

間欠空気揚水筒による貯水池の水質改善

Improvement of Impounded Water Results Achieved by Use of Aero-Hydraulic Guns (AHG)

環境装置事業部 技術部技術課

石丸 豊
Yutaka Ishimaru

Today, the Aero-Hydraulic Gun for eutrophication control of an impounding reservoir has attracted attention.

This paper presents the improvement of water quality achieved by use of AHG that Shinko-Pfaudler has installed at Kamogawa dam in Hyogo Prefecture.

近年、富栄養化のために水質の悪化した貯水池の水質改善装置として間欠空気揚水筒が注目を集めている。

本稿では、このほど当社が間欠空気揚水筒を設置した兵庫県鴨川ダムにおける水質改善結果について報告する。

1. ま え が き

一般に貯水池では、夏期になると水域に温度躍層が発生し、上下の水の対流・混合が妨げられると、貯水が停滞し表層では植物プランクトンが大量増殖する。また底層では、表層から沈殿してくる植物プランクトンが分解のために酸素を消費することから還元状態となり、鉄、マンガン、アンモニア性窒素などとともに栄養塩が溶出してくる。これが貯水池の循環期になると、自然対流により水域全体に拡散する。これらの現象のくり返しにより貯水池は、急速に富栄養化し水質悪化による諸問題が発生することになる。

(第1図参照)

そこで、これら貯水池・湖沼等の閉鎖性水域の水質改善装置として最近、間欠空気揚水筒が注目を集めている。

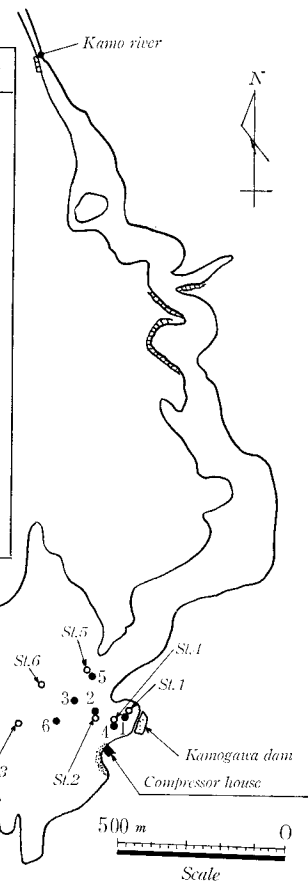
同装置は、小さなエネルギーで水域全体に対流混合を起こし、成層期の温度躍層を破壊または、形成を防止し有害物質の溶出を抑制する一方、水面近くの受光層に繁殖する植物プランクトンを受光層下の中・底層部へ送り込むことで大量増殖を抑えることができる画期的なものであり、既に各地の貯水池などで採用され、大きな成果をあげつつある。

そこで本稿では、このたび農業用水を主とした多目的ダムである兵庫県鴨川ダムに設置した間欠空気揚水筒による水質改善結果について報告する。

2. 鴨川ダムの概要

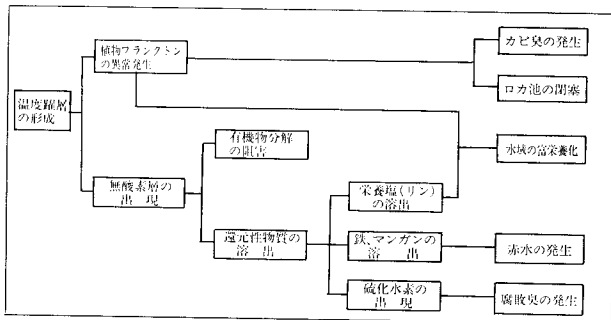
鴨川ダムは、兵庫県加東郡東条町と社町の一部に位置し東条湖とも呼ばれ、清水東条湖県立自然公園の中核として県民の憩いの場として親しまれている。ダム建設は、加古川左岸の旧11カ町村の農業用水供給の目的のため農林省(当時)を施工主体とした国営事業であり昭和26年、有効貯水量8,380,380m³直線重力式コンクリート堰堤の鴨川ダムが完成した。さらに計画用水量確保のために、東条町松沢に安政池(貯水量558,630m³)、小野市船木に船木池(貯水量1,615,970m³)の補助貯水池が新設され導水路で結ば

