

# 交互凝視における視線の応答的シグナル化と 意図的主体性の発達の構成

金野 武司, 橋本 敬

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

概要: 乳幼児が見せる原型的な社会的コミュニケーション行動の1つとして注目される交互凝視行動には, 意図的主体性の形成過程があると指摘されている。この意図的主体性は目的と手段から構成される行動と定義され, これが他者の意図を理解する足掛かりになると言われている。本論では, この意図的主体性の萌芽的な形成過程を調査するため, 試行錯誤学習によって視覚定位という手段を獲得し, 経験の蓄積によって目的を形成することで交互凝視行動を表出する計算モデルを構成した。この計算モデルにおいて, 段階的な能力や機能の獲得過程を発達的に構成することで, 受け取る感覚刺激のカテゴリ識別と, その刺激経験の蓄積規則が, 意図的主体性の形成に重要な役割を担う可能性があることを示す。また, 乳幼児の見せる意図的主体性との接点を考察することにより, 目的と手段によって構成される交互凝視行動が, また別の目的の手段として選択 / 活用されるような入れ子の構造を持つことが, 意図的主体性の形成における重要な性質のひとつであることを示唆する。

キーワード: 乳幼児の発達過程, 交互凝視, 意図的主体性, 目的と手段の分離, 構成論的アプローチ

## Developmental Construction of Infant's Gaze Alternation as Intentional Agency

Takeshi Konno and Takashi Hashimoto

School of Knowledge Science,

Japan Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract:** It is pointed out that infants' gaze alternation, which is a basis of social communication, is related to a developmental process of an intentional agency. The intentional agency is defined as an act composed of a desired goal and a means. It is mentioned that the infants understand others' intentions based on the intentional agency. In this paper, in order to study an elementary developmental process of the intentional agency, we constructed a computational model which acquires gaze orientation as a means by the reinforcement learning and gaze alternation between a caregiver and objects as a goal through memorizing sensory states. In the developmental construction of the model, we confirmed that two functions, discrimination and association, play an important role. The former discriminates between the caregiver and the objects in stimuli. The latter associates the caregiver with the objects by storing the relations between sensory states. Comparing infants' intentional agency with our constructed model, we argue that a nested structure, in which the gaze alternation composed of a goal and a means is utilized as a means to achieve another goal, is an important feature in the developmental process of the intentional agency.

**Keywords:** Infants' Developmental Process, Gaze Alternation, Understanding Others' Intention, Intentional Agency, Goal and Means, Constructive Approach

### 1 背景

ヒトの持つ社会的なコミュニケーション能力の獲得を乳幼児の発達過程に見い出そうとするとき, その能

力の発露として注目される原型的な行動のひとつに交互凝視がある<sup>[1]</sup>。この行動が注目されるのは, 親と対象物(おもちゃのようなオブジェクト)の間を視線が行き来するという行動の中に, 視線というシグナルに応

答し、参照し、活用するというコミュニケーションに関する重要な過程が内包されているように見えるからである。乳幼児が親の視線に反応して、その視線の先に自分の視線を向ける行動は共同注視<sup>[2]</sup>と言われ、オブジェクトを見て、その体験を親と共有するかのよう  
に親を見たり、見たことのないオブジェクトを見て不安気に親を見たりする行動は参照視<sup>[3]</sup>と言われる。また、交互凝視は8~24ヶ月の間に他者の意図を理解する行動に発展することが指摘されている。つまり、他者の意図に反応し、他者の意図を参照し、さらには視線というシグナルを使って自分の意図を他者へ伝えるように発展することで、乳幼児は社会へ参加しはじめるのだと考えられている<sup>1</sup>。

乳幼児は他者の意図をどのように理解するのだろうか。Tomasello<sup>[4]</sup>は、乳幼児が自ら意図的に振る舞うような意図的主体性 (intentional agency) を形成し、それを足掛かりにして他者の意図を理解するのではないかと指摘している。この意図的主体性は、Frye<sup>[5]</sup>の意図性の定義を援用し、目的と手段を内包した行動と定義されている。この定義に沿えば、視線の動きは自らが見ようとするものを見るというメカニズムを持つのではないかと推測される。つまり、自らが見ようとする目的と、それを見るための動作手段を持つと考えられる。しかし、交互凝視の中で目的や手段がどのように形成されるのかを明らかにするのは容易なことではない。なぜなら、目的と手段によって構成されるとする意図的主体性は、乳幼児の内面に形成されるものだからである。

我々はこれまで、乳幼児の内面を客観的に理解する助けとなる構成論的アプローチ<sup>[6]</sup>を用いて、交互凝視行動を表出する計算モデルを構築してきた<sup>[7-9]</sup>。この計算モデルは、経験から交互凝視の関係性を見出し、それをルールとして獲得する過程で親やオブジェクトを見るための手段を獲得し、それらを見ようとする目的を形成する。しかし、そうやって形成された目的と手段が、実際の乳幼児に観察される行動とどのような接点を持つかという点は十分に検討されて来なかった。そこで本論では、構築したモデルに見い出される意図的主体性と、乳幼児が見せる意図的主体性の接点を明らかにすることで、その形成に何が必要かを考察することを目的とする。

