

貯水池深層部へ移送されたアオコの 挙動解明のための現地実験（中間報告）

Field experiments to elucidate the behavior of cyanobacteria Transferred
to the reservoir deep zone (Interim Report)

研究第二部 主任研究員 木村 文宣
研究第二部 上席主任研究員 尾田 敏範
研究第二部長 工藤 勝弘

当財団では、プロペラ式湖水浄化装置の効果発現メカニズムを明らかにするとともに、本装置の設置基準や効果評価方法を確立することを目的に「プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会」を平成27年に発足し、調査研究を行っている。平成29年度は、プロペラ式湖水浄化装置により貯水池深層部へ移送されたアオコが浮上能力を失う機構を解明するため、Mダムにおいて現地実験を行った。本報は、その結果をとりまとめ、プロペラ式湖水浄化装置によるアオコの除去及び発生抑制のメカニズムについて考察したものである。

キーワード：アオコ、水質保全対策、プロペラ式湖水浄化装置、効果発現メカニズム、水圧

In 2016, we launched a study group on application technology of propeller type lake water purificator for elucidating the mechanism of suppressing Cyanobacteria by a propeller type lake water purificator, and preparing a manual for installation of a propeller type lake water purificator to pay attention to a case where a propeller type lake water purificator manifests an inhibitory effect on Cyanobacteria. In 2017, we conducted field experiments at A Dam to elucidate the mechanism by which cyanobacteria transferred to the deep layer of the reservoir by the propeller type lake water purificator loses the levitation capability. This report summarizes these results, and discusses mechanisms of elimination and suppression of propagation of larvae caused by the propeller type lake water purificator.

Key words : Cyanobacteria, water quality improvement measures, propeller type lake water purificator, effect mechanism, water pressure

1. はじめに

富栄養化の進行したダム貯水池では、貯水池内の環境条件（水温、光、滞留時間等）が適合すると、特定の藻類が異常増殖し、各種の水質問題を引き起こす場合がある。その中でも藍藻類に由来する代表的な水質問題として、アオコによる景観障害やカビ臭による異臭味障害がある。

アオコ発生現象は、景観障害として認識されるほか、集積した藻類が腐敗し、悪臭を放つ場合もある。カビ臭発生現象は、湖面近くで異臭を感じるだけでなく、上水道施設等では異臭を除去するために活性炭吸着処理やオゾン処理等を行う必要があり、水道事業者を経済的な負担を強いる問題である。

こういったアオコ及びカビ臭現象の原因となる藍藻類（*Microcystis*属、*Anabaena*属、*Aphanizomenon*属等）の多くは、体内にガス胞（エアロトープ）を有しており、光合成と呼吸のバランスにより1日の中で浮沈を繰り返すことが知られている。

プロペラ式湖水浄化装置は、この藍藻類の浮沈機構を司るガス胞に着目した対策手法であり、表層に浮遊する藍藻類をプロペラにより吸引し、プロペラ下部に接続された送水管を通じて一気に貯水池中～底層部へ移送することで、水圧によるガス胞破壊を狙った対策装置である。実際に、本装置を導入した貯水池では対策効果が表れているところも多いが、その効果発現メカニズムについては、十分に解明されている訳ではない。特に、水圧によるガス胞破壊については、室内試験において一定の知見が得られている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ものの、現地で実際に加圧された場合の藍藻類体内のガス胞に与える影響や実際の浮沈状況についての知見は殆どない。

当財団では、こういったプロペラ式湖水浄化装置の効果発現メカニズムの解明等を行うために平成27年度に「プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会」を設置し、平成29年度にはMダムにおいて現地実験を行った。

本報は、この平成29年度に実施した現地実験の結果を取りまとめ、本装置による水質改善メカニズムについて考察したものである。

2. プロペラ式湖水浄化装置の概要

(1) 構造

プロペラ式湖水浄化装置は、①プロペラ、モータおよびフロートを含む駆動部本体、②送水管と吐出口、③送水管を支える係留ワイヤーおよび操作制御盤（陸上施設）から構成される（図-1参照）。

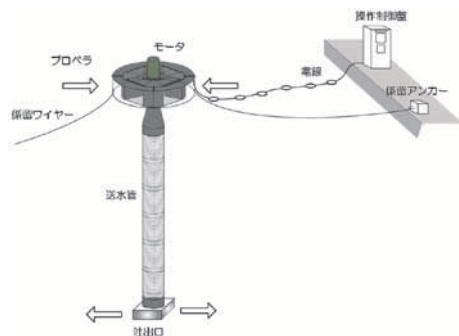


図-1 プロペラ式湖水浄化装置の構造

湖面に設置した状態では、①の駆動部本体のみが水面上に見える形となる（図-2参照）。また、陸上部に設置される操作制御盤は、幅0.8m、高さ2.1m、奥行き0.5m程度の大きさであり、図-3に示すように野外に直接設置することも可能である。



