

ロボットが表出する感情の社会機能的評価

寺田 和憲^{1,a)} 勅使 宏武¹ 伊藤 昭^{1,b)}

概要: 感情は対人関係を制御するという社会的機能を持つ。本研究では、ロボットの目に搭載されたフルカラー LED の点滅パターンによって表現する幸福と悲しみの感情が、人の利他行動に影響を与えるかどうかを指標として、ロボットが表出する感情が社会機能的に有効であるかどうかを検証した。感情に相当する点滅パターンは、20 人の実験参加者に、プルチックの提案する基本 8 感情それぞれについて調整法によって色相、周波数、波形を決定することを求め、全参加者の選択した値の平均値として決定した。社会的機能の検証には最後通牒ゲームを用いた。実験参加者は提案者、ロボットは応答者であった。実験参加者は 90 秒以内にスライダバーを操作することによって提案割合を決定することを求められた。その際に、スライダバーの位置に連動して、ロボットの目の発光パターンが連続的に変化した。ロボットへの配分額が少ないときは悲しみ（青）、多い時は幸福（黄）で点滅した。実験の結果、ロボットが感情表現をした場合にはロボットへの配分額が 6% 多くなることが分かった。この結果によって、ロボットの目の発光パターンによる感情表出は人の社会的意思決定に影響を与え得ると言える。

1. はじめに

社交性のあるロボットを設計するにあたり、人がロボットの行動をどのように予測するのか、またそのロボットの行動によって人が重要な決断をする際に影響を与えるのかどうかという問題を考慮しなければならない。本研究では、色と感情を結びつけるという人の特性を利用し、ヒューマノイドロボットを用いた感情表現の新しい方法を提案し、感情を表現する能力が社会的機能を持つことを示した。ロボットは目の色とその明滅によって感情を表現し、その表現能力の有効性は人の利他的行動を評価基準として評価を行った。

近年、ロボットの感情表現の方法について多くの研究がなされ、表情 [2], [9], [18], [20], [24] や会話 [21], [22], 体の動き [4], [34], 色 [21], [22], [38], [40] 等を用いた様々な方法が提案されている。表情による感情表現は、人と人とのコミュニケーションでも使われる為、ロボットの感情表現においてもよく利用される [3], [9], [18], [24], [25]。これらのロボットの多くは高度な表情変化の機能を搭載している。基本的にこれらのロボットは、実際に人と交流する際に人の表情を真似することで、相手に感情を伝達させてい

る。表情変化による感情表現は、直観的に感情を伝える利点がある一方、人の顔を真似するデバイスを考案しなければならず、コストも高くなり、設計が難しくなってしまう。そこで本研究では、ロボットの表情を変化させることなく、感情を表現する方法を提案する。これは、動きや姿勢、色、音等の人に感情移入させることができる重要な要因を利用した方法である [5]。我々はそれらの中でも色とその変化について注目し、調査を行った。

子供の発育についての研究では、人は早期乳児期に色と感情を結びつけることを学び、感情的な反応や考え、行動を生涯無意識的に引き起こすことが示されている [30]。色の心理学的影響は長い間知られている。色が特定の感情を連想させることは広く知られており、赤は怒りや情熱、青は平静、黄は喜び、緑は安らぎを連想させるとされている [1]。色と感情の関係についての調査がいくつか行われている。Boyatzis らは、子供はピンクや青、赤等の鮮やかな色にはポジティブな反応をし、茶色や黒、灰色等の暗い色にはネガティブな反応を示した。光の色を用いたロボットによる感情表現が可能であるという研究もあり、菅野らは青と恐れ、赤と怒り、黄は喜びを連想させることを示した [38]。松井らは、ロボットの顔にカラー LED を装着し、LED を目と口の動きに合わせて光らせた [24]。彼らの研究では、怒りは顔を赤く、喜びは頬を緑に、悲しみは頬を青く光らせることで表現した。有吉らは、感情認識の観点からヒューマノイドロボットの顔の色を用いた影響を調査した。彼らは赤は怒りを、黄は喜びを、青は悲し

¹ 岐阜大学
Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu, 501-1193, Japan

^{f1} 現在、岐阜大学
Presently with Gifu University

a) kazunori.terada@acm.org

b) ai@info.gifu-u.ac.jp

みを表すことを示した。しかし Häring らは、目の色が感情を表現する要素であるとは言い切れないと見なした [15]。

寺田らによる包括的な研究では、色相は基本感情を表し、波形による違いは感情の強弱を表すことを示した。この研究では、高周波の矩形波は強い感情を表し、低周波の余弦波は弱い感情を表した [40]。しかし、機能性が無く、インタラクティブでないランプのようなオブジェクトを用いて実験を行った為、色と感情の位置づけは、人とロボットのインタラクションタスクとして評価されなかった。そのため本研究では、我々はヒューマノイドロボットを用い、感情の面から社会的機能性に注目し、カラー LED を点滅させることによる感情表現の方法が有効であることを示すために、人が利他的行動を取るのかという実験によってその効果を検証した。

