

身体的なインタラクションを通じた他者性認知過程のモデル化

Model of Agency Identification on Interacting with Unknown Entity

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. Developing a relationship with an unknown artifact, on the other hand, is difficult. To address this problem, some robots utilize the context of the interaction between humans. However, there has been little investigation on interaction when no information about the interaction partner has been provided and where there has been no experimental task. Clarification of how people perceive unknown objects as agents is required. We believe that a stage of subconscious interaction plays a role in this process. We created an experimental environment to observe the interaction between a human and a robot whose behavior was actually mapped by another human. The participants were required to speak what they were thinking or feeling while interacting with the robot. The results of our experiment suggest that the timing of movement was used as the cue for interaction development. 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、インタラクションを行う対象が人である場合、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、本来必要のない対象に適応したり、あるいは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対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

のことから、人がある対象と対人的な関係を構築する過程において、その対象の本来の性質以上に、実際に行われるインタラクションが重要であると考えられる。では、どのようなインタラクションを通して人は対象を自身と関係を構築し得る他者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

*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

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。

対象を他者性として見做すためには、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り、本研究ではこのプロセスを他者性認知の0次過程と定義する(図1)。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。0次過程を経て対象が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0次過程を含めた他者性認知過程をモデル化することを目指す。

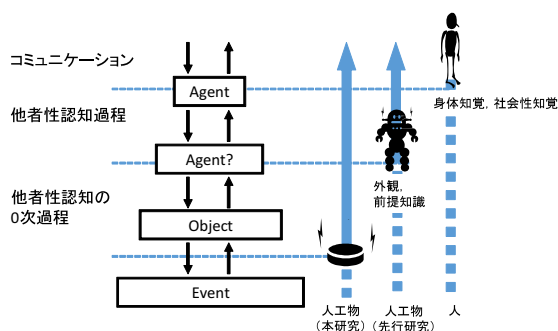


図 1: 他者性認知

2 他者性認知の0次過程

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、バイオリジカルモーション[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。

他者性認知のほとんど意識されていない段階(0次過程)を検討するためには、インタラクション最中の当事者の内的状態の変化を捉える必要がある。先行研究では行動データからインタラクションの変化を捉えることを試みている[11]。しかし、インタラクション最中の当事者が実際にどのようなことを考えていたのかは不明確であり、振る舞いの変化と内的状態の変化を対応付けることが困難であった。そこで、本研究ではインタラクションを行っている当事者に自身の内部状態を逐一報告させる「think-aloud法」を用いる。これにより、インタラクション最中の人の内的状態の変化を捉え、その変化のきっかけとなるような身体レベルのインタラクションについて検討を行う。

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、対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、think-aloud法を用いることでインタラクション最中の人の内的な状態の変化と振る舞いとの関係性について分析を行う。

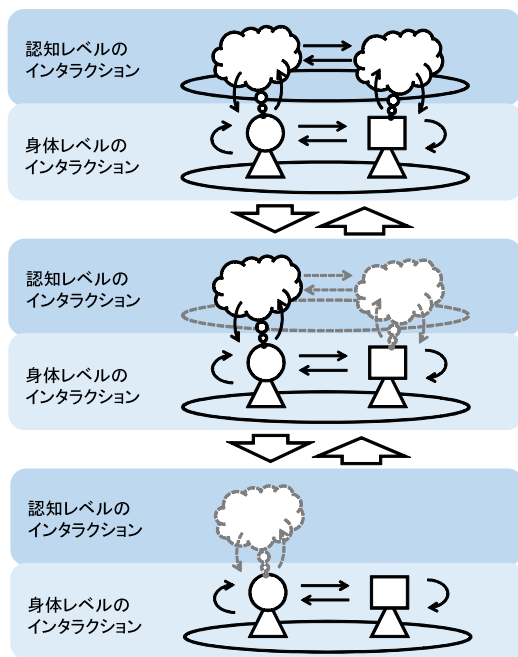


図 2: 身体的なインタラクションと他者性認知過程

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。実験は、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。

