

河川環境総合研究所報告  
第13号

平成19年12月

(財)河川環境管理財団  
河川環境総合研究所

## はじめに

(財)河川環境管理財団は昭和 50 年に設立され、河川環境の整備・保全に関する総合的な調査研究、研究成果の活用も踏まえた各種啓発活動、河川公園等の管理、河川整備基金の運営などを実施し、これらの事業並びに事業成果の社会還元をもって、国民から求められる河川環境の質の向上の確保に努めていくとともに、国民の生活環境の向上に寄与することを目的として事業を行っています。

この目的達成と調査研究部門の一層の充実を図るために、平成 4 年に(財)河川環境管理財団に河川環境総合研究所が創設されて 15 年が経過しました。現在は、各地域のニーズに対応するため、研究第 1 部～第 4 部(東京本部)、研究第 5 部(大阪研究所)、北海道事務所、名古屋事務所を設置して調査研究業務を行うとともに、本部と地方事務所との連携による研究体制の充実を図り、効果的かつ効率的な業務遂行に努めています。

また、新たに平成 18 年度を初年度とした「河川環境管理財団基本計画」を定め、社会的要請の高い課題に対して計画的に調査・研究するための一環として、より重点的に業務を実施していくこととしました。この河川環境管理財団基本計画に位置づけされている重点プロジェクト研究の主要なテーマは以下のとおりです。

- 1) 河川環境教育の推進に関する調査研究
- 2) 河川における市民連携の推進に関する調査研究
- 3) 河川の水環境の保全に関する調査研究
- 4) 河川環境の整備と保全及び河川利用に関する総合的な調査研究
- 5) 河川の維持管理に関する調査研究

河川環境総合研究所では、これらの重点プロジェクト研究に対する調査研究を体系的に推進しながら、事業実施における技術的課題の解決に向けた調査研究業務などを積極的に進めております。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も活用していただくとともに、適切に社会還元を図っていこうとするものであり、今年度で第 13 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。

とくに、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。

今後も、わが国の河川環境の現状と国民のニーズを十分把握し、社会の要請に的確に responding していくべく、一層の努力をしてまいりますので、関係各位の暖かいご指導、ご支援をお願い申し上げます。

平成 19 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（2007.9.19）を行っております。

### ・編集委員（順不同）

山本 晃一	(財)河川環境管理財団	河川環境総合研究所長（：委員長）
高木 不折	(財)河川環境管理財団	研究顧問
井上 和也	(財)河川環境管理財団	研究顧問 兼大阪研究所長
長谷川和義	(財)河川環境管理財団	研究顧問
池淵 周一	(財)河川環境管理財団	研究顧問
宮尾 博一	(財)河川環境管理財団	理事
酒井 憲司	(財)河川環境管理財団	技術参与

### ・事務局

(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第1部



# 1) 「川を題材とした環境学習」への支援のあり方について

宮尾 博一\*・鎌田 照章\*\*・吉野 英夫\*\*\*・辻 正宏\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、人々の環境への関心の高まりを受け環境教育の必要性が高まり、河川は身近な環境学習の対象として注目されるようになってきた。平成10年7月の国土交通省の河川審議会「川に学ぶ小委員会」報告では、「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の推進を図り、河川愛護意識のより一層の啓発を図ることを目的とする「川に学ぶ社会の実現」が必要であることを提言している。

一方、文部科学省は、平成14年度から全国の小中学校で、「総合的な学習の時間」を実施した。「総合的な学習の時間」は、「生きる力」の育成を目指すことにより、これまでの教科の枠を超えた学習等を行う必要性から新設されたものである。

このような背景から河川事務所の支援による「川を題材とした環境教育」への取組みは、学校における「総合的な学習の時間」等での取組みや、市民団体等が実施する河川環境教育の取組みの中で、緩やかではあるが、広まりを見せてきたが、近年「総合的な学習の時間」での川を題材とした体験学習が縮小傾向にあり、川を題材とした体験学習への支援のあり方について、検討することが求められている。

本稿では、学校で実施されている川を題材とした

環境学習におけるニーズの変化や総合的な学習の動向を整理分析し、学習指導要領に即した河川学習の支援内容と実施した具体的な事例について報告し、今後の河川を題材とした環境学習への支援の方向性を示す。

## 2. 小学校における河川環境教育のニーズ

2004年度から2006年度までに河川環境管理財団が鶴見川流域で実施した河川環境教育支援の実績を基に、支援者数の推移と実施した教科の変化について図2・1に整理した。

図2・1のグラフより、2004年度の学習支援者数は、825人、2005年度では1270人、2006年度では、2264人と推移し、支援者数は、毎年1.5～1.8倍の増加が見られる。

特に、理科・社会等の各教科学習の教科での実施は、2004年度には見られなかったが、2005年度では253人、2006年度では1041人と年々増加し、2006年度の全体の学習支援者数2264人の約半数を占めるまでになっている。

「総合的な学習の時間」以外の各教科学習の増加については、「総合的な学習の時間」において英語等他の教科学習に活用されるケースが増え、理科、社会等の各教科学習で体験学習が行われたことが推測される。

\* (財) 河川環境管理財団 理事 兼 子どもの水辺サポートセンター長

\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長 兼 子どもの水辺サポートセンター次長

\*\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長 兼 子どもの水辺サポートセンター次長

\*\*\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長 兼 子どもの水辺サポートセンター研究員

これらの傾向を河川環境学習における学校側からのニーズと捉えると、河川環境教育を普及・啓発するためには、各教科学習の目標と内容を踏まえた河川環境学習のプログラムの提供が必要である。

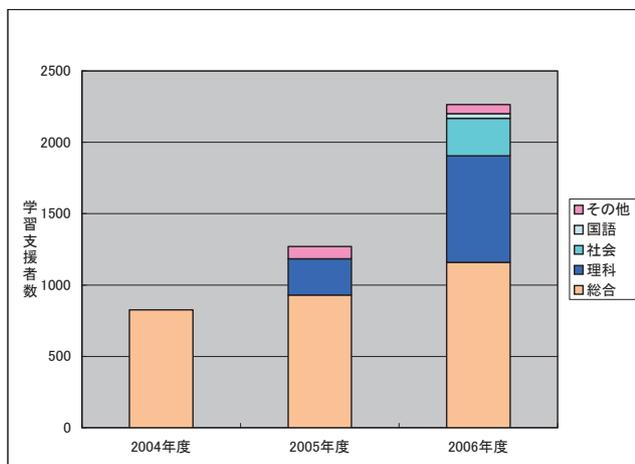


図 2-1 河川環境学習支援の推移

### 3. 教科学習に即した河川環境教育の支援

#### 3.1 鶴見川における河川環境教育の支援の特徴

河川における環境学習の普及・啓発を目的として「誰でもできる河川を教材とした学習」をテーマに、鶴見川流域で河川を活用した授業を実施している教員の方の意見を参考に、鶴見川の上流域から下流域におけるモデル授業の実施事例を紹介するとともに、活動計画の作成を支援するものとして、各学年の学習指導要領に即した教科別の活動計画例及び教科学習と河川との関連した項目の整理、鶴見川流域の市民団体や関係機関からの河川の環境教育に関する支援の情報等を提供する冊子を京浜河川事務所からの委託で作成・配布した。

また、この冊子の作成に協力して頂いた教員の小学校の理科の授業を対象に、「流れる水のはたらき」をモデルとして、鶴見川の河川敷を活用し授業に必要な人材や資材等の支援を行った。

#### 3.2 鶴見川における河川環境教育の活動計画づくり

鶴見川をテーマとした河川環境学習を実施するにあたって各教科の学習指導要領に合わせて、どのような学習内容がふさわしいか整理した。

検討にあたっては、鶴見川流域内で河川環境教育を進め、実績のある小学校に呼びかけ6名の教員と鶴見川で活動する市民団体で構成する「鶴見川流域・河川学習検討会」を開催し、進めた。

以下の項目を整理の観点として抽出した。

#### 《河川環境学習を切り口とした各学習指導要領の整理の観点》

- ・鶴見川の特性や資源を活用した内容
- ・継続性があるプログラムで、蓄積され得る内容
- ・河川敷や室内でも実施可能な内容
- ・河川環境学習に興味をもたせられる内容

#### 3.3 学習指導要領に即した河川環境学習の学習メニューの抽出

前項 3.2 の「整理の観点」を踏まえて、国語、算数、理科、社会等の全ての教科の学習指導要領から川へ関連した内容が含まれているメニューを表 3-1 に抽出した。表 3-1 は、例として示した3つの教科の他に、河川で活用が図ることがで判断きるメニューを抽出したが、その一部の例を示した。表 3-1 は、「学習指導要領の内容」と「河川環境教育の切り口」を示すとともに、「場所」では、河川のどの場所で開催できるかを示した。「適合性」は、「河川環境教育の切り口」の内容が鶴見川で実施できるのかを記号で示した。

また、抽出された河川環境学習の学習メニューより以下の特徴が考えられた。

#### 《学習メニューの特徴》

- ・河川環境教育では、国語、算数、理科、社会、体育、音楽、図画工作、家庭等、広範な教科に関連した学習が展開できる。
- ・地域の特性や資源を活用した河川環境教育の展開が可能である。

表 3-1 学習指導要領より河川環境学習に活用が図れると判断される教科学習と活動概要

学年	学習指導要領の内容	河川環境教育の切り口	鶴見川の活用	
			場所	適合性
<b>◆社 会</b>				
3 及 び 4	<b>●地域の人の生産や販売</b> ・地域には生産や販売をする仕事があり、それらは自分たちの生活を支えている	・田んぼ、畑に必要な水はどこから？ →河川取水について	川沿い 取水堰 用水路	◎
	<b>●災害や事故から安全を守る工夫</b> ・関係機関の働きと従事者の工夫や努力 ・関係諸機関が相互に連絡を取合いながら緊急に対処する体制をとっている	・洪水をふせぐために何をしているの？ →河川の管理について	河川事務所	△
<b>◆算 数</b>				
2	<b>●数える、数の意味</b> ・同じ大きさの集まりにし、数えたり、分類する ・事柄を分類整理、表やグラフに表す	・ゴミを分類して表やグラフにする (河川環境教育に関連づける方法のヒント)		
<b>◆図画工作</b>				
1 及 び 2	<b>●材料をもとにして、楽しい造形活動</b> ・身近な自然物や人工の材料を使って思いついたことを表現	・季節の草花で造形する 例) 葉っぱで色水をつくる 冠をつくる、すすきでふくろう くずの葉でリース ・ストーンペインティング	河川敷	◎

※凡例 ◎授業に活用できる △工夫すれば活用できる

### 3.4 学習指導要領に即した「流れる水のはたらき」の河川環境学習を支援するための計画づくり

#### 3.4.1 「流れる水のはたらき」の学習メニューの抽出と学習支援のための手順

「鶴見川流域・河川学習検討会」で検討した内容を踏まえ、鶴見川流域内の小学校の小学5年生の理科の「流れる水のはたらき」の授業で、鶴見川を活用した授業の支援を行った。実施に至るまでの手順を図3-1に示したものである。

手順の最初である「流れる水のはたらき」の学習指導要領の内容を河川環境教育を切り口に整理した項目は、「鶴見川流域・河川学習検討会」で検討され、表3-1と同様の形式で、表3-2に示した。「河川環境教育の切り口」は、河川の持つ特性を活用可能な内容に設定した。また、表3-2の「場所」に示された内容は、河川構造物の見学等、河川管理の理解へ展開できる幅のある学習内容として考えた。

手順の中の教科書への対応は、学習指導要領の他に、支援する学校で使用している教科書の内容を確認するもので、授業のねらいと支援のための具体的なプログラムを作成するための必須条件である。

また、「流れる水のはたらき」は、次項3.5で示す教科書の記載内容からも、実際に川を活用することにより、学習効果が高められるプログラムである。

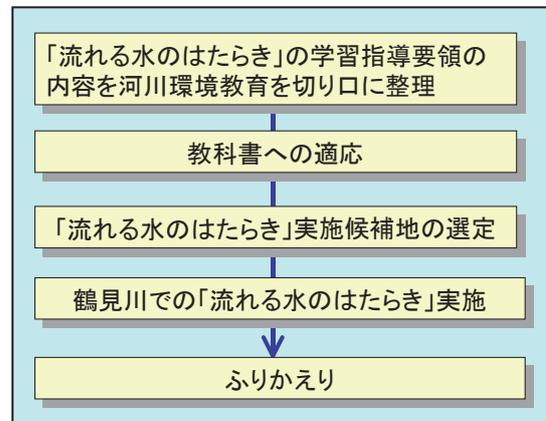


図 3-1 鶴見川での支援の進め方

表 3-2 河川を活用した「流れる水のはたらき」の活動概要

学年	学習指導要領の内容	河川環境教育の切り口	鶴見川の活用	
			場所	適合性
5	地球と宇宙 ○流れる水の働きと土地の変化 ・流れる水：土地を削る、石や土を流す・積もらせる働き ・雨の降り方による流れる水の違い（速さ、量）、増水による変化	・土砂の運搬・堆積の観察、実験、岸を削る水流の力 ・川の微地形の観察 ⇒上～中～下流～河口の様子の変化：石の大きさ、流れ、河原、河岸の様子等 ⇒洪水の川の様子は洪水前とどのように変わったのか？ ・治水施設の見学	川沿い 河川敷 水際 水の中 治水施設 ・遊水地 ・調節池 ・堤防、護岸	◎

3.4.2 教科書への適用

授業の実施に当たっては、学校で使用している「大日本図書 新版たのしい理科5年下(平成16年検定済) 図3-2」の「流れる水のはたらき」を確認した。

このテキストでは「流れる水のはたらき」に関する学習のねらいを4項目あげている。

≪「流れる水のはたらき」に関する学習のねらい≫

- ①水の流れの変化とはたらき
- ②川の水のはたらき
- ③流れる水と変化する土地
- ④川とわたしたちの生活

図3-3は、上記の4つの項目の学習のねらいに基づき、「流れる水のはたらき」に関する学習内容と学

習に必要な場所、学習に当たっての着目点を整理したものである。このような整理は、授業の準備をするための重要な作業として位置づけが考えられる。



図3-2 「大日本図書 新版たのしい理科5年下」

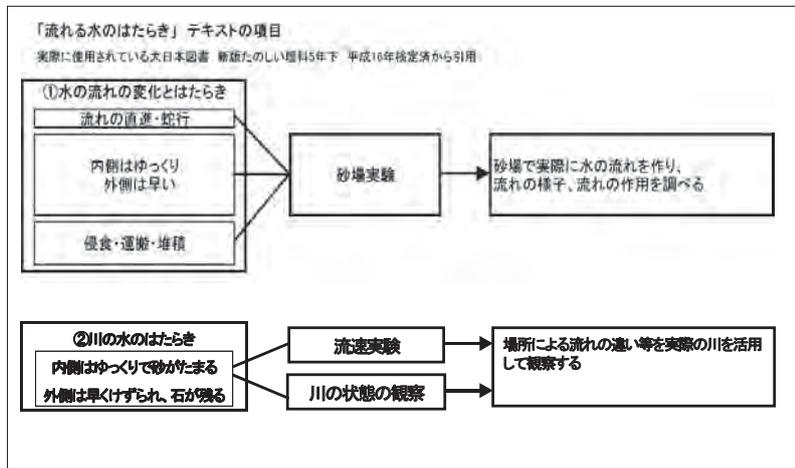


図 3-3 「流れる水のはたらき」に関する学習内容と学習に必要な着目点

### 3.4.3 実施場所の選定

授業内容の条件を踏まえ、鶴見川の鴨居左岸高水敷を実施場所とした。以下に選定理由と実施場所の特徴を標した写真3・1を示す。

#### 《実施場所の選定理由》

- ①河川敷内に傾斜した砂地があり、砂場実験に適した場所である
- ②寄り州の付近には蛇行部があり、流速実験、運搬力の実験に適した場所である
- ③寄り州の護岸側に増水時に水の流れる側流があり、平水時に増水時に起こった運搬と堆積の様子が観察できる場所である

上記の他に、各項目についてクラス単位で授業が実施できる広さがある事も理由の1つとした。

### 3.5 鶴見川での「流れる水のはたらき」の実施状況

「流れる水のはたらき」は、地元の市民団体の協力を得て、理科の授業にて実施した。その実施概要と表3・3プログラムを以下に示す。

#### 《実施概要》

対 象 : 横浜市立荏田西小学校 5年生 140名  
 教科・単元 : 5年生・理科・「流れる水のはたらき」  
 実施場所 : 鶴見川本流（中流）、鴨居左岸高水敷  
 スタッフ : 【流水実験】2名、【流速実験】3名、【堆積物観察】2名、【誘導・救急】3名  
 備 品 : 【流水実験】バケツ【流速実験】流速計（ペットボトル、糸）、水深計測棒、胴長、ストップウォッチ【堆積物観察】なし【安全対策】スローロープ、ライフジャケット、救急セット

表 3・3 「流れる水のはたらき」のプログラム

時間	1班	2班	3班
9:20~9:25	全体説明		
9:25~9:40	流水実験	堆積物観察	流速実験
5分	移動		
9:45~10:00	流速実験	流水実験	堆積物観察
5分	移動		
10:05~10:20	堆積物観察	流速実験	流水実験
10:30	バス乗車		

写真 3・1 実施場所の鴨居左岸の高水敷の全景



## 1) 流水実験

寄り州の砂場の斜面地を活用し流水実験を実施した。実験の解説はスタッフがを行い、生徒達はバケツで水を流す作業を行うとともに、流水の様子を記録した。カーブでは、アウトカーブが削られ、インカーブに堆積する様子や下流部に扇状地が形成される様子が解った。その実験の様子を写真3・2に示す。



写真3・2 流水実験の様子

## 2) 流速実験

蛇行した場所での流速実験は、流れの内側と外側の流速の違いをペットボトルを活用して観察を実施した。写真3・3は、スタッフが川に入り、10mのヒモを付けたペットボトルを川に流し、ヒモが張るまでの時間を岸にいる生徒が計測し、簡易的に流速を調べている様子である。授業は秋に実施したため、生徒を川に入れられなかった。



写真3・3 流速実験の様子

## 3) 運搬と堆積物の観察

写真3・4は、寄り州の護岸側の側流で、増水時に起こった運搬と堆積の様子を観察した様子である。写真3・5より、川の内側と外側の土砂の形状の違いを確認した。



写真3・4 堆積物の観察の様子



写真3・5 増水後の堆積物の違いを確認できる場所

## 4. 「総合的な学習の時間」における河川環境教育の支援

### 4.1 利根川中流の村君小学校への支援の特徴

利根川上流河川事務所からの委託で、利根川の中流ブロックの羽生市立村君小学校に支援を行った。支援内容については、担当教員・学年主任が設定した「総合的な学習の時間」のテーマである『見つめよう 広げよう 村君の自然 ～わたしたちの利根川～』を踏まえた河川環境学習のプログラムの提供を行った。

利根川における「総合的な学習の時間」の支援は、年間を通して約40時間行うものであり、時間を掛けた支援ができることが特徴としてあげられる。

これにより、図4・1に示すように、河川環境教育の導入として、「総合的な学習の時間」に参加した生徒が、川に対して疑問を抱けるような動機づけから、研究テーマを見つけさせ、調査を実施し、その成果を発表する流れを基本として踏まえ、利根川の自然環境の現状を把握できる学習プログラムの提案と実施段階における資材や人材の支援を行った。

#### 《利根川の河川環境教育の支援》

##### ①学習計画づくり

安全講座、Eボート体験、気づき学習、「流れる水のはたらき」及び「流れの速さ調べ」の実験 魚類・植物・鳥類・水生昆虫調査の年間を通したプログラムの提案

##### ②実施段階

上記の各プログラムに必要な資材及び専門家の派遣



図 6・1 支援の進め方

## 4.2 利根川を活用した河川環境教育の教育活動計画づくり

教育活動計画の作成は、授業を実施する上で必須であり、学校関係者の間では、「シラバス」と呼ばれている。作成にあたっては、具体的に学習のねらいや関連性、活動例を念頭に作成する必要がある。プログラム内容によっては、河川に関わる環境や管理の話など専門的な内容に踏み込む場合が想定されるため、担当教員への支援が必要である。

村君小学校における河川環境教育は、前項で示したように、担当する教員達が決定した学習テーマと年間を通した学習の流れに沿って、活動計画を作成した。「総合的な学習の時間」の内約 40 時間を河川環境学習として実施した。その主な活動計画を表 4・1 に示す。

## 4.3 利根川での「総合的な学習の時間」の実施状況

年間教育活動計画を踏まえ、利根川の現地で実施した授業の状況を以下に示す。

### 1) オリエンテーション

川に入る前のリスクを理解するために、学校プールで安全講習を実施した。写真 4・1 に実施状況を示す。



写真 4・1 学校プールでの練習

### 2) 利根川の現地状況の把握

写真 4・2, 4・3 は、現地の状況を把握するとともに、興味をもったことや課題を引き出し、河川環境学習への動機づけをするための作業の様子である。

表 4・1 羽生市立村君小学校における川を活用した「総合的な学習の時間」の年間教育活動計画

スケジュール	6月下旬	7月下旬		9月中旬～10月下旬		
時間数	3時間	3時間	1時間	4時間	4時間	4時間
活動の流れ	オリエンテーション 安全講座	利根川現地状況把握	現地のふりかえり	課題解決・探求活動		
活動の目標	◆現地調査の事前に利根川について児童たちの関心を高める ◆河川に入るためのリスクについて理解する	◆五感を使って川を体感する	◆自ら課題を見つけ、自ら学び、自ら考える ◆自らの意見を相手に的確に伝える	◆主体的に判断し、より良い問題解決する資質や能力を養う ◆他教科で養った知識や技能等を相互に関連付け、総合学習に活かせるようにする		
活動例	○座学や校内のプールでの安全講習の実施	○現地で気になった点、興味のある点について記録を残す	○課題とその解決・探求方法とはどういうものかを考える ○グループの意見を集約し、発表資料を作成する	○現地調査の実施 ・水生生物調査 ・植生調査 ・水質調査 など ○現地踏査の実施後に教室に戻り、本日の振り返りを行う ○現地調査の結果をグループごとに調査結果を紙面にまとめる	○現地で調査した水生生物や植物などの生態等を図鑑から調べる ○村君地区と他の地区との違いについて考える ○グループごとに調査結果を紙面にまとめる	



写真4・2 利根川を見わたせる堤防天端から現地の第一印象を考える



写真4・3 川に入り生徒たちから疑問を引き出す



写真 4・8 魚の採取と漁具の説明を実施



写真 4・9 魚の観察と解説

### 3) 安全講座

プールの安全講習を振り返り、「川ながれ」とEボート体験を実施した。河川環境学習への普及はPTAの理解も必要と考え、生徒のPTAも参加して頂いた。写真 4・4、4・5 に実施状況を示す。



写真 4・10 鳥類の双眼鏡による観察



写真 4・11 水生昆虫の採取と観察



写真4・4 「川ながれ」の体験



写真4・5 Eボート体験



写真 4・12 水辺の植物の観察



写真 4・13 川原の石の調査

### 4) 課題・探究活動

課題・探究活動の1つである「流れる水のはたらき」の実施状況。実際の川の流水を活用した「流れの速さ調べ」と、水際の砂州で作成したミニチュアに利根川の水を導水し実験を行った。写真 4・6、4・7 に実施状況を示す。



写真4・6 ペットボトルを利用した流れの速さ調べ



写真4・7 ミニチュア河川の作成と実験

魚類、植物、鳥類、水生昆虫等調査は、学校外部の専門家と石に詳しい教諭とともに、観察を実施した。専門家による授業の様子を写真 4・8 から写真 4・13 に示す。

### 5) 発表会

これまでの1年間の成果のとりまとめと発表の準備を行った。村君小学校では、校内発表会の他にコンクール等の外の発表会にも参加していた。校内の発表会の様子を写真 4・14、4・15 に示す。



写真4・14 標本の作成



写真4・15 川流れの発表

## 5. 「川を題材とした環境学習」の実施結果に対する感想

「川を題材とした環境学習」の参加者への教育効果を定量的な評価により示すことは困難である。しかし、支援を推進する上で、支援した学習プログ

ラムの良い点や改善点等は、今後の支援のあり方に結びつくものとして重要であると考え、「川を題材とした環境学習」の実施結果の感想について支援した2校にヒアリングを行った。そして、鶴見川流域の横浜市立荏田西小学校と利根川中流ブロックの羽生市立村君小学校の各担当の教員より、以下の感想を得た。

#### 《鶴見川流域の横浜市立荏田西小学校の担当の教員の感想》

- ・荏田西小学校は、川から少し離れた場所にあり、子ども達の中には「川は何処？」と言う子どももいた。
- ・この学習を通じて、川に興味を持ち始めたところなので、これからも続けていきたい。

#### 《利根川中流ブロックの羽生市立村君小学校の担当の教員の感想》

- ・利根川での現地学習は、「利根川上流河川事務所」「河川環境管理財団」からの講師により学習を進めることができた、「自然とのふれあい」学習が「自然や人とのふれあい」学習に展開した。
- ・今回の「利根川の自然」についての体験学習を通して、他教科の学習や林間学校などの学校行事にも意欲的に取り組む子どもが増えた。
- ・自然をテーマに生き物を対象とする場合、季節や時間とともに変化する自然を考慮した学習計画が必要であると感じた。
- ・今回の取り組みを学校の全職員に伝達して、本校の特色ある教育活動の1つとして継続していけるかが課題と感じた。

## 6. 河川環境教育プログラムの成果

平成10年7月の河川審議会「川に学ぶ」小委員会報告では、河川環境教育をとおして、川と人との関係を再構築し、河川愛護意識の一層の啓発を図るためには目的として「川に学ぶ社会の実現」が必要であると提言している。

この提言を踏まえ、河川環境学習を体験したことにより、生徒が自然との共生のために学校や家庭、

周辺の地域社会等に意欲的に働きかけの行動を行ったのかという観点で、本稿で報告した鶴見川と利根川の2つのケーススタディにおける河川環境学習の成果を以下に示す。

### 6.1 鶴見川流域の横浜市立荏田西小学校の成果

#### 鶴見川流域の河川環境学習の成果発表会への参加

鶴見川流域では、地元市民団体と京浜河川事務所との協力により流域小学校の河川環境学習の成果発表を毎年開催している。対外的な発表は、学校間の交流や情報収集や情報提供の場となり、継続性や更なる学習内容の発展に期待できる。

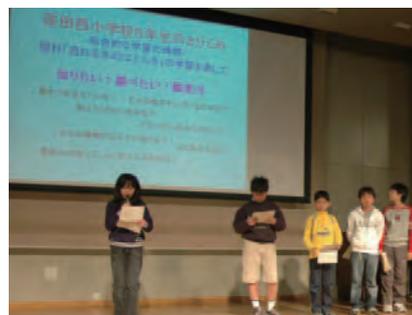


写真 6・1 発表会の様子



写真 6・2 発表会は、鶴見川流域内の他校との情報共有の場として活用されている

河川環境学習の成果を対外的に発表することは、情報発信の1つであり、発表することにより、他校の河川環境学習についての情報も入手できるなどのメリットも考えられ、河川環境学習の継続、生徒と教員のやる気の助長、地域との連携等様々な展開を期待できる。

今回の河川環境教育の支援は、提言に示されている様に、子どもたちが社会へ意欲的に参加できる手掛かりとしての効果があったと考えられる。

一方、河川愛護意識への動機づけとしての効果が期待できるが、生徒が学校を離れ、私生活において

河川愛護意識へのきっかけから行動へ展開していくためにはある程度の時間が必要となる。

発表会の開催状況を写真 6・1, 6・2 に示す。

## 6.2 利根川中流ブロックの羽生市立村君小学校の成果

### 1) イキイキ村小フェスティバル

1 年間子どもたちの学習した「総合的な学習の時間」の成果を地域の人たちを学校へ招待し発表した。招待者への説明の様子を写真 6・3 に示す。

### 2) 新聞による活動の掲載

新聞の掲載により河川環境学習が周辺地域に周知されたことにより、生徒の今後の学習への意欲の向上につながる効果があると考えられる。掲載された新聞記事を写真 6・4 に示す。



写真 6・3 利根川に生息する魚の解説している様子



写真 6・4 埼玉新聞 (2006 年 9 月 22 日)

### 3) 平成 18 年度 埼玉県科学教育振興展覧会北埼玉地区展への出展

村君小学校 5 年生は、河川環境学習の成果を出展し、「小学校高学年の部最優秀賞」を受賞した。この出展は、PTA に対しても河川環境学習を理解してもらう効果があると考えられる。受賞した展示パネルを写真 6・5 に示す。

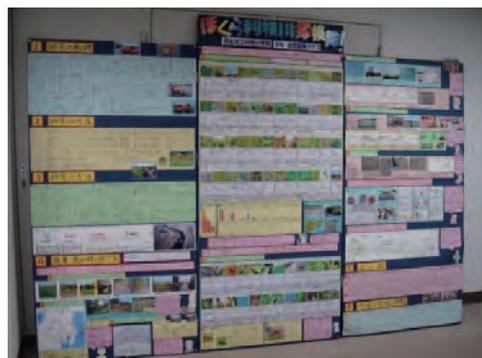


写真 6・5 利根川で水辺の観察記録をまとめた展示

### 4) 平成 18 年度 羽生市教育研究大会での発表

村君小学校の「総合的な学習の時間」で取り組んだ河川環境学習について、担当教諭が教育委員会の研究会で発表した。河川環境学習が、学校としての成果となることが伺える。担当教員の発表の様子を写真 6・6 に示す。



写真 6・6 羽生市教育研究大会での利根川を活用した河川環境学習発表の様子

## 7. 今後の河川環境教育の支援のあり方と改善点

今後の河川環境教育の展開として、「川を題材とした河川環境教育」への支援のあり方と支援の改善点を以下に示す。

### 《今後の支援のあり方》

- ◆総合的な学習の時間を利用した数十時間に及ぶ河川環境教育への支援は、児童の身近にある河川に関しての学習や体験活動を通じて知識、理解を深め、児童と川、親や地域の人々との関係

を深める機会となっている。また、川への関心をもたせる動機づけとなっている。

◆河川環境教育を通して、自然に係わる他の教科や学校行事へ意欲の向上へのきっかけとなっている。

◆一方、教科学習を利用した河川環境教育は、まとまった時間を確保できない学校においては、実際の川に触れることにより児童の理解がより深まるとの報告もあり、今後の河川環境教育支援のあり方として重要性が増すものと考えられる。

#### 《今後の支援の改善点》

◆年間を通じた支援を行う場合の川の生き物調査は、実施場所の季節毎の身近な環境の変化を気づかせるための河川環境教育プログラムの検討が必要である。

◆学校が極力、単独で「川を題材とした河川環境教育」を継続的に実施が可能な河川環境教育プログラムの検討が必要である。その手助けとして地元の川で活動する市民団体や専門家等の協力が得られるようなプログラムの検討が必要である。

## 謝 辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所ならびに利根川上流河川事務所の委託業務の一環として実施したものである。なお、本研究を実施するにあたり、「鶴見川流域・河川学習検討会」委員、「NPO 法人鶴見川ネットワーク」、「横浜市立荏田西小学校」、「羽生市立村君小学校」、京浜河川事務所河川環境課、利根川上流河川事務所調査課の方々に、貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに記して深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 建設省河川局河川環境課 (1998) : 「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) 山本雅史・入江靖・鈴木茂樹・中山尚 (2005) : 河川環境学習の活性化のための支援方策検討、河川環境総合研究報告、第 11 号, PP. 79-87
- 3) 宮尾博一・鎌田照章・鈴木茂樹・大西伸和 (2006) : 河川環境教育の推進に関する研究、河川環境総合研究所報告、第 12 号, PP. 1-17
- 4) 大日本図書株式会社 (2006) : たのしい理科 5 下, PP. 18-19
- 5) 鶴見川流域・河川学習検討会 (2006) : 鶴見川を題材とした小学校の活動のすすめ
- 6) 文部省 (1998) : 小学校学習指導要領, P. 56

# 1) 湖沼への流入負荷及び底泥からの溶出負荷の把握精度向上に関する研究

阿部 徹\*・斐 義光\*\*・本橋 健\*\*\*

## 1. はじめに

閉鎖性水域である湖沼においては、これまで様々な水質改善対策が講じられながら、依然として水質の改善が遅れている。その要因として、湖沼への流入負荷や底泥からの溶出負荷の特性が十分に把握されていないため、効果的な対策が実施できないこと等があげられる。

表 1・1 は、代表的な湖沼の年負荷量の内訳を示したものである。富栄養化の原因となる T-P（全リン）の内訳を例として示したが、湖沼外からの負荷のほとんどは流入河川からの負荷（流域負荷）が、湖沼

内の負荷のほとんどは底泥からの溶出負荷が占めている。したがって、これらの負荷量を精度よく把握することは、湖沼の水質管理において極めて重要である。

本研究は、日本の代表湖沼（網走湖、小川原湖、霞ヶ浦、琵琶湖、中海・宍道湖）をフィールドとして、各湖沼のデータをもとに流入負荷の特性及び底質の特性を分析・検討した上で、湖沼への流入負荷量、底質からの溶出負荷量の把握精度を向上させるための手法を研究したものである。

流入負荷量の把握精度向上については、阿部ら<sup>1)</sup>が、上記代表湖沼へのヒアリング結果などをもとに

表 1・1 代表的な湖沼の諸元と T-P 年負荷量の内訳

湖沼	網走湖	小川原湖	霞ヶ浦	琵琶湖	宍道湖	中海
湖面積 (km <sup>2</sup> )	32.3	63.2	220.0	670.3	81.8	92.1
平均水深 (m)	6.1	11.0	4.0	41.2	4.5	5.4
流域面積 (km <sup>2</sup> )	32.3	805.4	2,157	3,174	1,288	595
流域人口 (千人)	50	80	960	1,237	274	163
年回転率	2.2	1.0	1.7	0.2	2.5	3.3
T-P 年負荷量の内訳						

\*国土交通省 中国地方整備局 太田川河川事務所長（前河川環境総合研究所 研究第二部長）

\*\*いであ（株）建設コンサルタント統括事業本部 技師長（前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

L-Q 式 (L: 負荷量, Q: 流量) の特性検討, 原単位法の現状と課題検討を行っている. 本研究はその続編として, まず, L-Q 式の流量の代わりに濁度などの自動観測データを用いて負荷量を推定する手法の適用性を検討した上で, 流入負荷量把握に関する今後の課題を示した. また, 底泥からの溶出負荷については, 底質の平面分布・鉛直分布の特徴, 底泥溶出速度・酸素消費速度の特徴を整理した上で, 底質及びその溶出特性の把握精度を向上させるための工夫・留意点, 湖沼の管理段階別の底質調査の組み立て方を示した.

## 2. 流入負荷の把握精度向上

河川からの流入負荷を把握する実務的な方法としては, 大きく分けて(1)L-Q 式を用いる方法, (2)原単位法による積み上げ, (3)水質自動観測による方法, の 3 つがある. (1)と(2)の現状と課題については, 阿部ら<sup>1)</sup>が詳細に述べている. 本研究では, (3)水質自動観測による方法に絞って, 流入負荷の把握精度を向上させる方法を検討した.

まず, 自動観測データを活用する際の留意点を述べた上で, 活用事例を示した. 次に, 代表湖沼における自動観測データ活用の事例研究を行った. さらに, 流入負荷量把握の展望として, 分布型モデルを紹介し, 流入負荷の把握精度向上に向けた課題を示した.

### 2.1 自動観測データの活用による流入負荷量把握精度の向上

#### 2.1.1 自動観測データを活用する際の留意点

自動観測装置による連続観測は, 流入負荷量の調査手法のひとつであり, 計測頻度を密に水質の挙動を追える利点がある.

しかし, 自動観測装置では物理的な原理による間接的な計測方法がとられているものが多く, そのアウトプットは採水分析結果とは必ずしも同じではない. そこで, 自動観測のデータを有効に活用するためには, 適宜採水分析結果によりキャリブレーション

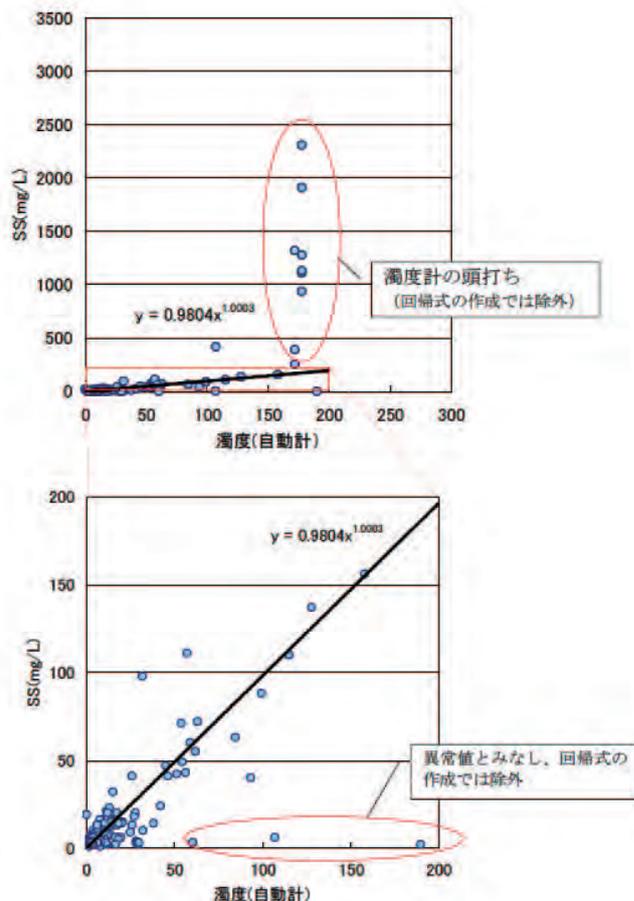


図 2-1 自動観測による濁度のキャリブレーション (網走川・治水橋)

ンを行い, 精度向上を図る必要がある.

以下に, 網走川 (治水橋) のデータを用いて, 自動観測装置のキャリブレーションを行った例を示す. ここでは, 自動観測による濁度から, SS (浮遊物質) の濃度変化を把握することを考える.

図 2-1 は, ほぼ同時刻における, 自動観測による濁度の値と, 定期・出水時調査の SS 値との関係である.

SS 分析値が大きくなると, 濁度値は 170~180 で頭打ちしてしまっている. これは恐らく自動濁度計の計測可能レンジの影響と考えられる. このような場合, 濁度値から SS 値を推定することはできない.

また, データレンジをより小さくして両者を比較すると, SS 値が 200mg/L より小さい範囲においては, 両者は概ね 1 対 1 の関係にある. ただし, SS 分析値が低い時に自動濁度の値が大きい値を示すような, 異常値と推定されるデータも含まれている.

濁度値の頭打ちと計測異常を考慮し, データを選

定して回帰式を作成した。同式により濁度を SS に換算した時系列を実績値とともに図 2・2 に示す。なお、SS200mg/L 以上は、濁度計で計測できないことが分かっているため、ここでは SS200mg/L 以下の範囲の変動を示している。図中には頭打ちや欠測の主なものを示しているが、実際には細かな欠測が頻繁に生じている。そうした異常が起きていない期間においては、実績値の SS をよく再現（ただし、高 SS 時の実測データは不足）しており、なおかつ時間的に連続したデータが得られている。

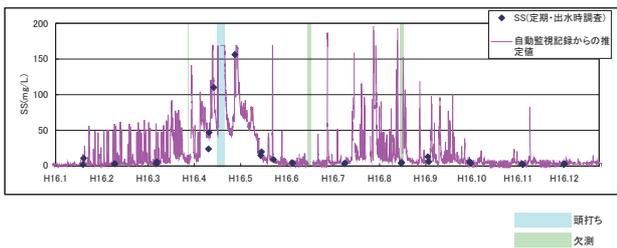


図 2・2 自動観測濁度により推定した SS 変化

このように、自動観測データを活用することにより、時間的に連続した流入負荷量をより詳細に把握できる可能性がある。

なお、自動観測データを活用するにあたっては、以下のような点に留意する必要がある。

- ・ 計測器の計測可能範囲を越えたデータは推定できない。
- ・ 毎時の計測値はノイズを含んでおり、必要に応じて、平滑化等の処理が必要である。
- ・ 異常値、欠測が多い場合、適宜、定期・出水調査を併せて実施することが望ましい。
- ・ 定期、出水調査を活用してキャリブレーションを継続して行っていく必要がある。

今回見られたようなデータの頭打ちについては、高濃度濁度計など、計測可能範囲の高いものを利用することで回避できる。しかし、高濃度濁度計では、低濁度時の精度が低下する恐れがあるため、必要に応じて、計測対象範囲の異なる計測器を複数導入するなどの工夫が必要である。また、近年では計測範囲が状況に応じて可変となる計測器も開発されており、こうした機器の導入により、自動観測の精度が向上すると考えられる。

## 2.1.2 自動観測データの活用事例

水質自動観測は、水温や塩分など物理的な観測が可能なもの、濁りやクロロフィル a など光学的に(間接的な)計測が可能な項目に適している。ここでは、そうした計測値と流量データを併用することにより、COD(化学的酸素要求量)、T-P(全リン)、T-N(全窒素)などの L-Q 式の精度を向上させる可能性について検討する。

霞ヶ浦では、恋瀬川・園部川において、光学測定および水質分析による水質調査を行い、両者の相関から、水質の時間変化を精度良く推定する試みがなされている<sup>2)</sup>。そこでは、表 2・1 に示すような回帰式が提案されており、主に懸濁態については濁度の、溶存態についてはクロロフィル a 用の周波数帯の光学計測値の関数としている。

表 2・1 自動観測を用いた負荷推定式の例

### 【懸濁態負荷濃度の算定法】

$$\begin{aligned}
 P-COD &= \alpha_1 \cdot Tb^{\beta_1} + \gamma_1 \\
 POC &= \alpha_2 \cdot Tb^{\beta_2} + \gamma_2 \\
 POP &= \alpha_3 \cdot Tb^{\beta_3} + \gamma_3 \\
 PIP &= \alpha_4 \cdot Tb^{\beta_4} + \gamma_4 \\
 PON &= C_5 \quad [Q/A \leq \eta_5] \\
 &= \alpha_5 \cdot Tb^{\beta_5} + \gamma_5 \quad [Q/A > \eta_5]
 \end{aligned}$$

### 【溶存性有機態負荷濃度の算定法】

$$\begin{aligned}
 D-COD &= \alpha_6 \cdot (Chl-a)^{\beta_6} + \gamma_6 \quad [Chl-a \leq \eta_6] \\
 &= \xi_6 \quad [Chl-a > \eta_6] \\
 DOC &= \alpha_7 \cdot (Chl-a)^{\beta_7} + \gamma_7 \quad [Chl-a \leq \eta_7] \\
 &= \xi_7 \quad [Chl-a > \eta_7] \\
 DOP &= \alpha_8 \cdot (Chl-a)^{\beta_8} + \gamma_8 \\
 DON &= \alpha_9 \cdot (Chl-a)^{\beta_9} + \gamma_9 \quad [Q/A \leq \eta_9] \\
 &= \zeta_9 \cdot (Chl-a)^{\psi_9} + \xi_9 \quad [Q/A > \eta_9]
 \end{aligned}$$

### 【溶存性無機態負荷濃度の算定法】

$$\begin{aligned}
 DIP &= \alpha_{10} \cdot Q^{\beta_{10}} + \gamma_{10} \\
 NO_3-N &= \alpha_{11} \cdot (Chl-a)^{\beta_{11}} + \gamma_{11} \quad [Q/A \leq \eta_{11}] \\
 &= \zeta_{11} \cdot (Chl-a)^{\psi_{11}} + \xi_{11} \quad [Q/A > \eta_{11}] \\
 NH_4-N &= C_{12} \quad [Q/A \leq \eta_{12}] \\
 &= \alpha_{12} \cdot Tb^{\beta_{12}} + \gamma_{12} \quad [Q/A > \eta_{12}] \\
 NO_2-N &= C_{13} \quad [Q/A \leq \eta_{13}] \\
 &= \gamma_{13} \quad [Q/A > \eta_{13}]
 \end{aligned}$$

ここに、 $Q$  : 流量[m<sup>3</sup>/s],  $Tb$  : 濁度用の周波数帯の光学計測値[ppm],  $Chl-a$  : クロロフィル a 用の周波数帯の光学計測値[ppb],  $A$  : 流域面積[km<sup>2</sup>],  $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \psi, \xi$  : 係数,  $\eta$  : 閾値,  $C$  : 定期観測より決定する季節ごとの定数である。

図 2・3には実績値と L-Q 式および水質の光学計測値を利用した式による推定値の関係を示す。水質の光学計測値を利用することで、実績値をよりよく再現できている。特に、COD 負荷量の推定(図 2・3(a)恋瀬川の例)では、L-Q 式と比較して光学計測値を利用した式のほうが  $y=x$  の線近傍にプロットされており、推定精度が大きく向上している。これは、リンや COD は窒素に比べて懸濁成分率が高く、また懸濁成分は光計測で検出され易いためと考えられる。

以上のように、自動観測による水質計測値を利用することにより、負荷量(特に光計測で検出しやすい懸濁性物質について)の推定精度を向上させる可能性がある。

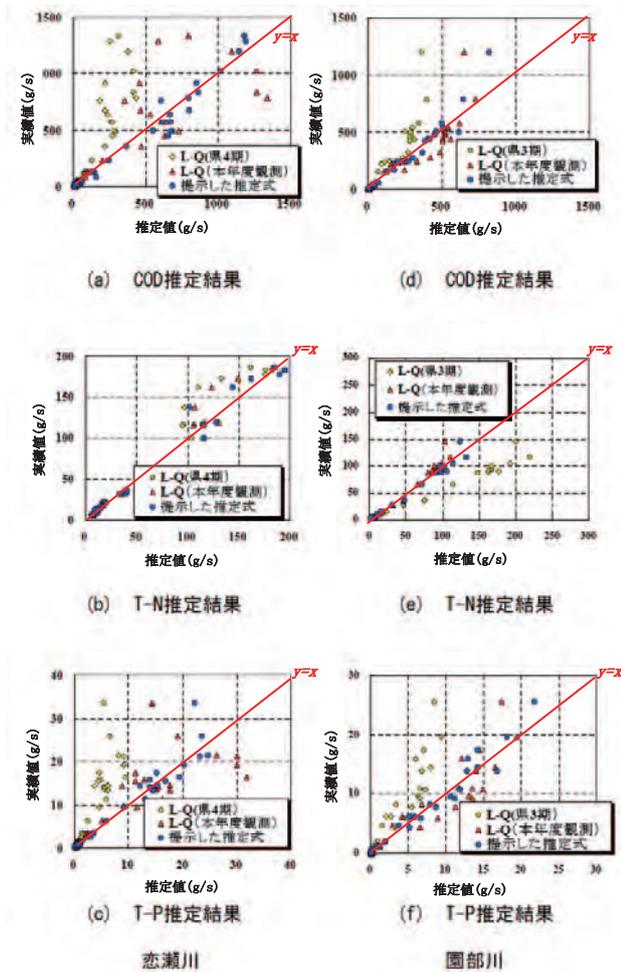


図 2・3 汚濁負荷の推定結果  
(財)理工学振興会<sup>2)</sup>に一部加筆

## 2.1.3 代表湖沼における自動観測データ活用の事例研究

### (1) 自動観測濁度のみによる推定

前項で紹介した推定式を他湖沼へ適用することを試みる。対象湖沼としては、時刻流量、自動水質観測値、定期・出水時調査のデータが、同時期に揃っている網走湖を選定した。

網走川・治水橋地点(河口から 21.7km)では、水温、濁度、pH、COD、導電率、溶存酸素の 6 項目について自動水質観測が行われている。クロロフィル a については計測されていないため、ここでは濁度計を用いて、以下の粒子態物質について、推定を試みた。すなわち、濁度を説明変数、粒子態物質濃度を目的変数とした。

- ・P-COD (粒子態化学的酸素要求量)
- ・P-TP (粒子態全リン)
- ・P-TN (粒子態全窒素)

回帰式は以下の式形により作成した。

$$C = \alpha \cdot T_b^\beta + \gamma \quad (2.1)$$

ここに  $C$  : 水質濃度 [mg/L],  $T_b$  : 濁度 [度],  $\alpha, \beta, \gamma$  : 係数であり、各水質項目の係数の値は表 2・2 に示す通りに設定した。

なお、前節 2.1.2 に示した霞ヶ浦の事例では、粒子態(懸濁態)をさらに有機態と無機態に分けて取り扱っているが、ここではそうした水質データがないため、粒子態を一括して取り扱った。

表 2・2 回帰式の係数値

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
P-COD	0.2542	0.6880	0.2396
P-TP	0.0047	0.7574	-0.0014
P-TN	0.0546	0.6352	-0.0273

本手法による水質濃度の時系列変化を、L-Q 式による推定値と実績値と併せて図 2・4 に示す。濁度計の頭打ちのため、大規模出水時ピーク付近の再現はできないものの、その他については、L-Q 式を用いた場合に比べて、実績値の再現性が向上していることが伺える(4月の出水後、8月の出水時など)。

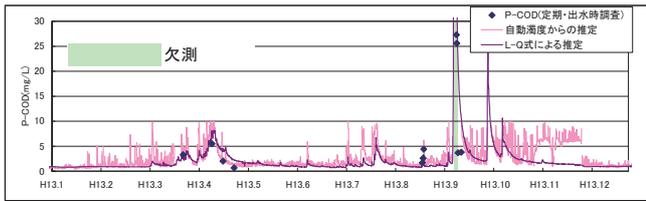


図 2.4 水質時系列推定結果 (P-COD)

## (2) 流量と自動観測濁度による推定の可能性

負荷量推定において、流量と SS(濁度)の両方を用いた場合の、水質負荷量の精度向上の可能性を検討する。

流量と併用する要素は、水質負荷と相関がありさえすればどのような水質項目でもよいが、自記計測が可能な水質項目を用いることで、水位(流量)と併せて時間的に連続性の高い水質データが推定値として得られる利点がある。ここでは、流量(自動観測水位)と自動観測濁度を併用した手法を想定するが、取り扱いの容易性を考慮するとともに L-Q 式との比較を可能にするため、定期観測流量と定期観測 SS(濁度の代用)を用いて手法の妥当性を検証する。

霞ヶ浦桜川のデータ(平水時及び出水時)を用いて、T-P、T-N について、説明変数を SS と流量とした重回帰分析を行うと、図 2.5 のような結果が得られる。

また、重回帰式の式形は次のとおりである。

$$\log(L_{TP}) = 0.537\log(SS) + 1.029\log(Q) - 1.765 \quad (2.2)$$

$$\log(L_{TN}) = 0.129\log(SS) + 1.023\log(Q) + 0.080 \quad (2.3)$$

ここで、 $L_{TP}$ : T-P 負荷量、 $L_{TN}$ : T-N 負荷量である。

L-Q 式による推定値と実績値の関係と比較すると、本手法で推定された値のほうが  $y=x$  の直線に近いところに位置していることがわかる。また、実績値と推定値の関係を原点を通る直線で近似すると、本手法による推定値のほうが傾きが 1.0 に近い。このことから、L の説明変数に SS(濁度)が加わることで、負荷量の推定精度を向上させることが可能となる。

以上の検討により、負荷量を推定するにあたり、流量のほか、自動観測濁度を用いることにより推定精度を向上させることができる可能性が示唆された。ここでの検討はあくまで定期観測の結果を用いた予

備検討的な位置づけのものであるが、同様の手法を自動観測データに応用すれば、自動で計測しやすい項目(濁度など)を用い、その記録と流量から他の水質項目(COD、T-N、T-P)を精度良く推定できる可能性がある。ただし、濁度の自動観測においては、2.1.1 で示したように、データの頭打ちや欠測などハード面での課題も同時に解決していく必要がある。

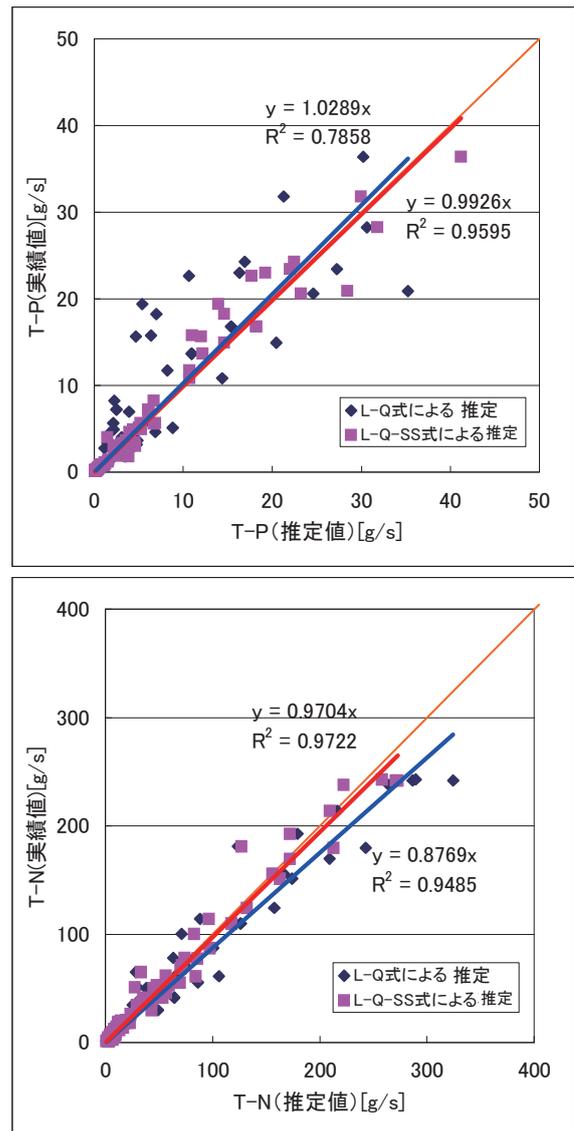


図 2.5 各手法による実績負荷量と推定負荷量の比較

## 2.2 流入負荷量把握の展望

湖沼の水質管理にあたっては、湖沼に流入する負荷量の現状を精度良く把握することはもちろん重要

であるが、流入負荷量の将来像についても予測できることが望ましい。

従来、将来予測を含めた流域負荷の検討については、流域下水道整備計画等で実施されてきているように、主に原単位法が用いられてきた。しかし、近年では、後に述べるようないわゆる“分布型モデル”を用いた流入負荷量の検討・予測も行われるようになってきており、湖沼の水質・流動モデルとカップリングして、湖沼の管理計画を検討していこうという動きも見られる。

分布型モデルは、流域内の物質移動のメカニズムを森林・農地等の土地利用状況ごとにモデル化して、流入負荷量を算定するものである。ここでは流入負荷量の現状把握と予測に有効なツールである分布型モデルの概略を紹介するとともに、モデルの活用を含めた、流入負荷量の検討・予測をするにあたっての課題について述べる。

### 2.2.1 分布型モデルの特徴

分布型モデルの例として、SIPHERモデルを紹介する。

SIPHER (Simulation of phenomena through the medium of water) モデルは、湖沼の水質管理にあ

たっては、これまでの個別施策の実施だけでなく、流域全体のマネジメントによるアプローチが必要であるという現状を踏まえ、現地調査だけでは困難な広範囲の流域の水・物質の挙動を把握することを目的として開発されたモデルである。

SIPHERモデルの特徴として、以下のことが挙げられる。

- 分布型モデル
  - 流域をメッシュに分割し、メッシュ単位で解析を行うことから、任意地点（メッシュ）での水・物質の挙動の解析・出力が可能
- 非定常モデル
  - 平常時、降雨時を含めた任意時間での解析が可能
- 水量・物質連成解析モデル
  - 水の挙動および物質の挙動の同時解析が可能
- 要素モデル統合型モデル
  - 流域内の諸現象（蒸発散・地下水・地表流・河道流・湖沼）に応じて、各要素モデルにより解析し、それらを連成することによって流域全体の現象を解析
- GIS 連成型モデル
  - GIS を介しての流域データのモデルへのイン

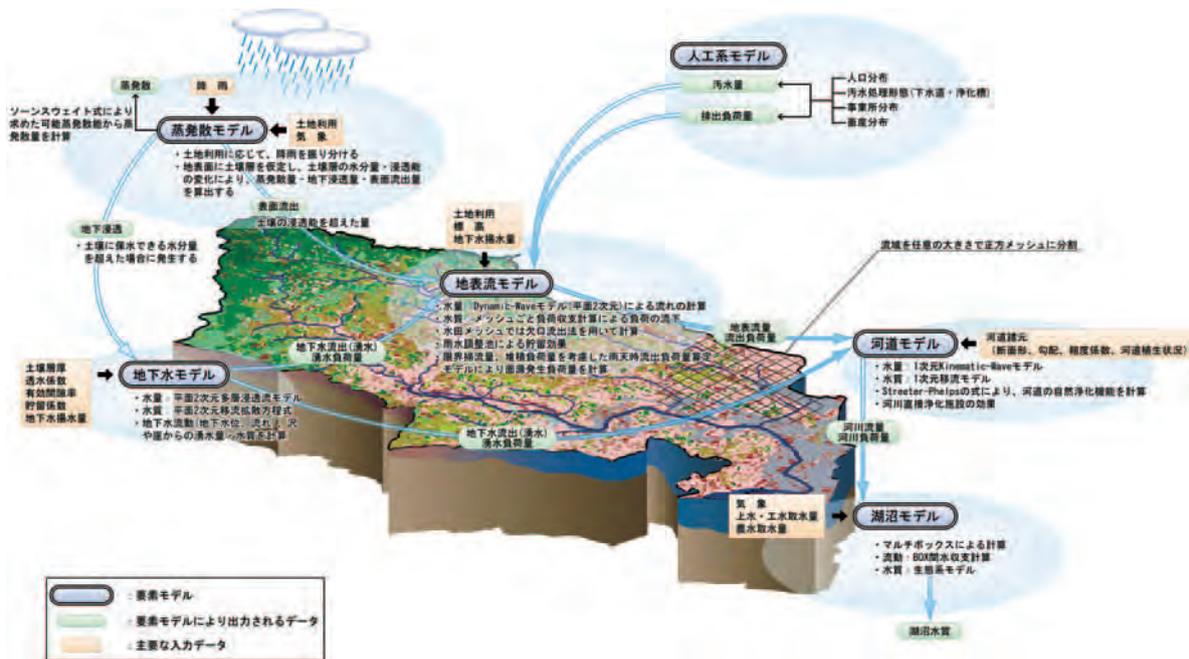


図 2-6 SIPHER-MODEL の構造<sup>3)</sup>

プットデータ作成, 解析結果の格納, 可視化

- 施策指向型モデル

雨水浸透枘の設置や生活排水対策等, 様々な水循環健全化施策による改善効果を解析することが可能

SIPHER モデルは, 分布型物理モデルであり, 流域の様々な水・物質の挙動を直接解析する. 様々な水・物質循環を解析するために, SIPHER-MODEL は 6 つの要素モデルから構成されている. それぞれのモデルは流域を正方メッシュで要素分割し, 各メッシュを単位として流動と水質を計算する. なお, 解析対象とする水質は COD, T-N, T-P の 3 項目である.

これら一連の計算をするにあたっては, 入力条件の一つとして原単位も必要となるため, こうした分布型モデルを使用する際にも原単位調査での精度確保は重要となる (図 2・6 参照).

## 2.2.2 流入負荷の把握精度向上に向けた課題

阿部ら<sup>1)</sup>も示しているように, 調査データの整理にあたって, 流入負荷量を精度よく把握する重要なポイントとして, 以下のような点が挙げられる.

- ・ 出水時データの重要性
- ・ 雪の有無など, 季節による流出メカニズムの違い
- ・ かんがい期など, 季節による水回しの違い
- ・ 粒子態と溶存態の形態別の違い

なお, こうしたデータを整理する際には, 流域内の土地利用がほぼ同じとみなせる期間のデータ群について整理することに留意する必要がある. 流域内の土地利用が変化した場合には, 流域から河川へ流出する負荷量の特性もまた変化するためである.

流域内の土地利用変化に対して, 流出負荷量がどのように応答するのかについては, 原単位が変化するだけでなく, 水の動き方も変化する可能性がある.

その他, これまでの履歴が影響して, 流域変化に対する流出負荷量変化の遅れなどもあると考えられる. 例えば, 流域内にこれまでの負荷源の蓄積があるような場合に, 新たに生じる負荷の発生を抑制で

きても, 蓄積された負荷源から染み出した負荷により, なかなか流入負荷量が減少しないことが想定される. 特に畜産系などでは, こうした時間遅れを考慮する必要があるが, 原単位や L-Q 式では時間遅れを扱うことはできないため, 今後, こうした時間遅れを考慮できる手法の開発が課題となる.

分布型モデルでは, 土地利用 (森林, 農地, 市街地など) ごとに, 実際の現象に基づいて, 流出過程をモデル化している. 従って, 与条件を設定することにより, 相応の精度をもった結果を得ることができる.

しかし, 分布型モデルには与条件の他にも多くのパラメータが含まれており, より精度の高い結果を得るためには, 各流域での流出特性を知った上で設定する必要がある. また, 適切なパラメータの同定等, 個々の分割要素 (小流域) ごとのモデルの再現精度をどこまで上げられるかも精度向上の鍵である. こうしたモデル精度向上の検討には, 調査で実測されたデータが不可欠である. つまり, 優れたモデルがあっても, 調査とそれによって得られるデータの重要性は変わらない.

なお, 水質基準点等において, 現状で実施されている水質調査は, 湖沼へのトータル流入負荷量を求めるに際しては有効と考えられるが, 流域対策を考える上での調査としては必ずしも十分とは言えない. それは, 集水域が複数の異なる土地利用で構成されていることが多いためであり, 土地利用ごとの L-Q 特性が見えにくいからである.

流域対策を考えていく上では, 土地利用が単純である小流域ごとの調査を積み重ねていくことが重要と考えられる. このような調査を実施していくことで, 流域内の汚濁要因を突き止めることも可能であり, 排出原単位と流出負荷量の関係も整理しやすくなる可能性がある.

## 3. 底泥溶出負荷の把握精度向上

底泥からの溶出負荷を精度良く評価するためには, 底質含有量調査によって底質の空間的分布や経年変化を十分把握し, 底泥溶出試験・底泥酸素消費試験

などによって水質への影響を評価するという作業が重要となる。しかし、水質調査と比べて底質調査は作業が難しいうえに、底質の性状を表す数値は本来空間的にばらつきやすい特性を有している。このため、これら調査や試験の精度を高めることは、溶出負荷を精度良く評価することに直結すると言っても過言ではない。以上より、本研究では底質の調査や試験の工夫によって溶出負荷の把握精度を向上させることを目的として検討を行った。

### 3.1 底質の平面分布の特徴

わが国の代表的な湖沼における底質平面分布の特徴を以下に示す。なお、既往の調査地点を図3・1のように湖沼の流入部、流出部、比較的深い水域及び閉鎖性の高い水域に分類して比較した。

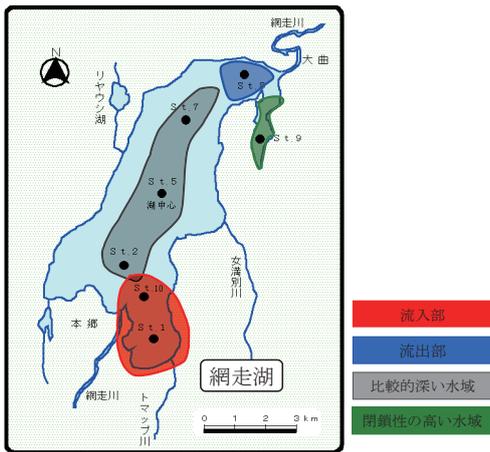


図 3・1 湖沼の水域の定義（網走湖の例）

図 3・2 は、水域別の底泥強熱減量を比較したものである。いずれの湖沼も、流出部（青点線囲み）において強熱減量は比較的低い値を示し、流入部（赤点線囲み）において T-P が高い値を示している。

これらより、例えば底質調査を代表地点のみで実施する場合、湖心だけでなく、特に底質のリン濃度が高くなることが多い河川流入部も調査の代表地点とすることが望ましいと言える。

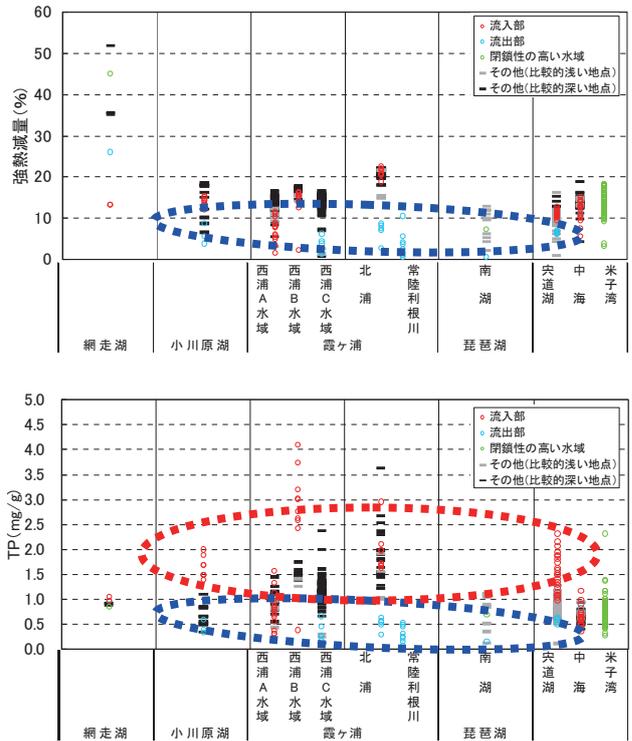


図 3・2 代表的な湖沼の底泥強熱減量と T-P

### 3.2 底質の鉛直分布の特徴

底質鉛直分布の地点による違い及び経年的な変化について、霞ヶ浦の調査結果をとりまとめた。霞ヶ浦（西浦）において平成 4 年および平成 15 年に実施された鉛直分布調査結果を図 3・3 に、調査地点位置図を図 3・4 示す。

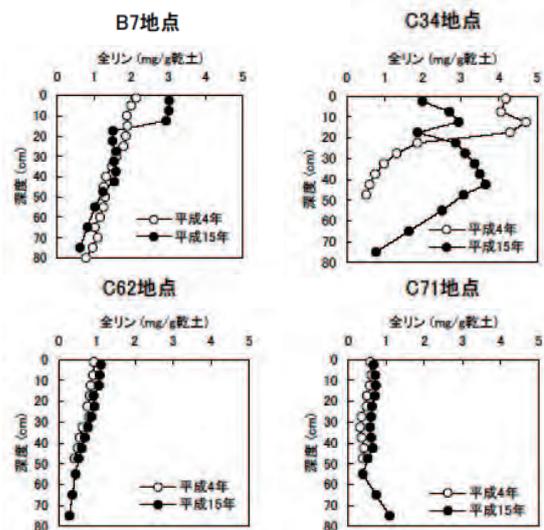


図 3・3 底泥含有量の鉛直分布の事例（霞ヶ浦）

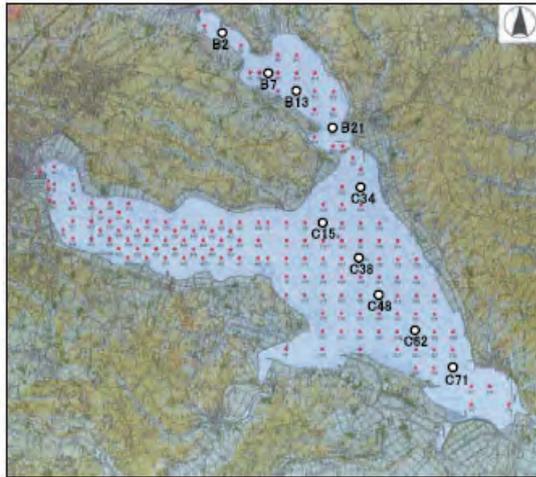


図 3-4 霞ヶ浦の底泥調査地点位置図

これらより、鉛直方向に底質濃度が大きく異なる地点と均一な地点が見られる。鉛直方向の濃度変化が大きい場合にはサンプリング方法（エクマンバージ、コアサンプリング等）による値の差異が比較的大きく、逆に、鉛直方向の濃度変化が小さく濃度がほぼ一様の場合にはサンプリング方法による差異は比較的小さいものと考えられる。このため、底泥採取にあたっては、あらかじめ湖内の代表 1 地点または数地点について鉛直方向の分布を把握しておくことも必要な場合がある。

また、底泥鉛直分布は、10 年程度の期間が経過すると大きく変化する地点も見られることから、ローリング調査によって底質を長期間にわたり調査する場合には、その周期に留意することが重要である。

### 3.3 底泥溶出速度の特徴

霞ヶ浦での調査結果（H17～18：同条件で 3～5 検体の底泥溶出試験を実施）によると、底泥溶出速度の調査結果は、窒素、リンともに、水域の特性に応じて 20～60% 程度のばらつきがある（底泥溶出試験とは、底泥中の汚濁物質が水中に溶出する過程を実際の水域環境に近い条件下で再現し、汚濁物質の溶出速度を測定する試験である）。結果の一例を図 3-5 に示す。底泥溶出速度をより正確に把握するためには、同一地点において複数の試料を用いた調査をすることが望ましい。

また、底泥溶出速度は時期により値が異なり、おおむね夏～秋期は大きい値を、冬～春期は小さい値を示す。このため、底泥溶出試験を実施するときには、水温条件の設定に留意する必要がある。なお、現地での溶出速度を再現するためには、現地の底層水温を把握し、実験条件とする必要がある。

底泥溶出速度が大きい時期にはそのばらつきも無視できないものとなる。ばらつきの大きい夏～秋期の調査を実施する場合には、同一地点において複数の試料を用いた調査を行うことがより重要となる。

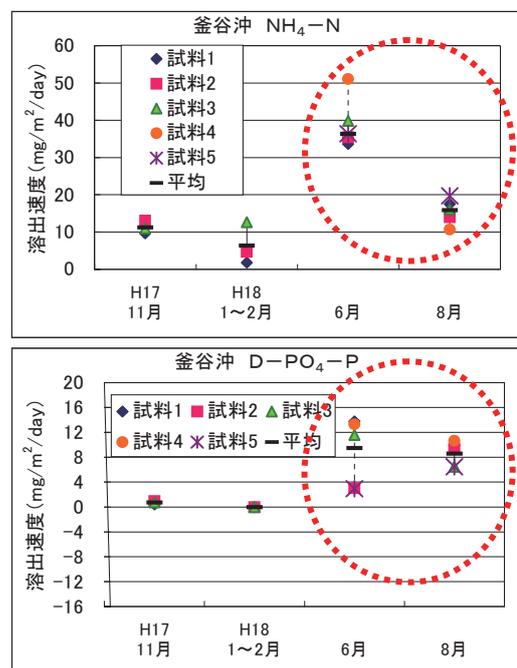


図 3-5 底泥溶出速度試験結果の一例（霞ヶ浦）

### 3.4 底泥酸素消費速度の特徴

図 3-6 は、網走湖と霞ヶ浦において底泥酸素消費試験の泥厚、実験時間、実験場所などによる結果の違いを比較したものである（底泥酸素消費試験とは、底泥中の汚濁物質が微生物などの作用によって分解するときに酸素を消費する過程を再現し、底泥の酸素消費速度を測定する試験である）。

網走湖の結果を見ると、酸素消費速度は、底泥厚よりも、むしろ地点による違いのほうが大きい。したがって、泥厚は同じ湖沼においては 10cm 以上であれば同じ泥厚にしておく程度でよいと考えられる。

霞ヶ浦の結果を見ると、高浜沖を除き、0～30 時間後よりも 30～60 時間後の酸素消費速度が小さい。これは、時間とともに試験管内の DO の存在量が減少するために消費速度も小さくなっていることによると考えられる。

また、霞ヶ浦の結果では、室内実験に比較して現地実験では酸素消費速度が小さい値となる傾向がある。室内実験は約 20℃、現地実験は約 5～6℃の条件下で行われていることから、これは実験中の水温条件の影響と考えられる。

これらより、底泥酸素消費試験では、同一条件で複数検体実施すること、継続時間・水温条件に留意することが特に重要である。

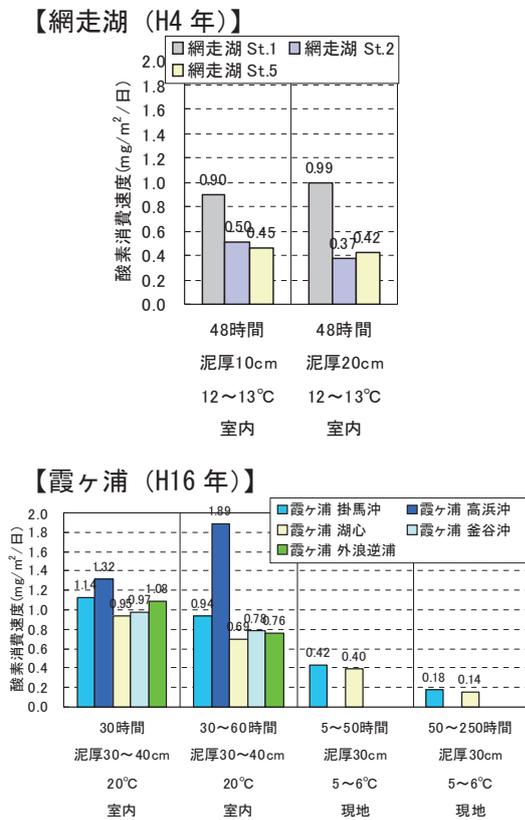


図 3-6 底泥酸素消費試験結果の一例

### 3.5 底質の項目間相関特性

底質調査は、その目的に応じて必要となる項目を調査することが基本であるが、調査項目間に相関がある場合は、代表的な項目のみを調査し、その結果から他の項目を推定することが可能となる。

図 3-7 に、霞ヶ浦における調査結果をもとに作成した物理性状と底質含有量の相関図を示す (A 水域：掛馬沖, B 水域：高崎沖, C 水域：湖中部)。

COD と T-N については、水域によらず強熱減量との間に概ね一定の相関関係が見られる。一方、T-P については、強熱減量と T-P の相関関係が弱い水域が見られる (例えば B 水域)。このため、強熱減量の値から、COD、窒素、リンの値を推定することがある程度可能であると考えられる。ただし、湖沼や

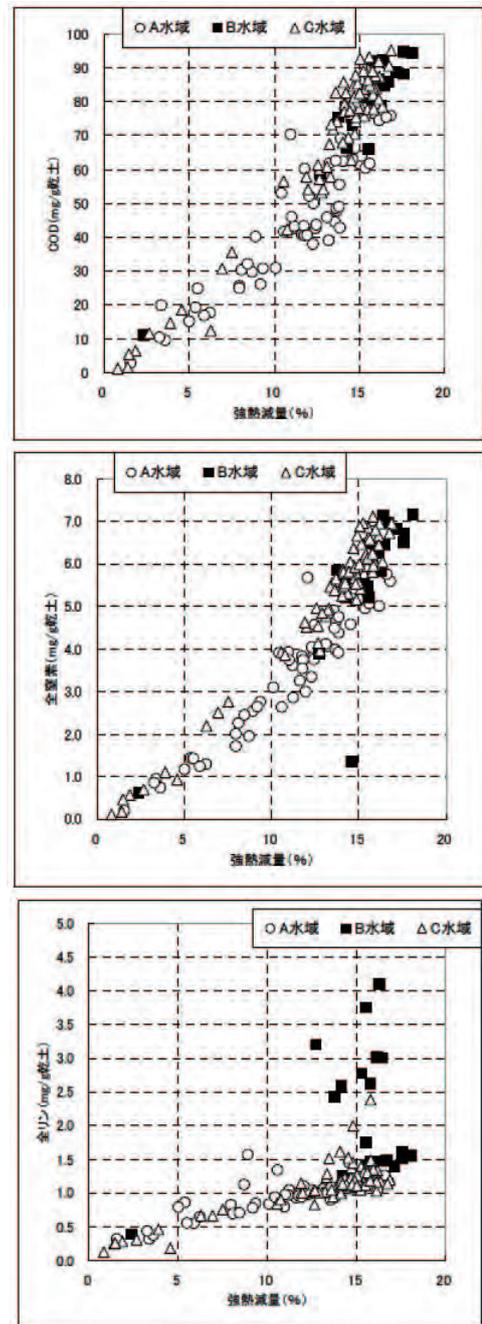


図 3-7 強熱減量と COD, T-N, T-P の相関 (霞ヶ浦西浦 ; H15 年 6 月調査)

水域によりその相関の特性が異なったり、また、項目によっては相関関係が弱いまたは全く見られないこともあるため、実際に適用する際には、個々の湖沼において事前に項目間の相関性について検討し、当該湖沼または当該水域における特性を十分に把握しておく必要がある。

### 3.6 底質と底層水質の相関特性

現地で簡易に計測できる底層水（底層水の酸化還元電位 ORP 及び DO の測定位置は、現地の湖底より 0.1m 上）の ORP 及び DO と底質の平面分布については、図 3-8 の霞ヶ浦（西浦）における調査結果によると、底層水の ORP が 100mV 以下の箇所は、必ず強熱減量が高い値となっており、また、底層水の DO が約 4mg/L 以下の箇所も、必ず強熱減量が高い値となっている。

これより、湖底で比較的有機物濃度が高いことを把握する基礎資料としては、底層水の ORP 及び DO のデータがある程度役立つものと考えられる。

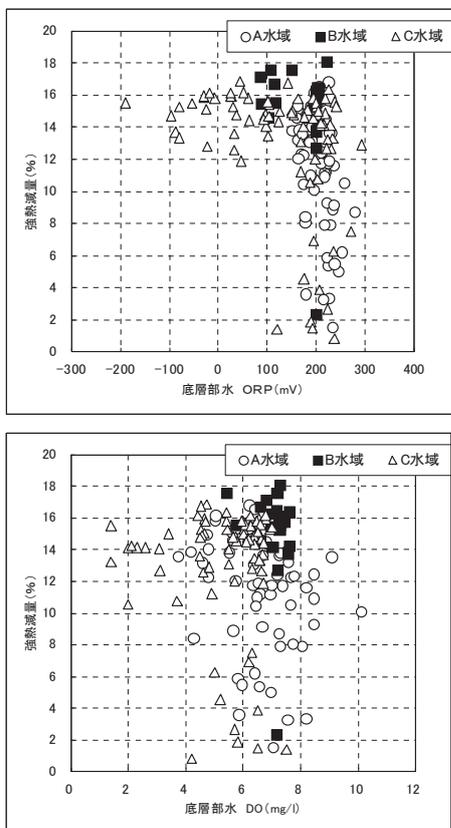


図 3-8 底層水の状態と底泥含有量濃度の関係  
(霞ヶ浦西浦 平成 15 年 6 月調査)

ただし、底質の項目間相関特性の場合と同様に、湖沼や水域によりその相関特性が異なるため、事前に相関性を十分に把握しておくことが重要である。

### 3.7 底泥溶出負荷の把握精度向上のための工夫・留意点

これまで整理してきたように、底質のデータは本来ばらつきが大きいという特性を有している。すなわち、底質の平均的な特性を十分に把握するためには数多くの検体を調査することとなり、多額の費用が必要となる。そこで、3.1~3.6 で示した底質の特性を踏まえて、コストをなるべくかけずに底質の特性を把握するための工夫・留意点について以下に提案した。

#### (1) 底質調査地点に係わる工夫・留意点

- 底質調査を代表地点のみで実施する場合、湖心だけでなく、特に底質のリン濃度が高くなることが多い河川流入部も調査地点とすることが望ましい。
- あらかじめ、湖内の代表地点の底質鉛直分布を把握しておくことにより、適切な底泥サンプリング方法を用いることが可能となる。
- 底泥鉛直分布は 10 年程度の期間が経過すると大きく変化するため、ローリング調査によって底質を長期間にわたり調査する場合には、その周期に留意することが重要である。

#### (2) 調査項目に係わる工夫・留意点

- 底質の項目間に相関がある場合は、代表的な項目のみを調査し、その結果から他の項目の値を推定することが可能である。例えば、強熱減量の値から、COD、窒素、リンの値を推定することがある程度可能である。ただし、湖沼や水域によりその相関特性が異なることもあるため、各湖沼・水域において事前に項目間の相関性を十分に把握しておく必要がある。
- 底泥の有機物濃度が比較的高いことを把握するための基礎資料として、底層水の ORP 及び DO

の現地測定データがある程度役立つ。

### (3) 底泥溶出速度試験に係わる工夫・留意点

- ・ 底泥溶出速度の試験結果は、同一条件でも窒素、リンともに 20～60%程度のばらつきがある。底泥溶出速度をより正確に把握するためには、同一地点において複数の検体を用いた試験をすることが望ましい（溶出速度、ばらつきとも大きい夏～秋期には特に重要である）。
- ・ 底泥溶出速度は時期により値が大きく異なるため、底泥溶出速度試験を実施する際には、特に水温条件の設定に留意する必要がある。

### (4) 底泥酸素消費速度試験に係わる工夫・留意点

- ・ 底泥酸素消費速度試験では、同一条件で複数検体実施すること、継続時間・水温条件に留意することが特に重要である。

## 3.8 底質調査の組み立て方の提案

湖沼の管理段階は、水質問題の発生していない状態（「I. 水質問題の顕在化前」）、及び水質汚濁が進行した状態（対策の実施有無により「II. 水質問題の顕在化後」または「III. 対策後」）に区分することができる。

底質管理段階のイメージを図 3・9 に示す。

湖沼において実施すべき底質調査は、湖沼における底質の管理段階に応じて異なり、それぞれ以下の

とおりとなると考えられる。

- 湖沼水質が良好に保たれているような湖沼（図 3・9 の I 期間に相当）においては、底質から水中への有機物や栄養塩類の溶出による湖沼水質への影響が比較的小さく、底質が湖沼管理上の問題となるようなことはない。このため、底質の平面分布を概略的に把握し、監視すべき水域や地点を絞った上で、その経時的な変化を把握し、底質の経時的な変化の有無をモニタリングすることが肝要である。
- 一方、湖沼水質が汚濁化した湖沼（図 3・9 の II 期間, III 期間に相当）においては、一般に、底質から水中への有機物や栄養塩類の溶出による湖沼水質への影響の度合いが大きく、底質の管理が湖沼管理上の課題の一つとなる。このような場合には、湖沼水質の汚濁化の原因把握、及び水質改善のための対策検討が必要となり、その基礎資料として底質の平面分布等の詳細な状況を把握することが肝要となる。

例として第 III 段階において必要となる調査の目的及び調査内容を図 3・10 にとりまとめた。

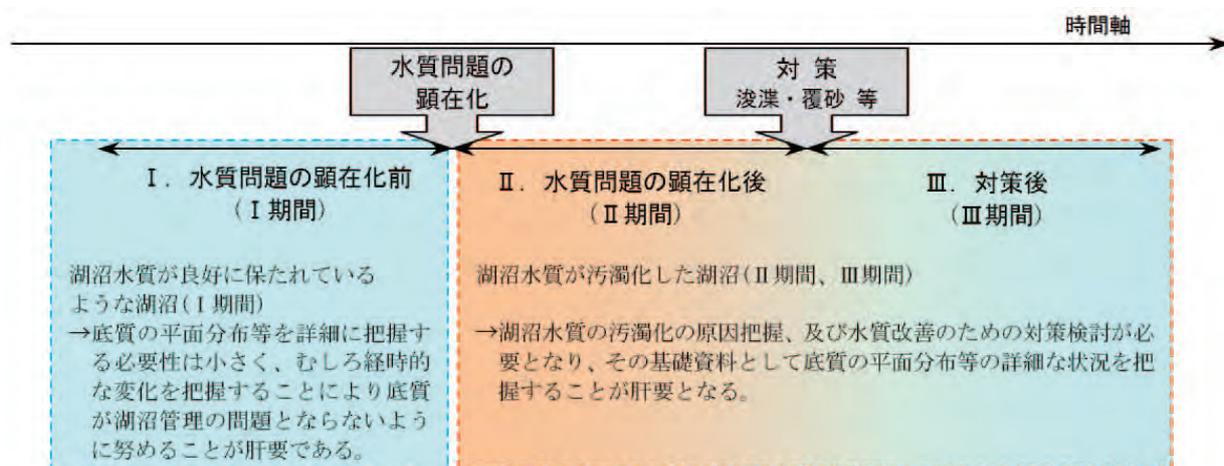


図 3・9 底質管理段階のイメージ

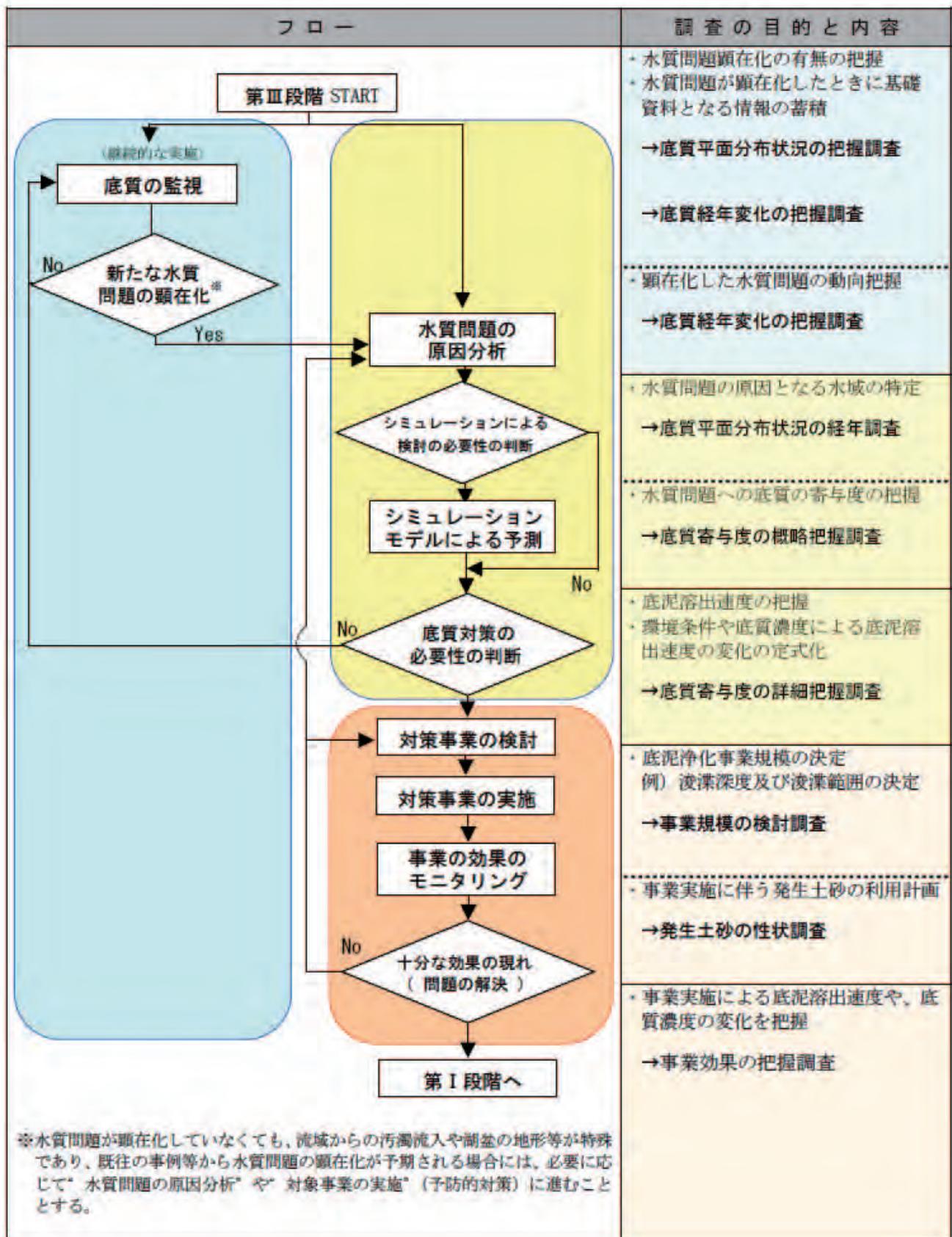


図 3・10 底質管理の第 III 段階に相当する湖沼における底質調査の目的と内容

### 3.9 底質の特性把握に関する今後の課題

以上の研究成果から、底質の特性把握に関する今後の課題を次のようにとりまとめた。

#### (1) 底質に係わる統一調査の実施

底質については、これまで調査・分析が統一的な方法で行われてこなかった。底質の分析値や溶出速度は本来ばらつきが大きいものであるが、データのばらつきの原因が本来の特性によるものか、採泥方法の違いによるものか、試験・分析方法の違いによるものか不明確であったため、他湖沼との横並びによる底質特性比較ができにくい状況にあった。本研究では、底質の平面分布の横並び整理、底質鉛直分布の経年変化比較、同一地点での複数検体の試験結果比較などを実施し、底質の特徴がある程度明らかになった。今後、底質の特徴をより明確に把握するため、複数の湖沼において統一された手法で底質調査を行い、底質を比較検討することで、底質の調査・分析方法の違いによるデータのばらつきを排除し、湖沼の底質本来の特性に関する知見を得ることが必要である。

#### (2) 新しい底質調査手法の開発

底質調査を行う際には、その費用が調査を計画する上で重要な点となる。このため、費用のかからない簡易な調査手法を開発することが望まれる。例えば、泥色の調査は、現状では目視により行われているため、その色の差異がはっきり結果に現れないが、機器により波長等の測定を行うことで、ある程度定量的な調査結果を得られる可能性がある。

また、溶出速度実験では、同一条件下での実験でも、時期により結果が大きくばらつくことが明らかとなっており、こうしたばらつきを最小限とする実験方法が求められている。また、溶出速度については、実際の現地での溶出速度を把握するために、現地において溶出実験を実施している湖沼も見られる。しかしながら、現状では十分な調査方法は確立できておらず、今後も継続して現地の状況を再現できるような溶出実験手法を開発することも重要である。

#### (3) 底質調査結果の管理・活用

底質調査結果は、水質調査結果に比較して既往データが十分に管理、活用されていない状況にある。底質調査結果はもちろんのこと、底泥採取時の状況が分かるような野帳等についても、情報を管理し、活用していく必要がある。

また、底質調査結果の水質シミュレーションモデルへの適用については、今まで、底質は水質への栄養塩帰帰の要素として取り扱われてきた。今後もそれには変わらないが、底泥そのものが変化するような底泥モデルの開発を進めていく必要がある。

## 4. おわりに

#### (1) 本研究成果のまとめ

本研究は、湖沼の水質管理を効率的・効果的に進めることを目的として、湖沼への流入負荷と底泥からの溶出負荷に着目し、その把握精度を向上させるための研究を行ったものである。

流入負荷の把握精度向上については、濁度等の自動観測データから負荷量を推定する手法が、従来のL-Q式による手法より精度を向上させることができる可能性を示した。また、近年よく用いられている分布型モデルの適用可能性を論じた上で、同モデルを用いた負荷量推定の際に重要となる事項を考察した。

底泥からの溶出負荷の把握精度向上については、底質の平面分布、鉛直分布、底泥溶出速度、底泥酸素消費速度の特徴や底質の項目間関連特性、底質と底層水質の関連特性を示した上で、底質調査地点・調査項目に係わる工夫・留意点、底泥溶出速度試験・底泥酸素消費速度試験を実施する際の工夫・留意点を提案した。また、湖沼の底質管理は、水質問題の顕在化前、顕在化後及び対策後の3段階に分けて考えられることを示すとともに、各段階において必要となる底質調査の目的と内容を提案した。

#### (2) 技術資料の作成

これまで述べてきたように、我が国の代表的な湖沼における水理・水質現象に関する調査研究成果、

湖沼の水理・水質現象とその影響及び湖沼の水理・水質調査技術の紹介、今後の調査・研究と総合的な湖沼管理のあり方についての提言を別途「湖沼の水理・水質管理に関する技術資料（仮称）」としてとりまとめている。

同技術資料は、平成 15 年 3 月に策定された「湖沼管理のための流動機構調査－より高度な湖沼管理に資するための調査にむけて－（湖沼技術研究会）」<sup>4)</sup>の内容に水質に関する知見も加え、再構成したものである。

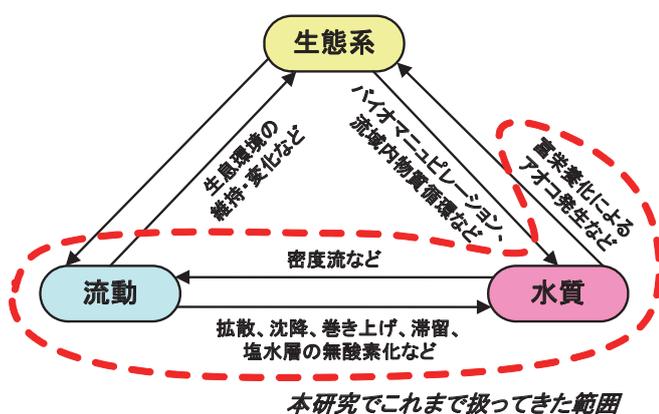


図 4.1 研究範囲のイメージ図

### (3) 今後の展望

湖沼に生起する現象は、図 4.1 に示すような「流動」、「水質」、「生態系」の相互作用系から成り立っていると考えられる。

本研究では、湖沼にとっての重要テーマである水質問題を取り扱う前に、まずその基礎となる流動機構を明らかにした。次に、密度流、拡散、沈降、巻き上げ、滞留、塩水層の無酸素化といった流動と水質の相互作用及び富栄養化によるアオコの発生などに限定した水質と生態系の相互作用問題までを取り扱い、技術資料としてある程度とりまとめることができた。

しかし、湖沼で生じる現象の中で、生態系が水質に及ぼす影響、すなわち、バイオマニピュレーションや流域内物質循環といった問題は、極めて重要な役割を果たしていると考えられる。

今後は、これまでの研究の蓄積を十分活かしながら、

生態系までを含めた湖沼のメカニズムを研究し、現場での湖沼管理に役立てていきたい。

### 謝辞

本研究の実施に際しては、代表湖沼の研究者及び管理者などから構成される「湖沼技術研究会」（座長：福岡捷二中央大学教授）の委員の皆様にご指導を賜りました。ここに厚く御礼を申し上げます。また、本報告に掲載したデータはすべて同研究会の中で各湖沼管理者から提供いただきました。担当の皆様には深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 阿部徹・斐義光・後藤崇：湖沼の流入負荷に関する研究，（財）河川環境管理財団河川環境総合研究所報告，第 12 号，pp.30-43，2006.
- 2) （財）理工学振興会：平成 17 年度霞ヶ浦汚濁負荷流入特性検討業務報告書，2006.
- 3) 竹下伸一氏（宮崎大学農学部）ホームページ <http://www2t.biglobe.ne.jp/~bono/study/topics/subjunksan/outline.htm>，2007.
- 4) 湖沼技術研究会：湖沼管理のための流動機構調査－より高度な湖沼管理に資するための調査に向けて－，2003.

