

#### 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>石川県</li> <li>兵庫県</li> <li>大阪府</li> <li>オプティム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIのさらなる精度向上</li> <li>観測から結果取得までの迅速化</li> <li>調査手法の体系構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>害虫検知AIの精度が十分であることを検証できた</li> <li>調査手法の体系化・マニュアル化ができた</li> </ul>
	ドローンを活用した圃場の被害調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>石川県</li> <li>兵庫県</li> <li>オプティム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIのさらなる精度向上</li> <li>観測から解析結果の表示までの時間の削減</li> <li>調査手法の体系の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>ドローン調査の適した条件を考察できた</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>三重県</li> <li>オプティム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度向上</li> <li>地域適合性の検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6地域において精度検証を実施することができた</li> <li>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</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>農研機構</li> <li>ビジョンテック</li> <li>愛媛県</li> <li>オプティム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな情報の発信方法についての検討</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アプリの機能を大幅に改善した</li> <li>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</li> <li>全国の防除所にアプリについての情報共有ができた</li> </ul>

##### 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、発生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。

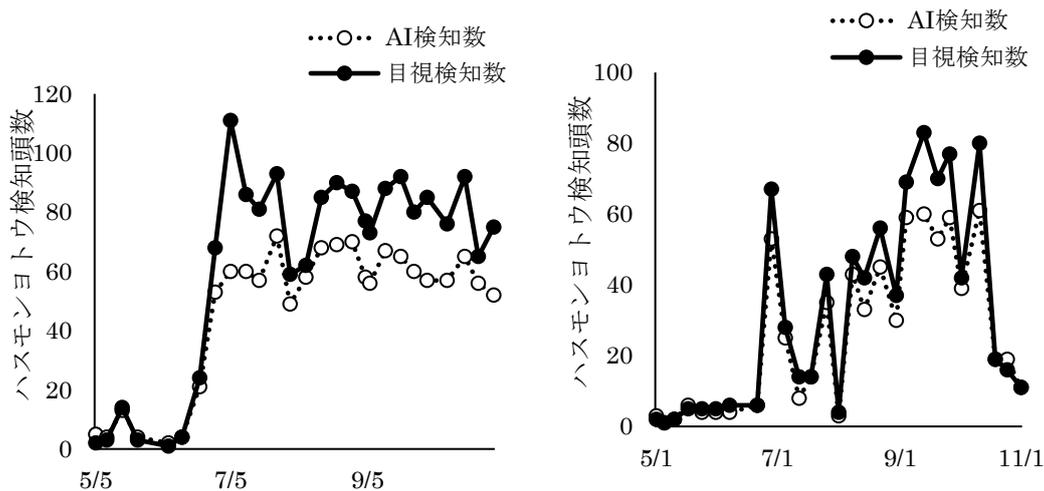


図7. 目視による計数とAI検知による計数の比較（左：湖北、右：内日角）

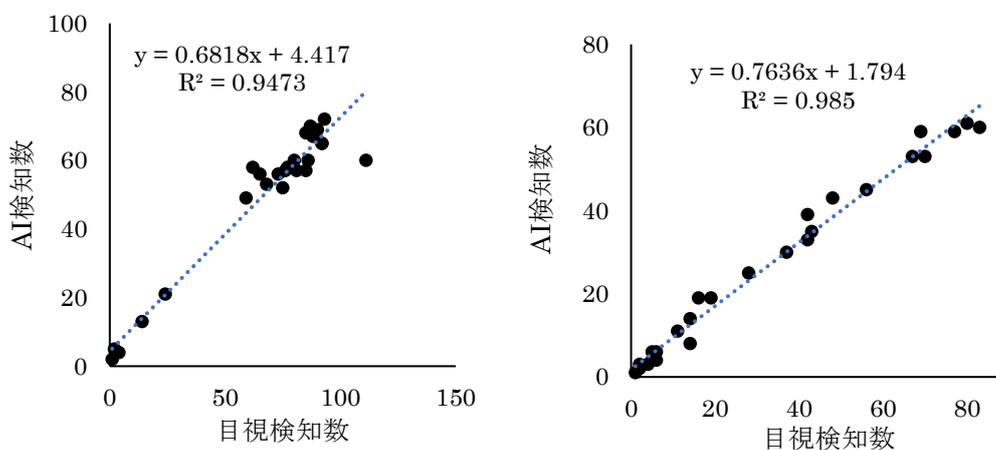


図8. 目視による計数値とAI計数値の相関（左：湖北、右：内日角）

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、新手法を全国の病害虫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	— (送信機能なし)
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	ファンネル型 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

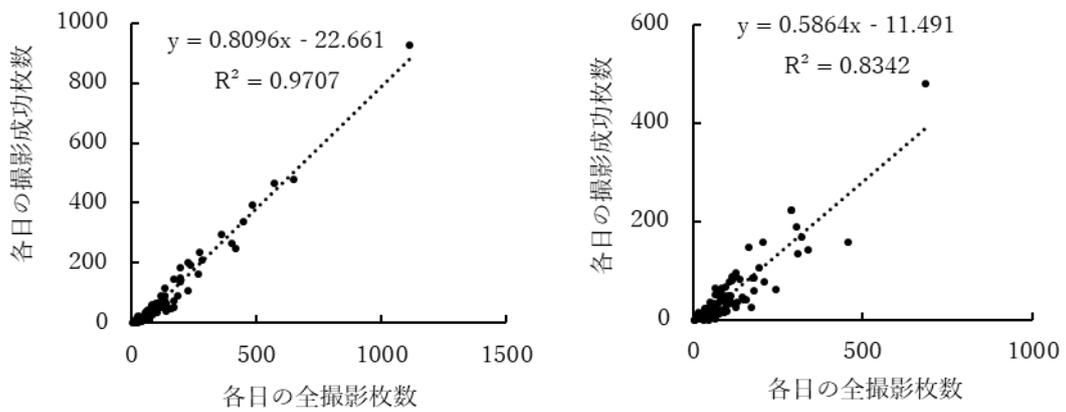


図 1 1. 各日の撮影成功枚数と各日の全撮影枚数間の関係性  
(石川県の場合内圃場 2 箇所にて調査)

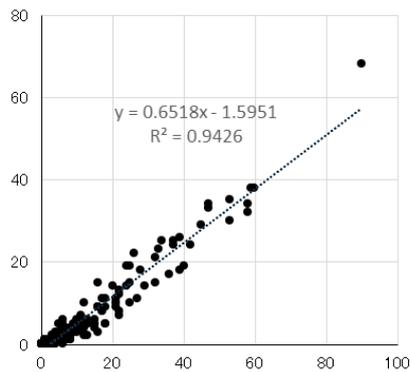


図 1 2. 各日の撮影成功枚数と各日の全撮影枚数間の関係性 (大阪府)

- 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。

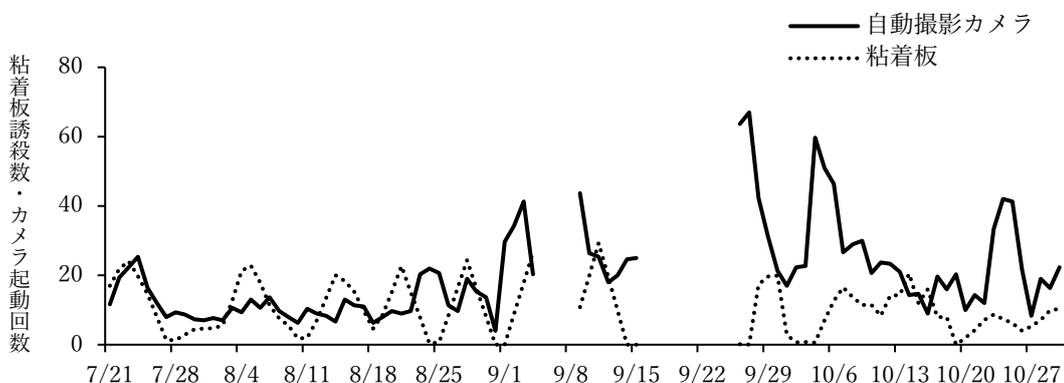


図13. 新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較(石川県)

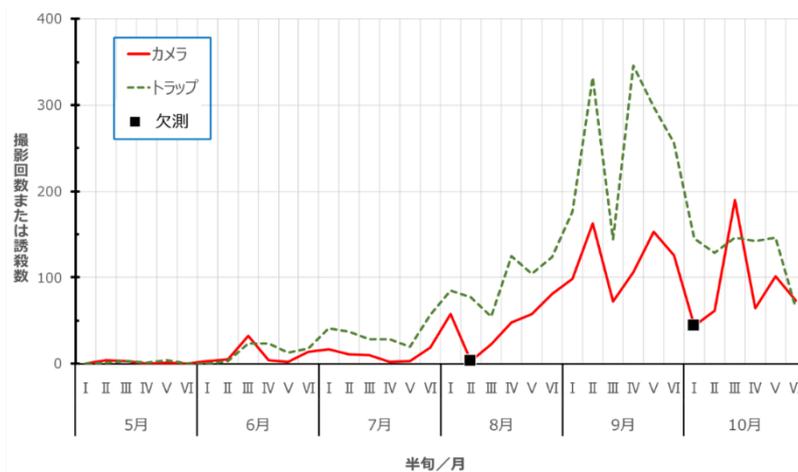


図14. 新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較(兵庫県)

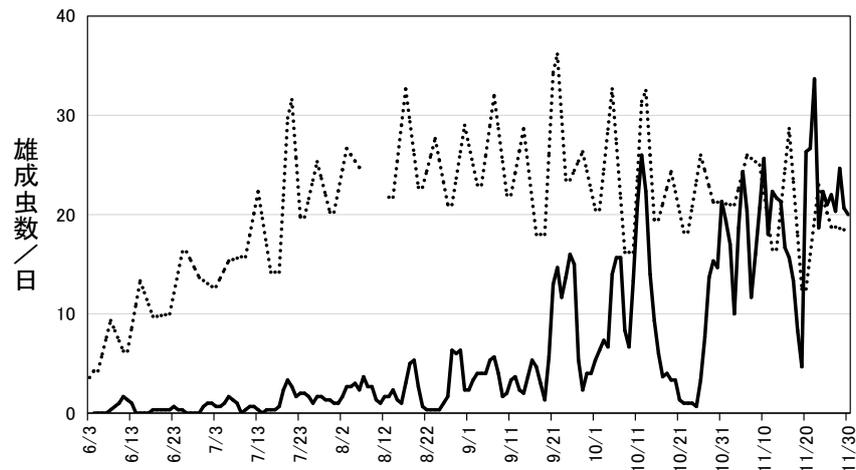


図 1 5. 新手法による撮影成功枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較  
 (大阪府、新手法が実線・従来法が点線、いずれも前後 1 日を含む  
 3 日間の移動平均)

- 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。

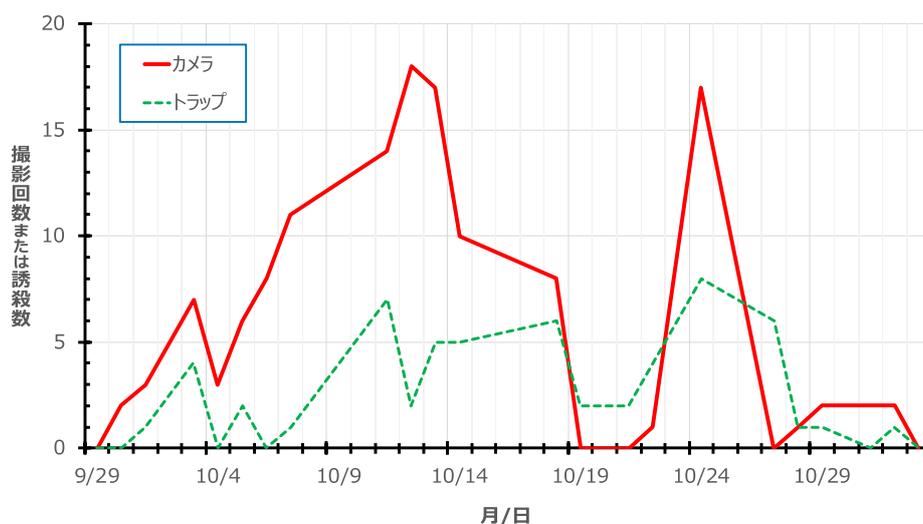


図1 6. オオタバコガを対象としたときの、新手法による全撮影枚数と、フェロモントラップ誘殺数の比較（兵庫県）

- 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。

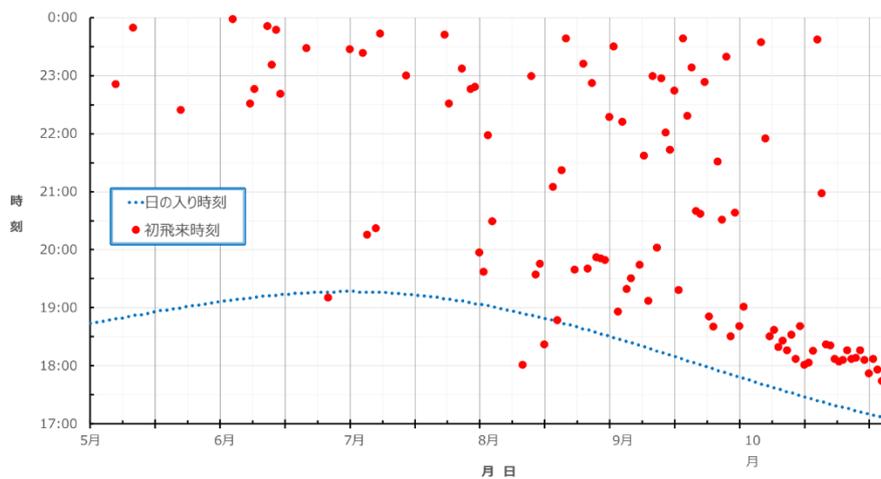


図1 7. 日の入り時刻\*とセンサーカメラに記録された日別初飛来時刻（兵庫県）  
\*神戸（緯度：34.6833°、経度：135.1833°、標高：0.0m）／国立天文台

(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	

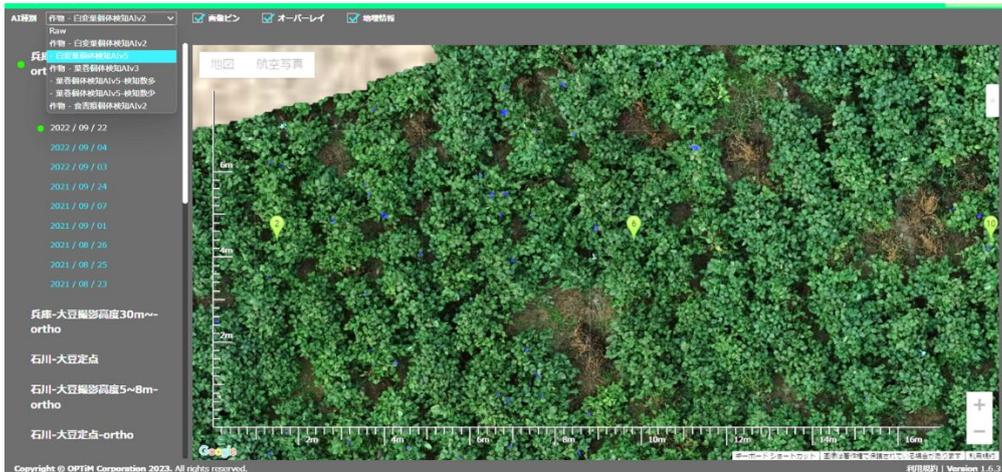


図 1 8. アプリ上での A I 検知結果の表示画面（青が検知された箇所）

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