

# ラッセル円環モデルとラバン理論を用いた 飛行型ロボットの動作表現 ～飛行型ペットロボット実現に向けた検討～

## Emotional Body Expressions Using Circumplex Model of Russell and Laban Theory for Flying Robots —Study to Realize the Flying Pet Robot—

日永田智絵<sup>1\*</sup> 工藤俊亮<sup>1</sup> 末廣尚士<sup>1</sup>  
Chie Hieida<sup>1</sup> Shunsuke Kudoh<sup>1</sup> Takashi Suehiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学

<sup>1</sup> The University of Electro-Communications

**Abstract:** This paper describes emotional body expressions by flying pet robots. We carried out some subjective evaluation experiments that clarified the relationship between the parameters and subjective feeling of the expressions. Then, emotional body expressions were designed by eight people except authors. The results showed that we discovered a possibility in some expressions for flying pet robots. In future, drones will be able to express their emotional states to human users. Such expressions are expected to enrich the communication between the flight robots and human users.

### 1 はじめに

近年、飛行型ロボットが注目されている。飛行型ロボットは段差などの障害物をもの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 [1][2].

我々はこうした飛行型ロボットが常に人の身近に存在しコミュニケーションをとることで、人のパートナーロボットとなれるのではないかと考えた。そして、人のパートナーとなれる飛行型ペットロボットの実現を目指し、コミュニケーション能力の一つとして、人に対し情動を伝える動作表現を検討することとした。

この研究によって、図 1 のような様々な場面で身体動作表現を加えることができる。例えば、犬にfrisbeeを投げると、吠えて取りに行き尻尾を振って帰ってくることもある。これは、犬が喜んでfrisbeeを持ってきているように見えると考えられる。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ができる。このことは日常的に一緒にいるロボットとして、自然なコミュニケーションとなり有用である。

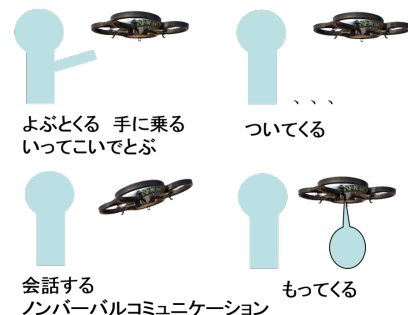


図 1: 飛行型ペットロボットの将来ビジョン

先行研究 [3] では、ラバン理論を考慮し、Roll, Pitch, Yaw の振り子運動など重心のあまり動かない単純な動作を作成した。しかし、この際に作った動作は明確な情動を想起させることができなかった。これは、動作が単純だったためと考えられ、動作で情動を想起させるためには、いくつかの複合的な要素の介在が必須である。

そこで、情動を想起させるための動作の複合的な要素を解析するため、出来るだけ指定の情動を想起させる動作を作りこみで作成し、その動作を解析することとした。動作作成では著者ら以外の第三者に喜怒哀楽を想起させる動作を作成させ、動作の印象評価として、作成させた動作を被験者に評価させた。評価させる指

\*連絡先：電気通信大学 情報システム学研究所  
情報メディアシステム学専攻 知能システム学講座  
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1  
E-mail: hieida@taka.is.ucc.ac.jp

標として、ラッセル円環モデル [4] で使用されている快-不快・覚醒-眠気の二つとラバン理論 [5] のエフォートで用いられる能動的-受動的・集中-散漫・警戒-安穩の三つで合計 5 つの指標を用いた。ラッセル円環モデルは、情動を快-不快・覚醒-眠気の二次元上で表せるとしたモデルであり、様々な研究で用いられている。ラバン理論は舞踊学の理論で動きと心理状態の関係を説明した理論である。動作と情動の関係性を明らかにするために、情動のモデルの代表としてラッセル円環モデルを、動作の理論としてラバン理論を用い、それぞれの関係性を検証する。関係性の検証を通し、情動を想起させる飛行型ロボットの身体動作表現を作成するとともに、情動を想起させるために必要な動作要素の解明を目指す。

