

ロボットの社会性: ロボットが対話者間の印象形成に与える影響評価

坂本 大介*¹ 小野 哲雄*²

Sociability of Robots:
Effect Evaluation of Robots on the Impression Formation between Humans

Daisuke Sakamoto*¹ and Tetsuo Ono*²

Abstract – With developments in robotics, robots “living” with people will become a part of daily life in the near future. However, there are many problems with social robots. In particular, the behavior of robots can influence human relations, and societies have not yet clarified this. In this paper, we report on an experiment we conducted to verify the influence of robot behavior on human relations using the “balance theory.” The results show that robots can have both good and bad influence on human relations. One person’s impression of another can undergo changes because of a robot’s social behaviors.

Keywords : Sociability of Robots, Human-Robot Interaction, Robot Mediated Communication

1. はじめに

近年、ロボット工学の急速な発展により、様々な形態のロボットが開発されるようになってきた。この流れの中で、近い将来、人と長期間にわたり相互作用し、人と共同作業しながら生活することができるような人型ロボットの実現が現実味を帯びてきた。

一方でエージェントを用いて知的なインタフェースを実現するための研究が多く行われてきている^{[1][2]}。インタフェースとしてのエージェントは人と相互作用する必要がある。この際のエージェントの態度や振る舞いは人に直接影響を及ぼすことが考えられる。中西らは社会的エージェントが二人の人と対話を行う際に、エージェントが人に対してどのような影響を与えるかを調べる実験を行った^[3]。この結果からエージェントの社会的な態度が人のエージェントに対する印象だけではなく、人同士の印象に対しても影響を与える可能性が示された。これはつまり、エージェントの社会性が人同士の人間関係にも影響を与える可能性があるということである。

物理的な身体を持ったエージェントであるロボットにおいてもその社会性が人とロボットだけではなく、人同士の関係に対しても影響を与えるかもしれない。今後、身の回りの多くの機器が自律的に判断し、行動するような知的な空間においてロボットを人と空間とのインタフェースとして活用することも考えられてい

る^[4]。このようなインタフェースとしてのロボットは常に人と相互作用を行う必要があるという点において、社会性が重要になると考えられる。このようなロボットの社会性に関する研究は、重要視されながらもこれまで多くは行われてこなかった。

人における社会性の定義については心理学者の間でも様々な意見があり、いまだ明確なものは存在しない。その中でより一般的な定義、解釈としては「他者の存在に関心を持ち、積極的に関わろうとする姿勢、および関わるための技術」を社会性とみなそうとしている^[5]。子供と大人では求められる社会性が変化するように、社会性はその人が置かれている状況や外見などの要因によって変化する可能性がある。我々はロボットにおける社会性も人と同様の定義が可能であると考えている。なぜなら、人と相互作用するロボットに求められる社会性とは、人のそれと同様なものにならざるをえないからである。したがって本論文では「ロボットの社会性」を「ロボットが他者(人)の存在に関心を持ち、積極的に関わろうとする姿勢、および関わるための技術」と定義する。

一方で、これまでの人-ロボットの対話研究では一対一の対話が多く用いられてきた。しかし、実世界の対話では多対多の対話が主であり、最小限の社会的な対話は三者対話であると言われている。これまでもロボットを交えた三者対話に関する研究は行われてきているが、ロボットの社会性について注目してこなかった^[6]。人-ロボット対話、特にロボットを含む三者以上の対話においてどのような相互作用が起こるかを把握するためには、Heiderのバランス理論を用いるこ

*1: 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科

*2: 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

*1: Graduate School of Future University-Hakodate

*2: Future University-Hakodate

とができる。バランス理論は二人の人と一つの対象 X 間の相互作用によって三者間の心情が均衡状態に向かう傾向があることを示した理論である^[7]。ここでの対象 X は物だけではなく人でも成立する。バランス理論によれば対話者間の対人感情が変化することで、三者間の対人関係が変化する。では、この対象 X をロボットとすることでこのバランス理論は成立するであろうか。また、ロボットの振る舞いを意図的に制御することで、ロボットを含んだ三者対話における対人(ロボット)感情を制御することは可能であろうか。

また、Cartwright らは Heider のバランス理論を拡張し、グラフ理論的に拡大することが可能であることを示した^[8]。これはつまり、ある集団の人間関係を三者関係の拡大で説明することが可能であるということである。具体的にはある集団の二人の間の感情の変化が他の人の感情に影響を与えるということである。では、ある集団の新しい仲間としてロボットが入ってくる際の人間関係にもこの理論を適用することが可能であろうか。たとえば、ロボットはある集団を構成する人々がお互いに持っている印象に対してなんらかの影響を与えることができ、かつ、人間関係に変化を与えることができるであろうか。本稿では上記の認知科学的知見と社会心理学的知見を用いてロボットの社会性が人間関係に与える影響を調べるための実験を行う。

2. 実験の概要と設定

本研究ではロボットの社会性が対人関係にどのような影響を与えるかについての実験を行う。本稿では以下に実験の目的と方法、また使用するロボットとシステムについて述べる。

2.1 実験目的

本研究ではロボットの社会性が複数人との対話において、どのような影響を与えるかについて調べることを目的とする。具体的には、ロボットの社会的な振る舞いや態度が人とロボット、人同士の関係にどのような影響を与えるかを調べる実験を行う。

