

表情と生体情報を用いた感情の推測方法の検討

池田悠平^{†1} 岡田佳子^{†1} 堀江亮太^{†1} 菅谷みどり^{†1}

概要： 近年、日本では単独世帯の増加や高齢化が進み、セラピーロボットの需要が高まっている。そのようなロボットとしてパロが挙げられるが、人が行動を起こすことが前提でありパロの方から行動を起こすことはない。そこで、本研究では人の行動を前提とせず人の感情を推測できるロボットの実現を最終目的とし、第一段階として、記号/感情モデルをもとにした新しい感情の推測手法の提案をする。記号/感情モデルとは、客観的に読み取りやすい「記号」と、客観的に読み取りづらい「感情」とを分ける考え方である。本研究では、「記号」には表情を、「感情」には脳波と脈拍を用いて、どちらが真とする感情の値との誤差を低く推測できるか実験を行った。結果、脳波と脈拍の方が誤差が小さいという結果になった。そこで、より正確さを向上させるため、感情の起伏の度合いとタイミングを測定、主観評価と比較する実験を行い、より正確に感情を推測できた。そこで、人数を増やして実験を行ったところ、個人によって誤差の大きさが違った。そこで属性のアンケートを取り相関を調べたところ幾つかの属性と誤差の大きさが相関を持つことが示唆された。

Estimate Emotion Method to Use Facial Expressions and Biological Information

YUHEI IKEDA^{†1} YOSHIKO OKADA^{†1} RYOTA HORIE^{†1}
MIDORI SUGYAYA^{†1}

1. はじめに

近年、日本では単独世帯数の割合が増加しており、2035年には総世帯数の37.2%の世帯が単独世帯となることが予測される[1]。単独世帯の増加により、孤独を悩みにする人が増加していくと考えられる。そのため、そのような人々の相手をし、孤独感を和らげるようなコミュニケーションをすることができるセラピーロボットが求められている。

セラピーロボットの一つとして、産業総合研究所からパロ[2]が提案されている。このパロには強化学習機能がついており、自身の行動に対する人の反応を学習し、その人が最もしてほしい反応を推測、優先的にを行い、「相手をしてあげている」、「自分が理解されている」といったことを人に思わせることができる[3]。パロは既に老人介護施設で実証実験が行われており、老人に対して孤独感の緩和やQuality of lifeの向上といったセラピー効果(癒し)が認められている。しかし、このパロは声をかける、なでるといったアクションを人が起こすことが前提となっており、受け身のコミュニケーションしか取れない課題がある[4]。また、他のセラピーロボットとしてifbotがある。ifbotは相手と会話をし、声の抑揚や調子から感情を推測して、自らも表情を変えることで感情表現をするという機能を持っている[5]。このifbotは表情変化についても恒等写像学習によって作られた感情空間を最短経路となる表情を選ぶ機能を用いて表情変化をする仕組みもあり、自然な形で表情を変化

させることができるが[6]、このifbotは会話と表情でのコミュニケーションを前提としており、それ以外の感情などの情報を読み取り、反応するような機能は持っていない。

本研究では、パロの受け身のコミュニケーションしか取れないという課題に着目し、人がアクションを起こさなくても人の感情を推測し、相手を理解しているような反応を返すことのできるロボットの実現をできるようにすることを目的とした。具体的には、人とロボットが対一のシチュエーションで行われる。まず相手となる人が「嬉しいな」と思っていたとすると、その感情をロボットがセンサを使って受け取り、「嬉しそうだけど、何かあったの?」というような、人の感情を理解しているような反応を示し、人はロボットが感情を思っているだけなのに理解してくれたと思う、というような流れになっている。

目的に従い実現するために、ロボットが感情推測を行うための仕組みを提案することを考える。実現するとロボットの動作の段階は以下の通りである。

- (1) ロボットが相手の感情を推測。
- (2) 推測した感情に対する反応を人間に返す。
- (3) ロボットが返した反応に対して、人間はなんらかの反応を返す。
- (4) 人間の反応からロボットはさらなる反応を返す。

この(1)~(4)のプロセスの繰り返しによって実現するものと考えた。本研究はこのうちの(1)の部分、感情推測の手法を確立することを目標に実験、研究した。

本論文の構成は、2章で感情推測手法の実装、3章で実験(1)、4章で実験(2)、5章で実験(3)、6章で議論をし、7章でまとめを述べる。

^{†1} 芝浦工業大学 工学部 情報工学科
Shibaura Institute of Technology Department of Information Engineering

2. 感情推測手法の提案

2.1 概要

感情の推測にあたり、本研究では記号/感情の心理学モデルをもとに[7], 具体的な技術を用いた新しい感情の推測手法を提案する。記号/感情の心理学モデルとは心理学分野で用いられている考えであり、記号と感情の分離をして考え、両者の情報を用いて感情の推測を行うものである。記号と感情の定義は表 1 の通りである。なお、これ以降は記号の情報は記号情報、感情の情報を生体情報とよぶ。この記号/感情の心理学モデルをロボットのコミュニケーションに適用すると、図 1 の通りになる。

表 1 記号, 感情の定義

	定義	具体的な情報
記号	客観的に読み取りやすい情報	顔の表情, 言語, 声など
感情	客観的に読み取りづらい情報	心拍数, 脳波, 脈拍など

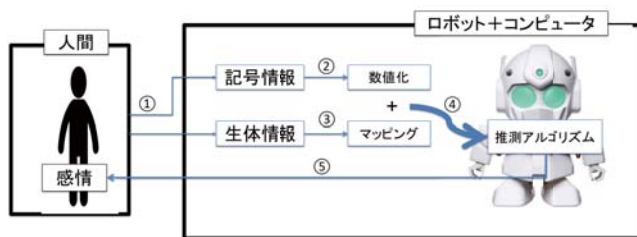


図 1 提案システム

この図 1 はロボット(情報の処理をするコンピュータを含む)が人間の感情を推測する流れを示している。なおこの流れはロボットと人間が対話する環境を前提としている。図 1 に(1)~(5)で示した流れの説明は以下の通りである。

- (1) 人間から記号情報と生体情報を分けて受け取る。
- (2) 記号情報をセンサで受け取りコンピュータで数値化
- (3) 生体情報をセンサで受け取りコンピュータでマッピングし数値化
- (4) 数値化した記号情報と生体情報をもとに感情推測アルゴリズムで人間の感情を推測
- (5) アルゴリズムで推測した感情をもとにロボットが人間に対し反応動作をする

2.2 記号情報の感情推測

本研究では、記号情報として人の表情を使用するものとした。理由は、声や身振りなどの他の記号情報と比べ、検出しやすく感情との対応も比較的容易であるからである。表情の検出にはオムロン社の OKAO VISION[8](図 2)を使

用した。OKAO VISION は、カメラの顔認識機能で図 3 のように人の顔を認識し、5 種類の表情(Surprise, Anger, Natural, Sadness, Happiness)の中からどのような表情をしているかを読み取り、ログで出力する機能がある。本研究では、ログの表情が示す文字列から現在の表情を数値化(Happiness→5, Angry→2, Sadness→4, Natural→3)し、後述するアルゴリズムに渡していく。本研究では表情と感情は表 2 のように対応する。表情からの感情判定方法もこの表 2 に沿って行われる。



