

# 人とエージェントとの相補的關係性が与える心理的影響

## Psychological Effects of Complementary Relationships Between People and Agents

布川 智義 加納 政芳  
Tomoyoshi Fukawa Masayoshi Kanoh

中京大学 工学部  
School of Engineering, Chukyo University

**Abstract:** 本稿では、VR 空間上で人とエージェントが協力しての的当てゲームを行うことで相補的關係性を演出し、相補的關係性を有するエージェントが人の心理に与える影響を調査した。実験の結果、相補的關係性のあるエージェントは、エージェントの擬人化を促進し、かつエージェントに対して知的な印象を付与しつつ、的当てゲームの楽しさ、エージェントに対する親密度を向上させることが示された。

### 1 はじめに

近年、人とロボットのインタラクションをテーマとした Human-Robot Interaction (HRI) についての研究がさかんになっており、ロボットが日常生活でも利用されつつある。そのロボットの 1 つに、ソーシャルロボットがある。ソーシャルロボットとは、人とインタラクションを行う擬人化されたロボット [1] であり、SoftBank 社の Pepper や NAO、Engineered Arts 社の SociBot などがある。ソーシャルロボットは、人と協力しながら、我々の住環境で役割を果たすことが期待されているが、そのためには、ソーシャルロボットの自律的な能力を高めるだけでなく、人とロボットの關係性の構築についても検討する必要がある [2]。人とロボットの關係性についての先行研究では、不完全なロボットは人の協力的行動を引き出すことが示されている [3, 4]。また、部分的に欠陥のあるロボットは、完璧なインタラクションをするロボットよりも有意に人から好感をもたれることが報告されている [5]。本研究では、人とロボットが違和感なく共生するにあたって、単に不完全なロボットではなく、相補的關係性をもったロボットに着目する。相補的關係性とは、どちらかが優劣という關係性ではなく、互いに補い合う關係性のことである。

人と人との相補的關係性において、De Cooman ら [6] は、各個人が高い相補的關係性を持ち、それを認知しているチームは高い満足度と実行力を発揮することを報告している。Gibbard ら [7] は、相補的關係性と類似性を認知しているチームメンバーはチームパフォーマンスを向上させる可能性を示している。また、Vinacke ら [8] は、相補的關係性が恋人との關係を維持する上で

重要であることを報告している。このように相補的關係性が人間關係に好影響をもたらすことがわかる。また、人と人工物の場合においても、組織における人と人工知能の互いの長所を活かした意思決定の方法についての議論 [9] や、経済場面における競争に勝つための人と機械の強みを組み合わせた戦略についての議論 [10] がある。このような、人と人工物の相補的關係性についての研究はあるものの、ロボットを含めたエージェントとの相補的關係性が人に与える心理的影響は調査されておらず不明である。そこで本稿では、三浦らの研究 [11] を参考に、没入感を感じさせる VR 空間上で人とロボットエージェントが協力しての的当てゲームを行うことで相補的關係性を演出し、人とエージェントの相補的關係性が人に与える心理的影響を調査する。

### 2 実験

三浦ら [11] は、的当てゲームを通じて、相補的關係性認知プロセスの解明を試みている。本稿では、VR ヘッドセット MetaQuest2 を用いて Unity で開発した的当てゲームを通じて相補的關係性が人に与える心理的影響を調査する。

#### 2.1 実験設定

図 1 に実験環境を示す。実験参加者は、同図中に示したように、両手に持ったコントローラーを用いてエージェントと交互にボールを投げ、制限時間内に協力してすべての的を倒すことを目指す。図 2 に的当てゲームにおける的の配置例を示す。的には、大きいや高



