

越冬した外来性浮草大群落がダム貯水池の  
水環境に及ぼす影響の評価

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

# 越冬した外来性浮草大群落ダム貯水池の水環境に及ぼす影響の評価

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

大鶴湖（鶴田ダム貯水池）では、2019年にホテイアオイとボタンウキクサが湖面の大半を覆うほど大增殖したが、浮草除去専用船により、2020年3月には、これらの大半が除去された。2020年にも同様に浮草が増殖したが、2021年2月時点で、それらの大半は残存した状態になっていた。ホテイアオイとボタンウキクサはいずれも、水温が20℃程度になると増殖し始めると言われているが、浮草が増殖すると船舶の利用が困難になり、しかも除去作業を優先させることが多いため、浮草大增殖期における水質や底質の観測データは他水域でも意外と取得されていない。従って、これら浮草の大群落がどのように増減し、大鶴湖の水質・底質環境にどのような影響を及ぼすのかを既往の知見から推測することは困難な状況にある。浮草がダム湖の水質・底質環境に及ぼす影響を把握することは、浮草除去シナリオを検討・構築する上でも重要な知見となることから、本研究では、特に、越冬したホテイアオイ、ボタンウキクサの大群落が、次の増殖期までの間に、大鶴湖の水質・底質環境にどのような影響を及ぼすのかという点に着目し調査研究を実施した。

## 2. 浮草の現存量に関する検討

### 2-1. 浮草の繁茂状況

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。2019年秋にもボタンウキクサ等が増殖し、専用回収船を用いた除去作業が進められたものの、2019/2020年冬が記録的な暖冬だったため越冬個体が増加・大量繁茂し、2020年12月には、浮草の繁茂がダム堤体を除くほぼ全域（約200万m<sup>2</sup>:推定値）に至った。その後、2021年1月にはボタンウキクサ、ホテイアオイともに枯れ始めたが、流木の存在が回収作業の支障となり、水温が上昇し始める春季までに全量を回収することができなかった。このため、再度越冬個体が湖内に残存・増殖することになったが、1) 網場を増設することで浮草の移動・流出を抑えた、2) 浮草専用回収船を通年稼働させた、3) 流木の混入により、浮草専用回収船が稼働できない問題が生じたため、流木回収船を別途導入した、等の対策によって、2022年3月時点で湖内の浮草はすべて回収された。なお、出水の影響で一時的に水位が上昇した後、水位が低下した際に湖岸に大量の浮草がトラップされており、更に、2020年とは異なり、優占種がボタンウキクサからホテイアオイに変わったことが確認されている。

### 2-2. 浮草現存量に関する検討

今回の大鶴湖の事例のように一度外来性の浮草が大量繁茂すると、すべての浮草を除去するまでに数年を要したり、湖底や湖岸に沈降した種子の発芽により毎年のように新規加入が生じたりする事例が幾つか報告されている。専用船でも回収速度には限度があるため、浮草が一定以

上に繁茂すると回収速度が繁茂速度に追い付かなくなる。一方、繁茂密度が極限状態に近づくと浮草の増殖速度は低減する。従って浮草が所定のレベル以上に大増殖した状況下では、積極的に回収するのではなく、むしろ網場によって周囲を囲んだ方が効率的だと考えられる。いずれにしても、このような状況を適切に把握し、浮草回収を効率的に実施するためには、浮草の現存量を定量的に評価・予測する必要がある。このため、浮草の現存量を評価するためのモデルについて検討を行った。

葉( $S$ )と根( $R$ )の炭素ベースの密度を $B(\text{gC}/\text{m}^2)$ とすると、Eid *et al.* (2016)よりボタンウキクサの成長動態は以下のように表すことができる。