ロボットの感情についての研究の多くは、ロボットによる感情表現についての印象を評価するアンケート調査が利用されていることが多い。ロボットの感情が人に与える影響について調査されている研究 [6], [10], [23] もあり、それらはタスク指向に焦点を合わせ、感情の影響を調査していた。Leyzberg らは、感情を表現するロボットは人により良い教育を引き起こすことを示した [23]。Bickmore らは長期間の実験を行い、社会的な感情表現をするロボットは実験参加者の運動に対する意欲を向上させることを示した [6]。しかしこれらの研究は、感情を持つロボットは人の行動に良い影響を与えることを示したが、これらの感情の特性や必要不可欠な機能についての議論はされていない。我々の研究では、感情の社会的機能性に注目し、ロボットの目を光らせることによって感情を表現し、人の利他的行動への影響を調査した。

感情は人の行動を制御する。例えば、恐れは心拍数と筋肉の緊張を増加させ、その場から逃げたくなるような気持ちにさせる [28]。その為恐れは、危険な状況にいる時に役に立つ。これは個人内での感情の機能である。感情は本人だけでなく、周囲の人の行動にも影響を及ぼす [11], [12], [17], [26], [31]。例えば、怒りは対立している状況下において、相手から譲歩を得られる [13], [26], [29], [33], [35], [41], [42], [43], [44]。つまり、ロボットが感情を表すことは人に親近感を与えるだけでなく、言葉を用いずに人を操作することができるとされている [8], [9]。

本研究では、ロボットの喜びと悲しみという 2 つの感情が表現されているかを調査する為に、人の利他的行動を用いて検証を行った。感情によるコミュニケーションの主な特徴として、言葉を用いずに気持ちを伝えることが挙げられる。例えば、悲しみの表情は、言葉を介さずに社会的援助を引き出すことができるとされている [16]。また、無意識に起こる感情は無意識のうちに相手に伝えられる [36]。このような感情によるコミュニケーションは、他

人とのやり取りによって形成されていき、無意識のうちに呼び出されることで共感を引き起こす [7], [19], [36], [37]。また、共感が利他的行動を引き起こすことは知られている [11], [12], [36], [47]。

近年、人とロボットのインタラクションに関する研究を行う際、ロボットを評価する実験として最後通牒ゲームが注目されている [27], [39]。元々最後通牒ゲームは、人の利他的行動を測る為に使用され、2 人の人が提案者と応答者となり、報酬を分配するというゲームである [14], [29], [32], [41], [45], [46]。報酬の分配権を与えられている提案者は、応答者に配分を提案し、応答者が配分を承諾すれば提案通りに報酬が分配され、拒否すれば両者共報酬を受け取ることができないというルールである。最後通牒ゲームを用いた実験の結果によると、応答者への配分が 40% の時、拒否する応答者は 16% であった [29]。

我々は最後通牒ゲームを用いて、喜びと悲しみの 2 つの感情をロボットの目を光らせることで表現し、对人的機能の面からその効果を検証した。我々は、応答者が悲しみの感情を表すと提案者への配分は低くなり、喜びの感情を表すと配分は高くなると仮説を立てた。

本研究は 2 つのステップによって構成されている。まず、NAO と呼ばれるヒューマノイドロボットを使用し、その目の LED の色と動的なパラメータを用いて、実験参加者に Plutchik の感情の輪にある 8 種類の感情を、それぞれ適していると感じる光のパターンを作り、表現してもらうという実験を行った。次に、行動指標される人の利他的行動によって、NAO の目の LED が動的に変化するという実験を行い、喜びと悲しみの 2 つの感情表現の効果を検証した。

2. 実験 1

Plutchik の感情の輪にある 8 種類の感情を表現する為の動的なパラメータとして、我々は実験参加者に色相、周期、明滅する速度をの値設定するよう指示した。基本的な心理物理学の手法の 1 つとして知られているパラメータの調節方法を用い、8 種類の感情それぞれに一致する色と動的パラメータの値を調査した。

2.1 実験参加者

岐阜大学の学生 20 人に協力してもらい、実験を行った。実験参加者は 18 歳から 24 歳で、男性 18 人、女性 2 人であった ($M_{age} = 22.35, SD_{age} = 1.45$)。

2.2 実験手順

NAO の目の LED の点滅パターンを設定する為に、実験参加者は以下の 3 つのパラメータを調節した。

- 色相
- 点滅周期 (ms)
- 明滅速度 (輝度値の変化の滑らかさ)

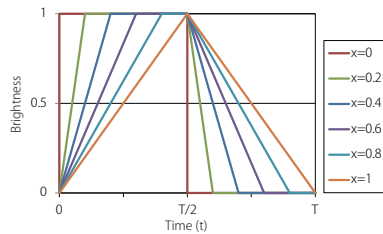


図 1 明滅速度と輝度値の関係

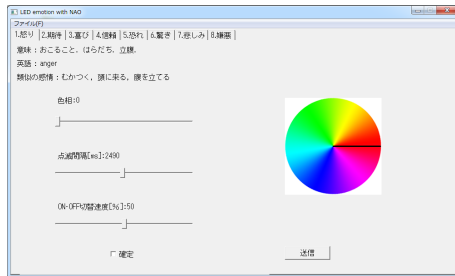


図 2 実験 1 で使用したインタフェース

明滅速度は比率 $x \in [0,1]$ の値を設定することで、半周期のうち明るくなる(暗くなる)までの時間を調節することができる。図 1 は比率 x と波形の関係を示している。 T は周期 (ms) を示している。

