

4-2 前言語的コミュニケーションの認知メカニズムの研究

4-2 Cognitive Mechanisms of Preverbal Communication

小嶋秀樹 仲川こころ

KOZIMA Hideki and NAKAGAWA Cocoro

要旨

〈ロボットを人間らしくすること〉と〈人間をより深く理解すること〉は、実は密接につながっている。本研究では、コミュニケーションという人間を特徴づける営みとそれを支える認知能力を解明するために、ロボット工学と人間科学を有機的につなげる研究を推進した。人間のコミュニケーションは、子どもと養育者(例えば母親)の間の触れあい・見つめ合いといった身体的コミュニケーションから始まる。本研究では、その発達メカニズムを解明することを通して人間のコミュニケーションの本質(コア)を探求し、またコミュニケーション発達障害を持つ子どもたちとの長期インタラクション実践を通して、注意と情動の共有メカニズムが人間のコミュニケーションには不可欠であることを明らかにした。

The goals of "understanding humanity" and "humanizing robots" tightly relate to each other. Infanoid Project has related robotics to human sciences in order to understand the underlying mechanism of social communication specific to humans and some species of primates. Early communication between a child and caregiver is mainly embodied through touch and eye contact. By investigating the developmental mechanism of the preverbal interaction, especially through our longitudinal observation of children with communication disorders, we investigated the core human communication capabilities and design principles for future info-communication systems with which we can make symbiotic relationships.

[キーワード]

非言語コミュニケーション, アイコンタクト, 共同注意, インタラクション, 発達障害

Non-verbal communication, Eye contact, Joint attention, Interaction, Developmental disorders

1 はじめに

コミュニケーションとは、互いの心にアクセスし合う活動である。相手の意図(何をしようとしているのか)や情動(状況をどのように評価しているのか)などを読み取り、あるいは変化させることで、相手の行動を予測あるいは誘導し、様々な社会的活動(協調や競争など)を成り立たせている[1]。このような〈心をつなげるコミュニケーション〉は、人とロボットの間でも可能だろうか。人がロボットに心を感じる条件は何か。ロボットが人に心を読み取るには何が必要か。これらに答えを与えることは、真の意味で人と共生できるロボットを実現するために、避けては通れない課題であろう。

〈心をつなげるコミュニケーション〉は、子どもと養育者(例えば母親)の間のアイコンタクト(見つめ合い)や身体接触・声・表情による情動のやり取りに始まり、やがて指さしや共同注意(同じ対象を見ること)による注意のやり取りへと深まっていく[2][3]。このような情動と注意のやり取りの中で、子どもと養育者は、まわりの世界を同じように知覚し、表情や声を通して心の状態——この世界をどのように感じ取っているのか——を参照し合うことで、互いの存在や世界とのかかわりを共同化していく。こうして子どもは周囲の世界を意味づけ・価値づけしていき、やがて言語や文化を習得したひとりの人間となっていく。

