

ヒューマノイドロボットに対する感情認知と社会行動

Emotion Perception and Altruistic Behavior to Humanoid Robot

河原美彩子^{†‡}, 澤田佳子[†], 田中章浩[†]
 Misako Kawahara, Yoshiko Sawada, Akihiro Tanaka

[†]東京女子大学, [‡]日本学術振興会特別研究員DC
[†]Tokyo Woman's Christian University, [‡]Japan Society for the Promotion of Science
 misako1753@gmail.com

Abstract

ロボットから多感覚的に表出された感情を人間はどのように認知するのだろうか。また、その認知した感情によって人間の行動は変化するのだろうか。本研究では以上2つの問題を検討した。実験の結果、異なる感覚モダリティによる複数の感情の手がかりのうち、人間は人工の手がかりより自然の手がかりを重視してロボットの感情を判断することがわかった(実験1)。またロボットに対する利他行動の生起には、ロボットの表出した感情そのものではなく、それを人間がどのように感じたかが関係している可能性が示唆された(実験2)。

Keywords—Humanoid robot, Emotion perception

1. はじめに

現代社会において、人間とコミュニケーションをとることのできるロボットが身近になってきている。これまでは主に、本来人間が行っていた作業を代わりに行う用途のロボットが活躍してきた。しかしながら、近年Pepper (Softbank) やaibo (SONY) といった、人間の日常生活の中で直接コミュニケーションをとることができるヒューマノイド型のロボットが増えてきている。Pepperなどのヒューマノイドロボットの形状は人間と類似しており、発声機能や身体の動きを用いた感情表出機能が組み込まれている。こうした機能を利用することによって、人間とヒューマノイドロボットが人間同士のやりとりと同様にコミュニケーションをとり、社会関係を構築できるよう日々開発が進められている。コミュニケーションをとる上で相手の感情を理解することは大変重要であるが、果たしてロボットが表出した感情を人間が認知することは可能なのだろうか。

ヒューマノイドロボットによる感情表出とそれに対する人間の感情認知についてはすでに検討されてきている。色と特定の感情との結びつきを用いた研究では、ロボットの頭部や目から発光された色(以下、目の色とする)を手がかりにロボットの感情を人間が読みとれることが示されている[1][2]。また、このような人工的な発色による感情表出以外にも、ロボットの身体

の動き(以下、身体言語とする)によって表出された感情を扱った研究もおこなわれている。McCollらの研究では、ヒューマノイドロボット(The Social Robot Brian 2.0)が身体言語によって表出した8つの感情(sadness, elated joy, anger, interest, fear, surprise, boredom, happiness)が、それぞれロボットの表出した通りの感情として人間に正しく認知されるか検討した[3]。その結果、interestとfearを除く感情において正答率がチャンスレベルを上回り、全体的に人間はヒューマノイドロボットの身体言語から感情を認知できることが明らかとなった。

このように、人間は発光による目の色の変化や身体言語といった単一の情報を手がかりにした場合に、ヒューマノイドロボットの表した感情を認知できることが先行研究によって示唆されている。しかしながら、人間の感情コミュニケーション場面においては、視覚や聴覚といった単一の感覚モダリティによる情報のみを手がかりとする機会は少なく、顔の表情や音声といった複数の情報を同時に知覚し、多感覚的に他者の感情を読みとっている。実際、人間の顔の表情と声を用いた多感覚な感情認知研究では、顔の表情という視覚情報と声という聴覚情報がそれぞれ単一で呈示された場合と比較して、視覚と聴覚の両方の情報が同時に呈示されたほうが感情認知の精度が高く、視覚情報と聴覚情報は相互に影響を及ぼしていることが示されている[4][5]。したがって、ロボットと人間の感情コミュニケーションにおいても、ヒューマノイドロボットによる多感覚的な感情表出とそれに対する人間の認知に焦点を当てることは必要であるが、この点についてはいまだ検討されていない。そこで本研究では、Pepper(以下、ロボットとする)を用いて、ロボットが視覚と聴覚から多感覚的に表出した感情を人間がどのように認知するのか検討することを目的とした(実験1)。また、私たち人間は相手の感情を認知することで、自身の次の行動を変化させることも多い。そのため、ロボットによって多感覚的に表出された感情を認知する

ことにより、その影響を受け、相手であるロボットに対して人間が利他的行動を行うのかについても検討した（実験2）。

2. 実験1

2.1. 目的

ロボットによって表出された多感覚的な感情の情報をどのように人間が認知するのかを明らかにするため、実験1ではロボットが視覚情報（目の色、身体言語）と聴覚情報（音声）によって多感覚的に感情を表出する様子を実験参加者に視聴させ、ロボットがどのような感情を表しているか判断させた。このとき、視覚と聴覚がそれぞれ表出する感情が矛盾するような組み合わせ（たとえば、喜びの目の色+悲しみの音声）も作成し、2つの感覚情報が異なる感情を表している場合に人間がどちらの情報を重視するのか検討した。

人間同士の感情認知においては、顔の表情を視覚情報、音声を聴覚情報としたとき、両者の感情判断の正答率をあらかじめ統制しない場合には聴覚情報と比較して視覚情報が重視される傾向が報告されている[6][7]。また、身体言語と音声を手がかりとした視聴覚的な感情認知においても、感情の判断に互いの情報が影響を及ぼし合うことが報告されている[8][9]。身体言語と音声の組み合わせにおいては、どちらの情報がより優位かという直接的検討はなされていないが、身体言語を顔の表情と同様に視覚情報と捉えると、聴覚に比べて視覚が優位に重視される可能性がある。

