

2021年の殿ダム貯水池におけるアオコ発生抑制に関する考察

岡山大学大学院環境生命科学研究科 学生会員 ○藤井 陽
 島根大学エスチュアリー研究センター 正会員 矢島 啓
 島根大学大学院自然科学研究科 非会員 管原 庄吾
 岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員 吉田 圭介

1. はじめに

鳥取県鳥取市に位置する殿ダム（国土交通省中国地方整備局管理）では、近年になりアオコの発生が見られるようになった。アオコの発生は、景観の阻害や悪臭を生じるため、発生抑制のための対策が必要となっている。殿ダム貯水池におけるアオコ発生メカニズム解明のため、著者らが現地調査を実施した2021年の夏期では、例年に比べアオコの発生状況は比較的抑制されていた。そこで本研究では、我々が実施した現地調査の結果および国土交通省による定期水質調査結果をもとに、2021年夏期におけるアオコの抑制理由について考察をし、今後の検討資料とする。

2. 対象ダム湖について

本研究は、鳥取県鳥取市に建設された千代川水系袋川殿ダムを対象としている。堤高75m、堤頂長294m、総貯水量1240万 m^3 のロックフィルダムであり、ゲート操作を行わず、自然に洪水を調節する自然調節方式を採用している¹⁾。そのため、出水時に常時満水位（EL.182.8m）以上の水位になると、2門のオリフィスから自然に放流されることになる。

3. 研究方法

現地調査より集中観測と定点長期観測の結果を、国土交通省のデータから2017~2021年の流入量、放流量および貯水位の水文状況および月1回実施される定期水質調査の結果を考察に使用した。また、本研究で使用した国土交通省による定期水質調査の採水地点は、後述する図-1中のF地点（水深0.5m）である。

(1) 集中観測

集中観測では6月9日、7月27日、10月7日、10月14日、10月15日、10月27日および10月28日の計7回にわたり、湖内2地点（図-1中のKおよびF）にて水深0m、2m、5m、10m、湖底+1mでの採水を実施し、水質分析および植物プランクトンの同定を行った。ただし、プランクトンの同定は鳥取県保健事業団に依頼した。集中観測は当初、月1回の実施予定であったが、8月は降雨による濁水のため、9月は新型コロナウイルス感染拡大に伴う県外移動規制のため、観測は未実施となった。

(2) 定点長期観測

定点長期観測では2つの網場の通船ゲート部にて、水温計（Onset社製：ティドビッドv2）を水深1mおよび水深2mからは2m毎に水深20mまで計11個設置し、水温の鉛直分布を計測した。網場の位置は破線として図-1中に示す。

4. 結果と考察

(1) これまでのアオコの出現状況

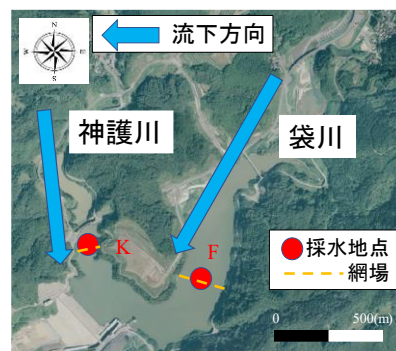


図-1 観測地点
 （地理院タイルに網場，採水地点を追記して掲載）

キーワード 殿ダム，アオコ，水温，DIN/DIP，滞留時間，放流量

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科

TEL 086-252-1111

表-1 国土交通省の定期採水による藍藻類の変化

(a) *Microcystis* 属の細胞密度(群体数/mL)

年 \ 月	6	7	8	9	10
2021	4.3	0.1	1	0.2	8.2
2020	0	2.3	46	33	48
2019	0	0	1	40	0.4
2018	0	0	0	0	0
2017	0	32	14	43	0.4

(b) *Dolichospermum* 属の細胞密度(糸状体数/mL)

年 \ 月	6	7	8	9	10
2021	0.6	0.1	2	3.5	36
2020	0	43	12	140	90
2019	0	0	5	720	0
2018	0	0	0	20	0
2017	0	120	220	100	0.3

