

石手川ダムの水質現象の変化に対する検討

落合 政志

四国地方整備局 松山河川国道事務所 石手川ダム管理支所 (〒791-0123 松山市宿野町乙69-3)

石手川ダムでは、平成10年以降、ほぼ毎年マイクロキスティス属によるアオコが発生している。その対策として水質汚濁防止フェンスが段階的に設置されたが、アオコを消滅させるには至らず、平成23年からはマイクロキスティス属に加えてアナベナ属の増殖を原因とするカビ臭問題も顕在化している。この間に貯水池では、流入水質に大きな変化は見られないが、貯水池地形は出水に伴って大きく変化していた。本検討では、この点に着目し、これまでの水質現象の変化について一つの考察を得た。

キーワード 富栄養化, アオコ, カビ臭, 水質汚濁防止フェンス, 地形変化

1. はじめに

国内のダム貯水池では、富栄養化に伴う水質障害としてアオコやカビ臭等の水質問題に悩まされているところが多く見受けられる。これらのダム貯水池では、管理開始当初より水質問題が発生する場合と、管理開始よりしばらく時間が経過してから水質問題が発生する場合或いは水質問題の性質が変化する場合等があり、その発生には流入河川の水質変化よりも貯水池地形の変化や貯水池内での水質保全対策の導入が影響している場合が多いようである¹⁾が、これらに着目した調査研究によるメカニズム解明や対策はそれほど多くない。

石手川ダムでは、昭和57年頃からアオコによる景観障害が顕在化していたが、平成23年からはアオコに加えてカビ臭も発生するようになった。この間に、当ダムでは出水に伴う流入土砂により貯水池地形が大きく変わったほか、流動制御フェンスが段階的に導入されるなどの貯水池環境が変化する作用が働いている。

本報では、石手川ダムで近年発生している水質問題について貯水池内環境の変化との関係性に着目した検討を行った結果を報告するものである。

2. 石手川ダム貯水池の概要

(1) ダム概要

石手川ダムは、一級河川重信川の右支川石手川に建設(昭和48年竣工)された総貯水容量 $128 \times 10^6 \text{m}^3$ 、湛水面積 0.5km^2 、洪水調節、上水道、灌漑用水の供給を目的とした多目的ダムである。

ダム貯水池は南北に長く、貯水池上流部で支川五明川が合流する分枝形状を有している。平均水深は25m程度であ

り、貯水池上流部には出水に伴う流入土砂により形成された堆砂テラスが存在する。なお、当貯水池ではこの堆砂への対策として、本川及び支川に貯砂ダムが設置され(本川：昭和55年、支川：昭和55年)、適宜の土砂掘削が行われている。

(2) これまでの水質問題の経緯

石手川ダムでは、昭和50年代から60年代にかけて、ケラチウム属(渦鞭毛藻類)やペリディニウム属(渦鞭毛藻類)による淡水赤潮が発生していた。昭和64年頃からは、マイクロキスティス属(藍藻類)によるアオコ現象が顕在化するようになり、現在に至っている。

さらに、平成23年からはアナベナ属(藍藻類)やアフアニゾメノン属(藍藻類)も発生するようになり、アオコに加えてカビ臭物質ジェオスミンによる異臭味問題も併発している。この異臭味問題に関しては、下流河川において河道取水をしている松山市水道局において、平成23年に活性炭処理施設が設置されたほか、カビ臭物質の常時監視ができるようカビ臭物質の自動観測装置が設置された。

(3) 現有的水質保全施設

石手川ダムでは、前項に示す水質問題への対策として本川上流部及び支川合流に水質汚濁防止フェンスが設置された(本川：平成8年設置 フェンス長5m、支川：平成19年設置 フェンス長5m)。この設置によりアオコによる水質問題は緩和され、貯水池基準地点における透明度が向上した。

しかし、渇水時の貯水位低下によりフェンスが湖底に接してしまうことから、水深が平常時の80%になった時点でフェンスを撤去する必要があると、アオコ発生時期を通じた効果発現が困難であった。その対応として、平成23年に貯水池中流部に水質汚濁防止フェンス(フェンス長8m)が追加設置され現在に至っている。

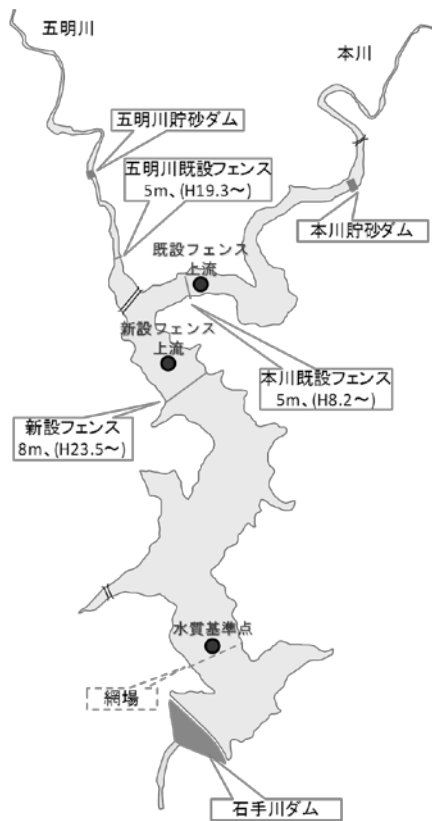


図2 流動制御フェンス設置位置

3. 藻類の分布に着目したフェンスの効果

本章では、平成26年度に実施した定期水質調査のうち植物プランクトン調査の結果に着目し、アオコの原因となる藍藻類の分布から流動制御フェンスの効果について考察する。

(1) 6月～9月の藍藻類発生状況の推移

図-3に平成26年6月から9月の植物プランクトン調査結果を示す。調査地点は、水質基準地点、新設フェンス上流、既設フェンス上流の計3地点(図-2参照)である。

6月には各地点でアファニゾメノンが僅かに確認されたが、アオコ状態となるレベルではなかった。

しかし、水温成層が強く形成される7月になると、表層0.5mで藍藻類の増殖が確認されるようになった。特に光要求性の高いミクロスティスが優占的に増殖しており、水深の浅い既設フェンス上流地点での増殖が顕著になっていた。

8月になると、前月に表層0.5mで多く確認されていたミクロスティスが消失し、代わって水深2～5mでアナベナの増殖が顕著にみられるようになった。

水温成層が弱化する9月になると、前月は水深2～5mで確認されていたアナベナが表層0.5mでも確認されるようになり、その存在量も大幅に増大した。



図3 平成26年6月～9月の植物プランクトンの発生状況(定期水質調査結果より)

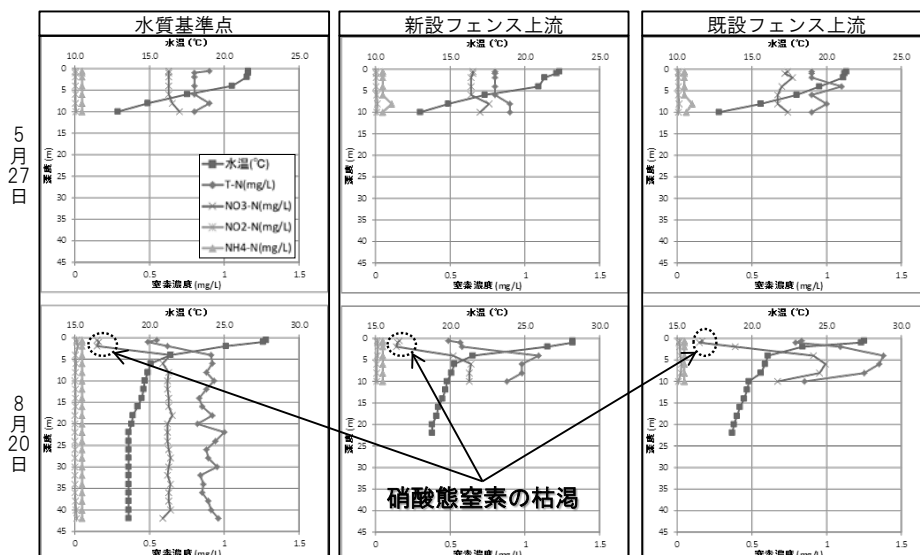


図4 平成26年5月及び8月の各態窒素の鉛直分布（定期水質調査結果より）

(2) 調査結果からの考察

5月、8月に実施された各態窒素の鉛直分布をみると、5月には鉛直方向に同程度の濃度で分布していた硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ 、藻類が直接摂取可能な形態の窒素）が、8月には表層2mまでが枯渇状態になった。一方、表層2m以深では硝酸態窒素が枯渇することなく一定量確保されていた（図4参照）。

