

湖面巡視記録を用いたアオコ発生状況の評価手法

Evaluation Method for the Extent and Progression of Cyanobacteria Bloom Using Lake Surface Patrol Records

研究第二部 水質技術開発室長 木村 文 宣
前 研究第二部 研究員 酒 井 遥
前 研究第二部 上席主任研究員 丸 尾 慶 樹

アオコの発生するダム貯水池において湖面巡視によりその発生状況を確認し記録しておくことは、貯水池水質管理の重要な役割の1つである。また、その結果を解析して定量化等することは、当該ダムのアオコ発生特性の把握や水質改善対策の効果評価への活用など、有益な活用方法が期待される。しかし、こういった取り組みを行った事例は少ない。本研究では、三春ダムで長年に渡り蓄積された湖面巡視結果のスケッチ画像を用いて、アオコ発生特性の明確化や水質改善対策の増強による湖面景観の改善状況の定量化等を行った。その結果、ダムサイト付近や入り組んだ地形となっている入江湖岸付近など貯水池内でアオコが集積しやすい箇所を明確に示すことができたほか、2019年以降に運用を開始した水質改善対策の増強前後で比較することにより、湖面の見た目の観点から水質改善効果を定量化することができた。以上の知見は、同様のスケッチを作成しているダム貯水池でも適用できる可能性が高く、日々の湖面巡視結果を活用した状況把握や水質改善対策の効果評価に活用することが期待される。

キーワード：アオコ、湖面巡視記録、スケッチ画像、数値化、経年比較

In reservoirs where cyanobacterial blooms occur, monitoring and recording bloom conditions through routine surface patrols is one of the essential tasks for water quality management. Furthermore, analyzing and quantifying these records can provide valuable insights, such as understanding the bloom characteristics of a given reservoir and evaluating the effectiveness of water quality improvement measures. However, few studies have addressed this approach to date. In this study, sketch images accumulated over many years from routine surface patrols at Miharu Dam were utilized to clarify the characteristics of cyanobacterial bloom occurrence and to quantify improvements in surface water appearance resulting from the enhancement of water quality measures. The results clearly identified areas within the reservoir where blooms tend to accumulate, such as near the dam site and along indented shoreline coves. Moreover, by comparing conditions before and after the implementation of additional water quality improvement measures, which began operation in 2019, we were able to quantitatively evaluate their effectiveness from the perspective of visible surface conditions. These findings suggest that similar sketch-based approaches could be effectively applied in other reservoirs, enabling the utilization of routine patrol records for both situational assessment and the evaluation of water quality management strategies.

Key words : Cyanobacteria, Lake surface patrol record, Sketch image, Quantification, Comparison over the years

1. はじめに

ダム貯水池は、洪水調節、上水・農業用水・工業用水・発電等の利水補給、流水の正常な機能の維持といった多様な目的で利用されており、我々が安心・安全な社会生活を営むうえで非常に重要な役割を果たしている。これらダムによりもたらされる社会的な便益がある一方で、湛水域が創出されることにより従前はなかった問題が生じる場合がある。

例えば水質面への影響に着目すると、冷温水、濁水長期化、富栄養化、貧酸素化等の水質変化現象が発生

する場合があります。これら現象に伴い水利用や景観に影響を及ぼす場合には、大きな社会問題に発展することもある。冷温水に係る問題は、主にダム上流河川とダム放流河川の水温差が大きくなることにより、水稻の生育不良や魚類の生息環境の変化が生じ、これが農業や漁業への影響として顕在化する。濁水長期化に係る問題は、出水後にダム上流河川の濁りが清澄化した後にもダムから濁水が長期間に渡って放流されることにより、景観阻害や魚類の生息環境の劣化等によって顕在化する。富栄養化に係る問題としては、アオコが湖面を覆うことによって湖面景観が悪化すること、一部

の藍藻類が産生するカビ臭物質が過度に高まった場合の浄水場での浄水処理費用の高騰や処理しきれない場合には給水停止に陥るなどの形で顕在化する。底層貧酸素化に係る問題では、重金属類の溶出による赤水・黒水の発生や硫化水素の発生等により、利水障害や魚類の斃死等で顕在化する事例が報告されている。

国土交通省及び独立行政法人水資源機構が管理する多目的ダムの管理者を対象として2015年に実施されたアンケート調査によると、アンケート対象の全123ダムのうち全体の45%にあたる63ダムでは富栄養化に係る問題が発生していると回答している(図-1参照)¹⁾。

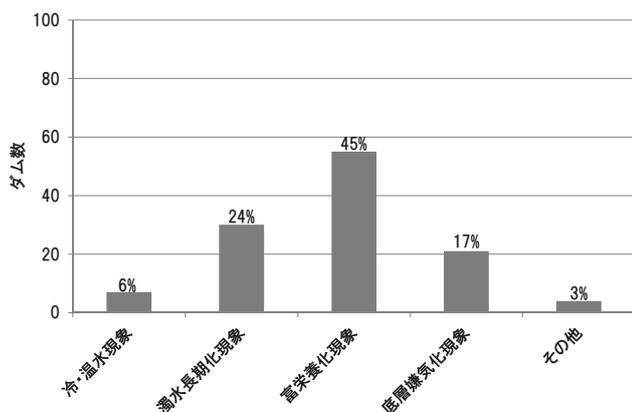


図-1 ダム貯水池における水質問題の発生状況

これら水質問題の発生しているダム貯水池では、適切な水質改善対策を実施し、影響の回避・緩和に取り組まれており、一定の効果が確認されているケースも多くみられるが、これら対策を検討・実施するにあたっては、平時に実施される定期調査に加え、必要な詳細調査を実施し、貯水池内の状況を正確かつ詳細に把握することが重要である。

