

三鷹・調布スマート農業・養蜂プロジェクト
報告書

2025 年 2 月 17 日

国立大学法人電気通信大学

目次

1	概要・目的	1
2	申請団体のプロフィール	1
3	期間	1
4	背景	2
5	スマート農業	6
5.1	栽培	6
5.2	施設園芸栽培システム	10
6	スマート養蜂	12
6.1	養蜂活動	12
6.2	スムシ対策	32
6.3	養蜂センサシステム	33
6.4	養蜂カメラシステム	39
7	6次産業化・イベント	48
8	むすび	51

1 概要・目的

都市の空きスペースを利用して楽しみ学ぶ農を実践するため、三鷹市立図書館の中庭や小学校の屋上で水耕栽培によりトマトやカボチャ等の果菜類の栽培を行ってきた。一方で、生産を目的とする従来の土耕農業は肥料の高騰と、その半分が水に溶けて地下水に流出する環境負荷が大きな課題となっている。また日本の都市農業は今ある農地の保全と活用が目的であるが、東京都の農地は総面積の 3%以下で、宅地化された土地を農地に戻すことはできないため減少の一途である。そして都の食料自給率はカロリーベースで 1%を切る事態となっている。そこでこれらの問題の解決を目的に、本水耕栽培方式を施設園芸に応用するシステムの開発を行い、栽培試験を通じて有用性を検証する。本方式は肥料と水を 100%循環させ、小型ソーラパネルで駆動できるため、環境汚染の心配がない。また農地が不要だけでなく、ビルの屋上等を新たな農地として活用することができるため、利用者のニーズに応じた栽培と現地での消費といった地産地消からさらに一步進んだ自産自消が可能で、食糧自給率の向上にも貢献することができる。

農作物の生産には授粉作業が不可欠であり、主要農作物の7割の授粉にミツバチが関わっている。しかしながら、都市化や環境汚染等の要因でミツバチは減少の一途を辿っている。国内の養蜂家の高齢化は深刻で、農業のようなスマート化もまったく行われていない。そこで昨年、三鷹市で養蜂を営んでいる農家を紹介いただき、IoT 技術による遠隔モニタ実験を行った。蜂蜜は健康食品として人気で消費は増加しているが、実は市場の 95%が輸入品でその大半が偽装品である。蜂蜜は蜜源となる周辺地域の植生によって、採蜜する時期や蜂群によって風味も異なり、本物の国産品は高い付加価値を持つ。しかし副業として行っている小規模の養蜂家も多く、地元のフレッシュな蜂蜜は直販や道の駅などの限られた場所での販売に留まっている。昨年度、試験的に三鷹産の蜂蜜とそれを用いた洋菓子を電通大生協で販売したところ非常に好評であった。そこで本年度は三鷹の養蜂の活性化を目的に、電気通信大学内で養蜂を行いながら採蜜量の増加と養蜂の効率化のための新しい技術を開発し、三鷹での養蜂に技術移転する。また三鷹の蜂蜜をブランド化し、飲食店での販売を広げる。また小学校や図書館では水耕栽培に加えて、ミツバチの授業や講演会、採蜜等も行い、都市環境や生物多様性の問題について啓蒙活動も行う。

2 申請団体のプロフィール

電気通信大学は、1918(大正 7)年に無線通信技術者の養成機関として創設された社団法人電信協会管理無線電信講習所をその起源とする。その後、1949(昭和 24)年に国立学校設置法施行により新制大学として電気通信大学を開学し、1952(昭和 27)年には、現在の調布校舎を開校した。

2004(平成 16)年には、国立大学法人法の施行に伴い「国立大学法人電気通信大学」として新たに発足し、2018 年に創立 100 周年を迎えた。

3 期間

2024(令和 6)年 6 月 1 日～2025(令和 7)年 2 月 15 日

4 背景

都市農業とは都市農業振興基本法において、「市街地及びその周辺の地域において行われる農業」と定義され、新鮮な農産物の供給、農業体験・交流活動の場、国土・環境の保全と災害時のオープンスペースの確保といった多様な役割を担っている。しかし都市部の農地は限られており、広い農地のような生産性の向上が難しいためコストが高くなってしまふ。また都市農業に限らないものの、農家の高齢化と後継者不足は深刻な問題である。東京都によると、2021年の都内の農地面積は 6,410ha で、10 年間に 1,190ha (15.6%) 減少しており、市街化区域では 871ha (19.5%) と特に顕著である。また市街化調整区域でも 319ha (10%) 減少しており、これに加えて遊休農地の増加も懸念されている。都内の総農家数は 2020 年に 9,567 戸と、調査を始めてから初めて1万戸を割り込み、10 年間で 27% 減少、30 年ではほぼ半減している。また農業従事者の平均年齢は 65.6 歳と 10 年で 1.5 歳上昇し、高齢化に歯止めがかからない。

このような生産を中心とした都市農業に対して我々は、図 4.1 のようにビルの屋上などの都市の空きスペースに栽培と収穫を楽しみ学ぶ農を展開する小型水耕栽培装置の開発と運用を進めてきた。本水耕栽培システムは軽量で防水工事も不要なためビルの屋上に簡単に設置でき、緑化は都市のヒートアイランド対策にもつながる。また水と肥料を 100% 循環して利用する方式のため従来農業のように土地や地下水を汚染することがなく、小型のソーラパネルで駆動可能なため環境にも優しい。縦方向へ栽培する方式によりスペースが有効活用でき、頭上に枝を誘引した下では BBQ などのイベントを行える。都市の子供たちに農体験を通じて栽培と収穫の楽しさを伝えると同時に、都市環境への意識を高めることは未来の新しい都市農業の担い手を育てることにもつながる。

一方で、図 4.2 左に示したこの小型水耕栽培は、エンタテインメント性を重視しているため都市の食料自給率向上を目的とする場合、より生産性の高いシステムを考える必要がある。そこで昨年度、同様の栽培方式で図 4.2 右のように栽培用の縦パイプを並べ、生産性の向上とコスト削減を行うシステムの開発を始めた。



図 4.1 水耕栽培システムによる小学校屋上での授業(左)と大学屋上での収穫・BBQ イベント(右)



図 4.2 大学屋上の小型水耕栽培装置と施設園芸用の水耕栽培装置

本年度は調布市立第一小学校と三鷹市立図書館で小型水耕栽培装置を使いながら、食育・環境教育のための栽培を継続するとともに、生産を目的とした施設園芸用のシステムの開発とテスト栽培を行う。

ミツバチは農作物の受粉になくてはならない生き物で、アインシュタインは「もしこの地球上からハチが消えたなら、人類は 4 年しか生きられない」と語ったと伝えられている。生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学－政策プラットフォーム IPBES は 2016 年に、世界の農作物の 75%と野生植物の 90%の受粉はミツバチを主とする花粉媒介生物によって行われ、その経済効果は 2,350～5,770 億ドル/年に相当すると報告している。また農業・食品産業技術総合研究機構の小沼らは、花粉媒介生物による国内の経済効果を 4,700 億円、そのうちの約 1,400 億円が飼育ミツバチ、約 3,300 億円が野生生物によるものと試算している。

図 4.3 に国際連合食糧農業機関 FAO の調査による 1961～2017 年の世界の飼育蜂群数の推移を示す。世界全体では増加しているが、これは 3 割を占める中国・トルコの伸びによるものである。その一方、日本と米国は減少・停滞、欧州も大きく数を減らした後は元の水準に戻っていない。これらは人が飼育している蜂群数であるが、野生の昆虫は 30 年あまりで 1/4 に激減していると言われ、深刻な問題となっている。その原因として、世界的な気候変動、都市化や農地化による生息地の現象、殺虫剤や肥料の使用等が挙げられる。農林水産省は、花粉交配用蜜蜂の安定確保を図るため、養蜂等振興強化推進事業による支援やミツバチの需給調整システムの整備を行っている。これは地方の農産地や施設園芸を主な対象としたものであるが、都市農業における路地物野菜や家庭菜園においてもミツバチが不可欠であることには変わらない。

採蜜や農作物の受粉を目的とした業としての養蜂に対し、ビルの屋上等を利用した都市養蜂が、昨今の環境への関心の高まりと SDGs の浸透により地域コミュニティ活動として広がっている。養蜂は個人でも行える唯一の畜産業と言えるが、養蜂家の勘と経験が頼りであるため新規に始める際の敷居は非常に高いのが実情である。また、農業は IoT 技術の導入で企業の新規参入が進んでいるが、養蜂は 1860 年に米国の Langstroth が特許を取得した図 4.4 の養蜂箱が現在も使われており、大きな進歩は 160 年以上見られていない。ミツバチの健康状態のチェックには、蓋を開けて巣枠を調べる内検が欠かせないが、これはミツバチにとって大きなストレスである。内検は雨天以外の日中しかできないが、ハチは夜間も、巣作り、育児、蜜の濃縮等を行っている。また、養蜂の大きなトラブルとして、内検時の見落としで意図せずに新しい女王



図 4.3 世界の養蜂群の数(出典: FAOSTAT)



図 4.4 Langstroth と養蜂箱

を誕生させてしまい、群の半分が女王と共に巣箱を出ていく分蜂が挙げられる。採蜜量が半減するだけでなく、街中に現れた大群のミツバチが世間を騒がせるニュースになることもある。巣箱の状態を遠隔で 24 時間モニタできればミツバチの健康管理とトラブルへの迅速な対応が可能であるが、IoT 技術を導入した養蜂システムの製品開発を行っている国内企業は見当たらない。

そこで電気通信大学では、スマートフォン等で遠隔モニタ可能なスマート養蜂システムの開発を行っている。昨年度は、三鷹市の野崎果樹園の養蜂場の巣箱に図 4.5 のようにネットワークカメラを設置して、外敵であるスズメバチ襲来を検知する実験を行った。養蜂に力を入れている韓国は日本の 10 倍の蜂群が飼育されており、新しい養蜂器具の開発が進んでいる。そこで大学に養蜂の研究施設を立上げ、スマート化に加えてこれらの器具を用いながら新しい養蜂技術を開発し、三鷹への導入を進める。

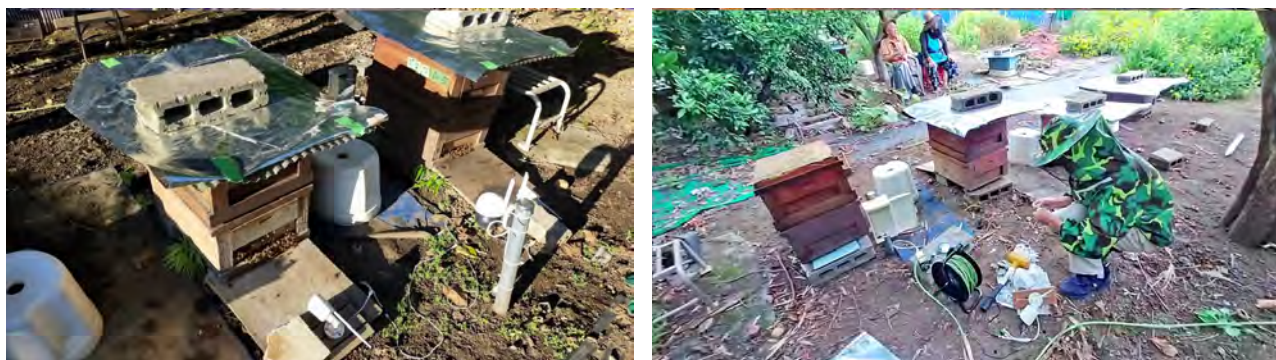


図 4.5 野崎果樹園の養蜂施設へのネットワークカメラの設置

養蜂の活性化には地域ボランティア活動などの拡大も必要であるが、業として利益を上げられることが重要なのは言うまでもない。昨今の健康ブームにより栄養価の高い蜂蜜の人気の高まっているが、国内消費量約 5 万トンに占める国産の割合は約 5%しかない。なお輸入量の 7 割強は中国産である。しかし蜂蜜は世界三大偽装食品に数えられ、2021~2022 年の EU の調査において無作為抽出の 320 のサンプルのおよそ半数は、シュガーシロップが混入された偽装品であったと報告されている。特に輸出二大国の中国とトルコは、それぞれ 74%と 93%が偽物であった。国内でも多くの偽物が販売されており、また外国産を国産と偽装する事件も起きている。このような背景のもと、本物の国産、特に季節ごとに味と香りが様々に変化する地元のフレッシュな蜂蜜は潜在的な高い価値を有する。しかし、三鷹では養蜂家の直売が主なため高付加価値化が難しい。

図 4.6 は昨年、三鷹産のはちみつを使ったお菓子を川崎の洋菓子店に開発してもらい、電気通信大学生協で販売したときの様子である。希少な地元の本物の蜂蜜をアピールすることで、完売が続いた。そこで本年度は三鷹の蜂蜜のブランド化を進める。三鷹の社会福

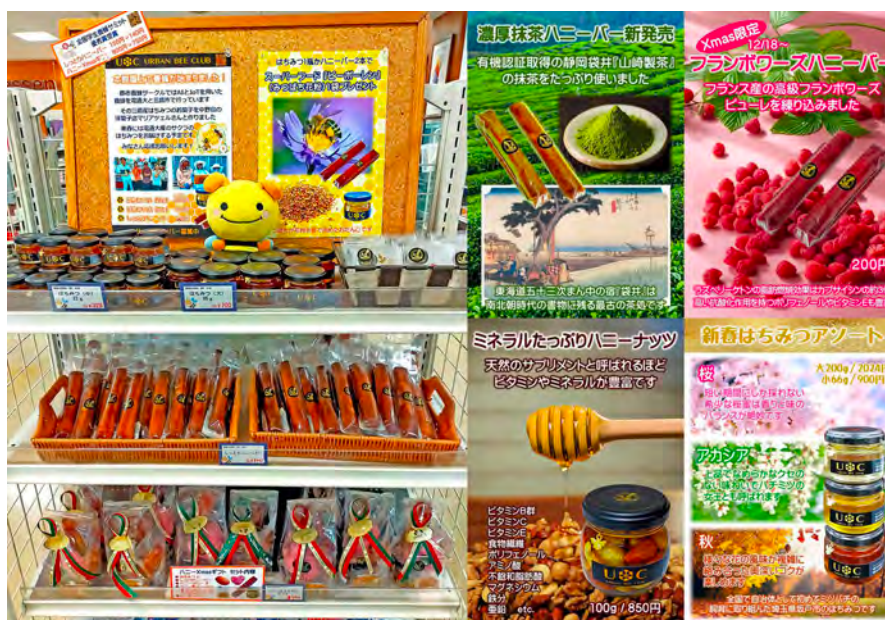


図 4.6 三鷹産ハチミツを使ったお菓子の電気通大学生協での販売

祉法人が経営する「食茶房むうふ」でもお菓子の開発を進めながら、他の飲食店での販売も広げる。

ところで国内のミツバチは、通常の養蜂で飼育する家畜化されたセイヨウミツバチと、在来種の野生のニホンミツバチに大別される。ニホンミツバチは環境が気に入らないと簡単に巣を捨てて逃げてしまうので、計画的な飼育は難しい。そのため蜂蜜のシェアは 0.1%ほどと非常に希少で、国産でもさらに付加価値が高い。そこで、ニホンミツバチを飼っている養蜂場にもカメラとセンサを設置して遠隔モニタを行い、将来の飼育の可能性についても検討を行う。

5 スマート農業

5.1 栽培

本年度は大学の建物の改修工事により、研究室内で苗を育てることができなかった。そこで図 5.1.1 のように 1 月末から自宅の室内でタッパーにロックウールを敷き詰めて、電気毛布で保温しながらトマト、カボチャ、キュウリの育苗を始めた。3 月 4 日、苗に本葉が出たところで世田谷区のそらまめ農園のハウス内に移し、ビニールのポットにセラミックボールを詰めて苗を一本ずつ植え、液肥を張ったトレイに敷き詰めた。



図 5.1.1 トマト、カボチャ、キュウリの育苗

苗が十分な長さに育ったところで図 5.1.2 のように、4 月 10 日にそら豆農園のハウス内の施設園芸用水耕栽培装置に、その 2 週間後の 4 月 23 日に三鷹市立図書館の小型水耕栽培装置に定植を行った。そして 4 月 25 日には図 5.1.3 のように調布市立第一小学校屋上の 3 つの水耕栽培装置に、4 年生の 4 クラスの児童 112 名と定植を行った。



図 5.1.2 そら豆農園(左)と三鷹市立図書館(右)への苗の定植



図 5.1.3 調布市立小学校への苗の定植

ところで昨年度まで小学校では図 5.1.4 左の旧型の水耕培装置とコントローラを用いていたが、本年度は図 5.1.4 右の新型に入れ替えた。旧型のタンクは平板の樹脂を石膏型に吸着して作る真空成型法のもので、精度があまく筐体にしわが寄っている。苗を挿すパイプとエルボジョイントは市販のものを加工・接着しており、タンクの液肥をポンプでくみ上げてシャワーのようにパイプ内の苗の根にかけている。経年変化によってこのジョイントの接合部から液漏れが生じて、緑の青子ができるようになった。またジョイントは 45 度傾いており深さがないため、根が育ちすぎてパイプ内のシャワーの流れが妨げられると、ジョイントの上部から液肥が多く外に漏れ出るようになってしまう。これは青子が生えるだけでなく、自動注水しているためタンク内の液肥がすぐに薄まってしまう。さらに漏れた液肥が下のシートに溜まり、そこに青子が生えて滑って危ない状態となっていた。また黒いセンサは市販のネジで本体に取付けた防水ボックスに入れている。

これに対して新型の水耕栽培装置は、簡易金型に樹脂液を注入して成形するため精度が高い。180cm サイズの宅配便でも送れるようにパイプ部は 3 つに分解してタンクに納められるようにしており、ネジや接着剤を使わずに組み立てるが構造を工夫して液漏れが生じないようにしている。センサを入れるボックスも故障交換時に簡単に取り外せるようにネジを用いていない。

電源にはソーラー発電とカーバッテリーを用いているが、旧型センサは夜間に停止するという問題があった。これは電流の逆流防止のために挿入していたダイオードによる電圧降下で、定格の 12V を下回ってしまうことが原因であった。そのため、このダイオードをバイパスするリワークを入れて使用していた。また液肥濃度測定時には、液肥に電流を流して電気伝導度 EC (Electro Conductivity) を測定する。しかしバッテリーの接地電位と自然界の電位に差が生じたことで、測定時以外にも電流が流れて電極に肥料が析出して正しい測定ができなくなるという問題もあり、直流電流を遮断するためにコンデンサを電極ラインに挿入するというリワークを行っていた。

新型センサではこれらを修正すると共に、部品点数を減らしてコストの低減も図っている。



図 5.1.4 小学校で用いた旧型(左)と新型(右)の小型水耕栽培装置とコントローラ

図 5.1.5 は三鷹市立図書館での 4-6 月の栽培の様子で、6 月中旬までは順調で、トマトは十個ほどの実をつけていた。しかしそれ以降は装置前に茂った木の葉で日陰気味となり、すでに真夏日が続くようになりトマトが非常に弱くなってきた。キュウリは 10 本ほどの生り、収穫せずにいたところ 50cm ほどの長さにまで育った。その一方でカボチャの葉は元気に茂っているが、雌花がまったくできない状況であった。

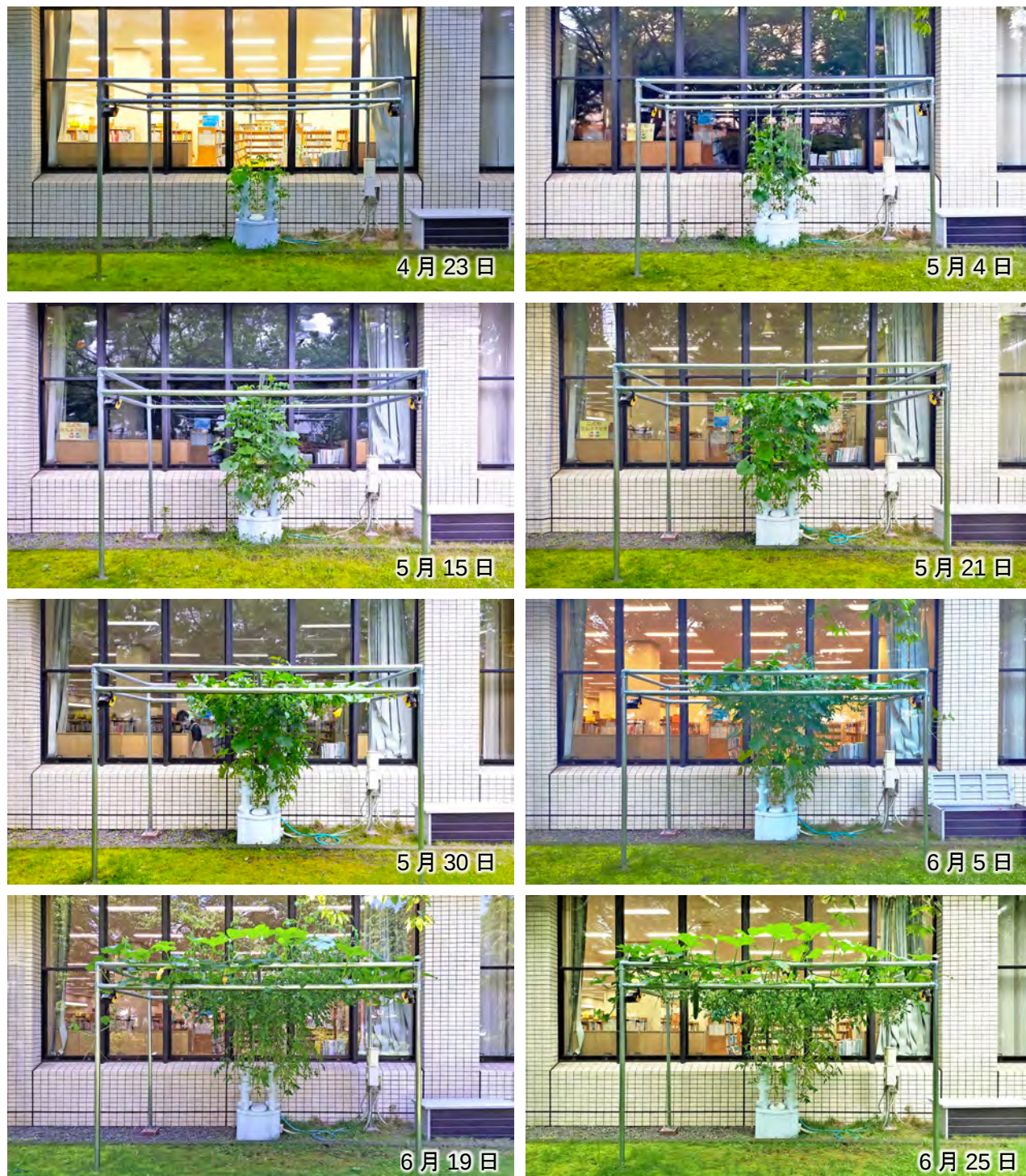


図 5.1.5 4~6 月の図書館の栽培の様子

6 月下旬からはトマトはさらに弱り、枯れる苗も出てきた。昨年度は 7 月下旬から状態が悪化していたため、本年度にこれが前倒しとなったのは、梅雨に雨がほとんど降らず、真夏日が続いたためと考えられる。また本栽培

方式では通常、上に延びた枝を下におろしフレームに張ったワイヤーに留めていくが、7月からトマトに日光が少しでも当たるようにそのまま上に伸ばしたところ、その部分はしっかりと枝葉となった。



図 5.1.6 7月の図書館の栽培の様子

一方で小学校は病害虫も発生することなく、昨年と同様に調子よかった。図 5.1.7(左)のように6月には各児童がトマトの脇芽を取ってペットボトルの水に挿し、自分の苗を育てた。トマトは6月中旬から熟れ始め非常に甘いものができたが、7月に入ると水っぽくなっていた。これは暑い日が続き、糖度が上がる前に熟してしまったた



図 5.1.7 6月の小学校屋上での脇芽取りと収穫



図 5.1.8 7月の屋上と教室での授業の様子

めと見られる。小学校の屋上は日差しが非常に強いので 7 月に遮光ネットを張り、その後に収穫を行った。なお屋上での活動の前には毎回、図 5.1.8 のように約 20 分の授業を行った。

施設園芸用のシステムの開発・導入を進めているそら豆農園の、トマト栽培の様子を図 5.1.9 に示す。品種はアイコ、イエローアイコ、チョコアイコ、千果、ぷちぷよ、チェリーメイト、ピッコラカーリーナの 7 品種である。これらの苗は枝が細く徒長気味で、葉は柔らかくあまり元気な状態ではなかった。また本方式では通常、パイプの中に白い根がぎっしりと張るが、短く細く、茶色であった。センサデータからは液肥濃度も水温にも異常は見られなかったが、水流をチェックすると弱すぎるのがわかった。液肥は一台のポンプで、図 5.1.10 の深さ 3m 弱のタンクから汲み上げ、パイプ中を数十 m 引き回した後に 2m 押し上げた後に 2 分岐して装置に供給しており、ポンプの性能が不足しているのではないかと見られた。しかしポンプは農業用としても広く用いられている屋外用で、仕様は電源 100V/50Hz、定格電力 595W、給水量 30ℓ/分、吸い上げ高さ 8m+押し上げ高さ 24m、と十分な性能を有しているようにも考えられる。そこで、別途ポンプを用意して水流の検討を行う予定である。また夏場にハウス内が高温になる恐れがあるため 5 月から遮光ネットを掛けていたが、この遮光率も体感的に高すぎるようであり、秋からの栽培の検討事項である。



図 5.1.9 そら豆農園でのトマトの栽培



図 5.1.10 液肥タンク

5.2 施設園芸栽培システム

そら豆農園で 4 月 10 日にトマトの苗の定植を行い、昨年度から開発を進めた施設園芸用システムの稼働を始めた。図 5.2.1 に追肥と注水を行うコントローラ、それらと電源を配した制御ボードを示す。図 5.2.1(中)の注水コントローラはタンクの近くに設置して水位と水温を測ると同時に液肥濃度も測定するため、小型水耕栽培装置用の制御基板を利用してタンクに近い場所に設置した。図 5.2.1(右)の液肥コントローラは注水コントローラが測定した液肥濃度をサーバ経由で受信し、低濃度の場合に図 5.2.1(左)の下部にある二つの塩ビのボトルから蠕動ポンプで原液を汲み上げてタンクに注入する。当初はこれにも小型水耕栽培装置用の基板を用いていたが、蠕動ポンプの制御だけで測定は行わないため、安価な市販の Wi-Fi マイコン基板に変更した。

動作の設定はスマートフォンからサーバを経由し、Wi-Fi ルータに接続された現地の各コントローラに伝えられ、各センサで測定したデータはサーバを経由してスマートフォンに送られる。Wi-Fi のネットワーク環境が悪くサーバと通信がうまくいかないとき、注水や液肥注入が止まらなくなるといったことは避けなければならない。そこで注水と液肥注入はサーバと通信が行えているときだけ実行する。動作開始時にはサーバとつながっていても途中で切れることも考えられるため、動作停止は通信が途絶えていても一定時間後に行うようにしている。

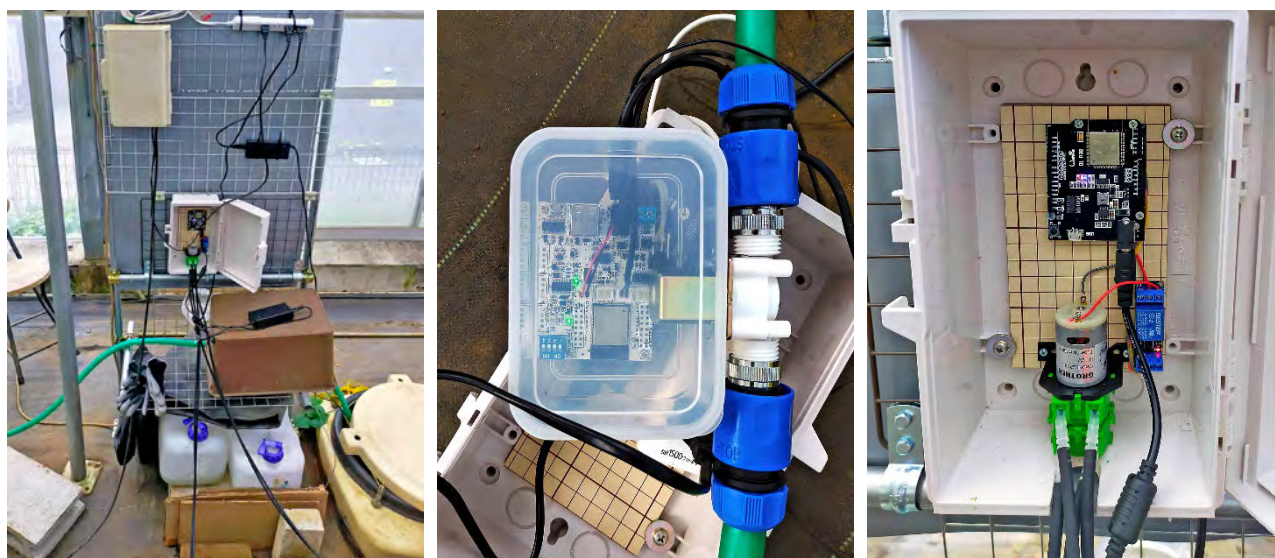


図 5.2.1 制御ボード(左)、注水コントローラ (中)、追肥コントローラ(右)

図 5.2.2 は制御ソフトウェアのスマートフォン画面の一部である。タンクの水位は低くして、薄い液肥を入れた状態である。そのため注水用の電磁弁と液肥注入用の液肥ポンプが繰り返し動作している。なお、コントローラを設置したそら豆農園のハウスは Wi-Fi ルーターが置かれた家屋から数十 m 離れているため、電波状況は悪く、通信は頻繁に切れる状態にあった。液肥ポンプのグラフで斜め線となっている部分は、動作中に通信が切れたことでデータが飛んだために生じているが、全体として問題なく動作している。また、雨天では水に電波が吸収されるためさらに通信状態が悪化するが、これまでに制御に不具合が生じたことはない。

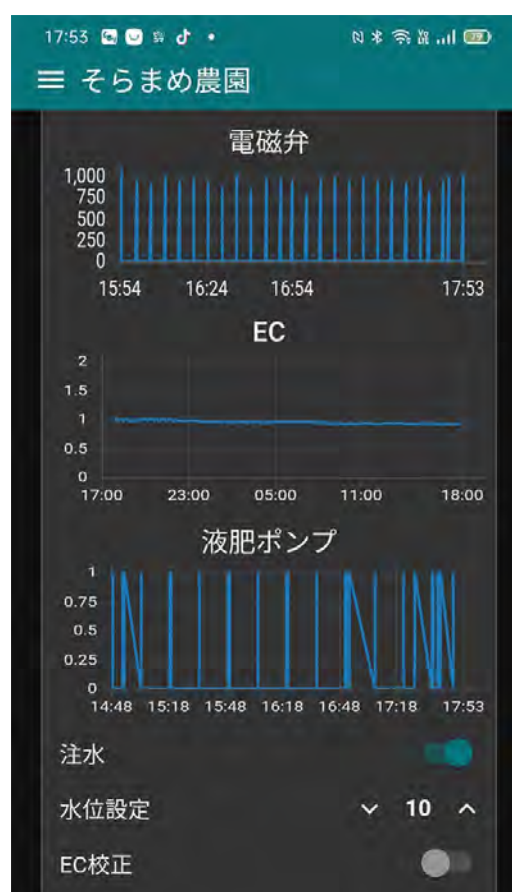


図 5.2.2 スマホのモニタ画面(部分)

6 スマート養蜂

6.1 養蜂活動

養蜂は巣箱を置いておけば、ミツバチが花蜜を集めてハチミツを作ってくれると考えている人も少なくない。しかし、養蜂で広く用いられているセイウミツバチは家畜であり、そのポテンシャルを引き出すためには適切な管理が欠かせない。日本には在来種のニホンミツバチもいるが飼育が難しく、ニホンミツバチは野生のイノシシ、セイウミツバチは家畜の豚に例えるとわかりやすい。豚を健康に早く大きく育てるには環境を整え、病気になったならばワクチンの接種など適切な対応が必要である。地域ボランティアの養蜂活動や学校での養蜂サークルでは、自己流で飼育したり自然養蜂と称して放置することで、ダニが蔓延して群が崩壊し、毎年春に新たな蜂群を購入しているところも多い。周年を通じて群を維持し、新しく女王バチの群を作れないのであれば養蜂とは言えない。またダニの被害は自分の群に留まらず、周囲数 km の範囲で他の養蜂家の蜂群にもうつしてしまうので、安易な養蜂は慎まなければならない。その一方で、プロの養蜂家であっても育て方がまちまちであり、一つの正解というものはない。そこで本事業では、一群のミツバチから始めて群を徐々に増やし、女王の隔離でダニの発生を抑えつつ、無王採蜜という特殊な飼育で採蜜量の増加を試みる。

去年は三鷹の野崎果樹園にお邪魔して養蜂の研究を開始したが、大学の本館屋上でも本年度に向けて昨年の11月4日から養蜂を始めた。ミツバチは、養蜂活動に行政が取り組む埼玉県坂戸市の養蜂家から一群を譲り受けた。受け入れ当日は長距離を移動してきているので巣門の開放のみ行い、巣箱前にネットワークカメラを、巣箱の下に重量センサを設置した。2日後の11月6日に蜂の状態を調べる内検作業を行い、巣箱の中に温度センサを入れた。このときから音や振動に非常に敏感で、少しのことで騒いで、人を追い回す傾向にあった。

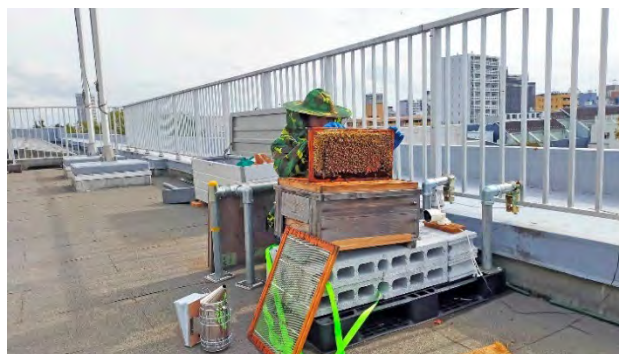


図 6.1.1 養蜂開始(11月4日)と内検作業(11月6日)

本館屋上は他のサークルも利用しており、防護服を着ていない学生が刺される可能性が出てきたため急遽、単管パイプでフレームを組み、周りに防御ネットを張る作業を行った。

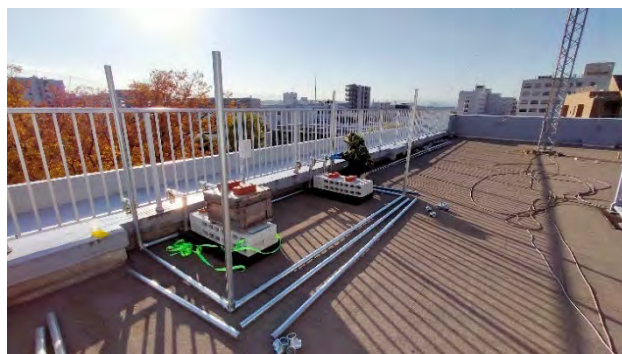


図 6.1.2 フレームの組み立てと防御ネットの設置(11月21日)

春から秋の働きバチの成虫の寿命は約1ヶ月であるが、冬は2~3ヶ月程度で、冬眠をせずに巣箱の中で集まって温め合いながら春を迎える。そのため防寒対策として、12月7日に巣箱の周りにウレタンボードを貼り付けた。しかし、巣箱内が温か過ぎると天敵のダニが繁殖する恐れがある。ダニはミツバチの幼虫に卵を産み付けて増殖するため、竹籠に女王蜂を隔離して産卵させないようにした。女王蜂が冷えないように、竹籠は巣枠の中央に穴をあけてはめ込んだ。また、白い短冊状の殺ダニ剤「アピパール」2枚を巣枠の間に挿入し、砂糖を加熱してべっ甲飴状にして紙皿の中で固めたものを餌としてえた。

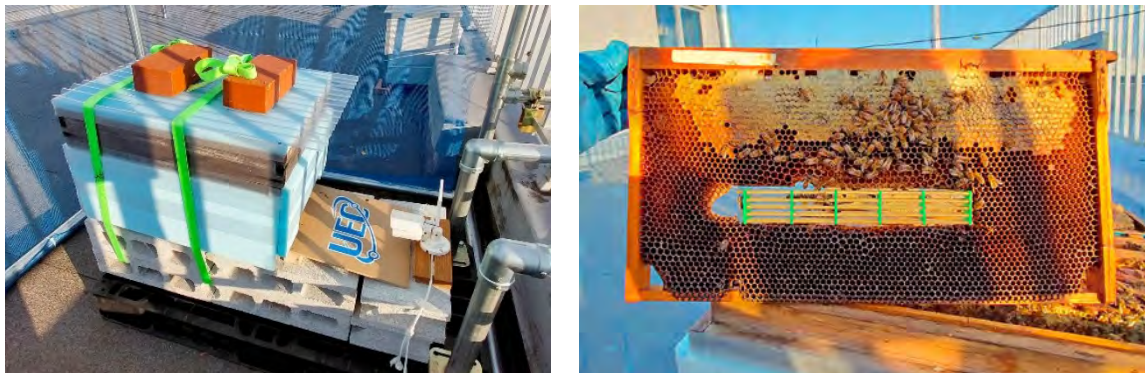


図 6.1.3 巣箱の断熱と女王蜂の隔離(12月7日)



図 6.1.4 殺ダニ剤アピパールの挿入と砂糖飴の給餌(12月7日)

暖冬により桜の開花が早まっており、3月下旬からの採蜜に間に合わせるには、1月から準備を行う必要がある。女王蜂が産んだ卵が幼虫から蛹を経て働きバチの成虫になるまで3週間、そこから2~3週間の内勤を経て残りの1~2週間は外に蜜を集めに出る。したがって、卵が外勤バチになるまで最短で5週間の要する。女王蜂が産む卵の数やそれを育てる働きバチの数には限りがあるのですぐに増えるわけではない。そこで3月下旬の2ヶ月前の1月17日に女王バチを竹籠から解放した。また、使用期間が6週間のアピパールは取り除いた。しばらくして産卵が始まったのを確認後、ロイヤルゼリーの原料となる代用花粉と、春が来たと思わせるために50%の砂糖水を少しずつ与え始めた(建勢給餌)。図 6.1.6 の四角い黄色いパックが代用花粉、カメラの横にある黄色と半透明の容器が砂糖水を入れた給水器である。また、巣枠の上の白い四角いものは温湿度センサである。養蜂箱には巣枠が7枚入っていて、黒い物が保温版でその手前の二枚にはハチはおらず、また奥の1枚は巣の端である分割板の外にあるため、実質4枚群である。寒い冬を乗り越えるために、11月の7枚の巣枠のハチを4枚に集めている。分割板の外の巣枠に行き来は出来るので、そこに卵を産み始めるようになってから分割板を抜き、次第に枠の数を増やしていく。



図 6.1.5 女王バチの解放(1 月 17 日)

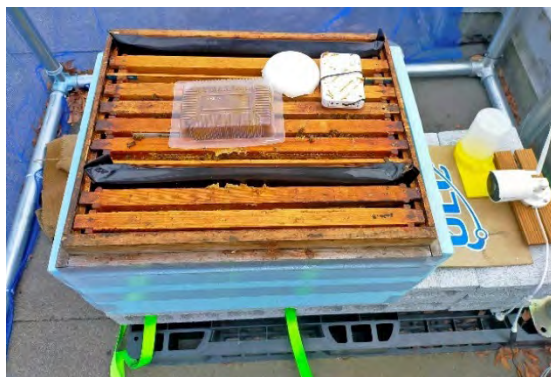


図 6.1.6 代用花粉と砂糖水の給餌(2 月 1 日)

女王バチ解放から約 1 ヶ月後の 2 月 14 日、働きバチの数が増えており、解放直後から産卵を始めていたことがわかる。また、女王バチを隔離していた竹籠を取った後の穴は、図 6.1.7 右のように雄バチの蜂児を巣立てるための一回り大きい巣房が作られていた。



図 6.1.7 ハチの数が増え雄蜂用の巣房ができている(2 月 14 日)

ハチの幼虫の巣房に蓋が掛けられる(有蓋蜂児)直前に、ヘギタダニはその中に入り込み、中で卵を産んで二代にわたって増殖するが、働きバチの雌よりも雄の巣房を好む。これは雄の出房までの期間が 15 日と雌の 12 日よりも長い増殖に有利であり、ダニは雄が発するフェロモンに引き寄せられると言われる。そこでダニの増殖の防止には雄の有蓋蜂児を切り取って捨てる雄蜂カットが有効である。雄の蜂児用の巣房は雌のものよりも一回り大きいので、空いたスペースや巣枠の周りに作られることが多い。あちこちに作られた雄の有蓋蜂児を探してカットするのは一苦労なので、図 6.1.8 左のように下 1/3 木の棒を渡してわざと開けた巣枠を作り、ここに集中的に産ませることを試みた。ここに作られた雄の巣房は、簡単に取り外して捨てることができる。巣房に使われるミツロウを作るにはその 10 倍のハチミツが必要であるため、再利用できれば効率的である。そこで雄バチ用の市販のプラスチック枠をカットして蜜蝋を塗ってはめ込むことにした。ここに雄の有蓋蜂児が作られたならば、プラスチッ



図 6.1.8 雄蜂用枠の挿入(2 月 28 日)

ク枠ごと外して冷凍して中のダニ(そして雄の蜂児も)を殺し、解凍してナイフ等で蓋を軽く壊した後に同じ場所にはめる。すると働きバチはダニと蜂児を引き出して捨て、その巣房を修復して再利用するはずである。2月28日はまだ働きバチの数が少なく、また雄の有蓋蜂児はまだできていなかったなので、この特別な巣枠は隔王板の外に置いている。

3週間後の3月22日、さらに蜂が増えてきたため、上部に採蜜用の継箱を積んで、女王バチが上に産卵しないように間に隔王板を入れた。



図 6.1.9 隔王板の挿入と継箱の追加(3月22日)

2月28日に挿入したダニ対策用の雄バチ枠の空いたスペースに一ヶ月ほどで巣房ができ始めたが、プラスチック巣礎の上には作る気配がない。4月4日には王台や王椀ができ始めており、分蜂が起こらないように全て除去していく。



図 6.1.10 雄蜂巣房ができている(3月27日)



図 6.1.11 王台の出現(4月4日)

4月11日、隔王板の上の継箱で、本来は蜜枠となるものに有蓋蜂児がぎっしりできてしまっていた。このとき女王バチは下の箱にいたが、隔王板のどこかに女王バチが抜けられるスペースができていたと考えられる。

この後の4月16日に群を上下に分けて下を右奥に設置(群②)し、上の継箱の巣枠を全て普通の巣箱に移して元の位置に置いて上に継箱と空の蜜枠を挿入した(群①)。女王群②の中において、群①は無王となるため、働きバチが騒がないように女王バチの代わりの細い棒状の女王バチフェロモンを1/3にカットして(高価なため)継箱に結束バンドと釘で固定した。なお女王バチがいないと働きバチが卵を産み始める働蜂産卵が起こるが、交尾をしていないので雄しか生まれず、雄は交尾だけが役目でミツや花粉を集めないためや



図 6.1.12 有蓋蜂児ができてしまった蜜枠(4月11日)

がて群は崩壊する。しかしながら、世話をしなければならぬ蓋のかかっている無蓋蜂児がなくなり、育児から解放された働きバチが採蜜に注力できるため採蜜量が上がると言われる。そこで群①はこの後、無王採蜜群とし、必要に応じて群②から有蓋蜂児枠を移すこととした。無王群なので隔王板は不要である。位置を移動した群②の内勤バチはそのまま中で働き続けるが、元の巣箱の位置を記憶している外勤バチは、群①に戻って来る。そのため群②はしばらくミツと花粉が集められなくなり、それまで貯蔵していた分に頼ることとなる。そこでこれ以降、1ヶ月程度、群②に代用花粉と砂糖水を与えることとした。



図 6.1.13 女王バチフェロモンの挿入と群の分割(4月16日)

群の分割後3日で王台ができていたので、それだけを切り取って無王の群①に移した。群①の蜜枠に産まれた蜂児は中央から羽化していることがわかる。



図 6.1.14 群②の王台(左)とそれを真ん中の蜂児が羽化した群①の巣枠(右)に移動(4月19日)

群①に預けた王台から新女王が誕生していたので、4月25日に新しい巣箱に1枚の蜂児枠と新しい半盛巣礎と共に入れて(群③)群①と群②の間に置き、代用花粉と砂糖水を与えた。群③は観察箱に入れて小学校の授業や展示での活用するほか、女王バチがいなくなったり死んだときのバックアップとして育てるため、大きくはしない。荒い群の女王の娘であるためその気質を受け継いでいる可能性があり、交換を前提としている。また、群①は木箱からウレタンの箱に入れ替えた。



図 6.1.15 新女王群の設置とウレタン箱の導入(4月25日)

荒い女王を交換するため群②に継箱を積み、三鷹市のしみずファームから交尾済の女王バチを譲り受け、王籠に入れて下の巣箱の巣枠の上に置いた。そのまま入れてしまうと他の群の女王バチのため、働きバチに殺されてしまう恐れがあり、この状態で4~5日慣らしてから解放する。また働きバチに馴染んでも、元々そこにいる女

王バチと殺し合いになるので初代は取り除き、フェロモンを利用するために瓶の中でエタノール浸けにした。



図 6.1.16 群②の女王の交換(5月2日)

6日後の5月8日に、働きバチに馴染んだ王籠内の女王を開放した。ハチの数が増え継箱の枠にもハチミツが溜まってきていたが、ここでは採蜜は行わない予定のため隔王板は入れていない。ダニトラップ用の雄蜂枠の空だったところにはぎっしり雄の有蓋蜂児ができていたので、これを除去した。一方プラスチック枠に巣房は作られていなかった。



図 6.1.17 女王の開放と雄蜂切り(5月8日)

女王バチのいる群②と群③は分蜂を起こさないように注意深く王台を除去していたが、5月18日の13時半に群②の分蜂が始まった。センサとカメラで分蜂していることは把握していたが、捕獲する時間がなく逃がしてしまった。女王バチの王台は図 6.1.14 のように通常は細長い形をしているが、巣枠を詳しく調べてみると働きバチの有蓋蜂児に埋もれるように変成王台ができており、初代女王の娘の新女王が誕生していた。



図 6.1.18 分蜂と新女王の編成王台(5月18日)

三鷹の野崎果樹園で捕獲した分蜂群を購入し、三枚群に半盛巣礎を一枚加えて4枚にして群②と群③の間に設置した(群④)。なお、後に4群の間は等間隔となるように移動した。この群を大きくして新女王を誕生させ、荒い女王の系統と入れ替える予定であったが、その後まったく王台を作る気配はなかった。



図 6.1.19 分蜂群の設置(5 月 23 日)

6 月 1 日に埼玉県坂戸市の養蜂家から購入した交尾済み女王バチを再度、群②に導入した。ここで生まれていた新女王は竹籠に隔離し、群①の継箱の蜜枠の上に置いた。5 日後の 6 月 6 日に、群②で馴染んだ女王バチを王籠から解放した。群①は 4 月 16 日からずっと無王群のはずであったが、6 月 6 日にぎっしりと有蓋蜂児ができており、竹籠の女王バチの他にもう一匹女王バチが見つかった。無王群なので丹念に見たわけではないが、6 月 1 日には有蓋蜂児は見あたらなかった。群②から群①に蜂児枠を移したのは 5 月 21 日もしくは 23 日なので、そこにあった卵から変成王台が作られたとすると、新たな有蓋蜂児が作られるまでの日数が足りない。従って群を分割して無王群とした 4 月 16 日の直後に変成王台が作られたと考えられるが、産卵まで日数がかかりすぎているようにも思われる。この女王バチを捕獲して竹籠に入れたが、先に竹籠に入れていた女王バチは誤って逃がしてしまい、行方不明となり、群②にも戻っていなかった。

表 6.1.1 ミツバチの卵から羽化までの日数と餌

		卵	幼虫		蛹	計
		日数	餌	餌	日数	餌
働蜂	日数	3	3	3	12	21
	餌		ワーカーゼリー	花粉・蜂蜜		
雄蜂	日数	3	3	3	15	24
	餌		ワーカーゼリー	花粉・蜂蜜		
女王蜂	日数	3	6		7	16
	餌		ロイヤルゼリー			



図 6.1.20 群②への 2 回目の女王の導入(6 月 1 日)



図 6.1.21 群①にできた有蓋蜂児(6 月 6 日)



図 6.1.22 群②の女王バチの死亡(6 月 19 日)



図 6.1.23 群②への 3 回目の女王の導入(7 月 6 日)

6月19日に群②の巣門前で、6月1日に群②に導入した女王バチが死んでいるのが見つかった。そこで、群①に籠に隔離した女王と一緒に入れてあった女王バチフェロモンを群②に移動した。そして、7月6日に坂戸市の養蜂家から新たに購入した交尾済み女王バチを再度導入した。

7月9日に群女王バチを竹籠に隔離している群①の継箱の蜜枠の二枚に、出来るはずのない有蓋蜂児が一個と二個それぞれ作られていた。一個のほうを開けてみたところ空だったので、他の二つも空だろうと考え翌日の採蜜のため衣装ケースに入れておいたところ、図 6.1.25 の下の王台から女王が生まれ、上の王台に穴を開けてもう一匹の女王を殺していた。ミツバチは精子と卵子がそれぞれ X 染色体を持ち、染色体を二つ (XX と記される) 持つ受精卵は雌となり、一つしか持たない (XO と記される) 未受精卵は雄となる。女王バチがいなくなったり、産卵が止まったときには、交尾をしていない働きバチが産卵を始めることがある。これを働蜂産卵と呼ぶが、働きバチは交尾をしていないので未受精卵しか産むことができず、雄バチしか誕生しないのが常識である。養蜂箱の中を丹念に見たが、この三つの王台以外に蜂児も有蓋蜂児もなく全て蜜枠か産卵の準備が整った空の巣房で、女王バチも見つからなかった。衣装ケース内で生まれた女王バチは、内勤バチと共に小さな交尾箱に入れたが、交尾に失敗したのか戻って来なかった。

7月18日に、下の段にまた一つの変成王台と、雄の有蓋蜂児が 20 個ほど見つかった。働蜂産卵の特徴である卵がバラバラと産みつけられる様子が見られる。群①ではこれまで二回のアクシデントで女王バチが産卵したときには、雄蜂切を徹底的に行っていたので雄はいなかったが、今回の雄の有蓋蜂児はそのまま放置したので、翌週に雄蜂が生まれていた。



図 6.1.25 働蜂産卵による女王バチの誕生(7月10日) 図 6.1.26 働蜂産卵による雄の有蓋蜂児(7月18日)

7月10日にはオオスズメバチとコガタスズメバチが襲来し、図 6.1.27 のように各蜂群は巣門前の防御を固めていた。そこで飛んでいたオオスズメバチ 2 匹とコガタスズメバチ 1 匹を、図 6.1.27 のように粘着シートではたいて退治した。スズメバチは 2~3 匹でコミュニケーションを取りながら行動するので、仲間が捕らえられたシートを置いておけば、後から来たスズメバチを貼り付けるトラップとなる。

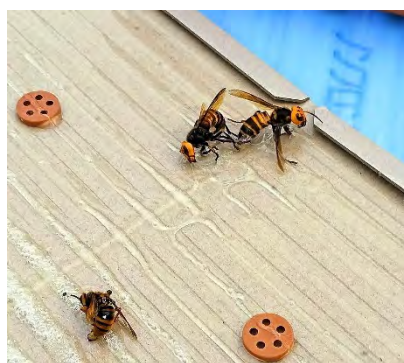
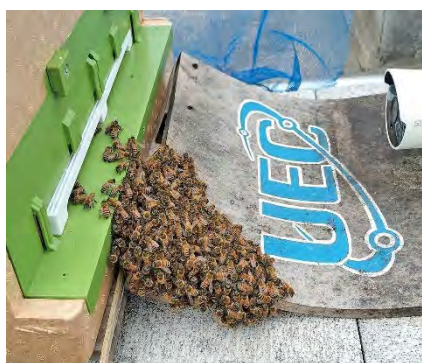


図 6.1.27 スズメバチの襲来(7月10日)

また養蜂が盛んなドイツではスズメバチ対策として、既に他の群がいると見せかけるために偽物の巣を吊るすことが行われている。そこで日本では一般的ではないが、図 6.1.28 のようなビニール製の物を設置して効果を試すこととした。しばらくはスズメバチを見かけなかったが、図 6.1.29 のように 7 月 23 日に働きバチに倒されたと思われるキイロスズメバチが一匹、群③の前で死んでいた。



図 6.1.28 スズメバチ対策グッズ設置(7月16日)



図 6.1.29 キイロスズメバチ(7月23日)

7月31日に女王バチを竹籠に隔離した無王群の二段の群①の下段の巣枠の左下に、図 6.1.30 左のように女王が抜けた王台が見つかり、またその右側に雄の有蓋蜂児が、その上にメスの有蓋蜂児ができていたのが見つかった。なお新女王を探したが見つからなかった。8月5日に内検したところやはり女王は見つからず、新たな蜂児はなく、空の王台が数個見つかっただけで、全ての有蓋蜂児が出房していた。従って、この新女王バチと他のハチは同じ謎の女王バチが同時期に産み落とした卵から出てきたものと考えられる。



図 6.1.30 新女王の誕生と有蓋蜂児(7月31日)

雄バチの有蓋蜂児を作らせるために下 1/3 を空けて、プラスチック巣礎を入れた図 6.1.17 の巣枠であるが、プラスチック巣礎になかなか巣を盛らないため(少数ではあるが盛ったものもある)、これを外したものを導入した結果、図 6.1.31 のようにきれいな雄の巣房を作っていた。なお、写真の巣枠は群④のものである。プラスチック枠に



図 6.1.31 雄蜂房(7月31日)



図 6.1.32 遮光ネットの設置(7月31日)

は巣碑を溶かした蜜蝋を塗っていたがこれにはパラフィンが混ざられていると思われるため、今後はここで採れた蜜蝋を塗って試してみる予定である。

ウレタン以外の巣箱の上にはスチレンボードを置いて直射日光を避けているが、今年も猛暑日が続いたため7月31日、図6.1.32のように上部に遮光ネットを張った。これまでフレームで青いネットが張られていない上部からの出入りが多かったが、遮光ネットを張ったことで入り口が見つからずに周りをウロウロするハチが数日見られた。

8月1日、図6.1.33のように全ての群の女王を竹籠に隔離して、新女王がいるかもしれない群①を除いて短冊状シートへのギタダニ退治用のアピパールを2枚挿入した。ミツバチがシートに触れて移動することで、有効成分のアミラズが体に付着して巣箱内に拡散される。ミツバチには無害で、加水分解して無毒の物質に変わりハチミツや蜜蝋に残留しない反面、湿度が高いと分解して効力が下がる可能性もある。アミラズはダニへの直接接触で効果を発揮するので、封蓋された巣房中のダニには効かない。そこでアピパールは巣房のダニがハチと一緒に出てくるのを迎え撃つため、ゆっくり作用するように作られているが、さらに効果を高めるために、女王バチを竹籠に隔離して産卵を止め、ダニが入り込む有蓋蜂児が新しく作られるのを防いでいる。使用期間は春と秋の採蜜が終わった後の8~9月および12~1月の各6週間としている。

販売会社は、「フランスでのフィールドテスト結果は最終的にはほとんどの群で100%近い駆除率を示しました。フランスでは1995年から使用されていますが、いまだに耐性の報告がありません。」としているが、実際にはアピパールが効かないダニも出ているようである。2020年頃までアミラズを20%含有した農薬「ダニカット乳剤」(500mlで2,500円程度)が普通物として販売されていたが、アピパールは何故か劇薬となっている。アピパールはアミラズを0.5g含有した15gのシート10枚で5,000円程度である。

8月1日、図6.1.34のように群④の巣門の前にオオスズメバチの死骸が転がっており、ミツバチが数匹たかっていた。また、養蜂を行っている本館屋上から直線距離で150mほどの図書館に、スズメバチの巣が見つかった。



図 6.1.33 女王バチの隔離とアピパールの導入(8月1日) 図 6.1.34 群④の前のオオスズメバチと図書館の巣



図 6.1.35 Rooking Movement(8月4日)

8月1日、図6.1.35のように巣箱の全面に下向きにとまり、からだを上下に反復運動させる働きバチが多数現

れた。この行動は夜も休まず続き、5 日のお昼に終了した。この行動は“Rocking Movement”と呼ばれ、ミツバチは滑らかな表面を好み、巣箱内部を掃除して磨くのと同様に外側でも行うものではないかと考えられている。

夏には蜜や花粉が採れる花が少ないため、8 月 5 日に全ての群に図 6.1.4 にも示した砂糖をべっ甲飴状にしたものを約 250g と代用花粉を 100g 程度与えた。また無王の群①を内検したが有蓋蜂児は全て出房しており女王バチも見当たらなかったため、2 日後の内検でアピバルを投入することとした。なお、現在の働きバチはほとんどが 6 月 6 日に確認された図 6.1.21 の有蓋蜂児から生れているため、そろそろ寿命を迎えてハチの数が減り始めると思われる。そこで、群③から群①に蜂児枠を一枚移した。このとき群②の働きバチは全て払い落しているが、図 6.1.36 はそれを群①に入れた後で引き上げたため、多くの働きバチがのっている。また、コガタスズメバチとキイロスズメバチが一匹ずつ粘着シートのトラップにひっかかっており、群④の右側の地面にも 2 匹落ちていた。なお、シートにはミツバチも十数匹張り付いており、これがスズメバチと戦いに行ったためなのか、誤ってとまったためなのかは不明である。群④の左側には図 6.1.37 のようにたくさんの働きバチが死んでおり、左手に映っているスズメバチと戦った後と見られる。これらのことから、ダミーのスズメバチの巣の効果は疑わしい。



図 6.1.36 有蓋蜂児の移動(8 月 5 日)

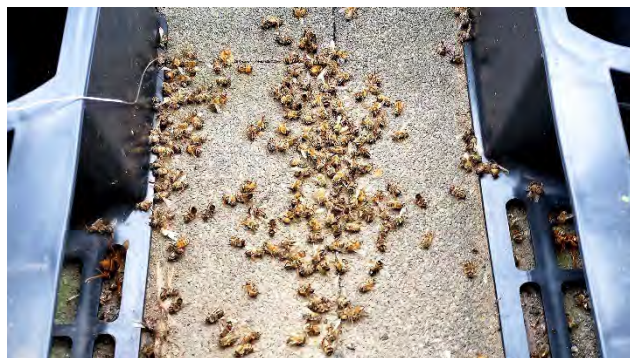


図 6.1.37 死んでいた働きバチとスズメバチ(8 月 5 日)

8 月 7 日に群①の蜜枠を二枚抜き、プラスチック製給餌器に 1kg の砂糖を溶かした約 1 リットルの糖液を入れた。糖液や図 6.1.4 のべっ甲飴は 8 月～9 月上旬の一ヶ月半、ほぼ毎週給餌している。蜜枠の一枚の端にまた王台ができていた。一つは破れており一つはまだだったが、そのままプラスチックの衣装ケースに保存した。

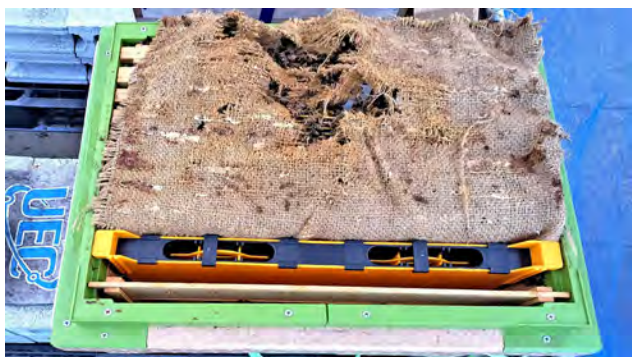


図 6.1.38 群①への糖液の給餌(8 月 7 日)



図 6.1.39 蜜枠にできていた王台(8 月 7 日)

7 月下旬から度々スズメバチが現れるようになり、図 6.1.40 のようにミツバチに撃退される様子もカメラに収められていた。そこで、スズメバチ捕殺器を設置することとした。図 6.1.41 は韓国製の塩ビ製の組み立て式捕殺器を、ウレタン製養蜂箱に取付けているところである。スズメバチが上に飛ぶ性質を利用し、漏斗を逆さにした形状の部分を通して上の籠に入ると、羽が引っかって下に戻れなくなる仕組みとなっている。これを 3 個と日本製の木と金網でできたものを一つ、計 4 個を図 6.1.42 のように設置した。



図 6.1.40 スズメバチに襲い掛かるミツバチ (8 月 18 日)



図 6.1.41 韓国製のスズメバチトラップ (8 月 19 日)



図 6.1.42 スズメバチトラップの設置 (8 月 19 日)



その後あまりスズメバチは飛来せず、働きバチやスズメバチの死骸が床に落ちていることもなかったが、図 6.1.43 のように 8 月 27 日に日本製の捕殺器にコガタスズメバチが一匹掛かっていた。なお、日本製は最も頻繁にスズメバチが来ていた図 6.1.38 の養蜂箱に設置しており、トラップの下はどこからでも入ることができることがその大きな理由と考えられる。それに対して韓国製は図 6.1.41 左からわかるように全面にある二つの比較的狭い 2 つの入り口から入ること、外からは巣門前の蜂の様子が見えないため、スズメバチが入りにくいと思われる。しかしながらそれは捕獲する以前に、スズメバチを巣門に近づけないというメリットもあると見られる。その効果の検証には、カメラでモニタしながら比較する必要がある。

ダニ剤投与期間中も一度もヘギイタダニを確認することはなかったが、図 6.1.44 のように 8 月 27 日に群②で羽縮れた雄バチを一匹確認しており、何匹か入る可能性が高い。



図 6.1.43 日本製のトラップに掛かったスズメバチ (8 月 27 日)



図 6.1.44 群②にいた羽の縮れた雄バチ (8 月 27 日)

その後スズメバチの襲来はカメラで確認できなかったが、9 月 4 日には日本製のトラップにさらに 2 匹のスズメバチが捕獲されていた。また、ヤモリも引っかかっていた。黄色い韓国製のトラップには一匹も入っていない。

9 月 10 日にアピパールを除去し、竹籠を開けて女王バチを解放した。いずれの群も女王バチは元気で働蜂産卵も見られなかったが、4 月からほぼ女王を竹籠に隔離していた群①は 8 月 5 日に蜂児枠を一枚入れたもの

の、ハチの数が半減していた。



図 6.1.45 トラップに引っかかったヤモリ(9月4日)



図 6.1.46 女王バチの開放(9月10日)

ダニ剤投与の前に採蜜できる枠は全て抜き、その代わりに一群当たり毎週 250~300g 程度、トータルで約 1.5kg の砂糖をべっ甲飴にして与えていた。女王バチを隔離したことで蜂児枠はなくなり全ての枠が蜜枠となったが、与えた砂糖以上に蜜が貯まってどの枠もずっしりと重くなっていた。蜜蓋も比較的しっかりとかかっていた。



図 6.1.47 与えたべっ甲飴



図 6.1.48 ハチミツの貯まった蜜枠(9月10日)

女王バチの解放から3日後の9月13日、図 6.1.49 のように代用花粉を与えた。9日後の9月19日には4群全てに有蓋蜂児が見られたが、図 6.1.50 のように群①だけ産卵の状態がよくなかった。またこの群は女王バチを竹籠にずっと隔離するなどして、無王採蜜を行っていたためハチの数が最も少ないが、女王を見つけることはできなかった。



図 6.1.49 代用花粉の給餌(9月13日)



図 6.1.50 群①の有蓋蜂児枠(9月19日)

解放から2週間後の9月24日に、図 6.1.52 のように群②~④の女王全てにマーキングと羽切りを行った。

群②~③は図 6.1.53 のように順調に産卵が進み、群②と③では図 6.1.54 のように雄の有蓋蜂児も見られた。その一方で、群①は図 6.1.50 の状態と変わらず、新たな有蓋蜂児はできていなかった。また女王バチを探したが見つからず、いなくなったのではないかと疑われた。



図 6.1.51 群②の有蓋蜂児枠(9月19日)

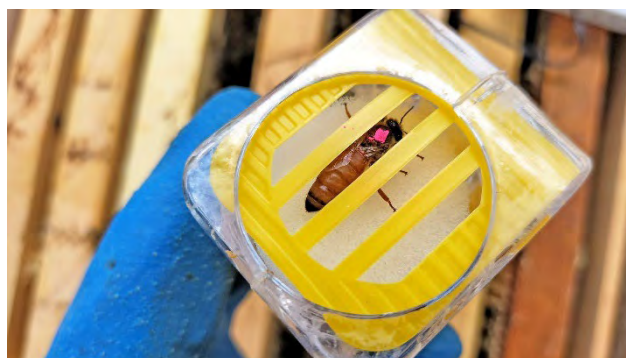


図 6.1.52 女王バチのマーキングと羽切り(9月24日)



図 6.1.53 群②の有蓋蜂児枠(9月24日)



図 6.1.54 群②の雄の有蓋蜂児枠(9月24日)

女王解放から一ヶ月後の10月7日、動きのなかった群①に、図 6.1.55 のように比較的沢山の有蓋蜂児ができていた。しかし、女王は見つからなかった。他の群は図 6.1.56 のように出房したハチで数が増え始めていた。



図 6.1.55 群①の有蓋蜂児枠(10月7日)



図 6.1.56 群④の有蓋蜂児枠(10月7日)

11月に養蜂場を大学図書館屋上(3階相当)に移す予定で、一旦、三鷹の野崎果樹園に預かってもらうため、日没後に巣門を閉じた。翌10月7日の午前、図 6.1.57 のように少雨ではあったが、4群を全て移動した。



図 6.1.57 三鷹野崎果樹園への移動(10月8日)

10月14日に一番元気だった群①に継箱を積んだ。なおこの時に、群①の女王が見つかっている。また同日、図書館屋上での施設の設置を開始した。その後一ヶ月経っても、継箱の蜜枠にはまったく貯まらなかった。大学の群①だけでなく、野崎果樹園の巣箱にも継箱を積んでみたが、こちらもダメであった。11月に入ってからかなりの陽気であったが、周りにはほとんど蜜源がなかったと見られる。



図 6.1.58 三鷹野崎果樹園への移動(10月14日)

10月28日に図書館の施設が完成し、11月13日に野崎果樹園から4群を移設した。並びは右から群①、②、③、④である。移設前夜にスズメバチトラップはすべて外し、群①の継箱もこの後すぐに外した。建物の陰になるため、陽ざしは群①に少し当たる程度である。春は群②まで当たると思われる。



図 6.1.59 図書館屋上施設完成(10月28日)



図 6.1.60 図書館への移設(11月13日)

11月28日に越冬の準備を行った。産卵をさせないために竹籠に女王バチを隔離し、図 6.1.59 左のように雄蜂切用の枠にカットしたスタイロフォームと一緒にはめ込んだ。この巣枠を真ん中にして、両側に2枚ずつ合わせて5枚を保温板で挟んだ。蜜と花粉がほとんど入っていなかったため、上に1キロのべっ甲飴と250gの代用花粉を載せ、アピパールを2枚差し込んだ。白い温湿度センサは巣箱上部で計測する他、細いコードのセンサ(サーミスタ)を巣枠の間に差し込んでコロニーの温度も測定している。



図 6.1.61 越冬の準備(11月28日)

図 6.1.62 は 11 月 29 日～12 月中 14 日の、4 群のデータである。両側の 2 群(群①④)が強群、その間の 2 群(群②③)が弱群である。花がほとんど咲いていないため、重量はほぼフラットに推移している。それに対して 12 月に入って急に冷え込むようになると、弱群のコロニーの温度(蜂温 2、3)と巣箱内の温度(箱温 2、3)が大きく低下した。そのため、ミツバチの数が少ないとコロニーの中心を外れたり、ハチの移動によって小刻みに上下して正確に測定できないことがある。しかし逆にそれによって、巣箱内のハチの状態を把握することもできる。図 6.1.62 の両側の強群ではコロニー温度(蜂温 1、4)と巣箱内温度(箱温 1、4)が安定しているが、箱温は群①のほうが群④よりも高い。これは群①のウレタン箱が、群④の木箱よりも保温性が高いためと考えられる。

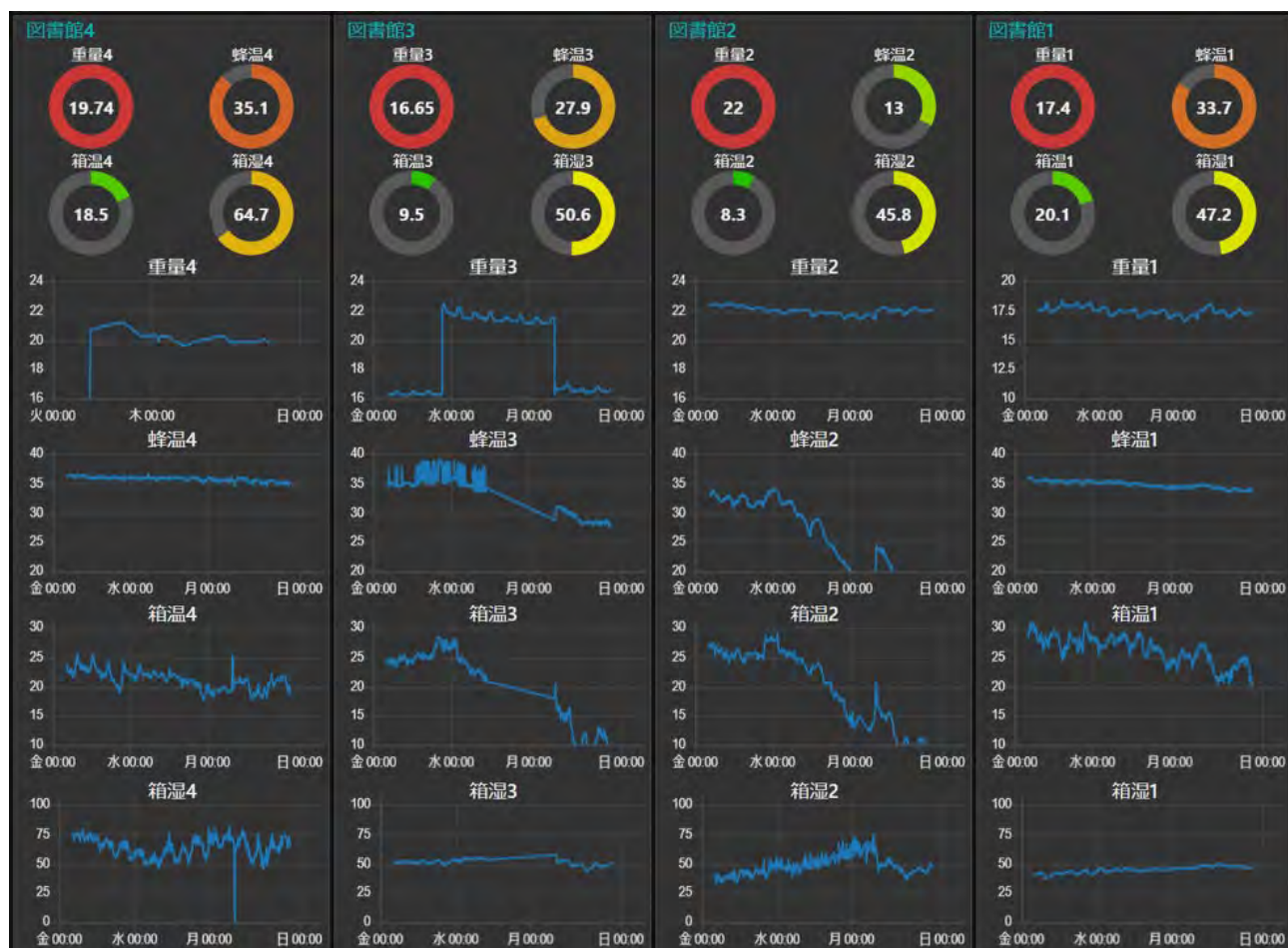


図 6.1.62 11 月 29 日～12 月 14 日の 4 群の重量・温度データ。両端が強群その間の、2 つが弱群

図 6.1.62 から強群の①④は箱温(巣箱上部の温度)も蜂温(コロニーの温度)も安定しているが、弱群の②③は急速に温度が下がっていることがわかる。ウレタン養蜂箱のフタは図 6.1.63 左のように左右に 2 ヶ所の通気孔が空いており、ここから冷気が入って来ている。そこで、12 月 16 日に図 6.1.64 右のように、麻布の上にさらに新聞紙を掛け、図 6.1.65 のように通気孔に折った新聞紙を詰めて、



図 6.1.63 ウレタン巣箱



図 6.1.64 新聞紙での防寒 (12 月 16 日)

その上を養生テープで巻いた。また、寒い中で遠くまで水を飲みに行く必要がないように給水器も設置した。



図 6.1.65 通気孔の閉鎖 (12 月 16 日)

図 6.1.66 は 12 月 17 日～1 月 2 日のセンサデータである。通気孔を閉じたことで、図 6.1.62 では 10℃を下回っていた群②③の箱温が 10~15℃程度に上昇した。群①の温度が他に比べて高いのは強群である上、多少日が当たるためであると考えられる。また強群であった群④であるが、その後は他と比べても温度が低くなってしまっている。これは他がウレタン製の巣箱であるのに対して、ここだけ木製であるためと考えられる。

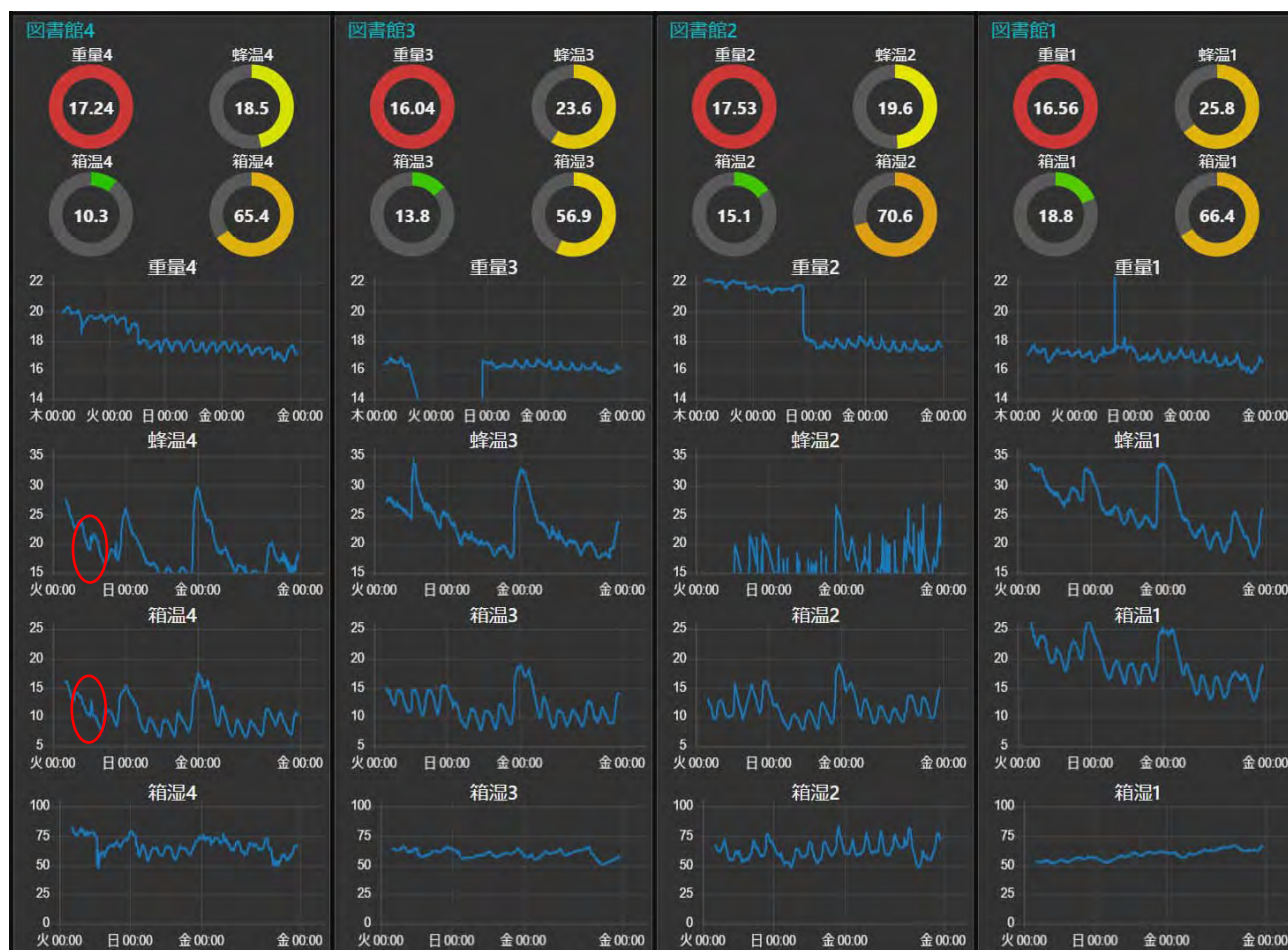


図 6.1.66 12 月 17 日～1 月 2 日の 4 群の重量・温度データ。両端が強群、その間の 2 つが弱群

なお、日当たりのよい大学本館屋上で育てていた前年度は天気の良い日は 12～1 月も元気に飛び回っていたが、今年度は日陰となったためか、ほとんど外を飛んでいる様子はない。このことを考えると、重量の上下動は温度によるロードセルの特性の変動の影響も考えられた。そこで、図 6.1.67 のように重量センサの上にレンガを載せて数日測定したが、重量の一日の変動は最大で 100g と誤差程度であった。これに対して養蜂箱を載せた

