

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20466

研究課題名(和文) 降雨に起因したアオコ発生トリガーの普遍性調査

研究課題名(英文) Investigating the universality of triggers for blue-green algae caused by rainfall

研究代表者

増木 新吾(Shingo, Masuki)

島根大学・エスチュアリー研究センター・客員研究員

研究者番号：80806894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：ダム湖に形成される貧栄養層がアオコを抑制する要因であること、また、貧栄養層が一定規模以上の降雨により解消されることがアオコの発生要因であることを報告した(増木ら、2018、土木学会水工学論文集)。本研究では、これら現象の普遍性を調べた。その結果、富栄養湖であるダム湖において、夏季には深度0.5～2mの表層部が貧栄養状態になる点を確認した。大規模な降雨の後、およそ10日間の後に藍藻類が増殖を開始する点も、普遍性が確認できた。一方、成層破壊後もリン制限状態が継続する場合、藍藻類の異常増殖(アオコ)の状態には至らなかった。流入水の栄養塩特性がアオコの発生に影響を与える可能性があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アオコは景観を悪化させ、悪臭を放ち、水源利用する場合には飲用水にカビ臭を生じさせ、毒素による人への健康被害も報告されている。また、下流域の生態系に悪影響を及ぼす可能性もあり、アオコの低減化に関する研究および技術開発は極めて重要である。

アオコの発生メカニズムは、未だ十分に理解されておらず、現在も様々な研究が続いている。本研究では、既報の「ダム湖の表層貧栄養層の形成がアオコの抑制に繋がること」、そして、「降雨による攪乱作用により表層貧栄養層が解消されることがアオコの発生トリガー」であることの2点について、他ダムを選定し、その普遍性を調べた。より効果的なアオコ対策へと繋がることを期待される。

研究成果の概要(英文)：It was reported that the oligotrophic layer formed in the dam lake is a factor that suppresses blue-green algae, and that the oligotrophic layer is eliminated by rainfall above a certain scale is a factor that causes blue-green algae (Masuki et al.)., 2018, JSCE Water Engineering Proceedings). In this study, we investigated the universality of these phenomena. As a result, it was confirmed that in the dam lake, which is a eutrophic lake, the surface layer at a depth of 0.5 to 2 m becomes oligotrophic in summer. It was also confirmed that the blue-green algae started to grow about 10 days after the large-scale rainfall. On the other hand, when the phosphorus-restricted state continued even after the stratification was destroyed, the state of abnormal growth of blue-green algae (blue-green algae) was not reached. It was suggested that the nutrient characteristics of the inflow water may affect the development of blue-green algae.

研究分野：自然環境科学

キーワード：アオコ ダム湖 藍藻 アオコ対策技術

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

アオコは景観を悪化させ、周辺環境に悪臭を放ち、時には飲用水にカビ臭を生じさせ、ミクロキスチンなどの毒素による人への健康被害も報告されている。また、下流域の生態系に悪影響を及ぼす可能性もあり、アオコの低減化に関する研究は極めて重要な課題である。種々取り組みが進められているものの、依然としてアオコの問題は解決に至っていない。今後、より効果的な対策を実施していくにあたってはアオコの発生要因やその増殖に関するメカニズムについてさらなる研究が待たれている。

2 . 研究の目的

申請者らは 2017 年に昇降型自動観測装置による長期観測およびアオコの発生前後(8 月と 10 月) に栄養塩や藻類の空間分布観測を実施し、降雨には成層構造を破壊しない場合(図 1) と破壊する場合(図 2) があることを示した(増木ら, 2018, 土木学会水工学論文集) 。そして前者の状態が春以降に継続すると有光層内の栄養塩が枯渇状態になることを明らかにした(栄養塩の枯渇は、春先以降の低水温期に増殖可能な珪藻類や緑藻類により利用されたためであり“ 表層貧栄養層 ” と呼ぶ) 。後者の場合、有光層の循環を伴う大規模な降雨によって“ 表層貧栄養層 ” が消失し、富栄養状態に戻ることがアオコの発生の一因であることを報告した。一般的に富栄養湖と呼ばれている湖において、水面から水深数 m の範囲の有光層において局所的に貧栄養層が形成されており、それが藍藻類の爆発的な増殖を抑制する可能性があることがわかった。本研究の目的は、著者らが明らかにした上記のアオコ発生メカニズムが他のダム湖において普遍的に発生しているか？ について長期的な連続観測手法を用いて明らかにすることである。

