

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：13302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700258

研究課題名(和文)視線コミュニケーションの計測とロボット製作による意図共有メカニズムの解明

研究課題名(英文) Study on mechanism of sharing intentions in visual communication by constructing robots

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・特任助教

研究者番号：50537058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視線のやりとりを通じて人が意図を共有するメカニズムの解明に向けて、人どうし、人と遠隔操作ロボット、人と自律型ロボットという3種類の実験を計画した。まず、人どうしの実験でメガネ型装置を使った二者同時の視線計測実験を設計した。続いて、この実験への参加者の一方をロボットに置き換えるために、ロボットに実装すべきメカニズムを検討した。これらの検討と並行して、ロボットを遠隔操作するためのシステム開発を行なった。上記の成果は、適宜、国内会議および国際会議において報告を行なった。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to clear the mechanism of mutual understanding of intentions through visual interactions, we planned three types of experiments: human-human, human-remote control robot, and human-autonomous robot interaction. First, we designed an experiment of simultaneous recording of two human's gaze using a glasses equipment. Second, we considered mechanisms of the robot in order to replace the human with the robot. At the same time, we developed a remote control system of the robot. These outcomes were reported at two international conferences and a domestic symposium.

研究分野：認知科学

キーワード：認知科学 人工知能 知能ロボティクス 共同注意 意図的主体性

### 1. 研究開始当初の背景

人は視線を通じて互いの意図を理解し合うことができるが、その能力の獲得は共同注意と呼ばれる行動の発達として6ヶ月程度の乳児において既に始まっていることが知られている (Emery,2000). こういった発達過程のメカニズム的な解明には、観察されるデータ (行動や脳活動) からメカニズムを推定する従来の手法だけではなく、意図理解・共有のための計算モデルを構築し、ロボットのような人工システムによってその振る舞いを検証する手法が有効だと考えられている (Asada,2001;Pfeifer,2007). しかし、先行研究において共同注意の計算モデルは反射的な行動の段階に留まっていた。我々はこれを、自らが意図的に対象を注視しようとするようになるメカニズムに発展させ、それ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してきた。

本研究計画ではこれを進展させ、特に、目的と手段それぞれを実現するモジュールの直列接続によって意図的主体性を実現するメカニズムは、その直列的な入れ子構造の形成によって、意図の共有状態を実現できるのではないかという着想のもと、計算モデルの構築と認知実験による効果の検証を組み合わせた計画の立案を行なった。

### 2. 研究の目的

本研究では、自他意図の入れ子構造を直列的なアーキテクチャによって実現する計算モデルの構築に取り組み、視線による意図理解・共有メカニズムの解明を目的とした。この目的達成のために、本研究では以下の3点に取り組むことを計画した。

(1) 課題1. 二者の視線インタラクションを精密に同時計測し、注視行動における意図の理解・共有にどのように視線が無意識的に用いられているかを明らかにする。これを達成するために、人どうしの視線のみによるインタラクション実験を設計し実施する。また、この実験は意図の共有状態を明示的に測定できるように設計し、予測的視線運動やサッカーを解析する。

(2) 課題2. 課題1で明らかになる行動特徴を、人とロボットのインタラクション実験と比較できるようにするために、ロボットの遠隔操作実験を実施して、ロボット特有の外観や動きによっても人との意図の共有が達成できるかどうかを検証する。

