

## 府中湖におけるジェット・ストリーマーによる水質改善 (第2報)

## Improvement of Water Quality in Fuchu Lake through Use of Jet Streamer(2)

佐藤 敏幸                      土取 みゆき                      蓮井 和男                      長尾 義彦                      冠野 禎男\*  
Toshiyuki SATO    Miyuki TSUCHITORI    Kazuo HASUI    Yoshihiko NAGAO    Yoshio KANNO

## 要 旨

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）を用いたダム湖（府中湖：香川県）の水質改善について、2008年度に引き続き調査を行った。

2009年4月から約1年間稼働させたところ、前年度と同様に上下層の水温均一化など一定の機器設置効果があったが、1年間の稼働による特徴的な水質改善効果までは確認できなかった。

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

## I はじめに

香川県は降水量が少ないため、過去からダムやため池など貯水池を築造し、水を確保してきた。これら貯水池は、水の出入りが少なく、長期間滞留するため、上流域からの栄養塩類の流入等によって富栄養化しやすい特徴がある。県内の貯水池でも、富栄養化が原因と考えられるアオコ発生や魚のへい死事故が発生している<sup>1)</sup>。

富栄養化した貯水池の水質の浄化方法としては、栄養塩の底質からの溶出抑制や貯水池への流入量の削減等、貯水池内の栄養塩の量をコントロールする方法が考えられ、さまざまな技術の開発がなされている。

当センターでは、県内の貯水池において、表層水とオゾンを含む空気を底層に送り込み、底層水と表層水の混合を促進し、貯水池内を好気性に保つことにより、水質の悪化を抑制する方法について、実証試験を行ってきた。

2006年から2007年にかけて調査した豊稔池（香川県観音寺市）では、水温成層の解消や底層の溶存酸素量の上昇などが観測され、これに伴って表層の植物プランクトンの増殖が抑えらるとともに、ゆる抜き時の硫化水素による悪臭の解消が確認できた<sup>2)</sup>。

さらに、2008年度からは同じ水質浄化機器を用いて豊稔池より規模の大きい府中湖（香川県坂出市）にて実証試験を行ったが、上下層の水温均一化など改善が確認されたものの、明らかな水温成層の破壊や貧酸素化の解消などを確認するには至らなかった<sup>3)</sup>。このため、同一条件の下、水質浄化機器の稼働期間を延長した場合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 水質浄化機器の概要

## 1 水質浄化機器の原理

駆動水ポンプ、オゾン発生装置、コンプレッサー等から構成されるジェット・ストリーマーは、水温が高く、溶存酸素が豊富な表層水を底層まで送水し、オゾンを含む圧縮空気とともに吐き出すことにより発生する噴流で、周辺の水を流動・混合し、水域全体を循環させ、底層を好気的狀態に保ち、水質悪化を抑制することを目的に設計されている<sup>2)</sup>。（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。）

## 2 水質浄化機器の構成・処理能力

図1の地点①及び地点②に、表1のとおり水質浄化機器を設置した。

表1 ジェット・ストリーマーの設置状況

①地点	装置	ジェット・ストリーマー MJS-150型 (1基)
	動水量	95,000m <sup>3</sup> /日
	設置姿勢	鉛直上向き吐出
	設置水深	約18m
②地点	装置	ジェット・ストリーマー MJS-150型 (1基)
	動水量	95,000m <sup>3</sup> /日
	設置姿勢	吐出方向仰角30度
	設置水深	約14m