図 1: 実験環境

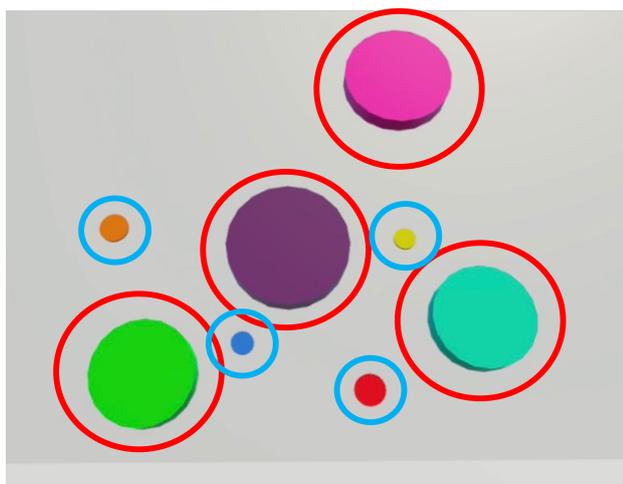


図 2: 的当てゲームにおける的の配置例. 赤い丸で囲まれた的は、投擲力が高い場合に倒すことができる的であり、青い丸で囲まれた的は、投擲制御力が高い場合に倒しやすい的である。

い位置にある的（以下便宜上、大的と呼ぶ）を4つ、小さい的（以下、小的と呼ぶ）を4つの計8つ用意した。エージェントには、ボールを投げる力（投擲力）とボールを制御する力（投擲制御力）の2つの能力をもたせた。投擲力と投擲制御力の能力値は、「高い」場合と「低い」場合を考えれば、その組み合わせは4通りとなる。そこで実験では、異なる能力を有するエージェントを4種類用意し、実験参加者にはすべてのエージェントとの的当てゲームを行ってもらった。表1に4種類のエージェントの能力値を示す。なお、投擲力が高い場合、大的および小的を倒すことができるが、投擲力が低い場合、小的のみ倒すことができる。また、投擲制御力が高い場合、小的を正確に狙って倒すことができるが、投擲制御力が低い場合、小的を倒すことが困難となる（低確率で倒すことができる場合もある）。一方で、実験参加者が操作するゲームプレイヤーの投擲力は、エージェントの「高い」値と同様とした。投擲制御力については、ゲームにおけるボール投擲時の反応をセンシティブ

表 1: 的当てゲームにおける4種類のエージェントの能力値

	投擲力	投擲制御力
完璧エージェント	高	高
相補的エージェント	低	高
類似エージェント	高	低
苦手エージェント	低	低

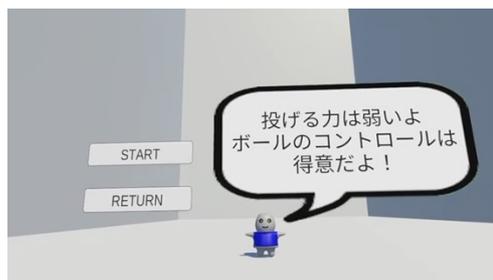


図 3: エージェントが自身の能力を開示している様子

にすることで、あたかも低くなるよう設計した。このことから、高投擲力・低投擲制御力の実験参加者と低投擲力・高投擲制御力のエージェントが、得意不得意を互いに補い合っている、すなわち相補的關係性ということになる。なお、実験参加者には、自身が操作するプレイヤーの能力値は伝えていない。そのため、実験参加者は、自身の能力に気づき、低投擲力・高投擲制御力のエージェントとの相補的關係性を暗に認知することとなる。以降、高投擲力・高投擲制御力エージェントを完璧エージェント、低投擲力・高投擲制御力エージェントを相補的エージェント、高投擲力・低投擲制御力エージェントを類似エージェント、低投擲力、低投擲制御力エージェントを苦手エージェントと呼ぶ。

エージェントは、的当てゲーム開始前に2つの能力の得意不得意を実験参加者に開示するよう設計した。図3にエージェントが自身の能力を開示している様子を示す。このように設計した理由として、実際に人がロボットやエージェントを利用する場面を考えた際に、エージェントの特性を我々人間が理解した上で利用するためである。また、4種類のエージェントは自身の得意不得意を理解し、得意な的から狙うよう設計した。すなわち、(1) 完璧エージェントは、大的および小的ともに容易に倒せることからランダムに的を狙い、(2) 相補的エージェントは小的を最初に狙い、小的を全て倒した後、大的を狙い、(3) 類似エージェントは大的を最初に狙い、大的を全て倒した後、小的を狙い、(4) 苦手エージェントは、倒すことが可能である小的を最初に狙い、小的を全て倒した後、大的を狙うものとした。