河川名	加古川支流、東条川支流鴨川
ダムの名称	鴨川堰堤
位 置	兵庫県加東郡東条町黒谷
型 式	{直線重力式 {コンクリート堰堤
堰頂標高	{非溢流部 144.0m {溢流部 145.5m
基礎地盤標高	102.0m
基礎地盤地質	石英斑岩
内・外法	内法1.0:0.1 外法1.0:0.8
堰 高	{非溢流部 42.0m {溢流部 43.5m
堰 長	{全長 溢流部18.0m {97.1m 非溢流部79.1m
堰 体 積	48,434m ³
貯 水 量	{総貯水量 8,675,610m ³ {有効貯水量 8,380,380m ³
計画満水位標高	142.0m
満水地積	54.3ha
計画洪水水位標高	143.0m
余裕高	1.0m
余水吐構造	{テンダーゲート3門 {出6m、高3m
流域地積	{直接 1,918.9ha {間接 5,930.0ha



- 1~3 AHG NOV. 1983
- 4~6 AHG AUG. 1984
- St. 1~St. 3 Sample site 1983
- St. 4~St. 6 Sample site 1984

第2図 鴨川ダムの概要
Fig. 2 Outline of Kamogawa dam



第1図 貯水池における水質悪化のメカニズム
Fig. 1 Mechanism of impounded water pollution

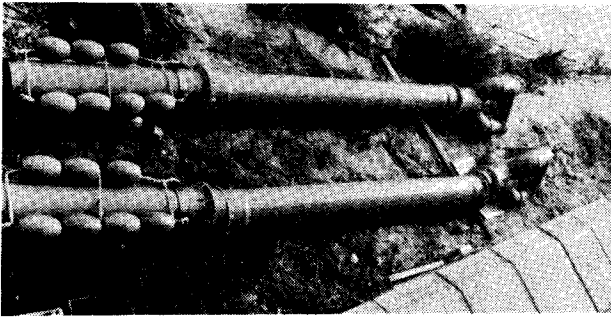
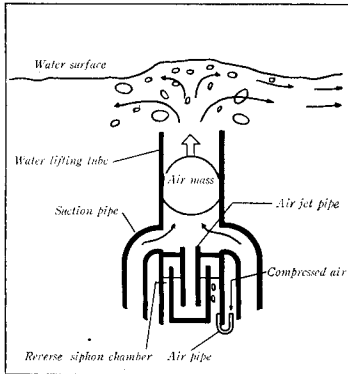


写真1 間欠空気揚水筒
Photo.1 Aero-Hydraulic Gun



第3図 間欠空気揚水筒の動作説明
Fig. 3 Operation principle of Aero-Hydraulic Gun (AHG)

- 動作説明
1. 逆サイホン室にコンプレッサーで圧縮空気を送る。
 2. 圧縮空気が逆サイホン室内の水面を押し下げる。
 3. 水面が噴気管下端に達すると、逆サイホン室の空気が一気に揚水筒内に噴出する。
 4. 空気塊が、揚水筒内を上昇するピストン作用で吸水孔から底層の水を一気に吸上げる。
 5. 噴き上げられた水と空気は、水面にぶつかり、水平方向に拡散する。

れている。また今日では、農業用水のみならず近隣の小野市、社町、滝野町の上水道の水源としても重要な貯水池である。しかしここ数年、植物プランクトンによると思われる異臭味の発生や水質の悪化により船木池を水源とする浄水場においても一時期、活性炭処理を余儀なくされていた。(第2図参照)

3. 間欠空気揚水筒装置の概要

3.1. 間欠空気揚水筒の動作原理

間欠空気揚水筒(以下揚水筒と略す)は、1961年に英国のJ. G. Bryanによって考案されたが、わが国においてもその後種々の改良が加えられ、現在20数カ所に揚水筒が設置されている。

揚水筒の特長は、極めて小さな動力で、多大の効果を発揮することにある。すなわち、本体下部の空気室に、コンプレッサーから圧縮空気を送り、逆サイホン作用により、揚水筒内に、ピストン状の空気塊を間欠的に上昇させる。これをくり返すことから、強固な温度躍層も破壊され、水域全体に大きな対流、混合を起すことができる。(第3図参照)

3.2. 装置の主要諸元

納入した装置の仕様、設置位置は、第1表、第2図のとおりである。

コンプレッサーは、揚水筒3基に1台の割合で設置し、騒音、省エネの点からパッケージ型スクリーコンプレッサーを採用した。また送気ホースは、湖面を観光用の遊覧船が航行するため特殊潜水ホースを使用し貯水池内の揚水筒に連結した。

第1表 間欠空気揚水筒設備仕様
Table 1 Specification of Aero-Hydraulic Gun Equipment (AHG)

Designation	Specification	Q'ty	Delivery date
AHG	Dimension : $\phi 420 \times 9050\ell$	3 (No. 1, 2, 3)	NOV. 1983
	Material : PVC	3 (No. 4, 5, 6)	AUG. 1984
Compressor	Type : packaged screw	1 (No. 1)	NOV. 1983
	Capacity : $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$ Press. : $8.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ Motor : 9 kW	1 (No. 2)	AUG. 1984
Compressor house	Reinforced concrete structure Dimension : $3,000\text{mm} \times 4,000\text{mm}$ Area : 12m^2	1	NOV. 1983

