

数理モデル構築による意図的コミュニケーションメカニズムの解明

金野 武司

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 研究員

概要: 人は意図を介して他者と社会的なコミュニケーションを行なう。これはごく当たり前のことであるにも関わらず、これを客観的に理解することは難しい。なぜなら、人の行動と同時にその内面を計測することが難しいからである。本研究はこういった難しさに対して、脳を直接計測するのではなく、数理モデルを構築し、それをコンピュータシミュレーションやロボットに実装して、より抽象的なレベルでの本質的な理解を得ようとする。また本研究は、解明の対象を乳幼児の発達過程とすることで、反射的な行動段階からやがて意図を介した社会的なコミュニケーション能力を獲得する過程の解明に取り組む。この取り組みによって、現代人が感じる社会的コミュニケーションの難しさがメカニズムの観点から明らかにされることが期待される。また、意図を介したコミュニケーションを可能にする人工システムの構築は、人に優しい機械の開発に寄与することが期待される。

Study on Intentional Communication Mechanisms through Construction of Computational Model

Takeshi Konno

Researcher, School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

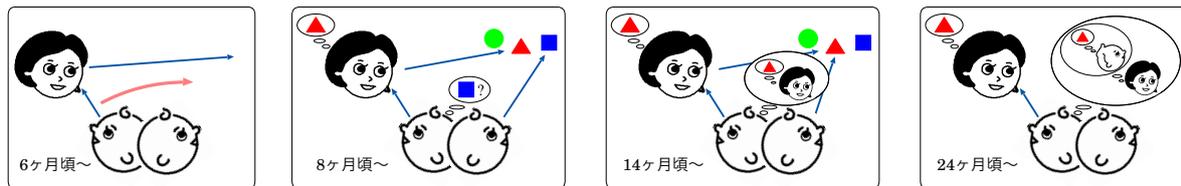
Abstract: Infants acquire many communicative eye gaze such as joint visual attention. The joint visual attention is defined as “looking where someone else is looking” and is noticeable behavior as the appearance of elementary ability of inferring others’ intention. The importance of the behavior is in the development process which includes a change from reflexive to intentional behavior. We construct an computational model of the development process and propose the verification method of a human-robot interaction. In our study, we argue that a nested structure of intentional agency between self and other is a primitive mechanism of understanding others’ intentions and shared intentionality.

1 研究目的

本研究の目的は、人が注意を向ける対象を、その人が何を見ようとしているのかという観点から推論するための数理モデルを構築し、人の意図的な注意変化のメカニズムを明らかにすることに貢献することである。このために本研究で取り上げるのは、乳幼児が発達過程で見せる視覚的コミュニケーション行動の一つである共同注視 (Joint Visual Attention) である。共同注視は親の視線方向に子どもも視線を向ける行動として観察される (Butterworth and Jarrett, 1991)。この行動は反射的な行動として始まりながらも、やがては他者の注意を意図性の観点から理解し、さらにはそれを共有するようになる過程があると考えられている (Tomasello, 1995)。視線の共有は、表

面的に同じ対象を見ているということではなく、自分がその対象を見ようとしていることを相手が分かっているということを知っているという、心的な入れ子を形成した状態である (Dennett, 1987; 金沢, 1999)。もちろん、いつでもそのような心的状態を意識しているわけではないが、視線が共有できていないと感じるときには、いつでもそのような心的状態が壊れていることを認識することになる。こういった心的状態を形成するメカニズムを明らかにすることこそが、人の意図的な注意変化のメカニズムを明らかにすることにつながるのではないかと考えられる。

ところが、このような心的状態は客観的に観察可能な行動の特徴として定義されていない点で科学的な調査を進めることが難しい。脳活動計測のような



Step0. 親の視線方向に反射的に視線を向ける
Step1. 見ようとするものを形成する
Step2. 親の見ようとするものを理解する
Step3. 親と見ようとするものを共有する

図 1: 共同注視が意図の共有に至までの 4 つの発達段階

手法においても、測定することの技術的な難しさと同時に、測定されたデータから乳幼児の見ようとしている状態を知ることには根本的な難しさがある (Paterson et al., 2006).

