

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03946

研究課題名(和文) 青色光の昆虫に対する傷害メカニズムの細胞・分子レベル解析

研究課題名(英文) Injury mechanism of blue light against insect cells

研究代表者

堀 雅敏 (Hori, Masatoshi)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：70372307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,800,000円

研究成果の概要(和文)：先行研究で、青色光(400-500 nm)の殺虫効果を発見したが、メカニズムの詳細は多くが未解明であった。そこで本研究では、細胞レベルでメカニズムを解析した。ショウジョウバエ胚由来S2細胞に様々な波長の光を照射したところ、375 nmのUVAと405-470 nmの青色光は細胞増殖を抑制することが明らかになった。また、青色光でも短波長と長波長側では作用機構が異なることを発見した。作用の違いはエネルギーの違いによるものではなく、短波長側はアポトーシスにより速やかに細胞死を生じさせるのに対して、長波長側ではアポトーシスは起きず、G2/M期で異常細胞が生じ、細胞周期が停止することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

青色光の殺虫効果はノンケミカルでクリーンな害虫駆除技術として、様々な分野での利用が期待されている。一方、殺虫メカニズムは未知な部分が多く、安定的な殺虫技術としての確立・普及には、その解明が喫緊の課題である。本研究では青色光の殺虫効果を細胞レベルで調査し、青色光は細胞に損傷、また、細胞増殖過程に障害を与えることで昆虫を致死させることを示した。さらに、青色光領域でも、短波長側と長波長側では異なる作用機構で細胞に障害を与えることを明らかにした。これらの成果は青色光殺虫技術の発展という社会的意義をもつだけでなく、光の生物への毒性に関して新たな知見を与えるものとして、学術的にも重要な意義をもっている。

研究成果の概要(英文)：We have previously shown that blue light (400-500 nm) has lethal effect on various insects. However, the mechanism responsible for the lethal effects has remained unclear. In the current study, we revealed that blue light exerted injurious effects on *Drosophila Schneider 2* (S2) cells. Irradiation with blue light (405-470 nm) as well as UVA (375 nm) suppressed the growth of S2 cells, whereas irradiation with blue-green, green, yellow, and red light (490-660 nm) did not do so. Furthermore, we found that the injurious effects on S2 cells differed between blue light of short and long wavelengths. That is, the shorter wavelength of blue light strongly induced apoptosis in the cells whereas the longer one stopped cell division cycle during mitotic phase without induction of apoptosis. The results of the current study demonstrate that the lethal effects are produced by cell damages, and the mechanisms of the cell damages may be different between shorter and longer wavelengths of blue lights.

研究分野：応用昆虫学分野

キーワード：青色光 殺虫 昆虫細胞 傷害 細胞増殖 細胞周期 活性酸素 細胞死

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光は昔から害虫防除に利用されているが、昆虫への光毒性の研究は少なく、紫外線で報告されているのみであった。生体への光毒性は、短～中波長紫外線(UVC、UVB)でよく知られているが、長波長紫外線(UVA)の毒性が報告されるようになったのは最近である。また、光は波長が短いほど毒性が大きいことが知られている。UVCやUVBはDNAを直接損傷するため非常に高い毒性をもつが、UVAや可視光はDNAへの直接的な傷害作用はなく、毒性は非常に小さいため、昆虫を含む複雑な動物への致死効果は可視光にはないと考えられていた。そのような中、研究代表者の青色光の殺虫効果の発見は、可視光が複雑な動物に致死効果をもつことを示した世界初の発見であったため、大きな注目を集めた。農業や食品産業における害虫防除に青色光の殺虫効果を用いれば、ノンケミカルで安心・安全な食品を提供できる。また、衛生害虫防除に用いれば、ヒトや家畜の感染症抑制も期待できる。しかし、青色光の殺虫効果は発見から日が浅く、技術基盤となる殺虫メカニズムの詳細は未解明で、細胞レベルでの傷害作用は分かっていなかった。

### 2. 研究の目的

青色光の殺虫効果のメカニズムを細胞レベルで解析するとともに、細胞死誘導の分子メカニズムを明らかにすることで、DNA・細胞の傷害から個体の致死に至る一連の過程を解明する。これにより、害虫防除への応用における基盤を確立し、より効果的・効率的な青色光殺虫の利用技術の開発につなげる。また、可視光の生物に対する作用について新たな学術的知見を得る。

### 3. 研究の方法

#### (1) 供試細胞

供試細胞にはキイロシヨウジヨウバエ *Drosophila melanogaster* 後期胚由来の培養細胞 Schneider 2 (S2) 細胞を用いた。Schneider's *Drosophila* medium に 10% ウシ胎児血清 (FBS)、10 units/mL ペニシリン、50 µg/mL ストレプトマイシンを終濃度となるように添加し、培地に用いた。S2 細胞は約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液として、25 または 75 cm<sup>2</sup> の組織培養用フラスコで  $27 \pm 1$  °C のバイオマルチンキュベータ (LH-30-8TC) 内で全暗条件で培養し、3～4 日ごとに継代した。

#### (2) 供試照明

光源には 375～660 nm の各種波長の LED 照明 (ISL-150×150 シリーズ) を用い、その制御電源には ISC-201-2 を用いた。LED の照射強度は高速分光ユニット (HSU-100S) で測定・調節した。

#### (3) 青色光の昆虫細胞増殖抑制効果

各波長の光の細胞増殖抑制効果：約  $3.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 6 ウェルプレートの各ウェルに 1 ml 入れて密閉した。これをバイオマルチンキュベータ内 ( $27 \pm 1$  °C) で 24 時間全暗下で培養してウェル底面に細胞を接着させた後、各波長の LED 光を上から照射した。照射開始 72 時間後、底面に接着した細胞をピペティングではがして 15 mL 遠濾管に移した。これを冷却遠心機 (KUBOTA 6200) で 4 °C、1000 rpm で 7 分間遠心して上清除去後、新規培地を 1 mL 加えて再懸濁した。この懸濁液 5 µL に 0.4 w/v% トリパンブルー染色液 195 µL を加えて細胞染色し、血球計算盤で  $1 \times 1 \times 0.1$  mm 内の生細胞と死細胞を数え、細胞密度を求めた。照射波長は 375 (UVA)、405、420、435、450、470、490、500、660 nm、照射強度は  $2.5 \times 10^{18}$ 、 $5.0 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> とした。各波長で細胞増殖率の相対値 (4 日間全暗培養での増殖率を 1) を算出し、増殖抑制効果を調べた。1 ウェル 1 反復とし、6 反復行った。

照射時期が細胞増殖抑制効果に与える影響：上記で、照射開始までの全暗培養時間を 24 または 48 時間、青色光照射時間を 24 時間とし、細胞数の推移を調べた。S2 細胞は約  $3.0 \times 10^6$  cells/mL を 55 mm ディッシュで培養し、培養 4 日後に  $2.0 \times 10^6$  cells/mL で新規培地に再播種し、さらに 4 日間培養した。波長は 405、470、660 nm、強度は  $10.0 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> とした。

青色光が細胞増殖の推移に与える影響：約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 6 ウェルプレートの各ウェルに 1 ml 入れ、と同様に 24 時間全暗下で培養後、青色光を照射した。照射開始 24、48 時間後、と同様に細胞密度を計測した。照射波長は 405、470 nm、強度は  $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> とし、対照区は全暗として、3 反復行った (1 反復/ウェル)。

#### (4) 青色光照射による昆虫細胞でのアポトーシス誘導

蛍光染色によるアポトーシス検出：約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 50 mm のガラスボトムディッシュに 1 mL 入れて密閉し、(3)と同様に青色光を 24 または 48 時間照射した。波長は 405、420、470 nm、強度は  $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> とし、対照区は全暗とした。照射後、培地を除去し、リン酸緩衝生理食塩水 (1X PBS、pH 7.4) 1 mL でリンス後、PBS を除去した。冷 4% パラホルムアルデヒド-リン酸緩衝液を 1 mL 加えて 15 分間静置後、リンスした。0.5%

Triton X-100 を 1 mL 加え、10 分間静置後、リンスした。TdT 反応液を 100  $\mu$ L 加え、 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 、暗条件のバイオマルチンキュベータ内で 60 分間反応させてニックを染色した後、リンスした。1/5000 DAPI を 1 mL 加え、遮光しながら 5 分間静置し、リンスした。試料は蛍光顕微鏡 (Nikon ECLIPSE Ti2) 下で観察した。反復は各試験区で 3 回行った。

フローサイトメトリーによるアポトーシス検出：約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 6 ウェルプレートの各ウェルに 1 ml 入れ、(3)と同様に青色光を 24 または 48 時間照射した。波長は 405、420、470 nm、強度は  $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  とし、対照区は全暗とした。照射後、細胞を底面から剥がして 15 mL 遠沈管に移した。細胞数が約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL となるように、この懸濁液を 1.5 mL チューブに入れ、PBS を加えて 1 mL とした。これを冷却遠心機で  $4^\circ\text{C}$ 、 $200 \times g$  で 5 分間遠心分離した後、上清を除去した。これに 0.2% BSA-PBS (ウシ血清由来アルブミン (BSA) を PBS に溶解) を 500  $\mu$ L 加え、遠心分離と上清の除去を 2 回行った。冷 4% パラホルムアルデヒド-リン酸緩衝液を 1 mL 加え、アイスボックス内に 30 分間静置した。遠心分離で上清を除去し、0.2% BSA-PBS で 2 回洗浄後、0.2% BSA-PBS を 300  $\mu$ L、冷 80% エタノールを 700  $\mu$ L 加え、アイスボックス内で 30 分間静置して細胞を固定した。固定後、遠心分離で上清を除去し、0.2% BSA-PBS で 2 回洗浄後、TdT 溶液 30  $\mu$ L を加え、 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 、暗条件のバイオマルチンキュベータ内で 60 分間反応させてニックを染色した。反応後、遠心分離で上清を除去し、0.2% BSA-PBS で 2 回洗浄後、500  $\mu$ L の 0.2% BSA-PBS に懸濁し、フローサイトメーター (BD Accuri™ C6) を用い、流量 14  $\mu$ L/min で個々の細胞 (全  $1 \times 10^4$  cells) の蛍光量を解析した。

#### (5) 青色光照射による昆虫細胞の DNA への影響

DAPI 染色による DNA の蛍光観察：6 ウェルプレートのウェルにカバーガラス 1 枚を入れ、約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 1 ml 入れ、(3)と同様に青色光を 24 または 48 時間照射した。波長は 405、470 nm、強度は前者では  $2.5 \times 10^{18}$ 、 $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、後者では  $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$ 、 $15.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  とし、全暗区を対照とした。照射後、(4)と同様に DAPI で染色した。蛍光染色用封入剤 (VECTASHIELD®) をスライドガラス上に 5  $\mu$ L 滴下し、作成した試料をカバーガラスで封入し、蛍光顕微鏡 (Olympus IX83) で観察した。

フローサイトメトリーによる細胞周期解析：約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 6 ウェルプレートの各ウェルに 1 ml 入れ、(3)と同様に青色光を 24 時間照射した。波長は 405 と 470 nm、強度は前者では  $2.5 \times 10^{18}$ 、 $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、後者では  $2.5 \times 10^{18}$ 、 $5.0 \times 10^{18}$ 、 $10.0 \times 10^{18}$ 、 $15.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  とし、対照は全暗区とした。0.2% BSA-PBS を加える操作までは(4)と同様で、以降は 0.2% BSA-PBS の代わりに PBS を 500  $\mu$ L 加えて遠心分離と上清の除去をし、これに 300  $\mu$ L の PBS と 700  $\mu$ L の冷 80% エタノールを加え、アイスボックス内で 30 分間静置して細胞を固定した。30 分後、遠心分離で上清を除去し、PBS で 2 回洗浄後、200  $\mu$ L の PBS と 2  $\mu$ L の RNase を加え、 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 、暗条件のバイオマルチンキュベータ内で 30 分間反応させた。反応後、遠心分離で上清を除去し、PBS で 1 回洗浄した。これに 900  $\mu$ L の PBS と 100  $\mu$ L の 1 mg/mL ヨウ化プロピジウム溶液を加え、アイスボックス内で 30 分間暗条件に置き、DNA を染色した。30 分後、遠心分離で上清を除去し、PBS で 2 回洗浄後、500  $\mu$ L の PBS に懸濁した。フローサイトメーターを用いて流量 14  $\mu$ L/min で個々の細胞 (全  $1 \times 10^4$  cells) の蛍光量を解析し、得られたヒストグラムから細胞周期における G0/G1 期、S 期、G2/M 期の割合を求めた。

