

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 4日現在

機関番号：13302

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700285

研究課題名（和文） 視覚的注意の共有化メカニズムの解明

研究課題名（英文） Study on mechanisms of shared visual attention

研究代表者

金野 武司（KONNO TAKESHI）

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・研究員

研究者番号：50537058

研究成果の概要（和文）：本研究では、心的な内部状態を持つ数理モデルの機能性を検証するための、人とロボットのインタラクション実験を設計・実施した。実験ではロボットに2つのタイプ（反射的注視と意図的注視）のモデルを実装し、人が受ける印象の違いを質問紙により調査した。結果、2つのタイプのロボットはそれぞれに有効性を発揮する場面が異なる可能性があることが分かった。また、他者と注視意図を共有しようとする状態の概念分析から、その数理モデルの実現に必要とされるメカニズムを特定した。

研究成果の概要（英文）：We designed an experiment of visual interaction between human and robot to verify functions of a computational model which had internal 'mental' states. In the experiment, robots were implemented two types of model to gaze reflexively and intentionally. We asked the participants to complete a questionnaire that assessed their impression of the two robots. Consequently, we found a difference of situation to work effectively in each type of the robots. Finally, through a conceptual analysis of human mental states of shared visual intentions with others, we specified some mechanisms to realize it on a computational model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：知識科学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：認知科学，人工知能，認知ロボティクス，共同注意，意図的主体性

## 1. 研究開始当初の背景

人は他者とのコミュニケーションにおいて、他者の視線を読みとり、他者に自らの視線を読ませることを通じて、他者と注意を共有している（遠藤, 2005）。この能力の獲得は9カ月程度の乳幼児において既に始まっていると考えられている。その獲得過程では、乳幼児は自らが見ようとするものを内部に持ち、それを基にして他者の見ようとしているものを理解・共有するようになると言われていた（Tomassello, 1999）。この過程において、

乳幼児は意図的な内部状態を獲得すると考えられている。この意図的な内部状態とは、自らの見ようとするもの（目的）に対して適切な手段を行使できる仕組みを持つことである（Frye, 1991）。

こういった発達過程を、人工システムの構築によって明らかにしようとするアプローチがある（Asada et. al., 2001）。これは、乳幼児の内部状態を行動観察や脳活動計測から明らかにすることの難しさを相補的に克服しようとするものである。しかしこのア

アプローチにおいても、研究開始当初は反射的な行動を生成するシステムの構築にとどまっていたのが現状であった (Triesch, 2006; 長井, 2004). 人が持つより高次なコミュニケーション能力を明らかにしていくためには、意図的な内部状態を形成する発達過程をモデル化する必要があった。

## 2. 研究の目的

この問題に対し申請者は、実現すべき目標状態を内部で形成し、それを実現する手段を生得的な反射行動を通じて獲得することで、意図的な内部状態を持つようになる数理モデルの構築に取り組んできた。しかしその妥当性を実証するには、この数理モデルが実際に人に対してどのように機能するのかを確認する必要があった。

そこで申請者は、数理モデルを実装したロボットと人とのインタラクション実験を実施することで、数理モデルの機能性を実証できるのではないかという着想を得た。この着想を基に、本研究では下記3点を目的とした。

- (1) 内部に意図的な状態を形成する数理モデルの詳細な解析によって、その機能性を実証するための仮説と実験手法を提示する。
- (2) 数理モデルを実装したロボットと人とのインタラクション実験を行ない、意図的な内部状態を形成する仕組みが、実際にどのように人に作用するのかを確認する。また同時に、この手法が意図的な行動の検証に有効性を発揮できることを確認する。
- (3) 意図的な内部状態を他者と共有する仕組みとして、目的と手段の入れ子構造を実現する数理モデルを開発し、その機能性を実証するための仮説と実験手法を提示する。

## 3. 研究の方法

前節に示した3つの目的にそれぞれ対応する研究方法を説明する。

(1) 数理モデルの機能性を実証するための作業仮説の構築と実験手法の開発

内部に意図的な状態を形成する数理モデルは、反射的な行動モジュールに別の学習モジュールを直列に前置接続することによって実現する (図1)。

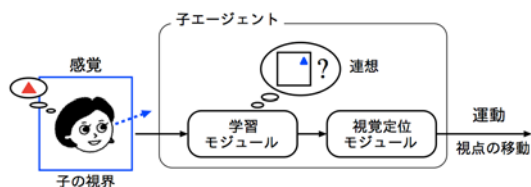


図1 意図的な内部状態を実現するモデル

この数理モデルがもつ機能性の検証には、比較対象となるモデルが必要である。本研究

でモデル化を目指すのは反射的な行動から意図的な行動への発達であるため、比較対象としては反射的な行動が適する。よって、視界に映ったものを反射的に注視する視覚定位モジュールだけが実装されたロボットと、学習モジュールが追加されたロボットで、どのような行動特徴の違いが現れるのかを調査する。

実験にあたって立てた仮説は、意図的な行動を生成するシステムが実装されたときの方が、人はロボットが何かを見ようとしていると感じることが多くなるのではないかというものである。これを検証するため、ロボットを開発し、人とロボットのインタラクション実験をデザインした。

## (2) 人とロボットのインタラクション実験

本研究で開発したロボット (図2 吹き出し) は、目に相当するステレオカメラを備え、その視界を上下左右 (パン・チルト) に動かすことができる。眼球に相当するものはなく、人はロボットのカメラの向きによって注視対象を判断することになる。人と視覚的なやりとりができれば良いので、ロボットの外観は極めてシンプルなものにした。

人とロボットは複数のオブジェクト (4色のゴムボール) を挟んでテーブルに向かい合って座る (図2)。ロボットには2種類の数理モデルを実装する。1つが反射的に親の視線方向を向く反射的注視ロボットであり、もう1つが意図的な内部状態によって親の視線方向を向く意図的注視ロボットである。



図2 実験環境とロボット

参加者は2つのタイプのロボットと3分間、視線によるコミュニケーションを行なった。このとき、参加者は4つのゴムボールのいずれかを注視するように指示された。参加者にはロボットが視覚的なコミュニケーションだけを行ない、参加者の視線を読み取って、その視線方向に視点を移動させることが伝えられた。実験にはタイプの違うロボットが用意されており、それぞれは参加者が見るも

のをどのように理解するかという点に違いがあることだけが参加者に告げられた。

実験の最初では、ロボットは参加者の顔を視界に収める状態で正面を向き、参加者の顔を検出してその位置（自分の首の角度）を憶える。参加者の視線はロボットのカメラからではなく、参加者の前に設置された視線計測装置で計測した。参加者が視線をボールに向けると、その視線方向を検出する。参加者は最初に反射的注視ロボットを体験し、次いで意図的注視ロボットを体験した。これは、意図的注視ロボットが、何らかのボールを想起するための体験を必要とするためである。意図的注視ロボットは、反射的注視ロボットによる注視体験を頻度として保存し、その分布に従ったルーレット選択によってボールを想起した。

### (3) 他者と意図的な内部状態を共有する入れ子構造モデルの開発

入れ子構造モデルは、図1に示した学習モジュールの直列接続アーキテクチャを基にして、図3のように上位の目的形成モジュールを直列に前置接続していくことで実現する。

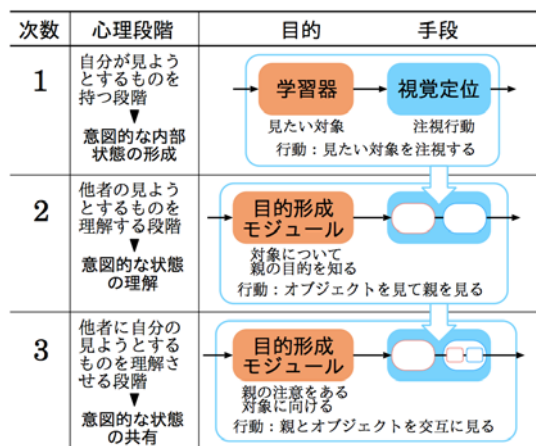


図3 入れ子構造モデル

## 4. 研究成果

### (1) 人とロボットのインタラクション実験

大学生6人と研究者2人を合わせた8人にこの実験に参加してもらい、実験後にアンケートを実施した。アンケートは5段階尺度を用いて、5を質問に対する肯定、1を否定、そして3をどちらでもないとした。

アンケートでは参加者に10個程度の質問を実施しているが、最初の基本的な問いは次の2つである。1つは「ロボットにあなたの見ているものが伝わっていたか」であり、もう1つは「あなたはロボットの見ているものが分かったか」である。この2つの質問に対する回答の平均は、それぞれ3.48と3.41(標準偏差はそれぞれ1.70と1.18)だった。こ

