

人の駒移動動作に基づくロボットアームの動作設計と印象評価

Design and Evaluation of Robot Arm Movements Based on Human Piece-Moving Behaviors

田代 大愛¹ 米澤 朋子² 山添 大丈¹
Taito Tashiro¹ Tomoko Yonezawa² Hirotake Yamazoe¹

¹ 兵庫県立大学

¹ University of Hyogo

² 関西大学

² Kansai University

Abstract: In recent years, motion imitation has proven to be an effective approach for enabling robots to express emotions through movement, and it has been applied in various contexts. This study focuses on the game Geister, an imperfect information game, where we collected human motion data related to piece movements and analyzed behavioral tendencies. Based on these findings, we designed corresponding robot arm movements and conducted experiments to evaluate the impressions they conveyed. This paper reports the results of these evaluations and discusses their implications for robotic motion design.

1 はじめに

ロボットは、学校、病院、商業施設など、さまざまな場面で活躍しており、人々の生活に身近な存在となっている。特に、人とのコミュニケーションを目的としたソーシャルロボットは、顔表情やジェスチャーといった高度な表現機構を有しており、多様な感情を伝えることが可能である。一方で、掃除ロボットやロボットアームのように特定のタスクに特化したロボットには、そのような表現機構は備わっていないことが多い。しかし、タスク志向型ロボットは長期的に使用されるため、単にタスクを遂行するだけでは、ユーザの受容性や満足度に影響を及ぼす可能性が指摘されている [1, 2]。さらに、タスク志向型ロボットが内部状態を適切に伝達することで、人とロボットの共同作業におけるパフォーマンスの向上にもつながると考えられる [3]。

これまでに、顔表情やジェスチャーといった非言語情報を用いて、ロボットの内部状態を表現する手法が提案されてきた [4, 5]。その中でも、動作模倣に基づくアプローチの有効性が示されており、ロボットの動作を人の動作に基づいて設計することが、より自然で直感的なコミュニケーションの実現に寄与することが報告されている [6, 7, 8]。

また、ボードゲームのようなルールが明確に定められた環境は、ロボットの行動範囲やパターンを制約し、ロボットの行動が人に及ぼす影響を定量的かつ再現性

の高い形で評価できることから、HRI 研究においてしばしば用いられている [9, 10]。本研究では、内部状態が定義しやすい不完全情報ゲーム「ガイスター」を対象とする。ガイスターには2種類の駒（赤駒・青駒）が存在し、それぞれ対戦相手に取られたい（赤駒）／取られたくない（青駒）という違いがある。これらの内部状態を利用し、まず人が駒を前進させる際の腕の動きを取得し、その違いを分析することを目指す。

これまでに我々は、ロボットアームの駒移動動作に一時停止を追加した場合の印象変化について調査してきたが [12]、その動作パターンは停止位置と移動方向の変化のみに基づいていた。Zhou らの研究 [11] によると、ロボットアームによる内部状態の表現に関して、動作速度や停止時間の違いがロボットの印象に影響を与えることを報告しているため、速度も含めた動作パターンについても検討する必要がある。また、これまでの研究では、人の駒移動動作に基づく動作設計についても検討してこなかった。そこで本研究では、まず内部状態（取られたい／取られたくない）の変化に伴う人の駒移動動作の速度と停止時間における変化について分析する。その際、無意識的な行動変化と意図的な行動変化の違いについても着目する。その後、得られた分析結果を基に、ロボットの駒移動動作とその変化パターンを設計し、駒移動動作の変化によるロボットに対する印象の違いを調査する。

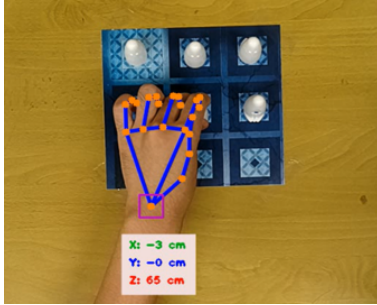


図 1: 腕の動き取得の様子



図 2: 簡易版ガイスターの駒と盤

2 人の駒移動動作の分析

本章では、ロボットに実装する動作モデルを作成するために実施した、人が駒を動かす際の「腕の動き」を解析する実験について説明する。この実験では、内部状態の変化に伴う人の駒移動動作の変化を分析する。さらに、実験は大きく2種類に分かれており、実験 1-1: 対戦中の駒移動動作の取得と分析、実験 1-2: 意図的に表現された動作の取得と分析、からなる。これらの実験から、「動かす駒の色と腕の動きの関係」及び「自然な動作と意図的な動作による駒の動かし方の違い」を分析することを目的とする。

