

[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虫害発生予測（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虫害発生予測（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 新たな病虫害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）。

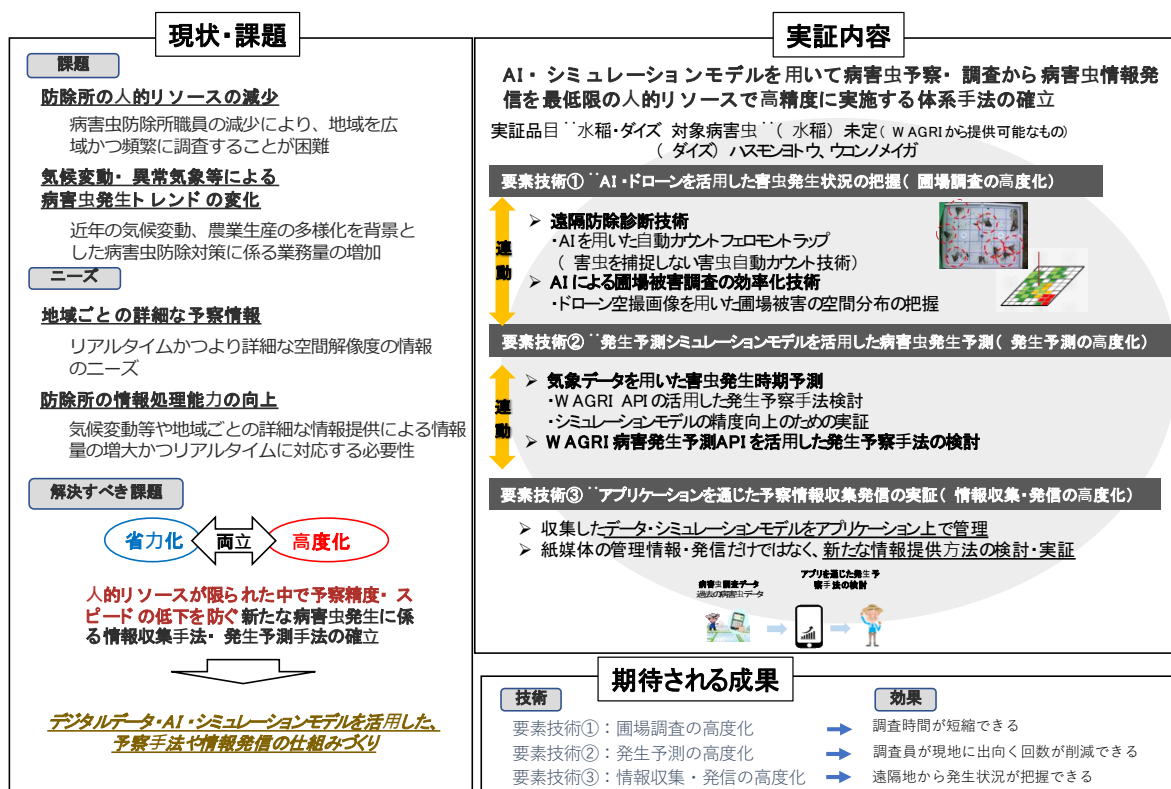


図 1. 事業の背景と実証内容

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）

現状の病虫害発生予察事業の巡回調査では、定期的に圃場に赴き、病虫害の発生状況（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的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、「水稻稲こうじ病 API」および「水稻紋枯病 API」について WebAPI としての活用方法を検討した。

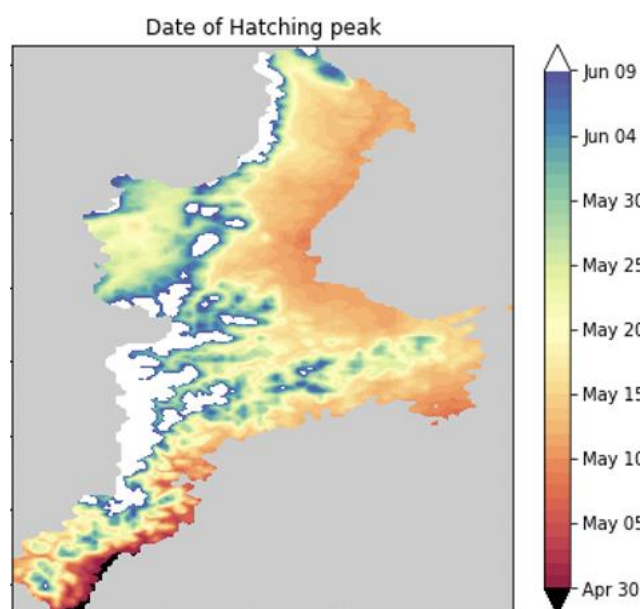


図 2. 気象データを用いた害虫発生ピーク予測の例（西野（2019）から、一部修正）

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、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。