図 2 OKAO VISION



図 3 OKAO VISION 動作画面

表 2 OKAO VISION の判定と実際の感情の判定の対応

OKAO の判定	Happiness	Angry	Sadness	Natural
感情の判定	喜び	怒り	哀しみ	楽
渡す数値	5	2	4	3

OKAO VISION から渡された表情の値は、以下のアルゴリズムで感情を判定する。なお、このアルゴリズムは「喜び」の表情のみを取るとする。なお以降、このアルゴリズムを「表情判定アルゴリズム」と呼ぶ。

表情判定アルゴリズムにおける変数の定義

face : から渡された表情の値

Hap_{cnt} : 喜びの表情と判定された回数

Judge_{cnt} : 表情判定回数

faceJudge (*face*):

```

1 While 測定時間中 == true
2   If face == 5 then
3     「喜び」の表情と判定.
4     Hapcnt++
5   Else
6     「喜びでない」表情と判定
7   Endif
8   Judgecnt++
9 Endwhile

```

アルゴリズムの動作説明

1. 開始後、測定時間中かどうかを調べ、測定時間中だっ

- た場合は2.の動作へ進み、そうでない場合は終了する.
- OKAO VISION から渡された値を調べ、もし5だった場合には3.の動作へ進む. 違う場合は4.の動作へ進む.
 - 喜びの表情と判定され Hap_f_{cnt} がインクリメントされる.
 - $Judge_f_{cnt}$ をインクリメントし、ループし1.に戻る.

2.3 生体情報の感情推測

2.3.1 感情判定モデル

感情判定には図4のラッセルの円環モデルを使用した.

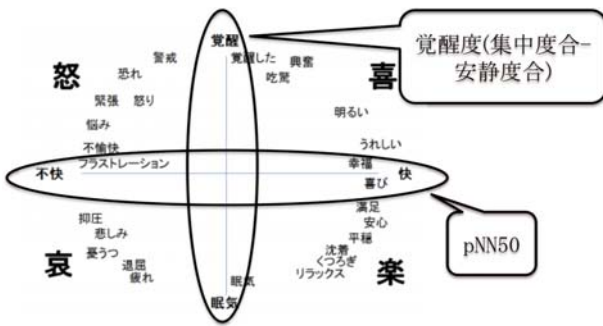


図4 ラッセルの円環モデル[9]と X-Y 軸の対応

図4のラッセルの円環モデルは、X方向の「快-不快」度と Y 軸の「覚醒-眠気」度を用いて感情の喜怒哀楽を算出するものである[9]. 本モデルを用いた感情推定は既に坂松ら[10]が提案している. しかし坂松らは X 軸の値に1分間の脈拍の値を使用しており感情推測回数が1分間に1度になりリアルタイム性が低く汎用性が十分ではない. そこで、本研究では X 軸には脈拍から算出される pNN50 という値を、Y 軸には脳波から算出される覚醒度という値を使用する. その pNN50 と覚醒度をラッセルの円環モデルに当てはめることで感情を推測する.



図5 生体情報を使用した感情推測手法の概略

図5に本研究での生体情報を使用した感情推測の概略を示した. 1は、脈拍をセンサから取得し、pNN50を算出し3の感情判定アルゴリズムに渡す動作とする. 2は、脳波をセンサから取得し覚醒度を算出し3の感情判定アルゴリズムに渡す動作とする. 3は1と2から受け取った pNN50 と覚醒度を用いて感情推測をする動作をするアルゴリズムとする.

2.3.2 脈拍の取得及び pNN50 の算出

脈拍を用いた快-不快の判定に pNN50[11]という指標を用いる. pNN50の求め方は以下の通りである.



図6 pNN50, 脈拍間隔

図6の $m_0 \sim m_{30}$ は脈拍間隔を示している. ここで隣り合った脈拍間隔の差を n とし、それぞれ $n_0 = |m_1 - m_0|$, $n_1 = |m_2 - m_1|$, ... $n_{30} = |m_{30} - m_{29}|$ と30個の脈拍間隔 n を求める. その後、30個の n のうち50ms以上の n の比率を計算(50ms以上の n の個数/ n の個数)し、その比率の値を pNN50 とする[11]. この値は快-不快の指標になっており高いほど快であると判断する. 本研究ではラッセルの円環モデル上の X 軸の値として扱う. ここで、pNN50の標準的な値は0.3であるため[12]、0.3を原点となる値とした. まずはリアルタイム性を重視するべく、 n の個数を10個に減らして実施した. pNN50を算出するアルゴリズムは以下の通りである.

・ pNN50 算出アルゴリズムにおける変数の定義

n_k : k 番目の隣り合った脈拍間隔の絶対値の差 n . ここで脈拍間隔はセンサから取得するものとする.

Hbt_{fixcnt} : 求める n の個数(固定値)

Hbt_{cnt} : 50msec以上の n の個数を数える変数. 初期値0.

i : n_k の個数を数える変数. 初期値0.

P_j : j 番目の pNN50 の値

pnn50 (n):

```

1  i = 0
2  While
3    If i < Hbtfixcnt then
4      If  $n_{k+i} \geq 50\text{msec}$  then
5        Hbtcnt++
6      Endif
7      i++
8    Else
9       $P_j = \frac{Hbt_{cnt}}{Hbt_{fixcnt}}$ 
10     pop( $n_k$ )
11     push( $n_{k+Hbt_{fixcnt}}$ )
12     i = 0
13     Hbtcnt = 0
14     k++
15     j++
16   Endif

```

アルゴリズムの動作説明

0. 開始後, i の値が Hbt_{fixent} の値を超えていないかを判定する. 判定の結果, 超えていた場合は A の動作に, 超えていなかった場合は B の動作に進む. それぞれの動作は以下の通り.

A の動作(9 行目からの動作): $pNN50$ の値算出

1. Hbt_{cnt}/Hbt_{fixent} を計算し j 番目の $pNN50$ の値 P_j を算出する.
2. 一番古い n である, n_k を pop し, 代わりに新しい n である $n_{k+Hbt_{fixent}}$ を一つ push する.
3. Hbt_{cnt} と i を初期化し, k と i をインクリメントし, 始めに戻りループする

B の動作(4 行目からの動作): 50msec 以上の n の個数算出

1. $k+i$ 番目の n , n_{k+i} が 50msec 以上かどうかの判定をする. もし 50msec 以上だった場合は 2. の動作に, 50msec より小さかった場合は 3. の動作に進む.
2. 50msec 以上の n の個数を示す Hbt_{cnt} をインクリメントする.
3. i をインクリメントし始めに戻りループする.

2.3.3 脳波の取得及び覚醒度の算出

本研究で使用した脳波センサには Attention と Meditation を 0~100 のレベルで算出するアルゴリズムが実装されている. 本研究では Attention と Meditation の差をラッセルの円環モデルの Y 軸の値とする([10]を参考). この値を覚醒度と呼ぶ. 覚醒度は -100(Attention:0, Meditation:100)~100(Attention:100, Meditation:0) の領域で値をとる. ラッセルの円環モデルでは, 覚醒度が 0(Attention = Meditation) の場合の値を原点とする. 以下に覚醒度を求めるアルゴリズムを示す.

