

マンマシンインタラクションにおける協応構造

栗原 聡

岡田 美智男

中津 良平



NTT 基礎研究所

概要: 自然界における現象の多くは複雑系であり, 人間の認知的行動も同様である. 我々は複雑系を少数自由度の非線形系が示すダイナミクスとして捉え, 認知的行動の基本メカニズムを非線形非平衡な系の示すダイナミクスとしてモデル化する研究を行なっている. 現在マルチエージェントの手法を用いてそのモデル化を行なっており, 我々はこれを「認知的協応アーキテクチャ」と呼んでいる. 潜在的に非線形性を有する「行動選択ネットワーク」アーキテクチャを基本モデルとして現在まで改良を行なってきた. 本論ではこのマルチエージェントモデルの非線形性をシミュレーションによって確認し, エージェント集合間において, またはエージェント集合と実世界との間において「協応構造」を形成させることが可能であることを示す. 「協応構造の形成」はマンマシンインタラクションに対して新しい枠組を与える概念である.

A Coordinative Structure in Man-Machine Interactions

Satoshi KURIHARA Michio OKADA Ryohei NAKATSU

kurihara@atom.ntt.jp okada@atom.ntt.jp nakatsu@siva.ntt.jp

NTT Basic Research Laboratories

Abstract: Most of natural phenomenons consist of complex dynamics. The human cognition is the same. We are constructing a basic model of the human cognition. Basic ideas are that complex dynamics consists of nonlinear nonequilibrium dynamics. In order to construct this model, we are developing a multi-agent system. We call the architecture of this system "cognitive coordinative architecture". This system bases on "An adaptive behavior selection architecture" and we have been improving this architecture. In this paper, we make sure the nonlinearity of this model by simulation, and show a possibility if the coordinative structure is emerged from agents between agents and agents between the real world. The coordinative structure give a new perspective to a concept of Man-machine interaction.

1 はじめに

現在、人間の認知機構を非線形非平衡系としてモデル化することを目的とした「認知的協応アーキテクチャに関する研究」を進めている [3]. 自然界の現象の多くは複雑系であり、従来の物理学がたどってきた還元的手法ではうまく説明できないことがわかってきている。人間の行なう認知的情報処理もまさにこのような複雑系であり、従来の方法では説明は難しい。我々は構成論的なアプローチをとり、複雑系に対して基本プロセスから組み立てて構成する方法をとる。特に人間固有の能力である発話に着目している [2]. 「自然な発話」は人間同士が通常交わす会話のことであり、そこには自分の意図や感情などを含め、相手や自分達を取り囲む環境などいろいろな状況が絡み合っており、見ぶり手ぶりによる体全体での意図表示なども考慮するとまさに複雑系である。人間の感情などはモニタすることはできないが、発話自体は観察することができるものであり分析も可能であると思われる。現在分析に関する研究も進めている。

協応するという事は複数の非線形非平衡系が相互作用することによって互いの間に一つの秩序が形成される(秩序が自己組織化される)ことを指す。これをモデル化するためにはコンピュータ側にも複雑系を実現する必要がある。現在マルチエージェントモデルによる非線形非平衡系の実現に関する研究を進めている。このモデルは Maes [7] のモデルに基づいたアーキテクチャであり、集中制御系は存在せずエージェント間での相互作用により合目的な動きが実現されている。このモデルには潜在的に非線形系としての性質があり、我々は改良を加え非線形非平衡状態を作り出すようにした。

まず現在動いているエージェントモデルについての簡単な説明を行ない、シミュレーションにより本マルチエージェントモデルの持つ非線形非平衡性について確認する。このモデルが複雑系としての挙動を示すことが確認できれば、エージェント集合間、またはエージェント集合と人間との間において協応構造を形成することができると考えられる。

2 マルチエージェントモデル

我々の用いる「エージェント」は人間のような高い知能を持つレベルではなく、一つ一つではほとんど何もできない小さなレベルのものである。特徴は一つ一つのエージェントが、ある「行動 (behavior)」を担当しているということである¹。

このマルチエージェントモデルは Maes の ANA を基本アーキテクチャにしている。これまでいくつかの改良を加えており [5], このモデルが持つ非線形性について考える上でもエージェントの挙動について簡単に説明しておく。エージェント (Ag) は複数存在し、それらの集合として一つの行動主体を構成する。行動主体はゴール (G) を持

