

**「令和４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５年３月１６日

目次

1.	はじめに	4
1.1	本事業の背景・目的・方針.....	4
1.2	今回比較検証する先端技術を活用した新手法	5
1.3	対象病害・害虫及び実地調査.....	6
1.3.1	対象とする病害・害虫.....	6
1.3.2	対象とする実地調査	6
2.	新手法の概要	7
2.1	要素技術1：A I・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）	7
	(1) 遠隔地からの害虫発生調査.....	7
	(2) ドローンを活用した圃場の被害調査	9
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虫害発生予測（発生予測の高度化）	10
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	11
3.	役割.....	12
4.	事業の成果.....	13
4.1	各要素技術の実証結果.....	13
4.1.1	要素技術1： A I・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）	13
	(1) 遠隔地からの害虫発生調査.....	13
	(2) ドローンを活用した圃場の被害調査	22
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虫害発生予測（発生予測の高度化）	29
	(1) フェロモントラップを用いたハスモンヨトウの捕獲消長データの蓄積.....	29
	(2) 三重県以外のフェロモントラップデータを用いた検証	31
	(3) 台風等の影響による突発的な捕獲増加事例のデータ整理.....	33
	(4) 有効積算温度シミュレーションを利用した発生時期予測方法の検討	34
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）	37
	(1) 病虫害調査データ収集アプリケーションの改良	37
	(2) 調査アプリの普及に向けた活動.....	41
	(3) 調査アプリケーションの現地実証.....	41
4.2	本事業の普及に向けたヒアリング	44
5.	全体の考察.....	45

6.	本事業のまとめ	47
7.	参考文献	47

1. はじめに

1.1 本事業の背景・目的・方針

令和3年度、我が国の食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現させるための新たな戦略である「みどりの食料システム戦略」が策定された。本戦略において、総合的な病虫害管理体系の確立・普及が2050年の目指す姿のひとつに定められている。

これまで、総合的病虫害管理の推進においては、平成17年に「総合的病虫害・雑草管理（IPM）実践指針」が策定され、これを基に都道府県では地域の特性に合わせて、選定した作物ごとに「IPM実践指標」を策定し、防除に伴う環境負荷の低減等の関心の高まりに対応してきた。一方で、国内外の病虫害の発生に関しては、気候変動を背景として、病虫害の分布域、発生域の変化により、従来の防除体系では防除が困難になっている事例も発生している。

このような背景の下、病虫害発生予察事業では、病虫害の発生動向等を調査し、防除を要する病虫害や防除対策に関する情報を農業者等に提供しているが、全国的な病虫害防除所（以下「防除所」という）の人的リソースの制限、薬剤抵抗性の発達、栽培体系の多様化により、現状より詳細な情報提供や高い精度の情報のニーズが高まっているのに加え、上述の課題を鑑みると、生産現場のニーズへ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病虫害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、各事業者が要素技術として持っている気象データ・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。

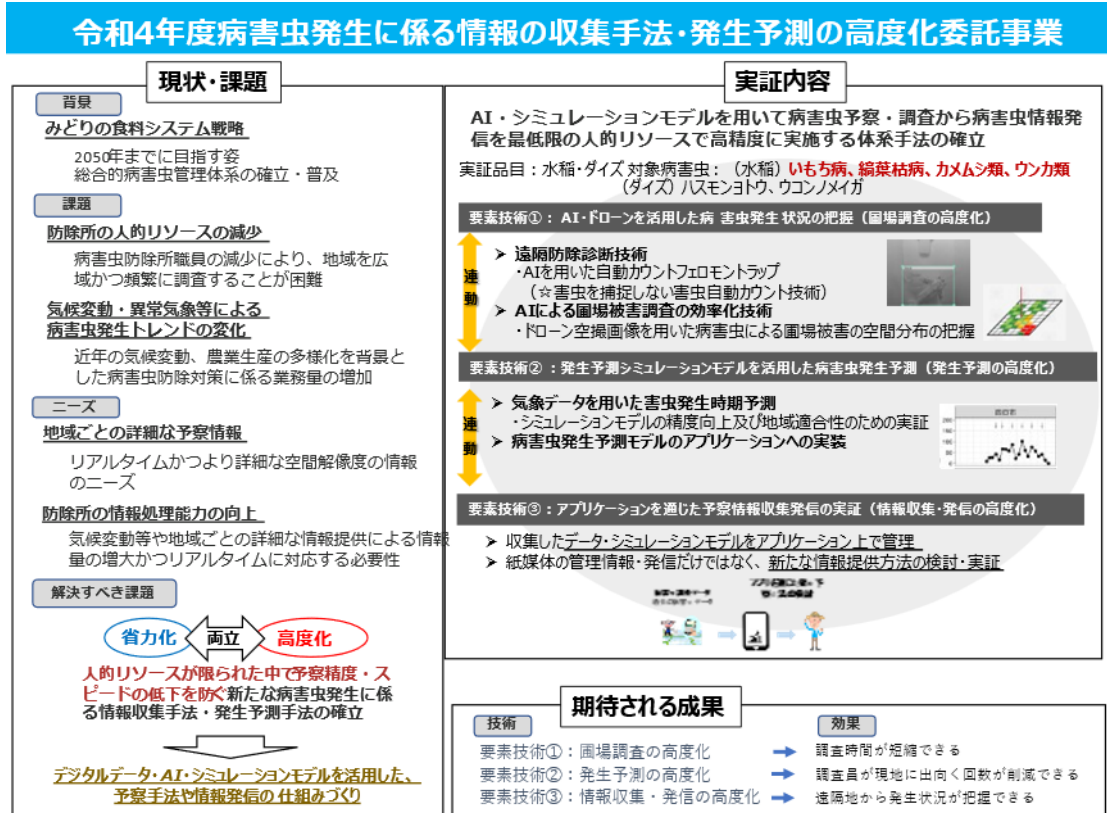


図 1. 事業の背景と実証内容

1.2 今回比較検証する先端技術を活用した新手法

前項に定めた目的を達成するために、病虫害発生予察事業において発生前の予察から、定期的な情報の収集、各ほ場の詳細な発生情報収集までを含む体系的な病虫害発生予察手法を実証した。今回提案する手法に含まれる要素技術は以下の3点である。

- ・ 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）

次項からは各要素技術の詳細について説明する。要素技術 1 では「ハスモンヨトウ」、「ウコンノメイガ」及び「縞葉枯病」を対象にし、要素技術 2 では「ハスモンヨトウ」を対象にする。

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」、「ダイズ」に発生する「ウコンノメイガ」、「水稻」に発生する「縞葉枯病」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。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。縞葉枯病はヒメトビウンカが媒介するウイルス病で、分げつや出穂を阻害するなどの被害をもたらす。

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）
- 「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）
- 「縞葉枯病」
 - 水稻の再生株圃場での見取り調査（要素技術1）

2. 新手法の概要

2.1 要素技術1：A I・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A Iやドローンが期待されている。また、A I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、A I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) 遠隔地からの害虫発生調査

A Iとカメラを用いた遠隔地からの害虫発生調査について、2つの実証を行った。1つ目は、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である。本手法は、圃場に設定されている粘着式フェロモントラップをカメラで撮影し、A Iを用いて自動的に害虫をカウント・判別するもので（図2）、粘着式フェロモントラップを活用した現行の発生予察調査の代替手法として期待できる。本技術は「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」においても実証し、粘着板への害虫の誘殺数とA Iの検知結果には一定の関係性が見られた。本事業では、防除所の協力を得て、A Iの精度検証や観測から結果取得までの迅速化を目指した。



図2．粘着式フェロモントラップの撮影画像からA Iがハスモンヨトウを検知している様子（図中の赤字の数字は、A Iがハスモンヨトウと認識した際の確信度を表す。今回の場合、A Iは92.8%の確信度をもってハスモンヨトウと認識した）

2つ目は、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である。本手法は、フェロモン剤に誘引された害虫をカメラで撮影し、AIを用いた動画や画像中の害虫を検知、もしくは撮影枚数の計測により、単位時間あたりの害虫の誘引数を自動で計測するものである（図3、4）。フェロモントラップを活用した現行の発生予察調査では、害虫が捕捉された粘着板を定期的に交換する必要があるが、今回提案する手法を活用することで、粘着板の交換に費やす時間、労力および費用を削減することが可能になる。本技術は「令和3年度病虫害発生に係る情報の収集手法・発生予測の高度化委託事業」においても実証し、フェロモン剤の誘引した害虫を高い確率で検知することができた。本事業では、さらなる地域適合性の向上・各地の病虫害防除所への普及に向けて、特殊な物品や技術を必要としない体系を構築した。さらに、構築した体系を展開できるよう、マニュアルを作成した。



図3. フェロモン剤（白板の中央部に配置）に誘引された害虫を熱センサー搭載の自動撮影カメラで撮影する装置



図 4．自動撮影カメラにより撮影された画像の例

本項で提案した 2 つの手法により、現行の発生調査より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を発信可能になることが期待できる。

(2) ドローンを活用した圃場の被害調査

現行の見取り調査を代替する手法として、A I やドローンを用いた病害虫による圃場の被害調査を実証した。ドローンと A I を用いることで、高高度（地表から高度 1 0 0 ～ 1 5 0 m）の空撮画像から害虫による圃場の被害を把握すること可能である。また、低高度（地表から高度 5 m 程度）の空撮画像から数 mm 程度の大きさの虫害を検知することも可能である。今回の手法では、防除所の職員がドローンで圃場の空撮画像を撮影し、空撮画像をオンライン上にアップロードすることで、自動的に病害虫による圃場の被害状況をマップ形式で表示するものである（図 5）。本技術は「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」においても実証し、圃場の被害と A I の検知結果には一定の関係性が見られたが、本事業では、A I のさらなる精度向上と観測から解析結果の表示までの時間のさらなる削減についても検討し、よりリアルタイムな病害虫発生状況の把握を目指した。また、本手法の防除所への普及に向けて、調査手法の体系を構築した。

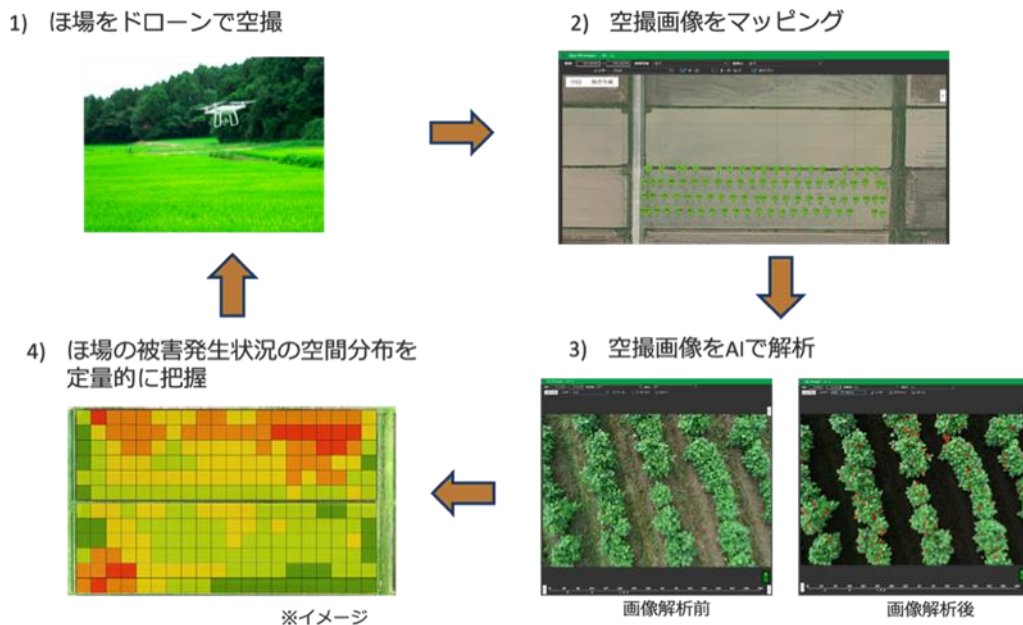


図 5. ドローン空撮から AI 解析、病虫害発生状況の空間分布表示のイメージ

本項で提案した調査手法により、現行の見取り調査より広域の調査を迅速に実施できるため、調査にかかる時間、労力の削減が可能になるだけでなく、より高度な発生予察情報を発信可能になることが期待できる。

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虫害発生予測（発生予測の高度化）

病虫害の発生予測シミュレーションモデルには、病害の発生状況（発病株率など）を経時的に予測するものや害虫の発生世代時期を予測するものなどがある。これにより、病虫害の発生を各地域に早期に警告することが可能になっている。いずれのシミュレーションモデルも、気象データを用いて、モデルが開発されている場合が多く、これは、病虫害の発生生態に気象条件が深く関係しているためである。

要素技術 2 では、病虫害の発生予測シミュレーションによる予察情報のさらなる高度化を実現するために、シミュレーションモデルのさらなる予測精度の向上と発生予察事業への具体的な活用方法の検討を行った。

本事業では、まず、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）が提供している 1 km メッシュ農業気象データを活用した病虫害の発生予測シミュレーションモデルを実証した。当データでは、全国各地の日別気象データの予報値を約 1 km 四方単位で提供している。本技術は「令和 3 年度病虫害発生に係る情報の収集手法・発生予測の高度化委託事業」で、西野（2019）の手法を基に有効積算温度を活用したハスモンヨトウの発生世代予測のシミュレーションモデルを開発

し、三重県において発生ピーク日の予測値が実測値の3半旬以内になる確率が77%程度と高い値を示す一方で、発生ピーク日の予測値が実測値の半旬以内になる確率は35%程度と低い値を示した。この原因の一つとして、ハスモンヨトウの飛来侵入個体が発生ピーク日に及ぼす影響をシミュレーションモデルに適用していなかったことが考えられた（後藤・上遠野，2019）。そこで、本事業では、害虫発生世代予測のシミュレーションモデルのさらなる精度向上を目指して、害虫の飛来モデルの検討調査を行った。また、三重県を含む様々の地域（4府県）の発生予察調査データを活用し、シミュレーションの地域適合性を検証した。

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リアルタイム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」にて作成された“病虫害調査データ収集アプリケーション”を活用して、要素技術1及び要素技術2にて収集する情報を集計し、従来の紙媒体を用いた情報発信に対して、新たな情報の発信方法について検討した。特に、本年度はアプリケーションの普及を目指し、特定の防除所をモデルとしたアプリケーション活用事例モデルを作成し、アプリケーションを防除所で活用するための要件を定め、事業終了後のアプリケーションの普及拡大を目指した。

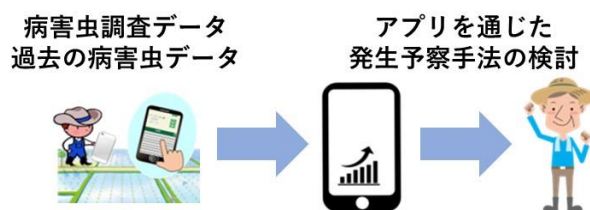


図6．アプリケーションを通じた予察情報の収集発信

3. 役割

本事業では、A I ・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：A I ・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、回数の高度化）
 - 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、A I ・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：調査実施団体管轄及びその他の地域において、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、愛媛県農林水産研究所、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

表 1. 事業成果の概要

区分	調査内容	関係機関	ゴール	成果
要素技術 1	遠隔地からの害虫発生調査/ ドローンを活用した圃場の被害調査	・ 石川県 ・ 兵庫県 ・ 大阪府 ・ オプティム	・ AIのさらなる精度向上 ・ 観測から結果取得までの迅速化 ・ 調査手法の体系構築	・ 害虫検知AIの精度が十分であることを検証できた ・ 調査手法の体系化・マニュアル化ができた
	ドローンを活用した圃場の被害調査	・ 石川県 ・ 兵庫県 ・ オプティム	・ AIのさらなる精度向上 ・ 観測から解析結果の表示までの時間の削減 ・ 調査手法の体系の構築	・ 白変葉検知AIについて、見取調査結果との関係性が見られたが、葉巻検知AIについては見られなかった ・ ドローン調査の適した条件を考察できた
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害虫発生予測	・ 三重県 ・ オプティム	・ 精度向上 ・ 地域適合性の検証	・ 6地域において精度検証を実施することができた ・ 精度向上に課題は残るものの、手法を工夫することで改善の可能性が見えてきている
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の実証	・ 農研機構 ・ ビジョンテック ・ 愛媛県 ・ オプティム	・ 新たな情報の発信方法についての検討 ・ アプリケーションを防除所で活用するための要件を定める	・ アプリの機能を大幅に改善した ・ 愛媛県にて検証し、残課題の洗い出しや、今後の活用方法の提案ができた ・ 全国の防除所にアプリについての情報共有ができた

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) 遠隔地からの害虫発生調査

遠隔防除診断技術として、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。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。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と言える。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と言える。

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

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

(ア)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の精度検証

i. 研究方法

① 調査場所

- ・ 石川県かほく市内日角、湖北（病虫害防除室定点調査地点）
- ・ 石川県農林総合研究センター内大豆圃場

② 調査日

- ・ 内日角、湖北：5月5日～11月1日（約7日間隔）
- ・ 石川県農林総合研究センター内：7月19日～12月1日（平日はほぼ毎日）

③ 使用機材

住化式粘着トラップ（住友化学）（フェロモン：サンケイ化学）

④ 調査方法

調査日毎に、フェロモントラップの粘着板をデジタルカメラ（PENTAX WG-3、1600万画素）で撮影した。誘殺されたハスモンヨトウ数を目視で計数し、画像上で虫体をマーキングした。撮影データにより、令和3年度までに作成したハスモンヨトウ検知AIでの解析を行った。

なお、令和3年度までに十分な学習量を確保できているため、令和4年度はAIの学習を行わず、供試した粘着板（計374枚）はすべてAIの精度確認に用いた。また、昨年度よりも誤検知を減少させるために、予測がどのくらい確実であるかを示す推定値である確信度が0.7以上の個体をハスモンヨトウとして検知する設定でAI検知を実施した（昨年度は確信度0.6以上）。その後、湖北と内日角のAI検知と目視検知のデータを用いて、AIの評価をおこなった。

ii. 結果と考察

目視検知数とAI検知数の間には正の相関がみられ、得られた発消長は一致した（図7、8）。また、湖北と内日角のデータを用いて、AIの性能評価を行った結果、令和3年度と比較して、適合率は、湖北では増加、内日角では減少した。再現率は両地点とも減少した。（表2）。

以上の結果から、フェロモントラップ誘殺数の実測数とAI検知数を比較すると、粘着板捕獲頭数の増加に従って、目視とAIの検知数が乖離する傾向が見られたが、本試験における発生条件では、発消長を捉えられており、目視調査を代替可能と思われる。また、令和3年度及び令和4年度の推論結果より、確信度を調整することで誤検知や見逃しの起こりやすさを調整できることが示唆された。標的とする害虫以外が誘殺されやすい場合は、判断基準とする確信度を高く設定するなど、場面やニーズに応じて適宜調整をすることで、様々な状況下で精度の高い検知が可能であると思われる。

本技術を活用することにより、調査員の経験やスキルに関わらず、粘着板画像から

正確に発生消長を捉えられるようになる。さらに、虫体の判別、計数に係る労力も削減できる。また、粘着板が不要な発生予察手法やデータの自動回収方法を開発し、本技術で検証したAIによる自動検知技術を組み合わせることで、発生消長の調査からデータ解析まで、自動で行う一連のシステムが開発できると考えられる。

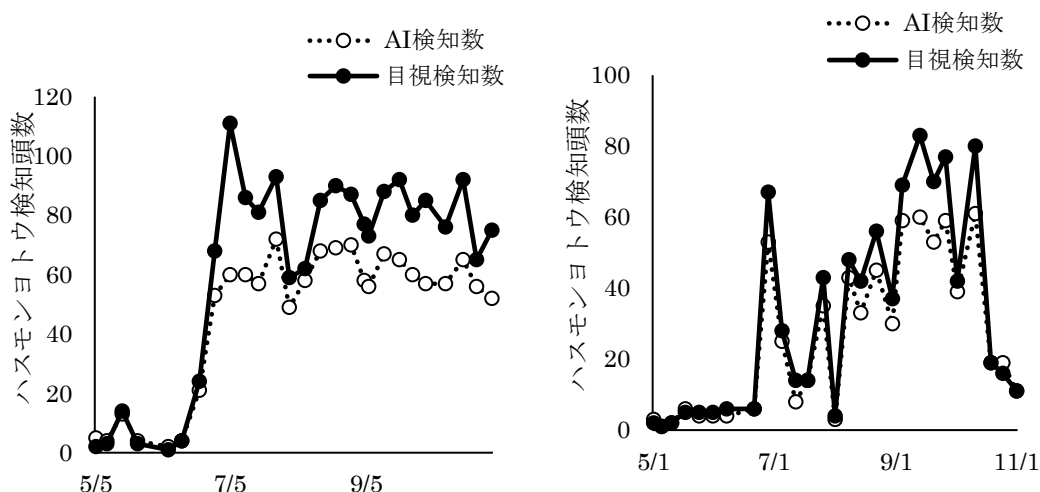


図7. 目視による計数とAI検知による計数の比較（左：湖北、右：内日角）

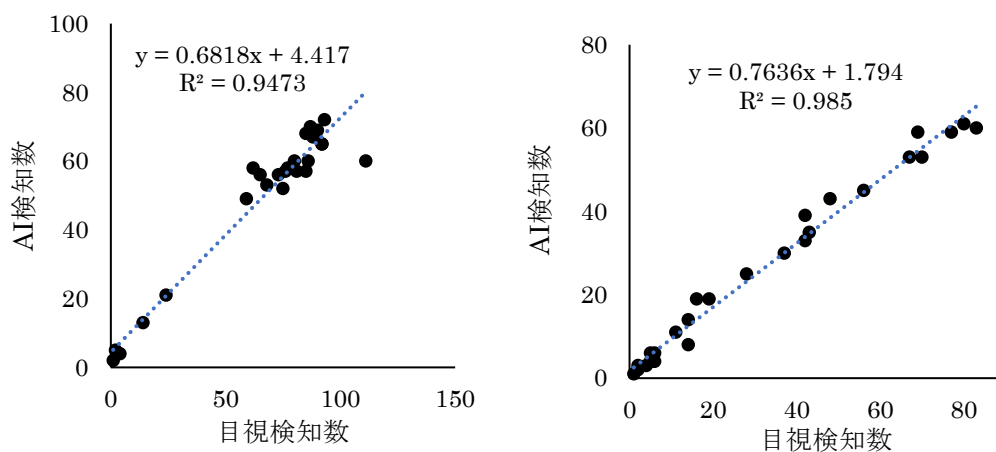


図8. 目視による計数値とAI計数値の相関（左：湖北、右：内日角）

表 2. AI の性能評価（湖北、内日角）

	試験 年度	目視 検知数	AI 検知数	AI 正解数	見逃し 数	誤検知 数	再現率	適合率
湖北	2022	1676	1262	1223	453	39	0.730	0.969
	2021	1404	1301	1208	196	93	0.860	0.929
内日角	2022	852	699	642	210	57	0.754	0.918
	2021	1279	1165	1089	190	76	0.851	0.935

(イ)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

i. 研究方法

① 調査内容

石川県、大阪府および兵庫県各府県において、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 9）、装置に飛来したハスモンヨトウを自動で撮影した（新手法による自動撮影）。従来法（粘着式フェロモントラップもしくはファネル型フェロモントラップによる調査）での誘殺数と新手法での撮影画像数の比較を行い、同様の消長を捉えられているかどうかを調査した。また、新手法を全国の病虫害防除所に普及するため、最適な機材の設置方法・設定方法についての検討を行った。



図 9. 機材を設置した様子（左から石川県、大阪府、兵庫県）

② 各地における詳細な調査手法

各担当機関における調査場所・調査日・使用機材・撮影設定・従来法については、表 3 の通り行った。

表 3. 各担当機関における調査場所・調査日・使用機材・撮影設定

		担当機関		
		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	兵庫県農林水産技術総合センター
調査場所		石川県金沢市才田町 (研究所内の2箇所の大豆圃場)	大阪府羽曳野市尺度 (研究所内の大豆圃場)	兵庫県加西市別府町 (研究所内の大豆圃場)
調査日時		2022年7月19日～12月1日 (平日はほぼ毎日)	2022年6～11月 (毎日)	2022年5～10月 (毎日)
使用機材	自動撮影カメラ	ハイクカム LT4GMマクロ (株式会社ハイク製)	ハイクカム LT4GMマクロ (株式会社ハイク製)	トロフィーカムXLT 30MP (Bushnell社製)
	フェロモンルアー	ハスモンヨトウ用フェロモンルアー (サンケイ化学製)	ハスモンヨトウ用フェロモンルアー (サンケイ化学製)	ハスモンヨトウ用フェロモンルアー (住友化学製)
撮影設定	撮影形式	静止画	静止画	静止画
	センサー感度	高	中	高
	連続撮影枚数	5枚	3枚	3枚
	撮影間隔	1秒	5秒	5秒
	撮影画像	300万画素	300万画素	3000万画素
	送信画像	30万画素	30万画素	— (送付機能なし)
従来法		粘着式フェロモントラップ	粘着式フェロモントラップ	ファネル型 フェロモントラップ

ii. 結果と考察

• 撮影成功数と全撮影枚数の関係性

新手法での自動撮影を行ったところ、撮影画像中にハスモンヨトウが写っていない場合や、カエル等のハスモンヨトウ以外の生物が写っている場合があった

(図10)。そこで、撮影された画像のうちハスモンヨトウが写っている枚数（以下、撮影成功数）のみをカウントする必要があるのか、画像の内容を問わず撮影回数の合計（以下、全撮影枚数）を採用してもよいのかを検討した。撮影成功数と全撮影枚数の間の関係性を調べたところ、正の相関が見られた（図11，12）。このため、全撮影数を調査することにより、撮影成功数と同様の推移を捉えることができると考えられる。

これは、自動撮影カメラの性質による可能性がある。自動撮影カメラは、温度変化を赤外線センサーにより検知し、動体を自動撮影する仕様となっている。このとき、赤外線センサーの作動から撮影までには若干の誤差が生じる。撮影画像中にハスモンヨトウが写っていない場合について、ハスモンヨトウの飛来に反応して赤外線センサーが作動したが、撮影時にはすでに去っていた可能性がある。また、カエルはハスモンヨトウの捕食者であるため、カエルの写り込みがある場合は、ハスモンヨトウの飛来も多いときであったと考えられる。今回の場合は、全撮影数撮影成功数と同様の推移を捉えることが示唆された。他の害虫への適応において、対象害虫以外の動体によって自動撮影カメラが作動した場合は、害虫とその動体との関係性や写り込みの頻度により、評価方法を考察する必要がある。

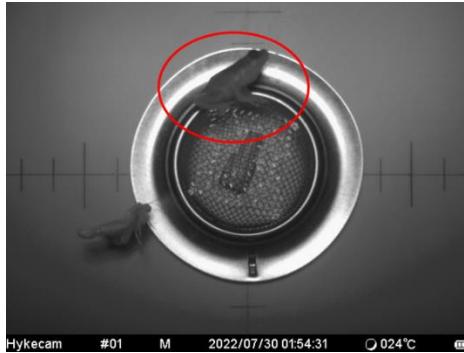


図 1 0. 自動撮影カメラによりカエルが撮影された画像の例

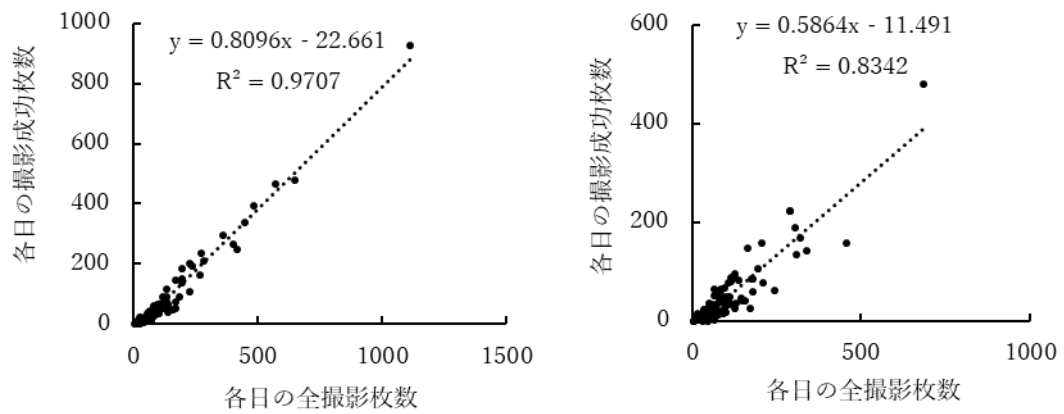


図 1 1. 各日の撮影成功枚数と各日の全撮影枚数間の関係性
(石川県の場合内圃場 2 箇所にて調査)

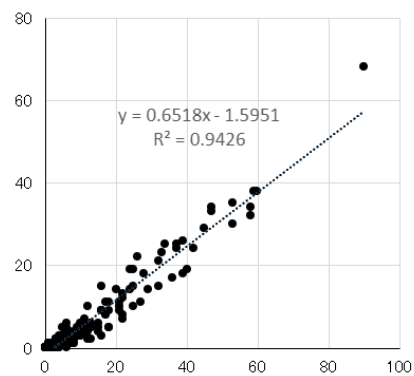


図 1 2. 各日の撮影成功枚数と各日の全撮影枚数間の関係性 (大阪府)

- 従来法との消長の比較

前項を踏まえ、新手法による全撮影枚数及び撮影成功枚数と、従来法との比較を行った。その結果、石川県および兵庫県において、新手法による全撮影枚数は、従来法によるフェロモントラップ誘殺数に比べて少なくなるものの、同様の発生消長を捉えられることが分かった(図13、14)。兵庫県では、5月～9月までほぼ同等の推移を示し、10月については推移の傾向が5月～9月と異なり不安定となった。また、大阪府において、新手法による撮影成功枚数は、10月中旬まで従来法と同等の推移を示した(図15)。10月以降推移の傾向が不安定となるのは、気温が低下して飛翔活性も低下したことなどが要因であると考えられる。発生予察において重要な6月から9月をカバーしていることから、新手法は有効な手段であると考えられた。

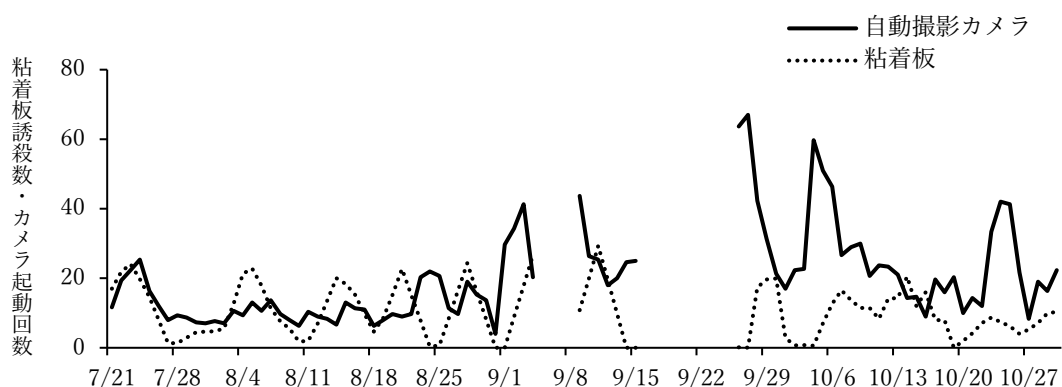


図13. 新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較(石川県)

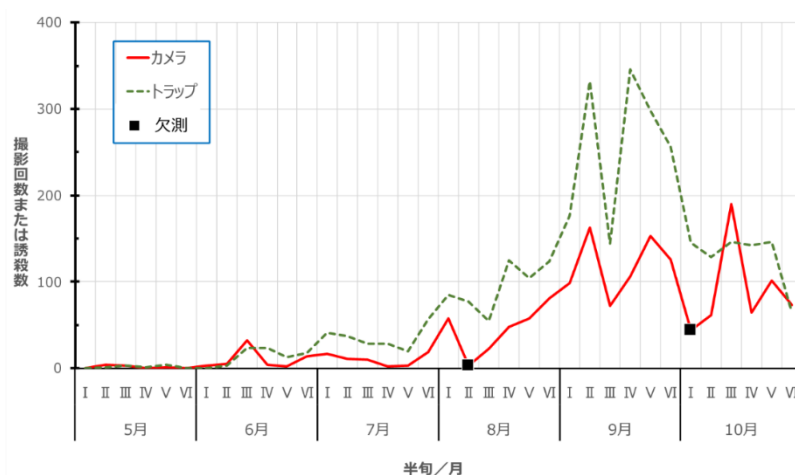


図14. 新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較(兵庫県)

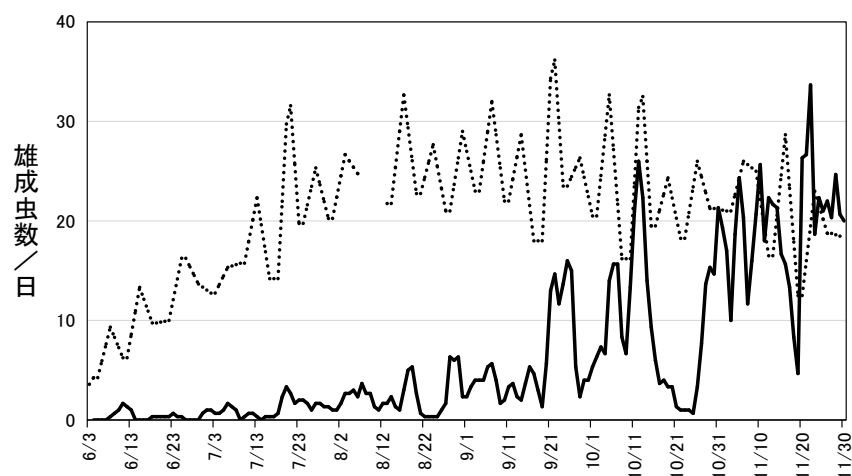


図 1 5．新手法による撮影成功枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較
(大阪府、新手法が実線・従来法が点線、いずれも前後 1 日を含む
3 日間の移動平均)

- 全国の病害虫防除所での汎用性

3 府県において新手法により、従来法と同様の消長を捉えられることがわかった。高価な機材や煩雑な手順を必要としないことから、この手法は全国の病害虫防除所で活用できる可能性がある。そこで、3 府県における手法を組み合わせ、最も安定してデータを取得できる、機材の設置方法・設定方法について検討した。また、株式会社オプティムにて、本手法を全国の病害虫防除所に普及するため、マニュアルを作成した。具体的な方法については、『赤外線カメラでの自動撮影による害虫調査方法マニュアル』を参照とする。

- 他種への応用の可能性

自動撮影カメラは、温度変化の感知により、動体を自動撮影する仕様となっている。そのため、ハスモンヨトウ以外の害虫の関しても汎用的に活用できる可能性がある。他種への応用を検討するため、兵庫県にてハスモンヨトウと近縁なオオタバコガを対象に新手法を試行した（図 1 6）。その結果、新手法による全撮影枚数はフェロモントラップの誘殺数を上回る傾向がみられた。他種への応用の際には、種毎の特性について検討が必要であると考えられる。

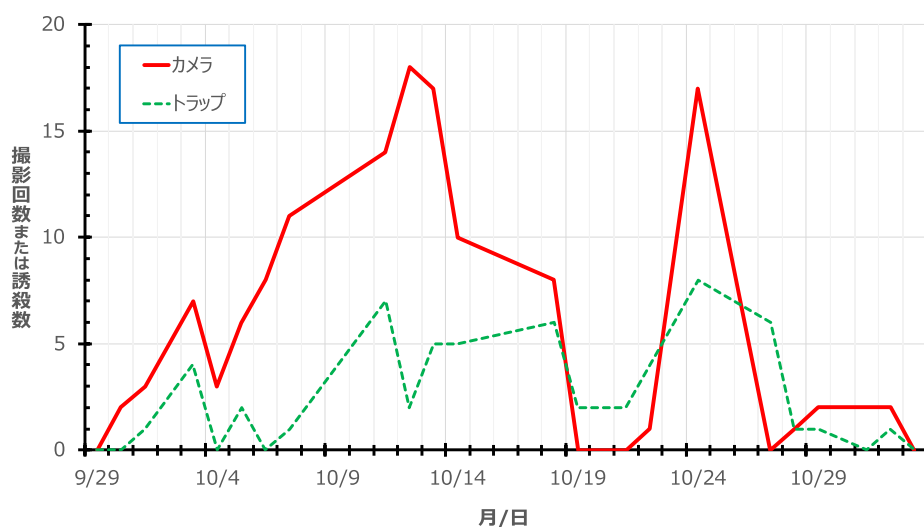


図1 6. オオタバコガを対象としたときの、新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較（兵庫県）

- 今後の研究への新手法の活用方法の検討

新手法で自動撮影カメラを用いたことで、画像のみならずフェロモンへの誘引日時やカメラ内蔵温度計の気温などのデータが記録されるため、これらを検証することで不明であった行動生態の解明でき、発生予察の精度をより向上させることや防除法の改良、開発に貢献できると考えられる。一例として、ハスモンヨトウの飛来時刻と日没時刻を比較したデータを得ており（図1 7）、これらを詳細に検証すれば、物理的防除に用いられてきた防蛾灯の点灯をハスモンヨトウの飛来時刻に合わせることで、点灯時間を短縮できる可能性もある。

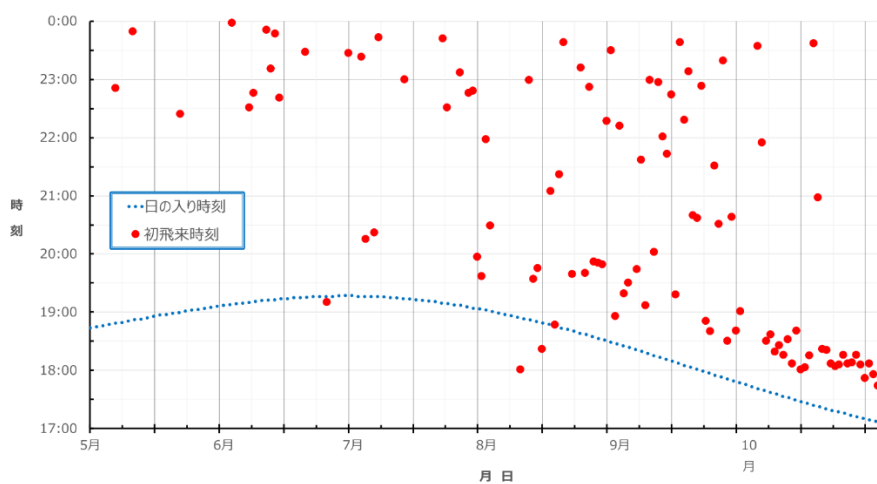


図1 7. 日の入り時刻*とセンサーカメラに記録された日別初飛来時刻（兵庫県）

*神戸（緯度：34.6833°、経度：135.1833°、標高：0.0m）／国立天文台

(2) ドローンを活用した圃場の被害調査

本調査では、ハスモンヨトウのダイズの白変葉とウコンノメイガのダイズの葉巻について、それぞれ虫害を検知するAIを開発し、精度の検証を行うとともに、空撮画像をオンライン上にアップロードするだけで、自動的に圃場内の被害葉を検知するシステムを構築した。以下より、各々の実証結果は、下記に示す通りである。

以下、AIの精度評価には、F値を活用した。F値は、式1.3のように適合率と再現率の調和平均で表され、これにより、適合率と再現率をどちらも考慮した精度評価を行うことが可能である。

$$F \text{ 値} = \frac{2}{\frac{1}{\text{適合率}} + \frac{1}{\text{再現率}}} \quad (1.3)$$

(ア) ハスモンヨトウによるダイズの白変葉の検知

i. 研究方法

兵庫県加西市および丹波篠山市のダイズ2圃場にて、ドローン（DJI社製PHANTOM4 PRO）を用いて、白変葉の被害状況を空撮した（表4）。次に、令和3年度に作成したAIに、2076枚の空撮画像を追加で学習させ、テストデータ178枚を用いて精度検証を行った。さらに、AI検知により検出された被害カ所を計数して見取調査による被害数と比較した。

表4. 撮影時の設定

設定箇所	項目	条件
フライト設定	高度	8m
	速度	5m/s
	オーバー　進行方向	90%
	ラップ率　飛行ライン	68%
	撮影時モード	ホバリング
	アングル	90°
カメラ設定	モード	S
	ISO	200
	シャッタースピード	1/1600
	EV値	0
	WB	AWB

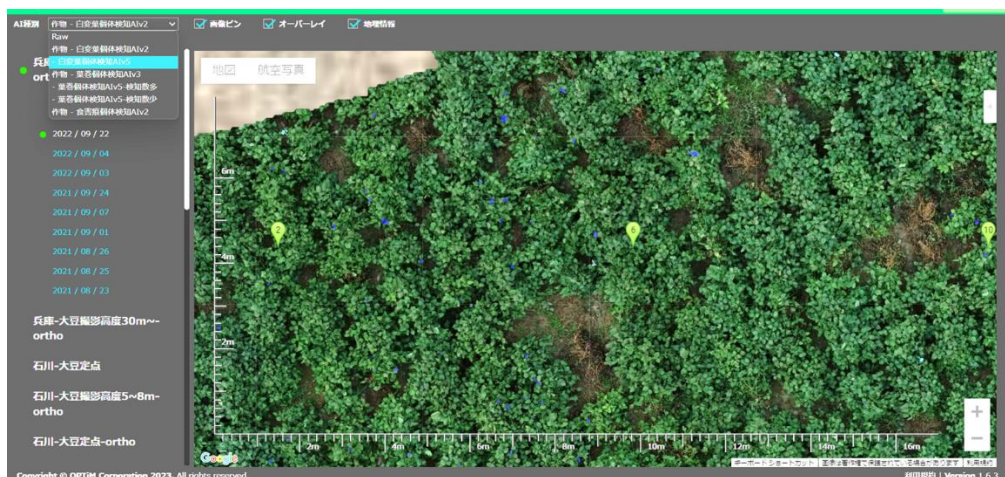


図 1 8. アプリ上での A I 検知結果の表示画面（青が検知された箇所）

ii. 結果と考察

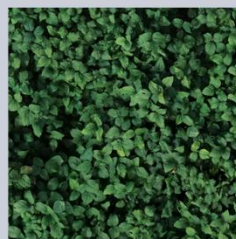
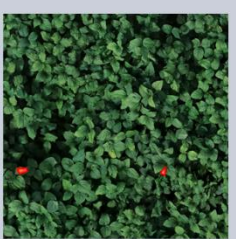
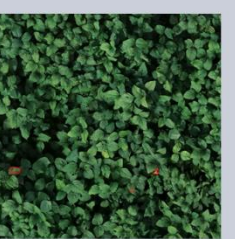
• A I の精度検証

令和 3 年度作成時点での A I での課題であった土の誤検知・見落としを改善することができた（表 5）。F 値は 6 3. 2 % となり、令和 3 年度時点での 5 8. 7 % と比較して向上した。目視による正答データと A I 推論結果の比較を表 6 に示す。

表 5. 令和 3 年度時点・令和 4 年度時点の A I の比較

	元データ	令和3年度AI	令和4年度AI
データ①		土の誤検知が発生	誤検知が改善
データ②		見落としが発生	見落としが改善

表 6. 目視による正答データと A I 推論結果の比較

	元データ	正答データ	AI推論結果
データ①			
データ②			
データ③			

- 見取調査結果との比較

A I の検知数と見取調査での被害数を比較したところ、サンプル数は少ないながら、正の相関が得られた（図 1 9）

表 7. 見取り調査結果

撮影日	撮影場所	被害カ所数/a
9月3日	加西市別府町	4
9月4日	丹波篠山市	1
9月22日	加西市別府町	9
10月8日	丹波篠山市	4
10月15日	加西市別府町	0

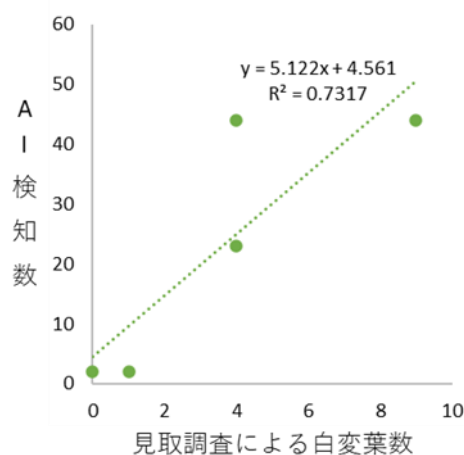


図 1 9. 大豆の白変葉における A I 検知数と見取調査結果の比較

- 全国の病害虫防除所での汎用性

大豆のハスモンヨトウによる被害葉はカメラ用ドローンの撮影画像から A I による検知が可能であった。現段階ではドローンの撮影から検知までの通信や画像処理に時間を要するという問題があるが、今後改善されれば、ドローンと A I の活用により発生予察での巡回調査時間の削減につながる。また、ドローン撮影画像は、調査が困難な圃場中央部などの状態が明確になることや、A I を利用することで、面的に被害カ所が把握できることが利点である。面的なデータという特性を生かし画像に占める葉面積を算出することで収量を推定できる可能性もある。

(イ) ウコンノメイガによるダイズの葉巻の検知

i. 研究方法

- 調査場所

石川県農林総合研究センター内大豆圃場 7-6、10-9

- 耕種概要

表 8. 耕種概要

	7-6 (13a)	10-9 (2a)
品種	里のほほえみ	
栽植密度	株間 15 cm、条間 70 cm	株間 15 cm、条間 70 cm
播種日	6 / 1 播種	6 / 1 播種
もしくは移植日	(うね立て同時播種)	(うね立て同時播種)
	7 / 28	
防除日	クロラントラニリプロール	無防除
	水和剤	

- 調査時期
7月20日～8月19日（約7日間隔で計5回）
- ドローンによる空撮
使用ドローン：Phantom 4 Pro（DJI社）
撮影条件：高度5m、8m、ISO200（感度）、
シャッター速度1/1600
- 葉巻検知AIの開発のための教師データの収集
大豆圃場をドローンにより空撮し、撮影画像をAI学習の教師データとして株式会社オプティムに送付。184枚の画像データをAIの追加学習に利用し、23枚の画像データを用いて精度の検証を行った。
 - AI検知調査区の設置：2m/畝×6か所/1圃場
 - 調査項目：苗立数、草冠高（調査区内3か所の平均）、葉巻数、葉巻高
- AI検知葉巻数と見取り葉巻数の比較
AIの実用性を評価するため、調査区をホバリング撮影した画像を用いて、AI検知葉巻数と見取り調査による葉巻数を比較した。

ii. 結果と考察

- 見取り調査では、7月第5半旬から葉巻の増加が見られ、無防除の10—9圃場では8月第3半旬にピークが見られた。7—6圃場は7/28に防除を実施したため、その後低密度で推移した（データ略）。
- 株全体の葉巻数と株上部10%の葉巻数には相関が見られた（図20）。
- AIが葉巻として検知したもののうち実際の葉巻を拾った割合（適合率）は31.6%、実際の葉巻のうちAIが葉巻として検知できた割合（再現率）は33.3%となった。F値（適合率と再現率の調和平均）は32.4%となった（データ略）。
- 見取り葉巻数とAI検知葉巻数を比較したところ、撮影高度5m、8mいずれにおいても、調査期間を通して相関は見られなかった（図21）。見取り葉巻数の少ない7—6圃場ではAI葉巻数>見取り葉巻数となる傾向が見られ、過剰検知が多くなった。見取り葉巻数の多い10—9圃場ではAI葉巻数<見取り葉巻数となる傾向が見られ、見落としの発生と、葉巻の増加に伴い株内部の上空から見えない葉巻が増加したためだと考えられる。
- AIによる見落としは一定数発生しているものの、学習量を増やすことで改善が期待される。一方、過剰検知は、めくれた葉裏や茎、縦になった葉、葉の影、雑草等を葉巻と誤検知する傾向が見られ、これらは葉巻と色や形にほとんど違いが見られない場合があるため、識別が困難だと考えられる（図22）。

以上の結果より、ドローンによる空撮画像からA I が葉巻を検知することができたものの、過剰検知と見落としも同程度発生した。しかし、株全体の葉巻数と株上部の葉巻数には相関が見られたことから、A I の検知精度が向上すれば、ドローン空撮画像とA I を用いて圃場内の葉巻被害を把握することは可能だと考えられる。

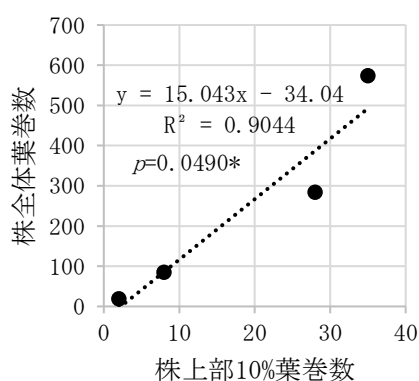


図20. 株全体の葉巻数と株上部10%の葉巻数（10～9圃場）
 各調査日における圃場全体平均
 *： $p < 0.05$ で有意差があることを示す

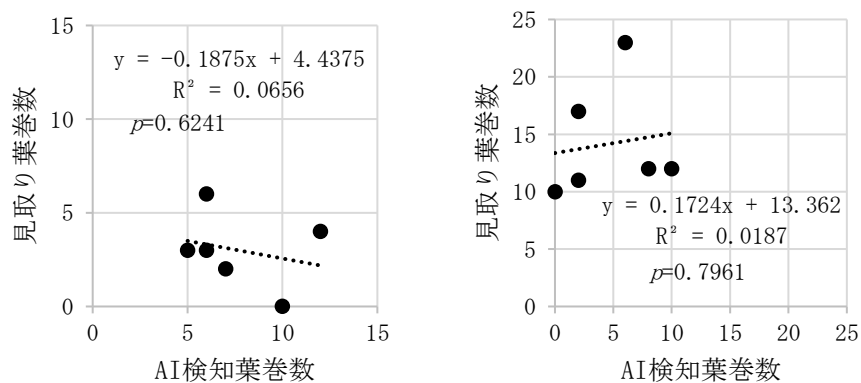


図21. 見取り葉巻数とA I 検知葉巻数の比較
 (左：7～6圃場、右：10～9圃場)
 7/27調査、高度5m、調査地点平均



図 2.2. A I 検知葉巻（赤枠が正解葉巻、赤丸が A I 検知葉巻）

(ウ) イネ縞葉枯病の検知

i. 研究方法

兵庫県加西市の兵庫県立農林水産技術総合センター内の水稲圃場にて、ドローン（D J I 社製 P h a n t o m 4 P R O）を用いて、水稲再生株を空撮した。秋季に水稲再生株で縞葉枯病の発病を検知できれば、翌年における縞葉枯病の発生リスクを予想することができる。本検証は、空撮画像から被害の把握の可能性を探るための試験的な空撮であり、縞葉枯病についての A I の開発は行っていない。

表 9. 撮影時の設定

設定箇所	項目	条件
フライト設定	高度	8m
	速度	5m/s
	オーバー	進行方向
	ラップ率	飛行ライン
	撮影時モード	ホバリング
	アングル	90°
カメラ設定	モード	S
	ISO	200
	シャッタースピード	1/1600
	EV値	0
	WB	AWB

ii. 結果と考察

再生株は葉身が小さく、真上からの撮影（カメラ角度 90°）では低空の高度 8 m でも稲株の判別が難しかった（図 2.3）。しかし、斜めからの撮影では株の判別が比較的容易であることから、より撮影方法を改良することで再生株での検出の可能性は残されている（図 2.4）。水稲再生株のような小さな植物体は、ドローンでの撮影方法としてカメラ角度などを検討する必要性が明らかになった。イネ縞葉枯病の発生予測においては、水稲再生株の時期での発生把握は次年度の発生を予測する上で有用であるため、さらなる検討を要する。



図 2 3. ドローンで撮影した水稻再生株(地上 8 mカメラ角度 90°)



図 2 4. ドローンで撮影した水稻再生株(地上 8 mカメラ角度 50°)

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虫害発生予測（発生予測の高度化）

気候変動および異常気象により病虫害の発生トレンドが変化しており、病虫害の発生予測もその変化に対応することが求められている。そのような状況下で予測精度を向上させるためには、県域全体を一律とした予測情報ではなく、気象条件などを背景とした地域ごとの予測情報の提供が必要である。しかし、発生予測にかかわる人的リソースは限定されているため、効率的に気候変動に対応した発生予測を展開する対策の一つとして、気象データや病虫害の生態パラメーターから、病虫害の発生を中長期的に予測するシステムの開発が必要である。要素技術 2 では、気象データを利用してハスモンヨトウの発生時期を 1 か月程度前から予測できるシステムを開発すること及び、ハスモンヨトウの有効積算温度等を活用して本種の発生時期の予測の可能性とその精度について明らかにすることを目標に、予測システムの開発を行った。

(1) フェロモントラップを用いたハスモンヨトウの捕獲消長データの蓄積

i. 研究方法

三重県内の 3 地点（四日市市、鈴鹿市、松阪市）のダイズほ場の畦畔に、ハスモンヨトウのフェロモントラップを設置し捕獲消長を調査した。誘引剤にはフェロディン S L（住友化学）を用い、トラップには住化式乾式トラップ（住友化学）を用いた。

調査は原則として7日間隔で行い、トラップ内のハスモンヨトウ成虫捕獲数を計数した。

また、上記3地点に加え、7地点（津市（2地点）、松阪市（2地点）、多気町、伊勢市、玉城町）にハスモンヨトウのフェロモントラップを設置し、9月初旬からの3週間捕獲数を調査し、設置地域の地理条件との関連を解析するための調査データの蓄積を行った。なお、対照として同じ10地点にホソヘリカメムシのフェロモントラップを設置し、同じ時期の捕獲数を調査した。

ii. 結果と考察

予測精度に有利な有効積算温度と発育零点を探索したところ、Miyashita（1971）の有効積算温度526.3日℃と発育零点10.3℃の組み合わせが、他の研究事例での有効積算温度と発育零点の組み合わせよりも予測に有利と考えられた（図25）。

また、有効積算温度520日℃、525日℃、530日℃、発育零点10.3℃の条件で有効となる発育条件温度、発育零点についても探索したところ、有効積算温度525日℃の予測精度が高い傾向が見られ、特に発育上限温度29℃、発育停止温度38℃の組み合わせが予測を向上させると考えられた（図26）。

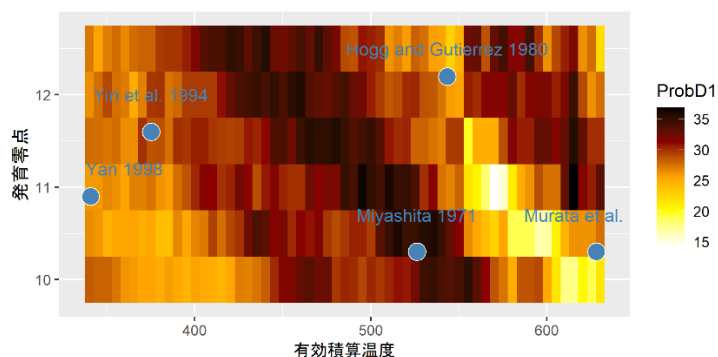


図25. 発育零点と有効積算温度の組み合わせごとに算出した予測精度のヒートマップ
予測精度：予測日が実測日±2.5日以内になる確率

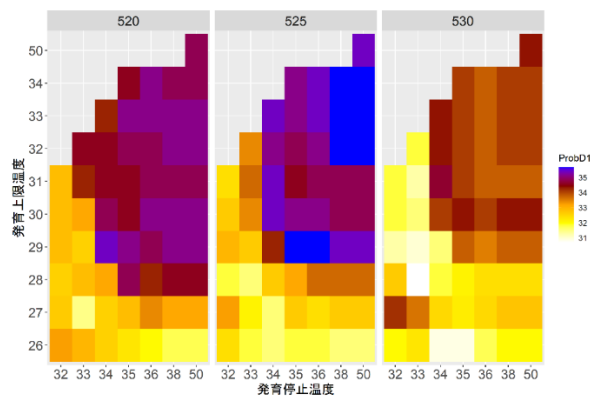


図 2 6．発育上限温度と発育停止温度の組み合わせごとに
算出した予測精度のヒートマップ

予測精度：予測日が実測日±2．5 日以内になる確率

(2) 三重県以外のフェロモントラップデータを用いた検証

i. 研究方法

石川県（2 地点）、大阪府（1 地点）、兵庫県（2 地点）、愛媛県（7 地点）、三重県（1 地点）のハスモンヨトウのフェロモントラップデータを用いて、有効積算温度シミュレーションの精度検証を行い、精度を低下させる要因について検討を行った。

ii. 結果と考察

石川県（2 地点）、大阪府（1 地点）、兵庫県（2 地点）、愛媛県（7 地点）、三重県（1 地点）の合計 13 地点のフェロモントラップデータ（2018 年～2020 年，表 10）を用いて、全捕獲ピークから網羅的に有効積算温度シミュレーションの検証を行った（図 27）。13 地点の予測精度の検証の結果、三重県での予測よりも予測精度が劣る調査地点が認められた（表 11）。捕獲数が少なく明瞭でないピークから実行したシミュレーションでは予測精度が低い傾向が認められたため、起算日となるピークの条件を「20 頭以上／5 日間かつ鋭角なピーク」とした。

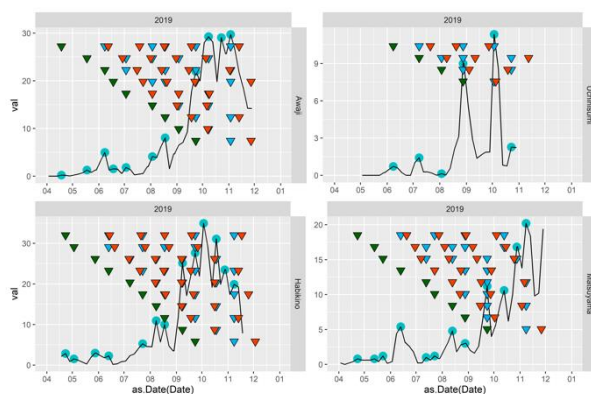


図 2.7. 有効積算温度シミュレーションの結果の一例

緑色▽：起算日、オレンジ▽：予測日、水色▽：実測日、
実測日は予測日に最も近いピーク日

表 1.0. 供試データの概要

府県名	地点名	トラップの種類	データ内容
石川県	内日角	粘着板	5 日間隔捕獲データ
	湖北	粘着板	5 日間隔捕獲データ
大阪府	羽曳野	粘着板	5 日間隔を基本とした捕獲データ ¹⁾
兵庫県	加西	ファネル	5 日間隔捕獲データ
	あわじ	ファネル	5 日間隔捕獲データ
愛媛県	四国中央	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	西条	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	松山	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	伊予	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	大洲	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	西予	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
	愛南	住化乾式	5 日間隔捕獲データ
三重県	松阪	住化乾式	5 日間隔捕獲データ

1) 粘着板に捕獲上限を超える場合に随時、捕獲数の調査を実施

表 1 1. 各調査地点における予測精度の検証結果

府県名	地点名	n ¹⁾	実測日ー予測日が以下の範囲内になる確率 (%)	
			5 日間以内	1 5 日間以内
石川県	内日角	1 4	2 1 . 4	6 4 . 3
	湖北	1 8	1 6 . 7	6 1 . 1
大阪府	羽曳野	2 9	4 4 . 8	7 9 . 3
兵庫県	加西	2 3	3 4 . 8	8 2 . 6
	あわじ	2 1	1 4 . 3	6 1 . 9
愛媛県	四国中央	2 7	4 0 . 7	8 8 . 9
	西条	1 4	0 . 0	5 7 . 1
	松山	2 5	3 6 . 0	6 0 . 0
	伊予	2 5	2 0 . 0	6 8 . 0
	大洲	2 4	2 9 . 2	7 0 . 8
	西予	2 1	2 8 . 6	5 7 . 1
	愛南	2 5	4 0 . 0	6 0 . 0
三重県	松阪	2 6	3 8 . 5	7 6 . 9

1) シミュレーション実行回数

(3) 台風等の影響による突発的な捕獲増加事例のデータ整理

i. 研究方法

台風等の気象要因により他地域の個体群が移入する場合などにおこるフェロモントラップへの急激な捕獲の増加は有効積算温度シミュレーションでは予測できないため、これらの突発的な捕獲事例のデータ整理を行った。

ii. 結果と考察

供試した全ての捕獲消長データについて台風の影響と捕獲ピークの間接関係を整理した。気象庁ウェブサイトの「過去の台風資料」から台風経路図を参照して、以下の基準のとおり三重県の過去 4 0 年間の捕獲消長データおよび三重県外の捕獲消長データに台風の影響の情報を加え、それぞれの捕獲ピークが台風の影響による突発的な捕獲かどうかの判断に用いた。その結果、基準の 1 ～ 4 の状況が確認された月日は 7 月から 1 0 月にかけての突発的な捕獲と考えられるピーク日と一致する場合が多いことから、台風が接近あるいは上陸して最大瞬間風速 1 5 m 以上となった時期に認められる明瞭捕獲ピークは予測できない突発的な捕獲であったと判断した。

有効積算温度シミュレーションの起算日を「2 0 頭以上／5 日間かつ鋭角なピーク」が確認された日としたうえで、検証用データから台風による突発的な捕獲の影響が大きいデータを除去して精度検証を行った場合、予測精度は向上した。また、発育上限温度 3 2℃、発育停止温度 3 8℃をパラメーターとして加えた場合がより精度が高く適当と考えられた (表 1 2)。

○台風等の影響の基準

1. 台風が上陸通過して最大瞬間風速 20 m 以上
2. 台風が上陸通過して最大瞬間風速 15 m 以上、20 m 未満
3. 台風が接近して最大瞬間風速 20 m 以上
4. 台風が接近して最大瞬間風速 15 m 以上、20 m 未満
5. 台風が上陸して最大瞬間風速 15 m 未満
6. 台風が接近して最大瞬間風速 15 m 未満
7. 台風の上陸、接近はないが最大瞬間 20 m 以上
8. 最大瞬間風速 15 m 未満

表 12. 図 28 の予測手順に発育上限温度と発育停止温度の組み合わせによる
予測精度の比較

パラメーター		予測 1)	次世代		次々世代	
発育上限 温度	発育停止 温度		5 日以内	10 日 以内	5 日以内	10 日 以内
29℃	35℃	①	52.2	63.0	43.5	63.0
		②	53.4	75.9	—	—
32℃	38℃	①	50.0	69.6	37.0	71.7
		②	50.0	75.9	—	—
34℃	50℃	①	52.2	69.6	37.0	71.7
		②	50.0	75.9	—	—

1) 図 28 を参照

(4) 有効積算温度シミュレーションを利用した発生時期予測方法の検討

i. 研究方法

シミュレーションの精度検証結果等を踏まえて、ハスモンヨトウの発生時期予測方法を検討し提案した。そして、提案した予測方法を行った場合の予測精度の検証を行った。

ii. 結果と考察

ダイズのアスモンヨトウの発生予測を考慮すると、8月下旬から9月の発生増加時期を早期に把握できることが、その後の防除時期を検討するために重要となる。そこで、予測の目的を「8月下旬～9月のアスモンヨトウの発生時期予測」と再定義して、予測精度を考慮したうえで、具体的な予測方法を取りまとめた(図28)。この方法に従った場合の有効積算温度シミュレーションの予測精度は向上した(表13)。

表 1 3. 考案した予測方法に従った場合の予測精度

供試データ	予測	次世代		次々世代	
		7 日以内	1 0 日 以内	7 日以内	1 0 日 以内
三重県データ	①	5 6 . 5	6 9 . 6	5 6 . 5	7 1 . 7
	②	5 8 . 6	7 5 . 9	—	—
5 府県 1 3 地域 データ	①	4 6 . 8	5 7 . 5	3 5 . 6	6 8 . 9
	②	5 0 . 0	5 5 . 6	—	—

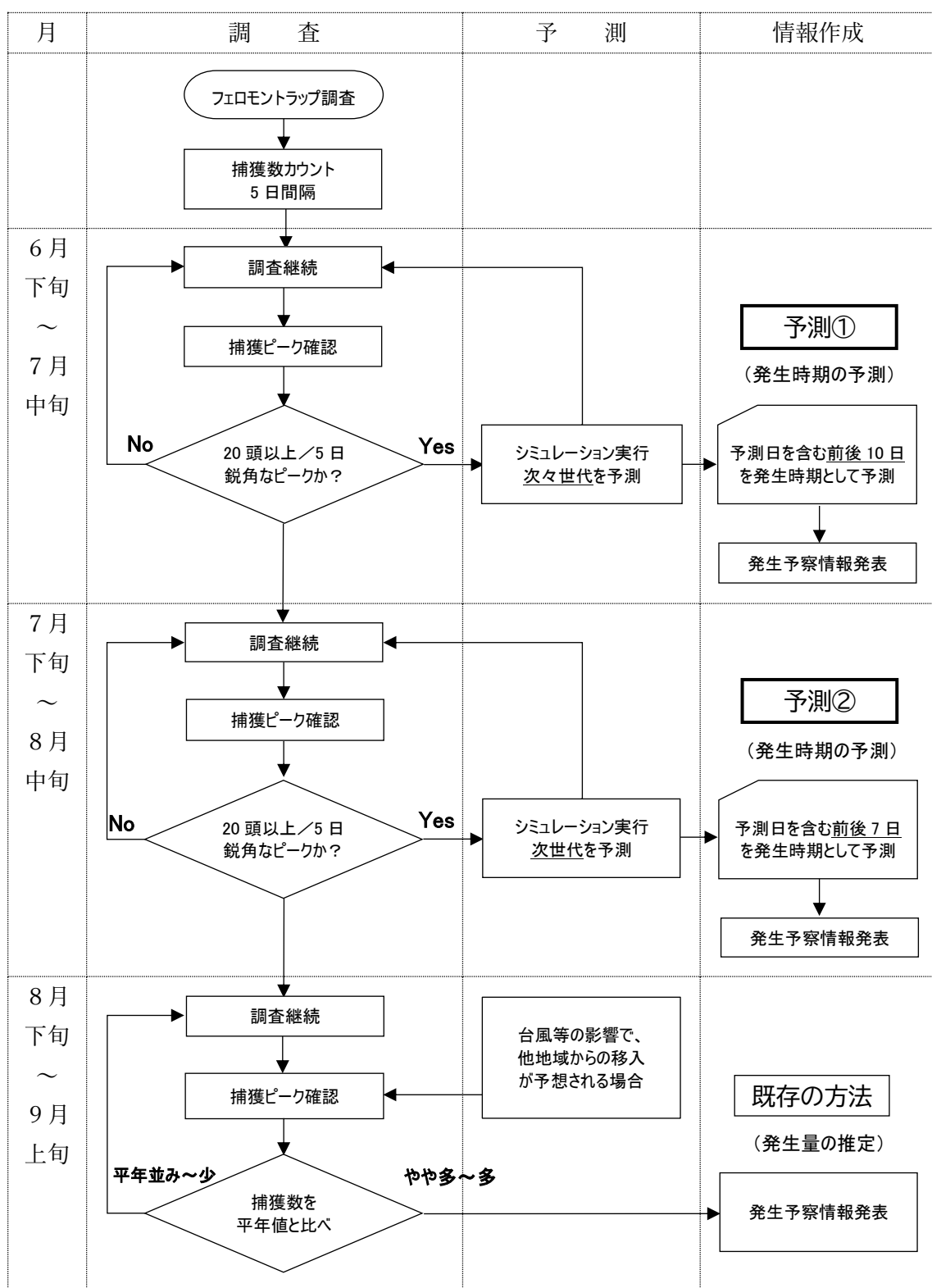


図 2 8. 8 月下旬～9 月のハスモンヨトウ発生時期の予測方法

本要素技術では、「平成30年度病害虫の防除に直結する発生予察体系への転換委託事業」にて作成された“病害虫調査データ収集アプリケーション”を活用して、要素技術1及び要素技術2にて収集する情報を集計し、従来の紙媒体を用いた情報発信に対して、新たな情報の発信方法について検討した。特に、本年度はアプリケーションの普及を目指し、特定の防除所をモデルとしたアプリケーション活用事例モデルを作成し、アプリケーションを防除所で活用するための要件を定めるとともに、事業終了後のアプリケーションの普及拡大を目指した。

i. 研究方法

-
- ```
graph LR; A[調査データ] --> B[PC版アプリ
過去データ取込]; B --> C[統計データ出力
※表・グラフ表示]; B --> D[現況報告作成
※平年値に利用]
```
- The flowchart illustrates the data processing workflow. It begins with '調査データ' (Survey Data) represented by an Excel file icon. An arrow points to a central box labeled 'PC版アプリ 過去データ取込' (PC Version App Past Data Import). From this central box, two arrows branch out to the right. The top arrow points to a box labeled '統計データ出力 ※表・グラフ表示' (Statistical Data Output ※Table/Graph Display). The bottom arrow points to a box labeled '現況報告作成 ※平年値に利用' (Current Status Report Creation ※Utilization of Average Annual Values).

[illegible]

37

- マスターデータの統廃合  
農作物名、病害虫名など複数に分かれていたマスターデータを統合して登録の簡便化や視認性を向上させた。

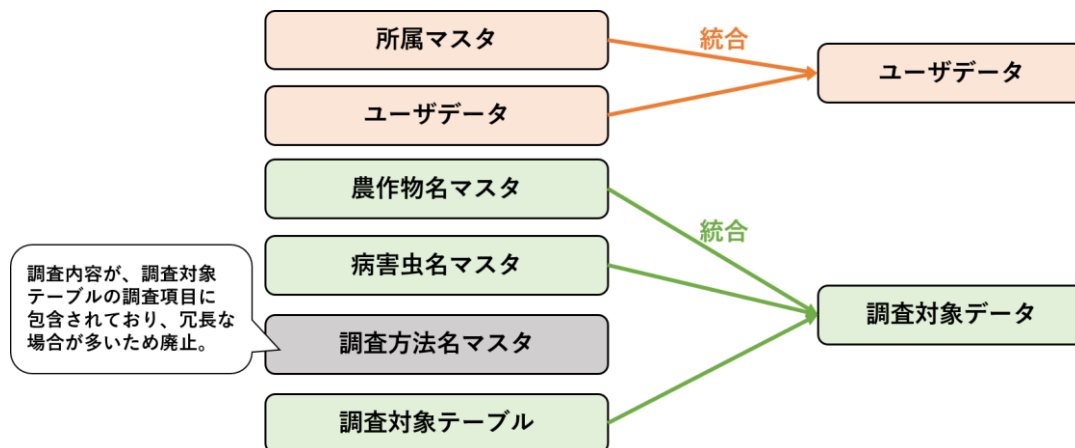


図 3 1. マスターデータの統廃合イメージ

- 調査方法の廃止に伴う改修  
調査方法の廃止に伴って、調査方法を用いていた各機能の改良・修正を実施した。
- その他の改良  
P C 版アプリ内の文言などを含めた G U I を改良した。現況報告作成機能に関するフィードバックに対応した。

## ii. 結果と考察

- 過去データの取り込み機能開発  
調査データを E x c e l ファイル形式（マトリクス表、リスト表の 2 形式）で入力可能となり、蓄積された過去データの取り込みを効率的に行えるようになることで、統計データや、現況報告作成時に過去データを活用可能とした。

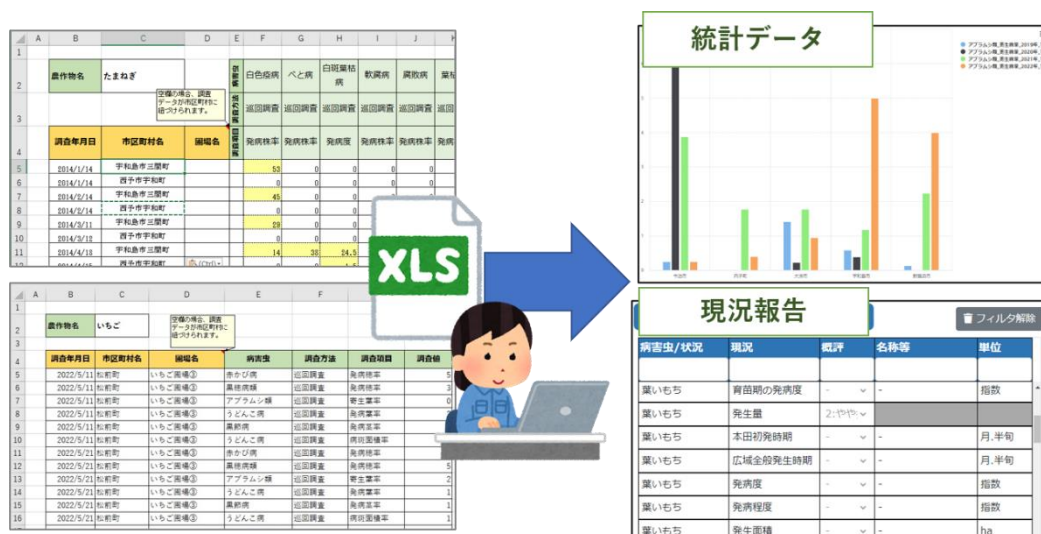


図 3 2. 過去データ取り込み機能のイメージ

- マスターデータの統廃合

これまで別々だった、所属とユーザのマスターデータを統合し、農作物名、病害虫名、調査項目のマスターデータを調査対象データとして統合した。関連するマスターデータを 1 画面に統合することで視認性が向上し、マスターデータ登録時の繁雑さが解消された。

The figure shows two screenshots of the system interface. The left screenshot, titled 'ユーザデータ' (User Data), displays a table with columns for '利用アプリ' (App Used), '所属' (Affiliation), '操作' (Operation), 'ユーザID' (User ID), 'パスワード' (Password), 'ユーザ名' (User Name), and '権限' (Authority). It includes buttons for '検索' (Search), '+', and '-'. The right screenshot, titled '調査対象データ' (Survey Target Data), displays a table with columns for '対象農作物' (Target Crop), '農作物(作型・品種等)' (Crop (Cultivar/ Variety etc.)), '対象病害虫' (Target Pest/Disease), '病害虫(種名等)' (Pest/Disease (Species etc.)), and '操作' (Operation). It includes buttons for '検索' (Search), '+', and '-'. Below the table, there are sections for '調査項目' (Survey Item), '調査値' (Survey Value), '凡例' (Legend), and '操作' (Operation), with buttons for 'コピー' (Copy) and '追加' (Add).

図 3 3. ユーザデータ・調査対象データの画面イメージ

- 調査方法の廃止に伴う改修

冗長になりがちな調査方法を削除したことで、調査対象を特定のために必要なデータが「農作物、病害虫、調査方法、調査項目」から「農作物、病害虫、調査項目」とシンプルとなった。改修イメージは下図を参照。



図 3 4．調査方法の廃止の改修イメージ

- その他改良

P C 版アプリでのプリセットを利用した調査データ登録画面を P C 画面に適したインターフェースに改良した。また、現況報告の一覧画面で概評を直接選択可能とし、調査データとの連携時に農作物・病害虫を自動選択可能とした。



図 3 5．インターフェースの改良イメージ

## (2) 調査アプリの普及に向けた活動

本アプリケーションの普及に向けて、本アプリケーションの使い方について説明会を実施し、普及に努めた。

- 日時：令和4年2月10日（金）
- 参加者：43都道府県病虫害防除所および県庁、農水省関係者、オプティム、ビジョンテック、農研機構の計104名

## (3) 調査アプリケーションの現地実証

### i. 研究方法

- データ入力の実証

8月から調査データの入力を開始した。水稻、夏秋ナスは9月まで、かきは10月まで、かんきつは11月まで調査データを入力した。

- データ出力の実証

愛媛県で行っている「病虫害発生予察情報作成会議」で使う資料（図36）を参考に出力を実施した。データ出力の実証は8月分のデータを使用した。

(参考)

| 病害虫の発生状況等(2022年8月) |        |     |      |    |      |      |      |      |        |  |
|--------------------|--------|-----|------|----|------|------|------|------|--------|--|
| 2022年 8月           |        |     |      |    |      |      |      |      |        |  |
| 作物名                | 病害虫名   | 地点数 | 調査項目 | 単位 | 結果   | 8月   | 10年間 | 発生程度 |        |  |
| 作物面積               |        |     |      |    | 当月   | 先月   | 昨年   | 順位   | (95%階) |  |
| かき<br>599ha        | 炭疽病    | 9   | 発生率  | %  | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 4    | 並      |  |
|                    | うどんこ病  | 9   | 発生率  | %  | 2.56 | 1.79 | 5.21 | 6    | 並      |  |
|                    | うどんこ病  | 9   | 発生率  | %  | 0.30 | 0.19 | 0.87 | 5    | 並      |  |
|                    | カブラヤシ病 | 9   | 発生率  | %  | 0.11 | 0.11 | 2.42 | 11   | 少      |  |
|                    | カブラヤシ病 | 9   | 発生率  | %  | 0.56 | 0.11 | 0.57 | 4    | 並      |  |
| 夏秋トマト<br>119ha     | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0    | 0    | 1.65 | 10   | やや少    |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 5.2  | 0.3  | 11.6 | 9    | やや少    |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0    | 0    | 0    | 6    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 25.6 | 1.5  | 7.2  | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 2.40 | 0.25 | 0    | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0.40 | 0.25 | 0.04 | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0.60 | 0.25 | 4.79 | 10   | やや少    |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0.40 | 0    | 0.39 | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0    | 0.5  | 11.6 | 7    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 5   | 発生率  | %  | 0.54 | 2.56 | 1.13 | 9    | やや少    |  |
| 夏秋ナス<br>140ha      | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0.86 | 0    | 0    | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0    | 0    | 0.08 | 7    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0    | 0    | 0.18 | 8    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0    | 0    | 0.05 | 7    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0.93 | 0.03 | 0.06 | 5    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0.01 | 0.08 | 0.45 | 8    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 4.14 | 1.36 | 6.71 | 6    | 並      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 27.7 | 23.6 | 9.4  | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0.86 | 0    | 0    | 1    | 多      |  |
|                    | 炭疽病    | 7   | 発生率  | %  | 0.86 | 0    | 0    | 1    | 多      |  |

図36. 予察会議で使用する発生状況資料

- ・ 現況報告機能の実証

過去10年間のデータを取り込み、現況報告機能（図37）を試験した。

図37. 現況報告作成画面

## ii. 結果と考察

- ・ データ入力の実証

改良前のアプリで、水稻のデータ入力を実証した。データ入力に要する時間は、従来の方法では約33分、アプリによる入力では約42分であり、アプリで入力の方が遅くなっていた（表14）。また、改良後のアプリで、かき・かんきつ・なすのデータ入力を実証した（表15）。かんきつについて、従来の方法は30分～40分、アプリ入力は20分～30分であり、約10分短縮できた。

表14. データ入力に要する時間（改良前）

| 品目   | 従来(分) | アプリ(分) |
|------|-------|--------|
| 水稻8月 | 32.3  | 42.0   |

表15. データ入力に要する時間（改良後）

| 品目      | ほ場数 | 従来(分) | アプリ(分) |
|---------|-----|-------|--------|
| かき8月    | 9   | 6.6   | 3.8    |
| かき9月    | 9   | 7.1   | 6.1    |
| かき10月   | 9   | 11.1  | 5.0    |
| かんきつ8月  | 31  | 40.7  | 35.2   |
| かんきつ9月  | 31  | 32.8  | 19.0   |
| かんきつ10月 | 31  | 37.1  | 20.4   |
| 夏秋ナス8月  | 6   | 10.5  | 4.3    |
| 夏秋ナス9月  | 3   | 6.3   | 2.2    |

- データ出力の実証

病害虫発生予察情報作成会議で使用している資料と同じような形で出力ができた（図38）。会議資料を作成する時間は、アプリを使用した方が多く時間を要した。改善点として、うどんこ病など発病度で平年値と比べたいものが比較できないことが挙げられる。また、計算式で算出した値と平年値の比較機能もあると良いと考えられる。

| 農作物名  | 病害虫名        | 観測項目              | 2022年8月 | 2022年7月 | 平年08月        | 順位(平均値) |
|-------|-------------|-------------------|---------|---------|--------------|---------|
|       |             |                   | 平均値     | 平均値     | 平均値          |         |
| かき    | 炭そ病         | 9 発病果数 (100果)     | 0.2222  | 0.2222  | 0.231 (10年)  | 4位      |
| なし    | なし          | かきうどんこ病発病率        | 2.5556  | 1.7778  | なし           | なし      |
| なし    | なし          | かきうどんこ病発病度        | 0.3     | 0.1778  | なし           | なし      |
| かき    | アジコナカイガラムシ  | 9 害虫果数 (100果)     | 0.1111  | 0.1111  | 2.42 (10年)   | 10～11位  |
| かき    | カメムシ類       | 9 被害果数 (100果)     | 0.5556  | 0.1111  | 0.574 (10年)  | 3～4位    |
| かき    | チャノキイロアザミウマ | 9 被害果数 (100果)     | 0       | 0       | 1.654 (10年)  | 8～11位   |
| 夏秋トマト | 疫病          | 5 発病率 (中位100果)    | 0       | 0       | 0.188 (10年)  | 2～11位   |
| 夏秋トマト | 灰色かび病       | 5 発病株率            | 5.2     | 0.25    | 11.334 (10年) | 9位      |
| 夏秋トマト | 葉かび病        | 5 発病株率            | 0       | 0       | 0 (10年)      | 1～11位   |
| 夏秋トマト | すすかび病       | 5 発病株率 (中位100果)   | 25.6    | 1.5     | 7.135 (10年)  | 1位      |
| 夏秋トマト | アブラムシ類      | 5 害虫株率 (中位100果)   | 2.4     | 0.25    | 0 (10年)      | 1位      |
| 夏秋トマト | タバコガ類       | 5 被害果率 (中位100果)   | 0.4     | 0.25    | 0.042 (10年)  | 1位      |
| 夏秋トマト | ハモグリバエ      | 5 被害果率 (中位100果)   | 0.6     | 0.25    | 4.772 (10年)  | 9～10位   |
| 夏秋トマト | オンシツコナジラミ   | 5 成虫害虫株率 (中位100果) | 9.4     | 0       | 0.615 (10年)  | 1位      |
| 夏秋トマト | タバココナジラミ    | 5 成虫害虫株率 (中位100果) | 0       | 0.5     | 0.025 (10年)  | 3～11位   |
| 夏秋ナス  | うどんこ病       | 7 発病度             | 0.5357  | 2.3636  | 1.128 (10年)  | 9位      |
| 夏秋ナス  | 青枯病         | 7 発病株率 (100株)     | 0.8571  | 0       | 0 (10年)      | 1位      |
| 夏秋ナス  | すすかび病       | 7 発病率 (100果)      | 0       | 0       | 0.083 (10年)  | 2～11位   |
| 夏秋ナス  | 褐色腐敗病       | 7 発病率 (100果)      | 0       | 0       | 0.177 (10年)  | 5～11位   |
| 夏秋ナス  | 灰色かび病       | 7 発病率 (100果)      | 0       | 0       | 0.05 (10年)   | 2～11位   |
| 夏秋ナス  | アブラムシ類      | 7 害虫果数 (100果)     | 0.0157  | 0.0361  | 0.064 (10年)  | 5位      |

図38. アプリによる出力された発生状況資料

- 現況報告機能の実証

現況報告を普段のフォーマットで作成すると約20分で完了した。アプリのフォーマットで現況報告を作成すると同じく約20分で完了した。現況報告を複製登録から登録した場合、概評更新でデータが自動更新され約5分で完了した。1年間の現況報告のフォーマットを登録しておけば、時間が短縮されることが考えられる。

- 現地実証全体を通した考察

アプリを使用することにより、データ入力時間や現況報告をまとめる時間を短縮することが可能となった。

過去データの取り込みに関しては、1万データを超えてくると取り込み時間、取り出し時間が長くなるので、多いデータ（1万以上）を取り込むことは控えた方がよいと思われた。

データ出力に関しては、予察会議用の資料作成として形にはなってきたが、発病度など算出された値については順位がなかったため改善が必要となる。また資料作りに少し時間がかかったのでブラッシュアップしていく必要がある。

#### 4.2 本事業の普及に向けたヒアリング

各要素技術の成果の普及に向け、各地の病虫害防除所における課題のヒアリングを行った。この結果、『害虫発生状況の把握』『害虫発生消長の予測』『予察情報の収集及び発信』の一連の流れについて、精度・スピードを低下させずに省力化する体系を構築することにはニーズがあることが確認できた。

- ご協力いただいた防除所：岩手県病虫害防除所・熊本県病虫害防除所
- ヒアリング結果：
  - 人出不足・調査対象病虫害増加により、『害虫発生状況の把握』の省力化及び精度向上のニーズがある
    - 病虫害防除所の負担が大きくなっている。県全域を1か所の防除所で管轄、往復300kmかけて出張することもある。(熊本県)
    - 人出不足・調査対象病虫害の増加により、各調査における調査サンプル数が不足。予察の精度が不十分なことがあるため、調査数を増やしたい。フェロモントラップの数を簡単に増やせる手法は嬉しい。(岩手県)
    - 以前は調査結果の補完のために生産者にヒアリングを行っていたが、調査量が増えてできなくなった(熊本県)
    - 防除所の職員は3年単位で入れ替わる・防除所外の人に委託することもあるため、簡易で直感的な手法が求められる(熊本県)
  - ただし、新しい手法を取り入れる際には一時的に業務量が増えることがハードルである
    - 過去データと連続性がなくなることを防ぐため、数年は従来の手法との並行観測が必要となる(岩手県)
    - 新しい手法の導入時には想定外のことが発生し工数がかかることが考えられる(熊本県)
  - 『害虫発生消長の予測』『予察情報の収集及び発信』について、簡便にわかりやすく発信したいというニーズがある
    - 調査結果・予測結果をそのまま発信するのではなく、生産者や指導員が判断できるよう、解釈を加えて発信する必要がある(岩手県)
    - 防除対象とする病虫害は、品種・地域によって変わる。推奨防除時期の幅の持たせ方も、虫種ごとに変える必要がある。シミュレーションモデルの結果を見ながら、普及員や防除所が解釈を加える必要がある。(熊本県)
    - 予察結果は、直前ほど精度が上がるが、運用上早めに散布日を決めたい。その兼ね合いが重要。(熊本県)

## 5. 全体の考察

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病虫害発生に係る情報収集手法・発生予測の体系を確立することを目的とした技術の確立・実用性の検証を行った。本目的に対する成果を考察する。

要素技術1ではA I・ドローンを活用した害虫発生状況の把握について調査した。『粘着式フェロモントラップに補足された害虫をA Iで自動的にカウントする手法』では、目視検知数とA I検知数の間に正の相関が見られ、得られた発消長は一致した。これにより、目視での誘殺数調査の作業を、A Iで代替できる可能性が示唆された。『フェロモントラップで害虫を補足せずに害虫を自動的にカウントする手法』では、新手法による全撮影枚数及び撮影成功枚数から、従来法によるフェロモントラップ誘殺数と同様の消長を捉えられることがわかった。これらはハスモンヨトウを対象とした検証結果であるが、他種への汎用性についても期待できる。『粘着式フェロモントラップに補足された害虫をA Iで自動的にカウントする手法』について、虫種ごとに学習を行うことで、他種でも同様にA Iでカウントできる可能性がある。『フェロモントラップで害虫を補足せずに害虫を自動的にカウントする手法』について、自動撮影カメラは温度変化の検知により動体を自動撮影する仕様となっているため、他種でも汎用的に使用できる可能性がある。将来的に、自動撮影・A Iでの自動カウントを組み合わせることで、より幅広い活用が期待できる。

『ドローンを活用した圃場の被害調査』では、大豆のハスモンヨトウによる被害葉（白変葉）については、A I検知数と見取調査結果との間に関係性が見られた。しかし、ウコンノメイガによる被害葉（葉巻）については、A I検知数と見取調査結果との間に関係性は見られなかった。

白変葉の検知と葉巻の検知に違いが発生した理由は、以下のような特徴の違いによると思われる。

- 白変葉は、空撮画像により発見することが比較的容易であった  
（正常な葉とは色が明らかに異なる）
- 葉巻は、空撮画像により発見することが困難な場合があった  
（風でめくれた葉裏・葉の影・縦になった葉等と、被害葉の区別が困難な場合がある）

以上より、一般的に、画像中に検知対象の特徴が現れていないもの、または目視で判断が困難なものに関しては、ドローン空撮・A Iでの診断が難しいと考えられる。本事業におけるA I作成は、空撮画像(R G B画像)に対して、目視によりアノテーションを行い、A Iへの学習を行うことで実施した(図40)。このため、目視で確認できないものに関しては正確にアノテーションできず、上記のような結果が得られたと考えられる。ドローン空撮・A Iでの診断が活用できる場面として、例えば、広葉の品目で色の変化により被害が現れる病害などが想定される。本技術が活用され

ば、巡回調査時間の削減・調査が困難な圃場中心部のデータ取得による精度向上が期待できる。

要素技術2では、広域に発生するハスモンヨトウを対象に、気象データを活用した本種の予測システムの開発を行った。本年度の研究結果より、6月下旬～7月中旬、7月下旬～8月中旬のハスモンヨトウのフェロモントラップ調査結果から、ダイズのハスモンヨトウの発生予測で重要となる8月下旬～9月に出現する世代の発生時期を7～10日間の幅で予測することが概ね可能となった。この予測で得られるハスモンヨトウの発生時期の情報により、ダイズにおけるハスモンヨトウ防除時期を早期に計画が可能となり、適正な防除や、防除を含めた栽培管理作業の効率化が図れる可能性がある。

要素技術3では、『病虫害調査データ収集アプリケーション』を活用して、要素技術1及び要素技術2で収集する情報を集計し、発信する手法について検討した。より実用的なアプリケーションを目指し、過去データの取込機能・現況報告の作成機能等についての新規開発や改修を行った。開発したアプリケーションの実用性について、愛媛県病虫害防除所で実証した結果、データ入力時間や現況報告作成の時間を短縮することができた。データ出力機能については、平年値との比較機能がないことにより手作業での並び替えが生じて時間がかかる、という課題が残った。実際に各地の病虫害防除所で導入し、フィードバックを受けながら継続開発していくことで、より実用的な収集・発信手法となると考えられる。

本事業を通し、『害虫発生状況の把握』『害虫発生消長の予測』『予察情報の収集及び発信』の一連の流れに関する体系を、確立することができた。本事業で確立した体系をもとに、幅広い地域・対象病虫害への応用が期待できる。

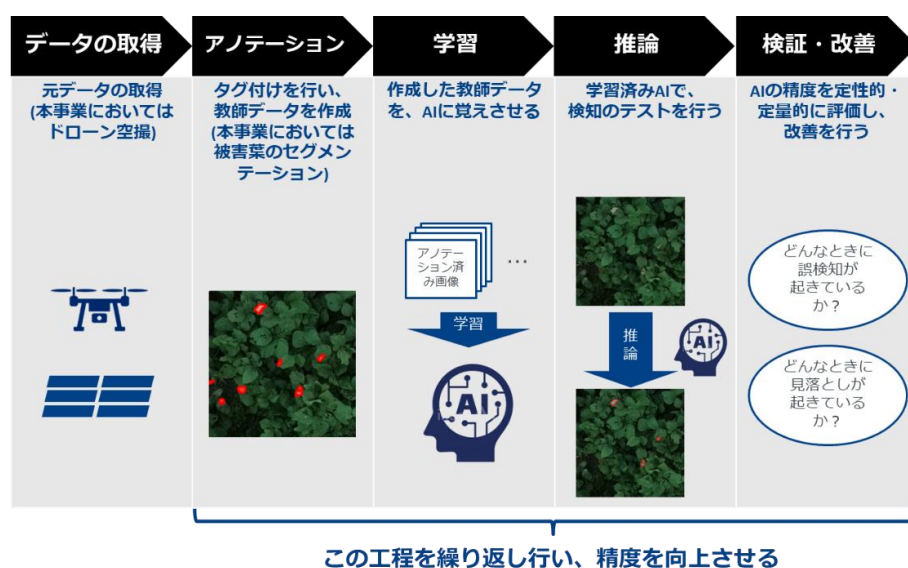


図39. AIの作成フロー

## 6. 本事業のまとめ

本報告書記載の技術、調査手法は、仕様書規定の対象技術の条件である。

- 調査員が現地に出向く回数の削減
- 調査時間の短縮
- 遠隔地の発生状況の把握

について、予察精度・スピードを現在の人的リソースで維持、向上できるものと期待される。

## 7. 参考文献

- 気象庁(2023)：台風経路図  
[https://www.data.jma.go.jp/yoho/typhoon/route\\_map/index.html](https://www.data.jma.go.jp/yoho/typhoon/route_map/index.html)  
(2023年3月14日アクセス確認)
- 気象庁(2021)：平年値の更新について  
[https://www.jma.go.jp/jma/press/2103/24a/210324\\_heinenchi.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/2103/24a/210324_heinenchi.html)  
(2023年3月6日アクセス確認)
- 桐谷圭治(2012)：農業環境技術研究所報告 31:1~74
- 後藤哲雄・上遠野富士夫(2019)：応用昆虫学の基礎. 農山漁村文化協会 205p.
- 西野実(2019)：農研機構メッシュ農業気象データシステムとその病虫害分野での利用について
- 大野 宏之・西野 実・芦澤 武人 植物防疫 Plant Protection 第73巻第2号  
(2019年) 一般社団法人日本植物防疫協会
- 農林水産省：みどりの食料システム戦略  
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-10.pdf>  
(2023年3月6日アクセス確認)
- 農林水産省：総合的病虫害・雑草管理（IPM）実践指針  
[https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g\\_ipm/pdf/byougai\\_tyu.pdf](https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf)  
(2023年3月6日アクセス確認)
- Miyashita, K. (1971) : Effects of constant and alternating temperatures on the development of *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). Appl. Entomol. Zool., 6, 105-111