

子どものこころとからだを動かすロボット

Robot that Moves the Mind and Body of Children

田中 文英
Fumihide Tanaka

筑波大学 システム情報系 / JST さきがけ
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba / JST PRESTO
fumihide.tanaka@gmail.com

keywords: human-robot interaction (HRI), child-robot interaction, childhood education, educational support

1. はじめに

著者らは2004年以来、子どもたちの教育現場にロボット技術を導入する試みを続けている。ロボットは子どもたちに人気があるのみならず、適切に設計・導入されたロボットは現場で働く人々の活動を支援する強力なツールになり得る。子どもたちと、子どもたちの周囲の大人たちの双方に有用性を提供することが目的である。

本特集号の題目である「人を動かす HAI」は、著者らの研究活動中においても様々な場面でみることができる。概して、良くできたロボットは子どもたちのこころとからだの両面を何かしらの形で動かしているように思われる。逆に、子どもたちのこころやからだを良い意味で動かす得るがこそ、教育現場からも評価して頂いているように感じている。

こころを動かすことの代表例は、子どもたちの興味を引きつけることである。そして、興味を引きつけることについても様々なレイヤーで論じることが可能である。著者自身も、初めて目の前で実際に人型ロボットが動き始めた際、何とも形容のし難い不思議な感覚を覚えて、理由は明確な言葉で説明できないもののかく目の前の存在が気になってしまうという気持ちになったことを今も覚えている。こうした感覚・衝動は、エージェンシー認知などのキーワードで、古くは知覚心理学や認知科学の関連知見と結び付けられながら近年のロボット研究でもホットなトピックになりつつある。その一方で、より高度なレイヤーでの興味誘引も様々な形で起き得ることが知られている。近年のロボットは、依然として完全自律で長期間にわたって人間と関わり続けることは困難であるものの、特定の条件下ですでに人間たちの中で社会性を持ち得る存在になっている。本稿でも紹介するように、そうしたロボットは子どもたちの行動欲をかきたて、からだをも動かす存在になっている。

本稿では、著者らのこれまでの研究活動中で観察された人を動かす HAI の事例を紹介すると共に、教育支援にもたらすインパクトについて説明する。

2. 保育所での観察事例

本章では、2004年から2007年の間にカリフォルニア大学サンディエゴ校の付属保育所で行われたフィールド実験 [Tanaka 07, 田中 08] における観察事例を紹介する。子どもたちとロボットの間の社会性発達を調べながら、同時にロボット技術の教育応用を目指す目的で、小型の人型ロボットが約5か月間にわたり継続的に保育所内の一教室（2歳未満乳幼児クラス）に導入された。ロボットは歩行動作、ジェスチャー、頭部の動き、発声などがオペレータにより遠隔操作され、通常の教室活動に子どもたちの一員として混じって参加した。また、時にはダンス動作のプログラムや、ステレオカメラ画像を用いて子どもたちの動きに反応する擬似模倣プログラムなど、自律行動プログラムも試された。

子どもたちを動かしたロボットの最初の事例は、この一連のプログラムで動くロボットである。同教室では毎朝、子どもたちに運動を促すダンスの時間があつた。教師たちは教室の一部屋で音楽をかけて、そこに子どもたちを呼び集めて皆で一緒に運動するよう指示を出す。しかしながら、特に低年齢の子どもたちの場合、日々続けて特定の活動に集中させるのはさほど容易なことではない。教師たちの呼びかけのみで全員が部屋に集まるのはまれであり、そのため教師たちは一人一人の場所に行き何とかして連れてくることになる。そして教師たちは、1日の活動の中で類似の状況に何度も対応し、かつ、それを毎日続けている。これはじっさい肉体的にもかなり大変なことである。こうしたダンス活動の時間に、前述のダンス動作のプログラムや擬似模倣プログラムを実行する人型ロボットを導入したところ、子どもたちは自発的に部屋に集まってくるのが多く教師たちにも好評であった。当然のことながら目新しさの効果も存在し、一定期間が経過すると子どもたちの興味は最初の頃ほどは引きつけられないことも観察されたが、インタラクティブなプログラムの中には、長期間にわたり子どもたちの興味を引きつけることに成功したものも存在した [田中 08]。

