

## 双参照モデルにおける社会性の発現機構

-目玉ジャクシの原初的なサッカーにおける社会的秩序について-

塩瀬隆之 岡田美智男 榎木哲夫 片井 修

京都大学大学院工学研究科  
ATR 知能映像研究所  
〒606-01 京都市左京区吉田本町  
075-753-5240  
shiose@prec.kyoto-u.ac.jp

あらまし

マルチエージェント研究の応用例として社会集団のモデルへの適用が挙げられるが、それらの多くは全体として何らかの「ルール」を共有することが前提とされてきた。しかしそのような「ルール」や規範がそもそもどのようにして生まれ、成長していくのであろうか。それぞれの個体が集団の中で「社会性」を備えるとはどういうことであろうか。本研究では、このような疑問に対する一つの取り組みとして、社会の中で自身の役割や位置を見出す能力を「社会性」を備えることとして定義し、それらがどのような原理に基づいているのかに焦点を当てる。特に発達心理学や現象学の示唆を踏まえた**双参照モデル**を提案し、各個体についての「社会性」および社会（環境）との関係性の形成過程とから考察する。

キーワード 双参照モデル, 人工エージェント社会, 集団力学, 創発的規範

### An Emergent Mechanism of Sociality by Bi-referential Model

-Social Norm Acquired through Playing Primitive Soccer-

Takayuki SHIOSE Michio OKADA Tetsuo SAWARAGI Osamu KATAI

Graduate School of Engineering, Kyoto University  
ATR Media Integration  
Yoshida Honmachi, Sakyo, Kyoto 606-01 Japan  
+81-75-753-5240  
shiose@prec.kyoto-u.ac.jp

Abstract

This paper discusses a dynamics of a group composed of multi agents. In conventional researches for such group dynamics, some norms which agent should obey have been defined in advance. However, it is difficult to design agent's behaviors ideally a priori, because emergent interactions caused by the individual agents' actions are not predictable. Here, we discuss how such a norm emerges and what a sociality for agents is. In this study, we stress that what are needed to social agents are duality of reference; self-referential and social-referential abilities. We presents a new architecture called "Bi-referential Model" which can refer both to self and to others. We discuss about the characteristics of the behaviors emerging within the society composed of multiagents having Bi-referential Models.

key words Bi-referential Model, a society of artificial agents, group dynamics, emergent norm.

## 1 緒言

近年、人間社会のモデルとしてマルチエージェント研究の応用が試みられてきた<sup>9)</sup>。この場合、秩序を維持する理性ある人間を理想とするため、人工エージェント集団には、守るべき集団の秩序・規範が前提とされていた。そのため設計者は個々のエージェントが守るであろう全体の目的関数を設定し、これを所望の方向へ導くような行為選択を個々のエージェントに求めた。しかし複雑に絡み合った相互作用関係にある複数のエージェントは、所与の目的関数だけではなく、明らかに設計者の想定を越える多くの拘束に強く影響を及ぼされてしまっていた。設計者は、トップダウンに与える秩序が個々体を拘束する唯一の条件ではないことを踏まえる必要がある。となれば、所与の秩序という仮定を取り除いた場合にそのような秩序や規範がそもそもどのようにして生まれ、成長していくのか、また人工エージェントにとっての「社会性」がどのような意味を持つのかについて研究する必要性が生まれてくる。集団内での振る舞いを通じて自身の役割や位置を知ることが「社会性」であると定義すれば、そのような社会性を実現する能力を各エージェントが備えていなければならない。個々のエージェントが相互作用経験を通じて自身の評価関数を選定し、これに拘束された行為によって集団が影響を及ぼされる。逆に集団に生まれた何らかの秩序は個々のエージェントの評価関数の選定に影響を及ぼすという意味において、相互限定的な関係はある意味理想である。この相互限定的関係を自身に内省出来る能力を備えることこそが人工エージェントにとっての「社会性」なのかも知れない。

そこで本研究では複数の人工エージェントによって形成される集団を、「社会性」および「集団的規範」の意義および生成過程という側面から分析を試みる。さらに発達心理学や現象学の示唆を踏まえ、そこから演繹される「自己の二重性」という概念を**双参照モデル**の提案によって計算機上で模擬し、これをモデルとして備えたエージェント群についての「社会性」や「集団的規範」に関するボトムアップ的なアプローチを試みる。ここでは双参照モデルを備えた「目玉ジャクシ (Eye-tadpole)」と呼ぶ、おたまじゃくしのおひれをくねらせて水中を漂う目玉 (TalkingEye)<sup>6)</sup> を対象とする。集団で棲息している「目玉ジャクシ」の中にボールのようなものが落ちてきて、そのボールをみんなで追いかけながらじゃれあっているうちにいつの間にか集団内にルールのようなものが生まれてくる過程を想定している。目玉ジャクシがボールと戯れる中から、その集団にとって初めて意味のあるルールを発見するようなメカニズムに焦点をあて、各個体の

「社会性」および社会 (環境) との関係性の形成について考察する。

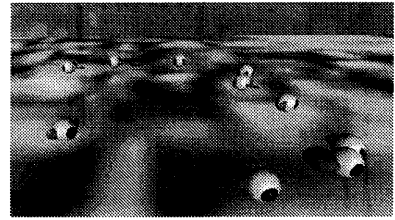


図 1: 目玉ジャクシのCG画面

## 2 社会性の発現と自己の二重性

### 2.1 エージェントにとっての社会性

人間を始めとする社会的生物において個々の関係は、目に見える強い結び付きではないが、明らかに切っても切り離せない関係を築いている。ここで目に見えない「関係」が時々刻々と変化するということは、各個体が集団において占める役割や位置そのものが変化することを意味する。集団の中で自身の役割や位置、行為の意味をそれぞれの個体が外界 (他者) との関わりの中で見出し、他者との関係性の成長に伴って分化していく。その行為の分化に伴って他者との関係性も成長していくという意味では、集団と個体とが相互限定的関係にあると言える。集団と個体とが共進化しながら相互限定的に個体の行為をナビゲートしていくというセンスは、Gibsonの提唱するアフォーダンス概念<sup>2)</sup>でも示唆されている通り、行為の意味付けを環境に委ねることに相当する。環境に行為の意味付けを委ね、新たな環境における自身の位置を見つけることを「ニッチ (生態学的な場所) を獲得する<sup>2)</sup>」と言うが、これを物理的な環境に対する意味から社会環境にまで敷衍するとすれば、集団との関わり合いの中で自身の役割や位置を発見することもニッチの獲得だと言える。物理的な環境において個々の生物がそれぞれのニッチをずらし合うことで「棲み分け」が起こり、結果として有限の物理環境を上手く分け合った関係が成立している。本研究では、社会環境においても有限の場所 (役割や位置) を上手く分け合うような「棲み分け」が成立することこそが社会にとっての秩序であり、他個体との相互作用を通じて異なるニッチを獲得する過程が社会化の過程であると考えられる。このニッチという言葉を借り、改めてエージェントにとっての「社会性」を定義するとすれば以下の

ようになる。

社会的な集団の中でそれぞれのニッチを微妙にずらし合いながら、それぞれの棲息場所（役割や位置）を見つけていく能力を備えること。

## 2.2 社会的アフォーダンスへの敷延

Gibsonの言葉を借りれば、「ニッチとはアフォーダンスのセットである」とされる。Gibsonによって提唱されたアフォーダンスとは、「知覚者の動き、行為と相互依存的な関係で定義される対象に備わった性質、価値」のことである。主観的特質でも客観的特質でもないアフォーダンスは、相互作用関係においてのみ意味をなす。岡田ら<sup>6)</sup>はニッチの社会環境への敷延と、このアフォーダンスとから、「棲み分けられた自身の役割」を知ること「社会的アフォーダンス」の獲得過程として捉えている。しかしそのための情報が一方的に環境に備わるというのではなく、それをピックアップする主体との関係において初めて意味をなすのである。その意味では主体の側にGibsonの言う自己受容感覚という意味においての「知覚システム」を備え、そうした行為の外界（他者）との関係に相互依存的な関係を築く能力を社会的な環境に対しても築けなくてはならない。

アフォーダンスに対する誤解の多くは、それが行為の後に見出した構造であって、必ずしも動作原理として働いているとは限らないにもかかわらず、高い帰属意識によってある種の動作原理であると錯覚されることである。Gibsonが強調するように、自己受容感覚としての知覚が、物体を認識するだけでなく環境と自己との関係を捉える感覚であることを踏まえれば、アフォーダンスは環境と自己との関係にこそ備わる価値であって押し付けられる情報ではない。むしろ「獲得する情報」であって、これを実現する「知覚システム」を備えることこそが「身体的」ふるまいであるとされる。本研究では、ある行為を誘引する刺激の獲得といった狭義のアフォーダンス理解とは異なり、環境的文脈にナビゲートされながら行為の意味を見つけていくという意味における広義のアフォーダンス理解により「社会的アフォーダンス」を定義する。

## 2.3 社会的規範の原初的な姿：行為の類型化

環境にナビゲートされるとは、自身の行為の意味付けを社会（環境）に委ねることである。目玉ジャクシのように物理的な環境をリソースとして共有するエージェント群においては、度々有限資源の競合という危険に晒される。物理的な環境で効率よく目的を達成出来るような能力に差がある場合には、その決着は容易に着くかもしれない。しかし同程度の学習能力を備えたエージェント同士では、多くの個体の行為

が類型化され始め、その類型化が集団内に伝播することで各個体の内部においても予測性や安定性が高められることになる。結果として個々のエージェントが有限の資源を上手く分け合うことが出来ていれば、それは秩序生成の一つの形態であるとも考えられる。このような秩序生成には初期の類型化の芽がいかにか維持され、集団内に伝播され始めるかが重要な鍵となる。初めから集団にとって意味のあるルールが存在するわけではなく、そもそもは個々体にとっては癖のようなものだったのかも知れない。たまたま右避けの癖を持った個体が偶然近くにいる時間が長かったためにその個体らに右避け癖が普及し、結果として予測性が高まった個体にとって価値を持つようになる。初めから類型化を志向しているわけではなく、あくまで結果として類型化が伝播する。またたくさんの目玉ジャクシがボールに群がっている場合には、ボールを触りたくてもなかなか触れない状況が予想される。他に配慮しないエゴの顕示を嫌い、我慢を尊ぶモラルが暗黙の了解としてある我々の社会からすれば、目玉ジャクシの世界においても「我慢が集団に伝播して衝突を減らすこと」を秩序生成の一側面と捉えても差し支えないのではないか。これらを踏まえた上でボトムアップに規範が発現されたと言うためには、類型化されたルールが各個体に伝播することや、このような「我慢」の仕方が各個体それぞれに備わって棲み分けが起こることによって結果として個々体の評価が充足されることが始まりではなからうか。

## 2.4 知覚システムとしての双参照モデル

上記のように、自身の行為の意味付けを他者（環境）に委ね、環境にナビゲートされるかたちでそれぞれのニッチを獲得する能力を備えることを「社会性」と呼んだ。しかしGibsonが指摘するように、一方的に環境に備わる情報ではなく、主体と環境との関係に備わる情報であるから、主体の側にはそれを可能にする知覚システムを備える必要がある。この意味においては、行為の意味付けを環境にだけ一方的に委ねるのではなく、自身にも委ねるという理解が可能である。そのとき自身の行為の意味付けを自己と他者（環境）との両方に求めるという意味においての二重性が仮定される。そこで次章ではこの二重性を、発達心理学や現象学で示唆される「自己の二重性」という概念と対応づけて理解することが出来ることを示し、これを踏まえた双参照モデルを計算機上にも実装することを試みる。

### 3 自己の二重性：双参照モデル (Bi-referential Model)

本章では、社会的アフォーダンスによってナビゲートされながら自己自身と他者とかから自身の行為を意味付けることが出来るような二重性を備えた知覚システムを実現するため、発達心理学や現象学で示唆される「自己の二重性」という概念とのアナロジーから双参照モデルを提案する。

#### 3.1 相反する二つの希求性

発達心理学や現象学、脳神経生理学の見地からも「自己の二重性」を肯定する示唆が多く含まれている。現象学における自己の二重性（自己と他者）、時間の二重性（過去と未来）、発達心理学における二つの希求性（自己充実欲求と整合希求性）、脳神経生理学における二つの脳（大脳辺縁系と大脳皮質）などが挙げられる。これら異なる学問領域から示唆された概念のアナロジーに基づき、計算機上への実装を想定して再構成した**双参照モデル**を提案する。この二重性を実現することが出来れば、環境にナビゲートされつつも、主体性を維持し、この二重性が多様性の萌芽として重要な働きを示すものとする。以下にそれぞれの概念のアナロジーをまとめ、双参照モデルの説明に言葉を借りる。

自己参照系	他者参照系
自己（主体）	他者（環境）
過去（経験）	未来（予期）
自己充実欲求	整合希求性

#### 3.2 他者参照系／整合希求性

個体がある環境（社会）で生息し、環境に対して合目的であるためには、行為の意味付けを必ず他者（環境）に委ねざるを得ない事実から、個体には他者（環境）との関わりを根源的に求めようとする整合希求性という欲求の存在が発達心理学の見地から規定されている<sup>7)</sup>。「意図的文脈が環境的文脈によって阻まれるとき、自己は身体の境界を知ると同時に他者を知る」。このように他者性を定義すると、他者との関係を持つようとする整合希求性とは、意図的文脈を阻むような環境的文脈の複雑性を求めるということでもあり、他者への配慮（利他主義度）が高いほど強く他者との関わりを求めるのである。未だ知り得ない他者を求めるという斉一性は、自身の周りを流れる未来という時間への期待の現われでもある<sup>4)</sup>。これらの示唆を踏まえれば、〈他者参照系〉-〈未来〉-〈整合希求性〉、という繋がりが見えてくる。

#### 3.3 自己参照系／自己充実欲求

誰の手も借りず、自己完結的に自己たることを定義しようとする自己充実欲求<sup>7)</sup>は、整合希求性と

並んで根源的欲求の一つと規定される。自己完結的に世界を記述しようとする希求は、自己の既知世界の拡充であり、自身の経験した過去という時間への信頼である<sup>4)</sup>。自己の経験がすべてであるとする万能感の錯覚は、自己への期待（利己主義度）が高いほど自己充実の達成感も高く、その反面として失望感も大きくなる。利己主義度が高い場合には、他個体への配慮の価値が下がり、結果として環境に傲慢な態度を選択する機会が増えてしまう。これらの示唆を踏まえれば、〈自己参照系〉-〈過去〉-〈自己充実欲求〉、という繋がりが見えてくる。

#### 3.4 時間の二重性

発達心理学の見地から、二つの希求性には影響の強い期間に差異があることが示唆される。特に自己充実欲求を動因とする自己参照系は、生まれて間もない臨界期（可塑的に外界を受け入れる期間）にその大枠が形成された後は、経験（過去）という外界の時間軸からは切り離された世界で更改されるため、その学習スパンは非常に長いものとなっている。一方で、整合希求性を動因とする他者参照系は、他者（未来または今）という外界の時間軸そのものによって更改されるため、その学習スパンは自己参照系のそれに比べて極めて更改のスパンが短いものとなっている。このような根源的な更改速度の差が、環境にナビゲートされながらも主体性を維持し続けられるメカニズムの本質であると考えられる。本研究においては、この更改速度の差を陽に組み込んだアーキテクチャを提案することで同様の二重性を表現することを試みる。

### 4 アーキテクチャ：双参照モデル

前章で提案した双参照モデルの計算機上への実装を目指し、ここではアーキテクチャについて簡単に述べる。

#### 4.1 他者参照系

前章で議論したように、行為の意味付けを環境に委ねるという意味では、環境との相互作用を重視した行動主義アプローチ<sup>1)</sup>の応用を考えることは直観に沿う。そこで本研究では、Grefenstetteによって提案されたSAMUEL<sup>3)</sup>に倣った能動的行動獲得アルゴリズム<sup>8)</sup>を応用する。SAMUELはクラシファイアシステム（CS：Classifier System）の一技法で、問題解決手法として一般性の高い進化的計算を逐次意思決定作業という特殊な領域に応用したものである。SAMUELは、一般的なCSと同様に、所与の目的関数を充足するような分類子、およびその集合を進化的計算により獲得する手法であり、エージェントの学習等に應用される場合には、if-then節で表現される個々のルールが、それぞれエージェントの知覚-行為体系に対応付

けられる。Fig. 2に学習メカニズムの概念図を記す。記号の意味はそれぞれ、(  $i$  : 刺激,  $a$  : 行動,  $r$  : 評価関数) である。

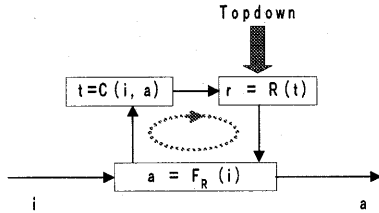


図 2: 標準的な学習系のアーキテクチャ

#### 4.1.1 ルールの定義: 目玉ジャクシの知覚一行為

目玉ジャクシは扇形の視野内に映った最近接のボールの相対位置 (角度, 距離), 他個体の自身に対する相対位置 (角度, 距離) および他個体の数, の5種類の異なる要素を離散的に知覚することが出来る。実験では扇形の視野を  $3 \times 3$  の9通りの離散値に区分しているため, 視野内に対象を捉えていない場合を含めると, 前件部における識別可能状態数は, ボールについて  $(3 \times 3 + 1) = 10$  通り, 他個体について  $(3 \times 3 \times 3 + 1) = 28$  通りある。一方の行動は, 現在の方向に対する相対角度 (5通り) と固有速度 (5通り) の  $5 \times 5 = 25$  通りである。これらを踏まえて  $280 \times 25 = 7000$  通りのルールが存在する可能性がある。

#### 4.1.2 ルールの発火と強度

上記の知覚一行為に対応する if-then 節のルールは, 環境との照合にマッチングした前件部を持つルールの中から無作為に選択されたものが発火する。ルールセット内に照合可能なルールを保有していない場合は, 能動的行動獲得アルゴリズム<sup>8)</sup>と同様に新規遭遇環境を前件部に, 乱数で行為を割り振って新たなルールとしてルール集合に加える。また発火したルールは, 一回の発火毎に  $+1$  の強化値を受けるが, 強化値は選択淘汰のフェーズにおいてのみ活用される。

#### 4.1.3 評価関数

他者参照系における評価関数は, 後述の自己参照系によってのみ選定される。そのため他者参照系においては従来の学習手法と同様, 普遍的な規範として働く。実験で用いた評価関数は以下の通りである。

$$\text{evaluation} = (W_1 * \text{near} + W_2 * \text{contact}) * \text{Egoism} \\ + (W_3 * \text{number} + W_4 * \text{collision}) * \text{Altruism}$$

学習スパン $T$ の間で観測した値	
<i>near</i>	ボールとの距離の変動
<i>contact</i>	ボールと接触した回数
<i>number</i>	視野に捉えた他個体の数
<i>collision</i>	他個体と衝突した回数
<i>Egoism</i>	利己主義的な価値の付与
<i>Altruism</i>	利他主義的な価値の付与
$W_i (i = 1 \sim 4)$	各種重みパラメータ

パラメータ  $T$ , *Egoism*, *Altruism*,  $W_i$  については後述の自己参照系によって定義されるため, 他者参照系にとっては定数パラメータとして扱う (また特に  $W_i$  については今回の実験では変更しない設定のため, それぞれの要素が評価関数に対して同等の影響を示す程度に試行錯誤的に決定した,  $W_1 = 0.4/T, W_2 = 0.05, W_3 = 1.0/T, W_4 = -0.2$ )。

#### 4.1.4 文脈の記憶

通常のCSにおいては, 報酬割り当て (Profit Sharing) のために発火したルールのシーケンスを記憶する機構が用意されているが, それらがルールの発火に何ら拘束力を持つものではない。本アルゴリズムにおいては, 発火ルールのシーケンスを監視することで設定した目標の履行/不履行を確認し, それに応じて目標を変更することが可能となる。実際には目標とは, ボールを追いかけるか否か (1 or 0) のみの選択となる。

