

ダム貯水池の水環境に及ぼす水草の影響評価を 目的とした調査研究

鹿児島大学大学院・理工学研究科 小橋乃子
鹿児島大学学術研究院・理工学域・工学系 安達貴浩

ダム貯水池の水環境に及ぼす水草の影響評価を目的とした調査研究

鹿児島大学大学院・理工学研究科 小橋乃子
鹿児島大学学術研究院・理工学域・工学系 安達貴浩

1. 本研究の目的

水草は、水中のリンや窒素を取り込んで成長するため、貯水池の富栄養化軽減効果があると考えられている。加えて、水草の光遮断効果や一部の水草が有するアレロパシー効果によって、アオコ等の有害プランクトンの大増殖の抑制に対して有効である可能性も指摘されている。その一方で、水草が大増殖すると、湖面における風による水塊混合効果が低減するために、有害プランクトンが滞留・集積しやすくなる可能性も考えられる。さらに、水草が大増殖した後に冬季を迎えると、水草は枯死・腐敗・分解するため、水質や底質に対して悪影響を及ぼすことになる。これまで、栄養塩除去の観点から、水草の生理生態学的特性が個別に研究されているが、上記のように、水草は水環境に対して、メリットとデメリットの両側面を有する可能性が指摘できることから、総合的視点からの水草の影響を明らかにすることを目的として、本研究では、必要となる調査データを取得することとした。

2. 対象領域と観測の概要

川内川中流域に位置する鶴田ダムの貯水池(大鶴湖)では、2008年頃からボタンウキクサやホテイアオイといった外来生物の大量発生が度々確認されている。2020年は、暖冬の影響で越冬個体が増加・大量繁茂し(図-1)、年間を通じてかなりの水草が繁茂することとなった。このため、2020年8月以降、月1~2回の頻度で現地観測を実施した。具体的には、ダム湖内の複数点(図-1)で、水温、溶存酸素量(DO)、クロロフィル a 濃度(Chl- a)、濁度、栄養塩類(TN、TP、DIN、DIP等)の鉛直分布を計測した(なお、同様の観測が2014年度以降実施されている)。更に、単位面積当たりの水草の湿潤重量や個体数を調べるためのコドラート調査を実施した。

3. 研究結果

3.1 水草下の光環境とChl- a

10月に計測された光強度の鉛直分布を図-2に示す。水草が存在しない地点と比べると、水面が完全に水草で覆われた地点の光強度は水表面であっても大幅に減少し、水草群落下の水柱にはほとんど光が到達していないことが分かる。次に地点Gの表層で測定された9、10月のChl- a の最大値と最小値を年別に比較すると(図-3)、水草が大量繁茂した2020年のChl- a は特に低かったことが分かる。栄養塩の枯渇は確認されていないことから、Chl- a の低下は水草の大量繁茂による光不足が影響していると考えられる。なお、堤体近傍まで水草が繁茂した2020年において、年間を通じてアオコの発生は見られなかった。

ところで、水草のもつアレロパシー効果(成長を抑制する物質の放出効果)によって、藍藻類

(*Microcystis aeruginosa*)の増殖が抑制されることが知られている。特にホテイアオイは*M. aeruginosa*に対して強い増殖抑制効果があると言われており、ボタンウキクサについてもアレロパシー効果を示唆するような結果²⁾が得られている。このため、2020年にアオコの発生が見られなかった理由として、上述の光量不足に加え、ボタンウキクサとホテイアオイによるアレロパシー効果の影響の可能性も否定できない。その一方で、網場の影響でダム貯水池の下流側での水草繁茂が見られなかった2019年には、水草の下にアオコ(*M. aeruginosa*)がトラップされた状態で生存している様子が観察されている(写真-1)。このように、水草が繁茂しない領域で一度アオコが増殖してしまうと、水草が繁茂しているような悪条件下(光不足や水草によるアレロパシー効果)であっても生存し続けられると言える。

