

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540118

研究課題名(和文) コオロギと移動ロボットのマルチモーダル相互作用による配偶行動メカニズムの理解

研究課題名(英文) Understanding of Mating Behavior Mechanism of Cricket based on Multi-modal Interactions by utilizing Mobile Robot

研究代表者

川端 邦明 (Kawabata, Kuniaki)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究基盤創生センター・副主幹

研究者番号：90301754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：クロコオロギへ実スケールでの相互作用を実現するための行動実験系として小型移動ロボットを用いた体表フェロモン提示や小型スピーカによる音声提示を行うための技術開発を行った。開発したロボットの行動アルゴリズムによってオンラインで連続的な相互作用実験を実施し観察することで、配偶行動に関する性質について理解が深まった。また、小型スピーカによる音声提示を実施することで音源定位行動のパターンについて調べた。さらに、フェロモン刺激により脳内生体アミン活性の恒常性が維持されることが明らかになったとともに、配偶行動のトリガとなる誘引歌に対して反応する生体アミン種について理解が深まった。

研究成果の概要(英文)：The subject of this research is the investigations for understating the mating behavior of the crickets by integrated approach with the robotics and neurophysiology. In this research, we developed an interaction system in the same scale with the cricket by utilizing a mobile robot that can realize the pheromone and the song presentation. By the pheromone interaction experiments with developed robot's behavior algorithm, the understanding to the mating behavior of the cricket was deepened. Sound source localization behavior was also observed by the experiments with the devices that can play recorded calling song arbitrary. The changes of the biogenic amine in the cricket's brain by pheromone stimuli and its homeostatic characteristics were investigated. W also investigated how the biogenic amines in the crickets' s brain respond to the calling song of the crickets.

研究分野：システム工学

キーワード：昆虫 相互作用 適応メカニズム 移動ロボット

1. 研究開始当初の背景

昆虫は一般的に、フェロモンの受容に基づいて実時間で特定の行動パターンに切り替えている。またその行動は経験や生育環境によってもその傾向が変容することが報告されている。この行動切り替えは微小脳により実時間で行われており、その原理を理解・解明することは、生物の適応機構を理解する上で重要である。我々はこのような課題に対して、これまでにクロコオロギにおける行動切り替えを対象に、適応的な行動が発現する際の神経生理機構について、神経伝達・修飾機構の側面から研究を行ってきた。闘争経験が個体の内部状態を変化させ表出する行動を変容させることや、その変化には一酸化窒素や生体アミン等の神経修飾物質の働きが関与することを突き止めている。またこれらの知見に基づいて、クロコオロギの闘争行動発現について動的モデリングを行い、計算機シミュレーションにより、その妥当性を確認している。さらに、クロコオロギに対してフェロモンを塗布した移動ロボットを利用して相互作用実験を実施する手法や基礎的プロトタイプの研究開発を行ってきた。また、オンラインでの視覚追従や計測による相互作用実験時の行動動画データや移動軌跡データの記録や保存をオンラインで行う手法について基礎的な仕組みを構築している。

関連研究として、Halloy らによる研究報告 (Science 2007, 318: 1155-1158)があるが、ロボットでゴキブリを集合させ社会行動の進化を理解する目的が強く、社会行動の神経生理機構の理解には至っていない。また、Krause ら (Trends in Ecology & Evolution 2011, 26: 369-375) により指摘されているように、個体間相互作用により発現する適応行動の理解のために、移動ロボット制御技術を用いたアプローチによる行動実験と神経修飾物質分析の観点から総合的に行動発現機構を理解していくことは重要なアプローチである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、昆虫と実スケールで能動的に実験条件を操作・調節可能な相互作用実験系を用いて適応的な実時間行動切り替えに関わる情報処理機構を生工融合のアプローチで理解することである。昆虫は入力刺激に対する行動発現の連関について研究が進められている対象であり、近年では行動切り替えが経験や文脈、環境等により可塑的であることが報告されている。つまり、相互作用の手続きや情報の文脈的統合が適応的な切り替えに必要不可欠であるといえる。そこで、本研究では昆虫に対してマイクロ移動ロボットによる実スケールでの音と化学刺激による相互作

用実験と神経活動に関する分析を実施し、行動切り替え機構の性質について理解を深める。本研究では特に、クロコオロギの配偶行動を対象に研究開発を行う。

3. 研究の方法

クロコオロギを対象に配偶行動のメカニズム理解のための研究として以下を実施した。

(平成 25 年度)

クロコオロギと音や化学刺激による相互作用を小型移動ロボットによって行うための基礎となる、俯瞰カメラから取得した画像に対してオンラインで画像処理を施しながら小型移動ロボットの遠隔制御を実現するための各要素機能について研究開発を行う。音刺激については、コオロギ・スケールの移動ロボットへ搭載可能なサイズで、事前に録音したコオロギの鳴き声を再生するための小型スピーカ装置を開発する。また、化学刺激については、体表フェロモンを提示するために、ロボット本体にクロコオロギの体表フェロモンを添付することで実現する。また昆虫の配偶行動の動機付けには脳内の生体アミン類、特に、生体アミンのセロトニンやオクトパミン、ドーパミンが重要で、特にドーパミンは卵巣の発達や交尾行動の発現などにかかわると考えられている。そこで、クロコオロギの脳内でははたらくドーパミンについて理解を深めるために、ドーパミンの合成や代謝にかかわる酵素、ドーパミン受容体等の遺伝子の同定を行う。

(平成 26 年度)

前年度研究開発を行った相互作用実験を行うための遠隔制御される小型移動ロボット遠隔制御系を用いて、クロコオロギに対して刺激提示する手法について研究開発を行う。ここでは、対象として、小型移動ロボット 1 台とクロコオロギ 1 個体間での相互作用による配偶行動について研究を行う。遠隔制御用の計算機を用いて、小型スピーカより任意のタイミングでクロコオロギの鳴き声を再生するソフトウェアの開発を行う。また前年度に開発を行った画像処理により得られたデータ(位置、速度)に基づいて相対状態(距離や姿勢)を推定し、小型移動ロボットを連続的かつ周期的に遠隔制御するための制御アルゴリズムおよびソフトウェアの開発を行う。

また、個体密度の増加に伴って脳内のドーパミンとセロトニンの量が変動することをコオロギと同じバツタ目のサバクトビバッタの行動生理学実験を実施する。

(平成 27 年度)

前年度までに構築した小型移動ロボットの遠隔制御システムを用いた基礎的な制御実験・試行の結果をふまえて、小型移動ロボットを遠隔操作することで実スケールでの音およびフェロモンによる刺激をクロコオロギに提示することで相互作用する実験を行い、クロコオロギの反応を観察する。またクロコオロギの行動切り替え神経機構解明のために行動生理実験を実施した。コオロギの配偶行動では、オスの誘引歌に対して音源にメスが定位するため、配偶行動の初期ではメ스에配偶者を選ぶ選択権があると考え、オスの誘引歌に対して定位するかしないかについて実時間でメスが意思決定する脳の働きに注目し、誘引歌を聴かせた前後で脳内アミンの量的な変化を計測する。

4. 研究成果

計算機によって指定された制御コマンドを赤外線無線通信デバイスにより送信することで小型移動ロボットを遠隔制御すると同時に、行動計測・記録のための俯瞰カメラ画像に基づいてクロコオロギおよび小型移動ロボットをオンライン検出する手法を開発し、これらを統合することで、相互作用実験を実施する遠隔制御システムが構築された(図1)。本研究では、開発システムを用いたオンラインでクロコオロギと小型移動ロボット間の相対位置・姿勢を推定し、小型移動ロボットの動作を制御するプログラムを実装した。基礎的な相互作用実験により、実験を行った。開発システムを用いた雌クロコオロギへの雄フェロモン刺激提示による基礎的な相互作用実験から、開発した遠隔制御系とオンライン画像からの計測データに基づいた動作パターン・アルゴリズムを用いて雄・雌クロコオロギ同士と同等の振る舞いを引き出すことが確認できた。一方、音刺激については、録音音声の再生用のコオロギサイズの小型スピーカから、開発した音声再生プログラムにより、あらかじめ録音したコオロギの鳴き声を遠隔操作によって選択し、再生することで試みた。これを用いた基礎的な実験により、雌クロコオロギがスピーカから再生した音声に対しても、雄クロコオロギの鳴き声に対するのと同様の音源定位行動を示すことを実験により確認した。また、小型スピーカから繰り返し鳴き声を出力した実験により、音源定位の際の行動パターンや反応について観察・記録することが可能となった。

また、相互作用実験を行う事で、これまでの研究過程において得られた知見に基づいて小型移動ロボットの行動制御アルゴリズムを設計・実装し、コオロギと自動的な相互作用実験を試行した。実験には異なる小型移動ロボットの行動パターンを用意することで、コオロギの行動を任意に誘導する可能性

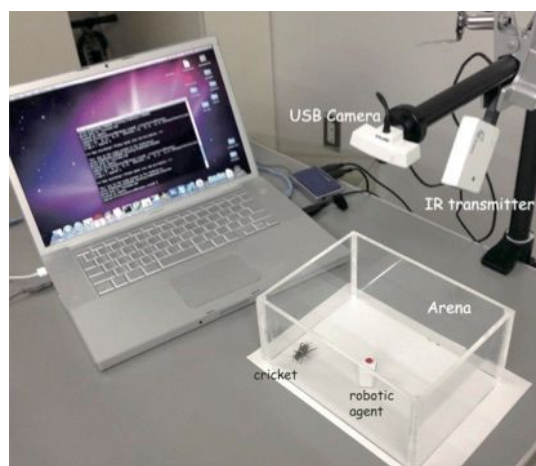


図1：小型移動ロボットを用いた相互作用実験を実施するための遠隔制御システムの外観

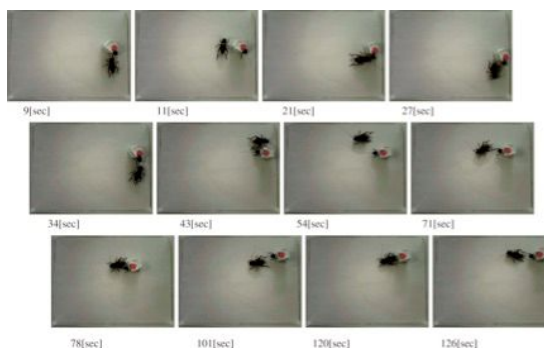


図2 開発システムによる雄クロコオロギと雌フェロモン添付ロボットによる相互作用実験の様子

について検証した。この実験により、長時間の相互作用実験を実施することでコオロギの反応の時間変化について観察を行い、短期的な反応とは異なる場合があることを明らかにした。

さらに実験により、闘争行動は勝敗が決まるとしばらくは発現しなくなるが、配偶行動は交尾(精包の受け渡し)が完了しなければ繰り返し発現することがわかった(図2)。これらの知見は、生物(クロコオロギ)間での行動実験では観察が難しく、本研究でとったアプローチのように能動的に制御可能なロボットを実験系に導入したことによって得られたものである。今後は、本研究開発で得られた手法や知見を基にしてより多様な相互作用行動実験系として発展させることで、クロコオロギの行動切り替えメカニズムについての理解の深化につながることを期待される。

これまでの研究においてセロトニン関連遺伝子の同定は既に終了していたが、ドーパミン

ン関連遺伝子について本研究によって、新たな知見として得られた。

一方、これらの生体アミン類は、種を超えて類似の働きがある。バッタ目のバッタとコオロギで個体間の相互作用に対して脳内の生体アミン活性の恒常性が維持されることを確かめたことで、脳内の生体アミン類の働きに対する理解が深まった。メスコオロギにオスの誘引歌を聴かせ、その時の脳内神経修飾物質の生体アミンについて、高速液体クロマトグラフィー法を使い定性定量的に調べたところ、セロトニンやオクトパミンでは変化が見られなかったが、ドーパミンとチラミンの量が増加する傾向にあった。このことから、配偶行動の発現には脳内のドーパミンやチラミンが配偶行動の誘発に関与することが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4件)

Newland P.L., al Ghamdi M., Sharkh S., Aonuma H. and Jackson C.W. (2015) Exposure to static electric fields leads to changes in biogenic amine levels in the brains of *Drosophila*. *Proc. Roy. Soc. B.*, Vol. 282, doi: 10.1098/rspb.2015.1198.

Alessi A.M., O'Connor V., Aonuma H. and Newland P.L.(2014) Dopaminergic modulation of phase reversal in desert locusts, *Front. Behav. Neurosci.*, Vol.8, 371., doi: 10.3389/fnbeh.2014.00371.

Watanabe, T., Sadamoto, H., and Aonuma, H., (2013) Molecular basis of the dopaminergic system in the cricket *Gryllus bimaculatus*, *Invertebrate Neuroscience*, Vol.13, pp.107-123., doi: 10.1007/s10158-013-0153-1

Kawabata, K., Aonuma, H., Hosoda, K., Xue, J.,(2013) Active Interaction Utilizing Micro Mobile Robot and On-line Data Gathering for Experiments in Cricket Pheromone Behavior, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.61, pp.1529-1538, doi: 10.1016/j.robot.2013.04.021

[学会発表](計 4件)

Kawabata, K., Aonuma, H., Hosoda, K., Xue, J.,(2014) Experimental Study on Robotic Interactions to the Cricket, *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp.949-954 発表年月日: 2014年12月5日~2014年12月10日(Bali, Indonesia)

Aonuma, H. (2014) Systematic understanding adaptive behavior- modeling of group si

ze dependent aggression-, ICN2014 satellite programs/Hokkaido Neuroethology Workshops 発表年月日:2014年7月24日~2014年7月27日(北海道大学(北海道札幌市))

川端 邦明, 青沼 仁志, 杉本 靖博, 細田 耕, 薛 建儒(2014) 個体間相互作用から学ぶコトミメティクス-昆虫-ロボット相互作用系による行動実験-,第26 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp153-156 発表年月日: 2014年1月23日~2014年1月24日(東京大学山上会館(東京都文京区))

Kawabata, K., Aonuma, H., Hosoda, K., Xue, J.,(2013) Controlled Interaction with the Cricket based on On-line Pose Estimation of Mobile Robot, *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp.1347-1352 発表年月日: 2013年12月13日(Shengzhen, China)

[図書](計 0件)

[産業財産権]
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

川端 邦明(KAWABATA KUNIAKI)
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門・福島研究基盤創生センター・副主幹
研究者番号: 90301754

(2)研究分担者

青沼 仁志(AONUMA HITOSHI)
北海道大学・電子科学研究所・准教授
研究者番号: 20333643

(3)連携研究者

なし