

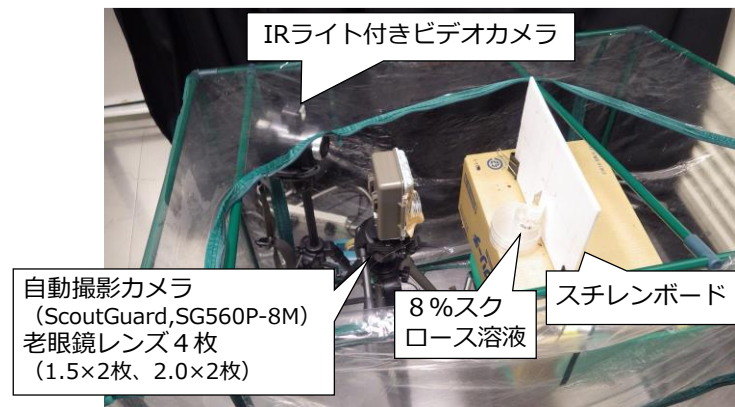


図 9. 撮影手法の屋内試験の様子（石川県）



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）。

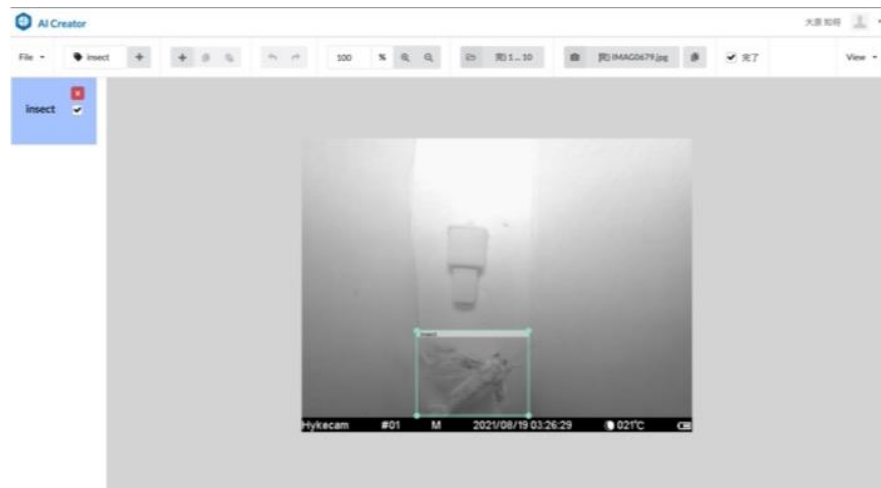


図 12. 虫体を矩形でアノテーション実施している様子

表 2. 撮影手法別に関開発した 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)。

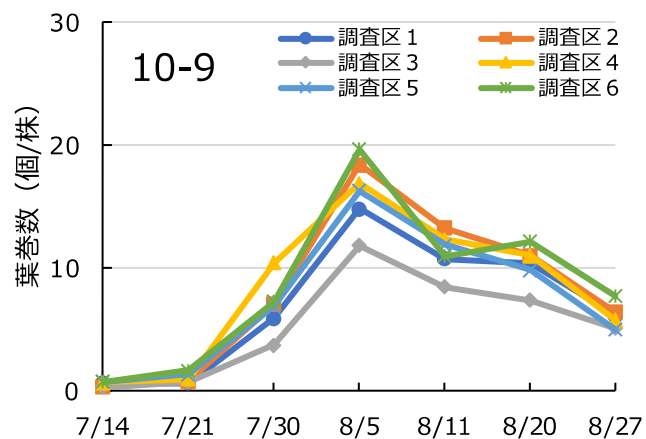


図 16. 見取り調査による葉巻の測定数の時系列変化（圃場名 10-9）



図 17. AI による葉巻の検知結果

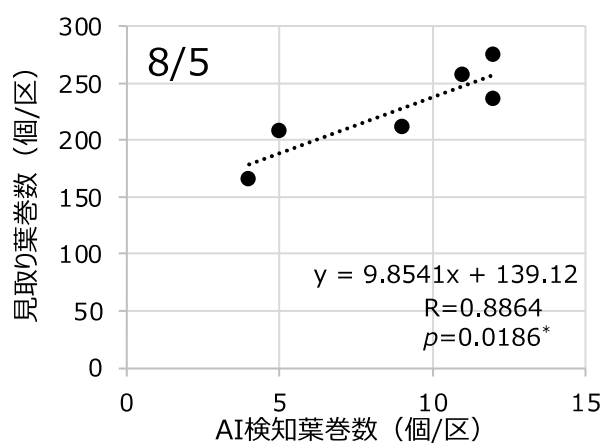


図 18. AI による葉巻の検知数と見取り調査による葉巻の測定数の関係（圃場名 10-9）

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

プロードすることで、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)。

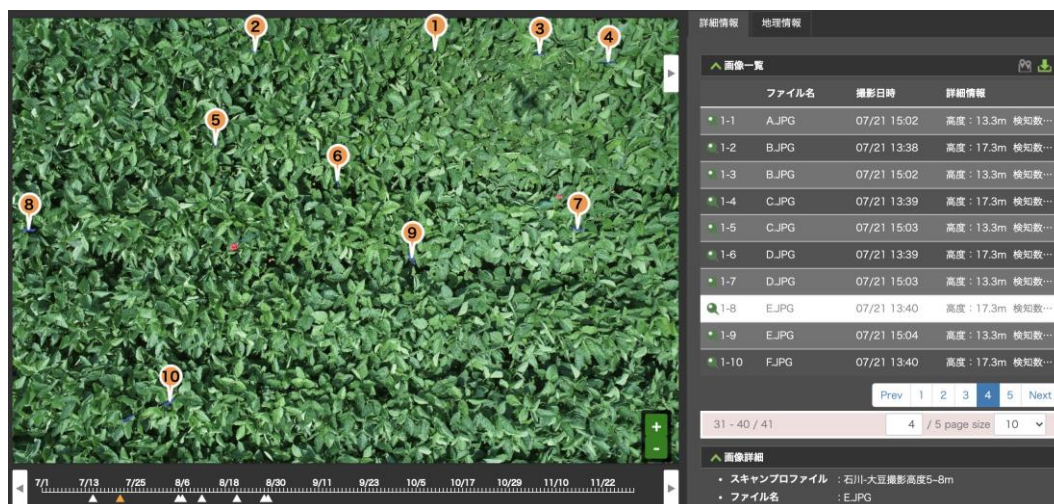


図 19. 被害葉の自動検知システム

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	℃

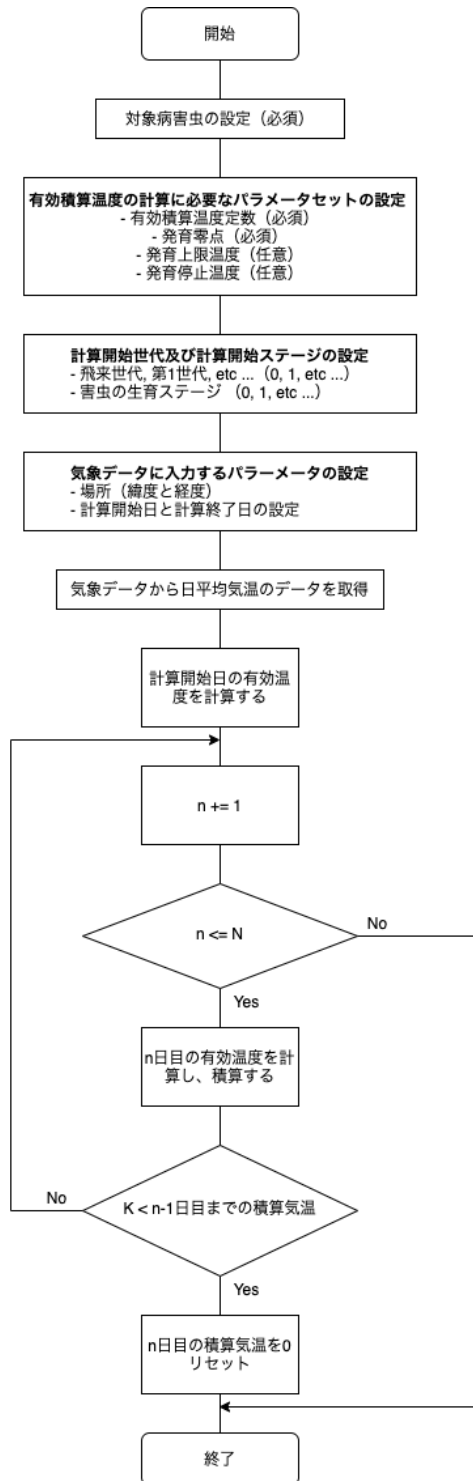


図 20. 害虫発生予測シミュレーションモデルの実行フロー

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）。

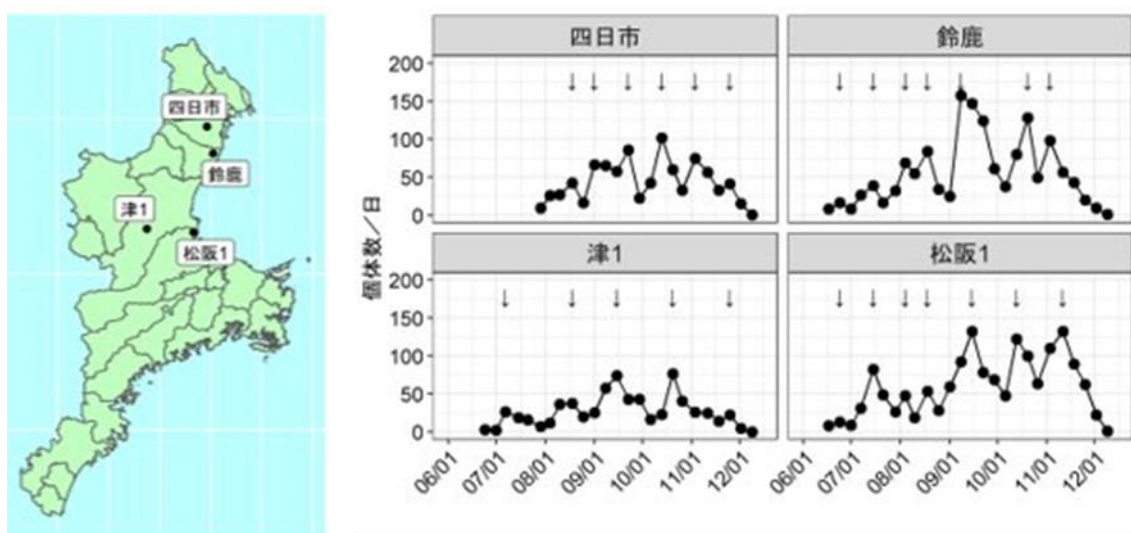


図 21. トラップ設置地点（左図）、および
各調査地点におけるハスモンヨトウ捕獲消長と捕獲ピーク（右図）

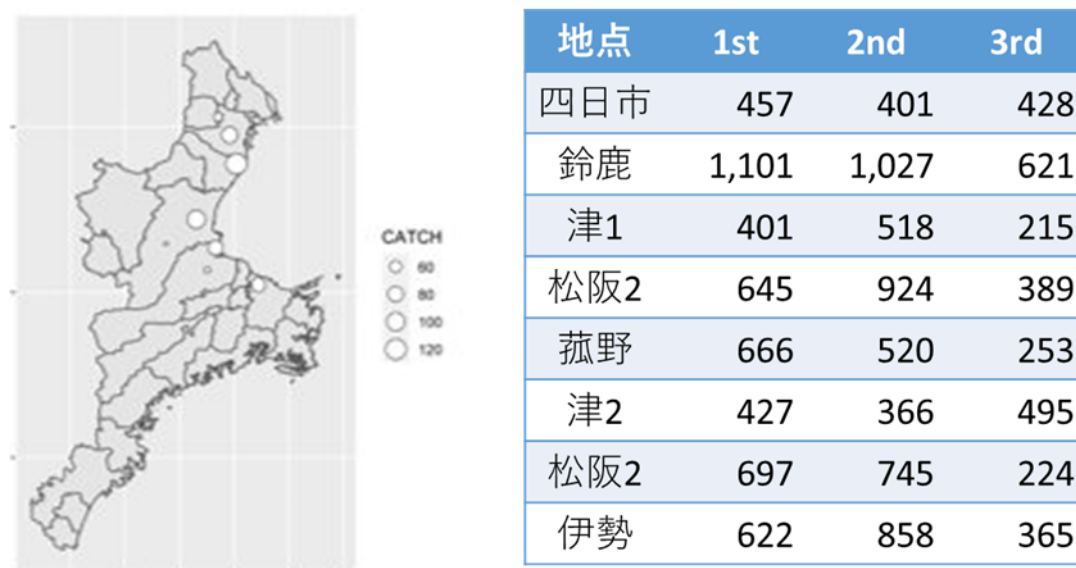


図 22. フェロモントラップによるハスモンヨトウ成虫の捕獲数結果

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。

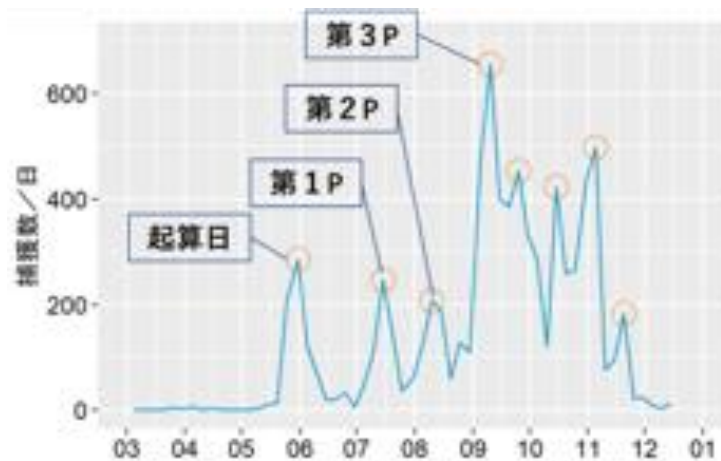


図 23. 起算日と成虫発生のピーク日の概念図

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）。

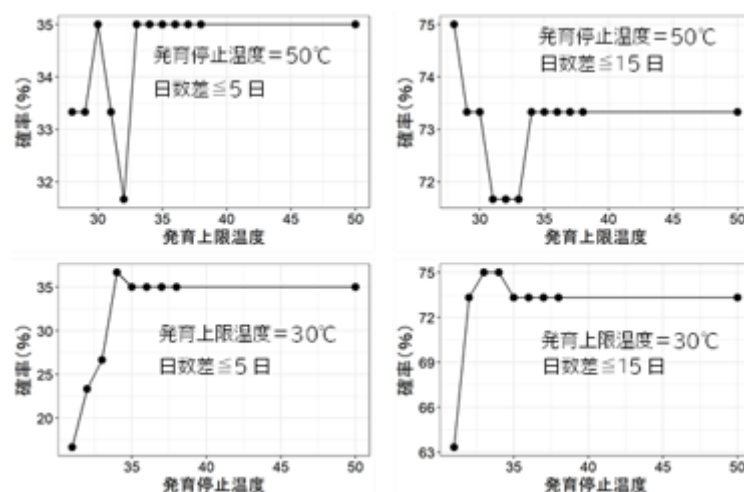


図 24. 発育上限温度、発育停止温度の値を変化させた場合に、第 1 ピークの予測ピーク日と実測ピーク日との日数差が規定の日数以内となる確率の変化