

農業用ダムにおける藻類の深度分布と水質管理

Irrigation Water Quality Management Based on Vertical Distribution of Phytoplankton in an Agricultural Dam Reservoir

濱 田 康 治* 吉 永 育 生* 人 見 忠 良*

(HAMADA Koji)

(YOSHINAGA Ikuo)

(HITOMI Tadayoshi)

久 保 田 富 次 郎* 白 谷 栄 作*

(KUBOTA Tomijiro)

(SHIRATANI Eisaku)

I. はじめに

富栄養化したダム湖では、アオコやカビ臭などの問題が顕在化する場合がある。アオコやカビ臭などの問題は藻類の増殖に起因する場合が多く、湖内での藻類の動態把握は水質管理上とても重要である。

問題が顕在化している農業用ダムにおいて取水される農業用水の健全性を確保するためには、対策を施し、藻類が農業用水として取水されないようにする必要がある。対策の検討に当たり農業用ダム湖内に分布する藻類の動態を把握することが重要であるが、従来、クロロフィルなどの色素を指標とした調査や、優占藻類種の調査などがなされているものの、藻類種の空間分布を調査した事例は少ない。

本報では、農業用ダムの総点検の結果¹⁾の中でアオコ問題が指摘されているダム湖において、4種類の藻類ごとの現存量を測定可能なセンサーと多項目水質センサーを利用して、ダム湖最深部や取水地点に近い網場での藻類などの深度分布特性とそれらに基づく水質管理の可能性について検討する。さらに、アオコ対策のひとつとして農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書²⁾に例として示されている分画フェンスが藻類の深度分布に与える影響について報告する。

II. 調査の概要

1. 対象ダム湖と調査の概要

調査対象のダム湖は、山間部に位置しており、有効貯水量 512 万 t、利用水深 30 m の農業・水道用ダム湖である (図-1)。アオコ問題が顕在化しており、分画フェンス (深さ 3 m) がアオコ対策として導入されている。

ダム湖最深部や取水地点に近い網場での藻類や水質の深度分布特性調査と、分画フェンスの設置が藻類の水深分布に与える影響調査を平成 22 年 9 月 16 日に

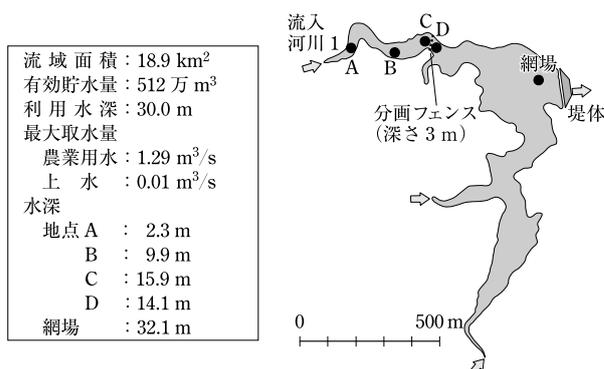


図-1 調査対象ダムの概要

実施した。後者は分画フェンスが設置されている地点の直上流 (地点 C) と直下流 (地点 D), 上流の 2 地点 (地点 A・B) の 4 地点で実施し、深さ方向に密に水質測定することで水質の深度分布を測定した。なお、網場における水質の深度分布の期別変動調査は、平成 29 年 7 月から平成 30 年 2 月に実施された。

2. 水質測定方法

現地でのセンサーによる水質測定には、水深、水温、濁度、pH、溶存酸素濃度を測定可能な多項目水質センサー (JFE アレック (現 JFE アドバンテック) 製) と多波長励起蛍光光度計 (JFE アレック製、以下、「藻類センサー」という) を使用した。その際、両計測器を物理的に連結させるとともに、データ収集のタイミングを時間連動させることですべての測定値を水深データに連動させた。ここで、使用した藻類センサーは、植物プランクトンがもつ色素に起因する励起蛍光特性を測定し、その現存量だけでなく珪藻、緑藻、藍藻、クリプト藻の組成も測定できる。

ここで、珪藻は、淡水域で最も多くみられるとされる藻類で、珪酸質の被殻で覆われており、葉緑体には緑色の色素であるクロロフィルだけでなくコキサンチン (赤褐色) も含まれるため、黄褐色に近い色をしている場合が多い。緑藻は、良く知られたミカヅキモ、

*農研機構農村工学研究部門



藻類、深度分布、温度躍層、酸素濃度、多波長励起蛍光光度計

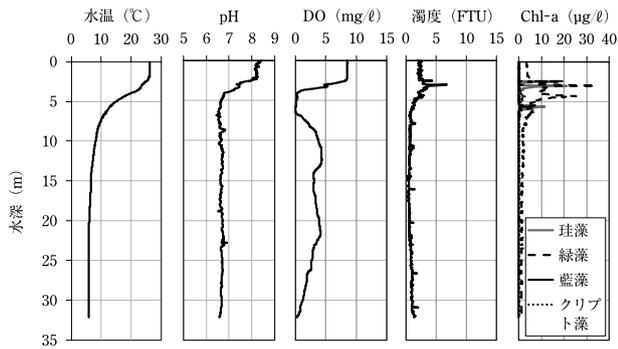


図-2 網場での水質調査結果 (2010年)

アオミドロなどが含まれ、葉緑体が緑色の藻類である。なお、使用した藻類センサーの特性上、結果に示した緑藻類にはミドリムシやペリディニウム属が含まれる渦鞭毛藻や、ラフィド藻が含まれる。藍藻は、アオコの原因となる藻類で、その名のとおり青緑色に近い色をしている。毒性のあるミクロキスティンを生産する種がミクロキスティス属やオシラトリア属・アナペナ属に、カビ臭のもととなる物質を生産する種がフォルミディウム属・アナペナ属・オシラトリア属に存在する。クリプト藻 (黄色鞭毛藻綱) は、鞭毛藻類に属しており、クロロフィルと色素タンパク質のフィコビリンをもち、淡水赤潮原因となるクリプトモナス属やウログレナ属が含まれる。

III. 調査結果と考察

1. 網場における水質と藻類の深度分布

図-2に、ダム湖最深部に近い網場で測定した水温、pH、DO濃度、濁度、クロロフィル濃度の深度分布を示す。クロロフィル濃度は藻類センサーによる測定結果であり、珪藻・緑藻・藍藻・クリプト藻の4種に分けて現存量を示している。

調査時は網場付近の水面でのアオコなどの植物プランクトンが高濃度に集積されている様子はみられなかったものの、藻類センサーによる測定結果では、水深2.5~7.5m付近に藻類が比較的高濃度で存在していることが示された。水温測定の結果から、水深2.5~7.5m付近は温度躍層が存在している深度であることが推察された。また、pHの測定結果は、光合成によるものと考えられるpH上昇が表層で観察されたものの、2.5~4.0m付近では深くなるにしたがいpHの急激な低下がみられ、4.0m以深では中性よりやや低い値で推移していた。DO濃度測定結果では、藻類の集積が観測された深度から急激なDO濃度の低下が観察され、藻類の集積がみられる深さ以深では深くなるにしたがいDO濃度が上昇している様子が観察された。

