

ラバン理論に基づくファジィ情動推論による 身体動作解析およびその感性評価に関する研究

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻

田辺 奈々 (指導教官：前田 陽一郎 助教授)

1 緒言

ヒューマン・エージェント・インタラクション (HAI) と呼ばれる研究分野の発展により、人間とロボットがコミュニケーションをとる際に重要な機能として、感情・情動・感性といったものの表現が扱われるようになってきた。これまで感情研究の分野は哲学者や心理学者の主要な研究対象であった。しかし工学的・医学的アプローチによる研究が盛んになるにつれ、感情の「生成」・「表現」・「認識」・「制御」などのように感情の研究は多様化が行われるようになった。それらは人間の感情を数値的に捉えるという試み [1] や、表情・身体表現から感情の分類をする研究 [2]、ロボットをより人間に近づける人工感情モデルの研究などに発展している。

一方、本研究室でも情動行動をロボットに実現させることを目的として、約 10 年前から人工感情モデルの研究を進めている [3]。また、現在では神経修飾物質系のモデルを用いた情動行動学習メカニズムの研究も行っており、より生物に近い形での情動発生機構の構築を目指している [5]。

本研究では生物型ロボットおよび人間を身体動作の対象として、特定の人物の主観によらない情動行動評価の一手法を提案する [6]。本手法では、ラバン理論に基づいた対象の身体動作の評価から身体的特徴量を抽出し、その値を元にファジィ推論により基本的心理尺度値を求め、ラッセルの円環モデルに基づき、情動評価を行う。本手法を用いることによって、対象の動きを観測することにより客観的な情動評価を与えることが可能となる。本論文では提案した手法を用いて身体動作から情動を推定する情動評価実験を行い、それに対する被験者へのアンケート調査による感性評価を行ったシステム出力の妥当性を検証したのでその結果についても報告する。

2 インタラクティブ情動コミュニケーション

本研究における最終目的は、人間とロボット間の「インタラクティブ情動コミュニケーション」の実現を目指すものである。ここでいうインタラクティブ情動コミュニケーションとは、動作体同士の行動などによる非言語的なインタラクションによって情動のやりとりを行うノンバーバルコミュニケーションの一種である。身体動作を用いたインタラクティブ情動コミュニケーションの一例を図 1 に示す。



図 1. インタラクティブ情動コミュニケーションの例

インタラクティブ情動コミュニケーションには以下のようなプロセスが含まれる。

- 相手の身体動作による情動の推定
- 相手の情動を緩和・増幅させるための動作決定
- 自らの情動に基づく身体動作表現

これらのプロセスを繰り返すことによって双方向におけるインタラクティブ情動コミュニケーションが可能となる。また、身体動作の他に表情や音声を扱うことにより、より人間

とロボットの間における意志の疎通を円滑に行うことができるようになる。

本研究では、このインタラクティブ情動コミュニケーションの実現を目指し、このうち相手の身体動作から情動を推定する手法の開発を研究対象とした。本提案手法では非言語コミュニケーションの中から身体動作を選択し、対象となる相手の身体動作から情動を推論し出力するアルゴリズムについて提案する。

3 ラバン理論に基づく情動推論手法

本研究では、インタラクティブ情動コミュニケーションの実現を目指し、このうち相手の身体動作から情動を推定する手法の開発を研究対象とした。本提案手法では非言語コミュニケーションの中から身体動作を選択し、対象となる相手の身体動作から情動を推論し出力するアルゴリズムについて提案する。

3.1 ファジィ情動推論アルゴリズム

対象となる動作体には以下のような条件を定めるものとする。図 2 に本手法の処理手順の概略図を示す。尚、紙面の都合上、実験の対象として生物型ロボットを用いた場合については省略してある。

- 情動評価を行う動作体の前提条件

1. 動作体は頭と、対となる 2 本の手を持つものとする。
2. 動作体はその場で動作し、移動しないものとする。
3. それ自体で意味を持つような特定の動作は除外するものとする。
4. カメラ等により一定の距離から身体動作を観測できるものとする。



