

空間的な動作に対するミニマムエージェントとの関係構築

Building Friendly Relationships by Robot's Simple Movement

吉岡源太^{1*} 竹内勇剛¹
Genta Yoshioka¹ Yugo Takeuchi¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka University

Abstract: This paper reports an analytic finding that human can build relationship with robot by its simple and flat robot that only moves on the floor in all directions. The robot autonomously moves based on Russells circumplex model of affect depending on humans spatial position. We observed the physical interaction between human and robot through an experiment that the human has to find a treasure in the given field, and the robot synchronizes with their affective state by the movements. Robot can build friendly relationship by using only its simple movements. This result contributes to the basic design of HRI.

1 はじめに

人とコミュニケーションを行うロボットの開発が盛んに行われている。これらのロボットは医療・教育・エンターテイメントなど幅広い分野で活躍することが期待される。人はこのようなロボットなどの人工物を社会的な存在として扱うことがある [1]。しかし、これらは社会的な存在として認知されたとしても、あらかじめデザインされたシナリオに沿った動きをしていたのではいずれ人に飽きられてしまいう。つまり、人とロボットの関係が維持されなくなってしまう。

先行研究では平川らによって長期的な関係を構築する方法の一つとしてロボットに対して感情があるかのように振る舞わせることを提案している [2]。このような感情の推定を促すロボットの研究では人・動物と類似する形状あるいは特徴を持つロボットを扱うことが多い [3][4][5]。そして、ロボットは暗黙的にコミュニケーションが可能な存在となり得ることが前提となっている。また、それらのロボットは比較的意図や感情の推定が容易なため、友好的な関係の構築しやすい。

しかし、外観のデザインにとらわれることで、その人工物の利用場面が限定され汎用性を欠くことや製造コストの増大を招くことが推測される。また、外見と振る舞いのギャップによる問題も起こり得る [6]。

この問題を解決するためには人や動物に類似するような外見や動作を有さなくても、関係を構築することが可能かどうかを検証する必要がある。

Heider らの実験では単純な図形の運動映像を見せることで、その図形に対して感情や社会的因果関係を付与して人々が解釈できることを示唆している [7]。これは、人や動物に知覚しえない未知の存在であったとしてもその振る舞いに対して関係性を推定することを示している。しかし、実世界において人が未知の存在から友好的な関係性の構築し、その関係性の構築を持続させる研究はされていない。そこで、本研究ではミニマムデザインのアプローチから移動による動作によって関係を構築することが可能かどうかを検証する。ミニマムデザインとはある目的の要求水準を満たして実現するために必要となる最小限の働きは何かを発見しそれらの関係を設計するものを指す。ミニマムデザインはただ余計な情報を除き、シンプルにするのではなく、必要となる働きを発見し、その本質を解明することが期待される。

本研究ではエージェントに対してミニマムデザインを行い、このエージェントをミニマムエージェントとする。本研究でのミニマムエージェントとは移動が可能な構造を持つが、その外観から人や動物を想起させず、音や光のような意思や意図を示す記号となりえるものを出力しないロボットを指す。

この研究によって移動という動作がどのように人とロボットの関係性に関わるかを明らかにする。これが明らかとなれば、未知の存在や人工物であったとしても人に対して友好的な関係の構築しそれを継続することが可能となる。ただし、本稿の内容の実験ではロボットとの関係構築についてのみ記述する。

*連絡先：静岡大学創造科学技術大学院情報科学専攻
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
E-mail: dgs15010@s.inf.shizuoka.ac.jp

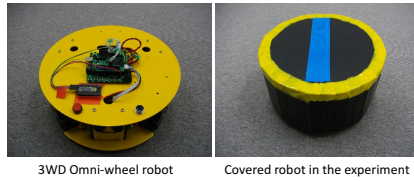


図 1: 3WD オムニホイールロボットとその外装

2 提案方法

2.1 実験目的

本実験では実験協力者に対してロボットについて一切教示せず、未知のまま関わり友好的な関係が構築されるかを検証する。

2.2 実験に使用するロボット

本実験では移動機能を持つだけのシンプルなロボットでなくてはならない。そこで、3WD オムニホイールロボット（ヴィストン株式会社）を用いる（図1左）。3WD オムニホイールロボットは3つのタイヤが120度ずつ位相をずらして設置されており、タイヤの回転方向と速度のみで方向転換をせずにあらゆる方向に直進することができる。3WD オムニホイールロボットはカメラからの自己位置と角度の補正を行うため、図1の右のような外装を施している。本実験ではこのロボットをミニマムエージェントとして扱う。次節では実験でどのように友好的な関係を構築するかを述べる。

2.3 友好的な関係構築

人は自分と同じような態度をとる他者に対して好意を抱く傾向がある。これは親和動機によるものと考えられている [8]。親和動機とは自分に似ていたり、好意を持ってくれたりする人に対して、近寄り、協力し、好意に報いることを求める欲求であると一般的に定義されている。つまり、同じような行動をとることにより、親和動機が誘発され友好的な関係を構築しやすくなる。羽田らの実験ではCG人物による表情からも共感が生じ、友好的な関係性を構築されることが示唆されている [9]。そこで、本実験ではロボットが実験協力者に対して感情的な同調つまり共感しているように見せることで友好的な関係の構築を行う。

また、共感し親和動機が誘発された場合には、人は共感できる相手に対してより多くの援助行動が誘発される。つまり、ロボットに対して共感が生じ、親和動機が誘発されているならば、多くの援助行動が起きることが期待される。

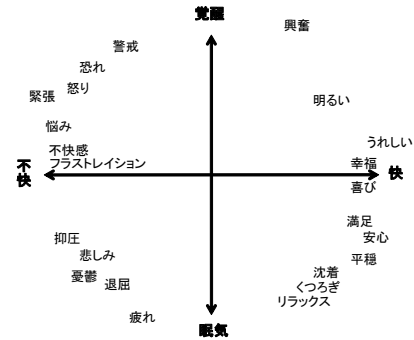


図 2: ラッセルの円環モデル

本研究は移動によるロボットだとしても友好的な関係を構築することが可能かどうかを評価する。そして、仮説を支持するための指標として、援助行動の多さを観測する。また、この実験では援助行動を引き起こす要因が共感による親和動機以外の要因（例えば、援助に対する返報など）が生じないように、あらかじめ、ロボットが援助などの行動を起こさないことを教示しておく。

次に、移動による感情を推定させる動作について述べる。

2.4 移動による感情を推定させる動作

移動によって感情表現を行う。移動では表情のような基盤となるようなモデルがない。本実験では感情モデルに対して移動のパラメータを当てはめることで感情表現を行う。以下に当てはめるモデルと当てはめるパラメータを述べる。

2.4.1 ラッセル円環モデル

感情という概念は、人によってとらえ方が異なり、定義が明確ではない。そのため、適当な動作を行わせ、その内容からどのような内的状態を感じたかを観測し基準を作ることが困難である。そこで、感情について体系化を行った感情モデルを用いる。本稿ではラッセルの円環モデルを内部状態想定動作の基として起用する。ラッセルの円環モデルとは、人の感情を「快-不快」、「覚醒-眠気」の2つの直行する軸上に配置したモデルのことである [10]。このモデルは図2に示すように、2つの軸の交点を中心に感情が円環上に配置されているので円環モデルと呼ばれている。

本研究では感情を移動という単純な動作で特定の動きで感情を示すのではなく、要素として感情を表すことを目的とする。そこで、ラッセルの円環モデルの各

軸を移動のパラメータに対応させた内部状態を想定させる動作を提案する。2.4.2節では、ラッセル円環モデルの「快-不快」の軸と「覚醒-眠気」の軸に対してどの移動をパラメータを対応させるかを考える。

2.4.2 移動のパラメータの対応

移動中におけるパラメータを考えた場合、単体だけであるならばパラメータとして、速度や方向、加速度などが挙げられる。また、他者が存在し、他者と関わる場合、その他者との距離や他者の行動に対する反応時間、他者と体の向きなどが挙げられる。これらの中のパラメータから、ラッセル円環モデルの軸に対応できるパラメータを検討する。

ラッセルの円環モデルの「快-不快」の軸に対応できる移動のパラメータを考える。「快-不快」の軸には対人距離を対応できると考えられる。その理由は、人にはパーソナルスペースによって対人距離が快-不快を表すことができると考えたからである。パーソナルスペースとは、心理的・感覚的に形成される私的空間(個室的空間)の領域のことであり、他者がこの空間に侵入してくると不快感や違和感、不安感を感じやすくなる[11]。つまり、相手が空間的に距離を詰めたのに対し、距離を保つようにしたり、離れようとしたりすることで、相手に対して不快と感じているということを表すことができると考えられる。

