

交互凝視における能動的主体性表現の構成論的モデル

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 〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1

E-mail: †{t-konno,hash}@jaist.ac.jp

あらまし コミュニケーションの原型的能力として注目される乳幼児の行動の1つに交互凝視行動がある。この行動の捉え方として、乳幼児が他者の意図を理解し、対象を主体的に見ることが重要であるという指摘がある。そこで本論では、交互凝視行動の主体的側面の理解を目的として、構成論的アプローチを用いた数理モデルの構成を試みる。このモデルではまず、エージェントとして表現する乳幼児が、親の顔やオブジェクトを注視する行動を強化学習によって獲得する。そして、その過程で親やオブジェクトを見ているときに得る感覚情報（視界内での親やオブジェクトの配置情報、視線方向と形状の特徴情報、筋肉状態の自己受容感覚）の遷移過程を頻度分布に蓄積し、この頻度分布を用いて親を見ているときに得る感覚情報からオブジェクトを見たときに得た感覚情報を連想する。このモデルをコンピュータシミュレーションに実装した結果、親の顔を見ているときの感覚情報からオブジェクトの感覚情報を連想することで、親の視線が指し示す方向にある視界外のオブジェクトを注視できるようになることが確認された。また、反対にオブジェクトを見ているときの感覚情報から親の感覚情報を連想することで、自己受容感覚が指し示す方向にいる視界外の親の顔を注視できるようになることが確認された。

キーワード 交互凝視, 共同注視, 他者の意図理解, 乳幼児の能動的主体性, 構成論的アプローチ

Developmental Construction of Infant's Gaze Alternation as Active Subjectivity

Takeshi KONNO[†] and Takashi HASHIMOTO[†]

[†] School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology(JAIST),

Asahidai 1-1, Nomi-Si, Ishikawa, 923-1292 Japan

E-mail: †{t-konno,hash}@jaist.ac.jp

Abstract Gaze alternation behavior is thought of as a basis of infant's communication ability. The importance of subjectivity of the gaze alternation is pointed out. Namely, infants understand others' intentions and subjectively gaze at the others' gazing points. In this paper, for understanding the subjective aspect of the behavior, we constructed a computational model with constructive approach. In the model, an agent of infants acquires behavior of gazing at mother's face and objects through reinforcement learning. In the process of acquisition, the agent stores the relations between sensory information while looking mother's face and that while looking objects as a frequency distribution. The sensory information includes three elements: (1) the placement directions of the mother's face and the objects, (2) the mother's eye directions and the object shapes, and (3) the proprioception of the muscle states. Using the distribution, the agent associates sensory information during looking mother's face with that during looking objects. As results of computer simulations, we confirmed that the agent could acquire the behavior of gaze alternation. Furthermore, the agent can gaze at an object beyond sight following the association.

Key words Gaze Alternation, Joint Visual Attention, Understanding Others' Intentions, Infant's Active Subjectivity, Constructive Approach.

1. 背景

乳幼児が見せるコミュニケーションの原型的能力の1つに交

互凝視行動がある。これは、親の顔とおもちゃの間を乳幼児の視線が行き来するという単純な行動として観察される。そのため、行動的な定義をすれば、交互凝視行動は乳幼児の視線が親

とおもちゃの間を行き来する行動ということになる。中でも親の視線に反応して、おもちゃを見る行動は共同注視行動と呼ばれ、その行動は、親の視線と同じ方向に乳幼児も視線を向ける行動と定義される。この共同注視行動に関して、ButterworthとJarrettは統制された状況下で実験を行ない、6ヶ月齢から18ヶ月齢程度までの期間に見る共同注視行動を、生態学的幾何学的空間表象的段階を経る発達過程として記述している[1]。この記述が、乳幼児の空間的な認知能力の形成過程を捉えたものであるのに対して、Tomaselloは、共同注視行動を含めた交互凝視行動を、乳幼児の主体性を基盤とした他者の意図理解の過程として捉えることが重要だと指摘している[2]。ただし、乳幼児が交互凝視行動を起こすことを指して、他者の意図を理解している証拠とすることには異論があり、CorkumとMooreは、生態学的な共同注視行動が、その経験を通じて結果的に他者の意図を理解する基盤を形作っていくのだと主張している[3]。

