

LEDの波長と点滅周期が誘虫量に与える影響

加藤 雄大 正井 洋一 宇野 昌利 宮瀬 文裕
(技術研究所) (北陸支店) (土木技術本部) (土木技術本部)

Effect on insect attraction by variation of LED wavelengths and flicker frequencies

Takahiro Kato, Yoichi Masai, Masatoshi Uno, Fumihiko Miyase

生態系保全の観点から、夜間照明は周辺への影響が少ないものを使用することが望ましい。近年では、誘虫性が低いLEDが多く使用されているが、カゲロウ目などはLEDにも強く誘引されるため、更なる対策が求められる。本稿では、LEDの波長と点滅周期の違いが誘虫量に与える影響について報告する。波長の調整のみでは対策が難しいカゲロウ目に対しては、点滅周期の調整が有効だった。複数の対策方法の組み合わせにより、より広範な昆虫種に対する誘虫量低減効果が期待できる。

In terms of ecosystem conservation, it is desirable to use artificial light at night with minimal impact on the surrounding environment. In recent years, LEDs that cause minor attraction of insects have been widely used, but some insects, such as mayflies, are strongly attracted to the LEDs. Therefore, further development of the light with minor effect for insect attraction is required. In this paper, we report the effect on insect attraction by variation of LED wavelengths and flicker frequencies. Effect on mayflies attraction by adjustment of the wavelength was small, whereas adjustment of flicker frequency was effective in decreasing the attraction of mayfly. Combination of various countermeasure methods may provide the decrease of insect attraction in wide variety of insects.

1. はじめに

あらゆる業種で生態系保全が求められている昨今、ダム工事などの自然豊かな環境で行われる大規模な工事は、その周辺環境への影響の大きさから様々な保全対策が取られている。夜間工事を行う際に使用する照明もまた、施工範囲内だけでなく周辺の広い範囲に影響を及ぼす。人工的な夜間照明(Artificial Light at Night, ALAN)は夜行性の生物にとっては Ecological Light Pollution としてその生活をかく乱する要因となる。特に、ガ類やカゲロウなどの昆虫は夜間照明に多数集まっている様子が散見される(図-1)。昆虫類は植物の受粉などに貢献するだけでなく、生態系ピラミッドにおける重要な餌資源となり、昆虫類の減少は食物連鎖を通じて保護対象となる食物連鎖上位種まで影響を与える(図-2)。一方で、その影響量を定量的に評価することは難しく、夜間照明を使用することが生態系にどれくらい影響を与えるのか、保全対策を実施することでどれくらいの効果が得られるかは不明であった。



図-1 照明に昆虫が集まる様子

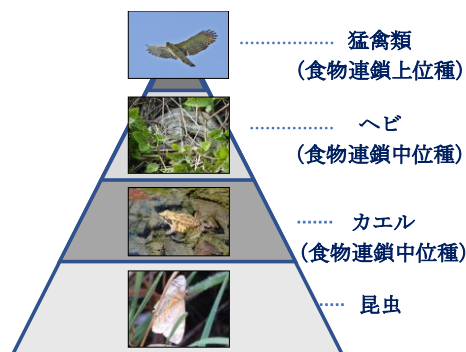


図-2 食物連鎖の考え方

そこで著者らは、様々な環境下で、水銀灯、ナトリウム灯、LED灯、ブラックライトによる灯火誘虫試験を実施し(図-3、図-4)、その結果に基づいた誘虫量の予測システムを構築した²⁾。本システムは9つに分類した環境区分ごと、水銀灯、ナトリウム灯、LED灯の3種類の光源ごとの単位時間当たりの誘虫量をバイオマス量として算出できるシステムであり、夜間照明が周辺環境に与える影響を定量的に可視化できる。図-5に示すように、環境区分ごとの単位時間当たりの誘虫量の予測が得られ、照明への誘引によって失われるバイオマス量を推測することができる。本システムの特徴として、実際の現場周辺環境の違いや照明の使用量、使用期間を反映した定量予測が、簡便に実施可能な点が挙げられる。本報では本システムの利用拡大および新たな低誘虫照明の開発を目指して、LEDの波長と点滅周期を調整した灯火誘虫試験を実施したので、その結果について報告する。

