

## 地域における水浄化施策のケーススタディ —倉敷川美観地区を中心に児島湖まで—

村本 茂樹

Case study for the cleaning of polluted water and the  
landscape management in Kurashiki river, Bikanchiku area

Shigeki MURAMOTO

### 要 旨

地方の時代の幕開けとともに全国各地で「ふるさとづくり」が盛んになっている。美観地区を有す倉敷川は、倉敷のみならず岡山県の顔としても重要なスポットとなっている。この河川水管理は下流部の児島湖に至る重要な課題で、1987年以来「モデル改修工事」が計画された。潤いのある町づくりをテーマに、水辺公園を含む環境事業への転換が図られ75億円の予算で執行された。しかし、美観地区には水利権は無く、農業用水の落ち水を借用しており、流入水量は極めて少ない。当然のことながら流速も小さく、夏期には藻が浮上し、景観を損なう現象が毎年続いた。これまでこれらの課題を解決すべくいくつかの提案をしてきた。美観地区は伝統的建造物保存地域であり、設備機器などの設置は許可されない条件下にある。同時に多額の維持管理費を必要としない方策が求められてもいる。今回は潮の干満と同じく1日2回の樋門開門操作を行う実験を提案した。樋門操作により流速を増し、水中酸素を増大させる手法を約3ヶ月間継続した結果、底泥の酸化を徐々に促進して白砂を取り戻すことができた。設備費用、維持経費、浄化効果などの点から解決策の選択を検討し、地域における環境施策のケーススタディとして好結果を得たので提案を含め報告する。

### 1. はじめに

本研究は著者らのいくつかの提案<sup>1,2,3)</sup>をもとに、「倉敷川（美観地区）倉敷川の水質改善実験を行い、平行し水質改善専門家検討委員会を設置した。専門家検討委員として野上祐作岡山理科大学教授、

佐藤國康川崎福祉大学教授およびワーキンググループとして倉敷市関係者の環境保全課、環境監視センター、農業土木課、観光振興室、文化財保護課、土木部、土木課をメンバーに、著者が座長となり提案と検討を行ったものをまとめたものである。

「より良い水環境を維持するために、水に動きの演出をしよう、そのためには清水導入と水位を上げて水の循環を」と提案している<sup>1,3)</sup>。その後、倉敷市により1名の管理人を配置し、落ち葉を常時拾うなど努力がなされた。その後も美観地区への清水導入が計画され、農業用水からサイフォンによる今橋上流への水の導入量を増やしたり、美観地区の水確保につとめるなど美化に注意が注がれている。

## 2. 倉敷川（美観地区）の現状

1990年2月、ダンプカーとポンプによる800トンのヘドロ排出と、新しい砂1,200トン进行覆土して、50~60cmの砂層を川底に再生する工事が倉敷市により行われていた（写真1）。しかし、半年後の初夏には10時過ぎになると川底から「マリモ」ならぬ緑藻が浮上し、夕方には嘘のように川底に沈んでは消える悪現象が毎日のように続いた。倉敷川は、本流の高梁川から倉敷市酒津地点で取水し、農業用水を中心に8ヶ郷に分水した河川の一つである。倉敷美観地区は倉敷市川西地点で農業用水の新田用水からの落ち水を導入し、船倉町から児島町へ至る全長約20kmの二級河川である。特に今回主に扱う美観地区内の倉敷川は、延長330m、川幅9.4m、上下水の河床の高低さ0.37mで、勾配は0.3%とわずかであり、流れが非常に遅い状態にある（写真2）。

従来、美観地区における水質改善対策として、底泥の浚渫と覆砂の事業をおよそ4年に1回実施してきたが、多額の費用と効果の持続性の点で投資効果は低く、河床への有機物の堆積は免れない状態にあった。通常は美観地区の下流部に位置する前神水門により水深を平均1mに確保し、水門からのオーバーフロー水を下流に流下している。このため河川中における水の循環はうまく行われておらず、水の停滞により、土砂や汚濁物は沈下し易く、初夏から藻類の浮き上がり現象の発生、透明度の低下等の景観面に大きな問題が発生していた（図1）。



写真1. トラクターでのヘドロの搬出と白砂搬入



写真2. 美観地区川水の汚濁状況

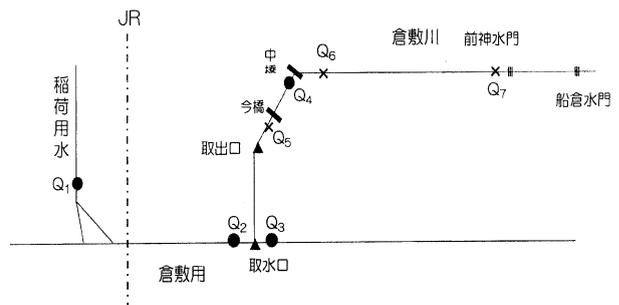


図1. 倉敷川美観地区の調査・実験地点図

## 2-2. 倉敷川の水質状況

倉敷川全域は環境基準河川C類型に指定されている。図1に水質調査地点位置図を示し、川のヘドロ搬出の様子と、水の汚濁の状況を図2、図3にした。美観地区内の調査地点、(取水口、取出口、高砂橋)においては、環境基準項目のpH6.5-8.5に対しpH7.2-8.6、BOD5.0mg/L以下に対し0.7-2.7mg/L、SS50mg/L以下に対し3-10mg/L、DO 5mg/L以上に対し7.3-12mg/Lといずれも基準値以下を保っている。COD及びT-Nについても農業用水基準以下であり、T-Pは水産用水基準(T-P: 0.1mg/L以下)に対しても平成10年までは基準程度であったが、各項目ともに近年減少傾向にあり、平成10年度以降は基準値以下を保っている。倉敷用水の取水源である高梁川の水質(酒津地点)と比較するとやや劣るが数年前から下水道普及率が90%以上に達し、美観地区の水質の現状は良好になったといえる。因みに平成2年から平成14年の間の美観地区内の河川水のBODは1.6-4.2mg / L、総窒素は0.8-2.0mg / L、総りんは0.07-1.0mg / Lである。

## 2-3. 美観地区における水浄化の問題点

美観地区の前神水門の越流水深が年平均5cm程度であり、流速は0.08m/s程度と考えられる。美観地区内の各地点(取出口、今橋、中橋、前神水門)における流速は、美観地区最上流の取出口で1.6cm/s、美観地区の下流部の前神水門で0.8cm/sであり、滞留時間は10.6時間と試算された。このように水槽からオーバーフローして下流へ少しずつ流れるいわば溜め水の状態である。すなわち、水浄化と流れの演出のためには主に次の課題をクリアする必要があると考えられる。

1) 流入水量等の問題により、河床に堆積物が溜まり、ヘドロが形成されやすく、夏季には藻類等の浮上現象がみられる。2) 水の透明感が失われ、鯉

等の魚の姿が透けて見えにくいいため、水が汚れている印象を強く与えている。3) 倉敷川両岸に植えてある柳、桜、紅葉、萩、ゼンダンの花や落ち葉が四季を通じて水面に多く落下し風向きによってはそれらが上流に押し戻され、吹き溜まっている。4) 水利権の関係から、十分な水量確保が困難である。2年前の夏には赤橙色を呈した淡水赤潮の発生が一時期見られ、短期間に消滅したが、急激な汚濁の発生もあった。(写真3)

水質については環境基準を満たしているといえるが、倉敷を代表する美観地区の河川に相応しい水環境を創出するためにも、倉敷川の上流に位置するという責務からも、流水環境の改善を図る必要がある。経済的で、継続的な保全が可能な水質改善方法は、1) アオコの発生を防ぐ、2) 夏場発生する藻類の浮き上がりをなくす、3) 水の透明感を出す、4) 流れの確保などが重要な課題でありその対策が求められる。そこで水質改善手法について、本対象地区への適応性、概算事業費などの比較および長所、短所等を検討し以下に示した。また、実験が困難である改善手法についての検討は、文献などの資料収集によって行った。

