

適応的行動選択を実現する昆虫の神経回路モデルに関する研究 - 複数個体環境下における行動選択モデルの検証 -

○藤木智久^{[1][2]}, 足利昌俊^[1], 川端邦明^[2], 太田順^[3], 青沼仁志^[4], 浅間一^[3]

^[1]東京大学大学院工学系研究科, ^[2]理化学研究所, ^[3]東京大学, ^[4]北海道大学

A Study on Neural Circuit Model of Insects for Adaptive Behavior Selection - Verification of Action Selection Model in Multi-individual Environments -

○Tomohisa FUJIKI^{[1][2]}, Masatoshi ASHIKAGA^[1], Kuniaki KAWABATA^[2], Jun OTA^[3],
Hitoshi AONUMA^[4] and Hajime ASAMA^[3]

^[1]Grad. School of Eng., The Univ. of Tokyo, ^[2]RIKEN, ^[3]The Univ. of Tokyo, ^[4]Hokkaido Univ.

Abstract: This research aims to model adaptive behavior selection in crickets fighting behavior from physiological knowledge. We have already proposed an action selection model by NO/cGMP cascade which can explain the relationship between the Octopamine level in cricket's brain and its behavior. In this report, we run some computer simulations in multi-individual environments to evaluate the model and the emerging system from the model.

Keywords: adaptive behavior selection, neuromodulator, cricket fighting behavior

1. 緒言

生物は状況に応じて適応的に行動選択しており、実時間でその処理を実現している。これは神経回路網の可塑性から来るものであり、その基本原理を理解することは生物の適応メカニズムの解明のみならず、自律ロボット等における学習・適応機能の実現にも有用であると考えられる。

本研究は生理学的知見に基づいた構成論的アプローチをとることで、コオロギの闘争行動における神経修飾物質の働きをモデル化し、適応的な行動選択メカニズムを解明することを目的としている。これまでに著者らは、後述するNO/cGMPカスケードによる行動選択モデルを提案し、コオロギの脳内オクトパミン(以下、OA)量と行動選択の関係性が説明できることを示してきた^[1]。この提案モデルが妥当であることを検証するためには、複数個体と相互作用する環境において発生する振る舞いと生物学的な観察事実とを比較し、議論する必要がある。そこで本稿では、提案モデルを用いた複数個体が相互作用する環境下でのシミュレーション実験を行い、発現した群行動について報告し、考察する。

2. コオロギの闘争行動と内部モデル

2.1 コオロギの闘争行動

雄コオロギが他のコオロギに出会うと、触角によって相手の体表フェロモンから雌雄を判別し、相手が雌であれば求愛行動を、雄であれば闘争行動へと遷移することが知られている。

闘争行動において勝敗が決すると、2匹のコオロギの間での順位が決まり、この順位は15分から30分間程度維持される。ここで重要な事は、この維持期間中に敗者が再び同じ相手に遭遇すると、回避行動を示すようになるという点である。これは闘争に負けた経験により同じフェロモン刺激に対して異なる行

動を選択したということであり、この、行動を切替える仕組みを理解することは、適応の神経メカニズムを解明することにつながると思われる。特にコオロギの闘争行動では一酸化窒素(Nitric Oxide, 以下 NO)が神経修飾物質(Neuromodulator)として働き、NO/cGMP カスケードが重要な役割を果たしていると考えられている。

2.2 NO/cGMP カスケードによる行動選択モデル

これまでに著者らは、生理学的知見をもとに、NO/cGMPカスケードと脳内OA濃度に着目した適応的行動選択のモデルを提案してきた (Fig.1)^[1]。このモデルはNO, cGMP, OAの3つのモジュールからなり、以下の特性を表すように設定されている。

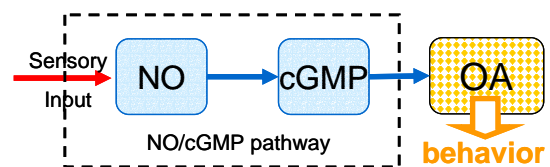


Fig.1 Action selection model by NO/cGMP cascade

まず、触角から入る感覚情報に基づき、脳内に NO が発生する。他個体のフェロモンを検知した場合には NO 発生量は大きくなり、他個体と接触中であるという情報を脳内に伝達する。発生した NO はラジカルであるため、脳内を拡散すると同時に他の物質と反応して消えていき、ある固定点では cGMP の生産のために使われる。この cGMP の量によって OA の生産量が規定され、OA の量に基づいて行動選択がなされる。内部モデルに関する詳細な説明は参考文献[1]を参照されたい。

行動選択には閾値を用い、モデル内表現で 0~1 の値を持つ OA レベルが 0.5 を超えている場合には闘争行動を、0.5 以下の場合には回避行動を示すものとした。負けたコオロギは

闘争行動の長さ T [sec] に応じて OA レベルを $\varepsilon_{lose} * T$ だけ減少させ、反対に勝ったコオロギは ε_{win} だけ OA レベルを増加させる。これは、激しい闘争行動であるほど負けたコオロギはその後の行動が抑圧され、また、勝ったコオロギは闘争行動の程度によらずに好戦的になることを表している。このモデルは、個体内での反応系としては妥当なものとなっている。

3. 計算機実験

ここでは前述のモデルを用いて、複数個体環境下でのシミュレーション実験を行うことで群行動に与える影響を観察し、その妥当性を検証する。

3.1 実験設定

提案した内部モデルを持つ4匹のコオロギ・エージェントを、一辺 x の正方形のフィールドを活動させるものとした (Fig.2)。各コオロギ・エージェントはランダムに直進、方向転回、静止を繰り返し、フィールド内をランダムウォークする。他個体が各々のセンシングエリア内に入った場合には、その方向に振り向き、触角への感覚入力もたらされ、その内部状態により闘争行動または回避行動へと遷移する。この闘争は一方が回避行動を取るまで続き、回避した個体が負けを、残った個体が勝ちを認識するものとした。シミュレータに関する詳細な説明は参考文献[2]を参照されたい。

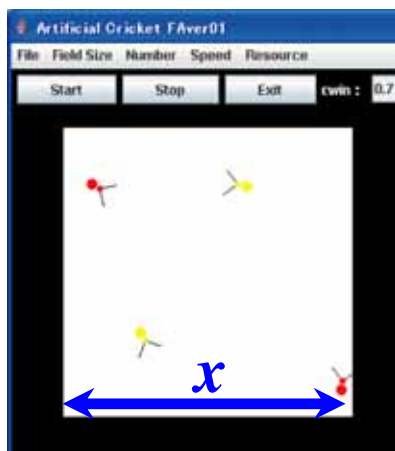


Fig.2 Snapshot of the simulation

この設定のもと x の値を $2^7 \leq x \leq 2^{13}$ で動かして、密度を変えた環境下での実験を行った。1回のシミュレーションの終了条件は1000[sec]経過後とし、各条件のもと50回シミュレーションを行った。なお、 $\varepsilon_{win} = 0.04$ 、 $\varepsilon_{lose} = 0.02$ とした。

3.2 結果と考察

集団の性質を表す指標として、シミュレーション終了時に他個体に対して闘争行動を選択する個体の数、即ち OA が 0.5 を超える個体の数(0~4)を用いた。実験結果を Fig.3 に示す。

ここから、フィールドサイズが大きくなりコオロギの密度が低下するほど、シミュレーション終了時に他個体に対して闘争行

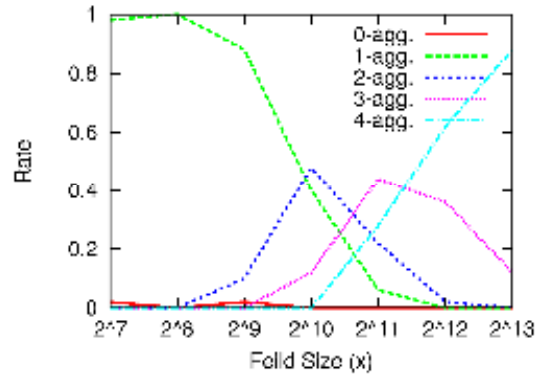


Fig.3 Rate of aggressive individuals

動を選択する個体が増加する傾向にあることがわかる。これは実際のコオロギでも見られる傾向ではあるが、次の2点で異なっていると考えられる。フィールドサイズの変化による影響が非常に低いことと、高密度環境下においても全てのコオロギが回避行動を示す結果がほとんど観測されないことである。これはどちらも、コオロギが他個体と接触する度に闘争が行われ、個体間に大きな差がついてしまうことに原因があると考えられる。実際のコオロギ、特に高密度環境下では、コオロギ同士の接触が闘争につながらないケースが多く存在することが解っている。よって、内部状態に基づき、どのような場合に闘争が行われるかについて観察し、モデルに取り入れていく必要があると考えられる。

4. 結言

本稿では、NO/cGMP カスケードによる行動選択モデルを用い、複数個体環境下でのシミュレーション実験を行った。実験結果から、実際のコオロギにおける知見と一致する傾向が得るとともに、闘争が行われる条件についての詳細なモデル化が必要であることを確認した。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 -移動知の構成論的理解-」によって行われた。

参 考 文 献

- [1] 藤木智久, 川端邦明, 池本有助, 青沼仁志, 浅間一: 昆虫の適応的行動選択を実現する神経回路モデルに関する研究 -NO/cGMP カスケードによる適応的行動選択のモデル化-, 第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp. 23-26, 2006.
- [2] 足利昌俊, 平口鉄太郎, 佐倉緑, 青沼仁志, 太田順: コオロギ集団における多様の振る舞いのモデル化, 第 18 回自律分散システム・シンポジウム講演予稿集, pp. 189-194, 2006.