\*環境管理課

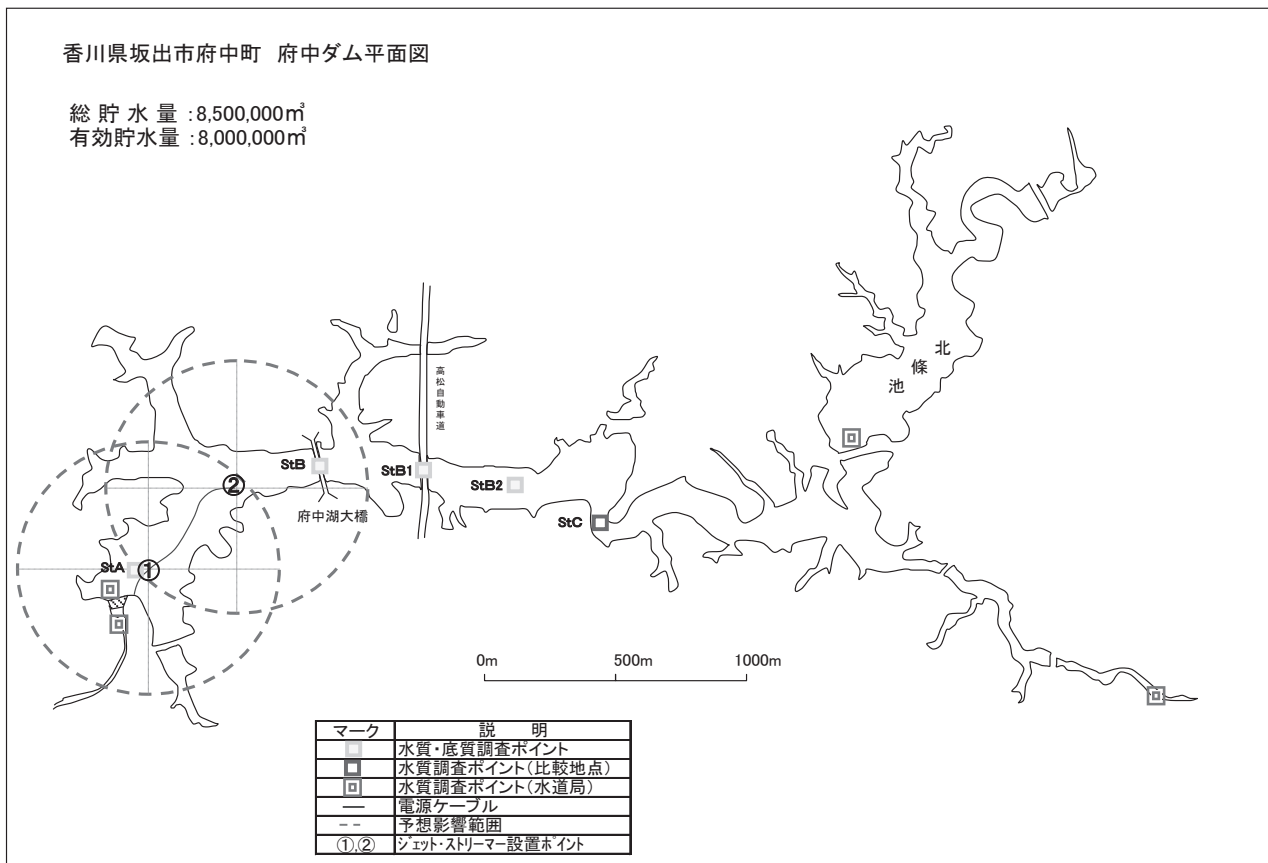


図1 機器設置場所, 調査地点

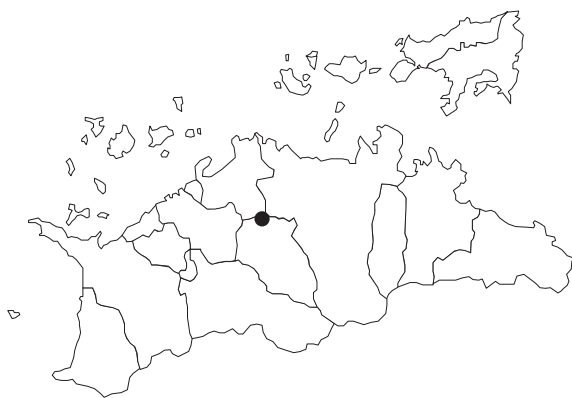


図2 府中湖の位置

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 <sup>3</sup>
有効貯水量	8,000 千m <sup>3</sup>
満水面積	121ha
流域面積	122.7k m <sup>2</sup>
平均水深	7.0m

### Ⅲ 水域の概況

府中湖の位置及び概況は、図2及び表2のとおりで、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

ジェット・ストリーマーを2009年4月3日から2010年3月31日までの約1年間連続稼働させ、その間の府中湖の水質の状態について調査した。この間、2009年8月6日にコンプレッサーの停止が判明し、修理を行ったが、停止した時期については不明である。参考データとした

2008年度は、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ている。

2 調査地点

調査地点を図1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

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 (StCは、2009年7月以降、隔月)

調査地点：StA, StB, StC (上層, 中層, 下層)

