

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06118

研究課題名（和文）セイヨウミツバチからみたランドスケープ：養蜂環境の景観生態学的評価

研究課題名（英文）Landscape-scale evaluation of forage area in European honey bees

研究代表者

大久保 悟 (Okubo, Satoru)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・グループ長補佐

研究者番号：30334329

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：作物の花粉交配にも重要な役割を果たすセイヨウミツバチの飼育環境を景観スケールで評価・改善するために、採餌場所の特定や採餌活動の季節的变化を捉えることは重要である。採餌場所の特定に使われるミツバチの尻振り（8の字）ダンスを手動解読するには労力がかかりすぎるため、本研究ではリアルタイムに自動解読するシステムを開発し、比較的高い精度で、効率よく採餌場所の推定を可能にした。その結果、長時間、高頻度でのダンス自動解読による採餌場所推定が可能となり、必要餌資源に対応した、分蜂前後の大きな採餌行動の変化など、これまで明らかになっていなかったセイヨウミツバチの採餌行動を詳細に把握することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セイヨウミツバチの採餌場所推定に用いられる尻振りダンスの解読は非常に時間がかかっていたが、本研究で精度高くリアルタイムで自動解読が可能なシステムを開発した。比較的安価なシステム構成であるため、例えば養蜂家が単花蜜の情報として採餌場所を把握するのに使用できるなど、研究成果の社会実装が可能である。また、このシステムを用いることで長時間、高頻度で採餌場所の推定が可能になり、蜂群の要求資源量に応じた採餌範囲や採餌行動の時間的変動、大規模で好適な蜜源植物（例えばシロツメクサなど）がある場合の安定した採餌行動など、学術的にも意義深い知見の蓄積を行うことができた。

研究成果の概要（英文）：Waggle dances are an important resource for researchers and beekeepers understanding the foraging areas of honeybees. However, decoding these dances is time consuming. Here, we developed a real-time waggle-decoding system, consisting of a high-frame-rate camera and an edge-computing device, that was applicable to field apiaries of the European honeybees, *Apis mellifera*. Fast Fourier transform of each image pixel was used to detect the typical frequency of abdominal wagging in bees, and clumps of pixels potentially indicative of wagging candidates were then connected as a consequent waggle run by image morphological analysis. The two processes worked in real time. The overall accuracy of waggle-run detection in two video recordings was 50% to 82% of that for manually decoded waggle runs. Our results suggest that our real-time decoding method is comparable to, and is able to augment, manual interpretation.

研究分野：景観生態学

キーワード：セイヨウミツバチ 尻振りダンス リアルタイム解析 離散フーリエ解析 採餌範囲推定マップ

1. 研究開始当初の背景

明治に入り日本に導入されたセイヨウミツバチは、蜂蜜やローヤルゼリーの生産目的に加え、現在は、イチゴやメロンといった施設園芸作物や露地果樹などの花粉交配にも広く用いられている。農林水産省生産局畜産部(2018)によれば、平成29(2017)年における蜂蜜の生産額が57億円であるのに対し、花粉交配用の蜂群の生産額は15億円と推定されている。さらに、この花粉交配用のセイヨウミツバチが全く供給されなかった場合の農作物栽培への影響は大きく、1000億円程度の損益につながると申請者らにより試算されている(小沼・大久保, 2015)。

セイヨウミツバチは、通常、巣箱から数kmを行動範囲に、エネルギー源となる花蜜とタンパク源となる花粉を集めるために花々を訪れる。しかし、どこに生育するどの植物の花を資源として利用するかは季節によって大きく変化することから、実際の行動範囲、とくに採餌に利用される範囲を、季節を通して把握し、養蜂環境の状況を評価、改善していくことが重要である(Danner et al., 2016)。とくに、働きバチの脚につく花粉荷がほぼ同一の植物の花粉から成ることが知られているように、セイヨウミツバチは単一植物への訪花性が強く巣の近くの様々な花をランダムに訪花するわけではない(Decourtye et al., 2010)。効率よく資源が集められるように単一の花がある程度まとまって咲いているような場所を選択的に利用することから、大量に単一の花が咲く農地も含めて採餌範囲の評価が必要である。このため、ミツバチの飼育環境を通年で評価するためには、主な蜜源植物の分布を把握するだけでなく、季節毎に利用する様々な蜜・花粉源となる花資源の分布を明らかにする必要がある。しかし、蜂場周辺にある複数の土地利用からなる景観スケールで採餌環境を通年で評価した研究は限られており、ミツバチの育成環境、さらには送粉サービスの発現に大きく寄与する野生の訪花昆虫の生息環境の向上に必要な景観管理を検討することが困難となっている。

2. 研究の目的

本研究は、周辺土地利用の異なる養蜂場において、通年で採餌範囲の変化と蜂群の成長を重量変化で記録、植生図をもとに餌資源の潜在量評価を行う。これにより、蜂群の成長に影響する周辺植生・土地利用、その季節変動を明らかにし、蜂蜜生産や花粉交配用ミツバチ生産に適した周辺環境を評価することを目的とする。

季節ごとにミツバチが利用している花の種類を把握するのに、養蜂家は長年の経験に基づいており、蜜の色や香り、ミツバチの好む蜜源植物の開花や分布状況といった情報を活用する。しかし、ミツバチに必要な資源は花蜜だけでなく、とくにコロニーの成長には幼虫のタンパク源となる花粉も重要となる。近年、分子生物学的手法を応用して、蜂蜜に含まれるわずかな花粉や、花粉荷から遺伝子情報を抽出して植物種を特定することができるようになった(Richardson et al., 2019)。さらに、同じ種類の植物であってもどこに生育する花を利用しているかを把握するには、社会性昆虫であるミツバチ独自の情報伝達手段であるミツバチの採餌ダンスを利用する手法が用いられてきた。

このダンスは、花粉や蜜、水源など魅力的な資源のある場所を巣の仲間に伝えるもので、お尻(腹部)を左右に激しく振動させながら直進し、右回りでもどって再び直進、つぎは左回りでもどる動きをみせるため尻振りダンスや、ミツバチの動きを上からみたときにアラビア数字の8を描くことから8の字ダンスとも呼ばれる。このダンスには餌場の位置情報が極座標でエンコードされている。すなわち、鉛直上向き方向と腹部を振動させ直進しているときの頭の向きの角度が巣箱から太陽の方向と魅力的な資源のある場所の角度を表し、腹部を左右に振動させながら直進している時間がその場所までの距離を示している。このダンスを解読することで働きバチが魅力的と感じた花の場所を把握することができるが、これまでは人間による観察が不可欠で、ダンス情報の抽出には長時間の作業が必要であった。そのため、観察できる時間や巣箱の数には限界があり、採餌範囲の日変化や季節変化を複数の巣箱でとらえることは困難であった。本研究では、申請者により開発されたミツバチ採餌ダンスの自動解読手法を活用して、定期的に複数の巣箱で巣内を撮影した動画を効率よく解析し、これまで把握されていなかった採餌利用空間の日変化や季節変化、その周辺土地利用の違いによる変動を明らかにする。これは、申請者が開発した技術を使うことにより達成しうる画期的な学術成果となる。

また、ミツバチの蜂群成長には必要な季節に適切な餌量を確保することが重要であることが知られているが、蜂蜜生産を前提とした研究にとどまっている(Danner et al., 2017)。前述のように、我が国ではイチゴなど冬から春にかけて必要となる花粉交配用ミツバチの生産が産業上重要であるため、その生産に必要な必要餌量の季節性について管見では情報が無い。本研究は、通年でミツバチ蜂群の成長(重量変化)と採餌範囲、必要に応じた利用植物種の特定を行うことで、夏から秋にかけての蜂群成長に必要な資源条件を明らかにする。養蜂家の間では感覚として初夏を過ぎて秋までの夏場の餌資源が蜂群拡大に重要と言われているが、本研究ではその科学的裏付けを行うとともに、適切な資源量を確保する景観管理のあり方について言及する画期的な成果につながる。

3. 研究の方法

上記のように、本研究では、ミツバチの採餌ダンスから蜂群の利用する採餌空間を特定し、その季節変化、周辺土地利用の違いによる採餌距離や採餌利用土地利用の違いを明らかにする。実際の養蜂家の協力をいただき、周辺土地利用の異なる養蜂場4カ所(想定)でそれぞれ3つの蜂群を対象に、巣重量の変化を捉える重量センサーと巣内部を観察できる観察用巣箱を準備し、4月から10月までおよそ2週間間隔で採餌ダンスのビデオ撮影を実施、様々な景観における蜂群の成長と採餌空間の変動について解析を行う。その際、植生図から潜在的な資源量を季節毎に算出し、実際の採餌空間と重ね合わせて季節毎に重要な採餌空間の特定を行う。とくに夏から秋にかけて蜂群の成長を促進する要素を抽出し、採蜜だけではなく花粉交配用ミツバチの増産に必要な資源条件を明らかにすることを旨とする。

4. 研究成果

当初、周辺土地利用が異なる養蜂場を対象に採餌範囲の把握を予定していたが、新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から移動を制限し、所属する研究機構内の実験養蜂場を対象に、巣箱ごとの採餌範囲の違い、およびその季節と時間変化を明らかにすることとした。

まず、効率よく尻振りダンスを解読して採餌場所の情報を得るために、既存の解読システムの改良、解析時間をより短縮する手法開発を行った。高フレームレートの産業用カメラを用い、毎秒120フレームの動画を用いて離散フーリエ変換による尻振りダンス周波数を抽出することで大幅な解析時間の短縮と解析精度の向上を果たすことができた(図1)。また、GPU搭載の安価なエッジコンピューターを用いることで、巣箱内を撮影しながら即時に自動解読可能なリアルタイム解析システムを構築することができた(図2)。手動での解読結果と比較して、ダンスの検出精度やダンスから得られる情報(ダンス継続時間およびダンスの向き)についても精度が高いことがわかった。ただし、ダンスの継続時間が短いとダンスの向きの角度の解読精度が悪い結果となったが、ブートストラップ法により生成される採餌範囲の確率マップを手動解読と比較すると既存の解析プログラムより一致度が高くなった。このことから、後処理なくリアルタイムで採餌範囲を推定するシステムとして実用化の可能性が高くなり、特許出願を行った。

このシステムを用いて、上記実験養蜂場において3群を選定し、4月から10月までおよそ2週間間隔で、朝から夕方までの6時間の観測を行った。このシステムを用いることで、長時間、高頻度でのダンス自動解読による採餌場所推定が可能となり、これまで明らかになっていなかったセイヨウミツバチの採餌行動を詳細に把握することができた。一例に、分蜂前後で採餌行動が大きく変化することを明らかにした。具体的には、分蜂前の大きな蜂群の状態ではダンス回数が朝から夕方にかけて持続的に多く、採餌範囲も広がった一方で、分蜂後はダンス回数が午前中から昼ぐらいまで活発であるが、夕方になるとほぼダンスが確認されなくなり、採餌範囲も小さくなった。これは、分蜂後は蜂群の規模が小さくなるために、必要とされる資源量が少なくなり、それに合わせて働きバチの採餌活動が抑制されたと考察された。また、季節による採餌範囲や行動の変化も明らかとなった。初夏の大規模で好適な蜜源植物(例えばシロツメクサなど)がある場合には、終日採餌場所が変化しない傾向が確認できた。一方で、一般的に花資源が少ないと言われている8月は、採餌範囲のばらつきが大きく、その後、9、10月になると同じ採餌場所を示すと考えられるダンスが多くみられるようになり、かたまつた餌資源があること、その場合、午前中のダンス数が非常に多いのに対し、午後はダンス数も少なく、採餌距離も短い傾向が確認された。これは、大きな餌資源があると採餌効率が高いため、必要な資源が入手できた後は採餌活動が低下するためと示唆された。

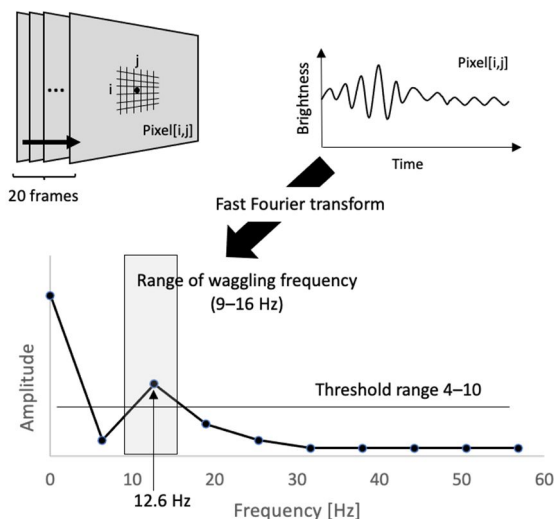


図1 高フレームレートカメラの動画データから離散フーリエ解析を行うことでミツバチの尻振りダンスに対応する画素変化を抽出する仕組み



図2 ミツバチ尻振りダンスのリアルタイム自動解読システムの外観

引用文献

農林水産省生産局畜産部. 2018. 養蜂をめぐる情勢.

<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/sonota/attach/pdf/2018yohomeguji.pdf>
(2019年9月24日確認)

小沼明弘・大久保悟, 2015. 日本における送粉サービスの価値評価. 日本生態学会誌 65: 217-226.

IPBES. 2016. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

Danner N, et al. 2017. Honey bee foraging ecology: season but not landscape diversity shapes the amount and diversity of collected pollen. PLoS ONE 12: e0183716.

Decourtye A et al. 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. Apidologie 41: 264-277.

Richardson RT et al. 2019. Quantitative multi-locus metabarcoding and waggle dance interpretation reveal honey bee spring foraging patterns in Midwest agroecosystems. Molecular Ecology 28: 686-697.

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 1件）

1. 著者名 大久保悟	4. 巻 12
2. 論文標題 セイヨウミツバチを水田における夏季の環境ストレスから守る	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農研機構技報	6. 最初と最後の頁 22-25
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Okubo Satoru, Shoji Atsushi, Kimura Kiyoshi, Morimoto Nobuo, Yoshiyama Mikio	4. 巻 56
2. 論文標題 Effectiveness of floral enhancement in reducing honeybee exposure to insecticides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 207～215
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13355-021-00727-9	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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大久保悟
2. 発表標題 ミツバチ8の字ダンス解読による採餌景観の時間変化
3. 学会等名 2020 年度日本造園学会全国大会ポスターセッション
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ミツバチ属行動解析システム、及びミツバチ属行動解析方法	発明者 大久保悟	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-163502	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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