表-2 定期採水時の水温(°C) [2017-2021年:6-10月]

年 \ 月	6	7	8	9	10
2021	21.7	28.2	26.0	23.3	22.4
2020	23.1	25.9	26.4	29.3	19.3
2019	20.8	24.6	29.1	28.9	17.6
2018	22.0	28.8	26.7	20.4	20.1
2017	20.9	30.5	29.0	24.6	23.9

国土交通省が行った定期採水時のプランクトン同定結果から、殿ダム貯水池におけるアオコ形成種である藍藻の中から、*Microcystis* 属と *Dolichospermum* 属(2019年以前は *Anabaena* 属として計数)の細胞密度(*Microcystis* 属は群体数/mL, *Dolichospermum* 属は糸状体数/mL)を表-1に示す。表示期間は2017~2021年の6~10月である。また同月間で比較して、2021年よりも細胞密度が大きい月には緑色で着色した。特に細胞密度が小さかったのは2018年であり、2021年はそれに次ぐ水準であった。

(2) 調査期間中の水文状況

図-2に2021年6月9日から10月27日にかけての殿ダム貯水池の貯水位(m)と流入量(m³/s)を示す。調査期間中では7月7日に最大84 m³/s, 8月15日に最大86 m³/sの出水があった。

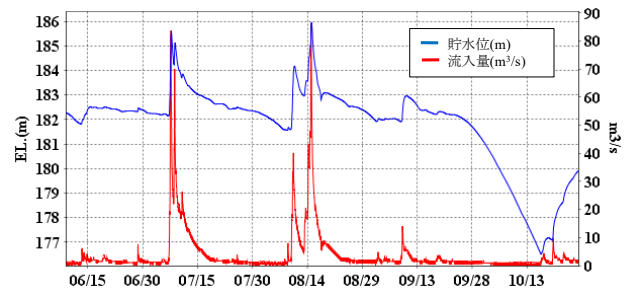


図-2 貯水位(m)と流入量(m³/s) [2021/6/9-10/27]

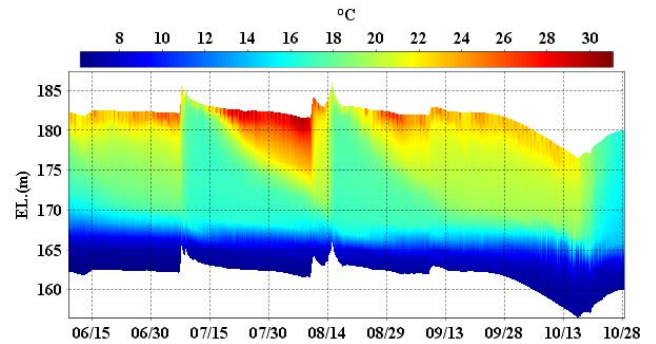


図-3 F地点における鉛直水温分布(°C)

(3) 鉛直水温分布

図-3に2021年6月9日から10月27日にかけての、F地点で計測された水面から水深20 mまでの鉛直方向の水温分布をコンター図として示す。水温の単位は°Cであり、横軸は時間、縦軸は標高(EL.)である。大きな出水のあった7月7日および8月15日のタイミングで顕著な表水層の水温低下が見られた(水深1 mの水温: 25°C(7月6日)→18°C(7月14日), 26°C(8月10日)→18°C(8月18日))。最大増殖温度は *Microcystis* 属が25~35°C, *Dolichospermum* 属が18~35°Cと言われており²⁾, 2021年のアオコの発生が抑制されたのは、2度の水温低下が一つの原因と考えられた。表-2は2017~2021年の6~10月の国土交通省の定期水質調査時の水温(°C)を示したものであるが、過去特に *Dolichospermum* 属において細胞密度が大きかった2017年8月(120(糸状体数/mL))や2019年9月(720(糸状体数/mL))などは、それぞれ水温が29.0°Cや28.9°Cと高い傾向にあった。

