

芝浦工業大学

博士学位論文

生体信号を用いた VR システムの感性評価に関する研究

専攻	理工学研究科 博士(後期)課程 機能制御システム専攻
学籍番号	NB15501
ふりがな	いとう こうだい
氏名	伊藤 弘大
指導教員	大倉 典子

目次

第 1 章	序論.....	1
1.1	研究の背景と目的.....	1
1.2	本論文の構成.....	5
第 2 章	車載機器による「わくわく感」評価.....	7
2.1	はじめに.....	7
2.2	車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価実験.....	9
2.2.1	「わくわく感」の定義.....	9
2.2.2	実験システム.....	9
2.2.3	コンテンツ.....	12
2.2.4	実験手順.....	16
2.2.5	評価方法.....	17
2.2.6	実験結果と考察.....	20
2.2.7	実験のまとめ.....	29
2.3	車載機器の情報と音楽の提示による「わくわく感」の評価実験.....	30
2.3.1	実験システム.....	30
2.3.2	コンテンツ.....	31
2.3.3	実験手順.....	34
2.3.4	評価方法.....	34
2.3.5	実験結果と考察.....	36
2.4	まとめ.....	41
第 3 章	未知の体験ができる VR システムの「わくわく感」評価.....	42
3.1	はじめに.....	42
3.2	VR システム開発.....	43
3.2.1	デバイス.....	43
3.2.2	コンテンツ.....	45
3.3	予備実験.....	48
3.3.1	実験方法.....	48
3.3.2	実験結果と VR システムの改良.....	48
3.4	「わくわく感」評価実験.....	49
3.4.1	実験システム.....	49
3.4.2	実験手順.....	50
3.4.3	評価方法.....	50
3.4.4	実験結果と考察.....	50
3.5	まとめ.....	54
第 4 章	「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」評価.....	55
4.1	はじめに.....	55
4.2	対象としたコンテンツ.....	55
4.3	パーソナルスペースの測定.....	56

4.4	「ドキドキ感」評価実験.....	57
4.4.1	実験システム	57
4.4.2	実験手順	58
4.4.3	評価方法	58
4.4.4	実験結果と考察	59
4.5	追加実験	63
4.5.1	実験方法	63
4.5.2	実験結果と考察	63
4.6	まとめ	73
第 5 章	「allumette」プレイ時の感性評価とモデル構築：7 つの感性的状態を分析対象として	74
5.1	はじめに	74
5.2	対象としたコンテンツ	74
5.3	予備実験	76
5.3.1	実験システム	76
5.3.2	実験手順	76
5.3.3	評価方法	77
5.3.4	実験結果と考察	78
5.3.5	予備実験のまとめ	87
5.4	実験	88
5.4.1	実験概要	88
5.4.2	実験結果と考察	88
5.5	まとめ	104
第 6 章	考察	105
第 7 章	結論	107
謝辞	.....	110
参考文献	.....	112
付録	.....	117
付録 A-1	.....	118
付録 A-2	.....	121
付録 B	.....	123
付録 C	.....	129

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

2016 年はバーチャルリアリティ (Virtual Reality, 以下 VR) 元年と呼ばれ[1], VR の技術は目覚ましい発展を遂げており, 多くの企業がヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下 HMD) や関連機器を発売している. 日本バーチャルリアリティ学会編のバーチャルリアリティ学第 1 版の記述を引用すると[2], VR とは「『Virtual Reality』の略であり, 現実とは見かけが異なるが, 効果としては現実であるような環境を人工的に作り出すことで, さもその場にいるような感覚を与える技術のこと.」とある. また, 同書では HMD のことも「『Head Mounted Display』の略であり, 頭部に装着し常に目の前にスクリーンがある状態にする装置で, 頭の位置や姿勢を計測するセンサーとともに利用することにより, 向いた方向のバーチャルな世界の映像を提示できる.」と定義している.

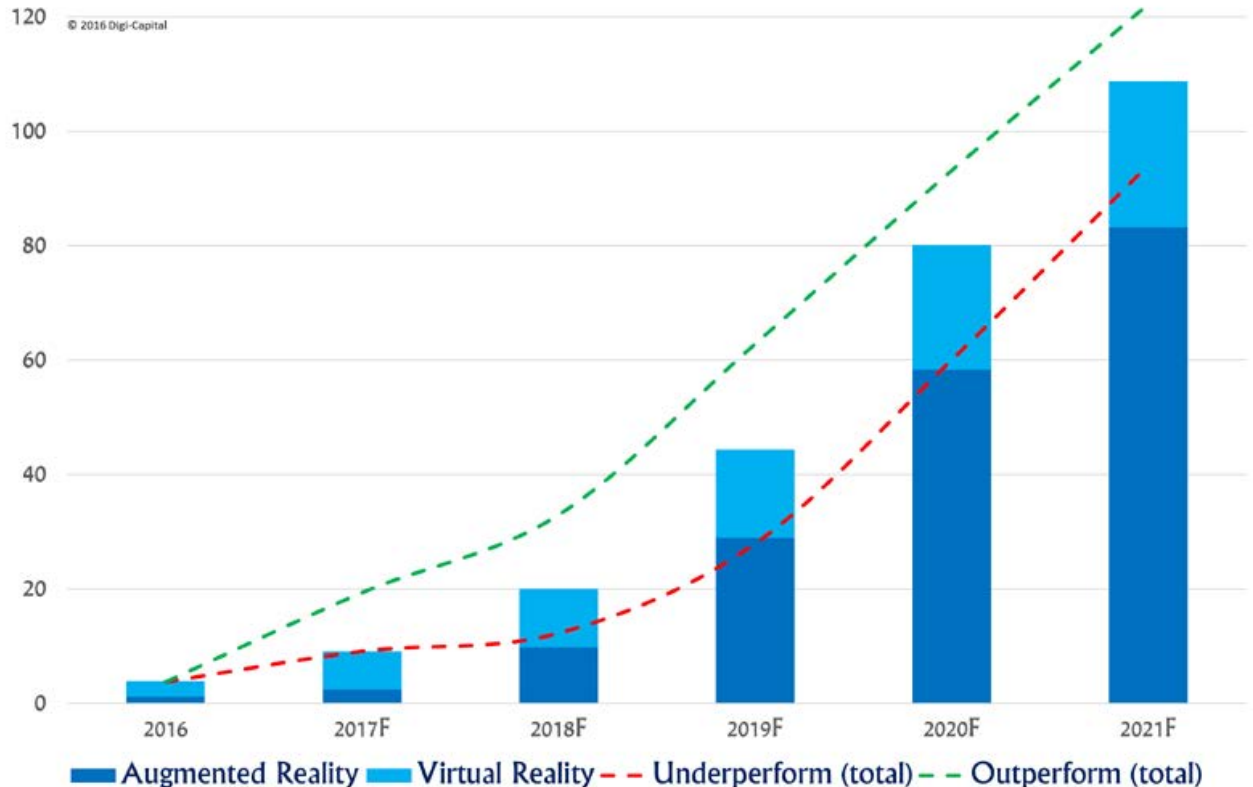
研究・開発用の HMD は以前から開発されていたものの, 2016 年には民生品として価格が抑えられた HMD が次々に発売された. 例えば, ソニー・インタラクティブエンタテインメントの PlayStation VR[3] (以下, PSVR) や HTC の Vive[4], Oculus の Oculus Rift CV1[5] 等がある. これらは家庭用ゲーム機や PC ゲーム用の追加機器として発売され, 多くの対応ソフトが登場している. 特に, PSVR は国内外で売り切れが続いたことがニュースになるなど[6], その盛り上がりは凄まじい. PSVR は PlayStation 4 (PS4) の周辺機器だが, PS4 自体のは出荷台数も国内外で累計 7800 万台に達する見通しとなっており[7], これをプラットフォームとした VR コンテンツの伸びしろも大きいと考えられる.

英国の投資銀行である Digi-Capital 社の調査によると, 拡張現実 (Augmented Reality, 以下 AR) を含めた VR の市場は 2021 年には 1000 億ドルを超える規模に成長すると予測されている[8]. 2017 年時点での市場規模は 100 億ドル程度であるから, 今後 4 年間で 10 倍以上の成長が期待される. 図 1.1 に Digi-Capital 社の市場規模の予測グラフを引用する.

また, 家庭用 HMD によって VR ゲームや VR 映像コンテンツが発展すると同時に, VR コンテンツを利用した施設やイベントが多く催されている[9][10]. これらのイベントも連日満員が続いており[11], VR コンテンツに対する注目の高さがうかがえる. どれも料金は高めだが, 「驚きの体験」や「レア体験」といった VR ならではの魅力を打ち出すことで, 高い人気を博している.

このような VR のゲーム・アミューズメント業界における盛り上がりは, VR システムの持つエンターテインメント性や楽しさ等が幅広いユーザに評価された結果だと考えられる.

Digi-Capital™ VR/AR revenue (\$B)



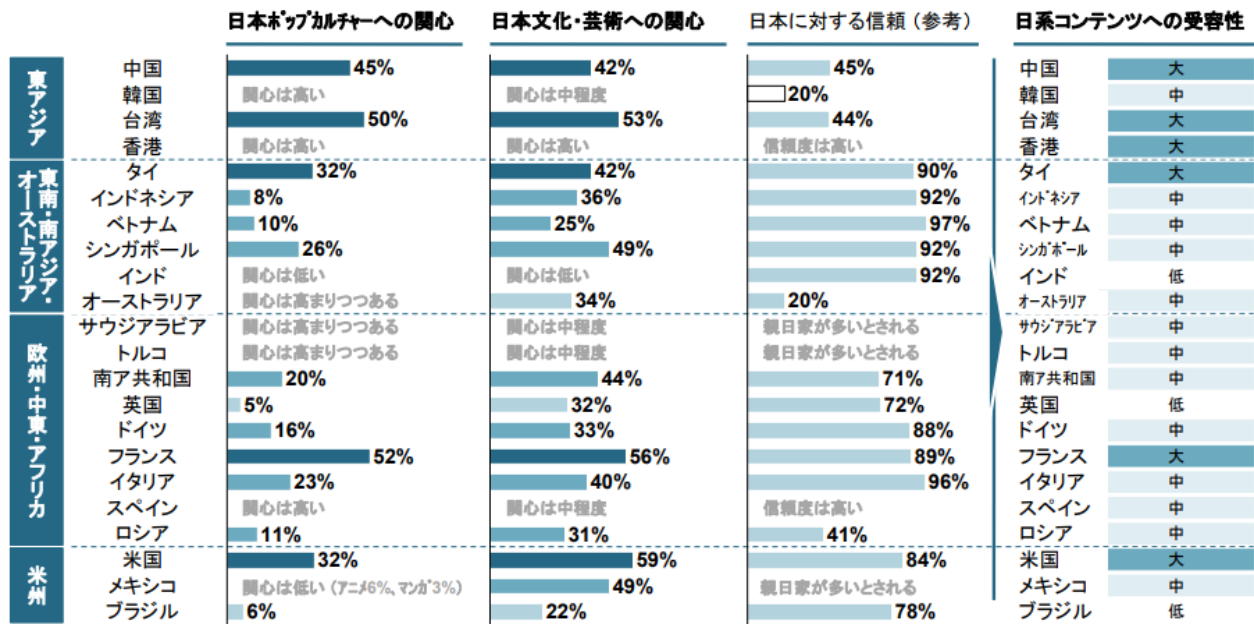
All rights reserved. No adaptation, modification, reproduction or compilation without written permission from Digi-Capital

図 1.1 VR, AR の市場規模（単位：10 億ドル）[8]

一方で、近年の商品価値の新しい評価軸として「感性価値」が注目されている。従来の日本のものづくりの価値観は、性能と信頼性、価格で構成されていた。そこに「感性価値」を第4の価値として加える、新しいものづくりの取り組みが行われている[12][13]。ここで「感性価値」とは、生活者の感性に働きかけ、感動や共感を得ることで顕在化できる価値であると表現されている。この感性を付与したものは、産業の競争力の強化や生活の向上につながる重要な要素であると考えられる。これはゲーム等のエンターテインメント業界だけでなく、今後は様々な分野で重要になると考えられる。2017年にはGoogleやAmazonがAIを搭載したスピーカーを発売したり、自動運転の実現が現実を帯びてきたりしており、コンピュータと人間の関係が変化しつつある。そうしたシステムを開発する際にも、「感性価値」は重要な軸になると考えられる。

2010年からは経済産業省が「文化産業」立国に向けた取り組みを進めており、世界で高く評価されている日本の映画やアニメーション作品のソフトパワーを強化することで「日本の良さ」を世界に広げる取り組みを行うことや、3Dや電子書籍等の技術面での推進が必要だとしている[14]。さらに現在、「クールジャパン」と称した政策が進められており、2017年10月現在も活動が続いている[15]。この政策の狙いは内需の減少する我が国の産業が海外需要を獲得することで、コンテンツ、ファッション、地域産業、サービス等の分野が注目されている。また、2012年には世界各国での日系コンテンツへの受容性調査が行

われ、東アジア、フランス、米国を筆頭に多くの国で一定の受容性が見込まれることがわかっている[16]。日系コンテンツへの受容性をまとめた図を図 1.2 に引用する。



出所: 外務省対日世論調査、サーチナ、新聞雑誌記事、ローランド・ベルガー分析

図 1.2 日系コンテンツへの受容性[16]

このような感性価値に着目して VR ゲームを初めとした VR システムやそのコンテンツを評価するためには、主にアンケートなどからユーザの要求や製品の問題点を分析・評価して、製品設計に反映させることが多い。アンケートのような主観的評価は、利用するうえで多くのメリットを有する。しかし、製品評価の際には以下のようなデメリットもある[17]。

- (1) 言葉にあいまいさがある
- (2) 実験協力者・実験者の意図が混入してしまう
- (3) 提示を中断してシステムを評価する必要がある

特に、VR システムをリアルタイムで評価しようとする、(3)のデメリットによって普段の使用時と同じような状態で実験を行うことが困難である。そこで先行研究[17][18][19]では、生体信号を用いてインタラクティブシステムを評価してきた。生体信号を利用するメリットとしては以下があり、上述したアンケートのデメリットを補うことができると考えられる。

- (1) 実験協力者自身が評価をコントロールしにくい
- (2) 物理量でシステムを評価できる
- (3) 実験中に連続的に計測できる

このようなメリットを活かし、生体信号を感性評価に用いている研究は数多く存在する。例えば、心電を用いて「痛み」を定量化する研究[20]、「恐れ」や「幸せ」といった感情の

判別を行う研究[21], リアルタイムなストレスの計測を行う研究[22], 脳波を用いてメロンを食した時の「癒され感」を評価する研究[23], 照明刺激環境下での「くつろぎ感」を評価する研究[24], 感情や快・不快等の感情の分類を行う研究[25][26]が存在する. なお, 心拍の LF/HF が無意識なストレスに, 皮膚電気抵抗の GSR の発生頻度が快適性の検出に有用である等の例があり, 生体信号が検出できる感性はそれぞれ異なっている[19].

感性には様々な種類があるが, 先行研究では, 感性は Russel の円環モデル[27]上の valence(positive, negative)と arousal の 2 つの軸で説明できるとされている[28]. 感性語をこの 2 軸で分類した例を図 1.3 に示す. 感性に関する研究は多々あるものの, 先行研究で行われているのは, ネガティブな感性, あるいはポジティブで静的な感性に関する評価が多い. 一方で, 生体信号を用いて「わくわく感」等のポジティブで動的な感性の評価を行った研究は少ない.

「わくわく」感を扱う数少ない先行研究では, 脳波の生理指標である β/α と心電の生理指標である RRI の平均値で「わくわく感」を検出できる場合があり, これらが「わくわく感」の生理指標であると仮説が立てられてきた[17][19][29][30][31][32][33].

本研究の目的は以下の 3 点とする.

- VR システムに対して, 先行研究の生理指標が有用かを確認し, さらに新たな生理指標を探る
- VR システムに関する「わくわく感」以外の感性も生体信号で計測する
- VR システムに対して, 生理指標を用いた感性のモデルを構築する

なおこの研究は, 芝浦工業大学生命工学倫理研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した.

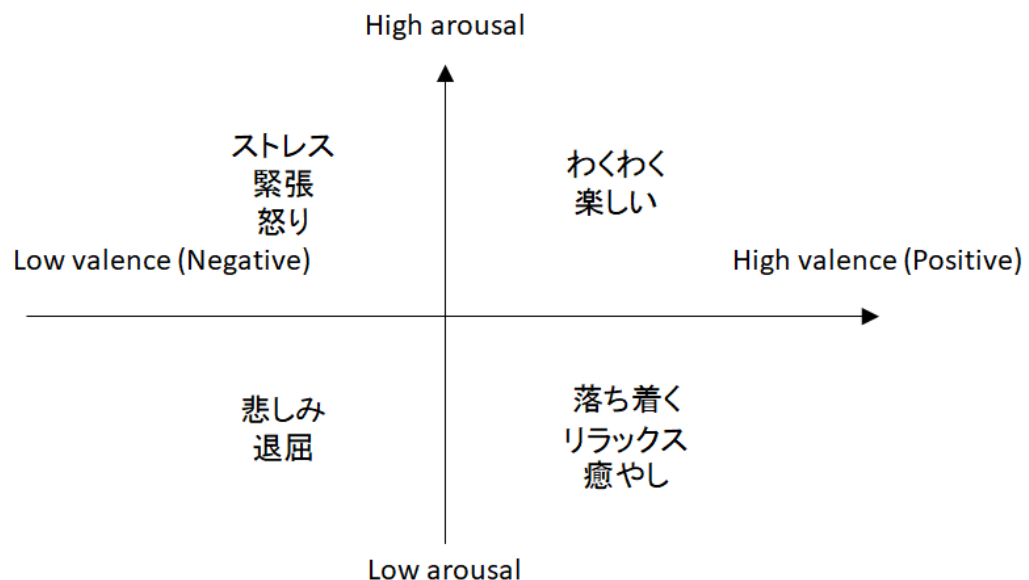


図 1.3 感性語を valence と arousal の 2 軸で分類した例

1.2 本論文の構成

本論文は図 1.4 のように構成されている。

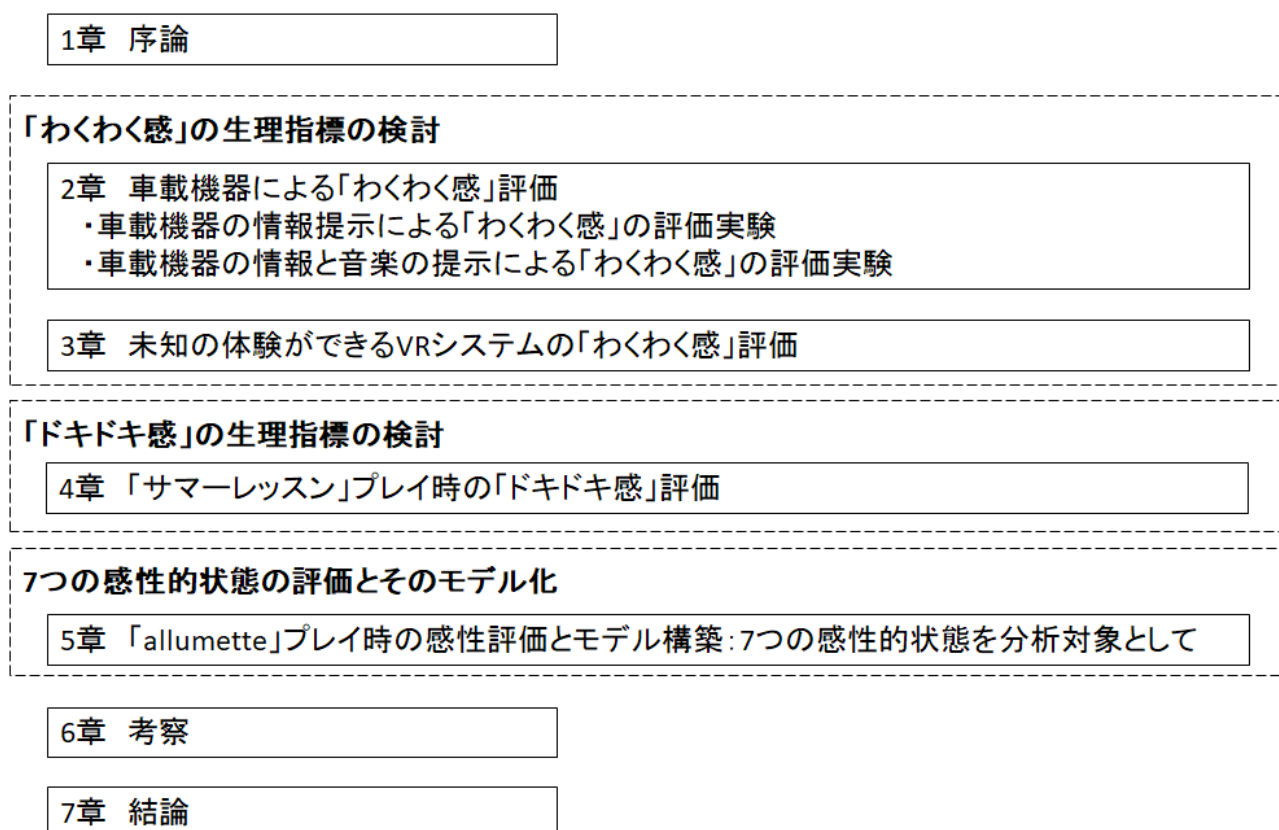


図 1.4 本論文の構成

本論文では、図 1.5 に示すように、「わくわく感」評価から始め、段階を追って対象とする感性の範囲を広げていく。

まず、第 2 章では、生体信号を用いて運転中の「わくわく感」を評価する実験を行う。ドライビングシミュレータを使用して車載機器のコンテンツの「わくわく感」を評価することで、VR システムの感性評価の足がかりとし、有用な指標を提案する。このような目的で、以下の 2 つの実験を行う。なお、音楽を提示する実験とした理由は、先行研究[31]で「若者は自分がわくわくする音楽を聴くとわくわくするが、サビの音量が上がるとさらにわくわくする。」ことがわかっているからである。

- ・ 車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価実験
- ・ 車載機器の情報と音楽の提示による「わくわく感」の評価実験

第 3 章では、第 2 章において心電の指標で「わくわく感」を検出できる可能性を確認することができたことを受け、未知の体験ができる VR システムの「わくわく感」評価を行う。4DX 映画に代表されるように、エンターテインメントにおいては現実で体験できないような未知の体験が求められていると考えられ、未知の体験によって「わくわく感」が生起されるのではないかと考えた。また、第 2 章で提案した指標が車載機器の「わくわく感」評価

以外にも適用できるかを明らかにする。

第3章まで扱ってきた「わくわく感」は「期待」による「わくわく感」であると考えられる。一方で、先行研究[29]では「わくわく感」の定義を「自分にとって興味のある分野で新しく発見した何かについて知ることや、物事が好ましい状態に変化することに期待をしたり、楽しく思うこと。」としており、「わくわく感」には「期待」の他にも「楽しく思うこと」があると考えられる。本研究では「楽しく思うこと」を「ドキドキ感」と解釈し、「期待」と「ドキドキ」を含めた「わくわく感」を広義の「わくわく感」と呼ぶ。第4章では、「ドキドキ感」と実験協力者のパーソナルスペースの関係を明らかにすることを目的とし、「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」評価を行う。「サマーレッスン」はVR空間で女の子と触れ合うゲームであり、「ドキドキ」するシステムとしては最適だと考えた。この実験の結果をもとに、「ドキドキ感」の指標を明らかにする。

第5章では、「わくわく」だけでなく、VRシステム使用中の7つの感性的状態を評価することを目的に、「allumette」プレイ時の感性評価を行う。「allumette」は市販のVRアニメーションソフトで、種々の感性を生起されるシーンがあり、今回対象とした7つの感性的状態の評価には最適だと考えた。アンケートと生理指標を組み合わせて解析を行い、「わくわく」や「ドキドキ」以外の7つの感性を評価する。さらに、生理指標を用いた感性のモデル化を行う。モデル化を行うことで、感性と生理指標の関係を明確化できる。

第6章では、以上の研究の成果について考察し、第7章で結論を述べる。

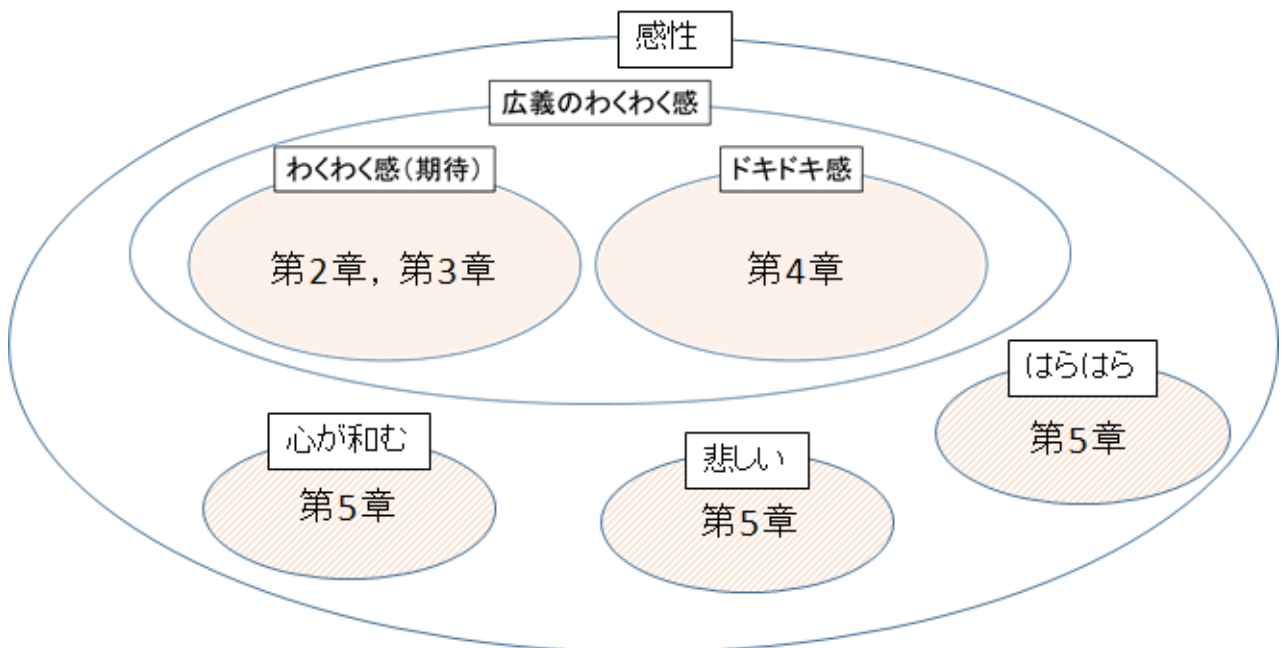


図 1.5 本論文で扱う感性

第2章 車載機器による「わくわく感」評価

2.1 はじめに

本章では、生体信号を用いて車載機器の情報提示による「わくわく感」を評価する実験を行った。今回の実験では、新しく「わくわく感」の指標となる生理指標を提案することを目的とした。

車載機器とは自動車に搭載されるシステムを指す。自動車走行時の現在位置や目的地への経路案内を行うカーナビゲーション[34]や、自動で料金の支払いを行う ETC、スマートフォンと連動し、自動車に適した形で、安全に SNS やインターネットラジオ等を利用できるシステム[35]など様々なものが存在する。

平成 24 年度の国土交通白書において、20 代、30 代の若者の車離れが指摘されている[36]。また株式会社電通では、調査対象者の「消費行動・意識」を定量的に集計・分析する d-camp[37]を毎年度実施しており、質問項目に関して時系列変化を調べることが可能である。その調査で「自動車に興味や関心がある」と答えた人の比率を 2001・2009・2010・2011 年で比較したものを、表 2.1 に引用する[38]。

この表からわかるように、男女ともに若年層において著しく自動車への興味・関心が減少しており、特に 20 代男性の落ち込みは大きい。その問題に対し、先行研究では男性の車離れに着目して考察し、若者が車に対して魅力を感じてもらうためには、車の外見だけではなく「運転する楽しさ・喜び・感動」といった「わくわく感」を体感できることが重要だとしている[38]。

本節の第 2 段落目で述べたように、近年は種々の車載機器が存在しており、車はただ運転するだけのものではなく、車載機器を通じて様々なことができる空間となっている。そこで、運転に対しての「わくわく感」のみならず、車載機器の提示情報による「わくわく感」も、車の魅力を考えていく上で非常に重要な要素であると考えた。

実験にはドライビングシミュレータ（以下 D.S）を使用した。D.S は VR システムの一つであり、D.S を用いて「わくわく感」の評価をすることで、他の VR システムの「わくわく感」評価の足掛かりにできると考える。

表 2.1 「自動車に興味や関心がある」比率の時系列変化（％）[38]

		2001 年度	2009 年度	2010 年度	2011 年度	2001-2011 年度変化
男性	20 代	71.2	44.1	35.3	41.8	-29.4
	30 代	76.7	58.8	57.5	54.5	-22.2
	40 代	71.4	65.7	66.4	66.5	-4.9
女性	20 代	52.2	27.6	23.8	26.9	-25.3
	30 代	46.0	32.8	27.6	30.0	-16.0
	40 代	33.3	31.3	32.6	32.4	-0.9

なお、実環境とバーチャル環境で空間の印象を比較した先行研究では[39],「バーチャル環境で『印象に差がある』とされた実験結果は、実環境でも成立する可能性が高い」とされており、シミュレータで得たこれらの結果が、実際の運転時に対しても適用できる可能性は高いと考えられる。

本章では、以下の2つの実験について記述する。

- ・ 車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価実験
- ・ 車載機器の情報と音楽の提示による「わくわく感」の評価実験

2.2 車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価実験

上述した若者の車離れという背景を踏まえて、車の外見だけではなく、車載機器の提示情報による「わくわく感」に着目した。そこで、若者の「わくわく感」の定義をもとに、わくわくすると考えられるコンテンツを作成し、D.S 走行中に提示する実験を行った[40][41]。コンテンツは、トンネルやカーブの通過後に特徴的な風景が見えるというもので、その風景に関する事前情報の有無を設定し、「わくわく感」への影響を比較した。以下、詳述する。なお、2.2.1 から 2.3.5 の実験結果までの記載は原田らの文献[42]による。

2.2.1 「わくわく感」の定義

先行研究[29]では、若者の「わくわく感」評価の前段階として、若者の「わくわく感」の定義を行うため、アンケート調査が行われた。自動車の運転場面に限らず、日常生活、モバイル機器の利用時、自動車の運転時、車載機器の使用時の 4 場面に関連した計 62 の設問が使用された。アンケートは、質問紙で 1 を「全く感じない」、2 を「少し感じる」、3 を「かなり感じる」、4 を「非常に感じる」とした 4 段階の評定尺度法を用いて、芝浦工業大学の 19～24 歳の学生 629 名を対象に実施された。

その結果、若者は、本や映画で予想を裏切られた時やスポーツで優勢な時、旅行で今まで行っていない場所に行く時など、先の展開に対して期待するときに「わくわく」することが明らかにされた。これにより、若者の「わくわく感」が以下のように定義された。

「自分にとって興味のある分野で新しく発見した何かについて知ることや、物事が好ましい状態に変化することに期待をしたり、楽しく思うこと。」

日本語オノマトペ辞典によると、「わくわく」とは「喜びや期待で胸が高鳴るさま。」とある[43]。この意味と今回の定義を比較すると、本来の意味と矛盾せず、若者ならではの制限を加えて絞り込んだ定義が行われたと考えられる。

そこで本実験では、上述した先行研究[29]の「わくわく感」の定義に従って実験の設計、評価を行った。

2.2.2 実験システム

図 2.1 に実験システムの構成を示す。システムは以下で構成されている。なお、実験室の室温は 23℃、運転席付近の照度は 280 lx とし、ドライビングシミュレータのハンドルは直径 38.5cm のものを使用した。

- ・ ドライビングシミュレータ (D.S) (図 2.2)
- ・ 生体信号計測システム
 - 生体信号計測機器
 - ・ 脳波計測装置 (株式会社デジタルメディック ミューズブレインシステム)
 - ・ 心電図計測装置 (マイクロメディカルデバイス株式会社 RF-ECG)
 - ・ 皮膚電気活動計測装置 (BIOPAC Student Lab MP35)
 - ・ 眼球運動データ計測装置 (株式会社ナックイメージテクノロジー EMR9)

- 生体信号計測用 PC
- センサー

なお、測定する生体信号は脳波、心電図、皮膚電気活動、眼球運動データの 4 種類とした。各生体信号について参考文献の記述[44]を以下のように要約した。

・脳波

脳波は頭皮上から観察できる代表的電気活動であり、医学的診断ばかりでなく、意識活動に対する客観的指標としても利用される。

・心電図

心電図は、心臓の収縮に伴って発生する電位変化を、体表面に装着した 2 つの電極間の電位差を差動増幅して得られるものである。その波形から RR 間隔・心拍、心拍変動、T 波振幅などの指標を得ることができる。

・皮膚電気活動

皮膚電気活動は、外部刺激やストレスに対する発汗である精神性発汗の汗腺活動を、電気的にとらえたものである。不安、緊張、眠気など人間の情動を広くとらえられる生理指標として、長年利用されてきた。皮膚電気活動は計測法によって分類され、本論文では皮膚電気コンダクタンスを計測した。

・眼球諸機能

眼球諸機能には、眼球運動、瞳孔反応、焦点調節、瞬目活動がある。眼球運動は眼球自体を回転させる運動のこと、瞳孔反応は瞳孔径が変化すること、焦点調節は水晶体の曲率を変えて焦点位置を変化させること、瞬目活動はまばたきのことである。本論文で扱う「眼球運動データ」とは、このうち瞳孔反応、瞬目活動を指す。

これらの各種生体信号から導出される生理指標は、先行研究より[19][31][32][33],「わくわく感」の指標とされているため、今回計測した。なお、皮膚電気コンダクタンスは通常手の指で計測するが、今回の実験では、実験協力者に両手でハンドル、右足でペダルを操作してもらうことから、左足の指にセンサーを装着してもらった。

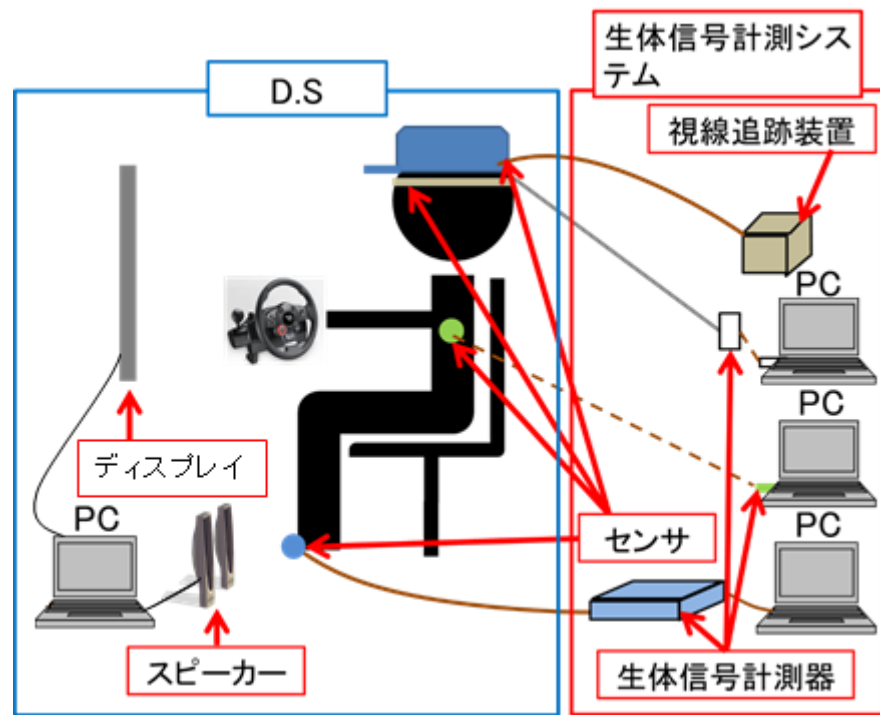


図 2.1 実験システムの構成



図 2.2 ドライビングシミュレータ乗車時の様子

2.2.3 コンテンツ

先行研究[30][31]の結果から、飽きないように 1 回の実験中でのドライビングシミュレータの走行は 1 回のみとし、コンテンツは「単調で真っ黒なトンネル内」と「華やかな満開の桜」のような視覚刺激の変化が大きく、音声による情報提示の有無がある内容にした方が生体信号の反応を検出しやすいことがわかっている。

そこで、視覚刺激の変化については、トンネル通過後に 3 種類の風景（本項内で後述）が見え、カーブを曲がると急に 6 種類の目につく建造物（本項内で後述）が見えるというコンテンツを作成した。音声による情報提示の有無については、「わくわく感」の定義に期待が含まれていることを踏まえて、風景や目につく建造物に関する事前情報（本項内で後述）を、音声で提示する場合と提示しない場合を設定した。なお、コンテンツの作成には FORUM8 社の UC-win/Road ver9.1 を使用した。作成したコースを真上から見た全体図を、図 2.3 に示す。コースは一本道であり、図の左下の位置から走行を開始して、トンネルを走行する。その後、通過後に特徴的な風景が見えるコンテンツ①の提示区間と、道の正面に、目につく建造物が見えるコンテンツ②の提示区間をそれぞれ箇所ずつ通過する。

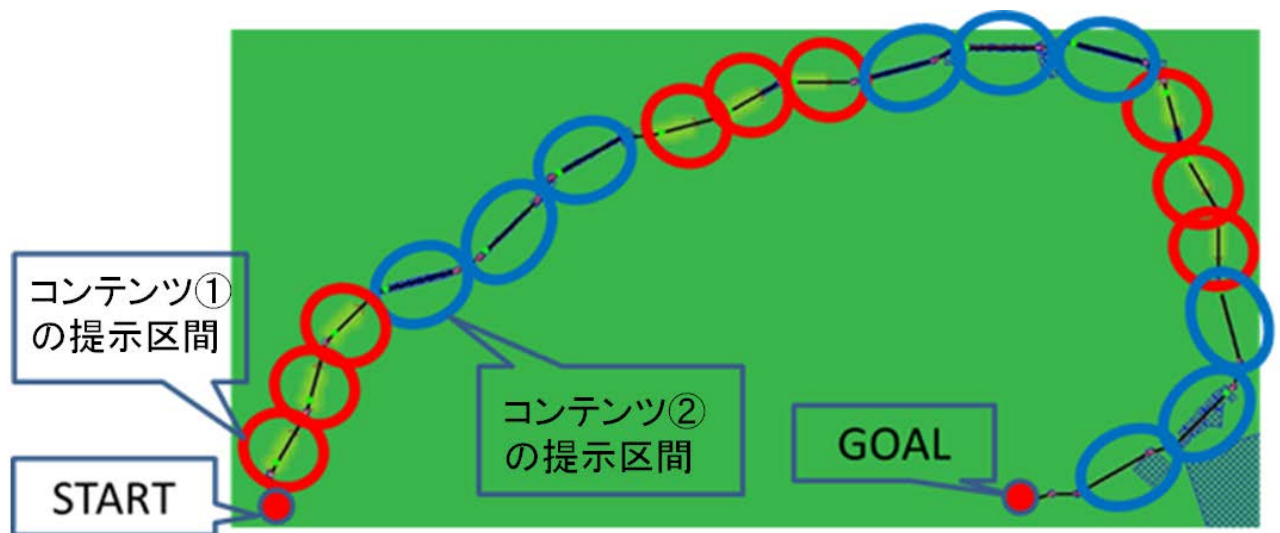


図 2.3 コースの概略

■トンネル通過後の風景と目につく建造物

コンテンツ①は、以下の要素を持つコンテンツである。

- ・トンネル内をしばらく走行する
- ・トンネルを抜けると風景（3種類のいずれか）が見える
- ・トンネル内走行中に、風景に関する事前情報を提示する（後述）場合がある

コンテンツ①は、桜、紅葉、雪景色の3種類の風景それぞれについて、情報提示あり（後述）、情報提示なし、風景なしの3パターンで、合計9個を1回ずつ提示した。

トンネル後の風景を図2.4～2.7に示す。コンテンツで提示する風景は「若者がわくわくすると考えられる風景」という基準で選定した。花見、紅葉狩り、雪見が広く親しまれており、若者である実験者自身もそれらに魅力を感じていることから、桜、紅葉、雪景色の3種類を選定した。また、広辞苑（第6版）によると、“情動”は「怒り、恐れ、喜び、悲しみなど、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のこと。」とある[45][45]、このことから、「わくわく感」も細部の観察や検討というよりは、一時的な直感によって生じると考え、それぞれの風景は一目で何の風景なのかを認識できるようにした。

コンテンツ②は、以下の特徴を持つコンテンツである。

- ・トンネル内をしばらく走行する
- ・トンネルを抜けると目につく建造物（6種類）が見える
- ・トンネル内走行中に、目につく建造物に関する事前情報を提示する（後述）場合がある

コンテンツ②の提示区間がコンテンツ①の提示区間と同数になるように、目につく建造物6種類を1回ずつ、建造物なしを3回の合計9箇所提示した。提示する目につく建造物は、世界遺産の中から若者にとって知名度が高いと実験者が判断した、凱旋門、エッフェル塔、自由の女神、ブルーモスク、タージマハル、エアーズロックの6種類を選定した。なお、6種類の世界遺産の提示を1回ずつにしたのは、走行中に同じ世界遺産が複数回現れるのは、現実にはあり得ないことであり、不自然と考えたからである。