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \text{Growth} - \text{Resp} - \text{Mort} - \text{RemR} \quad (1)$$

$$\text{Growth} = K_{CO} \cdot P_{max} \cdot f_N \cdot f_I \cdot f_T \cdot \gamma B \quad (2)$$

$$\text{Resp} = r \cdot B \quad (3)$$

$$\text{Mort} = m \cdot B \quad (4)$$

ここで、 $\text{RemR}$ : 浮草の人為的な回収速度、 $K_{CO}$ :  $\text{CO}_2$ と乾燥重量の換算係数( $\text{g g}^{-1}\text{CO}_2$ )、 $P_{max}$ : 最大光合成速度( $\text{gCO}_2 \text{g}^{-1} \text{day}^{-1}$ )、 $f_N$ ,  $f_I$ ,  $f_T$ : それぞれ、栄養塩、光、温度の依存関数、 $\gamma$ : 総重量に対する葉の重量比、 $r$ : 呼吸速度、 $m$ : 枯死速度である。

各パラメータが場所にかかわらず一定であると近似して、式(1)を浮草の存在領域の面積 $A$ で積分する。また、浮草存在領域は実際には風によって伸びたり縮んだりし、密度も変化するが、ここでは浮草が均等に詰まった状態の密度 $B_{ref}$ を基準にし、以下のような相当面積 $A'$ を定義する。

$$\int_A B dA = B_{ref} A'$$

上式を用いると、式(1)~(4)は以下のように変換される。

$$\frac{\partial A'}{\partial t} = K_{CO} \cdot P_{max} \cdot f_N \cdot f_I \cdot f_T \cdot \gamma A' - r A' - m A' - \frac{\text{Remove}}{B_{ref}} \quad (5)$$

ここで $\text{Remove} = \int_A \text{RemR}$ である。入力パラメータ並びに観測より得られた諸量(栄養塩濃度、水温等)を与えてシミュレーションを行った。

衛星画像から浮草の繁茂面積を算出し、2020年4月1日から2021年12月31日までの計算結果と比較した(図-1)。計算結果を見ると、2020年冬季の繁茂面積をやや過大評価しているものの、

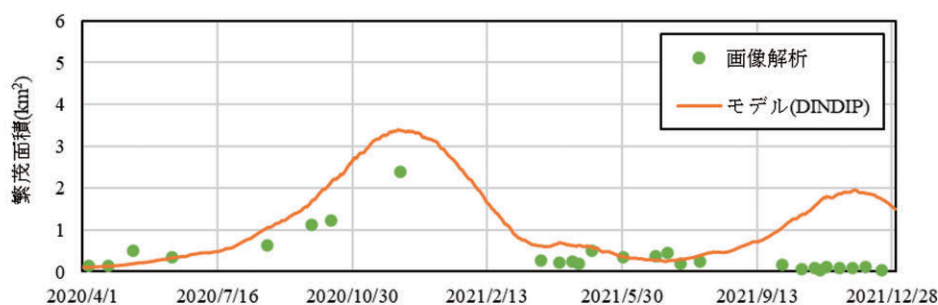


図-1 計算結果と画像解析から得られた浮草繁茂面積の比較 ( $B_{ref} = 45.6 \text{ tonC}/\text{km}^2$ )