本論文では、このようなコミュニケーション発達を手本として、ユーザに〈心〉を感じさせ、その

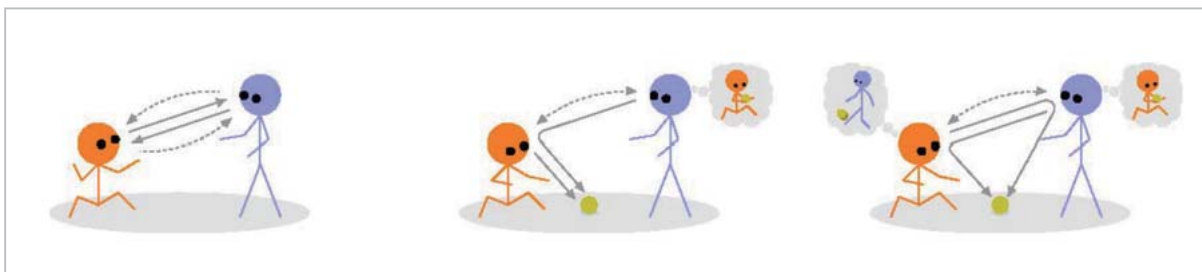


図1 母子インタラクションの発達

(a) 左：アイコンタクトの確立、(b) 中：養育者による欲求・快不快の読みとり、(c) 右：共同注意による知覚対象の共有

〈心〉とのコミュニケーションを可能にする情報通信端末の実現を目指した Infanoid プロジェクト (<http://www.infanoid.com>) について報告する。まず、子どものコミュニケーション発達に注目し、注意と情動のやり取りが〈心の帰属〉に不可欠であるという仮説[4][5]を導く。次に、著者らが開発したロボット Infanoid・Keepon を例として、ユーザと注意や情動をつなげる要素技術を紹介し、これらロボットと子どもたちのインタラクションを観察することから、ロボットへの〈心の帰属〉がどのようなプロセスで実現されているのかを、自閉症療育というフィールド実践[6][7]を通して考察する。最後に、これら議論を踏まえて、将来の情報通信端末のあるべき方向を示唆したい。

2 子どものコミュニケーション発達に学ぶ

生後1年間の発達によって、相手の意図や感情、すなわち〈心の状態〉を共感的に理解するための基礎が作られる[2][3]。ここから、言語・道具使用・文化(社会的慣習)など、様々な社会的スキル=コミュニケーション能力が開花していく。この発達を生後1年間の母子間——主たる養育者と乳児の間——のインタラクション[1]に見てみよう。

- 生後3か月ごろまで：発声・表情を伴った〈アイコンタクト〉(見つめ合い)が確立される。視線を合わせたりそらしたり、また声や表情を変化させることで、母子間のリズムミミックなターンテイキング——会話のような送受の交代——が形成されていく。ただし、この時間的構造は、養育者が乳児の応答パターンを読み取ることによって作り出される(図1a)。

- 生後3~9か月ごろ：養育者が乳児の欲求・快不快などを積極的に読み取り、それに応答してやることで、非対称ながらも外見上は〈心のつながり〉を感じさせるやり取りが形成されていく。このようなやり取りの中で、乳児は養育者からの働きかけを少しずつ予測できるようになっていき、やがてその予測を反映したかかわりを見せるようになっていく(図1b)。
- 生後9か月ごろから：視線や指さしなどを利用して、相手と一緒に同じ対象を見ること、すなわち〈共同注意〉が機能し始める。対象を共同化しつつ、その対象に向けられた声・表情・身体動作を互いに参照し合うことで、対象への意味づけ・価値づけ・扱いかたなどを母子間で共有していく。対象を軸としたやり取りの中で、乳児は自他を重ね合わせたり比べたりする経験を積んでいく(図1c)。

このように、〈アイコンタクト〉と〈共同注意〉によって、乳児と養育者は、互いの注意と情動をつなげあい、様々な対象へのかかわりを相互に参照し、共有していく。その対象とは、おもちゃのような〈モノ〉であったり、モノの存在・動き・関係のような〈コト〉であったりするだろう。それら対象への情動(楽しさ・驚き・不満など)を参照することで、相手がどのようにその〈モノ・コト〉を感じ取っているのかを共感的にとらえることができる。このような共感を通して、乳児は、様々な対象のとらえかた・扱いかたを、他者(特に養育者のような愛着対象)から学んでいく。

3 注意と情動をつなげるロボット

母子インタラクションの発達から、〈アイコンタクト〉や〈共同注意〉による注意や情動のやり取りが共感的コミュニケーションの発現に果たす役割を見た。ならば、ロボットに〈アイコンタクト〉や〈共同注意〉の機能を与えれば、そのロボットとの共感的コミュニケーションが実現できるのではないだろうか。この考えに基づいて開発したのが、子ども型ロボット Infanoid [8] [9] と、ぬいぐるみロボット Keepon [9] である。