アオコによる景観阻害に関する状況把握に関しては、水質調査により水温や栄養塩濃度、発生する植物プランクトンの種類や量の把握が行われているが、これら調査と同様に重要な情報を与えてくれるのが湖面巡視結果である。

アオコの発生するダム貯水池では、夏季を中心に陸上・船上から湖面の状況を巡視し、その結果をレポートやスケッチ図として記録している場合が多い。これにより、初夏から晩秋における貯水池中でのアオコ発生状況の盛衰や貯水池内での発生状況の偏りを把握することが可能となり、一部のダムや湖沼では、その結果を公表している^{2) 3) 4)}。

しかし、この結果を定量的なデータとして集計し、当該ダムにおけるアオコ発生メカニズムの解明に活用

したり、水質改善対策の効果評価に活用するといった取り組みまで行っている事例⁵⁾は非常に少ない。

そこで本研究では、これまでに実施されたアオコ発生状況のスケッチ記録が多く蓄積されている事例に着目し、そのデータを数値化してアオコ発生特性の把握や水質改善対策の効果評価に活用すること試みた。本論文は、その結果を報告するものである。

2. 方法

(1) フィールド概要

本研究で使用するデータは、三春ダムから提供を受けた。三春ダムは、阿武隈川水系大滝根川に建設され、1998年に管理開始された総貯水容量 $42.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、湛水面積 2.9 km^2 の多目的ダムである⁶⁾。貯水池は大きく4つに分岐した複雑な形状であり、ダム湖は一般公募による選考により「さくら湖」と命名された。

ダム湖の主要な流入河川は、蛇沢川、大滝根川(本川)、蛇石川、牛縊川の4河川であり、流域面積比からの推定では総流入量の約8割が大滝根川からの供給である。当ダムは、大滝根川上流域に人口約3万人の田村市を抱えており、その影響からダム貯水池への流入汚濁負荷が多くなることが見積られており、計画時点から「富栄養化は避けられないダム」と予測されていた。このため、ダム建設中より流域を含めた詳細な水質調査が実施され、建設時に様々な水質改善対策施設が設置され、管理開始当初よりそれらを稼働させて水質悪化を防ぐよう努めてきた。その結果、現在まで利水障害等の深刻な水質問題は発生していないものの、毎年のアオコ発生は続いている。

なお、三春ダムでは、管理開始の1998年から2018年まではアオコ対策として湖内で浅層循環施設5基を稼働していたが、2019年以降は深層曝気施設を浅層循環施設に機能改造し、現在は計7基の稼働によりアオコ対策を行っている。また、夏期の洪水貯留準備水位(EL.318m)時の水深が20m未満となる範囲が多く存在する蛇石川筋については、浅層循環施設によるアオコ発生抑制効果が及びにくいことが既往知見から明らかになったことから、蛇石川筋の末端付近に流動制御フェンス(丈5m)を設置し、フェンスより下流側での浅層循環施設による効果を向上させるとともに、フェンス上流側に発生するアオコへの対策としてプロペラ式循環装置を設置して、これらも2019年より稼働している(図-2参照)。

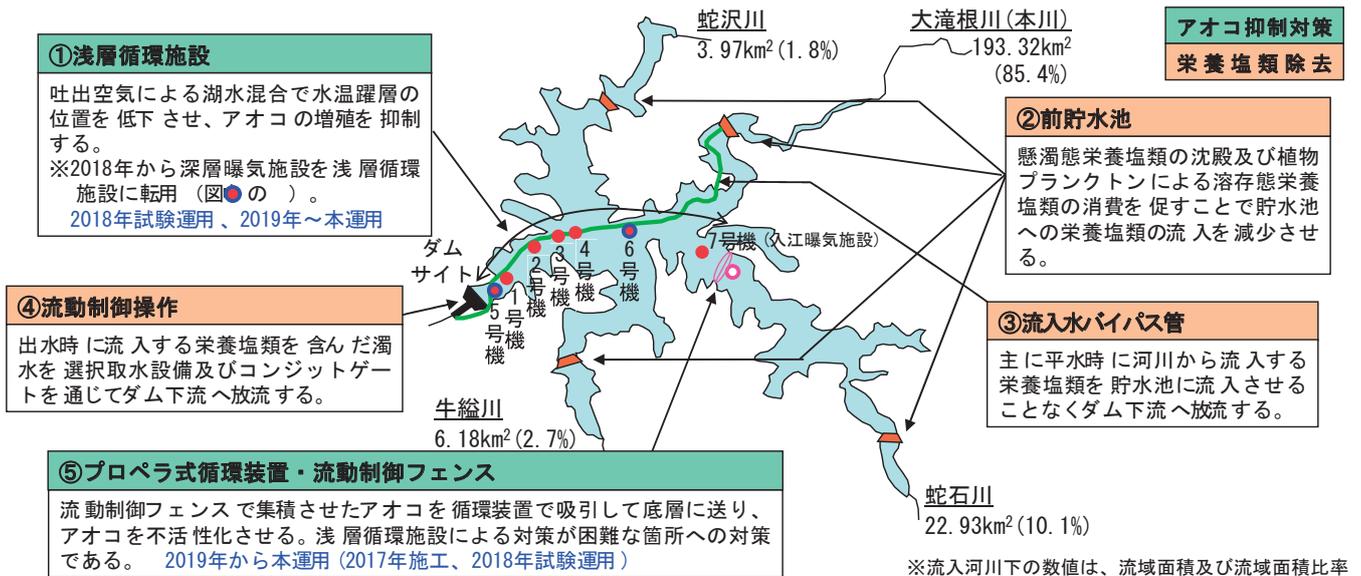


図-2 三春ダムの水質改善対策施設

(2) 使用するデータ

前述の通り、三春ダムでは管理開始当初より貯水池内ではほぼ毎年アオコが発生していることから、夏季を中心に概ね1回/週の頻度で船上からの湖面巡視と陸上からの湖面観察を行い、その結果をスケッチ図として記録してきた(図-3参照)。

