

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700321

研究課題名(和文) ロボットを利用した発達障害児療育の有効性の認知科学的評価

研究課題名(英文) The exploration of behavioral and neural measurements for autism therapy using robot

研究代表者

高橋 英之 (TAKAHASHI, HIDEYUKI)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30535084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：対人応答性(他者に対する社会的態度の構築能力)が弱い自閉症などの発達障害者の療育手法として、単純で振る舞いを予測しやすいロボットとの交流を通じて対人応答性を引き出す試みがある。しかし対人応答性を定量的に評価する指標がこれまで殆ど無かったため、ロボットによる療育効果の客観的評価が難しかった。申請者は対人ゲームをプレイ中の独自の行動指標(エントロピー)と脳計測(fMRI)から、対人応答性を定量的に評価する客観的指標を開発した。

研究成果の概要(英文)：Mentalizing is the ability to attribute mental states to other agents. The lack of mentalizing, which is required in actual social contexts, may cause serious social disorders such as autism. However, the mechanism of online mentalizing is still unclear. In this study, we explored various behavioral and neural measurements indicating online mentalizing ability. We found that behavioral entropy (which indicates the randomness of decision making) was an efficient behavioral index for online mentalizing in a human-human competitive game. Participants played the game with a humanoid robot; the results indicated that the entropy was significantly higher in participants whose gaze followed the robot's head turn than not, although the explicit human-likeness of the robot did not correlate with behavioral entropy. We also found the neural correlates behind the online mentalizing ability.

研究分野：情報科学

科研費の分科・細目：認知科学

キーワード：自閉症 ロボット 対人応答性

### 1. 研究開始当初の背景

対人応答性（他者に対する社会的態度の構築能力）が弱い自閉症などの発達障害者の療育手法として、単純で振る舞いを予測しやすいロボットとの交流を通じて対人応答性を引き出す試みがある。しかし対人応答性を定量的に評価する指標がこれまで殆ど無かったため、ロボットによる療育効果の客観的評価が難しかった。申請者は対人ゲームをプレイ中の独自の行動指標（エントロピー）と脳計測(fMRI)から、対人応答性を定量的に評価する指標を開発してきた。本研究ではロボットと交流している被験者（定型発達、高機能の発達障害の成人と幼児）の対人応答性の変動を申請者が開発してきた手法により定量的に計測、それをもとに幼児にも適用可能なロボット療育の新しい客観的評価法の確立を目指した。

### 2. 研究の目的

本研究では以下の4つを明らかにすることを目的とした。目的1と目的2は、申請者がこれまで開発してきた手法のロボット療育への適応可能性について検証する研究であり。目的3と目的4は、これまでの研究にもとづいて幼児でも可能な新しいロボット療育評価法を開発するための研究である。

目的1. 継続的なロボットとの交流によって、健常成人被験者のロボットに対する対人応答性が向上するかどうかを、申請者が開発してきた指標（エントロピー、脳活動）にもとづき定量的に評価する。

目的2. 成人の高機能自閉症者に目的1の検討を行ってもらうことで、ロボットとの交流が発達障害者のロボット、そしてヒトに対する対人応答性を向上させるかどうかを定量的に評価する。

目的3. 被験者の振る舞い（動き・視線）や脳波と、エントロピーやfMRIによる対人応答性の定量的評価手法との関係を調べることで、幼児でも適用可能な新たな対人応答性の評価法を開発する。

目的4. ロボットを発達障害児が通うフィールドに通年で設置することで、ロボットとの交流が発達障害児の対人応答性に与える影響を、目的3の検討で開発した指標にもとづき定量的に評価する。

### 3. 研究の方法

まず成人健常者を対象として、ロボットとの交流が、ロボットに対する被験者の対人応答性（エントロピー・脳活動）を増大させるか調べる。またこれらの指標と、被験者の身体や視線の動きや脳波との対応を検討することで、幼児でも評価可能な新たな対人応答性の定量的指標の開発を進める。

そして成人高機能自閉症者で同様な検討を行うことで、ロボットとの交流を行う前後での発達障害者成人のロボットとヒトに対する対人応答性の向上をそれぞれ定量的に評価する。最後にこれまでの研究で確立してきた指標にもとづき発達障害児とロボットの交流が対人応答性に与える影響について定量的に評価可能かを調べる。

### 4. 研究成果

#### 1. ロボットに対する擬人化処理の多次元的な神経基盤の検討

われわれはしばしば機械であるロボットに心を帰属して擬人化する。しかし近年の質問紙研究で、このような擬人化は一つの軸では表現されておらず、多次元的な軸として処理されていることが分かってきた<sup>(1)</sup>。そこでこのような異なる擬人化の軸がどのように脳の中に表現されているのかを調べるために、様々な相手（人間、アロボット、賢そうなコンピュータ）と硬貨合わせ課題という対戦ゲームを行なっていると教示した際（実際には対戦相手は常に同一のコンピュータ）のそれぞれの対戦相手に対する脳活動の違いについて検討した。

