

修士論文の和文要旨

研究科・専攻	大学院情報システム学研究科 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程		
氏名	日永田 智絵	学籍番号	1450028
論文題目	飛行型ロボットによる情動伝達のための動作表現		
要旨	<p>近年、ロボットが一般社会に浸透しつつあり、人とロボットのコミュニケーションについての研究がさかんに行われている。ロボットが人とコミュニケーションをとる際、人と身体的に似ているロボットは人の模倣をすることでコミュニケーションが可能である。しかし、人と身体的にかけ離れているロボットはどのようにコミュニケーションを取ればよいのだろうか。そのような問題を解決するため、人と身体的にかけ離れているロボットとして飛行型ロボットを、コミュニケーションの中でも原始的なコミュニケーションとして情動動作表現を扱うこととし、飛行型ロボットの情動動作表現を検討した。</p> <p>飛行型ロボットの情動動作表現の生成をするためには、情動と動作の関係を明らかにしなくてはならない。そこで、動作と心理状態の関係を説明したラバン理論を用い、情動動作表現を生成することとした。そして、ラバン理論を用いて作成した動作を人に対して見せ、印象を回答させる実験を行った。その結果、ラバン理論は飛行型ロボットのような人と身体的にかけ離れているロボットには適応できないことが示唆され、情動動作表現には複雑な動作が必要であることがわかった。</p> <p>この結果を受け、独自の指標を用いた情動動作表現モデルを作成することとした。指標にはラバン理論を参考にした能動的-受動的、集中-散漫、警戒-安穏およびラッセル円環モデルを参考にした快-不快、覚醒-眠気を用いた。そして、情動動作表現を第三者に作成させ、その動作の印象評価実験を行った。その結果、重力方向と他者方向の動きで情動を表現できることが示唆され、上下の加速度二乗平均を大きくすることで快感が、上方向移動量を増やすことで覚醒度が上がるなどがわかった。これらの結果を用いて、情動動作表現モデルを作成し、検証実験を行った。</p> <p>本研究では、以上の実験を経て、飛行型ロボットの情動動作表現の実現をしたとともに、情動動作表現モデルを提案した。そして、人と身体的にかけ離れたロボットであっても振る舞いで情動を表現できることを示した。このことによって、プロペラを有し、単独で飛行が出来るというような人にはないロボットならではの身体を持った上で、人のパートナーとなれる可能性がある。本研究によって、コミュニケーションロボットの幅が広がることを期待する。</p>		

平成 27 年度修士論文

飛行型ロボットによる 情動伝達のための動作表現

大学院情報システム学研究科
情報メディアシステム学専攻

学 籍 番 号 : 1450028
氏 名 : 日永田 智絵
主任指導教員 : 末廣 尚士 教授
指 導 教 員 : 工藤 俊亮 准教授
指 導 教 員 : 佐藤 俊治 准教授
提出年月日 : 平成 28 年 01 月 28 日 (木)

目次

第1章 緒言	8
1.1 研究背景	8
1.2 研究目的	11
1.3 論文構成	12
第2章 関連研究	13
2.1 情動に関わる理論	13
2.1.1 ラッセル円環モデル	13
2.1.2 ラバン理論	13
2.1.3 エクマンの6感情	15
2.1.4 ブリッジスの情緒の分化	15
2.2 情動に関わる理論を用いた HRI 分野の関連研究	16
2.2.1 ラバン理論を用いた舞踊ロボットの情動表現	16
2.2.2 ノンヒューマノイドロボットにおける情動動作表現	17
2.2.3 ロボットの情動表現のための心理空間	17
第3章 ラバン理論を用いた情動動作表現	20
3.1 本章の背景	20
3.2 実験	20
3.2.1 システム	20
3.2.2 動作生成	21
3.2.3 実験プロトコル	23

3.3	結果	25
3.4	考察	28
3.5	本章のまとめ	30
第4章	情動動作表現モデルの作成	32
4.1	本章の背景	32
4.2	実験	34
4.2.1	システム	34
4.2.2	動作生成	34
4.2.3	実験プロトコル	35
4.3	結果	36
4.3.1	指標と動作の関係	36
4.3.2	指標と情動の関係	39
4.3.3	動作と情動の関係	40
4.3.4	指標同士の関係	42
4.4	考察	43
4.4.1	指標と動作の関係	43
4.4.2	指標と情動の関係	45
4.4.3	動作と情動の関係	45
4.4.4	指標同士の関係	46
4.5	情動動作表現モデル	46
4.6	本章のまとめ	47
第5章	モデルを用いた情動動作表現	54
5.1	本章の背景	54
5.2	実験	54
5.2.1	動作生成	54

5.2.2	実験プロトコル	56
5.3	結果	58
5.4	考察	60
5.5	本章のまとめ	64
第6章	結言	65
付録A	アンケート	71
A.1	3章実験アンケート	72
A.2	4章実験アンケート	76
A.3	5章実験アンケート	86

目 次

1.1	コミュニケーションモデル	9
1.2	飛行型ペットロボット	11
1.3	情動動作表現	12
2.1	ラッセルの円環モデルの日本語の一例 [1]	14
2.2	ブリッジスの情緒の分化 [2]	16
2.3	デザインフレームワーク [3]	18
2.4	心理空間 [4]	19
3.1	ラバン理論での情動動作表現	21
3.2	ドローンの仕様	22
3.3	実験の様子	26
3.4	動作評価アンケート（複数評価） (a)eWAVE (b)eYAWSHAKE (c)ePITCHSHAKE (d)eROLLSHAKE (e)FOW- LEFT-BACK-RIGHT	27
3.5	動作の評価（単数評価） (a)eWAVE (b)eYAWSHAKE (c)ePITCHSHAKE (d)eROLLSHAKE (e)FOW- LEFT-BACK-RIGHT	28
3.6	実験後アンケート	29
3.7	多次元尺度構成法による可視化	30
3.8	指標を用いた情動動作表現モデル	31
4.1	情動動作表現モデルのベース	33

4.2	飛行型ロボットの情動動作表現	34
4.3	日本語で評価したラッセル円環モデル	40
4.4	情動ワードの能動的-受動的での評価結果	41
4.5	情動ワードの集中-散漫での評価結果	41
4.6	情動ワードの警戒-安穩での評価結果	42
4.7	作成した情動動作表現モデル	47
5.1	5章での情動動作表現（喜び）	55
5.2	5章での情動動作表現（怒り）	55
5.3	5章での情動動作表現（悲しみ）	56
5.4	標準動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン	59
5.5	快度増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパター ン (c) 悲しみパターン	60
5.6	快度減少動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパター ン (c) 悲しみパターン	60
5.7	覚醒度増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパ ターン (c) 悲しみパターン	61
5.8	覚醒度減少動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパ ターン (c) 悲しみパターン	61
5.9	前増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパター ン (c) 悲しみパターン	62
5.10	後増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパター ン (c) 悲しみパターン	62
5.11	印象評価アンケート（単数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲し みパターン	63

5.12 印象評価アンケート（度合平均）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン（* : $p < 0.05$ / (22-昇順での順位)	63
5.13 本研究での情動動作表現モデル	64
6.1 共通情動動作表現モデル	68

表 目 次

2.1	エフォートの分類	15
2.2	シェイプの分類	15
3.1	ドローンでの作成動作	23
3.2	エフォートとシェイプへの割り当て	24
4.1	ラッセル円環モデルの指標と動作要素の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)	37
4.2	ラバン理論の指標と動作要素の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)	38
4.3	Lasso 解析結果 (ラッセル円環モデル指標)	49
4.4	Lasso 解析結果 (ラバン理論指標)	50
4.5	Holm 法によるラッセル円環モデル指標での情動ワード同士の有意差検定 (* : $p < 0.05$ / (16-昇順での順位))	51
4.6	Holm 法によるラバン理論指標での情動ワード同士の有意差検定 (* : $p < 0.05$ / (16-昇順での順位))	52
4.7	ラッセル円環モデルとラバン理論の指標の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)	53
5.1	5章での情動動作表現のバリエーション (喜び)	56
5.2	5章での情動動作表現のバリエーション (怒り)	57
5.3	5章での情動動作表現のバリエーション (悲しみ)	57
5.4	動作の指標での評価結果 (喜び)	58
5.5	動作の指標での評価結果 (怒り)	58
5.6	動作の指標での評価結果 (悲しみ)	59

第1章 緒言

1.1 研究背景

徐々にロボットは一般社会に浸透しつつある。ロボット掃除機は市場を拡大しつつあり、ソフトバンクの Pepper も一般家庭や店舗などに導入されている。一般社会にこれらのロボットが導入されるということは、おのずと人とロボットの関わりが生じるということでもある。人との関わりが生じるということは、ロボットはタスクだけでなく人とどのようにコミュニケーションをとるかということを考えてしなければならない。そうした課題に対して、Human-Robot Communication の分野では、これまでも様々な研究が行われてきた。坂本らは遠隔操作のためのアンドロイドを提案しており [5], Zecca(2008) らは顔の表情で情動表現を行うロボットを作成している [6]. 小林はロボットと人のコミュニケーションについての考察を述べ [7], 神田らはロボット同士を対話させ [8], 小林らは昆虫を参考に飛行型ロボットのナビゲーションについて提案した [9]. 木村らは食べる動作をするロボットを開発し [10], 山添らは寄り添いぬいぐるみロボットを開発した [11]. Dautenhahn らや阿部ら, Ros らは子どもと遊ぶロボットを開発した [12] [13] [14]. Miyashita らや Yohanan らは Human-Robot Communication での触れ合いの役割について研究し [15] [16], Argall らは Human-Robot Communication のための自律システムを提案した [17]. また, 柴田はインタラクション相手の状態を視覚・聴覚・触覚などのセンサーから認識し, それに応じた反応を返すことで人とのコミュニケーションを行うセラピーロボットのパロを開発した [18]. 佐藤らは人からの働きかけに反応することがロボットの対人心理作用にとって重要であると述べた [19].

柴田 [18] や佐藤ら [19] の研究のような, 相手をセンシングし反応を返すといったインタラクションは Human-Human Communication のインタラクションと同様である [20] [21] [22].

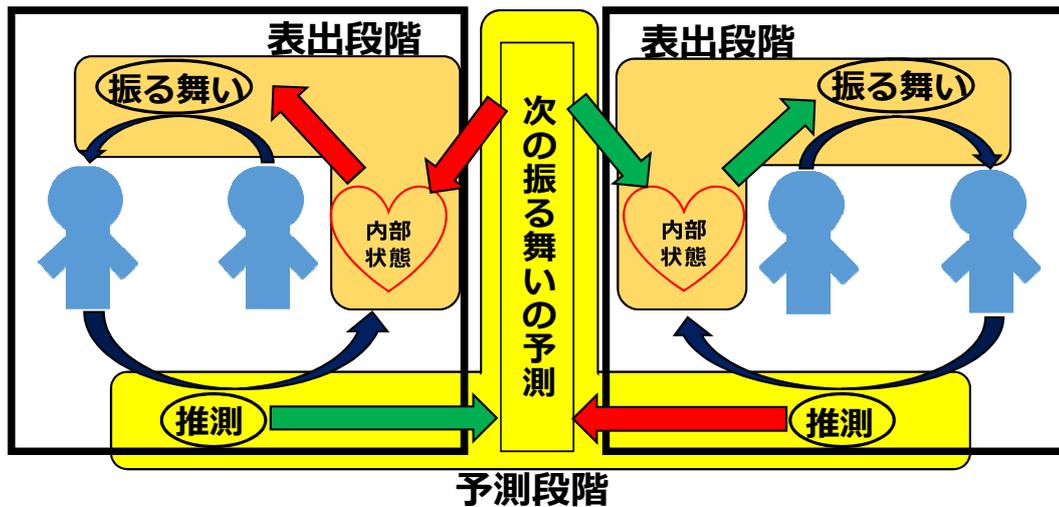


図 1.1: コミュニケーションモデル

人はインタラクション相手の振る舞いをセンシングしながら、相手の内部状態を汲み取り、相手の次の振る舞いを予測する（予測段階）[23] [24] [25]。そして、予測した情報を元に自分の内部状態を変化させ、適応した振る舞いを行い、コミュニケーションを成立させる（表出段階）[26] [27]。ロボットが人とコミュニケーションを成立させるためには、図1.1のような人のコミュニケーションモデルをロボットが持つことが必要だと考えられる。

コミュニケーションモデルをロボットに実装するためには、予測段階および表出段階をロボットにどのように適応させるかということを検討しなくてはならない。本研究では中でも表出段階に着目する。表出段階の適応した振る舞いというのは、相手に自分の内部状態を予測させ、相手の次の振る舞いに繋げるためのアプローチである。つまり、表出段階を成立させるためには、相手に自分の内部状態を予測させるような振る舞いを行わなければならない。また、表出段階の研究として、内部状態と振る舞いの関係性を明らかにすることは、予測段階であるどのような振る舞いに対してどのような内部状態を推定するかということに密接に関わっている。

表出段階に関する研究はいくつか存在する。山野らは顔を映し出した球型のロボットの表情を相手の情動に同調させるように変化させることによって、コミュニケーションを行って

いる [28]. また, Zecca (2009) らはヒューマノイドロボットで全身を使って情動の表現を行っている [29]. 人のような見た目のロボットは人の振る舞いを真似ることによって表現が可能である. しかし, ロボットは必ずしも人のような身体を持っているわけではない. また, 人ではなく動物の見た目をしたロボットも存在するが, Human-Robot Communication の分野の研究として紹介した [5]~ [17] のように, 多くが現存の生物の振る舞いを参考にしているか, 手を動かす, 目を見開くなど人とのマッピングによって振る舞いを決定しており, ロボット掃除機のような無機質に思える物体がどのような振る舞いをしたときに“内部状態を持った振る舞い”と人が感じるのかわかっていない. そこで私は, 内部状態の中でも外部観測によって推定することのできる情動¹を, 人と身体的にかけ離れたロボットで表現する方法を検討する.

本研究では人と身体的にかけ離れたロボットとして, 近年注目されている飛行型ロボットを扱う. 飛行型ロボットは段差などの障害物をもろともせず自由に飛び回り, 商品運送や道案内をするなどの運用が考えられている [30] [31]. 一般社会に浸透しつつあるロボットの一つであり, 単独で飛行することができるという能力を持っている. これは人にはない能力であり, 十分人と身体的に離れているといえる. また, 飛行型ロボットはその飛行能力を生かし, 常に人の身近に存在することができる. このことによって, 日常的に人をサポートするパートナーのような, または日常的に人を癒すペットのような存在になり得る (図 1.2). 本研究ではこの飛行型ロボットを用い, 情動表現として情動を伝達する動作表現 (以下, 情動動作表現) を扱う. 情動表現として, 顔の表情なども考えられるが, 動作表現は距離があっても認識でき, 情動によっては顔よりも強固に表すことができる [3] [32] [33].

飛行型ロボットの情動動作表現を研究することによって, 図 1.2 のような様々な場面で表現を加えることができる. 例えば, 介助犬は人のサポートをする際に尻尾を振るという行動をとることがある. これは, 犬が喜んでサポートをしていると人に認識され, 介助犬と被介助者の心のつながりに寄与していると考えられる. これと同様にして, 飛行型ペットロボットが喜びながらついてくるなどといった, 日常的な場面での表現の付加をすることによって, 人とロボットの心のつながりが形成される可能性がある. こうした表現は日常的に一緒にい

¹急に引き起こされた身体表出を伴う感情

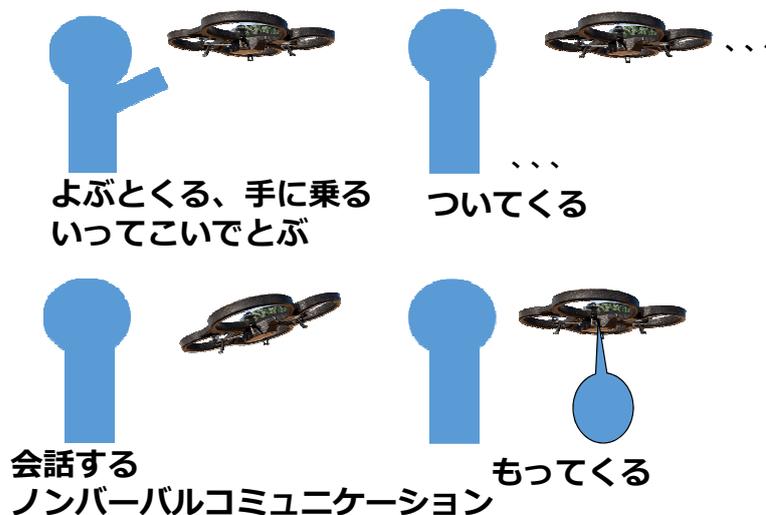


図 1.2: 飛行型ペットロボット

るロボットとして、自然なコミュニケーションとなり有用である。

1.2 研究目的

本研究の目的は飛行型ロボットの情動動作表現を生成することである。そのためには図 1.3 のように、どのような動作を生成すれば、どのような情動を表現することができるのか、任意の情動を表現するためにはどのような動作を生成すればいいのかという動作と情動の関係を明らかにしなければならない。そこで、本研究では飛行型ロボットの中でもクワッドローターのロボットを想定し、既存の理論を用いながら、動作と情動の関係を明らかにする。

また、本研究では、人と身体的にかけ離れた飛行型ロボットを扱っている。このことは、無機質なロボットならではのコミュニケーション要素の発見につながる。さらに、飛行型ロボットは人ほど様々な部位を持たず、複雑な行動は出来ないシンプルなロボットである。こうしたシンプルなロボットを使い、原始的なコミュニケーションの一つである情動動作表現を扱うことによって、コミュニケーションの起源が明らかになることが考えられ、人がコミュニケーションにおいてどのような要素を重要視しているのかということを明らかにする糸口

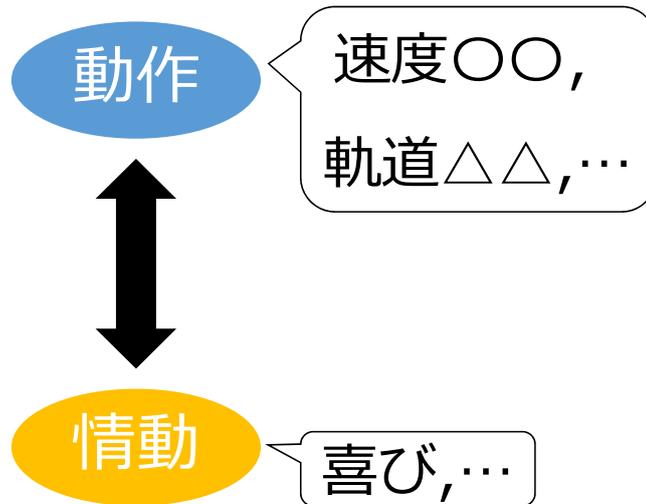


図 1.3: 情動動作表現

になるだろう。

1.3 論文構成

本論文では、1章で研究背景及び研究目的を説明した。2章では、ラバン理論やラッセル円環モデルといった本研究で用いる情動に関わる理論の詳細と、その理論を用いた関連研究を説明する。続いて3章では、ラバン理論を用いて情動動作表現を作成し、印象評価実験を行った結果を示す。ここで用いるラバン理論とは、動作と心理状態の関係を説明した舞踊学の理論である。それを利用することで図 1.3 に示す、動作と情動の関係を説明することができ、動作生成が可能である。前章を受けて4章では、指標を用いた情動動作表現モデルを被験者実験により作成した結果を示す。4章にて情動動作表現モデルを作成したのは、前章でのラバン理論を用いた結果より、理論をそのまま利用するのではなく、独自の指標を用い、情動と動作の関係を説明すべきであると判断したためである。そして5章にて、作成した情動動作表現モデルを用いて動作を作成し、被験者実験により、モデルの有用性を検証した結果を報告し、6章で本論文をまとめる。

第2章 関連研究

2.1 情動に関わる理論

2.1.1 ラッセル円環モデル

ラッセル円環モデルとは、ラッセルが提唱した快-不快・覚醒-眠気の二次元上に情動が表現できるとしたモデルである [34] [35] [36] (図 2.1)。ラッセルは被験者に情動ワードを評価させる実験を行っている。実験は以下のような内容である。

1. 被験者は提示された 8 個の情動を表すカテゴリを円上に並べる。

このとき、8 個のカテゴリ同士のニュアンスが近いものは近い位置に、遠いものは遠い位置に置く。

2. 次に 28 個の情動ワードを 8 個の情動カテゴリに分類する。

実験の結果、カテゴリ配置では快-不快・覚醒-眠気が直交する形で並んでいることが示された。ラッセルはこの結果と情動ワードのカテゴリ分類結果を使用して、快-不快・覚醒-眠気の二次元上に情動ワードを配置した円環モデルを提案している。ラッセル円環モデルは、英語の情動ワードが並んだものだが、ラッセル円環モデルを引用している文献で、日本語のモデルを使用している例もあり、この多くは英語のラッセル円環モデルを翻訳して使用したものである [1]。

2.1.2 ラバン理論

ラバン理論とは舞踊学の理論であり、Rudlf von Laban が 1920~40 年代に構築した心理状態と身体運動の相関関係を説明した理論である [37]。このラバン理論の根幹には、ダーウィ

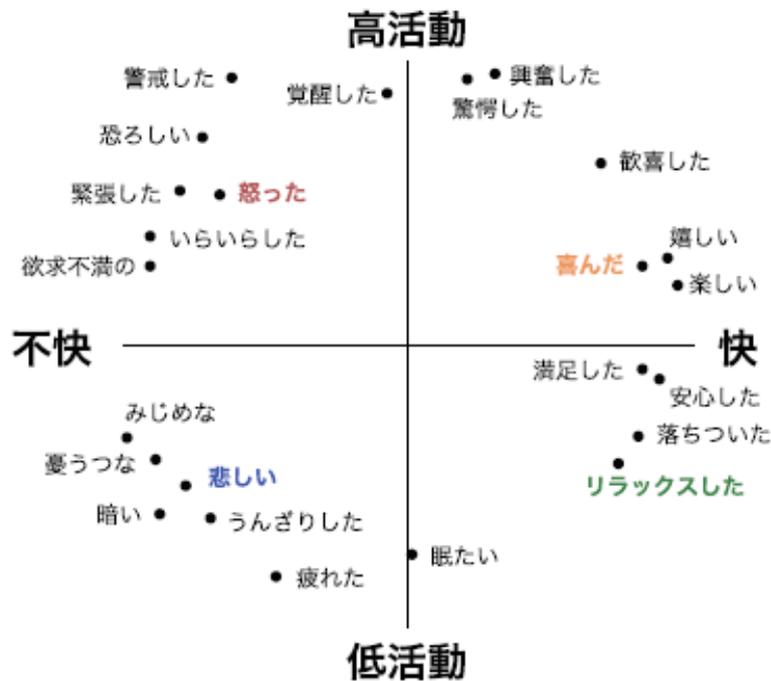


図 2.1: ラッセルの円環モデルの日本語の一例 [1]

ンが 1872 年に提唱した動物の身体表現の構造に関する理論がある。

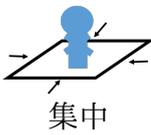
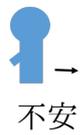
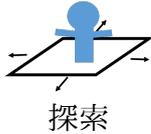
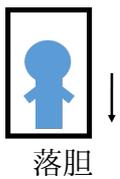
今回はラバン理論の中でもエフォートとシェイプの理論を説明する。エフォートは動作の力学的特徴を表し，シェイプは身体の全体的な形状についての特徴を意味する。エフォートとシェイプはそれぞれ 3 要素もっており，その要素は戦闘形態と陶醉（服従）形態の 2 極構造となっている。

エフォートは身体動作の力強さである「力加減エフォート（Weight Effort）」，方向的偏りの度合いを表す「空間エフォート（Space Effort）」，変化の慌ただしさを表す「時間エフォート（Time Effort）」の 3 要素で構成されている（表 2.1）。シェイプは正面上のシルエットの広がりである「ドア面シェイプ（Door Plane Shape）」，側面上のシルエットの前後変動を表す「車輪面シェイプ（Wheel Plane Shape）」，水平面上のシルエットの広がりである「テーブル面シェイプ（Table Plane Shape）」の 3 要素で構成されている（表 2.2）。それぞれの要素は独立して心理表現としての意味を持っている。

表 2.1: エフォートの分類

	力加減	空間	時間
戦闘形態	強い →能動的心理	直線的 →集中	突発 →警戒
陶酔形態	弱い →受動的心理	湾曲的 →散漫	継続 →安穩

表 2.2: シェイプの分類

	テーブル面	ドア面	車輪面
戦闘形態	 集中	 能動	 不安
陶酔形態	 探索	 落胆	 自信

2.1.3 エクマンの6感情

エクマンらは文化に関係なく共通の基本6感情が存在することを示した [38]。ここで示された基本感情は喜び・驚き・怒り・悲しみ・嫌悪・恐怖である。エクマンらは文化も言語も異なる被験者に対して顔の表情の写真を見せ、その表情がどのような時に生じるかについて答えさせる実験を行った。その結果、文化が異なっている被験者間であっても、類似した回答を得られたことから、文化に関係なく共通する基本6感情があると述べた。

2.1.4 ブリッジスの情緒の分化

ブリッジスは乳幼児の観察を基に、情動が興奮を原点に分化していくと述べた (図 2.2) [2]。新生児では興奮が存在し、3か月で興奮から不快が分化し、その後快が分化する。6か月で

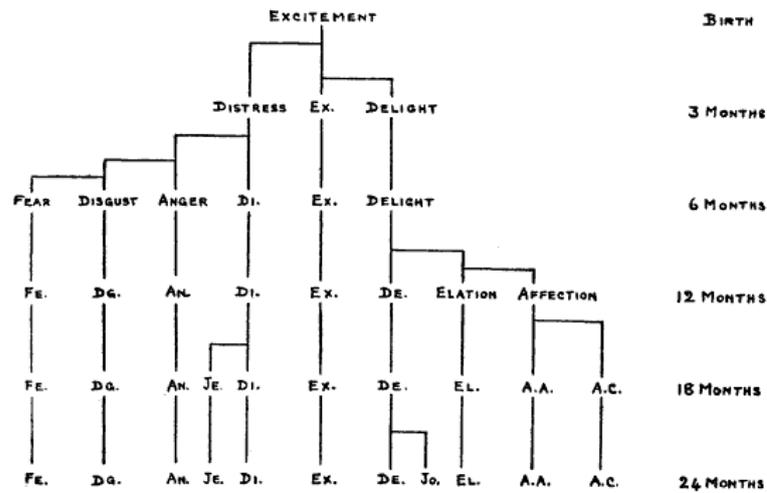


FIG. 1. SHOWING THE APPROXIMATE AGES OF DIFFERENTIATION OF THE VARIOUS EMOTIONS DURING THE FIRST TWO YEARS OF LIFE

Key: A.A. = Affection for adults, A.C. = Affection for children, An. = Anger, De. = Delight, Dg. = Disgust, Di. = Distress, El. = Elation, Ex. = Excitement, Fe. = Fear, Je. = Jealousy, Jo. = Joy.

図 2.2: ブリッジスの情緒の分化 [2]

不快から怒り，嫌悪，恐れへと分化し，12 か月で快から得意や愛情が分化し，18 か月で不快から嫉妬が分化，愛情が大人への愛情と子どもへの愛情に分化する．2 歳では快から喜びが分化し，5 歳で恐れから不安と羞恥が分化，怒りから失望と羨望が分化，快から希望が分化する．6 か月ほどでエクマンの基本感情が生じ，5 歳ほどで大人の情緒がほぼ発達する．

2.2 情動に関わる理論を用いた HRI 分野の関連研究

2.2.1 ラバン理論を用いた舞踊ロボットの情動表現

中田らは，ラバン理論 (2.1.2) を用いて身体動作表現を作成した [37]．中田らの研究では，両腕と頭部があり，二つの車輪によって床上移動が可能な舞踊ロボットを用いて，その舞踊ロボットにラバン理論に基づいた 6 種類の舞踊を踊らせ，被験者に印象評価させる実験を行った．アンケートは以下のようにになっている．

—アンケート—

1 つ目のロボットの動きの印象は？ひとつに丸をつけてください：

印象：嬉しそう・びっくりしている・悲しそう・怒っている・どれもでない

その割合は?: 0—1—2—3

0は「どれもでない」, 1は「やや」, 2は「まあまあ」, 3は「とても」

以下, 2つ目3つ目と続く.

このアンケートの回答結果とラバン理論に基づいた動作の定量評価によって, ラバン理論の指標と印象との相関関係を求めている. その結果, 以下のような相関関係が得られている.

- 力加減エフォートは喜びと驚きに対して正の相関 (力強い), 悲しみに対して負の相関 (弱い)
- テーブル面シェイプは驚きと正の相関 (収縮)
- ドア面シェイプは驚きと正の相関 (上昇)
- 車輪面シェイプは怒りと負の相関 (前進)

2.2.2 ノンヒューマノイドロボットにおける情動動作表現

Novikovaらはヒューマノイドロボットではないロボットを用いて身体動作表現を行っている [3]. ロボットは手と首, 眉毛があり, タイヤで駆動する. このロボットを用い, 身体動作表現のモデル化のデザインフレームワークを提案している (図 2.3). デザインフレームワークを接近と回避の振る舞いとラバン理論を用いて作成しており, そのフレームワークを用いて動作を作成し, 被験者実験により検証している. その結果, 一部の情動動作を表現することができたが, 一部は表現できず, 表現できなかった情動は動作ではなく表情から読み取る情動なのではないかと考察している.

2.2.3 ロボットの情動表現のための心理空間

三輪ら [4] はラッセル円環モデル (2.1.1) に確信-不確信の軸を追加した心理空間を定義した (図 2.4). この心理空間とは, ロボットの心理状態を心理空間内の情動ベクトルで表現し,

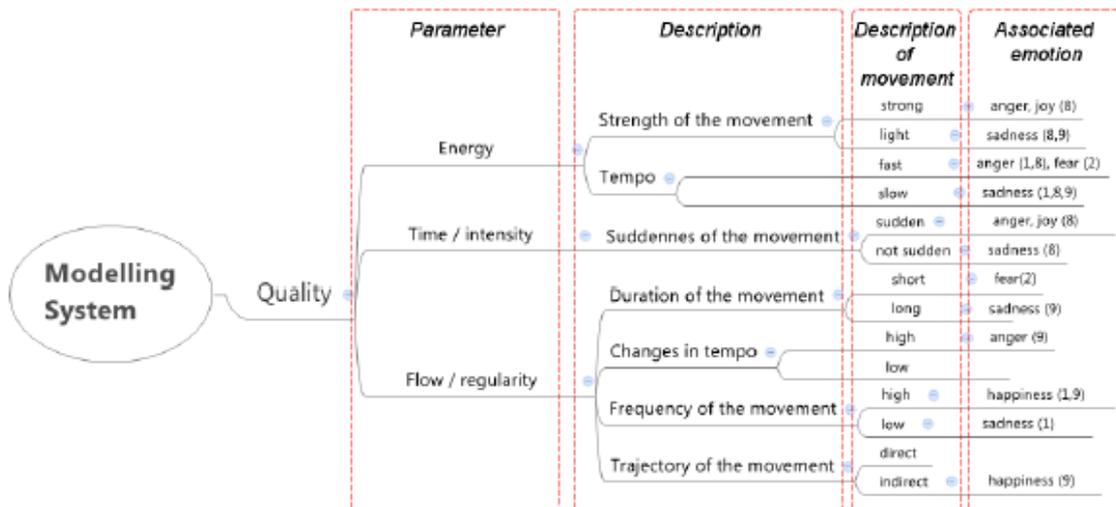
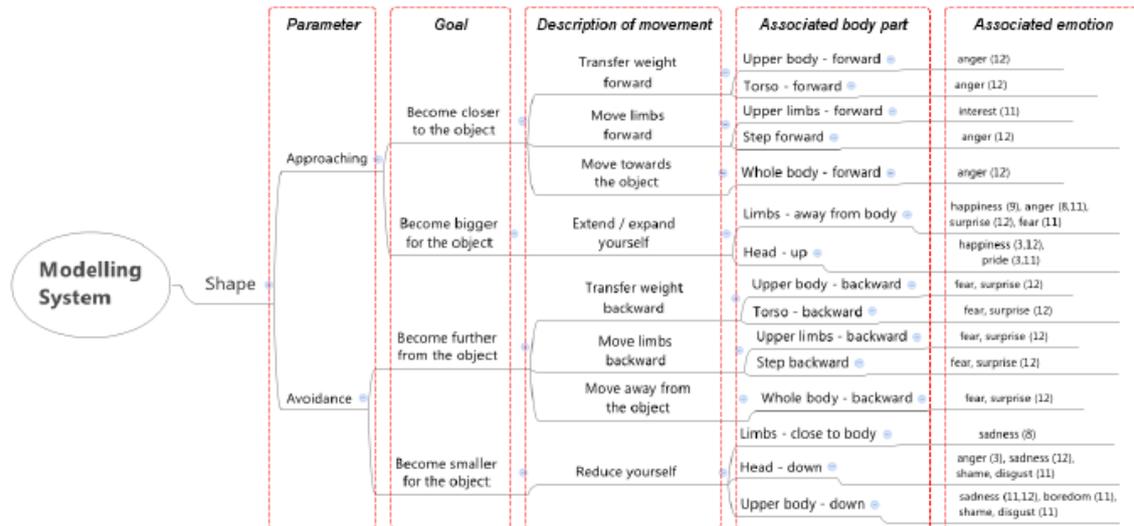


図 2.3: デザインフレームワーク [3]

その情動ベクトルが移動することが、ロボットの心理状態が変化することを意味するというものである。ロボットは人間型頭部ロボットを用いており、表情でエクマンの6感情(2.1.3)を表現する。表現の部分は作りこみで作られている。

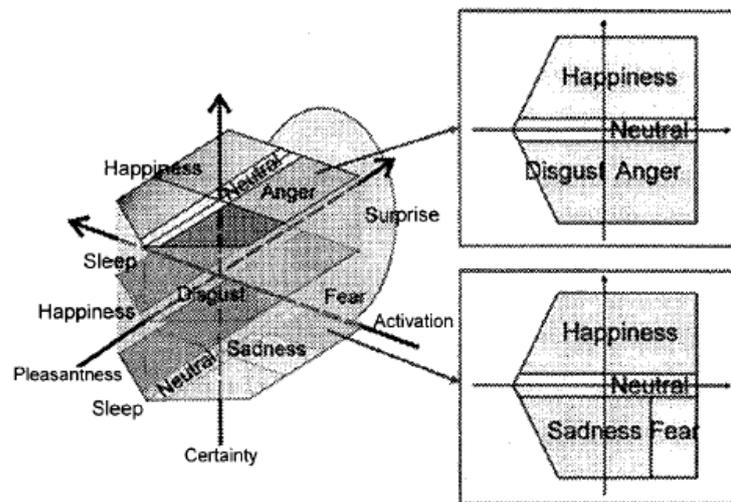


図 2.4: 心理空間 [4]

第3章 ラバン理論を用いた情動動作表現

3.1 本章の背景

飛行型ロボットの情動動作表現を生成するため、ラバン理論を用いる（図3.1）。ラバン理論は、ロボットの動作表現を生成するための指標としてしばしば用いられており（2.1.2）、中田ら（2.2.1）の研究によって、心理状態だけでなく、情動との相関関係が説明されている。そこで今回は、ラバン理論を用いて動作を作成し、作成した動作が情動を表現できているかを被験者実験により検証する。

また、実際にコミュニケーションロボットとして飛行型ロボット自体がどのような印象を与えるのかを本実験で検証する。具体的には、飛行型ロボットに対する親近感や飛行型ロボットならではの飛行能力を生かした高度の違いによる印象変化の検証を行う。

3.2 実験

3.2.1 システム

飛行型ロボットとして、Parrot社のAR.Drone2.0を用いた（図3.2）。このAR.Drone2.0（以下ドローン）は下方と前方に各一つカメラを有し、下方には地面との距離を測るための超音波センサが取り付けられている。内部には3軸の加速度センサとジャイロセンサを有し、ドローンの速度と傾きを計測することができる。Wi-FiとLinuxOSを搭載しており、制御は無線通信を用いてPCからコマンドを送ることによって行う。