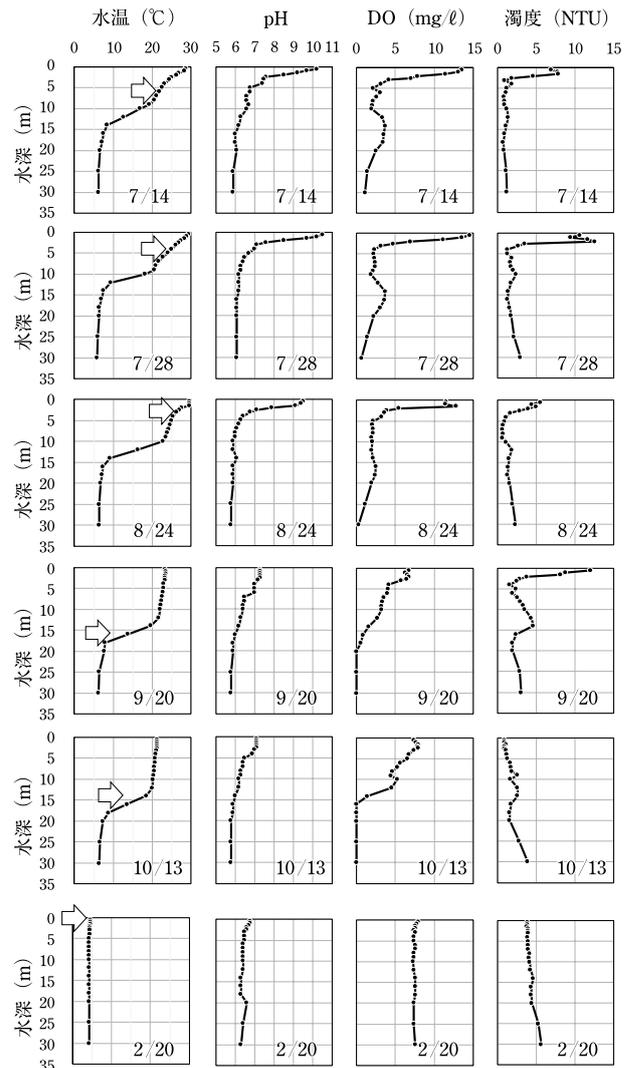


図-3 網場での水質調査結果 (2018~2019年)

これらの結果は、表層で増殖した藻類が沈降によって水温躍層付近にまで達するが、水温躍層の上層と下層の水塊がその密度の違いにより混合されにくく、藻類も水温躍層の下層へ移動しにくいと、藻類が水温躍層付近に集積していること、水温躍層付近で集積した藻類などの有機物に由来すると考えられる酸素消費が生じていることを示している。なお、pHの測定結果は、水温躍層付近での光合成活性はそれほど高くなかったことを示唆している。DO濃度は温度躍層よりも下層に向かって濃度が上昇している様子が観察されており、対象ダム湖の酸素濃度は表層が高く、水深が深くなるに伴い低下して、深層では低い濃度で推移するという酸素濃度分布を示さなかった。

次に、図-3に平成29年度の網場における水質の深度分布の年間変動調査の結果を示す。測定項目は、図-2と同様の水温、pH、DO濃度と、濁度である。水温グラフ中の矢印は流入河川の平均水温と同じ水温となっている水深を示している。調査ではクロロフィル

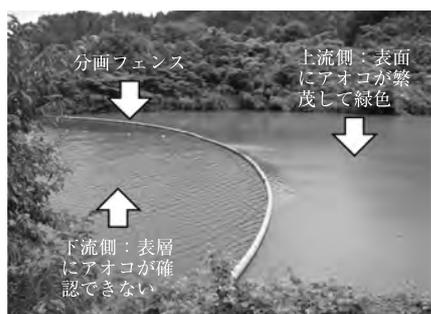


写真-1 分画フェンスによるアオコの流下抑制 (2010年)

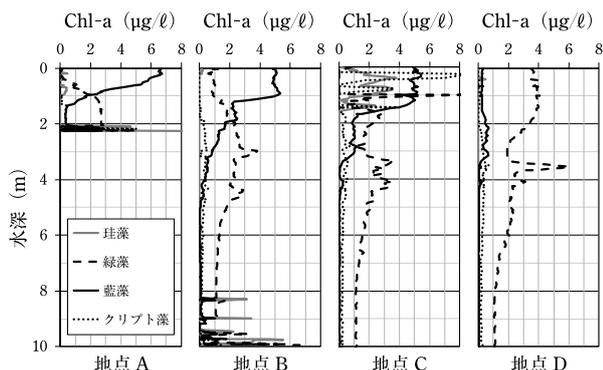


図-4 分画フェンス前後での藻類叢の変化 (2010年)

センサーによる測定をしていないため、濁度の測定結果を示した。図-2で観測された水温躍層付近でのDO濃度低下と藻類集積（図-3では濁度）の特徴的な現象は、図-2に示した結果ほど極端ではないものの7~8月に観測された。また、9~10月の結果は、7~8月の結果と異なり、水温躍層の位置が深くなるとともに、水温躍層より下層での濁度が高く、DO濃度の上昇も観察されなかった。これは、9月20日の調査直前の9月16~18日に接近した台風18号により降雨・強風がもたらされ、湖内が攪拌されたなどの影響によるものと推察される。湖内循環後の2月の調査結果では、湖内が完全混合されており、表層から底層まで水質変動が小さく、DO濃度は底層でも7.5mg/lであった。

