

B2-4 ロボットと人間のインタラクティブ情動コミュニケーションに関する研究

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻 進化ロボット研究室

滝 僚平（指導教員：前田 陽一郎、高橋 泰岳）

1. 緒言

近年、ペットロボットやエンターテインメントロボットなど様々な場面で、ロボットと人間が関わる機会が増加している。このような環境では、ロボットには人間が伝えたい意図を読み取り、自分の意図を人間に伝える能力が必要となる。ロボットやエージェントと人間とのインタラクションに関する研究は、HAI (Human-Agent Interaction) や人間共生システム (Human Symbiotic System) と呼ばれる分野で活発に進められているが、円滑な意思疎通を図る技術は未だ確立されていないのが現状である。

ノンバーバル・コミュニケーションにより、人間の情動を推論 [1]、ロボットの情動を表現する手法 [2] が数多く提案されているが、これらの研究はロボットが人間が一方向的に情報を伝えるのみであり、インタラクションを行っているわけではない。インタラクションを行う研究も存在するが、対象がCG エージェントであることが多く、実物のロボットを用いた研究例は少ない。

筆者らは、ノンバーバル・コミュニケーションの中から身体動作を取り上げ、ロボットと人間が情動を伴う行動によって双方向コミュニケーションを図る「インタラクティブ情動コミュニケーション」(Interactive Emotion Communication: IEC) を提案してきた [3]。IEC により両者が相互に情動を伝え合うことにより、人間の情動が増幅・緩和され、ロボットの対人親和性を高めることができると考えられる。しかしながら、これまではロボットの情動行動を画一的に決定していたため、単調なインタラクションしか実現できなかった。

そこで本研究では、人間とロボットが自然なインタラクションを行う上で重要な要素の一つであるロボットの情動行動生成に焦点を当てる。本稿ではロボットの情動行動をニューラルネットワークの一手法である自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) を基に獲得する方法について提案する。そしてクラスタリングされたマップを基に生成された情動行動を用い、人間とロボットのインタラクション実験を行ったので、その結果について報告する。

2. インタラクティブ情動コミュニケーション

一般にロボットは文字などを使うバーバル・コミュニケーションが苦手であり、ノンバーバル・コミュニケーションを用いる方が人間との意思疎通を図りやすい。そこで筆者らは、ロボットのコミュニケーションの媒体として身体動作を取り上げ、両者が情動を有する行動をやり取りすることによって双方向のコミュニケーションを図るインタラクティブ情動コミュニケーション (IEC) を提案してきた。IEC を実現するには図 1 に示されるように、ロボットに「情動認識」、「情動生成」、「情動表現」の 3 つの機能が必要となる。

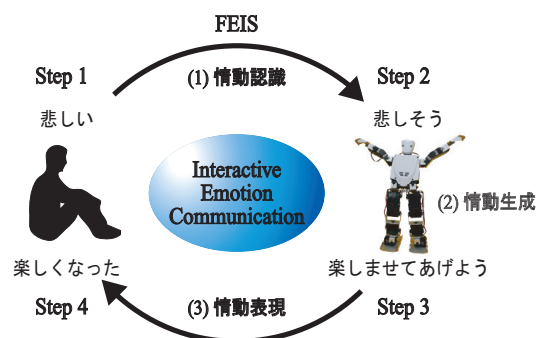


図 1: IEC の概念図

- (1) 情動認識: 人間がロボットに示した情動行動をロボットが視覚により認識する。
- (2) 情動生成: 人間の情動に対してロボットが緩和、増幅させるような情動を発生する。
- (3) 情動表現: 生成された情動をロボットが人間に対して行動で示す。

以上のような IEC を行うことで、ロボットと人間が単純な身体動作ではなく「情動」を伴ったインタラクションを行うことにより、親しみやすいコミュニケーションが実現できると考えられる。このような双方向インタラクションを通じて、人間の情動を増幅・緩和することにより、ロボットの対人親和性を高めることが本研究の目標である。