図 2 は実験で使用したインタフェースの画像である。実験参加者はこのインタフェースを使用し、リアルタイムに点滅パターンを操作することができる。図 2 の 3 本のスライドバーは上から順に、色相、点滅周期 (ms)、明滅速度を示している。色相の値は 0 から 359 の範囲で調節でき、初期値は 0 とした。実験参加者はマウスでスライドバーをドラッグまたはクリックすることで値を指定することができる。点滅周期 (ms) は 100 から 5000 の範囲で調節でき、初期値は 2490 とした。明滅速度は 0 から 100% の範囲で調節でき、初期値は 50% とした。

インタフェースの上方にある横一列に並んでいるタブには、Plutchik の感情の輪にある 8 種類の感情を実験参加者に分かりやすいように、類似した日本語を記載した。

実験中、実験参加者はロボットの正面に座り、コンピュータのディスプレイをロボットの横に置くことで実験参加者は目を動かすことなく色の変化をみることができる。実験参加者には 3 本のスライドバーの値を設定し、選択しているタブに書かれている感情を適切に表現してもらうよう指示をした。制限時間は無く、実験参加者自身が終了を宣言するまでタブやスライドバーを自由に調節することができた。

2.3 実験結果及び考察

図 4 は全ての実験参加者が設定した色相の平均値である。図 4 は各感情の平均値を表しているが、色相環をベースにしている為、それぞれの実験参加者が設定した色相の値を単位ベクトルに変換し、その合成ベクトルを平均値として

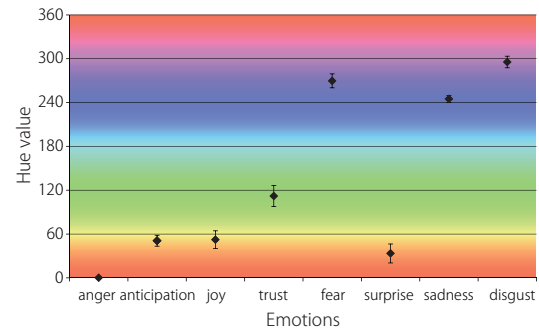


図 4 8 感情毎の色相の平均値

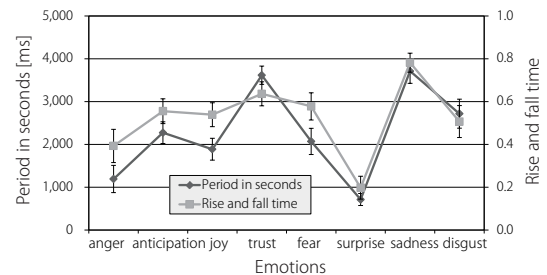


図 5 8 感情毎の周期と明滅速度の平均値

表 1 色相、周期、明滅速度についての分散分析結果

	anger	anticipation	joy	trust	fear	surprise	sadness
anticipation	**/ns/ns						
joy	**/ns/ns	ns/ns/ns					
trust	**/**/ns	**/**/ns	**/**/ns				
fear	**/ns/ns	**/ns/ns	**/**/ns	**/**/ns			
surprise	ns/ns/ns	ns/**/**	ns/**/**	**/**/**	**/**/**		
sadness	**/**/**	**/**/ns	**/**/ns	**/ns/ns	ns/**/ns	**/**/**	
disgus	**/**/ns	**/ns/ns	**/ns/ns	**/ns/ns	ns/ns/ns	**/**/**	**/ns/**

算出した。また、標準偏差は、円を平均値を中心に展開することで算出した。例えば、350 という値のデータがあり、平均が 0 である場合、このデータの値を -10 とした。一元配置分散分析を行った結果、各感情の値は統計的に有意に差があるといえた ($F(7, 133) = 158.43, p < .01$)。Bonferroni の多重比較によって、怒りと驚き、期待と喜び、期待と驚き、喜びと驚き、恐れと悲しみ、恐れと嫌悪の間に統計的に有意な差があることが確認された (表 1)。

図 5 は全ての実験参加者が設定した周期と明滅速度を集計した結果である。一元配置分散分析によって、各感情の周期、明滅速度共に統計的に有意に差があることが確認された (それぞれ、 $F(7, 133) = 19.18, p < .001, F(7, 133) = 7.99, p < .001$)。Bonferroni の多重比較によって、周期では 15 組、明滅速度では 8 組において統計的に有意に差があることが確認された (表 1)。

図 3 は 8 種類の感情の色と波形の平均値を表した図である。統計的検定より、期待と喜びと驚きは同じような色相であった。しかし驚きの波形は、期待と喜びと統計的に有意な差が見られた。また、恐れと悲しみと嫌悪についても、それぞれの色相の値に大きな差は無かったが、悲しみは波形を考慮すると他の 2 つの感情と区別することができる。このように感情間関係を分析すると、全 28 組中 26 組を区別することができたが、期待と喜び、恐れと嫌悪の組合

