

# ラバン理論に基づいた ヒューマノイドロボット身体動作からの感情推定

Emotion Detection from Body Motion of Human Form Robot  
Based on Laban Movement Analysis

増田 恵      加藤 昇平      伊藤 英則  
Megumi Masuda      Shohei Kato      Hidenori Itoh

名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

A set of physical feature values, called Laban feature set, is proposed in order to explain observers impression of bodily expression. The design concept of the Laban feature value set is based on Laban Movement Analysis, which is a famous theory in body movement psychology. In this paper, for practical application to Human-Agent Interaction(HAI), we consider adopt Human Form Robot (HFR) as a motioning object. A correlation of between Laban feature set and HFR's emotions (Happy, Angry, Sad and Relaxed) which subjects estimated was examined. In reference to Russell's circumplex model of affect, we discussed the correlation by each axial ("pleasure-displeasure" and "degree of arousal") characteristic. Finally we presented four estimation equations with the accuracy rates more than 85%.

## 1. はじめに

ロボット技術の発達とヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HCI) 研究の発展により、ロボットが人間とコミュニケーションを取る場合に重要な要素として感情・情動の表出が注目されてきている。ロボットが自身の感情を表出する方法としては、言語情報を用いる方法と非言語情報を用いる方法の2つが考えられる。どちらも伝達効率や実装コストに関して長所・短所を有するが、本研究では感情を表出する方法として非言語情報である身体動作に着目する [1]。身体動作を用いたロボットの感情表出には表示デバイスやスピーカーなどの付加的な装置を必要としない利点がある [2]。

身体動作を用いた心的インタラクションを実現するために必要なことは、ロボットが 1) 自己の身体動作が人間にあたる印象を自覚でき、2) 自律的に自己の身体動作を生成し、3) 表現すべき感情を適切に表出する、技術の確立である。本稿は其中でも 1) を実現する技術として、ロボットの身体動作の特徴と、身体動作に対して人間が感じるロボットの感情との相関を定式化する方法を提案する。

本稿ではまずヒューマンフォームロボット (HFR) におけるラバン特徴量の抽出手法を提案する。次に相関分析を用いてラバン特徴量と表出感情との関係を探る。そして重回帰分析により感情推定式を生成する。最後に感情推定実験を行い、提案手法の有効性を確認する。

## 2. ラバン特徴量

本節ではラバン理論 [3] に基づいた身体動作の特徴量 (以下「ラバン特徴量」) の抽出手法を提案する。

### 2.1 ラバン理論

ラバン理論とは動作体の心理状態と身体運動の相関を規定する舞踊学の理論である。Darwing が提唱した「動物の身体表現の構造に関する理論」を受け継ぎ、Rudlf von Laban を中心とするドイツ表現主義舞踊の創作者らが構築した。ラバン

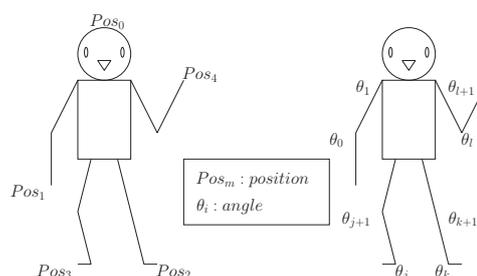


図 1: ヒューマンフォームロボットのリンク構造と単位時間における観測情報

理論の概念は数理的かつ具体的であるため、理工学との親和性が高いといわれている。

### 2.2 対象動作体

動作のラバン特徴量化に際して、本稿では対象とする動作体としてヒューマンフォームロボット (HFR) を採択した。これは人間共存型ロボットへの応用を考慮しているためである。身体動作による心的インタラクションにおいて、HFR を持っている利点としては以下があげられる [4, 5, 6]。

- 人間が持つロボットに対する恐怖感・違和感を軽減する
- 人間が理解しやすい身体動作による感情表現ができる
- 人間が感情移入しやすい
- 人間との間で共同注意が成立しやすい

