

平成 22 年 6 月 14 日現在

研究種目： 基盤研究 (A)  
 研究期間： 2006～2008  
 課題番号： 18200018  
 研究課題名 (和文)  
 ヒトとロボットの原初的コミュニケーションに関する発達認知神経科学的研究  
 研究課題名 (英文)  
 The origin of communication between humans and robots: developmental cognitive neuroscience approach  
 研究代表者 開一夫 (HIRAKI KAZUO)  
 東京大学大学院情報学環・准教授  
 研究者番号 30323455

## 研究成果の概要：

本研究は、認知科学とロボティクス双方の研究領域に共通する課題として、原初的コミュニケーションにおける「円滑さ・自然さ」をとりあげ、これを計測・分析するための実験的枠組みと指標を構築することを目的とした。実施した主な研究項目は、母子間相互作用場面における母子双方の同時脳活動計測実験環境の構築と脳活動計測実験(1)及びヒト→ロボット→アンドロイドロボットを刺激としたEEG脳活動計測実験(2)である。

(1)に関しては、コミュニケーションの時間的側面に焦点をあてて、テレビモニターを介した母子間相互作用場面において映像遅延装置を用いて不自然なコミュニケーション環境を実験的に作り出し、遅延のないライブ条件と行動レベル・脳活動レベルでの比較を行った。これまでの分析の結果、遅延条件では乳児の下頭頂葉周辺におけるガンマ帯の活動が増大していることが発見された。

(2)に関しては、「見た目」の影響に焦点をあて、ヒトとロボットとアンドロイドロボットが同じ動作をしている刺激に対するmu波減衰を指標としたEEG実験を行い、ヒトではmu波減衰が生起するが、ロボットとアンドロイドでは生じにくいことを明らかにした。

この他、社会的参照行動を題材に視線計測実験実施し、表情認知と視線追従の関連性についても明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	22,800,000	6,840,000	29,640,000
2007年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
年度			
年度			
総計	37,900,000	11,370,000	49,270,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・心の理論

キーワード：心の理論、認知神経科学、発達科学、認知科学、アンドロイド

## 1. 研究開始当初の背景

ヒューマノイド・ロボットやアンドロイドの出現は、従来のロボット観を大きく変革し社会的に重要なインパクトを与えつつある。ロボットは、工場の生産ラインや危険な場所

における人手の「代替物」としてだけでなく、一般家庭や街中など日常的な場面で多くの人間と物理的空間を共有し、密に相互作用する「相手」としての役割を果たすことが期待さ

れつつある。しかしながら、コミュニケーションの相手として現時点のロボットを捉えると、未だ多くの課題が残されている。こうした課題の中には、発話の理解・生成など、長い間ロボットとは独立に研究されてきたものも含まれるが、センサとアクチュエータを有するコミュニケーションロボットに特化した問題も多い。例えば、視覚的認識能力をとると、人間とロボットの能力には大きな隔たりがあり、対象物を認識し「ヒト-ロボット-対象物」の3項関係に基づいてコミュニケーションを行うことができない。同様に、微妙な表情や動作の変化を検出することは現状の技術では困難で、感情や意図に基づいた相互作用を行うことができない。更に、ロボットの行動生成能力に関しても、二足歩行・走行など人型ロボットが移動する上で必要となる基本動作は実現されても、ジェスチャや感情状態（ロボットの内部状態）の表出（とそのタイミング）、および、コミュニケーションにおけるターンテイキングなどに関してはアドホックに作りこまれている。現状の人型ロボットは、「円滑で自然な相互作用」を目指してはいるものの、コミュニケーションにおける「円滑さ」や「自然さ」が達成されたかどうかを判定するための客観的な指標すら存在しない。

一方で、乳幼児を研究対象とする発達科学では、出生間もない乳児であっても養育者との間に原初的なコミュニケーションが成立していることが知られている。TrevvarthenらはダブルTV実験（ハーフミラー・ビデオカメラ等を用いてface to faceのインタラクションを実験的にコントロール可能にしたもの）において、ライブ条件とプレ・レコード条件（事前に録画された母側のビデオ映像が提示される条件）を設定し、母子双方の表情・音声を細かく分析した。その結果、ライブ条件における

