

現地河川における植生浄化水路実験による 水質浄化効果と付着藻類の動態について

EVALUATION ON THE PURIFICATION EFFECTS OF WATER QUALITY AND THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF EPIPHYTIC ALGAE BY ON-SITE WETLAND EXPERIMENT

津田 将行[※]・尾島 勝[※]

Masayuki TSUDA and Masaru OJIMA

ABSTRACT

The large-scale experimental channels were constructed in the Takaya river course which a branch of the Ashida river, in Fukuyama-city. This study is one of the experiments by plants purification method. In this study, three channels were used for purification tests by plants such as reed, sweet yellow flag and another channel which called a control channel were paved by nothing. The polluted river water is conducted into 3-plants channels by pumping during about 6 months, from May to October, 2003. The purification effects were estimated by several items of water quality and biological analyses. At three points so as upstream, midstream and downstream in the three experimental channels. In this paper, items such as characteristics of BOD, nitrogen and phosphorus were especially considered from both particle component and the dissolved component. Epiphytic algae was evaluated due to those population density, appearance genera, etc.

キーワード : 植生浄化法、水質浄化、付着藻類

Key Words : plants purification method, purification of water quality, epiphytic algae,

1. はじめに

自然浄化の仕組みは、沈殿や溶出拡散のような物理的要素を除くと、汚濁物質の分解除去は捕食関係による食物連鎖や栄養物の分解・吸収による腐生連鎖のような生物学的要因によって行われている¹⁾。よって汚濁水域の水質改善するための基本的な検討事項は、水域生態系が有する自然浄化機能すなわち自浄作用の強化である。その主な手法としては礫間接触酸化法²⁾、土壌浸透浄化法³⁾、湿地(干潟)浄化法及び植生浄化法⁴⁾などの研究が実施されている。

これらの浄化法のうち植生浄化法は、植物を配した浄化施設に汚濁した河川水を導き、その施設内での沈殿、土壌への吸着、植物による直接的な栄養塩の吸収除去、そして間接的に生物群が棲息・生育場を形成することで、微生物や小動物などによる分解などにより汚濁物質を除去するものである。また植生浄化法は省エネルギー的に施工・維持管理できる他、風を減衰させ底泥の巻上げの抑

制、日照の妨げによる植物プランクトンの発生の抑制、などの浄化の環境を整える機能も有している。しかし土壌や植物体から系への回帰などの負の効果もある^{4) 5)}。

植生浄化法に関する既往の研究内容では、水質浄化能力、栄養塩(窒素やリン)の吸収量や吸収速度、沈殿促進効果、風速の減衰効果および光遮蔽効果、根からの酸素の放出、アシの窒素除去に及ぼす効果、アシの生長の数値モデルを用いた定量評価などが挙げられる。

