

自動かつ非言語な感情表現手法の提案

築館多藍¹ 小林稔¹

概要: 感情コミュニケーションにおいて、自身の感情を伝えたいのにスキル不足によって言葉にすることができない、自己隠蔽の傾向があり十分に感情を表現できないといった問題が存在する。本研究では、従来の感情表現手法におけるそのような問題を解決するために、自動かつ非言語な感情表現手法を提案することを目的とする。その実現のために、提案手法では、生体情報から感情を推定し、それを色で表現する。関連する研究において、感情と生体情報、感情と色の関連が示されている。本手法を用いることにより、思考や言葉を介さない感情表現が自動で行えると仮定した。提案手法の有効性を検証するために、システム使用者の感情を誘起し、その感情を色に変換して、システム使用者と観察者に評価させる実験を行った。その結果、提案手法はシステム使用者の感情を自動で色に変換し表現することができたが、その色の解釈には個人差があった。

キーワード: 感情表現, 感情推定, 生体情報, 色

Proposal of automatic and non-verbal emotional expression method

TAAI TSUKIDATE^{†1} MINORU KOBAYASHI^{†1}

Abstract: In emotional communication, there are situations in which a person wants to express his or her emotions but is unable to do so due to a lack of skill, or is unable to express them sufficiently due to a tendency toward self-concealment. In this study, I propose an automatic and non-verbal emotion expression method to solve such problems in conventional emotion expression methods. In order to meet this goal, the proposed method estimates emotions from biometric data and expresses them with colors. In related researches, the relationship between emotions and biometric information, and between emotions and colors have been shown. I assume that the proposed method can automatically express emotions without the user's thoughts or words. In order to verify the effectiveness of the proposed method, I conducted an experiment in which I induced the system user's emotions, converted the emotions into colors with system, and had the system user and the observer evaluate the colors. As a result, the proposed method was able to automatically convert the system user's emotions into colors, but there were individual differences in the interpretation of the colors.

Keywords: Emotional Expression, Emotion Estimation, Biometric Information, Color

1. はじめに

感情は、人が物や出来事など知覚した刺激に対して生じる心理的または生理的反応である。また、個人的に重要で意味のあるものに注意を喚起したり内部状態を伝えたりするなどの社会的機能を有し、人が自身の経験や状態を他者と共有するうえでのプロトコルのような役割も果たす。また、感情の伝達や共感、表情や仕草などの非言語情報によって自動的に行われるものであるとされている。

しかし、本研究では、従来の感情表現手法では十分に感情を表現できない場面が存在すると考える。畑中[1]は、「自発的か他律的に関わらず、会話において自分の意見や感情を開示しないこと」を「発言抑制」と定義し、その原因の中に、相手に伝えたいことがあるのに言葉にすることができず、本意ながら伝えることができないことを示す「スキル不足」を挙げた。Larsonら[2]は、「思考や感情を含む、ネガティブな内容の自分の情報を他人に開示しないこと」

を「自己隠蔽」と呼び、多くの人にとって身近な経験だと述べている。本稿では、これらのことから、感情を言葉にするためのスキル不足、社会的配慮からの感情隠蔽などにより、十分な感情表現が抑制される場面が日常的に存在していると考えられる。

本研究では、このような従来の感情表現手法における問題に着目し、言葉に当てはめない不分明な感情表現を自動で行うことは、意図的な偽りのない感情表現に繋がり、これらの問題を解決すると考える。そのため、本研究は、従来の感情表現手法に代わる自動かつ非言語な感情表現手法を提案することを目的とする。その実現手法として、生体情報から感情を推定し、それを色で表現するという手法を提案する。本研究で提案する手法は、感情をあらかじめ決められたカテゴリに分類せず、感情表出者や受け手が各々で意味づけを行うような非言語表現とする。表情や仕草による非言語感情表現と同じように、解釈の個人差を前提とした不分明な表現とすることで、ネガティブな感情であっ

¹ 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, Faculty of Interdisciplinary
Mathematic Science at Meiji University

でも抑制されずに表現されることを期待する。実験では、提案手法の有効性を検証するために、システム使用者の感情を誘起し、その感情を色に変換した際、システム使用者と他者にどのように認識されるか検証を行う。

2. 関連研究

2.1 感情表現拡張

対面・非対面コミュニケーションにおける感情表現の拡張を試みた研究を紹介する。

倉長ら[3]は、拡張現実 (Augmented Reality, 以下 AR) を用いて、感情を表す記号として感嘆符やハートなどのオブジェクトをユーザの頭上に表示することによって、感情表現拡張を試みた。提案システムの有用性の評価のために実験を行った結果、オブジェクト選択用マークを手にとって掲げるという動作によって、オブジェクトの表示が会話に追いつかないという意見が得られたと報告している。また、倉長らは、システムの評価アンケートにおいて、システムの利用によって意思疎通が円滑になったという回答が多く得られなかったと述べており、その原因について、“システムの利用で体を使った表現ができなくなり、意思の疎通が難しくなった”ためと考察している。この研究を参考に、本研究では、ユーザが感情を選ぶという手順を踏まず、手を塞ぐことなく自動で感情表現を行える手法を提案する。

