

[表紙]

「令和2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・気象データを活用した広域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3年3月15日

別紙様式第2号

1. 事業の実施状況

- ア 調査項目及び調査対象
- イ 担当者
- ウ 事業の成果

1.	はじめに	5
1.1.	本事業の背景・目的・方針	5
2.	調査項目及び調査対象	6
2.1.	対象害虫	6
2.2.	調査項目	6
2.3.	有用性を評価する病虫害予察に関する新手法	6
2.3.1.	気象データを用いた害虫発生予測技術	6
2.3.2.	遠隔害虫防除診断	7
2.3.3.	AI解析による圃場被害数の調査	8
3.	担当者	9
3.1.	コンソーシアム内の役割	9
4.	事業の成果	10
4.1.	先端技術を活用した調査手法の事業成果報告	10
4.1.1.	気象データを用いた害虫発生予測技術	10
4.1.2.	遠隔防除診断技術	13
4.1.4.	AI解析による被害数の調査	18
4.3.	発生予察新手法と現行手法の比較	22
4.5.	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	24
4.6.	新たな病虫害予察情報の発信方法の検討結果	25
4.8.	予想される本事業の波及効果	27

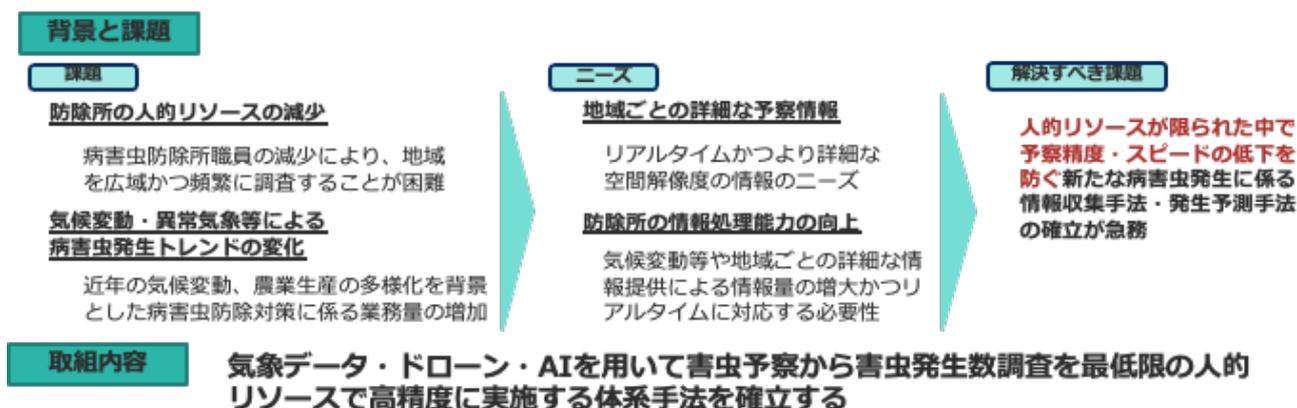
1. はじめに

1.1. 本事業の背景・目的・方針

都道府県における病害虫発生予察事業の実施において、全国的な病害虫防除所（以下「防除所」という）の人的リソースの制限により、地域における病害虫の発生状況を広域に把握するには、より一層の効率化が必要とされている。さらに、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。

一方で、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おり、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。なお、今回の実証においては害虫の発生のみを対象とした。



2. 調査項目及び調査対象

2.1. 対象害虫

本事業では対象害虫として、「野菜類」に発生する「ハスモンヨトウ」、「ヨトウガ」及び「ダイズ」に発生する「ウコンノメイガ」を選定した。ハスモンヨトウは広食性であり、野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。

2.2. 調査項目

本事業の調査項目として、下記の通り実施した。

- ・ 「ハスモンヨトウ」と「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）への誘殺数調査と「ハスモンヨトウ」により引き起こされるダイズ圃場の初期被害（白変葉）の見取り調査
 - ▶ 誘殺消長データを利用した発生時期の調査
- ・ 「ウコンノメイガ」
 - ▶ 「ウコンノメイガ」により引き起こされるダイズ圃場の葉巻被害の見取り調査