それでは、人間はロボットが表出した感情を、人間の感情と同様に読みとるのだろうか。ロボットの感情表出方法として、身体言語と音声は人間の表出手段に比較的類似している、すなわち自然的要素であるため、ロボットに対する感情認知においても視覚優位性がみられる可能性がある。しかしながら、目の色は人間には変化させることができないものであり、いわば人工的要素であるため、身体言語や音声のような自然的要素を手がかりとする場合とは認知プロセスが異なる可能性がある。そこで、人間にとって人工的要素よりも自然的要素のほうが感情判断の手がかりとしての優位性が高いと考え、人工的要素（つまり目の色）と自然的要素（つまり音声）が組み合わせられて表出された感情に対しては、自然的要素の感情の情報が重視されると仮説を立てた。また、その自然的要素の優位性は、視覚情報と聴覚情報における視覚優位性よりも影響が大きく、感情認知プロセスにおいて早い段階で作用す

ると予測した。

2.2. 方法

2.2.1. 実験計画

実験1は2つの実験から構成され、目の色と音声を組み合わせた刺激を呈示する条件を実験1A、身体言語と音声を組み合わせた刺激を呈示する条件を実験1Bとした。実験1Aは2（目の色：喜び、悲しみ）×2（音声：喜び、悲しみ）の被験者内計画、実験1Bは2（身体言語：喜び、悲しみ）×2（音声：喜び、悲しみ）の被験者内計画だった。従属変数はいずれの実験においても感情の選択率とし、視覚と聴覚によってもたらされる感情の情報のうちどちらの情報を感情判断の手がかりとして選択したか、その割合を指標とした。

2.2.2 実験参加者

実験参加者は、正常な視覚及び聴覚を有する大学生47名（全て女性）であった。平均年齢は18.60歳（ $SD = 0.96$ ）であった。

2.2.3. 刺激

ロボットが目の色（静止画）、身体言語（動画）および音声によって感情（喜び、悲しみ）を表す様子を記録し、静止画または動画を音声と組み合わせたものを刺激として使用した。なお、刺激の各要素を単独で呈示した場合の感情判断の正答率を統制するため、予備実験を実施し、各要素の正答率が約80%で揃うよう刺激を選定した。

目の色は、先行研究[1][2]と同様にPulchikの感情モデル[10]に結果が合致することを予備実験にて確認した上で、喜び刺激として濃度の異なる2種類の黄色、悲しみ刺激として濃度の異なる2種類の青色を使用した。身体言語は、各感情につき2種類の身体の動き（喜び：右手でガッツポーズをする動き、上を向いて両手を広げる動き；悲しみ：両手で頭を抱える動き、うつむいて左手を額に手を当てる動き）を選定した。音声は、「ぼくの取り分はそれですね」というセリフを喜びと悲しみの感情を表す言い方で発話したものを使用した。各感情につき2種類の音声を選定し、喜びの音声はピッチが180¹、話速が155の音声と、ピッチが180、

¹ Pepper 開発用ソフトウェア (Choregraphe) で使われているパラメータに基づく。話速は基準（約7モーラ/秒）を100とした速度とおおむね対応するもので、50～400の間で調整でき、数字が大きいほど音声が速くなるものだった。ピッチは50～200の間で調整でき、数字が大きいほど音声は高くなっていた。

話速が 135 の音声を使用した。悲しみの音声は、ピッチが 140、話速が 75 の音声と、ピッチが 110、話速が 155 の音声を使用した。上記のロボットの感情表出は Pepper 開発用ソフトウェア (Choregraphe) を使用して調整を行った。

感情を表す目の色をしたロボットの顔を記録した静止画と、身体を動かすロボットの全身の様子を記録した動画は解像度を 640×480px に設定し、オーディオはビットレートを 128kbps、サンプリングレートを 48kHz とした。感情を表す音声と静止画または動画を組み合わせた動画ファイルの長さはすべて 3500ms として作成した。

2.2.4. 実験装置

視覚刺激を呈示するため、パーソナルコンピュータ (Lenovo, G580) を 1 台使用した。なお、画面解像度は 800×600px で統一した。また、音声呈示のためにヘッドホン (SENNHEISER, HDA200) を使用した。なお、音声刺激呈示時の音圧は 58dB とした。

2.2.5. 手続き

防響室にて個別に実験を実施した。実験参加者は、実験 1A (目の色+音声) と実験 1B (身体言語+音声) の両方に参加したが、実施順序は被験者間でカウンターバランスをとった。実験 1A は、目の色 (喜び 2 種類×悲しみ 2 種類) と音声 (喜び 2 種類×悲しみ 2 種類) を組み合わせた計 16 刺激を 3 回ずつ呈示したため、計 48 試行から構成された。実験 1B は、身体言語 (喜び 2 種類×悲しみ 2 種類) と音声 (喜び 2 種類×悲しみ 2 種類) を組み合わせた計 16 刺激を 3 回ずつ呈示したため、計 48 試行から構成された。なお、刺激はすべてランダム順で呈示した。

実験手順を図 1 に示す。実験では、ロボットの静止画または動画と「ぼくの取り分はそれですね」という音声をパーソナルコンピュータおよびヘッドホンを通してそれぞれ呈示し、ロボットの表す感情が喜びと悲しみのどちらであったか、キー押しによって二肢強制選択で実験参加者に回答させた。実験課題に正解はな