このスケッチ図では、アオコの発生状況を「発生無し(白)」「薄い浮遊(薄緑)」「濃い浮遊(緑)」「集積(濃緑)」の4段階で色分けして表現されており、これらは管理開始から現在まで同一の作業者によって湖面確認及びスケッチ図の作成が行われてきた。

本研究では、この蓄積されたデータのうち2014年か

ら2024年の11年間のスケッチ図を用いることとした。

(3) データ整理・解析方法

本研究では、以下のステップでスケッチ図を数値データに変換した。

- ・前項で示したスケッチ図について、湖面全体が収まるサイズで100×100のマスを作成し、その中にスケッチ図をはめ込む。
- ・スケッチ図からアオコの集積に関する色情報以外(ダムの輪郭、凡例等)を除去する。
- ・画像の各ピクセルの色情報をRGB表色系(R:赤/G:緑/B:青)に基づき抽出し、「発生無し(白):0」「薄い浮遊(薄緑):1」「濃い浮遊(緑):2」「集積(濃緑):3」として各ピクセルの数値データを作成する(図-4参照)。

本研究におけるデータ整理期間とした2014年から2024年間に作成されたスケッチ図は計210枚あり、これら1枚ずつについて、上記の方法でデータ化した。

データの集計方法については、まず各年のアオコ発生レベルを他年と比較することを想定し、1年分のデータを重ね合わせた。但し、各年の巡視回数は表1に示すように16回から25回とバラつきがあるため、巡視回数を揃える必要がある。本研究では、1年の巡視回数を17回/年(つまり各ピクセルの値は最小値が0、最大値が17回×3=51となる)とし、巡視回数が17回以外の年については、1年分のデータを重ね合わせた後に係数(17を当該年の巡視回数で除した値)を乗じて均一化を図ることとした。

