

府中湖におけるジェット・ストリーマーによる水質改善 Improvement of Water Quality in Hutyuko through Jet Stremer

冠野 禎男
Yoshio KANNO

土取 みゆき
Miyuki TSUCHITORI

要 旨

水環境の悪化が懸念されている府中湖において、水底に設置した流動促進装置から発生する噴流で系内の水を流動・混合させる機器（ジェット・ストリーマー）を導入し、水質改善を図った。

9月から約2ヶ月間稼働させたところ、下流部では上下層の水温均一化や底質からの $\text{PO}_4\text{-P}$ 溶出の抑制効果が見られるなど、一定の機器設置効果があったが、上流部では河川流入水の影響があり、機器設置による明らかな水温成層の破壊や貧酸素化の解消による水質改善を検証するには至らなかった。

キーワード：水質浄化 水温成層 溶存酸素 植物プランクトン 硫化水素

I はじめに

湖沼や貯水池は、上流域からの栄養塩類等の流入によって、夏場に表層で植物プランクトンが発生する内部生産が起こることにより、汚濁が進行すると、底層の貧酸素化に伴い、底泥から栄養塩類が溶出するなど、富栄養化を促進し、さらに水質が悪化する傾向にある。特にアオコ発生や魚のへい死事故は、県下で頻繁に発生している¹⁾。

府中湖においては、夏場に水温成層が形成され、アオコの発生による水質悪化、景観などへの影響が著しく、工業用水、下流で利用する上水道、かんがい用水等の利水障害が懸念されており、綾川流域の市町、住民団体が協議会を組織し、関係機関が連携して、流域での水質浄化対策を進めているところである。その一環として、富栄養化や有機汚濁を軽減する早急な水質改善が必要となっている。

そこで、水域の規模の大小を問わず導入が容易で、汚泥の発生や環境への悪影響のない水質浄化機器として選抜された²⁾ジェット・ストリーマーを設置し、約2ヶ月間稼働させ、水質改善を図った。今回、その効果について調査したので、その結果をとりまとめ報告する。

II 水質浄化施設の概要

1 水質浄化施設の原理

ジェット・ストリーマーは、浮体上に設置された駆動水ポンプにより、水温が高く溶存酸素が豊富な表層部の

水を水底に沈めた流動促進装置の吐出部まで送水し、表層水と底層水を不可逆混合して新しい水温水を吐出させ、エアレーションとともに密度流効果により水域全体を循環させ、底層を好气的状態に保ち、水質悪化を抑制するものである。

2 水質浄化施設の構成・処理能力

図2における①及び②の地点に、ジェット・ストリーマーを設置し、その設置状況を表1に示す。

この施設の動水量は1基当たり $95,000\text{m}^3/\text{日}$ であり、主要装置である駆動水ポンプ、オゾン発生装置、コンプレッサーから構成されている³⁾。(詳細な構成図：香川県環境保健研究センター所報第7号、P36の図1を参照)

これらの主要装置は浮体部(写真1)に設置されており、エアホース、駆動水ホースで湖底に設置した流動促進装置に駆動水や空気、オゾンを送り込む。

この2基の施設で、図2における予想影響範囲の水を流動・混合させる(写真2)ことにより、府中湖の水質改善を促進しようとするものである。

表1 ジェット・ストリーマーの設置状況

①地点	装置	MJS-150型(1基)
	設置姿勢	鉛直上向き吐出
	設置水深	約18m
②地点	装置	MJS-150型(1基)
	設置姿勢	吐出方向迎角30度
	設置水深	約14m

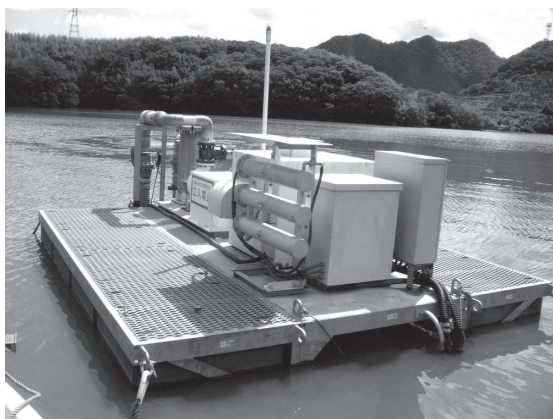


写真1 浮体部 MJS-150 型



写真2 鉛直上向き吐出方向の湖面



図1 府中湖の位置

表2 府中湖の概況

所在地	香川県坂出市府中町
管理者	香川県
流入河川	綾川水系綾川
形式	重力式コンクリートダム
堤高	27.5m
堤長	400m
総貯水量	8,500 千m ³
有効貯水量	8,000 千m ³
満水面積	121ha
流域面積	122.7 km ²
平均水深	7.0m

