

コオロギの適応的行動選択モデルに関する研究 —触角感度調節機構のモデル化—

A study on adaptive behavior selection model of cricket
-A modeling of mechanism to regulate the sensitivity of the antenna-

○ 藤井 喬 (東電大) 正 川端 邦明 (理化学研究所)
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

Abstract: Understanding the mechanism underlying insect's behavior selection leads to comprehend useful knowledge to design principle of adaptive system based on the interactions between the individuals. The aim of this research is to model social-adaptive behavior mechanism focusing on the cricket's fighting behavior as one typical example of social adaptation. In the cricket's fighting behavior, the antennae play very important role and it is considerable as key element to emerge of social behavior adaptation. This paper describes to attempt to model the antennal information processing system based on our previous proposed NO/cGMP-OA cascade model.

Key Words: Cricket fighting behaviors, Sensitivity regulation, Mobiligence

1. はじめに

マルチエージェントシステムや群ロボットシステム等の人工システムの一つの特徴はネットワーク構造をもつことである。このような複数構成要素が相互にネットワークで結ばれたシステムでは、各構成要素が要素間および環境との相互作用に基づき行動しながら、システム全体として調和的に動作する。このようなシステムの設計アプローチはトップダウン的手法とボトムアップ的手法の二種類に大別できる。トップダウン的手法では、合目的な設計が可能となるが、想定外事象に対する適応性に乏しいといったことが指摘されている。ボトムアップ的手法については、高い適応性が期待されているが、その設計論については未だ議論の最中である。

一方、生物では、個体が環境や他個体との相互作用に基づいて自らの行動を選択し、ボトムアップ的に社会としての秩序を形成している。特に昆虫は、神経系全体でも神経細胞数が約 10^6 個と言われており、ヒトの脳を構成する神経細胞が約 10^{12} 個であるのと比べると非常に少ない神経細胞数で環境に適応した行動選択をしている。また、脳の形態学的な構造がおおよそ解明されているといった点から解析しやすいため、昆虫の持つ社会適応能力のメカニズムを理解することは、人工物の個体間相互作用に基づいた適応行動生成に有用な知見をもたらすと考えられる[1]。

そこで本研究では、昆虫の社会適応行動の一つであるクロコオロギの喧嘩行動に着目し、脳内情報処理メカニズムを構成論的に理解するために行動選択モデルの構築(構成論的神経行動学, Synthetic Neuroethology)を目的としている。特に本稿では適応行動生成に必要な不可欠である認識メカニズムにかかわる触角感度調節のメカニズムについてモデル化を試みた。

2. クロコオロギの喧嘩行動

2.1 クロコオロギの経験による適応的行動選択

クロコオロギの喧嘩行動は、クロコオロギのオス個体が他のオス個体と遭遇すると、お互いに攻撃しあう行動を発現するというものである。従来、このクロコオロギの喧嘩行動はオスとの遭遇により発現する行動(プログラム行動)だと考えられてきたが、喧嘩に負けた個体は、負けた経験を短期的に記憶もしくは保持し、60分程度逃避行動を発現する可塑性があることが行動学実験で確認された[2]。この行動の変容は社会的経験に基づいて適応的に行動が選択された結果と捉えることが出来る。

2.2 クロコオロギの密度による適応的行動変化

コオロギは低密度で飼育すると、前節で述べた喧嘩行動がよく見られる。しかし、高密度で飼育すると他者と接触しても喧嘩行動があまり発現しなくなる傾向がある。また、低密度と高密度の中間程度の環境で飼育すると、1個体のみが積極的に他者に対し攻撃をしかけるが、他のコオロギは高密度環境と同様にあまり喧嘩行動が発現しなくなる傾向が観察されている[3]。この行動の変容は接触頻度により適応的に行動が選択された結果と捉えることが出来る。

2.3 コオロギ喧嘩行動の構成論的理解

コオロギの喧嘩行動について工学的にモデル化を試みた先行研究には、喧嘩行動におけるコオロギ脳内の化学物質の生成と消費に関する写像をモデル化した神経生理モデル[4]、コオロギの内部状態を表す変数と外部刺激をもとに、有限オートマトンモデルに従って行動を遷移させる行動選択モデル[5]等がある。これらは喧嘩行動の生物学的知見に妥当な結果を得ている。しかしながら実際のコオロギによる実験データによると、触角のあるコオロギと無いコオロギでは、触角の無

いコオロギの喧嘩行動の発現確率が有意に低下することが確認されている[6]. つまり, コオロギの喧嘩行動には触角の存在が重要であると考えられ, また, コオロギの触角は他者認識に重要な感覚器であるということが出来る.

しかしながら, 前述の研究例では触角からの入力情報の処理過程についての議論はされていない. そこで本研究では行動選択のモデル化を行う上で重要な触角について考慮した情報処理系のモデル化を行う.

3. コオロギの認識メカニズムのモデル化

ここで, 本研究で提案するモデルの概略図を図1に示す. 本モデルは脳内の生理活性物質である生体アミンのひとつオクトパミン(以下OA)の産出量のみで行動選択されるKawabataらの行動選択モデル[4]に, 新たに触角感度により行動が選択される機能を追加導入した.

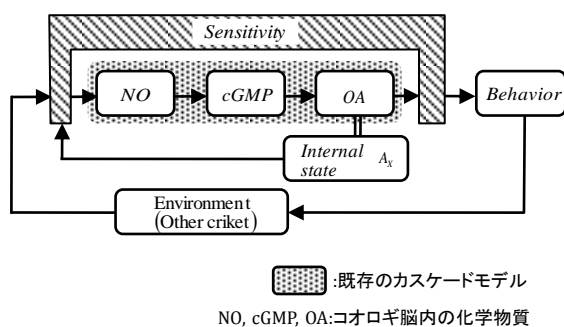


Fig.1 Proposed neuronal model of cricket

具体的には前述の生物学の知見より, 触角感度は内部状態と他者との接触によって調節されるということを仮説とした. 詳細については以下に述べる.

ここで, モデルを実現する触角感度調整則を式(1)とした.

$$\frac{dS}{dt} = -\rho S + f(A_x) - g(F_{in}) \quad (1)$$

ここで, A_x はOAにかかわる内部物質 A_x の量を, F_{in} は触角への入力の有無 (1 or 0) を表している. $f(A_x)$, $g(F_{in})$ はそれぞれ A_x の影響, 他個体との接触の影響を表す項である. つまり前述のように式(1)では内部状態による影響 $f(A_x)$ と接触頻度 $g(F_{in})$ に基づいて触角感度を調節可能となっている.

内部状態による影響は, 既存のカスケードモデルにより生成されたOAと産出量に関して何らかの関係をもつ物質によるものと考えた. これは, 生物学研究によれば, カイコガの触角感度 [7]やミツバチの触角の動かし方[8]等で生体アミンの影響が報告されているためである. また他者との接触による影響は, 前章で述べたコオロギの密度による行動の変化が, 他者との接触頻度による行動の変化であると捉え, 接触が多くなるにつれコオロギの触角感度が低下すると考えられるからである.

内部状態と接触により調節された感度は一酸化窒素(以下NO)の産出量を調節する働きをし, 同様の刺激に対しても状況に応じて異なる行動選択を出力可能と考える.

4. 計算機実験

本稿では, 式(1)を具体的に式(2)のように設定し, モデル化した. つまり単純にOA量及び接触刺激に比例した影響を与えるとした.

$$\frac{dS}{dt} = -\rho S + aA_x - bF_{in} \quad (S \geq 1.0) \quad (2)$$

ここで ρ, a, b は15分おきに三回喧嘩行動を発現し, その全てに勝ったコオロギの三回目の喧嘩後のOA量を測った生物学実験のデータに合わせて設定した(生物学データでは三回目の喧嘩のあとのOA量は3分の2程度になる). シミュレータ上において設定されたパラメータは, それぞれ $\rho=0.8, a=2.0, b=1.0$ とした. また, F_{in} をステップ状にし, 接触による影響を15秒程度持続するよう記述した. このときのシミュレータ上のコオロギエージェントの内部状態を図2に示す.

以上のパラメータにより高密度環境でこのモデルを持ったコオロギエージェントが慣れのような効果を発揮するか, 擬似的なシミュレーション実験により検証した.

実験では高頻度で他者と接触することで, コオロギエージェントがどのような行動選択をするか調べた. 接触頻度はKawabataらが行ったシミュレーション実験[4]において高密度環境を再現した時のコオロギの接触回数を参考に15秒間隔で50回連続で他者と接触する状態を想定した. また, 喧嘩時間は全ての喧嘩で5秒間とした.

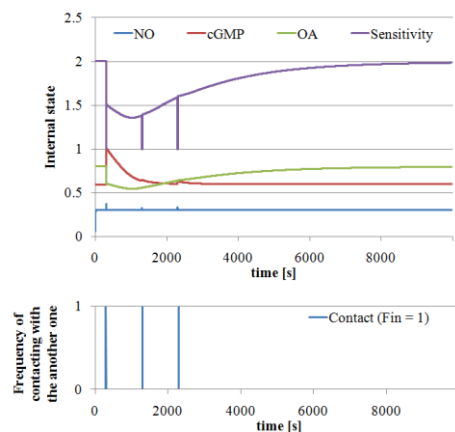


Fig.2 Internal state at the three times of fighting behavior

上記の条件で $\text{time}=300$ より接触させた際の実験結果を図3に示す. なお, グラフは上述の刺激を受けたコオロギエージェントの内部状態の推移と, 触角感度の推移を表している. また, 接触については1の時に接触, 0の時に非接触を表す.

提案したモデルにより, コオロギエージェントは1度目の喧嘩以降, 接触頻度が高いことから触角感度が下がり, 喧嘩行動を選択しない. 他者に対して再び喧嘩行動を選択出来る状態になったのは, 他者との最後の接触から15秒後であった.

以上の結果は, コオロギの行動観察で見られた密度による行動の変容という生物学的な現象の基礎となるものと捉えることができ, 提案した触角感度 S を導入したモデルが妥当であったと考えられる.

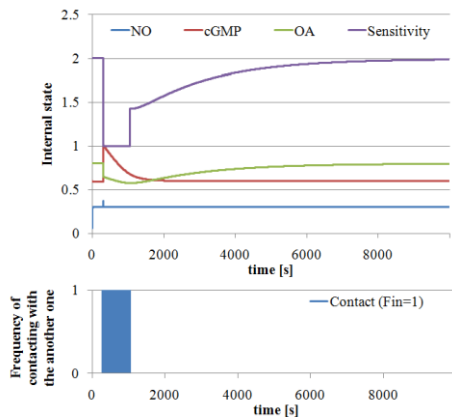


Fig.3 Internal state in case of simulated High-density environment

5. おわりに

本研究では、コオロギの触角感度が脳の内部状態と他者との接触頻度により影響を受けるとの仮説をたて、モデルを構築し、モデルの妥当性をシミュレーションにより検証した。

シミュレータ上のコオロギエージェントは、触角感度と内部状態により行動を選択し、生物学的知見と合った行動を見せたことから、本モデルでコオロギ喧嘩行動に関する適応的行動選択のメカニズムに必要な触角機能のモデル化が行われたといえる。

今後は Ashikaga らが用いたシミュレータ[5]に、本稿で報告したモデルを組み込み、図 4 に示すような実際の空間内移動を考慮に入れたシミュレーションを行った結果を実際のコオロギの行動と比較する。

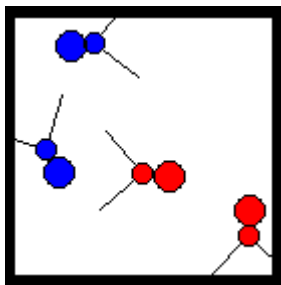


Fig.4 Multi agent simulation

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。

文 献

- [1] 高草木薫, 淺間一, “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.

- [4] K.Kawabata, T.Fujiki, Y.Ikemoto, H.Aonuma and H.Asama, “A Neuromodulation Model for Adaptive Behavior Selection by the Cricket -Nitric Oxide(NO)/Cyclic Guanosine Monophosphate (cGMP) Cascade Model-”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No.4, pp388-393, 2007.
- [5] 足利昌俊, 菊池美香, 平口鉄太郎, 佐倉緑, 千葉龍介, 青沼仁志, 太田順, “コオロギ集団における社会的行動のモデル化”, 第 17 回インテリジェント・システム・シンポジウム pp. 191-196, 2007.
- [6] 佐倉緑, 頼経篤史, 青沼仁志, “クロコオロギの闘争行動における触角の役割”, 第 20 回自律分散システム・シンポジウム講演予稿集, pp.153-156, 2008.
- [7] L.Gatellier, T.Nagao and R.Kanzaki, “Serotonin modifies the sensitivity of the male silkmoth to pheromone”, The Journal of Experimental Biology, Vol. 207, pp. 2487-2496, 2004.
- [8] B.Pribbenow and J.Erber, “Modulation of Antennal Scanning in the Honeybee by Sucrose Stimuli, Serotonin, and Octopamine: Behavior and Electrophysiology”, NEUROBIOLOGY OF LEARNING AND MEMORY 66, pp.109-120, 1996.