動作体の身体動作を表す情報としては、四肢先端の位置ベクトル、顔の向いている方向ベクトル、および各関節の角度の時系列データが観測されるものとする (図 1)。座標系はロボットの胸部中央に原点を設定した右手系を用いる。すなわち動作体の前方向、左方向、上方向にて  $x$ ,  $y$ ,  $z$  成分がそれぞれ正となる。

連絡先: 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, Tel/Fax:  
052-735-5625, E-mail: shohey@ics.nitech.ac.jp,  
masuda@juno.ics.nitech.ac.jp

表 1: ラバン特徴量

ラバン特徴項目	特徴	特徴量の抽出法
<i>Space</i>	身体動作の 方向的片寄り具合	四肢先端の単位運動ベクトル (運動ベクトルの単位ベクトル) 、顔単位方向ベクトルの内積の重みつき合計
<i>Time</i>	身体動作の速さ	全関節の角速度の 重みつき合計
<i>Weight</i>	身体動作の力強さ	全関節のトルクの 重みつき合計
<i>Inclination<sub>x</sub></i>	姿勢の 前方向への片寄り具合	重心位置と支持脚中心位置の 前後方向の差
<i>Inclination<sub>y</sub></i>	姿勢の 左方向への片寄り具合	重心位置と支持脚中心位置の 左右方向の差
<i>Height</i>	姿勢の高さ	重心位置と基本重心位置 (直立状態での重心位置)との 上下方向の差
<i>Area</i>	身体の 水平面上の広がり	四肢先端が水平面上に作る 四角形の面積

### 2.3 ラバン特徴量の抽出計算式

本稿ではラバン理論の中でも代表的な 6 つの特徴、*Space*、*Time*、*Weight*、*Inclination*、*Height*、*Area* について、特徴量抽出を行う。表 1 にラバン理論における動作の特徴と、その特徴量の抽出法を示す。時刻  $t$  における動作体のモーション情報から抽出されるラバン特徴量を以下の 6 式で定義する。

*Space* は身体動作の方向的な偏りの程度を示す特徴量であり、下式で計算される。

$$Space(t) = \sum_{m=0}^3 \sum_{n=m+1}^4 a_{mn} (\vec{r}_m(t) \cdot \vec{r}_n(t)) \quad (1)$$

ここで、 $m, n$  は四肢先端および顔の識別番号を表す。 $\vec{r}_m$  は四肢先端  $m$  の単位運動ベクトル ( $m=1,2,3,4$  の場合)、あるいは顔の単位方向ベクトル ( $m=0$  の場合) を表す。 $a_{mn}$  は重み係数であり、部位  $m, n$  の視覚的質量と被注目度を考慮し定義者が設定する。

*Time* は身体動作の速さを示す特徴量であり、下式で計算される。

$$Time(t) = \sum_i b_i \dot{\theta}_i(t) \quad (2)$$

ここで、 $i$  は関節番号を示し  $\dot{\theta}_i$  は関節  $i$  の角速度を示す。 $b_i$  は重み係数であり、部位  $i$  の視覚的質量と被注目度を考慮し定義者が設定する。

*Weight* は身体動作の力強さの程度を示す特徴量であり、下式で計算される。

$$Weight(t) = \sum_i c_i \tau_i(t) \quad (3)$$

ここで、 $i$  は関節番号を示し  $\tau_i$  は関節  $i$  のトルクを示す。 $c_i$  は重み係数であり、部位  $i$  の視覚的質量と被注目度を考慮し定義者が設定する。

*Inclination* は姿勢の偏りの程度を表す特徴量であり、下式で計算される。

$$Inclination(t) = cog(t) - col(t) \quad (4)$$

ここで、 $cog$  は動作体の重心を、 $col$  は支持脚の中心をそれぞれ示す。動作体の前方向、左方向がそれぞれ正となるように設定した。この特長量については前後、左右の各成分について求め、それぞれ *Inclination<sub>x</sub>*、*Inclination<sub>y</sub>* とした。