・覚醒度算出アルゴリズムの変数の定義

y_i^a : 脳波センサから取得した i 番目の Attention の値

y_i^m : 脳波センサから取得した i 番目の Meditation の値

A_i : i 番目の覚醒度の値

Awake (y_i^a, y_i^m);

- 1 **While**
 - 2 脳波センサから y_i^a, y_i^m を取得.
 - 3 $A_i = y_i^a - y_i^m$
 - 4 $i++$
 - 5 **Endwhile**
-

アルゴリズムの動作説明

脳波センサから y_i^a と y_i^m を取得, y_i^a と y_i^m の差を求め A_i に格納, ループするアルゴリズムになっている.

2.3.4 感情判定手法, 感情判定アルゴリズム

2.3.2, 2.3.3 で求めた $pNN50$ と覚醒度の値をラッセルの円環モデルに当てはめ, 感情を判定する. なお, この判定は 1 秒に 1 回の割合で行う. 具体的には以下のアルゴリズムのように判定をする. また, この「感情判定アルゴリズム」は「喜び」と「喜びでない」感情のみを判定するものとする. なお, 以下のアルゴリズムを今後は「感情判定アルゴリズム」と呼ぶ.

・「感情判定アルゴリズム」の変数の定義

P_i : 2.3.2 で求めた i 番目の $pNN50$ の値

A_i : 2.3.3 で求めた i 番目の覚醒度の値

Hap_{cnt} : 喜びの感情と判定された回数

$Judge_{cnt}$: 感情判定回数

hap_judge(A_i, P_i);

- 1 **While** 測定時間中 == true
 - 2 **If** ($0 < A_i$) かつ ($0.3 < P_i$) **then**
 - 3 「喜び」の感情と判定.
 - 4 $Hap_{cnt}++$
 - 5 **Else**
 - 6 「喜びでない」感情と判定
 - 7 **Endif**
 - 8 $Judge_{cnt}++$
 - 9 **Endwhile**
-

「感情判定アルゴリズム」のフローチャートは以下の通りである.

アルゴリズムの動作説明

1. 開始後, 測定時間内かどうかを調査し, 測定時間内ならば, 2. に進む. そうでなければ終了する.
2. 感情判定を行うため, 2.3.2 のアルゴリズムから j 番目の $pNN50$ である P_j と 2.3.3 のアルゴリズムから i 番目の覚醒度である A_i を取得し, ラッセルの円環モデルの条件に当てはめる. 喜びであると判断された場合は, 3. に, そうでない場合は 4. の動作に進む.
3. 喜びと判定された回数を示す Hap_{cnt} をインクリメントしたのち 4. の動作に進む.
4. 感情判定を実施した回数 $Judge_{cnt}$ をインクリメントし, 測定時間内ならば 1. に戻りループし違う場合は終了する. なお, この Hap_{cnt} と $Judge_{cnt}$ から後述の評価値を算出し評価していく.

3. 実験 (1)**3.1 実験内容****(1) 概要**

提案手法の記号/感情モデルを使用した感情推測手法の有効性の検証を目的として実施した. なおこの実験では

「喜び」の感情のみについて扱うことにした。

(2) 利用機器

脳波の検出には Neuro sky 社の Mindwave Mobile [13] (図 7)を使用し、脈拍の検出には東京デバサイズ社の Arduino 心拍センサ [14](図 8)を使用した。



図 7 Mindwave Mobile 図 8 Arudino 心拍センサ

(3) 評価指標

評価指標として平均絶対誤差(Mean Absolute Error, 以下 MAE)を採用した。これは、目標の値との誤差をはかる指標として他の論文[15]でも使用されているものである。記号情報である表情を取った場合と生体情報である脈拍と心拍を使用した場合の MAE を比較する。MAE を求める式は以下の通りである。

・表情の場合

$$\text{表情_MAE} = 100 - \frac{\text{Hap_f}_{\text{cnt}}}{\text{Judge_f}_{\text{cnt}}} \times 100$$

※ Judge_f_{cnt}, Hap_f_{cnt} は 2.2 のアルゴリズムのものを使用
この MAE は、実績値を「表情判定アルゴリズム」の実行回数とし、「表情判定アルゴリズム」で「喜び」の表情と判定された回数を予測値とする。なお、測定時間は映像の再生時間とし、測定は 1 回のみ行うため、予測対象数は 1 になる。

・生体情報の場合

$$\text{喜び_MAE} = 100 - \frac{\text{Hap}_{\text{cnt}}}{\text{Judge}_{\text{cnt}}} \times 100$$

※ Judge_{cnt}, Hap_{cnt} は 2.3.4 のアルゴリズムのものを使用
この MAE は、正答値を「感情判定アルゴリズム」の実行回数とし、「感情判定アルゴリズム」で「喜び」の感情と判定された回数を予測値とする。なお、測定時間は映像の再生時間とし、測定は 1 回のみ行うため、予測対象数は 1 になる。

(4) 実験手順

実験協力者は 2 名(21, 23 歳の男性)とした。実験場所は基盤システムソフトウェア研究室で行った。

また、実現目標のロボットに近づけるべく、ロボットに反応動作を実装した。ロボットはスイッチサイエンス社の Rapiro[16]を使用した。反応動作については、表情で判定された感情と生体情報で判定された感情を比較し、異なった場合は手と顔を横に振り「違うよ」と示すような動作、同じだった場合には喜びなら一緒に喜ぶようにパンザイする動作といったように、共感を示す動作をするものとした。

実験手順は以下の通りである。

- (1) 実験協力者が、喜びの映像を想起するため、「面白い、引き込まれるような映像」[17]を検索する。
 - (2) 実験協力者が映像を視聴
 - (3) 提案システムのセンサ類が、実験協力者の表情、生体情報を検知する。
 - (4) 提案アルゴリズムが、表情はカメラから算出された値に基づいて、生体情報は、「感情判定アルゴリズム」に基づいて「喜び」の感情かどうかを判定
 - (5) 提案システムが表情と生体情報の感情を比較し、それによってロボットが動作する。
- ※ (4)~(5)は映像視聴中 1 秒ごとに繰り返す。

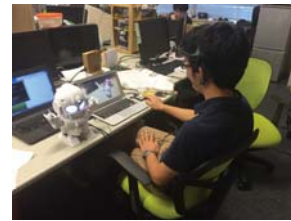


図 9 実験の様子

表 3 実験(1)結果

	表情_MAE	生体情報_MAE
実験協力者 A	0	28
実験協力者 B	100	25
A, B の平均	50	26.5

3.2 実験(1)結果

実験協力者 A は表情を使用した場合は、映像再生時間の間ずっと「喜び」の表情であったこともあり、MAE の値は 0 となった。しかし、生体情報を使用した場合 28 と上昇した。これは、実験協力者 A の自己申告から表情が表に出やすいという属性があり、その結果表情の方が、誤差が小さいという結果を示したと考えられる。

一方、実験協力者 B については、「喜び」の表情が検出されることは全く無く、MAE は 100 になった。しかし、生体情報の場合は多くの時間で「喜び」が検出され 25 となり誤差が小さくなった。なお、この人は表情をあまり表に出さないような人であるという属性があった。

結果として実験協力者全体の MAE の平均で見れば、表情 50、生体情報は 26.5 であり生体情報の方が「喜び」の感情推定において 47%ほど誤差が小さくなった。

3.3 実験(1)課題

(1) 脈拍センサと pNN50 の課題

今回の実験で使用した脈拍センサは、指をセンサ本体に

ついている赤外線センサに触れるか触れないかの状態を維持しなければうまく脈拍を計測できないため計測しづらい。そのため、pNN50の値がうまく計測できず、誤差が大きくなったと考えた。