2.1 実験環境

制御用 PC (GALLERIA RM7C-R35T) と深度カメラ (Luxonis OAK-D S2) を用いて、実験参加者の腕の動きを取得した。両者は USB Type-C ケーブルで接続され、制御用 PC からのプログラムによりデータの送受信が行われる。取得の様子を図 1 に示す。指を含む手の動きが取得できており、そのうちの手首位置を腕の動きとして記録した。深度カメラは、 x, y 座標はそれぞれ盤の前後、左右方向に一致し、 z 座標は盤を基準とした鉛直方向高さとなるよう設置している。

2.2 簡易版ガイスター

本実験では、ガイスターのゲーム性を保持しつつゲーム終了までに要する時間を短縮し、データの取得を容易にするため、盤面を 6×6 から 3×3 に縮小し、持ち駒を 8 個ずつから 3 個ずつ (青駒 2 個、赤駒 1 個) に減らした簡易版ガイスターを用いることとした。ガイスターの利点として、Troillet らは、複数のガイスターの簡易版を提案し、ボードの大きさや駒の色を変更しても、そのゲーム性にはほとんど影響がないことを報告しており [13]、ガイスター自体の研究でも用いられている [14]。本実験で用いたガイスターとそのルールをそれぞれ図 2 と表 1 に示す。

表 1: 簡易版ガイスターのルール

1	相手の青駒を 2 つ取ると勝利
2	相手の赤駒を 1 つ取ると敗北
3	自分の青駒を脱出マスから脱出させると勝利

2.3 実験手順

駒移動の自然な動作と意図的に表現された動作を取得・分析するため、2 種類の実験を実施した。ここで、自然な動作とは、実際のガイスターの対戦中に見られる腕の動きを指し、意図的に表現された動作とは、特定の動作を演じてもらった際に見られる腕の動きを指す。実験 1-1 では自然な動作を分析するため、実験参加者同士でガイスターを対戦してもらい、対戦中の腕の動きを取得・分析した。実験 1-2 では意図的に表現された動作を取得するため、「駒を取ってほしい動作／取られたくない動作」を行ってもらい、その動きを取得・分析した。

2.3.1 実験 1-1: 対戦中の駒移動動作の取得と分析

他の実験参加者と 2 人でガイスターの対戦を行い、1 試合につき 2 人分の腕の動きを取得した。実験参加者は 20 代男性 4 名であり、10 試合分の対戦データを記録した。まず、実験参加者にガイスターの基本情報とルールについての説明を行い、その後、試合の勝敗が決定するまで対戦を行ってもらった。1 試合の平均時間は約 135 秒であった。

2.3.2 実験 1-2: 意図的に表現された動作の取得と分析

駒を前進させる状況において、赤駒を動かす場合は「取ってほしい動作」、青駒を動かす場合は「取られたくない動作」を実験参加者に表現してもらい、その様子を取得した。実験参加者は 20 代男性 8 名であり、赤駒および青駒の場合で 1 回ずつ行ってもらった。実験は、実験参加者に動作を考案させた後、準備が整い次第、記録を開始する手順で実施した。

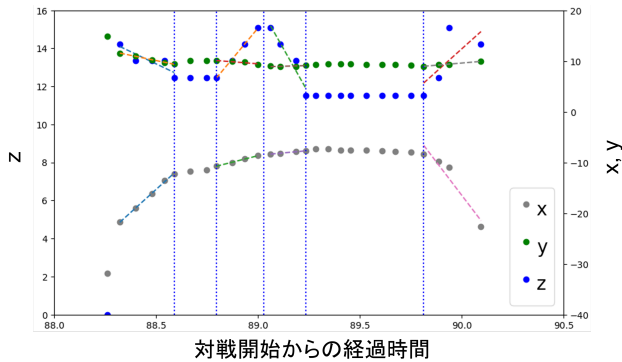


図 3: 駒移動動作における手の軌跡

表 2: 駒移動動作における動作区間の定義と取得する特徴量

動作区間	定義	特徴量
1	駒に手が到達するまで	移動速度
2	駒を持ち上げる直前まで	停止時間
3	駒を持ち上げる動作	移動速度
4	駒を置く動作	移動速度
5	駒から手を離す直前まで	停止時間
6	駒から手を離す動作	移動速度

