

B3-1 人間の脳波情報を利用したファジィ情動推論システムに関する研究

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

本間 雄仁 (指導教員：前田 陽一郎)

1. 緒言

ロボットの活躍の場が広がりつつある今、ロボット開発においても人間との親和性や協調性といった能力が重要視されるようになってきている。このような、エージェントと人間との間のコミュニケーションに関する研究は、ヒューマン・エージェント・インタラクション (HAI) という分野で盛んに行われている。ここでは人間の感情・情動・感性といった、コミュニケーションをとる際に重要な機能についても着目されるようになってきている。一例として加賀谷ら [1] のモーションキャプチャを利用して本人が意図していない小さな動作に着目して情動推定を行う研究などがある。

本研究室では舞踏学の分野で知られるラバン理論に基づき、人間の動作を身体的特徴量によりマクロに捉え、ファジィ推論により基本心理尺度値を出力し、心理学モデルとして有名なラッセルの円環モデルによって情動推論を行う研究 [2] を行ってきた。また開発するロボット自身に情動を生成する機構を持たせる研究を本研究室の秋口ら [3] が行っている。本研究室ではこれらの研究を融合することによりロボットと人間との情動によるインタラクティブ・コミュニケーションの実現を目指している。

一方、工学的手法によって情動などの人間の心理状態を計測するための研究として、武者ら [4] の「感性スペクトラム解析法」(ESAM) がよく知られている。これは人間の情動が脳の働きによって発生するものと捉え、脳の状態によって刻々と変化する脳波の特徴を捉えることで人間の情動を計測する手法である。本研究では簡易的な脳波情報から大まかな情動計測を行うことができたので、それについて報告する [5]。

さらに本研究ではラバン理論に基づいて身体的特徴量を求める際に、動作特徴要素も従来より増やし、細分化されたファジィルールを用いることでより精密な情動推論を可能とした。今回は簡易脳波計による情動計測に関する実験の報告に加え、人間を対象としたファジィ情動推論システムを用いた情動推論実験、上記のESAMによる情動計測システムとファジィ情動推論システムの出力を比較検討する実験も行ったので、これらの結果について報告する。

2. 簡易脳波計を用いた情動計測システム

ここでは、極めてシンプルな脳波計で簡易的な情動計測手法を提案することを目的としている。本実験では、被験者が動きながらも脳波測定が可能であり、高速フーリエ変換処理も行なえる脳波計 (ブレインビルダーユニット、脳力開発研究所 製) を用いた。

2.1 脳波情報に基づく特徴量の計算

脳波計で計測した値を基に脳波特徴量を算出する。本研究における脳波特徴量とは、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波の全体に対する強さの比率であり、それぞれの脳波に対し P_δ 、 P_θ 、 P_α 、 P_β で表される。ここでは例として α 波に対する脳波特徴量 P_α を求める過程を示す。 V_f [μV] を周波数 f [Hz] における脳波の強さ、 G_α を α 波の強さの平均とすると、 G_α は式 (1) によって求められる。式 (1) において、 E_M は 1 つの脳波の種類における周波数域の最大値であり、 E_m は最小値である。ここでは α 波の場合 $E_M = 13$ 、 $E_m = 9$ となる。同様に G_δ 、 G_θ 、 G_β を求め、式 (2) によって平均の総和を求める。さらに式 (3) により P_α を算出する。また、 P_δ 、 P_θ 、 P_β についても同様である。

$$G_\alpha = \sum_{f=E_m}^{E_M} V_f / (E_M - E_m) \quad (1)$$

$$G_{sum} = G_\delta + G_\theta + G_\alpha + G_\beta \quad (2)$$

$$P_\alpha = G_\alpha / G_{sum} \quad (3)$$

この脳波特徴量は、特定の周波数域の脳波の強さが脳波全体の強さに対してどれだけ占めているかを表した値である。この値を用いることで、異なる周波数域の脳波間の比較なども容易に行なうことができるようになる。

2.2 脳波特徴量を用いた基本心理尺度値の計算

脳波特徴量に基づき、式 (4) と式 (5) の計算によりある時刻 t における基本心理尺度値を求める。基本心理尺度値とは、本研究の情動推論に用いられるものと同様でラッセルの円環モデルにおける R_x 軸 (快 (pleasure)-不快 (unpleasure)) と R_y 軸 (覚醒 (arousing)-眠気 (sleepy)) の 2 軸に対応する値である。