以上の方法で各年で集計した結果をアオコ発生特性図として取りまとめた(図-5参照)。

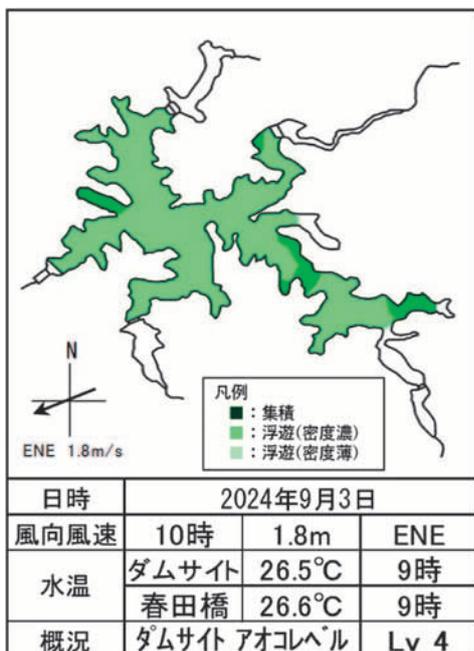


図-3 三春ダムにおける湖面巡視結果(スケッチ画像)の事例

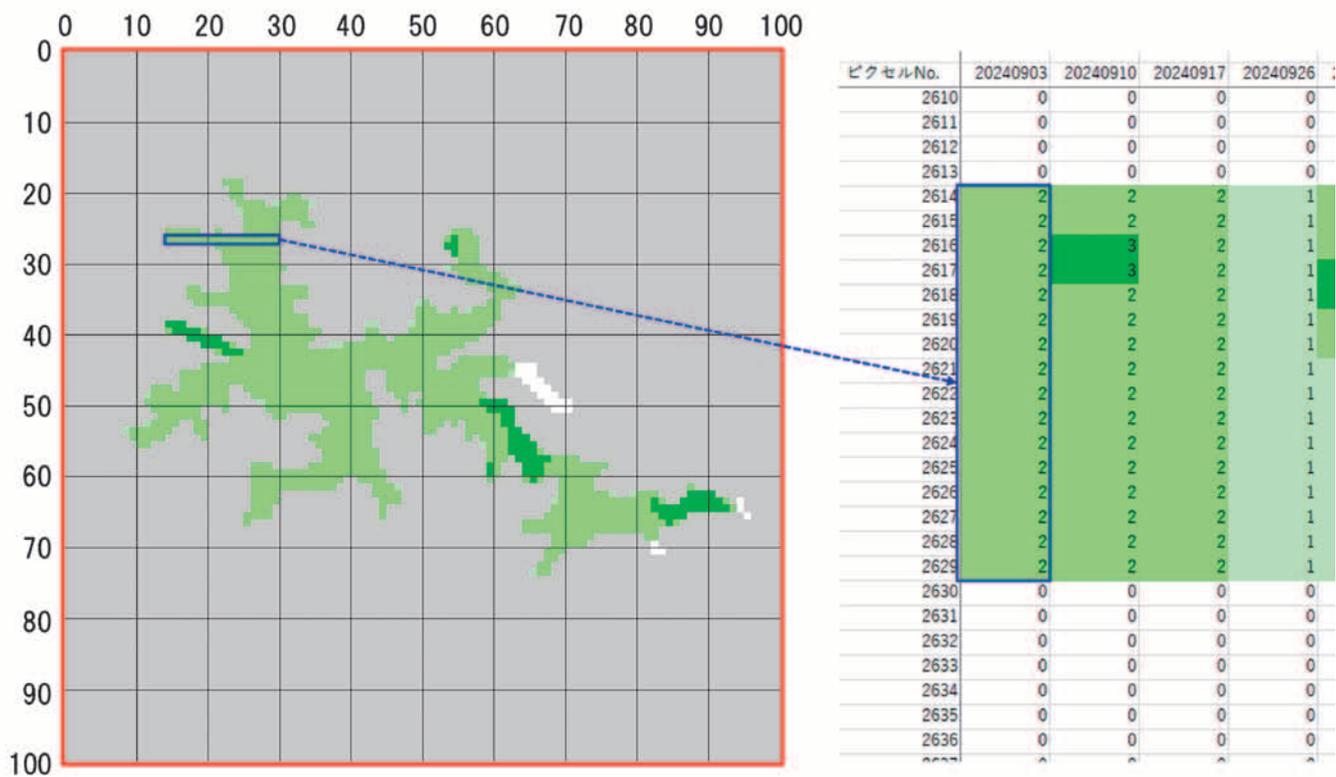


図-4 スケッチのピクセル情報 (RGB) を数値化した事例

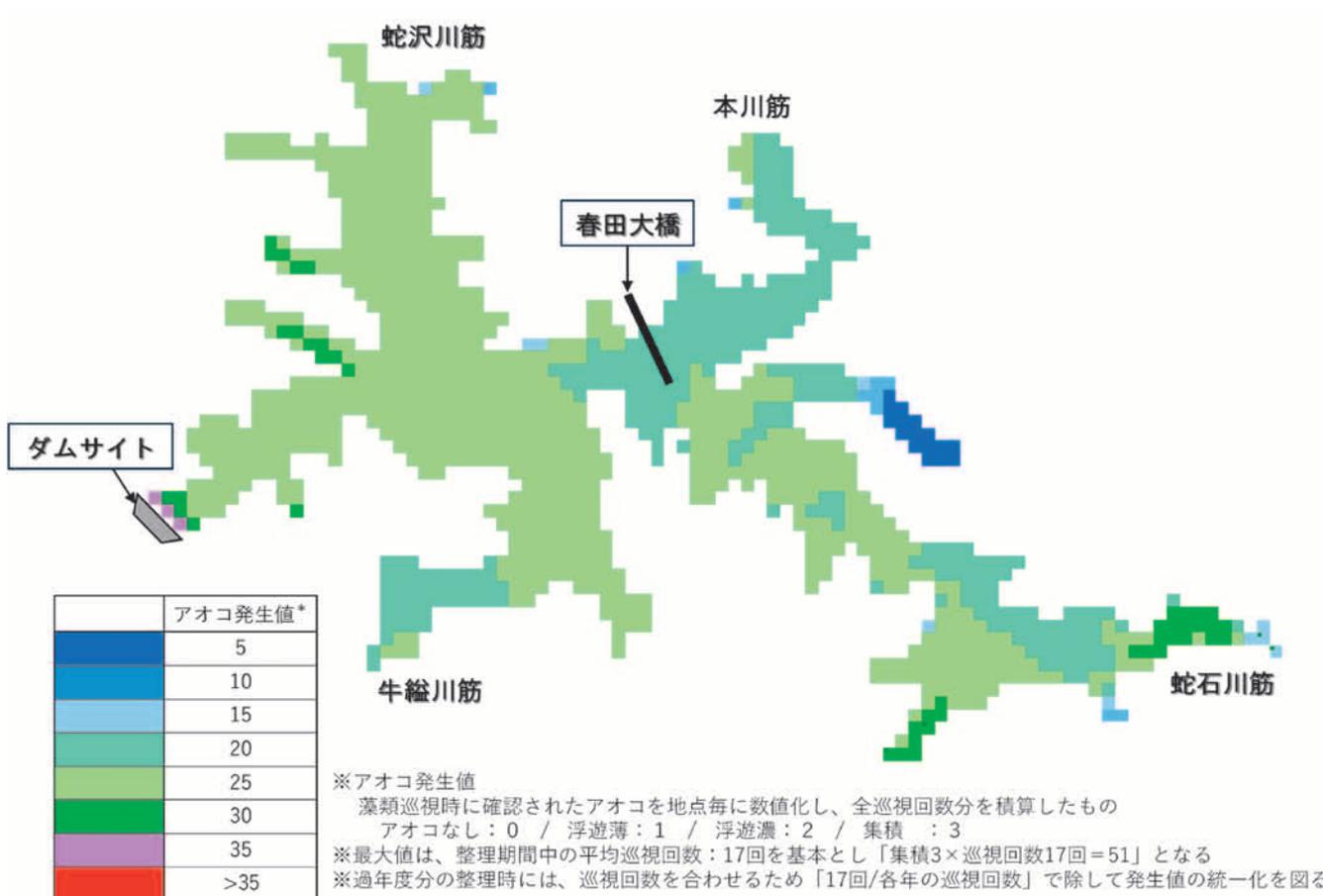


図-5 アオコ発生レベルを1年分重ね合わせた事例 (アオコ発生特性図)

表-1 整理対象期間の巡視回数

	年次	巡視回数 (スケッチ枚数)		年次	巡視回数 (スケッチ枚数)
1	2014年(H26)	18	6	2019年(R1)	19
2	2015年(H27)	16	7	2020年(R2)	24
3	2016年(H28)	18	8	2021年(R3)	16
4	2017年(H29)	18	9	2022年(R4)	19
5	2018年(H30)	25	10	2023年(R5)	17
			11	2024年(R6)	20

3. 結果

前項に示したデータ整理・解析方法に基づき図化したアオコ発生特性図を図6及び図7に示す。以下にアオコ発生特性図から読み取れる特徴を記す。

- ・年によるアオコ発生程度の違い(多い年/少ない年の違いが一目で確認可能となっている)
- ・以上の図で得られる傾向は、三春ダムで実施されている植物プランクトン調査(アオコ発生時期:凡そ1回/週、それ以外の期間:1回/月)の結果に基づき整理した*Microcystis*属の年ピーク細胞密度やアオコ発生延べ日数(*Microcystis*属細胞数が35群体/mL以上の日数)の推移を整理した結果と比較してもその傾向は概ね一致している(図-8参照)。
- ・例えば、2017年や2023年は他年に比べてアオコ発生値の高いエリアが多く表れているが、両年は*Microcystis*属の年ピーク細胞密度やアオコ発生延べ日数が他年に比べて多くなっている。
- ・三春ダムにおいてアオコの集積しやすい箇所を明確に示すことができおり、ダム堤体付近や入り組んだ地形の入江部においてアオコ発生値が高い部分が示されている。
- ・流動制御フェンスを設置した2019年以降は、フェンス上流側のアオコ発生状況がより顕著に表れており、フェンスによるアオコ捕捉と下流への流出抑制が明確に表れている。