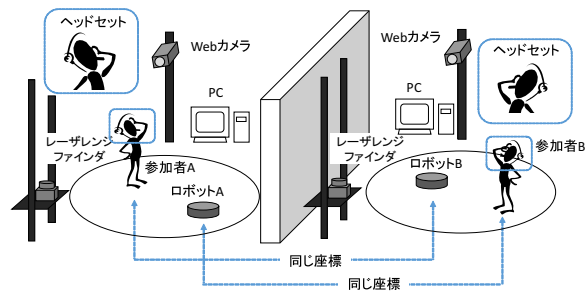


図 3: 実験環境

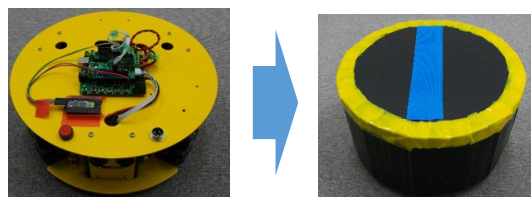


図 4: 実験で使用するロボット

3.1.2 実験条件

実験条件は教示なし条件と教示あり条件である。教示なし条件では、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。教示あり条件では、参加者ペア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。他方の参加者は教示なし条件の参加者と同様に扱う。

教示あり条件の教示を受けた側の参加者は、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、意図的にロボットと関わろうとする。よって教示あり条件の教示を受けていない側のロボットは参加者に積極的に関わる動作をする。このことから教示あり条件の教示を受けていない側のインタラクションはロボット側からの意図的な行為により開始される可能性が高くなる。これに対して、教示なし条件のインタラクションは双方の参加者がインタラクションを行う意図を持っていないため、自発的に生じたものとなる。

なお、実験参加者は 12 組 24 名の大学・大学院生で各条件に 6 組ずつ割り当てを行った。

3.1.3 実験手順

実験手順の概要を図 5 に示す。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。

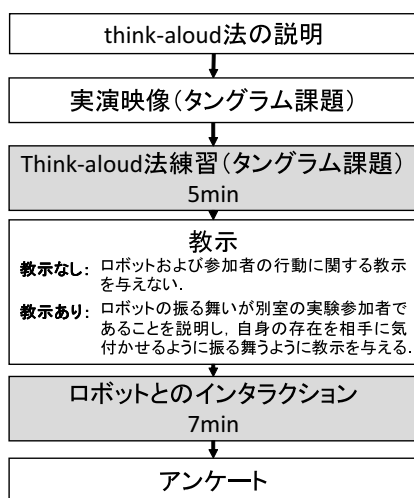


図 5: 実験手順

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

- 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

3.2 分析方法

3.2.1 発話データのラベル付け

本実験では、think-aloud 法によりインタラクション最中の参加者の発話データを取得している。この発話内容から参加者の内的な状態やロボットに対する認識がどのようなタイミングでどのように変化したのかを特定する。本実験における人とロボットの振る舞いは移動に限定される。対象への働きかけは接近、それに対する反応は回避に限定される。このことを考慮したうえで、以下に示すような発話のラベル付けを行う。

動作 「動く・止まる・回る・出る・動き出す・走る・立ち止まる・動き出す・歩く・戻る・居る」を含む発話

行動 「行く・来る・向かう・離れる・遠ざかる・当たる・逃げる・近づく・ぶつかる・迫る・回り込む・近寄る・寄る・逃げ回る・追いつく・遊ぶ」を含む発話

行為 「追いかける・避ける・追う・追いつめる・追い回す」を含む発話

操作 「人が動かしている」「ラジコン操作」「誰かが見ている」などの発話

この発話ラベルの出現パターンに基づき、ロボットとのインタラクションを通じた参加者の内的状態の変化を調べる。

3.2.2 行動データの分析

参加者とロボットの移動速度に対して相互相関関数 (CCF) を求める。そこから参加者の移動とロボットの移動のタイミングのずれを検証することができる。ある時間 t から 10 秒間の参加者の移動速度データ群 A とロボットの移動速度データ群 B から相互相関関数を次式より求める。

$$f(k) = \frac{Cov(A_t, B_{t+k})}{\sigma_{A_t} \sigma_{B_{t+k}}} \quad (1)$$

なお、 $Cov(A_t, B_{t+k})$ は共分散、 $\sigma_{A_t}, \sigma_{B_{t+k}}$ はそれぞれの分散を表し、時間遅れ k の範囲は $-5 \leq k \leq 5$ とする。この相互相関関数を時間毎に求めることで、参加者とロボットの動作のずれやどちらが先行して動いたか、どの程度動きが同期していたかを示すことができる。そこから、参加者とロボットのインタラクションの変化を捉えることができる。

