

コオロギの適応的行動選択を実現する動的制御機構のモデリング

A Modeling on Dynamical Control System for Adaptive Behavior Selection of Crickets

○ 矢野史朗 (東大) 池本有助 (東大)

青沼仁志 (北大) 浅間一 (東大)

Shiro Yano, School of Engineering, The University of Tokyo
5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8568, JAPAN
Yusuke Ikemoto, RACE, The University of Tokyo
Hitoshi Aonuma, RIES, Hokkaido University
Hajime Asama, RACE, The University of Tokyo

Abstract In this study, we focus dynamical behavior control for adaptive decision-making of a cricket. In order to understand the control mechanism, we model the sensory-motor function on cricket fighting. The neuromodulators and nervous systems are necessary to grasp pheromone behavior by recent physiological analytical approach. So we especially try elucidating that control on the subject of cricket pheromone behavior by constructive approach. We suggest a model for adaptive behavior selection according to the ethological and neurological knowledge, as follows.

Key Words: adaptive behavior switch, neuromodulator, NO/cGMP cascade, cricket

1. 背景と目的

生物が適応的に行動選択を行い且つ実時間処理を実現することで多様な環境下での活動を可能にしていることは疑うべくもない。現在の生物学では生物が置かれた特定の環境の中で生存や生殖をしやすくするために形態、生理、行動上の特殊化を生じることを適応と呼び [1], この機序には未だ不明な点が多いため解明への研究が進められている。

一方工学では自律的なメカニズムを実現するために、学習や適応機構を有するシステムの構築に向けて研究が進められているが未だ実際の生物のような高い学習能力や適応性を獲得するには至っていない。

適応機構の解明は重要なテーマであり、その機序解明のためには生物学的知見を前提とした帰納的推論もしくは演繹的推論が有効な手段の一つである。工学的なアプローチの一つである計算機シミュレーションは条件をある程度恣意的に設定できる特性を持つため、仮想実験として推論された体系の検証が可能である。また生物学的な事実観測によって、そうした体系への反駁と評価を行うことは、前提や推論の結果の確度を検証する意味で最も重要視されるべきものである。こうした構成論的アプローチと解析的アプローチの相互の協力により、この適応機構の研究も急伸すると期待できる [2]。本研究では、適応機構の解明のために、コオロギのフェロモン行動の一つである闘争行動を題材にして、コオロギの適応的行動選択機構のモデルを提案する。

中国では1000年以上も昔から闘蟋蟀という文化があり、雄同士喧嘩をさせ勝負を楽しむ遊戯として親しまれてきた。その勝率は飼育環境などによりある程度上下させることが可能であり、更に喧嘩の戦略に積極型や受動型など幾つかのタイプがあることが知られている [3]。そこで本稿では、この戦略の分化が経験に基づ

く適応性の発現であると考え、この現象を説明可能な個体内部モデルを提案する。

2. 個体内部モデル

コオロギは雄雌で体表フェロモンの構成が異なることが報告されている。一般的な雄は、触角で雌体表物質に触れることで闘争行動を、雌体表物質が接触することで生殖行動を発現するという行動選択を行っている [5]。

コオロギの闘争行動の数理モデルは、NO/cGMPカスケードとOA(Octopamine)の体内量のみを用いてモデル構築した先行研究がある (Fig. 1)[4]。上記の研究で

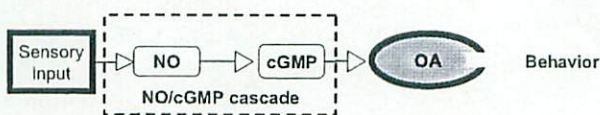


Fig.1 Behavior control based on NO/cGMP cascade and remains of Octopamine

は一個体の内部状態の記述を行った上で、そのモデル個体が集団状況下で発現する特徴を実際の集団と定性的かつ定量的に合致することで妥当性の評価を行った。しかしながら短期的特長を再現している一方、戦略等の長期的特徴の再現に成功していない。この問題に対し本研究では神経回路モデルを付加することで解決を試みる。

ザリガニの尾扇肢の研究 [6] で、尾扇肢開時には相対的に閉じるための運動ニューロンが抑制され、閉時には開くための運動ニューロンが抑制されるといった、運動ニューロン制御を行う介在ニューロンの機序解明が進められている。このザリガニの尾扇肢開閉の研究は介在ニューロンと運動ニューロン間の結合について

