

自身と対象の内的状態に基づく他者性認知モデルの検討

Investigation of Agency Identification Based on Internal States of Self and Others

坂本孝丈^{1*} 竹内勇剛¹
Takafumi Sakamoto¹ Yugo Takeuchi¹

¹ 静岡大学創造科学技術大学院

¹ Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

Abstract: Humans can communicate because they adapt and adjust their behavior to each other. We hypothesize that developing a relationship with others requires coordinating the desire to communicate and that this coordination is related to agency identification. To model this initial phase of communication, we created an experimental environment to observe the interaction between a human and an abstract-shaped robot whose behavior, moving on the floor and rotating, was mapped by another human. The participants were required to verbalize what they were thinking or feeling while interacting with the robot. Our experiment included an real time interaction and recorded motion condition. The results of our experiment suggest that the interaction pattern difference indicates two type of phase changes to verifying the objects' behavior through interaction or to observation. We need to verify the effects of other interaction patterns and inspect what kind of action and reaction are regarded as signals that enhance interpersonal interaction.

1 はじめに

人はインタラクションを行う対象の振る舞いを予測しながら自身の振る舞いを变化させることで適応的に行動している。さらに、人同士では、相手の振る舞いの意図を解釈しながら相互に振る舞いを適応させ合うことでコミュニケーションを成立させている。一方で、人は常に対象の振る舞いに適応したり意図を解釈しながら行動しているわけではない。例えば、人混みですれ違う人々に対して逐一その人の意図を解釈するようなことはせずに、「手を振られる」や「声をかけられる」といった振る舞いを知覚することで、その相手に注意を向けコミュニケーションが開始されることになる。また、適応的に振る舞う必要のない対象に適応敵な反応をしたり、意図を帰属したりすることがある。例えば、コンピュータのような通常は他者と見做す必要のないモノに対して对人的な反応を示すメディアイクエーション [1] の事例があげられる。これらのことから、人はイ

ンタラクションを通して対象が自身の振る舞いや意図に適応できる状態であるかを判断していると考えられる。人と人工物とのインタラクションにおいて、この「対象が自身の振る舞いや意図に適応できる状態であるかの判断」は他者性認知のプロセスと言い換えることができる。では、どのようなインタラクションを通して人は人工物に対して自身と関係を構築し得る他者であると見做すのだろうか。

Heider らの実験に代表されるように、人は幾何学図形の振る舞いに対しても生物性や意図性を知覚する [2, 3, 4]。また、社会性の認知においてインタラクションを重視するアプローチとして、心の理論における Interaction Theory [5] や社会性認知のエナクティブアプローチ [6] が挙げられる。さらに、ミニマムな身体表現を用いたインタラクションを用いた成人間のインタラクションからコミュニケーションが成立する過程を明らかにする研究が行われている [7, 8]。これらの研究から、たとえ外観から得られる情報がなくともインタラクションのみから対象を他者と見做すことが可能であることが示されている。しかし、インタラクションを方向づけ

*連絡先：静岡大学創造科学技術大学院
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
E-mail:dgs14010@s.inf.shizuoka.ac.jp

るような課題を設けない状態でのインタラクションを観察するような研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、インタラクションを行う前提がない状態である未知の対象と人がどのようなインタラクションを行い、その対象に他者性を認知し得るのかという点に注目する。

対象を他者性で見做すためには、対象が自身と関係を構築し得る存在である可能性に気付く必要がある。このプロセスは気付きのプロセスであり、意識的に行われるような認知的なレベルではなく身体的なインタラクションを通して行われていると考えられる。身体レベルでのインタラクションを通して対象と関係性を構築し得る可能性が示された場合、対象に注意が向けられ他者である可能性の検証が行われる段階にインタラクションが移行する。この検証を経て関係性が成立した場合に対象は他者として見做される。ここで示したようにインタラクションを起点として他者性認知過程が進行するというのが本研究の仮説である。この仮説の妥当性を検証するために、抽象的な形状のロボットを介した人同士のインタラクションの観察を行う。そこから他者性認知過程をモデル化することを目指す(図1)。

