Guillaume Lopez. Emotion recognition from heart rate variability data of smartwatch while watching a video. In *2021 Thirteenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU)*, pp. 1–6. IEEE, 2021.
- [49] Reika Takeshita, Anna Yokokubo, and Guillaume Lopez. Proposal for an individually adapted video viewing system linked to the user's feeling of fear. In *Extended Abstracts of the 2022 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, pp. 166–170, 2022.
- [50] Paul Lemmens, Floris Crompvoets, Dirk Brokken, Jack Van Den Eerenbeemd, and Gert-Jan de Vries. A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing. In *World Haptics 2009-Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 7–12. IEEE, 2009.
- [51] Caitlyn Seim, James Hallam, Shashank Raghu, Tri-An Le, Greg Bishop, and Thad Starner. Perception in hand-worn haptics: placement, simultaneous stimuli, and vibration motor comparisons. 2015.

- [52] Antonella Mazzoni and Nick Bryan-Kinns. Mood glove: A haptic wearable prototype system to enhance mood music in film. *Entertainment Computing*, Vol. 17, pp. 9–17, 2016.
- [53] Damien Ablart, Carlos Velasco, and Marianna Obrist. Integrating mid-air haptics into movie experiences. In *Proceedings of the 2017 ACM international conference on interactive experiences for TV and online video*, pp. 77–84, 2017.
- [54] Dawoon Jeong, Sung H Han, Kimin Kwon, and Wan Sun Shin. Emotional and physiological responses to the roll motion effect in 4d movies. *Affective and Pleasurable Design*, Vol. 41, No. 41, 2022.
- [55] Yuki Kosuge, Yumeka Ogura, and Shogo Okamoto. Vibration to upper body manipulates joyful experience while viewing emotional scenes. In *2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 613–615. IEEE, 2023.
- [56] Víctor Cerdán-Martínez, Álvaro García-López, Pablo Revuelta-Sanz, Tomás Ortiz, and Ricardo Vergaz. Haptic stimulation during the viewing of a film: an eeg-based study. *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1–14, 2024.
- [57] Ibuki Tara, Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, and Hidetaka Ozeki. Timing of vibratory stimuli to the upper body for enhancing fear and excitement of audio-visual content. *International Journal of Affective Engineering*, Vol. 22, No. 2, pp. 105–113, 2023.
- [58] Vicente Ortiz-García-Cervigón, Marina V Sokolova, Rosa María García-Muñoz, and Antonio Fernández-Caballero. Led strips for color-and illumination-based emotion regulation at home. In *Ambient Assisted Living. ICT-based Solutions in Real Life Situations: 7th International Work-Conference, IWAAL 2015, Puerto Varas, Chile, December 1-4, 2015, Proceedings* 7, pp. 277–287. Springer, 2015.
- [59] Takuya Iwamoto and Soh Masuko. Lovable couch: Mitigating distrustful feelings for couples by visualizing excitation. In *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, pp. 157–158, 2015.
- [60] Lisa Wilms and Daniel Oberfeld. Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological research*, Vol. 82, No. 5, pp. 896–914, 2018.
- [61] Marieke Lieve Weijs, Domicèle Jonauskaite, Ricarda Reutimann, Christine Mohr, and Bigna Lenggenhager. Effects of environmental colours in virtual reality: Physiological arousal affected by lightness and hue. *Royal Society Open Science*, Vol. 10, No. 10, p. 230432, 2023.
- [62] Vanessa L Buechner and Markus A Maier. Not always a matter of context: direct effects of red on arousal but context-dependent moderations on valence. *PeerJ*, Vol. 4, p. e2515, 2016.

