阿木川ダム曝気循環設備の新たな運用方式に関する検証

○西　将吾[1]・渡辺　稔[2]　小野　周平[3]

概要：

阿木川ダム上流域では、約 7,000 人が生活し産業活動をおこなっており、貯水池への流入負荷は少なくない。その一方で、阿木川ダム下流域では、恵那市の上水道及び農業用水の取水、地元漁協による稚鮎の放流、親水公園の地元の憩いの場としての活用など、様々な河川利用がされていることから、貯水池の水質保全、放流水温や放流濁度等の適切な管理が求められる。本論文は、平成 30 年におこなった浅層曝気循環設備の運用方法の変更による放流水温及び貯水池水質改善の状況について報告するとともに、その効果について検証するものである。

キーワード：目標放流水温、藻類発生抑制、曝気循環設備、浅層曝気循環設備運用計画

1. はじめに

阿木川ダムは、木曽川の左支川である阿木川に建設されたロックフィル型式の多目的ダムであり、平成 3 年度に管理を開始した。

ダムの上流域には約 7,000 人が住むことから、ダム完成以前から貯水池の富栄養化が懸念されたため、管理開始から、表層曝気設備、深層曝気設備、選択取水設備、貯留ダム及びパイプラインの運用による貯水池水質保全をおこなっている。その結果、湛水以降平成 8 年までは一時的な淡水赤潮の発生や局地的なアオコの発生は見られたものの、大きな水質障害は発生しなかった。

しかし、平成 9 年に阿木川ダムを水源としている上水道の異臭味障害が発生し、それ以降アオコ（藍藻類：*Microcystis* 等）の発生が頻発するようになった。平成 14 年には貯水池全体にまでアオコが拡大し、水道水の取水にも影響を与えかねない状況となったことから、学識経験者及び関係機関とともに阿木川ダム水質保全検討会を立ち上げた。その後、浅層曝気循環設備 9 基を設置し、平成 21 年度から本格的に他の貯水池水質保全設備と併せて運用している。

また、ダムからの放流については、放流水温管理を実施し、下流の農業及び漁業への影響を軽減している。

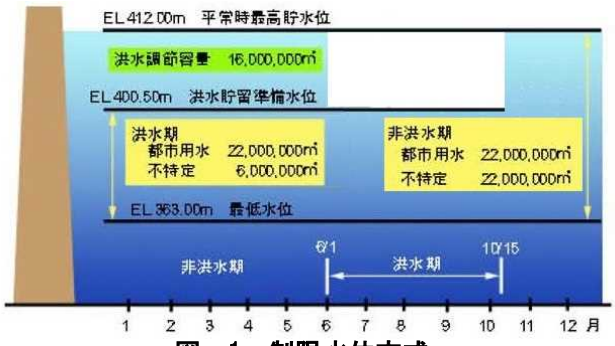
本稿では、平成 30 年の浅層曝気循環設備の運用方式の変更による放流水温及び貯水池水質改善の経過を報告するとともに、その効果について検証し、今後の運用に役立てるべく、とりまとめるものである。

2. 諸元及び水質保全設備の概要

2.1 阿木川ダム諸元

阿木川ダムは、堤高 101.5m、堤体積 490 万 m^3 の中央土質しゃ水壁型ロックフィルダムで、総貯水容量 4,800 万 m^3、洪水調節、河川環境の保全、上水及び工業用水の供給を目的としている。

貯水池運用は制限水位方式を採用し、**図-1** に示すとおり、洪水期（6/1～10/15）においては、洪水調節容量（1,600 万 m^3）を確保するため、平常時最高貯水位（EL.412.00m）から水位を低下させ、洪水期貯留準備水位（EL.400.50m）での運用をおこなう。



図－1　制限水位方式

2.2 水質保全設備の概要[1)]