ラバン理論

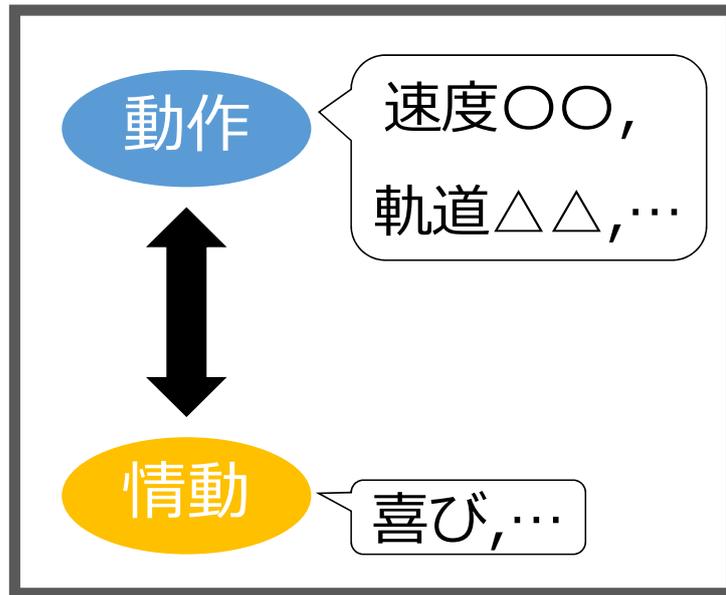


図 3.1: ラバン理論での情動動作表現

3.2.2 動作生成

ラバン理論のエフォートとシェイプを動作方向，動作時間，動作速度を用いて表現することができると考え，それぞれの要素が異なる動作を作成した（表 3.1）．その際，ロボットとの距離感による印象をなるべく排除するため，ロボットの重心が大きく動かない動作とした．動作は以下の通りである．

- eWAVE
前後左右方向に波が伝搬するように円形に動く
- eYAWSHAKE
ヨー軸の振り子運動
- ePITCHSHAKE
ピッチ軸の振り子運動

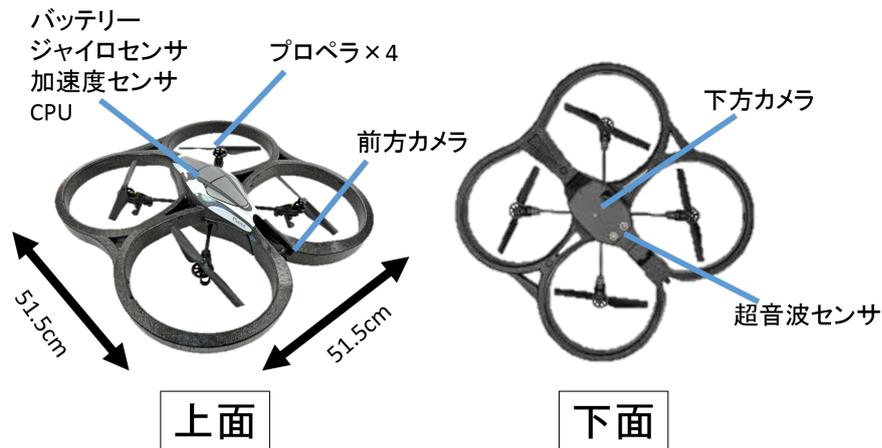


図 3.2: ドローンの仕様

- eROLLSHAKE

ロール軸の振り子運動

- eFOW-LEFT-BACK-RIGHT

前左後右の順に傾く

各動作をラバン理論に当てはめると表 3.2 のようになる。このとき、力加減エフォートは命令速度の大きさ、時間エフォートは単位時間あたりの命令回数で分類している。

中田ら (2.2.1) の研究により、エフォートとシェイプの動作と情動の相関が算出されている。

- 力加減エフォートは喜びと驚きに対して正の相関（力強い）、悲しみに対して負の相関（弱い）
- テーブル面シェイプは驚きと正の相関（収縮）
- ドア面シェイプは驚きと正の相関（上昇）
- 車輪面シェイプは怒りと負の相関（前進）

これにより、今回作成した動作は表 3.2 のように評価できる。

表 3.1: ドローンでの作成動作

名称	動き	名称	動き
eWAVE		eYAW SHAKE	
ePITCH SHAKE		eROLL SHAKE	
eFOW-LEFT-BACK-RIGHT			

3.2.3 実験プロトコル

ラバン理論の指標に基づき作成した情動動作表現が、人にどのような印象を与えるかを実験によって検証した (図 3.3)。実験は被験者に対しドローンの動作表現を見せ、ひとつひとつの動作に対してアンケートに回答させた。ドローンの身体動作表現は表 3.1 の 5 動作を異なる 2 つの高さで行い、合計 10 種類の動作をランダムに行った。これは、相対的位置関係によって同じ動作であっても、異なる印象を感じるかどうかを検証するためである。今回、高さは低い位置 (Low) と高い位置 (High) を設定し、それぞれ約 0.65m, 1.65m とした。実

表 3.2: エフォートとシェイプへの割り当て

エフォート	力加減	空間	時間
戦闘形態	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eFOW-LEFT- BACK-RIGHT 喜び 驚き	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eROLLSHAKE	eYAWSHAKE ePITCHSHAKE eROLLSHAKE eFOW-LEFT- BACK-RIGHT
陶酔形態	eWAVE eROLLSHAKE 悲しみ	eWAVE eFOW-LEFT- BACK-RIGHT	eWAVE
シェイプ	テーブル面	ドア面	車輪面
戦闘形態	驚き	eROLLSHAKE ePITCHSHAKE 驚き	ePITCHSHAKE
陶酔形態	eWAVE eFOW-LEFT- BACK-RIGHT	eROLLSHAKE ePITCHSHAKE	ePITCHSHAKE 怒り

験中はカメラによる記録を行った。被験者には雑音の影響を最小限にするためにイヤフォンを着用してもらった。また、ドローンと被験者の距離は平均 1.2 m 程度と設定した。これは一般の大人のパーソナルスペースの距離が 1.2 m といわれているため、インタラクションを行う上での目安となるからである。被験者は 10 名（22～28 歳）で時間は約 30 分とした。

アンケートの内容は以下のように設定した (A.1)。

–動作評価アンケート–

Q：印象をもちますか？(複数回答可)

喜び 驚き 怒り 悲しみ

退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どれでもない-少し-中程度-とても

実験後には，ドローンの印象を聞くアンケートを実施した．実験後アンケートは5段階評価（5あてはまる 4少しあてはまる 3どちらでもない 2少しあてはまらない 1あてはまらない）とし，Q4は評価内容を高さとした（5腰より下の高さ 4腰の高さ 3胸の高さ 2目線の高さ 1目線より上の高さ）．Q8に関しては自由記述とし，その他にも自由記述欄を設けた．

—実験後アンケート—

Q1：ドローンは怖かったですか？

Q2：ドローンにみられている時があると感じましたか？

Q3：ドローンは大きいと感じましたか？

Q4：ドローンがどの高さにいるときに最も好感がもてますか？

Q5：ドローンに親近感を感じましたか？

Q6：ドローンとの物理的な距離が近すぎると感じましたか？

Q7：ドローンは生き物のようだと感じましたか？

Q8：ドローンを生き物にたとえたとしたら？

3.3 結果

動作評価アンケートの結果を図3.4, 3.5に示す．このとき，図3.4は複数回答アンケートから，図3.5は最も強いものを選んでもらうアンケートから結果を算出している．これらの結果より，動作ごとに想起させる印象が異なることがわかる．

図3.4では，高い位置と低い位置でのそれぞれの回答を合計したものを2で割った結果を可視化している．図3.4を表3.2と照らし合わせると，ePITCHSHAKEに怒りの評価が見られなかったり，eROLLSHAKEよりもeYAWSHAKEの方が悲しみが感じられたりと，我々がラバン理論を基に作成した指標による評価と必ずしも一致する結果ではなかった．このこと



図 3.3: 実験の様子

より、別の手法で動作速度などといった動作の要素と印象の関係を明らかにする必要がある。

図 3.5 では動作ごとに対する印象を高さで分けて集計した。その結果、図 3.5 (a) (b) は、高い位置と低い位置でほぼ同程度の分布を示している。対して、図 3.5 (c) (d) (e) は、高さで異なる分布を示した。図 3.5 (c) (d) (e) に共通するのは、高い位置だと程度が強くなって感じるという点である。また、図 3.5 (b) (c) では、それぞれ否定と肯定に回答が集中した。しかし、(b) では高さに関係なく同程度否定と回答しており、(c) では低い位置だと肯定の回答数が下がった。

続いて、実験後アンケートの結果を報告する(図 3.6)。Q1, Q5, Q7 より被験者はドローンを怖いものとは感じず、生き物らしさや親近感を持っていたことがわかる。また、Q4 より好感もてるドローンの高度は、目線よりも下で、かつ目線から離れすぎない位置であった。

さらに、アンケートの項目同士に無相関検定を行った結果、Q3 と Q6, Q5 と Q7 で正の相関がみられた。Q3-6 の相関はドローンを大きいと回答している被験者は距離が近いと回答しているということになる。今回実験では、距離を平均 1.2m と設定した。つまり、距離が近いと回答している人はパーソナルスペースを侵害されている感覚があると考えられる。よって、大きさは物理的なサイズ感だけでなくドローンの存在感を意味し、存在感が大きく

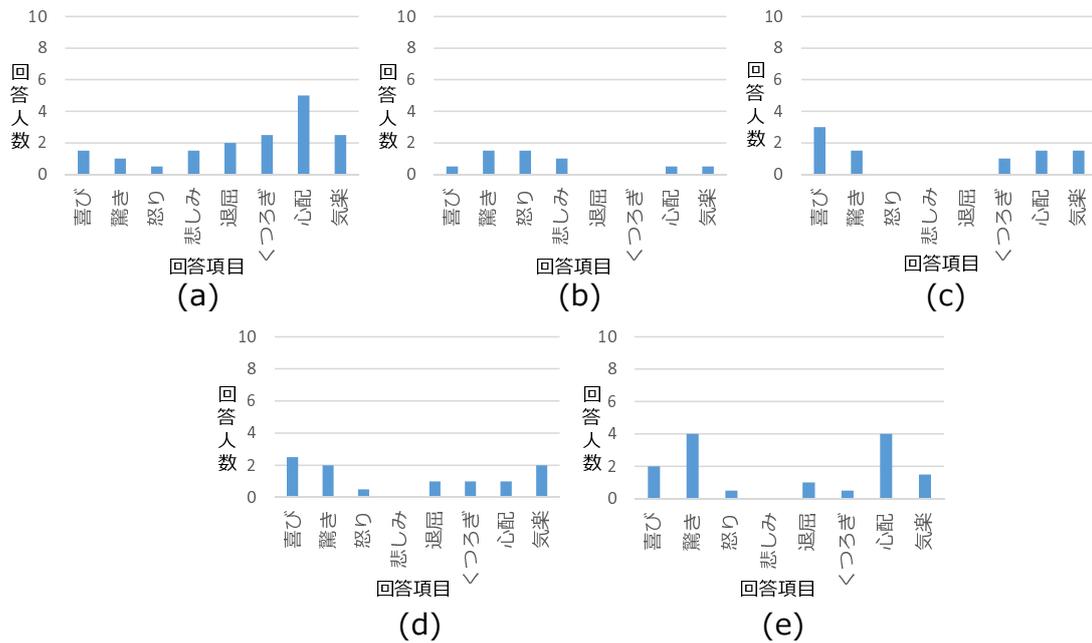


図 3.4: 動作評価アンケート (複数評価)

(a)eWAVE (b)eYAWSHAKE (c)ePITCHSHAKE (d)eROLLSHAKE (e)FOW-LEFT-BACK-RIGHT

圧迫感がありパーソナルスペースを侵害されていると感じたと解釈できる。Q5-7の相関は生き物らしいと感じれば感じるほど親近感をもっているというものであった。これは今までも HRI で議論されており、生き物らしいと感じるアニメシー知覚と共感細胞といわれるミラーニューロンの関連も明らかにされている [39]。

次に、動作速度などといった動作の各要素と印象の関係を解析した結果を報告する。解析では、動作評価アンケートより複数回答部分のデータを用い、動作をそれぞれの印象に振り分け、各印象の動作の X, Z 方向の速度平均および分散, Roll, Pitch, Yaw 角の分散を求めた。これらの値を特徴量とし、感情に対して多次元尺度構成法による可視化を行った。結果を図 3.7 に示す。この結果はラッセルの円環モデルに類似している [34] (図 2.1)。

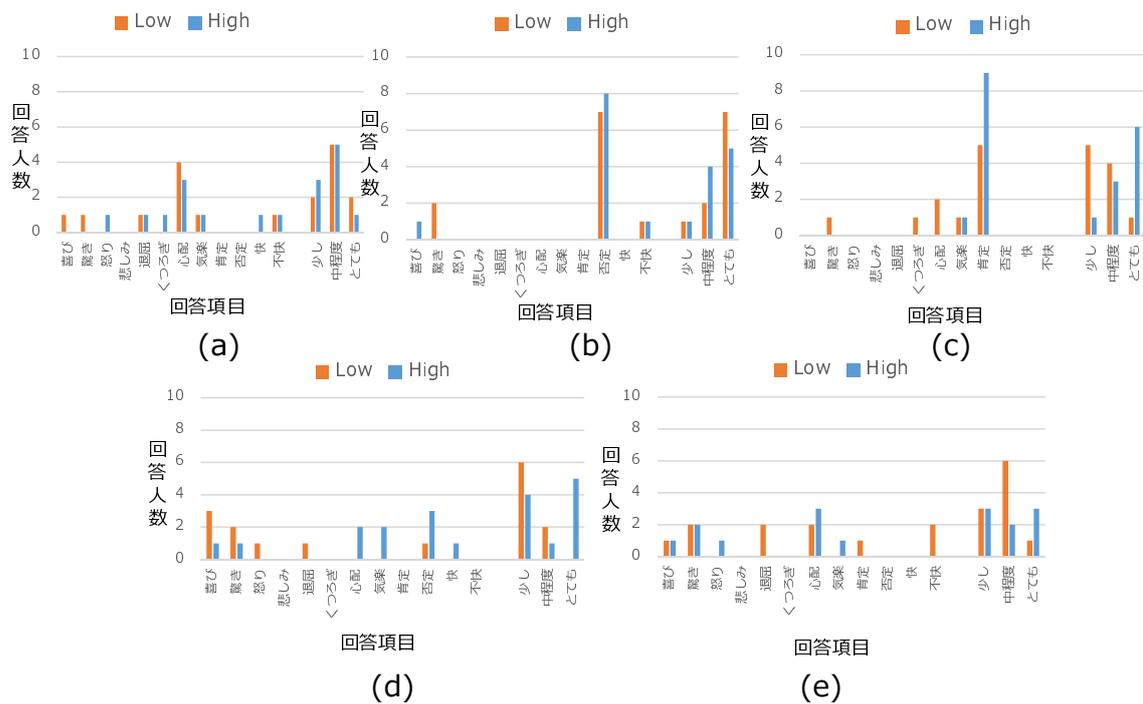


図 3.5: 動作の評価 (単数評価)

(a)eWAVE (b)eYAWSHAKE (c)ePITCHSHAKE (d)eROLLSHAKE (e)FOW-LEFT-BACK-RIGHT

3.4 考察

動作評価アンケートの結果より、高い位置での動作は低い位置と比べて、印象を強く与えることができた。人は気持ちをより伝えようとした際、相手の目線に近づき話すことがある。したがって、ドローンが目線に近づくことによって、意図を伝えようとする意思が強いと感じられたと考えられる。

また、図 3.5 (b) (c) では、それぞれ否定と肯定に回答が集中した。これは被験者がドローンの動作を人の動作にマッピングしたためだと考えられる。これによって、人と身体的に遠いものだったとしても、情動などの相手の内部状態を推定する際には、人にマッピングしていることが示唆された。

さらに、高さを変化させて動作表現を行うことで、異なった印象を与えることができた。

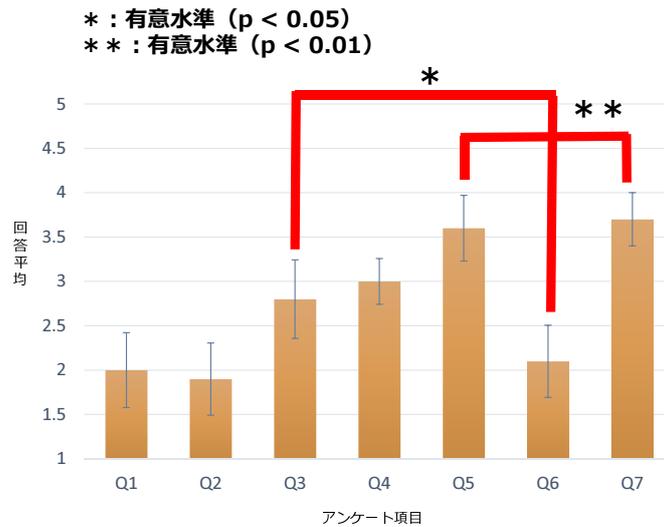


図 3.6: 実験後アンケート

これは高さによって、マッピングされる部位が変化しているためだと考えられる。今回の場合、図 3.5 (b) では高さに関係なく同程度否定と回答しており、図 3.5 (c) では低い位置だと肯定の回答数が下がった。これは、高い位置だと人の頭に対応付け、低い位置だと全身として対応付けたためだと考えられる。つまり、人にマッピングする際、人のどの部位にマッピングするかが目線に対する位置で異なってくるのではないだろうか。

また、ラバン理論を用いた評価と実験結果が異なっていた。そこで、動作の X, Z 方向の速度平均および分散, Roll, Pitch, Yaw 角の分散を特徴量とし、多次元尺度構成法による可視化を行った。その結果、ラッセルの円環モデルに類似した図が得られた。この結果はラッセル円環モデルが情動動作表現作成の指針となる可能性を示している。

ラバン理論を参考にした動作生成では、否定や肯定と評価される動作がみられた。しかし、否定や肯定などは情動ではないシンボリックな動作である。即ち、今回の動作は、突出して何かしらの情動として評価される動作ではなかったということになる。これは、今回要素を統制して単純な動作を作成したためと考えられ、情動動作表現には様々な要素を組み合わせる複雑な動作が必要なことを示している。また、ラバン理論自体が舞踊学の理論であり、今回のような人と身体的に遠い飛行型ロボットには適応できなかったと考えられる。