2.2 実験方法

本研究で行う実験では、人とロボットの対話においてロボットが人の意見に対して好き嫌いの態度を明確に取ることで人に対してどのような影響を与えるかを確認する。具体的には一台のロボットと二人の被験者が同時に対話を行い、ロボットの振る舞いや態度を条件により変化させることでこれを検証する。対話後に被験者はロボットについての印象を評価する。さらに、お互いのロボットに対する印象を実験者が口頭でインタビューすることにより被験者同士のロボットに対する印象を知ることができる。この後、被験者の3つの対象に対する印象、つまり、①ある被験者のロボット

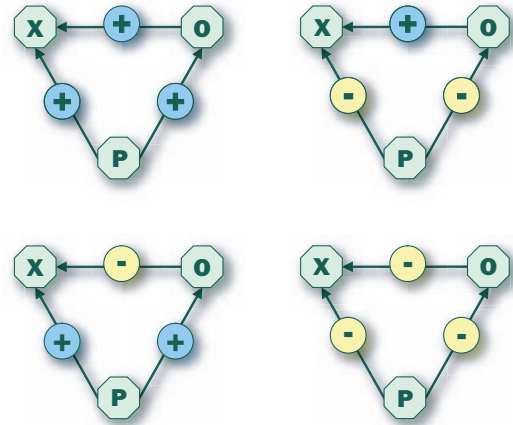


図1 バランス理論にもとづく均衡状態(上)、不均衡状態(下)

Fig.1 The balanced state(above) and imbalanced state(below) based on the heider's theory

に対する印象、②ある被験者から見た別の被験者のロボットに対する印象、③ある被験者の別の被験者に対する印象の評価を行い、これによりバランス理論が成立したか否かを確認する。

バランス理論

バランス理論は別名 P-O-X モデルとも呼ばれ、自分を P、他者を O、対象を X とし、P の O に対する印象、P の X に対する印象、P からみた O の X に対する印象を正 (+) と負 (-) の印象でラベル付けを行い、三つの印象の積が + となる均衡状態に向かう傾向があることを示した理論である。ここでの正の印象とは好き、承認、賞賛などであり、負の印象とは嫌い、不承認、拒絶などある。図1上は均衡状態を示しており、図1下は不均衡状態を表している。不均衡状態ではいずれかの印象が + から - へ、もしくは、- から + へと変化することで均衡状態に向かう。

本研究で行う実験ではこの対象 X をロボットとし、このロボットの振る舞いを変化させることで、他の二人の対話者のロボットに対する印象を制御し、これにより二人の対話者間の印象を制御できるかどうかを確認する。さらに、対話者間の印象を制御することで人間関係に影響を与えることができるかどうかを確認する。

実験条件

三者関係における印象の変化を確認するために、ロボットの振る舞いに応じて3つの条件を設けた。

賛成条件 本条件下ではロボットは二人の被験者の意見に対して平等に賛成する。

反対条件 本条件下ではロボットは二人の被験者の意見に対して平等に反対する。

不平等条件 本条件下ではロボットは一方の被験者の意見には賛成し、もう一方の被験者の意見に

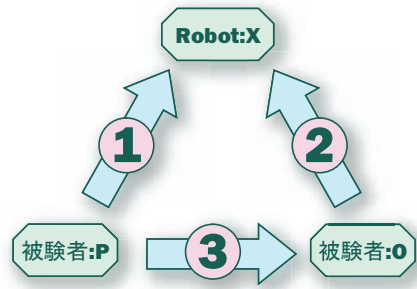


図 2 3つの対象に対する印象

Fig.2 Participant's impression to three objects

は反対する。

評価グループ

実験の評価はこれらの3条件の被験者を4つのグループに振り分けて行う。これは被験者がロボットから賛成、反対されるグループに対応している。

1. 賛成 (Agreement (A))
2. 反対 (Disagreement (D))
3. 不平等賛成 (Imbalance Agreement (IA))
4. 不平等反対 (Imbalance Disagreement (ID))

賛成グループは賛成条件の被験者である。反対グループは反対条件の被験者である。不平等賛成グループは不平等条件においてロボットに賛成される被験者である。不平等反対グループは不平等条件においてロボットから反対される被験者である。

バランス理論に基づく評価グループ

実験の評価ではバランス理論の予測にもとづいて、評価グループをさらに2つのグループに分ける。それらは対象に対して良い評価をするであろうプラス評価グループと対象に対して悪い評価をするであろうマイナス評価グループである。実験結果の分析では主にこの2つの評価グループを用いる。表1に具体的な振り分けを示す。また、これは本節の冒頭で示した3つの対象に対する印象に対応している。図2に具体的な対象に対する方向のグラフを示す。

実験のシナリオ

実験ではロボットが被験者に対して質問をし、それに被験者が答えるという一問一答形式のシナリオを用いた。具体的にはロボットが「何々は好き？」と質問をし、被験者がそれに答え、それに対してロボットが対象が好きか嫌いかという態度を明確にする。ロボットとの対話前に被験者に対して物事の好悪に関する30項目のアンケートを行い、この結果をロボットとの対話に用いた。実験ではこの30項目の中から条件に合った項目をランダムに10項目抽出した。さらに、実験の条件とは異なる態度を示すための質問も2項目抽出

し、質問を全部で12問用意した。これはすべての項目に対して同様に好きか嫌いかという態度をとるのではなく、ある程度の質問で違う態度をとるほうが実験として妥当であるという先行研究の結果^[3]からこの手法を採用した。