情動表現を行う研究は様々行われているが、情動表現のための動作の指標を示すものではない [6][7]。中田らは、ラバン理論を用いて身体動作表現を作成した [5]。また、Novikova らは人ではないロボットを用いて身体動作表現を行っている [8]。両者とも使用しているロボットは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、我々が扱いたい飛行型ロボットは、身体の形状が人とかけ離れているためにどのような表現を行えば良いかわかっていない。そこで我々は、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する。また、三輪ら [9] は感情モデルとしてラッセル円環モデルに確信-不確信の軸を追加し、6 感情の表現を行っている。表現の部分は作りこみで、6 感情を表現することができる。しかし我々は、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動作表現モデルを作成することを最終的な目標としている。

本研究では、飛行型ロボットの情動動作表現の要素を解析するため、第三者に作成させた動作を被験者に評価させる。そして、ラッセル円環モデルとラバン理論の指標で動作を評価した結果と、その動作に対応する動作パラメータを用いることで、それぞれの指標に関係のある動作パラメータを推定する。さらに、ラッセル円環モデルを日本語の情動ワードで再構築するとともに、ラバン理論と情動ワードとの関係性を明らかにする。指標と情動ワードの関係性がわかることによって、情動ワードと動作パラメータの関係性が考察できる。また、上記の結果を総合し、ラッセル円環モデルとラバン理論の関係性を検証する。そして、情動表現に重要だと思われる指標を求め、任意の情動を表現する動作を作成するための指針とする。

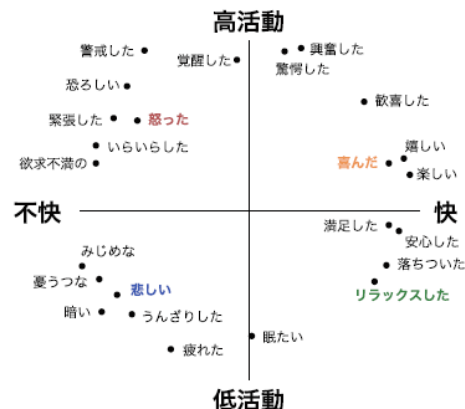


図 2: ラッセルの円環モデルの日本語の一例 [10]

## 2 実験

### 2.1 ラッセル円環モデル

本研究では、ラッセル円環モデルの快-不快・覚醒-眠気を指標とし、動作を被験者に評価させ、それぞれの指標に関連する動作パラメータを推定する。

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定義できるとしたモデルである [4] (図 2)。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 [10]。

ここで疑問なのが、日本語の情動ワードと英語の情動ワードではニュアンスが異なるのではないかということである。今回の実験では、日本人を被験者とするため、日本語の情動ワードを用いた設問を用意する。ラッセル円環モデルをそのまま翻訳して使った場合、ニュアンスの違いからモデルが異なってしまう可能性がある。よって、日本語の情動ワードと快-不快・覚醒-眠気との関係性を検証する必要がある。そこで、動作の評価と同様に、日本語の情動ワードを快-不快・覚醒-眠気の指標で評価し、日本語版ラッセル円環モデルを構築する。さらに、情動ワードの評価結果と動作の評価結果を用い、ラッセル円環モデル内の情動ワードと動作の関係性を考察する。

今回、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する。

## 2.2 ラバン理論

本研究では、ラッセル円環モデルと同様に、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、動作を被験者に評価させ、それぞれの指標に関連する動作パラメータを推定する。

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規定する理論である [5]。このラバン理論の根幹には、ダーウィンが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。

ラバン理論にはエフォートとシェイプという考えがあり、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酔（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)。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。