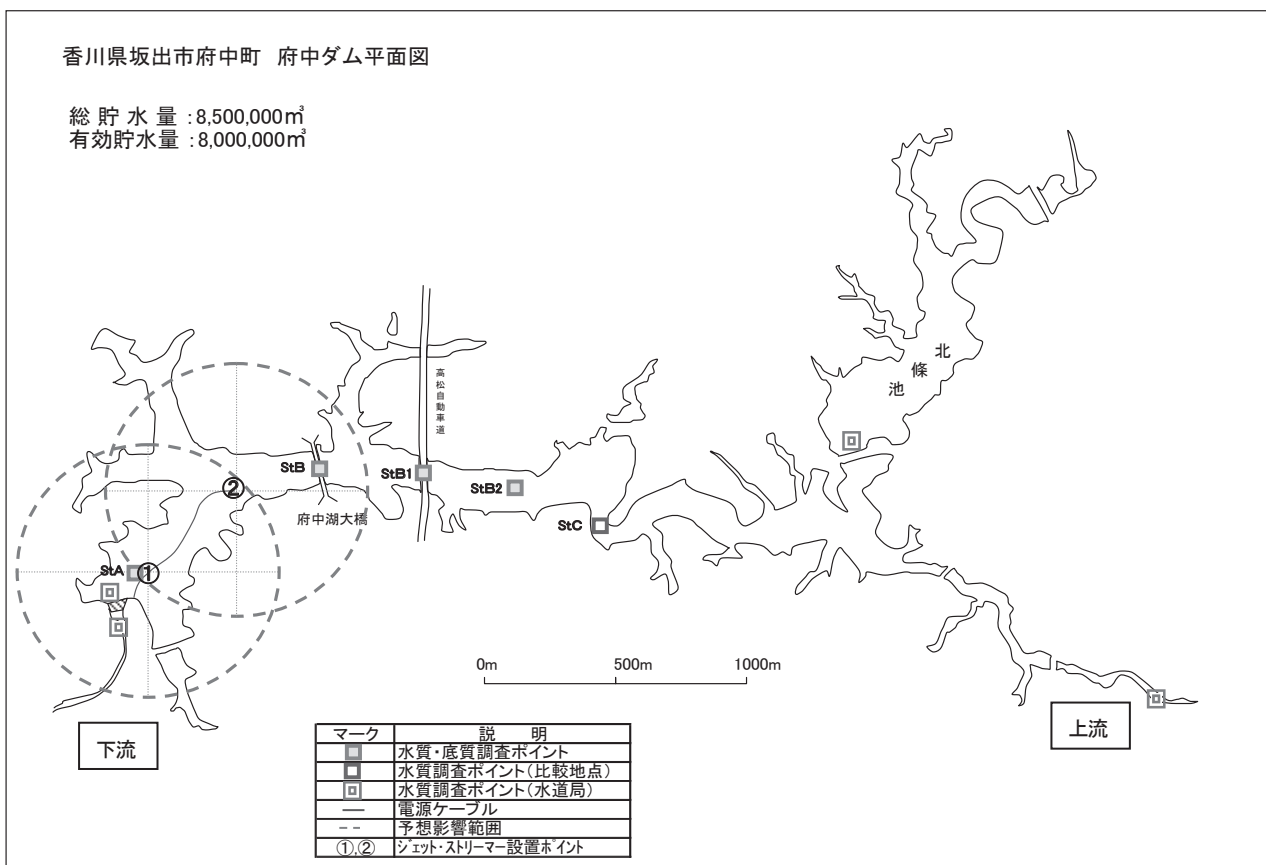


図2 機器設置場所, 調査地点図

Ⅲ 水域の概況

府中湖の位置を図1、概況を表2に示し、浄化機器(1号機, 2号機)の設置場所を図2に示す。府中湖の総貯水量8,500千 m^3 であり、満濃池に次いで県下で2番目の規模の貯水池である。

府中湖の各調査地点の水深は、満水時でStAが16m, stBが15m, StB1, StB2が14m, StCが12mであり、下流部から上流部へ向かうに従って徐々に水深が浅くなっている。

Ⅳ 調査方法

1 調査スケジュール

本調査は、2008年4月から2009年3月まで実施した。水質浄化機器であるジェット・ストリーマーは、2008年9月4日から同年11月7日までの約2ヶ月間連続稼働させた。

2 調査地点

調査地点を図2に示す。

3 調査項目等

調査項目等は以下のとおりである。

(1) 現地調査

調査頻度：1回/月 (ただし10月は2回/月)
調査地点：StA, StB, StB1, StB2, StC の2m水深毎
調査項目：透明度, 水深, 水温, DO, pH, EC, 濁度

(2) 水質調査

調査頻度：1回/月 (ただし10月は2回/月)
調査地点：StA, StB, StC (表層, 中層, 底層)
調査項目：pH, COD, 溶解性COD, SS, T-N, NO_3-N , NO_2-N , NH_4-N , T-P, PO_4-P