2.4 実験結果

実験中に得られた手首座標の時系列データから、図 3 に示すようなグラフを作成した。図の横軸は対戦開始からの経過時間、縦軸は手首の 3 次元座標である。駒の動かし方は「前進」、「後退」、「左移動」、「右移動」の 4 種類があるが、取得したデータの内、「前進」は 29 手、「後退」は 5 手、「左移動」は 7 手、「右移動」は 5 手であったため、今回は駒を前後させた動きのみを解析の対象とした。「前進」のデータ 29 手の内、青駒は 18 手、赤駒は 11 手であった。x 座標（前後）と z 座標（上下）の軌跡に基づき、一連の駒移動動作を表 2 に示す 6 つの動作区間に分割した。各動作区間の境界は、図中の青破線で示している。また、各動作区間では、表 2 に示す特徴量を代表値として取得する。動作区間 1, 3, 4, 6 における腕の速さは各座標の近似直線の傾きに対し、二乗和平方根を算出することで決定した。

2.4.1 実験 1-1 の結果

赤駒を前進させた場合と青駒を前進させた場合の各動作区間での停止時間、移動速度に対して、対応のない t 検定を実施した。その結果、動作区間 4 で有意傾向 ($p < .1$)、動作区間 5 で有意差 ($p < .05$)、動作区間 6 で有意傾向 ($p < .1$) が見られ、青駒の移動動作

は、動作区間 4 で遅く、動作区間 5 の停止時間が短く、動作区間 6 で速い傾向が確認された。

本実験で使用した簡易版ガイスターにおいて、「駒を前進させる行為は、相手の駒の前に自分の駒を置く」という状況に繋がりやすいため、次の相手の番にその駒が取られる可能性があり、プレイヤーはこのことを考慮して駒を前進させる必要がある。3 つの持ち駒の内、青駒を取られると戦況が不利になり、赤駒を取られると勝利となるため、青駒を前進させるという行為にはリスクがあり、赤駒を前進させるという行為は比較的风险が少ない。以上のことを考慮すると、青駒を前進させる動作において、駒を置く動作（動作区間 4）が遅くなっているのは、取られてしまうリスクに悩みながら駒を移動させているためであり、駒から手を離す直前までの停止時間（動作区間 5）が短く、駒から手を離す動作（動作区間 6）が速くなっているのは、「この状況から早く解放されたい」という逃避行動に繋がっているためであると考えた。

実験 1-1 の結果から、青駒を前進させる場合と赤駒を前進させる場合の動作の違いに関して以下の仮説を立てた。

H1: 青駒を前進させる行為にはリスクがあるため、無意識な恐怖や不安が動作に表出する。

H2: 赤駒を前進させる行為にはリスクがないため、無意識的な自信が動作に表出する。

2.4.2 実験 1-2 の結果

「取ってほしい動作」、「取ってほしくない動作」は主観的判断に基づくものであり、個人差が大きいことから、統計的検定は実施しなかった。そのため、各動作区間の停止時間および移動速度の差が青駒と赤駒の間で 2 倍以上となった実験参加者数に基づき、傾向の有無を判断した。表 3 に実験 1-2 で得られた傾向を示す。表 3 より、対戦中の腕の動きには見られなかった傾向が実験 1-2 では確認された。ガイスターの対戦において、プレイヤー同士の心理的な駆け引きは勝敗を決める上で重要な要素となるため、プレイヤーは真意を隠すために、敢えて青駒を赤駒のように動かすといったブラフ戦略をとる可能性がある。そのため、実験 1-1 では、実験 1-2 のように駒色に対応した腕の動きは表れにくいと考えられる。それにもかかわらず、実験 1-1 で青駒と赤駒で動かし方の傾向に差が確認されたのは、プレイヤーが隠し切れない無意識的な動作が表出したためであると考えられる。したがって、実験 1-1 で得られた傾向は実験参加者が駒を動かす際の無意識的な動作を反映しており、実験 1-2 でのみ得られた傾向は

表 3: 実験 1-2 で得られた傾向

動作区間	傾向
1	速度: 青 > 赤 が多数
2	時間: 青 < 赤 が多数
3	速度: 青 > 赤, 青 < 赤 に二分
4	速度: 青 > 赤, 青 < 赤 に二分
5	時間: 青 > 赤, 青 < 赤 に二分
6	速度: 青 < 赤 が多数