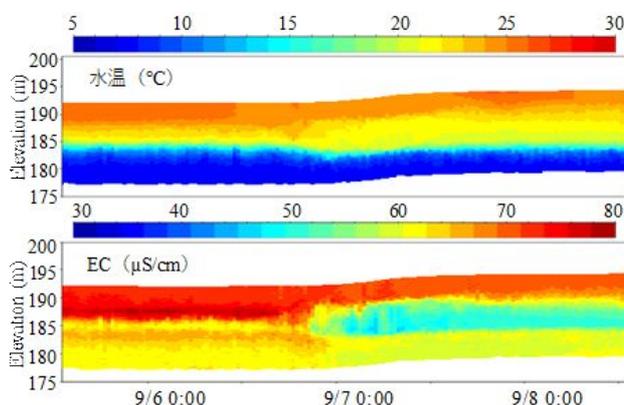


図 1 成層が維持された降雨時の水温(上段) および電気伝導度(EC) の経時変化

9/7 0:00 に雨水が流れ込む様子が見られるものの、成層構造は維持されている。

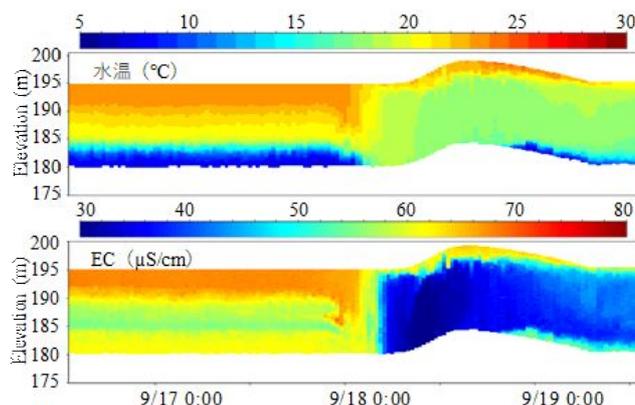


図 2 成層が破壊された降雨時の水温(上段) および電気伝導度(EC) の経時変化

9/18 0:00 に雨水が流れ込むと同時に表層部において湖水の循環が発生していることがわかる。

3 . 研究の方法

(1) 自動観測装置による長期的な鉛直観測

島根県三瓶ダムを対象に観測を行った。昇降型自動観測装置(環境システム株式会社, AWQP-16) を使用し、2020 年 5 月 ~ 11 月および 2021 年 5 月 ~ 12 月まで観測を行った。測定項目は深度、水温、電気伝導度($\mu\text{S}/\text{cm}$)、溶存酸素(mg/L)、クロロフィル a(ng/L) およびシアノバクテリア

(cells/mL)とした。水面から湖底までの範囲を測定し、データは1時間ごとに取得した。従来から用いられてきたクロロフィル a センサーに加え、近年開発が進んでいるシアノバクテリアセンサーも導入した。シアノバクテリアセンサーを併用することでアオコの動態についてより緻密なデータを得た。

(2) 採水による栄養塩の鉛直分布調査

採水による栄養塩分析を2021年に実施した。アオコが異常増殖する前(2021/8/8)および降雨による循環後、栄養塩分布を調査した(2021/9/29, 2021/10/26, 2021/12/08)。採水深度は有光層(6mまで)を含む0, 2, 4, 6, 8mとした。分析項目は全窒素(T-N)、全リン(T-P)に加えて、アオコ等の植物プランクトンが栄養素として利用可能なアンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)およびリン酸態リン(PO₄-P)とした。

4. 研究成果

(1) 自動観測装置による長期的鉛直観測結果

2021年7月(図5)は11日に大規模な降雨があり、躍層深度が低下、水温の低下、電気伝導度の低下およびpHの均一化が躍層以浅で見られ、成層破壊型の降雨が発生した。この後、14日後、7月25日には深度2~3m付近でシアノバクテリアセンサーの値が上昇し藍藻類の増殖があったと考えられ、成層破壊型降雨がアオコ発生のトリガーになることの普遍性を確認した。

しかしながら、この時、クロロフィル a センサーの値も同時に上昇したことは、藍藻類以外の緑藻や珪藻など他の植物プランクトンも同時に増殖したことを意味し、様々な種が混合する競合状態になったと考えられた。競合する状況は8月初旬にまで継続したことから、藍藻類の発生後、必ずしもアオコ状態(藍藻類が異常増殖し優占種の状態)になるとは言えないことがわかった。

8月7日から大規模な降雨があり(図6)、成層破壊型の降雨が発生した。水温躍層(EL115m)以浅では、全ての観測項目値が均一化された。その後、8月11日から14日にかけても降雨があり、再び成層破壊型の降雨が発生した。2度目の成層破壊型降雨の発生からおおよそ8日後の8月19日にはクロロフィル a の値が上昇をはじめ、その後、8月23日ごろからはシアノバクテリアセンサーの値が上昇し始めた。これらのことから、成層破壊型の降雨がアオコの発生トリガーになるという現象が再び確認された。しかしながら、7月と同様、藍藻類がアオコ状態になるほどの増殖はみられず、クロロフィル a およびシアノバクテリアセンサーの値はともに一定程度維持する状態が継続した。このことから、藍藻類とその他の植物プランクトンが混在する状況であったと考えられた。藍藻類が増殖しなかった原因は、2回の断続的な成層破壊型の降雨により躍層以浅の水温が19度程度まで低下したこと、後述するリン制限が原因と推察された。

(2) 採水による栄養塩の鉛直分布調査結果

採水は成層状態が1か月程度継続した2021年8月6日に行った(図7)。有光層内にあたる0および2mの無機態窒素濃度はそれぞれ244, 189μg/Lであり、深度4m以深と比較して濃度が低い傾向にはあるものの欠乏とは言えない状況であった。一方でリン酸態リンは採水した全域で5~7μg/Lであり低濃度であった。植物プランクトンの増殖は利用可能なリン濃度によって制限されることが多く、三瓶ダムでもリン制限状態にあった。採水したサンプルに含まれる植物プランクトンについて顕鏡したところ珪藻類、珪藻類および藍藻類が混在している状況であり(図8)、前述したようにシアノバクテリアセンサーおよびクロロフィル a センサー双方によって観測されていた状況を裏付ける状態であった。強いリン制限下であったことから藍藻類の爆発的には至らなかったと考えられた。

降雨後の採水は2021年8月25日に実施した(図9)。有光層内の無機態窒素の濃度は、降雨前と比較して上昇し、深度8mまでの範囲で概ね均一となった。一方で、リン酸態リンの濃度は降雨前と比較して違いは見られずリン制限の状況が継続した。これらのことから、流入水に含まれるリン酸態リンの濃度が低い状態であったと考えられ、大規模な降雨が発生した際もリン制限状態の解消には至らなかったと考えられた。

本研究では、申請者が報告した、降雨に伴う表層貧栄養層の解消がアオコ発生のトリガーであることの普遍性を調べるため長期的かつ詳細なデータを取得した。成層破壊を伴う降雨の後、10~14日で水中に藍藻類が増殖を開始するという点は、その普遍性を確認できた。一方で、流入水に含まれる栄養塩は、ダム湖ごとに異なる特徴を有する可能性が高く、三瓶ダムの場合は強いリン制限状態が継続することがわかった。強いリン制限下では、藍藻類のような特定の種のみが爆発的に増殖することは難しいことがわかった。

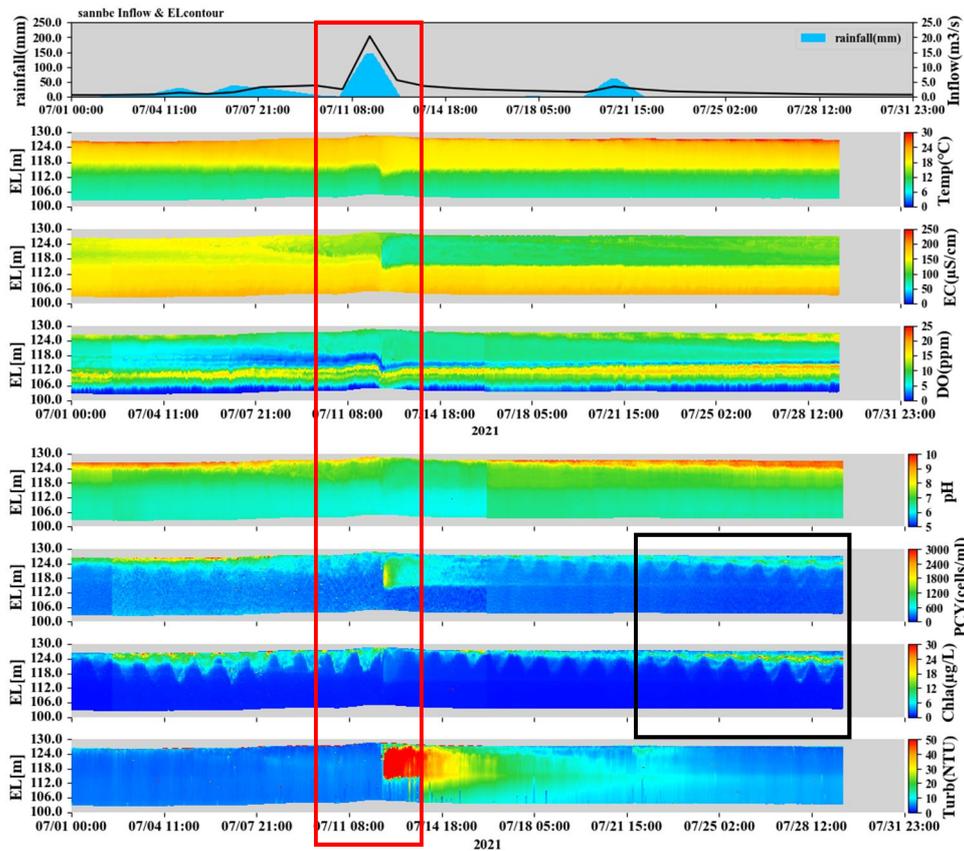


図5 2021年7月 自動観測結果（赤枠は降雨前後の時期を，黒枠は藍藻類およびその他の植物プランクトンの増殖を示す）
 上段から降水量，電気伝導度（EC），溶存酸素（DO），pH，シアノバクテリアセンサー（PCY），クロロフィルaセンサー（Chl-a），濁度（Turb）

