

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11931

研究課題名(和文) 養蜂支援を目的とした画像処理技術開発に関する研究

研究課題名(英文) Development of image processing algorithm to assist beekeeping

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) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、画像処理技術を養蜂用セイヨウミツバチの生育管理へ役立てることを目的としている。特に、巣板を撮影した画像から、育房の分布やハチの個体数を計測する手法の検討を行った。本検討において、セマンティックセグメンテーションによる手法、および、SSDなどを利用して物体検出と分類を同時に行う手法を開発した。

また、巣箱内部を撮影した画像などからミツバチヘギイタダニの寄生状況を自動計測する手法の検討も行った。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計測する方法を検討し、Androidアプリを開発した。また、蜂の背に寄生したダニを検出する手法も検討した。

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を利用した作業支援に期待が寄せられている。

本研究では、蜂巣状態の把握の効率化を目的とし、巣板を撮影した画像をAIで分析し、巣板上の幼虫、さなぎ、蜜などの分布を計測する手法や、巣板表面に密集するハチ個体を計測する手法を開発した。さらに、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、自動計測するアプリの開発も行った。これら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 purpose of this study is to apply image processing technology to the management of honeybee colonies. Specifically, we studied on methods to measure the distribution of brood cells and the number of bees from images of honeycombs. In this study, we developed techniques using semantic segmentation and methods using SSD (Single Shot MultiBox Detector).

Additionally, we studied on automatic measurement methods for Varroa mite infestation from images taken inside the hive. Focusing on the natural fall method, a type of mite infestation rate inspection, we investigated a method to count mites that fell onto white paper placed at the bottom of the hive and developed an Android application for this purpose. We also examined methods to detect mites parasitizing on the bees' backs.

研究分野：画像工学

キーワード：画像解析 ミツバチ 巣 機械学習 画像処理 ヘギイタダニ

1. 研究開始当初の背景

セイヨウミツバチは、農作物の花粉交配に利用されており農業で重要な役割を果たしている。ミツバチが不足すると農作物の品質や収量に大きな影響を及ぼす。近年、ミツバチ不足がたびたび問題となっているが、この原因の1つにミツバチヘギイタダニの寄生が挙げられる。ダニ駆除には薬剤の投与が必要であるが、時期や量を誤ると薬剤耐性を持つダニが出現するため、継続的に蜂箱を点検し、タイミングを計る作業が不可欠である。蜂巣の点検は目視で行われているが、防護服着用での視界不良や作業者の疲労により、正確性にばらつきが生じる問題がある。したがって、情報技術(IT)を利用した点検作業の支援に期待が寄せられている。我々はこれまでに、巣板を撮影した画像をもとに、機械学習を用いて育房状態を自動分類する手法や、ハチに寄生するミツバチヘギイタダニを検出する手法の検討を進めてきた。しかし、孵化して間もない小さな幼虫や、微小なヘギイタダニを捉えることが困難であり、改善の余地があった。また、ハチ成虫の数の把握は群強度の指標の一つとして利用できるが、ハチ成虫の個体計数の自動化は未着手であった。

2. 研究の目的

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幅40cm×高さ20cmの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。蜂は、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。各育房の状態は時間経過とともに変化するため、7~10日ごとに各巣板のコロニーの成長状況やダニの有無などの内検が行われる。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、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に巣を撮影した画像と各育房状態の例を示す。

蓋があるのは、有蓋蜂児域と蜜(有蓋)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現在使用されているのは前者である。しかし、蜂の育成が繰り返されると育房が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、蜜(有蓋)は周辺部に多いことや、前者はわずかに盛り上がって見えるという前提知識をもとに、判別を行っている。我々はこれまで畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて、育房状態の自動分類の手法を検討してきた。しかし、小さい幼虫は数mm程度、ハチに寄生するヘギイタダニは体長1mm程度であり、巣板全体が入る距離からのワンショット撮影ではとらえることが困難であった。図2にそれぞれをクローズアップ撮影した画像を示す。

そこで本研究では、超高精細画像が撮影可能な機材を使用して巣やハチなどを撮影し、蜂の巣の育房状態の自動分類、ハチ成虫の個体計数、ならびにミツバチヘギイタダニを検出する手法を実現し、養蜂における各種作業の支援に役立てることを目的としている。

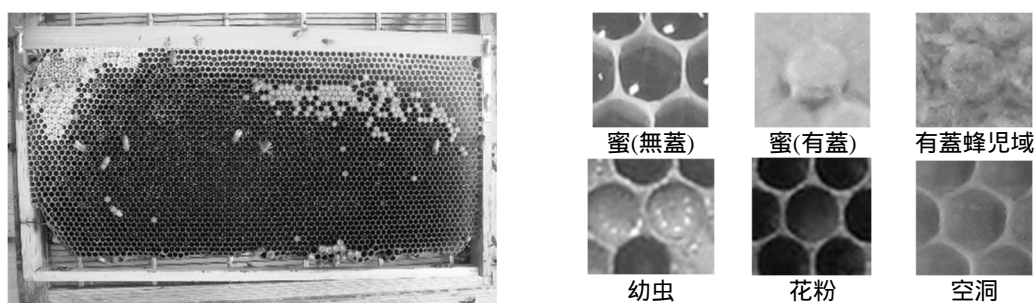


図1 巣脾画像(左)と育房状態の例(右)