第2表 調査水質項目と分析方法
Table 2 Item of water quality and method of analysis

調査水質項目	分析方法
1) 水温	ガラス製棒状温度計
2) pH	ガラス電極法
3) 溶存酸素	ウインクラフ・アジ化ナトリウム変法
4) 電気伝導率	電気伝導度計
5) 溶解性鉄	原子吸光法
6) 溶解性マンガン	原子吸光法
7) アンモニア性窒素	インドフェノール法
8) 全窒素	紫外吸光光度法
9) COD	酸性過マンガン酸カリウム法

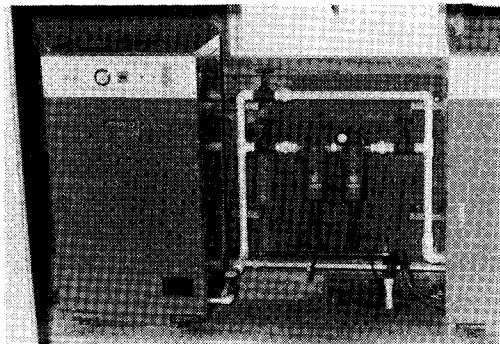


写真2 パッケージ型スクリーコンプレッサー
Photo.2 Packaged screw compressor

4. 水質調査

揚水筒設置による効果測定および影響範囲の確認のため設置前後の水質調査を行なった。

4.1. 調査地点(第2図参照)

St. 1~3: 1983年度調査地点

St. 4~6: 1984年度調査地点

4.2. 調査時期

1983年度(揚水筒3基設置 No. 1, No. 2, No. 3)

第1回 1983年9月19日(揚水筒運転前)

第2回 1983年11月8日(揚水筒運転後1週間)

第3回 1983年12月13日(揚水筒運転後1カ月)

1984年度(揚水筒3基増設 No. 4, No. 5, No. 6)

第1回 1984年7月30日(揚水筒3基運転)

第2回 1984年9月7日（揚水筒6基運転後1カ月）

4.3. 調査水質項目と分析方法

第2表のとおりである。

5. 調査結果と考察

5.1. 水温

第4図に示すように1983年度の結果において揚水筒設置前の9月には、はっきりとした温度躍層の存在が確認できる。しかし揚水筒運転後1週間目において躍層は、水深15~20mに移行するとともに、温度差は緩和され1カ月後には躍層はなくなった。この時点で揚水筒の効果は、断言できなかったが、第5図に示すように1984年度の結果において前回の同時期に見られたような強大な温度躍層はなく湖底までかなり水温が高く、しかも緩やかな温度勾配が、各調査地点で得られている。このことから揚水筒の効果は顕著かつ広範囲にわたっているといえる。

5.2. pH

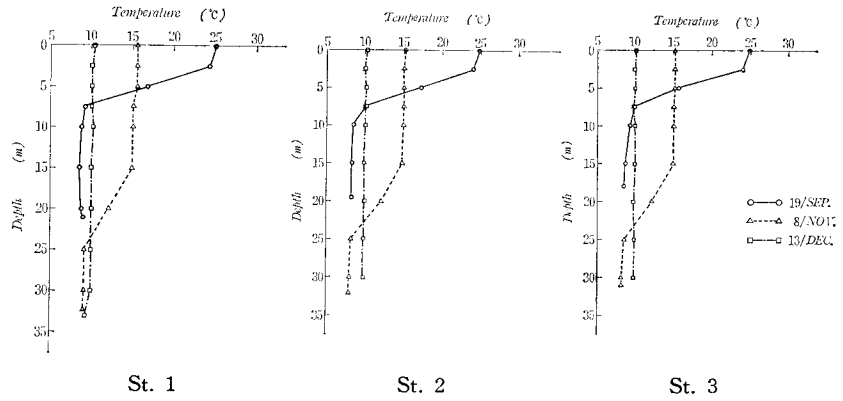
pH については、第7図に示すように1984年度揚水筒(No. 4, 5, 6)運転前にもかなり高い躍層が形成されており、昨年度の揚水筒の効果は継続していない。しかし揚水筒運転後には、ほぼ中性 (pH ≈ 7) に抑えられ前年度の運転後と同じような結果(第6図)が得られている。理由として表層の pH は、一般に植物プランクトンの炭酸同化作用により上昇するが、揚水筒により底層の pH の低い水塊が表層へ移動し、一時的に pH が低下するものの、長期間には、さらにそれを上回る植物プランクトンの増殖が行なわれていると思われる。また揚水筒によって底層から上昇する栄養塩もこの増殖を助長したと考えられる。