調査項目：pH, COD, 溶解性COD, SS, T-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P

(3) 生物調査

調査頻度：1回/月

調査地点：StA (上層, 中層, 下層)

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：2009年11月

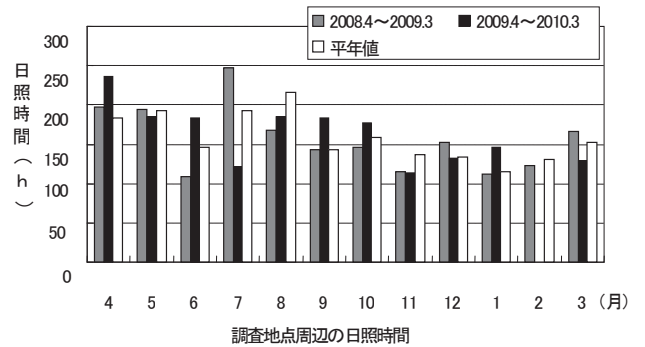
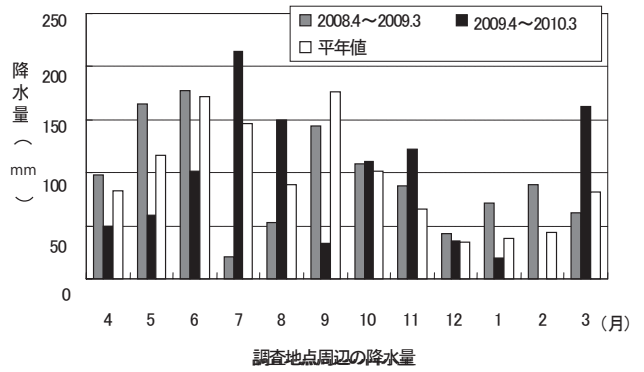
調査地点：StA, StB

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<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P

V 気象状況

図3に府中湖周辺の滝宮地域気象観測所における2008年度, 2009年度の降水量及び日照時間を示す。2009年度の降水量は、4月から6月にかけて平年より少なかったものの、7月から8月にかけては平年を大幅に上回るなど、平均値との差が大きい年であった。日照時間は、降水量とは逆に4月, 6月に平年より長く、7月, 8月は平年より短かった。

図4に府中湖の貯水率及び流入量の経月変化を示す。2009年4月から10月にかけて90%程度で推移していたが、2009年12月から2010年2月にかけて、50%程度まで低下した。流入量は、台風第9号の影響により8月9日が2009年度中最大となっている。



(注) 2009年2月のデータは資料不足値であるので記載していない。

図3 調査地点周辺の降水量・日照時間 (滝宮観測局) (気象庁資料より作成)

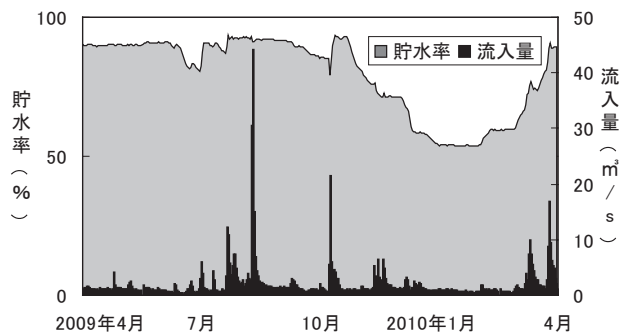


図4 貯水率の変化 (水道局資料より作成)

VI 結果及び考察

1 現地調査結果 (水温, 溶存酸素量)

StA における水深ごとの水温と溶存酸素量の分布を図5に示す。機器稼働直後の4月から水温躍層が生じ始めており、8月にかけて水温成層化傾向が見られた。StA における水温の経月変化を図6に示す。2008年度と比べ、2009年度は鉛直方向の水温差がおおむね小さくなっている。特に2009年度の4月から6月にかけては日照時間が長く、水温成層化が進みやすい条件があったにもかかわらず、日照時間の短かった2008年度と同程度の水温差

であった。このような点から、ジェット・ストリーマーによる強制的な混合に伴う水温の均一化があったことが推測される。

一方、StA における溶存酸素量は、夏季に底層ではほぼ 0mg/L まで下がるなど、水温ほどの均一化は確認できなかった。また、上層の溶存酸素量は、2008 年度に比べ高かった。