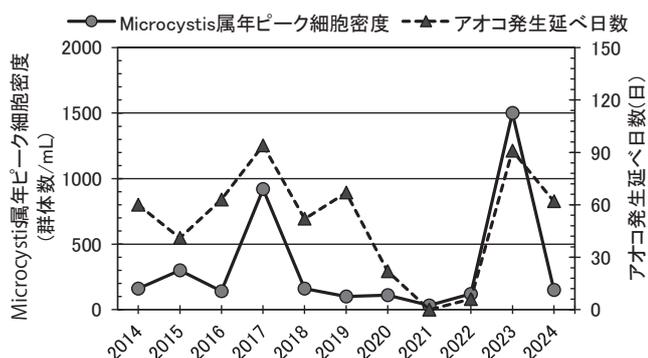


図-8 データ整理期間(H26～R6)の三春ダムの*Microcystis*属年ピーク細胞密度とアオコ発生延べ日数

4. 考察

前項で示したデータ解析結果に基づき、経年的なアオコ発生状況の推移や水質改善対策の増強による変化をより定量的に示す方法についての考察を以下に示す。

(1) 経年的なアオコ発生状況の推移

前項の図-7及び図-8で示した各年のアオコ発生レベルについて、各ピクセルの値を抽出し、その度数を集計した(図-9参照)。階級が17以下であればアオコ発生は概ね「薄い浮遊(薄緑):1」以下の日が多かったことを意味する。つまり集計を行うことにより、各年のアオコ発生度や期間がどの程度であったかを類推することができる。

この観点で図-9とデータ整理期間の気象・水文条件を示す気温・日射量・降水量・流入量・月回転率を整理した結果(図-10)を比較すると、気温や日射量が高く流入量も平均的にあり、回転率の小さい年にはアオコ発生レベルが大きくなり、階級分けが17以上、つまり「薄い浮遊(薄緑):1」以上となる割合が多くなる傾向が認められる。

このように、アオコ発生状況を数値的に表すことにより、外的要因との関係性を整理しやすくなる等のメリットがあると言える。

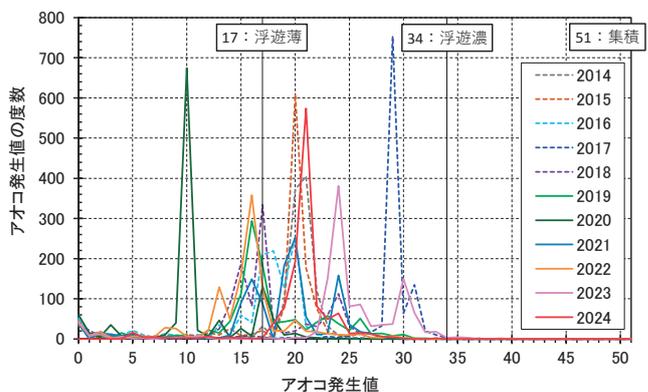


図-9 アオコ発生値度数分布の経年変化(H26～R6)

(2) 水質改善対策の増強による変化の評価

図-9に示したデータを三春ダムにおいて水質改善対策の増強が行われた前後(増強前:2014～2018年/増強後:2019～2024年年)で分類の上、平均化した結果を図-11に示す。

この結果からは、対策増強前はアオコ発生値17, 20, 29にピーク値が表れているが、対策増強後はそのピークがより低い値に移動し且つその度数も小さくなる傾向が見られた。つまり、湖面のアオコ発生状況は、対