## 2) 新しい水質指標調査により明らかになった課題とその対策

阿部 徹\*・圓谷 秀夫\*\*・青木 卓也\*\*\*

### 1. はじめに

#### 1.1 従来の指標とその限界

昭和 40 年代より河川の有機性汚濁の指標として生物化学的酸素要求量 (BOD) が利用されてきた。有機性汚濁の著しかった時代には BOD は優れた指標であった。しかしながら、近年、BOD が示す有機性汚濁は大幅に改善されてきており、サケやアユの生息できる目安となる 3mg/l 以下である地点は、河川調査全体の 9 割以上にもなっている (図 1・1)。

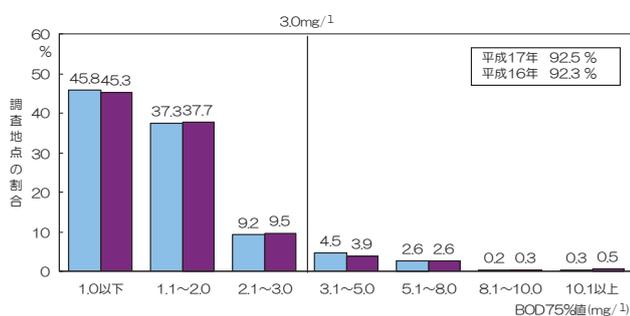


図 1・1 BOD 環境基準達成の割合

しかし、生物の生息環境上問題となるアンモニア態窒素や浄水処理において問題となるアンモニア態窒素やトリハロメタン生成能などは有機性汚濁指標では評価できないなど、有機性汚濁指標だけでは河川水質を適切に評価できないという課題が指摘されるようになった。

### 1.2 本報告の内容

上述の課題や住民や利水者の河川水質への要望の多様化と増加などに応えるため、従来の BOD を中心とする有機性汚濁の指標に加えて、新しい水質指標の設定が求められていた。

このような背景のもと、当財団では国土交通省河川局の委託を受けて、東京大学大学院・古米弘明教授を座長とする「水質管理検討会」において、河川を BOD だけでなく多様な視点で評価できるような指標の検討を行い、最低限測定しておくべき全国共通の項目として、「今後の河川水質管理の指標 (案)」を策定した。ここで策定された「今後の河川水質管理の指標」を「新しい水質指標」と呼ぶ。

本報告は、新たに策定した水質指標の試行により明らかになった適用上の課題とその対策についてまとめたものである。

## 2. 新しい水質指標の策定の経緯

### 2.1 新しい水質指標として求められる内容

前章で述べたように BOD を中心とする有機性汚濁物質のみを指標としているのでは不十分である。この他に挙げられていた課題を以下に記す。

①洪水時や渇水時も含む 365 日に対応した水質指標  
従来の考え方は低水流量時が基本で、洪水時や渇

\* 国土交通省 中国地方建設局 太田川河川事務所長 (前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 研究員

水時が考慮されていない。

## ②住民にわかりやすい河川水質の指標

河川の利用目的、水質保全の目的が大きく変化し、多様化してきたが、現状では、住民とともに河川の水質管理に関わる具体的な指標がない。

## ③住民と連携した水質管理の実施

住民の水環境へのニーズにあった水質指標や目標の設定及び住民と連携した水質調査・対策の実施が必要である。

## ④河川の特性を反映したきめ細かい水質指標

全国一律の基準項目では、地域の特性およびニーズを反映できない。また、環境基準点だけでは河川全体の特性を把握できない。

## ⑤改正河川法の目的である「河川環境の整備と保全」に対応する水質指標

改正前の河川法は、治水、利水を中心に規定され、「河川環境（河川の持つ自然環境、河川と人との関わりにおける生活環境）」が明確に位置付けられていなかったが、改正により河川行政において水質、生態系の保全、水と緑の景観、河川空間のアメニティといった国民のニーズの増大に応えるべく、河川法の目的として、治水、利水に新たに「河川環境の整備と保全」が加えられた。しかしながら、これに対応する水質指標（「人と河川の豊かなふれあい」、「豊かな生態系」、「利用しやすい水質」）が存在しない。

## ⑥下流域への影響を評価できる指標

従来の調査では、調査地点についての測定データは得られるが、影響を受ける調査地点の下流域・滞留水域について評価できる水質指標が存在しない。

## ⑦人および生物に対するリスクを評価できる指標

河川水中に含まれる化学物質は、人やその他の生物の生息に対して大きな影響を与えうるが、それら化学物質が人や生物に対して持つリスクについて評価できる水質指標が存在しない。

## 2.2 新しい水質指標の目指すところ

今後の河川水質管理のため、従来の公共用水域監視のための水質管理に加えて、新しい水質指標による調査を実施し、その結果を地域ごとのきめ細かい河川整備計画に活用していくことを目指している（図2・1）。

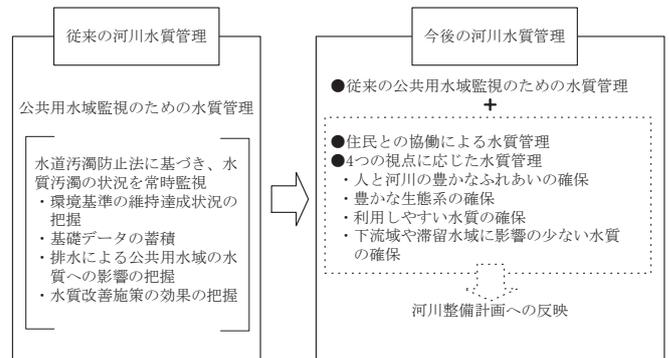


図2・1 今後の河川水質のあり方

## 3. 新しい水質指標の概要とその特徴

### 3.1 新しい水質指標の特徴

水質管理検討会にて検討された新しい水質指標は、人と河川のふれあいや生態系の関心など、多様な視点で河川を捉えるようになってきている現在の状況を鑑み、河川を BOD だけでなく多様な視点を評価できるように検討された指標であり、以下の特徴を有している。

#### 3.1.1 新たな四つの視点

新しい水質指標は、以下の四つの新たな視点が導入されている点に大きな特徴がある。

- ①人と河川の豊かなふれあいの確保のための水質管理
- ②豊かな生態系の確保のための水質管理
- ③利用しやすい水質の確保のための水質管理
- ④下流域や滞留水域に影響の少ない水質の確保のための水質管理

### 3.1.2 住民との協働による水質調査

河川法では、計画の策定段階から住民の意見を反映させることとされている。新しい水質指標調査では、項目の設定、調査及び対策の実施、評価の全ての段階で住民と協働していくことを重要であると位置付け、調査に住民協働を取り入れている。住民との協働による水質調査を実施することにより、幅広い範囲の水質に関する情報収集ができ、住民の川に対する意識の向上が図られ、住民の主体的な行動を引き出すことによって住民参加の中で川の改善を目指すことをねらいとしている。

### 3.1.3 指標項目と評価方法

河川水質管理の視点毎に、河川水質の確保すべき機能に関連する指標項目を整理し、その中で代表性を持つ項目を新しい水質指標（案）とし、最低限測定すべきものとしている。

また、住民と連携していく項目を明確にするため「住民との協働による測定項目」と「河川等管理者による測定項目」に分類している（表3・1）。以下、新たな四つの視点について説明する。

#### 1) 人と河川の豊かなふれあいの確保

「人と河川の豊かなふれあいの確保」は、快適性や安全性といった、人が河川とふれあう際に、河川水質が確保すべき機能を評価するための視点である。

この視点では、住民が現状の水質環境を簡単に理解できることが望まれる。また、住民の立場からするとより詳細な河川水質の情報を入手することが望まれるため、住民参加を促す指標となることが重要と考え、「住民参加が可能で情報提供に優れていること」を重視して設定している。

評価項目として、「ゴミの量」「透視度」「川底の感触」「水の臭い」「糞便性大腸菌群数」の5つが設定されており、このうち糞便性大腸菌群数以外の4項目は、住民と河川管理者とが協働で調査する項目である。

各評価項目の評価レベルは表3・2に示すとおりであり、5つの項目それぞれの評価ランクのうち

最も低いものをその時の調査地点の評価ランク、年間を通じ最も頻度の高かった地点評価ランクを年間の地点評価ランクとしている。

表3・2 人と河川の豊かなふれあいの確保

ランク	説明	ランクのイメージ	水質管理指標 <sup>※1</sup>				
			ゴミの量	透視度 (cm)	川底の感触 <sup>※2</sup>	水におい	
A	顔を川の水につけやすい		川の中や水際にゴミは見あたらない。ゴミは目につくが、全く臭いにならない。	100以上 <sup>※3</sup>	不快感がない	不快でない	100以下
B	川の中に入って遊びやすい		川の中や水際にゴミは見あたらぬが、我慢できる。	70以上	ところどころヌルヌルしているが、不快でない。		1000以下
C	川に近づきやすい		川の中や水際にゴミがあっても不快である。	30以上	ヌルヌルしており不快である。	水に鼻を近づけて不快な臭いを感じる。風下の水際に立つと不快な臭いを感じる。	1000を超えるもの
D	川の水に魅力がなく、川に近づきにくい		川の中や水際にゴミがあっても不快である。	30未満		風下の水際に立つと、とても不快な臭いを感じる。	

※1 評価レベルについては、河川の状況や住民の感じ方によって異なるため、住民による感覚調査等を実施し、設定することが望ましい。  
 ※2 実際には100cmを超える水質レベルを設定すべきであり、今後の測定方法の開発が望まれる。  
 ※3 川底の感触とは、河床の礫に付着した有機物や藻類によるヌルヌル感を対象とする。

#### 2) 豊かな生態系の確保

「豊かな生態系の確保」は、動植物の生息や生育、繁殖といった、河川の健全な生態系を確保する上で、河川水質が満たすべき機能を評価するための視点である。生態系に影響を与える河川水質管理の指標は、水温、呼吸、毒性等に係るものであるが、これらは、生態系のリスクに係るものであるため、生態系に悪影響を及ぼす指標項目を直接監視し、水質改善のための事業を実施していくことが重視されるべきと考えられる。そのため、「動植物の生息生育と繁殖に関わる指標性が高いこと」を重視して指標を設定するものとした。

評価項目として、「DO」「NH<sub>4</sub>-N」「水生生物の生息」の3つが設定されており、このうち水生生物の生息は、住民と河川管理者とが協働で調査する項目である。

各評価項目の評価レベルは表3・3に示すとおりであり、3つの項目それぞれの評価ランクのうち最も低いものをその時の調査地点の評価ランク、年間を通じ最も低かった地点評価ランクを年間の地点評価ランクとしている。

表 3-1 水質管理指標項目 (案)

河川水質管理の視点	河川水質の確保すべき機能		今後の河川水質管理の指標項目[案] (全国共通の項目)		
			住民との協働による測定項目	河川等管理者による測定項目	
人と河川の豊かなふれあいの確保	快適性	水域全体のきれいさ	<b>ゴミの量</b>	SS、濁度、[BOD]	
		水の透明感 [水のきれいさ]			<b>透視度、</b> [* <sup>1</sup> COD]
		川に入ったときの快適性			
	川底の感触 水に触れた感覚	<b>水の臭い、</b> [* <sup>1</sup> DO]、[* <sup>1</sup> COD]			
臭い	[DO]、[BOD]				
安全性	衛生的安全性 [触れる、誤飲の安全性]			<b>糞便性大腸菌群数</b>	
豊かな生態系の確保	生息、生育、繁殖	呼吸	* <sup>1</sup> DO、[* <sup>1</sup> COD]	<b>DO</b> 、SS、[BOD]、	
		毒性	* <sup>1</sup> NH <sub>4</sub> -N	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	
		生物の生息	* <sup>2</sup> 水生生物の生息、 [水温]、[* <sup>1</sup> pH]、 [* <sup>1</sup> COD]	* <sup>2</sup> 水生生物の生息、 [pH]、[BOD]、 [T-N]、[T-P]	
利用しやすい水質の確保	安全性	毒性 [消毒副生成物含む]	-	<b>トリハロメタン生成能、</b> [NH <sub>4</sub> -N]、[TOC]	
		病原性微生物			糞便性大腸菌群数
	快適性	臭い			<b>2-MIB、ジオスミン</b>
		味覚			
維持管理性	浄水処理の維持管理性				
下流域や滞留水域に影響の少ない水質の確保	下流部の富栄養化や閉鎖性水域[ダム、湖沼、湾]の富栄養化への影響が少ない水質レベルであること。		[* <sup>1</sup> PO <sub>4</sub> ]	[T-N]、[T-P]	
河川の基本的特徴の表現			水温、* <sup>1</sup> pH、 * <sup>1</sup> COD	BOD、SS、濁度、pH、 流量	

\*1バック方式などの簡易な方法で測定を行うことができる。

\*2住民との協働による場合は、簡易調査方法で実施し、河川等管理者による場合は、スコア法で実施する。

※上記の視点に対して、水質以外の項目として川への近づき易さや、河道形態などが影響してくる。そのため、水質管理を行う上では、これらを考慮して検討を行う必要がある。

※現在国土交通省で設置している水質自動監視装置では、水温、pH、DO、濁度、COD、NH<sub>4</sub>-N、T-N、T-P等の測定を行っている。また、水位観測所において水位の観測を行っている。

※BODは湖沼ではCODとする。都市河川では必要に応じてC-BODを追加してもよい。

※流量は湖沼では水位とする。

◆表の見方  
 ・[ ]内の指標項目は、今後のデータの蓄積を行い、河川水質管理の指標項目として継続すべきか、あるいは他の項目で代替すべきかを判断するために、調査を行う項目  
 ・太字は水質管理上重点的に評価を行う項目[評価項目]

表 3-3 豊かな生態系の確保

ランク	説明	水質管理指標		
		DO (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	水生生物の生息
A	生物の生息・生育・繁殖環境として非常に良好	7以上	0.2以下	I. きれいな水 ・カワゲラ ・ナガレトビケラ等
B	生物の生息・生育・繁殖環境として良好	5以上	0.5以下	II. 少しきたない水 ・コガタシマトビケラ ・オオシマトビケラ等
C	生物の生息・生育・繁殖環境として良好とは言えない	3以上	2.0以下	III. きたない水 ・ミズムシ ・ミズカマキリ等
D	生物が生息・生育・繁殖しにくい	3未満	2.0を超えるもの	IV. 大変きたない水 ・セスジユスリカ ・チョウバエ等

### 3) 利用しやすい水質の確保

「利用しやすい水質の確保」には、「上水」、「農業用水」、「工業用水」、「水産」利用があるが、現状において特に水質の課題が顕著である「上水利用」に注目して指標を設定している。

評価項目として、「トリハロメタン生成能」「2-MIB」「ジオスミン」「NH<sub>4</sub>-N」の4つが設定されている。

各評価項目の評価レベルは表 3-4 に示すとおりであり、4 つの項目それぞれの評価ランクのうち最も低いものをその時の調査地点の評価ランク、年間を通じ 95%値を年間の地点評価ランクとしている。

表 3-4 利用しやすい水質の確保

ランク	説明	水質管理指標			
		トリハロメタン生成能 (µg/L)	2-MIB (ng/L)	ジオスミン (ng/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)
A	より利用しやすい	100以下	5以下	10以下	0.1以下
B	利用しやすい		20以下	20以下	0.3以下
C	利用するためには高度な処理が必要	100を超えるもの	20を超えるもの	20を超えるもの	0.3を超えるもの

### 4) 下流域や滞留水域に影響の少ない水質の確保

一般的に滞留水域の水質と滞留水域に流入する河川の水質は異なり、現状の知見では下流域への影響を与える河川水質濃度を評価することは困難であることから、「下流域や滞留水域に影響の少ない水質の確保」の視点では、評価項目やランク、評価レベルは定めず、今後の課題としている。

## 3.2 新しい水質指標の公表について

新しい水質指標調査により得られた結果を全国に

公表し、住民にフィードバックしていくことが重要である。以下に公表の例を示す。

### 1) レーダーチャートによる表示

結果をレーダーチャート表示し、評価項目ごとのランクをわかりやすく表示している。

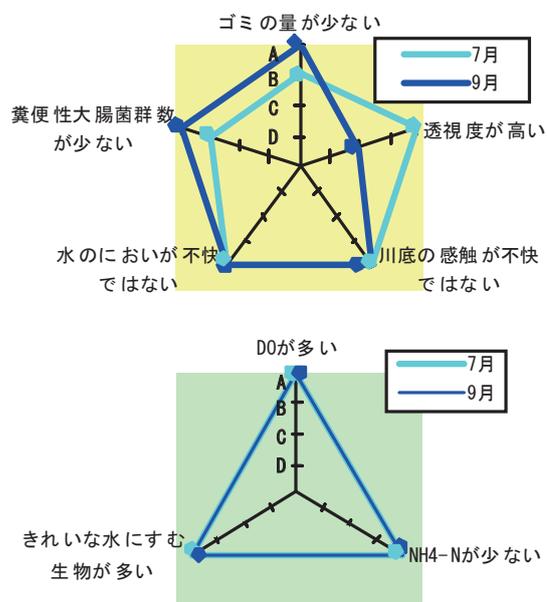


図 3-1 公表の例（札内川の例）

### 2) 従来の指標（BOD）との比較表示

図 3-2 では、従来の水質指標である BOD との比較を示している。この図からわかるとおり、新しい水質指標による評価も含めて比較すると、BOD による河川ランキングでは同じ 1 位の河川であっても、河川水質に違いがあることが明らかになってくる。

順位	地方名/河川名 (水系名)	都道府県名	BOD (mg/?)		新しい水質指標による評価	
			平均値	(75%値)	人と河川の豊かなふれあいの確保	豊かな生態系の確保
1	北海道/後志利別川 (後志利別川水系)	北海道	0.5	(0.5)		
	北海道/札内川 (十勝川水系)	北海道				

図 3-2 従来指標との比較表示

### 3) 全国での表示

図 3-3 に人と河川の豊かなふれあいの確保に関する信濃川支川魚野川（小出橋）の例を示す。視覚的に河川の水質がわかるため、一般住民にもわかりやすい表記と言える。

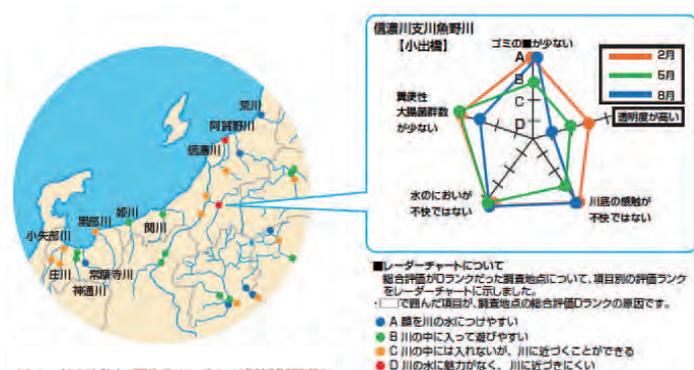


図 3-3 人と河川の豊かなふれあいの確保に関する例

## 4. 新しい水質指標調査の課題とその対応について

### 4.1 調査、評価方法に関する課題と対応

新しい水質指標調査は、平成 17 年 4 月よりほぼ全ての一級水系の直轄区間を対象に実施されている。

そこで、全国の調査を実施する住民や河川管理者の調査に対する問題認識を把握するために、調査担当の河川管理者に対しアンケートを実施した。

このアンケートを通じて明らかとなった調査の問題点や改善意見を基に水質管理検討会を中心に対応策を検討し、それを手引き（案）としてまとめ担当者に提示し調査の改善を図ることとした。

以下に主な問題点と手引き（案）における対応内容について紹介する。

#### 4.1.1 指標項目に関する課題と対応

ゴミの量や水のおいし、川底の感触といった感覚により評価する項目については、測定者の個人差（バ

ラツキ）が大きいことにとまどいを感じる調査担当者の意見が多かった。

バラツキの要因は個人の川に対する思い入れや経験、調査地点の周辺の環境や気候などが複雑に影響していると考えられる。それゆえ、ある程度の評価のバラツキは許容して調査を実施せざるを得ない。

このことから、手引き（案）の中では、参加者が人によって感覚に違いがあることを認識する機会として感覚指標の共通化を図ることが重要であるとし、参加者同士で感覚の違いが何かを議論し、参加者の合意のもと評価するプロセスが必要であるとしている。

#### 4.1.2 測定方法に関する課題と対応

住民との協働による水質調査では、調査実施時にある程度水質ランクを概略評価出来るように、簡易水質測定を実施することとしている。なお、この調査は公表評価には使用していない。しかしながら、この簡易水質測定について、測定結果の精度（人によって結果にバラツキが生じる）や通常の水質分析結果と差が生じていることを指摘する意見が多かった。

そこで手引き（案）では、誤測定や測定者間のバラツキの要因として考えられる事項を列举し、測定時の注意を喚起している。その結果、過去 2 ヶ年の調査結果を比べると、バラツキの指標である変動係数は注意喚起後の方が小さくなってきていることから、こうした問題は調査を継続していくことで、徐々にではあるが改善していくことが期待される。

#### 変動係数

データの相対的なばらつき度を測る尺度。平均値が著しく異なる 2 つの分布のばらつき度を比較するとき有効。値が大きいほどばらつき度が大きい。

#### 4.1.3 評価方法に関する課題と対応

地点の評価は各項目の最低ランクで決定することを原則としている。また、年間の評価でも豊かな生態系の確保など、評価が最も低い調査回の評価を年間評価としているが、この最低ランクで評価を決定する方法に疑問が生じていた。

最低ランクでの評価方法は、住民に何が評価を下げる要因となっているかを明確にしやすいことから設定している。それゆえ、今後調査を継続し、データを蓄積していく中で評価方法の妥当性を確認し、改善方法を検討していくこととした。

#### 4.1.4 住民との協働調査に関する課題と対応

住民との協働調査を実施していく上で、参加者や調査指導員の確保が困難であること、調査結果のとりまとめや説明方法が分からないことに多くの指摘があった。

こうしたことから、手引き(案)では、全国の実施事例より、参加者の募集・調査の実施や説明において工夫した点等の事例を紹介するとともに、調査結果の集約を簡単に行う方法や調査結果の説明を分かりやすく行う方法を例示している。

#### 4.2 新しい水質指標を活用した水質管理に際しての課題と対応

新しい水質指標調査を実施して3年目に入り、調査方法等の改善が進められながら、調査データが蓄積されてきた。これからは調査データを河川水質管理に活用していく段階に入ってきており、そのための具体的な活用方法について提示していくための検討をはじめている。

##### 4.2.1 検討方法

従来の水質管理は、BODを主な指標として行われてきた。一方、新しい水質指標は、住民や利水者の河川水質に対する要望の多様化と増加に対応するために、河川等管理者が管理すべき水質等の項目とランク及び評価レベルを検討したものである。BODだけでは表しきれない水質を評価する際にふさわしい項目を河川水質管理の視点ごとに整理している。

そこで、これまでのBODによる評価と、新しい水質指標(案)による評価を組み合わせることにより、今までBODのみで表しきれなかった河川水質の課題点を明らかにすることを試みた。検討では、全国の調査実施地点の測定結果の傾向を

分類(グループ化)し、そこで明らかとなった水質課題について、その特徴を代表しており、また比較的データの多い河川をモデル河川として抽出し、水質課題の解決に向けた管理方法について考察した。

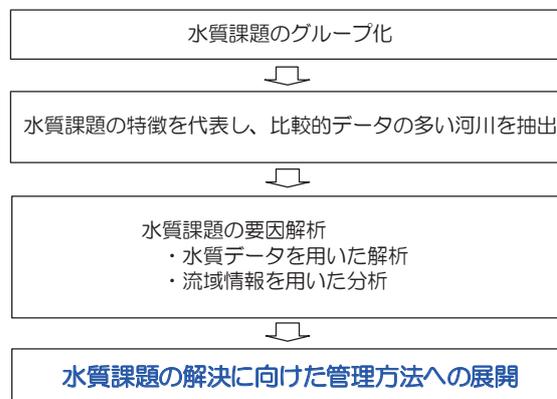


図 4-1 検討の流れ

##### 4.2.2 新しい水質指標を活用した水質課題の抽出

全国の調査実施地点について、以下の基本方針にてグループ化を実施した。

- ・BOD だけでは表せない水質上の課題点を明確にする。
- ・水質管理の視点ごとに課題点を明確にする。

グループ化に用いる項目は新しい水質指標の評価項目とBODとした(表4-1)。

表 4-1 グループ化に用いる項

河川水質管理の視点	グループ化に用いる水質項目
人と河川の豊かなふれあいの確保	BOD, ゴミの量, 透視度, 川底の感触, 水の臭い, 糞便性大腸菌群数
豊かな生態系の確保	BOD, DO, NH4-N, 水生生物の生息
利用しやすい水質の確保	BOD, トリハロメタン生成能, 2-MIB, ジオスミン, NH4-N

グループ化にあたり、連続した測定値をあるランクでカテゴリー化することとした。ランクには、新しい水質指標(案)の評価項目は指標(案)で検討された評価レベル、BODは、水質汚濁にかかわる環境

基準の類型の基準値を用いることとした(表 4・2).

表 4・2 測定値のカテゴリー化

カテゴリー	評価項目のランク
I A	全ての評価項目のランクがA
I B	全ての評価項目のランクがB以上
II	半数以下の評価項目がCあるいはD
III	半数以上の評価項目がCあるいはD

カテゴリー	A	B	C
BOD値範囲	~2mg/L	2~3mg/L	3mg/L~

表 4・3 に平成 17 年度の人と自然の豊かなふれあいについての全国の調査結果について、グループ化した結果を示す。従来指標 BOD では A であっても、新しい水質指標に基づく評価だと II や III となるものがおよそ 4 割もあることがわかる。このことは、BOD で評価が良い地点であっても、住民の「人と河川の豊かなふれあいの確保」に関するニーズを満足させるためには、BOD 以外の何らかの指標項目の抽出が必要である地点が少なからず存在していることを示している。

表 4・3 従来指標と新しい水質指標による評価

評価項目	人	BOD			計
		A	B	C	
	人 I A	11.1			11.1
	人 I B	33.3	3.3	1.3	37.9
	人 II	37.3	2.6	2.0	41.8
	人 III	4.6	3.3	1.3	9.2
	計	86.3	9.2	4.6	100

水質指標項目：ゴミの量、透視度、川底の感触、水の臭い、**糞便性大腸菌群数**

上表の場合、新しい水質指標の評価を下げる要因は、主に透視度および糞便性大腸菌群数であった。

そこで以下では、BOD のランクは高いが、糞便性大腸菌群数の評価が低いために地点評価が低くなっている北上川水系を例に取り、要因解析を概略実施することで水質課題の解決に向けた管理方法について考察した。

#### 4.2.3 水質課題の要因解析

北上川水系において H17 に実施された「人との河川の豊かなふれあいの確保」調査結果のうち、糞便性大腸菌群数の評価が低い地点の調査結果を表 4・4 に示し、調査位置を図 4・2 に示す。

表 4・4 北上川における人と自然の豊かなふれあいの評価

河川名	地点名	河川管理者による測定		住民との協働による測定				地点評価
		糞便性大腸菌群数 (個/100m <sup>2</sup> )	評価	ゴミの量	透視度	川底の感触	水の臭い	
北上川	登米	2,000	C	A	A	C	A	C
旧北上川	和澁	2,400	C	A	B	A	A	C
北上川	南大橋	4,900	C	B	A	B	A	C
中津川	御厩橋	3,300	C	B	A	B	A	C
磐井川	上の橋	7,900	C	B	A	B	A	C

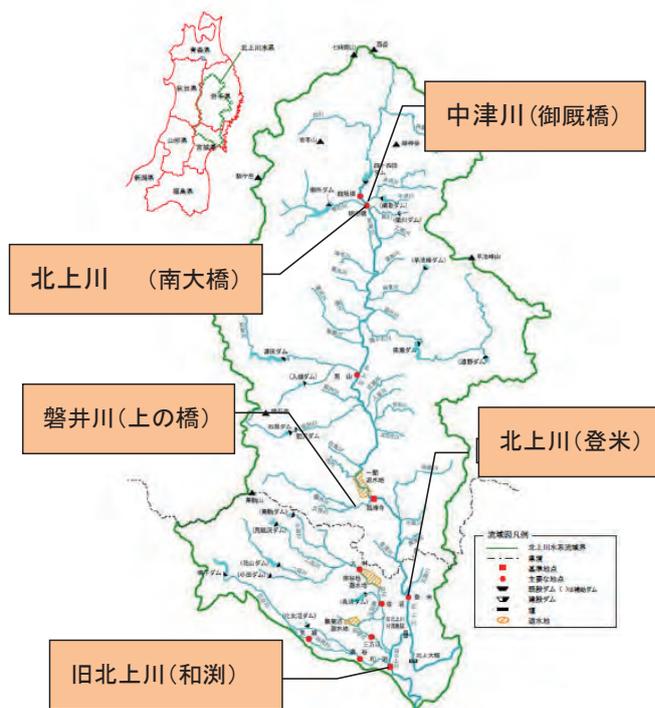


図 4・2 北上川水系位置図

これら地点について、糞便性大腸菌群数が高い要因について、①他指標項目との関連性、②流域情報からの発生源の推定に着目した。

## 1) 他指標項目との関連性

### 【流量との関連性】

どの地点も糞便性大腸菌群数と流量との明確な関係性は認められなかった (図 4-3)。

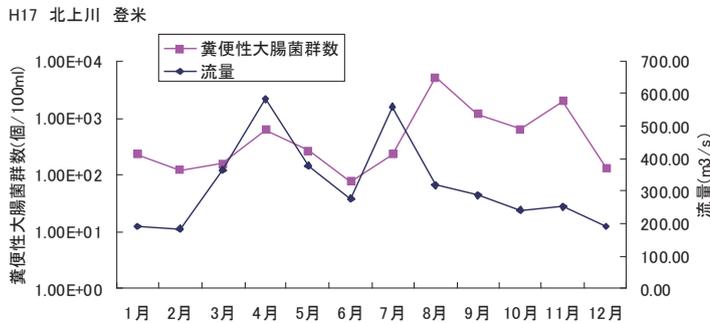


図 4-3 糞便性大腸菌群数と流量の関係

### 【SS との関係性】

北上川 (登米) や旧北上川 (和渕) では、SS と糞便性大腸菌群数はほぼ同じように年間の変動を示しており、いずれも 8 月に SS が上昇していることで、糞便性大腸菌群数も上昇していた。

大腸菌群や糞便性大腸菌群は、土壌由来の類似の菌も測定してしまうことから、SS との関係性がある場合には土壌由来の菌による濃度上昇が考えられる。

SS の上昇は出水の影響により、流量増を伴い上昇するケースが多いが、そうでない場合は人為的な原因の可能性も考えられることから、糞便性大腸菌群数上昇の要因を特定するためにも SS の上昇要因を把握することが重要であることが示唆された。

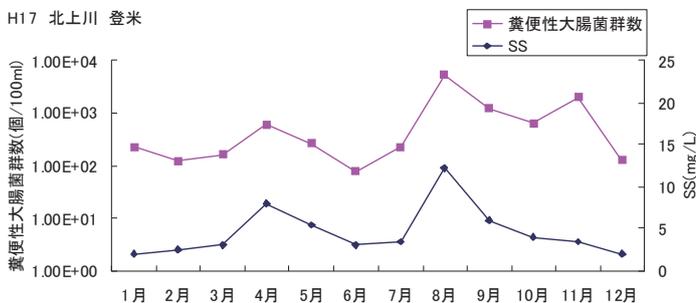


図 4-4 糞便性大腸菌群数と SS の関係

## 2) 流域情報からの発生源推定

考えられる発生源との関連性について、入手可能な流域情報から推測した。

水質調査地点と下水放流水や主要汚濁の河川流入地点の位置関係を調査したところ、今回検討対象とした地点はいずれも下水放流水等の大規模排水の影響を直接には受けない地点であることが明らかとなった。

一方で、北上川流域の関連市町村における家畜飼養頭数 (乳牛・肉牛・豚の合計) の分布を図 3-4 に示す。中津川 (御厩橋) や北上川 (南大橋)、北上川 (登米)、旧北上川 (和渕) はいずれも近傍の上流域に家畜頭数の多いエリアを含んでいる。

家畜頭数が多ければ、畜舎排水の影響も大きいと考えられるものの排水処理状況にも大きく左右されるため注意が必要である。それゆえ流域における畜舎排水の実態把握と汚染源の特定を実施していくことが重要であると示唆された。

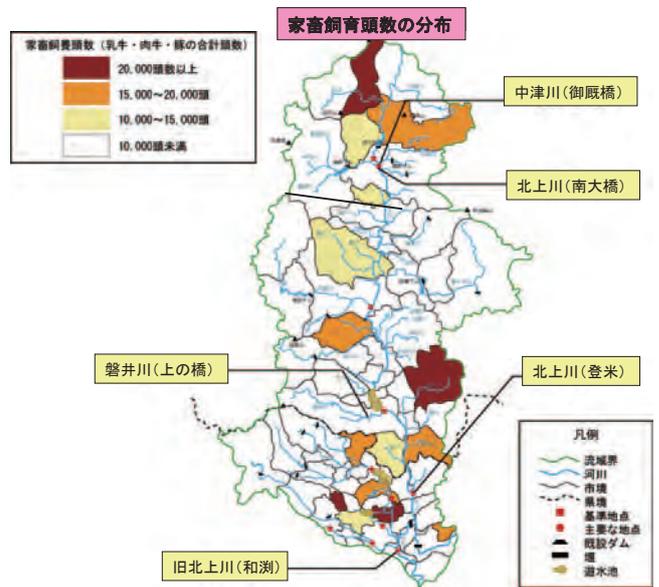


図 4-5 北上川流域関連市町村の家畜飼養頭数

### 4.2.4 水質課題解決に向けた管理方法の展開

本ケーススタディでは、以上のように「BOD の値は低いが、『人と河川の豊かなふれあい』を確保する上で糞便性大腸菌群数に課題がある」という状況について検討したが、今回の検討では、そのほかに

も以下のような水質課題が抽出された。

- ・「BOD の値は低い、『人と河川の豊かなふれあい』を確保する上で、透視度に課題がある。」
- ・「BOD の値は低い、『豊かな生態系』を確保する上で水生生物の生息に課題がある。」
- ・「BOD の値は低い、『利用しやすい水質』を確保する上でアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) に課題がある。」

上記にいずれのケースに対しても、ここで行ったように要因解析を行うことにより、評価を下げるものになっている要因について考察し、更に必要な調査内容・方法を明確にしていくことができる。

これまでの検討で、課題となる水質指標それぞれについて、課題解決に向けた管理方法を以下のように整理している (表 4・5)。

#### 4.2.5 今後の検討課題

今後、新しい水質指標を水質管理に有効に活用していくためには、前章で行ったようなモデル河川での検討の成果を整理し、水質課題解決に向けた管理方法に反映していくことが重要である。

また、上記に加えて以下の点についても十分に考慮する必要がある。

- ・蓄積される新しい水質指標データを基に、データ間の関係性、感覚指標のバラツキ等の解析を行い、新しい水質指標の水質指標項目、評価ランクの評価及び必要な見直し等を行う。特に下流域への影響を評価できる指標については指標項目も定まっていなため、早急に指標項目の設定、試行を行う必要がある。
- ・従来の環境基準に基づくナショナルミニマムとしての取り組みと、新しい水質指標に基づくローカルオプティマムとしての取り組みの両方並行で進めていくことが重要。
- ・新しい水質指標調査から見えてくる水質課題に対して、流域という視点に立って、要因分析とそれに基づく対策のあり方の立案 (流域管理) が今後の河川水質管理に求められる。

- ・そのためには、住民との協働調査と結果の効率的な公表等をより一層進め、流域全体を見通した水質評価が重要である。

表 4・5 モデル河川における検討成果と水質課題解決に向けた管理方法

課題となる水質指標	モデル河川における検討成果	水質課題解決に向けた管理方法
糞便性大腸菌群数	他指標項目 (流量、大腸菌群数、SS) との関連性や流域情報 (家畜頭数など) を整理することで、考えられる排出源を検討し、その結果を踏まえて、糞便性大腸菌群数が高い要因を特定するための詳細な水質モニタリングやデータ解析の方向性をまとめた。	既存データから推察される発生源に応じて、更なる水質モニタリングやデータ分析を実施。 (例) ・流域における畜舎排水の実態把握と汚染源の特定 ・土壌由来の菌群の影響を把握するための大腸菌の測定
透視度	水位と雨量および濁度の自動連続観測結果より降雨の影響の有無について判断することが可能。最上川のような大河川では、降雨による濁度上昇の影響が長期間におよんでいると推察される。さらに SS と透視度の関係から、濁度上昇の影響が少しでも残った状況では、透視度が改善しないことも示唆された。	濁度上昇の要因を特定するための更なる水質モニタリングやデータ分析を実施 透視度評価ランクの妥当性検討 (河川の特性に応じた透視度ランクの設定)
水生生物の生息	水生生物の生息が低評価であることは、たとえ調査時期の水質に問題がなくとも、年間を通しては水質が悪化する時期がある可能性を示している。	水質悪化時期の特定と水質改善 (年間を通じた水質改善)
NH <sub>4</sub> -N	下水道普及率が高い流域では、NH <sub>4</sub> -N の上昇要因の 1 つとして下水処理水の影響があげられる。	下水処理場の NH <sub>4</sub> -N 処理性能改善 (硝化促進運転の実施など)

## 5. おわりに

新しい水質指標による調査はまだ始まったばかりであり、未だ完成版ではない。地域ごとの特性にあった河川水質管理(河川環境整備事業, 下水道事業, 流域での対策等)を実施していくため、今後も水質管理指標の項目やその効果検証方法, 公表方法, 要因解析手法の確立等多くの課題が残されている。今後の調査データ等の蓄積によりよりよい水質指標に改善していくことが望まれる。

## 謝辞

本実証研究を進めるにあたり、「水質管理検討会」(座長: 古米弘明 東京大学大学院教授)の委員の皆様にご指導を受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) 滝沢・土橋・浅野(2003): 総合的な河川水質指標の採用に向けての提言. 河川, 2003-2月号, pp89-93
- 2) 社団法人日本水産資源保護協会(2007): 水産用水基準(2005年版)
- 3) 建設省河川局(1990): 水環境管理に関する研究 建設省技術研究会報告, Vol. 44, pp. 713-782
- 4) (財)河川環境管理財団(2002): 鶴見川の新しい水質環境保全のための技術検討会成果書. 平成15年3月
- 5) 大垣眞一郎, 吉川秀夫監修(2002): 流域マネジメントー新しい戦略のためにー, 技報堂出版

# 3) 浸透流れ方式による植生浄化法に関する研究

佐藤 和明\*・阿部 徹\*\*・斐 義光\*\*\*・小島 富士夫\*\*\*\*

## 1. はじめに

植生浄化法は植物を配した浄化施設に生活排水や汚濁した河川水を導水し、浄化施設内での沈殿(濾過含む)、土壌への吸着、植物による吸収・分解、硝化・脱窒等の機能により、BOD、窒素・リンの栄養塩の除去が期待できることが特徴である。また、省エネルギー的に施工・維持管理ができること、浄化施設そのものが生物の生息・生育の場を提供することから環境教育の場を提供できること、条件によっては地域と連携したバイオマス等の有効利用により資源循環型水環境改善システムの構築が可能であるという特徴をあわせもつ。

植生浄化法は、1960年代に原型が開発されたという比較的新しい技術と見ることができ (IWA Specialist Group, 2000)、国内では1980年代後半から研究が始まり、歴史が浅く技術的知見の蓄積が十分でない状況である。一方、植生浄化法は、今後の湖沼等の水質改善対策として重要であると考えられている「面源負荷対策」を支援する技術として、非常に有用であると考えられる。

(財)河川環境管理財団では、これまで、国土交通省霞ヶ浦河川事務所とともに、全国の植生浄化施設に関する実態調査を行うとともに、霞ヶ浦流入支川である山王川の河川水を対象とした表面流れ方式(図1・1)による植生浄化現地実験を実施し(佐藤ら, 2002)、それらの技術的知見を「植生浄化施設計画の技術資料(平成14年12月)」としてとりまとめた。

本研究は、国内では実施事例が極めて少ない浸透流れ方式(図1・2)による植生浄化法を対象に、霞ヶ浦の流入支川である山王川の河川水を用いて現地実験

(霞ヶ浦河川事務所の委託業務として実施)を行い、浸透流れ方式の浄化施設の計画・設計に資する施設諸元を検討することを目的としている。

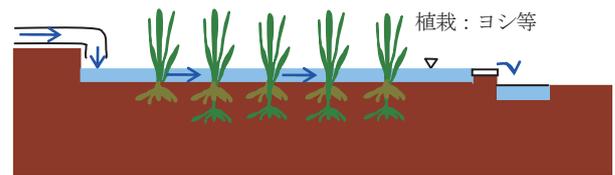


図1・1 表面流れ方式のイメージ

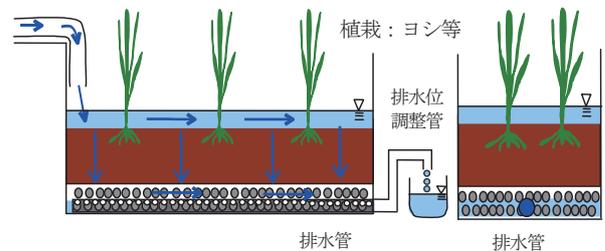


図1・2 浸透流れ方式のイメージ

## 2. 現地実験方法

植生浄化法は、基本的に植物や土壌等の自然の力を借りるため、諸条件により浄化効果の変化が大きい。そのため、植生浄化法は他の浄化法と比較して、計画・設計諸元を一義的に決めることは難しく、ある程度の幅の中で浄化目標を設定し、施設計画を行うとともに、運転の中で、浄化効果のモニタリングを行い、その効果が持続するように維持管理を行ってきたのが実態である。本研究では、長期運転に伴う浄化効果の変化や維持管理(浄化効果を維持するための植生と土壌等の管理を指し、ポンプ等付帯施設の運転管理については含まない)の必要性及び維持管理の効果を明らかにするため、長期間の現地実験を行った。

\* 日本上下水道設計(株) 技術本部(前(財)河川環境管理財団 技術参与)

\*\* 国土交通省 中国地方整備局 太田川河川事務所長(前(財)河川環境管理財団 研究第二部長)

\*\*\* いであ(株) 建設コンサルタント統括事業本部(前(財)河川環境管理財団 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

## 2.1 実験期間

現地実験は霞ヶ浦流入支川（山王川）の河川水を用いて、平成15年9月～平成19年1月の3年4ヶ月の期間で実施した。なお、植生、流量等の安定に約1年有したため、実験結果の評価には2年目以降（平成16年9月～平成19年1月）のデータを用いた。

## 2.2 実験施設

### 2.2.1 実験系の設置

浸透流れ方式では、黒ぼく土、黒ぼく土+鹿沼土、休耕田土壌、礫（φ10mm）、人工メディアの5種類の植生基材を用いた（図2-1）。9つの実規模スケールの実験槽（幅3m、長さ30m、深さ0.6m）を設置し負荷を変えた実験を行った（水面積負荷 0.19, 0.58, 1.15m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day）。なお、各実験槽の材質はゴムシート張りである。また、礫実験槽のうち高負荷（No.9槽）のものの排水をリン吸着実験槽に導入してリン吸着材の吸着実験を行った。

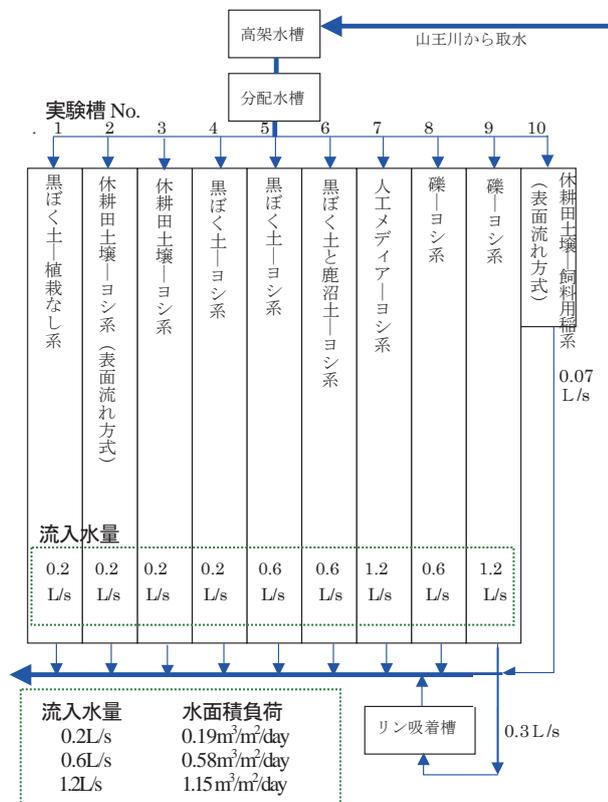


図2-1 浸透流れ方式の現地実験系

## 2.2.2 植生

### 1) ヨシ

植生は抽水植物であるヨシを用いた。ヨシは植生浄化法で最も用いられている植物であり（河川環境管理財団, 2002）、冬季の立ち枯れ後も組織が硬く容易に分解しないこと、茎・地下茎を通して酸素を根に運ぶ能力があり根の周辺で硝化・脱窒が促進されること（細見ら, 1997, 須藤ら, 2000）、茎、新芽により土壌の透水性が維持、回復すること等の特性を有する。

### 2) ヨシの植栽方法

土壌実験槽と礫実験槽では、縦横 50cm 間隔、4 株/m<sup>2</sup> の密度でヨシの苗を植栽した（90m<sup>2</sup> の実験槽あたり 360 株）。また、人工メディア槽は、直径 5cm、深さ 10cm の穴を開け、その中に礫を詰め植栽した（間隔は土壌実験槽等と同じ）。

### 2.2.3 植生基材及び実験槽の鉛直構造

#### 1) 黒ぼく土

黒ぼく土は火山灰土を起源とする腐植土の一種であり、黒色をしている。日本では黒ぼく土は一般的な土壌である。黒ぼく土は多量の有機物を Al（一部 Fe）との腐植複合体として貯めており、その有機物のため土壌の団粒構造が発達し安定的であるため水はけも良く保水性にも優れている。黒ぼく土のリン酸吸収係数は、土壌 100g あたりリン酸（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）1,500～2,500mg の値の範囲が普通であり、黒ぼく土以外の土壌では高くても 700～800mg 程度以下の値を示すものが大部分である（久馬, 2005）。

#### 2) 鹿沼土

黒ぼく土の透水性を向上させるために、透水性が相対的に良い団粒ろ材との混合の適用性を確認した。団粒ろ材は鹿沼土を使用した（容量比 1:1）。

#### 3) 人工メディア

人工メディアは PET（ポリエチレンテレフタレート、50%）とアクリル系バインダー（50%）の混合基材を使用した。

#### 4) 実験槽の鉛直構造

土壌実験槽は下部集水部に礫（φ10mm）を20cm敷設し、その上に40cmの土壌を敷設した（図2・2）。なお、植栽基材の厚さ（黒ぼく土40cm）はヨシの地下茎の深さから設定した。

#### 2.2.4 集水・排水システム

土壌槽の下部（礫敷設部）には、集水管（マックスドレーン：メッシュ状（φ約0.2mm）でフレキシブルな暗渠排水管）を敷設した。また、実験槽内の目詰まりにより透水性が低下することが想定されたため、排水管は水位調整（水頭差確保）できる機能とするとともに、干し上げが可能な構造とした（前掲図1・2）。なお、礫槽と人工メディア槽には、集水管を敷設せず、実験槽下流端に排水管を設置した。

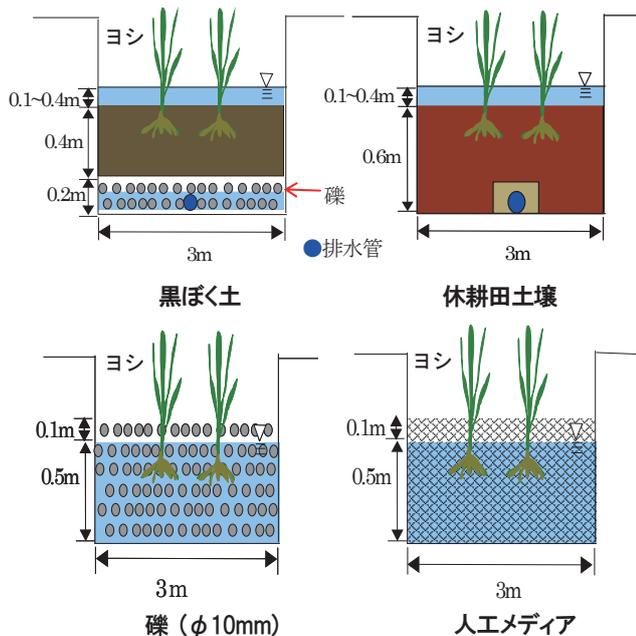


図2・2 植栽基材及び実験槽の鉛直構造（浸透流れ方式）

### 2.3 運転管理及び維持管理

#### 2.3.1 運転管理（付帯施設の管理）

施設内水位は土壌槽については+10cm（最大+40cm）、礫・人工メディア槽については-10cm（同）を基本とした（前掲図2・2）。週一回を基本として、ポンプの点検等を行うとともに、各実験槽への流入水量、上流端と下流端の水位を測定して、実験槽内の水位が上昇し

た場合には、排水管の高さを下げて、実験槽内の水位と排水位の水頭差を大きくして流出量を確保した。

#### 2.3.2 維持管理（浄化効果維持・回復のための管理）

排水位を下げて実験槽内の水位が+40cmを超える場合には、通水を中止して干し上げを行い、土壌の透水性や嫌気化の回復効果の確認を行った。なお、浄化施設の水利特性については透水性調査により、嫌気化の把握については流入水・流出水のORP、DO及びFe<sup>2+</sup>（嫌気化により溶出）の測定により把握した。なお、水利特性調査としてトレーサー調査（塩化リチウム使用）も実施したが、調査終了時のトレーサー流出率が40～70%と低く、別途実施したリチウム吸着室内実験結果（30分振騰）でもリチウム濃度10mg/L（土壌：容積=1:1）での回収率は57.1%（吸着率は42.9%）であったことから、土壌中でリチウムの吸着・脱着が繰り返されている可能性が高いと考えられ、塩化リチウムを使用したトレーサー調査は十分有効でないと判断し評価に用いなかった。

### 2.4 水質浄化効果等の特性調査

#### 2.4.1 水質浄化効果

水質浄化効果を把握するため、流入水（各実験槽共通）と各実験槽の流出水について、夏期（6～10月）は月2回、冬期（11月～5月）は月1回水質調査を行った。水質調査項目は、水温、pH、DO、ORP、導電率、SS、BOD、COD、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-P、クロロフィルaである。また、流量は流入水量の測定を行った。実験結果の評価期間（平成16年9月～平成19年1月）の流入水の平均水質濃度を表2・1に示す。

表2・1 流入水の平均水質濃度

水質項目	水質濃度(mg/L)
SS	7.1
BOD	2.8
COD	5.7
T-N	3.5
T-KN	1.19
NH <sub>4</sub> -N	0.38
T-P	0.304
PO <sub>4</sub> -P	0.172

注1) T-KN=有機態窒素+NH<sub>4</sub>-N

注2) 算定期間は、実験データ評価期間の平成16年9月～平成19年1月である。

## 2.4.2 硝化・脱窒特性

黒ぼく土槽を対象に、ヨシの有無による硝化・脱窒特性の違いを把握するため、季節別の土壤間隙水濃度(T-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N)の鉛直分布(中央1地点)を測定するとともに、土壤含有量(T-N, TOC)の鉛直分布を実験終了時に測定した。

## 2.4.3 黒ぼく土のリン吸着特性

黒ぼく土槽を対象に、土壤へのリン吸着量を見積もるため、実験終了時に、土壤中のリン含有量(T-P)の鉛直分布を測定した。

## 2.4.4 ヨシの生長特性

各実験槽の流下方向5m毎に5検体をサンプリングして、湿重量、含水率、窒素・リン含有量、植生密度を測定し(0.5m×0.5mで本数をカウント)、実験槽内のヨシの地上部バイオマスを推定した。

## 2.5 リン吸着材の現地吸着実験

浸透流れ方式において植生基材として礫を使用した場合には、処理水量を多くすることが可能であると考えられるが、リン除去が期待できないため、浸透流れ方式(礫)の処理水をリン吸着材で処理する方式(ハイブリッド方式)が有効である。そこで、No.9槽(平成18年6月以降はNo.8槽)の処理水を用いて、リン吸着材の現地吸着実験を行った。また、現地実験において高い性能を示した吸着材については、室内試験を別途行い、現地実験結果と室内試験結果を比較した。

### 2.5.1 リン吸着材

リン吸着材としては、土壤系では黒ぼく土や鹿沼土等、リン吸着材として商品化されているもの(鉄添加焼結火山灰土-商品名:P-キャッチ等)及び開発中であるもの(イオン交換樹脂)を対象に粒径の違いを含め19種類の吸着材の実験を行った。

### 2.5.2 実験諸元

リン吸着材の現地吸着実験諸元は表2-2に示すとおりである。

表2-2 リン吸着材の現地吸着実験諸元

項目	土壤以外の基本諸元	土壤系の基本諸元
通水方式	鉛直流れ	鉛直流れ
処理水量	0.03L/s	0.015L/s
水面積負荷	14.4m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day	7.2m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day
吸着材容量	80L (W0.3m×L0.6m×H0.44m)	18L (W0.3m×L0.6m×H0.10m)

## 3. 実験結果

### 3.1 浸透流れ方式の現地実験結果

#### 3.1.1 運転管理・維持管理

No.4槽(黒ぼく土, 低負荷), No.7槽(人工メディア), No.8槽(礫, 低負荷)は水位管理のみで透水性が維持できた。一方, No.1槽(黒ぼく土・ヨシなし), No.5槽(黒ぼく土, 高負荷), No.6槽(黒ぼく土+鹿沼土, 高負荷)は水位管理のみで透水性が維持できず, 干し上げを実施した。No.6槽(黒ぼく土+鹿沼土)は黒ぼく土の透水性を向上させるために, 団粒ろ材を混合したが, No.5槽(黒ぼく土)と比較して透水性の向上が認められなかった。

また, No.3槽(休耕田土壤)とNo.9槽(礫, 高負荷)は, 土壤特性や目詰まり等の発生により透水性が確保できない状態が生じたため, No.3槽は平成18年4月に, No.9槽は平成18年6月に実験を中止した。

#### 3.1.2 除去率

2年目, 3年目及び2~3年目の実験期間別におけるNo.1~No.9槽の除去率を表3-1と図3-1に示す。なお, No.3槽は透水性が非常に低く計画水量が得られなかったため, 除去率の評価はしていない。

##### 1) SS, BOD, CODの除去率

SSの除去率はNo.4槽(黒ぼく土, ヨシ)の3年目以外は60%以上である。No.4槽では3年目の17回水質測定で6回がマイナス値(流出水の濃度が流入水より高い)となっており, マイナス値を除くと除去率は71%となり, 2年目の除去率と同程度である。No.4槽は3年目まで常時通水状態にあり, 底泥の嫌気化の影響と考えられ, 平成18年8月に干し上げを実施した後にはマイナス値は発生せず, 平均除去率は85%と高い値であった(平成18年9月~平成19年1月)。

表 3-1 浸透流れ方式による実験結果 (除去率)

No.	植生	植生基材	通水方式	水面積負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	SS (%)			BOD (%)			COD (%)			T-N (%)			T-KN (%)			T-P (%)		
					2年目	3年目	2~3年目	2年目	3年目	2~3年目	2年目	3年目	2~3年目	2年目	3年目	2~3年目	2年目	3年目	2~3年目	2年目	3年目	2~3年目
1	なし	黒ぼく土	浸透流	0.19	88	90	89	81	75	78	38	35	36	55	57	56	26	33	29	89	90	90
2	ヨシ	休耕田土壌	表面流	0.19	66	68	67	47	45	46	6	-1	3	22	18	20	34	23	29	27	-8	11
3	ヨシ	休耕田土壌	浸透流	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	ヨシ	黒ぼく土	浸透流	0.19	72	17	45	89	93	91	43	30	37	88	91	89	81	78	79	95	94	95
5	ヨシ	黒ぼく土	浸透流	0.58	84	81	82	92	89	90	48	35	40	69	49	57	73	63	68	93	62	75
6	ヨシ	黒ぼく土+鹿沼土	浸透流	0.58	78	80	79	87	92	90	50	39	44	68	37	51	72	54	62	86	68	76
7	ヨシ	人工メディア	浸透流	1.15	82	81	81	68	69	68	24	23	23	11	1	6	39	27	33	20	-22	0
8	ヨシ	礫	浸透流	0.58	95	94	94	89	78	83	48	42	45	41	19	31	69	56	62	29	-14	9
9	ヨシ	礫	浸透流	1.15	84	85	84	71	80	75	33	31	32	-36	9	-17	59	32	47	3	-2	1

注1) 除去率の評価期間: 2年目 平成16年9月~平成17年8月、3年目 平成17年9月~平成18年8月(No.9槽は平成18年6月で実験中止)

注2) No.3槽は透水性が極めて悪く評価不能(平成18年4月で実験中止)

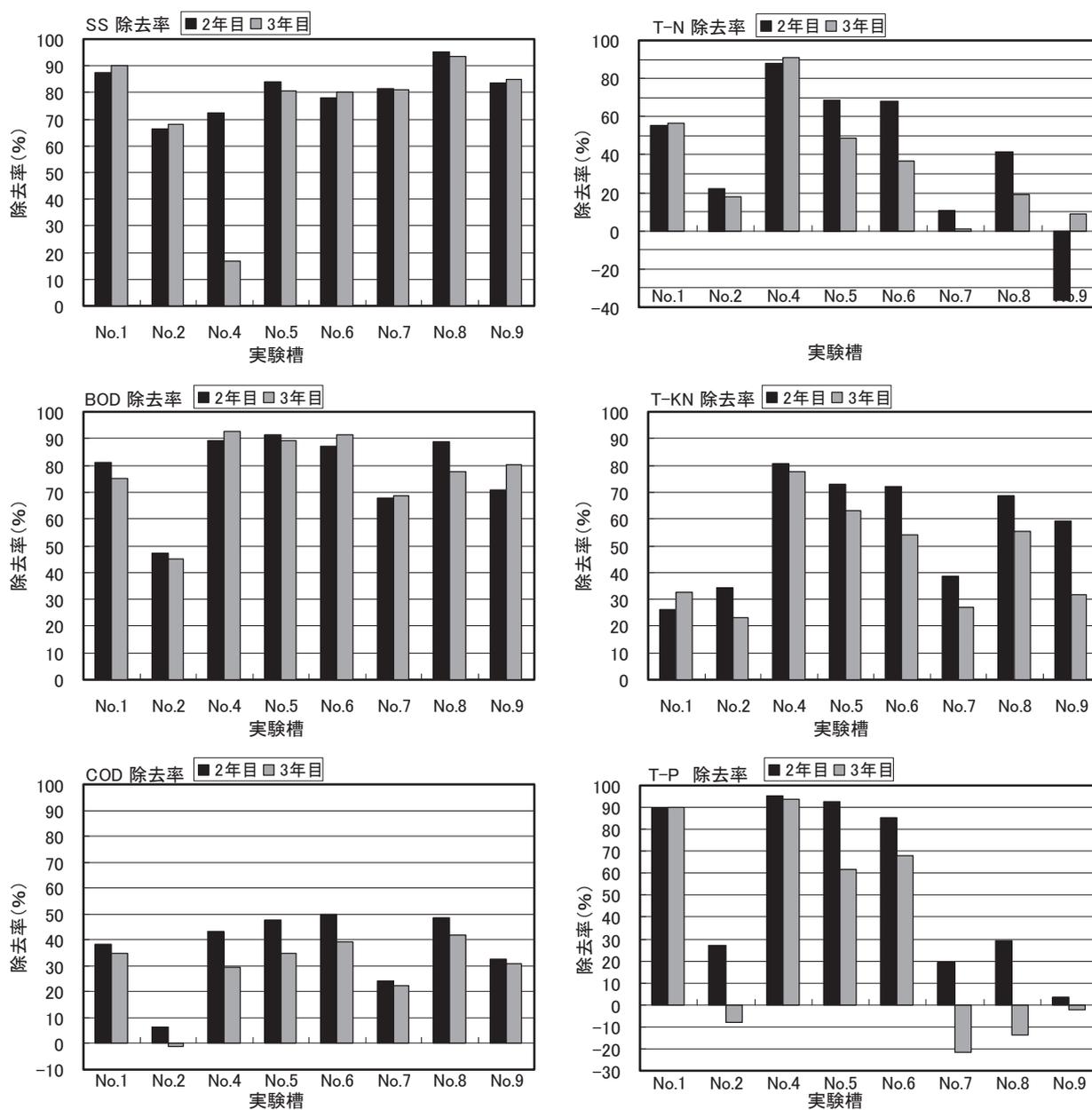


図 3-1 浸透流れ方式による実験結果 (除去率)

BOD と COD の除去率は、No.2 槽（休耕田土壌、表面流れ）と No.7 槽（人工メディア）で低い傾向にあるが、その他の実験槽ではほぼ同程度（BOD は 80%前後、COD は 40%前後）であった。

## 2) 窒素の除去率

T-N と T-KN の除去率（2 年目）は、No.4 槽（黒ぼく土、 $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）、No.5 槽（黒ぼく土、 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）、No.6 槽（黒ぼく土+鹿沼土、 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）が高くなっている。なお、No.5 槽と No.6 槽では 3 年目の除去率が低下している傾向が認められる。

No.1 槽と No.4 槽の実験条件の違いはヨシ植生の有無であり、ヨシを植栽した No.4 槽の窒素除去率は No.1 槽より有意に高く、ヨシ植栽の効果が認められる。また、水面積負荷が同じ条件（ $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）における黒ぼく土槽（No.5 槽）と礫槽（No.8 槽）の窒素除去率をみると、T-KN 除去率はほぼ同程度であるが、T-N は礫槽が低くなっている。T-N の除去率の差は脱窒効果の差であり、礫では脱窒に必要な有機物（炭素源）が不足して脱窒機能（ $\text{NO}_3\text{-N}$  浄化）が低いと考えられるが、有機性 SS が多い雑排水や農業排水等では脱窒に必要な炭素供給量が多く、より大きい脱窒効果が期待できると考えられる。

## 3) リンの除去率

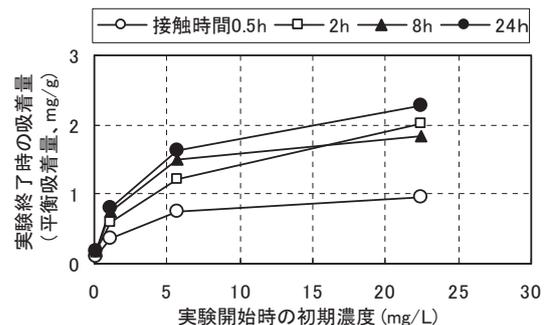
T-P の除去率は、黒ぼく土（No.1 槽、No.4 槽、No.5 槽）及び黒ぼく土+鹿沼土（No.6 槽）が高く、休耕田土壌・表面流れ方式（No.2 槽）、人工メディア（No.7 槽）及び礫（No.8 槽、No.9 槽）が低い。浸透流れ方式における黒ぼく土のリン吸着能が認められるとともに、人工メディアや礫では懸濁態で補足されたリンが溶出するためリンの浄化はできないといえる。

黒ぼく土の高負荷条件（No.5 槽、 $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ）では 2 年目の除去率は 93%であるが、3 年目は 62%に低下し、黒ぼく土のリン吸着能の低下が示唆され、維持管理の課題と考えられる。

## 3.2 リン吸着材の室内試験・現地実験結果

### 3.2.1 室内試験結果

バッチ式室内試験（ビーカーに部材を入れ攪拌吸着）の結果の例を図 3-2 に示す。リン吸着材は初期濃度が高いと吸着量が多くなり、接触時間（実験時間）が長くなると吸着量が多くなるという基本的特性を有する。



\*実験条件：攪拌実験 土壌：溶液=1:2,000、水温：25°C、pH：7.0

図 3-2 リン吸着材の室内試験結果（黒ぼく土：鹿沼産）

通常、室内試験結果は、Freundlich の吸着等温式（式 3-1、式 3-2）で整理される。係数  $k$  と  $n$  が他の試料と比較できる指標となる。なお、接触時間 24 時間は土壤環境分析法(1997)に従った。室内試験結果の例として、黒ぼく土の結果を図 3-3 に示す。

$$\log q = \log k + 1/n \log C \quad (3-1)$$

$$q = kC^{1/n} \quad (3-2)$$

ここに、 $C$ ：平衡濃度（mg/L）[実験後の液層濃度]

$q$ ：平衡吸着量(mg/g 吸着材)

[(実験開始時の  $\text{PO}_4\text{-P}$  量 (mg) -

実験終了時の  $\text{PO}_4\text{-P}$  量 (mg)) / 吸着材量 (g)]

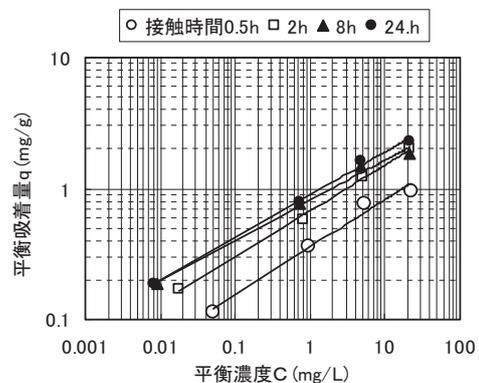


図 3-3 Freundlich の吸着等温式（黒ぼく土：鹿沼産）

### 3.2.2 カラム式現地実験

現地水は水質濃度が変化するため、累積負荷量  $Q(\text{mg/g})$  と累積吸着量  $q(\text{mg/g})$  (流入水質と流出水質より算定) の関係で現地実験結果を整理すると現象が理解しやすい (図 3-4)。 $\Delta q / \Delta Q$  が除去率である。累積吸着量  $q$  の実験値は実験開始初期には 1 次式で、その後は 2 次式で概ね近似できる。 $q$  の近似式の微分式 ( $q'$ ) が除去率の特性式となり、累積吸着量の最大値が飽和吸着量である。すなわち、リン吸着材の性能評価は、初期除去率、初期除去率の持続性、飽和吸着量の 3 指標から評価することが適切と考えられる。

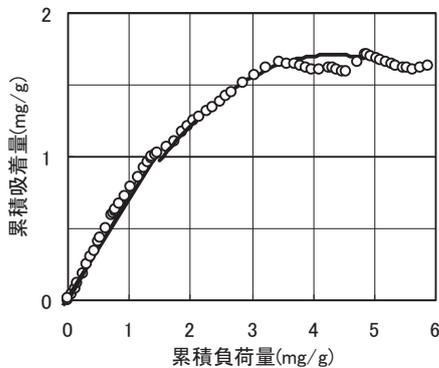


図 3-4 リン吸着材の現地実験結果 (黒ぼく土：鹿沼産)

粒径の違いを含め 19 種類の吸着材の現地実験を行い、図 3-5 及び表 3-2 に示すように 5 つのグループに分類した。黒ぼく土については粒径が小さい方が飽和吸着量が多い傾向が認められた (後掲表 5-3)。性能が高かった吸着材の実験結果を図 3-6 に示す

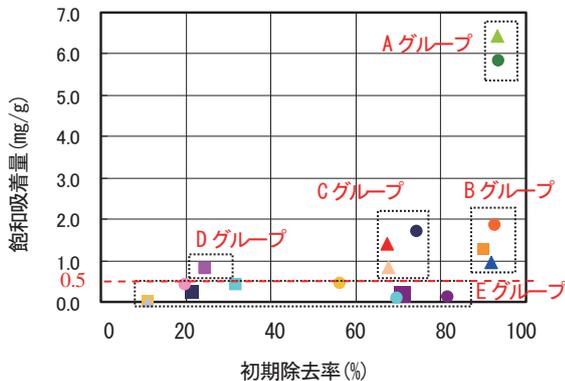
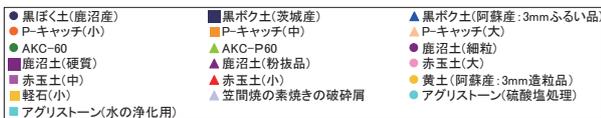


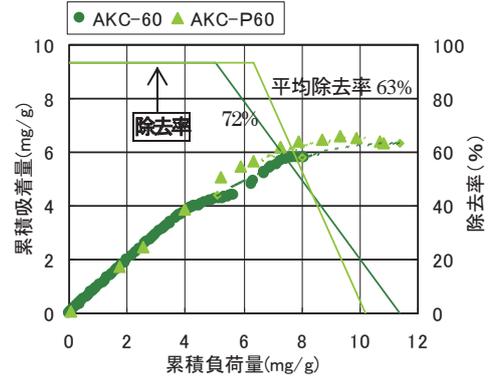
図 3-5 リン吸着材の性能評価 (現地実験)

表 3-2 リン吸着材の性能評価 (現地実験)

分類	性能	吸着材	初期除去率	初期除去率の持続性	飽和吸着量
A	高	イオン交換樹脂 (AKC-60, AKC-P60)	90% 以上	長い／累積負荷量 6mg/g 程度	6mg/g 程度
B	中	Pキャッチ (小) Pキャッチ (中) 黒ぼく土 (阿蘇産 3mm)	90% 以上	短い／累積負荷量 0.5mg/g 程度	1-2mg/g 程度
C	中	黒ぼく土 (鹿沼産) Pキャッチ (大) 赤玉土 (小)	70% 程度	中／累積負荷量 0.5-1.5mg/g 程度	1-2mg/g 程度
D	低	赤玉土 (中)	25%	—	1mg/g 程度
E	低	赤玉土 (大) 黒ぼく土 (茨城産) 鹿沼土 (細粒 硬質 粉抜品) 黄土 (阿蘇産 3mm) アグリストーン (硫酸塩処理 水の浄化用) 軽石 (小)・笠間焼の素焼きの破砕屑	10~80% 程度	—	0.5mg/g 以下

注) P キャッチは商品名、酸化鉄とアルミナを主成分とした部材 (鉄添加焼結火山土) であり、合併浄化槽等に実績あり。

[A グループ]



[B グループ]

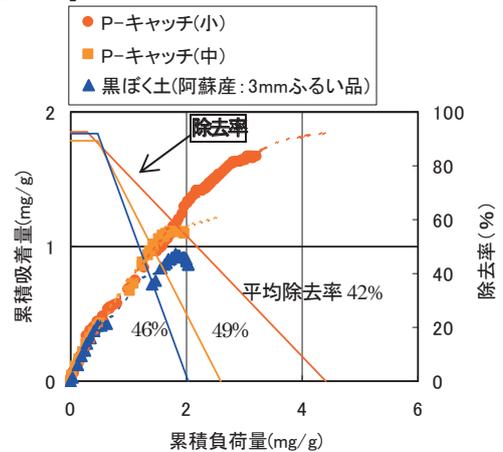


図 3-6 リン吸着材の現地実験結果 (性能が高い部材)

## 4. 考察

浸透流れ方式の各実験槽の除去率算定結果では、黒ぼく土槽と礫槽の除去率が高いことが認められた。また、黒ぼく土槽ではヨシを植栽した場合に窒素除去率が高かった。一方、黒ぼく土槽の高負荷条件では、窒素・リンの除去率の経年的な低下傾向が認められた。これらのことから、浸透流れ方式による浄化特性について以下の点から考察を行った。

- ①物質収支からみた処理特性
- ②窒素、リンの除去率の経年変化
- ③ヨシ植栽による効果

### 4.1 物質収支からみた処理特性

#### 4.1.1 物質収支

黒ぼく土と礫の代表的な実験条件について、浄化効果が比較的安定していた1年間(平成16年9月～平成17年8月)を対象にして流量、水質及びヨシバイオマス等の調査結果から窒素・リンの物質収支を算定した(図4-1)。物質収支の算定方法は表4-1に示す。

##### 1) 黒ぼく土

黒ぼく土の物質収支は、表面流れ方式(休耕田土壌)と比較して、ヨシの茎・地下茎を通じた酸素供給による硝化・脱窒促進効果により、脱窒による浄化効果が大きい。また、リンは土壌吸着による浄化効果が大きい。

黒ぼく土槽(No.4槽)の脱窒量は、約0.4g/m<sup>2</sup>/day(表4-2)であり、霞ヶ浦(日本水産資源保護協会, 2000)の脱窒量0.0095(沖帯湖泥)～0.0097g/m<sup>2</sup>/day(沿岸帯湖泥)、木崎湖(楠田, 1994)の脱窒量0.006g/m<sup>2</sup>/dayと比較してワンオーダー以上大きい値となっており、黒ぼく土内で硝化・脱窒が促進されていると考えられる。

##### 2) 礫

礫の物質収支は、黒ぼく土と比較して、脱窒による浄化効果が小さい。先に述べたとおり、礫では脱窒に必要な有機物(炭素源)が不足して脱窒機能

(NO<sub>3</sub>-N 浄化)が低いと考えられ、有機性SSが多い雑排水等では脱窒効果が大きくなると考えられる。なお、植物吸収は浄化方式によらず小さい。既往知見においても、最適条件下でも窒素の植物吸収は全除去窒素の10%を超えないといわれている(IWA Specialist Group, 2000)。

表4-1 物質収支の算定方法

項目	算定方法
植物吸収 (ヨシ)	11月の地上部栄養塩現存量(g/m <sup>2</sup> ) ×浄化施設面積(m <sup>2</sup> ) 注)3月に発芽,11月に枯死の生長サイクルを考慮
脱窒	無機態窒素の流入負荷量 —無機態窒素の流出負荷量—植物吸収量 注)底泥に堆積した有機物の分解により生成されたNH <sub>4</sub> -Nを起源とする脱窒は考慮していない
底泥・ 土壌堆積	[窒素] 有機態窒素の流入負荷量 —有機態窒素の流出負荷量  [リン] (有機態リンの流入負荷量 —有機態リンの流出負荷量) + (無機態リンの流入負荷量 —無機態リンの流出負荷量—植物吸収量)注 注)土壌吸着量とみなせる

#### 4.1.2 底泥堆積有機物の分解過程を考慮した脱窒量

物質収支図(図4-1)に示した脱窒量は、無機態窒素の減少量から簡便に推定したものであり、底泥堆積有機物の分解により生成されたNH<sub>4</sub>-Nを起源とする脱窒現象を考慮していない。

①無機態窒素の減少量から脱窒量を推定する方法、  
②底泥堆積有機物の分解過程も考慮して脱窒量を推定する方法の2つの推定方法による脱窒量の推定結果の差は小さく(表4-2)、簡便に無機態窒素の減少量から脱窒量を評価しても概ね妥当な値が得られる。

土壌T-N蓄積量の算定に用いた実験終了時のT-N含有量を図4-2に示す(初期値;No.1槽4.11mg/g乾泥, No.4槽4.55mg/g乾泥)。ヨシ植栽No.4槽の表層T-N含有量はNo.1槽(ヨシ植栽なし)より高く、ヨシ枯死体の影響が考えられる。

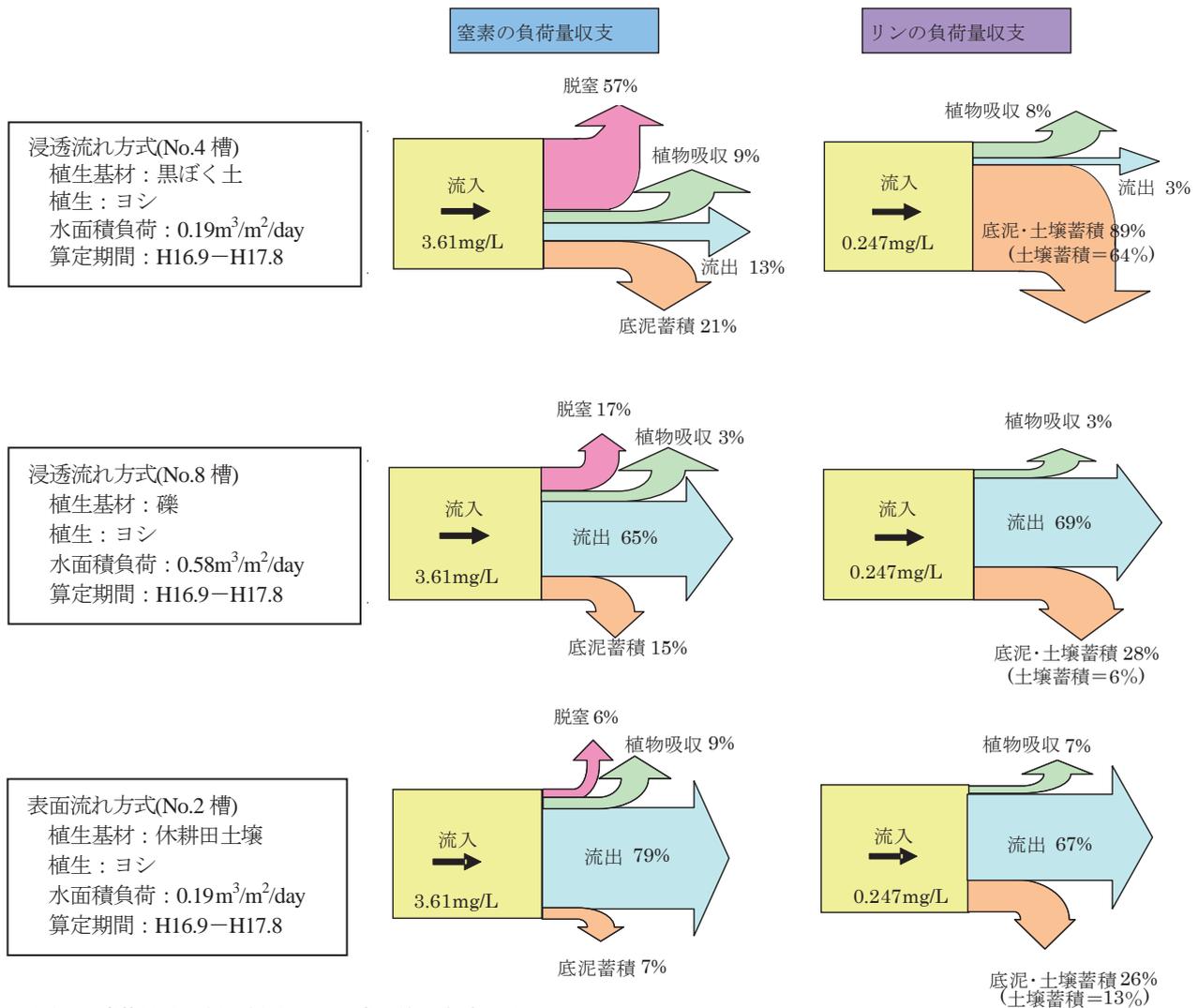


図 4-1 窒素・リンの物質収支図（浸透流れ方式，表面流れ方式）

表 4-2 浸透流れ方式（黒ぼく土）の脱窒量

推定方法	脱窒量 (g/m <sup>2</sup> /day)	
	No.1 植生なし	No.4 ヨシ
①無機態窒素の減少量から推定	0.250	0.365
②底泥堆積有機物の分解も考慮して推定	0.302	0.420
備考	水面積負荷	0.19m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day
	土壌中 T-N 蓄積量	8.2kg

推定期間：実験開始(H15.9)～実験終了(H19.1)

- ①無機態窒素の減少量から推定した脱窒量  
 = (無機態窒素の流入負荷量 - 無機態窒素の流出負荷量 - 植物吸収) / 施設面積 / 日数
- ②底泥堆積有機物の分解も考慮して推定した脱窒量  
 = (T-N の流入負荷量 - T-N の流出負荷量 - 植物吸収量 - 土壌 T-N 蓄積量) / 施設面積 / 日数

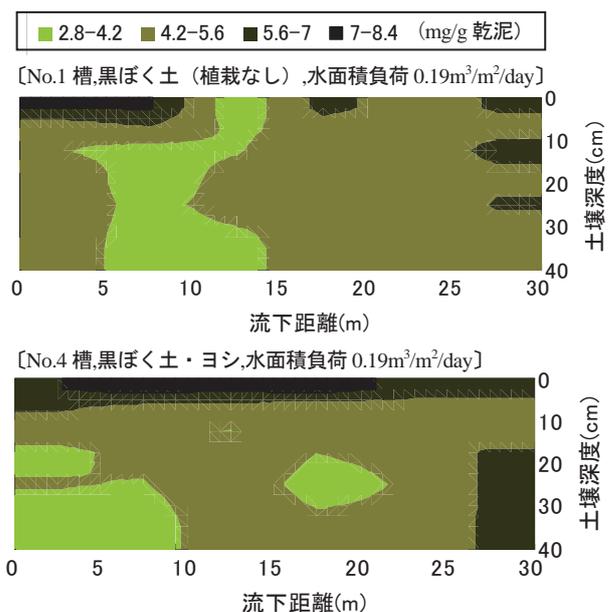


図 4-2 実験終了時(H19.2)の土壌 T-N 含有量

#### 4.1.3 ヨシによる栄養塩吸収速度

物質収支の算定に用いたヨシによる栄養塩吸収量を吸収速度で評価した結果を表4-4に、既往知見との比較を表4-3に示す。なお、物質収支の算定では、ヨシ刈り取りによる栄養塩の系外除去を見積もっているため、測定時期は11月、対象部位は地上部のみとしている。水生植物の吸収速度に関する調査及び既往調査の整理に関する論文は多くあり、本研究で算定した吸収速度は既往文献値と比較して若干小さいが、測定時期、ヨシ刈り取り頻度の違いによるものと考えられる。

浸透流れ方式の礫槽の吸収速度については、ヨシ地上部乾重量が黒ぼく土槽の約65%と少ないが、栄養塩含有量が逆に多く(窒素は約1.6倍、リンは約1.9倍)、黒ぼく土槽の吸収速度とほぼ同じになった(表4-4)。吸収速度は地上部栄養塩現存量を日数で割ったものであり、3年間の窒素・リン現存量の変化をみても(図4-3)、吸収速度を算定した平成16年は黒ぼく土槽と礫槽の現存量はほぼ同じであるが、平成17年と平成18年は黒ぼく土槽の方が現存量が多い。すなわち、黒ぼく土槽の方が礫槽よりもヨシ生育が良く(ヨシバイオマスが多く)、吸収速度も大きいと考えられる。

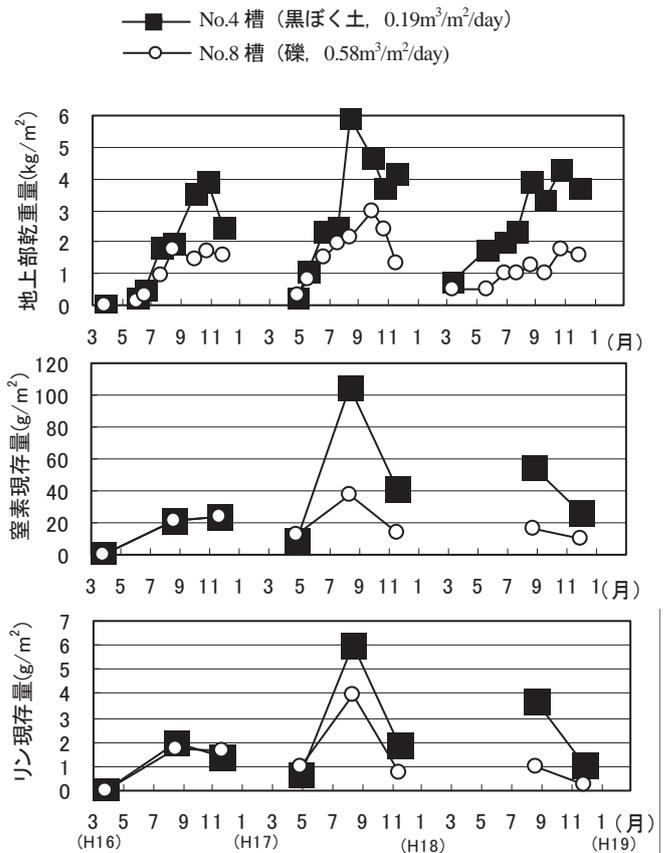


図4-3 ヨシの生長特性調査結果(地上部)

表4-3 ヨシの吸収速度の算定例

出典等	窒素 (g/m²/day)	リン (g/m²/day)	備考
本研究	0.07~0.10	0.004~0.007	山田川実験結果
大槻(1993)	0.269	0.027	研究事例平均値
桜井(1988)	0.17~0.53	0.029~0.078	3研究事例ビュー
IWA Specialist Group(2000)	0.21~0.67	0.0068~0.055	研究事例ビュー

表4-4 ヨシによる栄養塩の吸収速度

	浄化方式		水面積負荷 (m³/m²/day)	吸収速度 (g/m²/day)	ヨシ(地上部)の測定値			調査日	備考
					乾重量 (kg/m²)	栄養塩含有量 (g/kg 乾重)	栄養塩現存量 (g/m²)		
窒素	浸透流	黒ぼく土	0.19	0.101	2.45	9.9	24.3	H16.11.27	No.4槽
		礫	0.58	0.101	1.56	15.5	24.2	H16.11.27	No.8槽
	表面流	休耕田土壌	0.58	0.067	1.13	14.2	16.0	H10.11.19	前年刈取り
リン	浸透流	黒ぼく土	0.19	0.0057	2.45	0.56	1.37	H16.11.27	No.4槽
		礫	0.58	0.0068	1.56	1.04	1.62	H16.11.27	No.8槽
	表面流	休耕田土壌	0.58	0.0038	1.13	0.81	0.91	H10.11.19	前年刈取り

注) 吸収速度は3月中旬(発芽)~11月の8ヶ月間(240日)で算定。表面流れのヨシ重量は施設全部を刈り取り測定。

## 4.2 窒素、リンの除去率の経年変化

### 4.2.1 黒ぼく土槽の除去率の経年変化

1年をヨシ植生の最生長期(4月~8月)、低生長期(9月~10月)、枯死期(11月~3月)の期間に分け、黒ぼく土(No.4槽, No.5槽)のリンと窒素の除去率の期別経年変化を確認した(図4.4)。

高負荷(No.5槽)のTPの除去率は、いずれの期も3年目の除去率が低く、経年的に除去率は低下傾向にある。また、低負荷(No.4槽)では3年目まで90%程度の高い除去率が維持されており、この期間では、除去率の期別変化はない。

TNの除去率は枯死期に低下傾向にある。特に高負荷条件(No.5槽)ではその傾向が顕著であるとともに、いずれの期も経年的にTNの除去率が低下傾向にある。

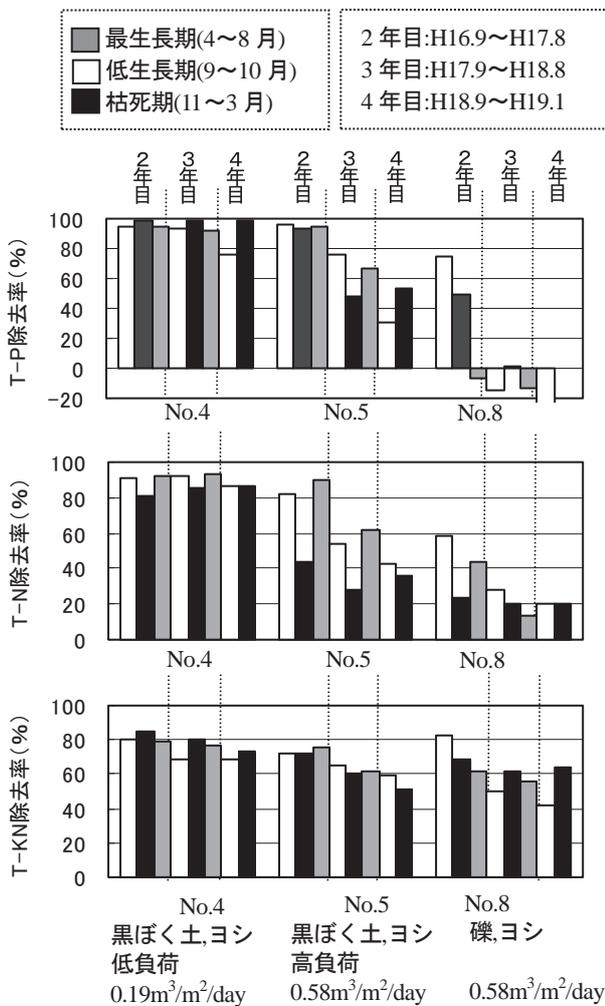


図4.4 リン・窒素の除去率の期別経年変化

高負荷条件の実験後期では硝化反応( $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少)

は進んでいるが、脱窒反応が進んでいないことがTN除去率の低下を及ぼしていると考えられ(図4.5)、有機物の減少や水温の影響が考えられる。なお、図4.5の解析では無機態窒素の植物吸収分は無視している。

これらのことから、長期間にわたり浄化効果(除去率)を安定させるためには、低負荷条件が有利であると考えられる。

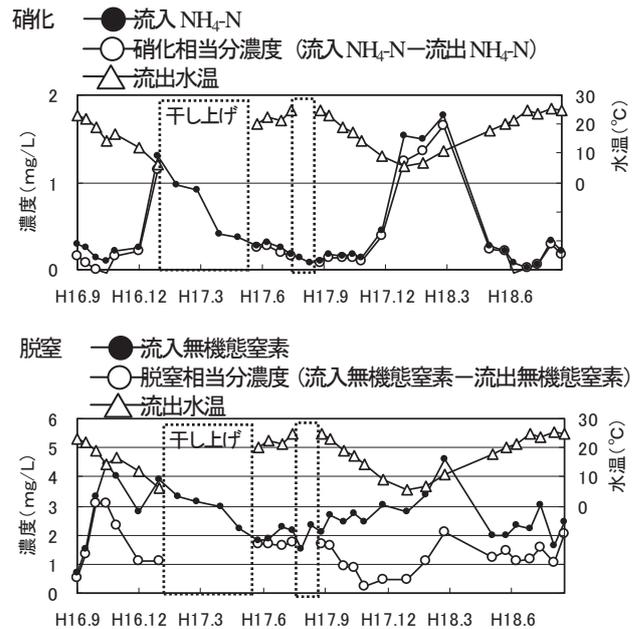


図4.5 黒ぼく土槽での硝化・脱窒反応(No.5槽)

### 4.2.2 礫槽の除去率の経年変化

TN, TKNの除去率の期別変化の特徴は明確でないが、経年的には低下傾向にある(図4.4)。

### 4.2.3 高負荷条件によるリン除去率の変化

高負荷条件(No.5槽, 黒ぼく土・ヨシ,  $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ )の現地実験の開始から終了までのリン除去率の変化は、図4.6に示すとおりであり、通水開始2年後(平成17年10月)に除去率が80%以下に低下した。リン除去率の低下の要因として、土壌のリン吸着能の低下と嫌気化によりリンの溶出が考えられるが、除去率が急激に低下した平成17年10月時点での流出水のDO濃度は $1\text{mg/L}$ 以下、ORPは $300\text{mV}$ 程度で低酸素ではあるが、土壌は還元状態にはなっていないと考えられ、溶出の影響は小さいと考えられる(図4.7)。

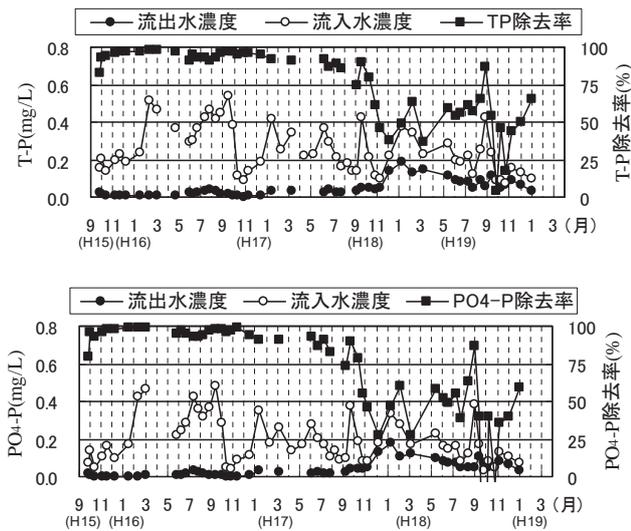


図 4-6 リンの除去率の変化  
(No.5 槽, 黒ぼく土・ヨシ)

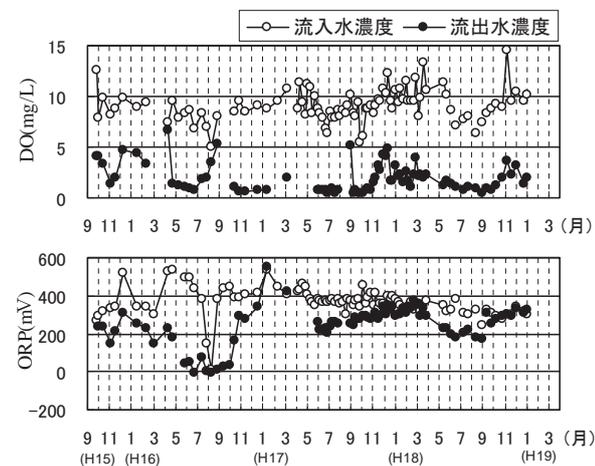


図 4-7 流入水・流出水の DO 及び ORP の変化  
(No.5 槽, 黒ぼく土・ヨシ)

#### 4.2.4 高負荷条件によるリン除去持続期間の予測

##### 1) リン吸着材の現地実験結果

別途実施したリン吸着材の現地実験から得られた黒ぼく土(鹿沼産)の PO<sub>4</sub>-P 吸着特性を図 4-8 に示す。リン吸着特性曲線の傾き(累積吸着量近似曲線の微分)を除去率と定義し、除去率と累積吸着量の関係を表 4-5 に示す。

表 4-5 黒ぼく土(鹿沼産)の除去率と累積吸着量

PO <sub>4</sub> -P 除去率(%)	累積吸着量 (mg/g)
80	0.592
50	0.917
10	1.661
0	1.711

注)リン吸着材実験(図 4-8)より算定

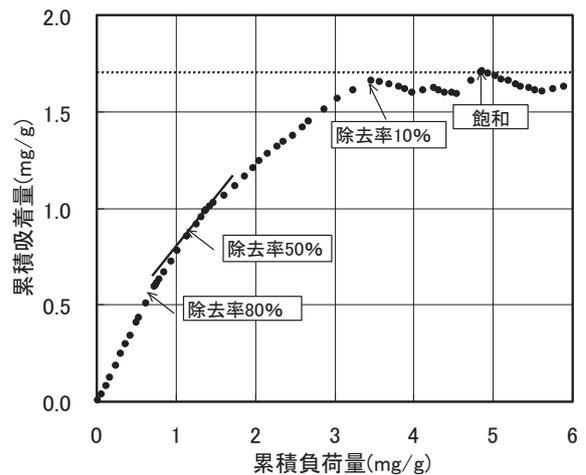


図 4-8 リン吸着材実験結果(黒ぼく土:鹿沼産)

##### 2) 現地実験槽のリン除去持続期間の予測

黒ぼく土(鹿沼産)のリン吸着材の実験結果(PO<sub>4</sub>-P 除去率と累積吸着量の関係)を用いて、次式により高負荷条件の現地植生浄化施設(黒ぼく土, ヨシ植栽)のリン吸着持続期間を求め、現地実験結果との比較を行った(表 4-6)。

(持続期間 [日]) =

$$\frac{(\text{全土壌量 [kg 乾重]}) \times (\text{累積吸着量 [g/kg]})}{(\text{流入水濃度 [g/L]}) \times (\text{除去率}) \times (\text{処理水量 [L/s]}) \times 86,400 [\text{s/日}]}$$

(4-1)

現地植生浄化施設のリン除去持続期間は、リン吸着材実験結果による予測持続期間の約 7 割である。すなわち、現地植生浄化施設内の全土壌の吸着能が十分に使われていないことが想定されるため、土壌のリン含有量分布を確認した。

表 4-6 リン除去持続期間(予測値, 現地実績値)

[No.5 槽, 黒ぼく土・ヨシ, 0.58m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day]

持続除去率	リン吸着材実験データによる予測値 t1	現地植生浄化施設の実績値 t2	t2/t1
80%以上	3.0 年	2.0 年	0.67
50%以上	5.1 年	3.3 年	0.65
10%以上	15.3 年	—	—

注 1)全土壌量: 15,330kg 乾重(土壌体積: 3×30×0.4m, 単体積重量: 0.82g/cm<sup>3</sup>湿重, 含水率: 48%)

注 2)流入水 PO<sub>4</sub>-P 濃度: 0.20mg/L, 処理水量: 0.6L/s

### 3) 現地植生浄化施設の黒ぼく土のリン含有量分布

実験終了時(平成19年2月)の黒ぼく土のリン含有量分布を図4・9に示す。実験開始時(平成15年9月)の黒ぼく土のリン含有量は0.528mgP/g乾泥であり、リン吸着飽和時の含有量は約2.2mgP/g(リン吸着実験の飽和累積吸着量1.711mgP/g)、80%除去率低下時のそれは約1.1mgP/g(同0.592mgP/g)と推定される。

リン含有量は土壌深度とほぼ平行に分布し、上層から下層へ処理水が浸透してリンが吸着されている様子がわかる(図4・9)。また、表層には3mgP/g以上の高含有量域が広がり、上記の飽和時の推定含有量約2.2mgP/gを超えているが、懸濁態リン(植物プランクトン等の有機物含む)の堆積による影響と考えられる。土壌下層(深度30~40cm)の含有量(0.52~1.24mgP/g)から判断すると、土壌のリン吸着能はまだ十分にあると考えられ、土壌中の短絡流の発生が示唆される。

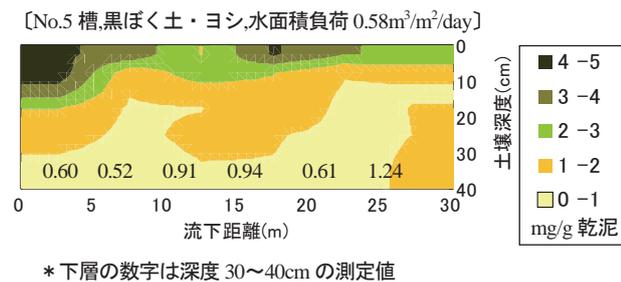


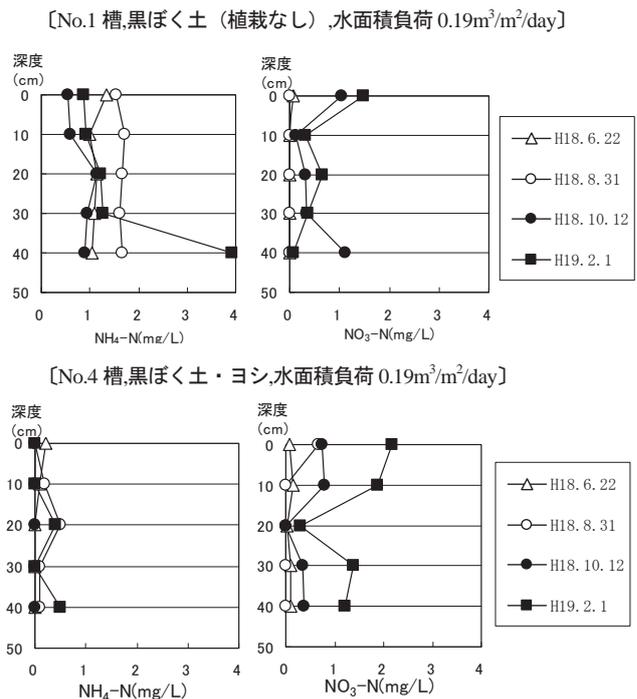
図4・9 実験終了時(H19.2)の土壌 T-P 含有量

### 4.3 ヨシ植栽による効果

ヨシを植栽した場合の方が脱窒量が約1.2倍大きい結果が得られた(前掲表4・2)。ヨシ植栽による硝化・脱窒特性の違いを確認するために実施した季節別の間隙水窒素濃度の測定結果を図4・10に示す。流入原水のT-N濃度は年平均で3.5mg/L(約2~6mg/L)であり、NO<sub>3</sub>-N濃度は2~3mg/L前後、NH<sub>4</sub>-N濃度は冬期に高くなる(最大2mg/L程度)。

まず、硝化反応について試みる。ヨシ植栽(No.4槽)のNH<sub>4</sub>-N濃度は約0.5mg/L以下の低濃度であり年間を通じて硝化が進行していると考えられる。一方、ヨシ植栽なし(No.1槽)では年間を通じてNH<sub>4</sub>-N濃度が約1mg/L以上と高く、硝化の進行が不十分である

と考えられる。



(注) 縦断方向3地点(5m,15m,25m)の平均値

図4・10 黒ぼく土槽の間隙水窒素濃度

次に、脱窒反応について試みる。ヨシ植栽(No.4槽)、ヨシ植栽なし(No.1槽)ともに、6月と8月のNO<sub>3</sub>-N濃度が低く(ほぼゼロ)、10月と2月のNO<sub>3</sub>-N濃度が高い傾向にあり、冬期には脱窒反応が低下しており、脱窒反応の低下の主な要因として水温低下ともなう脱窒活性の低下が考えられる。

木村ら(2000)は、ヨシを植栽したヨシフィルター系(鉛直流れ方式)とヨシ植生のない対照系による窒素除去の室内実験(供給は人工生活排水(5cm/day)、基盤土壌は川砂、実験期間は1年間)を行い、対照系では窒素除去速度(流入水・流出水の窒素濃度と水量により算定)と脱窒速度(チャンバー法:安定同位体窒素<sup>15</sup>N測定による)は、それぞれ年平均値で1.82gN/m<sup>2</sup>/day、1.48gN/m<sup>2</sup>/day、一方、ヨシフィルター系では、それぞれ3.76gN/m<sup>2</sup>/day、2.28gN/m<sup>2</sup>/dayであり、ヨシの植栽により、窒素除去速度及び脱窒速度が増大した結果が得られている。また、気温が上昇する時期に窒素除去速度及び脱窒速度が増大し、気温が低下する時期にはこれらが減少する傾向が認められている。

先に示した本現地実験結果(図4・10)から推察され

る硝化・脱窒現象は、木村ら(2000)の実験結果と同様な傾向であり、ヨシが存在することにより、地上部ヨシから根茎に輸送される酸素により、根の表面部分で硝化反応が生じていると考えられる。なお、硝化反応後、根周辺の嫌気的な場所で脱窒すると考えられているが、本実験のように有機物濃度が低い対象水では、水温低下する時期には、脱窒があまり進まないと考えられる。また、夏期の流入 DO 濃度は 7mg/L、冬期の流入 DO 濃度は 10mg/L 程度であり、冬期に脱窒があまり進まない要因として、冬期に土壤中の DO 濃度が若干高い可能性があることも考えられる。

## 5. 維持管理の検討

佐藤ら(2002)は、平成9年6月～平成14年3月の約5年間、ヨシ、マコモ、オオフサモを対象として表面流れ方式による植生浄化現地実験を行い、ヨシの刈り取りなし条件で夏期の浄化効果の低下が顕著であったこと、干し上げの実施によりリン溶出や懸濁質の流出を抑え浄化効果が改善したことを示した。

一方、浸透流れ方式では、実験結果を踏まえ以下の観点から維持管理の検討を行った。

- ①長期間の透水性を確保することが最も重要であり、透水性低下への対策について検討した。
- ②黒ぼく土のリン吸着能低下も維持管理上の大きな課題と考えられ、水面積負荷とリン除去持続期間の関係について検討した（リン吸着能低下への対策）。
- ③浸透流れ方式（礫）の処理水をリン吸着材で処理する方式（ハイブリッド方式）を採用した場合のリン吸着材の選定について検討した。

### 5.1 透水性低下への対策

透水性を低下させる目詰まりの発生原因は無機態の SS と考えられ、本研究の実験流入水の SS 濃度は平均 8.4mg/L (H15.9～H19.1) と比較的低濃度であり、他の河川水等への適用については、SS 濃度の違いを考慮する必要がある。

#### 5.1.1 透水性調査

各植生浄化施設の相対的及び経時的な透水性を評価するために透水性調査を実施した。調査方法は次のとおりである（図5-1）。

- ①排水位を+40cm とし、施設内の水位を排水位と同じレベルまで湛水させたのち、流入水を止める。
- ②土壤槽の場合には排水位を 0cm まで下げる（礫・人工メディア槽では-30cm まで下げる）。
- ③時間の経過とともに施設内水位が下がってくるので、経時的に水深とその時の流出量を測定する。

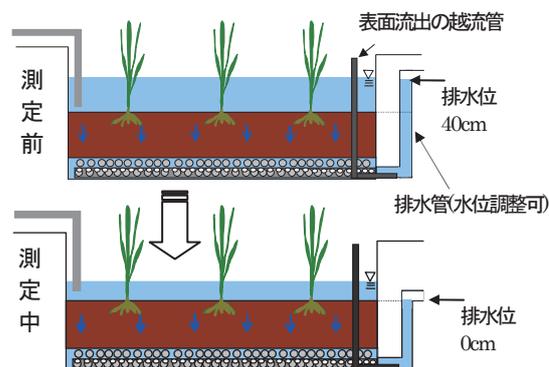


図5-1 透水性調査の調査方法（土壤槽）

No.6 槽（黒ぼく土+鹿沼土）の測定例を図5-2に示す。第5回調査（夏期干し上げ後）に透水性が良くなり、その後、また透水性が悪くなっている。

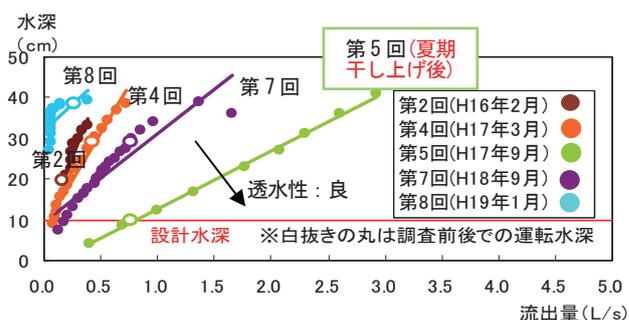


図5-2 透水性調査結果（浸透流れ方式、No.6 槽）

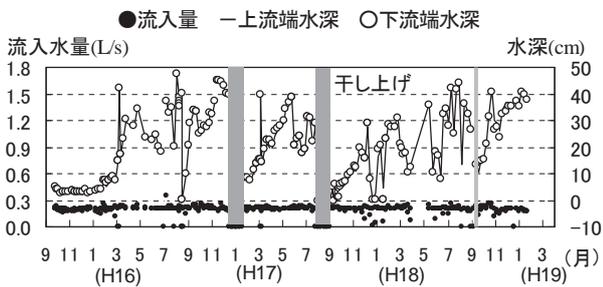
#### 5.1.2 黒ぼく土槽の水面積負荷と維持管理の関係

##### 1) 維持管理を軽減したい場合

No.4 槽（水面積負荷 0.19m³/m²/day）では実験期間中、計画水量で施設内計画水深（+10cm）をほぼ維持し、透水性が確保できた（図5-3の下図）。一方、ヨシ植栽

がない No.1 槽 ( $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ) では、No.4 槽と比較して、短期間で水位が上昇しやすく (図 5-3 の上図)、ヨシ植栽が透水性の確保に寄与していると考えられる。No.4 槽では通水後約2年間干し上げを行わなかったところ、底泥の嫌気化による2価鉄の溶出が認められた (図 5-4)。その後、平成18年8月に干し上げを1週間実施したところ、2価鉄の溶出が認められなくなった。底泥が嫌気化するとリン等の溶出 (除去率低下) の恐れがあるため、2年に1回程度の干し上げを行い底泥の嫌気化を防止する必要があると考えられる。

No.1 槽 (黒ぼく土・植栽なし,  $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ , 設計流入水量  $0.2\text{L/s}$ )



No.4 槽 (黒ぼく土・ヨシ,  $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ , 設計流入水量  $0.2\text{L/s}$ )

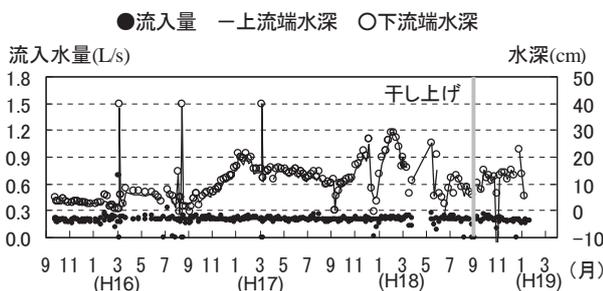


図 5-3 流入水量と施設内水深 (No.1 槽・No.4 槽)

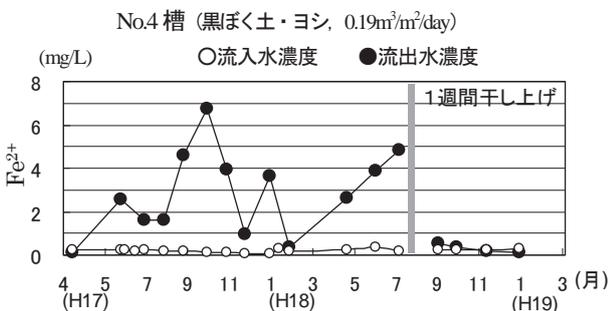


図 5-4 2価鉄イオンの濃度 (No.4 槽)

## 2) 多量の水を処理したい場合

多量の水を処理したい場合には、水面積負荷を大きくすることが考えられる。高負荷条件 (No.5 槽,

$0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ) では、長期運転により目詰まりが発生し、低負荷条件 (No.4 槽,  $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ) より施設内水の上昇が大きく、透水性が低下した (図 5-5)。

No.5 槽 (黒ぼく土・ヨシ,  $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ , 設計流入水量  $0.6\text{L/s}$ )

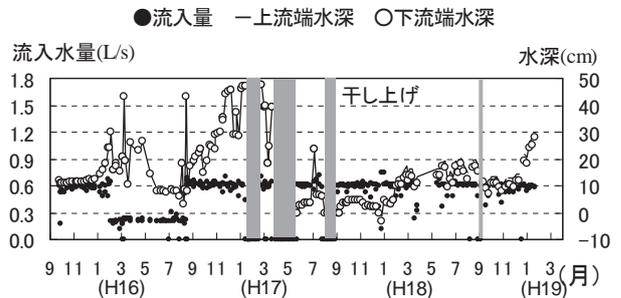


図 5-5 流入水量と施設内水深 (No.5 槽)

透水性を回復させるために、実験期間中に冬期干し上げ (1ヶ月間) と夏期干し上げ (1ヶ月間) を行い、透水性調査により透水性の回復効果を確認した (図 5-6)。冬期1ヶ月間干し上げ (平成17年3月) による透水性の回復は認められなかったが、夏期1ヶ月間干し上げ (平成17年8月) 後は、通水開始時とほぼ同程度の透水性に回復するとともに、干し上げ後1年間、計画水深 (+10cm) がほぼ維持できた (図 5-5)。なお、夏期1ヶ月間干し上げの期間降水量は  $245\text{mm}$ 、期間平均気温は  $30.6^\circ\text{C}$  であり、比較的降水が多かった。以上の結果から、水面積負荷を大きくする場合には、透水性を維持するために、年1回程度の夏期干し上げを実施する必要があると考えられる。

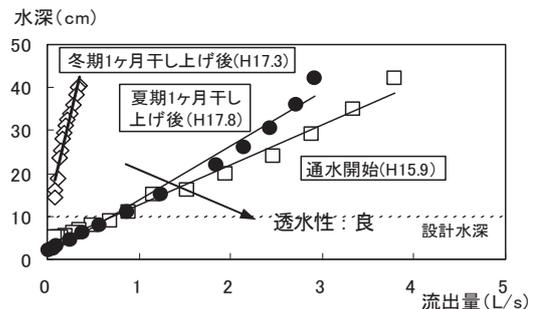


図 5-6 透水性調査結果 (No.5 槽, 干し上げ後)

## 5.1.3 礫槽の水面積負荷と維持管理の関係

礫槽は黒ぼく土槽よりも透水性が高いことから、低負荷条件を  $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  (No.8 槽), 高負荷条件を  $1.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  (No.9 槽) として実験を行った。実験期

間中の流入水量と施設内水深の経時変化を図5-7に示す。低負荷条件（No.8槽）は施設内の下流水深を礫表面下(-10cm)とする運転であり、実験時間中ほぼ安定した透水性が確保された。ただし、平成18年3月に水位が上昇し目詰まりが発生したと考えられるが、その後5月には透水性が回復した。春に透水性が向上する現象は平成17年にも認められ、ヨシの発芽が透水性を回復させている可能性が高いと考えられる。

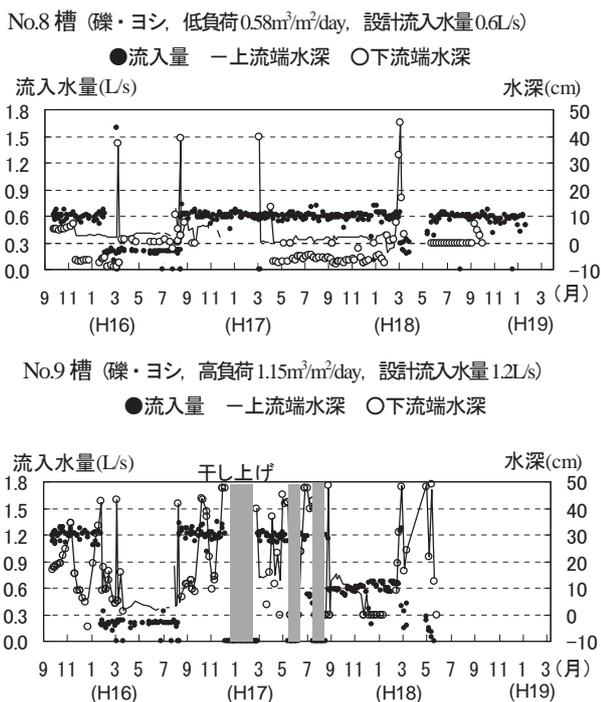


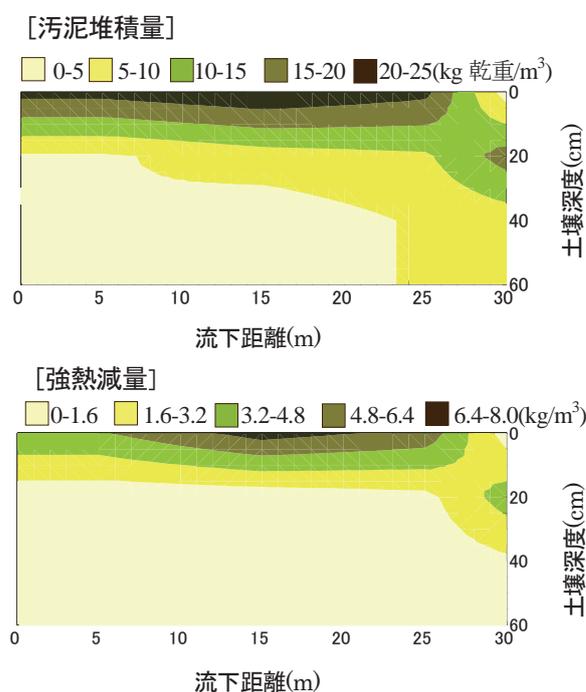
図5-7 流入水量と施設内水深 (No.8槽, No.9槽)

一方、高負荷条件（No.9槽）は実験開始後約2年で目詰まりが発生して、設計流量に対する透水性が確保できなくなり、平成18年6月に実験を中止した。なお、冬期3ヶ月間（平成16年12月～平成17年3月）の干し上げ後と、夏期1ヶ月間（平成17年8月）の干し上げ後に、透水性調査を行ったが透水性の回復は認められなかった。

No.9槽では実験中止後に、施設内を掘り起こし汚泥の堆積状況を確認した（図5-8）。汚泥の堆積は表層（0～10cm）に多く、5～25m地点付近では特に強熱減量が多い。No.9槽は水面を持った運転をしていたため、通水開始直後（ヨシ生長少）に、浄水処理で過障害の原因となる *Navicula placentula* が大発生し（現地目視確認）、流入SSに加え植物プランクトン起源の

SSも付加されて表層での汚泥堆積量が多くなったと考えられる。また、下層の汚泥堆積は25m付近から下流で認められ、鉛直流れは下流部で卓越していたと考えられる。

ヨシは日照を妨げ、植物プランクトンの発生を抑制する効果がある（中村ら,1987）といわれている。よって、特に、ヨシが十分に繁茂しない段階で水面を持たせて施設を運転すると、植物プランクトンが増殖して目詰まりを引き起こす可能性が高くなることから、水面を持たせない運転を考慮する必要がある。



\* 礫・ヨシ,  $1.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ , 排水管は流末の底部に設置

図5-8 汚泥の堆積分布 (No.9槽, 実験中止後)

## 5.2 黒ぼく土槽のリン吸着能低下への対策

黒ぼく土槽の高負荷条件  $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  では、 $\text{PO}_4\text{-P}$  除去率80%以上の除去持続期間は2.0年、50%以上のそれは3.3年であった。この結果と負荷量条件から、低負荷条件  $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  の除去持続期間を推定すると80%以上は6年、50%以上は10年となる。一方、別途実施した黒ぼく土のリン吸着実験（流入水平平均  $\text{PO}_4\text{-P}$   $0.2\text{mg/L}$  程度）から得られた黒ぼく土の  $\text{PO}_4\text{-P}$  吸着能（累積吸着量  $0.59\text{mg/g}$  で除去

率 80%, 0.92mg/g で 50%) をもとに, 低負荷条件 0.19m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day の除去持続期間を推定すると 80%以上は 9 年, 50%以上は 15 年となり, 上記現地実験からの推定値の方が短く (約 70%) だったが, 比較的簡易なリン吸着実験から現地におけるリン除去持続期間を推定することがある程度可能であると考えられる。

これらのことから, 簡易なリン吸着実験により現地施設における黒ぼく土のリン除去持続期間を推定し, 維持管理計画に反映させることが必要であると考えられる。

### 5.3 ハイブリッド方式におけるリン吸着材の選定

#### 5.3.1 室内試験結果と現地実験結果の比較

室内試験から算定した Freundlich の吸着等温式パラメータ k, n と現地原水濃度 (PO<sub>4</sub>-P 0.2mg/L (平均値)) から, 現地の飽和吸着量 (平衡吸着量) を推定し, 現地実験で得られた飽和吸着量と比較した。現地流入原水 (濃度一定値) を吸着材に流し続ければ, いずれは吸着しなくなる。すなわち, 流入原水濃度に対して吸着ゼロとなり, Freundlich の吸着等温式に代入する平衡濃度として, 原水濃度は妥当であると考えられる。

室内試験で求められる平衡吸着量 (推定飽和吸着量) と現地実験 (カラム式) の飽和吸着量には, 数倍の違いが認められ, 現地実験の方が性能が良いケースが多い (表5・1)。この理由としては現地水には鉄が含まれ, リン酸鉄が形成されることが考えられる。ただし, P-キャッチ (小) については, 反対に現地実験の飽和吸着量の方が小さいが, その理由として現地で目詰まりが頻繁に発生したこと, 実験期間後半の水質濃度が若干低下したことの影響が考えられる。

表 5・1 室内試験結果と現地実験結果の比較

吸着材	室内試験			現地実験
	k (mg/L)	n	推定飽和吸着量 (mg/g)	飽和吸着量 (mg/g)
イオン交換樹脂 (AKC-60)	4.72	4.27	3.24	5.83
イオン交換樹脂 (AKC-P60)	5.22	3.00	3.06	6.45
P-キャッチ (小)	7.70	2.90	4.42	1.85
黒ぼく土 (鹿沼産)	0.90	3.08	0.53	1.70

### 5.3.2 リン吸着材のコスト評価

#### 1) コスト評価

リン吸着材の選定は, 処理目標水質 (目標除去率) とコストが目安となる。現地実験で得られたリン吸着材の性能データを用いて, 飽和吸着量 1.0mg/g 以上のリン吸着材を対象にコストを評価した (表 5・3, 除去率 50%以下で交換)。

リン吸着材の交換条件は除去率 50%以下となった場合に交換としたが, 除去率の累積負荷量特性式 (表 5・2) を用いて任意の交換除去率での検討が可能である。また, 表 5・3 の検討結果は, 流入水質が山王川実験条件とほぼ同じ水質濃度 (PO<sub>4</sub>-P 0.2mg/L 程度) の場合にのみ適用可能であり, 流入水濃度が大きく異なる場合には, リン吸着実験 (現地水を用いたカラム式実験が望ましい) を行う必要がある。

表 5・2 除去率の累積負荷量特性式 (現地実験結果)

吸着材	q (累積吸着量 mg/g)	除去率の累積負荷量特性式 (q')
イオン交換樹脂 (AKC-60)	$-0.049Q^2 + 1.117Q$	$-0.098Q + 1.117$
イオン交換樹脂 (AKC-P60)	$-0.063Q^2 + 1.280Q$	$-0.125Q + 1.280$
P-キャッチ (小) (鉄添加焼結火山灰土, 1.2mm以下)	$-0.094Q^2 + 0.833Q$	$-0.189Q + 0.833$
黒ボク土 (阿蘇産: 3mmふるい品)	$-0.218Q^2 + 0.889Q$	$-0.437Q + 0.889$
P-キャッチ (中) (鉄添加焼結火山灰土, 1.2~2.5mm)	$-0.179Q^2 + 0.933Q$	$-0.358Q + 0.933$
黒ぼく土 (鹿沼産)	$-0.091Q^2 + 0.790Q$	$-0.183Q + 0.790$
P-キャッチ (大) (鉄添加焼結火山灰土, 2.5~5mm)	$-0.095Q^2 + 0.544Q$	$-0.189Q + 0.544$
赤玉土 (1.7~6mm)	$-0.119Q^2 + 0.819Q$	$-0.238Q + 0.819$

注) Q: 累積負荷量 (mg/g)

#### 2) リン吸着材の選定・運用に際しての留意点

選定に関しては, 初期除去率やコストによる評価の他, リン吸着材の再生利用 (イオン交換樹脂は再生利用が可能, 黒ぼく土と鹿沼土は農地還元が可能) や透水性 (土壌系等粒子が小さい基材は透水性が悪い) についても留意が必要である。また, 現地運用に関しては, 今回の実験ではリン吸着槽内に植物プランクトンや生物膜が発生して, 目詰まりが発生した事例が多かったことから, リン吸着槽は遮光構造とすることが望ましい。

表 5-3 リン吸着材のコストの評価結果（除去率 50%以下で交換）

吸着材	実験条件 PO <sub>4</sub> -P 流入濃度 mg/L	吸着材性能 (現地実験結果)			10年間使用した場合のコスト評価 (交換回数には初期充填含む)						備考 60% 粒径 mm
		初期 除去率 %	飽和 吸着量 mg/g	性能 グループ	平均 除去率 %	密度 t/m <sup>3</sup>	吸着材 単価 千円/m <sup>3</sup>	交換 回数 回/10年	コスト 千円/m <sup>3</sup>		
イオン交換樹脂(AKC-60)	0.223 SD:0.098	94	5.825	A	81	0.48	5,000	毎年5%	7,500		
イオン交換樹脂(AKC-P60)	0.221 SD:0.105	93	6.445	A	89	0.48	5,000	補充	7,500		
P-キャッチ(小) (鉄添加焼結火山灰土、1.2mm以下)	0.203 SD:0.102	93	1.846	B	67	0.99	400	22	8,800		
P-キャッチ(中) (鉄添加焼結火山灰土、1.2~2.5mm)	0.257 SD:0.111	90	1.282	B	72	0.95	400	33	13,200		
黒ぼく土(阿蘇産:3mmふるい品)	0.257 SD:0.111	92	0.946	B	69	0.95	120	45	5,400	0.057	
P-キャッチ(大) (鉄添加焼結火山灰土、2.5~5mm)	0.190 SD:0.083	68	0.841	C	52	0.84	400	193	77,200		
赤玉土(小)(1.7~6mm)	0.190 SD:0.083	67	1.407	C	66	0.44	8	65	520		
黒ぼく土(鹿沼産)	0.183 SD:0.076	74	1.697	C	65	0.82	6	29	174	0.022	
赤玉土(中)(6~13mm)	0.215 SD:0.117	25	0.811	D	—	0.71	10	—	—		
赤玉土(大)(13~20mm)	0.261 SD:0.104	20	0.424	E	—	0.94	10	—	—		
黒ボク土(茨城産)	0.257 SD:0.111	21	0.268	E	—	1.02	6.4	—	—	0.158	
黄土(阿蘇産:3mm造粒品)	0.221 SD:0.102	56	0.450	E	—	1.15	120	—	—	0.086	
鹿沼土(細粒)	0.096 SD:0.041	82	0.128	E	—	0.46	8	—	—		
鹿沼土(硬質)	0.294 SD:0.058	71	0.216	E	—	0.37	8	—	—		
鹿沼土(粉抜品)	0.221 SD:0.118	70	0.203	E	—	0.72	8	—	—		
土壤改良用セラミック (アグリストーン(硫酸塩処理))	0.294 SD:0.058	70	0.079	E	—	1.05	284	—	—		
土壤改良用セラミック (アグリストーン(水の浄化用))	0.190 SD:0.071	36	0.412	E	—	1.02	750	—	—		
笠間焼の素焼きの破砕屑	0.294 SD:0.058	11	0.012	E	—	0.44	0	—	—		
軽石(3.2~6mm)	0.096 SD:0.041	11	0.042	E	—	0.58	16	—	—		

[検討条件] ①流入水 PO<sub>4</sub>-P 濃度 0.2mg/L. ②流入量 0.6L/s. ③リン吸着材量 1m<sup>3</sup>. ④リン吸着槽関連費(筐体等), 吸着材再生コスト, 交換にかかる人件費は考慮していない. ⑤単価はイオン交換樹脂以外は購入実績, ⑥イオン交換樹脂は再生可能, 年間消耗率(補充率)を5%とした.

## 6. 総合評価

No.1~No.9 槽の実験結果の総合評価を表 6-1 に示す. 除去率, 透水性, 干し上げ効果, ヨシの生長の観点から実用性の総合評価を行うと, 浸透流れ方式(ヨシ植栽)では, 窒素・リンを浄化対象とする場合には, 黒ぼく土 (No.4 槽, No.5 槽) が実用性があり, BOD・SS・NH<sub>4</sub>-N を浄化対象とする場合には, 処理水量を多くできる礫 (No.8 槽) も実用性があると考えられる.

一方, 休耕田土壌 (No.3 槽) は透水性が非常に低い, 黒ぼく土と鹿沼土の混合基材 (No.6 槽) は黒ぼく土と比べて透水性の向上が認められない, 人工メディア (No.7 槽) はヨシの生長が極めて悪いことから, これらの植生基材は適当ではないと考えられる.

礫槽については, No.9 槽 (礫, 1.15m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day) に

おいて, 目詰まりが発生し実験を中止せざるを得なくなったため, 流入 SS の特性を踏まえ, 水面積負荷を適切に設定する必要があると考えられる. また, 礫槽ではリン除去が期待できないため, 処理水をリン吸着材で処理する方式(ハイブリッド方式)が有効である.

表6-1 浸透流れ方式による実験結果の総合評価 [H16.9(2年目)~H18.8(3年目)]

No	植生	植生基材	通水方式	水面積負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	除去率 (2つ表示している場合は左:2年目, 右:3年目)						透水性	干し上げ効果	ヨシ生長	実用性の評価	
					SS	BOD	COD	T-N	T-KN	T-P					
1	なし	黒ぼく土	浸透流	0.19	◎	◎	○	○	△/○	◎	○	○	○	◎	ヨシ植栽より性能低い
2	ヨシ	休耕田土壌	表面流	0.19	○	○	△/×	△	○/△	△/×	△	未実施	○	◎	浸透流に比べ除去率が低い
3	ヨシ	休耕田土壌	浸透流	0.19	-	-	-	-	-	-	×	△	○	×	透水性が極めて悪い
4	ヨシ	黒ぼく土	浸透流	0.19	◎/△	◎	○/△	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	嫌気化対策必要
5	ヨシ	黒ぼく土	浸透流	0.58	◎	◎	○	○	◎/○	◎/○	△	○	◎	◎	干し上げ対策必須
6	ヨシ	黒ぼく土+鹿沼土	浸透流	0.58	◎	◎	○	○	◎/○	◎/○	△	○	◎	×	混合による透水性向上なし
7	ヨシ	人工メディア	浸透流	1.15	◎	○	△	△	○/△	△/×	◎	未実施	×	×	ヨシの生長が極めて悪い
8	ヨシ	礫	浸透流	0.58	◎	◎	○	○/△	○	△/×	◎	未実施	△	◎	り吸着材とのハイブリッド必要
9	ヨシ	礫	浸透流	1.15	◎	◎	○	×/△	○	△/×	×	×	△	×	目詰まりにより実験中止

- ・(除去率) = (流入水濃度 - 流出水濃度) / (流入水濃度) × 100 (%)
- ・除去率の評価 ◎: 除去率70%以上, ○: 除去率30~70%, △: 除去率0~30%, ×: 除去率0%以下
- ・透水性の評価 ◎: 水位管理のみ(干し上げ不要), ○: 干し上げで回復(時期は任意), △: 夏期干し上げで回復, ×: 干し上げで回復不能
- ・干し上げ効果の評価 ○: 干し上げで透水性と嫌気化が回復, △: 干し上げで嫌気化のみ回復, ×: 干し上げで透水性も嫌気化も回復なし
- ・ヨシの生長の評価 ◎: 1m<sup>3</sup>当たり地上部乾重量が5kg以上, ○: 3~5kg, △: 1~3kg, ×: 1kg以下

## 7. まとめ

霞ヶ浦の流入支川である山王川の河川水を用いて、浸透流れ方式による植生浄化法の現地長期実験を行った結果を以下にまとめる。また、河川環境管理財団では、本研究成果をもとに、「植生浄化施設計画の技術資料(2007年版)」を発刊する(2007年12月予定)。本資料は、植生浄化法(表面流れ方式、浸透流れ方式等)の現時点の知見をとりまとめたものであり、あわせてご参照頂ければ幸甚である。

①窒素・リンを浄化対象とする場合には、植生基材として黒ぼく土が実用性があり、BOD・SS・NH<sub>4</sub>-Nを浄化対象とする場合には、処理水量を多くできる礫も実用性があると考えられる。

②黒ぼく土槽(ヨシ植生)の水面積負荷は、流入水のSS濃度(特に無機態SS)にもよるが0.19m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day~0.58m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day程度が妥当であり、礫槽では水面積負荷0.58m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day程度が妥当である。また、長期間浄化効果を安定させるためには低負荷運転が有利であるが、限られた土地で多量の水を処理する場合には、維持管理や運転方式に留意する必要がある。

③浸透流れ方式では、長期間にわたり透水性を確保

することが維持管理の基本となり、干し上げが有効である。

黒ぼく土槽の維持管理については、流入SS濃度(特に無機態SS)にもよるが、年1回程度の夏期干し上げの実施が望まれる。低負荷運転では透水性を確保しやすく、干し上げの必要性も低いが、干し上げを実施しないと底泥が嫌気状態になり、リン等の溶出により除去率が低下する恐れがあるので注意が必要である。また、高負荷運転では、透水性を確保するために、ポンドや表面流れ方式を前置しSS成分を前処理段階で沈降させる方式(ハイブリッド方式)、複数の施設を用いたローテーション運転、1つの施設での間欠運転も効果的であると考えられる。なお、毎年のヨシ発芽により透水性が維持・回復することも期待できる。

礫槽の維持管理については、処理水量を多くして水面を持たせた運転を行った場合、流入SSの影響に加え、ヨシが繁茂しない段階では施設内で発生した植物プランクトン等を起源とするSSの影響も受けやすく、目詰まりや短絡流(比較的顕著な流れの不均一)を生じる可能性もある。よって、水面を持たせない運転を考慮する必要がある。

④黒ぼく土槽では80%以上の窒素、リンの除去率が得られた。しかしながら、黒ぼく土槽のリン除去能

力は主に無機態リンの土壌吸着であり、長期運転により除去率が低下する傾向にあった。また、リン除去率の低下要因として短絡流（比較的顕著な流れの不均一）の発生が示唆された。窒素除去率（特に脱窒機能）も経年的に低下する傾向にあった。これらのことから、実運用に際しては、継続的なモニタリングを行うとともに、施設計画段階から維持管理に配慮することが必要である。

⑤黒ぼく土槽の高負荷条件  $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  では、 $\text{PO}_4\text{-P}$  除去率 80%以上の除去持続期間は 2.0 年、50%以上のそれは 3.3 年であった。また、低負荷条件  $0.19\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  では、80%以上は 6 年、50%以上は 10 年と推定された。施設計画段階において、土壌交換に関する維持管理計画を検討することが必要である。

⑥礫槽では窒素除去率（特に脱窒反応）が比較的低かった（ $0.58\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$  で T-N31%，T-KN62%）。今回の実験水の有機物濃度が低いと考えられ、有機物濃度が高い雑排水や農業排水等では、より高い窒素除去率が期待できると考えられる。

⑦礫槽ではリン除去が期待できないため、処理水をリン吸着材で処理する方式（ハイブリッド方式）が有効である。リン吸着材としては、リン吸着材として開発された人工基材（酸化鉄とアルミナを主成分とした基材、イオン交換樹脂による基材等）、黒ぼく土等の火山灰土壌が有効である。一般的に、リン吸着材の吸着性能は室内試験（バッチ式）による平衡吸着量で評価されるが、現地では室内試験値よりも高い浄化能が期待できる場合が多い。よって、現地水を用いたカラム式実験（現地実験もしくは室内試験）を行い、処理目標水質（目標除去率）が維持できる持続時間（累積負荷量）に基づくコスト評価を行い、リン吸着材を選定することが望ましい。

⑧本研究では、特に、黒ぼく土を利用した浸透流れ方式の植生浄化法に高い性能があることが分かった。黒ぼく土は一般的な土壌であり安価で入手可能であ

ること、農地還元が可能であることから、本浄化法の導入により、地域と連携した資源循環型水環境改善システム（面源負荷対策による水質浄化及び農地での施肥量削減）の構築が期待できる。

## 謝辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所委託業務の一環として実施されたものである。本研究を行うにあたり、「霞ヶ浦流入河川植生浄化技術検討委員会」（委員長：細見正明 東京農工大学大学院教授）の委員の皆様にご指導、ご助言を頂いた。また、旭化成ケミカルズ株式会社からは、開発中のイオン交換樹脂の提供を受けた。ここに、記して深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 大槻忠（1993）：水生生物を用いた環境改善・創造—水生植物，Hedoro, No.58, pp.25-29.
- （財）河川環境管理財団 河川環境総合研究所（2002）：植生浄化施設計画の技術資料，河川環境総合研究所資料第 5 号
- 木村基・楊宗興・秋山博子・細見正明（2000）： $^{15}\text{N}$ トレーサー法を用いたヨシフィルターの窒素除去性能に関する研究，水環境学会誌，vol.23, No.11, pp.703-709.
- 久馬一剛（2005）：土とはなんだろうか？，京都大学学術出版会
- 楠田哲也 編集（1994）：自然の浄化機構の強化と制御，技報堂出版（株）
- 桜井善雄（1988）：水辺の緑化による水質浄化，公害と対策，Vol.24, No.9, pp.899-909.
- 佐藤和明，岸田弘之，千葉知由，田仲成男（2002）：山王川における植生浄化の長期実験結果，河川環境総合研究所報告第 8 号，pp.13-33，（財）河川環境管理財団
- 須藤隆一 編集（2000）：環境修復のための生態工学，講談社
- 中村栄一・森田弘昭（1987）：低湿地浄化に関する調査，土木研究所資料，第 2480 号
- （社）日本水産資源保護協会（2000）：平成 11 年度漁

場富栄養化対策事業 河川・湖沼総合浄化促進事業  
報告書

日本土壌肥料学会(1997)：土壌環境分析法

細見正明・吉ヶ江隆廣・樫内孝信・須藤隆一（1997）：  
浚渫ヘドロを用いたウエットランドシステムの開  
発に関する基礎的実験 人工ヨシ湿地の創造，用  
水と廃水，vol.39， pp.580-586.

IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water  
Pollution Control（2000）：Constructed Wetlands For  
Pollution Control, Scientific and Technical Report  
No.8, IWA Publishing.

# 4) 河川浄化導水事業による水質改善効果評価に関する研究－綾瀬川・芝川における一考察－

竹内 清文\*・柳沼 昌浩\*\*・横山 博保\*\*\*・富家 雄一\*\*\*\*

## 1. はじめに

綾瀬川は、埼玉県と東京都を流下する河川であり、近年の都市化の進展に伴う首都圏の拡大と中小工場の集中などにより、生活雑排水および工場排水の流入が増大した。更に、流域の水源は、桶川市小針領家、蓮田市高虫、伊奈町小針新宿など、平地であり、灌漑用水の排水路であることから農業排水で自己流量が少なく、非灌漑期は著しく水量が減少し、水質汚濁が顕著であった。その結果、綾瀬川は全国一級河川の水質ランキングで昭和 55 年のデータ公表以来、平成 6 年まで 15 年連続して国土交通省管理の河川において最下位を記録しており、早急な水質改善が望まれていた。

このような背景のもと、昭和 61 年に流域と一体となって汚濁河川の水質改善に取り組む「綾瀬川河川懇談会」、平成 7 年には「綾瀬川清流ルネッサンス 21 地域協議会」を設立し、『清流ルネッサンス 21 計画』を策定している。上記計画のもと、流域一体となった水環境改善努力を推進した結果、綾瀬川の水質は著しく改善傾向を示し、水質ランキングの最下位脱却を果たす年も見られるようになってきている。

現在、水環境改善に対する取り組みは“清流ルネッサンス 21”から“清流ルネッサンスⅡ”に受け継がれ、継続して流域一体となった取り組みが行われている。そこでは、水環境改善施策メニューの一つとして『綾瀬川・芝川等浄化導水事業』が位置づけられており、平成 15 年 3 月より試験導水とモニタリング調査を実施しながらその効果と将来の本格導水

に向けた効率的な事業の運用方法について検討を行っている。本検討は、綾瀬川・芝川における浄化導水事業による河川の水質改善効果を定量的に評価する手法並びに、現在実施中のモニタリング調査データを用いて水質改善効果の評価を報告するものである。

## 2. 事業の概要

### 2.1 事業の目的

本事業の目的は以下のようにになっている。その根幹は、将来下水道の完成に伴う河川流量不足分の補填であるとともに、清流ルネッサンス 21 の施策を含めた水質改善にある。

#### 2.1.1 支川水質の浄化

浄化目標水質は、親水性や景観性の向上を図り、コイ、フナ等の魚類の生息が可能となるような良好な生物の生息環境を創出することを目的に、各河川、各地点の環境基準の達成を目標とし、環境基準が定められていない区間については、「国民の日常生活（沿川の遊歩道を含む）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 BOD 値 10mg/l を目標とする。

#### 2.1.2 流量の維持

対象河川の流量は下水道整備の進展により下水道完成時に平成 14 年時点に比べおおよそ 3m<sup>3</sup>/s 減少

---

\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 3 部長  
\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 3 部主任研究員  
\*\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 3 部主任研究員  
\*\*\*\* (株) 東京建設コンサルタント 建設環境部 主任技師

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、流量の維持を図る。

## 2.2 施設の概要

導水施設は、図 2-3 に示す荒川河口から約 21.5km 地点の新荒川大橋下流左岸埼玉県川口市本町地先から、埼玉高速鉄道線の地下鉄トンネル内

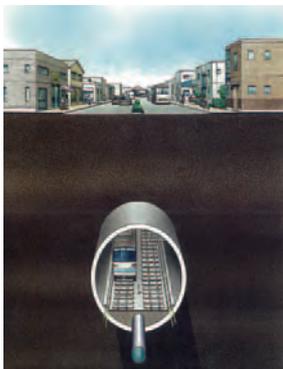


図 2-1 導水管断面イメージ



図 2-2 駅舎イメージ

に敷設された導水管であり、埼玉県さいたま市緑区下野田地先（綾瀬川）および、さいたま市緑区南部領辻地先（芝川）等に導水する

全長約 16km の導水路である。計画導水量は 3.0m<sup>3</sup>/s であり、これを表 2-1 のように分水する。

これまで、施設の機能確認、メンテナンスなどを行い、平成 17 年 2 月下旬より本格導水を開始し、モニタリング期間へ移行している。

## 2.3 運転状況

平成 15 年 6 月の機能確認試験開始後、設備調整運転中にウォーターハンマー発生や漏水などが生じ、導水実施、停止を繰り返す。モニタリング開始後の導水状況は図 2-4 に示すとおりである。



道路上漏水状況

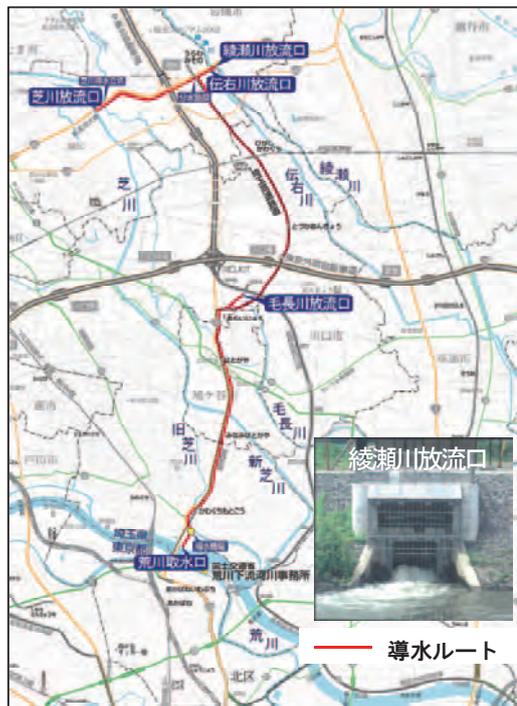


図 2-3 導水ルート

表 2-1 導水量

河川名	導水量
綾瀬川	1.17m <sup>3</sup> /s
伝右川	0.60m <sup>3</sup> /s
毛長川	0.12m <sup>3</sup> /s
芝川	1.11m <sup>3</sup> /s

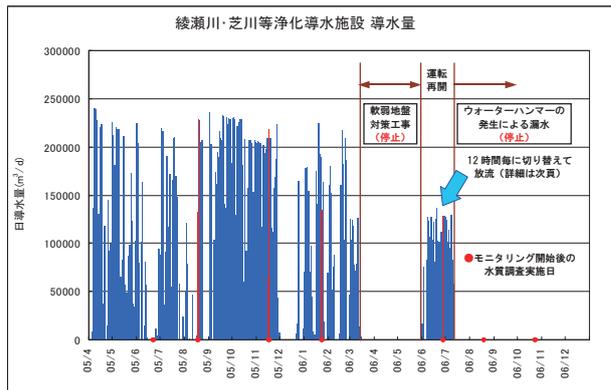


図 2-4 導水運転状況

## 3. 導水効果の評価

### 3.1 モニタリング計画

試験導水時における効果測定を行うためにモニタリング計画を策定した。モニタリング計画は導水事業の実施に伴う環境の変化を捉えるため、学識者の意見も踏まえて導水に伴うインパクト・レスポンスの関係を検討し、策定した。

#### 3.1.1 調査区分

調査項目はインパクト・レスポンスフロー（図 3-1）により、導水の実施による導水先河川の環境変化



を捉えることができる項目を設定した。

導水先河川の水環境及び、導水管からの水量・水質がインパクトとなり、導水先河川の生物にレスポンスが生じると考えられる。この事より、モニタリング調査では以下の項目について調査を実施するものとした。

### 1) 水環境調査

- ・水質/流量一昼夜連続調査，底質調査，取水地点塩分調査，自記連続水質調査

### 2) 管内調査

- ・導水時管内調査：剥離スライム実態，管内 DO 変化
- ・停止時管内調査：管内壁付着物，排水水質調査，曝気施設効果

### 3) 生物調査

- ・付着藻類調査，原生動物調査，底生動物調査，抽水・沈水植物，魚類調査，鳥類調査

### 3.1.2 調査時期

河川流量，水質，底質及び生物調査は原則として年 4 回とし，1 回あたりの調査回数は当該水域に感潮域が含まれること，生活排水が多いことを踏まえ日間変動も把握するものとし，2 時間ピッチの 24 時間調査とした。

### 3.1.3 調査地点

調査地点表 3・1，図 3・2 に示す。効果検証のし易さを考慮して，綾瀬川と綾瀬川支川の伝右川，毛長川及び芝川に調査地点を配置した。

表 3・1 主要調査地点

河川名	主要地点名
綾瀬川	①新川岸橋 ②啜橋 ③一之橋 ④槐戸橋
伝右川	⑤伝右啜橋 ⑥長栄橋 ⑦吉長橋
毛長川	⑧毛長放流口 ⑨長寿橋 ⑩舎人二つ橋
芝川	⑪見沼大橋 ⑫念仏橋 ⑬八町橋



図 3・2 調査地点位置図

## 3.2 流況の改善効果

流量観測地点である②啜橋における流量観測データを用い，モニタリング導水を実施している場合の導水量を差し引いた値を導水が無かった場合の啜橋流量として，導水の有無による流況改善効果を評価した。

### 3.2.1 導水前後の流況改善状況

綾瀬川の啜橋における，昭和 59 年から平成 17 年までの流況の変化を図 3・3 に示す。

綾瀬川では，流況改善等のため荒川の水を導水する綾瀬川・芝川導水事業に加え，非かんがい期の流況の改善や水質改善を目的とし，利根川に余裕がある場合，冬期環境用水を導水する冬期導水があるが，冬期導水を実施した平成 7 年を境に通水前後の状況を見ると，特に平水流量付近の流況が良くなってきていることが分かる。

また，平成 17 年 3 月からは綾瀬川・芝川導水のモ

モニタリングが開始され、平成17年は、メンテナンスや荒川の塩分濃度が高い場合等を除き、24時間運転が行われ、過去最も流況がよくなっている。

これを豊・平・低・濁水流量の経年変化で見ると、**図3-4**に示すように、冬期導水が実施される平成7年までは平水以下の流量は徐々に低下していたが、冬期通水を実施したあたりから流況の改善効果が見られ、綾瀬川・芝川等の導水を開始した平成17年では大きな流況改善効果が見られている。

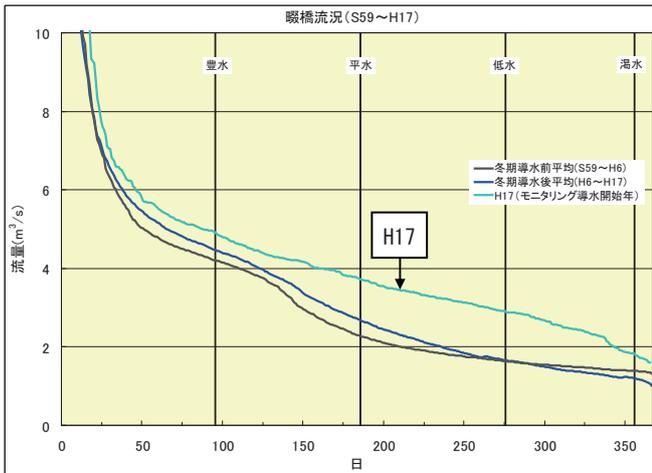


図3-3 堰橋の流況 (S59~H17)

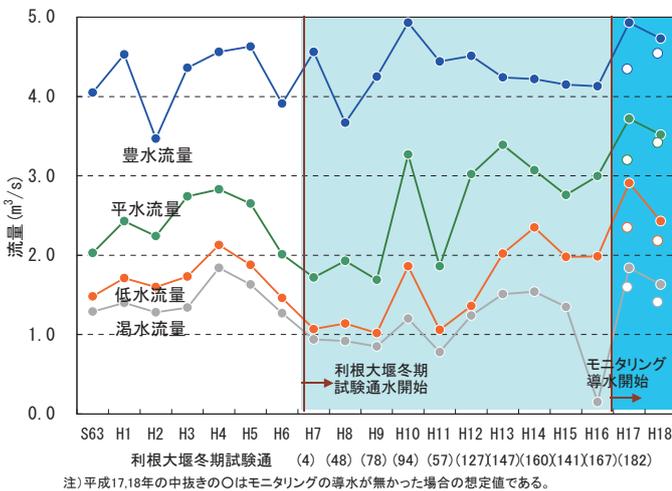


図3-4 流況改善効果 (綾瀬川堰橋地点)

### 3.2.2 流況改善効果

モニタリング開始年である平成17年及び2年目の平成18年について綾瀬川・芝川導水事業による流況改善効果の分析を行った。平成17年の堰橋における流量観測結果を**図3-5**に、平成18年の堰橋にお

ける流量観測結果を**図3-6**に示す。なお、図では、導水による増加分を区分して表示した。

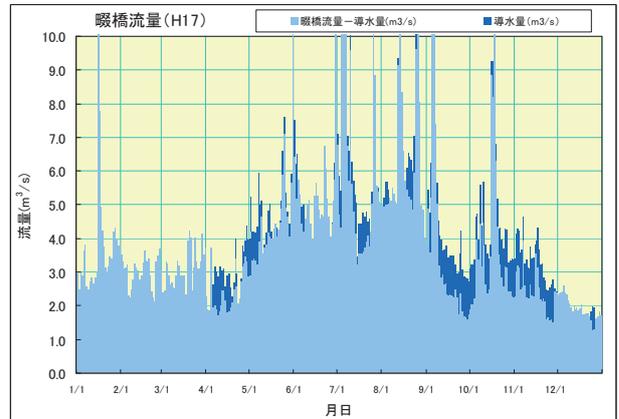


図3-5 堰橋における平成17年流況

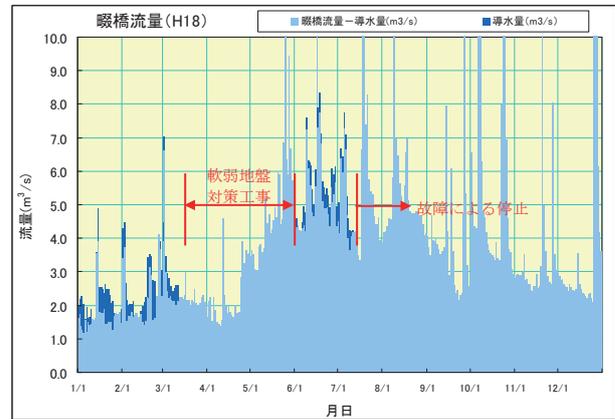


図3-6 堰橋における平成18年流況

この結果より、導水により流況が改善しており、平成17年では低水流量では約 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 改善している。平成18年は故障により導水が停止した時期が長く、3ヶ月程度の稼働であったこともあり、平成17年ほどの効果は見られないものの、低水流量で約 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 改善している。

表3-2 導水による流況改善効果 (H17)

	豊水	平水	低水	渇水	平均
礫橋流量(導水有)	4.93	3.72	2.91	1.84	4.44
導水が無かった場合	4.44	3.28	2.42	1.66	4.04
差分(改善量)	0.49	0.44	0.49	0.18	0.40

(単位:m<sup>3</sup>/s)

表3-3 導水による流況改善効果 (H18)

	豊水	平水	低水	渇水	平均
礫橋流量(導水有)	4.73	3.52	2.43	1.63	4.19
導水が無かった場合	4.64	3.50	2.25	1.47	4.06
差分(改善量)	0.09	0.02	0.18	0.16	0.13

(単位:m<sup>3</sup>/s)



図 3-7 綾瀬川放流口付近の状況 (導水有無)

### 3.3 水質の改善効果

モニタリング調査結果の BOD の変化及び導水量と水質の変化の相関分析から、水質改善効果を把握した。

水質改善効果は、図 3-8 に示すように、特に自流量が少なく、汚濁が顕著である毛長川の上流部で導水後に BOD が減少しており、流域対策とも相俟って改善傾向を示していると言える。

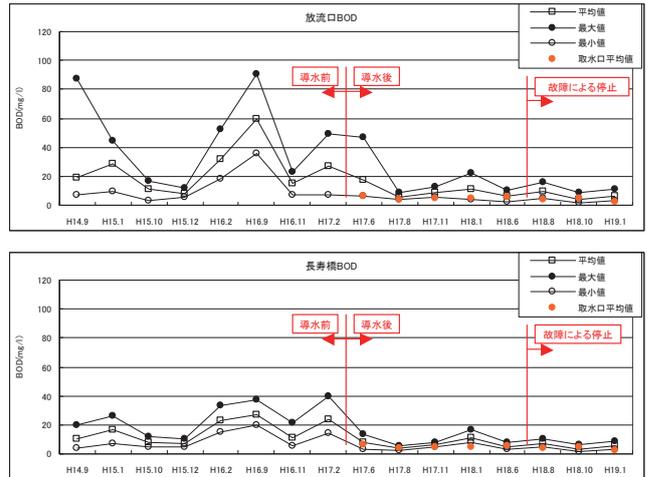


図 3-8 毛長川上流部における水質改善状況 (調査時期毎の BOD の最大・最小・平均)

図 3-9 及び 3-10 には毛長川上流部(放流口及び長寿橋)における流量-導水量-BOD の相関図を示す。ここで、大きな円は導水が実施された時のデータである。導水が実施され、流量が増加すると BOD が減少する様子が認められる。

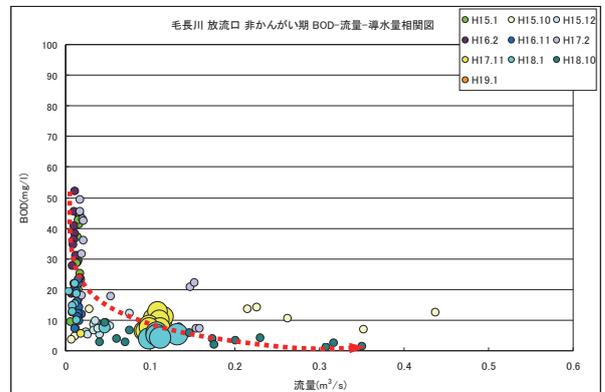


図 3-9 流量-BOD 相関図 (毛長川 ; 放流口)

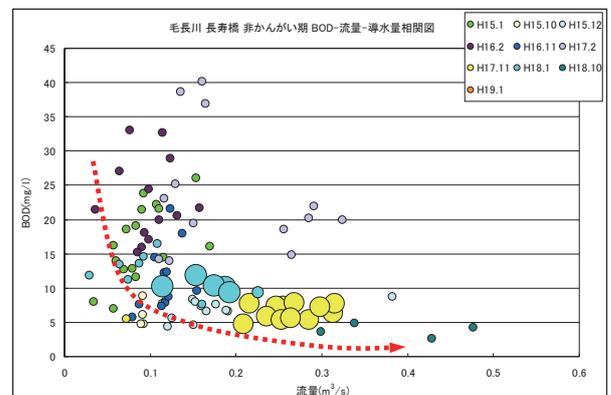


図 3-10 流量-BOD 相関図 (毛長川 ; 長寿橋)

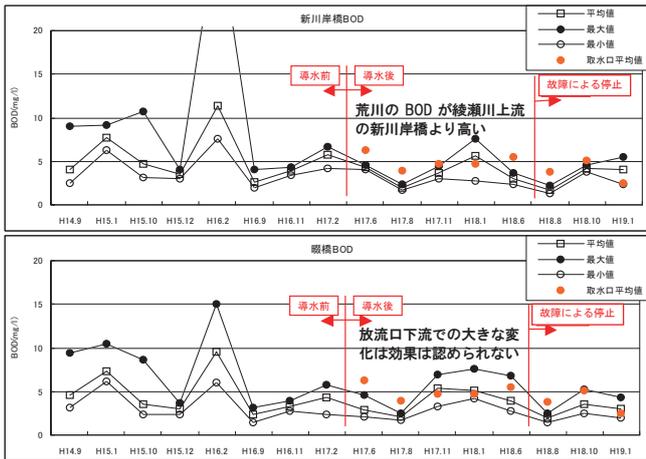


図 3-11 綾瀬川上流部における水質状況  
(調査時期毎 BOD の最大・最小・平均)

そこで、河川の水質は流量や季節変化、後背地の状況等の様々な要因により変化することから導水有、導水無の同時期において放流口上流の対照地点の流量や水質が類似するデータを抽出し、代表的な水質指標である BOD と DO の比較分析を行った。

導水有として抽出した日は平成 17 年 8 月 18 日 (24 時間連続導水)、導水無のデータは平成 18 年 8 月 22 日に実施された調査データ (日間平均値 (1 回あたりの調査回数は 13 回)) である。これらの調査回における綾瀬川の放流口上流部にあたる新川岸橋 (対照地点) におけるデータの比較結果は以下のとおりであり、流量、BOD、DO いずれもほぼ同じ状況になっている。なお、伝右川、毛長川等では最上流地点が放流口となっているため対照地点は無いが、綾瀬川と同じ流域であることから比較対照として抽出した調査日の状況は類似していたと想定される。

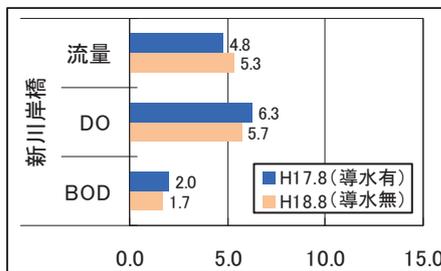


図 3-12 綾瀬川対照地点における流量、BOD、DO  
(※同時期における導水有、無ケースの抽出)

効果が出やすい河川の上流側地点における比較結果を図 3-13(1)~(4)に示す。伝右川、毛長川、芝川において導水有の場合に改善傾向が見られる。

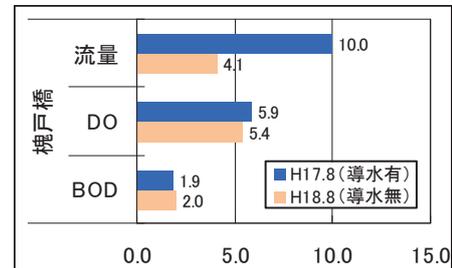
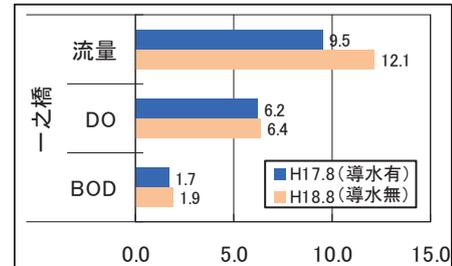
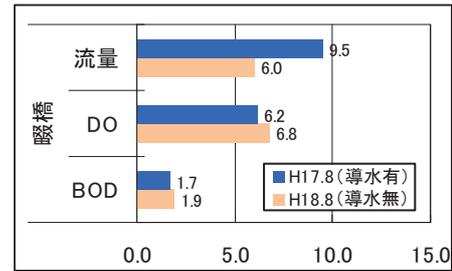


図 3-13(1) 綾瀬川の流量、BOD、DO の比

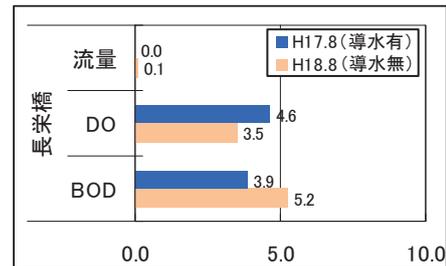
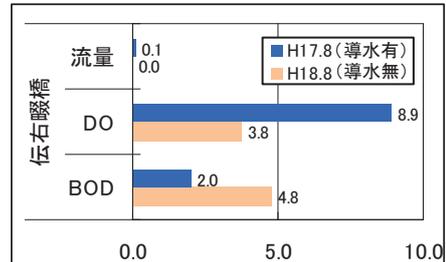


図 3-13(2) 伝右川の流量、BOD、DO の比較

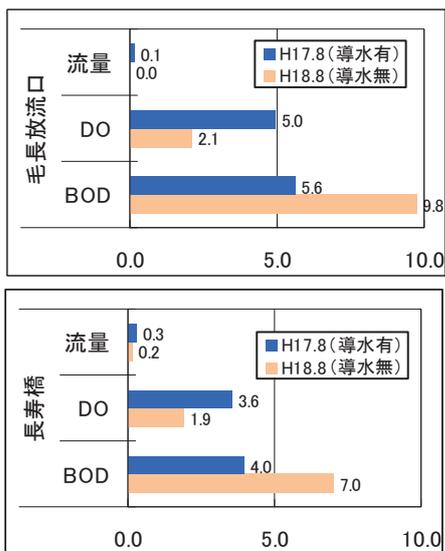


図 3-13(3) 毛長川の流量, BOD, DO の比較

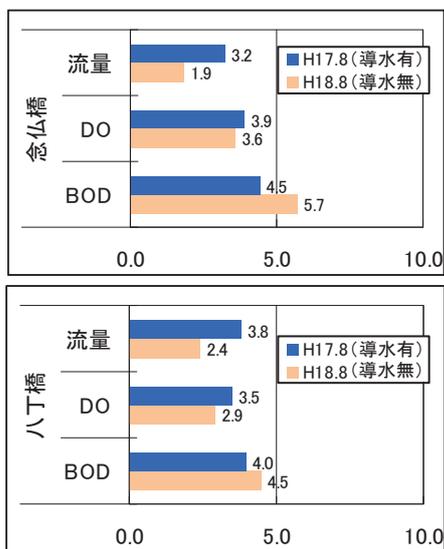


図 3-13(4) 芝川の流量, BOD, DO の比較

一方、綾瀬川本川では、導水による大きな水質改善効果は認められていないが、図 3-11 新川岸橋に示すように、放流口上流の地点と荒川取水口 BOD 平均値のデータを比較すると、荒川の BOD の方が高くなっている場合が多いことも要因として考えられる。

### 3.4 生物による水環境改善効果分析の試み

モニタリング調査では、付着藻類、原生動物、植物（抽水性植物、沈水性植物）、底生動物、魚類、鳥類を対象に調査を実施している。

これらの生物群において魚類等の移動性の高い種は、水質の変化に反応するものの、忌避行為を起こすため、データから変化を読み取るためには長期間を要することが指摘されている。また、植物や底生動物、鳥類についても同様に、変化を確認するためには長期間を要すると想定される。

上記、生物群の中で比較的水質等の変化に敏感に反応するのは、原生動物、付着藻類といった生物群である。その中でも原生動物は 24~48 時間程度の間細胞分裂を起こす等、環境変化にすばやく反応することが知られている。

盛下(2004)によれば、原生動物の出現種から PC-index という指標を用いて水質改善の程度を把握することができるがわかっている。

PC-index は、繊毛虫類に着目した指標であり、繊毛虫類の内、縁毛目の占める割合とその時の水質から汚濁の程度を判断する指標である。この index の場合には、属、種類あるいは分類学的単位にこだわらずに縁毛目のもの（主として有柄性のもの）とそれ以外のもの（非有柄性のもの）に分けてその個体数の比を見るものであり、以下の式により求めることができる。

$$PC-index = \frac{[\text{縁毛目}]}{[\text{全繊毛虫類}]} \times [100]$$

下水道の処理水の水質と PC-index との関係は図 3-14 のようになっており、水質が改善（BOD 等の濃度が低い）される程 PC-index は高くなる傾向がある。よって、本モニタリング調査の結果より、導水前後の河川水 BOD と PC-index の関係から導水による水質改善効果を生物の観点からも裏付けることができると考えられた。

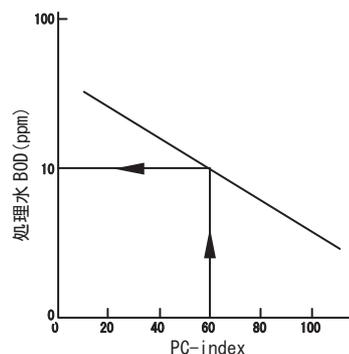


図 3-14 下水処理水 BOD と PC-index の関係

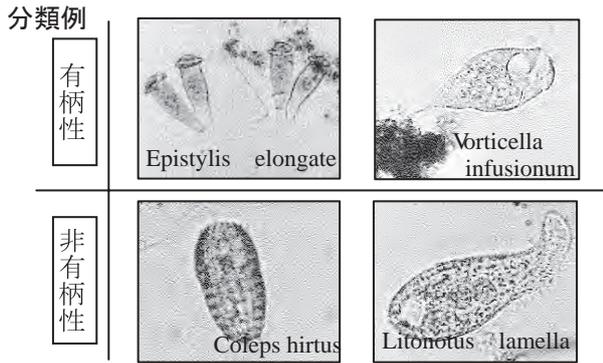


図 3-15 PC-index における分類例

各河川及び各地点毎に水質 (BOD, SS, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N) と PC-index の関係について分析を行った。水質データは原生動物分析時に最も近い調査データの平均値を与えている。

綾瀬川における BOD と PC-index の関係を図 3-16 に示す。

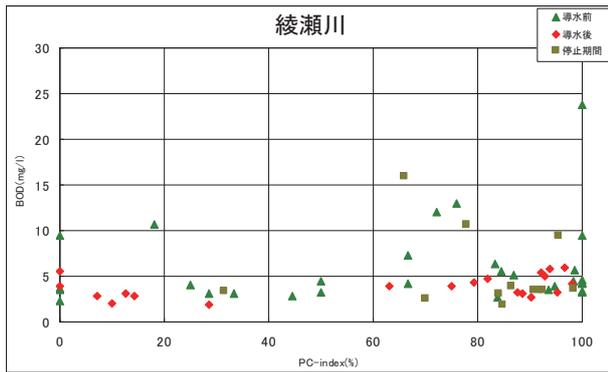


図 3-16 BOD と PC-index の関係 (綾瀬川)

分析の結果、BOD と PC-index の間に明確な傾向は認められなかった。

これは、対象水域の BOD が下水処理水よりも濃度が低いことや、原生動物の同定において種まで同定できたものが少なかったことなどが要因として考えられる。

以上の結果より、現状では、原生動物による水環境の評価は困難であると考えられるが、今後も同定レベルの向上、知見の蓄積に努め、適用の可能性について吟味していくものとする。

## 4. 今後の効率化運転について

導水の運転方法については、低いコストで同等の効果が発揮できる運用がコスト削減に繋がり、費用対効果が高い。

維持管理が容易で且つコスト削減を可能とする効率的な運転方法は流域の負荷の多くが生活排水であることから日中のみ運転する 12 時間運転など様々なケースが想定されるが、各運転ケースにおける水質改善効果を現地試験により把握するには、長い観測期間を要するので、シミュレーションモデルを活用した事前検討により、運転方法とその効果について概略を把握し、有効と考えられる運転ケースの絞り込みを行い、その上で現地試験を実施することが効率的な手段となる。そこで、効率的且つ効果的な運転方法のテストケースを設定するために、綾瀬川、伝右川、毛長川、芝川について水質予測モデル (不定流計算モデル、水質・移流拡散モデル) を構築し、今後の試験運用方法について分析を行った。

### 4.1 予測モデル

#### 4.1.1 不定流計算モデル

不定流計算に用いた基礎式等は下記のとおりである。不定流モデルは、河道水位、流量 (河積、流速) を算出するものであり、これを用い物質の移流拡散現象を追跡する。基礎式は①、②に示す通りである。

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( a \cdot \frac{v^2}{2g} \right) \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 \cdot v^2}{R^{4/3}} = 0 \quad \dots (4-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \dots (4-2)$$

ここに、

- |                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| H : 水位(m)                   | g : 重力の加速度(m/sec <sup>2</sup> ) |
| Q : 流量(m <sup>3</sup> /sec) | α : 流速分布補正係数                    |
| v : 流速(m/sec)               | R : 径深(m)                       |
| A : 流水面積(m <sup>2</sup> )   | q : 単位長当たりの横流出入量                |
| n : Manning の粗度係数           | x : 距離(m)                       |
| t : 時間                      |                                 |

#### 4.1.2 水質移流・拡散モデル

##### 1) BOD の計算

基礎式は次に示す通りである。

$$\frac{\partial(A \cdot L)}{\partial t} + \frac{\partial(A \cdot V \cdot L)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \cdot D_L \cdot \frac{\partial L}{\partial x} \right) - (K_1 + K_3) \cdot A \cdot L + A \cdot L_a$$

..... (4.3)

ここに、

L: BOD 濃度 (mg/L)                      L<sub>a</sub>: BOD 流入負荷量 (g/s)  
 K<sub>1</sub>: 脱酸素係数 (1/s)                      V: 流速 (m/s)  
 K<sub>3</sub>: 沈殿・吸着による減衰係数 (1/s)  
 A: 河積 (m<sup>2</sup>)  
 D<sub>L</sub>: 拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)

##### 2) DO の計算

基礎式は次に示す通りである。

$$\frac{\partial(A \cdot C)}{\partial t} + \frac{\partial(A \cdot V \cdot C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \cdot D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) - K_1 \cdot A \cdot L + K_2 \cdot A \cdot (C_s - C) + A \cdot D_b$$

..... (4.4)

ここに、

C: DO 濃度 (mg/L)                      D<sub>L</sub>: 拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)  
 C<sub>s</sub>: 飽和 DO 濃度 (mg/L)                      A: 河積 (m<sup>2</sup>)  
 L: BOD 濃度 (mg/L)                      V: 流速 (m/s)  
 K<sub>1</sub>: 脱酸素係数 (1/s)                      D<sub>b</sub>: DO 流入負荷量 (g/s)  
 K<sub>2</sub>: 再曝気係数 (1/s)                      C<sub>a</sub>: 溶存酸素の流入速度

BOD 及び DO の検証をかんがい期、非かんがい期の大潮時 15 日間を対象に行い、パラメータの設定を行った。設定したパラメータを以下に示す。

表 4.1 設定パラメータ等

区分	境界条件	項目	設定値
水位・流量・水質	上流端	流量	検証期間の実測値
		BOD 濃度	
		DO 濃度	
	下流端	水位	検証期間の東京湾晴海の潮位/ハイドロ
		BOD 濃度	検証期間の実測値
		DO 濃度	
パラメータ	負荷量		検証期間の実測値
	K <sub>1</sub> +K <sub>3</sub> (1/s)	脱酸素係数 BOD 除去係数	0.2
	K <sub>2</sub> (1/s)	再曝気係数	0.1
	K <sub>a</sub>	酸素消費係数	0.5
	D (m <sup>2</sup> /s)	拡散係数	50

#### 4.2 予測結果

本検討では効率的な運用方法を判断することを目的とし、導水の効果が現れやすい時期における予測を実施するものとした。予測の実施時期は水質が悪化し、かつ変動が大きくなる渇水時の大潮時とした。また、効果の度合いを評価するため、評価指標は各導水パターン別の BOD 減少率（導水無しに対する導水後の BOD の割合）とした。

シミュレーションによる効率化運転の検討は、24 時間連続運転と管理上の問題も踏まえ、生活排水等の影響を受けやすい日中 12 時間運転との比較により実施した。

シミュレーションの結果、24 時間連続導水と綾瀬川のみの間欠導水（下図右側は 7 時～17 時までおよそ半日導水した場合の結果）で、綾瀬川では近年、水質が改善傾向にあるため、綾瀬川本川における水質改善効果に大きな変化がないが、およそ半日程度の間欠導水によっても、24 時間導水と同様な効果を得ることができると評価された。

伝右川、毛長川では、自流量が殆どなく、24 時間連続導水が望ましいと考えられる。

今後のモニタリングにおいては、綾瀬川と芝川の 12 時間交互運転と 24 時間連続運転との違いを把握する調査を実施する必要がある。

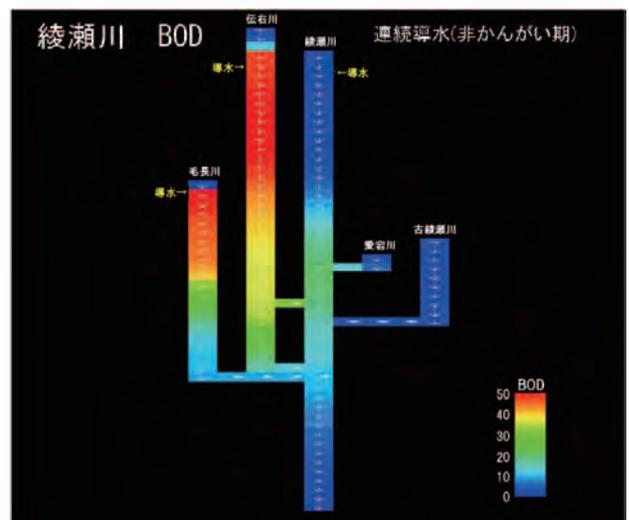


図 4.1 綾瀬川・伝右川・毛長川 BOD 改善率（非かんがい期 24 時間）

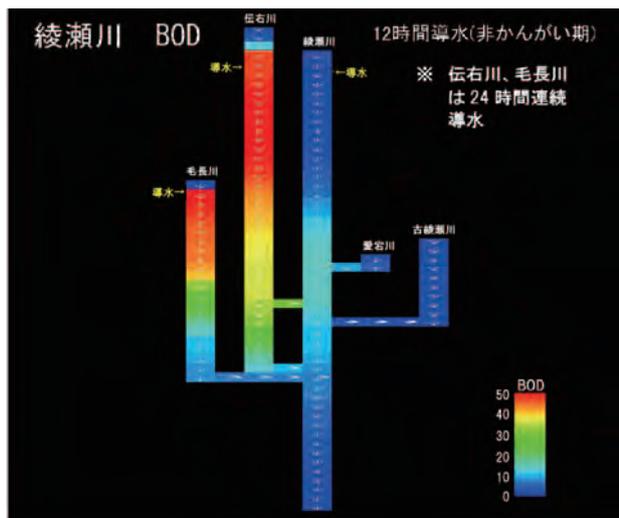


図 4-2 綾瀬川・伝右川・毛長川 BOD 改善率  
(非かんがい期 綾瀬 12 時間)

## 参考文献

- 1) 綾瀬川・芝川等浄化導水事業 国土交通省 荒川下流河川事務所
- 2) 水理公式集[平成 11 年版] 土木学会
- 3) 環境工学公式・モデル・数値集 土木学会
- 4) 下水処理と原生動物 2004 盛下勇 山海堂
- 5) 応用原生動物学 2004 盛下勇 山海堂

## 5. おわりに

本研究では、導水事業による効果を確認した。

水環境の評価手法については今後も既往の事例や最新の知見を踏まえ、調査・分析を行っていく必要がある。なお、原生動物を用いた水環境の評価を試みたが、現状では、原生動物を用いた水質指標を河川に適用できる可能性を見出すことはできなかった。

また、将来、事業の本格運用に向け、綾瀬川においては 12 時間の間欠運転により 24 時間連続運転と同等の効果が得られる期待がシミュレーション結果より得られたので現地試験を行い、効果の検証を行う。

更に清流ルネッサンスⅡ計画や利根大堰冬水導水等の関連書計画を踏まえた導水事業単独の効果や事業目標の明確化が今後の課題となる。

# 5) 網走湖における水質改善のための塩水遡上制御効果の検討

鈴木 俊行\*・志賀 勝己\*\*・池上 迅\*\*\*・久保添 恭之\*\*\*\*

## 1. はじめに

網走湖はオホーツク海に注ぐ網走川の河口から約7km 上流に位置する汽水湖であり、湖内は塩水層と淡水層の明確な二層構造となっている。上層の淡水層は、シジミやワカサギの良好な漁場となっているが、近年では無酸素状態である塩水層の上昇による青潮などの水質障害が問題となっている。そのため、塩水層の上昇を抑制するための様々な対策が検討されている。

本研究では、網走湖における水質の特性について整理するとともに、塩水層の上昇を抑制するための対策検討のひとつとして、塩水遡上制御施設（可動堰）の現地実験およびシミュレーションによる予測評価を行った。

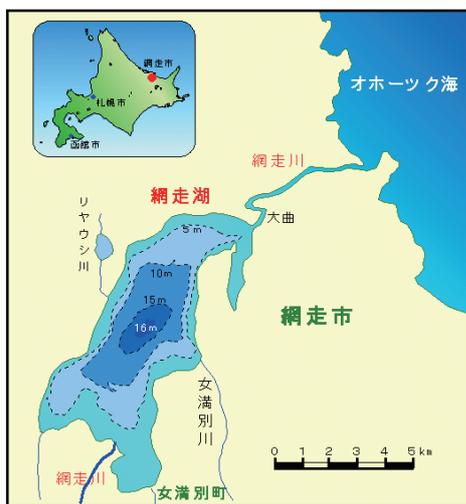


図 1-1 網走湖の概要

表 1-1 網走湖の諸元

水系	一級河川網走川水系	
大きさ	面積	32.3 km <sup>2</sup>
	最大水深	16.1 m
	平均水深	6.1 m
	周囲長	39 km
代表生物	アオサギ, アカメイトトンボ, ミズバショウ群落など	
水産物	シラウオ・ワカサギ・シジミ	

## 2. 網走湖の水質特性と水質障害の状況

### 2.1 網走湖の水質鉛直分布

図 2-1 に網走湖の湖心における塩分及び溶存酸素量の鉛直分布を示す。塩分については、表層付近が 5PSU 以下の淡水層であり、下層が 20PSU 以上の塩水層という、明確な塩淡二層構造となっていることが確認できる。また、溶存酸素量は、表層付近は概ね飽和状態にある一方で、塩水層は水の交換が少なく、

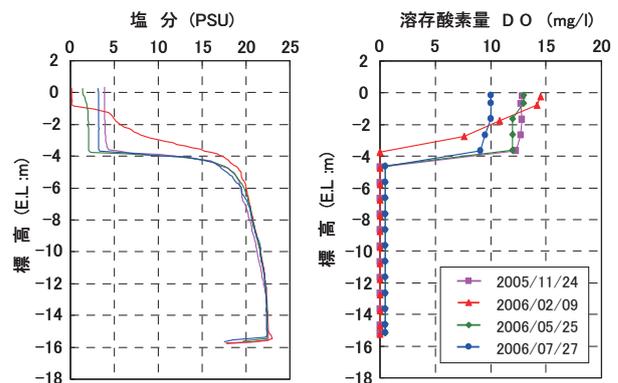


図 2-1 湖心における塩分・溶存酸素量鉛直分布

\* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所 所長  
 \*\* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所 次長  
 \*\*\* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所 管理係長  
 \*\*\*\* 国際航業株式会社 東日本環境部 北日本環境グループ 主任技師

また有機物の分解等で酸素が消費されるために無酸素状態となっている。

図 2・2 に湖心における総窒素及び総リンの鉛直分布を示す。総窒素、総リンの双方ともに塩水層において淡水層の数十倍という極めて高い濃度となっている。これは底泥からの溶出等によると考えられる。

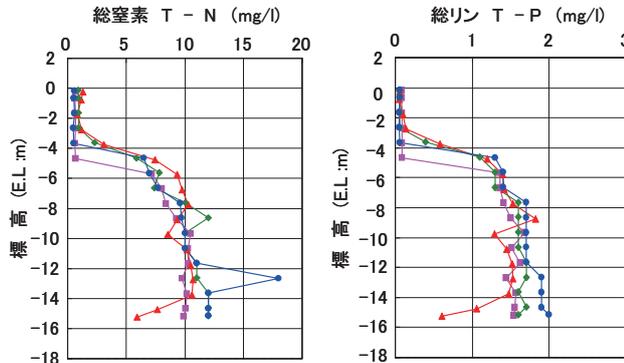


図 2・2 湖心における総窒素・総リン鉛直分布

## 2.2 網走湖における水質障害

### 2.2.1 水質障害の概要

網走湖では近年、青潮・アオコといった水質障害が頻発している。青潮とは下層の無酸素水が強風時の内部セイシュにより水面近くまで上昇する現象であり、魚介類の斃死、高濃度栄養塩の淡水層への供給が問題となる。淡水層における栄養塩濃度の上昇は、植物プランクトンの異常増殖によるアオコの発生を助長すると考えられる。

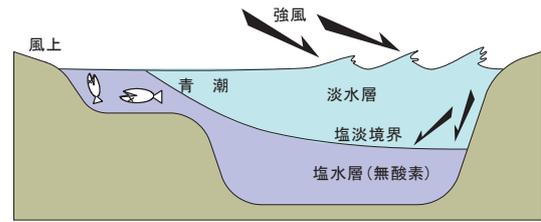


図 2・3 青潮発生メカニズム

### 2.2.2 塩淡水境界層深度と水質障害の発生状況

図 2・4 に塩淡水境界層深度の推移と青潮・アオコの発生状況について示す。塩淡水境界層については、下流部の河道改修に伴い、昭和 30 年頃に掛けて上昇し、昭和 30 年から昭和 55 年頃までは 8~12m 程度で推移した。昭和 55 年から昭和 60 年頃に 6m 付近まで上昇し（河川流量が少ない年が連続したことによると考えられる）、平成 12 年頃までは 6m 前後で推移したが、近年は最大で 2m 付近まで達している（平均潮位の上昇によると考えられる）。

青潮については、昭和 60 年以前は発生していなかったが、塩淡水境界層の上昇に伴い数年に 1 回程度の頻度で発生するようになり、近年では、平成 16 年に 2 回、平成 17 年に 3 回、平成 18 年に 2 回と頻発する状況であり、塩淡水境界層の上昇が顕著に影響していると考えられる。また、アオコについても昭和 55 年以降、毎年のように発生しており、流域からの負荷の増大と高濃度の栄養塩を含む塩淡水境界層の上昇が影響していると考えられる。

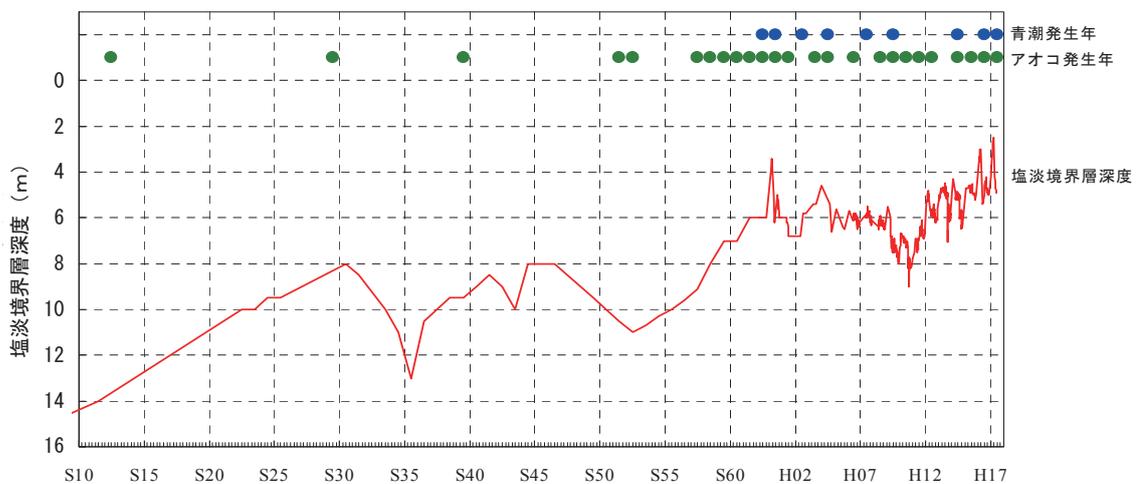


図 2・4 塩淡水境界層深度の推移と青潮・アオコの発生状況

### 3. 水質改善に向けた取り組み状況

網走湖では青潮・アオコといった水質障害が頻発する状況にあるため、網走湖の水質改善に向けて清流ルネッサンスⅡ<sup>1)</sup>（第二期水環境改善緊急行動計画）を策定し、図3・1に示す様々な対策が取り組まれている。清流ルネッサンスⅡの目標のひとつである「塩淡境界層深度を6~7mに保つ」を達成するための対策として、現在、図3・2に示す3案の塩水層対策の検討が進められており、本稿では「可動堰による完全閉鎖」について現地実験およびシミュレーションによる効果評価を実施した結果について示す。

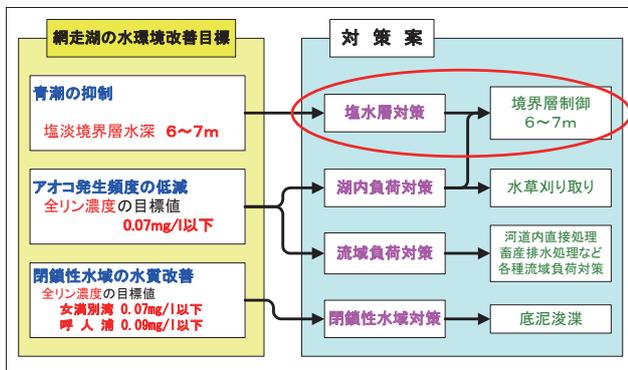


図3・1 清流ルネッサンスⅡの目標と対策

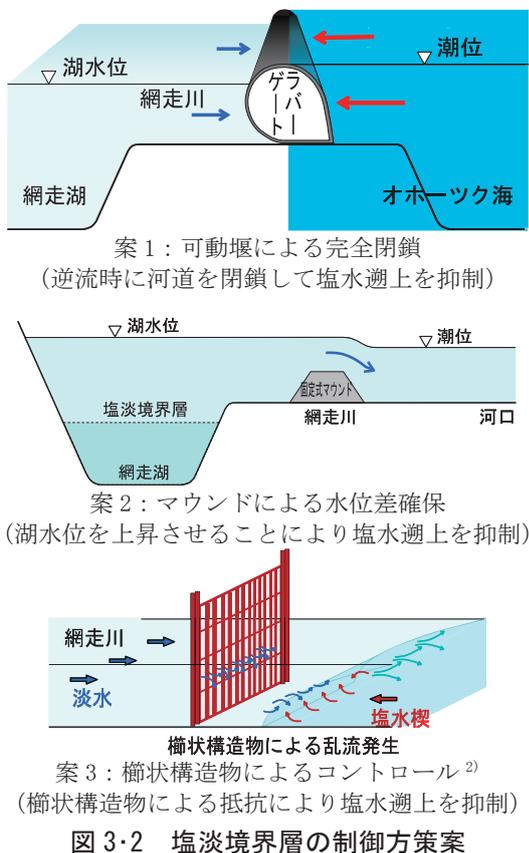


図3・2 塩淡境界層の制御方策案

### 4. 塩水遡上制御実験

平成17年度に網走川下流部に実験施設（仮設の可動堰）を設置し、塩水遡上の制御効果を把握するための現地実験を行った。同実験の概要と実験結果について以下に示す。

#### 4.1 実験施設の概要

実験施設として仮設のスライドゲート（6門）を網走川の河口から約7.0kmの地点（KP7.0）に設置した。図4・1に位置図を示すが、同箇所は網走湖から下流河道への流出部であり、網走湖へ流入する塩水を最も効率的に制御できる箇所である。



図4・1 実験施設位置図



図4・2 実験施設の外觀

#### 4.2 実験施設の操作

##### 4.2.1 実験施設の操作時期

実験施設は逆流時に河道を閉鎖するため、魚類の通過阻害となる可能性がある。そのため主要な魚種の生活史を整理し、魚の通行の妨げとならない時期

を選定して堰の操作をおこなった。

網走湖・網走川の主要な魚種である、ワカサギ、シラウオ、カラフトマス、サケについて生活史を整理したところ、1月中旬から3月末がいずれの魚種も実験施設の設置箇所を通過することがない時期であった。そのため、施設の操作は1月11日から3月10日の約2ヶ月間行うものとした(融雪出水前に施設を撤去するため、実験の終了は3月10日とした)。

表 4-1 網走湖・網走川の主要魚種の生活史

魚種	区分\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ワカサギ	[1年目] 卵				流入河川								
	仔魚				湖域								
	稚魚												
	未成魚												
シラウオ	[2年目] 成魚				流入河川								
	成魚												
	(産卵)				流入河川								
カラフトマス	稚仔魚												
	成魚												
サケ	稚仔魚												
	成魚												

塩水遡上制御可能な期間

#### 4.2.2 実験施設の操作方法

実験施設の操作は以下のとおりである(図4-4)。

- 1) 順流時は堰を全開し、流水により塩水を下流に押し流す
- 2) 潮位が上昇し、実験施設箇所において流速がゼロになった段階で堰を全閉する
- 3) 潮位が湖水位よりも高い間は堰を全閉しておき、塩水の湖内への進入を防ぐ
- 4) 潮位が下がり湖水位と同じ高さになったら、堰を全開する

上記による操作の結果、実験期間中に施設が閉鎖していた時間は、全期間の約30%であった(図4-3)。

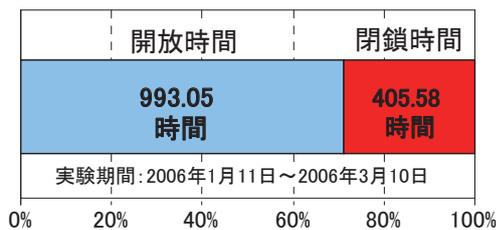


図 4-3 堰の開放時間と閉鎖時間

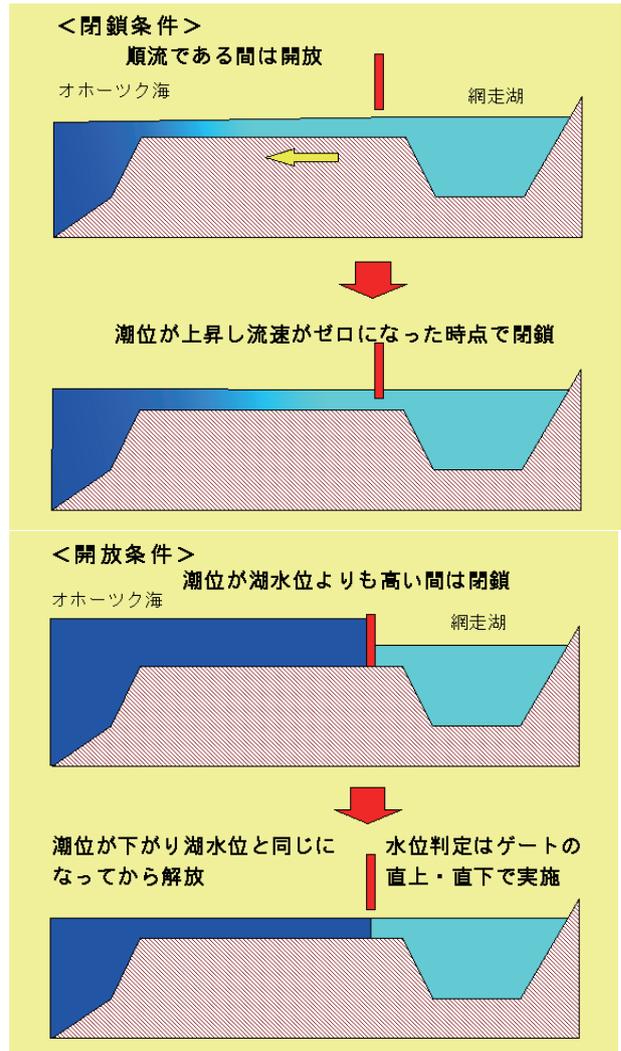


図 4-4 実験施設の操作ルール

#### 4.3 実験結果

##### 4.3.1 塩水遡上阻止率の評価

実験施設の操作時期と非操作時期の逆流量または塩分遡上量を比較することにより、実験施設による逆流量または塩分量の阻止率を評価した。

逆流量または塩分量は網走港潮位と実験施設上流(KP7.1)の水位差に比例すると考えられるため、図4-5に示すように水位差と逆流量または塩分量の関係を整理して、以下の式により逆流阻止率を定義した。

$$\text{逆流阻止率} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\%$$

a: 非操作時期の傾き b: 操作時期の傾き

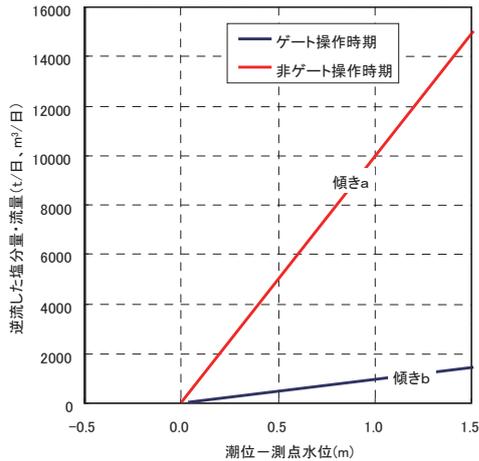


図 4-5 逆流阻止率の定義の説明図

図 4-6 および図 4-7 に非操作時期（平成 17 年 10 月 1 日～平成 18 年 1 月 10 日）と操作時期（平成 18 年 1 月 11 日～平成 18 年 3 月 20 日）の水位差と逆流流量または逆流塩分量の関係を示す。なお、実験施設の下部において漏水が認められたため、2 月 5 日に土嚢等による漏水対策をおこなった。そのため、操作時期については 2 月 5 日前後でグラフを分けている。

これらのグラフより、流量および塩分の遡上阻止率を求めると表 4-2 のとおりであり、流量の阻止率は、漏水の影響もあり 82～88%であった。一方で、塩分量の阻止率は、94～98%であり、実験施設による塩水遡上阻止効果は大きいことが確認できる。

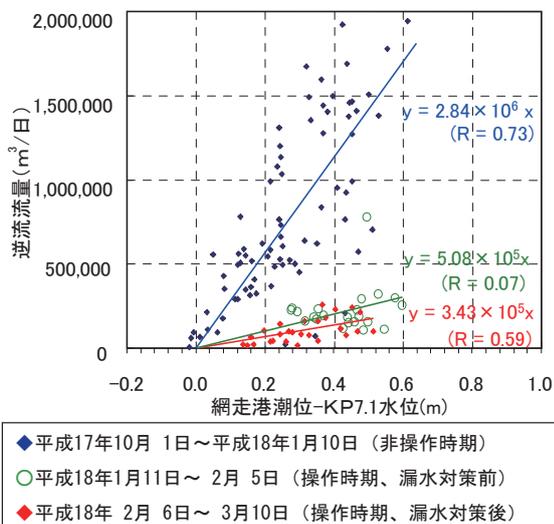


図 4-6 施設操作時期と非操作時期の逆流流量

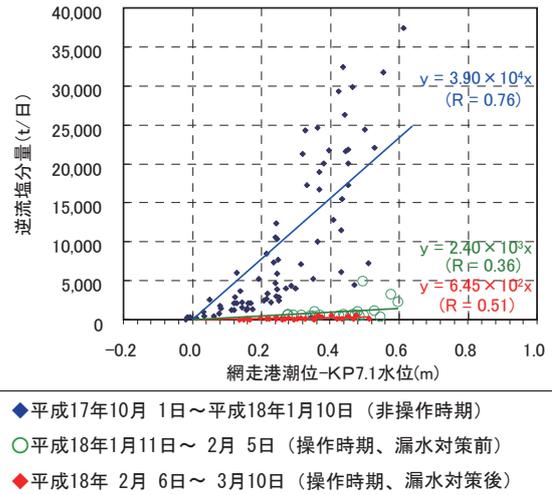


図 4-7 施設操作時期と非操作時期の通過塩分量

表 4-2 流量及び塩水量の遡上阻止率

		遡上阻止率	
流 量	漏水時 (2/5 以前)	82.1%	
	非漏水時 (2/6 以後)	87.9%	
塩 分 量	漏水時 (2/5 以前)	93.8%	
	非漏水時 (2/6 以後)	98.3%	

#### 4.3.2 塩淡水境界層制御効果の評価

図 4-8 に平成 15 年 7 月から平成 18 年 6 月の湖心における塩淡水境界層標高の時系列を示す。このうち平成 18 年 1 月 11 日から 3 月 10 日の約 2 ヶ月間に実験施設の操作をおこなった。

冬期の流入量減少により塩淡水境界層が上昇する 12 月～3 月の平均流入量と平均潮位（網走港）を比較すると、3 ヶ年で概ね同程度である。しかし、実験をおこなった平成 18 年 1 月～3 月については、塩淡水境界層の上昇率及び最大到達標高が低く抑えられている。

このことより、実験施設には塩淡水境界層の上昇を抑制する効果があったものと推察される。



図 4-8 湖心における塩淡水境界層標高の推移

## 5. シミュレーションによる効果評価

実験結果だけでは、塩淡水境界層の低下が、可動堰の効果なのか、流量や潮位などの他の要因によるものか明確とならない。そのため、塩淡水境界層の挙動を解析するシミュレーションモデルを構築し、可動堰の有無による比較をおこなった。また、可動堰を長期にわたって運用した場合の塩淡水境界層の制御効果についても予測をおこなった。

### 5.1 シミュレーションモデルの概要

塩淡水境界層の変動を予測するモデルとしては、塩水層と淡水層の水量について計算する塩淡水2層モデルを採用した。本モデルでは、塩水層と淡水層のそれぞれをボックスとして取り扱うため、塩分の濃度分布や風によるセイシュは表現できないが、計算負荷が少なく長期間の予測に適している。モデルでは、塩水層・淡水層に対する境界からの流入入に加えて、風波や洪水流による塩水層から淡水層への移流・拡散についても考慮した。基礎式は以下に示すとおりである。

$$\text{塩水層} \quad \frac{dV_s}{dt} = Q_{sin} \times r - Q_{dif}$$

$$\text{淡水層} \quad \frac{dV_f}{dt} = Q_{fin} + Q_{sin} \times (1-r) + Q_{dif} - Q_{out}$$

ここに、

- $V_f$ : 淡水層の体積       $V_s$ : 塩水層の体積  
 $Q_{fin}$ : 河川からの流入量     $Q_{sin}$ : 海からの流入量  
 $Q_{out}$ : 河川からの流出量     $Q_{dif}$ : 移流・拡散量  
 $r$ : 逆流量の塩水層への流入比率

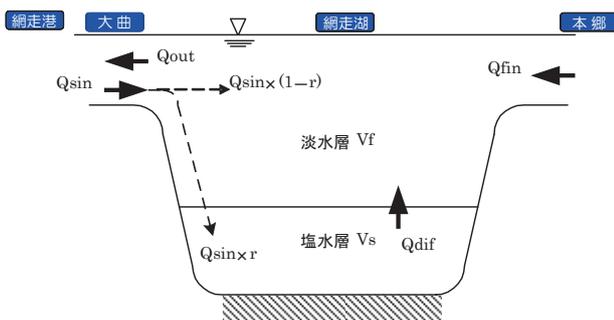


図 5.1 塩淡水境界層予測モデルの概要

### 5.2 境界条件・拡散条件の設定

本モデルで用いた各境界条件の設定および拡散条件の設定について以下に示す。

#### 5.2.1 網走湖下流からの流出入量の設定

網走湖の下流河道は、潮汐の影響を受けるため、順流と逆流が交互に発生する往復流となる。そのため、網走湖下流における流出入量は、一般的な H-Q 式による水位からの流量算定は困難であり、以下の H-Q 式により流出入量が算定されている。

網走湖下流（大曲地点）の H-Q 式

$$Q = a \times (H_o + b)^3 \times \tanh(c \times \Delta H - d)$$

ここに、

- $Q$ : 流量（湖からの流出が正）  
 $H_o$ : 大曲地点水位（湖水位の相関で算定）  
 $\Delta H$ : 大曲水位－網走港水位  
 $a, b, c, d$ : 係数

この H-Q 式の係数は年毎に設定されているが、再現計算では各年の係数を用い、予測計算では現在の河道形状となった平成 3 年（1991）以降で係数をもっとも中間値に近い平成 15 年の H-Q 式の係数を用いた。

なお、堰がある場合の計算では、上記の流量に逆流阻止率を考慮して逆流量を設定した。

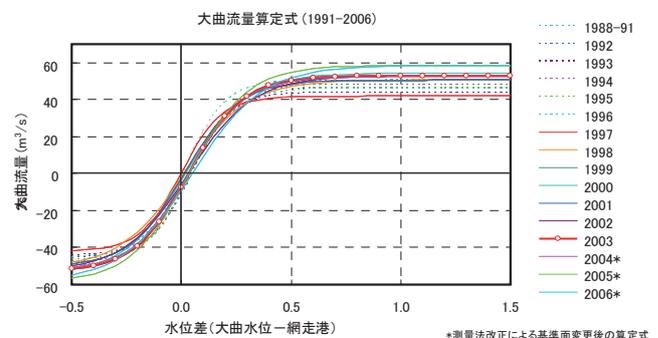


図 5.2 大曲地点における H-Q 式  
( $H_o$  は平均的な水位で固定してグラフ化)

### 5.2.2 網走湖下流からの流入塩分の設定

網走湖下流からの流入塩分濃度は、海域と大曲地点の水位差の積算値と関係があることが分かっている。これは、水位差の積算値が、海水が河川を遡る移動距離と相関していることによる。積算水位算定の説明図を図5-3に、積算水位差と塩分の関係を図5-4に示す。また、積算水位差により流入塩分を設定した例を図5-5に示すが、設定した流入塩分は実測値を概ね再現していることが確認できる。

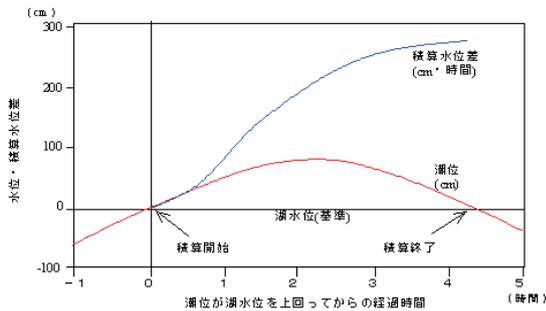


図5-3 積算水位差の計算概要

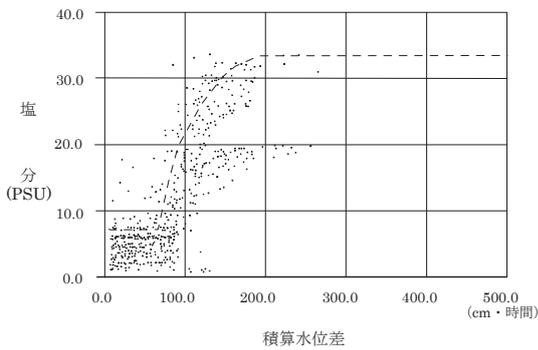


図5-4 積算水位差と塩分の関係  
(昭和63年5月～平成元年4月のデータ)

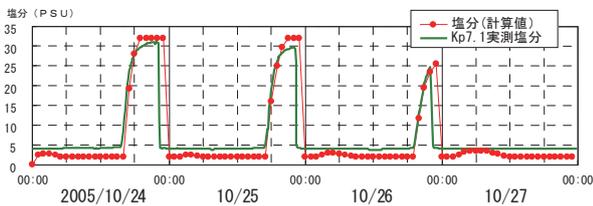


図5-5 流入塩分の設定例

### 5.2.3 塩水層への流入比率の設定

網走湖下流からの流入量は、塩水層への流入と淡水層への流入に分かれるが、塩水層へ流入する比率は塩分 (KP7.1 下層) により設定した。平成17年9月の調査より推定した塩分と塩水層への流入比率の

関係を図5.6に示す。同図より、塩水層への流入比率は以下の式で設定した。

$$r_s = 0.024 \times S + 0.212$$

ここに、

$r_s$ : 塩水層への流入比率  $S$ : KP7.1 下層の塩分

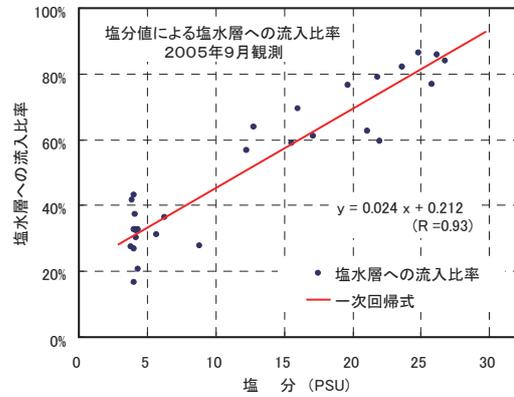


図5-6 塩分 (KP7.1 下層) と塩水層流入比率の関係

### 5.2.4 拡散係数の設定

本モデルでは、風波や洪水流による拡散によって、塩水層の水が淡水層に取り込まれ塩淡水境界層が下がる現象についても考慮した。

塩淡水境界層が浅い場合は深い場合よりも、風波や連行による攪乱による拡散の影響が大きいと考えられる。また、洪水時などで流量が大きい場合にも拡散の効果は大きくなると考えられる。したがって、拡散係数の設定にあたっては、塩淡水境界層水深による影響と洪水流による影響を加味した。

$$F = -K_z \frac{\partial C}{\partial z} \times \left( 0.64 + 0.36 \frac{\text{計算時流量}}{\text{網走川平均流量}} \right)$$

ここに

$F$ : 鉛直拡散フラックス  $C$ : 塩分濃度

$K_z$ : 拡散係数

また、 $K_z$  は再現計算によるパラメータフィッティングを行い次式で推定した。

$$K_z = 7.61 \times 10^{-11} \times D^4 - 3.72 \times 10^{-9} \times D^3 + 6.12 \times 10^{-8} \times D^2 - 4.05 \times 10^{-7} \times D + 9.81$$

ここに、

$D$ : 塩淡水境界層深度(m)

なお、 $\partial C / \partial z$  は既往実績の平均として、淡水層の塩分を2PSU、塩水層の塩分を19PSU、塩淡水境界層の厚さは1mとして設定した。

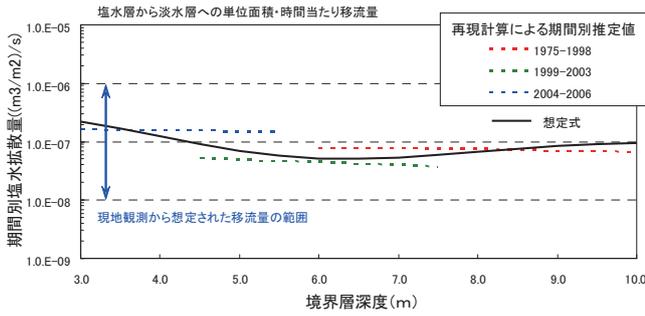


図 5-7 塩淡境界層深度と塩水拡散量の関係

### 5.3 モデルの検証（再現計算）

構築したモデルの有効性を確認するため、実験期間と長期間（約 30 年間）の再現計算を行った。

#### 5.3.1 実験期間の再現計算結果

実験施設による塩水流入制御を行った期間の前後を対象とした再現計算をおこない、構築したモデルが塩淡境界層の挙動を再現できるかを検証した。

再現計算結果は図 5-8 に示すとおりであり、計算による塩淡境界層標高は、実測された塩淡境界層の変動を良好に再現していることが確認できる。

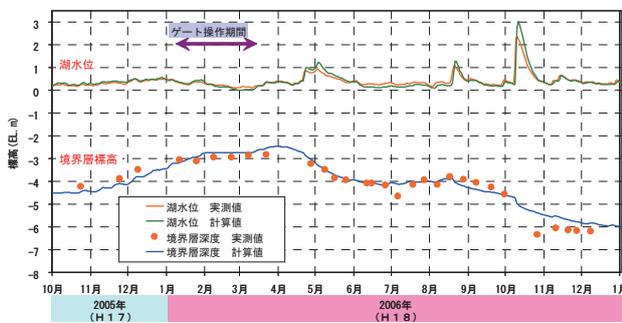


図 5-8 再現計算結果（実験期間）

#### 5.3.2 長期間の再現計算結果

構築したモデルが長期的な塩淡境界層の変動を再現できるかを確認するため、潮位・流量等のデータが得られる昭和 50 年（1975 年）以降を対象として約 30 年間の再現計算を行った。

再現計算結果を図 5-9 に示す。1985～1990 年頃において若干のズレが認められるものの、構築したモデルは塩淡境界層の長期的な変動傾向を、概ね良好に再現していると考えられる。

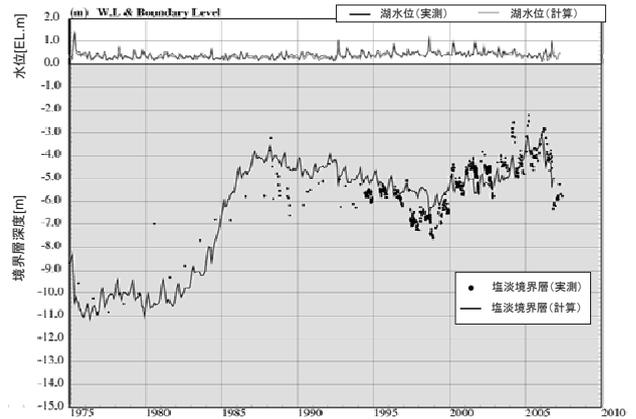


図 5-9 再現計算結果（約 30 年間）

### 5.4 可動堰の効果評価（短期計算）

平成 17 年度の実験期間を対象として、実験施設を操作した場合と操作しなかった場合の塩淡境界層の挙動を予測し、実験施設による塩淡境界層の制御効果を評価した。

図 5-10 に計算結果を示すが、実験施設を操作することにより、操作終了時（3 月 10 日）において、約 70cm の塩淡境界層を下げる効果があることが確認された。仮に、実験施設がなかったら塩淡境界層は過去最高の標高 -1.8m 程度まで上昇していたと予測される。ただし、実験施設の操作終了後、塩淡境界層は実験施設を操作しなかった場合の値に徐々に近づき、12 月 31 日における境界層の差は 22cm となる。

また、実験施設の操作期間において湖水位が最大で 19cm 低下するが（逆流量が減ることによる）、操作終了後は、速やかに実験施設を操作しなかった場合の値に擦り付いており、実験施設の操作が湖水位に及ぼす影響は軽微であると考えられる。

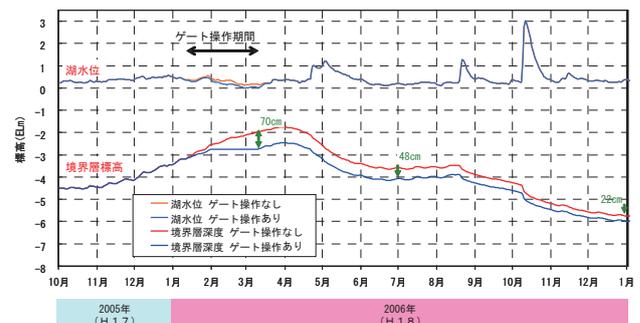


図 5-10 実験施設による塩淡境界層制御予測

## 5.5 可動堰の効果評価（長期計算）

塩水の湖内への進入を防ぐ可動堰を長期にわたって運用した場合の塩淡水境界層制御効果について、予測し評価した。

計算は約30年間を対象に実施するものとし、流入量、潮位等の水理条件は、昭和50年～平成18年の実測流況を用いた。下流河道形状は、現況河道として先に示した平成15年のH-Q式を用いた。

可動堰の操作期間は、魚類への配慮から実験施設と同じ1月11日から3月10日とし、それ以外の期間は堰を全開するものとした。また、実験では若干の漏水が認められたが、長期計算では堰閉鎖時は流量・塩分量ともに100%カットできるものとした。

上記の計算条件による長期予測計算結果を図5・11に示す。また、塩淡水境界層深度は清流ルネッサンスIIで6m～7mに制御することが目標とされているが、6m以深を達成できる期間の割合について図5・12に整理した。

図5・11より可動堰により塩淡水境界層は最大で2m程度下げることがあり、清流ルネッサンスIIで目標とする6m以深を達成する期間も7%から58%に大幅に増加することが確認された（図5・12）。また、可動堰がある場合には塩淡水境界層深度が7m以深になる場合があるが、これに関しては施設操作を工夫することにより回避することができると考えられる。

ただし、制御効果は一定ではなく、塩淡水境界層が低い位置にある場合は塩淡水境界層の高さを低いレベルで維持する効果はあるが、高い位置にある場合は塩淡水境界層の高さを維持する効果はあるものの、境界層を下げる効果は小さいことが認められる。

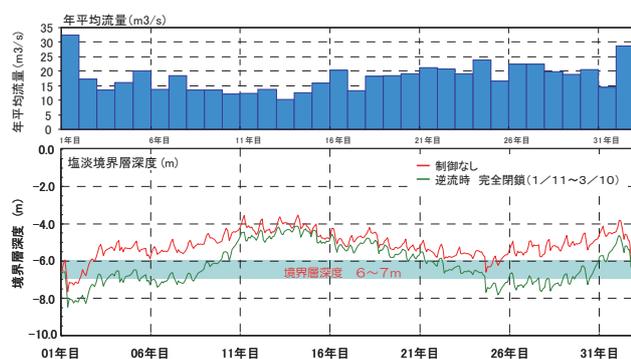


図5・11 可動堰による塩淡水境界層制御予測（長期）

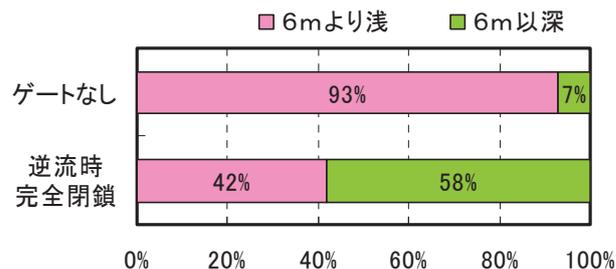


図5・12 可動堰による塩淡水境界層制御予測（長期）

## 6. まとめと今後の課題

本研究では網走湖の水質改善に向けて、水質障害発生の一因となっている塩淡水境界層の上昇を制御する対策の一つである「可動堰による完全閉鎖」について、現地実験と予測シミュレーションにより評価した。

実験結果及び予測計算から可動堰には塩淡水境界層を下げる効果があることが確認できたが、長期予測計算結果より高い位置にある塩淡水境界層を下げる効果は小さいことが予測された。そのため、今後も引き続きこれらの課題について検討していく必要がある。

### 謝辞

本研究は、国土交通省北海道開発局網走開発建設部からの委託業務の一環として実施されたものであり、また、検討に際しては、「網走湖水環境改善施策検討委員会」（委員長：山口 甲先生）の委員の皆様にご指導をうけたことをここに記して御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 網走湖環境保全対策推進協議会(2004)：網走川水系網走川水環境改善緊急行動計画（清流ルネッサンスII）
- 2) 吉川泰弘・安田浩保・渡邊康玄(2007)：網走川における透過性構造物の塩水遡上への影響。河川技術論文集，第13巻，pp.7-12.
- 3) 北海道開発局網走開発建設部(2007)：第6回網走湖水環境改善施策検討委員会資料

# 6) 庄内川の水環境改善に向けた研究

小河 俊美\*・刑部 博\*\*

## 1. はじめに

庄内川はその源を岐阜県恵那市の夕立山に発し、岐阜県では土岐川と呼ばれて流下し、愛知県との県境の玉野溪谷を抜けた後、濃尾平野で矢田川を始めとする支川を合わせて名古屋市の北西部を流れ、伊勢湾に注ぐ幹川流路延長 96km、流域面積 1,010km<sup>2</sup>の一級河川である。

庄内川流域は、伝統産業である陶磁器関連を始め、製造業が発達し、我が国の経済を牽引する地域であり、名古屋市を含む17市7町、流域人口約430万人が生活している。昭和20～40年代には、急激な産業の発展や沿川への人口集中で、工場排水、家庭雑排水が増大し、庄内川本川及び支川の公共用水域の水質は悪化し、昭和40年代後半には庄内川水分橋付近でBOD値が50mg/Lを上回る状況に達した。

その後、昭和46年に水質汚濁防止法が施行され、公共下水道の整備や住民、企業の努力などにより、公共用水域の水質は急激に改善された。その後も引き続き水質は改善傾向にあるが、近年の流域住民による河川利用の増加・関心の高まりは、さらなる水環境の向上を求めるようになった。

しかしながら庄内川は、今なお河川利用には適した水質とはいえず、その主たる原因は支川八田川からの事業所排水の流入であり、その対策が最も大きな課題となっている。

本研究は、国土交通省庄内川河川事務所から委託を受けて実施した庄内川中下流域の水環境改善に向けた取り組みの中で、庄内川特有の汚濁特性の把握、住民の感覚も取り入れた改善目標の設定、水質浄化

実験の実施、河川浄化施設の設置可能性検討、今後の水環境改善に向けた取り組みについての考察を行ったものである。

## 2. 庄内川の水質状況

庄内川水系の生活環境の保全に関する環境基準の水域類型の指定状況を図2・1に示す。

庄内川中下流域である支川水野川合流点から河口までの水域類型は平成8年にD類型に指定されている。



図2・1 庄内川の環境基準地点と環境基準の水域類型指定

表2・1 川の水質汚濁に関わる環境基準

類型	A	B	C	D	E
PH	6.5～8.5	6.5～8.5	6.5～8.5	6.0～8.5	6.0～8.5
BOD	2mg/L以下	3mg/L以下	5mg/L以下	8mg/L以下	10mg/L以下
SS	25mg/L以下	25mg/L以下	50mg/L以下	100mg/L以下	ごみの浮遊がないこと
DO	7.5mg/L以上	5mg/L以上	5mg/L以上	2mg/L以上	2mg/L以上

\* (財) 河川環境管理財団 名古屋事務所業務課長

\*\* (財) 河川環境管理財団 名古屋事務所調査係長

最近 10 年間の BOD (75%値) は図 2・2 のように大留橋地点：1～2(mg/L)，水分橋地点：5～7 (mg/L)，杷島橋地点：4～6(mg/L)で推移している。

同様に，最近 10 年間の S S (平均値) は図 2・3 のように大留橋地点：4～7 (mg/L)，水分橋地点：8～15(mg/L)，杷島橋地点：8～12(mg/L)で推移している。

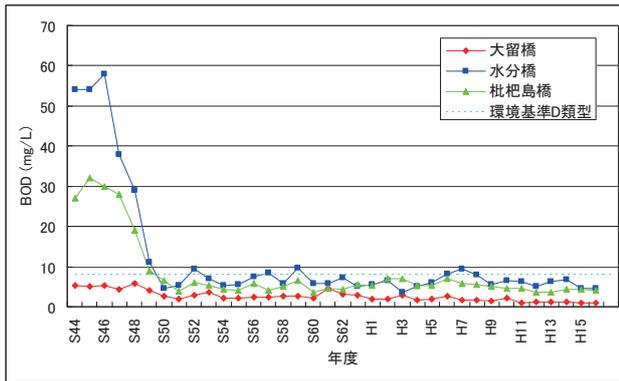


図 2・2 水質の変化 (BOD75%値)

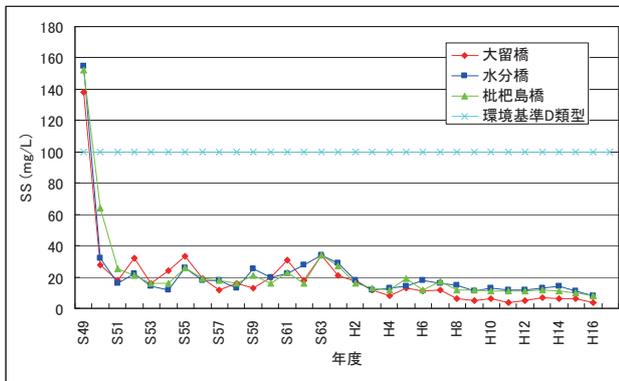


図 2・3 水質の変化 (SS平均値)

本研究の開始当初である平成 11 年の水質の縦断的变化を図 2・4 に示す。

BOD (75%値) について，大留橋では 1.0(mg/L)であるが，支川八田川 (BOD=13.0(mg/L)) 合流後の水分橋地点では 6.2(mg/L)に悪化し，杷島橋地点では 4.5(mg/L)であった。

SS (平均値) について，大留橋では 4(mg/L)であるが，支川八田川 (SS=21(mg/L)) 合流後の水分橋地点では 12(mg/L)に増加し，杷島橋地点は 11(mg/L)であった。

このように，庄内川中下流域における公共水域の水質は，全体的に安定して改善方向に推移しているものの，支川八田川の汚濁が問題であり，その改善が課題となっている。

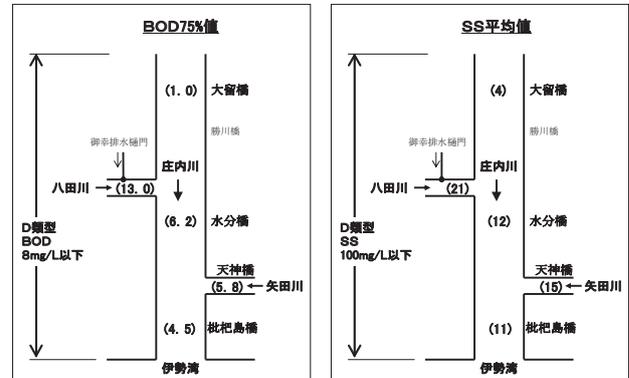


図 2・4 水質の縦断変化 (平成 11 年)

### 3. 水質改善に向けた取り組み

#### 3.1 水環境改善に向けた活動

庄内川の中下流域における，さらなる水環境改善に向けては，流域内における公共下水道の整備を進めるほか，事業所排水の割合が多く特有の汚濁特性を有する支川八田川の水質を改善する必要がある。また，流域住民からも八田川及び庄内川中下流部での清流への回復や悪臭改善等を望む声がある。

このため，水環境改善に向けた施策を関係者が協力して推進していくべく，国土交通省，春日井市，名古屋市の関係機関，企業による「八田川水環境改善対策協議会」(以下，「協議会」と記す。現組織名：「庄内川中流域水環境改善対策協議会」)が平成 10 年 11 月に設立された。

また，水環境改善に関する技術的問題点を討議する場として国土交通省，春日井市，名古屋市の関係機関，企業に加え，学識経験者を含む「勉強会」を平成 11 年 3 月から平成 15 年 2 月にかけて開催し，水質現況についての把握，及び水質改善に向けた対策の検討を行った。

### 3.2 庄内川中下流部の水質汚濁現況

勉強会が示した庄内川中下流部の水質汚濁状況に対する所見は以下のとおりである。

- ①庄内川中下流部の水質汚濁の主な原因は八田川から合流する事業所排水である。
- ②常時における八田川の河川水は、製紙工場の排水が含まれる御幸排水樋門からの排水が主であり、年間を通して水温が高い。また、浮遊性物質（図 3・1、スフェロチルス：ミズワタ）および溶解性の難分解性有機汚濁物質が多く、悪臭の一因になっている。

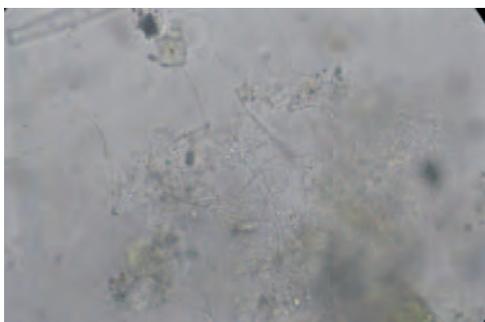


図 3・1 ミズワタ顕微鏡写真（平成 17 年 2 月 22 日）

また、主要な汚濁発生源とされた製紙工場の排水は表 3・2 に示す法的規制及び地方自治体との協定による規制値を下回っている。しかし、表 3・3 の地点流量に示すように、河川水に対する工場排水の割合が多く影響が大きいと、さらなる水質改善に向けた企業努力を要望している。

表 3・2 愛知県条例（排水基準）

パルプ、紙又は紙加工品の製造業		
板紙製造業	BOD(mg/L)	日平均 100 最大 120
	SS(mg/L)	日平均 150 最大 180
湿式繊維板紙製造業	BOD(mg/L)	日平均 120 最大 160
	SS(mg/L)	日平均 40 最大 50
その他	BOD(mg/L)	日平均 70 最大 90
	SS(mg/L)	平均 100 最大 120

表 3・3 地点流量

地点名		濁水量 (m <sup>3</sup> /s)	低水量 (m <sup>3</sup> /s)
八田川	御幸排水樋門 (製紙工場排水)	2.78 (約 2.0)	2.78 (約 2.0)
	合流部※	2.83	2.89
庄内川	勝川橋※	3.11	5.76
	八田川合流後※	5.94	8.65

※志段味及び枇杷島流量観測所の流量(平成 15 年～17 年)から流域換算や支川流量、用排水等の加減による計算値

### 3.3 市民感覚を取り入れた水質指標の検討

勉強会ではさらに、市民の感覚による水質改善目標を検討するため、流域住民に対して、河川水の透視度や臭いなどの体験を通じたアンケート調査による意識の把握を行った。その結果、以下のような課題項目が挙がってきた。

- ・濁り、透視度：更なる改善に向けた目標の設定
- ・水の色、臭い：指標と改善方策の検討
- ・水の泡立ち：泡立ち因子の解明

このアンケート調査結果から市民の感覚による各項目の許容値の検討を、河川水の汚濁負荷量及び流量から水質改善に向けた指標とその目標値の検討を行い、その結果は次項の「八田川水環境改善基本計画書」における目標値として盛り込まれた。

### 3.4 八田川水環境改善基本計画書の策定

協議会では、勉強会での技術的な検討を受け、平成 15 年 3 月に庄内川中流域とその支川である都市排水河川の八田川を対象区域とする「八田川水環境改善対策基本計画書」（以下、「基本計画書」とする）を採択した。表 3・4 に基本計画書の概要を示す。

基本計画書では、2015 年を基準年とした当面の暫定目標として

- ①環境基準を D から C 類型へ 1 ランクアップ
- ②濁り・透視度の改善

を、さらに当面、具体的な年次は定めないが、将来的な計画目標として

- ③水の色、④臭い、⑤泡立の改善

を、2 ステップの目標として定め、それぞれ目標の

具体化として項目毎の指標値が設定された。

協議会では平成15年度以降、「基本計画書」の暫定目標及び計画目標の達成に向け、行政及び住民、そして企業が協力しつつ改善効果をモニタリングしながら、公共下水道の整備促進、市民啓発、設備改良など、各主体が役割分担を行い、それぞれの施策に取り組んでいる。

表 3・4 八田川水環境改善基本計画書 概要

「八田川水環境改善基本計画書」(平成15年3月)	
(1)基本方針	豊かで潤いのある水環境の回復、保全、創出を目的とし、より一層の水質改善を推進するため、行政、流域住民、企業が一体となり、効率的な施策の実施に向かって取り組む。
(2)暫定目標	基準年：2015年 目 標： <ul style="list-style-type: none"><li>・水分橋下流において、環境基準C類型（現在の基準の1ランクアップ）相当の水質を目指す。</li><li>・「濁り」「透明感」を改善し、流域住民にとって近づきやすい川を目指す。</li><li>・河川改修事業の実施に併せて、生物の生息環境の多様性を目指す。</li><li>・「水の色」「臭い」「水の泡立ち」の改善に向けて、技術的研究等を適宜進めていく。</li></ul> 目標の具体化： <ul style="list-style-type: none"><li>①環境基準の1ランクアップ(C類型)相当の水質 指標値：BOD 5mg/L以下（75%値で評価）</li><li>②濁り・透明感の改善 指標値：濁度5度以下 （透視度50cm以上、SS 10mg/L以下、平均値で評価）</li></ul> 基準地点：水分橋下流地点（八田川合流後）
(3)計画目標	対象区間：八田川合流点より下流の庄内川 目 標： <ul style="list-style-type: none"><li>・「水の色」「臭い」「水の泡立ち」を改善し、心地よく水と触れ合うことのできる水質を目指す。</li><li>・「多様な生物」が生育・生息できる環境を復活させ、親水性の高い川を目指す。目標の具体化：(特異的な値を除く最大値で評価)<ul style="list-style-type: none"><li>③水の色 一指標値：色度10度以下</li><li>④水の臭い 一指標値：臭気指数10以下</li><li>⑤水の泡立ち 一指標値：泡の流下距離20m以下</li></ul></li></ul> 基準地点：③④水分橋下流地点（八田川合流後） ⑤新庄内川橋下流

## 4. 水質浄化実験の実施

協議会で定めた各主体の役割分担において、国土交通省が担う取り組みとして、以下の水質浄化実験を実施した。

### 4.1 水質浄化実験の目的

基本計画書に沿って庄内川中流域の水質を改善するには、河川水の透視度、色、臭いという項目についても、水質浄化を行っていく必要がある。

庄内川中下流部の汚濁負荷の大きな割合を占める八田川の水は、次のような特性を持っている。

- ① 溶解性で難分解性の有機物質を多く含む
  - ② 浮遊性物質を多く含む
  - ③ ①②が透視度の低さや色、臭いの原因となる
- このような河川水の浄化に適した技術はどのようなものか把握し、浄化施設の検討や市民、企業に情報として提供することを目的として、複数の浄化技術による水質浄化実験を実施した。

### 4.2 実験技術委員会の設置

浄化実験を実施するにあたり、以下のような技術的なアドバイスを得るため有識者による実験技術委員会を設置した（H15.11～H18.2）。

- ・実験の目標値や公募条件の設定
- ・実験技術の公募における技術的な審査・選定
- ・浄化効果及び運転状況等について技術的な側面からの評価・提案

### 4.3 目標値の設定

水質浄化実験における目標値は、次の事項を前提として設定した。

- ・対象：八田川（御幸排水樋門吐口）の河川水
- ・評価する水質基準点は水分橋下流（八田川合流後の庄内川本川）

「基本計画書」における水分橋下流での具体化された目標値に基づき、浄化実験における八田川の河川水に対する浄化目標値を、水分橋地点で推定される渇水時の庄内川本川と八田川の流量と負荷量より配分し、表 4・1 のように設定した。

表 4-1 浄化実験の目標値

		BOD (mg/L)	SS (mg/L)	透視度 (cm)	色度 (度)	臭気 指数
水分橋	目標値	5以下 (75%値)	10以下 (平均値)	50以上 (平均値)	10以下 (最大値)	10以下 (最大値)
八田川	※対象水質	13(21)	26(36)	28(35)	53(80)	12(18)
	目標値	10以下	20以下	28以上	30以下	10以下

※対象水の水質は H13. 7～H14. 6の平均値、( ) 書きは最大値

#### 4.4 公募実験

##### 4.4.1 実験技術の公募

浄化実験の実施に際しては、既存の技術をより発展させた浄化技術、あるいは新しい浄化技術から、流域住民が要求する水質環境(BOD, SS, 透視度, 色, 臭い)を達成できる新たな技術を広く求めるため、表 4-2 に示す条件で実験技術の公募を行った。

表 4-2 浄化技術の公募条件

- ・対象水量：1 L/s
- ・長さ 30m, 幅 10m 程度の敷地で設置可能なこと
- ・浄化実験の目標値を達成することが期待できる
- ・高水敷に設置可能な構造であること
- ・水質浄化能力に安定性と持続性があること
- ・環境への新たな負荷源とならないこと
- ・浄化処理コストが極端に高くないこと
- ・従来の浄化手法(曝気付礫間接触酸化等)に比べランニングコスト(施設償却費を含めた)が極端に高くないこと
- ・環境に配慮し、周辺環境、景観との調和が図れること

##### 4.4.2 公募実験の実施

公募実験の実施フローを図 4-1 に示す。

河川環境管理財団内の審査委員会において、応募してきた 12 社の浄化技術から、公募条件に照らして選定された 5 社の技術により実験を実施した。

H15. 9	実験実施企業の公募
H15. 12	実験実施企業の選定
H16. 1～6	実験設備設置工事
H16. 7～17. 3	浄化実験Ⅰ(5社)
	⇩ 一斉メンテナンス
H17. 6～7	浄化実験Ⅱ(5社)
	⇩ システム改良
H17. 10～12	浄化実験Ⅲ(3社)

図 4-1 公募実験フロー



図 4-2 庄内川浄化実験場

##### 【実験Ⅰ】(H16. 7～17. 3)

平成 16 年 7 月に開始した当初の実験では、有機汚濁等の除去には各社とも効果を発揮できているものの、原水に含まれる浮遊物質等による装置運転の障害が想定以上であったこともあり、色・臭いといった項目については、十分な評価が出来なかった。

##### 【実験Ⅱ】(H17. 6～H17. 7)

実験Ⅰの結果から、各社一斉に最適な状態での実験となるようにメンテナンスを実施し、システムの評価を行った。その結果をもとに、各社で原水中の浮遊物質処理の改善や色・臭いに対する除去効果の向上を目指すためのシステムの改良を検討した。