- 「快-不快」の基本心理尺度値 R_x の導出

$$R_{x(t)} = k_\delta P_\delta(t) + k_\theta P_\theta(t) + k_\alpha P_\alpha(t) + k_\beta P_\beta(t) + a R_{x(t-1)} \quad (4)$$

- 「覚醒-眠気」の基本心理尺度値 R_y の導出

$$R_{y(t)} = m_\delta P_\delta(t) + m_\theta P_\theta(t) + m_\alpha P_\alpha(t) + m_\beta P_\beta(t) + a R_{y(t-1)} \quad (5)$$

ここで R_x は値が正であれば「快」、負であれば「不快」を表し、 R_y は値が正であれば「覚醒」、負であれば「眠気」を表す。ここで k 、 m は任意の定数であり、脳波と情動の関係などを基に、試行錯誤により決定する。また、現在の情動が直前の情動から大きく変化するとは考えにくいことから、現在の基本心理尺度値を決定する際に過去の基本心理尺度値を用いて成分を平滑化した。これが式 (4) と式 (5) における $a R_{x(t-1)}$ と $a R_{y(t-1)}$ で、今回は $a = \frac{3}{4}$ とした。

2.2.1 ラッセルの円環モデルに基づく感情値の計算

前述の2軸の値によって決まる座標値がラッセルの円環モデル上のどの象限に存在するかによって「喜び(J)」、「怒り(A)」、「悲しみ(S)」、「安らぎ(R)」の情動を判定する。式(6)における $E_i(i = J, A, S, R)$ は式(7)で得られるベクトルの向きである θ が各象限の中央方向(45°方向)であるほど、かつ原点までの距離が大きいほど値が大きくなるように設定した感情値を表す。

$$E_i = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} |\sin(\pi - 2\theta)| \quad (6)$$

$$\theta = \arctan \frac{R_y}{R_x} \quad (7)$$

2.3 複数被験者の脳波情報に基づく情動計測実験

本研究では当初は、式(4)や式(5)における k や m の値は実験者が試行錯誤しつつ慎重に決定してきた。しかしこの方法の場合、一人の被験者の k や m の値を別の被験者に用いることができず、決定にも多くの時間が必要となる。そこで本実験ではシステムの汎用性の向上と調整にかかる時間を短縮するため、複数の被験者に対してシステムを用い、全被験者の k と m の値の平均を求めた上で、その値を基準として新たな被験者に対して情動計測を行った。

2.3.1 実験方法

今回の実験は20代の男女12名を対象として行った。実験方法を以下に簡単に説明する。

Step1: 基準となる被験者の脳波計測 まず11名の被験者(Subject-A~Subject-K)に対し10分間脳波を測定し、前章で紹介したシステムを用いて情動計測を行った。今回の実験では結果からシステムの出力が妥当かどうか判断しやすいよう、特定の情動が出やすいと考えられる環境に被験者を置き、そのとき取得した脳波から情動計測を行った。脳波計測を行っている間、被験者にはリラクゼーション音楽を聴いてもらい、RELAXATIONの情動が比較的出現しやすいと考えられる環境にいてもらった。



図1: 情動計測実験システムの構成

Step2: 基準値を用いた情動計測実験 被験者11名の k と m の値の平均を求めた上でその値を用い、全く別の被験者に対して同じ環境下で情動計測を行う。この被験者は1名(Subject-L)で20代の男性である。

Step3: k 値と m 値の再調整 Subject-Lに対して基準値となる k と m の値と、それを基準として再度調整しなおした値を用いて情動計測実験を行い、それぞれの設定にかかった時間や出力の妥当性などを比較検証する。

2.3.2 実験結果

複数被験者に対する k や m の平均値(mean)を用いて被験者 Subject-L に対して情動計測を行った結果を表1に示す。この実験ではリラクゼーション音楽を聴いてもらいながら脳波計測を行っているため、システムがRELAXATIONを多く検出していればいるほど良好な結果であるといえる。またその平均値を基準として再度調整を施した後、改めて Subject-L の脳波情報に対して情動計測システムを用いた結果が表2である。

