

大和川における河川浄化施設の効果について

EFFECT OF RIVER PURIFICATION FACILITIES ON RIVER WATER QUALITY IN THE YAMATO RIVER

下村卓矢¹・井伊博行²・谷口正伸³・平田健正⁴

Takuya SHIMOMURA, Hiroyuki II, Masanobu TANIGUCHI, Tatemasa HIRATA

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

²正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

³正会員 博(工) 和歌山大学助教 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁴正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

Effect of river purification facilities in the Yamato River was studied. Sewage plants and several kinds of river purification facilities were constructed to improve water quality of the Yamato River. As a result, BOD values decreased and recently were under the Japanese environmental quality standard. But effect of each purification facilities was unclear and then effect of all facilities in the Yamato River on water quality in the Yamato River was studied. Removal efficiency of organic nitrogen for artificial combination of rapids and pools along the river is 10.4 %. Removal efficiency of organic nitrogen for thin layer flow system, contact oxidation material, contact oxidation method, are 16.9 %, 53.1 % and 8.9 % respectively. Removal efficiency of total nitrogen and phosphoric acid for bio-activities are 3.5 % and 8.7 %.

Key Words : river purification facilities Yamato River organic nitrogen

1. はじめに

大和川は高度成長期に上流，中流部の人口が急増したため都市化に伴う下水処理施設等の社会基盤の整備が追いつかず，生活排水が河川に流れ込み水質汚濁がすすんだ．このために河川の自浄作用を越えた汚濁により，水質汚濁が問題となり，2006 年度には全国一級河川 109 河川の中で BOD 平均値，75%値ともに最下位を記録した．そこで，都市河川の水質汚濁の起源を推定するため，大和川支流の石川における環境同位体および化学組成から河川水と地下水の起源が解明され汚濁物質の起源が明らかにされた¹⁾．また，大和川では河川水の水質特性について研究がなされてきた²⁾．さらに大和川では冬期に水質が悪化していることから，大和川の BOD，アンモニア態窒素，陰イオン界面活性剤の季節変化とその原因について研究がされた³⁾．大和川の水質改善の取り組みとして大和川水質汚濁防止連絡委員会（1967 年）や大和川清流ルネッサンス協議会（1993 年）が設立され，水質改善運動として 1985 年から大和川クリーンキャンペーンが実施され多様な生物が生息で

きる良好な水環境を目指し様々な取り組みが行われた．また，清流ルネッサンス 21，2006 年には大和川水環境サミットが開催され，大和川の再生に向けた C プロジェクト 2006 が策定され水質改善のため様々な取り組みが行われている⁴⁾．これらの活動により近年，下水道処理施設や河川浄化施設が設置された．また，地域の住民との協力により水質は徐々に改善が進み環境基準値を下回る時期もみられる．

河川浄化施設については，礫間接触酸化法，植生浄化法の実験水路を用いてどのような水路が水質浄化に適しているか研究がなされた⁵⁾⁶⁾．さらに，礫間接触酸化法については様々な接触材についての研究がなされている⁷⁾．しかし，河川浄化施設の研究については室内実験や実験用水路を用いたものが多く，実際に河川に設置され運用されているものに関しての研究事例は少ない．そこで本研究では，大和川流域の河川浄化施設を対象とし，河川浄化施設の前後の水質変化を調べ，河川に設置された各浄化施設が実際にどのような効果をもたらしているか，また，流域全体での河川浄化施設の影響を考察し，河川浄化施設の最適な運用方法や改良を提案することを目的とする．

2. 研究対象地概要

大和川は奈良県と大阪府南部を流れる全長 68km、流域面積 1070km² の 1 級河川である。大和川は笠置山地から始まり、佐保川、曽我川、富雄川等の奈良盆地の水を集め奈良県と大阪府の境にある亀の瀬の渓谷部を経て大阪平野に入る。その後石川や西除川等を合わせ大阪湾に注ぐ。流域内の 38 市町村に約 215 万人(2006 年)の人が生活している。また、2006 年度に全国 1 級河川の BOD75%値は最下位を記録している。大和川は上流部の人口が多く生活排水による水質汚濁が問題となっている。また、流域内の下水道普及率は年々上昇し 2004 年度で 71.4%となっている。また、流域には河川浄化施設が設置され 5 種類の浄化手法によるものがある⁸⁾。

3. 浄化施設概要

植生浄化法以外は BOD(有機物)の除去を主な目的としている。瀬と淵浄化施設は河床に巨石を設置し「瀬」と「淵」を再現し川が持つ自浄作用を増大させた浄化施設で沈殿、接触分解、酸素供給が期待されている⁸⁾。薄層流浄化施設は河床に接触材となる礫を敷き並べ、水を広く薄く流すことで接触材、空気と多く触れることにより浄化効果を促進させている⁸⁾。接触酸化法は河床や河川内に接触材を設置し酸素供給、接触分解を図っている。コンクリートブロック、礫、プラスチック及び木炭等が接触材として利用されている⁸⁾。礫間接触酸化法はポンプ等で河川水の一部を、接触材を充填させた浄化槽内に送り、微生物による汚濁物質の吸着、分解を図っている⁸⁾。計画除去率は礫間接触酸化法が最も高く 70% から 75%、他の浄化施設は 5% から 10% となっている。植生浄化法は他の浄化施設と目的が異なり窒素、リンの除去を主な目的としている⁸⁾。今回調査した植生浄化施設では河川水の一部を河川敷に設置した 20m×90m の水路を通し植物、土壌に窒素、リンを吸着させ浄化を図っている。植物にはヨシ、ヒメガマ、セキショウ等が用いられている。また、10月に植物を刈り取り翌年の4月に新たに植物を植えている。

4. 研究方法

図-1に調査対象地位置図を示す。現地調査は2007年7月から2009年8月まで計22回行った。現地で携帯用水質測定器(D-24、堀場製作所製)を用い水温、

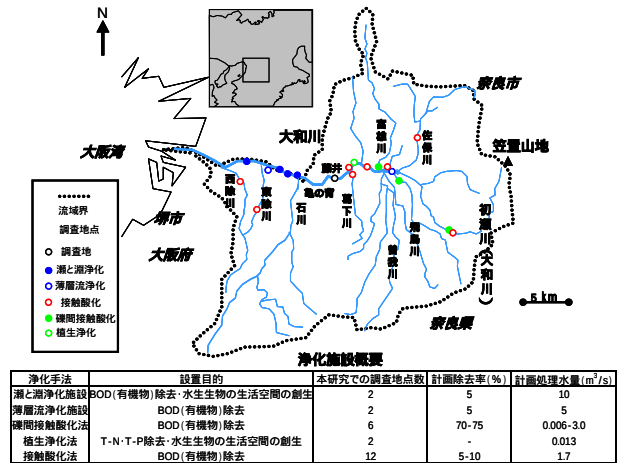


図-1 調査地位置図

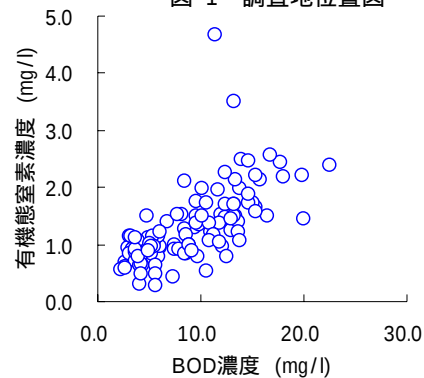


図-2 藤井における BOD 濃度と有機態窒素濃度の関係

pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)を測定した。溶存酸素量(DO)は携帯用水質測定器(OM-51、堀場製作所製)を用いて計測した。また、サンプルの採水は表層(0.1m)で行い、研究室に持ち帰り分析を行った。また、礫間接触酸化法、植生浄化法では滞留時間が45分から1.1時間ほどあるため流入水と流出水を採水する際に30分から1時間ほど時間をあけて採水した⁸⁾。室内分析では0.45μmのフィルターでろ過した後、主要溶存イオンをイオンクロマトグラフィー(日本ダイオネクス社製)を用いて測定した。また、全窒素(T-N)分析についてはサンプルに分解処理(ペルオキシ二硫酸カリウム分解法)を施し、窒素を全て硝酸イオン(NO₃⁻-N)に分解した後、吸光光度計(DR/2500、HACH社製)を用いて測定した。有機態窒素については全窒素からイオンクロマトグラフィーで測定した無機態窒素をひいて求めた。また、流量、水位、BOD濃度データは国土交通省の水文水質データベースのデータを用いた⁹⁾。