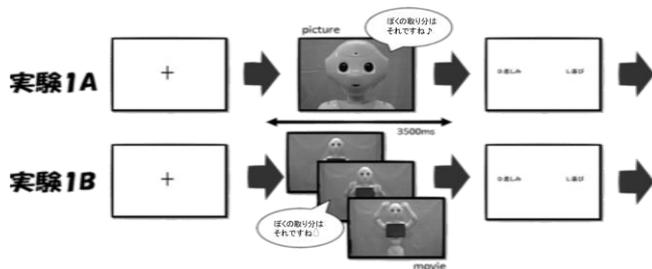


図 1 実験 1 の手順

く、思ったように回答するよう教示をおこなった。実験 1A および実験 1B 終了後、Pepper との触れ合いの経験を問う質問紙に回答させた。質問紙では、「(実験参加以前に) Pepper をメディアを通して見たことはあるか」「実物を見たことがあるか」「会話をしたことがあるか」の 3 問について、「1. ない」～「5. 9 回以上ある」の 5 件法で回答させた。また、「プログラミングをして Pepper を動かしたことがあるか」「今までに学内で Pepper に関する実験に参加したことがあるか」の 2 問について、その有無を回答させた。

2.3. 結果と考察

質問紙調査の結果、全実験参加者のうち、実験参加以前に Pepper を知っていた人は 86.96% で、そのうち Pepper のアプリ開発ソフトウェア (Choregraphe) を使用したことがある人はいなかった。

ロボットの示した感情を判断させる課題については、実験参加者ごとに、刺激に対して視覚と聴覚のどちらの感覚情報が示す感情を選択したのか、その割合 (以下、感情の選択率とする) を算出し、実験 1A (目の色+音声条件) と実験 1B (身体言語+音声条件) それぞれにおいて比較した。なお、本研究ではロボットから多感覚的に表出された感情を人間がどのように認知するのかを検討するため、視覚と聴覚の表す感情が矛盾する刺激を視聴した際の結果に着目する。実験 1A と実験 1B それぞれにおいて、感情選択率について *t* 検定を行った。

結果を図 2 に示す。実験 1A では、感情の組み合わせに関わらず、目の色よりも音声の表す感情のほうが選択されやすかった (喜びの目+悲しみ音声: $t(46) = 7.29, p < .001$; 悲しみの目+喜び音声: $t(46) = 8.31, p < .001$)。一方、実験 1B では、感情の組み合わせによって結果が異なり、喜び音声が悲しみを表す身体言語と組み合わせられた場合においてのみ、音声よりも身

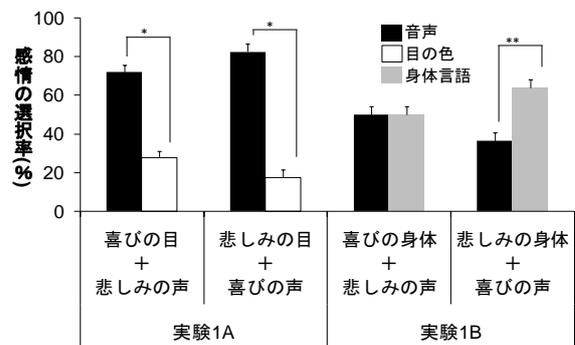


図 2 実験 1 の結果

体言語のほうが選択されやすく ($t(46) = 3.18$, $p < .01$)、悲しみ音声喜びを表す身体言語と組み合わせられた場合には感情の選択率に有意な差はみられなかった ($t(46) = 0.01$, $n. s.$)。

これらの結果は、人間はロボットから感情を認知する場合、感情の手がかりが人間も用いるような自然的要素であるか、人間は用いない人工的要素であるかの影響を受けることを示唆するものである。目の色といった人工的要素は身体言語や音声の自然的要素よりも優位性が低いと判断され、相対的に自然的要素が重視された可能性がある。また、実験 1B では感情の組み合わせによっても手がかりに対する重みづけが異なることが示された。先行研究では、表情と音声のどちらにおいてもネガティブ感情のほうが知覚されやすい傾向が示唆されている[7][11]。したがって本研究の結果から、2つの感情の手がかりのうちどちらも自然的要素である場合には、人間の表した感情の認知と同様に、聴覚情報よりも視覚情報が、ポジティブ感情よりもネガティブ感情が優位に重視されやすいと考えることができる。

以上の結果を踏まえ、ロボットに対する感情認知モデルを提案する(図3)。人間はロボットによる感情表出を知覚した後、その感情の手がかりが自然的要素か、人工的要素かの判断をまず行う。ここで、同時に呈示された2つの手がかりのどちらか一方が自然的要素であれば、そちらの感情が自動的に感情として決定される(ステージ1)。2つの手がかりの自然性に差異がない場合は、ステージ2の判断に持ち越され、視覚情報か聴覚情報か、また、ポジティブ感情かネガティブ感情かの判断が同時的になされる。それぞれの結果は加算的に処理され、感情が決定する。このモデルを本研究の結果に適用すると、以下のような説明が可能である。まず、悲しみの目の色と喜び音声と組み合わせられた場合には、ステージ1で自然的要素である音声の感情が優先的に捉えられ、感情(つまり、喜び)が決定する。一方、喜びの身体言語と悲しみ音声と組み合わせられた場合には、ステージ1ではどちらも自然的要素であるために判断がステージ2に持ち越される。ここで、視聴覚情報に対する重みづけが判断され、視覚情報である身体言語の感情(つまり、喜び)が優先されるが、感情価の判断では音声が出す感情(つまり、悲しみ)が優先される。したがって、ここで喜びの判断と悲しみの判断が拮抗し、結果的に喜びと悲しみの選択率に有意差がみられなかったと考えられる。

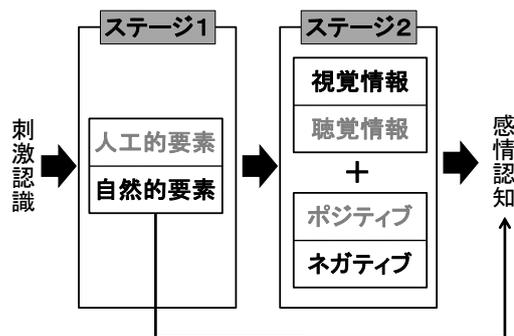


図3 ロボットに対する感情認知モデル

3. 実験2

3. 1. 目的

実験1では、ロボットの多感覚な感情表現から人間がどのように感情を認知するのかを検討する認知実験を行い、ロボットの表す感情が視覚情報と聴覚情報で矛盾する場合、人間がどのようにロボットの感情を認知するのか調べた。その結果、人間はロボットの表した感情を読みとる際に、感情認知の手がかりとなる要素が人工的か自然的かということの影響を受けることがわかった。加えて、手がかりが自然的要素の場合は人間の示した感情の認知と同様に、視覚情報よりも聴覚情報が、ポジティブ感情よりもネガティブ感情が手がかりとして重視されやすいことが示唆された。

しかし、人間は単に相手の感情を読みとるだけではなく、読みとった感情をもとに自らの行動を決め、他者とのコミュニケーションに役立っている。たとえば、苦痛から表される悲しみ感情は同情や向社会的行動を引き出すといわれている[12]。向社会的行動とは社会的行動に含まれ、さまざまな動機に基づいて自発的に他者を助けたり、他者に恩恵を与えたりする行動のことである[13]。成人において他者のネガティブ感情が向社会的行動を引き出すことは多くの研究の中で明らかとなっている[12]。

それでは、人間同士の場合ではなく人間がロボットを相手に行動する場合はどうなのだろうか。ロボットの感情表出が人間の向社会的行動の一部である利他的行動に影響を与えるかを検討した研究がいくつかある。利他的行動とは、自分がコストを負う代わりに他者にとって利益になる行動である[14]。寺田らは、小型のヒューマノイドロボット(NAO)を用いて、喜びと悲しみを表現する目の色による感情表出が人間の利他的行動に影響を及ぼすか検討した[2]。この研究では、利他的行動の指標として最後通牒ゲームを用いた。最後通牒

ゲームとは2人のプレイヤーで資金を分けるゲームであり、プレイヤーの1人（提案者）が資金の範囲内で任意の配分額をもう1人のプレイヤー（応答者）に提案する。応答者は、提案者の提案に対して拒否権を持ち、応答者が提案に応じれば両者それぞれが提案者の提案した配分額を受け取れるが、応じなければ両者ともに取り分はなくなる。寺田らは、このゲームにおいて実験参加者がロボットに配分した金額を利他的行動の指標とした。実験参加者を提案者、ロボットを応答者として実験を行った結果、ロボットへの平均配分額は、ロボットが感情的な変化をする群のほうが変化をしない群より有意に高くなった。このことから、ロボットの目の色による感情表出が人間の利他的行動を引き出すことが示唆された。

しかし、最後通牒ゲームは配分額を呈示された相手である応答者に拒否権があるため、純粋な人間の利他的行動を調べることができないという指摘がなされている[15]。そこで本研究では、応答者に拒否権のない独裁者ゲームを用い、人間がロボットの表した感情を読みとることによってロボットに対する利他的行動が生起するのか検討した（実験2）。実験1で示したモデル（図3）に基づいてロボットの示した感情を判断すると仮定した上で、ロボットから喜びを感じた場合はロボットへの配分額は減少し、悲しみを感じた場合は配分額が増加すると予測した。また、共感性が高い人ほど利他的行動をとりやすいことから[16]、共感性の高い人は低い人よりも配分額を増加させる可能性についても検討した。

3.2. 方法

3.2.1. 実験計画

実験2では、実験参加者はロボット（Pepper）を相手に独裁者ゲームを行った。ゲームにおいて、実験参加者が決定したPepperへの配分額に対してPepperが感情を示す方法は2条件あり、実験2Aでは目の色と音声によって、実験2Bでは身体言語と音声によって感情を表した。実験2Aは2要因2水準の被験者間計画であった。独立変数は、目の色（喜び、悲しみ）と音声（喜び、悲しみ）であった。従属変数は独裁者ゲームにおける2回の資金配分のうち、ロボットが示した感情をうけて再度配分した2回目の配分額（変更後配分額）から初めの配分額（初回配分額）をひいた差額とした。実験2Bも実験2Aと同様に、2要因2水準の被験者間計画とした。独立変数は、身体言語（喜び、悲しみ）と音声（喜び、悲しみ）だった。従属変数は実験2Aと同

様に、変更後配分額と初回配分額の差額とした。

3.2.2. 実験参加者

実験参加者は、正常な視覚及び聴覚を有する大学生160名（全て女性）だった。平均年齢は20.32歳（ $SD = 1.36$ ）であった。

3.2.3. 刺激

実験1で用いた、ロボットの目の色と音声または身体言語と音声の組み合わせによる感情表現を、実際に実験参加者の目の前でロボット（Pepper）に表出させた。ロボットの制御には、Pepper開発用ソフトウェア（Choregraphe）を用いた。