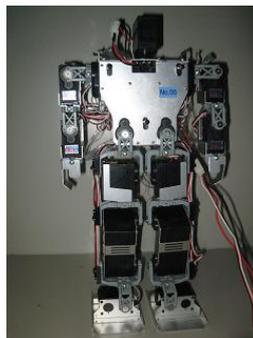


図 2: KHR-2HV の外観



図 3: 回答用紙

*Height* は姿勢の高さを表す特徴量であり、下式で計算される。

$$Height(t) = cog(t) - cog_0 \quad (5)$$

ここで、 $cog$  は重心を示し  $cog_0$  は基本姿勢 (直立) における重心のことを指す。

*Area* は姿勢の水平面上の広がりを表す特徴量であり、下式で計算される。

$$Area(t) = \sum_{m=1}^3 \sum_{n=m+1}^4 \frac{1}{2} |x_m(t)y_n(t) + y_m(t)x_n(t)| \quad (6)$$

$m, n$  は四肢先端および頭部の識別番号を表す。 $x_m, y_m$  は四肢先端の  $x$  座標と  $y$  座標をそれぞれ表す。

以上の数値の 7 つ組を正規化したものを動作のラバン特徴量の時系列とする。そして動作のラバン特徴量を下式で数値化する。

$$Space = \frac{1}{N} \int Space(t) dt \quad (7)$$

ここで、 $N$  は動作時間を表す。他のラバン特徴についても上式と同様に数値化する。

### 3. 予備実験

予備実験として印象評価実験を行った。被験者に動作体の動作を観察させて、動作体の感情を推定評価させた。被験者は 20 代の男女 15 人、身体動作は 8 秒間の全身動作を 40 用意した。動作体には近藤科学 (株) のヒューマンフォームロボット KHR-2HV (自由度 17, 身長 353mm) を用いた。KHR-2HV の外観を図 2 に示す。

#### 3.1 実験手順

印象評価には図 3 に示すような回答用紙を用いた。評価方法は以下である。

被験者は「喜 (Happy)」、「怒 (Angry)」、「哀 (Sad)」、「楽 (Relaxed)」それぞれについて、動作体の感情強度を推定評価して答える。評価は線分上に印を付けることで表現するものとした。その感情を強く感じていると推定するほど 1 に近い位置に、その感情を感じないと推定するほど 0 に近い位置に印をつける。線分の 0 側の端に印を付けた場合はその感情をまったく感じていないと評価したことになる。被験者の評価を線分上に記された印の位置に従い 0 ~ 100 の点数に線形変換した。以降これを「感情評価値」と呼ぶ。また、動作ごとに各感情について評価値の平均をとり、これを「被験者平均」とする。

表 2: 喜怒哀楽とラバン特徴の相関

	<i>Spa</i>	<i>Tim</i>	<i>Wei</i>	<i>Inc<sub>x</sub></i>	<i>Hei</i>	<i>Are</i>
喜	-0.04	0.45	0.46	-0.27	0.33	0.36
怒	-0.21	0.30	0.33	0.01	-0.02	0.20
哀	0.03	-0.38	-0.42	0.47	-0.51	-0.39
楽	0.16	-0.15	-0.12	-0.37	0.36	0.01

表 3: 快群と不快群の比較

	<i>Spa</i>	<i>Tim</i>	<i>Wei</i>	<i>Inc<sub>x</sub></i>	<i>Hei</i>	<i>Are</i>	
快	喜	-0.04	0.45	0.46	-0.27	0.33	0.36
	楽	0.16	-0.15	-0.12	-0.37	0.36	0.01
不快	怒	-0.21	0.30	0.33	0.01	-0.02	0.20
	哀	0.03	-0.38	-0.42	0.47	-0.51	-0.39

表 4: 覚醒群と眠気群の比較

	<i>Spa</i>	<i>Tim</i>	<i>Wei</i>	<i>Inc<sub>x</sub></i>	<i>Hei</i>	<i>Are</i>	
覚醒	喜	-0.04	0.45	0.46	-0.27	0.33	0.36
	怒	-0.21	0.30	0.33	0.01	-0.02	0.20
	哀	0.03	-0.38	-0.42	0.47	-0.51	-0.39
眠気	楽	0.16	-0.15	-0.12	-0.37	0.36	0.01

### 3.2 動作の生成

印象評価実験には前述のとおりヒューマンフォームロボットの 8 秒間の動作を用いた。使用した動作はクレイアニメーションを参考に感情を示していると思われる動作を感情ごとに 6 種類作成し、これらに動作速度、角度等を変更した動作を追加することで、一感情につき 10 種類、計 40 種類の動作を作成した。

### 4. 感情評価値とラバン特徴量の相関

表出感情とラバン特徴の関係を確認するため「各被験者の評価値」と「身体動作のラバン特徴量」の相関を調べた。今回の実験において、*Inclination<sub>y</sub>* については *Space*, *Inclination<sub>x</sub>*, *Height*, *Area* の 4 特徴に対して有意な無相関性が確認できなかった。そのため *Inclination<sub>y</sub>* は除いて考える。

各感情と特徴量の相関係数を表 2 に示す。有意差検定の結果有意水準 1% で正の相関が確認されたものを薄い灰色、有意水準 1% で負の相関が確認されたものを濃い灰色で示した。表 2 により、提案手法により抽出したラバン特徴と表出感情の相関が確認できた。

以下感情評価値とラバン特徴量の相関について考察する。

考察において、ラッセルの感情円環モデル [7] を参考にした。同モデルでは、感情は快-不快・覚醒-眠気の 2 次元上に表される。これに喜怒哀楽を当てはめると図 4 のようになる。つまり、喜楽は快群に、怒哀は不快群に分類され、同様に喜怒哀は覚醒群に、哀楽は眠気群に分類される。

#### 4.1 快-不快とラバン特徴

4 感情を快群と不快群に分割したものを表 3 に示す。これから快群と不快群では「*Inclination<sub>x</sub>*」「*Height*」についての相関関係の正負が逆転していることがわかる。このことから、後ろに偏り、かつ上によった身体動作が「快」を表出する動作の特徴といえる。逆に前に偏り、かつ下によった身体動作が「不快」を表出する動作の特徴といえる。

#### 4.2 覚醒-眠気とラバン特徴

4 感情を覚醒群と眠気群に分割したものを表 4 に示す。これから「*Time*」「*Weight*」の相関関係の正負が、眠気群と覚醒群で逆転していることがわかる。このことから、素早く力強い身体動作が「覚醒」を表出する動作の特徴であり、逆にゆっくりとした弱い身体動作が「眠気」を表出する動作の特徴といえる。つまり、素早く力強い動作が覚醒の特徴であり、逆にゆっくりとした弱い動作が眠気の特徴といえる。

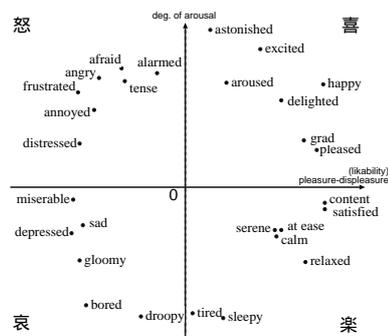


図 4: ラッセルの感情円環モデル

表 5: 重回帰分析に用いた特徴

喜	<i>Time</i> , <i>Height</i>
怒	<i>Time</i> , <i>Weight</i> , <i>Inclination<sub>x</sub></i> , <i>Height</i> , <i>Area</i>
哀	<i>Weight</i> , <i>Inclination<sub>x</sub></i> , <i>Height</i>
楽	<i>Weight</i> , <i>Height</i>

### 5. 感情推定式

前説において「各被験者の感情評価値」と「身体動作のラバン特徴量」に相関が確かめられたので、本説では前者を目標変数、後者を説明変数として重回帰分析を行い、感情推定式を生成する。

#### 5.1 感情推定式の作成

まず説明変数の絞り込みを行う。感情推定式を生成する前に、各ラバン特徴について標準偏回帰係数を求め、同係数が有意である特徴のみを説明変数として採用した。有意水準は 5% とした。各感情ごと採用された特徴を表 5 に示す。これらを説明変数として重回帰分析を行い、各感情での感情推定式を生成した。

「喜」の感情推定式

$$E_{Pleasure} = 26.5 + 15.9Time + 9.6Height \quad (8)$$

「怒」の感情推定式

$$E_{Anger} = 19.1 - 19.6Time + 24.4Weight - 8.7Inclination_x - 17.6Height - 17.6Area \quad (9)$$

「哀」の感情推定式

$$E_{Sadness} = 22.7 - 11.7Weight + 7.7Inclination_x - 9.8Height \quad (10)$$

「楽」の感情推定式

$$E_{Relax} = 21.5 - 8.1Weight + 13.5Height \quad (11)$$

身体動作から抽出されたラバン特徴量を以上の数式に代入して得られた数値がその身体動作から表出される感情強度の推定値となる。ただし計算結果が 0 未満あるいは 100 を超過した場合は、推定値はそれぞれ 0, 100 とする。

### 6. 感情推定実験

感情推定式の有効性の検証のために交差検定を行った。3 節で作成した 40 種類の身体動作を対象とし、分割数は 4 とした。

表 6: 正答率

	喜	怒	哀	楽	全感情
正答率	89.2%	87.5%	90.0%	97.2%	69.7%

## 6.1 評価基準

感情推定式の評価には「被験者平均と感情推定値の差」を用いた。ここでは身体動作に対する被験者の感情評価値の回答分布が正規分布に従うと仮定し、被験者平均と感情推定値の差が標準偏差以内である場合に正しく感情を推定できたものとする。被験者回答分布を正答判定に用いるため、被験者の回答の分布が正規分布に従う項目のみを評価対象とした。正規分布の判定には Jarque-Bera 統計量を用いた。各身体動作の各感情評価ごとに被験者評価値の Jarque-Bera 統計量を求め、有意水準 5% で正規分布に従った項目を使用した。これに従わない項目については正誤の判定から除外した。

## 6.2 感情推定正答率

正答率を表 6 に示す。ただし表中「全感情」には「喜」「怒」「哀」「楽」全てが正答となった動作の割合を示した。同表の結果から 4 感情それぞれについて 85% を超える高い正答率が得られていることがわかる。また「全感情」の正答については、無作為に推定した場合の正答率 21% ( $=0.68^4 \times 100$ ) と比較して十分に高い正答率を得られた。従って、本稿で提案した感情推定式は十分に感情を推定できているといえる。

表 7 から表 10 に「被験者平均と感情推定値の差」の分布を示す。例えば、表 7 から本提案の感情推定式を求めることにより、全身動作の 48.7% について喜の感情推定値が被験者平均からの差 0~5 内に収まっていることがわかる。これらの結果から、感情推定式が被験者の評価値以上に被験者平均に近い値を推定できていることがわかる。

以上により感情推定式の有用性が確認された。

## 7. 関連研究

ラバン特徴量を考案している既存研究として中田氏 [8] や前田氏 [9] の研究があげられる。中田氏の研究では実験動作体は関節自由度が 3 で車輪で移動するロボットであった。これに対して本稿では関節自由度を限定しない任意のヒューマンフォームロボット (HFR) を考慮したラバン特徴量の抽出方法を考案した。HFR は人間と心的インタラクションを行うのに最も適した形態のロボットであり、近い将来、様々な場面で人間と HFR とのインタラクションが行われることが期待されている。また、前田氏の研究は人間を動作体としているものの観測点が少なく、ラバン特徴量に反映される情報量が比較的少なかった。そこで本稿ではロボットの全身がラバン特徴量に影響するように提案した。

また本稿では新しい試みとしてラバン特徴量を用いて動作体の表出感情を推定する感情推定式を生成した。そして感情推定実験により高い推定正答率を得ることを確認した。

## 8. おわりに

ラバン理論を用いてヒューマンフォームロボット (HFR) の身体動作からの特徴抽出計算手法を提案した。そしてロボット実機を用いた印象評価実験を行い、動作体の表出感情とラバン特徴量の相関を調べた。また、ラバン特徴量を用いた感情推定式を作成し、交差検定を行い感情推定式の有用性を確認した。ロボット実機を用いた実験により、考案したラバン特徴量と動

表 7: 被験者平均からの差の分布表 (喜)

	-10~-5	-5~0	0~5	5~10	計
感情推定値	8.1%	8.1%	48.7%	10.8%	75.7%
感情評価値	7.3%	24.7%	6.7%	3.6%	42.3%

表 8: 被験者平均からの差の分布表 (怒)

	-10~-5	-5~0	0~5	5~10	計
感情推定値	5.0%	22.5%	12.5%	25.0%	65.0%
感情評価値	22.0%	9.7%	6.5%	6.0%	44.2%

表 9: 被験者平均からの差の分布表 (哀)

	-10~-5	-5~0	0~5	5~10	計
感情推定値	15.0%	20.0%	20.0%	17.5%	72.5%
感情評価値	16.0%	14.3%	5.5%	5.5%	41.3%

表 10: 被験者平均からの差の分布表 (楽)

	-10~-5	-5~0	0~5	5~10	計
感情推定値	16.7%	13.9%	16.7%	25.0%	72.3%
感情評価値	20.7%	10.3%	8.2%	3.3%	42.5%

作体の身体動作が人間に表出する感情には十分な相関があり、動作体の表出感情を推定するのに有用であることを確認した。

本稿ではラバン特徴量抽出の対象動作体として HFR を想定したが、足部分が車輪等のロボットでも接地面中心を支持脚中心と置き換えることで適用可能である。腕を 3 本以上持つ場合でも微小の変更で適用可能である。

また、今回の実験ではロボットのモーション情報からラバン特徴量を抽出したが、今後映像からのラバン特徴量抽出についても研究したい。映像から抽出できた場合、演劇や舞踊における人間の身体動作を容易に分析可能となる。また長時間の動作に関する感情推定式の有用性についても検証したい。同時に今回得られた結果を基に感情表出動作の生成についても研究していく予定である。

## 参考文献

- [1] 鈴木 重央, 松丸 隆文, 田野 翔也: 人間共存型ロボットの感情動作に関する研究 (第七報告)-感情動作の主成分分析による特徴抽出の検討-, 26 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会, 2006
- [2] 小林 一樹, 山田 誠二: 擬人化したモーションによるロボットのマインド表出, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 380 - 387, 2006
- [3] ルドルフ・ラバン: 身体運動の習得, 白水社, 1985.
- [4] 松丸 隆文: 人間機械系の情報動作学の応用展開, バイオメカニズム学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 139 - 145, 2005
- [5] 竹内 勇剛: 身体コミュニケーションとしての HAI, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 654 - 661, 2006
- [6] 小松 考徳, 開 一夫, 岡夏樹: 人間とロボットとの円滑なコミュニケーションを目指して, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 679 - 686, 2006
- [7] James A. Russell: A Circumplex Model of Affect, Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 39, No. 6, pp. 1161 - 1178, 1980
- [8] 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, No. 2, pp. 252 - 366, 2004
- [9] 前田陽一郎, 田辺奈々: 生物型ロボットによるインタラクティブ情動コミュニケーションの基礎研究, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 4, pp. 359 - 366, 2006