このように、乳幼児の発達過程における心理的な側面に焦点を当てるとき、乳幼児の内部に主体性や意図の存在を仮定することの重要性は強く認識されているが、それを心理学的な実験によって検証しようとする場合には、乳幼児の内部状態を直接覗き見ることができないことに起因して、客観的な考察を進めることが難しくなっている。

こういった状況を補い得る手法に構成論的アプローチがある[4]。これは、対象とする現象に本質的と判断される要素を抜き出した抽象的なモデルを実際にとって動かす手法である。これにより、構成するモデルを乳幼児の行動と比較することはもとより、乳幼児の内部に相当する振る舞いを観察することが可能になる^(注1)。この構成論的アプローチにより、長井らは認知発達ロボット[5]の実現として共同注視ロボットを開発している[6]。この共同注視ロボットには、生得的な反射回路(比例制御器)から教示を受ける学習器が、親の視線と自分の運動方向の対応関係を学習していくモデルが実装されている。しかし、親の視線が直接的に運動方向を導くモデルでは、ロボットが見ようとするもの、つまりはその主体性が表現できないのではないかと考える。共同注視行動を、乳幼児の主体性を基盤とした他者の意図理解の発達過程として捉えるために必要なのは、生得的な行動傾向によって共同注視状況を経験した結果として、例えば親が向いた先に何かおもしろいものがあると予想するようになり、その予想したものを見ようとしてその視線方向に自らの視線を向けるというようなモデルなのではないだろうか。

これまで我々は、この考えに基づいた共同注視行動の獲得モデルを構成してきた[7]。本論では、その発展として交互凝視行動を表出するモデルの構成を目的とする。そのために、自己受容感覚を取り入れたモデルを提案し、その振る舞いをコンピュータシミュレーションによって調査する。

以降、2.節において構成するモデルを説明し、3.節でそのモデルを使った実験および結果を示す。4.節で得られた結果を考

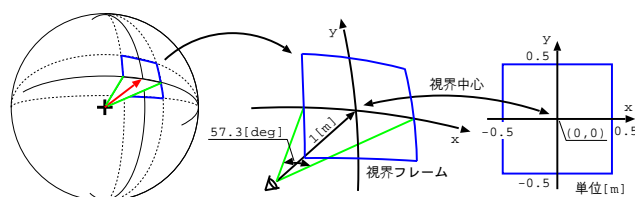


図1 視界の設定

Fig. 1 Setting of Infant's Sight.

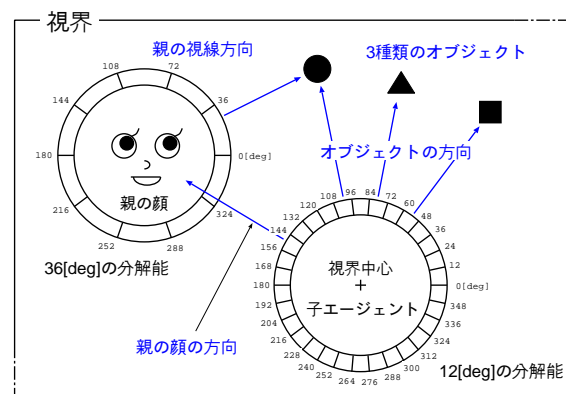


図2 視界から得る配置情報と特徴情報

Fig. 2 Direction and Feature Information from Infant's Sight.

察し、さらに5.節において本論の結論と今後の課題を明らかにする。

2. モデル

2.1 環境と子エージェントの視界

子エージェントの前面に、親エージェントとオブジェクトが存在する状況を想定する。その親エージェントとオブジェクトは、半径1[m]の球の表面上に配置する。それを見る子エージェントの網膜を球の中心に置き、そこから球の表面を1[m]四方で切り取った範囲を子エージェントの見る視界とする(図1)。したがって、子エージェントが受け取る視覚情報は2次元情報になる。

子エージェントが、視線の移動に付随して得ることのできる情報は、1. 親やオブジェクトが視界内でどの方向にいるかという配置情報、2. その親やオブジェクトがどのような特徴を持っているかという特徴情報、3. 自分がどの方向を向いているかという自己受容感覚である。配置情報は視界の中心を原点にした極座標で方向を表現し、特徴情報は、親を視線方向^(注2)、オブジェクトを形状^(注3)で表現する。それぞれの分解能および特徴量を表1に示す。自己受容感覚は、首や眼球の動きによって視点を決めるときの筋肉の状態を自己受容感覚として乳幼児が知覚できることを想定し、子エージェントは、自分の視点をどの方向に動かしているのかを知ることができるとする。その感覚情報は、筋肉のニュートラルな状態を原点として、そこから子

