

画像処理装置搭載農作物害虫遠隔計数システムの開発

高橋 裕之, 大村 功, 波 通隆, 青木 元彦*
八谷 和彦*, 中尾 弘志**, 深谷 健一***, 田中 勝****

Development of Remote Counting System for Insect Pest Using Image Processor

Hiroyuki TAKAHASHI, Isao OHMURA, Michitaka NAMI
Motohiko AOKI * Kazuhiko HACHIYA *, Hiroshi NAKAO **
Ken-ichi FUKAYA *** , Masaru TANAKA ****

抄 録

クリーン農業の重要性が高まる中、害虫防除のための農薬散布時期や散布量の適正化を図ることを目的に、フェロモントラップの設置を行い、農作物の害虫発生状況を把握している。しかし、この作業は非常に煩雑であることから、自動化が求められている。そこで本研究では、キャベツなどアブラナ科作物の最重要害虫であるコナガ *Plutella xylostella* を対象として、画像処理技術を用いた害虫の識別手法の検討を行い、離れた場所から害虫の発生状況を把握することを目的とした画像処理装置搭載型の害虫遠隔計数システムの開発を行った。さらに、圃場での評価試験を行い、コナガとそれ以外の昆虫を判別してコナガの数だけを計数できることを確認した。さらに、携帯電話を用いて遠隔から計数結果を音声メッセージで確認することができた。

キーワード：クリーン農業、フェロモントラップ、画像処理、携帯電話

Abstract

An importance of environmental conservation agriculture increases recently, so a pheromone trap is installed, to count the status of the insect pest. And also optimization of the pesticide spraying interval and quantity must be done. However, the automation has been required, because this work is complicated. In this study, insect pest remote count system was developed for the Diamondback Moth *Plutella xylostella* that was worst insect pest for Cruciferae crops such as cabbages. We developed a discrimination technique of the insect pest using image processing and communication technique by using cellular phone for this system. Then, we conducted field test. As a result, we were able to distinguish the Diamondback Moth from the other insects, and get information from a remote place.

KEY-WORDS : environmental conservation agriculture, pheromone trap, image processing, cellular phone.

1. はじめに

環境問題への関心や低農薬農産物を求める消費者の市場ニーズの高まりなどを受けて、クリーン農業への取り組みを進める農業従事者が増えている。クリーン農業を推進する一

* 北海道立中央農業試験場
** 北海道立道南農業試験場
*** 北海学園大学
**** 早坂理工株式会社

つの手段として、畑における農作物の害虫発生状況を把握し、害虫防除のための農薬散布時期や散布量の適正化を図ることが挙げられる。現在、農作物の害虫発生予察を行うために、害虫調査装置（フェロモントラップ）を圃場に設置している。フェロモントラップ設置例を図1に示す。このフェロモントラップでは、特定の昆虫を誘引する合成フェロモンと粘着板を備え、合成フェロモンに引き寄せられた害虫は、粘着板上に捕獲される。作業者は毎日または数日間隔毎に圃場に出かけて、誘殺した害虫を数えて発生状況などを把握している。しかし、この作業は、非常に煩雑であることから、自動化が求められている。

害虫自動計数装置として合成フェロモンにより誘引された害虫の通過数や総重量などを用いた装置が開発されている。しかし、高コストである上、害虫と他の昆虫を区別できないなどから、茶のような特殊な作物を除き野菜などの圃場では普及するには至っていない。

そこで本研究では、キャベツなどアブラナ科作物の最重要害虫であるコナガ *Plutella xylostella* を対象とし、画像処理技術を用いて害虫を自動識別・計数して、離れた場所から害虫の発生状況を把握することを目的とした害虫遠隔計数システムの開発を行った。



図1 フェロモントラップ設置例

2. 農作物害虫遠隔計数システムの開発

2.1 コナガ画像計数処理手法

キャベツ畑にコナガ用のフェロモントラップを設置した場合、コナガ以外にも蛾や蝇、蚊、蜂、甲虫などが捕獲されることがある。このため、高精度な計数を行うには、粘着板を画像として捉え、誘殺された昆虫からコナガとそれ以外の昆虫に判別することが必要である。

本報では、コナガの画像識別手法として、

- ・形状特徴量による識別手法
- ・濃淡画像による識別手法

について検討を行い、画像計数処理手法の開発を行った。

(1) 形状特徴量による識別手法

粘着板を撮像した画像から昆虫図形を抽出すると、図2に示すような図形が得られる。このように、粘着板に貼り付いたコナガは、羽を閉じた状態や広げた状態など様々な形状の図形が得られる。しかし、その他の昆虫図形と比較すると、明確な差異が認められる。この形状の差異を数値化することでコナガとその他の昆虫を判別できる。本報では、形状の数値化を行うため、以下の形状特徴量を算出した。

<算出した形状特徴量>

領域面積 (図形画素数: F)

領域幅

領域高さ

真円度 = 領域面積 / ($\max^2 \times \pi$)

[\max は中心からすべての等高線ピクセルまでの最大距離]

周囲長 = 等高線の全長

複雑度 = 周囲長² / ($4 \cdot$ 領域面積 π)

凸面度 = F_0/F [F_0 : 原図形面積, F : 凸面面積]

等価楕円長径 R_0

等価楕円短径 R_b

長径短径比 = R_0/R_b

内接円半径 = 最大内接円の半径

形状特徴量の一例として、図3に原画像、表1に図3の画像に対し2値化処理を行い、図形を抽出して、形状特徴量を算出した結果を示す。この結果から、コナガを識別するためには、形状特徴量として領域面積、真円度、複雑度、内接円半径、等価楕円の長径・短径比が有効であることがわかった。

そこで、これらの形状特徴量から効果的にコナガを識別するために、コナガを羽の状態で分類し、さらに、重なった図形を識別する評価式を導出した。

- ・羽を閉じた (細長い形状の) コナガ

$$s_1 \leq \text{領域面積} \leq s_2 \text{ and } c_1 \leq \text{複雑度} \leq c_2 \text{ and 長径短径比} \geq e_1$$

- ・羽を広げた (三角形の) コナガ



図2 抽出した昆虫図形例

(上段: コナガ図形, 下段: コナガ以外の昆虫図形)



図3 形状特徴量処理に用いた原画像

表1 処理対象画像の形状特徴量

虫の種類	領域面積	領域幅	領域高さ	真円度	周閉長	複雑度	凸面度	等価楕円長径	等価楕円短径	長径短径比	内接円半径
コナガ1	197	23	23	0.25	76.28	2.35	0.7	12.94	6.96	1.85	5.18
コナガ2	294	37	22	0.23	111.49	3.36	0.65	17.81	7.44	2.39	6.4
コナガ3	108	8	23	0.26	51.55	1.95	0.89	12.5	2.79	4.47	2.68
コナガ4	115	22	15	0.24	55.94	2.16	0.87	13.04	2.85	4.56	2.75
コナガ5	115	9	25	0.24	55.21	2.1	0.84	12.95	2.39	4.48	2.68
コナガ6	156	20	29	0.17	84.81	3.66	0.52	15.61	6.92	2.25	2.68
ハエ1	80	10	12	0.79	37.79	1.42	0.87	6.03	4.56	1.08	4.43
ハエ2	101	12	15	0.49	44.38	1.55	0.87	8.05	4.51	1.13	4
ハエ3	179	23	13	0.46	58.87	1.54	0.85	11.63	5.23	1.06	4.65

$$s_3 \leq \text{領域面積} \leq s_4 \text{ and } c_3 \leq \text{複雑度} \leq c_4$$

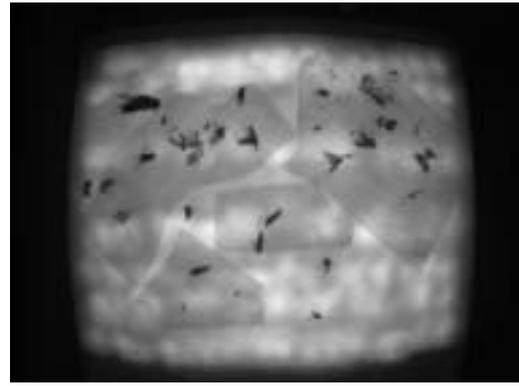
- 昆虫が重なった複合領域は
複雑度 > c_5

ただし、 $s_1 \sim s_4$, $c_1 \sim c_5$, e_1 は光学系などにより異なるため、実測値から求める。

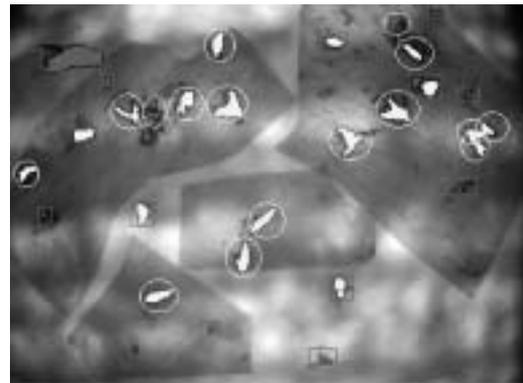
本評価式を用いて画像識別した結果を図4に示す。a)は、識別処理に用いた原画像、b)は識別処理結果である。試験サンプルは、様々な昆虫を捕獲することができなかったため、別々に捕獲した昆虫を張り合わせて作成した。丸で囲った図形がコナガである。この結果から、2値化処理において、図形が明確に抽出できている場合には、良好に識別できることが確認できた。しかし、図形が重なった場合の形状や羽の状態が想定外の形状をしている場合には誤識別する。これらの図形に対しても、高精度に識別するためには、高度なパターンマッチング処理や色情報の利用、時系列画像などを活用した重なりでの分離を行うなど、識別処理の高度化が必要となる。また、粘着板を早めに交換して、害虫が多くなりすぎないようにするなど、システムとして総合的な計測方法の検討も必要と思われる。

(2) 濃淡画像による識別手法

コナガなどの蛾類（鱗翅目昆虫）と、ハエ、甲虫などの昆虫を撮像して画像を比較すると、画像濃淡値が著しく異なることがわかる。図5に示すように、光源に赤外光を用いることで、さらに、その差が大きくなる。これは、蛾類の羽の鱗粉が赤外領域波長の光を反射するためと考えられる。このことか



a) 原画像



b) 処理結果

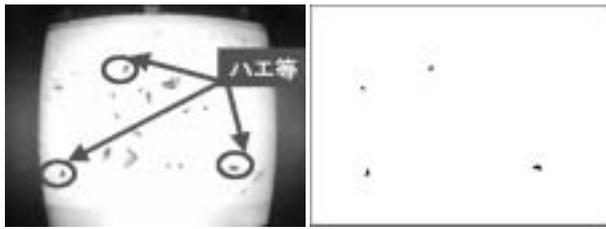
図4 形状特徴量による識別処理結果例



図5 反射光画像（左：可視光源、右：赤外光源）

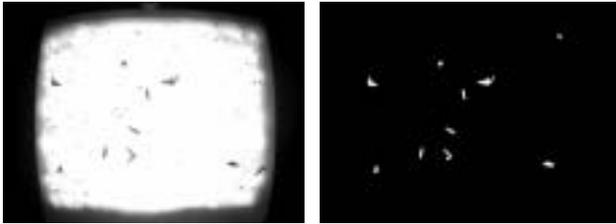
ら、赤外光を照射して濃淡画像を取得し、閾値処理を施すことで蛾類とハエ、甲虫などの昆虫を判別することができる。

図6は、反射光による濃淡差を利用した濃淡画像処理結果の一例である。a)は、濃淡閾値画像を得るための反射照明による濃淡画像（上段）および背景分離画像を得るための透過照明画像（下段）である。それぞれ左画像は原画像、右画像は2値化処理、ノイズ除去処理後の画像である。ノイズ除去処理として、縮退処理および膨張処理を行い、小さな画素の塊を除去した。背景分離画像と濃淡閾値画像では、2値化のための閾値はそれぞれ異なる値を設定し、処理結果の論理を反転している。b)は、背景分離画像と濃淡閾値画像の論理積（AND）処理、ノイズ除去処理結果である。それぞれの画像の論理を反転した2値画像の論理積をとることで背景分離画像から濃淡値の低い画像を除去することができる。ここで抽出された図形が鱗翅目昆虫（コナガ）と識別できる。



反射照明画像

反射照明 2 値画像



透過照明画像

透過照明 2 値画像

a) 反射照明・透過照明画像



b) 識別処理結果 (論理積画像)

図 6 濃淡画像による識別処理

本試験サンプルは害虫の誘殺数が少なく、また、対象外の多様な昆虫が誘殺されていない状態ではあるが、本手法により、鱗翅目昆虫（コナガ）と蠅や甲虫などの昆虫が混在した画像から鱗翅目昆虫（コナガ）を識別可能なことが確認できた。本手法は、非常に簡便であることからシステム構築が容易に行える。しかし、コナガとコナガ以外の蛾類を判別することは難しく、コナガ以外の蛾類が多く誘殺される場合には、後処理の検討が必要である。

(3) コナガ画像識別手法

形状特徴量による識別処理と濃淡画像による識別処理を組み合わせることで、比較的簡便な処理で高精度な識別が実現できると考えられる。

本システムでは、合成フェロモンで特定の昆虫を誘殺することを前提としており、さらに、赤外光による濃淡画像手法で識別することで、コナガ以外の多くの昆虫を識別できると思われる。さらに、最終的な判断処理として形状特徴量を用いることで、効果的で実装が容易な形状特徴量に限定した処

理が可能となる。具体的な処理フローとしては、濃淡画像手法で得られた図形にラベリング処理を行い、それぞれの図形に対して領域面積、複雑度、外接長方形・領域面積比などを求め、有効範囲内にある図形数を計数することにより、正確なコナガ数を求められることが確認できた。

2.2 システムの開発

本試作システムの構成は、画像処理部、害虫捕獲排除装置、情報伝送システム、電源部からなる。

2.2.1 画像処理部

圃場内で害虫を誘殺して計数処理を行うためには、画像処理機能を搭載する必要があるため、組込型画像処理部の開発を行った。組込型の場合、高性能化と同時に小型化、低コスト化が重要となる。このため、画像処理部はイメージセンサボードおよびマイコンボードにより構成した。

イメージセンサボードは、C-MOS イメージセンサデバイス、プログラマブルデバイス (FPGA)、メモリ (画像 2 画面分) から成る。外観図を図 7、仕様を表 2 に示す。

画像処理手法をハードウェア化してプログラマブルデバイスに実装することで、簡便なシステム構成で高機能な画像処理を実現することができた。実装したコナガ画像識別手法のブロック図を図 8 に示す。ここでは、形状特徴量として領域面積、外接長方形を用いた識別処理を行った。各モジュールでは、C-MOS イメージセンサからのデータをパイプラインで処理することにより、リアルタイム処理が実現できた。マイコンボード (CPU : H8S/2623F, 20MHz) は、イメージセンサボードの制御、データ取得の他に、照明装置、粘着シート巻き取り機構および遠隔通信システムなどの制御を行う。図 9 に画像処理部を示す。

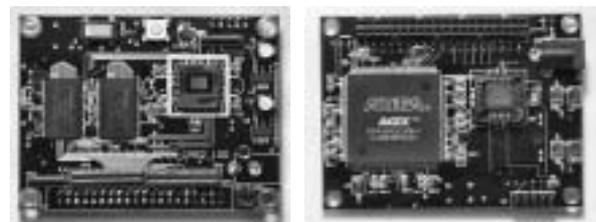


図 7 イメージセンサボード

表 2 イメージセンサボード仕様

FPGA	ACEX1K100QC208-1 (ALTERA) 100Kゲート相当 (PLL, RAM ブロック内蔵)
動作クロック	48MHz (FPGA)
映像デバイス	HDCS-2020 (Agilent Technologies) 640 × 480 × 10bit (RGB カラー)
フレームレート	15 画面 / 秒 (フル画面モード)
搭載メモリ	4MbitSRAM (256k × 16bit) × 2 アクセスタイム 12nsec
基板サイズ	78.7 × 59.7mm (6 層基板)