

Title	顔表情識別器を用いた非同調反応がもたらす人とロボットのインタラクション特性の解析
Author(s)	藤原, 秀平
Citation	
Issue Date	2020-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/16377
Rights	
Description	Supervisor: 小谷 一孔, 先端科学技術研究科, 修士 (融合科学)

修士論文

顔表情識別器を用いた非同調反応がもたらす

人とロボットのインタラクション特性の解析

1850005 藤原 秀平

主任研究指導教員 小谷 一孔

北陸先端科学技術大学院大学

金沢大学

(融合科学)

令和2年3月

顔表情識別器を用いた非同調反応がもたらす 人とロボットのインタラクション特性の解析

Analysis of Human-Robot Interaction using Asynchronous Responses based on Facial Expression Information

北陸先端科学技術大学院大学 1850005
氏名 藤原 秀平
主任研究指導教員氏名 小谷 一孔

1. 序論

人とのコミュニケーションに主眼をおいたロボットが社会に普及しつつある。人とロボットが共生する時、我々はこのようなロボットに対して、人に対して思うのと同様に自身の気持ち（感情）をくみ取った言動を期待する。ロボットが認識した感情に対して行動を選択する方法として同調反応がある[1]。同調反応とは意識的か無意識的かを問わず、他者の行動と同じ行動を起こす反応を指す。例えば、悲しんでいる人に対して一緒に悲しむ反応は同調反応である。一方で人同士のコミュニケーションについて考えると、一緒に悲しむという同調反応をする人だけでなく、そっとしておく人やなだめる人、笑って励ます人もいる。このような同調反応以外の反応を非同調反応と呼ぶこととする。非同調反応が人とロボットのコミュニケーションにもたらす効果を解析することで、ロボットは現在より複雑な反応を選択出来る。本研究では人とロボット間の感情を伴うインタラクションにおいて、非同調反応に着目し、反応の違いがインタラクションに及ぼす効果を顔表情識別器の類似度から得られる評価値を用いて定量的に解析することを目的とする。

2. インタラクションシステム

システムは図1のようにロボットとサーバで構成し、ロボットにはRoBoHoNを、顔表情識別器にはEMC[2]を用いた。

表情の取得は以下のように行う。

- ①人はロボットに対してトリガー（表情）を表出する
- ②ロボットは人の顔画像（変化前の顔画像）を撮影しサーバへ送信する
- ③サーバは画像を顔表情識別器へ入力し表情認識を行う
- ④サーバは予め登録した反応辞書から反応を決定し、動作命令をロボットへ送信する
- ⑤命令に応じてロボットが反応し、インタラクションが生じる
- ⑥再度画像を撮影し保存する（変化後の顔画像）

これによりインタラクションによる顔表情の変化前後の顔画像が取得可能となり解析を行うことができる。

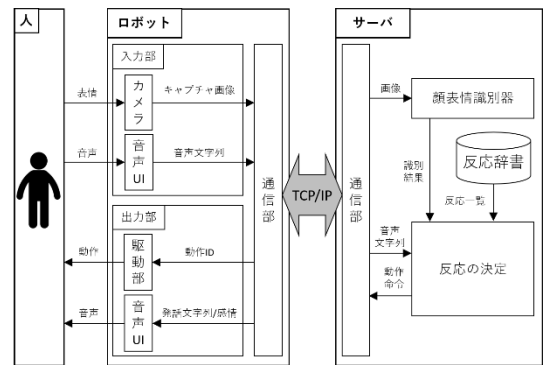


図1 インタラクションシステム

3. 同調・非同調反応がインタラクションに及ぼす効果の解析

被験者9名に対し16種類のインタラクション実験を行った。実験のフローチャートを図2に示す。

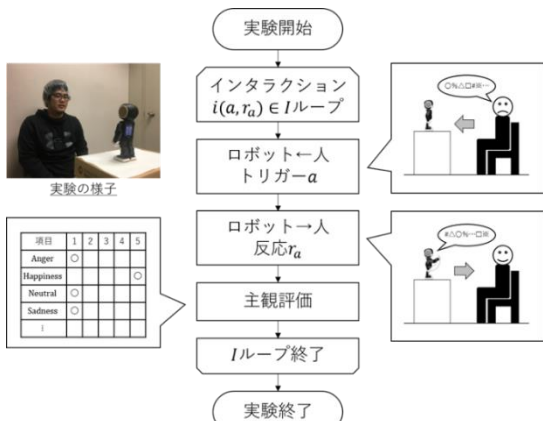


図2 実験のフローチャート

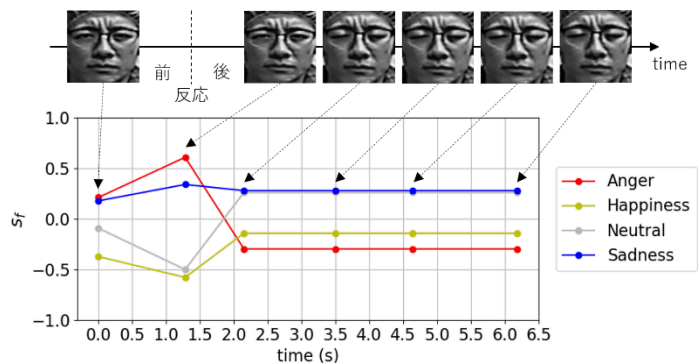


図3 類似度の時間変化の例

各インタラクションについて、主観評価と顔表情の取得を行い、インタラクションの評価値の検討と解析を行った。図3はある被験者のインタラクションにおける顔表情識別器の類似度の時間変化である。ロボットの反応によって表情が変化し、類似度に変化が起きている。

人とロボットのコミュニケーションでは相手の感情に与える影響がポジティブかネガティブかが重要となる。このため、反応前後の類似度の変化量をポジティブな感情クラスとネガティブな感情クラスについて重み付して和を取り、評価値として類似度変化量 Δs を定義した。主観評価値も同様に重み付して和を取り、主観変化量 Δp とした。この2つ値を被験者ごと平均し、相関関係を解析した。結果として、相関係数が0.88と強い正の相関が得られ、類似度変化量 Δs の有用性を示した。また、相関の無い被験者も存在したことから心理尺度 NARS, RAS, SAES[3],[4]との相関関係を分析し、ロボットに対する感情的なコミュニケーションについて、否定的な意識を持つ被験者に対しては類似度変化量 Δs によってインタラクションを正しく評価できないという結果を得た。ロボットに対する否定的な意識を持つ被験者はロボットとのインタラクションに対して慣れていないことが予想される。今後の実験では、被験者に対しロボットの説明を十分した上で、一定時間以上のコミュニケーションをとらせることでロボットに対して慣れさせることが必要になる。

類似度変化量 Δs を用いてインタラクションを解析した結果について述べる。同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与える。トリガーがポジティブな感情クラスに属する場合であればポジティブな効果を与え、ネガティブな感情クラスに属する場合であればネガティブな効果を与える。非同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与えるとは限らない。トリガーがポジティブな感情クラスに属する場合に与える効果は小さいが、トリガーがネガティブな感情クラスに属する場合には大きな効果を与えることもある。トリガーが Neutral の場合は反応が属するクラスに応じた効果が表れ、ポジティブな反応をすることでポジティブな効果が生じ、ネガティブな反応をすることでネガティブな効果を与える。これは人がロボットに対して無意識に同調した結果だと考えられる。

4. 結論

人の感情に対する同調・非同調反応がインタラクションに及ぼす効果を表す評価値の検討と解析を行った。主観評価による結果と類似度による結果を比較し、評価値として類似度変化量 Δs の有用性を示した。また、認知心理学の観点から類似度変化量 Δs と心理尺度 NARS, RAS, SAES の相関関係を分析し、ロボットに対する感情的なコミュニケーションについて、否定的な意識を持つ被験者に対しては類似度変化量 Δs によってインタラクションを正しく評価できないという結果を得た。さらに、主観評価の結果と評価値 Δs を用いた解析から、以下の知見を得た。

- ・ 非同調反応は同調反応と比較して個人性が高い
- ・ 同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与える。
- ・ 非同調反応はトリガーが属するクラスがネガティブな場合に効果が大きい。
- ・ トリガーが Neutral の場合は反応が属するクラスに応じた効果が表れる。

今後は類似度変化量 Δs を用いてより多くの反応を解析し、ロボットの学習に用いることや数分から数時間といった長時間のインタラクションについて議論する必要がある。

参考文献

- [1] 山野美咲, 薄井達也, 橋本稔, “情動同調に基づく人間とロボットのインタラクション手法の提案,” HAI シンポジウム, 2D-4, pp. 1-6, 2008.
- [2] 黒住隆行, 新座良和, 剣持雪子, 小谷一孔, “固有空間法と重判別分析による顔画像の個人性と表情の解析,” 信学技報, CS98-122, IE98-101, pp. 57-64, 1998.
- [3] 野村竜也, 神田崇行, 鈴木公啓, 山田幸恵, 加藤謙介, “Human-Robot Interaction (HRI) における人の態度・不安・行動,” 第26回ファジィシステムシンポジウム, TB2-4, 2010.
- [4] 酒井久美代, “情動認識力が他者認識力に与える影響,” 日本女子体育大学紀要, Vol.37, pp. 1-8, 2007.

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 人とロボットのインタラクションと分類	2
1.2 従来研究.....	5
1.2.1 顔表情の類似度を用いたインタラクション特性の解析.....	5
1.2.2 同調反応を用いたインタラクションの研究	7
1.2.3 従来研究のまとめ	8
1.3 研究目的.....	9
1.4 本研究におけるインタラクション	10
1.4.1 インタラクションの表現構造.....	10
1.4.2 感情クラス	11
1.4.3 同調の定義	11
第2章 インタラクションシステム.....	12
2.1 顔表情識別器	14
2.1.1 前処理.....	14
2.1.2 特徴空間への射影.....	18

2.1.3 類似度計算及び識別	18
2.1.4 顔表情の取得方法及び識別器の学習	20
第3章 同調・非同調反応がインタラクションへ与える効果の解析.....	22
3.1 実験概要と条件.....	22
3.2 実験結果.....	25
3.2.1 主観評価.....	25
3.2.2 類似度.....	25
3.3 解析に用いる評価値の検討.....	29
3.3.1 評価値の定義.....	29
3.3.2 評価値の検討.....	31
3.3.3 類似度変化量 Δs の認知心理学の観点からの考察.....	33
3.4 非同調反応の解析.....	38
第4章 結論.....	43
4.1 まとめ.....	43
4.2 今後の課題.....	44
謝辞.....	45
参考文献.....	46
付録A アフィン変換行列の求め方.....	49

付録 B	クラス特徴に基づく固有空間法.....	50
付録 C	実験に使用した質問用紙	53
付録 D	主観評価の結果.....	54

目次

図 1.1	表現構造によるインタラクションの分類 [3].....	3
図 1.2	ペットロボットにおける対人心理作用 [3]	4
図 1.3	表現手段による認識特性の違い [6].....	5
図 1.4	動的にロボットの表現方法を変更した場合の類似度変化 [6].....	6
図 1.5	人とロボットの情動変化 [7].....	7
図 1.6	インタラクションの表現構造.....	10
図 1.7	本研究で用いる感情クラス	11
図 2.1	システム概要.....	13
図 2.2	RoBoHoN [10]	13
図 2.3	表情識別の過程	14
図 2.4	前処理の過程.....	15
図 2.5	顔領域の検出.....	15
図 2.6	68 個のランドマークと目鼻座標.....	16
図 2.7	正規化のパラメータ	17
図 2.8	特徴空間上で計算される顔表情の類似度 sf	19
図 2.9	人とロボットの位置関係.....	20

図 2.10	学習した表情識別器の基底 e_k の例	21
図 3.1	実験のフローチャートと実験の様子	22
図 3.2	各シナリオにおける表情の取得例.....	23
図 3.3	$i(\text{Anger}, \text{Anger})$ の主観評価値.....	26
図 3.4	$i(\text{Anger}, \text{Happiness})$ の主観評価値	26
図 3.5	$i(\text{Anger}, \text{Neutral})$ の主観評価値.....	26
図 3.6	$i(\text{Anger}, \text{Sadness})$ の主観評価値	26
図 3.7	$i(\text{Anger}, \text{Anger})$ における表情と類似度の時間変化（被験者 F） .	27
図 3.8	$i(\text{Anger}, \text{Happiness})$ における表情と類似度の時間変化（被験者 F）	27
図 3.9	$i(\text{Anger}, \text{Neutral})$ における表情と類似度の時間変化（被験者 F）	28
図 3.10	$i(\text{Anger}, \text{Sadness})$ における表情と類似度の時間変化（被験者 F）	28
図 3.11	インタラクション前後の類似度の変化量（被験者 F）	30
図 3.12	各インタラクションにおける類似度変化量 Δs_i	32
図 3.13	各インタラクションにおける主観変化量 Δp_i	32
図 B.1	級間分散と級内分散の差が最大となる軸	50
図 B.2	画像のラスタスキャン	51

図 C.1	実験に使用した質問用紙の例	53
図 D.1	$i(\text{Happiness, Anger})$ の主観評価値	54
図 D.2	$i(\text{Happiness, Happiness})$ の主観評価値.....	54
図 D.3	$i(\text{Happiness, Neutral})$ の主観評価値	54
図 D.4	$i(\text{Happiness, Sadness})$ の主観評価値	54
図 D.5	$i(\text{Neutral, Anger})$ の主観評価値	55
図 D.6	$i(\text{Neutral, Happiness})$ の主観評価値	55
図 D.7	$i(\text{Neutral, Neutral})$ の主観評価値.....	55
図 D.8	$i(\text{Neutral, Sadness})$ の主観評価値.....	55
図 D.9	$i(\text{Sadness, Anger})$ の主観評価値	56
図 D.10	$i(\text{Sadness, Happiness})$ の主観評価値	56
図 D.11	$i(\text{Sadness, Neutral})$ の主観評価値	56
図 D.12	$i(\text{Sadness, Sadness})$ の主観評価値	56

表目次

表 1.1	ロボットの表現方法を変える閾値.....	6
表 2.1	表情に用いた Action Unit (AU).....	20
表 3.1	各インタラクションにおける場面設定	24
表 3.2	ロボット否定的態度尺度 (NARS) の項目 [16].....	35
表 3.3	ロボット不安尺度 (RAS) の項目 [16].....	35
表 3.4	情動認識力尺度 (SAES) [17].....	36
表 3.5	$\Delta s\psi_i$ と $\Delta p\psi_i$ の相関係数 $r\psi$ と各心理尺度との相関係数	37
表 3.6	類似度変化量 Δs ($a = \text{Anger}$)	38
表 3.7	類似度変化量 Δs ($a = \text{Happiness}$)	39
表 3.8	類似度変化量 Δs ($a = \text{Neutral}$)	40
表 3.9	類似度変化量 Δs ($a = \text{Sadness}$)	41

第1章 序論

1.1 研究背景

人とのコミュニケーションに主眼をおいたロボットが社会に普及しつつあり、今後、一人一台パーソナルなロボットを所有する時代が来る。人とロボットが共生する時、我々はこのようなロボットに対して、人に対して思うのと同様に自身の気持ち（感情）をくみ取った言動を期待する。

人は対話相手に対して相手の表情を見て対応を変える。しかしながら、現状のロボットの多くは相手の顔表情を認識した上で反応を選択することはできない。人がロボットに対して「元気だよ」と言った場合に、ロボットが人の喜びの顔や悲しみの顔の違いを認識して反応を選択することが望ましい。ロボットが人の感情に応じた行動をとる為には、人の感情を推定して行動を選択する必要がある。

ロボットが人の感情を推定する為に顔表情は不可欠である。人同士の感情コミュニケーションにおいて、93%の情報は非言語情報により、更にその59%は表情や視線、身振りなどの身体動作により伝達される [1]。表情は情報を伝達するメディアとして、音声情報にはない「情報発信の持続性」があり [2]、人の表情を任意のタイミングで計測しロボット制御に用いることが出来る。