5. 流域のBODと有機態窒素濃度の関係

図-2に藤井におけるBODと有機態窒素濃度の関係を示す。藤井は大和川本流の奈良県内の最下流部に位置し、奈良盆地の水を全て集める。図-2のデータ

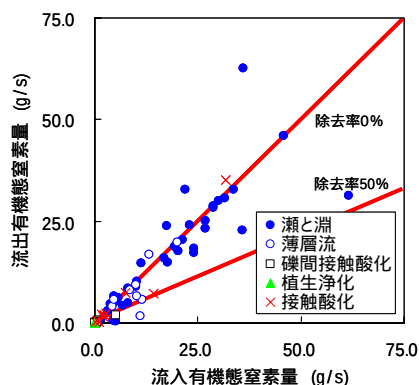


図-3 浄化施設の前後での有機態窒素量の変化

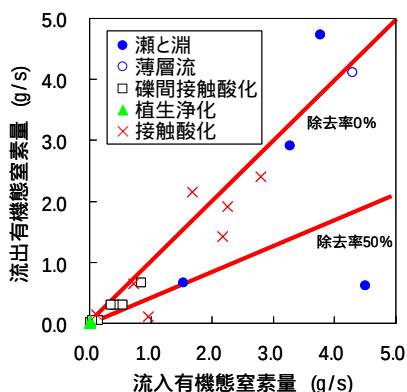


図-4 浄化施設の前後での5.0g/s以下の有機態窒素量の変化

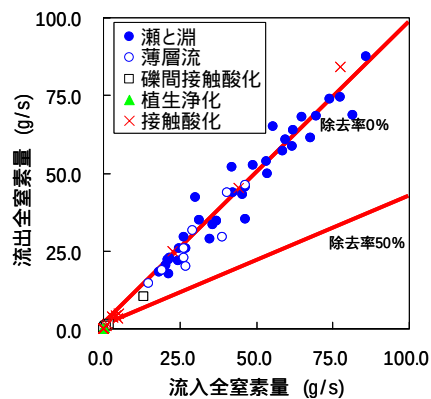


図-5 浄化施設の前後での全窒素量の変化

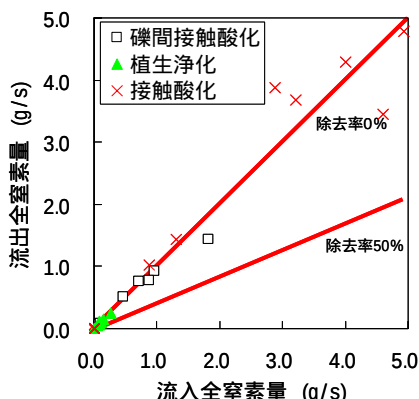


図-6 浄化施設の前後での5.0g/s以下の全窒素量の変化

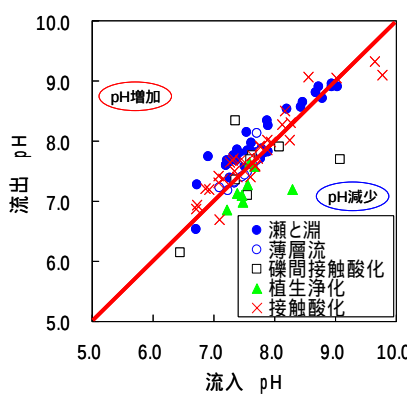


図-7 浄化施設の前後でのpHの変化

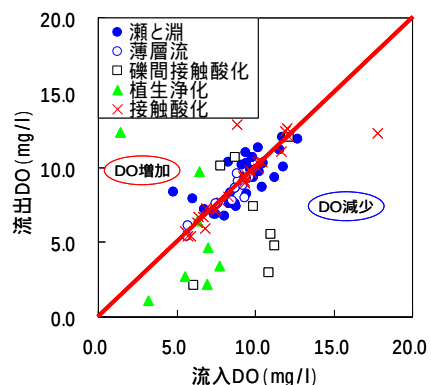


図-8 浄化施設の前後でのDOの変化

表-1 流入有機態窒素濃度の違いによる浄化施設の効果

	調査地点数				有機態窒素を除去した割合(%)				平均有機態窒素除去率(%)				平均有機態窒素除去量(g/s)			
	0.0-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0以上	0.0-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0以上	0.0-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0以上	0.0-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0以上
瀬と淵浄化施設	22	11	6	0	54.5	90.9	83.3	-	-7.3	19.5	11.5	-	-0.77	7.6	3.37	-
薄層流浄化施設	2	4	5	2	50.0	75.0	80.0	100	-8.6	25.3	14.6	-	-0.387	3.35	1.65	0.09
礫間接触酸化法	0	6	1	1	-	100	100	100	-	51.5	63.6	44.6	-	0.57	0.09	0.01
植生浄化法	3	4	0	0	33.3	50.0	-	-	-34.7	-34.6	-	-	-0.002	-0.006	-	-
接触酸化法	7	18	2	3	42.9	72.2	0.0	100	-0.2	11.2	-	-	-0.007	0.88	-	-

はBOD，有機態窒素濃度ともに国土交通省の水文水質データベースのデータを用いた⁹⁾．図-2から藤井においてBOD濃度が増加すると有機態窒素濃度も増加する傾向が見られる．本研究ではBODの変化と同じ傾向を示す有機態窒素を計測した．

6. 河川浄化施設の前後での水質変化

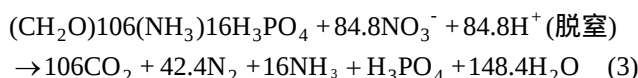
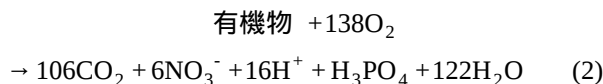
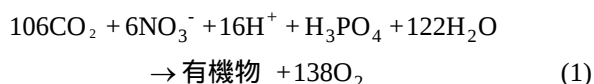
図-3から図-8に河川浄化施設の前後での水質変化を示す．表-1に流入有機態窒素濃度の違いによる浄化施設の効果を示す．河川浄化施設は主にBOD（有機物）の除去を目的としている．ここでは河川浄化施設への流入の水質と流出の水質から河川浄化施設前後での水質変化を考察した．礫間接触酸化法と植生浄化法の処理流量については各浄化施設の最大処理流量を用いた⁴⁾⁸⁾．

図-3と図-4より有機態窒素量分布にばらつきが見られたが全体としては流入有機態窒素量に比べ流出

有機態窒素量は減少しており有機態窒素の除去が見られた．表-1より流入有機態窒素濃度が0.0mg/lから1.0mg/lのとき全ての浄化手法で有機態窒素の増加が多く見られ有機態窒素を除去した割合が低くなった．流入有機態窒素濃度が3.0mg/l以上のとき全ての浄化手法で有機態窒素を除去できていた．このことから流入有機態窒素濃度が高いときに高い浄化効果が期待できるが流入有機態窒素濃度が低いとあまり効果がないことがわかる．

図-5と図-6より礫間接触酸化法と植生浄化法で全窒素量の減少が見られるものの，他の浄化施設前後では全窒素量の変化がほとんど見られなかった．図-3から図-6より瀬と淵浄化施設，薄層流浄化施設，接触酸化法では施設通過後有機態窒素量は減少したにもかかわらず，全窒素量が変化していないので，減少した有機態窒素が無機態窒素に変化したと考えられる．このことからこれらの浄化施設では有機物は除去できるが富栄養化の要因とされている全窒素についてはあまり除去できていないことがわかる．

次に河川内の有機物に影響を与える現象として光合成と有機物分解が考えられるためこれらの現象について考察する。



(1) に光合成の式，(2) に好気性菌の有機物分解の式，(3) に嫌気性菌の有機物分解の式を示す。河川浄化施設での有機態窒素の変化の原因として分解と光合成によるものが考えられるため，DO，pHについて考察した¹⁰⁾。光合成が起るとpHとDOは増加する。好気条件であれば，有機物分解が起るとpHとDOは減少し，嫌気条件であれば，DOの減少もpH変化も起こらない。ただし，生成したアンモニアが酸化されるときに酸素が消費される。図-7と図-8より光が入り大気に触れる瀬と淵浄化施設，薄層流浄化施設，接触酸化法ではDOが減少しpHは増加している。よって有機物分解だけでなく光合成も起っていると考えられる。礫間接触酸化法は光が入らず酸素の供給がある施設と無い施設がある。図-5と図-6より全窒素の減少が見られた。また，DOが著しく減少していたことから浄化槽内は嫌気的な環境となり全窒素が減少する嫌気性分解（脱窒）がおこったと考えられる。植生浄化法は，光が入り大気と接触している。光合成が起ると水中のpHは上昇しDOは葉から大気中に放出されるため変化しないが，pH，DOとも減少傾向が見られた。これは植物だけでなく土壌で有機物分解が起っているためと考えられる。植生浄化法によって，光合成が起っていることが期待されるが，pHの増加がみられないこと，一方，全窒素は僅かであるが減少していることから，植生浄化法では光合成と共に有機物分解が支配的であると考えられる。

7. 各浄化手法別の水質変化

ここでは浄化手法別の水質変化について考察していく。浄化効果を考察するため有機態窒素濃度だけでは流量による影響がわからないため流量データの数が多い瀬と淵浄化施設，最も有機態窒素の除去が見られた礫間接触酸化法，他の浄化施設と異なり窒素，リンの除去を目的としている植生浄化法につい

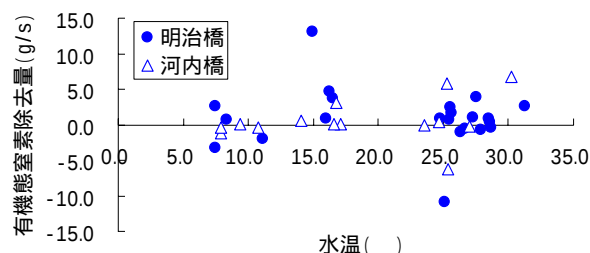


図-9 瀬と淵浄化施設における有機態窒素除去量と水温の関係

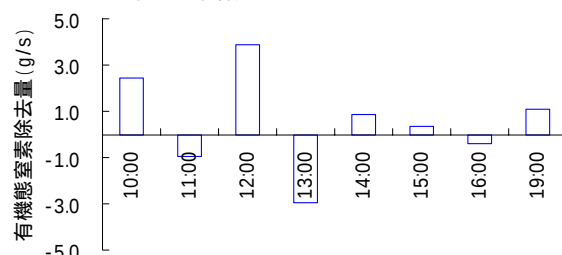


図-10 瀬と淵浄化施設における時間別の有機態窒素除去量

て考察していく。

(1) 瀬と淵浄化施設での水質変化

図-9に瀬と淵浄化施設における有機態窒素除去量と水温の関係を示す。大雨のあと等，流量が多すぎると正しい考察ができないため流量が $30.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上のときのデータを省いた。また，流量が $30.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上のときは有機態窒素量が大きく変動するか，ほとんど変化が無いかのどちらかであった。これらは雨の影響で河川中に様々な水が混ざっていることと流量が多すぎるためほとんど有機態窒素量の変化が無かったと考えられる（希釈効果）。図-9より明治橋，河内橋ともに水温が低いときよりも水温が高い場合の方が有機態窒素量の変化が大きいことがわかる。これは水温が高いため有機物を分解する微生物が活発に活動しているからだと考えられる。有機態窒素の増加の原因としては光合成によるものと植物等の有機物が河川に流出したことが考えられる。また，水温が15 から25 の間では常に有機態窒素を除去できていた。よって実河川において瀬と淵浄化施設では水温が15 から25 のときに有機物分解が支配的で，もっとも浄化が効率的であると考えられる。図-10に瀬と淵浄化施設である明治橋における時間別の有機態窒素量の変化を示す。図-10は2009年8月27日に大阪府長吉長原区の明治橋直下の瀬と淵浄化施設の午前10時から午後7時までの時間別有機態窒素量の変化を調べた。調査期間中の流量は $10.32\text{m}^3/\text{s}$ から $12.93\text{m}^3/\text{s}$ で2005年の平均流量は $18.7\text{m}^3/\text{s}$ である⁹⁾。この日の天気は晴れで水温は25.5 から28.5 であった。図-10より11:00，13:00，16:00を除いて有機態窒素を除去できていた。12:00に有機態窒素除去量が最大となった。瀬と淵浄化施設では有機態窒素を除

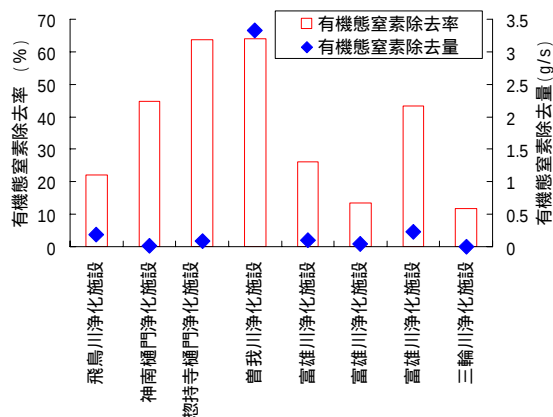


図-11 礫間接触酸化法における水質変化

去している傾向が見られたが常に除去できているわけではないことがわかった。

(2) 礫間接触酸化法での水質変化

図-11に礫間接触酸化法での水質変化を示す。本研究では6箇所の礫間接触酸化法の浄化施設について調査を行った。図-11より礫間接触酸化法では常に有機態窒素を除去できていた。また、有機態窒素除去率が約10%から60%あり他の浄化手法より高い浄化能力があることがわかる。これは施設内に光が入らないので、光合成が起こらず有機物分解が支配的に起こっているためと考えられる。しかし有機態窒素除去量を見ても曾我川浄化施設で約3.5g/s除去できていたがそれ以外は約0.01g/sから0.5g/sの除去となっている。これは処理水量が曾我川では3.0m³/sあるが、他の施設では0.006m³/sから0.5 m³/sと少ないからだと考えられる。以上のことから礫間接触酸化法は安定して高い有機物除去率を期待できるが処理水量が少ないため、流量が少なく水質汚染が深刻な支流に設置すると浄化効果が高いと考えられる。

(3) 植生浄化法での水質変化

図-12と図-13に植生浄化法の前後での水質変化を示す。図-12より浄化施設通過後PO₄³⁻量が減少する傾向が見られた。図-13より2008年7月のように全窒素量が増加することもあったが全体的に見ると減少する傾向が見られた。PO₄³⁻、全窒素ともに植物がない冬季でも減少が見られるため植物だけでなく、土壌での吸着、分解、また、付着、底生藻類によっても浄化されていると考えられる⁶⁾。植生浄化法は他の浄化手法で除去できない窒素、リンを除去できる能力がある。また、環境教育の一環として地域の小学校等と協同で植物の刈り取りや土壌の入れ替え作業等を行っている例もあり、環境意識を高める役割も期待されている。

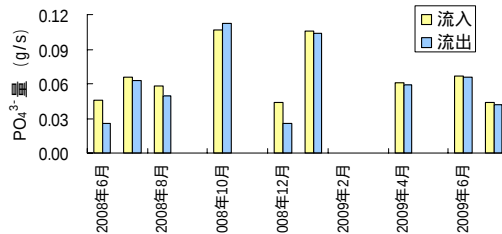


図-12 植生浄化法におけるリン酸量の変化

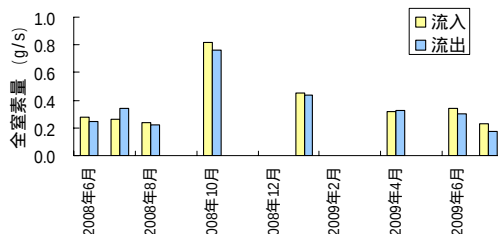


図-13 植生浄化法における全窒素量の変化

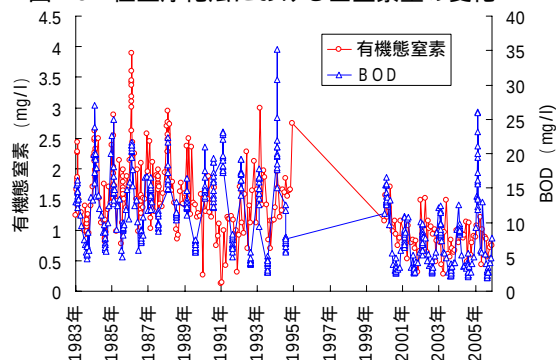


図-14 藤井における水質の長期変化

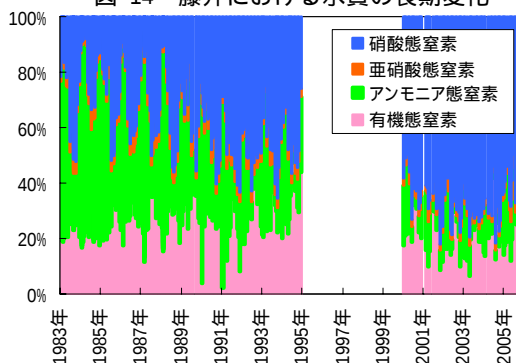


図-15 藤井における窒素形態の長期変化

図-14と図-15に藤井における水質の長期変化を示す。藤井は大和川本流の奈良県内の最下流部に位置し大和川の代表的な観測地点となっている。ここでは国土交通省の水文水質データベースのデータを用いた⁹⁾。図-14より1983年から2005年にかけて有機態窒素濃度、BOD濃度ともに減少していることがわかる。これらは流域の下水道の整備、河川浄化施設の設置によるものと考えられる。また、近年ではBODの環境基準値である5.0mg/lを下回る時期も見られる。下水道普及率は1990年の約30%から急速に普及し2004年で70%となっている。現在でも下水道整備は続いており、将来水質はさらに改善されていくと考えられる。図-15は藤井における全窒素中の各窒素形態の占める割合を示す。観測が始まった1983年には

表-2 各浄化施設のまとめ

浄化手法	有機態窒素除去率(%)	計画除去率(%)	単位距離当たりの除去量(g/s/m)	有機態窒素を除去した割合	平均有機態窒素除去量(g/s)
瀬と淵浄化施設	10.4	5	927.3×10^{-5}	64.1% (25/39)	2.23
薄層流浄化施設	16.9	5	1175.2×10^{-5}	76.9% (10/13)	1.76
礫間接触酸化法	53.1	70-75	-	100% (8/8)	0.50
植生浄化法	3.5・8.7	-	$4.1 \times 10^{-5} \cdot 2.1 \times 10^{-5}$	75.0% (6/8)・88.9% (8/9)	0.0037・0.0018
接触酸化法	8.9	5-10	271.6×10^{-5}	63.3% (19/30)	0.27

植生浄化法は全窒素・ PO_4^{3-} の値を示す

アンモニア態窒素の割合が最も高く、有機態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素と続く、年々アンモニア態窒素の割合が低くなり、硝酸態窒素の割合が高くなった。2005年では硝酸態窒素の割合が最も高くなっている。また、硝酸態窒素の割合が夏に高くなり、冬にアンモニア態窒素の割合が高くなる季節による明確な変化が見られる。これは水温の変化が水中内の分解生物に影響を与えているためと考えられる。

9. まとめ

表-2に各浄化施設のまとめを示す。本研究では大和川において実河川で運用されている浄化施設の効果を有機態窒素の増減から考察した。

各浄化施設の有機態窒素除去率を求めた。礫間接触酸化法を除く浄化手法では常に浄化が起きているわけではないことがわかった。有機物を減少させることを目的とすると有機物増加の原因の一つとなる光合成が起こらない条件下で処理することが望ましいと考えられる。また、長期データを用いた考察から大和川では有機態窒素濃度、BOD濃度とも年々減少している傾向にあることがわかった。過去から現在にかけて流域の窒素形態が主にアンモニア態窒素から硝酸態窒素に変わってきたことがわかった。

植生浄化法を除く有機物除去を目的としている浄化施設の中で礫間接触酸化法が有機態窒素除去率53.1%と最も高かった。しかし、計画除去率70%から75%を満たしていなかった。これは現在設置されている浄化施設の多くは約10年前に設置され、設置時に比べ現在の流入水の水質が改善されたため有機態窒素除去率が計画除去率より大幅に低くなったと考えられる。今後も水質は改善されていくとみられ有機態窒素除去率は下がっていくと考えられる。瀬と淵浄化施設、薄層流浄化施設は計画除去率よりも高い有機態窒素除去率を示した。単位距離当たりの除去量では薄層流浄化施設が瀬と淵浄化施設よりも高くなった。この結果から同じ長さの浄化施設を作った場合薄層流浄化施設の方が効率よく浄化することができると考えられる。有機態窒素を除去した割合を見ると礫間接触酸化法で100%と最も高くなった。これはその他の浄化手法と異なり河川から浄化施設内に水を導き処理しているので安定して除去で

きていると考えられる。しかし、平均有機態窒素除去量は0.50g/sと最大の瀬と淵浄化施設の1/4程度と低くなった。礫間接触酸化法は処理できる量が河川流量に比べ小さいため水質汚染が著しく流量の少ない支流にしか効果があるといえない。現在大和川の水質は下水道整備、河川浄化施設の設置等により年々改善され環境基準値BOD5.0mg/lを達成する頻度が増えてきている。よって有機物の除去を目的とした浄化施設の必要性が無くなっていくと考えられる。

それらを踏まえこれからの河川浄化施設の役割は水質改善のみでなく水生生物の生活空間の創生や地域住民の環境意識をあげるといったことも考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 井伊博行・平田健正・長谷部正彦・江種伸之・坂本康・桑川高德・西山幸治・酒井信行・堀井壮夫：環境同位体および化学組成から見た石川流域の河川水と地下水の起源について，土木学会水工学論文集第43巻pp.205-210，1999。
- 2) 窪原拓馬・井伊博行・平田健正・江種伸之・石塚正秀・伊達達男・宮川勇二：大和川における河川水の水質特性について，土木学会水工学論文集第45巻pp.985-990,2001。
- 3) 井伊博行・谷口正伸・平田健正・石塚正秀・窪原拓馬・伊勢達男・宮川勇二：大和川のBOD、アンモニア態窒素、陰イオン界面活性剤濃度の季節変動とその原因について，土木学会水工学論文集，第46巻 pp.235-240,2003。
- 4) 大和川清流ルネッサンス21協議会：水環境改善緊急行動計画 大和川清流ルネッサンス21
- 5) 津田将之・尾島勝：接触酸化水路と植生浄化水路における水質浄化効果と付着藻類の消長について，土木学会水工学論文集，第50巻 pp.1099-1104,2006。
- 6) 佐藤和明・岸田弘之・千葉知由・田中成男：山王川における植生浄化の長期実験結果，河川環境総合研究所報告第8号，pp.13-33,2002。
- 7) 津田将之・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，土木学会水工学論文集，第47巻 pp.1099-1104,2004。
- 8) 国土交通省近畿地方整備局大和川工事事務所：大和川の水環境改善への取り組み 大和川施設概要，pp.1-10，2002。
- 9) 国土交通省水文水質データベース<http://www1.river.go.jp/>
- 10) J.アンドリュース・P.プリンプルコム・T.ジッケルズ・P.リス・渡辺正訳：地球環境科学入門，シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社，pp129-130,1997。

(2009.9.30受付)