ラバン理論は動きと心理状態の関係を説明したものだが、喜びや悲しみなどといった情動ワードとの関係性はわかっていない。そこで、日本語の情動ワードを、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-安穩の指標で評価する。そして、情動ワードの評価結果と動作の評価結果を用い、情動ワードと動作の関係性を考察する。また、前項のラッセル円環モデルの指標と本項のラバン理論の指標それぞれで情動ワードと動作を評価した結果を用い、互いの相関を求めることで互いの関係を考察する。

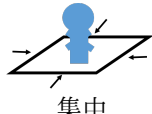

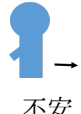
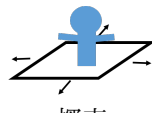


## 2.3 システム

飛行型ロボットとして、Parrot 社の RollingSpider を用いた (図3)。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ーが取り付けられており、内部には3軸の加速度センサーとジャイロセンサーを有している。サイズは手のひらサ

表 1: エフォートの分類

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

表 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

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。

## 2.4 実験プロトコル

今回、第三者にドローンで動作を作成させ、被験者に動作を評価させる実験を行った。動作作成者は8名 (2人 × 4チーム, 20代), 被験者 (評価者) 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。動作作成者は喜怒哀楽を想起させるドローンの動作を 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。全16動作 (4チーム × 4動作) を被験者12人に動画で提示し、アンケートに回答させた。アンケートの内容は以下のように設定した。

### —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。

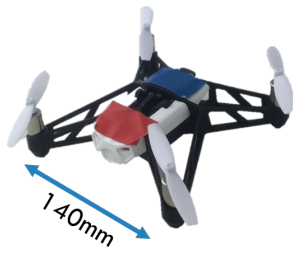


図 3: RollingSpider

Q1 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。このアンケートの他にも情動ワードの印象を聞くアンケートを Q1 と同様の手法で行った。

### 3 結果

#### 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 3)。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パラメータ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パラメータ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パラメータで無相関検定を行った (表 4)。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。

警戒-安穏は、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

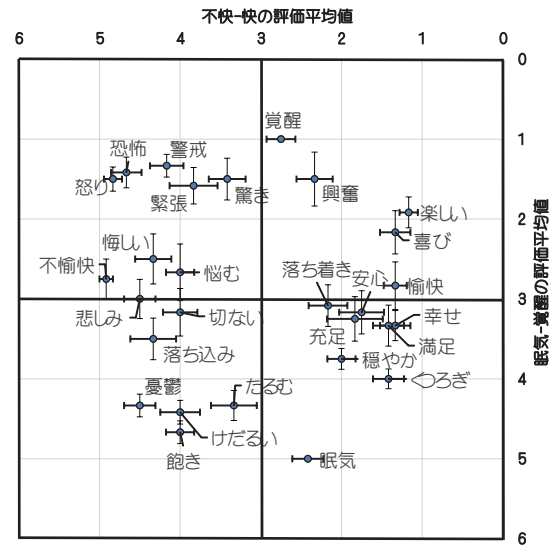


図 4: 日本語で評価したラッセル円環モデル

れた。この結果は、上下方向の加速度が大きいほど安穏であるというものであった。

#### 3.2 指標と情動ワードの関係

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 5)。

ラッセル円環モデルを日本語で再構築した結果を図 4 に示す。図 4 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。しかしながら、象限ごとに比較してみると、悲しみが第一象限より存在したり、驚きが第二象限にあ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 [11] が提唱した 6 感情である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、このモデルだけでは情動の表出には不十分であることを示唆している。

ラバン理論に対する情動ワードの評価結果を図 5, 6, 7 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。

#### 3.3 動作と情動ワードの関係

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



表 3: ラッセル円環モデルの指標と動作パラメータの相関関係 (\*\* : 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