具体的には、2節で交互凝視行動を表出する計算モデル<sup>2</sup>の発達過程を説明し、その過程で意図的主体性

<sup>1</sup> 共同注視は親の見ようとしているものを見る共同注意へ、参照視は親の見ようとしているもの、あるいはその表情を参照する社会的参照へとそれぞれ発展する。

<sup>2</sup> 先行研究<sup>[7-9]</sup>では、交互凝視の関係性を獲得する能力や機能

がどのように形成されるのかを示す。3節で、構成したモデルの意図的主体性と乳幼児に見られる意図的主体性の違いを議論し、4節で結論を述べて、今後の課題を明らかにする。

## 2 交互凝視行動の発達モデル

構成する乳幼児の計算モデル (以下、子エージェント) は、まず最初に、視界内に映る親やオブジェクトを視界の中央で捉える視覚定位の能力を試行錯誤学習により獲得する。その後、感覚器が受け取る刺激 (感覚情報) を頻度分布として一定の規則に従って蓄積することで、交互凝視の関係性をその頻度分布に形成する。

以下、子エージェントが受け取る情報の内容を説明し (§2.1)、視覚定位の獲得 (§2.2) と、経験の蓄積による交互凝視の関係性の形成過程を示す (§2.3)。

### 2.1 子エージェントの取得情報

親やオブジェクトは、視覚刺激として子エージェントから1[m]離れた場所に置かれる。子エージェントは1[m]四方の2次元の視界を持ち、親やオブジェクトを視界に投影されたものとして見る。よって、計算モデルの中では奥行きに関する情報は扱われない。

子エージェントは、視界から特徴情報と配置情報を受け取り、同時に自己受容感覚の情報を受け取る (Fig.1)。特徴情報は、親やオブジェクトがどのような特徴を持っているかを表わし、極座標で10分割された親の視線方向と、3種類のオブジェクト形状から成る<sup>3</sup>。配置情報は、その親やオブジェクトが視界内のどこにいるかという情報で、極座標で30分割された配置方向と、そ

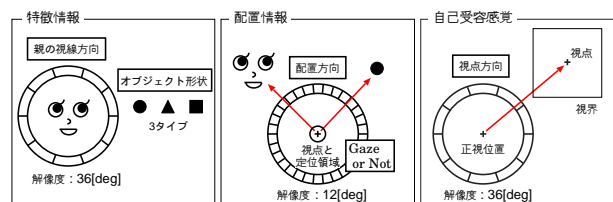


Fig.1: 子エージェントが得る感覚情報

を始めから全て備えた計算モデルを提示してきたが、本論では、発達過程として理解しようとする目的に沿って、その能力や機能を段階的に獲得する計算モデルを再構成する。

<sup>3</sup> ここでは、親の視線方向とオブジェクトの形状は0~12の番号に割り当てて、両者が親であるのかオブジェクトであるのかを区別しない。

Table.1: 感覚情報の解像度

情報	内容	解像度
特徴情報	親の視線方向	36[deg]
	オブジェクト形状	3 types
配置情報	配置方向	12[deg]
	視点で捉えたか否か	{0,1}
自己受容感覚	視点方向	36[deg]

れらを視点(視界の中央)で捉えているか否かという配置距離から成る<sup>4</sup>。自己受容感覚は、自分がどの方向を向いているかという情報で、正視位置から、極座標で10分割された視点方向により表現される<sup>5</sup>。正視位置は固定点とする。感覚情報の解像度を Table.1 に示す。

## 2.2 視覚定位の獲得(手段の獲得)

視覚定位の機能を獲得する計算モデルは、選択器、評価器、学習器より構成される (Fig.2)。

選択器：視界に映る親やオブジェクトの中で、視点から最も遠い位置にあるものを選択する。また、一度選ばれたものは、それが視界の中央に収められるか、もしくは制限時間が過ぎるまで選ばれ続ける。

評価器：選択された親やオブジェクトが視界の中央に向かっていくかどうかを評価する。ある時刻  $t$  での評価値 ( $E_t$ ) は、(1) 式に従う。

$$E_t = \begin{cases} 1 & \text{if } -12 \leq \Delta\theta_t \leq 12[\text{deg}] \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\theta_t$  は、時刻  $t$  での親やオブジェクトの配置方向 ( $\theta_t$ ) と、それらが一時刻前に見えた方向 ( $\theta_{t-1}$ ) との差である<sup>6</sup>。