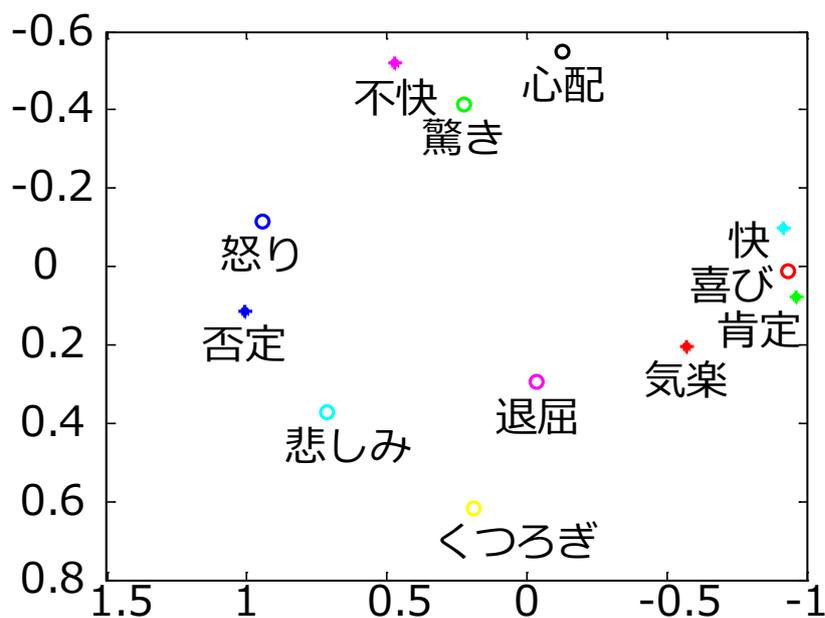


図 3.7: 多次元尺度構成法による可視化

3.5 本章のまとめ

本章では，ラバン理論を用いて動作を作成し，動作が人にどのような印象を与えるかを被験者実験により検証した．結果として，動作によって否定や肯定など異なる印象を与えることができ，高さによる印象の変化も確認された．しかし，否定や肯定などはシンボリックな動作であり，突出して何かしらの情動と感じさせる動作は得られなかった．これは，動作要素を統制した単純な動作であったこと，ラバン理論自体が舞踊学の理論であり，人や人の身体に近いものについては適応できるが，飛行型ロボットのような人と身体的に遠いロボットでは適応できなかったと考えられる．このことから，情動動作表現には様々な要素を組み合わせさせた複雑な動作が必要であること，既存の理論に従うのではなく，図3.8のような独自の指標を用いて情動と動作の関係を規定する情動動作表現モデルが必要であることが示されている．

さらに，動作の速度等の要素を特徴量とし，多次元尺度構成法による可視化を行った結果，ラッセル円環モデルに類似した図が得られた．このことから，ラッセル円環モデルが情動動

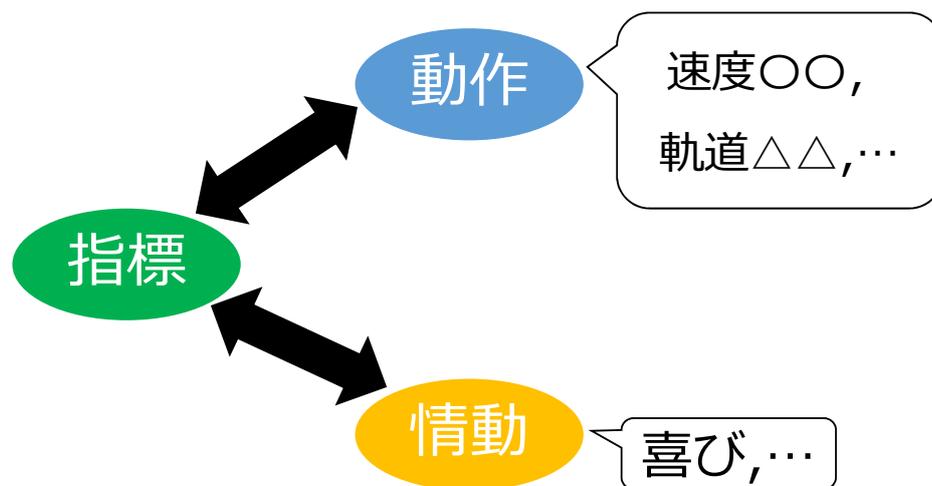


図 3.8: 指標を用いた情動動作表現モデル

作表現作成の指針となる可能性を示している。

第4章 情動動作表現モデルの作成

4.1 本章の背景

3章より、動作と情動の関係を表す既存の理論では飛行型ロボットには対応できないことが示唆された。関連研究として述べた2.2.1, 2.2.2は使用しているロボットが人の形を模したロボットであり、人を模した情動表現が可能である。しかし本研究では、飛行型ロボットという身体が人とかけ離れたものが情動表現をするための方法を検討しているため、既存の理論では適応できなかつたと考えられる。

このことより、本章では独自の指標を用いた情動動作表現モデルを提案する。関連研究として2.2.3のように、心理空間を用いて表現を行っている研究は存在する。しかし、表現の部分が作りこみであるため、表現部分に汎用性がない。そこで本研究では、決まったいくつかの情動だけでなく、様々な情動を表現できる汎用性のある情動動作表現モデルを作成することを最終的な目標とする。本章では図3.8のように、指標を導入したモデルを用いることによって、汎用性のある情動動作表現モデルの作成を目指す。

指標として、本章ではラッセル円環モデルの快-不快、覚醒-眠気、ラバン理論の能動的-受動的、覚醒-眠気、警戒-安穏を用いる。ラッセル円環モデルは前章にて情動動作表現との関係が示唆されており、ラバン理論はそのままでは適応できなかったものの、動作と心理状態の関係を説明した理論であるため指標となり得る。指標として用いる二つの理論はそれぞれ情動と関係があるものだが、本実験では改めて情動と指標の関係を明らかにする。ラッセル円環モデルは原著が英語のため、日本語とのニュアンスの違いによりモデルが異なる可能性がある。また、ラバン理論は心理状態との関係は説明しているものの、楽しいなどの情動ワードとの関係性は説明しておらず、中田らの結果は限定的である可能性が前章で示唆され

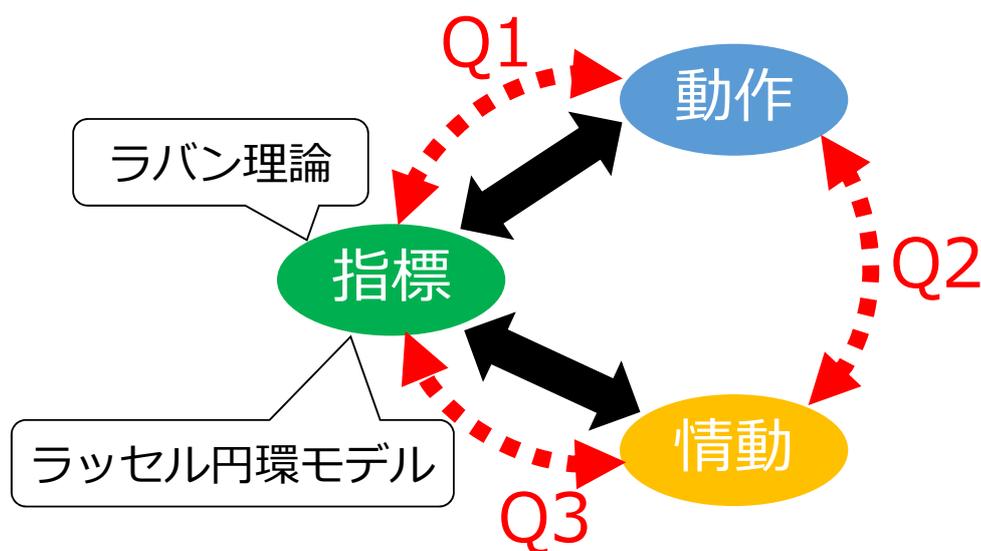


図 4.1: 情動動作表現モデルのベース

ている。よって、日本語の情動ワードをラッセル円環モデルおよびラバン理論の指標で評価することによって、情動と指標の関係を解析する。

さらに、3章では、情動動作表現には様々な要素を組み合わせた複雑な動作が必要であることが示唆された。指標に基づいて要素を統制しながら動作を作成するアプローチで、複雑な動作から要素を解析することは、動作数が膨大になってしまうため現実的ではない。そこで本章では、飛行型ロボットが情動を表現しているように見える動作を第三者に作成させ、その動作の要素を解析することによって、複雑な動作から情動動作表現に重要な要素を抽出する。また、動作をラッセル円環モデルおよびラバン理論の指標で評価することによって、動作と指標の関係を解析する。

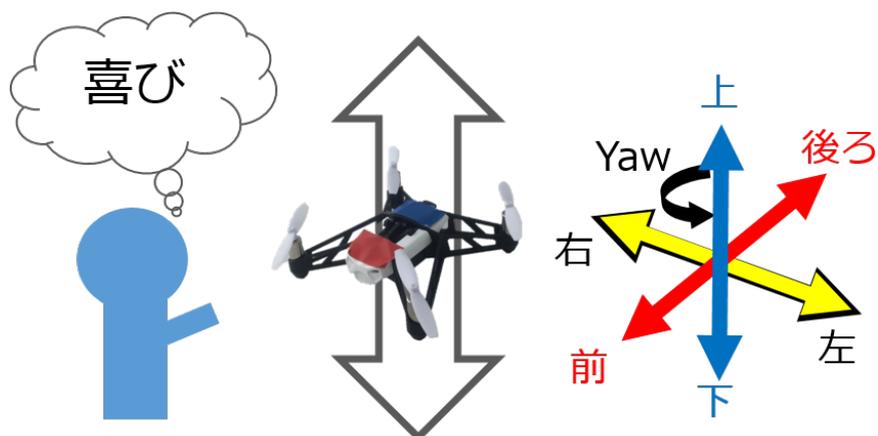


図 4.2: 飛行型ロボットの情動動作表現

4.2 実験

4.2.1 システム

飛行型ロボットとして、Parrot 社の RollingSpider を用いた (図 4.2)。この RollingSpider (以下ドローン) は下方にカメラと、地面との距離を測るための超音波センサが取り付けられており、内部には 3 軸の加速度センサとジャイロセンサを有している。サイズは手のひらサイズ (140mm × 140mm) となっている。Bluetooth 通信が可能で Android 用の SDK が配布されており、PC から Android に Wi-fi でコマンドを送り、コマンドを受けた Android 側がドローンに命令を送ることで制御を行う。

4.2.2 動作生成

動作生成は著者らと被験者を除いた第三者に作成させた (以下、動作作成者)。動作作成者は 8 名 (2 人 × 4 チーム, 20 代) で、各チームごとに喜怒哀楽を表現しているように見える動作を、提示した飛行型ロボットを用いて、C++ のプログラムで作成した。動作は 30 秒以内とし、80cm 立方に収まるものとした。動作は全 16 動作 (4 チーム × 4 動作) であり、動画で撮影し、被験者に提示することとした。動画撮影の際、Kinect により動作位置と時間を

記録し，そこから速度，加速度などを解析した。

4.2.3 実験プロトコル

本章では指標としてラッセル円環モデルとラバン理論の二つを参考にする。具体的には，ラッセル円環モデルの快-不快・覚醒-眠気とラバン理論のエフォートが表す心理状態である能動的-受動的・集中-散漫・警戒-安穩を指標として，その指標で動作および情動を評価することによって，指標との関係性を調べる。

今回，情動と指標の関係を明らかにするために，原著のラッセル円環モデルで用いられている 28 個の情動ワードを参考に，以下のような日本語の情動ワード 28 個を用意した。

- ・幸せ ・喜び ・楽しい
- ・愉快 ・興奮 ・驚き
- ・覚醒 ・緊張 ・警戒
- ・怒り ・恐怖 ・不愉快
- ・悩む ・悔しい ・切ない
- ・哀しい ・憂鬱 ・落ち込む
- ・飽き ・たるむ ・けだるい
- ・眠気 ・落ち着き ・くつろぎ
- ・満足 ・充足 ・安心 ・穏やか

この情動ワードを用い，日本語版ラッセル円環モデルを構築し，ラバン理論と情動の関係を明らかにする。

本章では，動作作成者が作成した動作を動画で被験者に提示し，評価させる実験を行った。被験者は 12 名（20 代～50 代）とした。この際，動作作成者と被験者には重複がない。動作評価のためのアンケートは以下のように設定した（A.2）。

—動作評価アンケート—

Q1：動作がどのような印象を表すように見えるか以下の項目に回答してください。

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

Q2：最も喜怒哀楽それぞれに見える動作を選んで下さい。

Q3：情動ワードがどのような印象か以下の項目に回答してください

項目はQ1と同様

評価項目の数字は1に行くほど左側のワードの印象を感じ、5に行くほど右側のワードの印象を感じたという意味である。

本章では以上の実験を通して、動作と指標および情動と指標の関係を検証する。しかし、それだけでは情動と動作の関係は明らかにならないため、Q2の質問から情動と動作の関係を検証する。また、指標が情動を表現するのに十分なものであるかを実験の結果より検証する。それぞれの質問は情動動作表現モデルでは図4.1のように対応する。

4.3 結果

4.3.1 指標と動作の関係

ラッセル円環モデルの指標と動作の関係を解析するために、動作を指標で評価した結果と動作のパラメータで無相関検定を行った(表4.1)。覚醒-眠気と動作の関係としては、目立った相関はないものの上下方向の動作要素との相関がみられた。特に相関係数が大きかったものは、上方向への移動量であり、上方向への移動量が多ければ多いほど覚醒であるという結果となった。快-不快と動作の関係としては、覚醒-眠気と同様に上下方向の動作要素との相関がみられた。中でも、加速度二乗平均の値との相関が強く出ており、これは上下方向の加速度が大きいほど快であることを表している。

ラバン理論の指標と動作との関係を解析するため、動作を指標で評価した結果と動作の要

表 4.1: ラッセル円環モデルの指標と動作要素の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)

相関係数の項目	快-不快	覚醒-眠気
速度二乗平均	-0.157	-0.415
速度二乗平均 (左右方向)	-0.150	0.00703
速度二乗平均 (前後方向)	0.108	-0.236
速度二乗平均 (上下方向)	-0.571*	-0.510
加速度二乗平均	-0.649**	-0.626*
加速度二乗平均 (左右方向)	-0.201	-0.0953
加速度二乗平均 (前後方向)	0.0356	-0.276
加速度二乗平均 (上下方向)	-0.717**	-0.566*
移動量 (上方向)	-0.633*	-0.687**
移動量 (下方向)	-0.570*	-0.291
移動量 (前方向)	0.177	-0.253
移動量 (後ろ方向)	0.151	0.125
Yaw 軸角速度平均	0.0851	0.258

素で無相関検定を行った (表 4.2)。能動的-受動的はラバン理論では力強さを表すため、運動エネルギー等と表すことが出来ると考えられる。解析の結果、速度二乗平均との相関は上下方向には弱い相関がみられ、全体としては加速度二乗平均との相関がみられた。速度二乗平均も加速度二乗平均も大きければ能動という結果であった。また、他にも上方向への移動量との強い相関がみられた。これはラッセル円環モデルの覚醒-眠気と同様で、上方向への移動量が大きければ大きいほど能動であるという結果だった。この結果は、ラバン理論のシェイプにも当てはまる。

集中-散漫は、ラバン理論では直線的か湾曲的かを表す。今回の解析では前後方向の速度との相関がみられた。さらに、回転の角速度とも相関があり、角速度が速ければ速いほど散漫、前後方向の速度が速ければ集中であることを表していた。

表 4.2: ラバン理論の指標と動作要素の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)

相関係数の項目	能動的-受動的	集中-散漫	警戒-安穩
速度二乗平均	-0.400	-0.488	-0.0779
速度二乗平均 (左右方向)	-0.205	0.202	0.309
速度二乗平均 (前後方向)	-0.124	-0.582*	-0.368
速度二乗平均 (上下方向)	-0.555*	0.0271	0.467
加速度二乗平均	-0.634*	-0.235	0.433
加速度二乗平均 (左右方向)	-0.274	0.131	0.338
加速度二乗平均 (前後方向)	-0.197	-0.486	-0.282
加速度二乗平均 (上下方向)	-0.567*	-0.0760	0.553*
移動量 (上方向)	-0.763**	0.00456	0.339
移動量 (下方向)	-0.308	0.140	0.517*
移動量 (前方向)	-0.231	-0.223	-0.487
移動量 (後ろ方向)	-0.0367	0.158	-0.264
Yaw 軸角速度二乗平均	0.174	0.548*	0.0480

警戒-安穩は、ラバン理論では突発的か継続的かを表す。今回の解析では上下方向の加速度との相関がみられた。この結果は、上下方向の加速度が大きいほど安穩であるというものであった。

指標への評価結果と動作要素の相関の解析結果では、複数の項目に相関がみられ、指標を表すのに必要な動作要素がわからない。そこで、Lasso を用い、回帰係数が疎になりやすいことを利用して、指標を表す動作要素の推定を行う。入力は、前後・左右・上下の速度二乗平均と加速度二乗平均及びそれぞれの標準偏差、左右・前・後ろ・下・上の移動量、前後・左右・上下の加速度二乗和の FFT 平均、Yaw 軸の角速度二乗平均とした。出力は、被験者の快-不快、覚醒-眠気、能動的-受動的、集中-散漫、警戒-安穩の指標に対する評価結果とし、この出力を得るための関数を教師あり学習する。解析では 10 分割交差検定を使用して

Lasso 近似を行った (表 4.3, 4.4) .

この結果より, 快-不快は上下の加速度二乗平均によって表すことができ, 覚醒-眠気は上方向への移動量で表すことができることが示された. また, 能動的-受動的では前後方向の速度二乗平均, 前後の速度の標準偏差, 上方向への移動量, 前後方向の加速度二乗和の FFT 平均, 上下方向の加速度二乗和の FFT 平均で表すことができ, 集中-散漫では前後方向の速度二乗平均と Yaw 軸の角速度二乗平均, 警戒-安穩では上下方向の加速度二乗平均, 前後方向の速度の標準偏差, 前方方向の移動量, 下方向の移動量で表すことができることが示された.

このことより, 快-不快・覚醒-眠気のような他者を必要としない指標は上下方向つまり重力方向の要素で表すことができ, 能動的-受動的・集中-散漫・警戒-安穩など他者から影響を受ける指標は重力方向だけでなく前後方向つまり他者方向が関係すると考えられる.

4.3.2 指標と情動の関係

喜怒哀楽に対応する情動ワードの喜び・怒り・悲しみ・楽しいに 6 感情にも含まれている驚き・恐怖を加えた 6 つの情動ワード同士の評価平均値に有意差があるかを調べるため, Holm 法によって解析を行った (表 4.5, 4.6) .