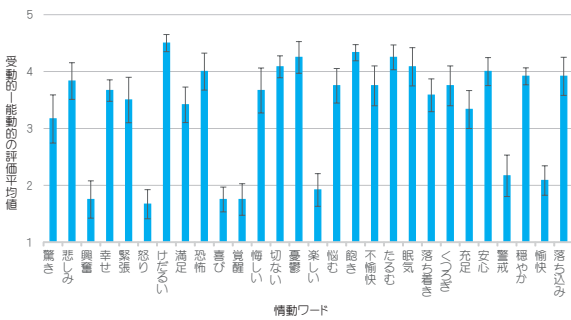


図 5: 情動ワードの能動的-受動的での評価結果

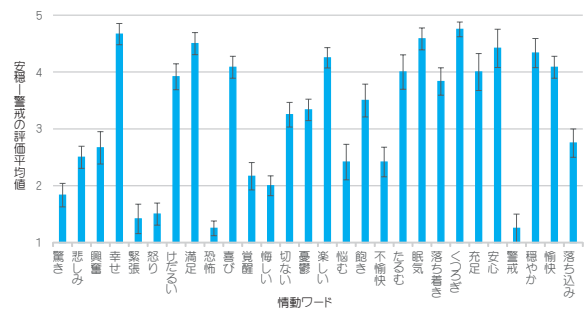


図 7: 情動ワードの警戒-安穏での評価結果

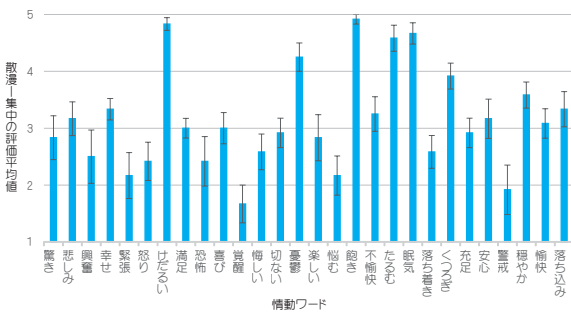


図 6: 情動ワードの集中-散漫での評価結果

- ・怒 2, 11
- ・哀 4, 12, 16
- ・楽 6, 15

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 5 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。

表 4: ラバン理論の指標と動作パラメータの相関関係 (\*\* :  $p < 0.01$  \* :  $p < 0.05$ )

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

### 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5において、6感情にも含まれている喜び・悲しみ・怒り・驚き・恐怖を分類するためには、最低限、快-不快・能動的-受動的・覚醒-眠気もしくは警戒-安穩が必要となる。

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6に示す。表6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 考察

### 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

表 6: 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**

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。

動作パラメータとの相関では、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

表 5: Holm 法による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	快-不快	覚醒-眠気	能動的-受動的	集中-散漫	警戒-安穩
驚きと悲しみ	0.00157*	0.000389*	0.223	0.501	0.0284
驚きと怒り	$1.39 \times 10^{-5}$ *	1	0.00614	0.424	0.253
驚きと恐怖	0.000353*	0.800	0.133	0.481	0.0263
驚きと喜び	$4.68 \times 10^{-7}$ *	0.0901	0.00698	0.729	$6.6 \times 10^{-8}$ *
驚きと楽しい	$1.12 \times 10^{-8}$ *	0.213	0.0231	1	$1.13 \times 10^{-8}$ *
悲しみと怒り	0.152	$3.28 \times 10^{-5}$ *	$2.76 \times 10^{-5}$ *	0.109	0.00147*
悲しみと恐怖	0.544	$4.54 \times 10^{-5}$ *	0.719	0.168	$2.36 \times 10^{-5}$ *
悲しみと喜び	$6.44 \times 10^{-11}$ *	0.0328	$2.2 \times 10^{-5}$ *	0.685	$8.23 \times 10^{-6}$ *
悲しみと楽しい	$6.16 \times 10^{-13}$ *	0.00221*	0.000205*	0.514	$1.2 \times 10^{-6}$ *
怒りと恐怖	0.455	0.737	$1.16 \times 10^{-5}$ *	1	0.298
怒りと喜び	$1.37 \times 10^{-13}$ *	0.0426	0.807	0.193	$3.51 \times 10^{-9}$ *
怒りと楽しい	$6.58 \times 10^{-17}$ *	0.103	0.523	0.437	$6.01 \times 10^{-10}$ *
恐怖と喜び	$1.71 \times 10^{-11}$ *	0.0343	$8.87 \times 10^{-6}$ *	0.270	$3.08 \times 10^{-11}$ *
恐怖と楽しい	$1.37 \times 10^{-13}$ *	0.0805	$8.66 \times 10^{-5}$ *	0.490	$3.9 \times 10^{-12}$ *
喜びと楽しい	0.455	0.460	0.649	0.737	0.534