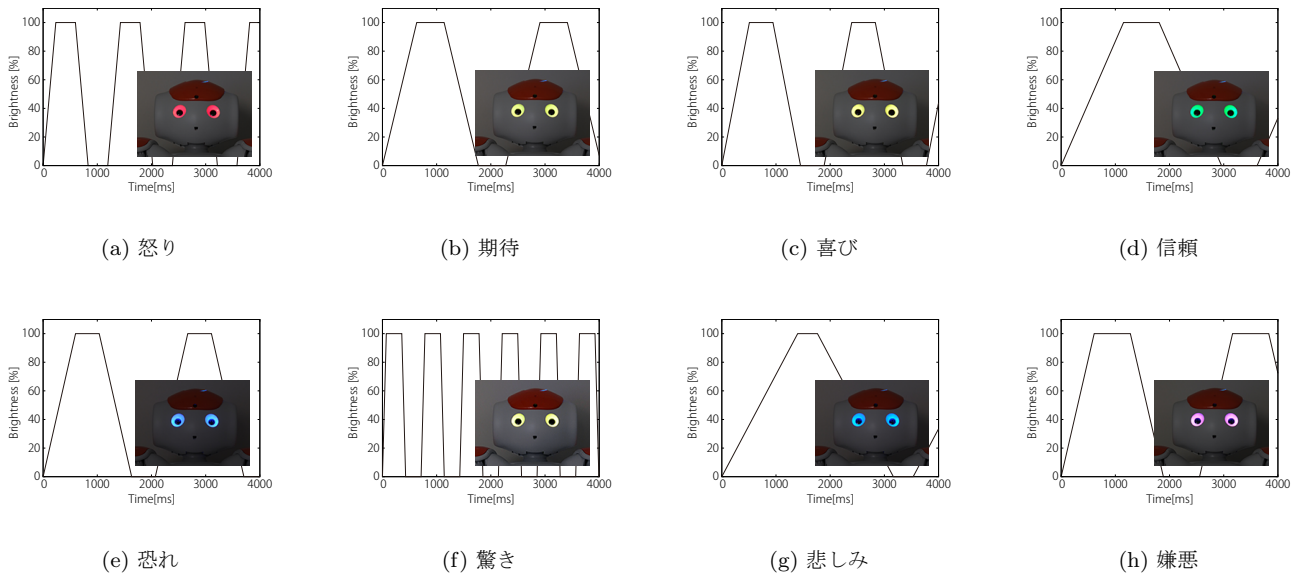


図 3 8 感情毎の色と波形の平均値

せは区別することができなかった。

本実験における結果と Plutchik のモデルとの相関を分析したところ、色相の値の相関係数は $0.71(p < .01)$ であった。つまり本実験の結果は、Plutchik のモデルと非常に似ているというのを導き出したのである。これは、Plutchik のモデルの中で似ているとされている感情は、色相環においても近くに位置していることを示し、喜びと悲しみ、信頼と嫌悪はそれぞれ Plutchik のモデルの中で反対側に位置しており、本実験においてもこの 2 組は色相環の反対側に位置していることを示した。

実験参加者が設定した色相の平均値は、寺田ら [40] によるランプのようなオブジェクトを用いた実験結果とよく似ていた。しかし、周期と明滅速度に関して本実験の結果は、寺田ら [40] の実験結果に比べ、やや大きい値を示していた。2 つの実験に差はあるものの、両実験とも色の变化を用いた感情を表現する方法の一般化に有用であるといえる。

3. 実験 2

実験 1 では、明確に書かれていた 8 種類の感情について実験参加者がパラメータを設定するという実験であったが、意識的に感情の状態を認識すると、相手が意思決定する際に相手の感情状態を認識するのでは違いがある。実験 2 では、感情の社会的機能の観点から動的に色を変化させることで、喜びと悲しみの 2 つの感情の状態が起こす効果を検証した。

3.1 実験参加者

岐阜大学の学生 34 人に協力してもらい、実験を行った。実験参加者は 19 歳から 24 歳で、男性 29 人、女性 5 人であった ($M_{age} = 21.46, SD_{age} = 1.17$)。

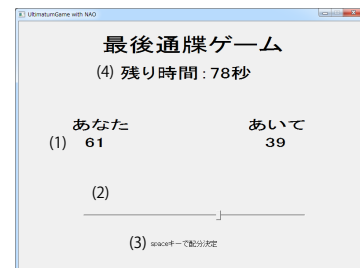


図 6 実験 2 で使用したインタフェース

3.2 実験手順

実験参加者には最後通牒ゲームを行ってもらった。実験参加者には提案者の役を与え、1 枚あたり 10 円の価値があるチップを 100 枚渡し、そのチップを実験参加者とロボットに分配するチップの枚数を提案してもらった。制限時間を 90 秒とした。配分を決定するまでの間、実験参加者はスライダーを操作することで配分を提案することができ、ロボットの目の反応を見て、配分を決定することができた。

本実験で使用したインタフェースを図 6 に示す。実験参加者には、90 秒間スライダーを操作し、相手の反応を見ながら提案する配分を決定するよう指示した。スライダーの操作にはコンピュータのキーボードを使用した。

一要因二水準、実験参加者間の実験計画で行った。実験参加者はロボットの目が「感情的な変化をしない」条件と「感情的な変化をする」条件の 2 種類に無差別に振り分けられた。光らない状況下では、NAO の目の LED は常に消灯とした。

LED の明滅パターンはスライダーの位置によって変化した。NAO への配分が 50% 未満の時は青色に光り、悲しみを表現し、50% より大きい時は黄色に光り、喜びを表現した。色相はそれぞれの感情の中で変化することは無

