

河川の水質管理と浄化法

Water Quality Management and Purification Method in River Basin

尾島 勝

Masaru OJIMA

1. まえがき

1992年（平成 4年）6月、フランクフルトのライプツィヒで開かれた「地球サミット」では、人間がかかわる水環境は、全地球規模で認識されるべきであるとする国際社会的合意がなされた¹⁾。

わが国では、翌平成 5年 1月に環境基本法が制定され、その基本理念のもとに平成 6年 1月には建設省は環境政策大綱を策定している。そこに示された環境施策の理念は（1）ゆとりとうるおいのある美しい環境の創造と継承、（2）健全で恵み豊かな環境の保全、（3）地球環境問題への貢献と国際協力の推進の 3点としている。また、平成 5年11月に建設省は河川審議会に対して「今後の河川環境はいかにあるべきか」を諮問しており、それに対する答申が平成 7年 3月になされている。

周知のとうり、日本水環境学会とは別に土木学会においても平成 7年 3月に第 7部門環境が設立され、従来の第 2部門の衛生工学分野からさらに発展、拡大したテーマについて、平成 8年度より鋭意研究が進められており、とくに環境保全対策に関する事例の公表が多くなったと思われる。

以上のように近年とくに重要視されてきた環境政策の流れの中で、河川分野における新たな水環境施策展開が図-1に示した体系図の下に実施されつつある²⁾。

第32回を数える本水工学シリーズにおいて、河川環境や湖沼環境に関するテーマがこれほど多く取り上げられたことも初めてのことであろう。

著者は、水理委員会の基礎水理部会に所属するとともに、福山において芦田川の水環境管理計画の策定にも参画して、色々と実践的な課題にも取り組んでいる。

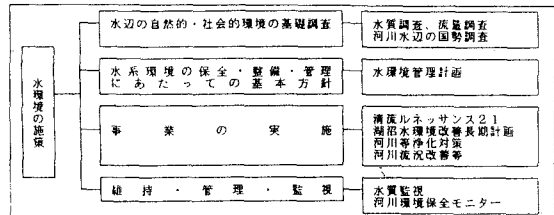


図-1 水環境施策の体系図

2. 河川水質の保全・管理

2-1 水質管理計画の考え方³⁾

今日、水質管理の目標が管理主体により、時により、場所によって異なっているから、次ぎの 5項目についてそれぞれ明らかにする必要がある。

- 1) 望む水質とはなにか、
- 2) 河川のどのような水理条件（渇水、低水等）を対象とすべきか、
- 3) 河道内自浄作用の評価、
- 4) 流入汚濁量の把握とその削減方法、
- 5) 水質維持のための工学的手法とその効果・限界の算定、

すなわち、河川水質管理計画を立てるとき、対象とすべき水質指標は汚濁原因（源）によって異なり、その制御法も異なるので、計画の規模、目標をまず最初に明確に持つことが肝要である。

①発生汚濁負荷量の推定

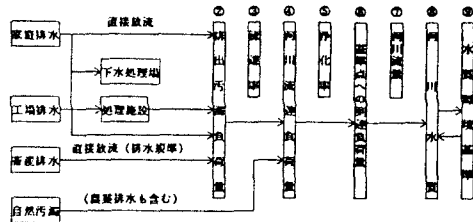


図-2 河川水質同定のフロー

表-1に水質汚濁の原因と生起現象、水質指標、法的規制、制御方法についてまとめて示した。望ましい水質基準は、利用水の用途によって異なることは周知の通りであり、上水道原水、農業用水、工業用水、水産用水に対してそれぞれ独自の水質指標とその基準値が定められている。

わが国においては、これらの用水を河川水に大部分依存しているから、雨水の他に家庭排水や工場排水、下水処理水などが流入する河川への流入汚濁物質について、いわゆる排水基準として健康項目 9、生活環境項目16の全国一律の基準値が定められている。したがって、河川水質管理計画は、図-2のようなフローにしたがって策定される。

2-2 水質保全対策事業

河川管理といえば、従来は水利用管理が中心であり、農業水利権が絶大であった。したがって、昔から日本のみならず諸外国においても「水争い」は絶えない。すなわち、まず第一は水量であり、安全で安定した水の確保のための「治水」・「利水」管理に重点が置かれたことは当然であろう。しかし、今日では水質の重要性が人間のみならず生態系全体としての環境問題として指摘され、その管理・保全の方策が具体化されつつある。

河川にかかわる基本法としては、明治29年（1896）に制定された旧河川法があり、昭和39年（1964）の

新河川法によって治水・利水に加えて、河川環境の保全が明記されることになった。しかし、水質問題が河川管理の中に組み込まれるようになったのは、昭和33年（1958）の水質保全法の成立によるものが初であり、昭和42年には公害対策基本法が成立、昭和45年には水質汚濁防止法が制定され、「健康の保護」と「生活環境の保護」に関する環境基準が公示され、87水系に適用された。そして同時に公害行政を直轄する環境庁が設立された。そして48年には、瀬戸内海環境保全特別措置法が制定された。

水利用に直接関連する法律等をまとめて表-2に示した。また、平成 4年10月には、中央公害対策審議会と自然環境保全審議会とによって、地球規模的な今日の環境問題に対処すべき新しい「環境基本法制のあり方について」の答申がなされている。

今日、実施されたり検討されている水質保全対策事業を整理、分類すれば表-3のようになる⁴⁾。

表-1 水質汚濁の原因と生起現象

原因物質	水質汚濁現象	水質指標	法的規制	制御方法
1 病源菌	水系伝染病の流行	大腸菌群数、一般細菌数	飲料水基準、環境基準	消毒
2 急性有毒物質	魚類の死亡	フェノール、シアン	飲料水基準、排水基準	除去・吸着・生物分解
3 酸・アルカリ	酸性・アルカリ性水質・パイの腐食	pH、アルカリ度、硬度	ほとんどすべての基準に含まれる	中和
4 無機物・土砂・砂・泥土	濁り 色の増加	浮遊物質・濁度・透明度	飲料水基準、環境基準	沈降・凝集・沈降・凝集・沈降
5 有機物・腐敗等	浮遊腐敗の発生 嫌気化 魚類の死亡	DO、BOD、COD TOC、TOD	環境基準、排水基準	生物処理 エアレーション
6 無機栄養塩（リン・窒素）	富栄養化、赤潮 藻類の異常増殖	全窒素、アルブミン イデ性窒素、アンモニア、亜硝酸、硝酸、リン	なし	磷化処理 （三次処理）
7 重金属類 難分解性物質	慢性毒（水俣病等）	アルミニウム、砒素、カドミウム、クロム、PCB、DDT、等	環境基準（難燃項目） 飲料水基準、下水道受入れ基準	クロース ド・シス テム
8 その他 の項目	水質悪化、腐敗 腐敗スモールの発生	水色、透明度、イオン、硬度、電導度、マイ 酸、腐分	項目・状況に応じて定められている	

表-2 水利用関連法

- 1) 旧河川法（1896年、M.21） 治水対策に重点、約70年間河川に係る基本法
- 2) 電気事業法（1911年、M.44）
- 3) 国土総合開発法（1950年、S.23）
- 4) 工業用水法（1954年） 5) 水道法（1957年） 6) 工業用水道事業法（1956年）
- 7) 水質保全法（1958年） 初めて水質問題が河川管理の中に入る
- 8) 水質汚濁防止法（1964年、S.16） 水質汚濁防止事業（利水）の重要 5水系指定
- 9) 新河川法（1964年、S.33） 治水、利水に加えて河川環境の保全を明記
- 10) 公害対策基本法（1967年） 水、大気、土壌、騒音について守るべき環境を制定
- 11) 水質汚濁防止法（1970年） 「健康の保護」と「生活環境の保護」に関する環境基準を設定、87水系に適用、この法律を具体化するための14の関連法を改正、新設した…「公害調査」「環境庁を設立…公害行政を直轄」
- 12) 瀬戸内海環境保全特別措置法（1973年）
- 13) 流域別下水道整備総合計画 1973年に制定、河川全体の汚濁物質の収支と水質の予測を行うことに主眼をおく