5.3. 溶存酸素

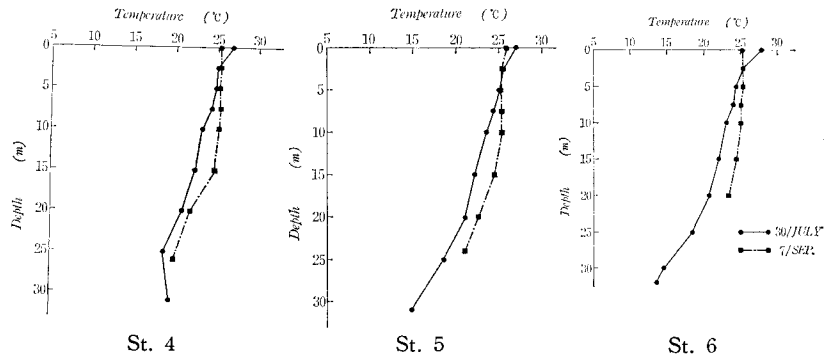
溶存酸素は、その推移およびグラフ形状が、水温の場合とよく似た傾向を示すことが判る。(第8図, 第9図)

ここでも揚水筒設置効果は顕著であるが、第9図において1984年度の揚水筒増設後1カ月目の溶存酸素が、増設前より全体的に低下している。この原因としては、表層近くで大量に発生していたと思われる植物プランクトンが、揚水筒の増設により一段と水域全体に混合攪拌され、その分解に酸素が消費されたためと考えられる。

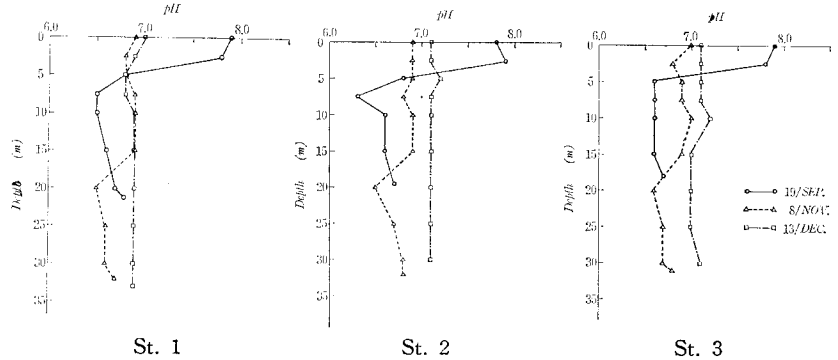
湖底付近においては、運転後も上層に比して酸素量が少ないが、これは湖



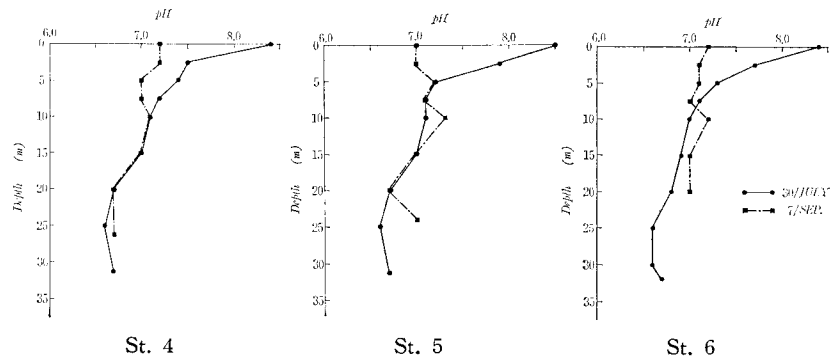
第4図 1983年度水温変化
Fig. 4 Reservoir Time-Depth Temperature variation, 1983



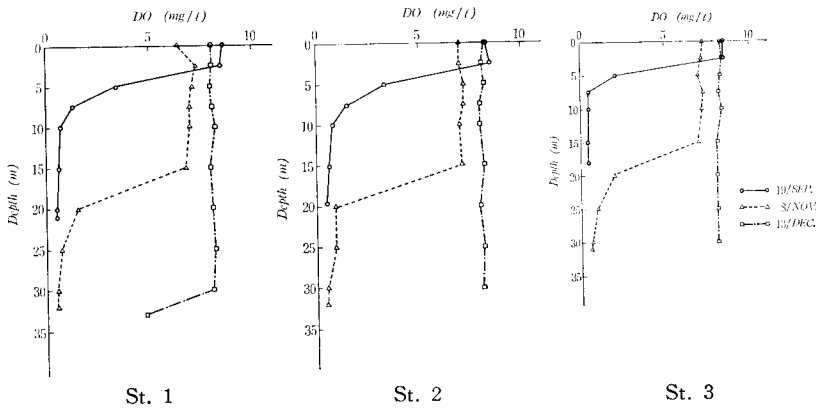
第5図 1984年度水温変化
Fig. 5 Reservoir Time-Depth Temperature variation, 1984