この実験では情動計測システム自体の汎用性の向上や、パラメータ調整に費やす時間の短縮を試みた。実験の結果から複数の被験者のパラメータから導き出された値を指標として、新しい被験者にシステムを用いる際のパラメータ決定に用いることが比較的有効であることがわかった。この方法によってパラメータ設定に費やす時間も約4分の1に減らすことができた。また簡易的な脳波情報から大まかな情動計測が可能なことも見て取れた。

表1: 平均値を Subject-L に適用した実験結果

被験者	JOY		ANGER		SADNESS		RELAXATION	
	出現回数	比率	出現回数	比率	出現回数	比率	出現回数	比率
Subject-L	47	0.08	35	0.06	246	0.41	269	0.45

表2: 調整後の k, m 値を用いた Subject-L の実験結果

被験者	JOY		ANGER		SADNESS		RELAXATION	
	出現回数	比率	出現回数	比率	出現回数	比率	出現回数	比率
Subject-L	64	0.1	31	0.05	175	0.29	327	0.54

3. ファジィ情動推論システム

ここではラバン理論に基づくファジィ情動推論システムについて説明する。さらに本研究では改良を加えたファジィ情動推論システムを用いて行った情動推論実験について報告する。

3.1 ファジィ情動推論アルゴリズム

ここではファジィ情動推論の処理手順について説明する。

3.1.1 ラバン理論による身体動作解析

まず動作体(人間)が行なう身体動作を Web カメラを用いて計測する。このとき被験者には5色のマーカーを頭部、両手、両足の5箇所に装着してもらう。動作計測はこのマーカーの重心を色抽出することで行う。計測した動作を入力とし、ラバン動作解析を行なう。表3でそれぞれの要素についての解釈と用いた物理量について説明を加える。

表3: ラバン理論の4つの要素と物理量の関係

要素		要素の持つ意味	計測における物理量
Effort	Time	動作のスピード	ステップ間におけるマーカー全体の重心の移動速度
	Flow	動作の流暢さ	ステップ間における手のマーカーの加速度
Shape	Table Plane	身体範囲	マーカー全体の表面積
	Door Plane	身体縦方向位置	マーカー全体の重心高さ

3.1.2 ファジィ情動推論

このシステムではファジィ推論の入力値として身体動作解析によって求められた身体的特徴量を用いる。また出力値として得られる値は基本心理尺度値であり、ラッセルの円環モデルにおける「快-不快」と「覚醒-眠気」の2軸に対応する値である。今回用いたファジィ情動推論ルールを図2に示す。

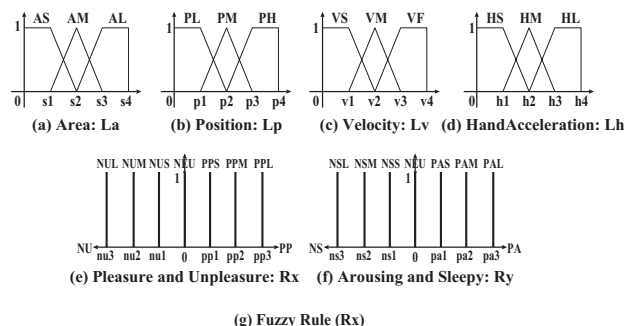


図2: 情動推論ファジィルール

3.1.3 ラッセルの円環モデルに基づく感情値の導出

前述の手順によって求めた基本心理尺度値をラッセルの円環モデルに適用し、感情値を導出する。ここで行なっている計算は、簡易脳波計を用いた情動計測システムの処理と同様である。

3.2 ESAMを用いたファジィ情動推論実験

この実験では人間の情動を出力できる装置として市販されている感性スペクトラム分析法 (ESAM) [(株) 脳機能研究所 製] を用いて人間の情動計測を行う分析装置で精密な情動計測を行い、2つのシステムの出力結果について比較検討した。

3.2.1 実験方法

この実験は20代男性1名に協力してもらった。今回被験者には身体の各部にマーカーをつけてもらい、身体動作の取得をすると同時にESAMの脳波計も頭部につけ、脳波情報も取得した。また今回の実験ではそれぞれの情動が発生しやすいよう、あらかじめ被験者にアンケートを行った。アンケート内容はどのような環境下、もしくはどのようなときに「JOY」「ANGER」「SADNESS」「RELAXATION」のような情動が自分