ゲームの対戦相手として、人間女性、Actroid F（見た目が人間と酷似したロボット）、Infanoid（メカニカルなロボット）、Keepon（鳥の雛のようなロボット）、そしてcomputerの五種類の相手を用意した。被験者はMRI装置の中でゲームを行う前に、実際に各対戦相手と面会し、相手に簡単な自己紹介、対戦相手に対する印象、これから行うゲームに対する意気込み、の三点を述べるように求められた（図2）。被験者は各対戦相手と面会した後に、多項目に渡るロボットに対する印象（人間らしさ、賢さ、かわいさ、生物らしさなど）を7件法により評定した。その後、被験者はMRI装置の中に入り、各対戦相手と硬貨合わせ課題を行った。対戦相手の映像はムービーとして被験者に提示された。

結果として、被験者の対戦相手に対するアンケートの評定値を主成分分析することで、人間らしさの項目と正の相関がある二つの要因が見出された。一つの要因は、人間らしさに加えて、かわいさ、親しみ、温かさなどの項目と正の相関があった。このような要因の性質から、この要因を「共感的な擬人化」と呼ぶ。その一方、もう一つの要因は人間らしさに加え、賢さの項目とは正の相関があり、かわいさ、親しみ、温かさなどの項目と負の相関があった。このような要因の性質から、この要因を「志向的な擬人化」と呼ぶ。前者は、例えばドラえもんのように友だちになりうるロボットにおいて値が大きくなる擬人化の要因と言え、後者は、例えば2001年宇宙の旅のHALといったように、より温かみを取り去った知的なロボットで値が大きくなる擬人化の要因と言える。

各対戦相手の志向的な擬人化と共感的な擬人化の平均値を図1に示す。

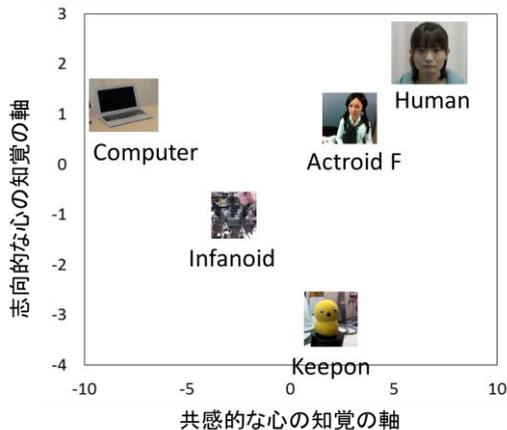


図 1. 各対戦相手の志向的な擬人化と共感的な擬人化の程度

この図では、人間の対戦相手は二つの擬人化の要因の値がともに大きく、人間に酷似した Actroid F は人間ほどではないがやはり二つの擬人化の要因の値がともに大きくなっている一方で、Infanoid はどちらの要因の値も低い。そしてキーポンは共感的な擬人化の成分の値が高く、志向的な擬人化の成分は極めて低く、逆にコンピュータは共感的な擬人化成分の値が極めて低い一方で、志向的な擬人化の要因の値が高い。コンピュータで志向的な擬人化の要因の値が大きくなった理由として、今回の実験ではコンピュータの画面上に複雑なプログラムのソースコードを常に変化させながら表示させていたため、非常に知的な印象を被験者に与えたためではないかと考える。

硬貨合わせ課題中のエントロピーと相関する擬人化の要因を調べた所、共感的な擬人化要因はエントロピーとの相関はなく、志向的な擬人化要因には正の相関がみられた。この結果から、硬貨合わせ課題の場合、主に志向的な擬人化の有無がゲーム中の行動に大きく影響を与えることが示唆された。

次に硬貨合わせ課題を行なっている被験者の脳活動を fMRI にて計測し、パラメトリック解析によりゲームの対戦相手の二つの擬人化の要因の値に相関する脳部位を探索した (図 11)。その結果、共感的な擬人化の要因とは、前頭葉内側面 (mPFC)、後部帯状皮質 (PCC)、前部上側頭溝 (aSTS) などの活動が正の相関を示すことが分かった (図 11 赤い領域)。一方で志向的な擬人化の要因とは、側頭極 (Temporal pole) の活動が正の相関を示した。また側頭・頭頂接合部 (TPJ) の活動はどちらの擬人化の要因とも相関を認めしたが、特に上部は共感的な擬人化の要因と、下部は志向的な擬人化の要因と相関を示した (図 4 水色の領域)。これらの脳部位はすべて、先行研究により他者とのコミュニケ