#### 4.1.5 選択淘汰: 各個体に閉じた学習

マルチエージェントの学習にCSが用いられる場合, 一般的な方法としてはミシガンアプローチとピッツアプローチの二つがある。ミシガンアプローチでは, 一つのルールセットから各個体がルールを共有するため, そもそも類型化して当然である。他方, 各個体にそれぞれルールセットが割り当てられるピッツアプローチにおいても, 選択淘汰のフェーズにおいてルールセット間 (すなわち各個体間) で交叉が行われるため, ルールセットの類型化に影響を与えたものが, 評

価関数か、交叉のフェーズか、あるいは試走のフェーズであるのか、が特定出来ない。本研究においては、「相互作用を通じて得られる類型化」について議論することを目的としているため、いずれの手法も意に添わない。そこで本研究では、ピッツアアプローチにおけるルールセットを各個体と対応づけるのではなく、個々体が複数有するルール集合と位置付けるが、選択淘汰における便宜上のカテゴリーである以上の含意はない。そして選択淘汰のフェーズにおける交叉を始めとする遺伝操作は各個体内部に閉じて実行する。こうすることで、相互作用の累積を通じた試走の結果にルールが類型化された場合、その原因を相互作用関係を通じた経験のみに帰属させることが出来る。これにより、集団としての多様性とルールの類型化を事前に与える設計の段階とは切り離れたメカニズムとして解析する事が可能になる。本手法以外にも大局的な評価関数を設けない手法の例として、高玉らの組織学習指向型分類システム<sup>7)</sup>(Organizational-Learning Oriented Classifier System)があるが、選択淘汰のフェーズにおいてはピッツアアプローチと同様に各個体間で交叉されるため本研究の意図とは異なる。

#### 4.1.6 教師として働く他個体に求められるもの

マルチエージェント環境で学習を行う場合、相互作用の相手として立ちはだかる他個体は、それぞれの個体にとっては教師としての働きを担う。このような相補的關係で複数の学習エージェントが共存する環境においては、その学習ダイナミクスは複雑な様相を呈する。そこで本研究では学習環境として以下に示す設定の下で実験を行った。

1. 教師をランダムに選択して同時並行的に学習
2. 教師はエリートに限定し、常時一個体のみ学習
3. 学習個体を設計者の側で任意の数に設定
4. 各個体がそれぞれの立場で学習すべきかを判断

未熟なもの同士で相互作用する場合には、他個体の振る舞いを同定することが困難であるため、自身の行為に対する評価も曖昧になる (exploitation が困難)。しかし逆に相手個体が効率よくボールをシェアしている場合にも、ボールをまわしてもらえずに一向に学習は進まない (exploration が困難)。

## 4.2 自己参照系

前章で議論したように、ここでは自己を「主体としてのエージェントが相互作用の累積を通じて得た経験そのもの」と定義している。「入力および出力に相当するものは全て自己の内に閉じている」という仮定と、「長い時間スパンを経て累積された経験をして自

己と呼ぶ」という仮定の下、双参照モデルのアーキテクチャを Fig.3 に示す。自己参照系においても学習系はクラシファイアシステムを採用した。

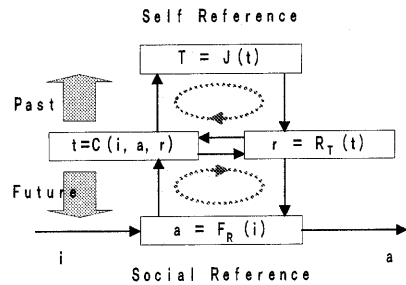


図 3: 双参照モデルのアーキテクチャ

### 4.2.1 ルールの定義：自己の内に閉じた学習系

誰の手も借りず、自己のみによって自己を規定したいとする自己充実欲求の性質から演繹すれば、入力としては自己の内に閉じた情報しか得られない。そこで本研究では、他者参照系を通じて外界(他者)と相互作用した文脈を長い時間スパンで捉え直した「経験」を入力とする。具体的には、自己参照系が選定した他者参照系の評価関数を時間微分したものを入力とする。出力には、他者参照系の評価関数を変更しうる各種パラメータ、利己主義度 (Egocism), 利他主義度 (Altruism), 評価時間スパン (T), を採用する。

