

研究論文

心拍と呼吸を用いたコンテンツ視聴による気分変化の推定：
コメディ視聴における検討角田 啓介^{1,a)} 江口 佳那¹ 吉田 和広¹ 渡部 智樹¹ 水野 理¹

受付日 2016年6月30日, 採録日 2016年10月31日

概要: 本稿では、コメディ動画などのコンテンツ視聴によって生じるユーザの気分変化を、バイタルセンサを用いて低負荷に推定する方法について述べる。従来、コンテンツ視聴によって生じたユーザの気分などの心的状態変化を推定するためには、視聴前後にユーザ主観評価を実施する方法が用いられてきた。しかし、これらの方法は視聴前後に数分間ユーザを拘束するためユーザにとって負荷が大きく、多数ユーザに対していっせいに推定することや、多忙なユーザを対象とした推定が困難であった。そのため、視聴前後にユーザの行動を拘束しない方法として、視聴中に顔表情やバイタルデータを測定する方法が提案されてきたが、それらの手法はコンテンツ視聴中に起こりうる、ユーザの顔や体の動きに起因するノイズに影響されるため、正確に測定するためには視聴中にユーザの動作を制限してしまう点が課題であった。そこで本稿では、フィルタ処理によってノイズの影響を抑えつつ測定可能な、心拍数および呼吸数の長期変動に着目する。心拍数および呼吸数の長期変動の類似性がユーザの心的状態と関係があることを示唆している既存研究を基に、視聴中に測定した心拍数および呼吸数の長期変動の類似性から、コンテンツ視聴によって生じるユーザの気分変化を推定する手法を提案する。そして、提案手法を評価するための被験者実験を実施し、20名の被験者から測定したデータに対して提案手法を適用することで、その有効性を示す。

キーワード: 心拍, 呼吸, コンテンツ視聴, 気分変化, コメディ動画

Estimating Mood State Change Caused by Contents Watching Using Heartbeat and Respiration: A study with Comedy Movie

KEISUKE TSUNODA^{1,a)} KANA EGUCHI¹ KAZUHIRO YOSHIDA¹ TOMOKI WATANABE¹ OSAMU MIZUNO¹

Received: June 30, 2016, Accepted: October 31, 2016

Abstract: In this paper, we proposed the low-invasive method to estimate mood state change caused by watching contents such as movie using vital sensor. Although previous studies have tried to estimate changes in mental state, including mood state, using subjective questionnaire before and after watching contents, it forced user to answer it taking several minutes before and after watching. Other studies have tried to estimate these changes using heart rate variability, facial expression or eye movement during contents watching. However, these method also forced users not to move their body or face dynamically because these methods were affected by instantaneous body or head movement during contents watching. In this paper, we focused on long-term synchronization between heartbeat and respiration, which was hardly affected by instantaneous body or head movement inspired by previous study had found to estimate mood state change caused by watching movie contents. We proposed the method to estimate mood state change using long-term synchronization between heartbeat and respiration. To evaluate our proposal, we conducted the experiment with comedy movie. By the experiment, it is clarified that our proposal can estimate mood state change using long-term synchronization between heartbeat and respiration.

Keywords: heartbeat, respiration, contents watching, mood state change, comedy movie

¹ 日本電信電話株式会社 NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories, Yokosuka, Kanagawa
239-0847, Japan

^{a)} k.tsunoda630@gmail.com

1. 緒言

今日、人々は生の演技や演奏だけでなく、Web サイト、音楽、動画など様々なコンテンツを手軽に楽しめるように

なった。それにともないコンテンツ数も増加・多様化が進み、コンテンツ作成者・提供者にとって、各コンテンツがユーザに及ぼす効果を調べ、ユーザのニーズに合わせたコンテンツの作成・配信を行うことが重要である。たとえば動画コンテンツは一般に、視聴したユーザに対して「楽しさ」「怒り」「恐怖」など16種類の感情を引き起こすことが知られている [1]。また、日本の「お笑い」のようなコメディの視聴は、ポジティブな気分の増進による精神的なリラックス効果や免疫機能向上効果があるともいわれている [2]。一方で、コンテンツに対する嗜好には個人差があり [3]、同じコンテンツでもすべてのユーザに対して同じ効果があるわけではない。このように、コンテンツが各ユーザの心的状態に及ぼす効果を、ユーザへの負荷が少ない方法で測定することは、映画やTV番組をはじめとするコンテンツの作成者・提供者に対してだけでなく、ユーザ自身の視聴体験の振り返りや健康管理といった観点からも重要と考えられる。

従来、動画などのコンテンツ視聴がユーザの心的状態に及ぼす効果を測定するために、視聴前後にユーザの主観評価を実施する方法が用いられてきた [4]。しかし、主観評価を実施するためには、コンテンツ視聴前後においてアンケートなどに回答してもらう必要があり、ユーザを数分間拘束することになる。そのため、測定におけるユーザ負荷が高く、多数のユーザを対象とした測定や、多忙なユーザを対象とした測定が困難であった。

そこで、コンテンツ視聴中に測定できる顔の表情 [5] や眼球運動 [6]、あるいは脳波や皮膚温など多数のバイタルデータ [7] より、ユーザの心的状態を推定する方法も提案されてきた。しかし、たとえば「笑い」や「驚き」のような、瞬時的かつ急激な感情変化を引き起こす可能性があるコンテンツの場合、視聴中にユーザが顔や体を素早く、大きく動かすことが考えられる。その場合、顔表情や眼球運動を測定するために必要な顔画像は顔や体の動きに起因するノイズの影響を受けてしまうと考えられる。また、脳波などの多数のバイタルデータを測定するためには、ユーザに多数の電極やセンサ機器を装着する必要がある。よって、どちらの手法においても、正確に測定するためにはユーザのコンテンツ視聴中の動作を制限することになり、ユーザにとって負担が大きいと考えられる。