¹(例)「持つ」という行動を担当するエージェントや、「見る」という行動を担当するエージェント。

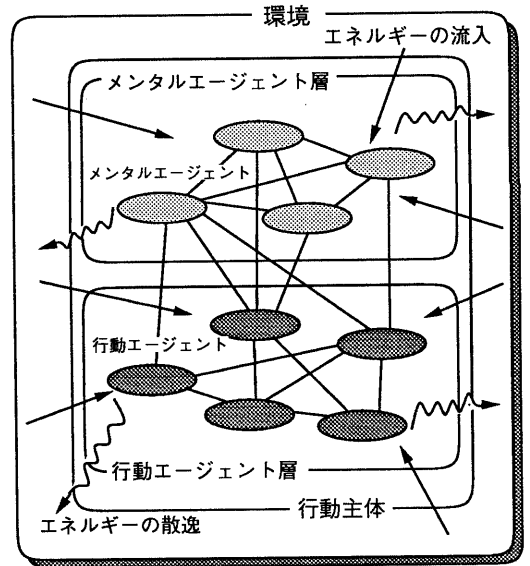


図 1: 環境とエージェントとの関係

つ。エージェントは環境 (E) 内に存在し、環境 (我々を取り囲む物理環境に相当するものである) は一つしかない。エージェントには「行動エージェント ($beAg$)」と「メンタルエージェント ($meAg$)」の 2 種類があり、それぞれ行動エージェント層とメンタルエージェント層を構成する (図 1 参照)。

環境とゴールは複数の命題 ($prop_i$) の集合 P によって構成される。

$$E = (proc_i, proc_{i+1}, \dots, proc_m) \quad (1)$$

$$G = (proc_j, proc_{j+1}, \dots, proc_n) \quad (2)$$

エージェントも基本的に複数の命題により構成されており、以下のように記述される。

$$beAg_x = (c_{beAg_x}, a_{beAg_x}, d_{beAg_x}, m_{beAg_x}^+, m_{beAg_x}^-, alevel_{beAg_x}, tlevel_{beAg_x}, act_{beAg_x}) \quad (3)$$

$$meAg_x = (b_{beAg_x}^+, b_{beAg_x}^-, m_{beAg_x}^+, m_{beAg_x}^-, alevel_{beAg_x}, tlevel_{beAg_x}, act_{beAg_x}) \quad (4)$$

エージェント $\{b|m\}eAg_x$ における c_{beAg_x} , a_{beAg_x} , d_{beAg_x} はそれぞれ $prop_i$ を要素とするリストである。 c_{beAg_x} は前提条件リストであり、時刻 t において環境 E が c_{beAg_x} をすべて満たさなければ、エージェント $\{b|m\}eAg_x$ は active にはなれない。 a_{beAg_x} は $\{b|m\}eAg_x$ が実際に active になり環境に対して何らかの行為を実行し、環境が変化した結果として新しく追加される $prop_i$ のリス

トであり、 d_{beAg_x} は同様な理由で削除される $prop_i$ のリストである。 $\{b|m\}eAg_x$ が環境に対して起こす行為は act_{beAg_x} に記述される。実際には act_{beAg_x} の結果として a_{beAg_x} , d_{beAg_x} が決定される場合が多い²。 $a_{level_{beAg_x}}$ は $\{b|m\}eAg_x$ の活性度、 t_{level_x} は $\{b|m\}eAg_x$ が active になるための閾値である。

$\{b|m\}eAg_x$ における $b_{\{b|m\}eAg_x}^{+|-}$, $m_{\{b|m\}eAg_x}^{+|-}$ はそれぞれ $beAg_i$, $meAg_i$ を要素とするリストである。さらに $\{b|m\}^+_{\{b|m\}eAg_x}$ には自分と協調関係にあるエージェント、 $\{b|m\}^-_{\{b|m\}eAg_x}$ には自分と対立関係にあるエージェントが記述される。

このマルチエージェントモデルを機能させるものが活性エネルギー (activation-energy) である。活性エネルギーはエージェントに対して供給され消費される。このエネルギーの流れが非線形な系を構成する一つの要因となる (図1参照)。

主な活性エネルギーの流れは以下の3種類から構成される。

1. ϕ : 一回のフェーズで環境から供給されるエネルギーの総和であり、 $beAg$ に対して供給される。
2. γ : 一回のフェーズでゴールから供給されるエネルギーの総和であり、 $beAg$ に対して供給される。
3. δ : 一回のフェーズで局所ゴールが奪うエネルギーの総和であり、 $\{b|m\}eAg_x$ から吸収する。今ゴール G の要素として $prop_i$, $prop_j$ が存在し互いが競合するような関係であった場合、 $prop_i$ が先に満たされた時にこの状態を保護するために必要な機能である。