3.1 子ども型ロボット Infanoid

Infanoid (インファノイド、図 2 a) [8] [9] は、4 歳児程度の大きさ (座高 480 mm) の上半身ヒューマノイドで、29 個のモータと多数のセンサを持っている。手には 5 本の指があり、指さしをしたりオモチャをつかんだりすることができる。頭部には左右の眼球があり、その〈視線〉を上下左右にすばやく動かすことができる。また、眉毛や上下の唇を動かすことで、様々な〈表情〉を作り出す。

眼球には、周辺視のための広角ビデオカメラ (水平画角 120 度) と中心視のための望遠ビデオカメラ (同 25 度) が装着され、その画像をコンピュータ処理することによって、人間の顔やオモ

チャを検出・追跡することができる。耳にあたる左右のマイクロフォンから人間の声を聞き取り、その韻律情報 (抑揚など) や音韻情報 (コトバの断片) を抽出すること、また、それらの情報を音声合成装置に入力することで、いわゆるオウム返しが可能になっている。

3.2 ぬいぐるみロボット Keepon

Keepon (きーぼん、図 3 a) [9] は黄色いダンゴ型の身体 (高さ 120 mm・直径 80 mm) を持っている。上側のダンゴは頭にあたり、左右の眼 (広角ビデオカメラ) と鼻 (実はマイクロフォン) が装着され、Infanoid とほぼ同じ視聴覚機能を発揮する。下側のダンゴは、あえていえば腹にあたる。モータや電子回路などは黒い円柱状の容器に格納され、そこからワイヤを通してマリオネットのように身体を動かすようになっている。身体内部には骨格・ビデオカメラ・マイクロフォンがあるだけで、頭や腹を手で触ると柔らかく変形するため、乳幼児にも安全だ。

このシンプルな身体にできるのは、次の 2 種類の動作だけである (図 3 b)。 (1) 注意の表出: 頭の方を上下左右に動かし、顔 (つまり眼) を環境中のある対象に向け、Keepon の知覚対象をユーザに伝える。 (2) 情動の表出: 視線の方向を保ったまま、身体の左右傾動や上下伸縮によって、楽しさや興奮といった〈心の状態〉をユーザに伝える。