酒井ら[4]は、非言語情報の伝達はコミュニケーションにおいて重要であるとして、“遠隔地にいるユーザ同士の感情や状態の共有を支援すること”を目的に、ビデオ会議において相手の感情・状態を表すエフェクトを画面外にプロジェクションする手法を提案した。プロジェクションするエフェクトの選択には手動入力と半自動入力を採用しており、半自動入力では、画像認識によってユーザの表情やポーズからエフェクトを推薦する。この研究は、感情をあらかじめ決められたカテゴリに分類するという点と、最終的に感情を表現するかどうかを決定するのはユーザ自身であるという点で、本研究と異なる。

2.2 感情推定と表現

ユーザの手による入力なしに感情を推定するため、ユーザの生体情報を用いる研究が数多く行われている。川上ら[5]は、生体情報について、“脳波・体温・血圧・心拍といった生体が発する生物学的・解剖学的情報”と説明しており、外からの刺激に対して本人の意思とは別に無意識に反応することから、ユーザに関する様々な状態の手がかりになると述べている。近年、人の感情や心理状態を解き明かすために、様々な生体情報が用いられる。

Ikeda ら[6]は、ユーザの感情に合わせたインタラクティブなロボットの動作を実現するために、ユーザの脳波と脈拍を用いた感情推定手法を提案した。Ikeda らの手法では、脳波から推定した覚醒度と脈拍から推定した快度をユーザの感情として2次元空間上にマッピングしており、言葉や

カテゴリにあてはめない連続的な感情の推定を実現している。この研究を参考に、本研究でも同様の感情推定手法を用いる。

Semertzidis ら[7]は、対面コミュニケーションにおける感情の共有を支援するため、脳波から推定したユーザの感情を AR で可視化するシステムを提案した。推定されたユーザの感情は4つのカテゴリに分類され、色およびフラクタルパターンとして相手に提示される。システムの評価実験では、相手だけでなく自分の感情を観察することにも役立ったという意見が得られたと報告している。本研究でも、提案手法および提案手法を反映したシステムに対して、同様の効果を期待する。

3. 提案手法

3.1 感情推定手法

感情の推定や表現の研究において、推定した感情を対応付けるモデルとして、Russell[8]が提案した感情の円環モデルが多く用いられている。Russell の提案をもとに作成した円環モデルを図1に示す。このモデルでは、人の感情は快-不快と覚醒-睡眠の2軸によって表現できるとし、一般的な感情を表す形容詞はこの空間上に円環状に配置できるとされる。感情を座標空間上に表すことによって、連続的な表現が可能となるため、本手法ではこのモデルを用いる。

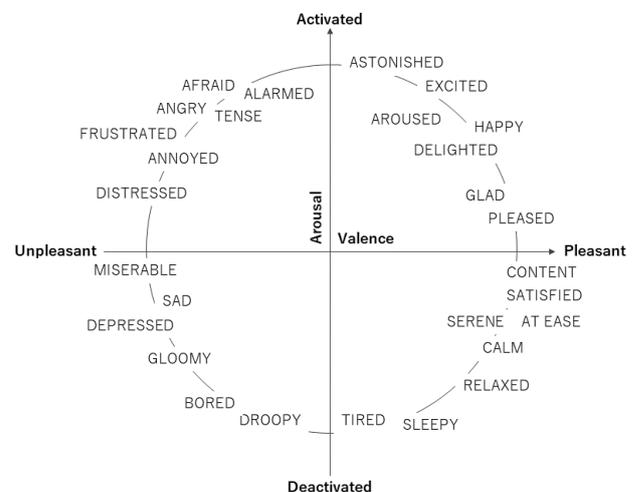


図1 Russell の円環モデル

Figure 1 Russell's emotion wheel.

関連する研究において、生体情報からの感情推定の有効性が示されている。本手法では、ユーザの感情を推定するための生体情報として、脳波と脈拍を用いる。

脳波は、人間の覚醒・睡眠との関連が知られている。特に周波数帯域で分類した場合、α波 (7-13Hz) は睡眠状態、β波 (13-Hz) は覚醒状態と関係があると考えられている[5][9]。このことから、本手法では、ユーザの脳波データをもとに覚醒度を算出する。本稿では、システムに使用した

Emotiv 社の脳波計 EPOC+[10]から出力される Performance Metrics のうち, Excitement という指標を用いる. この指標は, Emotiv 社より, 交感神経の活性化を特徴とする生理的覚醒を表すとされており, 出力される Performance Metrics の中で特に正確であると述べられている. そのため, 本稿では, EPOC+より 0~100 で出力される Excitement をユーザの覚醒度の算出に用いた.

心拍データから得られるユーザの心拍変動は快さ・ストレスとの関連が示されており[11], 特にストレス指標として pNN50 という指標が提案されている[12]. pNN50 とは, 連続する心拍のうち鋭い波形を示す R 波同士の時間間隔を R-R 間隔 (R-R Interval, 以下 RRI) とし, ある時間の中で隣接する RRI の差の絶対値が 50ms を超える割合を示す. 人間の RRI には恒常的に揺らぎが存在するのが正常とされており, pNN50 の値が 0 に近いほどストレスが大きく不快な状態, 値が 1 に近いほどストレスが小さく快い状態だとされている. また, 厳密な RRI の測定のためには胸部への電極装着などが必要であるため, 本稿では RRI の代替指標として脈拍間隔 (Pulse-to-Pulse Interval, 以下 PPI) を用いる. 角田ら[13]は, PPI について, “末梢血管の血流量を測定した脈波の間隔”と説明し, “面型センサに指尖部などが触れるだけで測定可能”と述べている. 角田らは, RRI と PPI の関係について, “共に心臓の拍動から生じるもの”であり, その値は一致するとしている. そのため, 本手法では, PPI から算出した pNN50 をユーザの快度の算出に用いた.