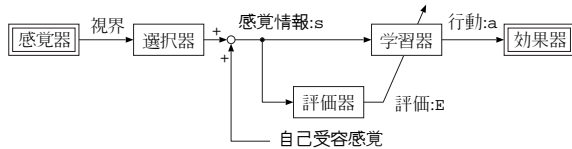


Fig.2: 視覚定位のシステムブロック図

<sup>4</sup>配置距離には閾値を設け、設定する領域内であれば1、そうでなければ0とする。

<sup>5</sup>ここで言う自己受容感覚は、乳幼児が首や眼球の動きに応じた自分の筋肉の状態を知ることができることを想定したものである。

<sup>6</sup>これだけでは、視点が対象から遠ざかる場合が含まれる。これを除外するには距離情報が必要になる。しかし、距離情報は交互凝視に必要な情報ではないので、状態表現を簡略化するために、この評価器でのみ例外として距離情報を扱い、対象が近づく方向への移動に対する角度範囲だけを評価できることを仮定する。

学習器：親やオブジェクトを見たときの感覚情報 ( $s$ )<sup>7</sup> に、視点の移動方向 ( $a$ ) に対する行動価値 ( $Q$ ) を割り当てて、この行動価値を評価器の評価 ( $E_t$ ) に従って更新する。視点は極座標を30分割した方向に  $0.5[m/sec]$  で移動する。行動価値の更新には、リファレント報酬付きテーブル型 Sarsa 方式として知られる強化学習<sup>[10]</sup>を用いる。行動価値の更新は次式に従う。

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha_Q [r_t + \gamma Q_t(s_t, a_{t+1}) - Q_t(s_t, a_t)]. \quad (2)$$

ここで  $\alpha_Q$  は学習率、 $\gamma$  は割引率である ( $\alpha_Q = 0.1, \gamma = 1$ )。  $r_t$  は  $E_t$  から次式で算出される。

$$r_t = E_t - \tilde{r}_t, \quad (3)$$

$$\tilde{r}_{t+1} = \tilde{r}_t + \alpha_r [r_t - \tilde{r}_t]. \quad (4)$$

ここで、 $\tilde{r}_t$  はリファレント報酬、 $\alpha_r$  はステップサイズパラメータである ( $\alpha_r = 0.01$ )。更新された価値 ( $Q$ ) から、行動 ( $a$ ) は次式に従って確率的に選択される。

$$p_t(a|s) = \frac{e^{Q_t(s,a)/\tau}}{\sum_{a'=1}^{N_a} e^{Q_t(s,a')/\tau}}. \quad (5)$$

ここで  $\tau$  は温度係数、 $N_a$  は視点移動方向の選択肢の数である ( $N_a = 30$ )。

### 2.2.1 視覚定位の学習

視界の中に親とオブジェクトを交互に表示して、試行錯誤学習を実施する。最初に親を表示したら、次に表示するオブジェクトは親の配置を中心とする半径  $200[mm]$  の円周上にランダムに配置する。オブジェクトを表示した後の親の配置も同様である。ただし、親やオブジェクトは子エージェントの視点が  $\pm 500[mm]$  の範囲を外れない領域に配置する。親やオブジェクトを視界の中心から半径  $5[mm]$  の円内に収めることができた試行を成功、 $5[sec]$  が経過した場合の試行を失敗とし、 $50000[\text{回}]$  の試行を繰り返すと、親やオブジェクトの各配置方向 (30 方向) に対する視線の移動方向の平均選択確率が Fig.3 のように得られる。

この視覚定位の課題では逐次的な評価を与えるので、強化学習にとっては非常に易しい課題である。そのため、子エージェントはごく簡単に親やオブジェクトを視界の中央に収める行動を獲得することができる。

<sup>7</sup>感覚情報は特徴情報 (10 分割の親の視線方向と 3 種類のオブジェクト形状)、配置情報 (30 分割の配置方向)、自己受容感覚 (10 分割の視点方向) から構成されるベクトルで、それぞれの状態に一意に決まる番号を割り当てる。割り当てられる番号の総数は、視界に何も映っていない状態を1つ足すので、 $3901 = (10 + 3) \times 30 \times 10 + 1$  状態で表現される。

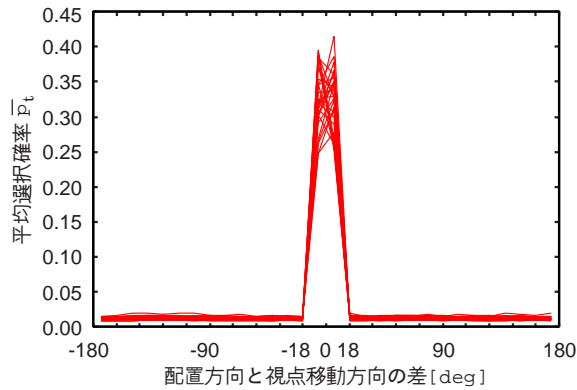


Fig.3: 親およびオブジェクトの配置方向に対する視点移動方向の平均選択確率 (30 方向の重ね書き)

## 2.3 経験の蓄積と関係性の形成 (目的の形成)

乳幼児が持つ交互凝視の内部メカニズムを直接考えるのではなく、観察される行動、ここでは特に親とオブジェクトの間を視線が行き来するという行動が、どのようなメカニズムで構成可能かを考える。

前節までに構成したシステムで視覚定位を獲得した子エージェントは、視界に映るものを、遠いものから順に注視する行動を自発的に行なうようになっている。その体験の中に、親の見る方向に必ずオブジェクトがあるような状況があるとき、それを、ルールとして内部に取り込むことができれば、共同注視が成立するのではないかと考えられる。この考えに基づき、交互凝視のルールを内部に取り込むモデルを以下のように構成する。

感覚情報 ( $s$ ) を記憶して、逐次受け取る感覚情報と比較できることを仮定し、Fig.2 のシステムに Fig.4 に示す連想器を追加する (点線で囲む部分)。 $z^{-1}$  は離散時間制御系でのサンプルホールドを表わし、一時刻前の出力をフィードバックして感覚情報と比較できるとする。また、感覚情報を記憶できるとする仮定から、連想器は次の時刻に来る感覚情報 ( $s_{t+1}$ ) を扱うことができる。また、連想器出力には\*の添字を付ける。

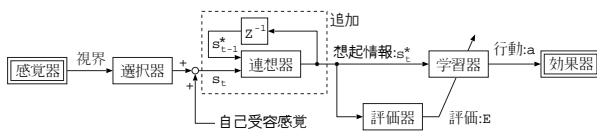


Fig.4: 交互凝視のシステムブロック図

連想器：3つの感覚情報 ( $s_t, s_{t-1}^*, s_{t+1}$ ) の関係性を頻度分布  $F$  に蓄積する。頻度分布の更新は次式に従う。

$$F(s_t, s_{t-1}^*, S) = F(s_t, s_{t-1}^*, S) + 1 \quad (6)$$

$$S = \begin{cases} s_t & \text{if } \text{cond}.A, \\ s_{t-1}^* & \text{if } \text{cond}.B, \\ s_{t+1} & \text{if } \text{cond}.C. \end{cases} \quad (7)$$

$\text{cond}.A, B, C$  は Table.2 に従う。Table.2 の  $C(s)$  は、感覚情報 ( $s$ )<sup>6</sup> から視界に映っているのが親 ( $PAR$ ) なのかオブジェクト ( $OBJ$ ) なのか、それとも何も映っていない ( $\phi$ ) のかを判断するカテゴリの識別関数である。また、 $G(s)$  は視覚定位したか ( $G(s) = 1$ ) 否か ( $G(s) = 0$ ) を判断する関数である。頻度分布  $F$  から連想器が出力する想起情報 ( $s_t^*$ ) は、次式に従って確率的に選択される。

$$p(s|s_t, s_{t-1}^*) = \frac{F(s_t, s_{t-1}^*, s)}{\sum_{s'=1}^{N_c} F(s_t, s_{t-1}^*, s')} \quad (8)$$

### 2.3.1 交互凝視行動の発達過程

視界の中で親とオブジェクトを交互に表示しながら、親の視線の先にオブジェクトが置かれている状況を体験させる。親を表示する位置に自己受容感覚の正視位置を置き、親の配置は変更しない。親の視線方向は定位試行毎にランダムに変更し、オブジェクトは親の配置を中心とする半径  $200[mm]$  の円周上の視線方向に配置する。この視界内での視覚定位行動をトレーニングフェーズと呼ぶ。このフェーズでは (6) 式の頻度分布の更新を行なう。1回のトレーニング毎に、蓄積した頻度分布の関係形成状態を確認する (トライアルフェーズ)。このフェーズでは、オブジェクトは視界の外となる半径  $850[mm]$ <sup>8</sup> の円周上に配置される。また、頻度分布は更新されない。

Table.2: 頻度分布への蓄積条件

cond.		$C(s_{t-1}^*)$					
		$\psi$		PAR		OBJ	
		0	1	0	1	0	1
$C(s_t)$	PAR	$G(s_t)$					
		0	1	0	1	0	1
	0	A	A	B	B	B	B
	1	A	A	B	B	B	B
	0	A	A	A	A	B	A
	1	A	A	A	C	B	A
	0	A	A	B	A	A	A
	1	A	A	B	A	A	C

