

身体表現を用いた人とロボットの共創対話

小野 哲雄 今井 倫太 神田 崇行 石黒 浩*

ATR 知能映像通信研究所

E-mail: tono@mic.atr.co.jp

要旨

本稿では、コミュニケーションにおける身体表現に注目し、共創対話のモデルを提案する。共創対話とは、従来の情報技術では十分に扱えなかった、身体と同調的動作による対話者間の関係の構築、および、この関係に基づく情報伝達のメカニズムを説明するためのモデルである。本稿では、このモデルの妥当性を検証するため、人とロボットのインタラクションに関する実験を行う。具体的には、順路案内の場面における人とロボットの身体表現と情報伝達との関連に注目する。実験の結果、人とロボットのインタラクションでは、人がロボットの身体の向きや、腕、首の動きに引き込まれるように同調的な動作をしたとき、円滑な情報伝達が行われることが明らかとなった。

Embodied Communication Emergent from Mutual Physical Expression between Humans and Robots

Tetsuo Ono Michita Imai Takayuki Kanda Hiroshi Ishiguro

ATR Media Integration & Communications Research Laboratories

Abstract

In this paper we propose a model of embodied communication focusing on physical expression. This model aims at clarifying the mechanism of communication based on the relationship which emerges by the entrainment resulted from mutual physical actions. Psychological experiments were carried out to explore the validity of our proposed model. Concretely speaking, the experiments focused on a correlation between physical expression and utterance understanding in human-robot interactions. The results of the experiments showed that subjects could communicate with a robot smoothly only when the robot practiced sufficient physical expression entrained subjects' actions.

1 はじめに

ネットワーク関連技術に代表される情報技術の急速な発展と普及は、我々の生活環境を大きく変化させている。しかし、その急速な発展と普及が、かえって人と機械、人と人のインタラクションの問題点を浮き彫りにしている。たとえば、最新の技術の導入が人と機械の不適合を助長したり、また有用と思われた情報技術が人と人の自然なコミュニケーションを阻害す

る要因となったりしている。本稿では、人とロボットのインタラクションをとおして、コミュニケーションに本質的に必要となる要因とは何かについて議論する。

従来の情報技術は、通信回線の伝送路にのるような「伝達」できる情報のみを扱い、コミュニケーションの場で対話者間の相互作用によって創られるような「共創」される情報は対象としてこなかった。このことが、人と機械、人と人のコミュニケーションにおける不自然さや違和感を生じさせる原因となっているのではな

*和歌山大学システム工学部

いだろうか。たとえば、音声情報だけを取り出した電話や、テキストだけを用いた電子メールの使用は、その利便性ととも、コミュニケーションにおける齟齬も産み出している。逆に、情報を伝え合うようなコミュニケーションではなくても、たとえば一緒に歩く、同じ物を見ることによりお互いの気持ちが伝わるが多い。つまり、通信回線の伝送路にのらない「共創」される情報が、コミュニケーションの成立に大きな役割を果たしていると考えられる。

上記の問題点を考察するため、本稿では、コミュニケーションにおける身体表現に注目する。本稿の身体表現は、コミュニケーションにおいて話し手側に無意識的に生じ、さらに聞き手もそれに引き込まれるように同調的に行う身体動作を意味する。この同調的な動作は、対話者間に関係を構築する。このため、対話者同士は構築された関係に基づき、情報を「共創」するような自然なインタラクションを実現することができる。本稿では、これらのプロセスを説明することが可能な共創対話のモデルを提案する。さらに、実際に構築したコミュニケーションロボットを用いて、人とロボットのインタラクション実験を行い、提案したモデルの妥当性を検証する。

2 共創対話のモデル

本稿では、コミュニケーションにおける身体表現に注目し、共創対話のモデルを提案する。本モデルは、従来の情報技術では十分に扱えなかった、身体の同調的動作による関係の構築、および、この関係に基づく情報伝達のメカニズムを説明することを目指す。

具体的には、本稿では、順路案内の場面における人と人および人とロボットのインタラクションを分析し、本稿で提案したモデルの妥当性の検証を試みる。我々はこれまでの研究 [3, 4] から、順路案内において順路を教える人と教えられる人の間に、無意識的な身体動作の同調が見られることを示した (図1上)。また、このような同調的な身体動作は、空間情報を円滑に伝えるのに有効に機能していることも明らかとなった。

本稿では、上記のような情報の伝達と身体動作の関係を説明するため、共創対話のモデルを提案する。図1下に、本モデルの概要を示す。本モデルの特徴は、コミュニケーションにおける空間表象の形成 (認識) と自律的・同調的な身体動作 (産出) を不可分とする点である。つまり、順路案内では、順路を教える人は自律的な身体動作をしながら、伝えるべき空間表象を

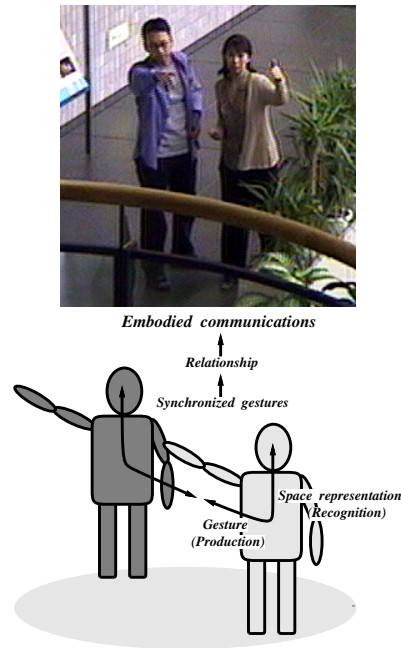


図 1: 人と人のインタラクションにおける身体動作の同調の具体例と共創対話のモデル

形成していく。この身体動作は、空間表象の形成やそれに基づく発話を容易にすると考えられる [2]。また、この身体動作は、順路を教えられる人の身体動作を引き込むはたらきを併せもつ。さらに、教えられる人はこの身体動作によって、教える人と同じ座標系をもつことにより自身の空間表象を形成しやすくなると考えられる。この教えられる人の身体動作はまた、教える人の身体動作や空間表象の形成にフィードバックされる。このような同調的な身体動作により対話者間に関係が構築され、この関係に基づき空間情報が伝達され、空間表象が形成されると考えられる。

本稿では、以上のようにコミュニケーションの場で対話者間の相互作用によって「共創」される情報に注目し、対話のモデルを提案する。さらに、提案した共創対話のモデルの妥当性を検証するため、人とロボットのインタラクション実験を行う。本研究でロボットを用いる理由は、実験においてパラメータの設定が容易なこと、および、人と人工物の相互作用に関する研究に貢献できることである。さらに、提案したモデルは、ロボットの新たな構築方法にも貢献できると考える。

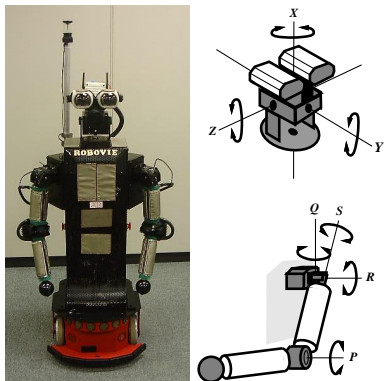


図 2: 実験で用いるロボット Robovie の外観 (左) および頭, 首, 腕の動作機構 (右)

3 コミュニケーションロボット Robovie

本研究で用いるロボット Robovie のハードウェア構成および機能について簡潔に述べる。図 2 左に, Robovie の外観を示す。本ロボットは, 3 自由度の首, 片側 4 自由度の腕 (図 2 右参照) をもち, 人と同様の身体表現が可能である。また, 超音波センサと全方位視覚センサを用いることにより, 人の位置を検出できる。具体的には, 超音波センサから得られる情報により人を含めた障害物の方向と距離を計算し, 全方位センサから得られる全方位画像から肌色を検出し, 人の顔の位置の同定を行う。さらに, 本研究の実験で用いる場所の位置情報は, ロボットにあらかじめ与えられた 2 次元平面の地図上に示される。また, ロボット自身の現在位置は, 全方位センサから得られる情報により, 地図上に同定される。ロボットはこれらの情報を用いて, 一定の身体表現と発話により人に対して順路案内を行うことができる。また, 音声認識システムは, ある一定以上の音声パワーがマイクから入力されたとき, それを被験者からの質問と判断し, ロボットは目的地までの順路を合成音声により被験者に教示する。

Robovie のソフトウェア構成について簡潔に述べる。人とロボットのコミュニケーションでは, 人の行動に即座に応じるといった即応的な行動とコンテキストを保持した計画的な行動の双方が必要とされる。Robovie では, 漸時的な行動モジュールの追加により, これら双方の行動が実現できる状況依存モジュールのアーキテクチャを採用している [1]。図 3 に, モジュールネットワークの例を示す。各モジュールは追加・削除可能なロボットの行動モジュールであり, これらの行動モジュールを逐次的に実行することによりロボットを制御している。

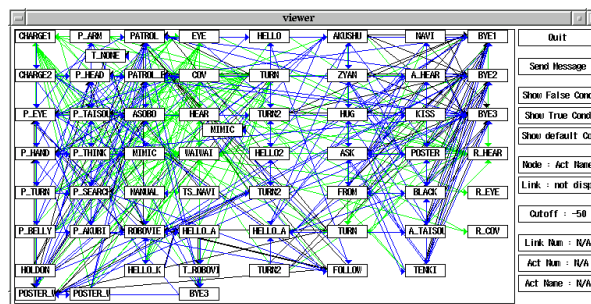


図 3: 状況依存モジュールに基づく Robovie の行動制御システム

4 実験と考察

4.1 実験方法

人とロボットのインタラクション実験の具体的な手続きは以下のとおりである。

実験の概要: 本実験では, 順路案内の場面における, 人とロボットのインタラクションのメカニズムについて調べる。具体的には, ロボットが被験者に目的の場所までの順路を教示する。このときのロボットの身体表現の違いが, インタラクションの成立にどのような影響を与えるかについて調べる。

被験者: 男女の大学生・大学院生 30 名。これらの被験者を 6 条件 (C-1 ~ C-6) にランダムに配分する。なお, 被験者は, 実験環境を訪れたことがなく, 部屋の配置, 順路については全く知らない。

実験環境: 図 4 に実験環境の概要を示す。位置 S は被験者の初期位置, 位置 R はロボットの初期位置である。位置 A はロボットが被験者に順路を教示する場所, 位置 B は目的の場所 (ロビー) である。位置 T1 ~ T4 は, ロボットが人に教示する, 位置 A から位置 B への順路における方向転換の場所である。

実験手順:

1. 被験者は, ロボットに順路を教えてもらい, 目的の場所 (ロビー; 位置 B) へ移動するように, 実験者から教示を受ける (位置 S)。ロボットへの質問は, 「休憩するロビーを教えてください」である。
2. 被験者が位置 S から A へ, ロボットが位置 R から S へ移動する。

3. 位置 A において、被験者がロボットに質問し、ロボットはそれに答える。ロボットの発話は、あらかじめ用意しておいた合成音声ファイルにより行われる。発話内容は、「まっすぐ行く、右に曲がる、左に曲がる、右に曲がる、左に曲がる、到着です」である。この発話のときの、ロボットの身体表現を変化させることにより 6 つの条件を設定する。
4. ロボットの順路案内が終わったら、被験者は位置 B への移動を試みる。
5. 被験者が位置 B へ到着するか、もしくは目的の場所への順路がわからなくなり、実験の継続を断念した時点で、実験終了とする。
6. 実験終了後、被験者は質問票に答える。

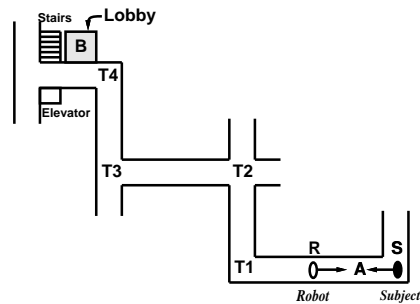


図 4: 人とロボットのインタラクション実験の環境: 被験者, ロボット, 目的の場所および曲がり角の配置

実験条件: 本実験では、インタラクションにおけるロボットの身体表現を実験の要因として、以下の 6 条件を設定した (図 5)。

- 条件 1 (C-1): ロボットは、全く身体表現をしない。
- 条件 2 (C-2): ロボットは、被験者が右に進むべきときは左腕を、左のときは右腕を動かすことにより、方向を指し示す。
- 条件 3 (C-3): ロボットは、条件 2 の身体表現に加え、発話ごとに視線を被験者に向ける。
- 条件 4 (C-4): ロボットは、身体を被験者の進行方向に回転させる。
- 条件 5 (C-5): ロボットは、条件 4 に加え、被験者が真っ直ぐ進むべきときは右腕を前に振り上げ、右に進むべきときはその腕を右に振り、左に進むべきときは左に振る。
- 条件 6 (C-6): ロボットは、条件 5 に加え、発話ごとに視線を被験者に向ける。

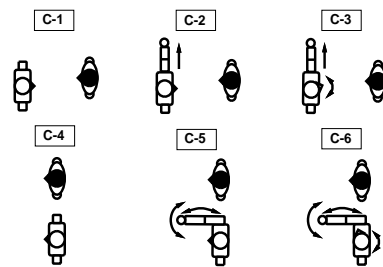
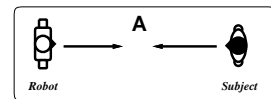


図 5: 人とロボットのインタラクション実験における条件設定

り構成)を設定した。被験者はこれらの質問に 7 件法で回答する。

4.2 実験の仮説

本実験では、以下の仮説に基づく 3 つの予測の検証を行う。

仮説: 被験者とロボットの間のインタラクションにおいても、身体の同調的動作による関係の構築、および、この関係に基づく円滑な情報伝達の実現という共創対話のモデルのメカニズムが成立する。

予測: 人と人のインタラクションに近い条件設定になるほど (条件 1 から条件 6 に近づくほど)、

予測 1: 被験者のロボットに対する同調的な動作が多くなる

予測 2: 被験者のロボットに対する主観的評価が高くなる

評価方法: 評価は、被験者の行動観察および質問票への回答の結果により行う。質問票では、ロボットに対する心理的な指標に基づく評定、ロボットの発話の理解度について被験者に回答を求めた。心理的な指標に基づく評定は、「親近感」、「誠実さ」、「信頼感」、「知性」、「外向性」、「優しさ」に関する 6 評定項目 (12 の質問よ

予測 3：被験者は早く正確に目的地に到着できるようになる

4.3 実験結果

本節では実験結果に基づき、4.2節の3つの予測を検証する。

予測 1 の検証

まず、予測 1 の検証を行う。被験者のとったロボットに対する身体配置は、図 5 に示した条件どおりであった。次に、図 6 に、各条件ごとに被験者のとった身体表現の出現割合を示す。この分析では、全く身体表現を行わなかった被験者 (Nothing)，手だけを進行方向などに向けて動かしていた被験者 (Hand)，肘の高さまで手を上げ進行方向などに向けて動かしていた被験者 (Elbow) に分類した。この結果を分析したところ、身体表現の出現割合と実験条件の相違には有意な関連があることが確認された ($\chi^2_{(10)} = 25.210, p < .01$; 詳細は [3] 参照)。この分析結果から、ロボットの身体表現が増加するほど (条件 1 から条件 6 へ移行するほど)、被験者の身体表現も同調的に増加しているといえる。また、各条件ごとに被験者がロボットへ視線を向けた回数の平均を分析したところ、条件の主効果が有意であることが確認された ($F_{(5,24)} = 8.496, p < .001$)。特に、ロボットが被験者の方に首を向ける C-3 条件と C-6 条件では多くなっていた。

上記の実験の様子を以下の図に示す。まず、図 7 にロボットを全く見ず、身体表現もしない被験者の様子 (条件 C-1) を示す。次に、図 8 左にロボットと視線を合わせながら身体表現する被験者の様子 (条件 C-6)，最後に、図 8 右にロボットと同じ方向を見ながら身体表現する被験者の様子 (条件 C-6) を示す。

以上の実験結果から、予測 1 は検証された。

予測 2 の検証

次に、予測 2 の検証を行う。本実験では、被験者のロボットに対する主観的評価を測定するため、被験者に質問票による回答を求めた。図 9 に、各評定項目の平均を示す。図 9 から、全体的な傾向として、ロボットが身体を回転させる条件 (C-4, C-5, C-6) の方が、回転させない条件 (C-1, C-2, C-3) よりも高い評定得点となっている。統計検定の結果は、「外向性」の評定項目に関して条件の主効果が有意であり、さらに、「信頼感」と「知性」に関して有意傾向であった。この結果から、ロボットの

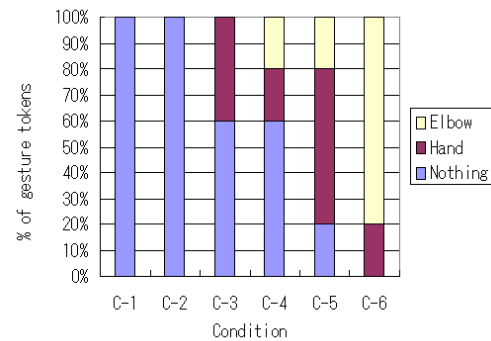


図 6: 人とロボットのインタラクション実験における被験者の身体表現の結果



図 7: ロボットに視線を向けず、身体表現もしない被験者 (条件 C-1)

身体表現の増加、特に身体の向きを被験者の進行方向に変えた場合が、高い評定得点となっていた。また、ロボットの身体表現の増加は、被験者に外向的であるとの印象を与えていたといえる。以上の結果から、予測 2 は検証された。

予測 3 の検証

最後に、予測 3 の検証を行う。本実験では、ロボットの指示に従い、被験者が図 4 の位置 A から位置 B まで移動する時間を測定した。表 1 に、各条件ごとの移動時間とその標準偏差、および目的の場所に到着できなかった被験者数を示す。移動時間に関しては、条件の主効果が有意ではなかったが、条件 C-6 が最も短時間で到着しており、次に条件 C-5 が短時間であった。しかし、ここで注目すべき点は、条件 C-1, C-2, C-3 では、目的の場所に到着できなかった被験者がいたことである。これらの 3 条件はいずれも、ロボットが身体を被験者の進行方向に回転しない条件である。実験後のコメントでは、被験者は、ロボットの発話の「左・右」がロボットに対してなのか、被験者に対し

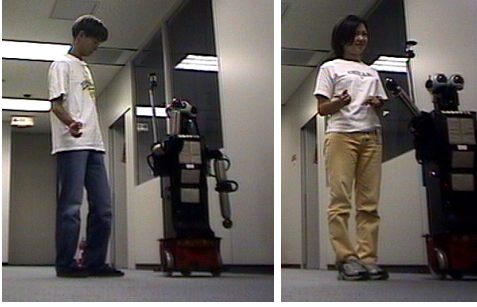


図 8: ロボットの身体動作に引き込まれたような動作をする被験者 (条件 C-6)

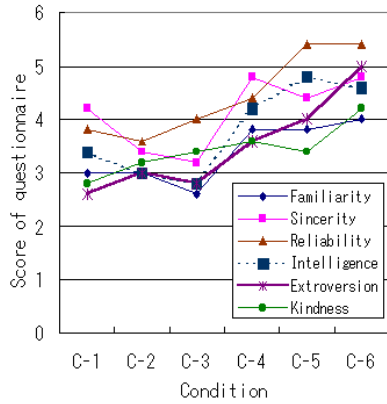


図 9: 質問票による心理的な指標に基づく評定の結果

てなのかが理解できなかったと述べていた。これは被験者が、絶対配置 (absolute) での指示なのか、相対配置 (relative) での指示なのかという身体配置のタイプ ([3] 参照) が理解できなかったことによると考えられる。以上の結果から、予測 3 は検証された。

5 考察と結論

本稿では、コミュニケーションにおける身体表現に注目し、共創対話のモデルを提案した。この共創対話のモデルとは、従来の情報技術では十分に扱えなかった、身体と同調的動作による関係の構築、および、この関係に基づく情報伝達のメカニズムを理解するための枠組みである。本稿では、順路案内の場面における人とロボットのインタラクションを分析し、本稿で提案した枠組みの妥当性の検証を試みた。その結果、人とロボットのインタラクションでは、身体と同調的な動作および関係の構築に基づく情報伝達の実現という、本稿で提案したモデルの

表 1: 被験者が目的の場所に到着するまでの時間とその標準偏差、および到着できなかった被験者数

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
到着までの時間	69.5	71.3	67.7	70.2	66.8	65.4
標準偏差	6.4	1.5	11.0	1.9	8.8	11.5
到着できなかった被験者数	1	2	2	0	0	0

重要性が検証された。

本研究の結果は、コミュニケーションのメカニズムの解明および人と自然にコミュニケーションできるロボットの構築のためには、身体に根差したモデル化が必要であることを示している。特にこれまで、空間情報の伝達では、順路を教える人のもつ空間表象を、教えられる人いかに正確に伝えるという枠組みでの議論がなされてきた。しかし、本研究でも示したように、教える人の側にもあらかじめ伝えるべき空間情報があるわけではなく、対話者との相互作用をとおしてしだいに形成されていくものと考えべきであろう。また、教えられる人も、たんに受動的に空間情報を受け取っているだけではなく、その形成に能動的に参加していると思われるであろう。本稿で提案した「共創」対話のモデルは、このような身体に根差したコミュニケーションの機構を明らかにし、さらに身体をとおして「共創」される情報をロボットなどの人工物とのインタラクションに利用することを目指すものである。

参考文献

- [1] H. Ishiguro, T. Kanda, K. Kimoto, and T. Ishida. A robot architecture based on situated modules. In *Proc. IEEE/RSJ Int'l Conf. Intelligent Robots and Systems*, 1999.
- [2] 喜多壮太郎. ひとはなぜジェスチャーをするのか. *認知科学*, Vol. 7, No. 1, pp. 9-21, 2000.
- [3] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒浩, 中津良平. 身体表現を用いた人とロボットの共創対話. *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. 6, pp. 1348-1358, 2001.
- [4] T. Ono, M. Imai, and H. Ishiguro. Embodied communications between humans and robots emerging from entrained gestures. In *Proc. Twenty-third Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2001)*, pp. 732-737, 2001.