ラッセル円環モデルを日本語で再構築した結果を図 4.3 に示す. 図 4.3 の結果より, 日本語で聞いた場合でも情動のワードが円環に並ぶことがわかった. 似ているニュアンスのワードが近くに存在していることから, 元のラッセル円環モデルと類似していると言える. しかし, 単語レベルになると, 悲しみが第一象限よりに存在したり, 驚きが第二象限にあったりとわずかではあるが, 原著との違いが現れた. また, このラッセル円環モデルでは, エクマン [38] が提唱した 6 感情のほとんどが表現できるが, 恐怖と怒りに有意差がない. 6 感情は文化間に関係なく分類された表情を表出できることから, このモデルに恐怖と怒りを分類できる何かしらの指標を追加することで, 基本情動の表現ができると考えられる.

ラバン理論に対する情動ワードの評価結果を図 4.4, 4.5, 4.6 に示す. 能動的-受動的では, 評価値が 2 付近に集中している情動ワード群と 3.5 から 4 付近に集中している情動ワード群の二分化が起きており, ラッセル円環モデルでは分けられなかった恐怖と怒りに有意差がみ

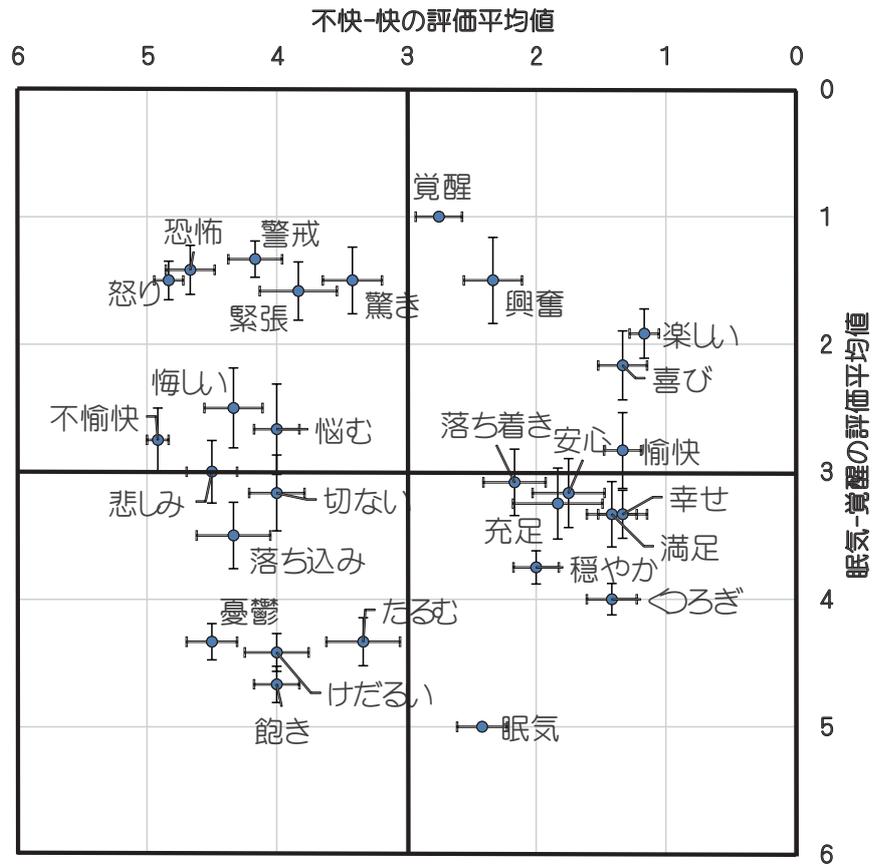


図 4.3: 日本語で評価したラッセル円環モデル

られた。また、集中-散漫では、今回選択した情動ワード同士での有意差がみられなかった。

4.3.3 動作と情動の関係

最も喜怒哀楽に見える動作を選ばせた結果を以下に示す。記述した動作番号は二人以上の回答が得られたものである。

- ・喜 6, 15
- ・怒 2, 11
- ・哀 4, 12, 16
- ・楽 6, 15

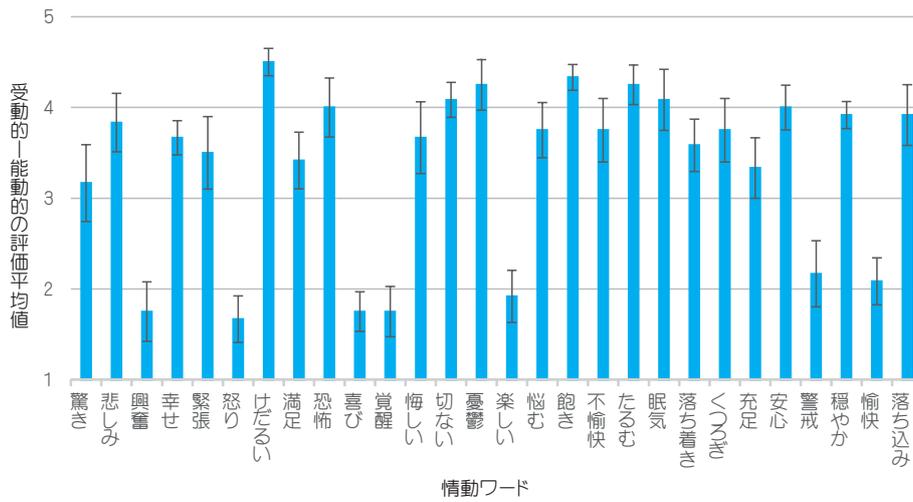


図 4.4: 情動ワードの能動的-受動的での評価結果

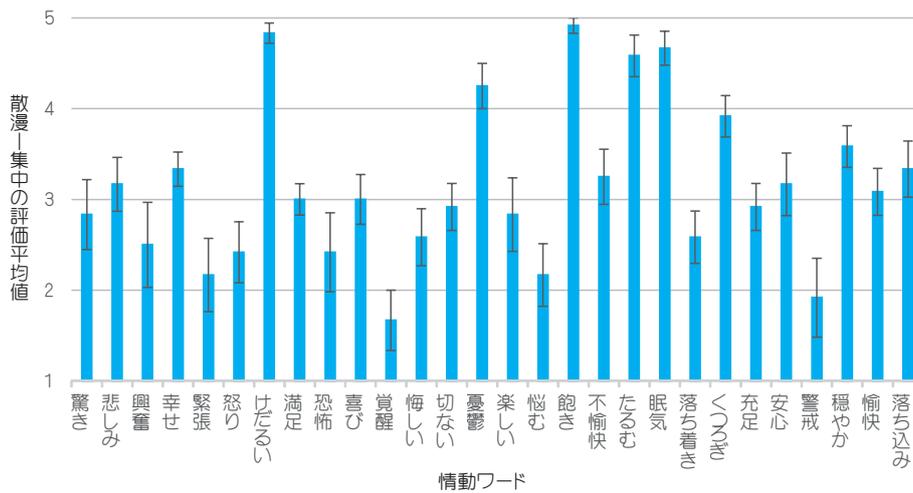


図 4.5: 情動ワードの集中-散漫での評価結果

上記の結果では、喜と楽は同じ動作が選ばれている。また、表 4.5, 4.6 より、どの指標においても、喜と楽に対応する情動ワードの喜びと楽しいに有意差がみられないことから、被験者らは今回の動作においても指標においても、喜と楽の区別がほとんどできていないことがわかる。

ラッセル円環モデルとラバン理論の指標における、喜怒哀楽に対応する情動ワードである喜び・怒り・悲しみ・楽しいの評価平均値と全 16 動作の評価平均値の距離を計算した結果を

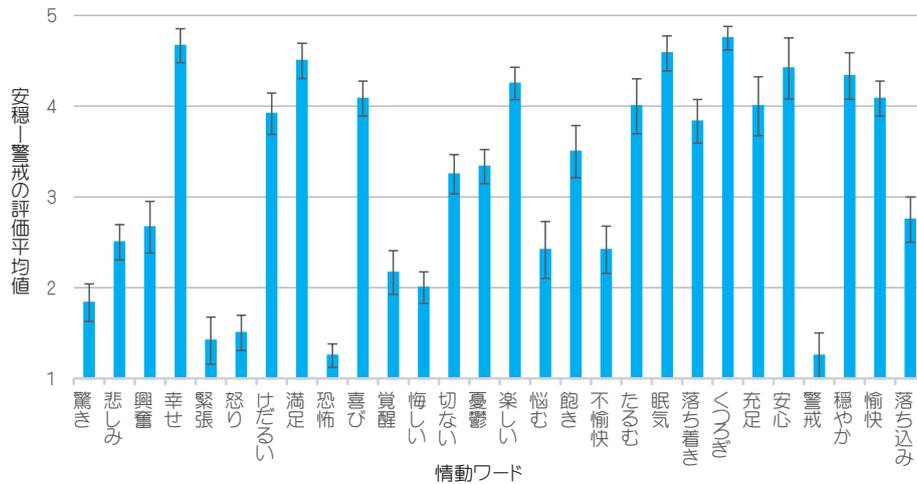


図 4.6: 情動ワードの警戒-安穩での評価結果

以下に示す。以下のデータは昇順の上位6つのデータであり、()内は距離を表している。

- ・喜び 15 (0.672) 6 (0.878) 14 (0.882) 13 (1.667) 10 (1.924) 1 (1.954)
- ・怒り 11 (2.270) 5 (2.514) 2 (2.526) 1 (2.803) 13 (2.807) 9 (2.957)
- ・悲しみ 4 (1.010) 11 (1.511) 12 (1.583) 5 (1.909) 9 (1.990) 16 (2.062)
- ・楽しい 6 (0.890) 15 (0.965) 14 (1.051) 13 (1.884) 1 (2.126) 10 (2.205)

この結果と最も喜怒哀楽に見える動作を選ばせた結果を比較すると、どの動作も上位6つ以内に入っており、最も近い動作は必ず選ばれていることがわかった。

選ばれた動作をそれぞれ観察すると以下のような共通点がみられた。

- ・喜び, 楽しい 速度が速い, 上下動をしている, 連続動作である
- ・怒り 速度が速い, 前移動がある, 突発動作である
- ・悲しみ 速度が遅く, 下移動をしている, 連続動作である

4.3.4 指標同士の関係

指標と動作の関係より、集中-散漫では前後方向の速度とYaw軸の角速度に相関がみられ、それ以外の指標に関しては上下方向の速度、加速度、移動量などに相関がみられた。相関の

現れた項目で比較すると、覚醒-眠気と能動的-受動的で似た傾向が出ており、快-不快と警戒-安穩でも最も相関の強い項目が同じである。

指標と情動ワードの関係より、表 4.5, 4.6 において、ラッセル円環モデルの快-不快・覚醒-眠気で基本 6 感情のほとんどを分類することができ、ラバン理論の能動的-受動的が唯一怒り・恐怖を分類することができることが示されている。

ラッセル円環モデルとラバン理論の情動ワードの評価結果を用い、無相関検定を行った。結果を表 4.7 に示す。表 4.7 より、覚醒-眠気とラバン理論の三つの指標に相関がみられた。覚醒-眠気という身体の状態に関わる指標が身体動作を主眼に考えられているラバン理論の指標と相関があるのは非常に納得のいく結果である。また、快-不快に関してはラバン理論の警戒-安穩との相関がみられた。

4.4 考察

4.4.1 指標と動作の関係

動作との相関を解析した結果、覚醒-眠気と上方向への移動量に相関があった。覚醒時にはエネルギーが高い状況と考えられ、上方向つまり重力に反する方向に動くエネルギーを持ち合わせている。ドローンも高度を上げるためにはプロペラを多く回さなくてはならないため、バッテリーを速く消費してしまう。自然界の中でも上昇時にはエネルギーが必要なことから、人がドローンを観察した際に、上方向に移動できているからバッテリーが豊富である、つまり上方の移動量が多ければ多いほど覚醒度が高いと知覚していると考えられる。

快-不快と動作の関係では加速度の二乗平均の値との相関が強く出ていた。今回の動作では、上下動をしているものが喜びととられており、上下動するためには加速度が大きく変化する。そのことから、この飛び上がるような動作である上下の加速度が大きいという条件に対して相関が生じたと考えられる。

動作要素との相関では、能動的-受動的は、上下方向の速度二乗平均との弱い相関と加速度二乗平均との相関がみられた。これは一定の速度で速く動くということではなく、速度を

変えながら激しく動くことが能動的であることを示している。加速度が大きいということは運動方程式より力Fの値が大きくなることに相当し、この力を無意識のうちに認知していることが考えられる。また、他にも上方向への移動量との強い相関がみられた。これは、ラバン理論のシェイプにも当てはまる。上方向に行くためにも、重力に逆らって上昇しなくてはならないため、エネルギーを消費する。つまり、能動的-受動的はエネルギーの大きさによって表すことができる。

集中-散漫は前後方向の速度二乗平均との相関がみられた。集中-散漫は能動的-受動的と同様で他者との関係性を含んでおり、今回は動画での提示だったために、自分の方向に対してのアプローチが機敏であるほど、自分に対して集中的であるととったと考えられる。さらに、回転の角速度が速ければ速いほど散漫であることを表しており、ドローンに対し、正面を認知し、正面が自分に対して向いていない、もしくは周りをきよろきよろと見回しているというような知覚をし、自分に向いていれば集中、きよろきよろしていれば散漫というように評価していると考えられる。

警戒-安穩は上下方向の加速度との相関がみられた。動作作成の際のレギュレーションとして、エリアが限られていたこともあり、継続的な動作（例えば上下動など）を行うと加速度平均が大きくなる。一方、突発的な動作はしばらく停止した状態から急に動き出すため、加速度平均は小さくなる。また、警戒という言葉の意味からも、不用意に動かないことが予想され、加速度はそのことを表している。

Lassoの結果からは、快-不快・覚醒-眠気のような他者を必要としない指標は上下方向つまり重力方向の要素で表すことができ、能動的-受動的・集中-散漫・警戒-安穩など他者から影響を受ける指標は重力方向だけでなく前後方向つまり他者方向が関係することが示唆された。

以上のことより、重力方向および他者方向が情動表現に寄与していることが示唆され、一方左右方向に関してはあまり情動表現との関係がみられなかった。また、ラバン理論に関して、部分的に人と身体的に遠い飛行型ロボットでも適応する部分が存在することがわかった。

4.4.2 指標と情動の関係

ラッセル円環モデルの日本語版を実験により検証したが、原著版と類似しているものの、単語レベルになるとわずかながら違いがみられた。よって、ラッセル円環モデルを日本語に翻訳して使用する場合には用途によっては注意が必要である。何故違いが出たかについては様々な理由が考えられるが、ワード自体が日本語と英語で異なるということが要因の一つだろう。実際に違いの出ている驚きに関しては、原著では *astonished* が使用されており、舌をまくという表現もあるような言語である。このニュアンスの違いから、原著では *astonished* が快よりも、今回の実験では驚きが不快よりも、といった違いが出たと考えられる。また、文化的な違いも考えられ、日本人は外人に比べ、驚きを嫌う傾向にあるのかもしれない。今回の結果では、原因の特定には至らないが、使用用途によってはそのままのワード配置で使うのは危険だろう。

ラバン理論に対する情動ワードの評価結果より、能動的-受動的に対して、情動ワードが二分化していることがわかった。能動的とは自分から他へはたらきかけるさまを表しており、受動的は逆に他から作用を及ぼされるさまを表している。これらのことから、能動的-受動的は他者との関係性を表していることがわかる。さらに、能動的-受動的ではラッセル円環モデルでは分けられていなかった恐怖と怒りが分離されている。即ち、能動的や受動的などといった他者との関係性によって表現の分類が行われている可能性がある。ブリッジス [2] は情緒の分化として6か月ごろに怒りと恐怖が分化すると述べている。つまり、このころから赤ちゃんは他者を認知し、その関係性から学習し、情緒が分化すると考えられる。情動表出には、こうした他者性を考慮することが必要である。

4.4.3 動作と情動の関係

最も喜怒哀楽に見える動作を選ばせた結果より、喜と楽についてはほとんど区別されていないことがわかった。このことから、喜と楽は文脈によって分類される高次の情動であることが推測される。文脈内で使う際には、人は喜と楽を使い分けることが出来ている。しかし、今回使った指標や動作で分類できないということは、文脈によって分類されるからではない

だろうか。喜怒哀楽は日本では一般的な言葉であるが、喜怒と哀楽がそれぞれ正反対の言葉の組み合わせとして使われており、図 4.3 においても、喜怒哀楽に対応する情動ワードの喜び・怒り・悲しみ・楽しいが三角形のような関係になっていることがわかる。

また、指標とワードの距離より、最も喜怒哀楽に見える動作が、喜怒哀楽に対応するワードの近くに存在していることがわかった。このことから、指標に対し動作を配置することで、任意の情動を表現できる動作指標を作ることができることが示唆されている。

さらに、最も喜怒哀楽に見える動作として選ばれている動作を観察した結果、いくつかの動作パターンがみられた。パターンと指標を組み合わせることによって、様々な情動動作表現が可能だと考えられる。

4.4.4 指標同士の関係

指標と動作の関係より、集中-散漫では前後方向の速度と Yaw 軸の角速度といった他者方向の動作要素に相関がみられ、快-不快と警戒-安穏では上下方向の加速度、覚醒-眠気と能動的-受動的では加速度や上方向への移動量などのエネルギー増減に対して相関がみられた。また、指標と情動ワードの関係より、喜び・悲しみ・怒り・驚き・恐怖を分類するためには、快-不快・覚醒-眠気に能動的-受動的のような他者性を考慮した指標が必要となることが示唆された。さらに、情動ワードを用いた指標同士の無相関検定の結果では、快-不快と警戒-安穏に相関がみられ、覚醒-眠気とラバン理論の三つの指標にも相関があり、中でも集中-散漫が最も相関が強かった。

4.5 情動動作表現モデル

指標と動作の関係では、重力方向と他者方向の動きで情動を表現することが可能なことが示唆され、上下の加速度二乗平均を大きくすることで快度が、上方向移動量を増やすことで覚醒度が上がることなどがわかった。指標と情動の関係では、ラッセル円環モデルの指標によって基本情動のほとんどは分類できるが、怒りや恐怖に関しては今回の指標の中ではラバ

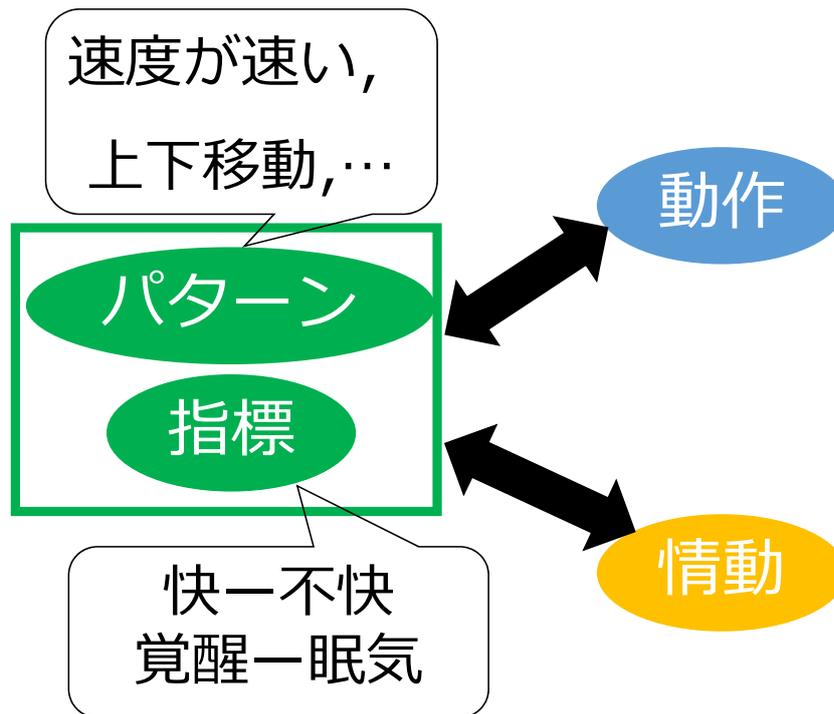


図 4.7: 作成した情動動作表現モデル

ン理論の能動的-受動的のみが分類できることが示された。しかし、能動的-受動的は覚醒-眠気との相関が示されている。動作と情動の関係では、情動動作表現には動作のパターンと
 いうものが必要であり、パターンと指標を組み合わせることで様々な情動動作表現が可能で
 あることが示唆された。これらのことから、本章では図4.7に示す通り、指標をラッセル円環
 モデルの快-不快・覚醒-眠気とし、それにパターンを加えた情動動作表現モデルを提案する。

4.6 本章のまとめ

本章では、指標としてラッセル円環モデルとラバン理論を用い情動動作表現モデルの作成
 を行った。前章にて、情動動作表現には様々な要素を組み合わせた複雑な動作が必要である
 ことが示唆されたため、第三者に情動動作表現を作成させ、その動作を動画で被験者に提示
 し、アンケートに回答させた。その結果、情動と指標の関係が示され、動作と指標の関係も
 いくつか明らかになり、パターンと指標を組み合わせることで様々な情動動作表現が可能で

あることが示唆された。それらを用いて、パターンと指標を組み合わせた情動動作表現モデルを作成した。次章では、この情動動作表現モデルの評価実験を行う。

表 4.3: Lasso 解析結果（ラッセル円環モデル指標）

	項目	快-不快	覚醒-眠気
回 帰 係 数	速度二乗平均（左右方向）	0	0
	速度二乗平均（前後方向）	0	0
	速度二乗平均（上下方向）	0	0
	加速度二乗平均（左右方向）	0	0
	加速度二乗平均（前後方向）	0	0
	加速度二乗平均（上下方向）	-1.202	0
	標準偏差（左右方向速度）	0	0
	標準偏差（前後方向速度）	0	0
	標準偏差（上下方向速度）	0	0
	標準偏差（左右方向加速度）	0	0
	標準偏差（前後方向加速度）	0	0
	標準偏差（上下方向加速度）	0	0
	移動量（左右方向）	0	0
	移動量（前方向）	0	0
	移動量（後ろ方向）	0	0
	移動量（下方向）	0	0
	移動量（上方向）	0	-0.373
	FFT 平均（左右方向加速度）	0	0
	FFT 平均（前後方向加速度）	0	0
	FFT 平均（上下方向加速度）	0	0
Yaw 軸角速度二乗平均	0	0	
Rambda（正規化項の係数）	0.162	0.378	
Intercept（切片）	3.038	3.050	
MSE（平均二乗誤差）	0.386	0.745	

表 4.4: Lasso 解析結果 (ラバン理論指標)

	項目	能動的-受動的	集中-散漫	警戒-安穩
回 帰 係 数	速度二乗平均 (左右方向)	0	0	0
	速度二乗平均 (前後方向)	0	-2.563	0
	速度二乗平均 (上下方向)	0	0	0
	加速度二乗平均 (左右方向)	0	0	0
	加速度二乗平均 (前後方向)	0	0	0
	加速度二乗平均 (上下方向)	0	0	0.352
	標準偏差 (左右方向速度)	0	0	0
	標準偏差 (前後方向速度)	-0.045	0	-0.695
	標準偏差 (上下方向速度)	0	0	0
	標準偏差 (左右方向加速度)	0	0	0
	標準偏差 (前後方向加速度)	-0.330	0	0
	標準偏差 (上下方向加速度)	0	0	0
	移動量 (左右方向)	0	0	0
	移動量 (前方向)	0	0	-0.063
	移動量 (後ろ方向)	0	0	0
	移動量 (下方向)	0	0	0.040
	移動量 (上方向)	-0.785	0	0
	FFT 平均 (左右方向加速度)	0	0	0
	FFT 平均 (前後方向加速度)	-0.058	0	0
	FFT 平均 (上下方向加速度)	-0.009	0	0
Yaw 軸角速度二乗平均	0	0.160	0	
Rambda (正規化項の係数)		0.177	0.088	0.154
Intercept (切片)		3.422	3.333	3.261
MSE (平均二乗誤差)		0.444	0.269	0.295

表 4.5: Holm 法によるラッセル円環モデル指標での情動ワード同士の有意差検定 (*: $p < 0.05 / (16\text{-昇順での順位})$)

p 値の項目	快-不快	覚醒-眠気
驚きと悲しみ	0.00157*	0.000389*
驚きと怒り	1.39×10^{-5} *	1
驚きと恐怖	0.000353*	0.800
驚きと喜び	4.68×10^{-7} *	0.0901
驚きと楽しい	1.12×10^{-8} *	0.213
悲しみと怒り	0.152	3.28×10^{-5} *
悲しみと恐怖	0.544	4.54×10^{-5} *
悲しみと喜び	6.44×10^{-11} *	0.0328
悲しみと楽しい	6.16×10^{-13} *	0.00221*
怒りと恐怖	0.455	0.737
怒りと喜び	1.37×10^{-13} *	0.0426
怒りと楽しい	6.58×10^{-17} *	0.103
恐怖と喜び	1.71×10^{-11} *	0.0343
恐怖と楽しい	1.37×10^{-13} *	0.0805
喜びと楽しい	0.455	0.460

表 4.6: Holm 法によるラバン理論指標での情動ワード同士の有意差検定 (* : $p < 0.05$ / (16-昇順での順位))

p 値の項目	能動的-受動的	集中-散漫	警戒-安穩
驚きと悲しみ	0.223	0.501	0.0284
驚きと怒り	0.00614	0.424	0.253
驚きと恐怖	0.133	0.481	0.0263
驚きと喜び	0.00698	0.729	$6.6 \times 10^{-8*}$
驚きと楽しい	0.0231	1	$1.13 \times 10^{-8*}$
悲しみと怒り	$2.76 \times 10^{-5*}$	0.109	0.00147*
悲しみと恐怖	0.719	0.168	$2.36 \times 10^{-5*}$
悲しみと喜び	$2.2 \times 10^{-5*}$	0.685	$8.23 \times 10^{-6*}$
悲しみと楽しい	0.000205*	0.514	$1.2 \times 10^{-6*}$
怒りと恐怖	$1.16 \times 10^{-5*}$	1	0.298
怒りと喜び	0.807	0.193	$3.51 \times 10^{-9*}$
怒りと楽しい	0.523	0.437	$6.01 \times 10^{-10*}$
恐怖と喜び	$8.87 \times 10^{-6*}$	0.270	$3.08 \times 10^{-11*}$
恐怖と楽しい	$8.66 \times 10^{-5*}$	0.490	$3.9 \times 10^{-12*}$
喜びと楽しい	0.649	0.737	0.534

表 4.7: ラッセル円環モデルとラバン理論の指標の相関関係 (** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$)

項目	相関係数
快-不快と覚醒-眠気	-0.101
快-不快と能動的-受動的	0.302
快-不快と集中-散漫	-0.0327
快-不快と警戒-安穩	-0.754**
覚醒-眠気と能動的-受動的	0.725**
覚醒-眠気と集中-散漫	0.900**
覚醒-眠気と警戒-安穩	0.692**
能動的-受動的と集中-散漫	0.610**
能動的-受動的と警戒-安穩	0.225
集中-散漫と警戒-安穩	0.596**

第5章 モデルを用いた情動動作表現

5.1 本章の背景

前章では、情動動作表現モデルを提案した（図4.7）。その結果、重力方向と他者方向の動きで情動を表現することが可能なことが示唆され、上下の加速度二乗平均を大きくすることで快度が、上方向移動量を増やすことで覚醒度が上がることが分かった。また情動動作表現にはそれぞれの情動において動作パターンを持っており、そのパターンと指標を組み合わせることによって情動動作表現が可能であることが示唆された。本章ではこれらの結果を基に、パターンと指標を用いて動作を作成し、その動作の印象評価実験を行う。

5.2 実験

5.2.1 動作生成

前章で得られたパターンは以下のようになっている。

- ・喜び 速度が速い，上下動，連続動作
- ・怒り 速度が速い，前移動，突発動作（ためがある）
- ・悲しみ 速度が遅い，下移動，連続動作

このパターンを用いて、喜び・怒り・悲しみの標準動作を作成した（図5.1, 5.2, 5.3）。その動作に対し、指標に従って動作の以下のような変化を加えた。

- ・快度増加 上下加速度を上げる
- ・快度減少 上下加速度を下げる

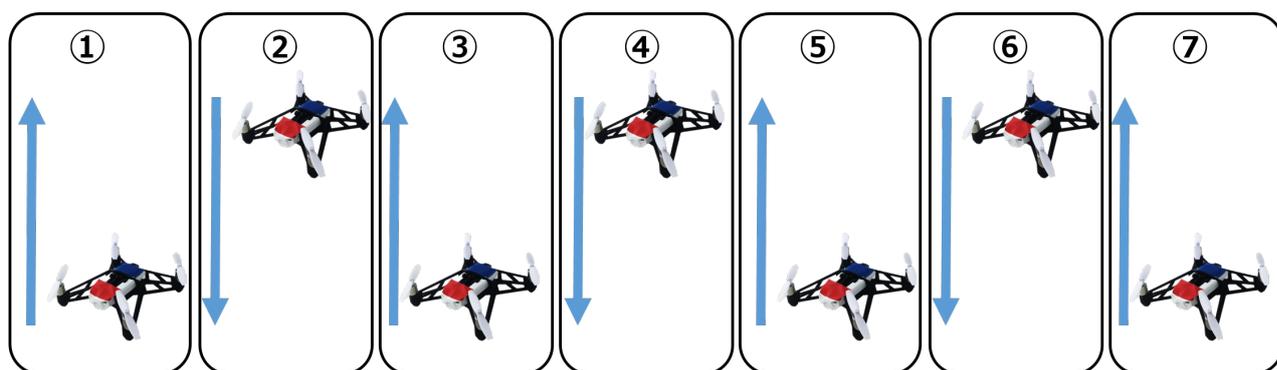


図 5.1: 5章での情動動作表現（喜び）

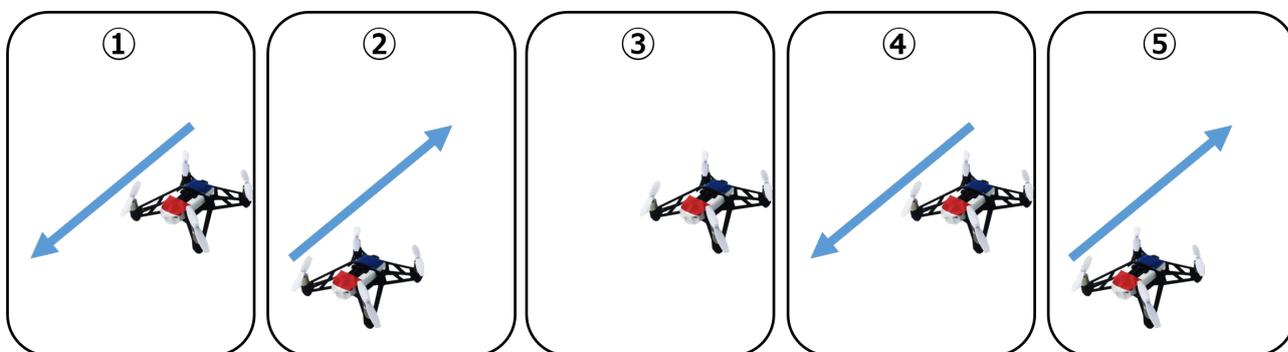


図 5.2: 5章での情動動作表現（怒り）

- ・ 覚醒度増加 上方向移動量を増やす
- ・ 覚醒度減少 上方向移動量を減らす

それらに加えて、他者方向の要素が影響していることを考慮し、以下のような変化を加えた動作も作成した。

- ・ 前増加 前方向移動量を増やす
- ・ 後増加 後ろ方向移動量を増やす

この際、それぞれの要素を含まないパターンの動作には、なるべくパターンを変えないような変更を加えている。なお、怒りについては標準の覚醒度が低いため、覚醒度減少ではなく、覚醒度微増加としている。実際に作成した動作は表 5.1, 5.2, 5.3 のようになっている。

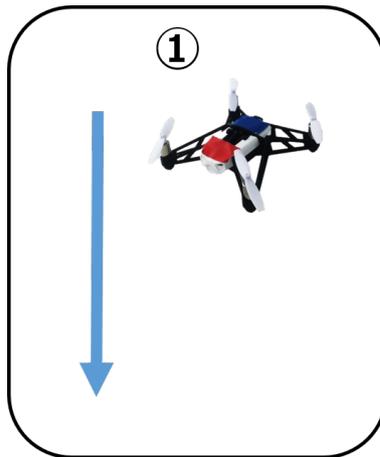


図 5.3: 5章での情動動作表現（悲しみ）

表 5.1: 5章での情動動作表現のバリエーション（喜び）

	標準動作との違い
快度増加	1～7の全てで速度を上げる
快度減少	1～7の全てで速度を下げる
覚醒度増加	1, 3, 5, 7の距離を延ばす
覚醒度減少	1, 3, 5, 7の距離を減らす
前増加	1, 3, 5, 7で上昇しながら前に進む
後増加	1, 3, 5, 7で上昇しながら後ろに進む

動作を前章の Lasso での結果を用い、それぞれの指標で評価した結果が表 5.4, 5.5, 5.6 となっている。

5.2.2 実験プロトコル

上記の動作生成方法で作成した 21 個（3 パターン× 7 バリエーション）の動作が、どのような印象を与えるかを被験者実験により検証した。飛行型ロボットは前章と同様のものを使用した。被験者は 10 名（20 代～40 代）、動作を動画で提示し、アンケートに回答させた。ア

表 5.2: 5章での情動動作表現のバリエーション（怒り）

	標準動作との違い
快度増加	1～5の全てで速度を上げる
快度減少	1～5の全てで速度を下げる
覚醒度増加	1, 4で前進しながら上へ 2, 5で後退しながら下へ
覚醒度微増加	加速度上昇よりも上下の距離が少ない
前増加	1, 4で前の距離を延ばす
後増加	2, 5で後ろの距離を延ばす

表 5.3: 5章での情動動作表現のバリエーション（悲しみ）

	標準動作との違い
快度増加	1で速度を上げる
快度減少	1で速度を下げる
覚醒度増加	1の距離を減らす
覚醒度減少	1の距離を延ばす
前増加	1で下降しながら前に進む
後増加	1で下降しながら後ろに進む

アンケートは以下のように設定した（A.3）。

—動作評価アンケート—

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

表 5.4: 動作の指標での評価結果（喜び）

	標準	快度増加	快度減少	覚醒度増加	覚醒度減少	前増加	後増加
快-不快	-2.912	-10.315	2.602	-2.295	-1.079	-3.074	-2.328
覚醒-眠気	3.211	3.281	3.110	3.091	3.226	3.110	3.312

表 5.5: 動作の指標での評価結果（怒り）

	標準	快度増加	快度減少	覚醒度増加	覚醒度微上昇	前増加	後増加
快-不快	3.246	2.947	3.157	0.00229	2.577	3.093	2.879
覚醒-眠気	3.802	3.798	3.787	3.606	3.706	3.796	3.800

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

5.3 結果

アンケートの複数回答の結果を図 5.4~5.10 に示す。また、アンケートの単数回答でそれぞれのパターンの印象の回答数および度合平均の結果を図 5.11, 5.12 に示す。

図 5.4 より、標準動作の結果では、3 章の図 3.4 と比較しても、本章の動作が情動を表現できていることがわかる。

図 5.4~5.10 より、標準動作とそれぞれのバリエーション動作を比較した結果、喜びでは快度増加動作において、怒りの回答数が増加しており、快度減少動作において、くつろぎの回答数の増加および喜びの回答数が減少している。怒りでは、快度増加動作において、くつろぎの回答数が減少しており、覚醒度増加動作では喜びの回答数の増加および怒りの回答数が減少し、覚醒度微増加動作では驚きの回答数の増加とくつろぎの回答数減少がみられ、前増加動作では驚きの回答数が増加し、後増加動作では怒りの回答数が減少している。悲しみ

表 5.6: 動作の指標での評価結果 (悲しみ)

	標準	快度増加	快度減少	覚醒度増加	覚醒度減少	前増加	後増加
快-不快	3.043	2.927	3.288	3.315	3.342	3.335	2.833
覚醒-眠気	3.824	3.818	3.819	3.823	3.827	3.823	3.822

