

成層強度に着目したダム貯水池水質解析

解析事業部 環境解析部

梅 津 貴 弘

堺 宣 晴

1. はじめに

湖沼、ダム、貯水池等の停滞性の強い水域では藍藻類の異常増殖であるアオコ現象が深刻な環境問題となっている。アオコは富栄養化した水域に多く、春から秋にかけて異常増殖し、悪臭味、毒物を発生して生物に害を及ぼす。その要因である藍藻類(Microcystis)は浮力性をもち、長波の赤色光(水による減衰係数が大きい)で光合成^{1), 2)}を行い、高pHを必要とするため、浅い安定成層を必要とする。そのため春からの温度上昇に伴い、安定した水温成層が形成されることによりアオコ現象が起こり、その残存が秋まで続くと考えられる。

現在、アオコ現象の対策として、曝気循環装置^{3), 4), 5)}、シアノバスター⁶⁾、遮光フロート⁷⁾、アオコを摂食する生物の利用⁸⁾、アオコ回収船による集積などの方法がある。

本文では、ダム湖や貯水池等で一般的に用いられている曝気循環装置に着目した。現在、運用方法は経験値をもとに運行しているが、水理水質状況に応じた運用が必要となる。これについては貯水池面積に着目した研究例があるが、近年、成層強度に着目した研究が発表されている。本文ではこの成層強度に着目し、アオコ発生の環境条件を考察するものである。

2. 水質障害

一般的に水質障害と呼ばれるものには、水温、濁度、富栄養化、溶存酸素量等がある。

表2.1 水質障害

指標項目	備考および課題
水温	冷水による下流河川の農作物、温水による生態系への影響等がある。
濁度	濁りを表す指標である。
富栄養化	水中に溶存する窒素化合物、リン酸化合物などの栄養塩の濃度が高まり、水域の植物の生産活動が増大する。これにより、大量発生したプランクトンや水生植物により、水の華、赤潮、青潮などの環境現象を引き起こしている。
溶存酸素量	水に溶けている酸素を表し、水温の上がる夏では貧酸素状態になり、生物に影響を与え、魚の大量死などの原因となる。

植物プランクトンの異常増殖を『水の華』と呼び、水面を青い粉状の植物プランクトンが覆いつくし、悪臭を放つものをアオコと呼ぶ。そのため、魚貝類や他の生物に、酸欠などによる被害や、アオコが持つ毒素による被害がある。アメリカ、オーストラリア、中東などでは、アオコの沸いた池水を飲んで牛馬が死亡した例もある。この対策手法を次のセクションにて記述する。

3. アオコ対策手法

3.1. 曝気循環装置³⁾

現在、アオコ抑制として、曝気循環施設が導入され、一部の貯水池で成果をあげている。有効な理由として次のようなものがあげられる。

- ・循環流によって貯水池を混合状態にし、成層状態を破壊する。
- ・栄養塩の豊富に含まれた流入河川水を無光層に押し込む効果がある。
- ・深層曝気を行い底層の貧酸素状態を解消する。
- ・中層や下層へ表層での受熱量を輸送し、表層水温が低下する。

曝気循環装置の代表例として散気管方式、気泡弾式揚水筒、連続曝気式揚水筒がある。それぞれ特性が異なり、個々の循環流をもっている。

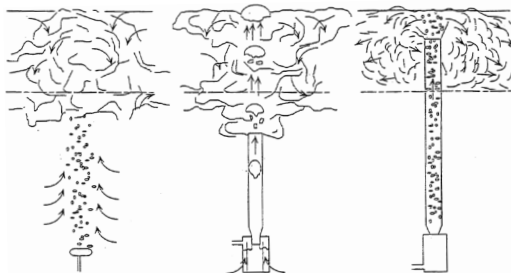


図3.1 左より順に散気管方式、気泡弾式揚水筒、連続曝気式揚水筒

出典：「湖沼、貯水池の管理に向けた富栄養化現象に関する学術研究のとりまとめ」

3.2. シアノバスター⁶⁾

シアノバスターとは、シアノゲートとバスターマシンからなり(表3.1.参照)、噴射衝撃原理を用いたシステムで、曝気循環装置等の流動制御対策の適用が困難な水深の浅い水域や貯水池流入端等に

表3.1 シアノバスターの一般的な効果

出典：「NPO法人あらかわ学会年次大会2003講義論文集」

施設	作用	直接的な効果	副次的・広域的な影響
シアノゲート	吹送流を利用した取水	浮遊した藍藻類の除去	以下の作用の効率を上げ、B/Cを向上。
バスターマシン	圧力処理によるガス胞の破壊	藍藻類を沈降させる(透明化する)	藍藻類の光占有を妨害し、無害な他の植物プランクトンの増殖に適した環境を形成
	衝撃の強せん断処理による群体構造の破壊	藍藻類の群体構造を破壊	ミジンコ等の捕食圧が増加し、高次の生態系の食物連鎖

においても、効率よく藍藻類の増殖を抑制することのできる対策である。

シアノバスターによる直接的な効果は、処理水に含まれる藍藻類のガス胞や群体構造を噴射衝撃作用により破壊する作用に加えて、その結果生じる沈降や動物プランクトンによる捕食作用⁹⁾である。この実験結果を図3.2に示す。

3.3. 遮光フロート⁷⁾

貯水池に浮力体シートを張るとこにより、部分遮光を行い、アオコ抑制を行うものである。これは、アオコの発生要因の一つである光合成をカットすることにより、発生を抑制するものである。貯水池表面積の30%を遮光することにより、その効果はあると小島らの実験により実証されている。その特徴として次のようなものがあげられる。

- ・動力を用いないため、維持管理が容易
- ・薬剤を用いない。
- ・水面の一部を必要最小限遮光することにより、水中の生態系を破壊せずに藻類の異常増殖を抑制できる。



図3.2 シアノバスターによる浮遊藍藻類の取水状況(上:取水開始時,下:開始1時間後)
 出典:「NPO法人あらかわ学会年次大会2003講義論文集」

3.3.その他の方法

〈アオコ回収船〉

回収装置を船に搭載し船から吊り降ろした吸い込み口(スカムケミッサー)からアオコを回収する。

〈アオコを摂食する生物の利用〉

原生物や魚類の中には、アオコを餌資源としている種がいる。また感染ウイルスや細菌を用いて死滅させる方法も研究されている。

〈再利用化〉

アオコは毒性を持っているが、窒素とリンを多量に含んでおり肥料としての利用価値は高い。こ

の点に着目した研究も行われている。

このようにアオコ対策といっても色々な手法・研究が行われており、確立されたものは存在しない。本文では、貯水池のアオコ対策として、一般的に使用されている曝気循環装置(散気管方式)を用いて考察することとする。

4. 指標項目

ダムや貯水池では、定期観測(月1回観測)や自動観測装置(1日数回観測)を用いて、表4.1に表記するような調査を行っている。

表4.1の指標を用いて様々な環境対策を行う。このうち、アオコの発生抑制を対象とした指標項目を表4.2に示す。

アオコの異常増殖は春期から夏期にかけて発生しやすい環境が整備され、その後、起こる現象である。そのため、表4.2の指標項目を用いて発生時期を検討し、曝気循環を行う必要があるが、使用する指標としては迅速なデータの把握と精度が必要となる。よって水質自動観測システムを用いて迅速に把握できる、水温、成層強度およびpHを用いて検討することとする。

表4.1 貯水池の指標項目

指標項目	詳細
気象	天候、気温、日射量
水環境	貯水位、流入出力、透明度、全水深、採取水深、水温、臭気、濁度、DO、電気伝導度
栄養塩類	pH、BOD、COD、SS、総窒素、大腸菌数、アンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、総リン、オルトリン酸態リン、Chl-aなど

表4.2 曝気循環装置の運用に関して利用可能な指標項目

指標項目	備考および課題
水温	藍藻類は高水温で発生しやすい
成層強度	水温鉛直分布から成層強度に換算することによって、藍藻類の発生環境として評価できると考えられる。
pH	藍藻類は高いpHでの活性が高い。また、植物プランクトンの光合成はpHを上昇させる。
Chl-a	藍藻類以外の珪藻類や緑藻類等の他の植物プランクトンも指標してしまう可能性がある。また、無機窒素を、植物プランクトンと誤感知する可能性がある。
総リン	自動観測装置では指標できないが、出水に伴う総リン濃度の上昇を考慮する必要がある。