2.1 ラッセルの円環モデルに基づく基本情動

J.A.Russell によって提唱された円環モデル [4] は、「快-不快」、「覚醒-眠気」の 2 軸で表現される 2 次元平面上に、全ての情動を円環状に並べて表現する情動モデル (図 2 参照) である。Witvliet と Vrana らは、ラッセルの円環モデルを代表とするグラフ軸を 45 度回転させることにより、各象限に基本的な情動を当てはめることができるとしている。

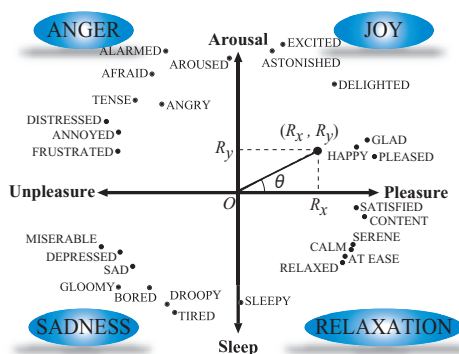


図 2: 4 情動に分類したラッセルの円環モデル

表 1: ロボットの身体動作を構成する Effort と Shape

Form	戦闘形態	陶醉形態	ロボットの身体動作
Time Effort	突然の	ゆっくりした	動作の周波数 v
Flow Effort	束縛された	自由な	手の振幅 h
Table Plane Shape	狭まる	広がる	投影面積 s
Door Plane Shape	上に伸びる	うなだれる	

以上のことから本研究では、円環モデルの第 1 象限から第 4 象限を図 2 のように JOY、ANG (ANGER)、SAD (SADNESS)、REL (RELAXATION) と置き、これら 4 つの情動を基本情動とした。またこれ以降、ロボットが表現した情動行動をそれぞれ、JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R、人間が表現した情動行動を JOY-H、ANG-H、SAD-H、REL-H と略記する。

2.2 ラバン理論による身体動作表現

ラバン理論とは R.Laban によって考案された身体動作の特徴量をマクロに捉え、それらを記述する方法 [5] である。Effort-Shape Description、Structural Description、Motif Description の 3 つの記述方法があり、中でも Effort-Shape Description は人間の身体動作を感性的特徴量によって分類する際に有用である。

Laban は人間の身体動作には、メリハリがあり活発な動きを伴う戦闘 (Fighting) 形態と、優しく流れるような動きを伴う陶醉 (Indulging) 形態の 2 極構造があると考え、それらを細分化する際に Effort-Shape Description という概念をまとめた。本研究では、表 1 のように Effort と Shape の中からロボットが表現可能な Time Effort、Flow Effort、Table Plane Shape、Door Plane Shape の要素を使用する。

3. 情動行動のクラスタリング実験

本研究ではロボットの情動行動を自己組織化マップ (SOM) によってクラスタリングする方法を提案する。また出力されたマップよりロボットの情動行動反応を決定し、ロボットの情動行動の推移を評価した。

3.1 ロボットの情動行動

本実験はロボットの人間に対する情動行動反応を決定するために行われる。そのためにロボットの情動行動を構成する要素を定義する必要がある。実験では小型ヒューマノイドロボット Robovie-X (ヴイストン製) を用いた。本研究では手法の有効性を確かめるため、ロボットの基本動作は単純に手を体の側面で上げ下げする何段階かの動作とし、これらの動作を複数組み合わせることにより多様な情動を表現するものとする。

本実験ではラバン特徴量の中から、表 1 で示したように 4 つの要素を使用する。Time Effort は時間的な意味を含んでいるため、1 つの動作の周波数 v であるとし、Flow Effort は動作が拘束されている、もしくは自由な状態にあることを意味しているため、ロボットの手の振幅 h と定義した。Table Plane Shape と Door Plane Shape は水平面と垂直面の広がりであるため、2 つの Shape を組み合わせ、ロボットの投影面積 s と定義した。