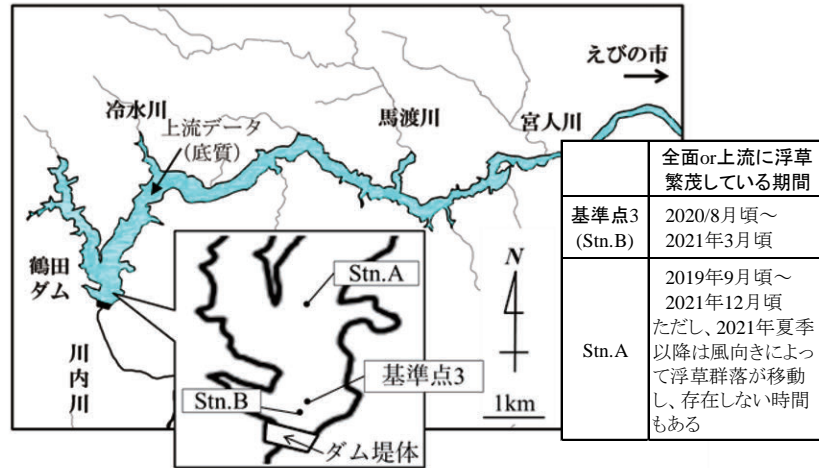


図-2 観測地点の概要

2020年については増殖の変動特性を概ね表現できていることが分かる。一方、計算結果では2021年秋季以降に顕著な現存量の増加が見られるが、実際はそのような変動は見られず、この点については観測結果を再現できていないことが分かる。このような違いが生じた理由として、前述のように2021年は比増殖速度がボタンウキクサより低いホテイアオイが優占していたことや、出水による水位変動によって湖岸に大量の浮草がトラップされたこと等の影響が考えられる。浮草の種遷移が生じた理由は今のところ明確ではないが、2021年については別途ホテイアオイのモデルを適用する必要があると考えられる。以上のように、細部において改良すべき点はあるものの、本手法により浮草現存量の挙動を概ね推定可能となった。上記の問題点を改善した後、定期的に空間的なコドラート調査と浮草の増殖モデルと組み合わせることで、浮草管理定量評価が検討できるものと期待される。

### 3. 水質・底質への影響

#### 3-1. 現地調査の概要

2021年4月以降、2～3月に1回の頻度で現地観測を実施した。具体的には、ダム湖内の複数地点(図-2)で、水温、溶存酸素濃度(DO)、クロロフィルa濃度(Chl-a)、濁度、栄養塩濃度(TN、TP、DIN、DIP等)、POCの鉛直分布を計測した。また、湖内の複数地点で底泥のコアサンプルを取得し、底泥中のPOC、AVS、間隙水のアンモニア態窒素、リン酸態リンの鉛直分布を取得した。

#### 3-2. 水質への影響

図-3に底層上1m地点のDOの時系列(基準点3)を示す。参考のため2017,2018年(浮草発生なし)の結果も併記している。なお、2021年2月の調査時点では基準点3の上流側には浮草の群落が存在していたが、同年4月以降の調査までには全て回収されている。水温躍層の形成や消滅のタイミングは年ごとに異なるものの、通常の大鶴湖は、底層のDOは水温躍層によって決定されている。このため、通常、冬季に貧酸素水塊が形成されることはなく、底層の貧酸素化が見られるのは4月以降となっている。しかしながら、図-3を見ると2020年10月に一度回復した底層のDOが、水温躍層が形成されていないにもかかわらず、2021年1月になると再び低下しているというこれまでにない観測結果が得られた。この結果から判断すると、1月には水面の冷却により活発な鉛

直対流が生じているが、そのような対流による表層からのDO供給を上回るDOの消費が生じていたことになる。

次に2021年1月の底層DO低下の要因を検討するために、基準点3における表層のPOCとDOCの経時変化を調べた(図-4)。参考のために2017年の基準点3の値と、上流側に浮草が繁茂していた2021年のStn.Aの値も示している。この結果を見ると、基準点3の2021年1月から2月の表層POC、DOCはともに高い値を示している(DOC図示省略)。2017年の結果を見ても分かるように、通常冬季にこのような高い値を取ることはない。また、2020年10~11月時点では基準点3の底層で貧酸素化が生じていないこと、浮草が繁茂していたStn.Aであっても夏季から秋季における表層POC、DOCはいずれもそれ程高くないことから、冬季になって浮草が枯死することで懸濁態や溶解態の有機物が多量に供給・分解された結果、2021年1月に底層の貧酸素水塊が形成されたものと考えられる。