ロボットが認識した感情に対して行動を選択する方法として同調反応がある。同調反応とは意識的か無意識的かを問わず、他者の行動と同じ行動を起こす反応を指す。例えば、悲しんでいる人に対して一緒に悲しむ反応は同調反応である。一方で人同士のコミュニケーションについて考えると、一緒に悲しむという同調反応をする人だけでなく、そっとしておく人やなだめる人、笑って励ます人もいる。このような同調反応以外の反応を非同調反応と呼ぶこととする。

非同調反応が人とロボットのコミュニケーションにもたらす効果を解析することで、ロボットは現在より複雑な反応を選択出来る。

1.1.1 人とロボットのインタラクションと分類

▶ インタラクションとは

人とロボットのコミュニケーションに関する研究分野をヒューマンロボットインタラクション (HRI: Human-Robot Interaction) という。HRI の分野では分野名にある通り「インタラクション」という言葉が頻繁に用いられる。人とロボットのインタラクションとは人とロボットが互いに影響を及ぼしあうことをいう。具体的にはコミュニケーションを通して、人の感情や表情、身体的特徴に変化が起きたりロボットの内部パラメータに変化が起きたりすることをいう。本研究ではインタラクションにおいて、一方からもう一方への働きかけをトリガーと言い、これに対する行動を反応と言う。

➤ インタラクションの分類

佐藤ら [3]は人とペットロボットのインタラクションについて表現構造に着目し、図 1.1 のように分類している。

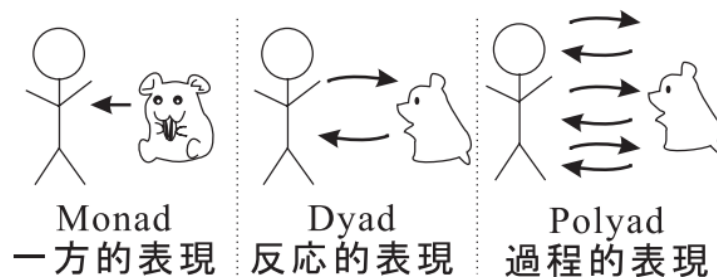


図 1.1 表現構造によるインタラクションの分類 [3]

以下に各構造について述べる。

➤ モナッド (Monad)

表現が一方通行であり反応が起こらないため厳密にはインタラクションとは呼べないが、コミュニケーションの一種と考えられる。

➤ ダイアド (Dyad)

ダイアドはインタラクションの最も簡単な形態である。相手からの働きかけ (トリガー) に対して反応を行う。反応の決定に相手や自身の過去の行動が影響することはない。

➤ ポリアド (Polyad)

ダイアドは直前のトリガーに対してのみ反応するが、ポリアドは相手や自身の過去の行動履歴を次の反応の決定に用いる。

さらに、この表現構造による分類に、表現内容による分類、表現手段による分類を加えペットの対人心理作用として図 1.2 のようにまとめている。

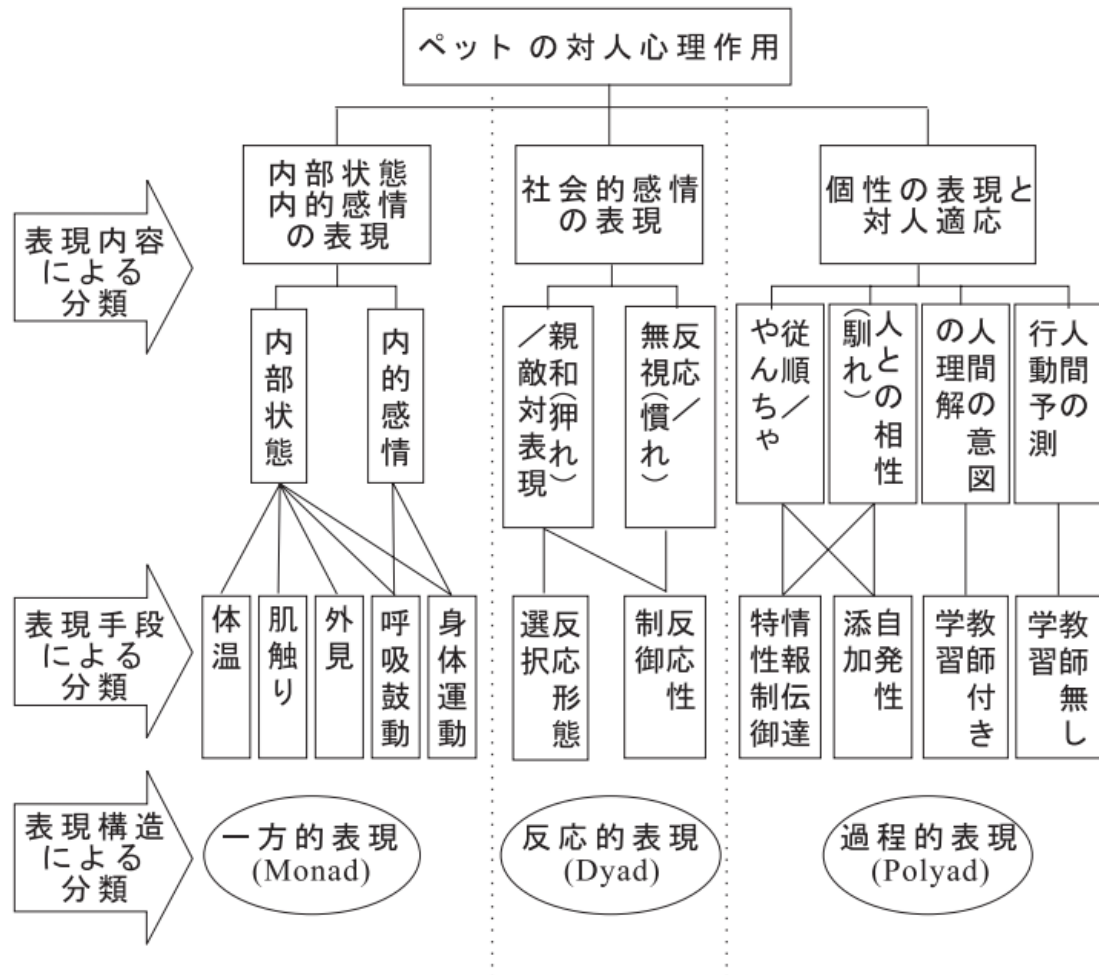


図 1.2 ペットロボットにおける対人心理作用 [3]

これらはすべてペットロボットに対する分類である。しかしながら、この分類方法は人とのコミュニケーションに主眼をおいたロボットの研究という共通点からペットロボットに限らず、本研究で扱うパーソナルなロボットに対しても適用できると考える。

1.2 従来研究

1.2.1 顔表情の類似度を用いたインタラクション特性の解析

これまで我々は顔表情認識器を用いた人とロボットにおけるインタラクション特性の解析に取り組んできた [4], [5]。矢野ら [6]は、図 1.3 のようなロボットの表現手段の違いを顔表情の類似度によって解析した。類似度は入力された表情が辞書として登録されている喜びや怒りなどの各表情の平均顔と似ている度合いを表す。

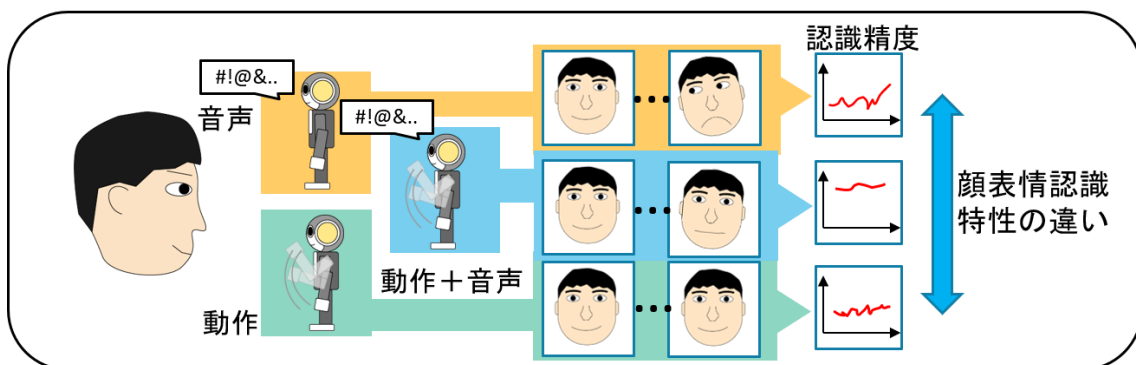


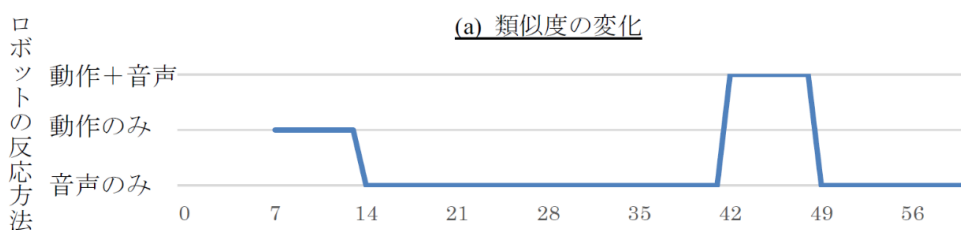
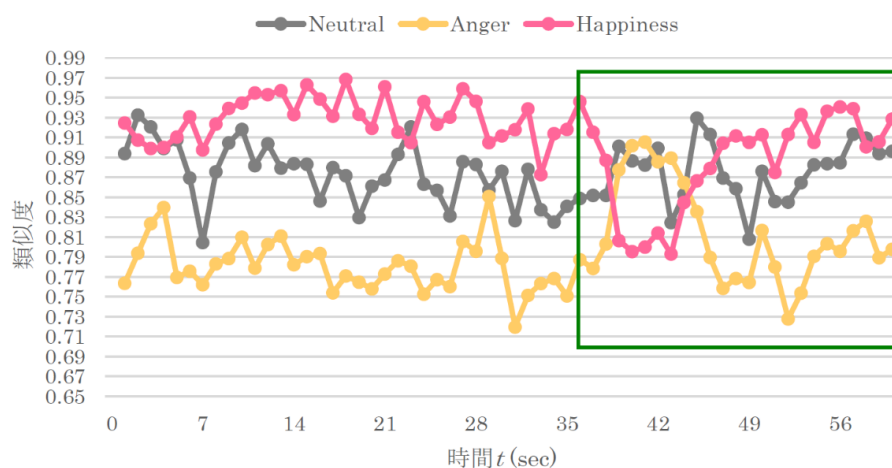
図 1.3 表現手段による認識特性の違い [6]

ロボットの表現手段（音声のみ、動作のみ、音声+動作）の違いによって類似度の最大値に差が生じ、音声+動作によってロボットが反応することで類似度が最も高くなることを示した。さらに類似度の高さに応じてロボットの表現手段を変更する実験を行った。実験において被験者はロボットに対し表情を表出し、ロボットは識別した表情と同クラスに属する反応を返す。反応の表現手段を類似度の高さに応じて表 1.1 のように変更した場合のインタラクションへの効

果を解析した。結果として図 1.4 の(a)を見るとインタラクション開始から 35 秒付近で類似度が大きく低下するが、表現手段が変わることで類似度が上昇したことを報告している。

表 1.1 ロボットの表現方法を変える閾値

類似度 s の高さ	$s < 0.85$	$0.85 \leq s < 0.9$	$0.9 \leq s$
表現方法	動作+音声	動作のみ	音声のみ



(b) ロボットの反応方法の遷移

図 1.4 動的にロボットの表現方法を変更した場合の類似度変化 [6]

この研究において、ロボットの反応内容は識別した感情クラスに対して同一のものを用いていた。この為ロボットとのインタラクションについて、被験者に飽きが生じ、類似度の低下が起きたことを報告している。

1.2.2 同調反応を用いたインタラクションの研究

山野ら [7]は KAMIN [8]を用いて音声から人の感情を推定し顔表情をロボットに表出させ、ロボットの情動を人の情動に対して同調, 非同調させる実験を行った。情動は感情と感情に伴う身体的変化を指す。情動の表現には Russell の円環モデル [9]を用い、横軸は快-不快、縦軸は覚醒-眠気を表す。実験時の人とロボットの情動変化を図 1.5 に示す。この図の (a), (b) において上の図は円環モデル上での人の感情推定値 (赤点) とロボットの感情値 (黒点) を表し、下の図は実験時にロボットが表出した表情を表す。(a) 同調の場合は (b) 非同調の場合と比較すると人の感情推定値を表す赤点が時間の経過に伴い右の方向 (快方向) へ移動している。このことから人の心理状態がよりポジティブな方向に変化したことが分かる。また、ロボットとのインタラクション時間が約 44% 増加したと報告している。

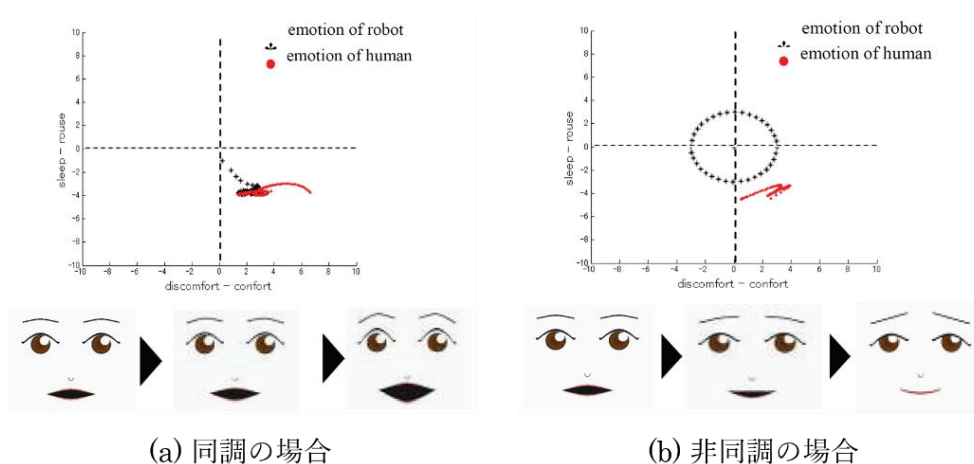


図 1.5 人とロボットの情動変化 [7]

この研究において、非同調は情動の認識結果に関係なくあらかじめ定めた表情を表出するという設定であった。このため非同調の違いによる効果について十分議論されていない。またロボットに対して自由に話しかける設定であった為、トリガーの違いによる効果についても議論が十分ではない。

1.2.3 従来研究のまとめ

- 表情認識特性の解析に関する従来研究
 - ・ 表情識別器の識別特性によってインタラクションを評価できる
 - ・ 表現手段の違いによるインタラクションへの効果の解析
- 同調反応に関する従来研究
 - ・ 同調には心理状態をポジティブにする効果がある
 - ・ 表現内容の違いによるインタラクションへの効果の解析
 - ・ 非同調について十分な議論がなされていない

これらのことから、様々なトリガーに対しての反応を同調、非同調に区分して表情識別器の類似度から得られる評価値を用いて解析することで、図 1.2 の分類における表現内容の違いによるインタラクションへの効果を明らかにできる。

1.3 研究目的

本研究では人とロボット間の感情を伴うインタラクションにおいて、非同調反応に着目し、反応の違いがインタラクションに及ぼす効果を顔表情識別器の類似度から得られる評価値を用いて定量的に解析することを目的とする。

この目的を達成する為に、人の感情に対する同調・非同調反応が可能で人の顔表情を撮影可能なロボットとこれを制御するサーバからなるインタラクションシステムを用いてインタラクション実験を行う。各インタラクションには場面を設定し、感情クラスの異なるトリガーを被験者に表出してもらい、これらのトリガーに対してロボットが同調・非同調反応を行い、これによる被験者の表情変化を取得する。これを基に顔表情識別器の類似度を用いたインタラクションの評価値について検討を行い、解析することで反応の違いがインタラクションに及ぼす効果を明らかにし、ロボットの表現内容がインタラクションに及ぼす効果に関して新たな知見を得ることが出来る。

1.4 本研究におけるインタラクション

本節では本研究におけるインタラクションの表現構造, 感情クラス, 同調の定義について述べる。

1.4.1 インタラクションの表現構造

本研究では図 1.6 に示すようなダイアドインタラクションを中心に議論する。人の顔表情をトリガー, ロボットの音声と動作を反応とする。トリガー及び反応の集合をそれぞれ A, R とし, 各トリガーを $a \in A$, 各反応を $r \in R$ とする。人からロボットへのトリガー a に対して, ロボットによる反応 r が起きたとする。これをインタラクション $i(a, r)$ として定義する。 $i(a, r)$ 前後の顔表情の変化がインタラクションによる人の感情の変化であるとする。

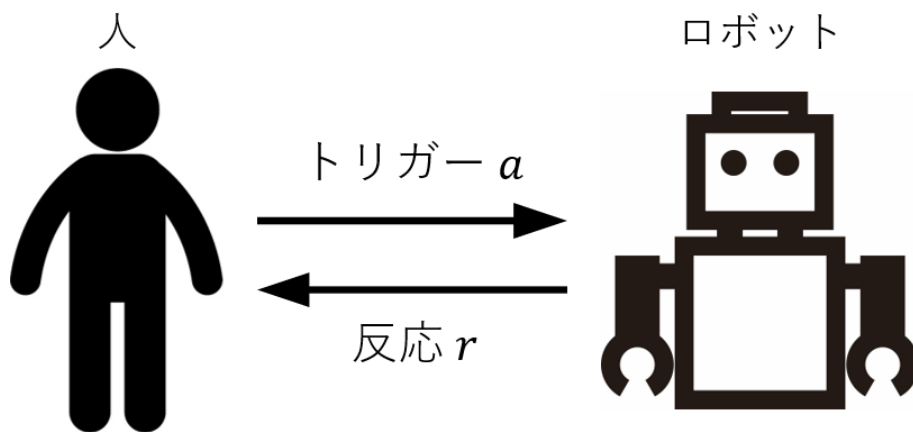


図 1.6 インタラクションの表現構造

1.4.2 感情クラス

本研究では図 1.7 に示す感情クラスを用いる。これはロボットが日常に溶け込んだ場合を想定して、重要性が高いと考えられる感情を選んだ。



図 1.7 本研究で用いる感情クラス

感情クラスの集合を F ，各感情クラスを f として式(1.1)のように定義する。

$$F = \{f \mid \text{Neutral, Anger, Sadness, Happiness}\} \quad (1.1)$$

1.4.3 同調の定義

本研究で扱うトリガー a 及び反応 r は前項の感情クラスのいずれかに属する (トリガー $a \in f$ ，反応 $r \in f$)。トリガーが属する感情クラスを f_a ，反応が属するクラスを f_r とする。本研究では同調と非同調を以下のように定義する。

➤ 同調

$$f_a = f_r \quad (1.2)$$

➤ 非同調

$$f_a \neq f_r \quad (1.3)$$

第2章 インタラクションシステム

インタラクションシステムの概要を図 2.1 に示す。システムはロボットとサーバで構成される。このシステムにより人とロボットがインタラクションする。

1.4.1 で定義したインタラクションにおける表情変化取得の流れを説明する。

- ① 人はロボットに対してトリガーを表出する。
- ② ロボットは人の顔画像（変化前の顔画像）を撮影しサーバへ送信する。
- ③ サーバは画像を顔表情識別器へ入力し表情認識を行う。
- ④ サーバは予め登録した反応辞書から反応を決定し、動作命令をロボットへ送信する。
- ⑤ 動作命令に応じてロボットが反応し、インタラクションが生じる。
- ⑥ 再度画像を撮影し保存する。（変化後の顔画像）

このシステムによってインタラクションによる顔表情の変化前後の顔画像が取得可能となり解析を行うことができる。

本研究ではロボットとして、図 2.2 に示す SHARP の RoBoHoN [10]を用いた。RoBoHoN はスマートフォンとしての機能を持ったパーソナルなロボットである。カメラにより顔表情を取得でき、音声合成及び身体動作により感情表現が可能であることから、本研究に適している。

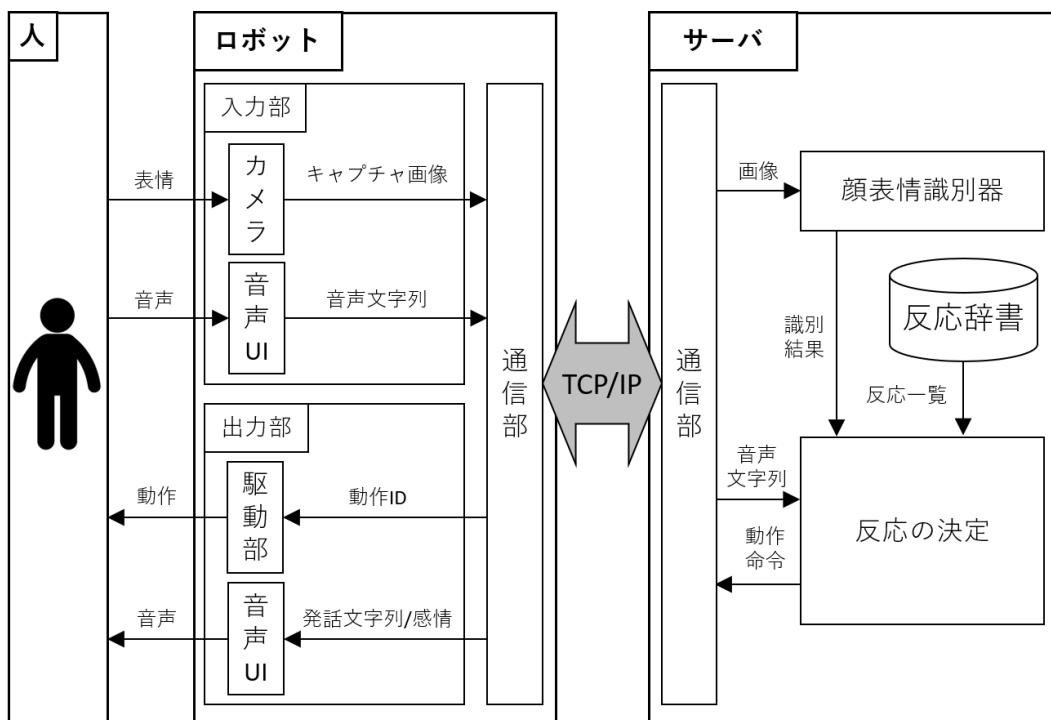


図 2.1 システム概要



図 2.2 RoBoHoN [10]

このシステムにおいて顔表情は約 0.2 秒間隔で取得可能であるが、通信状態の悪化や表情認識の失敗などが原因で取得に数秒程度かかる場合もある。

2.1 顔表情識別器

顔表情識別器が表情を識別する過程を図 2.3 に示す。

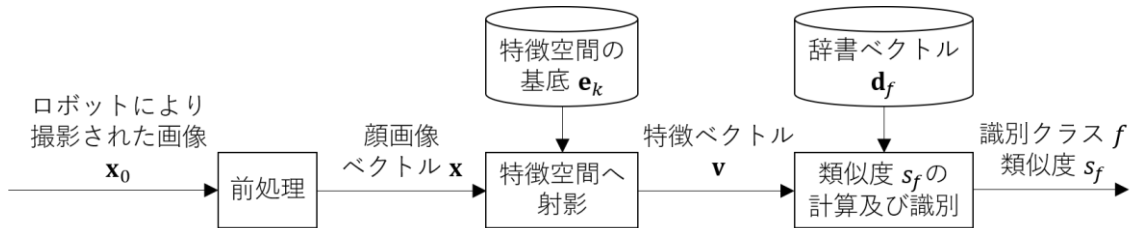


図 2.3 表情識別の過程

識別する顔表情クラスの集合は 1.4.2 で定義した F とし、各クラスを $f \in F$ とする。ロボットにより撮影された画像 x_0 がある表情クラス f に識別されるまでの過程を「前処理」、「特徴空間への射影」、「類似度計算及び識別」の項に分けて説明する。

2.1.1 前処理

顔領域検出時の切り出し位置のずれによって顔表情識別器の類似度に変動が生じることが予想される。このため、前処理により顔位置を正規化する必要がある。前処理ではロボットにより撮影された画像 x_0 に対して、顔検出及び顔位置の正規化を行い、顔画像ベクトル x を得る。前処理の過程を図 2.4 に示す。

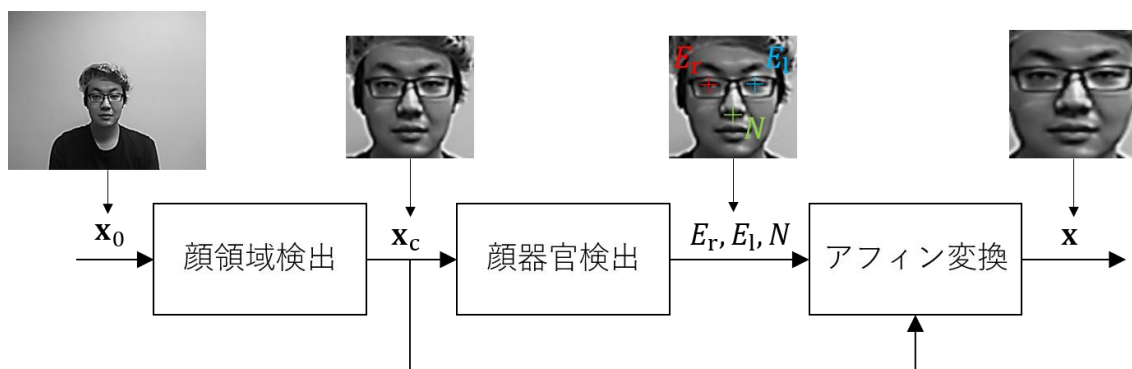


図 2.4 前処理の過程

前処理は手順①～③により行う。

① 顔領域の検出

顔領域は Open CV の Haar-like 特徴を用いた Cascade 型分類器によって検出する。本研究では学習済みの分類器を利用する [11]。これにより図 2.5 のようにロボットにより撮影された画像 x_0 から顔領域画像 x_c を得る。

➤ 使用した学習済み分類器

haarcascade_frontalface_default.xml

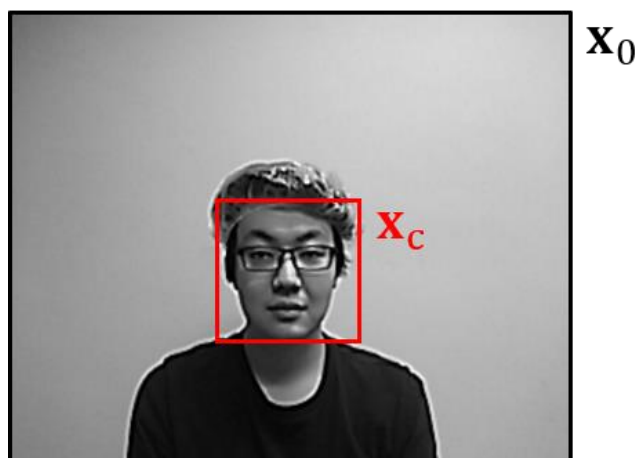


図 2.5 顔領域の検出

② 顔器官（ランドマーク）による目鼻座標の抽出

顔位置の正規化にはアフィン変換を用いる。変換行列を計算するためには3つの点が必要となる。鼻は顔の中心にあり特に鼻下は表情変化による位置変化が少ない。また、目の中心位置も表情変化による影響を受けにくいと考えられる。これらの理由から顔位置の正規化に左右の目と鼻下の座標 E_r, E_l, N を用いる。(図2.6) E_r, E_l, N はDlibの顔器官検出器 [12]によって検出したランドマーク \mathbf{l}_n ($n = 1, 2, \dots, 68$)から計算する。 E_r, E_l, N は式(2.1)~(2.3)で定義する。

$$E_r = \frac{1}{6} \sum_{n=37}^{42} \mathbf{l}_n \quad (2.1)$$

$$E_l = \frac{1}{6} \sum_{n=43}^{48} \mathbf{l}_n \quad (2.2)$$

$$N = \mathbf{l}_{34} \quad (2.3)$$

- 使用した学習済み検出器
shape_predictor_68_face_landmarks.dat

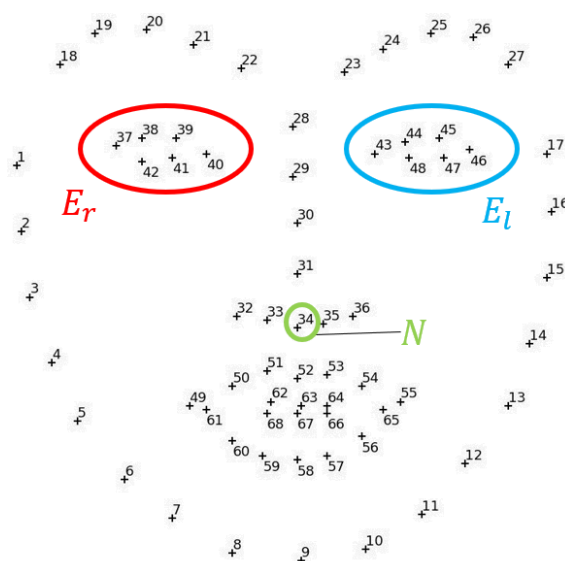


図 2.6 68 個のランドマークと目鼻座標

③ アフィン変換

②で求めた左右の目，鼻下の座標 E_r, E_l, N が各座標に対応した点 E'_r, E'_l, N' に一致するように顔領域画像 \mathbf{x}_c 全体をアフィン変換し，顔画像ベクトル \mathbf{x} を得る。

E'_r, E'_l, N' は図 2.7 のように定義する。各パラメータは丸島ら [13]の研究を参考に平均顔における目鼻座標の位置を基に決定した。

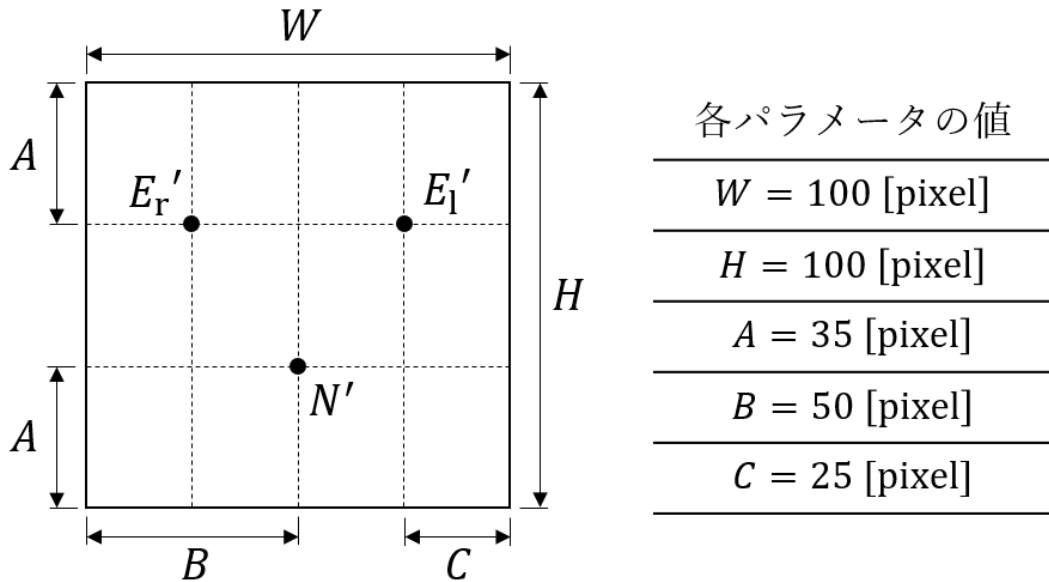


図 2.7 正規化のパラメータ

顔画像ベクトル \mathbf{x} のある画素を $(x, y) \in \mathbf{x}$ ，顔領域画像 \mathbf{x}_c のある画素を $(x_c, y_c) \in \mathbf{x}_c$