なお、先行研究で[30][31]、同じコースを繰り返し走行するとコースに慣れて反応が小さくなったことから、コースを1回走行し、その中でコンテンツ①とコンテンツ②をそれぞれ9回ずつ提示する仕様にした。つまり、コンテンツ①とコンテンツ②は繰り返し提示しているが、コース全体としては繰り返しを感じづらいうように設計した。また、長時間運転すると飽きてしまうことから、コース全体の走行時間は、飽きない長さの11分25秒に抑えた。なお、今回は、コンテンツの作成に時間がかかるため（1種類で数週間）、3種類の風景と6種類の建造物の提示順序は実験協力者によらず固定とした。ただし、後述するように、音声による情報提示の有無はランダムな提示順序とした。表2.2に提示順序を示す。表中ではコンテンツ①の提示区間を赤、コンテンツ②の提示区間を青で示す。



図 2.4 桜



図 2.5 紅葉



図 2.6 雪景色



図 2.7 風景なし

表 2.2 コンテンツの提示順序

提示順序	コンテンツ	提示順序	コンテンツ
1	紅葉	10	タージマハル
2	風景なし	11	建造物なし
3	桜	12	ブルーモスク
4	建造物なし	13	雪
5	凱旋門	14	風景なし
6	エッフェル塔	15	紅葉
7	桜	16	エアーズロック
8	雪	17	自由の女神
9	風景なし	18	建造物なし

■音声による情報提示

コンテンツ①の桜、紅葉、雪景色の風景はそれぞれ情報提示あり、情報提示なし、風景なしの3パターンで提示した。情報提示ありの場合はトンネル内を走行中に、トンネル通過後の風景について、音声で情報を提示した。提示する情報の内容を表2.3に示す。

表 2.3 コンテンツ①での情報提示の内容

特徴的な風景	音声による情報提示の内容
桜	「このトンネルを抜けると、桜が満開に咲いています。」
紅葉	「このトンネルを抜けると、紅葉が広がっています。」
雪景色	「このトンネルを抜けると、雪景色が広がっています。」

コンテンツ②では、道の正面に目につく建造物が見えているときに、その建造物について詳細な情報を提示した。なお、6種類の目につく建造物のうち、3種類でのみ情報を提示するものとした。

2.2.4 実験手順

以下の手順で実験を行った。

1. 実験の説明と同意
2. 生体信号測定機器の装着
3. D.Sの練習走行(3分程度)
4. コンテンツ体験
 - (i) 生体信号の測定を開始する。
 - (ii) 同時に実験協力者にアクセルを踏んで走行を開始してもらう。
 - (iii) 特徴的な風景の区間を3回通り過ぎる。
 - (iv) (iii)を3回繰り返す。
 - (v) 30秒以上時間を取って停車の指示を出す
5. 測定機器の取り外し
6. アンケートの実施

なお実験の説明と同意の際には、コンテンツについて「これから、こちらのドライビング・シミュレータに乗ってもらって、バーチャル空間の中で世界旅行を体験してもらおうと思います。これから走るコースには、各所に世界で有名な建造物や自然物が合計12個存在します。それらを見物しながら、運転中のドライバーがどのような感情となるかを生体信号で計測し、どのような生体反応が得られるかを調査したいと考えております。」と説明した。また、付録A-1に同意書と研究協力依頼書を示す。

2.2.5 評価方法

■アンケート

アンケートは、コンテンツ体験時の感情について調査をするため、実験終了後に 1 回実施した。アンケート用紙を付録 A-1 に添付する。なお、質問紙で「全く感じない」を-3, 「感じない」を-2, 「やや感じない」を-1, 「どちらでもない」を 0, 「やや感じる」を+1, 「感じる」を+2, 「とても感じる」を+3 とした 7 段階の評定尺度法を用いて行った。設問を以下に示す。また、アンケート用紙を付録 A-1 に示す。

- ・ 面白い
- ・ わくわく
- ・ ドキドキ
- ・ いらいら
- ・ リラックス
- ・ 期待感
- ・ ぞくぞく
- ・ 身体的負担
- ・ 精神的負担

■生体信号と生理指標

生体信号は、脳波、心電、皮膚電気コンダクタンス、眼球運動データを計測し、そこから算出した生理指標を評価に用いた。先行研究[30]において、実験協力者の「わくわく感」を計測するために使用した生体信号と、「わくわく感」を評価するために使用した生理指標を表 2.4 に示す。各生体信号から導出される生理指標は、先行研究より[17][19][31][32][33], 「わくわく感」の指標とされている。RRI とは心拍の R 波と R 波の間隔のことで、GSR とは発汗による皮膚の電気抵抗の一過性の変化のことである。

以上の生理指標において、「わくわく感」のような動的でポジティブな感情は、ストレスや緊張といった動的でネガティブな感情と動的という点が共通しているため、同様の傾向を示す場合があると推測される[19]。そこで、今回は「わくわく感」とそれ以外を区別するために、アンケートを用いた。

表 2.4 生体信号と生理指標

生体信号	生理指標	「わくわく感」との関係
脳波	α 波の割合の平均値	「わくわく感」によって減少
	β 波の割合の平均値	「わくわく感」によって増加
	β/α の平均値	「わくわく感」によって増加
心電	RRI の平均値	「わくわく感」によって減少
	SDNN の平均値	「わくわく感」によって減少
	RRV の平均値	「わくわく感」によって減少
皮膚電気 コンダクタンス	GSR の平均値	「わくわく感」によって増加
眼球運動データ	瞳孔径の平均値	「わくわく感」によって増加

今回の解析では、心電において HRV 解析を行う。HRV 解析は以下の 2 つが主要な手法として一般に使用されている [65]。

- ・ 時間領域解析 : 不整脈を除外した通常の RRI から、各指標を算出する解析手法。
- ・ 周波数領域解析 : RRI の変動を、高速フーリエ解析法によって、各周波数成分に分離評価する手法。使用するためには最低 30 秒以上の心電のデータが必要。

今回の解析区間(後述)では 30 秒以上の心電のデータがないため、HRV 解析として、時間領域解析を行うものとした。今回は、精神的負荷の指標とされている [66]、以下の指標を用いて解析を行った。

- ・ SDNN : 解析区間全体の RRI の標準偏差値
- ・ RRV : RRI の標準偏差値と RRI の平均値の比

■生理指標の解析区間

本章では、2.2.3 項で説明したコンテンツ①の解析結果についてのみ記載する。各生理指標は、実験時間をトンネル内とトンネル通過後の2つの区間に分けて、基準状態(風景なしの区間3つの平均値)と差分をとって基準化した。1つのトンネルあたりの解析区間の例を図2.8に示す。

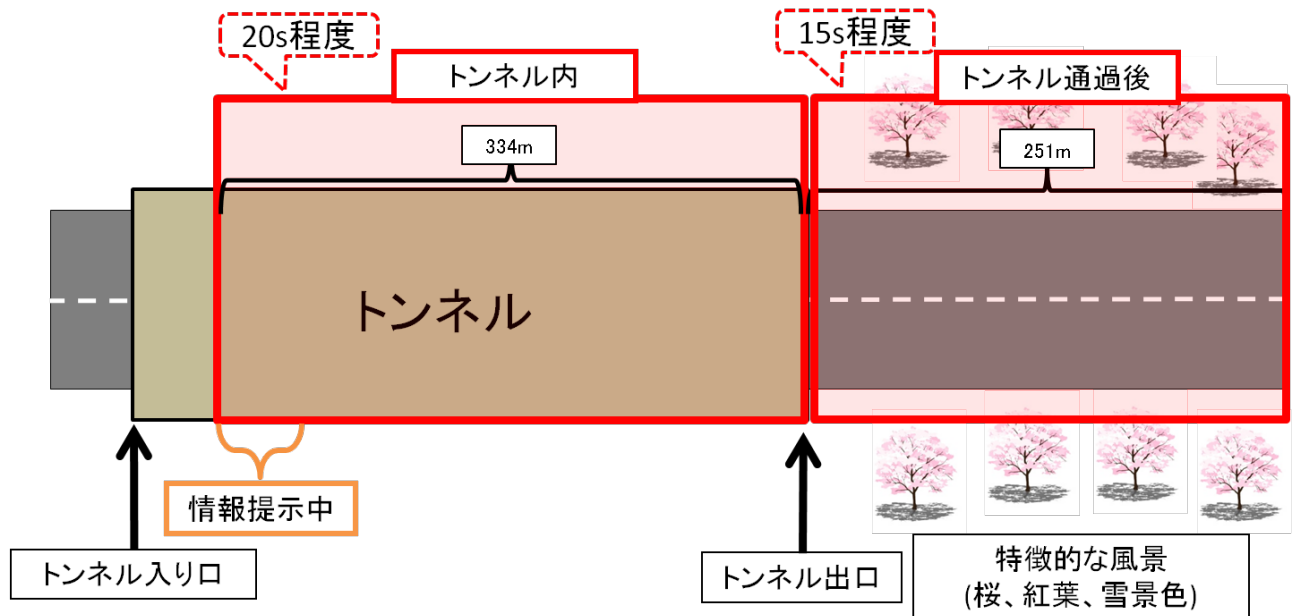


図 2.8 トンネル1つあたりの解析区間の概略

2.2.6 実験結果と考察

実験協力者は、普通自動車免許を有する 20 歳以上の芝浦工業大学の学生 8 名を対象とした。

■アンケート結果

表 2.5 にアンケート結果を示す。また、図 2.9 に全実験協力者のアンケート項目ごとの平均値を示す。全実験協力者のアンケート項目同士で相関分析を行った。表 2.6 に各項目間の相関係数を示す。無相関の検定の結果、“わくわく”と“ドキドキ”が 1%水準で、“わくわく”と“期待感”が 5%水準で、統計的に有意な正の相関があった。

表 2.5 アンケート結果

	面白さ	わくわく	ドキドキ	いらいら	リラックス	期待感	ぞくぞく	身体的負担	精神的負担
P01	3	2	2	-2	0	2	0	-2	-2
P02	2	1	-2	-1	2	1	-1	-1	1
P03	2	-1	-3	-3	-1	-2	-2	-3	-3
P04	2	2	1	-2	0	-1	-3	1	-2
P05	1	1	2	-2	0	1	1	1	-3
P06	1	1	0	-2	1	0	-2	-2	-2
P07	2	2	1	0	0	2	1	-3	-3
P08	2	2	1	-2	-1	1	-2	-2	-2
平均	1.9	1.3	0.3	-1.8	0.1	0.5	-1.0	-1.4	-2.0

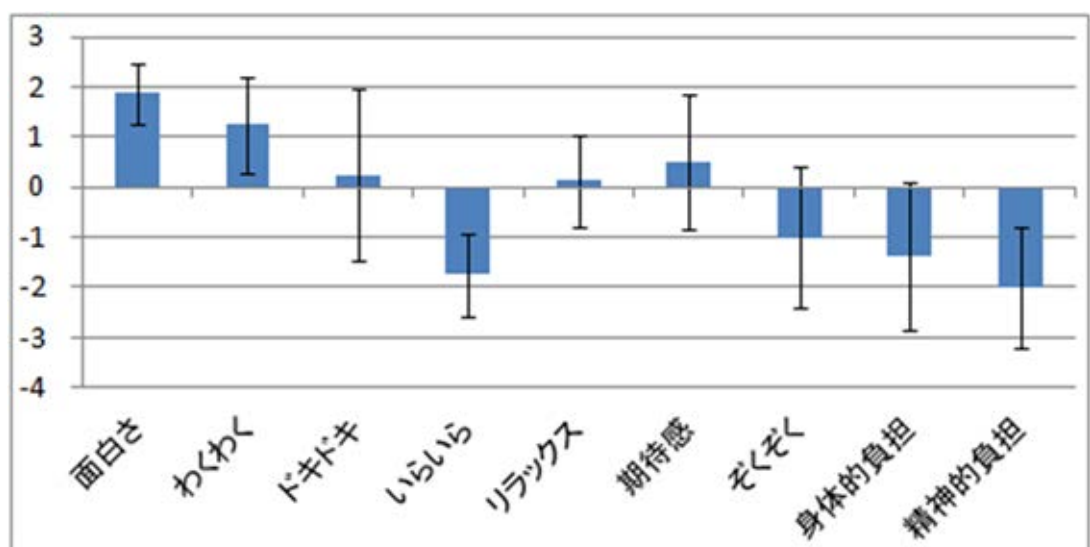


図 2.9 全実験協力者のアンケート項目ごとの平均値

表 2.6 各項目間の相関係数

	面白 さ	わくわ く	ドキド キ	いらい ら	リラッ クス	期待感	ぞく ぞく	身体的 負担	精神的 負担
面白さ									
わくわく	0.269								
ドキドキ	0.03	0.791**							
いらいら	0.063	0.545	0.22						
リラックス	- 0.197	0.104	-0.177	0.447					
期待感	0.236	0.683*	0.606	0.684*	0.255				
ぞくぞく	0	0.183	0.413	0.533	0.095	0.735*			
身体的負担	- 0.331	0.238	0.378	-0.126	0.214	-0.095	-0.059		
精神的負担	0.17	0.105	-0.357	0.246	0.771*	0.154	-0.217	0.137	

*:p<.05 **:p<.01

アンケートの結果，“面白さ”，“わくわく”，“期待”，“ドキドキ”，“リラックス”の平均値が0より大きく，“いらいら”，“ぞくぞく”，“身体的負担”，“精神的負担”の平均値は0より小さかった．このことから，実験協力者は，コンテンツに対して，少なくとも“いらいら”するよりは，“面白さ”，“わくわく”，“期待”，“ドキドキ”，“リラックス”などを感じていたと考えられる．また，相関分析の結果，“わくわく”と“ドキドキ”に最も高い相関があった．これは，今回のコンテンツが「車を運転し，トンネルを抜けると特徴的な風景が見える」という内容で，真っ暗なトンネルを抜けた後，美しい風景が急に目の前に現れるという要因により，実験協力者はドキドキし，それにより「わくわく感」が生起したと考えられる．次に高い相関のあった“わくわく”と“期待感”については，トンネル内で車外風景に関する事前情報が提示されるという要因により，トンネルを抜けた後の風景に期待し，それにより「わくわく感」が生起したと考えられる．この結果から，今回のコンテンツの「わくわく感」は“ドキドキ”と“期待感”によって生起されたと考えられる．ただし，上述したドキドキする要因については，今回比較している「事前情報なし」と「事前情報あり」の両方で，「車を運転し，トンネルを抜けると特徴的な風景が見える」という条件が同じであるため，今回の解析では対象としないことにした．

なお，“期待感”と“いらいら”にも高い相関がある．しかし，表 2.5 のアンケート結果を見ると，全ての実験協力者の“いらいら”の回答は0以下である．そのため，“期待感”が高い人でも，“いらいら”しているわけではないと考えられる．

■心電の解析結果

(A) トンネル内に対する解析

・SDNN

図 2.10 に風景ごとの全実験協力者の SDNN の平均値を示す．風景ごとに情報提示の有無で対応のある t 検定を行った結果，以下で有意差があった．

桜 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

紅葉 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

雪景色 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

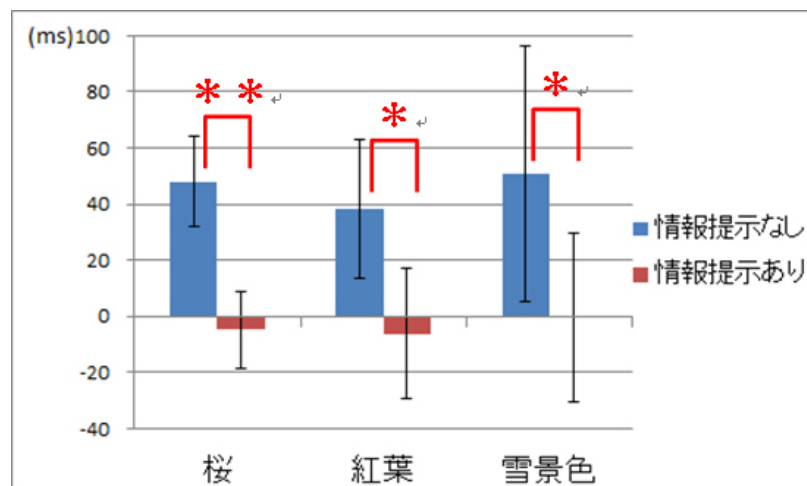


図 2.10 風景ごとの全実験協力者の SDNN の平均値

・RRV

図 2.11 に風景ごとの全実験協力者の RRV を示す．風景ごとに情報提示の有無で対応のある t 検定を行った結果，以下で有意差があった．

桜 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

紅葉 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

雪景色 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

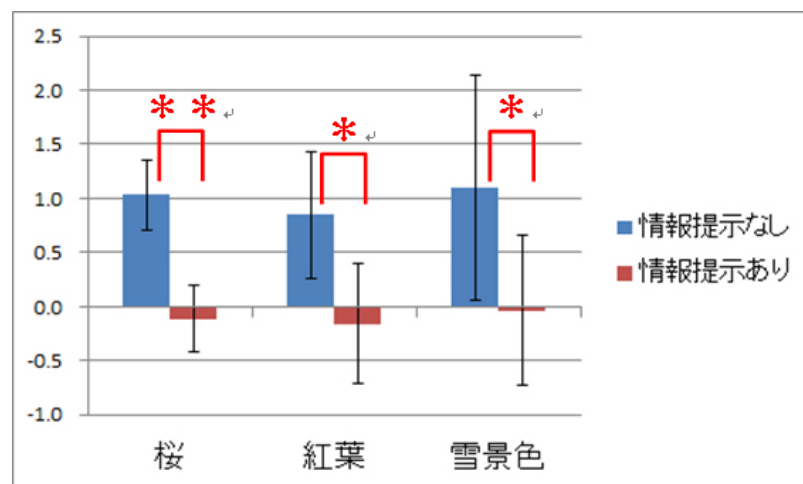


図 2.11 風景ごとの全実験協力者の RRV の平均値

(B) トンネル通過後に対する解析

・SDNN

図 2.12 に風景ごとの全実験協力者の SDNN の平均値を示す。風景ごとに情報提示の有無で対応のある t 検定を行った結果、以下で有意差があった。

桜 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

紅葉 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

雪景色 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

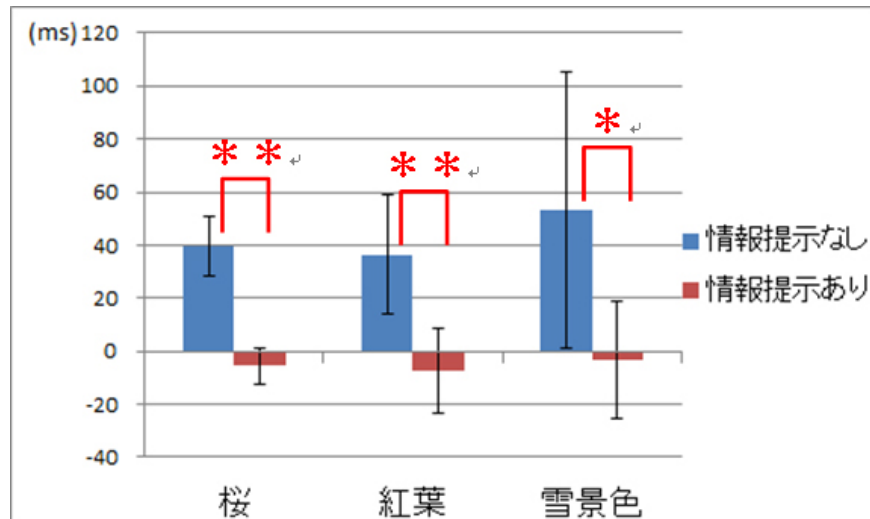


図 2.12 風景ごとの全実験協力者の SDNN の平均値

・RRV

図 2.13 に風景ごとの全実験協力者の RRV を示す。風景ごとに情報提示の有無で対応のある t 検定を行った結果、以下で有意差があった。

桜 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

紅葉 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.01$)

雪景色 : 情報提示なし > 情報提示あり ($p < 0.05$)

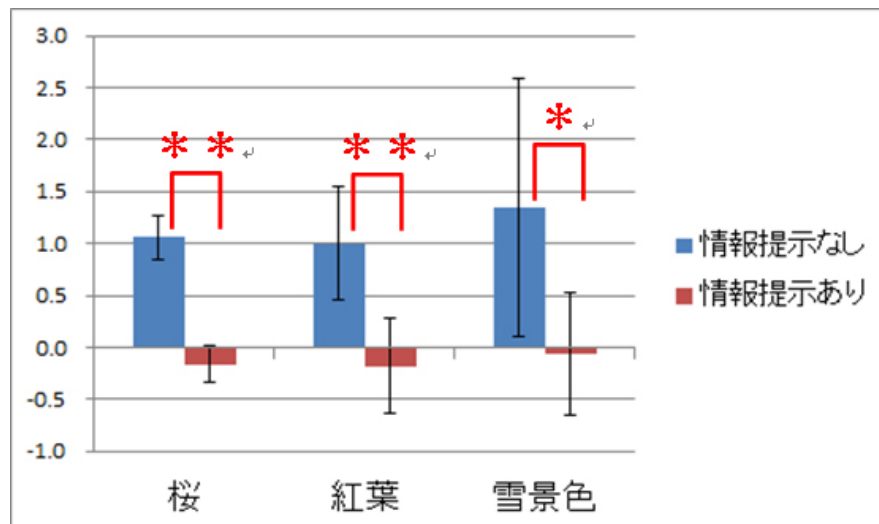


図 2.13 風景ごとの全実験協力者の RRV の平均値

「わくわく感」の心電の指標(SDNN, RRV)について、解析区間であるトンネル内とトンネル通過後のそれぞれで、算出・解析を行った。結果、3種類全ての風景において情報提示がない時よりもある時の方が、心電のSDNNとRRVが統計的に有意に低かった。心電のSDNNとRRVは精神的負荷を示す指標とされており、実験協力者は第1章の図1.3で示したHigh arousalの状態にあったと考えられる。一方で、先述したアンケートの解析結果から、実験協力者は、コンテンツに対しては“いらいら”ではなく、“面白さ”や“わくわく”、“ドキドキ”を感じていたと言える。これらの結果から、実験協力者は「情報提示なし」よりも「情報提示あり」のときの方がわくわくしており、その「わくわく感」が心電のSDNNとRRVで検出できたと考えられる。

また、情報提示を行ったトンネル内だけでなく、トンネル通過後の心電のSDNNとRRVについても、情報提示があった時の方が有意に低かった。このことから、トンネル内での情報提示による「わくわく感」が、トンネル通過後も持続していたと考えられる。

1.1項で述べたように、先行研究[29]において、脳波の生理指標である β/α と心電の生理指標であるRRIの平均値で「わくわく感」を検出できる場合があった。しかし、今回は心電のSDNNとRRVを用いることで、3種類の風景全てで「わくわく感」が検出できた。このことから、若者の「わくわく感」を検出する上で、心電の生理指標であるSDNNとRRVという指標は、非常に有効である可能性があるといえる。

■脳波の解析結果

(A) トンネル内に対する解析

・ β / α の平均値

図 2.14 に風景ごとの全実験協力者の β / α の平均値を示す。風景ごとに、全実験協力者の β / α の平均値について、情報提示の有無で対応のある t 検定を行った結果、以下で有意差があった。

紅葉 : 情報提示あり > 情報提示なし ($p < 0.05$)

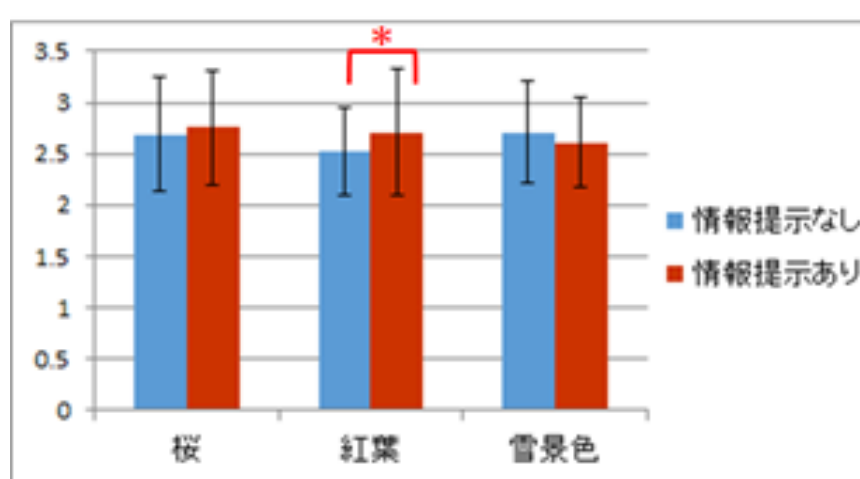


図 2.14 風景ごとの全実験協力者の β / α の平均値

(B) トンネル通過後に対する解析

・ β / α の平均値

図 2.15 に風景ごとの全実験協力者の β / α の平均値を示す。風景ごとに、全実験協力者の β / α の平均値について、情報提示の有無で対応のある t 検定を行ったが、統計的に有意な結果は得られなかった。

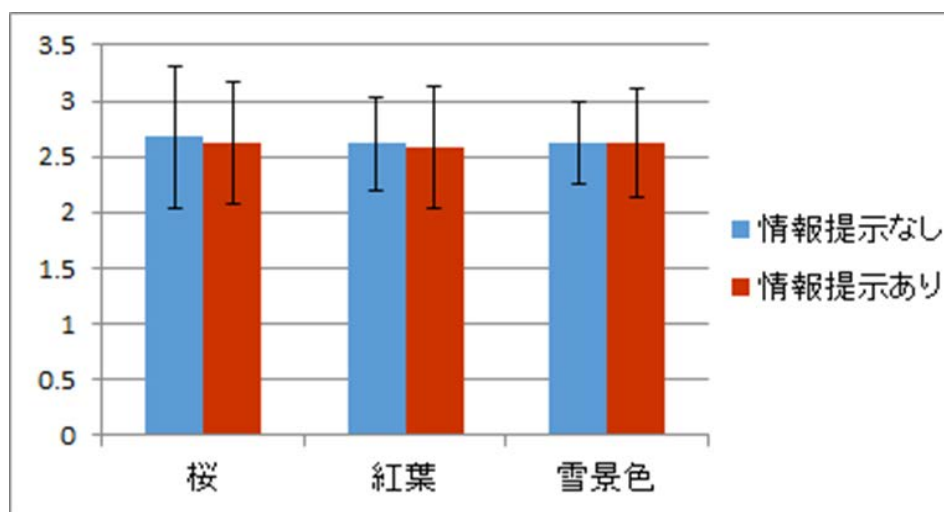


図 2.15 風景ごとの全実験協力者の β / α の平均値

■皮膚電気コンダクタンスの解析結果

(A) トンネル内に対する解析

・GSR の平均値

図 2.16 に風景ごとの全実験協力者の GSR の平均値を示す。風景ごとに、全実験協力者の GSR の平均値について、情報提示の有無で対応のある t 検定を行ったが、統計的に有意な結果は得られなかった。

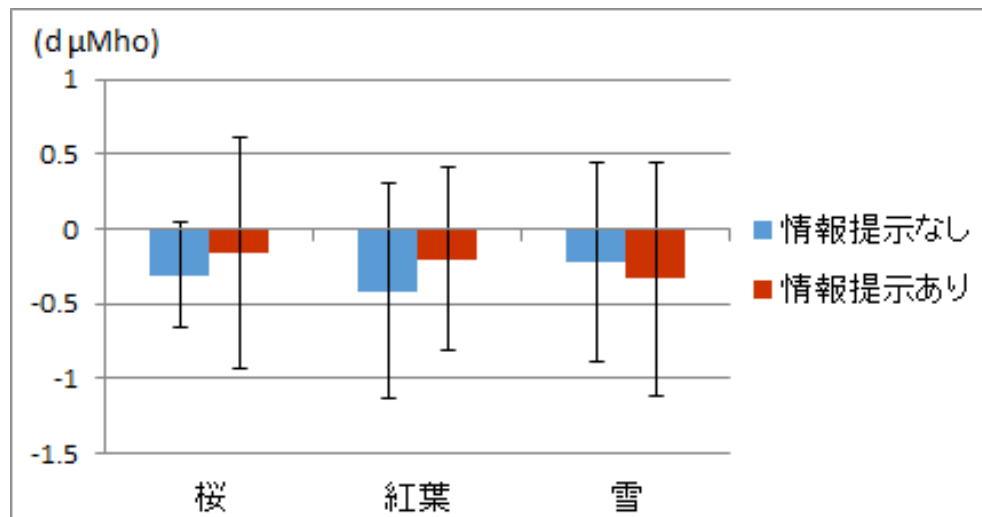


図 2.16 風景ごとの全実験協力者の GSR の平均値

(B) トンネル通過後に対する解析

・GSR の平均値

図 2.17 に風景ごとの全実験協力者の GSR の平均値を示す。風景ごとに、全実験協力者の GSR の平均値について、情報提示の有無で対応のある t 検定を行ったが、統計的に有意な結果は得られなかった。

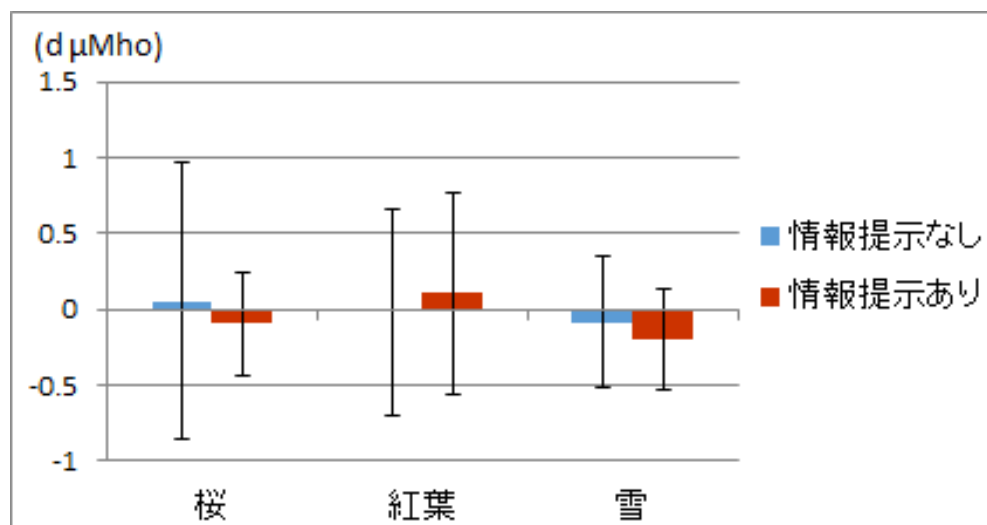


図 2.17 風景ごとの全実験協力者の GSR の平均値

■眼球運動データを用いた解析結果

図 2.18 に実験中の瞳孔径の変化を示したグラフの例を示す。これらとコンテンツ内の変化を重ね合わせて見比べた結果、トンネル内外でのモニターの明るさの変化による影響が大きく、瞳孔径の変化と情報提示の有無には関係が見出だせなかった。そのため、瞳孔径の平均値についての詳細な解析は実施しなかった。

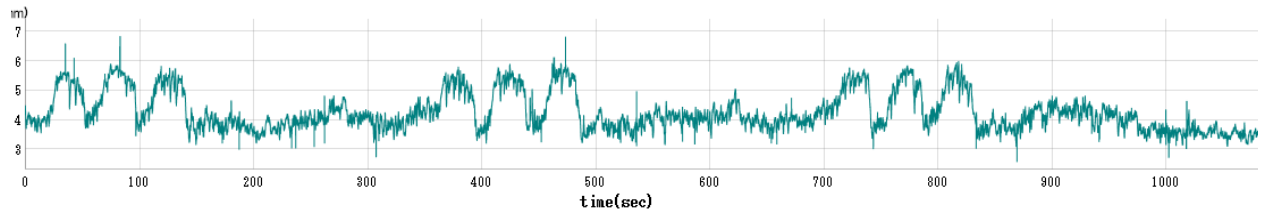


図 2.18 実験中の瞳孔径の変化の例

■考察

本論文では、原田らにより行われた以上の実験と解析の結果[42]に基づき、以下の考察を行った。

脳波の β / α の平均値、皮膚電気コンダクタンスの GSR の平均値、眼球運動データの平均瞬目回数についても解析した結果、トンネル内に対する解析で、紅葉の事前情報提示の有無により、脳波の β / α の平均値が統計的に有意だった。これは、今回は提示順序を固定しており、最初に提示する風景が紅葉だったために、トンネル内で情報を提示された時の期待感が最も強かったことが原因の可能性があると推測される。これ以外では、統計的に有意な結果が得られなかった。この結果から、以下のことが考えられる。

- ・今回の実験では、季節の異なる 3 つの風景を提示していた。そのために、実験協力者が非現実的だと感じ、心電以外の生理指標で反応が出なかった可能性がある。
- ・脳波の β / α の解析結果から、風景の提示順序が影響していた可能性があったと推測される。情報提示の有無だけでなく、風景の提示順序もランダムにすることで、心電以外の生理指標でも統計的に有意な結果が得られた可能性はあると考えられる。
- ・今回は特定の季節には着目せず、単なる美しい風景として 3 種類の風景を提示していたが、季節ごとに統一した風景で異なる建造物を提示した方が、季節の風景を題材とした実験としては適していた可能性がある。
- ・今回は、雪景色の空に秋雲を表示していた。冬の雲を表示することで、雪景色がより冬らしく見えた可能性がある。
- ・室温などを季節ごとに一定条件下にするなど、より実験条件を統制することで、有意な結果が得られる可能性がある。
- ・異なる解析方法を用いることで、統計的に有意な結果が得られる可能性もある。例えば、1.1 項で述べた先行研究[24]では、心理状態の主成分を目的変数、脳波から算出される指標を説明変数とした重回帰分析を実施している。このような他の解析を行うことで、心電以外の生理指標でも「わくわく感」を検出できる可能性がある。

1.1 項で述べたように、生体信号が検出できる感性はそれぞれ異なっている[19]。また、ポジティブで静的な感性やネガティブで動的な感性と生理指標の関係を明らかにした研究は複数存在するものの、「わくわく感」のようなポジティブで動的な感性と生理指標の関係は確立していない。そのため、今回も種々の生体信号を計測し、アンケート結果と合わせて解析を行った。

その結果、今回作成した「車外風景に関する事前情報を与える」というコンテンツによって得られる「わくわく感」は“ドキドキ”と“期待感”によって生起されていると考えられる。今回、情報提示の有無で比較を行った結果から、“期待感”による「わくわく感」の検出は、種々の生理指標の中でも心電の SDNN と RRV が有用であると考えられる。“ドキドキ”による「わくわく感」は今回の解析では検出できなかったが、今回とは異なる解析区間や解析方法によって、いずれかの生理指標で検出できる可能性はある。

また、SDNN の低下は副交感神経活性の低下に起因すると解釈されている[63]。副交感神経の賦活はリラックスを意味している。交感神経優位が覚醒、副交感神経優位がリラックスにあたると考えると、第 1 章図 1.3 の縦軸(arousal)に対応すると考えられる。それを踏まえると、「わくわく感」によって副交感神経活性が低下し、SDNN が低下するというのは、生理学的な知見とも矛盾しないと考えられる。

ただし、SDNN や RRV によって「わくわく感」以外の感性を検出してしまっている可能性もある。以降の各章で様々な VR システムを対象に実験を行い、SDNN と RRV が「わくわく感」の測定に有用であることを確認する必要がある。

また、実際の運転に対する「わくわく感」と、今回のような D.S のコンテンツから得られる「わくわく感」は同一ではない。しかし、2.1 項で述べたように、先行研究ではバーチャル環境の実験結果が実環境でも成立する可能性が高いとされており[39]、今回シミュレータで得た「車外風景に関する事前情報を与えるとよりわくわくする」という結果が、実際の運転時に対しても適用できる可能性は高いと考えられる。本論文のように、運転中の「わくわく感」をシミュレータで評価できることで、実車での実験よりも容易に、かつ多様なコンテンツを利用した評価が行えるようになり、実際の運転の「わくわく感」評価の確立に貢献できると考える。

2.2.7 実験のまとめ

「わくわく感」の生理指標を検討するため、D.S を用いた実験を行った。測定する生体信号は、脳波、心電、皮膚電気コンダクタンス、眼球運動データの4つを用いた。生理指標としては、先行研究で「わくわく感」の評価に有用とされていた指標のほか、心電のSDNNとRRVを用いた。

アンケートを解析した結果、車外風景について事前情報を提示することで、ドライバーが「わくわく感」を得られることがわかった。また、“わくわく”と“ドキドキ”、“わくわく”と“期待感”に高い正の相関があることがわかった。

種々の生理指標とアンケート結果と併せて解析した結果、解析対象とした全ての風景のパターンで統計的に有意な結果が得られたことから、心電のSDNNとRRVは「わくわく感」の検出に非常に有用であることもわかった。一部の条件では脳波の β/α も有用であることもわかった。

一方で、心電以外の生理指標の多くでは、統計的に有意な結果が得られなかった。今回の実験では、提示した風景の季節が統一されておらず、提示順序も固定していたことが原因の可能性があると推測される。提示順序をランダムにしたり、提示する風景の季節を統一したりするなど、より実験条件を統制することや、他の解析方法を用いたりすることで、心電以外の生理指標でも統計的に有意な結果が得られる可能性はある。

今回は、新しく「わくわく感」の指標となる生理指標を提案することを目的として実験を行った。結果、“期待感”による「わくわく感」評価には心電のSDNNとRRVが有用であることがわかった。

2.3 車載機器の情報と音楽の提示による「わくわく感」の評価実験

前節で得た生理指標の有用性を確認するため、新たなわくわくすると考えられるコンテンツを作成し、D.S 走行中に提示する実験を行った[46][47][48][49]。コンテンツは、前回の実験で有効だったトンネルやカーブの通過後に特徴的な風景が見えるというものに加え、音楽を流すものを作成した。風景に関する事前情報の有無と、音楽のサビ部分の提示前後での「わくわく感」への影響を比較した。D.S や実験条件、実験手順は前回の実験と概ね同じ条件で実施した。以下、特に 2.2 節の実験との差分について詳述する。なお、2.3.1 から 2.3.5 の実験結果までの記載は原田らの文献[50]による。

2.3.1 実験システム

図 2.19 に実験システムの構成を示す。システムは以下で構成されている。

- ・ ドライビングシミュレータ (D.S)
- ・ 生体信号計測システム
 - 生体信号(脳波, 心電)計測機器(キッセイコムテック株式会社 NeXus-10 MARK II)
 - 眼球運動データ計測機器(株式会社ナックイメージテクノロジー EMR9)
 - 生体信号計測用 PC
 - センサー

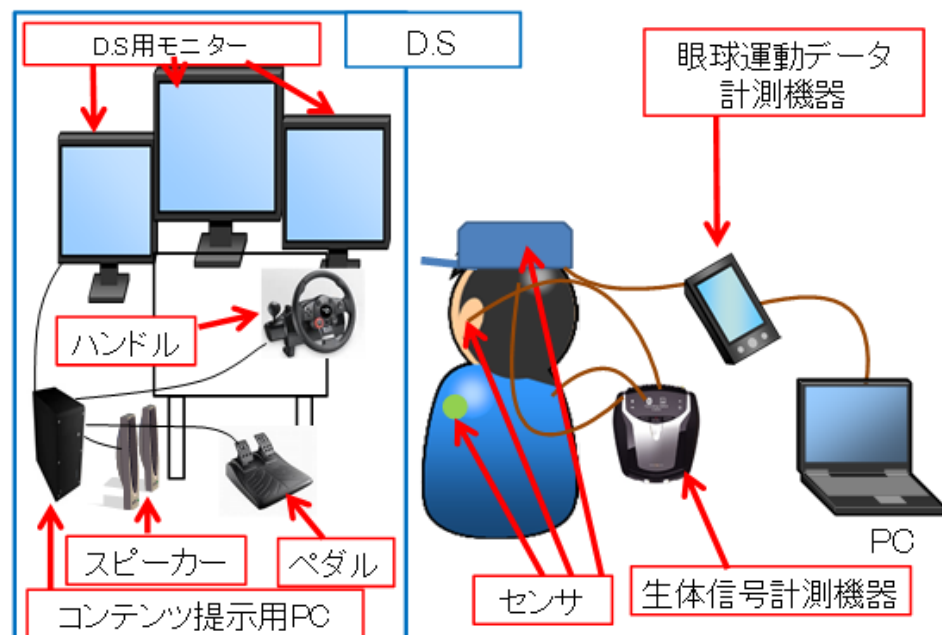


図 2.19 実験システムの構成

2.3.2 コンテンツ

先行研究[31]と 2.2 節の実験の結果から、以下のことがわかっている。

- ・ D.S の運転中、若者はこれから見える風景について、情報を提示するとわくわくする。
- ・ 若者は自分がわくわくする音楽を聴くとわくわくするが、サビの音量が上がるとさらにわくわくする。

そこで、今回の実験では以下の 2 つのわくわくするコンテンツを作成することにした。詳細は後述する。

- ・ コンテンツ(1) 風景提示コンテンツ
- ・ コンテンツ(2) 音楽提示コンテンツ

コースは一本道であり、図 2.20 の左下の位置から走行を開始してトンネルを走行し、通過後に特徴的な風景が見えるコンテンツ(1)を提示する区間を 6 箇所と、音楽を提示するコンテンツ(2)を提示する区間を 3 箇所通過する。

各コンテンツの提示順序を表 2.7 に示す。なお、それぞれの区間の間には、前の区間での刺激の影響が残らないように、単調な運転区間（表 2.7 では「なし」と記載）を設けた。なお、コンテンツの作成には前回と同様に FORUM8 社の UC-win/Road ver9.1 を使用した。また、実験協力者が D.S の運転に慣れてから解析する区間を運転する方が良いと考え、コンテンツ体験前に D.S の運転の練習を行ってもらうことにした。