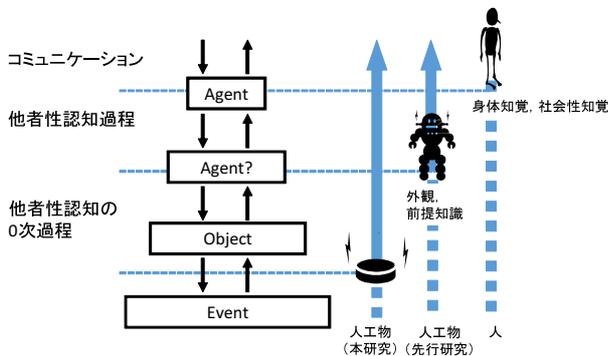


図 1: 本研究のアプローチ

2 他者性認知過程

通常、人-人のコミュニケーションでは、相手に対面した瞬間にその相手が他者であることが明白となる。人の脳には人の身体部位に特異的に活動する部位 (EBA) が存在する [9]。また、バイオロジカルモーション [10] みられるように、人は身体運動に対する特異的な知覚も有している。これらの基盤に基づき相手に他者性が

帰属されている状態で人同士のコミュニケーションは開始される。

一方で、外観などから与えられる先入観のない未知の存在に対しては、インタラクションのみからコミュニケーション可能かどうかの判断を下す必要がある。図2にインタラクションを行う前提がない状態を始点とした他者性認知過程のモデルを示す。インタラクションを行う前提がない状態であっても同じ環境内に物理的な身体を有する対象が存在する場合、身体レベルでのインタラクションは常に成立している状態であるといえる。この状態から、身体レベルでのほとんど意識的でないインタラクションを通して対象が自身と関係を構築し得る存在であることに気付く。そこから、その可能性を検証する段階に移行すると考えられる。本研究では、この他者性認知過程のモデルの妥当性を検討する。また、他者性を認知する方向に段階が進むきっかけとなるようなインタラクションの要因を特定し、その振る舞いをモデル化することを目指す。

先行研究では、教示により対象の他者性を認知している場合のインタラクションと、対象が未知である場合のインタラクションを比較する実験を行った [11]。そこから、対象の動きと自身の動きのタイミングが同期し、同じタイミングでの動き出しや、交互に動作が生じることで、対象が自身と関わる得る存在であると見做されることが示された。本研究では、この実験にリアルタイムのインタラクションが成立しない条件を加え、それぞれの条件で頻繁に生じるインタラクションのパターンを比較する。条件によって形成し得る関係性が異なることを利用し、他者性認知過程がどのように進むのかを明らかにする。

3 実験

本実験は、人が身体的なインタラクションを通して未知の対象が自身と関係を構築し得る存在であると認知する過程を明らかにすることを目的とする。未知の対象として移動する機能のみを有する抽象的な形状のロボットを用いる。ロボットとのインタラクションが他者性を認知し得るものであるようにするために、ロボットの動作は別室の他者の動きに対応させる。これにより、実際は人同士でインタラクションを行っている状態となり、对人的な関係が成立し得るインタラクションの観察を行うことができる。また、ロボットが記録された人の動作を再生するだけで、参加者とのイ