(3) 生物調査

調査頻度：1回/月 (ただし10月は2回/月)
調査地点：StA (表層, 中層, 底層)
調査項目：クロロフィルa, 優占種の属別個体数

(4) 底質調査

調査頻度：2008年4月(稼働前), 2008年11月(稼働後)
調査地点：StA, StB
調査項目：底質 所見(色・臭気), 含水率, 強熱減量, 硫化物, COD, T-N, T-P, ORP
間隙水 pH, COD, NO_3-N , NO_2-N , NH_4-N , PO_4-P

(5) 臭気調査

調査項目：臭気指数, 臭気強度, 硫化水素

Ⅴ 気象状況

図3に降水量の経月変化を示す。2008年4月から6月は、平年より多い降水量があったが、夏期には一転して7月は平年の14%と極端に少なく、その後8月から9月にかけても平年比の6割から8割程度であった。10月以降の秋期から冬期にかけては、全般的に降水量が平年より多めに推移した。

図4に府中湖の貯水率の経月変化を示す。2008年4月から80%程度で推移していたが、8月から9月にかけて、渇水の影響で流入量が低下し、60%程度まで低下した。その後、降雨等の影響で10月には90%程度に回復し、翌年3月まで同程度で推移した。

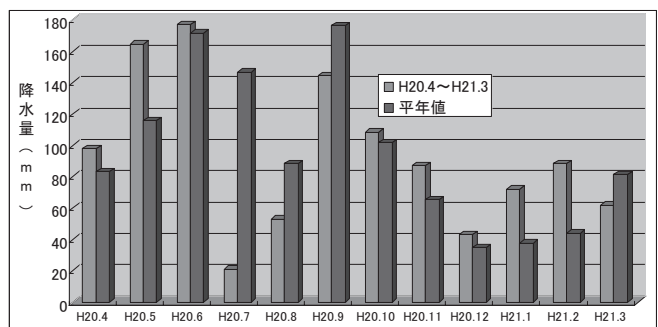


図3 降水量の経月変化(滝宮観測局)(高松地方気象台資料)

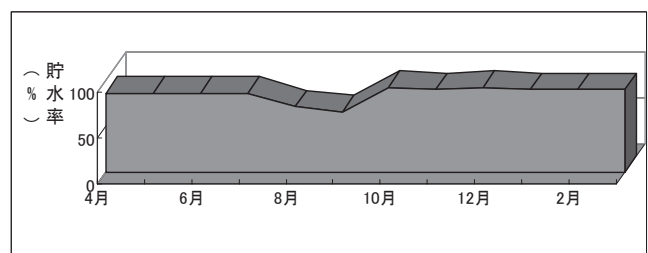


図4 貯水率の変化(水道局資料)

Ⅵ 結果及び考察

1 現地調査結果(水温, DO)

StAにおける水温の鉛直分布は、図5に示すように機器稼働前の2008年4月から水温躍層が生じ始め、8月にかけて水温成層化傾向が見られた。2008年9月4日の機器稼働後の表層と底層の水温差は、設置直後の9月17日が最も大きく3.6℃あったものの、8月の水温差13.5℃、7月の19℃と比較すると均一化の傾向が顕著に現れてお

り、また、9月の底層のDOが上昇するなど、強制的な鉛直循環が起こったものと推察された。

図6に示すようにStBにおいても同様の傾向が見られたが、9月の底層のDOはかなり低下していた。

最寄の水道局のゲート地点の過去10年間の水温データ⁴⁾によると、9月の上層と下層の水温差は10度以上が7回、5℃以上が2回、最も差が少ない年で4.1℃であることから、下流部においてはジェット・ストリーマーによる強制的な鉛直循環による水温の均一化が起こったことが示唆された。

しかしながら、図7に示すとおり、ジェット・ストリーマーによる影響が及ばないと考えられるStCにおいては、9月には表層と底層の水温差が小さく、StBの底層のDOが低下している中、StCの底層のDOが上昇していることから、上流部では降水による河川水流入の影響があったものと考えられる。

また、ジェット・ストリーマー設置による影響範囲をより詳細に調べるため、10月からStBとStCの間にStB1, StB2を設けて調査した結果のうち、水温鉛直分布及びDO濃度の鉛直分布は図8, 9に示すとおりで、10月以降、各層の水温も均一化され、底層も貧酸素化が見られないなど良好な結果となっているが、StCの結果から、機器設置、降水のいずれの影響が検証できなかった。

2 水質調査結果 (COD, 窒素, リン等)

CODの経月変化を図10に示す。表層ではCODとクロロフィルa (図13)の経月変化が同じパターンで変動していること、中層、底層のCODが溶解性COD (図11)の変動と類似して推移していることから、表層のCOD濃度の増減は内部生産量と相関があると考えられる。CODは、機器稼働直後に濃度が上昇したが、その後のCOD濃度の低下は、クロロフィルa濃度の減少、すなわち内部生産の減少によるものと推測される。