次にラッセルの円環モデルの「覚醒-眠気」の軸に対応できる移動のパラメータを考える。刺激に対する反応となるようにラッセルの円環モデルの覚醒-眠気の軸に対して刺激に対する反応の激しさを対応させる。動作に対する反応が激しければ激しいほど元気・活発といった印象を受け、逆に反応が薄いと電気がない・怠いといった印象を受ける。つまり、覚醒の程度は動作が激しければその院長を受けると考えられる。

これらのことから、ラッセルの円環モデルの「快-不快」の軸に対人距離を、「覚醒-眠気」の軸に反応の大きさを対応することができると考えられる(図3)。本研究ではこの対応をベースに感情のような内部状態を想定させる動作をエージェントに行わせる。そして、共感が生じるかを検証する。本実験ではラッセルの円環モデル上の各象限を「喜怒哀楽」で分解し、これらの動作を反応として示す。

2.4.3 ロボットに対する動作

前節までの動作を単純に行った場合、単なる移動であったのかその移動に意図があったのかを判断することは困難である。よって、これらの動作を反応として判断するように促すため円運動に当てはめた。

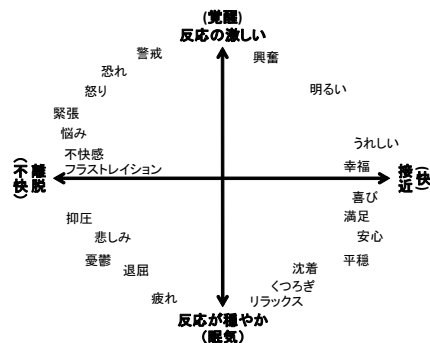


図 3: 移動パラメータに対応したモデル

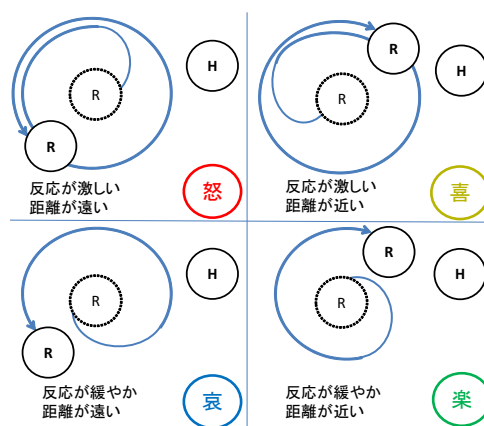


図 4: ロボットの反応軌道

反応の差は円運動の終点位置と円運動の大きさである。円運動の終点位置は「快-不快」の接近離脱を表し、円運動の大きさは「覚醒-眠気」の反応の激しさを表すものである。円運動の軌道を図4に示す。円運動の終点の位置と円の大きさは以下のように設定している。

- 円の終点
 - 接近状態：
 - 実験協力者との距離約 600mm 以内で実験協力者が見やすい位置に止まる。
 - 離脱状態：
 - 実験協力者との距離約 1200mm 前後の実験協力者が見にくい位置に止まる。
- 反応の激しい
 - 反応が激しい：
 - 円の半径約 350mm, 円周を 1.5 周
 - 反応が穏やか：
 - 円の半径約 300mm, 円周を 1.0 周

どちらの反応も同じ約3秒間で円運動を行う。そのため、反応が大きい場合は激しく、反応が小さい場合はゆっくり移動を行う。

2.5 実験内容

2.5.1 実験課題

実験協力者には2つの課題を行う。

1つ目は人にロボットが同調していると思わせるための運試しゲーム課題である(図5)。運試しゲームでは8つのランプが用意されており、その中から4つのランプを連続で選び、より大きい得点を狙うゲームである。当たりの程度は当たり、大当たり、外れ、大外れの4つに分類され、ランプの色で表示される(表1)。また、当たりの泥土で得点が実験協力者に与えられる。大当たり・大外れはあたる確率が低いため、得点の変動が大きい「50」「-50」と設定した。当たり・外れは当たる確率が高いため、得点の変動が小さい「10」「-10」と設定した。各あたりの度合いに対して実験協力者は、大当たりには「喜」、大外れには「怒」、外れには「哀」、当たりには「楽」の感情状態になると想定される。この課題では、実験協力者に対し、当たりなどの設置数と得点はあらかじめ教示しておく。しかし、それぞれ当たる実際の回数はその確率のままではなく、各判定が1回ずつ当たるようになっている(結果を統制するため)。運試しゲーム課題時間は3分程度で時間内に4つのランプを選ぶ。また、結果が呈示されたタイミングでロボットは2.4.3節で提案した反応を見せる。そして、ロボットの動作に対して共感が生じるかを観測する。

例えば、この課題である実験協力者が大当たり(LEDは黄色)を位置を当てたとする。前述のとおり、この結果はこの実験協力者にとって最も結果であるため、「喜」の感情状態になることが予測される。この時、ロボットは判定が出てすぐに「喜」を表現する円運動(図4右上)を行う。この動作を実験協力者が自身の感情状態と同じであると推定したのであれば、2.3節の通り親和動機が誘発されると考えられる。

2つ目の課題は共感が生じたことを確認するために色彩知覚課題である。この課題では実験協力者に表示される3つの正方形の色を明度が高い順に並び替えを行わせる(図6)。課題を行う前にロボットが自分自身のために行ってほしいと頼んでいるように画面に表示する。また、課題は5回行えば任意のタイミングで終わってよいことを提示する。もし、実験協力者がこの課題を5回よりも多く行うならば、ロボットに対して援助をしようとする意思を示すことになる。ここで、実

表 1: 当たりの度合いに対する詳細

判定	ランプ色	数	得点	推定感情
大当たり	黄	1	50	喜
大外れ	赤	1	-50	怒
外れ	青	3	-10	哀
当たり	緑	3	10	楽



図 5: 運試しゲームの様子

験協力者が共感しロボットとの友好的な関係性が形成されたならば、より多くの課題をこなしてくれることが期待される。

2.5.2 実験環境

実験環境は図7に示す。実験環境の「H」と「R」はそれぞれ実験協力者とロボットのスタート時の位置を示す。実験協力者は直径3000mmの円の中を自由に移動できるが出てはいけない。

「L」はランプの位置を示し、ランプは3000mmの正方形の辺上を等間隔で配置している。また、各ランプの手前には線が引いてある。これは選択位置でこの線上に立つことで、その位置に最も近いランプを選択することができる。3秒以上その場に立ち続けると選択したと判定され、ランプが点灯する。また、ランプ