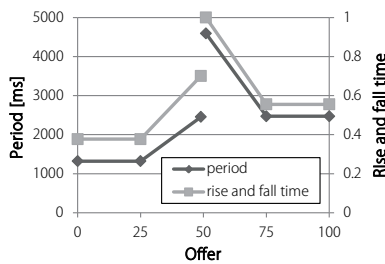


図 7 提案に対するロボットの LED の周期と明滅速度

く、周期と明滅速度はスライドバーの位置によって感情の強弱を表現する為に変化した。寺田ら [40] の研究では、強い感情を表す程周期は高くなり、波形は矩形波になる。逆に弱い感情を表す程周期は低くなり、波形はコサイン波になるとされた。図 7 は本実験で使用した感情の強度変化を示すグラフである。また、提案が 50% からの変動が 25% 以内である時、各感情の周期と明滅速度が実験 1 で算出された各感情の平均値から $\pm 30\%$ で徐々に変化するようにした。その結果、提案が 25% 未満の時及び 75% よりも高い時、感情の強度の変化はしなかった。

実験室では、実験参加者は最後通牒ゲームのルールが書いてある説明書を読み、実験参加者は提案者の役であることを知らされた。インタフェースが表示されているコンピュータのディスプレイは NAO の横に設置され、実験参加者は NAO とインタフェースの両方を同時に見ることができた。提案の決定後、実験参加者はすぐに提案が受け入れられたかどうかを知らされず、アンケートに回答した。これは、ロボットの決定によりアンケートの回答が変化することを防ぎ、正確にアンケートに回答してもらう為である。アンケート回答後、全ての実験参加者には 50:50 で受諾されたとし、500 円を支払った。

最終的な提案を記録した。ゲーム後のアンケートでは、以下を含む 6 つの質問に回答してもらった。アンケートは 7 段階評定の質問 (1:全く思わない, 7:とてもそう思う) と自由記述の質問で構成されていた。

提案の決定後に行ったアンケートでは、実験参加者に以下のような 7 段階評定の質問 (1:全く思わない, 7:とてもそう思う) に回答してもらった。

Q1. ロボットの目の発光パターンから感情を感じたか

Q2. 感情を考慮し、提案を決定したか

3.3 実験結果及び考察

感情的な変化をする条件と感情的な変化をしない条件との提案を決定するまでの時間の平均はそれぞれ、78.59s ($SD = 21.23$) と 85.71 ($SD = 5.58$) であった。一元配置の分散分析の結果は、 $F(1, 32) = 1.78, p = .19$ であり、統計的に有意な差は確認されなかった。

図 8 は水準間での最終的な提案の平均を示している。一元配置の分散分析の結果は、 $F(1, 32) = 4.93, p < .05$ とな

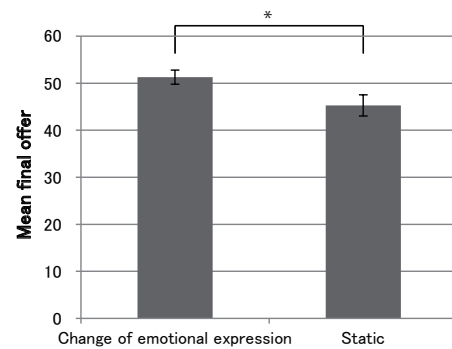


図 8 最終的な提案におけるロボットへの配分

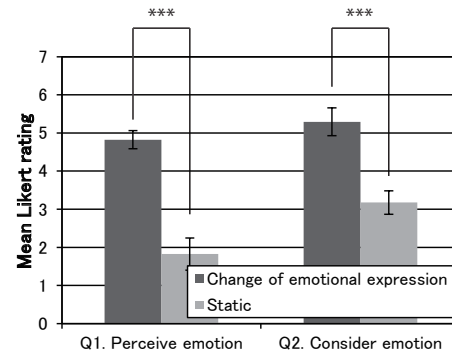


図 9 Q1 と Q2 についてのアンケート結果

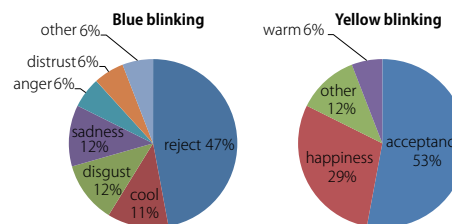


図 10 青色と黄色の明滅から感じた感情

り、統計的に有意な差が確認され、実験参加者は感情的な変化をする条件 ($M = 51.29, SD = 6.21$) は感情的な変化をしない条件 ($M = 45.29, SD = 9.24$) よりもロボットへの配分が高くなる提案をしていた。

図 9 はアンケートの結果を示している。マンホイットニー U 検定の結果、ロボットから感情を感じたか、提案を決定する際に感情を考慮したか、ロボットの反応は機械的に感じたかという質問の回答は、感情的な変化をする条件の方が感情的な変化をしない条件よりも高いことを示した ($U = 2, z = 5.04, p < .001, U = 44.5, z = 3.52, p < .001, U = 72, z = 2.64, p < .01$)。

図 10 は感情的な変化をする条件における実験参加者が答えた、Q1 に対する回答を集計したグラフである。

4. 全体考察

実験 2 の結果では、感情的な変化をしない条件下よりも感情的な変化をする条件下の方が、実験参加者は NAO への配分が高い提案をすることが示された。つまり、実験参

