

J. カンドーシ湖水質浄化実証実験

ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査
(ファスト・トラック制度適用案件)
に係る
カンドーシ湖水質浄化実証実験

実験終了報告書

2013年6月26日

テスコ株式会社

1. 実験の目的

ミャンマー国第一の都市、ヤンゴン市のダウンタウン北に位置するカンドーシ湖は、周りに公園及び多くのレストランが存在し、市民に散歩、レクリエーション、コンサート等を提供する憩いの場所として重要である。又高級ホテルや各国の大使館も立ち並び、ヤンゴン市の顔としての役割を持ち対外的にも重要な場所である。カンドーシ湖には現在、7 か所から生活排水が流れこむとともに、湖岸のレストラン等の排水も流入している。近年これが原因で、湖の富栄養化が進み、そこに強い太陽が当たるため大量のアオコが発生している。

そこで本実験では、このカンドーシ湖の水質改善技術の確立を目的として、湖のアオコの除去を主たる目的として、実証実験を実施した。

2. 実験実施期間

2013年5月23日～6月21日、運転稼働日：24日間

3. 実験水域

実験水域を下図に示す。レストラン（カラウェイパレス）の近傍に実験水域を設定し、実験を行った。



実験水域の詳細は、以下のとおりである。

- 処理水域面積：約 3,500m²
- 処理対象水深：水面～水深 50cm まで
- 処理水体積：3,500m² × 50cm = 1,750m³

4. 実験実施場所の状況



テスト初期、現場を訪問する U HLA MYINT ヤンゴン市長及び市幹部



アオコ回収フェンスによるアオコ回収操作の状況



実験装置全景

5. 予備実験

アオコ処理の予備実験として、カンドーシ湖（2回）及び京都広沢池（3回）にてアオコの採集を行い、適切な凝集剤の選定と凝集量におけるクロロフィル・COD・窒素・リン・SSの処理状況の確認を行った。この結果、無機凝集剤アクアフログ S を 200mg/L の注入率で使用した場合が、最適な条件と判断された。

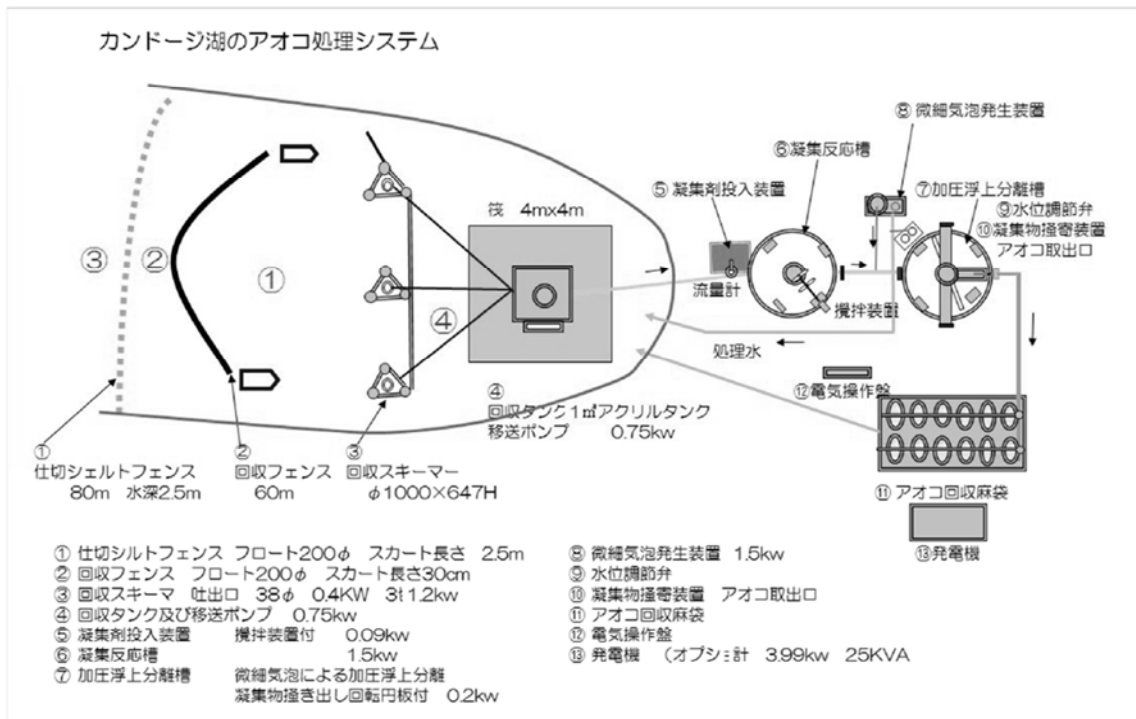
カンドーシ湖水による予備実験結果

凝集剤注入率：200mg/L

項目	初期濃度 (mg/L)	処理後 (mg/L)	除去率(%)
クロロフィル a	6.033	0.064	100
CODcr	1,902	129	94
T-N	53	1.98	96
T-P	31	0.42	99

6. 実験装置概要

実験装置の概要を、以下に示す。



図中の ①～④ は、サンプル水採取ポイントを現す。

1) アオコ回収装置



敷設前の仕切りフェンス (80m) と
 アオコ回収フェンス (60m)



アオコ回収タンクおよび
 スキマーを設置した筏 (4m×4m)



スキマー：50L/分×3台



アオコ回収タンク：1m³

2) 流量計及び凝集装置



流量計



インバーター駆動凝集剤投入装置



凝集反応タンク：2m³、180rpm の攪拌機付き



低水位検知装置
水位 50cm でアラーム発報

3) 加圧浮上分離装置及び処理水返送装置



マイクロバブル発生装置



加圧浮上分離タンク



処理水サイフォン



放流水
処理により清澄化されている

4) アオコ掻き寄せ装置及びアオコ回収麻袋スタンド



アオコ掻き寄せ装置
浮上したアオコ凝集物を掻寄せ



アオコ回収麻袋及びスタンド
麻袋により脱水・回収を行う

7. 運転方法

- 1) アオコ回収フェンスにより、アオコを強制的に収集
回収フェンスを2艘のモーターボートにより曳航し、表面近くに浮上しているアオコを収集する。(本実験は雨季に実施することになり、アオコが水面下に広く拡散したため、回収フェンスによる収集は実験初期に3回実施したのみである。)
- 2) アオコの回収
3機のスキマーのポンプ吸引により、筏上のタンクにアオコを回収する。さらに筏上のポンプにより、陸上に設置した凝集反応タンクに液送する。
- 3) 凝集処理
無機系凝集剤をインバーター制御付の紛体投入装置により適量を投入後、高速回転のかくはん装置により凝集反応を行う。
- 4) 加圧浮上装置によるアオコ凝集物の加圧浮上分離
10-30 μ mの気泡サイズのマイクロバブルにより、アオコ凝集物を加圧浮上分離する。
- 5) アオコ凝集物の回収
浮上分離されたアオコ凝集物は、アオコ掻寄せ装置により取り出し口に落とし込まれ、麻袋に回収され、さらに水切りされる。

8. 実験結果

- 1) 運転条件の調査に係る結果
 - ① 運転記録
別紙“Operation Record”を参照のこと。
 - ② 実験装置により処理した水量
 - ・1か月の処理水量：141.9L/分×60分×平均7.83時間/日×24日=1,600m³
(目標 150L/分×60分×8時間/日×22日=1,584m³に対して)
これは、計画された処理水量1,750m³の91%に相当する。
 - ・実験実施期間 : 24日間 (目標22日に対して)
 - ・運転時間 : 188時間 (目標172時間に対して)
 - ③ 24日間の運転で消費した消耗品のコスト
 - ・ディーゼル燃料：420L (Operation Recordより)
420L x 860kyat/L = 361,200kyat : 約36,000円
 - ・凝集剤：375kg (使用した15袋 x 25kg/袋)
375kg x 800円/kg = 300,000円

本凝集剤の価格は、材料購入ルートの変更等により、500 円/kg 程度にすることを検討中。

- アオコの単位量当たりの消耗品コスト
24 日間に回収したアオコの総量は、2,760kg（含水量 80%）であるため
(36,000 円+300,000 円) /2,760kg=121.7 円/1kg

2) 実験水域の水質改善に関する実験結果

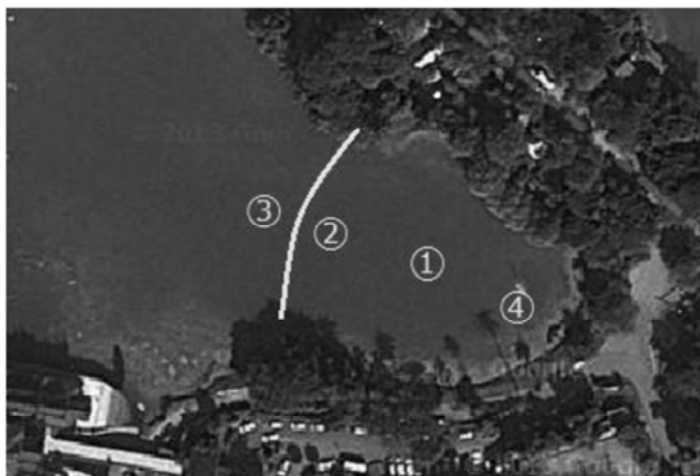
<方法>

アオコ処理装置による水質改善の評価は、実験水域内と水域外（対照）で湖の表層部分を採水し、水質を測定・比較することによって行った。

① 評価方法

実験水域内と水域外（対照）の水質比較

- サンプルング地点
サンプルングは、以下の4 地点で行った（下図参照）。
 - ① 実験水域中央(Center of test area)
 - ② 実験水域境界内側(Border of test area)
 - ③ 対照 (Control)
 - ④ 筏の取水口近く(Near raft)



- 水質項目
透視度、SS、CODcr、T-N、T-P
- サンプルング頻度（合計、14 回実施）
実験開始前（21/May）
実験期間中（23/May～20/Jun）：週2回、
実験完了時

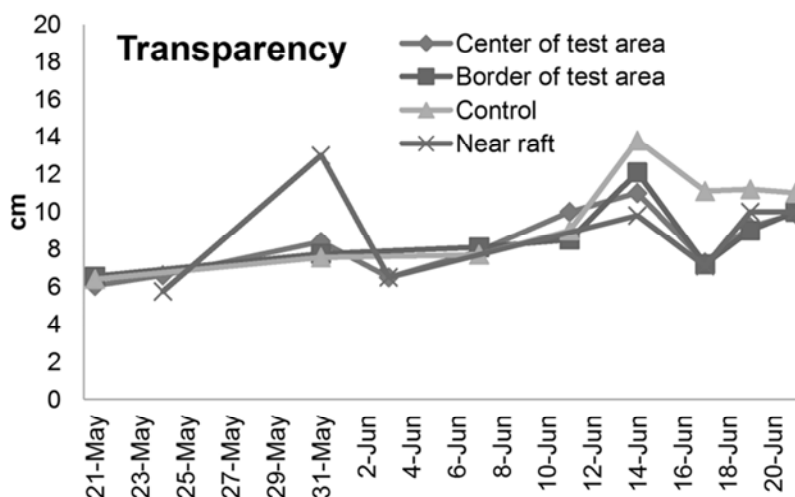
5月20日の午後、指定された水域をフェンスで囲み試験水域を設定、21日に第1回目のサンプリング（実験開始前）を行っている。23日より、浄化処理装置の連続運転を始め、原則として日曜日を除き、6月21日一杯まで連日運転を行った。21日に試験終了後の採水と最終水質測定を実施した。

<結果>

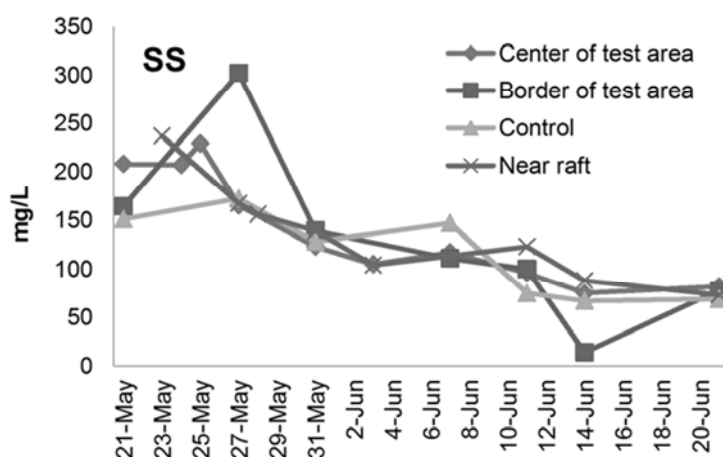
実験結果は、添付資料“Water Quality of Sampling Points”にデータを一覧して提示する。表中に現場のおおよその天候を示した。第2週目から雨の多い気象となっている。

以下に水質項目別に濃度変化の表を提示し、説明を付する。

透視度およびSS



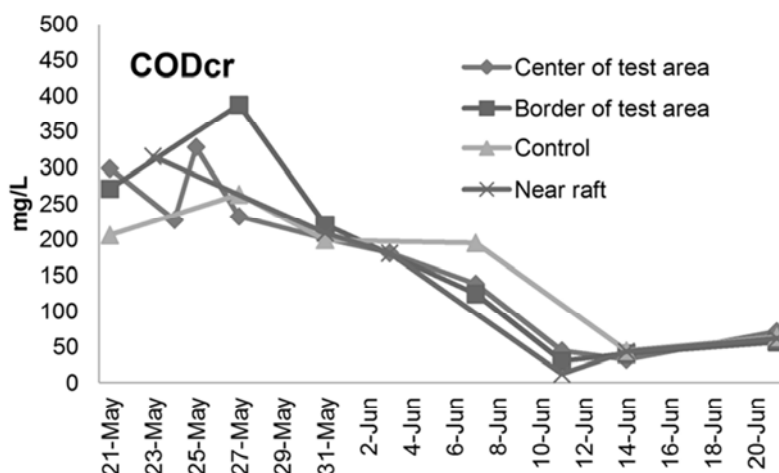
野外での透視度の測定は、明暗の影響を受けやすいため、数値が不安定となったが、全体に透視度は徐々に増加する傾向を示した。



SS は、試験開始1週間（27/May まで）は降雨が少なく、試験域内ポイント①②④のSSが、試験域外（対照区）よりも高い傾向を示している。2週目以降、試験域内ポイントの①、②、④および対照③とも、全体に徐々に減少していった。これは、第2週以降の降雨による希釈の影響を示していると推定された。

実験開始当初のSS濃度が、対照と比較して試験水域内で高いことから、SS減少の割合も試験水域内でやや大きかった。この差異は、アオコ除去装置の効果によるものと考えられた。

CODcr



CODcr の変化についても、SS と同様の傾向が見られた。すなわち、試験開始1週

間（27/May）は、試験域内ポイント①、②、④で、対照③よりも高い傾向を示していた。しかし、2週間目後半より、試験域内外とも一様に減少した。これは、降雨の影響によるものと考えられた。

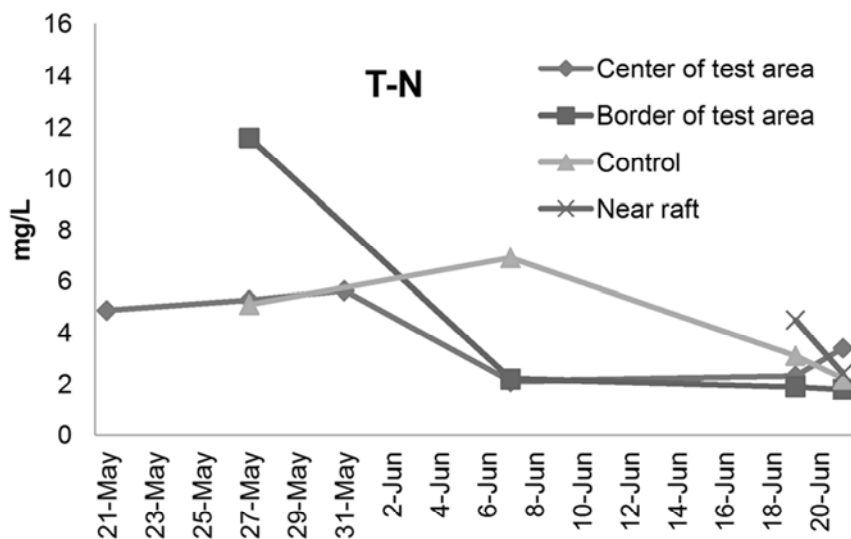
CODcr の減少の割合は、SS よりも明確であった。実験終期では実験水域内（①、②、④）の CODcr は、対照区と比較して低い値を示した。

特に、6月2日以降は、実験水域内（①、②、④）の CODcr の低下は、対照のそれより急激である。

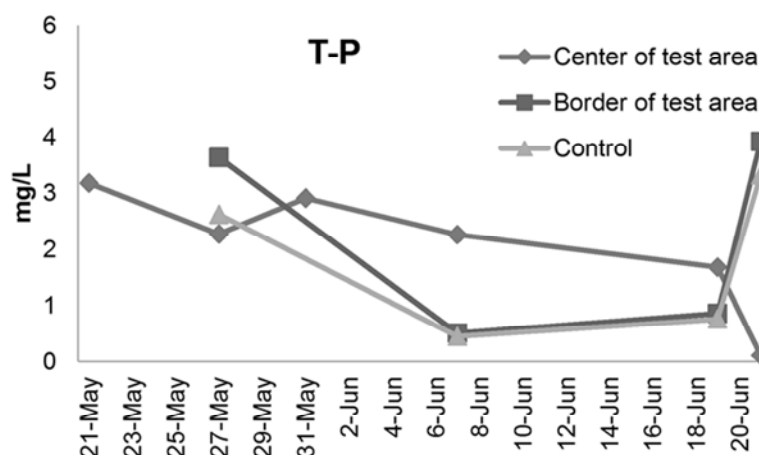
SS と同様、実験水域内、対照ともに、2週目以降の降雨の影響による濃度低下が見られたが、6月2日以降の実験水域内の数値の低下は、アオコ除去装置の効果によるものと考えられた。

T-N および T-P

アオコの回収とともに濃度が増加することを予想して、T-N および T-P の測定を行った。



T-N に関しては、試験前半の2週間で、実験水域内では開始時濃度の 1/3 以下まで低下し、その後、実験水域外でも低下している。対照区における後半の減少は降雨によるものと考えられる。しかし、実験水域内および実験水域境界の濃度低下は、アオコ除去装置の効果によるものと考えられる。



T-P については、実験水域中央で、実験の進行により徐々に低下する傾向が見られた。一方、実験水域内のフェンス境界線近くとフェンス外側の対照区では、一旦低下した後、実験最終日に濃度が上昇するという結果が得られた。

フェンス境界線近くと対照区の濃度変化の理由は明確ではないが、実験水域内の濃度低下は、アオコ除去装置の効果によるものと考えられた。

目視による実験期間中のアオコ汚染の一般状況を述べる。試験開始当初、試験域（入り江部分）の湖水表面上には濃いアオコの帯が見られた。これは湖中央部（対照区）には見られなかった。継続して観察すると、風の方角と強度によりアオコの滞留濃度が局所的に変化することが観察された。このため沿岸部、フェンス沿いに吹き寄せられたアオコが帯状に滞留することがあった。フェンスの内側にあるサンプリングポイント②、岸に接近したサンプリングポイント④において変化は著しく、②、④における水質の不安定な原因のひとつであると思われる。

アオコの湖水表面への滞留は晴天の午前中にとくに顕著であった。降雨時、およびその後では、アオコの滞留は見られなかったため、降雨による表面の攪拌、水温の低下等の影響が考えられた。

アオコの滞留は、試験開始後 2 週間で、試験水域内ではほぼ見られなくなった。

<考察>

第 2 週火曜日以降は雨季のため降雨が多くなった（下表参照）。したがって、透視度の増加および SS、CODcr の測定値は、降雨による希釈の影響を受けていると考えられる（処理水量より、降雨量の方が圧倒的に多いと思われる）。

Date		Weather	
23-May	Thr	AM	Little rain
		PM	Cloudy→Fine
25-May	Sat	AM	Fine
		PM	Little rain
27-May	Mon	AM	Little rain
		PM	Rain
28-May	Tue	AM	Fine
		PM	Fine
29-May	Wed	AM	Rain
		PM	Rain
30-May	Thr	AM	Fine
		PM	Fine
31-May	Fri	AM	Rain
		PM	Rain
1-Jun	Sat	AM	Rain
		PM	Rain
3-Jun	Mon	AM	Heavy Rain
		PM	Rain
4-Jun	Tue	AM	Heavy rain and strong wind
		PM	Heavy rain and strong wind
5-Jun	Wed	AM	Rain
		PM	Cloudy→clear
6-Jun	Thu	AM	Rain
		PM	Rain

Date		Weather	
9-Jun	Sun	AM	Heavy Rain
		PM	Heavy Rain
10-Jun	Mon	AM	Extremely heavy rain
		PM	Extremely heavy rain
11-Jun	Tue	AM	Extremely heavy rain
		PM	Extremely heavy rain
12-Jun	Wed	AM	Fine & wind
		PM	Fine & wind
13-Jun	Thu	AM	Rain
		PM	Rain
14-Jun	Fri	AM	Cloudy
		PM	Heavy Rain
15-Jun	Sat	AM	Fine
		PM	Fine
17-Jun	Mon	AM	Fine
		PM	Fine
18-Jun	Tue	AM	Fine
		PM	Rain
19-Jun	Wed	AM	Weak rain
		PM	Fine
20-Jun	Thu	AM	Rain
		PM	Rain
21-Jun	Fri	AM	Fine
		PM	Rain

しかし、試験域内ポイント①②④および域外③とも、2週目以降等しく減少し、降雨による希釈の影響を示している。

SS、CODcr、T-N および T-P 濃度は、処理開始前から第2週目にかけて、試験水域内①②④で、水域外（対照区）③よりも低い値を示しており、また実験期間を通じての濃度減少の程度は、試験水域内で幾分大きくなっている。

この結果は、降雨による希釈の影響を受けつつも、アオコ処理装置の効果をわずかながら示していると考えられる。

目視によるアオコの湖水表面への滞留は、入り江部、とくに入り江部の岸沿いに多く、風による吹き寄せの結果、濃い帯状の滞留層を形成することがある。また、晴天時に顕著であるが、降雨によって消失する。したがって、試験水域（入り江部分）の湖水表面上には、実験開始当初、濃いアオコの帯が見られたが、湖中央部には見られなかった。

アオコの滞留は試験開始後2週間でほぼ試験水域内では見られなくなったが、他の入り江では滞留が見られた。このことから、入り江部分における濃いアオコの帯の除去については、装置が十分な効果を発揮したと考えられる。



実験初期、筏周辺に漂うアオコの帯

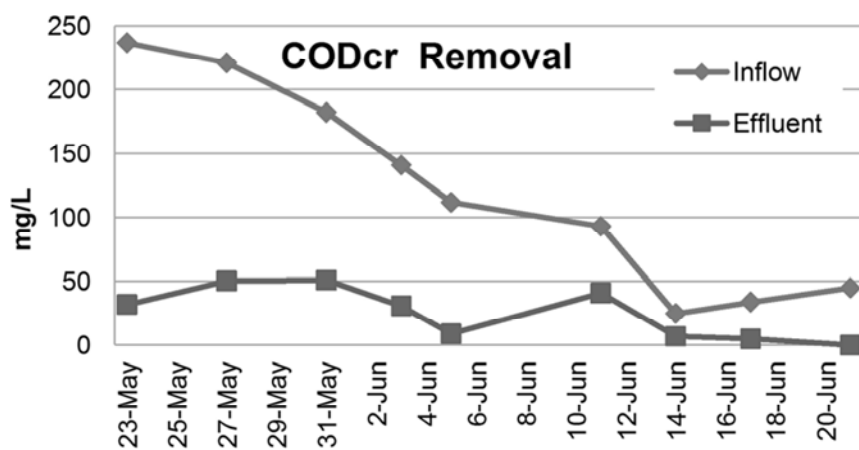
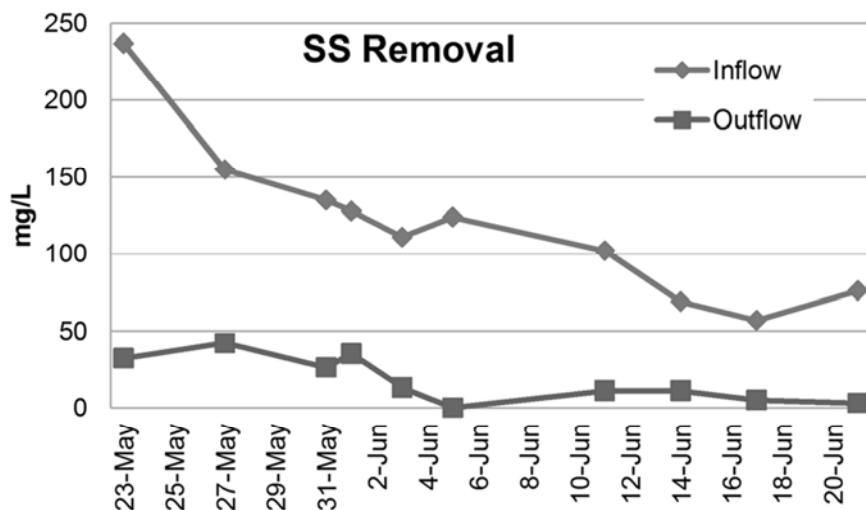


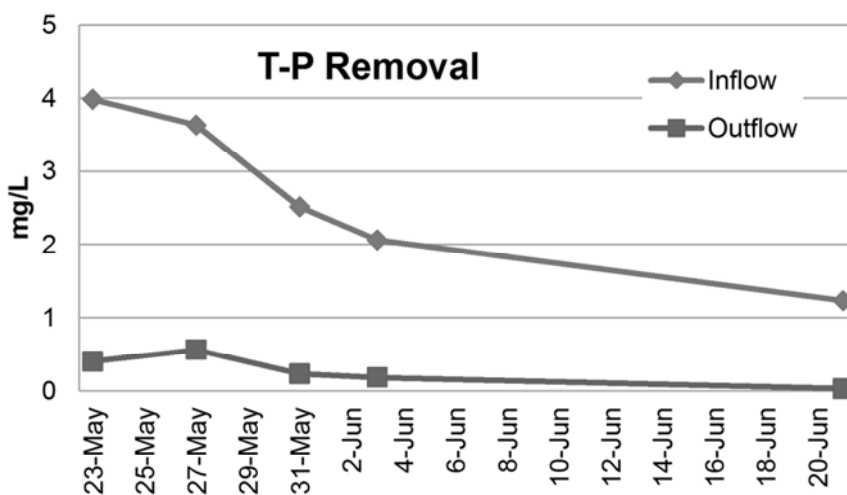
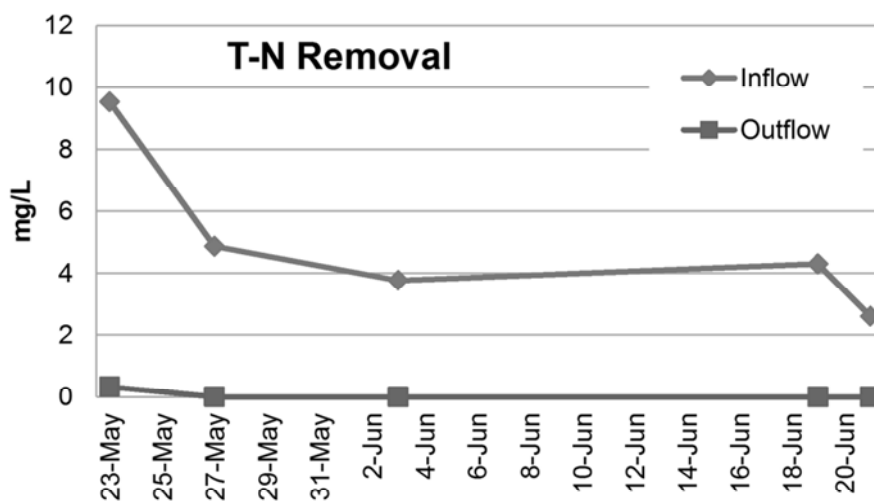
実験開始から2週間後(6月3日)
アオコの帯が見られなくなった