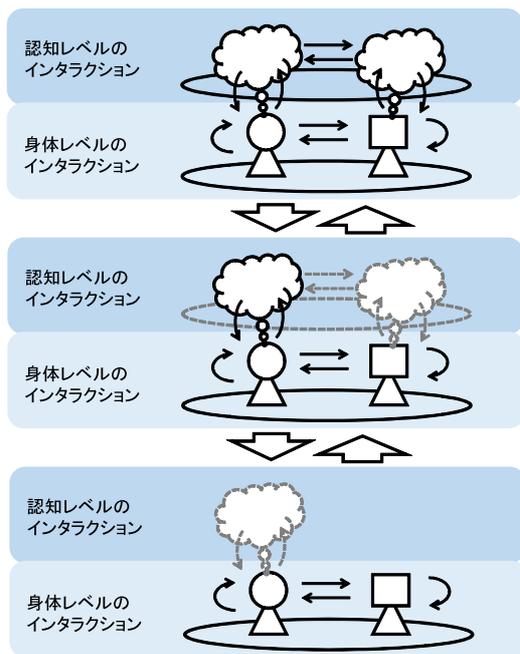


図 2: 身体的なインタラクションと他者性認知過程

インタラクションを行わない条件における参加者の行動を観察する。それぞれの条件の参加者の行動データを分析することで、条件間で生じるインタラクションの違いを明らかにする。

3.1 実験方法

3.1.1 実験環境

実験環境の概要を図 3 に示す。リアルタイムでインタラクションを行う条件では、同様の装置で構成された 2 つの部屋を用い、参加者 2 名 1 組で行う。各部屋の床はテープにより直径 3 メートルの円形で区切られており、円形内が参加者とロボットがインタラクションを行うフィールドとなる。参加者の位置はレーザーレンジファインダー（北陽電気社、URG-04LX）で測定される。この位置座標は PC のソケット通信により、両部屋間で相互に送受信される。各部屋のロボットは別室の参加者の位置座標と一致するように制御される。これによりそれぞれの部屋の参加者の移動が別室のロボットの移動に対応することになる。ロボットは方向転換せずに全方位移動可能なロボット（Nexus Automation Limited, 3WD 100mm Omni Wheel Mobile Robot）を用い、上からカバーを被せる（図 4）。ロボットは、

Bluetooth により PC との通信を行い制御する。また、ロボットの位置は各車輪のエンコーダから求め、Web カメラの映像から画像処理により位置の補正を行う。参加者の発話内容はヘッドセットに接続されたヴォイスレコーダにより録音する。

ロボットがあらかじめ記録された動きをする条件では、上記の実験環境 1 部屋を用い、リアルタイムでインタラクションを行う条件で記録された動作を再生する形でロボットは動作する。

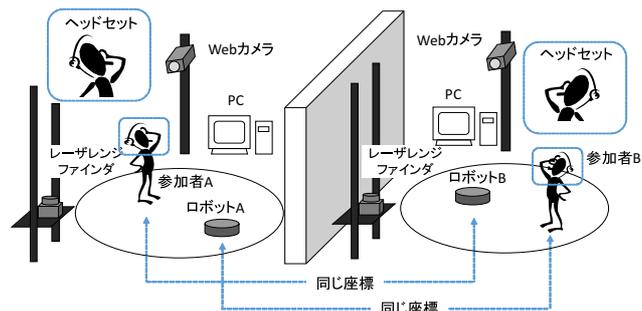


図 3: 実験環境

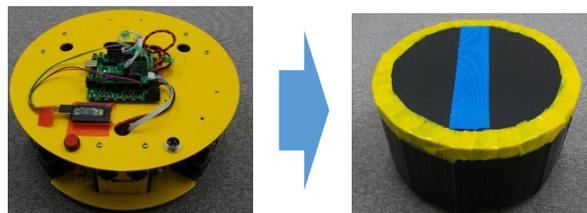


図 4: 実験で使用するロボット

3.1.2 実験条件

実験条件は自分教示あり（IN 条件）、相手教示あり（NI 条件）、教示なし（NN 条件）、レコード条件（NR 条件）である（図 5）。NN 条件では、参加者ペアの双方にロボットの振る舞いや参加者自身の行動に関する教示を一切行わない。

教示ありのペアでは、参加者の一方にロボットの動きが別室の参加者の動きに対応していることを説明し、自身の存在を相手に気付いてもらえるような行動をすることを教示する（IN 条件）。他方の参加者は教示なし条件の参加者と同様に扱う（NI 条件）。