以上を踏まえて, 感情と生体情報の対応モデルを作成する. 本手法では, Ikeda ら[6]の研究を参考に, 脳波計の出力をもとに覚醒度を, 脈拍から得られる pNN50 をもとに快度を算出する. 覚醒度と快度は, それぞれ-1~1 の値をとるよう正規化する. 覚醒度について, EPOC+より 0~100 で取得される Excitement を, 覚醒度-1~1 に線形に割り当てた. 快度について, pNN50 が 0.3 のとき快度 0 とし, pNN50 が 0 のとき快度-1, pNN50 が 1 のとき快度 1 となるよう, その間を線形に割り当てた. これは, Mietus ら[12]により, 特に 21-34 歳の若者における pNN50 の平均は 0.3 と報告されているためである. Ikeda ら[6]のシステムにおいても同様に, pNN50 が 0.3 のとき快度 0 となるよう設計されている. このようにして割り当てた覚醒度・快度の値を, Russell の提案するモデルを参考に, 快-不快を X 軸, 覚醒-睡眠を Y 軸とした 2 次元座標空間に対応付ける. 作成したモデルを, 図 2 に示す.

3.2 感情表現手法

日常に溢れる非言語情報のうち, 色が持つ心理的印象は感情と関係があることが知られており, 感情表現として色を用いる研究は数多く存在する. 青島ら[14]は, 「感情実況」を促して他者に対する親近感を感じさせることを目的として, ユーザにその時の自身の感情に合った色を選択させる

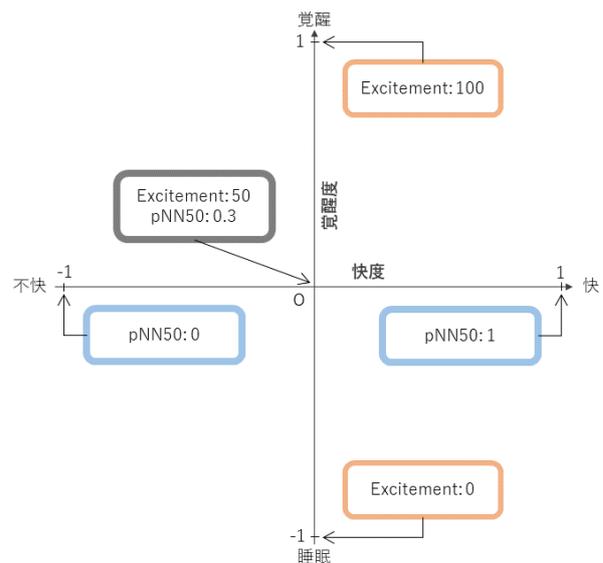


図 2 感情と生体情報の対応モデル

Figure 2 The correspondence model of emotion and biometric information.

システムを提案し, その有効性を報告した. 箕田ら[15]は, “情報の迅速かつ高度な視認性と, 感情の喚起による力との間でコミュニケーションを図るシステムツール”となることを期待し, ユーザが選択した色をメールとして送る「空 (カラー) メール」というツールを提案した. このような関連する研究から, 本研究では, 感情を表現するための非言語情報として色を用いることは可能であると考え.

また, 色は, 人間の生理状態や心理状態に様々な形で影響を与えるといわれており, 色の提示が脈拍や脳波に影響を与えた例が報告されている[16][17]. 本研究では, これらのことから, 感情表現としての色に対して他者の共感を起こすことは可能であると考え. そのため, 本手法における感情表現には色を用いる.

本手法における快度・覚醒度と色の対応付けについて示す. 山内ら[18]は, “顔などの擬人的特徴を有しないロボットにおける感情表出手法”について, 人間は非言語情報により感情を伝達することから, “全く新規なモダリティを模索するよりも, 共感をうまく誘発する本質的要素を組み込むほうが現実的である”として, 感情表出手法として色を用いた. この研究では, 提示した感情語を表現するような発色変数を被験者に設定させることで, Russell[8], Plutchik[19]により提唱された感情モデルに使われている感情語を HSV 色空間の色相に対応付ける実験が行われた. 山内らは, その結果に主成分分析を行って得られた第 1 主成分と第 2 主成分が, Russell のモデルにおける覚醒-睡眠軸および快-不快軸に対応すると主張した. ここで, その結果から得られた第 1, 第 2 主成分と, 発色変数である Red, Green, Blue の相関係数 (因子負荷量) を表 1 に示す.

表 1 各発色変数の因子負荷量

Table 1 The factor loadings for chromogenic variable.

変数	第 1 主成分	第 2 主成分
Red の値	0.75	-0.23
Green の値	0.16	0.93
Blue の値	-0.76	-0.53

この表から、Russell の円環モデル上で快度が低く覚醒度が高い感情ほど、被験者は Red の値が高い色で表現したことがわかる。この結果を参考に、本手法では、Red, Green, Blue のそれぞれについて、山内らが算出した第 1, 第 2 主成分に対する因子負荷量を覚醒度・快度への寄与度の比と解釈し、次式にて算出する。なお、式中の arousal は覚醒度、pleasant は快度を表す。

$$\text{Red} = \left[\frac{255}{2} + \frac{255}{2} \cdot \left(\frac{0.75}{0.75+0.23} \cdot \text{arousal} + \frac{-0.23}{0.75+0.23} \cdot \text{pleasant} \right) \right]$$

$$\text{Green} = \left[\frac{255}{2} + \frac{255}{2} \cdot \left(\frac{0.16}{0.16+0.93} \cdot \text{arousal} + \frac{0.93}{0.16+0.93} \cdot \text{pleasant} \right) \right]$$

$$\text{Blue} = \left[\frac{255}{2} + \frac{255}{2} \cdot \left(\frac{-0.76}{0.76+0.51} \cdot \text{arousal} + \frac{-0.51}{0.76+0.51} \cdot \text{pleasant} \right) \right]$$

この式から、覚醒度・快度が共に 0 となる座標空間の原点において、(Red, Green, Blue)は(127, 127, 127)となる。Red は覚醒度と正の相関があり快度と負の相関があるため、快度 1 覚醒度-1 のとき 0, 快度-1 覚醒度 1 のとき 255 となる。

以上のようにして感情表出者の生体情報から算出した色を他者に提示することで、自動かつ非言語な感情表現となることを期待する。

4. システム概要

実験のために、提案手法を反映したシステムを作成した。その概観を図 3 に示す。

脳波の測定には、Emotiv 社の EPOC+[10]を用いた。EPOC+は、国際 10/20 法に準拠した 14 箇所 (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) の電極配置をとり、サンプリングレート 128 sps で 0.2-45Hz の帯域幅をサンプリングする。また、EPOC+には標準で 50Hz, 60Hz のデジタルノッチフィルターが付いている。サンプリングしたデータを EPOC+付属の USB ドングルを用いて PC に送信し、WebSocket で受信した。脳波計から出力されたデータをもとに、EPOC+付属のアプリケーションにより算出される Excitement 指標について、1 分間毎に平均をとった。その値を、クラウド IoT データ蓄積サービスである Ambient[20]へ 1 分毎に送信した。

脈拍センサとして、耳たぶに装着することで脈拍を測定できる Seede Studio 社の Grove Ear-clip Heart Rate Sensor[21]を、M5Stack 社の小型モジュールである M5StickC[22]に接

続して使用した。得られた脈拍のデータをもとに、隣接する 30 個の PPI から pNN50 を算出し、1 分毎に平均をとり、Wi-Fi を使って 1 分毎に Ambient へ送信した。

以上のようにして得られたデータから、1 分毎にユーザの覚醒度・快度を算出し、色に変換して画面に表示した。色の表示には、脈拍センサを取り付けた M5StickC の画面を用いた。通常のディスプレイと比較して不自然な明るさにならないよう、画面の明るさを 0~12 のうち 9 に設定した。また、M5StickC 本体の色である明るい橙が画面に表示した色の印象に影響を与えないよう、本体を白い紙で覆った。

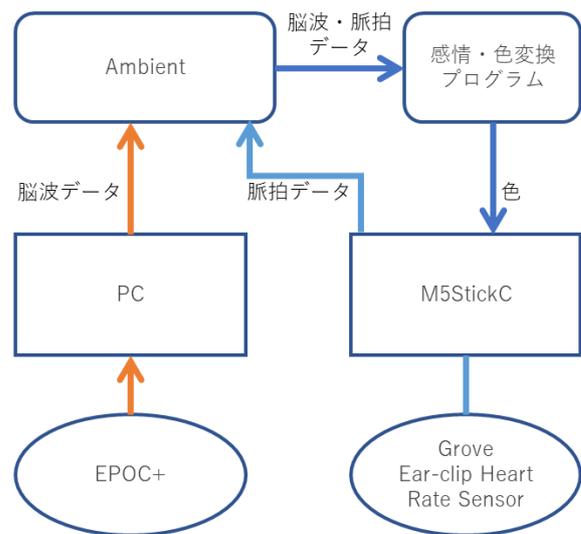


図 3 システムの概観

Figure 3 System Overview.

5. 評価実験

5.1 実験概要

本稿の提案手法は、新しい感情表現手法となることを目指すため、感情表出者と受け手の両者に納得感をもってもらうことが重要である。そこで本稿の実験では、提案手法を用いたシステムが感情表現手法として有効であるか検証することを目的に、使用者と観察者に対して調査を行った。

実験は 2020 年 12 月 7 日から 2020 年 12 月 13 日の間、明治大学中野キャンパスの研究室で行った。実験の様子を再現した風景を図 4 に示す。被験者は 21~24 歳の学生 10 名 (男子 6 名, 女子 4 名) であった。提案手法のコミュニケーションツールとしての有用性を確認するため、実験は 2 人 1 組で行い、それぞれを、提案手法およびシステムを通して感情を表す者 (以下、使用者)、表出された感情を受け取る者 (以下、観察者) とした。使用者には脳波・脈拍センサを含む提案システムを使用してもらい、観察者には画面に表示される色を観察してもらった。このとき、使用者と観察者は向かい合う形で座ってもらうが、観察者は使

用者の表情を含む非言語感情表現を意識せず、表示される色のみを見るよう指示した。表示した色の見え方への影響を減らすため、室内の明るさは毎回ほぼ同じになるように調節した。



図 4 実験の様子再現

Figure 4 The scene of the experiment.

5.2 実験手法

実験では、使用者の感情を導出するため、4つの動画を刺激(A, B, C, D)として視聴してもらった。動画は、Russellの感情モデルにおける4つの象限(刺激A: 快・覚醒(第1象限), 刺激B: 不快・覚醒(第2象限), 刺激C: 不快・睡眠(第3象限), 刺激D: 快・睡眠(第4象限))に該当する感情を導出するように選出した。各刺激の詳細を表2に示す。視聴の順番はランダムとし、観察者にはどの動画を視聴しているかわからないようにした。

表 2 各刺激の詳細

Table 2 The details of the stimuli.

刺激	導出を期待する感情	動画内容
刺激 A	快・覚醒(第1象限)	2匹の猫と楽しげに遊ぶ女性の様子
刺激 B	不快・覚醒(第2象限)	蚊の映像および立体音響の飛蚊音
刺激 C	不快・睡眠(第3象限)	寺で淡々とお経が読まれている様子
刺激 D	快・睡眠(第4象限)	晴れた山間の川の風景

実験中と実験後に使用者および観察者にアンケートを行った。使用者には、各動画視聴後、その動画に対する自分の主観的な感情(以下、主観感情)、提案手法で算出された色から感じる感情(以下、使用者色彩感情)を、快感・覚醒度の2つの指標について「1: 不快 - 5: 快」「1: 眠気 - 5: 覚醒」の5段階で評価してもらい、全動画視聴後、全体を通して色が自分の感情をどの程度反映していると感じたか(以下、使用者感情反映度)を「1: 全く反映していな

い - 7: 非常に反映している」の7段階、色で自分の感情が観察者にどの程度伝わったと感じるか(以下、使用者感情伝達度)を「1: 全く伝わらなかった - 7: 非常に伝わった」の7段階で評価してもらった。観察者には、システム使用者の各動画視聴後、提案手法で算出されて画面に表示された色から感じる感情(以下、観察者色彩感情)を、快感・覚醒度の2つの指標について「1: 不快 - 5: 快」「1: 眠気 - 5: 覚醒」の5段階で評価してもらい、全動画視聴後、全体を通して色が使用者の感情をどの程度反映しているように感じたか(以下、観察者感情反映度)を「1: 全く反映していない - 7: 非常に反映している」の7段階で評価してもらった。また、実験終了後、使用者・観察者双方に、自身の色覚および実験について、任意で自由記述してもらった。なお、主観感情は動画刺激自体に対する評価、使用者色彩感情は動画終了時点の色に対する評価、観察者色彩感情は動画視聴中および動画終了時点の色に対する評価を回答してもらった。

実験の手順は以下の通りである。

1. 2人組の被験者は使用者と観察者に分かれる
2. 使用者に脳波・脈拍センサを装着し、十分な接続を確認する
3. 使用者はイヤホンを装着し、適切な音量に調節する
4. 使用者は2分間安静にする
5. 使用者は1つの動画を約2分間視聴し、その間観察者は色を観察する
6. 使用者は色を確認し、使用者、観察者は各動画視聴後のアンケートへ回答する
7. 5, 6を4回繰り返し、使用者、観察者は全動画視聴後のアンケートに回答する
8. 使用者と観察者を交代して、再び2~7を行う

5.3 結果

実験を通して、システムが推定した感情(以下、推定感情)およびそれらから算出した色について報告する。一例として、使用者7における推定感情の推移を図5に示す。なお、使用者が動画の視聴を終えた時点で画面に表示されていた色を、グラフ上部に正方形および矢印で示している。

実験全体を通して、10名中8名の使用者の推定感情は、快感・覚醒度ともに負の領域に留まっていた。従って、算出された色はほとんど青や紫色であり、微細な変化が確認されたのみだった。

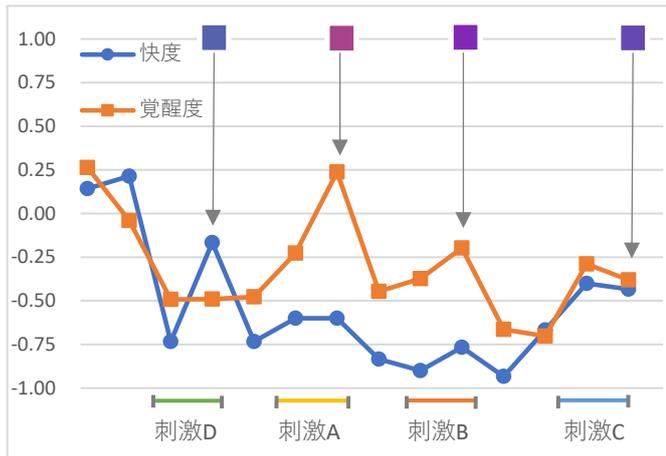


図 5 使用者 7 の推定感情推移

Figure 5 The transition of user 7's estimated emotion.

次に、実験中、各刺激後に行ったアンケートの結果について報告する。各刺激を使用者に提示した際の主観感情、推定感情、使用者色彩感情、観察者色彩感情（快度・覚醒度）について、提案手法における感情モデルに対応するよう値を正規化し、全被験者における平均値および標準偏差を算出した。また、X 軸に快度、Y 軸に覚醒度をとったグラフにそれらの平均値をプロットしたものを図 6 図 7、図 8、図 9 に示す。これらから、推定感情の平均は想定した感情や主観感情から大きく異なっていること、使用者・観察者それぞれの色彩感情の平均の分布も大きく異なっていることがわかる。また、観察者色彩感情は使用者色彩感情より全体で標準偏差が大きく、評価のばらつきが大きかった。

最後に、実験後アンケートにて得られた回答の結果を報告する。使用者感情反映度についての「1: 全く反映していない - 7: 非常に反映している」の 7 段階評価では、平均は 4.0、標準偏差 1.70 であり、5~7 を選択した人が半数となった。使用者感情伝達度についての「1: 全く伝わらなかった - 7: 非常に伝わった」の 7 段階評価では、平均は 3.4、標準偏差 1.07 であり、1~3 を選択した人が半数を超えた。観察者感情伝達度についての「1: 全く伝わらなかった - 7: 非常に伝わった」の 7 段階評価では、平均は 4.1、標準偏差 1.52 であり、4~7 を選択した人が半数を超えた。自由記述において、使用者・観察者双方から、あまり色の変化が感じられなかったという旨の回答が得られた。特に観察者から、「感情も変化していないのだろうかと思った」といった、色だけでなく使用者の感情の変化に言及する回答が得られた。また、通常とは異なる色覚を持つと回答した被験者はいなかった。

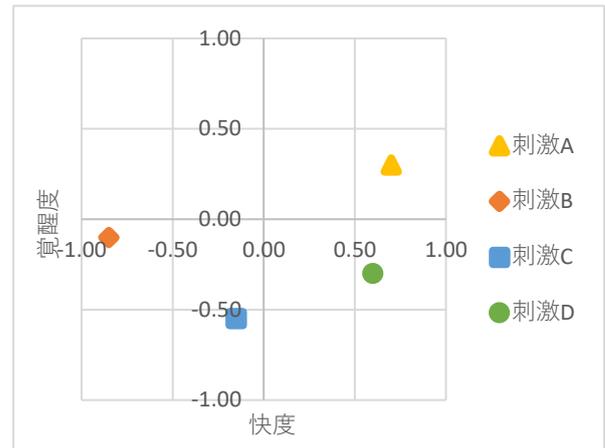


図 6 各刺激における主観感情の平均

Figure 6 The average of subjective emotions for each stimulus.

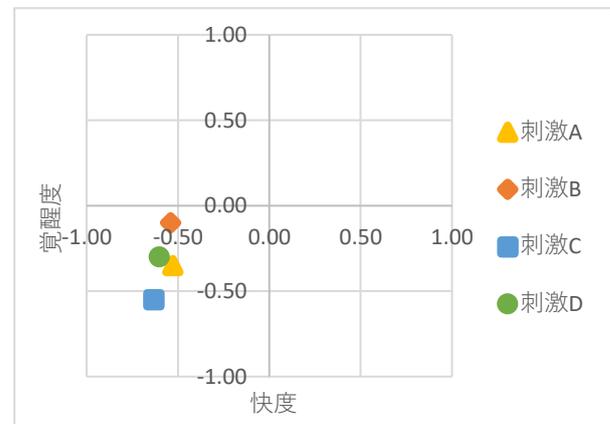


図 7 各刺激における推定感情の平均

Figure 7 The average of estimated emotions for each stimulus.

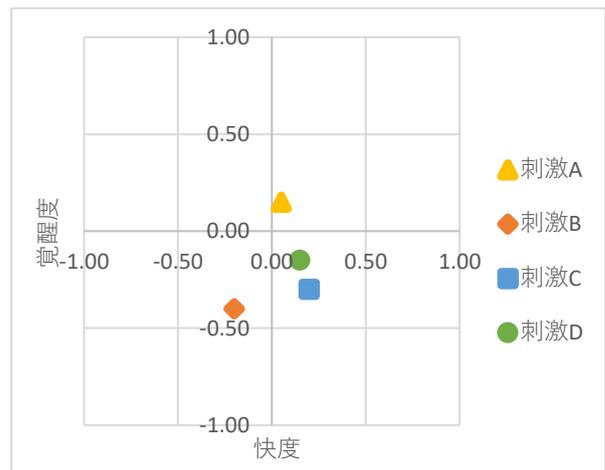


図 8 各刺激における使用者色彩感情の平均

Figure 8 The average of the emotions that the user felt from the color for each stimulus.

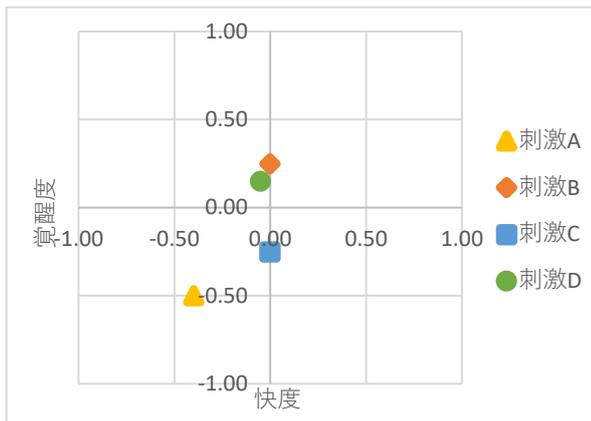


図 9 各刺激における観察者色彩感情の平均

Figure 9 The average of the emotions

that the observer felt from the color for each stimulus.

6. 考察

6.1 刺激の妥当性

感情を導出するためにシステム使用者へ提示した刺激の妥当性について検討する。

各刺激における主観感情の平均 (図 6) から、第 1 象限に位置するよう選出した刺激 A, 第 3 象限に位置するよう選出した刺激 C, 第 4 象限に位置するよう選出した刺激 D に対する主観感情は意図した象限に位置している。このことから、刺激 A, C, D に対する主観感情は導出を意図した感情とおおむね一致したため、選出は妥当であるといえる。しかし、第 2 象限に位置するよう選出した刺激 B に対する主観感情は意図したものより低い覚醒度を示した。一方、自由記述において、刺激 B の不快さに言及する複数の回答が得られた。これらのことから、刺激 B は、使用者の主観感情に不快を導出するには十分だったが、覚醒を導出するには不十分だったといえる。

また、各刺激における推定感情の平均 (図 7) から、システムにより推定された感情は、刺激ごとのばらつきが小さかったことがわかった。さらに、自由記述において「動画から想起される感情が薄いかもしれないと思った」「もう少し刺激的な動画があっても面白いのかなと思いました」といった、刺激により導出された感情の小ささを示唆する回答が得られた。これらのことから、使用者の感情を導出するためには、動画を視聴させるだけでは不十分だった可能性も考えられる。

6.2 感情推定精度

システムの感情推定精度について考察する。

各刺激における推定感情の平均 (図 7) から、システムにより推定された感情は刺激ごとの差が小さかった。全刺激を総合して見た場合であっても、快度の標準偏差 0.51, 覚醒度の標準偏差 0.28 とばらつきが小さかった。

さらに、使用者の主観的な感情評価とシステムにより推

定された感情がどの程度一致しているかを調べるために、主観感情と推定感情の相関係数およびコサイン類似度を算出した。刺激ごとに算出した場合、刺激 B, C において、主観感情と推定感情のコサイン類似度が 0.50 を超えた。これは、システムにより推定された感情は不快を示すものが多かったため、使用者が刺激 B, C に対して感じた不快さと一致したことによると考えられる。これらのことから、システムの不快推定精度が高かった可能性と、一般的に不快ではなさそうな刺激への不快さが主観感情に表れづらい可能性の 2 つが示唆された。

また、使用者ごとに算出した場合、主観感情と推定感情の類似度は使用者ごとに大幅な差が見られた。ここで、実験を通して推定された快度が一度でも 0.30 を超えた使用者は 2 人のみであり、これは主観感情と推定感情の類似度が高かった使用者と一致している。これらのことから、推定された快度の高さが類似度の高さに関係しており、推定感情の快度が高いほど、主観感情と推定感情が類似しやすいと考えられる。

6.3 感情表現精度

システムの感情表現精度について考察する。

まず、システムにより算出された色がシステムにより推定された感情をどの程度表していると感じられたかを調べるために、推定感情と使用者色感情の相関係数およびコサイン類似度を算出した。刺激ごとに算出した場合、推定感情と使用者色彩感情の類似度は全体として正の値を示した。このことから、提案手法における感情と色の対応付けの妥当性が示唆された。しかし、使用者ごとに算出した場合、類似度に差が見られた。また、推定感情と観察者色彩感情の相関係数およびコサイン類似度を算出した。使用者ごとに算出した推定感情-使用者色彩感情の類似度と推定感情-観察者色彩感情の類似度を比較すると、使用者ごとの分布の仕方が異なっていた。これらのことから、システムにより算出された色に対して、感じ取れる感情に個人差があること、使用者と観察者で感じ取る感情に差があることがわかる。

次に、システムにより算出された色が使用者の主観的な感情評価をどの程度反映していると感じられたかを調べるために、主観感情と使用者色感情の相関係数およびコサイン類似度を算出した。使用者ごとに算出した場合、10 人中 8 人の使用者において主観感情と使用者色彩感情の相関係数およびコサイン類似度が正の値をとり、その使用者らは感情反映度も比較的高く評価していた。また、この 8 人の中には、主観感情と推定感情の相関係数およびコサイン類似度が負の値を示した者や、それらの値での相関がほとんど見られない者も含まれた。これらのことから、感情推定の精度に抛らず、自身の生体情報から算出された色は主観的な感情と類似していると評価した使用者が多かったことがわかる。

また、実験後アンケートでは、使用者感情伝達度の評価において、システムを通して自身の感情が観察者に伝わったと回答した使用者は少なかった。しかし、観察者感情反映度の評価では、使用者感情伝達度に関わらず、使用者の感情を反映していると回答した観察者が多かった。さらに、観察者による感情反映度の評価は、主観感情-観察者色彩感情の類似度および推定感情-観察者色彩感情の類似度に関わらなかった。これらのことから、その精度や正確さを考慮しなければ、本研究が目指している「解釈に個人差があることを前提とした表現」は達成されたといえるだろう。

7. おわりに

本稿では、自身の感情を伝えたいのにスキル不足によって言葉にすることができない、自己隠蔽の傾向があり十分に感情を表現できないといった従来の感情表現手法における問題に着目し、自動で非言語な感情表現を行う手法を提案することを目的とした。関連研究を参考に、感情推定のための生体情報として脳波と脈拍、感情表現のための非言語情報として色を用いた手法を提案し、提案手法を用いたシステムを実装した。これにより、本人の意思や思考を介さず、かつ不分明な感情表現が可能になることを期待した。実験では、被験者2人組のうち1人に提案手法を反映したシステムを使用してもらい、もう1人には提案手法による算出される色を観察してもらうことで、提案手法が感情表現として有効であるかの検証を行った。その結果、提案手法における感情と色の対応づけの妥当性が示唆され、使用者、観察者それぞれに感情表現として受け入れられたように思われるが、感情表現としての色の解釈には個人差があった。

本稿の提案手法による感情推定では、本稿の実験において導出された感情は微細な変化として表れるのみだった。我々は、本研究において、日常な些細な感情を表現できる手法の提案を目指すため、本稿の実験で用いたような刺激に対する感情を他者にうまく伝達しうる表現を模索する必要があると考える。今後、その実現のために、推定した感情そのものではなく、推定した感情の変化量を表現するなどの手法を検討していく。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 18K11410 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 畑中 美穂. 会話場面における発言の抑制が精神的健康に及ぼす影響. 心理学研究. 2003, vol. 74, no. 2, p. 95-103.
[2] Dale G. Larson & Robert Chastain. Self-Concealment: Conceptualization, Measurement, and Health Implications. *Journal of Social and Clinical Psychology*. 1990, 9(4), p. 438-455.
[3] 倉長拓海, 吉野孝. 拡張現実感技術を用いた対面コミュニケーションにおける感情表現および話題提供システムの開発. 情報科学技術フォーラム講演論文集. 2010, vol. 9, no. 3, p.

249-250.
[4] 酒井 紗希, 田中 二郎. 遠隔コミュニケーションにおける感情共有のための画面外への表現拡張 (モバイルが拓く未来: 社会,働き方,教育,技術,そして人間の変革). シンポジウムモバイル研究論文集. 2015, p. 87-92.
[5] 川上 洋平, 駒澤 真人, 菅谷 みどり. 生体情報を用いた感情分類および色彩を用いた感情の安定化手法の提案. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション. 2019, vol. 2019-HCI-182, no. 16, p. 1-8.
[6] Yuhei Ikeda, Ryota Horie & Midori Sugaya. Estimating Emotion with Biological Information for Robot Interaction. *Procedia Computer Science*. 2017, vol. 112, p. 1589-1600.
[7] Nathan Semertzidis, Michaela Scary, Josh Andres, Brahm Dwivedi, Yutika Chandrashekar Kulwe, Fabio Zambetta & Florian Floyd Mueller. Neo-Noumena: Augmenting Emotion Communication. *Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2020, p. 1-13.
[8] James A Russell. A Circumplex Model of Affect. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1980, vol. 39, no. 6, p. 1161-1178.
[9] "The Introductory Guide to EEG (Electroencephalography) - EMOTIV ". <https://www.emotiv.com/eeg-guide/>, (参照 2021-01-30).
[10] "EMOTIV EPOC+ 14-Channel Wireless EEG Headset | EMOTIV ". <https://www.emotiv.com/epoc/>, (参照 2021-01-30).
[11] 高津 浩彰, 宗像 光男, 小関 修, 横山 清子, 渡辺 興作, 高田 和之. 心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討. 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌). 2000, vol. 120, no. 1, p. 104-110.
[12] J E Mietus, Chung-Kang Peng, I Henry, R L Goldsmith & Ary Goldberger. The pNNx files: Re-examining a widely used heart rate variability measure. *Heart (British Cardiac Society)*. 2002, 88(4), p. 378-80.
[13] 角田 啓介, 千葉 昭宏, 吉田 和広, 渡部 智樹, 水野 理. 心拍変動を用いた認知能力変化の予測. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集. 2016, vol. 2016, p. 925-933.
[14] 青島さやか, 青木倬季, 瀬戸優之, 宮下芳明. 60万人の感情閲覧による親近感の共有. 情報処理学会シンポジウム論文集. 2011, vol. 2011, no. 3, p. 503-506.
[15] 箕田妃希, 長幾朗. 「空メール」 色彩メールによる感情表現の試み. 情報処理学会シンポジウム論文集. 2003, vol. 2003, no. 7, p. 65-66.
[16] 張 禎, 邵 建雄, 潘 珍, 金謙 樹, 豊島 進太郎, 湯 海鵬. 色彩環境の変化が身体運動能力に及ぼす影響. 人間発達学研究. 2014, vol. 5, p. 23-29.
[17] 三島 孔明, 藤井 英二郎. 色彩と脳波特性に関する基礎的研究. 造園雑誌. 1990, vol. 54, no. 5, p. 108-113.
[18] 山内 厚志, 寺田 和憲, 伊藤 昭. 動的な発色変数によるロボットの感情モデル. 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集. 2011, vol. 27, p. 1015-1020.
[19] Robert Plutchik. The Nature of Emotions: Human emotions have deep evolutionary roots, a fact that may explain their complexity and provide tools for clinical practice. *American Scientist*. 2001, vol. 89, no. 4, p. 344-350.
[20] "Ambient - IoT データー可視化サービス ". <https://ambidata.io/>, (参照 2021-01-30).
[21] "Grove イヤークリップ心拍数センサ - Grove Ear-clip Heart Rate Sensor - Seeed Studio ". <https://jp.seeedstudio.com/Grove-Ear-clip-Heart-Rate-Sensor-p-1116.html>, (参照 2021-01-30).
[22] "M5StickC - SWITCH-SCIENCE ". <https://www.switch-science.com/catalog/5517/>, (参照 2021-01-30).