

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	青色 LED を用いた生態系機能強化による公園池の水環境改善技術の開発
研究者名※	藤林 恵
所属組織※	九州大学大学院 工学研究院環境社会部門 助教
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	149 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

( ) は、報告書提出時所属先。

## 大林財団 2022 年度研究助成実施報告書

所属機関名 九州大学

申請者氏名 藤林 恵

研究課題	青色 LED を用いた生態系機能強化による公園池の水環境改善技術の開発
(概要)	
<p>公園池で発生するアオコ（藍藻が異常増殖して水面を緑色に染める現象）に対する、省エネ・省コストな対策として、青色 LED 照射に注目した。青色 LED による藍藻の抑制効果はこれまで連続照射による室内実験にて、培養株を対象に検討されてきた。本研究では間欠照射ならびに現地での利用を踏まえ、太陽光下における青色 LED 照射が野外の藍藻増殖に与える影響を検討した。さらに、補助的に生態系機能を組み合わせることにより、より効率的にアオコを抑制できるか検討することを目的に、動物プランクトン群集の添加した実験系に対して青色 LED を照射し、アオコ抑制効果を評価した。間欠照射でも藍藻の増殖抑制効果が見られ、さらなる省エネ化に資すると考えられた。また、太陽光によって青色 LED 照射による藍藻の増殖抑制効果が阻害された。以上のことから、公園池においては夜間に間欠的に青色 LED を照射することが望ましいと考えられた。動物プランクトンの効果については定量評価に課題が残り、今後の課題と位置付けられた。</p>	

1. 研究の目的
<p>都市部に存在する公園池は、地域住民の憩いの場としての機能を有している。しかし、藍藻類が異常増殖した状態、いわゆるアオコが発生すると、景観の悪化や悪臭の発生によって、親水機能が著しく損なわれる。そのため、アオコ対策が求められるが、栄養塩類の流入防止や削減といった抜本的なアオコ対策はコストやエネルギーを必要とし、飲用水などの水資源と位置付けられていない公園池では、そのような大がかりな対策を講じることは現実的でない。</p> <p>省コストのアオコ対策として、青色 LED に注目した。青色 LED を照射することでアオコを形成する藍藻の増殖が阻害されることが室内実験で示されており、アオコの抑制手法としての応用が期待されている。ただし、LED は比較的省エネルギーであるものの、常時公園池に照射すると消費されるエネルギーが嵩んでしまう欠点がある。また、野外で利用する際には太陽光の影響についても考慮に入れる必要があるが、これまで検討はなされていない。</p> <p>ところで、動物プランクトンや貝類による藍藻の摂食や、珪藻の競争作用といった生態系機能を活用した方法が知られている。これらの生態系機能は人為的なエネルギーを使わずに藍藻の増殖を持続的に抑制するものの、ひとたびアオコ状態まで藍藻が大発生すると、抑制効果が認められなくなることがシミュレーションによって予測されている。しかし、青色 LED と生態系機能を併用することで、青色 LED 照射を必要最低限に抑えることができると考えられる。</p>

そこで、本研究では青色 LED 照射について、間欠照射および太陽光の有無について注目し、アオコ抑制効果に与える影響について検討した。加えて、青色 LED が藍藻以外の藻類に与える影響についても検討した。さらに、生態系機能を補助的に利用することで青色 LED 照射に要するコストを削減できるか検討した。

## 2. 研究の経過

毎年、夏季になるとアオコの発生が問題となっている福岡県にある A 公園池を対象として、調査・研究を行った。まず、間欠的な青色 LED の照射がアオコ抑制効果に与える影響を検討するために 2023 年 7 月に A 池水 100 mL を 200 mL フラスコへ移し、恒温室内で、25°C にて青色 LED 及び蛍光灯を照射した。照射した光の周期（蛍光灯：青色 LED）は 12 h : 12 h、12 h : 6 h、12 h : 0 h であり、光量子束密度は蛍光灯が  $32 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、青色 LED が  $20 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  とした。繰り返し数は 3 とした。0 日目、7 日目に試料を 1%ホルマリンで固定し、顕微鏡観察によって藻類の細胞数を計数した。

次に太陽光による影響を評価するために、10 月に A 池水 100 mL を 200 mL フラスコへ投入し、野外においてシリコ栓をしたうえで青色 LED を照射した。3 通りの照射パターンを設定し、それぞれ照射時間は 12 h（昼間 6 時～18 時、夜間 18 時～翌 6 時）、0 h であり、光量子束密度は  $20 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  とした。繰り返し数は 3 とした。実験中は各日の気温、太陽光の光量子束密度を測定した。0 日目、7 日目の試料について上述の方法と同様に植物プランクトンの同定・計数を行った。