(4) 水質分析結果

表-3に我々が行った集中観測で実施した採水結果の中からF地点における6月9日, 7月27日, 10月7日, 10月14日および10月27日での各水深の溶存無機態窒素(DIN)と溶存無機態リン(DIP)の分析結果(単位はmg/L)およびDINとDIPのモル

表-3 2021年の水質分析結果

(a) DIN(mg/L)

水深 \ 日	6/9	7/27	10/7	10/14	10/27
0 m	0.134	0.104	0.073	0.093	0.212
2 m	0.164	0.098	0.055	0.078	0.208
5 m	0.149	0.173	0.106	0.170	0.201
10 m	0.211	0.306	0.184	0.248	0.270
湖底+1 m	0.338	0.267	0.242	0.345	0.455

(b) DIP(mg/L) (N. D. は<0.003 mg/L)

水深 \ 日	6/9	7/27	10/7	10/14	10/27
0 m	0.003	N.D.	0.004	N.D.	N.D.
2 m	0.004	N.D.	0.004	0.003	N.D.
5 m	0.004	N.D.	0.004	0.006	N.D.
10 m	0.004	N.D.	0.005	0.007	N.D.
湖底+1 m	0.004	N.D.	0.005	0.005	0.006

(c) DIN/DIP

水深 \ 日	6/9	7/27	10/7	10/14	10/27
0 m	85	—	37	—	—
2 m	89	—	32	54	—
5 m	87	—	61	58	—
10 m	124	—	86	82	—
湖底+1 m	199	—	106	154	176

比(以下, DIN/DIP と表記)を示す. DIN はアンモニア態, 亜硝酸態および硝酸態窒素の和であり, DIP はリン酸態リンである. 溶存無機態栄養塩は植物プランクトンが利用できる栄養塩であり, 植物プランクトンの元素組成から DIN/DIP がおよそ 16 以上でリンによって, 16 以下で窒素によって成長が制限されていると推定できる³⁾. リン酸態リンが定量下限値に満たない場合(<0.003 mg/L)では, DIN/DIP が計算不可能であるため, 表中では—で示した.

表-3(a)および(b)より, DIP は定量下限値以下を記録するなど非常に濃度が低かった. DIN は水深が深くなるほど計測値が大きくなるような傾向があった(例, 7月27日: 0.104 mg/L(水深 0 m)→0.306 mg/L(水深 10 m)). そのため, DIN/DIP は水深が深くなるにつれて大きくなる傾向にあった(表-3(c)).

表-4 滞留時間[2017-2021年:6-10月]

年 \ 月	6	7	8	9	10	7-9月平均
2021	66.0	39.7	41.1	44.8	87.1	41.9
2020	68.6	18.8	85.5	82.7	55.7	62.3
2019	44.6	36.9	52.8	37.2	25.5	42.3
2018	46.4	45.5	97.8	18.3	40.2	53.9
2017	66.0	47.7	51.4	38.9	22.3	46.0

DIN/DIP の最小値は 10月7日の水深 2 m の 32 であり, 2021年の殿ダム貯水池はリン制限であったと考えられる. また, 表には示していないが, 国土交通省による定期水質調査結果(2017~2021年の6~10月)から計算した DIN/DIP は, 2018年8月および 2019年8月を除き, ほとんどの期間でリン制限であり, 殿ダム貯水池におけるアオコはリン制限下で生じていたと考えられた. また, 過去の国土交通省の調査結果においても多くの時期で DIP は定量下限値以下であり, 栄養塩の絶対量と藍藻の細胞密度の関連は見いだせなかった.

(5) 滞留時間と放流量

表-4 に 2017~2021年の6~10月の, 各月の平均した滞留時間(days)を示す. 滞留時間は貯水池に流入した水がどのくらいの期間で入れ替わるかを示す指標である. 殿ダムでは 1時間ごとに貯水量などのデータを記録しており, 貯水量(m³)と流入量(m³/s)から 1時間ごとに滞留時間(days)を計算し, それを各月で平均した. また, 表-5 に 2017~2021年の6~10月の常用洪水吐きおよび選択取水設備(SWS)からのそれぞれの放流量(千 m³)を示す. 放流量は 1時間毎のデータを各月で合計し, 3600秒を乗じて足し合わせた.