情動行動を構成する 3 種類の要素 s 、 h 、 v が、それぞれ [大]、[中]、[小] の 3 つに分類されているため、合計 27 通り (= 3^3) の情動行動が事前にユーザ (筆者) によって作成される。この情動行動を被験者に提示し、

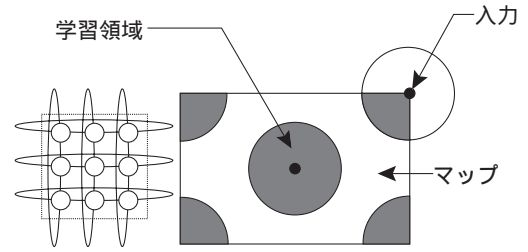


図 3: トーラス SOM の概念図

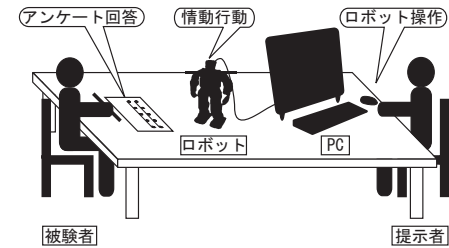


図 4: 実験環境

それぞれ 4 つの情動の得点を 0 から 4 点の 5 段階で評価してもらう。ある 1 つの情動行動が、JOY-R にも見えるが少しだけ ANG-R にも見えるとき、(JOY-R) 4、(ANG-R) 2、(SAD-R) 0、(REL-R) 0 のように採点してもらう。このアンケートによる得点を次節で述べる SOM へ入力し、情動行動のクラスタリングを行う。

3.2 SOM による情動行動のクラスタリング

本研究ではトーラス SOM と呼ばれる自己組織化マップによって、ロボットの情動行動のクラスタリングを行った。図 3 のように、トーラス SOM とは通常の SOM と異なり上下または左右が連結したトーラス状の SOM のことである。この手法を用いることにより、学習中にマップの端の情報が欠損することを防ぐことができる。

トーラス SOM へは 3.1 節で述べた被験者のアンケート結果を入力する。これを用いてロボットの身体動作に対する被験者のアンケート結果のクラスタリングを行い、ロボットの情動行動マップを作成する。これにより、マップ上に 4 つの情動の強度が表れる混合情動のマッピングが生成され、複雑なロボットの情動行動生成が可能となる。

3.3 実験結果

本実験はロボットの 27 通りの情動行動を手動で作成し、各情動行動を被験者に採点してもらい、その結果を SOM にかけてクラスタリングを行うという手順に進めた。まず図 4 に示す環境下で、ユーザによって事前に作成された 27 通りの情動行動を 20 代の男女 10 名に提示し、アンケート調査を行った。各情動行動を提示する順番は被験者ごとに順不同であり、被験者が採点できるまで繰り返し提示した。アンケート結果は 0 から 1 の値に正規化された後、SOM に入力した。

トーラス SOM により得られた情動行動マップを図 5 に示す。6 角形の要素領域のうち、ラベルの書かれた要素領域はノードを示し、要素領域はノード同士の距離を示し、周囲との距離が近ければ赤色、中くらいであれば緑色、遠ければ青色で表示される。ラベルは [大]、[中]、[小] を示す l 、 m 、 s の 3 種類の記号で構成され、 $[s \text{ 大}][h \text{ 中}][v \text{ 小}]$ の動作は lms と記述されている。

