

視覚的コミュニケーション行動における 意図的主体性形成の構成論的研究

金野 武司*(学生), 橋本 敬

北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST), 知識科学研究科

〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1

{t-konno,hash}@jaist.ac.jp

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

1 はじめに

乳幼児が見せる社会的なコミュニケーション行動の1つに共同注視 (Joint Visual Attention) がある。共同注視は、親の視線の向く方向に自らも視線を向ける行動と定義されている。この行動は他者の見ようとするものを理解し、他者と注意を共有するような共同注意 (Joint Attention もしくは Shared Intentionality) と呼ばれる行動に発展することが知られており、その過程が注目されている (Tomasello, 1995)。なぜなら、他者の見ようとするものを理解して同じ対象に注意を向けるようになることが、ヒトの社会的なコミュニケーションの重要な特徴の1つであると考えられるからである。

この発達過程には、自ら対象を見ようとするような意図的主体性 (intentional agency) を形成する過程があると言われている。そして乳幼児は、この意図的主体性を鑄型にして他者にも自分と同じような意図的主体性があることに気付くことで、他者の意図 (見ようとするもの) を理解し、やがては他者の心的状態を理解するようになっていくのではないかと考えられている (Tomasello, 2000)。この仮説を採用すれば、共同注視の発達過程には親の視線によって自ら何らかのものを見ようとするような内部状態を形成する過程があるのではないかと考えられる。しかし、乳幼児を対象にした認知実験からそのような内部状態の形成過程を明らかにすることは難しい。そこで本論は、共同注視の発達過程に関する抽象的なモデルを構築し、これをコンピュータシミュレーションでテストするという構成的なアプローチを用いる。このモデルの構築において本論は、親の視線に反応して形成される内部状態が子エージェント¹の見ようとするもの (注視目標) として機能するようになる仕組みを明らかにすることを目的とする。またその仕組みの持つ意味の検討を通じて、乳幼児がどのような能力によって意図的主体性を実現しているのかを議論する。

2 共同注視の獲得モデル

共同注視は Butterworth and Jarrett (1991) の実験によって、6-18ヶ月程度の期間に発達する行動であることが知られている。またその過程では、Corkum and Moore (1995) の実験から親の視線の先にあるオブジェクトを見るような体験を通じた条件付的な学習が関与することが示唆されている。Nagai et al. (2003) はこういった知見を基に、視界に映るものを反射的に注視する視覚定位行動から親の次にオブジェクトを見る体験を得て、これを条件付的に学習することによって共同注視を獲得するモデルを構築している。しかし、そのモデルのメカニズムは感覚と運動を直接結び付ける形になっており、結果として反射的な共同注視を学習するモデルになっている。本論で考えたいのは、その学習過程で注視目標のような内部状態を形成する仕組みである。これを実現するため、本論では視覚定位を起こす運動モジュールに、注視目標として機能する内部状態を出力するモジュール (学習モジュール) を直列に前置接続するシステムを用意する。

このとき、学習モジュールは視覚定位の機能を損なわずに、かつ視覚定位が用いている情報表現を使って共同注視を実現する必要がある。本論の具体的な課題は、この問題がどのように解決できるのかを明らかにすることである。以降、この問題を検討するための準備として、構築するモデルに想定する環境と、その環境で子エージェントが受け取る感覚情報を説明し、反射的な視覚定位行動の運動モジュールをどのように用意するのかを説明する (2.1 節)。その上で、視覚定位を足掛かりにした学習モジュールの仕組みがどのように構成できるのかを検討し、その実装を示す (2.2 節)。

¹人工システムで構築する乳幼児モデルを本論では子エージェントと呼ぶ。

2.1 環境設定と視覚定位

本論では親と子のコミュニケーション場面を想定し、これを子どもの主観座標からモデル化する。子エージェントは1[m]四方の視界を持ち、親やオブジェクトはその視界に投影される。視界に投影される対象に奥行き情報は含まれず、子エージェントの視界は2次元平面を移動するものとする。子エージェントはこの視界から特徴情報と配置情報を受け取る。特徴情報は親の視線方向とオブジェクトの形状から構成され、配置情報は親やオブジェクトの配置方向と距離によって構成される(図1)。

