

高屋川の現地水路(接触酸化・植栽)における 水質浄化効果と生物群の消長に関する相互評価

津田将行* 尾島勝*

Interactive estimation between purification effects and growth of biology in field experimental channels at the
Takaya-river

Masayuki TSUDA* Masaru OJIMA*

ABSTRACT

This study is one of the on-site experiments on purification of water quality by Plants Experiment and Contact Oxidation Material. The large-scale experimental channels were constructed in the Takaya river course. In this study, three channels were used for purification experiments by reeds, coal-ash grains, and nothing paved. The river water is conducted into 3 channels by pumping during about 6 months, from May to October, 2004. The purification effects were estimated by several items of water quality and biological.

In this paper, items such as characteristics of nitrogen and phosphorus were especially considered from both particle component and the dissolved component. Biology were evaluated due to those population density, appearance genera, etc.

キーワード：接触酸化法, 植生浄化法, 水質浄化, 付着藻類, 植物プランクトン

Keywords: Contact Oxidation Material, Plant Experiment, purification of water quality, epiphytic algae, phytoplankton,

1. はじめに

河川水質管理の中で河川の有機物汚染の指標であるBOD基準値の達成率は、近年全国で8割以上と河川水質は大きく改善されている。しかし、湖沼や内湾等の閉鎖性水域での有機物汚染の指標であるCOD基準値は約4割と汚染が著しい。閉鎖性水域においては河川から窒素やリンなどの栄養塩類が流入し、滞留時間が長くなることで浮遊性藻類が異常増殖し、CODの上昇を招くなどの富栄養化現象が認められ、その対策として閉鎖性水域では栄養塩類の規制がされている。

都市型河川では、富栄養化現象などの問題が顕在化しにくいことから、栄養塩類の規制がなされずに、河道内で生

物が利用する量を超える余剰な窒素やリンが流下しており、河川での栄養塩類に関しては動態把握、流出やその制御、そして除去や浄化に関する課題が残されている^[1]。

筆者らは後述する現地実験水路において接触酸化法では処理水質の特性、浄化効果の持続性、堆積汚泥特性、そして生物群の特性等を行い^[2]、また植生浄化法では水質浄化能、水路内に生息する生物群の量や種の遷移過程について評価や検討を行ってきた^[3]。しかし同時に接触酸化法と植生浄化法の浄化効果の検討はまだ行われていない。

本研究では都市型河川の実河川に大型実験水路を設け接触酸化法と植生浄化法による水質浄化実験を同時に行い水質浄化能の比較や浄化効果の検討を行う。また各水路壁面に付着する付着藻類や水路内を浮遊する植物プランクトン

