

気温データを利用した主要害虫カイガラムシ類3種（カメムシ目：カイガラムシ上科）の発生時期予測システム「カイガラなび（仮称）」シリーズの開発と千葉県の実験園におけるフェロモントラップを用いた検証

清水 健*1・勢能瑠世・大谷 徹

キーワード：ナシマルカイガラムシ，フジコナカイガラムシ，クワコナカイガラムシ，メッシュ農業気象データ，三角法

I 緒言

多くの果樹品目において、カイガラムシ類による被害が問題となる。ニホンナシにおいては、特にナシマルカイガラムシ *Comstockaspis perniciosus* (Comstock) (カメムシ目：マルカイガラムシ科)、フジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* (Kuwana)、クワコナカイガラムシ *Pseudococcus comstocki* (Kuwana) (カメムシ目：コナカイガラムシ科) がしばしば果実に寄生し経済的被害を発生させる (伊澤, 1990; 河合, 1990; 齊藤ら, 2008)。これら主要害虫カイガラムシ類に対しては、孵化後に歩行するステージである 1 齢幼虫の発生時期が殺虫剤散布による主な防除適期であり (上野, 1977; 新井, 1997)、各種の発育パラメータを用いて種々の果樹栽培園内における防除適期を予測する手法が開発され、実用化されている (新井, 2007a, 2007b, 2009; 新井ら, 2008; 澤村・奈良井, 2008; 小出ら, 2009; 石川ら, 2011; 澤村ら, 2015; 恒川ら, 2020; 恒川, 2021)。

これらの予測手法の多くは、最適な防除時期としてシーズン最初に出現する越冬世代または第 1 世代の 1 齢幼虫の発生ピークの予測日が出力される仕様となっているが、本来、防除適期である 1 齢幼虫の発生時期にはある程度の時間的な幅があることが期待される。果樹栽培における管理作業を調整する上では、作業実施時期に幅や選択肢があることは有益であり実用性も高いと考えられる。しかし、防除適期がこの幅を伴って提示されている事例は限られる (澤村ら, 2015)。

また、防除時期を推定する際には、対象となる果樹園における温度条件をリアルタイムに正確に把握することが必要となるため、昨今は国立研究開発法人農業・食品産業

技術総合研究機構 (農研機構) が提供するメッシュ農業気象データ (The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO; 以下 AMGS) (大野ら, 2016) を活用し、国内任意の約 1 km 四方 (基準地域メッシュ) における日最高気温、日最低気温の推定値を取得したうえで、これらを元に三角法 (坂神・是永, 1981) を用いて有効積算温量を計算する方法が主流となりつつある (恒川ら, 2020; 恒川, 2021)。

さらに、このような発生予測システムの精度の検証を行うことを目的として果樹園におけるカイガラムシ類の発生消長を調査する際には、バンドトラップなどによる個々の樹の幹や枝を調査対象とした手法が用いられてきたが、この手法では結果が微気象の影響に左右されやすいことが懸念されるうえ、反復の確保には多大な調査労力が必要となる。そのため昨今では、合成性フェロモンルアーを用いて園内全体での発生の傾向を調査する手法が採用されている (新井ら, 2011; 澤村ら, 2015)。

そこで本研究では、ナシマルカイガラムシ、フジコナカイガラムシ、クワコナカイガラムシについて、各種の既往の発育パラメータを用いて、AMGS と三角法を使用した予測システム「カイガラなび (仮称)」シリーズの開発を行い、各世代各ステージの発生時期の推定を行うとともに、合成性フェロモントラップを用いたニホンナシ園におけるカイガラムシ類雄成虫の発生消長調査の結果と照らし、その予測精度を検証した。

II 材料及び方法

1. カイガラムシ類 3 種の発生時期予測システムの構築

AMGS が提供する「キャスト型メッシュデータ取得ブック」ファイル (佐々木ら, 2022; AMGSDataGetter.xlsm) を活用し、インターネット環境下において国内任意の地点における日最高気温、日最低気温のデータを取得し、予測を演算する仕様とした。有効積算温量の算出については、日最高気温と日最低気温を用いた三角法 (坂神・是永,

2023 年 8 月 10 日受領 (Received August 10, 2023)

2023 年 11 月 6 日登載決定 (Accepted November 6, 2023)

*1 千葉県農林水産部担い手支援課

第1表 調査園概要

園所在	千葉市緑区大金沢町	鎌ヶ谷市初富	市川市大町	市川市大野町	白井市復	市原市A (廿五里)	市原市B (柏原)
緯度 (N)	35.545058	35.783882	35.771313	35.754381	35.767566	35.484305	35.483831
経度 (E)	140.184584	140.000866	139.973396	139.951027	140.040678	140.071063	140.062010
調査樹品種	豊水	幸水, 新興	幸水	あきづき, 幸水	幸水	幸水	王秋
樹齢 (2019年時点)	39年	15~25年	25年	16~21年	約25年	16~25年	約20年
調査年	2019~2022年	2019~2021年	2019~2021年	2022年	2019~2022年	2019~2022年	2019~2021年

1981)による計算手法を用い、各種の発育零点だけでなく、発育上限温度や発育停止温度を反映させるものとした。なお、本システムではデータ取得日までは気温の実測値の推定値、取得日以降26日先までは実測値と気象予測に基づく予報値、27日先以降は平年値が返されるため、従来の平年値のみに基づく予測システムよりも実際に近い予測が期待できる。このシステムに、ナシマルカイガラムシ、フジコナカイガラムシ、クワコナカイガラムシの3種の発育ステージの発生時期を世代ごとに図示する関数を追記し、予測システムを作製した。

ナシマルカイガラムシについては、新井(2007b; 2009)及び石川(2011)による発育パラメータを適用した。すなわち、越冬態である1齢末期の幼虫(河合, 1980)が3月1日を起点として発育零点10.5°Cで発育する。各世代の雄成虫の発生(初期~ピーク)に必要な有効積算温度は、それぞれ3月1日以降97~126日度(越冬世代)、650~815日度(第1世代)、1339~1504日度(第2世代)、2028~2193日度(第3世代)とし、各世代歩行幼虫(1齢)の発生(初期~ピーク)に必要な有効積算温度は、それぞれ3月1日以降338~427日度(第1世代)、1005~1179日度(第2世代)、1684~1905日度(第3世代)とした。なお、本種の発育上限温度はJorgensen et al. (1981)に基づき32.2°Cとし、報告のない発育停止温度については恒川ら(2020)に倣い40.0°Cとした。本種については、シーズン中、第3世代成虫の羽化までを出力する仕様とした。

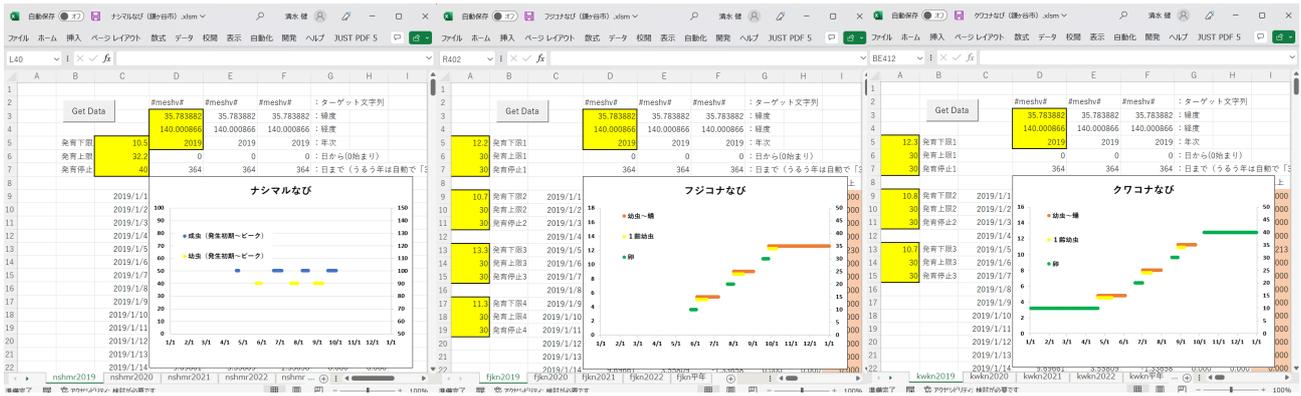
フジコナカイガラムシについては、澤村・奈良井(2008)、小出ら(2009)及び恒川ら(2020)による発育パラメータを適用した。すなわち、越冬態である2齢幼虫(河合, 1980)が1月1日を起点として、発育零点12.2°C、発育上限温度30.0°Cで発育し、有効積算温度270日度を経て第1世代の卵(卵のう)が発生するものとした。続いて、卵発生日を起点として、発育零点10.7°C、発育上限温度30.0°C、有効積算温度112日度を経て第1世代卵が孵化、また孵化日を起点として、発育零点13.3°C、発育上限温度30.0°C、有効積算温度122日度を経て1齢幼虫が2齢へと脱皮し1齢幼虫期間を完結する。同じく孵化日を起点として発育零点12.2°C、発育上限温度30.0°C、有効積算温度331日度で成虫が羽化する。第2世代以降の卵(卵のう)は前世代卵の孵化日を起点として、発育零点11.3°C、発育上

限温度30.0°C、有効積算温度531日度を経て発生する。なお、報告のない各ステージの発育停止温度については、澤村・奈良井(2008)の指摘に応じて30°Cとした。本種については、シーズン中、第3世代の各ステージの発生時期までを出力する仕様とした。

クワコナカイガラムシについては、澤村・奈良井(2008)による発育パラメータを適用した。すなわち、越冬態である卵(河合, 1980)が1月1日を起点として、発育零点12.3°C、発育上限温度30.0°Cで発育し、有効積算温度127日度を経て越冬卵が孵化する。ただし、越冬卵の孵化はこれらのパラメータから推定される時期よりもかなり早いことが経験的に知られているため(澤村信生, 私信)、以後の世代の発生時期へのあてはまりを考慮し、本システムにおける有効積算温度は仮に63日度(12.3°C以上)と設定した。続いて、孵化日を起点として、発育零点10.8°C、発育上限温度30.0°C、積算温度142日度を経て1齢幼虫が2齢へと脱皮、同じく346日度を経て羽化する。この雌成虫の産卵前期間は羽化日を起点とし、発育零点10.7°C、発育上限温度30.0°C、積算温度163日度で完了し、産卵が始まる。なお、報告のない各ステージの発育停止温度については、澤村・奈良井(2008)の指摘に応じて仮に30°Cとした。本種については、越冬卵と考えられる第3世代の卵の発生時期までを出力する仕様とした。

2. 合成性フェロモントラップによる雄成虫の発生消長調査と予測システムの検証

2019年から2022年にかけて、千葉市(千葉県農林総合研究センター果樹研究室1号園)、市原市(現地梨園2園、2022年は1園)、市川市(現地梨園1園、2022年に園を変更)、鎌ヶ谷市(現地梨園1園、2021年まで)、白井市(現地梨園1園)の延べ7園に(第1表)、ナシマルカイガラムシ用(サンケイ化学株式会社製)、フジコナカイガラムシ用、クワコナカイガラムシ用(富士フレイバー株式会社製)の合成性フェロモンをルアーとした粘着板トラップ(サンケイ化学株式会社製「SEトラップ」)を各園内の棚下に1か所ずつ設置した。トラップ内には粘着板24×15cmを上向き水平に設置し、大型昆虫が混じるのを避けるため開放部には1mm目合いのネットを展張した。各調査年の3月下旬~4月上旬より11月末まで、7~10日おきに粘着板を回収交換し、実体顕微鏡下で誘殺された雄成虫の個体数を計測した。ルアーは概ね1か月毎に交換



第1図 「ナシマルなび」(左), 「フジコナなび」(中), 「クワコナなび」(右) (いずれも仮称) による出力例

した。

さらに各年、各園における各種の調査結果を、それぞれに対応した予測システムから算出された発生予測の傾向と照合し、予測システムの有効性を検証した。

III 結果及び考察

1. カイガラムシ類3種の発生時期予測システムの構築

各種に対して「ナシマルなび」, 「フジコナなび」, 「クワコナなび」(いずれも仮称) と称する Microsoft Excel マクロ有効ブックを作成した。対象園の緯度, 経度及び年情報を入力し, 一般的なインターネット環境下において「GetData」コマンドボタンをクリックすると, AMGS から各種気温データがダウンロードされ, これに基づいて演算された予測結果が同ファイル内のグラフ上に出力される(第1図)。

2. 合成性フェロモントラップによる雄成虫の発生消長調査と予測システムの検証

(1) ナシマルカイガラムシ

各年, 各園におけるフェロモントラップへの誘殺消長を

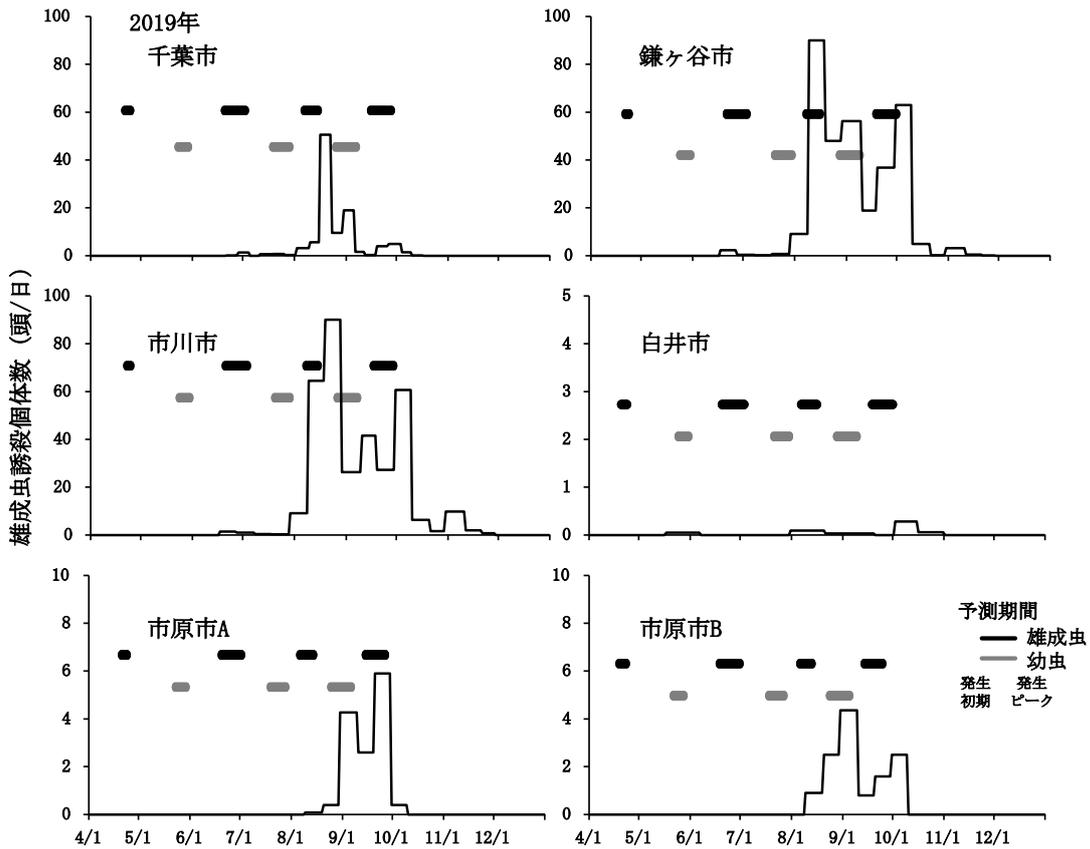
日別誘殺数の折れ線によって示すとともに, AMGS による温度情報から, 各世代の1齢幼虫及び成虫の発生初期からピークまでの期間を推定した出力結果をバーによって示した(第2図-1~4)。

毎年4月に発生するものと予想された本種越冬世代成虫の羽化ピークに相当する誘殺は, 2020年の市原市の2園以外の園においては確認できなかった。本種に対しては3月上旬のマシン油乳剤散布が有効であり(齊藤ら, 2008), 県発行の農作物病害虫雑草防除指針にも記載されている(千葉県, 2023)。この防除が奏功し, 各園における初期の発生密度が低いものと考えられた。一方で, 第1世代雄成虫の羽化時期については, 2019年の千葉県, 鎌ヶ谷市, 市川市, 2020年の千葉県, 白井市, 市原市, 2021年の鎌ヶ谷市, 市川市, 市原市など, 比較的誘殺数の多かった園において, 本システムにおいて予測された発生初期から発生ピーク時期の近傍に実測ピークが確認された。第2世代以降の発生については, 予測と一致する傾向は不明確であったが, これについては複数世代の成虫の発生に重なりがあるためと考えられた。シーズン最初の成虫の羽化時期が概ね正確に予測されていることから, 本システムによる発

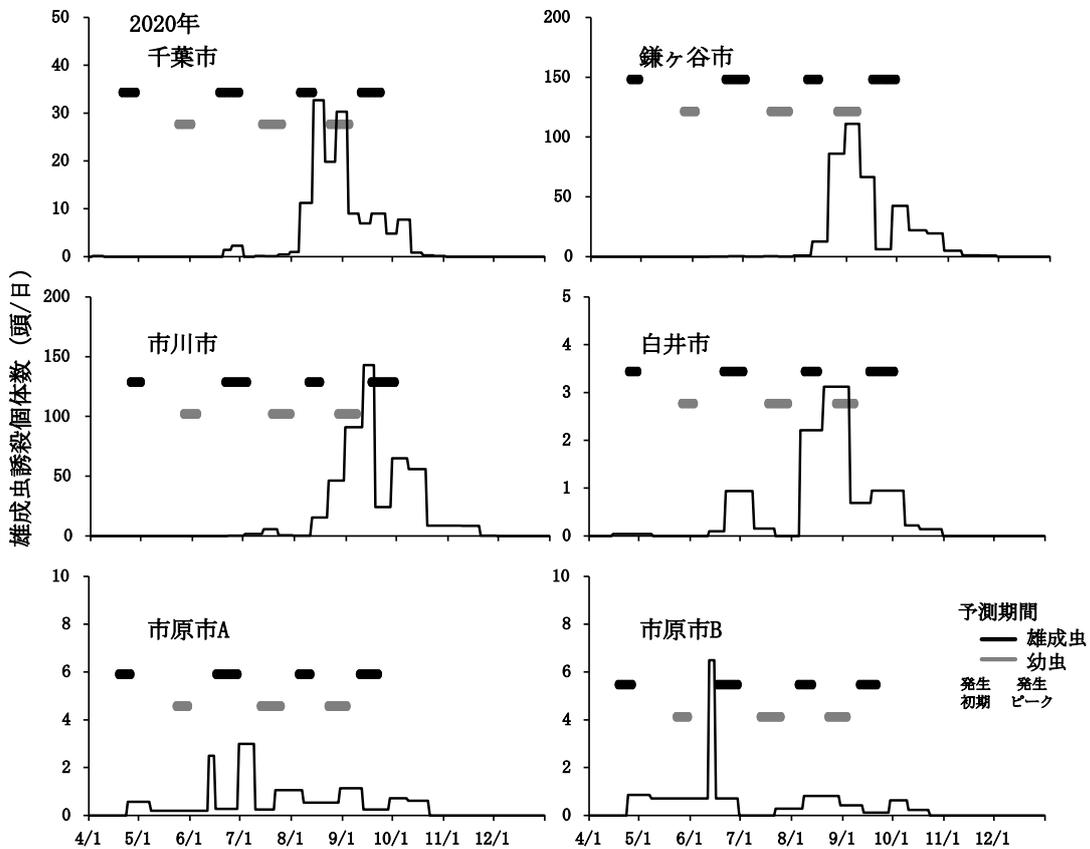
第2表 各調査園における各カイガラムシ種の第1世代または越冬世代1齢幼虫の三角法による発生予測時期

種名	年	千葉市		鎌ヶ谷市		市川市 ¹⁾		白井市		市原市A		市原市B	
		第1世代1齢幼虫 発生初期 ~ 発生ピーク											
ナシマル カイガラムシ	2019年	5月22日 ~ 5月29日	5月24日 ~ 5月31日	5月23日 ~ 5月30日	5月24日 ~ 5月31日	5月22日 ~ 5月29日	5月21日 ~ 5月28日	5月23日 ~ 5月30日	5月24日 ~ 5月31日	5月22日 ~ 5月29日	5月21日 ~ 5月28日	5月22日 ~ 5月29日	5月21日 ~ 5月28日
	2020年	5月23日 ~ 6月1日	5月26日 ~ 6月3日	5月25日 ~ 6月3日	5月26日 ~ 6月3日	5月23日 ~ 5月31日	5月22日 ~ 5月30日	5月23日 ~ 6月1日	5月26日 ~ 6月3日	5月23日 ~ 5月31日	5月22日 ~ 5月30日	5月23日 ~ 6月1日	5月22日 ~ 5月30日
	2021年	5月14日 ~ 5月23日	5月17日 ~ 5月26日	5月16日 ~ 5月25日	5月16日 ~ 5月26日	5月14日 ~ 5月23日	5月13日 ~ 5月22日	5月16日 ~ 5月26日	5月16日 ~ 5月26日	5月14日 ~ 5月23日	5月13日 ~ 5月22日	5月16日 ~ 5月26日	5月13日 ~ 5月22日
	2022年	5月19日 ~ 5月28日	5月21日 ~ 5月29日	5月20日 ~ 5月29日	5月21日 ~ 5月29日	5月18日 ~ 5月27日	5月17日 ~ 5月27日	5月21日 ~ 5月29日	5月21日 ~ 5月29日	5月18日 ~ 5月27日	5月17日 ~ 5月27日	5月21日 ~ 5月29日	5月17日 ~ 5月27日
	平年値	5月26日 ~ 6月4日	5月28日 ~ 6月6日	5月27日 ~ 6月5日	5月29日 ~ 6月7日	5月24日 ~ 6月2日	5月24日 ~ 6月2日	5月26日 ~ 6月4日	5月29日 ~ 6月7日	5月24日 ~ 6月2日	5月24日 ~ 6月2日	5月26日 ~ 6月4日	5月24日 ~ 6月2日
フジコナ カイガラムシ	2019年	6月2日 ~ 6月18日	6月4日 ~ 6月20日	6月4日 ~ 6月20日	6月4日 ~ 6月20日	6月2日 ~ 6月18日	6月1日 ~ 6月17日	6月4日 ~ 6月20日	6月4日 ~ 6月20日	6月2日 ~ 6月18日	6月1日 ~ 6月17日	6月4日 ~ 6月20日	6月1日 ~ 6月17日
	2020年	6月4日 ~ 6月15日	6月5日 ~ 6月16日	6月5日 ~ 6月16日	6月5日 ~ 6月16日	6月3日 ~ 6月13日	6月3日 ~ 6月13日	6月4日 ~ 6月15日	6月5日 ~ 6月16日	6月3日 ~ 6月13日	6月3日 ~ 6月13日	6月4日 ~ 6月15日	6月3日 ~ 6月13日
	2021年	5月27日 ~ 6月10日	5月30日 ~ 6月12日	5月29日 ~ 6月11日	5月30日 ~ 6月12日	5月26日 ~ 6月9日	5月25日 ~ 6月8日	5月27日 ~ 6月10日	5月30日 ~ 6月12日	5月26日 ~ 6月9日	5月25日 ~ 6月8日	5月27日 ~ 6月10日	5月25日 ~ 6月8日
	2022年	6月1日 ~ 6月18日	6月3日 ~ 6月20日	6月2日 ~ 6月19日	6月3日 ~ 6月20日	6月1日 ~ 6月18日	5月30日 ~ 6月16日	6月1日 ~ 6月18日	6月3日 ~ 6月20日	6月1日 ~ 6月18日	5月30日 ~ 6月16日	6月1日 ~ 6月18日	5月30日 ~ 6月16日
	平年値	6月10日 ~ 6月23日	6月12日 ~ 6月25日	6月10日 ~ 6月23日	6月12日 ~ 6月26日	6月8日 ~ 6月21日	6月8日 ~ 6月22日	6月10日 ~ 6月23日	6月12日 ~ 6月25日	6月8日 ~ 6月21日	6月8日 ~ 6月22日	6月10日 ~ 6月23日	6月8日 ~ 6月22日
クワコナ カイガラムシ	2019年	4月20日 ~ 5月12日	4月21日 ~ 5月13日	4月20日 ~ 5月12日	4月21日 ~ 5月13日	4月19日 ~ 5月11日	4月18日 ~ 5月10日	4月20日 ~ 5月12日	4月21日 ~ 5月13日	4月19日 ~ 5月11日	4月18日 ~ 5月10日	4月20日 ~ 5月12日	4月19日 ~ 5月11日
	2020年	4月19日 ~ 5月12日	4月24日 ~ 5月14日	4月22日 ~ 5月13日	4月24日 ~ 5月14日	4月15日 ~ 5月11日	4月12日 ~ 5月10日	4月19日 ~ 5月12日	4月24日 ~ 5月14日	4月15日 ~ 5月11日	4月12日 ~ 5月10日	4月19日 ~ 5月12日	4月18日 ~ 5月10日
	2021年	3月30日 ~ 5月1日	4月1日 ~ 5月4日	3月31日 ~ 5月3日	4月1日 ~ 5月4日	3月29日 ~ 4月30日	3月29日 ~ 4月29日	3月30日 ~ 5月1日	4月1日 ~ 5月4日	3月29日 ~ 4月30日	3月29日 ~ 4月29日	3月30日 ~ 5月1日	3月29日 ~ 4月29日
	2022年	4月12日 ~ 5月7日	4月12日 ~ 5月7日	4月12日 ~ 5月7日	4月12日 ~ 5月8日	4月11日 ~ 5月6日	4月11日 ~ 5月5日	4月12日 ~ 5月7日	4月12日 ~ 5月7日	4月11日 ~ 5月6日	4月11日 ~ 5月5日	4月12日 ~ 5月7日	4月11日 ~ 5月5日
	平年値	4月27日 ~ 5月17日	4月29日 ~ 5月19日	4月28日 ~ 5月18日	4月29日 ~ 5月20日	4月25日 ~ 5月15日	4月25日 ~ 5月16日	4月27日 ~ 5月17日	4月29日 ~ 5月19日	4月25日 ~ 5月15日	4月25日 ~ 5月16日	4月27日 ~ 5月17日	4月25日 ~ 5月16日

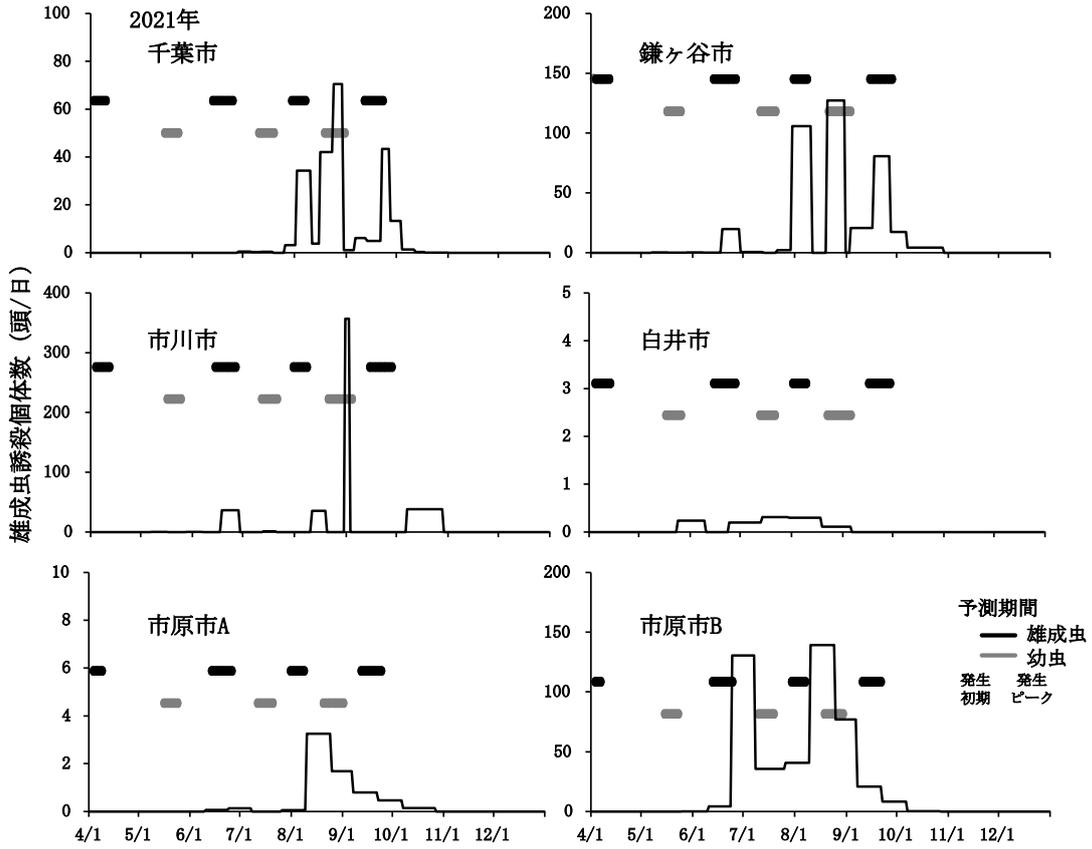
注) 2022年については大野町園における予測値, それ以外は大町園における予測値



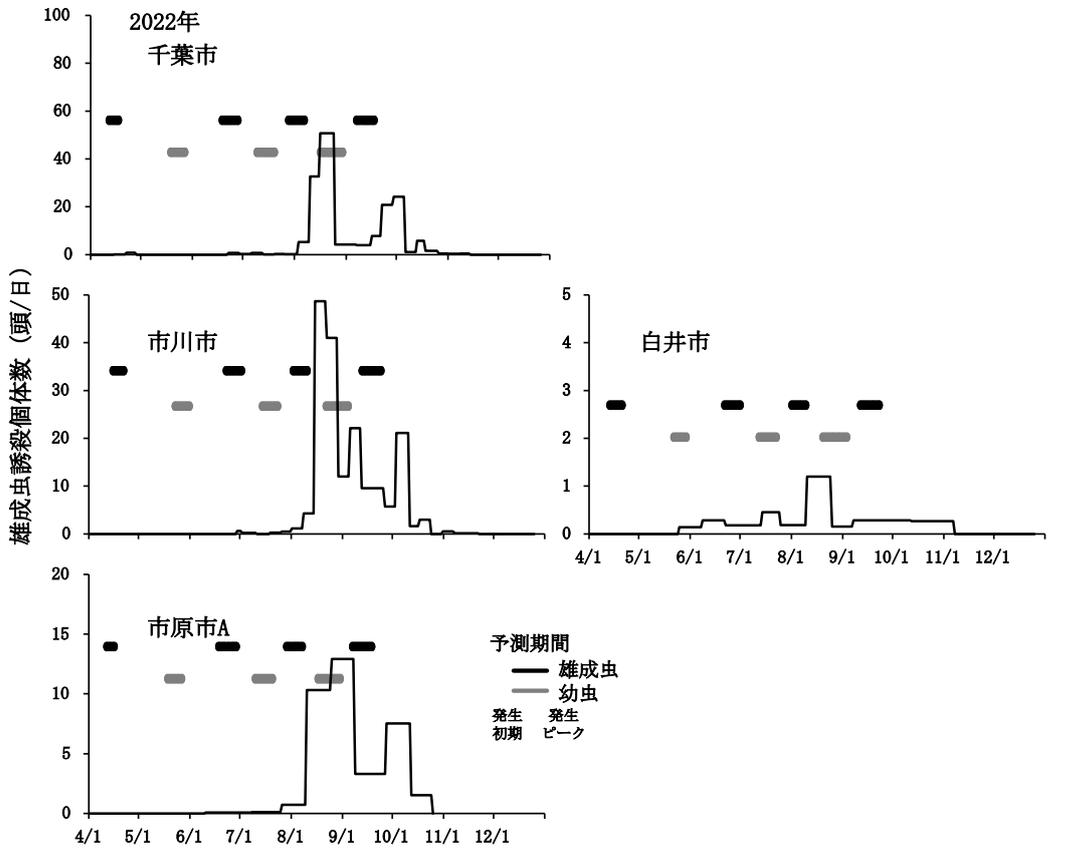
第2図-1 ナシマルカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2019年)



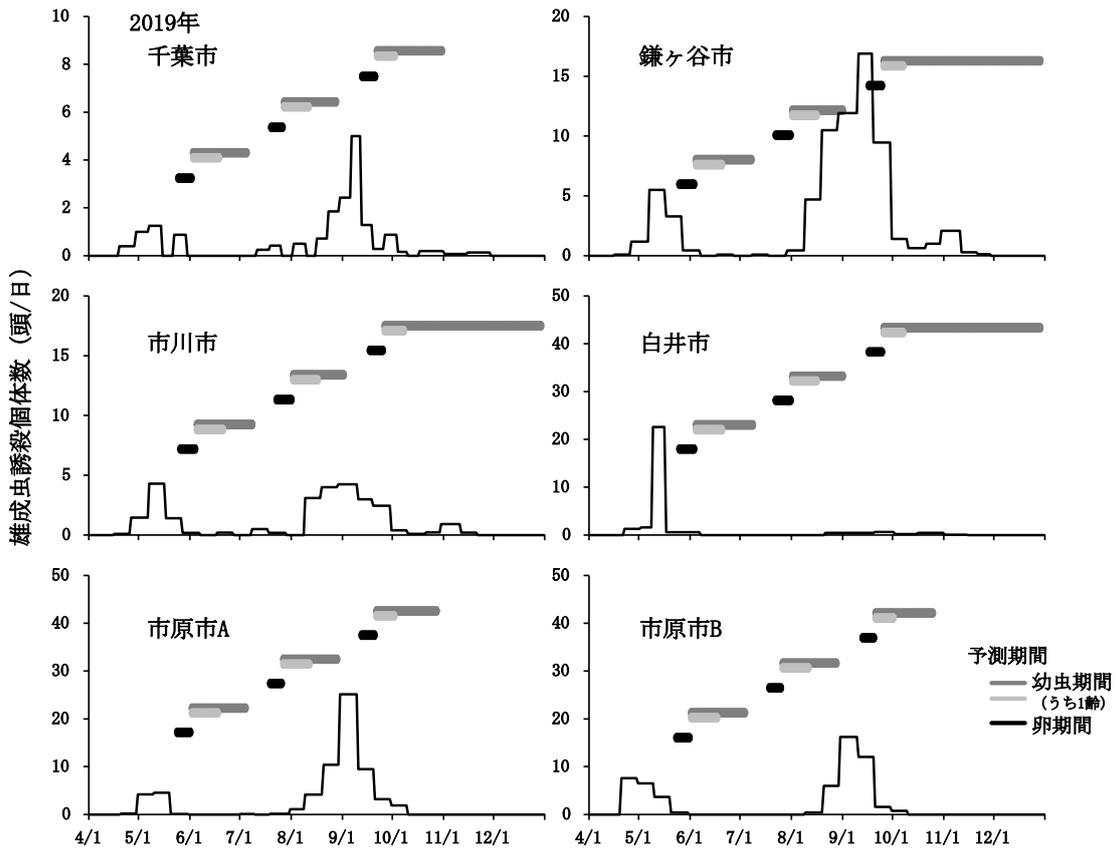
第2図-2 ナシマルカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2020年)



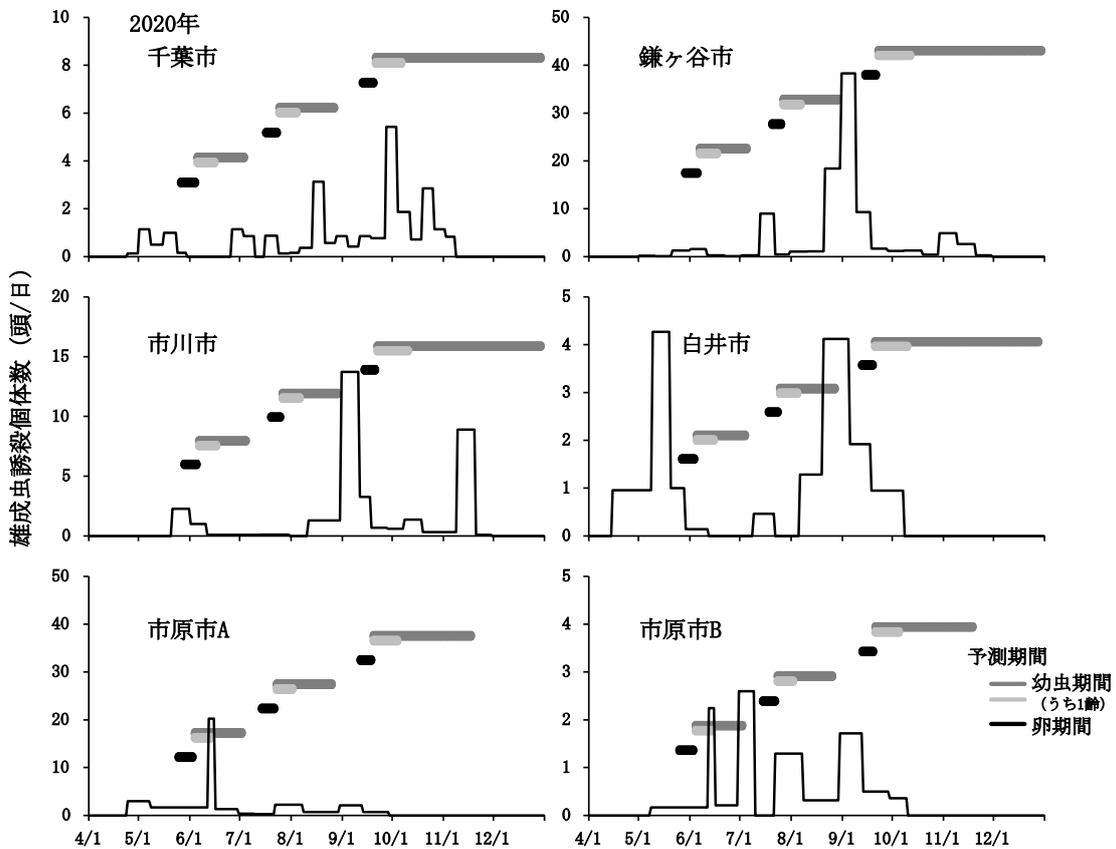
第2図-3 ナシマルカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果（2021年）



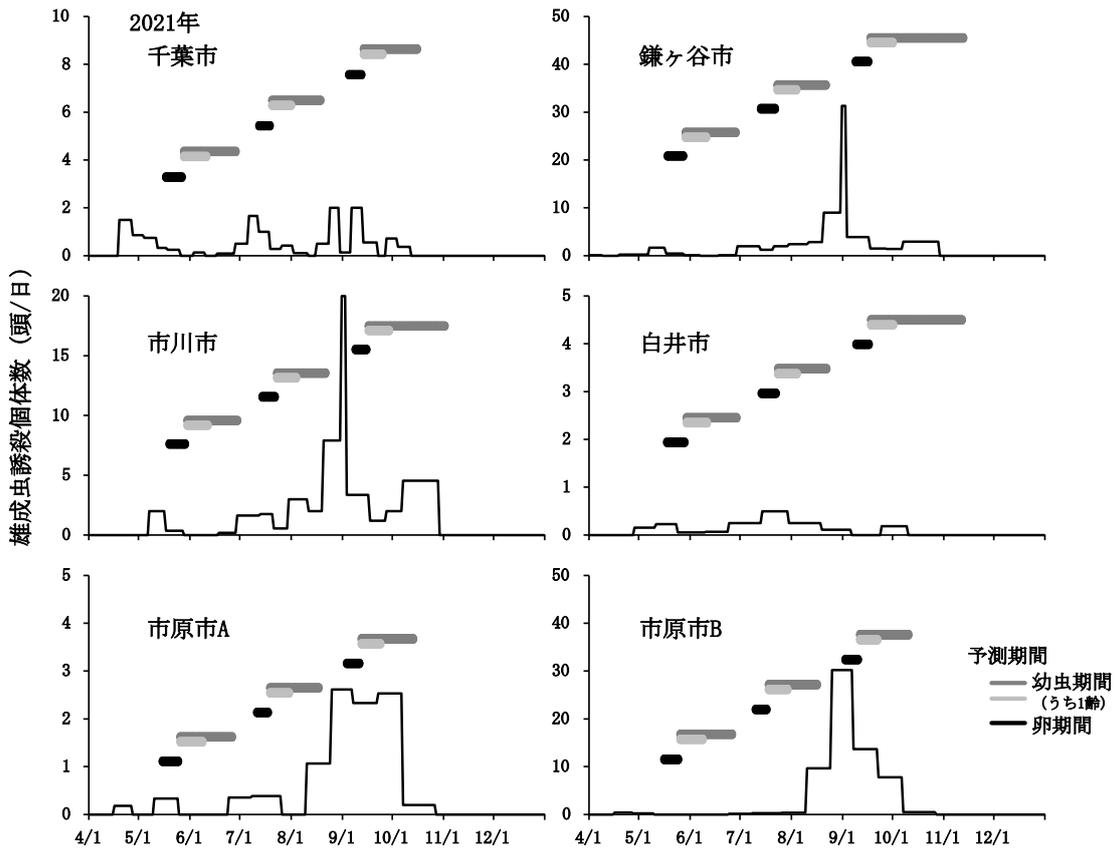
第2図-4 ナシマルカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果（2022年）



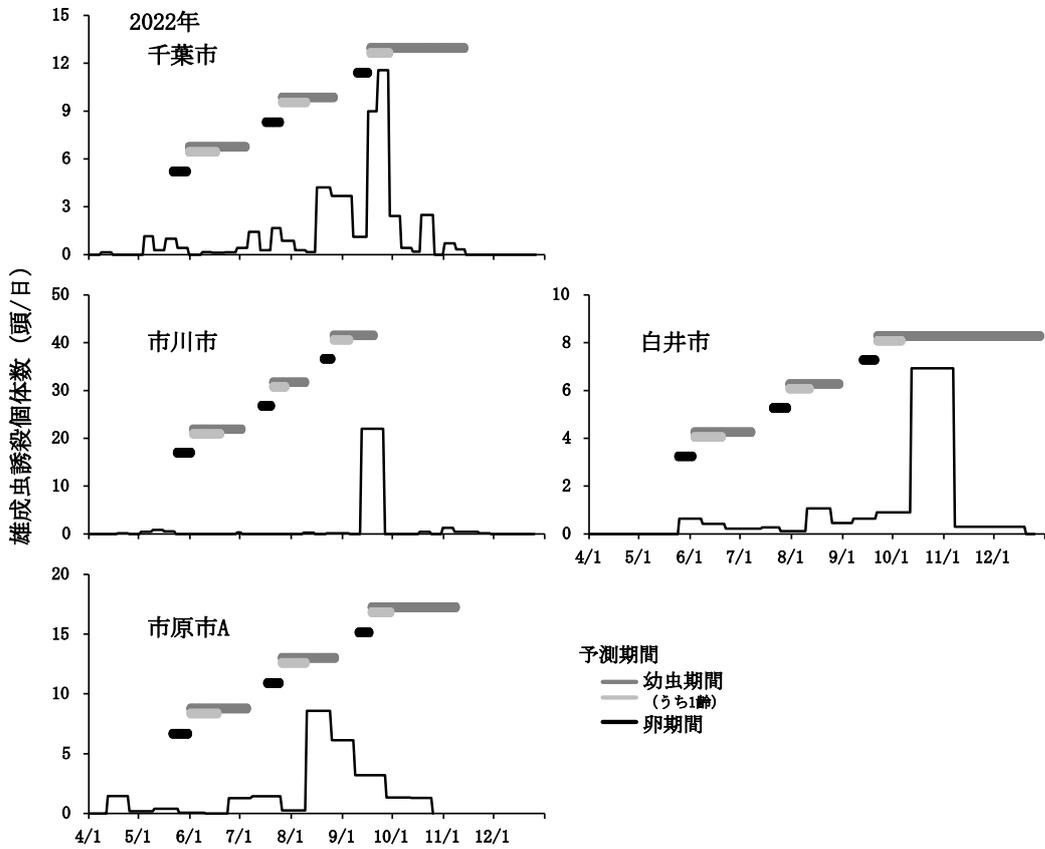
第3図-1 フジコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2019年)



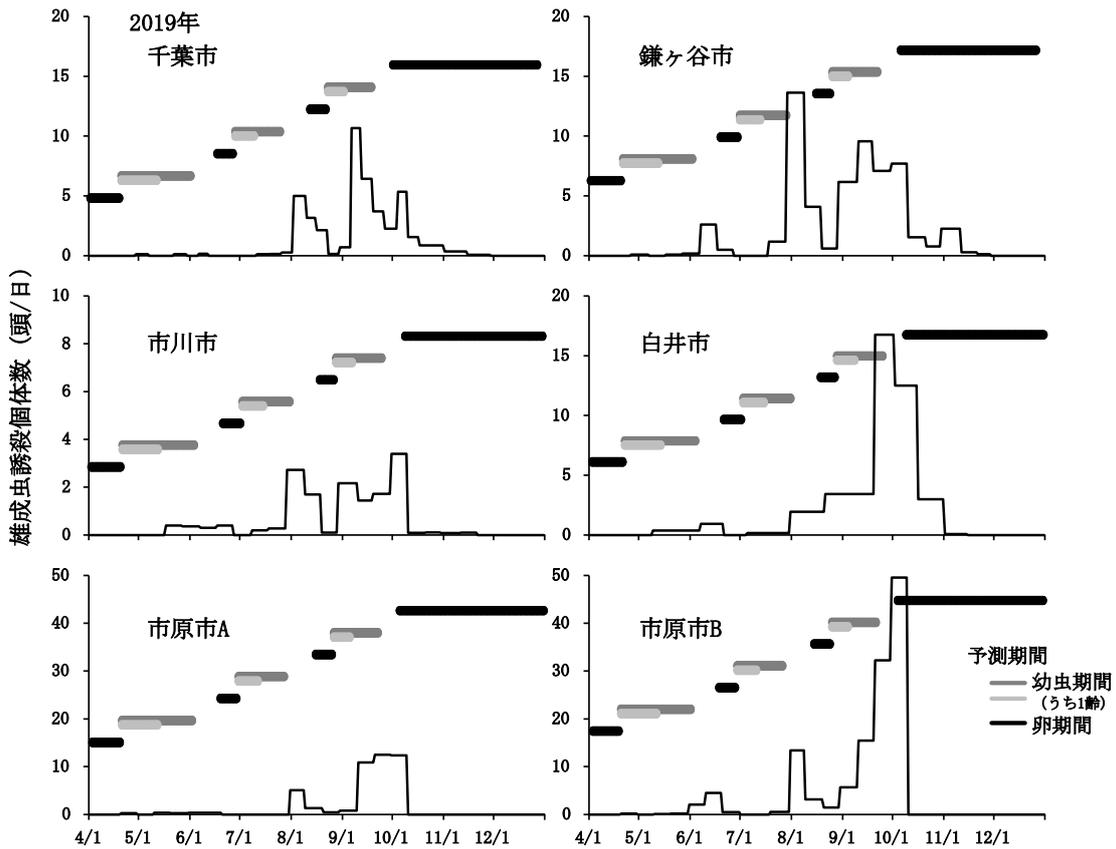
第3図-2 フジコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2020年)



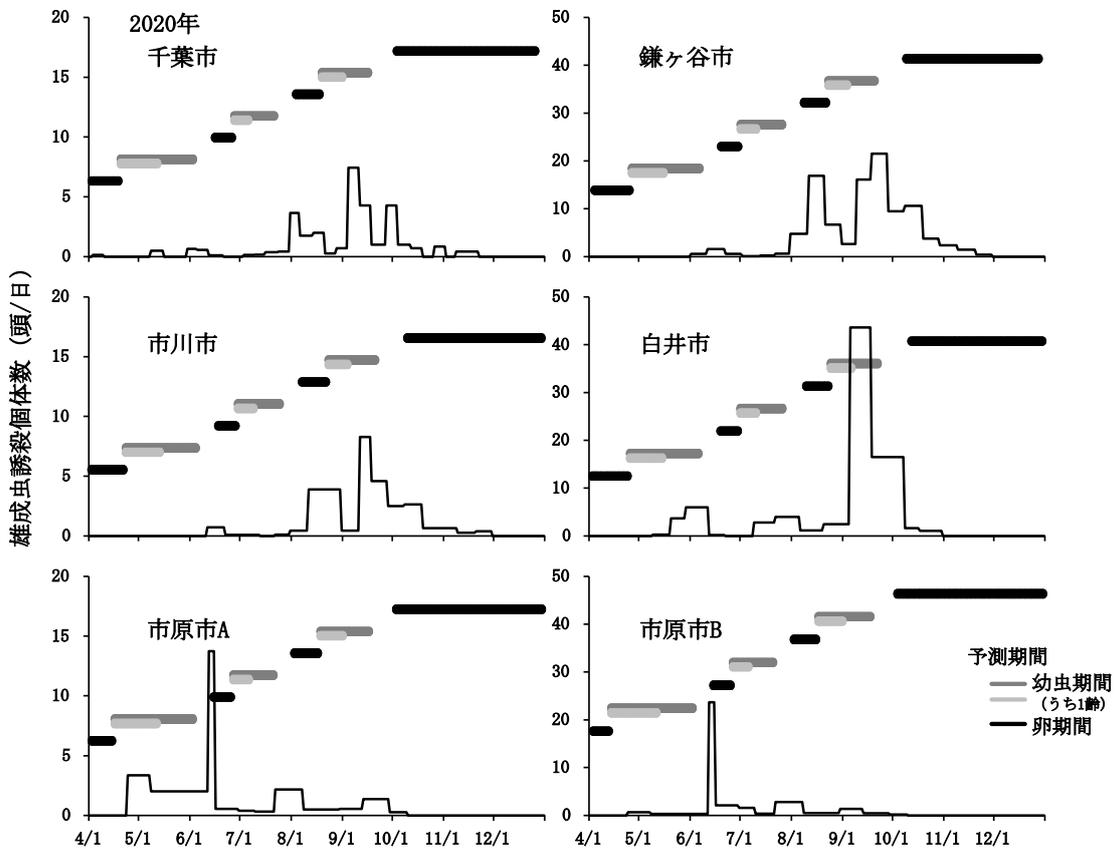
第3図-3 フジコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2021年)



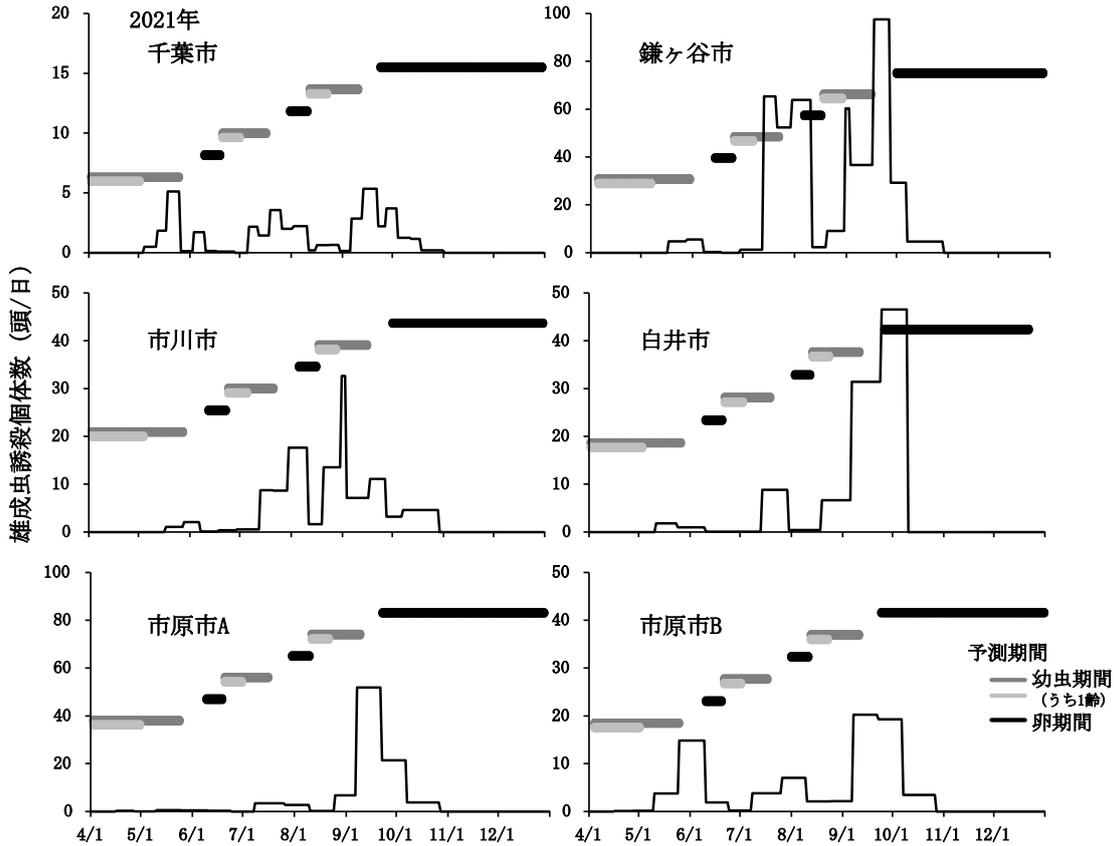
第3図-4 フジコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2022年)



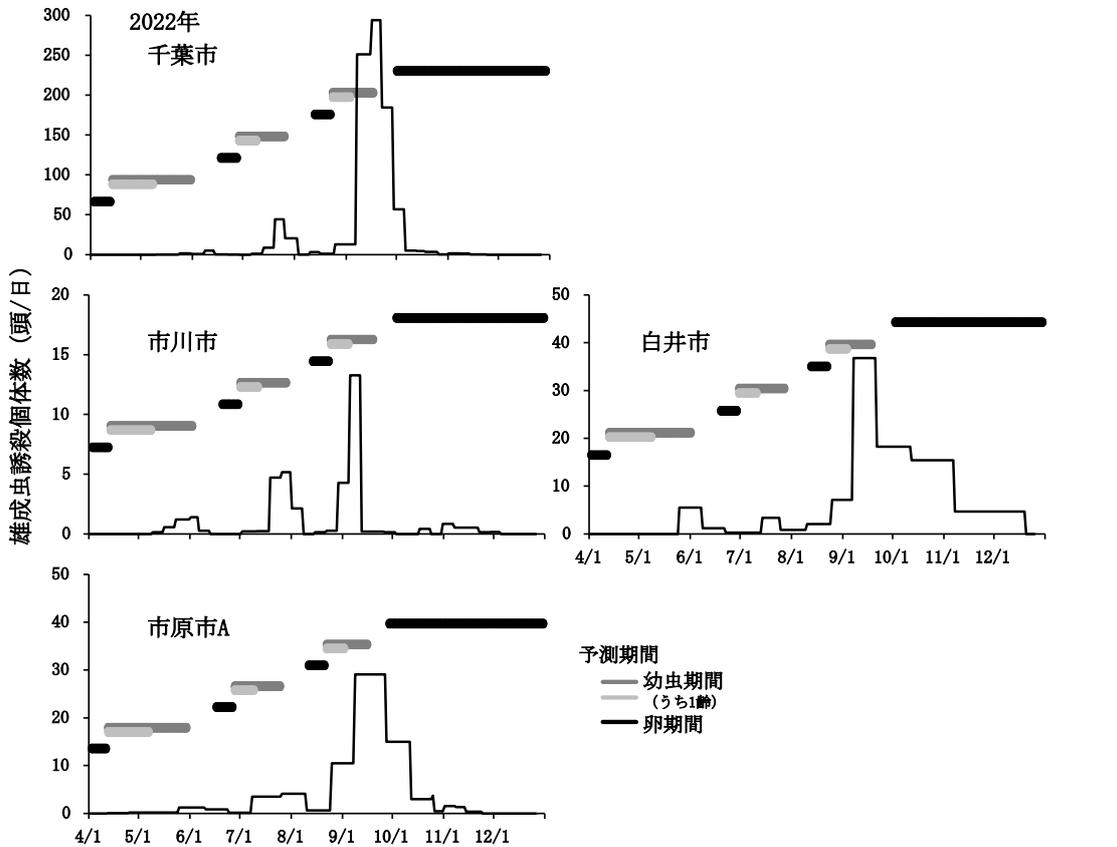
第4図-1 クワコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2019年)



第4図-2 クワコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2020年)



第4図-3 クワコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2021年)



第4図-4 クワコナカイガラムシの誘殺消長及び発生予測システムによる出力結果 (2022年)

生予察は実用的であることが示唆された。

本システムの予測によると、本種の第1世代1齢幼虫はいずれの園においても毎年5月中下旬から6月上旬にかけて発生することが予測された(第2表)。昨今の温暖化現象の影響が、各調査年の予測値は平年値から予測される発生時期よりも早い年で10日程度早まっているため、毎年本システムを用いてこの時期を把握することが推奨される。ただし、本種の被害が大きい園においては、第1世代幼虫の防除に適切な散布時期を検討するだけでなく、先述の3月上旬のマシン油防除も併用することが求められる。

(2) フジコナカイガラムシ

各年、各園におけるフェロモントラップへの誘殺消長を日別誘殺数の折れ線によって示すとともに、AMGSによる温度情報から、各世代の卵期間、1齢幼虫期間及びこれを含む全幼虫期間の発生時期を推定した出力結果をバーによって示した(第3図-1~4)。

多くの年、園において、第1世代卵の発生が予想された時期の直前に越冬世代雄成虫の誘殺ピークが検出されており、これら成虫の交尾後に産下された卵の出現が正確に予測されているものと考えられた。その後、第2世代、第3世代の卵の発生予測時期についても、雄成虫の誘殺ピークの直後に認められており、各世代の卵の発生時期をおおむね正確に予測できていることが示唆された。

防除適期と考えられる第1世代1齢幼虫は、毎年5月下旬~6月中旬に発生することが予測された(第2表)。昨今は平年値による予測時期(6月上旬~6月下旬)よりも早く出現する傾向が強く表れているが、県発行の農作物病害虫雑草防除指針(千葉県, 2023)では、このことを反映した予測時期にカイガラムシ類に対して登録のあるアセタミプリド水溶剤(モスピラン顆粒水溶剤)およびスルホキサフロル水和剤(トランスフォームフロアブル)の散布が推奨されており、本種に対する適期防除が可能となっているものと考えられた。

(3) クワコナカイガラムシ

各年、各園におけるフェロモントラップへの誘殺消長を日別誘殺数の折れ線によって示すとともに、AMGSによる温度情報から、各世代の卵期間、1齢幼虫期間及びこれを含む全幼虫期間の発生時期を推定した出力結果をバーによって示した(第4図-1~4)。最初の雄成虫の発生ピークが、越冬世代幼虫(蛹)期間が終了すると予測される時期と第1世代卵が発生すると予測される時期の間に出現するよう、越冬卵発育の有効積算温量を既往の127日度(澤村・奈良井, 2008)ではなく仮に63日度としたところ、その後の世代についても雄成虫の発生ピークが幼虫と卵の発生予測期間の中間に認められるようになったことから、越冬卵の発育については既往の有効積算温量より

も少なく発育が完了することが示唆された。

防除適期と考えられる越冬世代1齢幼虫は、各調査年3月下旬~5月中旬に渡って発生しているものと予測された(第2表)。この時期は複数の害虫種を一斉に防除するため、スペクトラムの広い有機リン系剤やトルフェンピラド剤などの殺虫剤が複数回散布されている場合が多く、その効果によってクワコナカイガラムシも同時に抑えられるものと考えられた。

他の2種と同様、本種の防除適期(1齢幼虫)の発生時期は平年値による予測よりも早い傾向が認められた。それだけに留まらず、特に本種ではいずれの園においても、防除適期の発生予測時期の年次間差が大きく、その始まりは3月下旬から4月下旬までばらついた。このことから、特に本種に対しては毎年直近の気温による予測を行うことが望ましいと考えられた。

(4) 三角法活用の利点

従来の害虫発生時期予測システムでは日平均気温から積算温量を1日単位で計算する場合が多かったが、この方法では仮にある日の日中に発育零点を上回る時間帯があっても、日平均気温が発育零点を下回る場合、その分の有効温量を積算できないというデメリットがあった。特に、春から初夏の時期には気温の日較差が大きく、日平均気温は低くても日中だけは温暖となる場合も多く、カイガラムシ類など、春期の発生予測が重要である種では正確な予測が困難となることが懸念された。一方で、本システムのように三角法を用いることにより、日中の時間帯の温量を細かく積算することが可能となる。第2表では各種に対する防除適期の三角法による予測期間を示したが、これを日平均気温による予想期間と比較すると、発生予測期間はそれぞれ数日程度前進することが示された(第3表)。千葉市における2021年のクワコナカイガラムシの予測を例として第5図に図示したが、4~5月の発育は三角法で予測されるものがより早く進み、雄成虫の羽化ピークは三角法による予測時期近くに出現したことが分かる。

また、特に夏期に酷暑が続く近年、害虫の発育には発育遅延や発育停止などの高温障害の影響があるものと予想される。日平均気温による予測では仮にある日の日中に発育上限温度や発育停止温度を上回る時間帯があっても、日平均気温がそれらを下回る場合、発育は通常通りに進むと予測され、高温期の発育を過大評価することも懸念された。本法を用いることにより、この影響を考慮した予測が可能となる。第5図において、8~9月の発育は日平均気温で予測されるものがより早く進むと考えられたものの、実際のピークはその予測よりも遅れ、三角法による予測時期近くに出現した。三角法の有効性が改めて支持されたものと考えられる。

さらに、室内試験において正確に測定することが難しい

第3表 千葉市調査園における各カイガラムシ種の第1世代または越冬世代1齢幼虫発生予測時期の算出方法間の比較

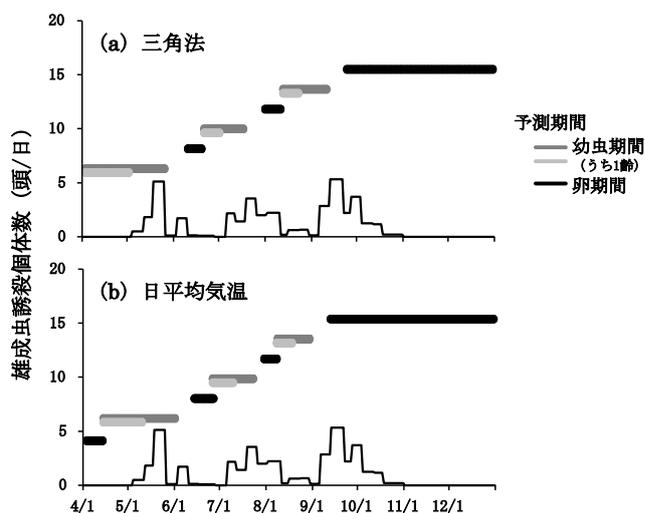
種名	年	三角法による積算		日平均気温の積算	
		第1世代1齢幼虫発生期間		第1世代1齢幼虫発生期間	
		発生初期 ~ 発生ピーク	発生初期 ~ 発生ピーク	発生初期 ~ 発生ピーク	発生初期 ~ 発生ピーク
ナシマル カイガラムシ	2019年	5月22日 ~ 5月29日	5月26日 ~ 6月2日	5月26日 ~ 6月2日	5月26日 ~ 6月2日
	2020年	5月23日 ~ 6月1日	5月27日 ~ 6月4日	5月27日 ~ 6月4日	5月27日 ~ 6月4日
	2021年	5月14日 ~ 5月23日	5月17日 ~ 5月26日	5月17日 ~ 5月26日	5月17日 ~ 5月26日
	2022年	5月19日 ~ 5月28日	5月23日 ~ 6月1日	5月23日 ~ 6月1日	5月23日 ~ 6月1日
	平年値	5月26日 ~ 6月4日	5月30日 ~ 6月8日	5月30日 ~ 6月8日	5月30日 ~ 6月8日
フジコナ カイガラムシ	2019年	6月2日 ~ 6月18日	6月6日 ~ 6月22日	6月6日 ~ 6月22日	6月6日 ~ 6月22日
	2020年	6月4日 ~ 6月15日	6月9日 ~ 6月20日	6月9日 ~ 6月20日	6月9日 ~ 6月20日
	2021年	5月27日 ~ 6月10日	6月2日 ~ 6月15日	6月2日 ~ 6月15日	6月2日 ~ 6月15日
	2022年	6月1日 ~ 6月18日	6月7日 ~ 6月23日	6月7日 ~ 6月23日	6月7日 ~ 6月23日
	平年値	6月10日 ~ 6月23日	6月14日 ~ 6月28日	6月14日 ~ 6月28日	6月14日 ~ 6月28日
クワコナ カイガラムシ	2019年	4月20日 ~ 5月12日	4月24日 ~ 5月17日	4月24日 ~ 5月17日	4月24日 ~ 5月17日
	2020年	4月19日 ~ 5月12日	5月2日 ~ 5月18日	5月2日 ~ 5月18日	5月2日 ~ 5月18日
	2021年	3月30日 ~ 5月1日	4月14日 ~ 5月9日	4月14日 ~ 5月9日	4月14日 ~ 5月9日
	2022年	4月12日 ~ 5月7日	4月21日 ~ 5月13日	4月21日 ~ 5月13日	4月21日 ~ 5月13日
	平年値	4月27日 ~ 5月17日	5月3日 ~ 5月22日	5月3日 ~ 5月22日	5月3日 ~ 5月22日

発育上限温度や発育停止温度については、予測システムを用いてこれら进行操作することにより、実際の害虫の発生状況への当てはまりからパラメータを推定する手法も検討されつつあるが（佐々木ら，2023），こうした試験研究における取り組みにおいても、本予測システム「カイガラなび（仮称）」シリーズが活用される可能性は高いものと考えられる。

なお、本システムの「データ取得機能」については、メッシュ農業気象データが許諾している株式会社ライブビジネスウェザーが提供し、株式会社ビジョンテック（<https://www.vti.co.jp/mesh.html>）が販売している有償の気象データ取得サービスなどを入手し代替する必要がある。具体的には、本システム上で日最高気温、日最低気温が入力されるセルに、代替サービスにより得られた気温データをコピーして演算を実行することにより、メッシュ農業気象データと同等のデータを利用した予測が可能となる。また、本システムの予測関数が保存された Excel® シートについては、試験や実証のために利用可能である。利用希望がある場合、千葉県農林総合研究センター病理昆虫研究室に問い合わせたい。

IV 謝 辞

千葉県市川市、市原市、鎌ヶ谷市、白井市、各市内のニホンナシ生産者の方々、全農千葉県本部の皆様及び千葉県千葉農業事務所、東葛飾農業事務所の担当者各位には、研究の趣旨をご理解いただき、調査に対して多大なご協力をいただいた。ここに御礼申し上げます。



第5図 三角法による予測結果(a)と日平均気温を用いた予測結果(b)の比較（千葉市・クワコナカイガラムシ・2021年）

V 摘 要

ニホンナシにおいて問題となる主要害虫カイガラムシ類3種の防除適期を推定するため、既往の発育パラメータと、メッシュ農業気象データの「キャスト型メッシュデータ取得ブック」ファイルを活用し、国内任意の地点において温度条件から各種の発生時期を予測するシステム「カイガラなび（仮称）」シリーズを構築した。本システムによって予測された各種、各世代、各ステージの発生時期は、合成性フェロモントラップ調査による雄成虫の発生時期と概ね適合し、防除適期の推定において実用性があるものと示唆された。

VI 引用文献

- 新井朋徳（1997）カンキツを加害するコナカイガラムシ類の生態と防除。植物防疫。51: 263-266.
- 新井朋徳（2007a）岩手県のリンゴ園におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫の発生時期・1。歩行幼虫の発生時期と有効積算温度との関係。北日本病虫研報。58: 170-173.
- 新井朋徳（2007b）岩手県のリンゴ園におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫の発生時期・2。雄成虫の羽化時期と歩行幼虫の発生時期との関係。北日本病虫研報。58: 174-177.
- 新井朋徳・成田 治・井原史雄・高梨祐明・豊島真吾（2008）岩手県のリンゴ園におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫の発生時期・3。気温から予測した歩行幼虫発生時期と実際の発生時期の比較。北日本病虫研報。59: 199-206.

- 新井朋徳 (2009) ナシマルカイガラムシ歩行幼虫発生時期の予測. 植物防疫. 63: 104-107.
- 新井朋徳・高梨祐明・柳沼勝彦・井原史雄・伊藤 伝・成田 治・豊島真吾 (2011) 殺虫剤無散布リンゴ園におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫捕獲数と雄成虫のフェロモントラップ誘殺数との関係. 北日本病虫研報. 62: 182-185.
- 千葉県 (2022) 農作物病害虫雑草防除指針令和5年版. p. 49. 千葉県農林水産部安全農業推進課, 千葉.
- 石川博司・加藤修平・小木曾久志・恒川健太 (2011) 愛知県におけるナシマルカイガラムシ歩行幼虫の発生消長とJPP-NETの有効積算温度計算シミュレーションを用いた発生予測. 関西病虫研報. 53: 135-137.
- 伊澤宏毅 (1990) ナシに寄生するクワコナカイガラムシの防除対策. 植物防疫. 44: 260-263.
- Jorgensen, C. D., R. E. Rice, S. C. Hoyt and P. H. Westigard (1981) Phenology of the San Jose scale (Homoptera: Diaspididae). Can. Entomol. 113: 149-159.
- 河合省三 (1980) 日本原色カイガラムシ図鑑. 455pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 河合省三 (1990) 果樹に寄生するコナカイガラムシ類の見分け方. 植物防疫. 44: 251-255.
- 小出哲也・鈴木寛之・栗山幸子・山口和広 (2009) 愛知県における JPP-NET の有効積算温度計算シミュレーションを用いたカキのフジコナカイガラムシの発生予測. 関西病虫研報. 51: 115-116.
- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園 江 (2016) 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象. 16: 71-79.
- 齊藤俊一・内野 憲・長谷川純一・山口 敦・上遠野富士夫 (2008) 千葉県のナシ園におけるナシマルカイガラムシの発生消長と冬期マシン油乳剤散布による防除効果. 関東東山病虫研報. 55: 141-144.
- 坂神泰輔・是永龍二 (1981) 有効積算温度の簡易な新算出法“三角法”について. 応動昆. 25: 52-54.
- 佐々木郁弥・柴 卓也・松倉啓一郎 (2023) 飼育に依存しない発育零点と有効積算温度の推定方法の検討. 第67回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨. p. 72.
- 佐々木華織・西森基貴・根本 学 (2022) メッシュ農業気象データ利用マニュアルVer.5. p. 19-20. 農研機構, 茨城.
- 澤村信生・奈良井祐隆 (2008) フジコナカイガラムシおよびクワコナカイガラムシの発育と増殖能力に及ぼす温度の影響. 応動昆. 52: 113-121.
- 澤村信生・奈良井祐隆・手柴真弓・堤 隆文・望月雅俊・土田 聡・鈴木俊郎・市橋秀幸・田端 純・佐々木力也 (2015) 性フェロモンと有効積算温度を利用したカキのフジコナカイガラムシ (カメモシ目: コナカイガラムシ科) 幼虫の発生時期予測. 応動昆. 59: 183-189.
- 恒川健太・松下通也・高野 (竹中) 宏平・吉利怜奈・赤松佑紀・杉浦兼之 (2020) メッシュ農業気象データシステムを活用したフジコナカイガラムシおよびナシマルカイガラムシの防除適期予測. 関西病虫研報. 62: 71-77.
- 恒川健太 (2021) メッシュ農業気象データシステムを用いたカイガラムシ類の防除適期推定とその適合性検証. 植物防疫. 75: 309-315.
- 上野晴久 (1977) フジコナカイガラムシの生態と防除. 植物防疫. 31: 159-164.

Development of Prediction Systems for Occurrence Timing of Three Major Pest Scale Insects (Hemiptera: Coccoidea) using Daily Temperature Data and its Verification by Pheromone Trap Surveys in Japanese Pear Orchards

Ken SHIMIZU*, †1, Ryusei SENOU and Toru OHTANI

Key words: *Comstockaspis perniciosâ*; *Planococcus kraunhiae*; *Pseudococcus comstocki*; the Agro-Meteorological Grid Square Data; Triangle Method

Summary

To be able to predict the optimal timing for implementing control measures against three major pest scale insects (Hemiptera: Coccoidea) in pear orchards nationwide, a set of prediction systems, which we term "Kaigara Navi" were developed based on developmental parameters reported in previous research on the species in question. They use the maximum and minimum daily temperature data downloaded as the AMGSDataGetter.xlsm dataset provided as part of NARO's Agro-Meteorological Grid Square Data, which is supported by Microsoft Excel®.

The occurrence period of each stage of each generation in the species as predicted by these systems fairly closely followed, or was followed, by observed emergence peaks of male adults captured by the synthesized-sex-pheromone traps. The prediction systems appear to be applicable to decision-making on the control timing needed to combat this species.

* Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 180-1, Okanezawa, Midori, Chiba 266-0014, Japan.

† 1 Present address: Agriculture Extension Division, Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Chiba Prefecture