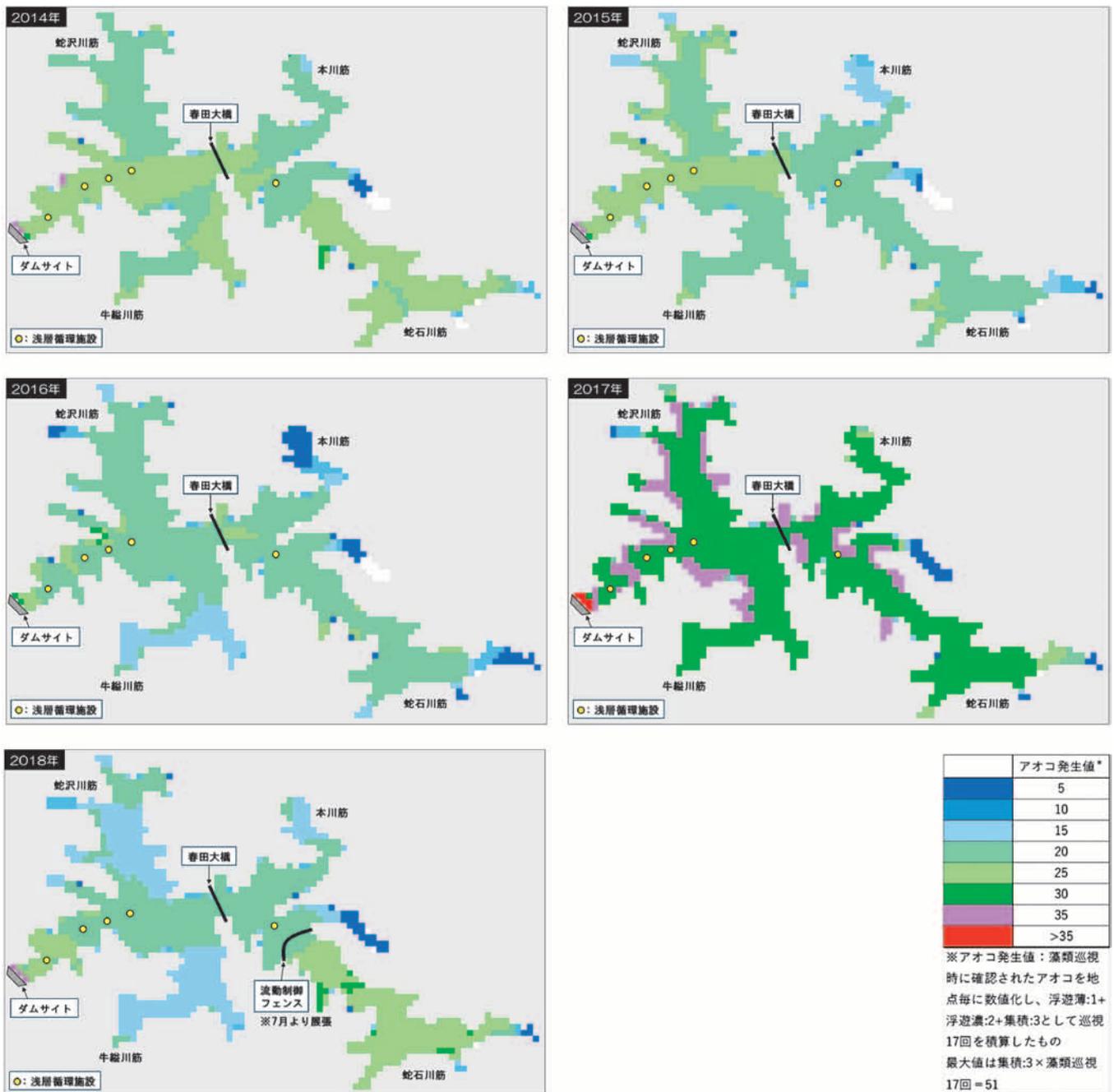


図-6 アオコ発生特性図①(2014年～2018年：水質保全施設増強前)

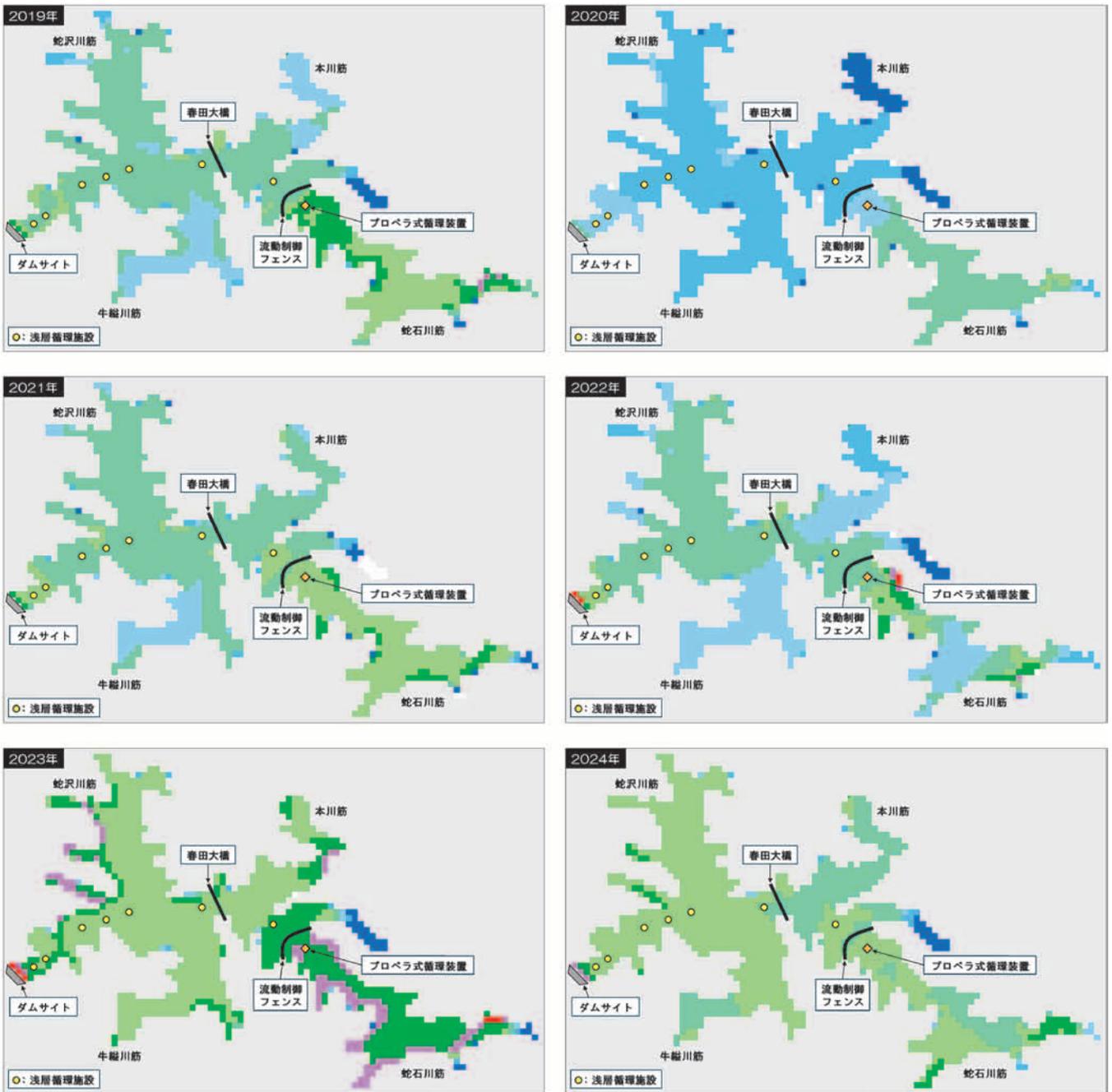
策増強によって改善されたものと評価される。

更に図-11に示したデータを流動制御フェンスの上流側と下流側で分離して再整理すると、図-12のような結果が得られた。フェンス上流側は、フェンスの設置によってアオコが滞留し対策増強前よりもアオコ発生状況が悪化したことが疑われていたが、今回の結果からは対策増強前と比べてアオコ発生値に大きな違いはなく、むしろ増強後の方が低い値の度数がやや多くなっていることが示された。つまり、湖面のアオコ発生状態は、プロペラ式循環装置により一定量のアオコが処理されることにより、従前と同程度からやや改善