4種類のエージェントは、実験参加者にそれぞれ別のエージェントであることを理解してもらうために、4色

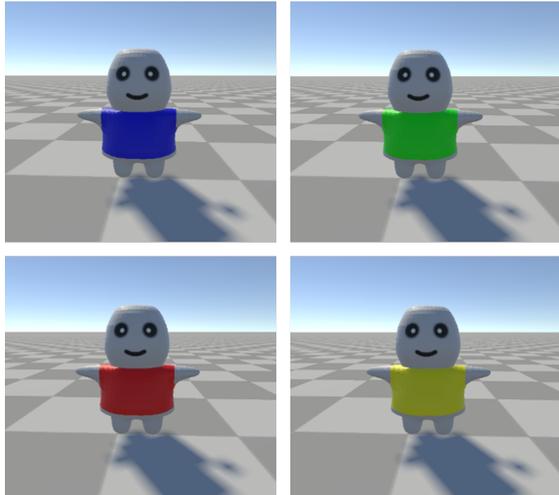


図 4: エージェントの服装

の服装を用意した。図 4 に服装の色が異なるエージェントを示す。服装の色および順序による印象変化がないよう、実験参加者ごとに能力値と服装の色の組み合わせを変えてランダム順に実験を行った。また、大的および小的の位置も、エージェントごとに変えて実験を行った。実験参加者は大学生 20 名（男子大学生 15 名，女子大学生 5 名）とした。

## 2.2 実験手順

まず、(1) 的当てゲームの練習を行う。次に、(2) 4 種類のエージェントの中からランダムに選択されたエージェントと的当てゲームを行う。投擲は実験参加者から行うものとし、すべての的を倒す、もしくは 150 秒の制限時間が経過するまでエージェントと交互にボールを投げる。ゲーム終了後、(3) 事後アンケートでエージェントの印象を調査する。事後アンケートでは、Godspeed Questionnaire Series[12] を使用し、エージェントに対して「擬人化」、「有生性」、「好ましさ」、「知性の知覚」、「安全性の知覚」の各項目の下位項目を 5 件法（1 から 5 点）で評価してもらう。その後、(4) 1 分間の休憩を取る。以上の手順の (2) から (4) をすべてのエージェントに対して行う。最後に、最終アンケートとして「的当てゲームの楽しさ」、および「エージェントに対する親密度」について、エージェントに対して順位をつけてもらう。

## 3 実験結果

Godspeed Questionnaire Series の各項目の内的一貫性を担保するためにクロンバックの  $\alpha$  係数の値が 0.7 以

上になるよう項目を調整した結果、「擬人化」の下位項目「ぎこちない動き-洗練された動き」が除外された。

図 5 に事後アンケートの結果を示す。各下位項目の平均に対して、一元配置分散分析（対応あり）を行い、有意差が認められた場合に Bonferroni 法で多重比較を行った。その結果、擬人化の項目において、完璧エージェントは、他のエージェントよりも有意に評点が低かった。有生性の項目において、完璧エージェントは、相補的エージェントと苦手エージェントよりも有意に評点が低く、類似エージェントよりも有意に低い傾向が見られた ( $p = 0.059$ )。好ましさの項目において、相補的エージェントは、苦手エージェントよりも有意に評点が高かった。知性の知覚の項目において、苦手エージェントは、他のエージェントよりも有意に評点が低かった。また、類似エージェントは、完璧エージェントよりも有意に評点が低く、相補的エージェントよりも有意に低い傾向が見られた ( $p = 0.053$ )。安全性の知覚の項目において、どのエージェントとの間にも有意差は認められなかった。

