

Agent based model を用いたシミュレーションから見る個と全体 Individuality and Wholeness through Agent based Simulation

土井樹^{*1}
Itsuki Doi

池上高志^{*1}
Takashi Ikegami

^{*1} 東京大学総合文化研究科

Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

In the previous study, we observed collective bursting behaviors in the honey bee nest (*Apis mellifera*) analyzing its individual based mechanism. In order to further investigate the collective bursting behavior, we simulate an ensemble of virtual agents controlled by an artificial neural network evolved by a genetic algorithm. The agents move around by following pheromone trails secreted by other agents, which is called *stigmergy*, known as a source of collective intelligence. We will report some newly discovered collective intelligence and discuss a relationship between the nest bursting behavior.

1. はじめに

これまで我々は、全個体がタグ付けされたセイヨウミツバチの巣を1週間に渡って観察する実験を通して、巣を構成する一部の個体の行動によって、巣全体の「状態」が遷移することを示唆する結果を得た。より具体的には、一部のハチの運動エネルギーが大きくなることで、これが巣全体へ伝播し、巣全体が高いアクティビティ、いわゆる「バースト」行動を示すことが明らかになった(図1)。このような「巣の状態」とは、各個体のその後の行動指針を決定付ける巣のパターンというものである。このパターンが再び個体の運動を動機づけ、全体のパターンを作り出し、再帰的に発進するというフィードバックループが巣内には存在すると考えられる。

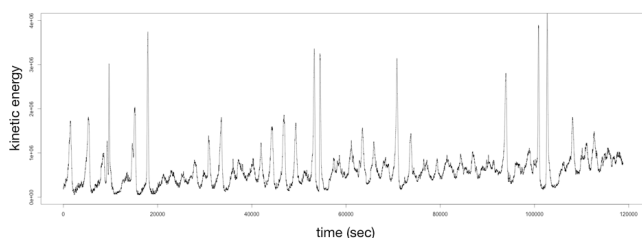


図1: セイヨウミツバチに観察されるバーストの様子。

バースト行動をよく表すことの出来るモデルには、Hawkes Process[Hawkes 1971]などの確率点過程を用いたものがよく知られているが、エージェントベースのモデルについては報告がない。

本研究では、これについて空間方向も考慮した、より力学的なアプローチを用いる。具体的には人口神経回路を搭載したAgent based modelをつくり、そのcollectiveな運動と、バーストパターンの出現などについて検証した。

2. モデル

エージェントは丸い形をもち、その神経回路は、センサー細胞(7)+中間層(4)+コンテキスト層(2)+出力層(2)で構成されている。中間層内部での結合はなく、コンテキストを介して相互作用する。出力層は中間層からの結合で制御される(図2)。

まず、単独の個体を環境内で自律的に動かし、一定時間内にセンサーで検知できる量が多くなるように、神経回路を遺伝的アルゴリズムで進化させる。

次に、同じ神経回路を持った個体を多数用意して、集団運動を観察する。各個体は他の個体が算出するフェロモンを追いかけ、自分もフェロモンを出すようにする。しかし、自分と他者のフェロモンは区別できるとする。またフェロモンは一定の半減期をもって蒸発すると仮定する。

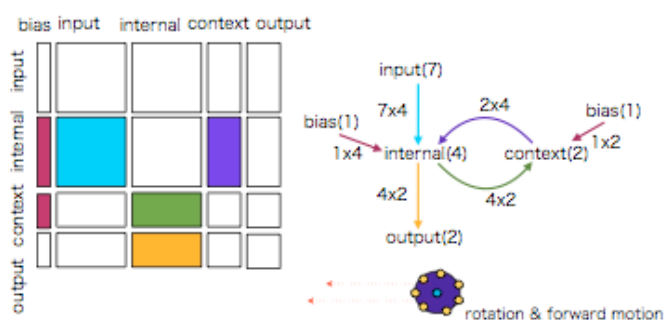


図2: 神経回路の概略図。

3. 結果

このモデルを動かすと初めに観察される現象は、数匹のエージェントがお互いのフェロモンを追い、同じ場所を巡回し続けるというものである。この現象は自然界では、アリの集団内で時々生まれる”spiral of death”として知られている現象[Schneirla

1944]と同様の状態であると考えられる。この状態はシミュレーション内では多数観察される種の安定状態となっているが、時間がたつと、お互いにフェロモンを追いかけてスパイラルをなす集団運動が自発的に不安定化して壊れることを見出した(図 3)。このような不安定化のパターンは、進化した神経回路によって異なっている。

さらに、神経回路のパターンの異なるエージェントを混ぜ合わせることで、同一の個体群では起こせないような集団運動を生じることが見つかっている。

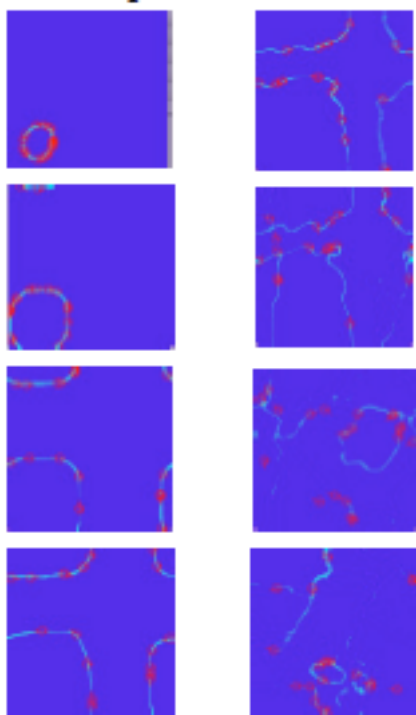


図 3: 自己サークルの形成から脱却までの過程。赤い点が各 Agent。水色の線が、フェロモンの跡を表している。また時間は左上から左下、右上から右下へ経過していく:最初は小さなループで回っていた集団運動が段々不安定化し(左のコラム)それが、崩壊して別なパターンへと移行する(右コラム)。

4. 考察

本研究では、センサーや運動出力ではなく、それらを結びつける「センサーとモーターのつながり」が不安定化することが、collective intelligence(この場合にはひとつの場所にトラップされないで動き回れること)のメカニズムになっている。

我々が実際のハチの観察から明らかにしてきたパーセント的な集団行動も、このセンサーとモーターのつながりの不安定性をもとに議論できる。当日は、これらに関する議論を行いたい。

参考文献

[Schneirla 1944] Schneirla TC. A unique case of circular milling in ants, considered in relation to trail following and the general problem of orientation. *Am Mus Novit.* (1944):1253:1-26.

[Hawkes 1971] Hawkes, Alan G. Spectra of some self exciting and mutually exciting point process. *Biometrika* 58.1 (1971): 83-90.