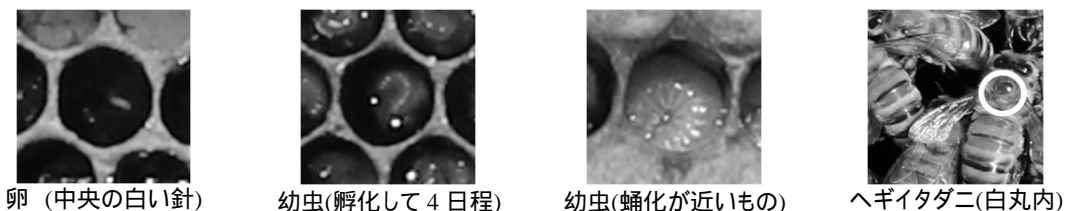


図2 卵、幼虫、ヘギイタダニの撮影例

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拡充、(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)ミツバチ成虫の自動計数法の開発の4点を実施した。以下、それぞれの方法を述べる。

(1) ミツバチ関連画像データベースの拡充

養蜂用の巣板画像、ミツバチヘギイタダニ画像、ミツバチ成虫画像の撮影と、ラベル付け作業を行う。巣やミツバチの状態は、ミツバチの成育ステージ等によって異なるため、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礎には、おおよそ縦40個×横80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。形成された育房の状態を、アノテーションツールを用いてラベル付けし、以後のAIモデルの検討の際に正解データとして利用する。また、ミツバチの成虫や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し、アノテーションを行う。

(2) 育房状態の自動分類法の開発

育房状態の自動分類のために、セマンティックセグメンテーションベースの手法および物体検出ベースの手法の検討を行う。

セマンティックセグメンテーションベースの手法としては、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とPSPNetを用いる手法の検討を行う。

物体検出ベースの手法としては、育房の検出と分類をSSD(以下、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、物体検出とセグメンテーションの同時学習を行うマルチタスク学習モデルであるMulti-Task Deconvolutional Single Shot Detectorにも着目し、評価を行う。

なお、育房の分類などのためには、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も行う。

(3) ミツバチヘギイタダニの自動計数法の開発

ヘギイタダニの自動計数法の開発のために、まず、ダニの色相や形状特徴の統計量を収集する。次に、ダニの検査法のうち、自然落下ダニ検査に着目し、薬剤投与によって白紙上に落下したダニを画像処理ベースで計数する手法を開発する。また、これを実装したAndroidアプリケーションを開発する。さらに、ミツバチの体表に寄生したヘギイタダニを検出することを目指し、画像処理ベースの手法とAIによる手法の検討を行う。

(4) ミツバチ成虫の自動計数法の開発

教師あり学習を用いた物体検出手法の多くは、大量の正解ラベル付き画像データを用意し、モデルの学習を行うことで物体検出を行っている。このラベル付けは、検出したい物体の全体を矩形で囲むことが一般的である。しかし、ミツバチの成虫は巣板上に密集して幼虫等の世話や保温を行っており、体同士が重なっていることがほとんどである。このため、オクルージョンが生じ、ミツバチの体全体を矩形で囲むラベル付けでは計数されない個体が発生する。そこで、ミツバチの腹部のみを矩形で囲んだラベル付き画像を作成し、AIの学習に使用する手法の検討を行う。

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拡充の成果

画像解析の実験に使用するため、巣のみの画像、ミツバチの成虫も巣上に存在する画像、ミツバチヘギイタダニがミツバチ成虫の背側および腹側に付着している画像、ダニがミツバチの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3千枚が集積されている。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、育房やハチ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。

(2) 育房状態の自動分類法の開発の成果

育房状態を自動分類するため、検出と分類を同時に行える物体検出モデルであるSSDを利用した方法や、PSPNetなどのセマンティックセグメンテーションを利用した方法の検討を行った。

SSDを利用した方法の実行例を図3に示す。SSDを利用した方法は、画像にもよるが80~90%の精度で分類可能であることが明らかとなった。しかし、幼虫クラスは、(1)幼虫のサイズが孵化直後の1mm程度の極めて小さいものから、蛹化直前の1cm程度のものまで多様であること、(2)育房壁に幼虫が半分隠れて写る場合があることなどから、誤分類が多い傾向があることが分かった。この成果は、第49回画像電子学会年次大会で発表した。