の中で感じられるかを問う内容となっており、実験の際にはできる限りそのような環境を準備して行うことにした。本実験は、以下の手順で行った。

Step1: ファジィ情動推論システムのセッティング ファジィ情動推論システムに用いる身体的特徴量を得るために、Webカメラから身体動作情報を取得した。このとき被験者に装着したマーカー重心を色抽出し、その位置情報を用いることで身体動作情報とする。

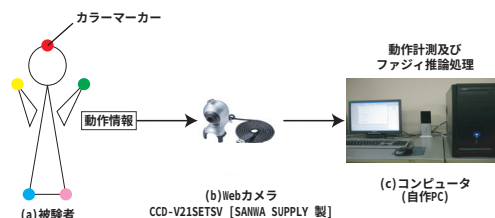


図3: 情動推論実験システムの構成

Step2: ESAMのセッティング 本実験では身体動作情報の取得と同時にESAMによる脳波情報の取得も行った。被験者にはファジィ情動推論システムに用いるマーカーと共に、頭部に脳波計測用の電極を装着してもらい脳波計測を行った。

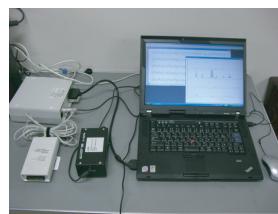


図4: ESAMシステム全景 (脳機能開発所 製 ESA pro 5200 シリーズ)

Step3: 身体動作情報・脳波情報の取得 できる限りアンケート結果に近い環境に被験者にいてもらい、ESAMでは脳波を、Webカメラでは身体動作を同時に取得した。被験者は自分の情動が昂ぶってきたと感じたときに立ち上がった上で、情動表現をする動作を行ってもらったこととした。被験者に動きがあった場合などはESAMの機能を用いて記録を取り、後のグラフに表現した。

Step4: 両出力の比較検討 両システムの出力をグラフ化し、比較する。また今回の実験で用いたファジィ推論に関する各パラメータの値は紙面の都合上、割愛する。

3.2.2 実験結果

例として、ANGERの実験結果について報告する。グラフ内の網掛け部分は被験者が立ち上がって動作を取った時間であり、一番情動が強かったと思われる場所である。

ESAMとファジィ情動推論システムが実験全体を通して近い出力をしており、良好な結果といえる。情動の変化度合いなども両システム間で似通っており、非常に良い傾向である。このことから現時点のファジィシステムではANGERについて比較的精度良く情動推定ができることがわかった。またこれまでは被験者が怒り (ANGER) などの短期的な情動を想起することが

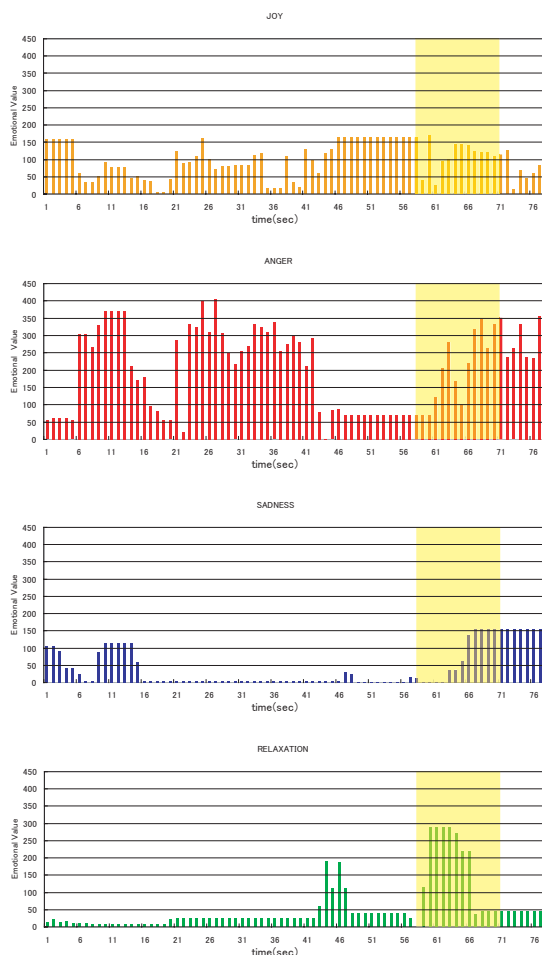


図 5: ファジィ情動推論システムの出力 (ANGER)