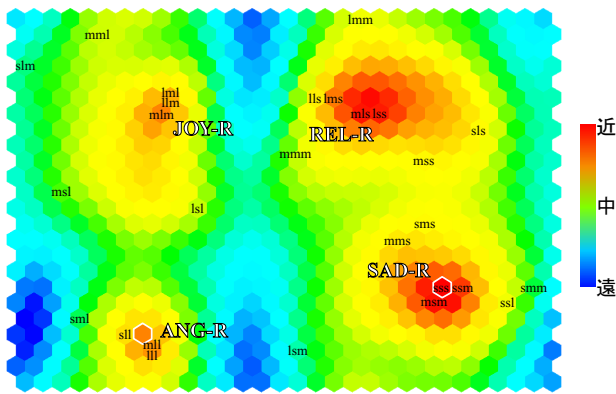


図 5: トーラス SOM により出力された情動行動マップ

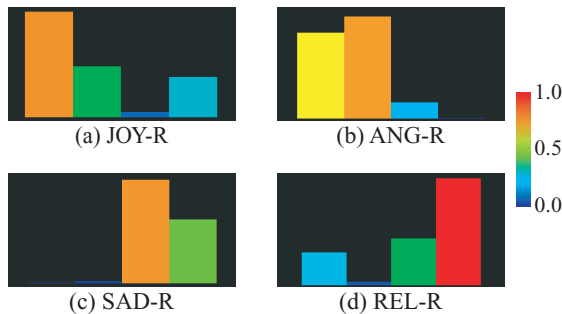


図 6: 各情動行動が最も強い時の SOM 出力

例えば各 4 情動において最も強いピーク値を示したときの混合感情を図 5 に白枠と白文字で示し、このときのベクトルを図 6 に示す。これらの図では、棒グラフの左から順に JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R の強度を示している。図 6 を見ると、JOY-R、SAD-R、REL-R が最も強い時、他の情動は強くて 1/2 程度の値であり、明確にその情動が出力されていることが確認できる。しかしながら、ANG-R のみ、同時に JOY-R が強く出力されており、他のノードにおいても ANG-R が突出して強いという点は見られなかった。以上のことから SOM による本来のクラスタリング能力により、ロボットの情動行動の分類についても可能になることが分かった。

4. インタラクショナル実験

前述のクラスタリング実験において、トーラス SOM により JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R の 4 つの情動の強度が混在したマップが作成された。次に、このマップを利用して混合情動も表現可能な情動行動の生成を試み、人間とロボットのインタラクションを行った。ここでは、人間の身体動作から得られた情動推論値に応じて連続的に情動行動を生成する実験を試みる。

4.1 混合情動行動の生成アルゴリズム

ここでは、トーラス SOM によって JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R の 4 つの情動の強度が混在したマップを作成後、これを利用し混合情動も表現可能な情動行動の生成を試みる。学習後のマップには、各基本情動値のみしか記録されておらず、マップのある 1 点を選択してもロボットの情動行動が一意に決まるわけではない。そこでマップ上の 1 点を選択し、そこから情動行動を算出する手法について提案する。

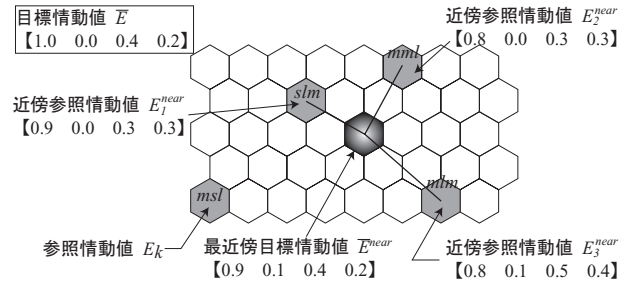


図 7: 学習マップ上での混合情動の生成例

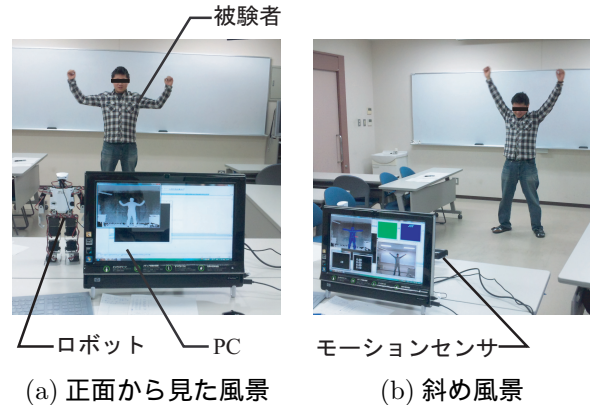


図 8: 構築した実験環境

混合情動の生成について図 7 に一例を示す。まず表現させたい情動 (目標情動値: $\bar{E}$) が必ずしも学習後のマップ上に存在するとは限らないため、値が最も近いノード (最近傍目標情動値: $\bar{E}^{near}$) を検索して、そのノードを中心に情動行動を生成する。しかし、入力値以外の $\bar{E}^{near}$ は周波数などの情動行動の要素を持っておらず、入力した情動行動以外のモーションを作成するためには、 sml のような 27 通りの情動行動 (参照情動値: E_k [$k = 1, 2, \dots, 27$]) を利用する。 $\bar{E}^{near}$ 近傍の E_k の中で、最も $\bar{E}^{near}$ に近い参照情動値 (最近傍参照情動値: E_m^*) から順に M (最低 3) 点 (近傍参照情動値: E_m^{near}) を選択する。その後、距離が近いものほど割合が高くなるよう重みを付け、 s 、 h 、 v それぞれの値を算出し、情動行動を一意に決定する。

4.2 実験環境と実験方法

Microsoft 製のモーションセンサである Kinect を使用し、マーカーレス情動認識システムを構築して、本実験を行った。構築した実験環境を図 8 に示す。被験者と PC を一直線上に配置し、ロボットとモーションセンサを PC の裏側に配置することで、被験者の情動行動を正面で捉え、かつ被験者とロボットが正面で向き合っているような構成にした。

今回の実験は、情動行動のクラスタリング実験に参加した被験者のうち 20 代男子大学生 2 名を選出し、各被験者に図 9 のフローチャートに従い実験を実施した。ロボットの情動行動を 15 秒間隔で発生するものとし、全体で 120 秒のインタラクションの中、ロボットの発生する情動行動回数を固定とした。被験者には、あらかじめ、JOY-H、ANG-H、SAD-H、REL-H を想起する状況を設定してもらい、それを想定しながらインタラクション実験を行った。人間の情動行動から情動を推論するのに、ファジィ情動推論 (Fuzzy Emotional

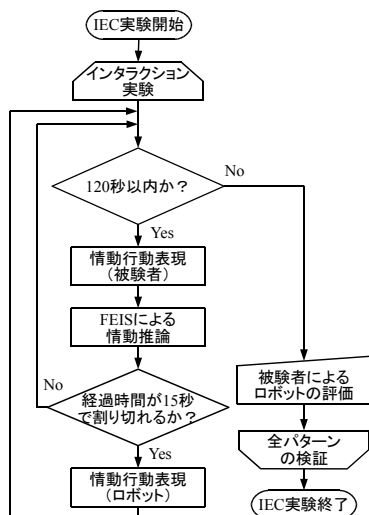


図 9: 実験のフローチャート

Inference System: FEIS) を使用した (文献 [3] 参照)。

ロボットの情動行動反応には、同一情動反応と対称情動反応の 2 種類を用意し、数量化 I 類によって 4 種類の基本情動行動のみを返すロボット R_1 とトラス SOM によって生成される混合情動行動を返すロボット R_2 に対し、実験を開始する状況が JOY-H、ANG-H、SAD-H、REL-H の 4 種類である実験を用意し、合計 16 種類の実験をランダムに実施した。

さらに、各ロボットの評価方法として SD 法による印象評価を試みた。本実験では、「明るい-暗い」、「可愛らしい-憎らしい」、「複雑な-単純な」、「優しい-冷たい」、「面白い-退屈な」、「積極的な-消極的な」、「親しい-疎遠な」、「生物的な-機械的な」、「好きな-嫌いな」、「賢い-愚かな」、「自然な-不自然な」の 11 形容詞対を各 7 段階で評価してもらった。

4.3 インタラクション実験結果

実験終了後に、念のため被験者にロボットが表現した情動行動を再度確認してもらったところ、ほぼ目標情動通りの情動表現であることが確認された。紙面の都合上、個々の実験のアンケート結果を省略し、図 10 に R_1 と R_2 全体のアンケート結果の平均値と中央値のみを表記する。これらの図を見ると平均値、中央値ともに混合情動を含む R_2 の方が全体に好印象を与えていることが確認できる。

またこれらの印象評価をマン・ホイットニーの U 検定にかけて有意差検定を行った結果を表 2 に示す。両者とも有意水準 5% で有意差が確認され、全体を通してみても R_1 よりも R_2 の方が有意に好印象を与えることが確認された。これより、情動行動を限定して発現するよりも、情動行動マップを用いて混合情動を表現した方が、人間にとってはより自然なインタラクションの印象を与えることが分かった。

また個々の印象評価を見ると、同じ情動を返しているにも関わらず、多くの組み合わせでロボット R_1 よりもロボット R_2 が混合情動の方が被験者に対して良い印象を与えることが確認できた。複数の情動の混合情動を表現するロボットの方が、単一情動を表現するロボットよりも生物的であるとの印象を与え、好感度も高くなることが分かったが、賢さの項目ではわずかに R_1 のポイントが高くなった。これは多くの情動の組み

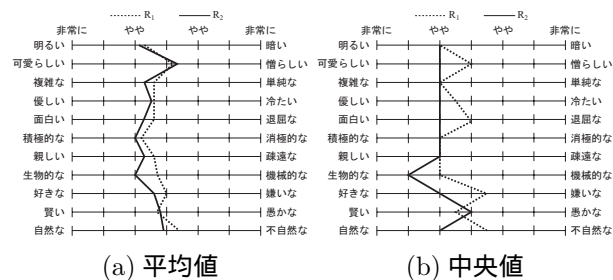


図 10: R_1 と R_2 の印象評価

表 2: 平均値と中央値の有意差検定結果

	検定統計量 U	分散 σ^2	検定統計量 Z	危険率 P
平均値	27.5	228.774	2.181779	0.029126
中央値	30.5	171.548	2.290493	0.021993

合わせで、はっきりとした情動表現をするロボットの方が自分の意志を持っているように見えたのではないかと考えられる。

5. 結 言

本研究では、ロボットの情動行動を画一的なパターンとして与えるのではなく、自己組織化マップによって多様な情動行動生成を試みる手法を提案した。本手法を用いることで複数の情動が混在した混合情動も表現できるようになり、今までよりも複雑なインタラクションが可能となり、さらに混合情動を発現するロボットの対人親和性が高くなることを確認した。

IEC に混合情動を用いることの有用性が確認されたので、今後、積極的に取り入れていくべきであると考えられる。人間が普段発しているようなノンバーバル・コミュニケーションでも受け手が異なれば感じ方も異なるように、ロボットの混合情動も受け手によって感じ方が異なる。このような曖昧な情動行動も、自然なインタラクションを実現するためには不可欠ではないかと考えられる。

参考文献

- [1] T.Lourensa, R.Berkela and E.Barakova, "Communicating Emotions and Mental States to Robots in a Real Time Parallel Framework using Laban Movement Analysis," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.58, No.12, pp.1256-1265 (2010)
- [2] 矢野良和, 山口淳嗣, 道木慎二, 大熊繁, "人間の感情評価をモデル化した感情表現ルールに基づく感情動作生成," *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol.22, No.1, pp.39-51 (2010)
- [3] R.Taki, Y.Maeda and Y.Takahashi, "Personal Preference Analysis for Emotional Behavior Response of Autonomous Robot in Interactive Emotion Communication," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.14, No.7, pp.852-859 (2010)
- [4] J.A.Russell, "A circumplex model of affect," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, pp.1161-1178 (1980)
- [5] R.Laban, *The Mastery of Movement*, Plays, Inc. (1971)