#### (6) 青色光照射による昆虫細胞での活性酸素 (ROS) の発生

約  $2.0 \times 10^6$  cells/mL の細胞懸濁液を 6 ウェルプレートの各ウェルに 1 ml 入れ、(3)と同様に青色光を 6、12、24 時間照射した。波長は 405、470 nm、強度は  $5.0 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  とした。照射後、各ウェルの細胞液を 1.5 mL マイクロチューブへ移した。細胞が  $2.0 \times 10^5$  cells/mL となるよう 0.6 mL マイクロチューブへ移し、遠心分離 ( $400 \times g$ 、 $4^\circ\text{C}$ 、5 分) で上清を除去後、Cell-Based Assay Buffer 150  $\mu$ L を入れ、遠心分離で上清を除去した。130  $\mu$ L の ROS Staining Buffer を入れ、 $37^\circ\text{C}$ 、全暗で 90 分静置後、遠心分離で上清を除去した。100  $\mu$ L の Cell-Based Assay Buffer を入れ、フローサイトメーターで蛍光量を測定 (488 nm レーザー-FL2-A, 20000 events) した。

## 4. 研究成果

### (1) 青色光の昆虫細胞増殖抑制効果

375 nm の UVA および 405~470 nm の青色光は昆虫細胞の増殖を抑えることが明らかになった (図 1)。また、上記波長の光の照射で死細胞割合が増えた。照射時期を変えて効果を比較したところ、培養開始 1 日後からの 24 時間照射では、405、470 nm で、照射開始後すぐに細胞増殖が停止した。4 日後に再播種すると 470 nm では再増殖したが、405 nm では再増殖しなかった (図 2)。培養開始 2 日後からの 24 時間照射では、405 nm では照射開始後すぐに増殖が停止したが、470 nm では抑制はされるが、緩やかに増殖した。再播種後は 470 nm では全暗と同様に増殖したが、405 nm では増殖の再開は 6 日目以降であった。660 nm は照射時期に関わらず増殖抑制効果はなかった。次に、青色光が細胞増殖の推移に与える影響を調査した結果、両波長とも照射により細胞密度は低く推移した (図 3)。405 nm は細胞致死効果も高く、 $10 \times 10^{18}$  photons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  では、72 時間後にほぼ全ての細胞が致死した。470 nm でも致死効果はみられたが、その効果は弱かつ

た。以上から、青色光は昆虫細胞の増殖を抑制するが、短波長青色光は強い細胞致死効果をもつ  
 のに対して、長波長青色光は細胞増殖を停止させるが致死効果は弱いことが明らかになった。

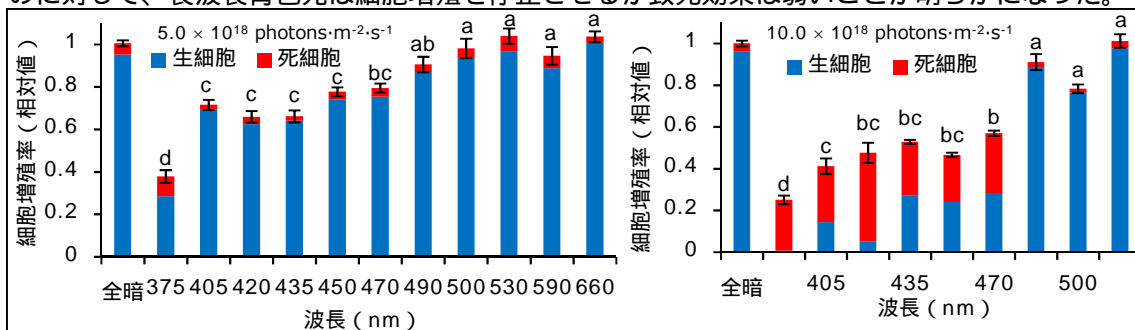


図1 細胞増殖抑制効果の波長間比較  
 各光強度で、同じ英小文字を付してある増殖率に有意差なし (p > 0.05, 対数変換後に Tukey's test)