次に、最終アンケートについて、図 6 に「的当てゲームの楽しさ」の順位付けを正規化順位法で検定した結果を示す。相補的エージェントは他のエージェントと比較し、有意に値が高かった ( $p = 0.019$ )。すなわち、相補的エージェントとの的当てゲームが最も楽しいことを示している。また、図 7 に「エージェントに対する親密度」の順位付けを正規化順位法で検定した結果を示す。相補的エージェントは他のエージェントと比較し、有意に値が高かった ( $p = 0.006$ )。すなわち、相補的エージェントに対する親密度が最も高いことを示している。

## 4 考察

まず、エージェントの印象評価について考察する。図 5 より、擬人化の項目を見ると、完璧エージェントは、相補的エージェント・類似エージェント・苦手エージェントと比較して著しく人間的な印象が低下することがわかる。実験参加者のプレイヤーが低投擲制御力という苦手な能力をもっているのと同様に、相補的エージェントは低投擲力、類似エージェントは低投擲制御力、苦手エージェントは低投擲力・低投擲制御力という苦手な能力がある。このようなエージェントの弱さが人間的な印象を与えたと考える。類似した結果は、Salem らの研究 [13] においても報告されている。Salem らは、ジェスチャと発話内容が一部不一致しているヒューマノイドロボットは、ジェスチャと発話が一致しているヒューマノイドロボットよりも人間的な印象を与えることを報告している。これらの結果から、エージェントの部分的な弱さが人間的な印象を与えることが示唆

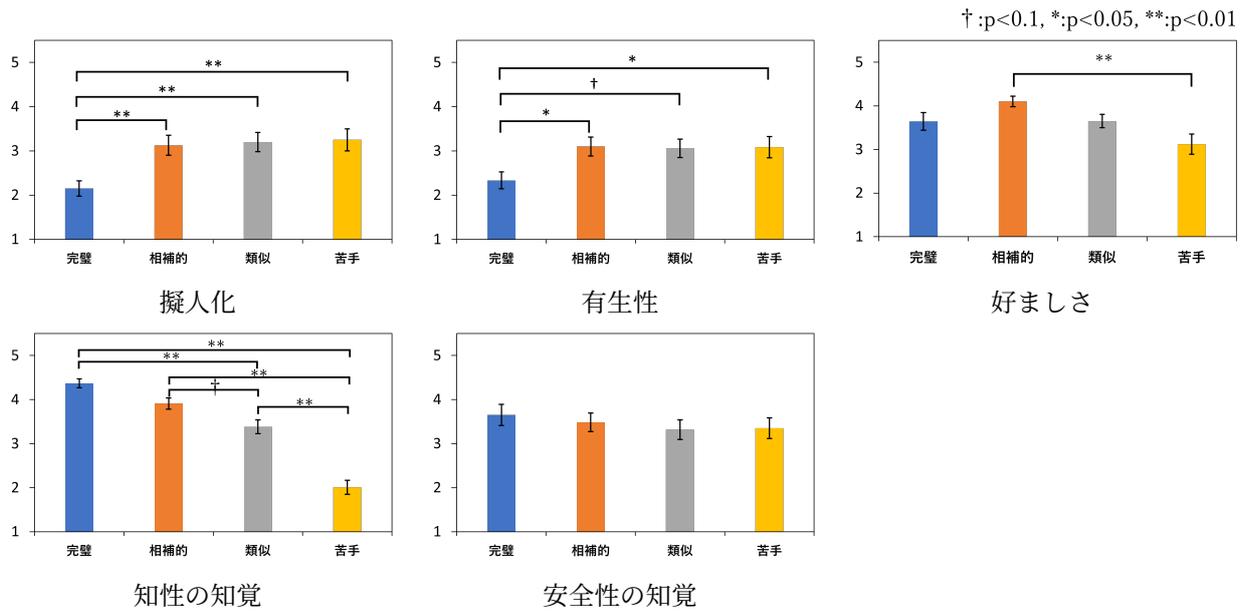


図 5: 事後アンケート結果. エラーバーは標準誤差を示す.