以上の結果も踏まえると、アオコの原因となる藍藻類の発生状況の推移は、以下のように考察できる。

- ・ミクロキスティス属は異臭問題発生前より石手川ダムにおけるアオコ原因藍藻類の優占種として確認されている。水温が上昇するに従いミクロキスティス属の増殖に適した環境が形成され、水中のリンや窒素を栄養源に増殖を始め、ガス胞の強い浮力により表層付近に著しく集積した。しかし、フェンスにより表層付近の水交換が滞りやすくなっているため、既設フェンス下流側では表層の硝酸態窒素がミクロキスティスにより消費しつくされ枯渇状態になると、それ以上の増殖ができなくなり衰退に転じたものと考えられる（8月の表層の状態）。
- ・アナベナ属はミクロキスティス属に比べて光要求性が低く、表層から2m付近に形成されている強い水温成層により表層まで浮上することができず、水深2～5mでその場の硝酸態窒素を利用して増殖を開始した（8月の表層2～5mの状態）。
- ・9月になり水温成層が弱体化してくると、表層2m以深に存在していたアナベナ属は、水温躍層が弱まるに従い表層付近まで浮上できるようになり、既に衰退したミクロキスティス属に代わって急激に増殖した。

以上に示した変化は、流動制御フェンスにより水深5m付近までに形成された強い水温成層による影響を大きく受けたものである。強い浮力を有するミクロキスティス属は、既設フェンスの上流側を発生源に7月中は顕著に増殖可能であるが、フェンスによって下流への輸送が殆どなくなる

ため、既設フェンスよりも下流側では継続的なミクロキスティス属の供給がなくなり、表層付近の硝酸態窒素がなくなると速やかに衰退したものと考えられる。その一方で、アナベナ属はミクロキスティス属と同様に既設フェンス上流側を発生源として増殖を始めるが、ミクロキスティス属に比べて浮力が弱いため、フェンスの下をくぐって下流側への輸送が可能となる。さらに、既設フェンスよりも下流側へ輸送された後も水深5m付近の強い水温成層によりアナベナ属が表層付近まで浮上することはなく、表層2m以深のミクロキスティス属とは異なる環境において選択的に増殖することができ、水温成層が弱化した後に急激に表層まで拡散したものと考えられる。

ただし、以上の考察は、平成26年度の調査結果について藻類の生態的特徴を踏まえて推察を交えて組み立てたシナリオであり、その確証を得るには継続的なモニタリング調査と検証が必要である。当ダムでは、今年度以降も綿密な水質調査による検証を継続中である。

4. アオコ発生と貯水池地形変化との関係

前章の検証結果及びシナリオは、現在設置されている流動制御フェンスにより形成される貯水池内流動によって起こった事象である。石手川ダムでは、平成8年から段階的に流動制御フェンスが設置され、その間にアオコの発生状況が大きく変化している。

この間に貯水池内では、流入水質の変化は認められないが、貯水池地形は出水や濁水に伴う貯水位低下の影響を受けて大きく変化してきた。

本章では、この貯水池地形の経年的な変化に着目し、アオコの発生状況と貯水池地形の変化との関係について考察する。

(1) 平成5年～10年間の貯水池地形の変化

石手川ダムでは、平成6年夏季から平成7年春季にかけて大規模な渇水に伴う貯水池低下が発生し、貯水位が最低水位EL. 174. 70mを大幅に下回るEL. 161. 10mまで低下した。この水位低下前後の堆砂測量結果を比較みると、ダムサイトから1. 3km付近から上流側に形成されていた堆砂テラスの標高が5～10m程度低下し、その下流側0. 7～1. 3kmの標高が上昇した。

この地形変化の要因は、湖底が露出することによる斜面の崩壊によるもののほか、堆積した土砂を撤去したことによるものであることがわかっている。

その後、再び堆砂の進行に伴い河床は上昇し、平成10年には堆砂テラスが渇水前の平成5年当時の地形までほぼ回復していた。

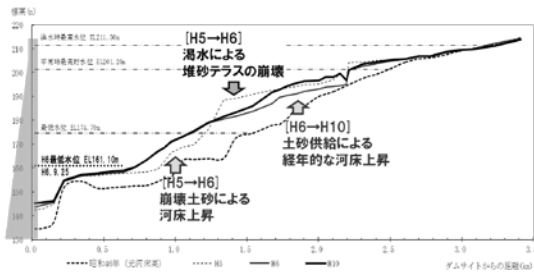


図5 平成5年から平成10年間の貯水池縦断地形の変化

(2) 地形変化とアオコ発生との関係性

石手川ダムでは、昭和62年から平成5年までは、毎年顕著なアオコが確認されていた。しかし、渇水に伴う貯水位低下のあった平成6年から貯水池地形が平成5年レベルまで復元した平成10年の前年である平成9年までは、アオコの発生は見られなかった。しかし、平成10年からは再びアオコの発生が認められるようになり、発生期間が長期化し、発生程度も深刻に（ピーク細胞密度が大きくなった）。

