

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12292

研究課題名(和文) 水中スピーカーの低周波振動を応用したアオコ制御装置の開発

研究課題名(英文) Development of cyanobacteria control device that applies low-frequency vibration of underwater speaker

研究代表者

朴 虎東 (Park, Hodong)

信州大学・学術研究院理学系・教授

研究者番号：20262686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：水中スピーカーを応用して低周波振動を発生させる装置の開発を行った。試作した低周波発振器と水中スピーカーを繋いでアオコ制御装置を完成させた。その後、完成した装置を用いてアオコ制御実験を重ね、低周波発振器の性能確認と最適制御周波数を求めた。本年度の実験結果からは、水中スピーカーと低周波発振器の20Hz以下の周波数で、今までのアオコ制御実験より良い制御効果を得ることが確認できた。新たに購入した大型スピーカー及びパワーアンプを用いてスケールアップした振動波発生実験を行い野外のアオコを用いるアオコ制御装置の試作を完成させることができた。今後、本装置を用いて野外において実証実験を予定している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発されたアオコ制御装置は、アオコの細胞膜を破壊せずにガス胞のみを壊すことで、アオコの浮上能力を抑制することが本装置の特徴的な強みである。アオコの毒素は細胞内に存在しており、アオコ制御剤やアオコの細胞を破壊するような装置の場合はアオコの制御の際に毒素が流出し他の生物に影響を与えることや浄水過程で飲料水を汚染することが報告されている。しかし、本研究で開発された水中スピーカーを応用した低周波振動装置は、アオコの細胞を破壊せずにガス胞のみを破裂させてアオコが集積している湖沼の表層から深層に沈殿させることでアオコの発生を事前に抑えることができる優れたアオコ発生防止装置として活用できる。

研究成果の概要(英文)：We developed a device that generates low-frequency vibrations by applying an underwater speaker. A prototype low-frequency oscillator was connected to the underwater speaker to complete the cyanobacteria bloom control device. We then used the completed device to conduct multiple cyanobacteria bloom control experiments to confirm the performance of the low-frequency oscillator and determine the optimal control frequency. The results of this year's experiments confirmed that a better control effect could be obtained than in previous cyanobacteria bloom control experiments with an underwater speaker and low-frequency oscillator at 20 Hz or less frequencies. We conducted a scaled-up vibration wave generation experiment using a newly purchased large speaker and power amplifier. We completed a prototype cyanobacteria bloom control device that uses cyanobacteria bloom. We plan to use this device in outdoor demonstration experiments in the future.

研究分野：環境毒性学

キーワード：アオコ制御装置 アオコ発生の抑制技術

## 1 . 研究開始当時の背景

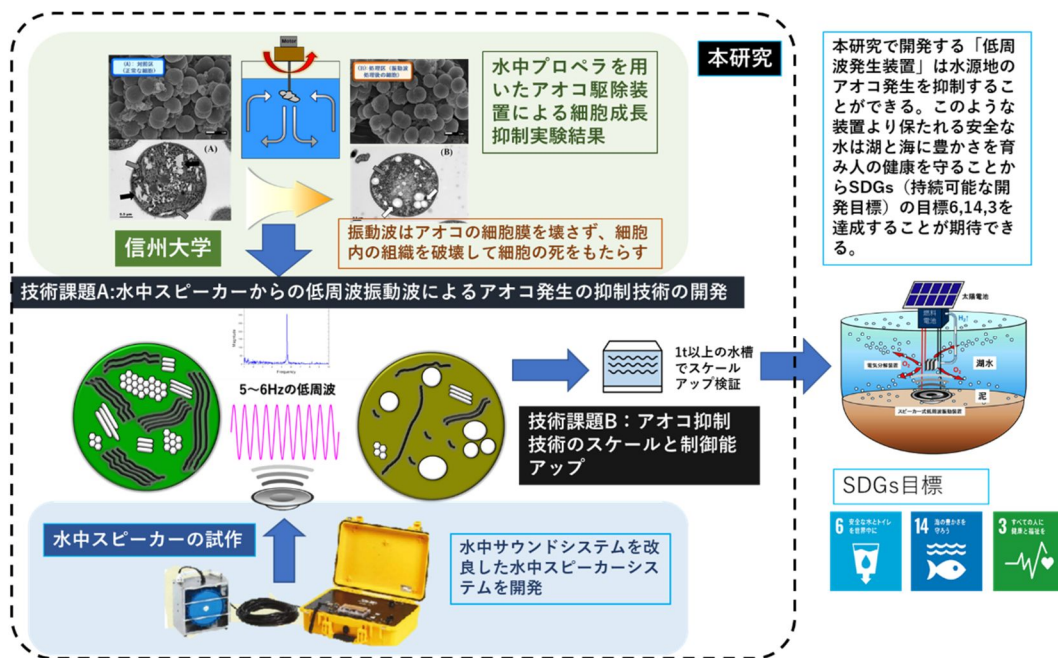
人類の経済活動の増加に伴い、水域への窒素・リン等の栄養塩類の負荷が増えることで湖沼の富栄養化が大きな環境問題となっている。さらに地球温暖化の影響を受けて、ダム湖を含む湖沼や堀などにおいて、有毒アオコが大量発生し、そこに生育する魚類の大量死や悪臭の発生など、様々な景観を含む環境問題が発生している。特にダム湖などでは、管理する電力会社が環境制御の観点からその対策に乗り出しているがその解決には至っていない。現状、湖等において有毒アオコの発生を抑制するために取られている措置は、大型の曝気装置を用いる方法であるが、これは湖底の泥を巻き上げ、底泥中の有害物質の浮上、特に窒素やリンが泥か水中に拡散され、「アオコの増殖」につながるという矛盾を抱えている。このまま地球温暖化が進むと、水温も上昇し有毒アオコの大量発生が頻発し、その周辺の生態系が破壊される恐れがある。そのため持続可能な生態系の保護のためにもアオコを抑制する技術開発が望まれている。アオコ毒素(ミクロシスチンなど)は細胞内に存在することが知られており、その毒素の除去は、細胞そのものを取り除くことが最善の方法である。アオコの細胞から溶出したミクロシスチンを除去することは可能ではあるが、費用がかかることが難点である。浄水処理の過程では殺藻処理などで用いられる硫酸銅を散布した場合、大量のミクロシスチンが細胞外に溶け出すことが知られている。今までのアオコ抑制方法は、ジェットポンプといった人工的水流、湖沼の曝気、人工的攪拌、化学的処理、溶藻菌・ファージ、超音波等の様々な方法が試みられてきたが、藍藻類の処理中や処理後に発生するミクロシスチン溶出や水質への影響等の問題点がある。そのため、アオコ発生後に処理を行なう方法ではなく、アオコ発生前にアオコの発生を抑制するのが最善策と言える。

## 2 . 研究の目的

本研究では、水中スピーカーを応用して低周波振動を発生させてアオコの発生を抑制する装置の実用化を目指すための研究と技術開発を行う。湖沼の富栄養化と地球温暖化による藍藻類の大増殖現象(アオコ)は、悪臭や景観の悪化、有毒性などがあり、湖沼の維持管理や周辺環境に対する経済負荷が大きい。私達の今までの研究では、水中の低周波振動がアオコ成長を抑制することをラボスケールで見出している。水中スピーカーを用いた水の環境制御には周波数の課題があり、本研究の実験結果を応用することで、水中スピーカーの低周波振動による最適なアオコ抑制について検証を行い、実用的なアオコ抑制装置の完成を目指す。本研究では、振動波がアオコの原因藍藻類の成長を抑制するメカニズムを明らかにして、抑制に最適な振動数と強度を見出すことが最終目標である。その振動(周波数)を発生させる、水中低周波振動発生装置を開発し、アオコ発生を事前に抑制できる汎用性あるアオコ抑制装置を完成することを目的とする。

### 3. 研究の方法

これまでの研究で、水槽中においてアオコの発生の抑制技術の開発を行ってきており、特殊な形状の水中プロペラを用いて水槽の表層数センチに低周波(5~6Hz)の振動波を絶えず発生させることで、藻類の成長を抑制することを明らかにしてきた。この手法は、アオコの細胞壁を破壊せず細胞死に至らすことができるため、アオコ毒素を細胞外に流出させることのない独自のアオコ発生の抑制技術である。令和3年度からは、今までの水中プロペラを用いた低周波(5~6Hz)の振動波を、水中スピーカーを応用して低周波振動を発生させる装置の開発を行った。水中スピーカーとサラウンドシステムを用いてアオコ制御実験を行った。市販のサラウンドシステムから水中スピーカーに発生させることができる周波数は人間の可聴範囲である20~20,000Hzであることを確認した。アオコ制御に必要な10Hz以下の低周波発生装置を国内の機器メーカーと共同で試作品の製作を行った。試作した「低周波発振器(1~20Hz)」に水中スピーカーを繋いでアオコ制御装置の完成とした。その後、完成した装置を用いてアオコ制御実験を重ねて低周波発振器の性能確認と最適制御周波数を求めた。



水中スピーカーの低周波振動を応用したアオコ制御装置の概要

### 4. 研究成果

今までの本研究目標は、「振動波の圧力分布」と「水中におけるアオコの対流」をあわせて解析し、振動波がアオコの成長に及ぼす影響を定量的に評価することであった。その結果を基に、振動波がアオコの原因藍藻類の生長を抑制するメカニズムを明らかにするとともに

に、制御パラメータの最適化を図ることが第一の目標でその後、振動波発生をモーターによる装置以外の方法、振動スピーカー及び水中スピーカーによる振動波発生装置を試作することが第二の目標である。さらに、振動波発生装置を湖沼で使用できる大きさに拡張した場合に、室内実験結果と同様な結果を得られるように装置の規模と動作を調整することが第三の目標である。令和3年度～令和5年度は、水中スピーカーによる水中低周波振動発生装置の試作が主な目標で、その次が試作した「水中振動波発生装置」を用いてアオコ制御実験を開始することであった。低周波発振器(1~20Hz)に市販の振動スピーカー及び水中スピーカーを連結することで目標とした試作品の第一号機器を製作することができたので研究計画通りに進めることができたと言える。「振動スピーカーを用いた藍藻制御実験では藍藻の成長が対照区(下部攪拌)と同様に増加を示しており振動スピーカーを実験容器の下に設置した場合には全く成長阻害を示さなかった。しかしアクリルチャンバー内に水中スピーカーを設置して振動発振器の周波数を1~10Hzと変化させた実験では4日目以降から対照区と健常な藍藻の成長阻害を示し9日目までに藍藻を制御することが確認された。以上の実験より水中スピーカーを連結した低周波発生装置の周波数が10Hz以下であれば藍藻の成長を制御することが可能であることが示唆された。「水中振動波発生装置」を用いたアオコ制御実験についても、水中プロペラを用いたアオコ制御実験と同程度(実験開始後3日程度)の制御効果(90%以上のアオコ細胞の減少)を得ることが確認できた。将来的には大型スピーカー及びパワーアンプを用いて湖沼のアオコを制御する実証実験を行う計画である。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 朴 虎東	4. 巻 66
2. 論文標題 淡水域におけるシアノトキシンの動態	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 用水と廃水	6. 最初と最後の頁 41-51
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 永峯亮弥・二木功子・朴 虎東
2. 発表標題 低周波振動を用いたアオコ制御方法の試み
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宇佐川輝・永峯亮弥・二木功子・朴 虎東
2. 発表標題 水中スピーカーの低周波を用いた藍藻の制御方法の開発
3. 学会等名 日本陸水学会甲信越支部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永峯亮弥・二木功子・朴 虎東
2. 発表標題 水中振動発生装置を用いた藍藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> の制御方法の開発
3. 学会等名 日本陸水学会甲信越支部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永峯亮弥・二木功子・朴 虎東
2. 発表標題 低周波装置を用いた藍藻 Microcystis の制御方法の開発
3. 学会等名 日本陸水学会甲信越支部会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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

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