また、pNN50のnの個数を10個のみにしていたことも原因の一つであると考え、nの数を本来の30個にして実験をすることで誤差をさらに小さくしていくことが期待できると考えた。

(2) 実験手法の課題

今回の実験では、映像を検索後すぐに映像を見せ実験を開始しているが、脳波は姿勢を変えてから2分間は安静にしないと変動が大きくなるため、生体情報の値に影響する恐れがあり、映像視聴前に安静時間を取るということも課題となった。

また、実験場所が、歩き回る人や会話している人が多いという環境の研究室で行っていたことも課題の一つと考えられ、静粛性が保たれ、映像により集中できる場所へ実験場所を変更する必要がある。

また、今回の実験では、ロボットは実験協力者が映像を見ている間にもずっと生体情報と記号情報によって反応動作をする。そのため、反応動作をしているロボットの動きがうるさく気になり映像に集中できないという意見が実験協力者から寄せられた。そのため、ロボットの動きによって誤差が大きくなったと考えられる。今回は感情推測の手法を確立することが目的であるため、次回以降の実験ではロボット無しで行い、感情推測の手法の確立後にロボットの反応動作について改めて検討する必要がある。

3.4 アルゴリズムの改善

実験(1)から更に誤差を小さくするべく、下記のようにアルゴリズムを改善した。

(1) 改善方針

感情の起伏は非常に短い時間内に発生するという特徴に着目した。実験(1)のような映像再生時間の平均では、どのタイミングで起伏があったかの特定が困難である。そこで、映像を場面毎にセクションに区分して考え、それぞれのセクションでどれだけ喜んでいたかの度合いを計測することで、どのタイミングでどれだけ喜んだかの特定が可能になると考えた。

(2) 改善点

(i) アルゴリズムの改善

図5の「感情判定アルゴリズム」を以下のアルゴリズムのように改善しセクション区分と喜びの度合い「喜び度」を新たに実装し、各セクションの喜び度を算出するように改善した。

・感情判定アルゴリズムの変数の定義(以下の関数、変数以外は2.3.4のアルゴリズム内の意味と同様)

w : セクション数

k : 現在計算中のセクションを表す

A_{sum} : 喜びの感情と判定された際の覚醒度の値の合計値。

P_{sum} : 喜びの感情と判定された際の pNN50 の値の合計値。

$A_{average}^{sec(k)}$: セクション k の喜びの感情と判定された際の覚醒度の平均値。

$P_{average}^{sec(k)}$: セクション k の喜びの感情と判定された際の pNN50 の平均値。

$V^{sec(k)}$: セクション k の「喜び度」。 $A_{average}^{sec(k)}$ と $P_{average}^{sec(k)}$ のベクトルの大きさを計算し、求まる。

V_{max} : 全セクションの中での最大の「喜び度」

hap_degree (A_i, P_j)

```

1  While ( $k \leq w$ )
2  If ( $0 < A_i$ ) かつ ( $0.3 < P_j$ ) then
3    「喜び」の感情と判定.
4     $A_{sum} = A_{sum} + A_i$ 
5     $P_{sum} = P_{sum} + P_j$ 
6     $Hap_{cnt}++$ 
7  Else
8    「喜びでない」感情と判定
9  Endif
10 If セクション切り替えフラグ == true then
11   セクション内の「喜び」判定時の覚醒度と pNN50
    の平均を求める.
12    $A_{average}^{sec(k)} = \frac{A_{sum}}{Hap_{cnt}}$ 
13    $P_{average}^{sec(k)} = \frac{P_{sum}}{Hap_{cnt}}$ 
14    $P_{average}^{sec(k)} = \frac{P_{average}^{sec(k)} - 0.3}{0.7}$ 
15    $V^{sec(k)} = \sqrt{(P_{average}^{sec(k)})^2 + (A_{average}^{sec(k)})^2}$ 
16    $k++$ 
17   セクション切り替えフラグを初期化.
18    $Hap_{cnt} = 0$ 
19  Endif
20 Endwhile
21
22  $k = 1, V_{max} = 0$ 
23
24 While  $k \leq w$ 
25   If  $V_{max} < V^{sec(k)}$  then
26      $V_{max} = V^{sec(k)}$ 
27   Endif
28 Endwhile
29
30 While  $k \leq w$ 

```


$$31 \quad V_{sec(k)} = \left(\frac{V_{sec(k)}}{V_{max}} \right) * 100$$

32 Endwhile

アルゴリズムの動作説明

1. 現在のセクションを示す k とセクション数を示す w を比較し k の値が w を越えていなければ、まだ全セクションを計測し終えてないと判断し A の動作に移る。一方、全セクションの喜び度を求める、つまり k の値が w を超えていたらループを抜け出し C の動作に進む。

A の動作(2 行目からの動作)：「喜び」の感情として判定された時の覚醒度と pNN50 の合計を計算

1. A_i と P_j の値をセンサから取得し「喜び」の感情かどうか判定する。「喜び」の感情と判定された場合は 2. の動作へ進み、判定されなかった場合は B の動作に進む。
2. 覚醒度の合計を格納する A_{sum} に A_i を足す。
3. pNN50 についても合計を格納する P_{sum} に P_j を足し、Hapent をインクリメントする。

B の動作(10 行目からの動作)：現在のセクションの「喜び度」を算出

1. 次はセクション切り替えの時間かどうかを判定する。セクション切り替えフラグが立っていた場合は 2. に進み、そうでない場合はループし、A の動作の前の 1. に戻る。
2. A_{sum} と Hapent を使って喜び判定時の覚醒度の平均値を求め k 番目のセクションの「喜び」判定時の覚醒度の平均を示す $A_{average}^{sec(k)}$ に格納する。
3. pNN50 についても P_{sum} と Hapent を使って同じように喜び判定時の pNN50 の平均値を求め k 番目のセクションの「喜び」判定時の pNN50 の平均を示す $P_{average}^{sec(k)}$ に格納するが、この際、覚醒度と pNN50 の値に差がある(覚醒度の値の範囲は 0~100、pNN50 の値の範囲は 0.3~1.0)ため、pNN50 を百分率化することで pNN50 の値の範囲を覚醒度と同じ 0~100 にする。
4. セクション k での喜びの度合いを示す「喜び度」 $V_{sec(k)}$ に $A_{average}^{sec(k)}$ と $P_{average}^{sec(k)}$ のベクトルの大きさを格納し、セクション k での「喜び度」が求まる[18].
5. 次のセクションの喜び度を求めるため k をインクリメントし、ループし、A の動作の前の 1. に戻る。
6. この 1~B の 5 の動作を繰り返して全てのセクションの喜び度を求めていく。

C の動作(24 行目からの動作)：全セクションの中で最大の「喜び度」を求める

1. 全セクションの中で最大の「喜び度」を求め V_{max} に格納する。

D の動作(30 行目からの動作)：「喜び度」の 100 分率化

1. 全セクションの「喜び度」の値 V を V_{max} を使って 100 分率化する。つまり、全セクションの最大値 V_{max} を 100 として 100 分率化をして終了。

(ii) 値の相対値化

(i) の「感情判定アルゴリズム」の D の動作の中で、全セクション中最大の「喜び度」の値 V_{max} を最大値として各セクションの「喜び度」を 100 分率化した。これは、生体情報からとった「喜び度」をそのまま評価すると、脳波や脈拍の個人差が反映されないからである。例えば覚醒度や pNN50 の値が低い傾向にある人の場合、例え本当に喜んでいても、値は他の人と比べて低いため、あまり喜んでいないと判定される場合がある。そのような事象を、相対値化することで防いでいる。

