

# 黄色 LED 光源を利用した物理的害虫防除

## —ヤガ類に対する有効性の検討—

金沢工業大学 <sup>ひら</sup>平 <sup>ま</sup>間 <sup>じゅん</sup>淳 <sup>じ</sup>司  
 金沢学院短期大学 <sup>まつ</sup>松 <sup>い</sup>井 <sup>よし</sup>良 <sup>お</sup>雄

### はじめに

農作物の害虫防除手段の主流は、即効性や簡便性などから化学農薬である。しかし、消費者の安全面からは農薬に替わる効果的な防除方法の確立が望まれている。現在、黄色蛍光灯によるヤガ類の防蛾灯や紫外線ランプ型の電撃殺虫器など、路地栽培や閉鎖系植物工場などで有用な人工光源を利用した物理的な防除装置が開発され、その防除効果も上げている（那波，1999；伊澤ら，2000）。しかし、光源は主として蛍光灯や高压放電灯が使用され、商用電源供給路の確保や消費電力の増加、ランプの寿命による交換や種々のメンテナンスの煩雑などが指摘されている。栽培現場の実績として、黄色灯の光照度が 2 lx 以上では、ヤガ類やカメムシ類に対して行動抑制や交尾阻害が認められ防除効果が実証されている。しかし、光源近傍の光照度が非常に大きい防除区では、逆に被害が増える傾向があり、その原因は特定されていない（藪，1999）。我々は従前から、通常の黄色灯に比べて発光波長範囲が狭い LED 光源に着目し、害虫の光受容特性である網膜電位（Electro-Retina Gram：以後 ERG 信号と呼ぶ）の応答特性を踏まえた超高輝度型 LED を用いた害虫防除装置の開発を行っている。LED は低消費電力で直流電源使用のため、実用化の段階では太陽電池と蓄電池とを現場に設置することで、商用電源ケーブルの敷設が不要である。さらに、通常のランプに比べ耐久性に優れている。近年、特に農作物に被害を多くもたらす難防除害虫種であるヤガ類のハスモンヨトウとオオタバコガを対象とし、ERG 信号の光波長依存性および光の点滅光に対する追従性（周波数依存性）を計測し、そのデータに基づき、LED 光源装置を試作して屋外での害虫の行動観察を実施してきた（平間ら，2002）。

今回は、これまでの結果を踏まえて、ハスモンヨトウとオオタバコガを対象とし、光強度を増加した場合の ERG 信号の波長依存特性、および周期的に発光を繰り返す

返すパルス光に対する ERG 信号の自発性のゆらぎ特性を計測した。この目的は、光強度の増加に伴う複眼の色覚特性の変化による行動抑制へ及ぼす影響や単調な光照射に比べて、点滅光を併用することによる刺激力の「なれ防止」効果への可能性について基礎資料を得ることである。そして、試作型 LED 光源装置を圃場に設置し、害虫の走光性の検証および定植したキャベツへのヤガ類の寄生虫数から類推できる交尾阻害効果を調べる加害調査実験を行い、害虫に対する防除装置としての有効性について検討（平間ら，2007）した。

## I 実験方法

### 1 ERG 信号計測システム

図-1 は計測システムを示す。計測用シールドボックス内において、実験個体の害虫の頸部に  $\Phi 100 \mu\text{m}$  の銀針電極（正極）を挿入し、 $\Phi 10 \mu\text{m}$  のタングステン線針電極（負極）を複眼の中央部に挿入した。電極間の極微弱な ERG 信号は、自作の生体電位アンプで 1,000 倍に増幅して PC で計測した。

### 2 波長依存特性

光源には白色光源のキセノンランプを用いた。この光には、可視光成分の他に紫外線や赤外線成分を含むの

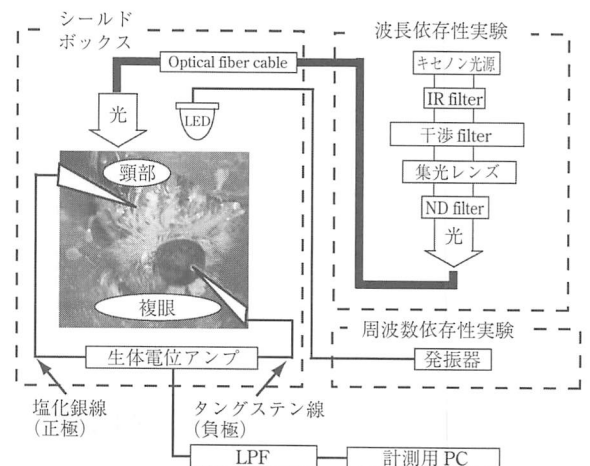


図-1 実験システム

Physical Control Device for Insect Pest Using Yellow LED Light Source. By Junji HIRAMA and Yoshio MATSUI

