

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[†]
石黒 浩^{†,††} 中津 良平[†]

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」対話という枠組みを提案する。共創対話とは、従来の情報技術では十分に扱えなかった、身体の間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理解するための枠組みである。本稿では、この枠組みの妥当性を検証するため、人と人および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人、および、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、人と人のインタラクションでは、身体の間調的な動作により円滑な情報伝達が行われていることが明らかとなった。また、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間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。本研究の結果は、次世代インタラクションの実現には人の身体に根差した情報技術の開発が必要であることを示している。

Embodied Communication Emergent from Mutual Physical Expression between Humans and Robots

TETSUO ONO,[†] MICHITA IMAI,[†] HIROSHI ISHIGURO^{†,††}
and RYOHEI NAKATSU[†]

In this paper we propose a framework of embodied communication focusing on physical expression. This framework 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 framework. Concretely speaking, the experiments focused on a correlation between physical expression and utterance understanding in human-human and human-robot interactions. The results of the experiments showed that subjects communicated with humans smoothly using entrained actions each other, whereas subjects could communicate with a robot smoothly only when the robot practiced sufficient physical expression entrained subjects' actions. The results, moreover, suggest that an investigation of embodiment is indispensable for developing the interactive technologies in the next generation.

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応を助長したり、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、人と人および人と

ロボットのインタラクションを通して、次世代のインタラクション技術に必要な要因について考察する。

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、その利便性ととともに、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人が多い。つまり、通信回線の伝送路にのらない

[†] エイ・ティ・アール知能映像通信研究所
ATR Media Integration & Communications Research
Laboratories

^{††} 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

「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。本稿における身体表現は、VサインやOKサインのような、シンボル化でき、社会的な意味を持つ記号を伝達するための手法を意味するものではない。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。

具体的には、本稿では順路案内の場面における、人と人、人とロボットの身体表現に注目する。人の順路案内では、話し手も聞き手も互いに身体の向きや、首、腕の動きを自律的かつ同調的に調節しながら関係を構築し、目的の場所までの道順を伝達しようと試みている。たとえば、両者は身体の向きを相手と同じ方向になるように調節したり、同じ方向を指差したりする動作がみられる。このような身体の調節が困難なとき、両者は互いに違和感を感じ、目的の場所までの道順という情報が伝わりにくくなる。このような「伝達」しにくく、コミュニケーションの場で「共創」される情報に我々は注目する。本稿では、このメカニズムを明らかにするため、まず順路案内の場面における人と人のインタラクションについて調べる。さらに、この考察に基づき、人とロボットのインタラクションについて調べる。ここでロボットを用いるのには、2つの理由がある。第1に、今後、ロボットが社会参加する機会が増加すると考えられるため、人とロボットのインタラクションの方法論について考察しておく必要があるからである。第2に、人と人のインタラクションでは十分に解明できない点があり、ロボットという人工物を用いることで明らかになる可能性があるからである。

本稿の構成は以下のとおりである。まず2章では、従来の身体表現に関する研究とその問題点、および本研究の立場について述べる。次に、3章では、人と人のインタラクションに関するフィールド実験を行い、その結果について報告する。4章では、人とロボットのインタラクション実験に用いるロボットシステムの構成について述べる。さらに、このロボットシステムを用いた実験とその結果について報告する。最後に、5章において、本稿における議論と結論について述べる。

2. ジェスチャー研究と共創対話

2.1 従来のジェスチャー研究

コミュニケーションのメカニズムを解明するためのジェスチャー研究は、まだ新しい分野である。この研究分野では、まずMcNeilが発話とジェスチャーの統合を目指した先駆的な研究を行った⁷⁾。McNeilは、ジェスチャーが単にある伝達内容(OKサインなど)を表しているだけではなく、対話の調節(話す順番の制御など)や発話の促進(発話の円滑な産出)など、コミュニケーションの成立に不可欠の要因であり、発話と切り離すことはできないことを示した。この研究を端緒として、コミュニケーションにおけるジェスチャーの機能に関する研究がさかんに行われるようになった^{1)~5)}。

しかし、従来のジェスチャー研究は、コミュニケーション場面における話し手の身振りの分析、もしくはその身振りをビデオなどで見たときの被験者の身振りや発話内容の理解度を調べるものがほとんどであった。つまり、人と人のコミュニケーションにおけるジェスチャーを分析し、その説明原理を求めるものであった。しかし、このようなジェスチャー研究の手法は、現実的にはパラメータの制御が難しく、ともすれば思弁的な議論になりがちであった。さらに、これらの研究は、話し手と聞き手の相互作用のダイナミクス、さらに次世代インタラクションシステムを構築するうえでの動作原理を与えるものではなかった。

2.2 共創対話：本研究の立場

本稿では、人と人のインタラクションばかりではなく、人とロボットのインタラクションも取り上げ、次世代のインタラクションに必要な要因について考察する。本稿では特に、身体表現と情報伝達の関連に注目する。本研究でロボットを用いるのは、身体表現の機能に関する実験において、パラメータを制御しやすいこと、および、次世代インタラクションシステムを構築するための動作原理を研究対象にできるからである。

本稿では、次世代インタラクションシステムを構築するに際して、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」される情報が重要であると考え、「共創」される情報とは、従来

従来の研究では、人の身振りに対する一般的な用語として「ジェスチャー」を用いているため、本節でもそれに従って表記する。「ジェスチャー」はこれまで主に人の身振りについて使われてきた。本稿ではロボットも人と同様に対象とするため、これと区別し「身体表現」という用語を用いる。

の通信回線の伝送路にのるような「伝達」できる情報ではない。たとえば、1章で述べたように、人は順路案内において、話し手も聞き手も互いに身体の向きや、首、腕の動きを自律的かつ同調的に調節しながら「関係」を構築し、その関係に基づき目的の場所までの道順を伝達しようと試みている(図2参照)。具体的には、両者は身体の向きを相手と同じ方向になるように調節したり、同時に同じ方向を指差したりする動作もみられる。これらの動作は、何らかの情報を直接的に伝えているわけではない。その証拠として、話している場所から見えない位置の順路案内においても、これらの動作が現れている(詳細は3章で述べる)。しかし、このような身体の調節が困難なとき、両者は互いに違和感を感じ、目的の場所までの道順という情報が伝わりにくくなる。このような「伝達」しにくく、コミュニケーションの場で「共創」される情報に我々は注目する。

我々はこれまでも、人とロボットのインタラクションを通して「共創」される情報に関する研究を行ってきた^{10),11)}。我々はまず、人とロボットの間に関係を構築するため、エージェントマイグレーションの手法を提案し、心理実験によりその妥当性を検証した¹⁰⁾。具体的には、被験者が携帯端末上のエージェントとインタラクションした後、そのエージェントがロボットへ移動することにより、被験者はロボットに親しみや信頼感を持つことが明らかとなった。さらに、人とロボットの間に構築される関係が、人の発話理解にも大きく影響を与えることが示された¹¹⁾。具体的には、上記のエージェントが移動したロボットの合成音声による発話は被験者によって理解されるが、エージェントの移動しなかったロボットの発話は被験者に理解されなかった。つまり、コミュニケーションでは、発話とともに、対話者間に構築される「関係」が重要なのであり、コミュニケーションにおいて伝達される内容は、関係と発話から「共創」されるものなのである。また、この「関係」は、我々の提案したエージェントマイグレーションの手法や、無意識的に相手に引き込まれるような同調的な身体動作により形成されるものであると考える。本稿では、これらの点について、人と人のインタラクション、および、人とロボットのインタラクションの実験を通して考察する。

3. 人と人のインタラクション実験

本章では、人と人のインタラクション実験の手続き、および実験の結果について述べる。

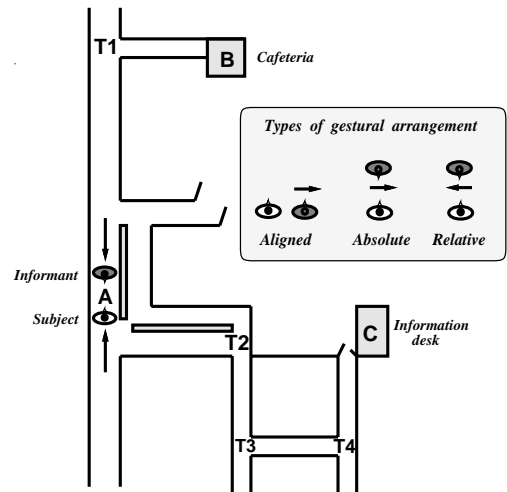


図1 人と人のインタラクション実験の環境：被験者、情報提供者、目的の場所および曲がり角の配置

Fig. 1 Experimental setup in human-human interaction: arrangement of subject, informant, destinations, and turns.

3.1 実験方法

本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、人と人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、被験者が実験環境内を通行する不特定の人(情報提供者)に2つの場所(喫茶室と研究所の受付)までの順路を教えてもらう。このときの2人の発話内容と身体表現について調べる。

被験者： 男女の大学院生10名。被験者は、実験環境を訪れたことがなく、目的の場所までの順路はまったく知らない。

実験環境： 図1に実験環境の概要を示す。本実験は、ATR研究所1階の廊下およびロビーにおいて行われた。被験者が移動すべき目的の場所は、喫茶室(位置B)と研究所の受付(位置C)である。

実験手順： 被験者は、位置Aにおいて、通行する人に目的の場所(喫茶室と研究所の受付)までの順路を教えてもらい、実際にそれらの場所へ移動するように、実験者から指示を受ける。通行する人が目的の場所を知らない場合は、実験から除外する。実験者は、このときの2人のインタラクションにおける発話内容と身体表現を、ビデオなどにより記録する。通行していた人には、実験後に発話およびビデオの記録をデータとして使用してよいかどうかの承諾を受けた。

本稿では、文献5)にならぬ、順路を指示する場合の

身体配置を以下の3つに分類する。それらは、調節配置 (aligned), 絶対配置 (absolute), 相対配置 (relative) である (図1 右上参照)。つまり、図1の位置Aで、曲がり角T1を位置B方向へ曲がることを指示する場合、調節配置では、情報提供者は被験者と同じ方向を向き、右方向を指示する身体表現をとる。一方、絶対配置では、情報提供者は被験者と向き合う位置で、被験者にとっての右方向を指示する身体表現をとる。さらに、相対配置では、情報提供者にとって右方向を指示する身体表現をとる。

3.2 実験結果

実験の結果を簡潔に述べる。まず、インタラクションにおける身体配置・身体表現の同調について述べる。表1に、身体配置に関する実験結果を示す。喫茶室 (位置B), 受付 (位置C)とも、10例中9例が調節配置をとり、1例のみ相対配置をとっていた。次に、表2に、身体表現の同調に関する実験結果を示す。このときのインタラクションでは、位置Bの指示で10例中6例、位置Cの指示で10例中8例において、情報提供者と被験者の間に腕の動きの同調がみられた。ここで腕の動きの同調とは、情報提供者が表した腕の指し示しの動作に対して、被験者が同様の動作をすることを意味する (図2参照)。なお、本実験では、すべての情報提供者が、腕による指し示しの動作を行った。さらに、同調動作を示したすべての情報提供者と

被験者は、肘を伸ばし、腕を左右に振る動作を示していた。しかし、目的の場所の違いと腕の動作の間には統計的に有意な関連はなかった。また、情報提供者と被験者が視線を合わせる動作は、10事例すべてにみられた。特に、複雑な順路を指示しなければならない受付 (位置C) までの順路の場合は、喫茶室 (位置B) までの場合より視線を合わせる頻度が高くなっていた ($t_{(18)} = 1.905, p < .05$)。最終的に、被験者は全員、目的の2つの場所に到達することができた。

次に、インタラクションにおける発話内容の分析結果について述べる。表3に、目的の場所ごとに順路案内の対話に要した時間、および、情報提供者と被験者の発話内容の分析結果を示す。対話に要した時間の平均は、より複雑な順路を説明しなければならない受付 (位置C) の方が喫茶室 (位置B) よりも有意に長くなっていた ($t_{(18)} = 2.122, p < .05$)。情報提供者の発話には、すべての事例において方向指示語 (まっすぐ、右、左などの語) を含んでいた。ランドマーク (トイレ、ジムなど目印となる場所) を含む発話は、位置Bの指示で10例中3例、位置Cの指示で10例中5例であった。被験者の発話には、すべての事例であいづち (「はい」「ええ」などの発話) が含まれていた。すべてのあいづちは、視線を合わせようとする動作と同時にに行われていた。さらに、反復発話 (情報提供者の発話のすぐ後に、同じ発話を繰り返すこと)

表1 人と人のインタラクション実験における身体配置に関する結果

Table 1 Results of gestural arrangement in experiments on human-human interaction.

	絶対配置	調節配置	相対配置
喫茶室	0例	9例	1例
受付	0例	9例	1例

表2 人と人のインタラクション実験における腕および視線の同調動作に関する結果

Table 2 Results of entrained actions of arms and eyes in experiments on human-human interaction.

	腕の動きの同調	肘の伸び・左右に振る	視線を合わせた回数
喫茶室	6/10例	6/6例	12回/123秒
受付	8/10例	8/8例	25回/216秒



図2 人と人のインタラクションにおける身体表現の同調
Fig.2 Photo of entrained physical expression in human-human interaction.

表3 人と人のインタラクション実験における発話内容の分析結果

Table 3 Results of conversation analysis in experiments on human-human interaction.

	対話に要した時間の平均	情報提供者の発話		被験者の発話	
		方向指示語	ランドマーク	あいづち	反復発話
喫茶室	12.3秒 (S.D. = 8.247)	10/10例	3/10例	10/10例	9/10例
受付	21.6秒 (S.D. = 11.138)	10/10例	5/10例	10/10例	8/10例

も、表3に示す頻度で行われていた。しかし、目的の場所の違いと発話内容の間には統計的に有意な関連はなかった。

本実験の要点は以下のとおりである。まず、情報提供者は、その位置から見えない曲がり角に対しても指し示しの動作など、自発的な身体表現をしてしまうことが確認された。このとき情報提供者は、主に方向指示語を用いた発話で説明を行っていた。これに対して被験者は、無意識的に情報提供者と同調的な身体動作をとることが確認された。さらに、被験者の発話では、情報提供者の発話と同調するような反復発話や、視線を合わせる動作をともなったあいづちを行っていた。したがって、順路案内においても、情報提供者と被験者の間に、発話をともなった身体、腕、視線の同調的な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枠組みは成立している。

しかし、人と人のインタラクション実験では、パラメータを変えながら実験条件を設定することが難しいため、提案した枠組みの詳細な検証ができない。このため、本稿では、本実験結果をふまえ、人とロボットのインタラクション実験により検証を行う。

4. 人とロボットのインタラクション実験

本章では、本稿で提案した共創対話の枠組み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。

4.1 ロボットの構成

本実験で用いるロボット Robovie の構成について簡潔に述べる。なお、本ロボットの機構の詳細については、別稿にて報告する予定である。

図3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3右参照)を持ち、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(周囲360度の画像を一度に得ることができるセンサであり、ロボットの頭の後方上部に装備されている)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

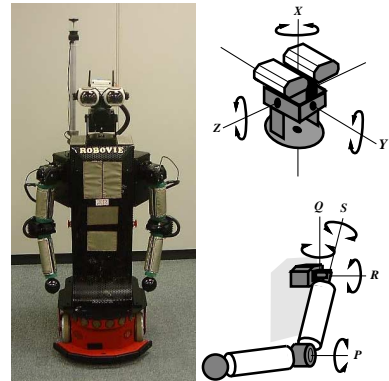


図3 実験で用いるロボット Robovie の外観(左)および頭、首、腕の動作機構(右)

Fig. 3 Photo of implemented robot "Robovie" for experiments (left), and the robot's head and arm motion mechanism (right).

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。

4.2 実験方法

本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。各条件ごとの被験者の性別構成、年齢構成は以下のとおりである。なお、被験者は、実験環境を訪れたことがなく、部屋の配置、順路についてはまったく知らない。

C-1: 男(21, 23, 24), 女(21, 22).

C-2: 男(23, 23, 26), 女(22, 23).

C-3: 男(22, 23, 26), 女(22, 23).

C-4: 男(20, 20), 女(20, 21, 22).

C-5: 男(23, 24, 25), 女(21, 24).

C-6: 男(22, 23, 25), 女(25, 25).

実験環境： 図4に実験環境の概要を示す。本実験は、ATR 知能映像通信研究所内の廊下およびロビーにおいて行われた。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

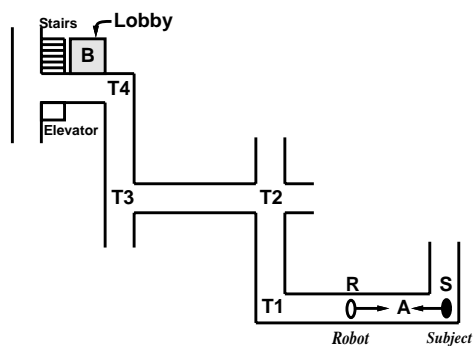


図4 人とロボットのインタラクション実験の環境：被験者，ロボット，目的の場所および曲がり角の配置

Fig.4 Experimental setup in human-robot interaction: arrangement of subject, robot, destination, and turns.

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分からなくなり、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。

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 参照）。以下のロボットの身体表現と上記の発話内容は、3 章の人と人のインタラクション実験の結果を参考にして設定さ

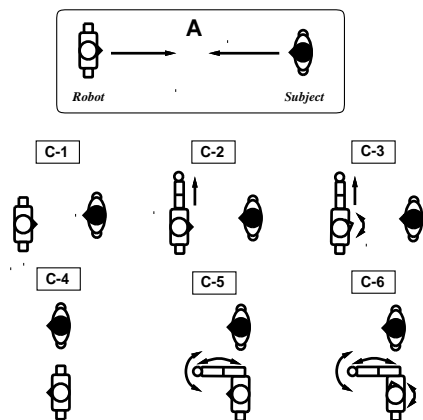


図5 人とロボットのインタラクション実験における条件設定

Fig.5 Outline of experimental conditions in human-robot interaction.

れた。

条件 1 (C-1): ロボットは、まった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。

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、文献 8), 9) を参考に、「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。結果の分析では、これらの評定項目ごとの平均を用いる。

4.3 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：被験者とロボットと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、

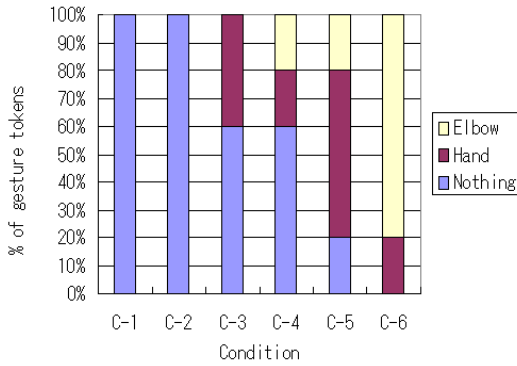


図6 人とロボットのインタラクション実験における被験者の身体表現の結果

Fig. 6 Results of subjects' physical expression in experiments on human-robot interaction.

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枠組みが成立する。

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。

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。

4.4 実験結果

本節では実験結果に基づき、4.3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。本実験では、被験者とロボットのインタラクションの様子をビデオテープに記録した。このデータをもとに、被験者のロボットに対する動作に関して分析を行う。

まず、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、まった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（ $\chi^2_{(10)} = 25.210, p < .01$ ）。さらに、残差分析の結果、有意に多かったのは、C-1のNothing（残差 $r = 2.142, p < .05$ ）とC-2のNothing（ $r = 2.142, p < .05$ ）、C-5のHand（ $r = 2.123, p < .05$ ）、C-6

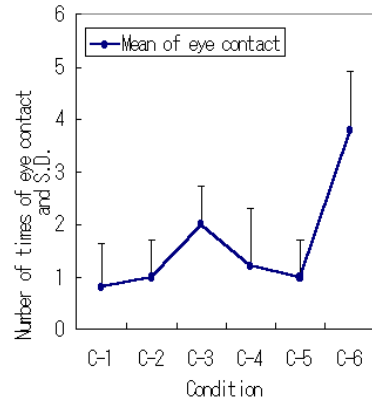


図7 人とロボットのインタラクション実験において視線を合わせた回数の平均と標準偏差

Fig. 7 Mean number of times of eye contact and standard deviation in experiments on human-robot interaction.



図8 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）
Fig. 8 Photo of subject not doing physical expression, not turning his eyes to the robot (condition C-1).

のElbow（ $r = 3.674, p < .01$ ）であった。また、有意に少なかったのは、C-6のNothing（ $r = -2.801, p < .01$ ）であった。以上の分析結果から、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、図7に、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と標準偏差を示す。この結果を分析したところ、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。具体的には、Fisher's PLSD法による分析の結果、C-1とC-3、C-1とC-6、C-2とC-6、C-3とC-6、C-4とC-6、C-5とC-6の間に有意な差が確認された（ $MSe = .767, p < .05$ ）。

上記の実験の様子を以下の図に示す。まず、図 8 にロボットをまったく見ず、身体表現もしない被験者の様子(条件 C-1)を示す。次に、図 9 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 10 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。



図 9 ロボットと視線を合わせながら身体表現する被験者(条件 C-6)
Fig. 9 Photo of subject doing physical expression, turning his eyes to the robot (condition C-6).



図 10 ロボットと同じ方向を見ながら身体表現する被験者(条件 C-6)
Fig. 10 Photo of subject doing physical expression, turning her eyes in the same direction with the robot (condition C-6).

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。表 4 に、質問票の 6 評定項目の条件ごとの平均、標準偏差、および統計的分析の結果を示す。また、図 11 に、各評定項目の平均をグラフ化して示す。図 11 のグラフの目視から、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(表 4 参照)。具体的には、Fisher's PLSD 法による分析の結果、「外向性」の項目において、C-1 と C-4, C-1 と C-6, C-2 と C-6, C-3 と C-6 の間に有意な差が確認された ($MSe = 1.200$, $p < .05$)。これらの結果から、ロボットの身体表現の増加、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

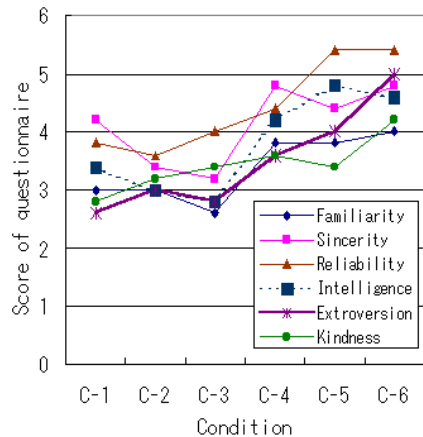


図 11 質問票による心理的な指標に基づく評定の結果
Fig. 11 Results of subjects' psychological evaluation to robot.

表 4 質問票による心理的な指標に基づく評定の結果とその分析

Table 4 Results of subjects' psychological evaluation to robot and its analysis.

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	分散分析の結果 ($F_{(5,24)}$)
親近感	3.0 (1.225)	3.0 (1.871)	2.6 (1.140)	3.8 (1.924)	3.8 (0.447)	4.0 (1.414)	$F = 0.803, p = .558$ (ns)
誠実さ	4.2 (1.483)	3.4 (1.342)	3.2 (1.095)	4.8 (1.095)	4.4 (0.548)	4.8 (1.643)	$F = 1.515, p = .222$ (ns)
信頼感	3.8 (1.304)	3.6 (1.140)	4.0 (1.581)	4.4 (0.894)	5.4 (0.548)	5.4 (0.894)	$F = 2.557, p = .054$ (+)
知性	3.4 (1.673)	3.0 (1.225)	2.8 (1.095)	4.2 (0.837)	4.8 (1.304)	4.6 (1.140)	$F = 2.348, p = .072$ (+)
外向性	2.6 (0.548)	3.0 (1.414)	2.8 (1.095)	3.6 (1.517)	4.0 (1.000)	5.0 (1.000)	$F = 3.733, p = .012$ (*)
優しさ	2.8 (1.304)	3.2 (1.789)	3.4 (2.074)	3.6 (1.517)	3.4 (1.517)	4.2 (1.304)	$F = 0.415, p = .833$ (ns)

(*: 有意である ($p < .05$), +: 有意傾向である ($p < .10$), ns: 有意でない)

表5 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
Table 5 Mean time until the subjects' arrival at the destination and its standard deviation, and the number of subjects not arriving at the destination.