また、ロボットが好き嫌いの態度を示す際には発話内容にあった身体表現や身体配置をとる。これはコミュニケーションにおいて非言語情報が重要であり、特に物理的な身体を用いた情報伝達は有効であるためである。ロボットは被験者に対して平等に賛成する場合には平等に被験者のほうに視線を向けるが、平等に反対する場合にはどちらにも視線を向けないといったような身体表現をとる。不平等に賛成する場合には賛成する被験者のほうにのみ視線を向けるような身体表現をとり、不平等に反対される被験者には視線を向けない。また、不平等条件ではシナリオの半分となる6項目を終えた時点でロボットの向きを常に同意する被験者の方に向け、200mm程度前進するといった身体配置をとることとした。

2.3 実験で使用するロボットとシステム

本研究で行う実験で使用するロボットとそのシステムについて詳述する。

コミュニケーションロボット *Robovie-R ver.2*

実験で用いるロボット *Robovie-R ver.2* のハードウェア構成について簡潔に述べる。*Robovie-R ver.2* (図3左) はコミュニケーション機能に重点を置き擬人化しやすい外見を持つ上半身人型のヒューマノイドロボットである。人に威圧感を与えないために人よりもひとまわり以上小さいサイズとなるように設計され、すべての制御系を本体内に内蔵している。このロボットの高さは1.2m、半径0.5m、重量約40kgである。また、頭部は3自由度の機構で人のように回転可能である。腕は4自由度の機構で肩に3自由度、ひじに1自由度という機構となっている(図3右)。移動に際しては2輪独立駆動方式の車輪を用いており、人のように横に水平に移動することは無理であるが、移動には困難はないため人とコミュニケーションをとることに關しては問題ない。

ロボットシステム

本研究で行う実験に使用するロボットシステムについて詳述する。

社会的な振る舞い

本ロボットシステムではあらかじめモーションを定義したものを再生させることでロボットを動作させている。そのため、ロボットに対して社会的な振る舞いをさせるためのモーションを事前に作成する。ロボットのモーション作成にはATR-Robotics社のロボピーメーカー^[9]を使用した。本実験で使用するモーシ

表1 プラス・マイナス評価グループへの振り分け

Table 1 Distribution of participants to the evaluation group of plus and minus

印象	プラス評価グループ	マイナス評価グループ
被験者からのロボットに対する印象 ①	賛成 (A), 不平等賛成 (IA)	反対 (D), 不平等反対 (ID)
他の被験者からのロボットに対する印象 ②	賛成 (A), 不平等反対 (ID)	反対 (D), 不平等賛成 (IA)
他の被験者に対する印象 ③	賛成 (A), 反対 (D)	不平等賛成 (IA), 不平等反対 (ID)



図3 Robovie-R ver.2の外観
Fig.3 Appearance of the Robovie-R ver.2

ンは2.2節で述べたシナリオに則り「挨拶」「質問」「態度」のモーションを合計82用意する。

シナリオの自動生成

本研究で行う実験では実験条件に合わせてロボットの態度を変化させる。このロボットの態度を実験者が実時間で変化させることは非常に困難である。なぜなら、80を越えるファイル群を実験条件に合わせて選択することは非常に困難なためである。このため、実験の内容に則したシナリオを自動生成することとした。

シナリオは実験条件に合わせて三種類が生成される。以下にそれぞれのシナリオの内容を示す。

賛成シナリオ ロボットが二人の被験者に対して

同様に賛成するシナリオ

反対シナリオ ロボットが二人の被験者に対して

同様に反対するシナリオ

不平等シナリオ ロボットが片方の被験者にのみ

賛成するシナリオ

2.2節で述べたように、実験ではロボットが12項目の質問をし、被験者の回答に対してその態度を示すが、この内2項目に関しては実験条件に合わない態度を示すこととした。具体的には、実験条件と反対の意見を示す態度と、質問項目に対して「そうなんだ」などと答える曖昧な態度とをランダムに抽出し、この2項目の反応として組み込んだ。

WOZ法によるロボットの半自動制御

本ロボットシステムで生成されるシナリオは被験者の態度に合わせて自動的に再生することができない。そのため、実験者がWOZ(Wizard of Oz)法にもとづき実験の様子を観察しながらシナリオを進めることとした。具体的にはこのシナリオを再生するためのソフトウェアを開発し、実験者がボタンをクリックするこ

とでシナリオを進めることができるようにした。これはつまり、実験者はロボットの操作を行うが、ロボットの発話のタイミングしか制御できないことになる。

ロボットの発話のタイミングをロボット自身で判断し、シナリオを進めるという手法も考えられるが、現在のロボットのハードウェア、ソフトウェアの仕様上これは非常に難しいことであるため、今回の実験ではWOZ法によるロボットの操作という手法を用いた。

WOZ法にもとづいてロボットを操作する上で、実験者が恣意的にロボットを操作することがないように実験におけるロボットの発話タイミングに関してあらかじめルールを設定し操作した。具体的なルールを以下に示す。

1. 実験開始時に一度「挨拶ファイル」を再生する
2. 「質問ファイル」を再生する
3. 被験者の答えを待って「態度ファイル」を再生する
4. 態度ファイルを再生し終わったらすぐに2の「質問ファイル」を再生する
5. すべての質問が終わったら、実験の終了を表す再度の「挨拶ファイル」を再生する。