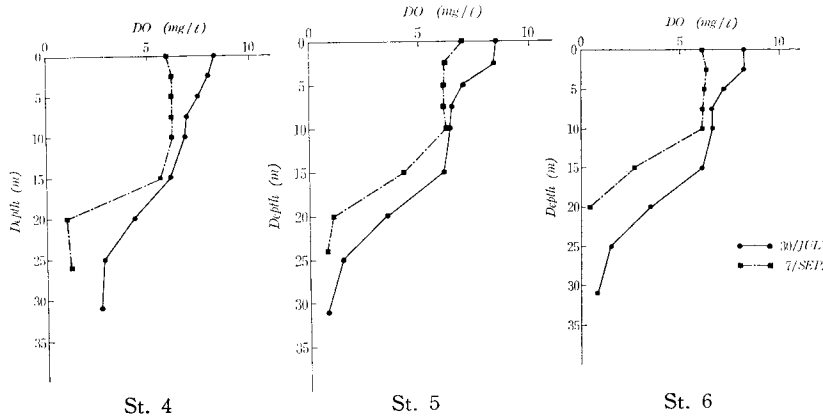
第6図 1983年度 pH 変化
Fig. 6 Reservoir Time-Depth pH variation, 1983



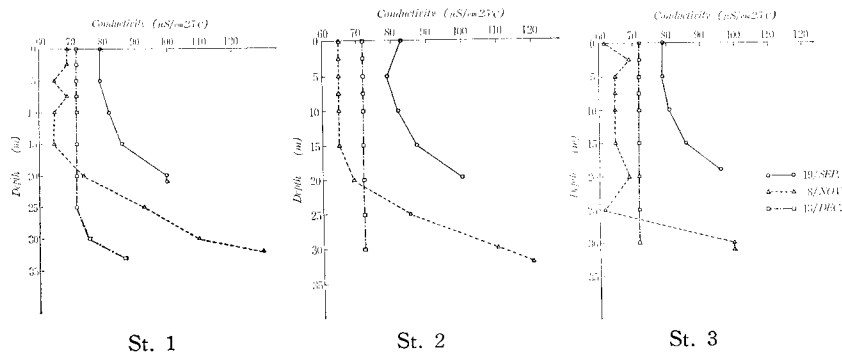
第7図 1984年度 pH 変化
Fig. 7 Reservoir Time-Depth pH variation, 1984



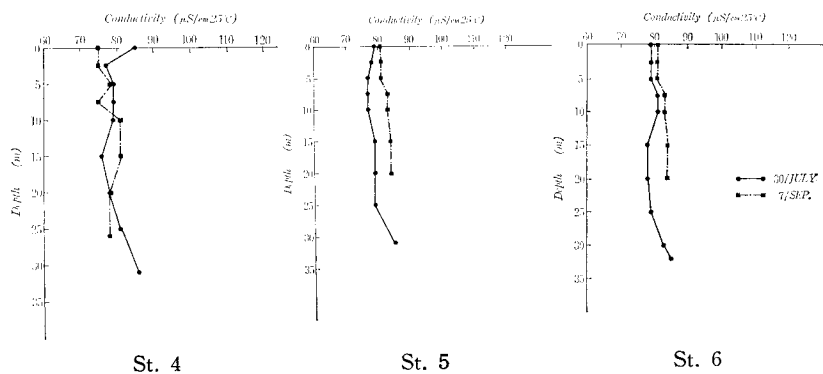
第8図 1983年度溶存酸素量の変化
Fig. 8 Reservoir Time-Depth DO variation, 1983



第9図 1984年度溶存酸素量の変化
Fig. 9 Reservoir Time-Depth DO variation, 1984



第10図 1983年度電気伝導率の変化
Fig. 10 Reservoir Time-Depth Conductivity variation, 1983



第11図 1984年度電気伝導率の変化
Fig. 11 Reservoir Time-Depth Conductivity variation, 1984

底に沈んでする還元性物質が依然循環により供給される酸素を相当消費しているためと考えられる。

5.4. 電気伝導率

第11図に示すように伝導率は、上下層にわたりほぼ一定の数値が得られており、広範囲にわたって水の循環が行なわれ、かつ底層への酸素供給によりイオン性物質の溶出量が減少したものと考えられる。