図-2 駆動部本体 外観



図-3 操作制御盤 外観

(2) 想定される水質改善メカニズム

プロペラ式湖水浄化装置による水質改善メカニズムは、以下と想定されている（図-4参照）。

- ①の駆動部本体による流れでアオコが装置に吸引される。
- ②の送水管によりアオコが深部へ移送され放出される。吐出口から放出されたアオコの一部は深部の低水温で活性を失い死滅し沈降する、あるいは深部で水圧を受けることによりエアロトープが破壊され比重が大きくなることにより沈降する（図-4参照）。
- ③深部で吐出された水は温かく軽いため、周囲の水と混合しながら上昇する。
- ④上昇した水は、等水温層で水平方向へ貫入する（イントリュージョン）。
- ⑤水平方向に貫入した水は、その先で上向きの流れと下向きの流れに分離し、大きな対流を形成する。

なお、②において吐出口から放出されたアオコのうち沈降せずに浮上したアオコについては、④及び⑤の過程で浮上・沈降に分かれる。このうち、沈降したアオコは、光制限効果等により死滅・沈降する。一方、浮上したアオコは表層付近で増殖する（図-4参照）が、再び①の過程において装置へ吸引されるため、表層付近のアオコは漸減する。

②の過程においてアオコが受けるダメージとしては、光抑制（有光層から無光層への急激な移動）、水温低下（表層の高水温帯から底層の低水温帯への急激な移動）、加圧（表層から水圧のかかる底層への急激な移動）の3つの要素が考えられるが、これら要素の何れがよりアオコが受けるダメージに寄与しているかについては、いまだ十分な知見がない。

本報は、この点に着目した現地実験について報告するものである。

3. 現地実験

(1) 現地実験フィールドの概要

現地実験を行ったMダムは、平成10年に建設された総貯水容量約4,300万 m^3 、湛水面積約3.0 km^2 の多目的ダムである。Mダムは、流域に人口約3万人の都市を抱える典型的な「里ダム」であり、計画時点から富栄養化は避けられないと予測されていた。そのため、ダム建設段階から流域も含めた詳細な水質調査とこれに基づいた水質予測を行い、曝気循環施設等の水質保全対策施設が導入された。管理開始以降、それらの水質保全対策を実施してきた結果、現在まで深刻な利水

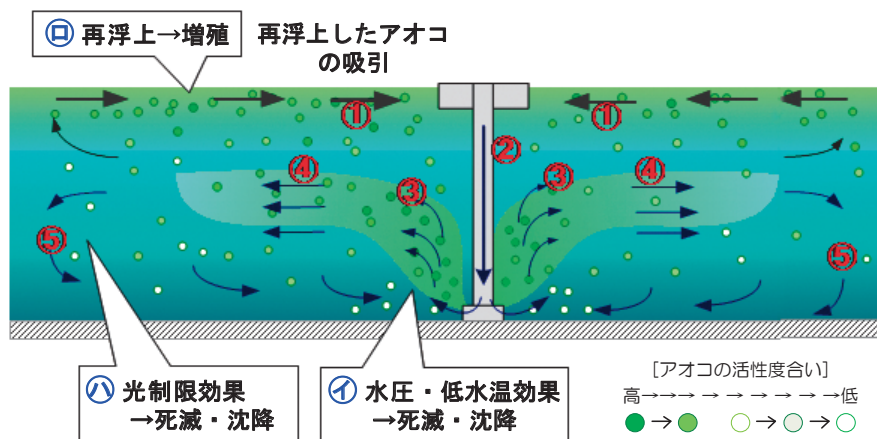


図-4 想定される効果発現メカニズム

障害は発生していないが、貯水池内ではほぼ毎年アオコの発生が確認されている。

現地実験を行った平成29年は、夏季のアオコ発生が管理開始以降最大となり、8月下旬にはダムサイト付近において*Microcystis*属がおよそ900群体/mL観測された。

(2) 現地実験の概要

現地実験は、2017年9月20日、21日の2日間に渡って実施した。現地実験を行った当時、Mダムでは300群体/mL程度の*Microcystis*属が確認されており、図-5に示す写真のような箇所サンプルとなるアオコを採取した。

今回実施した現地実験は、アオコの増殖抑制因子と考えられる光抑制・水温低下・加圧のうち加圧に着目し、プロペラ式湖水浄化装置によりアオコが貯水池深部に移送された時に圧力が掛かる場合と掛からない場合を現地で模式的に再現し、加圧と非加圧でのアオコの状態を比較することとした。

具体的には、現地で採取したアオコを透明なビニール袋或いはガラス瓶に封入し、表1に示す各ケースで水中での静置時間、投下速度、静置水深を変えた実験系を設定して、各ケースでのアオコの浮沈状況、アオ



図-5 アオコ採取箇所の湖面状況

コ細胞の状況（ガス胞破壊状況）、アオコ活性等を確認した。

- ・静置水深：静水圧の加圧程度の違いを確認するため、15m、25m、30mの3ケース設定
- ・静置時間：静水圧の加圧時間の違いを確認するため、10分、6時間、24時間の3ケース設定
- ・投下速度：加圧/非加圧の違い及び加圧速度の違いを確認するため、ガラス瓶（非加圧）のケースとビニール袋に入れたサンプルの投下速度を0.1m/s、0.5m/sの計3ケース設定

実験後のサンプルは、①水温、②外観（静置後のアオコの浮沈状況）、③ガス胞の破壊状況（顕微鏡による細胞の浮沈率の算出）、④アオコの活性（DCMUによる活性度合の計測）の4つの項目について比較した。

表-1 アオコ現地実験ケース一覧

静置時間	静置水深	低加圧(透明ビニール)投下速度0.1m/s	低加圧(透明ビニール)投下速度0.5m/s	非加圧(耐圧瓶)
10分未満	投下前			C00
	15m	A01	B01	C01
	25m	A02	B02	C02
	30m	A03	B03	C03
6時間	投下前			C10
	15m	A11	B11	C11
	25m	A12	B12	C12
24時間	30m	A13	B13	C13
	投下前			C20
	15m	A21	B21	C21
	25m	A22	B22	C22
	30m	A23	B23	C23

(3) 実験結果

a) 水温の比較

実験前後の各ケースでの水温比較結果を図-6に示す。なお、実験期間中の水温鉛直分布（水質自動監視装置による計測結果）は、図-7に示すとおりほとんど変化はなかった。

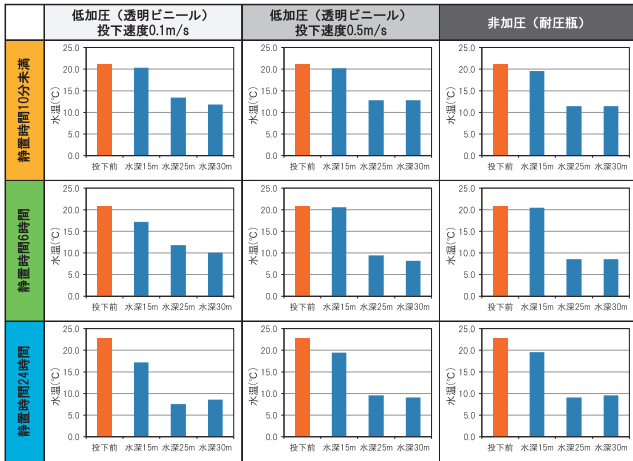


図-6 実験前後の水温の比較結果

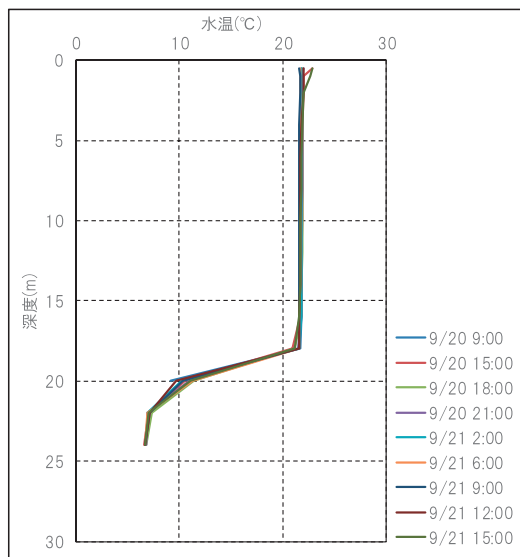


図-7 実験期間中の貯水池内の水温鉛直分布

実験の結果、図-6に示すとおり、静置時間が長くなるほどサンプルの水温は低下して、周辺水温と概ね一致するようになっていくことがわかる。また、透明ビニールに封入したサンプルと耐圧瓶に封入したサンプルで水温差は殆ど認められず、同じ静置水深であれば静置時間の違いによる水温の違いも認められなかった。

以上より、水温条件は、何れのケースにおいても同一の条件とすることが出来ており、以降に示すサンプルの状態の違いは水温の影響を受けていない。

b) 実験実施直後の外観確認

各ケースでの実験後、透明ビニールに封入したサンプルはガラス瓶に入れ直し（非加圧ケースのサンプルはそのまま）、一定時間静置した後に各サンプルを並べて写真撮影した。その整理結果を図-8に示す。