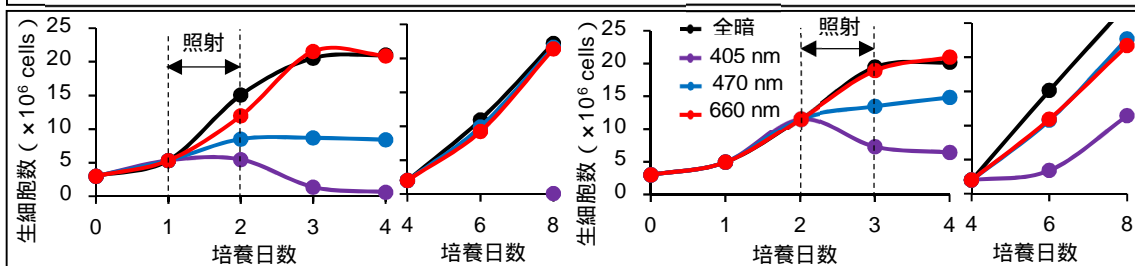


図2 照射時期の違いが細胞増殖抑制効果に与える影響

(2) 青色光照射による昆虫細胞でのアポトーシス誘導

DAPIを用いてDNAを青色に、dUTPを用いてニック(DNA損傷)を緑色に染色して蛍光顕微鏡で観察したところ、 $5 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>での24時間照射では、いずれの波長でもアポトーシス誘導を示すニックは観察されなかったが、405および420 nmでは $10 \times 10^{18}$  photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>での照射において、24時間照射でもニックが観察された(図4写真)。その蛍光は24時間照射では核の形状を示していたが、48時間照射ではリング状になった。一方、470 nmでは48時間照射でもニックは観察されなかった。フローサイトメトリーによる解析でも、405および420 nmではアポトーシス誘導がみられたが、470 nmではみられなかった(図4ヒストグラム)。以上から、昆虫細胞に短波長青色光を照射するとアポトーシスが誘導されるが、長波長青色光を照射してもアポトーシスは誘導されないことが明らかになった。

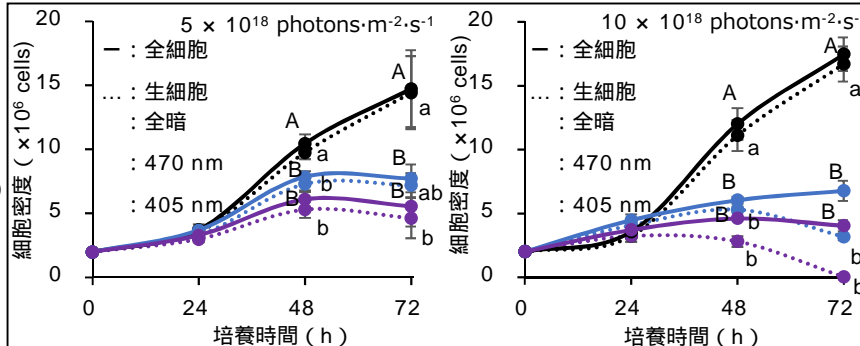


図3 照射期間と照射強度が細胞増殖抑制効果に与える

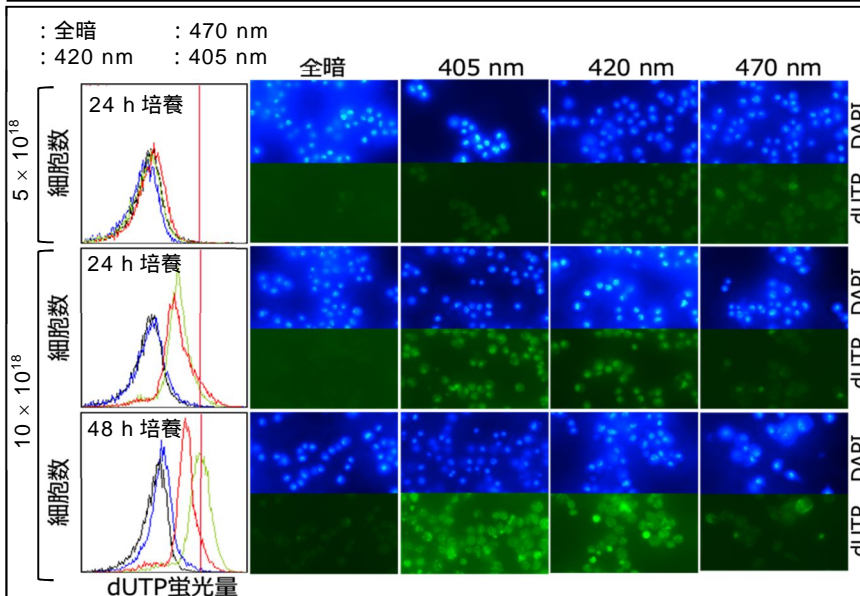
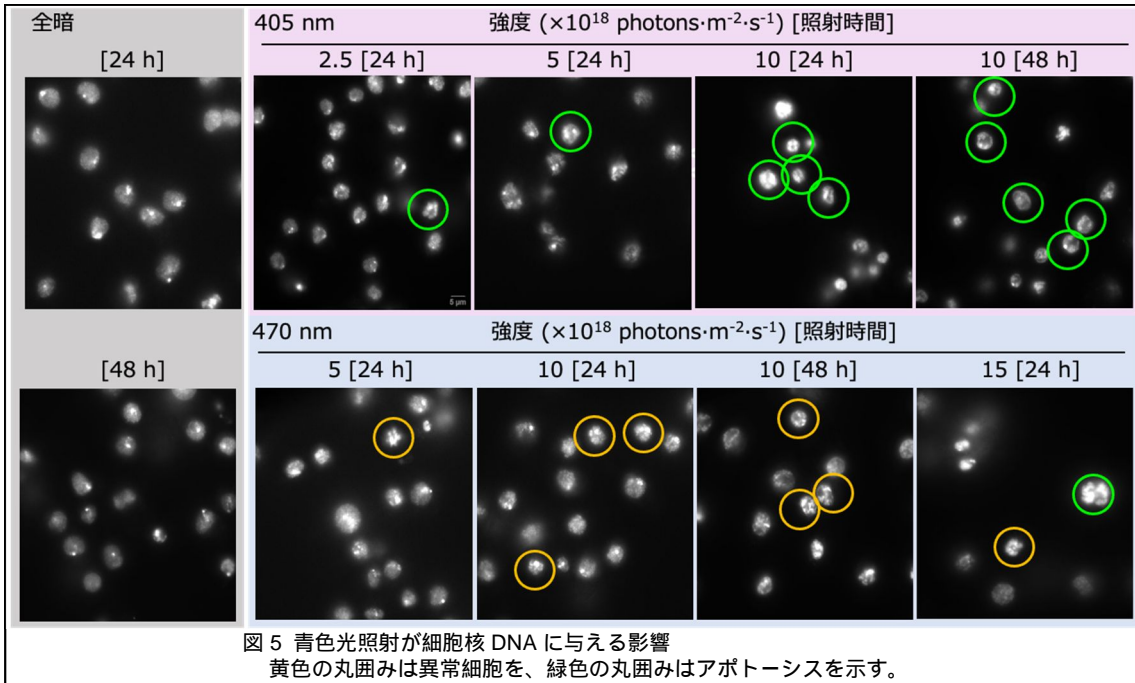


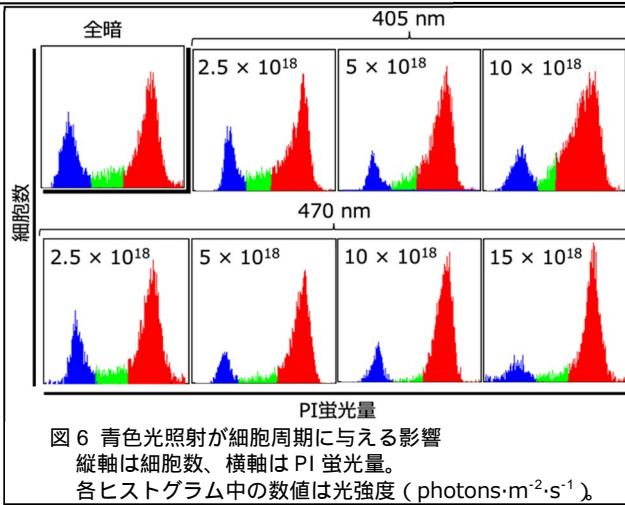
図4 青色光照射によるアポトーシス誘導  
 蛍光観察で、DAPIは染色された核を、dUTPはDNA損傷を示す。左側の図はフローサイトメトリーによるアポトーシス解析の結果を示す。アポトーシス細胞ではdUTP蛍光量が増大する。5および $10 \times 10^{18}$ は光強度 (photons·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)を示す。