以上のルールにもとづいてロボットの操作を行う。

モーションキャプチャシステム

本実験では対話中の人の身体動作をモーションキャプチャシステムで記録する。本研究で行う実験ではVicon Motion Systems社製のシステムを使用する。このシステムは赤外線照射機能つき赤外線カメラを6台使用したシステムとなっている。本システムでの時間分解能は120ヘルツであり、空間分解能は約1mmで計測可能である。本実験では二人の人に対してそれぞれ44点、ロボットに対して24点のマーカをつけ、これを記録する(図4)。ここで得られたデータは実験における身体動作量の分析に使用する。

3. ロボットを交えた三者対話実験

ロボットを交えた三者での対話実験について詳述する。

3.1 被験者

男女の大学生50名が実験に参加した(男性47名、女性3名)。各被験者は日常的にロボットを扱ったことがないことを確認した。

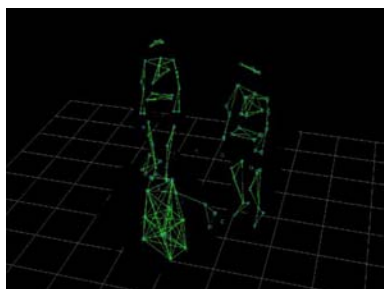


図4 VICON モーションキャプチャシステム
Fig. 4 VICON motion capture system

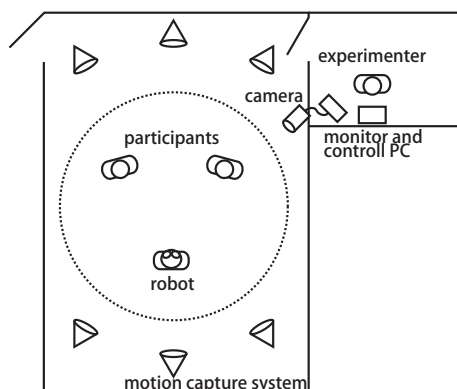


図5 実験環境
Fig. 5 Experimental environment

3.2 実験環境

本実験は、公立ほこだて未来大学内の実験室にて行う(図5)。実験室内には実験を記録するためのビデオカメラとモーションキャプチャシステムが設置されている。また、実験者は被験者から見えない部屋に隠れている。これによりロボットを操作する実験者の存在を被験者に対して示すことなく、ロボットを操作することが可能である。

3.3 実験手順

具体的な実験の手順を示す。

1. ロボットと対話する前に「事前アンケート」に回答する。このアンケートの内容は物事の好き嫌いに関するものである。ロボットとの対話実験ではこのアンケートの結果から被験者に対して「賛成」と「反対」の態度をとる。
2. 両被験者同時にロボットと対話実験を行う。
3. 対話実験終了後、「ロボットの印象に関するアンケート」に回答する。
4. 両被験者に対して実験者が同時に口頭でロボットの印象に関するインタビューを行う。両被験者は手順3で行った「ロボットの印象に関するアンケート」で回答した通りに口答する。これにより両被験者同士のロボットの印象を知ることができる。
5. 各被験者が2.2節で示した3つの印象について

「質問票」に回答する。実験の評価にはこの「質問票」のみを用いる。

なお、ロボットとの対話実験はロボットが「こんにちは」と発話したところから、「これで質問は終わりです」と発話したところまでとする。

3.4 評価方法

評価は、被験者の質問票への回答の結果と身体動作の分析結果により行う。質問票は3.3節の5で回答を求めた質問票である。質問票での質問項目を表2に示す。これらの質問項目は被験者の各対象に対する好悪の印象に関するものである。被験者はこれを図2で示した3つの対象に対する印象について、それぞれ同じ質問項目で評価する。被験者はこれらの質問に5段階尺度で回答する。最も低い評価を1、最も高い評価を5とする。

また、身体動作の分析ではモーションキャプチャシステムで得られた実験中のロボットと被験者の身体動作情報を用いる。対話においては発話といった言語情報と共に身体表現などの非言語情報が重要であり、これらは不可分な関係がある。これらは社会心理学で明らかになっている対人距離や、近年人-ロボット対話において注目されている協調的な身体動作などがある。その中からロボットの振り舞いによる被験者の身体動作の変化量の評価や、人とロボットとの距離の分析を行う。これにより、主観評価による質問票の分析結果を定量的に検証することを試みる。

3.5 実験の仮説と予測

本実験では、以下の仮説にもとづき予測の検証を行う。

仮説 ロボットの態度によって、被験者間の印象を変化させることができる。さらに、人の身体動作に影響を与えることができる。

予測 賛成条件、反対条件における被験者間の印象評価の結果が不平等条件における被験者間の印象評価の結果よりも高くなる。さらに、ロボットに賛成される被験者の身体動作と反対される被験者の身体動作量に差が現れる。

4. 実験結果

本実験では三者対話における三者関係のバランス理論にもとづく印象について評価を行う質問票分析と、身体動作量の分析を行う身体動作分析の2つの分析を行う。分析は2.2節で示した「バランス理論にもとづく評価グループ」であるプラス評価グループとマイナス評価グループに関して行う。質問票分析ではこの評価グループの振り分けに関する妥当性についても検証を行う。

表 2 質問項目

Table 2 Questionnaire for participants

Question.1	Question.2	Question.3	Question.4	Question.5	Question.6
意見が合う	共感できる	自分と似ている	好感が持てる	魅力的に感じる	好き

表 3 被験者から見た他の被験者の印象に関する質問票の集計結果

Table 3 Results from the questionnaire about the participant's impression to the other participant