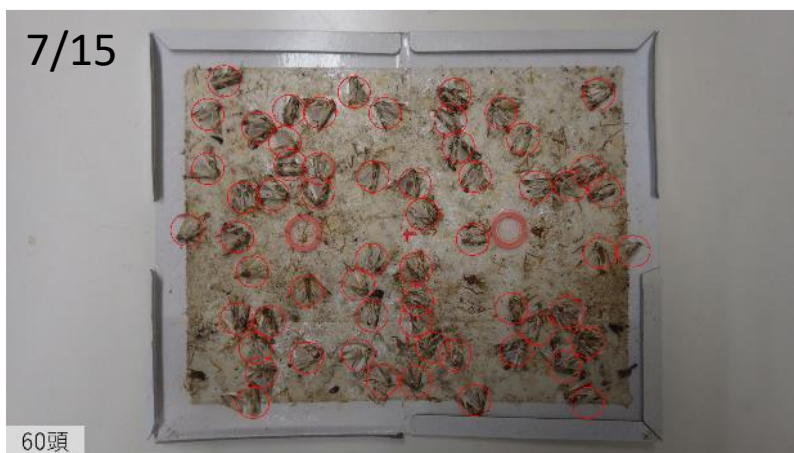


図 3. 石川県で撮影されたフェロモントラップに誘殺されたハスモンヨトウ

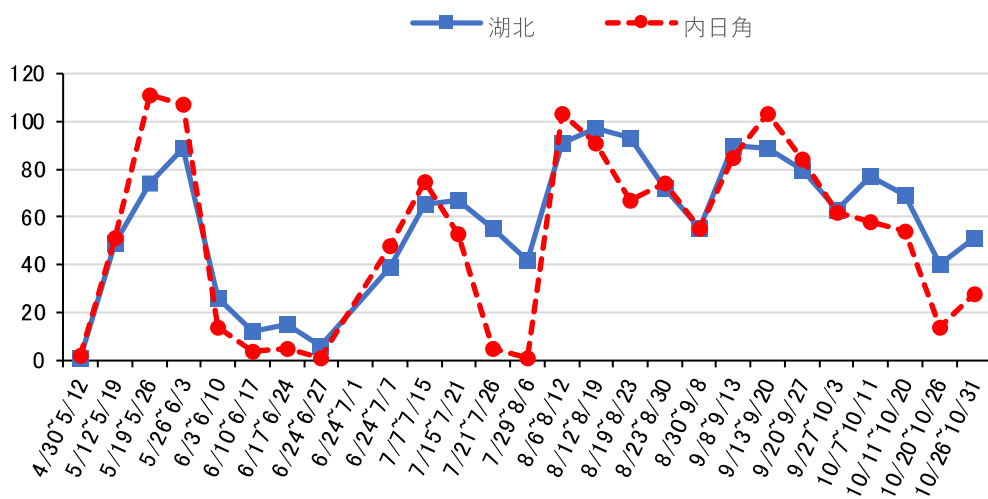


図 4. 石川県におけるハスモンヨトウの誘殺数の推移（令和3年度）

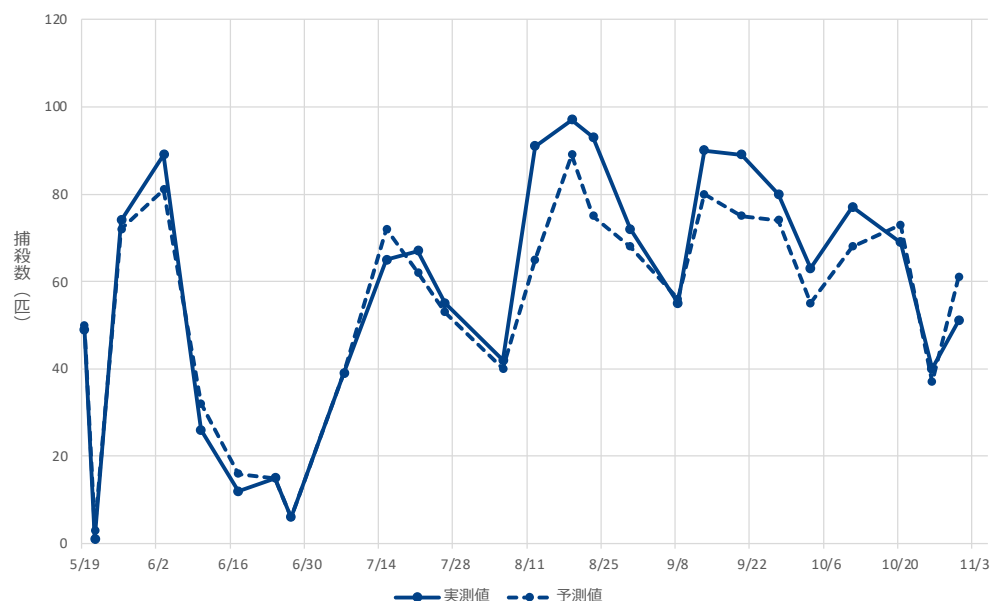


図 5. ハスモンヨトウの捕殺数の実測値と AI による虫体の検知数の推移

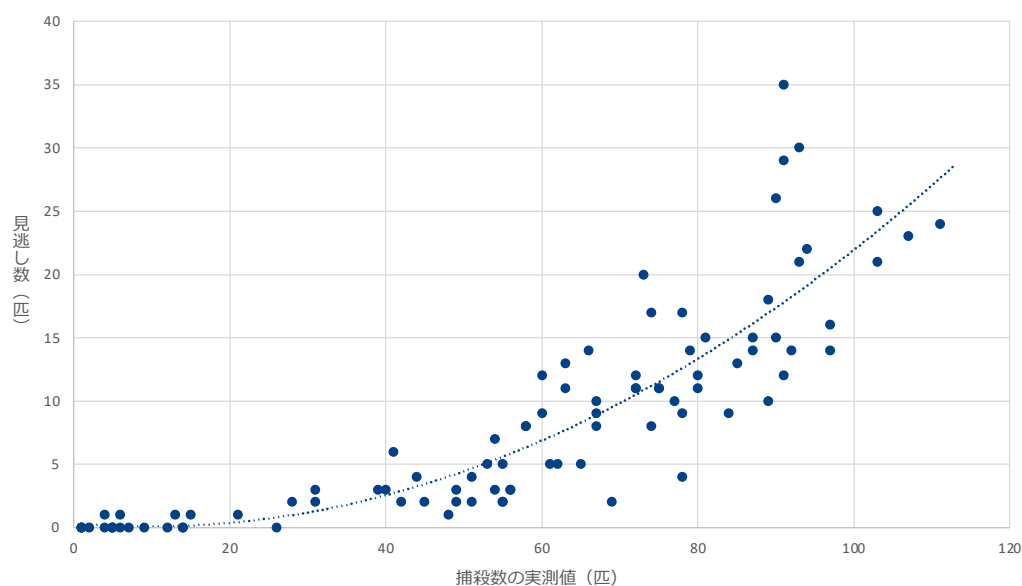


図 6. ハスモンヨトウの捕殺数の実測値と AI による虫体の見逃し数の関係

(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。

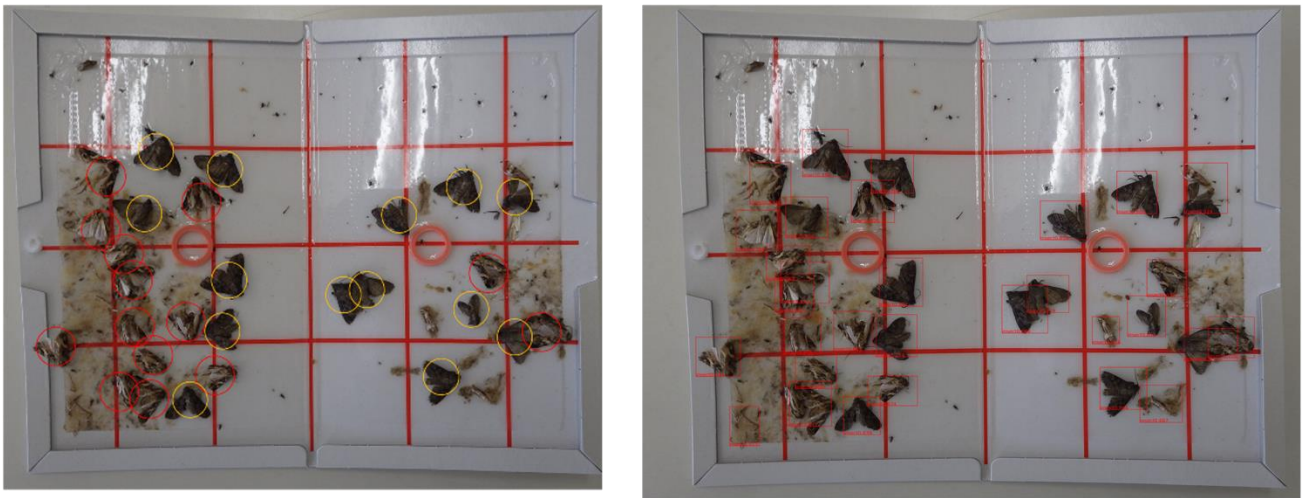


図 7.ハスモンヨトウとヨトウガの判別の正解データ（左図）と AI による検知結果（右図）
（左図の赤枠がハスモンヨトウで、黄枠がヨトウガを示す。
右図の赤枠は、AI がハスモンヨトウと検知した虫体を示す）

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）

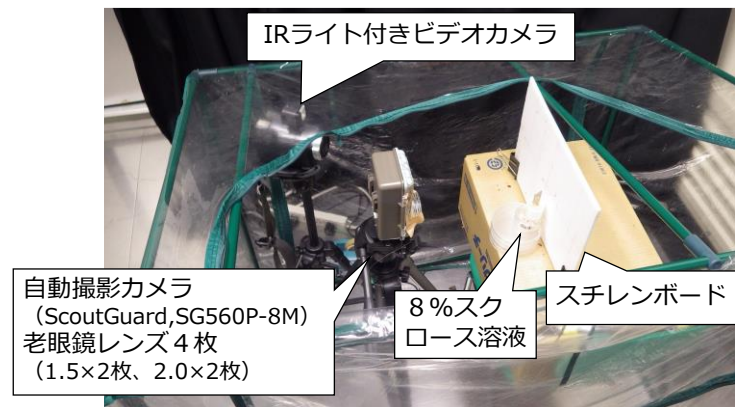


図 9. 撮影手法の屋内試験の様子（石川県）



図 10. 撮影手法の野外試験の様子（大阪府）



図 11. 撮影手法の野外試験の様子（兵庫県）

表 1. 害虫を捕捉せずに検知する手法の全国普及に向けて、標準化すべき項目と理由

項目	内容	理由
カメラの種別	トレイルカメラ	赤外線センサーで対象を検知してから、撮影するため
カメラの通信機能	4G, LTE, 3Gあり	通信機能がないと、撮影ポイントに定期的にデータを取りに行く必要があるため
赤外線センサーと対象までの距離	10cm ～ 40cm	距離が遠いと赤外線センサーの反応が悪くなるため
撮影頻度	静止画5連写 / 撮影（インターバル30～60秒）	撮影間隔を設けないと、同じ個体が別のセットの静止画にも映り込むため

（イ）AI によるハスモンヨトウの検知精度の検証

大阪府および兵庫県で撮影した画像を用いて、撮影手法ごとにそれぞれ合計 3 つの学習済みモデルを開発し、精度を検証した。なお、いずれの学習済みモデルについても、虫体を矩形でアノテーションした（図 12）。

その結果、撮影手法の違いによらず、ハスモンヨトウの検知精度は高い傾向を示した（表 2）。稀に虫体を誤検知することがあったが、これは虫体の背景に色のムラがある、または、装置の機材が映り込むことが原因と考えられた（図 13,14）。