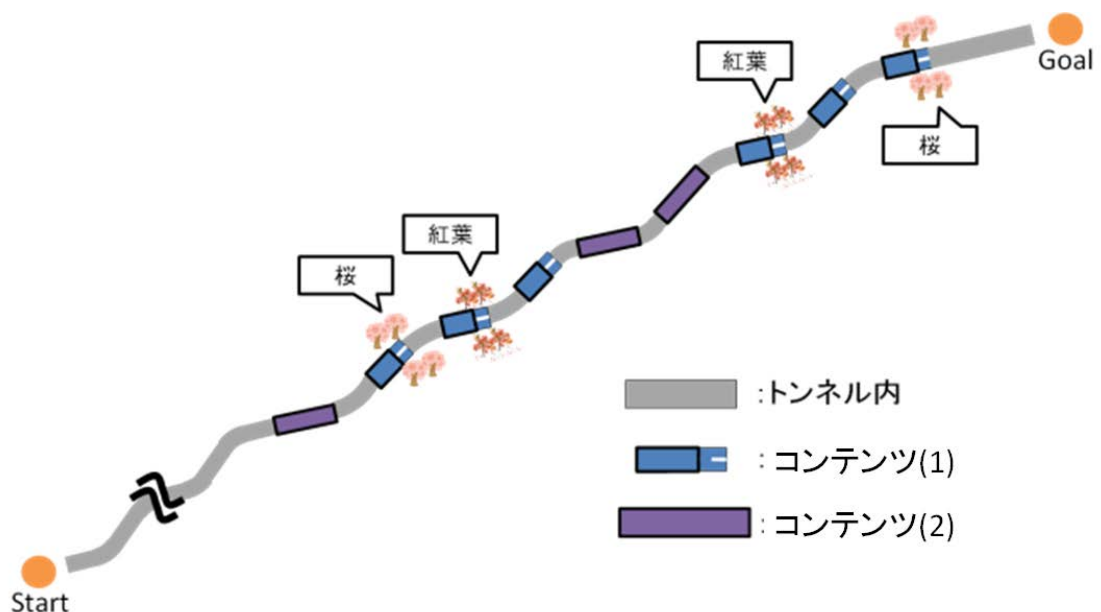


図 2.20 コースの概略

表 2.7 各コンテンツの提示順序

	提示コンテンツ	風景	所要時間	累積時間
1	スタート	-	210s	210s
2	音楽提示		180s	390s
3	なし		60s	450s
4	風景提示	桜	65s	515s
5	なし		60s	575s
6	風景提示	紅葉	65s	640s
7	なし	-	60s	700s
8	風景提示	風景なし	65s	765s
9	なし		30s	795s
10	音楽提示		180s	975s
11	なし		30s	1005s
12	音楽提示		180s	1185s
13	なし		60s	1245s
14	風景提示	紅葉	65s	1310s
15	なし		60s	1370s
16	風景提示	風景なし	65s	1435s
17	なし		60s	1495s
18	風景提示	桜	65s	1560s
19	Goal	-	30s	1560s (26m30s)

■コンテンツ(1) (風景提示コンテンツ)

コンテンツ(1)は、以下の要素を持つコンテンツである。

- ・トンネル内をしばらく走行する
- ・トンネルを抜けると風景（2種類のいずれか）が見える
- ・トンネル内走行中に、風景に関する事前情報を提示する場合がある

コンテンツ(1)の提示区間では、桜、紅葉の2種類の風景について情報提示あり（後述）、情報提示なし、風景なしの3パターンで、合計6個を1回ずつ提示した。前回の実験では雪景色の風景も提示していたが、口頭アンケートで低く評価した実験協力者がいたため、今回は使用しないことにした。

前回の実験と同様、情報提示ありの場合は、トンネル内を走行中に、トンネル通過後の風景について音声で情報を提示した。桜、紅葉の風景の映像と提示する情報は前回の実験と同じものを用いた。

■コンテンツ(2) (音楽提示コンテンツ)

区間①は、以下の要素を持つコンテンツである。

- ・トンネル内をしばらく走行する
- ・走行中に音楽が再生される
- ・音楽のサビの部分は音量が大きくなる

音楽が再生される時間は、1 番のサビ部分まで再生できる 90 秒以上とし、トンネルに入ってから音楽が再生されるまでの時間は、同じく 90 秒とした。また使用する音楽は、事前に実験協力者に「聞くとわくわくするボーカル曲」を回答してもらい、その中から 3 曲を選定した。さらに、先行研究の結果から[31], わくわく感が増すようにサビの時の音量を大きくして使用した。コンテンツ(2)の構成を図 2.21 に示す。

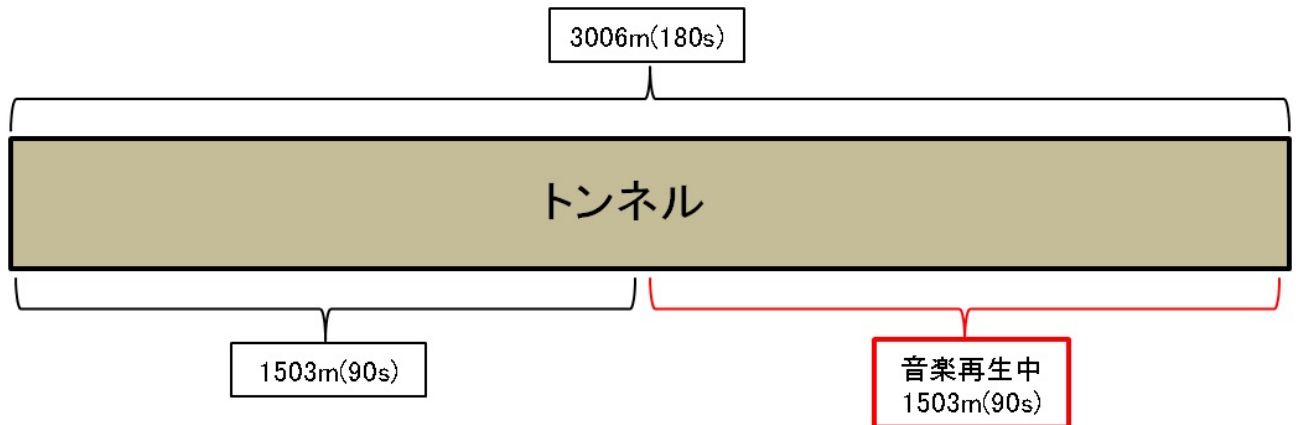


図 2.21 コンテンツ(2)の構成

2.3.3 実験手順

以下の手順で実験を行った．

1. 実験の説明と同意
2. D.S の走行練習(10 分程度)
3. 生体信号測定機器の装着
4. コンテンツ体験
 - (i) 生体信号の測定を開始する．
 - (ii) 同時に実験協力者にアクセルを踏んで走行を開始してもらう．
 - (iii) 特徴的な風景の区間を 3 回通り過ぎる．風景が見えた際に口頭アンケートを行う．
 - (iv) (iii)を 3 回繰り返す．
 - (v) 30 秒以上時間を取って停車の指示を出す
5. 測定機器の取り外し
6. アンケートの実施

なお実験の説明と同意の際には，コンテンツについて「これから，こちらのドライビング・シミュレーターに乗ってもらって，あるコンテンツを体験してもらいます．そして，コンテンツ体験中のドライバーの生体信号を計測し，どのような生体反応が得られるかを調査したいと考えております．実験手順はこちらのようになっております．」と説明した．また，同意書と研究協力依頼書は付録 A-1 のものを用いた．

2.3.4 評価方法

■アンケート

アンケートは，実験終了後に 1 回実施した．通常のアンケートではコンテンツのどの部分でわくわくしたのか解析するのが難しく，第 1 章で述べたように提示を中断してアンケートに回答してもらう必要があった．しかし今回は，コンテンツ(1)の提示区間で各風景を提示するのが 2 回ずつだけであり，コンテンツ(2)の提示区間では提示する 3 曲がそれぞれ別の楽曲であることから．実験協力者が，実験終了後に各コンテンツをある程度振り返ることが可能だと考えた．そこで，実験協力者に図 2.22 に示すコースマップを提示し，わくわくしたと思う地点を○で囲ってもらうアンケート方式を考案し，評価に使用した．アンケート用紙を付録 A-2 に示す．

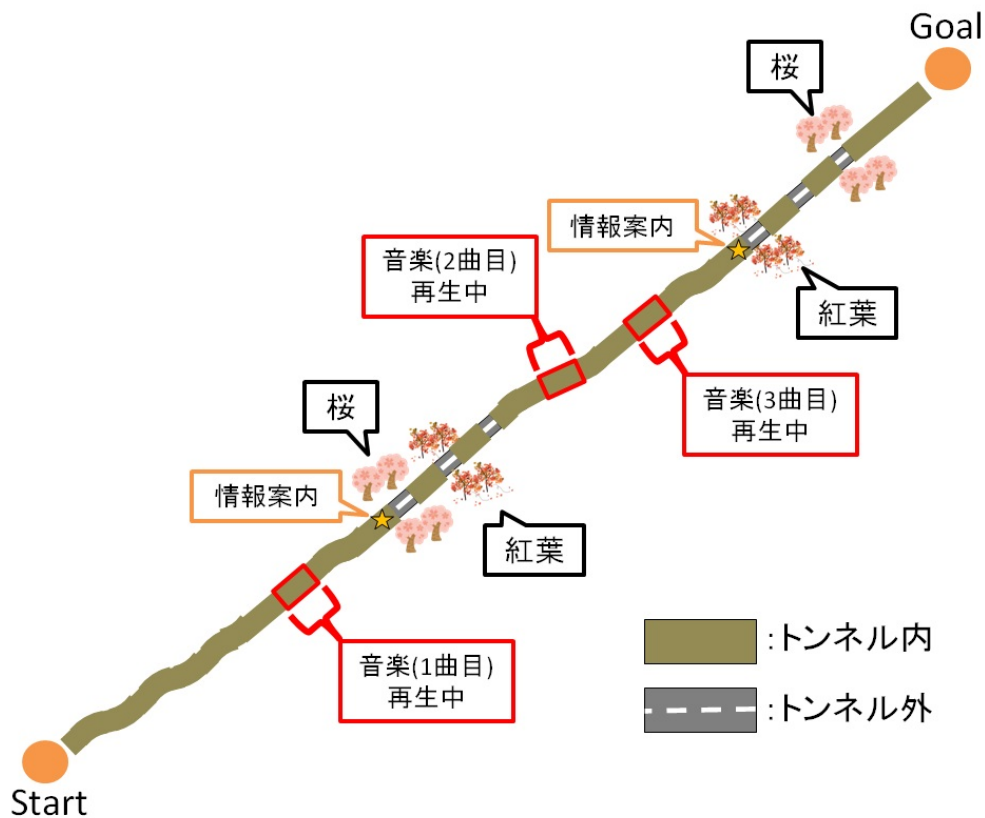


図 2.22 アンケートに使用したコースマップ

■生体信号と生理指標

今回の実験では、前回の実験で有用だった脳波と心電を用いた。使用した生理指標を表 2.8 に示す。

表 2.8 生体信号と生理指標

生体信号	生理指標
脳波	α 波の割合の平均値(「わくわく感」によって減少)
	β 波の割合の平均値(「わくわく感」によって増加)
	β/α の平均値(「わくわく感」によって増加)
心電	RRI の平均値(「わくわく感」によって減少)
	SDNN の平均値(「わくわく感」によって減少)
	RRV の平均値(「わくわく感」によって減少)

■生理指標の解析結果

本章では、2.3.2 項で説明したコンテンツ(2)の解析結果についてのみ記載する。種々の生理指標は、解析区間ごとに算出し、実験協力者ごとに基準を揃える目的で、「音楽提示前（音楽が再生される前 10 秒間）」と差分をとって基準化した。今回は、反応がすぐに表れる脳波も計測するため、解析区間を長くすると他のイベントに影響されてしまう。そこで短い 10 秒とした。また、脳波に合わせて解析するため、心電の解析区間も 10 秒とした。そこで、今回の各解析区間の長さを 10 秒とした。1 つのトンネルあたりの解析区間の例を図 2.23 に示す

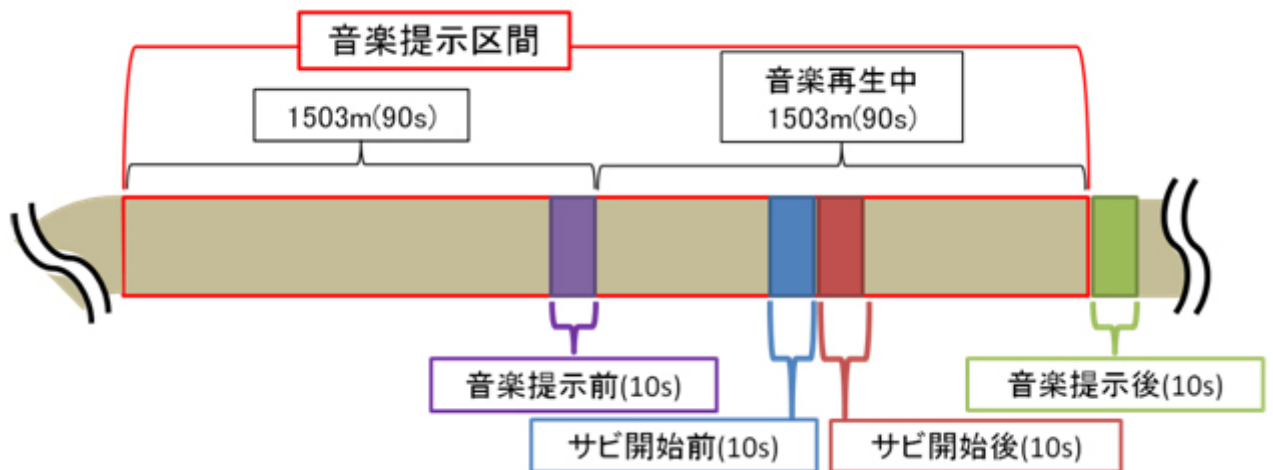


図 2.23 解析区間の概略

2.3.5 実験結果と考察

実験協力者は、普通自動車免許を有する 20 歳以上の芝浦工業大学の学生 10 名を対象とした。

■アンケート結果

図 2.24 に、アンケートでコンテンツ(2)の提示区間(1 曲目～3 曲目の 3 か所)で「わくわくした」と回答した実験協力者の人数を示す。この結果から、1 曲目から 3 曲目のいずれの場合も、過半数の実験協力者が音楽を聞いてわくわくしていたことがわかった。しかし、曲ごとに「わくわくした」と回答した実験協力者は異なった。そこで以下の解析では、コンテンツ(2)の提示区間(1 曲目)でわくわくしたかどうかの回答で実験協力者を分類した。

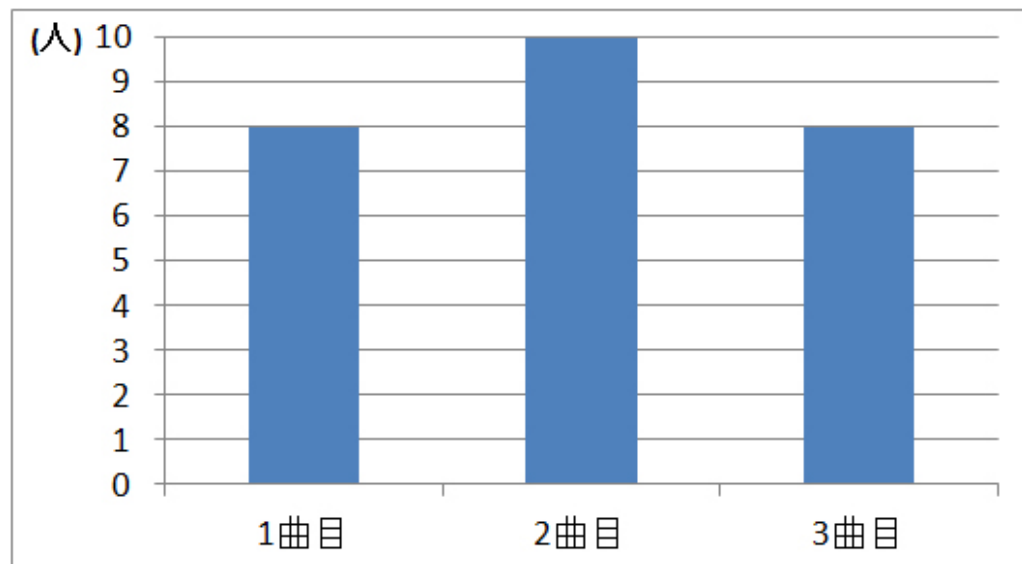


図 2.24 コンテンツ(2)の提示区間に対して「わくわくした」と回答した実験協力者の人数

■脳波の解析結果

図 2.25 に、実験協力者ごとの脳波の β/α の平均値と、そのうちアンケートで「わくわくした」と回答した 8 名の脳波の β/α の平均値を示す。脳波の β/α の平均値について、解析区間で一元配置の分散分析を行った結果、5%水準で主効果があり、「サビ開始前」に対して、「サビ開始後」が 10%水準で大きくなる有意傾向を示した。

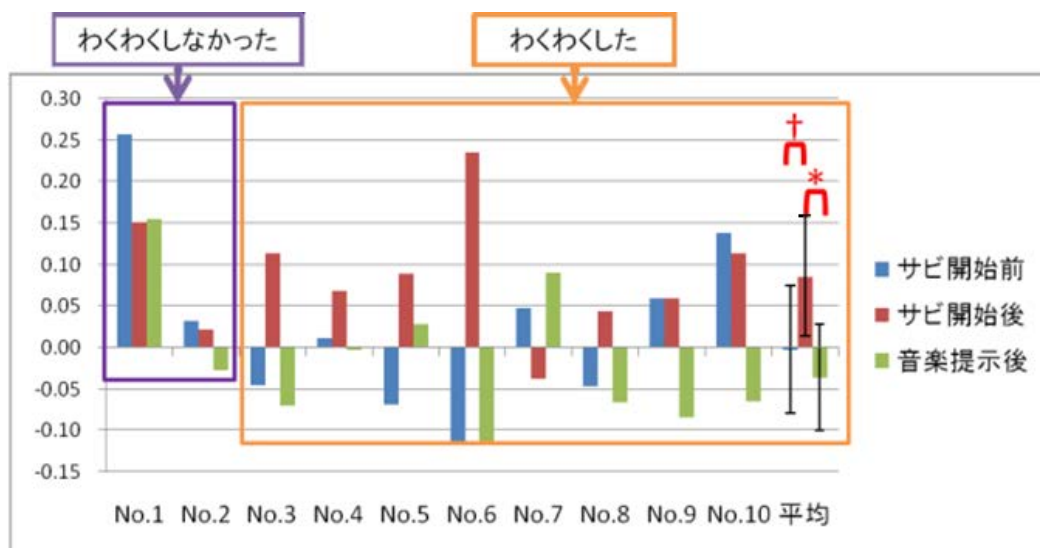


図 2.25 実験協力者ごとの β/α の平均値

■心電の解析結果

図 2.26 に、実験協力者ごとの心電の SDNN の平均値と、そのうちアンケートで「わくわくした」と回答した 8 名の心電の SDNN の平均値を示す。心電の SDNN の平均値について、解析区間で一元配置の分散分析を行った結果、1%水準で主効果があり、「サビ開始前」に対して、「サビ開始後」が 1%水準で有意に低かった。

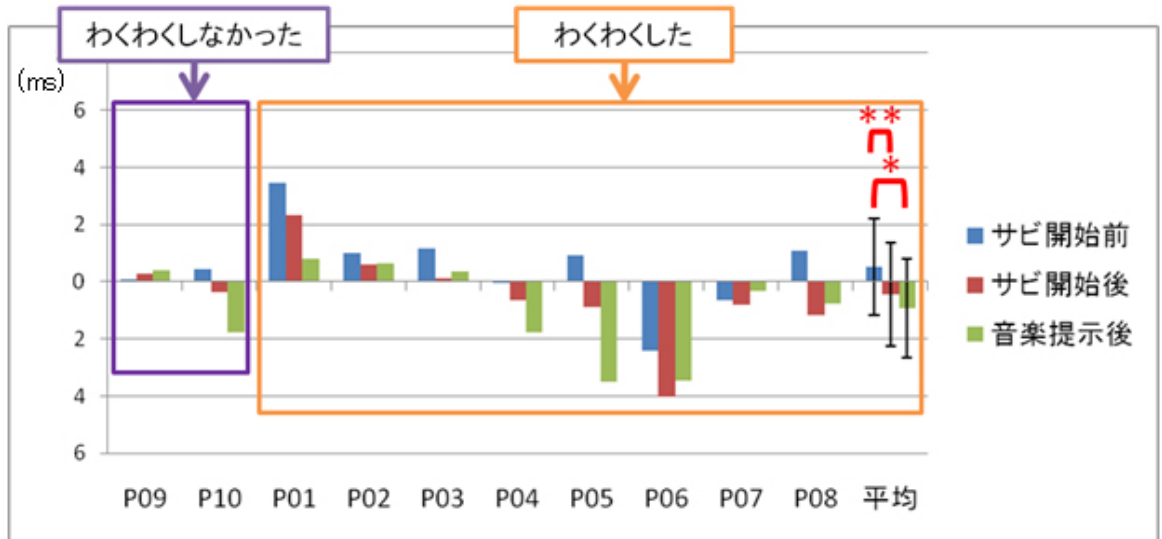


図 2.26 実験協力者ごとの SDNN の平均値

図 2.27 に、実験協力者ごとの心電の RRV の平均値と、そのうちアンケートで「わくわくした」と回答した 8 名の心電の RRV の平均値を示す。心電の RRV の平均値について、解析区間で一元配置の分散分析を行った結果、1%水準で主効果があり、「サビ開始前」に対して、「サビ開始後」が 1%水準で有意に低かった。

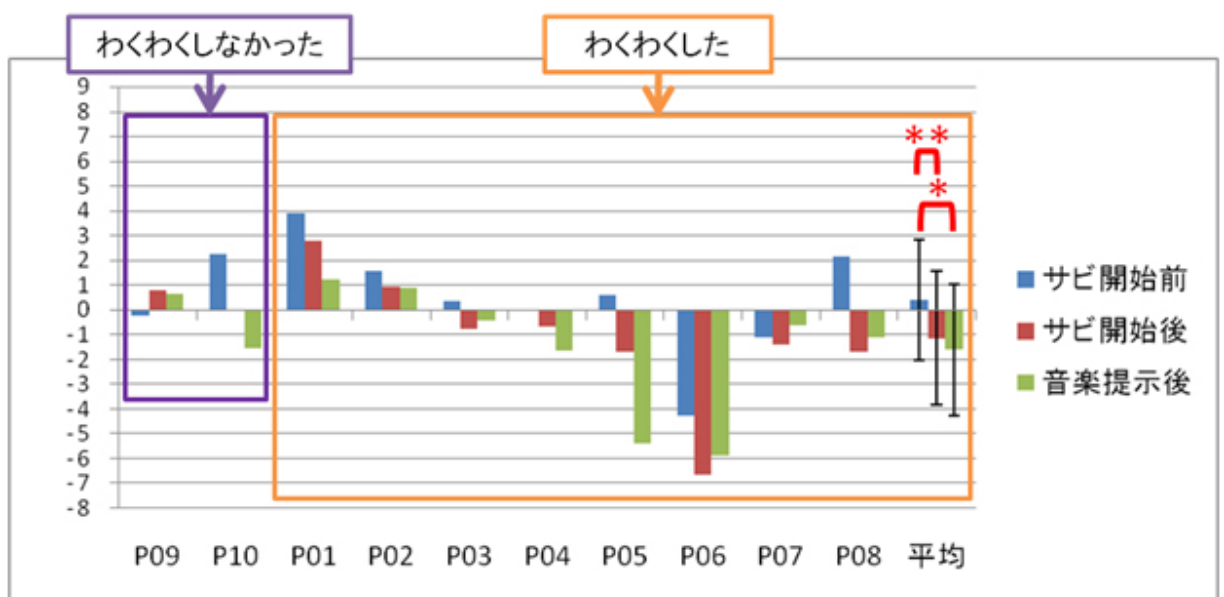


図 2.27 実験協力者ごとの RRV の平均値

■考察

本論文では以上の実験結果に基づき、以下の考察を行った。

わくわく感の指標(β/α , SDNN, RRV)について、解析区間ごとに算出し、解析を行った。結果、アンケートで「わくわくした」と回答した実験協力者の場合、「サビ開始前」に対して「サビ開始後」の方が、 β/α が統計的に大きい傾向があり、SDNNとRRVが統計的に有意に低かった。また、これらの値は音楽提示前と差分を取っているため、サビ開始後の値は音楽提示前と比べても有意に大きかったことがわかる。

今回の解析では、コンテンツ(1)の提示区間(1曲目)に対して、以下の結果を得た。

- ・ アンケートではわくわくしていたと回答していた
- ・ 脳波の β/α の値が サビ開始前 < サビ開始後
- ・ 心電のSDNNとRRVの値が サビ開始前 > サビ開始後

このことから、脳波の β/α は、第1章で挙げた先行研究で扱われたネガティブな感性(図1.3のLow valence)やポジティブで静的な感性(図1.3のHigh-valence, Low arousal)だけでなく、「わくわく感」(図1.3のHigh-valence, High-arousal)の検出にも有用な生理指標であると言える。また、心電のSDNNとRRVも「わくわく感」の指標として有用であることが改めて確認できた。このように、今回はアンケート結果と組み合わせることで、脳波の β/α 、心電のSDNNとRRVが「わくわく感」の指標であることが明確に示せた。

2.4 まとめ

本章では、「わくわく感」の生理指標を検討するため、D.S を用いた実験を行った。測定する生体信号は、脳波、心電、皮膚電気コンダクタンス、眼球運動データの4つを用いた。生理指標としては、先行研究で「わくわく感」の評価に有用とされていた指標のほか、心電のSDNNとRRVを用いた。

アンケートと組み合わせて解析した結果、以下のことがわかった。

- ・運転中に、車外風景に関する事前情報を与えるとわくわくする。また、その「わくわく感」を心電のSDNNやRRVで検出できる。
- ・運転中に、わくわくする音楽を流すとわくわくする。また、その「わくわく感」を心電のSDNNやRRVで検出できる。
- ・一部の条件で、脳波の β/α が「わくわく感」の評価に有用である
- ・心電のSDNNとRRVが「わくわく感」の評価に非常に有用である
- ・今回の実験の「わくわく感」は“期待感”によるものである

第3章 未知の体験ができる VR システムの「わくわく感」評価

3.1 はじめに

第2章で行った実験では、D.S 運転中の「わくわく感」の検出に有用な生理指標を提案できた。本章では、心電の SDNN と RRV が他の VR システムの「わくわく感」の検出にも適用できるかどうかを確認するため、わくわくする VR システムを作成し、実験を行った [51][52]。

わくわくする VR システムを作成するにあたり、「未知の体験をするコンテンツ」が、日常では経験することのない体験ができる興奮、夢や憧れが実現できる喜びを得られることから、「わくわく感」が得られると考えた。

例えば、4DX と呼ばれる映画では、振動や水しぶきが臨場感を高めるために使われている [53]。しかし、温度情報を未知の体験のために用いたコンテンツは少ない。そこで、温度情報を制御できるペルチェ素子を用いて、VR 空間で手から炎や氷を出す体験ができるシステムを開発し、心電を用いてそのシステムの「わくわく感」評価を行った。

3.2 VR システム開発

3.2.1 デバイス

コンテンツ内の炎と氷の温度情報をユーザに伝えるデバイスとして，新たにグローブ型デバイスを開発した．開発したグローブ型デバイスを図 3.1 に示す．

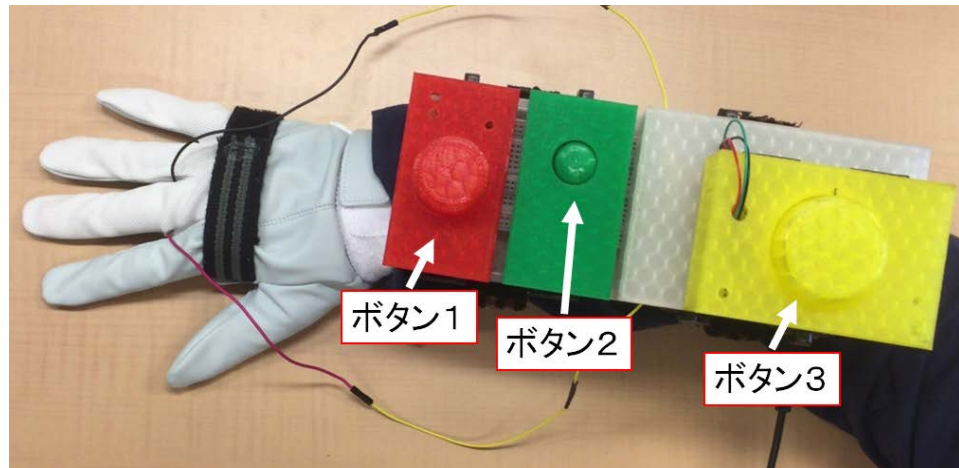


図 3.1 グローブ型デバイス

グローブ型デバイスは，ペルチェ素子と Arduino UNO，スイッチで構成されている．ペルチェ素子は，電流を流すと片面で冷却，片面で放熱を行う素子であり，この効果を利用した温度提示インタラクションが提案されている[54]．ペルチェ素子を図 3.2 に示す．



図 3.2 ペルチェ素子

また，グローブ型デバイスには3つのボタンを設けた．ボタン2でデバイスの ON/OFF を，ボタン1で炎と氷のどちらを出すかを切り替えられ，ボタン3を押すと弾が発射される．

また，ユーザの手と指の動きを感知するデバイスとして Leap Motion を用いた．Leap Motion は赤外線照射 LED と赤外線カメラによって，手のジェスチャによって PC 操作ができる入力デバイスである[55]．さらに，立体視覚情報を提示するデバイスとして Oculus

Rift CV1 を用いた。Oculus Rift CV1 は広視野角のディスプレイと高精度なヘッドトラッキング機能を有する，比較的安価なヘッドマウントディスプレイ (HMD) である[5]．なお，Leap Motion はOculus Rift CV1 の前面に貼付けて使用した．

図 3-3 にシステム構成図を示す．システムのデータフローは以下の通りである．

- (1) Leap Motion で読み取った手の動きとグローブ型デバイスのスイッチ入力を，入力情報として PC に送信する．
- (2) 入力情報によって変化したコンテンツ内の映像に合わせて，グローブ型デバイス内のペルチェ素子から温度情報を出力し，ユーザへ提示する
- (3) コンテンツの映像及び BGM を，Oculus Rift を通じて視覚情報，音声情報として (2) と同時にユーザへ提示する．

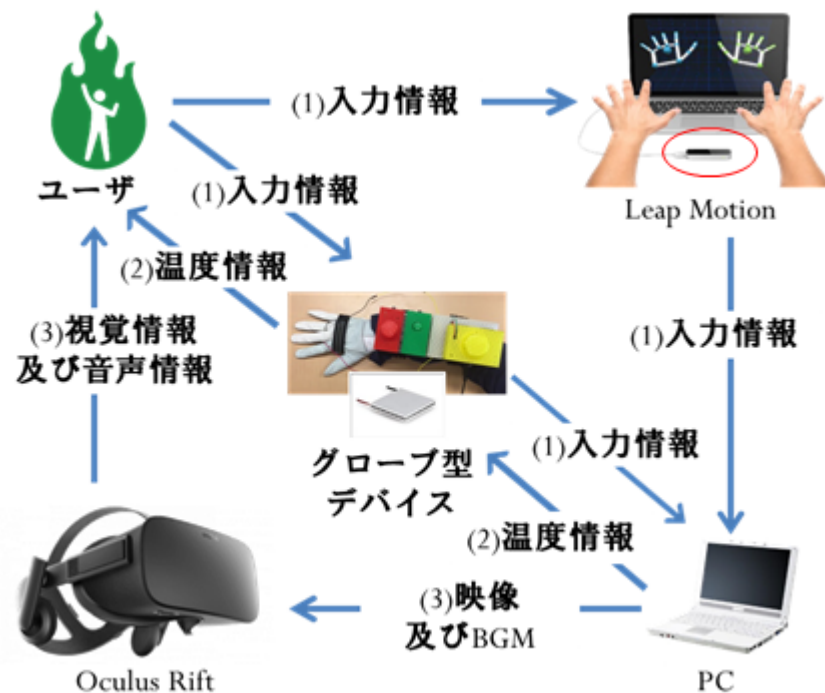


図 3.3 システム構成図

3.2.2 コンテンツ

コンテンツは、炎と氷を発射してロボットを倒す VR シューティングゲームとした。プレイヤーは、グローブ型デバイスを右手に装着し、左手でスイッチを押してプレイする。なお、コンテンツ内で手から炎が出ているときは右手に熱さを感じ、氷が出ているときは右手に冷たさを感じる。コンテンツの流れを図 3.4 に示す。

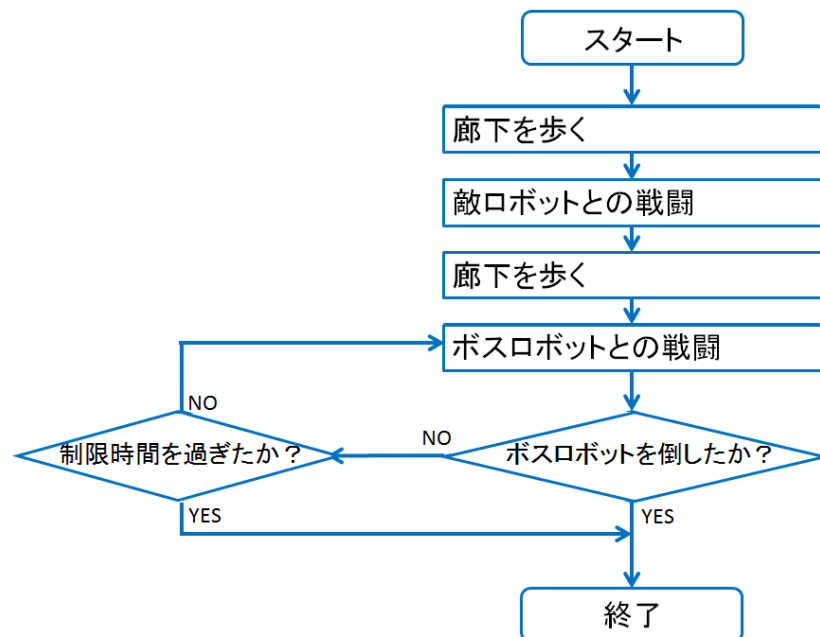


図 3.4 ゲームの流れ

コンテンツは主に以下の区間で構成される。

A: 非戦闘区間（廊下を歩く，図 3.5）

区間 B または区間 C が始まる前に、敵のいない廊下を進む。

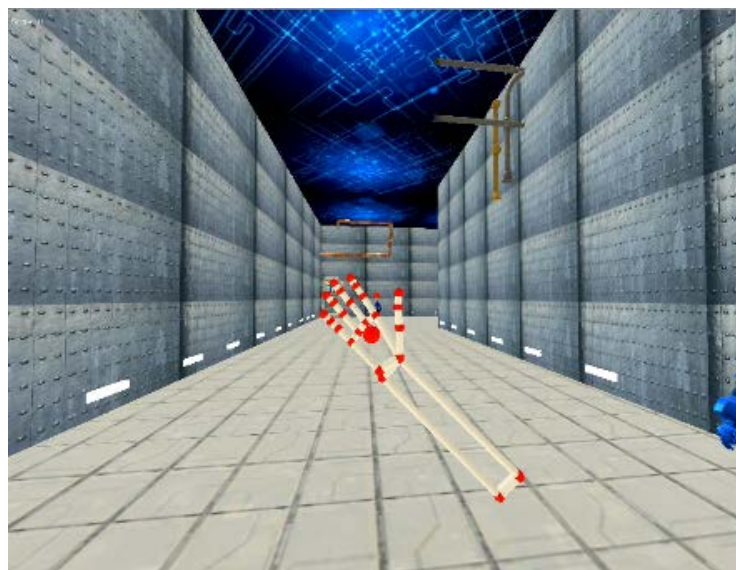


図 3.5 廊下を歩く区間

B: 戦闘区間 1 (複数の敵ロボット, 図 3.6)

広間に複数の敵ロボットが出現し, 炎や氷を当てて倒す.



図 3.6 戦闘区間 (複数の敵ロボットと戦う)

C: 戦闘区間 2 (氷のボスロボット, 図 3.7)

氷属性の巨大なロボットが出現し, 炎を当てて倒す.