教示あり条件の教示される側の参加者は、ロボットの振る舞いが人によるものであると見做した状態であり、ロボットの行動を自身への行動と見做す可能性が

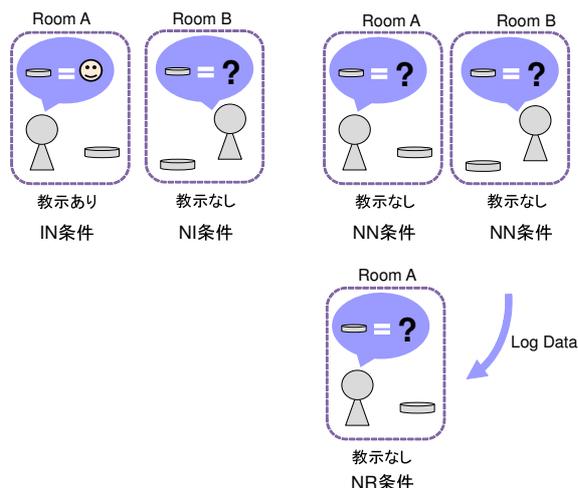


図 5: 実験条件

高くなる。また、ロボットに対して積極的に働きかける動作が多くなる。発話データとしては、自身の行動に関する発話や、相手の振る舞いを行為と見做す発話が多くなると考えられる。教示なし条件の参加者間のインタラクションの中からこの特徴に近付いたものを特定することができれば、参加者とロボットのインタラクションが関係を構築しようとする段階に移行しつつある時点を特定することができる。そこから、関係構築への移行のきっかけとなるようなロボットとのインタラクションの特徴を抽出する。

レコード条件 (NR 条件) では、教示なし条件の参加者から得られたログデータに基づきロボットを動作させる。

なお、実験参加者は 13 組 26 名を IN 条件と NI 条件のペアに 7 組、NN 条件のペアに 6 組割り当てを行った。また、8 人をレコード条件に割り当てた。いずれの参加者も大学・大学院生である。

3.1.3 実験手順

実験手順の概要を図 6 に示す。IN 条件、NI 条件、NN 条件の実験は参加者 2 名 1 組で行い、双方の参加者はお互いに相手の存在を知らされていない状態で別々の部屋に案内される。参加者は「思ったことや考えたことを全て声に出して発話する課題である」と教示され、ヴォイスレコーダとヘッドセットを装着する。発話の練習としてロボットとのインタラクションを行う前に、参加者は指定された形にピースを当てはめる「タングラム課題」を行う。練習時間は 5 分間で、参加者は考

えを発話しながら問題を解く。タングラム課題終了後、ロボットとのインタラクションを行う段階へ移る。参加者には、円形のフィールドから出ずに練習と同様に思ったことや考えたことを発話するように教示する。ロボットに関する教示なしに割り当てられた参加者 (NI 条件、NN 条件) には、その他の参加者自身の行動やロボットの振る舞いに関する教示は与えない。教示ありの参加者 (IN 条件) には「ロボットの動きは別室の実験参加者の動きであり、自身の動きも別室のロボットを通して伝わる」ことを説明する。さらに、「別室の参加者があなたの存在に気付くような行動をする」ことを教示する。教示終了後、参加者を部屋で一人にし、開始の合図とともにロボットの位置が別室の参加者の位置に対応するようにシステムが稼働する。課題時間は 7 分間で、終了後アンケートの回答を行わせる。NR 条件については、参加者は一人ずつであり、それ以外の実験手順は NI 条件、NN 条件と同様である。