水浄化に関する現状の課題と対策としては、まず倉敷川への流入水量を増加させること、排水効率を高める河川整備等の対策を講じる必要があること。しかし、本対象地区は、伝統的建造物群保存地区であり、現状変更許可の範囲内で実行可能な手法のみ

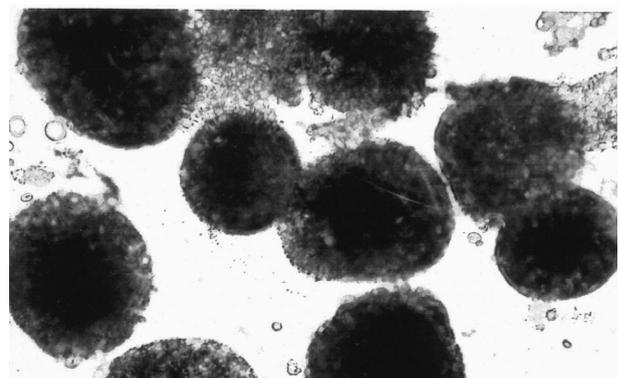


写真3. 淡水赤潮発生 (Euglena sp. 顕微鏡写真)

表1. 美観地区の水浄化および景観維持策

- 1 底泥の浚渫
- 2 前神水門の開門操作
- 3 雨水排水管を利用した水循環
- 4 井戸の新設
- 5 水中曝気（エアレーション）
- 6 生物化学的方法
- 7 物理化学的方法
- 8 清水導入
- 9 鯉・白鳥数の制限

に限定されるなどの条件があり、浄化方法の選択もこれらの課題を満たした手法でなければならない。

水質汚濁については、流入河川の汚濁負荷によるものだけではなく、堆積したヘドロから溶出する栄養塩類が、有機物質の内部生産に大きく寄与しており、ヘドロの悪臭を発生し、景観を損ねる要因となる場合もある<sup>4,5)</sup>。殊に中橋の奥溜りなどはヘドロで満杯の状態であった。また美観地区は地区河床勾配がおおよそ0.3/100と極めて小さく、流入水量も約0.4 m<sup>3</sup>/秒と少ない。汚濁物質が堆積しやすい状況にあり、これまで堆積したヘドロを浚渫することによって、水系外へ直接除去し、汚濁物質の水中への回帰を抑制する方法がとられた。4年毎にヘドロ排出および白砂の搬入の費用約800～1,200万円を要しているにもかかわらず処理後3～4ヶ月後の初夏には緑藻の浮遊現象が発生し、極めて短期間の効果しか得られていない事実からも効果は薄く、市の財政難もありここ8年間は実施が不可能になっている。同時に新田用水の取入口川西地点から暗渠で高砂橋の上流50m地点の取り入れ口で美観地区に流れている。したがって安定した取水口は川西地点のスクリーンのゴミ、草等による目詰まりを防ぐ作業も必要となる。

## 2-4. 極門開門操作による水浄化および流水の演出実験

特に、水の動きの演出と水に含む酸素で底泥を徐々に酸化させる浄化法が伝統建造物保存地区の河川にとっては最も適切と考えられ、浄化実験を倉敷市の土木課に再三申込み実験が実施された。その方法は、河川水の循環性の悪さを解消するために取入口から約330m下流に位置する前神水門を平成12年9月下旬から、前神水門（写真5）の開閉を、日曜を除き毎日朝と昼にそれぞれ1回を実施し、水の入替えによる予備の実験を行った。1回あたり約30cm程度水深を下げ、1回で約900m<sup>3</sup>の水が入替わり、1日の水門開閉により、約1,800m<sup>3</sup>の水の入替えが行われたと考えられる。水の動きと酸素の供給による上流部の底泥のヘドロの減少傾向が起こることが推察された。

そこで再び本格的な実験を行うこととなった。かねてから提案していた潮の干満と同じ1日2回のサイクルとする前神水門の開閉操作による流水改善策の実験であり、平成13年8月27日から倉敷市土木課が中心となって実施された。日曜日を除く毎日9時～15時の間は水門を開門し、水深を約30cmまで下げ流水環境を作り、15時から翌日の9時までには閉門し、満水状態に戻すという実験である。また、本実験の期間中の平成13年9月14日、水門開閉操作によ



写真4. 取出口（川西地点から暗渠でここに）



写真5. 高砂橋の直上の前神水門の樋門

る流量等の観測を行い灌漑期における流速、流入水量等の把握を行った。

流速は20–30cm/s とやや増加し動きを感じることが可能な速度となった。これは通常の樋門オーバーの状態である0.8cm/s に比べる水の流れを明確に感じることが可能になる。因みに現在の取水量（流入量）は代掻期（6/10–7/5）で0.49m<sup>3</sup>/s、通常灌漑期（7/6–9/30）0.32m<sup>3</sup>/s、非灌漑期（10/1–6/9）0.09m<sup>3</sup>/sであり、流速は概ね0.8m/s以下であるといえる。

すなわちこの実験により流速はやや増大し、水の流れを創出するとともに、堆積物が上流より徐々に酸化されその範囲が下流に拡大し、それまでは今橋までしか見えなかった河床の白砂が、中橋を高砂橋の中間付近まで見えるようになった。水の透明感も大きく増した。（写真6）。

この実験結果は概ね良好で、その主な要因は次のようである。1）水の停滞が無く、流れによる酸素供給があり、自然浄化機能が発揮されるアオコの発生が無い。2）流速が得られると同時に透明感、清涼感が出て、オイカワなどの淡水魚が多数観察できるようになった。3）浄化のための維持管理費は廉価である。4）新たらしい景観の創出（高水位及び低水位の状態）が容易にできる。しかし、この実験によりこれまでとは異なる景観変化や下流部への影



写真6. 樋門開門により水深が30cmの状態

響などの課題検討が必要であり、以下の検討を加えた結果、次のような結論を得た。伝統的建造物保存委員会からはこの実験結果に立会い視察後の回答として、今までの水位とは異なり景観に変化があるが、特に問題ないと判断された。2）観光客あるいは地元の人々約200名に意見を聞いたアンケート結果では、景観は全く問題なく、むしろ水がきれいになった点が美観地区にとって好材料との回答が多数を占めた。また水位低下時の河床のゴミ等が直接的に目に入るようになるが、これは清掃で除去可能であり、ごみのポイ捨てなどの点からも観光客も注意するようになるだろうとの見解を得た。

## 2-5. その他の水浄化法および流水演出方法

1）雨水配水管を利用した浄化法も検討した。JR倉敷駅から古城池線の地下を通り、倉敷川前神橋下流右岸側の放流から倉敷川に放流する構造になっている倉敷中排水区雨水配水管の既設マンホールに、ポンプを設置して水をくみ上げ、流入水量の増加が考えられるが、中間にポンプの設置など設備投資費も高額となり、浄化法としては対費用効果の点で厳しい。

2）流量、流速を確保するために、井戸等から伏流水を汲み上げ水量を確保する案として、倉敷民芸館横の既設古井戸と、中橋奥の溜まりに湧出井戸

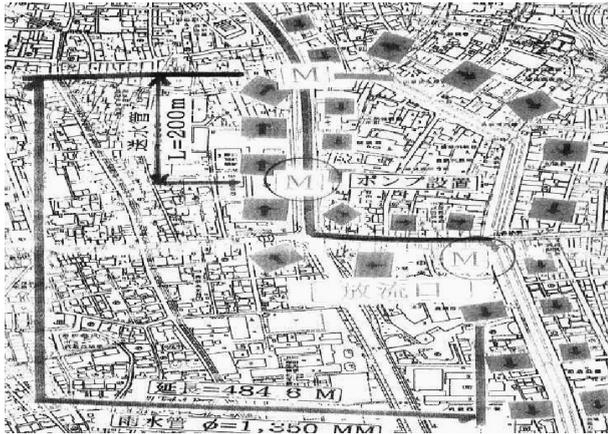


図2. 雨水配水管の配置図 (太い線)



写真7. ジェット噴射装置エカローマシン



写真7. 中橋奥に酒樽を埋めた湧水池

(新設)を設置することが考えられるが、古井戸はポンプの設置と吸い上げ量に問題があった。また新たに井戸を掘削する場合、周辺地盤への影響や湧水量の確保で課題はあるが、中橋奥の溜りに少し小さい酒樽を利用した湧水の確保を計画した。地下部にケーブルが埋設されている地点で大きな樽は不可能であり現水量は多くなく、やがてモネの睡蓮を栽培計画で現在は別の睡蓮を予備栽培している (写真7)。

3) 特別な処理装置を流入前の地点に設置し、流入水の活性化 (流入水中の酸素を増加させるジェット噴射による酸素吸入) をはかる手法を検討した。流入水の導水過程にこの装置を通過させることにより、活性化された水は DO が高く、マイナス酸素イ

オンを持つため、水中の好気性微生物と嫌気性微生物との間の食物連鎖が促進される。これによりヘドロ、アオコの酸化分解が徐々に進み、水質が改善される仕組みである。ジェット噴射装置のエカロー・システム・マシンに平成12年5月下旬～9月下旬にかけて、倉敷川取水口付近に水中ポンプを2台設置し、エカロー・システム・マシン (写真7) による浄化実験を実施した。ポンプ稼働時間は午前7:00～午後9:00の14時間であり、倉敷川への取水量の約20%を通水した。概ね実験結果は良好であり、効果は強制的な酸素の供給時には水中の好気性微生物を活性化させ、有機物の分解を促進するポンプの影響が及ぶ範囲の効果は認められるが部分的である点、さらに設備投資および連続運転の電気代など維持費は膨大で、継続的な浄化法としては難しいと考えられる。

#### 4) 物理的処理法

砂等の粒状ろ材で構成され、水中の浮遊物質、汚濁物質等を分離除去する方法であるが、設備設置の対費用効果は少ない。

5) その他の方法として、物理化学的浄化法、生物化学的浄化法などが上げられる。前者は水に凝集剤を添加し、フロックを形成させて沈殿除去する方法であり再処理の維持費も必要となる。また、後者は3～5mm程度の接触ろ材に付着した微生物層を



写真8. 白鳥と鯉はその数と投餌が課題

通過させることにより、好気性微生物分解と浮遊物除去する手法だが維持費が課題である。

6) 補助的手段として、本地区に生息する白鳥、鯉などの適切な生息数の検討が必要となる。現在、美観地区には白鳥2羽、鯉が約300匹生息しており、これらによる排泄物や観光客や付近の住民らによる投餌の食べ残し等は水質悪化や底泥の汚濁の一因となっている。鯉は水域面積に対しても多く投餌も豊富で肥満の傾向があることから現在数の半減が必要と考えられる。(写真8)

#### 7) 清水導入

導入する水源としては、倉敷用水本流に加え、流入している稲荷用水および倉敷チボリ公園からの排水(チボリ湖に補給する地下水のオーバーフロー水)が考えられるが、ポンプ能力 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ で、1日2～3時間の稼動でも、 $60\sim 90\text{m}^3/\text{day}$ であり大きな期待はできない。

#### 8) 船倉水門の改修

船倉水門は前神橋の下流約200mに位置し、水門中央の欠口から水を流し水量の調整を行っている。そこで水門を下げるか、開門することによって水位を落とし、前神水門の開閉時の水頭差をつけて掃流効果を高める必要があると考えられる<sup>1,3,4)</sup>。



写真9. 船倉水門(前神水門下流200m)

### 3. 内容および費用から処理法選択の総合判断

倉敷川美観地区の水浄化および景観創出の観点から、先に掲げた問題に対する解決策としてふさわしい継続性、経済性、簡便性などの点から現時点における総合判断を行った(表4)。この一覧表(費用はウエスコ株式会社提供)はここでは扱わなかった手法もあるが、実施可能な方法の中で、最も経済的で継続可能な手法として樋門開閉操作による時間をかけた緩やかな浄化と水の流れの演出方法を選んだ。一方で流入水量の増大が望ましく、10年毎に行われる水利権の見直しをし、環境浄化に必要な清水導入の確保が切望される。現在は、この手法で倉敷の顔、岡山の顔としての倉敷美観地区の憩いの水と景観を維持しているが、さらに安定した水管理ができる条件が整うことが期待される。

### 4. 美観地区下流から児島湖までの水質と浄化策

高梁川本流および分水した倉敷川用水の水質は前述したように環境基準はほぼクリアしており、平成10年以降は基準項目の規制濃度以下を保っているといえる。むしろ水の汚れが眼に入ることが景観保持の点で観光地として問題があるといえる。さて、美観地区を流下して児島湖にいたる約15kmの間の水質を概観すると以下のようなものである。

前神橋、高砂橋からおおよそ300m下流に入船橋が

表2. 浄化および流水演出法と費用比較

番号	浄化方法	内容	費用
1	ヘドロ排出と覆砂	河床ヘドロをトラクターで排出後白砂を覆土	850万円/1回
2	取り入れ口のごみ除去	スクリーンのゴミ落ち葉の除去	100万円/年
3	前神水門の開門操作	1日2回の樋門開門により海水の干満を演出	費用不要 常駐の管理人
4	雨水配水管による水循環	ポンプを設置、雨水排水管を利用し水循環	1分間5トン循環 設置3,500万円
5	井戸水(自噴揚水)	自噴の場合維持費のみ 揚水はポンプ設置	自噴 50万円 揚水400万円
6	ジェット酸素注入(エカローマシ)	エカローマシで酸素を強制注入	設置2,800万円 契約等390万円
7	水中攪拌曝気法	攪拌装置を浮かべ酸素注入	装置2,000万円 維持150万円
8	物理的方法	ろ剤を用い濾過	設置2~3億円
9	生物化学的方法	微生物などを使用装置	設置2~3億円

あり、手前30mに市街地西部を流下するかなり汚濁した老松用水が流入する。さらに200m下流に下水処理場の排水が流入する(写真10)。河川水の約30~40%の排水量があり、この地点で汚濁は一気に進む状況にある。その下流3kmの地点の常盤橋では笹沖地区の汚濁水が流入する。さらに1km下流では吉岡川の汚濁した水が流入する。下流児島湖まで自然の浄化作用が機能することが困難な状態である。詳細は別の機会に譲りたいが、分水地点の酒津地点から児島湖流入直前の国道30号線の倉敷大橋までの総窒素濃度(アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の合計)の各地点における濃度による汚濁影響割合を図3に示した。入り船橋下流から下水処理場、常盤橋に至る美観地区の濃度の6~7倍の値となり、倉敷川大橋でも2.7倍の高濃度になっている。入り船橋下流から急に汚濁が進む現象がはっきり示されている。

すなわち、倉敷川の流下による総窒素濃度は下水



写真10. 下水処理場排水が右岸から流入

処理場の排水の流入が強く全体のおよそ30%を支配し、下流に至る間にやや汚濁が解消される傾向にあるが、途中での汚濁水の流入も加担し、下流児島湖までその汚濁は続くことがわかる。この間の処理策についても経済性、継続性、簡便性を考慮して、倉敷川および児島湖についても、詰杭帯などを利用した掛け流し法あるいは植物や樹木を利用した浄化方法などを提案している。児島湖についても提案しているかその詳細は別の機会としたい。