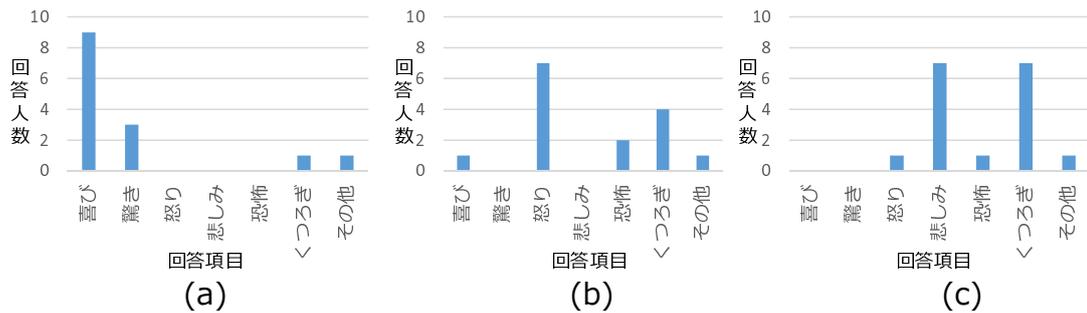


図 5.4: 標準動作印象評価アンケート (複数回答) (a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

では、快度増加動作において、くつろぎの回答数が減少しており、覚醒減少動作でもくつろぎの回答数が減少し、前増加動作では悲しみの回答数が減少し、後増加動作ではくつろぎの回答数が減少している。

図 5.11 より、標準動作とそれぞれのバリエーション動作を比較した結果、喜びでは快度増加動作および快度減少動作において、喜びの回答数が減少している。怒りでは、覚醒度増加動作において、怒りの回答数が減少している。悲しみでは、快度増加動作および快度減少動作、後増加動作において、悲しみの回答数が増加している。

図 5.12 より、度合平均に対して Holm 法によって有意差検定を行った結果、喜びの標準動作と快度減少動作の間に有意差がみられた。

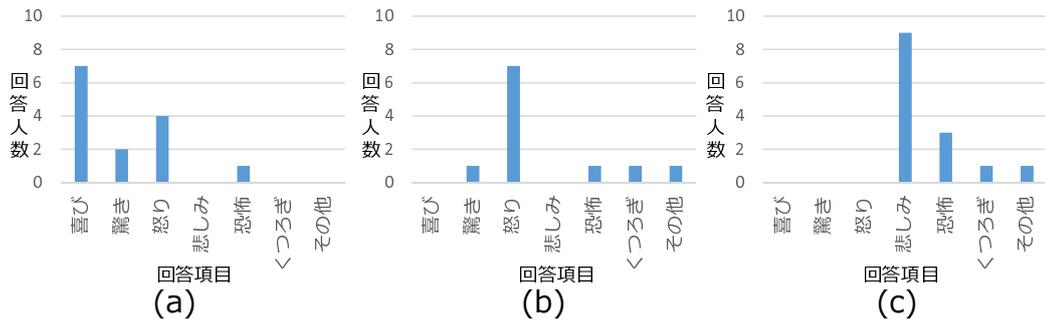


図 5.5: 快感増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

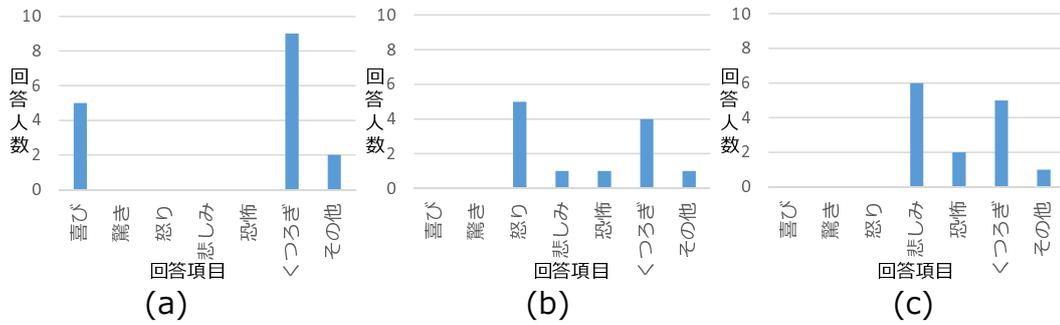


図 5.6: 快感減少動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

5.4 考察

標準動作とそれぞれのバリエーション動作を比較した結果より、指標に沿って動作を変化させることによって印象の変化が起こっていることがわかった。

喜びでは、快増加動作において、怒りの回答数が増加し、喜びの単数回答が減少している。もともと指標の値は0から5となっており、その値を大きく超えたために、「興奮」の状態に印象が変化したと考えられる。ブリッジスは情緒の分化を説明したが、出生時には興奮のみとなっており、そこから情動が分化していく。このことから、情動の根源が興奮か、そう

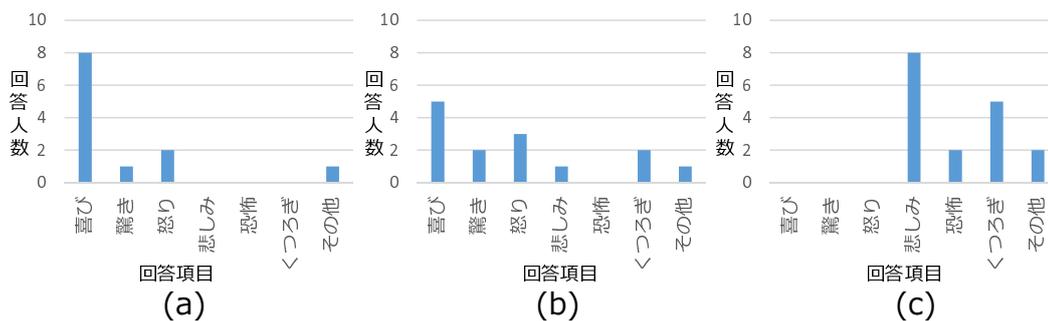


図 5.7: 覚醒度増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

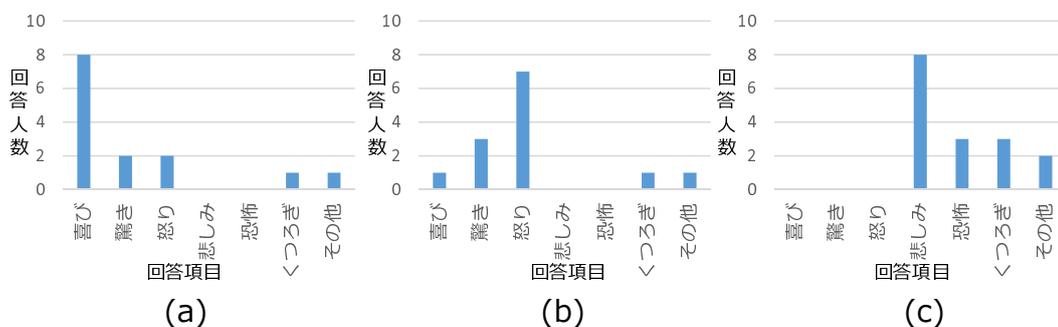


図 5.8: 覚醒度減少動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

でないかという状態であると考えられ、今回のような激しい動作は、根源である興奮に帰着してしまったのだろう。快減少動作において、くつろぎ回答数が増加し、喜びの回答数が増加している。また、喜びの割合も減少している。不快によるため、喜びの回答数および割合が減少するのは指標通りだといえる。覚醒度の増加減少に関しては特に違いがみられないが、基本感情やブリッジスの情緒の分化からもわかるように快情動は細かく分類されていない。よって、多少の変化は吸収されてしまったと考えられる。

怒りでは、覚醒微増加動作において、驚きの回答数が増加し、くつろぎの回答数が減少している。これは覚醒度が上がったためと考えられるため、指標通りだといえる。前増加動作

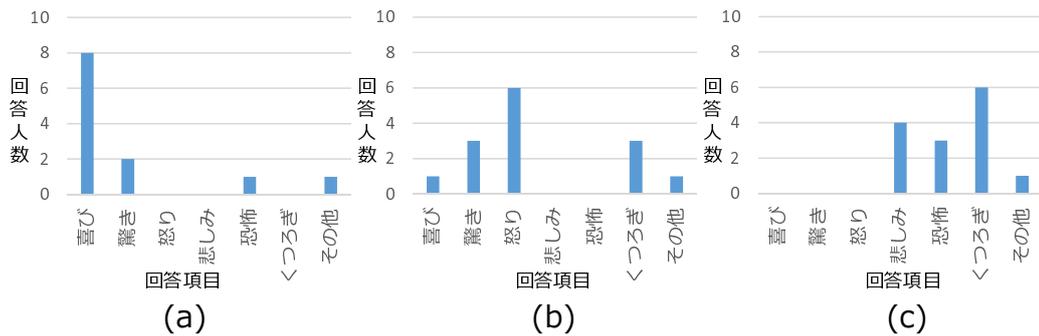


図 5.9: 前増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

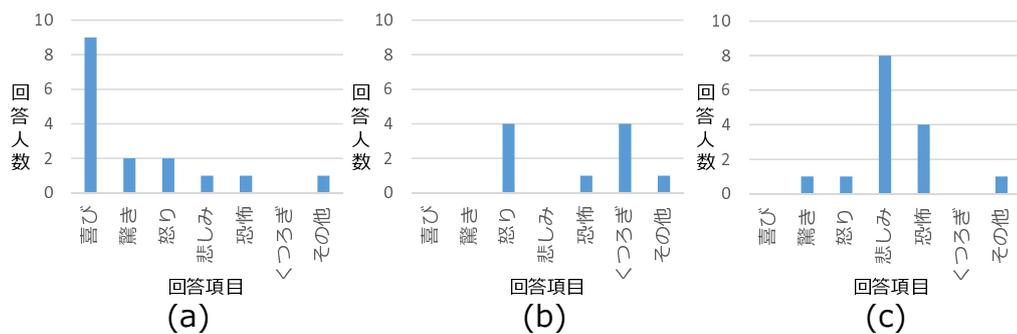


図 5.10: 後増加動作印象評価アンケート（複数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

でもこの動作と似た結果が得られている。覚醒増加動作において、喜びの回答数が増加し、怒りの回答数が減少している。この動作では、上方向の移動量を増加させており、それに伴って、上下の加速度も増加していることから快方向にシフトし、喜びの回答数が増加したと考えられる。後増加動作では、怒りの回答数が減少しており、ラバン理論にある能動度合が減少したのではないかと考えられる。

悲しみでは、快減少動作において、悲しみの単数回答数が増加していた。これは、不快に よっているためと考えられ、指標通りだといえる。前増加動作では、悲しみの回答数が減少 しており、ラバン理論の能動度合が増加したためだと考えられる。後増加動作では、悲しみ

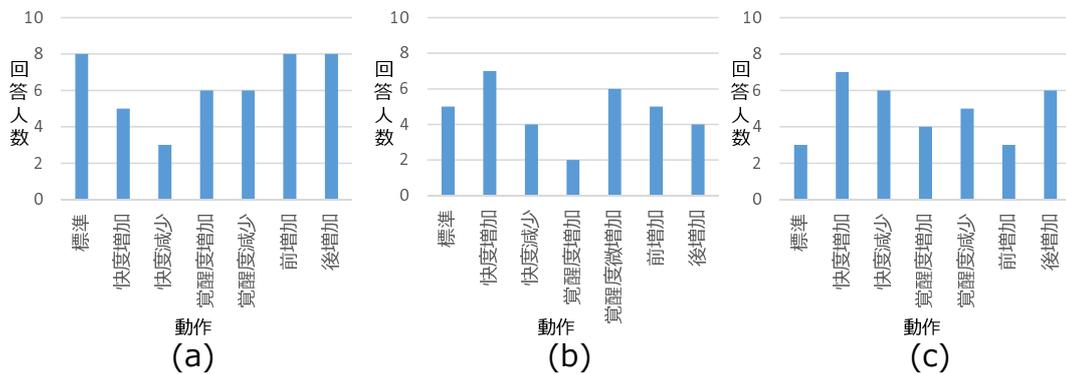


図 5.11: 印象評価アンケート（単数回答）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン

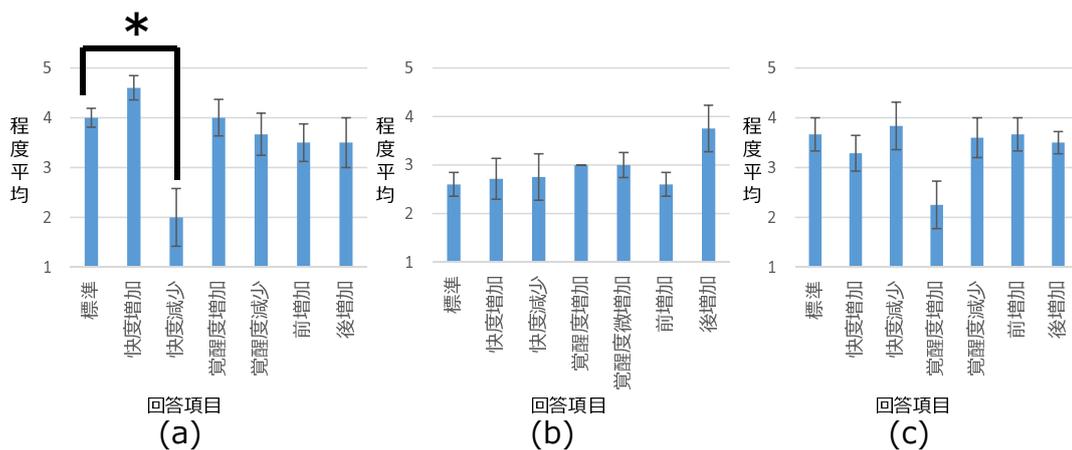


図 5.12: 印象評価アンケート（度合平均）(a) 喜びパターン (b) 怒りパターン (c) 悲しみパターン (* : $p < 0.05$ / (22-昇順での順位))

回答数が増加しており、能動度合が減少したためだと考えられる。

また、どの動作パターンでも、快上昇動作において、くつろぎの回答数が減少する傾向があり、快減少動作において、くつろぎの回答数が増加する傾向にあった。このことから、くつろぎは「速度もしくは加速度が遅い」というパターンをもっていると考えられる。さらに、前後の増加動作によって、ラバン理論の能動度合の増減がみられた。

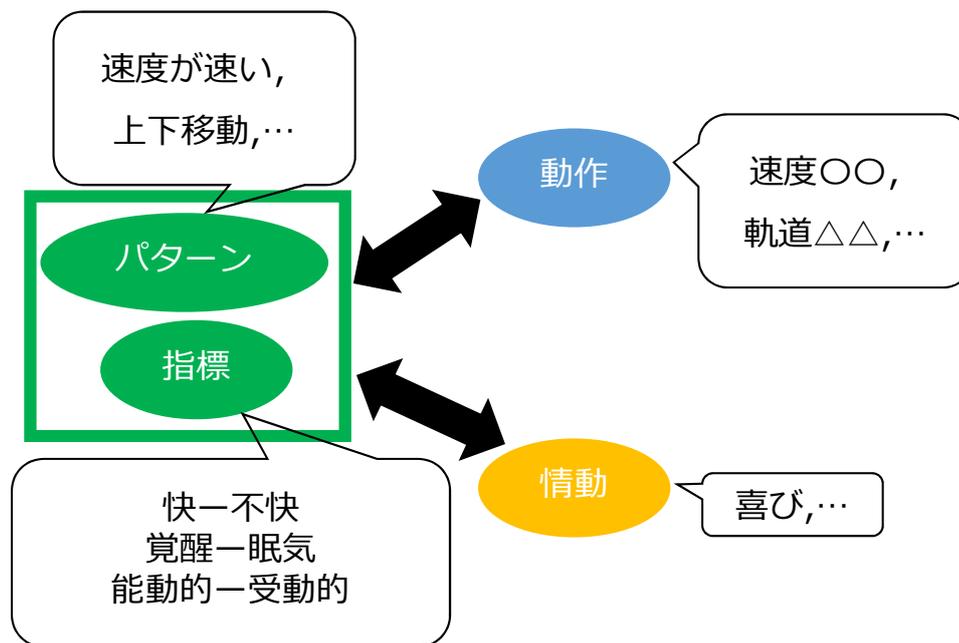


図 5.13: 本研究での情動動作表現モデル

5.5 本章のまとめ

本章では、情動動作表現にはそれぞれの情動において動作パターンを持っており、そのパターンと指標を組み合わせることによって情動動作表現が可能であるとの示唆より、パターンと指標を用いて動作を作成し、その動作の印象評価実験を行った。指標としてラッセル円環モデルの快-不快・覚醒-眠気を用いた。21個（3パターン×7バリエーション）の動作を動画で被験者10名に提示し、アンケートにより印象を回答させた。その結果、パターンと指標の組み合わせによって情動動作表現が可能であることが示され、指標に基づいて動作を変化させることで快感をあげるなどといった印象の変化が可能となった。また、重力方向および他者方向のみで情動動作表現が可能であることがわかり、前後の増加動作によりラバン理論の能動度合の変化をすることが出来ることが示された。能動指標は、前章でも基本感情である怒りと恐怖に分けられる指標であり、有用であるといえる。このことから、図5.13のような情動動作表現モデルを提案する。

第6章 結言

本研究の目的は飛行型ロボットの情動動作表現を生成することであった。そのためには、図 1.3 のような動作と情動の関係を明らかにしなければならないため、本研究では既存の理論を用いながら、動作と情動の関係を明らかにすることを試みた。今回、飛行型ロボットの中でもクワッドローターのロボットを想定した。

3章では、動作と心理状態の関係を説明した理論であるラバン理論を用い、要素を統制した動作を作成し、被験者実験を行った。結果として、動作によって異なる印象を与えることができ、高さによる印象の変化も確認された。しかし、突出して何かしらの情動と感じさせる動作は得られなかった。これは、動作要素を統制した単純な動作であったこと、ラバン理論自体が舞踊学の理論であり、人や人の身体に近いものについては適応できるが、飛行型ロボットのような人と身体的に遠いロボットでは適応できなかったと考えられる。このことから、情動動作表現には様々な要素を組み合わせた複雑な動作が必要であること、既存の理論に従うのではなく、図 3.8 のような独自の指標を用いて情動と動作の関係を規定する情動動作表現モデルが必要であることが示された。

4章では、3章で示された情動動作表現モデルをベースに指標としてラッセル円環モデルとラバン理論を用い、指標と動作の関係および指標と情動の関係を調べた。実験では、前章にて、情動動作表現には様々な要素を組み合わせた複雑な動作が必要であることが示唆されたため、第三者に情動動作表現を作成させ、その動作を動画で被験者に提示し、アンケートに回答させた。その結果、情動と指標の関係が示され、動作と指標の関係もいくつか明らかになった。指標と動作の関係では、重力方向と対人方向の動きで情動を表現することが可能なことが示唆され、上下の加速度二乗平均を大きくすることで快感が、上方向移動量を増やすことで覚醒度が上がることなどがわかった。指標と情動の関係では、ラッセル円環モデル