本稿では、コンテンツ視聴中にユーザの顔や体の動きがともなう場合において、コンテンツ視聴がユーザの心的状態へ及ぼす効果を、ユーザの動作を制限することなく、低負荷に推定することを目的とする。コンテンツ視聴効果として、本稿ではまず Bennet ら [2] や Takahashi ら [4] の研究を基に、1時間程度のコメディ動画視聴によるユーザの気分 (Mood) の変化に着目する。気分は情動 (Affect) と比較すると、ゆるやかに変化し、かつ瞬時的でなく持続的な感情状態と定義される [8]。次に、推定に用いるデータ

として、従来研究においてユーザの心的状態との関係が示唆され、かつウェアラブルセンサやマイクロ波を用いた非接触センサなどで測定可能な、コンテンツ視聴中の心拍数および呼吸数に着目する。特に、コンテンツ視聴中はユーザの顔や体の動きが生じることを考慮し、心拍数および呼吸数における、体動によって生じるノイズに影響を受けやすい秒単位の短期的な変動ではなく、分単位の長期的な変動に着目する。そのうえで、コンテンツ視聴中における心拍数と呼吸数の長期変動の類似性により、コンテンツ視聴によって生じたユーザの気分変化を推定する手法を提案する。最後に、被験者実験を実施し、提案手法を実測したデータに適用することで、提案手法の有効性を示す。

以下が本稿の構成である。2章ではコンテンツ視聴がユーザに及ぼす効果の測定方法と、バイタルデータなどを用いた心的状態推定に関する従来研究について述べる。3章では従来研究を基に、コンテンツ視聴中の心拍数および呼吸数の長期変動の類似性からコンテンツ視聴によって生じたユーザの気分変化を推定する手法を提案する。4章では提案手法の有効性を確認するために実施した実験について述べたうえで、提案手法の有効性を評価する。5章では本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 コンテンツ視聴効果の測定

動画などのコンテンツ視聴は、情動や気分をはじめとしたユーザの心的状態に何かしらの変化を起こす。一例として Gross らは、動画コンテンツは視聴したユーザに対して「楽しさ」「怒り」「恐怖」など16種類の感情を引き起こすと述べている [1]。また Takahashi らは、75分の動画視聴の前後において Profile Of Mood States (POMS) という主観的気分評価尺度 [9] を用いてユーザの気分変化を測定したところ、コメディを描いた動画コンテンツの視聴はユーザの気分のうち「怒り」「緊張・覚醒」「混乱」「抑うつ」を和らげることを明らかにしている [4]。このようにコンテンツ視聴前後、ユーザに数分間かけて主観評価に回答してもらうことで、コンテンツ視聴がユーザの心的状態に与えた効果を測定することができる。しかし、このような主観評価はコンテンツ視聴前後の数分間、ユーザを拘束してしまうため、多忙なユーザを対象とした評価や、多人数のユーザへの一斉評価が困難という課題がある。

2.2 バイタルデータを用いた状態推定

主観評価を用いた場合における課題を解決するため、コンテンツ視聴効果の推定に、視聴中に測定したバイタルデータを用いる方法も提案されてきた。Yazdani らは、脳波や皮膚温など多数のバイタルデータから、コンテンツ視聴によって生じるユーザの情動 (Affect) の変化を推定する手法を提案している [7]。しかし、脳波や皮膚温など多数

のバイタルデータを測定するには、ユーザに多数の電極やセンサ機器を装着することになり、ユーザの行動や動作を著しく制限することになるため、ユーザ負荷が高いという問題がある。

また、カメラによって測定できる顔表情の変化 [5] や眼球運動 [6] から、ユーザの心的状態を推定する技術も考案されている。しかし、コンテンツ視聴にあたっては、笑いや驚きなど急激な感情の変化に対応して、ユーザの体や顔が大きく動くことが想定される。このような動きは、ユーザの心的状態に大きく影響すると考えられるが、同時にカメラによる測定ではノイズとなってしまふ。そのため、コンテンツ視聴中に顔や目の動きを安定して測定するには、ユーザの動作を制限することになるため、結果としてユーザの負荷となってしまふという課題がある。

さらに、バイタルデータの中でも近年センサが普及しつつある心拍を用いて、ユーザの心的状態変化を推定する技術も提案されてきた。心拍センサは、腕時計型 [10] やシャツ型のウェアラブルセンサ [11]、マイクロ波を用いて非接触で測定するセンサ [12] が存在するため、脳波センサなどと比較してユーザの測定負荷は小さく、またユーザの行動や動作を制限することが少ないと考えられる。心拍を用いた代表的な手法としては、心臓が拍動した間隔を抽出したうえでスペクトル解析を行い、そのパワースペクトルのうち高周波成分である HF と低周波成分である LF の比率である LF/HF から、自律神経活動を推定する手法があげられる [13]。自律神経活動のうち、交感神経活動が亢進すると LF/HF は増加し、副交感神経活動が亢進すると LF/HF は減少することが知られている [13]。このような心拍間隔のスペクトル解析を用いて、Sakuragi らは、1 時間程度のコメディ動画と悲劇動画を視聴中のユーザから心拍を連続的に測定し、心拍間隔をスペクトル解析して得られる LF/HF より、コメディ動画と悲劇動画がユーザに与える効果の違いについて検討しており、コメディ動画は悲劇動画と比較し、ユーザの自律神経活動に早く、短い変化を与えると述べたうえで、視聴によって生じた気分変化と、視聴中に測定・算出した LF/HF の関係について検討している [14]。しかし、スペクトル解析を用いる場合、心拍間隔データのノイズによって LF/HF の算出結果が大きく狂ってしまう可能性があり [15]、瞬間的に生じるノイズに弱いという欠点がある。他方、上記の欠点を克服するにあたって注目すべき知見として、Sharfer ら [16] と Zhang ら [17] の研究があげられる。Sharfer らは心拍数と呼吸数の 20 分以下の、分単位の長期的変動には同期がみられることから、それらの長期的変動が類似しうること示している。また Zhang らは、暗算負荷時と比較して、安静時の方がそれらの変動がより類似していることを実験により示している。つまり、体の動きなどで生じたノイズを含む、心拍数および呼吸数の短期的変動をフィルタ処理などで除去した

