

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：62615

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06830

研究課題名(和文)動物行動の定量データ取得アルゴリズムの開発と順位行動の長期動態解析

研究課題名(英文)Development of algorithm for quantitative data on animal behavior and analysis on long term behavior

研究代表者

阿部 真人(Abe, Masato)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任研究員

研究者番号：60758027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、社会性昆虫アリである沖縄産トゲオハリアリ(Diacamma sp.)を対象に、各個体の胸部にバーコードタグを接着剤で貼り付け、画像解析するソフトウェアを用いることにより、コロニー(巣)内の全個体の位置・向き情報を1秒1コマの高い時間解像度で長期間取得する実験システムを室内において構築した。そこから、社会性昆虫がどのように統合され、集団的な秩序を形成しているかの一端を明らかにした。また、動物行動における探索行動の理論研究をすすめ、性的二型が進化する条件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research project, I focused on social insects, Diacamma sp., and constructed an experimental setup that the position and angle of each individual can be observed at 1 frame per second by attaching tags on ant individuals and using tracking software. Then, I revealed how the colony can be integrated and can exhibit collective behavior. Furthermore, I theoretically analyzed searching behavior in animals and clarified the condition for evolution of sexual dimorphism in searching behavior.

研究分野：行動生態学、複雑系科学

キーワード：社会性昆虫 社会ネットワーク 個体間相互作用 動物行動 探索行動

1. 研究開始当初の背景

動物の最も顕著な特徴は空間の中を移動することである。移動することによって、餌探索や天敵回避、他個体との相互作用が可能となるため、移動は個体の生存において最も重要な役割を果たすといえる。古くから動物がどのように移動するのか、という問いは多くの動物行動学者を魅了してきたが、多くは目視観察によるものであり、定量データによる動物の移動の仕方の理解は進んでこなかった。しかし、近年、コンピュータの計算速度の向上と画像処理技術の発達、高性能カメラが安価になったことにより、動物の行動を動画として記録し、コンピュータで解析することで動物の行動を定量的に解析する分野 (computational ethology) が発展しつつあり、行動生態学から神経行動学といった幅広い分野で注目されている。

2000年以降、このような画像処理の技術等 (他にはGPS等の計測器具がある) を用いて、昆虫から鳥、哺乳類を対象に1個体の位置情報を取得 (以後、トラッキングという) することが行われてきた。例えば長期間トラッキングすることにより、動物は Lévy walk と呼ばれる動き方を示すことが明らかになり、移動における最適採餌であることが報告され、動物行動学において大きなパラダイムとなった。

2. 研究の目的

先行研究として、Shimoji et al. (2014) は集団内の資源調整として重要な役割をはたす順位行動に注目し、トゲオオハリアリ *Diacamma* sp. の数十～数百の個体からなるコロニーにおける順位行動をネットワークとして解析した。その結果、じゃんけん関係の無い階層構造をもつことが明らかになり、この特徴的な構造の進化的意義について考察した。しかし、この論文の観測は目視観察によるもので、観測時間は20時間に限られていた。そのため、順位関係のネットワーク構造の時間的変化や、なぜこのようなパターンが形成されるかは未解明のままであり、それを解明するには長期観測は必要不可欠である。また、位置情報を取得できなかったため、コロニー内の位置と順位の間には明らかになっていない。本研究では、この問題に対し、集団行動に長時間適用できるトラッキングの手法、順位行動の自動検出手法の二つを開発することによって、トゲオオハリアリにおける順位行動の長期動態解析を行う。

3. 研究の方法

動物集団の各個体を観測しようとする、動画の一画面の中には複数個体が存在するため、各個体の同一性 (Aさん、Bさん、Cさんといったラベル) を維持したままトラッキングしなければならぬ。各個体の形状は同一

であることが多いため、二個体が重なるなどした後、ラベルを正しく維持することは困難である。特に、観測時間が長いほど、このようなエラーは積み重なっていく。このような問題に対し、先行研究ではアリの各個体に直接、QRコードに酷似したバーコードタグを貼るといった方法や、タグを張らずに個体 (魚) のサイズの差を検出し、ラベルを維持する方法が提案されている。しかし、前者はタグが紛失することが頻繁に起こりうること、タグがつけられる動物種が限定されるといった問題がある。後者には個体数が増えるとサイズの差の検出が困難になるという問題がある。そのため、トゲオオハリアリのトラッキングには適用不可能であった。そこで、数点、4色を個体に塗ることにより個体の同一性の問題を解決する。

動物集団の観測においてさらに重要な点として、相互作用の検出がある。これまでは位置情報をもとに相互作用が定義されることが主だったが、本研究では機械学習を用いて画像から相互作用を検出する手法を提案する。特に相互作用には通常、複数種類あることが報告されている。例えば触覚による接触や、噛み付くといった順位行動とただけでも、相互作用の意味合いが全く異なることがわかる。本研究では、これらの手法を適用することで多数の個体 (100個体～) のラベルを維持しながら、長期間 (数週間～数ヶ月) 位置情報を取得する。

本研究では、100個体以上の多数の個体からなる集団行動のトラッキングと相互作用の自動検出をするためのプログラムを画像処理ライブラリ OpenCV を用いて作成する。数週間から数ヶ月といった長期間、個体の同一性を保つためには、アリの各個体にマークを付けることは必須である。本研究では、各個体にエナメルマーカで色を塗布し識別する。

次に、アリ個体間の噛み付く・引っ張るといった順位行動特有の相互作用を検出するために、機械学習を用いて画像認識させる。画像認識の精度はアルゴリズムの発達によって年々向上しているが、中でも近年注目を集めている機械学習の一種である Deep Learning を用いることによって本研究課題を達成する。Deep Learning とは、多層のニューラルネットワークであり、現段階において画像認識で最も優れた手法であると言われている。人間が事前に分類したアリ個体間の相互作用の画像・動画を、コンピュータに学習させることにより (トレーニング) 動画の中から順位行動を識別し、いつ誰が誰に対して順位行動を行ったかのデータを自動取得させる。そのため事前に動画から順位行動の場面を画像として切り出す作業を行う。特に個体間の相互作用は静止画としてのデータが重要ではなく、動き方そのものが順位行動の検出に必要である可能性もあるので、画像の差分や、個体の加速度などをデ

ータとして用いることも考慮する。

トゲオオハリアリ *Diacamma* sp. の数十～数百個体からなるコロニーを長期間（数週間～数ヶ月）動画で録画する。次に、各時刻における各個体の位置(x,y)と、噛み付く・引っ張るといった順位行動特有の相互作用が起きた時刻とその相互作用に関わった二個体を特定する。これらのデータから、順位行動ネットワークは時間変化するのか、特に、Shimoji et al. (2014)では観測されなかったじゃんけん関係が、長時間では生じるのか否かを調べる。空間構造との関係の解析を行う。順位行動が起きる場所の分布・高順位が存在するコロニー内の場所を特定することにより、順位行動が起こるメカニズムについて考察する。また、順位ネットワークで高順位であることと、他の採餌や育児といった仕事との関連性を調べ、順位行動と分業の関係について考察する。順位行動の順番を解析する。例えばAがBに、AがCに順位行動をしたことによって、BがCに順位行動をするというパターンがある可能性がある。順位行動がランダムに発生するのではなく、他の個体との関係によって引き起こされるかどうかを調べる。時間を考慮したテンポラル・ネットワークとして解析する。これにより、重要なイベントとアリ個体を検出することができる。

4. 研究成果

本研究課題では、社会性昆虫アリである沖縄産トゲオオハリアリ (*Diacamma* sp.) を対象に、各個体の胸部にバーコードタグを接着剤で貼り付け、画像解析するソフトウェアを用いることにより、コロニー（巣）内の全個体の位置・向き情報を1秒1コマの高い時間解像度で長期間（数日間～）取得する実験システムを室内において構築し、データ解析を行った(図1)。これまで、動物の集団行動の研究において、このような時間的・空間的に解像度の高い大規模データを取得し、解析を行った研究は Mersch et al. (2013, Science) だけである。また、Mersch et al. (2013) では、観察データを取得し解析を行ったのみであり、操作実験を行っていない。一方、本研究課題では、コロニー内における仕事量としての卵・幼虫・蛹の量を操作することや、餌探索エリアにおける餌の導入、実験環境の明暗条件の変化など、操作実験も行っているため、社会性昆虫のシステムの理解にとって意義がある。また、個体間相互作用として特徴的な順位行動に着目し、データからどの個体間でいつ起きたかを抽出することを試みている。さらに位置と向きの大規模データから、個体間の接触ネットワークの解析や、非線形時系列解析を用いた各個体の活動時系列データから個体間相互作用の因果性検出、各個体の activity, inactivity の時間のベキ分布を解析した。

他に、動物の動きの理論構築として、探索行動における性的二型を生じさせる条件を導いた。また、ダンゴムシを用いて、動きのデータを取得し、Lévy walk を示すことを実験によって明らかにした。

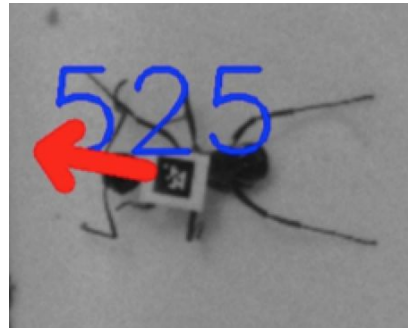


図 1. タグをつけたアリを自動でトラッキング

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 2 件)

Naohisa Nagaya, Nobuaki Mizumoto, Masato S. Abe, Shigeto Dobata, Ryota Sato, Ryusuke Fujisawa.

Anomalous diffusion on the servosphere: a potential tool for detecting inherent organismal movement patterns.

PLOS ONE 12(6): e0177480 (2017). 査読有り

Nobuaki Mizumoto, Masato S. Abe, Shigeto Dobata.

Optimizing mating encounters by sexually dimorphic movements.

Journal of the Royal Society Interface, 14, 20170086 (2017). 査読有り

[学会発表](計 3 件)

Masato S. Abe, Shin-ichiro Nakayama, Haruna Fujioka, Masakazu Shimada.

Detecting interaction patterns in ant society by cross-embedding method.

JSMB 2016, 8th September 2016, Fukuoka, Japan.

Masato S. Abe, Taro Takaguchi, Yuichi Yoshida.

Relationship between rank difference and aggressiveness in dominance hierarchy.
ISBE 2016, 31th July 2016, Exeter, England.

Masato S. Abe, Shin-ichiro Nakayama.
Identifying causal networks from time-series data of noise-driven dynamics.
NetSci 2016, 2th June 2016, Seoul, Korea.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 真人 (ABE, Masato)

国立情報学研究所・ビッグデータ数理国際研究センター・特任研究員

研究者番号：60758027

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()