(3) 青色光照射による昆虫細胞の DNA への影響

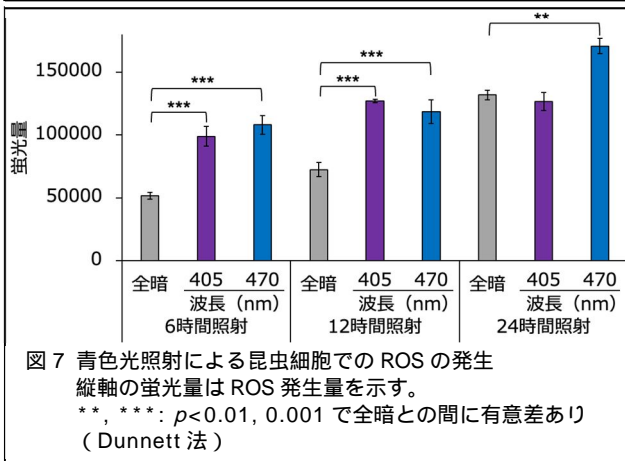


照射 24 または 48 時間後の細胞の DNA を蛍光顕微鏡で観察したところ、全暗区の細胞核ではクロマチンとみられる強い蛍光部分の周囲を DNA が取り囲む通常細胞のみが観察された (図 5)。一方、470 nm を照射した細胞では DNA 分布に異常のある細胞が観察され (異常細胞)、照射強度や照射時間の増加にともない異常細胞も増えた。15  $\times 10^{18}$  photons $\cdot$ m $^{-2}$  $\cdot$ s $^{-1}$  ではアポトーシスを起こしている細胞もわずかにみられた。一方、405 nm を照射した細胞ではアポトーシスを起こしているとみられる細胞が多くみられ、2.5  $\times 10^{18}$  photons $\cdot$ m $^{-2}$  $\cdot$ s $^{-1}$  でも観察された。アポトーシスは照射強度や照射時間の増加にともない多くなった。細胞周期解析の結果、470 nm 光を照射することで、G2/M 期で細胞周期が停止する可能性が高いことが示された (図 6)。405 nm 光の照射でも G2/M 期の細胞割合は増加したが、強度の上昇にともない S 期との境界が不明瞭になることから、アポトーシスが起きていると考えられる。



(4) 青色光照射による昆虫細胞での ROS の発生

青色光を照射すると細胞内の活性酸素量が増大することが明らかになった (図 7)。両波長とも 6 時間の照射で活性酸素の量は増加したが、470 nm では照射 24 時間まで増加がみられたが、405 nm では 12~24 時間での増加はみられなかった。これには、405 nm 照射による細胞の致死が関係していると考えられる。