の回答から大雑把に把握できるのは、ロボットは参加者の見るものをだいたい見たと感じており、かつ、ロボットの見ているものをだいたい分かったと感じたということである。

そして、検証する仮説に対して「あなたはロボット自らが何かを見ようとしているように感じたことはあったか」を質問してみると、その回答の平均は3.86(標準偏差=1.04)だった。この結果からは、我々が用意したシンプルなロボットに対しても、視覚的なインタラクションを通じて、人はロボットが何かを見ようとする主体として接したことが伺える。続いて、感じることはあったと回答した5人の参加者に、どのタイプのロボット(何番目に接したロボット)にそれを感じたかを複数回答を許して尋ねてみると、反射的注視ロボットが3ポイント、意図的注視ロボットが4ポイントと、どちらのロボットに対してもロボットの見ようとしている状態を感じていくことが分かった。

この結果は、システムの違いによるロボットの見ようとする姿勢の受け取り方に違いがなかったことを示している。ところが、それぞれのロボットのどのような行動にそれを感じたかを自由記述で尋ねると、そこには若干の違いがあることが判明した。その報告で我々が特に注目したのは次のような2つの相反する報告である。1つは、「ボール以外のところを見たときに、ロボットがそちらを見たとき」というものであり、もう1つは、「自分が適当なところを見たときに、ロボットがボールを見たとき」というものである。前者が反射的注視ロボットに対する報告であり、後者が意図的注視ロボットに対する報告である。一方は自分が見たところを見たときと答えているのに対して、他方は自分が見ているところとは異なるところを見たときと答えている。

それぞれのロボットが参加者に対して同じように「何かを見ようとしている」と感じさせた行動には、2つのシステムが働く状況に違いがある。反射的注視ロボットはボールを見るという文脈から逸脱した状況において機能しており、意図的注視ロボットはボールを見るという文脈の中で機能している。つまり、前者は文脈のない状況(コミュニケーションの最初や突発的イベント)に対して機能するシステムであり、後者はボールを見るという文脈の中で機能するシステムだと考えられる。もちろん我々が重要視するのは後者である。当然のことながら、後者のシステムだけではコミュニケーションの最初や突発的イベントにうまく対処することはできない。しかし前者のシステムだけでも、文脈に沿った注視対象を的確かつ迅速に定位して、円滑なコミュニケーションを実現する

ことはできないからである。

上記実験はまだ予備実験の域を出ないデータに基づく推論だが、反射的な注視と意図的な注視の持つ機能性を、文脈依存性の観点で分別できる可能性を示唆できたことに意義があると考えている。

## (2) 入れ子構造モデルの開発

### ① 他者の意図を理解しようとするロボットの

自らが意図的に振る舞うようになる次の段階として、他者が注視する意図を理解しようとする段階(図3の次数2)の数理モデルを概念的に検討した。

結果、これまでのロボットがもつ3つの重要な制約を乗り越えなければならないことが分かった。一つは自分と他者の区別である。実は、これまでのロボットにおいては、他者の意図と区別された限りでの自分の意図というものは存在していなかった。それは、他者の視線から想起されたオブジェクトが直ちに自分の意図的な注視対象になる、という点からも明らかである。したがって、次の段階のロボットにおいては、この自他の区別が何らかの形で行為選択の内部メカニズムに組み込まなければならない。第二は、ロボットの行為選択の自律性をこれまでより高める必要があるという点である。これは、自分の見たい対象が必ずしも共同注意の経験によって供給されずとも、例えば単なる外部空間探索など、共同注意とはまったく別の文脈から生ずることもある、ということの意味する。第三は、行為選択に影響を及ぼすような内部状態をロボットに組み込む点である。これは、意図的行動が、現在の刺激から相対的に独立して、(内部状態としての)ロボットの過去の経験から生成されることを可能とするための仕掛けである。

以上の要件を満たすために導入を考えたのが「情動タイプ」と呼ぶ内部状態の実現である。この情動タイプの導入によってロボット内部に起こることが期待される推論は次のようなものである。「この人が見ているものは、この3つのうちのどれだろう? この人は笑っている。ということは、この人は面白がっているに違いない。この3つのうちで自分が面白かったのは赤いボールを見たときだから、この人もきっとそれを見て面白いから笑っているんだろう。だから、この人は赤いボールを見ているんだ」。

ただし、この状態のロボットも、実は他者の意図(注視対象)に関しての自分の推論が正しいかどうかをまったく「気にかけていない」。つまり、推論の結果として自分の注視対象としたものが他者の実際の意図的対象であるかどうかは、このシステムにおいてはまったく問題とされない。それを「気にかける」システムを開発することが、さらに次の