4. 実験(2)

4.1 実験(1)からの改善内容

実験(1)の提案について、改善のため(1)~(4)の見直しを行った。

(1) 推定期間と推定アルゴリズム

実験(1)では映像の視聴時間全体を一度に感情推定する方法だったが、感情の起伏は非常に短い時間内に発生するという特徴から、どこでどれだけ喜んでいるかが分からなければ、実現目標とするロボットコミュニケーションに生かすことは難しい。そこで、3.4 の改善項目のセクション分けと「喜び度」を導入すべく、3.4 の(2)の(i)のアルゴリズムに感情判定アルゴリズムを変更し、どのタイミングでどの程度喜んでいるかの測定を可能にした。

(2) 主観的な判断、実験協力者の属性との整合

生体情報から算出される喜び度の中で反応が高かったものが、本人の主観と一致しているかを事後的に確認するために評価アンケートを実施した。またアンケート内に実験協力者の属性についてもいくつかの質問項目を作り([19]を参考)、実験後に評価することで、属性の差分について検討するものとした。なお属性調査については、実験協力者本人の同意を取って実施した。表 4 が評価アンケートの内容である。

表 4 評価アンケート

Q.1	あなたは積極的なタイプですか?
1	全くそうでない
2	そうでない
3	少しそうでない
4	少しそうである
5	そうである
6	とてもそうである
Q.2	あなたは緊張しやすいタイプですか?
1	全くそうでない
2	そうでない
3	少しそうでない
4	少しそうである
5	そうである
6	とてもそうである

Q.3	あなたは飽きっぽいタイプですか? 1 全くそうでない 2 そうでない 3 少しそうでない 4 少しそうである 5 そうである 6 とてもそうである
Q.4	あなたは短気なタイプですか? 1 全くそうでない 2 そうでない 3 少しそうでない 4 少しそうである 5 そうである 6 とてもそうである
Q.5	あなたは表情が表に出やすいタイプですか? 1 全くそうでない 2 そうでない 3 少しそうでない 4 少しそうである 5 そうである 6 とてもそうである
Q.6	Section1 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.7	Section2 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.8	Section3 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.9	Section4 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.10	Section5 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.11	Section6 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い
Q.12	Section7 ほどのくらい面白かったですか? 1 全く面白くない 2 面白くない 3 少し面白くない 4 少し面白い 5 面白い 6 とても面白い

(3) 脈拍センサ, pNN50, ロボット, 実験環境の改善

脈拍センサを実験(1)で使用していた東京デバイセズ社の Arduino 心拍センサから, 東京デバイセズ社の IWS920 「パルスラボ」心拍プローブ 指先クリップ型 IWPB2-FT[20](図 10 参照)に変更した。このセンサは指に赤外線がついた計測部分を挟んで計測するため, 確実に脈

拍を計測することができる。



図 10 IWS920 「パルスラボ」心拍プローブ 指先クリップ型 IWPB2-FT

また, pNN50 の n の個数についても実験(1)の 10 個から, 本来の個数の 30 個に増やした。

さらにロボットについても, 実験(1)での実験協力者からの動きが気になり映像に集中できないという意見から, この実験では使用しないこととした。

(4) 手順, 評価方法

1. 実験手順

以下の通りに変更した。

実験協力者がアンケートの項目 1~5 の属性に関する質問に回答する。

- (1) 実験協力者が 2 分間安静にする。
- (2) 実験協力者が実験者が用意した映像(4 分間)を見る。
- (3) 提案システムのセンサが想起された生体情報を検知, 感情判定。
- (4) 実験協力者がアンケートの項目 6~12 のセクション毎の評価アンケート回答する。

※ (4) は映像視聴中 1 秒ごとに実施。

実験(1)の手順から, 安静にしてもらう前に実験協力者の属性に関するアンケートに回答, 映像を見てもらった後にセクション毎の評価アンケートに答えてもらうように変更した。セクションごとの評価アンケートを取ったのは評価時に MAE の実績値として使うためである。また実験協力者に見せる「喜び」を想起させる映像についても, 実験者が選択した特定のお笑いの映像とした。更に, 実験場所についても静かで人通りが少ない実験室に変更した。

なお, 実験協力者は, 実験(1)と同様である。

2. 評価指標

評価指標は, 以下の式のように求めた MAE を使用する。

- ・セクション k 単体の MAE を求める場合

$$\text{セクション } k \text{ MAE} = |Ans_{\text{sec}(k)} - V_{\text{sec}(k)}|$$

- ・セクション数 w の MAE を求める場合

$$\text{全セクション MAE} = \frac{1}{w} \sum_{k=1}^w |Ans_{\text{sec}(k)} - V_{\text{sec}(k)}|$$

※ 関数, 変数の定義

$Ans_{\text{sec}(k)}$: セクション k の映像に対する主観評価の 6 段階評価を 3.4 の②の喜び度と同様に全セクション中最大の評価値を最大値として 100 分率化した値。

※ $V_{sec(k)}$ は 3.3.3 の(2)のものを使用

これらの MAE は、実績値を $A_{nsec(k)}$ とし、セクション k の喜び度 $V_{sec(k)}$ を予測値とする。なお、主観評価を 100 分率化するのには $V_{sec(k)}$ との比較を容易にするためである。各セクション一つ一つの MAE を求める上の式は、予測対象数が 1 となるが、下の式のようなセクション数 w の全体の MAE を求める場合は予測対象数が w になる。

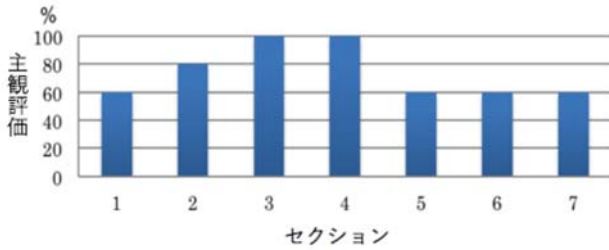


図 11 映像のセクション毎の主観評価(実験協力者 A) (%)

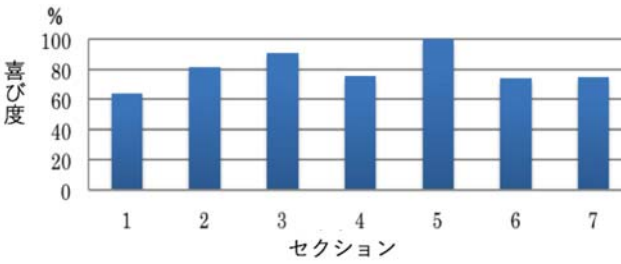


図 12 映像のセクション毎での生体情報の「喜び度」(実験協力者 A) (%)

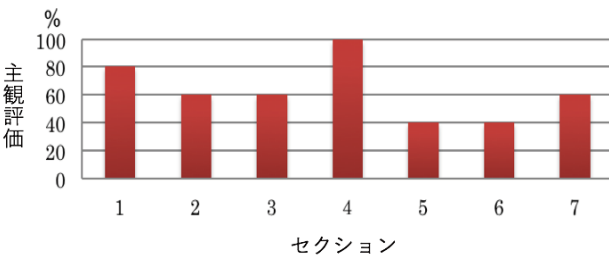


図 13 映像のセクション毎の主観評価(実験協力者 B) (%)