(注2): 親のいる位置を中心とする極座標でどの方向を向いているかという情報を子エージェントは得ることができるとする。

(注3): 分かりやすい意味を与えるために形状とただけで、これは色でも大きさでも良い。

(注1): 当然、現象の全てをコピーすることを目指すものではないので、定性的な傾向を比較することになる。

表 1 視界から得る情報とその解像度

Table 1 Resolution of Sight Information.

特徴	親の視線方向 (極座標)	36[deg] の分解能
		オブジェクトの形状
配置	見える方向 (極座標)	12[deg] の分解能

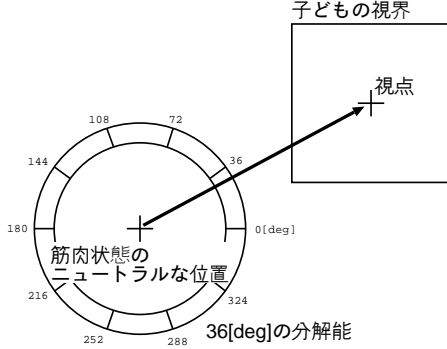


図 3 自己受容感覚から得る視点の方向情報

Fig. 3 Gaze Point Direction from Proprioception.

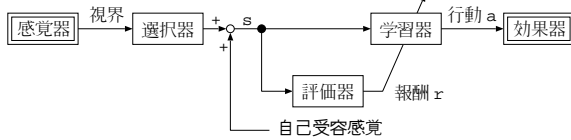


図 4 視覚定位のシステムブロック図

Fig. 4 System Block Diagram of Visual Orientation.

エージェントの視点がある方向を極座標で表現する (図 3)^(注4)。また体の向きは固定されていることを仮定し、それによってニュートラルな位置も変動しないものとする。自己受容感覚の分解能は親の視線方向の分解能と同じとする。

2.2 視覚定位

親やオブジェクトを視界の中心で捉える視覚定位の機能を獲得するモデルは選択器、評価器、学習器より構成される (図 4)。選択器は視界に映る親やオブジェクトから 1 つを選び出す。評価器は選択器が選び出した刺激が視界の中央に移動しているかどうかを評価する。学習器は評価器が下す評価を使って、選択器が選び出した刺激に結び付く運動の価値を更新し、その関係性を試行錯誤的に学習する。

選択器：乳幼児には生後早い段階からコントラストの強いものや動くものに対する選択性がある [8]。そういった選択性が感覚器での特徴抽出機能として既に獲得されていることを仮定する。具体的には、視界に映る親やオブジェクトは背景から抽出可能で、親とオブジェクトは異なる情報表現を持ち、視界に複数表示されているものから 1 つを選択することができることを仮定する。

評価器：ある時刻 t での評価値 (E_t) は、子エージェントの視界でオブジェクトもしくは親が見える方向 (θ_t) と、それらが一時刻前に見えた方向 (θ_{t-1}) との差を $\Delta\theta_t (= \theta_t - \theta_{t-1})$ としたと

き、それが視点移動方向の最小分解能である $\pm 12[\text{deg}]$ 以内に入っていれば正の値 (1) とし、そうでなければ負の値 (-1) とする。

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

学習器：選択器が選択した親やオブジェクトの配置情報、特徴情報、自己受容感覚を、合わせて感覚情報 s とする^(注5)。この感覚情報 s に結び付く視点の方向毎の移動価値を自らの経験によって試行錯誤的に形成するために、リファレント報酬付きテーブル型 Sarsa 方式 [9] として知られる強化学習の枠組みを用いる。強化学習は基本的に自分の状態 (s : 感覚情報) に対する行動 (a : 視点の移動方向) に価値 (Q) を割り当てて、ある行動を起こしたときに得られる報酬 (r) によってその行動の価値を形成する枠組みである。そこでまず、評価器が下す評価から報酬を次式のように形成する。

$$r_t = E_t - \tilde{r}_t. \quad (2)$$

\tilde{r}_t が (3) 式によって更新されるリファレント報酬である。

$$\tilde{r}_{t+1} = \tilde{r}_t + \alpha_r [r_t - \tilde{r}_t]. \quad (3)$$

ここで α_r はステップサイズパラメータである ($\alpha_r = 0.01$)。状態 s に対する行動 a は、価値 Q で形成される分布から (4) 式によって決定され、その価値 Q は (5) 式によって更新される。

$$p_t(a|s) = \frac{e^{Q_t(s,a)/\tau}}{\sum_{a'=1}^{N_a} e^{Q_t(s,a')/\tau}}, \quad (4)$$

$$Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a) + \alpha_Q [r_t + \gamma Q_t(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q_t(s_t, a_t)]. \quad (5)$$

ここで τ は温度係数、 α_Q は学習率、 γ は割引率である ($\alpha_Q = 0.1, \gamma = 1$)。 τ は試行回数の経過と共に減少させるパラメータなので、その設定は実験の中で詳述する。また、 N_a は極座標で表現される視点移動方向の分割数である ($N_a = 360/12 = 30$)。

2.3 交互凝視

交互凝視行動を獲得するモデルでは、視覚定位のシステム (図 4) に連想器とカテゴリ識別器を加える (図 5 の点線部分)。連想器の追加は、基本的には親を見たときの感覚情報からオブジェクトを見たときの感覚情報を連想すること (もしくはその逆) を目的としている。この連想関係を形成するには、親とオブジェクトの切り替わりを知る必要があり、その識別を行なうものとしてカテゴリ識別器を追加する。また、図中の z^{-1} は遅延器であり、連想器が連想した感覚情報 (s_t^*) の 1 時刻前の感覚情報 (s_{t-1}^*) を出力する。

連想器：連想器は、感覚情報 s の遷移過程を s_{t-1}^* から s_t への遷移として頻度分布 $F(s_{t-1}^*, s_t)$ に蓄積する。そして、 s から

(注4): 本来は方向と距離、両方の情報を自己受容感覚から知ることができると推測されるが、本モデル内では方向のみを知ることができるとする。

(注5): 感覚情報 s は、30 分割の配置情報、10 分割の視線特徴、3 種類の形状特徴、10 分割の自己受容感覚から $3900 (= 30 \times (10 + 3) \times 10)$ 状態で表現される。

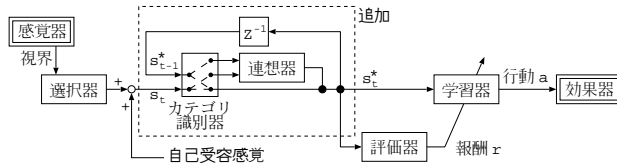


図 5 交互凝視のシステムブロック図

Fig. 5 System Block Diagram of Gaze Alternation.

s^* への連想を, (6) 式で確率的に決定する.

$$p(s^*|s) = \frac{F(s, s^*)}{\sum_{s'=1}^{N_c} F(s, s')} \quad (6)$$

ここで N_c は感覚情報 s が持つ状態数の最大値である. また, 頻度分布の更新および連想実施の判断は, カテゴリ識別器で行なう.

カテゴリ識別器: カテゴリ識別器は, 感覚情報が親であるかオブジェクトであるかを識別することができ, その親やオブジェクトが定位できているかどうかの違いもまた識別することができることを仮定する. そして, この仮定する能力を用いて, 以下の機能を構成する.

- 頻度分布の更新および (6) 式による s から s^* への連想は親やオブジェクトが定位できたときのみ実施する.
- ある時刻での感覚情報 s_t と 1 時刻前に連想器が出力した s_{t-1}^* を比較し, これが異なるカテゴリの場合は s_{t-1}^* を s_t^* に出力し, 同じカテゴリの場合は s_t を s_t^* に出力する.

3. 実験と結果

3.1 実験 1: 視覚定位機能の獲得

子エージェントの視界にオブジェクトと親を交互に表示し, それぞれを視界の中央で捉えることができるようになる過程を確認する. 親は最初に子エージェントの視点を置いた場所に常に配置し, オブジェクトはその親を中心とした半径 200[mm] の円周上にランダムに配置する.

また, 子エージェントの視点は一定速度で動かすものとし, その速度を 0.5[m/sec] とする^(注6). さらに, コンピュータシミュレーションは離散時間で進行するとし, そのサンプリング時間を 10[msec] とする^(注7).

3.2 結果 1

親やオブジェクトの定位を 5000 回繰り返したとき, 定位に要する時間は Fig.6 のように変化する. ここで, 定位の成功は親やオブジェクトを視界の中心から半径 5[mm] の円内に収めたときとし, 5[sec] が経過した場合にその試行を失敗とした. また, (4) 式で説明を保留した温度係数 τ は, 初期値を 0.8 として 5000 試行後に 0.1 となるように線形に減少させた.

この特性を見ると, 1000 回以降は失敗することがなくなり, 4000 回以降では, ほぼ最短時間である 0.4[sec] で定位できてい

(注6): これは視界の端から端までを 2[sec] で移動する速度である.

(注7): 眼球運動と頭部回転の中間的な特徴を実現した結果としてこのような設定にする. 実際に眼球運動だけを考えれば 0.5[m/sec] は遅すぎるし, 遠心性信号のフィードバック時定数を考えれば 10[msec] のサンプリング時間はひと桁速い.

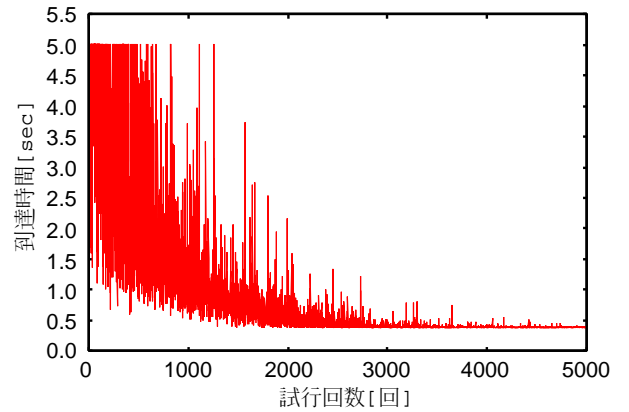


図 6 移動時間の変化特性

Fig. 6 Arrival Time Transition of Trial.

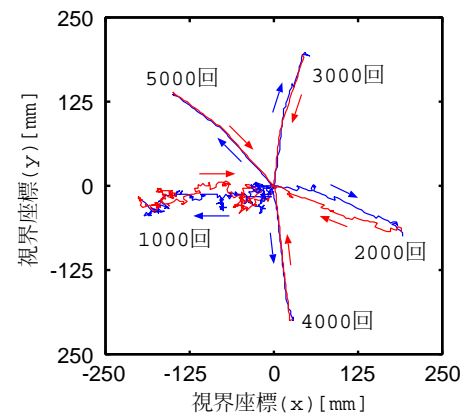


図 7 視点の移動軌道例

Fig. 7 Trajectory of View Point.

ることが確認できる. この移動時間が短くなる過程は, 子エージェントの視点の移動軌道が徐々に滑らかになっていく過程として確認できる (図 7).

3.3 実験 2: 交互凝視行動の獲得

実験 1 で獲得した視覚定位機能を使って, まずは視界内での交互凝視状況を子エージェントに体験させる. この交互凝視状況は, 親とオブジェクトを交互に表示し, 親の視線の先にオブジェクトを配置する状況とする. このとき, 親は最初に子エージェントの視点を置いた場所に常に配置し, オブジェクトは親を中心とした半径 200[mm] の円周上に配置する. 視界外に配置するオブジェクトの円周半径は, 子エージェントの視界範囲の対角線距離の 0.6 倍 ($= 0.6 \times 1000\sqrt{2}$ [mm]) に設定する^(注8).

この中で頻度分布を更新しながら, 視界外に親やオブジェクトを配置したときの交互凝視行動の獲得過程を確認する.

3.4 結果 2

はじめに視界内で交互凝視状況を体験させ, そのときの感覚情報の遷移過程を頻度分布に蓄積する. その後で, 視界外への交互凝視行動を 1000 回試行する. このとき, 交互凝視状況の体

(注8): 親の視線方向の分解能である 36[deg] に沿って視点を移動させたとき, 0[deg] 方向に置かれたオブジェクトは視界の対角線距離の 0.84 倍の位置に置かれたときに, 一度も視界に入らない状態になる. これを考慮して 0.6 倍 (> 0.5) のオブジェクト配置半径とした.

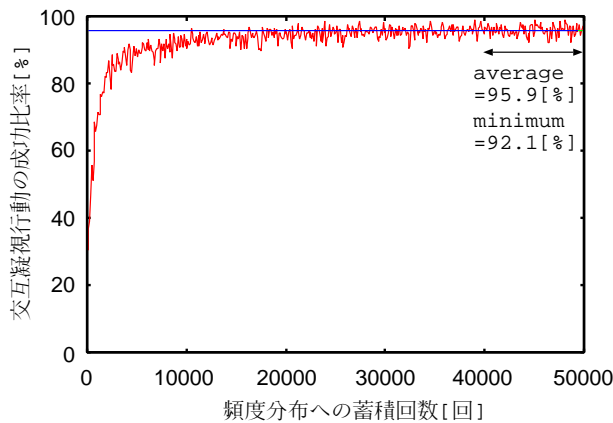


図 8 頻度分布への蓄積回数に対する交互凝視行動の成功比率

Fig. 8 Success Ratio of Gaze Alternation Behavior to Experience of Gaze Alternation Situation.

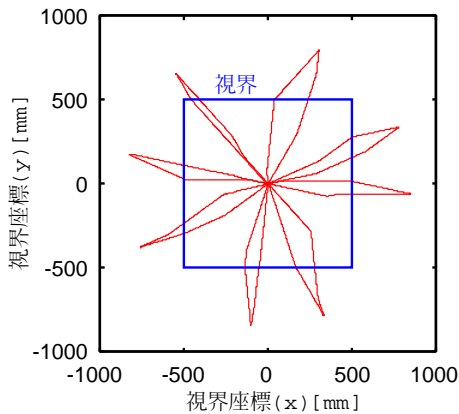


図 9 視界外への視点の移動軌道

Fig. 9 Trajectory of View Point to Out of Sight.

験回数を増加させると、視界外への交互凝視行動の成功比率は図 8 のように推移する。ここで、視界外への交互凝視行動の成否は、実験 1 と同じく親やオブジェクトを子エージェントの視点から半径 5[mm] の円内に収めたときを成功とし、5[sec] が経過した場合を失敗とした。この図から、経験の蓄積によって交互凝視行動が獲得されていく様子が見て取れる。また、この図の中で 40000 から 50000 回の間での失敗比率は最大で 7.9[%] で、これは分解能に起因して起こる失敗頻度にほぼ一致する^(注9)。

また、視界内での交互凝視状況を 50000 回体験させた後で、視界外にオブジェクトを配置したとき、子エージェントの視点が見る方向に複数のオブジェクトがあるような場合に、子エージェントがどれを見るのかは、子エージェントの連想したものによって判断することが可能になり、その連想は親との体験の中での出現頻度が高いものになるだろうことが推測できる。このことから、その連想したものが、子エージェントが見ようとするものという能動的な主体性を表現し得るのではないかと考えられる。

4. 考 察

実験 1 では、既得機能として選択器、評価器、学習器を用意したとき、選択器が選択した視覚情報に対する行動の価値を学習器が試行錯誤的に修正することで、視覚定位の機能を獲得す

(注9): 親の視線方向に配置するオブジェクトは、視線方向の分解能で割り当てられた 1 つの角度範囲の中に一様乱数で配置しているが、その視覚定位の判定を半径 5[mm] の円内に収まったときで判断しているため、最大でその 5[mm] が視線方向範囲から外れてしまう。これが起こる確率を計算すると 8.0[%] になる。

ることが確認された (§.3.2)。実験 2 では、この視覚定位の機能を使って、子エージェントに交互凝視状況を体験させ、そのときの感覚情報の遷移過程を頻度分布に蓄積した。その頻度分布を連想に用いることで、子エージェントが交互凝視行動を獲得することが確認された (§.3.4)。

ここで、子エージェントは、親を定位したときにはその感覚情報からオブジェクトの感覚情報を連想し、それを使って視界の外にあるオブジェクトを定位する。逆に、オブジェクトを定位したときには、その感覚情報から親の感覚情報を連想し、それを使って視界の外にいる親を定位する。また、本論で実施した実験では、オブジェクトの形状をカテゴリ識別器で区別していないが、もしこれを区別できると仮定すれば、親の視線が示す方向に複数のオブジェクトがあるような場合に、子エージェントがどれを見るのかは、子エージェントの連想したものによって判断することが可能になり、その連想は親との体験の中での出現頻度が高いものになるだろうことが推測できる。このことから、その連想したものが、子エージェントが見ようとするものという能動的な主体性を表現し得るのではないかと考えられる。

ただし、こういった連想が機能するにはカテゴリ識別器が必要であり、そこに仮定する機能は、主体性を考えていく上で大きな問題になると考えられる。そこでその問題点を明らかにするために、親を定位してから視界の外に配置されたオブジェクトを定位するまでの連想器とカテゴリ識別器の動作順序 (図 10) を検討する。この順序の中で、連想器からの出力を子エージェントの見ようとするものと捉えたと、状態 2,3 で、カテゴリ識別器がその見ようとするものを維持するのは、目標に対する志向性を仮定することに等しいのではないかと考えられる。また状態 4 は、見ようとするものとそうでないものの識別能力をカテゴリ識別器が持つことを意味するのではないかと考えられる。これは、カテゴリ識別器が単に親なのかオブジェクトなのかを識別するのではなく、見ようとするものに対するカテゴリの判断を行なうことを意味している。つまりカテゴリ識別器では、見ているもののカテゴリを識別すると同時に、連想したもののカテゴリを識別して、その両者の一致を判断することが必要となる。

以上のことから、カテゴリ識別器ではその体験の中で、感覚情報に対するカテゴリを形成し、見ようとするものとの一致を判断する機能とその志向性を形成することが必要になるのだと考えられる。

また、連想器での連想においても、本論で提示するシステムでは、連想したオブジェクトが見つからない場合に、子エージェントは一定の方向へ視点を動かし続けてしまい、実験者がその失敗を制限時間によって決めることでしか次の試行へ切り替わらないという問題がある^(注10)。こういったときにも、子エージェントの主体性を考える場合には、親やオブジェクトが

(注10): もちろん、親エージェントが子エージェントの視界に介入することを想定して、オブジェクトを動かさず状況を作り出せば、子エージェントの注意を取り戻すことは可能である。