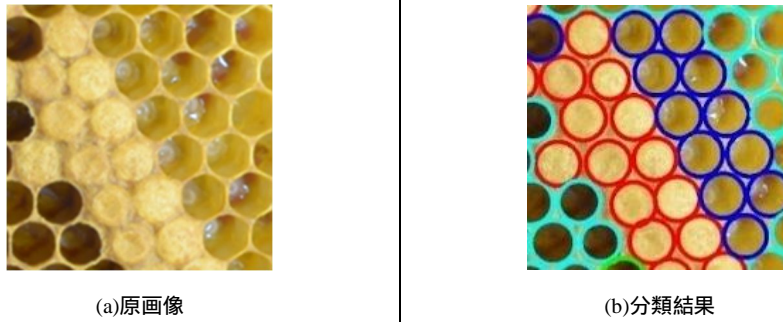


図3 原画像とその分類結果の一部（赤がさなぎ, 青が幼虫, 水色が空洞を表す）

また、セマンティックセグメンテーションベースの手法として、PSPNet を用いた蜂巣の有蓋蜂児領域計測法の検討を行った。有蓋育房かそれ以外であるかの二値分類であれば、約 90%の精度で判別できることが明らかとなった。この成果は、第 51 回画像電子学会年次大会で発表し、研究奨励賞を受賞した。

さらに、両手法を融合させたマルチタスク学習による分類精度の改善を試み、画像電子学会第 307 回研究会にて成果発表を行った。

(3) ミツバチヘギイタダニの自動計数法の開発の成果

自然落下ダニ検査に着目し、白紙上に落下したダニを画像処理ベースで計数する手法を検討し、これを実装した Android アプリケーションを開発できた。本アプリでは、スマートフォンのカメラで巣箱底を撮影した画像から約 85%の精度でダニ計数が可能である。本研究の成果は画像電子学会誌に論文として採録された。

また、より難度の高い、巣板上のハチ成虫に寄生するダニの検出法の検討を行った。その結果、画像処理ベースの手法では、ダニと色相の似ている育房壁やハチの体表の一部を誤検出する場合が非常に多いことが明らかとなった。次に、SSD を用いてダニの検出モデルを構築した。特に、入力画像をそのままダニ検出に用いる 1-step 手法と、まずは入力画像からハチ成虫を検出し、次にハチ領域のみにダニ検出を行う 2-step 手法との比較を行った。その結果、2-step 手法のほうが高精度ではあるが、F 値が 60%程度であり、まだ改良の余地があることが分かった。2-step 手法は画像処理ベースの手法と比較して育房壁の誤検出は大幅に減少したが、ハチの複眼とダニを誤認識する場合が依然として多い。ダニ画像は枚数がまだ少ないことから、今後も画像を収集して精度向上を図る。

(4) ミツバチ成虫の自動計数法の開発の成果

ミツバチの腹部のみを矩形で囲んだラベル付き画像を作成し、AI の学習に使用する手法の検討を行った。SSD を使用して、体全体を矩形で囲む場合と腹部のみを囲む場合の比較を行ったところ、密集度が低い画像では再現率が同程度であるが、密集度の高い画像では腹部のみのアノテーションの効果が高いことが分かった。入力画像の例を図 4、検出結果の例を図 5 に示す。しかし、これでもなお検出できない場合があることから、他の部位のアノテーションと組み合わせる方法や、スケルトンベースのアノテーション法の検討を進めている。この成果は、第 51 回画像電子学会年次大会で発表した。



図4 ミツバチ成虫の計数時に撮影される画像例

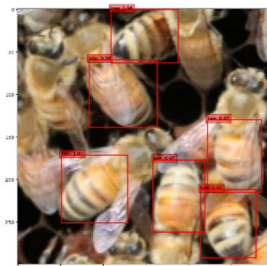


図5 腹部アノテーションによる検出結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2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 高山翼, 長谷川まどか	4. 巻 52
2. 論文標題 画像処理を用いたミツバチヘギタダニの計数Android アプリの実装と評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 319-328
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 有
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 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 -

1. 著者名 長谷川まどか	4. 巻 53
2. 論文標題 画像処理技術を用いた養蜂支援システムの開発	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 49-52
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

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 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イ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 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 杉森 寛樹, 長谷川まどか
2. 発表標題 PSPNetを用いた蜂巢の有蓋蜂児領域計測に関する一検討
3. 学会等名 第51回 画像電子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大原 恵斗, 長谷川まどか
2. 発表標題 SSDを用いたミツバチの個体計数に関する研究
3. 学会等名 第51回 画像電子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永木圭太, 長谷川まどか, 鶴田直也
2. 発表標題 マルチタスク学習による蜂巢の画像解析に関する研究
3. 学会等名 画像電子学会 第307回研究会
4. 発表年 2024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
---------------------------	-----------------------	----

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