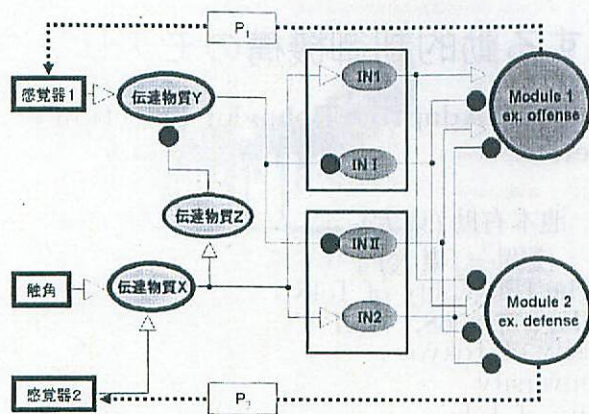


Fig.2 Proposed behavior selection model of a cricket

の研究であり、ここに感覚ニューロンと介在ニューロンの間の結合を加えることでシステムに全体の操作性と可塑性が生じる推測される。Fig. 2. は攻撃と回避が互いに抑制の関係にあるという前提及び、ザリガニの尾扇肢の神経回路の研究から帰納的に推論した本研究で提案する神経回路モデルである。この Defense は実際のコオロギでは Back Step を行うモジュールに相当し、Defense モジュールへの入力が高いほど回避率 P_2 が高まる。逆に Offense への入力が高いほど命中率 P_1 が上がる。感覚器 1 はクチクラへの機械刺激を感知する器官を、感覚器 2 は距離感を感知する聴覚や視覚を想定しているため、回避ミス即ち被弾 ($1 - P_2$) は感覚器 1 へ、命中ミス ($1 - P_1$) は感覚器 2 へ入力される。△及び●はそれぞれ興奮性の接続及び抑制性の接続を表している。神経伝達物質 X は興奮性であり、神経伝達物質 Y, Z は抑制性であると設定した。これは、X 量が尽きた際に Z の抑制が解除され Defense が連続的に活性する様子を再現するための抑制である。実際のコオロギでは Defense の連続的活性は逃走として観測される。IN 1, IN 2, IN 3 は Inter Neuron の頭文字である。IN 1 > IN 2 の場合 Offense を、IN 2 > IN 1 の場合 Defense を引き起こす。IN 1 IN 2 は大小に関係なく Offense を引き起こし、最終的に Offense と Defense の出力値の和が正ならば Offense, 負ならば Defense として行動が出力される。

以上に加えて、モジュール間ではシナプス結合の概念を導入する。これにより、経路を使用した割合に応じて結合が長期的に漸増され、短期的に馴化される。ここで長期的な漸増とはシナプスの結合数の増加と結合の強化を意味し、短期的な馴化とは後部受容体数の減少と前受容体からの伝達物質の減少を意味する。先にも触れたが、短期的な馴化は一時的な闘争性の変容を、長期的な漸増は戦略の発現等や嗅覚情報の記憶などが当て嵌まる。

3. モデル妥当性評価について

本モデルの評価に関しては、コオロギの戦略を次の 3 型であると仮定する。

1. 積極型：Offense 経路の重みが大きい
2. 消極型：Defense 経路の重みが大きい
3. Hit and Away 型：Offense, Defense のバランスが良い

今後の研究では一つの初期条件が外部条件によってこれらの戦略へと分化し得るモデルであるか否かを確認する。生物学アプローチとしては行動学、解剖学及び電気生理学などの様々な方法が可能であり、観測事実に基づいた評価方法が多く存在するという意味で高い信頼性を持った評価が可能であると推定される。

4. おわりに

本研究では、ザリガニの尾扇肢の開閉機構を元に、相反するモジュールの発現率が経験によって様々に分化する機序のモデル構成を試みた。定性的にはこのモデルにより各戦略が発現するものと考えており数式化を進めている。今後の展開として、数式化により定量的な評価を行いモデルの確度を考察することである。また直翅目のバッタでは神経回路の解明が既にかなり進んでおり、同目であるコオロギの神経回路理解にも役に立つことと思われる。また行動学の面では蟋蟀の喧嘩様式や飼育と闘争性の相関の研究も進められており [7]、闘蟋蟀と絡めて様々なアプローチが可能である。

モデルとしての確度が高まれば、モデルとの対応から幾つかの神経伝達物質を同定することも可能であるし、その神経伝達物質の一般的な昆虫における働きについて予見することも可能と考えられる。今後、生物学的発見や薬理学的な発見、及び工学的応用の一助となることが期待される。

参考文献

- [1] P.Raven and G.Johnson and J.Losos, S.Singer: “レーヴン/ジョンソン生物学 [下] 原書第七版,” 2007, 培風館
- [2] 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, 44, 9, pp.580-589, 2005.
- [3] 瀬川千秋: “闘蟋 中国のコオロギ文化,” 大修館書店, 2002.
- [4] 川端邦明, 藤木智久, 青沼仁志, 浅間一: “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,” ROBOMEC07, Vol.7, No.2, pp.2A1-A09(1)-2A1-A09(4), 2007.
- [5] H.Aonuma and M.Iwasaki: “NO/cGMP signaling regulates short-term memory in the cricket,” Nitric Oxide: Biology and Chemistry, Vol.11, No.1, p.107, 2004.
- [6] T.Nagayama: “Organization of exteroceptive inputs onto nonspiking local interneurons in the crayfish terminal abdominal ganglion,” J. Exp. Zool. 279:29-42, 1997.
- [7] T.Yamaguchi, et.al.: “もうひとつの脳 微小脳の研究入門” 培風館, 2005.

第13回 創発システム・シンポジウム

「創発夏の学校」 相互作用を考える

講演資料集

主催

計測自動制御学会 システム・情報部門

協賛

計測自動制御学会 システム・情報部門

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現に関する調査研究会

企画

計測自動制御学会 システム・情報部門

自律分散システム部会 知能工学部会 システム工学部会

2007年8月17日（金）～19日（日）

インテック大山研修センター