とし，各画素を式(2.4)でアフィン変換する。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

アフィン行列の係数 α_{11} から α_{23} は E_r, E_l, N 及び E'_r, E'_l, N' から求める。

※係数の求め方は付録 A を参照

2.1.2 特徴空間への射影

本研究で用いる特徴空間は，クラス特徴に基づく固有空間法（Eigenspace Method based on Class features; EMC）により求める [14]。EMC は数クラスの識別において個人ごとに学習を行う場合，各クラス数十枚の学習データで 8 割程度の識別率を得ることができる。本研究において識別クラス数は 4 クラスであり，パーソナルなロボットを対象としていることから，大量の学習データが必要となる深層学習の手法ではなく EMC を採用した。この EMC により特徴空間を構成する K 個の基底 $\mathbf{e}_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 及び各表情クラスの辞書画像の平均顔を特徴空間に射影した辞書ベクトル \mathbf{d}_f を得る。

※EMC の概要と基底及び辞書ベクトルの計算方法については付録 B を参照
式(2.5)より基底 \mathbf{e}_k を用いて顔画像ベクトル \mathbf{x} から特徴ベクトル \mathbf{v} を求める。

$$\mathbf{v} = [\mathbf{e}_1 \quad \mathbf{e}_2 \quad \dots \quad \mathbf{e}_K]^T (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \quad (2.5)$$

2.1.3 類似度計算及び識別

類似度 s_f は顔画像ベクトル \mathbf{x} を特徴空間に射影して得られた特徴ベクトル \mathbf{v} と，各表情クラスの辞書画像の平均顔を特徴空間に射影した辞書ベクトル \mathbf{d}_f が似ている度合いを表す指標である。

特徴ベクトル \mathbf{v} と辞書ベクトル \mathbf{d}_f のなす角を θ として、 $\cos \theta$ を類似度 s_f とする。類似度 s_f を式(2.6)により求める。

$$s_f = \cos \theta = \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{d}_f}{\|\mathbf{v}\| \|\mathbf{d}_f\|} \quad (2.6)$$

識別クラス f は式(2.7)により与える。

$$f = \operatorname{argmax}(s_f) \quad (2.7)$$

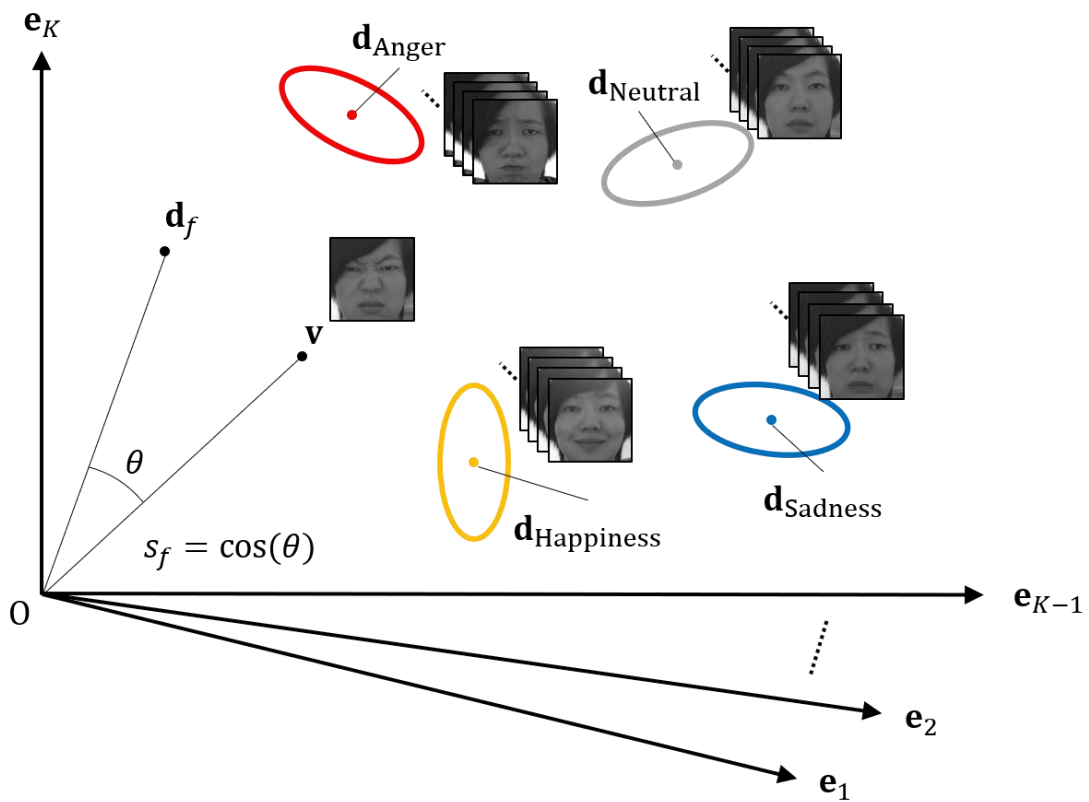


図 2.8 特徴空間上で計算される顔表情の類似度 s_f

以上がロボットにより撮影された画像 \mathbf{x}_0 がある表情クラス f に識別されるまでの過程である。

2.1.4 顔表情の取得方法及び識別器の学習

顔表情識別器は学習を行うために被験者の顔表情を必要とする。表情は 1.4.2 にて定めた 4 クラスを取得する。各表情は Facial Action Coding System; FACS [15]に基づいて表 2.1 のように定めた。

表 2.1 表情に用いた Action Unit (AU)

Neutral (無表情)	特になし
Anger (怒り)	AU4(両眉を中央に寄せる)+5(目を見開く)+7(瞼に力を入れる)+23(唇を硬くする)+24(唇を押し合わせる)
Sadness (悲しみ)	AU1+4(両眉を上げて寄せる)+15B(口角を押し下げる)
Happiness (喜び)	AU6(頬を上げる)+12(口角をつり上げる)

辞書用顔表情の取得は図 2.9 に示す位置関係で次の方法で行った。

- ① 各表情について被験者は図 1.7 を見本に鏡を使って表情表出の訓練をする。
- ② Neutral から順に表情画像を取得する。1 回の撮影は約 10 秒で、50 枚の画像を取得する。
- ③ 計 2 回行い、表情ごとに計 100 枚の表情画像を得る。

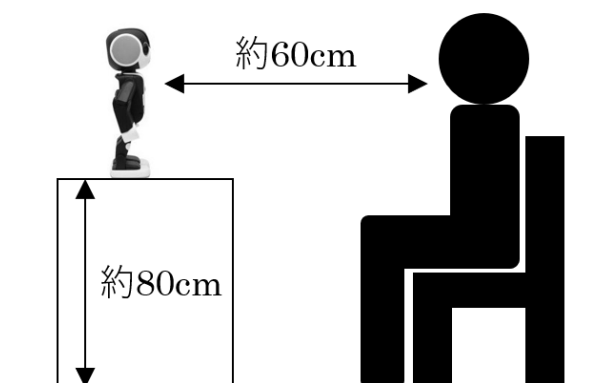


図 2.9 人とロボットの位置関係

取得した顔表情は 2.1.1 の手順で前処理し、これを用いて識別器の学習を行う。

例として学習した識別器の基底 \mathbf{e}_k を図 2.10 に示す。カッコ内は累積寄与率である。

本研究において、基底 \mathbf{e}_k の次元数 K は累積寄与率が 9 割以上を目安として

$K = 40$ とした。

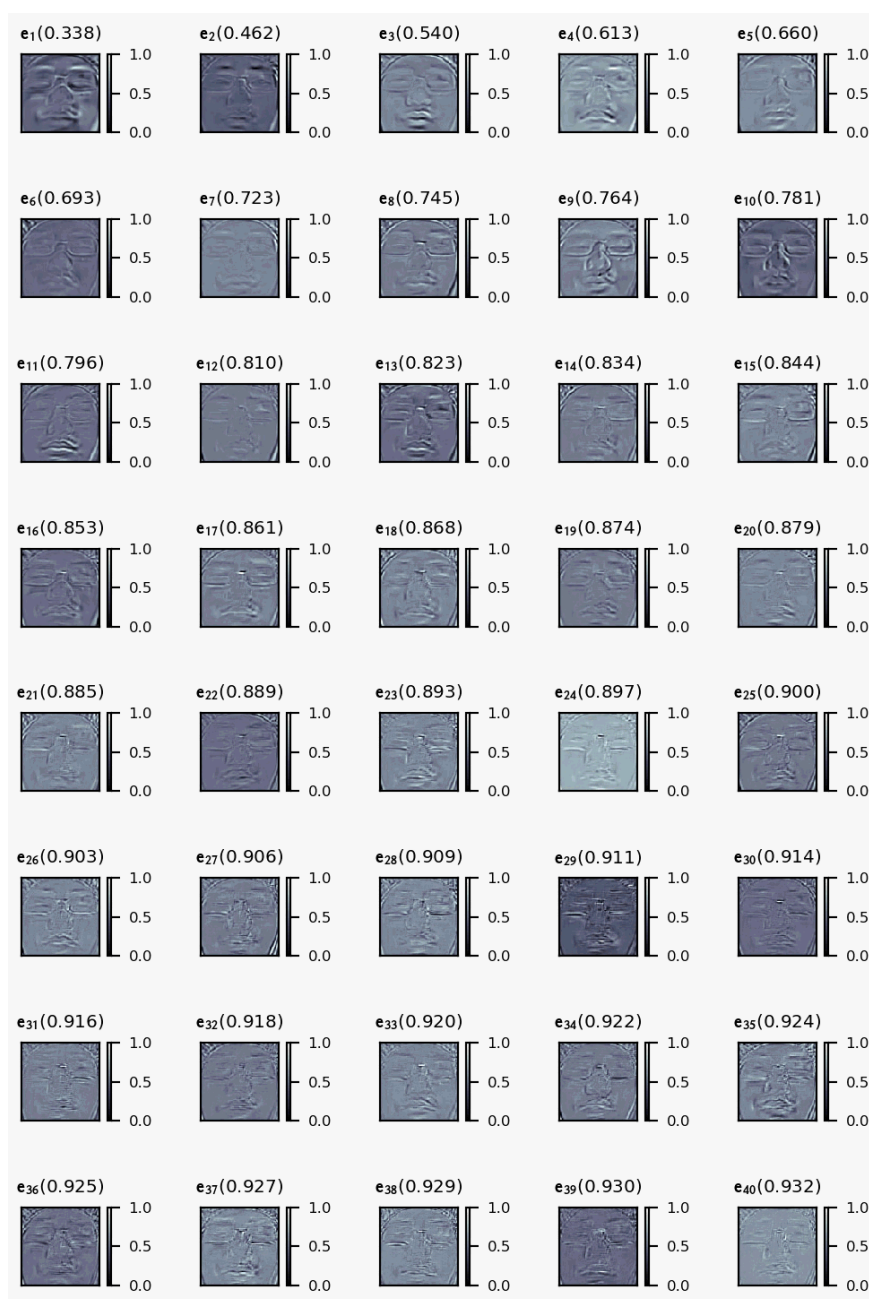


図 2.10 学習した表情識別器の基底 \mathbf{e}_k の例

第3章 同調・非同調反応がインタラクションへ与える効果の解析

本実験の目的を以下に示す。

- インタラクションの効果解析するための評価値の検討
- 同調・非同調反応がインタラクションへ与える効果の解析

3.1 実験概要と条件

被験者は後述する計 16 種類のインタラクション $i(a, r_a)$ を行った。実験のフローチャート及び実験の様子を図 3.1 に示す。ここで I は実験に用いた 16 種類のインタラクション $i(a, r_a)$ を要素とする集合である。

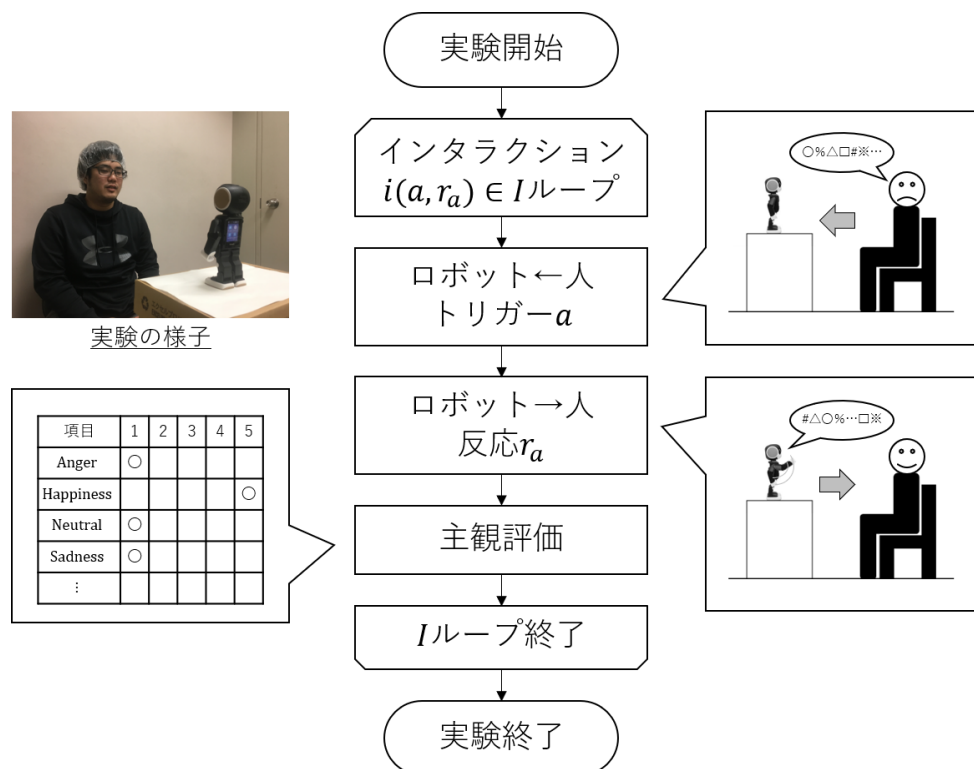


図 3.1 実験のフローチャートと実験の様子

➤ 被験者

20代の学生9名（男性8名，女性1名）

➤ インタラクションと場面

実験にはトリガー a とこれに対応する反応 r_a からなる計16種類のインタラクション $i(a, r_a)$ を用いた ($a \in F, r_a \in F$)。また，表情表出を促すことを目的として各インタラクションには場面を設定した。（表 3.1）

➤ 表情の取得

各インタラクションで表情の取得を行う。トリガーの直後に1枚，反応の直後に5枚の計6枚の顔画像を撮影した。例を図 3.2 に示す。

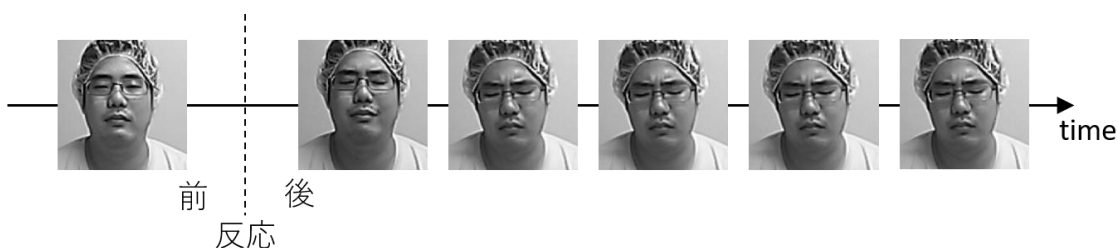


図 3.2 各シナリオにおける表情の取得例

➤ 主観評価

被験者は各インタラクションにおいて Anger, Happiness, Neutral, Sadness, Arousal, Valence の6項目を5段階で評価する。各項目と評価方法については質問用紙に記載した他，口頭でも説明を行った。