図 2. ファジィ情動推論アルゴリズムの処理手順

まず、CCD カメラ等で動作体が行う身体動作の計測を行う。この際、画像より抽出する要素はラバン理論の概念を基に客観的に評価された値であり、評定者などある特定の人物の主観による評価が入らないようにする。ラバン理論を用いた理由は、ダンス等の舞踏理論から考案された身体動作解析手法であるため、人間や生物型のロボットが動作可能である全体的な行動をマクロに捉えて評価するために適していると考えたためである。このようにして Effort-Shape Description によるラバン動作解析によって得られる値を「身体的特徴量」とする。

次にこの身体的特徴量から、ラッセルの円環モデルの「快-不快」、「覚醒-眠気」の 2 つの異なる尺度値へのマッピングを行うために、本手法ではファジィ推論を用いた。本研究ではルール作成の際に複数の被験者にシステムの情動推論の結果を見せ、そのときの意見に従って試行錯誤でルールを修正するというプロセスを経ることによって情動推論ルールの一般化を行っている。このファジィ推論により得られる値をここでは「基本心理尺度値」と呼ぶこととする。最後にこの 2 軸の基本心理尺度値をラッセルの円環モデルに当てはめることにより感情値が得られる。感情値はウィットブリートとプラナらの主張であるネガティブな感情とポジティブな感情の枠組みを持つ感情空間による感情の分布を用いて、代表的な基本感情である喜・怒・哀・楽に分類がなされる。

人間や生物型ロボットのような、多関節を有する対象の複雑な動作を身体的特徴量として抽出することは一般に容易ではない。さらに、さまざまな感情や情動といった概念を表現する場合には、非常に複雑な動きを以て表されることになると考えられる。そこで本手法では入力としての対象の動作解析と、出力としての感情の表現において、それぞれラバン理論とラッセルの円環モデルを用いることにより複雑さの次元を落とし、動作体の情動推論を行うためのファジィルールの作成が容易になるように工夫した。

3.2 ラバン理論による身体動作解析

本研究では人間または生物型ロボットを動作体とし、中田ら同様、身体動作より物理的特徴量を抽出するにはラバン理論を用いた。抽出には CCD カメラ画像を用いて画像解析を行うことを前提としている。

ラバン理論とは、ラバン (Laban) [7] によって考案された、身体動作の特徴を分析し、それらを 3 種類の記述法とし分類されたものである。本提案手法ではその中から、身体動作を感性的な特徴を基に分類することに長けており、動きの質や表現の意味を記述するためのものである Effort-Shape Description を用いて身体動作から身体的特徴量を抽出している。Effort-Shape Description とは、身体動作を戦闘形態・陶醉形態に分類する場合に用いられる概念である。ラバン理論を用いるにあたっては、動きの質や表現の意味を表している Effort-Shape Description の概念を基に画像の解析を行った。4.1 節の前提条件より、下記の 4 つを身体的特徴量として計測し、ファジィルールへの入力値とした。Time Effort は、動作体の動作スピードを測定することにより、単位時間当たりの身体動作の移動距離によって評価値を求めている。Flow Effort は、Time Effort で単位時間あたりの移動量の差の一定時間における累積値の平均をとり、現在の移動量との差を求め、その値を評価値として求めている。さらに動作体の左右方向を x 軸、前後方向を y 軸、鉛直方向を z 軸と仮定すると、Table-Plane Shape とは x - y 平面を指し、Door-Plane Shape とは x - z 平面を示すものとする。今回の実験では動作体の前方から見た身体動作の物理的特徴量の測定のみを規定しているため、これら 2 つのシェイプを組み合わせ、身体動作における動きの領域面積と重心の高さを物理的特徴量として用いた。以下の表 1 は身体的特徴量として今回計測した値をまとめたものである。

表 1. 身体的特徴量の値

Time Effort	動作体の移動速度 : Lv
Flow Effort	移動速度の変化量 : Lt
	(単位時間あたりの一定時間における変化量)
Table-Plane Shape	領域面積 : Ls (動作体の領域面積)
Door-Plane Shape	重心高さ : Lp (動作体の重心の高さ)

3.3 ファジィ情動推論ルールの構築

図 5 は今回使用した前件部メンバーシップ関数である。図 6 は後件部シングルトンであり、ラッセルの円環モデルで使用する 2 次元の軸に基づく基本心理尺度値 R_x, R_y を示している。本手法におけるファジィルールは表 2 に示すように 4 入力 2 出力システムとなっている。

3.4 ラッセルの円環モデルによる感情値の導出

ラッセル (Russell) [8] は、全ての感情は「快 (Pleasure) - 不快 (Unpleasure)」、「覚醒 (Arousing) - 眠気 (Sleepy)」の 2 次元で表される平面上に、円環状に並んでいるとする円環モデル (図 3 参照) を提唱した。さらにラッセルは各感情は円環モデルにおける座標軸上のベクトルの方向と大きさとして表されたとした。本提案手法では、前述のファジィルールによって求められた 2 軸の基本心理尺度値 R_x, R_y を、ラッセルの円環モデルにおける x および y 軸の値とし、これらの値により感情値を導き出している。さらにホワイトブリードとプラナらのグループが行った実験結果も参考に、2 次元平面上の各象限ごとに基本的な感情を当てはめ、第 1 象限：喜び (Joy)、第 2 象限：怒り (Anger)、第 3 象限：哀しみ (Sadness)、第 4 象限：楽しみ (Relaxation) の感情が位置していると考えた。この喜怒哀楽の感情値を算出するため、以下の式 (1) によってラッセルの円環モデル上のベクトルの大きさと各象限

上の位置を求め、原点から離れるほど、また 2 次元上の軸から離れる (45° に傾く) ほど感情値が大きくなるものとした。また、本実験では、以下の式により 4 つの基本感情のうちいずれか一つの感情の強さを求め、それをもって感情値とすることとした。

$$E_i = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} |\sin(\pi - 2\theta)| \quad [i = J, A, S, R] \quad (1)$$

$$\theta = \arctan \frac{R_y}{R_x} \quad (2)$$

R_x : 「快-不快」軸の値 ($-1 \leq R_x \leq 1$)
 R_y : 「覚醒-眠気」軸の値 ($-1 \leq R_y \leq 1$)
 : 点 (R_x, R_y) と原点を結んだ直線と快方向との成す角度

$0 < \theta < \frac{1}{2}\pi$: $i = J(joy)$
 $\frac{1}{2}\pi < \theta < \pi$: $i = A(anger)$
 $\pi < \theta < \frac{3}{2}\pi$: $i = S(sadness)$
 $\frac{3}{2}\pi < \theta < 2\pi$: $i = R(relaxation)$

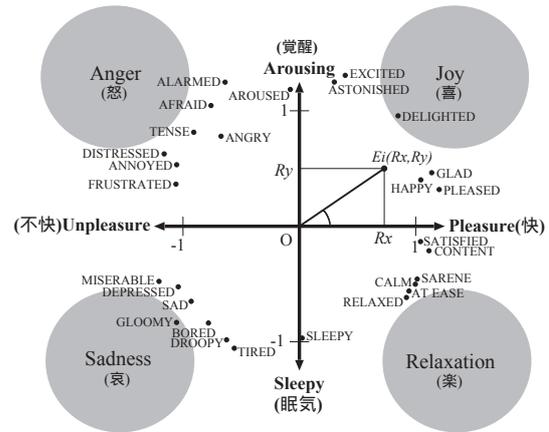


図 3. ラッセルの円環モデルによる感情値の導出

4 情動推論実験

本研究では、本手法の有効性を検証するため、人間と生物型ロボットを対象に身体動作を計測し、感情値を求める情動推論実験を行った。紙面の都合上生物型ロボットについては実験結果のみを記載する。

4.1 実験システム構成

図 4 に本実験のシステム構成を示す。動作計測には外部 CCD カメラを、OS には Linux を使用しデータの処理を行った。実験の動作体には生物型ロボットと人間を対象とし、身体各所にカラーマーカーを取り付け色抽出を行うことにより身体動作の計測を行う。以下では本実験に際しての留意点を述べる。

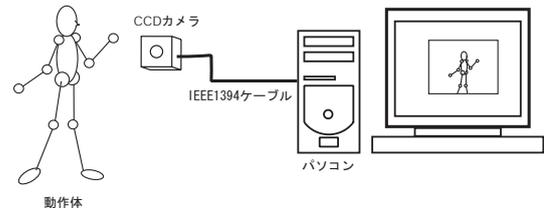


図 4. 実験システム構成

- 本実験は本研究室においてロボット用のサッカーフィールドを利用して行った。これは本実験で色抽出を行っているため、背景色をなるべく排除して実験を行うためである。
- 動作体である被験者には本学の学部生、大学院生に協力してもらった。さらに Sony 製 AIBO ERS-7 を使用した。