何れの静置時間のケースにおいても、非加圧のサン

プル（耐圧瓶に封入したケース）では、全ての静置水深で表層にアオコが集積していた。その一方で、加圧したサンプル（透明ビニールに封入したケース）では、静置水深15mでは表層にアオコが集積したが、25mでは全層に懸濁した状態、静置水深30mではやや瓶底にアオコが堆積する状態が確認され、静置水深の違いによりアオコの浮沈性状が異なることがわかった。

c) ガス胞の破壊状況

①外観確認

現地で実験を行った各サンプルは、現地でホルマリンによる固定を行ったうえで輸送し、後日、顕微鏡を用いてサンプル内の藻類同定とガス胞の破壊状況を確認した。

現地から輸送されたサンプル瓶を数時間静置した後の外観を図-9に示す。

実験前のサンプルは、全てアオコがポリボトル上端に集積しており、採取したアオコの大部分はガス胞による高い浮力を有していたことが伺える。これに対して、低加圧（透明ビニールに封入した）条件のケースでは、投下速度に関わらず静置水深15mでは実験前のサンプルと同様にアオコの大部分がポリボトル上端に集積していたが、静置水深25mと30mではアオコの一部がポリボトル底部に沈殿しており、特に静置水深30mで顕著な沈殿が認められた。

また、静置水深25mと30mのサンプルについてポリボトル底部に沈殿したアオコの量を比較すると、静置時間10分未満に比べて静置時間6時間ではアオコの沈殿量が減少したが、静置時間24時間では静置時間10分未満と同程度の沈殿が確認された。

一方、非加圧（耐圧瓶に封入した）条件のケースでは、静置水深及び静置時間に関わらず、実験前のサンプルと同様にポリボトル上端にアオコが集積が認められた。

以上の結果は、b) に示した現地での外観と同様の傾向、或いはより一層その傾向がはっきりと確認できるものであった。このように、ポリボトル内での底部へのアオコの沈殿量の違いは、設置水深での水圧及び静置時間によるガス胞への影響を反映したものと考えられる。

②アオコ原因藻類の種組成

顕微鏡分析の結果、本実験に供したアオコは *Microcystis viridis* が90%以上を占めており、残りは *Microcystis aeruginosa*、*Microcystis ichthyoblabe* であった。なお、*Anabaena* 属や *Aphanizomenon* 属といった他

	低加圧(透明ビニール) 投下速度0.1m/s	低加圧(透明ビニール) 投下速度0.5m/s	非加圧(耐圧瓶)
静置時間10分未満			 <p>[標本回収90分後]</p>
静置時間6時間	 <p>[標本回収90分後]</p>	 <p>[標本回収120分後]</p>	 <p>[標本回収90分後]</p>
静置時間24時間			

図-8 現地での実験後に静置したサンプルの状況写真
(静置時間10分未満及び24時間については標本回収30分後の状況写真)



図-9 顕微鏡観察前の静置したサンプルの状況写真

のアオコ原因藻類は観察されなかった。

③アオコ原因藻類の細胞形態の比較

顕微鏡下でのケース毎の*Microcystis*属のガス胞の形態(潰れ具合)を確認した結果、静置水深30mのサンプルからのみ、ガス胞が完全に潰れた細胞が確認された(図-10参照)が、その割合は1%にも満たなかった。

また、サンプル底部に沈殿した群体(以下、沈殿群体)と上部に集積した群体(以下、浮遊群体)との細胞形態を比較すると、群体や細胞サイズには明確な違いは認められなかったが、沈殿群体では浮遊群体に比べて細胞周縁部がやや緑がかった(図-11参照)。両者の違いは、沈殿群体ではガス胞の一部が圧壊したため、ガス胞内の気体による透過光の散乱が抑制されたことで、細胞本来の緑色を呈したことが原因と推察される。すなわち、*Microcystis*属はガス胞の一部が圧壊しただけでも、その浮力を失ったことを示している。

d) 沈殿率の比較

サンプルの入ったポリボトルを十分に転倒混合した後、一部を中央が窪んだスライドガラスに載せ、カバーガラスを被せて数分静置した後、カバーガラスまで浮

上した群体(浮遊群体)とスライドガラス底に沈殿した群体(沈殿群体)をそれぞれ計数し、その総和と沈殿群体の比率から沈殿率を求めた。

各ケースの分析結果を表-2及び図-12にまとめる。静置水深15mでは、その他の実験条件(静置時間、低加圧/非加圧)に関わらず沈殿群体は数群体と少なく、沈殿率は1~6%の範囲で分散していた。また、非加圧の実験ケースでは、静置水深及び静置時間に関係なく、沈殿率は0.7~3.5%と低かった。非加圧の実験

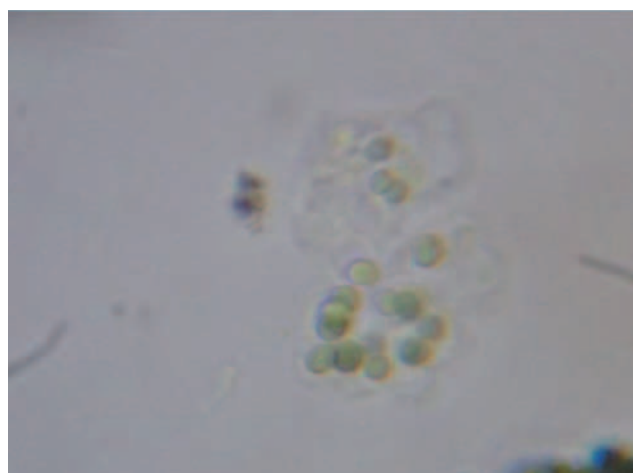


図-10 ガス胞が潰れた*Microcystis*属の顕微鏡写真

ケースでは、静置水深や静置時間に関わらず水圧の影響を受けないことから、その*Microcystis*属群体の浮沈は細胞生理状態（呼吸による細胞比重の変化や代謝による細胞内浸透圧の変化等）に依存すると考えられる。したがって、非加圧の実験ケースにおいて*Microcystis*属群体の沈殿率に明確な違いが認められなかったことは、本実験での*Microcystis*属の浮沈に対して細胞生理状態は殆ど影響しなかったことを表している。

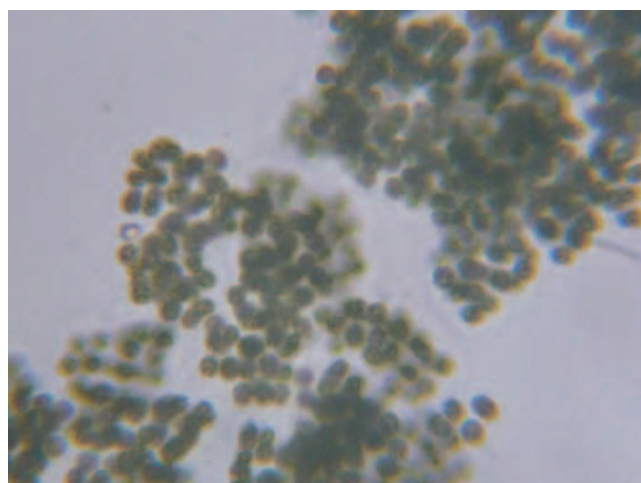
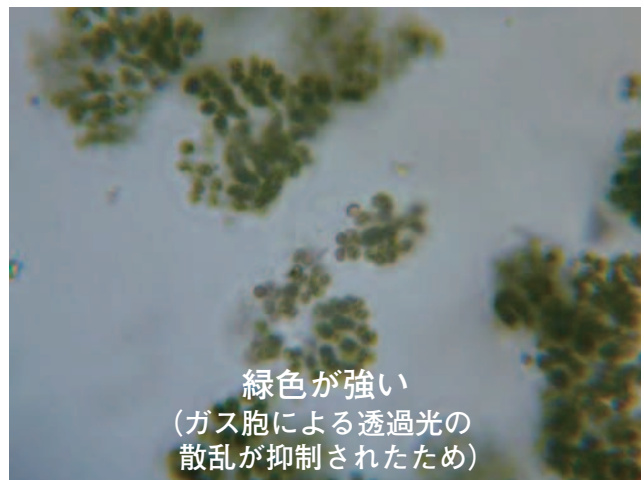


図-11 沈殿群体（上段）と浮遊群体（下段）の細胞形態の比較

一方、低加圧の実験ケースの沈殿率に着目すると、静置時間10分未満での投下速度0.1m/sと0.5m/sそれぞれの沈殿率は、静置水深25mでは43%と37%、静置水深30mでは89%と87%と深度方向での沈殿率の増加が認められた。しかし、静置時間6時間では、静置水深25mと30mの双方で沈殿率が6～25%まで減少した。これらの結果は、*Microcystis*属群体の再浮上を効果的に抑制するためには、水深30m以深までアオコを移送する必要があるが、時間経過に伴いガス胞が再形成され、浮力が回復する可能性を示唆している。また、静置時間24時間では再び沈殿率が静置水深25mでは22%と16%、静置水深30mでは72%と78%にまで増加した。つまり、少なくとも24時間以上、水深30m以深に*Microcystis*属群体を留めることが出来れば、再形成されたガス胞も次第に圧壊され、再浮上は抑制されるものと考えられる。

e) アオコ活性の比較

現地で実験を行った各サンプル内の*Microcystis*属の活性の違いを把握するため、DCMUを用いた分析により、各サンプルの光化学系IIの最大量子収率 (F_V/F_M) を計測した。⁵⁾⁶⁾⁷⁾ なお、活性が高いサンプルでは、 F_V/F_M は0.6以上となる。

各サンプルの F_V/F_M の計測結果を図-13に示す。

静置時間10分未満と6時間のサンプルでは、投下前に比べて投下後の F_V/F_M がやや高くなる傾向が見られたが、高活性の目安となる0.6は大きく下回る0.3前後であった。静置時間24時間については、投下前後で F_V/F_M に違いは認められず、何れも0.3を僅かに超える程度であった。また、非加圧条件の耐压瓶に入れたサンプルと低加圧条件の透明ビニールに入れたサンプルとでは、明確な違いは認められなかった。

以上の結果より、ガス胞の圧壊は*Microcystis*属の活性には影響を与えないものと推察される。但し、投下

表-2 実験ケース毎の浮遊群体数・沈殿群体数及び沈殿率の比較

		低加圧(透明ビニール)								非加圧(耐压瓶)			
		投下速度:0.5m/s				投下速度:1.0m/s				浮遊群体	沈殿群体	総群体数	沈殿率
		浮遊群体	沈殿群体	総群体数	沈殿率	浮遊群体	沈殿群体	総群体数	沈殿率				
10分以内	水深15m	156	2	158	1%	146	2	148	1%	147	1	148	0.7%
	水深25m	85	63	148	43%	97	58	155	37%	154	1	155	0.6%
	水深30m	16	129	145	89%	19	129	148	87%	151	1	152	0.7%
6時間	水深15m	142	2	144	1%	137	8	145	6%	146	2	148	1.4%
	水深25m	141	9	150	6%	133	19	152	13%	139	5	144	3.5%
	水深30m	146	9	155	6%	116	38	154	25%	143	2	145	1.4%
24時間	水深15m	144	9	153	6%	153	2	155	1%	151	1	152	0.7%
	水深25m	118	34	152	22%	122	24	146	16%	147	1	148	0.7%
	水深30m	43	109	152	72%	34	118	152	78%	150	2	152	1.3%

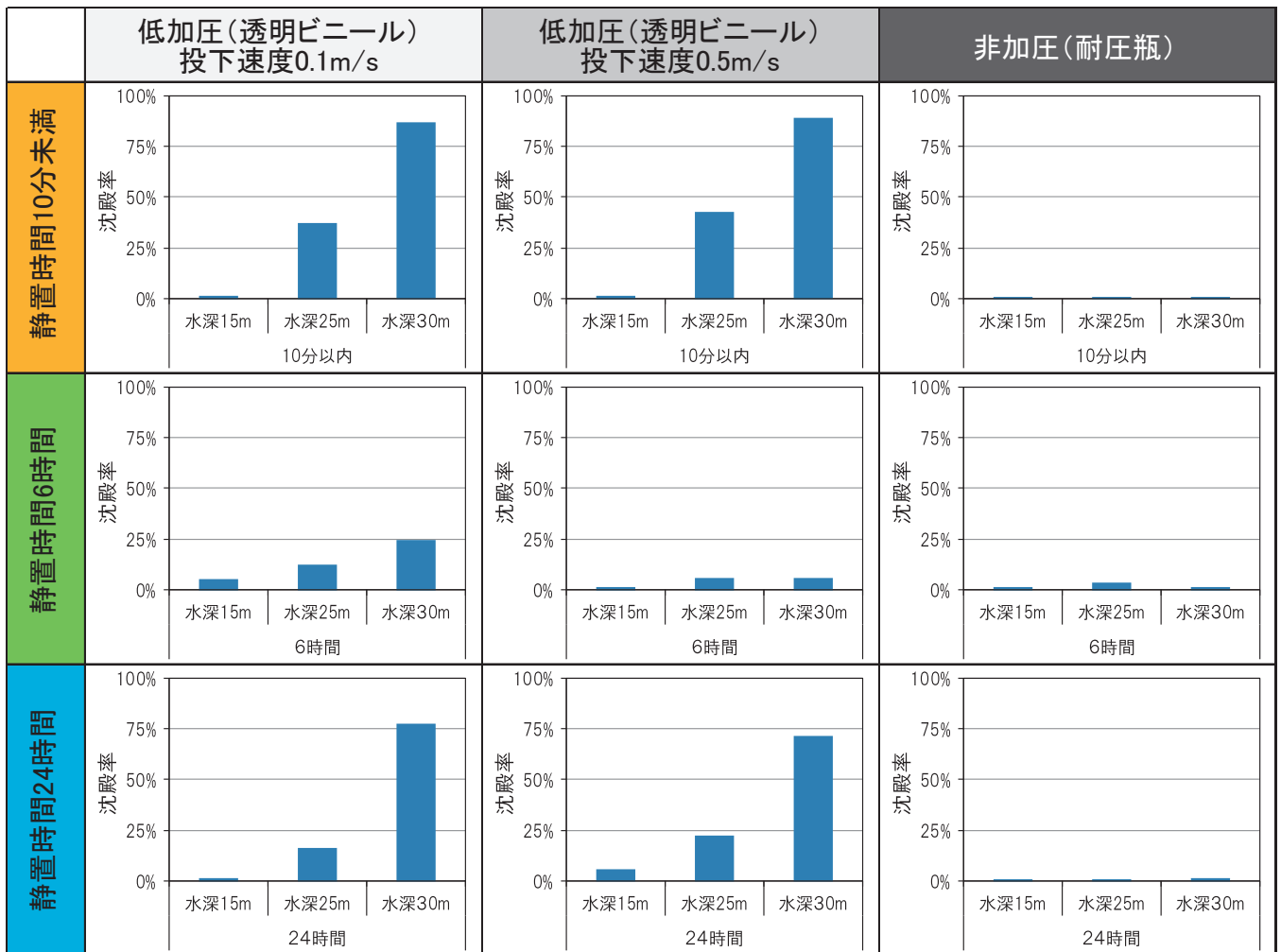


図-12 実験ケース毎の沈殿率の比較

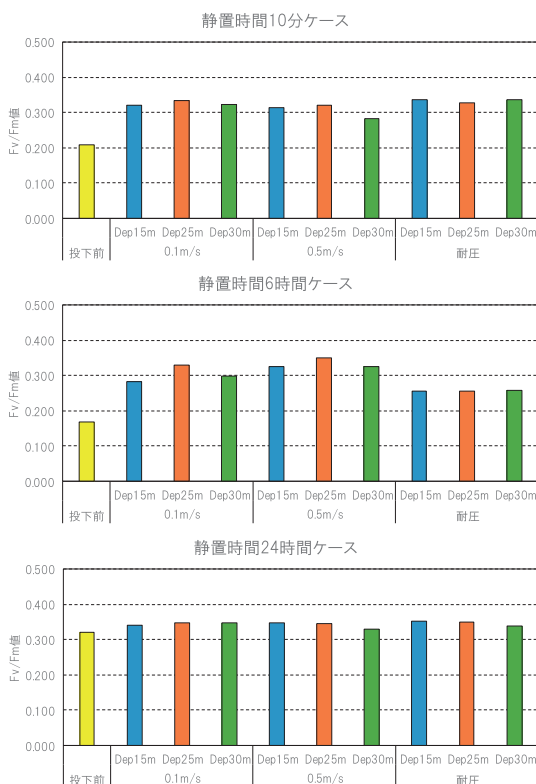


図-13 実験ケース毎の F_V/F_M の比較

前のサンプルにおいても F_V/F_M が低いことからわかるように、今回の結果は採取したサンプル自体の活性が低い条件下でのものであることから、高活性状態のサンプルを用いた場合の違いについては、今後確認する必要がある。

4. まとめ

プロペラ式湖水浄化装置により貯水池中～底層へ移送された藍藻類の再浮上を阻害する要素を解明することを目的に現地実験を実施した。現地実験の結果、水圧の影響を受けない耐圧瓶に入れたアオコは静置水深、静置時間に関わらず殆ど沈殿しなかったのに対して、水圧の影響を受ける透明ビニールに入れたアオコは静置時間10分未満であっても水深方向で顕著なアオコ沈殿量の増加が認められた。つまり、水深方向へアオコを移送した際の再浮上の阻害は、水圧によるダメージが主要因と言える。実際に、顕微鏡観察の結果では、沈殿した*Microcystis*属群体は浮遊群体に比べて細胞周辺部がやや緑色を呈しており、ガス胞の一部が

圧壊していたと考えられた。既往研究においても、沈殿過程或いは底泥に沈降した*Microcystis*属の細胞でもガス胞が確認されたという報告があることから、ガス胞が完全に圧壊しなくても、ある程度のガス胞が潰れた場合には、*Microcystis*属は浮力を失うものと想定される。

しかし、静置時間10分未満で顕著なアオコ沈殿が認められた水深30mであっても、静置時間6時間ではアオコ沈殿量は大きく減少し、静置時間24時間ではアオコ沈殿量が再び増大した。以上の結果は、プロペラ式湖水浄化装置によって表層に集積する*Microcystis*属が水深30m以深まで移送された場合、水圧によるダメージによってガス胞の一部が圧壊し、大部分の群体は速やかに浮力を失うが、少なくとも6時間後にはガス胞の再形成により浮力を取り戻す可能性を示している。

加圧条件下におけるガス胞の圧壊は、ガス胞の大きさ(幅)と関係することが既往研究において報告されており、大きなガス胞ほど圧力の影響を受けやすいことが知られている。つまり、実験当初(静置時間10分未満)では、主に大きなガス胞が圧壊されたため*Microcystis*属群体が沈殿し、残存した小さなガス胞の発達により、6時間後には再び浮力を取り戻したものの、24時間後にはガス胞サイズが大きくなり過ぎ、再びガス胞が圧壊されたため、以上のような沈殿量の変化を経たとも考えられる。

なお、本実験の結果から、これらのガス胞の圧壊は、*Microcystis*属の活性には影響しないものと考えられた。

実際にプロペラ式湖水浄化装置により貯水池中～底層へアオコを移送した場合には、移送され浮力を失った*Microcystis*属群体は自重により更に下層へと沈降すると想定される(今回の実験では、固定された静置水深に吊下げられたため、確認はできていない)。したがって、プロペラ式湖水浄化装置によって水深30m以深に移送され浮力を失った*Microcystis*属群体が、ガス胞を再形成するまでの時間でより下層側へと沈降、或いは底泥上まで沈降した場合には、その再浮上能は強く阻害される可能性が高いと言える。このことから、プロペラ式湖水浄化装置の吐出深度は、30mを確保しておけば、概ね期待する効果が得られるものと想定されるが、実際の現場では30m未満の吐出深度でも十分に効果が確認されているケースも多くある。これについては、水深30m未満で吐出されたアオコの一部はガス胞の圧壊により沈降し、一部は表層へ浮上するが、浮上したアオコは再び表層でプロペラ式湖水浄化装置

に吸引され下層へ移送されることで、効果が発現しているものと考えられる。

以上に示したプロペラ式湖水浄化装置稼働時のアオコの挙動に関する想定論については、現時点で現地調査や現地・室内実験で確認されておらず、本手法の効果発現メカニズムの解明、本手法の設計論を確立する上での課題として残されている。また、今回の実験では静置水深15m、25m、30mと間隔を粗く配置したため、効果を発現するために必要となる水深を厳密に把握する余地も残されている。更に、ガス胞の再形成に要する時間についても、今回の実験では静置時間10分未満、6時間、24時間と間隔を粗く設定したため、課題が残されている。

本研究会では、引き続きこれらについての調査研究を継続しており、その結果については後日報告する予定である。

謝辞

本報は、プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会(委員長：東北大学大学院 梅田信准教授、委員：鹿児島大学 古里栄一特任准教授、株式会社 建設環境研究所 本間隆満氏、ゼニヤ海洋サービス株式会社 稲田精一氏、株式会社 海洋開発技術研究所 城野清治氏、一般財団法人 水源地環境センター 水源地環境技術研究所長 高橋定雄)の成果を取りまとめたものである。本報執筆にあたり、研究会委員から多くの指摘や助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 古里栄一・藤野毅：浅枝隆・有田正光：物理的処理によるアオコ対策の効果に関する基礎的実験，水工学論文集，第54巻，pp.1483-1488，2010
- 2) 田淵俊雄：高村義親・青山和夫・西岡由紀子・石田光徳：アオコ(藻類)の加圧による沈降特性 - 農業用水の送水過程におけるアオコと水質の変化に関する研究(Ⅲ) -，農業土木論文集，第148号，pp.59-65，1990
- 3) 濱田龍寿・遠藤茂勝・小川元：閉鎖性水域における水生微生物の圧力処理について，海洋開発論文集，第24巻，pp.1189-1194，2008
- 4) 濱田龍寿・遠藤茂勝：藍藻の圧力処理における水撃圧の応用について，環境技術，Vol.37，No.9，pp.47-55，2008
- 5) Y.HODOKI, K.OHBAYASHI, K.KOBAYASHI, N.OKUDA and S.NAKANO：Temporal variation in cyanobacteria species composition and photosynthetic activity in experimentally induced blooms, Journal of Plankton Research., 33, 1410-1416, 2011
- 6) 程木義邦：蛍光法によるラン藻類の現存量と光合成活性の評価，日本陸水学会第76回大会，2011
- 7) 木村文宣・塩見裕亮・富岡浩・高橋定雄：ダム貯水池におけるアオコ発生予報技術の研究開発，平成26年度 水源地環境技術研究所 所報，pp.3-9，2015