

はじめに

(財)河川環境管理財団に河川環境総合研究所が開設して11年が経過しました。現在、各地域のニーズに対応するため、研究第1部、2部、3部、4部、大阪研究所(5部)、北海道事務所、名古屋事務所において調査研究業務を行っており、目下取り組んでいる調査研究の主なテーマは以下の通りです。

① 水系一貫の視点に立った河川環境の総合的な計画に関する調査研究

- A 河川整備計画に関する調査研究
- B 河川環境管理計画に関する調査研究
- C 河川生態系の保全・復元に関する調査研究
- D 湖沼の整備に関する調査研究

② 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

- A 河川の新たな水質問題に関する調査研究
- B 河川の水質浄化技術に関する調査研究
- C 河川水水質浄化計画の策定に関する調査研究
- D 下水処理水のなじみやすい放流等に関する調査研究
- E モニタリング等に関する調査研究

③ 河川管理施設の維持管理に関する調査研究

- A 河川維持管理計画の策定に関する調査研究
- B 堤防の機能維持のための調査研究
- C 河道の質的安全性の評価に関する調査研究
- D 河川巡視・点検システムに関する調査研究
- E 堤防の植生管理に関する調査研究

④ 河川環境の整備・保全のための技術研究開発

⑤ 河川環境教育の推進、流域の連携・交流に関する調査研究

本報告は、このような調査研究の成果を広く関係の方々に活用していただくため発行しており、今年で第10号を発行することができました。これもひとえに国土交通省をはじめ関係者各位のご指導、ご支援の賜物であり、ここに厚く御礼申し上げる次第です。

また、本報告は現場での活用を念頭においており、現場の第一線における河川環境への取り組みに資することができれば幸いです。

当研究所では、河川環境に対する取り組みを拡充し、社会の要請に的確に答えていくべく、吉川秀夫、芦田和男、江川太郎、村本嘉雄、山口 甲、佐々木寧、各先生の指導を得つつ、一層の努力をしてまいり所存ですので、今後とも関係者各位のあたたかいご指導、ご支援をお願い申し上げます。

平成16年12月

財団法人 河川環境管理財団
理事長 鈴木 藤一郎

○研究所報告の編集について

本研究所報告の編集に際しましては、下記の編集委員からなる編集会議（2004.8.30）を行っております。

編集委員

吉川 秀夫	工学博士	(財)河川環境管理財団	研究顧問	(河川工学)
芦田 和男	工学博士	(財)河川環境管理財団	研究顧問	(河川工学)
村本 嘉雄	工学博士	(財)河川環境管理財団	研究顧問	兼大阪研究所長 (河川工学)
山口 甲	工学博士	(財)河川環境管理財団	研究顧問	(河川工学)
玉井 信行	工学博士	金沢大学工学部土木建設工学科	教授	(河川工学)
佐々木 寧	理学博士	埼玉大学工学部建設工学科	教授	(植生生態学)
大垣真一郎	工学博士	東京大学大学院工学系研究科	教授	(水環境工学)
山本 晃一	工学博士	(財)河川環境管理財団	河川環境総合研究所	(河川工学)

事務局

(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部

目 次

I 河川環境管理計画に関する調査研究

1. 汽水域における河川環境管理に関する研究…………… 1
山本晃一・岸田弘之・裊 義光・大野幸正

II 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

2. 鶴見川水質浄化実験におけるNH₄-Nの除去性能と都市河川への適用に関する研究…………… 15
佐藤和明・岸田弘之・渡辺 拓
3. 浄化導水施設の運用条件に関する調査研究…………… 26
小林 豊・新清 晃

III 河川生態系の保全・復元に関する調査研究

4. 個体群存続可能性分析（PVA）による絶滅危惧植物へのミティゲーションの評価…………… 41
戸谷英雄・谷村大三郎・石橋祥宏・宮脇成生
5. 淀川の流況・位況変動とコイ・フナの生態行動に関する調査…………… 54
中西史尚・辻山正甫

IV 河川環境の整備・保全のための技術研究開発

6. 河川伝統工法導入の考え方…………… 67
山口 甲・山本晃一・金子雅美・小本智幸
7. 河川・砂防分野における木材活用工法採用手法に関する研究…………… 81
山本晃一・高垣美好・加藤俊夫

V 河川環境教育の推進，流域の連携・交流に関する調査研究

8. 河川環境教育の活性化のための支援方策検討…………… 93
山本雅史・吉野秀夫・山田浩次・佐藤聖介

I 河川環境管理計画に関する調査研究

1. 汽水域における河川環境管理に関する研究

山本晃一* 岸田弘之** 婁 義光*** 大野幸正****

1. 研究の目的

汽水域における様々な行為（河川改修、埋立てなど）が河川環境に与える影響は、汽水域の環境が海の影響を受けていることもあり、極めて複雑である。そのため、従来各河川においては、試行を交えながらその現象の把握と分析を行っている。このような状況から、的確な調査と迅速な判断を行い、より望ましい汽水域の河川管理を実施していくために、これまで得られた科学的知見に、最新の知見を加えて、汽水域の河川環境の捉え方と分析手法を提示することが望まれている。

本研究では、汽水域における人為的行為（インパクト）が河川環境に与える物理・化学的な影響（レスポンス）を捉えるための調査手法や分析手法等について、既往の調査研究をレビューしてとりまとめた。ただし、物理的、化学的变化に伴って生じる生物的な変化については知見の蓄積が少ないことから、今回は対象としていない。図1・1に白抜きで示した部分が検討の範囲である。

2. 研究内容

本研究においては、アンケート調査、ヒアリング調査、文献調査を行い、汽水域とはどのような特性を有しているかをわかりやすく示した上で、汽水域のタイ

プ分類、生じる現象の把握、人為的改変による現象の変化とレスポンスの連関の検討および整理を行い、さらに人為的改変による汽水域への影響度合いの予測を行うための調査分析手法の検討を行ったものである。研究の内容を整理すると、図2・1に示す通りである。

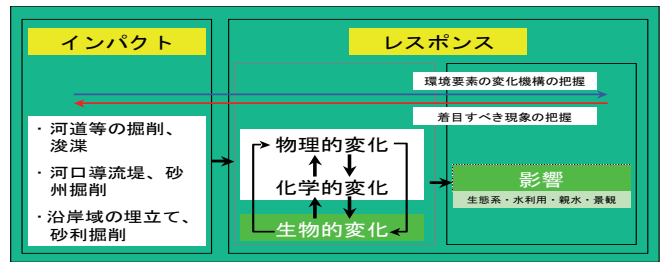


図1・1 検討の範囲

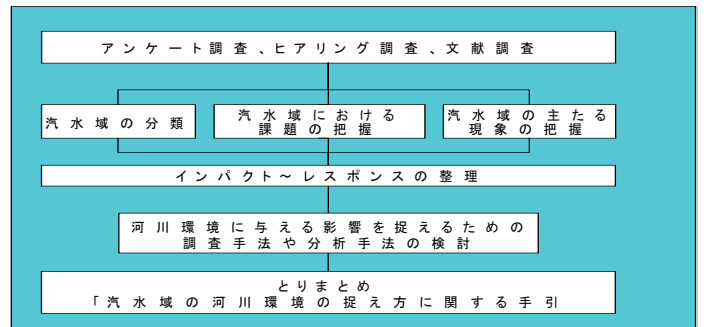


図2・1 研究のフロー

* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所長
** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長
*** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部次長
**** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部主任研究員

対象とする汽水域の範囲を図2・2に示す。河川縦断方向は、下流は河口テラスの沖の前置斜面まで、上流は満潮位と河川水位が同程度となるあたりまでとした。横断方向は、河川は堤外地を、河口部は河口幅の数倍程度を対象とした。

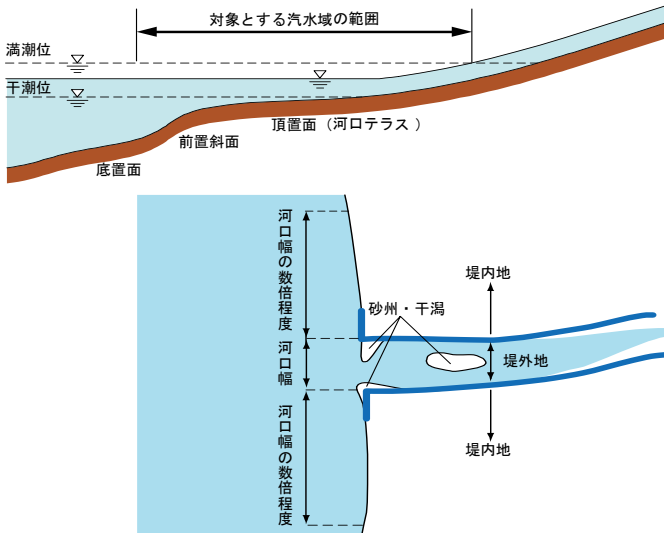


図2・2 対象とする汽水域の範囲

3. 汽水域の概要

3.1 汽水域とは

汽水域とは、陸と海の接点で淡水と海水が混合する場であり、潮汐により水位が変化して砂州、干潟が干出・水没を繰り返す場である。ここでは、河川からの出水や海からの波浪の影響などを受けて複雑な環境が形成される。代表的な地形として、図3・1に示すような、干潟、塩性湿地、クリーク、ワンドや波浪の作用により形成される砂州がある。また、流域からの栄養塩集積により高い生産力を有しているこれらの地形や水環境は外力の作用によって変動し、微妙なバランスの元に多様なハビタットが形成され、川と海を行き交う様々な生物も含めて多様な生態系が形成されている。

図3・2は河川の横断的な特徴を示した。潮汐による水

位変化で、常に干出している潮上帯、干出水没を繰り返す潮間帯、常に水面下にある潮下帯に分類され、干出、温度、塩分濃度、流況等の変化に応じてそれぞれの場合に適した動物、植物が生息・生育する。

図3・3は汽水域の縦断的特徴を示した。塩分濃度が時間的大きく縦断方向に変化しやすく、また、流速の低下や凝集沈殿作用により栄養塩類や有機物の集積が生じやすい場である。

このような特徴的な場である汽水域は、土地の利用圧力が高まり、洪水処理のための護岸の設置、低水路の固定、河道の掘削、河口導流堤の建設、また塩害防止のための河口堰設置等が行われ、さらに後背湿地の開発も進んでいる。

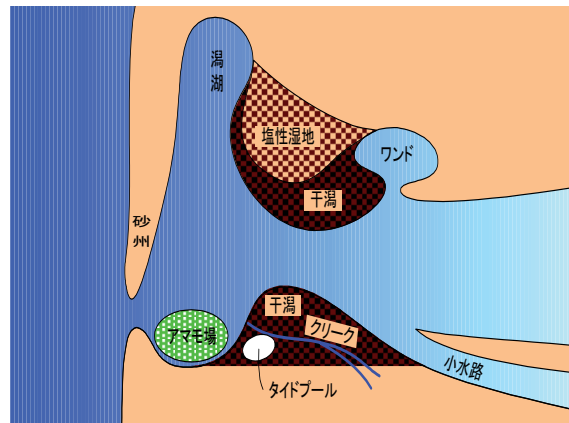


図3・1 汽水域の特徴（平面地形）

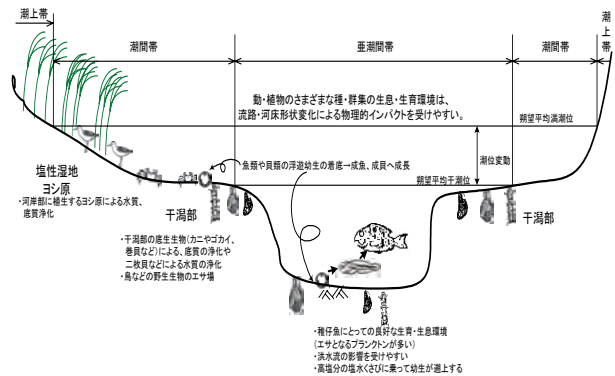


図3・2 汽水域の特徴（横断方向）

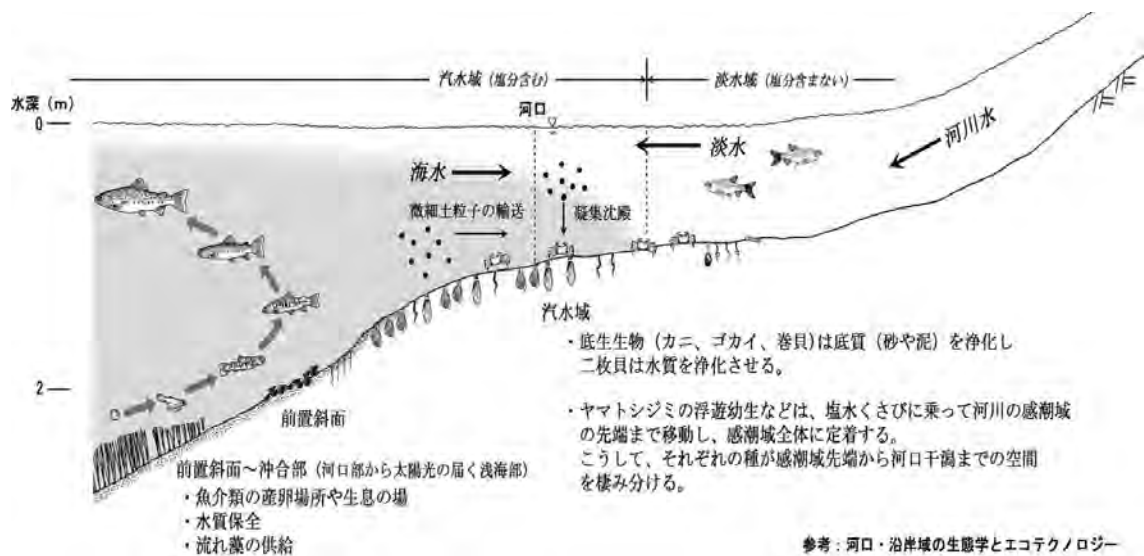


図3-3 汽水域の特徴 (縦断方向)

沿岸部においては埋め立て、港湾整備、航路の維持、道路、橋梁の建設等の人為的な改変が行われてきた。埋め立て面積について全国の状況をみると (図3-4)、戦後の復興期に大規模な埋め立てが進み、平成年代以降も、年間埋め立て面積は小さくなったものの継続している。

全国の干潟面積 (図3-5) は、環境省のデータによると、昭和20年から平成6年にかけて約4割が減少している。このような干潟面積の減少により、河口汽水域の干潟は貴重な空間となり、保全が望まれているが、上述した人為的な改変により、汽水域の河川環境も大きく変化し、生物の生息・生育の場が失われ、生物の種類数や個体数が減少している。

3.2 汽水域で生じている現象

汽水域では河川や海からの自然の外力を受けてさまざまな現象が生じている。これらの現象に人為的改変が加わって汽水域の環境が変化する。自然の外力に対して人為的改変が大きい場合、汽水域の環境は大きく変化し、種々の問題が生じる。

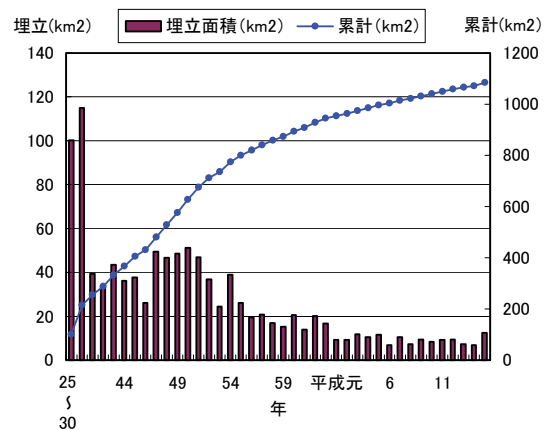
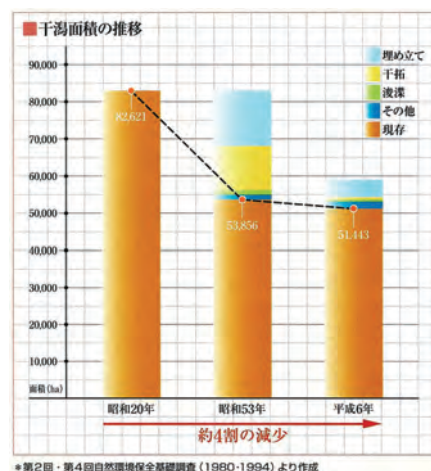


図3-4 埋め立て面積の推移



出典：環境省自然環境局
「パンフレット いのちは創れない 新・生物多様性国家戦略」

図3-5 干潟面積の推移

自然的現象として、汽水域では潮汐に伴う半日、半月周期の干満による流れと、時折生じる出水や強風・波浪による流れがあり、この流れにともなって、土砂の移動・堆積、塩分の混合等、複雑な現象が生じている。

出水時には（図3・6および3・7）河川の流れの影響が卓越し、海水や河床表層の土砂はフラッシュされ、河口付近に土砂が堆積し、河口テラスが形成される。波浪の強いところでは河口テラスから土砂が運ばれ河口付近に堆積し、河口砂州が形成される。内湾では、波浪や潮汐流の作用によって細かい砂や泥が移動・堆積し、干潟が形成される。

平常時には（図3・8）潮汐により水位（水深）が周期的に変化し、それに伴って砂州や干潟が干出と水没とを繰り返す。また、波浪や潮汐流により底泥細粒分が巻き上げられて高濁度水塊を形成し、遡上流により上流に輸送され堆積する。さらに、上流から流下して来た物質が海水と接して凝集沈殿を生じ、塩水くさび面で高濁度となる。

河川流と潮汐流により淡水と海水がまじり合うが、その混合の状況によって塩分の濃度分布が決まる。潮位変動が少なく汽水域の長い河川では混合が弱く塩水くさびを形成しやすい。

淡水と海水の接する部分では境界面で混合を生じ、海水は淡水の流れに連行され下流に移動する。これを

補う形で、塩水くさびの中を先端に向かう流れが生じる（エスチャリー循環流）。

海水が侵入する際に、淡水との混合が弱ければ塩分濃度躍層を生じ、表層からの酸素の供給が少なくなる。一方、水中や河床表層では有機物の分解等による酸素消費が進むため、河床付近に貧酸素水塊が形成されることがある。

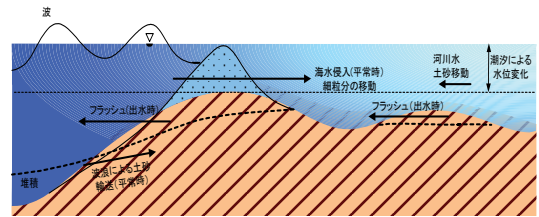


図3・6 汽水域の現象（主に土砂：縦断面図）

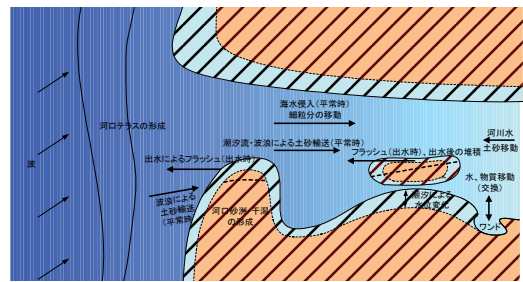


図3・7 汽水域の現象（主に土砂：平面図）

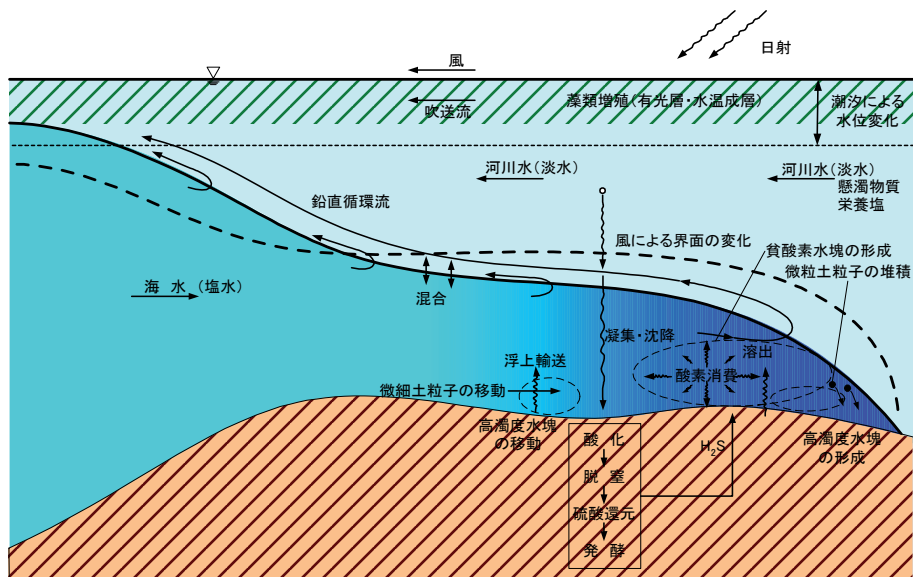


図3・8 汽水域の現象（主に水質：縦断面図）

3.3 汽水域のタイプ分類

表3-1 タイプ分類の結果

3.3.1 タイプ分類に用いた指標

全国の一級河川109水系を潮位変動、波浪の大きさおよび河床材料をもとに汽水域を以下の3指標を用いて概略分類した。分類に用いた汽水域の特性値については、平成15年度に全国109水系を管理している国土交通省の事務所を対象に実施したアンケート調査の結果を用いた。

<潮位変動の大きさ>

河口近傍潮位観測所における直近1ヶ年の朔望平均満潮位と朔望平均干潮位との差（以下「潮位差」と呼ぶ）を用いた。

<波浪の大きさ>

河口の位置により内湾型と外海型の別を判断した結果を用いた。内湾型は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海、有明海等の内海に流入する河川で、河口砂洲が形成されにくい。一方、外海型は外海に面し、波浪により河口砂洲が形成されやすい。

<河床材料>

河床材料から砂・泥河川と砂利河川の別を判断した結果を用いた。低水路における概ね1km毎の粒度試験結果から、D60（60%粒径）を求め、河口近傍の値を見て5mmを超える箇所が2ヶ所以上ある場合、あるいは5mmを超える箇所は1ヶ所であるが、他の地点も同等の値を示す場合に砂利河川とし、砂利河川以外を砂・泥河川とした。

3.3.2 タイプ分類の結果

タイプ分けした結果を表3-1に示す。同表においては潮位変動と波浪の大きさの2つの地域性指標で色分けを行い、河床材料を加えて6つのタイプに区分した。

タイプ毎にそこで生じる現象は似たようなものとなり、問題点の把握や現象把握に対して他河川の事例を参考にすることができる。

潮位差	内湾型		外海型	
	泥・砂河川	砂利河川	泥・砂河川	砂利河川
4m超	本明川 六角川 嘉瀬川 白川 矢部川 菊池川 緑川 筑後川			
2m~4m	鶴見川 鈴鹿川 小瀬川 佐波川 雲出川 大分川 豊川 芦田川 庄内川 多摩川 太田川 旭川 矢作川 球磨川 吉井川 高粱川 荒川(関東) 木曾川	土器川 重信川 榑田川 山国川 宮川 肱川 大野川	菊川 松浦川 肝属川(1.964) 遠賀川 川内川 大淀川	小丸川 天竜川
0.6~2m	大和川 淀川	揖保川 加古川	番匠川 高瀬川 名取川 鳴瀬川 網走川 久慈川 五ヶ瀬川 常呂川 馬淵川 釧路川 那珂川 吉野川 阿武隈川(2.11) 十勝川 北上川 利根川	物部川 安倍川 狩野川 那賀川 渚清川 鶴川 大井川 沙流川 湧別川 仁淀川 紀の川 相模川 渡川 新宮川(熊野川) 富士川
0.6m以下			留萌川 梯川 常願寺川 小矢部川 赤川 関川 庄川 千代川 円山川 尻別川 由良川 斐伊川 岩木川 神通川 九頭竜川 江の川 米代川 雄物川 天塩川 最上川 阿賀野川 信濃川 石狩川	北川 天神川 黒部川 後志利別川 姫川 手取川 日野川 高津川 荒川(北陸) 子吉川

平成14、15年度のアンケート調査及び潮位表により作成したものである。
 ()書き数字は、潮位差のタイプ分けの基準値からはずれている場合に特記したものである。
 各欄の河川は流域面積の小さい順に並べてある。

4. 人為的な改変とレスポンス

4.1 汽水域における人為的な改変

汽水域は人為による改変の影響が集中しやすく、図4-1に示すように、汽水域とその上流域に多くの人為的改変が加えられてきた。

平成15年度に全国の一級水系の河口部を管理する国土交通省の72事務所に行ったアンケートでみると、戦後一級水系の汽水域に加えられた人為的改変として図4-2のようなものがある。

「橋梁の建設」が129河川中105河川、次いで「河道の掘削」が68河川、「河口導流堤の建設」が37河川、「河口部の埋め立て」が32河川、「河口堰の建設」が29河川、「河口域での海砂採取」が9河川、などとなっている。

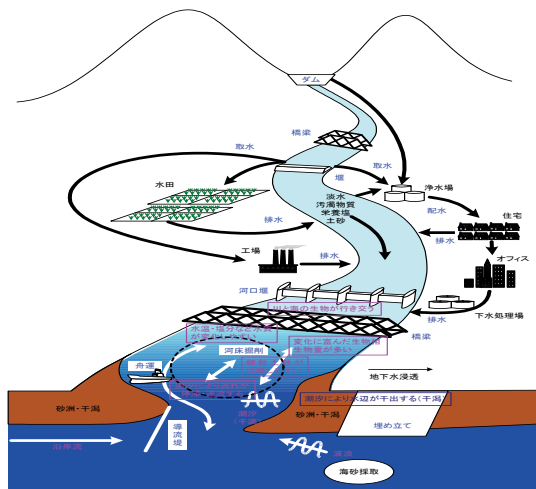


図4-1 汽水域における人為的な改変

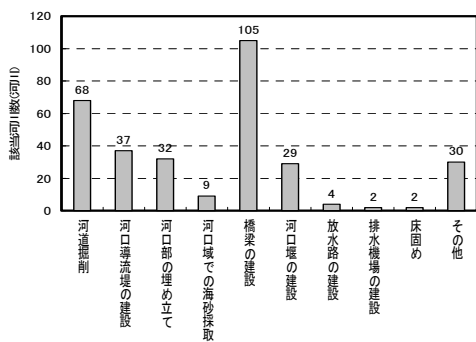


図 4-2 人為的な改変（アンケート結果より）

4.2 検討の対象とする人為的改変

汽水域の河川環境を変化させる要因には自然の攪乱によるものと人為的な改変によるものがある。本検討では、人為的な改変による影響の予測についてとりあげることとし、その中でさらに代表的なもの、影響の大きいもの、今後多数予想されるものとして、「河道の掘削」、「河口導流堤の建設」、「沿岸域の埋め立て」、「河口域での海砂採取」、「橋梁の建設」の5つの人為的改変を検討の対象とする。

なお、「河口堰の建設」については、長良川や利根川等において河口堰設置後のモニタリング調査により、そのレスポンス等を具体的に把握しつつあることから、本検討では対象としない。

4.3 人為的改変による河川環境への影響予測

人為的改変により生じる河川環境への影響は、人為的改変による現象の変化をシミュレートすることで、あるいは過去の事例を整理することである程度予測が可能である。これに直接的改変の状況、現状の生物の生息・生育環境の情報と組み合わせることで、汽水域の環境に対する影響を評価することが可能となる。

汽水域において1945年以降に生じている問題は、前出の平成15年度のアンケート結果から図4-3に示す通りである。原因が特定できていない問題も含まれるが、これらのアンケート結果や既往の知見などをもとに、対象とする人為的改変による物理・化学的な変化を河川環境への影響連関フローとして図4-4にまとめた。

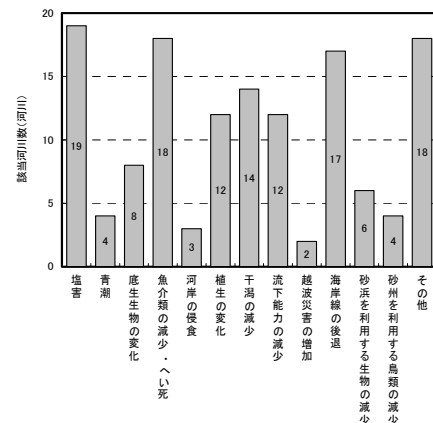


図4-3 汽水域における現象の変化

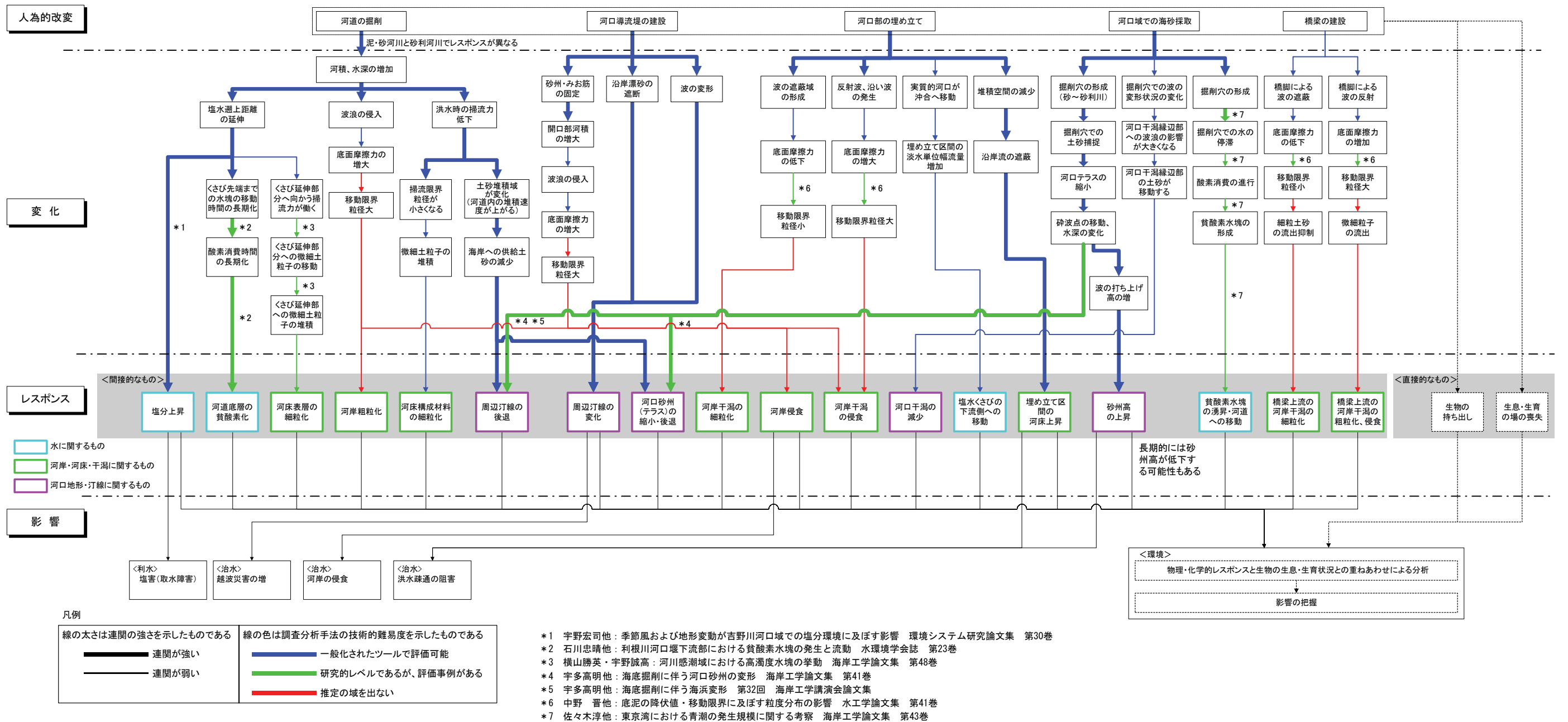


図4-4 汽水域における人為的改変による河川環境への影響関連フロー

4.4 必要な現地調査

汽水域の河川環境管理を効果的に行うためには、現地の情報を把握することが必須である。河川管理上必要となる基礎的なデータは表4・1に示すように、現況把握や一次判定のために定常的に収集しておくべきものと、二次判定が必要となった場合に追加調査を行うものがある。また、影響追跡のために事後に実施するものもある。

表4・1 必要な現地調査

調査段階	現況把握	一次判定	二次判定	影響追跡
分析手法	(変化図) (分布図) 作成等	他での事例比較 簡易なシミュレーション	模型実験 シミュレーション	モニタリング
基礎的なデータの収集方法	共通基盤として定常的に実施、 関係機関による既往データの収集			必要なデータの追加調査
調査時期	常時	計画時点		実施後

汽水域を管理していく上では、例えば上流から流れてくる水質が変わることによって、今まで起きていなかった河道底層の貧酸素化が生じることもあるなどより、定期的な環境の状況把握が重要である。また人為的改変を行おうとする場合には当該水域での環境への影響の可能性を予測する必要がある。そのため表4・2に示す項目について現地調査を行い、当該河川の河川環境を常日頃より把握する必要がある。

現地調査を行うに際しては、まず当該汽水域を活動の場とする地域住民や学識者などへのヒアリング結果および既存文献をもとに、調査の必要性や内容、視点を明確にしておくことが重要である。また、ハビタットは生物種によって非常に小さなスケールの場合があるため、当該区域の注目種などを考慮し、地形や植生についても細かく調査することが望ましく、浅場に広がるアマモ場、砂嘴の背後に発達する湿地、小水路の合流点やその滞などの特徴的な場を把握することが重

要である。

なお、既往の調査結果については、これまでも汽水域における水文、水質調査等は行われてきたが、治水、利水の観点から行われている場合が多いため、これらのデータだけでは汽水域の環境に対する影響を適切に評価することが困難であることに注意が必要である。

表4・2 常日頃から把握しておくべき調査項目

調査項目	調査目的・把握する現象
河道縦横断形状	<ul style="list-style-type: none"> 出水、波浪、潮汐流による土砂移動 経年的な変化傾向とともに急激な、或いは大規模な変化が生じていないかどうか確認
河床材料	<ul style="list-style-type: none"> 出水、波浪、潮汐流による土砂移動による河床材料の経年的な変化の把握 ハビタットの概況の把握
河口水位	<ul style="list-style-type: none"> 出水による土砂移動
流量	<ul style="list-style-type: none"> 出水、潮汐による土砂移動
潮位	<ul style="list-style-type: none"> 波浪による土砂移動(海岸、河道内) 潮間帯の把握
波浪(波高、波向、周期)	波浪による土砂移動(海岸、河道内)
風向風速	波浪による土砂移動(海岸、河道内)
塩分濃度分布*1	塩水遡上、貧酸素水塊の形成、土砂移動(凝集沈殿)
水温、溶存酸素濃度分布*1,*2	貧酸素水塊の形成
濁度分布*1,*2	波浪、潮汐流、凝集沈殿による土砂移動
底質(酸素消費に係る有機汚濁、硫化物等)*2	貧酸素水塊の形成
ハビタットの状況*3	ハビタットの把握(植生、地形、河床材料等)
生物(動植物)*3	生物生息状況
生物(底生生物)*3	生物生息状況

*1 塩分、水温、溶存酸素、濁度を同時に測定するなど効率的な調査を行う。

*2 貧酸素水塊や濁質の凝集沈殿現象を生じやすい泥・砂河川で行う。

*3 手引き作成における環境に関する保全対象を把握するための調査

5. 調査分析手法

5.1 調査・分析手順

汽水域の物理・化学的環境は、川と海の微妙なバランスのもとに多様なものとなっている。そこで、人為的改変が加えられた場合の物理・化学的現象を把握する上で、データの収集が極めて重要になる。

人為的改変による環境影響予測のフローは図5-1に示す通りである。本研究の検討対象は調査・分析であり、フロー図では点線で囲んだ部分である。

調査分析手順は、まずその人為的改変によって生じる可能性のあるレスポンスを抽出する。次に一次判定段階として、抽出されたレスポンスについて、当該河川で発生する可能性の有無を判定図表や簡易シミュレーションなどを用いて判断する。この時、過去の事例を参考にすることも重要である。レスポンスを生じる可能性有りとして判断された場合には、二次判定段階として、シミュレーションモデル等による変化の程度について予測を行う。

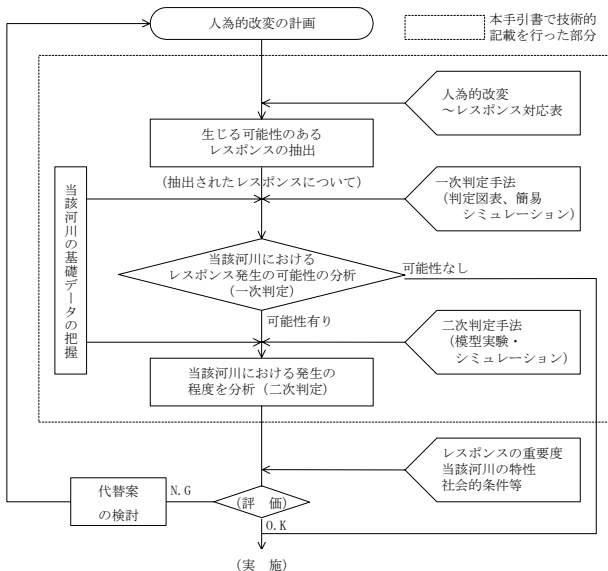


図5-1 人為的改変による環境影響予測フロー

5.2 生じる可能性のあるレスポンスの抽出

人為的改変とレスポンスの関連を検討した結果を表5-1に示す。これを用いて人為的改変によって生じる可能性のあるレスポンスを抽出することが可能となる。

表5-1 人為的改変とレスポンスの関連の状況

レスポンス	人為的改変																			
	塩分上昇	河道底層の貧酸素化	河床表層の細粒化	河床粗粒化	河床構成材料の細粒化	周辺汀線の後退	周辺汀線の変化	河口砂州(テラス)の縮小・後退	河岸干潟の細粒化	河岸干潟の粗粒化	河岸干潟の減少	河口干潟の減少	河口干潟の減少	塩水くさびの逆流側への移動	埋め立て区間の河床上昇	砂州高の変化	貧酸素水塊の湧昇・河道への移動	橋梁上流の河岸干潟の粗粒化・侵食	橋梁上流の河岸干潟の粗粒化・侵食	
河道の掘削	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
泥・砂河川の砂利河川	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
河口導流堤の建設																				
河口部の埋め立て																				
河口域での海砂採取																				
橋梁の建設																				

○関連があると考えられるもの

5.3 抽出された人為的改変～レスポンスの調査・分析手法

調査分析手法は、対象とする人為的改変で生じる可能性のあるレスポンス毎に、以下の手順による。

- ・人為的改変によるレスポンス
- ・一次判定手法
- ・二次判定手法
- ・二次判定のための調査手法

本研究では、汽水域において河道掘削を行う場合に生じる「塩水遡上距離の延伸による河床表層の細粒化」を例として検討結果を示す。

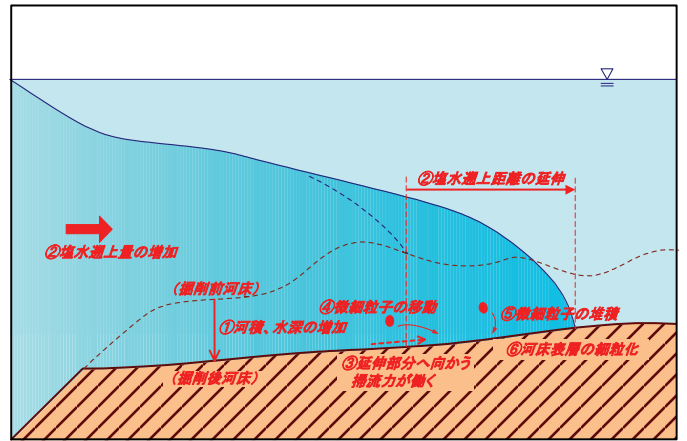
5.3.1 人為的改変によるレスポンス

河道掘削による物理・化学的な現象の変化，河床表層の細粒化のレスポンスについてのイメージ（図5・2）と「流れ」（図5・3）に区分して示す。

5.3.2 一次判定手法

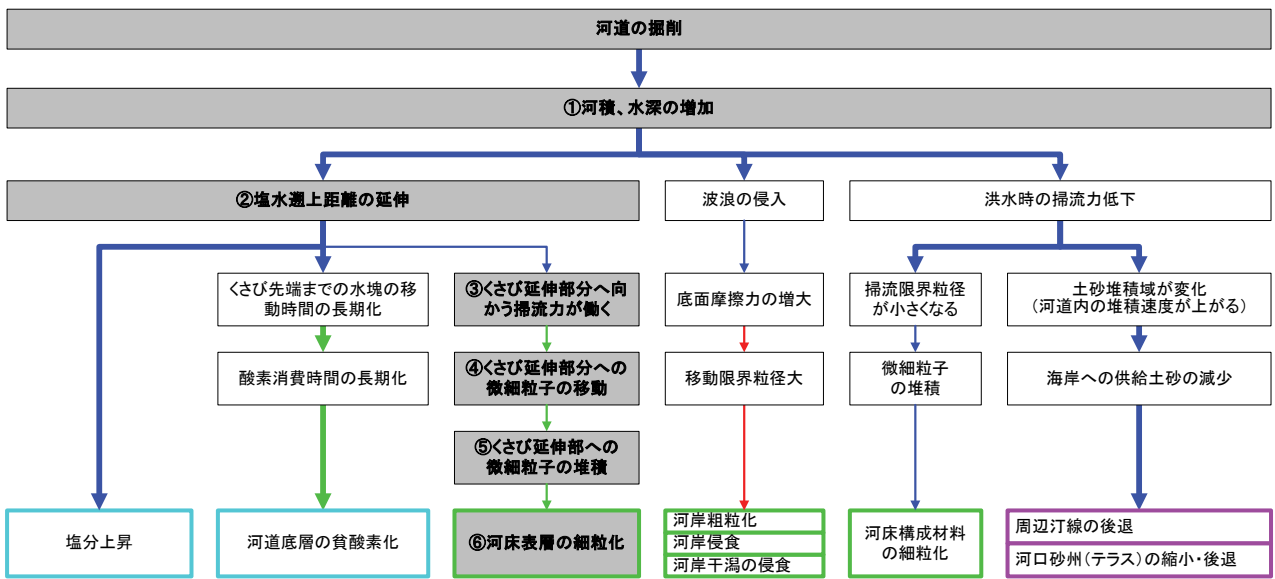
一次判定は次のように行う。まず，基礎データの河床材料により細粒化の生じやすい細砂ないし中砂の卓越した河川であるか否かを判断する。さらに，塩分濃度分布より塩水くさびを生じやすい弱～緩混合の河川であるか否かを判断する。細砂ないし中砂の卓越する弱～緩混合の河川では二次判定を行う。

なお，そのような河川で実際に河口や海域に細粒分が堆積している河川，汚濁した河川や濁度の高い河川は，細粒化による問題を生じる可能性が高い。



- 【備考】
- ・上図は平常時の弱混合型のイメージ図である。
 - ・強混合の場合も微細粒子の堆積がある場合は，その堆積域が上流へ移動する可能性がある。
 - ・懸濁態の有機物等は，微細粒子に吸着され移動し，堆積する。

図5・2 現象のイメージの例



(河道掘削による河床表層の細粒化)

図5・3 現象の流れの例

5.3.3 二次判定手法

シミュレーションなどを用いた予測の手法は、表5・2に示す通り、対象とする現象毎に検討する。ここでは、手順と予測条件について示す。

(1) 二次判定の手順

現況河道および掘削河道を設定し、その断面特性(水位(H)～流積(A)～径深(R)～水面幅(B))を求めらる。

これを選定したシミュレーションモデルに与えて塩水くさびの形状や塩分濃度分布を予測する。その際、河床に働く掃流力も求めておく。

表5・2 シミュレーションを用いた現象の分析
(河道掘削による河床表層の細粒化)

対象とする現象	調査項目	分析手法	技術水準等
①河口部の河道掘削により河積および水深が増加する	・河川縦横断面形状	【断面特性の算定】 各河道横断面のH-A-R-Bの算定	
②塩水遡上量が増加するとともに、塩水遡上距離が延伸する	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分鉛直縦断分布	【塩水遡上量、遡上距離】 【(弱混合) 淡塩二層流計算】 【(弱～緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算】 【(弱～緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算】	(弱混合) 淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡水界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
③塩水くさびの延伸部分へ向かう掃流力が動く	・流量 ・潮位 ・水位 ・塩分鉛直縦断分布 ・流速鉛直縦断分布	【流速、掃流力】 【(弱混合) 淡塩二層流計算】 【(弱～緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算】 【(緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算】	(弱混合) 淡塩二層流計算：計算手法は概ね確立されている (弱～緩混合) 鉛直二次元密度流拡散計算：塩淡水界面付近の混合の表現に技術的課題がある。
④延伸部分へ微細粒子が移動する	・流量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【流砂量】 流砂量式により予測	流砂量式：各種流砂量式が提案されている。微細粒子の限界掃流力等の評価に技術的課題がある。
⑤延伸部分に微細粒子が堆積する	・流量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【流砂量】 同上の方法で区間流砂量収支を求め、堆積量を予測	流砂量式：各種流砂量式が提案されている。微細粒子の限界掃流力等の評価に技術的課題がある。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。
⑥河床表層が細粒化する	・流量 ・潮位 ・供給土砂量 ・河床材料の粒度組成 ・詳細な土質分析	【河床材料の粒度組成】 【混合粒径の河床変動計算】により予測	混合粒径河床変動計算：一次元の計算手法は概ね確立されているが、微細粒子の凝集・沈降過程の定式化、限界掃流力の評価等の課題がある。平面2次元の場合は、混合粒径計算が研究段階にある。

微細粒子の移動・堆積は、粒子の巻き上げ、沈降、移流・拡散の計算により、各コントロールボリューム内の堆積量を求める。

(2) 予測条件

流況条件は平常時および濁水時の流況を選ぶことが基本である。

潮位条件は、年間のうち、平均潮位が高い夏期の半月周潮の潮位を与える。

粒径の条件は、底質の粒径が一様に近ければ単一粒径として扱い、粒度分布に幅がある場合は、粒径帯別に代表粒径を設定し、それぞれの移動・堆積を計算する。また、河床表層の微細粒子堆積量等の初期条件については、平常時の安定な条件とする。

なお、微細粒子の移動・堆積現象の時間スケールを予め見積もるのは難しいため、シミュレーションによりこれらの現象がある程度動的な平衡状態に達するまでの計算時間を確保する。

5.3.4 二次判定のための調査手法

二次判定を行うために必要な調査項目について、目的を明確にした上で、調査地点、調査時期などについて要点を示す。

<流速鉛直縦断分布>

目的：シミュレーションモデルの検証を行う。

調査地点：縦断方向は、塩水遡上距離及びその変動状況に応じて設定する(5～15点程度)。

水深方向は、1～2m程度の間隔とし、濃度変化の大きい河口付近、遡上先端では密にする。

調査時期：半月周期(約15日間)の塩水挙動を捉えるのが望ましい。

<詳細な土質分析>

目的：シミュレーションの境界条件、検証に用いる調査地点：縦横断方向に適切な間隔で設定する(横断データは平面二次元の計算を行う場合に用いる)。

調査時期・頻度：濁質量の増加する小出水後や上げ潮と下げ潮の違いが把握できる時期が望ましい。

沈降特性および限界掃流力等を把握するため、沈降試

験、粘度測定、フロック試験により、詳細な粒度組成や土質の特性を把握する。

<供給土砂量>

目的：シミュレーションの境界条件とする。

調査地点：汽水域の上流とする。

調査時期：平常時および濁質量の増加する小出水時とする。

6. 今後の課題と方向

これまで述べてきた検討の全般的な成果については、上記の調査分析手法に関する人為的改変についての検討手法を含めて、「汽水域の河川環境の捉え方に関する手引き」（平成16年5月）としてとりまとめた。国土交通省河川局のホームページからも入手することが出来る。

人為的な改変の影響が生物まで及ぶ場合に社会的な問題となることが多いが、物理・化学的な現象と生態系との関係はさらに複雑である。汽水域の生態系の捉え方を整理して示すことが今後の課題である。

さらに、今回の検討では、インパクト・レスポンスの視点から現象の変化とその把握手法について検討を行った。事業から管理の時代へという流れを見据えると、流域の影響を受けて変化しやすい汽水域の河川環境が、流量や栄養塩濃度の変化などにどのように応答するかという視点での分析・整理が日頃の河川管理に求められている。

謝辞

検討に際しては、「汽水域の河川環境の捉え方に関する検討会」（委員長：福岡捷二（当時）広島大学大学院教授）の委員の皆様にご指導をうけたことをここに記述して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団(2000)「感潮河川の水環境特性に関する研究」。
- 2) 栗原康(1998)「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, 東海大学出版会, pp150~160.
- 3) 山本晃一(1994)「沖積河川学」, 山海堂.
- 4) 宇野宏次他(2002)「季節風および地形変動が吉野川河口域での塩分環境に及ぼす影響」, 環境システム研究論文集 第30巻.
- 5) 石川忠晴他(2000)「利根川河口堰下流部における貧酸素水塊の発生と流動」, 水環境学会誌 第23巻.
- 6) 横山勝英他(2001)「河川感潮域における高濁度水塊の挙動」, 海岸工学論文集 第48巻.
- 7) 宇多高明他(1994)「海底掘削に伴う河口砂州の変形」, 海岸工学論文集 第41巻.
- 8) 宇多高明他(1985)「海底掘削に伴う海浜変形」, 第32回海岸工学論文集.
- 9) 中野晋(1997)「底泥の降伏値・移動限界に及ぼす粒度分布の影響」, 水工学論文集 第41巻.
- 10) 佐々木淳他(1996)「東京湾における青潮の発生規模に関する考察」, 海岸工学論文集 第43巻.

Ⅱ 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

2. 鶴見川水質浄化実験におけるNH₄-Nの除去性能 と都市河川への適用に関する研究

佐藤 和明* 岸田 弘之** 渡辺 拓***

1. はじめに

鶴見川はその源を東京都町田市上小山田町に発し、多摩丘陵を東流し、恩田川、鳥山川、早淵川、矢上川等をあわせ流向を南東に転じ、京浜工業地帯の横浜市鶴見区内を湾曲して流下し東京湾に注ぐ、流域面積235km²、幹線流路延長42.5kmの河川である(図2・1参照)。

東京・横浜・川崎といった大都市に控えた鶴見川流域は、地形・地理的条件の良さといまわって、昭和30年代から急速に開発がすすめられた。平成11年では、流域の85%が市街化され、流域人口は約184万人に達しており、鶴見川は典型的な都市河川である。

鶴見川流域の市街地はほぼ下水道整備済区域となっていることから、河川に流入する負荷として、流域に点在する下水処理場からの負荷が多い。しかし、上流域等の下水道未整備地域においては、依然として生活系、事業所系由来の流入負荷が多くなっている。また、都市型の新たな問題として市街地からのノンポイント汚濁負荷の問題も挙げられている。

さらに、支川・水路での流量の低下が見られるなど、川とのふれあいや、多様な水生生物の生息・繁殖に関して、水量・水質両面の健全化が重要な課題となっている。

こうした状況下で鶴見川の水質問題として、近年アンモニア性窒素(NH₄-N)が注目されている。NH₄-Nは生物に対し毒性があり、鶴見川ではこの濃度が高いこと

から、魚類をはじめとする水生生物の生息・繁殖に悪影響を及ぼしている可能性が高い。また、NH₄-Nの硝化によるBOD(N-BOD)の発現により、下水道が整備され有機性汚濁の改善が進んでいるにもかかわらず、鶴見川のBOD濃度を環境基準を上回る程度まで引き上げている。

このような都市型の新たな河川水質問題の一つとして、NH₄-Nの対策が重要となっているが、従来の河川浄化技術は、有機性汚濁対策が中心であり、NH₄-N対策に焦点をあてた技術開発は実施してきていなかった。また既往の河川水浄化施設でもNH₄-Nの調査事例がほとんどないのが現状であり、浄化性能についてはあまり明らかにされていなかった。

そこで本研究では、鶴見川の水質改善に有効と考えられる河川水浄化技術の適用可能性実験として実施された「鶴見川水質浄化実験」において、NH₄-N対策として実施した実験成果をもとに、NH₄-Nの河川水浄化施設による除去性能と都市河川への適用について検討した。

2. 検討の主旨

鶴見川水質浄化実験では、鶴見川で顕在化した都市型の新たな水質環境問題に対応すべく、特に①晴天時の本川、支川におけるNH₄-N、大腸菌群数などの効果的な浄化技術の開発、および②下水道が整備された地域における側溝、水路等からの雨天時流出負荷(ノンポ

* (財)河川環境管理財団 技術参与

** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長

*** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部 研究員

イント汚濁負荷)削減技術の開発を目的とし、河川浄化技術として実用化されていない新たな浄化技術を中心に公募・選定した4技術の適用可能性を確認した。

水質浄化技術の概要を次ページの表2・2に示す。また実験における浄化目標を表2・1に示す。

実験場所は鶴見川14.6km左岸、亀甲橋より0.6km上流の堤防裏小段の国土交通省用地である(図2・1参照)。鶴見川の環境基準地点の近傍であり、水質濃度が高く、治水上問題ない場所である。実験水は鶴見川本川及び近傍水路の2ヶ所から取水し、1施設あたり1L/secの浄化水量の実験施設規模とした。

実験期間は、年間の処理性能を把握するため、平成

13年9月～平成14年8月の1年間を通じて実施した。

この「鶴見川水質浄化実験」の結果については、「鶴見川の新しい水質環境保全のための技術検討会(委員長:武蔵工業大学 長岡 裕先生)において、浄化目標の達成状況や鶴見川への適用可能性について検討されている。

本研究では、特に晴天時本川・支川対象施設におけるNH₄-Nの除去性能に着目し、検討会における結果を詳細に分析した。すなわち、NH₄-Nの除去性能を硝化速度として評価したうえで、NH₄-N除去目的で鶴見川に実験技術を適用した場合の改善効果や費用を試算し、この対策の有効性について考察した。

表2・1 鶴見川水質浄化実験における浄化目標

水質浄化技術の名前	晴天時本川・支川対象施設			降雨時水路・側溝対象施設	
	実験施設①	実験施設②	実験施設③	実験施設④	
滞留時間 (水が施設の中を流れていく時間)	約10.5時間	約4時間	約3.6時間	約20分	
対象水 (実験で処理をする水)	鶴見川本川			雨水排水路	
処理性能 (浄化前後の水質)	項目	流入水 (河川水の水質)	浄化目標水質 (浄化した後の水質)	流入水 (河川水の水質)	浄化率
	BOD (mg/L)	9.5	3以下	10~40	60%
	NH ₄ -N (mg/L)	3.16	0.5以下	-	-
	大腸菌群数 (MPN/100ml)	3.9×10 ⁴	1000以下	-	-
	透明度 (cm)	29.1	50以上	-	-
	SS (mg/L)	-	-	10~300	60%

※これら4技術は公募によって選定されたものである。

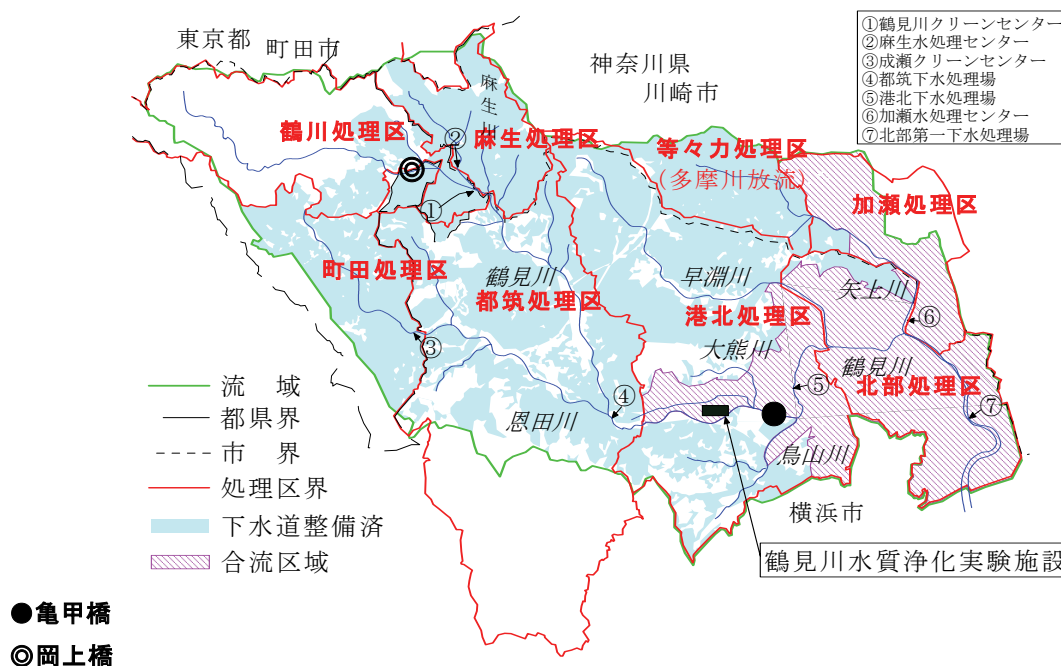
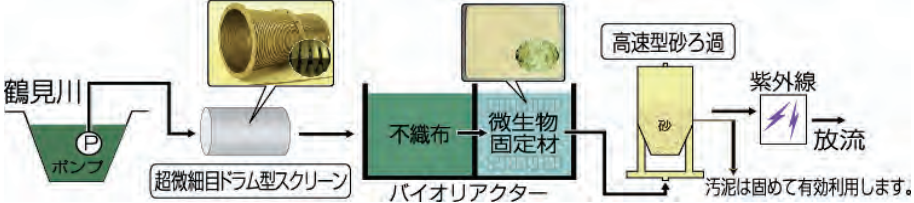
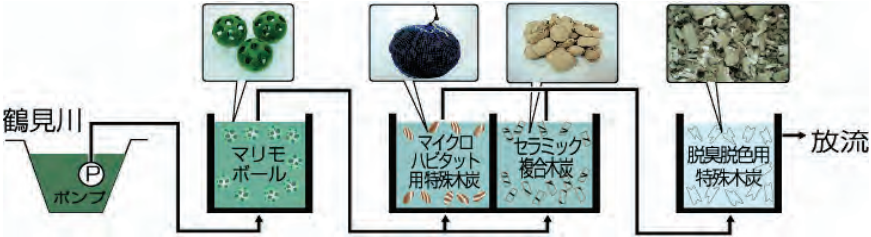
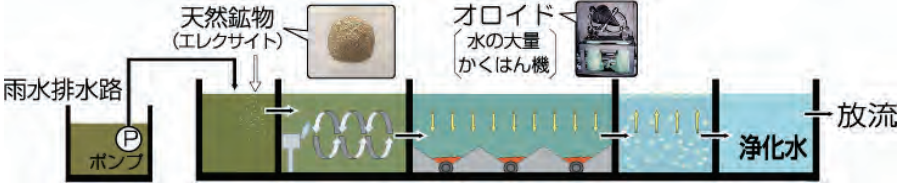


図2・1 鶴見川流域と実験施設位置図

表2-2 鶴見川水質浄化実験施設概要

<p>① 環境保全型ハイブリッド水質浄化システム 薬品を使わない自然にやさしい植生水路および接触酸化による水質浄化技術 (実験者：三洋テクノマリン㈱, ㈱小楠熔接製作所, ㈱協和エクシオ, ㈱大本組)</p> <p>植生水路では、自然景観の形成およびSSの除去を行い、その後エアレーションされた第一接触酸化槽および第二接触酸化槽において、接触材の表面に付着した生物の働きで汚濁物を除去する。</p> 
<p>② 水循環・再生浄化システム 微生物固定材等を使用した微生物処理を主体とした浄化技術 (実験者：㈱タクマ)</p> <p>超微細目ドラム型スクリーンは、微細なSSも除去可能である。バイオリアクター（接触酸化槽と吸着・硝化槽）においては、微生物吸着ポリマーをコーティングしたゼオライト担持型の硝化菌固定材を使用しており、BOD酸化菌をはじめ硝化微生物を高濃度に付着保持でき、BODおよびアンモニア態窒素の低減化が図れる。また、SS成分の流出および浄化槽内の汚泥の排出を目的として、省スペースでかつ高速型の砂ろ過器を設け、さらにトリハロメタンの生成を抑制するために塩素消毒に換えて紫外線滅菌により処理水を滅菌し放流する。</p> 
<p>③ 自然循環方式水質浄化システム 天然素材を用いた微生物のろ材の定着および活性化による生物学的処理技術 (実験者：鉄建建設㈱, 東洋電化工業㈱)</p> <p>自然に水中に生息する微生物をろ材に定着させ、微生物により有機物を分解させ生物学的処理を行う。接触酸化ろ材槽では、SSを補足し、マイクロハビタット用特殊木炭槽およびセラミック複合木炭槽ではBOD、CODを除去する。脱臭・脱色用特殊木炭は透視度の向上をさせるとともに脱臭・脱色を行う。</p> 
<p>④ 降雨時汚濁水急速水質浄化システム 清澄水と汚濁水フロックを急速分離させる物理浄化手法を用いた技術 (実験者：㈱浅沼組, ㈱リフレ, ㈱エレックスインターナショナル)</p> <p>汚濁水を浄化機械装置に吸い込み、環境を汚染しない無機質の天然資材を使った凝集剤を混入、攪拌槽中にて水をスクリュウ攪拌や噴射攪拌によらない低コストの水の攪拌機を使用して急速攪拌を行い、水中の汚濁物質および含有重金属を槽底に凝固沈殿させ、清澄水とフロックに分離し、清澄水を放流する。</p> 

3. 実験結果

3.1 原水水質の特性

鶴見川14.6km, 亀甲橋より0.6km地点における実験期間の原水水質の月平均値を表3・1および図3・1に示す。

NH₄-Nの上昇は水温の低下する12月から見られたが、水温の上昇した4~6月間でも高い濃度となっている。

鶴見川の水量の多くは下水処理水であり、平成12年度の亀甲橋低水流量(6.28m³/sec)に占める下水処理水量の割合は約60%である。そのため、NH₄-Nの変化は、下水処理の生物活性が低下する低水温期および高水温期への移行期に対応した変化と考えられる。

表3・1 原水水質の月平均値（鶴見川14.6km, 亀甲橋より0.6km地点）

		水温	透視度	pH	DO	SS	BOD	ATU-BOD	COD-Mn	大腸菌群数	大腸菌活性	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-P
		℃	cm	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	MPN/100ml	個/100ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
平成13年	9月平均	22.8	44.7	7.5	6.9	5.8	4.4	1.3	6.2	10,967	4600	8.25	1.03	5.85	0.39
	10月平均	20.0	43.3	7.6	7.2	4.9	3.1	1.0	4.9	162,667	19,333	6.92	1.15	5.03	0.40
	11月平均	15.2	59.0	7.6	8.0	7.1	4.3	1.2	5.1	33,000	7,250	8.41	1.53	5.30	0.46
	12月平均	12.3	74.0	7.6	7.2	5.5	7.8	2.4	7.4	34,500	26,500	10.31	4.73	5.50	0.47
平成14年	1月平均	10.1	48.0	7.6	8.8	7.9	14.9	3.0	7.9	59,500	22,000	16.00	6.48	3.39	0.65
	2月平均	11.6	75.5	7.6	8.1	6.7	9.7	2.8	7.7	59,500	6,400	11.50	5.61	4.78	0.68
	3月平均	15.9	38.0	7.5	6.9	21.8	20.0	3.6	9.3	108,000	14,500	11.15	4.94	4.83	1.01
	4月平均	18.4	98.5	7.5	6.3	11.0	14.0	3.3	8.3	36,000	18,500	11.45	3.79	6.07	0.87
	5月平均	21.7	35.5	7.5	6.4	16.6	12.1	2.9	7.7	33,846	10,077	10.06	3.23	5.68	0.76
	6月平均	23.3	46.5	7.5	6.5	7.9	10.0	4.1	7.3	104,500	14,500	9.50	3.12	4.72	0.61
	7月平均	26.0	55.5	7.6	6.5	5.9	6.7	2.5	6.5	33,000	10,150	8.59	1.25	5.30	0.55
	8月平均	26.7	65.1	7.6	6.9	7.9	4.2	1.8	6.4	47,500	35,000	7.82	1.06	4.91	0.67
実験期間平均	18.6	57.0	7.5	7.1	9.1	9.3	2.5	7.0	60,248	15,734	10.00	3.16	5.11	0.62	

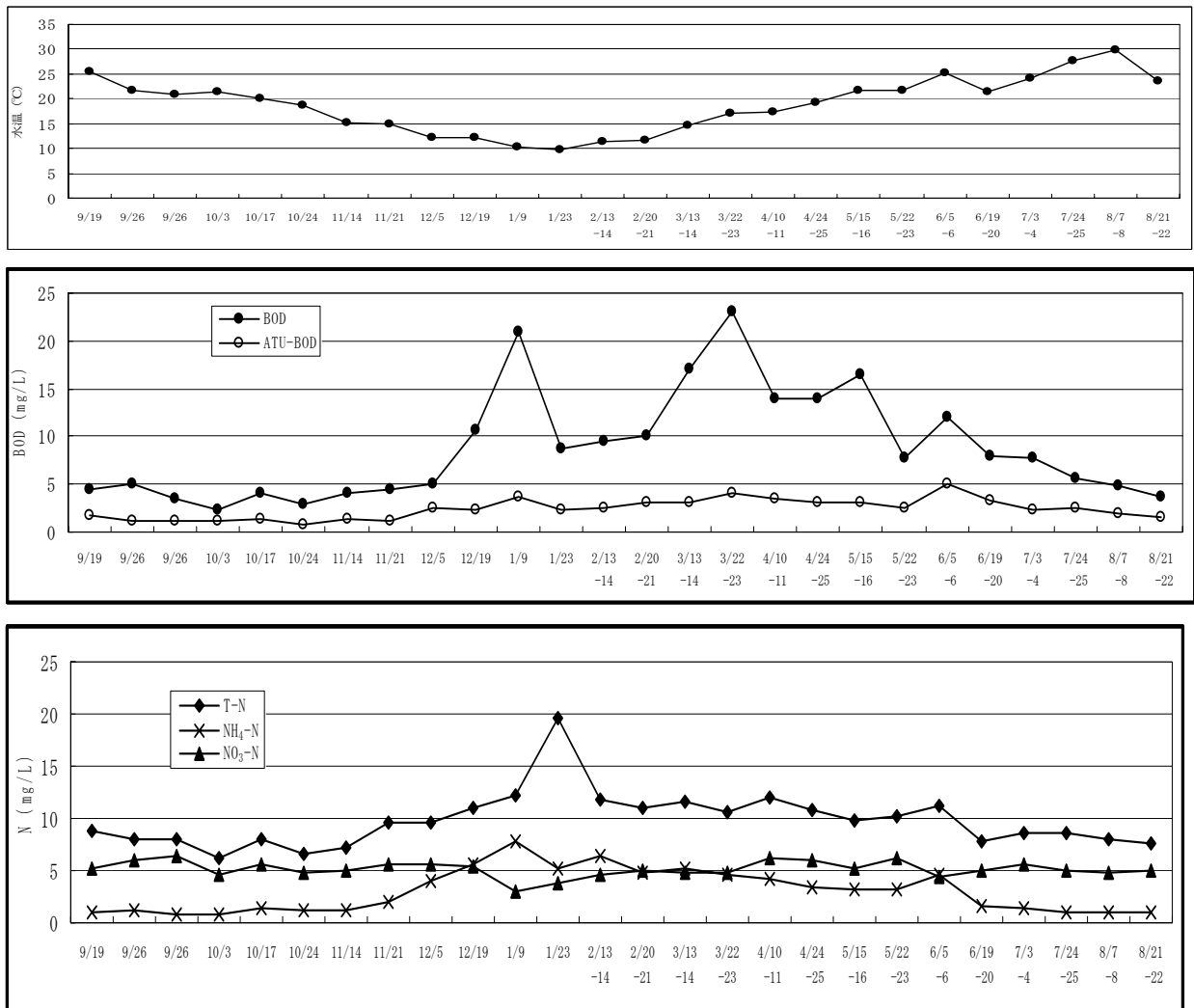


図3・1 原水の水温（上）と水質（中：BOD, 下：窒素）

この間、N-BODの発現も約5mg/L以上とATU-BOD(C-BOD)を上回る値を示している。図3・2に原水水質におけるNH₄-NとN-BODの関係を示す。全体的に、NH₄-Nが大きいほど、N-BODが高い値を示す傾向がみられる。化学量論的にはNH₄-Nの4.57倍のN-BODの発現が可能であるが、それに近い発現を示すデータもある。

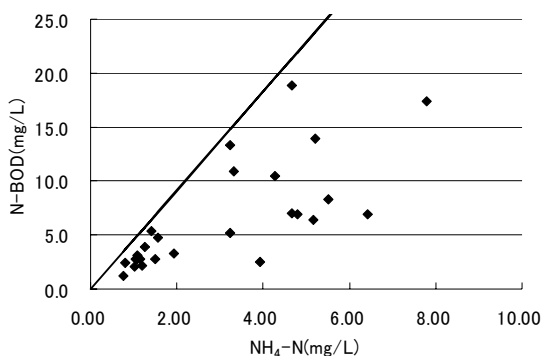


図3・2 原水のN-BODとNH₄-Nの関係
(図中の直線は理論値を示す。)

また、実験施設の取水は、基本的に晴天時を対象とし、降雨時には河川水位の上昇により自動的に取水を停止した。図3・3に取水地点に近い鶴見川亀甲橋の連続データ(平成14年4月)を示す。点線部分は、降雨による流量上昇に伴い、取水停止した期間である。図3・3より明らかなように降雨時の取水を回避したため、降雨によるSS上昇の実験施設への影響は軽減されている。

なお、河川水量およびNH₄-Nの変動には日周期性が確認できる。これは、下水処理場からの放流量の変動によるものであり、すなわち生活排水量の変動が時間遅れで河川に到達するためである。

パイロットプラントの実験水のサンプリングに対しては、この変動を考慮して、1時間間隔の24時間コンポジットサンプルにより1日の平均水質とする方法を採用した。施設の流入と流出を滞留時間差で採水する方法では、理論上と実滞留時間のわずかなずれが日変動によって除去率の過大(過少)評価をもたらす可能性が大きいからである。

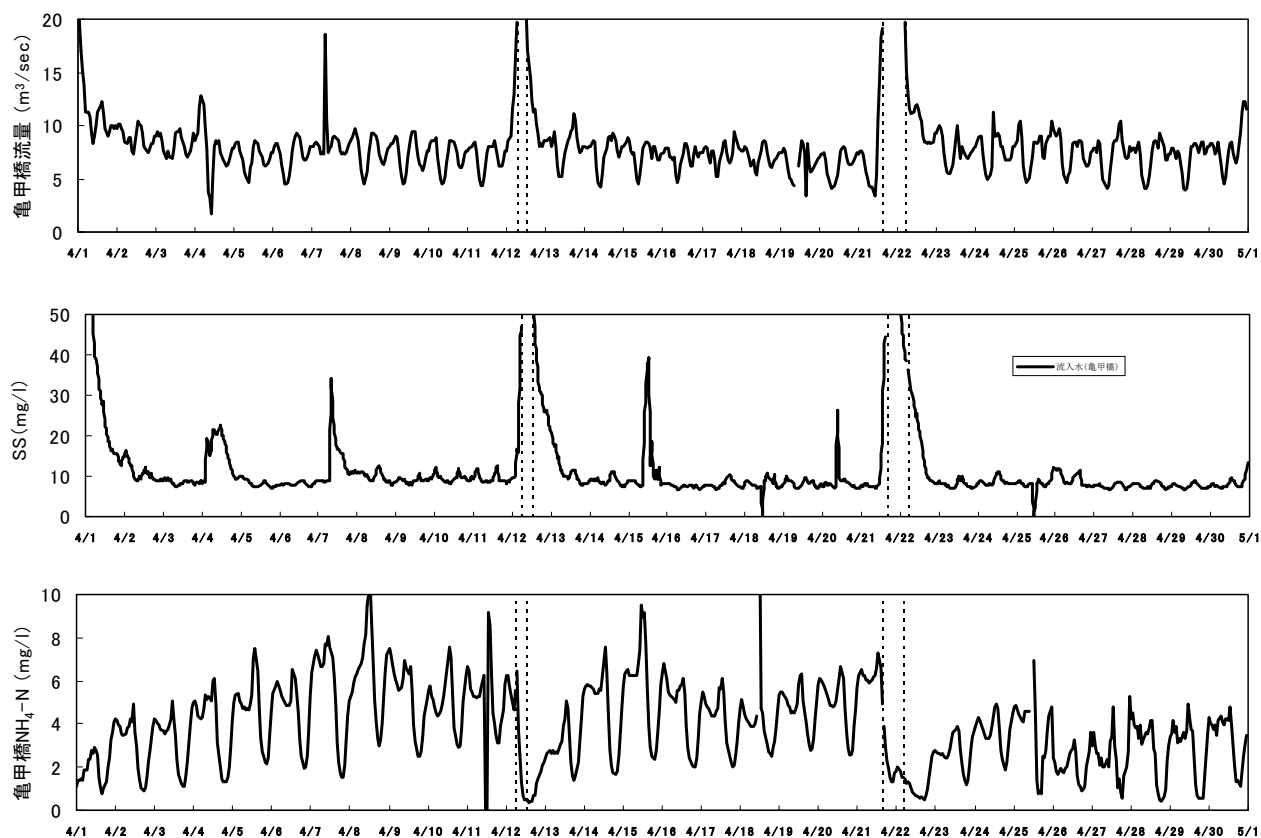


図3・3 鶴見川亀甲橋の連続データ：水量(上)と水質(中：SS, 下：NH₄-N)

3.2 アンモニア性窒素の浄化性能

鶴見川のNH₄-N対策技術として実験を実施した晴天時本川・支川対象の3施設のNH₄-Nの経時変化を図3・4に示す。どの施設でも流入水質に係わらず処理水質は安定して浄化目標を下回る値を示している。

NH₄-N除去性能を硝化速度として示すと、図3・5に示すように冬季の水温10℃程度の場合に、滞留時間1時間あたり1.5～5.0mg/Lの硝化速度を示している。硝化速度は一般に水温が上昇すると高くなるが、今回の実験結果では高温期は流入水質の値が小さくなっていたため硝化速度も小さくなっている。図3・7に示すように硝化速度はどの施設においても、流入水質の値と比例関係が認められており、硝化速度は水温よりも流入水質濃度の制約を受けていたといえよう。

また、参考として過去に実施された大柏川浄化実験におけるある実験施設¹⁾の結果を図3・6に示す。この施設では、水温10℃程度のときに1～2mg/L/時の硝化速度を示している。これら硝化速度に係る実験施設の諸元を整理して表3・2に示す。

硝化のためにはDOが必要であり、0.5mg/L以上の高いNH₄-Nの場合には曝気によるDO供給が必要となる²⁾。今回の実験でも大柏川の実験でも曝気処理を実施しており、DO不足は確認されていない。

また、一般に高い有機物負荷条件では、生物膜が従属栄養菌に占有され、硝化能に影響を与える。高い硝化能を達成するために、下水処理方式の一つである散水ろ床法では、砕石を用いた場合で0.048～

0.096kg/m³/日、プラスチックろ材で0.096～0.192kg/m³/日の負荷範囲にある必要があるとされている³⁾。今回の実験および大柏川実験とも冬季において有機物負荷はこの範囲であったが、実験期間全体を通じては、今回の実験のほうがより有機物負荷が小さかったことから、高い硝化速度が得やすい状況にあったと考えられる。

同じ水温、流入水質、さらには同じBOD容積負荷(図3・8)のもとで、各施設の硝化性能を比べると、比較可能なデータ数に限りがあるものの、No.3の実験施設が比較的よい性能を示している。この施設は、滞留時間も短く、曝気風量も他施設と変わらないことから、施設規模も比較的小さく、また電力もほかと変わらない消費でこの性能を示していることになる。この要因の一つとして、No.3の実験施設は接触材の接触面積が大きく硝化に効率的であったと考えられる。良好な硝化能を発揮するためには、より多くの活性のある硝化菌を接触材に保持することが必要であり、それを可能にするためには大きな接触面積を確保することが必要だからである。

また、No.3施設の硝化部の接触材は密に充填されており、空隙率が小さい。このことが規模の小さな施設を実現しているが、一方で接触材間に汚泥が堆積しやすい構造でもある。

鶴見川の実験では高SSの流入が抑えられていたこと、実験期間が一年と堆積汚泥の影響を評価するには実験期間が短かったことから、3施設とも汚泥の堆積による硝化性能の低下は確認されなかった。しかしながら、性能の持続性の確保という点では更なる検証を要すると思われる。

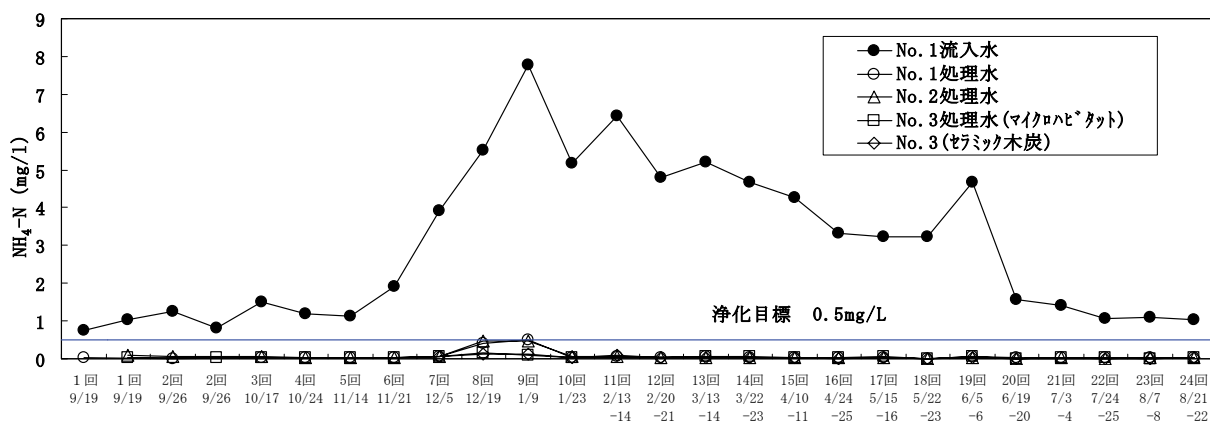


図3・4 実験施設のNH₄-N経時変化

表3-2 実験施設の諸元(硝化部)と硝化速度

No.	浄化手法名	硝化部の諸元※1			硝化速度 (mg/L/hr)※2	
		接触材 (空隙率(%))	滞留時間(hr)	BOD負荷 (kg/m ³ /日)		
1	環境保全型ハイブリッド 水質浄化システム	珪石(90%) 多孔質固形材(80%)	4.5	0.006~0.020	300	0.24~1.57
2	再生浄化システム	ポリエステル+ゼオライト (硝化菌固定材)(約98%)	3.1	0.009~0.030	50~110	0.25~1.62
3	自然循環方式 水質浄化システム	セラミック複合木炭 キレートコーティング木炭 (マイクロハビタット) (57%)	1.4	0.014~0.054 (マイクロハビタット) 0.039~0.056 (セラミック)	270	0.09~4.85 (マイクロハビタット) 0.42~4.56 (セラミック)
	(参考) 大柏川実験施設	大型不定形プラスチック (95%)	3.97	0.044~0.210	240~480	0.70~1.91

※1 実験結果から主に硝化が行われている浄化部分
 ※2 (流入水質-処理水質)/硝化部滞留時間 より算出

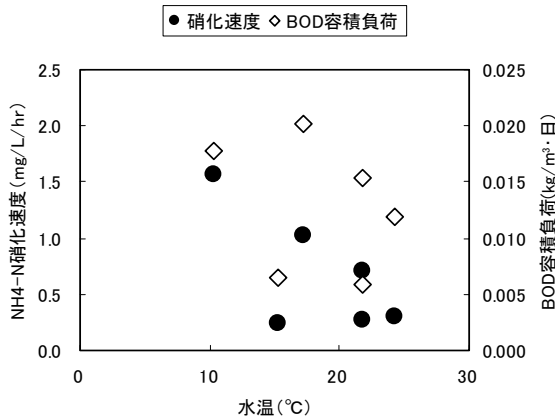


図3-5 (1) 水温と硝化速度, BOD負荷
の関係(実験施設NO. 1)

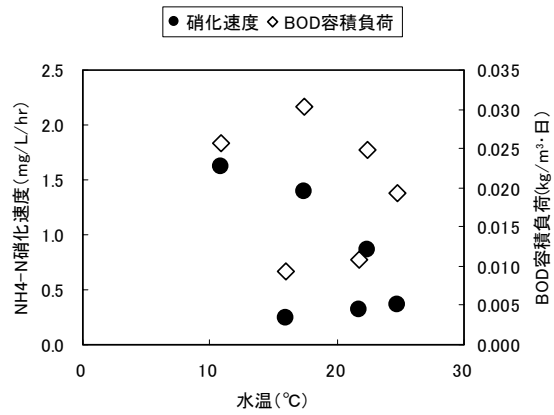


図3-5 (2) 水温と硝化速度, BOD負荷
の関係(実験施設NO. 2)

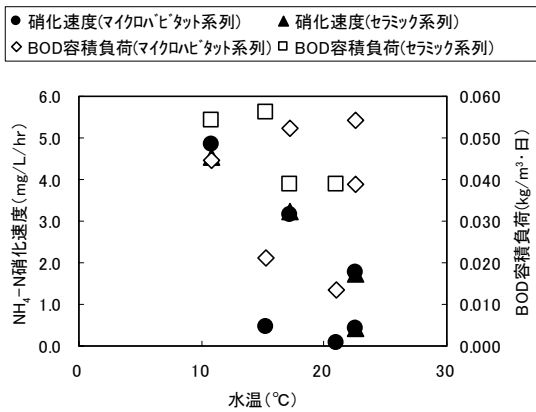


図3-5 (3) 水温と硝化速度, BOD負荷
の関係(実験施設NO. 3)

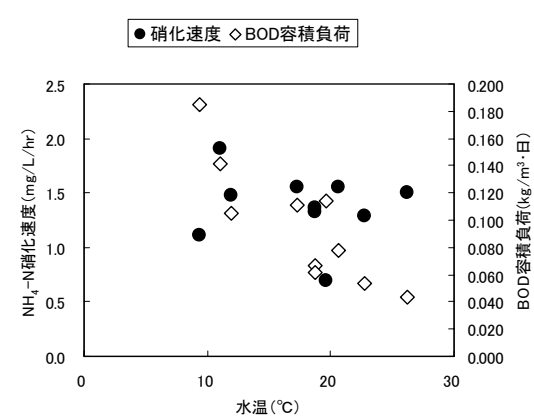


図3-6 水温と硝化速度, BOD負荷
の関係(参考: 大柏川実験施設)

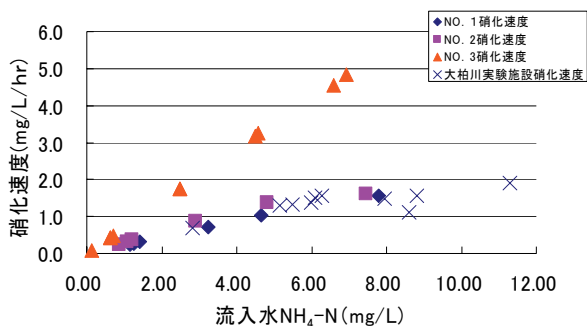


図3-7 流入水質NH₄-Nと硝化速度の関係

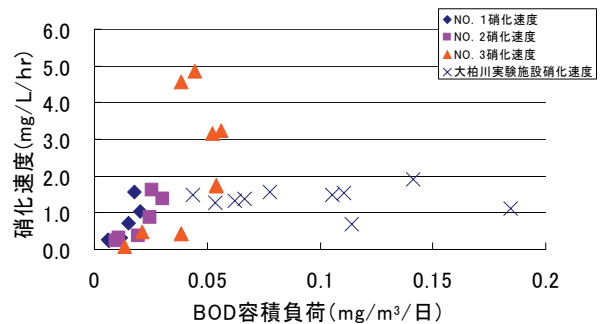


図3-8 BOD容積負荷と硝化速度の関係

3.3 BOD等の浄化性能

図3・9にBOD, T-N, T-Pの処理性能を示す. 3施設ともアンモニア性窒素(中央図の斜線部分)のほぼ完全な処理により, 処理水ではN-BOD(BOD-ATU-BOD: 上図の模様なしの部分)も発現していない.

一方, NH₄-Nの硝化に伴い, 処理水でNO₃-Nが上昇している. さらにT-N, T-Pは流入水と処理水に大きな差は生じていない.

また, 図3・10に大腸菌群数の処理性能を示す. 3施設とも数万オーダーの流入水の大腸菌群数を90%以上(数千オーダーまで)除去しているが, 後処理として紫外線処理を導入している施設を除いて, 浄化目標を達成するにはいたっていない. また, この紫外線処理も実験前半は殺菌効果を発揮していたが, 実験後半にはこの効果が見られなくなっている. 原因を特定するにはいたっていないが, 性能の持続性の確保という点で今後の課題となっている.

3.4 雨天時流出負荷削減技術の実験結果

計画流入水質 (BOD 10~40mg/L) において, BODは目標除去率60%をほぼ達成した (流入水質10~15mg/Lの時は目標除去率に達しない時が多かった). SSは目標除去率60%が安定して達成されている.

BOD, SSとも流入水質が高くなるほど除去率も高くなる結果が得られた.

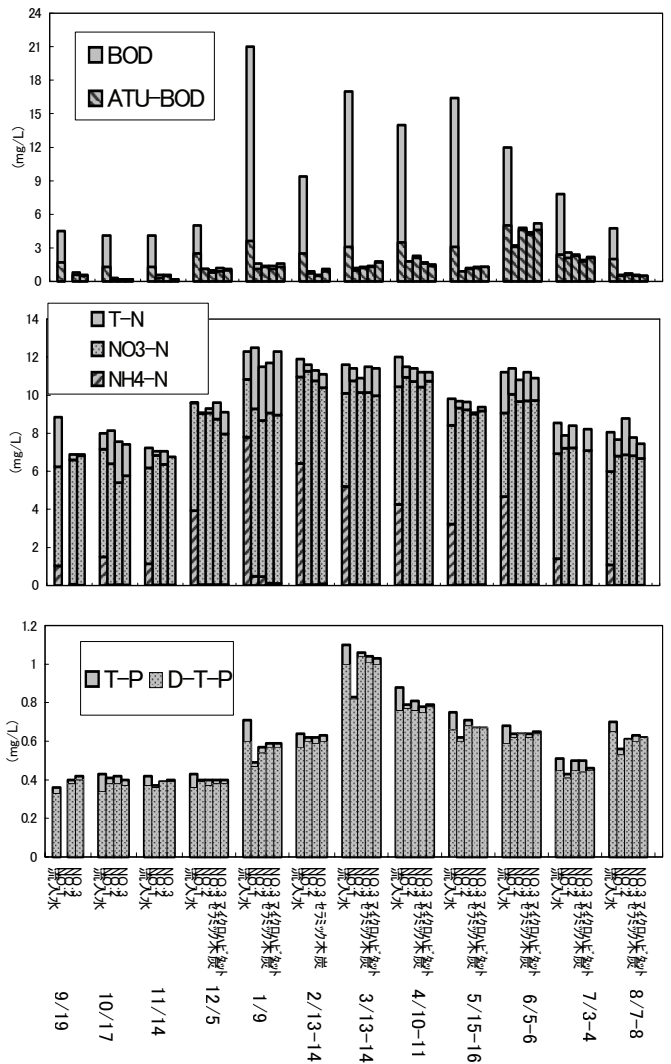


図3・9 3実験施設のBOD, T-N, T-Pの処理性能 (各項目の内訳もあわせて示す)

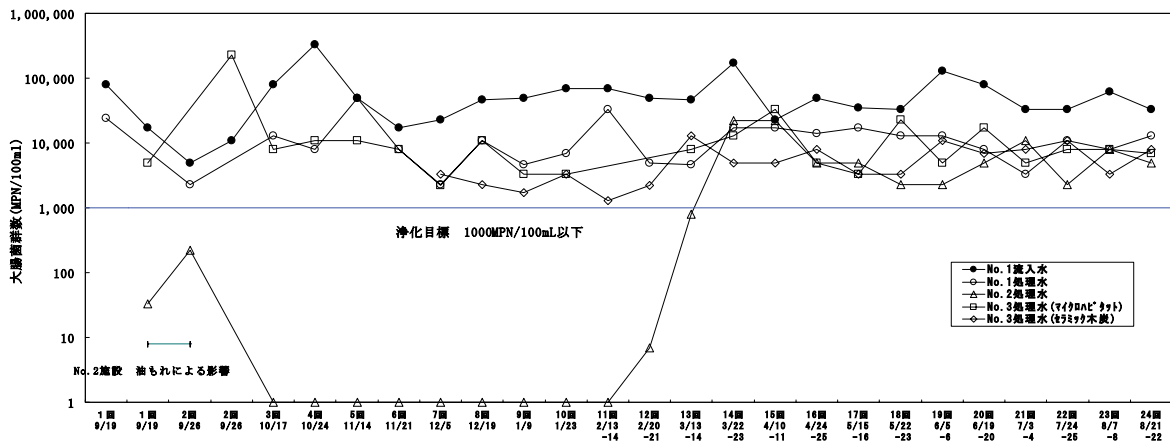


図3・10 実験施設の大腸菌群数の処理性能 (No.2実験施設は後処理として紫外線処理を実施)

4. 実験技術の都市河川への適用

アンモニア性窒素に関して水産用水基準⁴⁾では、0.2mg/Lを河川水における望ましい値として設定している。これは、2時間暴露されたアユの摂餌率、増重率から安全許容量を1.5～2.0mg/Lとした過去の研究成果に0.1の安全係数を乗じて設定したものである。また、浄水処理においても基準等の項目ではないが、原水の状況に応じて試験する重要な項目であり、通常の浄水処理では、ジクロロミン生成によるカルキ臭の抑制と塩素処理抑制の困難さを解消するため、原水のアンモニア性窒素は、0.3mg/L程度以下が望ましいとしている⁵⁾。

河川浄化技術によるアンモニア性窒素の浄化については、有機物負荷が一定の値以下になるように処理時間を設け、曝気処理を行う技術であればある程度の浄化は可能である。その中で今回の実験技術は、鶴見川というNH₄-N変動が大きくピーク時は約7mg/L程度と高濃度になることもある河川において年間を通じて浄化性能を発揮したことから、魚類の生息・繁殖や浄水処理の観点から望ましいとされる水質レベルを確実に安定して達成できる技術として注目される。

ただし、鶴見川の中下流部のように河川水量の多くを下水処理水が占め、NH₄-N汚濁要因のほとんどが下水処理水である河川では、河川水のNH₄-N低減のためには、河川水浄化施設の適用よりもむしろ下水処理場の処理性能改善を図るほうが、費用的に有効である。亀甲橋地点における概略の試算結果を表4・1に示す。亀甲橋の

河川水量全量を河川浄化技術で処理する場合の費用は、亀甲橋上流域の下水処理場すべてが高度処理(担体利用・嫌気無酸素好気法)を実施した場合の約3倍大きくなる。しかし、河川浄化対策では、上流域の下水道未整備地域からのNH₄-N汚濁もあわせて浄化することになることから、河川水の濃度が先に述べた魚類や浄水処理における望ましいレベルまで低減することが可能である。

一方、人口が比較的分散しており、下水道の整備しにくい上流域では、河川水浄化は、下水道整備よりも費用的に有効な対策となる。鶴見川上流岡上橋における概略の試算結果を表4・2に示す。

下水道整備・接続は、バイパス効果により河川水のNH₄-Nを0にすることが可能であるが、河川水浄化施設の設置よりも大きく費用がかかる見込みである。本川への河川水浄化施設の設置も、NH₄-N改善効果は大きく、先に述べた魚類や浄水処理における望ましいレベルまで低減することが可能である。また、水質改善の程度は劣るが、汚濁の著しい流入支川に河川水浄化施設を設置するほうが、費用的には効率的であるといえる。

このように都市河川におけるNH₄-N対策としての河川水浄化技術の適用は、下水道や合併浄化槽などの整備状況と整合を図りながら効果的・効率的に進めることが重要である。また、費用の面で対策が現実的でない場合も当然考えられるが、このような場合は河川敷あるいは河川近傍に、浄化した河川水を利用した池沼や小川を設け、拠点整備(図4・1参照)を図る対策も当面

表4・1 鶴見川中下流(亀甲橋地点)での水質改善対策の試算結果

施策内容			亀甲橋におけるNH ₄ -N(mg/L)	概算費用(億円) ^{※1}
分類	手法	規模		
現況	-	-	4.65 ^{※2}	-
下水道高度処理	担体利用・嫌気無酸素好気法	処理水の全量	0.58	約170億円
下水処理水の浄化	今回の実験技術 ^{※3}	処理水の全量	0.66	約380億円
河川水浄化	今回の実験技術 ^{※4}	河川水の全量	0.05	約580億円

※1 費用は建設費(用地費含む)と10年間の維持管理費の合計とし、費用関数や事例等を参考に概算費用として算出(施設の耐用年数については、考慮していない。施策毎の算出方法の詳細は表4・3参照)

※2 平成12年度の年平均値

※3 環境保全型ハイブリッド水質浄化システムで試算

※4 自然循環方式水質浄化システムで試算

表4-2 鶴見川上流(岡上橋地点)での水質改善対策の試算結果

施策内容			岡上橋における NH ₄ -N (mg/L)	概算費用 (億円)※1
分類	手法	規模		
現況	-	-	0.98 ※2	-
合併処理槽の設置	単独人口およびくみとり人口の100%合併処理化		0.92	約222億円
高度合併処理槽の設置	単独人口およびくみとり人口の100%高度合併処理化		0.33	約250億円
下水道整備・接続	未整備人口の100%下水道接続		0.00	約230億円
流入支川浄化	今回の実験技術 ※3	流入支川の全川 浄化施設設置 ※4	0.52	約20億円
本川水浄化	今回の実験技術 ※5	本川水の全量	0.02	約50億円

※1 費用は建設費(用地費含む)と10年間の維持管理費の合計とし、費用関数や事例等を参考に概算費用として算出(施設の耐用年数については、考慮していない。施策毎の算出方法の詳細は表4-3参照)

※2 平成12年度の年平均値

※3 自然循環方式水質浄化システムで試算

※4 7流入支川(0.01~0.06m³/s)のそれぞれを全量浄化する規模で浄化施設を設置した場合の試算結果である。

※5 水循環・再生浄化システムで試算

表4-3 費用の算出方法

対策	試算方法	
	建設費	維持管理費
合併処理浄化槽	<ul style="list-style-type: none"> 「生活排水処理施設整備計画策定マニュアル(平成14年3月)」の5人槽費用より設定 設置額=設置対象人口/一世帯あたりの人口×5人槽浄化槽設置費用 一世帯あたりの人口=2.5人/世帯(流域市の実績値) 	<ul style="list-style-type: none"> 「生活排水処理施設整備計画策定マニュアル(平成14年3月)」の5人槽費用より設定 維持管理額=設置対象人口/一世帯あたりの人口×5人槽浄化槽維持管理費用 一世帯あたりの人口=2.5人/世帯(流域市の実績値)
高度合併処理浄化槽	<ul style="list-style-type: none"> 5人槽の設置費用を「浄化槽設置整備事業費及び浄化槽市町村整備促進事業費の国庫補助について 別表4(平成16年6月29日 環境事務次官)」より設定 上記以外は、合併浄化槽と同様に算出 	<ul style="list-style-type: none"> 合併浄化槽の維持管理費の電気代を1.5倍にして算出(「日本のし尿・雑排水処理 第2編 技術 平成8年6月 東京大学大学院工学系 研究科都市工学専攻 国際環境計画講座 p22」より) 「接触ばっ気槽のばっ気強度は、有機物の酸化に加えアンモニア性窒素の硝化に要する酸素も必要となるため、嫌気ろ床接触ばっ気方式の場合(2.0m³/(m³・h)程度)より大きく、3.0m³/(m³・h)程度となっている。」とあることより推定 上記以外は、合併浄化槽と同様に算出
下水道の整備・接続	<ul style="list-style-type: none"> 「生活排水処理施設整備計画策定マニュアル(平成14年3月)」の処理場、管渠の費用関数より設定 管渠延長は以下の式より推定 管渠延長=20000m/km²×整備面積(km²) (整備面積=対象人口/人口密度(人/km²)) 日平均汚水量(m³/日)は、一人一日排水量を300Lとして算出 日最大汚水量(m³/日)=日平均汚水量/0.7(「社団法人日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 1994年版」より) 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
高度処理の導入	<ul style="list-style-type: none"> 建設費と用地費の合計 建設費=処理水量に対する費用関数 用地費=平均土地単価×面積(規模関数より算定) 費用関数・規模関数は「社団法人日本下水道協会 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年」より 	<ul style="list-style-type: none"> 年間の維持管理費は、処理水量に対する費用関数より試算 費用関数は「社団法人日本下水道協会 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年」より
河川水浄化施設	<ul style="list-style-type: none"> 建設費と用地費の合計 建設費=処理水量に対する費用関数 用地費=平均土地単価×面積(処理水量比例または規模関数より算定) 費用関数・規模関数は鶴見川浄化実験の参加企業へのヒアリングより作成 	<ul style="list-style-type: none"> 年間の維持管理費は、処理水量比例または費用関数(鶴見川浄化実験の参加企業へのヒアリングより作成)より試算

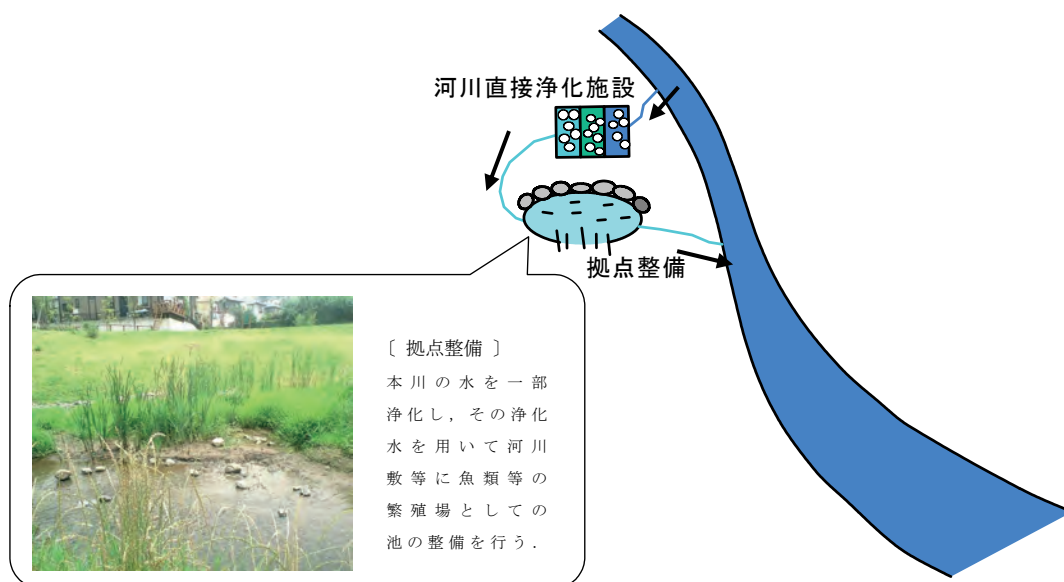


図4-1 拠点整備のイメージ図

の対策として考えることができよう。そして、こうした拠点の水質浄化に今回の実験技術のような河川水浄化技術は大いに貢献できるものと考えられる。

5. まとめ

以上の河川水浄化におけるパイロットプラント実験と本浄化技術の運用の議論をまとめると次のようになる。

- (1) 鶴見川における $\text{NH}_4\text{-N}$ は冬季に高く日周性も認められる変動を示す。これは河川水量の多くを占める下水処理水に起因するものと考えられる。また、この $\text{NH}_4\text{-N}$ は N-BOD とある程度の相関を示し、鶴見川の BOD 上昇の主因となっている。
- (2) 今回の晴天時本川・支川対象の3施設の河川水浄化技術では、河川水 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化は一年間の実験期間を通じて、ほぼ100%に近い硝化率を得た。
- (3) 従来、河川浄化技術は出水時の汚濁水に対応する技術ではなかったが、今回の実験により技術的に可能であることが確認された。今後、浄化性能・コストの両面でさらなる開発が必要である。
- (4) 都市河川における $\text{NH}_4\text{-N}$ 対策としての河川水浄化技術の適用は、下水道や合併浄化槽などの整備状

況と整合を図りながら効果的・効率的に進めることが重要である。尚、鶴見川では、下水道整備の進まない上流域の汚濁支川の浄化対策あるいは浄化した河川水を池沼や小川に導水するような拠点整備などに本技術は貢献できると考えられる。

本実験ならびに検討を行うにあたっては、「鶴見川の新しい水質環境保全のための技術検討会(委員長:武蔵工業大学 長岡 裕先生)」のご指導と助言を得た。記して謝意を表すものである。

参考文献

- 1) (財) 土木研究センター(1997) : 土木系技術・技術審査証明報告書(技審証 第0805号)
- 2) 松尾保成, 荒木宏之, 古賀憲一(2002) : サルボウ貝殻を用いた水域直接浄化法の実証実験と設計操作因子, 土木学会論文集, No. 720/VII-25, pp. 45-21.
- 3) 松尾友矩ほか監訳(1993) : 水質環境工学(下水の処理・処分・再利用), 技報堂出版 p. 517
- 4) (社) 日本水産資源保護協会(2000) : 水産用水基準(2000年版) p. 60.
- 5) 眞柄泰基 監修(2002) : 水道水質事典, 日本水道新聞社 p. 233.

3. 浄化導水施設の運用条件に関する調査研究

小林 豊* 新清 晃**

1. はじめに

水環境の悪化が著しい河川の水環境改善を目的として、「清流ルネッサンス21」や「清流ルネッサンスII」で、水環境緊急行動計画を策定し、行政や市民が一体となって流域全体で様々な水環境改善への取り組みを行っている。本調査研究は、その一環として、水質の良好な他河川から浄化用水を取水し、対象河川の水質や水量を改善する浄化導水手法の運用条件の設定を目的として検討したものである。ここでは、綾瀬川・芝川等浄化導水事業を例として、感潮区間からの取水水質の条件設定をはじめ、延長16kmにも及ぶ導水管内でのDO消費ならびに硫化水素の発生を含む現象予測、インパクト・レスポンスフローに基づくモニタリング計画等の検討結果を示し、また、将来運用の効率化に向けた運用計画の策定手順の考え方を記した。

2. 綾瀬川・芝川等浄化導水施設の概要

2.1 流域の概要

2.1.1 綾瀬川流域の概要

綾瀬川は桶川市に源を発し、上流部は水田地帯を、中流部は市街地を流下し、草加市の手代橋付近で支川古綾瀬川を合流し、さらに草加市と足立区の境付近で支川伝右川、毛長川を合流して、葛飾区東四つ木地先

において中川に合流する流域面積が約178km²、流路延長が約47.6kmの一級河川である(図2・1参照)。管理区間は、中川合流点から内匠橋までの約8.3kmが東京都、これより約17.2kmの区間が国土交通省で、これより上流は埼玉県となっている。また、河床勾配は国土交通省管理区間が1/4,600程度、埼玉県管理区間が1/2,700～1/3,900程度と緩く、槐戸橋付近まで(下流約16km)が感潮区間となっており、河川水が滞留することが水質の悪化を引き起こす要因の一つとなっている。また、綾瀬川流域では、近年、首都圏の拡大に伴って宅地開発が急激に進み、汚濁負荷量の増大がみられる。

1) 河川流量の現況

綾瀬川では、上水道、工業用水及び農業用水の利用はないが、流域周辺には農業用水のかんがい水路網(見沼代用水、谷古田用水、葛西用水等)が整備されており、その落ち水が綾瀬川へ流入する。そのため、かんがい期の流量は比較的豊富である。一方、非かんがい期は流量が少なくなり、その流量差は大きい。

暖橋地点でのS63～H6年の平均低水流量は1.71m³/sであり、平均渇水流量は1.43m³/sとなっている。

2) 河川水質の現況

綾瀬川の水質環境基準の類型指定状況は、綾瀬川の本川区間は上流より古綾瀬川合流点までがC類型、これより下流ではE類型に指定されている。また、支川区間の類型指定はなされていない。

* (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第三部長
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第三部 主任研究員



図2-1 河川系統, 導水路ルートおよび水質評価地点

(1) 綾瀬川

内匠橋地点では昭和40年後半にBODが100mg/lを超える極度に汚濁された水域となった。昭和50年代には、BODが30mg/l程度まで改善され、水質規制の効果が現われてきたが、近年は改善傾向に陰りが見られ、環境基準の達成には至っていない。

近年に至ってもBOD75%値は、上流から啜橋付近までは、水質環境基準(C類型5mg/l)は満足しておらず5~10mg/lの範囲にある。中・下流区間の手代橋下流では近年改善傾向にあり、環境基準(E類型10mg/l)は満足する事が多いものの、後述する清流ルネッサンスⅡで定めた目標水質(5mg/l)は満足しない状態となっている。

(図2-2参照)

水質の季節変化は、流量との関係が顕著に見られ、5月~10月初旬のかんがい期においては流量も多く、BODは改善され、各地点とも環境基準に近い値となっているが、非かんがい期は農業用水の落ち水が減少して流量が少なく、各地点とも水質が悪化する傾向を示している。

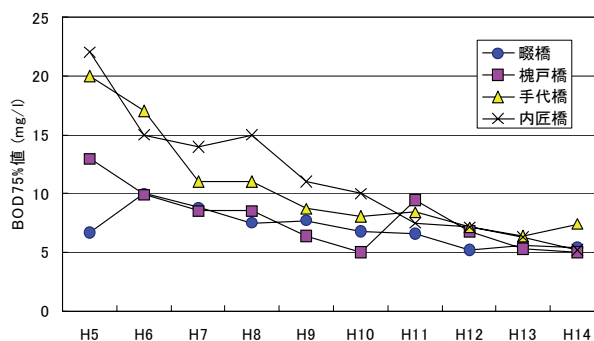


図2-2 綾瀬川本川のBOD経年変化

(2) 綾瀬川支川

伝右川は、支川の中でも汚濁が著しく、水質の変動幅も大きい。また、経年的には改善傾向にあるが、平成12年時点のBOD75%値は39mg/lであり、綾瀬川の流入支川では最も水質が悪化している。

毛長川、古綾瀬川は、経年的にはほぼ横ばい傾向にあり、BOD75%値は10~20mg/l程度を示すことが多く、いまだ十分な改善はなされていない。(図2-3参照)

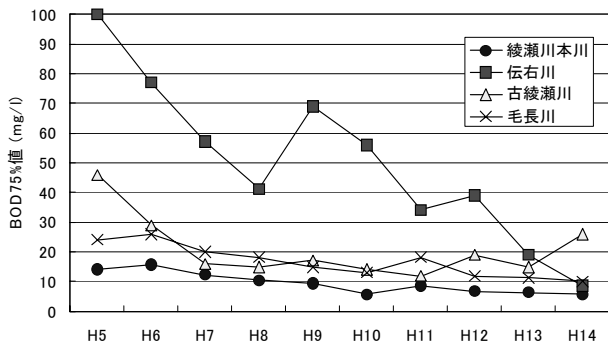


図2・3 綾瀬川支川のBOD経年変化

2.1.2 芝川流域の概要

芝川は埼玉県桶川市に源を発し、川口市領家において荒川に合流する河川であり、広大な見沼地帯（見沼田園地域）を流下し、途中、旧芝川を分派し自らは新芝川となる、流域面積115.24km²（旧芝川11.59km²を含む）、流路延長約32.3kmの一級河川である。

旧芝川は、芝川の治水対策の一環として新芝川が整備されたために、上・下流端を水門によって閉鎖された河川である。

河床勾配は芝川、新芝川で1/8,000程度、旧芝川では概ね水平に近い勾配となっている。芝川の水源はほとんどが家庭排水、工場排水といった都市排水が占めるようになり、水質汚濁が著しい現状となっている。

1) 河川流量の現況

平常時の河川流量は、都市化の進展に伴う域外導入水量（上水、工水）と下水道整備によるバイパス量（流域外への流出量）に大きく左右されるものとなっている。また、流量の季節変動は、降雨の他にもかんがい期には農業用水の落ち水が芝川へ流入し、非かんがい期には少ないものとなっている。

芝川の流況は八丁橋地点で、H4～H12年の平均低水流量は3.55m³/sであり、平均濁水流量は2.12m³/sとなっている。

2) 河川水質の現況

芝川水系では、芝川の八丁橋地点、新芝川の山王橋地点が水質環境基準点となっており、いずれも河川E類型に指定されている。旧芝川の類型指定はなされていない。

芝川は綾瀬川同様に昭和45年以降は水質規制の効果が現われているものの近年は水質改善の傾向に陰りが見られる。

図2・4に示すように近年では八丁橋、山王橋両地点において環境基準を満たす5～10mg/l程度を示しているが、流量の減少する冬場においては水質が悪化する傾向にある。旧芝川については中央橋地点においては、近年改善傾向にあるが依然として15～30mg/l程度と高い値を示す。

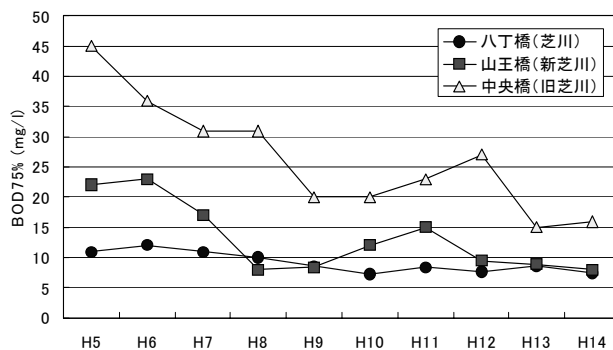


図2・4 芝川のBOD経年変化

2.2 水質浄化に向けた流域の取り組み

綾瀬川および芝川では、水質浄化に向けた取り組みとして、表2・1に示すように「清流ルネッサンス21」ならびに「清流ルネッサンスⅡ」による緊急行動計画が策定されている。

表2・1 水質浄化に向けた取り組み

対象河川	名称	策定時期
綾瀬川	清流ルネッサンス21	平成7年10月
	清流ルネッサンスⅡ	平成15年2月
芝川	清流ルネッサンス21	平成9年10月
	清流ルネッサンスⅡ	平成16年3月

これらの緊急行動計画では目標とする水環境を達成するために、地域の取り組みと一体となり、河川事業と下水道事業を総合的、重点的に実施していくものと

れており、河川事業としては、浚渫事業の実施、直接浄化施設の建設・運用に加えて、流況改善、水質改善を目的として、本稿で報告する浄化用水の導入が位置づけられている。

2.3 導水事業の目的

2.3.1 事業の目的

綾瀬川・芝川等浄化導水事業は綾瀬川・芝川等の水質改善、並びに水量回復を目的として、荒川から浄化用水を導入するものであり、導水量は綾瀬川、芝川、伝右川、毛長川へ最大3.00m³/sとしている。

1) 流量の回復

導水先河川流域では、下水道事業を鋭意展開中であるが、それにより河川の流量は下水道整備の進展により減少することが予想される。流量の減少は、水質の自浄能力、生物への影響、景観の悪化などの原因となるため、導水事業により流量の回復を図るものとした。

2) 水質の改善

水質悪化が著しい導水先河川について、下水道事業、浄化事業等とあわせて水質目標等の達成を目指す。

浄化目標水質は、各河川の清流ルネッサンスⅡにおいて親水性や景観の向上を図り、魚類の生息が可能な河川環境を創出することを目標に、BOD75値で綾瀬川と芝川（旧芝川を除く）については5mg/l以下とし、伝右川、毛長川、旧芝川については、「国民の日常生活において不快感を生じない限度」とされる環境基準E類型の10mg/l以下とした。

2.3.2 導水量について

導水量は下水道整備に伴い減少する水量を基本とし、緊急的な水質改善効果を勘案し、表2・2に示す水量とした。

2.3.3 水質浄化効果について

各河川の清流ルネッサンスⅡの各施策を行った際の計画目標年における将来水質を表2・3に示した。また、

表2・4には綾瀬川本川における導水の有無による将来水質の違いを示したが、将来、水質目標を達成するためには、浄化導水が不可欠であることが示される。

表2・2 計画導水量

導水先河川	導水量(m ³ /s)
綾瀬川	1.17
伝右川	0.60
毛長川	0.12
芝川	1.11
合計	3.00

表2・3 将来水質予測

河川名	地点名	目標値 BOD75% (mg/l)	現況値 ^{注1)} BOD75% (mg/l)	将来予測値 ^{注2)} BOD75% (mg/l)
綾瀬川	曙橋	5	5.6	4.4
	槐戸橋		7.0	3.9
	手代橋		7.1	3.4
	内匠橋		7.1	4.4
伝右川	伝右橋	10	39.0	16.0
毛長川	鷺宮橋	10	9.4	6.2
芝川	八丁橋	5	8.5	5
旧芝川	中央橋	10	15.3	10

注1) 現況値は綾瀬川、伝右川、毛長川については平成12年実測値、芝川、旧芝川については平成13年実測値

注2) 将来予測値は計画目標年の時点であり、綾瀬川、伝右川、毛長川については平成22年、芝川、旧芝川については平成23年時点の値

注3) 伝右橋については目標を達成できず、今後の目標達成に向けた流域対策が必要

表2・4 導水の有無による将来水質予測値

河川名	BOD75% (mg/l)			
	目標値	現況値	導水無	導水有
綾瀬川	5	(7.0)	(5.2)	3.9

※数値は槐戸橋、手代橋、内匠橋の平均値を示す
() は目標値を満足しないことを示す

2.4 施設の概要

綾瀬川・芝川等浄化導水事業は、日本で初めての試みとして、図2・5に示すように地下鉄（埼玉高速鉄道）と共同で整備を行い、トンネルの上部を地下鉄として、下部を河川の導水路として利用している。これによって、以下のメリットが得られた。

- ・ 建設コストの低減および工期の短縮
- ・ 沿線の交通渋滞の最小化
- ・ 振動・騒音等の最小化

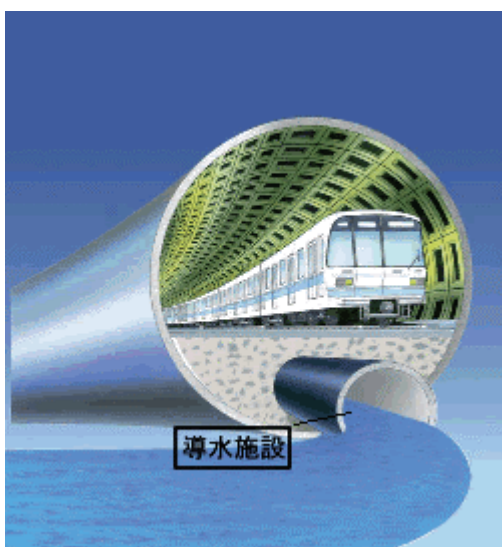


図2・5 導水施設と地下鉄との供用イメージ

綾瀬川・芝川等浄化導水事業に係わる施設は、図2・6に示すように、荒川の水を取水する取水施設、水を送る導水ポンプ、導水管および綾瀬川・芝川等へ浄化用水を放流する放流施設から構成されており、延長約16km(鉄道一体区間約12km)の導水施設となっている。また、表2・5には主な施設の位置を示した。

表2・5 施設の位置

施設名	導水先河川名	位置
取水口	—	埼玉県川口市舟戸地先 荒川左岸21k付近
放流口	綾瀬川, 伝右川	さいたま市南部領辻地先
	毛長川	川口市新井宿地先
	芝川	さいたま市下野田地先

3. 導水の運用に関する条件設定

3.1 取水に伴う基本条件

浄化用水の取水に伴っては、取水元である荒川に維持流量が設定されているため、荒川の維持流量を踏まえた取水条件を設定する必要がある。

また、取水口の位置する荒川下流部は感潮区間であり、塩素イオンを含む浄化用水が導水されることとな

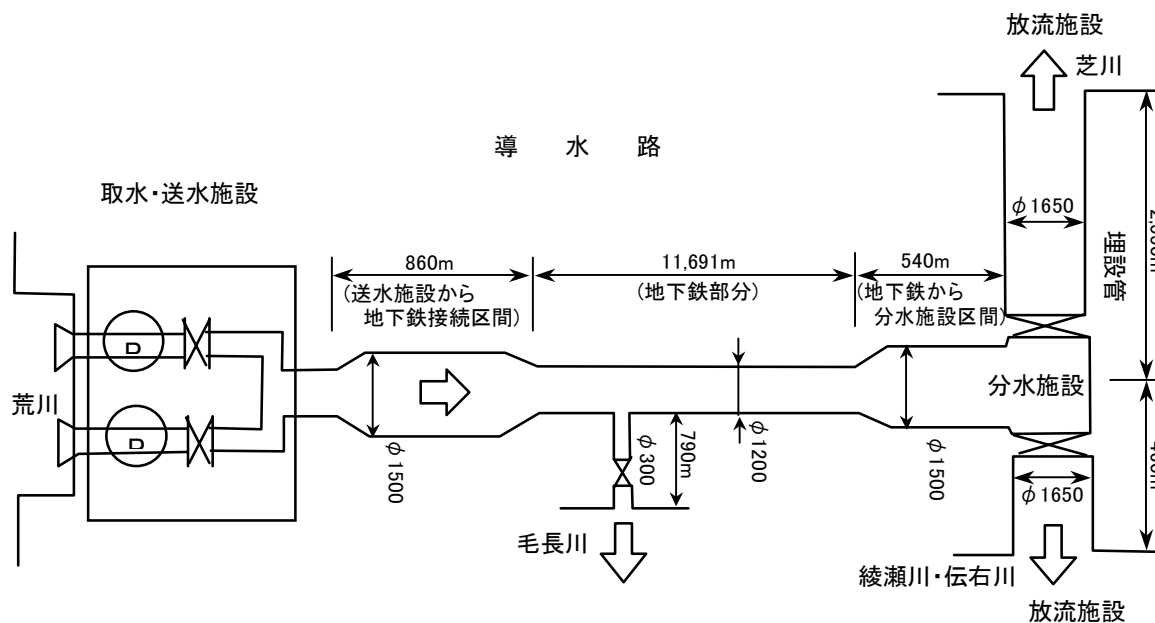


図2・6 施設の全体計画概要

る。導水先河川も下流域は感潮区間であるが、放流口に近い上流域では非感潮区間であり淡水域となっている。このような状況において、荒川からの塩素イオン濃度の高い河川水を導水した場合、導水先河川において水質の変化に加えて動植物等生態系への影響が懸念される。このため塩素イオン濃度に対する取水条件の設定も必要となる。

以下に維持流量ならびに塩素イオン濃度に関する取水条件の検討結果を示す。

3.1.1 維持流量に関する取水条件

取水口の位置する荒川下流域は、維持流量として概ね $5\text{m}^3/\text{s}$ が設定されており、取水口の上流に位置する秋ヶ瀬取水堰（荒川35k付近）放流量が維持流量である $5\text{m}^3/\text{s}$ を超えるときに、秋ヶ瀬取水堰放流量から $5\text{m}^3/\text{s}$ を控除した量を取水して行うものとし、秋ヶ瀬取水堰放流量が $5\text{m}^3/\text{s}\sim 8\text{m}^3/\text{s}$ の間にあるときは、原則として水質悪化が著しい伝右川、毛長川に優先して放流するよう、表3・1に示すA～Fパターンで各河川への配分を行うことを基本とする。

秋ヶ瀬取水堰の放流量が $5\text{m}^3/\text{s}$ を下回る頻度は、平成4年～平成13年の10ヶ年平均で5.8%（年間21.3日）、 $8\text{m}^3/\text{s}$ を下回る頻度は18.4%（年間67.0日）が得られ、冬季にその頻度が高くなる傾向が認められる。したがって、年間の内約2ヶ月間は表3・1に示すB～Fのパターンを採用することとなる。

なお、当面の間は、できるだけ多く導水ができるよう原則として24時間連続運転とし、運用時の水環境改善効果のモニタリングを行うことにより、将来、最適運用へ移行する予定である。

3.1.2 塩素イオン濃度に関する取水条件

1) 塩素イオン濃度に関する取水条件の設定

荒川からの塩素イオン濃度（以下Cl⁻濃度という）の高い河川水を導水した場合、導水先河川において水質の変化に加えて動植物等生態系への影響が懸念される。

生態系への影響を極力小さくするには、取水条件としてCl⁻濃度を低くすることとなるが、導水先河川の水質や流況が悪化している状況においては、取水条件を緩和し可能な限り導水を行う事が望まれる。このような状況を踏まえ、Cl⁻濃度に対する取水条件を設定する必要がある。

Cl⁻濃度に関する規制として、水道法では $200\text{mg}/\text{l}$ 以下、農業用水では水稻の許容値として $300\sim 700\text{mg}/\text{l}$ 以下とされているが、導水先河川からは取水利用されていないため、これらの規制は受けないこととなる。

図3・1には取水口の近傍地点として荒川・新荒川大橋地点（21km付近）におけるCl⁻濃度の変化を示したが、季節変動が大きく4月～9月期までは $100\text{mg}/\text{l}$ 以下を示すことが多く、ピーク値でも $1,000\text{mg}/\text{l}$ 程度であるが、10月～3月期は高い傾向を示し、ピーク値で $3,000\sim 5,000\text{mg}/\text{l}$ を示すこともある。

表3・1 渇水時の基本運用パターン

運用パターン	A	B	C	D	E	F
秋ヶ瀬取水堰放流量 X (m^3/s)	$X \geq 8$	$8 > X \geq 6.89$	$6.89 > X \geq 6.83$	$6.83 > X \geq 6.11$	$6.11 > X \geq 5.72$	$5.72 > X$
機場送水量(m^3/s)	3.00	1.89	1.83	1.11	0.72	0.00
支川導水量 (m^3/s)	綾瀬川	1.17	1.17	0.00	0.00	0.00
	芝川	1.11	0.00	1.11	1.11	0.00
	伝右川	0.60	0.60	0.60	0.00	0.60
	毛長川	0.12	0.12	0.12	0.00	0.12

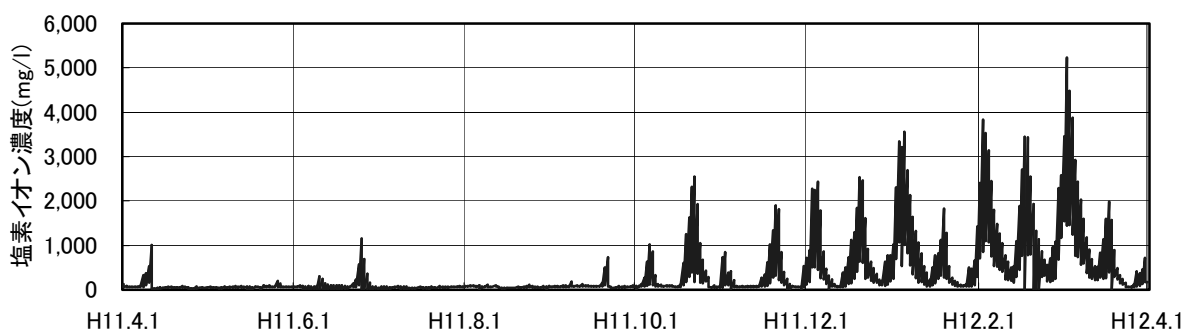


図3・1 荒川のCl⁻濃度変化（新荒川大橋地点, 平成11年度実測値）

塩分濃度と生息生物種類数の関係（栗原，1988）によれば，生息生物種類数は塩分濃度が2‰（Cl⁻濃度で1,000mg/l）程度から淡水性生物が徐々に減り始め，5～6‰（同2,700～3,300mg/l）になると海水性を含む汽水性生物が淡水性生物を上回ることが示される．これより，生息生物への影響を極力抑えるには塩分濃度を2‰程度以下に収めることが望ましいと判断した．

取水時のCl⁻濃度は，導水先河川の自流（淡水）と攪拌・混合し希釈される．ここでは潮汐の影響で変動する荒川のCl⁻濃度を踏まえ，取水条件の違いによる導水先河川での混合後のCl⁻濃度を試算した．

Cl⁻濃度の取水条件は，以下の4条件を設定した．

- ・なし
- ・2,000mg/l以下
- ・1,000mg/l以下
- ・200mg/l以下

試算結果を図3・2に示したが，ここで，導水先河川のCl⁻濃度が1,000mg/lを超える時間比率に着目すると，取水条件を「なし」とした場合は，20%程度認められるが，取水条件を「2,000mg/l以下」とすると，数%以下に収まることが示される．

次に取水条件としてCl⁻濃度を設定した際の導水可能日数を試算した．

上述したように荒川では冬季にCl⁻濃度が上昇する傾向があり，ここでは最もCl⁻濃度が高くなる時期として2月のデータに基づき導水可能な頻度を求め表3・2に示した．

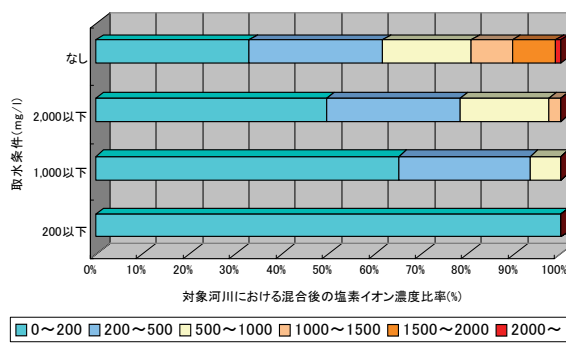


図3・2 導水先河川における混合後のCl⁻濃度

表3・2 Cl⁻濃度と導水可能な頻度[※]

取水条件 Cl ⁻ 濃度 (mg/l)	導水可能な頻度 (%)
なし	100.0
2,000以下	73.3
1,000以下	56.3
200以下	1.7

※2月のデータに基づく

表3・2に示すように取水条件としてCl⁻濃度の許容値を下げるにつれ導水可能な頻度は低下するが，後述する魚類の塩分耐性実験結果と導水の稼働率等を勘案し，ここではCl⁻濃度の取水条件として2,000mg/l以下と設定した．

2) 魚類の塩分耐性実験

(1) 実験目的

冬期に荒川の塩分濃度が上昇した時に，塩水を含む

導水を行った場合、これが導水先河川の魚類へ与える影響を把握することを目的として魚類の塩分耐性実験を行った。

(2) 対象魚

対象魚は導水先河川（綾瀬川、芝川）に生息するが荒川本川（感潮域を対象）には生息しない淡水魚とし、表3・3に示した。これら5目6科10種から移入魚を除く、キンブナ、カマツカ、ナマズ、メダカに比較的一般的な魚種であるモツゴ、オイカワ、タモロコを加えた7種類を対象とした。

表3・3 導水先河川で確認される魚種※

目名	科名	種名	生活型	備考
コイ	コイ	キンブナ	淡水魚	
コイ	コイ	カワムツ B型	淡水魚	移入魚
コイ	コイ	カマツカ	淡水魚	
コイ	コイ	スゴモロコ	淡水魚	移入魚
コイ	コイ	ハクレン	淡水魚	移入魚
コイ	ドジョウ	カラドジョウ	淡水魚	移入魚
ナマズ	ナマズ	ナマズ	淡水魚	
カダヤシ	カダヤシ	グッピー	淡水魚	移入魚
ダツ	メダカ	メダカ	淡水魚	
スズキ	タイワン ドジョウ	カムルチー	淡水魚	移入魚

※導水先河川で確認されるが荒川本川では確認されない魚種のみを示す。

(3) 実験条件

実験を開始する前に、約1～2週間程度馴致飼育を行った。

Cl⁻濃度の設定は500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 6,000mg/l, 対照として綾瀬川河川水（塩素イオン濃度は270mg/l）を含めて8種類とした。

実験用水は、綾瀬川（畷橋付近）から採水した河川水を用いた。塩分濃度の調整は、観賞魚用人工海水の粉末を投入することで行った。

なお、付帯飼育条件として、12時間点灯、12時間消灯となる様に蛍光灯を設置し、点灯時間中に冷凍アカムシの給餌を行った。また、各水槽は恒温水槽と接続させて、水温10℃程度になる様にした。

(4) 実験結果

顕著な変化が認められたのは、Cl⁻濃度6,000mg/l条件において、オイカワ、カマツカ、タモロコの1部の個体が水槽底面から浮上しないという遊泳状況に異常が認められた。

この様な状況が見られたのは、Cl⁻濃度6,000mg/lのみであった。その他の供試魚種であるメダカ、ギンブナ、ナマズには遊泳異常や摂餌状況の変化は認められなかった。

魚類には広い範囲の塩分濃度に適応可能な広塩性魚（サケ科魚類、ウナギ、メダカ、ニジマス、カワスズメ等）と、適応能力の小さい狭塩性魚（キンギョ、コイ）があることが知られており、魚種毎に耐えうるCl⁻濃度があると考えられるが、今回の実験結果によれば、取水条件として設定した2,000mg/lについては、遊泳異常や摂餌状況の変化は認められなかった点からも、概ね妥当であると判断した。

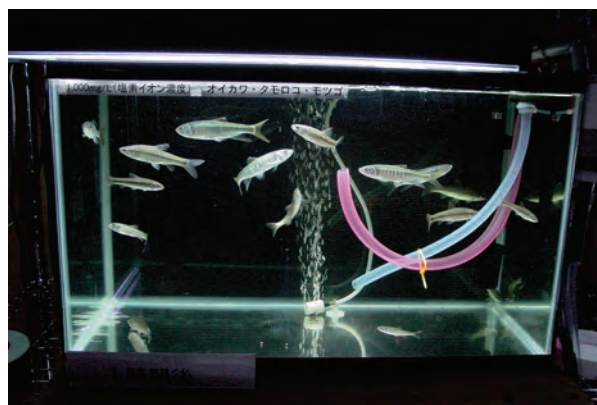


写真3・1 実験状況

3.1.3 その他

後述する導水管内のDO低下に対しては、曝気装置を稼働させ所定のDOまで回復後に放流することとし、その目標値は水産用水基準における魚類の生息条件を勘案し5mg/lとした。

その他、洪水時ならびに地震時の危機管理運用も含め地下鉄との連絡手順など各種運用条件についても検討した。

3.2 河川環境への影響把握調査

3.2.1 導水管内で生じる環境面への影響

導水を開始したのちに、導水管内で生じる環境面への影響に関する機構を模式化すると図3・3のとおりである。

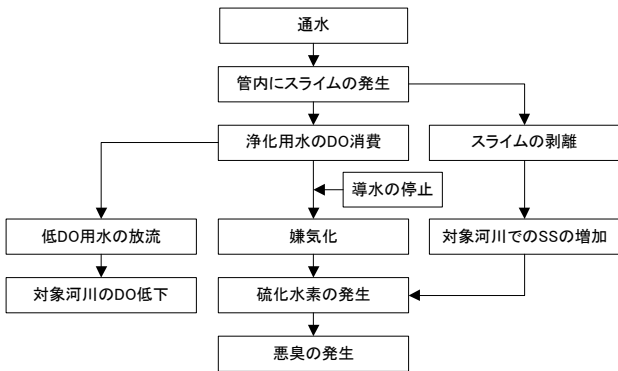


図3・3 導水管内で生じる環境面への影響

3.2.2 スライムの発生実験

1) 実験目的および実験方法

導水管内のスライム発生状況を把握することを目的とし、荒川の河川水を試験水として、30×50mmのテストプレートを用いてスライム発生状況を把握した。

テストプレートは素材の違いによるスライムの発生状況を比較するため、導水管と同一素材（ダクトイル鋳鉄管モルタルライニング）と、塩ビ製の2素材を用いた。

試験はテストプレートを入れた円筒状の試験容器に、荒川取水口から採水した河川水を連続通水し、1週間毎にスライムの発生状況を確認し10週間継続した。

2) 実験結果

実験結果を図3・4に示すとともに、主な概要を以下にまとめた。

- ・スライム量は、実験開始から2週目まではほとんど増加しないが、3週目以降については、急激に増加する。
- ・素材の違いによるスライム量に着目すると、6週目までは塩ビが多く、7週目以降は逆転しダクトイル鋳鉄管が多くなる。
- ・ダクトイル鋳鉄管については8週目以降、塩ビについては6週目以降になるとスライム量の増加が認められず、概ね平衡状態（付着と剥離の繰り返し）に達する。

水温・水質条件の差異はあるものの、実際の管内での増殖も数週間程度でスライムが発生し、2ヶ月程度で平衡状態に至ると想定される。

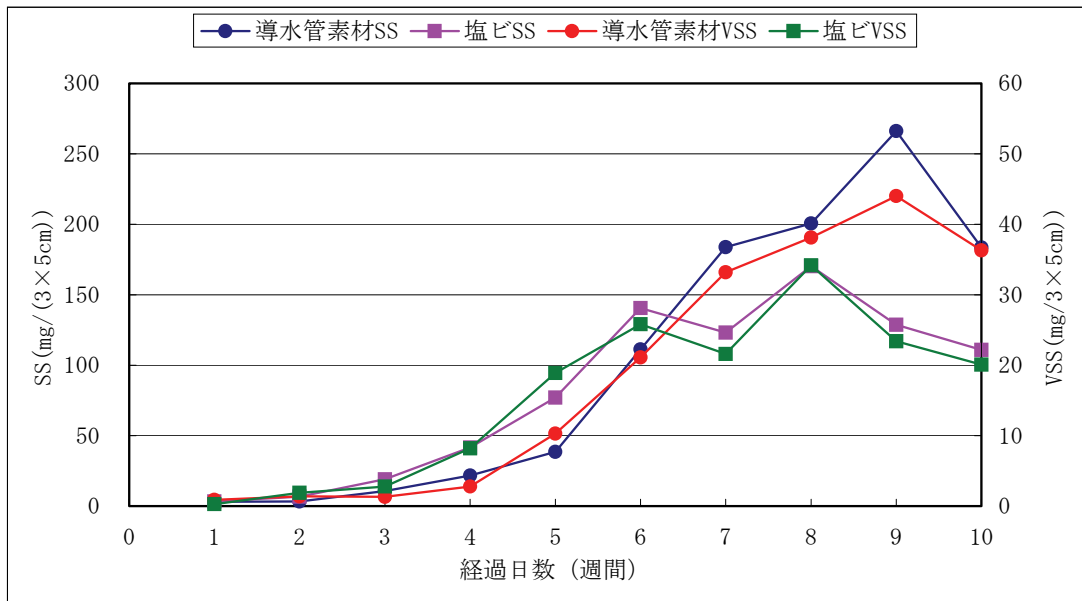


図3・4 荒川取水口地点水によるスライムの発生実験結果

3.2.3 剥離スライムによる濁りへの影響

導水管内に付着したスライムは上記の実験結果から、8週目以降（ダクタイル鋳鉄管の場合）は、付着と剥離が繰り返されていると考えられる。このため、剥離したスライムが浄化用水の濁りとなって導水先河川に放流されることとなる。

ここでは、この剥離スライムによる影響をSSの増加量として評価を行った。

導水管内スライムの剥離速度については、回転円盤法によるスライム剥離速度⁷⁾ (=0.5g/m²・日)を用いて予測計算を実施した。

その結果、全量導水時において、荒川（新荒川大橋）にける平均SSは23.2mg/lに対し、剥離スライムによるSSの増加量は0.1mg/lと得られ、影響はほとんどないと想定される。

3.2.4 スライムによるD0への影響

1) スライムによるD0消費速度

スライムによるD0消費速度を把握することを目的として、前述したスライム発生実験時のプレートを用いて、D0消費速度試験を実施した。実験は2, 4, 6, 8, 10週時点のプレートを取り出し、荒川の河川水で満たした広口瓶に入れ、密閉した状態で暗所、恒温槽（20℃と28℃）に設置し、スターラーによる攪拌を行った状態で連続D0観測を行った。

実験結果を図3・5に示し、以下に概要を示す。

先述のスライム発生実験結果で示したように6週目頃までは付着スライムが増加し、以降は平衡状態とな

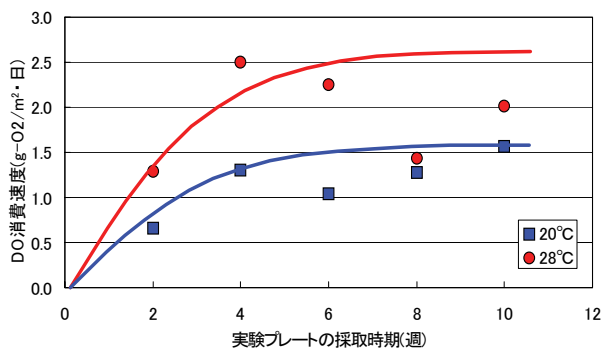


図3・5 スライムによるD0消費速度

った結果を反映し、D0消費速度は、6週間目までは増加傾向が認められ、それ以降は、増減を繰り返すものの概ね平衡状態に近づく傾向が得られた。6週間目以降のバラツキは、D0消費実験用プレートのスライムの剥離と再付着によるものと考えられる。

平衡状態における単位面積当たりのD0消費速度は、以下の値が得られた。

水温20℃：約1.6g-O₂/m²/日

水温28℃：約2.6g-O₂/m²/日

2) 導水管内のD0消費量予測

実験結果によるD0消費速度を使って、導水距離が約16kmと最も長くなる芝川放流口地点のD0を推定した。

推定式はD0収支と熱収支式を用いた。

・ D0収支

$$d(C_X \cdot V) = \left\{ Q_{in} \cdot C_{Xa} - K_1 \cdot \theta^{T-20} \cdot C_B \cdot V - K_e \cdot \theta^{T-20} \cdot A_e - Q_{out} \cdot C_X \right\} dt \quad (3.1)$$

ここで、 Q_{in} :流入水量、 Q_{out} :流出水量、 V :ブロック水量、 C_X :D0濃度、 C_{Xa} :初期D0濃度、 C_B :BOD濃度、 K_1 :脱酸素係数、 K_e :スライムによるD0消費速度、 A_e :スライム面積、 θ :温度補正係数、 T :水温

・ 熱収支

$$d(T \cdot V) = \left\{ Q_{in} \cdot T - Q_{out} \cdot T - \frac{A \cdot \phi_k}{\rho \cdot C_P} \right\} dt \quad (3.2)$$

ここで、 Q_{in} :流入水量、 Q_{out} :流出水量、 V :ブロック水量、 T :水温、 A :伝熱面積、 ϕ_k :熱伝導速度、 ρ :密度、 C_p :比熱

図3・6には取水時の荒川のD0を8mg/lとした条件の推定結果を示した。図3・6に示すように、水温20℃において計画導水量である3.0m³/sを導水した場合は、芝川放流口においてD0が取水時に比べ1mg/l減って7mg/l程度になるとの結果が得られた。

D0の減少量は水温が高いほど、また、導水量が少ないほど多い傾向が認められる。

なお、導水停止の条件では60時間（数日）程度でD0が8mg/lから0mg/lに至ると推定される。

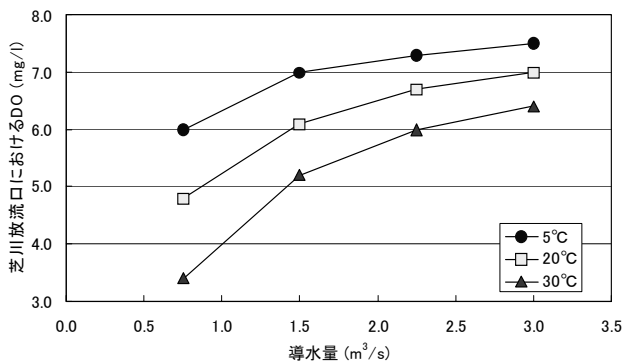


図3-6 芝川放流口におけるDOの予測

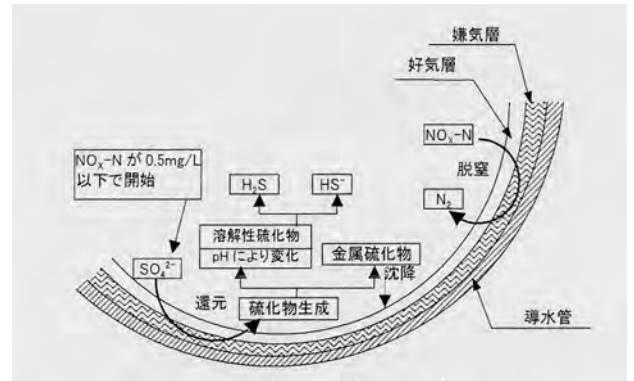


図3-8 嫌気層形成後の硫化水素の発生機構模式図

3.2.5 硫化水素の発生可能性

導水管内のDOが消費され、還元状態となると、硫化水素の発生が懸念される。導水管内のDOが消費される要因として主に以下の3点が挙げられる。(図3-7参照)

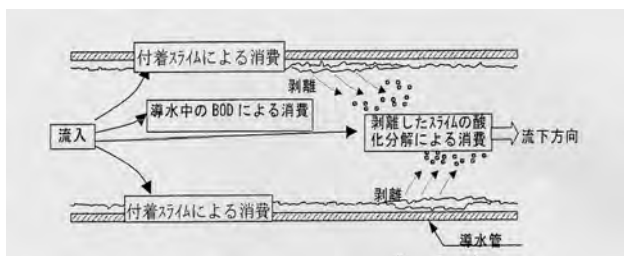


図3-7 溶存酸素の消費機構の模式図

- ・浄化用水中のBODによる消費
- ・付着スライムの呼吸による消費
- ・剥離スライムの酸化分解による消費

上記の3点等により、導水管内が貧酸素化状態になると、図3-8に示すようにスライム層内に嫌気層が生成され、この層には脱窒菌や硫酸還元菌が生息するようになる。その後、最初に硝酸還元菌(脱窒菌)が硝酸からアンモニアを生成する。さらにDOの消費が進むと硫酸還元菌の活動が活発化し、硫酸から硫化水素を生成する。

導水管内においては、これらの微生物の活動は、長期間導水を停止した場合に生じるものと推定される。

これら導水管内における硫化水素の発生に関して、水温、硫酸イオン濃度、BOD条件等を変え、硫化水素の

発生条件を実験により把握した。

実験条件を表3-4に示す。

表3-4 実験条件

項目	条件
実験用水	荒川河水水を採水
水温 (°C)	10 (冬季を想定), 20, 28 (夏期を想定)
SO ₄ ²⁻ 濃度 (mg/l)	275 (冬季を想定), 46 (夏期を想定)
BOD濃度 (mg/l)	冬季: 原水6.9 夏期: 原水5.2 原水にグルコース溶液を加え+2, +4, +6, +8の条件を設定
DO (mg/l)	5前後
測定期間 (日)	0, 7, 14, 21, 30, 60, 90

図3-9には90日経過時点のBODおよび水温の違いによる硫化水素の発生状況を示した。この図に示すようにBODが高いほど、また、水温が高いほど高濃度の硫化水素が発生した。さらに水温が20°Cおよび28°Cのグラフ

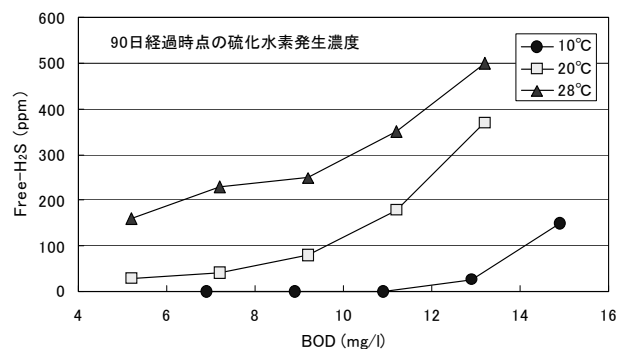


図3-9 硫化水素発生状況 (90日経過後)

に着目すると、BODが9mg/l程度で変曲点が認められ、BODが9mg/l以上ではより硫化水素が多く発生する傾向が認められた。

日数の経過に伴いDOは徐々に低下し全てのケースにおいて実験開始後7日で0mg/lとなり、その後、NO_x-Nの低下、SO₄²⁻の低下ならびに硫化物の生成が認められた。

なお、SO₄²⁻濃度の違いによる有意な差は認められなかったが、これはEPAマニュアル⁸⁾で指摘されているSO₄²⁻が20～100mg/l以上の場合は硫化水素の生成制限とならない点を反映した結果と判断される。すなわちSO₄²⁻が20mg/l以下の範囲であれば、SO₄²⁻濃度が高いほど高い濃度の硫化水素が発生したものと考えられる。

荒川（新荒川大橋地点）の過去10カ年の公共用水域水質測定結果のBODにおいて、9mg/l以上となることがわずか4回のみであり、発生頻度は1.6%程度であること、また、水温についても取水水温が異なっても管内において地中温度である15℃程度に収束することを勘案し、ここでは安全側に条件を20℃、BOD9mg/lに設定し、導水停止後から硫化水素発生までの経過日数を求めた。

図3・10には実験開始後の経過日数と発生した硫化水素濃度を示したが、水温20℃のグラフに着目すると、21日以降で硫化水素が発生することが示される。

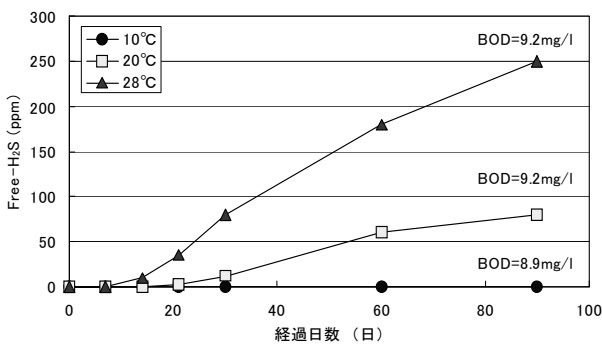


図3・10 硫化水素発生日数

以上より、導水停止後3週間以上を経過すると硫化水素が発生すると判断し、今後現地においてこれらの現象を確認し、維持管理上の課題に対し具体的な検討を行っていくこととした。

4. モニタリング計画

綾瀬川・芝川等浄化導水施設が本格通水した後の、導水先河川の水質や生息生物の変化をモニタリングし、浄化導水事業の効果を把握することを目的としてモニタリング計画を作成した。

モニタリング計画の作成にあたり、浄化導水の稼働により考えられるインパクト・レスポンスの観点からモニタリングのシナリオを整理し、調査を行う対象を抽出した。

4.1 浄化導水事業に伴う河川環境変化について

浄化導水に伴う環境変化（インパクト）は大きく以下の3つに区分される。

- ・水質の変化

導水先河川に比べ水質が良好な荒川の河川水を導水するため、導水先河川の水質変化が生じる。

- ・流況の変化

導水先河川に水が供給されるため、流況が改善される。これに伴い流速、水位の変化が生じる。

- ・その他の変化

導水管内におけるスライムの発生、導水中のDOの消費等、導水先河川環境に対するインパクト要因となる可能性のある変化が生じる。

4.2 インパクト・レスポンスフローの作成

上記の3つのインパクトによる想定されるレスポンスを抽出し、インパクト・レスポンスフローを作成し、その一例を図4・1に示した。また、抽出したレスポンスの指標となる項目毎にインパクトとレスポンスのマトリックスを作成し、モニタリングによる評価の可能性を整理した上で、モニタリング計画を作成した。

以下にモニタリング計画の概要を示した。

4.2.1 水環境調査項目

水環境に関する調査は以下の項目について実施する。
水質・流量一昼夜連続調査、底質調査、取水口塩分調査、自記連続水質調査

測定項目を表4・1に示した。

表4・1 測定項目（水環境調査）

調査対象	測定項目
水質	水温、外観、臭気、透視度、pH、EC、Cl ⁻ 、SS、濁度、VSS、BOD、COD、DO、ORP、油分、NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、ATU-BOD、SO ₄ ²⁻ 、Free-H ₂ S、硫化物
水量	流量（水位、流速、横断測量）
底質	臭気、泥温、外観、含水率、強熱減量、COD、ORP、粒度、硫化物

4.2.2 管内調査項目

管内現象の把握に関する調査は以下の項目について実施する。

導水時調査：剥離スライム実態調査、

管内DO変化調査

停止時調査：管内壁付着物調査、排水水質調査、

曝気施設効果調査

測定項目を表4・2に示した。

表4・2 測定項目（管内調査）

調査対象	測定項目
剥離スライム	外観、透視度、単位容積当り混入量、SS、VSS、ORP、硫酸還元菌、DO消費速度
管内DO	DO、ORP
管内水質	水温、外観、臭気、透視度、pH、EC、Cl ⁻ 、SS、濁度、VSS、BOD、DO、ORP、NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、ATU-BOD、SO ₄ ²⁻ 、Free-H ₂ S、硫化物、Total Fe、Fe ²⁺
付着物	外観、COD、付着物量、含水率、強熱減量、硫酸還元菌、DO消費速度
曝気効果	DO、ORP

4.2.3 生物調査

生物調査は、付着藻類、原生動物、底生動物、抽水・沈水植物、魚類、鳥類を対象として実施する。

5. 将来の効率運用に向けて

5.1 効率運用に向けた基本的な考え方

綾瀬川・芝川等浄化導水施設は平成16年度より試験運用を開始し、当面は浄化導水効果を最大限発揮させるため、2章で述べた取水条件を満足する限り、24時間連続運転かつ全量導水を基本に運用を行う。この間4章で示したモニタリングを行い、浄化導水による効果を種々の観点で評価する予定である。

一方で、導水先河川の水環境は、水象・気象や排出負荷量の変動等に左右されることから、それら環境に柔軟に対応できる施設運用を策定する。具体には、導水先河川の水質・水量の日変動や季節変動、加えて感潮域、非感潮域といった河川特性を踏まえ、例えば間欠運転や導水量の弾力運転など、より効率的な運用を目指すことも必要となる。

このため、24時間連続運転かつ全量導水による導水効果の評価の後、効率化に向けたいくつかの運用パターンによる運転を現地において行い、その効果を検証し、現実的かつ効率的な運用パターンを策定する予定である。（図5・1参照）

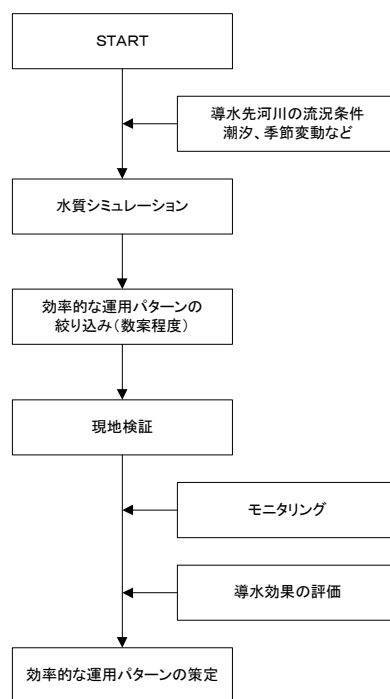


図5・1 効率的な運用パターン策定への流れ

5.2 水質シミュレーション

現地において検証する運用パターンの組み合わせ要素は主に間欠時間、導水量の2項目となるが、その組み合わせは無数に存在し、限られた期間内に現地検証を行うには、事前に効率的かつ実現性の高い運用パターンを数案程度に絞り込むことが必要となる。

絞り込みには、潮汐や季節変動等を総合的に考慮することが不可欠であり、これらの考慮が可能な水質シミュレーションを今後実施する予定である。

水質シミュレーションにはいくつかの手法が挙げられるが、下記の導水先河川の特徴を踏まえ、非定常の一次元移流分散モデルの適用性が高いと考えている。

- ・感潮区間が存在し潮汐の影響により刻々と流況が変化する
- ・2割、8割水深における水質が類似しており水深方向の変化が少ない

解析は導水先河川を綾瀬川モデル(綾瀬川, 伝右川, 毛長川)と芝川モデルに分け、それぞれのモデルに対し、不定流計算により断面毎の流速と河積を求め、そのデータを用いてBODとDOについてそれぞれ水質計算を行う。解析ケースはかんがい期や非かんがい期などにおける効率的な運用パターンを求めるべく各種検討を行う予定である。

6. おわりに

本稿では、水環境改善を目的とした浄化導水事業として、取水条件の設定や導水管内で生じる環境側面への影響として、スライムや硫化水素の発生条件に関する検討結果を示すとともに、今後の効率運用に向けた考え方を報告した。

綾瀬川・芝川等浄化導水事業では今後3年間の試験運用期間を設け、この間モニタリングによる浄化導水効果の評価や効率運用に向けた各種研究を行うことと併せて、機能の維持や硫化水素対策を含む点検整備や維

持管理のあり方についても調査研究して行く予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所調査課、および「浄化導水の取水条件の設定に関する検討委員会」ならびに「綾瀬川・芝川等浄化導水事業モニタリング委員会」の先生方に貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 綾瀬川清流ルネッサンスⅡ地域協議会(2003):利根川水系綾瀬川第二期水環境改善緊急行計画。
- 2) 国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所(2000):綾瀬川・芝川等浄化導水事業パンフレット(<http://www.ara.or.jp/arage/outline/suishitu/top.html>など)。
- 3) 国土交通省河川局(2004):河川水質の現況, (<http://www.mlit.go.jp/river/kankyousuisitu/index.html>)。
- 4) 栗原 康(1988):河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp.155-156。
- 5) 芝川・新芝川清流ルネッサンスⅡ地域協議会(2004):荒川水系芝川・新芝川第二期水環境改善緊急行動計画。
- 6) 鮎川 登(1996):河川の水質改善対策の浄化効果の評価に関する研究,平成7年度河川整備基金助成事業報告書,(財)河川環境管理財団。
- 7) 水処理技術研究会(2001):回転円盤法を用いた廃水処理,用水と排水,Vol.43, No.2
- 8) EPA(1985):EPA Design Manual "Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants".

Ⅲ 河川生態系の保全・復元に関する調査研究

4. 個体群存続可能性分析 (PVA) による 絶滅危惧植物へのミティゲーションの評価

戸谷英雄* 谷村大三郎** 石橋祥宏*** 宮脇成生****

1. はじめに

ダム・道路等の建設事業実施に伴う事業地内および周辺環境への影響を緩和するための措置を、ミティゲーション（環境保全措置）と呼ぶ。一般にミティゲーションにおける保全対象が少数個体の植物である場合、現状の生育箇所から他の場所への「移植」という手段を採ることが多い（森本・亀山, 2001）。しかし、「移植」には、移植先の環境条件の不適合などといった要因による失敗のリスクが伴う（Hodder & Bullock, 1997; Howald, 1996）。

一方で、移植の対象となるような絶滅危惧種の個体群は、個体数が少ない場合が多い。そのような個体群は、一般に個体数が多い場合と比較して、決定論的要因・確率論的要因により絶滅しやすい傾向を持つ（Primack, 1993; 鷲谷, 1999）。

したがって、ミティゲーションのための絶滅危惧種の移植であっても、その内容によっては、「絶滅しやすい」個体群の絶滅可能性（絶滅リスク）をさらに高めている可能性がある。本来のミティゲーションの目的に照らすならば、植物個体群の移植においては、事業前と比較して「絶滅リスクを大きくしない」、あるいは

「絶滅リスクを小さくする」ということが、達成目標の一つになりうるだろう。

絶滅リスクを評価するアプローチとして、個体群存続可能性分析 (Population Viability Analysis: PVA) が1980年代以降、保全生物学の分野において急速に発展してきた (Menges, 2000; Beissinger, 2002)。PVAとは、個体数（個体群サイズ）と絶滅可能性との関係を分析する手法であり、様々なタイプの理論的な検討やコンピュータによるシミュレーションモデルによる分析を含み (巖佐・箱山, 1997; 鷲谷, 1999)、絶滅危惧種等の保全に関わる意志決定、保全計画等の場面において、重要なツールとなっている (Akçakaya & Sjögren-Gulve, 2000; Menges, 2000)。環境省総合環境政策局 (2001) においても、PVAは環境アセスメントにおける“予測手段”の一つとして取り上げられている。

本研究では、絶滅危惧植物カラコギカエデ *Acer ginnala* var. *aidzuense* の工事に伴うミティゲーション効果を評価するために、PVAを実施し、個体群の存続可能性を評価するとともに、将来の保全上の課題を検討した。

* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部 部長
** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部 次長
*** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部 研究員
**** (株) 建設環境研究所 自然環境部 主査研究員

2. 対象地

調査地は、茨城県下館市の一般国道50号下館バイパスが小貝川を渡河する位置にあたる（図2・1）。一般国道50号は、群馬県高崎市を起点とし、茨城県水戸市に至る延長約160kmの主要幹線道路であり、北関東地域における物流・人流を担う大動脈となっている。下館バイパスは、下館中心市街地の慢性的な渋滞を解消するために、下館市玉戸地先から真壁郡協和町横塚地先に至る延長約8kmの4車線で計画された道路である。このうち、小貝川を渡河する新常磐橋の建設に先立ち、常陸工事事務所（現常陸河川国道事務所）が平成10年度に現地調査を行った結果、茨城県版レッドデータブック（茨城県，1997）で危急種に選定されているカラコギカエデの生育が計画線上およびその周辺に確認された。

3. 対象種カラコギカエデ

カラコギカエデは、カエデ科の樹高5～7mになる落葉広葉樹であり（写真3・1）、野生状態での生育地は湿地に限られるといわれる（緒方，1994）。茨城県内における本種の生育地は、本対象地を含めて2カ所のみが確認



写真3・1 カラコギカエデ成木

されており、茨城県版レッドデータブックでは危急種に指定されている（茨城県，1997）。小貝川の直轄管理区間においては、本調査地を含めて2カ所でカラコギカエデ個体群が確認されている（建設省下館工事事務所，1997）。本対象地のカラコギカエデ個体群は、茨城県あるいは小貝川で確認されている他と比較してその個体数は多い。

また、本対象地のカラコギカエデ個体群はその希少性から「特定植物群落」に選定されている（環境庁，1980；1988）とともに、「植物群落レッドデータブック」において保護を要する群落として選定されている（我が国における保護上重要な植物種および植物群落研究委員会植物群落分科会，1996）。

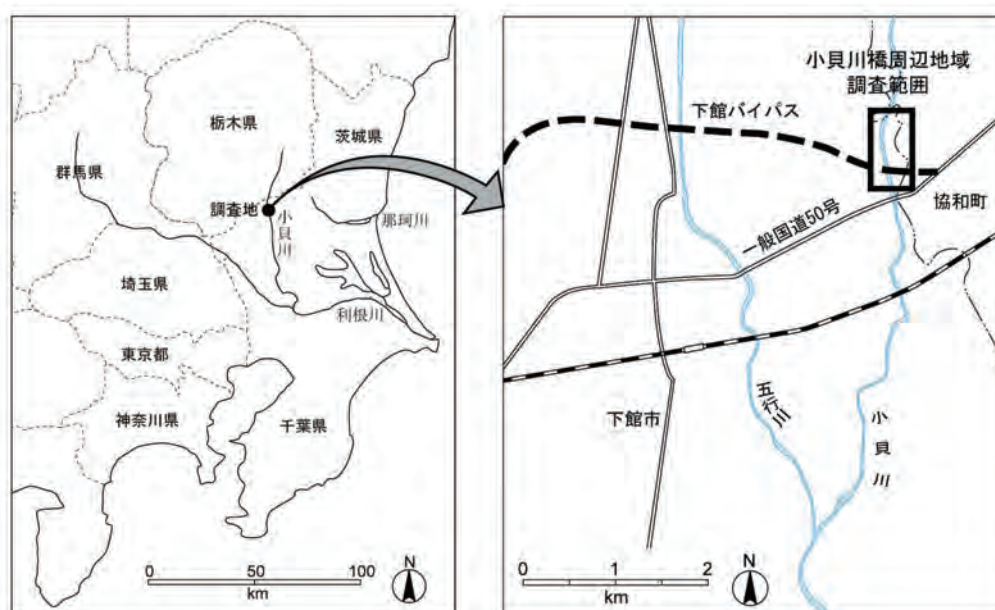


図2・1 対象地の位置

このように対象域におけるカラコギカエデ個体群はその保全上の重要性が認識されていたものの、平成10年度の時点で生態学的な研究はほとんど行われておらず、保全対策において必要な情報は十分でない状態にあった。

4. ミティゲーションの概要

4.1 ミティゲーション実施の経緯

平成10年度に国道50号下館バイパス小貝川渡架橋建設地周辺において、生物相（植物、哺乳類、鳥類、両生類、爬虫類、魚介類、底生動物、昆虫類）および植生の調査と、これらへの工事の影響予測を実施した結果、橋梁計画線上およびその周辺にカラコギカエデ個体群が位置することが明らかになった（建設省常陸工事事務所、1999）。この結果を受け、橋梁建設に伴うカラコギカエデ個体群への影響を最小化するため、橋梁設計において検討を行ったものの、その効果は不十分と考えられたため、カラコギカエデ個体群を代替地への移植を実施することとなった。

カラコギカエデ個体群移植計画の検討は平成11年度および12年度に実施された（建設省常陸工事事務所、2000；国土交通省常陸工事事務所、2001）。その検討に際して必要となる情報、すなわち対象地におけるカラコギカエデ生育状況および生育適地把握のための調査・実験が実施された。調査結果に基づきカラコギカエデの生育に適している移植候補地の選定が行われ、さらに他の条件に基づき候補地を絞り込んだ。ここで考慮した絞り込みの条件は、治水安全性への影響、重機等を用いた移植作業による周囲への影響等である。この検討に基づき、平成12年度および13年度に移植作業が実施された。

平成13年度以降は、移植されたカラコギカエデ個体群（以下、「移植地個体群」と呼ぶ）および工事の影響範囲外に位置し工事後も残った個体群（以下、「自生地個体群」と呼ぶ）のモニタリングが実施されている。

4.2 工事前（1999年秋季）のカラコギカエデの生育位置と個体数

調査範囲においては、小貝川の両岸にカラコギカエデの成木（樹高4m以上）1058個体、幼木（樹高1m以上4m未満）279個体が生育することを確認した（表4・1）。樹高1m未満の個体については、左岸の自生地では多数確認できたが、その個体数は把握していない。一方、右岸では樹高1m未満の個体を全く確認できなかった（春季には種子から発芽した個体を確認したが、これらも秋季には全個体枯死していた）。また、対象地におけるカラコギカエデ生育地面積は約1.4haを占めると推定された。

4.3 橋梁建設による影響範囲内の個体数

樹高4m以上のカラコギカエデ個体と影響範囲の位置関係を図4・1に示した。ここでは橋梁建設による影響範囲を、工事に伴う改変範囲（仮設道等を含む）および建設後の橋梁による日照遮断範囲（4～8月の各月遮断時間10時間以上）とした。橋梁建設に伴う影響範囲内に生育するカラコギカエデ成木および幼木の個体数はそれぞれ274個体および37個体だった（表4・1）。影響範囲内個体数の全生育個体数に対する百分率は、成木で26.0%（274/1058個体）、幼木で13.3%（37/279個体）だった。

4.4 移植個体数

平成12年および13年度に移植されたカラコギカエデ個体数は、成木・幼木（樹高1m以上の個体）については98個体だった。また、「とり木」により108個体を植え付けている。「とり木」とは、挿し木のように、成木の枝から発根させたクローン個体による増殖方法である。カエデ類は挿し木では発根・定着しにくい（右田、1989）、ここではとり木による増殖方法を採用した。

表4・1 対象地で確認したカラコギカエデ個体数
(1999年) および工事影響範囲内の個体数

括弧内は、「1999年生育個体数」に対する「橋梁工事影響範囲内個体数」の百分率を示す。樹高1m未満の個体数は未調査。

	小貝川	小貝川	計
	左岸	右岸	
1999年生育個体数			
成木 (樹高4m以上)	861	197	1058
幼木 (樹高1m以上4m未満)	263	16	279
工事影響範囲内個体数			
成木 (樹高4m以上)	226 (26.2%)	48 (24.4%)	274 (26.0%)
幼木 (樹高1m以上4m未満)	30 (11.4%)	7 (43.8%)	37 (13.3%)

稚樹 (樹高1m未満の個体) については平成12年度に250個体、平成13年度に500個体を移植した (図4・2)。平成12年度に移植した個体は、工事影響範囲に生育していたものであるが、平成13年度に移植した稚樹は、前年に採取した種子から発芽させ、約9ヶ月間圃場で生育させたものである。

これらの個体を3カ所 (移植地A, 移植地B, 移植地C) の移植地に植え付けた (図4・1)。このとき、小貝川左岸で採取された個体 (あるいは、とり木、種子) は左岸に位置する移植地AおよびBに、右岸は右岸に位置する移植地Cにそれぞれ移植した。なお、右岸では樹高1m未満の個体を確認できなかったため、移植地Cに移植した個体は1m以上の個体のみである。また、各移植地には、移植元の種子を含む表土も撒きだした。

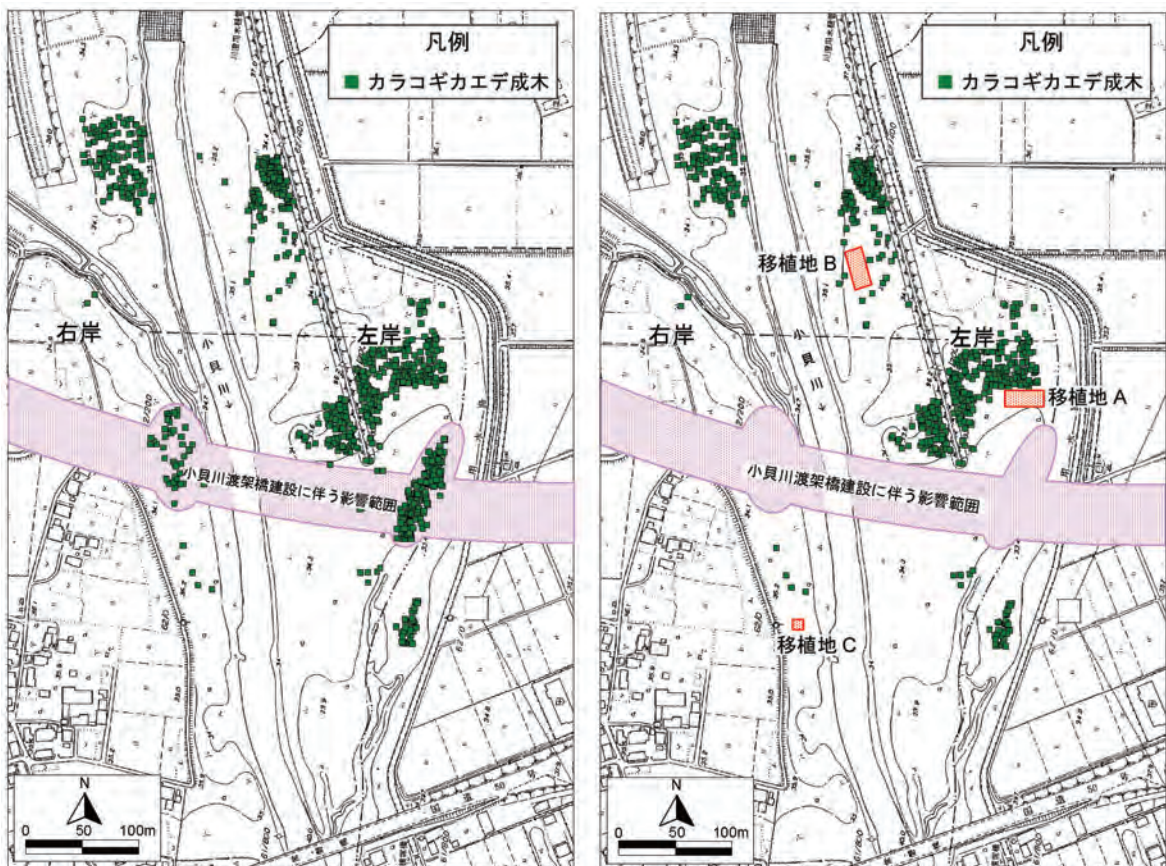


図4・1 工事前 (左図) と工事後 (右図) のカラコギカエデ成木 (樹高4m以上の個体) の生育位置と移植地の位置

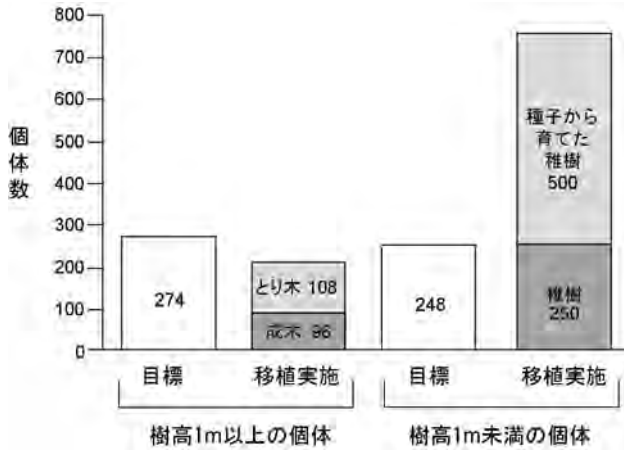


図4・2 カラコギカエデ移植個体数と移植目標個体数
「目標」は影響範囲内に生育していた個体数である。

4.5 モニタリング

対象地におけるカラコギカエデ個体群の詳細な調査は、橋梁建設工事着工前の平成11年（1999年）に実施されてから、平成15年（2003年）5月まで継続された。移植実施後の平成13年以降は、自生地個体群（工事影響範囲外だった個体群）および移植地個体群において調査を実施している。この一連の調査で、樹高1m以上の個体については、全個体をマーキングして識別し、その生死等を追跡した。また、樹高1m未満の個体については、2m×2mの方形区内に生育する個体をマーキングして識別し、その生死等を追跡した。

5. PVAによるミティゲーション効果の評価

本研究では、対象地でカラコギカエデ個体群へ対して行ったミティゲーションが、個体群の存続可能性（あるいは絶滅リスク）を工事前と同等なレベルを維持することができたか、あるいは改善することができたかをPVAにより評価した。

ここでは、現地調査データおよび個体群動態モデルを用いたコンピュータ・シミュレーションに基づくPVAによりカラコギカエデ個体群の存続可能性の評価を行った（Burgman et al., 1993; Morris & Doak, 2002）。

個体群動態モデルとは、生物個体数の経時変動を表現するモデルを指す（Silvertown & Charlesworth, 2001）。個体群動態モデルを用いれば、現地調査データから推定した現存個体数、生存率、繁殖率などの個体群パラメータにより、将来の個体数を予測することができる。そこで、平成11年（1999年）から平成14年（2002）年に行われた調査から得られた、個体群パラメータとその年変動のデータを用い、確率的変動性を取り入れた個体群動態モデルによるシミュレーションを行い、カラコギカエデのミティゲーション後（50年後）の存続可能性について評価を試みた。

5.1 カラコギカエデの個体群動態モデル

1) 行列モデル

平成11年から対象地で実施した調査で明らかになった生活史から、以下のカラコギカエデの個体群動態モデルを構築した。本研究で用いた個体群動態モデルは、行列モデル（matrix model）である。行列モデルとは、“行列”式によって個体数の経時的変化を表現するモデルである。

このモデルは、様々な年齢やサイズ段階に分けられる個体で構成され、年齢やサイズに依存する繁殖率や死亡率をもつ種の個体数変化を表現するのに適している（Silvertown & Charlesworth, 2001）。植物では、一般に個体のサイズ（例えば、樹高など）によって、生存率や種子生産数も異なってくる。カラコギカエデの場合も、種子から芽生えたばかりの実生（みしょう）は、生存率が低く、種子を生産しない。これに対し、樹高が4mを越えるような成木は、生存率は高く、大量の種子を生産する。

そこで本モデルでは、生存率と繁殖率に基づきカラコギカエデの生活史を4つの生育段階に区分した。すなわち、「生育段階1」を「発芽後1年目の個体」、「生育段階2」を「発芽後2年目以降で樹高1m未満の個体」、「生育段階3」を「樹高1m以上4m未満の個体」、「生育段階4」を「樹高4m以上の個体」とした（表5・1）。

表5・1 生育段階区分の基準

生育段階	基準
1	樹齢1年（発芽後1年目）の個体
2	樹齢2年以上かつ樹高1m未満の個体
3	樹高1m以上4m未満の個体
4	樹高4m以上の個体

このように、4つの生育段階に分けたとき、ある生育段階から別の生育段階へ推移する確率を「推移確率」と呼ぶ。生育段階1～生育段階4について、それぞれ推移確率や繁殖率を求めると、これを行列のかたちで表すことができる。これを推移行列と呼ぶ。推移行列を用いると式(1)より、各生育段階に属する個体数がある年(t)からその翌年(t+1)にかけて、どのように変化するかを予測することができる(式(1)の記号については図5・1の説明を参照)。

$$\begin{matrix} \text{翌年}(t+1)\text{における} \\ \text{個体数} \end{matrix} \begin{bmatrix} N_{1(t+1)} \\ N_{2(t+1)} \\ N_{3(t+1)} \\ N_{4(t+1)} \end{bmatrix} = \begin{matrix} \text{推移行列} \\ \begin{bmatrix} 0 & F_2 & F_3 & F_4 \\ a_{1,2} & a_{2,2} & 0 & 0 \\ 0 & a_{2,3} & a_{3,3} & 0 \\ 0 & 0 & a_{3,4} & a_{4,4} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \text{当年}(t)\text{における} \\ \text{個体数} \end{matrix} \begin{bmatrix} N_{1(t)} \\ N_{2(t)} \\ N_{3(t)} \\ N_{4(t)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

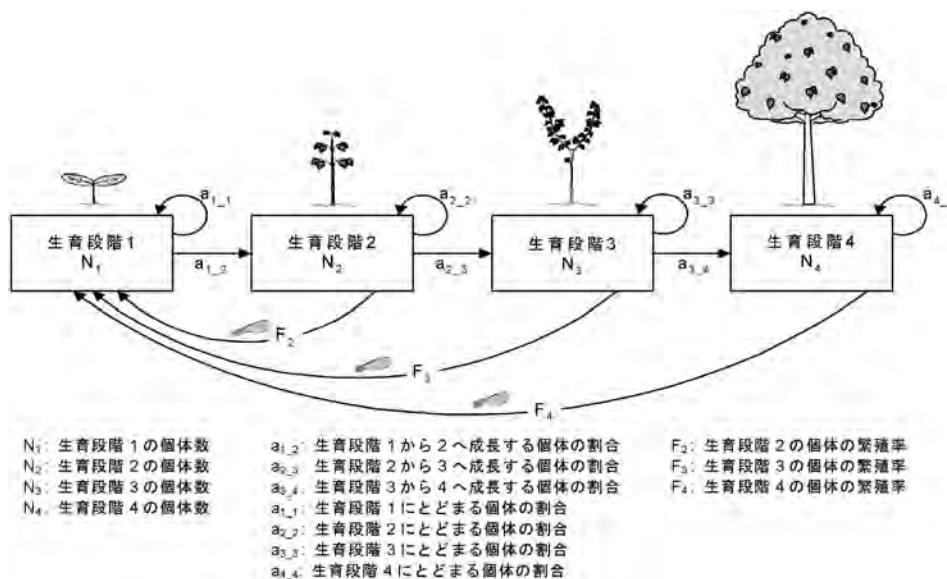


図5・1 生育段階にもとづく行列モデルの概念図

2) パラメータの推定

モデル中のパラメータは、平成11～14年(1999～2002年)の現地調査データから算出した。自生地の推移行列については、生育段階3・4に関するパラメータは調査範囲における全個体の追跡データから、生育段階1・2に関するパラメータは26地点のコードラート(2m×2m)における全個体の追跡データから算出した。移植地の推移行列については、移植地内の全個体を対象とした追跡データから算出した。推移行列の各行列要素の算出には、各個体を表5・1の基準で分類し、Caswell(2001)による方法を用いた。

なお、推移行列は4つの個体群(「自生地個体群(小貝川右岸)」、「自生地個体群(小貝川左岸)」、「移植地個体群(移植地A)」、「移植地個体群(移植地B)」)毎に算出した(建設省常陸工事事務所, 2000; 国土交通省常陸工事事務所, 2001; 2002)。個体群を4つに分けてパラメータを算出した理由は、これまでの調査で、自生地個体群と移植地個体群の間、および自生地個体群でも右岸と左岸では、実生の定着可能性が異なっていること、成長の程度が異なっていることが明らかになっていたためである。

本モデルでは、環境許容量を各生育段階に設定した。ここでは環境許容量とは与えられた空間において、種

が維持できる最大の個体数とした。その値は、各生育段階の環境許容量を単位面積あたりの最大個体数、すなわち最大個体密度とした。各生育段階の最大個体密度は、1999～2002年の調査結果より算出した。

以上の調査データから算出した個体群パラメータは、本論文末の補遺に記載した。

3) 環境変動

PVAでは個体群サイズに影響を与える様々な要因をモデルに用いる。本研究においては、以下の環境変動を考慮した。

環境変動をモデルに取り入れる方法の1つは、繁殖や生存にとっての良い年と悪い年を導入することである。行列モデルでは、行列式により t 年から $t+1$ 年の個体数を算出するときに、各年で推移行列の要素を変動させることでモデルに環境変動を取り入れることができる (Burgman et al., 1993; Morris & Doak, 2002)。これにはいくつかの手法があるが (Morris & Doak, 2002)、本モデルでは、環境条件が非周期的で、相関していない状態で変動するという仮定をおき、シミュレーションの各年についてランダムに推移行列を選択し、計算に用いることとした。すなわち、自生地個体群 (小貝川右岸・左岸) の場合は、1999～2002年の調査から算出した3つの推移行列の中から、各年1つの推移行列をランダムに選択し、個体数の算出に用いた。

また、河川における環境変動を考えると、洪水は重要な要因となる。本研究では、2000～2002年には個体群が冠水するような洪水は確認されていないものの、1999年7月の調査時にカラコギカエデ生育地において水位約1mとなる洪水を経験し、この洪水の影響と考えられる実生の死亡が確認されている (建設省常陸工事事務所, 2000)。したがって、1999～2000年の推移行列には、この洪水の個体群への影響が反映されているため、本モデルには数年に1回程度発生する洪水の影響も取り入れられていることになる。

移植地個体群については、植生の管理を行わなかった場合、高木等の侵入による生育環境の変化が生じ、

コナラなどの高木とカラコギカエデが混じって生育する自生地個体群に近い状態になることが予想される。コナラの樹高が、カラコギカエデの樹高を上回る10m以上に成長するまでに、約25～35年を要する (藤森・河原, 1994)。したがって、高木種の侵入が起こった場合でも、移植地個体群が自生地個体群に近い状態になるまでには少なくとも約25～35年を要すると予想される。移植地個体群に対して、このような高木の侵入が生じるとき、個体群パラメータにも変化が生じることが予想される。そこで、移植地個体群が現在の自生地個体群と同程度に高木が侵入している状態になるまでに要する時間を $t_e=30\pm 5$ 年とし、この範囲の値をランダムにとることとした。移植地個体群の推移行列の各要素は、毎年一定の比率で自生地個体群の推移行列 (1999～2002年の平均) に近づき、 t_e 年で自生地個体群と同じ値になることとした。また、 t_e 年以降の移植地個体群は、自生地個体群と同じ推移行列によって個体数が推移することとした。

4) シミュレーション

以上の条件に基づき、次の手順でカラコギカエデ個体群の個体数予測のシミュレーションを行った。

- (1) 初期個体数を与える。
- (2) 行列モデルに従って、生育段階1～4の個体数を計算する。各年の計算に用いる推移行列は、各地点の推移行列の中からランダムに選択する。各生育段階の個体数が、それぞれの環境許容量を上回る場合は、個体数が環境許容量の値をとることとする。
- (3) (2)を50回(50年間)繰り返し計算する。
- (4) (1)～(3)を5000回繰り返し計算する。

なお、移植地個体群 (移植地A・B) の場合は、2000～2002年のデータからそれぞれ2つの推移行列しか算出できなかったため、シミュレーションにおいては2つの移植地個体群を1つにまとめ、4つの推移行列から各年1つの推移行列をランダムに選択し計算に用いた。なお、予測した個体数は、3つの個体群毎 (自生地個体群 (小貝川左岸)、自生地個体群 (小貝川右岸)、移植

地)に算出した個体数の合計値とした。

本研究では、シミュレーションによる予測を、ミティゲーション実施の50年後とした。既往の文献では、50～100年に設定している場合がほとんどである。ただし、予測するのがより遠い将来であればあるほど、個体数の変動に影響する不確定要因も増加するため、すなわち推定の信頼性がより低くなるため、できるだけ近い将来の推定にとどめるべきであると判断し、50年と設定した。

また、シミュレーションは5000回繰り返すこととした。一般に、このようなシミュレーションでは、1000回程度は繰り返したほうがよいとされている。これは経験的に計算を1000回繰り返せば、結果の統計量(中央値や平均値など)が安定すると考えられているからである。今回は、より堅実にそれよりも多い5000回の繰り返し計算とした。

5.2 個体群の将来予測およびミティゲーション効果の評価

前項で述べた個体群動態モデルを用いれば、カラコギカエデ個体群の将来の個体数を予測することができるが、それだけではミティゲーション効果の評価するには不十分である。また、シミュレーション結果には不確実性が伴うため、予測の絶対値による評価よりも、異なるシナリオに基づく予測の相対比較に基づく評価を行うほうが信頼性の高い結果が得られると考えられる(Reed et al. 2002)。そこで、本研究では前述の個体群動態モデルを、ミティゲーションの実施に関する3つのケースに適用し、それぞれの将来の個体数を比較することにより、ミティゲーションの効果を評価した。比較した3つのケースは次のとおりである。

ケースⅠ：橋梁建設工事を行わなかった場合

工事が実施されず、工事によるカラコギカエデ個体数の減少がなかった場合の将来の個体数を予測する。この予測値は、個体群の存続可能性を評価する上での“バックグラウンド値”となる。

ケースⅡ：橋梁建設工事を実施したが、ミティゲーションを行わなかった場合

工事を実施したが、カラコギカエデの移植を行わず、工事影響範囲の個体が消失した場合の将来の個体数を予測する。

ケースⅢ：橋梁建設工事を実施し、ミティゲーションを行った場合

工事を実施し、工事影響範囲内のカラコギカエデ個体群を移植地に移した場合、すなわち前述のミティゲーションを実施した場合の将来の個体数を予測する。

シミュレーションにおいては、各ケースで異なるパラメータ設定を行った(表5・2)。表5・2に示した以外のパラメータについては、各ケース同じ値を用いてシミュレーションを行った。

その結果、いずれのケースにおいても、将来の推定個体数(平均値)は減少傾向を示した(図5・2)。ケースⅠでは、シミュレーションの開始の0年には樹高1m以上の個体は、1138個体であったが、50年目の推定個体数(平均値)は51個体であり、個体数の90%推定区間は46～77であった(表5・3, 図5・3)。ケースⅡでは、50年目の推定個体数(平均値)は38個体であり、個体数の90%推定区間は27～52だった。実際に行ったミティゲーションを想定したケースⅢでは、50年目の推定個体数(平均値)は72個体であり、個体数の90%推定区間は53～96だった。

以上の結果より、50年先のカラコギカエデ個体群の個体数は、ケースⅢの工事実施に伴い今回のミティゲーションを行った場合が、ケースⅠの工事を行わなかった場合よりも大きな値を示した。すなわち、今回実施されたミティゲーションは、対象地におけるカラコギカエデ個体群の存続可能性を、工事前と比較して、同等以上の状態に補償できたと考えられる。しかし、いずれのケースにおいても、50年後の推定個体数(樹高1m以上)は100個体を下回っている。この個体数は、現在の樹高1m以上の個体数の1割未満である。