<sup>8</sup>視界の対角線距離の 0.6 倍 ( $\approx 0.6 \times 1000\sqrt{2}[mm]$ ) に設定。

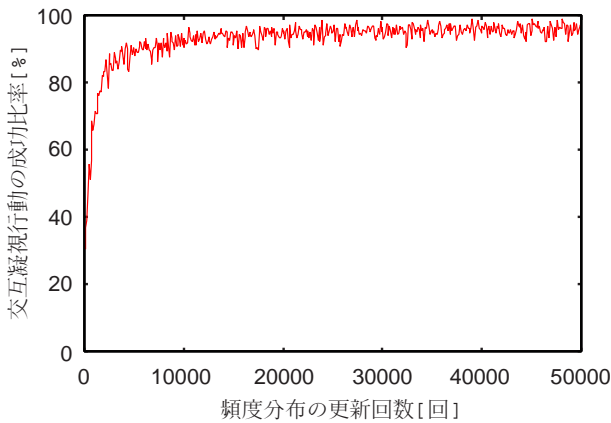


Fig.5: 頻度分布の更新回数 (トレーニングフェーズの回数) に対する交互凝視行動の成功率

トレーニング (頻度分布への蓄積) が進むと、視界の外に配置されたオブジェクトと親の間の交互凝視行動の成功率は Fig.5 のように上昇する。Fig.5 は、頻度分布への蓄積回数を横軸に取り、蓄積毎に 1000[回] の試行から成るトライアルフェーズ中の定位の成功確率を縦軸に取ったものである<sup>9</sup>。

Table.2 の頻度分布への蓄積条件が *cond.A* なら、連想器は感覚情報  $s_t$  を通過させるだけなので、視覚定位と同じ機能性を発揮することになる。ここに、*cond.B* が加わると、子エージェントは今見ているものとは違う行動を起こすようになる。つまり、 $s_t$  に  $s_{t-1}^*$  とは異なるカテゴリの情報 came とき、 $s_{t-1}^*$  が定位されていなければ、子エージェントは  $s_{t-1}^*$  の情報を維持するようになる。これは、外部から直接は知り得ない行動を起こすようになるという意味で、主体的な行動の萌芽と言えるのではないだろうか。さらに、*cond.C* が加わると、子エージェントは今得ている感覚情報 ( $s_t$ ) の次に来る感覚情報 ( $s_{t+1}$ ) を頻度分布に蓄積する機会を持つようになる。*cond.C* が成り立つのは、想起していた情報 ( $s_{t-1}^*$ ) が注視されたときなので、親もしくはオブジェクトを注視した後に、視界のどこに何が現われたかを頻度分布に蓄積することになる。

この *cond.C* に関する確率分布は Fig.6 のように形成される。Fig.6 は、想起していた感覚情報 ( $s_{t-1}^*$ ) に対する想起情報 ( $s_t^*$ ) 内の親やオブジェクトの配置方向の確率分布であり、想起していた情報のどこに親やオブジェクトの配置方向を示す情報が形成されているかを確認できる。

<sup>9</sup> トライアルフェーズでの定位の成功および失敗は、視覚定位の学習時と同じ条件とした。

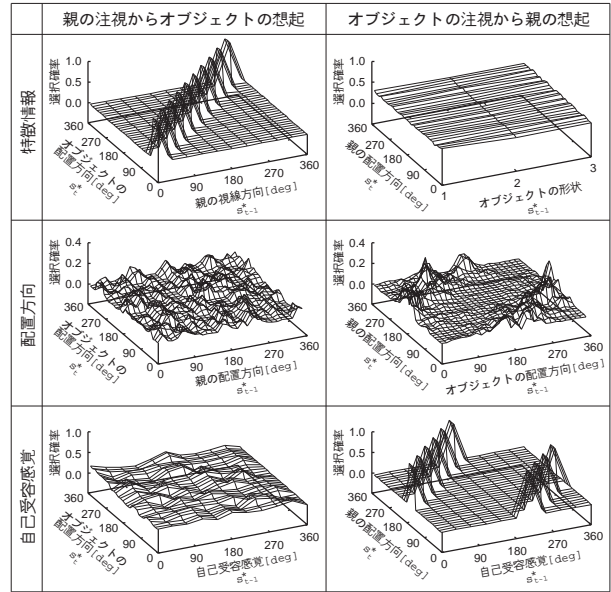


Fig.6: 想起していた感覚情報 ( $s_{t-1}^*$ ) から想起する、親やオブジェクトの配置方向 ( $s_t^*$ ) の選択確率分布

親の注視からオブジェクトを想起する場合 (左列)、すなわち Table.2 で  $C(s) = PAR, G(s) = 1$  のときには、想起していた情報内の親の視線方向がオブジェクトの配置方向を表わすシグナルとなっている (左上)。これは、親の視線方向の先に必ずオブジェクトが配置されているという環境内の関係を頻度分布が取り込んだ結果である。親がどの方向に見えたかという情報 (左中) や自己受容感覚 (左下) には、オブジェクトがどこに配置されているかを指し示す分布は形成されていない。

オブジェクトの注視から親を想起する場合 (右列)、すなわち Table.2 で  $C(s) = OBJ, G(s) = 1$  のときには、自己受容感覚が親のいる方向を指し示している (右下)。これは、自己受容感覚の方向とは反対の方向に必ず親がいるという経験と環境の関係が頻度分布に反映された結果である。オブジェクトがどのような形状だったかという情報 (右上) には、環境内にオブジェクトの形状に関する親の配置を示す情報が無いので、確率分布は一様になっている。オブジェクトがどの方向に見えたかという情報 (右中) に関しては、環境内でオブジェクトの見えた方向の反対側に必ず親がいるようになっているので、それを取り込んだ分布になっている。しかし、親からオブジェクトへと常に直線的に視点を移動させるわけではないので、この分布に右下のグラフほどの鋭いピークは現われない<sup>10</sup>。