3.2.4. 実験装置

実験は、マジックミラーで仕切られた実験室で行った（図4）。実験参加者にロボットへの配分額を入力させるために、パーソナルコンピュータ（DELL, Vostro3700）を使用した。パーソナルコンピュータは、画面解像度を800×600pxで統一した。また、ロボット制御のためにパーソナルコンピュータ（HP, ProBook 450 G2）を使用した。実験参加者によって決定された配分額をロボットにも呈示するためにモニター（LCD Monitor, BenQ）を使用した。

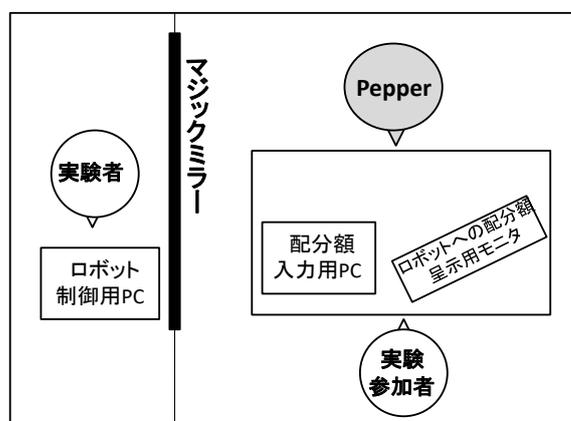


図4 実験2の実験室の概略

3.2.5. 手続き

実験2A、2Bともに実験参加者を分配者、ロボットを応答者とした独裁者ゲームを行った。実験参加者は実験2Aまたは実験2Bのどちらかに参加した。刺激は、実験2Aでは目の色と音声を組み合わせた16種類から、実験2Bでは身体言語と音声を組み合わせた16種類から1種類を呈示した。所要時間は約10分だった。

独裁者ゲームは図5の手順で実施した。まず、ゲームマネー1000円の中から対戦相手であるロボットに渡す配分額（以下、初回配分額とする）を参加者に回答させた。その後、それに対するロボットの反応として、

ロボットが実験参加者の目の前で感情を表現している様子を観察させた。実験は、ロボットが実験参加者と同室で参加者の目の前にいる状態で実施した。ロボットが目の色と音声(実験 2A)または身体言語と音声(実験 2B)によって感情(喜びまたは悲しみ)を表現する様子を直接観察した後、参加者には再度配分額(以下、変更後配分額とする)を回答するよう求め、最後にロボットに対する印象などを尋ねる質問紙に回答させた。また実験の報酬として、実験参加者が最後に獲得したゲームマネーに応じた菓子を渡した。



図5 実験2の手続き

3.2.6. 質問紙

質問紙は、デイビスの多次元共感性測定尺度[17][18]、Pepper との触れ合いの経験、Pepper の印象、Pepper から感じた感情、実験意図への気づきの5項目で構成されていた。

多次元共感性測定尺度のうち、視点取得項目と共感的配慮項目の2つの項目を使用し、「1. まったく当てはまらない」～「7. とても当てはまる」の7件法で回答させた。Pepper との触れ合いの経験については、実験1と同様の項目を尋ねた。Pepper の印象については「実験中、Pepper に人間らしさを感じた」「実験中、Pepper にロボットらしさを感じた」「実験中、Pepper が感情表出をしていると感じた」の3問について「1. まったく当てはまらない」～「7. とても当てはまる」の7件法で回答させた。Pepper から感じた感情についての項目では「実験中、Pepper が発話した際、どちらの感情を表していると感じたか」を「1. 強く喜びを感じた」～「8. 強く悲しみを感じた」の8件法で回答させた。実験意図への気づきについては、「実験中に、実験の意図に気付いたか」「Pepper の身体と音声(実験 2A) /目の色と音声(実験 2B)の感情の食い違いに気付いたか」「Pepper の表す感情が、行動(配分金額の変化)に影響を与えるかについて調べていたことに気付いたか」「配分額決定時に、Pepper というロボットにお金を与えることに違和感を抱いたか」の4問に対して「はい」または「いいえ」で回答させた。また、2回目の配分額を変更した人に対してのみ「Pepper が感情を表出していると感じたことが原因で、取り分の再

設定を行ったか」という問いに対して「1. まったく当てはまらない」～「7. とても当てはまる」の7件法で回答させた。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 質問紙の集計

全実験参加者のうち、実験参加以前に Pepper を知っていた人は 95.60%で、そのうち Pepper のアプリ開発ソフトウェア(Choregraphe)を使用したことがある人はいなかった。また、実験2への参加以前に我々が行った予備実験や実験1に参加したことのある人は 8.75%だった。

多次元共感性測定尺度については、全ての項目の値を合算して実験参加者ごとに共感性の総得点数(以下、共感性とする)を算出した。

3.3.2. Pepper への配分額

まず、実験 2A と実験 2B について、初回配分額と共感性の相関係数を算出した。その結果、実験の種類(実験 2A、2B)を考慮しない場合、初回配分額と共感性の間に弱い正の相関がみられた($r = .23, p < .01$)。これは、共感性の高い人ほど Pepper への初回配分額が多かったことを示している。初回配分額は Pepper に対し無償で配分した金額、つまり実験参加者の内発的な利他行動の指標と考えることができる。このことから、共感性が高い人ほどロボットに対する利他行動を生起させやすいということが示唆され、これは人間を相手にした場合[16]と同様の結果だった。

