原著論文

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

— 車外風景に関する事前情報付与の影響のHRV解析 —

伊藤 弘大*, 原田 圭裕*, 木代 優*, 富山 剛*,
中辻 晴彦**, 舘 陽介**, 瀬戸 洋紀**, 大倉 典子*

* 芝浦工業大学, ** アルパイン株式会社

Evaluation of “Feelings of Excitement” on Presenting Information with “In-vehicle System” by Using Physiological Indices

– HRV Analysis of Influence on Giving Prior Information about Landscapes –

Kodai ITO*, Yoshihiro HARADA*, Suguru KISHIRO*, Go TOMIYAMA*,
Haruhiko NAKATSUJI**, Yosuke TATE**, Hiroki SETO**, and Michiko OHKURA*

* Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-8548, Japan

** Alpine Electronics, Inc., 1-7 Yukigayaotsuka, Ota-ku, Tokyo 145-8508, Japan

Abstract : In recent years, the automotive industry has faced a decline in interest in cars and driving by younger generations, and so we want to find ways to increase driving attractiveness using in-vehicle systems. Since we believe that “feelings of excitement” are critical to increase the attractiveness of cars and driving, we created exciting contents for a driving simulator by focusing on the expectations of drivers and used biological signals to evaluate how to elicit “feelings of excitement” while driving. In this paper, we performed HRV analysis by focusing on the impact of prior information about landscapes and concluded that it elicits “feelings of excitement” using SDNN and RRV. In addition, we clarified that the SDNN and RRV of ECGs are useful physiological indices to detect “feelings of excitement”.

Keywords : *Feelings of excitement, ECG, Driving simulator*

1. 緒 論

1.1 研究背景

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[1]。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[2]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1に引用する[3]。

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[3]。

さらに、近年では車載機器の進化も著しく、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[4]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[5]など様々なものが存在する。このように、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。

そこで著者らは、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。なお、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[6]。

一方、車載機器などの製品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[7]。

- (1) 言葉のあいまいさ
- (2) 実験協力者・実験者の意図が混入してしまう
- (3) 提示を中断して評価する必要がある

表1 「自動車に興味や関心がある」比率の時系列変化(%) [3]

		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

特に、自動車運転時や車載機器利用時など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、普段車や車載機器を使用している際と、同じような状態で実験を行うことが困難である。そこで著者らの先行研究では、生体信号を用いてドライバーの精神的負荷 (Driver Distraction [8]) を評価した [9]。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) 実験協力者自身がコントロールしにくい
- (2) 物理量が評価できる
- (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、ドライバーの状態を生体信号を用いて評価する研究が複数行われている。例えば、高齢ドライバー及び同乗者が、運転中に危険を感じる場面を検出する研究 [10] や、ドライバーが覚醒度低下状態に至る時間を早期に予測する手法の研究 [11] などが存在する。

また、生体信号を感性評価に用いている研究も数多く存在する。例えば、心電を用いて「痛み」を定量化する研究 [12]、「恐れ」や「幸せ」といった感情の判別を行う研究 [13]、リアルタイムなストレスの計測を行う研究 [14]、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 [15]、照明刺激環境下での「くつろぎ感」を評価する研究 [16]、感情や快・不快等の感情の分類を行う研究 [17, 18] 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 [19]、生体信号が検出できる感性はそれぞれ異なっている。

感性は valence (positive, negative) と arousal の2つの軸で説明できるとされている [20]。感性語をこの2軸で分類した例を図1に示す。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、「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。

そこで著者らは、ポジティブで動的な感性と生体信号に着目し、以前よりインタラクティブシステムの「わくわく感」や、ドライビングシミュレータ (Driving Simulator: 以降D.S) を

用いて、車載機器の提示情報による「わくわく感」について評価を行ってきた [7, 19, 21-25]。その結果、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を立ててきた。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 [26]、「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。

1.2 研究の目的

前項で述べたように、車載機器などの製品に対する「わくわく感」を評価する際には、アンケートのような主観的評価だけでなく、生体信号のような客観的評価も併用するのが望ましいと考えられる。そこで本研究では、若者の「わくわく感」を生体信号で定量評価し、得られた知見を車載機器に適用し、評価することを目的とする。

本論文では、若者にとっての「わくわく感」の定義に基づいたD.S用のわくわくするコンテンツを作成し、そのコンテンツについて生体信号から導出される生理指標を用いて評価した実験について記述する。