しかしながら、植生浄化法には生物群の棲息・生育の場を提供しているが、その生物群に関してはほとんど研究されていない。

また植生浄化法には河川や湖沼の水面にイカダのような人工浮体を浮かべ、その上に植物を生育させて水質浄化を行う植物栽培法(無土壌水面栽培法)なども行われている。

以上のような背景から、本研究では実河川に設けた大型実験水路において植生浄化実験を行う。本研究では抽水植物を選び、他の施設でも多く実験されているアシと

※ 建設環境工学科

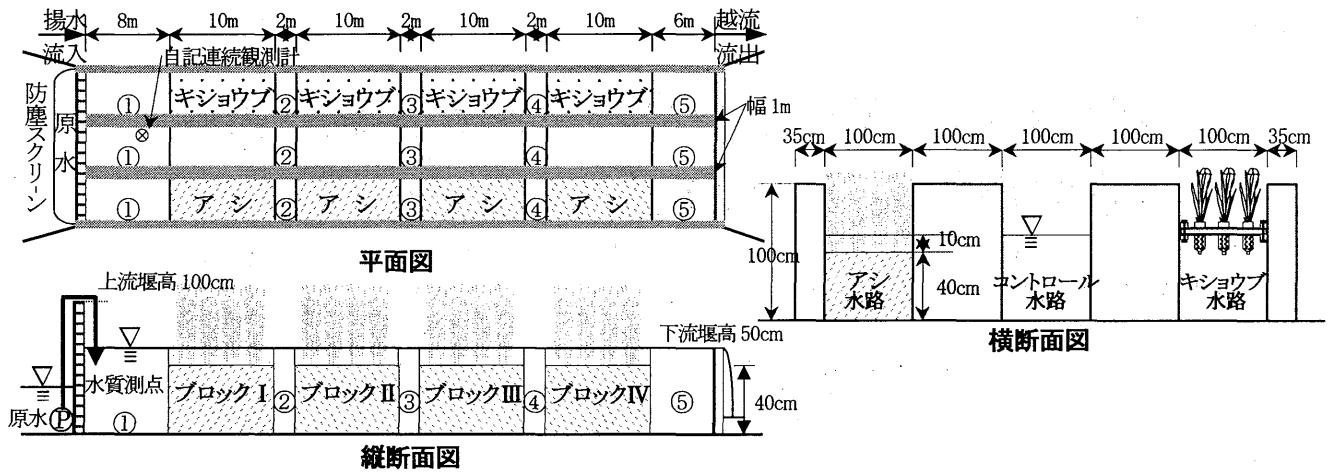


図-1 防水コンクリート製実験水路概略図



図-2 実験水路

ホテイアオイよりも約 1.9 倍の T-P 浄化能を有する⁶⁾キショウブを用いて、水質浄化能と水路環境への影響を水路に棲息する付着藻類の生物量の変化や種の遷移過程を把握するとともに、土壌植栽と無土壌植栽による 2 種の手法の比較を行う。

2. 実験および調査概要

実験水路は芦田川左支川高屋川の左岸寄り河道内に、既設の全長 60m、幅 1m、高さ 1m の防水コンクリート製 (水路勾配: 約 1/1200) が 3 水路あり、各水路間は 1m となっており図-1 は実験水路概略図である。図-2 は実験水路を上流側から下流側に全景を写しものである。図-2 に示すように、岸側をキショウブ水路、川側をアシ水路とし、中央は無植栽の等量通水のみコントロール水路とした。

アシは現地河川砂州の砂質土を 10m×1m の移植 4 ブロックに厚さ 40cm で敷き、5~10 本を 1 株として、1m² 当り 5~8 株、1 ブロック当り 70~80 株を植え付けた。

キショウブは図-3 に示した発砲スチロール(90cm×300cm、厚さ 10cm)を 6cm×6cm の角材フレームで周囲を補強し、図のように穴を開け、ペットボトルを利用した植生鉢に 1 個体ずつ植付け水面に浮かせ、1 ブロック 3 連のポンツーンをピアノ線で水路壁に固定した。したがって、1 ブロックあたり 45 株(球根)である。

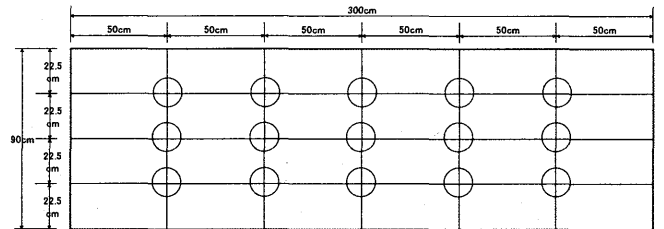


図-3 キショウブのポンツーンと植生鉢

実験期間は 2003 年 5 月 6 日から 10 月 23 日までの約 170 日間、水中ポンプにより各水路に 1.7m³/hr(=28.30 /min)を流入させ、連続通水実験を行った。ここで通水量 1.7 m³/hr とは、水面積負荷は 1.02 m³/m²/day であり、日本各地で行われている植生浄化実験の水面積負荷の平均 1.05m³/m²/day であるから、本実験水路の水面積負荷はほぼ平均である。

水質分析の採水は、植物の生育を考慮し、植物が最も生育するであろう 5 月と 6 月は 5 月 22 日から毎週 1 回、7 月から 10 月は 3 週間に 1 回行った。

計測・採水場所は各水路の水質観測点(原水、①~⑤)とし、現地で水温、pH、DO、COND、TURB を計測、採水試料は実験室で SS、BOD、溶解性 BOD、COD_{Cr}、全窒素(T-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、全リン(T-P)、溶解性 T-P を分析した。また BOD と溶解性 BOD の差を懸濁性 BOD とし、NO₃-N、NO₂-N および NH₄-N の溶解態窒素三態の合計値を溶解性 T-N とし、T-N から溶解性 T-N を差を懸濁性 T-N とし、T-P と溶解性 T-P の差を懸濁性 T-P とし、それぞれ算出した。

