

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19795

研究課題名（和文）闘争行動への介入によるコオロギの群れのソーシャルディスタンス形成メカニズム解明

研究課題名（英文）Investigating the mechanism of social distance formation in a cricket colony by intervening in fighting behavior

研究代表者

杉本 靖博（Sugimoto, Yasuhiro）

大阪大学・大学院工学研究科・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、コオロギを含む昆虫が見せる闘争行動に着目し、コオロギが個体間の局所的な相互作用を通じて、自律的な個体の行動がどのように集団全体の振る舞いに秩序を創発するかを明らかにするべく研究を行った。コオロギの闘争では、勝敗が着くと勝ち個体は攻撃性を維持し、敗者は攻撃性を減衰する（負け効果と呼ばれる）。そこで、コオロギの闘争行動にロボットにて介入するシステムを構築し実験を行ったところ、負け効果を持つコオロギの行動を変容させることができた。また、負け効果からの回復メカニズムを検証したところ、負け効果からの回復には、他個体との接触刺激の他、視覚刺激が重要な鍵を握ることが示唆される結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、コオロギが個体間の局所的な相互作用を通じて、自律的な個体の行動がどのように集団全体の振る舞いに秩序を創発するかを明らかにするため、小型移動ロボットにて闘争行動に介入できるシステムを構築した。そして、そのシステムにて対象個体の闘争性を変化させることができることを確認した。従って、構築したシステムにより、対象個体の闘争性を変化させ、個体間の秩序形成の促進および阻害が可能となり、より深い秩序形成メカニズムの理解に繋がっていく。また、このような外部からの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行動解析において、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 focused on the fighting behavior exhibited by insects, including crickets, in order to clarify how autonomous individual behavior of crickets creates order in the behavior of the entire group through local interactions among individuals. In cricket fights, when a winner is determined, the winning individual maintains its aggressiveness, while the loser attenuates its aggressiveness (called the losing effect). We constructed a system that intervenes in the fighting behavior of crickets using a small robot. By using the developed system we were able to change the behavior of crickets with the losing effect. We also examined the mechanism of recovery from the losing effect, and found that visual stimuli, in addition to contact with other individuals, play an important role in the recovery from the losing effect.

研究分野：ロボット工学

キーワード：闘争行動 コオロギ 小型ロボット ソーシャルディスタンス

1. 研究開始当初の背景

闘争行動は、一方の個体が退くと集結し、勝者は対戦相手の後を追いかけるものの、ある程度距離が離れると追いかけることをやめる。敗者も十分な距離を取ると回避行動を停止する。これは、2体間の振る舞いであるが、集団の中でも同様の振る舞いが観察される。研究代表者の杉本と研究分担者の青沼は、集団に属する個体の振る舞いに着目したところ、各個体の攻撃性は密度に応じて異なり、また個体間の距離も密度に応じて異なることに気づいた。過密の状態では、集団に属する個体は十分な距離が取れないが、どの個体も攻撃性が抑えられる傾向があり、密度が低くなるにつれて攻撃性を増して他個体に対して攻撃する個体が見れるのである。また、興味深いことに、集団内で闘争が起こった結果出来上がった優劣関係は、有意な個体を取り除くと劣位の個体が攻撃性を増して新たな優劣関係が集団内に生じて全体的な秩序が維持される。このようなコオロギの集団内での行動を観察する中で、集団サイズに応じたコオロギの闘争性に着目することで、集団のソーシャルディスタンスが安定した状態で維持される原理が明らかにできると考えた(図1)。

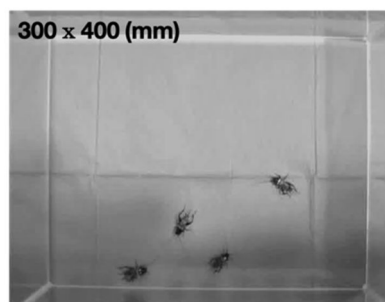
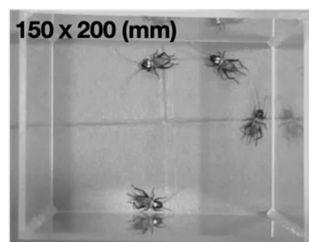


図1 集団サイズに応じたコオロギのソーシャルディスタンス

2. 研究の目的

動物の闘争行動は普遍的にみられ、これまでに多くの動物種で研究がなされ、発現メカニズムについての通性が報告されている。例えば、行動観察実験が比較的容易なコオロギでは、雄は、餌・縄張り・配偶者などの資源を争い激しい攻撃を伴う闘争をし、どちらか一方の個体が退くと闘争は終結する。闘争経験は、記憶として維持され、その後の振る舞いに影響する。勝者は攻撃性を維持し、他者に遭遇すると攻撃行動を発現し、敗者は攻撃性が急激に減衰して他者を避ける振る舞いを見せる。そして個体間に優劣関係が構築される。闘争行動は2個体間で局所的に発生するが、局所的な闘争行動が群れの中で複数生じることで、各個体が総当たりしなくても全体の優劣関係が構築される。その結果、各個体が他個体との距離、つまり、群れにおける動的なソーシャルディスタンスを適切に保つような安定な状態が生成される。これらは、**各個体が局所的な相互作用を通じて自律的に行動することで、全体の挙動が自律的に調整されるメカニズムが、昆虫の行動原理に埋め込まれていることを示している**。そのメカニズムがどうなっているかは、生物学的だけでなく工学的にも興味深いテーマである。そこで本研究では、コオロギが個体間の局所的な相互作用を通じて、どのようにしてソーシャルディスタンスを適切に保つ安定な状態を生成しているのかを明らかにすることを目的とする。ここで得られた結果は、集団の秩序形成における闘争行動の役割を解明するとともに、大規模で複雑な人工システムに対する新規でシンプルで自律分散制御則を提案することに繋がる。

3. 研究の方法

本研究では、群れの中の闘争行動の観察や行動解析、闘争前後のコオロギの神経や筋活動の計測、攻撃性の調整に大きな役割を果たしていると考えられる脳内神経生理活性物質である一酸化窒素やオクトパミン、セロトニンなどの生体アミンの計測、といった従来用いられてきた生物学的アプローチに、闘争行動に人工物を用いて外部から介入するという工学的アプローチを組み合わせ研究を推進する。そのために、研究代表者の杉本(専門:ロボティクス,制御工学)と研究分担者の青沼(専門:生物学)、および研究協力者1名で研究組織を構成する。杉本は、研究全体の総括、ロボットの設計、介入実験、数理モデルの構築を担当し、青沼はコオロギの神経生理学実験(筋活動の計測)や及び脳内物質の計測を担当する。研究協力者は介入実験の補助を行う。

本研究のポイントは、闘争行動に人工物を用いて外部から介入するという方法を用いる点にある。これまで、動物の闘争性の発現メカニズムを理解するための研究の中で、コオロギと同様の同スケールの小型移動ロボットを用いて、コオロギと対戦させる実験系が提案されてきた。闘争行動は、どちらか一方の個体が退くと闘争は終結するため、ロボットを用いてコオロギと闘争させた際、相手が引くまで攻撃を続ければ相手を負け個体に、早々に引けば相手を勝ち個体にする事が可能である。このように、人為的に闘争行動に介入し、群れとして安定な秩序形成を誘引

あるいは阻害する。そこで、小型移動ロボットとコオロギと対戦させる実験系を拡張し、その実験系を用いて、闘争行動前後に外部から介入することで、コオロギが意図しない挙動を作為的に作り出すことが可能となる。その状況を用いることで、様々な群れの挙動を計測した上で数理モデル化し、動的システムとして安定性解析を行うことで、コオロギのソーシャルディスタンスを適切に保つ安定な状態を生み出すメカニズムを明らかにすることを旨とする。

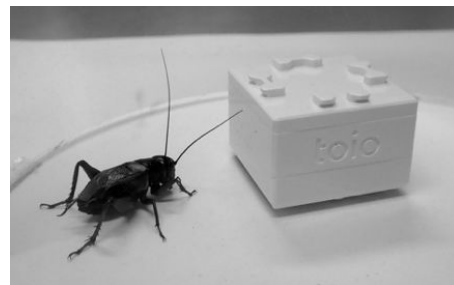


図 2 ロボットによる闘争行動への介入

4. 研究成果

コオロギを含む昆虫が見せる闘争行動に着目し、コオロギが個体間の局所的な相互作用を通じて、自律的な個体の行動がどのように集団全体の振る舞いに秩序を創発するかを明らかにすることを目的とした本研究の目的の達成に向けて、研究を行った。

まず、ロボットでの闘争行動への介入について、小型移動ロボットによる闘争行動介入用の実験システムを構築した(図3)。構築したシステムは、市販の小型ロボット toio (図2) と Python を用いることで、拡張性を十分もたせたシステムとした。toio は、SONY から発売されている小型移動ロボットであり、サイズは、31.8mm × 31.8mm × 25.6mm である。toio は、Python や Unity、JavaScript での SDK が公開されているため、オリジナルの制御プログラムの開発が容易となっている。従って、非常に使いやすく、拡張性も高い。操作用のプログラムは、公開されている Python のライブラリを用いて構築した。闘争の様子は、カメラで撮影し、キャプチャーボードを介して PC にリアルタイムに取り込む。PC への画像の取り込み、物体追従を含む画像処理、動画の保存のためのプログラムは、Python 版の OpenCV を用いて構築した。リアルタイムでの画像処理も行えるようになっており、コオロギ間あるいはコオロギーロボット間の距離もリアルタイムで取得できる。画像処理関係のプログラムは、toio 制御プログラムとマージし、toio の動作と画像処理を同期させることができるようにした。

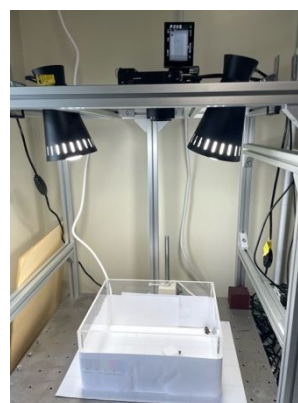


図 3 構築した闘争行動への介入実験システム

構築した闘争行動介入システムを用いて闘争行動への介入実験を行った(図4)。雄クロコオロギは、闘争して敗北すると、しばらく間、闘争性が低下し、他コオロギと遭遇しても闘争はせず、逃避行動を見ることが知られている。そこで、ロボットを用いたクロコオロギの闘争行動への介入の一例として、一度闘争に負けたコオロギとロボットを闘争させ、負けたコオロギの闘争性を再び引き上げることができるかを検証した。複数回実験したところ、負けコオロギとロボットとの闘争を誘発させることができると、そして、ロボットに勝った負けコオロギが、勝ちコオロギと再度遭遇した際、逃避するのではなく闘争することを確認した。つまり、ロボットによって負けコオロギの闘争性を変化させることができた、つまり、クロコオロギの闘争行動への介入が可能システムが構築できたことになる。また、勝ちコオロギ、負けコオロギ、ロボットの位置関係を解析することで、闘争経験に応じた社会的な距離が形成されるメカニズムの知見が得られると考えられる。



図 4 小型移動ロボット toio による闘争行動への介入実験

また、コオロギの闘争では、勝敗が着くと勝ち個体は攻撃性を維持し、敗者は長時間攻撃性を減衰する。この攻撃性の減衰は、負け効果と呼ばれる。この負け効果から回復するメカニズムについて調べたところ、負け効果からの回復には、他個体との接触刺激のほか、視覚刺激が重要な鍵を握ることが示唆される結果が得られた。一方、コオロギの闘争行動は、非常に素早い動きである。相手がどのような体勢かを認知し、その状態に応じた動きで有効な攻撃をしかける。この運動様式を解析するため、高速度カメラを使って闘争行動を撮影し、勝者となる個体の運動解析を行なった。その結果、コオロギの攻撃個体は、相手を突き上げるようにジャンプしながら弾き飛ばす動きをすることがわかった。この実験から、敗者がどのような刺激を近くすることで、攻撃を中止し、撤退するののかについての知見が得られた。このことから、勝者と敗者における、闘争経験に応じた社会的な距離が形成される生理学的なメカニズムについての重要な知見も得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 Aonuma H., Naniwa K., Sugimoto Y., Ohkawara K. and Kagaya K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Embodied latch mechanism of the mandible to power at an ultrahigh speed in the trap-jaw ants <i>Odontomachus kuroi</i> wae	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1242/jeb.245396	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 -

〔学会発表〕 計3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, 中西 大輔, 大須賀 公一
2. 発表標題 動的量子化器による McKibben 型空気圧アクチュエータの張力制御
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akihisa Murata, Kanako Takemoto, Hitoshi Aonuma
2. 発表標題 Quantitative analysis of the fighting behavior in the cricket
3. 学会等名 日本比較生理生化学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田 彰久, 竹本 夏奈子, 青沼 仁志
2. 発表標題 コオロギの種内闘争における攻撃の運動解析
3. 学会等名 第35回自律分散システムシンポジウム
4. 発表年 2023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)	神戸大学・理学研究科・教授 (14501)	

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
---------	---------