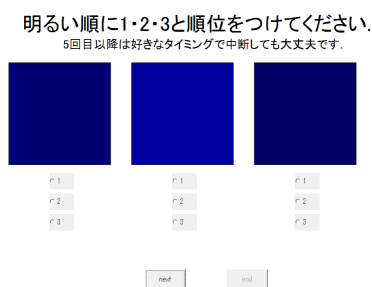


図 6: 色彩知覚課題の画面

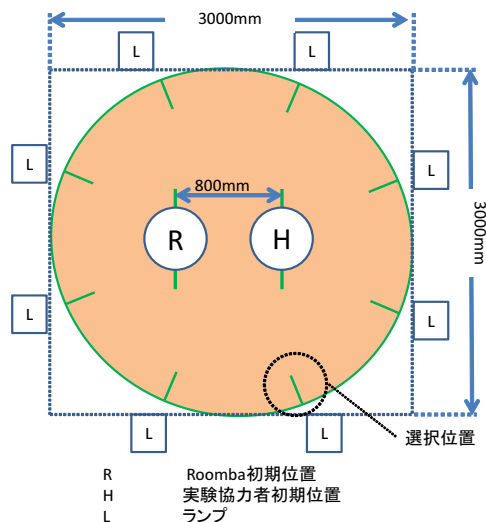


図 7: 実験環境

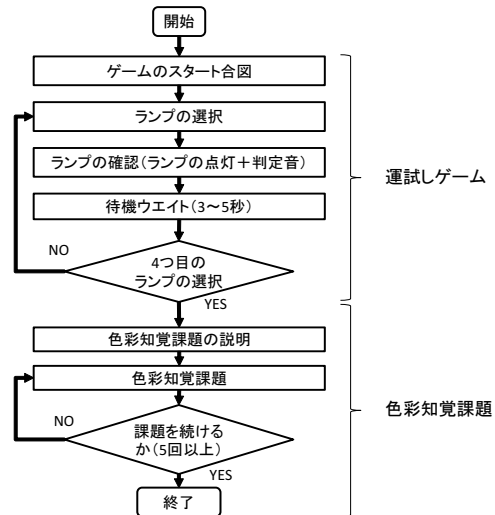


図 8: 実験手続き

の点灯と同時に判定音もなり、実験協力者があたりの度合いを確認しやすくしている。

色彩知覚課題は運試しゲームを行う実験環境と同じ部屋で行ってもらおう。その部屋にパソコンが置いてあり、実験協力者に対して運試しゲーム終了後はパソコンの指示に従うよう教示する。

2.5.3 実験の手続き

実験の手続きは図 8 のようになる。運試しゲームでは、実験協力者はランプを 1 つずつ選択し確認をするという過程を 4 回繰り返す。また、ランプの確認後は次の選択をする前に一定の時間を設けている。これは実験協力者がロボットをまったく気にしないで、ロボットが感情を示す反応動作している間に次の選択を行わせないようにするためである。4 つのランプの選択終了後実験協力者には色彩知覚課題を行う。色彩知覚課題の後にはアンケートの記入をお願いする。

2.6 実験条件

実験は 1 要因被験者間で行う。実験条件は表 2 の通りである。反応動作要因はランプが点灯した際にロボットがどのような反応を示すかの要因である。条件 I は実際にランプが点灯しても反応しない条件である。条件 II は図 3 に設定した感情状態想定動作に準ずる動作を行う。条件 III は、順反応と逆の反応を示す。2.4.3 節の通り、快-不快が反転した反応で行う。この逆反応条件は今回の円運動に対する終点位置と反応の激しさの違いが同調するために有効かを判断するために用意し

表 2: 実験条件

反応動作要因		
条件 I	条件 II	条件 III
無反応	順反応	逆反応

ている。今回援助行動に対して順反応条件および逆反応条件で差が生じたのであれば、対人距離の変化はロボットが快-不快の内部状態を提示するための有効な要素となりえる。

実験協力者は情報学を専攻する大学生・大学院生 45 名で、各条件 15 名ずつで行う。

2.7 観察項目と予測

- 色彩知覚課題の実行回数
- アンケート

色彩近く課題の実行回数にてロボットが自分に対して共感してくれたかどうかを観測するために行う。以下に観察項目に対する予測を行う。

- 予測

色彩知覚課題の実行回数はロボット反応なしの場合とありの場合では反応がある場合の方に共感し、課題の実行回数が増加すると予測される。つまり、条件 II と条件 III は条件 I よりも課題の実行回数が多い。また、ロボットが逆反応を示した際は動作に対して違和感が生じ、逆反応は順反応より課題実行回数が減少すると予測される。つ

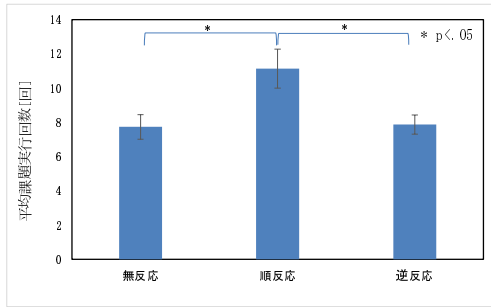


図 9: 色彩知覚課題の平均実行回数

まり、条件 III は条件 II よりも課題実行回数が少ない。

2.8 実験結果と考察

2.8.1 色彩知覚課題の平均実行数

運試しゲームを行った後の色彩知覚課題の平均実行数は図 9 に示す通りであった。分散分析の結果、反応動作の要因に有意差が生じた ($F_{(2,42)} = 4.12, p < .05$)。テューキー法による多重比較の結果は順反応条件と無反応条件および順反応条件と逆反応条件に有意差が生じた。また、無反応条件と逆反応条件では有意差は生じなかった。この結果は予測と異なる結果であったが、仮説を立証するものである。

2.8.2 アンケート調査の結果：ロボットの印象評価

運試しゲームおよび色彩知覚課題を行った後、実験協力者に対してアンケート調査を行った。

ロボットに対する印象に対する質問として「ロボットに親しみを感じたか?」「ロボットにかかわりたいと思ったか?」を行った。これらの質問は 7 件法を用いており、数値が大きいほど強い同意を示すことになる。ところ図 9 に示す結果となった。