ーションなどにおける社会認知において重要な機能を有していることが示唆されている [Buckner 2007, Olson 07, Frith 10]。特に共感的な擬人化の要因と相関する前頭葉内側部などは、相手の立場になって思考する際に重要な機能を有していることが知られている一方で、側頭極などは知覚処理を情動に変換する自動的な機能を担っていると考えられている。これらの結果から、我々の脳内には擬人化にかかわる二つの異なる回路が存在しており、対象の性質に応じてこれらの働きが異なることが脳活動のレベルからも示されたと考える。

## 2. 自閉症児はロボットを擬人化するか？

自閉症児は他者に積極的な興味を示さない傾向がある。このような自閉症児の特性は、発達期における他者との交流の機会を減らし、本来自閉症児が獲得するポテンシャルを有している様々な社会的なアフオーダンスの獲得を阻害している可能性がある。

近年、自閉症児の他者に対する「無関心」の原因が、他者そのものにあるのではなく、他者に内包される“予測しづらさ”にあるのではないかと考えられている。(高橋・宮崎 2011)。自閉症の特性として、予測違反に対して過剰なまでの嫌悪を示すことが知られている。従って、心という観測不能な内部状態を内包し、それが時間軸に沿って動的に変化する他者は、自閉症児にとって“予測できない関わり合いたくないモノ”という位置づけに陥っている可能性がある。

近年、予測違反の量を自閉症児の許容レベルに抑えつつ、自閉症児のコミュニケーショントレーニングを行う一つの方法として、ロボットを用いたセラピーが注目されている (Kozima et al. 2009)。見た目や動きをプログラムによって厳密に統制可能なロボット相手であれば、予測違反の量を抑えた仮想的なコミュニケーションを自閉症児にとらせることが可能である。そしてロボットの見た目や動きを、自閉症児の発達の段階に応じて少しずつ実際の人間に近づけていくことで、彼らのコミュニケーションスキルを高めていけるのではないかと期待される。このようなロボットを用いたコミュニケーショントレーニングを行う際に、自閉症児がロボットを“珍しい物体”と認識していたら効果がなく、“擬人的な存在”として認識する必要があるだろう。しかし自閉症児がロボットをどのような対象として認識しているのかを定量的に示す明確な指標は未だ存在していない。本研究は、自閉症児がロボットをヒトと認識しているのか、モノと認識しているのかを、モーションキャプチャで計測した子どもとロボット間の空間的距離、ビデオのコーディング分析、第三者による感性評価、そして心拍変動という複数の指標から定量的に推定することを試みる。具体的には、自閉症児のロボットに対する“心理的距離感”に注目す

る。我々人間には、他者との心地良い空間的距離というものがあり、他者との親密さに応じて心地良いと感じる距離が狭くなることが知られている。このような相手に対して心地良いと感じる距離を心理的距離感という言葉で定義する。それを意図的な存在であると認識することで、例えロボット相手であっても我々は親密さに応じた心理的距離の調節を行うことが知られている (Walters et al. 2006)。従って、自閉症児がロボットに対する親しみの度合いに応じた心理的距離の調節を行なっているかどうかを調べることで、自閉症児がロボットを擬人的な対象として認識しているかどうかを推定できるのではないかと考えた。

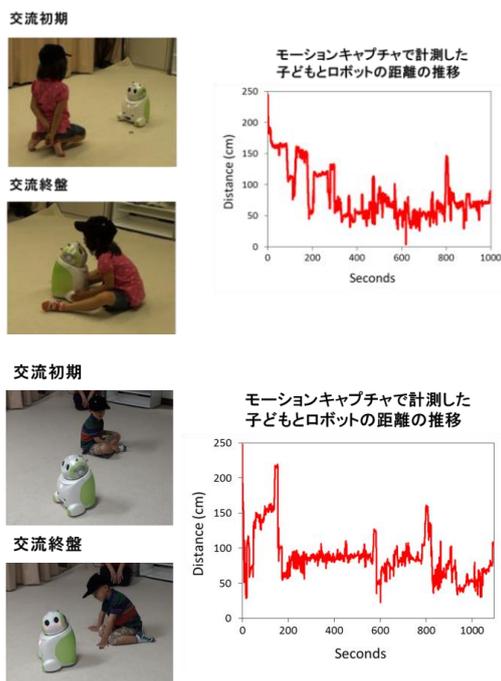


図2. 自閉症児のロボットの交流における、子どもとロボットの距離の変化

図2上は、定型発達児(女児 7歳)とロボット(PaPeRo, NEC社製 実験者による遠隔操作)の自由な交流における子どもとロボット間の距離の時間変化のグラフである。このグラフから、この子どもが少しずつロボットに対する空間的距離を縮めていることがみてとれる。また緊張をしていた交流前半に比較して、交流後半にはこの子供はロボットに対してより親密な交流(触れる、キスするなど)をとっていることがみてとれる。このように段階的にロボットに対する距離を縮めていくことは、この子どもがロボットを擬人的な存在として認識していることを示唆する。図2下は、自閉症的振る舞いを示す広汎性発達障害児(男児 4歳 ADHD傾向強い)とロボットの自由な交流における子どもとロボット間の距離の時間変化のグラフである。このグラフから、この子どもも段階的にロボットとの距離を縮めている傾向があることがみ

