

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和2（2020）年度 研究進捗評価用〕

平成29年度採択分  
令和2年3月31日現在

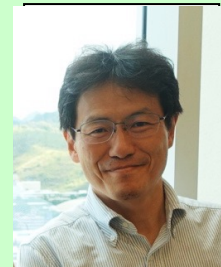
昆虫のゾンビ化から紐解く生物の多様な振る舞いの源泉

Source of various behaviors of living things that  
understands from zombification of insects

課題番号：17H06150

大須賀 公一（OSUKA, KOICHI）

大阪大学・工学研究科・教授



研究の概要（4行以内）

生物の環境適応機能は脳ではなく身体と環境との相互作用から生まれることを実証する。そのために、生物の上位脳機能を生きたままで段階的に阻害した上で行動観察するという新奇な方法論「昆虫のゾンビ化」を提案する。これによって同定された制御構造に基づき、知能の源泉は脳ではないことを示し、劇的にシンプルな制御則で実世界に適応可能な人工物を開発する。

研究分野：制御工学、生物学

キーワード：振る舞いの多様性、ゾンビ化、陰的陽的制御、脳・身体・場の相互作用

1. 研究開始当初の背景

複雑で多様な環境（無限定環境）に対して適応的に振る舞う、いわば知能的に振る舞う、人工物の実現には、高度な脳機能（制御則）が必要だと考えるのが工学者の常である。しかし、このやり方では、想定する環境が複雑になればなるほど、実装すべき制御則は爆発的に複雑化し、最終的には実装不可能になる。一方、単純な脳神経系しかもたない、あるいは神経系すらもたない生物でも、十分に高度な適応的行動を見せる。その要は脳だけにあるのではなく「脳と身体と環境との相互作用」にあると考えられているが、それはまだ証明されていない。そこに内在する制御原理を掴み取ることができれば、生物における制御構造の理解が深化するのみならず、劇的にシンプルな制御則によって、無限定環境下で生物のように巧みに稼働する人工物が実現できるに違いない。

2. 研究の目的

本研究では、生物を生きたままで、身体と環境との関係を保ちつつ上位脳機能を徐々に阻害してゆき、歩容の多様性が生み出される最小の脳神経系まで到達するという新奇な方法論として「ゾンビ化」を提案する。もしも、この方法によって巧く脳機能が外され、その上で適応機能が発現したなら、そのとき同定されたシンプルな制御構造にこそ、「知の源泉」が隠されていることになる。我々はその「源泉」を求め、その結果、劇的にシンプルな制御則で実世界に適応可能な人工物を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

我々は、カリバチの狩猟行動から着想を得て、モデル生物として設定したコオロギの脳神経系を薬理的に機能阻害させて、コオロギを殺すことなく段階的に「ゾンビ化」する新奇な方法論が構築できるという考えに至った。この点を踏まえて本研究では以下の3点について重点的に研究を進める：

主題1：ゾンビ化手法の確立：コオロギの脳神経系の適切な部位に適切に配合した薬剤を適量投与することでその部位の機能を阻害させる。

主題2：制御構造の同定：脳神経系レベルを極限までそぎ落とした「ゾンビコオロギ」を外部からの刺激によって様々な場で歩行させ、その時の脳・身体・環境の相互作用の中に歩容の変容を生み出す制御構造を同定する。

主題3：源泉の検証：同定された「源泉」を実現する実証用ロボットを試作し、シンプルな制御則で従来のロボットを凌駕する環境適応能力が発現することを実験的に検証する。

本研究は、図1のように、「知の源泉」を「理学」と「工学」から攻める、その際の共通の視座として「制御」を考える、という構造である。

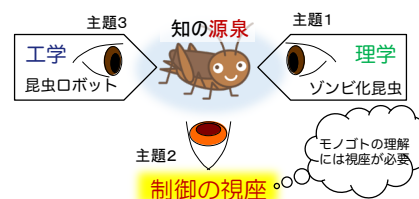


図1 本研究の全体像

#### 4. これまでの成果

本研究の「要」は、昆虫の脳（中心体）に薬剤を注入することによって脳機能と下部神経系との情報のやり取りを遮断する「ゾンビ化」であるので、研究期間の前半は、主に、a) 昆虫のゾンビ化手法の確立とゾンビ化昆虫のゾンビ化程度の検証法確立、に注力した。同時に、それらのゾンビ化手法が確立した後のために、b) 昆虫の適応的運動能力の発現メカニズムの同定手法理論の検討、c) 高度な脳機能を持たない運動制御原理の考察、を行なった。以下、進捗状況の概要を説明する。

a) コオロギの頭部内にある中心体に正確に薬剤を注射するために、図2のようなゾンビ化システムを構築した。これによって、本研究の要である「ゾンビコオロギ」を多数生産することができる。また、「ゾンビコオロギ」の運動解析が行える解析装置を試作した。