	Q1	Q2	Q3
plus	4.28 (0.914)	4.19 (0.575)	4.05 (1.022)
minus	2.59 (1.382)	3.05 (1.207)	2.09 (0.954)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 22.45$ $p < .001(**)$	$F = 15.55$ $p < .001(**)$	$F = 43.41$ $p < .001(**)$
	Q4	Q5	Q6
plus	3.96 (0.768)	3.60 (0.651)	3.64 (0.772)
minus	3.38 (0.993)	3.00 (0.764)	3.13 (0.833)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 4.64$ $p = .037(*)$	$F = 7.56$ $p = .009(*)$	$F = 4.44$ $p = .041(*)$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$

表 4 被験者から見たロボットの印象に関する質問票の集計結果

Table 4 Results from the questionnaire about the participant's impression to the robot

	Q1	Q2	Q3
plus	4.17 (0.746)	3.30 (1.207)	3.67 (1.106)
minus	1.55 (0.783)	1.60 (0.718)	1.50 (0.723)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 129.54$ $p < .001(**)$	$F = 31.57$ $p < .001(**)$	$F = 58.06$ $p < .001(**)$
	Q4	Q5	Q6
plus	3.80 (1.04)	3.13 (0.781)	3.96 (0.889)
minus	2.50 (1.197)	2.46 (1.234)	2.91 (1.165)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 14.66$ $p < .001(**)$	$F = 4.72$ $p = .035(*)$	$F = 11.4$ $p = .002(*)$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$

4.1 質問票分析

本実験では、ロボットを含んだ三者関係での ①被験者からのロボットに対する印象、②他の被験者からのロボットに対する印象、③他の被験者に対する印象、について主観評価を測定するために実験終了後、質問票による回答を求めた。この分析では実験機材の障害によりデータを取得することができなかった4名を除き、46名の被験者の質問票の分析を行った。ここではまず、③のロボットが被験者同士の印象に影響を与えることができたかについて確認する。表3にプラスとマイナスの評価グループ間の質問票の6評定項目の平均、標準偏差、および分散分析の結果を示す。ロボットとの対話実験の様子を図6に示す。表3より被験者から見た他の被験者の印象に関してはすべての質問項目において有意な差が確認された。また、被験者から見たロボットに対する印象(①)と被験者から見た相手の被験者のロボットに対する印象(②)についてもすべての項目において有意な差が確認された(表4および表5)。

バランス理論にもとづく評価グループへの被験者

表 5 他の被験者のロボットに対する印象を推定した質問票の集計結果

Table 5 Results from the questionnaire about the estimated other participant's impression to the robot

	Q1	Q2	Q3
plus	4.38 (0.696)	3.50 (1.259)	3.92 (1.188)
minus	1.82 (0.936)	2.14 (1.1)	1.73 (0.75)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 106.86$ $p < .001(**)$	$F = 14.54$ $p < .001(**)$	$F = 52.4$ $p < .001(**)$
	Q4	Q5	Q6
plus	3.71 (1.172)	3.38 (0.905)	3.92 (0.954)
minus	2.78 (0.997)	2.69 (1.062)	3.00 (0.905)
分散分析の結果 ($F(1.44)$)	$F = 8.06$ $p = .007(*)$	$F = 5.47$ $p = .024(*)$	$F = 10.65$ $p = .002(*)$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$



図 6 賛成条件の対話実験の様子

Fig. 6 Photo of the participants and robot in the agree condition

の振り分けの妥当性を検証するために、被験者同士の印象を4評価グループ間において分散分析を行った。表6に4つの評価グループ毎の質問票の6評定項目の平均、標準偏差、および分散分析の結果を示す。この結果においてもすべての項目において有意な差が確認された。さらに、LSD法による多重比較の結果、Q1,Q2,Q3において $A, D > IA, ID$ といった関係に有意な差が確認された(Q1:($MSe = 1.443, p < .05$), Q2:($MSe = 0.9242, p < .05$), Q3:($MSe = 0.8550, p < .05$))。ここでのAとDはプラス評価グループであり、IA, IDはマイナス評価グループである。また、Q4では $A > D, IA, ID$ という関係に有意な差が確認された(Q4:($MSe = 0.7200, p < .05$))。Q5では $A, D > ID$ という関係に有意な差が確認された(Q5:($MSe = 0.5253, p < .05$))。Q6では $A > ID$ という関係に有意な差が確認された(Q6:($MSe = 0.6526, p < .05$))。この多重比較の結果からも被験者をプラスとマイナスという評価グループに分けることが妥当であったと考えている。

これによりロボットを含む三者対話においてロボットの振る舞い、態度が個人のロボットへの印象だけで

表 6 4つの評価グループの分散分析の結果

Table 6 Results from the questionnaire in the four evaluation group

評価グループ	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
同意 (A)	4.34 (0.624)	4.25 (0.596)	4.17 (0.898)	4.34 (0.746)	3.75 (0.722)	3.92 (0.863)
反意 (D)	4.20 (1.167)	4.10 (0.539)	3.90 (1.136)	3.50 (0.5)	3.40 (0.49)	3.30 (0.459)
不平等同意 (IA)	2.34 (1.028)	2.75 (1.011)	1.92 (0.641)	3.25 (1.011)	3.09 (0.954)	3.09 (0.954)
不平等反意 (ID)	2.84 (1.625)	3.34 (1.313)	2.25 (1.164)	3.50 (0.958)	2.92 (0.494)	3.17 (0.688)
分散分析の結果 ($F(3,42)$)	$F = 8.42$ $p < .001(**)$	$F = 6.47$ $p = .001(*)$	$F = 19.79$ $p < .001(**)$	$F = 4.46$ $p = .009(*)$	$F = 3.9$ $p = .016(*)$	$F = 3.1$ $p = .037(*)$
多重比較の結果	$A, D > IA, ID$	$A, D > IA, ID$	$A, D > IA, ID$	$A > D, IA, ID$	$A, D > ID$	$A > ID$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$

表 7 身体移動量平均

Table 7 Average of body movements

	移動量平均 [mm]
plus	48.84 (60.892)
minus	10.53 (14.491)
分散分析の結果 ($F(1,40)$)	$F = 6.84$ $p = .012(*)$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$

はなく、他者の印象評価にまで影響を与えることが確認された。以上の実験結果から、人とロボットの三者対話においてバランス理論が成立することが確認された。

4.2 身体動作分析

本実験で使用したモーションキャプチャシステムで得られた身体動作の分析と実験を記録したビデオの分析を行う。

モーションデータの分析

実験で使用したモーションキャプチャシステムによって得られた実験中の人とロボットの3次元身体動作の分析を行う。この分析では実験機材の障害によりデータを取得することができなかった4名だけではなく、モーションキャプチャシステムのデータを取得することができなかった2名の被験者を加えた計6名の被験者を除いた44名分のデータを分析する。

身体移動量の分析

実験で得られた3次元のモーションデータから身体移動量を計算し分析を行う。ここでの身体移動量とは単位時間における人の重心位置の移動量と定義する。

身体移動量を求めるために被験者の両肩に付けられたマーカーの座標を取得し、この中点を1秒毎に計算する。これを各実験について行い、バランス理論にもとづく2つの評価グループ毎の被験者の身体移動量の平均を求める。ここではロボットに賛成される被験者をプラス評価グループ、反対される被験者をマイナス評価グループとして分析を行う。2つの評価グループ毎の身体移動量の平均、標準偏差と分散分析の結果を表7に示す。この分析の結果からプラスとマイナスの評価グループの身体動作量には有意な差があることが確認された。これはつまり、ロボットに賛成されることで、反対されるよりも被験者の身体動作量が増えることが確認された。

表 8 バランス理論にもとづく評価グループ間の対ロボット距離の平均

Table 8 Average of distance between a participant and a robot in the two evaluation group based on the heider's theory

	移動量平均 [mm]
plus	1385.16 (145.936)
minus	1513.10 (193.885)
分散分析の結果 ($F(1,40)$)	$F = 5.66$ $p = .022(*)$

(n.s.): 有意ではない (+):有意傾向 (*):有意 $p < .05$ (**):有意 $p < .01$

身体距離の分析

次に実験中の被験者とロボットとの身体的距離の分析を行う。社会心理学では人と人の身体的距離を対人距離と呼び、この距離によって相手との関係を推定することができるという^[10]。ここでは人とロボットの身体的距離を対ロボット距離と呼び、これを人とロボット間における互いの両肩の中心の距離と定義する。

対ロボット距離を計測するために、人とロボットの両肩のマーカーのそれぞれの中点を計算する。人とロボットの中心の距離を1秒毎に計測し、各被験者毎の実験における対ロボット距離の平均を求める。これを各実験について行い、バランス理論にもとづく2つの評価グループ毎の被験者とロボットの対ロボット距離を求める。ここでもロボットに賛成される被験者をプラス評価グループ、反対される被験者をマイナス評価グループとして分析を行う。表8に2つの評価グループごとの平均値、標準偏差、分散分析の結果を示す。この結果からプラスとマイナスの評価グループの対ロボット距離には有意な差が確認された。

不平等条件ではロボットは賛成する被験者のほうに200mm程度前進する。この際、ロボットは対人距離を社会距離(120~360cm, 特別な努力せずには相手に接触できない距離)から個体距離(45~120cm, 相手の存在を視覚にとらえることができ、比較的容易に接触できる。小さな防御領域)に進入を試みるが、被験者が後ずさりするなどの行動は観察されなかった。このため、被験者はロボットの接近を許容したと考えられる。また、後述するビデオ分析では被験者からロボットに近づいた例も確認されている。この点において、不平等条件賛成グループの対ロボット距離の平均が他の平均よりも近いことはロボットが近づいたことも大

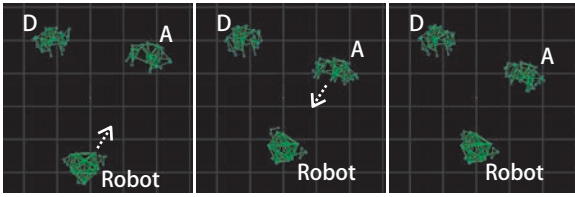


図8 不平等条件における被験者とロボットの身体的距離の変化(左から右へ、対話を真上から観察した)

Fig.8 Physical distance between participants and the robot in Imbalance condition

大きく影響しているが、被験者側から近づいたことも影響している。また、同様に賛成グループではロボットから接近することはないため、被験者からロボットに近づいた可能性が示唆される。