3.2 水草による栄養塩吸収

次に水草による栄養塩の吸収の程度を把握するため、上流(地点A)と下流(地点B)のDIN、DIPの差(Δ DIN, Δ DIP)と、A-B間の表層Chl-*a*の平均値との関係を調べた(図-4)。栄養塩の横流入や鉛直混合の影響は小さいものとする、栄養塩の減少(Δ DIN, Δ DIP)はA-B間の植物プランクトン(Chl-*a*)と水草による栄養塩吸収に起因することになるが、A-B間の表層Chl-*a*が低い場合であっても水草が繁茂した2020年の Δ DINは全体的に大きな値を示しており、水草による栄養塩吸収の影響を見て取れる。このように、水草による栄養塩除去効果を示唆する結果も得られたが、その影響は水草が大量繁茂した状態(図-1)であっても通常の植物プランクトンによる栄養塩摂取と同程度か数倍程度であった(図-4)。なお、 Δ DIPについても同様の傾向が確認されている(図示省略)。

3.3 水草の枯死・分解の状況

次に、水中ドローンによる湖底調査の結果を確認したところ、水草の増殖期である9月には水草が沈降

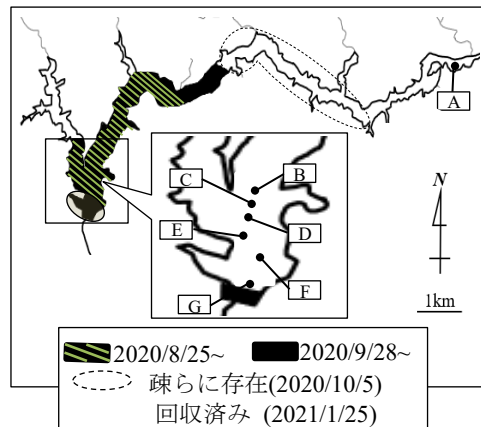


図-1 観測地点の概略図と2020年度の水草繁茂状況

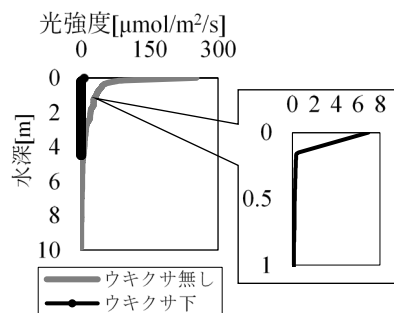


図-2 光強度の鉛直分布

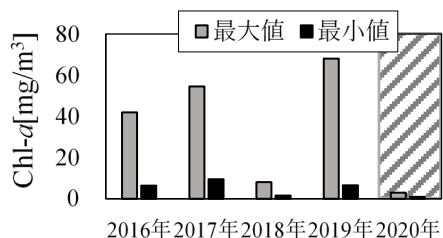


図-3 9月、10月の年別Chl-*a*の最大値と最小値(測点G)



写真-2 アオコと水草の共存状態(2019年10月撮影)

している様子は見られず、底泥間隙水のアンモニア濃度やPOCについても2019年と同程度の値を示した(図示省略)。一方、2021年1月以降は気温の低下とともに水草が衰弱し、2月の湖底調査では、室内観察結果とは異なり、根だけでなく葉も一緒に沈降している様子が観察された(地点G)。

ところで、前述のように水草繁茂時には植物プランクトンの影響が少なかったことから、次に、易分解性有機物の指標として地点GにおけるBOD₅の鉛直分布を調べた(図-5)。この結果、水草増殖期の10月には最大でも1.0mg/L程度であったが、衰弱期の1月には表層で急増し、2月には更に増加している様子が見て取れる。このように、水草が枯死することで表層に易分解性有機物が供給されているものと考えられる。また、懸濁態有機炭素(POC)についても分析を行ったところ、水草のない通常の1月(2018年1月)の結果と比較すると、2021年の1月、2月とも非常に高い値だったことが分かった(図-6)。BOD₅の結果も踏まえると、ばらつきはあるものの、特に表層から5m程度に枯死した水草からの有機物供給が供給されているものと考えられる。