この感覚情報を用いて、視界に映るものを反射的に注視する視覚定位行動を用意する。この行動は、乳幼児が周辺刺激に対する鋭敏性を3ヶ月程度までに発達させるという知見に対応させたものである(Atkinson et al., 1992)。本論ではこの行動の獲得に強化学習を用いる(図2)。この強化学習の状態評価では、子エージェントは視界から距離情報を取得して、視点の移動によってオブジェクトが近付いたことを正確に評価できることを仮定する。このシステムによって子エージェントは、視界に親やオブジェクトが映ればそれを反射的に注視するようになる(金野・橋本, 2008)。

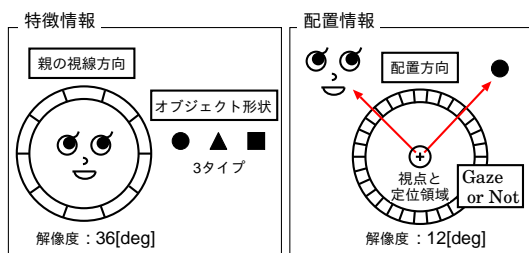


図.1: 視界から受け取る感覚情報

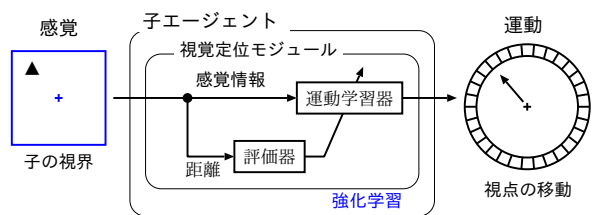


図.2: 視覚定位モデルのシステムブロック図

2.2 視覚定位を足掛かりにした共同注視の学習

用意した視覚定位の運動モジュールに新たな学習モジュールを前置接続する。このとき、その学習モジュールが視覚定位によって得る親やオブジェクトの注視体験から、親の視線の先にあるオブジェクト(視界には映っていない)を注視する共同注視行動を学習する仕組みを考える。これを実現する基本的なアイデアは連想である(図3上)。なぜなら、親の次にオブジェクトを見る体験を蓄積し、親を見たときに過去に見たオブジェクト(視線の先にあるだろうオブジェクト)を連想してそれを視覚定位モジュールに入力すれば、視点はそのオブジェクトがあるだろう方向に動き出すことができるからである。

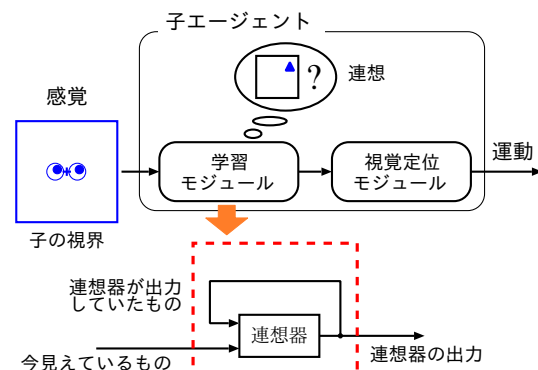


図.3: 連想による共同注視とそのシステムブロック図

しかし、視点が移動した後で、連想したオブジェクトと同じものが視界に映れば、学習モジュールが視覚定位モジュールへ向けて出力する信号は見てきたオブジェクトの感覚情報に変更する必要がある。そうしなければ、視点はオブジェクトを素通りしてしまうからである。このとき学習モジュールには、1. 連想したオブジェクトと見てきたオブジェクトを比較して、2. それが同じものであるかどうかを識別し、3. その識別に基づいて出力する情報を変更する仕組みが必要である。1. の仕組みの実現には図3下のようなフィードバックシステムを用意し、2. の仕組みには感覚情報から親やオブジェクトを識別する仕組みを用意する²。また、学習モジュールの出力を決める3. の仕組みは次次のアルゴリズムによって実現できる。

$$s_a = [\text{今見えているもの} \succ \text{連想器が出力していたもの} \succ \text{今見えているものから連想したもの}], \quad (1)$$

$$\text{連想器の出力} = \begin{cases} s_a & \text{s.t. 連想器の出力と違うもの if 連想したものを注視している,} \\ s_a & \text{s.t. 連想器の出力と同じもの otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

²用意した感覚情報では、受け取る刺激の段階で親の視線やオブジェクトの形状を区別できないことを仮定した。この仮定に基づくモデルの構築から分かるのが、親やオブジェクトを識別する仕組みの必要性である。

ここで、 \succ (succeed 記号) は優先順位を表わし、s.t. は such that の略である。これは、3つの情報を連想器の出力と順に比較しながら ((1) 式)、もし連想したものを注視しているなら連想器が出力していたものとは異なるものを出力し、逆に注視していなければ同じものを出力する ((2) 式) というアルゴリズムである。また、親からオブジェクトを連想する仕組みには頻度分布 (F) を用意する。視覚定位によって親の次にオブジェクトを見た経験をその頻度分布に蓄積し ((3) 式)、親を注視したときにはその頻度分布から構成する確率分布 (p) を使って、過去に見たオブジェクトの感覚情報を連想する ((4) 式)。

$$F'(\text{親, オブジェクト}) = F(\text{親, オブジェクト}) + 1, \quad (3)$$

$$p(\text{連想} | \text{今見えているもの}) = \frac{F(\text{今見えているもの, 連想})}{\sum_s F(\text{今見えているもの, } s)} \quad (4)$$

ここで F' は更新後の頻度分布である。

これらの仕組みを持った子エージェントに対して、視界内で親の視線の先にオブジェクトを表示する状況を体験させると、子エージェントはやがて、親を見てからその視線方向にあるオブジェクト (視界には映っていない) を注視できるようになる (金野・橋本, 2008)。このとき、子エージェントは内部に学習モジュールの出力信号を持つことで、親の視線の先に複数のオブジェクトが置かれた状況でも、その内部状態に従って自律的に見るものを決めることができるようになる。これが、親の視線に対して反射的に視点を動かす先行研究のモデルとの質的な違いである。またこの機能性は、連想したオブジェクトを注視目標 (目的) にして、視覚定位を手段とすることで実現されている。我々はこのような目的と手段の適切な結合状態が意図的主体性の原型になると考えている。

3 議論：共同注視の学習モデルが持つメカニズムとその意味

共同注視を学習する連想器には4つの仕組みがある。A. 感覚情報から親やオブジェクトを識別する仕組み (前節2.の仕組み)、B. 情報を特定の順序で比較する仕組み ((1) 式)、C. 親を注視したときにオブジェクトを出力する仕組み ((2) 式)、D. 頻度分布による連想の仕組み ((3),(4) 式) である。まず A. の仕組みはカテゴリの形成に関連する。これは、子エージェントの共同注視行動が親やオブジェクトの識別に対する適切な行動の割り当てによって実現されるためである。また B. の仕組みは、記憶の種類に応じたアクセス時間の違いから派生する仕組みとして考えることができる。それは、「連想器が出力していた情報」や「今見えているものから連想する情報」がワーキングメモリや短期記憶に相当する情報と解釈できるからである。さらに C. の仕組みは、馴化 / 脱馴化に関連する仕組みであると考えられる。それは、この仕組みが親を見ることに馴れて親とは異なるものを出力する仕組みであると解釈できるからである。D. の仕組みは記憶の仕組みに関連する。このように、連想器の出力する信号が子エージェントの注視目標として機能するための4つの仕組みは、それぞれカテゴリの形成、記憶情報へのアクセス時間の違い、馴化 / 脱馴化、記憶といった仕組みとの関連を考えることができる。このとき、特に B. の情報の比較順序の仕組みは、乳幼児の行動観察からは推定が難しく、構成的なアプローチだからこそ明らかにできる仕組みであると言える。

また記憶に関して、このモデルが共同注視を学習するための条件を考えると、そこから共同注視の発達過程に関するモデルを得ることができる。それを以下に述べる。子エージェントが親の視線の先にあるオブジェクトを連想するには、親の視線の先に置かれたオブジェクトを見るという体験が必要である。頻度分布を記憶の仕組みだと考えれば、共同注視体験の蓄積には、多くの体験の中から共同注視の規則性だけを蓄積する仕組みを考えることができる。しかし本論では、その記憶のシステムが機能する以前に、そもそも反射的な共同注視が乳幼児に備わっているのではないかと考えている。なぜなら、共同注視は特殊な実験環境では6ヶ月程度の乳児にも観察される反射的な運動であることが確認されているからである (Hood et al., 1998)。このとき、反射的な共同注視には本論で用意した視覚定位に類似した仕組みを考えることができる。なぜなら、視覚定位が周辺刺激への感受性として3ヶ月程度までに発達するのと同じように、6ヶ月程度で既に獲得している反射的な共同注視は顔のコントラストの偏りや視線の移動を刺激にして、目標もなく自らの視点を移動する行動と考えられるからである。このように考えると、8ヶ月以降に条件付的な学習によって共同注視を獲得する過程は、反射的な共同注視を足掛かりにして親が見る方向にあるオブジェクトを見る体験を積み、そ

れによってオブジェクトを見ようとする内部状態を形成する過程として捉えることができるようになる³。これはさらに、自らの目的と手段を鋳型にした他者の意図理解（見ようとするものの理解）へと発展する過程の検討を可能にする。

以上のように、特定の機能を持ったモデルを作るだけでなく、構築したモデルの持つ仕組みがどのような意味を持つのかを検討することによって、本論は直接観察することの難しい意図性のようなものをメカニズムの観点から解明することに貢献する。

4 議論：意図的主体性を鋳型にした共同注意の獲得

子エージェントが形成する目的と手段のセット（意図的主体性）を基にすると、親の見ようとしているものを理解する仕組み（他者の意図を理解する仕組み）はどのように考えることができるだろうか。

子エージェントが親の見ようとしているものを理解するには、親の視線を見て、それがどのような意図を持った行動なのかを推論する必要がある。このとき、親の行動を自分の行動に照らして、自分が見ようとするだろうものを基に親の見ようとしているものを推論する仕組みを持つことが、本論が考える意図的主体性を鋳型にした他者の意図理解である。この仕組みを、他者が持つだろう目的と手段のセットに対して、その手段の部分に自分の目的と手段が入り込む構造として捉えると、親の見ようとするものを理解するための構造が見えてくる。つまり、親の視線から親の目的を推論し、その推論に基づいて自らの目的を形成して適切な手段を行使するという〔親の目的 自分の目的と手段〕の構造である。これはちょうど、親と子それぞれの目的と手段が入れ子になっている。

この入れ子構造がもう一段深さを増すと、親の視線から親が理解する自分の目的を推論し、さらにその自分の目的に対して親がどのような目的を持っているのかを推論し、その推論に基づいて自分の目的を決めて適切な手段を行使するという構造が実現できる。これはつまり、【親が理解する自分の目的 [親の目的 自分の目的と手段]】という構造である。この状態は、ある1つのオブジェクトを自分と親が同時に注視しているとき、「自分がそのオブジェクトに注目していることを親が分かっていることを自分は知っている」という状態を実現する。この構造によって実現される状態が他者と見るものを共有した状態であり、これこそが共同注意が持つ重要な特徴であると考えられる。

この入れ子構造の実現には〔親の目的 自分の目的と手段〕という構造から推測されるように、手段に対して目的を前置接続する回路構成において、さらに上位の目的（親の目的）を形成する学習モジュールを前置接続することで実現できると考えられる。もちろん、この上位の目的形成モジュールを構築することは容易なことではない。しかし、明示的な学習モジュールの追加によって意図的主体性の形成過程を考えたように、他者の意図を理解する過程に関しても同じように取り組むことで、こういった仕組みが重要な役割を持つのかを明らかにすることができるのではないかと考えられる。

参考文献

- Atkinson, J., B. Hood, J. Wattam-Bell, and O.J. Braddick (1992) “Changes in infants’ ability to switch visual attention in the first three months of life,” *Perception*, Vol. 21, pp. 643–653.
- 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.
- Corkum, V. and C. Moore (1995) “Development of joint visual attention in infants,” in C. Moore and P.J. Dunham eds. *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*: Lawrence Erlbaum, pp. 61–84. (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.)
- Hood, B.M., J.D. Willen, and J. Driver (1998) “Adult’s Eyes Trigger Shifts of Visual Attention in Human Infants,” *Psychological Science*, Vol. 9, No. 2, pp. 131–134.
- 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巻, 第2号。(印刷中)。
- Nagai, Y., K. Hosoda, A. Morita, and M. Asada (2003) “A constructive model for the development of joint attention,” *Connection Science*, Vol. 15, No. 4, pp. 211–229.
- 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.

³連想による共同注視は、視覚定位モジュールに反射的な共同注視の機能があっても競合しない。むしろ反射的な共同注視は、親の視線方向にあるオブジェクトを見ようとする内部状態の形成を促進する。