実験参加者によって意図的に表現された動作を反映していると考えた。

3 人の駒移動動作に基づくロボットの動作設計と印象評価

本章では、前章の実験結果に基づくロボットの駒移動動作の設計と、各動作区間における停止時間および速度の変化がロボットの印象に与える影響を調査するために実施した実験について述べる。実験では、ロボットの動作と印象の関係を分析し、前章で示した人の駒移動動作の特徴との関連性についても考察する。

3.1 システム構成

本実験で用いたロボットアームは、Elephant Robotics 社製の myCobot280M5 であり、ロボットアームの先端には、駒を掴む動作を可能にするために、myCobot280 用グリッパーを取り付けている。制御用 PC (GALLERIA RM7C-R35T) にはロボットアームと深度カメラ (Luxonis OAK-D S2) が USB Type-C ケーブルを介して接続され、両者は PC 上で実行されるプログラムによって制御される。本研究で構築したシステムの概略を図 4 に示す。図中の番号は、ロボットアームの動作が開始されるまでに実行されるプロセスの順序を表している。まず、カメラの画像処理により、駒の位置座標を PC 上の仮想空間 Unity に送信する (①)。次に、ロボット開発フレームワークである ROS (Robot Operating System) を用いて、ロボットの関節角度と目標座標に基づいたモーションプランを生成する。特に、ROS 上の MoveIt ライブラリを用いて、逆運動学を解くことによりロボットアームの軌道計算を行う (②, ③)。最後に、Unity 上のプログラムを実行し、モーションプランに基づいてロボットアームを動作させる (④)。

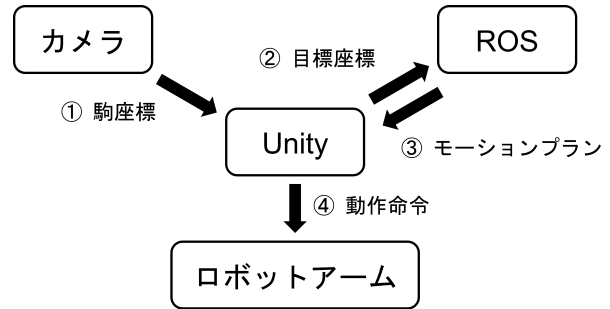


図 4: システムの概要

3.2 ロボットアームの動作

本実験で提示するロボットアームの動作として、ベース動作および比較動作 1~比較動作 6 の計 7 種類の動作を実装した。ベース動作は全体を通して移動速度が遅く、停止時間が長い動作であり、比較動作 1~6 は、ベース動作のうち 1 つの動作区間のパラメータを変化させた動作である。なお、ロボットアームの駒の動かし方は手前の列の中央の駒を 1 マス前進させる動作で統一している。

動作変化の詳細について、動作区間 2, 5 で停止時間が長い動作と短い動作では、停止時間をそれぞれ 2 秒間および 0.2 秒間に設定した。また、動作区間 1, 3, 4, 6 で移動速度が速い動作と遅い動作では、速度パラメータをそれぞれ 50 および 35 に設定している。

3.3 実験手順

各動作区間における停止時間および速度の変化がロボットの印象に及ぼす影響を検証するため、2 種類の実験を実施した。実験 2-1 では、実験参加者に対してロボットが駒を前進させる動作を直接提示 (ロボット提示条件) し、実験 2-2 では同様の動作を撮影したビデオを提示 (ビデオ提示条件) して、ロボットに対する印象評価を行った。実験 2-2 は、ロボットの動作を直接提示する場合とビデオで提示する場合でロボットの印象に違いが生じるかを調査するために実施した。

実験参加者数は 10 人 (20~30 歳代の男女 5 人ずつ) であり、実験全体の所要時間は約 1 時間である。実験の主な流れとロボット提示条件およびビデオ提示条件における実験環境をそれぞれ図 5, 図 6 に示す。まず、実験参加者にガイスターの基本情報とルールを説明し、ゲーム性の理解を深めるために、実験者とガイスターの対戦を 1 試合行った。その後、ロボット提示条件およびビデオ提示条件を順に実施した。各条件では、実験参加者に対してベース動作と各比較動作の 6 組、合計 12 動作を提示し、各動作の終了後、表 4 に示すロボットの印象評価アンケートに回答する。なお、ベー