(3) 課題3. 課題1,2で明らかになる注視行動を再現する計算モデルを構築し、これを通じて人の意図理解・共有メカニズムの解明に迫る。

### 3. 研究の方法

研究目的に挙げた3つの課題に関する具体的な研究方法を以下に述べる。

(1) 課題1.メガネ型視線計測装置2台の導入と人どうしのインタラクション実験

メガネ型の視線計測装置としてTobii社製トビーグラス(図1)一台を追加導入し、既にある一台との同時利用による二者同時視線計測の環境構築を行なう。



図1 導入したメガネ型視線計測装置

この環境構築に関して、据え置き型の視線計測装置を用いた人とロボットのインタラクション実験は既に実施した実績を持っていたが、人どうしのインタラクション実験で据え置き型を使おうとすると、どうしても人どうしの距離が離れすぎてしまうことが分かっていた。そのためのメガネ型視線計測装置の導入を計画したが、メガネを互いにかけることで相手の視線を識別できるかどうかという問題を確認する必要があった。また、据え置き型の場合には、注視点を20~30%程度の割合で見失うことが確認されていたが、その問題が起こらないことを確認する必要があった。

さらに、装置等の実験環境の構築とは別に、人どうしでの意図の共有プロセスを観察するための実験課題の設計を行なう。そのために、実験参加者には単に注視対象が一致しているかどうかを確認させるのではなく、視線のやりとりを通じて、何らかの調整を必要とするような状況を作り出すことが課題となる。

(2) 課題2. ロボットを遠隔操作する実験システムの構築と実験

実験課題は、人どうしのインタラクションに向けて設計した課題をそのまま使用する。この課題2で問題になるのは、人どうしのインタラクション状態と比較して、変更点が一方向の参加者の外観がロボットに変わることのみという状態を実現することにある。この実現には、ロボットの遠隔操作システムとして、ロボットを操作する人がロボットの視界に没入感を持ち、テレビゲームに付属するコントローラのようなものを使わずに、顔を向ける動作によってロボットの視界をコントロールできるようにすることが課題となる。

(3) 課題3. 自他意図の入れ子構造モデルの構築と人-ロボット間のインタラクション実験

課題1で設計した実験を人とロボットのインタラクション実験に置き換えるための計算モデルを構築し、ロボットに実装する。基本的な計算モデルの設計方針は目的と手段それぞれを担うモジュールの直列接続の構造を、自他の手段と目的による3次の入れ

子構造に発展させることである(金野・柴田, 2012). また, 実装する計算モデルの機能性を検証するために, 人のロボットに対する理解度や印象を測るための質問紙を新たに開発する.

#### 4. 研究成果

##### (1) 課題1. メガネ型視線計測装置2台の導入と人どうしのインタラクション実験

本研究への助成を受けて, 直ちにメガネ型視線計測装置一台を追加導入し, 二者同時の視線計測環境を構築した(図2).



図2 人どうしでの視線インタラクションの実験環境

メガネをかけた状態で相手の視線方向を識別することが可能かどうかという懸案事項に関しては, 予備実験の実施を通じてまったく問題ないことを確認することができた. ただし, 計測装置によって採取される動画の事後解析から, 相手の眼球がどの方向に向いているかを識別することは解像度の問題から難しいことが判明した. また, 視線計測によって人の注視対象を正確に同定できるかどうかという問題に関しては, 据え置き型の問題に比べて大幅に改善されることがわかった. ただし, その精度に関してはある程度の誤差が必ず生じることが分かったので, それが問題にならない範囲で注視対象を配置する工夫を行なった. また, メガネ型であることの問題として, 例えばテーブル上の対象を見た後に相手の顔を見る場合に, 目線だけを動かしてしまうと, メガネの外側に視線が移動してしまい, 注視点を計測できなくなることが分かった. これに対しては, テーブルトップをなるべく上げるようにし, また参加者には, 対象を注視するときには目だけではなく顔を向けることを依頼する工夫を行なった. 上述の工夫を組み入れた実験環境を図2のように構築し, この環境で上述の問題が解消されることを確認した.

参加者に取り組んでもらう課題には調整課題を用意した. 参加者どうしで視線のやりとりを通じて何らかの調整を必要とする状況を作り出すために, 向かい合ったテーブルの上に, あるテーマに沿った5つの選択肢を並べ, その選択肢の中から二人が選択するものを1つ決めてもらうようにした. 例としては, 図3のような絵カードを並べ, 「二人で世界遺産の1つに旅行に行くことにしました. 相談の結果, 以下の5つから選ぶことにしま

した. 最終的に行く場所を1つ決めて下さい。」という指示をする. このようなテーマを10個用意した.