付着藻類の調査は通水 1 ヶ月後(6 月 5 日)、3 ヶ月後(8 月 11 日)、5 ヶ月後(10 月 23 日)に行った。調査測点は各水路の測点①、測点③、測点⑤の合計 9 測点である。調査方法は、各測点の水路壁面の 100cm²(10×10cm)内を金ブラシで強く擦り落とし採取し、ホルマリン(5%)で固定し、その一部を酸処理、珪藻同定用試料とし、種の同定及び計数を行った。これらの生物調査は(株)日本総合科学に委託

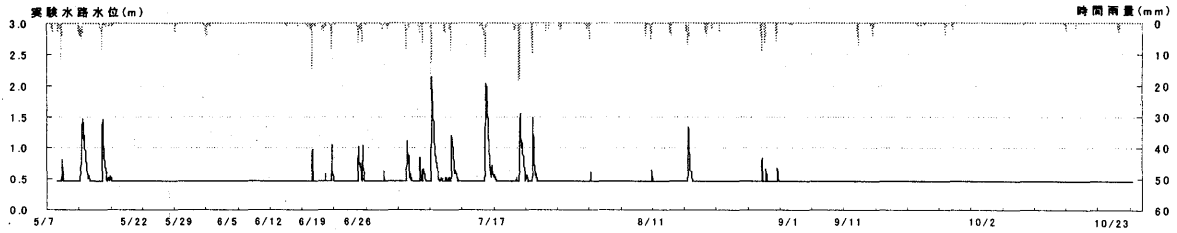


図-4 実験水路水位(左軸)と雨量観測データ(右軸)

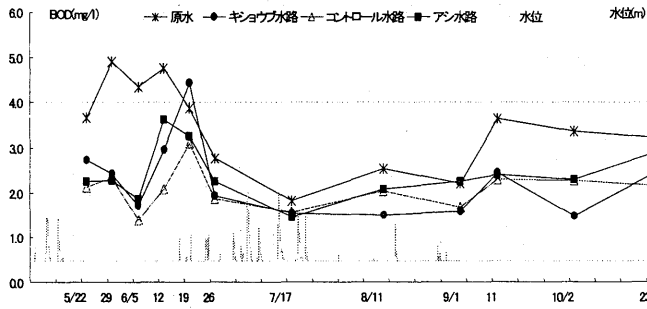


図-5 BODの時系列変化

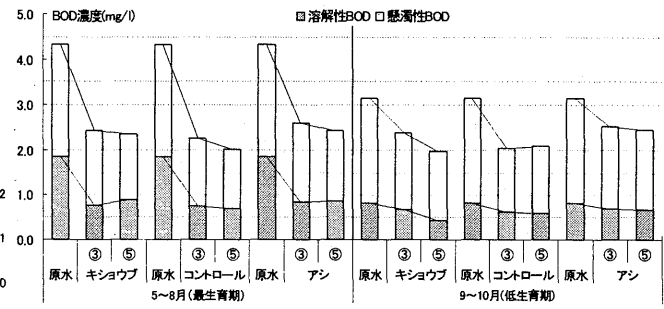


図-6 BODの各期の場所別平均濃度値

した。

3. 自記連続観測データによる水路流況

コントロール水路の測点①に、圧力式水位計を設置し、通水開始した翌日の5月7日より1時間毎に水位連続観測を行った。前述したように実験水路の平常水位は下流堰高によって約0.5mに制御されている。しかし実験水路は河道敷内にあるため、強い降雨時には高濁水出水の影響を直接受ける。図中の水路水位が0.5mから1mまでは河川水が水路下流堰板を超えて逆流している状態であり、水路水位が1m以上は河川水が水路下流堰板を越え、実験水路は完全に冠水状態である。しかし水位連続観測計は9月9日に故障してしまった。そのため9月9日以降については、9月8日までの実験水路水位データの下流堰高を超えた時の水位と、その時の実験水路より約1km上流にある国土交通省の御幸流量観測所の河川の時間水位データに基づいて、相関式を求めて補完した。

図-4には1時間毎の実験水路水位データ(計算値)と対象域上流部(神辺)の時間雨量値を示す。月別の冠水時間と出水履歴は、5月は14時間と6時間の2回、6月は各1時間ずつが3回、7月は1時間、12時間、6時間、16時間、13時間、そして5時間の6回、8月は5時間が1回であった。9月と10月は無冠水であった。

4. 結果および考察

(1) 水質項目の結果

a) BOD

図-5に流入原水と各水路最下流測点⑤におけるBODの時系列変化を図-4の実験水路水位変動とともに示した。

図に示すように河川出水後においても各水路流下によって濃度値が減少しており浄化効果が持続していることがわかる。しかし減少量には最生育期や低生育期の相違はあまりなく原水濃度値が3.0mg/l以上のときには各水路流下によって除去量が大いだが、原水濃度値が3.0mg/l以下のときには各水路流下によって除去量はあまり大きくないことがわかる。

図-6にBODを溶解成分と懸濁成分に分けて各期の場所別平均濃度値を示す。両期とも全測点で懸濁成分が6~7割と高い割合を占めている。各期での水路流下にとともなう除去量が大いなのは3水路とも最生育期では溶解成分であり、低生育期では懸濁成分であった。原水から最下流測点までのBODの除去量が大いなのは最生育期ではコントロール水路、低生育期ではキショウブ水路であった。

b) T-N

図-7に流入原水と各水路最下流測点⑤におけるT-Nの時系列変化を図-4の実験水路水位変動とともに示した。最生育期の河川出水のない期間は水路流下によって濃度値の減少が発現しているが、河川出水の期間は水路流下による濃度値の減少はあまり発現していない。また低生育期も同様に水路流下による濃度値は不規則に変化している。

図-8にT-Nを硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素および懸濁成分にわけて各期の場所別平均濃度値を示す。両期とも全測点のT-N成分は硝酸態窒素が全体の4~5割を占め、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素を加えた無機態成分すなわち溶解成分が6~7割を占めている。一般的に都市化の著しい河川では、家庭からの生活雑排水に起因する窒素化合物が多くなるために溶解成分が懸濁成分よりも多い傾向にあることが

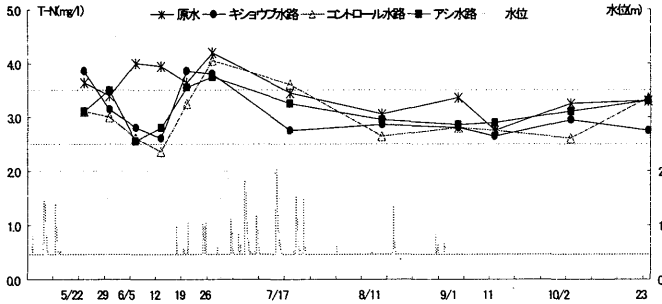


図-7 T-Nの時系列変化

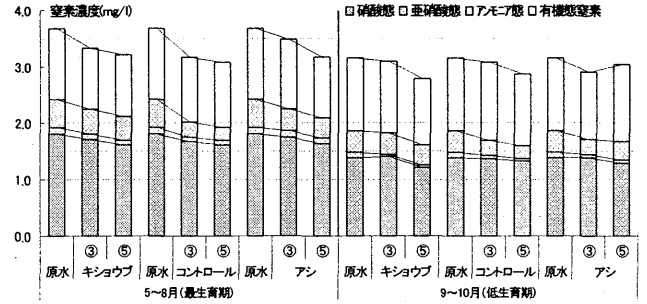


図-8 T-Nの各期の場所別平均濃度値

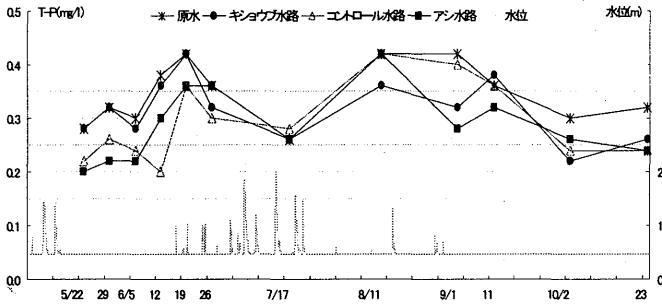


図-9 T-Pの時系列変化

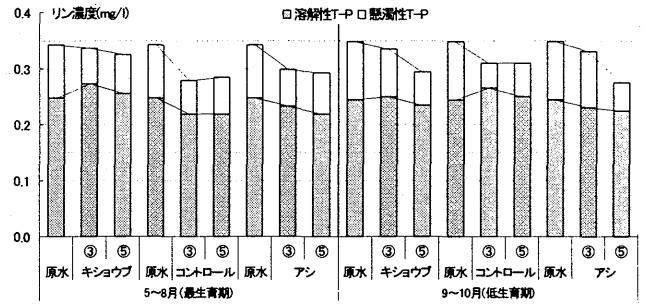


図-10 T-Pの各期の場所別平均濃度値

ら、高屋川での窒素成分は生活雑排水に起因している河川であることがわかる。原水から水路流下による T-N の減少量が多いのは最生育期ではコントロール水路、低生育期ではキョウブ水路であった。