は基本情動のほとんどを分類することができるが、怒りや恐怖に関しては今回の指標の中ではラバン理論の能動的-受動的を用いてのみ分類できることが示された。また、動作と情動の関係から、パターンと指標の組み合わせによって情動動作表現が可能であることが示された。これらの結果から、パターンと指標を組み合わせた情動動作表現モデルを作成した。

5章では、前章で作成した情動動作表現モデルに基づき、パターンと指標を用いて動作を作成し、その動作の印象評価実験を行った。21個（3パターン×7バリエーション）の動作を動画で被験者10名に提示し、アンケートにより印象を回答させた。その結果、パターンと指標の組み合わせによって情動動作表現が可能であることがわかり、指標に基づいて動作を変化させることで快度をあげるなどといった印象の変化が可能となった。また、重力方向および他者方向のみで情動動作表現が可能であることがわかり、前後の増加動作によりラバン理論の能動度合が変化をすることが示された。これらの結果より、改善した情動動作表現モデルを提案した。

以上の通り本研究では、飛行型ロボットの情動動作表現の作成を目的として、情動動作表現モデルを作成し、飛行型ロボットの情動動作表現を実現した。本研究で作成した情動動作表現モデルは図6.1の通りであり、指標と動作の関係として、快-不快では上下加速度二乗平均、覚醒-眠気では上方向移動量、能動的-受動的では前後の移動量との関係が示された。

本論文で提案した情動動作表現モデルは本研究で使用したロボットを使った場合の結果であり、他のロボットでも一致するとは言い切れない。飛行型ロボットといっても多種多様であり、ましてや無機質な飛行しないロボットであった場合に適応できると言い切ることは出来ない。もちろんシミュレーションなどで提示するという方法も存在するが、三角の方が丸よりも攻撃的に見えるなど、どのような形で表現するかによって印象が変わる可能性があり、見かけのバイアスから逃れようがない。この問題の解決するためには、4章で示した方法を用い、他のロボットで情動動作表現モデルを作成すればよい。情動動作表現作成方法は以下の通りである。

1. ロボットでいくつかの情動動作表現を作成する
2. 使用する指標を決定する

3. 被験者実験によって、指標を用いて情動ワードを評価させる

4. 被験者実験によって、指標を用いて動作を評価させ、指標を表し得る動作の要素を Lasso を用いて解析する

5. 動作を観察し、パターンを抽出する

以上の方法で他ロボットにおける情動動作表現モデルを作成することができる。本研究で使用した快-不快などの指標が他のロボットにおいても有効に働くかはわからない。そのため手順2を用い、どのような指標を用いるべきであるかを検討し、手順3で指標を用いて情動ワードを評価させることで明らかにする必要がある。本研究の指標を用いるならば、指標と情動の関係は明らかになっており、これはロボットが変わることによって影響を受けるものではないため、手順3は必要がない。

以上の方法で、様々なロボットによって情動動作表現モデルが作成されることにより、より良い指標が見つかるとともに、情動動作表現において共通する要素が明らかになる。そうした過程を経て、一つの共通情動動作表現モデルにより、様々なロボットでの情動動作表現が可能になる。

本論文では、情動動作表現を生成するという目的に主眼を置いて、説明を行ってきた。しかし、飛行型ロボットが人とコミュニケーションを取るという課題は、それだけでも興味深い。本研究の実験の中で、飛行型ロボットのコミュニケーションとして興味深いと感じたのは、人が飛行型ロボットのような無機質なロボットであったとしても、人にマッピングをして情動を認識しようとする点である。本研究ではどのようなメカニズムでマッピングが起きているのかはわからないが、このメカニズムを調べることは、人がコミュニケーションにおいてどのような要素を重要視しているのかということをも明らかにする糸口になると考えられる。

また、飛行型ロボットがコミュニケーションロボットとして参入することで、三次元空間の位置関係の考慮が必要となってくる。本研究では、飛行型ロボットが高度を変えることによって、印象が変化することがわかっている。この高度を変えるということは、飛行型ロボットならではのと言える。今まで、コミュニケーションを行う際の位置関係は二次元平面の検討

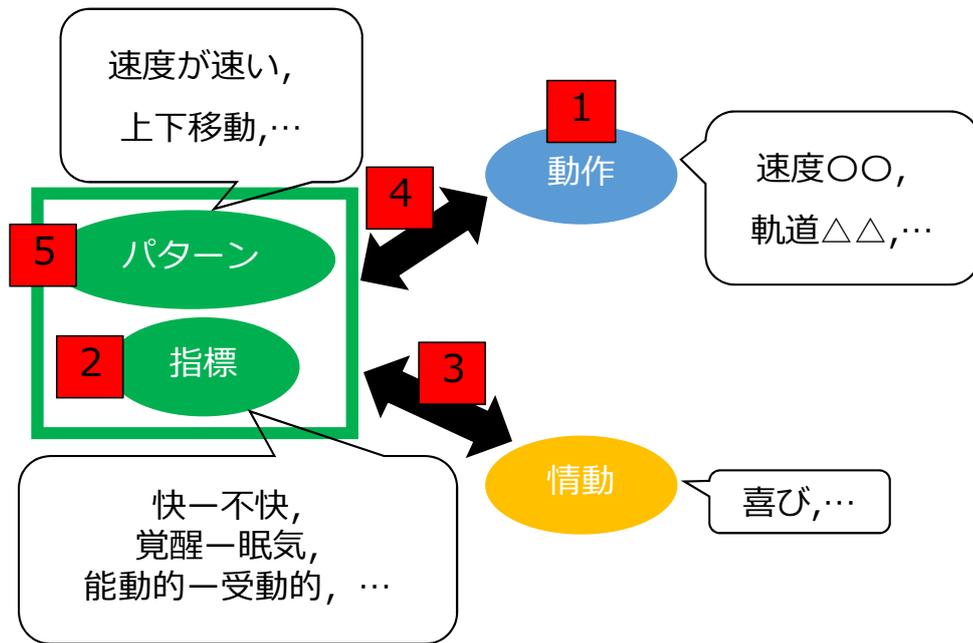


図 6.1: 共通情動動作表現モデル

であった。こうした、三次元空間の位置が関係性にどのような影響を与えるのかを、今後さらに検討していきたい。

コミュニケーションロボットはこれまで多く研究されてきたが、結論として外見や身体性を人間に似せることによって親近感を得られ、コミュニケーションが取りやすくなるというものが大半であった。同族であるということは親近感につながると考えられる。しかし、同族の形をしているが故にロボットは人間と比べられ、異なる部分を違和感として指摘されてきた。ロボットにはロボットの得意なものがあるはずである。機械で作られた身体は屈強で、様々な可能性を感じさせる。それこそ、人間が単独ですることのできない「飛行」を単独ですることができる。コミュニケーションロボットに人とは違う身体性を持たせることには、大きな意味があるのではないだろうか。

本研究は、飛行型ロボットが人とコミュニケーションを取るという課題に対しての初めの一歩にすぎないが、結果として、今回は飛行型ロボットの新たな可能性の発見や情動表現のための情動動作表現モデルを得ることができ、共通情動動作表現モデルの提案を行った。本

研究によって、無機質なロボットが人のパートナーとなるような、コミュニケーションロボットの幅が広がることを期待する。

謝辞

本研究を行うにあたり，日頃よりご意見，ご指導をいただきました，知能システム学講座末廣尚士教授，工藤俊亮准教授，富沢哲雄助教に感謝致します．また，講座内で共に学び，実験等に協力して下さった学生の皆様，長井研究室をはじめ，他研究室，他講座であっても，多くのご協力，ご助言をくださった皆様，大学に通わせてくださった両親，天国で見守ってくださった祖父および愛犬に感謝の意を表します．

思えば，我を通した研究でしたが，それを修士論文という形でまとめることが出来たこと，非常に嬉しく思っております．こうしてまとめることが出来たのは，私を支えてくださる皆様のご尽力の賜物です．博士前期課程でこの講座に進学出来て良かったと心から思っております．私は来年から博士後期課程へと進学しますが，この日々を胸に研究に打ち込みたいと思います．

最後になりましたが，関係者の皆様に心から感謝致します．本当にありがとうございました．

付録A アンケート

付録として、本研究の実験で使用したアンケートを掲載する。

A.1 3章実験アンケート

動作1

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

動作2

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

動作3

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

動作4

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

動作5

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【
】

動作6

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【
】

動作7

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【
】

動作8

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽
肯定 否定 快 不快

どれでもないー少しー中程度ーとても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【
】

動作9

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どれでもない—少し—中程度—とても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

動作10

どの印象をもちますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どの印象が最も強いですか？また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ 退屈 くつろぎ 心配 気楽

肯定 否定 快 不快

どれでもない—少し—中程度—とても

その他に何か気づいた点があれば以下にお願いします。

【

A.2 4章実験アンケート

Q1：動作がどのような印象を表すように見えるかを以下の項目に回答してください

回答例

能動的	①	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	③	4	5	散漫
警戒	1	②	3	4	5	安穩
快	1	2	3	④	5	不快
覚醒	1	2	③	4	5	眠気

能動的に見える場合は
1に近い数を選び、
受動的に見える場合は
5に近い数を選んで下さい
以下の項目も同様

動作1

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作2

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作3

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作4

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作5

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠氣

動作6

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠氣

動作7

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠氣

動作8

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠氣

動作9

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠氣

動作1 0

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作1 1

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作1 2

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作1 3

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作1 4

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作15

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

動作16

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

Q2：もっとも喜怒哀楽それぞれに見える動作を選んでください

『喜び』

以下に動作 1~16 までの一つの番号を記入

番号：_____

『怒り』

以下に動作 1~16 までの一つの番号を記入

番号：_____

『哀しみ』

以下に動作 1~16 までの一つの番号を記入

番号：_____

『楽しい』

以下に動作 1~16 までの一つの番号を記入

番号：_____

Q3：以下のワードがどのような印象かを以下の項目に回答してください

<u>『驚き』</u>						
能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

<u>『悲しい』</u>						
能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

<u>『興奮』</u>						
能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

<u>『幸せ』</u>						
能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

<u>『緊張』</u>						
能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『怒り』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『けだるい』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『満足』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『恐怖』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『喜び』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『覚醒』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『悔しい』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『切ない』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『憂鬱』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『楽しい』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『悩む』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『飽き』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『不愉快』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『たるみ』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『眠気』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『落ち着き』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『くつろぎ』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『充足』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『安心』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『警戒』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『穏やか』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『愉快』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

『落ち込み』

能動的	1	2	3	4	5	受動的
集中	1	2	3	4	5	散漫
警戒	1	2	3	4	5	安穩
快	1	2	3	4	5	不快
覚醒	1	2	3	4	5	眠気

A.3 5章実験アンケート

動画を見て各動作に対して以下のアンケートに回答してください。

動作1

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作2

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作3

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作4

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作5

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作6

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作7

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作8

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作9

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作10

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作11

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作12

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作13

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作14

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作15

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作16

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作17

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作18

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作19

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作20

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

動作21

Q：ドローンは何を表現しているようにみえますか？（複数回答可）

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

Q：どの印象が最も強いですか？

また、それはどの程度ですか？

喜び 驚き 怒り 悲しみ

恐怖 くつろぎ その他（ ）

弱い 1 2 3 4 5 強い

以上で終了です。

ご協力ありがとうございました。

参考文献

- [1] 正田悠, 新田晴, 鈴木紀子, 岸本和香, 阪田真己子. 表情と音声の情動知覚における視聴覚相互作用: 情動判断と反応時間の分析. *JCSS Japanese Cognitive Science Society*, pp. 151–167, 2014.
- [2] K.M.B.Bridges. Emotional development in early infancy. *Child development*, pp. 324–341, 1932.
- [3] Jekaterina Novikova and Leon Watts. A design model of emotional body expressions in non-humanoid robots. *International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 353–360, 2014.
- [4] 三輪洋靖, 伊藤加寿子, 高信英明, 高西淳夫. 人間との情緒的コミュニケーションを目的とした人間形頭部ロボットの開発 (第 3 報, 情動方程式・ロボットパーソナリティの導入). 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 70.699, pp. 3244–3251, 2004.
- [5] 坂本大介, 神田崇行, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博. 遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性. 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 12, pp. 3729–3738, 2007.
- [6] Massimiliano Zecca, Nobutsuna Endo, Shimpei Momoki, Kazuko Itoh, and Atsuo Takanishi. Design of the humanoid robot kobian-preliminary analysis of facial and whole body emotion expression capabilities. In *Humanoid Robots, 2008. Humanoids 2008. 8th IEEE-RAS International Conference on*, pp. 487–492. IEEE, 2008.
- [7] 小林尚登. ロボットと人間のコミュニケーションと協調. 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 6, pp. 18–23, 1994.
- [8] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平. 人-ロボットの対話におけるロボット同士の対話観察の効果. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 85, No. 7, pp. 691–700, 2002.
- [9] 小林宏, 菊池耕生, 小野木佑, 越智一広. 昆虫の視覚による帰巢行動を参考にした飛行ロボットのナビゲーション. 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 68, No. 668, pp. 1104–1112, 2002.
- [10] 木村洋介, 長濱峻介, 菅野重樹. 食べる動作を行うロボットが人間に与える印象についての研究. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 28, pp. 1–3, 2014.

- [11] 山添大丈, 米澤朋子. 装着型寄り添いぬいぐるみロボットのための被服牽引による方向提示手法の検討. ヒューマンインタフェースシンポジウム, Vol. 2014, pp. 615–618, 2014.
- [12] Kerstin Dautenhahn, Iain Werry, John Rae, Paul Dickerson, Penny Stribling, and Bernard Ogden. Robotic playmates—analysing interactive competencies of children with autism playing with a mobile robot. *Socially Intelligent Agents—Creating Relationships with Computers and Robots*, pp. 117–124.
- [13] Kasumi Abe, Akiko Iwasaki, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Ayami Yokoyama, Takayuki Shimotomai, Hiroyuki Okada, and Takashi Omori. Playmate robots that can act according to a child’s mental state. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 4660–4667. IEEE, 2012.
- [14] Raquel Ros and Yiannis Demiris. Creative dance: An approach for social interaction between robots and children. In *Human Behavior Understanding*, pp. 40–51. Springer, 2013.
- [15] Steve Yohanan and Karon E MacLean. The role of affective touch in human-robot interaction: Human intent and expectations in touching the haptic creature. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 4, No. 2, pp. 163–180, 2012.
- [16] Takahiro Miyashita, Taichi Tajika, Hiroshi Ishiguro, Kiyoshi Kogure, and Norihiro Hagita. Haptic communication between humans and robots. In *Robotics Research*, pp. 525–536. Springer, 2007.
- [17] Brenna D Argall and Aude G Billard. A survey of tactile human–robot interactions. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 58, No. 10, pp. 1159–1176, 2010.
- [18] 柴田崇徳. メンタルコミットロボット・パロとロボットセラピーの展開. 日本ロボット学会誌, Vol. 24, pp. 319–322, 2006.
- [19] 佐藤知正, 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, Vol. 16.3, pp. 406–411, 2001.
- [20] Iolanda Leite, Marissa McCoy, Monika Lohani, Daniel Ullman, Nicole Salomons, Charlene Stokes, Susan Rivers, and Brian Scassellati. Emotional storytelling in the classroom: Individual versus group interaction between children and robots. Proceedings of the 10th Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI ’15). ACM (to appear), 2015.
- [21] James I Kepner. *Body process: A Gestalt approach to working with the body in psychotherapy*. CRC Press, 2014.

- [22] Line S Löken and Håkan Olausson. The skin as a social organ. *Experimental brain research*, Vol. 204, No. 3, pp. 305–314, 2010.
- [23] 坂本博康, 坂田年男, 井上光平, 浦濱喜一. 顔画像解析による人間の快・不快の計測手法 (一般セッション, 事例ベースメディア解析). 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 106, No. 230, pp. 1–8, 2006.
- [24] 松下晋, 中川匡弘. 光トポグラフィーによる感性情報解析. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 88, No. 8, pp. 994–1001, 2005.
- [25] 阪田真己子, 柴眞理子, 蓼沼眞. 身体表現における感性情報の認知: 印象評価分析と視線分析 (感性情報処理とマルチメディア技術および一般). 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 26, No. 33, pp. 9–12, 2002.
- [26] 坂本孝丈, 竹内勇剛. 身体的なインタラクションを通じた他者性認知過程のモデル化. HAI シンポジウム, 2015. D-2.
- [27] Judith Anne Horton, Pauline Rose Clance, Claire Sterk-Elifson, and James Emshoff. Touch in psychotherapy: A survey of patients' experiences. *Psychotherapy: Theory, Research, Practice, Training*, Vol. 32, No. 3, p. 443, 1995.
- [28] 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, 2008. 2D-4.
- [29] Massimiliano Zecca, Yu Mizoguchi, K. Endo, F. Iida, Y. Kawabata, Nobutsuna Endo, Kazuko Itoh, and Atsuo Takanishi. Whole body emotion expressions for kobian humanoid robot -preliminary experiments with different emotional patterns-. *The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 381–386, 2009.
- [30] Valiallah Monajjemi, Jens Wawerla, Richard Vaughan, and Greg Mori. Hri in the sky: Creating and commanding teams of uavs with a vision-mediated gestural interface. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 617–623, 2013.
- [31] 杉山敦, 堀浩一. クアッドローター型 uav による能動的衝突の制御. 人工知能学会全国大会, 2014. 2L3-1.
- [32] Fritz Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, pp. 243–259, 1944.
- [33] 佐野智子. 音声を用いた感情表出と感情認知の研究. 青山心理学研究, Vol. 1, pp. 29–35, 2001.

- [34] J.A.Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Society Psychology*, Vol. 39, pp. 1161–1178, 1980.
- [35] Sherri C Widen and James A Russell. Children acquire emotion categories gradually. *Cognitive development*, Vol. 23, No. 2, pp. 291–312, 2008.
- [36] James A Russell and Merry Bullock. Multidimensional scaling of emotional facial expressions: similarity from preschoolers to adults. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 48, No. 5, p. 1290, 1985.
- [37] Toru Nakata, Taketoshi Mori, and Tomomasa Sato. Analysis of impression of robot bodily expression. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 14.1, pp. 27–36, 2002.
- [38] P.Ekman and F.V.Wallace. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 17.2, p. 124, 1971.
- [39] 福田玄明, 植田一博. 生物らしさの知覚に伴う脳活動-実際の生物とロボットを用いて-. HAI シンポジウム, 2011. I-1A-2.