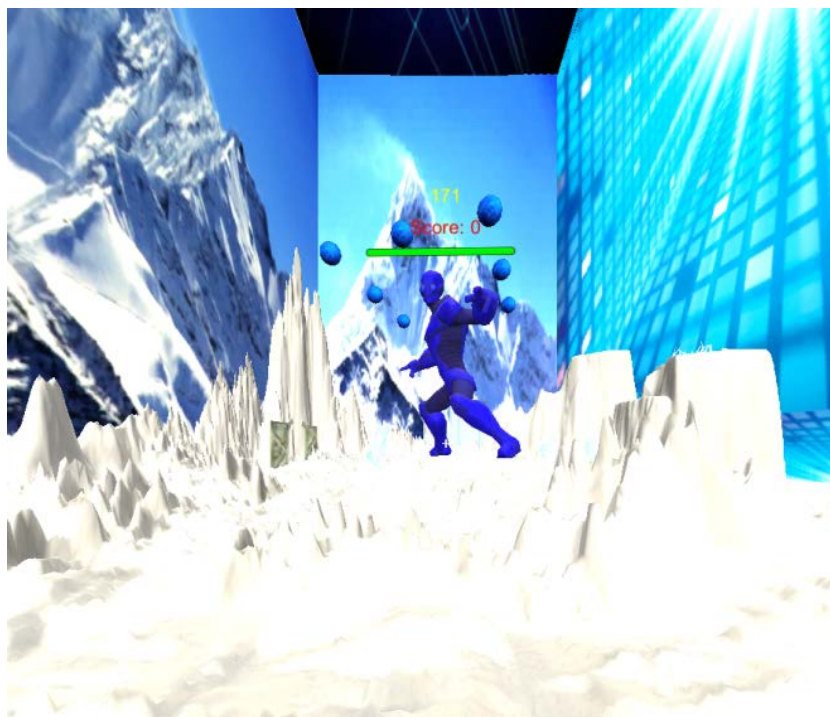


図 3.7 氷のボスロボットと戦う区間

D: 戦闘区間 3 (炎のボスロボット)

炎属性の巨大なロボットが出現し、氷を当てて倒す。
なお、区間 C と区間 D は 3 回を上限に繰り返す。

図 3.8 にコンテンツのタイムラインを示す。

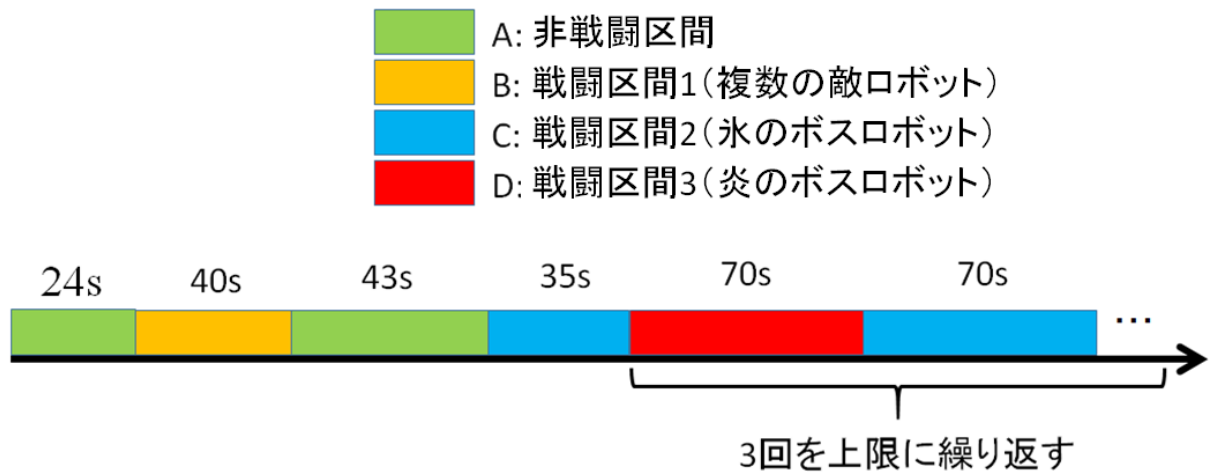


図 3.8 コンテンツのタイムライン

3.3 予備実験

3.3.1 実験方法

製作したシステムで思い通りの操作ができるか、コンテンツを楽しんでいると感じてもらえるのか、難易度は適切か、デバイスの使い心地はどうか、システムの改善点を調べるために実験を行った。実験では、実験協力者に開発したシステムを使用してもらい、終了後にアンケートに回答してもらった。

3.3.2 実験結果と VR システムの改良

実験は、芝浦工業大学の 20 歳以上の男子学生 8 名を対象に実施した。アンケート結果から、コンテンツは臨場感があって楽しいという高い評価が得られた。一方で、デバイスが重い、スイッチが押しづらいという意見も得られた。

この結果に基づき、以下の改良を行った。

- ・グローブ型デバイスからボタンを取り除いた
- ・ボタンの代わりにジェスチャーでゲームをコントロールできるように、新しいアルゴリズムを追加した。例えば、炎（氷）を出すジェスチャー操作は以下の手順で行う。
 - (i) 右手（左手）を握って開く
 - (ii) 右手（左手）のひらを正面に向ける
- ・両手用の 2 つのグローブ型デバイスを作成した。

新しいグローブ型デバイスを図 3.8 に示す。改良の結果、グローブ型デバイスのサイズと重さを減らすことができた。重さは 600 グラムから 200 グラム（片手あたり 100 グラム）まで削減できた。加えて、ジェスチャー操作を含め、ゲームのプレイ方法を説明するチュートリアルを作成した。



図 3.8 新しいグローブ型デバイス

3.4 「わくわく感」評価実験

改良したシステムによる未知の体験がプレイヤーをわくわくさせるのかを確認するため、実験を行った。実験では、実験協力者に開発したシステムを使用してもらった。実験中は心電を測定し、実験終了後にアンケートに回答してもらった。

3.4.1 実験システム

図 3.9 に実験システムの構成を示す。システムは以下で構成されている。

- Oculus Rift CV1（前面に Leap Motion を装着）
- グローブ型デバイス（両手に 1 つずつ）
- コンテンツ提示用 PC
- 生体信号計測装置（Nexus 10）
- 心電図電極
- 生体信号計測用 PC

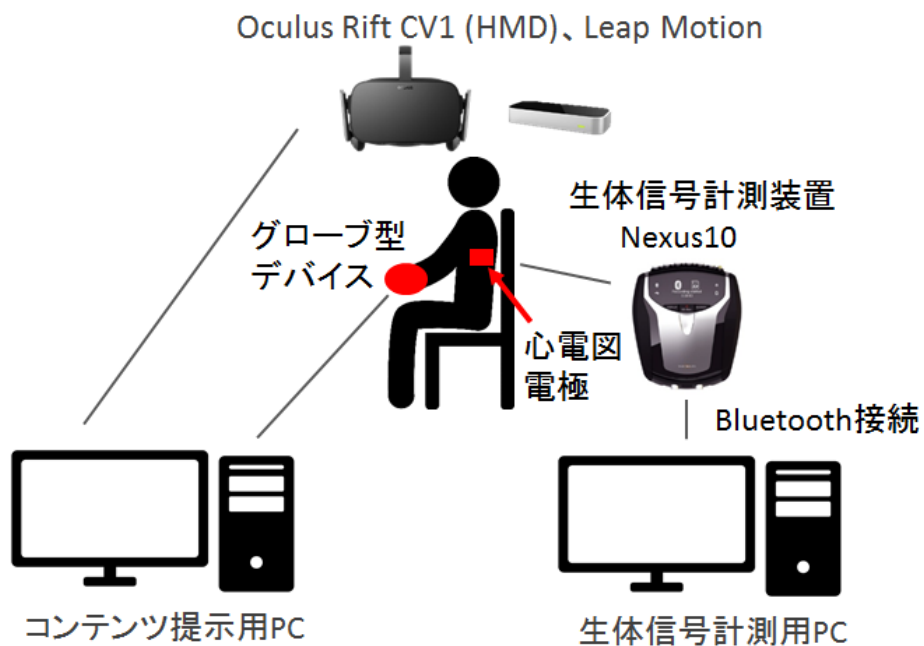


図 3.9 実験システム

3.4.2 実験手順

以下の手順で実験を行った。

- (i) コンテンツの説明, 同意
- (ii) 生体信号計測機器の装着
- (iii) 心電の記録を開始, 安静状態の計測
- (iv) チュートリアル
- (v) コンテンツの体験
- (vi) 心電の記録停止, 測定機器の取り外し
- (vii) アンケート

実験に使った研究協力依頼書と同意書を付録 B に示す。

3.4.3 評価方法

評価には, アンケートと生体信号を用いた。

- ・アンケート

実験終了後に, 「はい」か「いいえ」で回答する質問と, 1~5 の 5 段階評価項目, 自由記述で構成されるアンケートを実施した。アンケート用紙を付録 B に示す。

- ・生体信号

第 2 章で提案した, 心電の SDNN と RRV の 2 つの生理指標を評価に用いた。

3.4.4 実験結果と考察

実験協力者は, 20 代の芝浦工業大学の男子学生 10 名を対象とした。実験は, 実験協力者 1 人あたり 20 分程度かかった。図 3.10 に実験風景を示す。



図 3.10 実験風景

■アンケート結果

図 3.11 にアンケート結果を示す．すべての実験協力者は火の熱さを感じ、火を出す体験に面白さを感じていた．一方で、3 人の実験協力者が氷の冷たさを感じず、同じ 3 人の実験協力者は面白さを感じていなかった．このことから、炎や氷を出す体験が、面白さを引き起こしていたと考えられる．

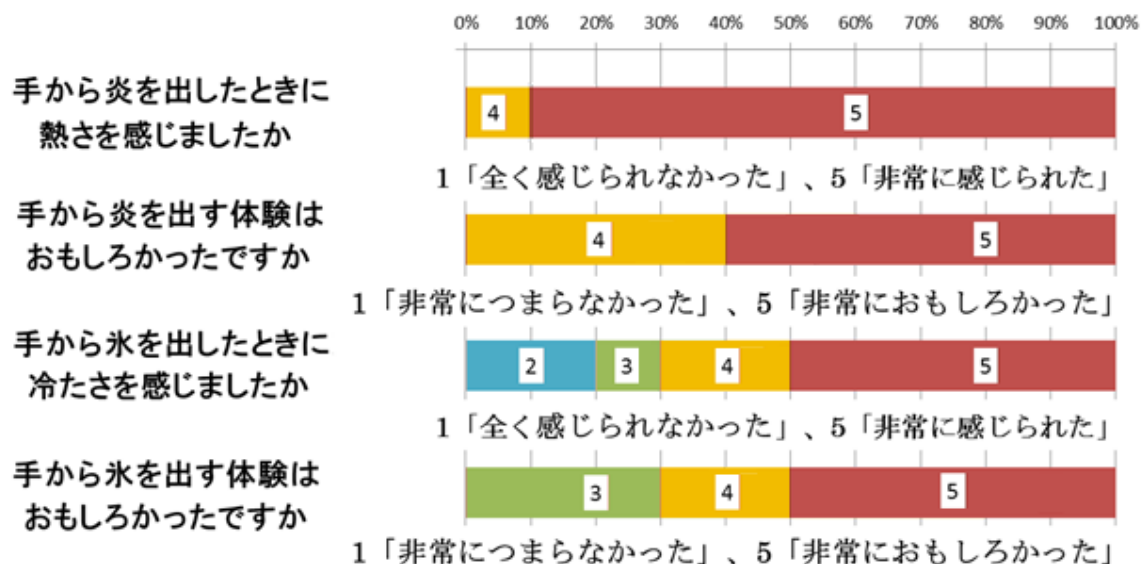


図 3.11 アンケート結果

■心電の解析結果

実験中に実験協力者を観察した結果、一部の実験協力者はボスロボットを倒すことができなかった。一方で、他の一部の実験協力者は想定よりもとても早くボスロボットを倒してしまった。すなわち、実験協力者によってボスロボットを倒すまでの時間の違いが大きかったため、解析にはボスロボットと戦う区間を使用しないことにし、非戦闘区間と戦闘区間1（複数の敵ロボット）のみを解析対象とした。

なお、以降の解析で用いる生理指標は、それぞれ区間の平均値を算出し、安静区間の平均値と差分をとって基準化した。

図 3.12 に各実験協力者の SDNN とその平均を示す。対応のある t 検定の結果、非戦闘区間と戦闘区間1に 5%水準で有意な差があった。

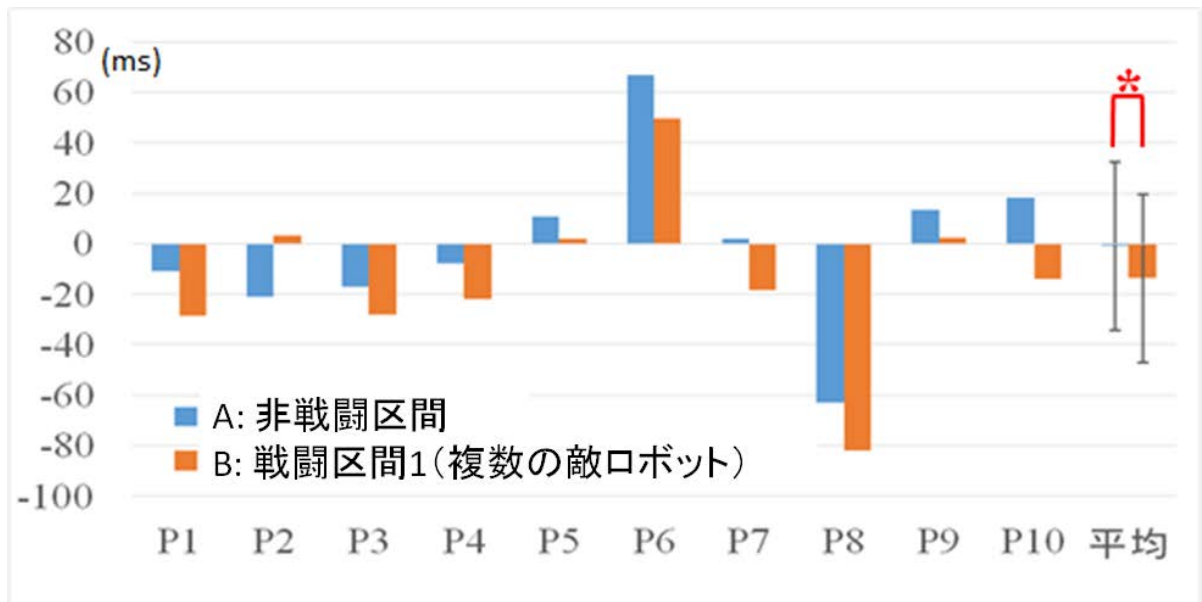


図 3.12 各実験協力者の SDNN の安静状態との差分と全員の平均値

図 3.13 に各実験協力者の RRV とその平均を示す。SDNN と同様，非戦闘区間と戦闘区間 1 に 5%水準で有意な差があった。

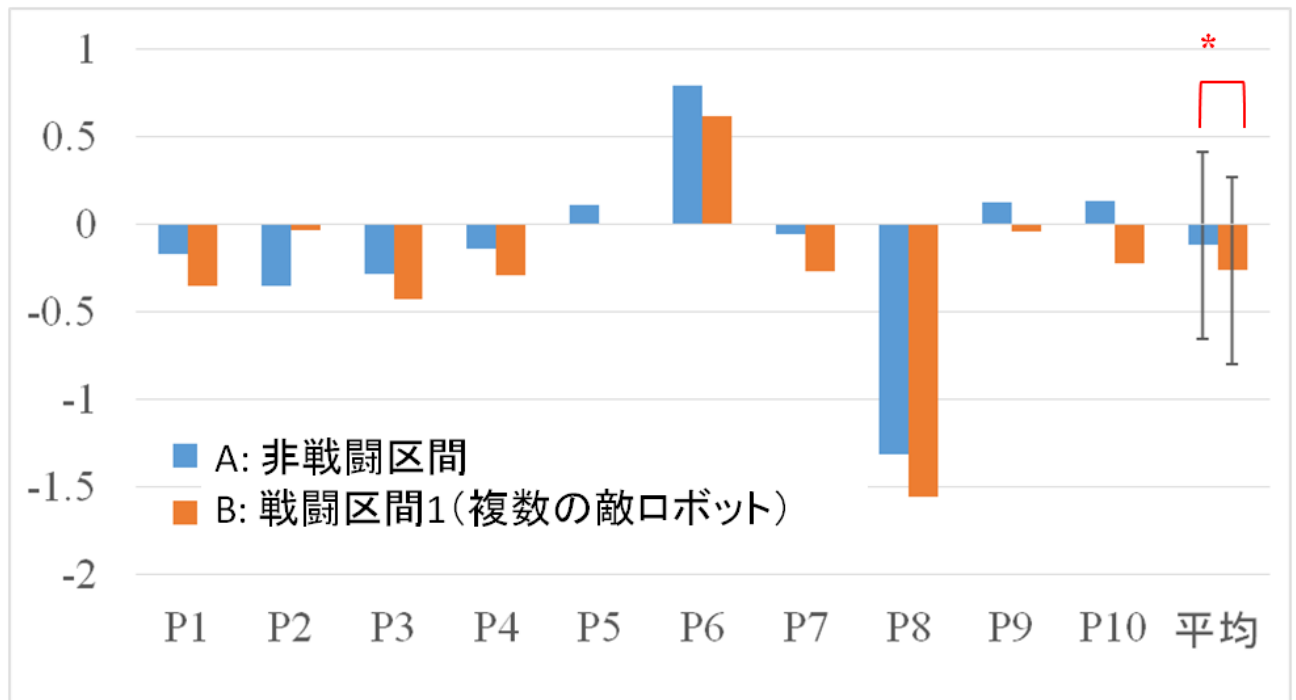


図 3.13 各実験協力者の RRV の安静状態との差分と全員の平均値

SDNN と RRV のどちらの結果でも，戦闘区間 1 は非戦闘区間よりも低かった。第 2 章では SDNN と RRV は「わくわく感」で減少する指標であることが示唆されており，実験協力者は炎や氷を使って敵のロボットと戦う戦闘区間 1 でわくわくしていたと考えられる。

3.5 まとめ

未知の体験ができる VR システムの「わくわく感」を評価するため、VR システムの開発を行った。このシステムの未知の体験と「わくわく感」の関係を明らかにするために、アンケートと心電を用いた実験を行った。

アンケート結果より、炎や氷の温度を感じられた実験協力者全員が「面白かった」と回答していることから、炎や氷を出す体験が、面白さを引き起こしていたと考えられる。

SDNN と RRV の解析結果より、実験協力者は炎や氷を使って敵のロボットと戦う区間でわくわくしていたことがわかった。

これらの結果から、手から炎や氷を出すような未知の体験は、実験協力者にとってわくわくするコンテンツであると考えられる。また、D.S だけでなく、別の VR システムの評価においても、SDNN と RRV は「わくわく感」の有用な指標であると確認できた。

第4章 「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」評価

4.1 はじめに

第2章で行ったアンケートの結果では、アンケートの結果「わくわく」と「期待」、「わくわく」と「ドキドキ」に強い正の相関があった。また、第3章までに行ってきた実験は、主に「期待」からくる「わくわく感」を対象に評価してきた。

本章では、広義の「わくわく感」の要素の1つであると考えられる「ドキドキ感」に着目し、PSVR用のゲームソフト「サマーレッスン」[56]による「ドキドキ感」を心電を用いて評価した[57][58][59]。なお、「サマーレッスン」はVR空間で女子高生との親交を深めるゲームであり、その評価にはプレイヤーのパーソナルスペースが関係すると考えた。パーソナルスペースとは、他人に近づかれると不快に感じる距離のことで、その距離は人によって異なる[59]。本章では、事前に実験協力者のパーソナルスペースを測定し、「ドキドキ感」との関係性を調べることにした。

4.2 対象としたコンテンツ

実験にはゲームソフト「サマーレッスン」[56]を使用した。このゲームでは、プレイヤーはPSVR[3]を装着し、夏休みのうち1週間だけ女子高生の家庭教師になるという体験ができる。ゲームの流れの概要を以下に示す。

- i タイトル画面が表示される。
- ii 喫茶店に移動し、電話で家庭教師の依頼を受ける。
- iii 女子高生の部屋に移動し、女子高生が自習を始める。
- iv 表示される選択肢の中から、どういう指導を行うか選ぶ。選択肢によって、学力の上がり方が異なる。
- v 女子高生と雑談する。雑談中は女子高生が積極的にプレイヤーに話しかけたり、周りを歩き回ったり、急に接近して顔を近づけたりする。
- vi 喫茶店に移動し、女子高生の学力がどれくらい上がったかを確認し、翌日の指導方針を決定する。
- vii iiiに戻り、1週間が経過するまで繰り返す。

なお本実験では、ゲーム内時間の1週間のうち、初めの3日間だけを体験してもらった。

4.3 パーソナルスペースの測定

実験協力者のパーソナルスペースの大小によって「ドキドキ感」がどう異なるかを調査するため、事前にパーソナルスペースの測定を行った。測定には先行研究を参考に、Stop-Distance 法を用いた[60]。測定手順を以下に示す。

- (i) 実験協力者から 300cm 離れた場所に実験者（女性）が対面して立つ。
- (ii) お互いの目を合わせたまま無表情で、実験者が 2 秒ごとに半歩ずつ近づいていく。
- (iii) 実験協力者が気詰まりな感じや落ち着かない感じを受けたタイミングで、「ストップ」と言ってもらう。
- (iv) 実験協力者の意見に従って微調整する。
- (v) 実験協力者と実験者のつま先の距離を測定する。

測定中の風景を図 4.1 に示す。なお、実験者は本研究室の留学生で、実験協力者とは初対面ではないが、日頃から親密に話をするほどではない関係の女性とした。先行研究[60]では初対面の実験者でパーソナルスペースを測定しているが、今回は、コンテンツのストーリー上で「女子高生の家庭教師となり、ある程度は親しくなる」という設定があるため、このような実験者の設定とした。



図 4.1 パーソナルスペースの測定風景

4.4 「ドキドキ感」評価実験

4.4.1 実験システム

実験システムの構成を図 4.2 に示す．実験協力者には PSVR を装着してもらった．また，実験協力者の胸部に心電用センサーを貼り付けた．心電は生体信号計測装置(Nexus10)から Bluetooth 経由で PC に送信し，記録した．

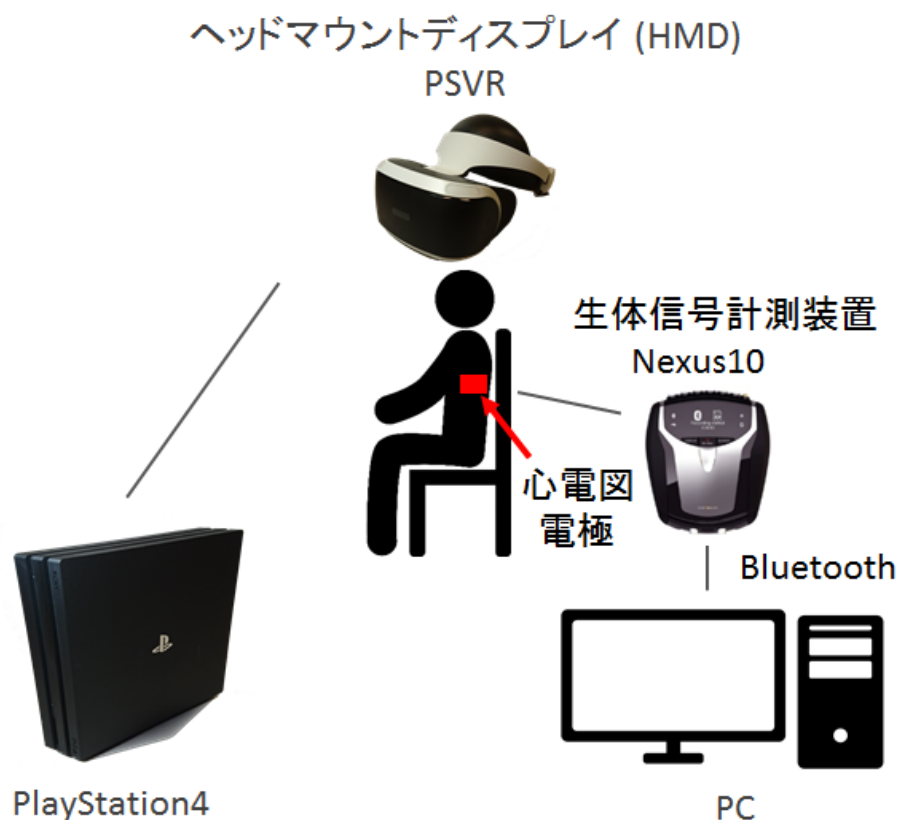


図 4.2 実験システム

4.4.2 実験手順

実験は、以下の手順で行った。

- (i) コンテンツの説明，同意
- (ii) 生体信号計測機器の装着
- (iii) 心電の記録を開始，安静状態の計測
- (iv) コンテンツの体験
- (v) 心電の記録停止，測定機器の取り外し
- (vi) アンケート

実験に使った研究協力依頼書と同意書は付録 B のものを用いた。

4.4.3 評価方法

・アンケート

実験終了後に、「シーン 1：女の子が話しかけてきた時」「シーン 2：女の子に顔を近づけられた時」「シーン 3：女の子が近くまで歩いてきた時」のそれぞれの場面でどういう気持ちを感じたかを、以下の (a) から (h) の選択肢の中から複数回答可で選んでもらった。選んだ場合は、それぞれの感性語について、どの程度そう感じたかを 10 段階で回答してもらった。なお、今回のアンケートの選択肢には「わくわく」と「ドキドキ」の両方があるが、ここでいう「わくわく」は、「ドキドキ」を含まない、期待感からくる「わくわく」を想定した。アンケート用紙を付録 C に示す。

- (a) 面白い
- (b) わくわく
- (c) ドキドキ
- (d) いろいろ
- (e) リラックス
- (f) 緊張
- (g) ニヤニヤ
- (h) ハラハラ

・心電

実験中は心電を測定し、心電から算出される生理指標である RRI, SDNN, RRV を評価に用いた。3.1 節までの実験結果では、どちらもわくわく感によって減少するとしている。なお、ゲーム開始前のタイトル画面で 30 秒間心電を計測し、これを安静状態とした。

4.4.4 実験結果と考察

実験は 20 代の男性 8 名を対象に実施した．実験風景を図 4.3 に示す．



図 4.3 実験風景

■ パーソナルスペースの測定結果

表 4.2 にパーソナルスペースの測定結果を示す．パーソナルスペースの測定結果に基づき，パーソナルスペースが大きい 4 名を「PS 大」，小さい 4 名を「PS 小」としてグループ分けした．

表 4.2 実験協力者のパーソナルスペース

No.	性別	パーソナルスペース	グループ分け
P1	男	190 cm	PS 大
P2	男	57 cm	PS 小
P3	男	26 cm	PS 小
P4	男	79 cm	PS 小
P5	男	51 cm	PS 小
P6	男	123 cm	PS 大
P7	男	112 cm	PS 大
P8	男	106 cm	PS 大

■アンケート結果

表 4.1 にアンケート結果のうち、3 つのシーンそれぞれで“(a) 面白い”から“(h) ハラハラ”までの感性語を選択した実験協力者の人数を示す。

表 4.1 各感性語を選択した人数

	シーン 1 女の子に話しかけ られた時	シーン 2 女の子に顔を近づけ られた時	シーン 3 女の子が近くまで歩いて きた時
(a) 面白い	3 人	2 人	2 人
(b) わくわく	3 人	0 人	1 人
(c) ドキドキ	5 人	8 人	7 人
(d) いらいら	0 人	0 人	4 人
(e) リラックス	3 人	0 人	0 人
(f) 緊張	4 人	7 人	4 人
(g) ニヤニヤ	3 人	5 人	3 人
(h) ハラハラ	0 人	3 人	1 人

■心電の解析区間の設定

アンケートでは、全ての実験協力者が「シーン2：女の子に顔を近づけられた時」にドキドキしたと回答していた。そのため、以降の解析のために以下の区間を設定した。解析区間を10秒間としたのは、第2章で解析区間を10秒間にして有用なデータが得られたということと、女の子が近づいてきてドキドキするというコンテンツの特性から、心電の反応も早いのではないかと推測したからである。

- ・区間A：女の子が顔を近づける直前（10秒間）
- ・区間B：女の子が顔を近づけた直後（10秒間）

なお、対象区間は実験協力者ごとに3箇所ずつ設定した。図4.4のタイムライン上で解析区間を示す。

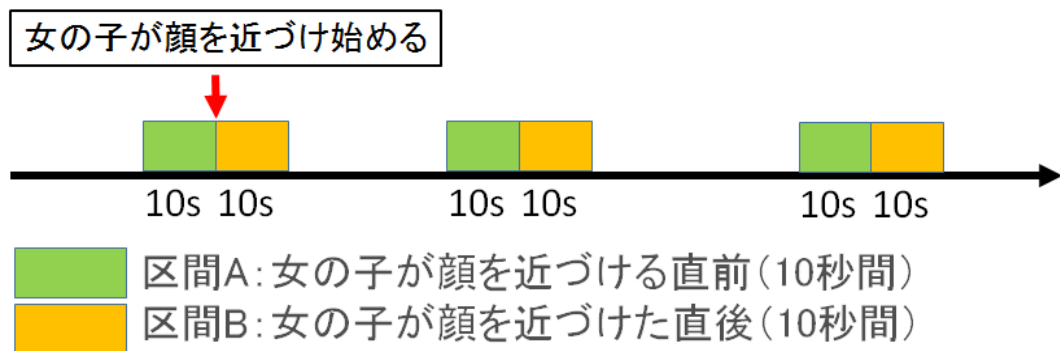


図 4.4 心電の解析区間

■心電の解析結果

図 4.5 に、各実験協力者の SDNN の平均と、グループごとの平均値を示す。なお、それぞれの区間の SDNN は、実験協力者ごとに安静状態の平均値と差分をとって基準化した。実験協力者グループと区間を要因とした二元配置の分散分析の結果、区間に有意差はなかったが、実験協力者グループには 1%水準で有意差があった。

区間 A と区間 B で、SDNN の平均値を実験協力者ごとに比較すると、統計的に有意な差はなかったものの、PS 大の実験協力者は 4 人中 3 人が、PS 小の実験協力者も 4 人中 3 人が、区間 A よりも区間 B の方が SDNN の平均値が低かった。

また PS 小と PS 大で、実験協力者グループごとの SDNN の平均値を比較すると、区間 A と区間 B のどちらにおいても、PS 小よりも PS 大の方が SDNN の平均値が低かった。

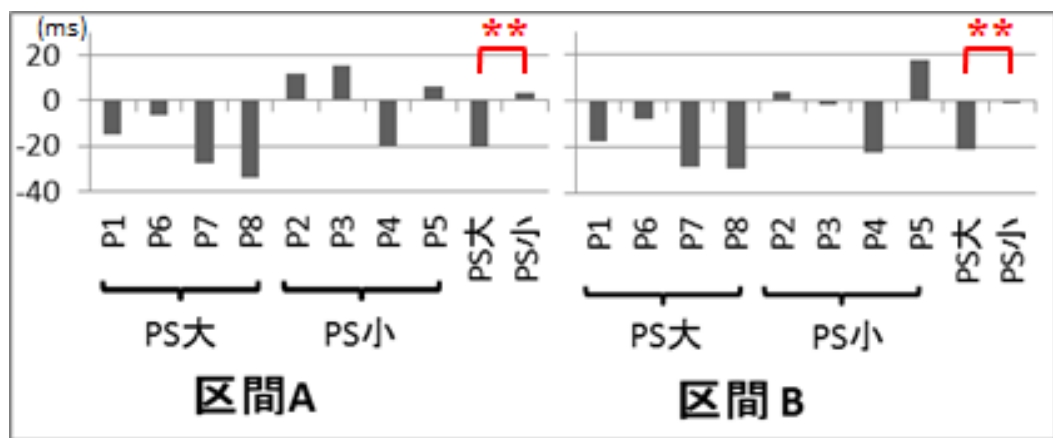


図 4.5 実験協力者ごとの SDNN の平均値の安静状態との差分とグループごとの平均値

SDNN の解析結果より、区間 A と区間 B の SDNN の平均値に有意な差はなかった。しかし、8 名中 6 名で区間 A よりも区間 B の SDNN が低くなっており、女の子が顔を近づけてくる時の「ドキドキ感」を、SDNN を用いて検出できる可能性が示唆された。

一方、PS 大グループの実験協力者の方が、PS 小グループの実験協力者よりも、区間 A と区間 B の両方で SDNN の平均値が有意に低かったことから、前者の方が後者より、解析区間中ずっとドキドキしていたと考えられる。

これらの結果から、「サマーレッスン」の VR 空間内で女の子に感じるドキドキ感は、顔を近づけてくるという女の子の動作の影響よりも、実験協力者のパーソナルスペースの大小による影響の方が大きいと考えられる。

なお、アンケートの「女の子に顔を近づけられた時」について、実験協力者全員がドキドキしたと回答している一方で、わくわくしたと回答した実験協力者はいなかった。また、緊張したと回答した実験協力者も多かった。しかし、先行研究より SDNN は「わくわく感」で低くなり、緊張すると高くなることがわかっており、今回の結果と矛盾する。これは、実験協力者は女の子に顔を近づけられたことでドキドキし、わくわくしていたものの、回答時の照れ、あるいはわくわくしたことに自分自身が気付いていない等の要因から、アンケートでは「わくわくしておらず、緊張してドキドキした。」と回答した可能性が考えられる。

4.5 追加実験

4.5.1 実験方法

サマーレッスンは女子高生の女の子と VR 空間で親交を深めるゲームである。前項までの結果は全て男性の実験協力者のもので、女性を対象とはしていなかった。そこで、女性の実験協力者を追加し、男女で結果を比較することにした。

20 代の男性 2 名、20 代の女性 5 名を対象に追加実験を実施し、前項までのデータと合わせて、20 代の男性 10 名、20 代の女性 5 名となった。

4.5.2 実験結果と考察

■ パーソナルスペースの測定結果

表 4.4 にパーソナルスペースの測定結果を示す。結果をグラフにしたものを図 4.6 に示す。Levene の検定の結果、男女間でパーソナルスペースは等分散ではない有意傾向があった ($p < 0.10$)。また、男性の方が女性よりもパーソナルスペースの標準偏差が大きかった。男性はパーソナルスペースが非常に小さい人も大きい人もおり、人に近づかれた時に平気か嫌かどうかの個人差が大きいと考えられる。

表 4.4 実験協力者のパーソナルスペース

No.	性別	パーソナルスペース
P1	男	190 cm
P2	男	57 cm
P3	男	26 cm
P4	男	79 cm
P5	男	51 cm
P6	男	123 cm
P7	男	112 cm
P8	男	106 cm
P9	男	19 cm
P10	男	71 cm
P11	女	61 cm
P12	女	104 cm
P13	女	87 cm
P14	女	61 cm
P15	女	71 cm

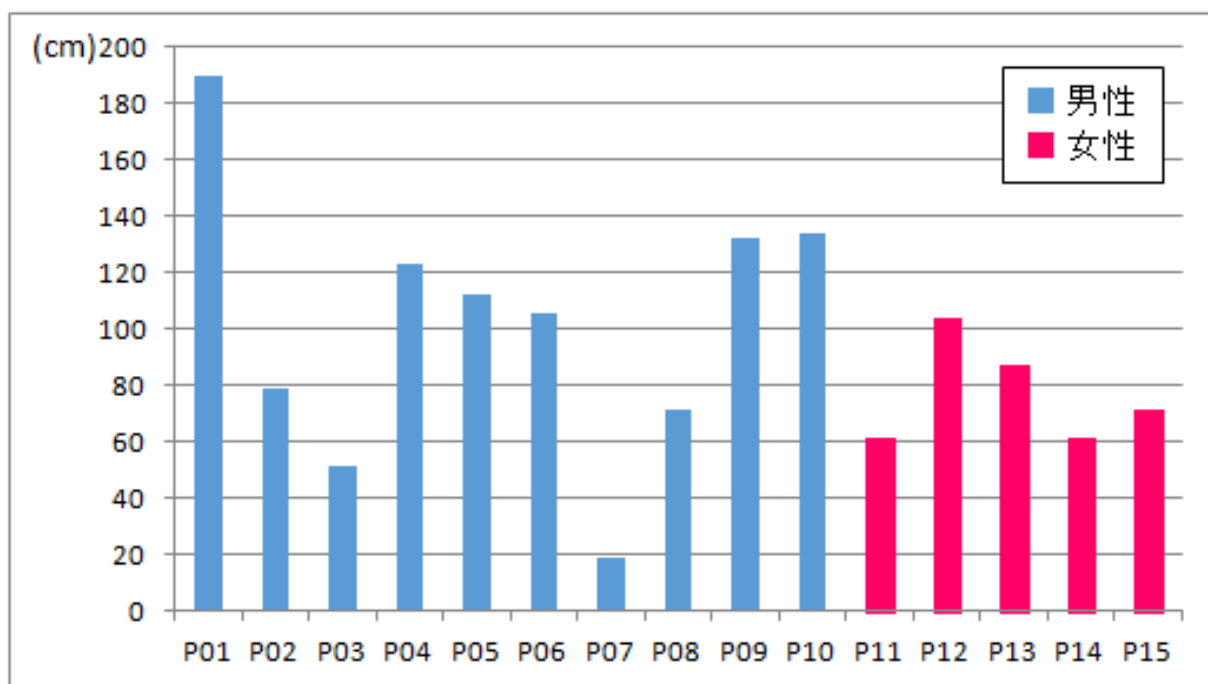


図 4.6 実験協力者のパーソナルスペース

■アンケート結果

表 4.3 にアンケート結果のうち、3つのシーンそれぞれで“(a)面白い”から“(h)ハラハラ”までの感性語を選択した実験協力者の人数を示す。全ての実験協力者が「シーン2：女の子に顔を近づけられた時」にドキドキしたと回答していた。

	表 4.3 各感性語を選択した人数		
	シーン1 女の子に話しかけられた時	シーン2 女の子に顔を近づけられた時	シーン3 女の子が近くまで歩いてきた時
(a) 面白い	8人	4人	4人
(b) わくわく	6人	1人	3人
(c) ドキドキ	9人	15人	14人
(d) いらいら	2人	2人	1人
(e) リラックス	7人	1人	2人
(f) 緊張	8人	14人	10人
(g) ニヤニヤ	5人	7人	5人
(h) ハラハラ	1人	5人	3人

■心電の解析区間の設定

アンケートで、全ての実験協力者が「シーン2：女の子に顔を近づけられた時」にドキドキしたと回答していた。そのため、以降の解析のために以下の区間を設定した。また、4.1.6.4 節の結果で、女の子が顔を近づけてくるイベントよりも実験協力者のパーソナルスペースの影響の方が大きいことがわかっている。そのため、今回は「女の子が顔を近づけてくる」というイベントの前後には区間を設定せず、イベント直後の10秒間のみを解析の対象区間とした。

なお、対象区間は実験協力者ごとに3箇所ずつ設定した。図4.7のタイムライン上で解析区間を示す。

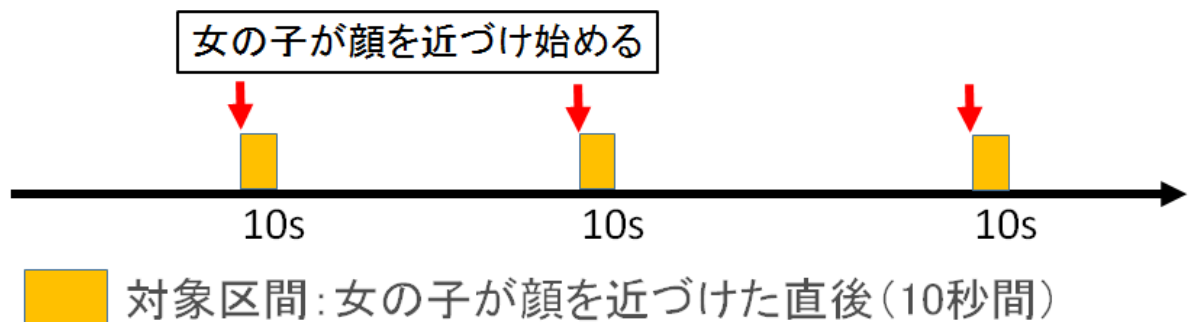


図 4.7 心電の解析区間

■心電の解析結果

ドキドキ感の指標として、心電の RRI の対象区間での平均値、また、対象区間ごとに RRI から算出する SDNN, RRV を用いて解析を行った。なお標準化のため、それぞれの指標について対象区間と安静状態の差分を算出し、解析に用いた。

・ RRI 平均の解析結果

図 4.8 に RRI 平均を縦軸、パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す。

なお、回帰分析を行ったが、男性が $R^2=0.113$ 、女性が $R^2=0.002$ と有用な結果は得られなかった。

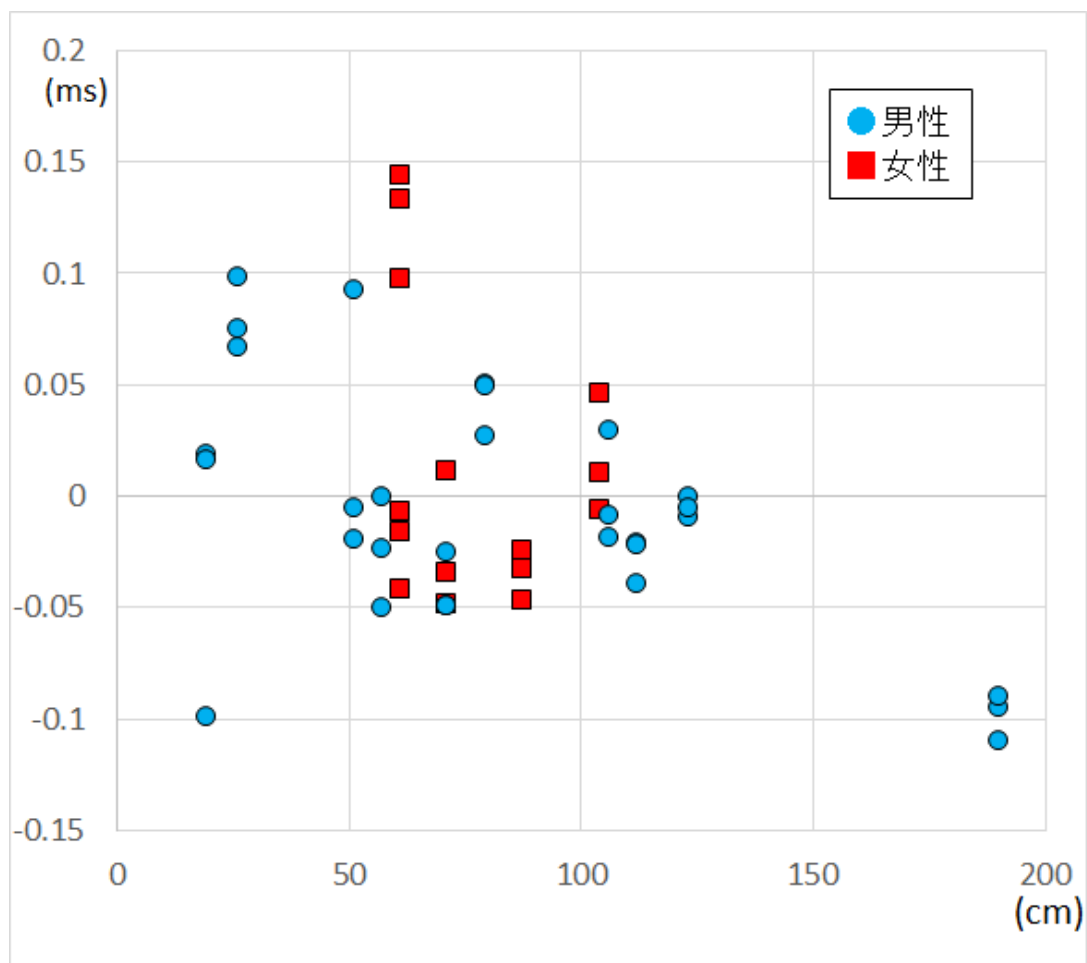


図 4.8 RRI 平均とパーソナルスペースの散布図

・ SDNN の解析結果

図 4.9 に SDNN を縦軸，パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す．
相関分析の結果以下の相関係数が得られた．

相関係数

男性：-0.487**

女性：-0.497

(** $p < 0.01$)

なお，回帰分析を行ったが，男性が $R^2=0.237$ ，女性が $R^2=0.247$ と有用な結果は得られなかった．

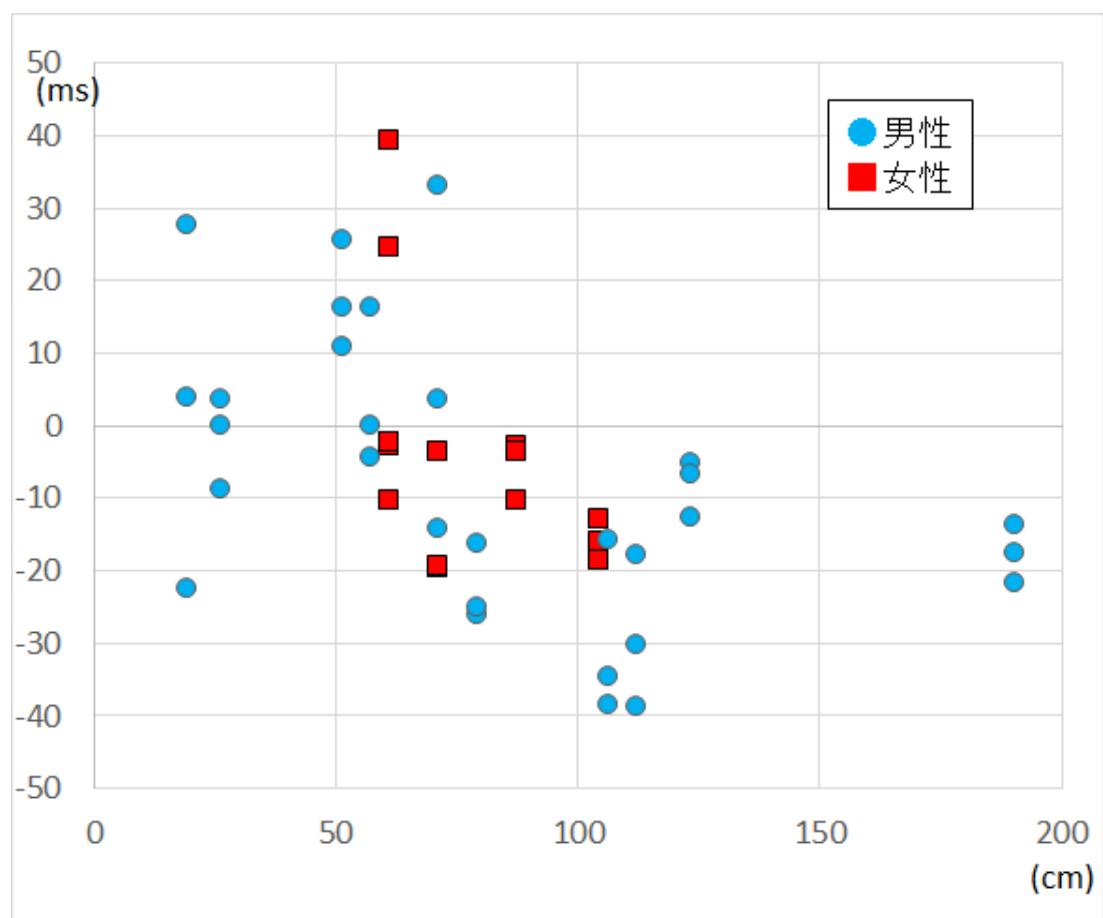


図 4.9 SDNN とパーソナルスペースの散布図

・ RRV の解析結果

図 4.10 に RRV を縦軸, パーソナルスペースを横軸にした散布図を示す.
相関分析の結果以下の相関係数が得られた.

相関係数

男性 : -0.472^{**}

女性 : -0.921^{**}

($** p < 0.01$)

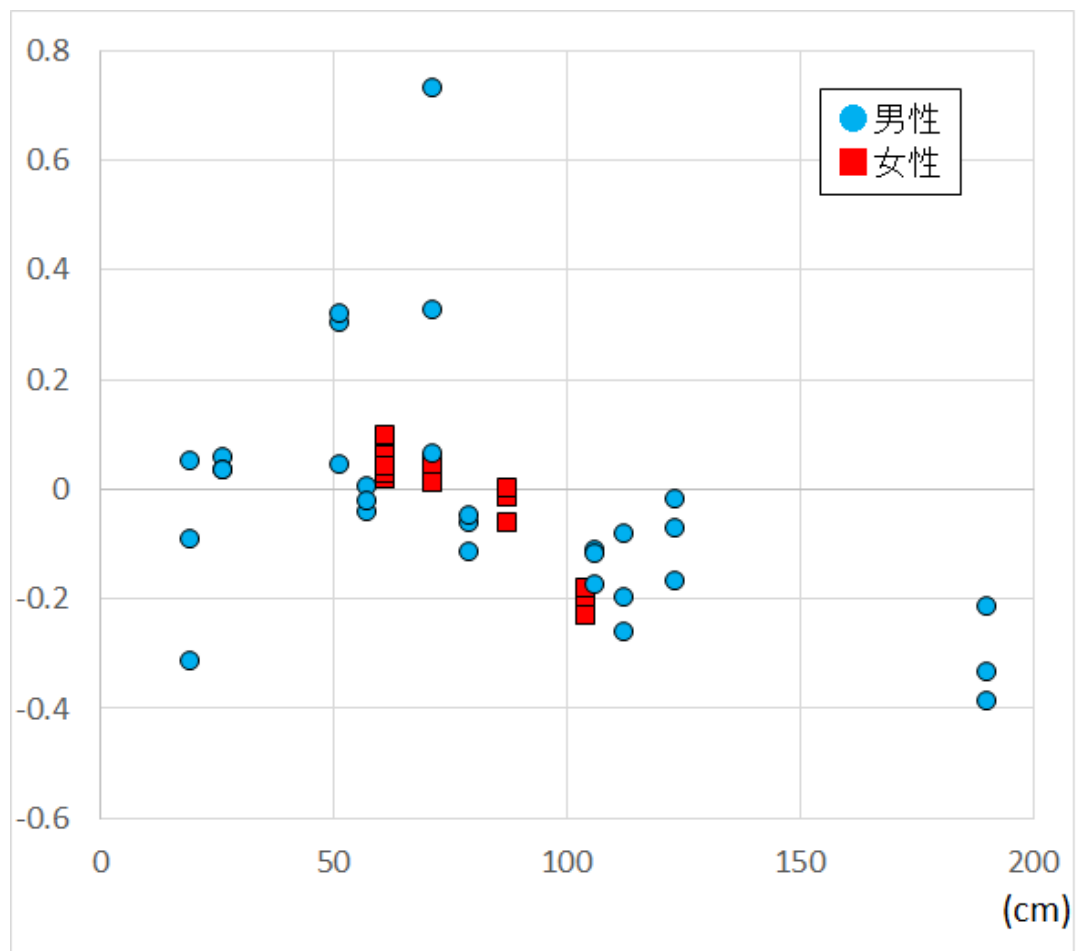


図 4.10 RRV とパーソナルスペースの散布図

女性の回帰分析の結果を図 4.11 に示す。なお、RRV とパーソナルスペースはどちらも平均が 0、分散が 1 になるように標準化した値を用いている。結果から、RRV はパーソナルスペースが大きい実験協力者ほど低いことがわかった。

なお、男性の結果にも同様の回帰分析を行ったが、 $R^2=0.222$ と有用な結果は得られなかった。

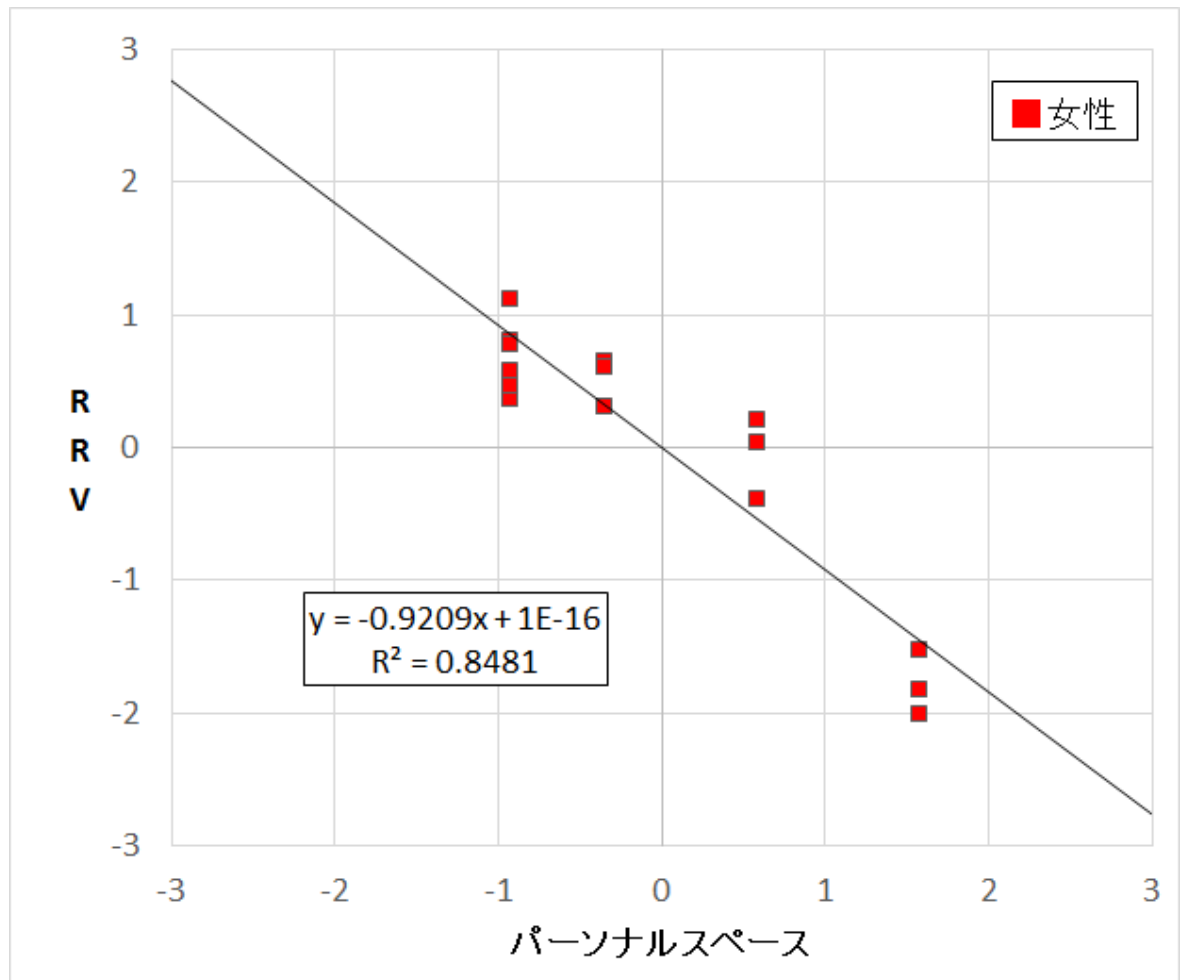


図 4.11 女性の RRV とパーソナルスペースの回帰分析の結果

次に、RRV のばらつきが大きい男性の実験協力者がいることに着目して、実験協力者ごとに 3 回測定した RRV の分散を算出し、その分散の値に対してクラスター分析を行った。クラスター化の方法は Ward 法とした。また、距離の測定方法はユークリッド平方距離とした。クラスター分析の結果を図 4.12 に示す。実験協力者は 3 つのクラスターに分割された。今回は、最も大きいクラスターに属さない 3 名の実験協力者 (P5, P9, P10) を解析から除外することにした。

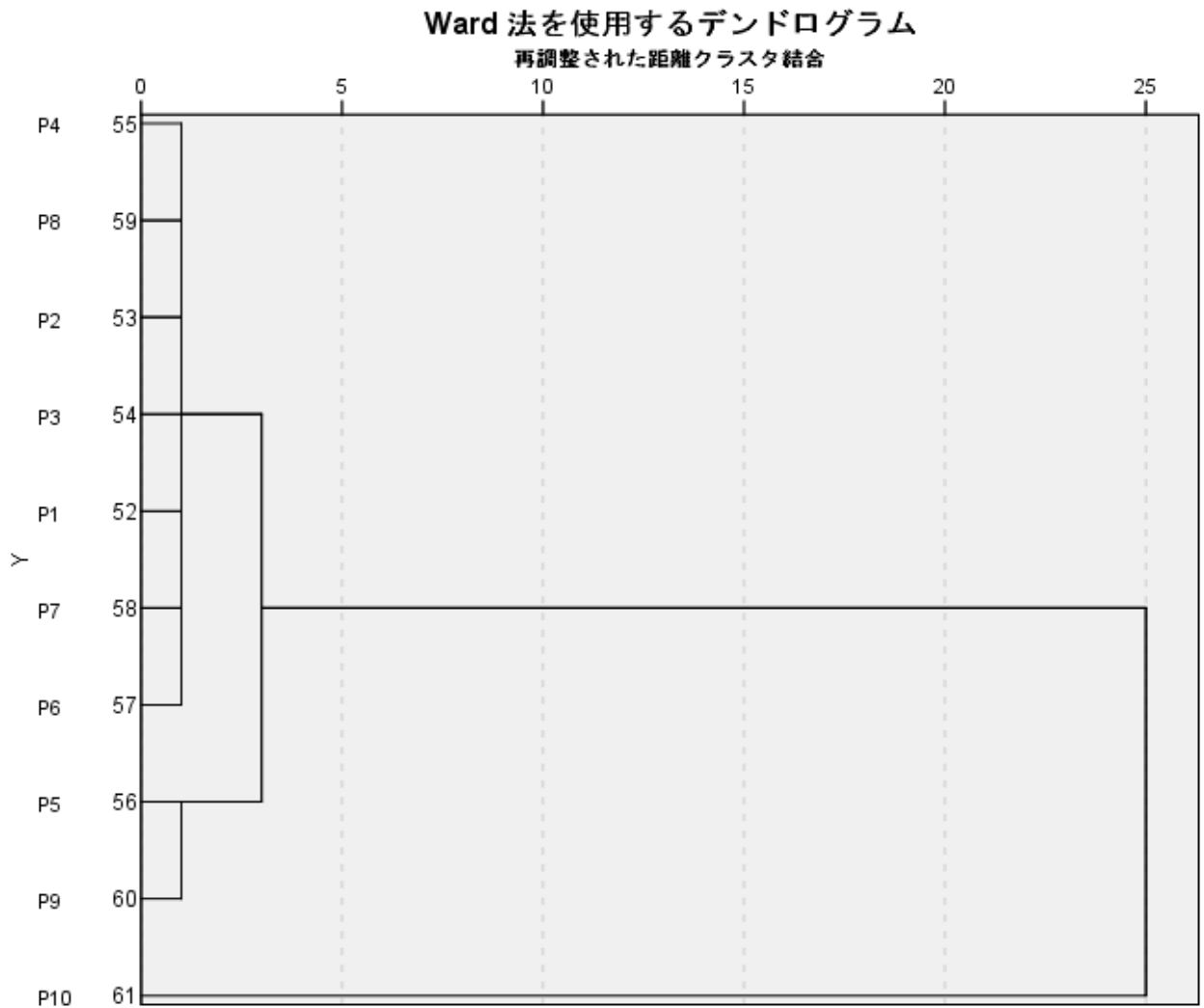


図 4.12 クラスター分析の結果

クラスター分析によって、RRV のばらつきが大きい実験協力者を除外したため、男性の RRV とパーソナルスペースの回帰分析を再度行った。回帰分析の結果を図 4.13 に示す。なお、RRV とパーソナルスペースはどちらも平均が 0、分散が 1 になるように標準化した値を用いている。結果から、RRV はパーソナルスペースが大きい実験協力者ほど低いことがわかった。

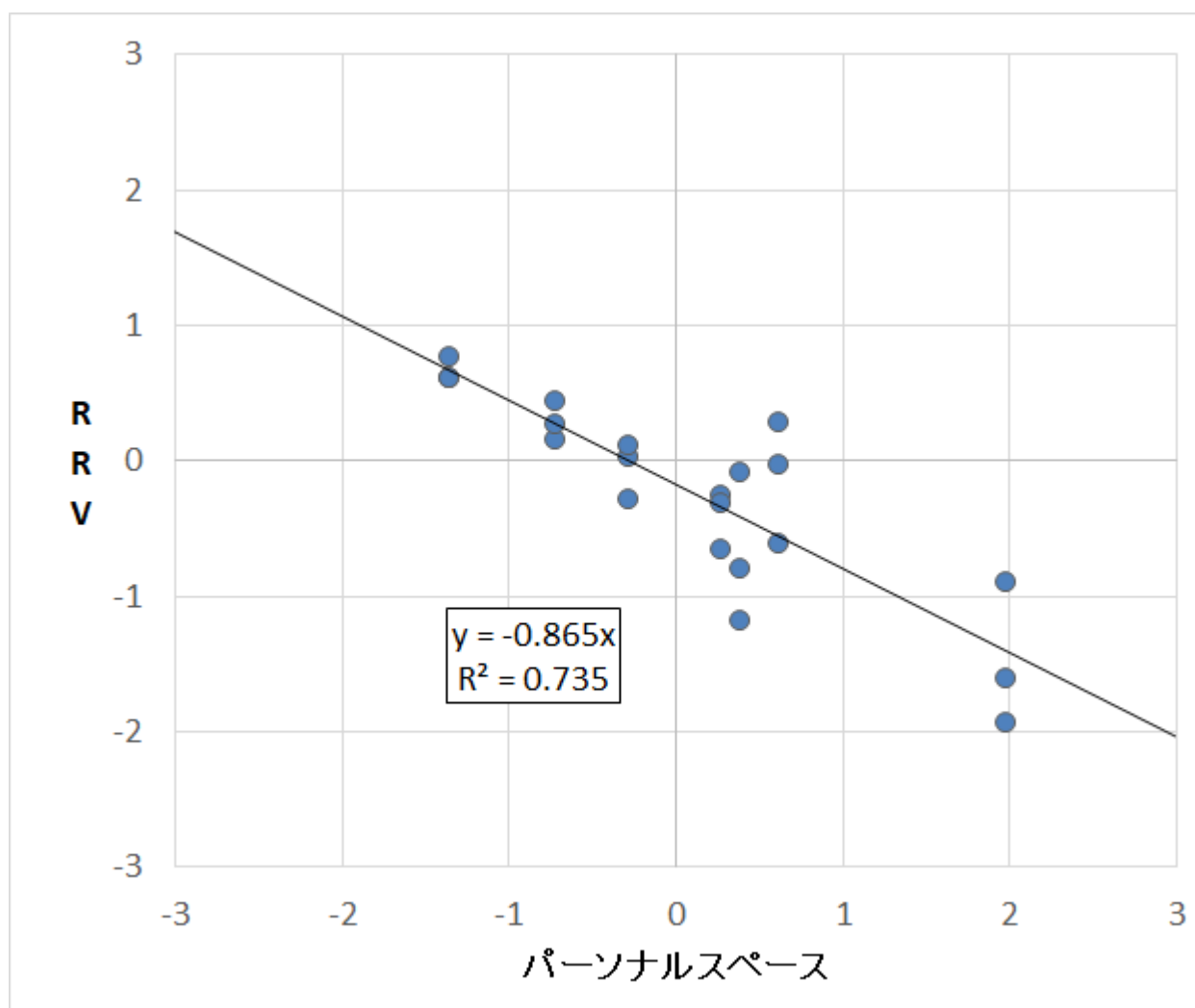


図 4.13 男性の RRV とパーソナルスペースの回帰分析の結果

RRV とパーソナルスペースの解析結果では、パーソナルスペースが大きい実験協力者ほど、「女の子に顔を近づけられる」というイベント直後 10 秒間の RRV 平均が低いことがわかった。すなわち、パーソナルスペースが大きい実験協力者ほど、「女の子に顔を近づけられる」というイベントにドキドキしたと考えられる。なお、RRI, SDNN 等の指標では今回は有意な結果は得られなかった。

前章までの結果では、SDNN と RRV は「わくわく感」の指標として提案しており、どちらも同様の傾向を示すことが多かった。しかし、今回の解析では RRV の結果でのみ有用な結果が得られた。この結果から、RRV のみが「ドキドキ感」の指標となる可能性が示唆された。ここで RRV は、SDNN と RRI 平均の比である。すなわち、SDNN は絶対誤差、RRV は相対誤差を示す指標である。そこで、RRI 平均の個人差が小さい場合には、SDNN が低くなると RRV も低くなる傾向があるはずである。第 3 章までは SDNN と RRV の結果が同じ傾向を示していたが、それは RRI 平均の個人差が小さかったからだと考えられる。今回 RRV でのみ有用な結果が得られたのは、SDNN だけでなく、RRI 平均の個人差も大きかったからではないかと考えられる。ただし、RRI 平均のみでは有用な結果は得られなかったため、相対誤差を示すという RRV の特徴こそが、「ドキドキ感」評価に有用だったのだと考えられる。

また、今回の実験では、実験協力者は VR 空間で女子高生の女の子と会話した。すなわち、男性の実験協力者は異性のキャラクターとのコミュニケーションを体験したが、女性の実験協力者は同性のキャラクターとのコミュニケーションだった。プレイヤーにとって相手が異性か同性かという違いが、「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」に影響を与えた可能性がある。

4.6 まとめ

本章では、VR ゲームの「ドキドキ感」に着目し、PSVR 用ソフト「サマーレッスン」を用いて「ドキドキ感」の評価実験を行った。ゲームプレイ前に実験協力者のパーソナルスペースを測定し、実験中は心電を測定、実験終了後にアンケートを実施した。

結果、以下の知見を得た。

- ・女の子が顔を近づけてくるという動作よりも、実験協力者のパーソナルスペースの大きさの影響の方が強い。
- ・女性よりも男性の方が、パーソナルスペースの標準偏差が大きい
- ・RRV とパーソナルスペースの回帰分析の結果、パーソナルスペースが大きい実験協力者の方が、ドキドキしていた可能性が示唆された。
- ・RRV が「ドキドキ感」の指標となる可能性が示唆された。「わくわく感」ではこれまで SDNN と RRV は同じ結果を示していたが、今回の「ドキドキ感」では SDNN では有用な結果は得られず、RRV のみで有用な結果が得られた。すなわち、SDNN と RRV が異なる感性の指標である可能性が示唆された。
- ・今回のようなコンテンツでは、実験協力者がわくわくした気持ちを正直にアンケートで回答しない可能性があるので、生体信号を利用することの有用性が確認された。

第5章 「allumette」プレイ時の感性評価とモデル構築：

7つの感性的状態を分析対象として

5.1 はじめに

前章まででは、生体信号を用いてVRシステムの「わくわく感」や「ドキドキ感」を評価する実験を行った。その結果、心電のSDNNとRRVが「わくわく感」の検出に、心電のRRVが「ドキドキ感」の検出に有用である可能性が示唆された。

しかし、VRのコンテンツで生起される感情は、「わくわく」や「ドキドキ」だけではない。そこで本章では、様々な感情が生起されるようなシーンを含むVRシステムを、生理指標を用いて評価し、さらに感性モデルを導出した。

5.2 対象としたコンテンツ

実験にはゲームソフト「allumette (アリュメット)」[61]を使用した。allumetteは2016年にPENROSE STUDIOSが発売した、VRアニメーションを鑑賞できるゲームソフトである。本作品はVR AWARDS 2017のInteractive VR Media/Film of the Yearを受賞しており[62]、多くの人が楽しめるコンテンツだと考えられる。

このゲームでは、プレイヤーはPSVRを装着し、画面を見渡しながら小人のようなキャラクターが繰り広げるアニメーションを鑑賞することができる。プレイヤーは視点を操作するのみで、プレイヤーの操作によってストーリーが左右されることはない。

以下、「allumette」のストーリーを大きく6つの場面に分けて説明する。

(1) 開始の場面 (104 秒)

暗闇の中に次々と窓の光が浮かび上がり、中で生活している人々のシルエットが映る。

(2) 現在の場面 1 (125 秒)

少女が一人で夜の街を歩いている。すると、風が吹いて持っている箱が倒れてマッチが地面に落ちる。少女がマッチを拾って点火すると、周りが光に包まれる。

(3) 過去の場面 1 (270 秒)

少女と母親が空飛ぶ船に乗っており、途中で船のエンジンが故障してしまう。少女が修理に手間取っていると、母親が来て代わりに修理を行う。その後、空に浮かぶ街に船が着くと少女がマッチを持って船を降り、近くにいた男性に売る。更に、盲目の男性が持っていた杖を落としてしまうと、母親が杖の代わりとしてマッチを渡す。

(4) 現在の場面 2 (48 秒)

マッチの炎が消え、再び少女が一人で夜の街にたたずんでいる。少女がマッチをもう一

本取り出し、マッチに点火する。すると、再び周りが光に包まれる。

(5) 過去の場面 2 (257 秒)

母親が男性と話をしている時に、少女が船の異変に気が付いて一人で乗り込む。しばらくすると船から炎が上がり、母親が船の中に乗り込む。母親は少女を助け出すと、船が街に落下しないように操縦して、船とともに空中で爆発してしまう。

(6) 最終の場面 (175 秒)

マッチの炎が消え、再び少女が一人で夜の街にたたずんでいる。少女が街を歩いていると、一人の男性に会う。少女はマッチを男性に渡す。最後に、少女の周りが光に包まれ、母親と抱き合う場面で終了する。

5.3 予備実験

5.3.1 実験システム

実験システムの構成を図 5.1 に示す。実験協力者には PSVR を装着してもらった。また、実験協力者の胸部に心電用センサーを貼り付けた。心電は生体信号計測装置(Nexus10)から Bluetooth 経由で PC に送信し、記録した。



図 5.1 実験システム

5.3.2 実験手順

実験は、以下の手順で行った。

- (i) コンテンツの説明，同意
- (ii) 生体信号計測機器の装着
- (iii) 心電の記録を開始，安静状態の計測
- (iv) コンテンツの体験
- (v) 心電の記録停止，測定機器の取り外し
- (vi) アンケート

実験に使った研究協力依頼書と同意書は付録 B のものを用いた。

5.3.3 評価方法

■アンケート

実験終了後に、6 つのシーンそれぞれでどういう気持ちを感じたかを、複数回答可で選んでもらい、選んだ場合はその程度を 10 段階で回答してもらった。選択肢として「allumette」視聴時の感性と関係すると思われる感性語を 8 つ選出し、提示した。選択肢を以下に示す。また、アンケート用紙を付録 D に示す。

- (a) 面白い
- (b) わくわく
- (c) ドキドキ
- (d) 心が和む
- (e) はらはら
- (f) 悲しい
- (g) 感動的

なおアンケート回答の際には、6 つのシーンを思い出して回答できるように、文章と画像による資料を提示した。資料を付録 D に示す。

■生体信号(心電)

実験中は心電を測定し、心電から算出される生理指標を評価に用いた。使用した生理指標は、先行研究や前章までで「わくわく感」の指標として有用だった心電の RRI 平均, SDNN, RRV に加え、副交感神経活性の指標とされている[63]RMSSD を用いた。RMSSD は隣り合う RR 間隔の差の二乗平均平方根である。

なお、開始前のタイトル画面で 30 秒間心電を計測し、これを安静状態とした。

5.3.4 実験結果と考察

実験は20代の男性6名、女性6名を対象に実施した。ただし、測定中にトラブルがあったため、男女1名ずつの結果を除外し、以降は男性5名、女性5名の結果のみを扱う。

■アンケートの解析結果

シーンごとのアンケート結果を図5.2～図5.7に示す。

縦軸は実験協力者が回答した点数(1～10)、横軸は選択肢に入れた感性語である。なお、P01～P05は男性、P06～P10は女性の実験協力者である。シーンごとに、それぞれの感性語の結果について男性と女性で平均値の差の検定を行ったが、有意な差はなかった。このことから、「allumette」視聴時の感性評価においては、男性と女性に差はないと考えられる。

また、表5.1にアンケート結果のうち、3つのシーンそれぞれで面白い、わくわく、ドキドキ、心が和む、はらはら、悲しい、感動的の感性語を選択した実験協力者の人数を示す。さらに、実験協力者の6割以上が選択したものを黄色で示す。アンケート結果をもとに、選択した人数が最も多い感性語を各シーンを代表する感性語とし、以降の解析に用いることにした。

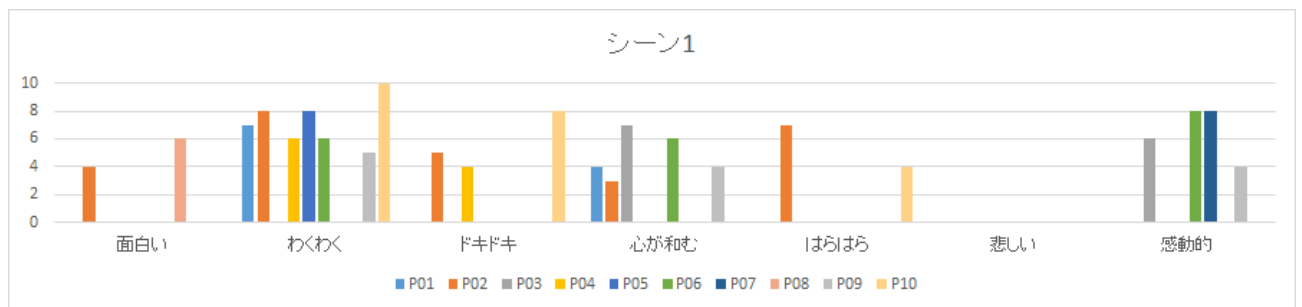


図 5.2 シーン1のアンケート結果

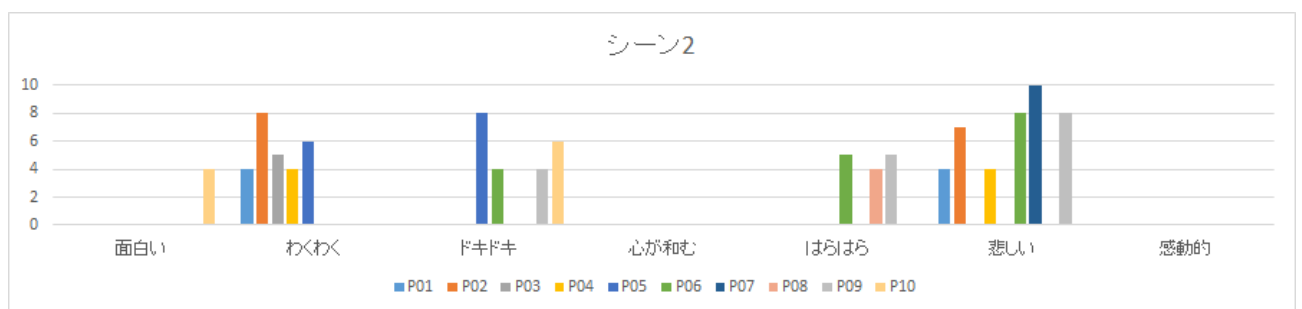


図 5.3 シーン2のアンケート結果

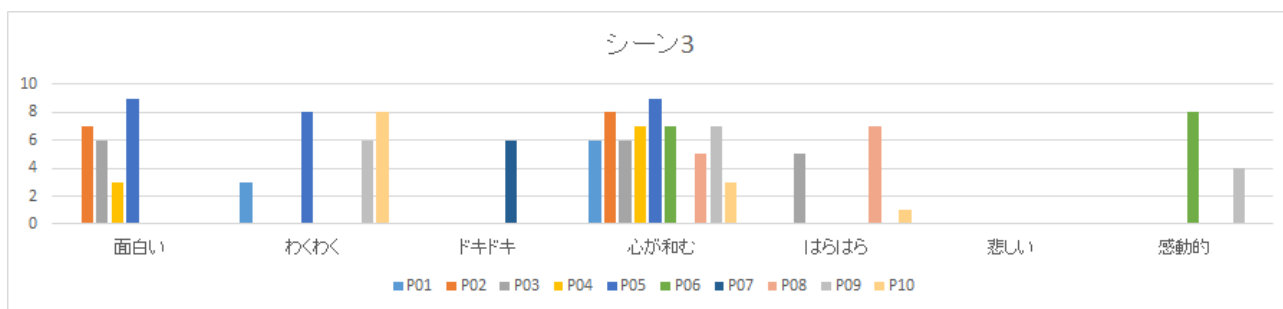


図 5.4 シーン3のアンケート結果

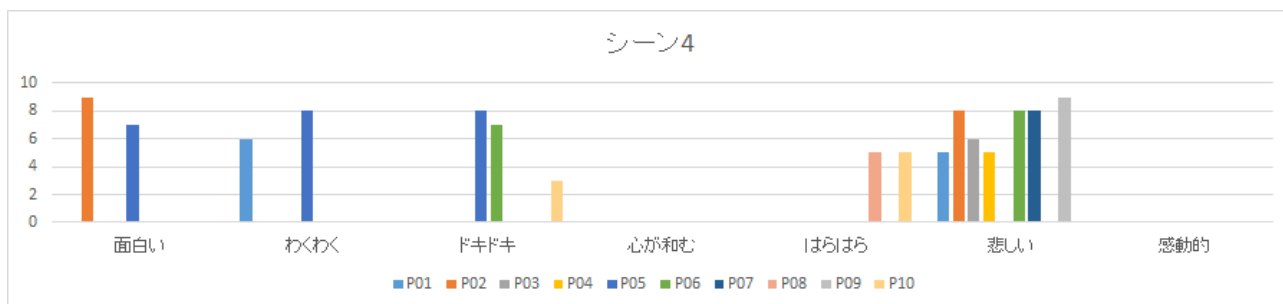


図 5.5 シーン4のアンケート結果

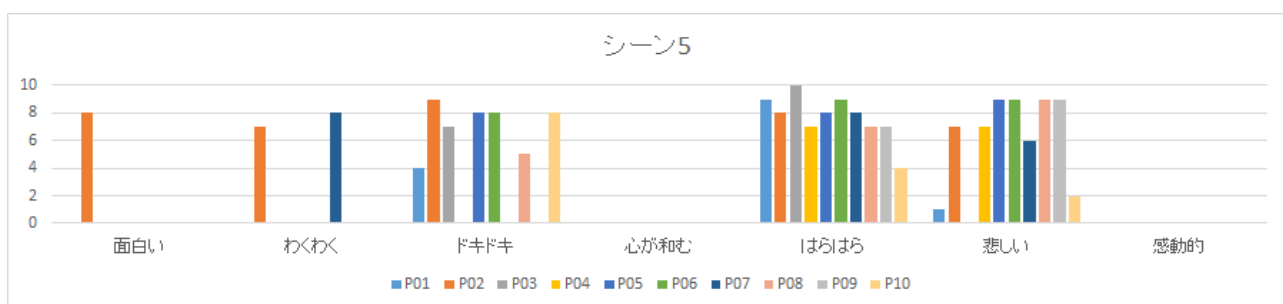


図 5.6 シーン5のアンケート結果

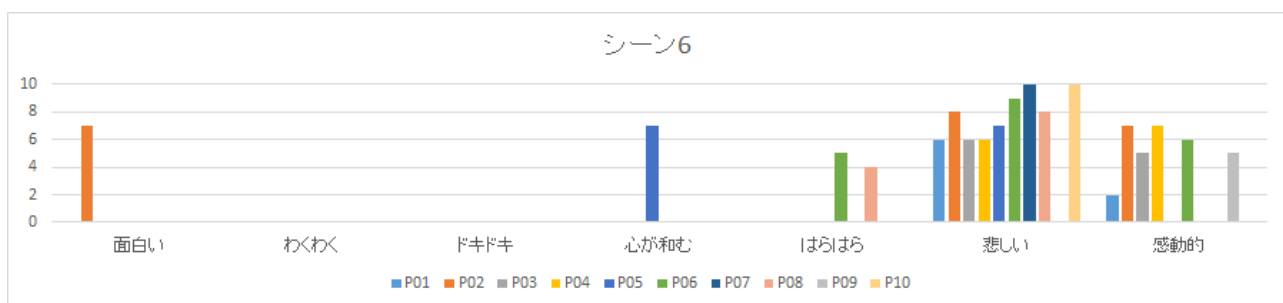


図 5.7 シーン6のアンケート結果

表 5.1 各感性語を選択した人数

	シーン 1	シーン 2	シーン 3	シーン 4	シーン 5	シーン 6
面白い	2 人	1 人	4 人	2 人	1 人	1 人
わくわく	7 人	5 人	4 人	2 人	2 人	0 人
ドキドキ	3 人	4 人	1 人	3 人	7 人	0 人
心が和む	5 人	0 人	9 人	0 人	0 人	1 人
はらはら	2 人	3 人	3 人	2 人	10 人	2 人
悲しい	0 人	6 人	0 人	7 人	8 人	10 人
感動的	4 人	0 人	2 人	0 人	0 人	6 人

■心電の解析結果

アンケートの結果から、各シーンで感じた気持ちがそれぞれ異なることがわかった。そこで、心電の解析では6つのシーンを別々に解析することにした。

各シーンで測定した心電から種々の指標を算出し、それらを要因としたステップワイズ法の重回帰分析を行った。ステップワイズの変数選択法の基準にはF値の変化量の有意確率を用いた。重回帰式は以下のように仮定し、重回帰係数を求めた。

$$Y = a_0 + \sum_l^2 \sum_k^n \sum_j^3 \sum_i^4 a_{ijkl} x_{ijkl} \quad (n \text{ は各シーンの秒数})$$

ただし、

Y = 各シーンで最も多く選ばれていた感性語に対して、各実験協力者が回答した10段階評価（例：シーン1なら「わくわく」）

とした。

また、i, j, k, l は以下のように定義した。

i: 生理指標の種類。1:HR(心拍数), 2:SDNN, 3:RRV, 4:RMSSD のいずれか。

ここでRMSSDは連続して隣接するRRIの差の2乗の平均値の平方根である。

j: 生理指標を算出する対象区間の長さ(秒)。

1:10, 2:20, 3:30 のいずれかとした。

k: 各シーン開始時を0とした時の対象区間の開始位置(秒)。

例えば、シーン1は104秒間なので、j=10のときは1:0, 2:10, 3:20, …, n:90のいずれか、j=20のときは1:0, 2:20, 3:40, …, n:80のいずれか、j=30のときは1:0, 2:30, 3:60のいずれか。

l: 安静状態との差分かどうか(1:Yまたは2:N)

安静状態との差分を取っていればY, 取っていなければNとし、全ての指標に対して両方用意した。

この式により、心電によってそれぞれの感性が説明できる。シーンごとに得られた重回帰分析の結果を表5.2から表5.7に示す。なおステップワイズ法によって、不要な変数は除外されている。

表 5.2 シーン 1 の重回帰分析結果 (Y=わくわく)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	-9.071	.010		-939.851	.001	1.000
10 秒毎の RMSSD t=40	1.498	.000	1.140	13267.750	.000	
10 秒毎の RMSSD t=80	.318	.000	.485	2174.830	.000	
10 秒毎の HR (安静との差分) t=80	-.653	.000	-.594	-3844.457	.000	
10秒毎のRMSSD t=70	.376	.000	.514	1761.698	.000	
10秒毎のRMSSD t=10	-.399	.000	-.252	-2862.820	.000	
20秒毎のRMSSD (安静との差分) t=40	.068	.000	.063	503.981	.001	
20秒毎のRRV (安静との差分) t=0	-30.670	.110	-.095	-278.613	.002	
20秒毎のSDNN (安静との差分) t=0	.070	.001	.047	118.749	.005	

表 5.3 シーン 2 の重回帰分析結果の要約 (Y=悲しい)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	2.463	.003		821.203	.001	1.000
10秒毎のHR (安静との差分) t=100	1.360	.000	1.123	19354.844	.000	
30秒毎のRMSSD (安静との差分) t=30	-4.257	.000	-4.050	-25027.908	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=100	.838	.000	1.349	18450.881	.000	
20秒毎のRMSSD (安静との差分) t=40	3.962	.000	3.450	11119.617	.000	
20秒毎のHR (安静との差分) t=100	-.338	.000	-.351	-8436.294	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=50	-1.346	.000	-.988	-6074.920	.000	
10秒毎のRRV (安静との差分) t=110	47.491	.046	.088	1029.746	.001	
20秒毎のSDNN (安静との差分) t=60	.032	.000	.022	388.952	.002	

表 5.4 シーン 3 の重回帰分析結果 (Y=心が和む)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	10.662	.012		876.444	.001	1.000
10秒毎のHR (安静との差分) t=90	.240	.000	.594	916.683	.001	
10秒毎のRMSSD t=30	-.927	.001	-1.068	-1473.556	.000	
10秒毎のRMSSD t=240	1.221	.001	.895	1782.009	.000	
20秒毎のRMSSD t=200	-1.762	.001	-.874	-1192.313	.001	
20秒毎のRMSSD t=220	.882	.002	.512	574.325	.001	
10秒毎のRMSSD t=180	-.279	.001	-.275	-418.162	.002	
10秒毎のRMSSD t=150	-.105	.001	-.109	-148.469	.004	
10秒毎のHR (安静との差分) t=30	-.011	.000	-.018	-26.674	.024	

表 5.5 シーン 4 の重回帰分析結果 (Y=悲しい)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	-27.770	.048		-581.467	.000	1.000
30秒毎のRMSSD t=0	1.500	.002	.608	867.520	.000	
10秒毎のRRV t=10	976.426	1.066	2.700	916.289	.000	
30秒毎のRMSSD (安静との差分) t=30	.536	.001	.597	857.104	.000	
20秒毎のRRV t=0	-600.120	.920	-2.121	-652.225	.000	
10秒毎のHR (安静との差分) t=30	-.138	.001	-.161	-176.890	.000	
20秒毎のRMSSD t=0	.217	.001	.118	153.792	.000	
20秒毎のRRV (安静との差分) t=20	-14.413	.253	-.046	-56.911	.000	

表 5.6 シーン 5 の重回帰分析結果 (Y=はらはら)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	7.267	.000		1020942.480	.000	1.000
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=90	-.485	.000	-1.457	-542842.123	.000	
20秒毎のHR (安静との差分) t=40	.270	.000	.719	202435.778	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=100	.230	.000	.766	363839.648	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=80	-.226	.000	-.506	-33749.254	.000	
20秒毎のRMSSD t=200	-.058	.000	-.061	-29287.190	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=210	.101	.000	.291	14295.977	.000	
30秒毎のRMSSD (安静との差分) t=120	.004	.000	.004	5389.588	.000	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=10	.000	.000	.001	422.326	.002	

表 5.7 シーン 6 の重回帰分析結果 (Y=悲しい)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	12.524	.000		498118.506	.000	1.000
30秒毎のRMSSD t=90	-1.943	.000	-1.824	-676560.843	.000	
20秒毎のRMSSD t=40	1.936	.000	1.974	141223.601	.000	
10秒毎のRMSSD t=10	.000	.000	.000	31.776	.020	
10秒毎のRMSSD (安静との差分) t=110	.170	.000	.585	193186.837	.000	
10秒毎のRMSSD t=80	-.178	.000	-.141	-67115.348	.000	
30秒毎のRMSSD t=30	-1.089	.000	-1.217	-53570.590	.000	
10秒毎のHR (安静との差分) t=0	-.015	.000	-.036	-16810.361	.000	
10秒毎のRMSSD t=20	-.002	.000	-.002	-876.503	.001	

重回帰分析の結果、どのシーンに対しても説明力の高いモデルを得ることができた。なお、 x の添字は見やすいように i, j, k, l それぞれの項目に合わせて表記した。

・シーン 1

「わくわく」が以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{わくわく} = & 1.140x_{\text{RMSSD}, 10, 40, N} - 0.594x_{\text{HR}, 10, 80, Y} + 0.514x_{\text{RMSSD}, 10, 70, N} \\ & + 0.485x_{\text{RMSSD}, 10, 80, N} - 0.252x_{\text{RMSSD}, 10, 10, N} - 0.095x_{\text{RRV}, 20, 0, Y} \\ & + 0.063x_{\text{RMSSD}, 20, 40, Y} + 0.047x_{\text{SDNN}, 20, 0, Y} \end{aligned}$$