表-3 水質保全対策事業の分類

河川での対策………	流況の改善 （維持用水、浄化用水の確保） 汚濁負荷の除去 （汚泥の浚渫、浄化用水等によるフラッシュ、中間接触酸化法、ひも状接触酸化法、エアレーション、マイクロストレーナー、滞留池） 汚濁負荷流入の分離 （二段河川、水質保全水路）
河川外での対策………	下水道の整備 工場排水、畜舎排水等の規制 生活雑排水の簡易処理 浄化にかかわる広報・啓蒙活動の促進

河川での対策は、表に示すように1)流況の改善、2)汚濁負荷の除去、3)汚濁負荷流入の分離、の3手段に大別される。

2-3 水環境保全施策の最近の動向

平成 6 年（1994）7 月に日本水環境学会が上記の主題のもとに特集を組んでいる。

建設省⁶⁾は平成 4 年には 1 級河川 109 水系1062地点において

219028検体の水質調査を実施しており、環境基準値の満足度は全国平均値で見れば76%（963地点）であり、昭和50年代のはじめに比べれば10%も改善されている。しかし、地域別に見れば、図-3に示したとおり関東（55%）、近畿（66%）、中国（69%）が平均値以下であり、とくに大都市域の中小河川の水質環境の悪化が著しい。平成 4 年の河川水質（BOD75%）のワースト5は、綾瀬川（埼玉・東京）22.7mg/l、大和川（大阪・奈良）11.1mg/l、掛保川（兵庫）10.0mg/l、中川（埼玉・東京）7.6mg/l、鶴見川（神奈川）6.9mg/lであるが、数多くの水環境保全施策が実施されつつある多摩川を含めて、代表的な都市河川の水質の経年変化を図-4に示している。昭和40年代の綾瀬川や大和川では末期的な最悪状態にあったといえるが、この図から種々の水質改善の努力がなされてきたことがうかがえる。

図-4 都市河川代表地点の水質（建設省）



図-5 「清流プロジェクト21」第一次計画対象河川等

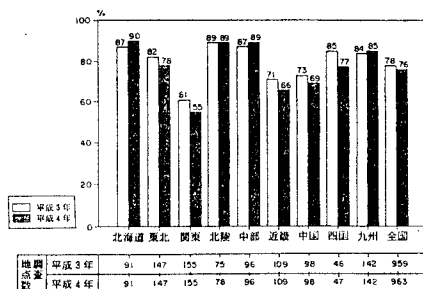


図-3 1級河川の環境基準達成割合

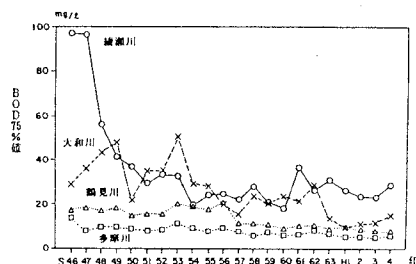


図-4 都市河川代表地点の水質（建設省）

の個性を映す場としての水環境、2)自然の健全な水循環の中における水環境という2つの視点を打ち出している。また、水環境の総合的保全という理念から、水質、水量、水辺の3要素の総合的・包括的な望ましい水環境像の評価を行うこととしている。すなわち、今後の環境行政のあり方として、図-7に示した新しい考え方のもとに地域の特性を最大限生かした取り組みが期待されている。

国土庁は¹⁰⁾、全国総合水資源評価などの長期的な水需要の検討を行っているが、自然環境の保全や水環境の整備に配慮しつつ、量・質一体としての水資源新規事業を展開している。とくに新規事業としての1)水とふれあい環境事業と、2)地域水循環改善事業について簡単に説明する。

水とふれあい環境事業は、平成5年度から実施されており、その目的は豊かで美しい生活環境の創造・保全のために、現在枯渇などが問題となっている湧水やその他の水辺空間の復活・整備を行い、湧水等を中心とした個性豊かで活力ある魅力的な地域の形成を図ることである。したがって、事業内容としては、湧水、池、沼、小川などの比較的小規模の身近な水辺環境を守ろうとするものであり、そのイメージを示せば図-8のようになる。事業主体は市町村であり、平成5年度は、北九州市、佐世保市、熊本市をはじめとして9ヶ所で実施された。次ぎの水循環改善事業は、平成6年度からのものであり、その目的は地域毎の多様な水需要に対応するため、開発の進展や非効率な水利用によって損なわれつつある地下水、湧水、河川水などを含めた地域固有の水環境システムの再生や新たなニーズに対応しうるシステムの構築を図ることである。したがって、事業内容は、数市町村程度の区域で、例えば環境用水の必要性、地下水の枯渇などが問題となっている地域を対象として、1)地下水などの既存の水資源の適正な利用・保全、2)下水処理水等未利用の水資源の発掘・活用、3)水の有効利用の促進などに関する施策を総合的・効率的に組み込んだ対策指針を策定することである。

3. 河川の水質浄化法

3-1 水質浄化法の分類

すでに述べたように公共用水域の水質保全対策は、「発生源対策」と「現象対策」とに大別される¹¹⁾。

発生源対策とは汚濁負荷が公共用水域に流入する前に かつする対策であり、具体的には工場からの排水規制や下水道事業がその主要な手段であるが、その他にも環境保全型農業の推進や生活雑排水の自主規制、清掃美化活動なども有効である。一方、現象対策とは、汚濁負荷が公共用水域へ出た後の水質浄化であって、具体的には流況改善のための他水路からの導水、河口湖や河川滞留部の底泥の浚渫除去、河川の自浄作用の活性を促す河川直接浄化などがあげられる。さらに河川浄化法は浄化原理、手法等によってさらに細かく分類される。図-9に河川の水質浄化手法を示した。

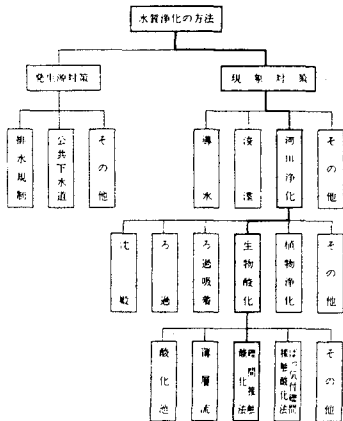


図-9 水質浄化手法の分類

宗宮を中心として「自然浄化機能の定量的把握」に関する研究成果を上梓した「自然の浄化機構」の中にも河川における自然浄化機能に関する新しい成果が数多く示されている¹²⁾。また、須藤らは現在考えられている水域の直接浄化法を表-4のようにまとめている¹³⁾。

図-9の現象対策としての「その他」は、表-4に記した曝気法（エアレーション）や、伏流浄化法（浸透拡散法）などが考えられる。とくにダム貯水池の水質保全事業として、昭和59年度から仙台の釜房ダムに曝気循環施設を設置し、パイロット実験が行われた¹⁴⁾が、平成6年度現在では17のダムで実施されている。

導水法や底泥浚渫法による水質改善の効果が大きいことは当然認められるが、導水用の定常的な用水源の確保と大型導水施設が必要となること、浚渫に当たっても大規模な範囲となることが多く、長期間の稼働を必要とする。

平成 5 年度におけるわが国の河川浄化事業の実施・計画件数を表-5 に示した¹⁵⁾。この表からも分かるように、浚渫による浄化事業が全体の55%と半分以上となっており、導水と直接浄化法はほぼ同数となっており、とくに河川直接浄化法による事業は今後の計画としてあげられているものが60%以上であることから、現在は種々の手法がテストされている段階といえるであろう。

直接浄化法の原理は、物理的①沈澱、②ろ過、物理化学的③ろ過吸着、生物学的④生物酸化、⑤植物浄化、などであり、生物酸化を促す手段として、酸化池、薄層流、礫間接触材などを用いる。表-5 に示した浄化事業が実施計画している手法は表-6 に示したとおりであり、礫間接触酸化法の人気が高い。しかし、これらの浄化法についてもそれぞれ長所・短所があり、表-7 にあげられるような技術開発に向かって、なお多くの試行がなされている段階である。