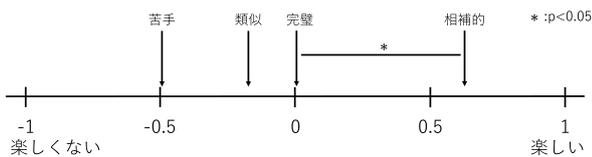


図 6: 的当てゲームの楽しさ

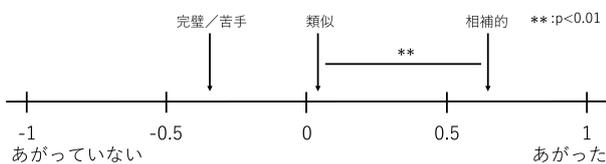


図 7: エージェントに対する親密度

される。また、有生性の項目を見ると、擬人化の項目と同様の傾向が見て取れる（ただし、完璧エージェントと類似エージェント間は  $p = 0.059$  の有意傾向である）。有生性においても、エージェントの部分的な弱さが生物的な印象を与える可能性があると考えられる。続いて、好ましきの項目では、相補的エージェントは、苦手エージェントよりも有意に好ましい印象であることがわかる。先の Salem らの研究 [13] では、欠陥のあるロボットはより好感を持てる存在として認識していることも報告している。Mirnig ら [5] は、欠陥のあるロボットは完璧なロボットよりも有意に好感をもたれることを報告している。本実験においても、部分的に機能が劣っている相補的エージェントに対して、好ましい印象を与えた可能性がある。次に、知性の知覚の項

表 2: エージェントが 1 球あたりに的を倒した確率

完璧	相補的	類似	苦手
100.0%	53.1%	39.0%	5.1%

目を見ると、完璧エージェント・相補的エージェント・類似エージェントは、苦手エージェントよりも知的な印象を与えることがわかる。この結果は、的当てゲームの上手さが知的な印象を与える可能性を示唆している。表 2 に本実験において、エージェントが 1 球あたりに的を倒した確率を示す。実験参加者の 1 球あたりに的を倒した平均確率が 25.3%であったことから、苦手エージェントは、実験参加者よりも的を倒すことができていない。そのため、苦手エージェントは他のエージェントと比較して知的な印象を与えなかったと考える。加えて、完璧エージェントと相補的エージェントは、類似エージェントよりも評点が高いことがわかる（ただし、相補的エージェントと類似エージェント間は  $p = 0.053$  の有意傾向である）。このことから、投擲制御力の高さも知的な印象を与える要因の一つと考えられる。本実験では、実験参加者が制御するプレイヤーの投擲制御力は、低くなるよう設計したため、狙った的にボールを投げるのが難しい。したがって、正確にボールをコントロールできるエージェントに対して、知的な印象をもったと考える。しかしながら、実験参加者が苦手なことを得意とするエージェントに対して知的な印象をもつのではなく、ボールを正確にコントロールする能力そのものが知的な印象に大きく寄与している可能性も考えられる。この点については、今後

調査が必要である。最後に、安全性の知覚の項目については、どのエージェントの間にも有意差は認められなかった。安全性の知覚の項目は、実験参加者にとってエージェントが安全な存在か否かを問う項目であり、今回の的当てゲームではエージェントが実験参加者に危害を及ぼすような状況ではなかったことから、差がなかったものと考えられる。

次に、最終アンケートの考察をする。図6、図7から、相補的エージェントは、他のエージェントよりも有意に的当てゲームの楽しさ、エージェントに対する親密度を高めることがわかる。相補的エージェントを1位に選んだ実験参加者の自由記述には、「一番協力的に取り組めたから」、「お互いに苦手なところを考慮しながら協力できたと感じたため」といった回答が散見された。このように、実験参加者は、自身の能力とエージェントの能力を理解し、両者が相補的關係性にあることを認知していることがうかがえる。このような互いに苦手な部分を補い合いながら協力するという行為によって、的当てゲームの楽しさ、エージェントに対する親密度が向上したのではないかと考える。また、先行研究から、人間関係における相補的關係性について、各個人が相補的關係性を認知しているチームは高い満足度をもつこと [6] や、相補的關係性が恋人との關係性を維持する上で重要である [8] ことが報告されている。これらの結果と同様に、人とエージェントの場合においても、相補的關係性が、楽しさ、親密度に影響を与えることが示唆される。以上のことから、相補的關係性のあるエージェントは、擬人化を促進し知的な印象を有しつつ、的当てゲームの楽しさ、エージェントに対する親密度を向上させることが示された。