5.5. 溶解性鉄

第12図に示すように、湖底での溶解性鉄は、揚水筒の運転後かなり低下し1984年度の増設後も多少の増加はあるものの1mg/l以下に抑えられている。これも5.4項と同じく底層への酸素供給により溶解性鉄が酸化されるためである。このような酸化、溶出抑制効果は以下の溶解性マンガン、アンモニア性窒素、CODについても認められる。

5.6. 溶解性マンガン

第13図に示すように、溶解性鉄とほぼ同様の変化が認められた。特に溶解性マンガンは、浄水処理においても除去しにくい物質の1つであり水源での低下は、本貯水池を水源とする浄水場にとって有益である。

5.7. アンモニア性窒素

第14図に示すように、1983年度に比べかなり低い値に抑えられ改善されている。アンモニア性窒素は、浄水処理の経済性に大きく関与する。すなわちその存在により多量の塩素が消費されるためである。またその結果トリハロメタン生成を助長するといった問題をもっており水源における低下は、その抜本的対策といってもよい。

本貯水池を水源とする浄水場における塩素消費量が例年より2~30%減少したとの報告を聞いている。

5.8. 全窒素

全窒素は、窒素ガスを除く窒素化合物

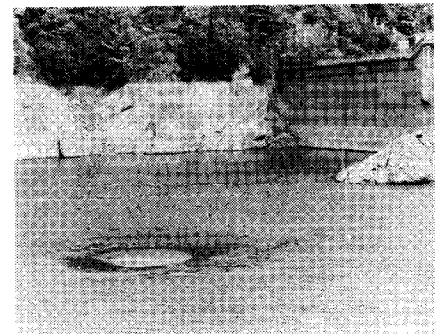
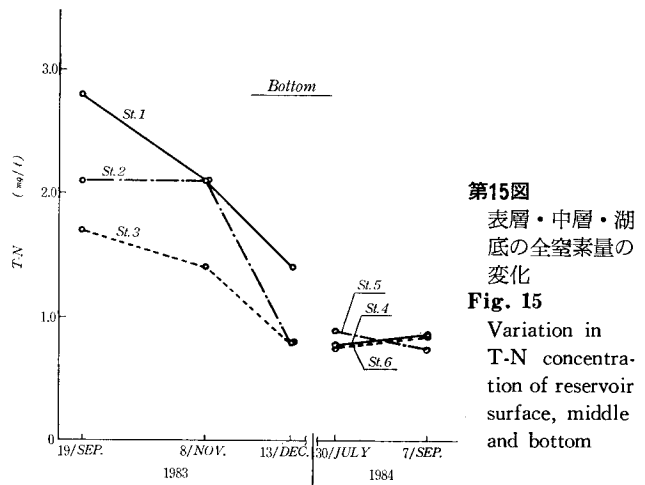
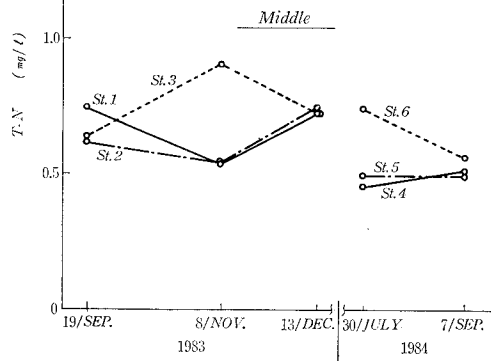
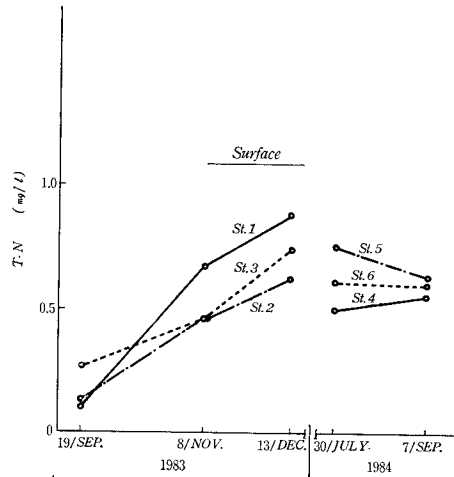
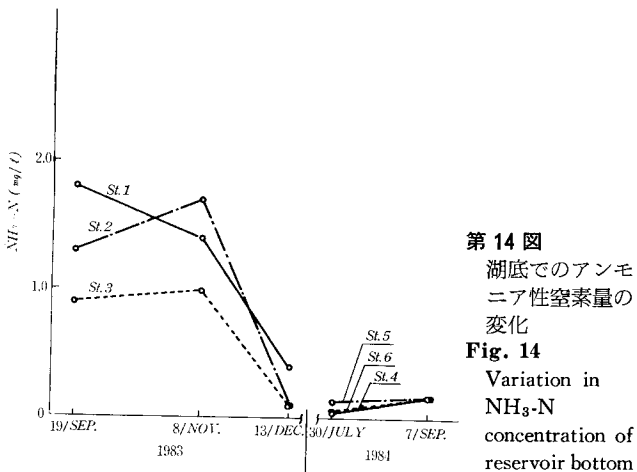
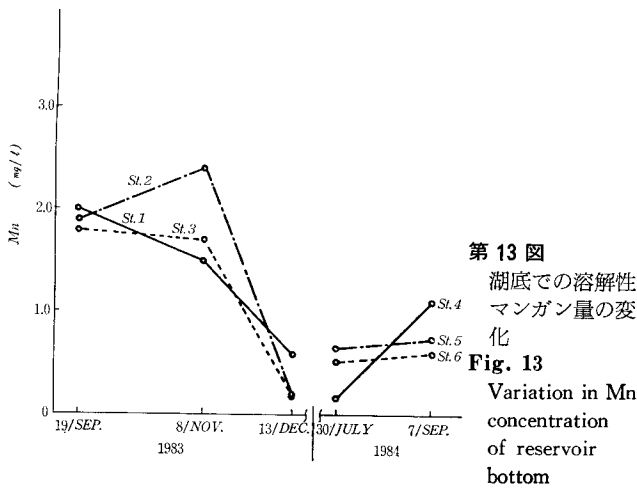
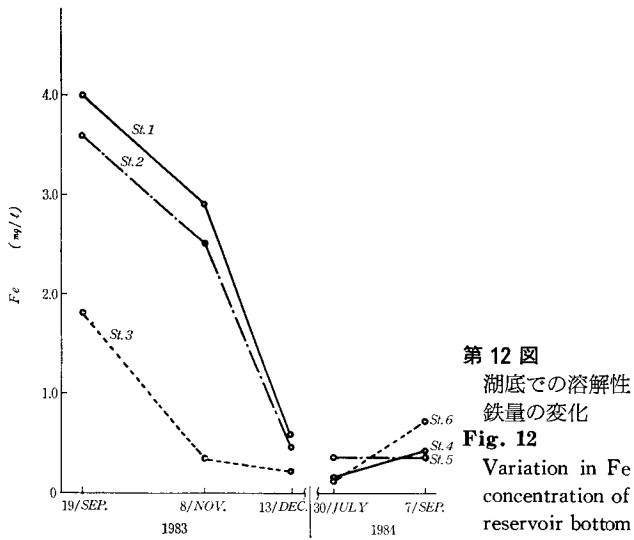


写真3 揚水筒の運転状況
Photo. 3 Operating conditions of AHG



物の総量であり、この数値からそのまま水質を判定することは難しいが、一般的には、この量が少ない方が水質は良好と考えられる。第15図に示すように、揚水筒運転前から湖底の全窒素量はかなり低下しているが、表層では逆に増加している。

この原因としては、生物の残骸を含む窒素化合物が、揚水筒によって底層から表層へ移動したか、栄養塩が上昇

し、植物プランクトンの生産性が高まったことが考えられる。

5.9. COD

CODの変化は、第16図のごとく大きな変化はないが、湖底では低下しており底層まで酸素が供給され、好気的狀態に変化したことを裏づけている。

5.10. 植物プランクトン

今回、生物類の調査は実施していないが、鴨川ダムの補助貯水池である船木池を水源とする小野市の水道部が行なっている分析をもとにその植物プランクトン(*Synedra*)の

第3表 農業用水水質基準

Table 3 Water quality standards for agricultural irrigations

項目	水質基準値	項目	水質基準値
pH	6.0~7.5	ヒ素	0.05ppm以下
COD	6 ppm以下	銅	0.02ppm以下
SS	100 ppm以下	亜鉛	0.5 ppm以下
全窒素	1 ppm以下	電気伝導率	300 μ S/cm25 $^{\circ}$ C以下
溶存酸素	5 ppm以上		

変化を第17図に示す。揚水筒の設置による *Syredra* の発生数は著しく減少している。1982年および1983年に実施した臭気除去のための粉末活性炭の注入は1984年は行なっていない。

5.11. 農業用水水質基準との対比

揚水筒運転前は、表層の pH、底層の全窒素などで農林水産省の農業用水水質基準（第3表）を満たしていなかったが、運転後には底層まではほぼ基準値を満足する。底層部の溶存酸素がまだ基準値に達していないが、引き続き揚水筒の運転を行なうことにより徐々に上昇するものと考えられる。

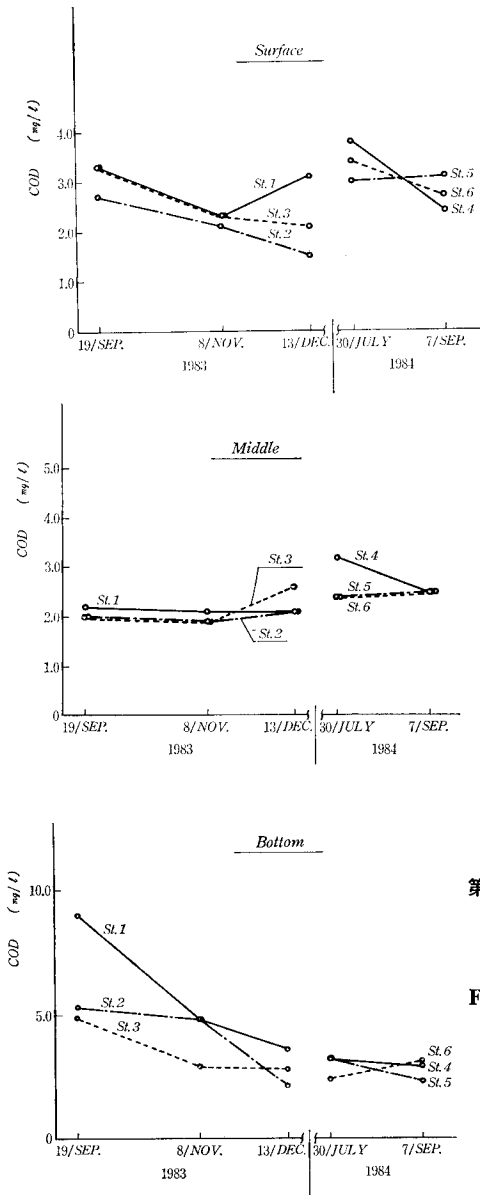
6. むすび

以上、揚水筒の運転による貯水池の水質改善の一例を紹介したが、今後は物理的、生物学的な観点のデータの蓄積も行ない貯水池におけるより効果的な揚水筒設置指針の確立をはかりたいと考える。

終りに、本装置の建設、運転に際し多大な協力をいただいた東播土地改良区の関係各位、ならびに本報の作成にあたり資料提供、助言いただいた小野市、社町、滝野町の各水道関係者およびシステム科学コンサルタンツ㈱の諸氏に対し、深く感謝の意を表する次第である。

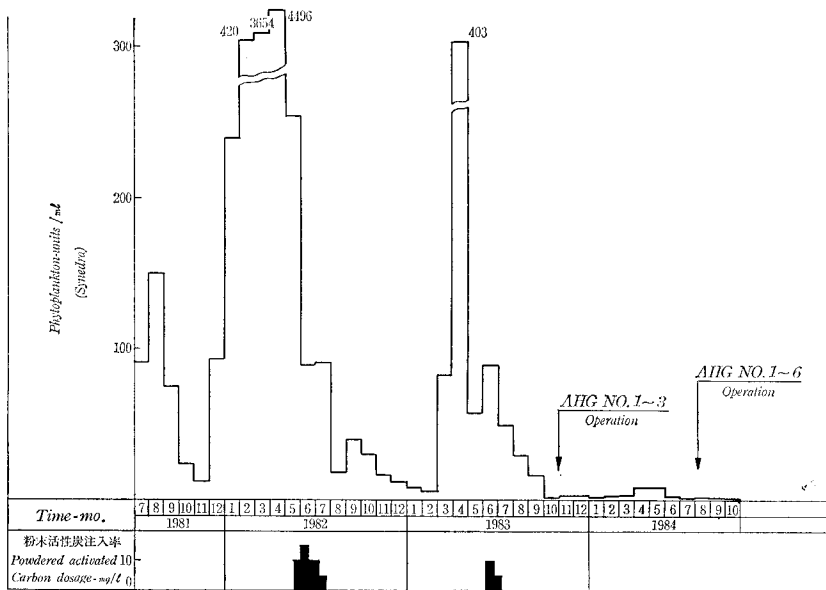
〔参考文献〕

佐藤晃一：水道協会雑誌「間欠式空気揚水筒による貯水の水質改善」, 第567号 (1981) P13-23



第16図 表層・中層・湖底のCODの変化

Fig. 16 Variation in COD concentration of reservoir surface, middle and bottom



第17図 船木池における植物プランクトンの変化

Fig. 17 Variation in Phytoplankton concentration in Funakiike reservoir.