表-4 河川の直接浄化法

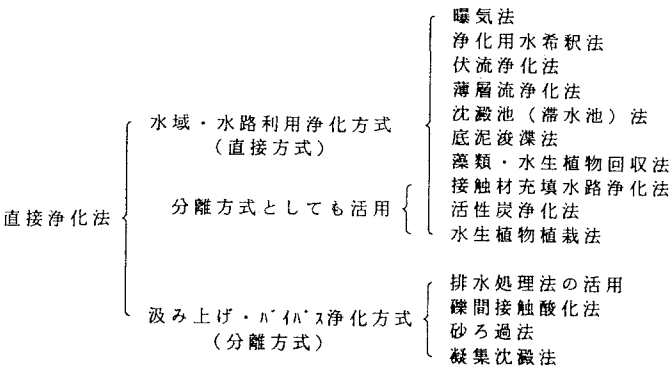


表-5 河川浄化事業の実施・計画

河川浄化事業	事業主体	実施	計画	合計
浚 渫	建設省	9	1	10
	自治体	84	1	85
	合 計	93	2	95
浄化用水導水	建設省	15	11	26
	自治体	3	8	11
	合 計	18	19	37
河川直接浄化	建設省	11	15	26
	自治体	4	10	14
	合 計	15	25	40

(実施・計画件数)

表-6 河川直接浄化手法件数

	実施	計画	計
礫間接触酸化	9	6	15
曝気付礫間接触酸化	4	9	13
植生浄化	1	2	3
薄層流浄化	1	1	2
ジャリッコ浄化	0	2	2
プラスチック接触酸化	0	1	1
礫間+土壌浸透法	0	1	1
流水保全水路	0	1	1
検討中	0	2	2
計	15	25	40

表-7 技術開発の目標

- (1) 公共環境として満足する水質まで浄化が可能であること
- (2) 施設規模当たりおよび時間当たりの浄化能力が大きいこと、浄化効率の安定性・持続性があること
- (3) 浄化処理 コストが極端に高くないこと
- (4) 維持管理が容易であること

3-2 水質浄化対策実施例

1) 高良川（筑後川支川、久留米市）の浄化施設¹⁶⁾

昭和62年度事業着手、平成元年度に完成（事業費 8億 3千万円）。礫間接触酸化法を採用。

計画流入水質BOD 20mg/l、SS 25mg/l、目標除去率BOD 75%、SS 80%、滞留時間 1.3時間（計画水量 0.4m³/sec=24m³/min）としている。施設の規模は、幅 40m、長さ 20m、高さ3.5mの地下埋設槽 2基であり、接触材は 5～15cm径の割栗石である。導水方法は、ゴム引布製の起伏堰による自然流入方式としており、したがって汚泥の堆積による浄化能の低下防止・回復のために定期的にポンプ曝気による汚泥排除装置を併設している。浄化後の放流水のDOを 3mg/l以上に確保するためにDO回復堰を設置し、さらに異常時の水質悪化防止策として間欠式曝気装置も併設している。なお処理水の一部（0.1m³/s）を久留米市百年記念公園のせせらぎ水路に導水し、親水環境を創造している。

2) 新町川（吉野川派川、徳島市）の浄化対策¹⁷⁾

徳島市の中心部の河川図を 図-10 に示した。また、阿波踊りでも有名な市街地の中心部にある新町橋地点における水質の経年変化を 図-11 に示しているが、昭和40年代にはまさにドブ川化していた。この川の蘇生策として、(1)堆積汚泥の浚渫、(2)浄化用水の導入が実施されている。

(1) 浚渫事業 昭和46年度より、新町川、助任川、大岡川、住吉川の汚泥浚渫を実施。計画浚渫量49万8千m³、河床工1.56Km。平成 2年度までに浚渫 28.16万m³、河床工540m 完了（事業費約12億 7千万円）。

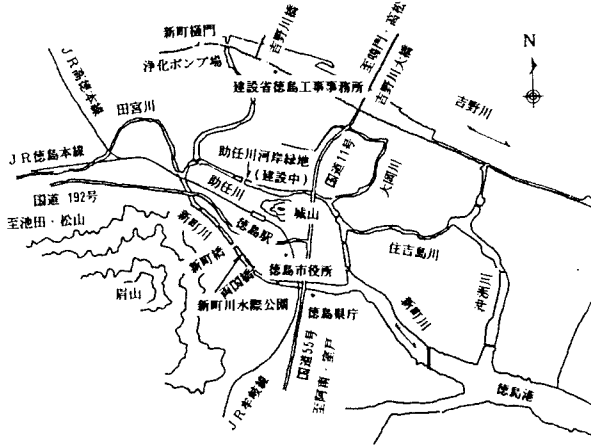


図-10 徳島市の中心部河川図

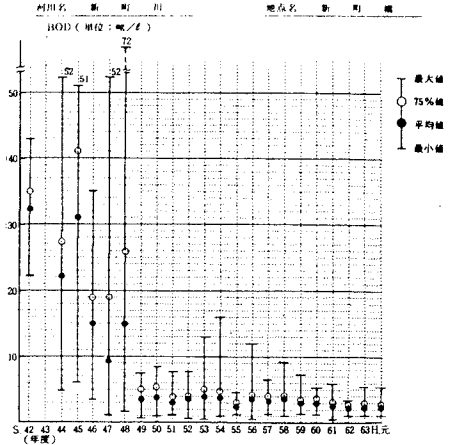


図-11 新町川水質の経年変化

(2) 浄化用水導水事業 第1期事業(昭和50年度～54年度)昭和55年度より吉野川本川より $4\text{m}^3/\text{sec}$ のポンプ用水と潮汐干満を利用した水門操作を併用して新町川へ導水。

第2期事業(平成2年度～)田宮川への導水を計画、導水量 $6\text{m}^3/\text{sec}$ に変更。

(3) 貯木場の廃止 徳島市は「昔は藍、今は家具木工」といわれるほど市内沿川に製材所が多く、かなりの水面は貯木場として利用されていた。したがって、これが河川汚濁の大きな一因でもあり、また昭和36年の第2室戸台風時には貯木材の多量の流出と、それに伴う河川構造物への大きな被害を与えることとなった。これを契機に水質改善と、防災の両面から貯木占用許可を逐次へらし、昭和48年度には全廃され、水質の改善が一挙に進んだ。

さらに、建設省が昭和60年度から始めた「シフトアップ・マイトン計画(地方都市中心市街地活性化計画)」による新町川水際公園事業や助任川河岸緑地事業も完成し、「都市のフーズ」としての水辺空間の機能が発揮されている。最近の徳島市内河川の水質については、三井、村上、中野らの研究成果に発表されている^{18)、19)、20)}。

3) 大阪市内水域環境保全基本計画(クリソウォータープラン)²¹⁾

大阪市が「水の都」の復活をめざして、治水と親水の調和をめざし、図-12に示した市内の数多くの河川において整備事業が進められてきた。そのうちのいくつかを紹介する。

(1) 住吉川 大阪市の南西部を東から西に流れる延長3Kmの河川であり、防潮水門上流の1.1Km区間は、平成元年に建設省の都市清流総合計画事業の指定を受けて、新たな取り組みが始められた。

その事業は ①河川浄化事業と ②河道整備事業である。

河道浄化事業の内容は浄化用水の導入である。下水第3次処理水を $6500\text{m}^3/\text{day}$ ($4.5\text{m}^3/\text{min}$) で8.7Kmの導水管により住吉川の上流河川の細江川に導水するものと、大和川の河川水を $12\text{m}^3/\text{min}$ でポンプ揚水し、1.7Kmの導水路によって上流河川の十三間川に導水するものである。

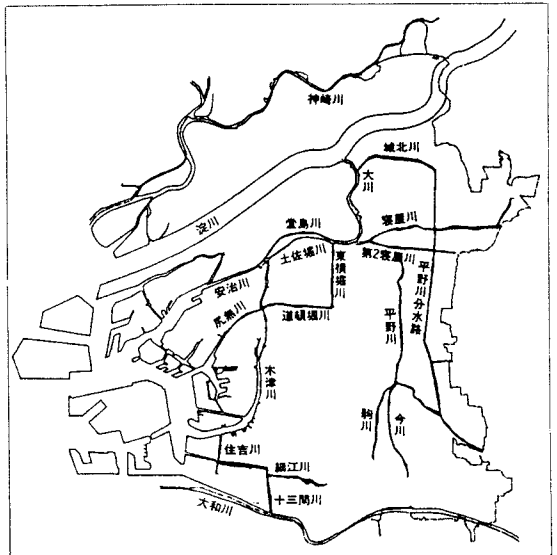


図-12 大阪市内河川図

流入水質は BOD 5.0mg/lであるが、最大で16.5m³/minの維持用水の確保によって、住吉川の底質が大幅に改善されている。

(2) 道頓堀川 安井道頓によって大阪城築城にともなう堀川として開削(1612~1615)された 2.9Kmの人工河川である。水質浄化対策としては昭和40年代から着手されており、昭和50年浚渫船「せきれい」の建造、昭和53年東横堀川水門の設置、昭和54年 エアレーション(噴水)装置の設置、平成元年、エアレーション(ウォーターカーテン)装置などが実施され、昭和51年の BOD値10mg/lが最近では 1/3程度にまで改善されており、多数の魚も棲みついているようである。

4) 大和川清流メンテナンス^{21,22)}

平成 6年11月に策定された計画の目標水質と現況(平成 4年)水質が示されているが、19観測点のうち類型指定は、B、Dがそれぞれ 1ヶ所、残り17ヶ所は C類型(5mg/l)である。大和川の汚濁負荷の88%が生活系であるため、下水道整備が急務であることは自明であり、現況の人工普及率40%を今世紀中に71%にまで高める計画が進められている。その他にも農業集落排水

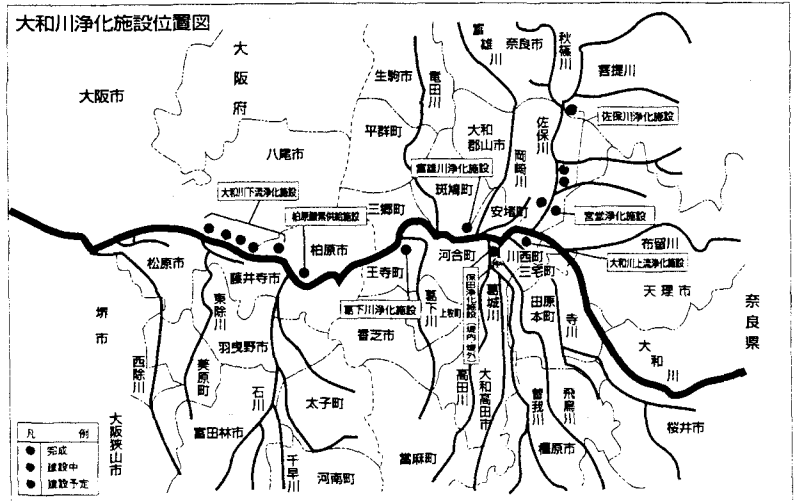


図-13 大和川浄化施設位置図

水事業や合併処理浄化槽の普及によって短・中期的な生活排水の処理が行われている。

さらに大和川の流域では、図-13に示したように、他流域には見られないほどの多彩な河川浄化事業が展開されている。富雄川、飛鳥川では礫間接触酸化法、佐保川、曾我川では接触酸化法、葛下川、本川上流では多自然型浄化法、柏原では酸素供給法(噴水)、本川下流では瀬と淵浄化法が実施・計画されており、奈良県や大阪府の浄化事業も加えれば30ヶ所以上を数える。

(1) 富雄川浄化施設: この施設は建設省・奈良県・大阪府が策定した「777ロード大和川計画」の一環として完成した最初のものである。浄化方式は礫間接触酸化法で、浄化水量は 0.3m³/s、計画流入水質は BOD13 mg/l、SS25mg/l、計画除去率は BOD75%、SS70%、滞留時間 1.1時間としている。河川の高水敷の地下に長さ 20m、平均幅 10.5m、深さ3mの逆台形の礫槽を 8基直列(総容量5200m³)に設置し、ポンプ取水した原水を導水管によって送水し、各礫槽内に配置された有孔流入管から礫槽に注水している。

(2) 保田浄水施設: この施設は、飛鳥川と曾我川の合流部の堤外地(高水敷)と堤内地に建設されたものである。飛鳥川を対象とする堤外地施設は礫間接触槽と酸化池を併設しており、浄化水量は 0.5m³/s、計画流入水質はBOD9mg/l、SS27mg/l、計画放流水質はBOD3mg/l(除去率67%)、SS 8mg/l(除去率70%)、滞留時間 1.1時間としている。高水敷の地下に長さ 20m、幅 22m、深さ2.5mの礫槽が 8基直列(総容量8800m³)に設置され、取水は起伏転倒堰により河川水位を堰上げて、自然流下させる。その下流に酸化池があり、この酸化池は水生植物を植えたり、転石をおき、周辺環境に馴染むように配慮している。曾我川を対象とする堤内地施設は、幅4.5m、長さ 6.75m、深さ8.3mの礫間接触槽を20系列設置し、総容量9842m³、浄化水量 3.0m³/sの大型施設であり、平成 9年度に完成予定である。上向流をつくり、滞留時間は45分としている。

3-3 礫間接触酸化法による浄化実験

1) 多摩川水系の諸施設(野川、平瀬川、谷地川、根川) ²³⁾

全国 の 先 駆 け で あ る 野 川 浄 化 施 設 は、 昭 和 58 年 7 月 か ら 稼 働 し 続 け て い る。 計 画 処 理 水 量 は 1.0m³/s、 計 画 流 入 水 質 は BOD13mg/l、 SS16mg/l、 目 的 除 去 率 は BOD75%、 SS85% と さ れ、 地 下 構 造 の 浄 化 槽 は 有 効 水 深 1.5m、 槽 形 状 18.5m×92m×8 基 の 全 槽 面 積 13600m² の か な り 大 型 の 施 設 で あ る。 最 近 で は ほ ぼ 60% の 稼 働 率 で あ る。

水 質 浄 化 効 果 は 表-8 に 示 し た。 SS に つ い て み れ ば、 野 川 の 平 均 水 質 は 16.1mg/l、 施 設 へ の 流 入 水 は 7.7mg/l、 流 出 水 は 2.6mg/l で 81% の 高 い 除 去 効 果 を 上 げ て い る こ と が 分 か る。

BOD に つ い て み れ ば、 10 年 前 の 野 川 の 値 は 20mg/l を 超 え る ほ ど 汚 濁 し て い た が、 平 成 4 ～ 5 年 度 で は 8.5 ～ 5.4 mg/l で あ り、 種 々 の 水 質 改 善 が は か ら れ、 流 水 の 水 質 が 明 ら か に 良 く な っ て い る と い え る。 浄 化 槽 を 通 っ た 水 は 1.5 ～ 1.9mg/l に ま で 浄 化 さ れ て お

り、 除 去 率 は 70% を 超 え て い る。 谷 地 川 施 設 は、 平 成 5 年 3 月 に 完 成 し、 計 画 処 理 流 量 0.50m³/s、 計 画 流 入 水 質 BOD15mg/l、 SS15mg/l、 目 的 除 去 率 BOD75%、 SS85% と さ れ て い る。 平 成 5 年 9 月 か ら 6 年 3 月 ま で の 水 質 調 査 結 果 に よ れ ば、 BOD、 SS と も に 浄 化 目 標 を 達 成 し て い る。

窒 素 や リ ン に つ い て も 水 質 濃 度 値 が 示 さ れ て い る が、 河 川 水 の T-N 10.1mg/l、 T-P 0.678mg/l と き わ め て 高 い 値 で あ り、 富 栄 養 化 が 進 ん で い る と い え る。 礫 槽 内 で の 除 去 率 は T-N で 20%、 T-P で 30% と 低 い。

2) 大 和 川 水 系 の 諸 施 設 (富 雄 川、 飛 鳥 川) ²⁴⁾

富 雄 川 の 浄 化 施 設 は 近 畿 地 方 に お け る 初 め て の 本 格 的 な 直 接 浄 化 施 設 で あ り、 す で に 述 べ た よ う な 規 模 で あ る。 平 成 4 年 5 月 か ら 通 水 し、 5 月 28 日 よ り 周 1 回 の 定 期 的 水 質 分 析 調 査 を 行 っ て い る。 平 成 5 年 度 以 降 は 採 水 分 析 期 日 を 適 宜 定 め て 水 質 分 析 調 査 を 継 続 し て い る。

表-9 に は 平 成 7 年 4 月 か ら の 6 回 の 調 査 結 果 を 示 し て い る。 BOD に つ い て み れ ば 流 入 水 質 が 10mg/l 以 下 の 場 合 は 除 去 率 20% 程 度 以 下 と 低 い 値 で あ る が、 流 入 水 質 が 20mg/l ～ 61.8mg/l と 高 い 値 の 場 合 に は、 除 去 率 は 50% 程 度 以 上 と な っ て お り、 十 分 な 浄 化 効 果 が 発 現 さ れ て い る と い え る。 紙 面 の 都 合 で こ こ に は 示 し て い な い が、 平 成 4 年 度 の 周 1 回 の 定 期 的 分 析 結 果 に よ れ ば、 流 入 水 質 が 10mg/l 以 下 の 場 合 が む し ろ 多 い が、 そ の 場 合 で も 除 去 率 は 50% か ら 70% の 高 い 値 を 示 し て い る。 こ れ ま で の 分 析 調 査 (71 回) の 流 入 水 の 濃 度 値 は、 最 大 79.4mg/l、 最 小 4.2mg/l で あ り、 平 均 値 は 45.6% で あ る。 計 画 除 去 率 の 75% を 満 足 し て い る の は 14 回 で あ

表-8 野川浄化施設水質調査

項目	DO		SS		SS除去率		BOD		BOD除去率		D-BOD		D-BOD除去率				
	(mg/ℓ)		(mg/ℓ)		(%)		(mg/ℓ)		(%)		(mg/ℓ)		(%)				
年度	野川	流入	野川	流入	流出	槽槽全体	野川	流入	流出	槽槽全体	野川	流入	流出	槽槽全体			
昭和58年度	8.4	7.1	40.1	9.4	2.8	70.2	93.0	22.3	12.1	4.1	66.1	81.6	7.7	6.8	2.5	63.2	67.5
昭和59年度	8.1	4.9	27.4	10.1	3.8	62.4	86.1	23.4	14.2	6.1	57.0	73.9	10.3	8.0	4.3	46.3	58.3
昭和60年度	8.4	7.3	13.7	6.7	1.9	71.6	86.1	14.5	11.1	4.0	64.0	72.4	6.3	5.6	2.7	51.8	57.1
昭和61年度	8.8	7.4	16.5	10.5	4.3	59.0	73.9	16.0	11.3	4.9	56.6	69.4	7.5	5.7	2.7	52.6	64.0
昭和62年度	6.8	3.0	12.7	8.3	3.8	54.2	70.1	18.7	15.0	7.7	48.7	58.8	9.4	7.6	4.2	44.7	55.3
昭和63年度	7.7	4.8	9.5	8.4	3.7	56.0	61.1	11.5	11.4	3.8	66.7	67.0	5.6	5.7	2.5	56.1	55.4
平成元年度	8.4	4.0	8.4	4.8	1.5	68.8	82.1	16.9	11.4	4.4	61.4	74.0	8.1	6.8	2.6	61.8	67.9
平成2年度	7.7	5.4	16.4	7.1	1.7	76.1	89.6	18.0	12.1	3.4	71.9	81.1	7.6	6.3	2.6	58.7	65.8
平成3年度	9.1	7.9	12.5	7.6	1.5	80.3	88.0	14.1	8.9	2.8	68.5	80.1	4.7	4.4	2.1	52.3	55.3
平成4年度	8.6	7.2	9.8	6.9	0.8	86.1	91.8	8.5	6.7	1.9	69.8	77.6	3.9	3.7	1.4	62.7	64.1
平成5年度	8.3	7.0	9.6	5.2	3.1	40.4	67.7	5.4	5.3	1.5	71.7	72.2	2.9	2.4	1.4	41.7	51.7
全平均	8.2	6.6	16.1	7.7	2.6	65.9	80.9	15.4	10.9	4.1	63.9	73.5	6.7	5.7	2.6	53.8	60.2

り、 除 去 率 は 70% を 超 え て い る。 谷 地 川 施 設 は、 平 成 5 年 3 月 に 完 成 し、 計 画 処 理 流 量 0.50m³/s、 計 画 流 入 水 質 BOD15mg/l、 SS15mg/l、 目 的 除 去 率 BOD75%、 SS85% と さ れ て い る。 平 成 5 年 9 月 か ら 6 年 3 月 ま で の 水 質 調 査 結 果 に よ れ ば、 BOD、 SS と も に 浄 化 目 標 を 達 成 し て い る。

窒 素 や リ ン に つ い て も 水 質 濃 度 値 が 示 さ れ て い る が、 河 川 水 の T-N 10.1mg/l、 T-P 0.678mg/l と き わ め て 高 い 値 で あ り、 富 栄 養 化 が 進 ん で い る と い え る。 礫 槽 内 で の 除 去 率 は T-N で 20%、 T-P で 30% と 低 い。

2) 大 和 川 水 系 の 諸 施 設 (富 雄 川、 飛 鳥 川) ²⁴⁾

富 雄 川 の 浄 化 施 設 は 近 畿 地 方 に お け る 初 め て の 本 格 的 な 直 接 浄 化 施 設 で あ り、 す で に 述 べ た よ う な 規 模 で あ る。 平 成 4 年 5 月 か ら 通 水 し、 5 月 28 日 よ り 周 1 回 の 定 期 的 水 質 分 析 調 査 を 行 っ て い る。 平 成 5 年 度 以 降 は 採 水 分 析 期 日 を 適 宜 定 め て 水 質 分 析 調 査 を 継 続 し て い る。

表-9 に は 平 成 7 年 4 月 か ら の 6 回 の 調 査 結 果 を 示 し て い る。 BOD に つ い て み れ ば 流 入 水 質 が 10mg/l 以 下 の 場 合 は 除 去 率 20% 程 度 以 下 と 低 い 値 で あ る が、 流 入 水 質 が 20mg/l ～ 61.8mg/l と 高 い 値 の 場 合 に は、 除 去 率 は 50% 程 度 以 上 と な っ て お り、 十 分 な 浄 化 効 果 が 発 現 さ れ て い る と い え る。 紙 面 の 都 合 で こ こ に は 示 し て い な い が、 平 成 4 年 度 の 周 1 回 の 定 期 的 分 析 結 果 に よ れ ば、 流 入 水 質 が 10mg/l 以 下 の 場 合 が む し ろ 多 い が、 そ の 場 合 で も 除 去 率 は 50% か ら 70% の 高 い 値 を 示 し て い る。 こ れ ま で の 分 析 調 査 (71 回) の 流 入 水 の 濃 度 値 は、 最 大 79.4mg/l、 最 小 4.2mg/l で あ り、 平 均 値 は 45.6% で あ る。 計 画 除 去 率 の 75% を 満 足 し て い る の は 14 回 で あ

表-9 富雄川浄化施設水質調査

採水日	水温(℃)	DO(mg/L)	(%)BOD(mg/L)		(%)D-BOD(mg/L)		(%)SS(mg/L)		(%)VSS(mg/L)		(%)濁度(度)		(%)pH(-)	
	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水
95/4/19	17.4	15.7	9.1	5.7	37.4%	8.0	7.0	12.5%	7.0	5.0	28.6%	45	26	42.2%
8/30	28.9	28.3	2.0	1.9	5.0%	24.0	13.0	45.8%	15.0	8.3	44.7%	44	16	62.6%
9/13	30.0	25.0	11.6	3.2	72.4%	18.8	5.1	72.9%	9.7	4.2	56.7%	21	12	42.9%
10/13	25.7	21.8	13.4	3.6	73.1%	9.4	7.3	22.3%	5.7	4.5	21.1%	15	4	73.3%
96/2/8	9.0	6.1	6.7	2.0	70.1%	35.0	17.0	51.4%	16.8	11.6	31.0%	44	16	63.6%
2/28	12.8	8.0	6.5	6.4	1.5%	61.8	8.0	87.1%	39.9	6.1	84.7%	57	14	75.4%
平均値	20.6	17.5	8.2	3.8	43.3%	26.2	9.6	43.7%	15.7	6.6	44.4%	38	15	60.2%
最大値	30.0	28.3	13.4	6.4	73.1%	61.8	17.0	97.1%	39.9	11.6	84.7%	57.0	26.0	75.4%
最小値	9.0	6.1	2.0	1.9	1.5%	8.0	5.1	12.5%	5.7	4.2	21.1%	15.0	4.0	42.2%

り、もう少し効率を向上させる必要があろう。飛鳥川の保田浄化施設は、平成7年1月より通水、ほぼ月2回の定期的水質分析調査を行っている。計測項目は富雄川の場合と同じく、水温、pH、DO、BOD、D-BOD、SS、VSS、濁度である。平成7年4月19日から平成8年3月4日までの24回の水質分析結果によれば、BODの最大値は12.9mg/l、最小値は14.6mg/l、平均値は8.5mg/lである。また除去率の平均値は39%であるが、その変動幅は78.4%～9.1%とかなり大きい。SSについてみれば、最大値45.0mg/l、最小値5mg/l、平均値14.6mg/lで、除去率の平均値は54%である。窒素、リンについては、表-10～表-11に示したように保田、富雄ともに月1回の分析である。流入水（河川）の水質は、富雄川の汚染度が飛鳥川に比べて数倍以上も高いことが分かる。とくに富雄川のリン値はあまりにも高濃度であり、その汚染源の特定が必要であると考ええる。

3) 芦田川芦田湖浄化施設²⁵⁾

芦田川の中流に建設された八田原ダム貯水池（芦田湖）の流域には約2万人の人口、牛・豚約2万頭の水質汚濁源があり、ダム湖に流入している宇津戸川の水質に問題がある。すなわち、宇津戸川からの流入量は、全流入量の約1割程度にすぎないが、水質はBOD（COD）で本川の2～5倍、T-P、T-Nで約10倍の高濃度である。したがって、総合的なダム貯水池水質保全事業として、躍層低下循環などの湖内対策、発生源対策や下水道などの流域対策と並行して植生浄化、多自然型浄化、接触酸化－土壤浄化などの積極的な流域河川対策が進められている。

芦田湖水質浄化施設およびリサイクルシステムは、曝気付き接触酸化法と土壤（黒ぼく土）浄化槽が主施設であり、リンと窒素の除去を目的としている。宇津戸川の汚染源は沿川上流部に大規模畜産施設や尿処理施設があり、流入水質は全リン（T-P）で0.6mg/lと劣悪であり、ダム湖水の富栄養化に直結する。したがって、計画除去率はT-P90%、T-N35%、COD65%の高いものとなっているが、平成3年度からの実験結果では、T-Pで90%、T-Nで45%、CODで60%の実績を示している。この施設での浄化対象水量は450m³/dayであるが、この浄化効果により貯水池流入総負荷量を約3割削減できる。

予備的実験により接触材としては礫（φ15cm）や玉砂利、プラスチック製品等の浄化能比較を行い、土壤材としては、鹿沼土と黒ぼく土の他にも真砂利、水砕スラグ、現場採取土などの通水性やリン除去率の比較を行い、本施設の接触材としては礫、土壤材としては黒ぼく土に決定している。

4) 高屋川水質浄化実験

(1) 実験背景

高屋川は、福山市を貫流し瀬戸内海に注ぐ一級河川芦田川の河口10km付近左岸に合流する一次支川であり

表-10 保田浄化施設水質調査（T-N、T-P）

採水日	T-N (mg/L) (%)			T-P (mg/L) (%)		
	流入水	放流水	除去率	流入水	放流水	除去率
95/8/9	1.5	1.2	20.0%	0.4	0.4	0.0%
9/13	1.7	1.7	0.0%	0.3	0.3	0.0%
10/11	2.6	0.7	73.1%	0.3	0.3	0.0%
11/8	3.0	2.9	3.3%	0.4	0.3	25.0%
12/6	4.2	3.9	7.1%	0.4	0.3	25.0%
96/1/10	6.6	5.4	18.2%	0.5	0.4	20.0%
2/8	7.3	6.1	16.4%	0.6	0.5	16.7%
2/28	7.3	6.2	15.1%	0.6	0.3	50.0%
平均値	4.3	3.5	19.2%	0.4	0.4	17.1%
最大値	7.3	6.2	73.1%	0.6	0.5	50.0%
最小値	1.5	0.7	0.0%	0.3	0.3	0.0%

表-11 富雄川浄化施設水質調査（T-N、T-P）

採水日	T-N (mg/L) (%)			T-P (mg/L) (%)		
	流入水	放流水	除去率	流入水	放流水	除去率
95/8/30	7.5	5.5	26.7%	2.6	2.9	-11.5%
9/13	7.9	3.2	59.5%	1.8	1.6	11.1%
10/11	4.1	6.0	-46.3%	4.1	6.0	-46.3%
96/2/8	13.5	8.7	35.6%	6.3	5.5	12.7%
2/28	14.1	6.2	56.0%	4.3	2.3	46.5%
平均値	9.4	5.9	26.3%	3.8	3.7	2.5%
最大値	14.1	8.7	59.5%	6.3	6.0	46.5%
最小値	4.1	3.2	-46.3%	1.8	1.6	-46.3%

流域面積約142Km²、幹川長21.3Kmである。この河川流域は近年急速に都市化が進み、総延長36.7Kmに及ぶ10数本の 2次支川が合流しており、下水道整備の遅れから生活雑排水の河川流入が水質汚濁を進行させる主原因となっている。

過去20年以上、中国地方7市 1の水質状況は、BOD 75％値は高屋川横尾地点で8.5～19.0mg/l、合流後の芦田川小水呑橋地点で4.5～9.3mg/lの高い値である。また富栄養化指標である T-N、T-P についてもかなり高く、横尾地点での過去10年（S.58～H.4）の平均値は4.31mg/l、0.415mg/l である。合流前の本川中津原地点の（10年平均値）がBOD 4.24mg/l、T-N 2.76mg/l、T-P 0.179mg/l であるのと比較すれば、高屋川の汚染度が際立っていることがわかる。

(2) 実験概要

すでに記述したが、芦田川は「清流メカニクス21」の対象河川に選定され、数多くの事業が展開されているが、ここでは、平成 6、7年度に実施された接触酸化法による実験について説明する^{26)、27)、28)}。実験水路の諸元は、有効水路断面 1.0m×1.0m、全長60m の直線水路 3本であり、各水路の間隔は1.0mで防水コンクリート仕上げである。水路勾配は高屋川の計画河床高に一致させており、ほぼ1/1680である。接触材としては、珊瑚石（礫径40～50mm）、脱油石炭（礫径25～50mm）、木炭（材材、長さ 10cm程度に割断）の 3種類を用い、いずれもナイロ製の ネット袋に詰め、1袋10～15kgとし、各水路の47°ブロックにできるだけ密に敷設し、およそ40cmの厚さで一様に形成した。

各実験水路へは一定流量をポンプ揚水により導水し、実験水路区間は自然流下方式とした。なお、水路上流端には、高さ1mの止水堰板、下流端には高さ36～39cmの止水堰板を取り付け、出水時の河川水の直接流入を防ぐとともに、3基の揚水ポンプと流量計及びパイプ系により、所定の流量制御を行っている。実験水路の計測測点および自記計測機器の設置導について、図-14 に示した。

平成 7年度は、前年度使用の接触材を洗浄して、再敷設し、所定の実験条件のもとに通水を行い浄化効果の発現性、再利用の可能性について検討することとした。実験条件は表-12 に示すように、季節的に 3シリーズ、流量（滞留時間）を変えて各

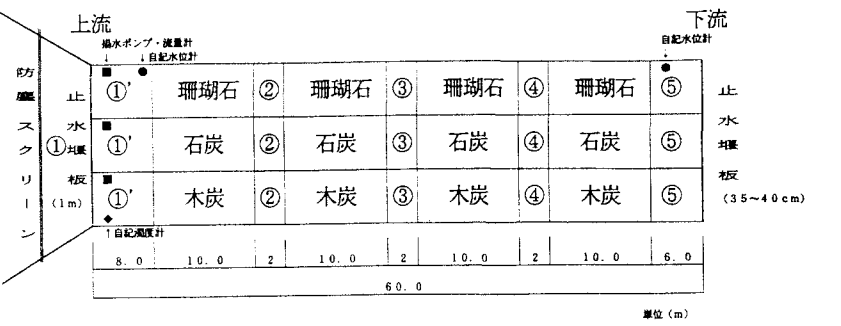


図-14 実験水路諸元及び測点

表-12 高屋川実験条件

ケース	設定滞留時間	ポンプ揚水量		実験期間	計測・採水日	建技用採水ポイント
1-1	5.0 ^分	1.12(m ³ /hr)	18.7(l/min)	10/ 9通水～10/23	10/11, 13, 17, 23	10/23 (流量設定9日)
1-2	2.0	2.8	46.7(l/min)	10/23 ～11/ 7	10/25, 27, 30, 11/7	11/7 (" 23日)
2-1	1.5	3.73	62.2(l/min)	11/16 ～11/30	11/16, 18, 24, 30	11/30 (" 11/16日)
2-2	1.0	5.00	93.3(l/min)	11/30 ～12/14	12/ 4, 6, 9, 14	12/14 (" 11/30日)
3-1	2.4	2.5	41.7(l/min)	12/14 ～ 1/22	1/10, 12, 16, 22	1/22 (" 12/14日)
3-2	2.9	2.0	33.3(l/min)	1/22 ～ 2/ 5	1/24, 26, 30, 2/5	2/5 (" 1/22日)

採水試料の水質分析項目は、COD、BOD、SS、濁度、T-N（有機態窒素、硝酸態窒素）、

T-P（全リン）であり、投入型直読水質チェッカーでは、水温、pH、DO、電気伝導度、濁度の 5項目である。さらに、実験開始前(洗浄前)と実験終了時の 2回堆積汚泥性状分析として、堆積汚泥の各接触材ブロック毎の堆積量、含水率、強熱減量を計測するとともに、各接触材ブロック毎の付着生物種および量、酸素消費速度

についても分析している。

(3)実験結果

平成 6年度の実験(平成 6年度 9月～平成 7年 2月)では、上・下流堰水位差にともなう自然流入方式としたため、流入流量との関連に関する十分な考察ができなかったが、平均的な除去率はCODで30～60％程度、T-N、T-Pで20～40％程度であった。

i)付着生物調査

①平成 6年11月の調査では、優占種、亜優占種について、材質別、フロック(位置)別の差異なし。ほとんどが珪藻類であり、付着数は木炭が最も多く、石炭が最小であった。

②平成 7年 9月の調査では、全体的にみれば前回の調査と同様の結果であるが、珊瑚石では下流 フロックほど総細胞数は減少していた。

③平成 8年 2月の調査結果では、前 2回の調査と同様に、接触材料による種組成の違いはほとんどなく、珪藻類のCyclotella Kutzchingia、Nitzschia palea、N.amphibia、Navicula pupula、Gomphonema parvulum の比較的汚濁に強い種が占める割合が50％以上であった。

ii) 汚泥調査

①平成 7年度の実験開始前と実験終了時の堆積汚泥総量は木炭1360kg、585kg、石炭 880kg、806kg、珊瑚石 760kg、724kgであった。

②表-13 に実験終了時の分析結果を示した。堆積量、強熱減量、酸素消費速度の値が最も大きいのは石炭であり、実験期間中に捕捉された懸濁物やその有機物含量ならびに生物活性が優れていたものと判断される。

表-13 水路内堆積汚泥調査結果

水路種別	堆積汚泥量 (m^3)	汚泥含水率 (%)	強熱減量 (%)	酸素消費速度 ($\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{hr.}$)
木 炭	0.418 (0.171)	56.6	20.6	0.123
石 炭	0.575 (0.286)	71.3	39.3	0.220
珊瑚石	0.517 (0.131)	37.3	12.1	0.133

iii)水質浄化特性

①図-15 には一例として、シ-ズ3-2の初回(1月24日)と終回(2月5日)の

COD 値の場所的浄化特性を示している。流入原水濃度は40～50 mg/l と極めて高濃度であるが、それぞれの接触材 フロックを通過するにしたがって、濃度は低減傾向を示しており、各水路の下流端⑤では、50％～90％の高い浄化効果が示されている。

②図-16 には、シ-ズ3-1の初回(1月10日)と終回(1月22日)の有機態窒素の場所的浄化特性を示した。接触材 フロックを通過するにしたがい、濃度は低減傾向を示しているが、その勾配は緩く、また浄化効果に対

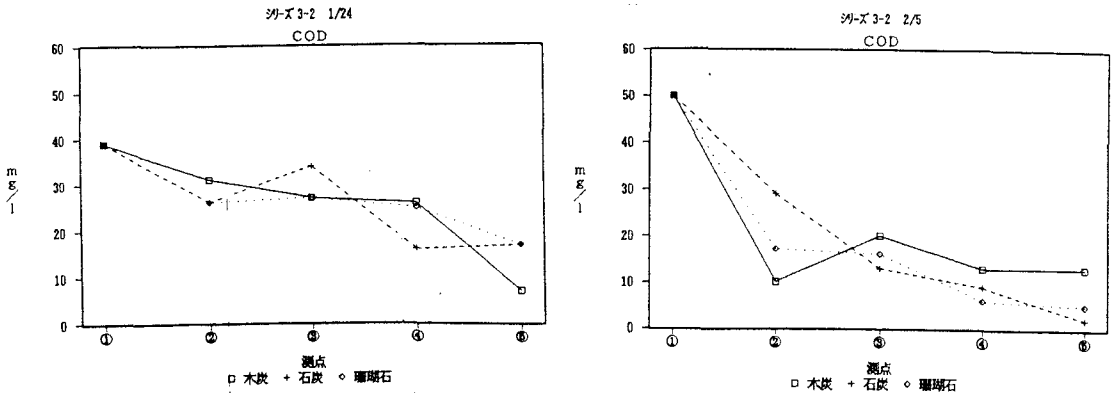


図-15 COD値の場所的浄化特性

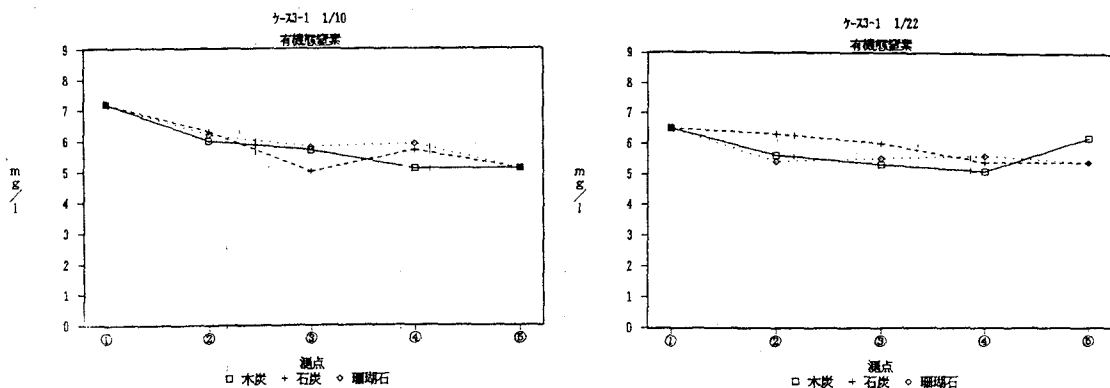


図-16 有機態窒素の場所的浄化特性

する接触材の相違による差異はほとんどない。

③各 ケース 4回の採水分析による平均除去効率を想定滞留時間との関係で図-17 のようにまとめた。濁度、SSの除去率は、かなり高い値を示しており、滞留時間が2～3時間以上であればその効果はこの水路での上限に達しているといえる。濁度の除去効果は、石炭が他の 2つに比べて優れているといえる。

COD の除去率と、滞留時間との明確な関係は認められないが、40%～60%程度の除去率である。一方、BOD の除去率は、滞留時間 3時間程度で80%程度のピークに達し、2～3時間の滞留時間では 60%～80%の高い除去率である。したがってCOD よりもBOD に対する浄化効果の方が大きいといえる。

このことは本浄化法が懸濁態成分の接触ろ過ならびに溶解性成分の微生物分解であるため、これらの捕捉成分の占める割合が多いことがうかがえる。

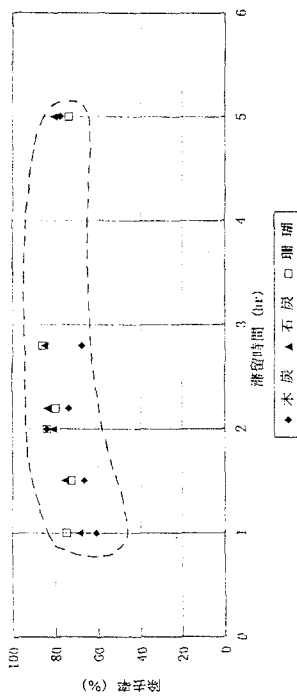
T-N の除去率は10～40%であり、最初の ケース 1は比較的良好な除去率を示している。

T-P の除去率は30～50%と比較的良好な浄化効果を発現しているといえる。

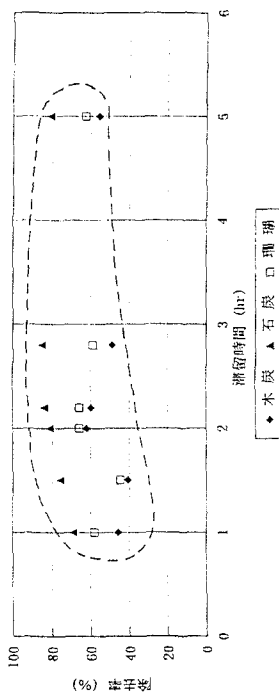
4、あとがき

今回、河川の水質管理と浄化法という課題に対し、近年、各方面で真剣に取り組まれている対応現象に対し、主として官的視点からまとめてみた。いずれにしても研究班としては目的に対するアプローチの多様性から、いくつもの アプローチがあって当然であろう。私自身の視点はまことに一方向にすぎるが、ここに紹介できなかった多くの研究成果については、それぞれの専門的学会誌をひもといていただくとして私としてはインフォメーションの役目を終わりたい。

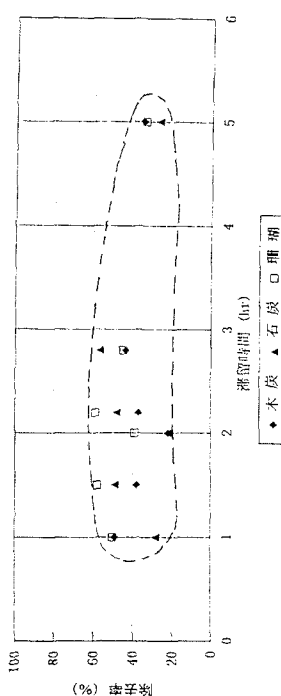
滞留時間～除去率 (SS)



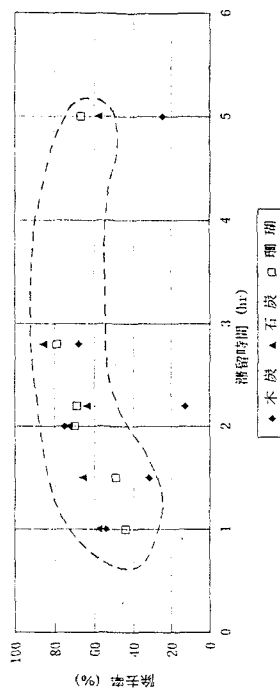
滞留時間～除去率 (濁度)



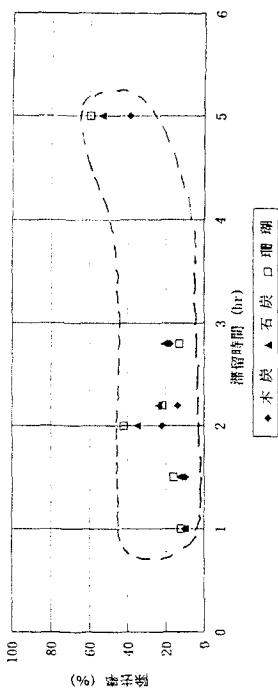
滞留時間～除去率 (COD)



滞留時間～除去率 (BOD)



滞留時間～除去率 (T-N)



滞留時間～除去率 (T-P)

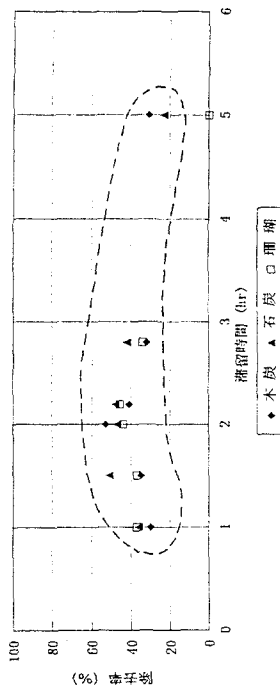


図-17 滞留時間・除去率の関係

5. 参考文献

- 1) ICWE・UNDED資料研究編集；21世紀の水と環境－ 水と環境をめぐる国際的な動き －、大成出版社、1992, 10.
- 2) 石川浩；最近の環境施策の動きと河川浄化対策、河川、No. 574, pp. 6～10, 1994, 5.
- 3) 市川新；都市河川の環境科学、培風館、1980, 6.
- 4) 虫明功臣・石崎勝義・吉野文雄・山口高志編；水環境の保全と再生、山海堂、pp. 197～203, 1987, 10.
- 5) 建設省都市局下水道部；きれいな水をみらいまで、建設広報協議会、1994, 8.
- 6) 石川浩；河川における水環境施策の最近の動向について、水環境学会誌、第17巻、7号、pp. 418～442, 1994, 7.
- 7) 建設省中国地方建設局；芦田川水系水環境管理計画、1995, 10.
- 8) 石川浩；前出2)
- 9) 飯島孝；水環境の望ましいあり方と今後の環境行政、環境新聞、1996, 1
- 10) 森川一郎；水資源政策の最近の動向－水環境に係わる施設等について－、水環境学会誌、第17巻 1号、pp. 423～426, 1994, 7
- 11) 林田彪；筑後川の水質浄化対策－礫間接触酸化法－、河川、No. 539, pp. 32～36, 1991, 6.
- 12) 宗宮功編著；自然の浄化機構、技報堂出版、1990, 5.
- 13) 稲森悠平・林紀男・須藤隆一；水路による河川水の直接浄化、用水と廃水、Vol. 32、No. 8, pp. 32～37, 1990.
- 14) 沼尾康男；釜房ダムの間欠式空気揚水筒（湖水循環）、河川、No. 574, pp. 96～103, 1994, 5.
- 15) 大道等；効率の高い河川浄化技術の開発、河川、No. 574, pp. 53～66, 1994, 5.
- 16) 前出11)
- 17) 岡五郎；新町川にうるおいとやすらぎを、河川、No. 539, pp. 49～56, 1991, 6
- 18) 中野晋、山下智、小津慶久、三井宏；導水による都市河川網の水質制御、水工学論文集、Vol. 35, pp. 561～566, 1991, 3.
- 19) 村上仁士、伊藤禎彦、池田良一、藤田幸治；新町川水域の水質浄化対策に関する調査研究、1993, 78p.
- 20) 中野晋、渡辺章弘、細井由彦、三井宏；都市感潮河川網における河床底泥の浚渫による水質改善効果について、徳島大学工学研究報告、No. 40, pp. 17～24, 1995, 3.
- 21) 西村惇；“アクアシティー大阪”の復活に向けて、河川、No. 539, 1991, 6.
- 22) 建設省；大和川清流ルネッサンス21、環境新聞、1996, 1.
- 23) 久保田勝；水系全般にわたる水質浄化対策－多摩川を例にとり－、河川、No. 574, pp. 20～30, 1994, 5.
- 24) 建設省近畿地方建設局；富雄川浄化施設、大和川保田浄化施設、
- 25) 建設省中国地方建設局；芦田湖水質浄化施設、
- 26) 尾島勝；芦田川支川高屋川の水質浄化について、河口研究、29-1～4, 1996, 4.
- 27) 尾島勝、上山雄樹、西川友行；礫間接触酸化法による高屋川の水質浄化実験、－BOD, COD, SSについて－土木学会中国支部研究発表会概要集、II-37, 1996, 5.
- 28) 尾島勝、藤田英樹、他；礫間接触酸化法による高屋川の水質浄化実験、－DO, T-N, T-Pについて－土木学会中国支部研究発表会概要集、II-38, 1996, 5.