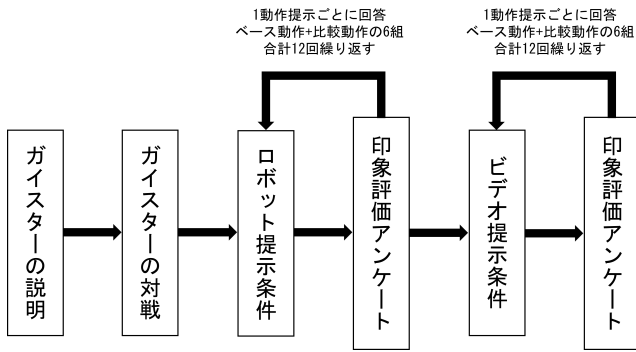
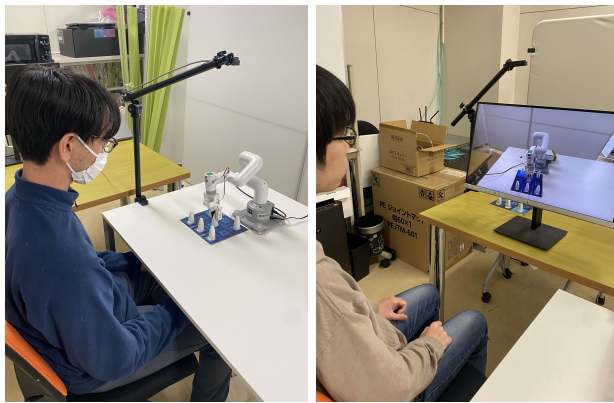


図 5: 実験の流れ



(a) ロボット提示条件

(b) ビデオ提示条件

図 6: 各提示条件における実験環境

ス動作と比較動作の順序およびベース動作と各比較動作の組の提示順は実験参加者間でカウンターバランスをとった。

アンケート項目は、Bartneck ら [15] により提案されている Godspeed Questionnaire (GQS) における下位尺度である「擬人観」の 5 項目、「有生性」の 6 項目、「知性の有無」の 5 項目に加え、ロボットの動作の印象に関する 4 項目（例：自信を持って行動しているように見えましたか?）の計 20 項目から構成され、5 段階のリッカート尺度で回答してもらった。

3.4 実験結果

ベース動作と各比較動作の組における各評価項目のリッカートスコアに対し、対応のある t 検定を実施した。本研究では、有意水準を 5% とし、 $p < 0.05$ の場合を有意差、 $p < 0.1$ の場合は有意傾向として報告する。また、GQS の「擬人観」、「有生性」、「知性の有無」の 3 つの下位尺度については、各項目のスコアの平均値をそれぞれの下位尺度を表すスコアとして扱った [16]。

表 4: アンケート評価項目

評価項目	形容詞対
Q1	偽物のような - 自然な
Q2	機械的 - 人間的
Q3	意識を持たない - 意識を持っている
Q4	人工的 - 生物的
Q5	ぎこちない動き - 洗練された動き
Q6	死んでいる - 生きている
Q7	活気のない - 生き生きとした
Q8	機械的な - 有機的な
Q9	人工的な - 生物的な
Q10	不活発な - 対話的な
Q11	無関心な - 反応のある
Q12	無能な - 有能な
Q13	無知な - 物知りな
Q14	無責任な - 責任のある
Q15	知的でない - 知的な
Q16	愚かな - 賢明な
Q17	自信を持って行動しているように見えましたか? 自信なし - 自信あり
Q18	悩みながら行動しているように見えましたか? 悩んでいない - 悩んでいる
Q19	焦って行動しているように見えましたか? 感じない - 感じた
Q20	駒を取ってほしいと思いますか? 思わない - 思う

3.4.1 ロボット提示条件

まず、ロボットを直接観察してもらった場合の印象変化について述べる。比較動作 1 については、GQS の下位尺度には有意差が見られなかったが、Q17 で有意傾向を確認し、駒に到達するまでの移動速度を速くすることで自信に関する印象が変化する可能性がある。比較動作 2 については、「知性の有無」について有意差が見られ、Q12 で有意差、Q13、Q14 で有意傾向が確認された。この結果から、駒を掴んでから持ち上げるまでの停止時間を長くすることで、ロボットが駒を動かす前に何か考えているような知性をもっている印象を与えることが分かった。また、Q3 でも有意傾向が確認され、意識を持っているような印象を与える可能性がある。比較動作 3 については、下位尺度には有意差が見られなかったが、Q13 で有意傾向が見られ、駒を持ち上げる速度を遅くすると、知性を感じさせる可能性がある。比較動作 4 についても、下位尺度には有意差が見られなかった、一方で、Q19 で有意傾向があり、駒を置く速度を上げることは、焦っているような印象に繋がること分かった。比較動作 5 については、全項目で有意差が確認されず、比較動作 6 においては、「擬人観」で有意傾向、「有生性」で有意差を確認し、Q2、Q6、Q9、Q10 で有意差、Q5、Q8 で有意傾向が見られた。この結果から、素早く駒から離れる動作は、ロボットにより人間らしく、生物らしい印象を与えることが分かった。また、Q12 で有意傾向が見られ、素早く駒から離れる動作は、能力を感じさせる可能性がある。