※実験に用いた質問用紙の例を付録 C に示す。

➤ 類似度

各インタラクションで撮影した画像について 2.1 で説明した顔表情識別器を用いて類似度 s_f 及び識別クラス f を取得する。

表 3.1 各インタラクションにおける場面設定

トリガー a	トリガー a の内容	反応 r_a	反応 r_a の内容
Anger	こら！何してるの！	Anger	なんだようるさいな！
		Happiness	たのしー
		Neutral	なんにも
		Sadness	ごめんなさい
Happiness	やったー！ 宝くじが当たったよ！	Anger	ずるい！
		Happiness	おめでとう！
		Neutral	そうなんだ
		Sadness	ぼくのははずれだ
Neutral	勉強を教えて？	Anger	おしえてあげない！
		Happiness	もちろんさ！
		Neutral	わかった
		Sadness	ぼくもわからないや
Sadness	失敗しちゃったなあ	Anger	なにやってんだよ！
		Happiness	ざまあみろ
		Neutral	どうしたの？
		Sadness	ざんねんだったね

3.2 実験結果

被験者 9 名をそれぞれ A~I とする。

3.2.1 主観評価

主観評価結果の例として、図 3.3~図 3.6 にトリガー $a = \text{Anger}$ の場合の主観評価値の箱ひげ図を示す。他のトリガーの結果については付録 D に示す。

図 3.3~図 3.6 を見ると同じトリガーであっても反応の違いによって主観評価値に差が表れていることが確認できる。特に図 3.3 の同調反応 $r_a = \text{Anger}$ の場合と比較して、図 3.4~図 3.6 の非同調反応 $r_a = \text{Happiness, Neutral, Sadness}$ の場合は四分位範囲が大きい。これは同調反応と比較して非同調反応のばらつきが大きいことを表す。

3.2.2 類似度

類似度の結果の例として、図 3.7~図 3.10 に被験者 F におけるトリガー $a = \text{Anger}$ の場合の表情の変化と類似度の時間変化の様子を示す。

各図における上部の 6 枚の画像を見ると反応の前後で表情が変化しており、反応後もわずかに変化している。また、同じトリガーであっても反応の違いによって類似度の時間変化に差が表れている。例えば、図 3.7 では Anger の類似度は変化が小さいが、図 3.9 では大きく低下している。

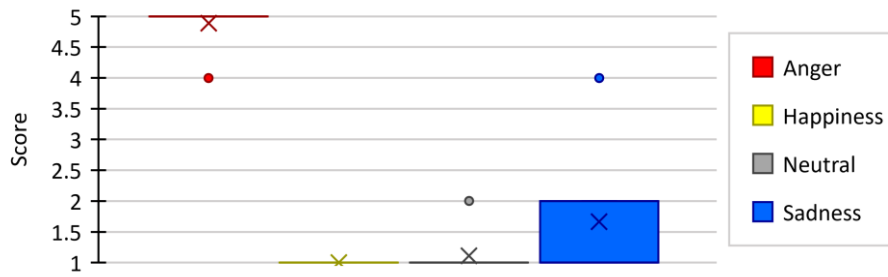


図 3.3 $i(\text{Anger}, \text{Anger})$ の主観評価値

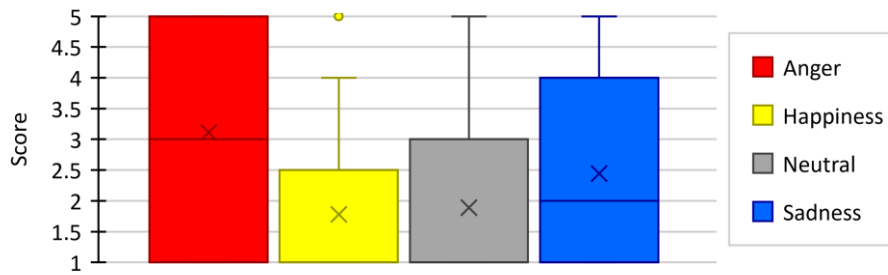


図 3.4 $i(\text{Anger}, \text{Happiness})$ の主観評価値

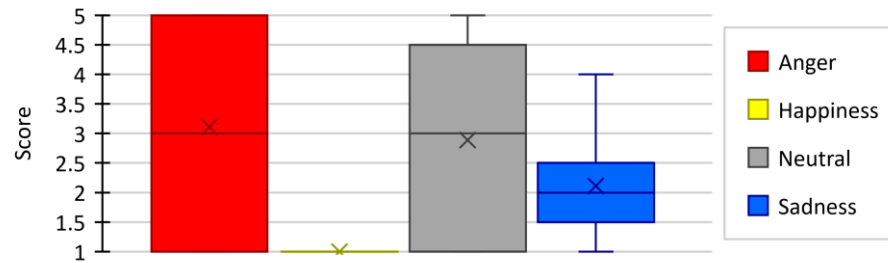


図 3.5 $i(\text{Anger}, \text{Neutral})$ の主観評価値

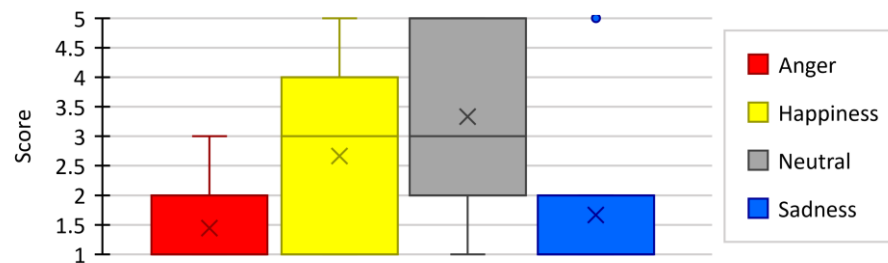


図 3.6 $i(\text{Anger}, \text{Sadness})$ の主観評価値

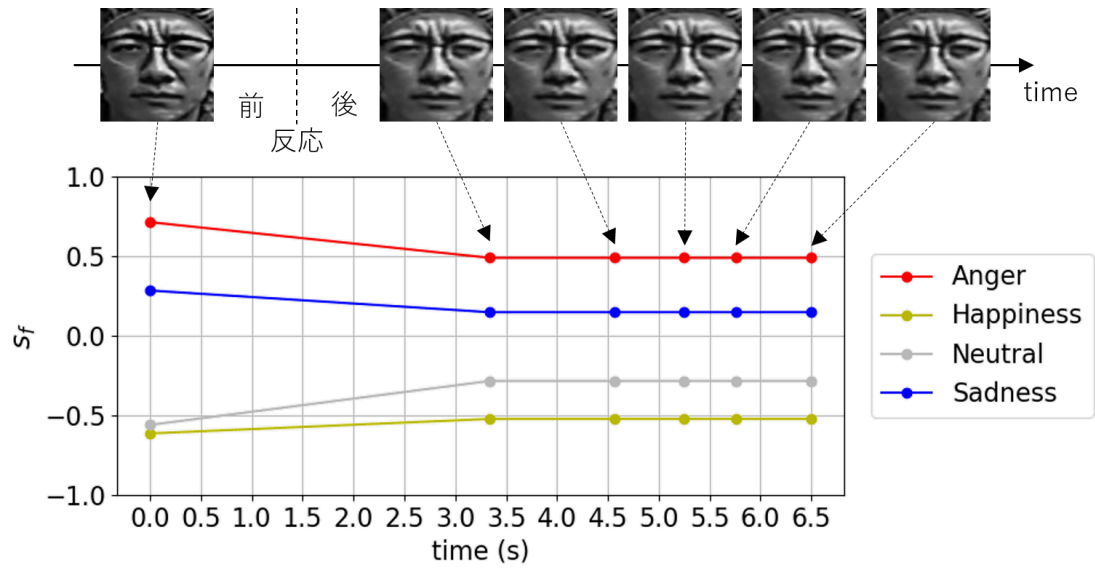


図 3.7 $i(\text{Anger}, \text{Anger})$ における表情と類似度の時間変化 (被験者 F)

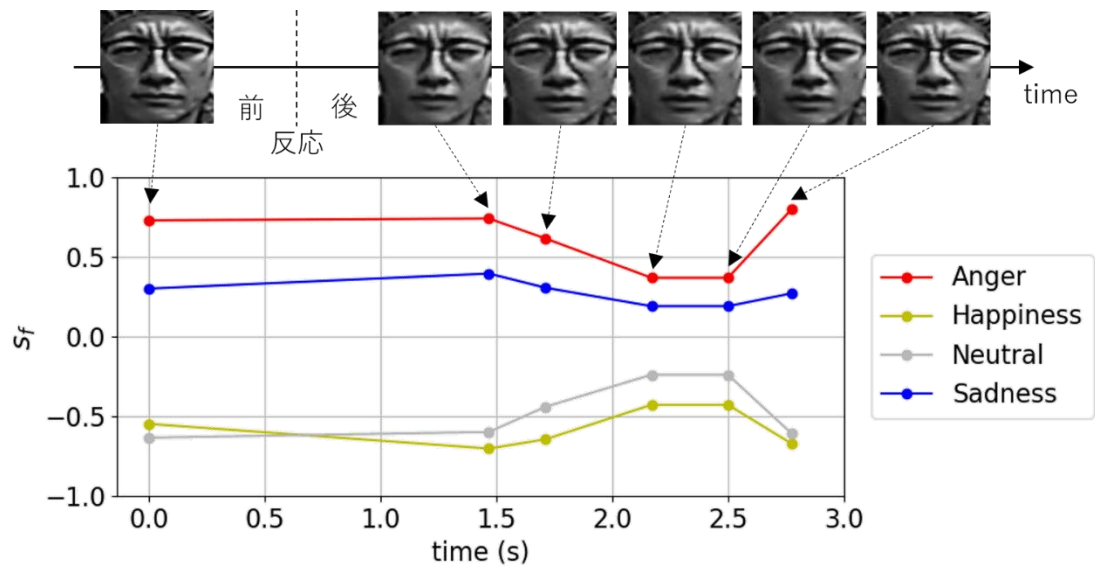


図 3.8 $i(\text{Anger}, \text{Happienss})$ における表情と類似度の時間変化 (被験者 F)

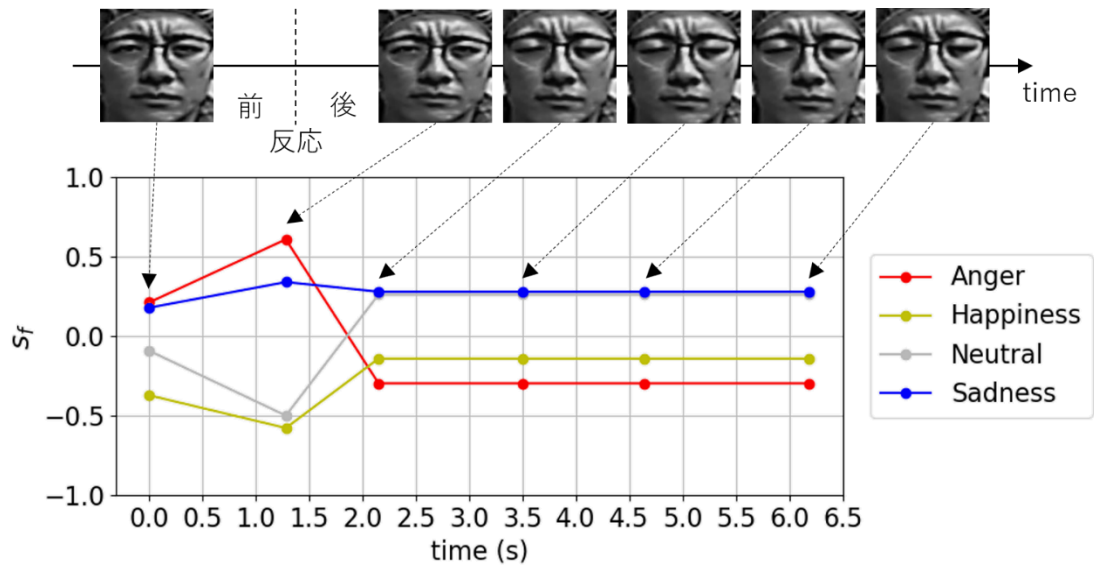


図 3.9 $i(\text{Anger}, \text{Neutral})$ における表情と類似度の時間変化 (被験者 F)

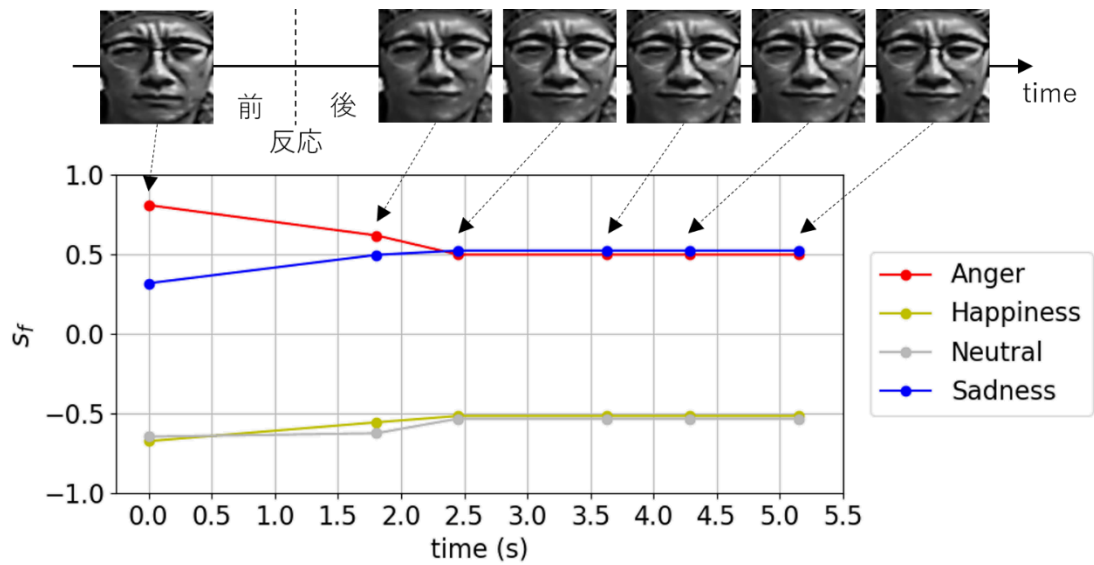


図 3.10 $i(\text{Anger}, \text{Sadness})$ における表情と類似度の時間変化 (被験者 F)

3.3 解析に用いる評価値の検討

前節で述べた実験結果からインタラクションを解析する評価値の検討を行う。

3.3.1 評価値の定義

インタラクションによる類似度の変化を捉える為に感情クラスごとの類似度の変化量を Δs_f として式(3.1)に定義する。

$$\Delta s_f = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_{fj} - s_{f0} \quad (3.1)$$

ここで、 j はインタラクション中に撮影された画像の番号である。反応前を $j = 0$ 、反応後 $j = 1, 2, \dots, J$ とする。今回の実験では $J = 5$ である。

被験者 F における類似度の変化量 Δs_f を図 3.11 に示す。この図より、例えば
図中左上の $i(\text{Anger}, \text{Anger})$ と右上の $i(\text{Anger}, \text{Sadness})$ を比較すると Δs_{Anger} の値は
同程度であるのに対して $\Delta s_{\text{Sadness}}$ の値は大きく異なる。このようにインタラクシ
ョンによって Δs_f の各要素に異なる変化が表れていることが分かる。