- [63] Dong Keun Kim, Sangmin Ahn, Sangin Park, and Mincheol Whang. Interactive emotional lighting system using physiological signals. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 59, No. 4, pp. 765–771, 2013.
- [64] Yu-Bin Shin, Seung-Hyun Woo, Dong-Hyeon Kim, Jinseong Kim, Jae-Jin Kim, and Jin Young Park. The effect on emotions and brain activity by the direct/indirect lighting in the residential environment. *Neuroscience letters*, Vol. 584, pp. 28–32, 2015.
- [65] 馬場哲晃, 笠松慶子, 土井幸輝, 串山久美子ほか. 温冷呈示を利用したビデオゲームインタラクションにおける手法の検討と開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp. 1082–1091, 2012.
- [66] Ryota Tsuruno, Kentaro Kotani, Satoshi Suzuki, and Takafumi Asao. Use of presentation of thermal stimulus for enhancing excitement during video viewing. In *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) Volume X: Auditory and Vocal Ergonomics, Visual Ergonomics, Psychophysiology in Ergonomics, Ergonomics in Advanced Imaging 20*, pp. 366–370. Springer, 2019.
- [67] Andrew Dekker and Erik Champion. Please biofeed the zombies: enhancing the game-play and display of a horror game using biofeedback. In *DiGRA'07-Proceedings of the 2007 DiGRA International Conference: Situated Play*, pp. 550–558, 2007.
- [68] 荒木勇人, 池田太一, 落合優介, 阿部将之, 小澤拓海, 一瀬啓太, 佐久間拓也, 川合康央. ユーザの脈拍数に応じて演出が変化する没入感を高めたホラーゲームの開発, 2017.
- [69] William James. What is an emotion? *Mind*, Vol. 9, No. 34, pp. 188–205, 1884.
- [70] Walter B Cannon. The james-lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory. *The American journal of psychology*, Vol. 39, No. 1/4, pp. 106–124, 1927.
- [71] Stanley Schachter and Jerome Singer. Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, Vol. 69, No. 5, p. 379, 1962.
- [72] Jeff T Larsen, Gary G Berntson, Kirsten M Poehlmann, Tiffany A Ito, and John T Cacioppo. The psychophysiology of emotion. *Handbook of emotions*, Vol. 3, pp. 180–195, 2008.
- [73] 鈴木直人編. 感情心理学. 朝倉書店, 2017.
- [74] Stuart Valins. Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 4, No. 4, p. 400, 1966.
- [75] Yoshio Inamori. Effects of false heart rate feedback on cognitive appraisal and physiological responses to emotional stimuli. *Japanese Psychological Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 153–157, 1979.

- [76] Marcus A Gray, Neil A Harrison, Stefan Wiens, and Hugo D Critchley. Modulation of emotional appraisal by false physiological feedback during fmri. *PLoS one*, Vol. 2, No. 6, p. e546, 2007.
- [77] Narihiro Nishimura, Taku Hachisu, Michi Sato, Shogo Fukushima, and Hiroyuki Kajimoto. Evaluation of a tactile device for augmentation of audiovisual experiences with a pseudo heartbeat. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, pp. 242–242, 2013.
- [78] Ryoko Ueoka and Kouya Ishigaki. Development of the horror emotion amplification system by means of biofeedback method. In *Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Context: 17th International Conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015, Proceedings, Part II* 17, pp. 657–665. Springer, 2015.
- [79] Erik Pescara, Alexander Wolpert, Matthias Budde, Andrea Schankin, and Michael Beigl. Lifetact: utilizing smartwatches as tactile heartbeat displays in video games. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pp. 97–101, 2017.
- [80] Sayaka Ogawa, Koichi Fujiwara, and Manabu Kano. Auditory feedback of false heart rate for video game experience improvement. *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 14, No. 1, pp. 487–497, 2020.
- [81] Masaki Omata and Yuta Nakada. An implementation of a pseudo-beat presentation device affecting emotion of a smartphone video viewer. In *CHIRa*, pp. 149–157, 2021.
- [82] Ruoqi Wang, Haifeng Zhang, Shaun Alexander Macdonald, and Patrizia Di Campli San Vito. Increasing heart rate and anxiety level with vibrotactile and audio presentation of fast heartbeat. In *Proceedings of the 25th International Conference on Multimodal Interaction*, pp. 355–363, 2023.
- [83] Kyung Yun Choi and Hiroshi Ishii. ambienbeat: Wrist-worn mobile tactile biofeedback for heart rate rhythmic regulation. In *Proceedings of the fourteenth international conference on tangible, embedded, and embodied interaction*, pp. 17–30, 2020.
- [84] Polar. M600 ユーザマニュアル. https://support.polar.com/e_manuals/M600/wear-os/polar-m600-user-manual-japanese/Content/introduction.htm. (参照日 2022/1/3).
- [85] The Internet Movie Database. Terminator 2: Judgment day. <https://www.imdb.com/title/tt0103064/>. (最終参照日：2024/7/19) .
- [86] Apple. iphone13 pro - 技術仕様. <https://support.apple.com/ja-jp/111871>. (最終参照日：2024/3/18) .

