

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：24506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650157

研究課題名（和文）

個体の行動を考慮したミツバチの社会性行動解析のための複数個体追跡システムの構築

研究課題名（英文）

Development of a tracking system of multiple honeybees based on individual behavior for analyzing their social behaviors.

研究代表者

木村 敏文 (KIMURA TOSHIFUMI)

兵庫県立大学・環境人間学部・助教

研究者番号：00316035

研究成果の概要（和文）：

ミツバチの個体行動を考慮した複数個体追跡システム K-Track の開発を行った。他の対象では見られない動きに対応したアルゴリズムを加えることにより、追跡率の向上を実現した。K-Track はフレームごとの位置、移動速度、移動方向と共に、2 個体間の距離、接触の自動検出も可能である。開発したシステムを用いて、実際の行動実験で用いる映像から実データの取得を行い、行動データを自動で取得すると共に、ミツバチの特徴的な動きの解析にも役立つことを示した。

研究成果の概要（英文）：

I developed a new system, K-Track, for tracking multiple honey bees simultaneously, based on individual behavior. The tracking accuracy of the system is improved by adding an algorithm corresponding to movements that other tracking object's may not have. The K-Track can extract not only the location, velocity and direction of movement, but also the distance between two individuals, and the detection of closing events. The system is effective against extracting many movement data of each individual from real experimental movies automatically, and analyzing the characteristic movements of honey bees.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：総合分野

科研費の分科・細目：情報学・生体生命情報学・生体情報

キーワード：生体生命情報学・ミツバチ・社会性昆虫・行動解析・生態画像解析

1. 研究開始当初の背景

von Frisch ら(1967)がミツバチのダンス言語を発見して以来、ミツバチの社会性行動と個体行動との関連性の解明は生物学の大きなテーマのひとつとなっている。例えば Seeley ら(1991)は、コロニー全体のミツバチ

採餌行動を解析するために、4,000 匹ものミツバチに個体識別番号をつけ、ミツバチの巣内外での行動特性を解析している。しかし、同様の実験で行うには手作業による個体の行動追跡に膨大な時間を必要とするため、その重要さが指摘されながらも、個体行動の詳細な解析はそれ以降ほとんど行われていな

いのが現状である。一方、コンピュータや映像機器の発展に伴い、社会性昆虫学分野においても、映像を用いた自動行動解析システムの開発が注目を浴びている。ミツバチの場合、Feldman ら (2003)、Khan ら (2004)、Veeraraghavan ら (2005) が画像のフィルタリング、状態遷移モデル、また専門家の行動解析見本を用いた行動解析を試みた。しかしながら、これらのシステムは自動的に行動の種類を分類するという情報工学的な立場からの開発であり、個体間で行われている相互作用といった生物行動学的な解析には至っていない。応募者はこれまでに観察巣箱内でのミツバチの個体識別システムを開発し、70%の個体識別に成功した (Kimura et al., 2008) が、これを用いた行動追跡プログラムについては個体の誤認識が多く、未だ 50%程度の個体追跡しか行えない状況である。そこで本研究ではミツバチのような昆虫に適用できる複数個体追跡システムを開発を行い、ミツバチの個体間相互作用や社会性行動のシミュレーションを行うための実データ取得を行うことを目指した。

2. 研究の目的

社会性昆虫であるミツバチは、集団として高い環境適応能力を持ち、効率の良いコロニー維持機構を持っている。ミツバチの社会性を解明するためには、「個々の個体行動」と「集団としての行動」という2つの観点から考えていく必要がある。どちらの観点も個体ごとの詳細な位置や行動に関するデータを取得し、解析することが必要である。個体追跡の研究は従来、人間や乗り物などで多く行われているが、ミツバチのように特徴がなく、数の多い複数個体での試みは多くない。人間や乗り物に使われている手法では昆虫には適用できず、新たな手法が求められている。

そこで本研究ではミツバチのような昆虫に適用できる複数個体追跡システムを開発を行う。観察巣板やアリーナのような実験装置内の平面におけるミツバチの個体間相互作用や社会性行動について、ビデオ映像を用いて観察を行うと共に、得られた映像からシミュレーションを行うための実データ取得する開発システムを開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 平面上の複数ミツバチの個体追跡システムの開発

2008年からグライツ大学 Crailsheim 教授の研究グループと共同研究で、個体追跡システム (Kimura et al., 2008, 2010) の開発を行っており、国際会議や国内学会、研究会で高い評価を得ている。追跡率に問題はあ

るものの、2011年度当初は現在のシステムを用いて、観察巣箱による実験、実験アリーナを用いた実験においてのミツバチの行動におけるデータ取得を行う。グライツ大学の研究協力者と共に実験・解析に必要な行動データ収集項目の検討や個体追跡システムの改良点を見つけ出し、迅速にプログラムの改良を行う。また、これまでは行っていなかった「原画像に対するノイズ除去やコントラスト調整などの前処理の導入すること」、「個々の個体の動きを予測するための直線行動予測やARモデルなどを導入すること」などの改良を行っていき、ミツバチの個体検出や追跡精度の向上を行い、安定したデータ提供を目指す。

(2) 個体間相互作用の解析のための実データ取得

個体間相互作用の解明は観察巣箱の映像から個々の個体の行動を手作業で解析を行い、個体間相互作用のモデル構築を試みている (Okada et al., 2010)。本研究では開発したシステムを用いて、個体の位置、移動方向、速度、向きに加えて、個体間の距離、個体の接触頻度や時間、接触後の行動の変化などのデータ取得が可能となった。様々な行動実験データから我々のシステムを用いて、データを実データを取得する実験を行い、結果を研究協力者と共に検討した。

4. 研究成果

(1) 平面上の複数ミツバチの個体追跡システムの開発

年度当初はこれまでに開発した個体追跡システム (旧システム) を用いて、研究協力者であるグライツ大学・Crailsheim 研究室で撮影された若いミツバチの行動実験 (図1) における個体追跡実験を行った。この映像は、温度勾配のある円形アリーナに複数ミツバチを放ち、行動を解析するために撮影されたものであった。この映像を旧システムで処理を行い、個体ごとの位置を取得し (図2)、移動軌跡を描くことができる (図3)。同時に、グライツ大学の研究協力者と実験・解析に必要な行動データ収集項目の検討や個体追跡システムの改良点について、ディスカッションを行いながら、システムの改良点を模索した。ミツバチの行動実験では、他の昆虫や動物の行動追跡を行った際に見られる動き以外の動きがあることがわかり、これらの動きに対応するための処理を加える、といった、システムの問題点を解決するための改良を行い、複数ミツバチ同時追跡システム、K-Track を開発し、追跡率の性能向上を実現した。また、K-Track はこれらのデータとともに、2個体間の距離の測定、接触・交差の自動検出を可能となり、行動研究における注目すべきシーンの自動検出が可能となった。

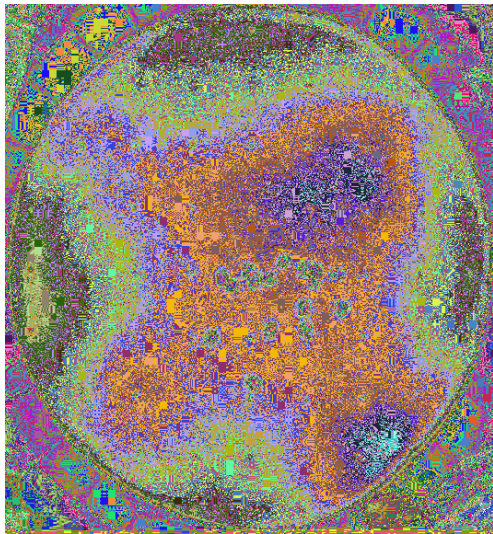


図1 アリーナにおけるミツバチ行動実験



図2 K-Track による個体追跡結果 (位置)

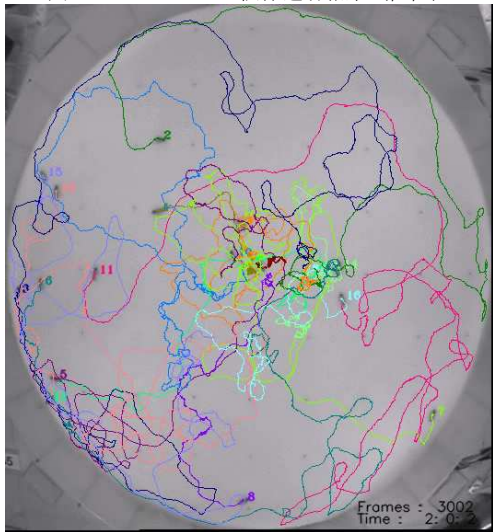


図3 K-Track を用いた個体追跡結果 (移動軌跡)

(2) 個体間相互作用の解析のための実データ取得

開発した個体追跡システムを用いて、ミツバチが観察巣板上を行動する映像や実験アリーナ上を行動する映像について、行動の実データ取得を行う実験を行った。

観察巣板映像では700頭以上いるミツバチの行動を短時間ではあるが追跡に成功し、その行動について、様々な特徴が見えた。我々のシステムでは、個々の動きがデータ化でき、視覚化できる。このため、まず1点目は特徴的な動き(例えば、8の字ダンス(図4))を検出し、その動きを自動でデータ化することが可能である(図4)。また、巣板全体の動きも把握することができ、巣板上でミツバチが激しく行動している個所の特定が可能となった。(図5)

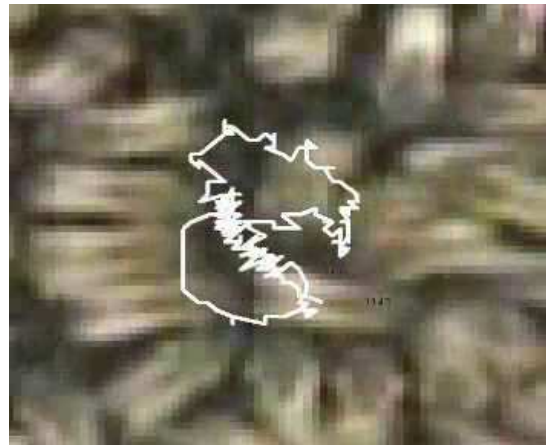


図4 観察巣板上のダンサー自動追跡結果

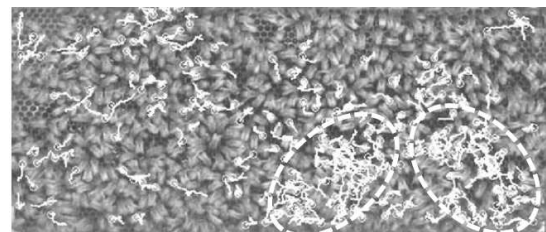


図5 巣板上でミツバチが活発な動きをしている場所の検出

アリーナ映像では、様々な数のミツバチがアリーナ上に放たれた映像について、実データ取得を開発したK-Trackで行った。個体ごとの位置や移動速度などの行動データを取得し、それぞれの個体ごとの動きに分解し解析することが可能となる。また、2個体間の距離や接触状態の検出も行った。接触シーンのみを集めて、解析し、5つの行動に分類できることがわかった(図6)。これらの動きで、他の追跡ソフトウェアでは考慮されていないと考えられる動きが2つある(図

6(c), (e))。1 つは図 6(C)のように正面から交差するパターンで、Passing である。もう 1 つは、交差する際に接触はするが、もう 1 個体が通り過ぎるのを待つパターンで、Waiting である。さらに、交差パターンではないが、他の実験では見られない現象として、個体が長時間、動かないような状態もミツバチは見せることがある。これらの接触パターンや個体の動きを考慮した追跡アルゴリズムを旧システムに追加した K-Track の追跡率向上につながった。

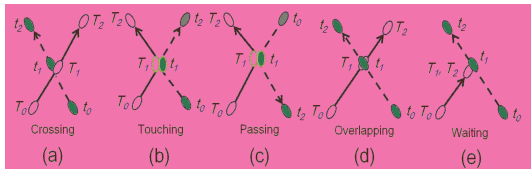


図 6 ミツバチの接触パターン

2つの実験から開発したシステムから実際のデータを用いて、実データを取得することが可能であることがわかった。これからのミツバチの行動実験における解析において、強力なツールに成り得ると考えられる。また、これらの研究結果を国際会議や学会では発表した際、多くの研究者から興味を持ってもらい、貴重なコメントをいただくことができた。その中でも、多くいただけるコメントは、ミツバチのみならず、他の昆虫や平面上を動く物体の行動追跡にも適用できるのではないかと、ということである。動物や昆虫の行動を研究している研究者の多くは、多くの映像から安定して、データ取得する方法を模索しており、本研究による発表がきっかけで、今後、国内外の研究者と共同研究を行い、ミツバチ以外の昆虫や平面上を動く物体の行動追跡への適用も行っていく予定である。

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)

1. Toshifumi Kimura, Mizue Ohashi, Ryuichi Okada, Hidetoshi Ikeno : A new approach for the simultaneous tracking of multiple honeybees for analysis of hive behavior, *Apidologie*, 42, 607-617 (2011) 査読有
2. Toshifumi Kimura, Mizue Ohashi, Karl Crailsheim, Thomas Schmickl, Ryuichi Okada, Hidetoshi Ikeno : Tracking of Multiple Honey Bees on a Flat Surface,

Proceeding of the 2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET-12), 36-39 (2012) 査読有

[学会発表] (計 3 件)

1. Ryuichi Okada, Hidetoshi Ikeno, Toshifumi Kimura, Mizue Ohashi, Hitoshi Aonuma, Etsuro Ito : Mathematical analysis of the honeybee waggle dance, 12th Symposium on Invertebrate Neurobiology, 2011/8/29, Hungary
2. 木村敏文, 岡田龍一, 大橋瑞江, Karl Crailsheim, Thomas Schmickl, 池野英利 : 平面アリーナ内における複数個体行動の自動追跡システムの開発, バイオイメージ・インフォマティクス ワークショップ2012, 2012/11/1-2, 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター (兵庫県)
3. Toshifumi Kimura, Mizue Ohashi, Karl Crailsheim, Thomas Schmickl, Ryuichi Okada, Hidetoshi Ikeno : Tracking of Multiple Honey Bees on a Flat Surface, The 2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET-12), 2012/11/5-7, イーグレ姫路・あいめっせホール (兵庫県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 敏文 (KIMURA TOSHIFUMI)

兵庫県立大学・環境人間学部・助教

研究者番号 : 00316035

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし