

佐鳴湖での植生水路実験施設による 水質浄化効果

THE EFFECT OF WATER CLARIFICATION OF REED BED TREATMENT SYSTEM AT LAKE SANARU NO.2

酒匂敏次¹・柴田猛夫²・桜井孝洋²・山下益宏²・高橋成行²・水野良幸²・○入江光一郎³・牧嶋正身³

Toshitugu SAKO, Takeo SHIBATA, Takahiro SAKURAI, Takehiro YAMASHITA,
Nariyuki TAKAHASHI, Yoshiyuki MIZUNO, Koichiro IRIE and Masami MAKISHIMA

¹正会員 Ph.D 東海大学海洋学部教授 (〒424-0902 静岡県清水市折戸 3-20-1)

²静岡県浜松土木事務所 (〒430-0915 静岡県浜松市東田町 87)

³正会員 三洋テマリ (株) プロジェクト開発部 (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-3-17)

The lake Sanaru, brackish water lake, is located in Hamamatsu city, Shizuoka prefecture.

We set up the water treatment system using aquatic plants which is reeds etc. It took about three years for the reeds community to grow well, and organisms have increased and the water quality has improved.

We have been studying it and we would like to present about three point in this report ; the first is it necessary for certain water area where is no reeds to create a ecological system, the second is we measured the detention period of the reeds bed system using the self-recording salinity meter and salt, and it detention period is five hours, and third is the U-drain with baffled wall was installed to removed the suspended solid in the brackish water in the lake, and it need certain wide to collect it effectively.

Key word: Reed bed, brackish water, U-drain, suspended solid, ecosystem

1. はじめに

佐鳴湖は、静岡県西部に位置する水面積約 120ha の汽水湖である。湖内の水質は、昭和 40 年代以降の周辺地域での大規模な開発による生活雑排水等の流入で急速に悪化し、有機汚濁の指標である湖水の COD 値は、平成 11 年度でも 11mg/ℓ (佐鳴湖湖心の値の年平均

値)と全国のワースト記録 5 位以内の状況が続いている。

筆者らは、昨年湖内の水質改善を推進する一手法として、水生植物による植生施設での水質浄化対策の有効性について検討した。その結果、植栽した 5 種類の植物 (ヒシ、ヨシ、ヒメガマ、マコモ、ツルヨシ) のうち、ヒシとツルヨシは 1 年以内に消失し、これらの植物が佐鳴湖の特性でもある汽水性の水質に適応できないことを

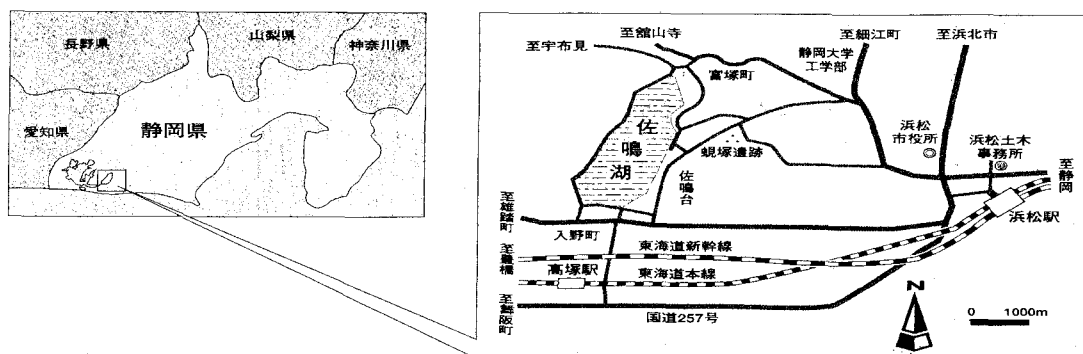


図 1 佐鳴湖の位置図

明らかにした。一方、残りの3種類のうち、特にヨシが良く生長し、植栽後3年目までは年度を経過するごとに春先の伸長速度が大きくなり、全窒素や全リンの体内への取り込み量の増加も確認された。また、植生施設内の水質調査結果からは、とくに全リンの値が減少する傾向が確認された。さらに、施設内には植生の安定とともに魚類や底生生物など多様な生物が生息することも明らかになり、他の水質浄化手法に比較すると維持管理費も低く、湖の原風景を復元することも可能な植生施設の有効性が検証された。しかし、今後の課題として、継続的な調査データの取得により植生施設の浄化効果を検討していく必要がある他、水中の懸濁物質（SS）が他の湖沼に比較して多い佐鳴湖での植生浄化施設の維持管理手法の立案を取りあげた。とくに、沈降した浮泥対策による施設の効果持続性確保の具体案として、U字溝方式の浮泥回収装置を提案した。

本報告では、これらの結果をとりまとめ、適正な維持管理手法の確立による水質浄化施設としての植生施設の効率的な運用について論議する。

2. 佐鳴湖北岸部の植生施設の概要と検討項目

図2と図3には、佐鳴湖北岸部の植生施設の概要図および最近の植生施設の状況を示した。植生施設は、表面流水路方式で、佐鳴湖北岸部の面積約2000m²の用地内に造成した。平成9年5月に水路の延長を350m、平均幅は1.4m、水深は0.1mで建設したが、約4年間の経過した現在、水深は0.03～0.05mとかなり浅くなっている。流入水量は1.5ℓ/秒である。

この施設において以下に示す4項目について検討を実施した。

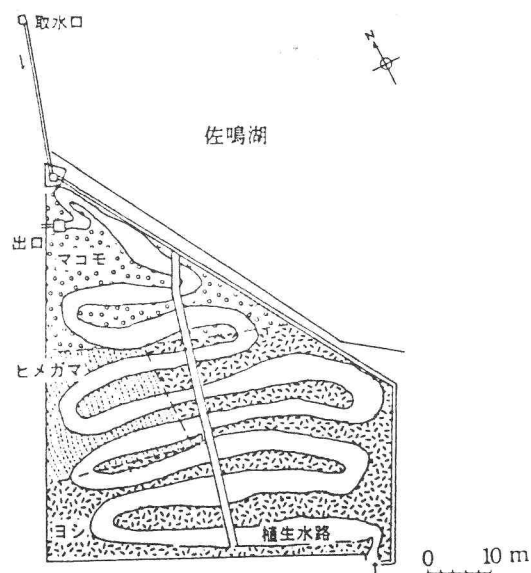


図2 北岸部植生施設概要図

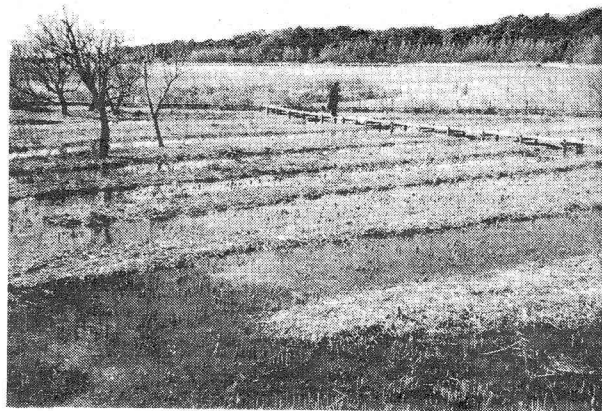


図3 平成13年2月の北岸部植生施設の状況写真

(1) 植生施設内のヨシの生長状況の経時的把握

施設内に生育しているヨシの経時的な生長の度合いを把握するため、平成10年から12年にかけて各年4月～11月の期間、3回～8回にわたり、50検体のヨシの全長を追跡して計測し、とりまとめた。

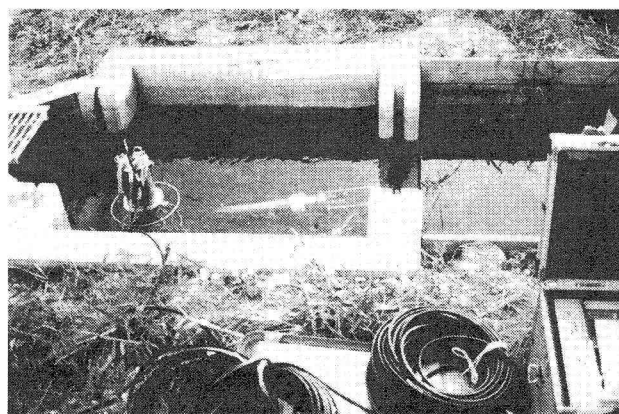
(2) 植生施設内の水生動物の経時的把握

エクマンバージ型採泥器を用いた採泥試料（施設中央の1箇所でも3回採泥したものを1試料とした）とタモ網による植生施設内でのスウィーピング（施設内で水中を20回スウィーピング）およびカゴ網を用いたトラップ（施設入口、中央、出口の3箇所を実施）の3つの手法によって植生施設内の水生動物の出現状況を経時的に把握した。

調査は平成9年から11年までの3年間にわたって7月から12月までの期間に毎年3回実施した。

(3) 植生施設内の滞留時間の把握

植生施設内の水の滞留を把握するために、施設入口で荒塩50kgを流し、最下流部の出口において記録式CSTDとメモリー式塩分計の2つの装置を用いて滞留



水路左側 CSTD センサー、水路内右側メモリー式塩分計、右下 CSTD 記録部

図4 植生施設出口部での塩分測定

時間を把握した（図 4）。把握した時期はヨシの生長がもっとも極相状況に達した 10 月の 2 日間である。

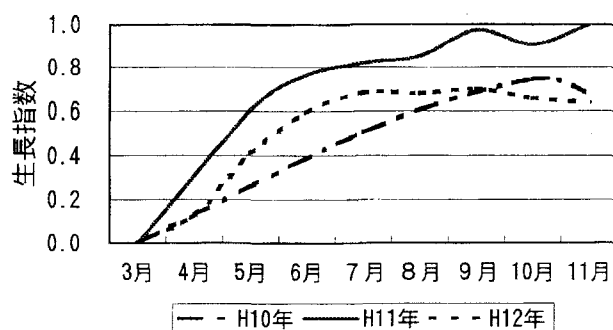
（4）U 字溝の浮泥の堆積状況の把握

平成 12 年 3 月に植生施設出口近くに U 字溝（内幅 0.3m、延長 10m）を設置し、設置後の浮泥堆積状況を把握した。堆積状況は設置後 80 日目まで合計 8 回、水路の上流部、中流部、下流部の 3 点で測定した。さらに、設置後約 1 年目（359 日目）に水路の幅と U 字溝内の浮泥堆積量を上流部から下流部まで 1m 毎に計測して、一定期間経過した後の浮泥堆積状況を把握した。

3. 調査結果

（1）植生施設内のヨシの生長状況の経時的把握

図 5 には、平成 10 年から 12 年までの 3 年間の植生施設内でのヨシの生長状況を示した。施設を設置したのは、平成 9 年 5 月なので、この図からも明らかとなり、もっとも顕著な生育を示したのは、施設設置後 3 年目の平成 11 年であった。酒匂他（2000）では、佐鳴湖南岸部での実験施設でのヨシの生長状況について施設設置 3 年目がもっともよかったとしているが、今回の調査結果は、この結果と同様となっていた。



注：生長指数は最大生長量を記録した H11 年 11 月のヨシの全長を 1 とした時の各月のヨシの生長度合い

図 5 ヨシの生長曲線

（2）植生施設内の水生動物の経時の変化

表 1 に施設を設置した平成 9 年から 11 年までの 3 年間の調査結果を示した。全期間を通じて出現した種類数は 43 種類であり、施設を設置した平成 9 年は各調査時とも 14～19 種類の範囲で比較的多くの種類が出現したが、施設設置後 2 年目にあたる平成 10 年から出現種類数が減少した。これは、昆虫類、とくにトンボ類の出現が平成 10 年以降見られなくなったことによるものである。

3 年間を通じて比較的出现頻度が多かった種類としては、貧毛類のイトミミズ科、昆虫類のユスリカ科、魚類のメダカの 3 種類が挙げられる。

また、外来性種としてよく知られているアメリカザリガニとウシガエルは施設設置後約 1 年が経過した平成 10 年からほぼ連続的に観察されており、とくにアメリカザリガニは、カゴ網 1 試料あたり 20 個体以上採集されることもあるほど増加している。

表 1 植生施設内で確認された水生動物一覧

					(エタナール型採泥器、カゴ網による)											
動物門	綱	目	科	和名	H9年度			H10年度			H11年度					
					10月	11月	12月	7月	10月	11月	7月	9月	11月			
環形動物	貧毛	原始貧毛	イトミミズ	イトミミズ属の一種	○	○	○									
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
軟体動物	腹足	腹足	イトミミズ	イトミミズ属の一種	○	○	○									
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
節足動物	甲殻	等脚	イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
昆虫	カ	メ	イトミミズ	イトミミズ属の一種	○	○	○									
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
両生	無尾	有尾	イトミミズ	イトミミズ属の一種	○	○	○									
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								
			イトミミズ	イトミミズ属の一種				○								

（3）植生施設内の滞留時間の把握

記録式 CSTD によるリアルタイムでの塩分データの観測結果からは、植生施設流入部で投入した塩分は、3 時間から 4 時間程度で 350m 下流の植生施設流出部へ到達した。そしてピークは 5 時間前後となっており、同じような結果はメモリー式塩分計でも測得された。図 6 には、メモリー式塩分計の記録データを示す。

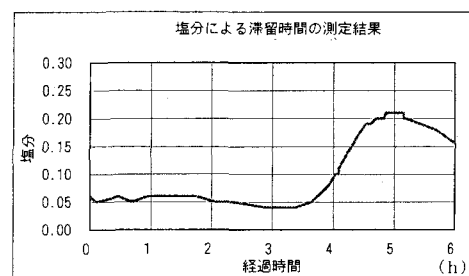


図 6 メモリー式塩分計による滞留時間の測定

(4) U字溝の浮泥の堆積状況の把握

図7に示したU字溝設置後の浮泥の堆積状況は、設置50日後位から急速に増加し、最上流部では80日後に約10cmの堆積が確認された。図8には、設置約1年後の堆積状況を示したが、U字溝を設置した10mの区間のうち下流部の4mを除き、上流部の6mは30cmの深さのU字溝がほぼ満たされる状況となった。

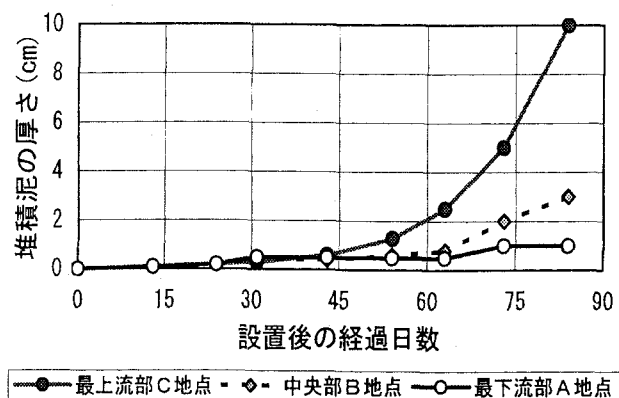


図7 U字溝設置後の浮泥の堆積状況

4. 考察

北岸部植生施設内のヨシの生長状況に関しては、施設設置後3年目の生長状況が最も良く、酒匂他(2000)の佐鳴湖南岸部での結果と同様になった。北岸部植生施設でのヨシの生育状況で、酒匂他(2000)が実施した結果と異なっている点は、南岸部で見られるような年による生長指数の顕著な差が見られない点が挙げられる。これは、湖岸に直接実験施設を設置している南岸部に比較して北岸部植生施設は、ある程度隔離した環境条件下にあるからではないかと考えられる。しかし、目視観察結果によると、植生施設への浮泥の堆積が多い場所ほどヨシの生長が遅いことなど必ずしも施設内全域での生長度合いが同じではなく、浮泥の堆積とヨシの生長との関連があることも示唆された。より効率的な生長を検討する条件として現段階では、波浪条件、浮泥堆積状況(土質条件)が、重要と考えられ、今後その検証方法をより具体化する必要がある。

植生施設内の水生動物の経時的変化についての検討する項目として、メダカとトンボ類を取り挙げる。

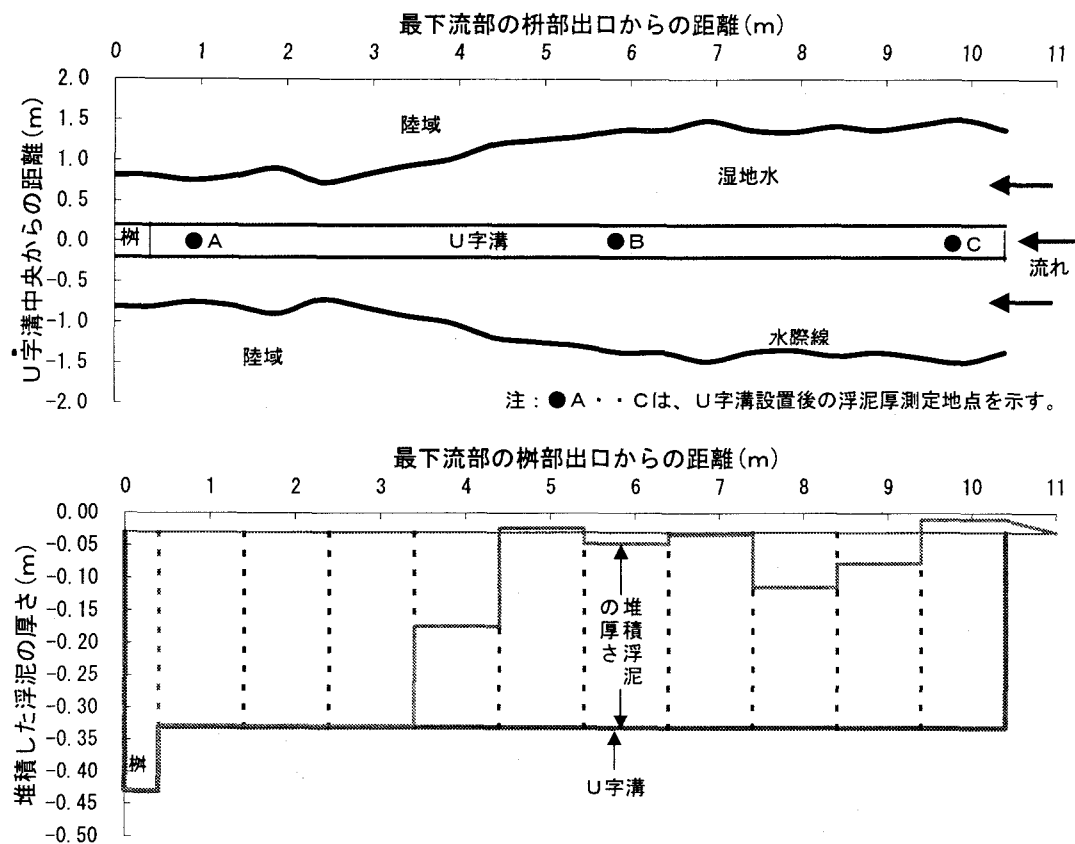


図8 U字溝設置後359日後の浮泥堆積状況

メダカは最近各地で減少が著しく、その復元が望まれているが、水質条件の比較的良好な新（西）川には、以前からメダカの生息が確認されている。植生施設で採集されたメダカは新（西）川河口部に生息しているメダカの一部が施設内に入り、増加したものと考えられる。なお、平成9年11月と平成10年10、11月の3調査期にはメダカが採集されていないが、平成12年以降は、とくに春先を中心に100～200個体の群を形成する状況となっており、施設内での群集としての地位は十分築かれているものと考えられる。しかし、夏場になるに従って毎年その個体数は急速に減少していく傾向が見られ、これはウシガエル等によって捕食されることによるものと思われる。従って、より安定的な群集を構成するためには、何らかの人為的保全対策が必要と考えられる。

表2には、養父（1991）の作成したトンボ生息のための最小必要条件を示したが、トンボの生息には水面があることが必要条件となっている。またアメリカザリガニやウシガエルの個体数が多い場合にもトンボ類の生育には影響を与えるとされている。

表2 トンボ生息のための最小必要条件
(養父 1981 より転写)

産卵期	①水面があること トンボが上空から認知できる水面。水生植物等の密生によって水面が見えなければ産卵しない。 ②産卵場所があること イトトンボ科、ヤマト科→水生植物 トンボ科の多くの種→開放水面 アカネ属の一部→死面の見えかくれる浅い水面 ③卵の発生に必要な水質、水量が確保されていること
幼虫期	④腐植酸が十分で、極度に富栄養化していないこと 腐植酸の多少は蛹の生息数にも影響する。富栄養化アオコなどの藻類を異常発生させ、分解時に酸素バランスを悪化させる。 ⑤餌 幼虫の餌になるミジンコ、イトミミズ、ユスリカ幼虫 小型ヤゴ（共食い）が生息していること ⑥稚化水生生物等の異常発生がないこと ウシガエル、アメリカザリガニ、ブラックバス、ブルーギル、アヒルの個体数が非常に多い場合には、幼虫の成長を脅かす
稚化期	⑦幼虫が稚化する場所があること 幼虫が成虫に稚化する場所として、水面から突き出した水生植物や水辺に平石などが必要
成虫期	⑧餌 ユスリカ、カゲロウ、ガなどトンボの成虫よりも小型の昆虫が生息していること ⑨樹林や草むらがあること 未成熟成虫の餌採り場所、休息場所、風雨時避難場所となる樹林や草むらが生息地の水辺の周囲に必要

本調査結果でも、平成11年以降ヨシの生長にともなう遊水面の減少に合わせてトンボ類の出現が見られなくなっている。トンボ類は、肉食性の水性昆虫であり、食物連鎖の上位を占める生物種である。上位種の生存は、下部構造を形成する多様な生物種の存在が基本であり、そのような観点からも、トンボ類の生育はより多様性が高く安定した水圏生態系のバロメーターと言えよう。このようなことから、佐鳴湖において安定した水圏生態系

をもつ植生施設を確立するためには、一定の遊水面を確保し、トンボ類の生育促進と外敵生物（ウシガエルやアメリカザリガニ）の生育場所および量の減少を図ることが必要と考える。

また、植生施設内の水の滞留時間の把握について、塩を用いた把握方法は、植生水路内の生物群集への影響も少ないことが確認され、有効な手法と考えられた。水路での流れは、水路の形状やヨシの生育度合いによっても大きく変化することが考えられ、ヨシの生育状況によって複数回実施して、滞留時間を検討することが望ましいと考える。

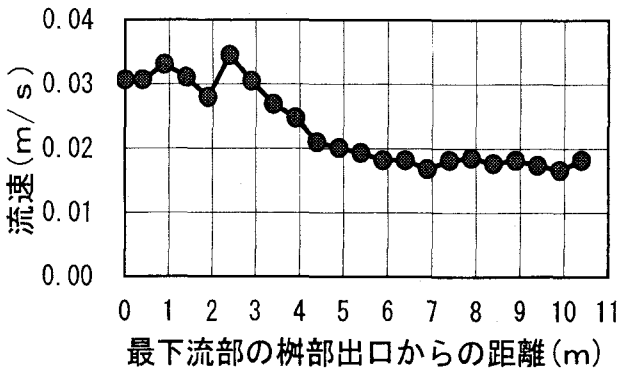


図9 湿地水路の流速分布

さらに、図9にはU字溝を設置した10m区間の流速分布を示した。これによると最下流部の4mは、水路幅が狭いため、ほぼ流速が2cm/秒より早くなっており、それより上流側はほぼ2cm/秒程度となっていた。

このことと、堆積量を比較してみると、本施設では流速を2cm/秒以下に設定しないとU字溝内に浮泥が堆積しないことになる。すなわち、U字溝方式で浮泥堆積を推進するには、流速を十分に考慮することが重要であることを示している。

最近、各地で植生施設の造成による水質浄化の推進が試みられている。しかし、施設の浄化効率を高めるには一定の管理が重要であり、以下にその要点をまとめる。

- 施設内に植栽する抽水植物の選定は、対象箇所の環境に十分適応できるものを選定すること。
- 植栽後の植物の生育状況を確認し、とくに土壌の質的变化の把握や安定性の検討を行っていくこと。
- 植栽施設の造成にあたっては、一定量の遊水面を確保し、トンボ類等の肉食昆虫を上位種とした多様な水圏生態系の形成を図ること。
- 多くの困難を伴うものの、ウシガエルやアメリカザリガニなどの外来性大型水生動物の除去推進を図ること。具体的には、例えば静岡県磐田市の桶ヶ谷沼のように水際域が広く水深が比較的に浅い水域を確保して多様な生物が生息できる環境を整備したり、定期的にアメリカザリ

表3 佐鳴湖での実用化を例に検討した各浄化手法別の概算費用一覧

水質浄化手法	手 法 の 概 要	佐鳴湖湖心の COD 値を 1mg/ℓ 低減するために必要な費用 概算 (単位 百万円)			設定条件
		建 設 費	維持管理費 (20年間分)	合 計	
導 水	近隣の既設工業用水道幹線から佐鳴湖まで導水管を設置し、流速 1 m/s での工業用水を佐鳴湖へ流入する。	364	1,247 (工業用水購入費)	1,611	導水 COD 6mg/ℓ で想定
接触酸化施設	地下方式好気性ろ床槽において、接触酸化方式による水質浄化を実施する。	714	200	914	COD 除去率 60%で想定
植生施設	施設面積 100,000 m ² の湿地水路を佐鳴湖湖岸部に建設し、ポンプにより佐鳴湖の湖水を施設内にくみ上げ、水質を浄化する。	600	260	860	COD 除去率 20%で想定

*各施設とも施設用地費は含んでいない。

ガ二等の捕獲を実施することが考えられる。

e) 施設内には、一定期間経過後浮泥の堆積が考えられるので、本研究で実施したような U 字溝方式の浮泥回収装置等を設置して施設の機能確保を図ることが維持管理の効率化の点からも望ましい。ただし、設置にあたっては、水路内の流速が一定流速以下になるように水量調整を行う配慮が必要である。

現在、佐鳴湖では東岸部において本研究の成果を生かした植生施設を建設し、本年 4 月より稼働を始めている。

植生施設による水質浄化を実施する上で重要な点は、一定の施設面積が容易に確保でき、維持管理作業への住民参加が期待できるような状況にあることの 2 点にあると考える。

また、他の手法との比較による水質浄化に対する対投資効果を、佐鳴湖で適用した場合を例として表 3 に示したが、植生施設は、比較した 3 つの手法の中でもっとも効率的であった。水質浄化施設としての植生施設は適切な維持管理費のもとで自然環境にやさしい水質浄化手法として今後も期待できる浄化手法と考える。

参考文献

- 1) 養父志乃夫:生き物のすみ環境づくり(トンボ編), P37, 1991, 環境緑化新聞社.
- 2) 酒匂敏次、落合作司、高橋成行、稲葉香代、永坂道夫、入江光一郎、牧嶋正身:佐鳴湖での植生施設による水質浄化対策の有効性についての検討, 河川技術に関する論文集, 第 6 巻, 2000.

(2001. 4. 16 受付)