

クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 —内部状態レベルによる行動選択に関する考察—

A Study on a cricket's neuronal modeling for behavior selection
-Consideration to between internal state and behavior selection-

○学 藤井 喬 (東電大) 正 川端 邦明 (理研)
非 青沼 仁志 (北大) 正 鈴木 剛 (東電大)
学 足利 昌俊 (東大) 正 太田 順 (東大)
正 浅間 一 (東大)

Takashi FUJII, Tokyo Denki Univ., takashi@nrl.c.dendai.ac.jp
Kuniaki KAWABATA, RIKEN
Hitoshi AONUMA, Hokkaido Univ.,
Tsuyoshi SUZUKI, Tokyo Denki Univ.,
Masatoshi ASHIKAGA, The Univ. of Tokyo,
Jun OTA, The Univ. of Tokyo,
Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo

In this research we model a cricket's neuronal system of the adaptive behavior selection mechanism. In our model, it assumes that the biogenic amine (Octopamine) and efficacy to sensory input from an antennae to generate adaptive behavior. In this paper, we hypothesize that the internal state (Octopamine) regulates behavior transition probability in fighting behavior the computer simulations are done by using our model.

Key Words: Cricket, fighting behavior, Mobiligence, Social adaptation, Octopamine

1. 緒言

生物の形成する社会は、ヒトから昆虫までそのレベルは多様であるが、共通している点は個体間相互作用に基づいてボトムアップになされるという点である。つまり、身体・脳・環境のそれぞれの相互作用およびその循環に基づいて社会形成がなされると考えることが出来る[1]。

生物の中でも昆虫の脳は、神経細胞数が 10^5 個で形成されており、ヒトの 10^{12} 個と比べると大変少ない神経細胞数で社会適応能を示す。また、組織学的に機能が解明されているといった点から、昆虫脳は社会適応能解明に有用なモデル対象であるといえる。また、昆虫はフェロモンと呼ばれる嗅覚刺激によるコミュニケーションに基づいて行動生成をしており、社会適応行動を発現している。我々はこれまでに、フェロモン行動に基づいたクロコオロギが示す社会適応行動について動的な神経モデルの構築を目的に研究を行ってきた。

オスのクロコオロギはオスの他個体と遭遇すると喧嘩行動を発現することが知られているが、最近の研究では、喧嘩に負けた個体の内部状態(オクトパミン)のレベルは低くなり、60分程度他個体に対し逃避行動を示すことが報告されている[2]。このようにクロコオロギは個体レベルで経験に基づいた適応的な行動を生成する。

さらに、クロコオロギは個体密度に応じて群行動を変化することも報告されている[3]。高密度環境では、各個体はあまり活発に行動せず、低密度環境では各個体は活発に行動する。また、高密度と低密度の中間程度の密度の場合、1個体のみ活発となり、残りの3個体を追い回すような状態が観察される。このように、クロコオロギは個体密度に応じて適応的に行動を変化させる。また、Ibaらにより、高密度環境におけるクロコオロギの内部状態(オクトパミン)のレベルが高いという個体レベルでの知見と矛盾する報告がなされている[4]。

そこで我々は、これまでに上記の個体・群レベルの両方を同時に説明可能なモデルの構築を行い、妥当性を確認してきた[5]。

一方で足利らは人工コオロギの内部状態変数 α を設定し、 α の値に従って行動を遷移させるモデルを提案しており、行動レベルの観察事実を説明可能としている[3]。このことから、喧嘩行動遷移に関する確率変数が昆虫脳内の内部メカニズムに相当することが示唆されているが、生物学的にはいまだに詳細には明らかになっていない。

そこで本稿では、我々の構築した神経生理モデルにおいて行動選択に用いているオクトパミン(OA)レベルと行動遷移の確率の関係を明らかにするために、いくつかの仮説を立てて検証することとした。

2. クロコオロギの神経生理モデル

ここで、これまで我々が提案したモデルを図1に示す。

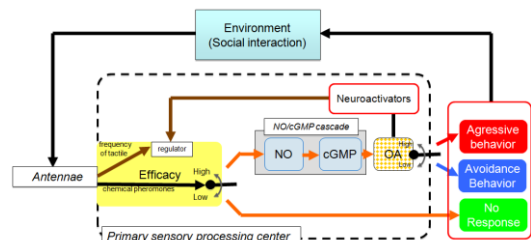


Fig.1 Internal model of artificial cricket

このモデルでは OA を仮定した内部状態と感覚入力感受性により行動選択が行われるものであり、個体・群レベルの双方の適応を矛盾なく説明可能となっている。概念的には、感覚入力感受性値が高い場合は NO/cGMP-OA システムが駆動して喧嘩行動か逃避行動を選択し、感覚入力感受性値が低い場合は無反応となる。一方、足利らは内部状態変数を用いた喧嘩行動遷移モデルにより、群レベルの変容を説明可能なモデルを提案している。このことから我々の神経生理モデルにおける状態変数との整合性をとることでクロコオロギの喧嘩行

動のシステムの理解がさらに進むと考えられる。そこで、本稿では足利らの示す α と神経生理モデルとの整合性の検証を行う。

3. 喧嘩行動遷移確率の調節

これまで、我々のモデルではコオロギの喧嘩行動への遷移は OA レベルが閾値を超えている場合必ず発現し、閾値より少ない時は発現しないとしていた。しかしながら、Iba らの報告のように、OA レベルが高くても喧嘩行動を選択しないことが確認され一回目の喧嘩で負けた個体も喧嘩をするという事実があり、行動遷移に関して確率的な要素の存在が考えられる。この効果をモデル化に取り入れるために、OA レベルに応じて喧嘩行動に遷移する確率を変化させる要素を付け加える。

ここで、OA レベルに対して行動遷移確率を導入するにあたり、2種類の考え方があると考える。一方は、最初の接触時に OA レベルに基づいて確率的に行動選択されるものである。他方は、喧嘩中も一定同期毎に OA レベルに基づいて確率的に喧嘩の継続か逃避を選択するものである。2種類の考え方についてそれぞれ検証を行った。

4. 計算機による行動遷移確率実験

4.1 接触時に確率的に行動選択する場合

接触時に OA レベルによって確率的に行動選択する実験を行った。OA レベルと喧嘩行動遷移確率の関係を図 2 のように設定した。ここでステップ関数型は従来のモデルと同様に OA レベルが閾値を超えたら喧嘩、超えなければ逃避行動を示すものである。線形関数型は、OA レベルに比例して喧嘩行動を選択する確率が上がるものである。シグモイド関数型はステップ型と線形型の間程度の値をとるものとした。実験結果を図 3 に示す。なお、図 3 において横軸は個体の識別番号、縦軸は活発度を示す。活発度は人工コオロギの好戦性を表し、式(1)で算出する。

$$\text{Aggressiveness} = \frac{\text{The number of winning}}{\text{Total number of contact}} \quad (1)$$

実験結果より、いずれの場合もクロコオロギの生物学的知見と合う結果が得られず、接触時に確率的な要素が存在する可能性が低いことが分かった。

4.2 喧嘩中も確率的に喧嘩の継続か逃避を選択する場合

次に、喧嘩中も一定同期毎で OA レベルに基づき喧嘩か逃避行動を選択する場合を検証する。実験結果を図 4 に示す。なお、喧嘩行動選択と OA レベルの関係性は 4.1 節と同様である。実験結果から、従来のステップ関数と比較して、シグモイド関数と線形関数を用いた場合に、高密度環境では活発な個体が現れず、また、低密度環境において全個体の活発度が上昇するという生物学の知見の傾向と一致する結果を得ることが出来た。このことから喧嘩中に確率的に行動選択をしている可能性が示された。

5. 結言

クロコオロギの内部モデル構築を目的として、OA レベルが行動遷移確率に関与していると考え、計算機実験により検証した。その結果、喧嘩中も OA レベルに基づいて確率的に行動選択をさせたのときに実際のコオロギと近い行動を再現することが確認された。今後、より詳細な実験を行い、OA レベルと行動遷移の確率について考察を行う。

謝辞

本研究は、文部科学省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。

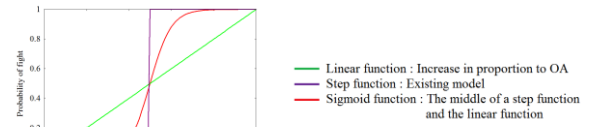


Fig.2 Probability to change for a fighting behavior

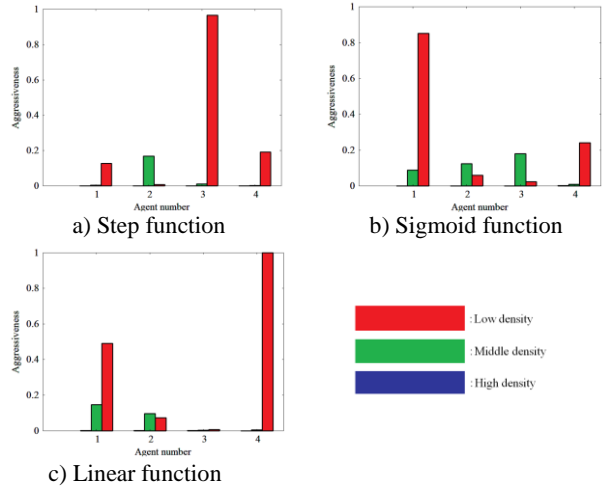


Fig.3 Decide of the probability by OA

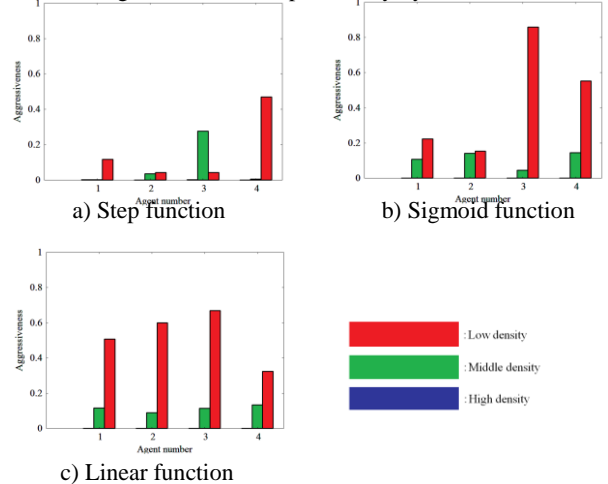


Fig.4 Experiment result

文献

- [1] 高草木薫, 浅間一, “移動知: 行動からの知能理解—構成論的観点と生物学的観点から. 計測と制御, Vol.44, No. 9, pp. 580-589, 2005.
- [2] M.Sakura, A.Yoritsune and H.Aonuma, “Fighting experiences modulate aggressive and avoidance behaviors in crickets against male cuticular substances.”, The 2nd International Symposium on Mobiligence, pp243-246, 2007.
- [3] 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.
- [4] Michiyo Iba, Takashi Nagao, Akihisa Urano, “Effects of Population Density on Growth, Behavior, and Levels of Biogenic Amines in the Cricket, *Gryllus bimaculatus*”, ZOOLOGICAL SCIENCE 12, (1995), pp.695-702
- [5] 藤井喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木剛, 足利昌俊, 太田順, 浅間一, “クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究—喧嘩行動実験による神経機構モデルの考察—”, 第14回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp.35-41, 2009