3.4.2 ビデオ提示条件

次に、ロボットの動作するビデオを観察してもらった場合の印象変化について述べる。すべての動作の比較について、GQS の下位尺度には有意差が見られなかつ

たが、項目ごとではいくつかの有意差、有意傾向が確認された。比較動作2についても、Q1およびQ9で有意傾向が確認され、駒を掴んでから持ち上げるまでの停止時間を短くすることで、自然で生物的な印象が変化する可能性があることが分かった。比較動作3については、Q14で有意差、Q16で有意傾向が確認でき、駒を素早く持ち上げる動作は、「知性の有無」に関する項目に影響を与える可能性があることが分かった。また、Q17でも有意傾向が確認でき、駒を素早く持ち上げる動作は、自信があるように感じられることがわかった。比較動作4については、Q18で有意傾向が確認され、駒を速く置く動作は、より悩んでいるような印象を与えることが分かった。比較動作5については、Q13で有意差、Q4、Q10で有意傾向が確認され、駒から離れる直前までの停止時間を長くすることで、より物知りで、生物的、対話的な印象を与えることが分かった。比較動作6については、Q2、Q15で有意傾向が見られ、素早く駒から離れる動作は、より人間的な印象を与えることがわかった。また、Q20では有意差が確認され、駒を取ってほしいと解釈される傾向も示された。

4 考察

4.1 人の駒移動動作との関連性

ロボット提示条件で得られた結果と人の駒移動動作との関連性について考察する。

実験1-1の結果から、青駒の移動時に見られる、動作区間4での遅い動作、動作区間5の短い停止時間、動作区間6の速い動作は、青駒を前進させることによる無意識的な恐怖や不安の表れであると仮定した。一方で、赤駒の移動時に見られる、動作区間4の速い動作、動作区間5の長い停止時間、動作区間6の遅い動作は、赤駒を前進させることによる無意識的な自信の表れであると仮定した。しかし、実験2-1の結果では、動作区間4で動作を速くすると、より焦っているような印象を与え、人の動作で見られたような、自信を表す動作とは解釈されなかった。さらに、動作区間5については、停止時間を変化させてもロボットの動作に対する印象評価に有意差は確認されなかった。これらの結果は、人の無意識的な動作の特徴に基づいてロボットの動作を設計した場合、観察者の注意を引かず、その意図が適切に伝わらない可能性が示唆された。一方で、動作区間6で動作を速くすると、「擬人観」、「有生性」に有意差、有意傾向が見られたことから、ロボットの動作の終端部分は注目を集めやすく、印象評価に影響を与えやすい可能性がある。

実験1-2の結果から、青駒移動時の動作区間1で速くなる傾向と、赤駒移動時の動作区間2の停止時間が

長くなる傾向が確認され、これらの傾向は、実験参加者によって意図的に表現された動作を反映していると考えた。実験2-1の結果では、動作区間1で動作を速くすると、自信があるように感じられ、動作区間2で長く停止すると、「知性の有無」に関する項目で変化が確認された。これらの結果は、意図的に表現された動きに基づいたロボットの動作は印象評価に強い影響を与える可能性を示唆している。一方で、動作区間1で速い動作は、実験1-2では青駒を動かす際に確認されており、恐怖や不安の表現であると仮定していたが、実験2-1においては自信があるように解釈された。この不一致の要因として、今回の実験でのロボットの移動速度が、実際の人の腕の速さに対応していなかったことが原因である可能性が考えられる。ロボットの絶対速度の違いが実験参加者に対して異なる意図で解釈された結果、青駒操作時の意図的な動作の傾向とは異なる印象が形成された可能性が考えられる。

4.2 ロボット提示条件とビデオ提示条件

GQSの3つの下位尺度について、ロボット提示条件においてはベース動作と比較動作の間でいくつかの有意差、有意傾向が見られたが、ビデオ提示条件では確認できなかった。ここで、ロボット提示条件とビデオ提示条件における各比較動作提示時の下位尺度のスコア分布を図7に示す。横軸はロボット提示条件のスコア、縦軸はビデオ提示条件のスコアであり、散布図の回帰直線を赤実線、傾き1の基準線を黒破線で示している。各尺度における相関係数は、「擬人観」では $r = 0.342$ 、「有生性」では $r = 0.350$ 、「知性の有無」では $r = 0.103$ であり、「擬人観」と「有生性」では、両条件でのスコア間に弱い相関があり、「知性の有無」では明確な相関関係は確認されなかった。また、GQSのスコア以外の評価項目においても、ロボット提示条件で確認された傾向が、ビデオ提示条件で同様に観察されることは少なかった。これらの結果は、ロボットの動作による感情表現において、ロボットが物理的に存在することが、ビデオを介した提示と比較して、ロボットの印象評価により強い影響を与える可能性を示唆しており、図7の回帰直線の結果からも、その傾向は示されている。これは、ロボットの提示方法の違いが印象評価に及ぼす影響を調査した先行研究の結果とも一致する[17, 18, 19]。今後、ロボットの動作をビデオで提示する際には、ロボット提示条件とビデオ提示条件の間で印象評価に差異が生じる可能性を十分に考慮し、提示方法による印象評価への影響を最小化するための評価手法の検討が必要と考えられる。

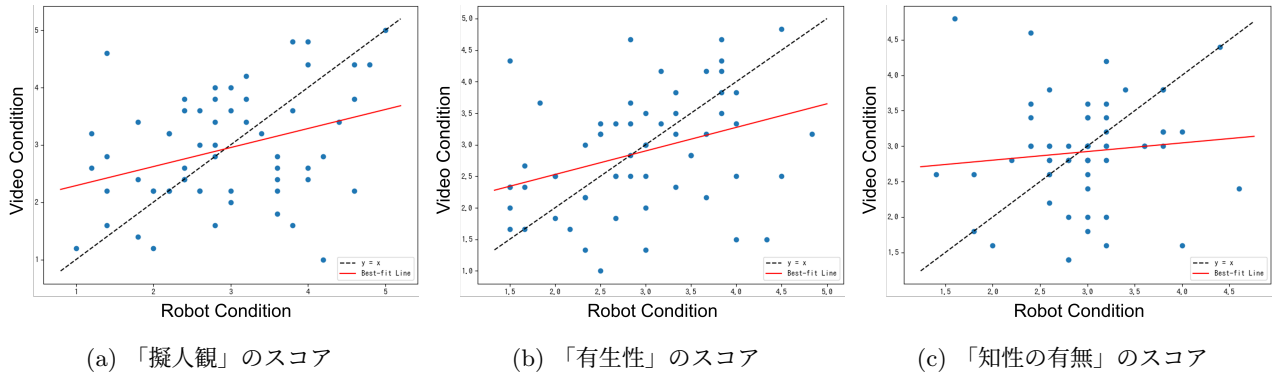


図 7: ロボット提示条件とビデオ提示条件における GQS のスコア分布

5 まとめ

本研究では、不完全情報ゲーム「ガイスター」を用いて、人が駒を前進させる際の腕の動きを分析し、ロボットの駒移動動作において各動作区間のパラメータを変化させた際の印象の違いについて調査した。ガイスター対戦中における腕の動きの特徴を無意識的な傾向、「取ってほしい動作」、「取られたくない動作」を意図的に演じてもらった際の腕の動きの特徴を意識的な傾向として捉え、ロボットの駒移動動作との関連性について考察した。その結果、人の動作に基づいてロボットの動作を設計する際は、人の無意識的な動作よりも、人が知覚しやすい意識的な動作を取り入れることで、意図をより適切に伝達できる可能性が示唆された。

今後の課題としては、本稿の実験では人の意識的な動作の傾向を統計的に示せていない点が挙げられる。「取ってほしい動作」や「取られたくない動作」といった指示は抽象的であり、実験参加者にとって表現が困難だった可能性がある。今後は実験参加者数を増やすとともに、より具体的かつ明確な指示を考え、意識的な動作の特徴を定量的に分析する必要がある。また、ロボットのコマ移動動作の評価に関して、本稿では、6つに分割した動作区間のうち、1つの区間のみを変化させて評価を行ったが、複数区間の動作を変化させた場合についても評価を進めていく必要がある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 23K11278, 21K11968 の助成を受けて実施した。

参考文献

[1] de Graaf, Maartje and Ben Allouch, Somaya and van Dijk, Jan: Why Do They Refuse to Use

My Robot? Reasons for Non-Use Derived from a Long-Term Home Study, *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 224–233 (2017)

- [2] Fink, J., Bauwens, V., Kaplan, F. et al: Living with a Vacuum Cleaning Robot, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, pp. 389–408 (2013)
- [3] Breazeal, C. and Kidd, C.D. and Thomaz, A.L. and Hoffman, G. and Berlin, M.: Effects of non-verbal communication on efficiency and robustness in human-robot teamwork, *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 708–713 (2005)
- [4] Li, Liming and Zhao, Zeang: Designing Behaviors of Robots Based on the Artificial Emotion Expression Method in Human–Robot Interactions, *Machines*, Vol. 11, No. 5 (2023)
- [5] Wei-Fen Hsieh and Eri Sato-Shimokawara and Toru Yamaguchi: Investigation of Robot Expression Style in Human-Robot Interaction, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 32, No. 1, pp. 224–235 (2020)
- [6] Fu, Di and Abawi, Fares and Allgeuer, Philipp and Wermter, Stefan: Human Impression of Humanoid Robots Mirroring Social Cues, *Companion of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 458–462 (2024)
- [7] Gao, Wa and Shen, Shiyi and Ji, Yang and Tian, Yuan: Human Perception of the Emotional Expressions of Humanoid Robot Body

- Movements: Evidence from Survey and Eye-Tracking Measurements, *Biomimetics*, Vol. 9, No. 11 (2024)
- [8] Tuyen, Nguyen Tan Viet and Elibol, Arman and Chong, Nak Young: Learning Bodily Expression of Emotion for Social Robots Through Human Interaction, *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 16–30 (2021)
- [9] LC, RAY and Benayoun, Maurice and Lindborg, Permagus and Xu, Hongshen and Chung Chan, Hin and Man Yip, Ka and Zhang, Tianyi: Power Chess: Robot-to-Robot Nonverbal Emotional Expression Applied to Competitive Play, *Proceedings of the 10th International Conference on Digital and Interactive Arts*, No. 2, pp. 16–30 (2022)
- [10] Zhang, Renchi and de Winter, Joost and Dodou, Dimitra and Seyffert, Harleigh and Eisma, Yke Bauke: An Open-Source Reproducible Chess Robot for Human-Robot Interaction Research, *arXiv preprint arXiv:2405.18170*, (2024)
- [11] Zhou, Allan and Hadfield-Menell, Dylan and Nagabandi, Anusha and Dragan, Anca D., Ka and Zhang, Tianyi: Expressive Robot Motion Timing, *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 22–31 (2017)
- [12] Koga, Haruumi and Yonezawa, Tomoko and Yamazoe, Hirotake: Preliminary Analysis of Impression Changes by Adding a Pause to Piece Movement Motions of an Arm Robot, *2024 Joint 13th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 25th International Symposium on Advanced Intelligent Systems/ Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 1–5 (2024)
- [13] Troillet, Lucien, and Kiminori Matsuzaki: Analyzing simplified Geister using DREAM, *2021 IEEE Conference on Games*, pp. 1–8 (2021)
- [14] 田中哲朗, 高岡峻: ミニガイスターのナッシュ均衡戦略, *ゲームプログラミングワークショップ 2023 論文集*, pp. 25–32 (2023)
- [15] Bartneck, Christoph and Kulic, Dana and Croft, Elizabeth and Zoghbi, Susan: Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, pp. 71–81 (2008)
- [16] Bartneck, Christoph: Godspeed Questionnaire Series: Translations and Usage, *International Handbook of Behavioral Health Assessment*, pp. 1–35 (2023)
- [17] Bainbridge, W.A., Hart, J.W., Kim, E.S. et al: The Benefits of Interactions with Physically Present Robots over Video-Displayed Agents, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 3, pp. 41–52 (2011)
- [18] Mara, Martina and Stein, Jan-Philipp and Latoschik, Marc Erich and Lugin, Birgit and Schreiner, Constanze and Hostettler, Rafael and Appel, Markus: User Responses to a Humanoid Robot Observed in Real Life, Virtual Reality, 3D and 2D, *Frontiers in Psychology*, Vol. 12 (2021)
- [19] Tsoi, Nathan and Sterneck, Rachel and Zhao, Xuan and Vázquez, Marynel: Influence of Simulation and Interactivity on Human Perceptions of a Robot During Navigation Tasks, *J. Hum.-Robot Interact.*, Vol. 13, No. 4 (2024)