表-4 より, 特にアオコの発生しやすい高水温時期となる 7~9月の滞留時間の平均を比較すると, 2021年は, 表-1の緑色着色月の多い2020年や2017年と比較して短かった. したがって, 藍藻は過去のアオコ発生時に比べ, 増殖する前に系外に排出されやすかったと考えられる. また表-5を見ると, 細胞密度の比較的小さい2021年の7, 8月や2018年の7月などは常用洪水吐きからの放流量が 10000千 m³を超えていた. アオコを形成する藍藻は水面

表-5 放流量(千 m³) [2017-2021 年:6-10 月] ()内は同月での全放流量に対する割合

年	月	6	7	8	9	10
2021	洪水吐き	0 (0%)	13050 (74%)	14317 (73%)	371 (7%)	0 (0%)
	SWS	3985 (100%)	4561 (26%)	5310 (27%)	4849 (93%)	4079 (100%)
2020	洪水吐き	4635 (51%)	10741 (62%)	0 (0%)	1996 (38%)	1 (0%)
	SWS	4538 (49%)	6522 (38%)	3862 (100%)	3225 (62%)	3700 (100%)
2019	洪水吐き	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	SWS	3992 (100%)	3478 (100%)	3799 (100%)	2387 (100%)	3504 (100%)
2018	洪水吐き	0 (0%)	12433 (74%)	0 (0%)	7477 (59%)	5959 (56%)
	SWS	4453 (100%)	4466 (26%)	4671 (100%)	5234 (41%)	4707 (44%)
2017	洪水吐き	0 (0%)	0 (0%)	2084 (32%)	6323 (57%)	13602 (69%)
	SWS	3023 (100%)	3774 (100%)	4415 (68%)	4680 (43%)	6174 (31%)

付近に集積する特性があるため、表層から水を放流する自然調節方式では、出水時などは藍藻は系外に排出されやすく、藍藻にとっての滞留時間は表-4で計算されたものよりもさらに短いと考えられる。したがって、殿ダム貯水池において、常用洪水吐きからの放流量の増減は、アオコの消長に影響を及ぼしていると推察され、本年度においては放流量の増加がアオコの発生抑制に働いたと考えられる。

5. 結論

本研究では、2021年の殿ダム貯水池においてアオコの発生が例年に比べて抑制された理由について、現地観測結果や過去4年分の定期水質調査結果をもとに考察した。アオコの発生が抑制された原因として、2度の出水による水温の低下や常用洪水吐きからの放流量の増加が考えられた。本研究の現地調査結果による考察はアオコが抑制された年のみの結果によるものであるため、今後殿ダム貯水池でのアオコの消長を検討していくうえでは、アオコが今年度以上の発生となった場合等のさらなるデータの蓄積が必要となる。本研究の採水結果によって、DIN や DIP には水深方向の分布に特徴が見られており、アオコの消長との影響を判断するためには、今後も複数水深での採水を続ける必要がある。また、本研究では滞留時間や放流量については貯水池全体を対象とした考察にとどまっており、部分的な水の流れについては議論できていない。また、殿ダム

貯水池では常時満水位以下の水位では SWS による取水を行っている。よって、貯水池の流動とアオコの発生や規模との関係については、数値シミュレーションを用いて、詳細に検討する必要がある。

謝辞

本研究は、国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所受託研究「千代川水系袋川殿ダム貯水池におけるアオコ発生メカニズムに関する研究(研究代表: 矢島啓)」の一環として行われた。また、本研究を行うにあたり、鳥取河川国道事務所殿ダム管理支所より貴重なデータをご提供いただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所：平成のピラミッド 殿ダム(パンフレット), http://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/tono/text/tono_gaiyou2.pdf (参照 2022-04-06).
- 2) Robarts, R. D., Zohary, T.: Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol.21, pp.391- 399, 1987.
- 3) Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F. A.: The influence of organisms on the composition of sea water, *In The Sea*, Vol.2, pp.26-77, 1963.