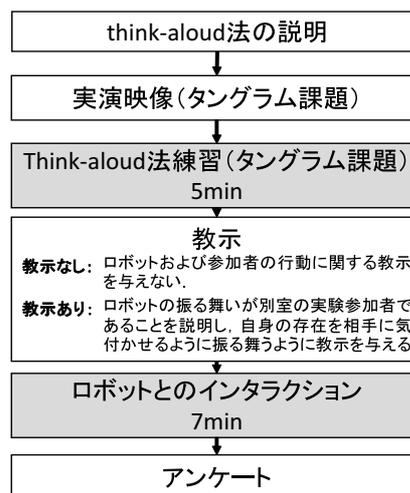


図 6: 実験手順

3.1.4 観察項目

- 実験協力者の位置座標のログデータ (125ms 毎)
- ロボットの位置座標のログデータ (125ms 毎)
- 実験協力者の発話データ (125ms 毎)
- ビデオカメラにより撮影した実験協力者の行動
- 実験後のアンケート

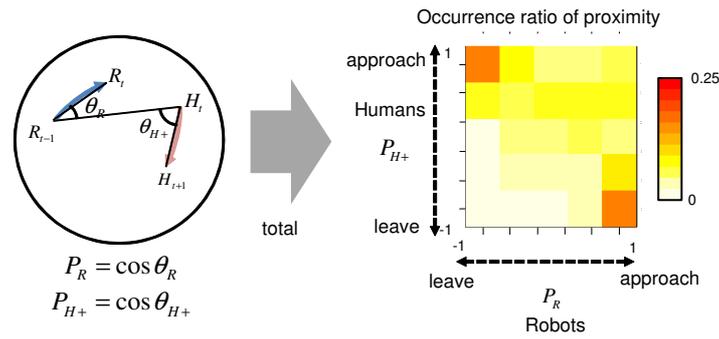


図 7: ロボットの移動方向に対する参加者の移動方向

3.2 分析方法

3.2.1 移動方向

参加者がロボットに応じて動いているか否かを判断する指標として、ロボットの移動方向に対する参加者の移動方向を用いる(図7)。時刻 $t-1$ 秒のロボットの位置 R_{t-1} から t 秒の位置 R_t への移動について、 t 秒の参加者の位置 H_t に対する角度を θ_R とし、 R_t に対する H_t と $t+1$ 秒後の参加者の位置 H_{t+1} が成す角度 θ_{H+} とする。このとき、ロボットの接近量 $P_R = \cos \theta_R$ と、それに対応する参加者の接近量 $P_{H+} = \cos \theta_{H+}$ を求める。 $R_{t-1}R_t$ の距離および H_tH_{t+1} の距離が 100mm 以上であった場合について、 P_R と P_{H+} の観測値を 5×5 のグリッドで集計し、割合を求める。この割合を色で示したヒートマップを用いて、ロボットの移動方向に対する参加者の移動方向のパターンを条件毎で比較する。

3.2.2 主観評価

ロボットの動作に対して生物性および意図性を認知したかを調査するために、先行研究 [12, 13] で用いられているものを基に作成した質問を実験後のアンケートに含める(表1)。生物性尺度3項目と意図性尺度3項目について、参加者に7段階で評定させ、それぞれの尺度の平均値をその尺度の得点とする。

3.3 実験結果と考察

3.3.1 移動方向

各条件の期間毎(序盤・中盤・終盤)のロボットの移動方向に対する参加者の移動方向の観測割合を図8

表 1: 生物性と意図性に関する質問項目

生物性	対象物は周りが見えているように感じましたか？
	課題中、対象物が事前に決められた通りに動いていると感じましたか？
	対象物が生き物であるかのように感じましたか？
意図性	対象物は目的を持って動いているかのように感じましたか？
	対象物は自分自身で動く方向を決めているように感じましたか？
	対象物は感情を持っているかのように感じましたか？