	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	6.403	1.528	11.015	1.924	8.899	11.524
到着できなかった被験者数	1	2	2	0	0	0

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5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、被験者に対してなのか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 (図1参照) 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。

実験結果のまとめ

本実験では、以下の仮説を設定した。それは、被験者とロボットの間インタラクションにおいても、身体と同調的動作による関係の構築, および、この関係に基づく円滑な情報伝達の実現という共創対話の枠組みが成立するというものである。この仮説に基づき、3つの予測の検証を試みた。本実験では、まず、被験者とロボットの身体表現の関連について分析を行った。その結果、ロボットの身体表現が人のそれに近づくほど (条件1から条件6に近づくほど), 被験者の同調的な身体表現が多くなった (予測1の検証)。次に、条件ごとに、被験者のロボットに対する主観的評価による分析を行った。その結果、ロボットの身体表現が人に近づくほど、被験者はロボットに高い評定得点を与えていた (予測2の検証)。特に、ロボットの身体の向きが評定結果に大きな影響を与えていた。最後に、被験者がロボットの指示に従い、目的の場所まで移動

する時間を分析した。その結果、各条件における所要時間の平均に大きな差はなかったが、条件C-1, C-2, C-3において、目的の場所へ到着できない被験者がいた (予測3の検証)。これらの被験者は、ロボットの身体配置のタイプ (図1参照) を理解できなかったことによると考えられる。以上の結果の分析から、人とロボットのインタラクションにおいても、ロボットと身体の向きを合わせる、腕や首を同調的に動作させることが、被験者の主観的評価ばかりではなく、順路という情報の伝達にも影響を与えていることが示された。したがって、本稿の仮説は支持されたと考える。

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」対話という枠組みを提案した。この共創対話とは、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人、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、人と人のインタラクションばかりではなく、人とロボットのインタラクションにおいても、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、本稿で提案した枠組みの重要性が検証された。

本稿の目的の1つは、これらの知見に基づき、次世代のインタラクションに必要な要因について考察することである。1章で述べたように、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」される情報を対象としてこなかった。しかし、我々が先行研究¹¹⁾により示したように、コミュニケーションでは発話とともに、対話者間に構築される「関係」が重要なのであり、コミュニケーションにおいて伝達される内容は、関係と発話から「共創」されるものなのである。それでは、そのようなインタラクションはどのようなメカニズムで実現されるのだろうか。

本稿では、人の身体に根差したインタラクション技術の開発が重要であると考え、特に本稿では、身体表現の重要性を人と人、および、人とロボットのインタラクションを通して示した。我々はさらに、身体表現における2つの二面性の解消⁶⁾が次世代のインタラクション技術の開発に重要であると考え、身体表現における2つの二面性とは、自己指向性と他者指向性(自己と他者)、および、思考としての身体の動きと環境における物理的な身体の動き(思考と環境)である。具体的には、これまで身体表現は、相手にある内容を視覚的に伝えるという他者指向性(OKサインなど)の側面が強調されてきた。しかし、近年の研究成果は、身体表現の自己指向性の重要性を指摘している⁴⁾。つまり、身体表現すること自体が、話し手の発話を容易にしているのである。この点は、本稿の人と人のインタラクション実験においても示されている。

さらに、身体表現に関する研究ではこれまで、環境との相互作用やセンサとしての機能など物理的な面での身体の動きが注目されてきた。しかし、近年の研究成果は、身体表現することがある種の「思考」となり、問題解決をしているということが明らかとなってきた²⁾。具体的には、認知発達の実験において、子どもが発話では誤った答を言いつつ、身体表現では「別の」正しい答を指し示しているなどの結果が示されている。つまり、身体表現がある種の思考を反映するものであり、「高度な」認知過程に深く関与していることを示している。

以上の点から、身体表現に関する本質的な議論は、次世代のインタラクション技術の開発につながると考える。つまり、人の身体表現をうまく引き出すことができれば、人と人工物の間の関係を築くことができ、円滑なコミュニケーションを実現させることができる。また、人の身体表現をうまく引き出す技術は、人を新たな思考や気づきへ導く可能性を持つ。これらの技術は、今後のロボットシステム、インタフェースシステム、思考支援システムの実現へ向けて、新たな視点を与えることができると考える。

謝辞 本研究を進めるにあたって、国際電気通信基礎技術研究所経営企画部の片桐恭弘次長から多くの有益なご助言をいただいた。また、本研究の実験を行うにあたって、前田武志氏、神田崇行氏にご協力をいただいた。さらに、本稿の査読者の方には的確で貴重なコメントをいただいた。以上の諸氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Cassell, J., McNeill, D. and McCullough, K.E.: Speech-Gesture Mismatches: Evidence for One Underlying Representation of Linguistic and Nonlinguistic Information, *Pragmatics and Cognition*, Vol.7, No.1, pp.1-33 (1999).
- 2) Goldin-Meadow, S., Alibali, M.W. and Church, R.B.: Transitions in Concept Acquisition: Using the Hand to Read the Mind, *Psychological Review*, Vol.100, pp.279-297 (1993).
- 3) Goodwin, M.H. and Goodwin, C.: Gesture and Coparticipation in the Activity of Searching for a Word, *Semiotica*, Vol.62, No.1, pp.51-75 (1986).
- 4) Iverson, J.M. and Goldin-Meadow, S.: Why People Gesture When They Speak, *Nature*, Vol.396, p.228 (1998).
- 5) Kita, S.: Interplay of Gaze, Hand, Torso Orientation and Language in Pointing, *Pointing: Where Language, Culture, and Cognition Meet*, Cambridge University Press, Cambridge (2000).
- 6) 喜多壮太郎: ひと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).
- 7) McNeill, D.: *Psycholinguistics: A New Approach*, Harper & Row (1987).
- 8) 向日恒喜, 宇井徹雄: コンピュータに対するパーソナリティの認知とコンピュータに対する態度との関係に関する研究, 第13回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.685-690, 計測自動制御学会 (1997).
- 9) 向日恒喜: パーソナリティ認知尺度を用いたコンピュータと人間との比較に関する研究, 認知科学会第15回大会論文集, pp.118-119, 認知科学会 (1998).
- 10) 小野哲雄, 今井倫太, 江谷為之, 中津良平: ヒューマンロボットインタラクションにおける関係性の創出, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.1, pp.158-166 (2000).
- 11) Ono, T. and Imai, M.: Reading a Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism, *Proc. National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000)*, pp.142-148 (2000).

(平成12年10月31日受付)

(平成13年4月6日採録)



小野 哲雄 (正会員)

1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年より(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。博士(情報科学)。認知科学,人工知能一般に興味

を持つ。特に,感情の計算モデル,マルチエージェントモデルによる共通言語の組織化,ヒューマンロボットコミュニケーションに関する研究に従事。現在,コミュニケーションに対する認知科学的アプローチにも興味を持つ。認知科学会,人工知能学会各会員。



今井 倫太

1992年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994年同大学院計算機科学専攻修士課程修了。同年,NTT ヒューマンインタフェース研究所入社。現在,ATR 知能映像通信研究所研究員。以来,VR上のエージェントや自律

ロボットとのインタラクションの研究に従事。ロボットとの対話,センサを用いた状況知覚に興味を持つ。



石黒 浩 (正会員)

1986年山梨大学工学部計算機科学科卒業,1988年同大学院修士課程修了,1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。同年山梨大学工学部情報工学科助手。1992

年大阪大学基礎工学部システム工学科助手。1994年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。この間,1998年より1年間,カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2000年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教授。2001年より同大学教授。1999年より3年間,科学技術振興事業団さきがけ21研究員。1999年よりATR 知能映像研究所客員研究員。視覚移動ロボット,能動視覚,パノラマ視覚,分散視覚に興味を持つ。工学博士。日本ロボット学会,人工知能学会,IEEE,AAAI各会員。



中津 良平 (正会員)

1969年京都大学工学部電子工学科卒業。1971年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現NTT)武蔵野電気通信研究所入所。

1980年横須賀電気通信研究所。主として音声認識の基礎研究,応用研究に従事。1990年NTT基礎研究所研究企画部長。1994年よりATRに移り,現在(株)ATR 知能映像通信研究所代表取締役社長。マルチメディア要素技術の研究およびマルチメディア技術を応用した通信方式の研究等に従事。工学博士(京都大学)。1996年IEEE Multimedia Computing and Systems 最優秀論文賞,1997年ロレアル賞,1999・2000年テレコムシステム技術賞および日本バーチャルリアリティ学会論文賞,1999年映像情報メディア学会論文賞。