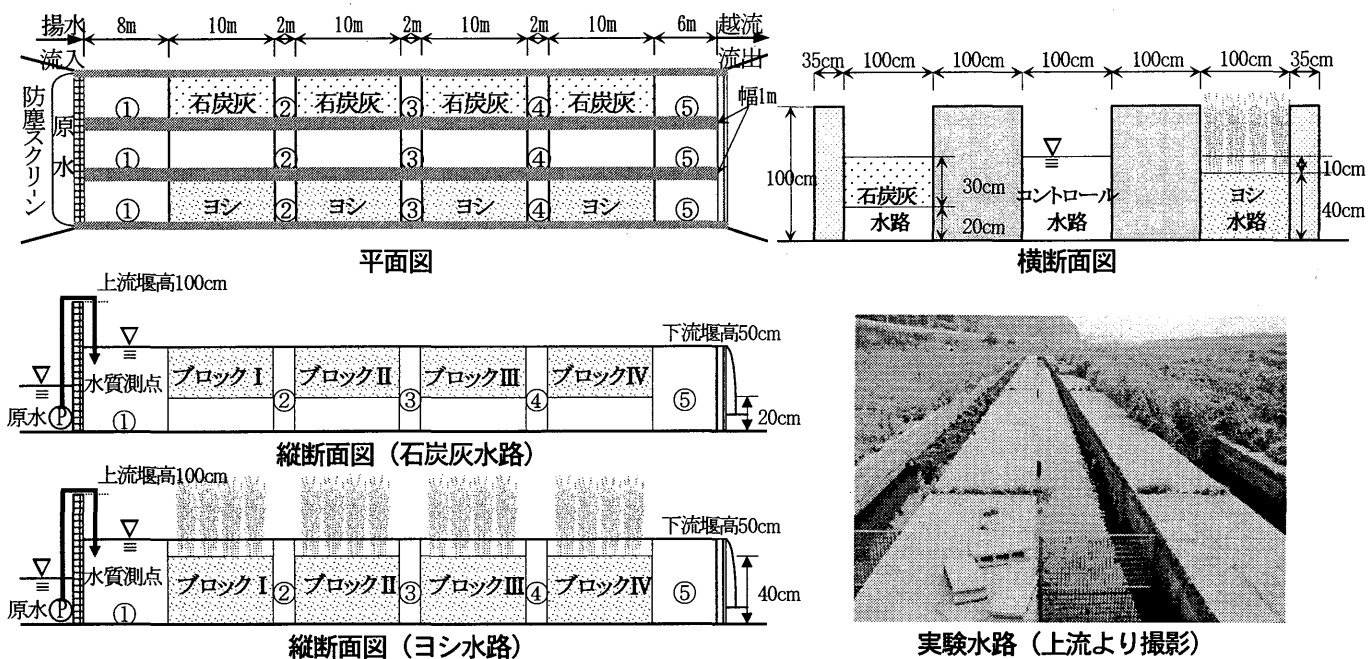


図-1 実験水路緒元および実験水路写真

の現存量や種構成を調査し、水路相違による現存量や種構成の変化や水質との関係について評価を行う。

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河道内左岸に既設の全長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水路並行してあり、各水路間は1mである。図-1に実験水路概略図および実験時を撮影した写真を示した。岸側を接触酸化水路(以下、石炭灰水路と表す)、川側をヨシ植栽水路(以下、ヨシ水路と表す)とし、中央は他の2水路と等量を通水するだけの比較対象のコントロール水路とする。

石炭灰水路とヨシ水路については、それぞれ10mを1ブロックとし、1水路当たり4ブロックを設け、そこへそれぞれ石炭灰敷設およびヨシ植栽をしている。以下に各水路の設置状態を示す。

石炭灰水路の石炭灰は、火力発電所から排出された石炭灰の有効活用したPFBC灰(加圧流動床灰)粒状物を使用する。PFBC灰の主要な化学組成は SiO_2 が44.3%、 CaO が24.9%、 Al_2O_3 が12.5%とこの3種で約8割の成分を占めており、PFBC灰は室内実験によりリンの吸着、溶出防止等の効果が確認されている^[4-5]。

その石炭灰水路は発生汚泥を水路底部へ堆積させるために各ブロックに高さ20cmの木製のサナを設置した。その上に1袋約15kgの石炭灰を幅1mに対し3袋、1ブロック区間に32~35列を2段積み敷設した。各ブロックの単位面積当りの平均重量は 304.2kg/m^2 、平均空隙率は46.6%である。

ヨシ水路は筆者らが現地近くのものを2001年に移植し毎

年初夏から晩秋にかけて水質浄化実験を行い、初冬には各ブロックの全てのヨシの刈取りを行っているものをそのまま続けて使用する。ヨシ移植時の初年度の初期条件は、現地河川砂州の砂質土を各ブロックに厚さ40cmで敷き、そこへ5~10本を1株として、 1m^2 当り5~8株、1ブロック当り70~80株を植え付けた。

実験期間は2004年5月から同年10月までである。3水路とも上流堰高1m、下流堰高(水路水深)約0.5mであり、通水は5月26日から各水路に $1.7\text{m}^3/\text{hr}$ (28.3ℓ/min)を水中ポンプにより連続流入させて自然流下している。この時平均滞留時間は石炭灰水路：約11時間、コントロール水路：約16時間、そしてヨシ水路が約8時間となる。

水質に関しては、調査測点は各水路内の最上流部の測点①、水路中央部の測点③、最下流部の測点⑤とし、調査項目は現地では水温、pH、DO、電気伝導度(EC)そして濁度を測定した。採水したサンプルは速やかに実験室に持ち帰った。また各水路の4つのブロック区間それぞれの間地点において水面下約0.5mの水を減圧吸引により採水しその場で酸化還元電位を測定した。実験室では全窒素(T-N)、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、全リン(T-P)、化学的酸素要求量(COD_Cr)、生物化学的酸素要求量(BOD)を分析した。またサンプルをガラス繊維濾紙(Whatman社製 GF/B 1μm)で濾過した濾過サンプルについてもT-N、T-Pを計測しており、それぞれ溶解性全窒素(D-T-N)、溶解性全リン(D-T-P)とした。

水質調査および分析は6~7月は現地観測を週1回の計8回、採水分析は2週間に1回の計4回、8~9月は現地観測、採水分析ともに月2回、10月は現地観測、採水分析ともに月1回である。BODについては生物調査と同じ日に行う。

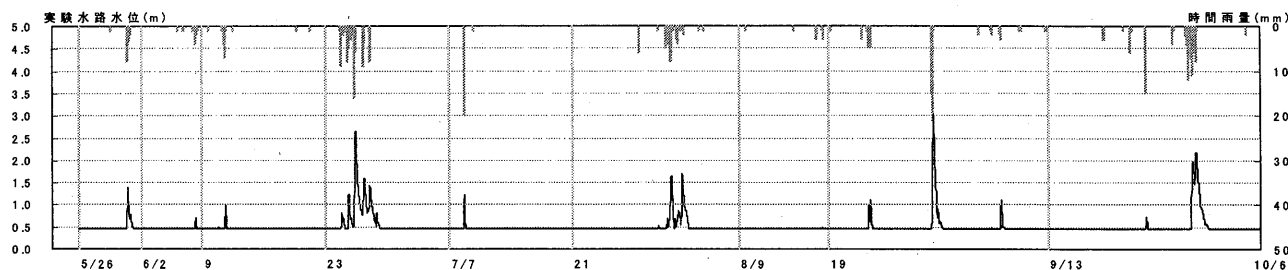


図-2 実験水路水位(左軸目盛)と雨量観測データ(右軸目盛)

付着藻類と植物プランクトンの調査測点は水質調査測点と同測点の①、③、⑤であり、調査日は通水開始後の2週目、6週目、10週目、15週目、19週目のそれぞれ6月9日、7月7日、8月9日、9月13日、10月6日に行った。付着藻類の採取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、また植物プランクトンの採取方法は各測点においてバケツを用いて2ℓ採水・採取する。それらは現地においてホルマリン(5%)で固定し持ち帰る。それを実験室において、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した。

3. 通水期間中の実験水路流況

図-2には1時間毎の実験水路水位データ(計算値)と対照域である福山の時間雨量を示した。

実験水路水位データ(計算値)は、2004年5月から同年10月まで本実験水路において植生浄化実験を行った時に自記連続水位計より計測したデータの実験水路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を用いて実験水路水位相関式を作成したもの¹⁾に今回の実験期間中の御幸流量観測所の時間水位データを代入して求めたものである。

前述したように実験水路の平常水位は下流堰高の約0.5mに制御されている。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上流堰板を越え、実験水路は完全に冠水状態である。

実験水路水位が1m以上の冠水時間と出水履歴を月別にみると5月は4時間の1回、6月は1時間と35時間の2回、7月は1時間の1回、8月は15時間、2時間および14時間の3回、9月は2時間と24時間の2回と台風による出水が多く、10月は無冠水であった。

4. 水質の調査結果および考察

図-3には現地測定値であるDO、pH、電気伝導度の原水と各水路の最下流測点⑤を示した。

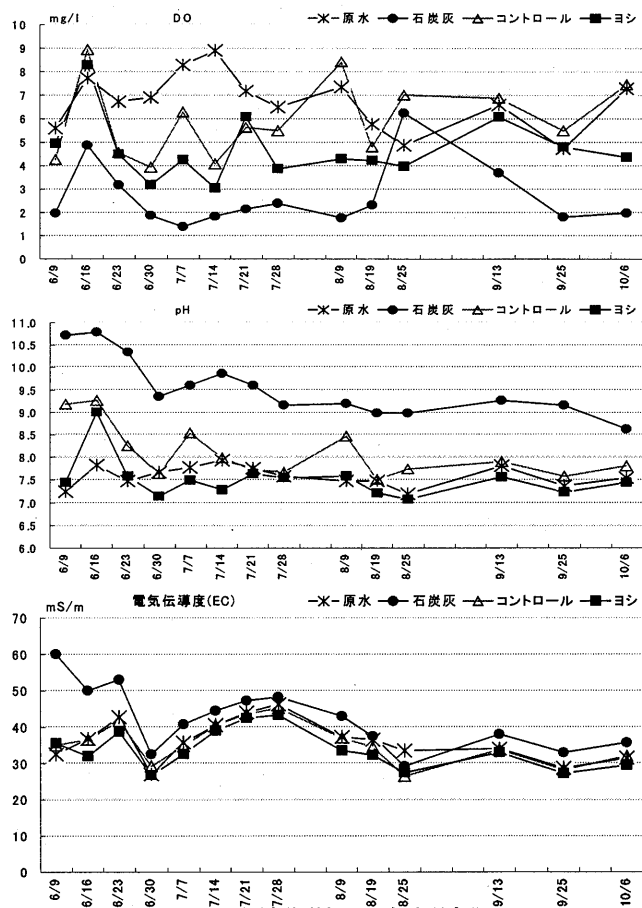


図-3 現地観測結果の時系列変化

図には示していないが水温は、各水路測点を比較すると光が直接的なコントロール水路と光が届きにくいヨシ水路の水温差はあまりなく、原水水温で示すと6月9日に22.2℃、それから増加傾向で7月28日に最高水温29.3℃、以降は減少傾向であり10月6日は19.1℃であった。

DO、pHそして電気伝導度についてみると、石炭灰水路の変化は他の測点に比べて顕著な相違が現れていることがわかる。すなわち石炭灰水路についてDOは貧酸素状態に近い状態であり、またpHや電気伝導度の値は他測点より高いことがわかる。光合成が活発なときにはpH値が高くなることもあるが¹⁾、石炭灰を使用した室内実験においても石炭灰を使用しない場合に比べてpHが高い値をしていること²⁾や電気伝導率の値が高いから、光合成作用よりも石炭灰からの溶出が大きく、またDOについても光合成による酸素供給よりも分解などによる酸素消費の方が大きいものと推察できる。コントロール水路とヨシ水路のDOを