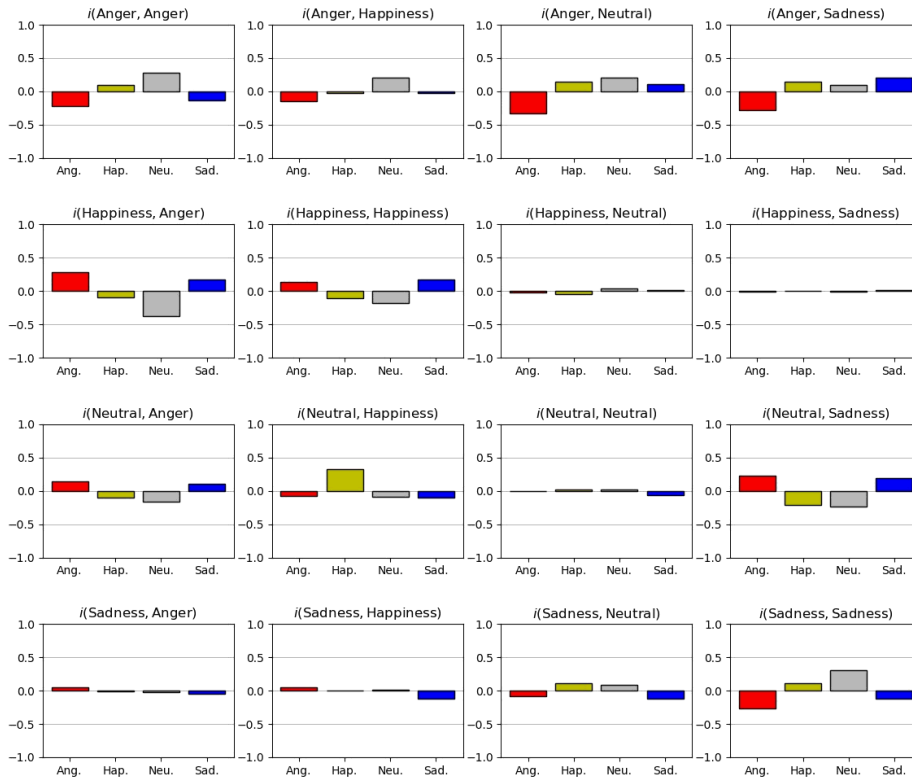


図 3.11 インタラクション前後の類似度の変化量 (被験者 F)

人とロボットのコミュニケーションでは相手の感情に与える影響がポジティブかネガティブかが重要となる。1.4.2 で定義した感情クラスをポジティブな感情 $F_P = \text{Happiness}$ とネガティブな感情 $F_N = \{\text{Anger, Sadness}\}$ に分ける。

インタラクションの評価値として、類似度の変化量 Δs を以下の式(3.2)で定義し、 Δs を類似度変化量と呼ぶこととする。

$$\Delta s = \sum_{f \in F} w_f \cdot \Delta s_f \quad (3.2)$$

重み w_f は式(3.3)で定義する。 $|F_P|, |F_N|$ は F_P, F_N の要素数である。

$$w_f = \begin{cases} \frac{1}{|F_P|} & (f \in F_P) \\ -\frac{1}{|F_N|} & (f \in F_N) \end{cases} \quad (3.3)$$

3.3.2 評価値の検討

前項で求めた類似度変化量 Δs のインタラクション評価値としての適性を検討する為に主観評価値との比較を行う。主観評価と類似度変化量 Δs による評価が一致していれば、インタラクションによる効果を Δs によって正しく評価できたといえる。被験者の集合を $\Psi = \{\psi | A, B, \dots, I\}$ とする。インタラクションの集合を

$$I = \{i | i(\text{Anger, Anger}), i(\text{Anger, Happiness}), \dots, i(\text{Sadness, Sadness})\}$$

とする。

以下に示す類似度変化量 Δs^i と主観変化量 Δp^i によって比較を行う。

➤ 類似度変化量 Δs^i

被験者 ψ のインタラクション i における類似度変化量を Δs_{ψ}^i とする。これを Ψ について平均し Δs^i を得る。 Δs_{ψ}^i を図 3.12 の箱ひげ図に示す。この図の×印で表されている点が Δs^i である。

➤ 主観変化量 Δu^i

被験者 ψ の各インタラクションにおける主観変化量を p_f と定義し、式(3.2)の Δs_f に置き換えて計算したものを主観変化量 Δp とする。 Δp はインタラクションが感情に与えた効果を主観評価値によって説明したものと解釈できる。被験者 ψ のインタラクション i における主観変化量を Δp_{ψ}^i とする。これを Ψ について平均し Δp^i を得る。 Δp_{ψ}^i を図 3.13 の箱ひげ図に示す。この図の×印で表されている点が Δp^i である。

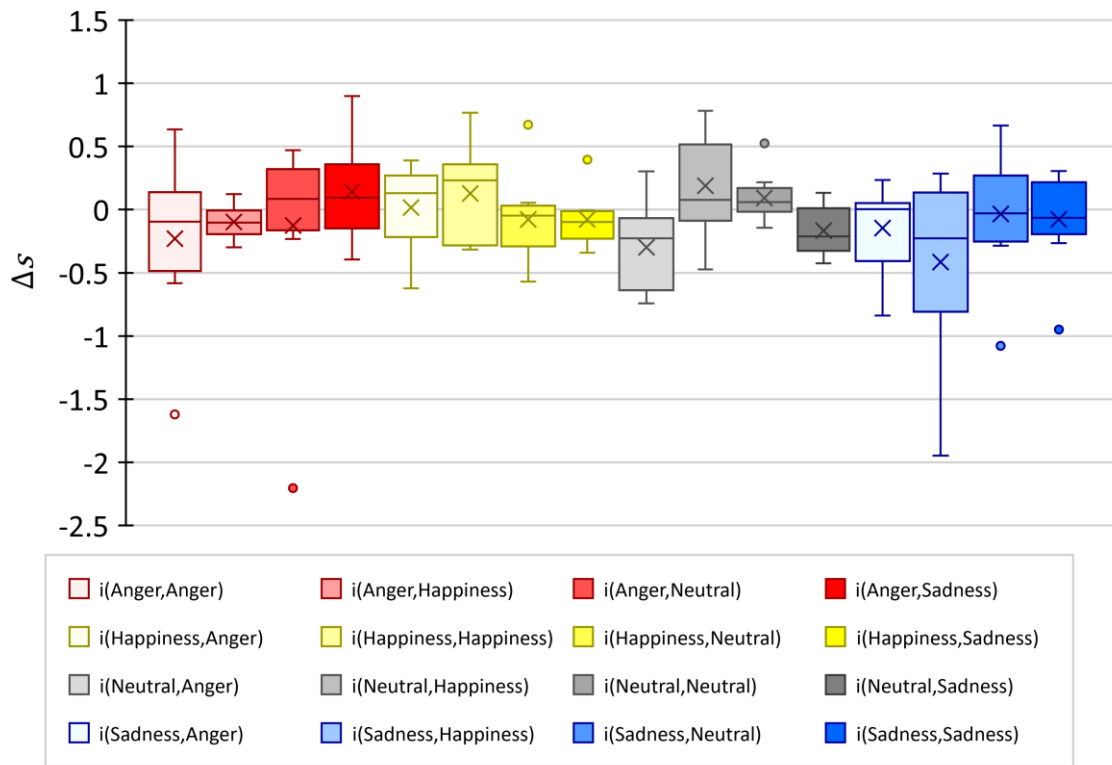


図 3.12 各インタラクションにおける類似度変化量 Δs^i

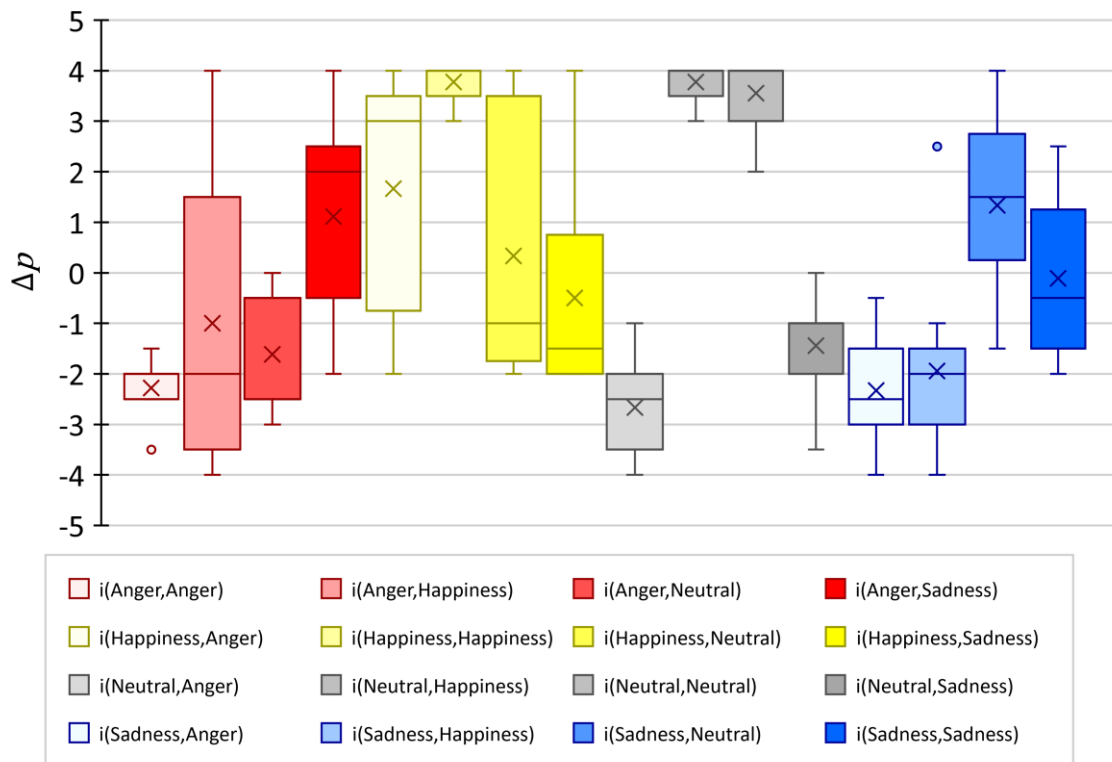


図 3.13 各インタラクションにおける主観変化量 Δp^i

➤ 類似度変化量 Δs^i と主観変化量 Δp^i の比較

図 3.12 及び図 3.13 の×印で示される類似度変化量と主観変化量の平均値

Δs^i と Δp^i の相関係数 r を解析する。相関係数 r は式(3.4)で計算する。

$$r = \frac{\frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} (\Delta s^i - \bar{\Delta s})(\Delta p^i - \bar{\Delta p})}{\sqrt{\frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} (\Delta s^i - \bar{\Delta s})^2} \sqrt{\frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} (\Delta p^i - \bar{\Delta p})^2}} \quad (3.4)$$

ここで $|I|$ は I の要素数である。 $\bar{\Delta s}$ と $\bar{\Delta p}$ は式(3.5)及び式(3.6)で定義する。

$$\bar{\Delta s} = \frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} \Delta s^i \quad (3.5)$$

$$\bar{\Delta p} = \frac{1}{|I|} \sum_{i \in I} \Delta p^i \quad (3.6)$$

式(3.4)により相関係数 r を求めた結果、 $r = 0.88$ という強い正の相関が得られた。

これにより人とロボットのインタラクションが人の感情に与えた効果を類似度変化量 Δs によって評価可能であることが示された。

3.3.3 類似度変化量 Δs の認知心理学の観点からの考察

前項で検討した評価値 Δs は平均値について強い正の相関がみられたが、各被験者 ψ について Δs_{ψ}^i と Δp_{ψ}^i の相関係数 r_{ψ} を求めると、1/3の被験者では相関が無い。

この原因として以下の2つが考えられる。

- 被験者がロボットとのインタラクションに心理的な距離感を感じて表情が表出されにくい。
- ロボットに対する感情が正しく認知されていない。

認知心理学の分野ではこうした被験者の心理状態を測る尺度が数多く開発されている。心理尺度によって相関が無い被験者の心理的な特性を考察する。使用した心理尺度はロボット否定的態度尺度 (Negative Attitudes toward Robots Scale; NARS), ロボット不安尺度 (Robot Anxiety Scale; RAS) の2つ [16]と情動認識力尺度 [17]である。各心理尺度について以下に述べる。

➤ ロボット否定的態度尺度 (NARS)

NARS は表 3.2 に示す人のロボットに対する否定的態度を測定する 14 項目 5 件法 (1: 全くそう思わない~5: 全くそう思う) の心理尺度であり, S1: ロボット対話否定的態度, S2: ロボット社会的影響否定的態度, S3: ロボット対話感情否定的態度の 3 つの下位尺度から構成される。各下位尺度の得点是对応する項目の合計として算出する。

➤ ロボット不安尺度 (RAS)

RAS は表 3.3 に示す人のロボットに対する不安を測定する 11 項目 6 件法 (1: 全く不安に思わない~6: 非常に不安に思う) の心理尺度であり, S1: ロボット会話能力不安, S2: ロボット行動特性不安, S3: ロボット対話不安の 3 つの下位尺度から構成される。各下位尺度の得点是对応する項目の合計として算出する。

表 3.2 ロボット否定的態度尺度 (NARS) の項目 [16]

ロボット対話 否定的態度	就職してロボットを利用するような職場にまわされるかもしれないと考えると、不安になる。
	ロボットと聞いただけで、もうお手上げの気持ちだ。
	人が見ている前でロボットを利用すると、恥をかきそうだ。
	人工知能とか、ロボットによる判断といった言葉を聞くと不愉快になる。
	私は、ロボットの前に立っただけで、とても緊張してしまうだろう。
	ロボットと会話をすると、とても神経過敏になるだろう。
ロボット社会的 影響否定的態度	もしロボットが本当に感情を持ったら不安だ。
	ロボットが生き物に近づくと、人間にとってよくないことがあるような気がする。
	ロボットに頼りすぎると、将来、何か良くないことが起こりそうな気がする。
	ロボットが子供の心に悪い影響を与えないか心配だ。
	これからの社会は、ロボットによって支配されてしまいそうな気がする。
ロボット対話 感情否定的態度	ロボットと会話すると、とてもリラックスできるだろう。*
	ロボットが感情を持ったら、親しくなれるだろう。*
	感情的な動きをするロボットを見ると、気分がいやされる。*

(*は逆転項目)

表 3.3 ロボット不安尺度 (RAS) の項目 [16]

ロボット 会話能力不安	ロボットが会話中に的外れなことを話すのではないか。
	ロボットとの会話は融通がきかないのではないか。
	ロボットは難しい話が理解できないのではないか。
ロボット 行動特性不安	ロボットがどのような動きをするのか。
	ロボットが何をしてくるのか。
	ロボットがどれくらいの力を持っているのか。
	ロボットがどのくらいの速さで動くのか。
ロボット 対話不安	ロボットにどう話しかけたらいいのか。
	ロボットから話しかけられた時にどう答えたらいいのか。
	ロボットに自分のした話の内容が理解されているのか。
	ロボットから話しかけられた内容が自分には理解できないのではないか。

➤ 情動認識力尺度

情動認識力 (self-awareness of emotions) とは自己の情動を理解する能力である。情動は感情と感情に伴う身体的変化を指す。情動認識力尺度 (本研究における略語を Self-Awareness of Emotions Scale; SAES とする) は表 3.4 に示す 9 項目 5 件法 (1: 全くあてはまらない~5: 非常にあてはまる) の心理尺度である。SAES の得点は各項目の合計として算出する。

表 3.4 情動認識力尺度 (SAES) [17]

私は自分がどうしてそのように感じるのか理解するのが難しい。*
私はなぜ自分の気持ちが変わったのかが分かる。
私は自分の複雑な気持ちを理解する。
私は自分の気持ちが変わったのに気がつく。
私は自分の気持ちを分析する。
私は自分の気持ちについて考える。
私は自分の声の調子で自分が感じている気持ちに気がつく。
私は自分の身体感覚から自分の気持ちに気がつく。
私は自分が他者に送っている言語以外のメッセージに気づいている。

(*は逆転項目)