## 5 おわりに

本研究では、人とロボットの關係性として相補的關係性に着目し、人とロボットエージェントの相補的關係性が人に与える心理的影響をVR空間における的当てゲームを通して調査した。その結果、エージェントの部分的な弱さが人間的な印象を与えることが示唆された。また、人には苦手なことをエージェントが得意とすることで知的な印象を与える可能性が示唆された。さらに、相補的關係性にあるエージェントは、人に対して的当てゲームの楽しさを与え、エージェントに対する親密度を向上させることが示された。このように、人とエージェントの相補的關係性が人に対して好影響をもたらすことから、人とロボットが違和感なく共生するにあたって、相補的關係性を設計することには意義があるといえる。

本研究では、実験参加者の能力として、高い投擲力、低い投擲制御力という条件の下、人に与える心理的影

響の調査を行った。今後はそれ以外の能力を有する場合においても同様の結果が得られるか調査する必要がある。さらに、実ロボットを用いて実用的な場面において相補的關係性がどのような心理的影響を人に与えるか実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] C. Breazeal, “Toward sociable robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, **42**(3-4), 167-175 (2003) [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00373-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00373-1).
- [2] T. Fong *et al.*, “A survey of socially interactive robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, **42**(3-4), 143-166 (2003) [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00372-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00372-X).
- [3] Y. Yamaji *et al.*, “STB: Child-dependent sociable trash box”, *International Journal of Social Robotics*, **3**, 359-370 (2011) <https://doi.org/10.1007/s12369-011-0114-y>.
- [4] S. Onoda *et al.*, “Interaction design and field study of a forgetful social robot, “Talking-Bones””, *International Conference on Human-Agent Interaction*, 259-261 (2019) <https://doi.org/10.1145/3349537.3352785>.
- [5] N. Mirnig *et al.*, “To err is robot: How humans assess and act toward an erroneous social robot”, *Frontiers in Robotics and AI*, **4**(21) (2017) <https://doi.org/10.3389/frobt.2017.00021>.
- [6] R. D. Cooman *et al.*, “Creating inclusive teams through perceptions of supplementary and complementary person-team fit: Examining the relationship between person-team fit and team effectiveness”, *Group & Organization Management*, **41**(3), 310-342 (2016) <https://doi.org/10.1177/1059601115586910>.
- [7] K. Gibbard *et al.*, “One big happy family? unraveling the relationship between shared perceptions of team psychological contracts, person-team fit and team performance”, *Frontiers in Psychology*, **8**(1966) (2017) <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01966>.
- [8] W. E. Vinacke *et al.*, “Similarity and complementarity in intimate couples”, *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, **114**(1), 51-76 (1988)
- [9] M. H. Jarrahi, “Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making”, *Business Horizons*, **61**(4), 577-586 (2018) <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007>.
- [10] E. Brynjolfsson, A. McAfee, “Winning the race with ever-smarter machines”, *MIT Sloan Management Review*, **53**(2), 53-60 (2012)
- [11] 三浦 康平・他, “VR空間におけるエージェントとの相補的關係性認知プロセスの定性評価”, HAIシンポジウム (2022)
- [12] C. Bartneck *et al.*, “Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots”, *International Journal of Social Robotics*, **1**(1), 71-81 (2009) <https://doi.org/10.1007/s12369-008-0001-3>.
- [13] M. Salem *et al.*, “To err is human(-like): Effects of robot gesture on perceived anthropomorphism and likability”, *International Journal of Social Robotics*, **5**(3), 313-323 (2013)