(キーワード：黄色 LED，網膜電位 (ERG)，害虫防除，ヤガ類)

で、IR フィルタにより除去した。光照射波長を特定する干渉フィルタは 400 ~ 700 nm までの 15 種類 (step: 約 50 nm) を用いた。干渉フィルタを通過した特定波長光をレンズで集光し、光ファイバを介して実験個体の複眼表面において 0.5 W/m<sup>2</sup> または 5 W/m<sup>2</sup> の一定強度で照射した。最初の 20 分間暗状態に保ち実験個体を暗適応させた後、1 種類の照射波長に対して 1 秒間のワンショットパルス光を照射し、その後 5 分間のインターバルにて 15 種類の波長をそれぞれ照射し、ERG 信号を計測した。

図-2 は、複眼にパルス光照射時における ERG 信号の代表的な結果を示す。光照射に連動して ERG 信号が反応している。図示のように、ERG 信号の過分極 (光照射直後の電位) と脱分極 (光照射前の静止電位) との差を V<sub>pp</sub> と定義した。なお、実験個体はハスモンヨトウ (♂4 頭, ♀5 頭), オオタバコガ (♂4 頭, ♀5 頭) とした。

### 3 ERG 信号の自発性ゆらぎのパワースペクトル特性

図-1 に示した実験システムにおいて、光刺激光源には青色 LED (470 nm) を用いて、最初 20 分間は暗状態に保ち実験個体を暗適応させた後、0.5 W/m<sup>2</sup> 一定の強度下で 1 Hz のパルス光を約 30 分間連続的に照射し、ERG 信号を連続計測した。図-3 は周期的なパルス光照射時の代表的な ERG 信号を示す。最大振幅値 (過分極側) や最小振幅値 (脱分極側) に自発性のゆらぎが観測できるので、ERG 信号のゆらぎのパワースペクトルを以下の方法で計測した。図-3 下図は図-3 上図の ERG 信号の過分極側を 128 個ピーク抽出したゆらぎの時系列を示す。ゆらぎのスペクトル解析は、時系列に対して前処理として時系列中のトレンド成分を 2 次近似で除去し、その後ハミング窓処理をした後、高速フーリエ変換 (FFT) した。なお、実験個体はハスモンヨトウ (♂4

頭, ♀4 頭), オオタバコガ (♂4 頭, ♀4 頭) とした。

### 4 キャベツの露地栽培における加害調査実験

石川県農業総合研究センター内の圃場において、図-4 に示すように、1.5 m × 1 m のサイズの大型黄色 LED 光源パネルを 3 基 (1 基当たり、LED の総個数は 3,900 個、消費電力は約 180 W) 設置し、夜間のみ照明してヤガ類 (主にハスモンヨトウ, オオタバコガ, ウワバ類な

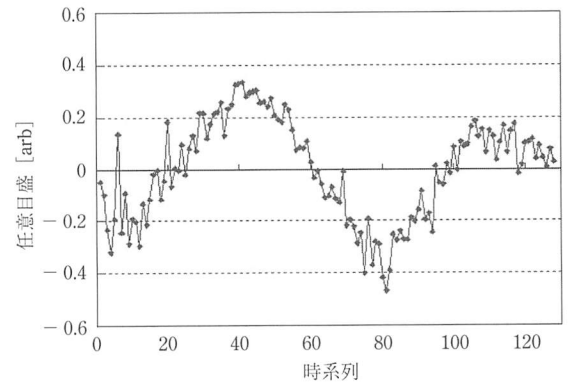
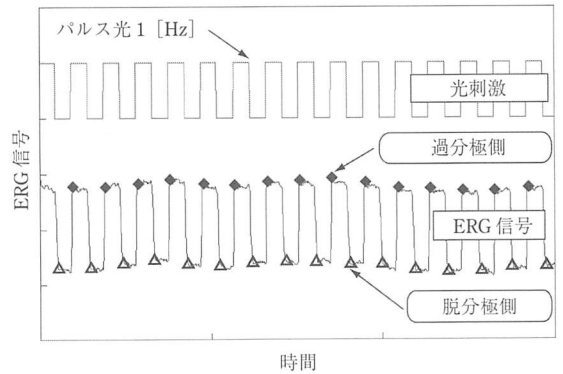


図-3 周期的なパルス光照射時の ERG 信号  
過分極と脱分極側にゆらぎが観測 (上図), 過分極側を 128 個ピーク抽出したゆらぎの時系列 (下図)。

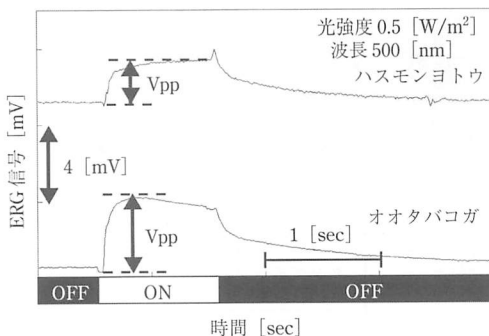


図-2 代表的な ERG 信号波形

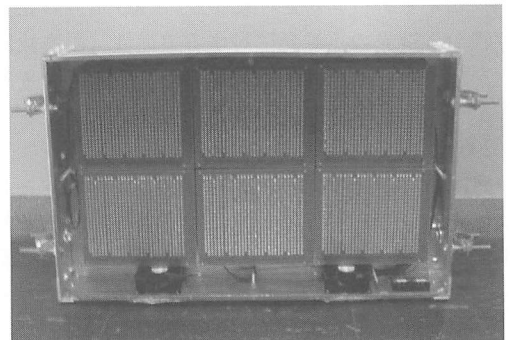


図-4 加害調査実験用黄色 LED 光源パネル

ど)のキャベツ(品種:秋徳)への加害状況の調査を行った。

発光パターンは、連続光、パルス光、ゆらぎ(1/fゆらぎ)光の3種類とし、各試験区(1区:13m×15m)に光源パネルを設置した。なお、パルス光の点滅周波数やゆらぎ光の周波数の最頻値は約7Hzに設定した。その理由は、過去にハスモンヨトウ、オオタバコガの光の点滅に対する周波数応答特性を計測した結果、最大周波数応答(視認可能な点滅光の最大周波数)は、約40~60Hzであった(平間ら, 2002)ことによる。そこで、これらの周波数の約1/10である7Hz(光源装置の都合で6Hzの設定は困難)であれば点滅光が十分視認可能であると考へた。調査方法は、各光源パネル前方に定植したキャベツをそれぞれの試験区(3区)、無点灯を対照区として、ヤガ類のキャベツ(25株/区)への寄生虫(幼虫)数を調べた。なお、試験期間は2005年8月(定植)から10月(収穫)までの約3か月間とし、毎日午前10時から正午に捕獲した頭数を累積した。

## II 実験結果と考察

### 1 ERG 信号の波長依存性

図-5は異なる光強度でのハスモンヨトウとオオタバコガの波長依存特性を示し、図-5左図は0.5W/m<sup>2</sup>、図-5右図は5W/m<sup>2</sup>である。両図より、400~700nmの波

長域ではV<sub>pp</sub>の細部の特性にばらつきが見られるが、ヤガの種類や光強度によらず類似性を示す。450~600nm(青色~黄色)の波長域では光受容体の視感度が比較的高い傾向があり、400nm近傍や600~700nm(黄~赤)の波長域ではV<sub>pp</sub>が低下する傾向がある。一般に多くの昆虫では、紫外線域(約350nm)から青・緑色域(500nm)に対し誘引行動を示すが、黄色域(約590nm)では誘引性が低く行動抑制を与えることから、最近では黄色灯の防除効果が確認されている。