3.3 実験結果と考察

インタラクション最中にロボットが人によって操作されている可能性について言及した参加者は、教示あり条件で教示を受けなかった側 6 名中 3 名、教示なし条件の 12 名中 4 名（それぞれ別のペア）であった。これらの参加者をロボットが自身と関係を構築し得る存在である可能性に気付いた参加者と見做し、どのようなインタラクションが行われたかを調査する。以下では、これらの参加者のうち代表的なものについて、発話ラベル、移動速度、相互相関関数の変化を例示する。図 6 は教示あり条件の教示を受けなかった側に割り当てられた参加者（P1）の、図 7 は教示なし条件における参加者（P2）の発話ラベル、移動速度、相互相関関数の変化をそれぞれ同じ時間軸（横軸）で並べたものである。

図 6 の P1 の移動速度の変化を見ると、150 秒付近から移動速度が増加していることがわかる。また、移動速度が増加してから発話ラベルの「行為」が多くなっている。さらに 370 秒付近で P1 はロボットが人により操作されている可能性について発話している。移動速度が増加する前の 120 秒付近から相互相関関数の正方向のピーク位置（赤色部分）が縦軸の 0 秒周辺に移行している。このことから参加者とロボットの移動のタイミングが同期することが、参加者がロボットとインタラクションを開始するきっかけとなっていると考えられる。また、340 秒から 360 秒付近にかけて負方向のピーク（青色部分）が縦軸の 0 秒周辺に位置している。これは参加者とロボットの移動のタイミングがずれた状態を維持しながらお互いに動いていることを示している。このような移動タイミングの交代が生じることで P1 はロボットが人により操作されている可能性に気付いたと考えられる。

図 7 では、P2 が 80 秒付近でロボットが人により操作されている可能性に言及されていることが示されている。この時点における P2 の移動速度とロボットの移

動速度の間の相互相関関数は、負方向のピークが縦軸の 0 秒付近に位置している。よって、P2 においても、移動タイミングの交代が生じることで P2 はロボットが人の動作によるものであると看過したと考えられる。

これらの結果をまとめると、参加者の移動とロボットの移動のタイミング同期する、または交互に移動が生じることが、参加者の積極的な行動を引き出すきっかけやロボットが人により操作されている可能性に気付くきっかけの一つであったことが示された。このことから、対象との身体動作の同期や相手の動作に合わせて動作をずらすことが、その対象が関係性を構築し得る存在である可能性に気付くためのプロセスに寄与していることが示唆された。（図 8）。しかし、他者となり得る存在に対して、その可能性を確認するようなインタラクションに移行したか否かの検証は現段階では行っていない。また「追いかける 逃げる」などの関係を参加者がロボットとの間に構築する段階に移行したか否かの検証を行う必要がある。

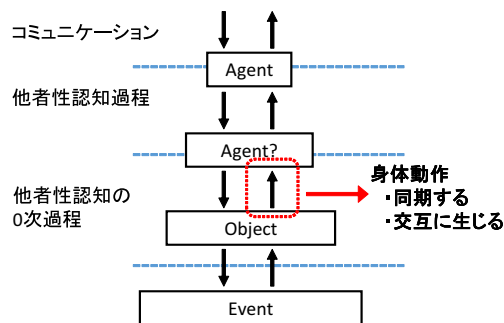


図 8: 今回得られた結果の位置づけ

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、インタラクション最中の参加者の内的状態を Think-aloud 法により取得した。参加者ペアのうち一方にロボットの動作が人の動作に対応していることを教示した条件（教示あり条件）と参加者ペアの両方にロボットに関する教示を与えなかった条件（教示なし条件）を実験条件とした。発話データと参加者の移動速度、参加者とロボットの移動速度から求めた