上記の調査項目に対して、従前の手法と今回実証する新たな手法について、比較検証しその有効性、実用性を評価した。

2.3. 有用性を評価する病虫害予察に関する新手法

前項に定めた調査項目に対し従前の手法と比較検証する新技術として、以下の3点を今回実証した。

- 気象データを用いた害虫発生予測
- 遠隔害虫防除診断
- AI解析による圃場被害数の調査

2.3.1. 気象データを用いた害虫発生予測技術

気象データは害虫発生を予測する上で重要な情報である。これまでも発生予察事業において害虫ごとの有効積算温度を用いた発生時期等の予測が実施されてきた。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 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、これまでの方法では、気象データの予測値として予報値を用いておらず平年値を用いているため、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。それに対し、今回実証する新手法は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」という）が開発・運用している 1km メッシュ農業気象データを用いており、有効積算温度を用いた害虫の発生予測にメッシュ農業気象データを利用することで面的な情報をより高い空間解像度で提供できる。

本実証ではハスモンヨトウを対象に、フェロモントラップの誘殺データから発生時期を予測する手法を開発すること、及び開発した予測手法を利用した新たな発生予察方法（技術）の提案を実施した。

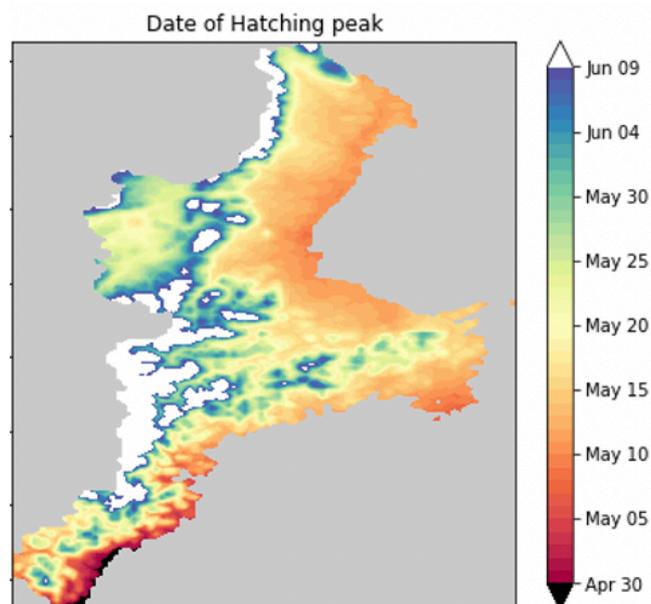


図1：気象データを用いた害虫発生ピーク予測の例（西野（2019）から、一部修正）

2.3.2. 遠隔害虫防除診断

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へ赴き、成虫や食害痕の観察、フェロモントラップの捕獲状況、害虫の特徴等を直接目視で確認、記録する必要があるため、調査に時間を要し、防除適期を逃す場合も発生している。

そこで本事業では、人工知能（以下、AI という）と遠隔から操作可能なカメラを用いて、トラップされた害虫数を自動的にカウントするシステムを実証した。具体的には、まず現在設置されているフェロモントラップをカメラで撮影し、AI を用いて自動的に害虫をカウント・判別を実施した。

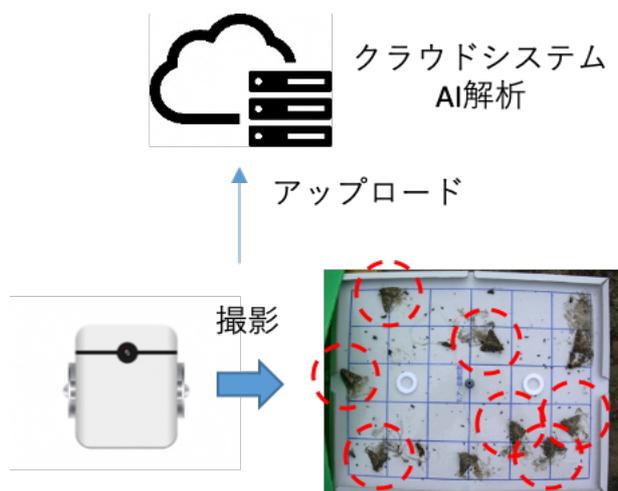


図2：対象害虫の自動カウントのイメージ

2.3.3. AI 解析による圃場被害数の調査

近年、ドローン技術の発展及び普及により、比較的容易に上空から画像を取得することが可能となっている。また、それと同時に AI についても目覚ましく技術が進歩している。これらの技術を組み合わせ、圃場を地表面から高度 5m 程度で撮影した画像を AI で解析することで、圃場内の害虫発生状況をより詳細に調査することが可能になってきている。

本事業では、ドローンで圃場を撮影した画像をオンライン上にアップロードすることで、自動的に圃場内の被害を検知するシステムを構築し、ダイズ圃場におけるハスモンヨトウの白変葉被害の検知とウコンノメイガの葉巻被害の検知精度について実証し、その発生予察方法について検討した。

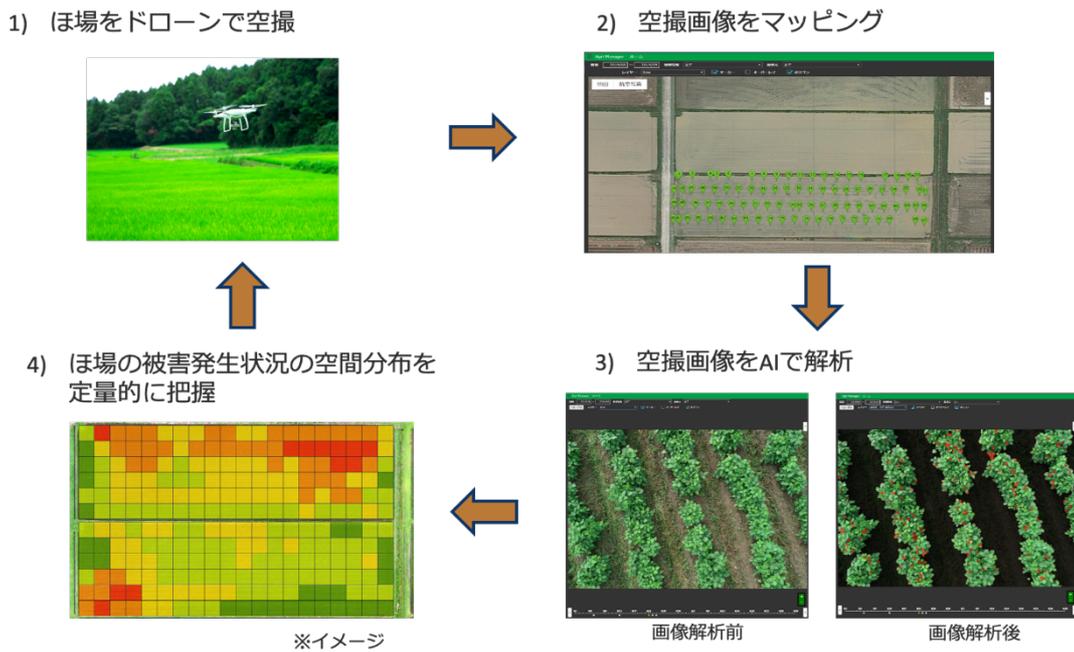


図 3：ドローン空撮から AI 解析のイメージ

3. 担当者

3.1. コンソーシアム内の役割

前項で設定した調査項目に対して、コンソーシアム内で以下の通り作業分担して事業実施した。

①気象データを用いた害虫発生予察実証

調査実施団体：三重県農業研究所、(株) OPTiM

調査内容：農研機構が開発・運用している 1km メッシュ農業気象データと有効積算温度を用いた害虫の発生予測手法を用いて、調査地点の害虫発生消長を予察し、従来の調査手法との比較、手法の実行性・作業性等を評価。

②遠隔害虫防除診断

調査実施団体：兵庫県立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、(株) OPTiM

調査内容：定点観測地点に設置したフェロモントラップ等で捕殺された害虫の画像データを取得し、AI でカウントした害虫数と目視でカウントした害虫数の比較等を実施し、調査の正確性、作業性について評価。

③AI 解析による圃場被害数の調査

調査実施団体：兵庫県立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、(株) OPTiM

調査内容：圃場 1 筆内で数 m 四方の調査区画を設け、AI で検知した被害と目視で確認した被害の数・程度を比較し、調査の正確性、作業性について評価。

4. 事業の成果

4.1. 先端技術を活用した調査手法の事業成果報告

4.1.1. 気象データを用いた害虫発生予測技術

本事業ではハスモンヨトウを対象に「フェロモントラップの誘殺データから発生時期を予測する技術を開発すること」、「開発した予測手法を利用した新たな発生予察方法の検討」を目的とした。実証にあたっては、三重県内4地点（菰野町、四日市市、鈴鹿市、松阪市）を対象に、過去40年間のハスモンヨトウの発生消長（発生ピーク）と気象データを用いて、害虫発生ピークの実測日と予測日との差分の度数分布から、予測のずれが半月以内に収まる確率と、さらに前後の半月（合計3半月）以内に収まる確率を算出することで、新手法の評価を実施した。

有効積算温度シミュレーションのパラメータとしては以下の通り定め、起算日は各年7月1日前後に認められた誘殺ピーク日とし、起算日の次世代・次々世代までの予測を実施した。

➤ シミュレーションのパラメータ

- ① 発育齢点：10.3℃
- ② 有効積算温度：526.3℃
- ③ 発育上限温度：36℃, 36.5℃, 37℃, 38℃, 40℃
- ④ 発育停止温度：設定なし

・次世代の発生ピークの予測結果

図4は次世代の発生ピーク結果を発育上限温度ごとに示したものである。この図より、発生ピーク予測精度は発育上限温度を設定すると精度がより向上することがわかる。更に予測の確率においては半月単位で予測する場合、その予測が当たる確率は0.4程度、前後1半月を含めると、予測が当たる確率は0.7~0.8となった（表1）。

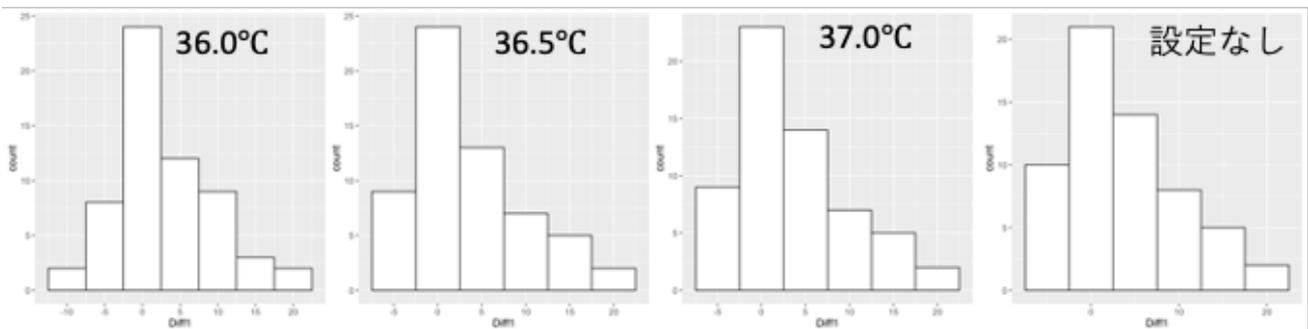


図4：発育上限温度ごとの次世代発生ピーク予測精度

(x軸は実測のピーク日との差、y軸はカウント数)