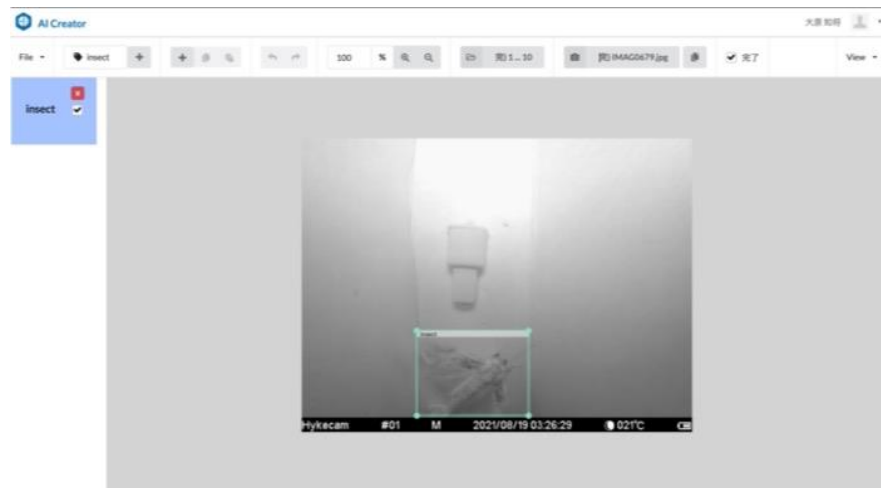


図 12. 虫体を矩形でアノテーション実施している様子

表 2. 撮影手法別に開発した AI の再現率・適合率

府県	再現率	適合率	n (枚数)
兵庫県_v1 (ファネルトラップ)	88.2% (見逃し2回)	83.3% (誤検知3回)	17
兵庫県_v2 (茶こし)	100% (見逃し0回)	100% (誤検知0回)	12
大阪府	100% (見逃し0回)	93.6% (誤検知3回)	44



図 13. AI がハスモンヨトウを上手く検知した様子



図 14. 背景の色ムラを誤検知した様子

(2) AI による圃場内被害葉の調査

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

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ダイズ圃場 2 地点にて、令和 3 年 8 月 25 日から 10 月 10 日まで約 7 日毎に、ドローン（DJI 社、Phantom4 Pro）を用いて、高度 5m～8m から ISO200 およびシャッター速度 1/1600 のカメラ設定で、白変葉の被害状況を空撮した。次に、今年度の本事業の空撮画像を含む 1,768 枚の画像から白変葉を検知する学習済みモデルを開発し、白変葉の空撮画像 140 枚を用いて検知精度を検証した。

その結果、本実証で開発した AI の白変葉に対する検知精度（F 値）は、58.7%を示し、また、検知精度の向上ために、今後、教師データの追加やアノテーション手法の見直しを図る必要性があると考えられた（図 15）。



図 15. AI による白変葉の検知結果

(左図の青枠内が白変葉の発生箇所、右図の赤枠内は AI が白変葉を検知した箇所を示す)

イ ウコンノメイガによるダイズの葉巻の検知

石川県金沢市才田町の石川県農林総合センター内のダイズ圃場 2 地点にて、令和 3 年 7 月 14 日から 8 月 27 日まで約 7 日毎に、ドローン (DJI 社、Phantom4 Pro) を用いて、高度 5m から ISO200 およびシャッター速度 1/1600 のカメラ設定で、葉巻の被害状況を空撮するとともに、各々の圃場で調査区を 6 区設け、見取り調査により葉巻数を計測した (図 16)。次に、今年度の本事業の空撮画像を含む 4,414 枚の画像から葉巻を検知する学習済みモデルを開発し、葉巻の空撮画像 119 枚を用いて検知精度を検証した。

その結果、本実証で開発した AI の葉巻に対する検知精度 (F 値) は 68.5%を示し、過去に株式会社オプティムが開発した葉巻の AI の検知精度 (5.0%) を大きく上回る結果となった (図 17)。これは、学習済みモデルを開発する際に、葉巻の領域をアノテーションするのではなく、葉巻が発生した葉に対してアノテーションするように手法を変更したことが影響していると考えられた。

また、調査区における AI による葉巻の検知数と見取り調査による葉巻の計測数の関係について、ウコンノメイガの要防除水準の調査時期 (7 月第 6 半旬) に当たる 7 月 30 日のデータでは、両者の間に相関は見られなかったが、見取り調査による葉巻数が対象圃場でピークとなった 8 月 5 日のデータでは、両者の間に正の相関が見られた (図 18)。

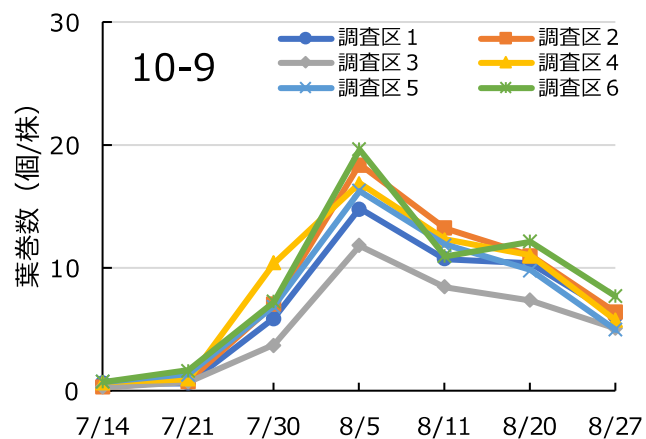


図 16. 見取り調査による葉巻の測定数の時系列変化（圃場名 10-9）



図 17. AI による葉巻の検知結果

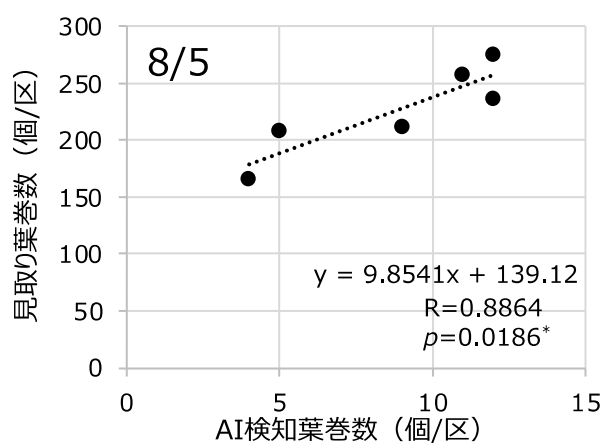


図 18. AI による葉巻の検知数と見取り調査による葉巻の測定数の関係（圃場名 10-9）

ウ 空撮画像と AI を利用した虫害検知システムの構築

ドローンと AI を用いた圃場調査を効率的に運用するために、空撮画像をオンライン上にアッ

ブロードすることで、自動的に空撮画像のオルソ化し、圃場の被害葉を検知するシステムを株式会社オプティムが構築した。当システムでは、被害葉の場所と数を確認することが可能である(図 19)。

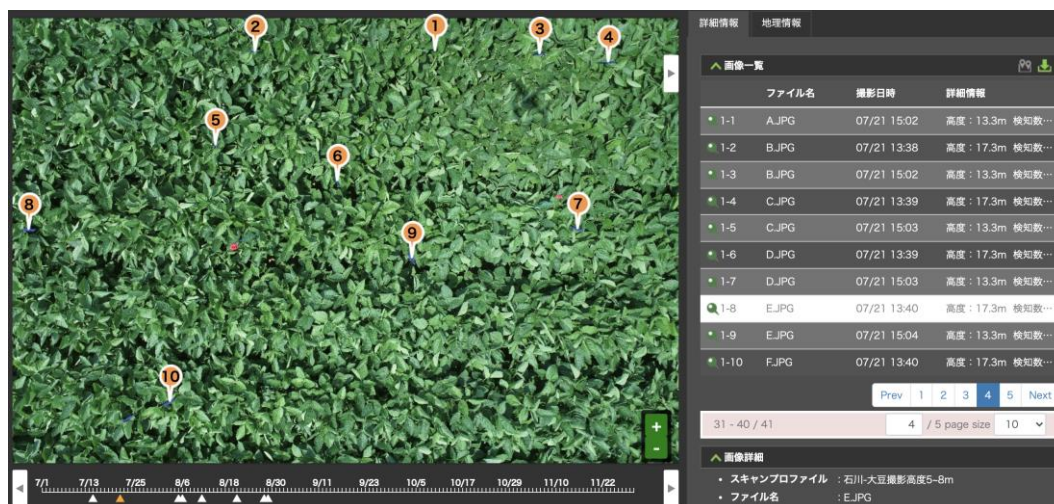


図 19. 被害葉の自動検知システム

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）

要素技術 2 では、害虫発生予測の高度化を目的として、1km メッシュ気象データを用いたハスモンヨトウの発生予測シミュレーションモデル（以下、シミュレーションモデル）の改良・修正・精度評価を行った。