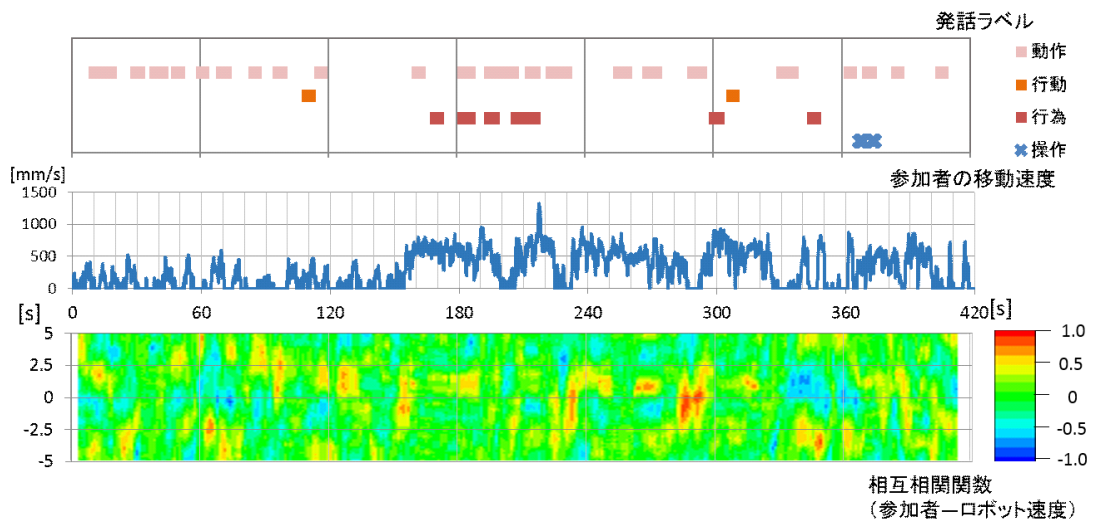


図 6: 教示あり条件の参加者 P1 の発話ラベル，移動速度，相互相関関数の変化．

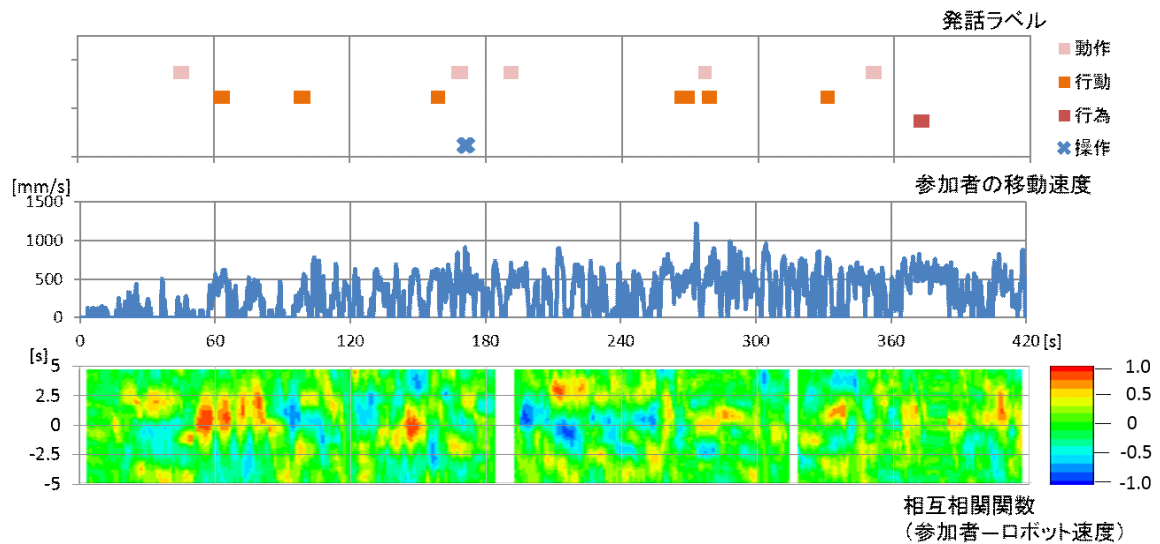


図 7: 教示なし条件の参加者 P2 の発話ラベル，移動速度，相互相関関数の変化．

相互相関関数の変化について分析を行った。結果として、教示を受けていない参加者がロボットが人により操作されている可能性に気付く以前に、相互相関関数の正方向あるいは負方向のピークが時間遅れのない位置に出現していることが示された。このことから、身体動作のタイミングが同期する、あるいは交互に生じることが、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きっかけとして機能していることが示唆された。しかし、現段階では、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際の阻害要因や、実際に対象との関係の構築を試みる段階へインタラクションが移行するための要因については明らかとなっていない。特に、相手に「近づく 遠ざかる」といった関係に注目し、それらのパターンが構築される過程について分析を行う必要がある。

本研究の発展により他者性認知過程をモデル化できれば、人-人工物のファーストコンタクトにおける人工物の振る舞いをデザインすることが可能となる。例えば、人の振る舞いからその人が人工物とのインタラクションを求めているか否かを判断することができ、必要に応じてインタラクションを開始するためのきっかけとなるアクションを人工物側からしかけることができると考えられる。これにより、ロボットなどの自律的に振る舞う人工物が社会に迎合されることが期待される。

謝辞

本研究は MEXT 科研費 26118001 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.: Stage of Subconscious Interaction in Embodied Interaction, *Proceedings of the second international conference on Human-Agent Interaction*, pp. 391–396 (2014)