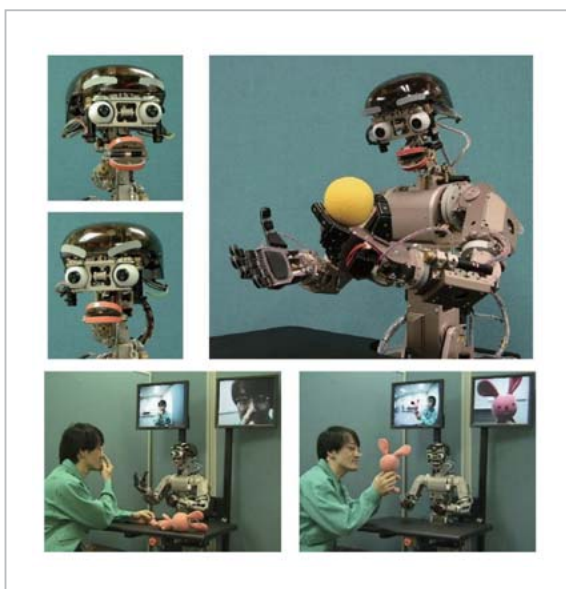


図2 子ども型ロボット Infanoid

(a) 上: 表情と身ぶり
(b) 下: アイコンタクトと共同注意

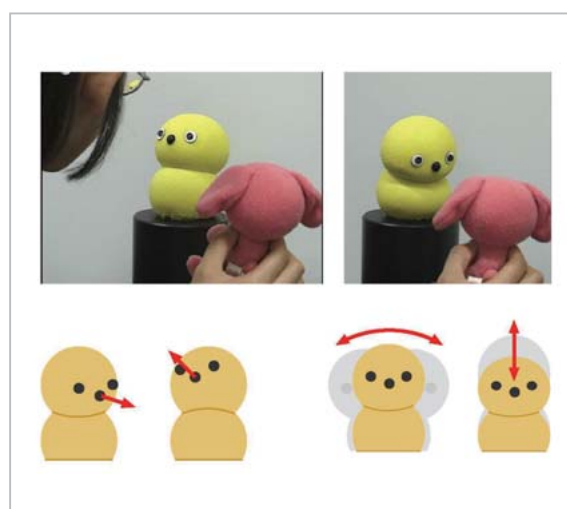


図3 ぬいぐるみロボット Keepon

(a) 上: アイコンタクトと共同注意
(b) 下: 注意の表出・情動の表出

3.3 注意と情動をつなげるメカニズム

どちらのロボットも、〈アイコンタクト〉と〈共同注意〉によって、ユーザ(特に乳幼児)との注意や情動のやり取りが可能になっている(図2b・3a)。「アイコンタクト」は、ビデオカメラの映像から人間の正面顔を検出し、その顔に視線を(あるいは頭部や手も)向け、追跡することで実現されている。

また〈共同注意〉は、ビデオカメラの映像から人間の顔方向をとらえ、その顔の向きに沿って対象(おもちゃなど)を探し出し、そこに視線を(あるいは頭部や手も)向けることで実現されている。「アイコンタクト」と〈共同注意〉によって、ロボットが何を知覚しているのか、それをどのように評価しているのかを、ユーザは直観的にとらえることができる。

4 子どもとのインタラクション

〈アイコンタクト〉と〈共同注意〉の機能を持ったロボットに、ユーザは〈心〉を感じるだろうか。ここでは、子どもたち——文化的バイアス(「ロボットは～であるべき」など)をあまり持たない被験者——を対象として、彼らがどのような自発的行動をロボットに向けるのかを観察する。

4.1 Infanoid とのインタラクション

主に幼児期(平均約5歳)の子どもたちが、何の予備知識も課題設定も与えられずに、ひとりずつ Infanoid と対面した。Infanoid の動作は、「アイコンタクト」とおもちゃへの〈共同注意〉を行き来する自動運転モードとし、必要に応じて実験者が Infanoid の注意方向(視線・指さしなどの方向)を遠隔操作するようにした。最初、子どもはひとりで Infanoid と対面し、3～4分後、養育者に子どもの隣に入ってもらった。子どもが飽きや疲れを見せるまで、平均30分間ほど、ロボットとのやり取りを楽しんでもらった。

このインタラクション観察から、幼児の自発的な Infanoid へのかかわりに、経過時間(t)ともに、次のような変化が見られた(図4a)。

- 第1フェーズ(t=～3分)：ひとりで Infanoid と対面した最初の約3分間、子どもたちは Infanoid の眼を凝視したまま緊張する。どのように働きかけるべきか分からず、Infanoid の視線がシフトしても眼を凝視したまま、困惑した様子を見せる。子どもたちは Infanoid を〈動くモノ〉としてとらえている。
- 第2フェーズ(t=3～10分)：養育者を安全基地として Infanoid 応答パターンを探索する。Infanoid の眼前でおもちゃを動かす・Infanoid の手に触れてみるなど、様々に働きかけ、新し



図4 子どもとロボットのインタラクション

(a)上：Infanoidの場合、(b)下：Keeponの場合

(いずれも左から、〈動くモノ〉として ・〈知覚するシステム〉として ・〈心をもったエージェント〉としての関わり)

い応答を見つけるたびに、養育者への声かけ・社会的参照を見せる。子どもたちは Infanoid を〈知覚するシステム〉としてとらえている。

- 第3フェーズ(t=10分～)：オモチャを見せる・手渡すなどして、そのときの Infanoid の感情を読み取ろうとしたり、コトバで質問する(どっちが好き?)・命令する(ギューと握って!)など、Infanoidにも意図や欲求があることを想定した社会的なかわりを深めていく。子どもたちは Infanoid を〈心を持ったエージェント〉ととらえている。

このように、子どもたちが、時間経過とともに Infanoid とのかかわりを、〈モノ〉〈システム〉〈エージェント〉との関係として、ダイナミックに作り上げていく様子が見られた[4][5]。