次に、実験 2A と実験 2B のそれぞれにおいて、感情の組み合わせ(喜びの目または身体言語+喜び音声、悲しみの目または身体言語+悲しみ音声、喜びの目または身体言語+悲しみ音声、悲しみの目または身体言語+喜び音声)ごとに変更後配分額から初回配分額をひいた差額を算出した。その結果、いずれの条件においても初回配分額よりも変更後配分額が増加しており、1 要因被験者間の分散分析を行ったところ、実験 2A、2B ともに感情の組み合わせの主効果はみられなかった(実験 2A : $F(1, 78) = 0.009, n.s.$, 実験 2B : $F(1, 78) = 0.05, n.s.$)。このことから、感情の組み合わせによってロボットへの配分額に差はなく、ロボットの示す感情は利他行動の生起に影響しないことが示唆された。

3.3.3. 差額と質問紙の分析

ロボットの示す感情によって差額に違いがみられなかったことから、質問紙で回答させた項目と差額との関連を検討した。実験中に感じたロボットの人間らしさについての項目の得点と差額の間に関連があるか調

べた結果、実験 2A では相関はみられなかったが ($r = -.02, n. s.$)、実験 2B では弱い正の相関がみられた ($r = .30, p < .01$)。この結果は、実験 2B においてロボットから感じた人間らしさが高い人ほど、変更後配分額が増加したことを示している。つまり、ロボットが自然的要素同士の組み合わせである身体言語と音声で感情を示したとき、ロボットに対して人間らしさを強く感じた場合に利他行動が生起することが示唆された。

また、初回配分額に対するロボットの反応から喜びと悲しみのどちらの感情を表していると感じたかについての評定値と差額との関連を調べた。その結果、実験 2A では相関はみられなかったが ($r = .11, n. s.$)、実験 2B では中程度の正の相関がみられた ($r = .44, p < .001$)。このことから、実験 2B においてロボットの反応から悲しみを感じた人ほど変更後配分額を増加させたことが分かった。つまり、ロボットがどのような感情を表出したかにかかわらず、実験参加者がロボットの反応を悲しみだと感じた場合により利他行動が引き起こされることが示唆された。具体的には、たとえロボットが初回配分額への反応として身体言語と音声の双方で喜びを示していたとしても、それに対して実験参加者が「ロボットが悲しんでいる」と感じた場合は、変更後配分額を増加させていたと考えられる。

3.3.4. ロボットに対する利他行動

初回配分額と共感性で弱い正の相関がみられたことから、共感性が高い人ほど人間を相手にした場合と同様に、ロボットに対しても利他行動を起こしやすいことが示唆された。また、自然的要素である身体言語と音声によってロボットの感情が表出されたとき、ロボットに対して人間らしさを感じた場合により利他行動が生起されることが示された。また、ロボットの示した感情の組み合わせによって差額に有意な差異はみられなかった。ただし、人間がロボットの反応から悲しみを感じた場合には、利他行動を行いやすいことが示唆された。このことから、ロボットが示した感情にかかわらず、それを人間がどう感じたが利他行動に影響を及ぼすと考えられる。

4. 総合考察

4.1. 結果のまとめ

実験 1 では、ロボットが目の色と身体言語をそれぞれ音声と組み合わせて多感覚的に示した感情を、人間はどのように判断をするのか検討した。その結果、目の色+音声条件においてそれぞれの示す感情が矛盾す

る場合、感情の組み合わせに関わらず音声の感情を重視して判断することが示された。一方、身体言語+音声条件では感情の組み合わせによって身体言語を重視するか、音声を重視するかが異なっていた。このことから、人間はロボットの示した感情を認知するとき、まず感情の示し方が自然的要素によるものか人工的要素によるものかの影響を受けることが示唆された。さらに、2 つの手がかりの両方が自然的要素である場合は、人間の感情を認知するときと同様に聴覚情報よりも視覚情報を、ポジティブ感情よりもネガティブ感情を重視すると考えられる。これらを踏まえ、本研究ではロボットに対する感情認知モデルを図 3 に示した。

実験 2 では、実験 1 で用いた感情表現を用いてロボットと対面形式での独裁者ゲームを行い、ロボットの示した感情が実験参加者の決定するゲームマネーの配分額に影響を与えるか検討した。その結果、ロボットの感情が身体言語と音声によって表出された場合、ロボットの示した感情に関わらず、ロボットから悲しみを感じた場合に配分額を増加させることが示された。一方、目の色と音声によって感情が表出された場合には配分額の有意な増加はみられなかった。また、ロボットから人間らしさをどの程度感じたかによっても利他行動の生起に違いがみられ、ロボットの感情が身体言語と音声によって表出された場合、より人間らしさを感じていた人ほど配分額を高くしていたことも示された。

4.2. 実験 1 と実験 2 の差異について

実験 2 において、独裁者ゲームの配分額がロボットの感情を認知することによってどのように変化するかを検討した結果、ロボットがどのような感情を表出したかにかかわらず、実験参加者がロボットの感情をどのように感じたかが行動に影響することが示された。そこで、実験 2 でも実験 1 と同様に、ロボットの表出した感情に対して視覚と聴覚のどちらの情報を判断の手がかりとして重視していたか調べた。その結果、実験 2A と実験 2B のどちらにおいても、全体的に聴覚情報よりも視覚情報を重視して感情を判断していたことが示唆された（音声の表す感情を選択した人数の割合は、喜びの目+悲しみ声：45%；悲しみの目+喜び声：35%；喜びの身体+悲しみ声：40%；悲しみの身体+喜び声：30%）。これは実験 1 の結果とは合致せず、実験 2 の結果を図 3 に提案した感情認知モデルで説明することは難しいことを示している。その原因として、以下の 2 つの可能性が考えられる。