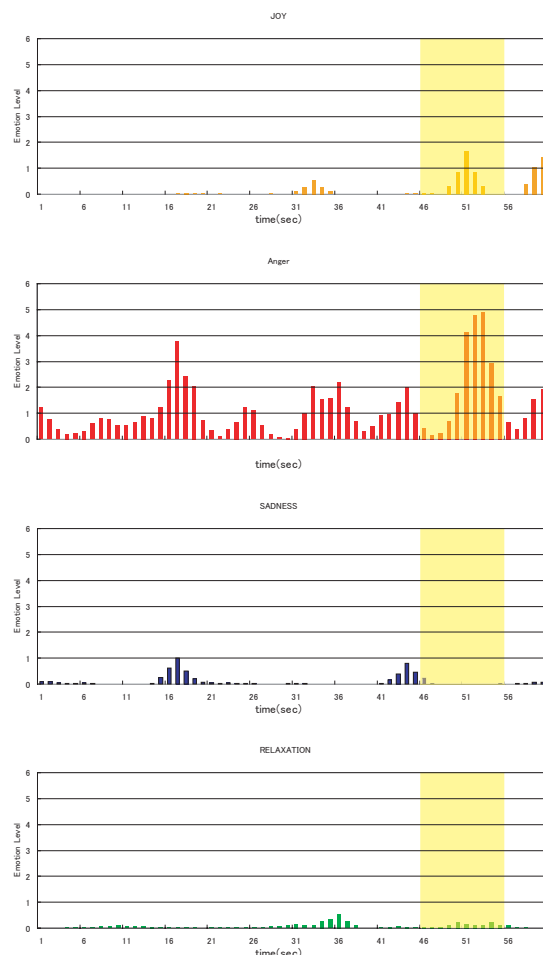


図 6: ESAM の出力 (ANGER)

難しかったが、実験時間を長く取り被験者が想起するのを待つ方法のほうが有効なこともわかった。

修正したファジィ情動推論を用いた実験であったが、小さい動作や動作間の緩慢な動作についてはうまく情動推論の対象から除外できたと思われる。それによって以前の実験で常に出力されていた RELAXATION の出力も抑制することができた。ESAM とファジィ情動推論システムの 2 つのシステム出力においても、情動の種類や大きさについて比較的近い時間に同じ情動を出力することがわかった。

4. 結言

本研究では簡易脳波計を用いた情動計測システムを構築すると共に、より高性能な脳波による情動計測システムである ESAM を用いて、ファジィ情動推論システムとの比較実験を行った。修正したファジィ情動推論システムを単独で用いた実験では、動作の抽出を全身の情報を基に行うようにしたこと、ラバン理論の要素を増やしファジィルールを細かく設定できるようにしたこと、人間が動くたびに情動の変化をより正確に捉えることができたようになった。

ファジィ情動推論システムと ESAM を併用した実験では、動作に現れる情動と脳波計測により出力される情動の出力が比較的似た挙動を示した。またファジィ情動推論システムは断続的に出力されているのに対し、

ESAM は全く情動が出力されていない時間帯も存在するという差も見られた。この結果は今後情動推論ファジィルールのチューニングなどに活かして行きたい。

5. 謝辞

本研究は平成 20 年度科学研究費補助金 (基盤研究(c):課題番号 20500203) の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] 加賀谷拓, 羽倉淳, 藤田ハミド, "無意図的動作に着目した人間のしぐさからの情動推定手法," 日本ソフトウェア科学会第 22 回大会論文集, 263-3C-2 (2005)
- [2] 田辺奈々, 前田陽一郎, "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," 自動計測制御学会論文集, Vol.42, No.4, pp.359-366 (2006)
- [3] 秋口俊輔, "自律型知能ロボットの情動行動学習システムに関する研究," 福井大学大学院博士論文 (2007)
- [4] 武者利光, "「こころ」を測る," 日経サイエンス, Vol.26, No.4, pp.20-29 (1996)
- [5] 本間雄仁, 前田陽一郎, "ファジィ情動推論システムのための人間の情動計測実験," 日本知能情報ファジィ学会第 24 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.582-585 (2008)