しているものと評価される。

一方、フェンス下流側に関しては、図-11(湖面全体)と図-12で大きな違いはないが、図-12の方がよりアオコ発生値の低い値の度数が多くなっており、フェンス下流側でのアオコ発生状況が改善していることがより明確に示された。

このように本手法は、対策実施前後の効果評価やエリアによる改善効果の表れ方の違いを表現するのにも有効な手段であると言える。



	アオコ発生値*
Dark Blue	5
Blue	10
Light Blue	15
Green	20
Light Green	25
Dark Green	30
Purple	35
Red	>35

※アオコ発生値：藻類巡視時に確認されたアオコを地点毎に数値化し、浮遊藻:1+浮遊藻:2+集積:3として巡視17回を積算したもの
 最大値は集積:3×藻類巡視17回=51

図-7 アオコ発生特性図② (2019年～2024年：水質保全施設増強後)

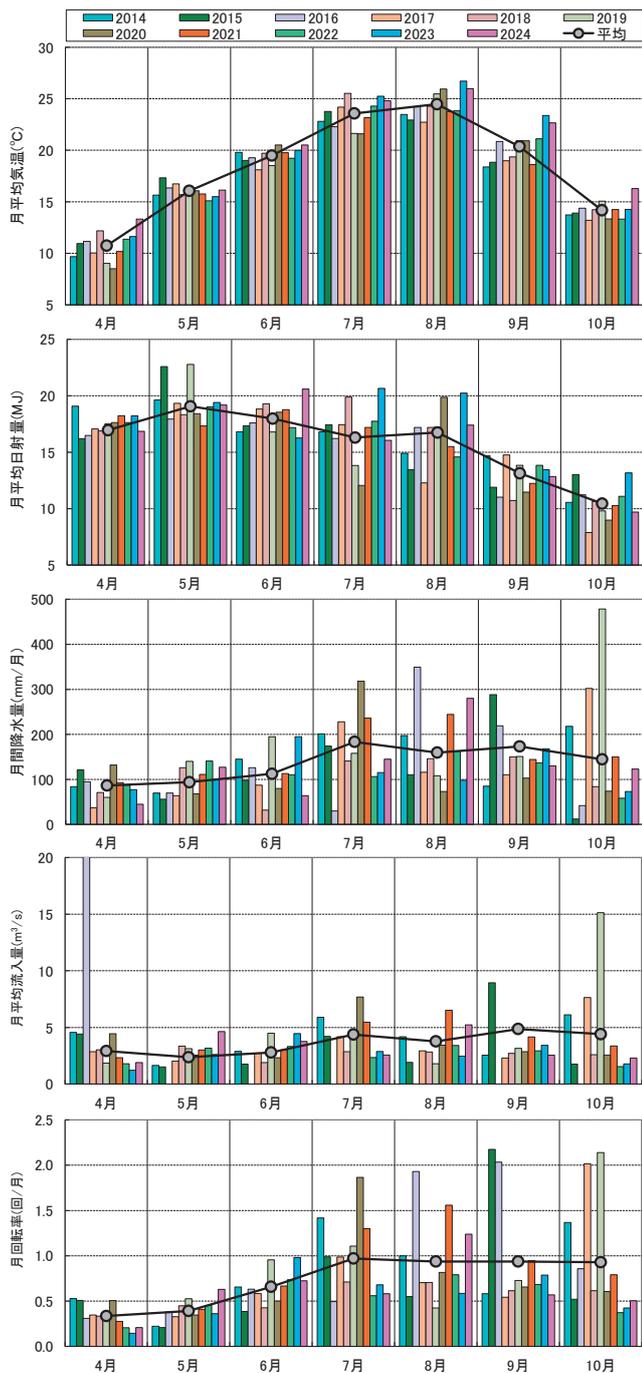


図-10 2014～2024年間の気象・水文状況の推移
(各年4月～10月の値) 年ピーク細胞密度とアオコ発生延べ日数

5. まとめ

ダム貯水池で実施された湖面巡視結果を数値化し、これを当該ダムでのアオコ発生特性の把握や水質改善対策の効果評価に利用することは、有効な手法であることが示された。

三春ダムでは、実際にこの手法を用いて2019年度より運用を開始している水質改善対策の増強に関して効果評価を実施している。その結果は、2025年2月に開催された「三春ダム水質対策検討会」において、今