後に残る、それらの分単位の長期的な変動の類似性から、ユーザの心的状態変化を推定できる可能性が示唆されている。心拍センサと同様、呼吸センサもマイクロ波を用いて非接触で測定できるセンサ [12] や、小型のウェアラブルセンサ [18] が存在するため、脳波センサやカメラなどに比べるとユーザに対する行動や動作の制限が少なく、測定負荷が小さいと考えられる。

3. 提案手法

Sakuragi らの研究から、1 時間程度のコンテンツ視聴で生じた気分の変化は、その視聴中連続的に計測した心拍をはじめとするバイタルデータと関連付けることができると考えられる。さらに Sharfer および Zhang らの研究から、ユーザの気分変化は、ユーザから連続的に測定した心拍数・呼吸数の長期変動の類似性から推定できる可能性があると考えられる。つまり、コンテンツ視聴によって生じる気分変化は、視聴中に計測した心拍数・呼吸数の長期変動の類似性から推定できる可能性があると考えられる。そこで本稿では、心拍数と呼吸数の長期変動の類似性を用いた気分変化の推定手法を提案する。図 1 に推定のフローを示す。

まず推定前に学習用データを作成する。あらかじめ、複数のユーザからコンテンツ視聴中の心拍数・呼吸数と、視聴前後の主観的な気分状態をそれぞれ計測する。次に、計測した心拍数と呼吸数にローパスフィルタを適用することで長期的な変動のみを抽出したうえで、それらの類似度を算出する。また、視聴前後の主観的な気分状態から、視聴によって生じた気分の変化量を算出する。そして算出された複数ユーザにおける類似度と気分の変化量を学習用データとし、学習用データから心拍数・呼吸数の類似度を説明変数、気分の変化量を被説明変数とする回帰モデルを作成する。

次に、実際に気分変化を推定したいユーザから、コンテンツ視聴中の心拍数・呼吸数をそれぞれ計測する。次に、測定した心拍数、呼吸数から同様に類似度を算出し、学習用データより作成した回帰モデルに代入することで、当該ユーザのコンテンツ視聴による気分の変化量を推定する。

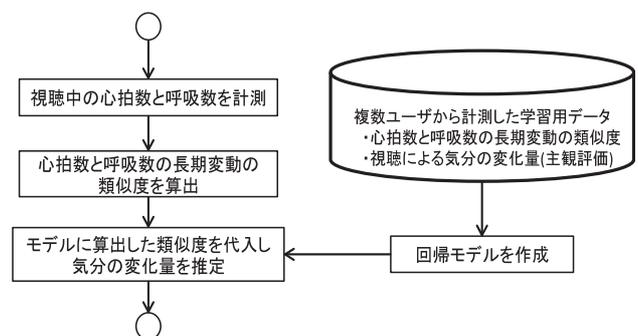


図 1 提案手法

Fig. 1 Proposed estimation method.

4. 実験と評価

4.1 実験目的

本実験の目的は、1時間程度のコメディ動画視聴中における心拍数と呼吸数の分単位以上の長期変動の類似度が、当該動画の視聴によって生じたユーザの気分変化と関係があることを確認したうえで、提案手法の有効性を明らかにすることである。

4.2 実験方法

4.2.1 被験者

健康な男女 20 名 (男性 13 名, 女性 7 名) が実験に参加した。被験者の年齢は 29.2 ± 4.0 歳 (平均 \pm 標準偏差) であった。参加にあたってはデータの計測方法, 実験手順, 測定データの用途などの説明を行い, 全被験者から書面により参加承諾を得た。

4.2.2 コンテンツ

すでに Takahashi らや Sakuragi らが, 1時間程度のコメディ動画視聴がユーザの気分状態に影響を与えることを示している [4], [14] ことから, コメディ動画の中でも有名な, 吉本興業が発売している M-1 グランプリの DVD (2006 年, 2010 年) [19], [20] に収録されている漫才ネタの動画 15 本を抜き出し, 10 数秒のインターバルを挟みつつ連続で再生することで, 約 1 時間のコメディ動画とした。なお, 被験者が視聴するネタの順番はランダムとした。

なお, コンテンツに対する各被験者の嗜好を確認するため, 各漫才ネタを視聴直後のインターバルに, 当該ネタの面白さを 100 点満点で主観評価してもらった。そして被験者ごとに算出した主観評価の平均値を, その被験者の感じたコメディ動画の面白さとした。

4.2.3 バイタルデータ計測方法

バイタルデータは心電位と呼吸曲線を計測した。計測には Biopac 社の MP150 システム (アンプ), BN-RSPEC (心電センサ兼呼吸アンプ) および BN-RESP-XDCR (呼吸センサ) を用いた。心拍はセンサを用いて 1,000 Hz のサンプリング周波数で心電位を計測後, Biopac 社の Acqknowledge ソフトウェアを用いて心電位から心拍間隔である RR 間隔を算出した。呼吸はセンサを用いて 1,000 Hz のサンプリング間隔で呼吸曲線を測定後, 同様に Biopac 社の Acqknowledge ソフトウェアを用いて呼吸曲線から呼吸数を算出した。

4.2.4 気分変化計測手法

気分変化の計測手法として, すでに Takahashi らや Sakuragi らが用いている Profile Of Mood States (POMS) [9] に着目した。POMS とは, 現在の気分に関する 65 の評価項目に回答することで, 「緊張 (Tension-Arousal)」「抑うつ (Depression)」「怒り (Anger-Hostility)」「活気 (Vigor)」「疲労 (Fatigue)」「混乱 (Confusing)」の

6 要素と, それらの総合得点である TMD (Total Mood Disturbance) を評価する手法であり, コンテンツ視聴効果の測定だけでなく, 労務管理や疾病による気分障害の測定などにも幅広く用いられている [21]。また, 65 項目では項目数が多すぎるといった観点から, 30 項目に絞り込んだ POMS 短縮版も提案され, 広く用いられている。本稿ではコンテンツ視聴直前・直後の気分を調べるため, 日本語訳された POMS 短縮版 [22] を用いた。POMS 短縮版における各設問を以下に示す。POMS 短縮版では各設問に対し, 被験者は現在の気分について, 「まったくなかった (0 点)」「少しあった (1 点)」「まあまああった (2 点)」「かなりあった (3 点)」「非常に多くあった (4 点)」の 5 段階で回答する。

- 1 気がはりつめる
- 2 怒る
- 3 ぐったりする
- 4 生き生きする
- 5 頭が混乱する
- 6 落ち着かない
- 7 悲しい
- 8 積極的な気分だ
- 9 ふきげんだ
- 10 精力がみなぎる
- 11 自分はほめられるに値しないと感じる
- 12 不安だ
- 13 疲れた
- 14 めいわくをかけられて困る
- 15 がっかりしてやる気をなくす
- 16 緊張する
- 17 孤独でさびしい
- 18 考えがまとまらない
- 19 へとへとだ
- 20 あれこれ心配だ
- 21 気持ちが沈んで暗い
- 22 だるい
- 23 うんざりだ
- 24 とほうに暮れる
- 25 はげしい怒りを感じる
- 26 物事がてきばきできる気がする
- 27 元気がいっぱいだ
- 28 すぐかっとなる
- 29 どうも忘れっぽい
- 30 活気がわいてくる

4.2.5 実験手順

実験は以下の手順で実施した。なお, コンテンツ視聴中はユーザの行動を特に制限せず, 笑う場合などにおいても着席しているのであれば顔や体を動かしてよいと教示した。

- 心拍数センサと呼吸センサを被験者に装着する。

- 実験前の気分状態の影響を抑えるため、被験者には着席後、5分間閉眼安静を保ってもらう。
- POMS 短縮版に回答してもらう。
- 椅子に着席し、椅子より 1.5m 離れたディスプレイに映し出されるお笑い動画を約 60 分、視聴してもらう。
- 視聴後、再度 POMS 短縮版に回答してもらう。

4.2.6 計算処理

まず計測した心電位より算出された RR 間隔 (sec) に 1/60 を乗じることで、心拍が拍動した各時点での瞬時心拍数を算出した。同時に、拍動した各時点において算出された呼吸数も記録し、心拍数と呼吸数のペアからなるデータとした。さらに、瞬時心拍数を基にした本データは不等間隔データとなるため、心拍数および呼吸数それぞれに対してノイズを除去したうえで、区分的 3 次エルミート補間によってリサンプリングを行い、等間隔データとした。ノイズ除去では、心拍数、呼吸数それぞれにおいてまず、心拍数なら 40 未満または 150 を超える値、呼吸数なら 6 未満または 25 を超える値を除去した後、残ったデータにおいて平均 ± 3 × 標準偏差の範囲に収まらない値をさらに除去した。または、リサンプリング間隔は、心拍間隔をスペクトル解析する際は一般に 0.125 秒 (8Hz) など小さな値とすることが多いが、本稿では分単位での長期変動に着目するため、10 秒 (0.1Hz) とした。

4.3 実験結果

4.3.1 POMS 得点と主観的面白さ

表 1 に、各被験者の視聴前後の POMS 得点の変化量と、被験者が動画に対して 100 点満点で評価した主観的面白さをそれぞれ示す。表 1 における POMS 得点の平均値を見ると、全体としては緊張、混乱、TMD が低下している被験者が多い。しかし、被験者 ID = 1, 12 のように疲労や TMD が上昇している被験者もあり、活気や TMD では標準偏差が約 10 となっているため、視聴による気分変化には個人差があることが分かる。また同様に面白さに関して、被験者によって動画を面白く感じたかどうかは個人差があることが分かる。

また、表 2 に、各被験者の視聴前後の各 POMS 得点の変化量と、被験者がコメディ動画に対して感じた面白さの相関 (相関係数 r と p 値) を、図 2 に、各被験者における TMD 変化量と面白さの関係をそれぞれ示す。表 2 および図 2 より、各被験者における主観的面白さと各 POMS 得点の変化量との間には 5% 以上有意な相関はないものの、主観的面白さと疲労感 (F)、TMD の間にはそれぞれ、10% 以上有意となる弱い負の相関があることが分かる。

4.3.2 心拍数と呼吸数の変動

心拍数および呼吸数は、15 分以下の変動がフィルタリングされるよう、遮断周波数 1/900Hz の単純移動平均フィルタによって平滑化 (フィルタ長 = 40) したうえで、

表 1 被験者群ごとの POMS 得点の変化量と動画の主観的面白さ
Table 1 Changes in the POMS score and subjective funniness of comedy movies in each subject.

ID	緊張	抑うつ	怒り	活気	疲労	混乱	TMD	面白さ
1	-3	3	6	-7	5	0	7	28
2	-9	-5	0	0	-10	-15	-16	61
3	0	0	0	0	2	-4	0	49
4	-10	0	0	-7	-5	-7	-5	78
5	-12	0	0	-12	0	6	2	76
6	-10	-3	5	7	-2	-16	-12	55
7	-2	0	0	9	2	-3	-5	87
8	-11	-5	0	10	6	-12	-12	72
9	0	0	0	5	0	0	-2	60
10	-25	0	8	-2	7	-12	-6	72
11	-25	-24	-5	12	-4	-10	-31	70
12	10	0	0	0	2	-3	4	72
13	-13	-8	-3	28	-10	0	-27	83
14	-2	0	0	17	-6	6	-9	61
15	0	0	0	2	0	3	0	65
16	-8	-11	0	7	0	-10	-13	68
17	-6	0	0	-1	7	3	3	29
18	-2	0	0	7	-6	0	-7	82
19	-5	0	0	2	4	3	0	65
20	0	0	0	-2	5	0	3	53
平均	-6.65	-2.65	0.55	3.75	-0.15	-3.44	-6.30	64.2
標準偏差	8.36	6.02	2.84	9.03	5.27	6.88	10.04	15.8

表 2 POMS 得点の変化量と主観的面白さの相関

Table 2 Correlation between changes in the POMS score and subjective funniness for comedy movies.

	緊張	抑うつ	怒り	活気	疲労	混乱	TMD
r	-0.21	-0.24	-0.34	0.35	-0.42	-0.12	-0.43
p	0.379	0.316	0.145	0.131	0.063	0.609	0.056

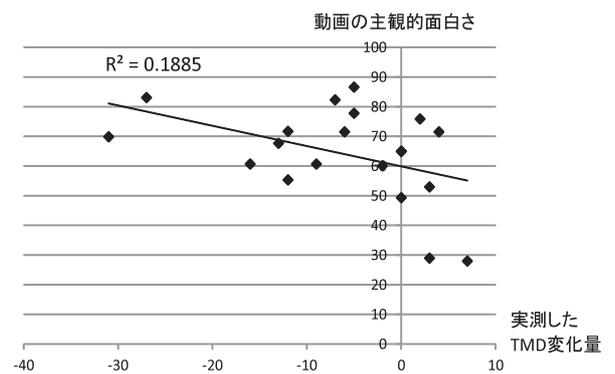


図 2 各被験者における TMD 変化量と主観的面白さ

Fig. 2 Change in TMD score and subjective funniness of comedy movies in each subject.

平均 = 0, 分散 = 1 に正規化した。図 3, 図 4 に、最も TMD が上昇した被験者 ID = 1 と、最も TMD が低下した被験者 ID = 11 の心拍数および呼吸数をそれぞれ示す。図 3 を見ると、被験者 ID = 1 の心拍数と呼吸数の変動はほぼ逆相関であることが分かる (r = -0.66)。一方で図 4 を見ると、被験者 ID = 11 の心拍数と呼吸数の変動

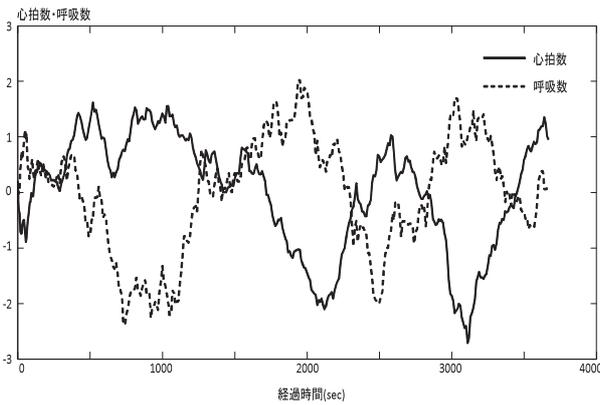


図 3 被験者 ID = 1 の正規化済心拍数と呼吸数

Fig. 3 Normalized heartbeat and respiration in subject ID = 1.

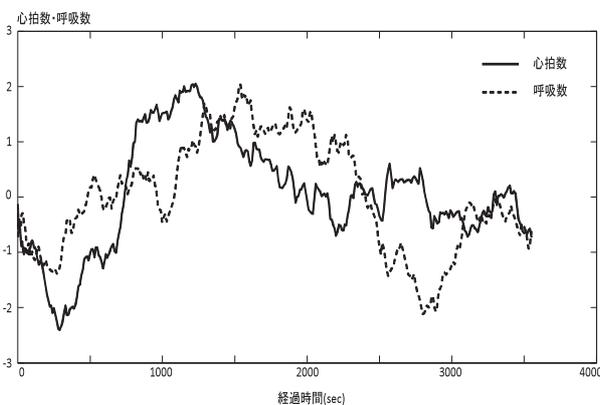


図 4 被験者 ID = 11 の正規化済心拍数と呼吸数

Fig. 4 Normalized heartbeat and respiration in subject ID = 11.

は、ID = 1 のそれらと比較すると類似していることが分かる ($r = 0.40$).

4.3.3 心拍数・呼吸数の変動と POMS 得点

長期変動を算出する際の単純移動平均フィルタのフィルタ長、すなわちローパスフィルタの遮断周波数を変えながら、心拍数および呼吸数の長期変動の類似度と、POMS 得点の変化量の関係を調べた。図 5 に類似度の算出手順を示す。類似度算出のため、前述のようにまず計測した心拍数と呼吸数はノイズを除去したうえで、10 秒間隔のデータにリサンプリングする。ノイズ除去では、心拍数、呼吸数それぞれにおいてまず、心拍数なら 40 未満または 150 を超える値、呼吸数なら 6 未満または 25 を超える値を除去した後、残ったデータにおいて平均 $\pm 3 \times$ 標準偏差の範囲に収まらない値を除去した。次に、リサンプリングしたデータに単純移動平均フィルタを適用した後、平均 0、分散 1 となるように正規化する。単純移動平均フィルタの遮断周波数はそれぞれ、1/300, 1/600, 1/900, 1/1,200, 1/1,500, 1/1,800, 1/2,100, 1/2,400 Hz としたが、これらはそれぞれ、5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 分以下の周期の変動をフィルタすることを意味する。そして、フィルタ処理後の

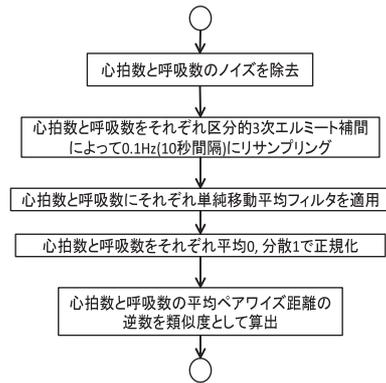


図 5 心拍数と呼吸数の類似度算出手順

Fig. 5 Calculation flow of similarity between heartbeat and respiration.

心拍数・呼吸数間の平均ペアワイズ距離の逆数を類似度とした。表 3 に、各被験者における、心拍数・呼吸数の類似度と POMS 得点変化の相関を示す。なお、すべての相関に対して t 検定を実施し、1%以上有意であれば **, 5%以上有意であれば * を相関係数に付与し、有意でない相関係数は n.s. とした。

4.4 実験結果の考察

表 3 より、POMS 得点のうち、緊張、抑うつ、疲労、混乱、TMD の各得点の変化と、心拍数・呼吸数の長期変動の類似度の間には有意な負の相関があることが分かる。そのため、コンテンツ視聴における心拍数・呼吸数の長期変動の類似度が減少するほど、視聴前後での POMS 得点が増加することになる。そして、POMS 得点は活気以外、値が大きいかほど気分がネガティブであることを意味する。そのため、この結果は既存研究で Zhang らが述べていた、精神負荷というネガティブな刺激によって、心拍数・呼吸数の長期変動の類似度が減少するという結果と整合する。

さらに表 2 で示したように、被験者がコンテンツに対して感じた主観の面白さは、POMS 得点のうち、疲労および TMD の変化量とそれぞれ 10% 有意となる負の相関があることが分かる。これは、コンテンツに対する各被験者の嗜好と気分変化の間には関係があるがその関係は弱く、コンテンツに対する嗜好は気分変化に反映されうるが、それだけが要因とはいきれないことを示唆していると考えられる。

なお、ネガティブな刺激によって心拍数・呼吸数の類似度が増加する原因について、Zhang らは被験者にとって心理的負荷となるネガティブな刺激は自律神経系を通じて呼吸と心拍に影響を及ぼし、同時に大脳皮質を通じて呼吸に影響を及ぼすことを指摘し、ネガティブな刺激が大脳皮質と自律神経系に及ぼす影響がこの現象の原因であると結論づけている [17]。そのため、本実験において長期変動の類似度が小さい被験者ほど、POMS における気分指標が悪化

表 3 心拍数と呼吸数の類似度と POMS 得点変化量の相関係数

Table 3 Correlation between similarity between heartbeat and respiration and changes in POMS scores.

遮断周波数 (Hz)	1/300	1/600	1/900	1/1,200	1/1,500	1/1,800	1/2,100	1/2,400
緊張	n.s.	-0.50*	-0.54*	-0.55**	-0.57**	-0.54**	-0.53*	-0.51*
抑うつ	n.s.	-0.46*	-0.56**	-0.63**	-0.67**	-0.68**	-0.72**	-0.73**
怒り	n.s.							
活気	n.s.							
疲労	-0.65**	-0.64**	-0.63**	-0.57*	-0.54*	-0.49*	-0.48*	n.s.
混乱	n.s.	n.s.	-0.52*	-0.60**	-0.63**	-0.67**	-0.68**	-0.69**
TMD	-0.53*	-0.68**	-0.73**	-0.74**	-0.74**	-0.72**	-0.73**	-0.71**

: p < 0.05 ** : p < 0.01

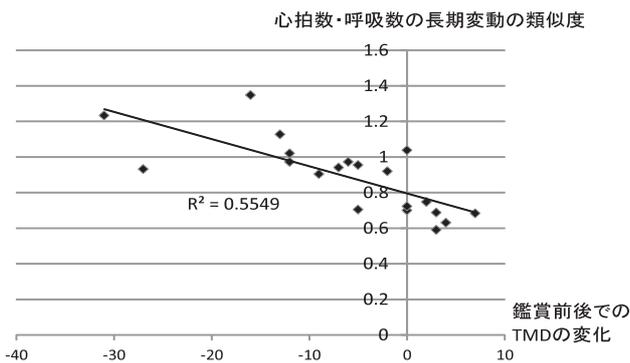


図 6 心拍数・呼吸数の類似度と TMD 得点変化の関係 (遮断周波数 = 1/1,200 Hz)

Fig. 6 Similarity between heartbeat and respiration and changes in TMD score (cutoff frequency = 1/1,200 Hz).

しているのは、表 2 で示したように、被験者本人にとって面白くないコメディビデオを視聴した結果、それが当該被験者にとってネガティブな刺激となったため、それが気分指標に影響を及ぼすとともに、Zhang らが結論づけたように心拍および呼吸に影響を及ぼしたことが一因と考えられる。そしてそれが、本実験において気分変化指標と心拍数・呼吸数の長期変動の類似度が相関した一因と考えられる。

また表 3 より、特に総合的な気分を表す TMD の変化が、心拍数・呼吸数の長期変動の類似性と高い負の相関 ($r < -0.7$) を持つことが分かる。図 6 に最も相関が強い例として、遮断周波数が 1/1,200 Hz のときの心拍数・呼吸数の類似度と TMD 得点変化を示す。このように、TMD の変化量は心拍数・呼吸数の長期変動の類似度と高い負の相関を持つため、この類似度を基に、ユーザのコンテンツ視聴による気分の総合的な変化である TMD 変化量を推定できると考えられる。よって、3 章で提案した手法は妥当であると考えられる。

4.5 評価

実験で計測した 20 名のデータを用いて、提案手法の有効性を評価した。各被験者 1 名のデータを入力とし、残り 19 名のデータから作成した回帰モデルを用いて推定する

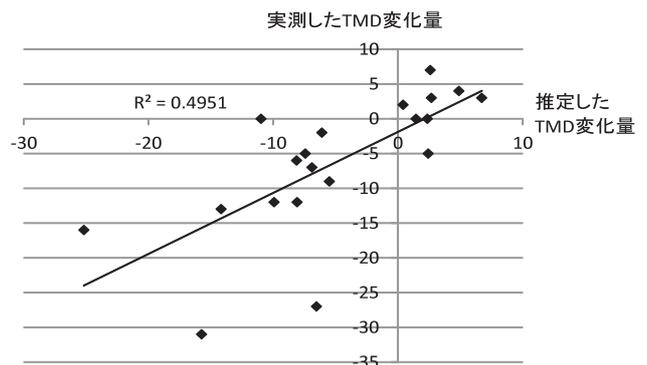


図 7 TMD 変化量の推定値と実測値

Fig. 7 Measured and estimated changes in TMD score.

1-subject-out-cross-validation を実施した。類似度の計算に用いる単純移動平均フィルタの遮断周波数は 1/1,200 Hz とした。

4.6 評価結果

図 7 に、各被験者の TMD 変化量の推定値と実測値を示す。図 7 に示されたとおり、提案手法によって実測値との相関が高い ($r = 0.70$, $p = 0.00054$)、TMD 変化量の推定値を算出できることが分かる。

4.7 評価結果の考察

提案手法によって、心拍数と呼吸数の長期変動の類似性から、実測値と高い相関を持つ TMD の変化量の推定値を算出できることが分かった。特に、視聴前後の TMD 得点の増減に着目すると、図 7 が示すように、20 名中 16 名の TMD 得点の増減を正しく推定できていることが分かる。

一方、図 7 の第 3 象限下部に 2 点外れ値とみられる推定値がある。この 2 名の被験者は ID = 11, 13 であるが、表 1 で示されているようにこの 2 名の TMD 変化量はそれぞれ -27, -31 となっている。これらの TMD 変化量は、全被験者における TMD の平均変化量が -6.3 となっていることを考えると、他の被験者と比較して非常に大きいといえる。そしてこの 2 名は、図 6 において左端にプロットされた 2 点と対応する。よって、図 6 で示されているよう

に、TMD 得点の変化量が大きい被験者、具体的には変化量が -25 以下の被験者に対しては、提案手法における単回帰モデルのあてはまりが良くないため、提案手法による推定誤差が大きくなったといえる。今後被験者を増やすことで、TMD の変化量が -25 以下の被験者における心拍数・呼吸数の長期変動の類似性と TMD 得点の変化量の関係を再検討したうえで、必要に応じて当該被験者に対する非線形モデルの適用や、複数特徴量のモデルへの組み込みを検討することで、推定精度の向上が見込まれると考えられる。

また、本稿での推定手法は、60 分程度のコメディ動画コンテンツを視聴した際のデータを用いた場合の有効性を確認できたが、たとえばコンテンツの長さが異なる場合や、コメディ以外、あるいは動画以外のコンテンツに対してどの程度汎用的に用いることができる手法なのか、今後検証していく必要がある。

5. 結語

本稿では、コンテンツ視聴がユーザへ及ぼす効果のうち、ゆるやかに変化しかつ持続的な感情とされる気分の変化を、視聴中のユーザの動作を制限することなく、低負荷に推定する手法について検討を行った。まず心拍数および呼吸数のうち、従来研究 [16], [17] においてユーザの心的状態との関係が示唆されており、かつコンテンツ視聴中の体動などによって生じるノイズを除去しやすい、分単位で生じる長期的な変動に着目した。そして、コンテンツ視聴中の心拍数および呼吸数の長期変動の類似度より、コンテンツ視聴によって生じたユーザの心的状態変化を推定する手法を提案した。また被験者実験によって、提案手法の有効性を評価した。本稿で得られた知見は以下のとおりである。

- 1 コメディ動画視聴中におけるユーザの心拍数および呼吸数の長期変動の類似度は、視聴によって生じた、Profile Of Mood State (POMS) で計測できる複数の気分指標の変化と有意な相関があり、特に Total Mood Disturbance (TMD) 得点の変化とは強い負の相関がある。
- 2 遮断周波数 1/1,200 Hz のローパスフィルタを適用した心拍数・呼吸数の類似度から、TMD 得点の変化量を提案手法を用いて推定することで、実測値と高い相関 ($r = 0.7$) を持つ推定値を算出できる。

上記の知見を用いることで、主に動画コンテンツ視聴中におけるユーザの気分変化を、視聴中や視聴前後にユーザの動作を制限することなく、視聴中に測定した 2 種類のセンサデータのみを用いて低負荷に推定することができる。その結果、たとえばお笑いショーなどを観劇している複数ユーザの気分変化をいっせいに推定したり、配信した動画コンテンツがユーザに及ぼす効果を客観的かつ自動的に推定したりすることができるようになる。そして、結果がコンテンツ作成者・提供者にフィードバックされることでコ

ンテンツの改善や、ユーザへのレコメンドなどに応用できるようになると考えられる。たとえば、VoD サービスにおいてユーザがある動画を視聴後、気分がポジティブに変化したと推定できたならば、VoD サービス提供者はその結果を基に、「元気が出る動画」として類似した動画をユーザへレコメンドすることができるようになると考えられる。また、結果をユーザ自身にフィードバックすることで、ユーザのコンテンツ視聴体験に関する気づきを促したり、気分変化の把握による健康管理などに役立てたりできると考えられる。このようなフィードバックの例として、吉本興業および NTT 西日本が実施した「スマート光お笑い劇場」がある [23]。「スマート光お笑い劇場」では、お笑いショーを鑑賞中、ユーザの心拍数および呼吸数をマイクロ波センサで計測し、終了後、センサデータより推定された「バカウケ度」や「リラックス度」を、ユーザへフィードバックするサービスである。このようなサービスにより、ユーザはお笑い鑑賞が気分のリラックスにどの程度役に立ったかを客観的に知ることができると同時に、他ユーザと結果を共有することで、新たなお笑い体験やそれに付随したファン同士のコミュニケーションが図れると考えられる。

今後の課題として、長さや内容の異なるコンテンツを用いた場合や、TMD が大きく低下したユーザ、あるいはさらに幅広い年代のユーザに対する提案手法の有効性検証があげられる。

参考文献

- [1] Gross, J.J. and Levenson, R.W.: Emotion Elicitation using Films, *Cognition and Emotion*, Vol.9, No.1, pp.87-108 (1995).
- [2] Bennett, M.P., Zeller, J.M., Rosenberg, L. and McCann, J.: The Effect of Mirthful Laughter on Stress and Natural Killer Cell Activity, *Alternative Therapies*, Vol.9, No.2, pp.38-44 (2003).
- [3] 金 多賢, 北島宗雄, 李 昇姫: 映像に対する嗜好と感情反応・印象評価の関係, 日本感性工学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.181-189 (2014).
- [4] Takahashi, K., Iwase, M., Yamashita, K., Tatsumoto, Y., Ue, H., Kuratsune, H., Shimizu, A. and Takeda, M.: The elevation of natural killer cell activity induced by laughter in a crossover designed study, *International Journal of Molecular Medicine*, Vol.8, No.6, pp.645-650 (2001).
- [5] 石井雅樹, 佐藤和人, 間所洋和, 西田 眞: 自己写像特性を用いた顔表情カテゴリーの抽出と感情空間マップの生成, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.11, pp.2659-2672 (2008).
- [6] 水科晴樹, 阪本清美, 金子寛彦: 課題遂行時の作業負荷により誘発された心理的ストレスとサッカーボール運動の動特性との関係, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.10, pp.1640-1651 (2011).
- [7] Yazdani, A., Lee, J.S., Vesin, J.M. and Ebrahimi, T.: Affect recognition based on physiological changes during the watching of music videos, *ACM Trans. Interactive Intelligent Systems*, Vol.2, No.1, Article 7 (2012).
- [8] 谷口高士: 認知における気分一致効果と気分状態依存効果, 心理学評論, Vol.34, No.3, pp.319-344 (1991).

- [9] McNair, D.M., Lorr, M. and Droppleman, L.F.: *EITS Manual for the Profile of Mood States*, Educational and Industrial Testing Service (1971).
- [10] Apple: Apple Watch, available from (<http://www.apple.com/jp/watch/>) (accessed 2016-05-09).
- [11] Goldwin: C3fit, available from (<http://www.goldwin.co.jp/c3fit/>) (accessed 2016-05-09).
- [12] シャープ株式会社：マイクロ波センサモジュール，入手先 (http://www.sharp.co.jp/products/device/lineup/selection/rf/micro_ha/index.html) (参照 2016-05-09).
- [13] Acharya, U.R., Joseph, K.P., Kannathal, N., Lim, C.M. and Suri, J.S.: Heart Rate Variability: A review, *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol.44, No.12, pp.1031-1051 (2006).
- [14] Sakuragi, S., Sugiyama, Y. and Takeuchi, K.: Effects of laughing and weeping on mood and heart rate variability, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, Vol.21, No.3, pp.159-165 (2002).
- [15] 井上 博 (編)：循環器疾患と自律神経機能，医学書院 (2001).
- [16] Scharfer, C., Rosenblum, M.G., Kurths, J. and Abel, H.: Heartbeat synchronization with ventilation, *Nature*, Vol.392, pp.239-240 (1998).
- [17] Zhang, J., Yu, X. and Xie, D.: Effects of mental tasks on the cardiorespiratory synchronization, *Respiratory Physiology & Neurobiology*, Vol.170, pp.91-95 (2010).
- [18] Spire: Spire, available from (<https://www.spire.io/>) (accessed 2016-05-09).
- [19] M-1 グランプリ 2006 完全版 史上初！新たな伝説の誕生—完全優勝への道 [DVD]，よしもとアール・アンド・シー (2007).
- [20] M-1 グランプリ 2010 完全版—最後の聖戦！無冠の帝王 vs 最強の刺客 [DVD]，よしもとアール・アンド・シー (2011).
- [21] 横山和仁：POMS 短縮版 手引きと事例解説，金子書房 (2005).
- [22] Lorr, M., McNair, D.D., Heuchert, J.P. and Droppleman, L.F. (著)，横山和仁 (訳)：日本語版 POMS 短縮版，金子書房 (2005).
- [23] NTT 西日本：スマート光お笑い劇場，入手先 (<https://www.ntt-west.co.jp/ikouze/owarai/>) (参照 2016-09-01).



角田 啓介 (正会員)

2011 年早稲田大学大学院創造理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。生体データを用いた状態推定技術の研究に従事。現在，NTT コムウェア株式会社勤務。電子情報通信学会，IEEE 各会員。



江口 佳那

2012 年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修了。同年日本電信電話株式会社入社。生体信号解析に関する研究開発に従事。現在，NTT サービスエボリューション研究所勤務。電子情報通信学会会員。



吉田 和広

1996 年東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻修了。同年日本電信電話株式会社入社。主にセンシング活用技術の研究開発に従事。現在，NTT サービスエボリューション研究所主任研究員。



渡部 智樹 (正会員)

1992 年横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。同年日本電信電話株式会社入社。主に，放送通信連携技術，家電制御技術，Web 連携活用技術，生体データを用いた状態推定技術に関する研究開発に従事。現在，NTT サービスエボリューション研究所主任研究員。電子情報通信学会会員。博士 (工学)。



水野 理

1994 年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。現在，NTT 知的財産センタ担当部長。日本音響学会，言語処理学会各会員。