昆虫の誘引に影響する照明の要因のうち、光源の性質としては、波長(色)、強度、偏光といった光の属性や、光源の大きさや形状、高さといった視覚的な属性が考えられる³⁾。このうち、光源の波長(色)が大きな影響を及ぼすことは経験的にも学術的にも明らかになっており、主に330~370nmの紫外光への誘引性が高いことが知られている。光源の誘虫性の評価には、よくショウジョウバエ *Drosophila* の分光感度⁴⁾が利用されるが、この視感度曲線は360nm付近の紫外域にピークを有する(図-6)。一方、トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* などのように紫外光よりも緑色光に強く誘引される種類も報告されている⁵⁾。また、カゲロウ目の一部は、紫外光の発生量が少なく誘虫量が少ないとされるLEDにも大量に誘引されることが知られている⁶⁾。このように、波長ひとつとっても誘引性は昆虫種ごとに異なるため、実際の現場にどのような昆虫が存在し、どのような誘引傾向がみられるかを把握することは非常に重要である。

波長の調整による対策が誘虫量の低減に有効だとしても、現場での利用には様々な制限がある。例えば、ヒトの視感度は緑色(約550nm)にピークを持つものに対して、昆虫は紫外域(約370nm未満)にピークを持つものが多く⁵⁾、短波長側にずれていることが分かる。そのため、比較的長波長の赤色光は昆虫にとって視認しにくく、赤色光を使用すれば誘虫量を低減できると考えられる。一方で、赤色光のみの環境下では演色性(色の見え方)が悪化するため、安全な作業環境とは言い難い。



図-3 灯火誘虫試験の様子

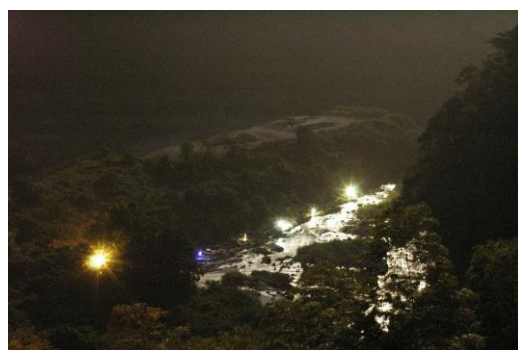


図-4 灯火誘虫試験の様子

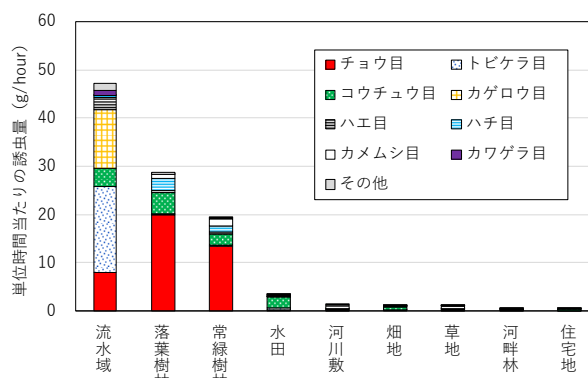


図-5 誘虫量予測の例

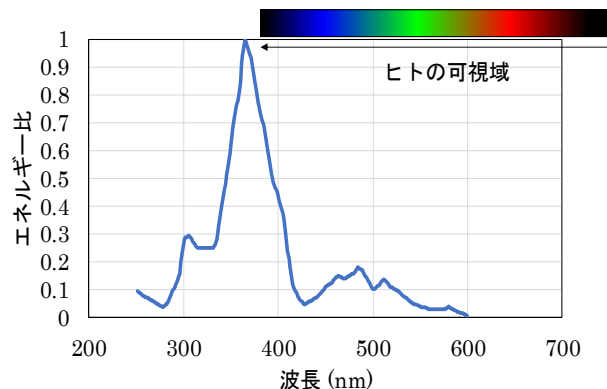


図-6 ショウジョウバエの視感度曲線

そこで、波長の調整以外の対策として、点滅周期の調整を利用することを考えた。ヒトが点滅を弁別できる点滅周期は約 50Hz であるのに対して、飛翔性昆虫はそれよりも高頻度の点滅を感じることができるため³⁾、点滅周期の調整ならば作業環境を損なうことなく対策が可能と考えた。その他の要因としては、光強度が誘虫性に大きな影響を与えると考えたが、作業環境の安全を確保するためには光強度を低減することは難しい。本稿では波長と点滅周期の調整による誘虫量への影響を実際のダム現場で調査し、昆虫の目ごとに整理した。その効果について報告する。

2. 試験方法

2.1 異なる波長での誘虫試験

RGB 三原色の発色比率を調整できる LED 灯を用いて、7色(白色、赤色、黄色、緑色、水色、青色、紫色)の波長での誘虫試験を実施した。LED 灯の前面下部にエタノールが入った捕虫ビンを設置することで、LED 灯に衝突して捕虫ビンに落下した昆虫を捕集した(図-7)。各色 LED のスペクトルを色彩照度計(MF250N, UPRtek)で測定した結果を図-8に示す。LED 灯は各色で照度を統一しており、隣接する照明の影響を受けないように各装置の間は 10 m 以上開けて設置した(図-9)。試験は 7 月から 8 月にかけての 18 時から翌 6 時まで、岩手県の築川ダム、山口県の平瀬ダム現場にて計 7 日間実施した。捕獲した昆虫は目レベルで分類して個体数をカウントし、各色の LED での捕獲数を誘虫量の評価に用いた。

2.2 異なる点滅周期での誘虫試験

点滅周期を調整できる LED 灯を用いて、異なる点滅周期での誘虫試験を実施した。点滅周期は∞(点滅無し)、150 Hz, 50 Hz, 15 Hz, 5 Hz の五段階に設定し、点灯・非点灯の比は全て 1:1 とした。また、波長は全て図-8の白色(White)を用いた。LED 灯の前面に透明な粘着紙を設置し、LED 灯に衝突した昆虫を捕獲した(図-10)。試験は 8 月の岩手県の築川ダム現場にて、18 時から翌 6 時まで連続 4 日間で実施した。約 1 時間ごとを目安に粘着紙を交換して、粘着面が捕獲した昆虫で埋まらないようにした。粘着紙によって捕獲した昆虫を目レベルで分類し、捕獲個体数をカウントした。試験の様子を図-11に、粘着紙によって昆虫が捕獲されている様子を図-12に示す。



図-7 異なる波長での誘虫試験装置

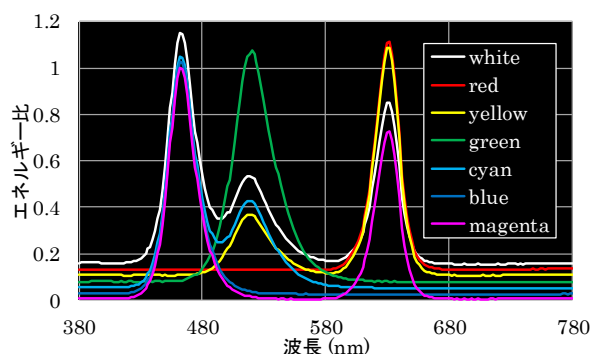


図-8 各色 LED のスペクトル



図-9 異なる波長での誘虫試験の様子



図-10 異なる点滅周期での誘虫試験装置
(粘着紙前面の剥離紙を剥がすと透明な粘着面が現れる)



