

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780249

研究課題名(和文) 水質汚濁により寡少な水中光環境下にある閉鎖性水域の水圏環境修復システムの開発

研究課題名(英文) Development of an aquatic environment restoration system for closed water areas, whose underwater light environment is reduced in quality due to water contamination

研究代表者

原田 昌佳 (HARADA, MASAYOSHI)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80325000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：有機汚濁による無酸素化などの水環境劣化を抱える閉鎖性水域の環境修復に直接貢献することを目指し、LED光照射による水環境改善技術の開発を行った。本研究では、実験水槽内での水中LED灯を用いた照射実験を通じて、青色波長と赤色波長の混合波長光に対する藻類の光合成活性化とDO生産量の関係性に関する基礎的事項を検討した。その結果、両者の混合割合によって光合成の活性化が異なり、DOの生産量や藻類の発生量に大きな違いが見られた。短期的なDO環境の改善効果を発揮させるためにはR/B比が1/4程度で照射し、その後R/B比を2程度にすることでLEDによる富栄養化を回避することができることが示された。

研究成果の概要(英文)：The development of water environment improvement technology using the activation of algae photosynthesis via LED light irradiation was conducted, with the aim of directly contributing to the environmental restoration in closed water areas affected by deteriorating water environment with oxygen deficiency or anoxiation due to organic contamination. This involved an irradiation experiment using underwater LED lights in an experimental water tank, with the aim of understanding the photosynthesis activation characteristics of algae with respect to the mixed wavelength lights of blue wavelength and red wavelength. As a result, to exhibit improvement effects for a DO environment in the short term, irradiation must be performed with an R/B ratio of approximately 1/4, which is then increased to approximately 2 to inhibit the proliferation of phytoplankton and avoid eutrophication by LED irradiation.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学 農業土木学・農村計画学

キーワード：有機汚濁 無酸素化 水環境改善 溶存酸素 LED 光合成 閉鎖性水域

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

近年の農業農村地域では、都市化・混住化の影響を受けて、有機汚濁・富栄養化による流域水環境の劣化が社会的問題となっており、農業用水源が有する多面的機能が損なわれている。そのため、流域水環境の改善・修復は、農業農村地域の持続的発展の観点から考えると極めて重要な課題である。

(2) 学術的背景

流域水環境の保全・改善に資するための学術的研究は、水質調査・水質解析デモルによる環境アセスメント、と工学・化学・生物学的な水質改善技術の開発に大別される。現在、様々な水質改善技術が実験室レベルで開発されているが、その技術の実水域への適用は決して容易でない。この理由の一つに、とが独立的に取り組みられ、両者の連携が不十分であることが挙げられる。実水域レベルでの水質改善技術の実用化には、「現地調査・数理解析に基づいた水環境の評価・解析・予測」の成果をフィードバックし、との双方向的な学術的融合が求められる。

(3) これまでの研究との関連性

これまで研究代表者は、湖沼・貯水池などの閉鎖性水域を対象に、上記を軸とする水環境の評価・解析・予測に関する環境水理学的研究を行ってきた。本研究では、これまでの数値解析技術や知見を水質改善技術の開発に活用し、上記との学術的融合に基づいた実水域の水圏環境修復システムの構築を目指す。ところで、現在、水質改善技術として、浚渫、エアレーション、水生植物を利用した浄化、凝集剤による浄化などが挙げられるが、必ずしも有効な方法として確立されていない。低コストで即時性のある水質改善技術の新たな開発が求められている。研究代表者は、実際の湖沼・貯水池のフィールドワークを通じて、寡少な水中光環境下にある水質汚濁化水域の保全・改善に必要なことは、その原因の本質である光環境・DO環境の修復にあるとの着想に至った。そこで、水中LEDを利用した光環境の人為的な改善を通じて、嫌気的狀態から好気的狀態に水域を戻すことで水域環境の修復を行うといった新たな水環境改善技術を提案した。

2. 研究の目的

有機汚濁が進行した閉鎖性水域では、夏季の水温成層の形成に伴う水域の貧酸素化・無酸素化が発生し、これが水生生物の酸欠死や硫化水素の発生、底質のヘドロ化など更なる水環境の劣化を引き起こす。このような水域の水環境修復を考える上で、貧酸素化の防止対策あるいはその解消技術の開発は重要な

位置付けにある。本研究では、水域の貧酸素化が溶存・懸濁物質による寡少な水中光環境に着目し、LED照射による藻類の光合成の活性化を利用した水環境改善技術の有効性について検討した。つまり、貧酸素・無酸素化などの水環境劣化を抱える閉鎖性水域の環境修復に直接貢献することを目的とし、LEDを利用した新たな水環境改善技術の開発を目指すものである。これは全くの新しい技術であることから、有効性等に関する知見は皆無である。そのため、本研究では、室内実験を主体に基礎的知見の収集に努め、今後の研究において、現地スケールでの水圏環境修復システムの構築に繋がることを念頭において研究を遂行した。

本研究の対象は、有機汚濁が進行した閉鎖性水域であり、とくに貧酸素・無酸素化に起因する水環境劣化を改善・修復する技術の開発を目指すものである。実スケールで有効な技術の開発を目指す場合、水環境問題の原因・発生メカニズムを踏まえることは極めて重要である。そこで、有機汚濁化が顕在化した貯水池を対象に、寡少な水中光環境下にある閉鎖性水域の水環境動態特性の把握を目的として現地観測を行った。これを通じて、嫌氣的・還元的条件下にある水質環境の経時的な変化を調べ、貧酸素化・無酸素化に起因する水環境劣化のメカニズムの究明を目指した。

3. 研究の方法

まず、LED光照射による藻類の光合成の活性化を利用した水環境改善技術の開発では、室内実験を中心に行った。まず、基礎的知見を得るために、実水域(図1参照)で採取した貧酸素・無酸素水ならびに底質で密閉にした500mlビーカに対して、赤色・青色・白色の各LED電球を照射する実験を行った(図2参照)。この実験では、連続照射・明暗周期照射の照射方法、ならびに赤色・青色・白色のLED光の波長が、無酸素解消や水質改善の効果に及ぼす影響を調べた。

また、現地適用を念頭に置いた室内実験の実施として、円筒水槽内での水中LED灯を用いた照射実験を行った(図3参照)。この実験では光合成における藻類の波長選択性



図1 腐植酸の流入によって茶褐色化した有機汚濁化貯水池



図2 LED照射実験（上から順に、白色、赤色、青色LED）

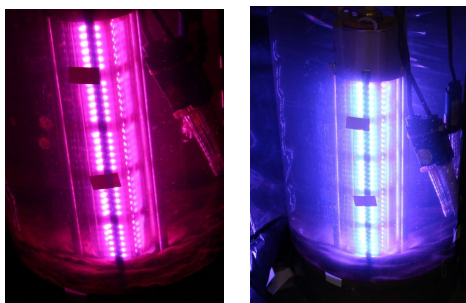


図3 円筒水槽内に設置した水中LEDによる照射実験（左：R/B比=2，右：R/B比=0.4）

を考慮に入れて、青色波長と赤色波長の混合波長光に対する藻類の光合成活性化特性を把握することであり、これは光合成の効率を上げてより短期間でDO環境の改善効果の期待と、増殖する藻類の選択・制御の可能性を検討することを目指した。なお、市内実験では、直径30cm、高さ1mの円筒水槽を使用し、実水域で採取した貯留水と底質を充填し、暗所・高温条件下で無酸素状態を作り出したあと、点灯・消灯を各12時間とする明暗周期のもと1カ月間の照射実験を行った。

寡少な水中光環境下にある閉鎖性水域における貧酸素化・無酸素化の発生メカニズムの究明については、現地観測ならびに室内実験を通じて嫌氣的条件下での水質の動態特性について定量的に評価した。腐植酸によって有機汚濁が顕在化する貯水池を対象に定点連続観測ならびに多点定期観測を実施し、ORP、リン酸、アンモニア、硝酸、硫化物を指標とする

水質の動態特性を調べた。また、室内実験を通じて、嫌氣的・還元的条件下での水質環境の変動特性をモデル式で評価することを目指した。

4. 研究成果

まず、赤色・青色・白色のLED光源を用いた照射実験では、無酸素化による還元的な状態を初期条件とする強光照射と弱光照射、ならびに貧酸素の酸化状態を初期条件とする強光照射の計3つの実験条件を設定し、LED照射開始時のDO条件やLEDの照射強度条件の視点からDOの動態特性を評価し、本技術の現地適用に資することを目的とした。その成果をまとめると（図4参照）、藻類の最適光量の1/2程度であっても、DOは速やかに上昇し、無酸素化が解消されること、水中光量子量 $3\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が有効な水質改善効果を得るための下限値であり、これは光源からの照射範囲の設定や光源への付着藻類の影響を考えていく上で重要な情報であること、照射開始時の酸化・還元的な水の初期条件の違いによってLEDが水質に及ぼす影響を大きくことなり、とくに、DOが若干存在する酸化状態での照射は結果として富栄養化を招くことが懸念され、短期間での照射等の管理が必要であること、藻類量と動物プランクトン量の釣り合い

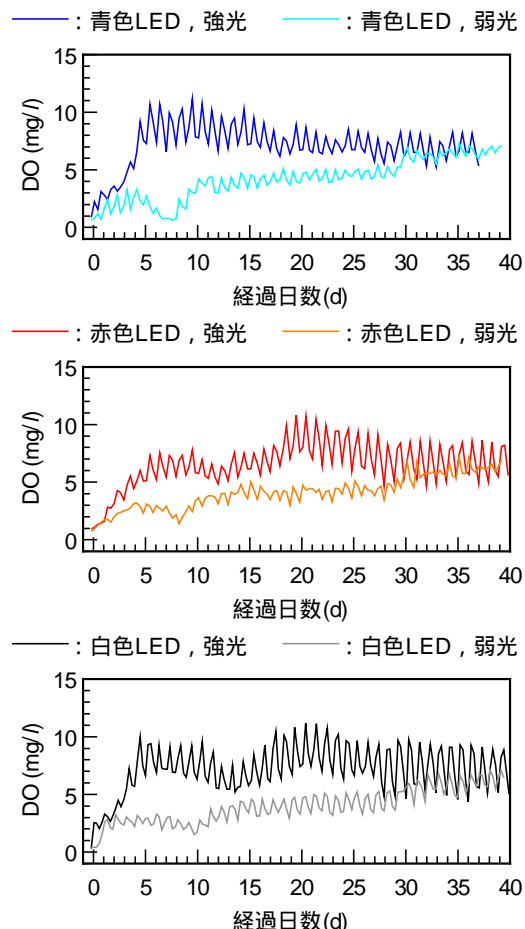


図4 青色・赤色・白色LEDの明暗周期照射によるDOの改善効果

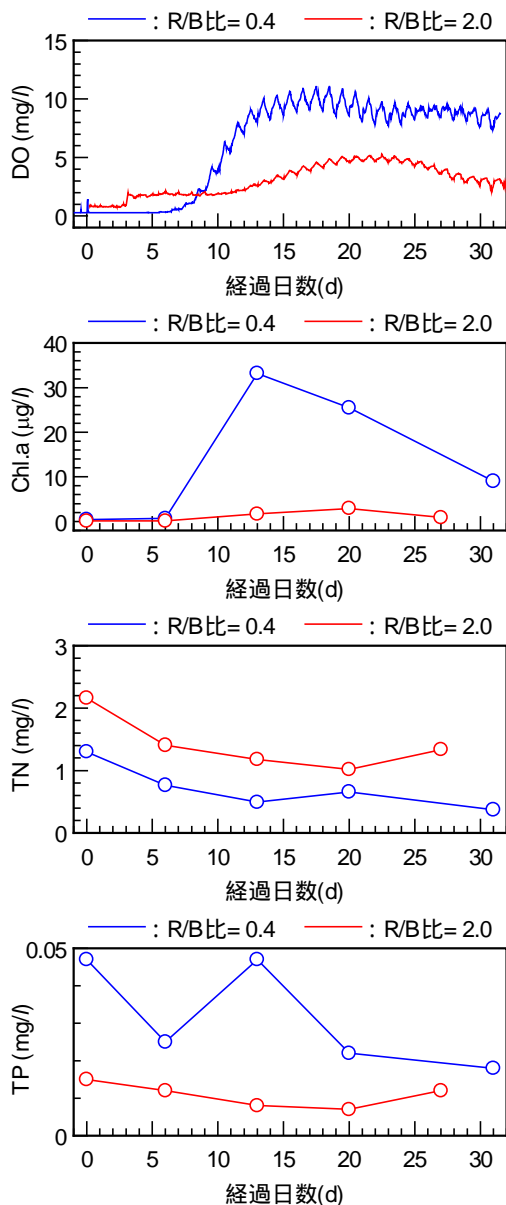
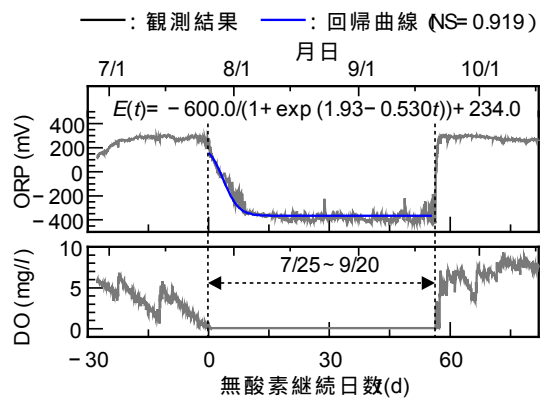


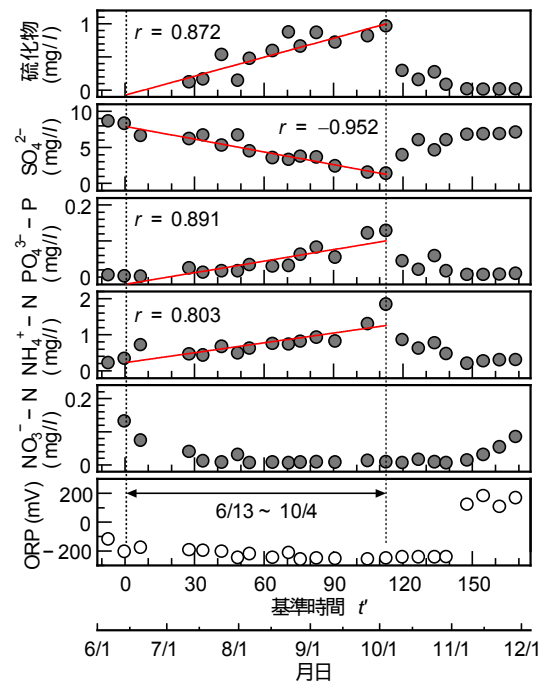
図5 水中LEDのR/B比の違いがDO・水質環境の改善効果に及ぼす影響

という視点から生態系の調和がとれる水質改善手が可能であることが挙げられた。

つぎに、円筒水槽と水中LED灯を利用した室内実験では、点灯・消灯を各12時間とする明暗周期のもと1カ月間の照射実験を行った。照射条件として、R/B比(赤色:青色)が1/4と2の二ケースのLED光について、水環境改善効果について検討した(図5参照)。R/B比が1/4の場合、照射開始3日後に無酸素化が解消されDOは飽和度で120%程度にまで上昇した。また、藻類の取り込み効果による窒素・リンの減少や、嫌気の状態の解消による硫化物の減少が確認された。ただし、緑藻類を主とした藻類が増加し、クロロフィルa濃度は富栄養化レベルにまで達したことが懸念すべき結果であった。R/B比が2の場合では、無酸素化は解消されるものの、植物プランクトンの増加が僅かであったため、DOは3mg/L程度の上昇であった。以上



(1) 嫌気的条件下でのORPの動態特性



(2) 還元的条件下での水質の動態特性

図6 水域の無酸素化による水質変動の回帰分析結果

から、短期的なDO環境の改善効果を発揮させるためにはR/B比が1/4程度の条件で照射し、その後、R/B比を2程度にすることで、植物プランクトンの増殖を抑え、LED照射による富栄養化を回避することができることが期待される。

さらに、脱窒や硫酸還元などの嫌気的有機物分解の発生メカニズムの究明に関する基礎的研究として、有機汚濁が顕在化した貯水池を対象に水質モニタリングを実施し、嫌気的・還元的条件下にあるORP、およびNH₄⁺-N、PO₄³⁻-P、硫化物、SO₄²⁻の経時変化を評価しうる回帰モデルを検討した。その結果(図6参照)、嫌気的条件下でのORPの動態は、無酸素継続日数を時間軸とするロジスティック曲線を用いてモデル化ができること、モデルパラメータの一つであるORPの低下速度は成層化初期のNO₃⁻濃度に依存し、高濃度であるほど脱窒が長期化する結果、ORPは緩やかに低下することを示した。また、ORP < -200 mVかつ

DO = 0 mg/lが維持された状態の経過日数を説明変数とする線形回帰モデルにより、還元的条件下に起因する $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, 硫化物の経時的な増加過程, ならびに SO_4^{2-} の減少過程を表すことができた。以上は、貧酸素・無酸素化などの有機汚濁が顕在化する閉鎖性水域の水環境悪化のメカニズムの究明に、極めて重要な知見を与えるとともに、本研究で提案するLEDを利用した水環境改善技術を現地スケールで適用する際にも有効な知見となりうる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

原田昌佳, 平松和昭, 齋藤孝, 森牧人, 丸居篤, 有機汚濁が進む閉鎖性水域の嫌氣的・還元的条件下での水質動態, 雨水資源化システム学会誌, 査読有, 19(1), 2014, 印刷中

B. Q. Lap, Harada M., and Hiramatsu K., The Initial Result of Development of $k\text{-}\epsilon$ Model for Simulation of Hydrodynamics in Lakes Toward to Simulation of Their Water Quality. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 査読無, 59(1), 2014, pp.155-161

D. T. Nguyen, Harada M., Hiramatsu K. and Fukuda S., Application of a simple genetic algorithm for the calibration of aquatic ecosystem model of an agricultural pond, *Paddy and Water Environment*, 査読有, 12(1), 2014, pp.1-15, 査読あり,

DOI: 10.1007/s10333-012-0353-z

M. Harada, Douma A., Hiramatsu K., Nguyen D.T. and Marui A., Analysis of Seasonal Changes in Water Qualities in Eutrophic Reservoirs in a Flat Low-lying Agricultural Area Using an Algae-based Ecosystem Model. *Irrigation and Drainage*, 査読有, 62 (Suppl. 1), 2013, pp.24-35

DOI: 10.1002/ird.1770

M. Harada, Tominag T., Hiramatsu K. and Marui A., Real-time Prediction of Chlorophyll-a Time Series in a Eutrophic Agricultural Reservoir in a Coastal Zone Using Recurrent Neural Networks with Periodic Chaos Neurons. *Irrigation and Drainage*, 査読有, 62 (Suppl. 1), 2013, pp.36-43

DOI: 0.1002/ird.1757

B. Q. Lap, Harada M., and Hiramatsu K., Dynamics of Water Quality in the Truc Bach Lake, Hanoi Capital, Vietnam, *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 査読無, 58(1), 2013, pp.145-151

[学会発表](計6件)

原田昌佳・平松和昭・富永貴史・丸居篤 (2011): 連続観測データに基づいたクロロフィルa時系列のリアルタイム予測, 第92回農業農村工学会九州支部講演会, 平成23年10月, 別府市

原田昌佳・堂馬彬史・平松和昭・丸居篤 (2012): カオスリカレントニューラルネットワークによるクロロフィルa時系列の短期予測, 平成24年度農業農村工学会大会講演会, 平成24年9月, 札幌市

下田知直・原田昌佳・平松和昭 (2012): 発光ダイオードを利用した水質改善技術の有効性に関する実験的研究, 第92回農業農村工学会九州支部大会講演要旨集, 6-7, 平成24年11月1日, 長崎市

原田昌佳・櫻木剛・平松和昭・福田信二 (2013): 有機汚濁が進む貯水池の嫌氣的条件下における水質環境の定量的評価, 平成25年度農業農村工学会大会講演会, pp.586-587, 東京都, 平成25年9月5日

原田昌佳・平松和昭・福田信二・多田成美 (2013): 水質・植物プランクトン調査に基づいた富栄養化貯水池の水環境解析, 第93回農業農村工学会九州支部大会講演要旨集, 4-7, 平成25年11月6日, 宮崎市

川野陽介・原田昌佳・平松和昭・福田信二 (2013): 白色LEDを利用した貧酸素水域の水環境改善技術の開発, 第93回農業農村工学会九州支部大会講演要旨集, 8-11, 平成25年11月6日, 宮崎市

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www2.bpes.kyushu-u.ac.jp/~www-water/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

原田 昌佳 (Masayoshi Harada)

九州大学・大学院農学研究・准教授

研究者番号: 80325000

(2)研究分担者

なし()

研究者番号:

(3)連携研究者

なし()

研究者番号: