

[表紙]

**「令和3年度病害虫発生に係る
情報の収集手法・発生予測の高度化委託事業」**

コンソーシアム名

「AI・デジタルデータを活用した病害虫発生情報管理技術コンソーシアム」

事業成果報告書

令和4年3月16日

目次

1. はじめに	3
1.1 本事業の背景・目的・方針.....	3
1.2 今回比較検証する先端技術を活用した新手法.....	4
1.3 対象病害・害虫及び実地調査	4
1.3.1 対象とする病害・害虫	4
1.3.2 対象とする実地調査.....	4
2. 新手法の概要	5
2.1 要素技術1：AI・ドローンを活用した害虫発生状況の把握（圃場調査の高度化）	5
2.2 要素技術2：発生予測シミュレーションモデルを活用した病害虫発生予測（発生予測の高度化） .	6
2.3 要素技術3：アプリケーションを通じた予察情報収集発信.....	7
3. 役割	8
3.1 コンソーシアムの構成.....	8
4. 事業の成果	9
4.1 各要素技術の実証結果.....	9
4.1.1 要素技術1：AI・ドローンを活用した害虫発生状況の把握（圃場調査の高度化）	9
4.1.2 要素技術2：発生予測シミュレーションモデルを活用した病害虫発生予測（発生予測の高度化）	19
4.1.3 要素技術3：アプリケーションを通じた予察情報収集発信（情報収集・発信の高度化）	27
5.1 発生予察新手法と現行手法の比較	30
5.2 害虫発生情報管理高度化のための一貫体系手法の検討結果.....	33
5.3 新たな病害虫予察情報発信方法の検討結果.....	34
5.6 本事業のまとめ.....	36
6. 参考文献	37

1. はじめに

1.1 本事業の背景・目的・方針

病害虫発生予察事業は、各都道府県の病害虫防除所（以下「防除所」）で実施されており、全国的な人的リソースの減少および、気候変動に伴う病害虫の分布や種類の多様化により、地域における病害虫の発生状況を従来の調査手法・調査頻度・所要時間内で実施する難しさが課題となっている。

また、生産現場からは近年の気候変動を背景とした病害虫の発生トレンドの変化、薬剤抵抗性の発達、栽培体系の多様化により、生産に影響を及ぼす可能性の高い、病害虫情報について、現状の予察情報よりも詳細な、発生量・時期といった高い精度の情報をスピーディに提供してほしいというニーズが高まっている。

現状の病害虫発生予察業務は昭和61年（61農蚕第2153号）に規定されて以来、その手法が実施されているが、上述の課題を鑑みると、防除所の調査の実態と、生産現場のニーズに乖離が生まれ、予察調査の対応が限界に近づいてきていると考えられる。

このため、本事業では人的リソースが限られた中で予察精度・スピードの低下を防ぐ新たな害虫発生に係る情報収集手法・発生予測の体系手法を確立することを目的とし、各参画機関が要素技術として持っているデジタルデータ・ドローン・人工知能（以下、「AI」という）を用いた技術を防除所の発生予察業務に適用した場合の有効性、実用性を実証した（図1）。

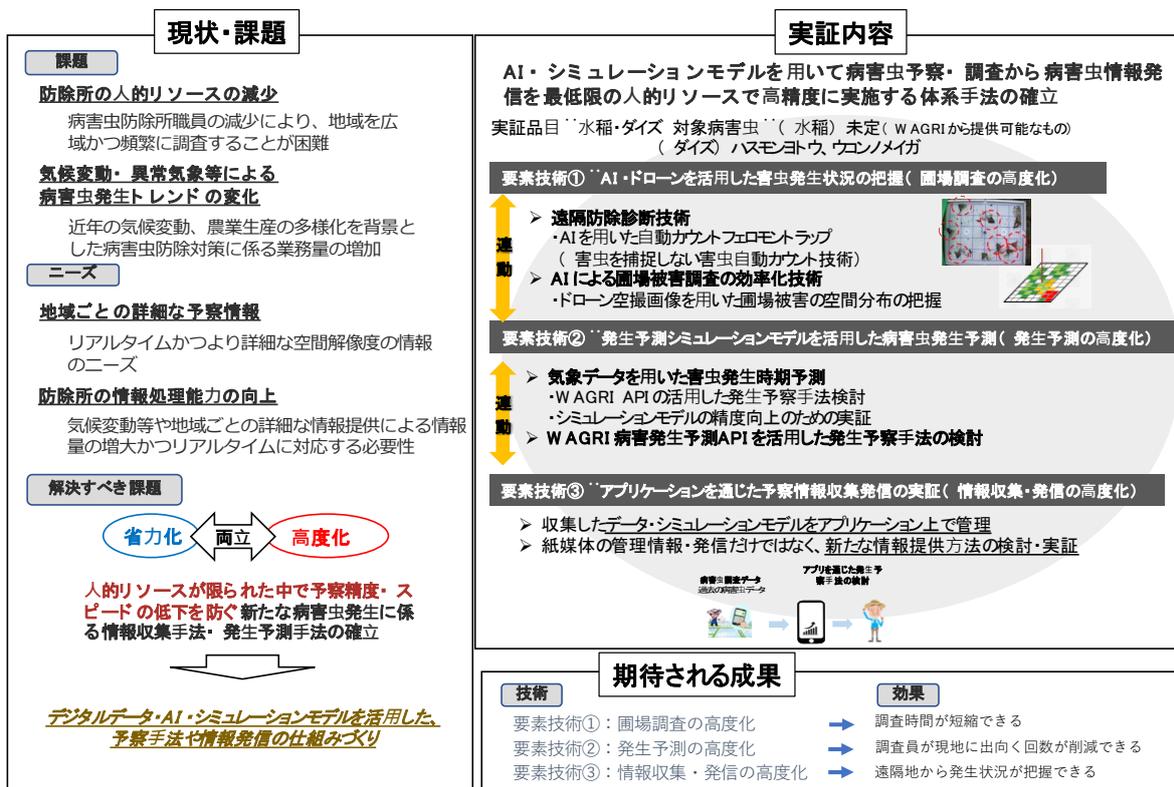


図 1. 事業の背景と実証内容

1.2 今回比較検証する先端技術を活用した新手法

現行の手法と比較検証する新手法として、以下3点の技術（以下、要素技術1,2,3）を実証した。

要素技術1：AI・ドローンを活用した害虫発生状況の把握（圃場調査の高度化）

要素技術2：発生予測シミュレーションモデルを活用した病虫害発生予測（発生予測の高度化）

要素技術3：アプリケーションを通じた予察情報収集発信（情報収集・発信の高度化）

1.3 対象病害・害虫及び実地調査

1.3.1 対象とする病害・害虫

「蔬菜類」に発生する「ハスモンヨトウ」および「ヨトウガ」、「ダイズ」に発生する「ウコンノメイガ」に加え、「水稻」に発生する「稲こうじ病」「紋枯病」を選定した。

ハスモンヨトウは広食性であり、蔬菜類を始め様々な作物に被害をもたらす。ヨトウガも食害の被害が大きい害虫である。ウコンノメイガは沖縄県を除く全国に広く分布し、作物に被害を発生させる。

水稻は、日本で最も作付面積が高く、イネ稲こうじ病およびイネ紋枯病は指定有害植物に分類される。

1.3.2 対象とする実地調査

本事業の参画機関による実地調査として、下記の通り実施した。

各調査項目に対して、現行の調査手法と今回実証する各要素技術を活用した手法について、比較検証しその有効性、実用性を評価した。

- ・ 「ハスモンヨトウ」
 - フェロモントラップ（粘着板・乾式・ファネル型含む）への誘殺数調査（要素技術1）
 - ダイズ圃場の初期被害（白変葉）の見取り調査（要素技術1）
 - 誘殺消長データ（発生ピーク日）を利用した発生時期の調査（要素技術2）
- ・ 「ヨトウガ」
 - フェロモントラップ（粘着板・乾式・ファネル型含む）への誘殺数調査（要素技術1）
- ・ 「ウコンノメイガ」
 - ダイズ圃場の葉巻被害の見取り調査（要素技術1）
- ・ 「イネ稲こうじ病」と「イネ紋枯病」
 - 実地調査は行わず、WebAPI の活用を検討（要素技術3）

2. 新手法の概要

2.1 要素技術 1：AI・ドローンを活用した害虫発生状況の把握（圃場調査の高度化）

現状の病害虫発生予察事業の巡回調査では、定期的に圃場に赴き、病害虫の発生状況（フェロモントラップへの雄成虫の誘殺数など）および病虫害の発生状況（圃場内の被害葉の数など）を調査している。いずれの調査もデータの取得と解析に時間と労力を要しており、また、防除所の職員が年々減少していることから、圃場調査の効率化が必要とされ、そのための技術としてAIやドローンが期待されている。また、AIやドローンの活用により、圃場調査の効率化だけでなく、従来よりも広域かつ頻繁な調査が可能になることで、より高度な発生予察情報の発信が期待されている。

要素技術 1 では、害虫や虫害の発生状況についての圃場調査を効率化・高度化するために、AIやドローンを活用した遠隔害虫防除診断および圃場被害葉の調査について検討した。

(1) 遠隔害虫防除診断

AIとカメラを用いて、害虫を自動的にカウントする手法について、2つの実証を行った。

まず、フェロモントラップに捕捉された害虫を自動的にカウントする手法を実証した。具体的には、試験場にハスモンヨトウの雄成虫（以下、ハスモンヨトウ）を誘殺するためのフェロモントラップを設置し、誘殺された害虫を1週間ごとにカメラで撮影し、ハスモンヨトウをAIで自動的に判別した。また、当実証では、ハスモンヨトウと同じ鱗翅目で形態の特徴が類似しているヨトウガを用いて、形態の似た虫種をAIが判別可能か調査した。具体的には、粘着板にハスモンヨトウとヨトウガを人為的に付着させ、カメラで撮影し、AIで自動的に判別した。

次に、フェロモントラップで害虫を捕捉せずに害虫を自動的にカウントする手法を実証した。前項で示した手法は粘着板を用いたフェロモントラップでしか活用できない。しかしながら、現在、各都道府県でハスモンヨトウの発生数の調査に用いられているフェロモントラップは、本コンソーシアムに参画している兵庫県（ファネルトラップ）、三重県（住化式乾式トラップ）、石川県（住化式粘着トラップ）の各県間でも異なる。本実証の目指す姿は統一された調査方法に、AI診断や情報発信を行い、生産現場に有益な情報を届ける新たな仕組みを構築することであり、虫種やフェロモントラップ別に、モニタリングやAI検知手法を開発することは現実的ではない。そのため、本実証ではこれらの課題を解決する手法として、フェロモントラップで害虫を捕捉しないモニタリング手法を検討した。具体的には、試験場にハスモンヨトウに特異的なフェロモン剤であるフェロディン SL（一般名はリトルア剤）を利用した害虫の誘引装置を設置し、熱センサーを搭載したカメラで誘引装置に飛来したハスモンヨトウをAIで自動的に判別した。

(2) AI解析による圃場の被害葉の調査

ドローンを用いた圃場の空撮画像から、AIで圃場の被害葉の検知する手法が、既存の見取り調査を代替しうると考え、当手法の技術実証およびシステム開発を実施した。

まず、対象虫害をハスモンヨトウによるダイズの白変葉およびウコンノメイガによるダイズの葉巻に設定し、各々の学習済みモデルをドローンによる空撮画像を利用して開発し、モデルの検知精度を評価した。

また、当手法による圃場調査を効率的に運用するために、ドローンによる空撮画像をオンライン上

にアップロードするだけで、自動的に圃場の被害葉を検知するシステムを構築した。

2.2 要素技術 2: 発生予測シミュレーションモデルを活用した病害虫発生予測（発生予測の高度化）

(1) 害虫の発生ピーク予測技術

これまでは、害虫発生予測を行うために、気象データを用いた様々な予測手法の検討が行われてきた。しかしながら、これまでの気象データを用いた害虫発生予測は JPP-NET（一般社団法人日本植物防疫協会）に実装されているシステムのように、アメダスデータを用いたものが多く、近年の気象現象の空間的スケールを鑑みると、アメダスデータの観測では害虫予測に十分な観測密度を満たすことができない場合が発生してきている。また、従来の方法では、気象データの予測値に、予報値を用いておらず、平年値を用いていることから、気候変動により毎年の気象状況が大きく異なる状況に対応できていない可能性がある。

よって、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が開発・運用している 1km メッシュ農業気象データ（以下、1km メッシュ気象データ）を発生予測に活用し、西野（2019）の手法を基に、ハスモンヨトウの成虫発生ピーク時期予測を実行するためのシミュレーションモデルを作成することで、広域の発生予測の粒度の向上、防除所による、調査時期や調査回数の決定判断の指標として活用可能性を検討した(図 2)。

(2) 病害の発生予測技術

WAGRI（農業データ連携基盤：<https://wagri.net/ja-jp/>、以下 WAGRI）に公開されている、「水稲稲こらじ病 API」および「水稲紋枯病 API」について WebAPI としての活用方法を検討した。

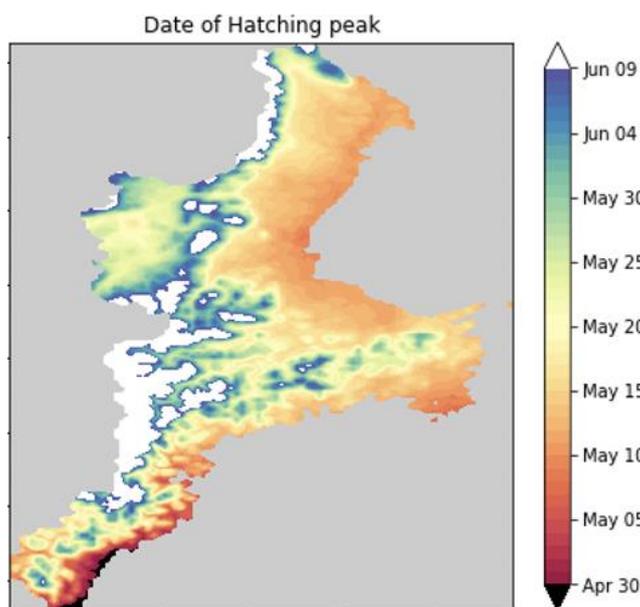


図 2. 気象データを用いた害虫発生ピーク予測の例（西野（2019）から、一部修正）

2.3 要素技術3:アプリケーションを通じた予察情報収集発信

多くの都道府県では、病虫害防除所職員が月に 1、2 回の頻度で調査地点に赴き、病虫害の発生動向等を調査し、調査結果や気象情報等を踏まえ、今後の病虫害の発生動向及び防除対策を病虫害発生予察情報として関係者に提供している。

近年、病虫害の発生動向が変化した結果、病虫害発生動向調査をより充実化させて迅速に情報提供を行うことが求められている。

そこで、本実証では「平成 30 年度病虫害の防除に直結する発生予察体系への転換委託事業」にて開発された病虫害調査データ収集アプリケーションを活用して、病虫害防除所の発生予察調査業務における調査・データ集約から報告・発信まで業務の簡便化に向け、普及に向けた取り組みを実施するとともにアプリケーションの改善を実施した。

3.役割

3.1 コンソーシアムの構成

本事業では、AI・デジタルデータを活用した病虫害発生情報管理技術コンソーシアムを結成し、以下の役割にて事業を実施した。

・要素技術 1:AI・ドローン技術を活用した害虫発生状況の把握（圃場調査手法、時間、回数的高度化）

調査実施団体：兵庫県農林水産技術総合センター、石川県農林総合研究センター、大阪府立環境農林総合研究所、株式会社オプティム

調査内容：調査実施団体管轄の地域において、AI・ドローン等を用いた新手法と従来の調査手法の比較を実施し、その有効性を評価した。

要素技術 2:発生予測シミュレーションモデルを活用した病虫害発生予測（発生予測精度の高度化）

調査実施団体：三重県農業研究所、株式会社オプティム

調査内容：調査実施団体管轄の地域において、発生予測シミュレーションモデルを使用した予測と現地調査結果の比較を実施し、その有効性を評価した。

要素技術 3:アプリケーションを通じた予察情報収集発信（情報収集・発信手法の高度化）

調査実施団体：農研機構、株式会社ビジョンテック、株式会社オプティム

調査内容：発生予察現場からの調査データの収集方法について検討し、従来の調査から発信までの手順との比較を実施した。

4.事業の成果

4.1 各要素技術の実証結果

4.1.1 要素技術 1: AI・ドローンを活用した害虫発生状況の把握（圃場調査の高度化）

(1) 遠隔防除診断技術

遠隔防除診断技術として、2つの実証を行った。まず、トラップに捕捉された害虫を自動的にカウントする手法を実証した。次に、トラップで害虫を捕捉せずに害虫を自動的にカウントする手法を実証した。各々の実証結果は、下記に示す通りである。

以下、AIの精度は、再現率および適合率の2つの指標から評価を行った。再現率は、式1.1のように表され、この値が高いほど見逃しに強いAIと言えます。また、適合率は、式1.2のように表され、この値が高いほど誤検知に強いAIと言えます。

$$\text{再現率} = \frac{\text{真陽性}}{\text{真陽性} + \text{偽陰性}} \quad (1.1)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{真陽性}}{\text{真陽性} + \text{偽陽性}} \quad (1.2)$$

ア トラップに捕捉された害虫を自動的にカウントする手法

(ア) ハスモンヨトウを検知するAIの精度検証

まず、石川県と大阪府にて、令和3年5月7日～11月4日まで7日間隔でフェロモントラップへのハスモンヨトウの誘殺状況をデジタルカメラで撮影し、計72枚の画像を取得し、各々の画像に対して当害虫の誘殺数を計測した（図3）。図4は、石川県におけるフェロモントラップへのハスモンヨトウの誘殺数の時系列変化を示したものである。

次に、株式会社オプティムが過年度に開発したハスモンヨトウを検知するAIを用いて、今年度取得した画像から当害虫を検知し、最後に、AIの精度を検証した。

その結果、AIによる検知数は、誘殺数の実測値と概ね一致する傾向が示された（図5）。しかし、AIによる虫体の見逃しが一定の割合で確認され、誘殺数の実測値がおおよそ60匹を超えると、虫体の見逃しが増加する傾向があった（図6）。これは、フェロモントラップへの誘殺数の増加に伴い、画像中の虫体の重なりが増加することが原因と考えられた。

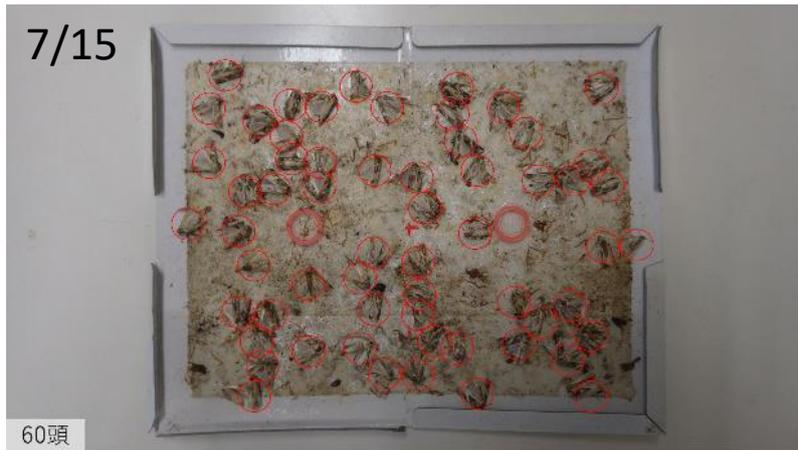


図 3. 石川県で撮影されたフェロモントラップに誘殺されたハスモンヨトウ

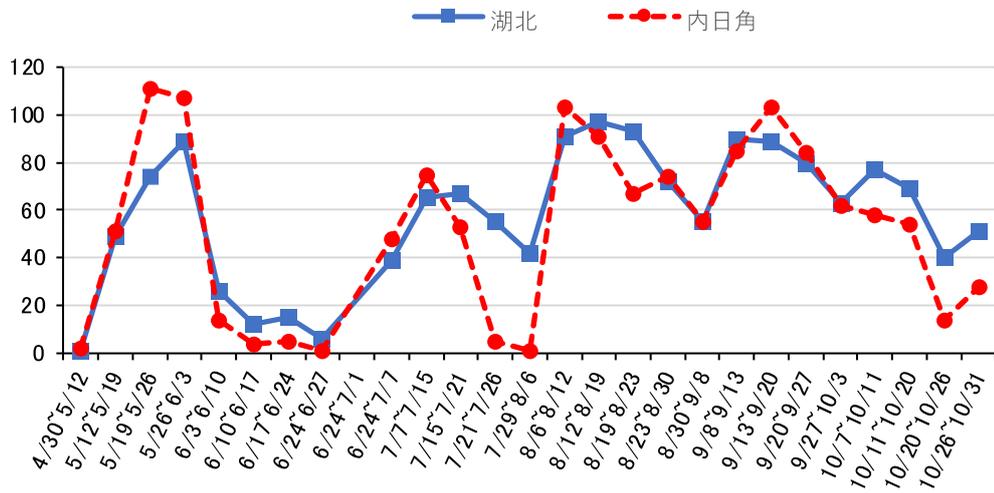


図 4. 石川県におけるハスモンヨトウの誘殺数の推移（令和3年度）

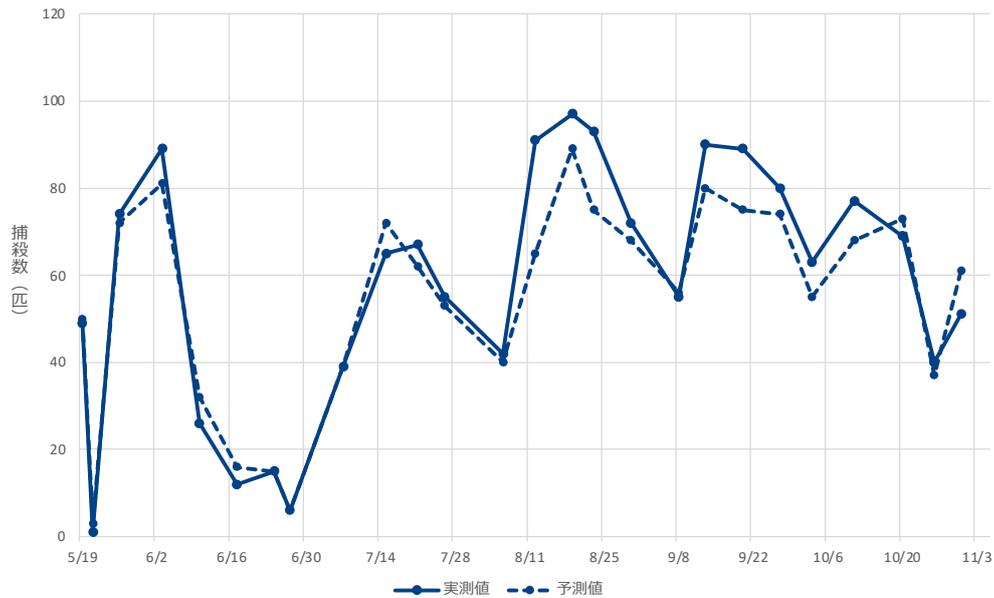


図 5. ハスモンヨトウの捕殺数の実測値と AI による虫体の検知数の推移

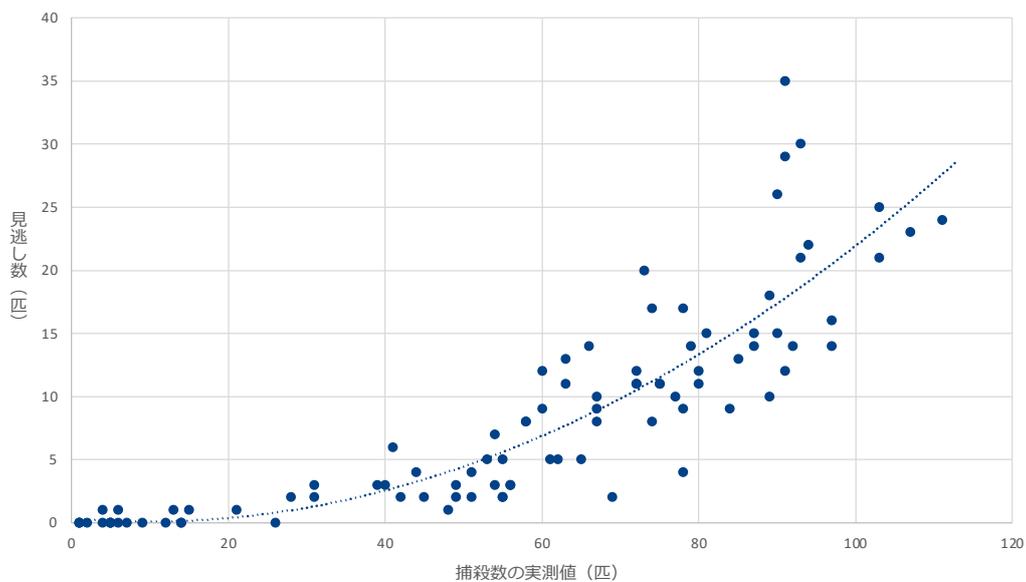


図 6. ハスモンヨトウの捕殺数の実測値と AI による虫体の見逃し数の関係

(イ) AI による虫種（ハスモンヨトウとヨトウガ）の判別の検証

当実証では、鱗翅目で形態的特徴が類似しているハスモンヨトウとヨトウガを粘着板に人為的に付着させ、デジタルカメラで撮影し、害虫検知 AI で画像からハスモンヨトウの検知を行ったが、ハスモンヨトウとヨトウガを判別することは非常に困難であった（図 7）。

これは、害虫検知 AI が害虫の翅の模様ではなく、虫体の輪郭を基に判別を行っていることが原因と考えられ、AI の学習方法の見直しの必要性が示唆された。しかし、ハスモンヨトウのフェロモントラップに用いられるフェロモン剤は当害虫の雄成虫への選択性が非常

に高く、他の虫種が誘殺される可能性は非常に低いため、本項で検証した害虫検知 AI を用いた手法が発生予察の妨げになることはないと考えられる。



図 7.ハスモンヨトウとヨトウガの判別の正解データ（左図）と AI による検知結果（右図）
（左図の赤枠がハスモンヨトウで、黄枠がヨトウガを示す。
右図の赤枠は、AI がハスモンヨトウと検知した虫体を示す）

イ トラップで害虫を捕捉せずに害虫を自動的にカウントする手法

(ア) ハスモンヨトウの誘引装置に関する検討

石川県、大阪府および兵庫県の各府県が、ハスモンヨトウに特異的なフェロモン剤と熱センサーを搭載した自動撮影カメラを用いて、ハスモンヨトウの誘引装置を作成し（図 8,9,10,11）、装置に飛来したハスモンヨトウを自動で撮影した。また、今後全国で本手法を普及することを考慮し、各県で異なる誘引装置について標準化可能な項目を検討した（表 1）。



図 8. 撮影手法の野外試験の様子（石川県）