

マインドリーディングとビヘイビアリーディングの認知発達 Cognitive Development of Mind-reading and Behavior-reading

寺田 和憲^{1*} 今村 悠人² 高橋 英之³ Irini Giannopulu⁴
Kazunori Terada¹ Yuto Imamura² Hideyuki Takahashi³ Irini Giannopulu⁴

¹ 岐阜大学 工学部

¹ Faculty of Engineering, Gifu University

² 岐阜大学大学院 工学研究科

² Graduate School of Engineering, Gifu University

³ 大阪大学 大学院工学研究科

³ Graduate School of Engineering, Osaka University

⁴ IHU-A-ICM Prisme-Pierre & Marie Curie University

Abstract: People use two distinct cognitive strategy to understand and predict others' behavior: mind-reading and behavior-reading. While behavior-reading models other's behavior on the basis of superficial input-output relationship, mind-reading attributes abstract internal mental states to others as the cause of their behavior. In the present study, we investigated which cognitive strategy do four to five years and seven to eight children use to understand robot's behavior. Experiment with a robot which has two input-output relationship (one-to-one and one-to-many) was used. The result indicates that understanding the robot's behavior in terms of mind-reading is easier for the four to five years children than behavior-reading. However, children at seven to eight years shows different tendency in which they use behavior-reading to understand robot's behavior rather than mind-reading.

1 はじめに

ロボットや人工エージェントは機械である。すなわち、設計者によって記述された完全に既知な有限の規則の組み合わせに基づいて動作する。しかし、人はロボットや人工エージェントを社会的対象としてみなすことがある [Reeves 98, 寺田 13]。人が機械と社会的対象を分別するために用いている特徴を同定すること、どのような認知メカニズムでそれらの分別が行われるか、そのカテゴリーが進化的にどう形成され、どのように発達するかを明らかにすることはヒューマンエージェントインタラクション研究の主要な課題の一つである。

人が対象の振舞いの理解において“機械”と“社会的対象”の2つのカテゴリーを用いることは多くの研究者によって指摘されている [Dennett 87, Whiten 96, Call 08, 寺田 12]。哲学者 Dennett はそれらの2つのカテゴリーに対する認知戦略を設計スタンス (design stance) と意図スタンス (intentional stance) として区分した。“Machiavellian Intelligence” [Byrne 88] (邦題

は「マキャベリの知性と心の理論の進化論」) の著者の一人である Whiten はこれらの2つの振舞い理解戦略を behavior-reading と mind-reading と呼んで区別している [Whiten 96]。

Behavior-reading と mind-reading の違いは対象の振舞い理解において、入出力関係を抽象化するかどうかである。例えば、図 1a のようなネズミの行動モデル化を考える。この場合、ネズミの状態 (センサ入力) と行動出力はそれぞれ3個である。しかし、ネズミをいずれの状態に置いたとしても3つの行動が出力されるので、入出力関係の組み合わせは9通りである。Behavior-reading ではこれらの関係を全て記憶する。しかし、この方法では入出力関係が増えるたびにデータベースを更新しなければならないために多くの記憶領域を必要とする。

入出力関係の記述を単純化し、認知資源を節約する方法は図 1b のように「喉が渴いた」という抽象状態 (意図, 心) を媒介することである。意図という媒介変数によって入出力関係を簡略化して表現することは認知資源を節約するだけでなく、相手の行動予測に多大な貢献をする [Gergely 95, Call 08, Gergely 03]。例え

*連絡先: 岐阜大学 工学部
岐阜市柳戸 1-1
E-mail: terada@gifu-u.ac.jp

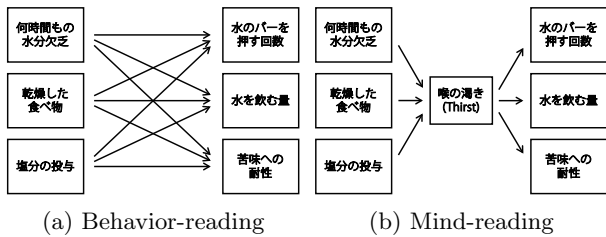


図 1: Behavior-reading と mind-reading の 2 つの振り舞い理解戦略 ([Whiten 96] を日本語に翻訳)。

ば、友人が「明日飛行機で東京に行く」と言ったとする。このときにその人の意図を「明日東京に行く」という手段を無視した表現にしておくと、台風で飛行機が欠航になった場合に「新幹線で東京に行く」という予測が立つ。さらに「明日」を無視し「東京に行く」と理解しておけば、翌日着の夜行バスで行くことも予測することができる。他者の発話を字義通りではなく、細部を無視して理解することは、日常のコミュニケーションや協力行動の生成において重要である。細部の違いを無視できないとされる自閉症者は特定のセンサ入力状態を充足させるために、定型発達者から見ると拘り行動とされる行動をする [綾屋 08]。

本研究では、ロボットに対する人の機械性の認知と社会性の認知発達メカニズムを明らかにするために可変抽象粒度ロボットを用いて 4, 5 歳児と 7, 8 歳児を対象とした実験を行った。この実験によって、4, 5 歳児では機械性の認知は未熟でかつロボットを社会的対象としてみならず、7, 8 歳になるまでの間に機械性の認知が急速に発達し、ロボットを機械的な対象としてみならずようになることを示唆する結果が得られた。

2 実験方法

2.1 参加者と実験計画

28 人の 4, 5 歳児 (男性 18 名, 女性 10 名) と 14 人の 7, 8 歳児 (男性 8 名, 女性 6 名) が実験に参加した。実験計画は 2 (年齢: 4, 5 歳・7, 8 歳) × 2 (入出力関係: 1 対 1・1 対多) の参加者間要因配置であった。各年齢の半数が 1 対 1, 1 対多条件に参加した。

2.2 実験装置

図 2 に実験に用いたロボットを示す。ロボットは NEXUS 2WD モバイルロボットである。このロボットの幅は 313mm, 高さは 267mm である。我々はこのロボットに次の 3 つの機能を追加した。

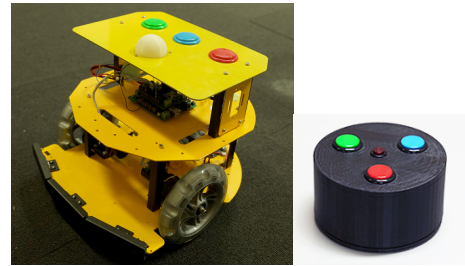


図 2: Robot and remote control device

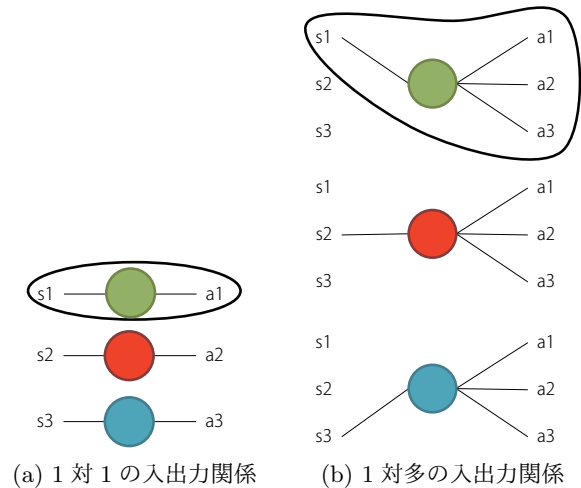


図 3: 実験で用いた二つの入出力関係

- 実験参加者とロボットの相互作用の際、実験参加者からの入力を受け付けるため赤、青、緑色のボタン各 1 つずつ設置した。なお、この機能は本実験では使用していない。実験参加者はリモートコントローラを用いてロボットへモータコマンドを入力した。
- ロボットの内部状態を表すために、ロボットの上中央に ABS 樹脂製の半円型ドームで覆ったフルカラー LED を搭載した。本実験では赤、青、緑のいずれかの色を発光した。
- ロボットを無線通信を用いて動かすために 3D プリンタで作成したりモートコントローラを用意した。このコントローラにはロボット上面と同じ赤、青、緑色のボタンが設置されている。無線通信には Digi 社の XBee を用いている。

ロボット及びリモートコントローラの 3 つのボタンスイッチのいずれかを押しとロボットは 3 種類の行動単位 (右前進, 左前進, 左後退行) のいずれかを出力する (約 20cm 移動する)。これはロボットの動作モードが 1 対 1 の時でも 1 対多の時でも同じである。

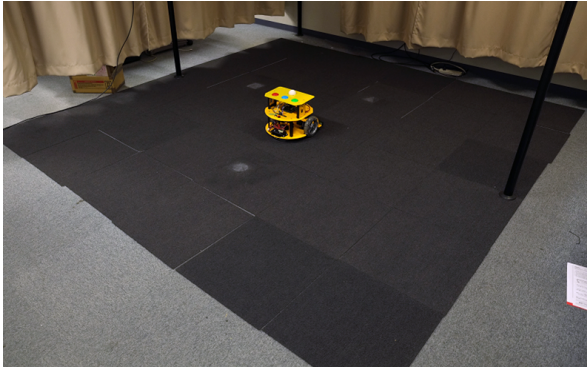


図 4: 実験環境

このロボットは入出力の対応関係の複雑性(抽象度)が可変である。入出力の対応関係は「1対1関係」,「1対多関係」の2種類である。ロボットに設置されているボタンスイッチ及びフルカラーLEDは入力と出力の関係を表象する。発光は行動出力時のみ行う。入出力関係の複雑さは以下の二種類である。

- 1対1

ボタンスイッチとフルカラーLEDの色が入力1-出力1の関係を表象している。ロボットはボタンスイッチの色に対応した行動単位を出力する。このときスイッチの色と行動単位の関係は固定されている。例えばボタンスイッチ1を押すと右前進を出力する。フルカラーLEDの発光色は入力されたボタンスイッチの種類とともに行動出力も表象する。

- 1対多

ボタンスイッチとフルカラーLEDの色が入力1-出力3の関係を表象している。ロボットはゴールに対して最適な行動単位を(ゴール到達行動)を出力する。例えばボタンスイッチ1を押すとゴール1に向かうための最適な行動単位を出力する。このときフルカラーLEDの発光色は入力されたボタンスイッチの種類とともにゴールも表象する。

1対多関係のときに出力される最適行動は、あらかじめ強化学習によって求めた行動価値関数に従って出力した。実験の環境を図4に示す。環境の広さは3m×3m程度の正方形の環境である。実験環境の床面に○□△の図形を描きゴール地点とした。ロボットの位置や姿勢は環境上部に取り付けたUSBカメラによって取得した。USBカメラより実験環境全体を真上から撮影し、そこから得られた画像データに対して、OpenCVによるテンプレートマッチングを行うことでロボットの位置を検出し座標を取得した。取得したロボットの

座標と角度のデータを用いて、予め求めておいた行動価値関数からその場からゴールに向かうための最適行動を計算し、その結果をロボットへ送信した。ロボットはデータを受信し動作出力した。なお、PC-ロボット間の通信はDigi社の「XStick」を用いて無線で行った。

2.3 手順

実験参加者に対してリモートコントローラを用いてゴール到達行動を行うように求めた。リモートコントローラのスイッチと行動出力の関係、どのように操作すればよいかについては一切説明を行わなかった。

Measurement

我々は被験者がボタンスイッチと行動出力の関係を理解し、3つのゴールへの到達タスクを完遂するのに要する時間を計測した。具体的には次の基準に従って時間を計測した。

口頭確認 ゴールに辿り着いた時に口頭で全てのボタンについてどのような動きを出力するかを理解しているかどうかを確認した。「赤ボタンを押した時は黄色いの(ロボットとは言わない)はどういう風に動いたかな?」のように聞いた。

行動確認 口頭で理解していることを確認した後に、ロボットを異なるスタート位置に起き、目的地(○△□のいずれか)を指定し、そこに到達させられるかどうかを確認した。ゴールに到達できたらその時間を理解時間とした。

ゴールに到達できない場合は、1つずつボタンを押すように指示し、どのような動きをしているかを確認するように口頭で伝え、理解を促した。

3 実験結果

4, 5歳児, 7, 8歳児それぞれがロボットの入出力関係を理解するために要した時間をそれぞれ図5a, 5bに示す。年齢(4, 5歳水準, 7, 8歳水準)と入出力関係(1対1水準, 1対多水準)を要因とした2元配置分散分析を行った結果、年齢要因($F(1, 38) = 1.98, p = .17$)と入出力関係要因($F(1, 38) = 0.03, p = 0.87$)に主効果は確認されなかったが、交互作用は確認された($F(1, 38) = 32.18, p < .001$)。単純主効果の検定を行ったところ、年齢要因の4, 5歳児水準において、入出力関係要因の水準間に有意な差が確認された($F(1, 38) = 15.18, p < .001$)。また、年齢要因の7, 8歳児水準において、入出力関係要因の水準間に有意な差が確認された($F(1, 38) = 17.02, p < .001$)。

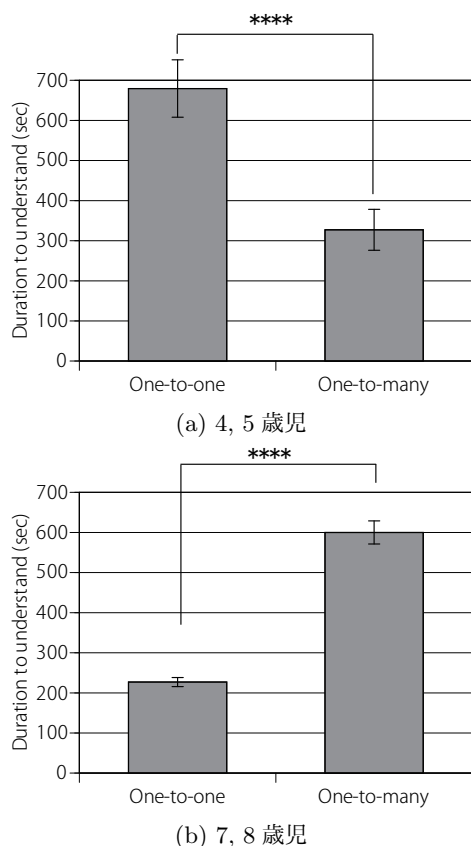


図 5: ロボットの入出力関係を理解しゴール到達タスクを完遂するのに要した時間。エラーバーは標準誤差を表す。有意差は単純主効果の検定結果を示す。**** $p < .001$ 。

4 議論

実験の結果、4, 5歳児はロボットが1対多の入出力関係を有するときに、その入出力関係を理解するのに要する時間が、ロボットが1対1の入出力関係を有するときよりも有意に早いことが明らかになった。そして、この傾向は7,8歳になると劇的に逆転することが確認された。このことは、4,5歳児がロボットの振舞い理解にmind-readingを使用し、behavior-readingを用いていないことを示唆する。一方で、7,8歳児はロボットの振舞い理解にmind-readingではなくbehavior-readingを用いることを示唆する。Mind-readingは人類を含む一部の霊長類にしかできないとされており[Call 08]、この能力は進化的にはbehavior-readingより後に獲得されると考えられる。また、発達の過程でもmind-readingはbehavior-readingの後に獲得されると考えられるが、本研究の結果は逆の順に獲得されることを示唆する。

この原因について考えられるのは、我々が用いたロボットに対して必要とされるbehavior-reading能力が3歳以前に獲得されているbehavior-reading能力と本質

的に異なるということである。我々のタスクでは、参加者はロボットをリモートコントローラによって操作することを求められた。遠隔操作におけるbehavior-readingが4, 5歳児にとって困難であった可能性がある。また、one-to-one条件で動作するロボットをゴールに到達させるためには、ロボット座標を基準として動作を生成しなければならなかった。すなわち自身の視点をロボットの視点に変換する必要がある。この困難さによってone-to-one条件でパフォーマンスが悪かった可能性がある。これらの可能性については、ロボットに搭載されているスイッチを直接押す実験によって検証することができる。

5 おわりに

本研究では、ロボットに対する人の機械性の認知と社会性の認知発達メカニズムを明らかにするために可変抽象粒度ロボットを用いて4, 5歳児と7, 8歳児を対象とした実験を行った。この実験によって、4, 5歳児では機械性の認知は未熟でかつロボットを社会的対象としてみなが、7, 8歳になるまでの間に機械性の認知が急速に発達し、ロボットを機械的な対象としてみながようになることを示唆する結果が得られた。しかしながら、実験に用いたタスクが遠隔操作、視点変換を要するものであったために、現段階ではこの結果を一般化することはできない。今後、一般化が可能であるかどうかを検証する研究を行う予定である。

謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 25119502, 15H02735, 26118005の助成を受けたものです。記して感謝します。

参考文献

- [Byrne 88] Byrne, R. W. and Whiten, A. eds.: *Machiavellian Intelligence: Social Expertise and the Evolution of Intellect in Monkeys, Apes, and Humans*, Oxford Science Publications (1988)
- [Call 08] Call, J. and Tomasello, M.: Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later., *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 12, No. 5, pp. 187–192 (2008)
- [Dennett 87] Dennett, D. C.: *The Intentional Stance*, Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press (1987)

- [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)
- [Gergely 03] Gergely, G. and Csibra, G.: Teleological reasoning in infancy: the naïve theory of rational action, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 7, No. 7, pp. 287–292 (2003)
- [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)
- [Whiten 96] Whiten, A.: When does smart behaviour-reading become mind-reading?, in Carruthers, P. and Smith, P. K. eds., *Theories of theories of mind*, pp. 277–292, Cambridge University Press (1996)
- [綾屋 08] 綾屋 紗月, 熊谷 晋一郎 : 発達障害当事者研究, 医学書院 (2008)
- [寺田 12] 寺田 和憲, 岩瀬 寛, 伊藤 昭 : Dennett の論考による 3 つのスタンスの検証, 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J95-A, No. 1, pp. 117–127 (2012)
- [寺田 13] 寺田 和憲 : ソーシャルマインドとメカニカルマインド, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 9, pp. 18–21 (2013)