## 5. おわりに

倉敷の顔である美観地区の河川水は水質のみならず、景観を創出維持することが極めて重要である。これまでは4年に1回のヘドロ排出事業で何とか維持管理していた経緯がある。排泥後の数ヶ月を除いては過去20年間に一度も白砂の河床を地元の人も観光客も目にしたことがない。景観創出の意味からもその対策が急がれたが、思い切った策は取れていなかったといえる。伝統的建造物保存地区に指定されている点、水利権の無い悪条件の河川である点からも水浄化策、流水の演出は難しく、落ち葉やゴミ拾いで対応せざるを得なかったものと推察される。著者らは早くから、この点に着目し景観創出と水浄化策を提案してきた。河川を管理する倉敷市も英断され本実験の実現となった。水質が環境基準をクリ

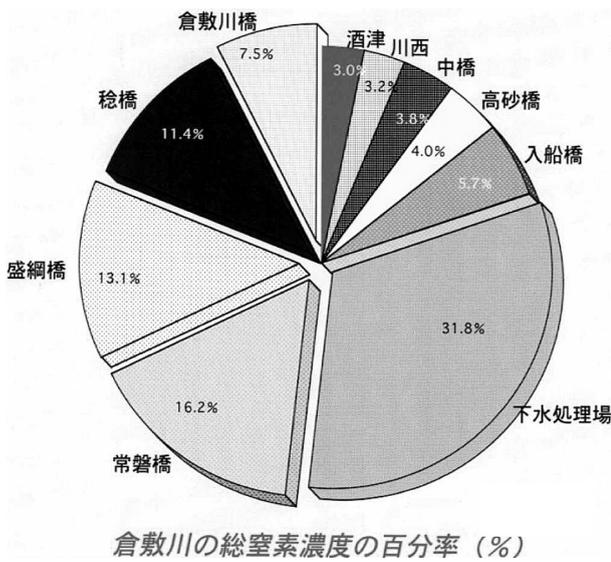


図3. 倉敷川の総窒素濃度による汚濁影響

ヤーしていても、水槽に停滞する水の状態では藻の発生、プランクトンの発生、ヘドロの堆積は自然浄化能を超えて出現することは必至である。今後も四季を通じ、数年間にわたり調査し、経済的、持続的

な適切な樋門開門操作とその補助策の検討を望みたい。この種の事例の多くは水利権が大きな要素となっている。倉敷川にも環境浄化の分水を希望し、清水導入のいくつかの対策を合わせて希望したい。最後に、倉敷市土木課をはじめ市役所の方々および専門家委員の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 村本茂樹：倉敷川のモデル改修と水質変化. 倉敷の自然49号, pp 5-12 (1992).
- 2) 村本茂樹ほか：倉敷川、笹が瀬川による児島湖への栄養塩供給量. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告, 第4号, pp53-59 (1971)
- 3) 村本茂樹：倉敷川の水質浄化策(1). 倉敷の自然72号, pp.5-11 (2001).
- 4) 村本茂樹, 手塚聡子：河川水中の洗剤濃度と魚や野菜への影響. 倉敷の自然66号, pp.3-6 (1999).
- 5) 村本茂樹：富栄養化と赤潮. 新倉敷市史, 第8巻、自然風土、倉敷市 pp.149-153 (1996).

Abstract

“Hometown-making” is active in nationwide various places at beginning of event of the age of local autonomy. The Kurashiki river is most important spot becomes it not only Kurashiki but also Okayama Prefecture for the sightseeing and also situated at the aesthetic area. There were originally no water rights for this river, and however, it was extremely few, flow velocity was also small, and the phenomenon of the green alga floating continued to the surface of water every year in summer. Flow velocity was gradually increased by opening the sluiceway, underwater oxygen was increased, and white sand was able to be regained by gradually promoting the oxidation of the bottom mud by continuing for about three months. There is a condition such as being not able to set up the machine and the device, etc. in the cultural asset protection district, and because the selection of the solution is examined from the point in the equipment cost, the maintenance expenditure, and the effect etc. of purification, and an intermediate conclusion was obtained.