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。

以上のことより、重力方向および対人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。

## 4.2 指標と情動ワードの関係

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、原著版と比べて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 [12] 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。

### 4.3 動作と情動ワードの関係

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。

### 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対人方向のパラメータに相関がみられ、快-不快と警戒-安穩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、最低限、快-不快・能動的-受動的・覚醒-眠気もしくは警戒-安穩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-安穩に相関がみられ、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。

これらの結果から、能動的-受動的と覚醒-眠気を合わせたエネルギーの指標と快-不快の指標及び集中-散漫の指標をこれからの動作作成の指針とする。警戒-安穩は快-不快の重複要素と考えられるため除外し、能動的-受動的と覚醒-眠気は指標と動作の関係より動作パラメータが類似していることから、合わせてエネルギーの指標とした。集中-散漫は喜び・悲しみ・怒り・驚き・恐怖の分類には寄与していなかったものの、他の情動を表現する際には関係する可能性がある。今回の結果は限定的なものではあるが、この指針を手がかりとし、今後の検証を進めていく。そして、最終的には様々な情動を表現できる汎用性のある動作表現モデルを作成を目指す。

## 5 まとめ

本研究では、飛行型ペットロボットの実現のため、飛行型ロボットによる身体動作表現の検討を行った。今回、第三者に喜怒哀楽を想起させる動作を飛行型ロボットを用いて作成させた。作成させた動作を動画で被験者に提示し、アンケートに回答させ、身体動作表現の評価を行った。アンケートでは、ラッセル円環モデルの快-不快・覚醒-眠気とラバン理論の能動的-受動的・集中-散漫・警戒-安穩を指標とし、動作の印象および情動ワードの印象を回答させた。結果として、集中-散漫では前後方向の速度とYaw軸の角速度といった対人方向のパラメータに相関がみられ、快-不快と警戒-安穩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、他者との関係性という要素が情動表現において重要な要素であることが示唆された。

今後は結果として得られた指針を用いて動作を作成し、想定した情動を感じさせることができるかを検証する。こうした研究によって、飛行型ロボットの身体動作表現モデルを完成させ、飛行型ペットロボットの実現を目指す。

## 参考文献

- [1] 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
- [2] 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, 2L3-1, 2014
- [3] 日永田智絵, 工藤俊亮, 末廣尚士, "飛行型ロボットにおけるラバン理論を考慮した身体動作表現", HAI シンポジウム 2014, P-12, 2014
- [4] J.A.Russell, "A circumplex model of affect", Journal of Personality and Society Psychology, Vol. 39, pp.1161-1178, 1980
- [5] 中田亨, 森武俊, 佐藤知正, "ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析", 日本ロボット学会誌, Vol.19, pp.1-8, 2001
- [6] 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, 2008
- [7] 佐藤知正, 中田亨, "人と調和するペットロボットの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
- [8] Jekaterina Novikova, Leon Watts, "A Design Model of Emotional Body Expressions in Non-humanoid Robots", International Conference on Human-Agent Interaction, pp.353-360, 2014
- [9] 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, 70(699), 3244-3251, 2004
- [10] 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, 151-167, 2014
- [11] P.Ekman, and F.V.Wallace, "Constants across cultures in the face and emotion", Journal of personality and social psychology, 17.2, 124, 1971
- [12] K.M.B.Bridges, "Emotional development in early infancy", Child development, 324-341, 1932