BOD と T-N は最生育期において、キョウブ水路やアシ水路などの植栽水路よりも無植栽のコントロール水路の方が除去率は高い。この原因としては、植栽水路はコントロール水路に比べて嫌気した底泥、腐敗した植物、植物プランクトンなど内部生産物の流出等による系への回帰などが多いと考えられる。

c) T-P

図-9 に流入原水と各水路最下流測点⑤における T-P の時系列変化を図-4 の実験水路水位変動とともに示した。最生育期の 5 月 22 日から 6 月 19 日まではアシ水路とコントロール水路の各水路流下によって濃度値は顕著に減少しているが、キョウブ水路流下では濃度値はあまり減少していない。しかし低生育期の 8 月 11 日以降はキョウブ水路も水路流下により濃度値は減少しており、10 月は 3 水路とも水路流下によって濃度値は減少しており、浄化効果が発現していることがわかる。

図-10 に T-P を溶解成分と懸濁成分に分けて各期の場所別平均濃度値を示す。両期とも全測点で 7~8 割が溶解成分である。一般的にリンは、排水ではリン酸態リンを主体とした溶解成分のリンの割合が高く、河川や湖沼では懸濁成分のリンの割合が高くなることから、リンについても窒素と同様に高屋川でのリン成分は生活雑排水に起因している河川であることがわかる。T-P の水路流下による濃度減少が多いのは最生育期ではコントロール水路とアシ水路、低生育期ではアシ水路であった。アシ

水路の濃度減少が多いのは懸濁成分の沈降とともに、他水路に比べ溶解成分の植物吸収や土壌への吸着が大きいためと推察できる。

(2) 付着藻類の種の同定及び係数結果

付着藻類は河川出水の影響を大きく受ける。各生物調査日は、水路冠水状態(水位 1m 以上)から 6 月調査と 8 月調査は 20 日後、10 月調査は 68 日後であるので比較的安定した時の調査といえる。

観測対象地の T-N/T-P 重量比は平均 10.4 であり、微生物体内の典型的な窒素/リン構成比を表す Redfield 比 (=7.2)⁷⁾と比較すると、リン制約の環境下にあるといえる。

生物調査により各測点毎への棲み分けや水質浄化との関係を調査するため次式(1)~(3)の指数を用いて論ずる。

式(1)は各群集の種数と個体数を考慮した Kimoto(1967)⁸⁾の群集類似度指数 C_{π} であり、各水路内の上・下流測点や水路相違などの位置的相違を群集構造の類似性により各測点間を比較する。

$$C_{\pi} = \frac{2 \sum_{i=1}^s n_{1i} \times n_{2i}}{(\sum \pi_1^2 + \sum \pi_2^2) N_1 \cdot N_2} \quad 0 \leq C_{\pi} \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum \pi_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{1i}^2}{N_1^2} \quad \sum \pi_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{2i}^2}{N_2^2}$$

N_1, N_2 : サンプル総個体数、 n_{1i}, n_{2i} : 個々の種の個体数、2 ブロック間の共通種が多い程 C_{π} は 1 に近づく。

式(2)は Shannon の多様性指数 (Diversity index)⁹⁾である。多様性指数とは現存する生物の種類数と個々の種の個体数から生物群の特性付けを行う。すなわち種の豊富さと種間の個体数の均等性により生態系の安定性を論じる指

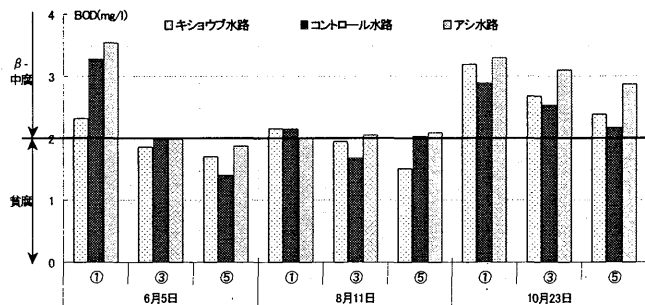


図-14 BOD による汚濁区分

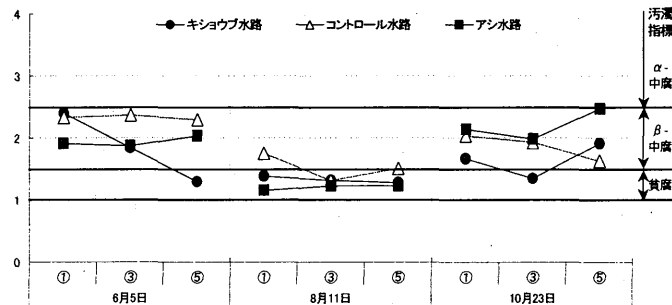


図-15 付着藻類による汚濁指標(PI)