・シーン 2

「悲しい」が以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{悲しい} = & -4.050x_{\text{RMSSD}, 30, 30, Y} + 3.450x_{\text{RMSSD}, 20, 40, Y} + 1.349x_{\text{RMSSD}, 10, 100, Y} + \\ & 1.123x_{\text{HR}, 10, 100, Y} - 0.988x_{\text{RMSSD}, 10, 50, Y} - 0.351x_{\text{HR}, 20, 100, Y} + \\ & 0.088x_{\text{RRV}, 10, 110, Y} + 0.022x_{\text{SDNN}, 20, 60, Y} \end{aligned}$$

・シーン 3

「心が和む」が以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{心が和む} = & -1.068x_{\text{RMSSD}, 10, 90, N} + 0.895x_{\text{RMSSD}, 10, 240, N} - 0.874x_{\text{RMSSD}, 20, 200, N} \\ & + 0.594x_{\text{HR}, 10, 90, Y} + 0.512x_{\text{RMSSD}, 20, 220, N} - 0.275x_{\text{RMSSD}, 10, 180, N} \\ & - 0.109x_{\text{RMSSD}, 10, 150, N} - 0.018x_{\text{HR}, 10, 30, Y} \end{aligned}$$

・シーン 4

「悲しい」が以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{悲しい} = & 2.700x_{\text{RRV}, 10, 10, N} - 2.121x_{\text{RRV}, 20, 10, N} + 0.608x_{\text{RMSSD}, 30, 0, N} \\ & + 0.597x_{\text{RMSSD}, 30, 30, Y} - 0.161x_{\text{HR}, 10, 30, Y} + 0.118x_{\text{RMSSD}, 20, 0, N} \\ & - 0.046x_{\text{RRV}, 20, 20, Y} \end{aligned}$$

・シーン 5

「はらはら」が以下のように表現できる.

$$\begin{aligned}\text{はらはら} = & -1.457x_{\text{RMSSD}, 10, 90, Y} + 0.766x_{\text{RMSSD}, 10, 100, Y} + 0.719x_{\text{HR}, 20, 40, Y} \\ & - 0.506x_{\text{RMSSD}, 10, 80, Y} + 0.291x_{\text{RMSSD}, 21, 221, Y} - 0.061x_{\text{RMSSD}, 20, 200, N} \\ & + 0.004x_{\text{RMSSD}, 30, 120, Y} + 0.001x_{\text{RMSSD}, 10, 10, Y}\end{aligned}$$

・シーン 6

「悲しい」が以下のように表現できる.

$$\begin{aligned}\text{悲しい} = & 1.974x_{\text{RMSSD}, 20, 40, N} - 1.824x_{\text{RMSSD}, 30, 90, N} - 1.217x_{\text{RMSSD}, 30, 30, N} \\ & + 0.585x_{\text{RMSSD}, 10, 110, Y} - 0.141x_{\text{RMSSD}, 10, 80, N} - 0.036x_{\text{HR}, 10, 0, Y} \\ & - 0.002x_{\text{RMSSD}, 10, 20, N}\end{aligned}$$

全体の結果を通して見ると、10 秒ごとの RMSSD が最も多く指標として抽出された。このことから、RMSSD が種々の感性の生理指標となる可能性がある。しかし、シーン 2, 3, 6 の結果をみると、同じ RMSSD が変数になっていても係数が正負入り交ざっているなど、これらのモデルから意味を見出すことは難しい。得られたモデルはすべて説明力 R^2 が 1.000 と非常に高かったが、変数の数に対して実験協力者が少なすぎたのだと考えられる。実験協力者の人数を増やし、変数の数を減らして検証する必要があると考える。なお本研究では、このようにサンプル数に対して変数が多すぎたことで、説明力が非常に高いものの、意味を見出すことが難しいモデルが得られてしまうことを「オーバーフィッティング」と称する。

また、アンケート結果では 6 シーンのうち 3 シーンで「悲しい」が最も多く選ばれているが、一口に「悲しい」と言ってもドキドキを伴う悲しさなのか、感動を伴う悲しさなのか等のニュアンスの違いもあると考えられる。それにより、生理指標やモデルへの影響もあると考えられ、今後、調査方法や解析方法を改善する必要がある。

一方で、変数の対象区間の開始位置に着目すると、各シーンが持つ、感情が生起されるようなイベントに対応できている可能性がある。例えばシーン 1 では、シーン開始から 40 秒目～50 秒目の区間で算出した RMSSD が、最も標準化係数が大きい変数になっている。シーン 1 の 40 秒目～50 秒目のシーンを簡単に説明すると、「今まで数個の窓が空中に浮かんでいたが、窓が一気に増えて画面中に世界が広がるようなシーン」である。シーンの内容はわくわくするものであり、この変数の 40～50 秒目という点は妥当であると言える。

また今回、第 4 章までで「わくわく感」の指標としていた SDNN や RRV は今回の解析で有用な変数として選ばれなかった。SDNN や RRV はある程度の長さの秒数で区切って解析する必要があるため、これまでは予め解析対象とするイベントを設定し、その前後の

解析区間で比較を行っていた。しかし、今回のコンテンツはストーリーのあるアニメーションで、多数のイベントの中から解析対象を特定して、適切に解析区間を設定することが困難だった。そこで便宜上、シーン開始時から 10, 20, 30 秒区切りで解析区間を設定した。すなわち今回の解析では、イベント前後での SDNN や RRV の変化は考慮されておらず、ある対象区間での SDNN や RRV 絶対値、あるいは安静状態との差分を変数としていた。そのため、SDNN や RRV が有用な変数として抽出されなかった可能性がある。対象区間の前後での差を変数とすれば、SDNN や RRV を変数としたモデルが得られる可能性がある。

5.3.5 予備実験のまとめ

VR でアニメーションを見ている時の 7 つの感性的状態を心電の生理指標で評価するため、PSVR 用ソフト「allumette」を用いた実験を行った。

結果、以下の知見を得た。

- 心電の指標 (RMSSD) を用いることで、「わくわく」「心が和む」「悲しい」「はらはら」の程度を説明できる。
- アンケートで「悲しい」が最も多く選択された 3 つのシーン (シーン 2, 4, 6) で、有用な生理指標やその係数が異なったことから、1 つの感性語だけではうまく表現できていない可能性が示唆された。
- 説明力が高すぎるため、オーバーフィッティングの可能性がある。
- 抽出された変数の対象区間の秒数と、その秒数でのストーリーの内容を比較すると、ストーリー中で起きたイベントのタイミングと合っていることが多く、ある程度妥当な結果だった。
- 第 4 章までで「わくわく感」の指標とした SDNN や RRV が今回はほとんど変数に選ばれなかったのは、今回は特定のイベントに着目して解析区間を設定できなかったためである可能性がある。

5.4 実験

5.4.1 実験概要

予備実験の結果では、オーバーフィッティングが起こっていた。原因として、変数が多すぎたことや実験協力者が少なかったことが考えられる。またアンケート結果から、1つの感性語だけではうまくシーンを表現できていない可能性も示唆された。そこで、精度を高めるために実験協力者を追加し、実験を行った。

5.4.2 実験結果と考察

実験は20代の男性17名、女性4名を対象に実施した。以降の解析は、前章の男性6名、女性6名と併せて33名の実験結果を扱う。なお、予備実験のアンケート結果の解析で男女間に差がなかったことから、男女のバランスは考慮しないことにした。実験システム、コンテンツ、実験手順は予備実験と同じである。

■アンケート結果

シーンごとのアンケート結果を図5.8～図5.13に示す。縦軸は実験協力者が回答した点数（1～10）、横軸は選択肢に入れた感性語である。

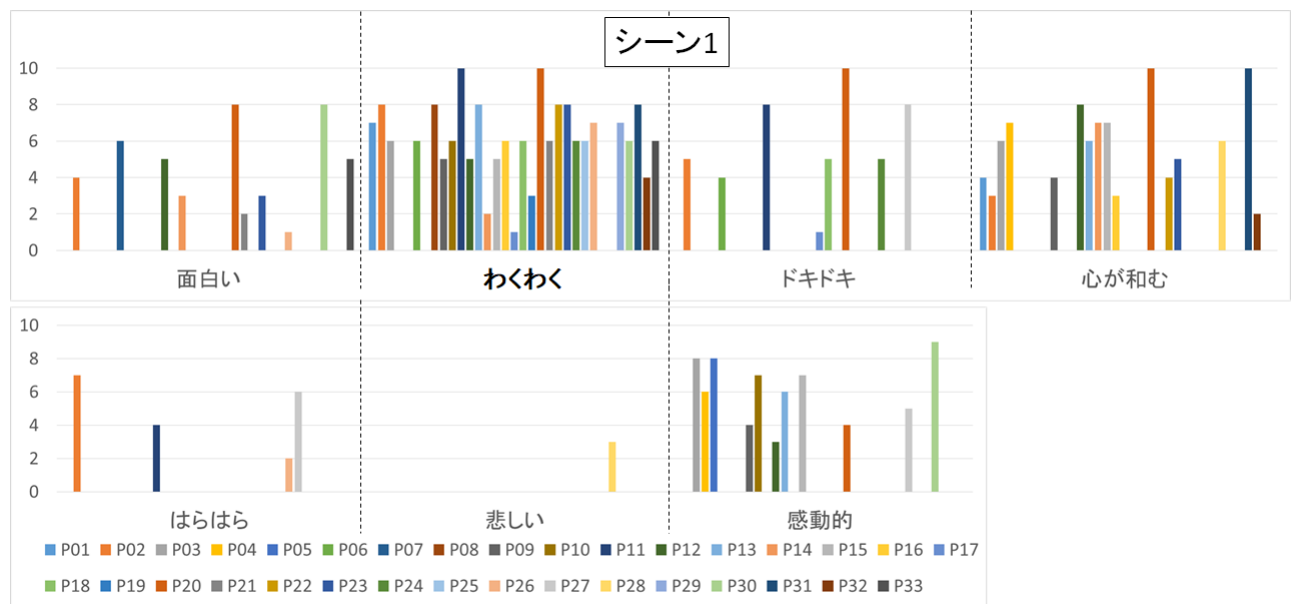


図 5.8 シーン1のアンケート結果

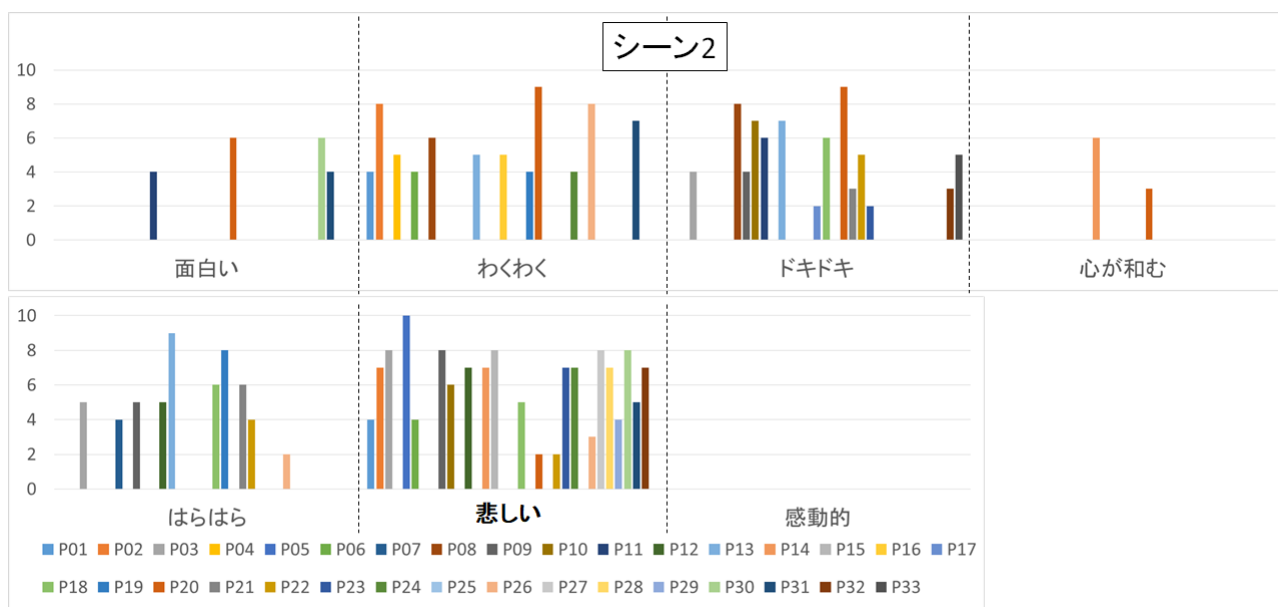


図 5.9 シーン2 のアンケート結果

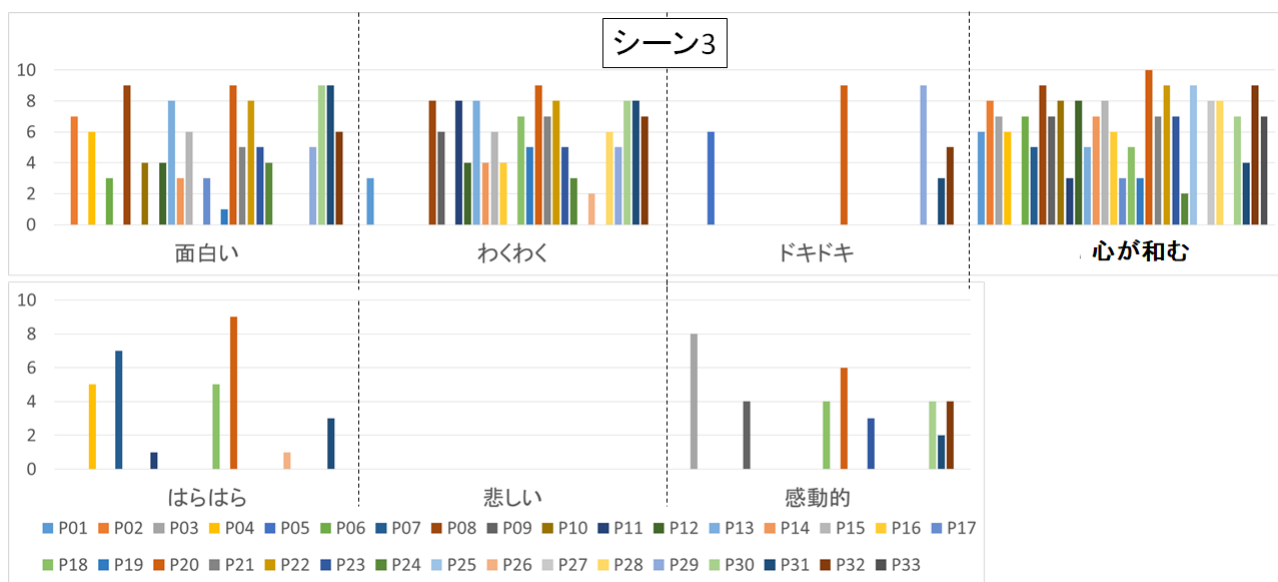


図 5.10 シーン3 のアンケート結果

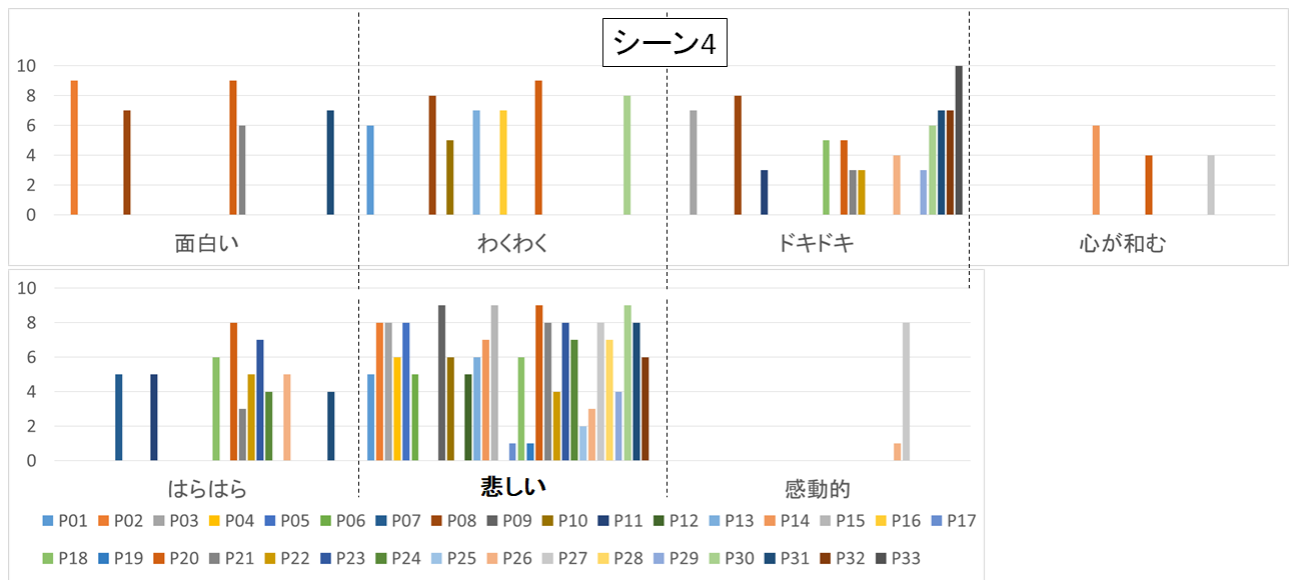


図 5.11 シーン4 のアンケート結果

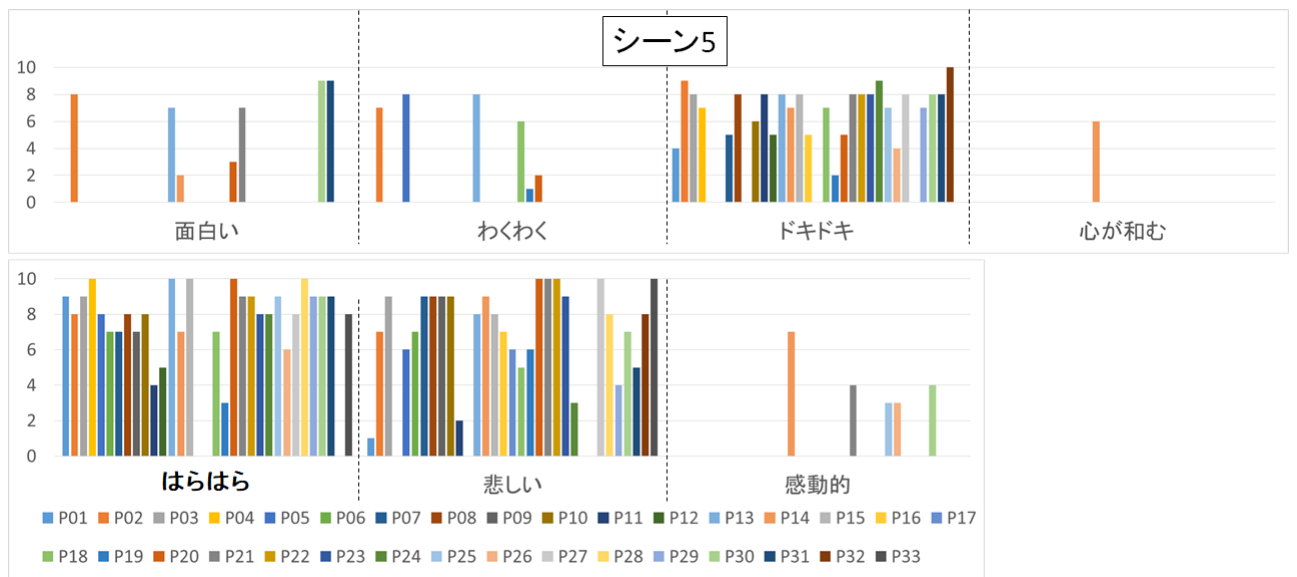


図 5.12 シーン5 のアンケート結果

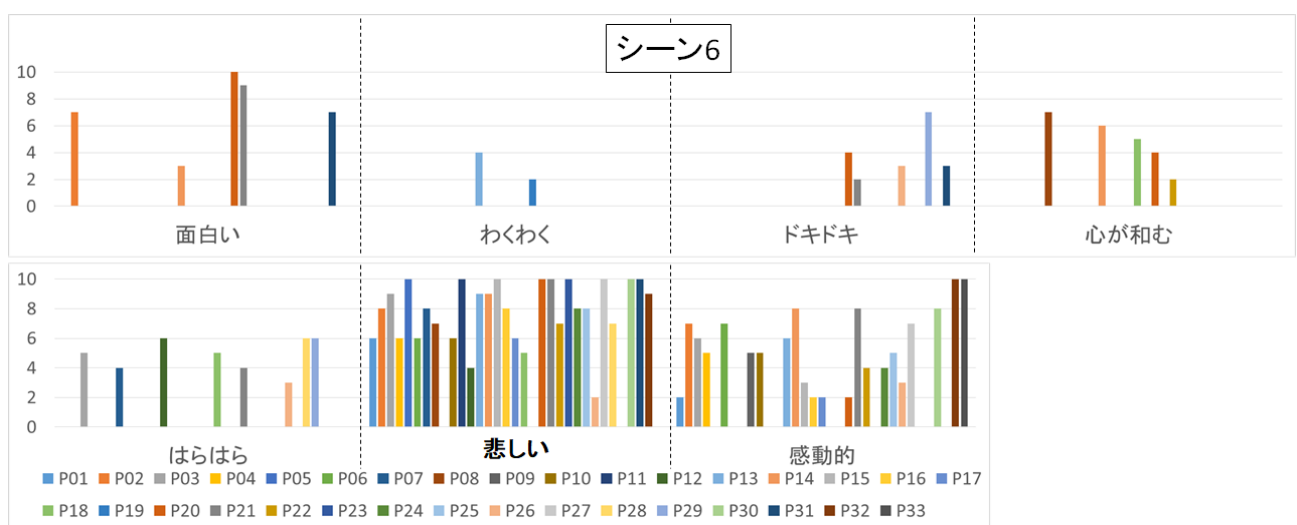


図 5.13 シーン6 のアンケート結果

また，表 5.8 にアンケート結果のうち，3 つのシーンそれぞれで面白い，わくわく，ドキドキ，心が和む，はらはら，悲しい，感動的を選択した実験協力者の人数を示す．さらに，実験協力者の 6 割以上が選択したものを黄色で示す．

表 5.8 各感性語を選択した人数

	シーン 1	シーン 2	シーン 3	シーン 4	シーン 5	シーン 6
面白い	10 人	4 人	20 人	5 人	7 人	5 人
わくわく	28 人	12 人	22 人	7 人	6 人	2 人
ドキドキ	8 人	14 人	5 人	13 人	27 人	5 人
心が和む	16 人	2 人	30 人	3 人	1 人	5 人
はらはら	4 人	10 人	7 人	10 人	30 人	8 人
悲しい	1 人	22 人	0 人	28 人	29 人	19 人
感動的	11 人	0 人	8 人	2 人	5 人	22 人

■アンケート結果の主成分分析

予備実験では，アンケートで最も多く選ばれた感性語にのみ着目して解析していた．しかし，実験協力者が複数の感性語を回答している場合が多いことや，「悲しい」という一言ではシーンの内容を表現しきれない可能性があるなどの問題があった．

そこで今回は，実験協力者がそれぞれのシーンで各感性語について回答したスコアを対象に，主成分分析を行った[67]．主成分判定のためのスクリー・プロットを図 5.14 に，主成分の寄与率を表 5.9 に示す．第 3 成分までの固有値が 1 以上なので，採用する主成分は第 1, 2, 3 成分とした．

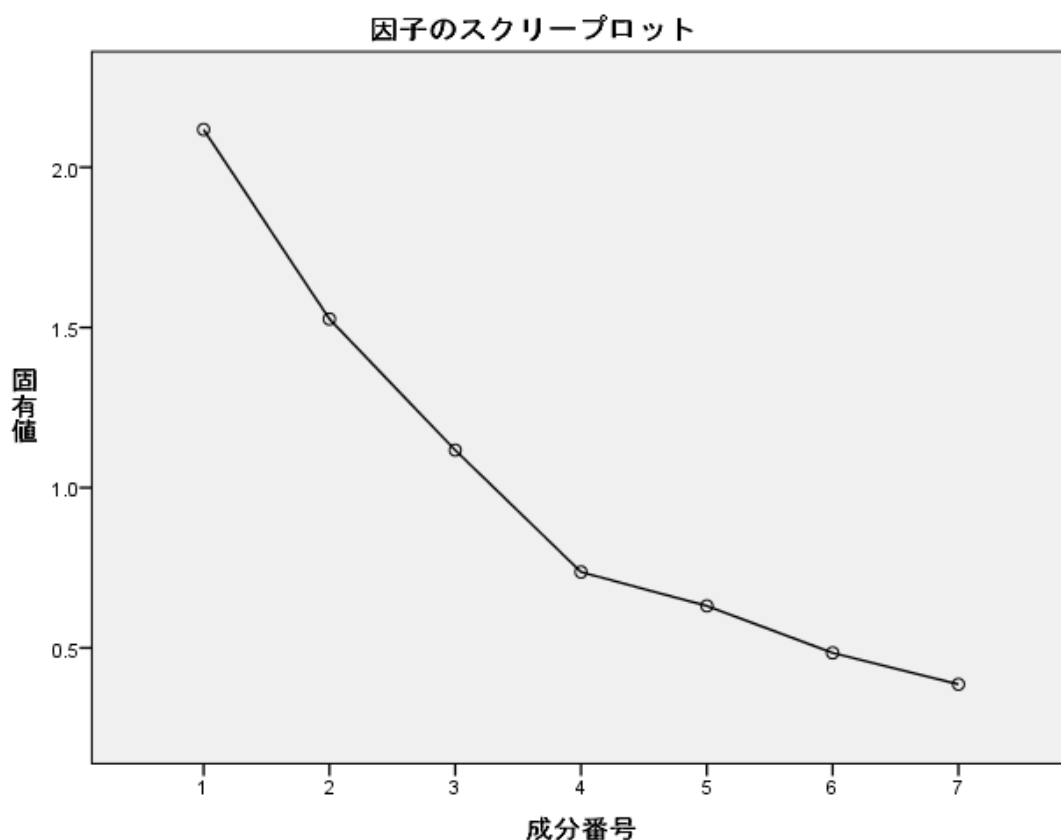


図 5.14 主成分判定のスクリー・プロット

表 5.9 主成分の寄与率

主成分	寄与率 (%)	累積%
1	30.253	30.253
2	21.805	52.058
3	15.959	68.017
4	10.525	78.542
5	9.017	87.559
6	6.920	94.479
7	5.521	100.000

感性語ごとの主成分負荷量を表5.10に示す。この結果から、各主成分を以下の指標と解釈した。

- ・第1主成分は、「心が和む」「わくわく」の主成分負荷量の正の値が大きく、「ドキドキ」「はらはら」「悲しい」の主成分負荷量の負の値が大きい。このことから、第1主成分はポジティブで静的な「期待感」の指標だと考えられる。

- ・第2主成分は、「わくわく」「ドキドキ」「面白い」「はらはら」の主成分負荷量の正の値が大きい。このことから、第2主成分は、ポジティブで動的な「ドキドキ感」の指標だと考えられる。

- ・第3主成分は、「面白い」「悲しい」「感動的」の主成分負荷量の正の値が大きい。「面白い」と「悲しい」が両方同程度大きいことから、ポジティブでもネガティブでもなく、「感動」の指標だと考えられる。ここで言う「感動」とは、文字通り気持ちが動くという意味である。この主成分は第1章の図1.3のarousal軸にあたると考えられる。

表 5. 10 各主成分の主成分負荷量

	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
面白い	0. 353	0. 610	0. 443
わくわく	0. 649	0. 408	-0. 215
ドキドキ	-0. 424	0. 749	-0. 003
心が和む	0. 751	0. 154	0. 184
はらはら	-0. 583	0. 582	0. 038
悲しい	-0. 674	-0. 147	0. 421
感動的	0. 183	-0. 207	0. 814

注) 値は主成分負荷量。絶対値0.4以上のものを太字にし、背景色を黄色にした。

次に、各シーンと各実験協力者に主成分得点を割り当てた。第 1 主成分と第 2 主成分で作られる第 2 平面上にプロットした図を図 5. 15 に、第 1 主成分と第 3 主成分で作られる第 2 平面上にプロットした図を図 5. 16 に、第 2 主成分と第 3 主成分で作られる第 2 平面上にプロットした図を図 5. 17 に示す。ラベルは実験協力者番号を示しており、例えば P01 は 1 人目の実験協力者を意味する。なお、各グラフの縦横比は各主成分の寄与率に合わせた比率とした。

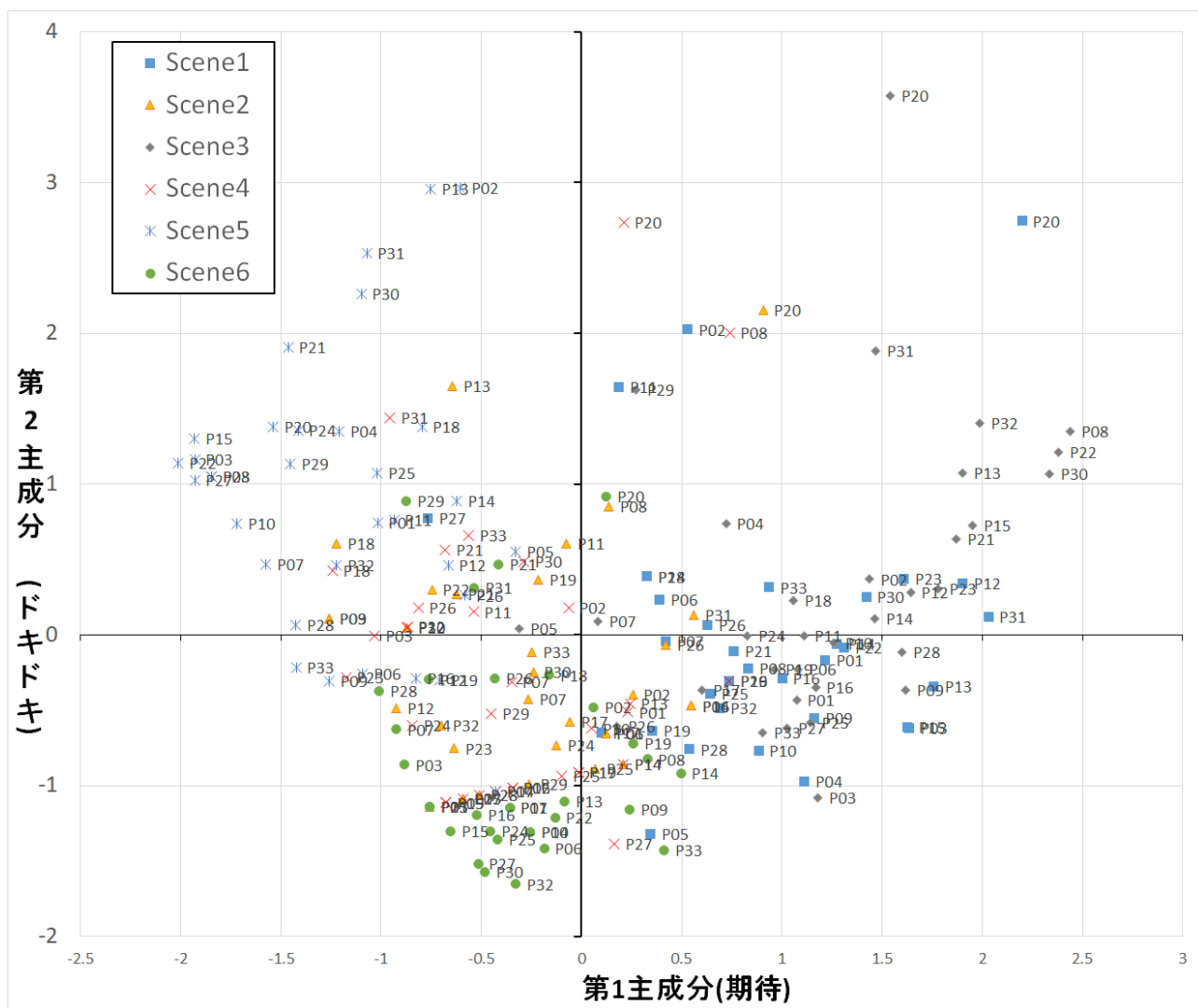


図 5.15 主成分得点によるシーンと実験協力者の分布
(横軸：第 1 主成分，縦軸：第 2 主成分)

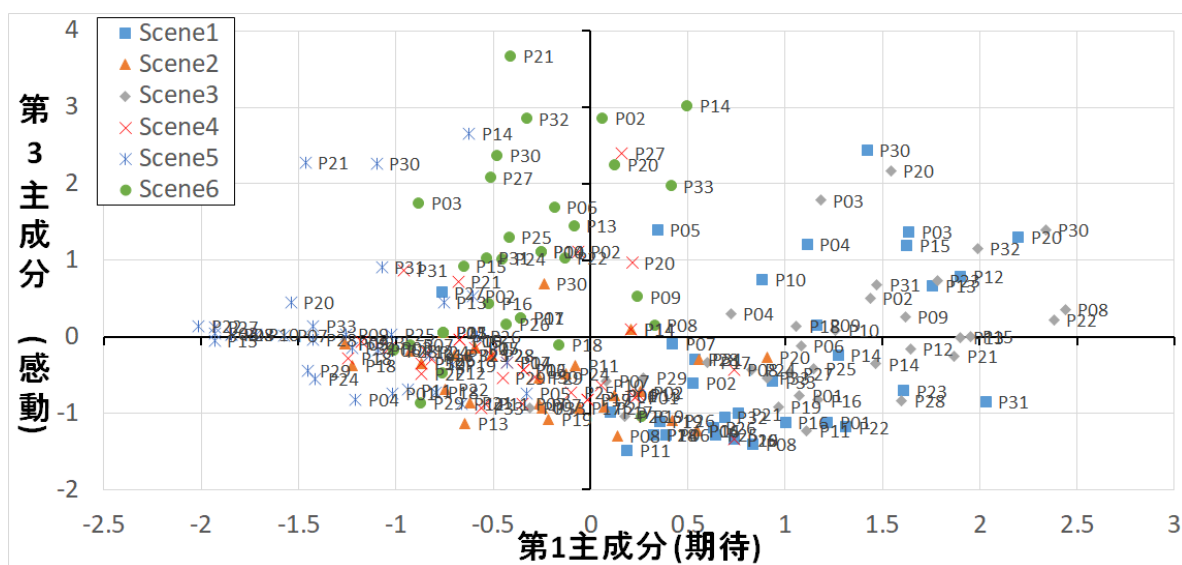


図 5.16 主成分得点によるシーンと実験協力者の分布
(横軸：第 1 主成分，縦軸：第 3 主成分)

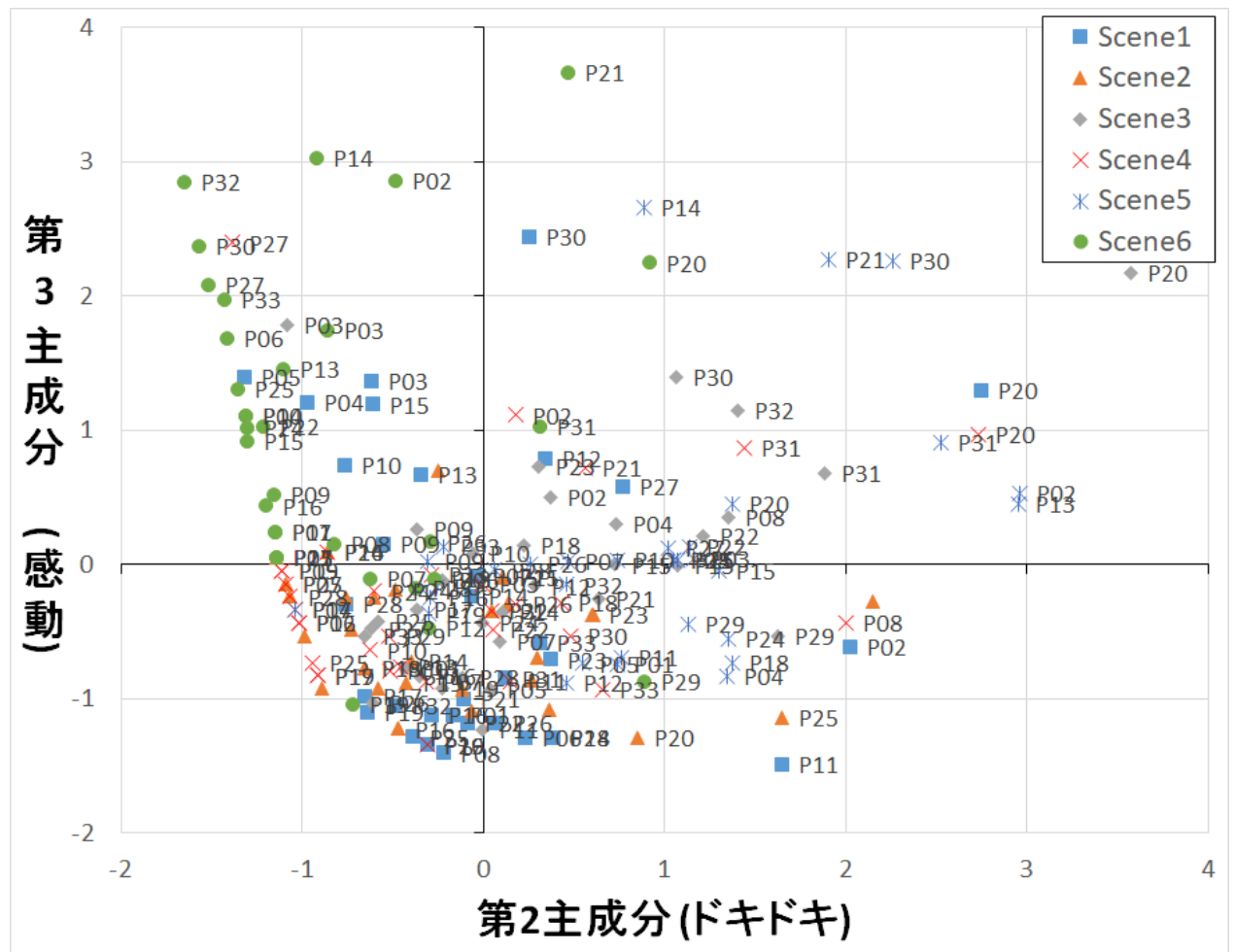


図 5.17 主成分得点によるシーンと実験協力者の分布
(横軸：第 2 主成分，縦軸：第 3 主成分)

以下，シーンごとに考察する。

- ・シーン 1

図 5.15 を見ると，シーン 1 のプロットが右側に集中していることがわかる．このことから，シーン 1 は第 1 主成分（期待）によって説明できると考えられる．シーンの内容も，物語の始まりを予感させるようなもので，今回の結果と一致する．

- ・シーン 2

図 5.17 を見ると，シーン 2 のプロットが下側に集中していることがわかる．このことから，シーン 2 は第 3 主成分（感動）によって説明できると考えられる．シーンの内容も，暗く落ち込むような雰囲気です，第 3 主成分がマイナスであるという今回の結果と一致する．

- ・シーン 3

図 5.15 を見ると，シーン 3 のプロットが右側に集中していることがわかる．このことから，シーン 3 は第 1 主成分（期待）によって説明できると考えられる．シーンの内容も，船に乗って旅しているという内容で，今回の結果と一致する．

- ・シーン 4

図 5.17 を見ると、シーン 2 と同様にプロットが下側に集中していることがわかる。このことから、シーン 4 も第 3 主成分（感動）によって説明できると考えられる。内容や雰囲気もシーン 2 と似通っており、妥当な結果だと考えられる。

- ・シーン 5

図 5.15 を見ると、シーン 5 のプロットが第 2 象限に集中していることがわかる。このことから、シーン 3 は第 1 主成分（期待）と第 2 主成分（ドキドキ）によって説明できると考えられる。シーンの内容は、主人公の母親が乗っている船が爆発してしまうという内容で、期待がマイナス、ドキドキがプラスという今回の結果と一致する。

- ・シーン 6

図 5.17 を見ると、シーン 6 のプロットが第 2 象限に集中していることがわかる。このことから、シーン 1 は第 2 主成分（ドキドキ）と第 3 主成分（感動）によって説明できると考えられる。シーンの内容も、暗い雰囲気だが感動的に物語が終わろうとしているところであり、第 2 主成分がマイナスで第 3 主成分がプラスという今回の結果と一致する。

これらの結果から、今回の解析で得た第 1 主成分から第 3 主成分によって、「allumette」の 6 シーンが矛盾なく説明できることがわかった。なお因子分析も行った結果、同様の結果を得た。

■心電の解析結果

33 名の実験協力者のうち、8 名の心電が計測できなかった。そのため、以降の解析は 8 名を除外した 25 名のデータを対象に行う。

心電の解析では、6 つのシーンを別々に解析する。まず、Y（目的変数）を各シーンで最も多く選ばれていた感性語の得点として解析を行った。予備実験の解析で変数が多すぎたこともオーバーフィッティングの原因だったと考えられるので、第 4 章までの知見をもとに、あらかじめ絞り込んだ変数を入力として用いることにした。その結果、変数は 15 個となった。

各シーンで測定した心電から種々の指標を算出し、それらを要因としたステップワイズ法の重回帰分析を行った。ステップワイズの変数選択法の基準には F 値の変化量の有意確率を用いた。重回帰式は以下のように仮定し、重回帰係数を求めた。

$$Y = a_0 + \sum_k^3 \sum_j^3 \sum_i^4 a_{ijk} x_{ijk} \quad (n \text{ は各シーンの秒数})$$

