

身体的インタラクションによる意図推定

Intention Inference by Bodily Interaction

寺田 和憲 伊藤 昭

Kazunori Terada Akira Ito

岐阜大学

Gifu University

We discuss the importance and role of physical body of the agents in Human Agent Interaction. One of the key psychological biases to understand agent's behavior easily is taking intentional stance toward it. Our researches suggest that bodily and direct interaction between a human and a moving object sometimes leads to active interaction and enables the human to understand object's intention by taking intentional stance.

1. はじめに

近年、ソフトウェアエージェントやヒューマノイドロボットのように自律性の高いエージェントが急速に普及しつつあり、人間とのインタラクションをどのように設計するかが問題となっている。インタラクションデザインの問題を扱う研究分野としてヒューマンエージェントインタラクション (HAI) やヒューマンロボットインタラクション (HRI) がある。これらの研究分野ではソフトウェアエージェントだけでなく、身体を有する物理エージェントを対象とするが、インタラクションデザインにおける身体の必要性や役割はあまり議論されてこなかった。本稿では、人間とインタラクション可能な椅子ロボットを用いて行ってきた我々の研究成果に基づき、インタラクションデザインにおける身体の意味について論じる。

2. 振舞い理解と意図帰属

我々はインタラクションデザインの問題を人間がエージェントの振舞いをどのように理解するかという視点から考える。以下では振舞い理解における人間の心理的な側面とそれに関連の深い心の理論について述べる。

2.1 振舞い理解

人間とエージェントのインタラクション設計において、人間が容易に理解できるエージェントの振舞いを設計することは重要である。自律的で自由度の高いエージェントの振舞いは多義的であり、それによって伝達されるべき情報が曖昧になったり送信者が意図しない誤った解釈がなされることがある。適切な解釈を誘導するために人間の心理的機能、特に通常の人間同士のインタラクションで用いられる機能を利用することが有効である。例えば、人間を模した外観を有することは人間の身体のメタファーの適用による理解を可能にする。大澤らは家電機器に目や腕などのパーツを取り付け擬人化し、機器の部位を身体を表すことばで置き換えて説明することで機能の理解が促進されることを示した [大澤 08]。また、インタラクションにおける視線や身体の方向が重要であることは多くの研究者が指摘しており、人間の身体のメタファーをインタラクションデザインに取り入れることは有効だと考えられる。しかし一方で、

Reeves & Nass の提案する Media Equation [Reeves 98] は、外見的人らしさを備えていないコンピュータに対しても、それが礼儀正しさや互恵性などの社会的反応を示せば対人的な反応を引き出せることを示しており、必ずしも身体的メタファーを必要とするわけではないことを示唆している。さらに、山田らは、エージェントの身体がユーザに対する無用なバイアスとなる可能性を指摘している。エージェントの外観から予測される機能と実際の機能との間にギャップが存在する場合にインタラクションの不調和が起こるといふのだ [山田 06]。小松らはこの問題について心理実験を行い、たとえ同じ情報であってもその情報を表出するエージェントの外見が異なると、その情報が必ずしも同じ意味として解釈されないということを示した [小松 08]。

これらの研究が示唆することは、エージェントが身体を持つかどうかにかかわらず、人間が対象を見る際にはなんらかの心理的なバイアスがかかり、それは外見や反応様式などの特定のキューによってコントロール可能だということである。従って、インタラクションを設計する上ではこの人間がエージェントをどう見るかという心理的側面に注目する必要がある。

2.2 振舞いに対する意図帰属

対象の振舞いを記述するために用いる心的な姿勢として、Dennett は物理スタンス、設計スタンス、意図スタンスの3つのスタンスを挙げている。目覚し時計を例に各スタンスを説明すると次のようになる。物理スタンスでは、対象の振舞いの説明を物理法則に求め、電気エネルギー（ゼンマイの場合は弾性エネルギー）による長短針の回転と音の発生となる。設計スタンスの場合は、振舞いの機能的側面に注目し、連続的な時刻表示と既設定時間での音による時刻通知というようになる。意図スタンスでは対象の振舞いを意図という表面的には分からない目的を帰属することによって対象を記述する。意図スタンスによると目覚し時計の振舞いは、時間を知らせることと人を目覚めさせることになる。それぞれのスタンスは振舞いの抽象化のレベルを表すとよい。意図スタンスでは目的という単一のシンボルのもとに非常に粗い抽象化を行う。一方物理スタンスではエネルギーや力学などの数量化可能なレベルで抽象化するため、意図スタンスより複雑で詳細である。

これらのスタンスによって我々人間は平坦で均一な世界に意味を与えることができ、それによって世界の事象の理解と予測が容易になる。Dennett は人間がスタンスを採用することの利点は特に予測にあると述べている。飛来物体に対して物理ス

連絡先: 寺田和憲, 岐阜大学工学部応用情報学科, 〒 501-1193 岐阜市柳戸 1-1, Tel & Fax: 058-293-2792, terada@info.gifu-u.ac.jp

タンスを用い、ATMに対して設計スタンスを適用することはそれらの対象の振舞いの効率的な予測を可能にする。そして、人間のような複雑な振舞いをするシステムを理解し、予測するための唯一有効な手段を意図スタンスの採用だと述べている。同様に、Baron-Cohenは人類が集団で生活し複雑な社会関係を構築してきたことが意図スタンスによる他者理解を進化的に獲得する素地になったとしている [Baron-Cohen 95]。社会的インタラクションが発生する場で他者の振舞いを素早くかつ合理的に理解し予測するためには、振舞いの物理的側面や機能的側面に注目するのではなく他者が何をしたいか (願望)、何に基づいて (信念) 行動しているか、何をするとつもりか (意図) を推測することが有効であるからである。

2.3 心の理論

意図スタンスは心理学的には心の理論 (Theory of Mind) として定義される。心の理論とは他者に対して、信念 (belief)、願望 (desire)、意図 (intention) などの心的状態を帰属して振舞いを理解し予測する枠組のことである。心的状態の帰属は、他者が表面的に観察可能な現実とは異なった心的状態に基づいて行動していると仮定することである。発話や身体動作の表面的な振舞いとそれを駆動する心的状態は通常固定的な関係を持っており、パターンマッチング的な行動理解が可能であるが、嘘、皮肉、欺きなどでは振舞いが本来の意味と逆の意味を持ち、これらを理解するためには心的状態の帰属が必要不可欠である。このような心的帰属が可能かどうかを調べるための誤信念課題によるテスト [Baron-Cohen 85] が考案されており、このテストを用いて、4歳未満の子供と自閉症者にはこの能力が備わっていないとされている。また、意図帰属の能力は生得的に脳に埋め込まれた機能であると考えられており、人間が他者の振舞いに対して意図を帰属している際には心の理論ネットワークと呼ばれる領域 [Gallagher 03][McCabe 01] が賦活することが知られている。

意図帰属に関しては発達心理学や認知心理学の分野で古くから研究されている。特に、人間がどのような振舞いに対して意図性や生物性を知覚するかについては、非生物の振舞いをディスプレイ上に提示することによって調べられてきた [Scholl 00]。そのような研究を最初に行ったのは Heider らである [Heider 44]。Heider らは大小の三角形と小さい円の運動の映像を被験者に見せる実験を行い、それらの運動がどのように解釈されるかを調べた。図形の運動は家に見立てられた扉を有する矩形の内外で行われ、運動は大きな三角形が小さな円を追い回す、小さな円を巡って大小の三角形が戦う、小さな三角形と小さな円が連れ立って逃げるといったものであった。単純な図形の運動にもかかわらず、ほとんどの被験者がこれらの図形の運動に対して攻撃的や勇敢など人間的な性格、怒りや苛立ちといった感情、社会的因果関係を付与して解釈した。実際にこのムービーを見ると、図形の運動は若い男女 (小さい三角形と小さい円) が乱暴者 (大きい三角形) から逃げようとしているように見える。この運動を物理スタンスや設計スタンスで解釈することは難しい。しかし、この実験が示しているように、多くの方が単純な図形の運動に対して攻撃、逃避といった目的を帰属することによって振舞いを容易に理解することができた。このように、図形の運動にさえも人間的要素を帰属して捉えてしまうのは、「心の理論」という脳の特別な働きに起因していると考えられている。近年の研究によると、図形の運動に対して意図を帰属する要因は目的志向性であるとされている [Dittrich 94][Tremoulet 00][Bassili 76]。さらに、目的を特定し帰属させるだけでは新たな状況における対象の未来の行動を予測することはできないという理由で合理性が必要だとも言わ

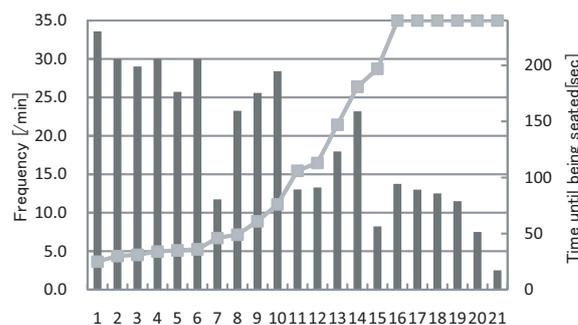


図 1: 動作頻度と着座に要した時間

れている [Gergely 95]。

心理学において、対象の振舞いに対する意図帰属を調べる研究では、ゴールに向かうような振舞い [Tremoulet 00] であっても 2 体の対象がインタラクションする場合 [Bassili 76][Dittrich 94] であってもディスプレイ上の対象の振舞いを被験者が観察することによって実験が行われている。このことは、人間が意図帰属を行うためには必ずしも物理的的身体や直接的なインタラクションを必要としないことを意味する。

しかし、インタラクションの設計という観点からは人間とエージェントの直接的なインタラクションを考えることが重要であり、対象と直接身体的なインタラクションを行っている際の人間の心的な姿勢が円滑なインタラクションを実現する鍵となると思われる。そのような観点から、植田らは実ロボットとのインタラクションにおいて、ロボットの動きのパターンの違いがアニメーション知覚に影響を与えるかどうかを調べた [植田 07]。我々も同様な動機に基づき、椅子ロボットを用いて、非ヒューノイド型ロボットの振舞いを人間がどのように解釈するかについて人間の心的姿勢に焦点を当てて調べてきた [寺田 07b][Terada 07][寺田 07a]。

3. 振舞い理解と身体的インタラクション

我々は椅子ロボットと人間とのインタラクションを比較的制約の少ない状況で観察した [寺田 07a]。この実験では、被験者には事前に何も教示を行わず、椅子の振舞いだけを見せて、自分の思った通りに行動してもらった。椅子は別室の実験者によって操作され、椅子の動作だけによって被験者を特定の場所に座らせることを目的とした。21人の被験者に対して実験を行ったところ、ほとんど動かないで椅子の動きを眺めているだけの被験者から椅子の動きに合わせて頻りに動く被験者まで、被験者の振舞いに大きな違いがあった。また、頻りに動く被験者ほど早期に着座していた。これを定量的に確かめるために、インタラクション時の映像をフレームレートで分析し、被験者の動きの頻度を求めた。図 1 は被験者ごとの 1 分あたりの動作頻度 (棒グラフ) と着座に要した時間 (折れ線グラフ) を示したものである。横軸の番号は被験者を表し、着座までの時間が早い被験者が左に来るようにソートした。この図から着座までに要した時間と動作頻度の間に負の相関があることが分かる。すなわち、ほとんど動かない被験者は最終的に着座するまでに長時間を要し、能動的に動く被験者はすぐに着座したということである。着座した被験者は椅子の振舞いに対して、「椅子が自分を座らせようとしている」という目的を付与したと考えられる。また、能動的に動いた被験者に着座が多く、あまり動きのなかった被験者が着座しなかったことから、能動的に動いた被験者は椅子の持つ目的を理解していたと考えられる。ただ、

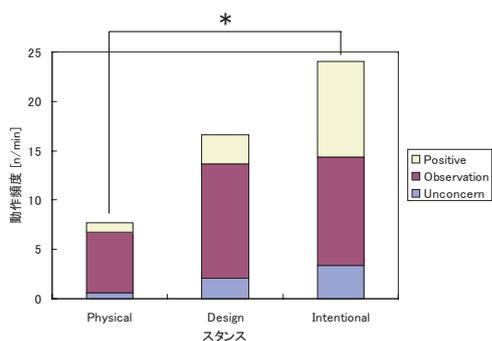


図 2: スタンスと動作頻度の関係

被験者が椅子に対して帰属した具体的な目的を聞いたところ、「自分を座らせようとしている」という我々の意図したもの他に、「逃げようとしている」、「机に向かおうとしている」など必ずしも「座る」ことに関しないものも含まれていた。

椅子に対して採用したスタンスを被験者に聞いてみたところ、物理スタンスが 3 人、設計スタンスが 7 人、意図スタンスが 11 人であった。着座までに要した時間と照らし合わせると、興味深いことに、意図スタンス採用者は早期に着座した被験者に多く、物理スタンス採用者のいずれもが着座しなかった。また、設計スタンス採用者はその中間であった。図 1 の行動分析結果をスタンスごとに分類して比較したのが図 2 である。ここでは被験者の動作を無関心、観察、積極の三つのカテゴリーに大別した。無関心動作は椅子以外のものを見ながら行う動作、観察行動は椅子の動きや機構を観察することによって椅子の振舞いを理解しようとする動作、積極動作は椅子に触れたり着座を試みたりしようとする動作である。これを見ると、物理スタンスで動作頻度が少なく、意図スタンスで動作頻度が高く、設計スタンスではその中間あたりであることが分かる。また、設計スタンスと意図スタンスでは観察動作の頻度は同程度であるが、積極動作の頻度は意図スタンスの方が高い。

意図スタンス採用者の積極的なインタラクションは次の理由によると考えられる。そもそも、意図スタンスを採用するだけでは具体的な意図は理解できない。具体的な意図は、周囲の環境も含め得られる様々な情報から推測する必要がある。ロボットとの身体的なインタラクションが可能な場合には自分の動きに対してロボットがどのように反応するかを調べることは意図の推測に役立つと考えられる。すなわち、積極的なインタラクションは、意図がありそうだが具体的にはよく分からないという状況において、自らが動くことによって意図を探索的に固定化していく役割を果たすと考えられる。

設計スタンス採用者が意図スタンス採用者よりも着座に要した時間が長いのは、設計スタンス採用者が振舞いを詳細に観察しないとその動作を理解できなかったからではないかと推測される。実際に、椅子の動きは、実験環境に置かれた 3 つの机の間を動きながら特定の場所に着座を誘導するというように、それほど単純なものではなかった。そのために、意図スタンスのような恣意的な目的帰属ではなく、設計スタンスのような論理的な目的理解では順を追って振舞いを観察することが必要なのである。物理スタンス採用者がほとんど動かず着座もしなかったのは、恣意的な目的帰属も設計原理の推測もできず、振舞いを全く理解できなかったからだと考えられる。

このように、意図スタンスの採用は振舞いの理解を促進し、その結果としてロボットとのインタラクションをスムーズにす

る。我々は、その後の実験によって、ロボットが人間に対して注意を向けることが意図スタンスの採用に寄与することを明らかにした [寺田 07a]。

以上のことをまとめると次のようになる。

- 意図スタンスの採用は積極的なインタラクションに繋がる
- 意図スタンスの採用は振舞いの直感的理解を可能にする

4. 機能と身体性

インタラクションデザインにおける身体の問題で考えるべき点として、身体と機能の関係がある。物理的身体を有するエージェントは実世界においてなんらかの機能を果たす。ヒューマノイドロボットのような多関節で人間の身体を模したロボットは汎用的でそれが果たす機能は多様である。しかし、ヒューマノイドロボットはこれまでに道具として開発されてきたモノの延長にはない。多くのモノは身体の機能を物理的世界に拡張する目的を持ち、人間との直接的、身体的インタラクションを行った結果としてそのモノの持つ機能を顕在化させる。一方で、ヒューマノイドロボットはそれ自身が何かの機能を実現するのではなく、人間が要求したタスクを人間に代わって実現することを期待されており、タスクを仲介するという点においてこれまでに創られてきたモノとは一線を画している。

我々は、これまでに人間が築いてきたモノとの関係をさらに促進するという考えのもとに人工物を自律的、知的にする取組を行ってきた。先に述べた椅子ロボットをそのテストベッドとして位置づけられる。椅子のようなモノはヒューマノイドロボットと異なり、その持つ身体と機能は限定的関係にある。例えば椅子の場合では座るために特化した形状を有するため、一見してそれが座るための機能を持っていることが分かる。しかし、モノが自律的になることで、人間側がモノに働きかけることによって行われてきた機能顕在化の過程が双方向になり、機能実現の過程の選択肢が増える。さらに、そこで行われるインタラクションの多様性により、本来の機能とは異なった機能が利用されたり新たな機能が創発する可能性がある。我々は、その多様なインタラクションの中から効率的、適切に目的の機能を実現するという問題を解決するための一助になるのが人間が人工物を意図的な存在として捉えることではないかと考える。椅子は本来設計スタンスを適用すべき対象である。しかし、先に述べたように、椅子のような人工物であっても、それが動く場合には人間は意図スタンスを採用することがあり、そのことが調和的な振舞いと直感的な機能理解に繋がるのである。

5. まとめ

物理的実体としての身体は、先入観を与えるものであり、エージェントの動作や機能に制約を与えるものである。人間とエージェントが同一の物理空間に存在し、目的を共有するような場面ではより親密な情報のやりとりが必要であり、そのような情報の多くは非言語的に伝達される。物理空間におけるエージェントとのインタラクションの意味は、身体を動かしながら対象との物理的位置関係を微妙にコントロールしつつ、反応を伺い、様々な情報を引き出すというアクティブセンシング的な役割があるのではないかと考えられる。そのような振舞いは通常の人間同士のインタラクションでは無意識に行われており、そのベースとなっているのが対象を意図的な存在だと仮定する「意図スタンス」の採用である。人間とエージェントが真のパート

ナーとなるためには、人間がエージェントを機械として捉えるのではなく意図的な存在として捉えることが重要である。

参考文献

- [Baron-Cohen 85] Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., and Frith, U.: Does the autistic child have a “theory of mind”?, *Cognition*, Vol. 21, No. 1, pp. 37–46 (1985)
- [Baron-Cohen 95] Baron-Cohen, S.: *Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind*, The MIT Press (1995)
- [Bassili 76] Bassili, J. N.: Temporal and Spatial Contingencies in the Perception of Social Events, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 33, No. 6, pp. 680–685 (1976)
- [Dittrich 94] Dittrich, W. H. and Lea, S. E. G.: Visual perception of intentional motion, *Perception*, Vol. 23, No. 3, pp. 253–268 (1994)
- [Gallagher 03] Gallagher, H. and Frith, C.: Functional imaging of ‘theory of mind’, *Trends in Cognitive Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 77–83 (2003)
- [Gergely 95] Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G., and Bíró, S.: Taking the intentional stance at 12 months of age., *Cognition*, Vol. 56, No. 2, pp. 165–193 (1995)
- [Heider 44] Heider, F. and Simmel, M.: AN EXPERIMENTAL STUDY OF APPARENT BEHAVIOR, *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, No. 2, pp. 243–259 (1944)
- [McCabe 01] McCabe, K., Houser, D., Ryan, L., Smith, V., and Trouard, T.: A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange, *PNAS*, Vol. 98, No. 20, pp. 11832–11835 (2001)
- [Reeves 98] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*, CSLI Publications (1998)
- [Scholl 00] Scholl, B. J. and Tremoulet, P. D.: Perceptual causality and animacy, *Trends in Cognitive Science*, Vol. 4, No. 8, pp. 299–309 (2000)
- [Terada 07] Terada, K., Shamoto, T., Mei, H., and Ito, A.: Reactive Movements of Non-humanoid Robots Cause Intention Attribution in Humans, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2007 (IROS 2007)* (2007)
- [Tremoulet 00] Tremoulet, P. D. and Feldman, J.: Perception of animacy from the motion of a single object, *Perception*, Vol. 29, No. 8, pp. 943–951 (2000)
- [山田 06] 山田 誠二, 角所 考, 小松孝 徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ (<特集> HAI: ヒューマンエージェントインタラクションの最先端), *人工知能学会誌*, Vol. 21, No. 6, pp. 648–653 (2006)
- [寺田 07a] 寺田 和憲: 意図的な機械, 山田 誠二 (編), 人とロボットの<間>をデザインする, 第 8 章, pp. 195–219, 東京電機大学出版局 (2007)
- [寺田 07b] 寺田 和憲, 社本 高史, 伊藤 昭: 心の理論の枠組を利用した人工物から人間への意図伝達, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 9, No. 1, pp. 23–22 (2007)
- [小松 08] 小松 孝徳, 山田 誠二: エージェントの外見の違いがユーザの態度解釈に与える影響 外見の異なるエージェントからの同一人工音の提示実験, *知能と情報 (日本知能情報フレンジ学会誌)*, Vol. 20, No. 4, pp. 500–512 (2008)
- [植田 07] 植田 一博, 福田 玄明: 対象の運動に対する関わりがアニマシー知覚に与える影響, in *The 21st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence* (2007)
- [大澤 08] 大澤 博隆, 大村 廉, 今井 倫太: 直接擬人化手法を用いた機器からの情報提示の評価, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 10, No. 3, pp. 11–20 (2008)