

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11346

研究課題名(和文) 養蜂用巣脾画像からの育房状態の自動分類に関する研究

研究課題名(英文) Image-based analysis of brood condition in honey bee combs

研究代表者

長谷川 まどか (Hasegawa, Madoka)

宇都宮大学・工学部・教授

研究者番号：80322014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、養蜂用セイヨウミツバチの巣房状態の把握と生育管理への利用を目指し、巣脾を撮影した画像等から画像処理や機械学習等を用いて育房の状態を自動判別する方法とその関連技術の検討を行った。

本研究を通じて撮影を行った巣板の画像とアノテーションデータを使用し、CNN、SSD、および、Feature fusion SSDによる育房の検出と分類の方法を検討した。

また、ミツバチに寄生したヘギイタダニを計数する手法の検討では、ダニ寄生率の検査法の一つである自然落下法に着目し、巣箱の底に敷いた白紙上に落ちたダニを自動計数する手法を考案し、Androidアプリを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

養蜂では蜂巣の点検が人手で行われているが、作業に多大な労力を要しているため、ITを利用した点検作業の支援に期待が寄せられている。

本研究では、蜂巣の育房状態の把握の効率化を目的とし、巣脾を撮影した画像をAIで分析し、育房が幼虫やさなぎの生育、蜜や花粉の貯蔵等のどの状態にあるかを自動判別する手法を検討した。また、巣箱の底を撮影した画像から、ミツバチに寄生するミツバチヘギイタダニを検出し、自動計数する手法の検討も行った。これら手法を構築できたことで、ミツバチ大量死の原因究明と巣箱の日常モニタリングに役立てることが可能となり、養蜂業およびミツバチを利用する各種農業に貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)： The shortage of honeybee has become a problem. Although monitoring of honeycomb is important to prevent this problem, visual inspection by human requires long working hours. Therefore, it is expected to improve the efficiency of the inspection process by a computer-assisted approach.

In this study, we studied on the monitoring support system of honeybee nest. We have constructed a database of honeycomb and Varroa mite images to carry out the study. Using the images of the honeycomb taken through this study, we investigated the method of detecting and classifying cells by CNN, SSD, and Feature fusion SSD.

We also studied on the image-based measurement of naturally fallen Varroa mites. We developed an Android application and examined its performance. This application enables us to measure the mite parasitism rate with a smartphone or tablet.

研究分野：画像解析

キーワード：画像解析 ミツバチ 巣 機械学習 画像処理

1. 研究開始当初の背景

ミツバチは、蜜や蜜蝋の収穫だけでなく農作物の花粉交配にも利用されるなど、農業で重要な役割を果たしている。しかし、近年、ミツバチの大量死が報告されており、その原因究明や早期検知のため、コロニーのモニタリングの重要性が増している。

養蜂では、木箱を用いて蜂群を飼育する。各木箱には巣礎枠と呼ばれる長方形の木製の板が複数枚並べられており、各巣礎枠には巣礎と呼ばれる六角形の浅い巣穴を人工的に蜜蝋で形成した板が固定されている。ミツバチは、この巣礎の両面に体内から分泌した蜜蝋で育房を作り、卵、幼虫及びさなぎの生育や、蜜と花粉の貯蔵に使用している。この育房が完成したものが巣脾である。各育房の状態は時間経過とともに変化するため、定期的に各巣板のコロニーの成長過程の内検が行われる。蜜の貯蔵作業が進行途中で蓋の無い状態のものを蜜(無蓋)、蜂蜜の貯蔵作業が完了して蓋がされたものを蜜(有蓋)、幼虫がさなぎになり、育房に蓋がされたものを有蓋蜂児域と呼び、育房内に何も入っていない状態の育房を空洞と呼ぶ。図1に巣脾を撮影した画像と育房状態の例を示す。蓋があるのは、蜜(有蓋)と有蓋蜂児域の2種であるが、ミツバチ群の繁殖力や働き蜂の育児能力の指標に主に使用されているのは後者の有蓋蜂児域である。しかし、両者の色合いが似ていることや、巣板上で蜂の育成が繰り返されると当初クリーム色であった育房が変色し黒ずんでくることなどから、単純な色分布だけで両者を判別することは難しい。人間は、有蓋蜂児域が巣板の中央部に多く、蜜(有蓋)は周辺部に多い傾向があることや、有蓋蜂児の育房はわずかに盛り上がりが見えるという前提知識などをもとに、判別を行っている。このため、有蓋蜂児域面積の計測では、人為的に、巣板を撮影した画像に対してペイントなどの画像処理ソフトを用いて当該画素を塗りつぶす作業が行われていた。この作業後、塗りつぶした箇所の面積が、巣板全体の面積に占める割合を求めており、作業に多大な労力を要する。このことから、より効率よく大量のデータを処理可能な方式の開発が望まれている。また、有蓋蜂児域面積だけでなく、蜜領域や幼虫領域も自動的に判別できれば、蜜の収量予測や、蜂コロニーの健全性の正確な評価を行える可能性がある。

そこで、本研究では巣脾画像における蜂の巣の育房状態の自動分類を行う手法を開発し、巣のモニタリングに役立てたいと考えた。また、ミツバチの大量死の原因の一つに、ミツバチヘギイタダニの寄生があるが、このダニは成虫でも体長が1-2mmと非常に小さいことから目視での監視が困難である。そこで、画像解析により、巣板上のダニを検出する手法も開発し、より効率的な巣のモニタリングを目指す。

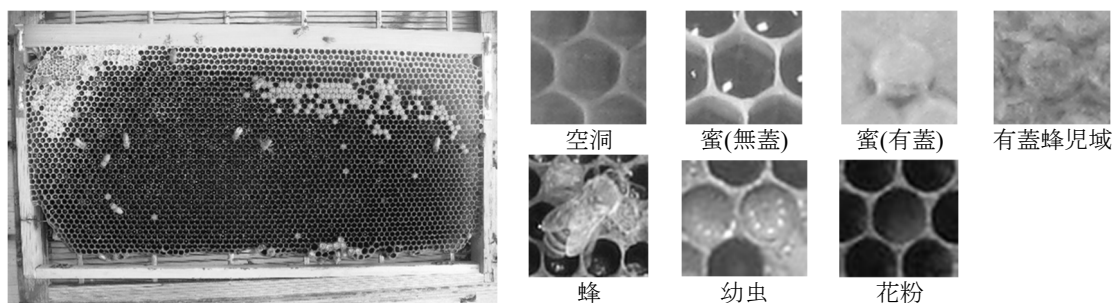


図1 巣脾画像(左)と育房状態の例(右)

2. 研究の目的

前節で述べたように、ミツバチは農業等で重要な役割を果たしている昆虫である。しかし、ミツバチの大量死が報告されており、コロニーのモニタリングの重要性が指摘されている。養蜂において、蜂巣の点検は目視で行われているが、防護服を着用して作業を行うため、視界が悪く、正確性にばらつきが生じている。このため、情報技術を利用した点検作業の支援に期待が寄せられている。

そこで本研究では、蜂巣の育房状態の把握と管理での使用を目的とし、養蜂用巣脾画像から育房の状態を自動判別する方法について比較、検討を行った。また、巣板や巣箱の底を撮影した画像から、ミツバチに寄生するミツバチヘギイタダニを検出し、自動計数する手法の開発と評価も行った。

画像による蜂巣の育房状態の自動分類とダニ検出手法を確立することで、ミツバチ大量死の原因究明と巣箱の日常モニタリングに役立てることが可能となり、養蜂業および花粉交配にミツバチを利用する農業の分野に貢献できると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、(1)ミツバチ関連画像データベースの構築、(2)育房状態の自動分類法の開発、(3)ミツバチヘギイタダニの自動計数法の開発、(4)画像のコントラスト調整方式の開発、の4点を実施した。以下、それぞれの方法について述べる。

(1) ミツバチ関連画像データベースの構築

まず、実験環境の構築と評価の基準となる正解画像を作成するため、養蜂用巣脾画像の撮影と、アノテーション作業を行う。巣脾の状態は、ミツバチの成育ステージ等によって異なるため、画像は撮影環境や季節を変えて種々撮影する。本研究で取り扱う巣脾には、おおよそ縦40個×横80個の計3200個の巣穴が配置されている。ミツバチは、この上に、育房を形成している。アノテーションでは、形成された育房の状態を画像上で着色し、以後の実験の正解データとして利用する。また、ミツバチヘギイタダニの画像も、撮影環境や季節を変えて種々撮影する。

(2) 育房状態の自動分類法の開発

育房状態の自動分類の方法として、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を使用し画素単位で分類する方法、育房の検出と分類をSSD(Single Shot MultiBox Detector)で行う方法、Feature fusion SSDで行う方法に着目し、パラメータやネットワークの構成を変更しながら比較を行う。また、分類クラスを、蜜(無害)、蜜(有蓋)、花粉、幼虫、有蓋蜂児の5クラスにする場合と、これに空洞や蜂も加えた7クラス分類にする場合についても検討を行う。

(3) ミツバチヘギイタダニの自動計数法の開発

ダニの自動計数法の開発のために、まず、このダニの色や形状特徴の統計量を収集し、ミツバチや巣板の特徴との違いを明らかにする。次に、ダニの検査法のうち、雄蜂児法と自然落下ダニ検査に着目し、これらの検査を支援する手法を検討する。各検査の様子を撮影した画像を用い、色変換とテンプレートマッチング、閾値処理を組み合わせた方式でダニ検出が可能かを明らかにする。なお、このようなアプローチをとるのは、将来的にカメラ内蔵のタブレット端末に実装することを考え、性能に制約がある環境でも高速に処理可能な方式にするためである。

(4) 画像のコントラスト調整方式の開発

育房の分類やダニの計数のためには、事前に画像の輝度やコントラストの調整が欠かせない。そこで、コントラスト強調後の色合いが自然であり、かつ、強調後の画像から強調前の画像を復元可能な手法の検討を行う。特に、画素値のヒストグラムを作成し、所望のコントラストに応じて平坦化する手法に着目して検討を行う。

4. 研究成果

前節で述べた方法による成果を以下にそれぞれ述べる。

(1) ミツバチ関連画像データベースの構築

画像解析の実験に使用するため、巣脾のみの画像、ミツバチの成虫も巣脾上に存在する画像、ミツバチヘギイタダニがミツバチ成虫に付着している画像、ダニがさなぎに付着している画像、巣箱の底に落下したダニの画像などを撮影し、集積した。現時点で合計約1千枚が集積されている。ただし、同じ被写体を、異なる光源やレンズ、フィルタで撮影したものも含まれる。本研究を通して、さまざまな生育ステージで、巣板の古さも種々異なる画像を収集することができた。また、育房のアノテーションデータも作成し、自動分類の実験用画像に利用できるようになった。

撮影には、Canon EOS Kiss X9 (6000×4000画素)、Lenovo Tab P11 Pro 内蔵カメラ (4160×3120画素)、マルチスペクトルカメラ (320×256画素)を使用した。なお、これらのうち、マルチスペクトルカメラは、屋外での巣脾撮影には不向きであり画像解析の実験に使用可能な画像を安定して撮影するのは困難であること、および、現状入手可能な機材は有効画素数が少ないことから、本研究の用途には不向きであることが分かった。今後の高解像度化、低価格化を待ち、再度、マルチスペクトル画像収集を行いたいと考えている。

(2) 育房状態の自動分類法の開発

研究初年度は、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて蜂巢画像における育房状態を画素単位で分類する手法を提案した。しかし、この手法は画素単位で分類を行っているため、一つの育房内に蜜と花粉など複数のクラスが混在してしまう問題があった。そこで、2年目は、育房の検出と分類をSingle Shot Multibox Detector (SSD)で行うことで、一つの育房内に複数クラスが混在するのを防ぐ手法の検討を進めた。この手法により、育房ごとに分類結果が得られるようになった。しかし、小さな幼虫が存在する育房では、蜜などの類似領域との誤分類や、幼虫が育房壁に隠れることなどによる検出漏れが発生することが明らかとなった。

そこで3年目以降では、SSDにおける小物体の検出と分類を行う浅い層の特徴マップに対して、物体の文脈的な情報を有する深層の特徴マップを合成することで小物体の特徴量を補強する Feature fusion SSD (FSSD) に着目し、分類精度の向上について検討を行った。ネットワークの構造やフィルタを種々変更して比較した結果、適切な特徴マップを合成すると、SSDを用いた場合と比較して、適合率が2.2%、再現率が2.5%、F値が2.6%、検出成功率が2.4%向上することが明らかとなった。この研究の成果は、第49回画像電子学会年次大会にて発表し、学会より研究奨励賞を授与された。なお、ミツバチが形成する育房の位置は、クラスによってある程度の傾向が存在し、学習や分類に用いるブロックごとの特徴量に傾向が表れることが予想されるため、今後は、次元間の関係を学習に活用できる SE-Blockなどを組み合わせたネットワークの検討を進める予定である。

(3) ミツバチヘギイタダニの自動計数法の開発

ミツバチヘギイタダニの自動計数手法の開発では、まず研究初年度に、ダニ検査法の1つである雄蜂児法の支援を目的とした手法を提案した。雄蜂児法では、1枚の巣板にできた蓋を切り、全ての育房から取り出したさなぎに寄生するダニを計数する。本研究では、この取り出したさなぎを静止画撮影して計数する手法を開発した。しかし、ミツバチのさなぎの眼や触角などの体の一部がダニと酷似しており誤判定される問題があった。

一方、もう1つのダニ検査法である自然落下ダニ検査では、巣箱の底に落下した巣層内に含まれるダニの死骸数を計測する。この検査法は、前述の手法と比べ、ダニの背景が平坦になる可能性が高く、画像処理と親和性がある。そこで、研究2年目以降は、自然落下ダニ検査を支援する画像処理手法の検討を行った。また、本手法を Android アプリケーションとして実装し、その性能評価も行った。図2にこのアプリケーションの出力画像の例を示す。画像中の赤い丸は、ダニが検出された箇所であり、黒い丸は画像補正のためのマーカである。ダニと巣層が区別されていることが分かる。本アプリケーションにより、スマートフォンもしくはタブレット1つでダニ寄生率を計測可能となった。実験により、適合率、再現率、F値の評価を行い、撮影距離や環境光の変動に対しても頑健にダニを検出できることを確認した。本研究の成果は、現在、学術論文誌に投稿中である。



図 2 ダニ計数アプリの出力例

(4) 画像のコントラスト調整方式の開発

蜂やダニを撮影した画像を解析する前段階の処理として、輝度やコントラストの調整は必要不可欠である。そこで、カラー画像のコントラストを可逆的に調整する手法の検討も行った。画像から画素輝度のヒストグラムを作成後、RGB各成分のヒストグラムを輝度値ごとに統合した新たなヒストグラムを作成し、その中央値を強調前後で維持することで、わずかな色相変化でコントラストと彩度強調の両立を実現できた。本研究の成果は、電子情報通信学会英文論文誌に採択された。

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 0件）

1. 著者名 長谷川 まどか, 高山 翼, 佐々 拓斗	4. 巻 56
2. 論文標題 画像解析技術を用いた養蜂支援	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 34-35
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rio KUROKAWA, Kazuki YAMATO, Madoka HASEGAWA	4. 巻 E105.D
2. 論文標題 Near Hue-Preserving Reversible Contrast and Saturation Enhancement Using Histogram Shifting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 54-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021MUP0001	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10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高山 翼, 長谷川 まどか
2. 発表標題 画像処理を用いたミツバチヘギタダニ検出スマートフォンアプリの実装と評価
3. 学会等名 第49回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々 拓斗, 長谷川 まどか
2. 発表標題 Feature-fused SSDを用いた蜂巣の育房状態分類に関する一検討
3. 学会等名 第49回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒川涼扇, 山登一輝, 長谷川まどか
2. 発表標題 可逆電子透かしを用いた準色相保存型カラー画像強調による輝度分布に偏りがある画像の視認性改善について
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々 拓斗, 長谷川 まどか
2. 発表標題 養蜂用巣礎画像の育房状態分類のための CNN 構成に関する一検討
3. 学会等名 第 48 回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高山 翼, 長谷川 まどか
2. 発表標題 テンプレートマッチングを利用した雄蜂さなぎ画像におけるダニ検出
3. 学会等名 第 48 回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 大輝, 長谷川 まどか
2. 発表標題 SuperPixel と色特徴を用いたヘギイタダニ領域検出に関する一検討
3. 学会等名 第 48 回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 大輝, 川島 美沙貴, 篠田 一馬, 長谷川まどか
2. 発表標題 CNN による蜂巢画像の育房状態の自動分類に関する基礎検討
3. 学会等名 第47回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川 領祐, 長谷川まどか
2. 発表標題 輝度値の出現頻度を考慮した電子透かしによる可逆なコントラスト強調
3. 学会等名 第47回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川 領祐, 長谷川まどか
2. 発表標題 輝度分布の中央値を考慮した電子透かしによるカラー画像の可逆コントラスト強調
3. 学会等名 画像関連学会連合会第6回秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rio Kurokawa, Madoka Hasegawa
2. 発表標題 A Color Image Enhancement Method Using Digital Watermark
3. 学会等名 10th International Workshop on Image Media Quality and Its Applications (IMQA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020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	篠田 一馬 (Shinoda Kazuma) (50639200)	宇都宮大学・工学部・准教授 (12201)	

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