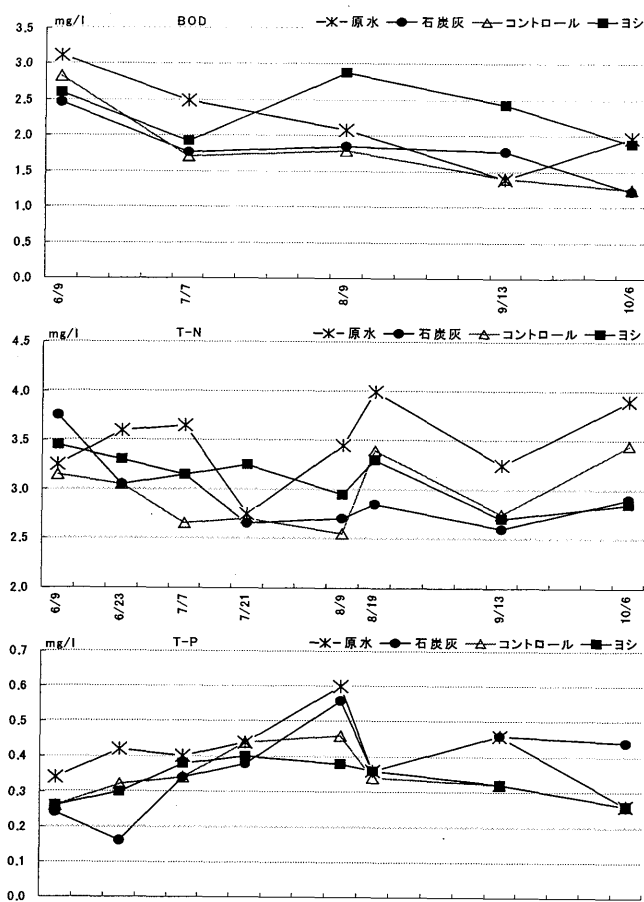


図-4 分析結果の時系列変化

比較するとコントロール水路内の方が高い値を示している。これは、ヨシ路内はコントロール水路内と比較して遮光効果などによって光合成作用はあまり活発でなく、また土壌表面での分解による酸素消費があるために低い値であると推察できる。

図-4にBOD, T-NおよびT-Pの原水と各水路の最下流測点⑤を示した。

BODは6月調査と7月調査は3水路とも原水濃度値に比べて低い値を示しており浄化効果が認められる。石炭灰水路とコントロール水路については他の調査日においてもほぼ浄化効果が認められる。しかしヨシ水路は、8月調査以降は原水濃度値よりも高い値を示しており浄化効果が認められないことがわかる。

T-Nについて各水路を比較すると、3水路とも原水に比べて濃度値が低くなっており、特に8月9日まではコントロール水路が、8月19日以降は石炭灰水路の濃度値がそれぞれ低いことがわかる。

T-Pについては7月21日まではPFBC灰への吸着や藻類の摂取により、石炭灰水路の濃度値が他水路に比べて低い値を示していると推察できる。しかし8月9日以降については石炭灰水路の濃度値は原水濃度値とほぼ同値であり、また最終日の10月6日においては原水濃度値よりも高い値

を示している。現地実験よりPFBC灰による浄化効果の耐久性は約2ヶ月であった。またコントロール水路とヨシ水路を比較すると8月9日までは若干ではあるがヨシ水路の方が濃度値は低いことがわかる。しかし8月19日以降この2水路の濃度値はほぼ同値で推移しており、水路相違はあまり認められなかった。

5. 生物群の調査結果および考察

生物群は出水により流されたりして細胞数が大きく変化する。特に植物プランクトンは水中に浮遊し、水の動きや流れに従って移動・分散しているため、出水時には完全に流れると推察する。よって出水後からの経過日数は生物群との関係は重要である。前述したように本実験期間における水路冠水状態(水路水位1m以上)から生物群の調査日までの経過日数を6月調査から10月調査までを順に示すと、8日後、8日後、6日後、5日後、6日後であり、出水後から平常時までの経過日数にはあまり差がないと考える。

(1) 付着藻類の細胞数、出現種数、優占種

図-5には網別平均細胞数を示した。3水路とも6月調査が最も少なく経時的にほぼ増加傾向にあり石炭灰水路とヨシ水路は8月調査、コントロール水路は9月調査が最大である。細胞数が多かった網を比較すると6月調査においては石炭灰水路が珪藻綱、コントロール水路が緑藻綱、ヨシ水路が藍藻綱と各水路で優占綱に明瞭な相違が認められる。また7月調査では石炭灰水路が6月調査と同様に珪藻綱、コントロール水路とヨシ水路では藍藻綱であった。しかし8月調査から10月調査までは3水路とも藍藻綱であり各水路の優占綱の差異や調査の違いによる明瞭な相違はなくなった。

次に網別平均出現種数を図-6に示した。平均出現種数は平均細胞数とは逆の傾向を示していた。すなわち3水路とも6月調査が最も多く経時的にほぼ減少傾向にありヨシ水路は9月調査、石炭灰水路とコントロール水路は10月調査が最少であった。網別にみると6月調査から10月調査まですべて珪藻綱が優占綱であり、出現種数については相違がないことがわかる。

優占種1位についてみると、6月調査では珪藻綱*Fragilaria pinnata*, *Cyclotella* spp., 藍藻綱*Homoeothrix varians*, 緑藻綱*Coelastrum astroideum*, *Micractinium pusillum*などで各測点で網も種も異なっていた。7月調査は珪藻綱*Nitzschia palea*, 藍藻綱*H. varians*であった。しかし8月調査、9月調査および10月調査の優占種1位は全測点で藍藻綱であり、特に*H. varians*がほとんどの測点で優占種1位であった。このことより通水開始直後は各測点で優占種の相違が認められるが時間経過とともに優占種の相違は認められず、特に藍藻綱*H. varians*は全調査日で優占種1位となっていた。