ただし、

Y = 各シーンで最も多く選ばれていた感性語に対して、各実験協力者が回答した 10 段階評価の値（例：シーン 1 なら「わくわく」）とした。

また、i, j, k は以下のように定義した。

i: 生理指標の種類。1:HR(心拍数), 2:SDNN, 3:RRV, 4:RMSSD のいずれか。

j: 生理指標を算出する対象区間の長さ（秒）。

1:10, 2:20, 3:30 のいずれかとした。

k: 各シーン開始時を 0 とした時の対象区間の開始位置（秒）。

今回は予備実験の解析で抽出された秒数を使用することにした。重回帰分析の結果のうち、標準化係数の絶対値が大きい順に 3 つの変数の k（各シーン開始時を 0 とした時の対象区間の位置）を用いる。具体的には以下の秒数とした。

シーン 1 … 1:40 秒, 2:70 秒, 3:80 秒

シーン 2 … 1:30 秒, 2:40 秒, 3:100 秒

シーン 3 … 1:30 秒, 2:240 秒, 3:200 秒

シーン 4 … 1:10 秒, 2:20 秒, 3:30 秒

シーン 5 … 1:90 秒, 2:100 秒, 3:40 秒

シーン 6 … 1:20 秒, 2:30 秒, 3:110 秒

第 4 章までの実験で、イベント前後の SDNN や RRV の差分で有用な結果が得られていたことから、今回の解析でも特定の秒数の前後の差分をとったものを変数に使うことにした。変数の解析区間のイメージを図 5.18 に示す。i の各生理指標を図 5.24 の A と B で算出し、A から B を引いたものを変数に用いた。なお、 $j > k$ の場合には B の値が算出できなくなるため、変数は作成しなかった。

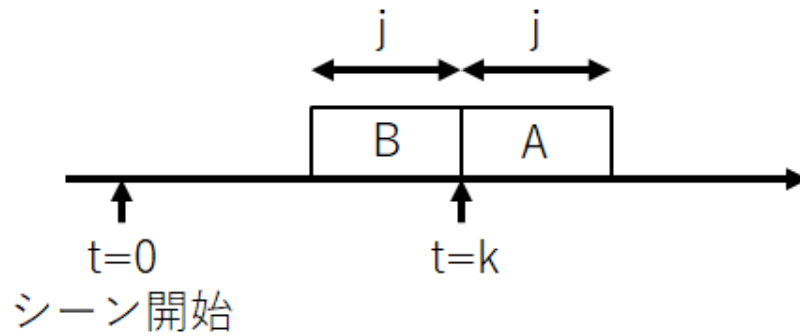


図 5.18 変数の解析区間のイメージ図

シーン 1, 2, 3, 5, 6 の重回帰分析の結果を表 5.11～表 5.15 に示す．なお，シーン 4 では有意なモデルは得られなかった．

表 5.11 シーン 1 の重回帰分析結果（Y=わくわく）

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	3.208	.637		5.038	.000	.541
t=80前後10秒でのHR差分	.478	.110	.650	4.329	.000	
t=80前後30秒でのSDNN差分	-1.105	.335	-.514	-3.300	.003	
t=40 前後 10 秒での RRV 差分	-172.357	75.231	-.329	-2.291	.032	

表 5.12 シーン 2 の重回帰分析結果（Y=悲しい）

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	3.365	.681		4.945	.000	.163
t=100 前後 10 秒での HR 差分	.557	.234	.445	2.382	.026	

表 5.13 シーン 3 の重回帰分析結果（Y=心が和む）

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	5.754	.537		10.711	.000	.140
t=200 前後 20 秒での RMSSD 差分	.342	.154	.419	2.216	.037	

表 5.14 シーン 5 の重回帰分析結果（Y=はらはら）

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	7.410	.458		16.166	.000	.530
t=40前後10秒でのHR差分	-.686	.133	-1.057	-5.145	.000	
t=40前後10秒でのRRV差分	353.561	147.393	.477	2.399	.026	
t=90 前後 20 秒での RMSSD 差分	-.627	.184	-.789	-3.407	.003	
t=90 前後 10 秒での RMSSD 差分	.293	.122	.504	2.398	.026	

表 5.15 シーン 6 の重回帰分析結果 (Y=感動的)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	4.018	.625		6.429	.000	.126
t=30 前後 30 秒での HR 差分	.522	.247	.403	2.109	.046	

次に、アンケートの主成分分析の結果で各シーンが説明できたことから、Y（目的変数）をアンケート結果の解析で導出した主成分得点として、ステップワイズ法の重回帰分析を行った。重回帰式と変数は上述した重回帰分析と同様とした。これにより、アンケート結果の主成分分析から得られた各主成分（期待感、ドキドキ感、感動）が説明できる。なお、各シーンで解析に使用した主成分は以下の通りとした。

- ・シーン 1：第 1 主成分
- ・シーン 2：第 3 主成分
- ・シーン 3：第 1 主成分
- ・シーン 4：第 3 主成分
- ・シーン 5：第 1 主成分と第 2 主成分
- ・シーン 6：第 2 主成分と第 3 主成分

重回帰分析の結果、有意なモデルが得られた結果を表 5.16 から表 5.19 に示す。

表 5.16 シーン 2 の重回帰分析結果 (Y=第 3 主成分)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	-.605	.087		-6.975	.000	.089
t=40前後30秒でのHR差分	-.092	.050	-.357	-1.830	.080	

表 5.17 シーン 4 の重回帰分析結果 (Y=第 3 主成分)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	-.413	.147		-2.805	.010	.190
t=10 前後 10 秒での RRV 差分	38.452	14.919	.473	2.577	.017	

表 5.18 シーン 6 の重回帰分析結果 (Y=第 2 主成分)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	-.989	.100		-9.930	.000	.356
t=30前後30秒でのHR差分	-.127	.039	-.543	-3.254	.004	
t=20前後10秒でのHR差分	.045	.016	.459	2.751	.012	

表 5.19 シーン 6 の重回帰分析結果 (Y=第 3 主成分)

モデル	非標準化係数		標準化係数	t 値	有意確率	説明力 R ²
	B	標準誤差	ベータ			
(定数)	1.010	.234		4.311	.000	.122
t=30 前後 30 秒での HR 差分	.193	.093	.398	2.081	.049	

これらの結果から、以下のモデルが導出された。シーンごとに考察する。なお、x の添字は見やすいように i, j, k, 1 それぞれの項目に合わせて表記した。

・シーン 1

「わくわく」が以下のように表現できる。

$$\text{わくわく} = 0.650x_{\text{HR}, 10, 80} - 0.514x_{\text{SDNN}, 30, 80} - 0.329x_{\text{RRV}, 10, 40}$$

今回は対象区間の前後での差分を生理指標にしている。すなわち、 $x_{\text{HR}, 10, 80}$ の標準化係数が 0.650 というのは、70～80 秒の HR よりも 80～90 秒の HR の方が高ければ、「わくわく」のスコアが高くなることを意味する。同様に解釈すると、2 つ目と 3 つ目の変数は、SDNN と RRV が低ければ「わくわく」のスコアが高くなることを意味している。これらの 3 つの指標については、第 4 章までで得た知見と一致する。モデルの説明力も 0.541 とやや高く、今回得られたモデルは妥当だったと言える。

一方で、シーン 1 では主成分を目的変数としたモデルは得られなかった。しかし、シーン 1 は大多数の実験協力者が「わくわく」したと回答しているうえ、他の感性語を選んだ実験協力者はそれぞれ 6 割に満たなかった。つまり、このシーンは「わくわく」だけで十分表現できるシーンである可能性が高いと考えられる。

・シーン 2

「悲しい」が以下のように表現できる。

$$\text{悲しい} = 0.445x_{\text{HR}, 10, 100}$$

第 3 主成分（感動）が以下のように表現できる。

$$\text{第 3 主成分} = -0.357x_{\text{HR}, 30, 40}$$

「悲しい」モデルの $x_{\text{HR}10, 100}$ の標準化係数は 0.445 となっており、HR が高くなると「悲しい」のスコアが高くなることを意味している。一方、第 3 主成分のモデルの $x_{\text{HR}30, 40}$ の標準化係数は -0.357 であり、HR が低くなると第 3 主成分の主成分得点が高くなることを意味している。第 3 主成分は「悲しい」の主成分負荷量も大きいため、真逆の傾向を示すのは説明がつかない。ただし、「悲しい」モデルの方は 10 秒の時間窓長、第 3 主成分のモデルは 30 秒の時間窓長で算出した変数であるため、時間窓長の違いによって検出できる感性が異なるのかもしれない。今後、検証が必要である。

・シーン 3

「心が和む」が以下のように表現できる.

$$\text{心が和む} = 0.419X_{\text{RMSSD}, 20, 200}$$

今回のモデルでは $X_{\text{RMSSD}, 20, 200}$ の標準化係数が 0.419 となっており, RMSSD が高くなると「心が和む」のスコアが高くなることを意味している. RMSSD は副交感神経活性の指標とされており[63], RMSSD が高くなるのは一般にリラックスを意味する. 「心が和む」とリラックスは概ね似た感性だと考えられるため, 今回のモデルは生理学的知見とも一致していると言える.

一方で, シーン 3 では主成分を目的変数としたモデルは得られなかった. 今回モデルが得られなかった原因としては, 予備実験の結果から対象区間の選定を行ったことが挙げられる. 予備実験では「心が和む」を目的変数としており, その結果をもとに対象区間を選んだため, 今回も「心が和む」のモデルのみが得られたのだと考えられる. 対象区間を別の方法で選定し, 「面白い」や「わくわく」が生起されるシーンを選ぶことができれば, 第 1 主成分を目的変数としたモデルが得られる可能性がある.

・シーン 4

第 3 主成分 (感動) が以下のように表現できる.

$$\text{第 3 主成分} = 0.473X_{\text{RRV}, 10, 10}$$

今回のモデルでは $X_{\text{RRV}, 10, 10}$ の標準化係数が 0.473 となっており, RRV が高くなると第 3 主成分の主成分得点が高くなることを意味している. ここでアンケート結果を参照すると, シーン 4 はほとんどの実験協力者が「悲しい」と回答している. 4 つ目のシーンの特性から考えて, 悲しいシーンによって実験協力者が感動し, RRV が高くなったのだと推測できる. これまでの知見では「わくわく」や「ドキドキ」すると RRV が低くなることがわかっている. 同じ High arousal であっても, わくわくするイベントによって起きる感動と, 悲しいイベントによって起こる感動で, RRV の動きが異なるのだと考えられる.

・シーン 5

「はらはら」が以下のように表現できる.

$$\begin{aligned} \text{はらはら} = & -1.057X_{\text{HR}, 1, 40} - 0.789X_{\text{RMSSD}, 20, 90} + 0.504X_{\text{RMSSD}, 10, 90} \\ & + 0.477X_{\text{RRV}, 10, 40} \end{aligned}$$

今回のモデルでは $X_{\text{HR}, 1, 40}$ の標準化係数が -1.057 となっており, HR が低くなると「はらはら」のスコアが高くなることを意味している. また, $X_{\text{RRV}, 10, 40}$ の標準化係数は 0.477 であり, RRV が高くなると「はらはら」のスコアが高くなることを意味している. 「はらはら」が「ドキドキ」がどちらも似たような感性だと仮定すると, 第 2 章や第 3 章で得た, 「ドキドキ感」によって RRV が低くなるというこれまでの知見とは真逆の結果である.

ただし, 上述した 2 つの変数はどちらも t=40 のものである. ストーリーを踏まえると, シーン 5 では「燃え盛る船に母親が乗り込んでしまう」というシーンが最も「はらはら」

するシーンだと推測できるが、 $t=40$ ではまだそのシーンに入らず、のどかなシーンである。解析対象とした区間が適当ではなかったのかもしれないし、あるいは、シーン 5 の前半で HR が低く、RRV が高かった人のほうが、終了後のアンケートでは「はらはら」と回答したのかもしれない。今後、検証が必要である。

・シーン 6

「感動的」が以下のように表現できる。

$$\text{感動的} = 0.403x_{\text{HR}, 30, 30}$$

「第 2 主成分」が以下のように表現できる。

$$\text{第 2 主成分} = -0.543x_{\text{HR}, 30, 30} + 0.459x_{\text{HR}, 10, 20}$$

「第 3 主成分」が以下のように表現できる。

$$\text{第 3 主成分} = 0.398x_{\text{HR}, 30, 30}$$

「感動的」のモデルでは $x_{\text{HR}, 30, 30}$ の標準化係数が 0.403 となっており、HR が高くなると「感動的」のスコアが高くなることを意味している。また、第 3 主成分（感動）のモデルの $x_{\text{HR}, 30, 30}$ の標準化係数は 0.398 であり、HR が高くなると第 3 主成分の主成分得点が高くなることを意味している。これらは、感動すると心拍数が上がるという生理学的知見に一致している。一方で、第 2 主成分のモデルでは 2 つの変数がどちらも HR で、係数の正負が逆になっている。変数の時間窓長の違いによる違いかもしれないし、対象とした時間の違いなのかもしれない。今後、検証が必要である。

予備実験よりも実験協力者を増やし、解析区間を絞り込んで変数を減らしたことで、予備実験で起きていたオーバーフィッティングは解消できた。一方で、1 つの感性語を目的変数にしたモデルではシーン 4 が、主成分を目的変数にしたモデルではシーン 1, 3, 5 で有意なモデルが得られなかった。今回は予備実験の結果に基づいて解析区間を 3 つ設定したが、解析区間の選定方法を変えたり、他の生理指標を追加したりすることで、より高い説明力を持ったモデルが得られる可能性はある。ただし、変数を増やす場合はさらに実験協力者を増やすなどし、オーバーフィッティングが起きないように対策する必要がある。また、時間窓長が 10 秒か 20 秒か 30 秒かという違いでも検出できる感性が異なる可能性もあり、今後の検証が必要だと考えられる。

また、重回帰分析の目的変数に主成分を採用したが、主成分を目的変数としたモデルはシーン 2, 4, 6 でしか得られなかった。これは、今回は予備実験の結果を元に解析対象の区間を設定していたからだと考えられる。予備実験では 1 つの感性語を目的変数としたモデル作成に有効な解析区間が示されており、主成分を目的変数としたモデル作成に有効な解析区間とは異なっていた可能性がある。

今回導出したモデルの変数には、前章までで「わくわく感」や「ドキドキ感」の指標とされた SDNN や RRV も採用されている。特にシーン 1 の「わくわく」モデルでは、「わくわく感」で SDNN や RRV が低くなるという第 4 章までの知見と一致した結果が得られた。こ

のことからも、今回得たモデルが妥当なものである可能性は高いと考えられる.

5.5 まとめ

生理指標を用いて感性を評価するモデルを作成するため、PSVR 用ソフト「allumette」を用いた評価実験を行った。実験協力者 33 名を対象としてアンケートの主成分分析を行った。また、25 名の実験協力者を対象として心電の解析を行い、感性のモデル化を行った。

結果、以下の知見を得た。

- アンケート結果を主成分分析した結果、「期待」「ドキドキ」「感動」の 3 つの主成分で、「allumette」の 6 つのシーンが説明できた。
- 予備実験の結果をもとに解析区間を設定し、変数を減らしたり、変数の算出方法を工夫した結果、オーバーフィッティングは解消でき、いくつか有用なモデルが得られた。モデルの中には、第 4 章までの知見と一致するものもあった。
- 今回はシーン 2,4,6 のみ、主成分を目的変数としたモデルが得られた。シーン 1,3,5 で得られなかった理由としては、今回設定した解析区間が予備実験の結果に基づいたもので、主成分を目的変数としたモデル作成には適さなかった可能性がある。
- 今後、解析区間の設定方法を改良したり、生理指標を算出する時間窓長のバリエーションを増やしたりすることで、より信頼性の高い感性モデルを得られる可能性がある。ただし、オーバーフィッティングには注意する必要がある。

第6章 考察

2016 年は VR 元年と呼ばれ、VR の技術は目覚ましい発展を遂げている。HMD の売り切れが続いたり、VR を使ったイベントが多く開催されたりしており、VR コンテンツに対する注目の高さがうかがえる。これらは「驚きの体験」や「レア体験」といった VR ならではの魅力を打ち出すことで、高い人気を博している。

また近年、「感性価値」が注目されている。感性価値に着目して製品やシステムを評価するには、主にアンケートが用いられる。しかし、アンケート調査には提示を中断してシステムを評価する必要がある等のデメリットがあった。本研究では、人の感性と生体信号の関係に着目し、以下の3つを目的として生体信号を用いた様々な VR システムの感性評価を行った。

- VR システムでも、先行研究で提案された生理指標（脳波の β/α 、心電の RRI 平均）が有用かを確認し、さらに新たな生理指標を探る
- VR システムの「わくわく感」以外の感性も生体信号で計測する
- 生理指標を用いた感性のモデルを構築する

第1の目的に対し、第2章では脳波の β/α が「わくわく感」の有用な指標であることが確認できた。また、第2章から第4章までの研究で有用な心電の生理指標 (SDNN, RRV) を提案できた。様々な VR システムを評価したが、そのどれにおいても心電の SDNN と RRV は「わくわく感」の有用な指標だった。

第2の目的に対し、第4章では「ドキドキ感」、5.3 節では「心が和む」「悲しい」「はらはら」など7つの感性的状態の評価を行った。「ドキドキ感」については心電の RRV が有用な指標であることを明らかにした。7つの感性的状態の評価では、RMSSD が有用な生理指標となる可能性が示唆された。

第3の目的に対し、第5章で生理指標による7つの感性的状態のモデル化を行った。5.3 節で抽出した、感性を生起されたと考えられるシーンの秒数に着目し、5.4 節ではそれを利用して感性モデルの構築を行った。7つの感性的状態で有用な生理指標モデルの信頼性には改善の余地があるものの、第4章までの知見とも一致するモデルが得られたことから、有用なモデルが得られたと考えられる。

これらの結果によって、VR システムを心電のみで客観的かつ定量的に評価できる可能性を示した。本研究で提案した指標やモデルを使うことで、VR システムの評価や改良等に貢献できると考える。例えば VR システムを開発する際に、製作者が期待する感情を生起できているのかを連続的かつ定量的に評価することができる。また、その結果をリアルタイムにフィードバックさせることで、個人の好みに合わせてよりわくわくする、あるいはより悲しさを感じるようなシステムを開発することもできる。

さらに、「感性価値」が重要なのは VR システムだけではない。Google や Amazon 等が AI スピーカーを発売したり、自動運転の実現が現実味を帯びたりしている中で、コンピュータと人間の関係も変化しつつある。便利な機能だけでなく、そうしたシステムに対して人

間がどう感じるのか、人それぞれ違う感性に合わせて、どのようにシステムを人間に歩み寄らせるかが重要だと考える。本研究で提案した心電の生理指標や感性のモデル化は、そういうシステムの感性評価や改善にも応用可能である。本研究で提案した指標は心拍数から算出されるものであり、評価対象とするシステムによっては、近年普及しつつあるウェアラブルな心拍計等を用いることも可能だと考える。本研究で得られた実験方法や解析方法等の知見を広く適用していくことで、VR システム以外の様々なシステムや製品の「わくわく感」等を計測し、製品評価や改善に活用されることが期待される。近年は IT 関連のデバイスのほとんどが海外企業に席卷されてしまったが、日本ならではの感性価値を付加する取り組みに、本研究の成果の活用が期待される。また、そのような製品を販売する際にも、本研究の成果は活用できる。近年はニューロマーケティングという、消費者の脳活動から消費者心理や行動を解明してマーケティングに応用する手法も導入されつつある[68]。マーケティングにおいても、本研究で扱った「わくわく感」のような感性は重要だと考えられ、感性を心拍のみでモデル化した本研究の意義は大きい。

さらに、システムや製品に限らず、人と人とのコミュニケーションやサービスにおいても、心電を用いた感性評価を行い、より良い体験が得られるように改良できると考えられる。第 1 章でも述べたように、ストレス等のネガティブな感性や、リラックスなどのポジティブで静的な感性を生体信号で計測する研究は多々あるものの、本研究の「わくわく感」等のようにポジティブで動的な感性を扱った研究はまだ少ない。ポジティブで動的な感性を扱い、心電のみで感性評価を行うための生理指標や感性モデルを提案したことが、本研究の新規性であり、様々な製品の「感性価値」の向上に寄与できると考える。

一方で、医学への発展の可能性もある。例えば、あるシステムによって一般的な人がどのような感性を生起され、どのような生理的な反応が起こるかが明確になれば、著しく異なる反応を示す人を発見できる。それにより、うつ病等の精神疾患の発見に役立つ可能性が考えられる。

第7章 結論

2016 年は VR 元年と呼ばれ、VR 技術は目覚ましい発展を遂げている。2016 年に複数の民生品の HMD が発売されたことから、多数のゲームソフトが発売され、人気を博している。このような VR のゲーム業界における盛り上がりは、そのエンターテインメント性や楽しさ、「わくわく感」等がユーザに評価された結果だと考える。

また、近年の商品価値の新しい評価軸として「感性価値」が注目されている。従来の日本のものづくりの価値観は、性能と信頼性、価格で構成されていた。そこに「感性価値」を第 4 の価値として加える、新しいものづくりの取り組みが行われている。2010 年からは経済産業省が「文化産業」立国に向けた取り組みを進めたり、現在は「クールジャパン」と称した取り組みを進めたり、日本の映画やアニメーション作品のソフトパワーを強化することで「日本の良さ」を世界に広げようとしている。

このような「感性価値」に着目して VR システムやコンテンツを評価するためには、主にアンケートなどから、ユーザの要求や製品の問題点を分析・評価して、製品設計に反映させることが多い。アンケートのような主観的評価は、利用するうえで多くのメリットを有する。しかし、製品評価の際にはいくつかのデメリットがあり、特にコンテンツを中断して評価する必要があるという点が問題だった。

そのような問題に対し、生体信号を用いて感性評価を行う研究が多数存在する。ただし、それらの研究のうち多くはリラックス等のポジティブで静的な感性、あるいはストレスや退屈等のネガティブな感性だった。そこで本研究では、以下の 3 点を目的とした。

- VR システムでも、先行研究で提案された生理指標（脳波の β/α 、心電の RRI 平均）が有用かを確認し、さらに新たな生理指標を探る
- VR システムの「わくわく感」以外の感性も生体信号で計測する
- 生理指標を用いた感性のモデルを構築する

本研究で扱った感性を図 7.1 に示す。以降、この図に沿って各章の結果をまとめる。

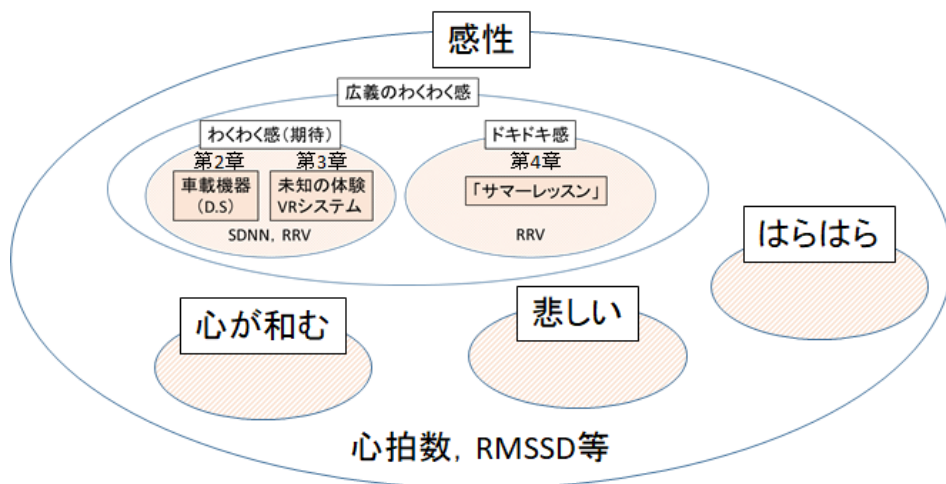


図 7.1 本研究で扱った感性

まず第2章では、期待による「わくわく感」に着目し、生体信号を用いてドライバースミュレータ運転中の「わくわく感」を評価する実験を行った。ドライビングシミュレータを使用して、車載機器のコンテンツの「わくわく感」を評価した。その結果、コンテンツの設計通りに実験協力者はわくわくし、心電のSDNNとRRVが「わくわく感」の検出に有効であることが示唆された。また、生体信号の測定方法、解析手法等についての知見を得ることもできた。

第3章では、未知の体験ができるVRシステムの「わくわく感」評価を行った。その結果、実験協力者は未知の体験にわくわくし、その「わくわく感」が心電のSDNNとRRVで検出できることがわかった。第2章で提案した生理指標が今回のシステムに適用できたことで、他のシステムの「わくわく感」評価にも有効である可能性が示唆された。

第4章では、期待による「わくわく感」から範囲を広げ、広義の「わくわく感」に含まれると予想される「ドキドキ感」を評価するため、サマーレッスンプレイ時の「ドキドキ感」評価を行った。第3章までの「わくわく感」評価で得られた指標や知見をもとに実験を行った結果、「ドキドキ感」の検出にはRRVのみが有用であることがわかった。また、ゲーム内のドキドキするイベントよりも、実験協力者のパーソナルスペースの大きさの方が、より「ドキドキ感」への影響が強いことが明らかになった。さらに、実験協力者がアンケートに正直な気持ちを回答しない、あるいは実験協力者自身も気づかない場合であっても、生理指標で「ドキドキ感」を検出できる可能性が示唆された。

第5章では、「わくわく」や「ドキドキ」以外の感性も評価するために、「allumette」視聴時の感性評価を行った。その結果、「わくわく」「心が和む」「悲しい」「はらはら」に対して、高い説明力を持つモデルを提案することができた。心電の指標のみでも、様々な感性を説明できる可能性が示唆された。このモデルを用いることで、実験協力者の心電のみから感性を予測することができる。

今回のモデルの変数には時間情報が含まれているが、評価対象のコンテンツで特定の感性が生起されるような箇所が予めわかっているならば、その時間情報を変数に代入することでこのモデルが使用できると考えられる。このモデルを使うことで、ユーザの心電のみから、評価対象のコンテンツがどの程度どの感性を生起させたのかが予測できる。

本研究の3つの目的については、以下のように達成した。

第1の目的に対し、先行研究の「わくわく感」の指標の有用性を確認できた。また、新しく有用な心電の生理指標(SDNN, RRV)を提案できた。

第2の目的に対し、「ドキドキ感」「心が和む」「悲しい」「はらはら」など7つの感性的状態の評価を行った。「ドキドキ感」については心電のRRVが有用な指標であることを明らかにした。7つの感性的状態の評価では、RMSSDが有用な生理指標となる可能性が示唆された。

第3の目的に対し、生理指標による7つの感性的状態のモデル化を行った。7つの感性的状態で有用な生理指標モデルの信頼性には改善の余地があるものの、第4章までの知見とも一致するモデルが得られたことから、有用なモデルが得られたと考えられる。

本研究では、人の感性と生体信号の關係に着目し、生体信号を用いて様々なシステムの

感性評価を行ってきた。その結果、有用な心電の生理指標やモデルを提案できた。本研究で提案した指標やモデルを使うことで、VR システムの製作者が期待する感情を生起させられているのかを連続的かつ定量的に評価することができる。また、本研究の知見は VR システムだけでなく、様々なシステムにも適用できると考える。本研究のように、生体信号によってポジティブで動的な感性を測定している研究はまだ少ない。それを心電のみで計測するため、生理指標や感性モデルを提案した。これが本研究の新規性である。本研究の成果が日本のものづくりにおける感性価値の創出に寄与し、魅力的な製品やシステムが増えていくことが期待される。さらに、製品やシステムを販売する際のニューロマーケティングや医学への発展など、本研究の成果の多岐にわたる分野への応用も期待される。

謝辞

本論文は、筆者が芝浦工業大学大学院理工学研究科博士（後期）課程機能制御システム専攻在学中に行った研究をまとめたものです。この間、多数の方々に多大なご指導、ご助言、ご協力を頂きました。

この研究を進めるにあたっては、指導教員である大倉典子教授には、研究の進め方や考え方、実験方法や解析手法のアドバイスに加え、各種原稿の執筆やプレゼンテーションの練習に至るまで、あらゆる面で熱心にご指導いただきました。また、修士課程を終えて一旦は社会人となった私の将来について親身に相談に乗り、博士課程に入学して研究の道に進む方向に背中を押してくださいました。幾度となく参加した学会、国際会議の思い出や、6年以上に及ぶ研究室での日々など、ここには書き尽くせないほど多くのものをいただきました。

第2章でのドライビングシミュレータを使った実験では、後輩の原田圭裕君、木代優君、富山剛君、谷友貴君、長谷川裕也君が主体的に実験を実施してくれました。長きに亘る困難な日々を乗り越えて、本当に素晴らしい成果をあげてくれたと思います。また、研究の機会と実験環境を提供して下さったアルパイン株式会社の方々、合同会社オラニエの中山記男様、株式会社ユニテックの相川健様にも深く感謝を申し上げます。本研究とは直接の関係はないものの、車載機器の研究を脈々と受け継いできた研究室OBの方々にも、この場を借りて御礼申し上げます。

第3章の実験は、革新的なデバイスと「カルド・フレッド」というゲームを作ってくれた後輩の磨田茂樹くん、安永貴隆君なしではありえませんでした。私には理解しきれないような難解な配線やコーディングには度肝を抜かれました。

第4章の実験では、実験者として協力してくれた留学生の Tipporn Laohakangvalvit さんのおかげで、無事にパーソナルスペースの測定ができました。真顔で実験協力者に歩み寄るという難しい要請にも快く応じてくださいました。

第5章の実験では、実験者として几帳面に実験を遂行してくれた後輩の三浦直樹君に感謝します。当初は勝手がわからずに困惑していた様子でしたが、後半は貫禄すら感じるほどの手際の良さで実験を進めており、非常に頼りになりました。貴重な女性の実験協力者を集めて下さった後輩の滝沢葵さんや西谷知里さんにも心から感謝いたします。

本研究は、生体信号を扱う特性上、実験協力者には不快な思いを我慢して電極を付けていただくことが多くありました。彼らが快く実験に協力して下さったおかげで、有意義な結果を得ることができました。ありがとうございました。

また、芝浦工業大学工学部情報工学科の木村昌臣先生には博士論文の副査として、同学建築学部伊藤洋子先生、同学工学部通信工学科の堀江亮太先生、産業総合研究所の坂本隆様には審査委員として大変お世話になりました。本論文をまとめる上で有用な意見を多数頂きました。

最後に、芝浦工業大学工学部情報工学科情報システム工学研究室の皆さんには、研究面・生活面で毎日のようにお世話になりました。特に、修士まで進んだ後輩の臼田啓佑君、渋谷光君、原田圭裕君、佐野浩也君、谷津佑亮君、森下和君、柳岡祐太君、鯉沼佳希君、富部

剛史君，宮本一輝君，山崎凌平君には公私共に大変お世話になりました．研究の相談だけでなく，研究室の運営や気分転換など，彼らがいなければ研究活動はきっと途中で頓挫していたと思います．

以上のように，本研究は，多くの方々のご協力を得て成り立ったものです．ここに改めて謝意を表します．

参考文献

- [1] 日経電子版：VR・AR元年 拡張する市場，
<http://www.nikkei.com/article/DGXMZ007598660U6A920C1K14800/>，（参照日 2017 年 4 月 10 日）。
- [2] 日本バーチャルリアリティ学会編：バーチャルリアリティ学-第1版，（株）工業調査会，2010。
- [3] Sony Interactive Entertainment Inc.：PlayStation VR，
<http://www.jp.playstation.com/psvr/>，（参照日 2017 年 9 月 22 日）。
- [4] HTC Corporation：VIVE，<https://www.vive.com/jp/>，（参照日 2017 年 9 月 22 日）。
- [5] Oculus VR, LLC.：Oculus，<https://www.oculus.com/>，（参照日 2017 年 9 月 22 日）。
- [6] Road to VR: PlayStation VR Pre-Orders Had “Quickest Sellout in GameStop’s History”，
<https://www.roadtovr.com/playstation-vr-psvr-had-quickest-sellout-in-gamestops-history/>，（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [7] SANKEI DIGITAL INC：ソニー PS4 販売、累計 7800 万台 ネット配信柱に成長図る，
<http://www.sankeibiz.jp/business/news/171004/bsb1710040606003-n1.htm>，（参照日 2017 年 11 月 1 日）。
- [8] DIGI-CAPITAL：After mixed year, mobile AR to drive \$108 billion VR/AR market by 2021，
<https://www.digi-capital.com/news/2017/01/after-mixed-year-mobile-ar-to-drive-108-billion-vrar-market-by-2021/>，（参照日 2017 年 10 月 20 日）。
- [9] DMM：DMM VR THEATER，<https://vr-theater.dmm.com/>，（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [10] バンダイナムコエンターテインメント：VR ZONE Shinjuku，<https://vrzone-pic.com/>，（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [11] IGN Entertainment, Inc.：<http://jp.ign.com/cedec-2016/6144/news/vr-zone-project-i-can/>，（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [12] 経済産業省：感性価値創造イニシアティブー第四の価値軸の提案 感性☆21 報告書，経済産業調査会，東京，2007。
- [13] METI/ 経済産業省：感性価値創造活動の推進，
http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/creative/kansei.html
（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [14] METI/ 経済産業省：「文化産業」立国に向けて，
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100405a04j.pdf>
（参照日 2017 年 10 月 19 日）。
- [15] METI/ 経済産業省：クールジャパン政策について，
http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/creative/file/171012CooljapanseisakuOct.pdf，（参照日 2017 年 11 月 1 日）。
- [16] METI/ 経済産業省：クリエイティブ産業海外展開強化に向けた調査報告書，
http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/creative/fy23_contents_report.pdf（参照日 2017 年 10 月 19 日）。

- [17] Ohkura, M. et al.: Measurement of "wakuwaku" feeling generated by interactive systems using biological signals, The Proceedings of the Kansei Engineering and Emotion Research International Conference 2010 (KEER2010), pp.2293-2301, 2010.
- [18] Takahashi, N. et al.: Proposal for Driver Distraction Indexes Using Biological Signals, Lect Notes Comput Sci, Vol. 8005, pp.647-653, 2013.
- [19] 大倉典子: 安心・快適・わくわく感の発生機序の解明について, 日本機械学会 2009 年次大会講演資料集, 2009-9, pp.129-130, 2009.
- [20] 後藤幸夫: 痛みとリハビリテーション 痛みとリハビリ効果: 心電情報スペクトル解析法による評価, 麻酔, 64(7), pp.741-751, 2015.
- [21] Wang, C. et al.: An Emotional Analysis Method Based on Heart Rate Variability, pp.504-107, Proceedings of 2012 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, 2012.
- [22] Kido, S. et al.: Development and Evaluation of a Smartphone Application for Self-estimation of Daily Mental Stress Level, International Journal of Affective Engineering, 2016.
- [23] 熊王康宏他: 地域ブランド創出におけるメロンの購買評価と脳波に関する感性評価研究, 日本感性工学会論文誌, 15(1), pp.55-64, 2016.
- [24] 中村 透他: 照明刺激環境下のくつろぎ感に関する心理生理学的研究, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J96-D(6), pp.1536-1544, 2013.
- [25] Gao, Y. et al.: Deep Learning of EEG Signals for Emotion Recognition, pp.1-5, Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), 2015 IEEE International Conference, 2015.
- [26] Zheng, W. et al.: EEG-based Emotion Classification using Deep Belief Networks, pp.1-6, 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2014.
- [27] J.A.Russell: A circumplex model of affect, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.36, pp.1161-1178, 1980.
- [28] Kensinger, E. A.: Remembering emotional experiences: The contribution of valence and arousal, Reviews in the Neurosciences, 15 (4), pp.241-251, 2004.
- [29] Harada, Y. et al.: Content evaluation of exciting feeling by using biosignals, 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2014), vol.164, pp.6931-6936, 2014.
- [30] 原田圭裕他: 車載機器の感性評価の研究(第4報), 自動車技術会 2014 年春季大会 学術講演会前刷集, Vol.11, No.14, pp.19-21, 2014.
- [31] 原田圭裕他: 車載機器の感性評価の研究(第5報), 自動車技術会 2014 年秋季大会 学術講演会前刷集, No.119-14, pp.9-12, 2014.
- [32] 武田博直他: インタラクティブシステムと感性 -わくわく感の演出-, 電子情報通信学会誌, No.92-11, pp.979-981, 2009.
- [33] Ohkura, M. et al.: Measurement of Wakuwaku Feeling of Interactive Systems

- Using Biological Signals, Emotional Engineering, pp.327-343, Springer, 2011.
- [34] アルパイン株式会社：ビッグ X EX シリーズ,
http://www.alpine.co.jp/whatsnew/20121026_02.html, 2012 年 10 月.
- [35] マツダ株式会社：新世代カーコネクティビティシステム「Mazda Connect」,
<http://www2.mazda.com/ja/publicity/release/2013/201309/130924b.html>, 2013 年 9 月.
- [36] 国土交通省：平成 24 年度国土交通白書, 第 2 章第 3 節, 2013.
- [37] 株式会社電通：d-camp「クロスメディア行動調査」,
<http://www.dentsu.co.jp/crosswitch/service/ss01.html>, 2012.
- [38] 四元正弘：「若者の車離れ」に関する現状分析と打開可能性, LATSS review, vol. 37, No. 2, pp. 123-131, 2012.
- [39] 大倉典子他：傾斜型投影ディスプレイシステムにおける空間の印象の比較：実環境とバーチャル環境との実験結果の差異, 感性工学研究論文集, 6(2), pp. 45-61, 2006.
- [40] 伊藤弘大他：生理指標を用いた車載機器の情報提示による「わくわく感」の評価ー車外風景に関する事前情報付与の影響の HRV 解析ー, 日本感性工学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 321-331, 2017.
- [41] Yoshihiro Harada, Haruhiko Nakatsuji, Yousuke Tate, Hiroki Seto, Takeshi Aikawa, Kodai Ito, Michiko Ohkura: Evaluation of Feelings of Excitement in Driving Simulator by ECG, Proceedings of the 10th SEATUC Symposium, OS02-26, pp. 37, 2016.
- [42] 原田圭裕他：車載機器の感性評価の研究（第 7 報）～ D.S における運転シーンに着目した「わくわく感」の生理指標による評価(その 2) ～, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演予稿集, vol. 92, S418, 2015.
- [43] 小野正広：日本語オノマトペ辞典, 小学館, 2007.
- [44] 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門編：人間 計測ハンドブック, pp. 66-71, pp. 87-91, 朝倉書店, 2003.
- [45] 新村出：広辞苑（第 6 版）, 岩波書店, 2008.
- [46] Kodai Ito, Yoshihiro Harada, Tomoki Tani, Yuya Hasegawa, Haruhiko Nakatsuji, Yousuke Tate, Hiroki Seto, Takeshi Aikawa, Norio Nakayama, and Michiko Ohkura: Evaluation of feelings of excitement caused by auditory stimulus in driving simulator using biosignals, Proceedings of the AHFE International Conference on Affective and Pleasurable Design, vol. 483, pp. 231-240, 2016.
- [47] Kodai Ito, Yoshihiro Harada, Tomoki Tani, Yuya Hasegawa, Haruhiko Nakatsuji, Yousuke Tate, Hiroki Seto, Takeshi Aikawa, Norio Nakayama, and Michiko Ohkura: Evaluation of feelings of excitement caused by auditory stimulus in driving simulator using the combinations of multiple physiological indexes, Proceedings of the 35th JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology, pp. 378-385, 2016.
- [48] 伊藤弘大, 原田圭裕, 谷友貴, 長谷川裕也, 中辻晴彦, 舘陽介, 瀬戸洋紀, 相川健, 中山記男, 大倉典子：音楽提示による「わくわく感」を利用した覚醒水準の低下の防

- 止－脳波と眼球運動を利用して－， 日本人間工学会第 57 回大会講演集， Vol. 52, Supplement, pp. 330-331, 2016.
- [49] 伊藤弘大，原田圭裕，谷友貴，長谷川裕也，中辻晴彦，舘陽介，瀬戸洋紀，相川健，中山記男，大倉典子：車載機器の感性評価の研究（第 11 報）－音楽提示による運転者の「わくわく感」の生理指標による詳細な解析－，自動車技術会 2016 年秋季大会学会講演予稿集，No. 1-140, pp. 1060-1064, 2016.
- [50] 原田圭裕他：車載機器の感性評価の研究（第 10 報）～車外風景への情報付与による「わくわく感」の評価～，第 11 回日本感性工学会春季大会予稿集，G7-4, pp. 1-5, 2016
- [51] Kodai Ito, Shigeki Usuda, Kiryu Yasunaga, Michiko Ohkura: Evaluation of "Feelings of Excitement" Caused by a VR Interactive System with Unknown Experience Using ECG, Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Affective and Pleasurable Design, vol. 585, pp. 292-302, 2017.
- [52] 伊藤弘大，磨田茂樹，安永貴隆，大倉典子：未知の体験ができる VR システムの心電による「わくわく感」評価，自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集，No. 104-17, pp. 2683-2687, 2017.
- [53] 4DX: Here come the feelies, <http://www.bfi.org.uk/news/sightsound/4dx-here-come-feelies>,.
- [54] 馬場哲晃他：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その手法の検討と開発，情報処理学会研究報告，Vol. 2010-EC-17, No. 11, pp. 1-6, 2010.
- [55] LEAP MOTION, INC. : Leap Motion, <https://www.leapmotion.com/> (参照日 2017 年 4 月 3 日).
- [56] BANDAI NAMCO Entertainment Inc. : サマーレッスン, <http://summer-lesson.bn-ent.net/>, (参照日 2017 年 7 月 28 日) .
- [57] 伊藤弘大，大倉典子：心電を用いた VR システムの感性評価の研究 ～ 「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」評価 ～，信学技報，vol. 117, no. 30, HIP2017-26, pp. 173-175, 2017.
- [58] 伊藤弘大，大倉典子：心電を用いた VR システムの感性評価の研究～「サマーレッスン」プレイ時の「ドキドキ感」の男女間での比較～，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集，2017, 301-305, 2017.
- [59] Kodai Ito, Michiko Ohkura: Study on Affective Evaluation of VR System using ECGs: Evaluation of Feelings of Excitement while playing Summer Lesson, HCII2017 poster session, 2017.
- [60] 田中政子：Personal Space の異方的構造について，教育心理学研究，21(4), pp. 223-232, (1973).
- [61] PENROSE STUDIOS: INTRODUCING ALLUMETTE, <http://www.penrosestudios.com/stories/2016/4/13/introducing-allumette> (参照日 2017 年 9 月 22 日).
- [62] VR BOUND LTD. : Winners 2017, <https://awards.vrbound.com/winners-2017/>, (参照日 2017 年 11 月 1 日)

- [63] Guidelines. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Eur. Heart. J., 17(3), p. 354-381, 1996.
- [64] 高瀬凡平：心拍変動でなにがわかるか，日本集中治療医学会雑誌，Vol. 12(2005)，No. 2，pp. 89-92，2005.
- [65] 松下昌之助：心拍変動解析を用いた視覚障害と理学療法臨床実習のストレス評価，筑波技術大学テクノレポート，vol. 21(2)，pp. 56-60，2014.
- [66] 吉岡利忠他：心拍の動揺から見た精神的作業負荷の様相，疲労と休養の科学，16(1)，pp. 27-38，2001.
- [67] 伊藤弘大，三浦直樹，大倉典子：感性評価の主成分分析による PSVR コンテンツのシーン分類，日本感性工学会論文誌，Vol. 17，No. 2，2018.
- [68] 熊倉広志：ニューロマーケティングの現状，課題そして展望，オペレーションズ・リサーチ 61(7)，pp. 421-428，2016.

付録

付録 A-1

・研究協力依頼書

実験へのご協力をお願い

研究責任者 芝浦工業大学工学部教授 大倉典子

この実験は、自動車運転時のドライビングシミュレータのコンテンツに関するデータ取得にご協力いただくものです。以下の説明文をお読みいただき、充分納得していただいた上で、実験に参加されるかどうかの判断をしていただければ幸いです。

この説明文書を読まれて、納得の上でこの実験にご協力いただける場合には、同意書に署名をお願いいたします。実験に参加されるかどうかは、あなたの自由意思でお決め下さい。

この同意は、実験が終了するまでは、いつでも撤回できます。

1. 実験の目的：ドライビングシミュレータのコンテンツによって得られる生体信号のデータの収集及びアンケートへの回答
2. 実験に要する時間：説明を含め原則として2時間以内（1時間を超える場合は途中休憩あり）
3. 実験内容：
 - A) ドライビングシミュレータまたは実車で、運転操作等を行っていただきます。
 - B) 同時に、生体信号（心拍、脳波、皮膚電気抵抗、視線追跡データ）を計測させていただきます。
 - C) そのため、センサーやトランスデューサを体に装着していただきます。
4. 実験協力者の視力：裸眼もしくはソフトコンタクトレンズ・メガネ装着時で運転に支障が出ない方。
5. 実験協力者の健康状態：心臓に持病又は負担がある方は心拍を正常に計測できないのでご遠慮ください。
6. 苦痛や危険性：実験に苦痛や危険性は伴いませんが、実験中、もしも気分が悪くなったときは、ただちに実験を中止し、状況によっては保健室にお連れします。その後は保健室の指示に従います。
7. 結果の取り扱い：実験結果は、この研究の目的以外には使用しません。研究の成果は、解析の上、論文および学会における口頭発表等で公表することがあります。
8. 個人情報保護：視線追跡装置により目のみの動画を取得します。個人を特定できるような情報は取り扱いません。
9. 実験協力者への利益：実験にご協力いただく方が、この研究から直接的な利益を受けることはありません。

本実験の担当者は以下の通りです。

芝浦工業大学工学部情報工学科情報システム工学研究室（内線 8508）（外線 03-5859-8508）

担当者：原田圭裕、木代優、富山剛

・同意書

同意書

研究責任者（大倉典子） 殿

以下の各項目について、実験担当者から別紙説明文書により説明を受けて納得しましたので、アルパインでの D.S 実験に被験者として協力することを同意いたします。

説明を受け、納得した項目の□をチェックして下さい。

1. ☐ 実験の目的
2. ☐ 実験に要する時間
3. ☐ 実験内容
4. ☐ 苦痛や危険性
5. ☐ 結果の取り扱い
6. ☐ 個人情報保護
7. ☐ 被験者への利益

同意日：20__年 月 日

同意者署名_____

説明日：20__年 月 日

説明者氏名_____

質問①：コンテンツを体験して抱いた気持ちを以下の項目でお答えください。

	まったく感じない	感じない	あまり感じない	どちらでもない	やや感じる	感じる	とても感じる
記入例 面白さ				○			
1 面白さ							
2 わくわく							
3 ドキドキ							
4 いらいら							
5 リラックス							
6 期待感							
7 ぞくぞく							

質問②：コンテンツを体験中、運転に身体的・精神的な負担を感じましたか

	まったく感じない	感じない	あまり感じない	どちらでもない	やや感じる	感じる	とても感じる
1 身体的負担							
2 精神的負担							

付録 A-2

・アンケート用紙

年齢：____歳

協力者番号

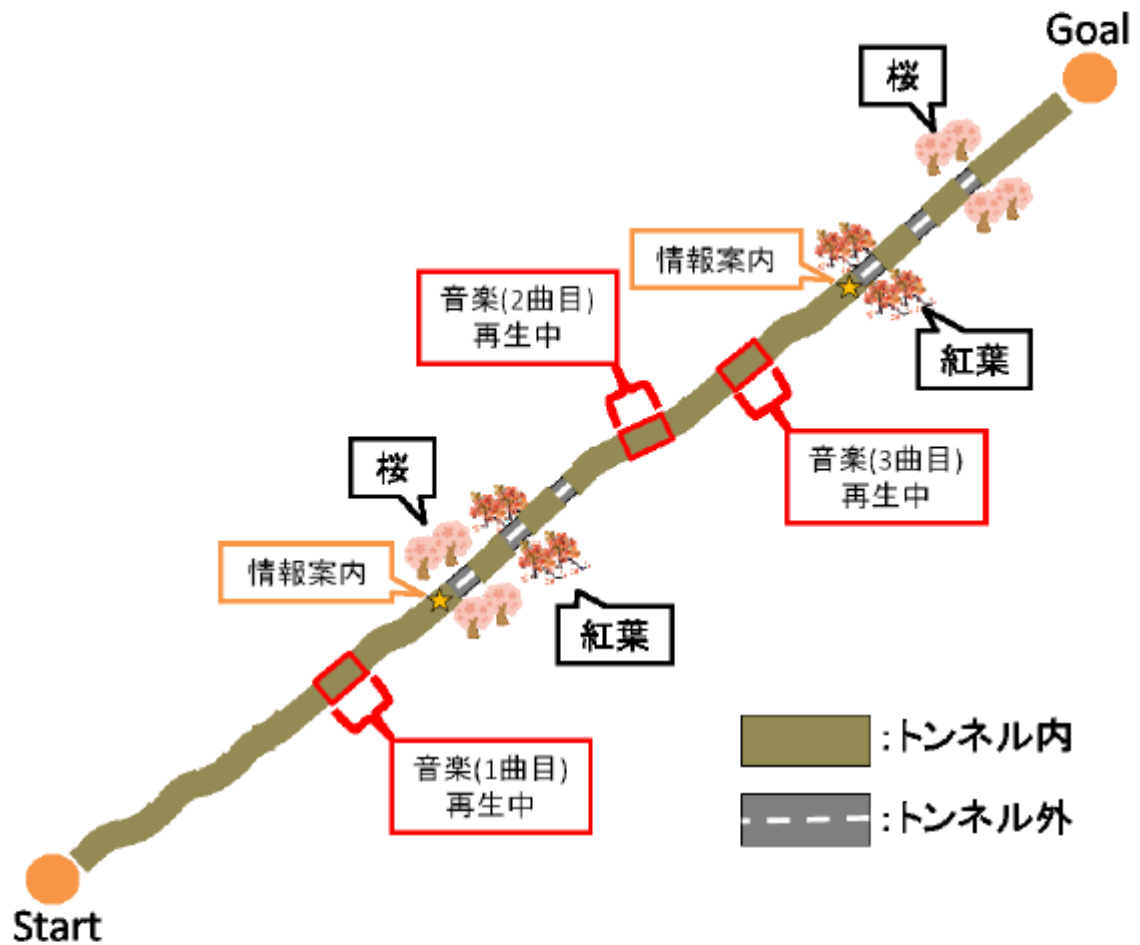
自動車の運転頻度 : 1ヶ月あたり____回程度

以下の各項目についてお答えください。

質問①：ドライビング・シミュレーターでの走行中、わくわくすることはありましたか？

【わくわくすることが(あった ・ なかった)】

質問②：①であったと回答した方は、以下のコースの全体図において、覚えている範囲でわくわくした所を○でかこんでください(複数可)。

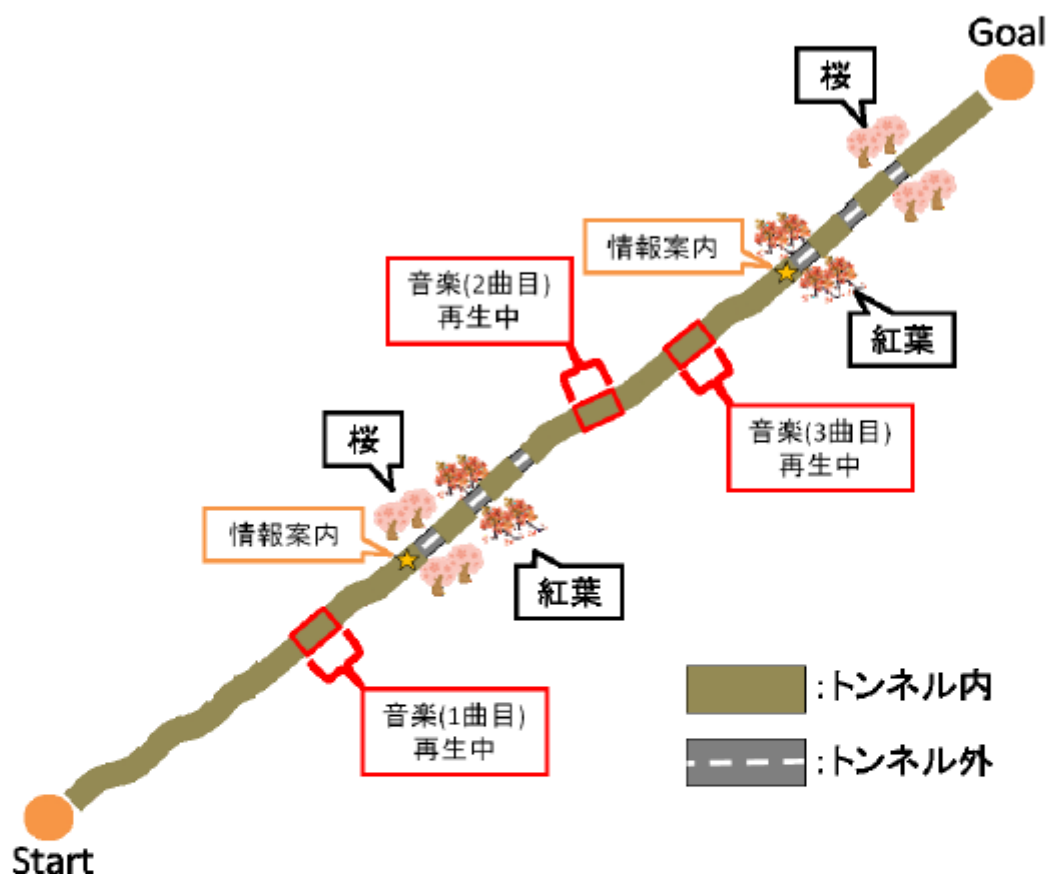


【裏面へ続きます】

質問③：ドライビング・シミュレーターでの走行中、眠くなることはありましたか？

【眠くなることが(あった ・ なかった)】

質問④：③であったと回答した方は、以下のコースの全体図において、覚えている範囲で眠くなった所を○でかこんでください(複数可)。



質問⑤：再生された音楽について、ドライビング・シミュレーターの運転中に聞いてワクワクする曲はありましたか？曲名とその理由を以下に記述してください(複数回答可)。

【曲名：()】

【理由】

質問⑥：桜や紅葉の風景が見える直前のトンネル内についてお聞きます。音声による情報案内があった時となかった時で、気持ちに違いはありましたか？また、それはなぜですか？

【気持ちに違いが(あった ・ なかった)】

【理由】

付録 B

・研究協力依頼書

実験へのご協力をお願い

研究責任者 芝浦工業大学工学部教授 大倉典子

この実験は、VR システムのコンテンツに関するデータ取得にご協力いただくものです。以下の説明文をお読みいただき、充分納得していただいた上で、実験に参加されるかどうかの判断をしていただければ幸いです。

この説明文書を読まれて、納得の上でこの実験にご協力いただける場合には、同意書に署名をお願いいたします。実験に参加されるかどうかは、あなたの自由意思でお決め下さい。

この同意は、実験が終了するまでは、いつでも撤回できます。

1. 実験の目的：VR システムのコンテンツによって得られる生体信号のデータの収集及びアンケートへの回答
2. 実験に要する時間：説明を含め原則として1時間以内（2時間を超える場合は途中休憩あり）
3. 実験内容：
 - A) HMD を装着し、ゲームをプレイしていただきます。
 - B) 同時に、生体信号（心拍）を計測させていただきます。
 - C) そのため、センサーを体に装着していただきます。
 - D) 個人が特定できる情報を除いて、実験風景を記録する場合があります。
4. 実験協力者の視力：裸眼もしくはソフトコンタクトレンズ・メガネ装着時でゲームプレイに支障が出ない方。
5. 実験協力者の健康状態：心臓に持病又は負担がある方は心拍を正常に計測できないのでご遠慮ください。
6. 苦痛や危険性：実験に苦痛や危険性は伴いませんが、実験中、もしも気分が悪くなったときは、ただちに実験を中止し、状況によっては保健室にお連れします。その後は保健室の指示に従います。
7. 結果の取り扱い：実験結果は、この研究の目的以外には使用しません。研究の成果は、解析の上、論文および学会における口頭発表等で公表することがあります。
8. 個人情報保護：個人を特定できるような情報は取り扱いません。
9. 実験協力者への利益：実験にご協力いただく方が、この研究から直接的な利益を受けることはありません。

本実験の担当者は以下の通りです。

芝浦工業大学工学部情報工学科情報システム工学研究室（内線 8508）（外線 03-5859-8508）

担当者：伊藤弘大（TEL 090-8961-3740）

・同意書

同意書

研究責任者： 芝浦工業大学工学部 教授
太倉 典子 殿

研究課題名：VR システムの感性評価に関する研究

私は、以下の各項目について、実験担当者から別紙説明文書により説明を受けて納得しましたので、上記の研究のための実験に参加することに同意いたします。

説明を受け、納得した項目の□をチェックして下さい。

- 10. ☐ 実験の目的
- 11. ☐ 実験に要する時間
- 12. ☐ 実験内容
- 13. ☐ 苦痛や危険性
- 14. ☐ 結果の取り扱い
- 15. ☐ 個人情報保護
- 16. ☐ 被験者への利益

同意日： 年 月 日

実験協力者署名： _____

説明日： 年 月 日

説明担当者署名： _____

◆事前質問

- A. 「手から炎を出す」ことを夢見たり憧れたことはありますか はい・いいえ
- B. 「手から氷を出す」ことを夢見たり憧れたことはありますか はい・いいえ

◆事後質問

- A. 今までに、このコンテンツ以外の「手から炎を出すコンテンツ」を体験したことはありますか
はい・いいえ

「はい」と答えた方は、そのコンテンツの名前を教えてください

[]

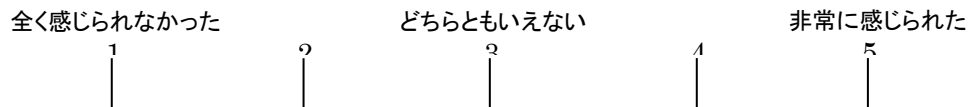
- B. 今までに、このコンテンツ以外の「手から氷を出すコンテンツ」を体験したことはありますか
はい・いいえ

「はい」と答えた方は、そのコンテンツの名前を教えてください

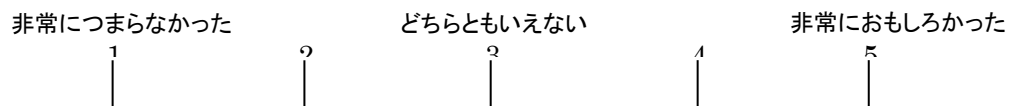
[]

以下の質問に対して 1 から 5 のいずれかに丸を付けてください。

- C. 手から炎を出したときに熱さを感じましたか



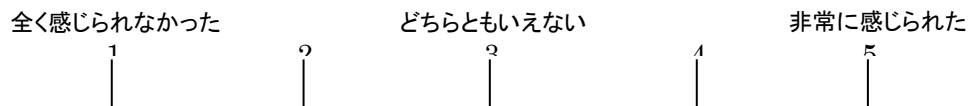
- D. 手から炎を出す体験はおもしろかったですか



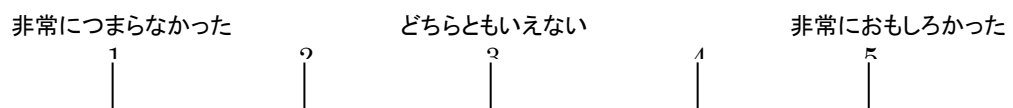
その理由

[]

- E. 手から氷を出したときに冷たさを感じましたか



- F. 手から氷を出す体験はおもしろかったですか



その理由

[]

G. 手を握る操作は思い通りにできましたか

全く思い通りにできなかった

どちらともいえない

非常に思い通りにできた

その理由

H. 手を正面に向ける操作は思い通りにできましたか

全く思い通りにできなかった

どちらともいえない

非常に思い通りにできた

その理由

I. チュートリアルは分かりやすかったですか

非常に分かりづらかった

どちらともいえない

非常に分かりやすかった

その理由

J. チュートリアルの長さはどう感じましたか

非常に短かった

どちらともいえない

非常に長かった

その理由



K. 本編の、複数のロボットとの戦闘はおもしろかったですか

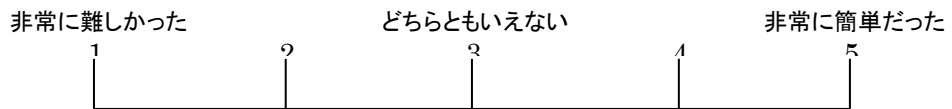
非常につまらなかった

どちらともいえない

非常におもしろかった

その理由

L. 本編の、複数のロボットとの戦闘の難易度はどうでしたか

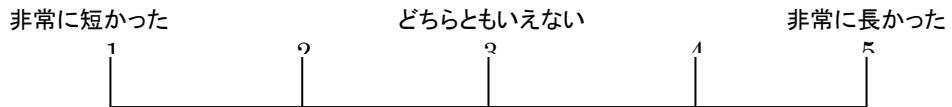


その理由

[

]

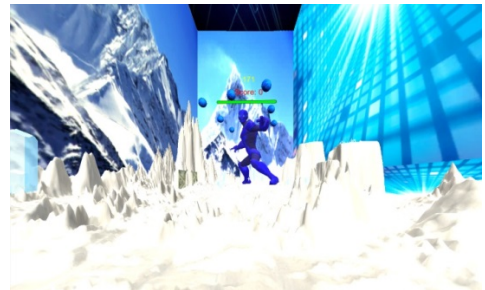
M. 本編の、複数のロボットとの戦闘の長さはどう感じましたか



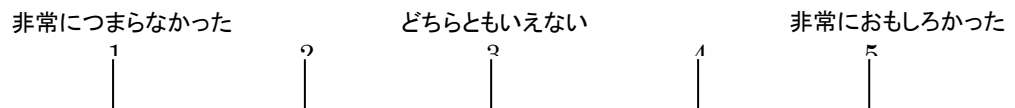
その理由

[

]



N. 本編の、ボスロボットとの戦闘はおもしろかったですか

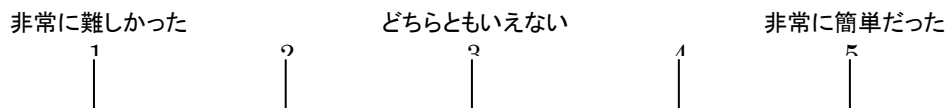


その理由

[

]

O. 本編の、ボスロボットとの戦闘の難易度に関してどう感じましたか

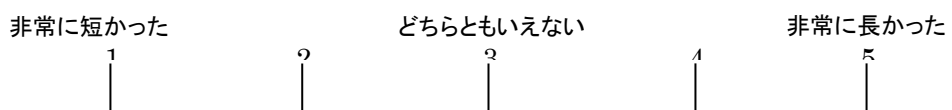


その理由

[

]

P. 本編の、ボスロボットとの戦闘の長さはどう感じましたか



その理由

[

]

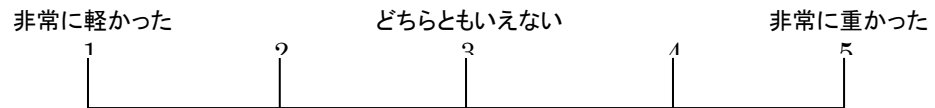
Q. このコンテンツをまたやりたいと思いましたか



その理由

[]

R. グローブ型デバイスの重さはどう感じましたか



その理由

[]

S. このシステムの改善してほしい点があればお書きください

[]

T. 実験全体を通して何か意見などがありましたら自由にお書きください

実験にご協力いただきありがとうございました

付録 C

・アンケート用紙

アンケート

名前：_____

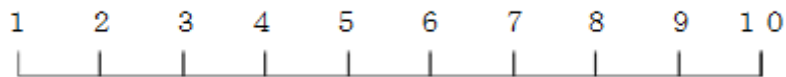
このアンケートでは、コンテンツ体験中にあなたが抱いた気持ちについて回答していただきます。

ゲーム中のシチュエーションそれぞれについて、当てはまる形容詞にチェックをつけてください。また、チェックを付けた形容詞について、どの程度そう感じたかを、10段階で丸をつけて回答してください。

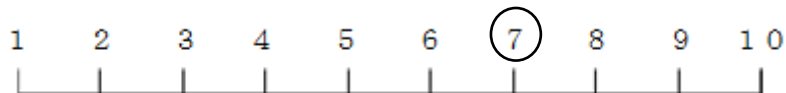
例：

1. 次のステージに進む時

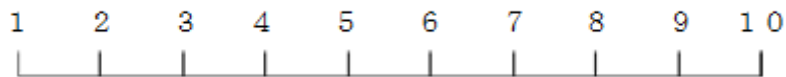
☐ 面白い



☒ わくわく

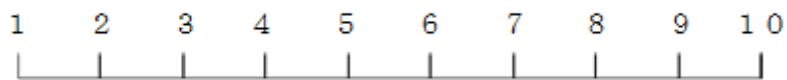


☐ ドキドキ

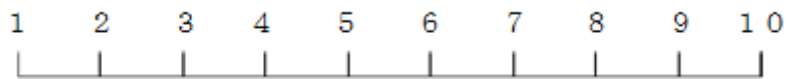


1. 女の子に話しかけられた時

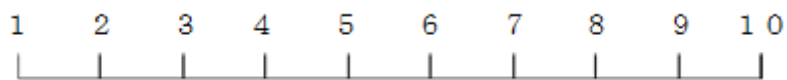
☐ 面白い



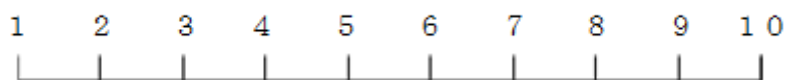
☐ わくわく



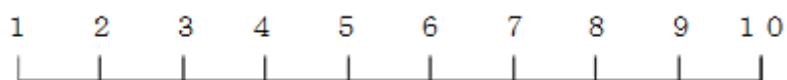
☐ ドキドキ



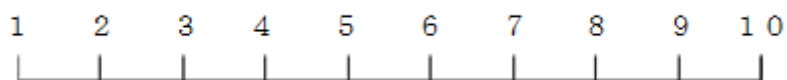
☐ いらいら



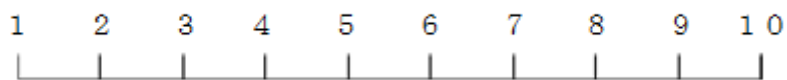
☐ リラックス



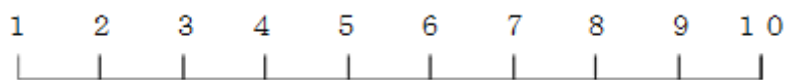
☐ 緊張



☐ ニヤニヤ

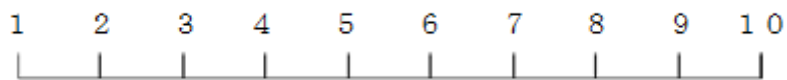


☐ ハラハラ

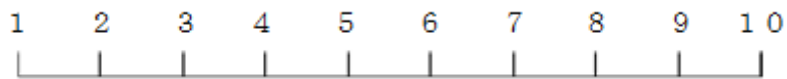


2. 女の子に顔を近づけられた時

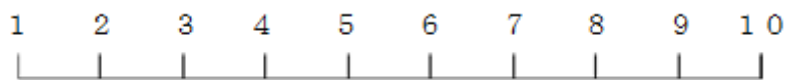
☐ 面白い



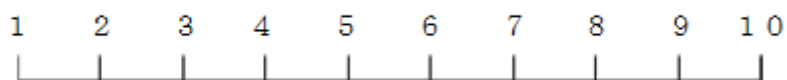
☐ わくわく



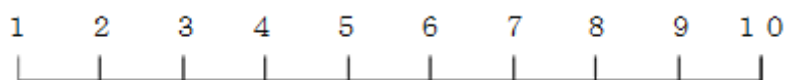
☐ ドキドキ



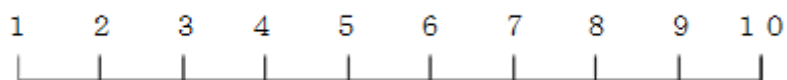
☐ いらいら



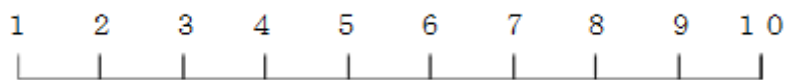
☐ リラックス



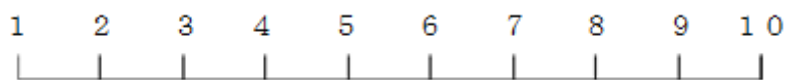
☐ 緊張



☐ ニヤニヤ

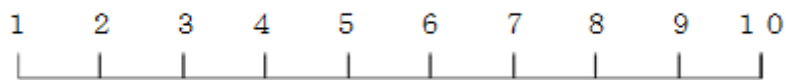


☐ ハラハラ

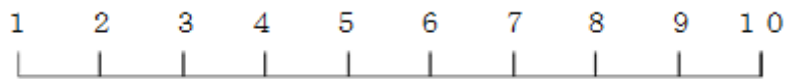


3. 女の子が近くまで歩いてきた時

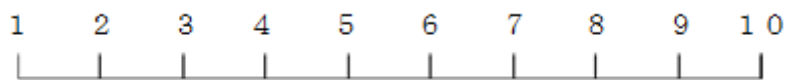
☐ 面白い



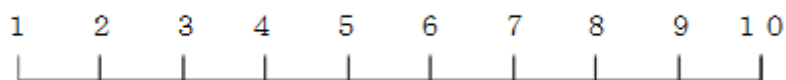
☐ わくわく



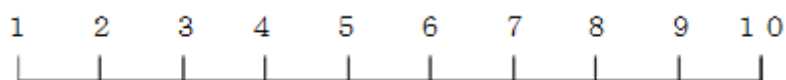
☐ ドキドキ



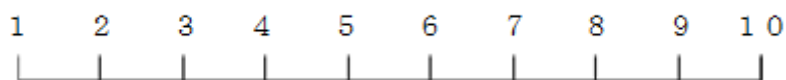
☐ いらいら



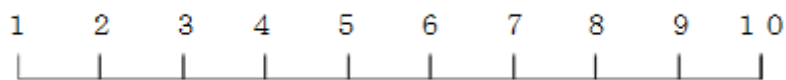
☐ リラックス



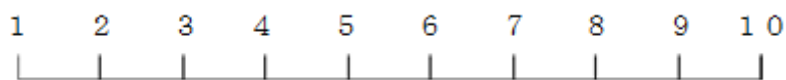
☐ 緊張



☐ ニヤニヤ



☐ ハラハラ



ご協力ありがとうございました

付録 D

・アンケート用紙

アンケート

被験者 ID: _____ 名前: _____

このアンケートでは、コンテンツ体験中にあなたが抱いた気持ちについて回答していただきます。
コンテンツ中のシチュエーションそれぞれについて、当てはまる形容詞にチェックをつけてください。また、チェックを付けた形容詞について、どの程度そう感じたかを、10段階で丸をつけて回答してください。

例：

1. 次のステージに進む時

☐ 面白い

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
| | | | | | | | | |

☒ わくわく

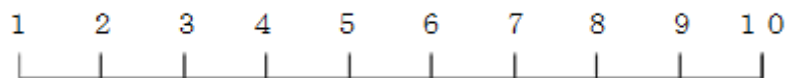
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
| | | | | | (7) | | | |

☐ ドキドキ

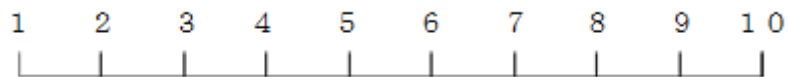
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
| | | | | | | | | |

1. 開始場面

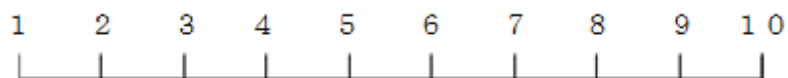
☐ 面白い



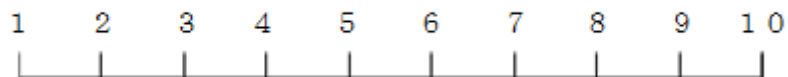
☐ わくわく



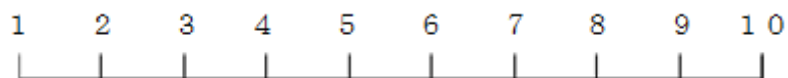
☐ ドキドキ



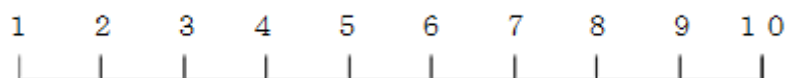
☐ 心が和む



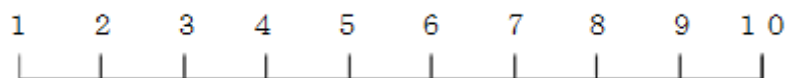
☐ はらはら



☐ 悲しい

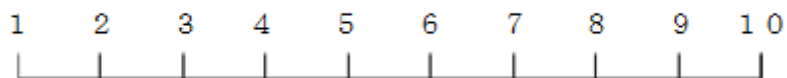


☐ 感動的

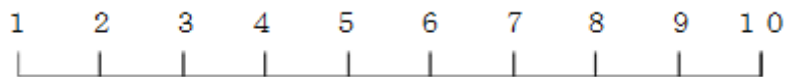


2. 現在の場面 1

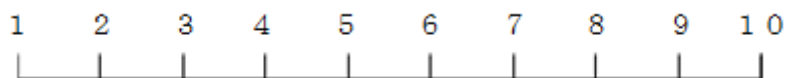
☐ 面白い



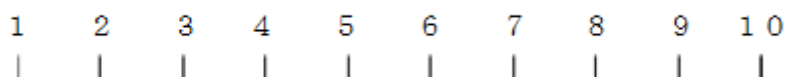
☐ わくわく



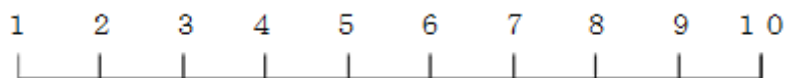
☐ ドキドキ



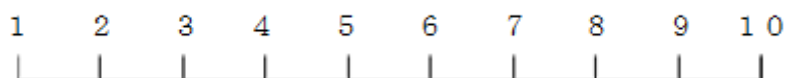
☐ 心が和む



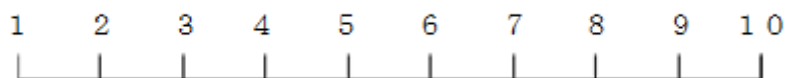
☐ はらはら



☐ 悲しい

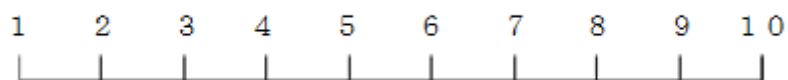


☐ 感動的

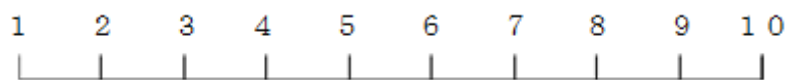


3. 過去の場面 1

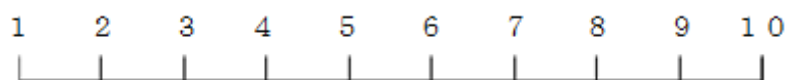
☐ 面白い



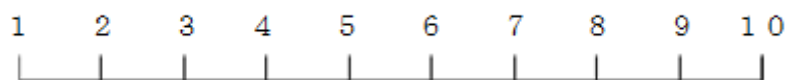
☐ わくわく



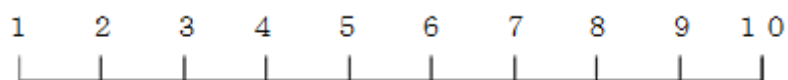
☐ ドキドキ



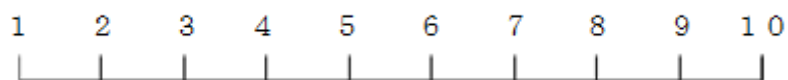
☐ 心が和む



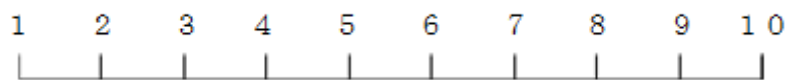
☐ はらはら



☐ 悲しい

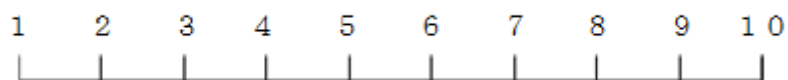


☐ 感動的

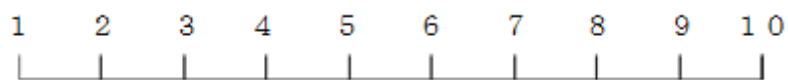


4. 現在の場面 2

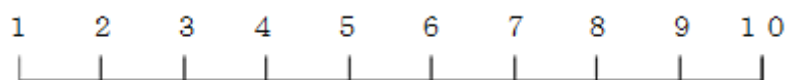
☐ 面白い



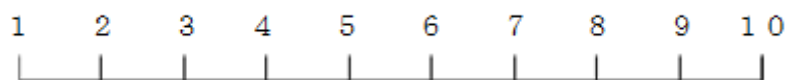
☐ わくわく



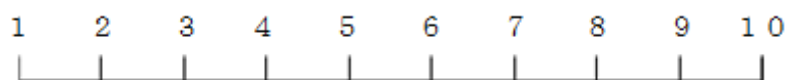
☐ ドキドキ



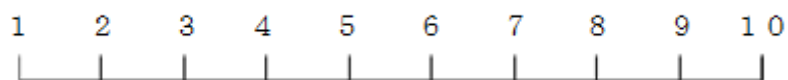
☐ 心が和む



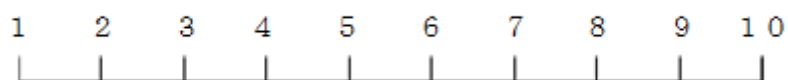
☐ はらはら



☐ 悲しい

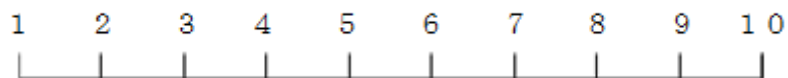


☐ 感動的

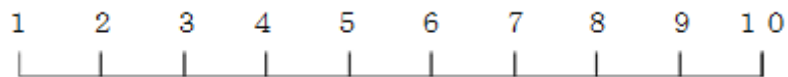


5. 過去の場面 2

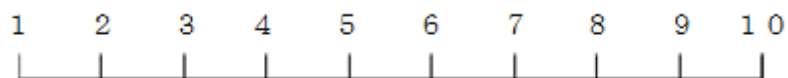
☐ 面白い



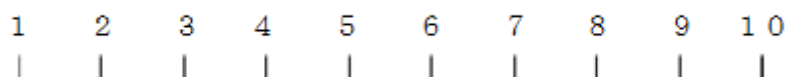
☐ わくわく



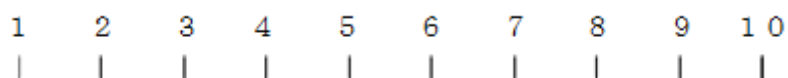
☐ ドキドキ



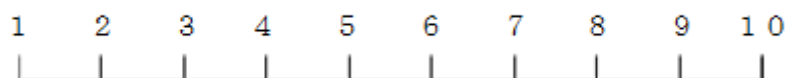
☐ 心が和む



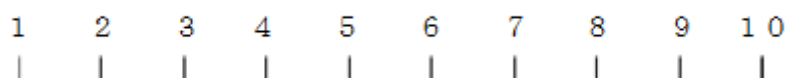
☐ はらはら



☐ 悲しい



☐ 感動的

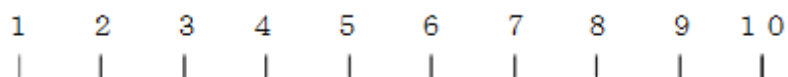


6. 最終の場面

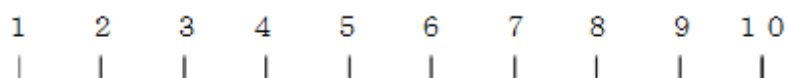
☐ 面白い



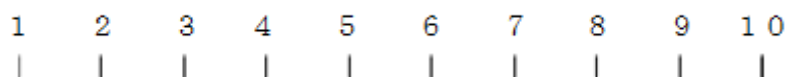
☐ わくわく



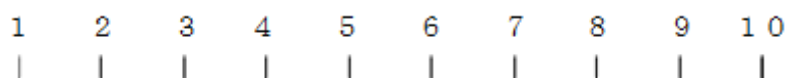
☐ ドキドキ



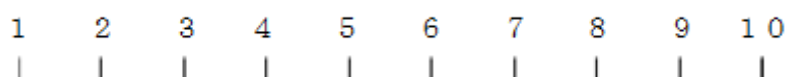
☐ 心が和む



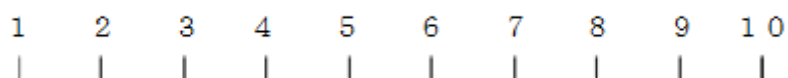
☐ はらはら



☐ 悲しい



☐ 感動的



※最後に、下記Q1～3の質問にお答えください。

Q1. あなたの性別をお答えください。

☐ 男性 ☐ 女性

Q3. あなたの年齢をお答えください。(例:20歳)

_____歳

Q3. あなたの学科をお答えください。(例:L学科)

_____学科

Q4. あなたは PSVR, Oculus Rift, HTC Vive 等、HMD(Head Mounted Display) を用いた
バーチャルリアリティ(VR)体験をしたことがありますか。

☐ はい ☐ いいえ

ご協力ありがとうございました。

- 連絡先 -

芝浦工業大学大倉研究室 内線(8508)
機能制御システム専攻 NB15501 伊藤弘大
情報工学科4年 AL14087 三浦直樹

場面説明

(1) 開始

暗闇の中に次々と窓の光が浮かび上がり、中で生活している人々のシルエットが映る。

(2) 現在の場面 1

少女が一人で夜の街を歩いている。すると、風が吹いて持っている箱が倒れてマッチが地面に落ちる。少女がマッチを拾って点火すると、周りが光に包まれる。

(3) 過去の場面 1

少女と母親が空飛ぶ船に乗っており、途中で船のエンジンが故障してしまう。少女が修理に手間取っていると、母親が来て代わりに修理を行う。その後、空に浮かぶ街に船がつくと少女がマッチを持って船を降り、近くにいた男性に売る。更に、盲目の男性が持っていた杖を落としてしまうと、母親が杖の代わりとしてマッチを渡す。

(4) 現在の場面 2

マッチの炎が消え、再び少女が一人で夜の街にたたずんでいる。少女がマッチをもう一本取り出し、マッチに点火する。すると、再び周りが光に包まれる。

(5) 過去の場面 2

母親が男性と話をしている時に、少女が船の異変に気が付いて一人で乗り込む。しばらくすると船から炎が上がって、母親が船の中に乗り込む。母親は少女を助け出すと、船が街に落下しないように操縦して、船とともに空中で爆発してしまう。

(6) 最終の場面

マッチの炎が消え、再び少女が一人で夜の街にたたずんでいる。少女が街を歩いていると、一人の男性に会う。少女はマッチを男性に渡す。最後に、少女の周りが光に包まれ、母親と抱き合う場面で終了する。