5. 各指標項目の設定値

指標項目は水温、成層強度およびpHを用いて行う。図5.1は定期観測による10年間の集計データ

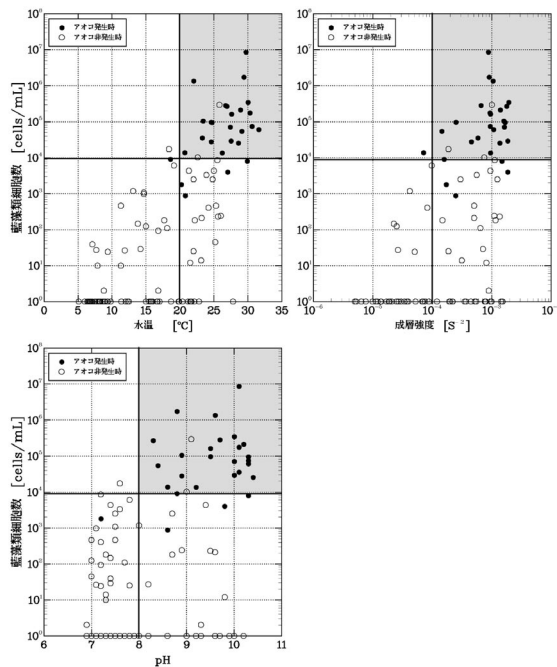


図5.1 定期観測による10年集計データ
(網掛け部:90%以上のアオコ発生をカバー)

表5.1 藍藻類(アオコ)の発生特性

藍藻類(アオコ)の発生レベル	条件
藍藻類細胞数 $>10^4$ (cells/mL)	水温: $>20^{\circ}\text{C}$ 成層強度: $>10^{-4}(\text{s}^{-2})$ pH: >8

夕である。これより、アオコの発生特性を予想し、表5.1にまとめた。これより藍藻類細胞数が概ね 10^4 (cells/mL)を超過するとアオコ状態となる傾向がある。

6. 曝気循環による環境制御の目標

効果および費用の効率化の面から、曝気循環を常に大量に実施すれば効果が最大となるわけではなく水理水質状況に応じた運用が必要となる。つまり、発生した藍藻類を消滅させるのではなく、藍藻類が発生しない環境を制御・維持することである。

以下に定期観測結果に基づいて10ヶ年平均の藍藻類、及び関連要因の経月変化を示し、曝気循環の運用時期を検討する。また、環境制御の目標については、表6.1の様にまとめられる。

図6.1より、成層強度とpHの季節変化はほぼ同時期から始まるが、藍藻類細胞数の変化は差異が存在し、藍藻類細胞数の方が増加、減少共に数ヶ月遅れる傾向がある。このことより、藍藻類の増殖は、成層強度、pHに数ヶ月遅れて顕著になり、秋期から初冬にかけては、夏期に増殖した藍藻類が残存していると考えられる。

表6.1 曝気循環による環境制御の目標に関する検討内容

藍藻類及び環境条件の実態	<ul style="list-style-type: none"> ・アオコの発生は概ね6~10月であるが、藍藻類は5月より増殖を開始する。 ・5月は成層強度やpHに加えて表層水温がアオコ発生に相当する条件となる時期である。 ・逆に言えば3~4月は表層水温がいわば制限因子となり藍藻類は増殖していない。
曝気循環による環境制御の目標	<ul style="list-style-type: none"> ・藍藻類の増殖環境がそろそろ5~10月において、制御可能な環境条件(成層強度, pH)を制御する。 ・なお、表層水温はシミュレーション結果や他ダム事例からも夏期に20℃以下に低下させるのは困難であることから制御対象とはしない。 ・ただし、曝気循環装置の稼働後、直ちに混合環境が形成できるわけではない事から、「混合環境形成期間」が必要である。 ・この期間は水温が制限因子となっている事から、成層強度が$10^{-4}(S^{-2})$を上回っていても問題は無い。

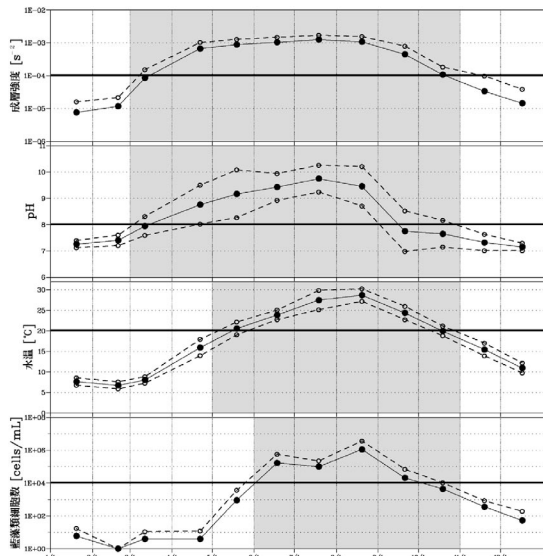


図6.1 藍藻類及び環境要因の10年間の季節変化傾向
 ※図中の実線は平均値、点線は標準偏差を示す。
 ※図中の網掛けは、それぞれの項目においてアオコの発生に相当する期間を示す。

7. ま と め

効率的かつ水質保全効果の得られる運用方法として以下のような結果が得られた。

- ・藍藻類細胞数が概ね 10^4 (cells/mL)を超過するとアオコ状態となる傾向がある。
- ・水温20℃以上、成層強度 10^{-4} 以上、pH8以上のいずれかの条件において、藍藻類の細胞数は 10^4 (cells/mL)を超過する傾向がある。
- ・アオコの発生が確認されてから曝気循環を始め

たのでは、すでにアオコの発生環境が形成されているため、曝気循環の効果は望めない。

- ・つまり、成層が形成される時期(成層強度の増加時期)を特定し、曝気循環を行うことが、アオコ発生の抑制、コスト削減となる。

8. 今後の課題として

- ・これらの藍藻類の増殖やアオコの発生にかかる特性を考慮して、曝気循環装置の運用方法の検討を行う。
- ・その運用方法を基に管理を行い、管理運用費用対策効果を行う。

参 考 文 献

- 1) 古里栄一, 浅枝隆, 須藤隆一: アンテナ色素の吸光特性に基づく藍藻類の光学的および水理学的発生条件に関する現地データを用いた考察—アンテナ色素・浮力周波数仮説—, 水環境学会誌, 第26巻第1号, 2003
- 2) 古里栄一, 浅枝隆, 須藤隆一: アンテナ色素の吸光特性に基づく藍藻類の光学的および水理学的発生条件に関する理論的考察—減衰スペクトル特性と混合水深—, 水環境学会誌, 第26巻第1号, 2003

- 3) 浅枝隆(代表):湖沼,貯水池の管理に向けた富栄養化現象に関する学術研究のとりまとめ,土木学会水理委員会・環境水理部会, pp169-242, 2000
- 4) 丹羽薫,久納誠,森本浩之,高橋建夫,吉永充:ダム湖における流動制御による水質管理,土木技術資料, pp.207-212, 1994
- 5) 丹羽薫,久納誠,久保徳彦,山下芳浩:流動制御によるダム湖の水質保全技術の開発,土木技術資料, 1993
- 6) 古里栄一,井芹寧,横手春雄,伊藤忠男,浅枝隆,須藤隆一:藍藻類の異常増殖現象(アオコ)の制御技術に関する研究-噴射衝撃原理を用いたシアノバスターの開発について-,NPO法人あらかわ学会年次大会2003講義論文集, 2003
- 7) 小島貞夫,飯田耕作,滑川明夫:局部遮光による藻類(アオコ)制御の実証的研究,用水と廃水, Vol42 No.5, pp.5-12, 2000
- 8) 福渡隆,寺川陽,天野邦彦,武田信保,林十三夫:人工生態礁の隔離水界実験について,土木学会第54回年次学術講演会, 2003
- 9) 古里栄一,松宏典,田畑隆一郎,浅枝隆,須藤隆一,井芹寧:浅い水域における水の華制御手法(シアノバスター)の水環境改善効果,第37回日本水環境学会年会発表, 2003