群集へと遷移する¹¹⁾。よって付着藻類の形態は大きく糸状体のものと単細胞あるいは群体のものに分類できる。図-9に各測点の付着藻類の細胞数に基づく糸状体の付着藻類の割合を示す。糸状体の優占率には各調査日の相違が認められ、これからも種構成の遷移がわかる。全体的に3水路とも8月の優占率が高く、水路別ではアシ水路での占有率高く、コントロール水路が低い。

b) 類似度指数

表-1に各調査日毎の類似度指数マトリックスを示す。

各水路内の種構成は、6月がキショウブ水路内は大きく異なり、コントロール水路内は上流と中央測点が類似、アシ水路内はほぼ類似している。8月と10月はキショウブ水路内とアシ水路内の各3測点間は類似している。しかしコントロール水路内は他の2水路より相違性がある。

他水路の測点間を比較すると、27測点間のうち $C\pi > 0.70$ は6月が7測点間、8月が22測点間、10月が6測点間であり、8月は他の調査日に比べて種構成の類似数が多く、特にキショウブ水路とアシ水路は種構成は非常に類似していることがわかる。

c) 多様性指数

5月の群集構造は、キショウブ水路内が安定性があり、アシ水路内が単純化していた。また10月は各水路の群集構造に顕著な相違が認められる。すなわちキショウブ水路内が一番安定な傾向を示し、コントロール水路内が単純化する傾向にあることがわかる。8月については3水路内に大きな相違はなく、また規則性も認められない。

3回の調査において、3水路のうちキショウブ水路内での群集構造が比較的安定であることがわかる。

d) 汚濁判定

各調査日のBODによる汚濁判定を図-14に、またPantle・Buck法により指標種による汚濁指標を図-15に示す。BODによる判定は6月が測点①でβ中腐水性～α中腐水性、他の測点はβ中腐水性であり、8月はほぼ貧腐水性、10月はβ中腐水性であった。付着藻類による判定は6月がβ中腐水性、8月がほぼ貧腐水性、10月がほぼβ中腐水性であった。したがって付着藻類による生物学的汚濁判定とBODによる汚濁判定とはほぼ一致していた。

5. まとめ

本研究より得られた知見は以下による。

- ①. 各水質項目について浄化効果が大いなのは、BOD、T-Nは最生育期ではコントロール水路、低生育期ではキショウブ水路であり、T-Pは最生育期、低生育期ともにアシ水路であった。
- ②. 種構成の類似性についてみると、8月は各水路内での位置的相違や水路相違はなく種構成は類似しているが、他の調査日については、種構成に相違が認められる。
- ③. 多様性指数により、3回の調査においてほぼキショウブ水路内の群集構造が安定的であった。
- ④. 付着藻類による生物学的汚濁判定とBODによる汚濁判定はほぼ一致し、汚濁階級はβ中腐水性に属していた。

参考文献

- 1) 松本順一郎：水環境工学、朝倉書店、1994。
- 2) 津田将行：強汚濁河川の水質浄化現地実験とその浄化効果の総合評価に関する研究、福山大学博士論文、2004。
- 3) 中村圭一、三木理、島谷幸宏：実大規模の浸透流方式湿地浄化法の開発とその評価、土木学会論文集、No.678/VII-19、pp.81-92、2001。
- 4) 島谷幸宏、細見正明、中村圭吾：エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化、ソフトサイエンス社、pp.148-162、2003。
- 5) (財)河川環境管理財団(2002)：植生浄化施設計画の技術資料、河川環境総合研究所資料第5号、平成14年12月。
- 6) 東京都水産試験、平成11年度主要技術成果集「植物栽培による養殖排水の浄化」、1999。
- 7) 楠田哲也編著：自然の浄化機構の強化と制御、技報堂出版、1994。
- 8) 木元新作、武田博清：群集生態学入門、共立出版、1989。
- 9) 宗宮功、津野洋：水環境基礎科学、コロナ社、1997。
- 10) 玉井信行、水野信彦、中村俊六：河川生態環境工学、東京大学出版、1993。
- 11) アレキサンダー・J・ホーン、チャールズ・R・ゴールドマン著、手塚泰彦訳：陸水学、京都大学学術出版会、1999。