に示す。

中盤に注目すると、リアルタイムで人同士がインタラクションをしている IN, NI, NN 条件について、左上の領域の値が大きい。これはこれらの条件において、ロボットが遠ざかった際に参加者がロボットを追いかけるパターンが頻繁に観測されたことを示している。一方で、リアルタイム性がない NR 条件については、左上の領域ではなく右中央の値が大きくなっている。これは、ロボットが接近してきた際に参加者がロボットを避けるようなパターンが頻繁に生じることを表している。この条件間で頻繁に生じたパターンの違いは、ロボットが応答性を有するか否かを参加者が判断した結果によるものであるといえる。NR 条件では中盤までの部分においてロボットに応答性がないことが看過され、対象の振る舞いを観察することで理解しようとしていると考えられる。対照的に、IN, NI, NN 条件ではロボットが参加者自身の動きに応答し得るため、自身のロボットへの働きかけを通してロボットの振る舞いを検証していると考えられる。

このことを踏まえて序盤に注目すると、NN, NR 条

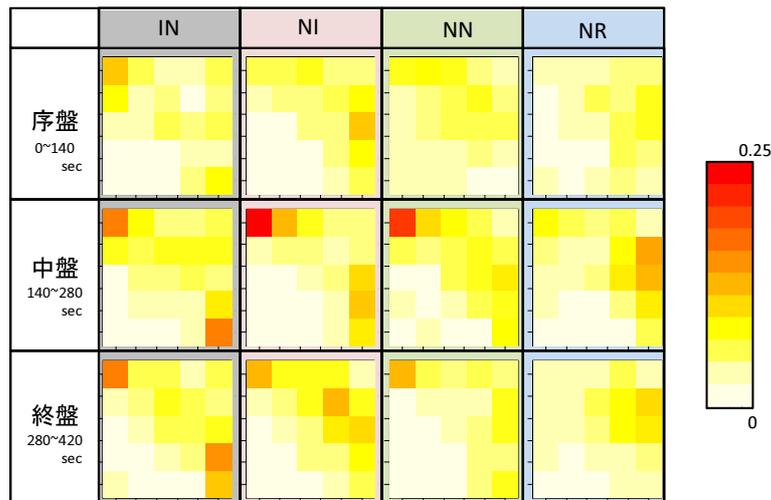


図 8: 各条件における期間毎の移動方向の発生頻度

件では値が大きくなる領域はない。NN 条件では参加者ペアの両方が教示を受けていないことから、互いに積極的に働けるようなインタラクションが生じ難い。また、NR 条件は、NN 条件の参加者の動きから得たログデータを使用してロボットを動作させているため、ロボットの序盤の移動量は中盤に比べて少なくなる。これにより、参加者がロボットを避ける必要性は低い。一方で、IN 条件については積極的にロボットと関わるように教示されていることから、中盤ほどではないが序盤から左上の領域の値が大きくなっている。これに対する NI 条件の序盤では、NI 条件では右中央の値が大きい。これは、参加者にとってロボットがまだよくわからない働きかけようとするよりも前にロボットが積極的に働きかけてくることから、参加者はロボットが自身と独立して動作していると見做しやすくなったことが要因としてあげられる。この状態からインタラクションを通して対象の振る舞いを検証する段階に移行したと考えられる。

3.3.2 主観評価

教示を受けていない各条件毎 (NI, NN, NR) の主観評価 (生物性尺度, 意図性尺度) の結果を図 9 に示す。それぞれの尺度に対して分散分析を行った結果、意図性尺度において条件間で有意な差がみられ ($F(2, 24) = 3.92, p < 0.01$)。多重比較により相手教示あり条件に比べレコード条件の値が有意に小さいことが示された ($p < 0.05$)。なお、生物性尺度においては条件間の値

に有意な差はみられなかった ($F(2, 24) = 0.27, n.s.$)。

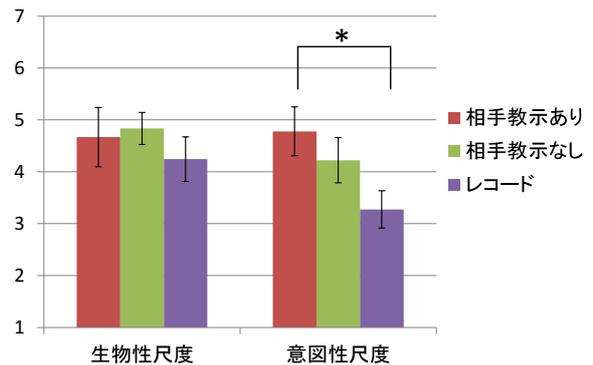


図 9: アンケート結果 (生物性・意図性尺度)