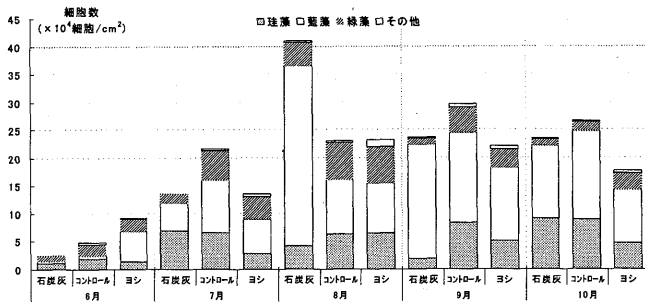


図-5 付着藻類の細胞数

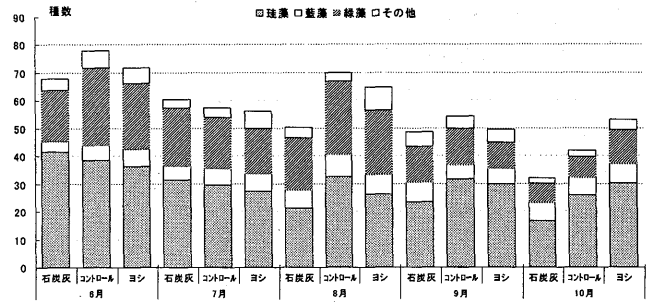


図-6 付着藻類の出現種数

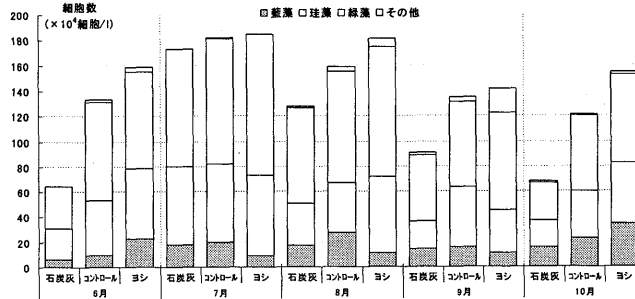


図-7 植物プランクトンの細胞数

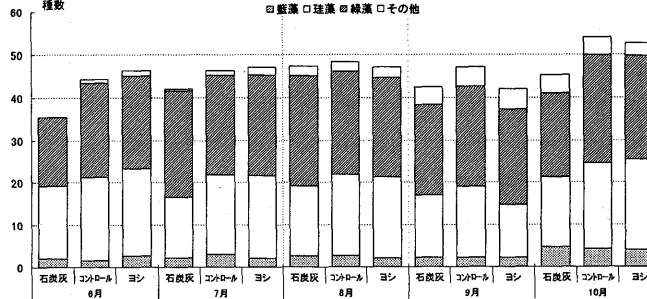


図-8 植物プランクトンの出現種数

表-1 付着藻類の類似度指数(6月調査)

		石炭灰水路			コントロール水路			ヨシ水路		
		①'	③	⑤	①'	③	⑤	①'	③	⑤
石炭灰水路	①'	1								
	③	0.28	1							
	⑤	0.48	0.19	1						
コントロール水路	①'	0.54	0.50	0.47	1					
	③	0.50	0.40	0.25	0.49	1				
	⑤	0.78	0.48	0.29	0.54	0.52	1			
ヨシ水路	①'	0.47	0.41	0.18	0.47	0.50	0.53	1		
	③	0.53	0.19	0.13	0.24	0.36	0.67	0.33	1	
	⑤	0.33	0.06	0.07	0.09	0.17	0.42	0.18	0.57	1

(2) 植物プランクトンの細胞数, 出現種数, 優占種

図-7には網別平均細胞数を示した。各調査日において、ヨシ水路の細胞数が最多であり、石炭灰水路の細胞数が最少と水路相違がある。また各水路の細胞数が多かった月は、3水路とも7月調査が最多であり、その後経時的にほぼ減少傾向にあった。細胞数を網別に比較すると各水路とも全調査日において緑藻網の細胞数が多く、季節的相違や水路相違は認められなかった。

次に網別平均出現種数を図-8に示した。植物プランクトンの平均出現種数の傾向は付着藻類の平均出現種数の傾向と、すなわち植物プランクトンの平均出現種数は経時的にほぼ増加傾向であった。網別にみると細胞数と同様に各水路とも全調査日において緑藻網が優占網であり、季節的相違や水路相違は認められなかった。

優占種1位は6月調査と7月調査はほぼ同種であり緑藻網 *Scenedesmus quadricauda*、珪藻網 *Aulacoseira distans*、*Nitzschia* spp.であった。8月調査、9月調査および10月調査は6月調査と7月調査で優占種1位であった種に加えて緑藻網 *Actinastrum hantzschii*、藍藻網 *Oscillatoria* sp.等であり優占種1位の種の数が多くなっていた。

(2) 類似度指数

各測点間の生物群集の類似性の検討には、式(1)の各測点における群集の種類数と個体数を考慮したKimoto(1967) [6]の群集類似度指数 C_{π} であり、共通種数による指数を個体数によって重みづけを行い評価する。

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

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

N_1 と N_2 は地点1と地点2の総個体数、 n_{1i} と n_{2i} は地点1と地点2の*i*種の個体数、 s は2地点を合わせた総種類数である。

C_p は1に近づくほど生物相が類似していると判定でき、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。

表-1には付着藻類の各調査日毎の類似度指数マトリックスを示した。各調査日の全36測点間のうち $C_p > 0.70$ と群集構造が相違している測点間を6月調査から10月調査までを順に示すと1測点間、9測点間、5測点間、13測点間、14測点間であり、6月調査では各水路測点間における群集構造の相違が顕著に認められ、各測点において個別の群集構造を形成していることがわかる。しかし、9月調査や10月調査などの秋期においては各水路測点間における群集構造の類似性が認められる。

植物プランクトンについても指数が0.70以上の測点間の数を6月調査から順に示すと13測点間、25測点間、22測点間、15測点間、14測点間であった。よって植物プランクトンの各測点間の群集構造は付着藻類に比べてより類似しており特に7月調査や8月調査などの夏期において大きな相違はないことがわかる。

(3) 水質指標と生物による汚濁判定

指標種による生物学的水質判定を式(2)のPantle・Buck法により算出した^[7]。生物学的水質判定法は、化学分析による水質判定法と比較して精密さは劣る。しかし、各種生物の有無や量は、水質の長時間の変化に対応し、短時間の水質変動には左右されにくい利点を有している。

$$PI = \frac{\sum (s \times h)}{\sum h} \quad (2)$$

h : 出現個体数、 s : 汚濁階級指数

図-9には生物調査日のBOD濃度を汚濁指標区分とともに示す。この図より6月調査、7月調査および8月調査ではやや汚濁が進行しているB中腐水性域に属するものが多いが、9月調査や10月調査では清澄域の貧腐水性域に属するものが多い。図-10、図-11にはそれぞれ付着藻類と植物プランクトンについてPantle・Buck法により指標種による汚濁評価を示した。付着藻類の汚濁指標種による汚濁評価は6月調査や7月調査では清澄域の貧腐水性域から汚濁がかなり進んでいる水域のa中腐水性域までの3段階の評価であるが、8月調査、9月調査および10月調査では貧腐水性域とB中腐水性域に属していた。植物プランクトンは全調査日でB中腐水性域からa中腐水性域に属していた。これより植物プランクトンによる汚濁評価よりも付着藻類による汚濁評価の方がBODによる汚濁判定とほぼ一致していた。

6. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 水質浄化効果については、石炭灰水路は他の水路と比較して、石炭灰からの溶出によりpHや電気伝導度の値は高い値を示し、BODはほぼ浄化効果を示し、T-Nも8月下旬以降に浄化効果も認められる。T-Pは、実験開始約2ヶ月間は浄化効果を示すが、それ以降は原水濃度値より高い値であり溶出がみられる。ヨシ水路は水路流下によって原水濃度値よりも低い値を示すが、各水質項目とも他の水路ほどの浄化効果は認められない。
- 2) 類似度指数により各調査日において植物プランクトンの群集構造は付着藻類の群集構造よりも類似性が高く相違はあまりないことがわかる。また生物学的水質判定により植物プランクトンより付着藻類を用いた汚濁評価の方がBODによる汚濁判定とほぼ一致していた。

参考文献

- [1] 大垣真一郎監修/河川環境管理財団編：河川と栄養塩類-管理に向けての提言、技報堂出版、2005。
- [2] 津田将行、尾島勝：礫間接触酸化法による強汚濁河川水の浄化効果に関する総合評価、水工学論文集、第47巻、pp1099-

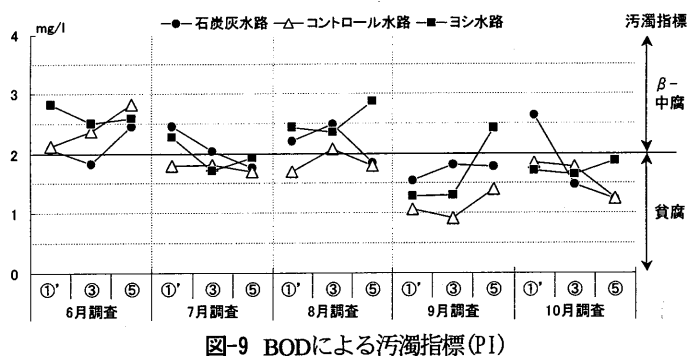


図-9 BODによる汚濁指標(PI)

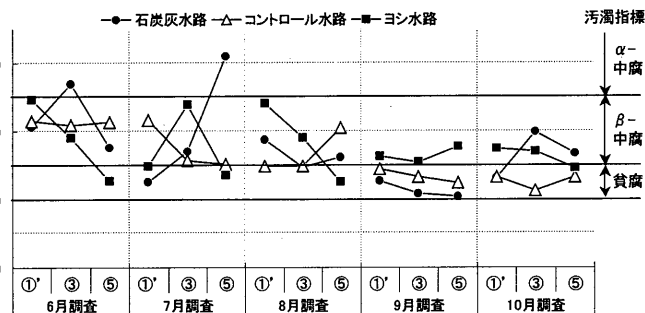


図-10 付着藻類による汚濁指標(PI)

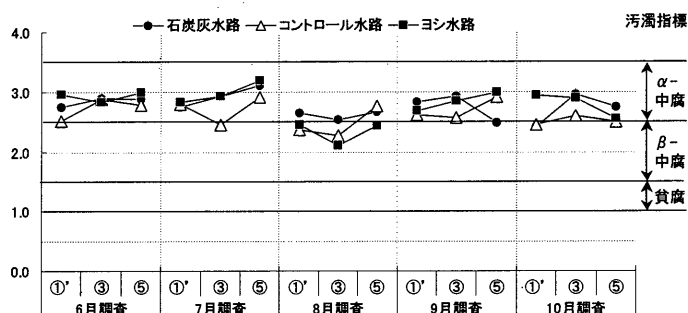


図-11 植物プランクトンによる汚濁指標(PI)

1104, 2003.

[3] 津田将行、尾島勝：現地河川での植生浄化水路実験による水質浄化効果と付着藻類・プランクトンの動態について、水工学論文集、第49巻、pp1537-1542, 2005。

[4] 樋野和俊ら：PFBC灰を利用した砂代替材の水質・底質浄化の活用(その1覆砂材への適用)、土木学会第59回年次学術講演会、5-196, 2005。

[5] 樋野和俊ら：PFBC灰を利用した砂代替材の水質・底質浄化の活用(その2リン吸着材への適用)、土木学会第59回年次学術講演会、5-197, 2005。

[6] 木元新作、武田博清：群集生態学入門、共立出版、1989。

[7] 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。