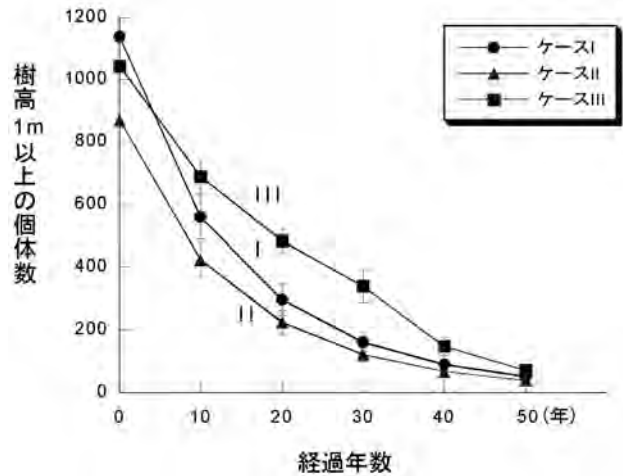
このような結果が導かれた理由には、もともと自生

表5・2 シミュレーションにおいて3つのケースで異なる値を設定したパラメータ

パラメータ	ケース		
	I	II	III
初期個体数			
自生地個体群			
小貝川左岸			
生育段階1	0	0	0
生育段階2	6603	5141	5141
生育段階3	223	188	188
生育段階4	730	546	546
小貝川右岸			
生育段階1	0	0	0
生育段階2	0	0	0
生育段階3	7	3	3
生育段階4	178	132	132
移植地個体群			
小貝川左岸			
生育段階1	0	0	0
生育段階2	0	0	660
生育段階3	0	0	79
生育段階4	0	0	78
小貝川右岸			
生育段階1	0	0	0
生育段階2	0	0	0
生育段階3	0	0	0
生育段階4	0	0	18
生育地面積 (m ²)			
自生地個体群			
小貝川左岸	10200	8000	8000
小貝川右岸	3475	2600	2600
移植地個体群			
小貝川左岸	0	0	1050
小貝川右岸	0	0	100

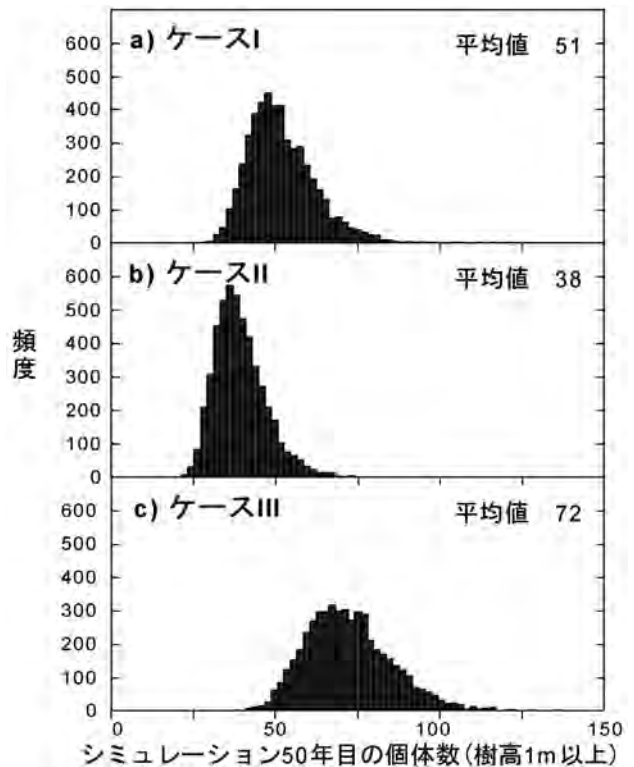
表5・3 シミュレーション50年目の樹高1m以上のカラコギカエデの個体数

推定値	ケース		
	I	II	III
平均値	51	38	72
90%区間			
上側	71	52	96
下側	37	27	53



シミュレーション5000回の平均個体数の推移を示した。エラーバーは標準偏差を表す。
 ケースⅠ. 橋梁建設が行われなかった場合
 ケースⅡ. 橋梁建設を行い、カラコギカエデ保全対策を行わなかった場合
 ケースⅢ. 今回の保全対策を行った場合

図5・2 個体数（樹高1m以上）の経年変化



各ケースについて5000回ずつのシミュレーションにより得られた50年後の推定個体数の頻度分布。
 a) ケースⅠ. 橋梁建設が行われなかった場合
 b) ケースⅡ. 橋梁建設を行い、カラコギカエデ保全対策を行わなかった場合
 c) ケースⅢ. 今回の保全対策を行った場合

図5・3 シミュレーション50年目の樹高1m以上のカラコギカエデ個体数

地のカラコギカエデ個体群が衰退傾向にあったこと、および移植地個体群でのカラコギカエデの生育が良好であったことが挙げられる。個体群に含まれる個体数が増加傾向にあるか、減少傾向にあるかの指標となる個体群成長率（1999～2002年の平均推移行列から算出した固有値の正の実根）を「自生地個体群」と「移植地個体群」で比較してみると、自生地個体群の成長率がすでに1.0を下回り、減少傾向にあること、それに対して移植地個体群の成長率がおよそ1.1と増加傾向にあることがわかる（図5・4）。そのため、自生地個体群と移植地個体群で構成されるケースⅢでは、自生地個体群のみで構成されるケースⅠおよびⅡと比較して、減少傾向が緩やかになったものと考えられる。

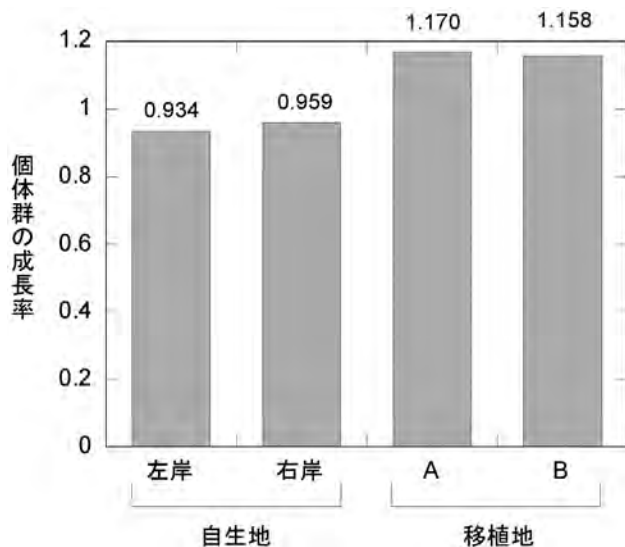


図5・4 自生地および移植地の個体群成長率

6. 結論

6.1 ミティゲーションの効果

本検討では、“橋梁工事へのミティゲーションの効果”を評価するために、現地調査データとモデル・シミュレーションを用いたカラコギカエデ個体群の将来予測を行った。この結果より、対象地のカラコギカエデ個体群は、橋梁建設工事後も、工事を行わなかった場合と同等の存続可能性を維持できているという結果

を得た。すなわち、カラコギカエデ個体群へのミティゲーションは、目標の達成を十分に期待できると考えられる。

しかし、工事の影響緩和には成功したと考えられるものの、対象地のカラコギカエデ個体群は衰退傾向にあり、将来的には個体群の絶滅リスクが高くなることが予測された。この傾向は、たとえ工事を行わなかったとしても同様であったと考えられる。

これらのPVAの結果について、現時点で我々が有するデータ等からその妥当性を検証する手段はなく（鷺谷，1999）、今後カラコギカエデ個体群に対してモニタリングを行いながら検証していく必要がある。

それでも、本研究におけるPVAに基づく評価は、次の理由から比較的頑健性のあるものだと期待できる。まず、本研究では、異なる3つのケースでシミュレーションを行い、その比較によりミティゲーションの効果を評価した。このように、予測の絶対値を用いるのではなく、異なるシナリオに基づく相対比較の方が、その結果の頑健性は高いと考えられる（Reed et al., 2002）。

また、シミュレーションに用いた個体群パラメータのうち、樹高1m未満の生育段階のものはコドラート調査に基づくため、サンプリング効果の影響を受けると考えられるものの、樹高1m以上の個体については、調査域のほぼ全個体のデータに基づくものであるため、その信頼性は高い。

それでもなお、より信頼性の高い結果を得るためには、より長期間の調査が必要であることは言うまでもないだろう。本研究の調査期間は、Menges（2000）による植物を対象としたPVAに関する研究の平均調査期間と同じ4年であるものの、より信頼性の高い結果を得るためにはさらに追跡調査を行うべきである。ただし、十分なデータがあったとしても、そもそも不確実性を含むため、「正確」な予測ができるという保障はない（三浦・堀野，2002）。加えて、PVAが果たすべき役割は、正確な予測を行うというよりは、意志決定のための共通の尺度をつくりだすところにある（三浦・堀野，2002）ことを忘れてはならないだろう。

なお、本対象地におけるカラコギカエデ個体群衰退の傾向は、PVAによる解析以外からも確認されている（宮脇ほか、投稿中）。これは、実生から成木に成長する個体が少ないこと、成木の死亡率が高いことに起因すると考えられる。これらは植生の遷移が進み、コナラ等の高木がカラコギカエデの樹冠を覆うまでに成長したこと、近年分布を拡大しているメダケやアズマネザサの群落内への侵入により、林冠および林床が暗くなったことの影響によるものと考えられる。この植生変化の傾向は、空中写真からも確認されており（建設省常陸工事事務所、2000）、この変化は現在も進行している。このことは、カラコギカエデの生育に適した場所が、本検討の対象地において減少しつつあることも

意味している。

カラコギカエデ個体群を長期的に保全するためには、上述の減少要因に対する対策が必要であろう。しかし、カラコギカエデは洪水等の大きな攪乱により植生が破壊された後の植生遷移の初期相において、先駆的に群落を形成すると考えられる種である。現状の個体群の衰退傾向を考慮すると、この種の長期的な保全には、小貝川において上述のようなカラコギカエデの侵入に適した場所が新たに形成されるか、すでにあるそのような場所に新たにカラコギカエデが定着する必要があると考えられる。したがって、長期的なカラコギカエデの保全は、対象地だけでなく流域レベルで考える必要があるだろう。

補遺

本研究のカラコギカエデ個体群動態シミュレーションに用いた個体群パラメータを下表に示した。

自生地個体群の推移確率

小貝川左岸

生育段階	1999-2000年の推移確率				2000-2001年の推移確率				2001-2002年の推移確率			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0.7109	0	0	0	27.0916	0	0	0	0
2	0.5333	0.4127	0	0	0.4000	0.7930	0	0	0.0372	0.3514	0	0
3	0	0.0024	0.8852	0	0	0.0006	0.8142	0	0	0	0.7590	0
4	0	0	0.0410	0.9824	0	0	0.0531	0.9242	0	0	0.0361	0.8880

小貝川右岸

生育段階	1999-2000年の推移確率				2000-2001年の推移確率				2001-2002年の推移確率			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.6000	0	0	0	0.9000	0	0	0	0.8571	0
4	0	0	0.2000	0.9300	0	0	0.1000	0.9850	0	0	0	0.9638

移植地個体群の推移確率

移植地A：*は自生地個体群（小貝川左岸）からの外挿

生育段階	2000-2001年の推移確率				2001-2002年の推移確率			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	0	3.8718
2	0.4000*	0.7121	0	0	0.0372*	0.7979	0	0
3	0	0.1288	0.9469	0	0	0.1383	0.9639	0
4	0	0	0.0531*	1.0000	0	0	0.0361*	0.9750

移植地B：*は自生地個体群（小貝川左岸）からの外挿

生育段階	2000-2001年の推移確率				2001-2002年の推移確率			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	0	0	0	0	0	0	0.2821
2	0.4000*	0.4625	0	0	0.0372*	0.4865	0	0
3	0	0.3000	0.8040	0	0	0.3234	0.8782	0
4	0	0	0.0531*	0.9750	0	0	0.0361*	1.000

生育段階別の環境許容量（1m²あたりの個体密度の上限）

生育段階	1	2	3および4
環境許容量（m ² ）	17.5	34.5	0.24

参考文献

- 茨城県編（1997）：茨城における絶滅のおそれのある野生生物〈植物編〉茨城県版レッドデータブック，社団法人茨城県公害防止協会。
- 巖佐庸・箱山洋（1997）：保全生物学の数理モデル，海洋 29：309-314。
- 緒方健（1994）：カラコギカエデ，週刊朝日百科植物の世界，第33号，朝日新聞社。
- 環境庁編（1980）：日本の重要な植物群落（北関東版），大蔵省印刷局。
- 環境庁編（1988）：日本の重要な植物群落Ⅱ（北関東版），大蔵省印刷局。
- 環境省総合環境政策局編（2001）：環境省環境影響評価技術検討会報告書：自然環境のアセスメント技術（Ⅲ）。
- 建設省下館工事事務所（1997）：平成8年度河川水辺の国勢調査（植物調査）報告書。
- 建設省常陸工事事務所（1999）：平成10年度下館バイパス小貝川地域現状調査業務報告書。
- 建設省常陸工事事務所（2000）：下館バイパス小貝川地域環境保全検討業務委託報告書。
- 国土交通省常陸工事事務所（2001）：平成12年度一般国道50号管内環境保全対策検討業務委託（カラコギカエデ保全対策検討）報告書。
- 国土交通省常陸工事事務所（2002）：平成13年度一般国道50号管内環境保全対策検討業務委託（カラコギカエデ保全対策検討）報告書。
- 藤森隆郎・河原輝彦（1994）：広葉樹林施業，全国林業改良普及協会。
- 三浦慎悟・堀野眞一（2002）：野生動物集団のダイ

- ナミックス：個体群存続可能性分析，「生態系とシミュレーション」（楠田哲也・巖佐庸編），pp.91-114，朝倉書店。
- 14) 右田一雄（1989）：林業種苗学，東京農業大学出版会。
- 15) 森本幸裕・亀山章（2001）：ミティゲーション—自然環境の保全・復元技術—。ソフトサイエンス社。
- 16) 我が国における保護上重要な植物種および植物群落研究委員会植物群落分科会（1996）：植物群落レッドデータ・ブック，（財）日本自然保護協会・世界自然保護基金日本委員会。
- 17) 鷺谷いづみ（1999）：生物保全の生態学，共立出版。
- 18) Akçakaya H. R. and Sjögren-Gulve P. (2000)：Population viability analyses in conservation planning: an overview. *Ecological Bulletins* 48: 9-21.
- 19) Beissinger S. R. (2002)：Population viability analysis: Past, present, future. In *Population viability analysis* (S. R. Beissinger and D. R. McCullough eds), pp. 5-17, University of Chicago Press, USA.
- 20) Burgman M. A., Ferson S. and Akçakaya H.R. (1993)：Risk Assessment in Conservation Biology. Chapman & Hall. London.
- 21) Caswell H. (2001)：Matrix Population Models 2nd Ed. Sinauer Associates. Sunderland, USA.
- 22) Hodder K. H. and Bullock J. M. (1997)：Translocations of native species in the UK: implications for biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 34:547-565.
- 23) Howald A. M. (1996)：Translocation as a mitigation strategy: Lessons from California. In *Restoring Diversity: Strategies for Reintroduction of Endangered Plants*(Falk D. A., Millar C. I. and Olwell M. eds), pp.293-329. Island Press, Washington DC.
- 24) Menges E. S. (2000)：Applications of population viability analyses in plant conservation. *Ecological Bulletins* 48: 73-84.
- 25) Morris W. F. and Doak D. F. (2002)：Quantitative Conservation Biology: Theory and Practice of Population Viability Analysis. Sinauer Associates. Massachusetts, USA.
- 26) Primack R. (1993)：Essentials of Conservation Biology, Sinauer Associates. Massachusetts, USA.
- 27) Reed J. M., Mills L. S., Dunning Jr. J. B., Menges E. S., McKelvey K. S., Frye R., Beissinger S. R., Anstett M., and Miller P. (2002)：Emerging issues in population viability analysis. *Conservation Biology* 16: 7-19.
- 28) Silvertown I. and Charlesworth D. (2001)：Introduction to Plant Population Biology 4th Ed. Blackwell Science. USA.

5. 淀川の流況・位況変動とコイ・フナの生態行動に関する調査

中西史尚* 辻山正甫**

1. はじめに

ダムや堰で水位や流量をコントロールされている河川においては、その上下流に生息する魚類等の生物の生態に配慮した運用が課題になっていることが多い。淀川水系においても例外ではなく、治水・利水面のみの水位・流量管理であると、水位の安定化によって産卵の機会が減少したり、急な流量低減によって魚類の産卵しにきたコイやフナなどが冠水帯で逃げ遅れて斃死したり、岸边に産みつけられた卵が干し上がるなどの問題が起こっている。そこで、本報告では図1-1に示す淀川本川（大阪府域）において、なるべく自然な流況や位況になるような方策を考え、下流の河口堰の影響を受ける湛水域及び上流の瀬田川洗堰からの放流量

の影響を受ける流水域で管理施設の環境に配慮した試行運用を実施し、解決策を検討した。

2. 魚類の生態行動に配慮した淀川大堰の水位操作実験

2.1 実験の背景

淀川本川下流部の湛水域は、河口から10kmに位置している淀川大堰によって生じており、その影響範囲は大堰地点から上流15kmから20km付近に達している。淀川大堰は、1983年から長柄可動堰に代わり運用されているものであるが、年間を通じての水位は、長柄可動堰のときよりも安定するようになり、O.P.+2.8mから3.3mの約50cmの変動幅での運用となっている。さらに降雨があり上流では水位が上昇しているにもかかわらず、下流側はほぼ一定水位に保持されていることも多々ある。

一方、フナやコイは3月から6月初めごろにおいて産卵する習性を持っており、春先の少し増水した時に水際や水路に入って産卵する。

そこで、安定した水域である淀川大堰上流2~3kmに位置する城北ワンド群（図2-1）に注目し、水位変動が魚類の産卵行動に及ぼす影響について検討するために、淀川大堰の水位操作実験を試みた。



図1-1 淀川流域

* (財) 河川環境管理財団 大阪研究所 研究員
** 三井共同建設コンサルタント株式会社関西支社技師長
(前) (財) 河川環境管理財団 大阪研究所 研究第五部長

2.2 水位変動に伴う魚類の生態調査の概要

調査にあたっては、2003年4月14日にO.P.+2.7m程度に予め低く保っていた水位を、約40cm程度上昇させ、城北ワンド群においてフナ・コイ等の魚類の産卵行動を観察し、1週間程度そのままの高めの水位で保って産着卵の孵化を調べることにした。図2・2に、予め計画した水位と実績の水位を示した。

産着卵の調査は、分布範囲、および卵の概略密度を産卵基質（種類、厚さ）別に目視により観察し、平面

図に記録した。さらに、各産着卵分布地点の代表箇所（植生、卵の概数密度ごとに数カ所）を決め、その場所の卵の状態（卵の概数、産卵基質、発生状況等）を追跡した。

主な植生の産卵基質を写真2・1に示すが、城北ワンド群の水際で主要な構成種となっているマコモ、ヨシ、スズメノヒエ、オオクサキビを選んだ。また、現地には人工産卵床4基が設置されており、そのうちの一つを調査対象とした。

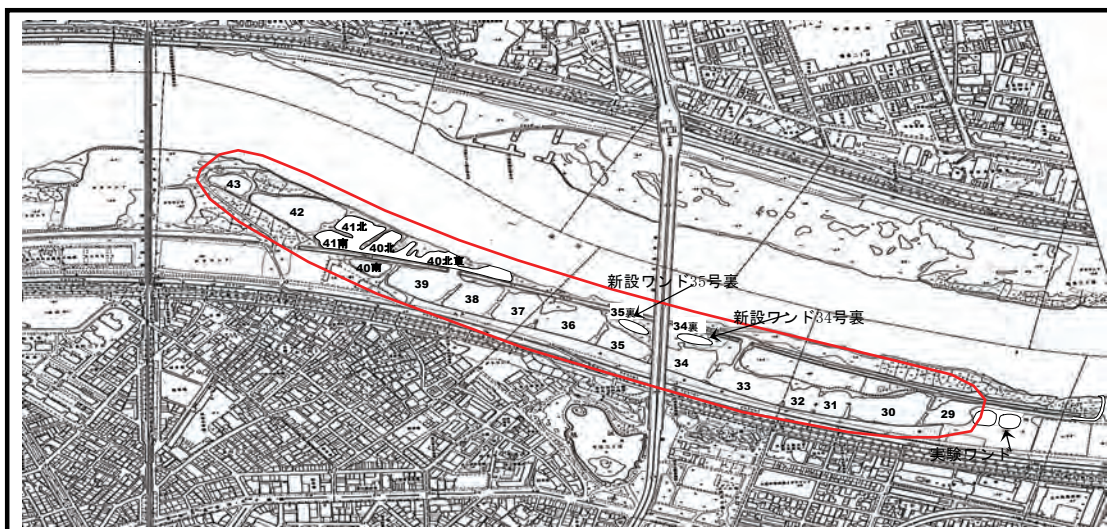


図2・1 城北ワンド群

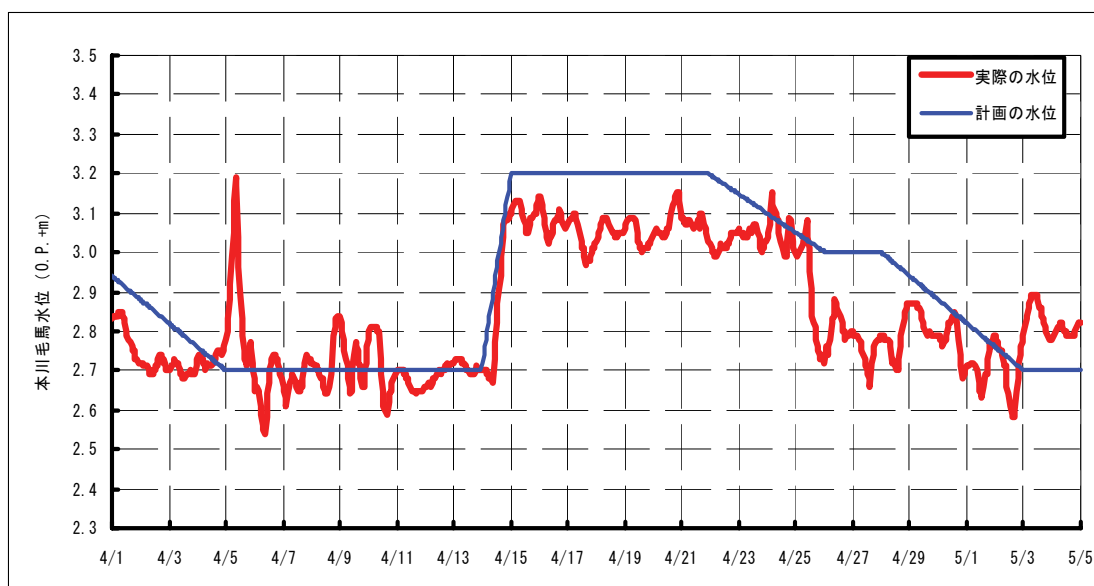


図2・2 淀川大堰（毛馬地点）水位変動の計画と実際

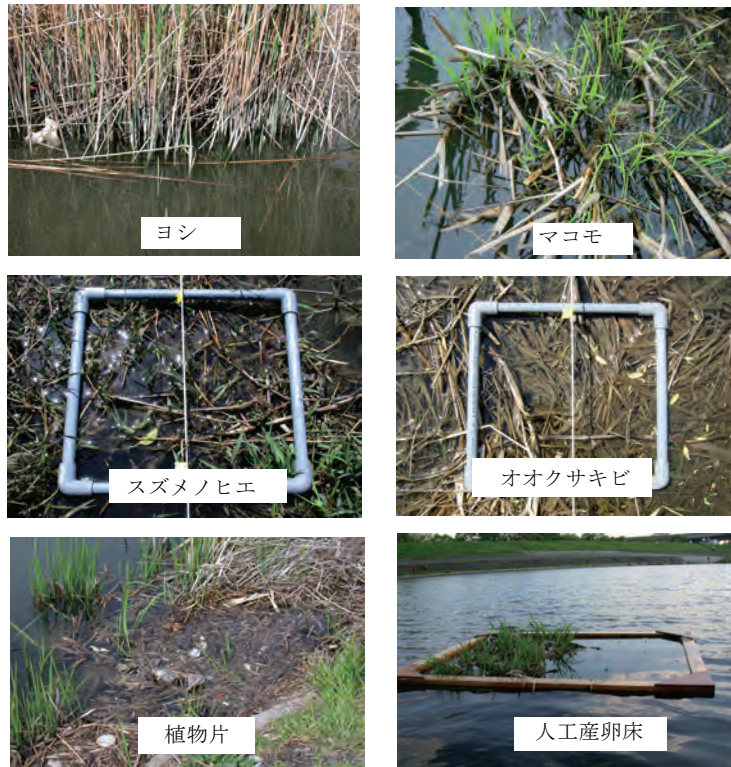


写真2・1 ワンド周辺の産卵基質植生

2.3 調査結果

1) 水位上昇前の調査

城北ワンド群の18個の水域における水辺植生は、表2・1に示すように半数以上のワンドはヨシやマコモを主体とした植生であった。また、34号裏と35号裏ワンドは平成13年6月に造成されたワンドで、水際の勾配が他のワンドに比べて緩い勾配となっており、スズメノヒエ、オオクサキビ等の植生が水面を覆っていた。なお、スズメノヒエは34号ワンドの旧水路部や36号ワンドの湾入部など、対岸との距離が狭い場所にもみられた。

水位の上昇操作前（4月10日と11日の2日間）におけるフナ、コイ等の産着卵の調査では、29号、37号、40号、41号北および43号ワンドにおいて、産着卵密度が5cm×5cmで21～100個確認される場所が多かった。その他のワンドにおいても、産卵密度は25cm²あたり20個以下ではあるが、産卵場所が各所に点在しているのを確認した。

2) 水位上昇後の調査

水位上昇操作は4月14日9:00から開始され、その日

の19時までの10時間で0. P. +3. 1mと約40cmの上昇値を示した。水位上昇後の調査は、その3日～4日後の4月17日と18日に行った。なお、新設ワンドにおいては、16日夜にフナ類の大規模な産卵があったことが確認されている。

城北ワンド群全体をみると表2・1に示すとおり、産卵範囲および密度ともに水位上昇前に比べて増加した。特に、マコモ、スズメノヒエでは植物片に付着している卵の密度が高くなった。写真2・2にマコモの根に産みつけられたフナ類の卵の状況を示す。



写真2・2 マコモの根に産みつけられたフナ類の卵

表2-1 各ワンドの水際植生と水位上昇後の産着卵の状況

わんど	水際部の概況	水位操作後の産卵範囲密度の変化状況	増減傾向
29号	ヨシ、マコモが中心30号境界部スズメノヒエ、ヨシ帯前面植物片	ヨシは大差なし。マコモ、スズメノヒエは密度高。植物片も高密度。	↑
30号	全体的にヨシ、29号境界部マコモ	産卵範囲が拡大していたが、産卵密度がやや減少した場所もあった。	→
31号	水際部はヨシ、ヨシ帯前面植物片	前はほとんど確認されなかったが、後はほぼ全域に産着卵がみられた。	↑
32号	水際部はほぼヨシ、ヨシ帯前面植物片	ヨシは大差なし。植物片等に多数確認された。	↑
33号	ヨシで覆われ、堤防側・32号境界部マコモ、植物片	前はほとんど確認されなかったが、後はほぼ全域に産着卵がみられた。マコモ、植物片等にも多く付着。	↑
34号	ヨシ帯前面マコモ、マコモ、植物片、旧水路部スズメノヒエ	広範囲のマコモに高密度で確認された。スズメノヒエ、植物片にも多く確認された。	↑
新設34号裏	主にスズメノヒエ、オオクサキビ、一部ヨシ	全域にわたり、スズメノヒエに高密度で産着卵を確認	↑
35号	ヨシが中心、マコモが点在	ヨシへの産卵範囲が広がっていた。マコモ、植物片等にも確認された。	↑
新設35号裏	主にスズメノヒエ、オオクサキビ、一部ヨシ	全域にわたり、スズメノヒエに高密度で産着卵を確認	↑
36号	本川側湾入部スズメノヒエ高密度、その他はヨシが中心、植物片、ゴミ	スズメノヒエに高密度で確認。ヨシや植物片へも増加していた。	↑
37号	ヨシの前面にマコモ・スズメノヒエ・植物片	全域にわたり範囲の拡大、密度の増加が認められた。	↑
38号	ヨシの前面にマコモ・スズメノヒエ・植物片、所々ヤナギ類	全域にわたり範囲の拡大、密度の増加が認められた。	↑
39号	ヨシ、マコモ、所々ヤナギ類、植物片	全域にわたり範囲の拡大、密度の増加が認められた。	↑
40号北	ヨシ、湾入部ナガエツルノゲイトウ、植物片	ヨシへの範囲密度増加は顕著でないが、ナガエツルノゲイトウへの密度増加。	↑
40号南	ナガエツルノゲイトウ、ヨシ、マコモ	前は広範囲みられたが、後はわずかに卵がみられる程度であった。	↓
41号南北	広くヨシ、角部ナガエツルノゲイトウ	水位操作前の方がやや多かった。	↓
42号	ナガエツルノゲイトウ、ヨシ、マコモ	範囲の拡大、密度の増加がみられた。	↑
43号	ナガエツルノゲイトウ、オオフサモ、マコモ、ヨシ	水位操作前後で産着範囲、産卵密度に顕著な差はみられなかった。	→

ワンドの特性でみると、閉鎖型のワンド40号や43号においては、水位上昇前に比べて顕著な差がみられなかった。また新設ワンド34号裏、35号裏においては、他のワンドと比較して産卵の増加度合い、産卵の量および範囲のいずれもが顕著に上回っていた。また、29号ワンドなどの開口部から奥まったワンドでも産卵が増加傾向にあるものが多いことが確認された。

図2-3は29号、36号、および34号裏ワンドの産着卵の密度の変化を表している。29号ワンドはヨシへの産卵密度は大差ないが、マコモ、スズメノヒエについては一様に密度が高くなり、産卵数が大きく増加していた。また、高密度に卵の付着した植物片も、水位操作後にその分布範囲が広がっていた。一方36号ワンドは、水位操作後、湾入部に繁茂するスズメノヒエに高密度の産着卵が確認された。また、34号裏ワンドでは水際部全域にわたって、スズメノヒエを中心として非常に高密度の産卵があったことがわかる。

3) 水位維持と低下後の卵の影響調査

水位が上昇し、全域において産卵が確認されてからの追跡調査は、産卵基質及び地形の代表箇所を選定して、30cm方形枠の範囲内で、卵の概数、孵化・干出の状態等を調べた。また、実際の調査時には孵化が既に進んでいたため、稚魚の概数を30cm径の方形ネットによる1回採取で調べた。調査は水位の低下前の4月22日、低下中の4月24日、および低下後の5月2日に実施した。実際には、2回目の4月24日は降雨による水位の上昇等もあり計画通りに水位が低下しなかったため、水位低下前に準ずる調査となった。産卵基質は先に述べたとおり、スズメノヒエ、マコモ、ヨシ、オオクサキビの4種の植物、および水際に吹き寄せられた植物片、綾らが設置した浮島式人工産卵床（綾ら、2004）である。人工産卵床は、木枠内にマコモ、キンランといった植生を枠内に格子状に張ったネットに設置している。

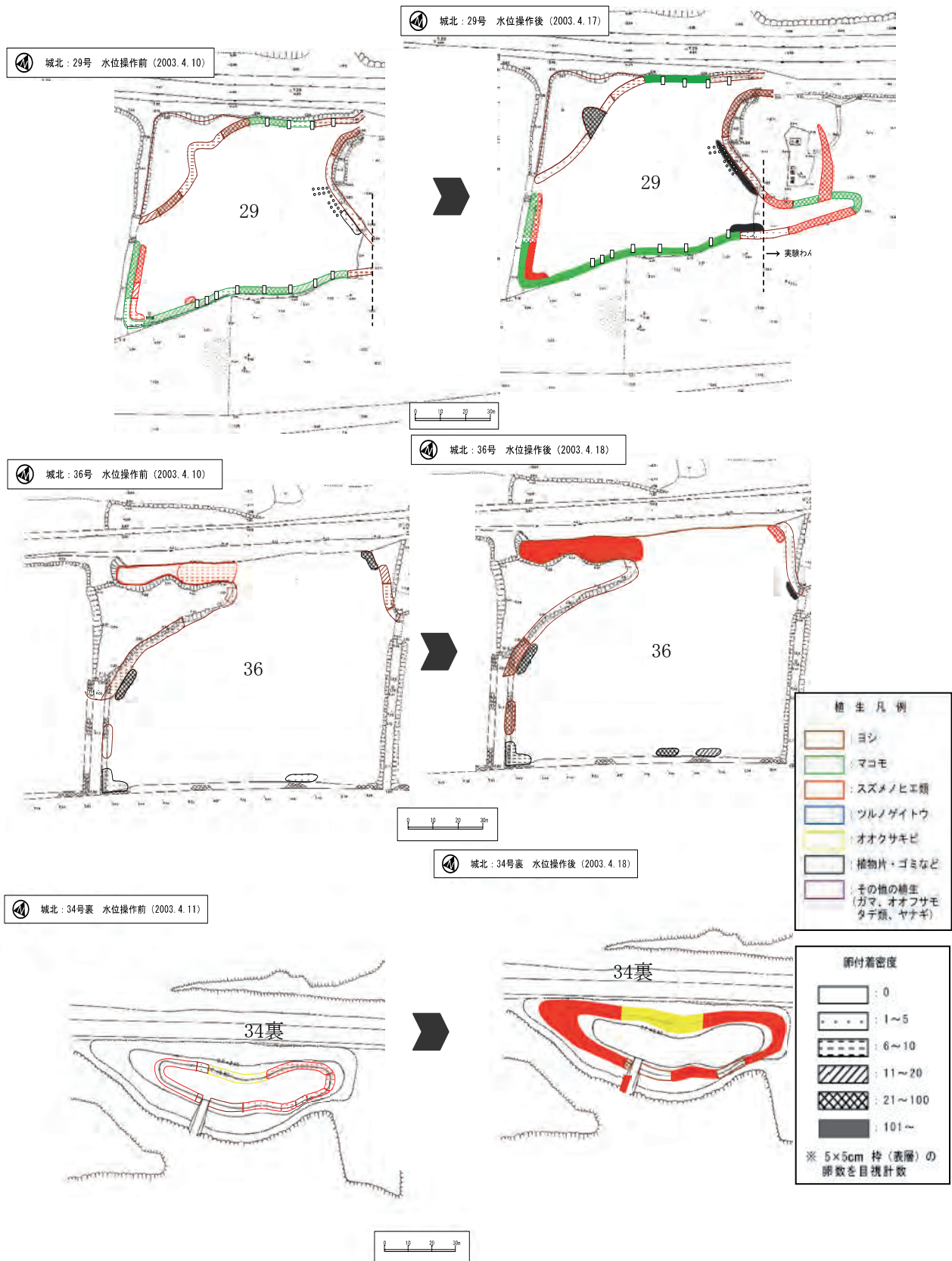


図2-3 水位操作前後のフナ類・コイの産卵範囲と密度の変化

1回目の調査（4月22日）は水位上昇（4月14日）から8日経過しており、産卵行動が目立った夜（4月16日）からは5日半程度経過したものであった。その調査の結果を表2・2に示す。

調査は各基質で延べ86枠について行った。現地では、実際、稚魚が約16,000尾と多く確認され、既に孵化が始まっていた。卵は死卵が全体の87%の約80,000個確認され、卵の状態で死亡していた個体が多いことが分かった。一方、生卵は13%の約12,000個確認され、ほぼ全て発眼状態（写真2・3）であり、孵化直前であることが確認された。死卵の占める割合が高いが、これは、フナは産卵する際、はたき込みの行動で水上にも卵をまき散らしていること（小川ら、2004）と、一定水位を維持しているとはいえ、10cm程度の水位の上下動は生じており、その際に干し上がったことによると考えられる。

また、水際の形状および基質でみると、新設ワンド

や実験ワンドは緩傾斜の水際になっており、スズメノヒエ、マコモ、オオクサキビで産卵を確認しており、とくに新設ワンドのスズメノヒエの水際では1枠当たり約2,000個と顕著な産卵がみられた。

既存ワンドにおいては、水際植生の沖側は深くなっており、自然植生の場合にはマコモ、スズメノヒエ、ヨシのうちマコモが比較的多く利用されていた。

また、人工産卵床は2箇所とも6,000～8,000個と非常に高密度な産卵が確認された。一方で、生卵に対して死卵の割合が多いことが気になるが、写真2・4のような確認された稚魚数も他と比較して1オーダーから2オーダー高いことから、フナ類にとって人工産卵床は城北ワンド群の中の貴重な産卵場所になっていたとも考えられ、フナ類がワンドに産卵場所を必要としていることが伺える。

表2・2 基質別のフナ類の産卵調査結果（1回目）

整理番号	植生	地形	ワンド番号	枠数	死卵数		4月22日 生卵数				稚魚数		水温(°C)
					全体	1枠平均	非発眼	発眼	合計	1枠平均	全体	1枠平均	
1-A	スズメノヒエ	緩傾斜	34号裏	11	21,744	1,977	0	10,188	10,188	926	2,697	245	19.2
1-B	スズメノヒエ	緩傾斜	実験ワンドII	24	166	7	0	9	9	0	0	0	21.8
1-C	スズメノヒエ	深場	36号	4	173	43	3	12	15	4	44	11	19.2
1-D	スズメノヒエ	深場	34号	4	43	11	6	5	11	3	24	6	19.0
2-A	マコモ	緩傾斜	実験ワンドI	15	695	46	0	353	353	24	316	21	21.5
2-B	マコモ	深場	29号	8	1,399	175	0	416	416	52	242	30	20.5
3	ヨシ	深場	29号	2	37	19	0	0	0	0	30	15	20.8
4	オオクサキビ	緩傾斜	34号裏	9	311	35	0	143	143	16	1,909	212	20.5
5	浮遊植物片	—	30号	1	67	67	0	7	7	7	27	27	21.5
6-A	浮島式人工産卵床	—	30号	4	31,666	7,917	0	560	560	140	7,021	1,755	20.5
6-B	浮島式人工産卵床	—	33号	4	23,473	5,868	0	0	0	0	4,156	1,039	19.5
合計				86	79,774	928	9	11,693	11,702	136	16,466	191	20.4 (平均)



写真2・3 フナ類の発眼卵



写真2・4 フナ類の孵化仔魚

2回目（4月24日）の調査によると、表2・3に示すように、2日前に各地点で多く確認された死卵および発眼卵はほとんど確認されなかった。また、36号の1-Cのスズメノヒエの箇所については非発眼卵が確認された。ここでは3回目の調査でも確認され、産卵場としてよく利用されているように思われる。

2回目の調査は、計画では水位低下の途中段階での調査の位置づけであったが、一定水位が維持された状態で卵の孵化が確認された。したがって、水位が上昇してから10日間程度、あるいは産卵行動がみられて8日間程度で孵化がほぼ終わると考えられる。しかし、気温や天候などによって産卵から孵化までにかかる時間は異なるので、淀川大堰の水位操作の基準を決める

ためには、さらなるデータの蓄積が必要であろう。

次に、水位の低下操作は4月25日に実施され、図2・4にみられるように、14時間で36cmの低下がみられた。低下後の3回目の調査は、低下終了から7日後の5月2日に行われたが、この際に36号以外にはほとんど産卵や死卵が認められなかった。

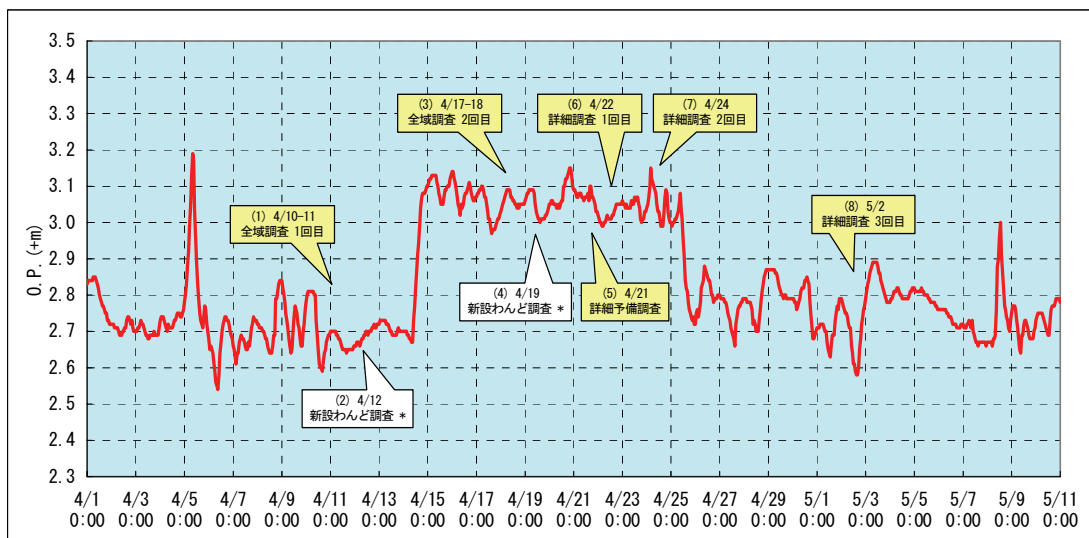
2.4 まとめ

城北ワンドにおける多くの場所で、水位上昇操作直後に集中して産卵が確認できたことから、水位の上昇が産卵のきっかけとして強く働いていることが推察できた。また、新設ワンドおよび36号ワンドのスズメノ

表2・3 基質別のフナ類の産卵調査結果（2,3回目）

整理番号	植生	地形	ワンド番号	枠数	4月24日				水温(°C)	5月2日				水温(°C)	
					死卵数	非発眼	発眼	合計		死卵数	非発眼	発眼	合計		
1-A	スズメノヒエ	緩傾斜	34号裏	11	0	0	3	3	19.5	0	0	0	0	301	21.0
1-B	スズメノヒエ	緩傾斜	実験ワンドII	24	0	0	1	1	19.8	0	0	0	0	0	32.2
1-C	スズメノヒエ	深場	36号	4	0	366	0	366	18.5	0	568	0	568	115	21.8
1-D	スズメノヒエ	深場	34号	4	0	0	0	0	19.0	11	1	0	1	128	21.5
2-A	マコモ	緩傾斜	実験ワンドI	15	0	0	71	71	19.4	0	0	0	0	27	28.2
2-B	マコモ	深場	29号	8	0	0	0	0	19.0	0	0	0	0	124	22.2
3	ヨシ	深場	29号	2	0	0	0	0	19.0	0	0	0	0	3	24.0
4	オオクサキビ	緩傾斜	34号裏	9	0	0	0	0	18.5	0	0	0	0	746	21.0
5	浮遊植物片	—	30号	1	0	0	0	0	19.0	0	0	0	0	—	24.0
6-A	浮島式人工産卵床	—	30号	4	0	0	0	0	19.6	0	0	0	0	160	26.0
6-B	浮島式人工産卵床	—	33号	4	0	0	0	0	19.5	0	0	0	0	970	24.0
合計				86	0	366	75	441	19.2	11	569	0	569	2,574	24.0

(平均)



注1) 水位の値は、本川毛馬観測所における時間水位データをO.P.換算した値である。
注2) * 印の新設わんど調査は、別途実施された淡水生物保全研究会の調査である。

図2・4 調査時における城北ワンド付近の水位変化と調査実施日

ヒエと人工産卵床で多くの産着卵がみられたことから、浅い水域がフナ類やコイにとって重要であることが推察できた。また、4月中下旬では、産卵から孵化まで8日程度は必要であることが分かった。

今後の課題としては、フナ類およびコイの産卵行動と位況（水位操作）についての時系列的なデータの蓄積と、卵の成長過程での減耗の要因や成魚の産卵前後の行動など詳細な実態の把握が必要である。また、その他の魚類や水生生物についての水位変動に対する行動実態や影響についての把握を行う必要がある。

3. 淀川中流部（流水域）の砂州における魚類の逃げ遅れの実態

3.1 楠葉地区の概要

淀川中流域にある楠葉地区の砂州は、淀川河口から32k-33kに位置しており、淀川が大阪府域に入ってから

は唯一の大規模な砂州帯になっている。写真3・1に斜め写真、図3・1に平面図を示す。また図3・2には32.8k地点の横断面図を示す。高水敷はゴルフ場になっており、本川側に一段下って中間水路、さらに一段下って砂州があるのが読み取れる。高水敷からの段差は5m程度あって、低水路の河床低下の影響を受けている。この楠葉地区は前章で述べた城北地区と異なり、淀川大堰の背水の影響が及ばない非湛水域（流水域）となっている。これまでに、楠葉砂州では春季増水後の水位低下の際に、一時的水域を産卵に利用した魚類が逃げ遅れる現象がみられる（以降、「逃げ遅れ」という）。また、淀川の流量は琵琶湖からの放流量の影響を大きく受けており、瀬田川洗堰からの放流量をうまく調節することによって、魚類の逃げ遅れが減少する可能性が考えられる。ここでは、過去の逃げ遅れの事例から、瀬田川洗堰の流量調節を低減期に緩やかに行って、魚類の生態行動（逃げ遅れ）について検討した。

楠葉砂州は、図3・1に示すように長さ1kmを超える大



写真3・1 楠葉地区の砂州の状況（大阪府枚方市）

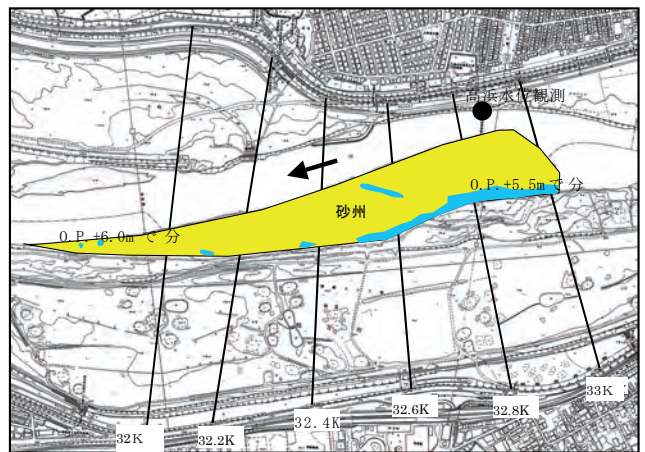


図3・1 楠葉地区の平面図

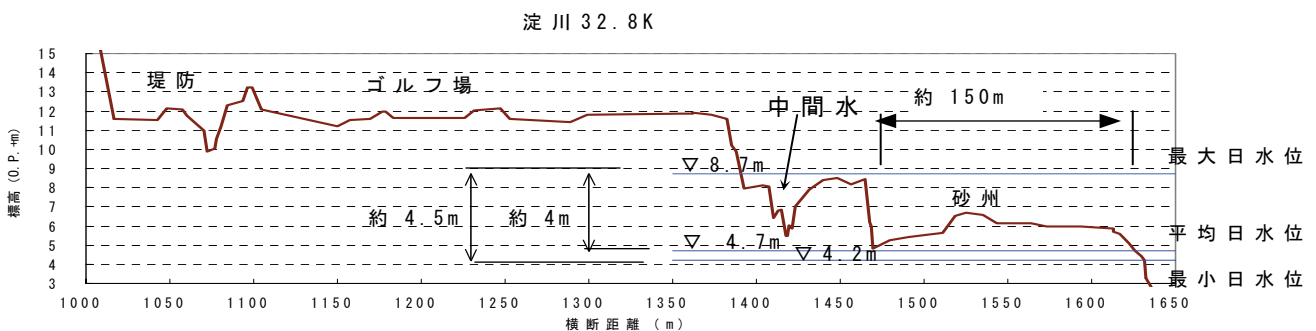


図3・2 楠葉地区32.8k地点の断面図

きな砂州で、普段は露出しているが、増水時は冠水する。出水後期の水位低下時に本川と砂州内の水域が分断され、砂州内に水域（たまり）が数カ所できる。その後、砂州内の水域は徐々に消滅する。

このことを33k地点にある高浜水位観測所の水位でみるとO.P.+6.0m付近で砂州の下流側が本流と分断され、O.P.+5.5m付近で砂州の上流側が分断される。

3.2 魚類の逃げ遅れと位況の関係

写真3・2は、2002年に楠葉地区砂州で魚類の逃げ遅れが確認された時のものである（綾ら，2004）。写真に示されている魚類で優占する種はコイ、フナ類である。これらの種は前章でも述べたが3月末～6月初め頃に産卵期を迎えるので、増水時に、水際の植生帯に産卵するために進入してきたものと思われる。コイやフナが浅瀬や用水路に進入して産卵することは通常みられる現象であるが、ここでみられるような産卵に入ってきた魚類が大量に斃死するような光景は、不自然な現象であると考えられた。図3・3に天ヶ瀬ダムからの放流量（瀬田川洗堰放流量とほぼ連動している）と下流の宇治川向島地点および淀川高浜地点の水位の経時変化

の一例（2002年7月）を示す。図中の7月16日、18日、22日などの宇治川及び淀川の水位の変化は、天ヶ瀬ダムからの放流量の変化に対応して上下していることが分かる。例えば、2002年7月18日には、約5時間で約600m³/sから160m³/sへ急激に低減しているのがわかる。このとき、向島地点では8時間で1.3m、高浜地点では6時間で1.2m程度の低下を示している。このように自然の水位変動に比べて増減速度が早く不連続にみえる水位変動が、魚類の逃避や産卵行動などに対して悪い影響を与えているのではないかと考えられる。



写真3・2 フナ、コイの逃げ遅れによる斃死
(2002. 4. 20 紀平肇氏提供)

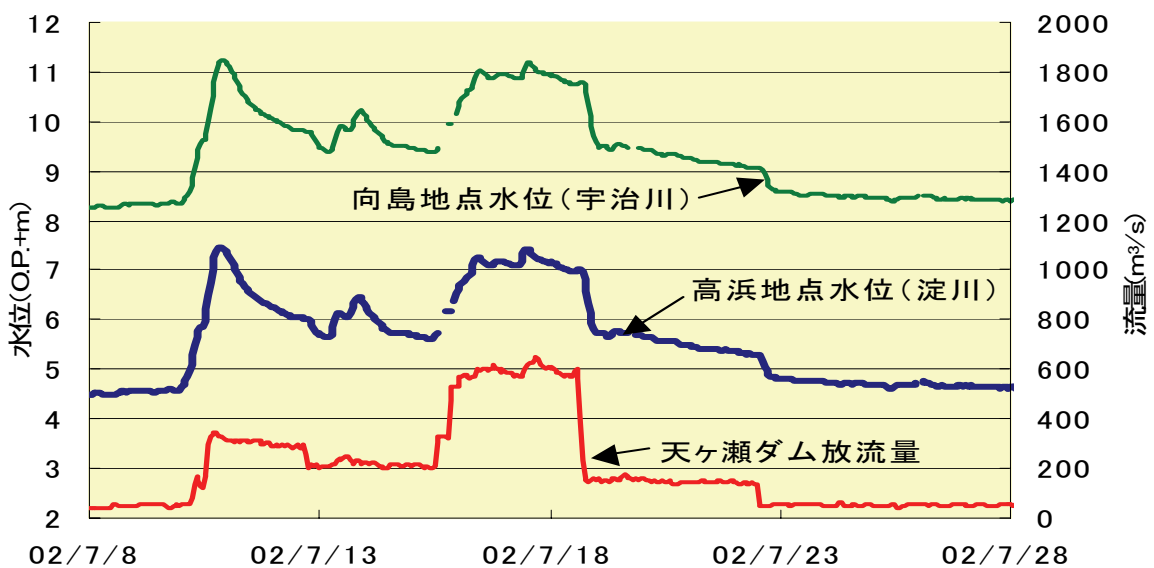


図3・3 ダム放流量と淀川水位の関係

3.3 放流量の試験操作と魚類の逃げ遅れ調査

2003年5月から6月にかけて、放流量の低減速度を緩和する試験操作と魚類の逃げ遅れ等の実態について現地観測を行った。瀬田川洗堰における放流量の低減操作は、 $-10\text{m}^3/\text{s}/5\text{分}$ の速度で通常は行われる。それに対して今回の試験的な操作では、下記に示す3回の流量低減パターンを設定して実施した。5月1日は通常の $1/4(-2.5\text{m}^3/\text{s}/5\text{分})$ 、5月16日は通常の $1/2(-5.0\text{m}^3/\text{s}/5\text{分})$ 、6月20日は通常の $3/4(-7.5\text{m}^3/\text{s}/5\text{分})$ の速度で実施した。操作内容と結果の概要を表3・1にとりまとめた。

図3・4に5月16日の試験操作時の瀬田川洗堰放流量、および高浜地点の水位の経時変化を示した。この操作は $250\text{m}^3/\text{s}$ の放流量を $130\text{m}^3/\text{s}$ に低減させるもので、通常1時間で操作するところを2時間かけて実施したも

のである。最終的には、その1時間後に約 $10\text{m}^3/\text{s}$ 低減させ、 $120\text{m}^3/\text{s}$ の放流量となった。当日の11時に開始された洗堰量の低下操作は、高浜地点の水位にはおよそ4時間後の15時頃から影響し始め、 $-8\text{cm}/\text{h} \sim -14\text{cm}/\text{h}$ の水位低下が4時間ほど続いて、その後は次第に低下速度が遅くなっている。また、この日は木津川、桂川などの流量も緩やかに低減中であり、水位は水位操作が終了した後も下がっている状態を示した。ここで楠葉地区の砂州の浸水状態との関係についてみると、瀬田川流量が $120\text{m}^3/\text{s}$ の条件で、高浜地点でほぼ安定した水位となった状態が、楠葉砂州の上流部で本流と分断寸前の状況に対応していた。しかし仮に木津川・桂川の流量が平常時の流量であったとすると楠葉砂州は本流から分断していたであろう。

一方、魚類の確認調査においては、下流部のたまり群で

表3・1 2003年度における瀬田川洗堰放流量緩和操作と楠葉砂州魚類逃げ遅れ調査

日付(変化時刻)	水位の変化：高浜水位	水位変化の割合	斃死，逃げ遅れの状況
5/1 (14:00~4:00) ※ 通常の1/4	O. P. +6.245m→5.475m 【変化の大きい時間帯】 O. P. +6.245m→5.645m : 0.60m (14:00~21:00 : 7時間)	1.4cm/10分	【確認は5/2】 砂州全域において フナ…4個体の斃死 フナ…1個体の逃遅 コイ…1個体の斃死
5/16 (14:00~20:00) ※ 通常の1/2	O. P. +6.105m→5.555m 【変化の大きい時間帯】 O. P. +6.035m→5.665m : 0.37m (15:00~18:00 : 3時間)	2.1cm/10分	下流のたまりにおいて フナ・コイ…10個体の逃遅
6/20 (13:00~19:00) ※ 通常の3/4	O. P. +5.945m→5.045m 【変化の大きい時間帯】 O. P. +5.825m→5.235m : 0.59m (14:00~17:00 : 3時間)	3.3cm/10分	なし

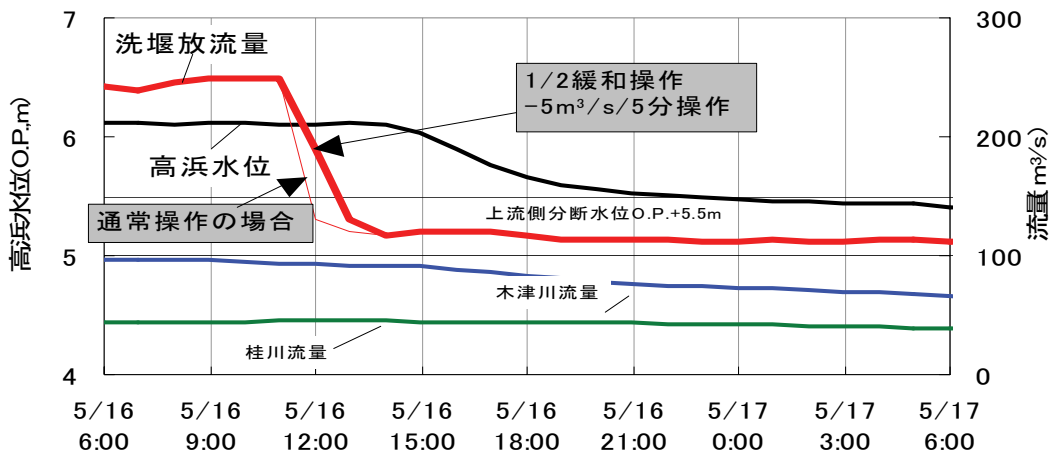


図3・4 放流量の緩和操作と淀川水位の関係 (2003年5月)

は、産卵中のフナ類、コイが20尾程度確認された。本流との接続部の水深が10cm程度あるときに8尾のフナ類、コイが本流へ逃げた（写真3・3）。しかし、水深が5cmほどになると10尾程であるが逃げ遅れた。上流部については、本流と繋がっていたために逃げ遅れは確認されなかった（写真3・4）。また、5月1日の操作時では砂州域全体で5尾の逃げ遅れが観察され、そのうち4尾は干陸した場所で斃死していた（写真3・5）。6月20日の試験操作の際は、特にフナ類、コイの逃げ遅れや斃死は確認されなかった。（表3・1参照）

つぎに、過去の大量の逃げ遅れに関して水文資料を基に検証を行った。2000年5月16日に確認された逃げ遅れ（写真3・6）に影響したと考えられる出水は、その2日前の5月13日21時に水位が上がり始め、翌日の14日午前6時には水位が下がりきっている（図3・5）。この時、瀬田川洗堰からの放流量は一定であったことから、洗堰に関係の無い自然出水による水位の増減であったことが伺える。

3.4 まとめ

2003年は、国土交通省淀川河川事務所および琵琶湖河川事務所の連携で初めて瀬田川洗堰の放流量低減速度の緩和操作が行われた。この結果、これまで大量の逃げ遅れが見られた楠葉砂州上流水路では、2003年は逃げ遅れは下流部たまりで10尾程度のオーダーであったぐらいで、ほとんど確認されなかった。操作実績や水文量との関連付けがこれまでに行われた事象に限って述べると、大量の逃げ遅れはピーク水位が短い時間で終わる自然出水時に起きている。今後、逃げ遅れの防止対策を検討する際には水位・流量だけでなく、魚の生活史や行動形態も考慮する必要があると考えられる。

また、1ヶ年で数回の観測データのみでは、年による変動や、産卵の実態も明確に押さえられていないため、引き続き瀬田川洗堰での緩和操作と楠葉砂州での状況を確認する必要がある。さらに、自然出水時や産卵時期と合わせた調査も行うことによって、現象をより正確に解明することが望まれる。



写真3・3 水位低下時における砂州下流付近の様子 (5/16 17:00)



写真3・4 水位低下時における砂州下流付近の様子 (5/16 18:00)



写真 3・5 砂州上の干陸した場所で斃死したギンブナ (2003. 5. 1)



写真3-6 魚類の逃げ遅れ状況
(2000年5月：紀平肇氏提供)

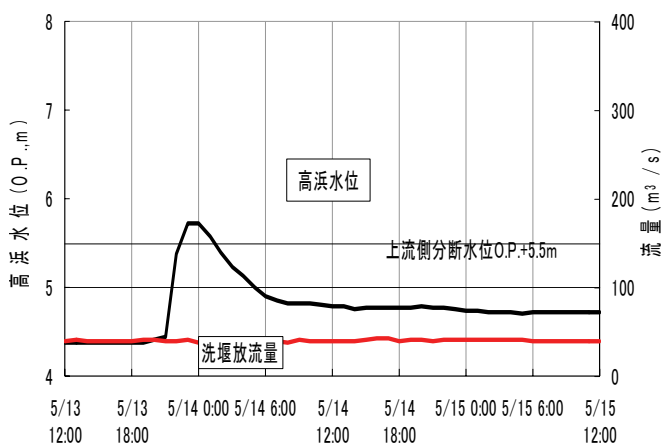


図3-5 魚類の逃げ遅れ時における高浜水位と瀬田川洗堰放流量の変化(2000年5月)

4. おわりに

本調査では、水位・流量の管理施設(ダム、河口堰、洗堰等)が上流および下流の生物生息環境に与える影響について、水位変動に伴い水際を利用して産卵行動を起こす魚類に主眼を置いた。

流量・水位の管理について、ダム・洗堰の生物生態に配慮した放流操作のあり方については、低減時の配慮(規模、時期)が必要になってくるであろう。湛水域の水位管理のあり方については、水位の安定管理からある程度自然変動を許容した管理(規模、時期)が必要とされる。今後は、他の水生生物や季節的な生態行動も考慮し、河川生態系全体をとらえた上で、治水、利水、親水機能にもバランスのとれた水位管理の提案をしていきたい。

謝辞

最後に本検討を進めるにあたり国土交通省淀川河川事務所河川環境課においては貴重なデータを提供して頂いた。調査方法の検討や現地観測において中間法人淡水生物保全研究所紀平肇理事、大阪工業大学綾史郎教授、大阪市立大桐中学校河合典彦教諭、大阪府立西野田工業高校小川力也教諭をはじめ多くの方にご指導ご協力を頂いた。また、本研究をまとめるにあたり村本嘉雄顧問には熱心なご指導ご助言を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 綾史郎・河合典彦・小川力也・紀平肇・中西史尚・竜門俊次(2004) 淀川における水位の変化と魚類の産卵行動. 河川技術に関する論文集, 第10巻.
- 2) 淀川環境委員会(2002) 自然豊かな淀川を目指して.
- 3) 小川裕・中西史尚・濱野達也・森田和博・諸留幸弘(2001) 生物の生息環境に配慮した川づくりの考え方について. 河川環境総合研究所報告第7号, 河川環境管理財団.
- 4) 小川力也・長田芳和(1999) 河川氾濫源のシンボルフィッシュ—イタセンパラ. 淡水生物の保全生態学(森誠一編著), pp9-18.
- 5) 河合典彦(2001) 景観に見る城北ワンド群の変貌—水位の安定化がもたらしたもの—. 魚類自然史研究会, 「ボテジャコ」 No. 5, pp11-19.
- 6) 紀平肇・長田芳和・鉄川精(1977) 魚貝類, 淀川河川敷生態調査報告書. 社団法人近畿建設協会
- 7) 建設省近畿地方建設局(1974) 淀川百年史.
- 8) 谷田一三・竹門康弘(1999) ダムが河川の底生動物へ与える影響, 応用生態工学2(2), pp153-164.
- 9) 辻本哲朗(1999) ダムが河川の物理的環境に与える影響. 応用生態工学2(2), pp103-112.
- 10) 豊島靖・中西史尚・河合典彦・綾史郎・森田和博(2000) 淀川における良好なわんど形成に関する実験的検討. 河川環境総合研究所報告第6号, 河川環境

管理財団.

- 11) 長田芳和 (1997) わんどの機能と保全・創造. 河川環境管理財団.
- 12) 紀平肇・長田芳和 (1974) 魚類および貝類. 淀川河川敷生態調査報告書, 社団法人近畿建設協会.
- 13) 中西史尚・綾史郎・河合典彦・森田和博(2001) ワンドの環境改善対策に関する実験的検討. 河川環境総合研究所報告第7号, 河川環境管理財団.
- 14) 中西史尚・紀平肇・森田和博(2001) 淀川わんどの

現状と環境改善対策について. 第9回世界湖沼会議

- 15) 山本敏哉・遊磨正秀(1999) 琵琶湖におけるコイ科仔魚の初期生態. 淡水生物の保全生態学 (森誠一編著), pp193-203.
- 16) Shirou Aya, Norihiko Kawai and Rikiya Ogawa (2003) Shirokita Wando, the Yodo River; Past, Present, and Future. Disaster Mitigation & Water Management.

IV 河川環境の整備・保全のための技術研究開発

6. 河川伝統工法導入の考え方

山口 甲* 山本 晃一** 金子 雅美*** 小本 智幸****

1. はじめに

平成9年に河川法の一部改正により河川管理目的の一つに「環境」が追加され、自然環境の保全・創出の観点から主にヨーロッパで発展してきた多自然型川づくりの考え方が導入されるようになった。こうした中、多自然型川づくりの一手法として河川伝統技術が注目されるようになり、平成12（1998）年には、河川審議会より「川における伝統技術の活用はいかにあるべきか」という諮問に対する答申がなされた。この答申では、生活・文化を含めた河川伝統技術は決して古い技術ではなく、常に将来的な需要を潜在させている技術であることから、積極的に技術の保全を推進し、長期的観点から将来に向けた活用を図っていくことが重要であると言う提言がなされている。

河川伝統工法はもともと自然の素材を工夫して、地域住民が工事しうる技術として発展してきた工法であることから、地域住民、NPO等の多様な主体が参画できる工法ということが出来る。さらに、我が国の温暖湿潤な気候の中で発展してきた工法であり、自然再生を推進するための一つの手法として優れた工法である。

しかし、近代工法に携わってきた技術者が伝統工法の機能を把握した上で、これを適切に導入することは容易なことではない。特に、河川伝統工法は「見試し」

の技術と呼ばれるように、強度の不足する自然の素材を工夫して加工し、組み合わせ、機能を発揮させるために、試行錯誤を重ねて経験的に発展してきたものである。従って、河川伝統工法を適切に導入するためには、個々の河川の特性を把握すると同時に、河川伝統工法の有する機能を適切に把握することが必要である。

河川伝統工法については、工法の種類や、組み立て方、施工方法について、まとめられた参考図書は多いが、河川の特性に応じた適切な工法の選定や導入に際しての基本的な考え方を示した図書がない。このことから、本報では、河川伝統工法を導入しようとする技術者が、個々の河川の特性に応じて、適切に河川伝統工法を選定し、これを導入するための手引きとなるよう、河川伝統工法導入の基本的な手順、検討事項等を中心にとりまとめた。河川伝統工法を導入するにあたっての基本的な流れについては図1・1に示す。

なお、本検討にあたっては学識者、河川管理に携わる行政から構成される「河川伝統工法ガイドライン検討会」が設立され、導入の考え方について論議が行われた。

* (財)河川環境管理財団 研究顧問
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長
*** (財)河川環境管理財団 北海道事務所長
**** (財)河川環境管理財団 北海道事務所

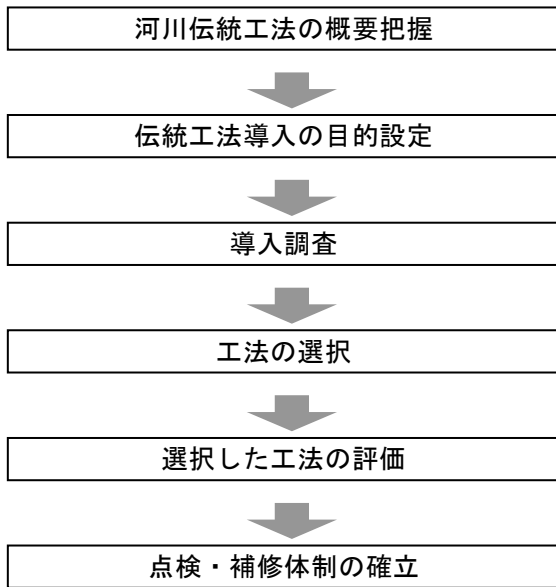


図1・1 伝統工法導入の流れ

2. 河川伝統工法の概要

河川伝統工法は各河川の特성에合わせて地域ごとに多様な発展を遂げた。これらの工法は、江戸時代に入り「地方算法書」^{1) 2)}、「地方竹馬集」^{3) 4)}、「百姓伝記」^{5) 等^{6) 7) 8)}にまとめられている。この時代の工法は、木、植物、土、石などの地場の素材を用い、川の自然の営力に逆らわないよう、経験的に工夫された工法といえる。また、導入された工法の維持管理も地域生活の中に組み込まれ、地域の風土や文化の形成と密接に関係した工法ともなっていた。}

こうした河川伝統工法の多くが姿を消していくのは、戦後の昭和30年代頃からである。この頃は、戦後の荒廃した国土に大型台風の襲来が相次いだことに加えて、経済復興の基礎として国土基盤の早急な整備が求められたこと等により治水施設の整備が急速に進められた。このときの治水整備は、コンクリート二次製品を大量に用いるとともに、機械施工によって大規模な改修が進められた。こうした戦後の治水整備は、水害に対する安全性や、経済復興の面で重要な役割を果たしたが、

一方で、画一的な河道整備となってしまう、景観や生物の生息・生育環境などの河川環境の劣化をまねくとともに、川と人との関わりも疎遠なものとしてしまった。

これからの河川管理は、河道の安定を図りつつ河川環境に配慮し、地域の景色や自然の川の姿を再生するとともに、川と人との関わりを復活し、地域の川に関わる風土・文化の保全・継承や危機管理意識の向上を図ることも重要である。河川伝統工法は、こうした景観や自然環境、伝統・文化の保全継承の点で、現在用いられている工法に比較して優れており、河川の持つ多面的な機能を保全・再生していく上で、有効な手段と言える。

河川伝統工法には、輪中堤、二線堤、霞堤、河道付け替えなどの大規模な工法も含まれるが、こうした大規模な工法の導入は河川整備基本方針や河川整備計画を作成する中で個々の河川において検討すべきであり、汎用的な導入の考え方を示すことは適当ではない。従って、本報で導入に関する基本的考え方を示す河川伝統工法は多くの河川で適用可能な「護岸」、「水制」とした。工法としては、眞田秀吉著「日本水制工論（昭和7年）」⁹⁾にとりまとめられているものいくつかの工法を加えて、本報の対象とする「河川伝統工法」を選定した。選定した「河川伝統工法」は、機能と構造に着目して表2・1のとおり分類した。

3. 河川伝統工法導入の目的設定

河川伝統工法は、『河岸の保護』を目的として発展してきたものであるが、加えて、『景観』、『自然環境』、『伝統・文化の保全・継承』にも大きな効果を発揮する。

河川伝統工法の導入にあたっては、こうした機能を踏まえて、導入目的を明確化することが重要であり、工法導入の効果を最大限に引き出すことが必要である。

表2-1 河川伝統工法の機能・構造分類

工法	機能分類	機能概要	構造分類	構造概要
護岸	法覆工	河岸の法面を流水による侵食や、流木等の直接衝撃から防御する	芝付工	法面に芝を植え付けて法面を防御する
			羽口工	堤防の法面（羽口）や「土出し」の水当りの部分を保護するために萱、粗朶（刈り取った樹の枝等）、玉石、土俵などで覆って法面を防御する
			法柵工	粗朶で柵を格子状に組み、格子の中に土砂や砂利を敷き詰めて法面を覆い、防御する工法
			籠工	籠を組み、籠の中に玉石、割石や砂利を詰めたもので法面を覆い防御する工法
			石積工・石張工	法勾配が1割～3割の範囲の堤腹あるいは河岸に適用する場合が多い。ただし、越水堤のようなものは全部石張りを行う。この工法は法面に石を積んで覆う場合と、石を張って（一般に法勾配が1：1より緩い場合を張ると呼ぶ）覆う場合がある
	法留工	洪水の洗掘を考慮して、法覆工を支持する	土台	法面の法先に土台を設けて法面を支持する
			柵工	法先に柵を設け、その裏側に土砂や石を詰めて法面を支持する
			柵工	柵工の杭が前方に傾倒することを防ぐために後方に控え杭を打ち込み、杭を木や鉄線などで連結して柵を組み補強する
	根固	根固工は、局所的な河床洗掘などの河床変動等を考慮し、法留工の安定を図る	捨石工・寄石工	護岸前面に大きな割石や玉石を投入（捨石）あるいは大玉石のみ河岸に引き寄せ（寄石）て、局所洗掘などの河床変動から法留工を防御する。施工は極めて簡単であるが効果は大きい
			沈床工	粗朶等に石材を詰めて水中に沈め、局所洗掘などの河床変動から法留工を防御する。沈床工は水制工の基礎としても使われる
水制	水制工	水制工は、水流に対して粗度要素となり、流速を減少させ河岸を侵食から防御する あるいは、水流に対して直接障害物となり、水流の方向を変化させることにより河岸を防御する	牛類	砂礫で構成される河床では杭打ちが困難であるため、木材で山稜形の柵を組み、転倒しないように蛇籠で押さえる透過性の水制である。牛は稲束を乾燥するための柵木（牛）が原形といわれ、河川の特성에応じて種々発達してきた
			柵類	柵類も牛類と同様に砂礫で構成される河床の杭打ちが困難なことに対応するために、木材で柵を組み、その中に玉石を詰めた不透過性の水制である
			出し類	河心方向に突き出す工法。小石、土、杭などの材料によって多くの工法がある

3.1 河岸の保護

河岸の保護にあたっては、堤防等の河川構造物の保全、河岸決壊による河道内土砂生産の抑制、河道荒廃の抑制などの視点が重要である。そのため、河岸の保護に護岸のみでなく、水制を用い、過度の蛇行の抑制や土砂堆積を進める河道安定対策等を行うことが有効である。伝統工法の主たる工種は水制が多く、河岸の保護を行う上で伝統工法を用いることは有用な手段であるといえる。

河岸保護を伝統工法の目的として設定する場合には、次の3つの事項について考慮する。

（1）河岸の重要性の視点

河川伝統工法は一般に形が複雑であり、材料もコンクリートに比較して強度・耐久性が低いものが用いられている。そのため、伝統工法を導入する際に、河岸の保護を目的とする場合には、河岸の重要度を勘案することが必要である。

河岸の重要度とは、河岸侵食防止工の設置を求めら

れる構造物の安定性を設定するために導入された概念である。河川が有する侵食の激しさ、水衝部、高水敷幅などを勘案して、定めることとしている(表5・2参照)。

(2) 変形許容の視点

伝統工法は材料や施工技術が現代とは異なる時代に発達してきた経緯から、保護の必要な場所で、変形を許容しつつも機能を発揮すればよいとする「変形許容」の思想で考案されている。従って、河川伝統工法導入にあたっては、導入箇所において施設の変形を許容するものであるかどうかについての考慮が必要となる。

(3) 河岸の一時的防御の視点

河川伝統工法は平常時において木材を水中に没しないよう使用する工法が多く、風化などの影響で機能を発揮し続ける期間が短い。そのため、河川伝統工法は、土砂堆積によるミオ筋変化までの期間やヤナギの成長による保護機能を発揮するまでの期間等、短期的に機能を発揮すればよい場合において、効果的な工法であるといえる。こうした「河岸の一時的防御」の視点を含め、機能を保持すべき期間についての考慮が必要となる。

3.2 景観

景観を導入の目的とする場合には、地域で培われた風土や自然、現在の河川景観の評価を踏まえて、次の3つの事項について考慮する。

(1) 地域の歴史・文化特性の尊重

河川伝統工法は、地域の歴史・文化を反映する工法として有効であり、設置場所周辺に歴史・文化的建築物や街並みが存在する場合には、地域景観の調和において効果を発揮する。

また、舟運などの歴史文化が失われてしまった場合においても、地域の歴史や文化を思い起こさせる素材として高い機能を発揮する。

(2) 水辺の景観との調和

自然素材を主体として構成される河川伝統工法は、周辺に田園・里山風景の広がる地域において景観的な調和を図りやすい。

コンクリート護岸の整備等によって失われてしまった、かつての河川景観復活においても効果的な工法である。

(3) 「めりはり」および河川景観の改善

河川伝統工法は変化に富んだ形状を持つものが多い。このため、コンクリート護岸の整備等によって単純化された景観にめりはりをもたせ、河川景観を良くする場合においても効果が高い。

3.3 自然環境

自然環境への配慮を目的とする場合には以下の2つの事項等を河道の特性およびそこに生息する生物に合わせ適宜考慮する。

(1) 多様性のある水際の連続性確保

コンクリート護岸の整備は、水際部における連続した多様な環境をコンクリートで分断し、またコンクリートで覆われた場所での生物の生息・生育環境を奪ってしまう。一方、伝統工法は自然の素材を用い、多孔質な形状を有していることから、コンクリートを材料とした工法に比較して生物の生息・生育環境の保全・再生が必要な場合に効果が高い。

(2) 保全対象生物の生息環境の保全

様々な形状を持つ河川伝統工法は、特定の保全対象生物に対して必要な環境を保全、再生する場合においても効果が高い。

3.4 伝統・文化の保全・継承

伝統・文化の保全・継承を目的とする場合には、川と

地域の歴史や、川と人との関わりの中で育まれてきた文化等を踏まえて、次の5つの事項について考慮する。

(1) 地域の歴史・文化の学習・伝承

川は地形的条件や水の恩恵、洪水による脅威等、地域の社会形成に大きな役割を果たしてきた。そうした中で川に関わる伝統技術や文化が育まれてきており、伝統工法はこうした地域の歴史・文化を理解するうえで歴史的価値をもつ重要なものとなっている。そのため、伝統工法は地域の歴史・文化を学習し、後世に伝えていくために効果が高い。

(2) 伝統技術の継承

河川伝統工法の技術の多くは廃れてしまい、今では貴重な技術となりつつある。こうした技術を伝え、復活する場合に有効である。

(3) 地域の個性の明確化

武田信玄にゆかりのある大井川、安倍川の聖牛のように、地域固有の技術であり、全国的に有名な伝統工法もいくつかある。このように、河川や地域の名前をアピールする上で河川伝統工法が役立つ場合があり、地域の個性の明確化を行う上で効果が高い。

(4) 間伐材など地場の素材の有効活用

これからの社会は自然環境への負荷が少なく、持続可能な資源循環型社会に移行していくことが求められている。河川伝統工法は遠方から素材を調達することなく、地場の素材を有効に活用する工法として発展したものであり、粗朶、間伐材や石などの地場の素材を有効に活用するものである。そのため、伝統工法の導入により、資源循環型社会の形成を目指し、間伐材など地場の素材の有効活用を行うことが可能となる。

(5) 川と人との関わりの再構築

河川伝統工法は、沿川住民の参加を前提として発展してきた工法であり、川と人との関わりが重要な工法

である。人と川との関わりが希薄であり、関わりの復活が社会的ニーズである現代において、河川伝統工法の導入は、川と人との関わりの再構築に有効である。

4. 伝統工法導入に際しての調査

伝統工法導入に際して必要な調査項目は「河道特性調査」、「歴史・文化調査」、「河川環境調査」、「関連諸計画の整理」の4項目であるが、伝統工法導入の目的によっては、必ずしも全ての項目の調査を必要としない。導入目的に応じて調査項目を選択していくことが必要である。

なお、これらの調査項目のうち、「河道特性調査」、「河川環境調査」は河川ごとに実施されている通常の河川整備計画検討、河道計画検討、河川環境管理計画検討、河川水辺の国勢調査、縦横断測量、水位・流量観測等の検討や調査によって得られる情報であり、特に新たな調査を必要としない。河川伝統工法導入時に必要な情報を抽出することで対応が可能である。

一方、「歴史・文化調査」、「関連諸計画の整理」については、導入目的として伝統・文化の保全継承に関する事項を設定した場合において、追加の調査が必要になる場合が多い。特に、「関連諸計画」については、既定の計画の情報収集に加えて、地元の住民やNPO等の団体が積極的に伝統工法に関われるのか等、形のないレベルのものについて把握することが重要である。

(1) 河道特性調査

設置する場の特性に合わせて河川伝統工法を適切に選択し、導入するためには以下の事項についての情報の収集・整理が必要である。

本報では、河道の特性を把握するための情報を「河道特性情報」、安定性を確認するための情報を「安定性確認情報」とよんで区別する。

① 河道特性情報

河川伝統工法は河床材料や流れの強さに応じて工法の種別や適用場所が異なる。例えば、泥河川・砂河川・砂利河川などの河床材料、流れが頻繁に変わる川・安定した川・流れの急な川・緩やかな川・水あたりなどの洪水時の河道の変化や流れの強さ等をもとに導入工法の選定や導入箇所を決定する必要がある。そのため、伝統工法の導入を考える地点の、こうした河道特性を把握するための情報を収集整理することが必要である。

② 安定性確認情報

河岸が重要な箇所に河川伝統工法を導入する際には、河道特性情報に加えて、河川伝統工法が洪水によって壊れたり、流失しないことを確認するための情報を収集・整理することが必要である。

(2) 歴史・文化調査

河川伝統工法導入に際しては、地域の歴史の中で培われてきた伝統工法や地域文化を把握しておくことが望ましい。

歴史・文化に関する調査項目は地域住民への啓発や、川づくりや河川管理への地域住民参加を得ること等を考慮し、以下のとおりとする。なお、地域によって調査すべき項目が変わるものと考えられ、ここであげた項目は標準的なものである。

① 過去に導入された伝統工法についての調査

導入を計画する河川や周辺地域での伝統工法の導入実績について調査する。調査は現存するものに加えて、消失したものについても調査する。

② 地域の観光・行事・祭事等

地域の文化を把握するための基礎資料として観光・行事・祭事などについての資料収集整理を行う。

(3) 河川環境調査

景観、川の生物、重要な生物などの河川環境に関わ

る情報を収集・整理し、伝統工法選定の基礎情報とする。

① 景観に関する調査

景観に関する調査としては、求める景観が何であるかに応じて調査すべき項目が異なる。一般的に考えられる項目を、以下に示す。

- ・河川景観を示す景観マップの作成・整理
- ・地域住民の意識や関心度などの調査
- ・地域の個性に関する調査
- ・地域発展と河川との関わりの歴史的経緯、歴史・文化的故事、イベント等の調査

② 生物の生息・生育環境に関する調査

河川伝統工法は、地場の自然の素材を用いた自然にやさしい工法であるが、導入に際して河川の環境が一時的に改変されることとなることから、設置場所周辺の生物の生息・生育環境が悪化しないよう配慮が必要である。

必要な調査については、「河川水辺の国勢調査」等の既存の情報を活用する。

これらの情報を活用しながら、必要に応じて生物の調査を実施する。

(4) 関連諸計画の整理

伝統工法導入にあたっては、関連諸計画の整理も必要となる。

関連する計画は、自然再生事業実施計画や、河道改修などの上位計画、河川周辺の都市計画や公園整備計画などであり、これら関連計画の目的、趣旨との整合性を図ることが重要である。

また、周辺の住民の要望やNPOなどの河川管理に関わる熱心な取り組み活動がある場合には、活動支援の手段の一つとして河川伝統工法を活用することが可能である。そうした草の根活動については積極的に情報を収集することが重要である。

① 河川事業に関わる計画

趣旨や目的との整合性を確認する。

- ・河川整備基本方針，河川整備計画
 - ・河川環境管理計画，自然再生事業実施計画
 - ・その他河川の利活用に関わる計画
- など

② 関連他事業に関わる計画

周辺の景観や利活用の計画との整合性を確認する。

- ・都市計画及び関連計画（特に，美観地区，伝統的建造物群保存地区，歴史的風土特別保存地区など）
 - ・周辺の公園整備計画
 - ・鉄道・道路などの整備計画
- など

③ 沿川住民などの取り組み

川と住民との関わりの草の根活動の発掘を行う。

- ・対象河川に対する周辺住民の要望
 - ・沿川住民やNPOなどの河川管理に関わる取り組み
- など

5. 工法の選択

5.1 必要な機能に合わせた工法の抽出

導入する工法を選定していくにあたっては，導入目的ごとに，必要な機能の設定を行うことが必要である。機能はそれぞれの目的に応じて以下のように整理される。

(1) 河岸の保護を目的とする工法抽出

たとえ伝統工法であっても，通常の護岸・水制と同じように流水に対する河岸の保護の機能を有する必要がある。ただし，変形許容の視点を勘案するとともに，河岸の一時的保護を目的とする場合には，必ずしもHWLの水位を外力条件として与えなくても良い。洪水の発生確率や河岸の重要性，経済性のバランスを考慮して必要な条件を設定し，工法の抽出を行う。河岸保護に対する機能については表5.1に示す。

表 5-1 河岸保護に対する機能

分類	概要	必要な機能	
河岸保護機能の確保	流水による外力に対して，伝統工法の河岸保護機能が損なわれないこととする。	河岸の重要性および河岸の保護期間に配慮して必要な機能を設定する。	
河岸の重要性への配慮	河岸の重要度が高いA，B区間に配置する場合は，力学的安全性の照査を行い安全性の確保ができる工法のみを選定し確実に河岸の保護を行うものとする。 ただし，河岸の重要度がランクC，Dと低い場合は，既存の適用事例程度から工法を選定を行うことができる。	河岸の重要な場所へ導入する場合力学的設計により外力に対する安全性を確保する。 河岸の一時的保護，あるいは重要性のランクが低い場所への導入については適宜必要な機能を設定できる。	
河岸の一時的防御	ミオ筋が変化するため，長期間の河岸保護を期待しない場合，ヤナギなどの生木が十分に生長するまでの一時的保護，あるいは，維持管理によって，強度を維持する体制が確立できる場合においては，短い耐久性の工法を選択することができるものとする。	一時的な保護を期待する場合	ミオ筋が変化する場合やヤナギなどの植物が十分に成長するまでの間機能を期待する場合は耐久性が低い(材料bランク)の適用を行うことができる。
		強度を長期にわたって確保する場合	強度を長期にわたって確保する場合は，原則，材料aランクのもので，耐久性が高いものを用いるものとする。 ただし，維持管理により強度を維持する体制が確保できる場合は材料ランクbの適用を行うことができる。

※ 河岸の重要度ランクは表5.2 参照

※ 材料ランクは表5.5 参照

(2) 景観を目的とする工法抽出

景観については、どういった景観を目的とするのかによって抽出すべき工法が異なる。

目的として、地域の歴史・文化特性の尊重の場合は、歴史的にみて導入実績のある工法が抽出条件となる。周辺の景観との調和を目的とする場合は、材質や、色、形について周辺の景観との違和感がなく、目立たない工法であることが抽出条件となる。「めりはり」や河川景観の改善を目的とする場合は、川の中での他の場所の工法と異なるあるいは、川の中であって違和感がない程度に工法が目立つ、といったことも抽出条件となる。

(3) 自然環境への配慮を目的とする工法抽出

生物の生息環境として良好な環境を形成するための伝統工法の機能については一般化された知見が得られておらず、川ごとの生物の生息・育成環境を調べ、それに近い環境を創出することのできる伝統工法を抽出することとなる。

(4) 伝統・文化の保全継承を目的とする工法抽出

地域の歴史・文化の学習・伝承を目的とする場合は川と地域社会の関わりを学ぶための有効な工法である

ことが抽出条件であり、伝統技術の継承を目的とする場合は、技術を保存するために、適当な工法であることが抽出条件となる。地域の個性を明確にする場合は、全国の河川と比較してユニークな工法であることが抽出条件となる。さらに、間伐材など地場の素材の有効活用を目的とする場合は、地場の産業との関わりのあることが抽出条件であり、川と人との係わりの再構築が目的の場合は、河川管理に関わりやすいことが抽出条件として設定される。

5.2 配置場の条件に合わせた工法の抽出

工法の抽出にあたっては配置場の条件として河岸の重要性について判断し、その条件に合わせた適切な工法を抽出することが必要となる。

重要性の高い箇所への導入にあたっては、力学的な安定性の確保や耐久性についての判断が可能な工法のみを選定していくことが必要であり、重要性が低い場合には、適応実績から抽出していくことが可能である。

伝統工法選定における河岸の重要性と河川伝統工法の選定方針は表5・2のとおりである。また、セグメントと選定可能な工法の標準的な関係を表5・3～表5・4に示す。

表5・2 伝統工法選定における河岸の重要性の考え方と選定方針

河岸侵食分類	内容	伝統工法の選定方針
ランクA 強固な防護が必要	・ 堤防防護に必要な高水敷幅がなく、洪水時に河岸侵食が発生しやすい区間であり、洪水時の堤防表法面や高水敷の侵食の可能性、破堤氾濫時の想定被害形態から見て、堤防と一体に低水路河岸を防護する重要性が非常に高い区間	力学的な安全性が確認できる伝統工法のみを選定し、また、耐久性を確認し、必要な維持管理体制をとることができるもののみ選定
ランクB 防護の必要	・ 堤防防護に必要な高水敷幅がなく、洪水時に河岸侵食が発生しやすい区間、または河岸侵食は発生しにくい堤防表法面や、高水敷の侵食の可能性等から堤防防護の重要性が高い区間	なお、力学的な強度を必要としない補助的な機能を期待する（洪水時に破壊しても良いと考える）場合は伝統工法の選定は可能
ランクC 防護の必要性があるが低強度ものでも対応可能	・ 防護に必要な高水敷幅はあるが、高水敷の利用等のために洪水時の河岸侵食から高水敷を防護する必要がある場合や堤防防護に必要な高水敷幅はないが、河岸侵食が発生する可能性が低い区間	既往の事例などより適応実績のある工法。
ランクD 防護をほとんど必要としない	・ 堤防防護に必要な高水敷幅が十分あり、洪水時の河岸侵食から高水敷を防護する必要がない場合	

資料 (財)国土開発技術研究センター編：「河道計画検討の手引き」平成14年、山海堂、を基に作成

表5-3 伝統工法の適用範囲（その1）

機能	構造	工法分類	セグメントに対する適用範囲					概要	主な適用条件	
			M	1	2-1	2-2	3		法勾配	適用流速
法覆工	芝付工	芝付工				○	○	<ul style="list-style-type: none"> 芝を張る 平水位以下の侵食防止に寄せ石・杭打ちなどが必要 	1:2より緩やか	2m/s以下
	羽口工	萱羽口				○	○	<ul style="list-style-type: none"> 萱・粗朶を交互に積上げるため、高さは1m程度 	法面の安定のために3分(1:0.3)で積む	緩流河川の水当り部に適用
		粗朶羽口				○	○			
		石羽口	○	○	○			<ul style="list-style-type: none"> 石と芝を交互に積む 	1:1より急	
		石羽取	○	○	○			<ul style="list-style-type: none"> 玉石を積む 		
		土俵羽口	○	○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 土俵を積上げる 		
	法柵工	柳枝工			○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 生きた柳等を使って柵を組み土砂や砂利を積める 柳の発芽の関係上低水位以上0.3m~2m程度の高さの止める 	1:2より緩い	芝付工と同程度と推定される。
		栗石粗朶工			○	○	○			
		投掛工			○	○	○			
	籠工	蛇籠	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 籠を敷いて法面を保護する 	1:1.5より緩い ただし急な場合は積むこともある	5m/s以下 籠マット相当と考える
		包柴工			○	○	○			
		柳蛇籠			○	○	○			
粗朶籠				○	○	○				
石積工・石張工	石積工	○	○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 自然石を積む 	勾配が1:1~1:1.5 勾配が1:1より緩い	5m/s以下	
	石張工	○	○	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 自然石(割石)を張る 			
	玉石張工		○	○			<ul style="list-style-type: none"> 自然石(玉石)を張る 			
法留工	土台	梯子土台	○	○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 法面の法先に土台を設けて法面を支持する 石積の基礎として用いられる 木材1本で支持する、一本土台もあるが、適用例は不明 	地盤が強固	急流河川
	柵工	竹柵工			○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 杭を打ち込み、柵を搔き、その裏に柳交じり粗朶を立粗朶として土砂を満したしたもの 板、丸太、帯梢等使用する応用によって種類が異なる 	杭を打つことのできる砂・砂利河川 竹柵工・粗朶柵工は中小河川に適している。	緩流部の水深1m前後の箇所を用いる。
		粗朶柵工			○	○	○			
		連柴柵			○	○	○			
		板柵工			○	○	○			
		丸太柵			○	○	○			
		帯梢柵			○	○	○			
	柵工	杭打片柵工			○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 柵工の杭が前方に傾倒するのを防ぐために後方に控え杭を打ち込み、杭を木や鉄線などで連結して柵を組み補強する 片柵工、石柵は杭が打てない場合 	杭を打つことのできる砂・砂利河川	相当な流速まで適用可
		片柵工		○	○	○	○			
		石柵		○	○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 杭が打てない礫河川 	急流河川
根固	捨石工・寄石工	捨石工	○	○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 護岸前面に大きな割石や玉石を投入(捨石) 	広範囲に適用可	
		寄石工	○	○				<ul style="list-style-type: none"> 大玉石のみ両岸に引き寄せる(寄石)、川幅が広く頻繁に流路が変わる河川で有効 	大きな石のある急流に適する	
	沈床工	粗朶沈床工			○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 粗朶等に石材を詰めて水中に沈め、局所洗掘などの河床変動から法留工を防御する 沈床工は水制工の基礎としても使われる 転石2個を1組として丸鋼を通したものを縦横に並べ、転石の間に大玉石を填充する 激流河川では不良のため、施工例は少ない 粗朶沈床に上覆工を施したものの 	砂・砂利河川	緩流河川
		粗朶単床			○	○	○		砂・砂利河川	緩流河川
		木工沈床	○	○	○	○			砂・砂利河川	緩流河川
		沈床		○	○	○			砂・砂利河川	緩流河川
		連石床		○	○	○	○		不明	不明
ケレップ水制			○	○	○	砂・砂利河川	緩流河川			

表5・4 伝統工法の適用範囲（その2）

機能	構造	工法分類	セグメントに対する適用範囲					概要	主な適用条件	
			M	1	2-1	2-2	3		法勾配	適用流速
水制工	牛類	牛杵, 笈牛, 猪子, 瀬名牛		○	○	○		<ul style="list-style-type: none"> 杭打ちが困難な河川で, 木で杵を組んで水制として利用 最終的な発展形として, 川倉, 聖牛がある この中で聖牛が最も強い構造を有する 越中三又は猪子の富山県での発展形 	・砂・礫河川	・急流河川
		出雲結		○	○	○			・砂河川	・急流河川
		川倉		○	○	○			・砂・礫河川	・急流河川
		聖牛		○	○	○			・砂・礫河川	・急流河川
		越中三又		○	○	○			・砂・礫河川	・急流河川
	杵類	よう杵, 立杵, 地獄杵			○	○		<ul style="list-style-type: none"> 杵類も牛類と同様に砂礫で構成される河床の杭打ちが困難なことに対応するために, 木材で杵を組み, その中に玉石を詰めた不透過性の水制である 近年ではあまり導入事例がない 導入可能な工法として, 合掌杵があげられる また, 左五右衛門杵は宮城県独特の工法であり, 伝統技術保全としての導入が考えられる 	・砂・礫河川	・急流河川 ・安定性が悪く施工事例は少ない
		継杵, 楯杵, 法杵			○	○			・砂・礫河川	・急流河川 ・沈め杵の発展形
		鱗杵			○				・砂・礫河川	・急流河川
		鳥居杵, 弁慶杵, 胴木牛, 三角杵, 合掌杵			○	○			・砂・礫河川	・急流河川 ・三角杵の応用形
	左五右衛門杵, 石詰左五右衛門杵			○	○		・砂・礫河川	・緩流河川, ただし石詰めは急流河川		
	出し類	小石出し			○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 杭木を打ち, その周辺に柵を立て, 内部に砂利を填充するもの 主に九州の河川において施工された 土砂で築くもので, 本体のみを土砂で築き, その先端は全面に葦, 石, 籠などで覆工をする場合が多い 全部割石を使用して築立するか, 盛土の表面に空積または練積の割石張, 玉石張を行うもの 杭を打つ水制で, 極めて簡単な工法 籠を用いて造る水制 杭出しの応用 	・砂利河川	・急流河川
		土出し				○	○		・施工例がほとんどない	・施工例がほとんどない
		石出し		○	○	○			・砂利河川	・急流河川
		杭出し			○	○	○		・砂・礫河川 ・砂利河川	・杭打が可能河川
		籠出し		○	○	○			・砂・礫河川 ・砂利河川	・広範囲
		屏風出し				○	○		・砂・礫河川砂利河川	・杭打が可能河川
		藪出し				○	○			
		流し出し				○	○			
		梁掛杭出し				○	○			
障泥出し					○	○				
立竹出し					○					

5.3 構成材料の耐久性による抽出

伝統工法を材料の観点から表5・5に示す3つに分類する。

維持管理の視点についても考慮し、補修により機能の維持を図ることができる場合においては、耐久性の低い素材の適用も可能となる点に留意しながら、適用可能な工法を抽出する。

5.4 工法の選択

必要な機能、配置場の条件、耐久性の3つの視点を基に抽出される工法から導入すべきものの選択を行う。

工法の選定にあたっては、まず、選択される工法の寿命（耐久性）から分類し、次に、適用可能な河道特性（配置場の条件）に基づいて設定可能工法を選択する。さらに、工法ごとに維持修繕の必要性や、その方法が異なるので、設置後の維持補修の可能性を判断した上で、景観や歴史・文化などの目的（必要な機能）に合致する工法を選定する。

表5・5 河川伝統工法の構成材料による分類

分類	内容		導入に際しての配慮事項
a 半永久材	<ul style="list-style-type: none"> 素材は石か水中の木材 	<ul style="list-style-type: none"> 半永久的に機能を期待できる材料で、石材もしくは、水中に没する木材が該当する 	<ul style="list-style-type: none"> 通常の護岸、水制と同じ考え方で導入する 設置場の重要性に応じて河道特性に適した工法を選定する 河川伝統工法として特別視せず、通常の護岸・水制の考え方にに基づき導入可能
b 木質系の材料で水中に没しない	<ul style="list-style-type: none"> 腐るもので、耐久性が低いもの 	<ul style="list-style-type: none"> 木材はカビ、腐れ、シロアリ、キクイムシ、日射、雨梅雨による風化等によって劣化する 水中に完全に沈むものであれば、長期間の耐久性を期待できるが、空气中に存在するものは短期間の耐久性しか期待できない なお、木材の耐久性はマツ、スギで概ね5年程度である 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的河床が安定している河川で完全に水中に没する根固工として導入する場合は、長い耐用年数を設定できる 河床の変動が著しく、滲筋が数年程度で変化する場合は、河川の変化に対応する期間のみの耐用年数を期待する また、河岸をヤナギなどの植生で保護する、ヨシの育成する期間のみ保護する、あるいは土砂が堆積するまでの間保護する場合は、その育成に必要な期間のみの耐用年数を期待する 未防腐処理で地表近くに設置する場合は3～8年程度、防腐処理を行うものは10～20年程度の耐用年数
c 生きた植物材料	<ul style="list-style-type: none"> 適切な維持管理により耐久性を高くできるもの 	<ul style="list-style-type: none"> 芝、ヤナギの根やヨシの根による河岸侵食防止効果を期待するもので、適切な維持管理ができれば、ほぼ永久的に保護機能を期待できる 	<ul style="list-style-type: none"> 特に、ドイツでは樹種毎に、根毛による河岸の保護機能が示されており、できるかぎり植生による河岸保護を行うこととされている。 自然再生の推進を図る我が国においても植生による保護を積極的に導入することが望ましい。 植生を用いる伝統工法は、芝付け、柳枝工、柳蛇籠の3工法であるが、聖牛等の耐用年数の低い水制の設置箇所にはヤナギを植える等の工夫は伝統的に実施されており、木材が腐食したあとも河岸保護となる工夫をする応用的な工法も伝統工法に該当する 生きているものを活用する際は、特に、植生が十分に成長する間は、しっかりとした保護が必要であり、植生が成長したあとも、植生の管理を頻繁に実施することが必要であり、そのため、生きているものを材料とする場合は予め、維持管理の内容について検討しておくことが必要である

6. 選択した工法の評価

6.1 力学的安定性照査

伝統工法は、材料に木材や、生きている木が使われることが多いとともに、形が複雑であり、力学的な安定性を評価するためには水理実験が必要な工法が多い。なお、全ての場合において力学的な安定性を評価することは合理的ではない。例えば、河岸の重要性が低い場所であれば、導入実績に基づく適用可能工法を導入しても良いと考え、河岸の重要な場所に導入する場合は力学的安定性を確認するといった河岸の重要性に応じて安定性照査実施の必要性を判断する。(図6・1参照)

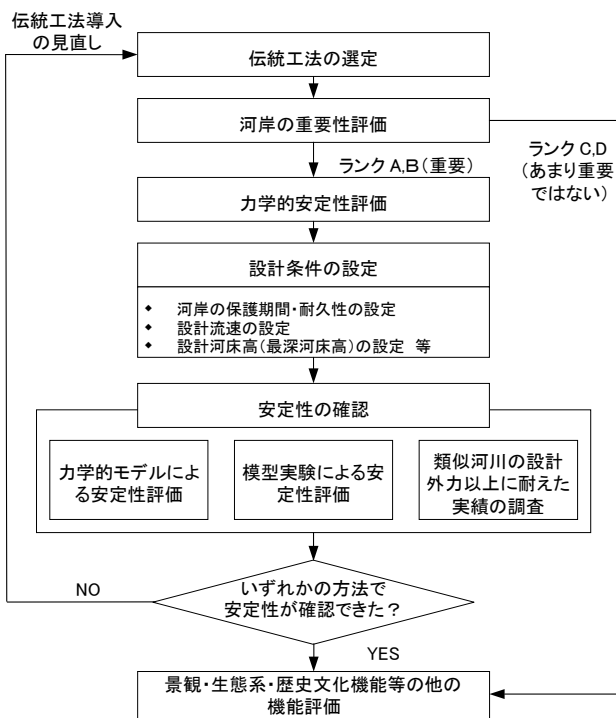


図6・1 力学的安定性照査の流れ

力学的な安定性照査の方法は、力学的モデルによる評価を基本とするが、模型実験もしくは、河道特性が似通った河川での洪水に耐えた実績のある工法の存在をもって安定性を評価しても良い。安定性が確保されないと判断される場合は、再度、伝統工法の機能を見

直し、適用可能な伝統工法の抽出に関する検討を行うこととする。設計外力の評価は、文献(11) (15) (16)などによる。

6.2 景観、生態系、伝統・文化に関する評価

(1) 景観

景観の視点から導入目的に合わせ、以下の項目について評価する。

- ① 周辺の河川景観・地域の景観との調和
- ② 地域および河川の個性の尊重
- ③ 単調な景観に対する「めりはり」
- ④ 季節や経年変化

(2) 生物生息・生育環境の評価

導入位置の生態系との調和等について、以下のような項目について評価する。

- ① 河川の自然環境改善に関わる既往の計画や事業との整合性
- ② 導入箇所における動植物相の特性把握
- ③ 当該地域における動植物の生息生育環境への影響
- ④ 動植物の生息生育環境の改善効果

(3) 伝統・文化の評価

伝統・文化の視点から工法を選択した場合は、既に工法が限定されてしまう場合が多い。しかしながら、川と人との再構築等の新たな文化を育む場合も目的として設定する場合も想定されることから、こうした場合についてのみ、導入目的への適合性について評価する。

この場合の評価事項は、実際に川に関わる人との話し合いなどによって、関わりを継続できる工法であることを確認する。

7. 点検・補修

戦後の護岸・水制工法では耐久性に優れたコンクリートを用いた工法が積極的に取り入れられ、その機能低下は大規模な洪水による災害以外では、特に目立たなくなった。そのため、破壊に至る前に補修をおこなうという予防保全の観点の維持管理はあまり重要視されてこなかった。

しかし、多くの河川構造物が整備されている状況において、破壊された後で復旧を行うとする考え方では、大きな外力の洪水時に、同時に多くの構造物が破壊し、被害の拡大を招く恐れがあるとともに、被災後の復旧工事も膨大なものとなり、復旧に多くの時間を要することになりかねない。そのため、今後は定期的に河川構造物の機能劣化状況を把握し、破壊に至る前から少しずつ補修を行う予防保全的な維持管理の視点へシフトしていくことが重要になっていくものと考えられる。

こうした予防保全的な視点はコンクリートに比べて耐久性が劣る河川伝統工法を導入する際に、より重要な意味をもつ。河川伝統法導入に際しては導入後の維

持管理の必要性並びに方法を明確にしておくことが重要である。

図7・1は維持管理の必要性並びに方法を明確にしておく上で役立つよう、維持管理の考え方を4つのパターンに分けて示したものである。維持管理体制としてこれらのいずれかに該当するものであるかを明確にしておくことも一つの方法である。図7・1は横軸に時間を、縦軸に外力への抵抗力（河岸の保護機能等）をとり、時間の経過の中で機能劣化や河道の変化の状況変化と、補修の時期のイメージを示したものである。縦軸には施工時の機能レベルと維持管理レベルの2つの線を示しており、その差は施工時の余裕又は安全率である。

まず、Aの図であるが、施工時には必要な機能を有しているが、矢印で示すように、材料の腐朽や、河床低下などの河道の変化、中小洪水時の損傷による機能劣化により、機能が低下していく。しかし、Aの場合は耐久性の高い材料を用いた工法の場合であり、耐用年数までは維持管理レベルまで機能が劣化しないため、原則、補修は必要とならない場合である。

次にBの場合であるが、赤い線で示されるのは河道

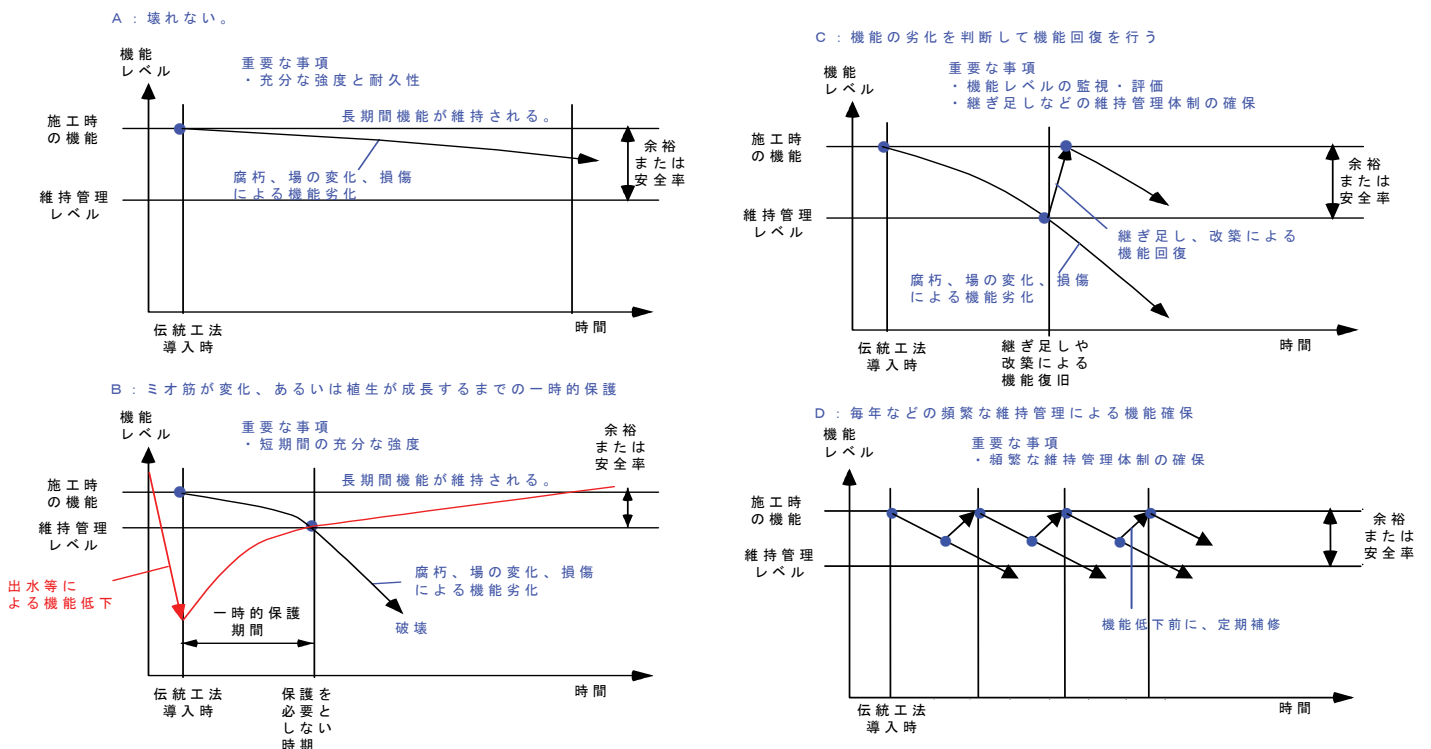


図 7・1 維持管理の概念図

本来の河岸保護機能（河岸全面の高水敷の存在等による）などを示している。図に示すように、出水による外力を受けてミオ筋が一時的に変化し、河岸保護機能が劣化（河岸全面の高水敷が侵食されるなど）したものの、河道の経年変化により再びミオ筋が変化し、護岸などで河岸の保護を必要としないことが期待される場合である。この場合の河岸の保護は、ミオ筋変化までの短期間の機能確保で十分であり、伝統工法を導入によって河岸が回復する一定期間の間だけ機能すればよく、それを過ぎた場合には、維持管理による機能回復を要しない。

以上のAとBの場合は基本的には導入時点において補修を前提としない場合である。しかしながら予想し得ない状況により機能劣化を招く恐れがあることから定期的な点検を計画的に実施することが必要である。

C、Dの場合は、伝統工法の劣化速度と河道の変化特性から、定期的な補修を前提として伝統工法を導入するものである。Cの場合は、定期的な点検により機能の劣化を把握し、維持管理レベルを下回る場合に補修を行うものであり、Dの場合は、維持管理レベルにまで機能が低下する前に、年に1度など、定期的な補修を前提として伝統工法を導入する場合である。Cの場合を採用することが、維持管理の手間やコストの縮減の観点から望ましいが、機能レベルを的確に把握する技術が確立されていないことや、不定期に行う補修への対応体制の確保が難しいことが課題となる。一方Dの場合は、一見、無駄のように見える補修を行うこととなるが、定期的な補修体制による維持はCよりは容易であり、特に、地域住民などと協力して管理する場合にはこうした維持管理の概念も有効なものといえる。

8. おわりに

本報は「河川伝統工法検討会」が「河川伝統工法導入の手引き」を策定する過程において、同検討会の指導のもと、解析検討を行ったものである。検討会は河川工学、社会科学、河川生態の有識者及び河川行政で

構成され、北海道開発局及び各地方整備局の協力をいただいた。また、伝統工法の設置状況及び評価にあたっては、全国の導入事例に対してアンケート調査を行った。更に、高津川（島根県）、富士川（山梨県・静岡県）、吉野川（高知県・徳島県）を対象に現地調査等を実施している。関係各位に感謝したい。

参考文献

- 1) 秋田義一(1837)：算法地方大成
- 2) 秋田義一・村上直・荒川秀俊(1976)：算法地方大成, 藤出版社, 復刻図書
- 3) 百姓伝記(1682頃)
- 4) 古島敏雄校訂(1977)：百姓伝記, 岩波文庫, 復刻図書
- 5) 平岡道敬(1689)：地方竹馬集
- 6) 大石久敬(1794頃)：地方凡例録
- 7) 大石慎三郎・大石久敬(1969)：地方凡例録, 近藤出版社, 復刻図書
- 8) 岡崎文吉(1915)：治水
- 9) 眞田秀吉(1932)：日本水制工論, 岩波書店
(河川伝統工法全般に関する参考図書)
- 10) 山本晃一(1996)：日本の水制, 山海堂
- 11) 山本晃一(2003)：護岸・水制の計画・設計, 山海堂
- 12) 山本晃一(1994)：沖積河川学, 山海堂
- 13) (財)河川環境管理財団北海道事務所：伝統工法事例集
- 14) (財)河川環境管理財団北海道事務所：伝統護岸工法の盛衰
- 15) (財)国土開発技術研究センター(1999)：護岸の力学的設計法
- 16) (財)河川環境総合研究所：河川環境総合研究所報告第4号

7. 河川・砂防分野における木材活用工法採用手法に関する研究

山本 晃一* 高垣 美好** 加藤 俊夫***

はじめに

間伐材の積極的利用については、建設省通達 (H9.12)、グリーン購入法 (H13.1)、国土交通省通達 (H13.4)、自然再生推進法 (H15.1) などその促進が求められており、河川・砂防工法でもコンクリート製構造物以前の伝統工法に代表される木材活用工法の適用し、新規工法の開発への期待が高まっている。また、21世紀は環境の時代と言われて、木材の持つ環境機能を発揮させることも求められている。

木材活用工法に関する図書は、事例集としてはまとめられているものの、工法の持つ効果、川の特性との関係、工法採用の考え方、工法採用基準などが整理されていない。木材活用工法の採用基準は、今後、木材活用工法を積極的に採用するために必要である。また、木材活用工法を推進するためには、従来の維持管理方法では木材特性を有効に活用できない面があり、新しい維持管理方法も必要である。

本研究の目的は、上記課題を整理して「工事目的・工法適用場所」を河川・砂防分野でとりまとめ、それを体系化し、「河川・砂防工事における木材活用工法ガイドブック (平成16年12月発行)」としてとりまとめることである。

1. 研究の対象範囲

河川・砂防に関する工法の適用範囲を、横軸に耐久年数、縦軸に流水や土砂の作用としてとりまとめることとする。木材工法適用範囲として、耐久年数は短い範囲、流水や土砂の作用は小さい範囲で、図1・1に示すように青色の濃い範囲が木材活用工法の適用可能性が大きいことを示す。

日本の伝統建築の技術をもってすれば木材で複雑な工法が可能であるが、本研究の目的は木材 (間伐材) をより多く使用することであるので、対象とした木材活用工法は、活用しやすいこと、構造が簡単な工法を中心とした。

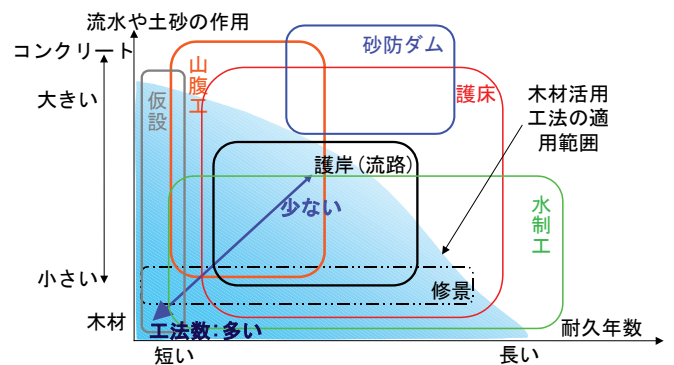


図1・1 木材工法の対象範囲

* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所長
** (財) 河川環境管理財団 名古屋事務所次長
*** (財) 河川環境管理財団 名古屋事務所調査課調整係長

2. 研究内容

木材活用工法に関する研究内容は以下の(1)～(5)である。

- (1) 工法の抽出
- (2) 木材特性を考慮した工法採用の考え方の検討
- (3) 木材活用工法の適用性の検討
- (4) 木材活用工法の今後の管理方法の提言
- (5) ガイドブック（工法事例集を含む）の作成

3. 工法の抽出

3.1 工法の抽出方法

工法の抽出は以下により行った。また、それぞれの抽出方法により抽出された工法数も併記した。

- ① 歴史的変遷調査からの抽出(37工法)：河川や砂防工法として、用いられていた工法などを歴史的な変遷を整理し、今日的視点から採用可能と考えられる工法の抽出
- ② 採用事例からの抽出(270工法)：各種文献に記載例のある工法や実際に採用事例がある工法、ホームページなどで紹介されている工法
- ③ アンケート等からの抽出(350工法)：河川や砂防工事に携わっている技術者、過去に携わった経験のある実務経験者、施工業者、森林業関係者、NPOなどから寄せられた工法やアイデア
合計657工法となった。ただし、重複する工法が多く100工法に整理した。新工法は18工法であった。

3.2 工法の分野別分類

次にこの100工法を、実現性から検討して74工法に絞り込んだ。これらを使用目的の分野別分類として、河川、砂防、その他(河川・砂防に関連する工法)に分類した。74工法の分野別の内訳を表3・1に示す。

表3・1 分野別分類

	分野			
	河川	砂防	その他	合計
工種数	44	19	11	74

3.3 工法の目的別分類

河川、砂防の工法であるので、基本的には目的としては治水・土砂災害の防止である。ただし、はじめにでも触れたように木材の環境機能を十分に活用することは重要なことであるので、本研究では両者およびそれ以外の目的を区別なくまとめ、表3・2に示す。

表3・2 目的別分類

		治水・土砂 災害防止	環境保全		河川管理 施設の維 持管理	その他の 目的
			景観の 保全	生態環境 の保全		
分野別 分類	河川	31	30	32	6	6
	砂防	11	13	10	4	3
	その他	1	8	1	4	6
	合計	43	51	43	14	15

3.4 工法の力学的安定性照査

工法の力学的安定性の照査については、力学的検討を行わなくても採用できるものを「力学的工法は不要」とし、流速等を指標とし、工法の採否を判断する手法を力学的検討を必要とした。さらに力学設計を行う必要のあるものを「力学設計」とし、74工法を分類すると表3・3のとおりである。

表3・3 力学検討別分類

分類	力学的検討		力学設計	計
	不要	必要		
河川	29	11	4	44
砂防	10	6	3	19
その他	7	1	3	11
合計	46	18	10	74

3.5 材料形態別による分類

材料として丸太材そのまま使用可能か、加工が必要かの観点から分類して表3・4に示す。丸太材を用いることができれば加工費等が節約でき経済的である。

表3・4 材料形態別分類

分類	丸太材	加工材	計
河川	39	5	44
砂防	16	3	19
その他	4	7	11
合計	59	15	74

4. 木材特性を考慮した工法採用の考え方の検討

河川・砂防工法の材料として、「木材」を積極的に活用する上で把握しておきべき木材固有の特性のうち、特に重要なものとして下記の4項目がある。

- ① 材質が時間的に変化する性質（強度、色調）
- ② 環境に優れた性質
- ③ 施工性
- ④ 経済性

4.1 材質が時間的に変化する性質

木材はコンクリートや鋼材に較べて材質が時間的に変化する割合が早い。この材質の変化は腐朽等によるもので、変化の特徴は、強度と表面の色調の変化があげられる。時間的変化のイメージを図4・1に示す。

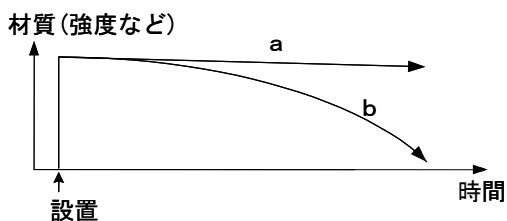


図4・1 木材の時間的変化のイメージ

この時間的な変化を利点とするような使い方として、以下がある。

- 時間とともに工法（素材）が腐朽した方がよい場合
植生が活着するまでの補助的な役割が求められる工法。具体的には山腹工や法枠工など。
- 時間とともに工法（規模）も変化した方がよい場合
環境や景観の変化する場所での工法。護岸工など

4.2 環境に優れた性質

木材を採用することによる環境面での効果として、本研究では次の2つの保全効果に集約した。

(1) 景観の保全

木材は独特の質感があり、周辺景観へとけ込む

(2) 生態系の保全

木材活用工法は、工法の構造から木材と木材の間や木材と中詰材（石材）との間に隙間を生み出す。また、大型動物の食餌となる生物の繁殖場となる（例えば写真4・1）。



写真4・1 木工沈床の隙間に生息する魚

（写真提供：桜井善雄氏）

この環境に優れた特性を活用することが必要である。また、図4・2に景観に配慮した場合のイメージ、図4・3に生態系に配慮した場合のイメージを示す。ただし、両者ともに適切な時期での維持管理が必要である。

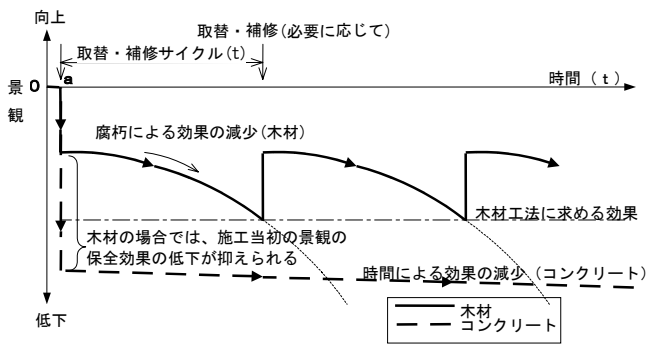


図4.2 景観に配慮した工法採用のイメージ

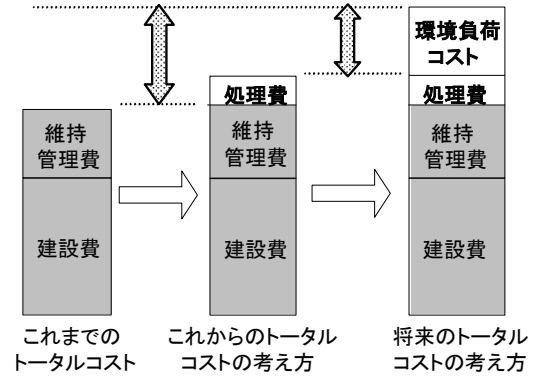


図4.4 環境負荷を考慮する経済性の考え方のイメージ

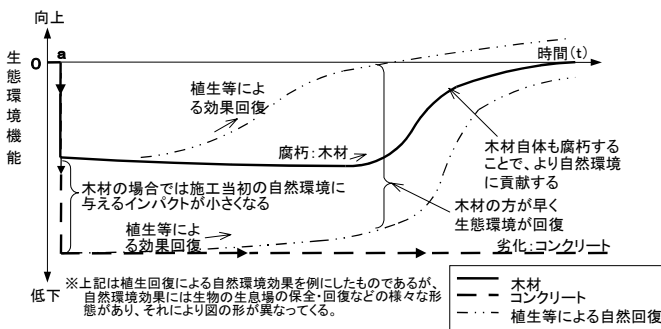


図4.3 生態系の保全に配慮した工法採用のイメージ

4.3 施工性

木材活用工法の施工性には以下の利点がある。

- ① 主材料である木材は軽量なので運搬が容易
- ② 現場加工が容易，加工に際し特殊な機材は不要
- ③ 人力施工が可能で，重機等が不要な工法が多い
- ④ 粗朶柵工のように天然材料のみで構成できる
- ⑤ 工期の短縮を図ることができる(コンクリートの養生等が不要)

4.4 経済性

木材を活用した工法を積極的に採用するためには従来のインシヤルコスト，ランニングコストだけでなく，処理費や環境負荷の軽減に貢献する費用等を含めたライフサイクルコスト(LCA)を評価することが重要である(図4.4)。

ここでは，炭素排出原単位を以下とした。

- ・木材(炭素固定なし) 0.0078kg-C/kg
- ・コンクリート(石材ぬき) 0.235kg-C/kg

また，CO₂発生量の価値換算原単位は，次の国土交通省の値を用いる。

- ・8,433円/t-CO₂ (2,300円/t-C)

木工沈床と根固めブロックの環境負荷コストの比較結果を以下に示す(図4.5)。

(1) 木工沈床

$$1,250(\text{kg}) \times 0.0078(\text{kg-C/kg}) \times 2,300\text{円/t-C} \\ = 9.8\text{kg-C} \times 2,300\text{円/t-C} = 23\text{円}/40\text{m}^2$$

(2) 根固めブロック

$$26,400(\text{kg}) \times 0.235(\text{kg-C/kg}) \times 2,300\text{円/t-C} \\ = 6,200\text{kg-C} \times 2,300\text{円/t-C} = 14,260\text{円}/40\text{m}^2$$

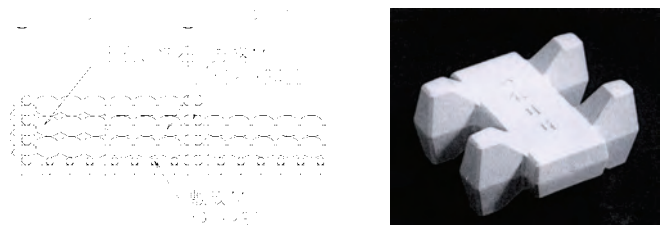


図4.5 木工沈床(3層)と根固めブロック

5. 木材活用工法の適用性の検討

5.1 適用性の検討手順

木材活用工法の適用は、木材活用工法の特性と採用場所の特性を踏まえて行う必要がある。図5・1に示す。

- (1) 工法採用の目的の明確化（計画の構想づくり）
- (2) 工法の一次選定（環境特性の評価）
- (3) 工法の二次選定（河道特性の評価）
- (4) 採用工法の抽出（木材特性を生かした工法の抽出）

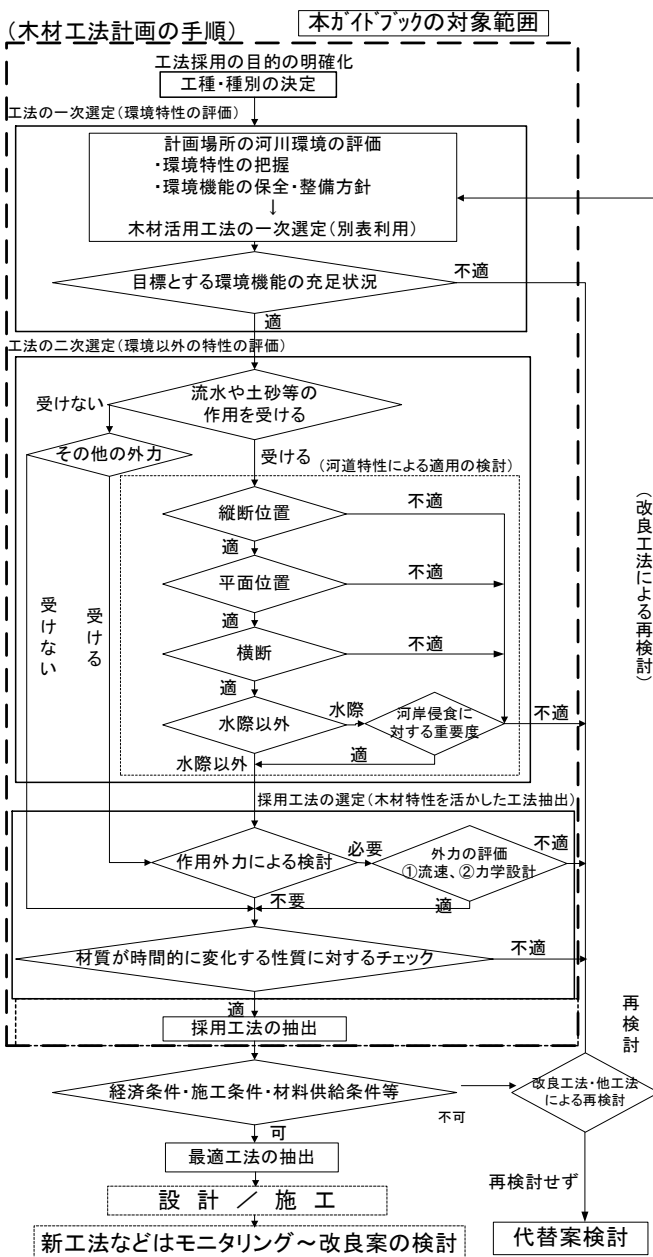


図5・1 木材活用工法の採用検討フロー

5.2 工法の一次選定（環境特性の評価）

計画場所の環境特性は「景観の保全」「生態環境の保全」とした。採用場所ごとの環境特性は、現地踏査、環境に関する諸資料に基づき適切に行うものとする。

二つの環境特性の評価は、「環境ポテンシャル」という概念を用いることとする。環境ポテンシャルの概念を以下に示す。表5・1には「景観の保全」の評価区分案として、景観は人が主体であるので、環境ポテンシャルのレベルと人との関係と場の具体的事例をまとめる。

表5・2には「生態環境の保全」の評価区分案として、生態環境は人ではなく生物が主体となるので、環境ポテンシャルレベルと保全が必要か否かという観点と、場の具体的事例をまとめる。

表5・1 「景観の保全」の評価区分案

環境ポテンシャル	人との関係	場の具体的事例
レベル3	・人が集まる場所 ・親水活動場所	・自然景観が優れている場所 その保全が重要な場所 ・国立公園や自然公園内、 自然散策路など
レベル2	・レベル1と3の中間	・道路沿いなど 人目にふれやすい場所 ・川以外に景観に優れた場所 がないところ
レベル1	・人目にふれない場所	・渓谷奥の人が殆ど近づかない 砂防ダムなど

表5・2 「生態環境の保全」の評価区分案

環境ポテンシャル	必要か否か	場の具体的事例
レベル3	・必要	・保全すべき生物の存在等
レベル2	・レベル1と3の中間	・レベル1 と3の中間
レベル1	・不要	・保全すべき生物の不在等

上記の環境ポテンシャルを考慮した木材活用工法の適用の検討には、外力との関係も必要となる。ここでは外力（流水や土砂の作用）を環境ポテンシャルの評価区分と同様なレベルとして以下の3区分とする。

グループA：外力が殆ど作用しない場。

(具体的には修景工などの設置場)

グループB：グループAとグループCの中間

グループC：外力が強く作用する場

(具体的には砂防ダム計画地など)

各場所における環境ポテンシャルの組合せと外力との関係における工法適用概念を図5・2に示す。この図からわかるように環境ポテンシャルが高いほど木材活用工法の採用範囲が広がることがわかるが、外力が強い範囲になると木材活用工法の適用が減少することもわかる。

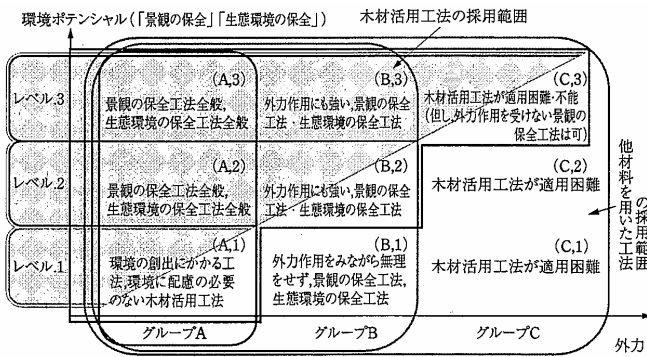


図5・2 環境ポテンシャルと木材活用工法の適用概念図

採用計画場所の環境機能の保全・創出に向けての工法採用方針の立案は、現況評価だけでなく、近い将来の状況、さらには空間（スペース）を意識した川づくりに留意して環境をとらえる必要がある。

これらの評価、環境ポテンシャルの評価および工法適用方針に基づき、木材活用工法の一次選定を行う。

5.3 工法の二次選定（河道特性の評価）

木材活用工法は、原則的には流水や土砂の作用の大きな場所、工法の材質に高い信頼性を要するような場所には向かない。木材工法の多くは河道特性等を踏まえ、経験的に用いられてきたものであり、本研究も基本的にこの考え方とする。適用場所の区分を図5・3に示す。

なお、適用場所や各工法の適用に関する事例分析は、

専門分野の技術者でワーキングを構成して判断を行った。

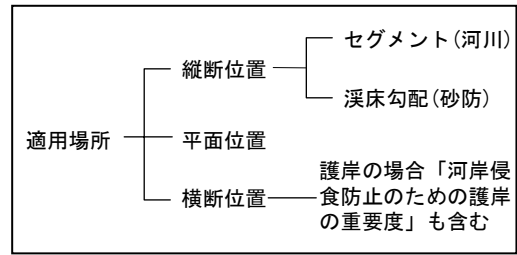


図5・3 適用場所の分類

5.3.1 縦断位置

縦断位置は河川ではセグメントで、砂防では渓床勾配で分類する。ここで、セグメント2はセグメント2-1と2-2に分類されるが、木材活用工法の採用箇所的事例分析結果から、セグメント2-1とセグメント2-2での使用の明確な区分はないので、本研究では、セグメント2-1とセグメント2-2を、セグメント2と一括で取り扱うことにした。また、セグメントMは山間地を一括した区分であり、セグメントMを局所的に分類するとセグメント1とセグメント2の組み合わせと考えることができる（厳密には地形区分で不一致があるものの、本研究の対象とする木材活用工法の適用分類としては問題ない）。本研究の視点は木材工法の適用という局所的な河道特性が必要となるのでセグメントMは用いないこととした。表5・3に河川の縦断位置での適用例を、表5・4に砂防の適用例を示す。

表5・3 縦断位置（河川）における適用例（木工沈床）

セグメント	適用
1	△（適用事例が少ないので注意）
2	○（適用可能）
3	○（適用可能）

表5-4 縦断位置（砂防）における適用例（護床工）

溪床勾配	適用
掃流区間 ($\theta < 3^\circ$)	○
土石流堆積区間 ($3^\circ \leq \theta < 10^\circ$)	△
土石流流下・発生区間 ($10^\circ \leq \theta$)	—

5.3.2 平面位置

平面位置の適用条件は、以下の3分類とした(図5-4).

- ①直線部 流水の影響(「②水衝部」と同様の作用)を受ける場合があるので注意が必要。
(例えば、砂州などが発達している場合)
- ②水衝部 洪水の影響を最も受けやすい箇所。強度が必要な工法や継続的な効果を求める工法では適用に十分な注意が必要。
- ③水裏部 流水の影響が最も少ないため、強度はあまり必要としない場と考えられる。

適用例は縦断位置と同じである。

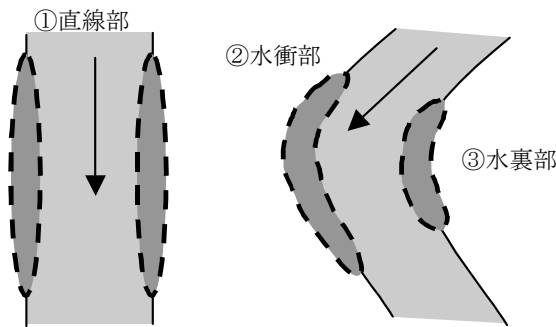


図5-4 平面位置の分類

5.3.3 横断位置

横断位置は、腐朽に大きく影響する水位との関係が重要な評価要因となる。横断位置の分類は河川を中心に記述するが、砂防区間に関しても溪流内は同様の考え方を適用する。表5-5に分類を、図5-5に横断位置の分類を示す。

表5-5 横断位置における適用条件

横断位置	水位・腐朽との関係	強度との関係
①河床	水中 腐朽しにくい	工法に求められる条件により様々
②水際域	水中⇄空气中 水位変動あり 腐朽しやすい	「河岸侵食防止のための重要度」参照
③高水敷	空气中 (出水時のみ水中)	工法に求められる条件により様々
④表法	洪水時に水が被り やや腐朽しやすい	治水上の重要性は高く、保護が必要
⑤天端	空气中 雨水による影響のみ	洪水の影響を受けないため、洪水に対する強度は不要
⑥裏法		
⑦護岸基礎	水中／空气中 腐朽しにくい	工法に求められる条件により様々
⑧裏法尻	雨水による影響のみ	洪水の影響を受けないため、洪水に対する強度は不要

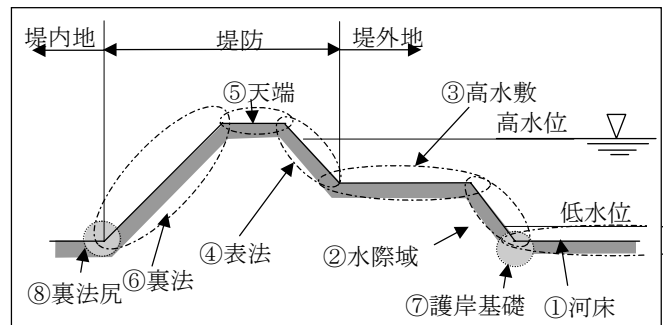


図5-5 横断位置の分類

横断位置による適用条件は、流水や土砂の作用の大きさや水位との関係（乾湿条件）を判断要因とする。適用性の区分は下記の3種類とする。縦断位置、平面位置で「適用例が少ない場合」には「△」を用いたのに対して横断位置で「適用する時に注意が必要」な場合は「□」とした。

- ：適用可能
- ：適用する時に注意が必要
- ：適用困難

注意：適用条件の「△」と「□」の違いについて
 △ 工法採用を積極的には勧めないことを意味
 □ 積極的に工法採用を勧めるが、木材特有の「腐朽」などの影響を受けやすい用い方なので管理面等で注意すべきであることを意味

5.3.5 横断位置（河岸侵食防止のための河岸の重要度）

護岸を設置する場合は、河岸侵食への対応機能が必要であり、「河岸の重要度」に応じた適用を検討する。適用位置を図5・6に示す。

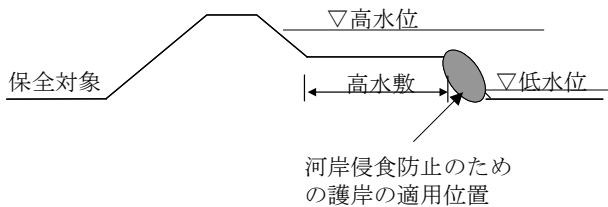


図5・6 河岸侵食防止のための護岸の適用位置

ここで「河岸の重要度」とは、堤防や背後地の家屋等の保全対象に対する安全性確保の観点からの重要性の下記ランク分けのことである。詳細は河道計画策定の手引き（国土技術研究センター）を参照されたい。

ランクA：強固な防護が必要

ランクB：防護が必要

ランクC：防護の必要性が低い

ランクD：防護をほとんど必要としない

重要度の高い所（ランクA，B）では強固な防護が必要となるので、強度の低い木材活用工法では、腐朽したり壊れたりしても背後地の保全対象に対する安全性に影響を与えないように注意をしつつ適用する必要がある。

重要度が低く、低強度で対応が可能な所（ランクC，D）では木材活用工法の積極的な適用が望まれる。

これらの考え方にしたがって、河岸侵食における護岸の重要度による工法の適用は、河岸侵食量として評価される流水や土砂の作用の大きさを判断要因とし、適用は縦断位置と同じ3種類とする。

5.3.6 河道特性などによる採用可能性の評価のまとめ

木材活用工法採用のための目的と、河道特性などに対する木材活用工法の適用性から、工法採用の判断指標とする。

6. 木材活用工法の今後の管理方法

あらゆる構造物は、写真6・1に例示するように時間とともに機能変化を生じ、また、河道特性も変化している。



写真6・1 構造物の老朽化や河道特性の変化による護岸工の損壊例

6.1 構造物の寿命や河川の変化に対応した管理の提言

今後は河道特性の変化などの実態を的確に捉えた管理が必要である。具体的には、管理計画に基づく維持管理水準が、木材活用工法の管理水準との適合をも意識して組立てられることである。その管理イメージを図6・1に示す。

最上段図 河道特性の変化を示す。河道特性の変化が激しい時のインパクトは洪水時などが挙げられる。現在行われている構造物点検のタイミングを破線で示した。

中上段図 これまでの河川管理の典型例である（管理対象の構造物はコンクリート製）。コンクリート製の安全性の変化はわずかであるので、構造物の詳細な点検

時期は河道特性の変化の激しい時に限られることが多かった。破損が認められた場合は災害復旧制度により構造物の補修を行い、安全性を回復する仕組みである。

中下段図 これからの木材活用法での河川構造物の管理例(案)である。木材活用法の安全性の時間的変化は一般的には短くて激しいので、その変化を踏まえた管理時期を下向き矢印↓に示す。点検頻度が著しく密になるイメージを与えるが、河川巡視は高い頻度で実施されており、その内容等を見直すことで対処への負担増を押さえることができると考えられる。また、河道特性の変化により、ある時期以降は工法の補修、取替えが不要となる場合もある。

最下段図 継続的な機能を期待しない構造物の維持管理例である。木材活用法の構造物がなくなっても、河道特性や環境の変化などに対する継続的な巡視は必要である。

なお、砂防施設については、平常時の定期的な巡視等の回数が少ないのが通例であるので、施設の設置状況、機能維持の必要性に応じた点検計画を策定し、その計画にしたがい点検を行う必要がある。

6.2 これからの管理のあり方

木材を活用した川づくりも、住民にとって身近な川づくりにつながるきっかけとなる。このため、河川管理者等として、地域住民や自治体等との情報共有や川づくりに地域の声を取り入れることなどにより、川への関心を高めたり、管理面にまでつながりを広げることが期待される。具体的には、以下の3点などの工夫が考えられる。

- ① 木材活用法の計画作りに住民参加を呼びかけ
- ② 整備された施設の維持・管理についても、積極的に市民参加が得られるような仕組みの構築
- ③ 地域の子供たちの川に関する親しみや学習の場としての活用の検討

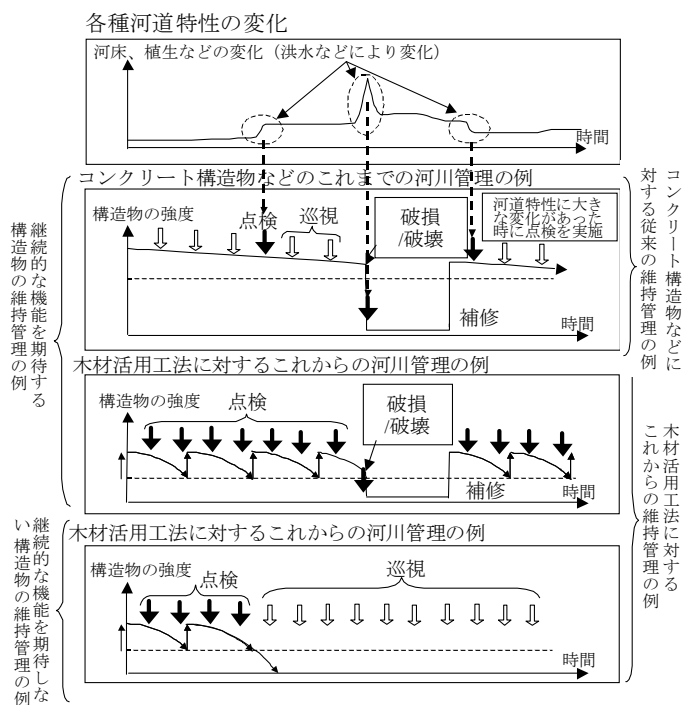


図6.1 河道変化に対応する構造物管理の概念図

7. ガイドブックおよび工法事例集のとりまとめ

とりまとめた。さらに、各工法の特徴は個表としてまとめた。工法採用に関しては工法選定ソフトを作成した（図7-1, 7-2）。

ガイドブックは上述した内容を含み、木材活用工法の採用の手順・意義・川づくり方法・各工法の特徴で

The software interface consists of several windows and a main table. The process is as follows:

- 1. 分野選択 (Field Selection):** The user selects '河川' (River) from a list. The '選択' (Select) button is circled in red.
- 2. 工種選択 (Method Selection):** The user selects '法覆護岸工' (Riverbank Protection) from a list. The '選択' (Select) button is circled in red.
- 絞り込み (Filtering):** A dialog box allows filtering by '使用する目的' (Purpose). The '災害防止' (Disaster Prevention) and '環境保全・景観保全' (Environment Protection/Landscape Preservation) options are selected.
- 検索結果 (Search Results):** A table displays the filtered results.

種別	細別	リンクファイル	使用する目的				
			治水・土砂災害防止	環境保全 景観保全	環境保全 生態系維持	河川管理施設等の維持管理	その他
環境護岸ブロック工	木材付き魚巣ブロック	k06.htm	○	-	◎	-	-
法枠工	現場打法枠	k07.htm	◎	○	○	-	-
多自然型護岸工	木杭	k08.htm	◎	○	○	-	-
多自然型護岸工	石積木枠	k09.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	丸太格子	k10.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	柳枝工	k11.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	杭柵	k12.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	連桤柵	k13.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	粗桤法覆	k14.htm	◎	○	○	-	-
護岸工	栗石粗桤	k15.htm	◎	○	○	-	-

Legend: ◎: Secondary effect; ○: Not applicable (purpose); △: Not applicable (conditions); -: Not applicable (purpose/conditions).

図7-1 ガイドブックの工法選定ソフトの例示

工法名 木材付き魚巢(ぎょそう)ブロック

- 工法の説明 魚巢ブロックの中に木材を挿入し、多様な生息環境の創出を図った工法
- 設置目的
 - ・ 空隙を利用した魚類等の生息場所の確保を図るために用いる。
- 特徴
 - ・ 魚巢ブロック内の木材により、魚類等の生息場所の創出ができる。
 - ・ 周辺の土や植物に馴染んだ景観の創出ができる。
 - ・ 木材に強度が求められず、ブロック内に木材を詰め込むだけの工法であるため、木材の維持管理が容易である。

■ 適用場

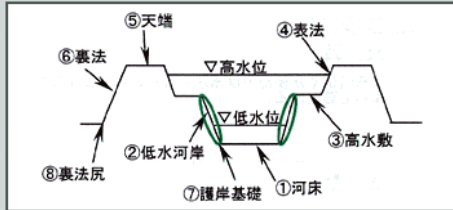
● 縦断位置

	○セグメント3	○セグメント2	△セグメント1
地形区分	デルタ	自然堤防帯・谷底平野	谷底平野・扇状地
勾配の目安	水平~1/5,000	1/5,	
河床材料の代表粒径	0.3mm以下	0.3	
河床侵食程度	弱、ほとんどの水路の位置は動かない。	中、河床が水路は	
低水路の平均深さ	3~8m		

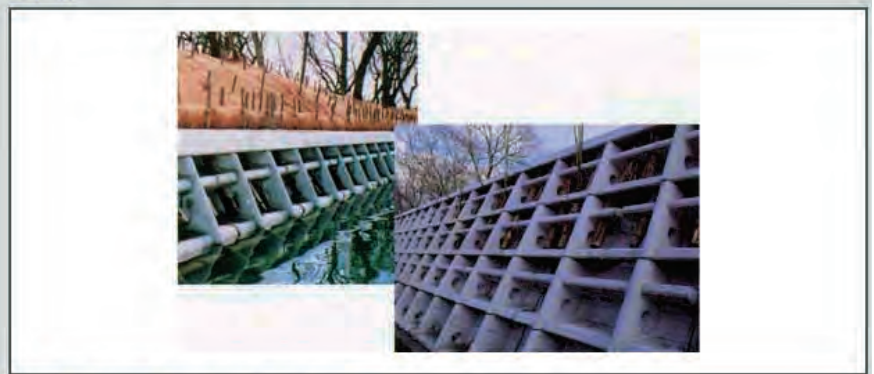
● 平面位置

	主に適用する場所
直線部	○
水衝部	△
水裏部	○

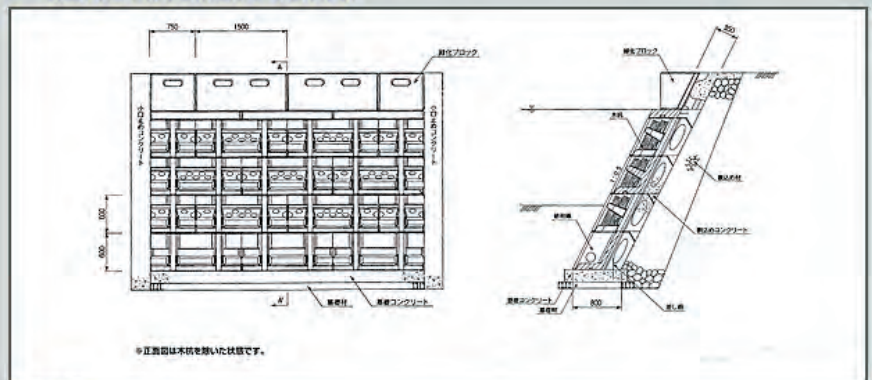
● 横断位置



■ 写真



■ 一般図(寸法や径などの値は参考値である)



■ 注意事項

● 計画

- ・ 急流部や水衝部では水圧や礫等の衝突により木材が損傷する可能性がある。
- ・ 魚巢ブロックは平水位以下になるように設置する。

図7-2 ガイドブックの工法選定ソフトの例示(個票)

8. 今後の課題と方向性について

今後の課題を以下に列記する。

- (1) 木材活用工法を採用した後のモニタリングの実施
- (2) 実施事例のモニタリング結果に基づく工法適用性の標準化の高度化
- (3) 新しい木材活用工法の改良、開発なども含んだ

木材活用工法の適用拡大による工法の多様化

- (4) 木材活用工法の採用のプロモート方法
- (5) 提言に基づくような管理システムの構築

最後になりましたが、本論文作成にあたり、国土交通省中部地方整備局河川部河川工事課の皆様、委員会メンバーの久保田大同工業大学教授、寺本豊橋創造大学教授、木村岐阜大学助教授、実務経験者のメンバー、

行政機関のメンバー，そして，全国の情報提供を戴いた方々に深甚の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省(2002.3)：公共事業コスト縮減の効果計測手法(案)。
- 2) (社)河川協会編(1997)：河川砂防技術基準(案)調査編，山海堂。
- 3) 国土交通省：土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領(案)，山海堂。
- 4) (財)国土技術研究センター編(2002)：河道計画策定の手引き，山海堂。
- 5) (財)国土技術研究センター編(1999)：護岸の力学設計法，山海堂。
- 6) 山本晃一編著(2003)：護岸・水制の計画・設計，山海堂。

V 河川環境教育の推進，流域の連携・交流に関する 調査研究

8. 河川環境教育の活性化のための支援方策検討

山本 雅史* 吉野 英夫** 山田 浩次*** 佐藤 聖介****

1. 背景

産業革命以来約200年にわたって築かれてきた文明が転換を迫られつつあり、地球環境問題や人間性の危機といったかたちで顕在化している中で、人間と自然の関わりの再構築が必要となっている。

しかし次世代をになう子どもたちの自然離れは一層進んでおり、水辺からも子どもたちの賑わいが失われている。

このような社会状況のなか、環境教育の必要性はますます強く認識されており、平成11年12月には中央環境審議会から「これからの環境教育・環境学習—持続可能な社会をめざして—」が答申され、また平成15年10月1日には「環境保全活動・環境教育推進法」が施行された。

一方、平成10年の河川審議会「川に学ぶ小委員会」報告では、人間と自然の接点として最も鮮明であり具体的なモデルである「河川」を環境教育・体験活動の題材として着目し、川と人との関係を再構築し、今後の流域管理・河川の維持管理への理解、河川愛護意識のより一層の啓発を図ることも併せて、「川に学ぶ社会の実現」が必要であると提言された(図1・1)。

これらの動きの中で、平成11年度には文部省・建設省・環境庁(いずれも当時)の連携で『「子どもの水辺」再発見プロジェクト』が始まり、平成14年7月には河

川環境管理財団内に「子どもの水辺サポートセンター」が設置され、子どもの水辺での活動を一層支援する体制が整えられた。しかし、河川環境教育・体験活動がなかなか地域の学校や社会に広く浸透しない河川も多く、安全対策や情報、ノウハウ、人材、機材の不足などの課題を関係者がより一層連携・協力することにより解決していくことが必要となっている。

そこで、より河川での活動が盛んになり、それぞれの地域において魅力ある川と人間社会の良好な関係が構築されるとともに、人と環境とのかかわりについて理解を深め、正しくたくましく生きる力を持った人材が育成されることを目的に本検討を行った。



図1・1 川に学ぶ社会に向けて

* (財) 河川環境管理財団 常務理事
 ** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部次長
 *** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第三部次長
 **** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部研究員

2. 検討内容

本検討では、まず、河川環境教育の課題について、水辺で活動している人々や、研修会・各種イベントに参加した人々に対して聞き取りやアンケートを実施し、問題点の把握を行った。その結果をもとに、雄物川（湯沢市）と遠賀川（直方市）を題材として、教育関係者、地方自治体、地域住民、河川管理者の連携を図りながら、地域の河川環境教育活動をさらに活性化し普及させる方策について検討した。

3. 河川環境教育の経緯と現状

平成9年の河川法改正を契機に、川を活かした環境教育を具体的に提案・支援していくための方策を検討するために、河川審議会総合政策委員会に『「川に学ぶ」小委員会』が設置された。この小委員会において、平成10年6月に出された『「川に学ぶ社会をめざして」報告』では、環境との共生という大きな課題に向け、地域において魅力ある川と人間社会の良好な関係が構築されている「川に学ぶ」社会の実現が重要であるとされている。

そして、この実現のための基本方針として

- ・人々の関心を高める魅力ある川づくり
- ・川に関連した広範囲な知識・情報の提供
- ・「川に学ぶ」機会の提供
- ・主体的・継続的な活動

の4つがあげられている。

この方針のもと、「川に学ぶ社会」の実現に向けて具体的な取り組みがスタートした。

3.1 「子どもの水辺」再発見プロジェクト

小委員会の報告を受けて、平成11年に「子どもの水辺再発見プロジェクト」が、文部省、建設省、環境庁（当時）の3省が連携し実施された。このプロジェクトは子供たちの体験活動の場を拡大し、「川に学ぶ」体

験を推奨する観点から、教育委員会、河川部局、環境部局が連携して「子どもの水辺」として選定登録および整備を行い、子供たちの川での活動を促進させ、地域における子供たちの活動の充実を図ることを目的としたものである。具体的には河川管理者、教育委員会、市民団体などが「子どもの水辺協議会」を設置して、子どもたちが活動する場としてふさわしい「子どもの水辺」を登録し、構成団体が協力して活動を支援していこうというものである。また、平成14年に、『「子どもの水辺」再発見プロジェクト』の更なる推進が実施され、

- ・市民団体やNPOが中心となって「子どもの水辺」での活動を一層推進できる仕組み作り
 - ・「子どもの水辺」での活動をいろいろな側面から支援するための「子どもの水辺サポートセンター」の設置
- された。

3.2 河川環境管理財団における河川環境教育の取り組みについて

当財団では、河川整備基金助成の中で平成2年度より、河川・ダム等に係わる副読本等の作成、河川愛護・環境教育活動・自然再生活動などに支援を行ってきている。また、「総合的な学習」がスタートした平成14年度年からは小中高等学校に対して「総合的な学習の時間」における河川を題材とした活動に対する支援も行っている。

また、『「子どもの水辺」再発見プロジェクト』においては、河川環境教育に対するノウハウや整備基金を通しての環境教育を実施している市民団体、教育関係者との連携が深かったこともあり、「子どもの水辺サポートセンター」を財団内に設置した。

「子どもの水辺サポートセンター」では、ホームページやメールマガジンによる情報提供、ライフジャケットやヘルメットの貸し出しなどを行っているほか、講習会の開催やネットワーク作りにも力を入れている。

具体的には、国や県の河川部局、環境部局などの行政関係者、市民団体、教育関係者などの情報交換、連携に向けた交流を目的とした『「子どもの水辺」ブロック連絡会議』を全国の地区ブロックごとに開催している。また、「水辺を活かした環境学習・体験学習に関する全国事例研修会」や世界水フォーラムの分科会として実施された「世界子ども水フォーラム」のフォローアップを子供たちのネットワーク作りの場、水について学ぶ場として実施している。

このほかに、全国各地の川で活動するNPO法人や市民団体などで構成され、川での活動を実践できる指導者養成や子どもの水辺安全講座などを行っている、川に学ぶ体験活動協議会（通称：RAC）と協調しながら河川環境教育の推進に取り組んでいる。

4. 河川環境教育の課題

河川環境教育を推進するうえでの課題や問題点を探るため、水辺で活動している人々や、ブロック会議・各種研修会・イベント等に参加した人々に対して聞き取りやアンケートを行った。

「これまで実施した水辺を活かした環境学習や体験活動の問題点を教えてください」という質問に対する結果を図4・1に示す。

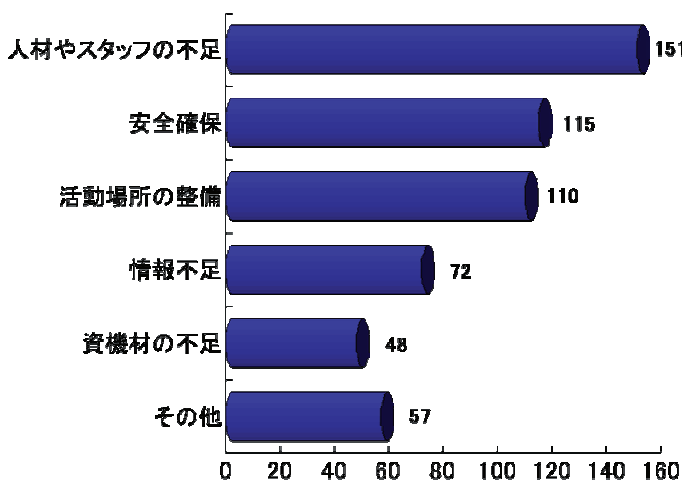


図4・1 ブロック連絡会議におけるアンケート結果

※回答は2つまで可 回答者数=189

その結果、人材・スタッフの不足、場所の整備と合わせた安全面の確保が難しいことがネックとなっていることがうかがえた。

これらのことは、「子どもの水辺協議会」に対するアンケートでも同様の結果であったが、さらに、資金不足が問題であるという回答も多く見られた。

これらアンケートの結果や聞き取り調査による意見をもとに、河川環境教育や水辺における活動の問題点をフィッシュボーンダイアグラムによる要因分析を行った（図4・2）。

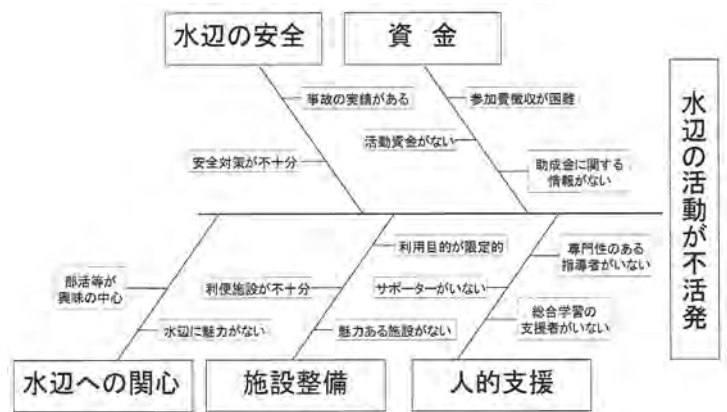


図4・2 フィッシュボーンダイアグラムによる要因分析

その結果から、問題点として次の5つの要因にまとめることができた。

- ① 水辺への関心が低いこと
水辺自身に魅力がない、部活動などほかの活動のほうが魅力的である。
- ② 施設整備の不足
魅力ある施設、場がない。トイレやあずまやなどの利便施設が不十分である。
- ③ 人的資源の不足
専門性のある指導者、活動のサポーターがいない。
- ④ 水辺の安全への不安
過去に事故が発生している。安全対策が不十分である。
- ⑤ 資金不足
活動資金がない。資金調達の情報に関する知識がない。

これらの問題をどのように解決していけばよいのか、雄物川と遠賀川での具体的な検討事例を次節以下で紹介する。

秋田県湯沢市の雄物川では、こどもの水辺協議会を設立し「子どもの水辺」登録したものの、活動をいかに活性化させるかが課題であった。

一方、福岡県直方市を中心とした遠賀川では、河川をフィールドとした環境教育や体験活動に取り組んでいるものの、どのようにしたら活動の輪を広げることができるかが課題でありそれぞれの河川で実践的な取り組みを行った。



図5・1 「湯沢地区子どもの水辺」周辺の様子

5. 「湯沢地区子どもの水辺」（雄物川）の活動支援方策の検討

5.1 湯沢地区子どもの水辺の概要

雄物川は秋田・山形県境の大仙山を源に横手盆地を北上し湯沢市、横手市、大曲市を貫流し、中流狭窄部を経て秋田平野に至り日本海に注ぐ。流路延長133km、流域面積4,710km²、流域内人口は68万人を数え、秋田県3大河川の一つである。

「湯沢地区子どもの水辺」（図5・1）は、湯沢市内の概ね114k～119kの区間を平成14年3月に登録しており、区域内には松ノ木河川公園、湯沢頭首工、山田頭首工が含まれ、瀬と淵が連続し水際にはヤナギが多く、河床勾配は概ね1/300である。沿川には水田が広がり、市街地からは1km程度の距離がある。公園付近の水際は階段護岸が整備されているが滞筋が変動しやすく、流速・水深もやや大きい。周辺は、野球場、テニスコート、フットボール場、簡易トイレ、広い駐車場があるが、適当な休憩場所がなく、また「河川利用実態調査」では、施設の維持管理が不十分であるというほか、トイレ、休憩場所、水辺へ降りられる場所、安全に水遊び出来る場所が不足しているとの意見が出されている。

5.2 問題点の把握

「湯沢地区子どもの水辺」は子どもの水辺としての登録はしたものの、実際の活動が活性化しないという問題点を抱えていた。本検討の基礎調査として、河川利用状況について、「湯沢地区子どもの水辺協議会」メンバーへのアンケートやヒアリングも交えて現状調査を行った。その中で、「現在行われている水辺の活動における課題を教えてください」という質問を行った。

その結果、資金不足が最も多い結果となり、ついで指導者不足、情報不足が多い結果となった（図5・2）。

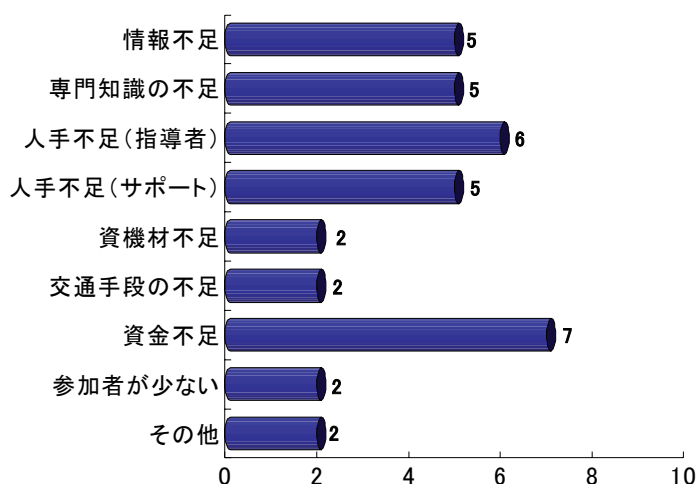


図5・2 「湯沢地区子どもの水辺」アンケート結果

※回答は複数回答 回答者数=21

また、個別の意見においても、

- ・松ノ木河川公園では、十数年前から民間団体の主催により鮎のつかみ取り大会が毎年8月に開かれており、4,000人を超す人が参加する恒例行事となっているが、人手不足もありそれ以上の活動の広がりはない
 - ・市教委主催のカヌー教室や青年会議所によるキャンプなども行われた実績があるが、継続していない
 - ・近隣の学校では川へ近づかないような指導がされており、生徒の川に対する関心が低い
- といった意見が上げられた。

5.3 課題の確認と対応方針の検討

現状調査とアンケート・ヒアリング結果から、活動が不活発な原因については

- ① 周辺の大人、子どもの水辺への関心の低さ
- ② 水辺の施設整備の不十分さ
- ③ 安全確保の課題
- ④ 人的資源の不足
- ⑤ 資金不足

と、水辺での活動をしているほかの多くの団体などと共通の問題があげられた。これらの対応方針を検討するため、子どもの水辺協議会メンバーに教員、若い母親などのオブザーバーを加えて平成15年度には3回の協議会を開催した。協議会開催は、自分たちで問題点の把握とその解決方法、情報交換、運営枠組みや、整備イメージを作成することによって、主体的な活動を行っていく意識を高めるとともに、継続的な活動が行われていくことを目的とした。

協議会開催にあたって、まず、本地区において、どのような推進方策が可能かを検討するため、「子どもの水辺」の全国における活動傾向をとりまとめた。全国的な傾向を見ると、河川清掃をはじめとする河川環境保全・美化運動が多く、ついで、自然観察、生物観察が多い傾向であった。この情報をもとに、「湯沢地

区子どもの水辺」で可能な活動メニューを抽出し、「水辺の活動メニューシート」(図5・3)としてとりまとめ、協議会に情報提供を行った。

メニュー名	カヌー教室 (組織的イベント)	No. 6
種別	授業型・実習型	
ねらい	カヌーの楽しさを体験するとともに、普段見ることのない視点から雄物川を見ることにより、雄物川への関心を高める	
活動内容	<p>講義教室での下流起岸よりスタートし、雄物川110m付近の起岸に整備された松ノ木河川公園まで雄物川を下る。この区間は流石が強い部分もあるため、中級者に適する。初心者には、雄物川の静かな水面で基本的なカヌー操作を身につける。</p> 	
必要な人材	募集広報	湯沢河川国庫管理庁HP、および湯沢市HPへの掲載、湯沢市広報への掲載、FMエコーピアでのCM放送、湯沢市教育委員会から学校へ連絡
	道具	カヌー、ライフジャケット、ヘルメット
	運営資金	運営資金は特段に必要ないが、初心者練習場の施設整備資金が課題
	指導者	カヌーの操作を指導できるだけでなく、安全講習を受けた指導者が必要
	安全管理	参加者数に応じたレスキュー要員が必要
その他	<p>実施補助 参加者数に応じた人数が必要</p> <p>施設整備* 初心者用の静水区練習場の整備 水際まで車で進入できるアクセス路 カヌーの上げ下ろし用の仮橋</p>	

*：これ以外に、トイレ・休憩施設等が必要

図5・3 水辺の活動メニューシート

具体的な水辺での活動メニューを理解することにより、自分たちもできるという意識、やってみようという参画意識が強くなるとともに、まずは「協議会の体制強化」が必要であるという意見をはじめ、「関心を高めるきっかけづくりのためのアクティビティ開催」「河川公園の整備」「安全講習会の実施」「助成の活用、魅力ある活動による資金集め、資金不要な活動方法の模索」が必要であるとの多くの意見が出された。

これらの結果を整理するとともに、子どもの水辺活性化のために必要である事項を把握するために、協議会メンバー、オブザーバーを対象に2回目の、アンケート・ヒアリング調査を実施した。

まず、「水辺の活動を活性化させるために必要と考えられる方策は何ですか」という設問に対して、水辺に親しんでもらうための「イベントの開催」やそのための「指導者・サポーターの育成」、「助成金の導入」が必要といった意見が多かった(図5・4)。

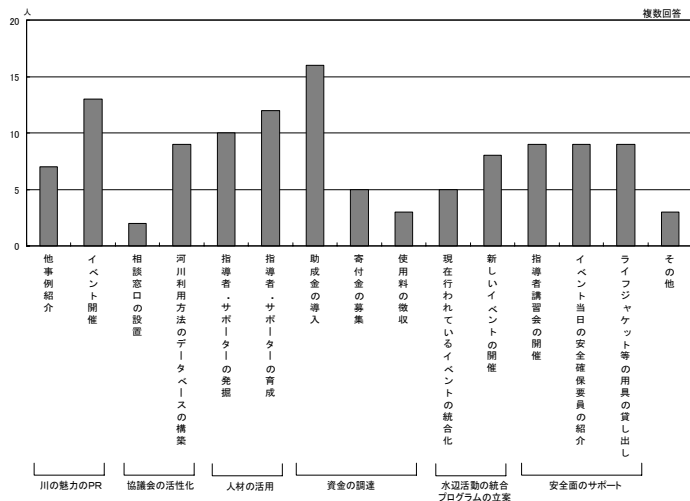


図5-4 方策に関するアンケート結果

※回答は複数回答可 回答者数=20

ついで、「雄物川で水辺を利用するために必要となる整備を行うとすれば、どのような施設をお考えですか」という設問に対しては、雄物川ではカヌーが盛んであることを反映して、発着場、艇庫などの「カヌー関連施設」が最も多く、小さな子どもが、水浴びできるような「せせらぎ水路」、「じゃぶじゃぶ池」の整備などがあげられた。

これらの結果を踏まえて、推進方策の検討を行った。

5.4 活性化方策の検討と実施

今後より多くの子どもや市民が水辺を活用した体験活動に参加し、楽しめるフィールドワークやアクティビティなどのイベントを効果的・効率的に開催していくため、協議会を構成する各主体の役割分担などを明確にした協議会運営のための枠組みが必要である。そこで、市、市民・市民団体、国で構成される協議会の枠組みをつくりあげた（図5-5）。

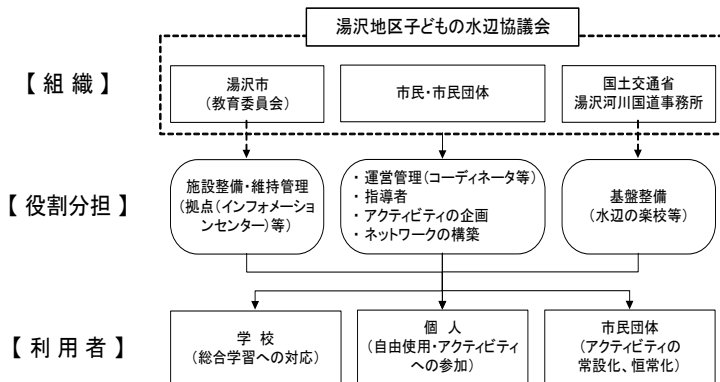


図5-5協議会運営の枠組み案

今後は、これらの枠組みに基づき協議会の構成する各団体への行事への参画、市民の参加意識を喚起するための意見聴取、川への関心を高めるきっかけづくりとしての水辺の指導者養成講座を実施していくことになっている。

また、施設面の検討にあたっては、アンケートで要望の多かった、カヌー施設、せせらぎ水路の整備、トイレ設置などを考慮するほか

- ・大人にも魅力ある河川空間の創出・水辺の安全に極力留意
- ・子どもの水辺活動のサポートが実施しやすいような配慮

の2点に主眼をおいて協議会にもはかって松ノ木河川公園周辺の整備イメージ案を検討し、作成した（図5-6）。

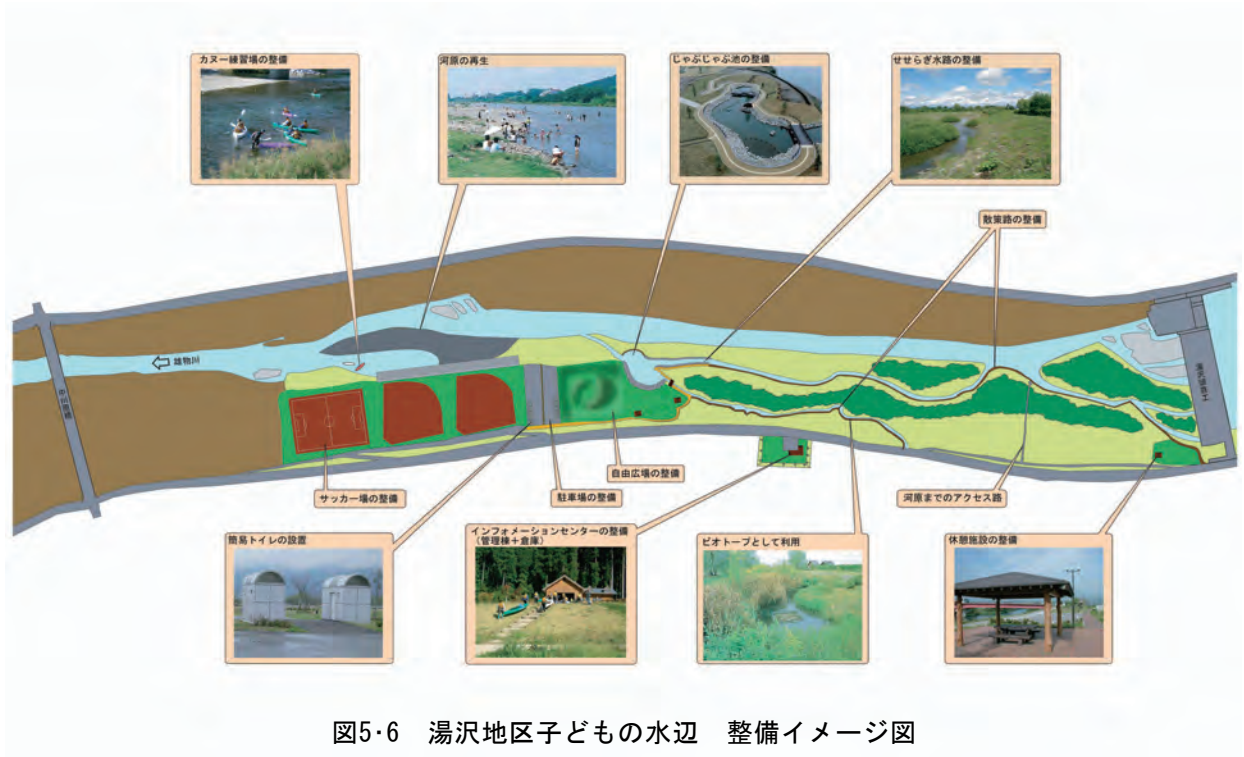


図5・6 湯沢地区子どもの水辺 整備イメージ図

5.5 今後の方向性

子どもの水辺を活性化させるには、実際にヒアリングを行ったり、議論を交わすことが必要であり、今回の検討で適切な支援を行うことにより、利用者の意識の向上を図ることができたと考えている。また、施設については参加者が計画段階から参加することで、みんなで施設を運営・管理・利用していく機運が高まった。

今後は、まず、きっかけ作りのイベントの開催を検討する。そのためには、川に学ぶ体験活動協議会の指導者養成講座を活用した指導者の養成を行う。また、運営の枠組みに従った協議会の枠組みを構築するほか、施設整備に対する合意形成、水辺の楽校の整備を進めていく予定である。

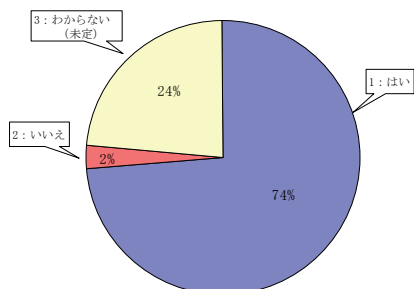
6. 遠賀川における環境教育支援方策の検討

6.1 遠賀川における河川環境教育・体験活動の概要

遠賀川は九州北東部を流れ、総延長は61km、流域面積は1,028km²の1級河川で、流域に北九州市、直方市など6市25町1村を抱える。流域内人口は67万人で九州第2位、流域内人口密度は650人/km²で九州第1位である。昭和初期より石炭産業の排水により大きく汚染されたが、その後の対策によりかなりの水質改善は見せているが、未だ九州の1級河川でワースト1, 2を争う水質状況にある。

建設省遠賀川工事事務所（当時）が平成12年度に実施した小・中学校教員対象のアンケート調査では、河川を対象とした環境教育のニーズの高さは認められるものの実際に授業に取り入れている例は少なく、情報不足および専門家の支援の必要性が指摘された（図6・1）。

あなたは河川を環境教育の場として活用したいですか？



「河川をはじめとした環境教育についての調査 報告書 平成 13 年 7 月 国土交通省九州地方整備局 遠賀川工事事務所」より抜粋

図6.1 河川環境教育に関する小中学校の教員に対するアンケート結果 ※回答者数=1307

事実、平成12年度には全国の総合学習の試行が始まり、事務所や流域の有識者に質問や指導の依頼が殺到した。しかし、依頼する側もされる側も目的が不明確なまま手探りで情報提供や授業に取り組んでいたのが実態であり、流域内の教育関係者、行政、市民団体等が議論、調整を行い、適切な役割分担のもと効果的な環境教育実施の枠組みを決めていく必要があった。

こうした背景を踏まえ、教育委員会の協力のもと、直方市の全小中学校から1名ずつ、鞍手郡各町から1～2名ずつ教員が参加し、加えて自治体環境部局、都市計画部局、市民団体、学識経験者、地域住民、河川管理者も参加し、遠賀川の歴史、文化、自然環境、水環境など地域特性を活かした「遠賀川に学ぶ」社会に向けての仕組みづくりを行うため、「遠賀川河川環境教育研究会」が設立された。

研究会は会員の学校でのケーススタディや実践報告を通して河川環境教育を行うに当たっての課題を抽出するとともに、それら課題への対応を検討している。

6.2 問題点の把握

研究会の活動が進む一方で、研究会内では河川環境教育を行う際の5つの課題が抽出された。

- ① 情報不足
- ② 人手・道具・交通手段等の不足
- ③ 専門知識・経験の不足
- ④ 学習時の安全性の確保
- ⑤ 環境教育の動機付け

これらの課題に対して、研究会では情報不足、専門知識の不足、学習時の安全性確保のために「学習情報、安全情報提供のための研究会ホームページ作成」、「学び場マップの作成」を行うほか、今後会員が連携して人材リストや資機材貸し出し体制の整備、情報交換や相談窓口の開設を検討していた。

しかし、これらの連携や「河川環境教育への動機付け」に関連して、研究会だけでは解決が難しいと思われる以下のような具体的な問題が認識されていた。

① 周囲の理解が得られない

ある先生が活発に活動しても同僚の教師・父兄・地域住民・関係機関との連携がうまくいかず協力が得られない場合がある（「活動の幅を広げようとしたら周囲からブレーキがかかった」など）。

② 活動が拮げられない（気運の低迷）

一部の先生・市民団体は大変熱心に取り組んでいるが、研究会メンバーの中でも取り組みには温度差があり、研究会以外の一般の先生にもなかなか浸透していかない。

言い換えれば、依然として関係者の間に河川環境教育に対する消極的な思いが「見えない壁」となり動機付けがうまく行われていないと思われる。

たとえば、

- ・「環境教育はあくまで総合学習の1つの選択肢」
- ・「子どもの興味に合わせてやるもので河川環境教育だけに特別な肩入れはできない」
- ・「川は危険だから出来るだけ近づかない方がよい」
- ・「よいことではあるのだけど、実際にやるとなると・・・」

などの声が聞かれる。

このような、認識不足や情報不足に起因するいわば「見えない壁」に対しては、「環境学習・体験活動」の

必要性、実施例、効果、安全対策などに対する情報を提供することによって、教育関係者や父兄、行政や地元住民へ向けて周知徹底し、河川環境教育のイメージを変えていくことが必要である。

そのためには、研究会が行っているような現場の教師を中心としたノウハウ蓄積の取り組み、いわば現場での活動活動とともに、教育関係者や地域住民・関係機関へ広く情報提供や河川環境教育の意義を訴えかける場が必要となってくる。このことにより、現地での河川環境教育の認識が変わり、研究会の裾野の拡大や、活動が活性化していくものと考える。



図6・2 フォーラムの全体会議の様子

6.3 フォーラムの実施

情報提供や河川環境教育の意義を訴えかけ、地元での活動の活性化を図る場として、「水辺を活かした環境学習・体験活動フォーラム」を開催した（図6・2）。

フォーラム実施にあたっては

- ・水辺での環境学習・体験活動推進に関する国の施策、基本理念、全国事例の報告
- ・遠賀川での取り組み事例の報告
- ・上記に基づく討議

の3つの要素を取り込むこととした。

また、フォーラムの実施にあたっては、準備段階から研究会と共同して行うことで、地元の参加意識を高めるとともに、地元での活動報告を行うなど活動が広がっていくよう留意した。

まず環境教育の必要性と進め方のノウハウについての総論、国の推進姿勢を明らかにするため文部科学省初等中等教育局及び国土交通省河川局河川環境課による報告を行った。また、河川環境学習・体験活動の全国事例を当財団より報告し、既に多くの取り組みがなされていることを示した。

それらを受け、各論として遠賀川流域での研究会の取り組み事例の報告を行い、身近な流域で既に様々な活動がなされており、成果が上がっていることを示した。

まず環境教育の必要性と進め方のノウハウについての総論、国の推進姿勢を明らかにするため文部科学省初等中等教育局及び国土交通省河川局河川環境課による報告を行った。また、河川環境学習・体験活動の全国事例を当財団より報告し、既に多くの取り組みがなされていることを示した。

それらを受け、各論として遠賀川流域での研究会の取り組み事例の報告を行い、身近な流域で既に様々な活動がなされており、成果が上がっていることを示した。

さらに事例ごとの討議（分科会）を行い、研究会の取り組み成果を認識してもらうとともに、河川環境教育・体験活動に対する「食わず嫌い」を解消し、前向きな気持ちを持ち帰ってもらうことをねらいとした。

また、研究会の成果としてホームページ、学び場マップ、研究会新聞を会場に掲示し、また平成15年10月から11月にかけて九州内各地で行われた「川に学ぶ体験活動協議会（RAC）」による「川の指導者養成講座」の様式や、財団所有の全国事例資料を展示し、情報提供をはかった。

6.4 フォーラム開催結果

当日参加者は総計102名で、教員、教委など教育関係者が約1/3を占めた。

まず文部科学省の初等中等教育局教育課程課教科調査官により「河川から環境が見える」と題した基調報告が行われ、河川環境教育においては「直接川に触れ感性を磨くこと」、「データに基づき比較をしながら環境を把握すること」、「コミュニケーション能力」などが重要であることが示され、また、子どもを主体的にするにはまず教員が主体的・前向きに取り組まねばならないことが強調された。

国土交通省河川局河川環境課課長補佐からは、「川に学ぶ社会」を目指して『子どもの水辺』再発見プロジェクト」を推進していることが説明され、その推進にあたっては教育関係者、地元住民、行政の協力が不可欠であることが述べられた。

(財)河川環境管理財団理事からは、河川整備基金の助成を活用して行われた河川での総合学習の取り組み(平成14年度分約300件)について、ねらいの設定、実施内容、学習の進め方などの状況が報告され、その結果から「まず子どもたちが川に一步踏み入れる機会を作ること」の重要性が強調された。

続いての事例報告では、遠賀川流域での取り組みについて総論、及び身近な自然体験やメダカの飼育など3例が紹介され、生徒と先生あるいは市民がともに試行錯誤しながら、周囲の大人との協力により成果を上げていく様子が具体的に提示された。

引き続き、分科会では事例も含め、子どもをとりまく河川環境教育・体験活動の状況全般について課題の指摘や解決方法についての議論が行われた。特に学校と地域の連携、子どもに川を体験する機会を与えること、無理に成果を求めずに問題意識(感じる力)を育てること、このような会で色々な立場の人の意見を聞くこと、などの大切さが指摘された。参加者の自発的な発言としてそのような意見が出たことは大きな成果と考えられる。

また、この研究会の結果は、翌日、新聞にも紹介され、地域で水辺の活動が行われていることが周知された(図6-3)。

メダカ飼育、川遊び教育...



図6-3 フォーラムの紹介記事
(2004.3.7 読売新聞より)

6.5 今後の方向性

今回のフォーラム開催により、水辺での活動や学習に対する情報提供、討議を行うことにより、活動の機運が高まるとともに、河川環境学習・体験活動の意義の啓発、および研究会の認知度がアップするなど一定の成果を得ることができたと考えている。

今後は、参加者がフォーラムで得た内容を実践に移せるよう、環境教育・体験活動を推進する国の方針を流域の教育関係者、行政、市民団体などへ一層浸透させ、また全国での豊富な実施事例を後ろ盾にしながら、実際に子どもを川へ連れて行く先生が増えるよう、流域全体で継続的な啓発、情報提供などの支援を行っていく必要があると考えられる。

また側面支援として、以下のような子どもを川へ連れて行くための具体的なツール、手段の提供を継続して行うことが必要である。

- ・川での活動に具体的に役立つ技術の提供(川の指導者講習会など)
- ・子どもの水辺安全講座(子ども対象)
- ・授業に役立つ情報・スキルの提供(Project WET講習会など)
- ・活動に必要な機材(ライフジャケット、スローロープなど)の貸し出し

また、議論や講習だけでなく、研究会のケーススタディや交流会の活動などと連携して、理論を実践に活かす場を設け、川の指導者としての経験を積む場を提供していくことも重要である。

7. 今後の課題と方向

「川は危ないから近づいてはいけない」という教育がなされはじめてから、30年ほどたった。現在、川のもつ、有用性が再認識され、川をはじめとする水辺での体験活動を推進していく方針に転換された。しかしながら、この間に失った技術的、文化的、精神的なものは大きく、これらを取り戻すには、まだ相当な時間がかかると考えられる。

河川環境教育の推進方策を行うことにより、「川に学ぶ社会」が実現され、公園で遊ぶような感覚で、水辺で遊べる社会が実現できるよう引き続き、研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 建設省河川局河川環境課：「川に学ぶ」社会をめざして 河川審議会川に学ぶ小委員会概要
- 2) 川での福祉・教育研究会(2002)：水辺の元気作り，理工図書
- 3) カナダ環境アセスメント協会(1998)：住民参加マニュアル，石風社
- 4) 岡島成行(2001)：自然学校をつくろう，山と溪谷社
- 5) 石田幸彦(2002)：あなたの川は元気ですか，白水社
- 6) 国土交通省東北地方整備局(2001)：総合的な学習へのとりくみ