図3 用意した調整課題の一例

調整課題において, どの時点で調整(同意)できたかを知ることができれば, そのデータは視線の意味を特定する助けになる. そのため, 実験装置として参加者がそれぞれにスティックタイプの押しボタンを持ってもらうようにした. また, このボタン装置には, 一方がボタンを押したことに気づかれないようにするための静音化の改造を行なった.

予備実験を行なったところで, この実験をロボットが実施できるかどうかの検討を行なった. 枠組みとしては何ら問題なかったが, ロボット側が単に頻度分布の連想という形で想起対象を注視するというメカニズムでは不十分であることが容易に想定できた. 検討の結果, ロボットに必要とされるのは, インタラクションの文脈の中で, 先行的な対象の意味や価値についての選好バイアスを持つような仕組みであることが考えられた. そこで, 人どうしの実験課題の設計までを行なったところで, こちらの進行を止めて, ロボット側に実装する計算モデルの検討を行なった(課題3へ).

##### (2) 課題2. ロボットを遠隔操作する実験システムの構築と実験

課題1, 3と並行して, ロボットを遠隔操作する実験システムの開発を実施した. 人どうしのインタラクション実験との比較を行なえるようにするために, ロボットの操作には没入感を持てることが重要と考え, ヘッドマウントディスプレイを用いることを計画した. しかし, 計画申請時に使用を予定したVUZIX社製VR920は, 前方にモニターが置かれたように見える装置であったため, 没入感を得ることが難しいことが判明した. これに対して, 2012年に開発者向けにリリースされたOculus社のOculus Riftがこの問題を解決できると考え, 導入を行なった. Oculus Riftの没入感は素晴らしく, 頭部の動きを検知することもできるため, これとロボットを連動させることが可能である. しかし他方で, この装置は装着者に乗り物酔いと同様の現象を引き起こす問題があることが分かった. 続けて2014年にリリースされたOculus社のOculus Rift DK2では, フレームレートと解像度の向上により, その酔いの発生が大きく軽減できることが確認できたものの, ロボットの遠隔操作実験に耐えうる状態にできる見通しが立たなかったため, 人

とロボットの遠隔操作によるインタラクション実験は実現させることができなかった。

### (3) 課題3．自他意図の入れ子構造モデルの構築と人-ロボット間のインタラクション実験

課題1で設計した実験で、一方をロボットに置き換えるための基礎的な要件として、注視対象についての選好バイアスを持つためのメカニズムを検討した。そのメカニズムの妥当な候補の1つとして情動生起のメカニズムを考えた。ここで重要視したのは次の2点である。1つは、情動状態をこちらからロボットに埋め込むのではなく、体験を通じて形成されるようにすること。もう1つは、自らが想起した注視対象(これがロボットの見ようとするものになる)に付随して生起する情動が、その注視対象についての他者の心的状態を推論する材料になることである。こういったメカニズムの重要性は、共同研究を行っている哲学者との議論により明らかにされたものであり、我々はこの考えに基づいたロボット製作と実験デザインの方法をまとめ、ドイツベルリンで開催された国際会議(CogSci2013)でポスター発表を行なった[業績：学会発表3]。

我々が製作したロボットと、実験デザインは以下のようなものであった。まずロボットが注視体験から何らかの情動的体験を蓄積できるようにするために、実験では人が注視する対象の好み(好き・嫌い・中立)を提示する手続きを導入する群と導入しない群を用意した。その手続きが導入されない群では、ロボットは人との視線のインタラクション体験だけを蓄積するが、手続きが導入された群では、それに加えて人が提示した好みの情報を蓄積した。また、それぞれの群は体験を蓄積するだけのロボットとインタラクションする第一テストと、蓄積された体験を活用するロボットとインタラクションする第二テストにそれぞれ参加した。第二テストにおいて、好みの提示が行なわれたロボットは、相手の視線方向に対する注視対象の頻度分布と、それに付随した好みの分布を持ち、注視対象はその両者を掛け合わせた分布から想起されるようになっていた。さらに、第一・第二テストには、意図共有の状態を測り、評価するための仕組みとして、注視対象が一致しているかどうかを逐次提示しない条件(第一テスト)と、逐次提示する条件(第二テスト)の違いを持たせた。厳密な条件の統制という意味ではこの設定は行なわない方が適切であろうと思われたが、課題3への発展を模索するための探索的実験という位置付けとしてこの設定を加えた(これを加えたことで後述の重要な成果が生まれた)。

上記の実験を実施するための実験環境を図4に示す。

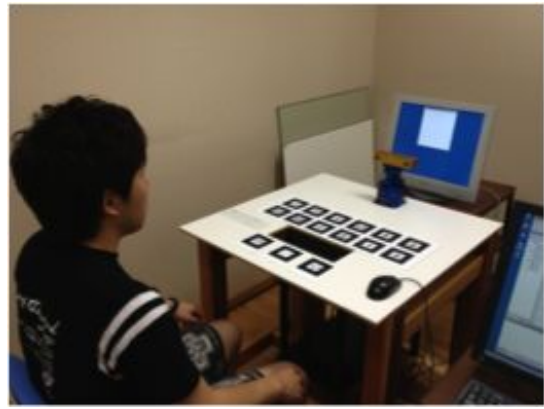


図4 人とロボットのインタラクション実験の環境

図4に示すように、実験で注視対象としたのは課題1の説明で示した図3のようなテーマを持ったものではなく、1から12までの数字カードであった(ロボットはそれぞれの対象の意味や価値をまったく理解できないため)。実験を行なった結果、残念ながら好みを提示した群と提示しなかった群で、ロボットが内的に備えた注視対象の頻度分布に大きな差は見られなかった。これは、人の好みの提示によって作られた頻度分布が、ロボットの注視対象に特定のバイアスを与えるような特徴を備えさせるには至らなかったことを意味する。この意味で、当初期待した行動特徴の違いは現れなかったのだが、実験結果には興味深い特徴が現れた。それは、注視対象の一致/不一致を逐次確認しない第一テストと、逐次確認する第二テストを比較すると、第二テストの方が注視対象の一致率が高かったにも関わらず、人のロボットに対する理解度評価や意図性(ロボットが意図的に振舞っているように感じるか)・親和性(ロボットを形容詞で表現したとき、やさしい、近づくやすい、親しみやすいなど感じるか)についての評価が、第二テストで低下するという結果である。また、好みを提示しなかった群/した群で比較すると、いずれもロボットの理解度評価は低下した一方で、好みを提示した群においてのみ、意図性・親和性の評価が低下しない傾向が確認された。

この結果は、人とロボットの視線インタラクションにおいては、人はロボットがある程度自分と同じものを見ていると思い込んでいる状態であり、それが顕在化することにより、たとえ注視する対象の一致度が上がっていたとしても、ロボットの理解力や意図性・親和性についての評価は低下することを示唆している。しかし、人が自身の好みのような情報をロボットに提示していると、注視対象の不一致が顕在化する状況においても、意図性・親和性についての評価の低下を低減できる可能性があることを示している。この知見は工学応用についての価値を持つと判断されたため、結果をまとめて岐阜大学サテライトキャンパスで開催されたヒューマン・エ

ーエージェント・インタラクションシンポジウム (HAI2013) において口頭発表を行なった[業績：学会発表 2]。この発表は40分の発表時間が設けられた討論セッションに採択され(6件のうちの1件)、研究内容は発表の1年後に行なわれた同シンポジウム (HAI2014) にて Outstanding Research Award を受賞した。

上記実験結果においてもうひとつ興味深いのは、ロボットに対する理解度や意図性・親和性の評価が低下した第二テストにおいて、ロボットの複雑性や人間性についての評価がより複雑で人間的であるという評価に変わる傾向にあったことである。これは、単に人への追従を示すことがロボットの間らしさを増すのではなく、一致しないことに対する認識が重要であることを示唆している。この結果は、人との視線コミュニケーションにおいて、人と意図を共有する仕組みを実現するメカニズムに大きな示唆を与えるものであると我々は考えている。これを実験結果から議論することを目的として、カナダケベックシティで開催された国際会議 (CogSci2014) にてポスター発表を行なった[業績：学会発表 1]。

#### [文献]

- N. Emery (2000) The eyes have it: the neuroethology, function and evolution of social gaze, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(6):581-604.
- M. Asada et.al. (2001) Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots, *Robotics and Autonomous Systems*, 37:185-193.
- R. Pfeifer et.al. (2007) *How the body shapes the way we think: a new view of intelligence*, The MIT Press.
- 金野 武司, 柴田 正良 (2011) 回帰的意図理解をめざす共同注意ロボット, *科学哲学*, 44(2):29-45.

#### 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3件)

1. Konno, T., Nagataki, S., Shibata, M., Hashimoto, T., Ohira, H., Effects of uncovering gaze target mismatch in human-robot joint visual attention on evaluation of understanding and impressions of robot, *Proceedings of the 36th annual meeting of the cognitive science society (CogSci2014)*, p.3309, 2014. (査読有り)
2. 金野 武司, 長滝 祥司, 柴田 正良, ロボットとの共同注視場面において注視対象の確認手続きが与える主観評価への影響,

HAI シンポジウム 2013, 予稿集 S-6, p.229-236, 2013. (査読有り)

3. Nagataki, S., Shibata, M., Konno, T., Hashimoto, T., Ohira, H., Reciprocal Ascription of Intentions Realized in Robot-human Interaction, *Proceedings of the 35th annual meeting of the cognitive science society (CogSci2013)*, p.4061, 2013. (査読有り)

##### [学会発表](計4件)

1. Konno, T., Nagataki, S., Shibata, M., Hashimoto, T., Ohira, H., Effects of uncovering gaze target mismatch in human-robot joint visual attention on evaluation of understanding and impressions of robot, *The 36th annual meeting of the cognitive science society (CogSci2014)*, Quebec City Convention Center, Quebec City, Canada, Jul.23rd-26th, 2014.
2. 金野 武司, 長滝 祥司, 柴田 正良, ロボットとの共同注視場面において注視対象の確認手続きが与える主観評価への影響, HAI シンポジウム 2013, 岐阜大学 駅前サテライトキャンパス, 岐阜県, 岐阜市, 12/7-8, 2013.
3. Nagataki, S., Shibata, M., Konno, T., Hashimoto, T., Ohira, H., Reciprocal Ascription of Intentions Realized in Robot-human Interaction, *The 35th annual meeting of the cognitive science society (CogSci2013)*, Humboldt Univ., Berlin, Germany, Jul.31-Aug.3, 2013.
4. 金野 武司, コミュニケーションはなぜムズかしい?, 中京大学 国際教養学部 学術講演会, 中京大学名古屋キャンパス 524 教室, 愛知県, 名古屋市, Jan.17, 2013.

##### [図書](計0件)

##### [産業財産権]

出願状況(計0件)  
取得状況(計0件)

##### [その他]

ホームページ等

<http://www.jaist.ac.jp/~t-konno>  
北陸先端科学技術大学院大学 | ニュース  
<http://www.jaist.ac.jp/news/award/2014/-2014-1.html>

#### 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・特任助教  
研究者番号：50537058