SSの経月変化は図12に示すとおりで、表層や中層は概ね横ばいで推移したが、底層で一時的局所的な上昇が見られた。機器設置後かなり時間が経過しており、その他の項目について特段の濃度上昇が見られないことから、機器による底泥の巻上げの影響とは考えにくく、10月・11月下層の植物プランクトン (珪藻) の数の増加時にはクロロフィルa濃度は増加していないこと、SSが高濃度となっていることから、死滅後の堆積した珪藻の殻の影響であることが考えられる。

T-Nの経月変化は図14に示すとおりで、機器設置直後に底層で若干濃度が上昇したが、その後低下し、全層において概ね横ばいで推移した。

T-Pは底層において、4月から9月の機器設置直後にかけて直線的に濃度が上昇したが、10月に急激に濃度が低下し、それ以降は全層においてほぼ横ばいであった (図15)。これは、 PO_4-P の推移に類似している。

NH_4-N は、底層において4月から9月の機器設置直後にかけて濃度が上昇したが、その後は全層において低濃度で推移した (図16)。これは、機器の稼働により、酸素供給効果で硝化作用が進み、 NH_4-N は NO_3-N に酸化されたためと考えられる⁵⁾。

一方、 NO_3-N の経月変化は、機器稼働後に急激に濃度が上昇し、全層で均一に推移した (図17)。これは、 NH_4-N が NO_3-N に酸化された後、水中のDO濃度が高い好気状態では脱窒が進行せず、 NO_3-N のまま系内に蓄積されたためと考えられる⁵⁾。

NO_2-N の推移は、図18に示すとおりで、夏期に低濃度になったが、特段の変化は見られなかった。

また、 PO_4-P については、機器の効果をはっきり表れており、稼働後に底層の濃度が急激に低下し、その後は全層において低濃度で推移した。これは、機器稼働による底質からの PO_4-P 溶出抑制効果を表しているものと考えられる。

3 生物調査結果 (植物プランクトンの優占種)

StAの優占種を表3に示す。図13のクロロフィルa濃度の推移では、6月と9月にピークが見られ、また、2月から3月にかけて上昇しているが、この傾向はプランクトンの優占種の数が増減傾向と一致していた。府中湖では6月に藍藻綱が出現したものの、7月に一旦珪藻が優占し、その後8月から9月にかけて藍藻綱、緑藻綱が優占した。機器稼働後の10月にも表層では藍藻綱の優占が見られるが、中層、下層においては珪藻優占に変わった。また、11月以降は全層で珪藻綱のCyclotellaグループが優占した。

以上の結果から、機器設置による藍藻綱の発生抑制効果も期待されるが、今後は9月より早い時期から機器を稼働させて夏期の優占種の動向を検証する必要がある。

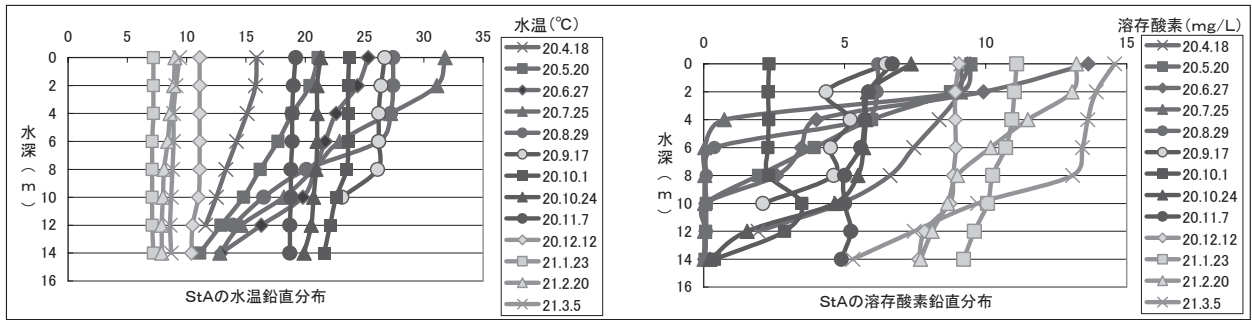


図5 StAの水温・溶存酸素鉛直分布

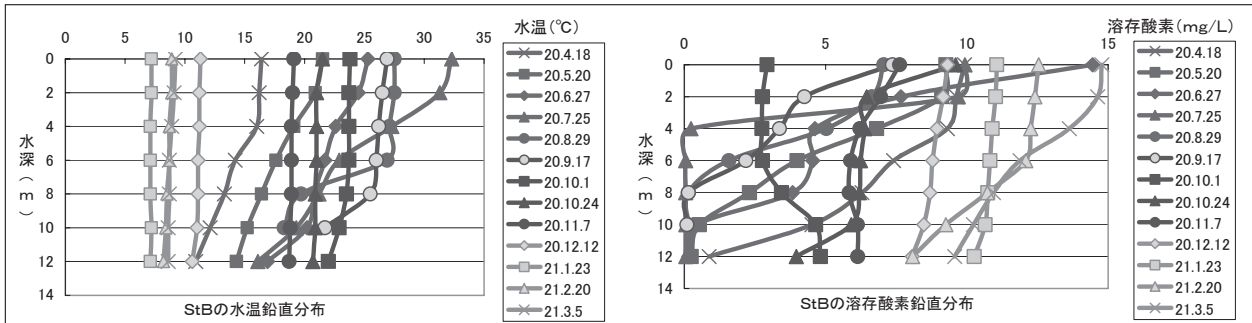


図6 StBの水温・溶存酸素鉛直分布

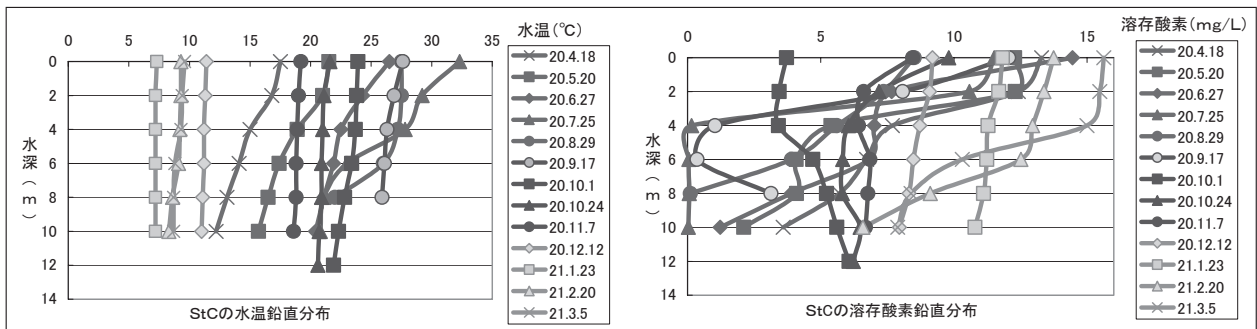


図7 StCの水温・溶存酸素鉛直分布

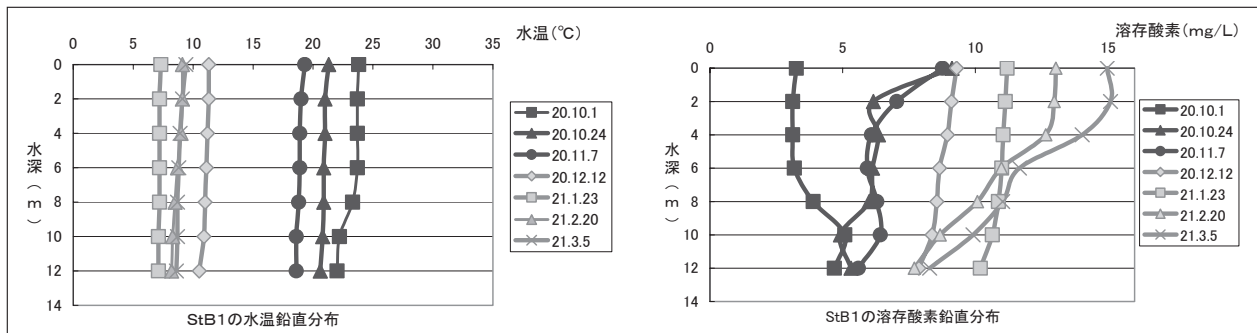


図8 StB1の水温・溶存酸素鉛直分布

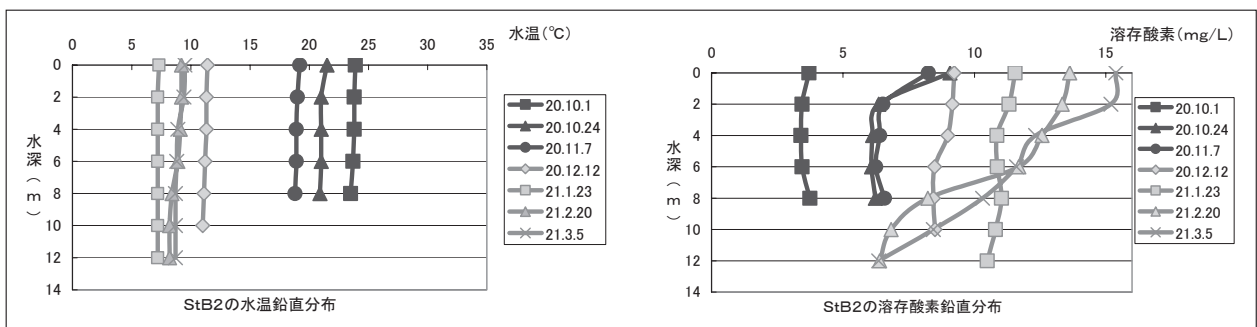


図9 StB2の水温・溶存酸素鉛直分布

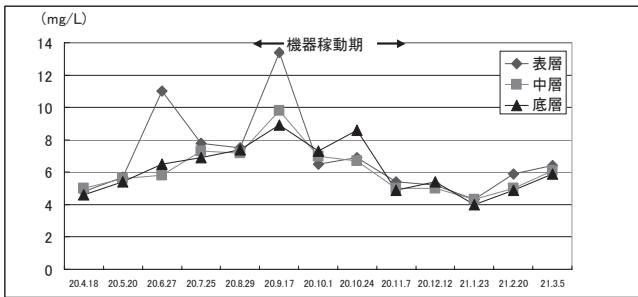


図10 StAのCOD経月変化

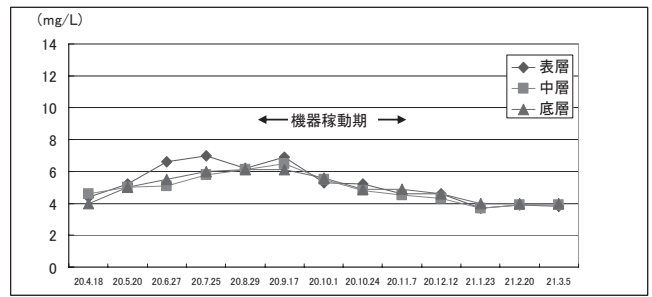


図11 StAの溶解性COD経月変化

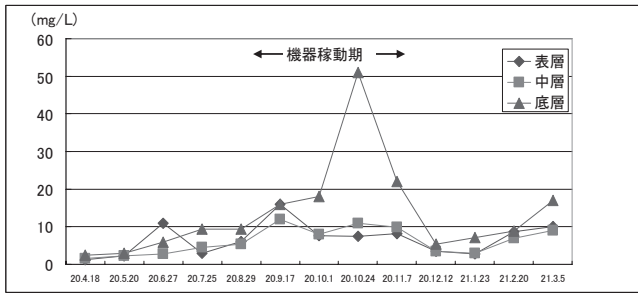


図12 StAのSS経月変化

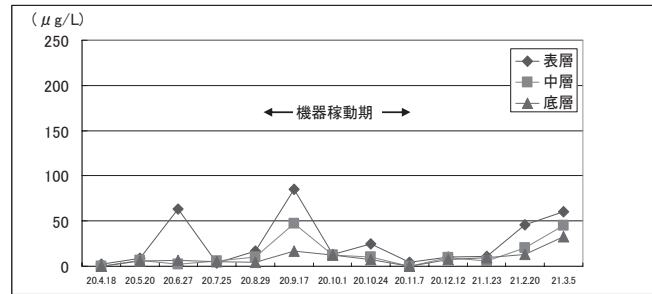


図13 StAのクロロフィルa経月変化

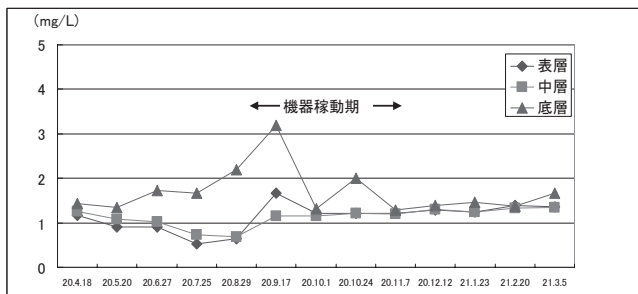


図14 StAのT-N経月変化

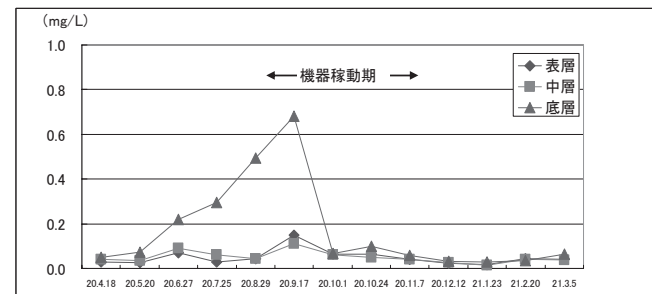


図15 StAのT-P経月変化

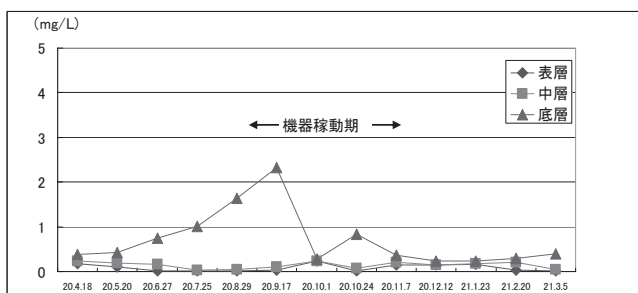


図16 StAのNH₄-N経月変化

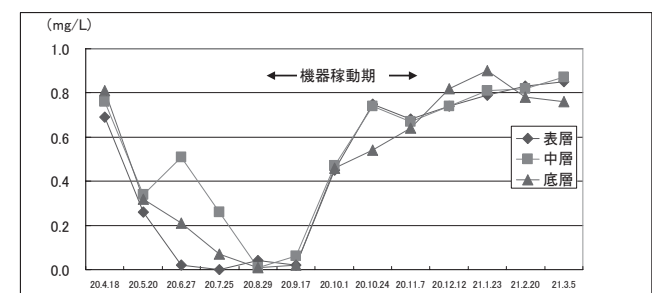


図17 StAのNO₃-N経月変化

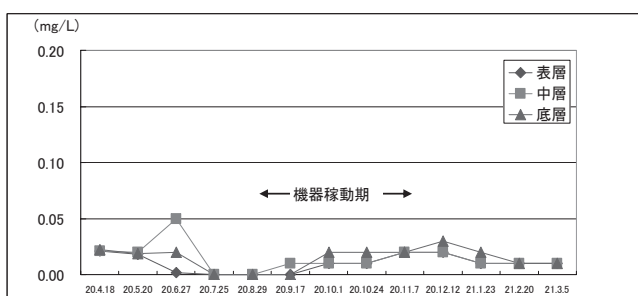


図18 StAのNO₂-N経月変化

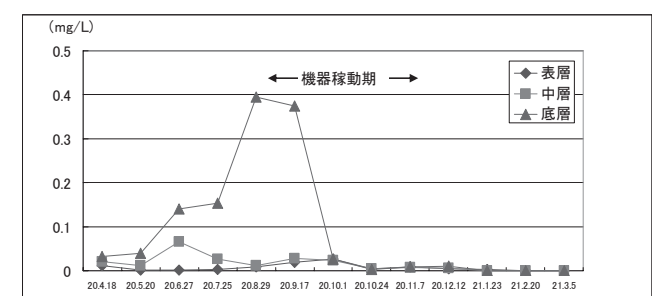


図19 StAのPO₄-P経月変化

表3 stAの優占種の経月変化

月	区分	優占種	数(cell/ml)
4月	上層	珪藻綱 Synedra.sp	99
	中層	珪藻綱 Synedra.sp	61
	下層	珪藻綱 Synedra.sp	85
5月	上層	珪藻綱 Synedra.sp	260
	中層	珪藻綱 Synedra.sp	215
	下層	珪藻綱 Synedra.sp	132
6月	上層	藍藻綱 Anabaena.sp	512
	中層	Cyclotellaグループ ^o	9
	下層	藍藻綱 Anabaena.sp	186
7月	上層	珪藻綱 Navicula.sp	313
	中層	珪藻綱 Navicula.sp	138
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	323
8月	上層	緑藻綱 Oocystis.sp	140
	中層	藍藻綱 Phormidium.sp	1,246
	下層	藍藻綱 Phormidium.sp	514
9月	上層	藍藻綱 Aphanocapsa.sp	1,370
	中層	藍藻綱 Aphanocapsa.sp	493
	下層	藍藻綱 Aphanocapsa.sp	532
10月	上層	藍藻綱 Aphanocapsa.sp	676
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	592
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	4,660
10月	上層	藍藻綱 Aphanocapsa.sp	290
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	800
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	7,690
11月	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	400
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	1,040
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	3,070
12月	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	94
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	116
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	441
1月	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	318
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	391
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	1,928
2月	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	2,640
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	3,010
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	2,840
3月	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	5,310
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	7,490
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ ^o	13,100

表4 底質の性状

採取位置		StA		StB	
採取年月日		H20.4.18		H20.4.18	
時刻		11:10		11:31	
項目	単位	間隙水	底質	間隙水	底質
COD	mg/l	87	—	66	—
NO ₃ -N	mg/l	0.06	—	0.02	—
NO ₂ -N	mg/l	0.14	—	0.08	—
NH ₄ -N	mg/l	6.8	—	5.6	—
PO ₄ -P	mg/l	0.74	—	0.47	—
pH		6.9	—	6.9	—
外観		—	暗オリブ灰	—	暗オリブ灰
臭気		—	2.5GY3/1	—	2.5GY3/1
CODsed	mg/g	—	36	—	25
T-P	mg/g	—	1.2	—	1.3
T-N	mg/g	—	4.5	—	4.7
硫化物	mg/kg	—	340	—	340
強熱減量	%	—	15.6	—	15.5
含水率	%	—	76.8	—	74.7
ORP	mV	—	-209	—	-223
採取年月日		H20.11.7		H20.11.7	
時刻		10:30		10:50	
項目	単位	間隙水	底質	間隙水	底質
COD	mg/l	62	—	92.0	—
NO ₃ -N	mg/l	0.10	—	0.06	—
NO ₂ -N	mg/l	0.06	—	0.13	—
NH ₄ -N	mg/l	34	—	10	—
PO ₄ -P	mg/l	0.10	—	0.79	—
pH		6.9	—	6.9	—
外観		—	オリブ黒	—	オリブ黒
臭気		—	5GY3/1	—	5GY2/1
CODsed	mg/g	—	37	—	23
T-P	mg/g	—	1.3	—	1.0
T-N	mg/g	—	3.6	—	2.1
硫化物	mg/kg	—	190	—	120
強熱減量	%	—	11.7	—	8.8
含水率	%	—	60.7	—	48.8
ORP	mV	—	-213	—	-225

微硫化水素臭が認められたが、放流水への影響は認められなかった。また、StB では施設稼動による特段の影響はなかった。なお、大気臭気はいずれの地点でも検出限界以下であった。

4 底質調査結果

底質の性状の機器稼動前後の変化を表4に示す。

COD_{sed}・T-Pは概ね横ばいに推移したが、T-N濃度は減少した。また、硫化物濃度は、機器稼動前にはStA,Bともに340mg/kgであったが、稼動後は120~190mg/kgと大幅に低下した。

しかしながら、底質の酸化還元電位は横ばいであり、間隙水の性状も項目によってかなり変動していることから、機器による底質浄化効果までは確認できなかった。

5 臭気の調査結果

表5に水質浄化施設稼動前後における臭気濃度測定結果を示す。9月4日の稼動前の水質臭気調査では、StA底層及びStB底層・中層で硫化水素臭が認められた。同日の機器稼動直後は、StAでは、底層水の影響で中層でも

表5 臭気濃度測定結果

採取日	検体名	項目	上層	中層	下層	
平成20年9月4日	稼動前	府中湖水 StA	臭気強度 [*]	1	1	20
		色相	無色	無色	淡緑色	
		臭気	無臭	無臭	硫化水素臭	
		府中湖水 StB	臭気強度 [*]	2	5	400
		色相	緑色	無色	淡緑色	
		臭気	無臭	微硫化水素臭	強硫化水素臭	
	放流水	臭気強度 [*]	5			
	臭気	微川藻臭				
	府中湖水 StA	臭気強度 [*]	2	5	40	
	色相	無色	無色	淡緑色		
	臭気	川藻臭	微硫化水素臭	強硫化水素臭		
	府中湖水 StB	臭気強度 [*]	2	5	200	
色相	淡緑色	無色	淡茶色			
臭気	無臭	微硫化水素臭	微硫化水素臭			
放流水	臭気強度 [*]	5				
臭気	微川藻臭					
平成20年9月8日	大気臭気 StA	臭気指数： <10	硫化水素： <0.2 ppm			
	大気臭気 StB	臭気指数： <10	硫化水素： <0.2 ppm			
	大気臭気 えん堤付近	臭気指数： <10	硫化水素： <0.2 ppm			
	大気臭気 StA		硫化水素： <0.2 ppm			
大気臭気 StB		硫化水素： <0.2 ppm				
大気臭気 えん堤付近		硫化水素： <0.2 ppm				

※：JIS K 0102による。

VII まとめ

府中湖では、水温成層の形成により7月には全調査地点で水深4m以下のDOが1mg/L以下となるなど貧酸素水塊が発生していたが、機器稼働後は底層以外でDOが1mg/L以下となることがほとんどない状況まで改善された。しかしながら、機器を稼働した9月に降水量が多く、上流部の底層でもDOが上昇する現象が見られたことから、機器設置による改善効果と降水の影響の区別が困難であった。

水温については、下流部では機器の稼働により、表層と底層の水温差は最大で3.6℃程度と池水が鉛直方向及び水平方向に均一化され、水温成層が稼働開始時以降解消されたことが確認できた。しかしながら、機器の影響がないと考えられる上流部でも、降水の影響によると推測される水温の均一化が見られたことから、水温成層の破壊効果の範囲まで特定するには至らなかった。

また、機器稼働による水質の変化については、底層への酸素供給による底質からの $\text{PO}_4\text{-P}$ 溶出の抑制効果や底層の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の減少は見られたが、内部生産抑制等の水質改善に結びついたかどうか、藍藻綱の発生抑制効果については、引き続き検証する必要がある。

さらには、機器稼働による硫化水素臭の放流水への影響はなく、稼働後には底質の硫化水素濃度が大幅に低下した。

参考文献

- 1) 笹田康子, 岡井隆: 水環境の事故・苦情の香川県環境保健研究センターにおける対応—ため池での魚のへい死事例の考察—, 香川県環境保健研究センター所報, 5, 21-27, (2006)
- 2) 愛媛県衛生環境研究所: 平成18年度環境技術実証モデル事業湖沼等水質浄化技術分野実証試験結果報告書, (2007)
- 3) 笹田康子, 千原正照, 小藁幸代, 岡井隆: 豊稔池におけるジェット・ストリーマーによる水質改善, 香川県環境保健研究センター所報, 7, 35-42, (2008)
- 4) 香川県水道局: 水質試験年報, (1998~2007)
- 5) 西條八束, 三田村緒佐武: 新編湖沼調査法, 98-101, 115-116, 講談社, (2004)