第一に、実験参加者にロボットから感じた感情を判断させたタイミングの違いが影響した可能性がある。実験1では、実験参加者はロボットの感情表現を視聴した直後に感情判断を行った。一方で、実験2では独裁者ゲームが終了した後にロボットから感じた感情を判断した。つまり、実験2ではロボットの感情表現を観察した直後ではなく、実験参加者がロボットに対してお金を配分するという行動をとった後に感情を判断させていた。したがって、実験参加者自らが決定した初回配分額が、ロボットから感じた感情に事後的に影響を及ぼした可能性がある。実際に、初回配分額とPepperから感じた感情に相関がみられ ($r = .25, p < .01$)、初回配分額を高くした人ほどロボットは喜んでいと判断し、低くした人ほどロボットは悲しんでいたと判断していた。このことから、実験2では実験参加者はロボットが示した感情そのものを認知したのではなく、自身のロボットへの配分額をロボットから感じた感情の状態の理由として結びつけて考えたため、ロボットが表出した感情そのものを判断する実験1とは結果が異なると考えられる。

第二の理由としては、刺激の性質の違いを挙げることができる。実験1Aでは、目の色が変わるという変化そのものによって純粋な感情判断が阻害される可能性を回避するため、刺激として静止画を用いた。一方、実験2では、ロボットが実験参加者と対面していたため、配分額に反応して目の色が中立である白色から特定の感情を示す色にリアルタイムで変化していた。顔の表情認知では、動的情報が重要な役割を果たしているため[19]、実験1Aよりも目の色の表す感情に注目するようになり、結果的に人工的要素である目の色が、自然的要素の音声と同等、あるいは音声よりも強く感情判断へ影響するという傾向がみられたと考えられる。また、身体言語の表す感情を選択する割合も実験1Bよりも実験2Bで高くなっており、これもロボット本体を刺激として用いたことによって生じたと考えられる。ロボットが手を動かすときなどに伴う動作音が、動画に比べて対面の状態ではより大きく聞こえるため、実験1Bと比較して実験2Bにおいて身体言語の表す感情を強く感じとった可能性がある。

4.3. ロボットデザインへの応用的示唆

本研究では、ロボットによって多感覚的に表出された感情を人間がどのように判断するのか検討した。その結果、感情判断の手がかりが人工的要素であるか自然的要素であるかの影響を受けることが明らかとなっ

た。人工的要素である目の色の変化については、色と感情の結びつきによって、感情の手がかりとして利用できるものの[1][2]、同じ視覚情報でも自然的要素である身体言語と比較して手がかりとしての重みづけは小さくなっていた。したがって、ロボットを相手とした場合の感情認知様式は、人間を相手としたときとは異なるといえる。それを念頭に置いた上で、たとえばモニタを用いた感情表現等、人間が感情を容易に理解できるロボットならではの感情表現方法を考えていく必要があるだろう。

また、実験2ではロボットの示した感情によって人間の利他的行動が引き出されるか検討した。その結果、特に身体言語+音声の組み合わせのような、自然的要素によって感情が示された場合、ロボットに対して人間らしさを感じた人ほどロボットに対する利他的行動を生起させやすいことが示唆された。この成果は、日常生活において意図的に人間の利他的行動を生起させる必要がある場面（たとえば募金や献血、署名を呼びかける場面）に応用できると考える。昨今、パーソナルコンピュータなどを使って募金をすることが可能になり、人間が街頭で協力を呼びかけているような状況下での募金と比較して気軽に募金ができるようになった。しかし、このように金銭を差し出す相手が物理的には見えない状況よりも、人間の要素を持ち合わせたヒューマノイドロボットを使用したほうが、人間が街頭に立つ場合よりも低コストで、かつ利他的行動をより引き出せる可能性がある。実際にDona (YANKO DESIGN)という「物乞い」ロボットがすでに開発されており、募金活動の場で活躍している。しかし、Donaはお辞儀をする程度の動作しか行うことができず、音声を発することや複雑な動作を行うことはできない。また、利他心を生起させて募金をさせるのではなく、ヒューマノイドロボットに対しての物珍しさによって募金をさせている側面があるため、新奇性が失われた場合に長期的な効果が見込めない可能性がある。したがって、身体言語や音声等によって感情を表現する機能をもつロボットを、人間の利他行動を必要とする場面で使用し、コミュニケーションをとる中でロボットに対する人間らしさを受け手に感じさせることができれば、利他行動生起により効果的なロボットの開発に貢献できると考えられる。

4.4. 限界と今後の展望

実験2で行った独裁者ゲームの手続きには、報酬の現実性の点で問題があった。本研究では実験参加者に

現実の金銭をゲームの報酬として渡すことが不可能であったため、もらえるかのように教示し、実験終了後には実験中の配分額に応じた菓子を渡すようにしていた。しかし、ゲームマネーが実際に手に入るとするのはカバーストーリーであると考えた参加者がいた可能性があり、参加者全員がより多くの報酬を得ようと初回配分額を利己的に決定していたかどうかは不明である。今後は報酬により現実性をもたせた上で実験を行う必要がある。また、本研究の実験参加者は全員女性であった。独裁者ゲームについては、女性のほうが男性よりも相手への配分額が多いという性差が報告されているため[20]、本研究の結果を一般化するにはさらに男性のデータを追加する必要がある。