養育者と子のやりとりは、一方向的ではなく、情動的にカップリングしていることが示された(Trevvarthen, 1979)。彼らの実験は、発話を意味レベルで解さない乳児であっても、コミュニケーションにおける社会的随伴性に関しては非常に早期の段階から敏感であることを明らかにした点で示唆深い。しかしながら、彼らの主張は、実験データが実験者（評定者）の（主観的ともとれる）コーディングに依存し、実験結果の再現性に問題があるなど

（Trevvarthenらは2ヶ月児でも社会的随伴性を検出できると主張しているが、後続研究の幾つかはこれを再現していない）の理由から認知科学におけるコミュニケーション理論の主流とはなっていない。こうした問題を解決するには、客観的かつ精緻にデータを取得できる新たな実験的枠組みが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、コミュニケーションロボットのデザインと母子間相互作用研究の両者を融合的・相補的に捉えなおすことによって、それぞれの問題点を解決することを目標とした。つまり、

- ① コミュニケーションロボットをデザインする上で欠けている「円滑さ・自然さ」の指標は、乳児を対象とした原初的コミュニケーション実験を通して獲得し、
- ② 母子間相互作用に関する厳密な実験を行う上で必要となる新たな実験的枠組みと指標を構築すること。

の2点を目標として掲げた。

①は、コミュニケーションにおけるロボットの評定基準として乳児の反応を用いるという着想に基づく。つまり、「ロボットに対する乳児の行動レベル・生理神経レベルの反応が、ヒトとの相互作用における反応と比較して、同等かあるいは類似していれば、ロボットは原初的レベルでの相互作用を円滑に行ったも

のとする」という仮定に基づいている。

Trevarthenらが主張するように、乳児が原初的レベルでのコミュニケーション能力を持つならば、対峙している対象（ロボット）が、

（原初的）コミュニケーションパートナーとして妥当かどうかを判定できるはずである。これは、「前言語的」な乳児をして始めて可能になるものである。日常的なコミュニケーション場面で自然言語を操る成人では、意味レベルでの自然言語理解・生成能力を持たない現状のロボットの原初的コミュニケーションとしての振る舞いを正しく判定できないからである。更に、乳児はロボットに関する事前知識をほとんど持たないと仮定できるメリットもある。

②はTrevarthenらのダブルTVパラダイムを現実のコミュニケーション場面に近づけ、かつ、より精緻なデータを取得可能にするものである。アバター(avatar)とは、化身・分身を意味し、最近ではCGキャラクタをアバターとしたインターネット上のコミュニケーションツールも存在する。本研究では、母子間コミュニケーション場面におけるアバターとして人型ロボットを使う。このためには、乳児・養育者双方の動作をリアルタイムに計測し、アバターであるロボットの動作に反映する必要がある。結果的に双方の動作の履歴が残され、後に客観的な基準を用いて分析することが可能となる。また、ダブルTVパラダイムでは乳児の2次元映像の認知・理解に関する問題点が残されてしまうが、実ロボットをアバターとして使えばこの問題を回避でき、かつ、コミュニケーションパートナー同士の物理的な空間は共有されるので、対象物を参照した3項関係に基づくコミュニケーションの分析も可能となる。

### 3. 研究の方法

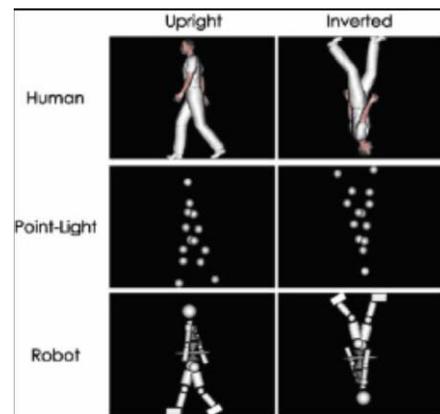
本研究では、社会的相互作用におけるコミュニケーションパートナーの外見と時間的随伴性に焦点を当てた3つの研究項目を実施した。

【研究項目1】事象関連電位(ERP)と周波数分析を用いたロボット/ヒト認知に関する研究

【研究項目2】母子間相互作用場面における脳活動計測

【研究項目3】視線計測を用いた社会的参照の発達研究

【研究項目1】では、「見かけ」と「動き」によるヒトとロボットの認識の違いを精査するため、下図のような刺激（外見がヒトの場合、ロボットの場合、ポイントライトの場合）を用いた事象関連電位実験と時間周波数分析を行った。これ以外にも、人間の実写と人間に酷似したアンドロイドの実写を刺激として、EEGの周波数解析(mu-suppression)を指標とした実験を行った。



【研究項目2】では、Trevarthenらの実験パラダイムを拡張し、母子双方の脳活動をEEGを用いて同時に計測した。Trevarthenらが母親の録画映像を用いたのに対し、ここでは、映像遅延装置を用いてコミュニケーションに4秒の遅延を挿入した条件とライブの条件を比較することで、より洗練されたパラダイムになっている。

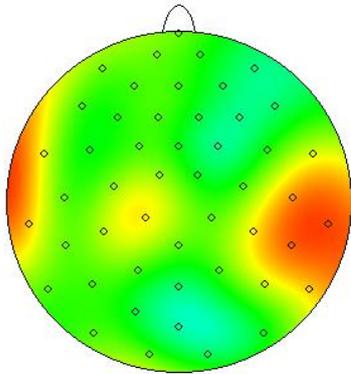
【研究項目3】では、「自己—他者—対象」の3項関係の発達における基盤と考えられている「社会的参照」についてEye-Trackerを用いた視線計測実験を12カ月前後の乳幼児を対象におこなった。

#### 4. 研究成果

【研究項目 1】のヒト・ロボット・ポイントライトの正立・倒立歩行運動を刺激として用いた実験では、条件によって「倒立効果」の有無に違いが見られた。倒立効果とは、顔・ヒト身体知覚時に見いだされる陰性成分(N170)の振幅が正立時よりも倒立時で大きく、正立時の潜時よりも倒立時において長いことにより特徴付けられる。興味深いことにオブジェクト知覚時には倒立効果が認められない。もしロボットが「もの(オブジェクト)」として認知されるなら、倒立効果は生じないはずである。実験の結果、成人では、ヒトの外見を持った歩行運動を提示した場合にのみ右半球で倒立効果が見られたが、他の条件では効果が見られなかった。この結果は、ヒト身体の外見の情報が特異的に処理されている可能性を示唆する。

また、ヒトとアンドロイドロボットを刺激として  $\mu$ -suppression を指標とした実験では、アンドロイドよりもヒト刺激の方が  $\mu$ -suppression が強く生起することが明らかになった。

【研究項目 2】の遅延コミュニケーション実験では、乳児側の注視時間分析とガンマ帯域のパワーを指標とした分析が完了している。これまでの分析の結果は、注視時間には条件間の差がみられなかったもので、EEGの周波数解析の指標では、遅延条件で乳児の下頭頂葉周辺におけるガンマ帯の活動が増大していることが発見されている(下図参照)。



母親側の分析は、モーションアーチファクトの影響が強く分析が困難な状況であるが、現在、スティルフェイス条件(母親が動作を停止する条件)を付け加えた実験を実施しており、これが完了すれば母親側の分析も同時に行うことが可能となる。

【研究項目 3】では、社会的参照における表情と視線追従の関係、及び、対象への選好について詳細な分析を行った。被験児に、恐怖顔での対象の注視、笑顔での対象の注視をそれぞれ提示した後に、対象の選好を調べた結果、12カ月前後の子どもで、恐怖表情で注視された対象よりも笑顔で注視された対象

を選好(リーチング)することが明らかになった。

ここで概要を述べた研究結果は、現在のところそれぞれ独立したものとなっているが、現在はこれらの結果を統括して、乳児の社会性・コミュニケーション能力の発達指標と、コミュニケーションロボット開発のための指標の構築に役立てていく指針である。

#### 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 61 件)

1. 松田剛, 開一夫 (2010) 事象関連電位を指標としたゲームキャラクターの自己同一視に関する検討, 認知科学, 17(1), 241-245. 査読なし.
2. 松中玲子, 開一夫 (2009) 乳児における情動・感情的情報の利用、およびその発達過程, 心理学評論, 52(1), 88-98. 査読なし.
3. Sotaro Shimada, Kensuke Fukuda, Kazuo Hiraki. (2009) Rubber hand illusion under delayed visual feedback. PLoS ONE, 4(7), e6185. 査読あり.
4. 且直子, 開一夫 (2009) 乳幼児におけるテレビ映像理解の発達に関する研究, 発達研究, 23, 115-130. 査読なし.
5. 志和敏之, 神田崇行, 今井倫太, 石黒浩, 萩田紀博, 安西祐一郎 (2009) 対話ロボットの反応時間と反応遅延時における間投詞の効果, 日本ロボット学会誌, 27(1), 87-95. 査読あり.
6. Hirotaka Osawa, Ren Ohmura, Michita Imai (2008) Using Attachable Humanoid Parts for Realizing imaginary Intention and Body Image, International Journal of Social Robotics, 1(1), 109-123. 査読あり.
7. 力石武信, 港隆史, 石黒浩 (2008) センサネットワークと一体化したアンドロイドシステムの開発, 情報処理学会論文誌, 49(12), 3821-3834. 査読あり.
8. 開一夫, 且直子, 有田垂希子 (2007) 乳児の人工物認知と人認知. ベビーサイエンス, Vol.6, 32-40. 査読なし.
9. 開一夫, 且直子, 有田垂希子 (2007) ロボットは社会的随伴性を獲得できるか. ベビーサイエンス, Vol.6, 48-50. 査読なし.
10. Itakura, S., Ishiguro, H. 他 4 名 (2008) How to build an intentional android: infants' imitation of a robot's goal-directed actions. Infancy, 13, 519-532. 査読あり.
11. 石黒浩 他 3 名 (2007) アンドロイドと

のアイコンタクトの成立条件の検証。  
情報処理学会関西支部支部大会講演論  
文集, 71-74. 査読なし.

12. Hiroshi Ishiguro(2007) Scientific issues concerning androids. International Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 1, pp.105-117. 査読あり.
13. Shimada, S., Hiraki, K. (2006) Infant's brain responses to live and televised action. Neuroimage, 32(2), 930-939. 査読あり.
14. Miyazaki, M., Hiraki, K. (2006) Delayed intermodal contingency affects young children's recognition their current self. Child Development, 77(3), 736-750, 2006. 査読あり.
15. 名部彰悟, 神田崇行, 開 一夫, 石黒 浩, 萩田紀博. (2006) 対話型ロボットのための友達関係推定モデル. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 8(1). 59-67. 査読あり.
16. Hiroshi Ishiguro. (2006) Android Science: Conscious and subconscious recognition, Connection Science, Vol. 18, No. 4, pp. 319-332. 査読あり.
17. Takashi Minato, Michihiro Shimada, Shoji Itakura, Kang Lee, and Hiroshi Ishiguro. (2006) Evaluating the human likeness of an android by comparing gaze behaviors elicited by the android and a person, Advanced Robotics, Vol. 20, No. 10, pp1147-1163. 査読あり.
18. 杉山治, 神田崇行, 今井倫太, 石黒浩, 萩田紀博, 安西祐一郎. (2006) コミュニケーションロボットのための指さしと指示語を用いた3段階注意誘導モデル. 日本ロボット学会誌, 24(8), 964-975. 査読あり.
19. 今井倫太, 鳴海真里子. (2006) 人間の五感を利用したロボットとのコミュニケーションへの没入の実現. 計測自動制御学会論文集. 42(4), 342-350, 2006. 査読あり.

他 42件

[学会発表] (計 23 件)

1. Goh Matsuda, and Kazuo Hiraki (2010) How do humanoids look like humans? An EEG study., Workshop on learning and adaptation of humans in HRI, 5th ACM/IEEE International conference on human-robot interaction, 2010年3月2日, Business Innovation Center Osaka
2. Kazuo Hiraki (2010) Development of Self and Other Recognition, Japan-US

Brain Research Cooperative Program Workshop: Development of the Social Brain, 2010年1月23日, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.

3. Goh Matsuda, and Kazuo Hiraki (2010) Is that a human being or a machine?: Mirror neuron activity during observation of humanoid robots., Japan-US Brain Research Cooperative Program Workshop: Development of the Social Brain, 2010年1月23日, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
4. Reiko Matsunaka, and Kazuo Hiraki (2009) Eye gaze specifically influences a cued object processing in 7-month-olds., XIVth European Conference on Developmental Psychology, 2009年8月20日, Vilnius, Lithuania.
5. 石黒浩 (2008) 構成的人間理解研究 - 日常活動型ロボットからアンドロイドまで-, 福井大学工学部知能システム工学科創設 10 周年記念公開シンポジウム 「未来を拓く知能システム工学」, 2008年12月12日, 福井大学.
6. 石黒浩 (2008) 日常活動型ロボットからアンドロイドへ～人間理解のためのロボット研究, 阪南大学特別公開講演会, 第 24 回フエジシステムシンポジウム併設講座, 阪南大学産業経済研究所, 阪南大学学会, 2008年9月5日, 阪南大学.
7. 石黒浩 (2008) アンドロイド研究と人間の理解, 日本医工学治療学会 第 24 回学術大会, 2008年4月19日, 幕張メッセ.
8. Eri Takano, Yoshio Matsumoto, Yutaka Nakamura, Hiroshi Ishiguro and Kazuomi Sugamoto (2008) Psychological effects of an android bystander on human-human communication, 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 08), 2008年12月1-3日, Daejeon, South Korea.
9. Yuichiro Yoshikawa, Kazunori Yamauchi, and Hiroshi Ishiguro (2008) Cascade effect in perceiving onset timings of others' responses and feeling about communication, the 30th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci2008), 2008年7月26日, Washington, D. C., USA.
10. Dan, N., Hiraki, K. et al. (2008) Infant's brain activity during observation of possible and impossible events on TV. Proceedings of the 16th international conference

- on infant studies. 2008年3月26日.
11. Miyazaki, M., & Hiraki, K. (2008) Two-year-olds' understanding of delayed video images of themselves. Proceedings of the 16th international conference on infant studies. 2008年3月26日.
  12. Matsunaka, R. & Hiraki, K. (2008) What do infants look the most to regulate their behavior? Proceedings of the 16th international conference on infant studies. 2008年3月26日.
- 他 11 件

[図書] (計 6 件)

1. Itakura, S., Okanda, M., Moriguchi, Y. (2008). Discovering mind: Development of mentalizing. In S. Itakura & K. Fujita (Eds.), Origins of social mind: Evolutionary and developmental view. Springer.
2. Miyazaki, M. & Hiraki, K. (2007) Video Self-Recognition in 2-year-olds: Detection of Spatiotemporal Contingency. In: Comparative Social Cognition. 慶應義塾大学出版会 (株). pp. 209-224.
3. 開 一夫 (2006) 岩波科学ライブラリー 「日曜ピアジェ 赤ちゃん学のすすめ」, 岩波書店.
4. 板倉昭二 (2006), 「私はいつ生まれるか」, ちくま新書.
5. 板倉昭二 (2009) アンドロイドの比較認知行動学的研究, 小野哲雄ほか (編) 「ロボットヒューマンインタラクション」, 共立出版.

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

なし

○取得状況 (計 件)

なし

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

開 一夫 (HIRAKI KAZUO)

東京大学・大学院情報学環・准教授

研究者番号：30323455

(2) 研究分担者

石黒 浩 (ISHIGURO HIROSHI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10232282

今井 倫太 (IMAI MICHITA)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：60348828

板倉 昭二 (ITAKURA SHOJI)

京都大学・文学研究科・准教授

研究者番号：50211735

(3) 連携研究者

旦 直子 (DAN NAOKO)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：40536877

松田 剛 (MATSUDA GOH)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号：70422376