阿木川ダム貯水池の浅層曝気循環設備の位置図を**図-2** に、規格を**表-1** に示す。なお、**図-2** の番号と**表-1** の番号は対応している。平成 17 年度から平成 20 年度にかけて、浅層曝気循環設備を国土交通省からの受託業務である貯水池水質保全事業により設置、効果検証をした後、運用を開始している。

1. 阿木川ダム管理所　維持管理班
2. 阿木川ダム管理所　維持管理班
3. 阿木川ダム管理所　所長代理

図－2　曝気循環設備位置図

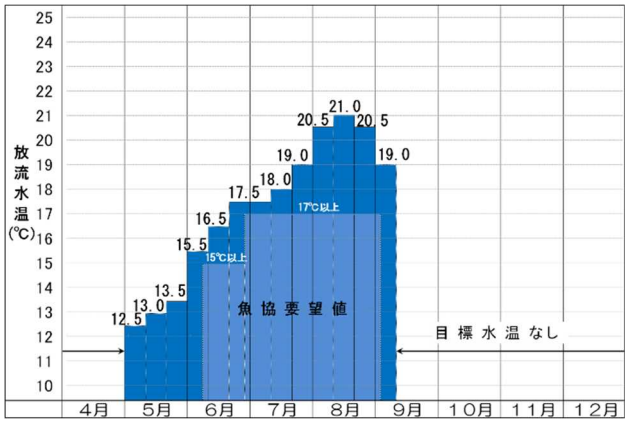
表－1　浅層曝気循環設備規格（全 9 基）

番　号	規　格　形　式
1～5	水位追従式 散気管(吐出口):水深20m 空気量:最大1,900L/min
6～9	湖底設置式 散気管(吐出口):標高EL.372m付近 空気量:最大1,900L/min
その他	コンプレッサ　37kw 4台(1台予備) (曝気3基当り1台運転)

3.　貯水池水質保全方針

3.1 目標放流水温

図-3 に目標放流水温を示す。阿木川ダムでは、5 月初旬から 9 月初旬までの間、稲作等の生育に対する影響と、地元漁協の要望による放流稚鮎等の成長に対する影響を考慮し、時期ごとに目標放流水温の最低値を設定している。



図－3　目標放流水温

3.2　貯水池水質保全目標

阿木川ダムでは、曝気循環設備の運用について、「曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)(国土交通省)[2]」を参考として、「表層の水温低下」、「循環による光条件の制限」、「循環による藍藻類濃度の希釈」の 3 つを柱とする浅層曝気循環設備運用計画を作成し、これに基づいて運用をおこなっている。また、水質保全の目標値として、阿木川ダム水質保全検討会において提案された以下の目標値を定め、運用している。

・目標値

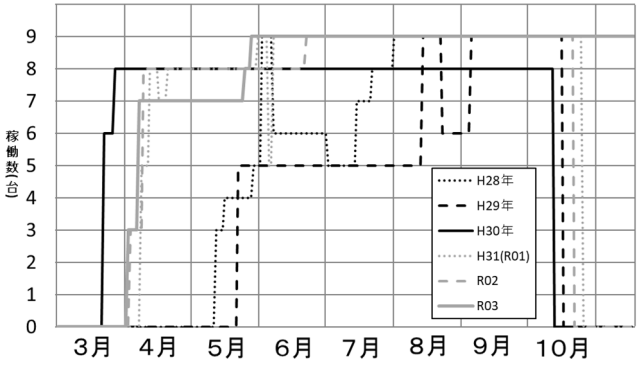
○表層の水温勾配：0.5℃/m 以下

○クロロフィル a：20μg/L 以下

4.　浅層曝気循環設備の運用方法の遷移

4.1 浅層曝気循環設備の運用実績

図-4 に平成 28 年から令和 3 年までの浅層曝気循環設備運用実績を示す。全 9 基ある当設備の運用方式は、いくつかの試験運用を経て現在のものとなっており、以下にその変遷を示す。詳細については後述するが、平成 29 年以前は水位追従型の 5 台を先行稼働し、残り 4 台の湖底設置型は条件に応じて稼働させる運用方式とし、平成 30 年以降は湖底設置型から稼働開始後、ほぼ同時期に全台稼働に切り替える運用方式としている。