しかしながら、上記のように本研究には限界はあるものの、これまで検討されてこなかったロボットからの多感覚的な感情認知と、それに伴う利他行動の生起について検討してきた。人間は基本的にロボットから多感覚的に表出された感情を認知することが可能であり、ロボットが人間と共通する自然的要素によって感情を示した場合、人間相手と類似した感情認知のプロセスがなされることが示唆された(実験 1)。この結果から、ロボットと人間は同じ表現方法を用いることによって双方向的なコミュニケーションをとることができると考えられる。一方、ロボットが目の色という人工的な感情表出方法を用いた場合、目の色のみが感情判断の手がかりとなるとときには身体言語や音声と同等に感情を伝達することができるが、目の色が身体言語や音声と同時に呈示された場合には、目の色は感情判断の手がかりとしての重みづけが比較的小さいことがわかった(実験 1)。これはロボットからの感情認知固有の点であり、単一の感覚モダリティによるロボットの感情研究の知見を拡張させるものであるといえるだろう。さらに、本研究ではロボットが身体言語と音声を組み合わせて感情を表出した場合、ロボットに対して人間らしさを感じた人ほどロボットへの配分額を増加させることが明らかとなった。つまり、ロボットが感情を表現することによって人間の利他的行動を引き出すためには、ロボットに対する人間らしさを感じさせることが重要であると考えられる。身体言語以外の方法でも人間らしさを感じられるような感情表出方法の開発がさらに進めば、ロボットが人間の利他的行動をさらに引き出すことが期待できる。ときに人間はロボットの行動に対して人間らしさを感じ、ロボットを単なる機械ではなく、心を持った相手として接して

しまう。この人間の性質がどのような場面で生じるのか今後さらに検討することで、より円滑な感情コミュニケーションを可能とするロボットの開発に貢献できると考えられる。

謝辞

本研究は科研費新学術領域研究 No. 17H06345「トランスカルチャー状況下における顔身体学の構築—多文化をつなぐ顔と身体表現—」の助成を受けたものです。また、本研究は東京女子大学の高山沙絢さん、都竹彩斗子さん、野口杏奈さん、平田美音さんの卒業研究の実験結果に基づいています。

参考文献

- [1] 山内厚志・寺田和憲・伊藤昭 (2011). 動的な発色によるロボットの感情表出, ヒューマンインタラクション学術論文誌, 13, 41-52.
- [2] 寺田和憲・勅使宏武・伊藤昭 (2014). ロボットが表出する感情の社会機能的評価. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), 156(8), 1-8.
- [3] McColl, D & Nejat, G. (2014). Recognizing Emotional Body Language Displayed by a Human-like Social Robot, *International Journal of Social Robotics*, 6(2), 261-280.
- [4] de Gelder, B., & Vroomen, J. (2000). The perception of emotions by ear and by eye. *Cognition & Emotion*, 14 (3), 289-311.
- [5] Dolan, R. J., Morris, J. S., & de Gelder, B. (2001). Crossmodal binding of fear in voice and face. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(17), 10006-10010.
- [6] 高木幸子・平松沙織・田中章浩 (2014). 表情と音声と同時に感情を込めた動画刺激に対する感情知覚, *Cognitive Studies*, 21(3), 344-362.
- [7] Takagi, S., Hiramatsu, S., Tabei, K., & Tanaka, A. (2015). Multisensory perception of the six basic emotions is modulated by attentional instruction and unattended modality. *Frontiers in integrative neuroscience*, 9(1).
- [8] Stienen, B. M., Tanaka, A., & de Gelder, B. (2011). Emotional voice and emotional body postures influence each other independently of visual awareness. *PLoS One*, 6(10).
- [9] Van den Stock, J., Righart, R., & De Gelder, B. (2007). Body expressions influence recognition of emotions in the face and voice. *Emotion*, 7(3), 487.
- [10] Plutchik, R. (1980). *Emotion: A psychoevolutionary synthesis*. Harpercollins College Division.
- [11] Eastwood, J. D., Smilek, D., & Merikle, P. M. (2001). Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Perception & psychophysics*, 63(6), 1004-1013.
- [12] Eisenberg, N., & Strayer, J. (1987). Critical issues in the study of empathy. In N. Eisenberg & J. Strayer (Eds.), *Cambridge studies in social and emotional development. Empathy and its development*. 3-13.

- New York, NY, US: Cambridge University Press.
- [13] Eisenberg, N. & Mussen, P. H. (1989). *The roots of prosocial behavior in children*, Cambridge, England: Cambridge University Press, 3.
- [14] Izuma, K. (2012). The social neuroscience of reputation. *Neuroscience research*, 72(4), 283-288.
- [15] 依田高典 (2010). *行動経済学—感情に揺れる経済心理*, 中公新書
- [16] Mehrabian, A. & Epstein, N. (1972). A measure of emotional empathy. *Journal of Personality*, 40, 525-543.
- [17] Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of personality and social psychology*, 44(1), 113.
- [18] 桜井茂男 (1988). 大学生における共感と援助行動の関係—多次元共感測定尺度を用いて. *奈良教育大学紀要 (人文・社会科学)*, 37, 149-154.
- [19] 藤村友美・鈴木直人 (2010). 周辺視野と中心視野における動画表情の認識. *心理学研究*, 81(4), 348-355.
- [20] Eckel, C. C. & Grossman, P. J. (1998). Are woman less selfish than men?: evidence from dictator experiment. *The Economic Journal*, 108, 726-735.