冬季に底層のDO濃度が高まり、夏季から秋季の間に温度躍層より深層でのDO濃度が徐々に低下する傾向にあった。ここで、流入河川の水温は温度躍層付近もしくは、より浅い水深の水温と同じ水温であり、夏季から秋季の間は温度躍層より深層への流入水の供給はほとんどないと考えられることから、秋季における底層での濁度上昇とDO濃度低下は、風などに起因する攪拌による影響と推察される。

2. 分画フェンスの藻類組成への影響評価

写真-1に調査時に撮影した分画フェンス周辺の写真を示す。分画フェンスはオイルフェンスと同様の構造で、表層から深さ3mの水の流れを遮断する効果を

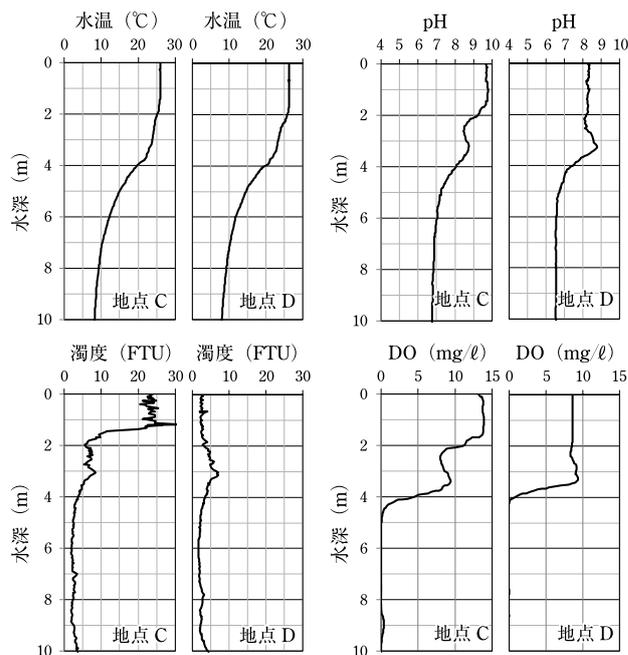


図-5 分画フェンス前後での水質比較 (2010年)

もっている。写真右側が上流側であるが、表層において上流側で発生しているアオコが下流側ではみられず、分画フェンスによりアオコの流下が抑制されているように見える。

そこで、実際に上流側にみられるアオコが分画フェンスの前後でどのように分布しているか藻類センサーで測定した。図-4に分画フェンス前後での藻類の深度分布の変化を示す。最上流にある地点Aの表層では藍藻が優占しており、その傾向が分画フェンス上流側の地点Cまで継続している。地点A~Cでは緑藻が藍藻に比較して深いところで優占している。その他の藻類は地点A・Bでは優占度が低く、また、底層では高濁度の影響を受けたと考えられるピークが観察された。

アオコの原因である藍藻に着目すると、地点Cの表層では濃度が高い様子が観察されたものの、地点Dでは表層でのピークが観察されなかったが分画フェンスの深さ3mよりも深い水深においてに藍藻の小さいピークが観察された。つまり、分画フェンス上流で増殖した藍藻の大部分は分画フェンスにより表面流下を抑制されており、下流側への流出はフェンス下を潜っての低濃度での流下のみであると推察された。

さらに、図-5に分画フェンス前後での水温、pH、濁度、DO濃度の深度分布を示す。地点C・Dで水温分布に大きな違いはないが、pH・濁度・DO濃度に関してはフェンスの深さである3mより深い地点において、下流側で上流からの影響と考えられるピークが確認された。ただし、水温の深度分布の比較から、表層の水がフェンスにぶつかって下向きの流れとなりフェ

ンスの下を潜っている流れは小さく、上流側の3m以深にある同程度の水温の水がそのまま流下している現象が卓越していると考えられた。つまり、フェンス上流側にある水温が高く藻類数も高い表層水はフェンス上流側にとどまる傾向が強いことが示された。