これらの結果に対して、分散分析を行ったところどちらの結果に対しても、有意な差は見られなかった(親しみを関したかは $F_{(2,42)} = 0.07, n.s.$ 、関わりたいと思ったかは $F_{(2,42)} = 0.02, n.s.$)。また、「ロボットが何をしていると思ったか?」という自由記述の質問に対しての結果ではほとんどの人が「わからなかった」「観察していた」などロボットはゲームに関与していないと感じられる意見が多く見られた。これらのことから、ロボットに対してどの条件においても友好的な存在であるといった主観的な意見は見られなかった。

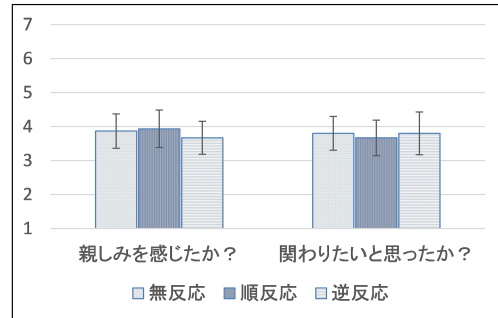


図 10: ロボットの印象評価に対するアンケート

2.8.3 アンケート調査の結果：選択基準

運試しゲームについての質問でスイッチの選択の基準となったものがあつたかどうかを自由記述にて回答させた。この質問では回答から 3 つに分類した。1 つ目は「勘」や「なんとなく」のような実験協力者自身の直感で選択されたものである。未記入または「わからない」といった回答も具体的な選択基準を持たなかったということでこちらに含めた。2 つ目は「当たりとなりは外れであると考えた」などのあたりと外れの位置関係に法則性があると考えて選択をしていたと考えられる回答である。3 つ目はロボットが原因となって選択されたとみられる回答である。ロボットが「選択を邪魔したから」などの敵対的な意見や「教えてくれていると思ったから」などの好意的な意見は分類せずにロボットが基準になっているものとしてまとめている。結果は図 11 の通りである。

結果より無反応条件ではロボットが選択基準となっている実験協力者が半数以上いる。逆に反応を見せている順反応条件および逆反応条件ではロボットが選択基準になっていることはなかった。この結果はロボットの反応が実験協力者によってロボットが次のあたりを指し示すものと判断できるものや、何かの邪魔をしていると判断するものにはならなかったことを示す。つまり、多くの実験協力者はロボットの円運動について単純な運試しゲームの結果に対しての反応していたと感じていると解釈できる。

2.8.4 考察

本実験ではロボットは円運動によって反応を示した。ロボットが「喜怒哀楽」を示す反応の動作の違いは反応の大きさや終点の位置だけであった。実験の結果、提案したモデルに基づいた条件 (条件 II) が最も色彩知覚課題の実行数が多いものとなった。この結果は羽田らの実験と同様にロボットの反応によって親和動機を誘発したものであると考えられる [9]。つまり、実験協

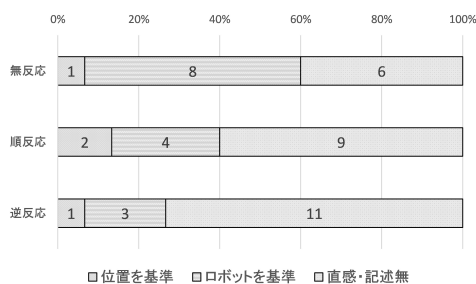


図 11: ロボットの印象評価に対するアンケート

力者はロボットが同調しているように感じていたことが示唆される。さらに、今回の実験では反応しない条件（条件Ⅰ）だけでなく、「快-不快」の終点位置を入れ替えた反応（条件Ⅲ）でも比較を行った。条件Ⅱと条件Ⅰおよび条件Ⅱと条件Ⅲのそれぞれの条件間で色彩知覚課題の実行回数に有意な差が生じた。このことから、単純に反応するだけで親和動機が生じたのではなく、モデルに基づいて反応を示すことで親和動機が生じたことが示唆される。今回の実験で提案した「快-不快」に対しては対人距離を「覚醒-眠気」には反応の大きさを対応させた反応動作を示すことで、ロボットが実験協力者に対して共感していると感じたと考えられる。特にこの実験では接近・離脱といった距離を「快-不快」に対応させることで有意な差が生じた。つまり、実験協力者のポジティブな感情に対しては接近動作が、ネガティブな感情に対しては離脱動作の要素が加わることで、同調をしていると感じると考えられる。

しかし、アンケートの結果ではロボットに対する印象はあまりこう評価はされておらず、条件ごとと比較しても差はなかった。もし、親和動機を誘発したのであれば、主観評価においてもロボットに対して友好的な印象を与えると考えられるが、そのような結果にはならなかった。このような結果になったのは、無意識的にロボットの動作に対して感情を推定したのではないかと考えられる。

また、順反応条件においてロボットの円運動から援助行動をしていると無意識的に推定したのではないかと考えられる。しかし、アンケートにおいて選択基準を記述させた結果、反応を見せた際にロボットが選択基準となった実験協力者はほとんどいなかった。つまり、ロボットの円運動は何かを示すヒントとして捉えられたのではなく、ゲーム中の反応として捉えられていたことを示す。さらに、順反応と逆反応において援助行動に差が出たという結果は実験協力者が無意識にロボットの動作に対して同調していると感じたと考えられる。本実験の結果は、友好的な関係が構築されたとまでは言えないが、友好的な関係を構築しやすい

存在であることは示唆されたのではないだろうか。

3 むすび

関係を継続させる上でロボットが友好的な存在であることを示すことは重要な要素である。本研究では未知である存在に対しても友好的な関係を作ることができるかを調査した。そこで、感情モデルに移動パラメータを与えた円運動の反応を見せ同調しているように感じるかを評価した。結果として、提案した動作に準じた順反応を示した際に、実験協力者はロボットが依頼した色彩知覚課題をより多く実行することが確認された。今回の結果より他者のポジティブな感情に対しては接近動作が、ネガティブな感情に対しては離脱動作の要素が反応に加わることで、同調をしていると感じると考えられる。ただし、今回の結果はポジティブあるいはネガティブな感情状態であるときを混在させてしまったため、どちらが有用であったかあるいはどちらも有用であったかは確かではない。また、今回の実験では友好的な関係を構築するためにゲームを通したが、単純なロボットと人とのやりとりでこのような接近や離脱動作どのようにはたきかけるのだろうかを調査したい。

謝辞

本研究は MEXT 科研費 26118001 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Byron Reeces, and Clifford Nass: The Media Equation, Cambridge University Press, Cambridge (1996)
- [2] 平川大介, 野澤孝之, 近藤敏之: HAI の促進と持続に関する一考察, HAI シンポジウム, 2C-2 (2007)
- [3] 増田恵, 加藤昇平, 伊藤英則: ラバン理論に基づいたヒューマンフォームロボット身体動作の動作特徴抽出と表出感情推定, 日本感性工学会論文誌, Vol. 10, No. 2, pp. 295-303 (2011)
- [4] 田島 年浩, “感情をもったペット型ロボット 映像情報メディア学会誌, Vol. 54, No. 7, pp. 1020-1024 (2000)
- [5] 柴田 寛, 加納 政芳, 加藤 昇平, 伊藤 英, “感性ロボット ifbot の感情空間を用いた感情遷移に伴う

表情変化の主観的影響日本知能情報フuzzy学会誌, vol. 21, No. 5, pp. 630-639 (2009)

- [6] 小松孝徳, 山田誠二,: 適応ギャップがユーザのエージェントの対する印象変化に与える影響人工知能学会論文誌, vol. 24, No. 2, pp. 232-240 (2008)
- [7] F. Heider, M. Simmel,: An experimental study of apparent behavior, The American Journal of Psychology. Vol. 57, No. 2, pp. 243-259 (1944)
- [8] 対人行動学研究会（編）：対人行動の心理学誠信書房 (1986)
- [9] 羽田拓朗, 竹内勇剛,: 共感を呼ぶCG顔表情に関する研究電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 734, pp. 7-12 (2003)
- [10] James A. Russell: A Circumplex Model of Affect Journal of Fersonality and Social Psychology, Vol. 39, No. 6, pp. 1161-1178 (1980)
- [11] 渋谷昌三：人と人との快適距離：パーソナルスペースとは何か日本放送出版協会 (1990)