てとれる。またこの子供はロボットの言動に、「ありがとうございます」などの御礼を頻繁に繰り返したり、ロボットのダンスに合わせて、自らも身体を動かしたりと、ロボットを擬人的に扱うような振る舞いをみせた。この子どもの母親によると、子どもの様子は、初対面の人間と会った時の反応と類似しているとのことであった。これらの点から、この子どもはロボットを擬人的に扱っていたのではないかと示唆された。さらに一度、子どもがロボットのダンスの誘いを断った後、ロボットにすねるような振る舞いをとらせた際、「踊ります」と発言し、フォローをするような気遣いをみせていた。これは、ロボットに対して、子どもが関係を修復しようという動機付けをもっていることを示唆する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

Miyazaki, M., Takahashi, H., Rolf, M., Okada, H., Omori, T., The image-scratch paradigm: a new paradigm for evaluating infants' motivated gaze control, Scientific reports, in press. (\* equally contribution)

Takahashi, H., Terada, K., Morita, T., Suzuki, S., Haji, T., Kozima, H., Yoshikawa, M., Matsumoto, Y., Omori, T., Asada, M., Naito, E., Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain., Cortex, Available online 25 April 2014.

Takahashi, H., Saito, C., Okada, H. and Omori, T., An investigation of social factors related to online mentalizing in a human-robot competitive game., Japanese Psychological Research, 2013/04, 55(2), 144 - 153.

高橋英之, 石原尚, 他者とのエージェンシー知覚の脳内基盤を探る方法論としての Social neuro-robotics の提案., 日本ロボット学会誌. Vol. 31, No.9, pp.12-15, 2013.

高橋 英之、宮崎 美智子, 乳児の主体性の萌芽を視線随伴課題で探る, ベビーサイエンス, 2013/03.

高橋 英之、岡田 浩之、大森 隆司、金岡 利知、渡辺 一郎, エージェントの擬人化の背景にある並列的な認知処理, 人工知能学会誌, 2013/03, 28(2), 264 - 271.

高橋 英之, 岡田 浩之, 幼児はいかに他者という記号をロボットに見いだすか?, 人工知能学会誌, 2012/11, 27(6).

[学会発表] (計 8件)

H. Takahashi & M. Miyazaki, 招待講演, The sense of agency estimation in infancy from eye movement, Gaze, Bias, Learning II: Linking Computation, Neuroscience, and Cognitive Development, Tokyo, 2013/03

Takahashi, H., Miyazaki, M., Okada, H., & Omori, T., ポスター発表, Can young infants be aware of the self-conducted volitional movement on a computer display?, the 2012 International Conference on Infant Studies, Minneapolis, Minnesota, 2012/06/07-2012/06/09

Miyazaki, M., Takahashi, H., Okada, H., & Omori, T., 口頭発表, Using interactive eye-tracking to investigate infants' sense of agency, The 5th international developmental psychology eye tracking methods conference (EyeTracKids 2012), Minneapolis, USA, 2012/06/05-2012/06/05

高橋英之「ロボットの擬人化の背後にある複数の認知処理とその脳基盤」HCG シンポジウム 12月 熊本 (招待講演)

高橋英之・宮崎美智子「インタラクティブ視線計測から心の世界に迫る」比較心身症研究会 12月 東京 (教育講演)

高橋英之「ロボットの擬人化の背後にある複数の認知処理とその脳基盤」日本心理学会ワークショップ「社会的機能をはたす “相互作用” とは？」 9月 東京 (招待講演)

高橋英之「文脈情報の利用による不確実性対応の脳内メカニズム」日本生理心理学会シンポジウム 5月 札幌 (招待講演)

高橋英之・宮崎美智子「インタラクティブ視線計測から乳児の心の世界に迫る」日本生理心理学会シンポジウム 5月 札幌 (教育講演)

[図書] (計 2件)

エピソードでつかむ生涯発達心理学 (シリーズ生涯発達心理学), 岡本祐子, 深瀬 裕子(編著), ミネルヴァ書房, 2013/04/20

なるほど! 赤ちゃん学: ここまでわかった赤ちゃんの不思議, 玉川大学赤ちゃんラボ (共著), 新潮社, 2012/06/29

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
高橋 英之 (TAKAHASHI HIDEYUKI)

研究者番号: 30535084

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号:

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号: