

# 「心の理論」に基づくヒューマン - ロボットコミュニケーション - 共有注意のための発達のモデル -

長井志江 浅田稔 (大阪大学大学院)

## Human-Robot Communication based on Theory of Mind - Developmental Model for Shared Attention -

Yukie NAGAI and Minoru ASADA (Osaka University)

**Abstract**— This paper proposes a developmental communication system which is based on theory of mind. The system has four mechanisms: intentionality detector, eye direction detector, shared attention mechanism and theory of mind mechanism, and a robot acquires these mechanisms through interactions with others. As a first step, a developmental model for shared attention is presented here.

**Key Words:** Communication, Theory of Mind, Shared Attention, Development

### 1. はじめに

人間と共生し日常的に活動するロボットにとって、重要な機能の一つにコミュニケーションの能力が挙げられる。一方で、人間は他者とのコミュニケーションを実現する手段として「心の理論」をもつことが知られている<sup>1)</sup>。心の理論とは、自己や他者の行動をその人がもつと予測される内的表象(知識や信念、欲求など)に帰属させて考える仕組みであり、この理論をもつことで他者の行動予測やふりの理解などが可能になる。

そして、この心の理論を基にしていかに他者を理解するかという仕組みが、心理学者のBaron-Cohen<sup>2)</sup>によって提案されている(Fig.1参照)。これによると、他者の理解には以下に示す四つの機構が必要であり、人間の乳幼児はこれらを段階的に発達させることによって、他者とのコミュニケーションを実現している。

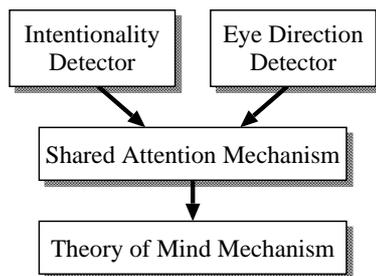


Fig.1 Mindreading System

- 意図検出器 (ID)  
それ自身が動因と見なせる行為体に対して、意図の存在を検出する。
- 視線検出器 (EDD)  
眼状刺激の存在を検出し、視線がどこに向けられているのかを推定する。
- 共有注意の機構 (SAM)  
ID と EDD からの出力を統合することによって、行為者 (他者) が注意を向けている対象を環境中

から同定し、自己と他者と対象との間の三項表象を形成する。

- 心の理論の機構 (ToMM)  
他者の信念や欲求といった内的表象を推測し、それらを統合的に関係づけて他者を理解する。

心の理論をロボットに実装することによって、人間とのコミュニケーションの実現を目指した研究がいくつか行われている。小嶋<sup>3)</sup>は、心の理論を発達的に獲得する手法として、共有注意と模倣を出発点とするモデルを提案したが、具体的実現にはまだ至っていない。また Scassellati<sup>4)</sup>は、ID と EDD の一機能として、意図的物体の検出や人間の顔と目の検出を実現したが、それらの手法は設計者が全て記述した形であり、環境の変化に対するロバスト性に欠けている。

そこで本研究では、Fig.1 のようなシステムを、ロボットが環境との相互作用を通して自ら獲得するようなメカニズムの構築を目指す。そして、その獲得過程を人間の乳幼児と同様の過程を辿ることによって、乳幼児のコミュニケーション能力の発達メカニズムの解明も試みる。本稿では、その第一歩として共有注意の能力に注目し、ID と EDD の機能を一部包含するような SAM の発達のモデルを提案する。

### 2. 乳幼児における共有注意の発達

#### 2.1 発達の過程

人間の乳幼児は、環境(特に養育者)との相互作用を通して、共有注意の能力を徐々に発達させていくことが知られている(Fig.2参照)。まず、6ヵ月頃の乳幼児では、養育者が対象物に対して向けた視線方向を、大まかにではあるが判断できるようになる。そして、9ヵ月から12ヵ月にかけて、自分の前方視野内での正確な視線方向の推定が可能となり、さらに18ヵ月では、後方の対象物までも同定することができるようになる。

しかし、共有注意の発達に関して、このような現象面的な説明は進んでいるが、発達の鍵となるものは何か、といったメカニズムの部分については明らかでない。

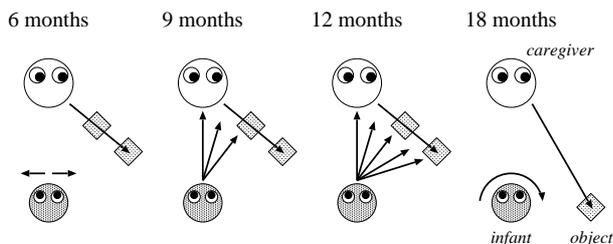


Fig.2 Developmental Progression of Gaze Following<sup>5)</sup>

## 2.2 発達鍵とは？

本研究では、乳幼児の共有注意能力の発達鍵となるものとして、以下の仮説をたてる。

1. 乳幼児の視覚は、生後まもなくは近視の状態であり、数ヶ月かけて成人に匹敵する能力にまで成長する<sup>6)</sup>。この視覚機能の発達が、共有注意の発達の一要因と見られる。
2. 乳幼児は、成長にともなって運動能力が増大する。つまり、環境中の対象物をただ視覚で観察するだけでなく、実際に自分の身体で知覚することが可能になる。また、環境中を自由に動きまわれるようになり、空間知覚能力も増大する。この結果、乳幼児の空間的な分解能が増し、共有注意能力が発達すると予想される。

本研究では、これらの仮説をもとに共有注意のための発達のモデルを構築する。そして、Dominguez *et al.*<sup>7)</sup>の研究などで知られているように、機械学習において、乳幼児の発達過程をモデル化することで、非発達のモデルよりも、学習後のシステム性能として高いものが得られることを期待する。

## 3. 共有注意のための発達のモデル

### 3.1 共有注意のためのモデル

実験環境を Fig.3(a) に、ロボットに実装する共有注意実現のためのモデルを (b) に示す。本モデルは、階層型のニューラルネットワーク (NN) となっている。

まずロボットは、複数の対象物が置かれたテーブルを挟んで養育者 (人間) と対面する。そして、(1) 養育

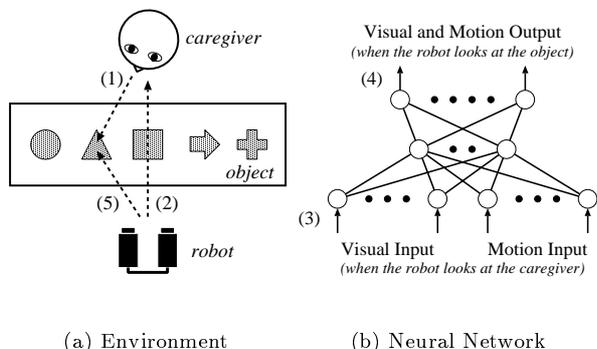


Fig.3 Setup for Shared Attention

者がある一つの対象物に対して、視線や指さしなどで注意を向けている状況を、(2) ロボットはカメラを通して観察する。次に、(3) ロボットはその観察で得られた養育者に関する視覚情報と、ロボット自身の運動情報 (姿勢) を NN への入力として、養育者の注意対象の推定を行う。その結果、(4) ロボット自身が対象物を見たときの視覚情報と、そのときの運動情報を NN の出力として得て、(5) 実際にその位置へカメラを向けることによって共有注意を実現する。

本モデルは、入力としてロボットが養育者を観察したときの視覚情報をそのまま用いることで、SAM と ID, EDD の機能を分離することなく、意図や視線方向の推定を含めた共有注意の実現を図っている。その理由として、人間の乳幼児は、養育者と注意を共有することで多くの報酬が得られ、それがトリガーとなって様々な能力の学習が進展していくと考えられることから、ID と EDD もこの範疇にあるものと思われる。

尚、本モデルの学習時には、ロボットは養育者からの直接的なカメラ操作を受けることによって教示データを獲得し、これに基づいて NN の学習を行う。

### 3.2 発達の要素の実現

Fig.3 (b) のモデルに対し、以下のように入力情報を制限することによって、2.2 で述べた発達鍵についての仮説を実現する。

1. ロボットは当初、入力として視覚情報のみを得ることができる。ただし、その視覚入力は初めは低解像度のものであり、学習の進展とともに徐々に解像度が高くなっていく。
2. 視覚入力が安定すると、ロボット自身の運動に関する情報が入力として加えられる。これも視覚入力と同様、段階的に解像度が高まっていき、空間的分解能が増大する。

現在、このアイデアをロボットに実装中である。

## 4. おわりに

本稿では、人間とロボット間のコミュニケーションの実現に向けて、心の理論に基づく他者理解のメカニズムを示した。その第一歩として、共有注意の能力を、ロボットが養育者との相互作用を通して段階的に獲得する発達のモデルを提案した。現在のところ、このモデルをロボットへ実装中であり、詳細な実験結果については講演会で報告する。

### 参考文献

- 1) 子安増生: 心の理論, 岩波書店 (2000).
- 2) Baron-Cohen, S.: Mindblindness, MIT Press (1995).
- 3) 小嶋秀樹: ロボットの社会的発達と「心の理論」の獲得, 情報処理学会研究報告, pp. 13-18 (2000).
- 4) Scassellati, B.: Theory of Mind for a Humanoid Robot, *The First IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots* (2000).
- 5) Butterworth, G.: The Ontogeny and Phylogeny of Joint Visual Attention, Blackwell (1991).
- 6) Bremner, J. G.: Infancy, Blackwell (1994).
- 7) Dominguez, M. and Jacobs, R. A.: Visual Development and the Acquisition of Binocular Disparity Sensitivities, *Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning* (2001).