※図内の数字は発育上限温度

階級	確 率			
	36.0℃	36.5℃	37.0℃	設定なし
$-2.5 \leq x \leq 2.5$	0.40	0.40	0.38	0.38
$-7.5 \leq x \leq 7.5$	0.73	0.77	0.77	0.75

表1：発育上限温度ごとの次世代発生ピーク予測精度（階級は実測のピーク日との差）

・次々世代の発生ピークの予測結果

次々世代の発生ピークの予測については、図5と表2に示す通り、半旬単位で予測する場合、予測が当たる確率は0.25程度、前後1半旬を含めると、予測が当たる確率は0.6以上となった。

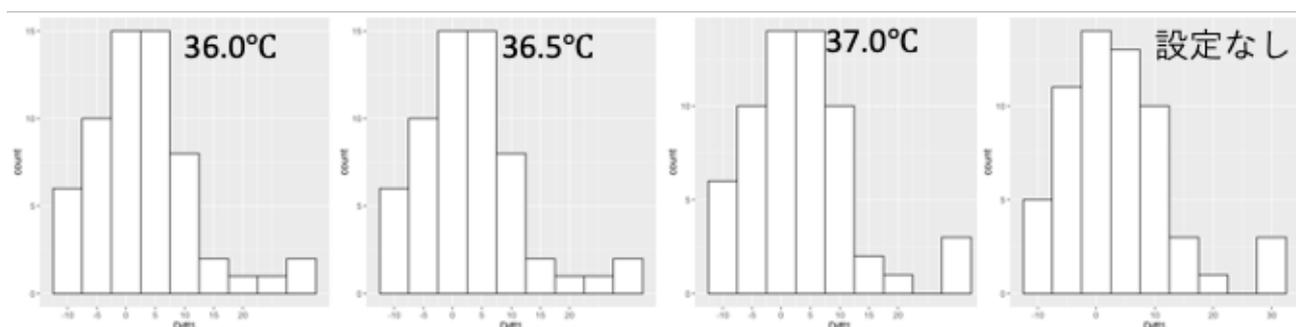


図5：発育上限温度ごとの次々世代発生ピーク予測精度
(x軸は実測のピーク日との差、y軸はカウント数)

※図内の数字は発育上限温度

階級	確 率			
	36.0°C	36.5°C	37.0°C	設定なし
$-2.5 \leq x \leq 2.5$	0.25	0.25	0.23	0.23
$-7.5 \leq x \leq 7.5$	0.67	0.67	0.63	0.65

表2：発育上限温度ごとの次々世代発生ピーク予測精度（階級は実測のピーク日との差）

・気象データを用いた害虫発生ピーク予測の有効性について

過去40年の気象データと害虫発生消長のデータを用いて検証した結果、予測するピーク日が任意の3半旬中に入る確率が0.6~0.7程度であった。予測の特徴については以下の3点にまとめられる。

- ① ピンポイントで発生時期（半旬）を予測するには精度が低い
- ② 予測日を含む半旬および前後の半旬の合計3半旬のいずれかにピーク日が来ることは予測できそう
- ③ 予測範囲が3半旬と広いが、平年の発生時期と比較して「早い」「遅い」の予測には有効と思われる

・気象データを用いた害虫発生予測技術の応用について

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。図6は7月1日を起算日として有効積算温度シミュレーションを実行し、害虫発生の第1ピークと第2ピークを三重県・石川県・兵庫県において予測した結果である。第1ピークについては同一県内であれば、発生ピークにあまり差が見られないが、第2ピークの予測について同一県内でも差が見られた（特に水田や畑地が多いエリアにおいて）。この結果から、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、エリアごとの発生ピーク日を予測することができ、それに基づいた発生予察情報の発信が可能になると考えられる。