加者は、ロボットの目のLEDの明滅が感情を表している
と知らされていなくても、ロボットの目のLEDが明滅す
るかどうかで行動が変化したのである。このことから実験
参加者は、自ら明滅パターンが感情を表していると感じて
いることが言える。目の明滅から読み取られる感情は、そ
の時の提案に対する意思の表れであった(図10)。多くの
実験参加者は青色の明滅を「拒否」と感じたが、拒否とは
嫌悪による行動である。従って、約60%の実験参加者が
青色の明滅から嫌悪を感じていると言える。Plutchikのモ
デルによると、受諾は信頼の弱い感情で、嫌悪の反対側に
位置している。つまり、実験参加者は黄色と青色の明滅パ
ターンから、喜びと悲しみよりも信頼と嫌悪を感じている
ことが言える。しかしPlutchikのモデルにおいて、信頼は
喜びの隣に位置し、嫌悪は悲しみの隣に位置していること
から、この2組は似ている感情であると言える。このこと
から本実験の結果は、我々の提案した方法が実験参加者に
感情を想起させることを示したと言える。

従来の最後通牒ゲームを用いた実験結果によると、大抵の
提案者は応答者への配分を40%にしているとされた[29]。
しかし、感情的な変化をする条件では応答者への配分は
51.29%であった。これは、応答者が感情的な反応を行う
と、応答者への配分が約10%上昇することを示している。
また、感情的な変化をしない条件における応答者への配分
の平均は45.29%となっている。この値は、先行研究にお
ける感情表現を行わなかった時の実験結果とおおよそ一致
している。

実験後に行ったアンケートの結果は、実験参加者がロボ
ットの目から感情の変化を認識したかどうかによって水
準間に差が生じたのであると考えられる。ロボットの目か
ら感情を感じたかどうかという質問に対しては、感情的な
変化をする条件の方が高く、平均値は4.82であった。この
値は感情的な変化をしない条件の平均値と比べて、3.0高
い値である。このことから、実験参加者は感情を感じ取る
ことで、彼らの利他的行動に影響を与えていると言える。

感情的な変化をする条件下において、実験参加者が配分
を50:50に近い値で提案した理由について、次の2つの可
能性が考えられる。1つ目は、実験参加者の操作に対して
感情表現の変化を動的に返していると判断されたのではな
いか。この場合、ロボットの感情表現に意味は無く、実験
参加者の入力に対して単純に反応を返しているだけである
と予測され、公平な提案を判断したのかもしれない。2つ
目は、スライドバーの初期位置が50:50であり、この時ロ
ボットのLEDは光らない為、実験参加者は50:50で提案を
決定したのかもしれない。これらの仮定を検証する為に、
スライドバーの初期位置を50%以外に設置する等し、調
査する必要がある。

5. まとめ

本研究では、ヒューマノイドロボットを用い、その目の
色を動的に変化させることで感情を表現するという新しい
方法を提案した。実験参加者によって設定された明滅パ
ターンは、Plutchikのモデルに一致していた。さらに、本
実験で得た明滅パターンは先行研究の実験結果とも似て
おり、非常に有効的であることが示された。また、最後通
牒ゲームを用いて感情の社会的機能の観点から、喜びと悲
しみの2つの感情について実験を行った。その結果、青色
の明滅は悲しみよりも嫌悪を感じさせ、黄色の明滅は喜び
よりも信頼を感じさせた。従って本研究では、目の色の明
滅による感情表現は社会的機能を持つことを示した。本研
究では社会的状況の中で、2つの感情のみについて調査を
行ったが、今後はその他の感情や違う状況においても研究
を進めていきたい。

参考文献

- [1] Argyle, M.: *Bodily Communication*, International Uni-
versities Press (1975).
- [2] Bartneck, C.: Interacting with an embodied emotional
character, *Proceedings of the 2003 international confer-
ence on Designing pleasurable products and interfaces*,
DPPI '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 55-60 (on-
line), DOI: 10.1145/782896.782911 (2003).
- [3] Becker-Asano, C. and Ishiguro, H.: Evaluating fa-
cial displays of emotion for the android robot Gemi-
noid F, *Affective Computational Intelligence (WACI),
2011 IEEE Workshop on*, pp. 1-8 (online), DOI:
10.1109/WACI.2011.5953147 (2011).
- [4] Bethel, C. L. and Murphy, R. R.: Non-facial/non-
verbal methods of affective expression as applied to
robot-assisted victim assessment, *Proceedings of the
ACM/IEEE international conference on Human-robot
interaction, HRI '07*, New York, NY, USA, ACM, pp.
287-294 (online), DOI: 10.1145/1228716.1228755 (2007).
- [5] Bethel, C. L. and Murphy, R. R.: Survey of Non-
facial/Non-verbal Affective Expressions for Appearance-
Constrained Robots, *Systems, Man, and Cybernetics,
Part C: Applications and Reviews, IEEE Transac-
tions on*, Vol. 38, No. 1, pp. 83-92 (online), DOI:
10.1109/TSMCC.2007.905845 (2008).
- [6] Bickmore, T. W. and Picard, R. W.: Establishing
and maintaining long-term human-computer relation-
ships, *ACM Transactions on Computer-Human Inter-
action*, Vol. 12, No. 2, pp. 293-327 (online), DOI:
10.1145/1067860.1067867 (2005).
- [7] Blair, R. J. R.: Facial expressions, their communica-
tory functions and neuro-cognitive substrates, *Philo-
sophical Transactions of the Royal Society of Lon-
don, Series B*, Vol. 29, pp. 561-572 (online), DOI:
10.1098/rstb.2002.1220 (2003).
- [8] Breazeal, C.: Emotion and sociable humanoid robots,
*International Journal of Human-Computer Stud-
ies*, Vol. 59, No. 1-2, pp. 119-155 (online), DOI:
10.1016/S1071-5819(03)00018-1 (2003).
- [9] Breazeal, C.: Function meets style: insights from emo-
tion theory applied to HRI, *Systems, Man, and Cyber-*

- netics, *Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, Vol. 34, No. 2, pp. 187–194 (online), DOI: 10.1109/TSMCC.2004.826270 (2004).
- [10] Cassell, J. and Thorisson, K. R.: The power of a nod and a glance: Envelope vs. emotional feedback in animated conversational agents, *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 13, No. 4-5, pp. 519–538 (online), DOI: 10.1080/088395199117360 (1999).
- [11] Decety, J. and Chaminade, T.: Neural correlates of feeling sympathy, *Neuropsychologia*, Vol. 41, No. 2, pp. 127–138 (online), DOI: DOI: 10.1016/S0028-3932(02)00143-4 (2003).
- [12] Decety, J. and Jackson, P. L.: The Functional Architecture of Human Empathy, *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, Vol. 3, No. 2, pp. 71–100 (online), DOI: 10.1177/1534582304267187 (2004).
- [13] Fabiansson, E. C. and Denson, T. F.: The Effects of Intrapersonal Anger and Its Regulation in Economic Bargaining, *PLoS ONE*, Vol. 7, No. 12, p. e51595 (online), DOI: 10.1371/journal.pone.0051595 (2012).
- [14] Güth, W. and Tietz, R.: Ultimatum bargaining behavior : A survey and comparison of experimental results, *Journal of Economic Psychology*, Vol. 11, No. 3, pp. 417–449 (online), available from <<http://ideas.repec.org/a/eee/joepsy/v11y1990i3p417-449.html>> (1990).
- [15] Häring, M., Bee, N. and André, E.: Creation and Evaluation of emotion expression with body movement, sound and eye color for humanoid robots, *The 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2011)*, pp. 204–209 (online), DOI: 10.1109/ROMAN.2011.6005263 (2011).
- [16] Hasson, O.: Emotional Tears as Biological Signals, *Evolutionary Psychology*, Vol. 7, No. 3, pp. 363–370 (2009).
- [17] Hendriks, M. C. P. and Vingerhoets, A. J. J. M.: Crying: is it beneficial for one’s well-being?, *International Congress Series*, Vol. 1241, pp. 361–365 (online), DOI: DOI: 10.1016/S0531-5131(02)00642-8 (2002).
- [18] Itoh, K., Miwa, H., Nukariya, Y., Zecca, M., Takanobu, H., Roccella, S., Carrozza, M. C., Dario, P. and Takanishi, A.: Mechanisms and functions for a humanoid robot to express human-like emotions, *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4390–4392 (2006).
- [19] Jabbi, M., Swart, M. and Keysers, C.: Empathy for positive and negative emotions in the gustatory cortex, *NeuroImage*, Vol. 34, No. 4, pp. 1744–1753 (online), DOI: DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.10.032 (2007).
- [20] Kanoh, M., Kato, S. and Itoh, H.: Facial expressions using emotional space in sensitivity communication robot “Ifbot”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004 (IROS 2004)*, Vol. 2, pp. 1586–1591 (online), DOI: 10.1109/IROS.2004.1389622 (2004).
- [21] Kim, E. H., Kwak, S. S., Han, J. and Kwak, Y. K.: Evaluation of the expressions of robotic emotions of the emotional robot, “Mung”, *Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC ’09*, New York, NY, USA, ACM, pp. 362–365 (online), DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1516241.1516304> (2009).
- [22] Kim, E. H., Kwak, S. and Kwak, Y. K.: Can robotic emotional expressions induce a human to empathize with a robot?, *Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, pp. 358–362 (online), DOI: 10.1109/RO-MAN.2009.5326282 (2009).
- [23] Leyzberg, D., Avrunin, E., Liu, J. and Scassellati, B.: Robots that express emotion elicit better human teaching, *HRI ’11: Proceeding of the 6th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction*, HRI ’11, New York, NY, USA, ACM, pp. 347–354 (online), DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1957656.1957789> (2011).
- [24] Matsui, Y., Kanoh, M., Kato, S., Nakamura, T. and Itoh, H.: A Model for Generating Facial Expressions using Virtual Emotion based on Simple Recurrent Network, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 14, No. 4, pp. 453–463 (2010).
- [25] Mazzei, D., Lazzeri, N., Billeci, L., Iglizzi, R., Mancini, A., Ahluwalia, A., Muratori, F. and Rossi, D. D.: Development and evaluation of a social robot platform for therapy in autism, *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 4515–4518 (online), DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091119 (2011).
- [26] Morris, M. W. and Keltner, D.: How emotions work: The social functions of emotional expression in negotiations, *Research in Organizational Behavior*, Vol. 22, No. 0, pp. 1–50 (online), DOI: 10.1016/S0191-3085(00)22002-9 (2000).
- [27] Nishio, S., Ogawa, K., Kanakogi, Y., Itakura, S. and Ishiguro, H.: Do robot appearance and speech affect people’s attitude? Evaluation through the Ultimatum Game, *The 21th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2012), 2012* (2012).
- [28] Öhman, A.: Fear and Anxiety: Evolutionary, Cognitive, and Clinical Perspectives, *Handbook of Emotions* (Lewis, M. and Haviland-Jones, J. M., eds.), Guilford Press, pp. 511–536 (1993).
- [29] Oosterbeek, H., Sloof, R. and van de Kuilen, G.: Cultural Differences in Ultimatum Game Experiments: Evidence from a Meta-Analysis, *Experimental Economics*, Vol. 7, pp. 171–188 (online), DOI: 10.1023/B:EXEC.0000026978.14316.74 (2004).
- [30] Pope, D. J., Butler, H. and Qualter, P.: Emotional Understanding and Color-Emotion Associations in Children Aged 7-8 Years, *Child Development Research*, Vol. 2012, pp. Article ID 975670, 9 pages (online), DOI: 10.1155/2012/975670 (2012).
- [31] Ruby, P. and Decety, J.: How Would You Feel versus How Do You Think She Would Feel? A Neuroimaging Study of Perspective-Taking with Social Emotions, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 16, No. 6, pp. 988–999 (online), DOI: 10.1162/0898929041502661 (2004).
- [32] Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E. and Cohen, J. D.: The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game, *Science*, Vol. 300, No. 5626, pp. 1755–1758 (online), DOI: 10.1126/science.1082976 (2003).
- [33] Sell, A., Tooby, J. and Cosmides, L.: Formidability and the logic of human anger, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, No. 35, pp. 15073–15078 (online), DOI: 10.1073/pnas.0904312106 (2009).
- [34] Shimokawa, T. and Sawaragi, T.: Acquiring communicative motor acts of social robot using interactive evolutionary computation, *Systems, Man, and Cybernetics, 2001 IEEE International Conference on*, Vol. 3, pp. 1396–1401 vol.3 (online), DOI: 10.1109/IC-

- SMC.2001.973477 (2001).
- [35] Sinaceur, M. and Tiedens, L. Z.: Get mad and get more than even: When and why anger expression is effective in negotiations, *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 42, No. 3, pp. 314 – 322 (online), DOI: 10.1016/j.jesp.2005.05.002 (2006).
- [36] Singer, T.: The neuronal basis and ontogeny of empathy and mind reading: Review of literature and implications for future research, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 30, No. 6, pp. 855–863 (online), DOI: DOI: 10.1016/j.neubiorev.2006.06.011 (2006).
- [37] Singer, T., Seymour, B., O’Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J. and Frith, C. D.: Empathy for Pain Involves the Affective but not Sensory Components of Pain, *Science*, Vol. 303, No. 5661, pp. 1157–1162 (online), DOI: 10.1126/science.1093535 (2004).
- [38] Sugano, S. and Ogata, T.: Emergence of mind in robots for human interface - research methodology and robot model, *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1996*, Vol. 2, pp. 1191–1198 (online), DOI: 10.1109/ROBOT.1996.506869 (1996).
- [39] Terada, K., Takeuchi, C. and Ito, A.: Effect of Emotional Expression in Simple Line Drawings of a Face on Human Economic Behavior, *The 22th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2013)*, pp. 51–56 (2013).
- [40] Terada, K., Yamauchi, A. and Ito, A.: Artificial Emotion Expression for a Robot by Dynamic Color Change, *The 21th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2012)*, pp. 314–321 (2012).
- [41] van Dijk, E., van Kleef, G. A., Steinel, W. and van Beest, I.: A Social Functional Approach to Emotions in Bargaining: When Communicating Anger Pays and When It Backfires, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 94, No. 4, pp. 600–614 (online), DOI: DOI: 10.1037/0022-3514.94.4.600 (2008).
- [42] van Kleef, G. A. and Côté, S.: Expressing anger in conflict: When it helps and when it hurts, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 92, No. 6, pp. 1557–1569 (online), DOI: 10.1037/0021-9010.92.6.1557 (2007).
- [43] van Kleef, G. A., Dreu, C. K. W. D. and Manstead, A. S. R.: The interpersonal effects of anger and happiness in negotiations, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 86, No. 1, pp. 57–76 (online), DOI: 10.1037/0022-3514.86.1.57 (2004).
- [44] van Kleef, G. A., van Dijk, E., Steinel, W., Harinck, F. and van Beest, I.: Anger in social conflict: Cross-situational comparisons and suggestions for the future, *Group Decision and Negotiation*, Vol. 17, pp. 13–30 (online), DOI: 10.1007/s10726-007-9092-8 (2008).
- [45] Xiao, E. and Houser, D.: Emotion expression in human punishment behavior, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, No. 20, pp. 7398–7401 (online), DOI: 10.1073/pnas.0502399102 (2005).
- [46] Yamagishi, T., Horita, Y., Takagishi, H., Shinada, M., Tanida, S. and Cook, K. S.: The private rejection of unfair offers and emotional commitment, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, No. 28, pp. 11520–11523 (online), DOI: 10.1073/pnas.0900636106 (2009).
- [47] Zak, P. J., Stanton, A. A. and Ahmadi, S.: Oxytocin Increases Generosity in Humans, *PLoS ONE*, Vol. 2, No. 11, p. e1128 (online), DOI: 10.1371/journal.pone.0001128 (2007).