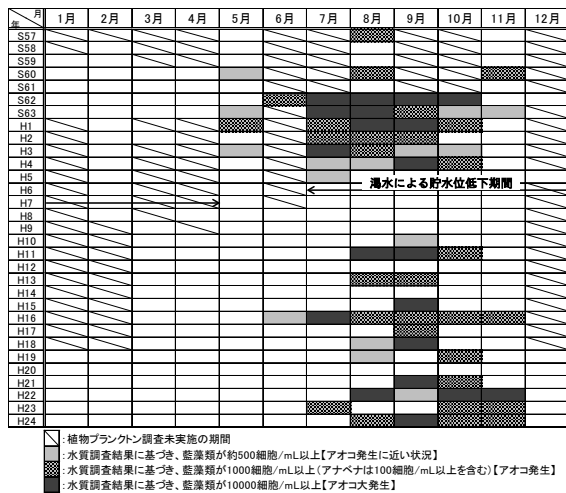


図6 昭和57年～平成24年のアオコ発生状況

以上の地形変化とアオコ発生との時期的関係から、石手川ダムの堆砂テラスは、アオコ発生源として機能している可能性が高いということが出来る。つまり、平成5年までアオコ発生源として機能していた堆砂テラスが貯水位低下

に伴う崩壊と土砂撤去により消失し、湖底標高が下がると、その地形が復元するまでの間、アオコの発生源が消失したためアオコの発生も認められなかったものと考えられる。

(3) 平成22年以降の水質問題の変化に対する考察

平成22年～23年にかけて既設フェンス上流側の河床が上昇した。近年の水質問題の変化（アオコ→アオコ+カビ臭）について、この貯水池地形の変化と原因藍藻類の生態的特徴を踏まえた考察を以下に示す。

- ・ミクロキスティス属の発芽条件が水温と底泥直上水の嫌気化であるのに対し、アナベナ属の発芽条件は水温と光による刺激であるという生態的特徴を考慮すると、既設フェンス上流側の河床上昇は、アナベナ属の発芽条件により適合した環境に変化したと推察される。
- ・また、河床が上昇することで既設フェンス下端と河床との離隔が狭くなり、流入水の流動制御効果が強まり、アナベナ属等の浮遊性藻類が下流へ輸送されやすくなった可能性が考えられる。

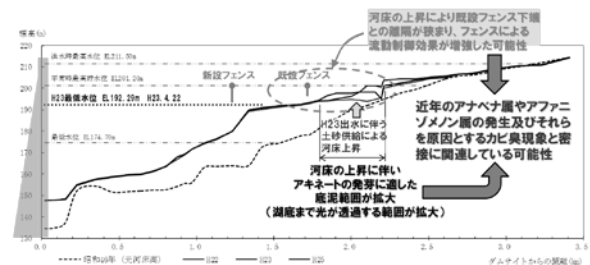


図6 平成22年から平成25年間の貯水池縦断地形の変化

5. まとめ

本報では、定期水質調査結果及び堆砂測量成果を整理し、経年的な貯水池地形の変化と水質保全施設の存在が水質変化現象に及ぼす影響について発生している藻類の生態学的特徴を踏まえて考察した。その結果、これまで未解明であった石手川ダムにおける水質変化現象の仕組みの理解が進んだものと考えられる。

しかし、水質変化現象の性質の変化やフェンスによる影響については、推察を含む部分もあり、その確からしさを検証する必要がある。水質変化現象のメカニズム解明は、今後の水質保全対策の方向性を定めるうえでも非常に重要な要素であることから、必要な調査及び検証を引き続き進めていきたい。

参考文献

- 1) 木村ら：中栄養ダム湖における貯水池環境の変化と水質保全対策の在り方に関する研究 平成25年度水源環境技術研究所所報pp3-13