エージェント $beAg_x$ に供給される環境、ゴール、局所ゴールからのエネルギーは式 (5), (6), (7) で与えられる。

$$inputFromE(beAg_x, t) = \sum_{prop_j} \phi \frac{1}{\#M(prop_j)} \frac{1}{\#c_{beAg_x}} \quad (5)$$

ただし $prop_j \in E(t) \cap c_{beAg_x}$ であり、記号 $\#$ は元の数を表す。関数 $E(t)$ は時刻 t における環境 E に含まれる $prop_i$ の集合を返し、関数 $M(prop_j)$ は $prop_j$ を c リストの要素に持つエージェントの集合を返す。

$$inputFromG(beAg_x, t) = \sum_{prop_j} \gamma \frac{1}{\#A(prop_j)} \frac{1}{\#a_{beAg_x}} \quad (6)$$

ただし $prop_j \in G(t) \cap a_{beAg_x}$ であり、関数 $G(t)$ は時刻 t において $beAg_x$ の a_{beAg_x} を満たすゴール G に含まれる $prop_i$ の集合を返し、関数 $A(prop_j)$ は $prop_j$ を a リストの要素に持つエージェントの集合を返す。

²シミュレーションの世界では行為を必ず成功させることができるが、自然界においては100%成功するかどうかはわからない。Maesのモデルでは100%成功するとして実現されている。

$$takeFromG(beAg_x, t) = \sum_{prop_j} \delta \frac{1}{\#U(prop_j)} \frac{1}{\#d_{beAg_x}} \quad (7)$$

ただし $prop_j \in R(t) \cap a_{beAg_x}$ であり、関数 $R(t)$ は時刻 t において $beAg_x$ の a_{beAg_x} を満たすゴール G に含まれる $prop_i$ の中で既に満たされている命題の集合を返し、関数 $U(prop_j)$ は $prop_j$ を d リストの要素に持つエージェントの集合を返す。

エージェント間においても活性エネルギーの流れがあり、この流れによってエージェントの集合全体としての合目的な挙動が実現されている。

時刻 t において $beAg_x$ から $beAg_y$ へのエネルギーの流れを考えると、

1. $beAg_x$ が active になるためには、 c_{beAg_x} が満たされなければならない。そのため c_{beAg_x} の要素を満たす a_{beAg_y} を持つ $beAg_y$ に対してエネルギーを供給する。この流れを以下に示す。

$$spread_{to}bg(beAg_x, beAg_y, t) = \sum_{prop_j} a_{level_{beAg_x}}(t-1) \frac{1}{\#A(prop_j)} \frac{1}{\#a_{beAg_x}} \quad (8)$$

ここで $a_{level_{beAg_x}}(t-1)$ は時刻 $t-1$ での活性度であり、 $(prop_j \notin E(t) \wedge prop_j \in c_{beAg_x} \cap a_{beAg_y})$ である。

2. $beAg_x$ が active になった場合、環境に対して act_{beAg_x} に記述されている何らかの行為を実行し、環境が変化した結果 a_{beAg_x} の要素が E に追加される。そこで a_{beAg_x} の要素が追加されることにより c_{beAg_y} の要素が満たされる $beAg_y$ に対してエネルギーを供給する。この流れを以下に示す。

$$spread_{to}fg(beAg_x, beAg_y, t) = \sum_{prop_j} a_{level_{beAg_x}}(t-1) \frac{\phi}{\gamma} \frac{1}{\#M(prop_j)} \frac{1}{\#c_{beAg_x}} \quad (9)$$

ただし、 $(prop_j \notin E(t) \wedge prop_j \in a_{beAg_x} \cap c_{beAg_y})$ である。

3. $beAg_x$ にとっては、 c_{beAg_x} の要素を d_{beAg_y} に含む $beAg_y$ は相反する性格のエージェントであり、この場合 $beAg_x$ は $beAg_y$ から活性度を奪う。これは以下の式で与えられる。

$$takeAway(beAg_x, beAg_y, t) = \sum_{prop_j} a_{level_{beAg_x}}(t-1) \frac{\delta}{\gamma} \frac{1}{\#U(prop_j)} \frac{1}{\#d_{beAg_y}} \quad (10)$$

ただし, $(prop_j \in E(t)_{c_{beAg_x} \cap d_{beAg_y} \cap E(t)})$ である。

次に時刻 t において $meAg_x$ から $beAg_y$ へのエネルギーの流れを考えると,

- メンタルエージェントは自分にプラスとなるエージェントに対してエネルギーを供給し, マイナスとなるエージェントからはエネルギーを吸収する。エージェントの活性度は欲求度を表し, 欲求度によってエネルギーの伝速度を変化させる。また欲求度が閾値を越えると act_i が実行され自分の欲求を直接達成できる $proc_i$ を G に追加する。エネルギーの流れは以下のように与えられる。

$$spread_{i_0} m^{\{+|- \}}(meAg_x, beAg_y, t) = alevel_{meAg_x}(t-1) \frac{1}{\#m^{\{+|- \}}_{meAg_x}} \quad (11)$$

ただし, $(beAg_y \in m^+_{meAg_x}) | (beAg_y \in m^-_{meAg_x})$.

時刻 t において $beAg_x$ から $meAg_y$ へのエネルギーの流れを考えると,

- $beAg_x$ は自分が active になった時のみ $m^{\{+|- \}}_{beAg_x}$ に対してのエネルギーの供給, 吸収を行なう。エネルギーの流れを与える式は上式 (11) と同じ形式である。

ただし,
 $meAg_y \in m^+_{beAg_x} \wedge executable(beAg_x, t) = 1$.

以上の活性伝搬を行なうことにより, 時刻 t でのエージェント $beAg_y$ の活性度である $alevel_{beAg_y}$ は以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} alist_{beAg_y}(t) = & F(alist_{beAg_y}(t-1), \\ & inputFromE(beAg_x, t) \\ & + inputFromG(beAg_x, t) \\ & - takeFromG(beAg_x, t) \\ & + \sum_{beAg_x} spread_{i_0} bg(beAg_x, beAg_y, t) \\ & + \sum_{beAg_x} spread_{i_0} fg(beAg_x, beAg_y, t) \\ & - \sum_{beAg_x} takeAway(beAg_x, beAg_y, t) \\ & \{+|- \} \sum_{meAg_x} spread_{i_0} m^{\{+|- \}}(meAg_x, beAg_y, t) \\ & \{+|- \} \sum_{beAg_x} spread_{i_0} m^{\{+|- \}}(beAg_x, meAg_y, t)) \end{aligned} \quad (12)$$

ただし, a_{beAg} , $beAg_x$ から $meAg_y$ へのエネルギーの流れについては act_{beAg} の結果により動的に決定される。 $F()$ は遅延関数である。

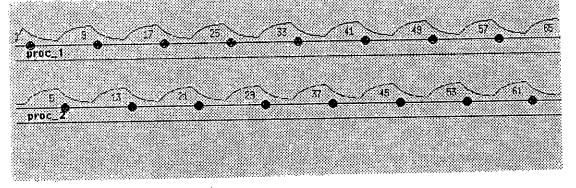


図2: エージェントによる振動リズム形成
 横軸は時間, 縦軸はエージェントの活性度である。活性度が振動し, 交互に active になっていることがわかる。●はその時刻でエージェントが active になったことを示す。

図2: エージェントによる振動リズム形成

式 (12) で計算された結果と, 以下の条件に従ってエージェントが active になるかどうかが決まされる。

$$active(t, beAg_i) = 1 \text{ if } \begin{cases} alevel_{beAg_i}(t) \geq tlevel & [1] \\ executable(beAg_i, t) = 1 & [2] \\ \forall beAg_j, fulfilling[1] \wedge [2]: & [3] \\ beAg_i \geq beAg_j & [3] \end{cases}$$

2.1 動作例

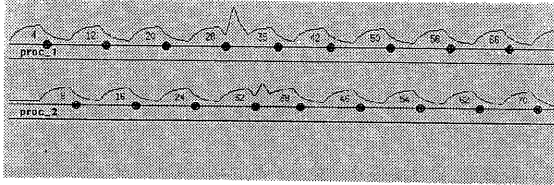
従来の ANA ではゴール達成までのエージェントの行動選択が画一的になってしまう欠点があったが, 本モデルではメンタルエージェントによってこれを解決した。例としてあるロボットを考える。ANA では喉が乾くと水を飲むまでの行動選択は一つのパターンしかないが, このモデルでは「喉を潤したい」, 「礼儀よく行動したい」, 「生きたい」という欲求をそれぞれ担当するメンタルエージェントを追加することで, プランニングなどの制御を与えることなく喉の乾き度によって以下の行動選択をさせることができる。

- コップを使って飲む
- 手を使って飲む
- 直接蛇口から飲む

3 エージェントモデルの持つ非線形性について

上述したマルチエージェントモデルが非線形性を持つかどうかをシミュレーションを用いて確認する。まず振動現象について考えると, 一般に振り子やバネの振動は振幅が小さい時は調和振動子として見ることができが, 実際には摩擦などによってエネルギーが散逸する減衰振動である。現実には存在する振動のほとんどは非線形振動であり, エネルギーの供給/散逸構造と非平衡な状態が持続するなかで振動リズムが形成される。ここで非線形系における特徴的な現象について簡単に整理する。

1. 非線形系においてある秩序が形成される (自己組織化) ためには系へのエネルギーの供給/散逸構造が必要で



図中央で両方のエージェントに対して外乱(エージェントの活性度に対してある値を入力した)を与えた。外乱の直後では振動が乱れているが再び最初の振動状態に回復している。

図 3: 外乱からの回復

ある。線形系はエネルギーの散逸などを無視した理想的な系であり、きわめて限定された条件で起こる現象である。

2. 非線形系がある秩序で振動している時に、この系に外乱を与えても再び元の振動状態に回復する。また初期値にも影響されない。線形系では振幅など状態が変化してしまう。
3. 非線形系ではある秩序におけるパラメータが閾値を越えるとモードの分岐現象が起こる。
4. 複数の非線形系が影響し合う状態を構成すると、引き込み現象を起こし同調する。
5. 非線形系ではカオスが発生する。分岐現象が起こる境にはカオス現象が見られる。

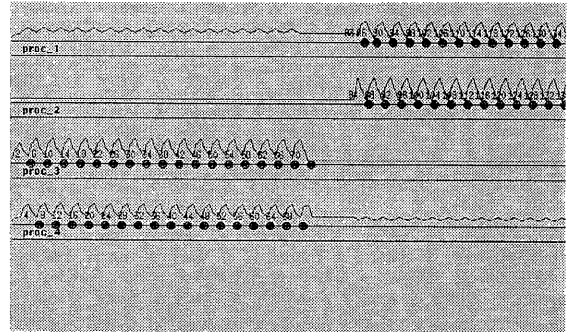
これらの現象は系の任意の位相平面においてアトラクタを描かせることで観察することができる。マルチエージェントモデルにおいてエージェントの挙動を変数とする位相平面においてアトラクタを描かせることにより上に挙げた現象について確認することができ、このモデルが非線形性を有する(少なくとも線形系ではない)かどうかを示すことができる。

3.1 秩序の形成

以下のような2つのエージェントから構成されるエージェントネットワークにおいて簡単に振動現象を起こすことが出来る(図2参照)。

$$beAg_1 = (\{proc_1\}, \{proc_2\}, \{proc_1\}, \theta, \theta, alevel_{beAg_1}, tlevel_{beAg_1}, \theta) \quad (13)$$

$$beAg_2 = (\{proc_2\}, \{proc_1\}, \{proc_2\}, \theta, \theta, alevel_{beAg_2}, tlevel_{beAg_2}, \theta) \quad (14)$$



図中央でφの値を変化させた。ある時間間隔を経て振動状態が大きく変化し分岐現象が起きたことがわかる。

図 4: 分岐現象

この振動系において、エージェントの活性度の初期値を変化させても($alevel_{beAg_1}$, $alevel_{beAg_2}$), 振動数振幅などは変化しない。また振動中において外乱($alevel_{beAg_1}$ などの値を変更する)を与えても、外乱を与えた直後は乱されるが再び元の振動状態に回復する(図3参照)。

3.2 分岐現象

さらに2つのエージェント $beAg_3$, $beAg_4$ を追加し、同じように振動系を作る。そしてこの4つのエージェントを同じ環境内で相互作用させた。そして系のパラメータの一つであるφを変化させたところ、ある閾値を過ぎた時点で振動のパターンが大きく変化し、分岐現象が起こったことを確認することができた(図4参照)。

3.3 引き込み現象

引き込み現象とカオスについてはまだ正確には確認できていない。現在シミュレーションプログラムの作成段階であるが、プロトタイプでのエージェントの挙動について述べる。

我々は次の2点において引き込み現象の確認作業を行っている。

1. エージェントネットワーク 対 エージェントネットワーク
2. エージェントネットワーク 対 実世界(real world)

「エージェントネットワーク 対 実世界」がマンマシンインタラクションの新しい考え方の基本となるものとして我々が提案するものである。

まずはエージェントネットワーク 対 エージェントネットワークについて述べる。2組のエージェントネットワー

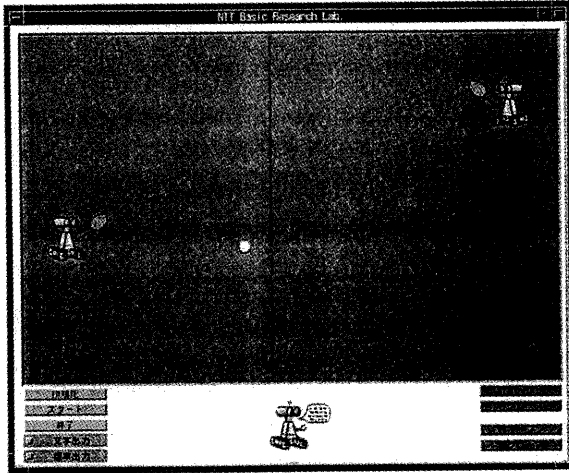


図5: テニスロボット

クを用意し、それらを相互作用させた時に引き込み現象を起こすかどうかを確認中であり、図5のようなテニスゲームのシミュレーションプログラムを作成した。ロボットは十数個のエージェントから構成されている。そのようなロボットを2体用意し、ゲームをさせた場合どのような現象が起きるかを検証する。ロボットには *meAg* として「疲労」「活発」「飽きる」「反発」「協調」などを組み込むことを考えている。現在 *beAg* のみによって構成されており、ボールの打ち合い程度はできるようになっている。

3.4 マンマシンインタラクション

最近のコンピュータは多様なメディアで表現された情報を処理するための「情報機械」であり、マンマシンインタラクションの研究は人が自分の思考やコミュニケーションを支援する道具としてこの情報機械を快適に利用できるようにすることが目的である。しかしながら現在のところ「快適さ」を実現した機械はまだ存在しない。主な問題点は人と機械との間のインタフェース部分にある。ユーザの行ないたいことをうまく機械に伝えることが難しく、機械の操作効率も悪い。まだまだ人間同士のコミュニケーションのようにはいかないのが現実である。

実世界の現象のほとんどは非線形非平衡な複雑系であり、脳細胞一つを見ても非線形ダイナミクスの基に振動現象を起こしている [6]。脳は一つの大きな非線形複雑系であり、その脳が行なう認知活動の基本メカニズムも非線形系であると考えられるのは妥当である。

人間同士のコミュニケーションがうまく続いている状態というのは非線形系同士が引き込みあって協応構造が形成されている状態と同じであると考えられる。この協応構造が形成されることで楽しくコミュニケーションすることができる。コンピュータとのインタラクションで人が違和感を感じるのは、従来のコンピュータ側のシステムと人間との

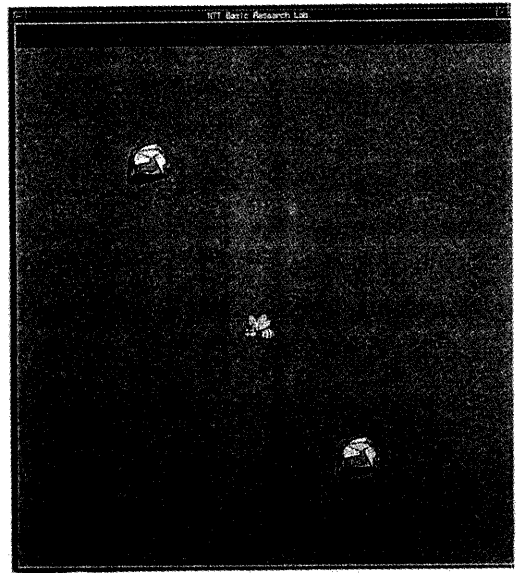


図6: ハチの環境

間に協応構造が形成され得なかったからである。

そこでコンピュータ側にも非線形なシステムを用意し、人間とインタラクションすることによって協応構造が形成されるかどうかの確認が前節(2)の「エージェントネットワーク 対 実世界(人間)での引き込み現象の確認」である。

図6のようなシミュレーションプログラムを作成した。簡単なハチが動き回る環境を作っている。この環境には岩が2つと食糧のスイカがあり、ハチは8方向の動きを担う8個の *beAg* と後述する数個の *meAg* から構成されている。図7にはエージェントの挙動をモニタするためのワークベンチを示した。ハチにとっては、自分の環境の枠(ウィンドウ)と岩、スイカは障害物であり自分が進む上で外乱となるものである。

さらにエージェントネットワーク内部において非平衡な系を形成するために、*meAg* として、「飽きる」「食欲」「疲労」の3つのメンタルエージェントを用意した。また人間とのインタラクションを行なえるように、マウスポタンを押すことによりハチへの刺激を加えることができるようにした。岩がハチの目の前にくればハチは前進できなくなる。また「飽きる」の *meAg* の活性度が高くなるとハチは方向転換する可能性が大きくなる。「食欲」の *meAg* の活性度が高くなればスイカのところまで行って食べるという挙動を起こす可能性が大きくなるという具合である。我々が使用しているコンピュータのマウスにはボタンが3つあり、それぞれハチへ入力されるエネルギーの大きさが異なるようになっている。マウスからの入力エネルギーはメンタルエージェント「飽きる」に対して入力されるようにした。

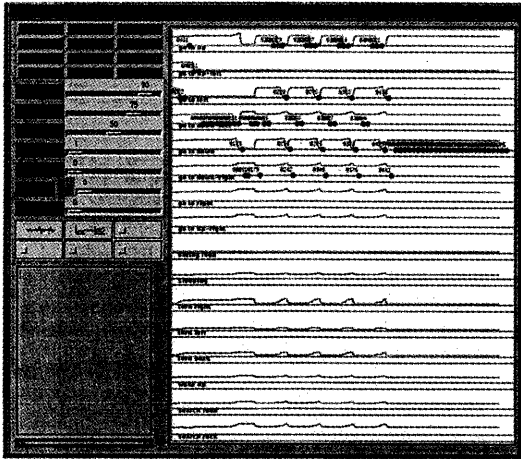


図 7: ワークベンチ

実際にこの環境の中でハチを動作させると図 7 に示すように、あるリズム間隔でエージェントの活性度が振動しているのがわかる。この環境におけるハチの移動に関してのあるリズム振動が形成されたのである。ここでハチの縦方向と横方向を位相平面として考えた場合、ハチの動きをそのままエージェントネットワークのアトラクタとして見る事ができる。

図 8 にそのアトラクタを示す。あるリズム周期を形成していることからわかるようにリミットサイクルになっている。ハチの行動を開始する位置を変えても同じリミットサイクルを描くようになり、マウスからの外乱が与えられても再びもとのリミットサイクルに回復する。このことから初期値と外乱に対して影響を受けないことが確認できる。

岩などの位置を変化させると異なるリミットサイクルが形成される。これは環境のパラメータが変化したことを意味するものである。ただしカオス的な挙動は確認できていない。

図 9 にはマウスからの入力による外乱に対するアトラクタを示した。人間とのインタラクションによって新しいリミットサイクルが形成されている。人間もマウスボタンがあるリズム間隔で押さないとの形のリミットサイクルは形成されない。コンピュータ側の振動リズムと人間のマウスを押すリズムとが引き込むことによって図 9 のリミットサイクルが形成されたのであり、短絡的ではあるがここに人間とマシンとの間に一つの協応構造が形成されたと考えられようである。

しかしながら引き込み現象においてその引き込み率はフレイ数列に従うという点から考えると、このシミュレーションからは引き込み率などのデータを得ることができないため、この現象を厳密に引き込み現象であると捉えることは難しいと考えられる。

4 考察

4.1 マルチエージェントモデルの評価

このマルチエージェントモデルでは不完全ではあるが非線形系の振舞いがある程度確認することができた。本モデルの非線形性を表す要因について考えてみる。

エージェントの時刻 t での活性度は、環境などからのエネルギー供給と他のエージェントからのエネルギー供給の和である。そして後者は時刻 $t-1$ の状態に基づいて計算されたエネルギー伝搬であり、エージェントの時刻 t での活性度はエージェントネットワーク全体の時刻 $t-1$ の状態によって影響されることを意味している。エージェントの活性度を与える式 (11) を簡略化して書くと以下の式になり、差分方程式となっていることがわかる。

$$\begin{aligned} alist_{beAg_y}(t) = & F(alist_{beAg_y}(t-1), \\ & func1((beAg_x, t)) + func2((beAg_y, t-1))) \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} func1() = \{ & inputFromE(), \\ & inputFromG(), takeFromG() \} \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} func2() = \{ & spread_{to}bg(), spread_{to}fg(), \\ & takeAway(), spread_{to}m^{+|-}(), \\ & spread_{to}m^{+|-}() \} \quad (17) \end{aligned}$$

マルチエージェントモデルが非線形的な振舞いをするのは、 $func2((beAg_y, t-1))$ の項が影響している。しかしながら、現状のモデルではフレイ数列に従った引き込みやカオス現象までは確認できていない。非線形性系としての特徴を引き出すためにさらに改良を加える必要がある。そこで、

1. $meAg$ 層を改良し、複雑な非平衡状態を形成できるようにする
2. 活性伝搬の部分に非線形項としての特徴を付加する

の 2 点を考えている。(1) については作成したシミュレーションプログラムを改良中である。

このマルチエージェントモデルを根本的な非線形系として実現するためには、(2) による効果が大きいと考えている。活性伝搬式に非線形性の項を付加することで、活性伝搬式そのものを非線形系化するのである。これはカオスニューロンと同じ考え方である [1]。非線形性の項としては差分方程式における非線形形式である式 (18) に示すロジスティック方程式を基本的なものとして考えている。

$$x_{n+1} = a(1 - x_n)x_n \quad (18)$$

式 (16) に非線形性を作り出す $(x_n)^2$ のような 2 乗項を組み込むことにより、従来のエージェントをカオスエージェント化してモデル全体の挙動を複雑系化することができると思われる。

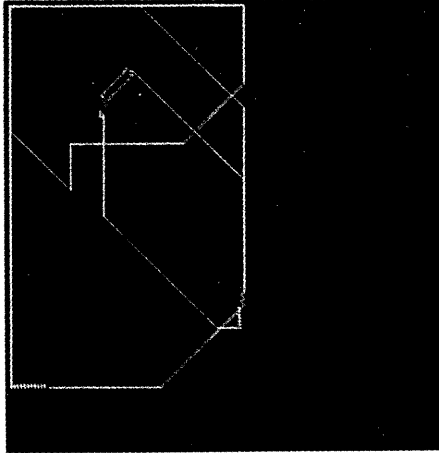


図 8: エージェントによるリミットサイクル

4.2 おわりに

脳は大きな複雑非線形系システムであり、非線形系特有のメカニズムが脳の行なう情報処理のベースとなる部分を担っていると考える動きもある。脳が体すべてを100%コントロールしていると考えerるには無理があり[4]、その意味でも少数自由度の非線形系が複雑なダイナミクスを示すというのは重要な点である。従来自然界(生物も含む)において観測測定されてきた複雑な現象が、実はその背後に存在する少数自由度の非線形系が示すダイナミクスに基づいて発生しているのではないかと考えられるからである。

脳が大きな複雑非線形系システムであることは研究されており、神経細胞の挙動については Hodgkin-Huxley によって微分方程式にまとめられている。脳の行なう情報処理を非線形系の振舞いとして考え、この視点にもとに人間の認知モデルを考えていく必要がある。

我々の考えるエージェントは神経細胞にある程度高度な知能を持たせた形であり、本来非線形的な性質を持たなくてはならないものである。今回はシミュレーションにおいてマルチエージェントモデルの非線形性についていくつかの特徴を確認した。引き込み現象やカオスの挙動などの性質を引き出すためには上述した改良などが必要であると思われる。

今後はさらにエージェントモデルの改良を行ない、非線形系としての振舞いの解析を行なっていく必要がある。分岐現象の境に存在するカオス現象を発見することも重要である。分岐現象は学習や推論モデルの基本的な部分として必要な機能であると考えられ、引き込みは協応構造形成のために必要な現象である。このマルチエージェントモデルを複雑系のモデルとして十分利用可能なものとするこにより、学習/推論をはじめ、協応構造形成などのメカニズムについてもより研究を進めることができると思われる。

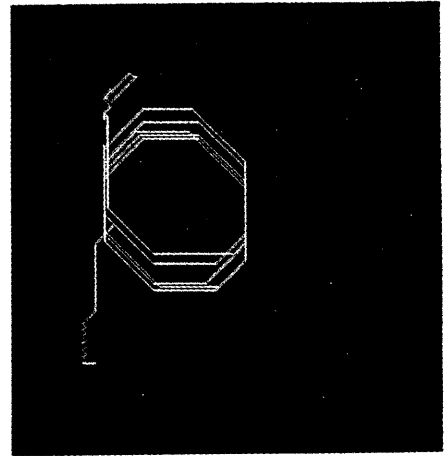


図 9: マウスからの刺激によるアトラクタ形成

参考文献

- [1] 合原：「ニューラルシステムにおけるカオス」、合原一幸編著、東京電機大学出版局 1993.
- [2] 岡田：「聞き耳をたてるコンピュータ」、竹内郁雄編、「AI 奇想曲」NTT 出版 1992.
- [3] 岡田, 栗原, 中津：対話者間での協応構造の構築について、人工知能学会全国大会, 1994.
- [4] 岡田, 栗原, 大塚：最小指定の枠組に基づく自然な発話の生成機構のモデル化、人工知能学会研究会資料 SIG-SLUD-9302-8 (1993).
- [5] 栗原, 岡田：行動選択ネットワークの双方向性について、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集 (1993).
- [6] 松本：「神経興奮の現象と実体(上)」, 丸善 1981.
- [7] Maes, P. : The Agent Network Architecture(ANA), *SIGART Bulletin*, Vol.2, No.4, 1991/08.