Δs_{ψ}^i と Δp_{ψ}^i の相関係数 r_{ψ} と各心理尺度との相関を表 3.5 に示す。

表 3.5 Δs_{ψ}^i と Δp_{ψ}^i の相関係数 r_{ψ} と各心理尺度との相関係数

NARS			RAS			SAES
S1	S2	S3	S1	S2	S3	
-0.270	0.037	-0.213	0.095	0.090	0.079	-0.006

※太字は相関がある尺度を表す。

NARS-S1 及び S3 の尺度に負の相関がある。このことから Δs_{ψ}^i と Δp_{ψ}^i の相関係数 r_{ψ} に相関が無い（主観評価と類似度変化量 Δs による評価が一致しない）被験者はロボットとのコミュニケーションに対して否定的であり、特に感情を伴ったコミュニケーションに対して否定的と言える。

一方で SAES に相関が無いことからロボットに対する感情が正しく認知されていないという可能性は排除された。

従って、類似度変化量 Δs によってインタラクションを正しく評価できる対象はロボットとの感情を伴うコミュニケーションに対して肯定的な人物である。

ロボットに対する否定的な意識を持つ被験者はロボットとのインタラクションに対して慣れていないことが予想される。今後の実験では、被験者に対しロボットの説明を十分した上で、一定時間以上のコミュニケーションをとらせることでロボットに対して慣れさせることが必要になる。

3.4 非同調反応の解析

前節にてインタラクションの評価値としての有用性と有効な対象を示した類似度変化量 Δs を用いて反応の違いによるインタラクションへの効果を解析する。 Δs は類似度変化量 Δs_{ψ}^i と主観変化量 Δp_{ψ}^i の相関係数 r_{ψ} に相関がある被験者について平均した値を用いる。トリガー a について場合分けし、トリガー a 及び反応 r_a の内容とそのクラス、類似度変化量 Δs について表 3.6～表 3.9 に示す。同調反応のクラスと類似度変化量最大を太字で示す。

トリガーごとに考察した後、全体の考察を行う。

➤ $a = \text{Anger}$ の場合

表 3.6 類似度変化量 Δs ($a = \text{Anger}$)

トリガー a の内容	反応 r_a の内容	反応 r_a のクラス	類似度変化量 Δs
こら！何してるの！	なんだよ うるさいな！	Anger	-0.365
	たのしー	Happiness	-0.105
	なんにも	Neutral	-0.374
	ごめんなさい	Sadness	0.098

・ 同調反応

ネガティブな効果が表れている。怒りというネガティブな感情に対して歯向かうような反応をすることによってさらにネガティブな感情が誘発されたと考えられる。

- ・ 非同調反応

$r_a = \text{Happiness, Neutral}$ の場合はネガティブな効果を与え、 $r_a = \text{Sadness}$ の場合はポジティブな効果を与えている。「ごめんなさい」と謝り悲しがる反応によって怒りが収まったと考えられる。

- $a = \text{Happiness}$ の場合

表 3.7 類似度変化量 Δs ($a = \text{Happiness}$)

トリガー a の内容	反応 r_a の内容	反応 r_a のクラス	類似度変化量 Δs
やったー！ 宝くじが当たったよ！	ずるい！	Anger	0.056
	おめでとう！	Happiness	0.337
	そうなんだ	Neutral	0.019
	ぼくのははずれだ	Sadness	-0.043

- ・ 同調反応

最もポジティブな効果が表れている。相手の喜びに対して、共感し一緒に喜ぶ反応によって、ポジティブな効果が得られたと考えられる。

- ・ 非同調反応

$r_a = \text{Sadness}$ の場合はネガティブな効果を与え、 $r_a = \text{Neutral, Anger}$ の場合はポジティブな効果を与えている。同調反応と比較して与えた効果は小さい。

➤ $a = \text{Neutral}$ の場合

表 3.8 類似度変化量 Δs ($a = \text{Neutral}$)

トリガー a の内容	反応 r_a の内容	反応 r_a のクラス	類似度変化量 Δs
勉強を教える？	おしえてあげない！	Anger	-0.454
	もちろんさ！	Happiness	0.241
	わかった	Neutral	0.118
	ぼくもわからないや	Sadness	-0.138

・ 同調反応

ポジティブな効果が表れている。要求に対して同意するという反応内容による文脈効果が表れた結果と考えられる。

・ 非同調反応

最もポジティブな効果を与えているのは $r_a = \text{Happiness}$ の場合であり、最もネガティブな効果を与えているのは $r_a = \text{Anger}$ の場合である。

トリガーがNeutralの場合は反応 r_a が属するクラス f_a に応じた効果が表れる。

➤ $a = \text{Sadness}$ の場合

表 3.9 類似度変化量 Δs ($a = \text{Sadness}$)

トリガー a の内容	反応 r_a の内容	反応 r_a のクラス	類似度変化量 Δs
失敗しちゃったなあ	なにやってんだよ!	Anger	-0.217
	ざまあみろ	Happiness	-0.638
	どうしたの?	Neutral	-0.040
	ざんねんだったね	Sadness	-0.167

・ 同調反応

ネガティブな効果が表れている。悲しみに共感するような反応は悲しみを和らげる効果があると考えたが結果は意図したものと異なった。

・ 非同調反応

すべての反応でネガティブな効果が表れている。その中で最もポジティブな効果を与えているのは $r_a = \text{Neutral}$ の場合で、次にポジティブな効果を与えているのは同調反応 $r_a = \text{Sadness}$ の場合である。最もネガティブな効果を与えたのは $r_a = \text{Happiness}$ の場合である。

➤ 全体の考察

同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与える。トリガーがポジティブな感情クラスに属する場合であればポジティブな効果を与え、ネガティブな感情クラスに属する場合であればネガティブな効果を与える。

非同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与えるとは限らない。トリガーがポジティブな感情クラスに属する場合に与える効果は小さいが、トリガーがネガティブな感情クラスに属する場合には大きな効果を与えることもある。

トリガーがNeutralの場合は反応が属するクラスに応じた効果が表れ、ポジティブな反応をすることでポジティブな効果が生じ、ネガティブな反応をすることでネガティブな効果を与える。これは人がロボットに対して無意識に同調した結果だと考えられる。

第4章 結論

4.1 まとめ

本研究の目的は人とロボット間の感情を伴うインタラクションにおいて、非同調反応に着目し、反応の違いがインタラクションに及ぼす効果を顔表情識別器の認識特性を用いて定量的に解析することである。人の感情に対する同調・非同調反応が可能で人の顔表情を撮影可能なロボットとこれを制御するサーバからなるインタラクションシステムを構築し実験を行い、インタラクションに及ぼす効果を表す評価値の検討と解析を行った。

主観評価による結果と類似度による結果を比較し、評価値として類似度変化量 Δs の有用性を示した。また、認知心理学の観点から類似度変化量 Δs と心理尺度 NARS, RAS, SAES の相関関係を分析し、ロボットに対する感情的なコミュニケーションについて、否定的な意識を持つ被験者に対しては類似度変化量 Δs によってインタラクションを正しく評価できないという結果を得た。

さらに、主観評価の結果と評価値 Δs を用いた解析から、以下の知見を得た。

- 非同調反応は同調反応と比較して個人性が高い
- 同調反応はトリガーが属するクラスに応じた効果を与える。
- 非同調反応はトリガーが属するクラスがネガティブな場合に効果が大きい。
- トリガーがNeutralの場合は反応が属するクラスに応じた効果が表れる。

4.2 今後の課題

本研究において特徴空間は EMC によって求めたが、その他の手法を用いて特徴空間を求めた場合に類似度変化量 Δs が有用であるかは分からない。このため、特徴空間を求める手法の違いが類似度変化量 Δs に及ぼす影響を調べる必要がある。

本研究では 16 通りのインタラクションについて解析を行った。今後はより様々な場面設定におけるインタラクションの解析を行う必要がある。トリガーがネガティブな感情クラスに属する場合には、反応の違いによって人の感情に及ぼす効果が大きく異なることから、このような場面を重点的に解析すべきである。

本研究により類似度変化量 Δs を用いてインタラクションを評価し、反応を学習することが可能となった。反応を学習したロボットとのインタラクションによる顔表情識別器の特性について調査する必要がある。

今後、数分から数十分といった長時間のインタラクションについて議論する場合、ロボットの反応によって様々な表情クラスが表出する可能性がある。このため分類する表情クラスについて再考する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日頃から熱心にご指導頂いた主任研究指導教員の
小谷一孔教授，認知心理学の観点からご指導頂いた副主任研究指導教員の小島
治幸教授に深く感謝いたします。また，日頃から数多くのご助言を頂いた本学の
シリタナワンパーリンヤ助教，公立小松大学の井澤純子講師に深く感謝いたし
ます。さらに，多くの議論と協力，助言を頂いた小谷研究室の皆様，本研究の実
験被験者として協力して下さった皆様に深く感謝いたします。

2020.02.05 藤原 秀平

参考文献

- [1] 黒川隆夫, ノンバーバルインターフェイス, オーム社, 1994.
- [2] 吉川左紀子, “表情は何を伝えるのか-メディアとしての表情,” 著: 身体性とコンピュータ, 共立出版, 2001, pp. 376-388.
- [3] 佐藤友正, 中田亨, “人と調和するペットロボットのための対人心理作用技術,” 人工知能学会誌, 16 卷, 3 号, pp. 406-411, 2001.
- [4] 安東基範, “顔表情認識特性に対する人とペット型ロボットとのインタラクションの効果に関する研究,” 北陸先端科学技術大学院大学 修士論文, 2009.
- [5] 水嶋英紀, “人とロボットとの感情インタラクション成立時における顔表情認識特性に関する研究,” 北陸先端科学技術大学院大学 修士論文, 2010.
- [6] 矢野航大, 小谷一孔, “顔表情認識特性に基づく人とヒューマノイドロボット間の感情インタラクション特性の解析,” 映像メディア学会技術報告 =ITE technical report 41(40), pp. 43-46, 2017-11.
- [7] 山野美咲, 薄井達也, 橋本稔, “情動同調に基づく人間とロボットのインタラクション手法の提案,” HAI シンポジウム, 2D-4, pp. 1-6, 2008.
- [8] D.Morooka, M.Hashimoto, “Robotic Facial Expression Using a Curved

- Surface Display,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.4, pp. 504-510, 2006.
- [9] J. A. Russell, “A circumplex model of affect,” Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, pp. 1161-1178, 1980.
- [10] SHARP, “商品紹介 - ロボホン,” [オンライン]. Available: <https://robohon.com/product/robohon.php>. [アクセス日: 13 01 2020].
- [11] “opencv/data/haarcascades - Github,” [オンライン]. Available: <https://github.com/opencv/opencv/tree/master/data/haarcascades>. [アクセス日: 16 01 2020].
- [12] “dlib/Index of /files,” [オンライン]. Available: <http://dlib.net/files/>. [アクセス日: 19 1 2020].
- [13] 丸島紀子 , 齊藤勇, “顔パーツ配置の差異による顔印象の検討,” 立正大学心理学研究年報, Vol.6, pp. 35-52, 2015.
- [14] 黒住隆行, 新座良和, 剣持雪子 , 小谷一孔, “固有空間法と重判別分析による顔画像の個人性と表情の解析,” 信学技報, CS98-122, IE98-101, pp. 57-64, 1998.
- [15] P. Ekman , E. L. Rosenberg, “What the Face Reveals: Basic and Applied Studies of Spontaneous Expression Using the Facial Action Coding System (FACS),” OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2005.

- [16] 野村竜也, 神田崇行, 鈴木公啓, 山田幸恵 , 加藤謙介, “Human-Robot Interaction (HRI) における人の態度・不安・行動,” 第26回ファジィシステムシンポジウム, TB2-4, 2010.
- [17] 酒井久美代, “情動認識力が他者認識力に与える影響,” 日本女子体育大学紀要, Vol.37, pp. 1-8, 2007.

付録A アフィン変換行列の求め方

左右の目，鼻下の座標 E_r, E_l, N 及び各座標に対応した点 E'_r, E'_l, N' の各座標を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} E_r &= (x_r, y_r), E_l = (x_l, y_l), N = (x_n, y_n) \\ E'_r &= (x'_r, y'_r), E'_l = (x'_l, y'_l), N' = (x'_n, y'_n) \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

これら3組の対応する点をそれぞれ式(2.4)に代入し，係数 α_{11} から α_{23} について式(A.2)を得る。

$$\begin{bmatrix} x'_r \\ x'_l \\ x'_n \\ y'_r \\ y'_l \\ y'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r & y_r & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_l & y_l & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_r & y_r & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_l & y_l & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{22} \\ \alpha_{23} \end{bmatrix} \quad (\text{A.2})$$

ここで，

$$A = \begin{bmatrix} x_r & y_r & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_l & y_l & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_r & y_r & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_l & y_l & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.3})$$

とし， A の逆行列 A^{-1} を求めれば，係数 α_{11} から α_{23} は式(A.4)によって求まる。

$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{22} \\ \alpha_{23} \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} x'_r \\ x'_l \\ x'_n \\ y'_r \\ y'_l \\ y'_n \end{bmatrix} \quad (\text{A.4})$$

付録B クラス特徴に基づく固有空間法

➤ EMC の概要

EMC は図 B.1 に示すような級間分散と級内分散の差が最大となる射影軸を求める手法である。このような固有空間を求めることでクラス識別が容易になる。ただし、複数クラスが近接又は重なっている場合はクラス間の分離が困難となり、識別精度が低下する。この点を考慮し、本研究では識別器の学習を個人ごとに行う。

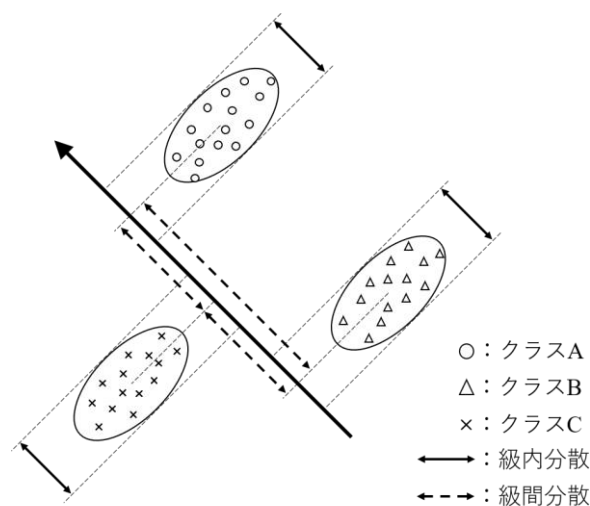


図 B.1 級間分散と級内分散の差が最大となる軸

➤ 基底の求め方

基底を求める前に前提条件として「識別クラス」、「顔画像」、「学習データ」について述べる。

・ 識別クラス

識別するクラスの集合を F 、各クラスを $f \in F$ とする。

- 顔画像

顔画像は 256 階調のグレースケール画像とし、 $H \times W$ の画像を図 B.2 のようにラスタスキャンして N ($H \times W$) 次元ベクトルとして扱う。

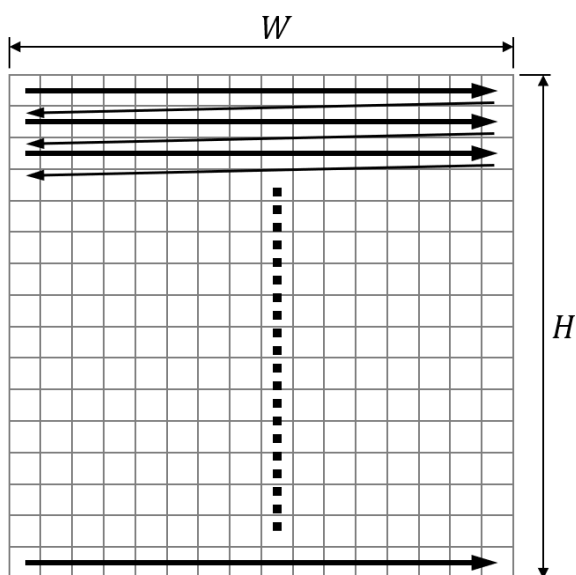


図 B.2 画像のラスタスキャン

- 学習データ

各クラス f について学習用顔画像ベクトルの集合を \mathbf{T}_f とし、各顔画像ベクトルを \mathbf{t}_f とする。全顔画像ベクトルの集合を \mathbf{T} とする。

級間分散と級内分散の差が最大となるような正規直交基底 \mathbf{e} を求める。

級間分散 S_b と級内分散 S_i はそれぞれクラス間とクラス内における共分散行列で

あり、級間分散 S_b は式(B.1)、級内分散 S_i は式(B.2)により求める。

$$S_b = \frac{1}{|\mathbf{T}|} \sum_{f \in F} |\mathbf{T}_f| (\bar{\mathbf{t}}_f - \bar{\mathbf{t}})(\bar{\mathbf{t}}_f - \bar{\mathbf{t}})^T \quad (\text{B.1})$$

$$S_i = \frac{1}{|\mathbf{T}_f|} \sum_{f \in F} \sum_{\mathbf{t}_f \in \mathbf{T}_f} (\mathbf{t}_f - \bar{\mathbf{t}}_f)(\mathbf{t}_f - \bar{\mathbf{t}}_f)^T \quad (\text{B.2})$$

ここで、 $\bar{\mathbf{t}}_f$ は各クラスにおける顔画像ベクトルの平均値を、 $\bar{\mathbf{t}}$ は全顔画像ベクトルの平均値を表し、それぞれ式(B.3)と式(B.4)で求める。なお、 $|\mathbf{T}_f|, |\mathbf{T}|$ はそれぞれ \mathbf{T}_f, \mathbf{T} の要素数を表す。

$$\bar{\mathbf{t}}_f = \frac{1}{|\mathbf{T}_f|} \sum_{\mathbf{t}_f \in \mathbf{T}_f} \mathbf{t}_f \quad (\text{B.3})$$

$$\bar{\mathbf{t}} = \frac{1}{|\mathbf{T}|} \sum_{f \in F} \sum_{\mathbf{t}_f \in \mathbf{T}_f} \mathbf{t}_f \quad (\text{B.4})$$

級間分散と級内分散の差 S を式(B.5)とする。

$$S = S_b - S_i \quad (\text{B.5})$$

正規直交基底 \mathbf{e} は式(B.6)に示す S の固有値問題を解くことにより得る。

$$\mathbf{S}\mathbf{e} = \lambda\mathbf{e} \quad (\text{B.6})$$

求めた基底 \mathbf{e} について固有値 λ の絶対値が大きいものから順に K 個選び、これを特徴空間の基底 $\mathbf{e}_k (k = 1, 2, \dots, K)$ とする。ただし、 $k \leq N$ である。

➤ 辞書ベクトルの求め方

辞書ベクトル \mathbf{d}_f は式(B.7)に示すように各クラスにおける顔画像ベクトルの平均値 $\bar{\mathbf{t}}_f$ を、基底 \mathbf{e}_k を用いて特徴空間へ射影することで求める。

$$\mathbf{d}_f = [\mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \dots \ \mathbf{e}_K]^T (\bar{\mathbf{t}}_f - \bar{\bar{\mathbf{t}}}_f) \quad (\text{B.7})$$

ここで、 $\bar{\bar{\mathbf{t}}}_f$ は $\bar{\mathbf{t}}_f$ の各要素の平均値を表す。

付録C 実験に使用した質問用紙

氏名： _____
年齢： _____

これはロボホンとの一対一のコミュニケーションをする実験です。

あなたがロボホンに話しかけると、ロボホンが受け答えをします。

「あなたが話しかけて、ロボホンが反応する」これをひとつの実験と定義します。

実験において、あなたは以下の 4 種類の言葉の内どれかひとつをカッコ内の感情を込めてロボホンに話しかけます。

- ・ 勉強を教えて？（無表情）
- ・ こら！何してるの！（怒り）
- ・ やったー！宝くじが当たったよ！（喜び）
- ・ 失敗しちゃったなあ（悲しみ）

実験は 1~16 まであります。別紙に 1~16 の実験において、あなたがロボホンに話しかける言葉を載せているので実験時はそれを参照してください。

ひとつの実験が終了したらアンケートを記入してもらいます。

以下の 6 項目について、実験時のロボホンの反応に対して自分が感じた感情を 5 段階で評価してもらいます。実験と評価を 16 回繰り返して終了です。

アンケートの各項目について

- ・ Neutral 無表情（何も感じなかった）
- ・ Anger 怒り
- ・ Sadness 悲しみ
- ・ Happiness 喜び
- ・ Arousal 非覚醒-覚醒
- ・ Valence 不快-快

Neutral については、まったく何も感じなかった場合を 5、何か他の感情を強く感じた場合を 1 として評価してください。

Anger, Sadness, Happiness については、各感情を強く感じた場合を 5、その感情を何も感じなかった場合を 1 として評価してください。

Arousal は覚醒を 5、非覚醒を 1 として評価してください。覚醒、非覚醒については以下を参考にしてください。

覚醒：驚き・動揺・興奮・高揚・ドキッとした場合など心が動いた状態を表す

非覚醒：リラックス・平静・停滞、ぼんやりとした場合など心が動かない状態を表す

Valence はロボホンの反応が心地よかった場合「快」を 5、ロボホンの反応を不愉快、不快に感じた場合「不快」を 1 として評価してください。

管理番号：

図 C.1 実験に使用した質問用紙の例

付録D 主観評価の結果

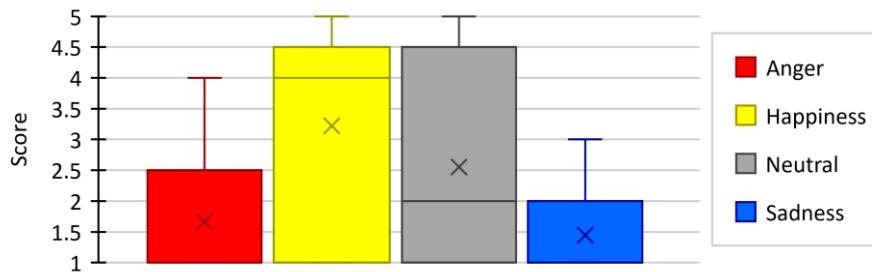


図 D.1 $i(\text{Happiness}, \text{Anger})$ の主観評価値

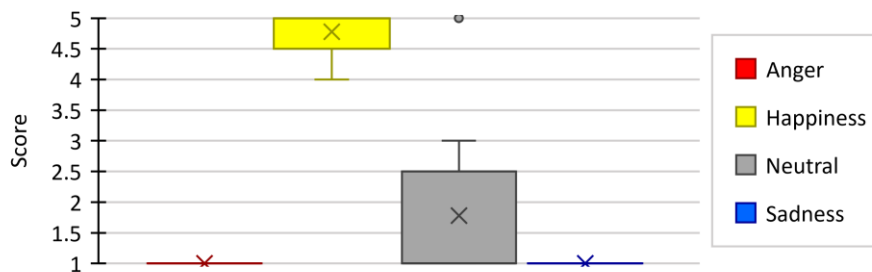


図 D.2 $i(\text{Happiness}, \text{Happiness})$ の主観評価値

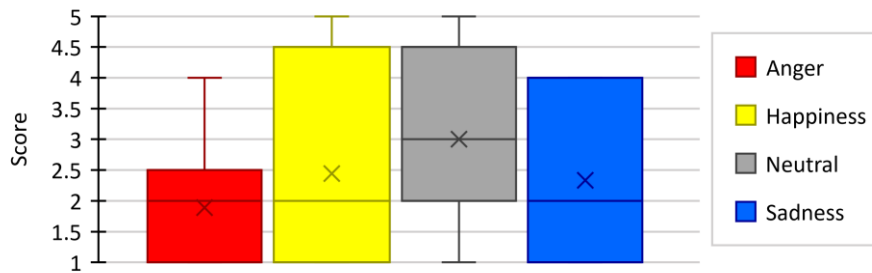


図 D.3 $i(\text{Happiness}, \text{Neutral})$ の主観評価値

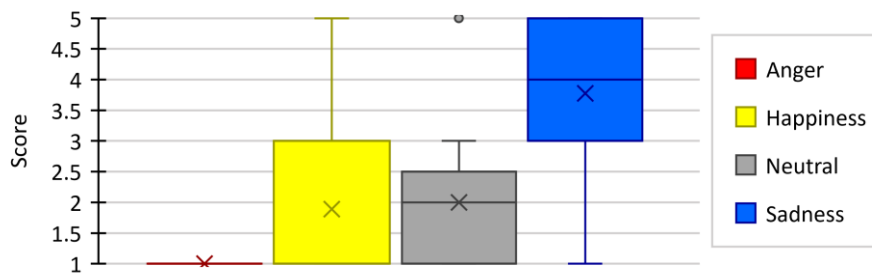


図 D.4 $i(\text{Happiness}, \text{Sadness})$ の主観評価値

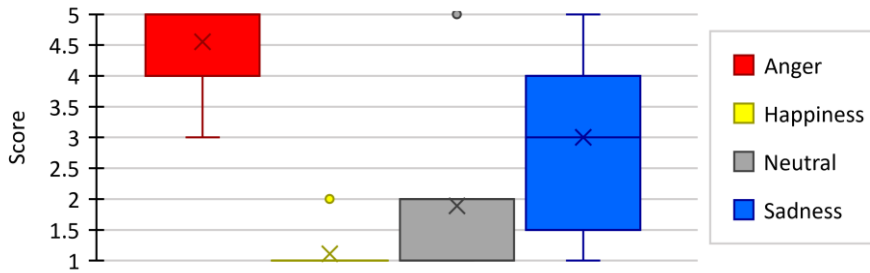


図 D.5 $i(\text{Neutral}, \text{Anger})$ の主観評価値

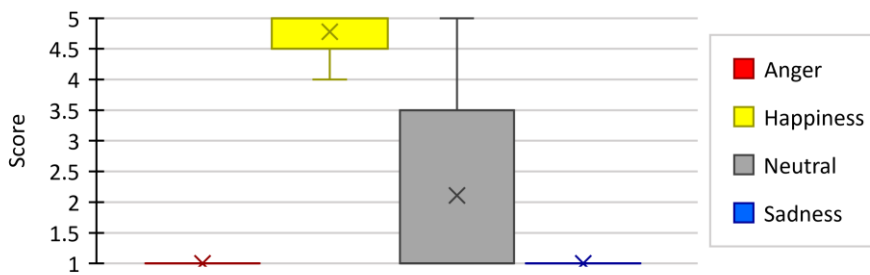


図 D.6 $i(\text{Neutral}, \text{Happiness})$ の主観評価値

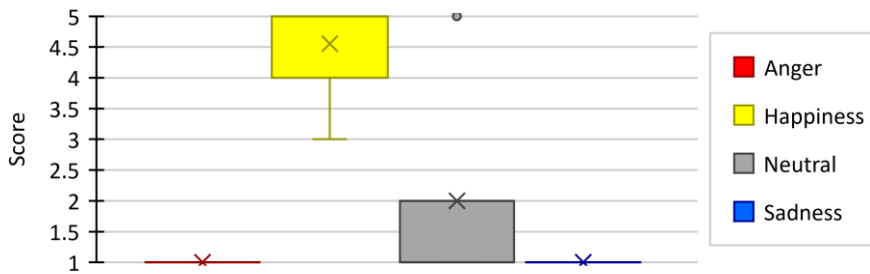


図 D.7 $i(\text{Neutral}, \text{Neutral})$ の主観評価値

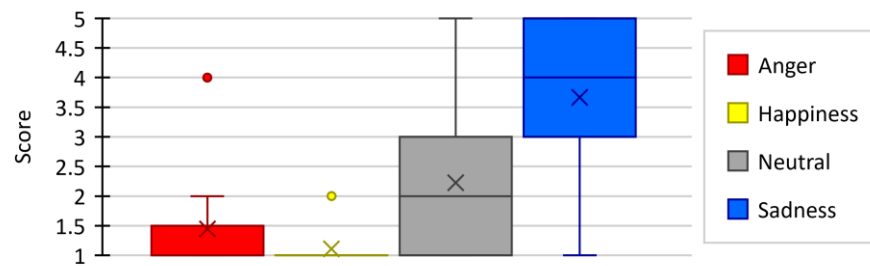


図 D.8 $i(\text{Neutral}, \text{Sadness})$ の主観評価値

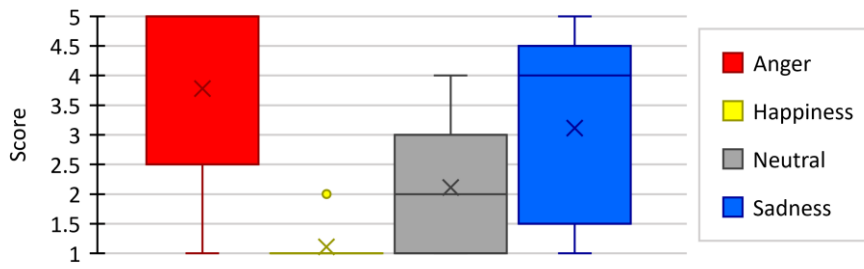


図 D.9 $i(\text{Sadness}, \text{Anger})$ の主観評価値

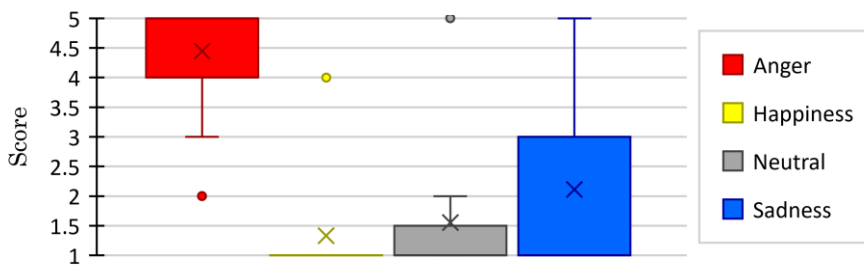


図 D.10 $i(\text{Sadness}, \text{Happiness})$ の主観評価値

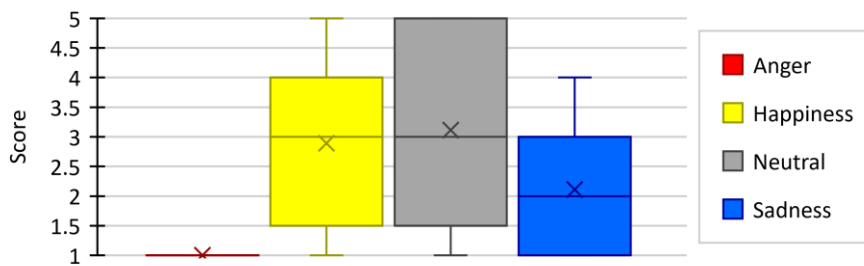


図 D.11 $i(\text{Sadness}, \text{Neutral})$ の主観評価値

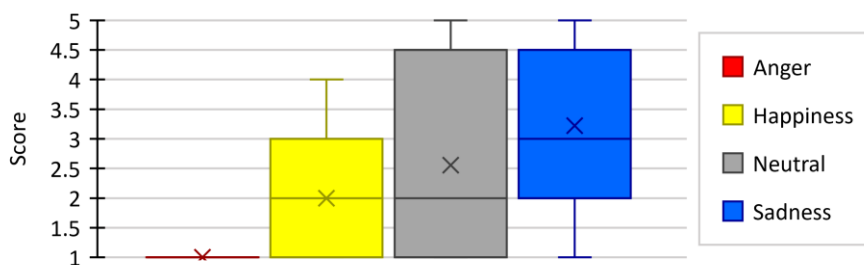


図 D.12 $i(\text{Sadness}, \text{Sadness})$ の主観評価値