こういった難しさの解決を試みるアプローチの一つに認知発達ロボティクスがある (Asada et al., 2001). これはロボットに乳幼児の発達過程を再現することで、ロボットの行動とその内部メカニズムを同時に観測することを可能にする手法である. 長井他 (2004) は、このアプローチに基づいた共同注視の獲得実験を行なっている. この研究では、ロボットはヒトとの視覚的インタラクションを通じてヒトの視線方向を見る行動を学習する. ところが、その共同注視はあくまでも反射的な行動に留まるものであり、意図性のような内面の成長がロボットの中で起こるようにはなっていない.

これに対して我々は、反射的な行動と意図的な行動を分けるメカニズムとして、反射的な行動を手段にするような注視目標 (目的) を内部に形成する計算モデルを構築している (金野・橋本, 2008). これは、他者の内面を理解するようになるための前段階として、まず自らが意図的な主体になる過程が先行するのではないかとというトマセロの指摘 (Tomasello, 2000) を支持したモデルである. またこの試みは、内部観測が可能な手法であるからこそ、意図性を獲得する過程に潜むメカニズムを解明できるという考えに基づく. さらに金野・橋本 (2010) は、構築する計算モデルの持つ機能の実効性を検証するため、意図的な主体性を形成する (と考えている) 計算モデルをロボットに実装し、人とのインタラクション実験を開始している. 以上のように、我々は意図性の形成をメカニズムに内包する人工物の構築によって、ヒト-ロボット間の心的なコミュニケーションを実現するメカニズムを解明できるのではないかと考えている.

2 研究経過

我々は、共同注視が反射的な段階から注意を共有するようになるまでの過程を 4 つのステップに分けて考えている (図 1). 最初は Step0 の反射的な状態から始まり、Step1 で自らの見ようとするもの (意図的主体性) を形成し、Step2 で他者の見ようとするものを理解するようになり、Step3 で他者と見ようとするものを共有するようになる. またそれぞれの段階では、まず計算モデルを構築し、次いでその計算モデルをロボットに実装して人とのインタラクション実験を実施するという 2 つの手法で取り組み、3 年間で Step3 に至る計画である.

計画の一年目である昨年度は、ステップ 0 から 1 への発達過程に取り組んだ. Step1 の計算モデルに関しては構築済みであったため、計算モデルを実装するロボットの開発と実験環境の整備が主な取り組みである. このロボットの開発に、財団法人日産科学振興財団よりいただいた助成を活用させていただいた. 以下、実装する計算モデルの概略と、開発したロボットの視覚システムおよび実験環境を説明する.

2.1 意図的主体性を形成する計算モデル

共同注視する乳幼児は、親の視線を入力として受け取り、視線の移動を出力とするシステムとして捉えることができる. このとき反射的な共同注視は、親の視線方向を上下左右の 4 方向で識別するならば、それぞれの方向に自分の視線を移動させるメカニズムを備えたシステムになる. これに対して、意図的な主体性を形成するシステムは、親の視線から何らかの見ようとする対象を想起して、その想起した対象のあるだろう方向を見るメカニズムを備える (図 2). またその想起対象は親とのインタラクションを通じて形成される. この仕組みの実現に重要なのは、反射的な行動モジュールに共同注視の学習モジュール

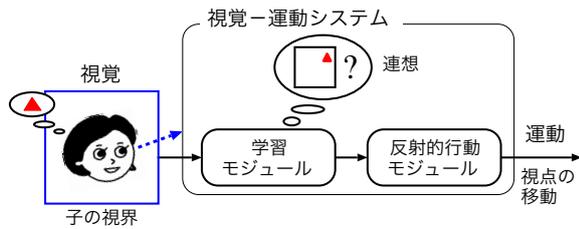


図 2: 意図的主体性を形成するシステム図

を前置接続し、シリアルアーキテクチャを構成することである。そして、その学習モジュールに連想などの仕組みを持たせることで、学習モジュールの出力がシステムの注視目標として働くようにすることができる(金野・橋本, 2008)。

2.2 ロボットの仕様と実験環境

計算モデルを実装するロボット(視覚-運動システム)は、ステレオカメラ(PGR社製Bumblebee2)とパン・チルト駆動装置(TRACLabs社製Biclops)、およびこれらを制御する計算機(パーソナルコンピュータ)で構成する(図3(4.ロボット))。

このロボットに認識させるオブジェクトとヒトの顔の特徴は次のとおりである。

- オブジェクトの認識
画像から識別する色を4つまで設定し、その色の塊が、設定する閾値を超える領域をオブジェクトとして認識する。実験には4つのゴムボール(赤、緑、黄、青)をインタラクション用のオブジェクトとして用意する。
- 顔の認識と視線方向の検出
顔領域の特定にはOpenCV¹を用いる。視線方向は眼球ではなく頭部運動で代替する²。視界に映るヒトの顔を注視した後で、検出される顔領域の重心が移動する方向によって顔の向きを特定する。

ロボットを使った実験環境は図3のように構築する。被験者はロボットの前に座り、視覚的なコミュニケーションを行なう。このとき、ロボットの見ているもの、および見ようとしているものは計算機から取得する。また、ヒトの見ているものの計測には視線計測装置(Tobii社製X120)を用いる。

¹<http://opencv.willowgarage.com/wiki/>

²これには2つの理由がある。1つは、8ヶ月程度の乳児では眼球運動よりも頭部運動に対して共同注視を行ないやすいからである。もう1つは単純に視線方向の検出は技術的なハードルが高いという理由である。

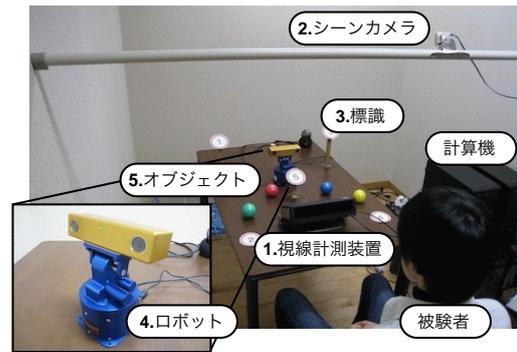


図 3: ヒトとロボットのインタラクション環境。手前に被験者が座り、その前方に1. 視線計測装置、2. キャリブレーション用のシーンカメラと3. その標識、4. ロボット、5. オブジェクトがそれぞれ配置される。

3 研究成果

研究計画の一年目となった昨年度はヒトとロボットのインタラクション実験を行なうための環境整備に注力した。この実験環境の構築を通じて、具体的な行動および機能性を検証するための作業仮説が明確になってきた。作業仮説の構築における問題は、反射的な行動のシステムと意図的主体性を形成するシステムが、どのような行動の違いを引き起こすのかということである。

反射的なシステムと意図的主体性を形成するシステムは、内的状態の違いを伴って文脈依存的な行動や注視対象の探索的行動の違いを見せるのではないかと考えられる。例えば、親の視線の先に複数のオブジェクトがあるような場合に、意図的主体性を形成する共同注視では親とのインタラクションに依存して見るものが決まるようになったり、見ようとするものがない場合に、その目標に基づいた探索的行動が起こるようになるといった具合である。そして我々は、こういった内的メカニズムや行動の違いはヒトに意図性を感じさせるのではないかと考えている。これが、意図的主体性を形成するシステムの機能性であり、これを検証するのがヒトとロボットのインタラクション実験である。しかし、実験環境を構築するにつれて次のようなことが明らかになってきた。まず、文脈依存性や注視対象の探索的行動はある程度長い時間のインタラクションが必要なため、より短時間(例えば5分程度のインタラクション)で検証できる作業仮説が必要である。また、ヒトの視線方向を識別する能力が低い状態では、反射的な行動と意図的主体性を持った行動に外見上の違いが現