図-11 異なる点滅周期での誘虫試験の様子

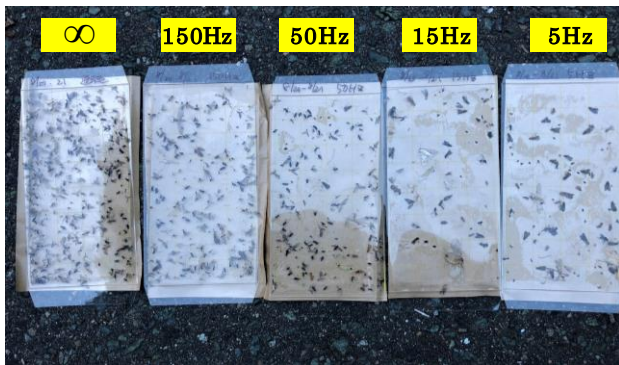


図-12 異なる点滅周期での誘虫試験の捕獲状況

3. 結果

3.1 LEDの波長と誘虫量の関係

LEDの波長(色)と捕獲個体数の関係を図-13に示す。昆虫の目ごとの波長の影響を比較するために、よく利用されている白色(White)を基準として、7日間の捕獲数の合計を白色との比で表している。白色LEDに捕獲された個体数の総数を赤字で示す。また、図-13で示した昆虫以外にもバッタ目、アミメカゲロウ目、カワゲラ目、シリアゲムシ目、アザミウマ目、ハサミムシ目、トンボ目などが捕獲されたが、いずれも図-13で示した目よりも捕獲数が少なく、日によっては捕獲されなかった。

図-13で示した全ての目で、赤色が最も捕獲個体数が少なく、白色の1~12%となった。また、ハエ目を除いて黄色が二番目に少なかった。黄色のLEDでの捕獲個体数が少なかった目として、トビケラ目(36%)、チョウ目(37%)、ハチ目(37%)、カメムシ目(46%)が挙げられる。対して白色LEDと黄色LEDの差が少なかった目としてコウチュウ目(74%)、カゲロウ目(65%)が挙げられる。青色は全ての目で白色よりも捕獲個体数が増加し、紫色もハチ目を除いて白色よりも増加した。

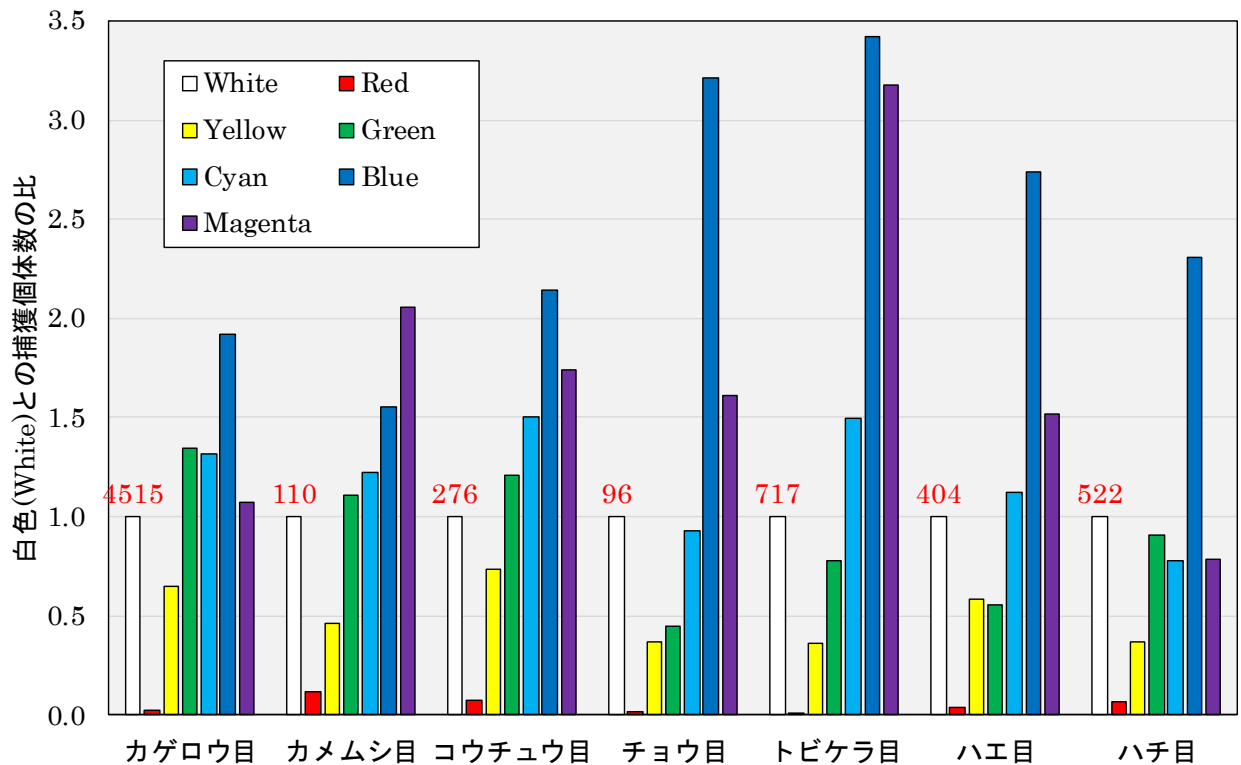


図-13 異なる波長での誘虫試験の結果

3.2 LEDの点滅周期と誘虫量の関係

LEDの点滅周期と捕獲個体数の関係を図-14に示す。図-14は4日間の捕獲数を合計し、∞(点滅無し)との比で表したものである。4日間の試験で∞(点滅無し)に捕獲された個体数の総数を赤字で示す。また、図-14中に示す昆虫は図-13と同様とした。

今回の試験ではコウチュウ目、チョウ目、トビケラ目の捕獲数が少なかった。∞(点滅無し)で50頭以上捕獲された目(カゲロウ目、カメムシ目、ハエ目、ハチ目)ではいずれも点滅周期を長くすることで捕獲数の減少傾向が確認出来た。特にカゲロウ目とハチ目では減少傾向が顕著にみられ、150 Hzでも∞(点滅無し)と比較してカゲロウ目では60%、ハチ目では81%となった。

4. 考察

4.1 試験結果と既往文献との比較

異なる波長での誘虫試験では、可視光のうち赤色と黄色の誘虫量が少ない傾向が見られた。多くの昆虫は赤色光の光受容体を持っていないため赤色の光を感知できず、アザミウマ類では密度低減効果が見

られるなど、防除にも利用されている⁷⁾。また、赤色ネットを利用することで微小害虫の防除が報告されるなど、赤色は農業害虫対策において報告されている。黄色の照明は果樹や花き・野菜類の防蛾灯としても利用されている⁸⁾。カゲロウ目に関しては、ペンシルバニアの橋の上で用いられる照明を昼白色(4,800 K)から蠟燭の炎に近い電球色(2,200 K)に変更しただけでは有意な低減効果が見られず、遮蔽や緑色光との組み合わせが有効であると報告されている⁹⁾。今回の試験は目レベルのみの同定であるため特定の種に関する考察は出来ないが、広範な種類の昆虫を対象とした対策でもこういった要素研究の結果が参考となる結果が示唆された。

異なる点滅周期での誘虫試験では、一部の目で点滅周期が長いほど誘虫量が少ない傾向が見られた。点滅周期が100~120 Hzの蛍光灯はフリッカーフリーの蛍光灯と比較してイエバエやネッタイエカを誘引しやすいという報告がある一方で⁵⁾、50 Hz かつ明期：暗期=1:1のパルス光によるヤガ類の防除が期待できる報告もある¹⁰⁾。点滅周期と誘虫の関係に関する研究は数も少なく、画一された試験方法で行われているものではないため、今後のメカニズム解明にも期待したい。

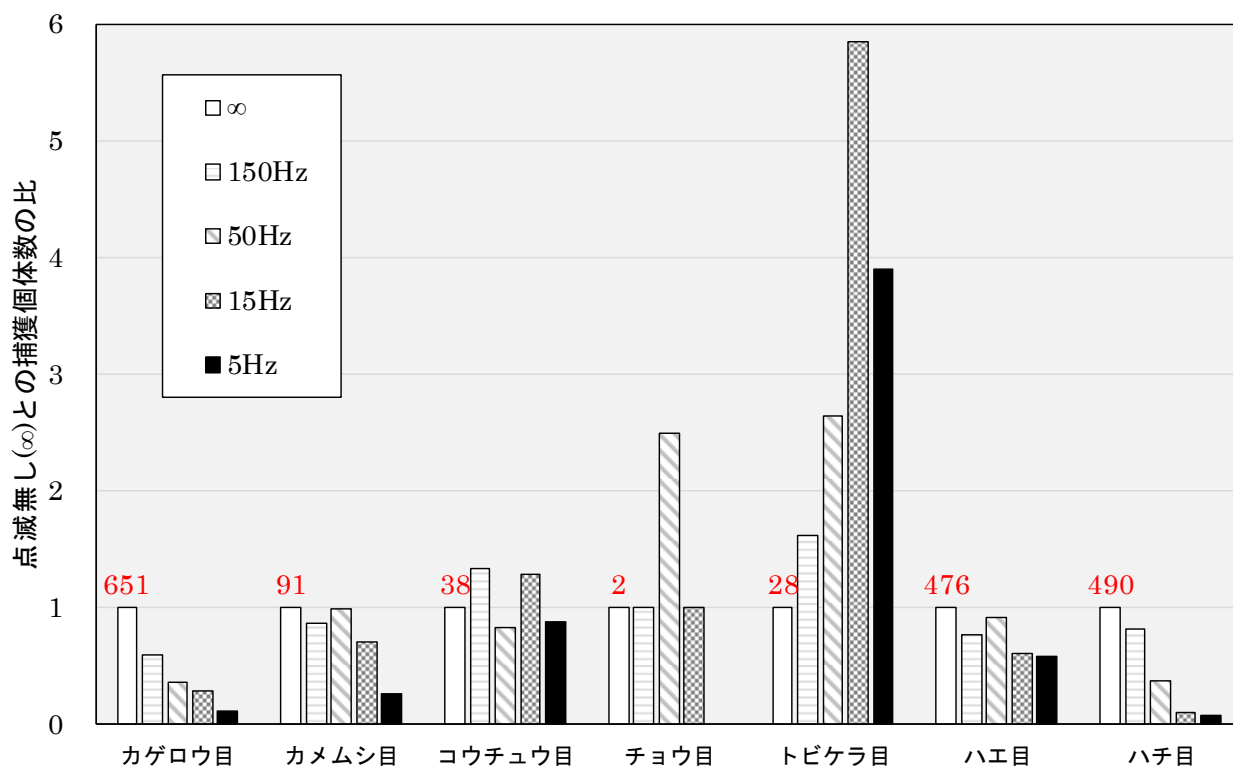


図-14 異なる点滅周期での誘虫試験の結果

4.2 夜間工事照明への誘虫対策

今回の試験において、波長(色)と点滅周期の調整による誘虫量の比較ではそれぞれ異なる傾向が見られた。特に、波長の調整による対策の効果が薄かったカゲロウ目に対して、点滅周期の調整による効果が大きかった点に注目したい。波長の調整のみでは対策が難しいカゲロウ目に対して、150 Hz で点滅する LED が有効である可能性が示唆された。約 50 Hz 以上の点滅速度であればヒトは弁別できないため、作業環境を損なうことなく誘虫量の低減が期待できる。

今回の試験結果では目レベルの分類であっても分類群ごとに誘虫傾向の違いが見られた。同目同科でも種によって分光感度は異なるなど⁹⁾、種毎に照明への誘虫行動は異なると考えられる。そのため、工事現場で使用する夜間照明のような、特定の種を対象としていない場所で利用する場合には、複数の対策を組み合わせることでより広範な種類への誘虫量低減効果が期待できる。

今回の試験では、コウチュウ目、チョウ目、トビケラ目について、異なる点滅周期での灯火誘虫試験時の捕獲個体数が少なかったため、追加の検証が必要と考えている。また、同種の昆虫であっても季節や月齢によって誘虫性が変化するという報告もあることから⁹⁾、特定の昆虫種の保全を目的とする場合には追加の検証が必要と考えている。

5. まとめ

LED の波長と点滅周期を調整した灯火誘虫試験を実施し、捕獲した昆虫を目レベルで分類、カウントしてその効果を検証した。波長の調整では多くの目で赤色や黄色の LED の方が誘虫量は少なく、青色や紫色の誘虫量が多い傾向が見られた。点滅周期の調整では多くの目で点滅周期を長くするほど誘虫量が減少する傾向が見られ、カゲロウ目やハチ目で顕著だった。波長の調整のみでの対策が難しいカゲロウ目に対して点滅周期の調整が有効であったことなど、複数の対策を組み合わせることで、より広範な種類の昆虫への誘虫量低減効果が期待できる。

謝辞

本試験の実施に当たって、林豊氏(元技術研究所主任研究員)および築川ダム、平瀬ダムの現場事務所関係者には多大な御協力を頂いた。また、本試験の照明装置はスタンレー電気株式会社様より御提供頂いた。この場を借りて感謝の意を表す。

本稿は既往の報告である「異なるメカニズムによる光への誘虫防止技術の比較」¹¹⁾を基に、未発表の内容を追加して再編集したものである。

<参考文献>

- 1) Longcore, T.: Ecological Light Pollution, *Front. Ecol. Environ.*, 2: pp.191-198, 2004.
- 2) 加藤雄大, 林豊, 宮瀬文裕, 宇野昌利, 小松裕幸: 灯火誘虫試験に基づく夜間工事照明への飛翔性昆虫誘引量の予測, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 76, No.7, pp.543-552, 2020.
- 3) 弘中満太郎, 針山孝彦: 昆虫が光に集まる多様なメカニズム, 日本応用動物昆虫学会誌, 第 58 巻, 第 2 号, pp.93-109, 2014.
- 4) Bertholf, L.: The extent of the spectrum for Drosophila and the distribution of stimulative efficiency in it, *Z. Vergl. Physiol.*, 18: pp.32-64, 1932.
- 5) 本田健一郎ほか: 光を利用した害虫防除の手引き, 2014 年 7 月 1 日発行, 2021 年 10 月 22 日閲覧, https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/053841.html
- 6) 平林公男, 東野真, 谷口彬雄, 山本優: LED ランプと蛍光管ランプに対する用水路から発生する水生昆虫類の走光性—ユスリカ類に注目して, *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, 27(2): pp.43-52, 2016.
- 7) 霜田政美: 光と色を使った“光防除”技術—最近の進展と可能性—, *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan*, 69: pp.1-9, 2018.
- 8) 八瀬順也: 昆虫の視覚と害虫防除, 日本農薬学会誌, 45(2), pp.121-126, 2020.
- 9) Durmus D., Wang, J., Good, S., Bascom, B.: The Effect of Electric Bridge Lighting at Night on Mayfly Activity, *Energies*, 14(10), 2934, 2021.
- 10) 平間淳司, 関憲一, 細谷直輝, 松井良雄: 黄色 LED 光源を用いた病的害虫防除装置の試作—ヤガ類の行動観察結果—, 植物環境工学, 19(1): pp.34-40, 2007.
- 11) 加藤雄大, 林豊, 正井洋一, 宇野昌利, 橋本純, 宮瀬文裕: 異なるメカニズムによる光への誘虫防止技術の比較, 第 75 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp. 997-998, 2020.