ここで、前節のヒートマップ上の左上の領域が示していたインタラクションのパターンと意図性尺度の得点の関係について検証する。5 × 5 のグリッドでカウントされる事象は、ロボットと参加者の両方が一定距離以上進んでいる場合に限定されているため、参加者毎に観測数が異なる。そこで、ロボットと参加者の両方が動いていたフレーム数を標本サイズとし、このフレーム数でロボットが離れて参加者追いかけたフレーム数を割った値を「R 逃げる H 追う」の発生確率とする。この発生確率は二項分布に従うことから、パラメータを推定し確率分布を求めることができる。求めた確率分布の平均値を R 逃げる H 追うインタラクションの発生確率とし、条件毎に意図尺度の得点と共にプロットしたものを図 10 に示す。アンケート意図性尺度の得点

が低い参加者に注目すると、NN 条件では R 逃げる H 追うの発生確率が小さくなっている場合が多い。これに対して、NR 条件で、意図性尺度が小さい参加者は R 逃げる H 追うの発生確率が大きい。これは、参加者が自発的にロボットと関わろうとしたか否かが影響している可能性がある。NN 条件では、ロボットに関心があるなどの理由により、インタラクションを図った場合、相手側の参加者が反応を返すことでロボットが反応を示すこととなる。そこからさらにインタラクションが進展すると考えられる。しかし、どちらの参加者も自発的に働きかけずに、互いにインタラクションを進展させるきっかけが生じない場合がある。このような場合に NN 条件において意図性尺度の得点が低くなったと考えられる。一方で、NR 条件ではロボットに自発的に働きかけることで、ロボットの応答性がないことが明らかとなる。その結果、ロボットの意図性尺度が低くなった可能性がある。逆に、ロボットに対して自発的に働きかけなかった参加者は、もともとの動作が NN 条件の参加者の動作であることから、その振る舞いに観察者として意図性を帰属していたと考えられる。このことを検証するためには、事後アンケートだけでは意図性尺度の得点が下がるような具体的な行動を特定することは難しく、今後、行動データの分析に発話データの分析を加える必要がある。

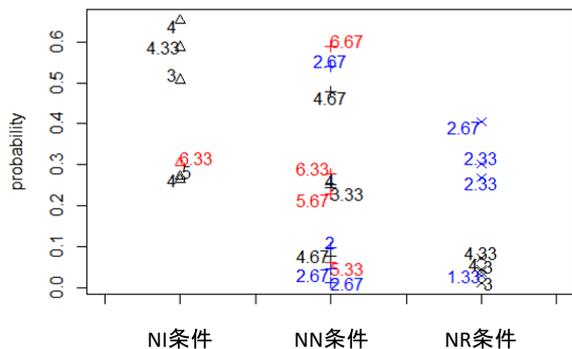


図 10: R 逃げる H 追うインタラクションの発生確率と意図性尺度の得点

4 まとめと展望

本研究では、人が未知の対象に対して自身と関係を構築し得る存在である可能性に気付く過程を含んだ他者性認知過程について検討した。実験として、抽象的

な形状の未知のロボットを介した人同士のインタラクションを観察し、特徴的なインタラクションのパターンについて分析を行った。結果として、ロボットが参加者の振る舞いに応答し得る場合とロボットが参加者とは独立して動作している場合では、ロボットの移動方向に対する参加者の移動方向のパターンに違いが生じた。この違いはロボットの応答性の有無によって参加者のインタラクションのモードが、インタラクションを通してロボットの振る舞いを検証する状態と、ロボットの振る舞いを観察する状態に分岐したことを示しているといえる。