### 4.2.2 評価関数と学習の更改時間

自己を自己のみで完結したがる自己充実欲求の性質から、入力の変化に対する予測性を高めるような行為を選択することが演繹される。そこで自己参照系における評価は、入力値の時間微分が正の値であつその絶対値が小さくなることを評価する。しかし単純にCSを採用すると、他者参照系との兼ね合いから二重に学習系が働くことで、学習が収束しないことが懸念される。そこで前章で仮定した「時間の二重性」から演繹する時間軸のずれを利用し、本研究では自己参照系の学習スパンが他者参照系の学習スパンの任意の整数倍 (実験では4~10倍に設定) の時間軸に従って更改されるものとする。これにより他者参照系の更改から見れば自己参照系は固定的な規範として働くが、その実、長い相互作用を通じて徐々にではあるが他者参照系からの影響を受けて変化している。両者が相互拘束的に働くことが重要である。

### 4.2.3 学習：突然変異としての行為選択

上記で定義した評価を充足するような入出力関係を獲得するため、選択淘汰のフェーズで何らかの遺伝操作を必要とするが、ここでは突然変異オペレータのみ採択する。入力値の時間微分が不安定化した場合には、以下に示すような行為群から無作為に選択し、試行錯誤の末に結果として安定化を維持しうる行為がより高い強化値を得る。

1. 利己の性格の顕示：*Egoism* を高めることで目的達成の価値を高め、他個体への遠慮の価値を低める。
2. 利他的性格の顕示：*Altruism* を高めることで目的達成の価値を低め、他個体への遠慮の価値を高める。
3. 評価時間を長くする：学習スパン  $T$  を延ばすことで長い目で評価する。つまり我慢強く初志貫徹的性格を示す。
4. 評価時間を短くする：学習スパン  $T$  を縮めることで短い目で評価する。つまり好奇心旺盛で目移りが激しく即応性を期待する性格を示す。
5. 目標そのものの変更：意図的文脈が環境的文脈に遮られることに耐え兼ねて、意図的文脈を曲げてしまう、つまり、ボールの運び先を変えるか、あるいは運ぶことそのものを止めてしまう（実験では、*Egoism* を極限まで下げた状態がこれに相当する）。
6. 集団からの離反：意図的文脈が環境的文脈に遮られることに耐え兼ねて、環境的文脈に沿うことを止めてしまう、つまり、目的を共有する集まりへの参加そのものを止めることで、目的の不履行に対する不満を削減することを試みる。しかし集団から離れすぎるとは整合希求性とは相反するため、集団への準拠の価値とのトレードオフに苛まれることになる（実験では、*Altruism* を極限まで下げた状態がこれに相当する）。

## 5 実験と考察

双参照モデルを実装したエージェント（目玉ジャクシ）が、ボールを通じた戯れ合いからどのような集団的規範を創出するかに焦点を絞って実験結果を考察する。

### 5.1 社会性の獲得：双参照モデルによる棲み分け

#### 5.1.1 自己参照系のみで学習した場合

ルールが類型化出来ないため、自己参照系の選定した評価関数をより充足する他ない。個々体のそれぞれの利己主義度を上げることで自己充足を図ろうとす

るため、結果として利己主義度の分散は低く、Egoismの強いわがままな個体の集まりが出来やすい Fig.4.

#### 5.1.2 双参照系で学習した場合

双参照の場合には、ルールを類型化させることでパフォーマンスの向上を図るため、さらに自己充足を図るために棲み分けをすることで有限のリソースとしてのボールをうまく分け合い、よりいっそうの充足を図っていると考えられる。ルールの分散は小さく、利己主義度の分散は大きい Fig.5.

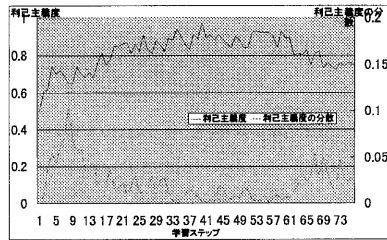


図 4: 自己参照系のみで学習した利己主義度

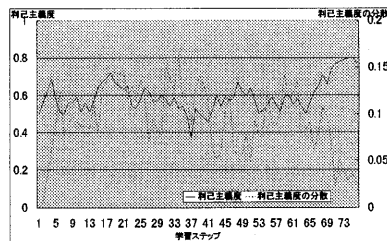


図 5: 双参照モデルで学習した利己主義度

#### 5.1.3 発現する性格の多様性

行為選択が経験の累積を通じて類型化されてくると、集団内に占める自身の役割・位置は、この自己参照系の行為に密接に関わる。この行為選択の傾向そのものが、各エージェントの社会化の個体差、すなわち個性である。以下に行為選択の傾向と、人間社会でラベル付けされた性格との対応づけるとすれば、*Egoism* が大きければ、状況を無視して自己顕示するのでワガ

ママ, *Altruism* が大きければ, 状況を踏まえて控えめに自己主張するので遠慮深いなどという風に, 状況への対応の仕方という目に見えない位相空間で棲み分けが起きていることが性格の差であると解釈可能である.

#### 5.1.4 秩序の生成と崩壊の評価

集団内にルールが伝播したことや, 集団内に秩序が生まれたことをどう評価するのか. その基準となる尺度として, 本研究では以下のような候補を挙げている.

1. 他者参照系の評価関数の平均 (これが高い値を維持することが個体にとっての満足)
2. ボールという共有資源の利用頻度 (効率よくシェアされているか)
3. 個体の利己主義度の分散 (大きいと棲み分けが起きている)

ここでは単に同一のルールが各個体に共有されていることを秩序や集団的規範と呼ぶのではなく, 価値観やタイミングという位相空間において棲み分けが起きているか否かを問う意味で利己主義度 (*Egoism*) や学習スパン ( $T$ ) の分散に着目する. 価値観やタイミングという目に見えない位相空間においてそれぞれのニッチをずらし合うことで, 個々が満足し (他者参照系の評価関数が高まる), 結果として物理的環境において共有資源としてのボールが効率よくシェアされているなどをして秩序と呼ぶ.

## 6 結言

本研究では, 発達心理学や現象学が示唆する「自己の二重性」という概念を双参照モデルの提案によって計算機上に実装した. さらにこのモデルを備えたエージェントを個体モデルとして, 人工エージェントのグループダイナミクスに関する考察を行った. 本研究では, 価値観やタイミングといった位相空間における「棲み分け」が, 社会における役割や位置の獲得であり, これを可能にする能力を備えることをエージェントにとっての「社会性」と定義した. さらにこれらが物理的環境で, 共有資源を介した相互作用を通じて得られたものであることから, 社会全体を見渡したときにこのような「棲み分け」が成立しているか, もしくは行為の類型化が集団内に伝播していることをして「集団的規範」あるいは「秩序」の生成として捉えた. 今後の課題としては, 集団に伝播したルールの類似度, あるいは集団の秩序を客観的に推し量る指標に関する考察などが残されている.

## 謝辞

日頃よりご指導頂く片井教授, 榎木助教授に感謝致します. また有益なディスカッションにお付き合い下さったATR 知能映像通信研究所における定期研究会:O会メンバならびに京都大学工学研究科精密工学専攻榎木研究室諸氏に感謝致します.

## 参考文献

- 1) R. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2(1), Mar(1986)
- 2) J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin Co. 1979 (古崎ほか訳: 生態学的視覚論, サイエンス社 (1985))
- 3) John J. Grefenstette. The Evolution of Strategies for Multi-agent Environments. *Adaptive Behavior* 1(1), pp65-89(1992)
- 4) E. Levinas, 原田佳彦訳. 時間と他者, 法政大学出版 (1986)
- 5) K. Takadama, T. Terano: "Good Solutions will Emerge without a Global Objective Function: Applying Organizational Classifier System to Printed Circuit Board Design", *The IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'97)*(1997)
- 6) 岡田 Talking Eyes-対話する「身体」を創る, システム/制御/情報, Vol.41, No.8, pp.323-328(1997)
- 7) 鯨岡. 原初的コミュニケーションの諸相, ミネルヴァ書房 (1997)
- 8) 塩瀬, 榎木, 堀内, 片井. 自律移動体の創発的行動形成における教示戦略, 第9回自律分散システムシンポジウム講演論文集, pp.91-96(1997)
- 9) 南, 倉橋, 寺野. エージェント間のインタラクションによる世論形成モデルの考察. 経営情報学会秋季全国研究発表大会. p132-135, 1997.