また、病害発生予測 WebAPI の活用方法について検討した。結果は以下に示す通りである。

(1) シミュレーションモデルの改良・修正・精度評価

ア シミュレーションモデルの説明

三重県農業研究所にて、シミュレーションモデルの精度向上を行うため、関連する各種調査の実施、予測精度向上のためのパラメータの探索、および予測精度評価を行った。

発育零点や有効積算温度定数が多くの害虫で明らかされており(桐谷,2021)、害虫予測に活用することが可能である。また、坂神ら(1981)によって提案された新算出方法である三角法を用い、精度の高い有効積算温度の算出、および 1km メッシュ気象データを利用した害虫発生ピーク日の予測を行うシミュレーションモデルを作成した。

シミュレーションモデルでは、三角法を用いて有効積算温度の計算を実行するスクリプト内に、以下(表 3)の入力パラメータを設定し実行することで、地点別の有効積算温度の計算を実行し、ハスモンヨトウ成虫発生ピーク日を出力することが可能となる。

シミュレーションモデルのフローは(図 20)に示した通り。

表 3 シミュレーションモデルの入力パラメーター一覧

パラメータ名	表記
起算日	yyyy/mm/dd
予測期間	yyyy/mm/dd ~ yyyy/mm/dd
予測地点	(緯度、経度)
有効積算温度定数	℃
発育零点	℃
発育上限温度	℃
発育停止温度	℃

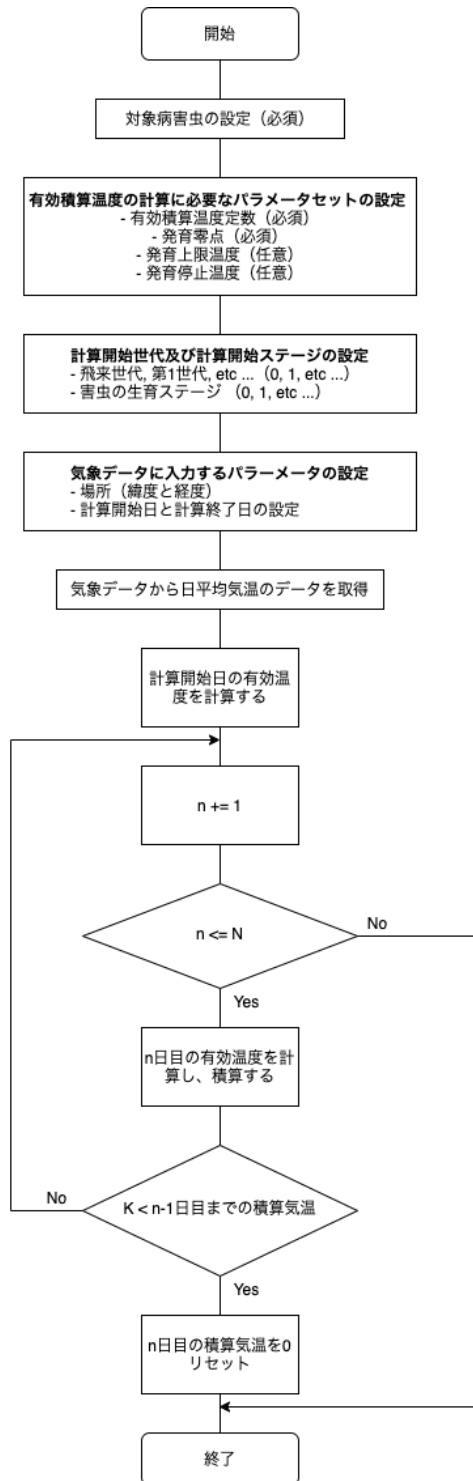


図 20. 害虫発生予測シミュレーションモデルの実行フロー

イ シミュレーションモデル精度評価に用いる調査

精度評価を行うための比較データとして、捕獲消長の把握、地域間差の把握を行うためのフェロモントラップ調査を実施した。

(ア)フェロモントラップ調査①

2021年6月～12月に、三重県内の4地点のダイズ圃場（四日市、鈴鹿、津、松阪）にて、ハスモンヨトウのフェロモントラップ捕獲数を7日間隔で調査した。本調査によって年間を通じた捕獲消長の把握、基礎データとしての蓄積および予測の検証に利用した(図 21)。

(イ)フェロモントラップ調査②

2021年9月1日～22日に、三重県内の8地点（四日市、菰野、鈴鹿、伊勢、津×2、松阪×2）のダイズ圃場にて、ハスモンヨトウのフェロモントラップ捕獲数を7日間隔で調査した。本調査によって、捕獲消長および捕獲量の地域間差の把握、基礎データとしての蓄積および予測の検証に利用した（図 22）。

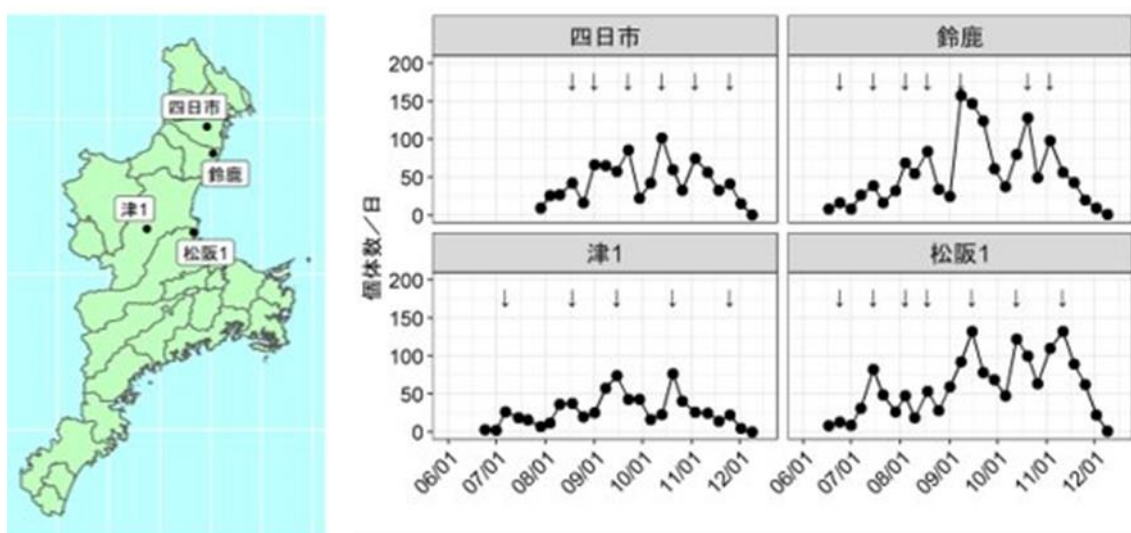


図 21. トラップ設置地点（左図）、および
各調査地点におけるハスモンヨトウ捕獲消長と捕獲ピーク（右図）

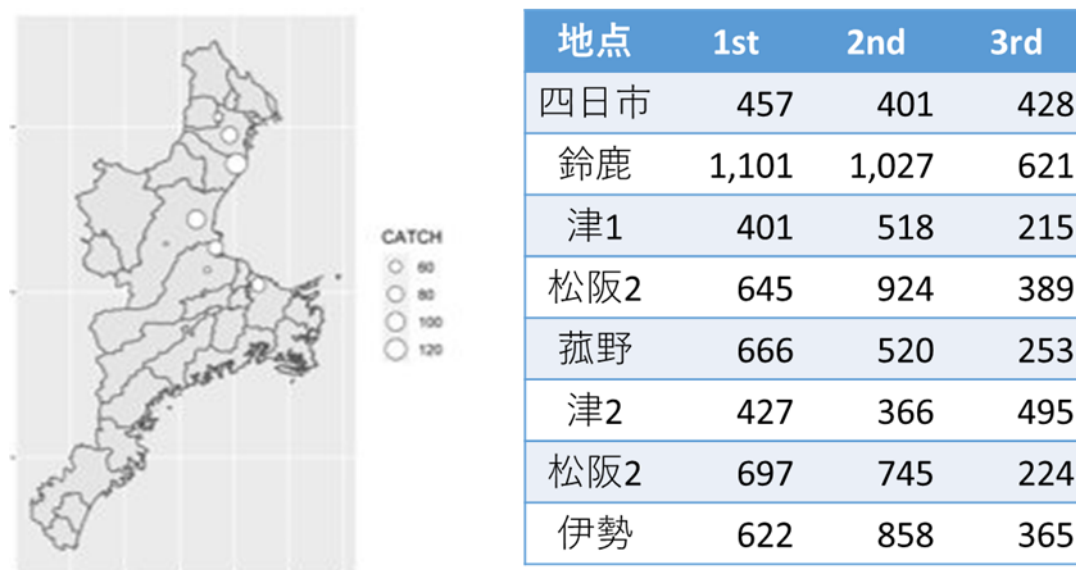


図 22. フェロモントラップによるハスモンヨトウ成虫の捕獲数結果

ウ シミュレーションモデルの精度向上のためのパラメータ探索

シミュレーションモデルの精度向上のためのパラメータ探索は以下の2つの方法で行った。

(ア) 探索方法①予測ピーク日が、実測ピーク日にもっとも近くなるための発育上限温度および発育停止温度の探索

実測ピーク日を正解データとして、発育上限温度および停止温度を探索することで、シミュレーションモデルの精度向上を目指した。有効積算温度 (526.3℃)、発育零点(10.3℃)と設定し、発育上限温度および発育停止温度 (30.0~40.0℃) で適温を探索し、予測確率を比較・評価した。

(イ) 探索方法②予測ピーク日の第1番目ピーク日と、実測ピーク日との日数差が5日以内になる確率を基に探索

予測ピーク日の第1番目ピーク日の予測確率を基に、有効積算温度、発育上限温度、発育停止温度を探索することで、パラメータの調整によって予測ピーク日の予測確率を把握した。発育零点(10.3℃)と設定し、有効積算温度 (485~530 日℃)、発育上限温度 (27~36℃)、発育停止温度(36.0~40.0℃)で適温を探索し、予測確率を比較・評価した。

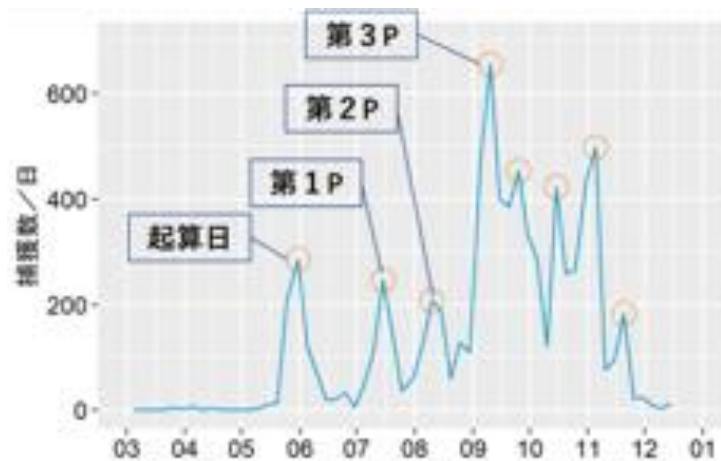


図 23. 起算日と成虫発生のピーク日の概念図

エ 気象データを用いた害虫発生予測時期シミュレーションモデル評価結果

三重県における過去のハスモンヨトウの発生予測データのうち 1980～2020 年の過去 40 年に確認されたハスモンヨトウの発生消長実測日（以下、発生ピーク実測日）を、1km メッシュ気象データを用いた三角法による有効積算温度のシミュレーションモデルから予測した。

（ア）探索方法①予測ピーク日が、実測ピーク日にもっとも近くなるための発育上限温度および発育停止温度の探索

正解発生ピーク実測値を基にした予測精度向上に有効な、探索範囲の値でシミュレーションを実行し、発育上限温度および発育停止温度の組み合わせを明らかにした。結果として、発育上限温度 30℃、発育停止温度 34℃の組み合わせが、予測確率が最も高くなることを確認した（図 24）。

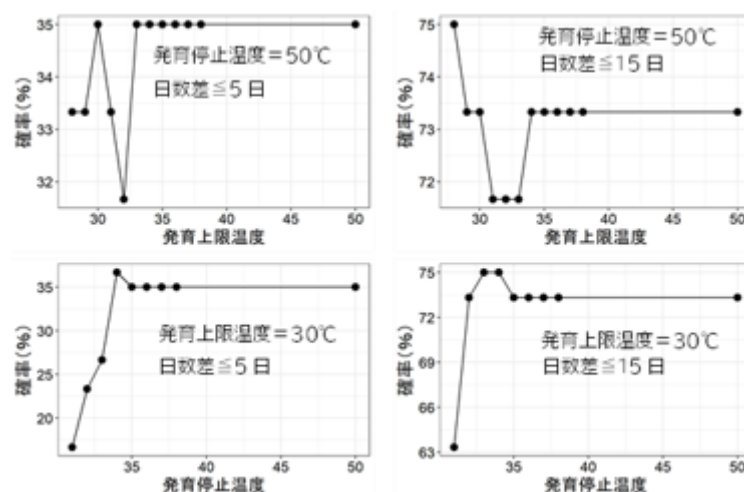


図 24. 発育上限温度、発育停止温度の値を変化させた場合に、第 1 ピークの予測ピーク日と実測ピーク日との日数差が規定の日数以内となる確率の変化

(イ) 探索方法②予測ピーク日の第 1 番目ピーク日と、実測ピーク日との日数差が 5 日以内になる確率を基に探索

有効積算温度、発育上限温度、発育停止温度を探索範囲の値に設定し、シミュレーションを実行することで、シミュレーションモデルが出力する予測ピーク日と実測ピーク日との日数差が 5 日以内になる確率を明らかにした。結果として、シミュレーションモデルによって出力した予測ピーク日が、実測ピーク日と 5 日（半旬）以内となる確率は 35%程度、15 日（3 半旬）以内となる確率は 77%程度となることが明らかになった。特に、5 日以内の確率について、有効積算温度が 525℃付近で高くなる傾向がみられた（図 25,26）。

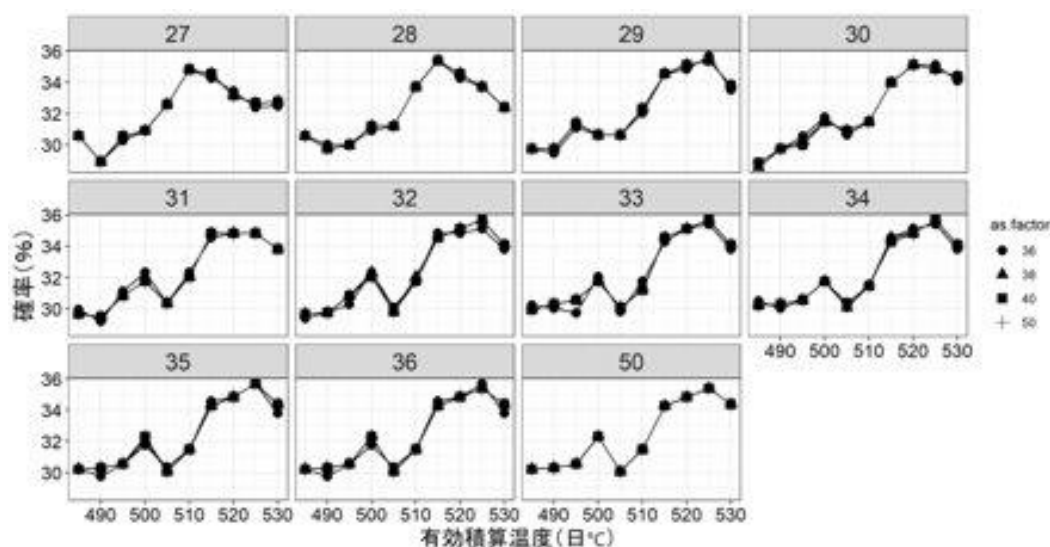


図 25. 有効積算温度、発育上限温度、発育停止温度の値を変化させた場合に、第 1 番目ピークについて予測ピーク日と実測ピーク日との日数差が 5 日以内になる確率の変化

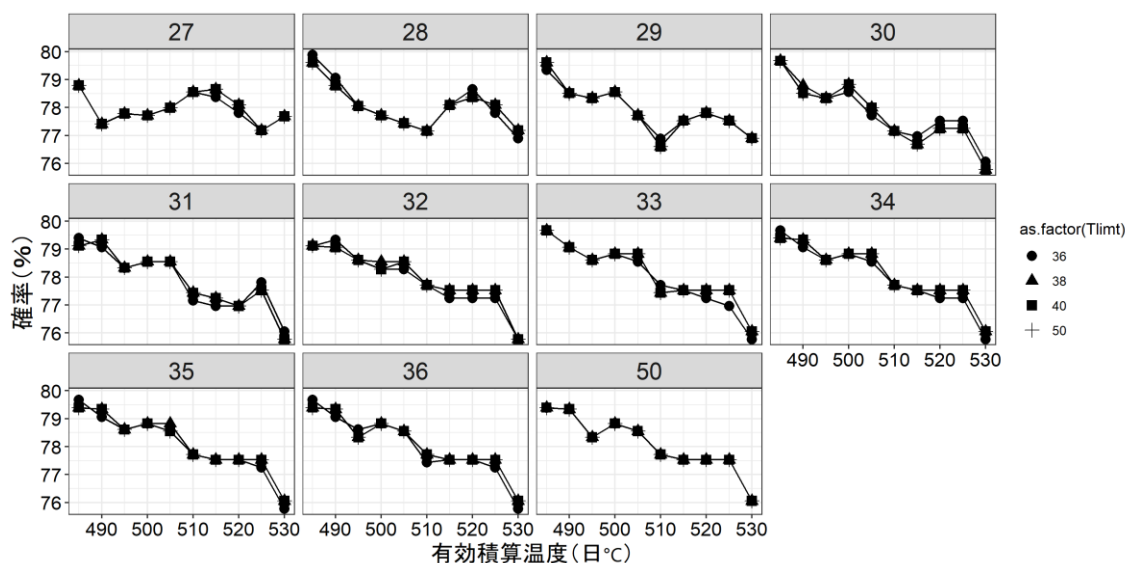


図 26. 有効積算温度、発育上限温度、発育停止温度の値を変化させた場合に、第 1 番目ピークについて予測ピーク日と実測ピーク日との日数差が 15 日以内になる確率の変化

オ 実測ピーク日調査方法とシミュレーションモデルによる予測方法の比較

発生予察事業に必要なデータは、各県に設置された病虫害防除所が県内各地に設置した予察灯やほ場等を調査し収集する（2021,農水省）。害虫の発生量等調査を行うことで、調査データの解析を行い、解析に基づく予測を行った上で予察情報として提供を行っている（2021,農水省）。また、本事業の参画機関を経由した各防除所へのヒアリングにより、現行調査は発生時期よりも、発生量に重きをおいた情報発信となっていることを確認した。

各調査地点にフェロモントラップを設置して定期的な巡回、観察を行うことは、調査地点数の増加に伴い、人的リソースのさらなる確保が必要となる。また、調査結果を整理し、解釈を行う時間も確保が必要となり、生産現場への情報発信の準備期間が短く、用途が限定されていることも課題である。

今回実証したシミュレーションモデルによる発生時期予測は、現行調査をすべて代替できるものではないが、予測を実行する所要時間は短縮可能であり、あらかじめピーク日の結果を得ることが可能となる。

カ シミュレーションモデルを用いた害虫発生予測技術の活用について

シミュレーションモデルによる予測技術では、情報発信項目は成虫の発生時期である。シミュレーションモデルは、半旬単位の実地捕獲数調査を行い、起算日となる発生実測ピーク日を検出した際に実行する。情報発信時期を発生時期の1~3 か月前から行うことにより、予測日を含む半旬と両側半旬を含めた3半旬を予測範囲として表示する、あるいは、予測範囲のうち中央の1半旬を予測発生時期として表示することも可能である。

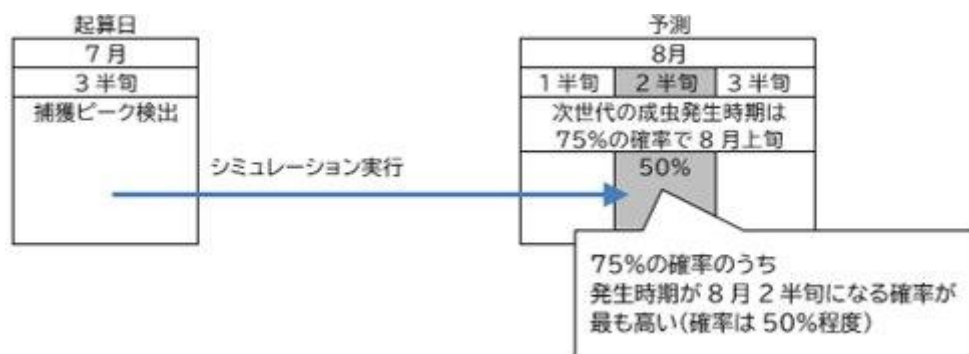


図 27.気象データを用いた害虫発生時期予測シミュレーションの実行時期と出力情報のイメージ図

今回実証した技術の有効な点の一つとして、面的に予測結果を表示できることが挙げられる。1km メッシュ気象データを用いて害虫発生予測を実施する場合は以下の通り、同一県内のエリア別発生ピーク日を予測することができ、この情報を基に、防除所での調査時期、調査回数の決定判断の指標、また発生予察情報を事前に生産現場に発信することが可能になると考えられる。また、既存の調査方法による実測値の結果（起算日）をもとに、予測を実行することで、さらなる予測精度の向上が期待される。さらに、本事業の要素技術 1 により、複数地点での発生量の観測が遠隔で実施でき、観測頻度を高められる場合、リアルタイムの発生量情報と併せて、生産現場への発信を行い、防除の実施有無、回数、時期の判定に活用できることも期待される。

表 4. 想定ユーザ別の発生ピーク予測情報の活用方法

想定ユーザ	活用情報	活用方法
防除所（全体）	各都道府県の主要害虫の発生ピーク日情報	【公開・蓄積】 一般公開し、関係各社に事前に通達が可能 防除所内で情報を蓄積することが可能
防除所（調査員）	所属都道府県の調査対象地域の主要害虫の発生ピーク日情報	【調査推奨日の把握】 複数害虫の調査をまとめて実施し 調査回数の削減を実現
各地域の普及員	所属都道府県の管轄地域の主要害虫の発生ピーク日情報	【生産者へ通達】 防除実施の推進や対策の策定を行うことが可能
各地域のJA職員	所属都道府県の調査対象地域の主要害虫の発生ピーク日情報 特に、農業資材の利用と関連のある害虫	【生産者への通達・資材営業】 ピーク日を迎える前までの営業活動を行い、防除実施の推進を行う
各地域の生産者	所属都道府県の生産地域の主要害虫の発生ピーク日情報	【作物別の】 防除計画の策定、必要な資材の調達をあらかじめ行うことが可能
民間企業	主要害虫の発生ピーク日情報、予測確率	【システム・サービス開発利用】 webAPIとしてのシステム連携機能実装 他のwebAPIと組み合わせたサービス開発等

キ シミュレーションモデルと WebAPI について

本実証では、シミュレーションモデルを Python 言語でスクリプト作成し、パソコン上で実行環境を構築し予測結果を出力した。今後、シミュレーションモデルを簡易的に実行し、結果出力を行うためには、シミュレーションモデルを WAGRI にて公開されている「昆虫世代予測 API」のような API 仕様書の形に変換することが、アプリケーション開発に利用する手法の 1 つとなる。

(2) WebAPI を活用した病害発生予測

ア WebAPI の活用方法検討

WAGRI に公開される WebAPI の中でも、「水稻稲こうじ病診断 API」、「水稻紋枯病診断 API」はシステム連携を行うことで、ユーザが対象病害の発生予測シミュレーションを実行できる仕様となっている。API としての、アプリケーション開発への利用が期待される一方、上記で述べた結果を閲覧する想定ユーザによって情報の活用方法は異なるため、どのようなデータの入出力を行うことが適切か、協議を進める必要がある。

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）

本要素技術では、「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水稻病害発生予測 API との連携を実施した。

(1) 病虫害調査データ収集アプリケーションの改善点

これまで各都道府県病虫害防除所から要望が多かった項目について要点を整理し必要に応じて、下記の通りの機能の刷新を実施した。

ア. GUI の改良

(ア) GUI の改良

ユーザインターフェースを改良することにより、より直観的・簡便に利用出来るシステムとした。メニュー構成をシンプルにすることで、「何をしたい」から迷うことなく操作可能とした。

(イ) マスタデータの取込改善

ニーズの高かった、アプリ使用時のマスタ整備の煩雑さの改善を実行した。各都道府県独自の調査項目（形式）に対応するため、フレキシブルなマスタ構成としたが、逆に初期導入時に煩雑且つ、時間を要することがネックであった。当年の改修では、マスタデータを Excel ファイルで入出力することが可能となり、多数のマスタデータを追加・変更する際に大幅な時間短縮が見込めるようになり、初期導入時のハードルを下げることに繋がった。

(ウ) WAGRI-WebAPI の連携

WAGRI-WebAPI より「イネ紋枯病」と「イネ稲こうじ病」それぞれの薬剤散布適期診断を PC 版アプリへ実装した。両 API は、アプリに登録された圃場を任意に選択し、それぞれの病虫害についての予測診断を行うことが可能である。API の実装により、調査により判明した情報に加えて、調査に先立って病害の発生予兆を診断し、調査時や情報発信の際の参考情報として利用可能となった。

(エ) 現況報告の「提出」機能の実装

毎月提出される「現況報告」について、従来の作成機能に加えて「提出」機能を実装した。入力した調査データより現況報告を「作成」し、そのまま「提出」まで可能となることでシステム内で一气通貫して、調査データを有効活用することが出来る。本機能の実装により、従来の作成・提出よりシンプルな手順で効率的な実務実行が可能になると考える。

(2) 病虫害調査データ収集アプリケーション普及に向けた取り組み実績

本アプリケーションの普及に向けて、24 府県が参加した説明会を開催するとともに、農水省が主催する研修におい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。

・病虫害調査データ収集アプリケーション説明会実績

・ 第一回説明会

日時：令和 3 年 10 月 22 日（金）

参加者：病虫害防除所、農業試験場、農林水産省、農政局等、47 名

・ 第二回説明会（病虫害防除所職員等中央研修として）

日時：令和 4 年 2 月 25 日（金）

参加者：病虫害防除所職員、93 名

- ・ 第三回説明会

日時：令和 4 年 3 月 14 日（月）-15 日（火）

参加者：病虫害防除所、農業試験場、農林水産省、農政局、普及センター等、151 名

5. 考察

5.1 発生予察新手法と現行手法の比較

我が国では、各都道府県の病虫害防除所が、国の指定有害動植物および各地域の重要病虫害を対象に、巡回調査、定点調査や病虫害の発生シミュレーションモデルなどによって、対象病虫害の発生状況を定期的に調査・予測し、その結果をもとに各地域に病虫害の発生予察情報（注意報や警報など）を公表している（難波, 2013）。発生予察の対象となっている病虫害については、各々の病虫害および関連する動植物の生態に合わせた発生予察手法がこれまで多く開発されてきた。

害虫に関する現行の巡回調査や定点調査では、すくい取り、予察灯やフェロモントラップのように害虫の発生状況を調査し、これにより、将来的な虫害発生を事前に各地域に警告することや虫害の被害拡大を防ぐことが可能になっている。また、虫害の発生状況について、圃場調査を定期的に行うことで、虫害の被害拡大を防ぐことが可能になっている。いずれの手法についても、防除所の調査員が定期的に圃場に訪れて、害虫や虫害を調査する。現行の巡回調査では、病虫害の専門的な知識および調査技術が必要とされていることに加えて、防除所の調査員が年々減少していることから、圃場調査の非属人化と効率化が必要とされている。

本事業で新たに提案した圃場調査の手法は、現行の手法と比較し、自動撮影カメラやドローンを用いることで、効率的に圃場調査を実施することが可能になり、また、AI を用いることで、取得したデータを効率的に解析することが可能になった。加えて、圃場調査の効率化により、現行の手法よりも多くの圃場に対して、より高頻度に圃場調査を実施することが可能になったため、より高度な発生予察情報を各地域に発信することが期待される(図 28)。

病虫害の発生シミュレーションモデルでは、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、病虫害の発生を事前に各地域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。例えば、害虫の発生の時期は、アメダスの気温の平年値から有効積算温度を計算することで予測されており（田中, 2019）、また、現在は、1991～2020 年の気温の観測値から作成された平年値が利用されている（気象庁, 2021）。しかしながら、近年の温暖化の影響により、アメダスの気温の平年値と実際の気温がずれる場合があるため、シミュレーションモデルの適合性の再検証が必要とされている。また、現行の害虫の発生世代予測手法では、アメダスの観測地点から遠く離れた圃場ほど、アメダスの平年値と実際の気温の誤差が大きくなるという問題があるため、シミュレーションの各パラメータについても精査する必要がある。

本事業では、農研機構が提供している 1km メッシュ農業気象データの活用を提案しており、これにより、圃場単位の日別気象データを害虫の発生シミュレーションモデルのパラメータに入力することが可能になった。そのため、現行の手法と比較して、圃場の場所によらずシミュレーションモデルの適合性が向上する可能性がある。また、当データでは、気温の日別データの予報値（当日～26 日先）を提供しているため、1 ヶ月程度前に害虫の発生時期を予測する精度が現行の手法よりも高い可能性が考えられ、これにより、より効果的な防除計画を立案可能になることが期待されている（図 29）。

また、今後、AI の精度向上やシステムの構築等を実施していく必要があるが、本手法は現行の発生予察手法と比して、調査の省力化かつリアルタイムな発信が可能になることが期待される。

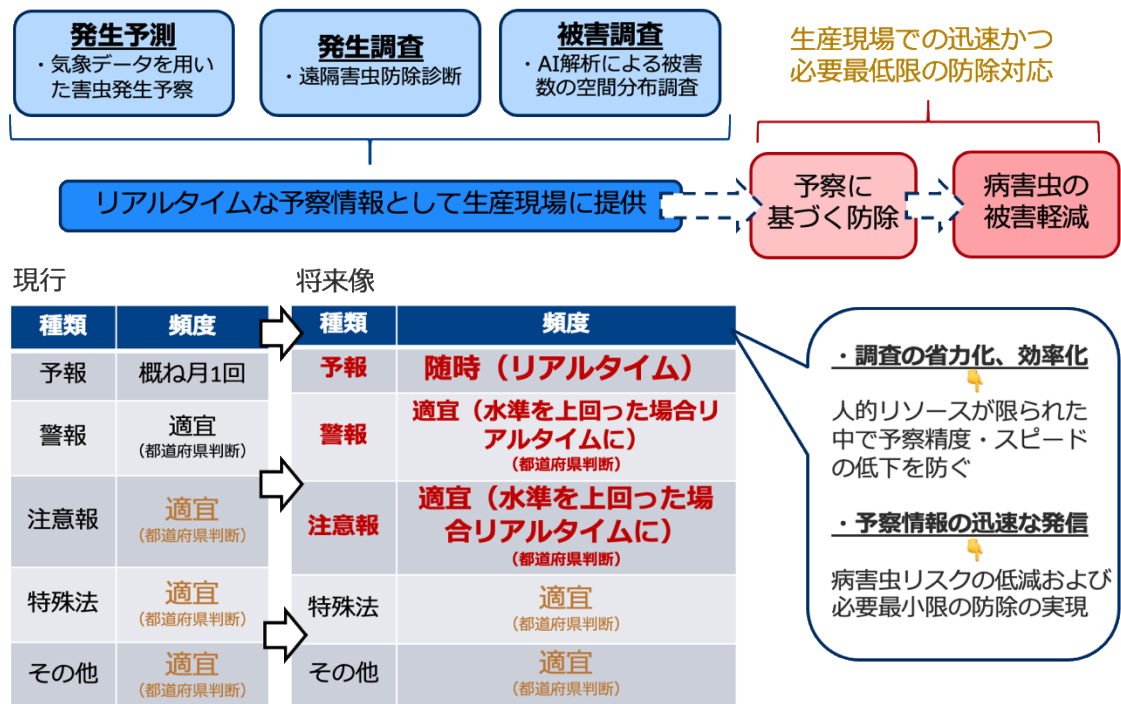


図 30. 新手法を用いた発生予察事業の将来像

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

前項までの各要素技術について、それぞれで観測した情報は単独でも有効なものであるが、体系的な手法を採ることで、相互に情報を共有・活用ができ、さらなる価値を生み出す可能性を検討した。

遠隔防除診断技術は、特定害虫の誘殺数の日別データを取得し、世代の誘殺ピーク日を遠隔で確認することができることから、地域固有の害虫個体群と他地域から突発的に飛来してきた害虫個体群についての解析を行い、本情報は、害虫発生予測情報の精度向上にも寄与する可能性が考えられる。さらに、害虫の発生ピークの予測および実測データから、害虫の盛期に被害が大きいと見込まれる圃場にて、ドローンを用いて圃場被害数や被害の空間分布調査が可能となる。

遠隔害虫防除診断から得られる情報は「実測される点情報」、害虫発生予測技術から得られる情報は約1ヶ月前からの「予測」、AIによる被害数の空間分布調査から得られる情報は「実測される面情報」である。それぞれの情報の特性が異なるため、今後、互いの情報をうまく補完できるような体系については引き続き検討が必要である。

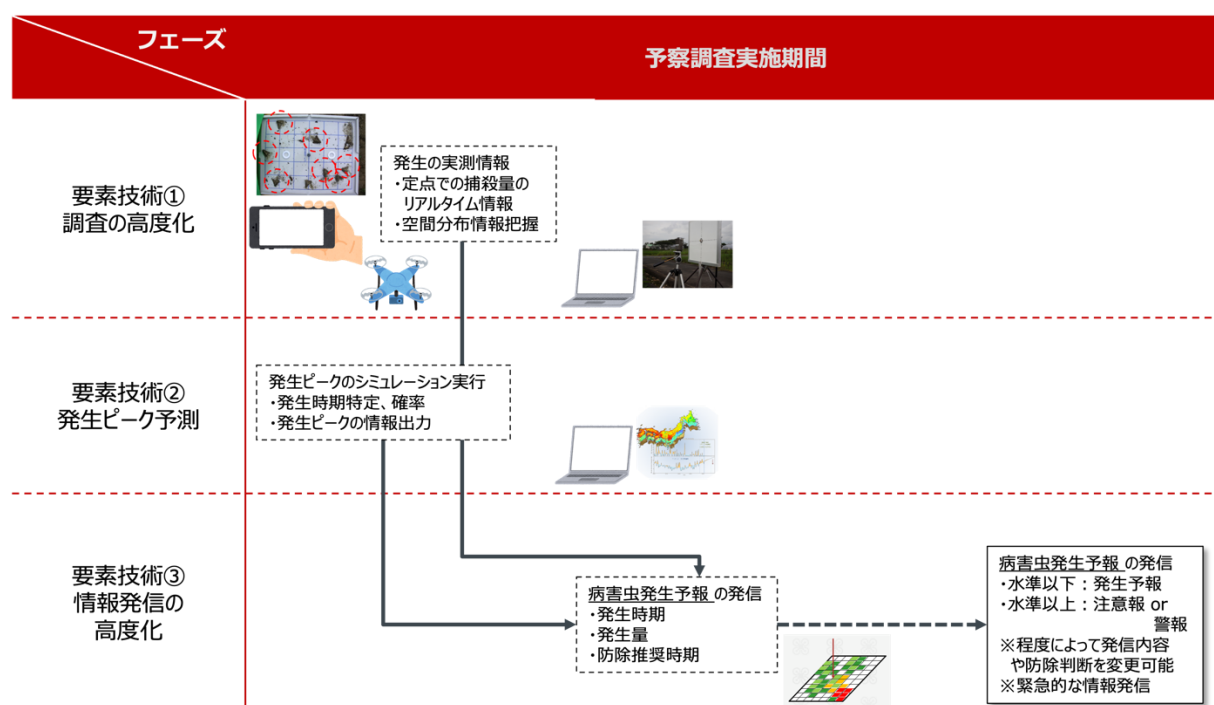


図 31. 要素技術の各調査手法の統合イメージ

5.3 新たな病虫害予察情報発信方法の検討結果

今回実証した各技術を用いた予察情報の発信方法について記載する。

・遠隔防除診断

遠隔から害虫の発消を確認できることから、地図上で発生の多少を表示することが可能であり、現行よりもより細かいエリアでの発生情報の発信が考えられる。本技術も速報レベルの発生情報をリアルタイムに生産者に発信することが想定される。

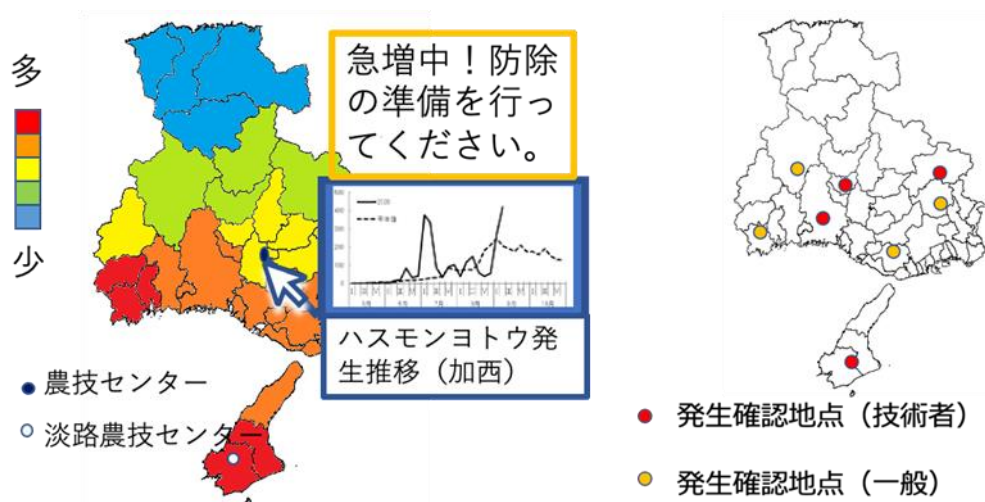


図 32. 地図上での情報発信案 (イメージ)

・AI による圃場被害数の調査技術

本技術により、現行の調査手法では困難だった広域での調査、また、発生数の定量的な調査が可能になると考えられる。そのため、現行の手法のように発生量を定性的に示すだけでなく、面積あたりの被害数などの定量的な情報発信が可能になる。

・シミュレーションモデルによる害虫発生予測技術

本技術では害虫の次世代、次々世代の発生時期の予測が可能であることから、ハスモンヨトウの成虫発生時期を「9月○半旬」もしくは「9月○半旬から○半旬」という形で情報発信が可能である。また、誘殺ピークの平年値がある場合は、発生時期が「平年並み」「平年より早い」「平年より遅い」等の予測情報の発信が可能である。さらにはこのような情報は 1km メッシュ気象データを用いることで、広域かつ 1km メッシュエリア別の発生ピーク予測情報を地理情報としての提供することが可能である。本技術によるシミュレーションを実行することで、発生時期の 1~2 ヶ月前に予測が可能であり、現行の方法と組み合わせることで発生情報の事前発信が実現できると考える。

現行	新手法
- 予報：概ね月1回 - 警報、注意報、特殊報、その他：適宜	- 予報：随時 - 警報、注意報：適宜(リアルタイム) - 特殊報、その他：適宜
例) 注意報 ハスモンヨトウの多発に注意 1 注意報の内容 病虫害名：ハスモンヨトウ 対象地域：県内全域 圃場侵入時期：6月中旬以降 発生量：多	例) 注意報 ハスモンヨトウの多発に注意 1 注意報の内容 病虫害名：ハスモンヨトウ 対象地域：A市〇〇、□□、×× B市××、C市〇〇 圃場侵入時期：6月17日頃 発生量：〇頭/株 〇%減収の可能性

図 33. 現行手法での情報発信と新手法で想定される情報発信案

5.6 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、AI の精度向上やシステム開発等の課題はあるが、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。

継続して、上記定量項目に対する実証を継続しながら、実現場への技術導入を見据えた検討を行っていく。

6.参考文献

気象庁 (2021) : 平年値の更新について https://www.jma.go.jp/jma/press/2103/24a/1_houdouhappyou.ppd (2022 年 3 月 11 日アクセス確認)

坂神 (1981) : 有効積算温度の簡易な新算出法 “三角法” について 坂神 泰輔・是永 龍二 1981 年 25 巻 1 号 p. 52-54

田中 慶・大塚 彰・松村正哉 (2019) : メッシュ農業気象データシステムの予報値を利用したトビイロウンカの発生世代予測. 九病虫研会報 65 : 75-83.

難波 成任 (2013) : 植物医科学. 養賢社. 337p.

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

桐谷圭治 (2012) : 農業環境技術研究所報告 31:1~74

農林水産省 (2021) : 病虫害防除に関する情報

<https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/attach/pdf/index-6.pdf> (2022 年 3 月 15 日アクセス確認)

農業データ連携基盤 : <https://wagri.net/ja-jp/>

「昆虫世代予測 API」 : <https://wagri.net/ja-jp/wagriapi/methodinfo/891be8c1-3eac-4270-bf06-a30bd722f305> (2022 年 3 月 15 日アクセス確認)

「水稻稲こうじ病診断 API」 : <https://wagri.net/ja-jp/wagriapi/methodinfo/cc5c7bee-c4f5-4701-a18f-6c2312ed196b> (2022 年 3 月 15 日アクセス確認)

「水稻紋枯病診断 API」 : <https://wagri.net/ja-jp/wagriapi/methodinfo/3f4d35a7-1dc3-4882-9dc4-2a04ef51a69f> (2022 年 3 月 15 日アクセス確認)