<sup>10</sup> 自己受容感覚ではなくこのオブジェクトの配置方向を親の配置推定に用いた実験では、参照視において親を見失うケースが多くな

このように、想起する感覚情報 ( $s_t^*$ ) は、入力刺激 ( $s_t$ ) と直前の想起情報 ( $s_{t-1}^*$ ) のカテゴリ判断によって、新たに得た感覚情報 ( $s_t$ ) に更新されたり (*cond.A*)、想起していた感覚情報 ( $s_{t-1}^*$ ) が維持されたり (*cond.B*)、次に得るだろう感覚情報 ( $s_{t+1}$ ) が予期されたりする (*cond.C*)。この連想器の機能が、環境にある関係性を頻度分布に取り込むことで、親の視線からオブジェクトを想起してそれを定位する行動 (共同注視) が実現され、さらにオブジェクトを見て親を想起して親を定位する行動 (参照視) が実現される。我々は連想器が発揮するこのような機能性が、子エージェントが目的を持つ状態を実現していると考えている。また、形成された目的に、視覚定位するという手段が適切に結び付くことで、子エージェントは、目的と手段により構成される意図的主体性を萌芽的に持ち始めるのではないかと考えている。

### 2.3.2 カテゴリ識別関数の役割

オブジェクトの形状を弁別しないカテゴリ識別関数を使った Table.2 の感覚情報の蓄積条件では、オブジェクトはどんな形状をしていてもオブジェクトであるという識別しか働かない。よって、親の視線からオブジェクトを想起して視点を動かしたとき、そこに何らかのオブジェクトが現われれば、それを定位しようとする。しかし、カテゴリ識別関数をオブジェクト形状を弁別するように変更し、それに付随して頻度分布への蓄積条件を Table.3 に変更すると、子エージェントは Fig.7 に示すようなオブジェクト形状の違いに対する選択性を形成することができる。Fig.7 の左のケースでは、視

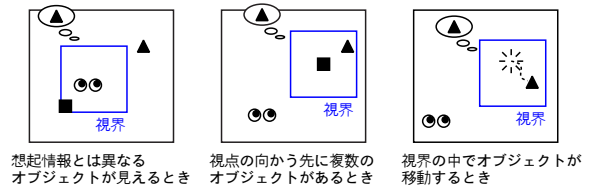


Fig.7: オブジェクト形状の違いに対する選択性

点の移動途中で別のオブジェクトが現われても、それを無視することができる。中央のケースでは、視点の移動方向に複数のオブジェクトが存在していても、親の視線から想起したものを定位することができる。右のケースでは、親の視線から想起したオブジェクトがひとたび視界に映ると、そのオブジェクトが移動しても、視界から消えてしまわない限りそれを追視することができる。

構成する計算モデルでは、感覚情報のカテゴリを識別する機能が、どのような特徴に対して選択性を発揮するかを決めるという役割を持っている。

## 3 議論

前節でのモデルの構成と実験により、構成した計算モデルは試行錯誤学習によって視覚定位という手段を獲得し、感覚情報の蓄積によって親やオブジェクトを定位するという目的を形成しているのではないかという示唆を得た。

ここでは、乳幼児の意図性を観察した Frye による認知実験 [5] の一部を紹介し、月齢毎の行動傾向の分析を引用しながら、意図的主体性に含まれる目的と手段がどのように捉えられるのかを整理する。また、我々が構成した計算モデルでの目的と手段が、そこにどのように位置付けることができるのかを検討する。

### 3.1 Frye による乳幼児の意図的主体性に関する実験

Frye [5] は、8,16,24ヶ月児 (12人ずつの計36人) を対象に意図性を調査する認知実験を行なっている。実験では、テーブルの手前に乳幼児が座った状態で、テーブルの上に布とおもちゃが置かれる。この布とおもちゃの因果関係を変えながら、1. 目的と手段のミスマッチ課題、2. 手段の選択課題、そして 3. 新規手段の選択課題という3つの課題を順に行なっている (Fig.8)。以

Table.3: オブジェクト形状を識別する場合の頻度分布への蓄積条件

cond.		$C(s_{t-1}^*)$										
		$\psi$		PAR		OBJ1		OBJ2		OBJ3		
		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
$C(s_t)$	$\psi$	0	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B
		1	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B
	PAR	0	A	A	A	A	B	A	B	A	B	A
		1	A	A	A	C	B	A	B	A	B	A
	OBJ1	0	A	A	B	A	A	A	B	A	B	A
		1	A	A	B	A	A	C	B	A	B	A
OBJ2	0	A	A	B	A	B	A	A	A	B	A	
	1	A	A	B	A	B	A	A	C	B	A	
OBJ3	0	A	A	B	A	B	A	B	A	A	A	
	1	A	A	B	A	B	A	B	A	A	C	

ることを確認している [7]。

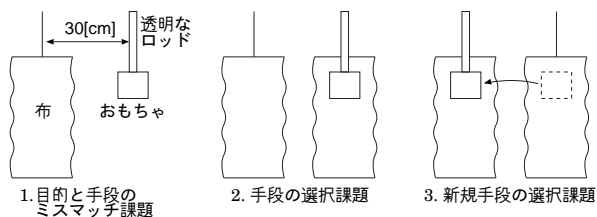


Fig.8: 意図性を調査する3つの実験課題

下、実験の設定と結果を簡単に説明する。

1. 目的と手段のミスマッチ課題 (Fig.8 左) では、布とおもちゃは離れた場所に置かれている。しかし、布は乳幼児には見えない状態でおもちゃと連動していて、布を引くと、おもちゃが手元に寄ってくるようになっている。この課題では、全ての乳幼児が布を引いて、離れたおもちゃを手にとることができたが、ほとんどの8ヶ月児が自発的に布を引いたのに対して、ほとんどの16,24ヶ月児は布を指さしたり、少し引いてあげた後でないと布を引くことはなかった。また16,24ヶ月児はおもちゃが動いたことに驚きを示したが、8ヶ月児の反応は特に変化しなかった。この結果から、Fryeは16,24ヶ月児には、おもちゃを取るための幼児なりの手段が形成されているのではないかと指摘している。

2. 手段の選択課題 (Fig.8 中央) では、布がもう一枚用意され、新しく用意された布の上におもちゃが置かれる。このときには、どちらの布を引いてもおもちゃが手元に寄ってくるようになっている。この課題では、全ての乳幼児が、最初はおもちゃの乗った布を引いたが、続く3回の試行では11人の24ヶ月児、4人の16ヶ月児、4人の8ヶ月児がおもちゃの乗っていない布を引いた。従って、16,24ヶ月児は予期しない結果が得られることに驚きはするが、新しい手段をすぐに取り入れることができると、Fryeは指摘している<sup>11</sup>。ここで8ヶ月児にも手段の移行が見られるが、これは、課題1.では自発的に布を引き、かつ、おもちゃが動くことに驚きを示さないことから、オペラント条件付けによる手段の選択という傾向が強いのではないかと指摘されている。

3. 新規手段の選択課題 (Fig.8 右) では、おもちゃを逆の布の上に乗せるが、今度はおもちゃの置かれていない布を引くことでしかおもちゃを手元に引き寄せることができないようにする。この課題では、6人の24ヶ月児だけがおもちゃの乗っていない布を引いた。この

<sup>11</sup>論文の中では、4人の24ヶ月児が、両方の布を調整しながら、まるで2つの手段を試すかのようにゆっくり引いたり、前後に動かしたりするという興味深い行動が観察されたことが報告されている。

ことからFryeは、24ヶ月児程度になれば、新規の手段もおもちゃを取るという目的に応じて適切に選択できるようになると指摘している。また、8,16ヶ月児が新規の手段を選択できないのは、おもちゃの乗った布を引くという手段へのこだわりを捨てることができないからではないかと指摘している<sup>12</sup>。

まとめると、8ヶ月の時点では、オペラント条件付けの意味合いが強い行動が、24ヶ月児程度になると、おもちゃを取るという目的にその実現のための手段が備わり、かつ自分の予測する結果と異なる手段を提示されたときには、驚きつつも新たな手段としてそれを取り込み、状況に応じて使い分けられるようになることが示されていると考えられる。

### 3.2 計算モデルの意図的主体性

我々が構成したモデルでは、連想器の持つ機能性が、親やオブジェクトを見ようとする目的としての働きを実現しているのではないかと示唆を得た (§2.3.1)。また、その目的に対しては、視覚定位として獲得された視点の移動方向に関する手段が適切に選択されるようになっている (§2.2)。これは、Fryeの実験で、おもちゃを取るという目的に対して、おもちゃの乗った布を引くのか、それともおもちゃの乗っていない布を引くのかという手段の選択が働くことと対応しているように見える。しかし、そこには着目する行動階層の違いがあると我々は考えている。

乳幼児が見せる交互凝視行動には、視線というシグナルを活用して、親に意図を伝えるようになる段階があるとされている<sup>[1]</sup>。もし、乳幼児が交互凝視行動を使っておもちゃを取りたいという意図を親に伝えることでおもちゃを取得するならば、交互凝視行動は、おもちゃを取るという目的に対する手段の1つに位置付けられる。すなわち、視線を活用できる段階に発達が進むと、親やオブジェクトを見ようとし、そのために対象に視点を動かすという目的・手段のセットが統合されて、おもちゃを取るという上位の目的の手段となるような目的と手段の階層的埋め込み構造が見いだせる。我々は、このように目的と手段が入れ子状の階層性を形成し、その階層が深まっていくことが、意図的主体性の発達過程に潜む重要な性質のひとつなのではないかと考えている。

Fryeの実験が、おもちゃを取るという上位目的とそのための行動選択という階層に着目しているのに対し、

<sup>12</sup>A not B error の報告<sup>[11]</sup>に類似する傾向ではないかと指摘されている。

我々のモデルでは、下位の目的・手段の階層に着目し、交互凝視行動そのものの目的には触れていないという、行動階層の違いが見い出せる。したがって、意図的主体性の発達の構成をさらに進めるためには、我々が本論で扱った目的・手段のセットが統合されて新たな手段となるような、上位目的の導入を考えなくてはならない。よって、おもちゃを取りたいというような目的に対して、交互凝視という手段がどのように選択されるかを問うことが重要だと考えられる。具体的には、構成したモデルで意図的主体性の形成を担う感覚情報の蓄積規則やカテゴリ識別が、上位階層に位置付けられる目的によってどのように形成されるかを問うことが、Fryeの実験に見られるような手段の選択性を実現することの鍵になると考えられる。

## 4 結論

乳幼児が見せる原型的な社会的コミュニケーション行動のひとつとして注目される交互凝視行動には、意図的主体性の形成過程があると指摘されている。本論では、その意図的主体性が目的と手段によって構成されるという Tomasello や Frye の定義に従い、試行錯誤学習によって視覚定位という手段を獲得し、経験の蓄積によって交互凝視行動を表出する計算モデルを構成した。

この計算モデルでは、まず試行錯誤学習によって、受け取る感覚情報に対する視覚定位のための行動価値が形成される。その後、その感覚情報を記憶して、逐次受け取る感覚情報と比較できることを仮定することで、外部から直接は知り得ない行動を起こすことができるようになることから、そこに主体性の萌芽を見い出すことができるのではないかと考えられる。さらに、その比較において、親やオブジェクトをカテゴリとして識別できることを仮定し、感覚情報を一定の規則に従って蓄積することで、何を見るかに関する選択性が形成されることから、そこに発揮される機能性が、親やオブジェクトを見ようとする目的の形成を実現しているのではないかと考えている。我々は、そうして形成された目的と、そこに付随する適切な手段が交互凝視行動を表出することから、そこに萌芽的な意図的主体性の形成を見い出すことができるのではないかと考えている。

構成したモデルの意図的主体性を乳幼児の意図性と比較すると、構成したモデルの意図性は、おもちゃを取りたいというような目的に付随した手段的な行動階層に位置付けられることが示唆された。つまり、獲得

された交互凝視行動が、おもちゃを取りたいという目的に対して手段的に活用されることが、乳幼児の見せる意図性ととの接点ではないかという示唆である。

本論では、親を見たい、オブジェクトを見たいといった欲求を置かずに、表出させるべき交互凝視という行動が成立するための機能性を推定することで、親やオブジェクトを交互に見るための目的形成がどのように行なわれ得るかを考察してきた。今後はこの知見を踏まえて、おもちゃをとりたいというような目的に対して、交互凝視が手段的に選択/活用される過程を明らかにしていく必要があると考えられる。

## 参考文献

- [1] Tomasello, M., "Joint attention as social cognition," In Moore, C. and Dunham, P.J. (Eds.), *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum, pp.103-130, (1995).
- [2] Butterworth, G.E. and Jarrett, N.L.M., "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, (1991).
- [3] 小沢 哲史, "社会的情報収集行動の起源と発達", 遠藤利彦 編, 読む目・読まれる目, 東京大学出版会, pp.139-156, (2005).
- [4] Tomasello, M., *The cultural origins of human cognition*, Harvard University Press, Cambridge, pp.72-73, (2000).
- [5] Frye, D., "The origins of intention in infancy," In Frye, D. and Moore, C. (Eds.), *Children's theories of mind*, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp.15-38, (1991).
- [6] 橋本 敬, "構成論的アプローチ," 杉山 公造, 永田 晃也, 下嶋 篤 編, ナレッジサイエンス, 紀伊國屋書店, pp.132-135, (2002).
- [7] 金野 武司, 橋本 敬, "共同注視における意図理解の構成論的モデル," *MPSシンポジウム 2005「計算科学シンポジウム」講演論文集*, pp.179-186, (2005).
- [8] 金野武司, 橋本敬, "交互凝視における能動的主体性表現の構成論的モデル," 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会, Vol.105 No.543, (2006).
- [9] Konno, T. and Hashimoto, T., "Developmental Construction of Intentional Agency in Communicative Eye Gaze," *Proceedings of the International Conference on Development and Learning, ICDL '06*, Indiana Univ., Bloomington, USA, May 31 - June 3, (2006).
- [10] Sutton, R.S. and Barto, A.G., *Reinforcement Learning*, A Bradford Book, MIT Press, Cambridge, MA, (1998).
- [11] Piaget, J., *The origins of intelligence in children*, New York: Norton, (1952).