人は、対象からの働きかけを待つ状態と、対象の振る舞いを探索するために自身が対象に働きかける状態、対象の振る舞いを予測したうえで働きかける状態などの内部状態に基づきインタラクションを行っていると考えられる。このとき、他者性認知過程として相手の内部状態の有無を推定するためには、自身の振る舞いと対象の振る舞いが干渉しないようなインタラクションを行う必要がある。例えば、自身のある行動に対して対象の振る舞いが変化した場合に、それが偶然生じたものなのか、対象の応答性により生じたものなのかを検証する場合を考える。このとき、対象の応答性を検証する方法として二通りの検証方法があげられる。一つ目は、対象への働きかけのパターンを増やしインタラクションを複雑化することで偶然性を排除し、応答性を検証する方法である。二つ目は、対象への働きかけを止めることで、自身が動かない場合の対象の動きから偶然性を検証することで応答性を検証する方法である。本研究で示された「インタラクションを通してロボットの振る舞いを検証する状態」は前者の方法に対応し、「振る舞いを観察する状態」は後者の方法の結果によるものであると考えられる。このように、他者性認知過程は自身の内部状態を相手の内部状態とは異なる状態に遷移させることで進むプロセスであると推察される。今後の分析では、インタラクションのパターンを分析する際の時間幅を短くし、動作の複雑性の変化といった移動方向の変化以外の要因を考慮することで、参加者相互の内部状態の変化を捉える。これにより、自身と対象の内部状態の変化に基づいた他者性認知モデルの構築を目指す。

謝辞

本研究は MEXT 科研費 26118002 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Reeves, B., Nass, C.: The Media Equation, *Cambridge University Press* (1996)
- [2] Heider, F., Simmel, M.: An Experimental Study of Apparent Behavior, *American Journal of Psychology*, Vol. 57, pp. 67–70 (1944)
- [3] Tremoulet, P. D., Feldman, J.: Perception of animacy from the motion of a single object, *Perception*, Vol. 29, pp. 943–951 (2000)
- [4] 寺田和憲, 深井英和, 竹内涼輔, 伊藤昭: 振舞いに対する予測可能性が生物性と意図性の知覚に及ぼす影響, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, J96–D(5), pp. 1374–1382 (2013)
- [5] Gallagher, S.: The practice of mind: Theory, simulation, or primary interaction?, *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 8, pp. 83–108 (2001)
- [6] De jaegher, H., Di Paolo, E.: Participatory Sense-Making: An enactive approach to social cognition, *Phenomenology and the Cognitive Science*, Vol. 6, pp. 485–507 (2007)
- [7] 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 身体的相互作用におけるコミュニケーションとターンテイキングの創発, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, J95–A(1), pp. 165–174 (2012)
- [8] Auvray, M., Lenay, C., Stewart, J.: Perceptual interactions in a minimalist virtual environment, *New Ideas in Psychology*, Vol. 27, pp. 32–47 (2008)
- [9] Downing, P.E., Jiang, Y., Shuman, M. and Kanwisher, N.: A Cortical Area Selective for Visual Processing of the Human Body, *Science*, Vol. 293, pp. 2470–2473 (2001)
- [10] Johansson, G.: Visual perception of biological motion and a model for its analysis, *Perception & Psychophysics*, Vol. 14, pp. 201–211 (1973)
- [11] Sakamoto, T., Takeuchi, Y.: Model of Agency Identification through Subconscious Embodied Interaction, *Proceedings of the 3rd international conference on Human-Agent Interaction*, pp. 79–83 (2014)
- [12] Fukuda, H. and Ueda, K.: Interaction with a Moving Object Affects One’s Perception of Its Animacy, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 2, pp. 187–193 (2010)
- [13] Opfer, J. E.: Identifying living and sentient kinds from dynamic information, *Cognition*, Vol. 86, pp. 97–122 (2001)