3.4 水草群落下のDO特性

地点Gの表層で測定されたDOの経時変化を図-7に示す。2020/9/28以降は地点Gでも水草が繁茂した状態であることが確認されており(図-1)、繁茂以降の表層DOが例年よりも大きく低下し、表層に貧酸素水塊が形成されていることが分かる。また、2020/10/5のDOの鉛直分布を見ると(図-8)、DOの低下は地点Bから地点Gの水深が3~4m以浅で生じていることが見て取れる。なお、水草増殖期の群落下では、常にこのような表層の貧酸素化が観察されていた。

3.5 水草のDOモデルを用いた検討

前述のような水表面に形成される貧酸素水塊の形成要因を調べるために、同日のデータを用いて表層~1mの間のDO収支について検討を行った。以

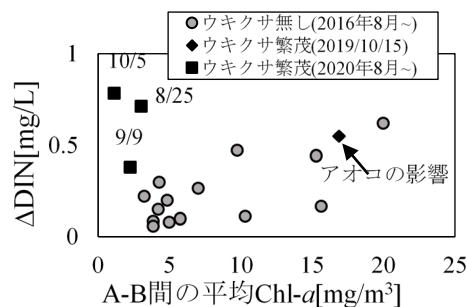


図-4 A-B間の平均Chl-aとΔDINの

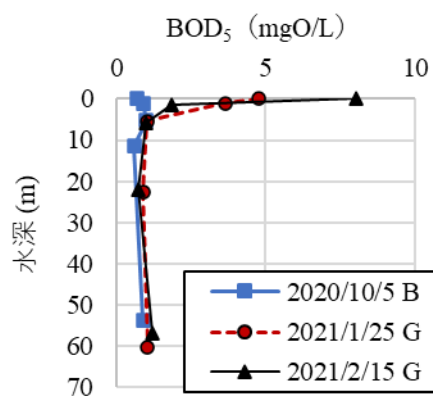


図-5 BOD₅の鉛直分布

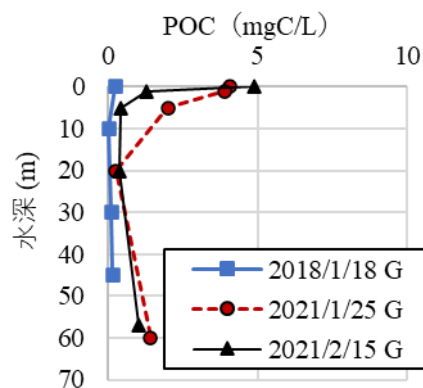


図-6 POCの鉛直分布

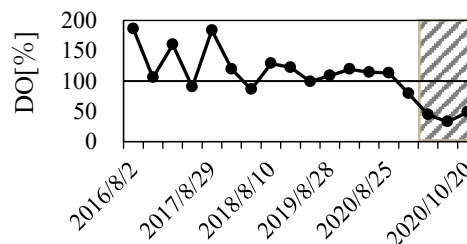


図-7 表層DOの経時変化(測点G)

下に検討に用いたDO収支の基礎式を示す。

$$\frac{d(DO)}{dt} = -Resp - Decp + DOair \quad (1)$$

ここで、*Resp*は水草の根の呼吸による酸素消費速度、*DOair*は表層からの再曝気速度であり、既往の知見を基に表-1に示すモデルを用いた。また、*Decp*はデトリタスの分解による酸素消費速度であり、BOD₅の分析結果から0.16mg/L/dayを与えた。また、必要なパラメータについては、2020/10/5に実施したコドラート調査等の観測結果を用い(表-1)、再曝気速度は葉が無い状態(LAI=0)の最大の酸素供給速度を仮定した。なお、同日の表層~1mのChl-*a*は約1.3mg/m³と比較的少ないことから植物プランクトンによる影響は無視した。室内培養実験から根の呼吸速度(*r_{CR}*)を0.025day⁻¹とし、大鶴湖を対象に、式(1)に示す水草下のDOフラックスを比較すると、根の呼吸による酸素消費が最も卓越しており(図-9)、図-8に見られる表層のDO低下は主に根の呼吸に依るものであることが分かった。

4. 結論

本研究は、2020年度に大鶴湖で大増殖したボタンウキクサを対象に研究を行った。この結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 2020年度には、植物プランクトンの増殖が例年よりも大幅に抑制されていたが、この要因がボタンウキクサ大増殖による水中光量の減少によるものであることを明らかにした。
- 2) 大鶴湖におけるボタンウキクサによる栄養塩吸収特性を明らかにした。
- 3) ボタンウキクサによる鉛直混合抑制効果ならびにアオコに対するアレロパシー効果について検討した。
- 4) ボタンウキクサの枯死・分解の状況を明らかにした。
- 5) 画像解析により、ボタンウキクサとホテイアオイの占有面積比を明らかにした。
- 6) 水草が水質・底質環境に及ぼす影響をより総合的に検討することを可能にするため、DOモデルを新たに構築した。

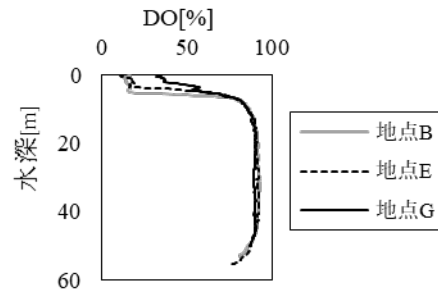


図-8 DOの鉛直分布
(2020/10/5観測)

表-1 モデル式

| |
|---|
| $Resp = C_{DO/C} \cdot r_{CR} \cdot fT \cdot C_R / \Delta Z_R \cdot \frac{DO}{DO + DO_0}$ $fT = \theta^{(T-20)}$ $DO_{air} = (1-LAI) \cdot Ka \cdot (DO_s - DO)$ $DO_s = \frac{32O_2}{22.4(1+T/273)}$ $O_2 = 10.291 - 0.2809T + 0.006009T^2 - 0.000063T^3$ |
| fT : 温度依存関数, θ : アレニウス定数(1.07) $C_{DO/C}$: C→DOへの変換係数 $(3.47 \times 10^{-3} \text{ mg/L}(\text{mgC/L})^{-1})$ r_{CR} : 根の呼吸速度(0.025 day^{-1}) C_R : 根に含まれる炭素の単位面積当たりの濃度 (140.5 gC/m^2) ΔZ_R : 根の長さ(1.0m), DO: 溶存酸素量(1.2mg/L) DO_0 : 半飽和定数(1.0mg/L), T: 水温(21.9°C) DO_s : 飽和溶存酸素濃度(mg/L) LAI : 葉面指標(m^2/m^2), Ka : 再曝気係数(0.15 day^{-1}) |

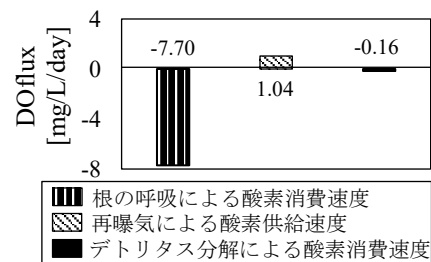


図-9 各種 DO フラックスの比較
(2020/10/5のデータ使用)

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成をしていただいた一般社団法人九州地方計画協会に深甚なる謝意を表します。また、本研究の現地調査を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局・鶴田ダム管理所の皆様、および鹿児島大学工学部の学生諸氏に、多大なるご協力をいただきました。また、分析に際しては、技能補佐員の仮屋崎潮氏に多大なるご尽力をいただきました。ここに深甚なる謝意を表します。最後に、本研究成果の一部は、肥後拓馬君、西村昌高君の卒業論文（令和3年卒業）としてまとめられていることを付記します。

参考文献

- 1) 楠本ら（2002年）：ホテイアオイ及びシュロガヤツリの持つ *Microcystis aeruginosa* に対するアレロパシー的増殖抑制効果の検証、土木学会第57回年次講演会、VII-207
- 2) 津田ら（2004年）：導入・侵入水生植物等が藍藻類に及ぼすアレロパシー活性評価手法の検討、雑草研究 Vol.49, pp.180-181
- 3) E. M. Eid et al.(2016): Modelling the growth dynamics of *Pistia stratiotes* L. populations along the water courses of south Nile Delta, Egypt, Rend. Fis. Acc. Lincei, 27, pp.375-382.