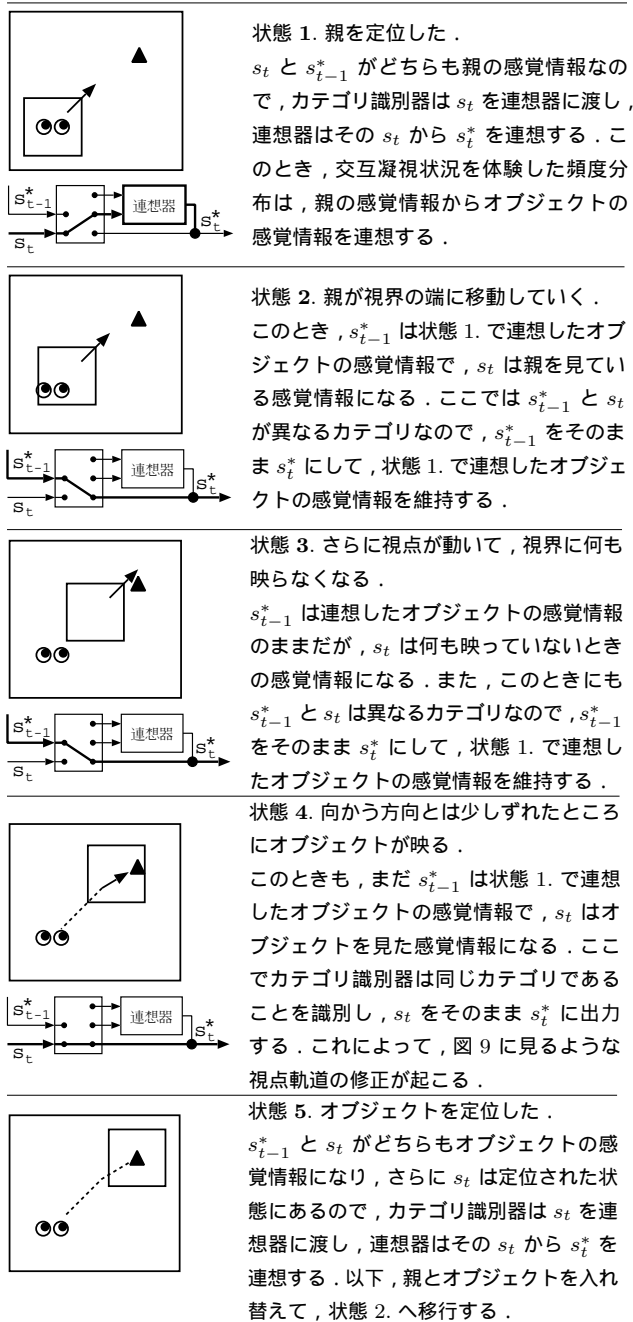


図 10 視界外に配置されたオブジェクトの定位過程
 Fig. 10 Orientation Process of View Point to Object.

見えてくるまでの時間的な予期をするのが自然であり、自分の見ようとするものが見つからなかったり、それに近いものを見たりしたときに、その不一致をきっかけにして親を連想して自ら親を見る行動を起こすことが必要と考えられる .

5. 結 論

本論では、乳幼児がある発達段階で既に持つだろう知覚傾向や評価能力を想定し、視界内に映る親やオブジェクトを視覚定位するための行動方策を試行錯誤的に獲得するモデルを構成した . さらにその過程で体験する親とオブジェクトの特徴情報の関係性を頻度分布に蓄積して、これを連想する機能を構成した . これにより、構成したシステムがその連想を使用して、視界の

外に配置した親やオブジェクトとの交互凝視行動を獲得することが確認された . ここから、その連想したものが、システムの能動的主体性を表現する可能性が見出された .

しかし、その連想の機能に付随して、交互凝視行動を獲得するモデルには親やオブジェクトの違いを認識するカテゴリ識別の能力と、連想したものを見るものとして維持する志向性を仮定しており、この 2 つに関しても体験を通じて形成されるべきであることが考察により明らかにされた . また、連想に関しても、本論で提示したモデルでは時間的な予期の機能を持たないことが問題となることを考察において指摘した .

これらの問題を解決する手段として、リカレントニューラルネットワークの利用が考えられる . これは時間的な予期の機能を実現しながら、連想した結果に対する志向性と、汎化機能を使ったカテゴリ形成を行なうことを目的とするものである . また、これに付随して、感覚情報の表現方法を変更する必要が発生し、その対応として、トポグラフィックなニューラルネットワークの利用と、そのときの視覚定位機能の構成を検討している .

今後は、本論で提示するような主体性表現のモデルを構成しながら、交互凝視行動が見られることを意図的主体性の証拠と捉えるのか、それとも交互凝視行動を獲得することによって意図的主体性を形成していくのか、という発達の因果性に関する議論を進めていく必要がある .

文 献

- [1] 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).
- [2] Tomasello, M., "Joint attention as social cognition," In Moore, C. & Dunham, P.J. (Eds.), *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum, pp.103-130, (1995), (訳書: ジョイント・アテンション, ナカニシヤ出版, pp.93-117, (1999)).
- [3] Corkum, V. and Moore, C., "Development of joint visual attention in infants," In Moore, C. & Dunham, P.J. (Eds.), *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum, pp.61-83, (1995), (訳書: ジョイント・アテンション, ナカニシヤ出版, pp.57-76, (1999)).
- [4] 橋本 敬, "構成論的アプローチ," 杉山 公造, 永田 晃也, 下嶋 篤編著, ナレッジサイエンス, 紀伊國屋書店, pp.132-135, (2002).
- [5] Asada, M., MacDorman, K.F., Ishiguro, H., and Kuniyoshi, Y., "Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.37, pp.185-193, (2001).
- [6] Nagai, Y., Hosoda, K., Morita, A., Asada, M., "A constructive model for the development of joint attention," *Connection Science*, Vol.15, No.4, pp.211-229, (2003).
- [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] Atkinson, J., Hood, B., Wattam-Bell, J., Braddick, O.J., "Changes in infants' ability to switch visual attention in the first three months of life," *Perception*, vol.21, pp.643-653 (1992).
- [9] Sutton, R.S. and Barto, A.G., *Reinforcement Learning*, A Bradford Book, MIT Press, Cambridge, MA, (1998), (訳書: 強化学習, 三上 貞芳, 皆川 雅章共訳, 森北出版, (2000)).