図 7 に示すように StB においても同様に強制混合による水温の均一化が推測されるものの、底層の貧酸素状態の改善にまでは至っていない。データの補足地点である、StB1、StB2 においても同様であった。

ジェット・ストリーマーによる強制混合については、香川県観音寺市の豊稔池や愛媛県西予市の鹿野川ダム湖における実証試験<sup>4)</sup>などで効果が確認されているが、府中湖においては同等の効果が得られていない。この原因としては、府中湖は貯水量の割には、面積が広く、水深が浅いため、ジェットストリーマーの強制混合が周辺域に伝わりにくいことが考えられる。

また、コンプレッサーの故障により、底層への酸素の供給量が不足していたこともあるが、河原ら<sup>5)</sup>が指摘しているように府中湖の底層水や底質の溶存酸素消費速度が大きく溶存酸素量の上昇を阻害していた可能性も考えられる。底層の溶存酸素消費速度が、ジェット・ストリーマーによる酸素供給速度を上回っていれば、酸素が送られているにもかかわらず、底層の溶存酸素量が上昇しないことも説明できる。

このため、水質浄化施設を能力の高いものに変更したり、設置基数を増やしたりすることにより、府中湖においても他の実証試験と同様の水質改善が確認できる可能性がある。

## 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。

上層では COD とクロロフィル a (図 11) の経月変化がよく似たパターンで変動している。2008 年度も同様の傾向があり、植物プランクトン等が増加することにより、COD を押し上げていることが推測される。

上層のクロロフィル a は夏季に非常に高くなっており、2008 年度の同時期と比べてもおおむね高い値となっている。また、上層では溶存酸素量も 2008 年度と比べて高く、植物プランクトンが大量に発生し、活発に光合成を行なったものと考えられる。

植物プランクトンが大量に発生した原因としては、下層の貧酸素状態が解消されず、底質からの栄養塩の溶出速度が抑制されない中で、上下層の強制混合が行われたことにより、下層の栄養塩が上層に供給された可能性が考えられる。また、下層の SS が大きく上昇していないことから、上層への栄養塩の供給が底質の巻上げによって行われたとは考えにくく、栄養塩を多く含んだ下層水と上層水の混合により起こったものと考えられる。

T-N, T-P の経月変化は、図 12 及び図 13 に示すとおりで、ともに 5 月から 8 月にかけて濃度が上昇した。上層や中層に比べ下層が高くなっていることや下層が貧酸素状態になっている期間と合うことから底質からの溶出が濃度の上昇に大きく寄与した可能性が高いと考えられる。なお、5 月から 6 月にかけて上層の T-N, T-P が減少しているのは、調査日前後に貯水率を下げたことが影響した可能性が考えられるが、現在のデータでは判断できない。

NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N の経月変化を、図 14 及び図 15 に示す。夏季は上層において、T-N が下がっていないにもかかわらず、NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N がともに低いことから、供給された窒素は植物プランクトン等が利用していると考えられる。

下層では、NH<sub>4</sub>-N が 4 月から 8 月にかけて上昇傾向にあり、分解によって生成した NH<sub>4</sub>-N が硝化されずに滞留している可能性が考えられる。一方、NO<sub>3</sub>-N は、夏季に低く、循環期に高くなるなど溶存酸素量の変化と相関があると考えられる。

## 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。7 月、8 月、10 月に藍藻綱が優占した。この時期の図 13 のクロロフィル a は、おおむね上層が下層より高くなっている。

また、11 月以降は全層で珪藻綱が優占した。

## 4 底質調査結果

2009 年 11 月に採取した底質調査結果を、2008 年の 4 月及び 11 月の調査結果と比較したところ、指標によって変動しているものもあるが、酸化還元電位は -200mV 以下でありあまり変化していないなど、底質の浄化効果は確認できなかった。