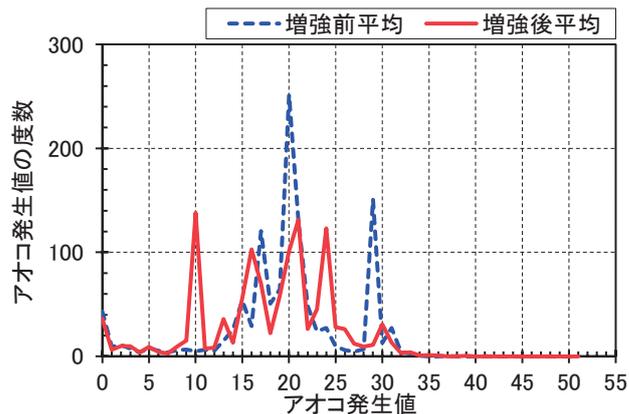


図-11 水質改善対策の増強前後で分類したアオコ発生値の度数分布

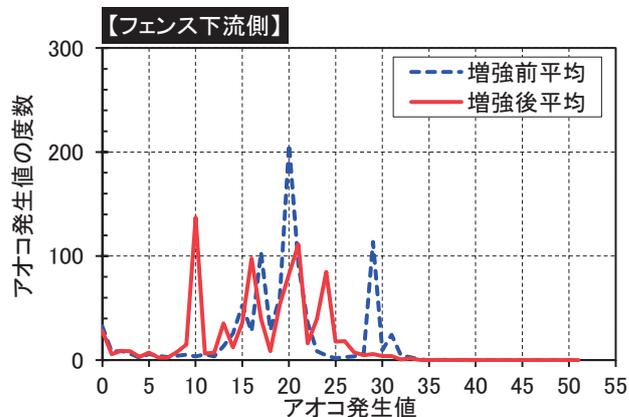
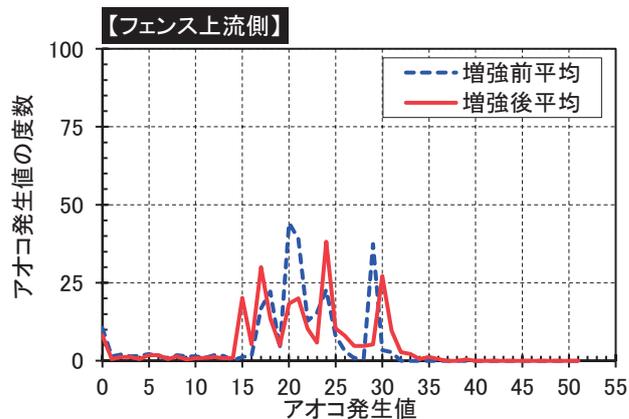


図-12 水質改善対策の増強前後で分類したアオコ発生値の度数分布
(フェンス上流側/下流側で分離した場合)

回示した結果に加えて水質改善目標値の達成状況や水質シミュレーションを用いた効果比較等と合わせて発表され、総合的な観点から「施設増強の効果あり」との最終結論が示されている。

以上より、本研究で示した手法は、今後のダム貯水池におけるアオコ発生状況の整理やそのメカニズム解明に資する基礎データとしての活用や水質改善対策実施後の効果評価に用いるデータとして活用可能であると考えられる。

但し、今回示したアオコ発生状況の数値化結果につ

いては、気温・日射量・降水量・流入量・月回転率といった外的要因に加え、卓越風による集積の影響も含まれたものであることから、その要素も含めた解析を行う必要があることに注意が必要である。

また、今回使用したデータは、同一の作業者によって湖面確認及びスケッチ図の作成が行われてきたものであり、非常に恵まれた環境から得られたデータとも言える。整理の元となるスケッチ図は、人の見た目により判断した結果を図化したものであり、巡視する人が変わった場合に受け取る色合いが異なること、日の当たり方により見え方が変わる可能性があるなど、評価指標の客観性については課題が残されている。

この解決策としては、UAVによる湖面撮影と撮影時に基準となる色を同時に撮影し補正を行う等が考えられるが、現時点では太陽光が湖面に全反射して湖面の色合いを撮影できない場合や陸上部の木や植物が湖面に移り込んで湖面の色合いとの判別ができないといった課題も残されており、その実用化にあたっては解決すべき事項が残されているのが現状である。

今後は、以上に示す課題を解決するための技術革新の動向やデジタル画像からアオコレベルを判定する既往研究⁷⁾等も参考にしつつ、UAVで撮影した画像からアオコ発生状況を数値化し、同様の評価方法の適用性について引き続き検証していく予定である。

謝辞

本研究に使用したデータは、三春ダム管理所において長年に渡り実施された湖面巡視を用いて解析を行ったものである。解析にあたり、三春ダム管理所より貴重なデータを提供頂いた。また、本解析にあたっては、株式会社日水コン 嶋国吉氏・荒川典久氏に多大なるご協力を賜った。さらに、今回の解析結果については、「三春ダム水質対策検討会」（委員長：野池達也東北大学名誉教授）においてご指導を賜り、評価方法についての貴重な助言を賜った。ここに記して、ご協力頂いた全ての皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 西村宗倫, 木村文宣, 東海林太郎, 小野雅人, 對馬育夫, 本田真章: ダム貯水池の水質に関するマニュアルの紹介, 応用生態工学会誌, 24 巻, 2 号, pp.369-374, 2022.
- 2) 霞ヶ浦河川事務所: アオコ日誌, <https://www.ktr.mlit.go.jp/kasumi/kasumi00313.html>
- 3) 滋賀県: 県政eしんぶん琵琶湖でのアオコの発生について, <https://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/koho/e-shinbun/oshirase/345472.html>
- 4) 秋田県生活環境部環境管理課八郎湖環境対策室: 八郎湖におけるアオコ発生状況, <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/89848>
- 5) NCCOS (National centers for coastal ocean science): 2024 Lake Erie Harmful Algal Bloom Seasonal Assessment, https://coastalscience.noaa.gov/news/2024-lake-erie-harmful-algal-bloom-seasonal-assessment/?utm_source=chatgpt.com
- 6) 建設省 東北地方建設局 三春ダム工事事務所: 三春ダム工事誌, pp.678-693, 1998
- 7) 吉田拓司, 岡本佳子, 末廣富士代, 小原和之, 吉田武司, 二瓶泰雄, 片岡智哉: デジタル画像を用いた「見た目アオコ指標」の自動判定の試み, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.74, No.4, I_823-828, 2018.