図2 コオロギゾンビ化システム

b) ゾンビコオロギが完成するまでの基礎研究として、一般の昆虫が示す適応能力の中でも特に、1) 歩行速度への適応、2) 脚切断への適応、3) 環境への適応という三つの適応的な振る舞いに着目し、これら能力を発現しうる制御メカニズムのミニマルモデルの構築を目的とした研究を行ってきた。そのために、行動観察実験、制御系の数理モデル構築、そしてシミュレーションによる妥当性検証という三つのステップに基づいて考察を進めてきた。

c) 以上のような徹底した実験観察によって蓄積されてきた事象を説明する原理として、ゾンビ化された昆虫と同じく高度な脳機能をもたない脚機構が、環境/身体間および身体内の脚間で調和のとれた運動を生成する制御モデルを構築した。その際の鍵となった着眼点は、脚の筋肉そのものに内在する性質、すなわち①力-速度のトレードオフ特性と②伸張反射であった。この性質を直流モータの電流-角速度特性で置き換えた人工物モデルを構成することにより、脳機能にあたるマイコン・センサの類を一切用いることなく適応的な6脚歩行が生成できるという興味深い結果を示した。

#### 5. 今後の計画

本研究の主な柱は、「主題1」「主題2」「主題3」である。そしてこれらの主題は、既述のように、年度毎に重みをつけながら順調に進められている（表参照）。R2年度初旬には主題1を完成させることになる。主題2と主題3は、研究開始当初から、主題1の達成度

表 研究スケジュール

	H29年度	H30年度	R1年度	R2年度	R3年度	
主題1	薬理的ゾンビ化 青沼 悠貴 杉本 石蔵 大須賀 公一		外科手術的ゾンビ化			最終総合（全員）
主題2	制御構築 同定 大須賀 石川 小林 孝					
主題3	実証機試作 石川 裕太 石川 大須賀					
				現在		

が高くなることを常に想定して、様々な可能性の考察をはじめている。そしてR2年度以降は研究の焦点を主題1から主題2と主題3へと移し、特に、R2年度後半からは主題3に集中し、具体的な検証用ロボットを試作する。R3年度後半は、3つの主題を総合して、当初目的である「知能の源泉の同定」が完成する、と計画している。

#### 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- 1) Y. Sugimoto, K. Naniwa, H. Aonuma, K. Osuka: Microinjection support system for small biological subjects, *HardwareX*, 10.1016/j.ohx.2020.e00103 (2020)
- 2) K. Naniwa, Y. Sugimoto, K. Osuka and H. Aonuma : Defecation initiates walking in the cricket *Gryllus bimaculatus*. *Journal of Insect Physiology* 112: 117-122. doi:10.1016/j.jinsphys. 2018.11.004 (2019)
- 3) 吉田 匠吾, 中西 大輔, 浪花 啓右, 杉本 靖博, 大須賀 公一: McKibben 型空気圧アクチュエータの線形近似された張力モデルの実機検証. *日本機械学会論文*, 85(878), 18-00498, doi:10.1299/trans jsme.18-00498 (2019)
- 4) Y. Sugimoto, S. Sugiyama, K. Naniwa, K. Osuka: Analysis of locust's unique gait mechanism focusing on leg length difference, *The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Mechanics (AMAM2019)*, Lausanne, Swaziland, doi:10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-2 (2019)
- 5) Y. Masuda, M. Ishikawa, A. Ishiguro: Brainless Quasi-quadruped Robot Resembling Spinal Reflex and Force-Velocity Relationship of Muscles, *Proc. of The 8th Int'l. Conf. on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2019)*, pp. 329-333, (2019)

他95編, 受賞8件

#### 7. ホームページ等

<http://www-dsc.mech.eng.osaka-u.ac.jp/news/> 科学研究費助成事業（基盤研究（S））採択