図－4　浅層曝気循環設備運用実績

4.1-1 設置から平成 27 年までの運用[3)]

平成 21 年に本格的に運用を開始した浅層曝気循環設備は、稼働開始時期や稼働台数等について、当初より様々な試行がなされている。平成 26 年、平成 27 年においては、水位追従式と湖底設置式の稼働開始時期をずらし、さらに送気量についても抑制する運用を試行している。

なお、曝気設備は全曝気設備の全開運転により効果が得られるものとして設計されている。

4.1-2 2 段階運用

平成 28 年、平成 29 年においては 2 段階曝気運用という試行的な運用を行っている。

この運用方式は、深層の冷水を保存し、表層との水温差を保つことで、浅層曝気循環設備稼働後の循環流を効果的に起こす運用方法で、水位追従式を水温が 15℃を超える 5 月より常時稼働させ、その後フロック径 0.3mm を超えるアオコのフロックが湖面において確認されたのち、フロックが沈むことを確認するまで水位追従型と併せて湖底設置式を稼働させるものである。

4.1-3 新運用方式[4)]

平成 30 年からは、水深 0.5～5m と 10～15m の水温乖離が明確となる 3 月下旬～4 月初旬から浅層曝気循環設備を全台稼働させる運用を行っており、現在、この新運用方式による運用を始めて 5 年目となる。

次章に運用を開始した平成 30 年から令和 3 年までの貯水池の状況について、平成 28 年、平成 29 年の運用方式と比較しまとめる。

5. 曝気運用の効果

5.1 放流水温

図－5～図－10 に平成 28 年から令和 3 年までの取水塔位置の水深別水温を示す。

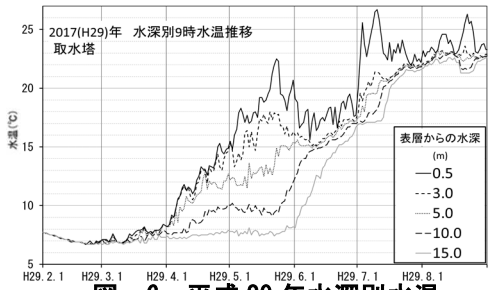
図より、平成 28 年、平成 29 年では表層と深層の水温差が大きい傾向が、平成 30 年以降は、比較的水温差が小さい傾向がみられる。表層から深層までの温度差を小さくし、安定した水温を保つという点に、浅層曝気循環設備を早期稼働させる効果が表れていると考えられる。

また、表層 0.5m の水温に着目すると、平成 29 年以前、特に平成 29 年においては例年よりも 5 月、7 月において水温が高く、アオコの増殖に適した水温である 25℃[5)]に近いことから、アオコが増殖しやすい環境にあったと考えられる。

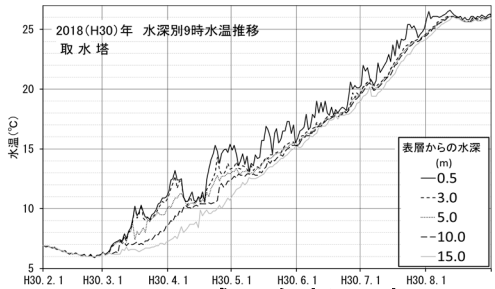
図－11 に各年の選択取水深について示す。阿木川ダムでは、選択取水設備により下流に流す水深を選択し、放流水温をコントロールすることができる。平成 28 年、平成 29 年の運用方式では、先に示したとおり、深度別水温差が大きいため、目標放流水温を満たす深度の選択を細かく行っている。

図－12 に放流水温実績を示す。図より平成 28 年においては 5 月の初旬に比較的大きく目標放流水温を下回り、平成 29 年においては 5 月、6～7 月において目標放流水温を、さらに 6 月中旬においては地元漁協要望の値をも下回っていることがわかる。

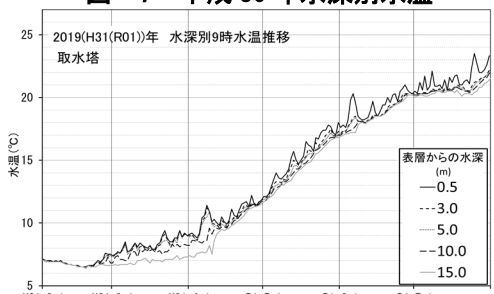
図－5 平成 28 年水深別水温



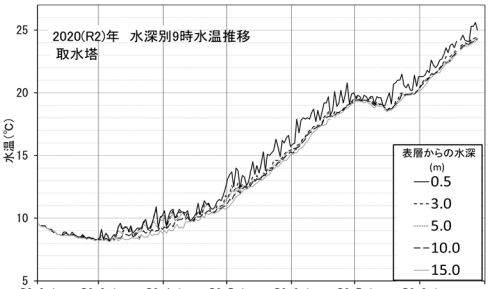
図－6 平成 29 年水深別水温



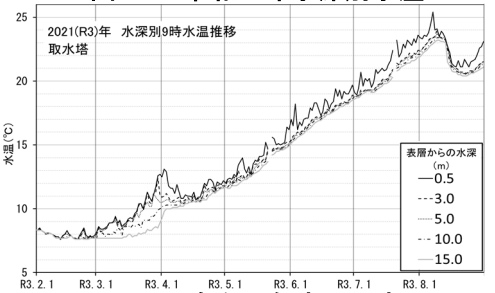
図－7 平成 30 年水深別水温



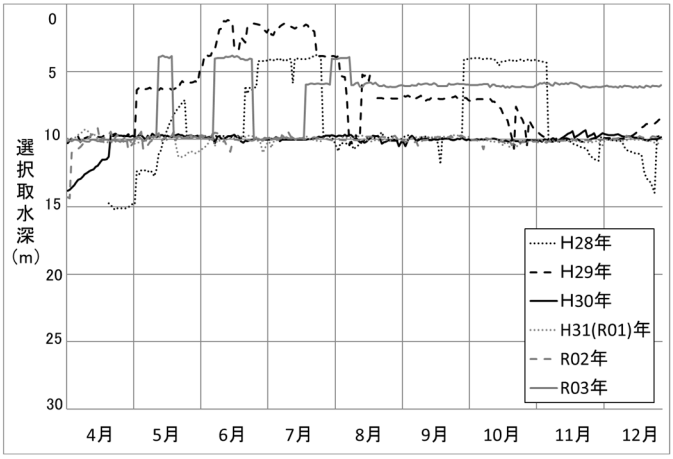
図－8 平成 31 年（令和元年）水深別水温



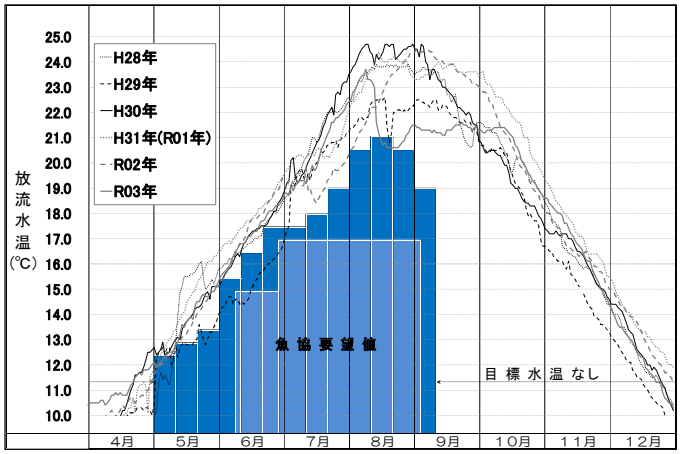
図－9 令和 2 年水深別水温



図－10 令和 3 年水深別水温



図－11　選択取水設備取水深



図－12　放流水温実績

選択取水設備を用いているにも関わらず目標放流水温を達成できていない原因は、浅層曝気循環設備の稼働時期にあると考える。曝気設備は循環流を起こすため、稼働開始直後は深層の冷水との混合により表層の水温が下がる。そのため、目標放流水温が設定されている場合は、その目標がない時期に稼働を開始し、早期から十分に水を循環させ、表層の水温が安定した後に目標放流水温のある時期を迎えることが望ましいが、平成 29 年以前のように目標放流水温のある時期に曝気装置を稼働開始させると、表層の水温が不安定になり水温目標を下回る冷水を放流してしまう危険性が増す。

一方、平成 30 年以降は、早期からの浅層曝気循環設備の稼働によって、目標放流水温が発生する時期には、安定して目標水温を満たす放流をおこなうことができていると考えられる。

5.2 水質保全目標値による評価

図-13 に平成 28 年から令和 3 年までの 8 月における貯水池全体のクロロフィル a（水深 0.5m）及び水温勾配（水深 0.1m と 3m との水温勾配）を示す。

水温勾配については、一様に大きい傾向にあり、平成 28 年から令和 3 年までの間は、目標値（0.5℃/m 以下）を満たす箇所は少ない。なかでも貯水池上流において大きな値がみられる傾向がある。

一方で、平成 30 年以降はそれ以前と比べ水温勾配が低い。これは、曝気設備の早期運用により貯水池内の広い範囲で循環が起こったためであると考えられる。しかし、この早期運用を行っているにもかかわらず、令和元年においては大きな水温勾配が見られており、曝気の水温勾配の上昇には曝気装置の稼働以外の要因もあることがうかがえる。

クロロフィル a については、おおむね 0～5μg/L 付近で推移している傾向である。年によってはわずかに 5μg/L より大きな値を記録している時期もあるが、全ての年で、目標値（20μg/L 以下）を超えるような箇所は見られていない。

5.3 アオコの発生と優占種の推移

表-2 にアオコの発生箇所とレベルを、**図-14** に 8 月のアオコが発生した箇所について示す。

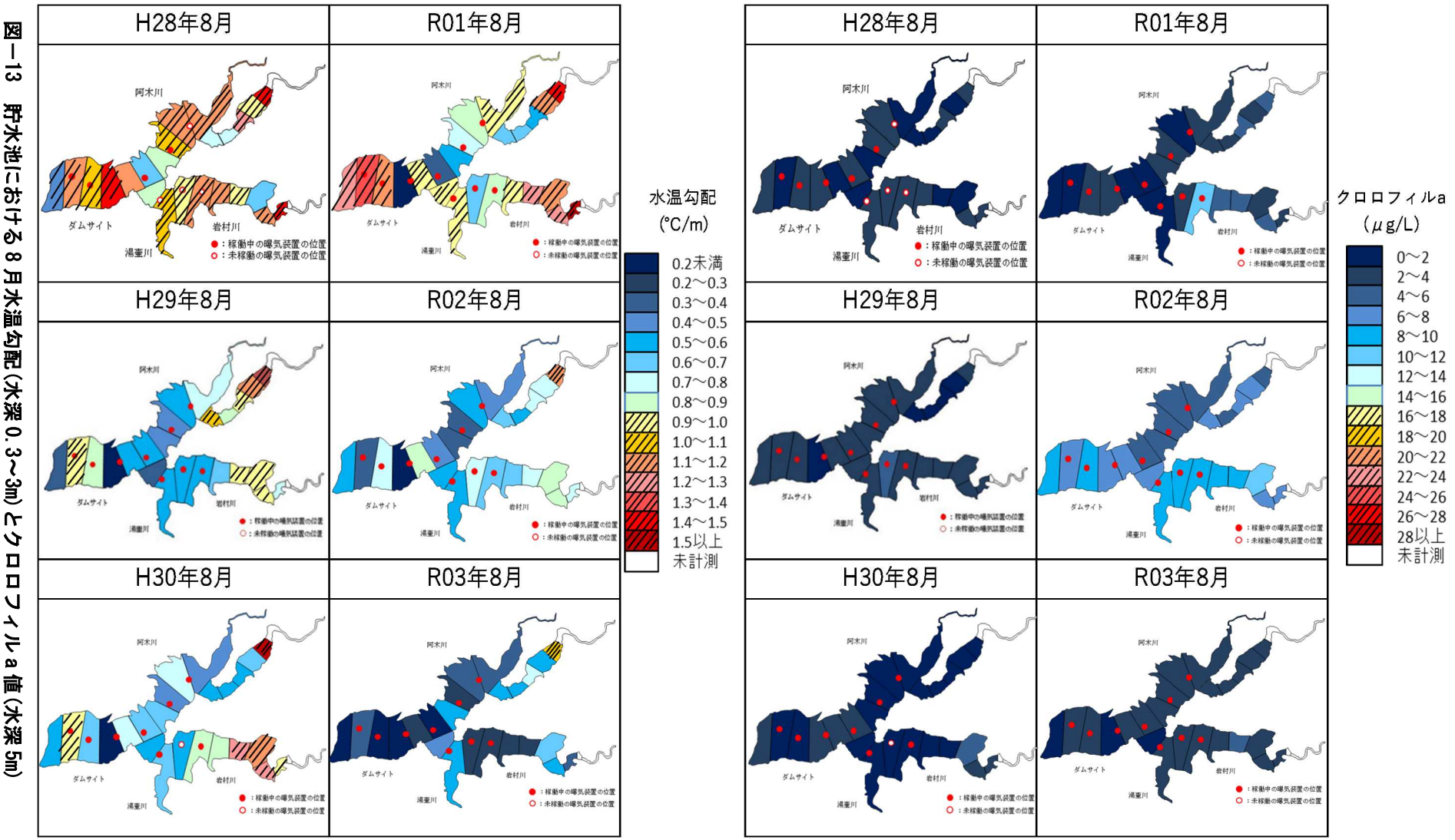
平成 28 年、平成 29 年については、広範囲でアオコの発生が見られた。特に平成 29 年についてはアオコの発生レベルが高く、ダムサイト、岩村川筋において膜状に水面を覆うレベルでアオコが発生している。これは、水温勾配が卓越したことで、アオコが増殖したためであると考えられる。

その一方で、運用方式変更後の平成 30 年、令和 2,3 年にはアオコは発生しておらず、発生した令和元年においても狭い範囲のみでの確認となった。

また、**図-13**、**図-14** により、アオコの発生箇所と、水温勾配、クロロフィル a の面的分布との強い相関はみられない。

図-15 に貯水池基準地点（阿木川大橋地点）における各年の植物プランクトン優占種について示す。アオコの原因となる藍藻類は、平成 28 年、29 年においては 8 月より優占種として確認されているが、平成 30 年の運用方式変更後は 8 月の定期調査時までは、優占種として確認されていない。また、9 月についても第 1 優占種としては確認されていない。

以上のことから、阿木川ダム貯水池において、浅層曝気循環設備を全台早期稼働させる新運用方式には、アオコの原因となる藍藻類の増殖を遅らせ、また、発生後の増殖についても低減させる効果が継続して認められているため、その点においてアオコの抑制に効果的な運用であると考えられる。



図－13　貯水池における８月水温勾配（水深０.３～3m）とクロロフィルａ値（水深 5m）

表－2　アオコの発生時期とレベル

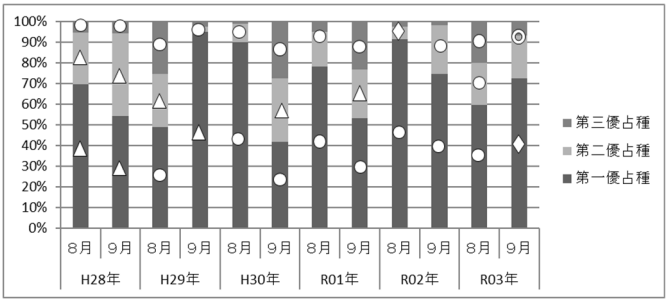
	7月			8月			9月		
H28年									
H29年									
H30年									
R01年									
R02年									
R03年									

凡例

レベル1	
レベル2	
レベル3	
レベル4	

発生年	発生レベル	発生箇所
H28年	レベル1	① ⑤ ⑨ ⑬ ⑰ ⑲ ㉒ ㉔
H29年	レベル3	②～⑤ ⑨～⑬ ⑮ ⑯～⑱ ㉓～㉔
	レベル4	① ⑲～㉒
R01年	レベル2	① ④ ⑰～⑲

図－14　8 月におけるアオコ発生箇所



○：珪藻類	◎：緑藻類	◇：クリプト藻網	△：藍藻類

図－15　植物プランクトン優占種

6. まとめ

本稿では、平成 28 年から令和 3 年までの貯水池の水温や水質の状況を報告するとともに、平成 30 年におこなった浅層曝気循環設備の運用方式変更の効果について検証した。

以下に、結果をまとめる。

○新運用方式により、水深 0.5～15m の水温勾配が小さくなり、安定して目標放流水温をおおむね満たすようになった。

○平成 29 年以前の浅層曝気循環設備の運用方法では、浅層曝気循環設備の稼働開始時期が遅く、表層付近の水温が不安定になりやすいため、目標放流水温を達成できないことがあった。

○浅層曝気循環設備の運用方式変更により、クロロフィル a の値は 5μg/L 付近で大きな変化は見られないが、貯水池全体の水温勾配の改善がみられる。

○浅層曝気循環設備の稼働を遅くし、また、送気量を抑制する運用は、上流部の水温勾配を大きくする一因になると考えられる。

○アオコの発生と水温勾配には相関があると考えられるが、アオコの発生はそれのみに起因するものではないと考えられるため更なる検証が必要。

○アオコの発生状況と浅層曝気循環設備の運用を総合的にみると、2 段階曝気による運用は、藍藻類の増殖を促し、結果としてアオコの大量発生につながる危険があると考えられる。

○平成 30 年からの新運用方式は、アオコの原因となる藍藻類の増殖を遅らせ、また、発生後の増殖も抑える効果が認められ、アオコ対策として効果的と考えられる。

7. おわりに

今後の浅層曝気循環設備の運用については、水温やアオコの発生状況から判断し、新運用方式による管理を継続していくことの有効性を確認した。ただし、この新運用方式でもアオコの発生を完全に抑えられるものではないため、他の曝気設備との関わり等、別の視点から改善点を探し、より良い管理に向けた検討を進めていきたい。

参考文献

1) 独立行政法人水資源機構総合技術推進室:阿木川ダム水質保全対策検討報告書,平成 18 年 3 月,総合技術推進室報告書第 051401 号,2-21

2) 国土交通省:曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案),平成 17 年 10 月,3-1～4-19

3) 長野朝子,中尾武史,宮本和樹:阿木川ダムにおける水質保全の現状と今後の方針, 平成 29 年度中部ブロック技術研究発表会,2017 年

4) 小幡光弘, 草苅智弘, 宮本和樹:阿木川ダム水質保全における曝気循環設備運用,平成 30 年度中部ブロック技術研究発表会,2018 年

5) 外岡秀行: 高水温がアオコ増殖を助長する―湖沼生態系と水温の密接な関係と衛星湖沼水温データベース日本編, Journal of The Remote Sensing Society of Japan Vol. 40 No. 5 (2020) pp.275-278