### 3-3. 底質への影響

次に、Stn.A、Stn.Bにおける底泥表層のPOC、POC/PN、オルトリン酸の経時変化を示す(図-5)。なお、浮草が全面または上流側に繁茂していた期間は、Stn.Aでは2019年9月頃~2021年12月頃(ただし、2021年夏季以降は風向きによって浮草群落が移動し、存在しない時間もあった)、Stn.Bでは2020/8月頃~2021年3月頃だった。また、観測地点は異なるが、参考のために浮草繁茂前に得られた上流地点(図-2参照)の平均値(2015年1月から2019年8月)も併記した。図-5を見ると、2021年4月にPOCが顕著に高くなっているが、それ以降は比較的安定した値を示し、場所は異なるものの、浮草繁茂前の値とほぼ同程度の値を示している。2022年3月に観察した水中ドローンの結果を見ても、分解されていない浮草の枯死個体が多数残っていたが、そのような地点では底泥のコアサンプルが取得できない。このため、観測が可能であった底質の結果は、今まさに直上から沈降してきた枯死浮草の影響というよりは、むしろ観測以前に沈降した枯死個体の

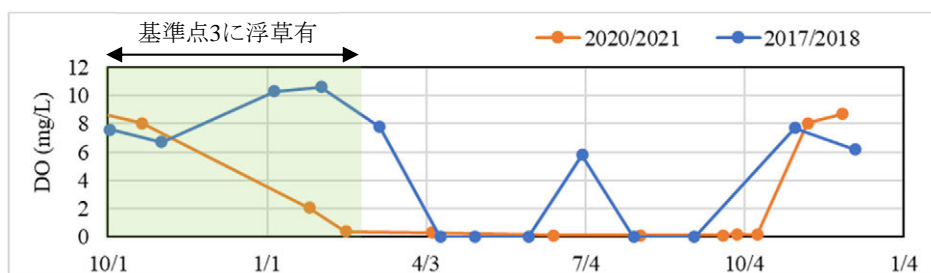


図-3 底層1mのDOの経時変化(基準点3)

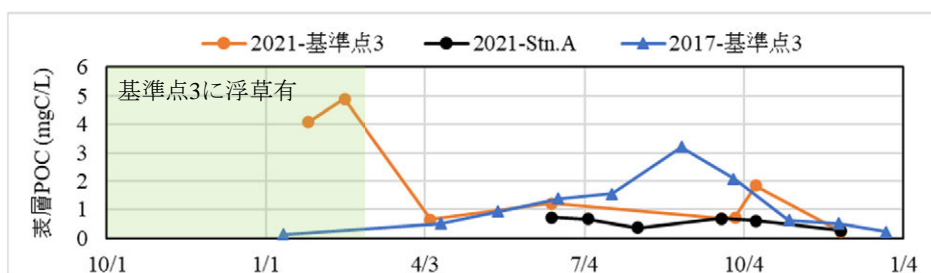


図-4 表層POCの経時変化

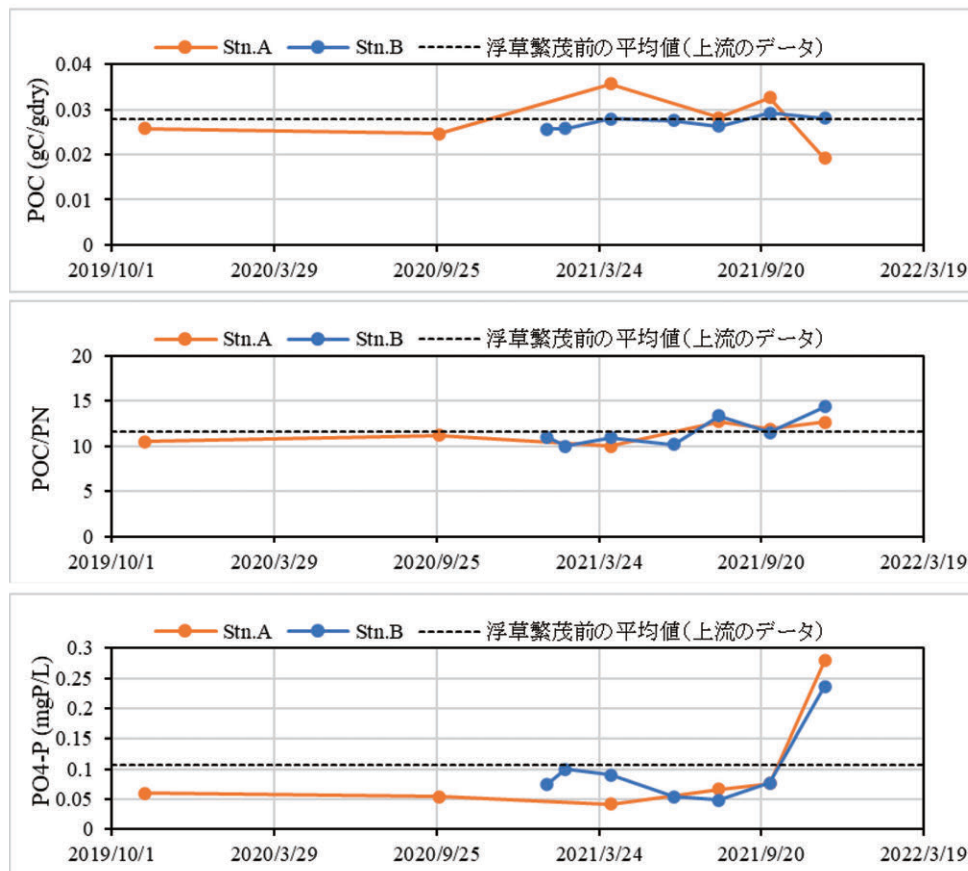


図-5 底質表層（層厚1cm）のPOC, POC/PN, PO<sub>4</sub>-Pの経時変化  
 (浮草繁茂前の平均値：2015年1月から2019年8月までの上流地点の平均値)

影響や周辺で分解されている影響を反映していると解釈できる。2022年3月時点ではいずれの地点においても貧酸素水塊が形成されていない(図示省略)ことを考慮すると、浮草によって底層に供給された易分解性有機物は既に分解され、鉛直混合によりDOが回復した状態を観測結果は示していると推察される。難分解性の有機物については時間をかけて分解されていくと考えられるため、今後は長期的なモニタリングを続ける必要があると言える。

一方、POCとPNの比およびオルトリン酸は増加傾向を示しているように見て取れる。ボタンウキクサのPOC/PNが10.5(葉)から15.3(根)、ホテイアオイが23.3(葉)から33.6(根)であることを考慮すると、POC/PNの増加は湖底に沈降した浮草の影響を受けている可能性が考えられる。また、底泥中のオルトリン酸の挙動は鉄やマンガンの影響も受けるため、一概に浮草の影響とは言えないが、大鶴湖はこれまでオルトリン酸が溶出し難いと言われていることから、浮草がオルトリン酸の溶出にどのような影響を与えるのかについて、今後の挙動を把握する必要がある。

#### 4. 結論

本研究は、2019年から2022年にかけて大鶴湖で大繁殖した外来性浮草が水環境に及ぼす影響について検討を行った。この結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 浮草現存量を定量評価するモデルを構築した。細部において改良すべき点があるものの、本手法により浮草現存量の挙動を概ね推定可能となった。
- 2) 2021年1月に形成された底層の貧酸素水塊は、水温躍層が消失した後であっても、冬季になって浮草が枯死することで懸濁態や溶存態の有機物が多量に供給・分解された結果、形成されたものと考えられる。
- 3) 浮草の枯死個体が湖底に沈降することによって、少なからず底質の変化を生じることが観測された。POCやAVSのように影響が終息傾向にあるものから、オルトリン酸の溶出等、長期的なモニタリングが必要な現象も確認された。