3) 実験装置の水処理能力

<方法>

筏上のアオコ回収タンクに流入する流入水と、加圧浮上分離されてアオコが除去された処理水を採取し、SS、CODcr、T-N、T-P について測定し、比較した。

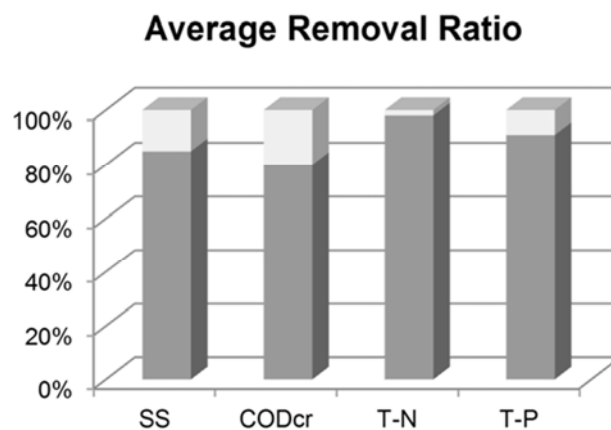




＜結果と考察＞

雨期に入り、雨量が増えるに従って、流入水中の SS、COD、T-N、T-P 濃度は、徐々に低下した。しかし、処理水中の SS、CODcr、T-N、T-P 濃度は常に流入水より低くなり、装置による水処理は適切に行われたものと考えられた。

各指標の平均除去率は、以下のとおりである。



いずれの測定項目も、80%～90%の除去率を示しており、本装置は水質浄化に有効であることが示された。

データの詳細については、別紙“Water Quality of Inflow and Outflow”を参照のこと。

4) 原水・処理水および回収されたアオコの写真

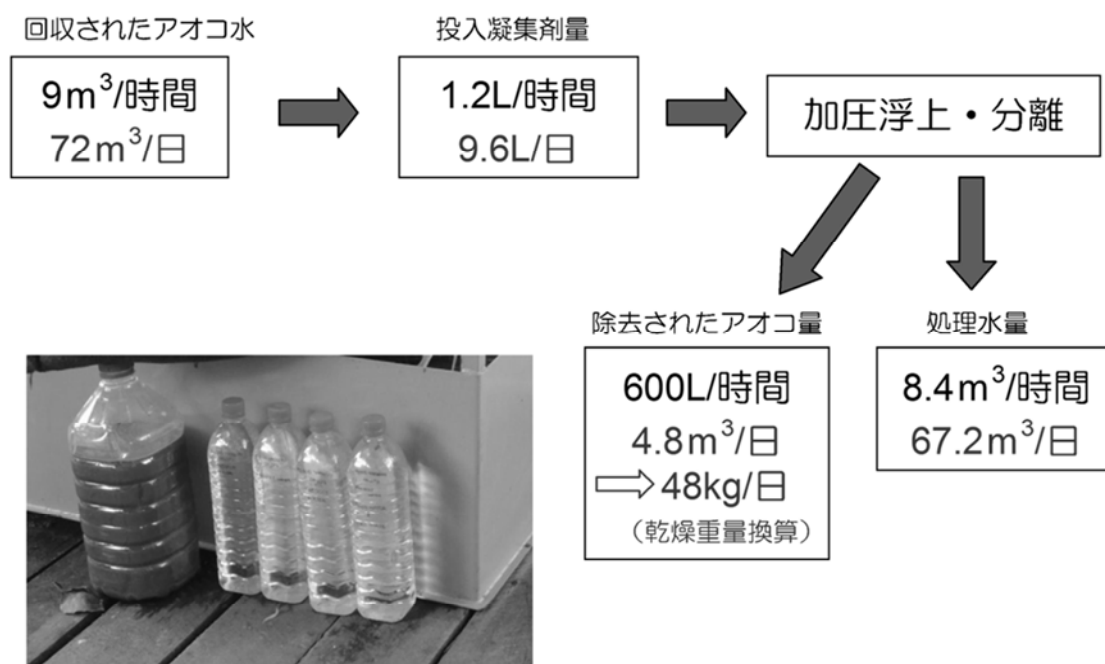


左より：原水/処理水（返流水）/回収アオコ
(2013/6/21 採取)

原水と処理水を比較すると、処理水は非常に清澄となっていることが明らかである。

9. カンドーシ湖全体を本装置で浄化する場合の物質収支・処理日数・消耗品コストの算定

1) 物質収支（定格運転時）



左：流入アオコ水 右：湖に戻される処理水

- 1日 72m³のアオコ水から、48kgのアオコ（乾燥重量換算）が除去される。
- 1日 67.2m³の処理水が、カンドーシ湖に戻される。

2) 本装置による湖全体の処理に要する日数とコスト

- 湖全体の処理日数
全湖水面積 430,000m² に対し、アオコが存在する水深を 0.5m とすると、
全アオコ水量は $430,000\text{m}^2 \times 0.5\text{m} = 215,000\text{m}^3$
全アオコ（SS 換算）量は、
 $215,000\text{m}^3 \times 121.3\text{mg/L}$ (本実験における平均 SS) = 26,080kg
本装置のアオコ（乾燥重量換算）回収量は 48kg/日 であるため
処理日数は $26,080\text{kg} / 48\text{kg} = 543$ 日
- 湖全体処理のための消耗品コスト
本実証実験の実績に基づき
14,000 円（凝集剤＋ディーゼル燃料）/日 \times 543 日 = 7,602,000 円

10. まとめ

5月23日より連続運転を開始し、流量・凝集剤添加量を調整しながら6月1日より設計値に近い処理水量：150L/min、凝集剤注入率：250mg/Lの条件による定格能力が実証された。

なお、6月19日からは、凝集剤注入率：205mg/Lで運転を行った。

上記の処理水量及び凝集条件による、テスト期間の平均除去率は、SS：85%、CODcr：80%、T-N：98%、T-P：91%であった。

今回の実験では、アオコの密度が高い時、および降雨によりアオコが分散した場合も、的確にアオコの除去が行われたとともに、T-N および T-P の高い除去率が達成され、本装置の能力が十分発揮されたことが確認された。

本実験水域の面積：3,500m²は、全湖水面積：0.43km²の1/123である。富栄養化した湖底の汚泥から新たに発生するアオコを考慮せずに計算した場合、本装置1台で全湖水のアオコを処理する日数は約530日となる。

本装置の10倍の処理量の装置を用いた場合（例えば、処理量2倍×5台を投入）、53日で処理を行えると推定される。

すなわち、アオコの分散が少ない乾季の3~4ヶ月間に集中的に本装置を用いることにより、効果的なアオコ対策が実施できると考えられる。

11. 今後の課題

- 1) 72m³/日の澄明な処理水が湖に戻されることは、透明度の向上とアオコの削減に貢献するものと考えられる。しかし実験開始が雨季に入り、大量の雨水が湖水に入り込むとともに、浮上アオコが水中に分散されたため、アオコの回収効率が低下したものと予想される。したがって、引き続き乾季に浮上アオコを処理する実験を行う必要がある。
- 2) 48kg/日（乾燥重量換算）で回収されるアオコは、リンおよび窒素が豊富に含まれているため、有機肥料原料としても有望と考えられる。YCDCでは、回収アオコの再利用に強い関心を示している。今回の実験で回収したアオコについては、引き続き成分の分析を実施し、再利用の可能性を検討する予定である。

添付資料

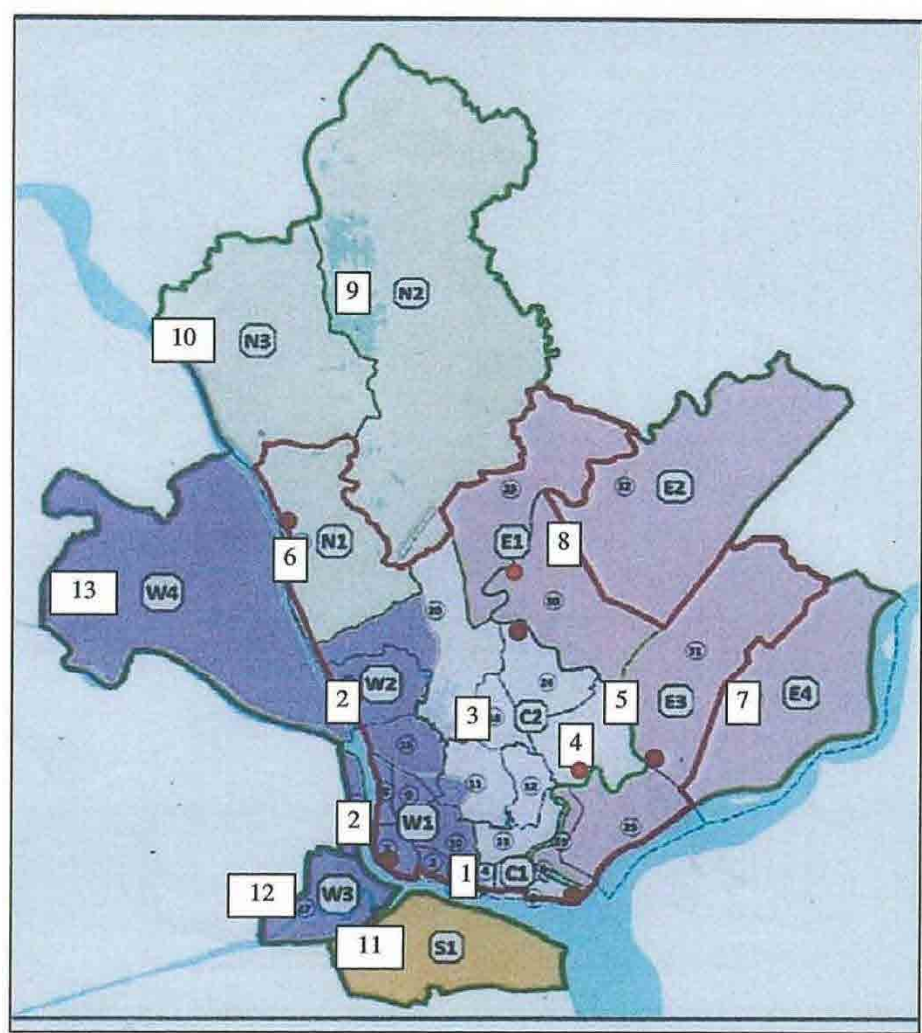
- (ア) Operation Record
- (イ) Water Quality of Sampling Points
- (ウ) Water Quality of Inflow and Outflow
- (エ) 6月25日のYCDCでの報告会資料：
"Blue-green Algae Processing Test in Kandawgyi Lake"

K. 処理場用地の変更

以下の処理場用地が変更される。位置図を図 K.1 に示す。

- C2+E1 現在の位置（Mayangone TS）では情報省の所有地 44 エーカーの許可が得られず、22.86 エーカーのみが所得可能（図 K.2 参照）。C2+E1 処理区の再編成。
- C2+E1 Thingangyun TS (C2 処理区) に新たな用地 5.142 エーカーを提案中 (以下の図 K.3 参照)。C2+E1 処理区の再編成。
- E1+E2 North Dagon TS (E1 処理区) に新たな用地 23 エーカーを所得（図 K.4 参照）。E2 処理区との統合。
- N1 Insein TS (N1 処理区) の現 WWTP 候補地の近傍に 11 エーカーを確保。ただし、用地は幹線道路により分割されている（図 K.5 参照）。
- E3 処理場用地の所得許可が得られない。C2 処理区との統合。

Sewerage Zones



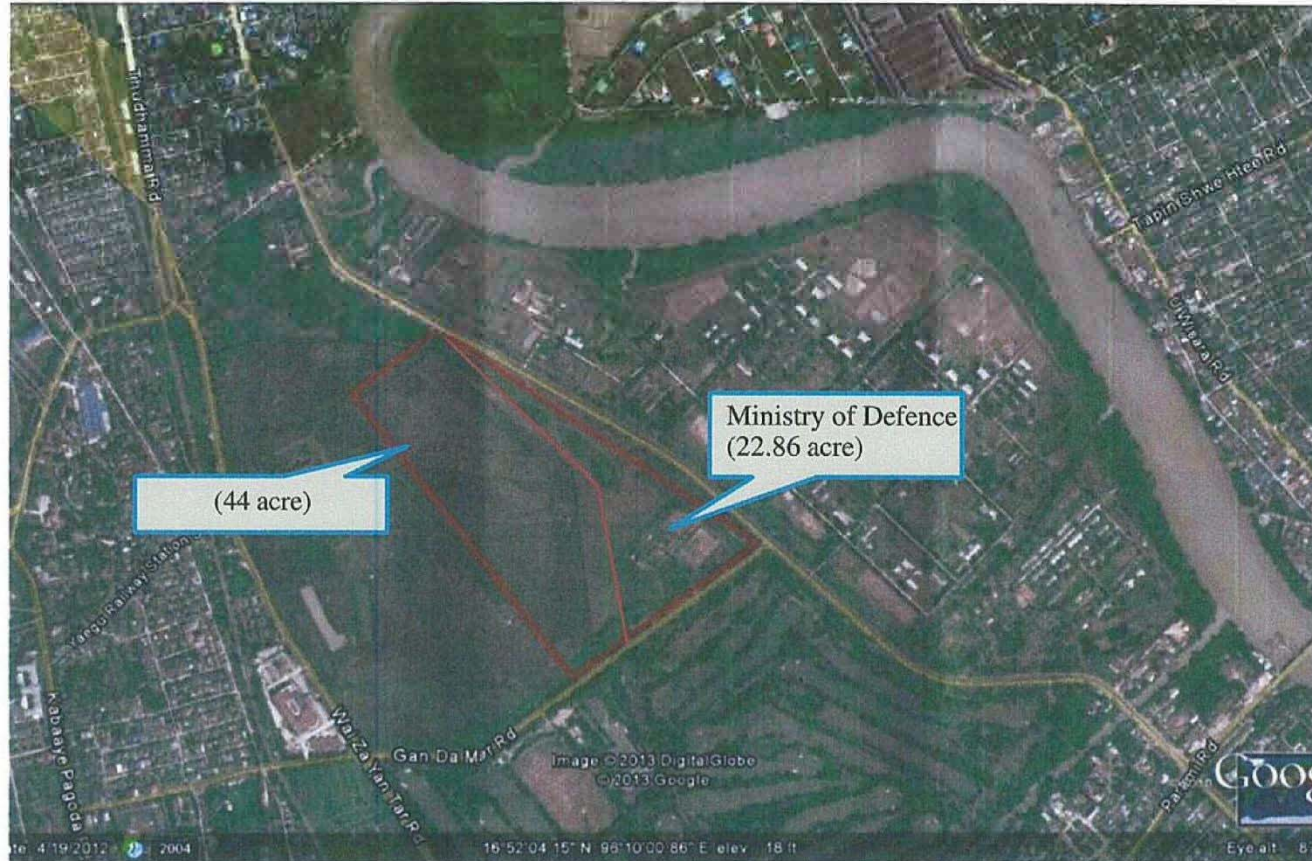
Sr	Zone	Township
1	C1	Pazundaung, Botahtaung, Kyauktada, Pabedan
2 ✓	W1+W2	Lanmadaw, Latha, Ahlone, a part of Kyee Myin Daing, Dagon, a part of Bahan, Kamaryut, Sanchaung, Hlaing, a part of Mayangone
3 ✓	C2+E1	a part of Bahan, Mingalar Taung Nyunt, Yankin, Tamwe, South Okkalapa, a part of Mayangone, North Okkalapa
4 ✓	C2+E1	Thingangyun
5	E3	Taketa, Dawbon, South Dagon
6	N1	Insein
7 ✓	E4	Dagon Seikkan
8 ✓	E1 + E2	North Dagon, East Dagon
9	N2	Mingalardon
10	N3	Shwe Pyi Thar
11	S1	Dala
12	W3	A part of Kyee Myin Daing, Seikgyikhanaungto, Seikkan
13	W4	Hlaing Tharyar

出典：YCDC

図 K.1 処理場用地の変更、位置図

မိတ္ထီ (C2+E1) Mayangone

Existing Area : (22.86 Acre)



出典 : YCDC

図 K.2 C2+E1 処理場用地の変更

စန် (C2+E1) Thingangyun

Existing Area : (5.142 Acre)

(2) Storey (or) Multi Storey



出典：YCDC

図 K.3 C2+E1 処理場用地の変更

ဇုန် (E1+E2) North Dagon

Existing Area : (23 Acre)



出典 : YCDC

図 K.4 E1+E2 処理場用地の変更

ဇုန် (N1) Insein

Existing Area : (11 Acre)



出典：YCDC

図 K.5 N1 処理場用地の変更