本研究で、青色光は細胞に障害を与えることで殺虫効果を示すことを明らかにした。また、細胞への障害メカニズムは短波長側と長波長側の青色光で異なることを明らかにした。短波長と長波長どちらの青色光も、細胞への障害作用には活性酸素は関与しているものの、短波長側は細胞をアポトーシスさせて致死させるのに対して、長波長側は G2/M 期で異常細胞を生じさせることで、細胞に障害を与えることを明らかにした。これは短波長と長波長青色光では異なる細胞損傷メカニズムにより殺虫効果を発揮することを初めて示したものであり、殺虫メカニズムの解明および生物への光の作用に関して新たな知見を与える成果としてきわめて重要と考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Katsuya Taniyama, Yoshino Saito, Masatoshi Hori	4. 巻 56
2. 論文標題 Lethal effect of blue light on the developmental stages of the urban mosquito, <i>Culex pipiens form molestus</i> (Diptera: Culicidae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 319 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-021-00737-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 堀 雅敏	4. 巻 94
2. 論文標題 青色光の殺虫効果による害虫防除	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業および園芸	6. 最初と最後の頁 607 ~ 616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 堀 雅敏	4. 巻 43
2. 論文標題 青色光の殺虫効果と防除への応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本農薬学会誌	6. 最初と最後の頁 109 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1584/jpestics.W18-32	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 4件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小林敦樹、堀雅敏
2. 発表標題 体表の光透過性がショウジョウバエの青色光耐性に与える影響
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林敦樹、堀雅敏
2. 発表標題 青色光はショウジョウバエの体表を透過して殺虫効果を発揮する！
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀 雅敏
2. 発表標題 青色光の殺虫効果と防除への利用
3. 学会等名 日本農薬学会第43回大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺駿、麻生久、原田昌彦、堀雅敏
2. 発表標題 ショウジョウバエの胚細胞に対する青色光の増殖阻害効果
3. 学会等名 東北昆虫学会第1回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺駿、麻生久、原田昌彦、堀雅敏
2. 発表標題 青色光による殺虫とそのメカニズムの研究
3. 学会等名 平成30年度 農業・工業原材料生産と光技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺駿、麻生久、原田昌彦、堀雅敏
2. 発表標題 昆虫細胞に対する青色光の照射波長による傷害作用の違い
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 保坂和輝、堀雅敏、高橋典生
2. 発表標題 青色光の間欠照射による昆虫細胞に対する増殖抑制効果
3. 学会等名 東北昆虫学会第2回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀雅敏
2. 発表標題 昆虫に対する光の作用と害虫防除への応用
3. 学会等名 園芸学会東北支部 公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Takada, Masatoshi Hori
2. 発表標題 Adaptation of <i>Drosophila melanogaster</i> to blue light toxicity
3. 学会等名 第14回日本ショウジョウバエ研究集会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 高田悠太、堀雅敏
2. 発表標題 青色光の毒性に対するキイロショウジョウバエの適応現象
3. 学会等名 日本動物学会第92回米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林敦樹、堀雅敏
2. 発表標題 体表を透過した青色光のショウジョウバエ致死への関与
3. 学会等名 日本昆虫学会第81回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田悠太、堀雅敏
2. 発表標題 青色光の光毒性を用いた人為選抜がキイロショウジョウバエに与えた影響
3. 学会等名 ショウジョウバエ多様性研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田悠太、堀雅敏
2. 発表標題 脂肪体は昆虫の青色光耐性を上昇させる
3. 学会等名 令和3年度北海道応用動物・昆虫研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田悠太、堀雅敏
2. 発表標題 昆虫における脂肪体の青色光プロテクターとしての機能
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木雄一、保坂和輝、小野寺駿、麻生久、原田昌彦、堀雅敏
2. 発表標題 短波長側と長波長側では、同じ青色光でも殺虫メカニズムが異なる？
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林敦樹、堀雅敏
2. 発表標題 青色光の殺虫メカニズム -青色光の体表透過率と活性酸素発生の致死への関与-
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀雅敏
2. 発表標題 青色LEDによる害虫駆除技術
3. 学会等名 第5回 アグリバイオフォトニクス産業化研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsuki Kobayashi, Shun Onodera, Kazuki Hosaka, Kazuki Shibuya, Masahiko Harata, Hisashi Aso, Masatoshi Hori
2. 発表標題 Lethal effects of blue light on insects and mechanisms of action
3. 学会等名 XXVI International Congress of Entomology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 殺虫装置、防カビ装置	発明者 堀雅敏、酒井基裕、 加賀谷真仁	権利者 国立大学法人東北大学、河北ライティングソ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-069897	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 青色光を用いた殺虫機器	発明者 堀雅敏、松本吉雄、 俊藤浩史	権利者 国立大学法人東北大学、アース環境サービス株
産業財産権の種類、番号 実用新案、実登3228631	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

#### 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	麻生 久  (Aso Hisashi)  (50241625)	東北大学・農学研究科・教授   (11301)	
研究分担者	原田 昌彦  (Harata Masahiko)  (70218642)	東北大学・農学研究科・教授   (11301)	

#### 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

#### 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------