段階(図3の次数3)へ進むことにつながる。

### ② 他者と注意を共有しようとするロボットの開発

この段階においてロボットは、少なくとも自分が推論した対象を自分の注視対象としようとする「意図1」がロボットの側に存在し、その「意図1」を是認もしくは否認しようとする「意図2」が他者の側に存在し、さらにその「意図2」を理解した上でそれを共有しようとする「意図3」がロボットの側に存在する。そして場合によってロボットは、他者との意図の共有を、他者の「意図2」を自分の「意図1」に同調させることによって達成しようとする(ロボットの「意図4」)。この仕組みの実現において、我々は入れ子構造としての、「自らの意図に向けられた他者の意図の回帰的な理解」が実現されると考えている。

人が他者の意図を理解し、他者と意図を共有するようになる過程は、我々が普段なにげなく実現している過程であるがゆえに、注意深い議論が必要であることは明らかである。この概念分析を[業績:雑誌論文①]にまとめることができたことは本研究の大きな成果である。

## [文献]

(遠藤, 2005) 遠藤 利彦 (編), 『読む目・読まれる目』, 東京大学出版会, 2005.

(Tomasello, 1999) Tomasello, M., “社会的認知としての共同注意,” In 『ジョイント・アテンション』, 大神 英裕 監訳, ナカニシヤ出版, pp.93-117, 1999.

(Frye, 1991) Frye, D., “The origins of intention in infancy,” In Children’s theories of mind, Frye, D. and Moore, C. eds., Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp.101-132, 1991.

(Asada et.al., 2001) Asada, M. et.al., “Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots,” Robotics and Autonomous Systems, Vol.37, pp.185-193, 2001.

(Triesch et. al., 2006) Triesch, J. et.al., “Gaze following: why (not) learn it,” Developmental Science, Vol.9, No.2, pp.125-147, 2006.

(長井ら, 2004) 長井 志江 他, “視覚注視と自己評価型学習の機能に基づくブートストラップ学習を通じた共同注意の創発,” 人工知能学会論文誌, Vol.19, No.1, pp.10-19, 2004.

## 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5件)

1. 金野 武司, 柴田 正良, 回帰的意図理解をめざす共同注意ロボット, 科学哲学, 無(招待論文), 44(2), 2012年, p.29-45.
2. 金野 武司, 橋本 敬, 心的状態のメカニズム的理解を得るための研究手法について, MYCOM2010(第11回 AI 若手の集い), オンライン予稿集, 無, 5-1, 2010年, CD-ROM.
3. Konno, T. and Hashimoto, T., An Experiment with Human-robot Interaction to Study Intentional Agency in Joint Visual Attention, Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Development and Learning, ICDL9, 有, IEEE Catalog Number: CFP10294-DVD, No.101, 2010.
4. 金野 武司, 橋本 敬, 意図的な共同注視行動を獲得する人工システムの構築とその検証方法, インタラクション 2010 デジタル予稿集, 無, 2010年.
5. 山田 広明, 金野 武司, 橋本 敬, 志向性の最小要件に関する構成論的研究, MYCOM2009(第10回 AI 若手の集い), オンライン予稿集, 無, 6-1, 2009年, CD-ROM.

〔学会発表〕(計5件)

1. 金野 武司, 心の哲学とロボット工学の出会い～ロボットの持ち得る意図的主体性は人の心的表象の理解にどのように迫れるか, 「複雑系科学と応用哲学」沖縄研究会第1回大会, 2011年8月30日, 琉球大学(沖縄県).
2. 金野 武司, 実環境での視線計測データのリアルタイム活用～意図的な視線を捉えたい～, アイトラッキングズ ジャパン 2011, 2011年8月27日, 京都リサーチパーク サイエンスホール(京都府).
3. Nagataki, S., Shibata, M., Konno, T., Hashimoto, T., and Hattori, H., Joint Attention Realized in a Robot with Intentional Agency, European Conference on Complex Systems, ECCS' 10, Sep.13-17th, 2010, ISCTE-Lisbon University (Portugal).
4. 金野 武司, 柴田 正良, ロボット製作現場での哲学とロボット工学の出会い～共同注意の発達過程をテーマに～, 日本科学哲学会シンポジウム「ロボット工学と哲学—学際融合研究での科学哲学の役割」(招待講演), 2010年11月28日, 大阪市立大学 杉本キャンパス(大阪府).
5. 金野 武司, 意図的な共同注意行動を獲得する人工システムの構築とその検証方法, インタラクション 2010, 2010年3月2日, 学術総合センター(東京都).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.jaist.ac.jp/~t-konno>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金野 武司 (KONNO TAKESHI)

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・研究員

研究者番号: 50537058