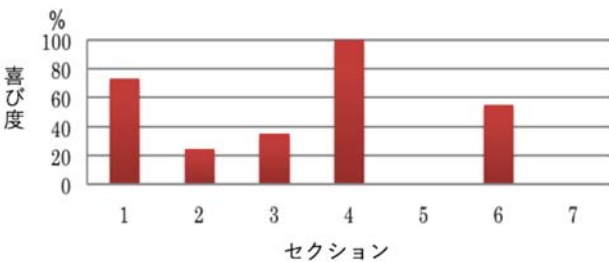


図 14 映像のセクション毎での生体情報の「喜び度」(実験協力者 B) (%)

4.2 実験(2)結果と考察

図 11 と図 12 より実験協力者 A ではセクション 1~3, 6~7 の値の推移や大きさは主観評価とほぼ一致した。しかし、セクション 4~5 の値の推移や大きさは主観評価と不一致だった。また、図 13 と図 14 より実験協力者 B ではセクション 1~4 の値の推移や大きさは概ね主観評価と一致したが、セクション 5~7 の値の推移は主観評価と不一致だった。

表 5 セクション毎の MAE

	1	2	3	4	5	6	7
実験協力者 A	1	2	20	28	40	12	13
実験協力者 B	20	6	11	4	40	60	60
A, B の平均	11	4	16	16	40	36	37

表 6 属性調査アンケート結果

質問項目	実験協力者 A	実験協力者 B
1. あなたは積極的なタイプですか?	2	5
2. あなたは緊張しやすいタイプですか?	4	5
3. あなたは飽きっぽいタイプですか?	4	5
4. あなたは短気なタイプですか?	2	6
5. あなたは表情が表に出やすいタイプですか?	2	6

表 5 より実験協力者 A ではセクション 1~4, 6~7 では概ね小さい MAE を示した。一方、セクション 5 は他に比べて大きい MAE の値をとった。これは、セクション 5 が「喜び」が検出されたのが 1 秒のみであり、この 1 秒は瞬きなどによって現われた脳波のノイズを拾ったと考えられる。

一方、実験協力者 B では後半のセクションになるにつれて MAE が大きくなっていく傾向になっている。これは表 6 より、実験協力者 B の属性アンケートから 3 の「あなたは飽きっぽいタイプですか?」という項目と 4 の「あなたは短気なタイプですか?」という項目の両方に「そうである」という 5 の値を回答していることから、飽きっぽく、短気であるという属性をしていたため映像の後半では飽きてしまい、あまり映像について覚えておらず後半部分の主観評価が曖昧になったと考えられる。また実験時、実験協力者 B は眠気があると口頭で発言しており、これも原因の一つとして考えられた。

また、表 5 より、全セクションの MAE を平均した値は実験協力者 A では 16.57 であり実験(1)と比べ誤差が 37.7%

小さくなった。一方、実験協力者 B の MAE は 28.71 であり誤差が 8%ほど大きくなった。実験協力者 B の誤差が大きくなった理由として前述の属性や当日の状況が原因であると考えられる。

5. 実験(3)

5.1 実験(3)概要と手順

(1) 概要

実験(2)は実験協力者が2人のみであり、本当に3.4や4.1で改善した手法が有効であると言うには実験協力者が少ない。そこで、実験協力者を20人(21~23歳の男性17人、20~22歳の女性3人)に増やして実験を行った。

また、属性と MAE との相関を更に調査するため属性アンケート増やして実験をする必要がある。そのためアンケートについても、属性との相関を調査するため実験(2)のアンケートに加え、属性アンケート([21]を参考)を更に2つ増やし、実験協力者毎に属性に関する調査を行った。なお、実験(2)で使用したアンケートの項目1は、追加した属性アンケートの内容と被るため削除した。また残りの2~5の項目についても追加した属性アンケートと形式を合わせるため3段階で評価するように変更した。

(2) 手順

実験手順は以下の通りである。

- (1) 実験(2)のアンケートの項目2~5の属性に関する質問に回答してもらう。
- (2) 2分間安静にさせる。
- (3) こちらで用意した映像(4分間)を見てもらう。
- (4) 想起された生体情報をセンサ類が検知、判定。
- (5) 実験(2)のアンケートの項目6~12のセッション毎の評価アンケート回答してもらう。
- (6) 残り2つの属性アンケートに回答してもらう。

※ (4)は映像視聴中1秒ごとに実施

実験場所、使用した映像は実験(2)と同様である。

(3) 評価指標

実験(3)では実験(2)でも使用した評価指標の全セッション MAE の他に、前半セッション MAE と後半セッション MAE という2つの評価指標を使い評価した。ここでは、前半セッションとはセッション1~4のことを言い、後半セッションとは4~7のことを言う。追加した MAE の式は以下の通りである。

前半,後半セッション_MAE

$$= \frac{1}{(m+1)-n} \sum_{k=n}^m |Ans_{sec(k)} - V_{sec(k)}|$$

※ $V_{sec(k)}$ は3.3.3の(2)のものを使用。 $Ans_{sec(k)}$ は4.1.1の(3)のものを使用。

前半セッション MAE を求める際は $n=1, m=4$ とし、後半セッション MAE を求める際は $n=4, m=7$ とする。これら

の MAE は、実績値を100分率化したセッション k の主観評価 $Ans_{sec(k)}$ とし、セッション k の喜び度 $V_{sec(k)}$ を予測値とする。予測対象数はどちらも $(m+1) \cdot n$ となる。

表7 実験協力者全員の前半, 後半, 全セッションの MAE

	前半セッション MAE	後半セッション MAE	全セッション MAE
実験協力者 C	19	26	25
実験協力者 D	23	18	19
実験協力者 E	37	17	25
実験協力者 F	6	6	7
実験協力者 G	23	32	28
実験協力者 H	7	25	18
実験協力者 I	12	11	13
実験協力者 J	2	21	13
実験協力者 K	17	11	14
実験協力者 L	19	26	25
実験協力者 M	11	31	20
実験協力者 N	20	25	25
実験協力者 O	11	28	20
実験協力者 P	12	15	11
実験協力者 Q	34	25	30
実験協力者 R	9	4	7
実験協力者 S	36	47	36
実験協力者 T	17	22	21
実験協力者 U	37	52	44
実験協力者 V	12	14	12
全実験協力者の平均	18.44	23.1	20.7

5.2 実験(3)結果

表7より、全セッション MAE の実験協力者全員の平均は20.7であり実験(1)の感情をとった際の実験協力者全員の平均と比べ21.9%ほど誤差が小さくなった。また、実験(2)の全セッション MAE の実験協力者全員の平均と比べ8%ほど誤差が小さくなった。誤差は小さくなったものの実験(2)と比べると僅かしか誤差は小さくならなかった。そこで、実験協力者一人一人の全セッション MAE を見てみると、最大となった値は44だったのに対し、最小となった値は7と個人によっての変動が大きかった。このことから実験協力者の属性によって全セッション MAE が変動していると考えられる。

また、前半セッション MAE と後半セッション MAE の平均をみてみると、前半の平均の方が18.44だったのに対し、後半は23.1と前半の方が20.1%ほど誤差が小さかった。また、前半、後半セッション MAE についても全セクシ

