

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18860

研究課題名(和文)運動への介入から解き明かす闘争行動を引き起こすアンテナフェンシングの構成論的理解

研究課題名(英文)A constructive understanding of antennal fencing that causes fighting behavior through interventions in the movement

研究代表者

杉本 靖博(Sugimoto, Yasuhiro)

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70402972

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、コオロギ同士の闘争行動においてみられる特徴的かつ興味深い振る舞いであるアンテナフェンシングが、闘争行動成立にどのように寄与しているかを解明することを目的とし研究を行った。特に、アンテナを動かす筋に電極を挿入して電気刺激し、外部からアンテナの運動に介入した状態で闘争行動を行わせ、その挙動の解析を行った。その結果、電気刺激しアンテナフェンシングに外部から介入した場合、電気刺激を行ったコオロギの闘争性が向上していることを示唆する実験結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、アンテナを動かす筋に電極を挿入して電気刺激し、外部からアンテナの運動に介入した状態で闘争行動を行わせ、その際の挙動解析を行うことで、外部から運動に介入した個体の闘争性があがるという結果を得た。これは、運動中に外部から介入することで、アンテナフェンシング中にコオロギが意図しないアンテナの挙動を人為的に作りだすことや、対象個体の闘争性を変化させることが可能なことを意味する。このように外部からの電気刺激による運動介入手法が有効であることは、今後、コオロギ同士の闘争行動解明を含む様々な生物の興味深い行動の解析において、有用な知見となりえると考えられる。

研究成果の概要(英文): In this study, we aimed to elucidate how antenna fencing, a characteristic and interesting behavior observed in fighting behavior between male crickets, contributes to fighting behavior. In particular, we inserted electrodes into the muscles that move the antennas and electrically stimulated the antennas to perform fighting behaviors with external intervention. The results of the experiments suggested that the external intervention enhanced the fighting behavior of the crickets in the antenna fencing.

研究分野：ロボット工学

キーワード：アンテナフェンシング コオロギ 闘争行動 電気刺激

1. 研究開始当初の背景

動物の闘争行動は普遍的な行動であり、これまで多くの研究にて、行動の観察が比較的容易なコオロギなどを対象に行動学的な知見が多く示されてきている。しかし、闘争行動や闘争行動に至るまでの過程については判明していないことも多い。その1つが、雄コオロギ同士の闘争行動においてみられる特徴的かつ興味深い振る舞いであるアンテナフェンシングである(図1)。昆虫のアンテナ(触角)には、化学感覚や機械感覚の受容器があり、餌、配偶者、外敵などを認識するためのセンサの役割がある。闘争を行う雄コオロギにおいては、他雄個体と遭遇すると、触角で相手を認知し、威嚇姿勢をとり攻撃を開始して闘争に至る。その過程で、お互いのアンテナを激しく打ち振るわせるアンテナフェンシングを行う。このアンテナフェンシングは、闘争行動に至るまでの過程において、非常に重要な役割を果たしていると考えられるが、その振る舞いは十分明らかになっていない。

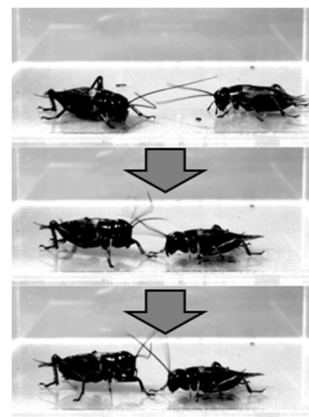


図1 コオロギのアンテナフェンシング

2. 研究の目的

以上の背景のもと、研究代表者の杉本と研究分担者の青沼は、行動の観察が比較的容易で神経生理学的知見も多いクロコオロギを対象に、闘争行動のより本質的理解に近づくにはどうすればよいか、特定領域研究「移動知」に参画して以来、議論を続けてきた。その議論の中、小型移動ロボットにて闘争行動を誘引出来ないかと考え、小型のリレーにて動作する疑似触角を作製し小型移動ロボットに搭載した。そして、コオロギと相対させ、闘争行動を引き起こすために疑似触角を激しく動作させてみたところ、アンテナを多少打ち振るわせ合う振る舞いは見せたものの、最終的に闘争行動を引き起こすには至らなかった。また、昆虫同士のコミュニケーションにおいては、体表に存在するフェロモンが重要であることが知られていることから、疑似触角として実際のコオロギの触角を用いた実験も行ったが、結果は同様であった。これらの結果は、アンテナフェンシングの重要性とともに、アンテナフェンシングにおいては、アンテナは単純な動きではなく実は複雑な運動をしており、動き自身にも意味が存在していることを示唆するものである。

そこで、本研究では、アンテナフェンシングにおいて闘争行動成立のためにキーとなる運動は何か、そして、その運動を生み出す仕組みはどうなっているのか?を解明することを目的とする。本研究で得られた結果は、闘争行動や闘争行動に至るまでの過程を解明するための道を切り開くことが期待できる。一方、コオロギのアンテナには、基部にのみ筋肉が存在し先端には筋肉がない。それにも関わらず、非常に巧みに複雑な運動が実現されている。その複雑な動きを生み出す仕組みを解明できれば、限られたアクチュエータやセンサのリソースから、複雑な運動を生み出す昆虫スケールの新たな人工物設計法の提案も期待できる。

3. 研究の方法

上述の目的達成のため、本研究では、解剖学的にコオロギの構造を調べるといった生物学的アプローチを取るだけでなく、コオロギのアンテナフェンシングを構成論的に理解するといった工学的アプローチも活用する。具体的には、下記の項目を本研究では実施した。

- アンテナフェンシングの詳細な運動解析及びその運動を生み出す仕組みの解明
アンテナフェンシングを生み出すコオロギ頭部の外骨格や筋肉、感覚器を、研究分担者の青沼が所有する X 線マイクロ CT にて撮像し非破壊的に観察し解析することで、アンテナを動かす機構を明らかにする。さらに、ハイスピードカメラを用いて非常に高速かつ複雑な運動となるアンテナフェンシングの運動解析を行うとともに、同定された筋についてアンテナフェンシング中の筋活動を同時に計測し、両者のデータを解析する。以上を通じて、アンテナフェンシングの運動を作り出す構造や筋肉の働きを明らかにする。
- 筋刺激によるアンテナフェンシングへの介入実験
コオロギのアンテナを動かす筋に電極を刺し、アンテナフェンシングへ介入する。筋を電氣的に外部から刺激することで筋収縮を引き起こし、アンテナフェンシングに関わる個々の筋が、どのような運動の実現に関連しているのかを明らかにする。さらに、運動中に外部から介入することで、アンテナフェンシング中にコオロギが意図しないアンテナの挙動を人為的に作り出すことが可能となる。それを用いることで、アンテナフェンシングにおいて

キーとなる運動の強調や抑制を行い、その際来实现されたコオロギの挙動の解析を行う。

4. 研究成果

まず、アンテナフェンシング中の複雑なアンテナの動きの解明を目指し、ハイスピードカメラを用いてアンテナの運動を計測するとともに、X線マイクロCTを用いて、コオロギ頭部の内部構造について解析を行った(図2)。また、アンテナを動かす筋に電極を挿入し、電気刺激することで、外部からアンテナの運動に介入した(図3)。そして、介入時のアンテナの運動や、その際に発生した闘争行動について解析を行った。その結果、アンテナの運動を引き起こすことに適した電気刺激の電圧や周波数等の知見を得るとともに、電気刺激を行った場合、闘争行動の成立はあまり変化しないが、電気刺激を行ったコオロギの闘争性が変化していることを示唆する実験結果を得た。

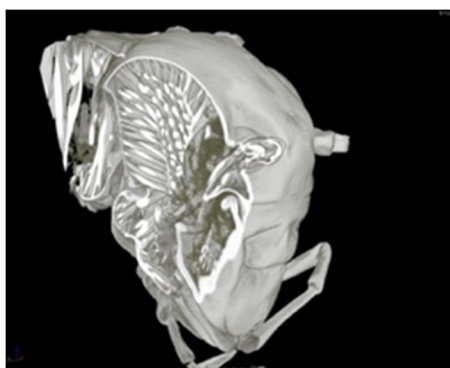


図2 X線CTにて撮影し3次元再構成したコオロギ頭部

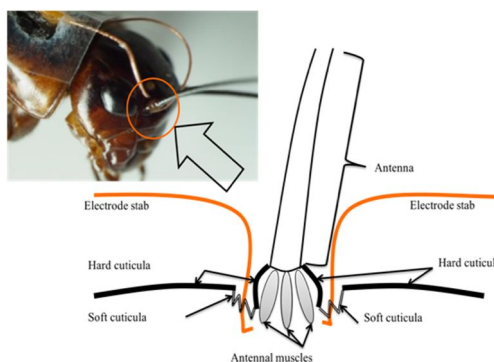


図3 アンテナを動かす筋への電気刺激

一方、研究開始当初では、電気刺激入力を行ってもアンテナが動かないことも多かった。そこで、刺激実験の後、電極を残した状態でコオロギを固定し、X線マイクロCTにて撮影を行うことで(図4)、電気刺激されている部位を特定するとともに、電極を刺す位置や方法を再考した(図5)。さらに、電気刺激の電圧や周波数等をより柔軟に変更でき、さらに、刺激時の電流を計測し、刺激が行われているかをリアルタイムで確認することが可能な、新刺激装置を作成し実験を行った(図6)。その結果、電気刺激によるアンテナ運動への介入を確実に行えるようになり、アンテナの運動を引き起こすことに適した電気刺激の電圧や周波数等の知見を得た。その結果、安定して電気刺激実験を行えるようになり、電気刺激を与えた際の闘争行動実験の試行回数を増やすことができた。

そして、新刺激装置を用いて、刺激を与える個体と intact 個体との闘争行動実験を行った。コオロギの闘争においては、一旦闘争をし勝ち負けがつくと、勝った個体はしばらく闘争性が高く、負けた個体は闘争性が低くなることがわかっている。従って、電気刺激をする前に、電極を刺した状態で電気刺激はせずに予備闘争を行い、どちらの個体が勝ったかを記録した上で、電気刺激実験を行った。その結果、刺激を与えたいいくつかの個体において、予備闘争では負けたが本闘争では逃げ回るだけでなく、時々闘争に挑むといった結果が得られた。これにより、電気刺激を与えることにより、クロコオロギの活動性が向上していることを示唆する結果が得られた。

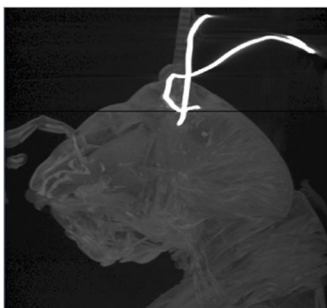


図4 電極の刺さっている部位の特定

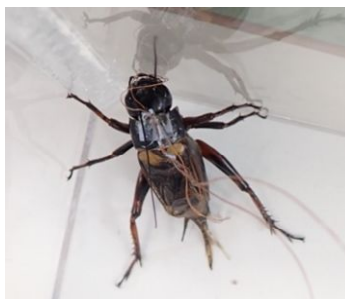


図5 刺激用電極の固定

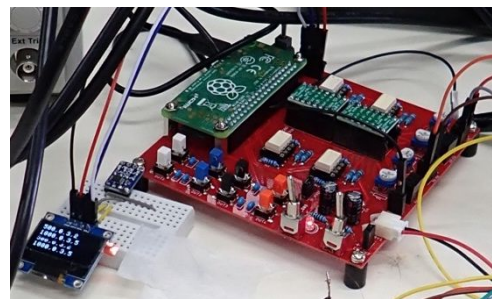


図6 新刺激装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sugimoto Yasuhiro, Naniwa Keisuke, Aonuma Hitoshi, Osuka Koichi	4. 巻 7
2. 論文標題 Microinjection support system for small biological subjects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 HardwareX	6. 最初と最後の頁 e00103 ~ e00103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ohx.2020.e00103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本靖博	4. 巻 54
2. 論文標題 運動への介入から解き明かす闘争行動を引き起こすコオロギのアンテナフェンシング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 8-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 杉本靖博, 浪花 啓右, 青沼 仁志, 大須賀 公一
2. 発表標題 コオロギゾンビ化のための頭部薬剤注入システム
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	青沼 仁志 (Aonuma Hitoshi) (20333643)	北海道大学・電子科学研究所・准教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------