れないことも明らかになってきた。なぜなら、一方のロボットが視線を向けた後で注視対象を決め、他方のロボットがヒトの視線から想起した対象を見ようとしても、その違いが視線の読み間違えによる不一致要因に埋もれてしまうからである。

この問題を解消するために導入するのが視線計測装置である。ヒトのしているものが正確に分かれれば、2つのシステムが持つ行動上の違いが明確化するはずである。つまり反射的なシステムは必ずヒトが注視するものに視線を向けるようになり、意図的主体性を形成するシステムは、ときどきヒトとは異なるものを見るはずである。この違いは、単に共同注視が視線方向の解像度を上げて行くだけの過程ではないことを浮き彫りにすると思われる。他者が見ているものを必ず見るシステムに、ヒトは意図性を感じないのではないかと推測できるからである。ときどき自分とは違うものを見るロボット。そしてその見方は単に確率的なゆらぎによって決まっているのではなく、ヒトとのインタラクションに依存して決まる。そういった内的メカニズムを持ったシステムにヒトは意図性を感じ取るのではないかと考えられる。

4 今後の課題と発展

今後はヒトとロボットのインタラクション実験を進め、ヒトに意図性を感じさせることのできるロボットの内的メカニズムを明らかにしていく。これと並行して、次の発達段階として考えている「他者の見ようとするものを理解するためのメカニズム」を計算モデルの構築を通じて検討する。このように計算モデルの構築とロボットへの実装を交互に繰り返し、乳幼児が他者と視線を共有するようになるメカニズムを、見ようとするものという心的状態を中心とした推論の入れ子構造が深化する過程として解明することに注力する。

この取り組みを通じて、ヒトが意図的に注意を変化させるメカニズムを明らかにしていくことができるのではないかと考えられる。こういった成果は、ヒトの視線の移動が意図を持ったものであるのか、それとも反射的に引き起こされたものであるのかを識別するシステムの構築に貢献できる。また、ヒトと視覚的な注意を意図的に共有するような人工物の開発を助けることができるのではないかと考えている。

ヒトのコミュニケーションは、外部からは容易に観測できない心的状態を介して行なわれることに根

本的な難しさがある。ヒトの意図性を扱う技術の開発は、その難しさを客観的に理解することを助け、機械がその難しさを適切に補うような社会を実現することに貢献できるのではないかと考えられる。

5 発表論文

本成果は国内会議のインタラクション 2010(<http://www.interaction-ipsj.org/>)にて報告した(金野・橋本, 2010)。

参考文献

- Asada, M., K.F. MacDorman, H. Ishiguro, and Y. Kuniyoshi (2001) "Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 37, pp. 185–193.
- Butterworth, G.E. and N.L.M. Jarrett (1991) "What minds have in common is space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy," *British Journal of Developmental Psychology*, Vol. 9, pp. 55–72.
- Dennett, D.C. (1987) *The Intentional Stance*: MIT Press. (若島 正, 河田学 訳 (1996), 『「志向姿勢」の哲学』, 白揚社.)
- 金沢創 (1999) 『他者の心は存在するか—<他者>から<私>への進化論—』, 金子書房.
- 金野武司・橋本敬 (2008) 「乳幼児の視線: 交互凝視行動の計算論的研究」, 『認知科学』, 第 15 卷, 第 2 号, 233–250 頁.
- (2010) 「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』, CD-ROM.
- 長井志江・細田耕・森田章生・浅田稔 (2004) 「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』, 第 19 卷, 第 1 号, 10–19 頁.
- Paterson, S.J., S. Heim, J.T. Friedman, N. Choudhury, and A.A. Benasich (2006) "Development of structure and function in the infant brain: Implications for cognition, language and social behaviour," *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 30, No. 8, pp. 1087–1105.
- Tomasello, M. (1995) "Joint attention as social cognition," in C. Moore and P.J. Dunham eds. *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*: Lawrence Erlbaum, pp. 103–130. (大神 英裕監訳 (1999), 『ジョイント・アテンション』, ナカニシヤ出版.)
- (2000) *The cultural origins of human cognition*: Harvard University Press, Cambridge, pp.72–73.