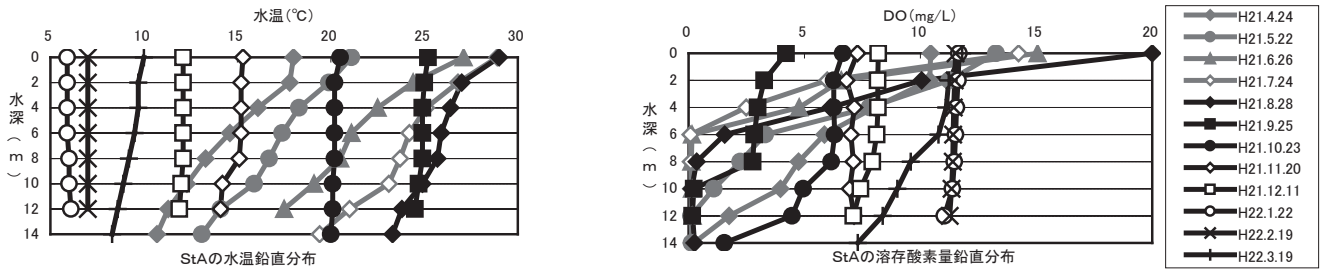


図5 StAの水温・溶存酸素量鉛直分布 (2009年度)

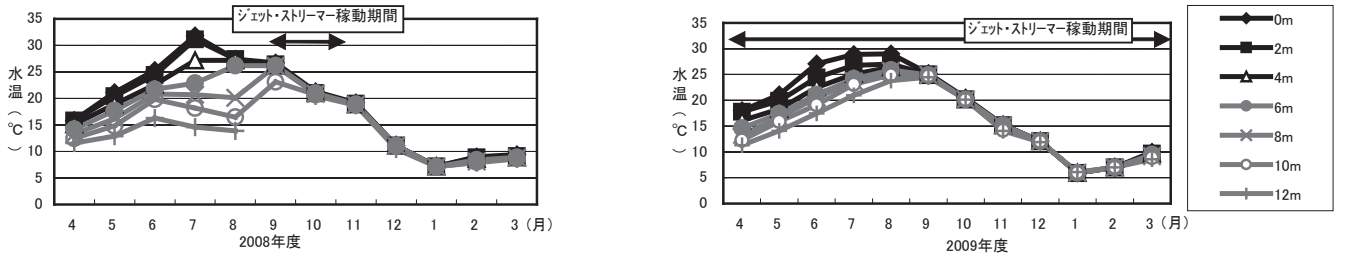


図6 StAの水温の経月変化 (2008年度, 2009年度)

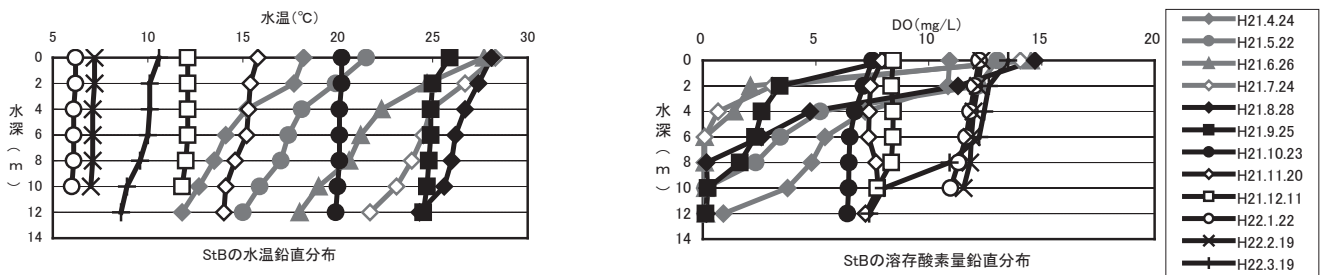


図7 StBの水温・溶存酸素量鉛直分布 (2009年度)

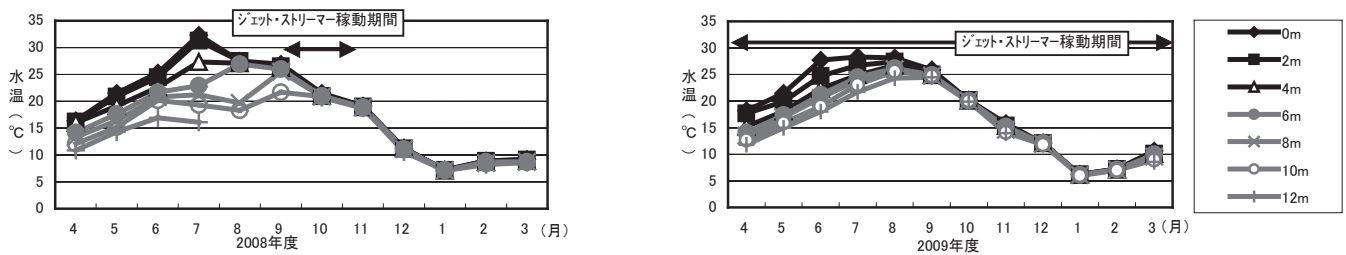


図8 StBの水温の経月変化 (2008年度, 2009年度)

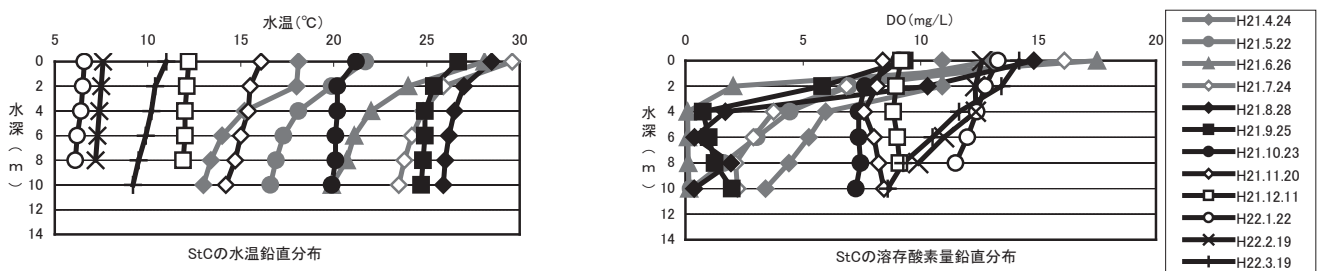


図9 StCの水温・溶存酸素量鉛直分布 (2009年度)

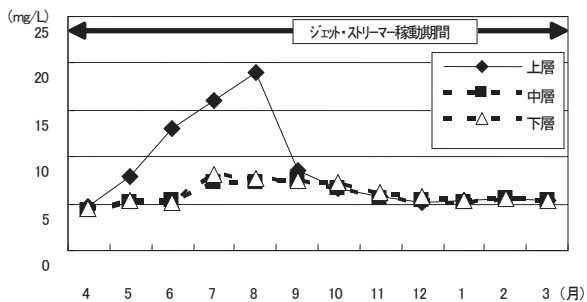


図10 StAのCOD経月変化 (2009年度)

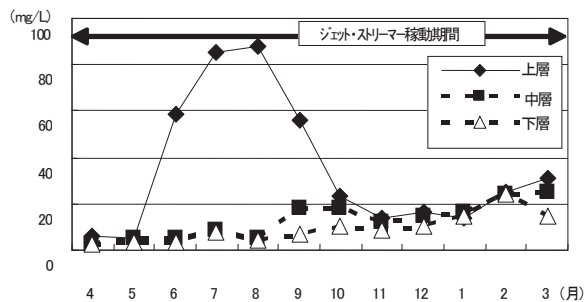


図11 StAのクロロフィルa経月変化 (2009年度)

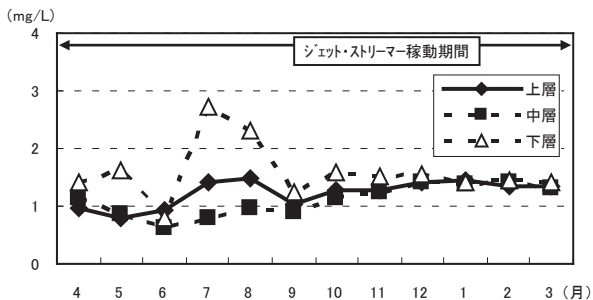


図12 StAのT-N経月変化 (2009年度)

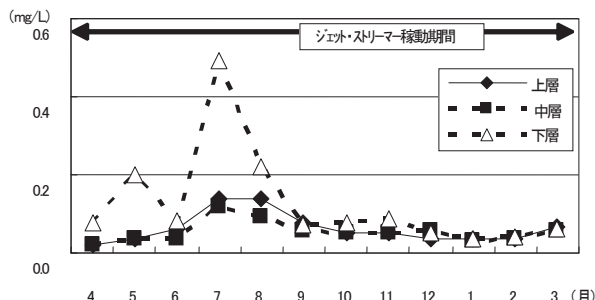


図13 StAのT-P経月変化 (2009年度)

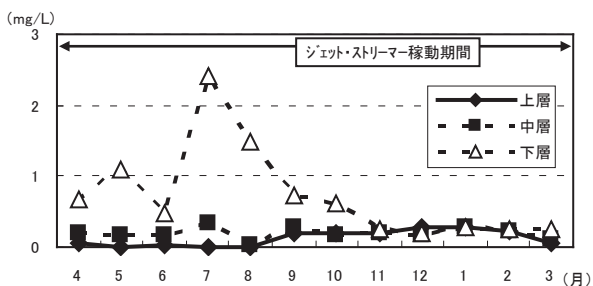


図14 StAのNH<sub>4</sub>-N経月変化 (2009年度)

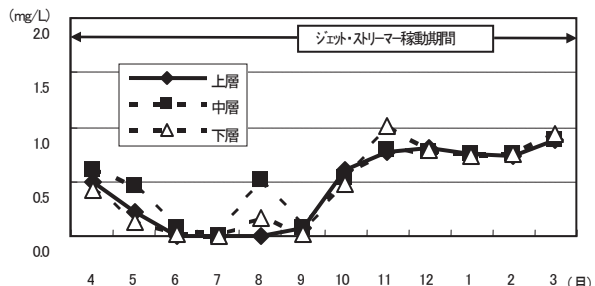


図15 StAのNO<sub>3</sub>-N経月変化 (2009年度)

年月	区分	優占種	年月	区分	優占種
2008.4	上層	緑藻綱 Oocystis. sp	2008.10	上層	藍藻綱 Anabaena. sp
	中層	珪藻綱 Synedra. sp		中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ		下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
2008.5	上層	緑藻綱 Oocystis. sp	2008.11	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	中層	珪藻綱 Cocconeis. spp		中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	下層	珪藻綱 Cocconeis. spp		下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
2008.6	上層	緑藻綱 Chlamydomonasグループ	2008.12	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	中層	緑藻綱 Chlamydomonasグループ		中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	下層	珪藻綱 Cocconeis. spp		下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
2008.7	上層	藍藻綱 Chroococcus. spp	2009.1	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	中層	藍藻綱 Chroococcus. spp		中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ		下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
2008.8	上層	藍藻綱 Microcystis. spp	2009.2	上層	珪藻綱 Melosira. spp
	中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ		中層	珪藻綱 Melosira. spp
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ		下層	珪藻綱 Melosira. spp
2008.9	上層	褐色鞭毛藻綱 Cryptomonas. sp	2009.3	上層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	中層	褐色鞭毛藻綱 Cryptomonas. sp		中層	珪藻綱 Cyclotellaグループ
	下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ		下層	珪藻綱 Cyclotellaグループ

表3 StAの優占種の経月変化

## VII まとめ

2008年度と2009年度の比較からもジェット・ストリーマーによる鉛直方向の混合効果が確認できた。一方、コンプレッサーの故障があったものの、夏季に下層において溶存酸素量がほとんど0mg/Lであり、底質の酸化還元電位もあまり変化がないなど、底質からの栄養塩の溶出抑制効果は確認できなかった。

この原因としては、面積が広く、水深が浅いことによって、ジェット・ストリーマーの強制混合が周辺域に伝わりにくいことが考えられる。また、底層水や底質の溶存酸素消費速度が大きいなどの理由により、底層の酸素消費に対してジェット・ストリーマーの強制混合による酸素供給が追いつかず、底層の還元状態が変化していない可能性が考えられる。

これらについては、水質浄化機器をより能力の高い大型のものに交換したり、設置基数を増やしたりすることによって改善させることができる可能性が高い。

## 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) 笹田康子, 千原正照, 小蓑幸代, 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)
- 3) 冠野禎男, 土取みゆき: 府中湖におけるジェット・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, **8**, 25-32, (2009)
- 4) 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)
- 5) 河原能久, 竹内豊, 野々村敦子, 松尾克己: マイクロバブルによる富栄養貯水池の深層水の水質改善に関する現地試験, 水工学論文集, **50**, 1351-1356, (2006)

## Abstract

In continuation of research conducted in fiscal year 2008, we investigated improvements in water quality in a dammed lake (Fuchu Lake, Kagawa Prefecture) through use of a Jet Streamer, a device placed at the bottom of the lake and used to unsettle and mix the water through use of a jet stream.

The device was operated for one year, starting in April of 2009, and just as in the previous year's study, there were definite effects, such as the equalization of water temperature in the upper and lower layers of the water, but characteristic water quality improvements could not be verified from only one year's operations.