場合の重量の変動は 500~2kg なので、これはミツバチの活動によるものであることがわかる。

12 月 19 日、強群の群④の巣門前のブロックの上に、出房前と見られる 30 匹ほどの蜂児の死骸が転がっていた。形に異常は見られなかった。図 6.1.66 で 12 月 19 日の群④のグラフは、「図書館 4」の赤丸で示した部分である。その前から急激に蜂温と箱温が下がっており、蜂球状態になった場所からセンサが外れたものと見られる。また、この群だけウレタン巣箱ではなく木製である。そのため、一部の蜂児が蜂球の外に出てしまい、寒さで死んだのではないかと考えられる。



図 6.1.67 重量センサのテスト(12 月 16 日)

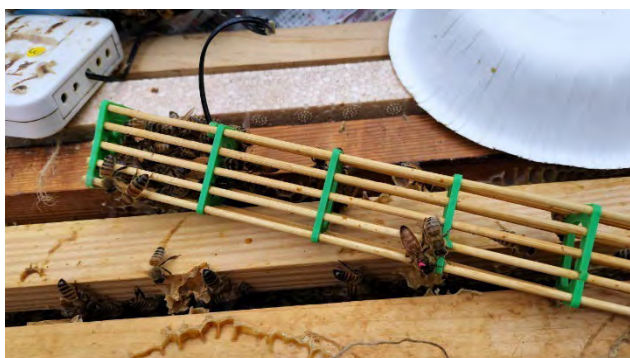


図 6.1.68 死んでいた蜂児(12 月 19 日)

2025 年 1 月 16 日に図 6.1.69 のように、2024 年 11 月 28 日に入れたアピボールを使用期間 6 週間の用法に従って抜き、また竹籠に隔離していた女王バチを解放した。強群の①と④は砂糖飴を全て消費していたので追加する。②と③は半分程度残っていた。花粉は全て消費されていたので、125g ずつ与えた。



図 6.1.69 女王バチの開放 (2025 年 1 月 16 日)



また冷たいコンクリートブロックの上で体力を消費しないように、逆に夏には暑くなり過ぎないように、図 6.1.70 のように木製のプラットフォームを設置した。ミツバチは色と簡単な形を認識できるため、自分の巣箱の目印となるように絵や文字をポスターカラーで描き、耐久性を持たせるため上に水性ニス塗布した。



図 6.1.70 プラットフォームの設置 (2025 年 1 月 16 日)

図書館屋上は日陰とはいえ最高気温が 12~13℃の日が続き、ハチが採蜜に飛び立って花粉を足に付けて戻るようになったので、1 月 31 日に給水器で 50%の砂糖水を建勢給餌として与えた。巣箱内に保温材や新聞紙をたくさん詰めていたので、外に給水器を置いたが、次回は巣箱内に入れる予定である。お昼に陽が当たる群①はハチの数も多く活動が最も活発で、それとの関係や原因は不明であるが、図 6.1.70 右のように内部の新聞紙がかなり湿っていたので交換した。なお、雨や雪はまったく降っていないので、外部からしみ込んだものではない。寒さ対策で通風孔を塞いだため、暖かい日中に巣箱内を上った水分を含んだ暖かい空気が外に出られず、蓋の裏で冷やされて結露したものと思われる。



図 6.1.70 建勢給餌と群①の湿った新聞紙（2025 年 1 月 31 日）

2 月 13 日の夕刻、野崎果樹園の分蜂群を譲り受けた 2 歳の女王の群④を、ハウス内のブルーベリーの受粉のために、千歳烏山の農家のハウス内に移動した。なおこの群は 1 月 16 日に女王を解放したつもりであったが、竹籠の出入り口が開いておらず、他から 2 週間遅れの 1 月 31 日の解放となっている。

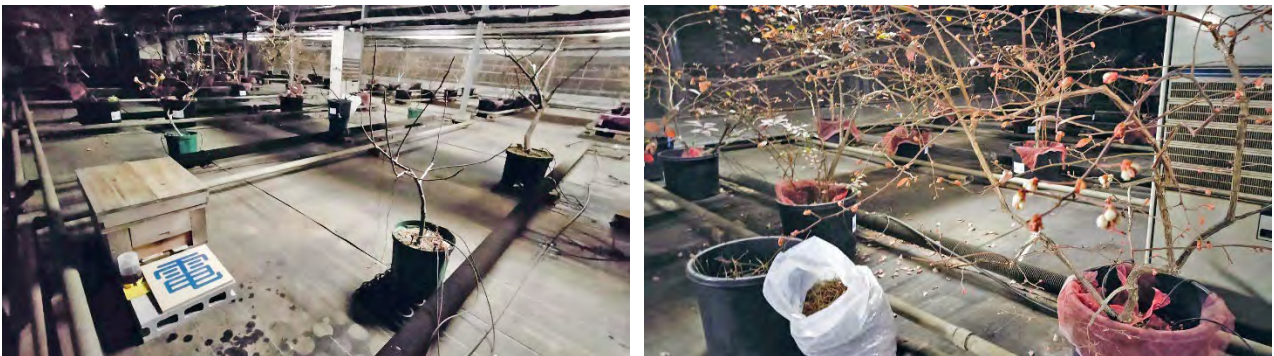


図 6.1.71 ハウス内のブルーベリー受粉のための巣箱(2 月 13 日)

農研機構によると、2013 年の国内の設栽培と露地栽培におけるセイウミツバチの受粉による経済貢献額は、図 6.1.72 に示したように 1,800 億円と見積もられている。花粉交配用ミツバチの生産額は約 20 億円なので、およそ 100 倍の付加価値を生み出している計算になる。

また、表 6.1.2 に示したように、養蜂の収入に占める花粉交配用ミツバチの金額の割合は、平成 30 年の 22% (=1,806 百万円/8,130 百万円)から、5 年後の令和 5 年の 28% (=2,118 百万円/7,444 百万円)と増加している。ハエなどミツバチ以外の昆虫による受粉ビジネスも広がっているため、花粉交配用ミツバチの群数は減っているとはいえ、最も重要な花粉交配昆虫であることには変わらない。また、ハエは衛生上の問題からも、完全に閉じたハウス内でのみ利用されるのに対し、ミツバチによる受粉は農産物に限らず、様々な植物に対して行われるため、その恩恵は計り知れない。

表 6.1.2 蜂蜜・蜜蜂製品の生産額

種類	生産量		単価		生産額(推定)	
	H.30	R.5	H.30	R.5	H.30	R.5
蜂蜜	2,826 t	2,615 t	2,150 円/kg	1,900 円/kg	6,076 百万円	4,969 百万円
ローヤルゼリー	2 t	3 t	115,000 円/kg	115,000 円/kg	230 万円	345 百万円
蜜ろう	23 t	15 t	800 円/kg	800 円/kg	18 百万円	12 百万円
花粉交配用蜜蜂	86 千群	77 千群	21,000 円/群	27,500 円/群	1,806 百万円	2,118 百万円
合計					8,130 百万円	7,444 百万円

農林水産省畜産局「養蜂をめぐる情勢」 令和元年 11 月版および令和 6 年 10 月版から作成

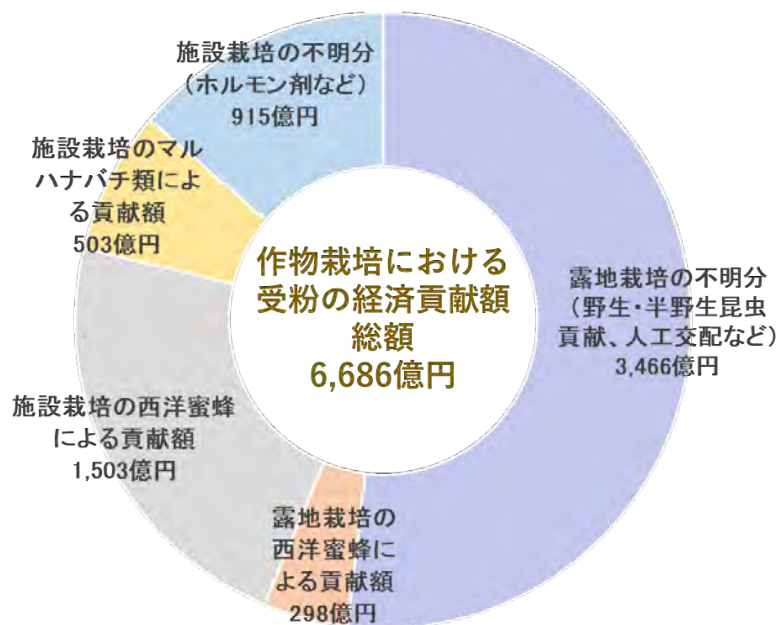


図 6.1.72 国内の作物栽培に置ける受粉の経済貢献額
(2013 年の農業生産額ベース)
農研機構技報 No.12(2022 年 3 月)

6.2 スムシ対策

害虫はヘギイタダニだけでなく、巣枠を食い荒らすハチノスツヅリガの幼虫のスムシの対策も必要である。働きバチの数が十分であれば、図 6.2.1 のように自分たちで駆除するが、ニホンミツバチは駆除が苦手で巣を放棄することがある。ハチミツを採取した後の蜜枠に卵か幼虫が残っているのを気付かずにそのまま箱に保存すると、中で大繁殖してその枠は捨てなくてはならなくなる。スムシ対策は、芽胞菌の濃縮液の BT 剤を薄めて巣礎枠にスプレーするのが一般的である。その

蜜蝋やハチミツを食べたスムシは、体内で芽胞菌が活動して死んでしまう。ミツバチや人には無害で、予防効果は 1 年ほど継続する。



図 6.2.1 スムシを退治する働きバチ(7 月 11 日)

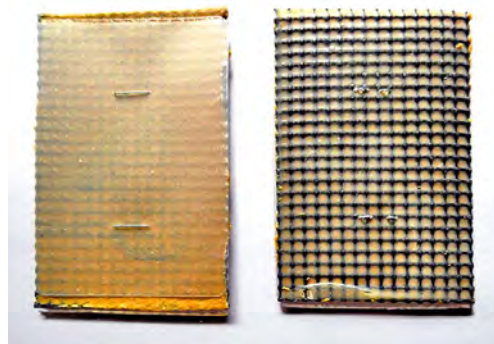


図 6.2.2 スムシっ子カード

ニホンミツバチは通常、巣礎枠は用いずにハチ自身に一から巣を作らせるため、BT 剤を噴霧するということができない。またセイヨウミツバチも無害とは言え、採蜜期間に蜜枠に BT 剤を噴霧するのは好ましくない。そこでスムシを誘引して殺す図 6.2.2 の蜜蝋をベースに誘引剤と BT 剤を混ぜた「スムシっ子カード」が販売され、ベースを固定するための網目とカバーのプラスチックをなくした「スムシっ子カード II」に改良されている。価格は一年分の 2 枚で 1,700 円程度であるが、インターネットの情報から自作してみた。なお材料に用いる BT 剤は、養蜂用として「セルタン B401」120ml が定番であるが 6 千円近くする。BT 剤は農薬としても販売されており、住友化学の「ゼンターリ顆粒水和剤」(100g または 20g) は 1,000 円程度である。

表 6.2.1 スムシ餌配合

米ぬか	80g
きな粉	20g
BT 剤	0.5g
ハチミツ	10g
蜜蝋	10g
水	少々

図 6.2.3 は BT 剤を混ぜたスムシの餌を載せるためのカードの作成過程である。ポリエチレン素材の園芸用の蜂底ネットと適当なシート(ここではまな板シート)を 10cm 角程度にカットし、両者をホッチキスで貼り合わせる。このとき蜂底ネットがシートの周囲から 5mm ほど内側になるようにする。

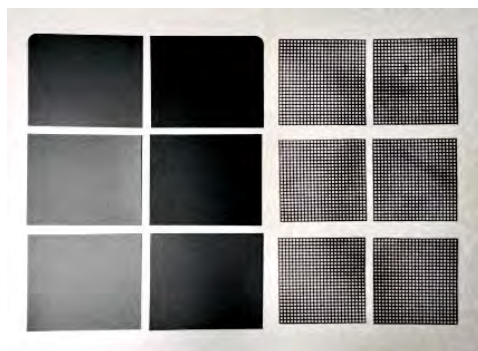


図 6.2.3 スムシ対策用カードの作成

表 6.2.1 にスムシ用の餌の配合量を示す。これを図 6.2.4 のようにボールの中で良く練り、各カードに等分して載せて平らに伸ばす。

さらに図 6.2.4 のように上に蜜蝋をおろし金で擦ってふりかけ、最後にクリアファイルを上に載せて、カードの大きさに切る。蜂底ネットを少し小さくしたのは、蜂がこの餌を食べてしまわないようにするためである。またクリアフォルダでカバーするのは餌が乾燥して硬く固まってしまうのを避けるためでもある。製作したカードを図 6.2.5 のように巣箱の底に設置した。スムシの幼虫は二枚のシートの隙間からカードの中に入り込んで、中の餌を食べる。ある程度大きくなった幼虫には BT 剤は効かないが、カードに入り込めばそれごと捨てて駆除することができる。

結果としてスムシは捕獲されなかったが、もともと 2~3 数匹しか見つかっておらず、製品の「スムシっ子カード II」にもいなかったため、働きバチが直接退治していなくなっていた可能性が高く、引き続き有効性の検証を続けていく。

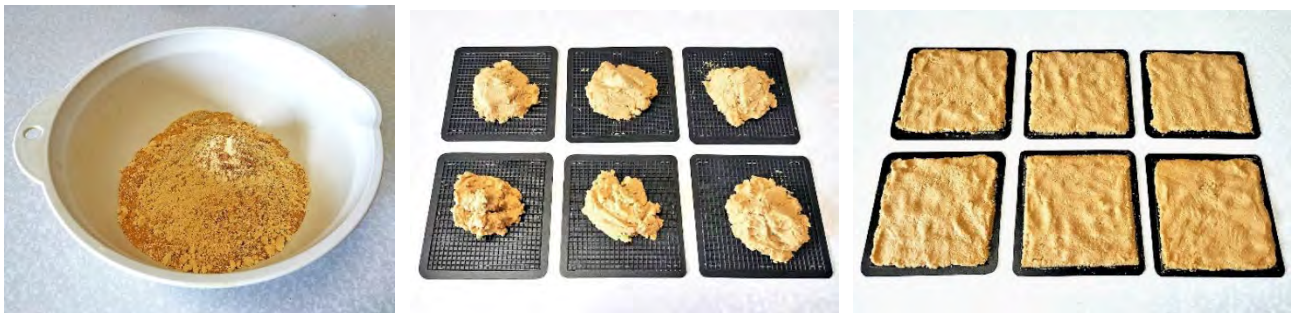


図 6.2.4 練ったエサのカードへの塗布



図 6.2.4 蜜蝋の添加と完成品

図 6.2.5 スムシ対策用カードの導入(7月16日)

6.3 養蜂センサシステム

図 6.3.1 に本事業で実施しているスマート養蜂のシステム構成図を示す。このシステムは 2~3 年度 JRA 畜産振興事業の中で開発したものをベースに、適宜カスタマイズしたものである。後述のセンサモジュールで測定した養蜂箱の温湿度と重量データは、Wi-Fi で無線 LAN ルータとインターネットを経由して、IoT 用の軽量通信プロトコル MQTT により遠隔管理サーバの Raspberry Pi に送信される。Raspberry Pi にはオープンソースのホームオートメーション OS の Home Assistant をセットアップし、MQTT サーバ Mosquitto、フローベースのプログラミング環境 Node-RED、時系列データベース InfluxDB、データ可視化ツール Grafana などのアプリケーションをインストールした。センサデータは Node-RED のダッシュボードを介してスマートフォンでリアルタイムモニタでき、InfluxDB データベースに保存して後から解析することも可能である。

また、巣箱前には複数の FHD 画質のネットワークカメラを設置し、内蔵の SD カードに録画している。センサデータと同様にスマートフォンで遠隔モニタが可能である。現在は停止しているが AI によるスズメバチの検知機能

も開発している。スズメバチ検知用のエッジサーバとして Raspberry Pi を養蜂施設に設置し、スズメバチが襲来したときに警告メッセージを配信することで、常時カメラをモニタする必要がなくなる。また、複数のカメラ映像を遠隔サーバに送信することがないため、広帯域のネットワークは不要で、安価な通信サービスの利用を可能としている。



図 6.3.1 スマート養蜂システムの構成

図 6.3.2 に、温湿度センサモジュールの外観と内部を示す。自作の白い養蜂センサ電子回路基板に I2C インタフェースの青色のデジタル温湿度センサ AHT10 と、黒いコードのアナログ温度測定用サーミスタを接続し、電池ボックスに納めている。白色の基板には Wi-Fi 機能を有した ESP32 マイコンモジュール、音声マイク、重量センサ用 AD コンバータ等を実装している。湿度は巣箱内全体の様子なので通気性を確保した電池ボックス内に置いているが、ハチのコロニーの温度は巣箱の中央付近の巣板の間に集まっている蜂のところまでは細長いサーミスタを延ばして測定する。回路基板に温湿度センサを実装することも考えられたが、デジタル湿度センサは高湿度に長時間さらされると比較的短期間で使用できなくなることもあり、そのときに簡単に交換できるように別モジュールの AHT10 を外付けにした。しかし巣箱の中の湿度は安定しており、故障することがなかったため、今後は基板上に実装する予定である。

図 6.3.3 は温湿度センサモジュール配線図で、電池ボックスには単四電池を 3 本入れ、5V 弱の電圧をセンサ基板の VIN に供給して内部レギュレータで 3.3V を作っている。AHT10 は基板の 3.3V と GND を供給してもよいが、電源ピンは図で左側、IO ピンは右側にあるので、配線やボックス内への設置の都合上、ESP32 の GPIO18 から 3.3V を、GPIO19 から GND を供給した。なお、GPIO18 を AHT10 の VIN に接続しているが、この VIN はセンサ基板入力の 5V ではなく 3.3V 入力である。VIN には+-を間違えて入力しないように、整流用のショットキー・バリアダイオードを挿入して内部の 5V 電源ラインにつないでいる。ダイオードの電圧降下が 0.5V 程度あるので、電池が消費されて電圧が下がってきたときに、できるだけ動作時間を延ばしたい場合は VIN ピンではなく 5V ピンに電池ボックスの+をつなぐとよい。乾電池を電池ボックスへ入れる際に向きを間違えることはまずないが、そこまで心配であれば 5V ではなく VIN へつなぐ必要がある。サーミスタを電池ボックスの外に出すのと、湿度測定のために空気を入れる必要があることから、ボックスの端にハチが入れない程度の 4mm の穴を 5 つ空けている。



図 6.3.2 温湿度センサモジュール



図 6.3.3 温湿度センサモジュールの配線図

図 6.3.4 は市販のデジタル体重計 HBK-T101 の表面(左)と、内部に養蜂用の自作センサ基板を組み込んだ裏面(右)の写真である。センサ基板の色が白から緑に変わっているが、図 6.3.3 と同じものを図 6.3.5 のように重量センサ用に配線する。HBK-T101 の筐体、4 つのロードセル、電池ボックスを利用して元々入っていた重量計用の回路基板を取り外して自作センサ基板と交換している。



図 6.3.4 デジタル体重計 HBK-T101 の表面(左)と内部にセンサ基板を組み込んだ裏面(右)

なおこれまで使用していた HBK-T101 (およびそれと同じ仕様の HBK-T102) が製造中止となったため、後継機種
の HBK-T103 にもオリジナルセンサを実装した。サイズは
HBK-T101 が縦 185×横 265×高さ 24mm、HBK-T103 が縦
210×横 260×高さ 23mm とほぼ同じである。HBK-T103 の 4
ヶ所の脚はプラスチック製で、底に丸いゴムシールが貼っ
てある。それに対して HBK-T101 は全体がゴムできてお
り、2 年も経つと劣化して破れて使えなくなってしまうとい
う問題があった。それに対して HBK-T103 はゴムよりも強い
プラスチックのため耐久性は良くなっているが、裏面のカバ
ーが天板とほぼ同じ大きさのため雨の侵入が気になり、今
後、屋外で耐久性を検証する必要がある。スペースをグル
ーガン等で埋めるということも可能であるが、設置現場で動
作チェックのために USB ケーブルをオリジナルセンサに挿
すことがあるのであまり好ましくない。またチェックの必要がなかったとしても、センサ基板の AP モードと STA モ
ードの切り替える必要がある。HBK-T101 と HBK-T103 のカバーはいずれもノッチで留まっており、前者は手で
簡単に開けることができるが、後者は非常に硬く隙間にマイナスドライバーを入れる等の作業が必要である。
HBK-T103 と HBK-T101 のロードセルとセンサの論理的な配線は同じであり、図 6.3.6 に HBK-T103 に実装した
様子を示す。

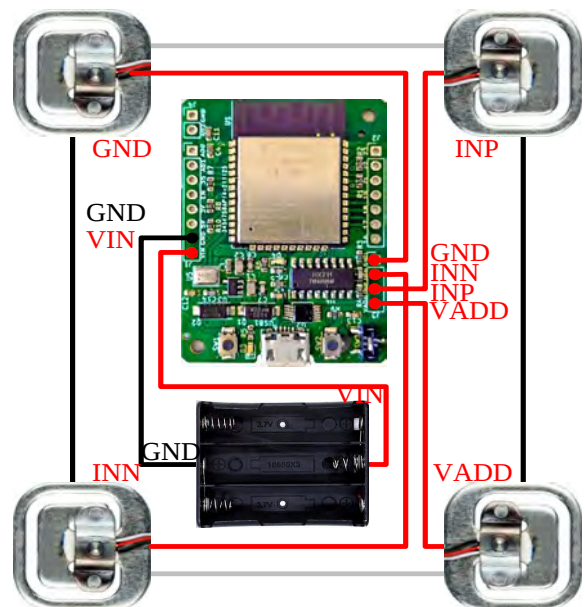


図 6.3.5 重量センサモジュールの配線図

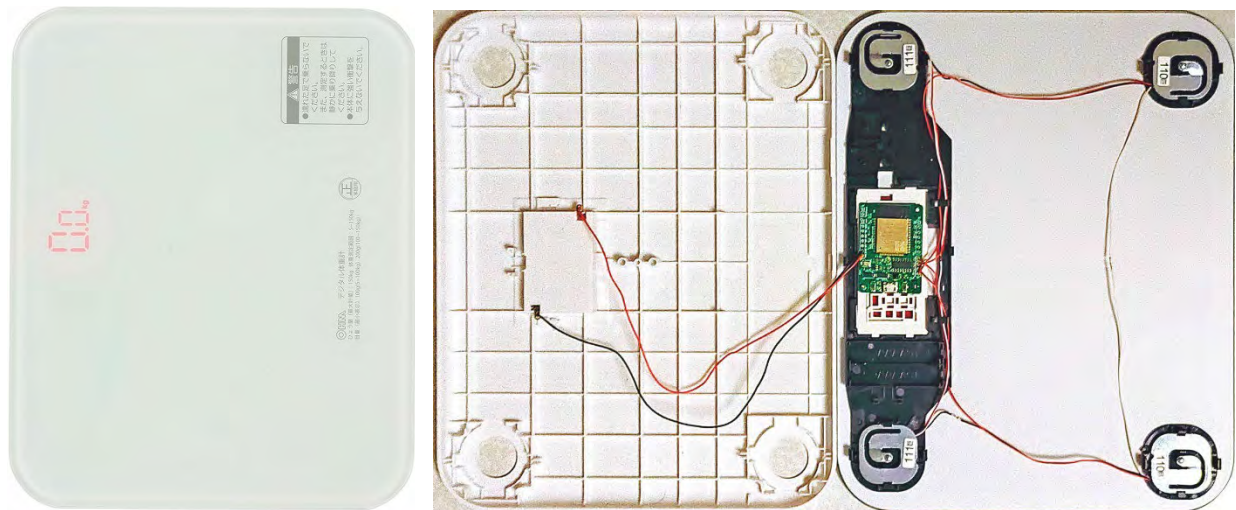


図 6.3.6 HBK-T103 の配線

セイウミツバチの養蜂箱への重量センサの設置は、図 6.3.7 のように後脚だけを載せて前に傾ける。正確な
測定には前後の脚の位置から巣箱の重心までの距離を調べる必要があるが、およそ半分の重量がかかるので、
測定値を 2 倍すればよい。セイウミツバチの巣箱は雨が入らないように後ろを上げて前側に傾けるが、ニホンミ
ツバチは半分程度の大きさの巣箱を真つすぐ上に積み上げていく。そのため図 6.3.8 のように真下に重量センサ
を設置するが、HBK-T101 や T103 はやや小さく安定しない。そこで図 6.3.9 の体重計 HBK-T100 (28cm×28cm)
を用いることにした。HBK-T100 はボタン電池動作で乾電池を入れる場所がないため、電池ボックスを
外付けすることとした。



図 6.3.7 セイウミツバチへの重量センサ設置



図 6.3.8 ニホンミツバチへの重量センサ設置

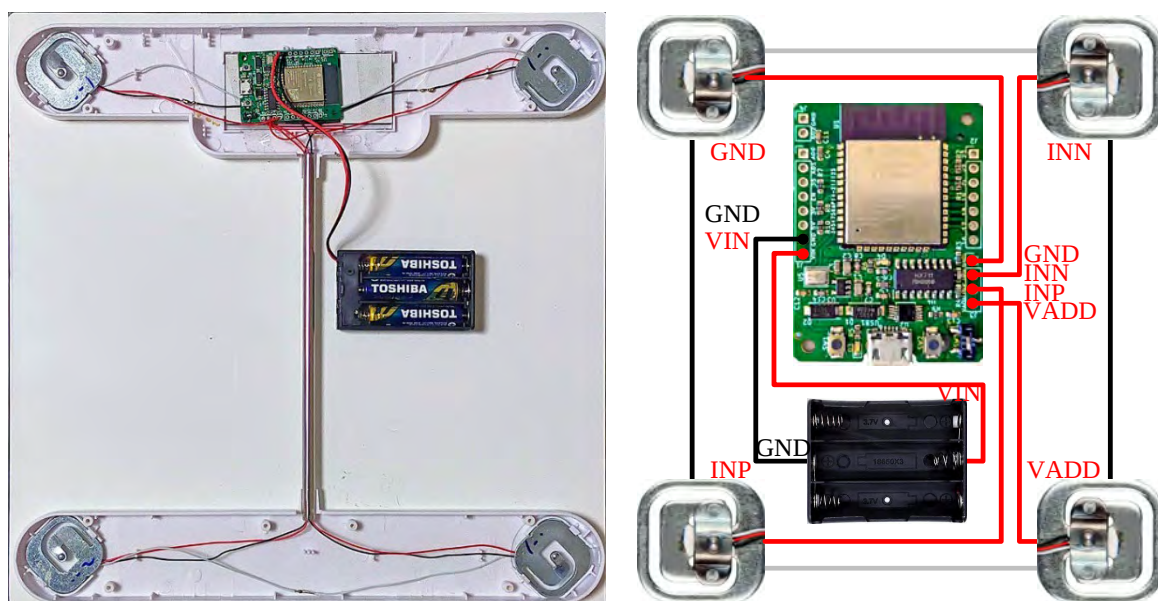


図 6.3.9 HBK-T100 の裏面の配線と、重量センサモジュールの配線図(右)

これまでは外部の養蜂場にシステムを設置して研究を行ってきたが、本事業では学内に設置した自分たちの施設でデータの取得を行った。また、養蜂業で飼育するセイウミツバチだけでなく、個人宅のニホンミツバチの巣にも同じシステムを導入した。図 6.3.10 に 5 月 5~20 日の約 2 週間の、大学本館屋上のセイウミツバチ 3 群のセンサデータを、図 6.3.11 に 5 月 4~17 日の聖蹟桜ヶ丘の個人宅の、ニホンミツバチ 3 群のセンサデータを示す。図 6.1.18 に示した分蜂は、図 6.3.10 の群③で起こっており、このとき赤い円で示したように重量が急激に 2kg ほど低下し、またコロニーの温度も 38° 近くまで上がっている。養蜂システムではこのような変化を捉えて、ユーザに警告通知を行うようになっている。なお、他にも数 kg 重量が変化している部分が複数あるが、これは内検作業によるものである。採蜜やミツバチの出入り、また雨によっても巣箱の重量は変動するが、1 時間で 1kg 以上変化するのは分蜂もしくは内検時だけである。巣箱の蓋の裏に置かれた温湿度センサで測定した箱の中の温度(箱温 1~3)は、群①の変動が小さい。これは群①が保温性の高いウレタン製、群②③が木製のためである。

図 6.3.11 のニホンミツバチでも群①が 5 月 4 日に分蜂を起こしており、このときの様子が図 6.3.8 の写真である。この時は今年初めての分蜂であったため、1kg 以上の変動があったが、この後に 2 回目、3 回目となると 500g 程度しか変化せず、分蜂検知の閾値はこの辺りにしておく必要がある。

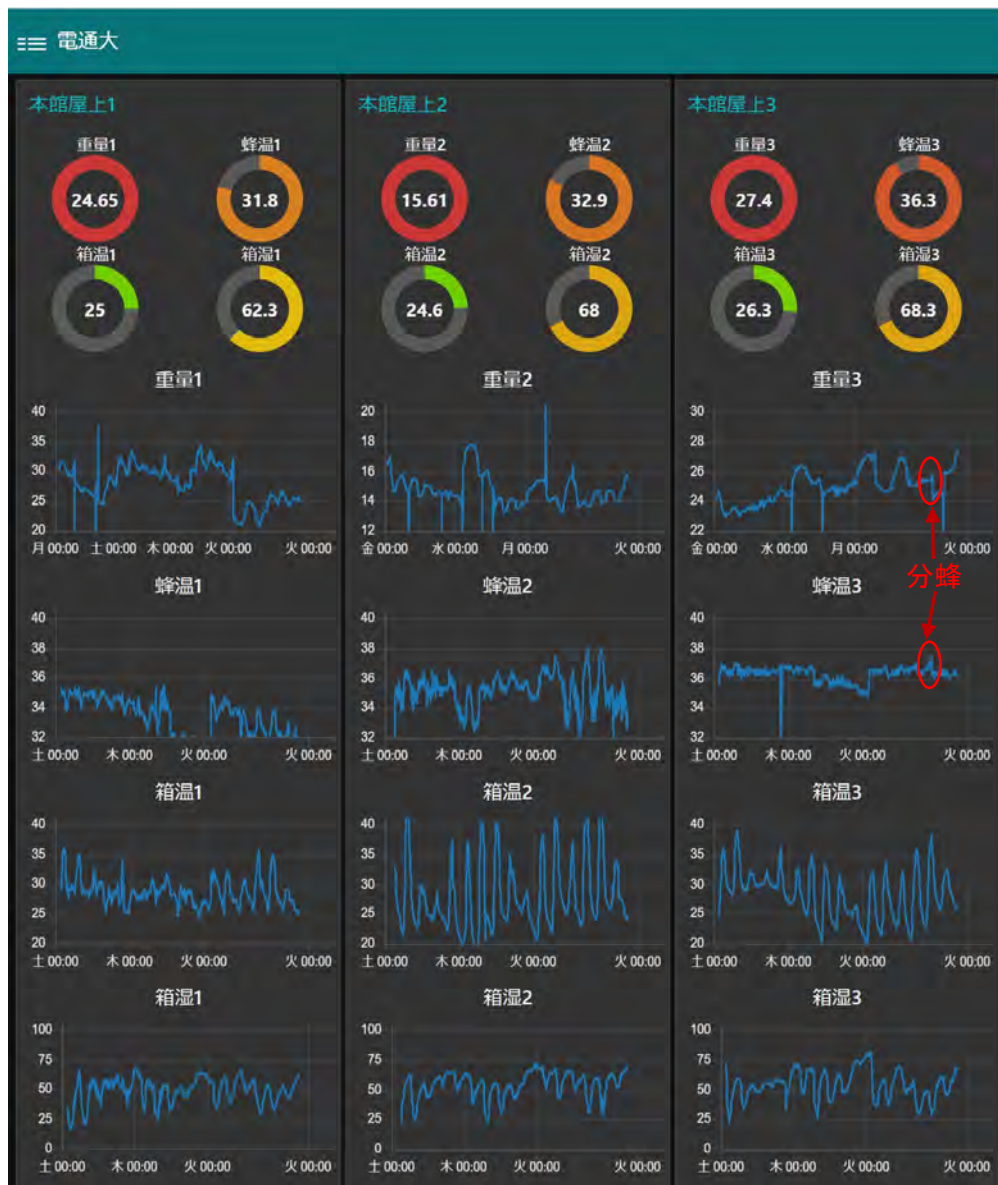


図 6.3.10 大学本館屋上の群①②③のセンサデータの PC 表示画面(5 月 5~20 日)



図 6.3.11 ニホンミツバチのセンサデータの PC 表示画面(5 月 4~17 日)

6.4 養蜂カメラシステム

養蜂施設に設置したカメラではこれまで、図 6.4.1 のように AI を用いてスズメバチの襲来や、群勢を測るためのミツバチのカウント等を行ってきた。しかし、AI による物体認識は比較的大きな計算リソースが要求される。そこで AI を用いない軽量の画像処理で、同様の検知ができないか実験を行った。

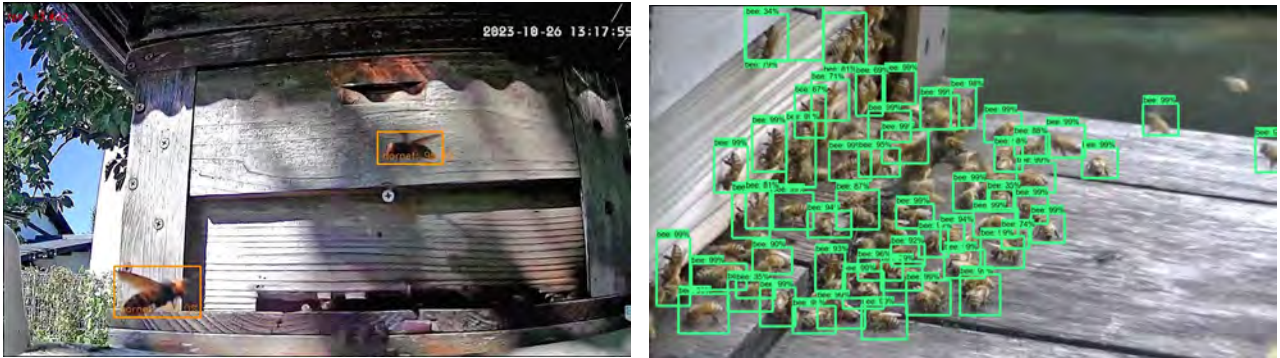


図 6.4.1 AI によるスズメバチの検知 (左) とミツバチのカウント (右)

Optical Flow は動画や連続したフレームの画像から、物体の動きを検出してその移動ベクトル等を算出する画像処理手法である。様々なアルゴリズムがあるが、比較的軽量で事前学習も不要、身近なところでは机の模様や微細な傷をトレースして動作する光学マウスに利用されている。ここでは、OpenCV に実装されている Optical Flow の中で、代表的なアルゴリズムである Lucas-Kanade 法 (以下 LK 法と記す) と Gunnar Farneback 法 (以下 GF 法と記す) をミツバチのトレースに適用してみた。

LK 法は、物体上のある点の輝度は Δt 時間後も同じで、その周囲の点も同じ方向に動くと仮定して、移動距離が短い移動ベクトルを探索するものである。このような手法は勾配法と呼ばれ、処理時間が短いという利点がある、その反面で精度が低いという欠点もある。また、点を追跡するため疎 (Sparse) な Optical flow とも呼ばれる。これに対して GF 法は、基本的に画像の全ピクセルに対して移動ベクトルを求めるため、密 (Dense) な Optical flow と呼ばれる。全ピクセルのベクトルを矢印等で画面上に表すわけにはいかないので、その角度と大きさを色で表現する。これには RGB ではなく、色相 H (Hue)、彩度 S (Saturation)、明度 V (Value) の 3 成分からなる図 6.4.2 の HSV 色空間モデルの H と V を用いる。ベクトルの角度に対応して右向きを基準の 0° のときに赤、時計回りに 120° のとき緑、 240° で青と色相 H を割り当て、ベクトルの大きさ V を黒から最大の明るさで表す。明度 S は用いずに最大値とする。

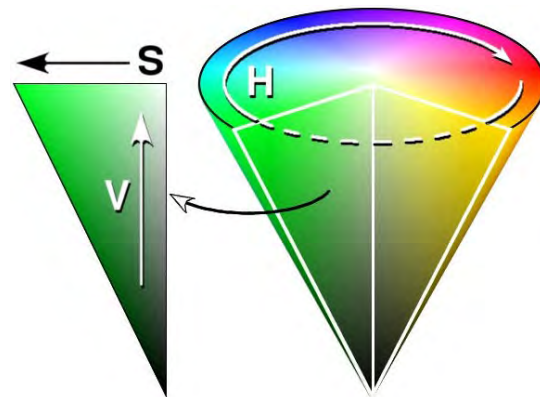


図 6.4.2 HSV 色空間モデル

図 6.4.3 は人がショッピングモールを歩いている動画 (960×540, 30fps, <https://motchallenge.net/data/MOT16/>) に対して LK 法で Optical flow を生成したものである。左の写真ように最初のフレームで緑の○で示した特徴点を設定し、それを右の写真のように追跡している。したがって後からフレームインした人物はトレースがうまくいかないが、これは手を抜いたプログラムによるもので、本質的な問題ではない。特徴点は 100 個抽出しているが、画素の変化が急峻な物体のコーナーが選ばれるため、看板の文字が多く選択されている。精度を高めるためにはこの特徴点をどうやって抽出するかも重要なポイントである。図 6.4.4 左は同じ動画の Optical flow を GF 法で求めた