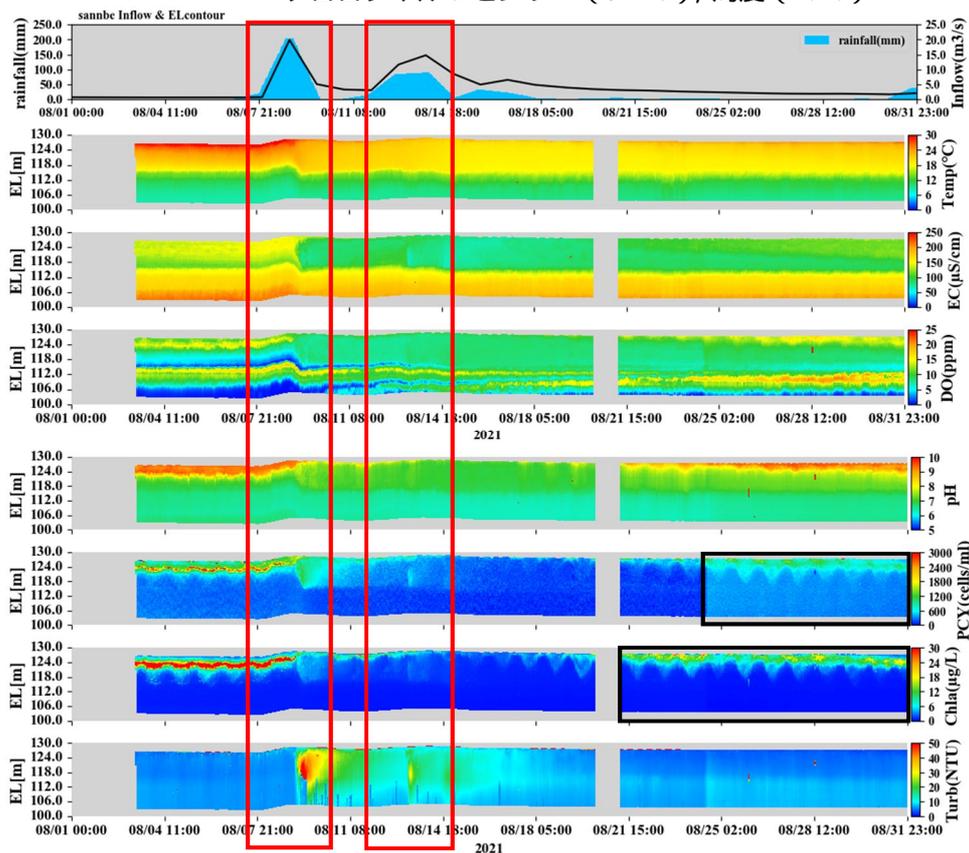


図6 2021年8月 自動観測結果（赤枠は降雨前後の時期を，黒枠は藍藻類およびその他の植物プランクトンの増殖を示す）
 上段から降水量，電気伝導度（EC），溶存酸素（DO），pH，シアノバクテリアセンサー（PCY），クロロフィルaセンサー（Chl-a），濁度（Turb）

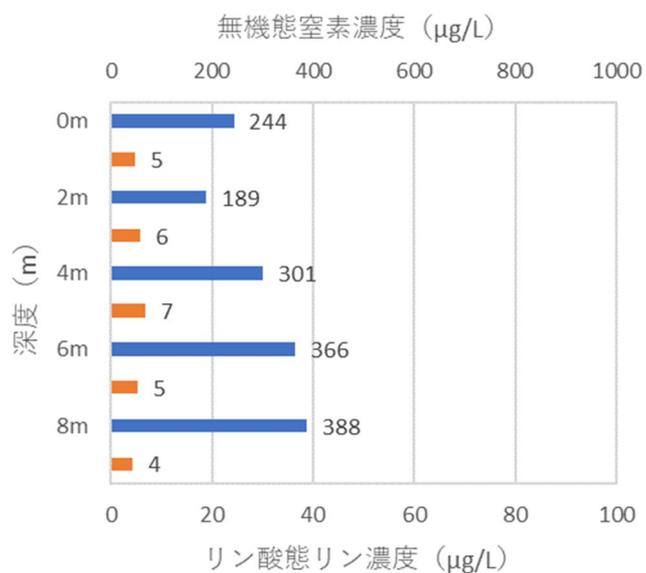


図7 栄養塩の鉛直的な採水分析結果
無機態窒素はアンモニア態窒素，亜硝酸態窒素，硝酸態窒素の合計として示す。



図8 2021/8/6 採水試料顕微鏡写真 400倍 (参考データ)

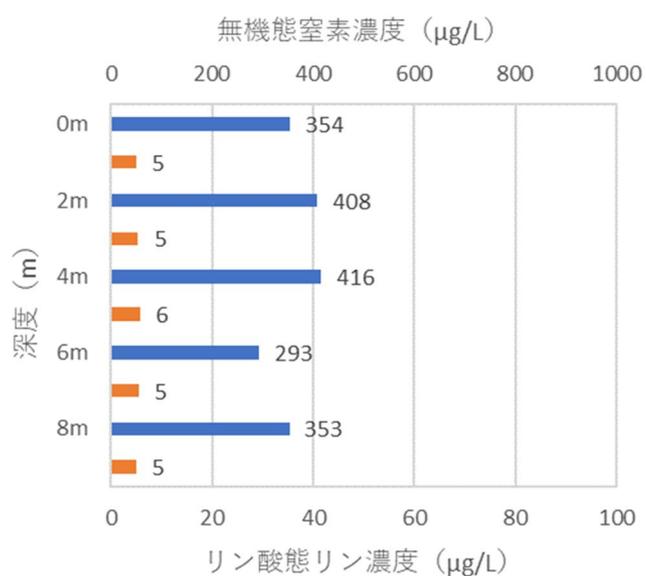


図9 栄養塩の鉛直的な採水分析結果
無機態窒素はアンモニア態窒素，亜硝酸態窒素，硝酸態窒素の合計として示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------