ン MAE と同様のことが言え、同様に属性との相関分析が必要であると考えられる。

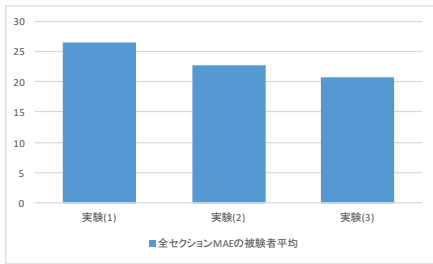


図 15 全実験の全セッション MAE の実験協力者平均(※)
※ 実験(1)は 1 セクションの映像とする。

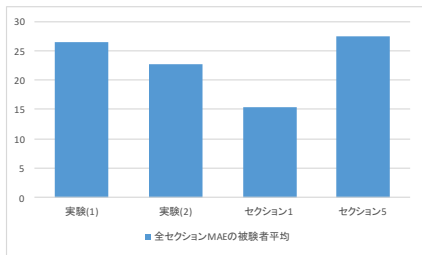


図 16 実験(1), 実験(2)の全セッション MAE の実験協力者平均とセッション 2,5 の MAE の実験協力者平均

以前の実験との比較

実験(3)は以前の実験と比べて実験協力者平均の全セッション MAE が小さくなったという結果が出た(図 15 参照)。そこで、統計学的に本当に実験(3)の MAE の値が小さくなったのかを調べるべく、実験(3)と他の各実験に対して f 検定, t 検定を行ったが、統計学的に有意であるという結果は示されなかった。これは全体的な実験協力者数の少なさによるものであると考えられ、統計学的に有意であるというにはさらに実験協力者を増やす必要があると考えられる。

また、セッション一つ一つの MAE の実験協力者平均に着目すると、図 16 のようになった。セッション 2 は実験(3)で最も誤差が小さかったセッションであり、セッション 5 は実験(3)で最も誤差が大きかったセッションである。こちらも、セッション 2 と各実験、セッション 5 と各実験で f 検定及び t 検定を実施したが、いずれも統計学的な有意差は示されなかった。これは全体的な実験協力者数の少なさによるものであると考えられ、統計学的に有意であるというにはさらに実験協力者を増やしての実験をしなければならないと考えられる。しかし、図 16 の通り、最も MAE が小さいセッション 2 は他の実験よりも MAE が小さく、最も MAE が大きいセッション 5 は他の実験よりも MAE が大きいという結果になり、セッションによって MAE に大きな変動があるということがわかった。

5.3 実験(3)評価, 考察

(1) 属性と MAE の相関

実験協力者によって MAE が大きく違うことからアンケートで実験協力者に答えてもらった属性との相関を見ることで、どのような属性の人にどのような傾向があるかを分析した。

そこで、前半、後半、全セッション MAE の相関を調べたところ統計学的に有意な結果が出たのは「データへの関心」という属性の強さと後半セッション MAE と、「父性」の属性の強さと前半セッション MAE だった。

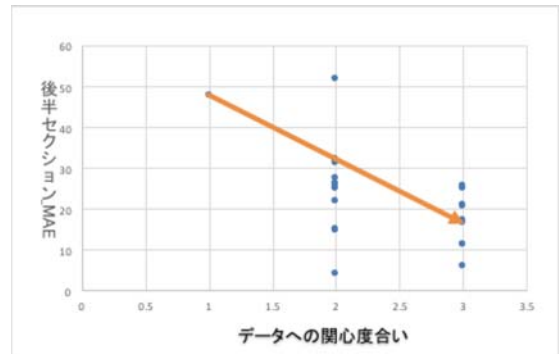


図 17 後半セッション MAE と「データへの関心」の度合いの散布図

「データへの関心」という属性の度合いの強さ(3 段階)と後半セッション MAE の相関係数は -0.53 ($*p < 0.03$)であった。そこで f 検定を実施したのち t 検定を実施したところ、図 17 の矢印で表した箇所、つまりデータへの関心の度合い 1 と 3 の間で両側検定で $**t < 0.003$ で統計学的な有意性が示された。これにより図 17 の矢印で表した箇所では、データへの関心が高い人ほど、後半セッション MAE の値が小さくなるという傾向があるということが示された。この結果から、データへの関心が高い人は弱い人に比べ実験そのものの興味が高く、後半のセッションを計測するときまで映像を真剣に視聴しアンケートにも真面目に答えたと考えられ、MAE の値が小さくなったのではないかと考えられる。

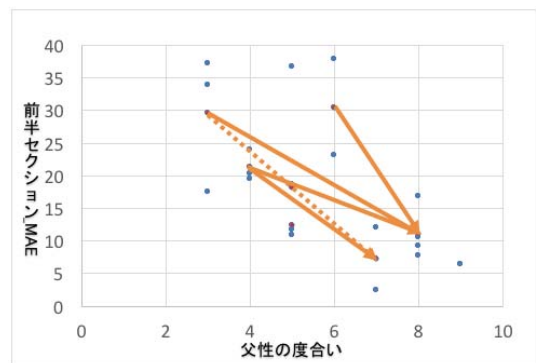


図 18 前半セッション MAE と「父性」の度合いの散布図

「父性」の属性の強さと前半セッション MAE の相関係数は-0.59 の(* $p < 0.04$)であった。そこで f 検定を実施したのち t 検定を実施したところ、図 18 の矢印で表した箇所(実線は両側検定で有意性が示された箇所、破線は片側検定でのみ有意性が示された箇所)で統計学的な有意性が示された。これにより図 18 の矢印で表した箇所では、父性が強い人ほど前半セッション MAE の値が小さくなることが示された。この結果から、父性が高い人は真面目で不正に厳しい人が多く、実験やアンケートについても他の人と比べて真面目に取り組んでいたことから MAE の値が小さくなったと考えられる。

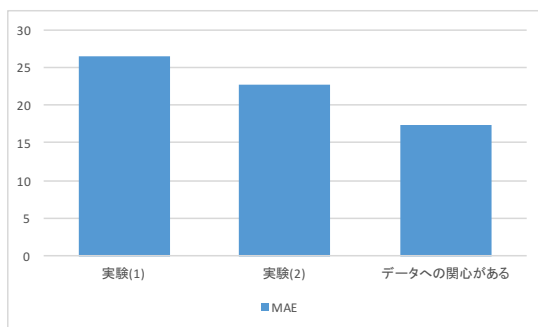


図 19 実験(1)、実験(2)の MAE の実験協力者平均と「データへの関心がある」属性の実験協力者の MAE の実験協力者平均

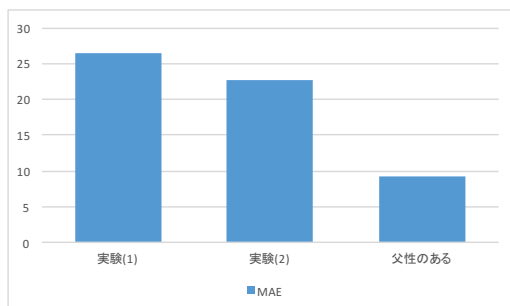


図 20 実験(1)、実験(2)の全セッション MAE の実験協力者平均と「父性のある」属性の実験協力者の前半セッション MAE の実験協力者平均

分析結果の利用

図 19 から、属性アンケートで「データへの関心」という属性(3段階)に 3(最も大きい回答)と答えた実験協力者の後半セッション MAE の実験協力者平均と実験(1)と実験(2)の全セッション MAE の実験協力者平均とを比較した。図 19 より、「データへの関心がある」という属性に当てはまると答えた実験協力者のみを抜き出して他実験の MAE の実験協力者平均と比較したところ、MAE が実験(1)と比べて 36%ほど小さくなり、実験(2)と比べても 26.5%ほど小さくなったという結果になった。