もので、LK 法のように特徴点だけでなく、全画素がその対象となる。Optical flow は元画像に重ねずにそのまま示している。手前の 2 人は左に歩いているので図 6.4.2 の S 成分に対応してベクトル方向はほぼ緑で表され、奥の二人は右に歩いているので赤となる。大きく動いている足先や手先が V 成分としてより明るくなっていることもわかる。

図 6.4.4 右は連続する 2 フレームの単純な差分を取って、ある閾値を基準に 2 値化し、差分の大きい画素を赤で塗ったものである。なおノイズ除去のために差分を取る前にメディアンフィルタをかけている。画素に対応した物体の移動方向や速さは一切考慮されていないが、どこの物体がどのくらい動いているかという指標として利用可能である。

Windows PC (Intel Core i7-8565U 1.8GHz) 上で、LK 法とフレーム間差分はほぼリアルタイムでの処理が可能であった。それに対して GF 法は、わずか 18 秒の動画にもかかわらず数分も要しており、リアルタイム処理を行うには解像度を下げ、フレームを間引きする必要がある。

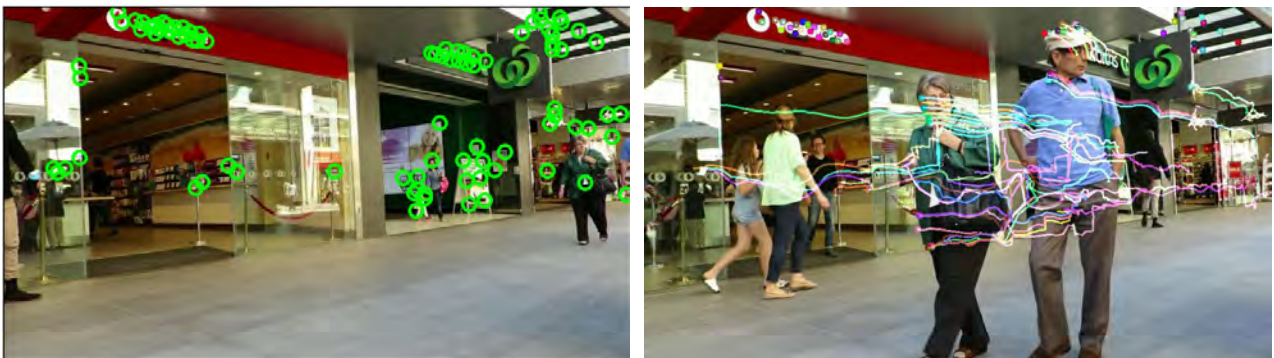


図 6.4.3 Lucas-Kanade 法の Optical flow(歩く人)

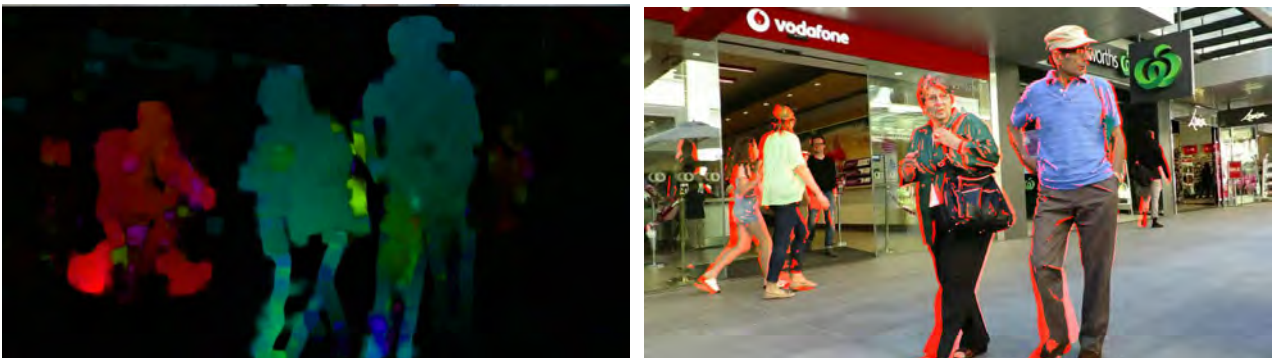


図 6.4.4 Gunnar Farneback 法の Optical flow とフレーム間差分(歩く人)

図 6.4.5~6.4.10 は同じ 3 つのアルゴリズム GF 法、LK 法、フレーム間差分を、巣箱前のミツバチの動画 (1280×720、30fps) で試したものである。図 6.4.5~6.4.8 は襲来したスズメバチを撃退するためにミツバチが大騒ぎしている場面である。図 6.4.5 左は LK 法で、第 1 フレームの特徴点を抽出したものであるが、ミツバチや巣箱よりもエッジがはっきりしている日時等の文字が選ばれてしまっている。このため、図 6.4.5 右では Optical flow として文字周辺の変化しかとらえられていない。

これに対して図 6.4.6 左の GF 法では、検索対象が全画素のため、ミツバチの動きがきちんと捉えられており、逆に文字は非常に小さな変化であるため表示されていない。巣門の右側から一斉に出てきたミツバチは、左上に駆け上がったものと左下のスズメバチに向かったものがあるため、それらの移動方向に応じてそれぞれ青と緑で表現されている。また巣門の左下にいたミツバチはその右に飛来したスズメバチに立ち向かうために右に向かったため赤くなっている。

また、図 6.4.6 右のフレーム間差分も比較的良く画面の変化をとらえている。しかしながら複数のミツバチが固まっている画面中央下はみな同じような色で映っているため、巣箱との色の差がはっきりしている上部に対して、動きがあまりきちんと検出されていない。



図 6.4.5 Lucas-Kanade 法の Optical flow(スズメバチ襲来 1)

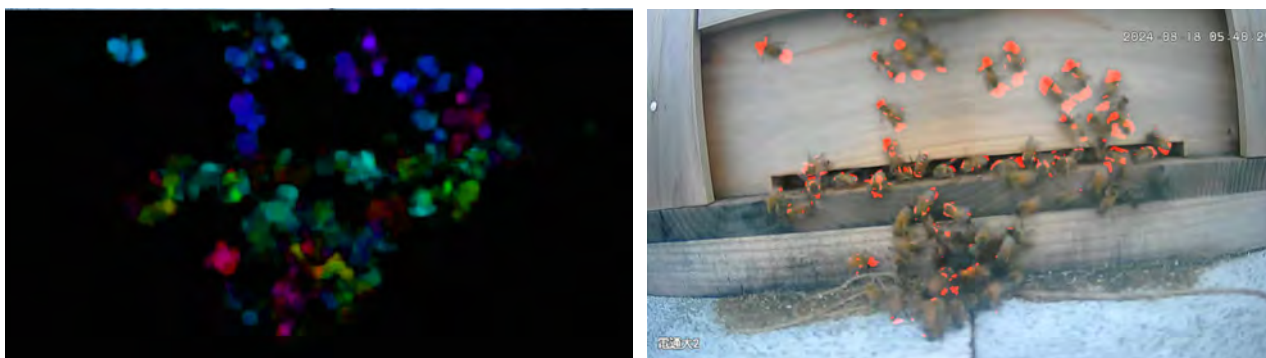


図 6.4.6 Gunnar Farneback 法の Optical flow とフレーム間差分(スズメバチ襲来 1)

図 6.4.7 左は図 6.4.6 左と同じ第 1 フレームの特徴点を示しており、図 6.4.7 右はその 30 秒後の LK 法の Optical flow である。多数のミツバチが特徴点抽出された文字列に重なったため、Optical flow の一部が文字からはずれて複数のミツバチの上を移動してデタラメな動きをしている。したがって第 1 フレームの特徴点がミツバチの上にとられても、多数の似たハチが動き回るこのような動画に対して、LK 法の適用は無理と考えられる。



図 6.4.7 Lucas-Kanade 法の Optical flow(スズメバチ襲来 2)

一方、図 6.4.8 左の GF 法の Optical flow は、多数の激しく動くミツバチに対しても正しく動きをとらえているようである。また図 6.4.7 左では、同じ方向に移動する複数のミツバチがいたため、同じような色が固まっていたが、図 6.4.8 では各ミツバチが様々な向きに動き回っていることがわかる。

図 6.4.8 右はフレーム間差分で、移動の向きは不明なものの、激しい動きが検出されている。

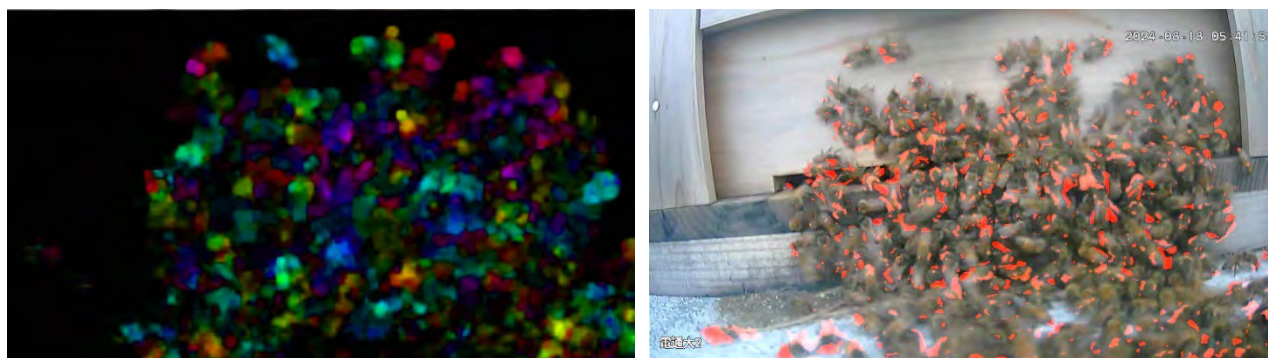


図 6.4.8 Gunnar Farneback 法の Optical flow とフレーム間差分(スズメバチ襲来 2)

図 6.4.9 は、それぞれ上が早朝の午前 6 時、下が日没前の午後 6 時 40 分のミツバチの様子である。LK 法は効果がないため試していない。上段の朝の動画では映っている数は少ないが、採蜜のために出入りするハチが比較的好く動いているのがわかる。また下段の日没前の動画では、ハチの数は多いものの、それぞれの動きはあまり大きくないように見える。

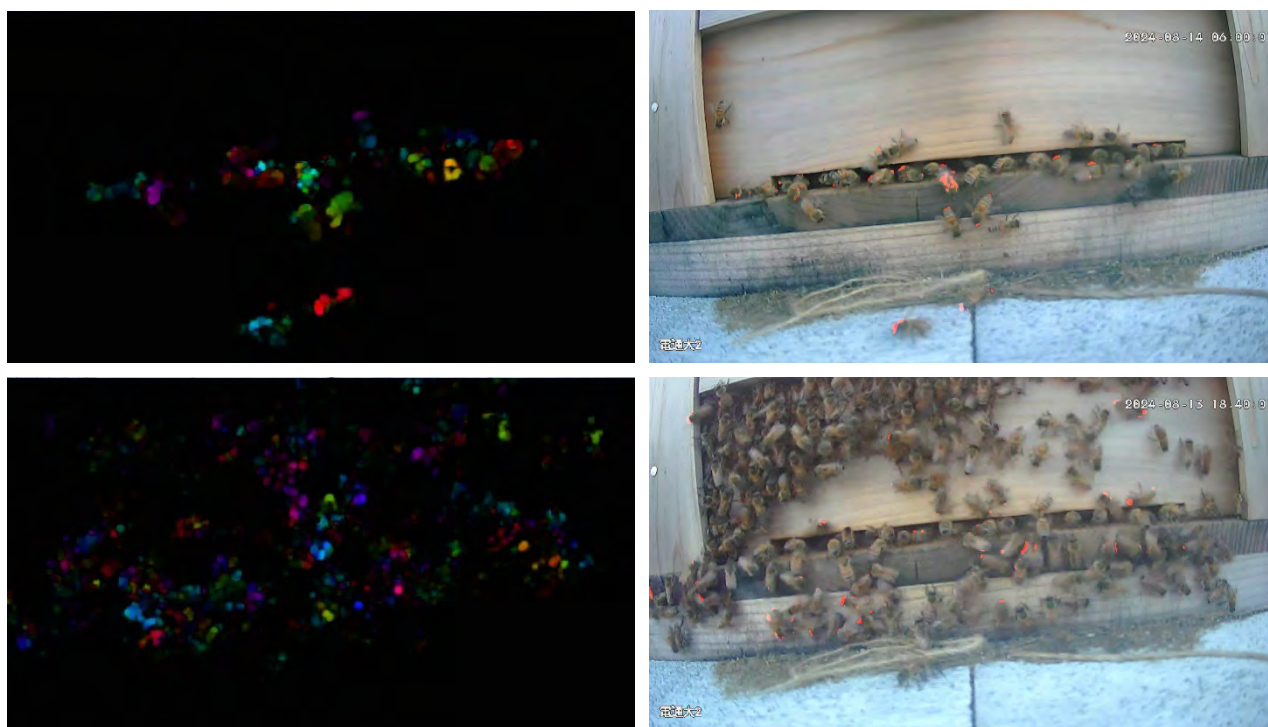


図 6.4.9 昼のミツバチの動画に対する Gunnar Farneback 法の Optical flow(左)とフレーム間差分(右)

図 6.4.10 上段は図 6.4.9 下段の約 2 分後の日没直後の映像で、日没前よりも大きい動きが検出されている。これは本当に動きが大きくなったのか、あるいは弱い夕日でぼやけ気味の映像だったのが、赤外線ライトで照らされてくっきりとし影響によるものなのかは不明である。しかしながら、GF 法とフレーム間差分の動きの大きさには強い相関が見られる。

図 6.4.10 下段は夜中の 0 時の動画で、多数のミツバチが涼みに外に出てきているが、ほとんど活動していないので Optical flow もフレーム間差分も、ハチの数が少ない日没直後よりも小さい。

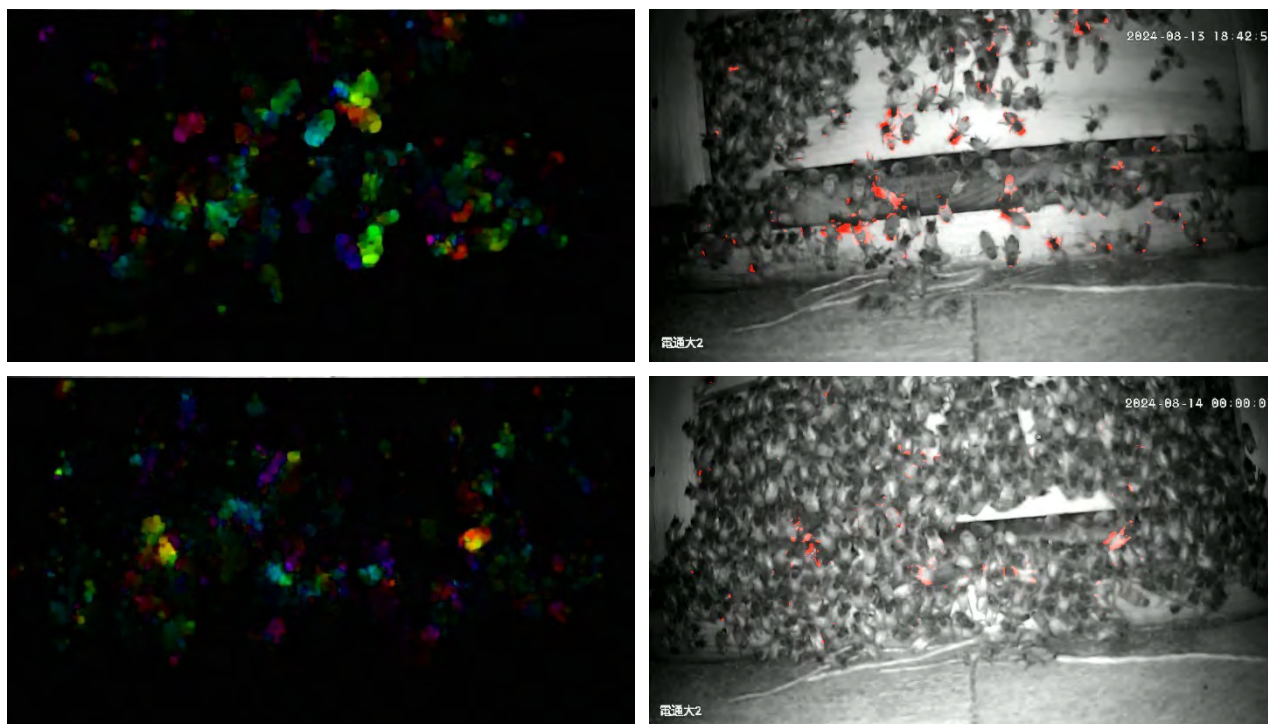


図 6.4.10 夜のミツバチの動画に対する Gunnar Farneback 法の Optical flow(左)とフレーム間差分(右)

これらのミツバチの動画は市販の防犯カメラで撮影しており、図 6.4.11 はそのスマホ用カメラアプリの画面である。防犯カメラのため、カメラの人や物等の動体検知を行っており、大きな動きがあった時にはユーザに通知を行うようになっている。画面下の水色と赤のバーの部分で、8 時間の間に物体を検知したところが赤いラインで示されている。動体検知は通常、連続するフレームの差分を取って変化のあった画素数をカウントし、その数がある閾値を越えたかどうかを調べている。この例では頻繁に検知が起きているが、検知の閾値を設定することはできないため、通知をオンにすると警告メッセージがスマホに送り続けられることになってしまう。赤いラインの発生頻度である程度活動状況を把握できるものの、例えば閾値が 100 画素以上と設定されていた時は、100 画素であろうと 1,000 画素であろうと同じ一回として判定されてしまう。防犯カメラは標準規格の ONVIF (Open Network Video Interface Forum) や、動画ストリーミングの RTSP (Real Time Streaming Protocol) をサポートしているものも多く、それらを用いれば専用のアプリではなく、自分で物体検知をプログラムすることもできる。先に例示したミツバチの動画でフレーム間差分の赤い画素を数え、それを検知/非検知の二値化するのではなく、そのまま数値としてグラフ化すれば活動状況を把握することができる。

なお図 6.4.12 の分蜂時は桁違いの差分が生じるので、閾値を非常に大きく設定すれば誤検知せずに分蜂の通知が可能である。

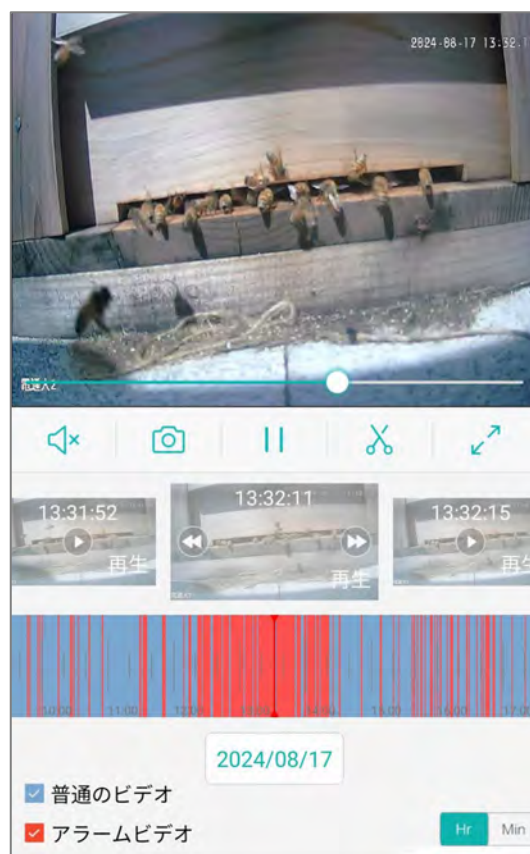


図 6.4.11 スマホ用カメラアプリアプリ



図 6.4.12 分蜂とそのフレーム間差分の映像

フレーム間差分の計算は軽いので Raspberry Pi 等を使わずに、1,000 円程度で入手可能な図 6.4.13 の ESP32-WROVER CAM ボードでも実行することができる。6.3 節の温湿度センサや重量センサの電子回路基板にも、これと同じ ESP32 シリーズのマイコンを用いており、全体的なシステムとしても相性が良い。ESP32-CAM に搭載されているカメラモジュール OV2640 の諸元を表 6.4.1 に示す。OV2640 は内部に DCT やエントロピー符号化等の機能を有した圧縮エンジンも有しており、ビットマップデータだけでなく JPEG 圧縮用データを出力することができる。生データを RGB (RGB565/555 および各 8 ビット) のほか、輝度 Y と 2 つの色差信号で表現される YUV (YUV422/420) と YCbCr (YCbCr422) もサポートしている。なお U と Cb は B(青)から Y を減じて特定の定数を乗じた値、V と Cr は R(赤)から Y を減じて特定の定数を乗じたものである。

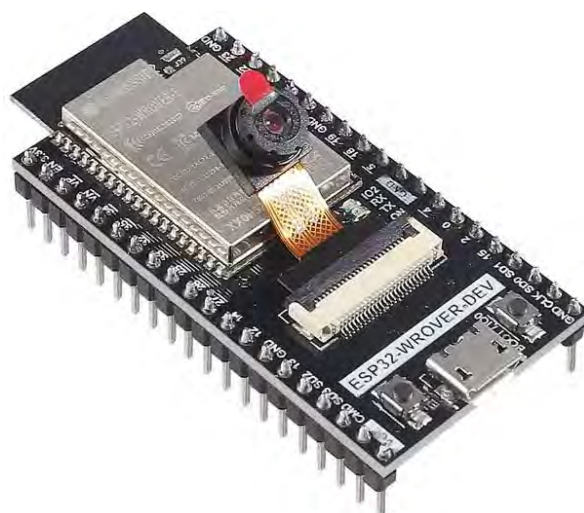


図 6.4.13 ESP32-WROVER CAM ボード

巣箱を 24 時間監視するには夜間の撮影も必要で、防犯カメラ等では赤外線による撮影が可能である。しかし、ESP32-CAM 用の赤外線カメラモジュールは販売されていない。OV2640 モジュールには複数のバリエーションがあるが、それらはレキケーブルの長さや画角の違いだけである。一般的に可視光用の CCD カメラには、人の目には見えない余計な赤外線をカットするためのフィルタがイメージセンサの前に挿入されている。動体検知カメラでは人に綺麗に見えるかどうかは問題ではなく、昼も夜も対象物を映せるかどうか重要なので、OV2640 モジュールの赤外線フィルタを除去して暗闇でも撮影可能にすることを検討する。

図 6.4.14 は ESP32-CAM に標準搭

表 6.4.1 OV2640 カメラモジュールの諸元

アレイサイズ		1,600×1,200 (UXGA 200 万画素)
電圧	コア	1.3V±5%
	アナログ	2.5-3.0V
	I/O	1.8-3.3V
消費電力	アクティブ	125mW (15fps: UXGA, YUV) 140mW (15fps: UXGA 圧縮)
	スタンバイ	0.9mA
動作保証温度		0~50°C
出力フォーマット		YUV(422/420), YCbCr422
		RGB565/555
		8-bit 圧縮データ
		8-/10-bit 生 RGB データ
最大転送レート	UXGA/SXGA	15fps
	SVGA	30fps
	CIF	60fps
S/N 比		40dB
ダイナミックレンジ		50dB
スキャンモード		プログレッシブ
ピクセルサイズ		2.2μm×2.2μm

載されている代表的な2つのOV2640カメラモジュールで、外見は異なるが機能と性能は同じようである。左のカメラのレンズは赤く映っているが、これは赤外線フィルタがレンズの前に挿入されているためである。このフィルタは0.5mm程度の厚みがあり硬く、モジュールと一体化しているので取り外すことは難しい。一方で図6.4.14右のカメラでは、フィルタはレンズの後ろに挿入されており除去可能である。図6.4.15左はまず中央のレンズの周りの接着剤をカッターナイフで剥がし、その後でネジ状の溝で埋め込んであるレンズをペンチで挟んで回して外した状態である。レンズのすぐ下にCCDイメージセンサがあることがわかる。レンズを裏返すと赤く映っている丸いフィルタが接着してあるので、それとレンズの隙間にカッターナイフを挿入すると外すことができる。

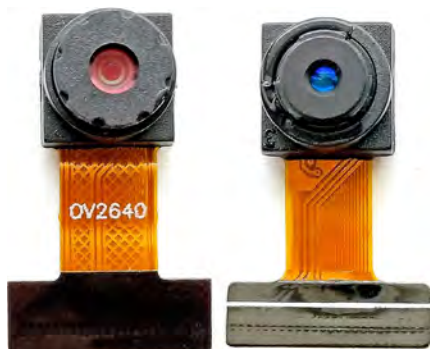


図 6.4.14 OV2640 カメラモジュール



図 6.4.15 赤外線フィルタの除去

フィルタを外したレンズを再びペンチで挟んで回しながら元の位置に戻し、カメラモジュールをESP-32 CAMに装着して撮影したのが図6.4.16の画像である。撮影は可視光下で行っている。レンズとイメージセンサとの距離が変わってしまったため、激しいピンボケが生じていることがわかる。ネジが深いので回し過ぎでレンズがCCDに近くなりすぎるようで、ピンボケが起こってしまったならば画像を確認しながら(反時計回りに)ネジを少しずつ緩めて調整するとよい。ネジがきついためペンチで強く挟まなければならない、回す度にレンズの周りのプラスチックが潰れてしまうので注意が必要である。また暗視カメラとして使うには単に赤外線フィルタを除去しただけではだめで、別途赤外線ライトも必要となる。なおこの研究ではミツバチの活動量をこのカメラで把握しようとしているが、夜間はあまり動きがないので、赤外線による撮影の意味はあまりないかもしれない。しかし、夜に突然異常行動を起こすことも考えられるので(夜に巣箱を盗まれることもある)赤外線のサポートは継続課題である。

ESP32-CAM WROVER を屋外で使用するには、防水のためにケースに封止する必要がある。3D プリンタで作ることもできるが、研究室にはPLA樹脂のものしかなく、耐候性に難がある。そこでミンティアのケースを加工して使用する。薄いケースに収めるため、図6.4.17左のようにWROVERモジュールはピンを全てカットする。カメラのレンズ部分を外に出すように、ケース中央に四角い穴を開け、またUSBケーブルを通すためにケース下側には切り込みを入れる。これらを組み立てると、図6.4.17右のようになる。APモードとSTAモードの切替用のスイッチを付けずに、スケッチをAPとSTAモードで変更して再書き込みしている。これは水が入る原因となるスイッチ穴を省きたかったためである。またカメラ用の穴やケースの隙間にはグルーガンを使いたいところであるが、このWROVERモジュールは電源を入れた

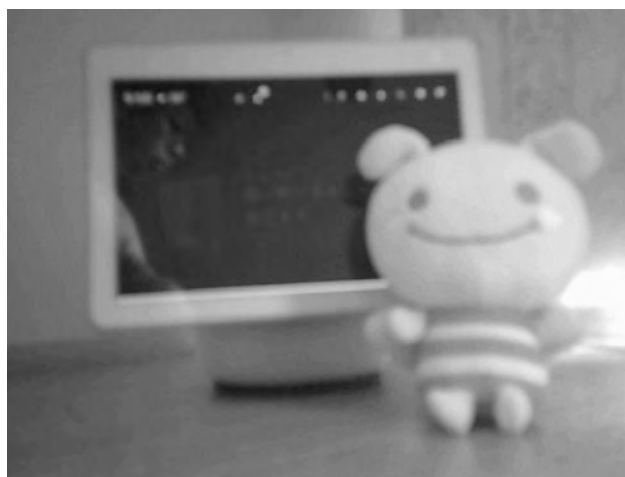


図 6.4.16 赤外線フィルタを除去によるピンボケ

後にリセットボタンを押さないとプログラムが起動しないため、ケースを開けられるようにする必要がある。そのため防水は粘着テープを貼ることとした。



図 6.4.17 ESP32-CAM WROVER のケース封止

図 6.4.18 にミツバチの巣門前に設置したカメラの動体検出による映像の変化量グラフを、また図 6.4.19 に昼と夜の動体検出の画像例を示す。撮影は昼が 2024 年 9 月 26 日、夜が 2024 年 9 月 24 日で、天気はいずれも晴で気温は 25 度程度であった。午後 1 時前後に活発に出入りするハチによってグラフが急峻に立ち上がっていることがわかる。画像は昼も夜もハチの数はそれほど変わらないが、ハチの動きの量がまったく異なっていることがよくわかる。この動体検出カメラの横には市販の防犯カメラを設置しており、その赤外線ライトによって夜も撮影ができています。図 6.4.20 に同日のほぼ同じ時刻の防犯カメラの映像を示す。こちらのほうが画角は 3 倍ほど広く。動体検出カメラも同程度の範囲を撮影しなかったが、取付けたスズメバチトラップによりカメラを後ろに下げることができなかった。また下げることができたとしても、防犯カメラが移り込んで邪魔になるためこの位置となった。ESP32-CAM 用の広角レンズカメラも販売されているので、その利用も今後検討したい。

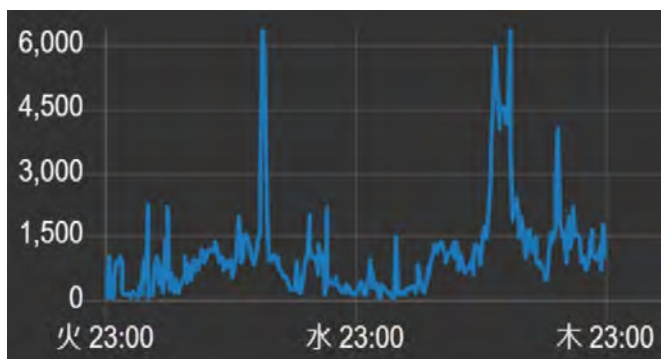


図 6.4.18 変化量のグラフ化

上記の様々な IT 機器や、AI・IoT 技術を活用して開発したスマート養蜂システムの導入を、図 6.4.21 のように、三鷹の養蜂施設へも進めている。

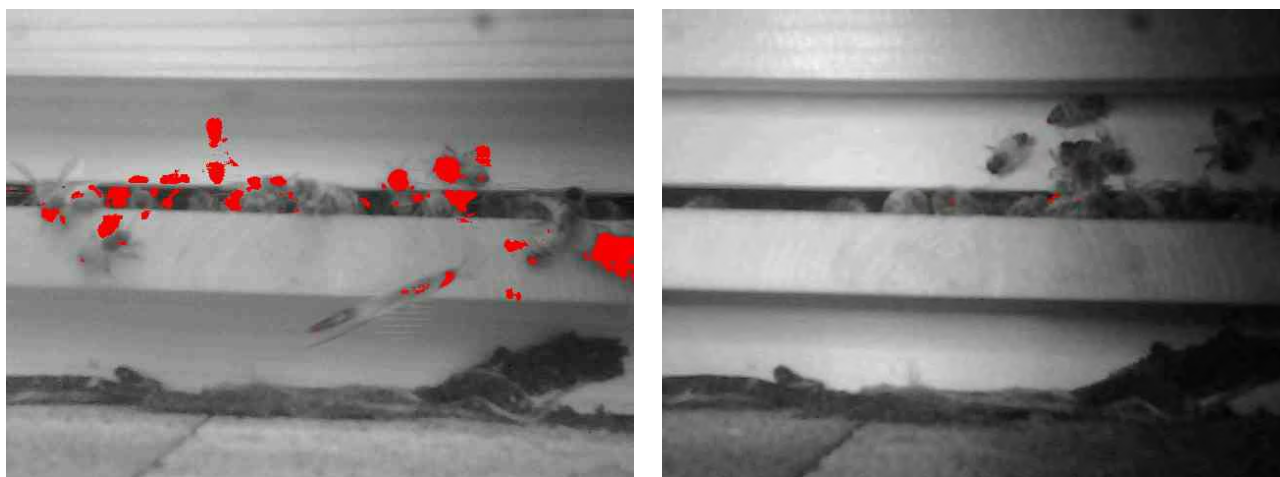


図 6.4.19 ESP32-WROVER CAM による動体検知画像(左:2024-9-26 昼。右:2024-9-24 夜)



図 6.4.20 防犯カメラの映像(左:2024-9-26 昼。右:2024-9-24 夜)



図 6.4.21 野崎果樹園へのネットワークカメラ(左)と清水ファームへの温湿度・重量センサ(右)の導入

7 6 次産業化・イベント

地域の採れたてのハチミツやそれを使ったお菓子の販売、小学校でのミツバチの授業や図書館での講演会、採蜜イベント等を行った。

電気通信大学では図 7.1(左)のように、入学式に合わせて川崎の洋菓子店「マリアツェル」に蜂蜜を使ったお菓子の製造を依頼した。その後も定期的に大学で採れたハチミツや三鷹産のハチミツの販売を続けている。



図 7.1 電気通信大学生協での入学式のハチミツ・お菓子(左)と、電通大産×三鷹産ハチミツ(右)の販売

学外でも三鷹産ハチミツの販売をしており、図 7.2 の護国寺のカフェ「コアラとライオンときどきチーター」は、小学校と同じ水耕栽培装置でトマトやキュウリも育てている。



図 7.2 護国寺のカフェでの水耕栽培(左)とハチミツの販売(右)

図 7.3 は吉祥寺の焼き菓子店「simonne」、そして図 7.4 は三鷹の社会福祉法人が運営するレストラン「食茶房むうぷ」でのハチミツとクッキーの販売の様子である。電気通信大学で販売しているハチミツの瓶詰は、むうぷで行っている。10月20日には、水耕栽培を行っている三鷹市立図書館で図書館フェスタが開催され、図 7.5 のように講演会を行ったほか、むうぷのキッチンカーでハチミツやお弁当の販売が行われた。



図 7.3 吉祥寺の洋菓子店でのハチミツ販売



図 7.4 食茶房むうぷでの春のハチミツ(左)と、Xmas の手作りクッキーとのセット(右)の販売

講演会

すいこうさいばい
水耕栽培とミツバチのひみつ

つちつかみすや
土を使わずに水だけで野さいやくだものを
育てる水耕栽培のしくみ
はなとびしゅぶん
花を飛びまわって授粉をたずけるミツバチ
のひみつをやさしくお話しします

**ハチミツの小ピンが
もらえるよ!**

10月26日(土)
午後2時～3時
三鷹図書館
第一集会室
対象 **小学生～大人**
定員 **先着30人**

講師
電気通信大学
情報理工学研究科
教授
佐藤 証

QRコード



図 7.5 三鷹市立図書館の図書館フェアでのミツバチの講演会とむうぷでのハチミツとお弁当の販売

養蜂に関してのイベントや講演としては、図 7.6 のオープンキャンパス(7月14日、11月24日)とオープンラボで(5月19日)スマート養蜂の展示や養蜂施設の見学、そして採蜜会等を開催した。



図 7.6 電気通信大学オープンキャンパスの展示(左)と採蜜イベント(右)

調布市立第一小学校では4年生にミツバチの授業を行い、採蜜体験や蜜蝋ハンドクリーム作りを行った。



図 7.7 調布市立第一小学校でのミツバチの授業



図 7.8 調布市立第一小学校での採蜜と蜜蝋ハンドクリーム作り

12 月には、養蜂先進国のスロベニア大使館主催の朝食会セミナーで、2 月には国内のミツバチ研究のトップである玉川大学で年に一度開催されるミツバチ科学研究会で、また千葉商科大学で開催された加藤学生養蜂リーグでスマート養蜂の講演を行った。



図 7.9 スロベニア大使館朝食会セミナー



図 7.10 玉川大学ミツバチ科学研究会



図 7.11 関東学生養蜂リーグ

8 むすび

本事業では、都市の建物の屋上等を活用して様々な野菜の栽培を可能とする水耕栽培システムを活用し、図書館や学校といった生活に身近な場所での栽培・収穫体験を通じ、自然や都市環境について学ぶ講演会や授業を行った。コロナ禍で昨年度はできなかった調布第一小学校での農業体験と合わせた授業は、4年生の4クラス(132人)へ各5回、計20回行うことができ、担任教員と児童から好評であった。そのため本事業が終了した来年度も実施の予定である。またそこで得られた教育の知見を、他にも広げていきたい。三鷹市立図書館の栽培は日照や猛暑の問題からうまくいかなかったものの、興味を持たれた市民の方にも協力いただきながら継続していきたい。本年度は楽しむ農業のための小型水耕栽培装置だけでなく、生産としての水耕栽培システムの技術開発も進めた。しかしながら都市農業も高齢の生産者の方が多く、それまでのやり方とはまったく異なる新しい技術の導入は難しい。ここでも次世代を担う子供達に、IoT・AI等の新しい技術をそれらが用いられていない産業へ活用してもらうための教育の重要性を実感した。

6次産業化においては地元野菜に加え、地元ハチミツの活用に高い可能性が見いだされた。国産ハチミツは国内流通の5%程度で、スーパーやデパートでは大規模養蜂場のものしか購入することができない。外国産の多くは混ぜ物がされていると言われ、一般にハチミツには消費期限がないので古いものも輸入される。それらに対して地元の採れたてのハチミツの香りは格別で、またその地域に咲く花により、季節ごとにまったく異なる味や風味を楽しむことができる。しかし、小規模の養蜂では安定した生産や販売経路の確保、さらにはブランド化、商品化が困難なため、直売所等で安価に売られることも少なくない。ミツバチはハチミツの生産だけでなく、農作物の受粉にも不可欠な生き物である。しかし日本の養蜂は世界に比べて非常に遅れており、国として養蜂を推進している韓国の1/10程度の規模でしかない。さらに、ミツバチは非常に危険な生き物であるという誤解を持つ人も多く、個人や地域活動としての養蜂拡大の足かせにもなっている。そのような誤解を解き新しい養蜂の普及を図るために、次の世代を担う子供達への環境教育活動を継続すると共に、地元のフレッシュなハチミツの付加価値化による利益の上がる養蜂の実践も引き続き行っていきたい。