表 2. ファジィルール: 快-不快/覚醒-眠気

Lt	La			AS			AM			AL		
	Lv	PL	PM	PH	PL	PM	PH	PL	PM	PH		
TS	VS	ULL/SM	UL/SM	PS/SS	PS/SLL	PM/SL	PM/SM	USS/SLL	PSS/SL	PS/SM		
	VM	UL/SM	UM/SS	PM/SSS	US/SL	PM/SM	PL/SS	US/SL	PS/SM	PM/SS		
	VF	UM/SS	US/SSS	PL/SSS	UM/SM	PL/SS	PL/SSS	US/SM	PM/SS	PL/SSS		
TM	VS	UL/SS	UM/SM	PM/SL	US/SM	PM/SL	PL/SLL	US/SM	PS/SL	PM/SLL		
	VM	UM/AS	US/AM	PL/AL	UM/AM	PL/SS	PL/SM	US/SS	PM/SM	PL/SL		
	VF	US/AM	USS/AL	PLL/ALL	UM/AM	UL/AL	PLL/ALL	UM/AM	PL/AL	PLL/ALL		
TL	VS	UM/ASS	UL/AS	PM/AM	US/ASS	US/AS	PM/AM	UM/ASS	PS/AS	PM/AM		
	VM	US/AS	UM/AM	PL/AL	US/AS	UM/AM	PL/AL	UM/AS	PM/AM	PL/AL		
	VF	USS/AM	US/AL	PLL/ALL	UM/AM	UL/AL	ULL/ALL	UL/AM	PL/AL	PLL/ALL		

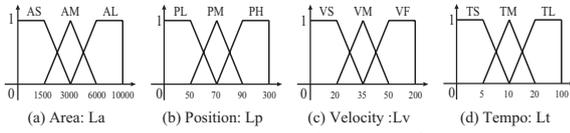


図 5. 前件部メンバーシップ関数

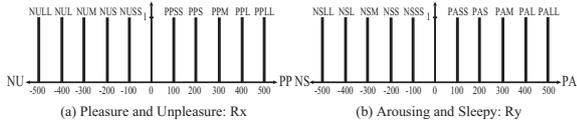


図 6. 後件部シングルトン

- 被験者の身体動作を計測する外部 CCD カメラは、システムのプログラムが稼働しているパソコンのそばに取り付け、そこから計測を行った。カメラは動作体が中央に来るように設置し、動作者にはカメラの撮影範囲内から移動しないことを条件に身体動作を行ってもらった。

4.2 実験方法

本実験ではファジィ推論を行う際の入力値として、対象とする人間および AIBO の一連の動作を読み込んだ外部 CCD カメラの画像から、画像処理によって次の値を求め使用する。人間が動作体である場合は対象の顔・腹部および両手の 4 点にそれぞれ赤・緑・黄・青の 4 色のカラーマーカーを取り付け、色抽出作業を行うことによって各色の重心座標を求めた。生物型ロボットを用いた実験では対象の顔・両前足の 3 点に取り付けた。例として人間を対象とした場合の CCD カメラによって得た画像とカラーマーカーを色抽出することによって得られた画像を図 7 に示す。そして求めた各点からラバン理論に基づき身体動作の計測を行う。領域面積 (Area) は対象が人間の場合は頭と腹部の距離による高さ、両手の距離による幅より求めた矩形の面積を、AIBO の場合は計測された 3 点を頂点に持つ三角形の面積を用いた。重心高さ (Position) は頭・両手の 3 点より得られた三角形の重心の高さを使用した。移動速度 (Velocity) は人間の場合は各カラーマーカーの重心位置、AIBO は三角形の重心位置の移動距離より求めた。そして対象が人間の場合は変化量 (Tempo) の値がさらに加えられ、これは各カラーマーカーの移動量の変化量を用いている。得られた各値 (図 8 参照) を身体的特徴量の入力値とした。また、ファジィ推論によって得られた基本心理尺度値をラッセルの円環モデルに当てはめることにより感情値を得た。

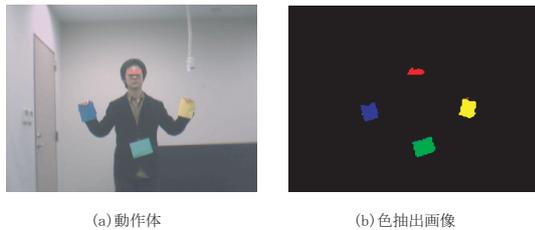


図 7. 本実験で用いた動作体と色抽出画像 (人間)

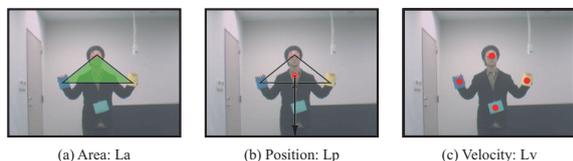


図 8. 実験で計測した身体的特徴量 (人間)

4.3 実験結果

紙面の都合上、喜・怒・哀・楽の場合の実験結果の内、喜・怒・哀についてを 1 秒毎に時間分解し、その画像をコマ撮りで並べたものをそれぞれ図 9 に示す。また図の下には、各動作におけるシステムが評価した喜・怒・哀それぞれの感情値の総和を式 (3) によって求め (J, A, S, R) で示した。さらに生物型ロボットの実験結果についても同様に図 10 に示す。人間が対象の場合は $E_{max} = 500\sqrt{2}$ 、生物型ロボットが対象の場合は $E_{max} = 300\sqrt{2}$ となっている。

$$i = \sum_{t_1}^{t_{end}} \frac{E_i}{E_{max}} \quad (3)$$

- E_i : 喜・怒・哀・楽における感情値 [$i = J, A, S, R$]
- E_{max} : 感情値の最大値

5 感性評価試験

本研究で提案したシステムの妥当性を評価するため、被験者に対してアンケート調査を実施した。システムの評価結果の有効性を検証するため 検定を行い、システムと人間被験者の判定結果の一致度の客観的評価を行った。検定とは、複数の被験者間における判定の一致度を求める評価手法の一手法である。人間被験者の評価結果を基に 値を求める過程を式 (4) ~ (6) に示す。表 3, 4 に、今回の実験にて得られた検定の結果をまとめた。表 3 は対象となる動作体が人間の場合において、3 人の人間の評価結果を合計し、システムとの評価の一致度を求めた表である。表 4 は動作体が AIBO の場合においてその動作を 65 人に対してアンケート調査を行い、アンケート結果の平均を人間の評価結果とした上でシステムとの評価の一致度を求めた表である。

$$P_o = (3 + 1 + 2 + 1) / 12 = 0.583 \quad (4)$$

$$P_e = 0.33 \times 0.25 + 0.33 \times 0.25 + 0.17 \times 0.25 + 0.17 \times 0.25 = 0.25 \quad (5)$$

$$= (P_o - P_e) / (1 - P_e) = 0.33 / 0.75 \approx 0.44 \quad (6)$$

表 3. システムと人間の感性評価の一致度 (人間)

感性評価	人間の評価 (合計)						
	Joy	Anger	Sad.	Relax.	Total	Rate	
システム評価	Joy	3	1	0	0	4	0.33
	Anger	0	1	1	2	4	0.33
	Sad.	0	1	2	0	2	0.17
	Relax.	0	1	0	1	2	0.17
	Total	3	3	3	3	12	1.00
Rate	0.25	0.25	0.25	0.25	1.00	-	

表 4. システムと人間の感性評価の一致度 (AIBO)

感性評価	人間の評価 (平均)						
	Joy	Anger	Sad.	Relax.	Total	Rate	
システム評価	Joy	8	3	0	0	11	0.55
	Anger	0	1	1	0	2	0.10
	Sad.	0	0	3	0	3	0.15
	Relax.	1	1	0	2	4	0.20
	Total	9	5	4	2	20	1.00
Rate	0.45	0.25	0.2	0.1	1.00	-	



$(J, A, S, R) = (14.68, 3.02, 0.00, 9.19)$
 $(J, A, S, R) = (15.55, 0.96, 0.0, 0.42)$
 $(J, A, S, R) = (0.90, 0.04, 26.23, 2.69)$
 (a) Joy (b) Anger (c) Sadness

図 9. 人間動作のシミュレーション結果



$(J, A, S, R) = (14.98, 0.00, 0.00, 2.63)$
 $(J, A, S, R) = (0.00, 9.15, 0.36, 0.00)$
 $(J, A, S, R) = (0.03, 4.28, 9.37, 2.25)$
 (a) Joy (b) Anger (c) Sadness

図 10. 生物型ロボット動作のシミュレーション結果

6 考察

本提案手法では、システムにおける出力結果は「喜・怒・哀・楽」の4種類において情動の大きさとして出力が行われた。そして2つの実験に対して 検定による感性評価を行った結果、動作体が人間の場合と AIBO の場合共に中程度の一致を示し、今回作成した情動推論システムと人間の感性の間にはほぼ一致しているという検証結果が得られた。AIBO において作成した動作には各情動について偏りが見られたため、評価結果においても偏りが見られる結果となってしまった。しかしすべての情動において一致した感性評価が得られることができた。また、人間に対する実験のため各被験者に行ってもらった身体動作には、ある程度似た傾向の見られる動作が行われていた。このためこの傾向をさらにシステムに

取り入れることにより、本提案手法における精度の向上が得られるものと思われる。しかし画像処理などシステムの計算に時間がかかってしまい、身体動作の流れがスムーズに入力することができず、そのため出力に際し値が不安定になることもあった。今後はファジィルールの精度向上と共に処理速度も速めていくことが求められる。

7 結言

本研究では、ラバン理論の概念を用いた身体動作解析より得られた身体的特徴量を入力値とし、ファジィ推論により得られた基本心理尺度値より、ラッセルの円環モデルを用いて喜・怒・哀・楽の感情値を求めるファジィ情動推論手法を提案した。さらに本提案手法の有効性を確かめるため、動作体として生物型ロボットと人間を用いて身体動作を行わせ、それぞれ感情値を求める実験を行った。さらに 検定を行うことにより実際の人間の感性との一致度を求め、システムの妥当性を検証した。

検証の結果、ある身体動作に対する本提案手法の評価結果と人間の感性より得られた評価結果にはある程度の一致の関係が見られ、本提案手法における有効性を認めることができた。

本研究では動作体として人間と生物型ロボットを選択し、その身体動作から動作体の持つ感情を推定する手法を提案したが、本提案手法である身体動作から見た情動の外的評価手法と、従来の内的な情動行動生成手法を組み合わせることにより、例えばロボット同士や人間とロボットに対するインタラクティブな情動コミュニケーションの実現等が可能となる。これら HAI 研究が人間と接する機械やロボットにおけるこれからのキーテクノロジーになることは明らかであるが、このような双方向コミュニケーション技術は早急に確立される必要があると考えられる。さらにこのようなロボットは人間に対する癒し効果が期待できるため、福祉ロボットや介護ロボットなどへの応用も可能である。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 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.252-259 (2001)
- [3] 前田 陽一郎, “ファジィルールを用いた基本心理ベクトルに基づく自律移動ロボットの感情生成実験,” 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.6, pp.816-825 (2000)
- [4] 前田 陽一郎, 田中 秀樹, “基本心理状態に基づく自律移動ロボットの感情シミュレータ,” 第 13 回ファジィシステムシンポジウム, pp.743-746 (1996)
- [5] 秋口 俊輔, 前田 陽一郎, “報酬と罰に関する複数の Q 値を有する Q-Learning のメタパラメータ制御に基づく情動行動学習,” 第 21 回ファジィシステムシンポジウム, pp.712-717 (2005)
- [6] 田辺 奈々, 前田 陽一郎, “ペットロボットを用いた身体的特徴量に基づくファジィ情動推論,” 第 7 回日本感性工学学会大会, pp.122 (2005)
- [7] R.Laban, 神沢 和夫 (訳), “身体運動の習得,” 白水社 (1985)
- [8] J.A.Russell, “A circumplex model of affect,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, pp.1161-1178 (1980)