次に、属性アンケートで「父性のある」という属性(12

段階)に 7 以上と算出された、実験協力者の前半セッション MAE の実験協力者平均と各実験の全セッション MAE の実験協力者平均とを比較した。図 20 より、「父性のある」属性であると答えた実験協力者のみを抜き出して前半セッション MAE の実験協力者平均を他の実験と比較したところ、MAE が実験(1)と比べて 65%ほど小さくなり、実験(2)と比べても 59%ほど小さくなったという結果になった。

なお、「データへの関心がある」属性と他の実験とで f 検定及び t 検定を実施したが、いずれも統計学的な有意差は示されなかった。また、これは「父性のある」属性と他の実験とでも同じ結果になった。これは全体的な実験協力者数の少なさによるものであると考えられ、統計学的な有意差を得るにはさらに実験協力者を増やしての実験をしなければならぬと考えられる。

6. 議論

本研究で提案した感情推測手法を実際のロボットと人との対話に適用するにはいくつかの問題がある。そこでこの章では提案した感情推測手法を実際のロボットと人との対話に適用する際の問題点について解決方法を考察する。

(1) 生体情報計測の問題

本研究の感情推測方法では、脳波や脈拍を使用しているが、それらを実際のロボットと人との対話でどのように計測するかという課題がある。解決策として、ロボットとの対話前に予め脈拍センサや脳波センサをつけてもらう方法が考えられる。この方法はセンサとロボットの情報をワイヤレスでやり取りできるようになり、センサの小型化が実現できれば可能である。しかしながらこの方法はセンサの小型化及び精度の向上が実現できなければ不可能であり、センサのハードの技術の向上を待たなければならないという課題がある。

(2) 属性調査の問題

実験(2)と(3)での感情推測アルゴリズムは、属性によって誤差の大きさが異なっていた。そのため属性によってアルゴリズムを変更することで誤差を小さくできると考えられる。しかし、実際のロボットと人との対話へ実現するにはどのように属性を知るかが課題になる。解決方法の一つとして事前に属性を聞くことで、その属性の人に合うアルゴリズムに対話前に予め変更するという方法が考えられる。しかしながら、属性を聞く分の手間がかかってしまうという欠点があり、その欠点を補う方法を考えていく必要がある。

7. まとめ

今回の実験から生体情報は表情より正確に「喜び」の感情を推測することができ、映像をセッションごとに分けて

評価することでさらに正確に「喜び」の感情を推測することができた。また実験(3)からは誤差の大きさには属性による個人差があることが分かった。

今後は、今回の個人差による誤差の大きさの変動の対策を実施し正確さを向上させるため、事前に属性について質問等をし、相手の属性をあらかじめ認知し、アルゴリズムを属性によって変更するなどの対策しする必要があると考えている。また「喜び」以外の感情の場合の調査や、セクション分けを実際の人との対話の場合にどのように分けていくかを調査、最終的な目標である感情を推測、自然に反応を返すことのできるようなロボットの実現を目指すことを検討している。

参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所. 日本の世帯数の将来推計(全国推計). 2013 年1月推計. 2013.
<http://www.ipss.go.jp/pp-ajsetai/j/HPRJ2013/t-page.asp>
- [2] Christopher J. Calo, Nicholas Hunt-Bull, Lundy Lewis, Ted Metzler. “Ethical Implications of Using the Paro Robot with a Focus on Dementia Patient Care”. 2011, *Human-Robot Interaction in Elder Care*
- [3] 柴田崇徳(産業技術総合研究所, 東京工業大学, マサチューセッツ工科大学). “神経学的セラピー用ロボット・パロとその利活用”, 2013
- [4] 和田一義(首都大学東京). “高齢者施設におけるパロの運用方法”. 第1回「アザラシ型ロボット・パロによるロボット・セラピー研究会」, 2012
- [5] 加納政芳(名古屋工業大学). “感性会話型ロボット「ifbot」の表情制御の感情空間へのマッピング”. 情報処理学会第66回全国大会, 2004
- [6] 柴田 寛, 加藤 昇平, 伊藤 英則(名古屋工業大学), 加納政芳(中京大学). “感性ロボット ifbot の感情空間を用いた感情遷移に伴う表情変化の主観的影響”. 日本知能情報ファジィ学会誌, 2009
- [7] 平木 典子. “自分の気持ちをきちんと<伝える>技術”. PHP研究所, 2007
- [8] “画像センシング技術_製品情報”. オムロン.
<http://www.omron.co.jp/ecb/products/mobile/>
- [9] James A. Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, No.6, 1980, pp.1161-1178
- [10] 坂松 春香, 鎌田 恵介, 小倉 加奈代, ベッド B. ビスタ, 高田 豊雄, 佐々木 慎吾, 佐藤 友斗, 高橋 啓伸(岩手県立大学). “数の生体情報を用いた感情同定手法に基づく MMD モデルを用いたセルフフィードバックインタフェースの提案”. 情報処理学会 インタラクシオン(2015), 2015
- [11] 鈴木悠太, ロペス・ギヨーム, 高橋淳二(青山学院大学). “ウェアラブル環境における心拍変動解析における電子機器の制御法”. 第19回人間情報学会ポスターセッション, 2014
- [12] Francesco Moscato, Marcus Granegger, Michael Edelmayer, Daniel Zimpfer, and Heinrich Schima. *Continuous Monitoring of Cardiac Rhythms in Left Ventricular Assist Device Patients*, Wiley Periodicals, Inc. and International Center for Artificial Organs and Transplantation, 2014
- [13] “ニューロスカイジャパンの製品紹介”. ニューロスカイジャパン. <http://www.neurosky.jp/products/>
- [14] “Arduino 心拍センサ・シールド キット A.P. Shield 05 _ 東京デバイセズ”. 東京デバイセズ.
<https://tokyodevices.jp/items/3>
- [15] Reda Elbarougy, Masato Akagi. *Cross-lingual Speech Emotion Recognition System Based on a Three-Layer Model for Human Perception*, Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), 2013 Asia-Pacific, 2013
- [16] “ホーム -ラピロ”. ラピロ. <http://www.rapiro.com/ja/>
- [17] 林 正樹, 宮下 広夢, 岡田 謙一(慶應義塾大学). “仮想空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 / 日本バーチャルリアリティ学会編, 2009, vol14, No2, p.147-155
- [18] 野口 彩, 渡辺 大地(東京工科大学). “加速直線運動から受ける感情強度の推定”, 2010
- [19] “性格について【自己評価に関するリサーチ結果】 _ バルクのマーケティングリサーチ・市場調査”. マーケティングリサーチ, 市場調査のバルク.
<http://www.vlcank.com/mr/report/038/003>
- [20] “USB心拍センサ IWS920 開発キット 「パルスラボ」 | 東京デバイセズ”. 東京デバイセズ.
<https://tokyodevices.jp/items/188>
- [21] 榎本博明. “図解でわかる はじめての自己分析 いまの自分が見えてくる心理学”. 日本実業出版社, 2003