なお、本研究は芝浦工業大学生命工学研究倫理審査委員会の承認の下に行った。

1.3 「わくわく感」の定義

著者らは、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、アンケート調査を行った。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の設問を使用した。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名を対象に実施した [21]。

アンケートの結果を解析し、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、旅行で今まで行ったことの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」することがわかった。これにより、若者の「わくわく感」を以下のように定義した。

「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。」

この結果を、前述したオノマトペとしての「わくわく」の意味と比較すると、今回の定義は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できたと考えられる。

本実験では、若者の「わくわく感」を上述のように定義し、以降の実験では、この「わくわく感」に着目して実験の設計、評価を行うことにした。

図1 感性語を valence と arousal の2軸で分類した例

2. 方法

2.1 実験概要

上述したように著者らは、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。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。

2.2 実験システム

図2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280lx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)
- 生体信号計測システム
 - 生体信号計測機器
 - 脳波 (ミュージズブレインシステム)
 - 心電図 (RF-ECG)
 - 皮膚電気活動 (MP35)
 - 眼球運動データ計測機器 (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[28]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

図2 実験システムの構成

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[7, 19, 23, 24], 「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。

2.3 コンテンツの構成

著者らの今までの研究[22]の結果から、走行は一回で、「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とが大きく、音声による情報提示の有無があるコンテンツであれば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（2.4項で後述）が見え、カーブを曲がると急に6種類の目につく建造物（2.4項で後述）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（2.5項で後述）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D.Sコースを真上から見た全体図を、図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区間①と、道の正面に、目につく建造物が見える区間②を9箇所ずつ通過する。

図3 D.Sコースの概略

2.4 トンネル通過後の風景と目につく建造物

区間①では、桜、紅葉、雪景色の3種類それぞれについて、情報提示あり（後述）、情報提示なし、風景なし（特に特徴的なものが何もない風景を提示）の3パターンで、合計9箇所提示した。トンネル後の風景を図4～7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、若者である著者ら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[27]、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。

図4 桜

図5 紅葉

図6 雪景色

図7 風景なし

区間②では、区間の数が区間①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著者らが判断した、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、著者らの先行研究で[22, 23]、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、D.Sコースを1回走行し、その中で区間①と区間②をそれぞれ9回ずつ提示する仕様にした。つまり、区間①と区間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に提示順序を示す。表中では区間①を赤、区間②を青で示す。

表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

2.5 音声による情報提示

区間①では、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3に示す。なお、桜、紅葉、雪景色の区間は2回ずつ提示し、情報は前後どちらかの1回でのみ提示するものとした。

区間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。

表3 区間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。」

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

2.6 実験手順

以下の手順で実験をおこなった。

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。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

2.7 評価方法

2.7.1 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。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。

- ・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

2.7.2 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。著者らのこれまでの研究[22]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[7, 19, 23, 24], 「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。

表4 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)
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)

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。

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[29]。

- ・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[30]、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

2.7.3 生理指標の解析区間

本論文では、2.4項で説明した区間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8に示す。

図8 トンネル1つあたりの解析区間の概略

2.8 実験協力者

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。

3. 実験結果

3.1 アンケート結果

図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。アンケート項目を要因とした、一元配置の分散分析を行ったところ、1%水準で主効果があった。以下に、多重比較の結果を示す。
“面白さ”, “わくわく”, “期待” > “いらいら” ($p < 0.01$)
“ドキドキ”, “リラックス” > “いらいら” ($p < 0.05$)

また、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5に各項目間の相関係数を示す。無相関の検定の

表5 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	

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

図9 全実験協力者のアンケート項目ごとの平均値

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。

3.2 心電を用いた解析結果

3.2.1 トンネル内に対する解析

• SDNN

図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10 各風景ごとの全実験協力者のSDNNの平均値

• RRV

図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11 各風景ごとの全実験協力者のRRVの平均値

3.2.2 トンネル通過後に対する解析

• SDNN

図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12 各風景ごとの全実験協力者のSDNNの平均値

• RRV

図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 ($p < 0.05$)

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

図13 各風景ごとの全実験協力者のRRVの平均値

3.3 脳波を用いた解析結果

3.3.1 トンネル内に対する解析

• β/α の平均値

図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14 各風景ごとの全実験協力者の β/α の平均値

3.3.2 トンネル通過後に対する解析

• β/α の平均値

図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15 各風景ごとの全実験協力者の β/α の平均値

3.4 皮膚電気コンダクタンスを用いた解析結果

3.4.1 トンネル内に対する解析

• GSRの平均値

図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16 各風景ごとの全実験協力者のGSRの平均値

3.4.2 トンネル通過後に対する解析

• GSRの平均値

図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17 各風景ごとの全実験協力者のGSRの平均値

3.5 眼球運動データを用いた解析結果

• 瞳孔径の平均値

図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、瞳孔径の変化と情報提示の有無に関係が無いことは明らかであった。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18 実験中の瞳孔径の変化の例

4. 考 察

3.1項のアンケートの解析結果では、“いらいら”よりも“面白さ”、“わくわく”、“期待”、“ドキドキ”、“リラックス”の平均値が有意に大きかった。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。

3.2項では、「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、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が統計的に有意に小さかった。心電のSDNNとRRVは精神的負荷を示す指標とされており、実験協力者は図1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。そのため今回は、心電のSDNNとRRVによってポジティブで動的な感性を検出できていたと考えられる。

また、情報提示はトンネル内で行ったが、トンネル通過後の心電のSDNNとRRVについても、情報提示がある時の方が優位に小さかった。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、トンネル通過後まで持続していたと考えられる。これらの結果から、D.S運転時の風景に対する事前情報を提示することにより、「わくわく感」を増加できると考えられる。

1.1項で述べたように、著者らのこれまでの研究[21]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。

なお、3.3項から3.5項で、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。今回の実験では、季節の異なる3つの風景を提示しており、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。また、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。また、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と考えられる。なお、今回の解析では統計的に有意な結果が得られなかったが、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[16]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いが、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。

1.1項で述べたように、他の生理指標を用いた関連研究では、ポジティブで静的な感性や[15]、ネガティブで動的な感性が対象となっているが[14]、「わくわく感」のようなポジティブで動的な感性を対象としているのは、著者らの研究が数少ない例である[19, 24, 25]。そこで本論文では、他の生理指標を用いた関連研究との相違点として、車載機器

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

の提示情報による「わくわく感」を対象にした。その結果、D.S運転時の風景に対する事前情報の提示により「わくわく感」を増加できるということ、その「わくわく感」の検出には、種々の生理指標の中でも心電のSDNNとRRVが有用であることを新たに明らかにした。

ただし、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、1.1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[26]、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。

今後は、生理指標を用いて「わくわく感」を生起する別の要因について評価実験を行い、感性和生理指標の関係を明らかにできるよう研究を発展させたい。さらに将来的には、ドライバーの状態をモニターし、感性和気分に合わせて情報提示を可能にしたい。そのような機能を有した車や車載機器を提供すれば、自動車の魅力向上に貢献できると考える。また、今後自動運転が普及した際にも、乗車員の状態に合わせた警告や情報の提示は必要になると推測する。

5. 結 論

若者の車離れに対する手段として、車載機器によって「わくわく感」を体験できるようにして、車の魅力を増加させることが考えられる。本論文では、生体信号を用いて車載機器の提示情報による「わくわく感」を評価するため、若者にとっての「わくわく感」の定義に基づき、D.S用のわくわくするコンテンツを作成し、種々の生体信号を用いた評価実験を行った。コンテンツの内容は、一本道の道路を走行し、複数箇所あるトンネルを抜けると特徴的な風景が見えるというものである。また、トンネル内では「このトンネルを抜けると、桜が満開に咲いています」等の事前情報が提示される場合があり、情報提示の有無によるドライバーの「わくわく感」への影響を比較した。なお、評価にはアンケートと生体信号を使用した。

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、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、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。

他の生理指標を用いた関連研究で、「わくわく感」のようなポジティブで動感的感性を対象としているのは、著者らの研究が数少ない例である[19, 24, 25]。そこで本論文では、他の生理指標を用いた関連研究との相違点として、車載機器の提示情報による「わくわく感」を対象にした。その結果、D.S運転時の風景に対する事前情報の提示により「わくわく感」を増加できるということ、その「わくわく感」の検出には、種々の生理指標の中でも心電のSDNNとRRVが有用であることを新たに明らかにした。

