

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の検討

Model of Agency Cognition through Embodied Interaction

坂本孝丈

Takafumi SAKAMOTO

竹内勇剛

Yugo TAKEUCHI

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

We assume that subconscious interaction is carried out to make possible the forming of a communication relationship with the object. To model this stage of interaction, two experiments were carried out. We created an experimental environment to observe the interaction between a human and a robot whose behavior was actually mapped by another human. We explore the relation between physical interaction and cognitive states by the think-aloud method. Behavioral data was analyzed by a Bayesian network (BN). As a result, it is obvious that BN structure relates to speaking data. This indicates that it is likely to model the process of subconscious interaction.

1. はじめに

人工物の振る舞いが自律化・複雑化する中で、人にとって人工物は自身と関係を築くことが可能か否かは不明確な存在となり得る。人-人工物で対人的な関係を構築するためには、人がどのようにして対象を他者と見做しているかを明らかにする必要がある。他者性の認知を促すアプローチとして、人工物の外観を人に近づける方法 [石黒 05] や、目や口といった要素を加えることで人工物の擬人化を促す方法 [大澤 10] があげられる。また、人工物の外観に依存せずに振る舞いのデザインから他者性の認知を促すアプローチが考えられる。しかし、人-人工物インタラクションにおける人工物の振る舞いの設計に関する研究の多くがインタラクションの観察・分析において実験課題を設けている。そのため、対象がそもそもインタラクション可能であるかを人が判断する過程を含めたインタラクションの初期段階についてはほとんど研究が行われていない。そこで、本研究では対象とインタラクションを行う前提がなく、そもそも対象が自身と関係性を構築することが可能な存在か不明な状態から始めるインタラクションに注目する。

他者性認知の初期段階は、対象をあまり意識しない潜在的なインタラクションを通して行われると考えられる。Heider らの実験 [Heider 44] 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生物性や意図性を知覚する [Tremoulet 00, 寺田 13]。単純な身体表現であっても、インタラクションを通して自身と対象との間に何らかの関係性を見出し、他者性を認知することが可能であると考えられる [Fukuda 10]。また、先行研究では相手が存在する可能性を知らない状態からでも、インタラクションを通して関係性を構築し得ることが示唆されている [竹内 13]。しかし、ミニマムなインタラクションに関する研究の多くは、手や指を用いた実験が多く、実際に対象と同じ空間に対峙するような状況におけるインタラクションについてはほとんど研究が行われていない。対象と直接対峙する場合、足の動きを中心とした無自覚的な身体動作が先行し対象との関係性を構築していると考えられる。そこで、本研究では他者性の認知過程について身体レベルでのあまり意識されないような原初的なインタラクションを含めてモデル化することを目指す。本

研究では、対象と自身の身体的な振る舞いを通して対象が自身と関係性を構築し得る他者であることに気付くフェーズとして「他者性認知の0次過程」の存在を仮定する。このプロセスは身体動作や環境の変化に基づく単純なモデルで表現できると考えられる。そこで本研究では、他者性認知の0次過程を含めたインタラクションを観察するための実験を行い、このプロセスのモデル化方法について検討する。

2. 他者性認知過程

通常、人-人のコミュニケーションにおいては、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 [Downing 01]。また、パイオロジカルモーション [Johansson 73] と呼ばれる現象にみられるように、人は身体運動に対する特異的な知覚も有している。人同士のインタラクションは、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開始される。これに対し、人-人工物インタラクションにおいて人工物との対人的なインタラクションを実現するためには、予め他者として認められるだけの外観を備えているか、インタラクションそのものから他者への気付きを得る必要がある。しかし、外観のデザインでは場面に応じて動的に関係性を構築することが困難であることから、インタラクションを通じた他者性認知の誘発を考える必要がある。

従来の人-人工物インタラクションの研究では、インタラクションを行うことを前提とした実験を通して他者性の認知に関する議論が行われてきた。しかし、他者性認知の初期段階として、対象が自分とインタラクション可能であることに気づくプロセスが必要であると考えられる。本研究では、この他者性認知の0次過程を明らかにすることを目指す (図1)。

他者性認知の0次過程を明らかにするためには、人と先入観のない人工物とのインタラクションを観察する必要がある。そのうえで、その人工物とのインタラクションが対人的なやり取りに発展する可能性を有している必要がある。しかし、人工物にそのようなインタラクションを自律的に行わせること困難である。これに対して、人工物を介した人同士のインタラクションの観察を行う方法がある。2組の人-人工物インタラクションを同時に行わせ、お互いの人工物の振る舞いがそれぞれ他方の人の動きに対応している状況を作ること、対人インタ

連絡先: 〒 432-8011 浜松市中区城北 3-5-1

静岡大学創造科学技術大学院 Tel/Fax 053-478-1455
dgs14010@s.inf.shizuoka.ac.jp

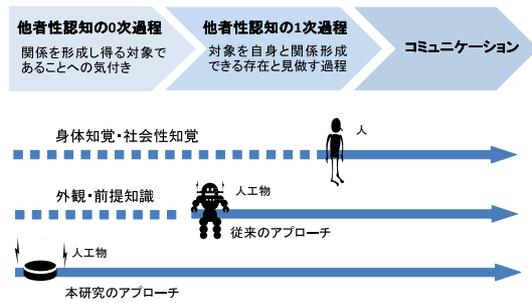


図 1: 他者性認知の 0 次過程

ラクションが可能な人工物と人とのインタラクションが観察可能となる。

他者性認知の 0 次過程は対象をインタラクション可能な存在として意識する過程を含んでいる。そのため、身体的なインタラクションを通してほとんど意識されずに進むプロセスを含めて検討する必要がある。例えば、インタラクションを行っている当事者であっても「どうして対象と関わろうとしたか」などのきっかけとなる事象は通常意識されていないと考えられる。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。発話データから実験参加者の内的状態が変化するタイミングを特定することで、それ以前の振る舞いに焦点を当てることができる。本稿では、ベイジアンネットワーク (BN) に基づき身体レベルのインタラクションを表現する方法を検討し、BN と発話データの関係性から他者性認知の 0 次過程について検証する。

3. 移動ロボットを介した think-aloud 法を用いた人-人インタラクション実験

3.1 目的

本実験では think-aloud 法を用いることにより、ロボットとのインタラクション最中の実験協力者の内的状態を発話データとして観測することを試みる。この発話データと実験協力者とロボットの振る舞いから、ロボットの振る舞いの捉え方や行われたインタラクションの変化を分析する。そこからインタラクションを通して対象を自身とインタラクション可能な存在と見做す過程を明らかにする。

3.2 実験方法

3.2.1 実験環境

実験環境の概要を図 2 に示す。実験は同様の装置で構成される 2 つの部屋で行われる。各部屋の床面には直径 3m の円形がテープで区切られており、参加者とロボットのインタラクションはこの円形のフィールド内で行われる。参加者の位置はレーザーレンジファインダ (北陽電気社, URG-04LX) により測定される。測定した位置座標はネットワークに接続した PC のソケット通信により部屋間で相互に送受信される。各部屋のロボットの位置は別室の実験協力者の位置に対応するように制御される。これにより一方の参加者が移動すれば他方の部屋のロボットが移動することになる。なお、ロボットは Roomba (iRobot 社, Roomba770) を用い、Bluetooth により PC との通信を行い制御する。ロボットの位置は車輪のエンコーダにより取得し、Web カメラの映像を用いて補正を行う。また、発話データを取得するために実験協力者にヴォイスレコーダを接

続したヘッドセットを装着させる。ヴォイスレコーダ本体は衣服のポケットに入れて携帯させる。

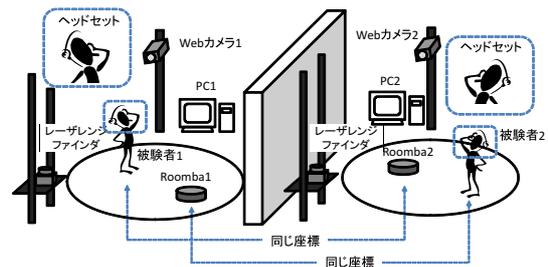


図 2: 実験環境

3.2.2 実験課題

実験は実験参加者 2 名 1 組で行う。双方の参加者はお互いに相手の存在を知らされない状態で別々の部屋に案内される。なお、それぞれの部屋の参加者は同じタイミングで同様の実験手順を経験する。参加者に「実験課題は思ったことや考えたことをすべて声に出して発話する課題である」と教示し、参加者にヘッドセットとヴォイスレコーダを装着させる。発話の練習としてタングラム課題を行わせる。練習時間は 5 分間で、参加者は発話を行いながらタングラムを解く。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に移る。参加者には練習と同様に思ったことや考えたことを発話することが実験課題であると教示する。ただし、課題時間中は円形のフィールド内から出ないようにし、それ以外は自由にできるように教示を行う。また、ロボットの動作に関する教示は行わない。その後、参加者を部屋で一人にし、開始の合図により課題が開始する。同時に、互いの部屋のロボットが他方の部屋の参加者の位置に対応し動作する。課題時間は 3 分間とし、各部屋で参加者の行動を観察する (図 3)。課題終了後、アンケートの回答を行わせる。

なお、実験参加者は 9 組 18 名の大学・大学院生である。



図 3: 実験の様子

3.2.3 観察項目

以下の項目を観察し、分析を行う。

- 参加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)
- ビデオカメラにより撮影した参加者の行動
- 参加者の発話データ
- 実験後のアンケート

3.3 分析方法

Think-aloud により取得した発話データを、ロボットの振る舞いに関する発話と自身の行動に関する発話に分類しラベル付けを行う(表 1)。ロボットの振る舞いに関する発話は、「こっちに来た」、「逃げた」などの行動レベルのものを「Robot Action」、「動いた」や「止まった」といった運動レベルのものを「Robot Motion」とラベリングする。自身の行動に関する発話は「Self Action」とし、その他の発言について「Other」とラベリングする。

表 1: 発話データのラベル付け

ラベル	内容	例
Robot Action	ロボットの行動や反応	「こっちきた」、「こいつ避けるな」
Robot Motion	ロボットの動作	「なんか動いてるな」、「止まった」
Self Action	自身の行動	「避けたいな」、「追いかけてみるか」
Other	その他	「どうすればいいんだろう」、「なんか嫌だな」

参加者とロボット間のインタラクションはベイジアンネットワークにより表現する。発話データと発話までの 15 秒間の行動データから学習した BN の構造との関連性について調査を行う。本実験では参加者とロボット間の行動は距離のやり取りに限定される。よって、参加者およびロボットの相手に対する行動は相手への接近量で表現できると考えられる。そこで本実験では以下のパラメータを用いて BN の構造学習を行う(図 4)。なお、いずれのパラメータも連続変数として扱う。

$Dist$: 参加者とロボット間の距離

$\Delta Dist$: 参加者とロボットの距離の変化量

V_P : 参加者のロボットに対する接近量

V_R : ロボットの参加者に対する接近量

V_P^+ : 次のフレームにおける参加者のロボットに対する接近量

V_R^+ : 次のフレームにおけるロボットの参加者に対する接近量

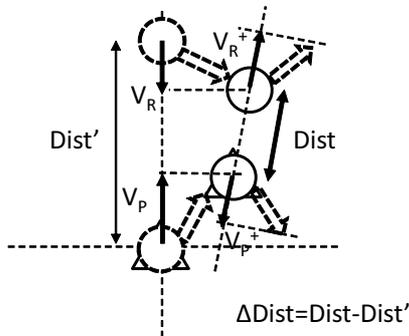


図 4: 行動データの分析に利用するパラメータ

ただし、BN の構造を学習するにあたり制限を事前に与える。各ノード間で接続され得る全てのアークを図 5 にしめす。各

参加者の行動データに対して、15 秒間のデータを 1 秒間隔でずらしながら構造学習を行い、発話内容との関係性について分析を行う。

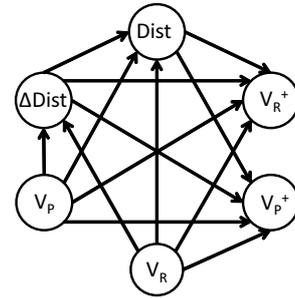


図 5: 接続可能なアーク

3.4 結果と考察

発話データのラベルと学習した BN のアークの有無について、全参加者のデータから出現頻度を求め、 χ^2 検定を行った。また、 χ^2 検定の結果、有意差が見られたものについては残差分析を行った。アークの始点となるノード毎の結果を表 2、表 3 に示す。

V_P^+ を始点とする場合について、 $Dist$ を終点とするアークの有無と発話ラベルとの間に有意に関連性があり、残差分析の結果、アークが張られている場合、Robot Action の観測頻度が高くなることが示された。また、 $\Delta Dist$ にアークが張られている場合、Robot Action および Other の観測頻度が増加している。しかし、 V_R^+ を終点とするアークについては期待度数が低いことから適切な統計検定量が得られていない。

V_R^+ を始点とするアークについては、いずれのノードが終点であっても、アークと発話ラベルの間に有意な関連性があり、残差分析の結果アークがある場合に Robot Action の観測頻度が高くなっている。

ベイジアンネットワークのアークはノードとなる変数間の確率的な関係性の有無を表現している。そのため、BN の学習結果において、 V_P あるいは V_R から、 $Dist$ や $\Delta Dist$ に向けて張られるアークは参加者あるいはロボットの接近・回避により実際に双方の距離が変化したことを表していると考えられる。また、 V_P から V_R^+ または V_R から V_P^+ に向けてアークが張られた場合、一方の接近量が他方の行動に影響を及ぼしていることを表現しているといえる。その結果として、 V_R から他のノードにアークが張られた場合にロボットに対する発話量が増加したと推察される。このことから、ロボットの振る舞いと距離との関係や参加者自身の振る舞いとの関係性を表現した BN の構造から、ロボットの振る舞いを自身への行為と見做したタイミングを見出すことができると考えられる。

4. まとめ

本研究では、人が自身と関係性を構築し得る対象に気付く過程(他者性認知の 0 次過程)をモデル化することを目指し、人同士のロボットを介したインタラクションを観察する実験を行った。結果として、think-aloud 法により得た参加者の発話データと、その発話を得られる以前の 15 秒間の参加者とロボットの振る舞いを表現した BN との間に関連性が見られた。このことから、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のタイミングを発話データから特定し、内的状態の変化とそこに至る相互の振る舞いを対応付けることが可

表 2: V_P を始点とするアークの有無と発話データの関係

From V_P	To $Dist$		To $\Delta Dist$		To V_R^+	
	Connected	Unconnected	Connected	Unconnected	Connected	Unconnected
Robot Action	13(6.72)**	52(58.3)**	64(57.7)*	1(7.29)*	11(2.49)	54(62.5)
Robot Motion	10(8.17)	69(70.8)	65(70.1)	14(8.86)	0(3.033)	79(76.0)
Self Action	5(5.27)	46(45.7)	47(45.3)	4(5.72)	3(1.96)	48(49.0)
Other	64(77.0)	681(668)	707(661)**	38(83.5)**	19(28.6)	726(716)
(No Speakign)	215(210)	1815(1820)	1754(1802)**	276(228)**	81(77.9)	1949(1952)
$\chi^2(4, N = 2970)$	9.62*		49.6**		37.4(insufficient)	

括弧内は期待度数, *: $p < .05$, **: $p < .01$ 表 3: V_R を始点とするアークの有無と発話データの関係

From V_R	To $Dist$		To $\Delta Dist$		To V_P^+	
	Connected	Unconnected	Connected	Unconnected	Connected	Unconnected
Robot Action	18(9.08)**	47(55.9)**	63(58.3)*	2(6.78)*	21(7.29)**	44(57.7)**
Robot Motion	9(11.0)	70(68.0)	67(70.8)	12(8.25)	4(8.86)	75(70.1)
Self Action	5(7.13)	46(43.9)	38(45.7)**	13(5.32)**	4(5.72)	47(45.3)
Other	102(104)	643(641)	663(667)	82(77.8)	77(83.4)	668(661)
(No Speakign)	281(284)	1749(1746)	1829(1818)	201(212)	227(228)	1803(1802)
$\chi^2(4, N = 2970)$	11.4*		18.9**		33.2**	

括弧内は期待度数, *: $p < .05$, **: $p < .01$

能であることが示された。しかし、現段階では発話データ数が少なく、ラベル付けの細分化ができていないことから他者性認知の0次過程をモデル化はできていない。また、発話データと相互の振る舞いのモデルを対応付けるにあたり以下の点を検討する必要がある。

- 対応づける行動データの時間幅
- 複数のアークの組み合わせと発話データの関連
- 相互の振る舞いの時間的变化

今後、think-aloud法を用いたさらなる実験を行うことで、行動データから学習されたBNの構造と発話データから得られる参加者の内的状態との関係性をより詳細に検証する。特に相互の振る舞いの時間的な変化を明らかにすることで、対象を他者と見做すに至るプロセスをモデル化する必要がある。

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

参考文献

- [Downing 01] Downing, PE., 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).
- [Fukuda 10] Fukuda, H. & 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).

[Heider 44] Heider, F. and Simmel, M.: An Experimental Study of Apparent Behavior, *American Journal of Psychology*, Vol.57, pp67-70 (1944).

[Johansson 73] Johansson, G.: Visual perception of biological motion and a model for its analysis, *Perception & Psychophysics*, Vol.14, pp 201-211 (1973).

[Tremoulet 00] Tremoulet, P. D. & Feldman, J.: Perception of animacy from the motion of a single object, *Perception*, Vol.29, pp.943-951 (2000).

[石黒 05] 石黒浩:アンドロイドサイエンス, システム/制御/情報, Vol.49, No.2, pp.47-52 (2005).

[大澤 10] 大澤 博隆, Voisin Thibault, 今井 倫太, 山田 誠二: 透過する身体を用いた実世界型エージェントの提案, 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 Vol.110, No.185, pp.9-12 (2010).

[竹内 13] 竹内勇剛, 中田達郎: エージェント認識を誘発するコンピュータとのインタラクションと人らしさの帰属, *人工知能学会論文誌*, Vol.28, No.2, pp.131-140 (2013).

[寺田 13] 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).