このように、アオコの発生地点より下流地点への分画フェンスの設置は、ダム湖の取水地点への藻類の流下抑制の効果があると考えられる。しかしながら、ダム工学会維持管理研究部会³⁾は分画フェンスの上流に集積したアオコが悪臭の問題となることを指摘しており、対策としての導入には、導入場所の選定や上流側に蓄積するアオコの管理などに注意が必要である。

3. 藻類の深度分布と水質管理

網場において多項目水質センサーと藻類センサーの2種類のセンサーによる水質測定結果が示すように、水温躍層と水質は密接な関係があり、水温躍層付近の水塊は藻類濃度が高く、DO濃度が低い傾向が強い。水温躍層が存在する水深の特定は水温の深度分布の監視のみで可能である。たとえば、アオコ対策のひとつである選択取水を実施することで藻類が集積された水塊の取水を回避する場合には、取水地点での水温分布をリアルタイムで監視して取水水深の変化による水温躍層の深度変化に注意しながら、水温躍層付近からの取水を避けるように管理することで農業用水の水質管理の一助となると考えられる。

また、分画フェンスは、アオコなどの藻類が表層で過剰増殖している水域における藻類の封じ込めに一定の効果を示した。

ただし、今回の調査はすべて日中に実施したものであり、夜間には水中に沈む特性をもつとされる藍藻類が、夜間にどのような水深分布を示すか、その際に夜間の取水深度をどう考えるべきか、また、今回調査の対象とした分画フェンスが夜間にどのように機能しているのかなどの知見が少なく、対策の効果の検証にはさらに検討が必要である。

IV. まとめ

水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準に底層溶存酸素量が追加されるなど、湖沼などの水域での水質管理においては、表層だけでなく深さ方向でも水質を把握・管理することが重要となってきている。

本報では、農業用ダム湖を対象に多項目水質センサーと多波長励起蛍光光度計を使用して水質や藻類の深度分布を測定し、網場での水質の深度分布特性に基づいた水温の水深分布を管理指標とした農業用水の水質管理の可能性や、分画フェンスによる藻類の流下抑制効果を報告した。

新しいセンサーが開発されており、これらを活用することで湖内の水質環境をより詳細に把握することが可能となってきている。これらの検討を通して、現場導入・管理しやすい管理指標を抽出し、センサー技術を積極的に活用しながら、効果的な農業用水の水質管理につなげる取組みが進むことが期待される。

謝辞 本報でのデータの一部を農林水産省近畿農政局より提供いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 農林水産省：農業用ダムの総点検結果(2009), <http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/mizu/091222.html>
- 2) 農林水産省農村振興局農村環境課：農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書(2012)
- 3) ダム工学会維持管理研究部会：ダム貯水池水質の保全に関する総合的研究, *ダム工学* 23(3), pp.218~236 (2013) [2018.6.29.受理]

濱田 康治 (正会員)



略 歴
1975年 鹿児島県に生まれる
1998年 九州大学工学部卒業
2004年 九州大学大学院工学府単位取得退学
九州大学大学院工学研究院, (独)農業工学研究所を経て
農研機構農村工学研究部門
現在に至る

吉永 育生 (正会員)



1972年 熊本県に生まれる
1995年 京都大学農学部卒業
1995年 農林水産省農業工学研究所
2017年 農研機構農村工学研究部門
現在に至る

人見 忠良 (正会員)



1979年 福島県に生まれる
2002年 明治大学農学部卒業
農林水産省入省, (独)農業工学研究所を経て
農研機構農村工学研究部門
現在に至る

久保田 富次郎 (正会員)



1964年 神奈川県に生まれる
1991年 東京農工大学大学院修了
農林水産省九州農業試験場, 農業工学研究所, 農研機構九州沖縄農業研究センターを経て
同機構農村工学研究部門
現在に至る

白谷 栄作 (正会員)



1960年 福岡県に生まれる
1983年 九州大学農学部卒業
1984年 九州農業試験場, 九州農政局, 農業工学研究所, 農村振興局を経て
農研機構農村工学研究部門
現在に至る