以上の結果から、ロボットに賛成されるほうが、反対されるよりも対ロボット距離が近くなることが確認された。

ビデオ分析

実験中に記録したビデオの分析を行う。ビデオ分析ではロボットとの対話で現れた協調的な身体動作、および、特に注目すべき社会的態度について分析を行う。

協調的な身体動作

ロボットとの対話において被験者がロボットの動作に同調するような動作が観察された。図7に実験で観察された協調的な身体動作を示す。

上図の条件は賛成条件であり、下図の条件は不平等条件である。実験ではロボットに賛成される被験者のみに協調的な身体動作が現れたことが確認された。また、不平等条件では賛成される被験者が、ロボットが近づいてきた時に、ロボットのほうへ一歩近づくとこの動作も確認された。これもロボットに対する協調動作の1つであると考えられる(図8)。

坂本らは人とロボットとの協調的な身体動作はロボットに対する心理的な評価に良い影響を与えることができることを示唆している^[11]。このため、この被験者はロボットに対して非常に良い印象を持っていると考えられる。

被験者の社会的態度

実験ではロボットに対する被験者の様々な社会的態度を観察することができた。代表的なものについて述べる。

叱る 不平等条件の賛成される被験者に見られた態度である。この被験者はロボットが自分に対してだけ賛成し、さらに、他の被験者を無視する振る舞いをしたと考え、このような行動をしたのであろうと考えられる。図9左に被験者がロボットの頭を軽く叩く様子を示す。この前後の被験者は



図9 被験者の様々な社会的態度

Fig.9 Various social attitude of participants

ロボットの態度に対して非常に困惑しているようであった。

文句を言う 不平等条件の被験者に見られた態度である。ロボットとほとんどの項目で意見が一致しなかったため、実験に疑問を示す発言をしたものと考えられる。この態度は実験が終了し、ロボットの前から立ち去る際に観察された。

困る 不平等条件の両被験者に見られた態度である。図9右にこの様子を示す。ロボットに同意される右の被験者は対話途中まで笑顔を見せるなど、喜びを表現していたが、他の被験者の態度を見て困ったような態度を示した。これはこの被験者の他の被験者に対する社会的態度として、自分だけが楽しんでいるように見せないためにこのような態度を取ったと考えられる。

5. 考察・議論

本実験で得られた結果について、質問紙分析の結果と身体動作分析の結果に分けて考察していく。

5.1 質問紙分析の結果の考察

質問紙分析の結果から、バランス理論による予測にもとづく他者に対する印象の形成が見られた。このことから、ロボットはその振る舞いや態度によってロボットに対する印象だけではなく、人同士の印象に対しても影響を与えることが確認された。これはつまり、一般的な社会的対話である多対多の対話にロボットが参加する際には、ロボットは人間関係に対しても影響を与える可能性があるということである。

社会的関係を形成する際には他者との類似性や、他者の魅力が大きく関係していると言われている。このため、今回行った実験ではこの類似性と魅力についての質問を行った。この結果としては、ロボットと意見が一致した場合は類似性の項目の評価が高くなり、一致しなかった場合はこれが低くなる傾向が現れた。また、ロボットと意見が一致した場合は魅力についての項目に関しても評価が高くなることが確認された。これは意見が一致する他者に対しては類似性も魅力も増すということである。逆に、意見が一致しない他者に対しては類似性も魅力も減るとことが確認された。



図7 ロボットの身体動作に同調した被験者の身体動作
Fig.7 Entrained cooperative behaviors of the participant

社会心理学では類似性や魅力が高ければ印象が良くなり、良い関係が形成されることが知られているが、これは人同士の対話において生じる現象であった。今回の実験では人とロボットとの対話においても同様の現象が生じるということが確認された。この結果、ロボットの社会的な振る舞いや態度が、対話における複数の人の印象を操作することができたと考えられる。

5.2 身体動作分析の結果の考察

身体動作分析の結果から、ロボットに賛成される被験者の身体動作量に変化が見られた。これは質問紙分析の結果から、類似性や魅力の増加によりロボットに対する印象が良くなったために、親近感が増したためであると考えられる。身体移動量の分析からロボットに意見を賛成されることにより、これが増加する例があったことが確認された。同様に対ロボット距離に関しても近くなることが確認された。これらは被験者のロボットに対する印象が変化したことを支持する結果であると考えられる。

ビデオ分析においては、被験者の社会的態度の分析を行った。この結果から、ロボットに賛成される被験者の身体動作がロボットに同調することが確認された。これは被験者がロボットに対して良い印象を持っているということを支持する現象であると考えられる。

また、被験者の社会的態度の分析においては、実験中の被験者の様々な態度が観察された。ロボットに賛成されて「喜ぶ」といった態度は現れることが予想されたが、ロボットを「叱る」、「困る」といった態度が現れるとは予想されなかった。不平等条件ではロボットはいわゆる非社会的な態度として、反対の意見を述べる被験者を無視するような態度を示した。この態度に対して、賛成される被験者がロボットを叱り、態度を変化させようとしたことは、ロボットを一人の社会的な対象として見なしていると言える。また、同様に自分の意見のみに賛成するロボットに対して困ってい

るような態度を示した被験者に対しては、自分のみが賛成されることで、他の被験者との関係が悪くなることを防ぐために現れた態度であると考えられる。

特に、実験に関する「文句を言う」点においては、この被験者はロボットを社会的な対象として認知していることを表している。具体的にはこの「文句」は実験が終わったあと、ロボットから立ち去る際に観察された。これはつまり、ロボットの目の前で文句を言ったわけではないという点において、このロボットを社会的な対象として見なしていると考えられる。

6. 結論

本研究はロボットの社会性が人とロボットの関係や、人間関係に対してどのような影響を与えるかを調べることを目的としていた。これを調べるためにバランス理論を用いたロボット交えた三者対話実験を行った。この結果、ロボットの社会的な態度が人のロボットに対する印象だけではなく、人同士の印象に対しても影響を与えることが確認された。具体的には、ロボットの不平等な態度により、被験者同士の印象が平等に賛成・反対されるよりも悪くなったことを確認した。また、ロボットに賛成されることで被験者の身体動作が増えることを確認した。同様に対ロボット距離が縮まることが示唆された。さらに、被験者のロボットに対する社会的な態度が、人と対話する際の態度と近いものであることも確認された。以上の結果から、ロボットの社会性が人間関係に変化を与える可能性があることが示唆された。さらに、この結果はReevesらの「メディアの等式」^[12]がロボットにも適用可能であることを示す結果であると考えている。

ロボットは知能化された情報空間や環境におけるインタフェースとして人と日常的に相互作用する必要がある。この相互作用は一对一の相互作用ではなく、一对多や多対多となることが考えられる。本実験で得ら

れた結果から，ロボットの社会性が人だけではなく，人間関係にも影響を与える可能性が示唆された．さらに，この影響は人間関係の繋がりと同じだけ広範囲に影響する可能性がある^[8]．このため，現実社会において長期的かつ多数の人と相互作用するロボットにおいては，その提供するサービスの品質だけではなく，社会性の評価も同時に行うべきであると考えている．なぜなら，本稿で行った実験の結果から，ロボットの社会的な振る舞いによって意図的にロボットと対話した被験者間の印象を操作することが可能であることが明らかになったためである．社会性の欠落したロボットにおいては，いかに優れたサービスを提供できる能力を持っていようと，信頼性や有用性が疑われるインタフェースと人に認知される可能性があるであろう．日常的に相互作用するロボットというインタフェースの実現にはその社会性が重要な要素となることが本研究で行った実験により明らかになったと考えている．

今後はさらに高度な社会性を持ったロボットを実装し，実験室ではなく，実際に人の活動する社会においてロボットの社会性の評価を行うことも重要になると考えている．特に，ロボットの社会的振る舞い，態度の重要性を確認するためにはこのようなフィールド実験は今後重要となってくるであろう．本研究はこれから登場するであろう人と共に生活するロボットの開発の一助になると考える．

参考文献

- [1] Nagao, K. and Takeuchi, A.: Speech dialogue with facial displays: Multimodal human-computer conversation, in *the 32nd Annual Meeting of the Association for Linguistics (ACL-94)*, pp. 102-109 (1994).
- [2] 角康之, 江谷為之, シドニーフェルス, ニコラシモネ, 小林薫, 間瀬健二: C-MAP: Context-aware な展示ガイドシステムの試作, *情報処理学会論文誌*, Vol. 39, No. 10, pp. 2866-2878 (1998).
- [3] Nakanishi, H., Nakazawa, S., Ishida, T., Takanashi, K. and Isbister, K.: Can Software Agents Influence Human Relations? - Balance Theory in Agent-mediated Communications -, in *Int. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2003)*, pp. 717-724 (2003).
- [4] 井上博允: *ロボット学創成, ロボットの進歩と課題*, pp. 9-48, 岩波書店 (2004).
- [5] Wikipedia, : *社会性* — Wikipedia, (2006), [Online; accessed 14-6 月-2006].
- [6] 松坂要佐, 東條剛史, 久保田千太郎, 田宮大介, 古川賢司, 早田啓介, 中野裕一郎, 小林哲則: 複数話者による対話システム, *インタラクション'99 論文集*, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, pp. 33-34 (1999).
- [7] Heider, F.: *The Psychology of Interpersonal Relations*, John Wiley (1958).
- [8] Cartwright, D. and Harary, F.: Structural balance

- A generalization of Heider's theory, *Psychological Review*, Vol. 33, pp. 277-293 (1956).

- [9] ATR-Robotics, : *ロボビメーカー*: <http://www.atr-robo.com/>.
- [10] 大橋正夫, 長田雅喜 (編): *対人関係の心理学*, 有斐閣 (1987).
- [11] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Kamashima, M., Imai, M. and Ishiguro, H.: Cooperative embodied communication emerged by interactive humanoid robots, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 247-265 (2005).
- [12] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*, Cambridge University Press (1996).

(2002年1月1日受付, 1月1日再受付)

著者紹介

坂本 大介



現在, 公立ほこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士(後期)課程在学中. 2006年4月から(株)ATR知能ロボティクス研究所研修研究員. 平成15年度未踏ソフトウェア創造事業において「共感する部屋」, 平成16年度未踏ソフトウェア創造事業において「彩られた空間」を提案しいずれも採択された. 人と情報機器の共創対話や, 機械の社会性に興味を持つ. 情報処理学会, 電子情報通信学会, ソフトウェア科学会各会員.

小野 哲雄 (正会員)



1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了. 同年, (株)ATR知能映像通信研究所客員研究員. 2001年, 公立ほこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授. 2005年より同学科教授. 2002年より(株)ATR知能ロボティクス研究所非常勤客員研究員. 博士(情報科学). 認知情報科学, 人工知能一般に興味を持つ. 特に, インタラクティブシステム, ヒューマンロボットコミュニケーション, 感情の計算モデル, 共通言語の進化などに関する研究に従事. 情報処理学会, 認知科学会, 人工知能学会, ACM各会員.