ところで、図-5左右の図に示すように光強度が10倍(光放射束密度0.5および5.0W/m<sup>2</sup>)の場合のERG信号を比較すると、ハスモンヨトウは光強度が増加した場合であっても、ほぼ同一特性を示す。それに対しオオタバコガでは、光強度の増加に伴い全体的にV<sub>pp</sub>の値は増加するばかりでなく、細部のV<sub>pp</sub>のピーク値にも着目すると、光強度の増大に伴い約400nmから500nmの波長域では、それ以外の波長域に比べてややV<sub>pp</sub>が上昇し、光受容体の波長(色)識別能力の低下傾向が見られる。このことから、黄色灯設置近傍の光強度が大きい光源近傍の農作物では、加害率が高いとの報告に関して、例えばオオタバコガのようにERG信号の波長依存性の結果から、光強度増加に伴い複眼の受容体の波長選択性が鈍感になり、色の識別能力が低下し、通常の「走光性」が作用し行動の活性化を招くことが推定できる。

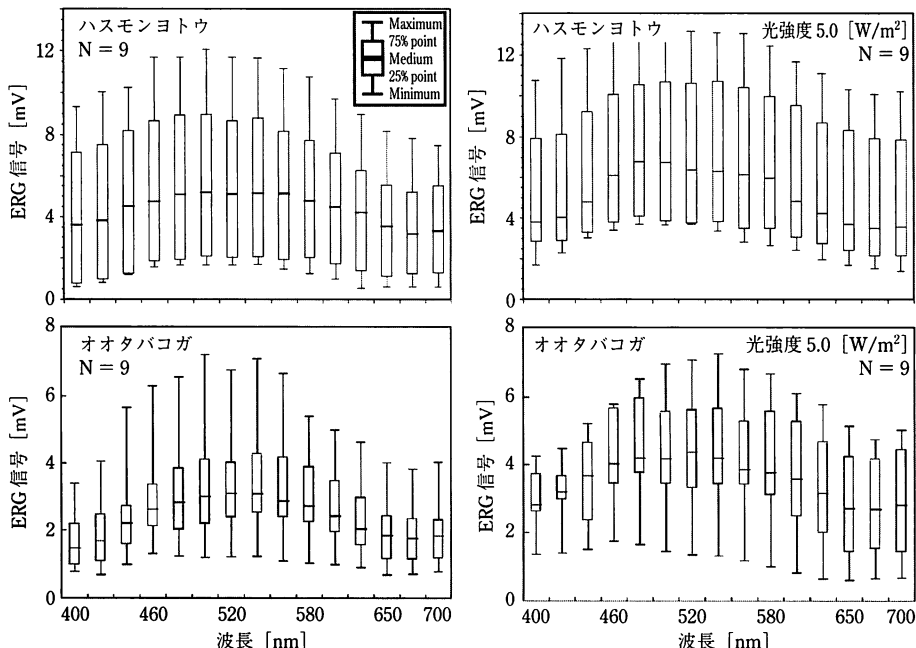


図-5 ERG 信号の波長依存性 (左: 光強度 0.5 W/m<sup>2</sup>, 右: 5 W/m<sup>2</sup>)

## 2 ERG 信号のゆらぎのパワースペクトル

図-6はERG信号の代表的なゆらぎの特性を示す。図-6下図に示したゆらぎのパワースペクトルにおいて、縦軸はパワー [dB] を示し、横軸は基準化周波数  $f_n$  [無次元] を示す。例えば、 $f_n=1$  とは図-6上図で示した128個の分析対象の時系列を1周期とする概周期的な変動成分、 $f_n=10$  とは128個の時系列内で10周期に相当する変動成分に相当する。両個体に共通して、ゆらぎのパワースペクトルの傾斜特性は、 $1/f$  (あるいは  $1/f^2$ ) に近似している。なお、これらの特徴は8例中5例ではほぼ同様な結果を得たので、ヤガ類に規則的な点滅光の刺激を与えても、ERG信号には、自発性のゆらぎ成分を含んでいることがわかる。ところで、自然界で観測できる様々な現象や生き物などの生体信号には、 $1/f$  ゆらぎの特性が観測 (武者, 1980) できる。例えば、太陽光の輝度、気温変化や、生物の神経系の情報伝達、人間の脳波や心拍などのゆらぎが挙げられる。このような背景を踏まえるならば、ヤガ類の生息環境下においても「ゆらぎ現象」が行動形態に何らかの影響を及ぼしている可能性が考えられる。そこで、 $1/f$  ゆらぎを付加した光刺激を与えることで、害虫自身の生体リズムと光刺激

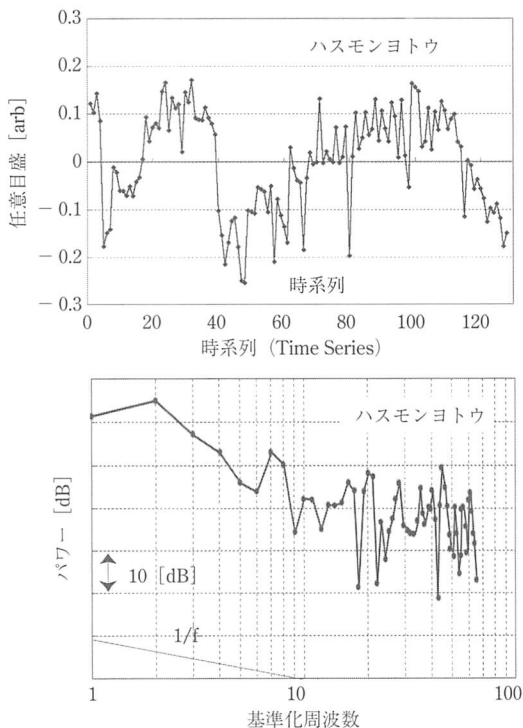


図-6 ERG 信号のゆらぎ  
ゆらぎの時系列 (上図)、ゆらぎのパワースペクトル (下図)。

との間で、いわゆる「引込現象」が発生し、より強い光刺激を与え、さらに光への「なれ」防止などが期待できると考えている。

## 3 キャベツの露地栽培における加害調査

図-7は石川県農業総合研究センターの圃場で夜間実施した実験風景を示す。図-8はキャベツにヤガ類の寄生した幼虫の頭数を発光パターン別で示す。図-9は加害の比較を示す。いずれの点灯区でも、寄生虫数が無防除区に比べて1/7から1/8程度に減少している。夜間時における黄色LED光照射がヤガ類の行動を抑制し、その結果として産卵抑制を起こし寄生虫数の減少に至ったと考えられる。ヤガ類は、一般に昼間は行動抑制の習

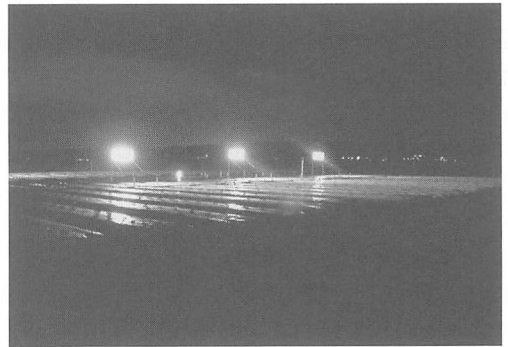


図-7 圃場内におけるキャベツ栽培現場での加害調査実験風景

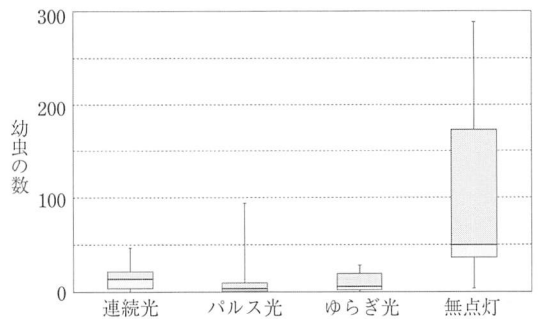


図-8 加害調査実験結果

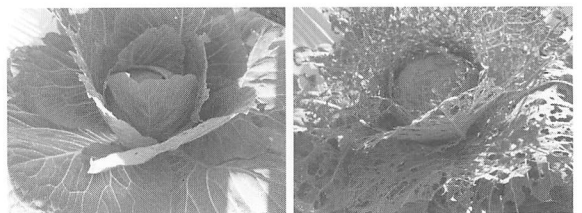


図-9 加害の様子 (左: 黄色LED光源使用, 右: 無防除)

性があり、今回の黄色 LED 光は、夜間であっても昼間と勘違いを引き起こさせ、行動抑制を与えたと推定できる。一方、発光パターン別に比較すると、連続光と点滅光（パルス光、ゆらぎ光）では寄生虫数に差が確認できなかった。今回設定した点滅光の最頻値 7 Hz の条件が不適切であり、「光のなれ防止」への寄与が十分検証できなかったとも推定できる。今後は、最頻値の検討を予定している。しかし、連続光に比べ点滅光ではほぼ同程度の防除効果であり、点滅光は連続光と比較すると発光時間は約 1/2 なので消費電力が約 1/2 となり、防除効果や省エネルギーの観点からは、今回のように 7 Hz の点滅光であっても有効性は期待できるであろう。また、今回、大型光源パネル近傍の光照度が 2 lx を大幅に上回っていたが、幼虫の寄生虫数は他と比べほとんど同程度であった。これらの結果は、従来の蛍光灯や放電灯などの黄色灯に比べて、今回使用した LED は単一の波長の光がもたらす効果かもしれないので、今後更に行動観察を行い検証する必要がある。

### おわりに

本研究では、難防除害虫種（ハスモンヨトウやオオタ

バコガなどのヤガ類）に対して、化学農薬に替わる物理的な害虫防除に関して、超高輝度型黄色 LED を用いた物理的な新しいタイプの害虫防除装置の開発を目指している。

本研究のアプローチは、まず、対象害虫に対する各種光刺激に対する ERG 信号の波長依存特性および自発性ゆらぎのパワースペクトル計測を行った。次に、ERG 信号の光応答特性を踏まえた LED 光源パネルを試作して、圃場にてキャベツ栽培現場で加害調査実験を試みることで、光源パネルの有効性の検討をした。

最後に、本研究を進めるに当たり、貴重なアドバイスを行動観察実験にご協力をいただいた石川県農業総合研究センター資源加工研究部研究主幹笠島哲氏に厚くお礼申し上げる。

### 引用文献

- 1) 伊澤宏毅ら (2000): 鳥取県園芸試験場研究報告 4: 1 ~ 11.
- 2) 那波邦彦 (1999): 黄色灯神戸 '99 ミニワークショップ講要: 3.
- 3) 平間淳司ら (2002): 農機学会 64: 76 ~ 82.
- 4) ——— (2007): 植物環境工学 19: 34 ~ 40.
- 5) 武者利光 (1980): ゆらぎの世界, 講談社, 東京, 234 pp.
- 6) 藪 哲男 (1999): 植物防疫 53: 209 ~ 211.

## 登録が失効した農薬 (19.7.1 ~ 7.31)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

### 「殺虫剤」

- イソキサチオン・エトフェンプロックス粉剤  
16766: カルホストレボン粉剤 DL (三共アグロ) 07/7/18
- DDVP 乳剤  
11760: 日産 DDVP 乳剤 50 (日産化学工業) 07/07/23
- ダイアジノン粒剤  
11776: 日産ダイアジノン粒剤 5 (日産化学工業) 07/07/23
- アミトラス乳剤  
16442: トモノダニカット乳剤 20 (日本農業) 07/07/28
- ベンスタップ水和剤  
16449: ホクコールーバン水和剤 (北興化学工業) 07/07/28

### ● ダイアジノン・プロベナゾール粒剤

- 15547: カヤクダイアジノンオリゼメート粒剤 (日本化薬) 07/07/21

### 「除草剤」

- ピラゾレート・モリネート粒剤  
16438: ヤシマエストラム粒剤 (協友アグリ) 07/07/10
- アジムスルフロシハロホップブチル・テニルクロール・ベンスルフロシメチル粒剤  
19496: ホクコーパピカ A1 キロ粒剤 36 (北興化学工業) 07/7/18

### 「殺虫・殺菌剤」

- イソキサチオン・シメコナゾール粉剤  
20988: サンリットカルホス粉剤 (三共アグロ) 07/7/18

### 「植物成長調整剤」

- インドール酪酸粉剤  
11789: オキシベロン粉剤 1.0 (バイエルクロップサイエンス) 07/07/23