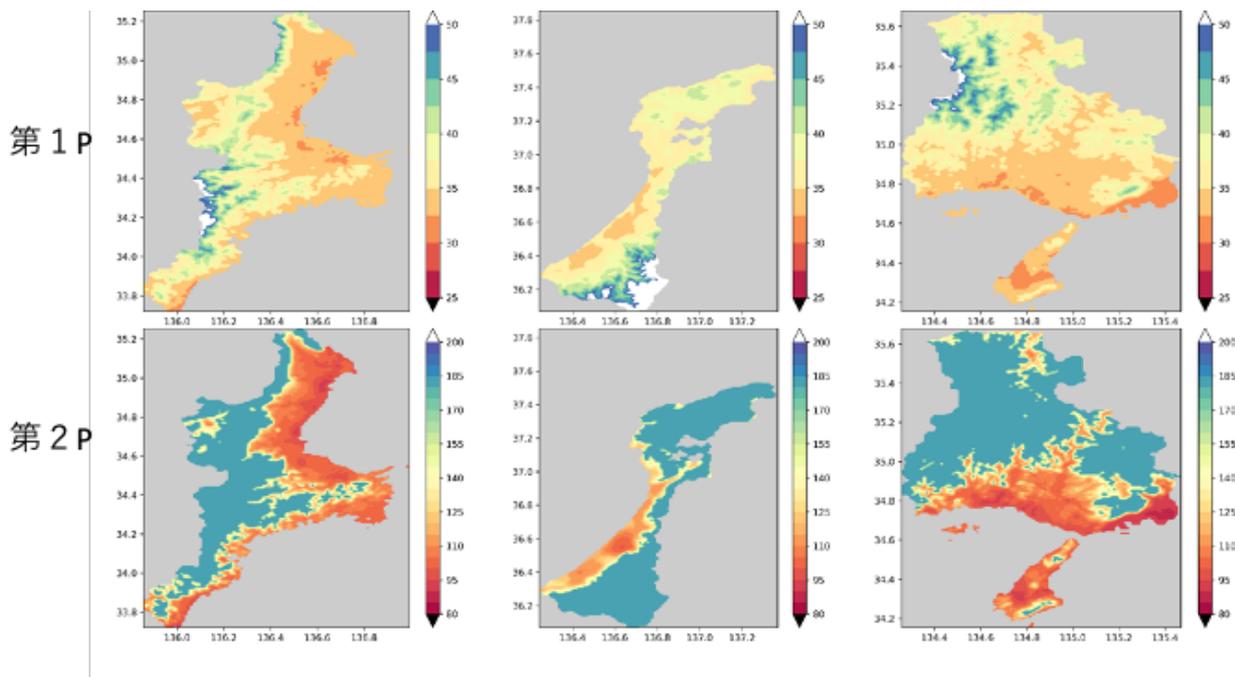


図6：害虫発生ピーク予測（広域予測）

※第1ピーク予測日および第2ピーク予測日までの日数を5日ごとに色分け表示

・既存の調査方法との比較

従来の害虫の発生予測はフェロモントラップにて誘殺ピークを確認してから、その後の防除時期を推定し、情報発信の準備期間が少ない。さらに発生時期よりも発生量に重きをおいた情報発信である。一方で今回実証した気象データを用いた害虫発生ピーク予測は既存の方法を代替できるものではないが、既存の方法に予測情報を上乗せすることができ、1～2ヶ月程度前に、次世代あるいは次々世代の成虫発生時期を予測でき、情報発信に余裕をもたせることができる。ただし、本手法で予測できるのは発生時期であり、発生量は誘殺ピーク（誘殺数）を確認する必要がある。

4.1.2. 遠隔防除診断技術

今回実証した遠隔防除診断技術は大きく2つに分けられる。一つはフェロモントラップ（粘着板）誘殺状況をデジタルカメラにて撮影し、静止画をAIにて自動カウントし発生数を調査する方法、もう一つは誘殺剤のみを用いて誘引剤に引き寄せられた害虫を動画撮影し、その動画を解析することで発生数を調査する方法（新モニタリング手法）である。以下よりそれぞれの結果について示す。

・フェロモントラップの誘殺数自動カウント

本実証では令和2年5月7日～令和2年11月4日まで7日間隔で石川県かほく市内日角地区、石川県かほく市湖北地区の2地点にてフェロモントラップの誘殺状況をデジタルカメラ（PENTAX WG-3,1600万画素）で撮影し、計45枚の画像を取得した。それぞれの画像に対して、調査員にて誘殺数を人手でカウントし、AIのカウント数との比較データとした。図7はフェロモントラップの誘殺頭数の実測数の時系列変化を示したものである。

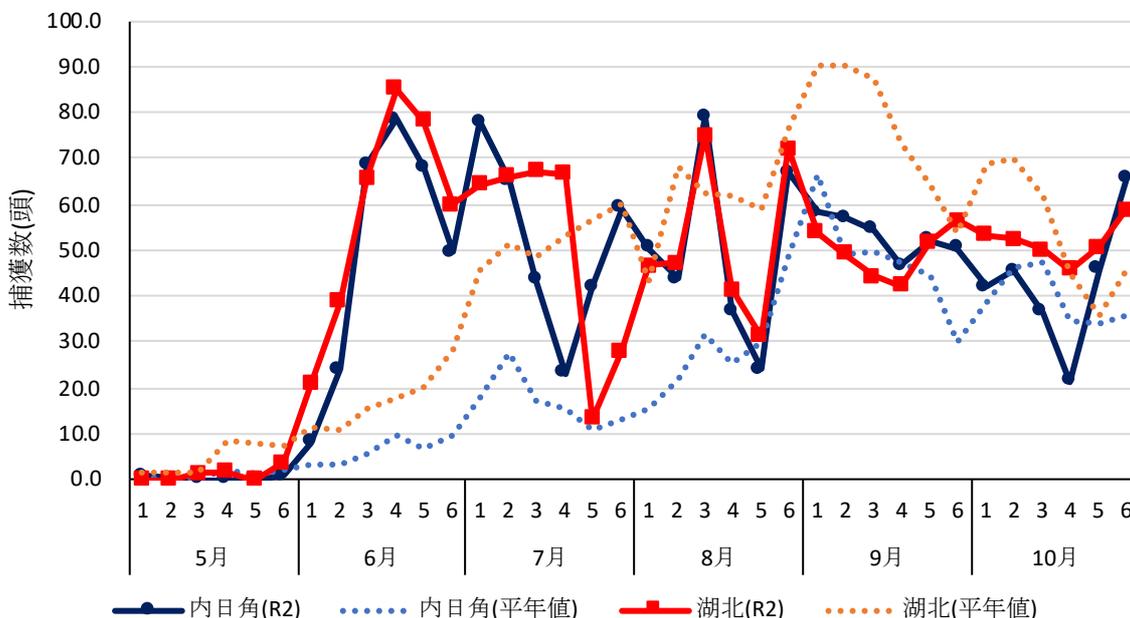


図7：ハスモンヨトウ捕獲頭数の時系列データ

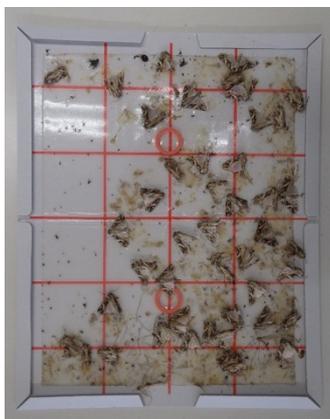


図8：粘着板撮影画像

・フェロモントラップの誘殺数を自動カウントする AI の作成について

フェロモントラップの誘殺数を自動カウントするために、害虫を検知する AI の作成を実施した。AI の作成にあたっては、石川県にて撮影されたフェロモントラップの画像に対し、対象害虫に対して丸印を防除所調査員にて付与し、そこに対しアノテーション（害虫に対して、AI 作成用の印を付ける作業）を株式会社オプティムにて実施し、AI 作成の基礎データとした。作成したアノテーションデータのうち、4分の1を AI の精度評価用のテストデータ（未知の画像）とし、4分の3を AI 作成の学習用データとした。

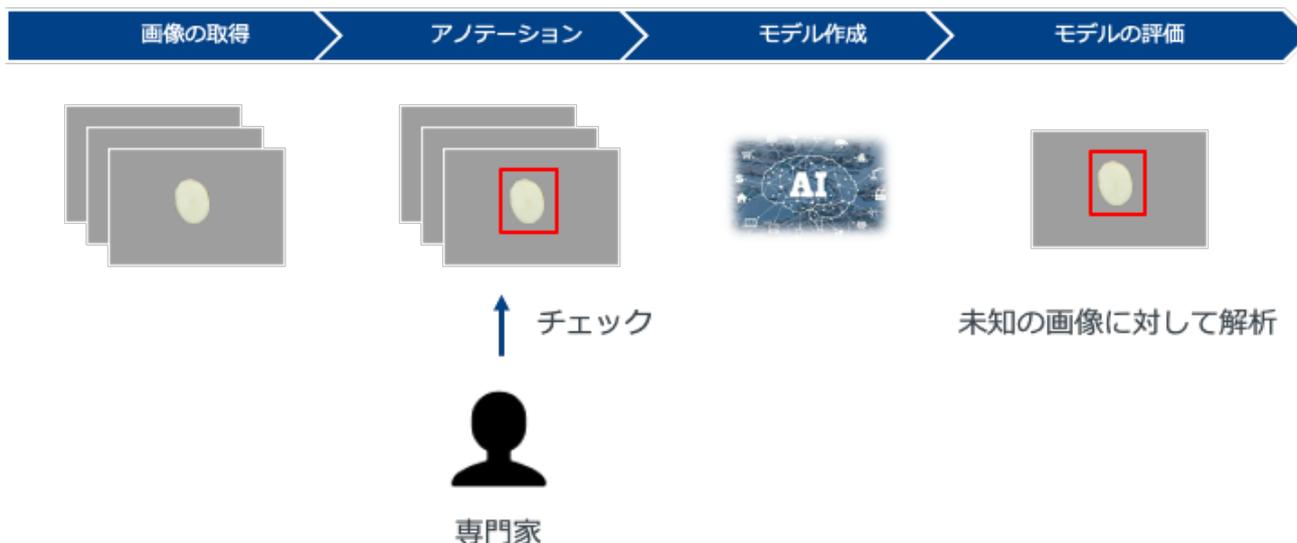


図9：フェロモントラップ誘殺数自動カウント AI 作成の手順

・フェロモントラップ誘殺数自動カウント AI の精度について

図10は作成した AI をテストデータに対して害虫を検知している様子であり、表3は調査員がカウントをした数と AI がカウントした数及び、各種統計値をまとめたものである。

表3を見ると、AI の誤検知はなく、一方で見逃しについては一定の割合で発生した。

date	area	man_count	AI_count	見逃し	誤検知	Recall	Precision	F-measure
2020/6/10	kohoku	45	41	4	0	0.91	1.00	0.95
2020/6/17	kohoku	92	68	24	0	0.74	1.00	0.85
2020/6/24	uchihisumi	111	51	60	0	0.46	1.00	0.63
2020/7/8	kohoku	85	51	34	0	0.60	1.00	0.75
2020/7/22	uchihisumi	93	52	41	0	0.56	1.00	0.72
2020/8/26	uchihisumi	42	41	1	0	0.98	1.00	0.99
2020/9/2	uchihisumi	77	55	22	0	0.71	1.00	0.83
2020/10/14	kohoku	73	50	23	0	0.68	1.00	0.81
2020/10/21	uchihisumi	30	30	0	0	1.00	1.00	1.00
2020/10/28	uchihisumi	64	53	11	0	0.83	1.00	0.91
2020/11/4	uchihisumi	60	48	12	0	0.80	1.00	0.89
	テストデータ計	772	540	232	0	0.70	1.00	0.82

表3：AI による外注検知結果