次に、より高度なレイヤーにおける興味誘引の事例を二

つ紹介する。一つ目は、動物行動学 (ethology) 分野 [Eibl-Eibesfeldt 58] で古くから知られる displacement effect と呼ばれる現象に類似した観測事例である。子どもたちのロボットへの興味持続度合を定量化する目的で、実験時に撮影された映像を用いて子どもたちの行動分析が行われた。具体的には、子どもたちからロボットへの接触行動を分析した。そして、接触行動の発生頻度を調べたところ、実験開始直後 (~1 週間) は値が小さいものの、徐々に増加していき、次いで減衰するという山型の傾向が見られた。これは、子どもたちは当初ロボットに対して慎重に行動していたが、慣れるに従い積極的に関わる (触れる) ようになり、次いで徐々にその傾向も薄れていったものと解釈できる。その一方で、このロボットと同時に教室内に常に配置していたロボット型の玩具 (自動作しない玩具) に対する子どもたちの行動を同様に見ていくと、興味深い現象が観察された。この玩具に対する接触行動頻度は、ロボットに対する場合と異なり、実験開始直後は顕著に大きな値を示し、次いでロボットへの接触行動頻度が増加するに従い逆に減少していくという傾向が観察された。ここで実験開始直後に見られた顕著に大きな値はじっさい特異な値であり、通常の教室 (ロボットを導入しない教室) ではまず観察されないほどの大きな値であった。以上の現象は次のように解釈される。子どもたちは最初の頃、ロボットの存在が気になるもののそれに対して直接的なインタラクション (接触行動) はもてず、その代替物 (displacement) として類似の玩具を頻繁に手にとったものと思われる。現場に居た著者らの主観的な観察でも、子どもたちは当初、ロボットに対してどこか不可解に感じるものの気になって仕方がない存在に感じているように思われた。こうした、ある種の違和感を覚えながらも、それが故にその存在に引きつけられてしまうというもののデザインは、ここで導入されたロボット機体のプロダクトデザイン [沢井 04] にも見てとることができ興味深い。

高度なレイヤーにおける興味誘引事例の二つ目は、ロボットへの「嫉妬感」に関する事例である。保育所における日常生活の中に深く溶け込んでいたロボットに対して、2 歳に満たない子どもたちとの間でも、時として高度に社会的な関係を見ることができた。5 か月間におよぶ共同生活中のある期間において、子どもたちの中でロボットに対して何かしらの物体をプレゼント (手渡したり、頭に寄せたり) する行為が流行した時期があった。子どもたちは我先にと教室中にある物体をロボットに差し出し、ロボットがそれを掴むと、さながら自分たちの弟や妹 (あるいは子ども?) にするのと同じようにロボットの頭をなでて、ロボットに対して微笑んだりする様子が頻繁に見られた。現場に居た著者らには、その時期のロボットは非常に子どもたちに人気があるように見えた。ところがその一方で、ロボットが人気を集めていくことに不満を感じているように見える子どもも居て、そうし

た子どもからは、他の子どもたちがロボットに手渡したプレゼントをロボットの手から取ってしまったり、他の子どもたちがロボットにプレゼントしようとする行為を阻害する (間に入ったり、手を途中で掴んだりする) 行動が見てとれた。これらはあくまで著者を始め現場に居た大人たちの主観的な解釈であるが、その子どもはロボットに対して嫉妬感のようなものを覚えているように思われた。しかし、興味深いことに、ビデオ分析の結果からはこうした子どもはロボットの近くに居る割合が高く、かつインタラクション頻度も高いことが判明した。つまり、このロボットはその子どもに対して嫉妬感を与えていた可能性があるものの、結果としてその子どもの興味を強く引いていたものとも解釈できる。

本章では、保育所の日常的な教室活動という文脈の中で観察された、子どもたちのこころとからだを動かすロボットの事例について紹介した。引き続き次章では、より具体的に教育支援の色合いを強めた文脈の中における事例について紹介する。

3. 子どもからのケア行動を誘引するロボット

2008 年以降、著者らは主につくば市内の教育フィールドにおいて、3 歳以上の子どもたちを対象にロボット導入の試みを継続している。前章にて紹介した探索型の研究と比べて、この年齢帯では、より教育支援の目的を強めた活動を展開してきている。

この中で著者らは、ケア・レシーバー型ロボット (CRR) と呼ばれる、従来の教育支援ロボットとは真逆の発想に基づくロボットの研究を進めている [Tanaka 09, Tanaka 12]。CRR について説明する前に、従来の教育支援ロボットについて概説する。これまでの教育支援ロボットは、子どもを教えたり、子どもの面倒をみたりする目的で開発されるものが中心であった [Kanda 04, Han 05, You 06, Lee 11]。教示行為を広義のケア行為に含めるとすると、このタイプのロボットは子どもをケアするケア・ギバー型のロボットであると見ることができ、NEC 社の PaPeRo は子どものケアをうたった最初のロボットであり、近年では韓国 Yujin Robot 社の irobiQ を始め、類似カテゴリに属するロボットが続けて開発されている。

これとは逆に、著者らの提案する CRR は、子どもたちからケアを受けるよう設計された (ケア・レシーバー型) ロボットである。つまり、子どもたちを教えるのではなく、子どもたちが教える (子どもたちから教わる) タイプのロボットである。そして、子どもたちに CRR を教えさせることによって、結果的に子どもたちへの学習効果を高めること (learning by teaching) を目指す。例えば、あいさつの言葉がうまく言えないロボットを教室に導入し、子どもたちにロボットへあいさつの仕方を教えるよう促す。そして、子どもたちがロボットを教えることによって、子どもたち自身もあいさつをしっかり行えるよ



図1 英単語学習の場面に導入された CRR [Tanaka 12]: (上写真) 英単語カードを用いたレッスンに CRR が導入された。(下写真) CRR に直接教示を行う子どもの様子。

うになることを目指す。2章で紹介したフィールド実験から、ある種のロボットは子どもたちの自然な世話欲を強く誘引することが観察されており、こうしたロボットへの教示も積極的に行われるものと予想される。

その後行われた幾つかの実証実験 [Tanaka 12, 松添 13] により、CRR を用いた学習促進は実装可能かつ有効であることが判明しつつある。最初の実験はつくば市内にある子ども向け英会話教室にて行われた。同教室に通う3歳～6歳の子どもたち17名に対して実験が行われ、CRR を導入したレッスンが子どもたちの未知英単語（英動詞）学習を有意に促進し得ることが確認された。ベースとなるレッスン内容は、教師が2パターンのカード（絵柄が描かれたカードと該当動詞名がプリントされたカード）を用いながら、子どもたちに英動詞を教えるというものであった。例えば、「brush」という動詞名カードに対応する絵柄カードには、歯磨きをしている人間の姿が描かれていた。こうしたカードを用いたレッスンは普通の教室でも日常的に行われている。このようなレッスン中に、Aldebaran Robotics 社製の小型人型ロボット NAO を用いて実装された CRR を導入した。この CRR は子どもと一緒にレッスンに参加するが、意図的に「できが悪い（英動詞の意味を聞かれても誤った動作を出力する）」ように操作されていた。CRR と一緒にレッスン参加している子どもはすぐにそうした CRR の特徴を把握するため、教師が CRR に教示行動を示した上で「このロボットに（英動詞名）」を教えてあげてね」と誘導すると、それ以降子どもは自発的に CRR に対して教示行動を行う。教

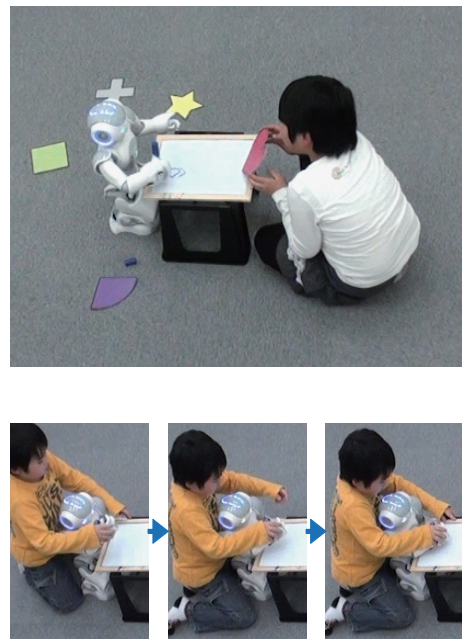


図2 図形学習の場面に導入された CRR [松添 13]。子どもは CRR の手をとって図形の描き方や名称を教示している。この例においても、CRR を教えることが子ども自身への学習に繋がったことが確認されている。

示行動の具体的形態としては、大別して以下3種類のものが観測された。英動詞レッスンの場合、最も頻繁に観測されたのは直接教示（direct teaching）と呼ばれるもので、子どもがロボットの手足をとって直接該当する動作の教示を行うものである（図1参照）。その他、子ども自身によるジェスチャーを用いた教示や、声による教示なども観察された。実験の結果、CRR を導入したレッスンは、カードのみで行われる通常のレッスンと比較して、子どもたちの未知英動詞に関する事後テスト正解率を有意に高めたことが確認されている [Tanaka 12]。

CRR を用いた学習支援の枠組は応用範囲が広く、英単語学習以外の様々な場面においても応用が可能である。著者らは引き続き、図形描写タスク（図2）においても CRR の導入が有効であることを別のフィールド実験により確かめている。英動詞タスクの例と同様に、ここでは図形を正しく描写できない CRR をレッスン中に導入し、子どもに CRR を教示させることによって、結果的に子どもの学習（図形の英語名称や書き方）を促進することに成功している。本例においても子どもたちは様々な方法で CRR に教示を試みることが観察されており、やはり CRR の手をとって描画を教える直接教示等が観察された。また、この実験では、異なる学習能力を有する CRR の間でその導入効果が比較調査されている [松添 13]。

以上、本章にて紹介した CRR も、子どもたちの興味を引く（こころを動かす）と同時に、直接教示などの形で子どもたちの行動をも誘引している（からだを動かす）例に該当する。ここではさらに、その特性を子どもたちの学習促進という形で活かす試みについて紹介した。

4. む す び

本稿では、子どもたちのこころとからだを動かすロボットの研究事例について紹介した。すでに幾つかの文献（一例として [Sharkey 08] など）で議論されているように、このようなロボットを研究開発・導入する際には、倫理面での問題が無いかなどについて慎重な配慮が必要である。しかしながら、そうした配慮をとった上で、現場の人々（教師や保護者など）に十分な説明と理解を経て導入されるロボットは、著者の経験では現場においても非常に好意的に受け止められている。それはやはり、子どもたちのこころやからだを適切に「動かす」ということが早期教育の場面では価値を有することであり、そのためにロボットが貢献できる可能性を現場の方々感じて頂けているからだと筆者は考えている。

ロボットを用いた教育支援の研究は未だ黎明期にあり、個別の事例がぼつぼつと報告され始めている段階にある。ある程度の事例蓄積がなされてきた段階では、事例を体系化し、整理することが要求されるものと思われる。その際には、本稿で述べた「こころ／からだを動かす」という尺度は一つの整理軸になるかもしれない。また、当然のことながら、動きの量のみならず動きの質を議論することが重要となる。子どもたちのこころやからだを「どのように」動かすのが好ましいかは、簡単に答えの見つかる問いでは無い。おそらく、絶対的な答えは必ずしも存在しないものであることが予想され、各々現場の、各々状況に応じて求められる答えは変わってくるのではないかと思われる。それ故、様々な可能性の選択肢を示すことも技術者にとって重要な仕事であるものと思われる。

謝 辞

本研究は、科研費（23680020）、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの支援を受けて行われた。実験に御協力頂いた株式会社こども英会話のミネルヴァ、実験参加者および保護者の方々、スタッフの方々に深く感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Eibl-Eibesfeldt 58] Eibl-Eibesfeldt, I. and Kramer, S.: Ethology, the comparative study of animal behavior, *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 33, No. 3, pp. 181–211 (1958)
- [Han 05] Han, J., Jo, M., Park, S., and Kim, S.: The educational use of home robots for children, in *Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005)*, pp. 378–383, <http://dx.doi.org/10.1109/ROMAN.2005.1513808>, Nashville, TN, USA (2005), IEEE
- [Kanda 04] Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D., and Ishiguro, H.: Interactive robots as social partners and peer tutors for children: a field trial, *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, No. 1-2, pp. 61–84 (2004)
- [Lee 11] Lee, S., Noh, H., Lee, J., Lee, K., Lee, G. G., Sagong, S., and Kim, M.: On the effectiveness of robot-assisted language learning, *ReCALL*, Vol. 23, No. 1, pp. 25–58, <http://dx.doi.org/10.1017/S0958344010000273> (2011)
- [Sharkey 08] Sharkey, N. E.: The Ethical Frontiers of Robotics, *Science*, Vol. 322, pp. 1800–1801, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1164582> (2008)
- [Tanaka 07] Tanaka, F., Cicourel, A., and Movellan, J. R.: Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. (PNAS)*, Vol. 104, No. 46, pp. 17954–17958, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0707769104> (2007)
- [Tanaka 09] Tanaka, F. and Kimura, T.: The use of robots in early education: a scenario based on ethical consideration, in *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)*, pp. 558–560, <http://dx.doi.org/10.1109/ROMAN.2009.5326227>, Toyama, Japan (2009), IEEE
- [Tanaka 12] Tanaka, F. and Matsuzoe, S.: Children teach a care-receiving robot to promote their learning: field experiments in a classroom for vocabulary learning, *Journal of Human-Robot Interaction*, Vol. 1, No. 1, pp. 78–95, <http://10.5898/JHRI.1.1.Tanaka> (2012)
- [You 06] You, Z.-J., Shen, C.-Y., Chang, C.-W., Liu, B.-J., and Chen, G.-D.: A robot as a teaching assistant in an English class, in *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)*, pp. 87–91, <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICALT.2006.31>, Kerkrade, The Netherlands (2006), IEEE
- [松添 13] 松添 静子, 田中文英: 教育支援ロボットの賢さの違いが子どもの英単語学習に及ぼす影響, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 2, p. in press (2013)
- [沢井 04] 沢井 邦仁: “QRIO”におけるデザインプロセス, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 8, pp. 979–983 (2004)
- [田中 08] 田中文英: 人間型ロボットと乳幼児の日常インタラクションの研究, 発達する知能～知能を形作る相互作用～(シュプリンガー・ジャパン), pp. 175–212 (2008)

[担当委員: ××○○]

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

著 者 紹 介

田中 文英(正会員)

2003 年 東工大 博士課程修了。博士(工学)。ソニー(株)及びソニー・インテリジェンス・ダイナミクス研究所(株)、University of California, San Diego を経て、現在、筑波大学 システム情報系 准教授, JST さきがけ研究員を兼務。人間-ロボット間インタラクション、発達学習などの研究に従事。2001 年 人工知能学会全国大会優秀賞, 2005 年 IEEE 国際会議 RO-MAN Best Paper Award など受賞。