今回はD.Sを用いて実験を行ったが、「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。

今後は、感性和生理指標の関係を明らかにできるよう研究を発展させたい。さらに将来的には、ドライバーの感性和気分に合わせて情報提示を可能にしたい。そのような機能を有した車や車載機器を提供すれば、自動車の魅力向上に貢献できると考える。また、今後自動運転が普及した際にも、乗車員の状態に合わせた警告や情報の提示は必要になると推測する。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、全般的にご協力頂いた株式会社ユニテック 相川健氏、合同会社オラニエ 中山記男氏、実験にご協力頂いた学生の皆様に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- [1] 国土交通省：平成24年度国土交通白書，第2章第3節，2013.
- [2] 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.
- [3] 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，37(2)，pp.123-131，2012.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 小野正広：日本語オノマトペ辞典，小学館，2007.
- [7] 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.
- [8] Ranney, T. A., et al.: NHTSA Driver Distraction Research: Past, Present, and Future, NHTSA, 2000.
- [9] Takahashi, N. et al.: Proposal for Driver Distraction Indexes Using Biological Signals, Lect Notes Comput Sci, 8005, pp.647-653, 2013.
- [10] 栗谷川幸代他：心拍変化を用いた高齢ドライバの苦手・危険場面検出をめざして，ヒューマンインタフェース学会論文誌，9(2)，pp.187-194，2007.
- [11] 和久井秀樹，平田豊：運転開始前後の生体情報を用いたドライバ覚醒度低下状態の早期予測，電気学会論文誌 C，133(12)，pp.2160-2166，2013.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Gao, Y. et al.: Deep Learning of EEG Signals for Emotion Recognition, Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), 2015 IEEE International Conference, pp.1-5, 2015.
- [18] Zheng, W. et al.: EEG-based Emotion Classification using Deep Belief Networks, 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), pp.1-6, 2014.
- [19] 大倉典子：安心・快適・ワクワク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，pp.129-130，2009.
- [20] Kensinger, E. A.: Remembering emotional experiences: The contribution of valence and arousal, Reviews in the Neurosciences, 15(4), pp.241-251, 2004.
- [21] Harada, Y. et al.: Content evaluation of exciting feeling by using biosignals, 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2014), 164, pp.6931-6936, 2014.
- [22] 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，11(14)，pp.19-21，2014.
- [23] 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，119(14)，pp.9-12，2014.
- [24] 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，92(11)，pp.979-981，2009.
- [25] Ohkura, M. et al: Measurement of Wakuwaku Feeling of Interactive Systems Using Biological Signals, Emotional Engineering, Springer, pp.327-343, 2011.
- [26] 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.
- [27] 新村出：広辞苑(第6版)，岩波書店，2008.
- [28] 産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門編：人間計測ハンドブック，pp.66-71，pp.87-91，朝倉書店，2003.
- [29] 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，21(2)，pp.56-60，2014.
- [30] 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.

伊藤 弘大 (非会員)

2013年 芝浦工業大学工学部情報工学科卒業，2015年 同大学院修士課程修了。NTTソフトウェア株式会社勤務を経て，現在，同大学院博士課程に在学中。「感性情報処理」の研究に従事。

原田 圭裕 (非会員)

2014年 芝浦工業大学工学部情報工学科卒業，2016年 同大学院修士課程修了，現在は一般企業の会社員として従事。2015年 自動車技術会関東支部学術研究講演会ベスト・プレゼンテーション賞受賞，2016年 自動車技術会大学院研究奨励賞受賞。

木代 優 (非会員)

2015年 芝浦工業大学工学部情報工学科卒業，同年4月 株式会社クレスコ入社。現在，会社員として従事。

富山 剛 (非会員)

2015年 芝浦工業大学工学部情報工学科卒業，同年4月 株式会社ラムダシステムズ入社。現在はテロップシステムの開発に従事。

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

中辻 晴彦（非会員）

1996年 京都産業大学工学部卒業。数社のカーナビゲーションシステムのソフトウェア開発会社を経て、現在、アルパイン株式会社先行開発部所属。ナビゲーションシステムの次世代HMIの研究開発業務に従事。

瀬戸 洋紀（非会員）

2011年 東京電機大情報環境学部卒業。2013年同大学院情報環境学研究科修士課程修了。現在、アルパイン株式会社先行開発部所属。生体信号を利用した運転支援技術の研究開発業務に従事。

舘 陽介（非会員）

2003年 秋田大学工学資源学部卒業。2005年同大学院工学資源学研究科修士課程修了。現在、アルパイン株式会社 先行開発部所属。ナビゲーションシステムのユーザーインタフェース設計及び研究開発業務に従事。

大倉 典子（正会員）

1976年 東京大学工学部計数工学科卒業。1978年 同大学大学院工学系研究科修士課程修了。（株）日立製作所中央研究所等を経て（この間に1995年 同研究科博士後期課程修了，博士（工学）），1999年より芝浦工業大学工学部教授。現在は、「人にやさしい情報の提示法」、「感性情報処理」等の研究に従事。電子情報通信学会等の会員。日本バーチャリアリティ学会フェロー。日本学術会議会員，当学会理事等。