4.2 Keepon とのインタラクション

次に、乳児期(0歳児・1歳児・2歳児)の子どもたちが、何の予備知識も課題設定もない状況で、ひとりずつ養育者といっしょに Keepon と対面した。Keepon の動作は、頭の方向や情動表出を実験者が遠隔操作する手動運転モードとし、Keepon が乳児の顔やオモチャを注視するように、また乳児から何らかの働きかけ(アイコンタクトやタッチなど)があったときは、身体を数回伸縮させるなどポジティブな情動表出を行うようにした。インタラクション観察は、乳幼児が飽きや疲れを見せるまで、平均10分間あまり続いた。

このインタラクション観察から、乳児の自発的な Keepon へのかかわりに、次のような発達の変化の傾向が見られた(図4b)。

- 第1段階(0歳～)：Keepon を〈動くモノ〉として扱い、距離をおいて眺めたり(1～2歳児)、手や口を使ってその感触を確かめる(0～1歳児)。困惑や緊張はほとんど見せないが、Keepon の視線方向にはほとんど注意を向けていない。情動表出(特に身体の伸縮)にはポジティブに反応する。0歳児はこの段階から先には進まない。
- 第2段階(1歳～)：Keepon を〈知覚するシステム〉として扱う。Keepon へのかかわり(手で触れる・オモチャを眼前で動かすなど)と、安全基地としての養育者へのかかわりを行き来する中で、Keepon の応答パターンを探索してい

く。第1段階と比べると、やや距離をおいたかわりが多くみられる。1歳児はこの段階までとなる。

- 第3段階(2歳～)：Keepon を〈心を持ったエージェント〉として扱う。オモチャを見せる・コトバや身ぶりであいさつする(こんにち)だけでなく、Keepon が適切な応答を見せたときには、頭を撫でる(よしよし)といった、社会的・向社会的なかわりを見せるようになる。

このように、0歳児・1歳児・2歳児の間で、Keepon へのかかわりに大きな変化——〈モノ〉〈システム〉〈エージェント〉として——が見られた[4][5]。

5 自閉症療育への応用

前節で取り上げたインタラクション実験は、実験室でのその場限りの観察であり、子どものコミュニケーション能力の成り立ちを十分に見ることができなかった。そこで、より実践的なコミュニケーション発達の〈現場〉[5]として、自閉症などの発達障害を持つ子どもたちの療育施設を長期訪問し、日常的な療育活動の中で子どもたちとロボットのやり取りを縦断的に観察することを開始した[7]。

この療育施設では、子どもたち(主に2～4歳)と母親たち、そして療育士たちが、様々な自由遊びやグループ遊びを繰り返す。この多様なダイナミックな、それでいて限りなく日常的な実践の中で、子どもたちの行為はゆっくりと意味づけられていく。

5.1 療育施設での Keepon

この療育施設のプレイルームに、ぬいぐるみロボット Keepon を置かせていただいた(図5a)。約3時間の療育セッションの間、子どもたちは好きなときに Keepon で遊ぶことができる。自由遊びの間は、様々なオモチャの一つとして、いつでも Keepon で遊べる。またグループ遊びの間、Keepon は邪魔にならない場所(プレイルームの隅など)に移されるが、グループ活動に飽きや疲れを見せた子どもはいつでも Keepon のところに来ることができる。



図5 療育施設での Keapon

(a)左：プレイルームの様子、(b)右：無線版 Keapon

プレイルームでの Keapon は、高さ約 25 cm のプラスチック製のカバーに入っている (図 5b)。その中に電池や無線装置などを格納することで、別室にいる操作者が Keapon を手動運転モードで遠隔操作できるようにした。操作者は、Keapon が子どもの顔やオモチャを注視するように、また子どもから何らかの働きかけ (アイコンタクトやタッチなど) があつたときは、ポンポンと音を出しながら身体を数回伸縮させるといったポジティブな情動表出を行うようにした。

5.2 Keapon からみた子どもたち

このプレイルームで Keapon と子どもたちのインタラクションを 2003 年 10 月以来観察してきた。プロジェクト終了時 (2006 年 3 月) までに、約 100 セッション (700 人回以上) のインタラクション観察を実施した。子どもとロボットのインタラクションを、これだけ長期縦断的に観察した例はほかにないと思われる。

この観察を通して、子どもたちと Keapon のインタラクションを、Keapon 自身の眼からとらえることができた。Keapon という第 1 人称的な視点 (パースペクティブ)、つまり〈私〉の視点から、子どもたちとのかかわり、子どもたちの表情・しぐさ・声やコトバなどを記録・分析することができた [7]。この〈私〉とは、実際には Keapon の〈操作者〉の主観になるのだが、Keapon というシンプルな身体を通した子どもたちへのかかわり (ロボットの動作) はすべて記録され、再現可能になっている。つまり Keapon は、子どもとやり取りする〈私〉という現象学的な〈主観性〉と、それを誰でも追体験できる〈客観性〉、これら二つを併せ持った〈メディア〉であるといえる [4]。

Keapon から見た子どもたちは、Keapon へのかかわりを様々な形で見せてくれた。ときには、他人に (母親にも) あまり見せたことのない表情や、Keapon に帽子をかぶせてあげる・食べ物を食べさせる (フリをする) といった援助的な行為を、子どもたちは見せてくれた。全体としては以下の点が示唆される [7]。

- ヒトでもオモチャでもない Keapon だからこそ、対人コミュニケーションを苦手とする子どもたちが、安心感と好奇心を持って Keapon にアプローチすることができた。
- 子どもから Keapon への直接的なかわりだけでなく、そこで得られた楽しさ・驚きなどを他者 (母親・療育士・ほかの子ども) と共有しようとするような、対人的なかわりへの発展も多く見られた。
- Keapon へのかかわり方とその変化は十人十色であり、単なる障害名 (「PDD」「自閉症」「ダウン症」など) を越えた、その子らしさ・その子の発達の道すじを物語っている。

現在、Keapon から見た子どもたち一人一人の〈物語〉を、療育施設でのサービスや家庭での子育てに役立ててもらうために、保護者や療育士にフィードバックすることを進めている。

6 おわりに

子どもたちはロボットを〈動くモノ〉としてとらえる。しかし、ロボットの視線や表情から、子どもたちは自律的な主体 (= 生命性) をロボットの中に見るようになる。ロボットも〈私〉と同じように人やオモチャを知覚し、情動的に応答していることを感じ取っていく。こうして、それまで〈モノ〉

であったロボットは、知覚し応答する〈システム〉へと変化していく。次に子どもたちは、ロボットの注意や情動が、子ども自身の行為に随伴している(時間的・空間的な関連がある)ことに気づいていく。おもちゃを差し出す・頭をなでる・声をかけるなど、様々な行為をロボットに投げかけ、その応答に意味を見つけ・与えていく。こうして、ロボットと〈私〉の間に注意や情動のつながりを感じとることで、子どもたちから見たロボットは〈心を持ったエージェント〉へと変化していく[4]。

では、Infanoid と対面した子どもが最初強い緊張や困惑を見せたのに対して、Keepon と対面した子どもは緊張や困惑を見せることなく、自発的に Keepon とのインタラクションに入っていたのはなぜだろうか。子どもたちは最初、Infanoid の眼・手・口などの動きをバラバラにしかとらえていない。それぞれの身体器管から発せられる情報が豊富な反面、それらの総体(ゲシュタルト)として現われるべき自律性・生命性——ロボットも〈私〉と同じよう世界を知覚し、世界に働きかけていること——が個々の情報に埋もれてしまい、簡単にはとらえられない。個々の身体器管の動きを注意深く分析し、それらを統合することによって、初めて子どもたちは、生物が持つ〈まとまり〉に気づくようになる。一方、Keepon の身体は人間とは大きく異なるが、何かに向けられた注意や情動を表出するだけというシンプルさゆえに、ま

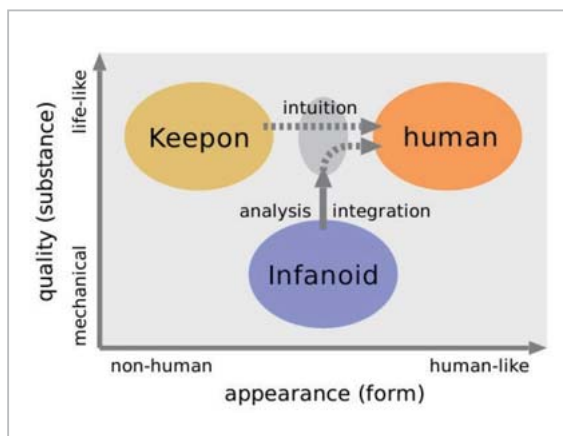


図6 子どもからみたロボット——意識的な分析・統合が必要な Infanoid と直観的な解釈が可能な Keepon

たその柔らかな肉質感によって、子どもたちは、ゲシュタルトとしての自律性・生命性を直観できる[5]。(図6)

以上をまとめると、ユーザに〈心〉を感じさせる情報通信端末は、必ずしも人間に近い形態を持つ必要はなく、むしろ注意や情動をユーザに分かりやすく表示できる形態を持つべきことが分かった。そして、〈アイコンタクト〉と〈共同注意〉を通してユーザとの注意や情動のつながりを作ることができれば、互いの〈心〉の存在を前提とした共感的コミュニケーション[10]が可能になるだろう。今後は、これらの知見を基に、より実践的なシステム実装及び評価を進めていきたい。

参考文献

- 1 小嶋秀樹, 高田 明, “社会的相互行為への発達のアプローチ: 社会のなかで発達するロボットの可能性”, 人工知能学会誌, Vol.16, pp.812-818, 2001.
- 2 Michael Tomasello, "The Cultural Origins of Human Cognition", Harvard University Press, Cambridge, MA, USA., 1999.
- 3 Colwyn Trevarthen, "Intrinsic motives for companionship in understanding: Their origin, development, and significance for infant mental health", Infant Mental Health Journal, Vol.22, pp.95-131, 2001.
- 4 小嶋秀樹, “赤ちゃんロボットからみたコミュニケーションのなりたち”, 発達, Vol.24, pp.52-60, 2003.
- 5 小嶋秀樹, 長滝祥司, “ロボットが/に心を感じる時: 現象学とロボティクス”, 長滝祥司(編著)現象学と二十一世紀の知, ナカニシヤ出版, pp.108-136(+カラー口絵), 2004.
- 6 小嶋秀樹, “ロボットは障害児教育に何ができるか”, 渡部信一(編著)21世紀テクノロジーと障害児教育, 学苑社, pp.105-113, 2004.

- 7 Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, and Yuriko Yasuda, "Children-robot interaction: a pilot study in autism therapy", in von Hofsten & Rosander (Eds.) Progress in Brain Research, Vol.164, pp.393-409, 2007.
- 8 Hideki Kozima, "Infanoid: A babybot that explores the social environment", In: Dautenhahn K, et al. (eds), Socially Intelligent Agent, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.157-164, 2002.
- 9 Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, and Hiroyuki Yano, "Can a robot empathize with people?", International Journal of Artificial Life and Robotics, Vol.8, pp.83-88, 2004.
- 10 K.Dautenhahn, "I could be you: the phenomenological dimension of social understanding", Cybernetic Systems Journal, Vol.28, pp.417-453 1997.



こしまひでき
小嶋秀樹

知識創成コミュニケーション研究センターユニバーサルシティグループ主任研究員(旧情報通信部門けいはんな情報通信融合研究センター社会的インタラクショングループ主任研究員)
博士(工学)
認知科学、発達心理学、ロボティクス、ヒューマンインタフェース



なかがわ
仲川こころ

元情報通信部門けいはんな情報通信融合研究センター社会的インタラクショングループ長期専攻研究員
博士(工学)
ヒューマンインタフェース、発達心理学、発達障害児療育