最後に、動物プランクトンの影響を評価するために、A 池で採集した動物プランクトン群集（主にワムシ類が優占）添加の有無で、青色 LED 間欠照射の下で A 池水を培養し、藍藻の増減を評価した。

## 3. 研究の成果

藍藻を含む A 池水を対象として青色 LED 間欠照射下で 7 日間培養した際の、藍藻の群体数の変化を図 1 に示す。*Microcystis* 属、*Anabaena* 属、*Pseudanabaena* 属が池水で優占していた。*Aphanocapsa* 属を除くすべての藍藻属が 7 日後において、各実験条件下で細胞数・群体数が増加していた。これまで、純粋培養した藍藻株を対象とした青色 LED 照射の実験において、培養後に細胞数が低下する現象が確認されていたが、池水を対象とした本研究結果では、青色 LED を照射した系においても、藍藻の増殖が確認された。ただし、青色 LED を照射した系における藍藻の細胞数・群体数の増加率は、蛍光灯のみを照射した系と比較して小さかった。このことから、培養中に細胞数・群体数を減少させることはなかったものの、藍藻に対する増殖阻害効果があったものと考えられる。属別に見てみると、*Anabaena* 属で青色 LED 照射による増殖阻害効果が認められた。対して、*Microcystis* 属や *Pseudanabaena* 属では蛍光灯のみ照射した系と青色 LED を照射した系で顕著な差は見られず、青色 LED 照射による藍藻の増殖阻害効果は属間で異なることが示唆された。青色 LED を 12 時間あるいは 6 時間照射した系においては、わずかに 12 時間照射した系において減少傾向が見られたが、藍藻の細胞数・群体数に有意差は見られな

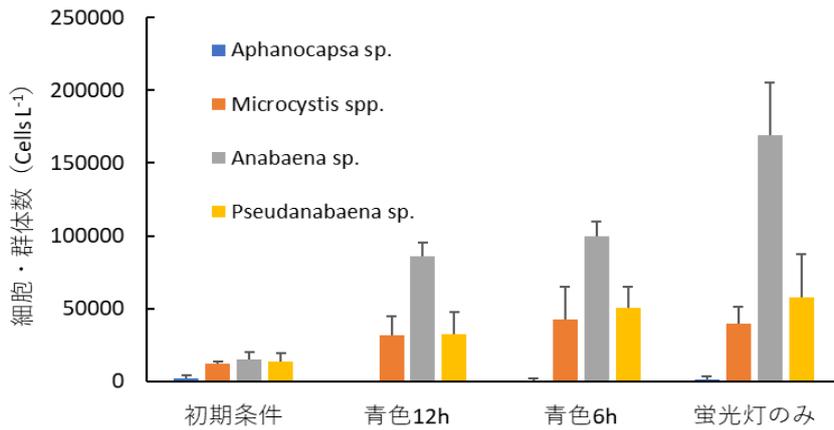


図1 青色LED間欠照射における培養7日後の藍藻群体系数の変化 (各系 n=3、エラーバーは標準偏差を示す)

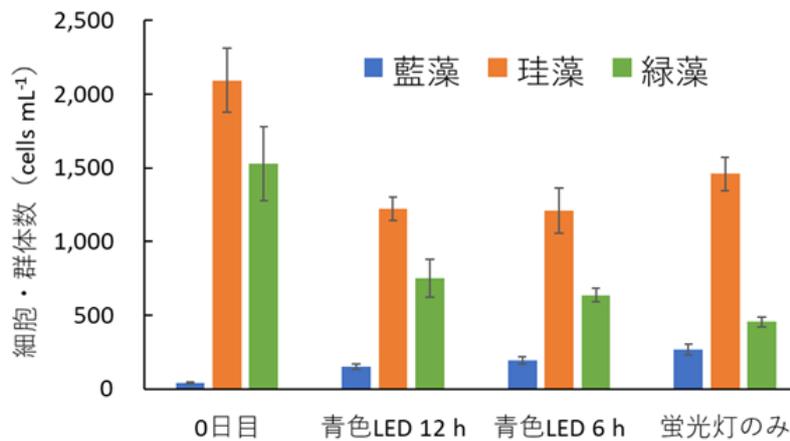


図2 青色LED間欠照射における培養7日後の各藻類網の変化 (各系 n = 3、エラーバーは標準偏差をしめす)

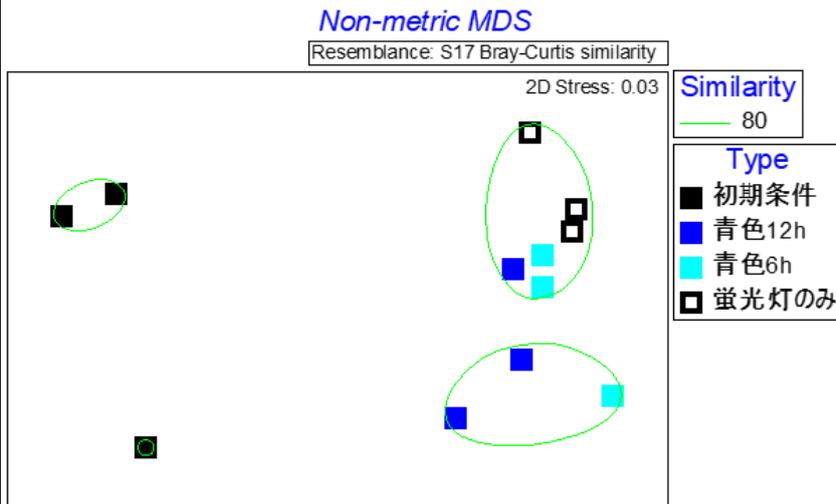


図3 各系における藻類種・属の細胞数・群体系数の Bray-Curtis 類似度を基にした多次元尺度構成法の結果

った (t 検定、 $p > 0.05$ )。費用対効果を考慮すると、12 時間と比較して 6 時間照射が優れていると考えられる。

藍藻以外の藻類については、珪藻、緑藻においてそれぞれ実験期間中に細胞数が減少した (図 2)。しかし、各系間で細胞数に有意な差は見られず、青色 LED 照射の珪藻と緑藻に対する影響は小さいと推察された。各系における藻類種・属ごとに Bray-Curtis 類似度を計算し、多次元尺度構成法にて表現した結果を図 3 に示す。各系ともに実験初期から群集構造が変化していることが見て取れる。明瞭ではないものの、蛍光灯のみ照射した系と、青色 LED を照射した系では上下に分かれる傾向があり、青色 LED によって群集構造が変化したものと推察され、主に藍藻によって引き起こされていると考えられた。

太陽光が照射される環境下において、藍藻が含まれる A 池水に対して青色 LED 照射を行った培養結果を図 4 に示す。本実験に用いた池水では *Planktothrix* sp. が優占しており、他の藍藻はほとんど検出されなかった。各系ともに実験 7 日後に *Planktothrix* sp. が減少した。とくに、夜間に青色 LED を照射した系においてもっとも減少しており、昼間に太陽光が照射される条件下においても、青色 LED の夜間照射には藍藻の抑制効果がある

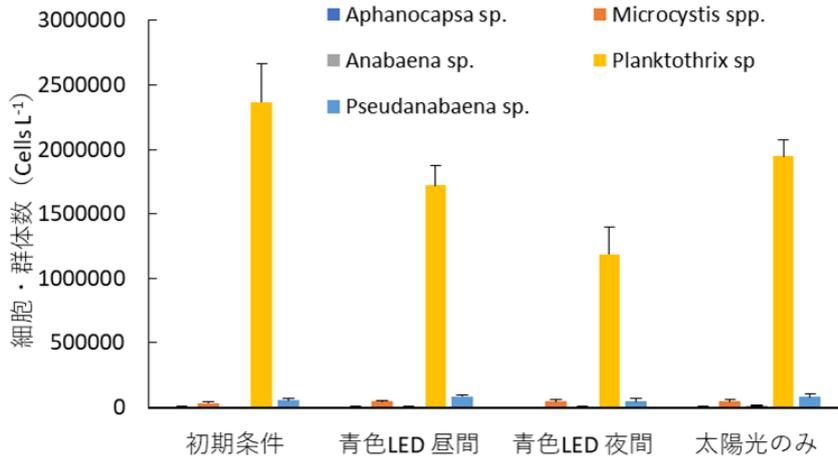


図4 太陽光と青色LEDを照射した培養実験における、培養初日と各系における7日後の藍藻細胞・群体数（各系 n = 3、エラーバーは標準偏差をあらわす）

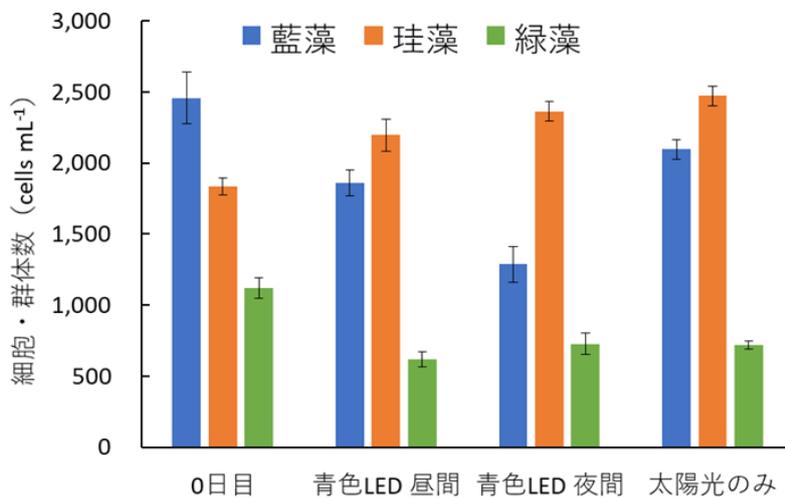
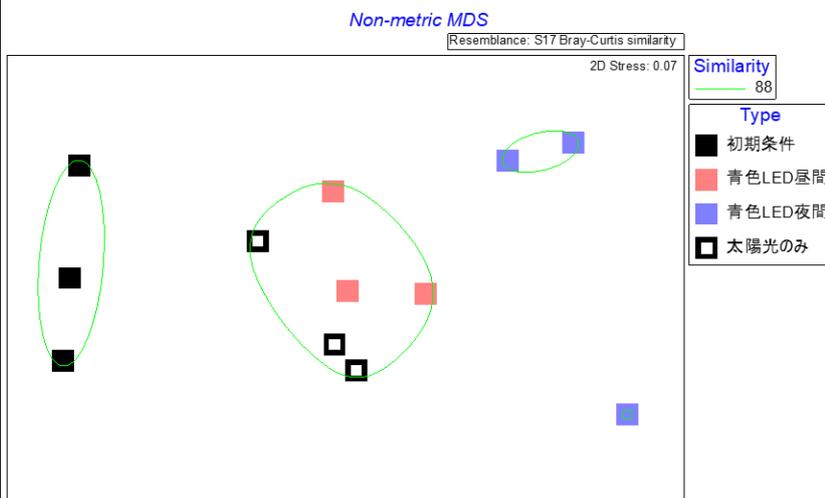


図5 太陽光と青色LEDを照射した培養実験における、培養初日と各系における7日後の各藻類綱の細胞数・群体数（各系 n = 3、エラーバーは標準偏差をあらわす）



ことが分かった。対して、日中に青色LEDを照射した系においては、青色LEDを照射しなかった系と比較して、細胞数に有意差が見られず、青色LEDによる藍藻の抑制効果が顕在化していなかったと推察される。実験期間中の太陽光の光量子束密度は  $40 \sim 1,140 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  と実験に利用した青色LEDよりも高く、青色LEDの効果が太陽光によって打ち消されたものと推察される。

藍藻が夜間の青色LED照射で細胞数が低下したのに対して、珪藻と緑藻では変化が見られなかった（図5）。間欠照射の実験と同様の結果となり、青色LED照射はアオコの原因となる藍藻に対しては抑制効果が見られるものの、他の藻類に対しては影響が小さい可能性が示された。珪藻や緑藻は動物プランクトンの餌として生態系の二次生産を支えており、珪藻や緑藻の増殖を阻害せずに藍藻のみを抑制可能である点は重要であると考えられる。

夜間に青色LEDを照射することで藻類の群集構造が変化していることが確認された（図6）が、これは主に藍藻の抑制効果に起因していると考えられた。

図6 藻類種・属の細胞数・群体数の Bray-Curtis 類似度を基にした多次元尺度構成法の結果

#### 4. 今後の課題

本研究によって、野外の藍藻に対しても青色 LED 照射が増殖抑制効果を有していることが明らかとなった。また、夜間に間欠的に照射することで藍藻の抑制効果が発揮されることが明らかとなった。加えて、珪藻や緑藻の増殖は阻害しないことも示唆され、青色 LED 照射によって藍藻のみを効率的に抑制できると期待された。青色 LED 照射によるアオコ対策は広大な自然湖沼やダム湖では現実的ではない。しかし、公園池のように小規模の水域であれば、青色 LED 照射が有効な場面もあるであろう。とくに、公園池では安全や防犯のための照明としても利用しつつ、照射方法を工夫することでライトアップとしての装飾効果を付加することも期待される。今後は実用化に向けた具体的な検討が必要であり、現地での実証実験を実施することで幅広いデータを取得し、照射条件（水中ライトも含む）や時間、期待される抑制効果に関する知見を深めることが求められる。