- [87] Helen J Michielsen, Jolanda De Vries, and Guus L Van Heck. Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: The fatigue assessment scale. *Journal of psychosomatic research*, Vol. 54, No. 4, pp. 345–352, 2003.
- [88] Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pac-ing Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, Vol. 93, No. 5, pp. 1043–1065, 1996.
- [89] Mirja A Peltola. Role of editing of r-r intervals in the analysis of heart rate variability. *Frontiers in physiology*, Vol. 3, p. 148, 2012.
- [90] 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉. スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システ ムの開発. 第 20 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 19–20, 2014.
- [91] Delphine Rommel, JL Nandrino, M Jeanne, R Logier, et al. Heart rate variability analysis as an index of emotion regulation processes: interest of the analgesia nociception index (ani). In *2012 Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society*, pp. 3432–3435. IEEE, 2012.
- [92] 櫻井優太, 清水遵. 感情体験と生理指標の共変動—感情リアルタイム評定法による時 系列的検討—. 感情心理学研究, Vol. 20, No. Supplement, pp. 44–44, 2013.
- [93] Python. About python. <https://www.python.org/about/>. (最終参照日： 2024/9/26) .
- [94] scikit learn. scikit-learn: machine learning in python. <https://scikit-learn.org/stable/>. (最終参照日：2024/9/26) .
- [95] scikit learn. Stratifiedshufflesplit - scikit-learn. https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.StratifiedShuffleSplit.html. (最終参照日：2024/9/26) .
- [96] The university of Waikato. Software - university of waikato. <https://www.waikato.ac.nz/research/institutes-centres-entities/institutes/artificial-intelligence-institute/research/software/>. (最終参照日：2024/9/26) .
- [97] Google. Firebase realtime database. <https://firebase.google.com/docs/database?hl=ja>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [98] M5Stack. Atom-lite. <https://docs.m5stack.com/en/core/ATOM%20Lite>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [99] M5Stack. Unit vibrator. <https://docs.m5stack.com/en/unit/vibrator>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [100] Arduino. Arduino uno r4 minima. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4-minima/>. (最終参照日：2024/10/21) .

- [101] SparkFun Electronics. Sparkfun haptic motor driver - drv2605l. <https://www.sparkfun.com/sparkfun-haptic-motor-driver-drv2605l.html>. (最終参照日：2024/9/28) .
- [102] フォスター電機株式会社. バイブレーションアクチュエータ. https://www.foster.co.jp/products/productdata/VCA_C25_639897.pdf. (最終参照日：2024/10/22) .
- [103] BitTradeOne. 触感デバイス開発/体感モジュール “hapstak”. <https://github.com/bit-trade-one/ADACHACY-hapStak>. (最終参照日：2024/10/22) .
- [104] M5Stack. Atom-matrix. <https://docs.m5stack.com/en/core/ATOM%20Matrix>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [105] M5Stack. Tail bat. <https://docs.m5stack.com/en/atom/tailbat>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [106] 宮岡徹. ヒト触覚情報処理の基礎. 計測と制御, Vol. 47, No. 7, pp. 554–560, 2008.
- [107] Takuji Narumi, Yuki Ban, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 109–118, 2012.
- [108] Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Modifying perceived size of a handled object through hand image deformation. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 22, No. 3, pp. 255–270, 2013.
- [109] M5Stack. Unbuckled grove cable. <https://shop.m5stack.com/products/4pin-buckled-grove-cable>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [110] M5Stack. Sk6812 digital rgb led strip. <https://shop.m5stack.com/products/sk6812-rgb-led-flex-strip?variant=32042216882266>. (最終参照日：2024/10/21) .
- [111] Peter J Snyder and Harry A Whitaker. Neurologic heuristics and artistic whimsy: The cerebral cartography of wilder penfield. *Journal of the History of the Neurosciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 277–291, 2013.
- [112] ピカリ館. 角形シリコンチューブ. https://www.akiba-led.jp/product/530?srsltid=AfmBOoqeElZ7OEJ5Gluak-zVtA14aQh14yznue0NpB_0-1A_BRzNU_aT. (最終参照日：2024/11/10) .
- [113] Paramount Pictures. 『ミッション：インポッシブル』シリーズ. <https://paramount.jp/mi-dvd/mi3/index.html>. (最終参照日：2024/12/10) .
- [114] Margaret M Bradley and Peter J Lang. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, Vol. 25, No. 1, pp. 49–59, 1994.

- [115] J Brooke. Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 1996.
- [116] Borja F Villar, Pablo F Viñas, Javier P Turiel, J Carlos Fraile Marinero, and Alfonso Gordaliza. Influence on the user's emotional state of the graphic complexity level in virtual therapies based on a robot-assisted neuro-rehabilitation platform. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 190, p. 105359, 2020.
- [117] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining what individual sus scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, Vol. 4, No. 3, pp. 114–123, 2009.
- [118] KUROCO. t 検定とは excel で分析を行う方法を解説. <https://kuroco.team/blog-data-t-test-excel/>. (最終参照日：2025/1/10) .

付録A 本研究に関する発表実績

1. 柴 武志, 竹下 怜花, ロペズ ギヨーム: MEASc : 動画恐怖体験拡張スマートフォンケース, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2023) シンポジウム論文集, pp.853-859(2023)
2. Takeshi Shiba, Reika Takeshita, Guillaume Lopez, “Development of a Smartphone Case for Horror Movie Experience Augmentation ”, The International Conference on Activity and Behavior computing, 2023, @Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz Kaiserslautern

質疑応答

工藤 聖人 情報テクノロジー学科 助手

Q	なぜ暗いところで評価実験を行ったのですか？
A	理由は2点あります。1点目は、照明をフィードバックとして利用しているためです。擬似心拍刺激を赤色光で提示することで、十分な効果を与えられると考えました。2点目は、赤色光が情動に与える影響に関する関連研究に基づいているためです。複数の関連研究では、実験環境として暗室が用いられており、情動に作用する可能性が示された研究結果は、暗室環境を前提としたものであることを考慮しました。

工藤 聖人 情報テクノロジー学科 助手

Q	暗い中で30分動画見る上で画面の明るさが負担になり得ると思いますが、その影響は？
A	実験において、暗室内で約30分間のアクション動画を鑑賞することは、眼精疲労を誘発する可能性が考えられます。しかし、鑑賞前に各被験者に対し、動画の冒頭1分程度を再生して画面の輝度を調整するよう指示し、実際に調整を行った上で鑑賞してもらうことで、負担の影響を抑えました。

浦垣 啓志郎 情報テクノロジー学科 助手

Q	今後の課題の4DX化みたいなことをしてシステムが肥大化しそうだと映画館で良いのでは？となるので、スマートフォンだからこそできるフィードバック（映画館では実現できないフィードバック）を模索してみると面白いと思いました。
A	貴重なご意見ありがとうございます。本研究では、映画館での4DX体験をそのままスマートフォンに移植するのではなく、個々人で鑑賞するという体型を活かしたフィードバックを重視しています。具体的には、鑑賞者の生理的反応に基づいて判定する昂りに連動して個別なタイミングでフィードバックを提供する点が特徴であり、これは映画館のような大規模環境では実現が確認されていない手法です。今後の課題としても、スマートフォンならではの利点を活かしたフィードバックのあり方を模索し、スマートフォンアクセサリーの拡張によって、多様な動画鑑賞体験の創出を目指します。