##### 【実験Ⅲ】(H17. 10～12)

実験Ⅱの結果及び各社のシステム改良案をもとに、技術委員会で改良による浄化効果の改善が見込まれると判断された 3 社のシステムについて、実験装置を改良し、実験Ⅲを実施した。

システム改良にあたり、東洋電化工業、及び加藤建設のシステムでは、後段に処理槽を追加した。追加した処理槽の通水量は、実験スペースと設置コストの問題からそれぞれ 0.5L/s, 0.03L/s としたが、1L/s に換算してシステム評価を行うこととした。

#### 4.4.3 公募実験の結果

##### 1) 原水の水質

各実験期間における原水の水質を表 4・3 に示す。技術公募の条件で対象水質とした H13.7 から H14.6 の期間と比べ、実験時には色度は全体的に低く、臭気指数は全体的に高かった。

表 4・3 原水の水質

項目	公募条件	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ
	H13.7~H14.6	H16.9~H17.3	H17.6~H17.7	H17.10~H18.1
水温 (°C)	28.3 (33.9)	25.9 (32.2)	34.0 (35.8)	26.4 (29.8)
BOD (mg/L)	13 (21)	17 (25)	12 (13)	21 (32)
SS (mg/L)	26 (36)	30 (34)	23 (27)	30 (48)
透視度 (cm)	28 (17)	27 (23)	29 (29)	26 (17)
色度 (度)	53 (80)	35 (40)	48 (50)	43 (55)
臭気指数	12 (18)	24 (28)	21 (22)	25 (26)

注) 水質は平均値を示し、( ) 書きは最大値を示す

表 4・4 実験結果の概要

- ① BOD(目標値 10mg/L 以下)  
いずれの装置もBODの改善が認められ、目標値を達成した。
- ② SS(目標値 20mg/L 以下)  
いずれの装置もSSの改善が認められ、目標値を達成した。実験Ⅲではどの技術の処理水も、ほとんど1mg/L 以下だった。
- ③ 透視度(目標値 28cm 以上)  
いずれの装置も透視度の改善が認められ、目標値を達成した。実験Ⅲではどの技術の処理水も、ほとんど100cm を超えた。
- ④ 色度(目標値 30 度以下)  
改良前(実験Ⅰ, 実験Ⅱ)は明確な色度の改善が認められず、目標値が達成されなかった。実験Ⅲでは東洋電化の改良直後と加藤建設のろ材入換え直後に処理水が目標値を達成した。しかし、その状態は継続せず、一時的なものであった。
- ⑤ 臭気指数(目標値 10 以下)  
いずれの装置も臭いの改善が認められた。実験Ⅱでは東洋電化の装置が目標値を達成した。実験Ⅲでは各社それぞれ3回の調査のうち、目標値達成は1回だけであった。

##### 2) 処理水の水質

各実験期間の処理水の水質概要を表 4・4 に、水質を表 4・5 に示す。

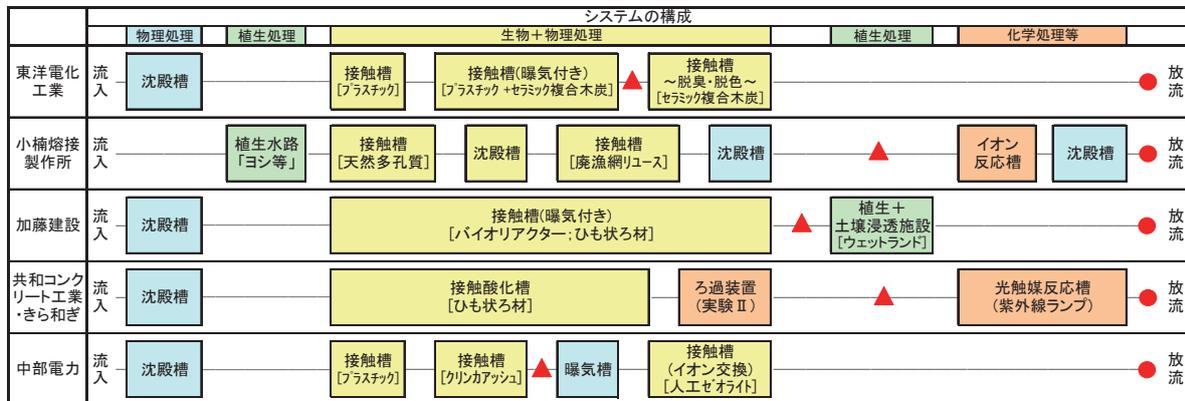
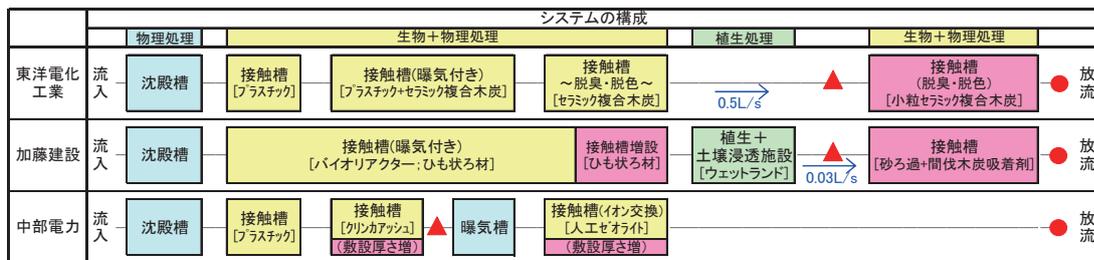


図 4・3 浄化システムフロー (実験Ⅰ・Ⅱ)



システム改良の内容

- 東洋電化工業: 小粒径のセラミック複合炭を用いた接触槽を追加、流量は0.5L/s
- 加藤建設: 接触槽の増設、砂ろ過槽・木炭を用いた吸着槽を追加、流量は0.03L/s
- 中部電力: クリンカアッシュ、人工ゼオライトを増厚し、接触時間の延長・ろ過効果の向上を図る

図 4・4 改良後の浄化システムフロー (実験Ⅲ)

表 4.5 処理水の水质

実験Ⅰ (H16.9~H17.3)

項目	東洋電化工業	小楠熔接	加藤建設	共和コンクリート きら和ぎ	中部電力
水温(℃)	25.2(31.9)	18.6(30.8)	21.4(30.7)	23.3(31.3)	24.5(32.0)
BOD(mg/L)	3.3(4.4)	2.6(4.7)	2.3(3.7)	5.5(8.1)	6.1(8.9)
SS(mg/L)	4.3(6.0)	5.8(11)	1.7(4.0)	7.2(16)	4.8(9.0)
透視度(cm)	93(68)	62(55)	100(100)	80(48)	90(68)
色度(度)	38(40)	25(40)	37(45)	38(45)	32(40)
臭気指数	16(23)	14(16)	19(26)	19(24)	17(21)

実験Ⅱ (H17.6~H17.7)

項目	東洋電化工業	小楠熔接	加藤建設	共和コンクリート きら和ぎ	中部電力
水温(℃)	33.3(35.2)	32.0(33.6)	31.9(33.2)	33.6(35.4)	33.4(35.2)
BOD(mg/L)	2.0(2.2)	2.4(2.6)	1.0(1.1)	2.5(3.2)	3.2(3.9)
SS(mg/L)	1.0(1.0)	5.5(6.0)	1.0(1.0)	1.0(1.0)	6.0(6.0)
透視度(cm)	100(100)	84(68)	100(100)	100(100)	89(81)
色度(度)	53(55)	63(65)	58(60)	65(70)	65(65)
臭気指数	8(10)	16(16)	17(18)	16(18)	17(19)

実験Ⅲ (H17.10~H18.1)

項目	東洋電化工業	加藤建設	中部電力
水温(℃)	23.2(25.6)	11.4(15.2)	23.7(28.1)
BOD(mg/L)	1.4(2.5)	4.3(9.1)	4.5(5.8)
SS(mg/L)	1.0(1.0)	1.0(1.0)	1.0(1.0)
透視度(cm)	100(100)	100(100)	100(100)
色度(度)	33(60)	41(60)	48(60)
臭気指数	12(14)	16(25)	13(19)

注) 水质は平均値を示し、( )書きは最大値を示す

## 4.5 追加実験

### 4.5.1 実験技術の選定

公募実験では、基本計画書で定めた色、臭いまでの浄化目標を安定して達成できなかった。このため、さらなる色、臭いの除去技術を求めて、浄化効果の確認ができる基礎的な室内実験の追加を提案した。

追加する処理技術は、技術委員会のアドバイスを受け、図 4.5 に示すフローに従い、ここまでの実験で採用された技術や製紙工場で採用されている技術以外から、①膜処理、②活性炭処理、③オゾン処理を選定した。

- |                           |
|---------------------------|
| ○生物学的処理…公募実験で採用           |
| ○物理化学的処理                  |
| ・固液分離技術 凝集・沈殿処理…製紙工場で採用   |
| 膜分離・ろ過処理技術 → ①膜処理         |
| ・溶解性物質の分離技術 吸着処理 → ②活性炭処理 |
| ・イオン交換処理…公募実験で採用          |
| ・酸化・分解技術 → ③オゾン処理         |
| ・紫外線処理(光触媒)…公募実験で採用       |

図 4.5 追加実験の技術選定フロー

### 3) 公募実験結果のまとめ

BOD, SS, 透視度は、各社ともに目標値を達成した。色度、臭気指数は、各社とも当初の浄化システム(実験Ⅰ, Ⅱ)では全ての目標値を達成できなかった。

色度、臭気指数について目標値を達成するため、改良した実験Ⅲにおいては、3社とも一時的に目標値を達成したものの、その状態は維持できず、維持管理に課題を残す結果となった。

公募実験の結果を整理して表 4.6 に示す。

表 4.6 公募実験結果

		BOD 10mg/L 以下	SS 20mg/L 以下	透視度 28cm 以上	色度 30度 以下	臭気指数 10 以下
東洋電化工業	プラスチック →セラミック複合木炭 →細粒セラミック複合木炭	○	○	○	x→△	△→△
小楠熔接 製作所	槽生浄化 →天然多孔質材+廃漁網リユース →イオン反応	○	○	○	x	x
加藤建設	ひも状ろ材 →槽生+土壌浄化 →間伐木炭吸着材	○	○	○	x→△	x→△
共和コンクリート 工業・きら和ぎ	ひも状ろ材 →光触媒	○	○	○	x	x
中部電力	プラスチック →クリンカアッシュ+人エゼオライト →リサイクル材増量	○	○	○	x→x	x→△

黒字：実験Ⅰ・Ⅱ、赤字：実験Ⅲ

注) ○：目標値を達成、△：一時的に目標値を達成(維持管理等に課題が残る)  
x：目標値を達成できなかった

追加実験の処理対象水には、御幸排水樋管の河川水を直接処理するにはSSが高すぎるため、SSの除去性能は高いが色、臭いの除去はほとんどみられない「公募実験における加藤建設の中間処理水」(以下、「中間処理水」という)を用いた。

### 4.5.2 追加実験の概要

#### 1) 膜処理

膜ろ過処理では①精密ろ過(MF膜=Micro filtration)、②限外ろ過(UF膜=Ultra filtration)、③逆浸透(RO膜=Reverse Osmosis)の3種類について試験を行った。

採用したろ過膜の仕様を表 4.7 に示す。

表 4.7 ろ過膜の仕様

使用膜	MF膜	UF膜	低圧RO膜
孔径	0.1μm	—(6nm~8nm相当)	—
分画分子量*	—	80,000 Da	—
膜材質	ポリフッ化ビニリデン	ポリアクリロニトリル	架橋ポリアミド
形式	中空糸モジュール	中空糸モジュール	スパイラルモジュール(SU-710)
塩阻止率	—	—	99.5%

\*分画分子量：UF膜の分離性能の指標  
Da：ダルトン(分子や原子の質量を表す単位)

## 2) 活性炭処理

活性炭処理は一般的に水処理に使用されている粒状活性炭を用い、石炭系、ヤシ殻系の2種について試験を行った。

試験に用いた活性炭の仕様を表4・8に示す。

表4・8 活性炭の仕様

活性炭種類	石炭系	ヤシ殻系
品名	ダイアホープ STL820	ダイアソープ W8-20
メッシュサイズ	8-20 mesh	8-20 mesh

## 3) オゾン処理

オゾン処理では注入量、反応時間を変えて試験を行った。試験は小型のオゾン反応装置を用いて行い、オゾン注入率及び処理時間を変化させた。試験フローを図4・6に示す。

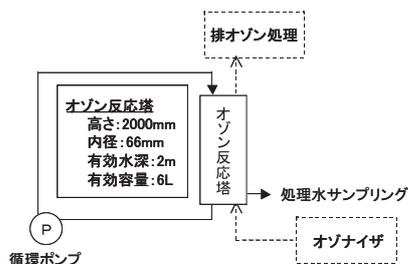


図4・6 オゾン処理試験フロー

また、オゾン処理では原水を砂ろ過処理したものを処理対象水とし、表4・9に示す条件で試験を行った。

表4・9 オゾン処理試験の実験条件

オゾン注入率変化						
オゾン濃度	mg/L	36				
オゾン流量	L/min	1.0				
オゾン注入速度	①mg/L・min	6.0				
処理時間	②min	0	1.5	3.0	4.5	6.0
オゾン注入率	①×②mg/L	0 <sup>※1</sup>	9	18	27	36
処理時間変化 <sup>※2</sup>						
オゾン濃度	mg/L	36				
オゾン流量	L/min	2.0	1.0	0.5		
オゾン注入速度	①mg/L・min	12	6.0	3.0		
処理時間	②min	1.5	3.0	6.0		
オゾン注入率	①×②mg/L	18	18	18		

※1 砂ろ過処理水(中間処理水を砂ろ過したもの)

※2 処理水水质に差が現れると予想したオゾン注入率とし、処理時間を0<sub>3</sub>注入率変化試験の1/2、2倍とした

### 4.5.3 追加実験結果

#### 1) 膜処理

表4・10に中間処理水と膜ろ過処理水の水質分析

結果を示す。

MF膜及びUF膜による処理では溶解性成分の除去が非常に困難であるため、色度、臭気指数、CODの除去性は低く、中間処理水の60%程度までしか低減することができなかった。

一方、RO膜による処理では溶解性成分も完全に除去された。

表4・10 膜ろ過処理水の水質分析結果

試料名	中間処理水	MF膜処理水	UF膜処理水	RO膜処理水
外観	黄褐色	黄褐色	黄褐色	無色透明
色度	40	24	24	<1
臭気指数	18	18	13	<3

\*MF膜、UF膜ろ過試験では、膜ろ過流速をともに1.0m/日程度とした。

\*RO膜は中間処理水を直接通水は困難と判断し、前段にプレフィルタ(孔径10μm)を設け、50%回収の条件で試験を行った。

#### 2) 活性炭処理

表4・11に中間処理水と活性炭処理水の水質分析結果を示す。

活性炭による処理では、石炭系及びヤシ殻系のどちらも、色度は中間処理水の10%程度まで、臭気指数については判別不能となるまで低減されていた。このことから、活性炭処理は原水の処理に適していると判断できる。

ただし、実験では中間処理水を直接活性炭に通水したため、濁質が活性炭の上部や内部に溜まった。実用施設には、活性炭処理の前段に濁質をさらに低減させる処理の追加が必要であると考えられる。

表4・11 活性炭処理水の水質分析結果

試料名	中間処理水	石炭系処理水	ヤシ殻系処理水
外観	黄褐色	淡黄色	淡黄色
色度(度)	40	6	6
臭気指数	18	<3	<3

\*接触時間は下水道施設計画・設計指針と解説2001年版(社団法人日本下水道協会)を参考に30分(SV(空間速度)=2)とした。

\*各活性炭をそれぞれカラム(内径25mm)に70cm充填し、SV(空間速度)=2となるように中間処理水を通水した。

\*空間速度SV(space velocity): 滞留時間の逆数で表わす。

#### 3) オゾン処理

表4・12に中間処理水とオゾン処理水の水質分析結果を示す。

①オゾン注入率を変化させた場合には、注入率が高くなるほど各項目とも除去性は高くなった。

②処理時間を変化させても、処理水の水質に差は認められなかった。

表 4-12 オゾン処理水の水質分析結果

オゾン注入率変化						
項目	試料名	オゾン注入率 [mg/L]				
		0 <sup>※</sup>	9	18	27	36
外観		黄褐色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色
色度 (度)		40	14	12	8	8
臭気指数		18	11	10	9	6

処理時間変化				
項目	試料名	処理時間 [min]		
		1.5	3	6
外観		淡黄色	淡黄色	淡黄色
色度 (度)		12	12	12
臭気指数		10	10	10

※対象水（砂ろ過処理水）、オゾン処理では原水を砂ろ過処理したものを対象とした。  
 (参考:『機械設備標準仕様書 平成17年度版』(日本下水道事業団),  
 『下水道施設計画・設計指針と解説』後編 2001年版(社団法人 日本下水道協会))

#### 4) 追加実験結果のまとめ

追加実験の各処理による色度，臭気指数の除去結果を図4-7に示す。

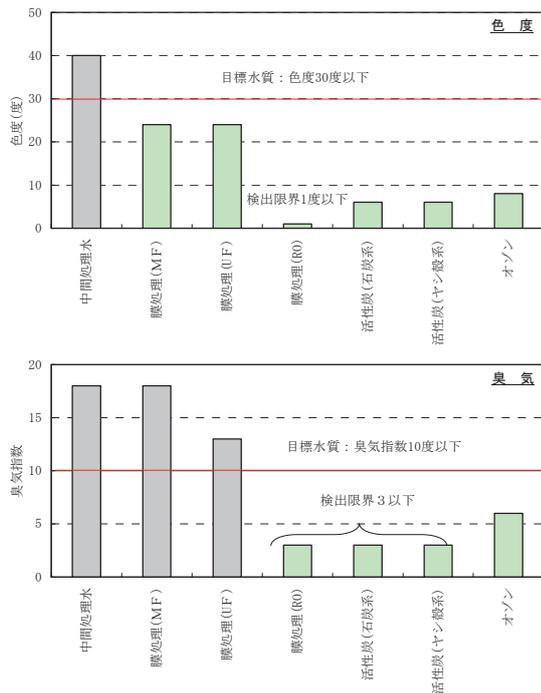


図 4-7 各処理方式による除去結果

色度はすべての処理方法で目標値の 30 度以下になった。

臭気指数はRO膜処理，活性炭，オゾンの処理で目標値の 10 以下になった。

処理方法における色度，臭気指数の除去性には、

以下に示す関係が見られた。

**RO膜 ≧ 活性炭(石炭系・ヤシ殻系) ≧ オゾン ≧ UF膜 ≧ MF膜**

色度と臭気指数のどちらも目標値を達成した処理は、膜ろ過（RO膜），活性炭処理（石炭系，ヤシ殻系），オゾン処理（注入率 18mg/L 以上）であった。これらの処理技術を採用すれば，特有の汚濁特性を持つ庄内川河川水の浄化が可能であることが確認された。

## 5. 浄化施設の可能性検討

### 5.1 浄化施設の基本条件

河川浄化実験の結果をもとに，以下の条件による浄化施設の設置検討を行った。

- ①浄化施設位置は，処理対象水が流出する八田川合流点付近(庄内川の右岸側)の高水敷で検討する。
- ②処理対象は庄内川中下流域の水質汚濁負荷量のもっとも大きな割合を占める八田川(御幸排水樋門)の水とする。処理対象水の水量及び水質を表 5-1 に示す。

表 5-1 処理対象水の水量及び水質(御幸排水樋門)

項目	流量 (m <sup>3</sup> /s)	BOD 75% (mg/L)	SS 平均 (mg/L)	色度 最大 (度)	臭気指数 最大
八田川	2.78	19	22	43	18

資料：流量，BOD，SS，色度：  
 平成15年4月～平成18年3月調査結果をもとに算出  
 臭気指数：平成13年7月～平成14年6月調査結果

- 河川浄化実験の公募条件(平成13年7月～平成14年6月)  
 BOD:13mg/L(最大21mg/L)，SS:26mg/L(最大36mg/L)  
 色度:53度(最大80度)，臭気指数:12(最大18)
- 実験期間中の流入原水の水質(平成16年9月～平成18年1月)  
 BOD:18mg/L(最大32mg/L)，SS:27mg/L(最大48mg/L)  
 色度:41度(最大55度)

### 5.2 浄化施設の検討

#### 5.2.1 処理フロー

処理システムは，河川浄化実験の結果をもとにBOD，SSを改善する処理技術として公募実験から東洋電化工業の中間処理までのシステムをステップ

Iとして選定し、色、臭いを改善する処理技術として追加実験からオゾン処理システム（砂ろ過+オゾン処理）をステップIIとして選定した。

選定に際しては、それぞれの実験で目標を達成した処理技術の中で、コストが安価なものとした。処理フローを図5.1に示す。

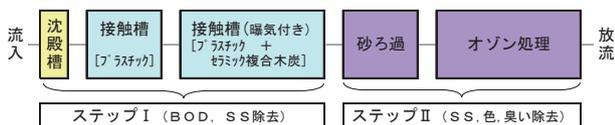


図5.1 処理フロー

### 【ステップI】（BOD, SS除去）

色の除去を行う後段の「砂ろ過+オゾン処理」のために、可能なかぎりBOD, SSを除去する。

浄化実験の結果をもとに算定したBOD, SSの除去率を表5.2に示す。

表5.2 BOD, SSの除去率

項目	BOD	SS
原水水質 (mg/L)	12	23
処理水質 (mg/L)	3.2	16
除去率 (%)	73	29

東洋電化工業 中間処理水の平均値(H17.6~H17.7)

### 【ステップII】（砂ろ過+オゾン処理）

追加実験の結果では、色度はオゾン注入率が概ね30mg/L程度（実験値27mg/L）で色度が8度まで下がり、その後は横ばいであった。また、その時の臭気指数は、目標値の10以下である9になることが確認されているため、オゾン処理施設のオゾン注入率は30mg/Lとした。

「砂ろ過+オゾン処理」による色度、臭気指数の除去率を表5.3に示す。

表5.3 色度の除去率（オゾン注入率：30mg/L）

項目	色度	臭気指数
原水水質 (mg/L)	40	18
処理水質 (mg/L)	8	9
除去率 (%)	80	50

## 5.2.2 処理水量

河川浄化施設の処理水量は、庄内川中下流域の水質を改善し、「八田川水環境改善対策基本計画書」で定められている暫定目標及び計画目標の「目標の具体化(案)」の値を達成するために必要な流量となる。

表5.4より、目標を達成するためには、八田川の2.78m<sup>3</sup>/s（御幸排水樋門の全排水量）を処理する必要がある。

表5.4 水質改善目標達成に必要な処理水量

項目	BOD 75% (目標値5mg/L)	SS平均値 (目標値10mg/L)	色度最大 (目標値10度)
渇水流量時	2.19 (m <sup>3</sup> /s)	1.47 (m <sup>3</sup> /s)	2.78 (m <sup>3</sup> /s)
低水流量時	1.64 (m <sup>3</sup> /s)	0.94 (m <sup>3</sup> /s)	2.78 (m <sup>3</sup> /s)
平均流量時	—	—	2.78 (m <sup>3</sup> /s)

## 5.3 事業評価

### 5.3.1 事業評価方法

水質浄化実験を基に設定した河川浄化施設の事業評価を費用便益比（B/C）で行った。

便益（B）は、CVM（Contingent Valuation Method：仮想的市場評価法）により算定した。河川浄化による効果を楽しむ沿川の市区町の住民（約66万世帯）を対象とし、アンケートによる意識調査を基に支払い意志額を求め、便益を算定した。

図5.2にアンケートの主な内容を示す。

$$(\text{支払い意志額}) = \frac{\sum \{ (\text{支払い額}) \times (\text{支払い額に賛成した回答者数}) \}}{(\text{支払い意志額推計に係る回答者数})}$$

庄内川の水質改善に関するアンケート	
<input type="checkbox"/>	水質改善のイメージ 庄内川の水の現在、水質改善後のイメージを文章と写真、イラストで説明
<input type="checkbox"/>	庄内川中下流区間に対する意識 問1 対象区間に行く頻度はどれぐらいですか 問2 川の状態について、それぞれどう思いますか（意識レベル） ①濁っている ②色がついている ③嫌な臭いがする
<input type="checkbox"/>	水質改善について 問3 次の改善項目について伺います（必要性のレベル） ①水の見た目を良くする ②嫌な臭いがほとんどなくなる ③生き物の種類と数が増える ④水遊びができるようになる
<input type="checkbox"/>	問4 水質改善に毎年1世帯でいくらの負担まで賛成できますか

図5.2 水質改善に関するアンケート内容

費用（C）は、前項までの検討で設定された浄化システムを採用し、必要水量の浄化が可能な施設の概略設計を行い、その建設費及び維持管理費を基に算定した。

算定にあたり、建設費、維持管理費、便益は現在価値化し、割引率は「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一的運用指針」（建設省平成11年3月）より4%とした。

### 5.3.2 事業評価の結果

費用便益比（B/C）を算定した結果、1をかなり下回った。

この結果は、

- ①八田川の河川水を対象に、色、臭いまで除去する浄化は、現在のところコストが高い。
- ②流域住民の水質改善に対する要求レベルの高さに対して、支払い意志額が追従しておらず、要求レベルが必ずしも便益に反映されない。

ことを示している。

このことから、今後も浄化技術の知見を集積し、その集積した技術の研鑽による安価で効果的な処理技術の開発をしていくことや、住民の要求する水質改善効果レベルと負担の関係について住民の合意を得られ、便益に適切に反映できる手法の開発を継続していく必要がある。

## 6. 今後の課題と方向

### 6.1 水環境改善活動の継続

協議会では、「基本計画書」にもとづき、暫定目標及び計画目標の達成に向けて、各主体がそれぞれ実施可能な施策を具体化し、技術的な課題、制度・法的な問題を共有しながら、効果的な水質改善のために各主体間の役割分担・実施順位などの調整を進めながら、施策を実施してきた。

この結果、暫定目標（2015年度目標）の指標項目であるBOD、濁度は基準地点である水分橋下流で改善の傾向がみられ、河川浄化施設の設置がなくとも、環境基準の1ランクアップの到達が視野に入っ

てきつつある。

しかしながら、近年の流域住民による生活環境の質的改善に対する要求の高まりは、水の色、臭い、ゴミ、生物の多様性などにも広がっており、継続した水環境改善に向けての施策が不可欠である。

水環境善に向けては、流域における対策と河道における対策を進める一方で、流域住民への啓発に努め、市民の声を更なる水質改善に向けた原動力として推進する必要がある。推進イメージを図6・1に、具体的な施策を表6・1に示す。

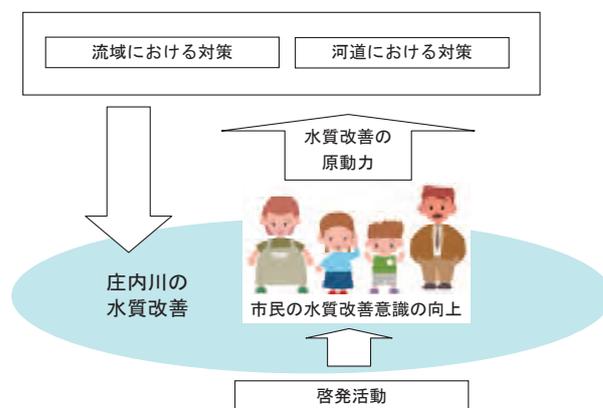


図6・1 水環境改善に向けた推進イメージ

表6・1 水環境改善に向けた施策

区分	施策	
流域における対策	行政による取り組み	計画的な下水道面整備の推進
		下水処理場における処理水質の向上
		排水規制の実施
	家庭による取り組み	小規模事業所に対する排水処理指導
		適切な水循環の回復（自己流量の回復）
		下水道への早期転換
企業による取り組み	合併処理浄化槽の設置	
	環境に優しい生活様式の実践	
河道における対策	河川の自浄能力の向上	排水水質の向上
	河川水の直接浄化	環境に優しい生産システムの実践
		浄化技術の知見の集積
啓発活動	学習や広報活動	多自然川づくり
		浄化施設の検討
		浄化施設の検討
	河川との触れ合いによる啓発	市民と連携した行動計画の立案
		自然に優しい生活様式のPR
		浄化に関する取り組みのPR
流域住民との情報の共有	河川の汚濁状況マップ作成・配布	
	市民と一体となった水生生物調査	
	川に関する各種イベントの開催	
	アダプト等、地域や企業と協働の河川管理	
	モニター制度（情報提供）・パトロール	
	水環境に対する意識調査の実施	

### 6.2 水環境改善施策の課題

#### 1) 河川の直接浄化

本研究では河川水の浄化技術を開発するため、浄化実験を実施し、その結果をもとに浄化施設の設置検討を行った。事業評価の結果、現在の技術による浄化施設は建設費及び維持費が高く、目的とする庄

内川中下流部の水質を，臭い，色まで目標値に改善する浄化施設の設置は難しいと考えられる。

浄化施設の実現には，今後も浄化技術の知見を集積し，処理技術を研鑽することで安価で効果的な処理技術を開発し，適切な便益評価手法の研究を継続していくことが必要である。

## 2) 発生源対策

汚濁の発生源対策を確実に進め，公共水域内での浄化が不要となるようにしていくことが重要である。

これには，河川の汚濁の原因者を特定し，受益者も含めて責任や利益を明確化し，適切な役割や費用分担のもと発生源対策を進めるよう，制度整備の検討をしていくことが必要である。

## 3) 啓発活動

今後も「流域における対策」「河道における対策」を確実に推進するための原動力として，流域住民の庄内川への関心や，水環境に対する意識の向上が必要不可欠であり，行動計画による行政や市民が連携した活動を継続していくことが必要である。

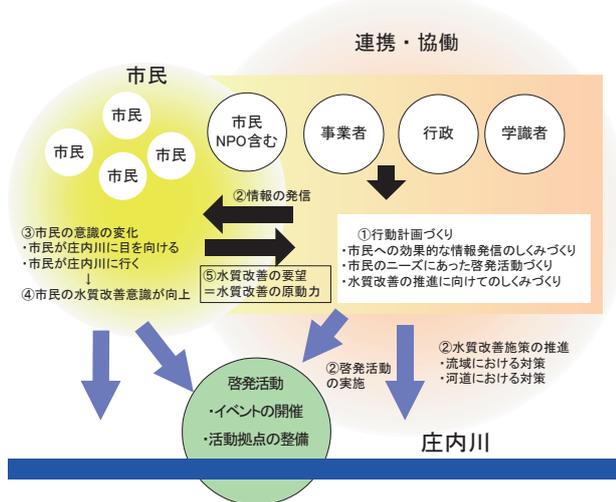


図 6-2 庄内川の水質改善の取り組みの全体像

## 4) 市民感覚による指標の取り扱い

庄内川においては，「基本計画書」において，色，臭いなど，市民の感覚による項目を改善目標に掲げ，色度，臭気指数といった具体的な数値目標として浄化効果の実験を行った。測定された指数と感覚とは

必ずしも一致するものではなく，臭いや色の成分や周辺環境によっても，捉え方が変わるものである。

平成 17 年 3 月の「河川水質調査要領(案)」(国土交通省河川局河川環境課)では，これからの河川水質管理に向けて「人と河川の豊かなふれあいの確保」や「豊かな生態系の確保」の視点で，住民との協働による表 6-2 の調査項目が案として示された。

表 6-2 住民との協働による調査項目

調査項目(案)	測定方法
ゴミの量, 透視度, 水の色, 泡, 川底の感触, 水の臭い	感覚による
水生生物の生息(簡易水生生物調査)	指標生物
水温, 簡易試験(NH <sub>4</sub> -N, COD, pH, DO, PO <sub>4</sub> )	簡易測定

「河川水質調査要領(案)」(平成 17 年 3 月, 国土交通省河川局河川環境課)より

庄内川においても，「基本計画書」における具体的な目標の設定に関して，市民感覚による項目を市民と協働の上で再度評価し，見直しながら今後の水環境改善の取り組みにつなげていく必要がある。

## 参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団(2007)：河川環境総合研究所資料第 20 号 庄内川水質浄化実験 実験結果報告書

# 7) ワンド干し上げによる生物環境の調査 及び改善に向けた実験的対策について

井上 和也\*・持田 亮\*\*・中西 史尚\*\*\*・井上 昇\*\*\*\*

## 1. はじめに

琵琶湖を主水源とする淀川（流域面積 8,240km<sup>2</sup>，流路延長 75km）は，2府4県にまたがる流域をもち（図1・1参照），古代よりわが国の政治，経済，文化の中心として栄え，現在も約1,200万人の流域人口を擁するわが国有数の大河川である。



図1・1 位置図（広域）

大阪という大都市を流れる河川でありながら，淀



図1・3 イタセンパラ（国指定天然記念物）

川は非常に豊かな生物環境を誇ってきた。とりわけ，明治期に航路維持のために広範囲に設置された水制工が形成した「ワンド」（図1・2参照）では，多様で特有の河川環境が発達してきた。その代表が淀川のシンボルフィッシュで天然記念物であるイタセンパラ（図1・3）の生息である。とくに，今回調査の対象とした城北（しろきた）ワンド群は，国内最大のイタセンパラ生息地として広く知られてきた。

しかしながら，近年の城北ワンド群においては，以下のような河川環境の問題点が顕在化してきている（河合典彦，2001）。

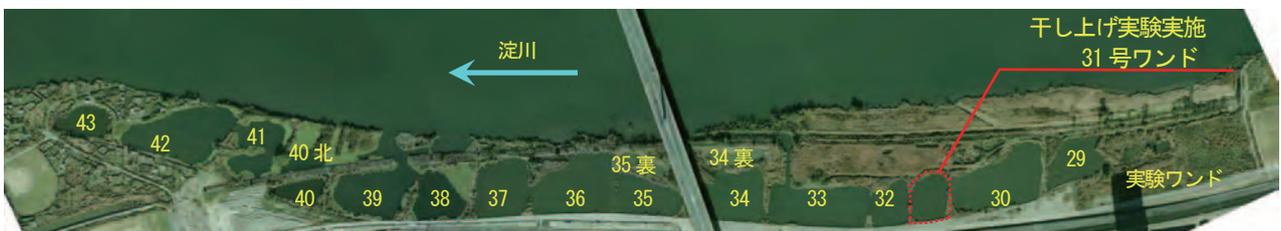


図1・2 城北ワンド群

- \* (財) 河川環境管理財団 研究顧問
- \*\* (株) 東京建設コンサルタント (前 (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第5部長)
- \*\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第5部 研究員
- \*\*\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第5部 研究員

### <生物環境に関する問題点>

- ①イタセンパラをはじめとする在来魚の減少
- ②魚食性外来魚の増加
- ③外来水生植物の繁茂による開放水面の被覆
- ④水際部におけるヨシ原の衰退

### <物理環境に関する問題点>

- ①浅場など水陸移行帯や冠水帯の減少
- ②淀川大堰の水位調節や河積の増大による攪乱減少
- ③ゴミの投棄や泥の堆積等による水質や底質の悪化
- ④高水敷の干陸化や樹林化

これらの問題のうち在来魚の減少については、スジシマドジョウやナマズ、ツチフキなどが近年見られなくなっている。加えて、平成6年から続けられている城北地区ワンド群のタナゴ類稚魚調査において、昨年（平成18年）ついにイタセンパラの確認個体数がゼロという結果になってしまった。

これを受け、国土交通省では、有識者からなる『淀川環境委員会』での検討を踏まえ、ワンドの生物・物理環境を把握するとともに再生回復の基礎資料を得るため、さらに干し上げという攪乱を与えたときの効果を検証するため、ポンプを用いて人為的にワンドの水を排出し、底部を空気に晒し、さらに外来生物を駆除する『ワンド干し上げ実験』が実施された。また併せて、干し上げたワンド内に浅場を造成し、主に稚魚や稚貝の生息環境を改善するという対策を実施した。本実験によって期待される効果は次のようである。

- ①在来生物の増加
- ②ワンド河床を天日に晒すことによる底質改善
- ③ゴミおよび外来植生の除去による環境の改善
- ④外来魚の除去による環境の改善
- ⑤浅場形成による稚貝、稚魚の生息場の創出

財団法人河川環境管理財団では、今回のワンド干し上げの過程と生物・物理環境の調査知見、およびワンド環境の環境改善の実験的対策について、『淀川環境委員会』による指導、助言を受けながら、分析、評価を行った。以下は、そのまとめである。

## 2. 干し上げ実験の実施内容

### 2.1 基本条件の検討

#### 2.1.1 検討の流れ

図2-1は、干し上げ実験の実施フローである。

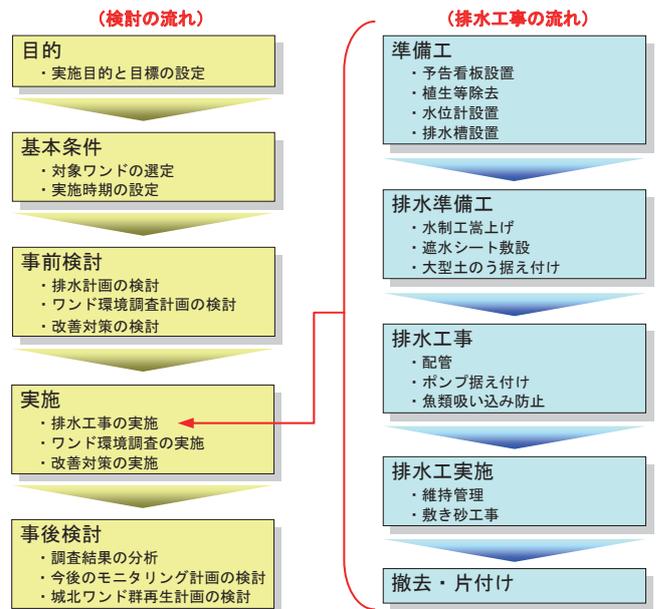


図2-1 干し上げ実験の実施フロー

#### 2.1.2 対象ワンドの選定

干し上げを行うワンドの選定にあたって、留意した点は以下のようである。

- ①過去にイタセンパラの生息が確認されている。
- ②既往調査より魚貝類の生息状況が把握されている。
- ③ワンドの容積が比較的小さく、効率的に干し上げを実施できる。
- ④外部からの流入や浸透水の影響が比較的少ない。
- ⑤施工時における作業スペースが確保できる。
- ⑥ゴミや水生植物の影響が顕著である。
- ⑦近年人為的な地形改変が比較的少ない。

図2-2は城北ワンド群におけるイタセンパラ稚魚の近年の累積個体数を示したものである。この中で、確認実績が多いワンド（No. 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41）は現在も良好な状態が継続している可能性があるため、これを乱すことはせず対象外とした。一方、イタセンパラが生息できる環境を再生するという観点

から、確認実績の乏しいワンド (No. 40, 43) も対象から除外した。

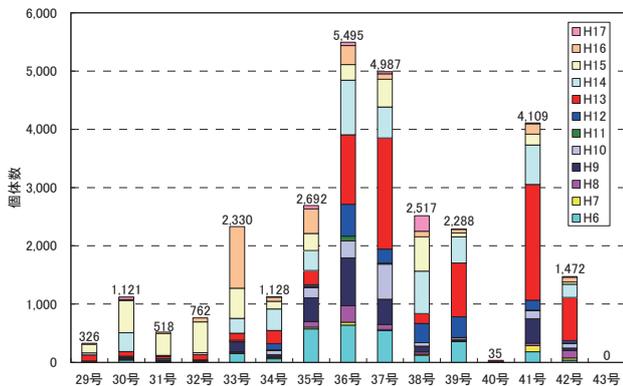


図 2-2 近年におけるイタセンパラ稚魚の累積個体数

図 2-3 は、城北ワンド群の個々のワンドについて、水深と容積の関係を平成 10 年に測量した地形図より作成したものである。この図によると、容積が 6,000m<sup>3</sup>以上のワンド (No. 30, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42) が比較的大規模と判断される。さらに、小規模なワンドのうち、No. 32, 43 ワンドは水深が 300cm 以上と深く、ポンプの設置規模が大がかりとなるため除外した。

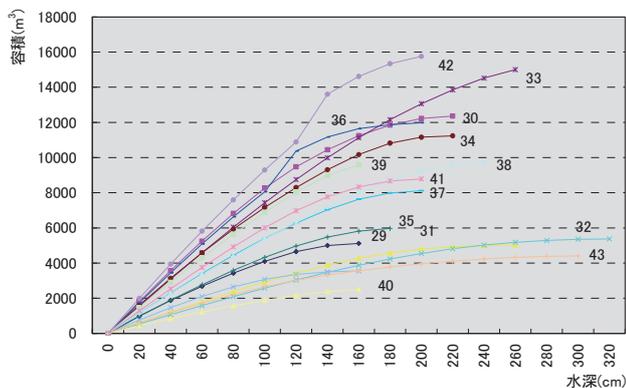


図 2-3 ワンドの水深と容積

先に挙げた項目に従って、城北ワンド群の干し上げ実験の対象としての評価をまとめると表 2-1 のようになる。ここで、外来水生植物の侵入状況は城北ワンド群の全域にわたっており、選定を左右する程の要因とはならなかった。また、本川との開口部をもつ No. 29, 33, 39, 42 ワンドでは流入の影響を強く受けることを考慮した。

表 2-1 対象ワンドの選定

ワンド No	イタセンパラの確認状況	過去調査実績	規模(容量)	水深の程度	本川と連続性	浸透水の影響	※ゴミの量	近年の地形変化	判定
29	中	有り	中	中	+++	?	少	有り	-
30	中	有り	大	中	+	?	少	?	-
31	中	有り	中	中	-	?	多	無し	◎
32	中	有り	中	深	+	?	多	無し	-
33	多	有り	大	中	+++	?	多	?	-
34	中	有り	大	中	+	?	多	有り	-
35	多	有り	中	中	-	?	多	有り	-
36	多	有り	大	中	-	?	多	?	-
37	多	有り	大	中	-	?	多	?	-
38	多	有り	大	中	+	?	多	?	-
39	多	有り	大	中	+++	?	多	?	-
40	少	有り	中	中	-	?	多	?	-
41	多	有り	大	中	+	?	多	?	-
42	中	有り	大	中	+++	?	多	?	-
43	少	有り	中	深	-	?	多	?	-

(※ゴミの量は H10 調査結果に基づく)

以上の検討の結果、No. 31 のワンドを干し上げ実験の対象として選定した。

### 2.1.3 実施時期の検討

イタセンパラの産卵期 (9 月～10 月)、稚魚の浮出期 (5 月～6 月) および魚類の弱りやすい夏期 (6 月から 9 月) を避け、11～12 月を干し上げの実施時期とした。

4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	イタセンパラ稚魚浮出期				イタセンパラ産卵期		実施	
	高温期のため捕獲魚類が弱りやすい							

## 2.2 排水工事の概要

### 2.2.1 水制工の嵩上げ工と遮水工

隣接ワンド (No. 30, 32) からの越水や浸透水による No. 31 ワンド内への水の進入を抑えるため、水制工の嵩上げと遮水を行った。すなわち、図 2-4 に示すように、現状の水制工の天端 (O.P.+2.5~2.6m) を石積みによりさらに 50~60cm 嵩上げをして、天端高を O.P.+3.1m とした。この高さは、淀川大堰における毛馬の平常時水位 O.P.+3.0m に 10cm の余裕を加えた値である。





ように在来種の個体数比率がH11の約90%から今回の9%へと激減している。在来種の生息環境としては危機的な状況にあるといわざるをえない。

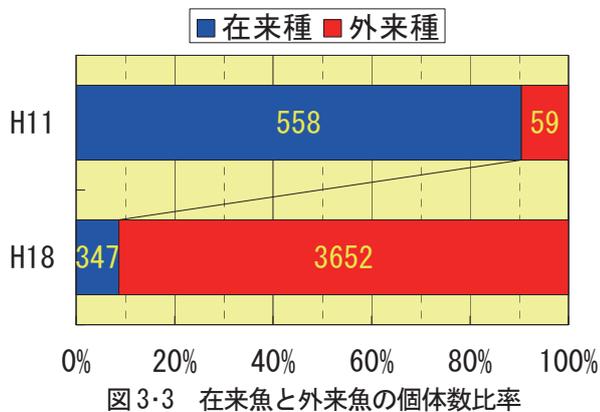


図 3-3 在来魚と外来魚の個体数比率

### 3) 全長組成

捕獲個体数の上位4種について、30個体を無作為に選びそれらの全長組成をみると図 3-4 のようになる。ただし、カダヤシは小型のため除外している。

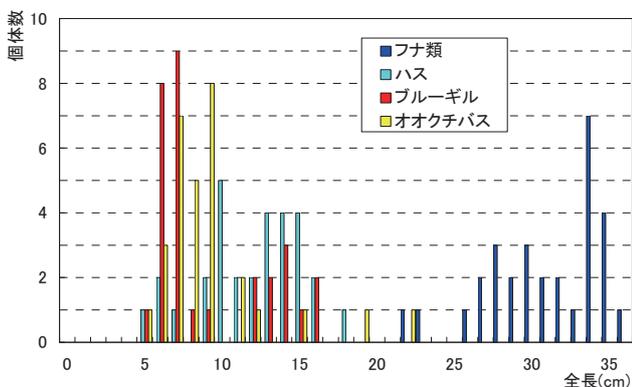


図 3-4 魚類の全長組成 (上位4種)

これによると、フナ類は20cm以上の大型個体のみで、小～中規模の個体はみられない。その理由として、先に述べたようにブルーギルによる食害の影響の可能性が考えられる。小規模個体が確認されないことは、再生産が全然不十分なことを意味している。近い将来に老齢化した大型個体が死亡すればフナ類が衰退することは明らかである。

その他の種は5～20cmに分散している。ブルーギルは成長しても概ね20cm程度であるが、ハス、オオクチバスはそれ以上の大型魚となることを考えると、

図 3-4 は小規模個体に偏っており、一般的な組成分布を示しているとは思えない。

在来種に限定した全長組成は図 3-5 のようである (トウヨシノボリは小型のため除外)。5cm以下の個体は総個体数の僅か4%であり、先に述べたと同じく、仔稚魚等の再生産が非常に危ぶまれる状況にあり、在来種は今後さらに衰退すると予想される。

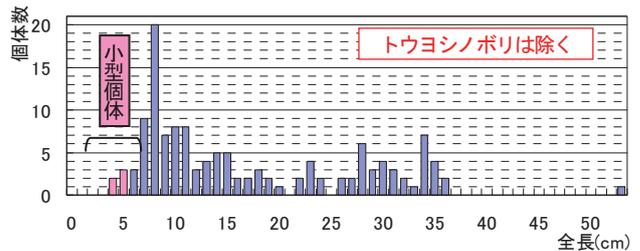


図 3-5 魚類の全長組成 (在来種)

### 3.2.2 貝類

#### 1) 調査方法

##### (1) コドラート調査

採集対象としては、イタセンパラ等のタナゴ類の産卵母貝となる二枚貝とした。調査位置は、現地における学識者の助言の下、表 3-2 に示す様々な場の特徴に基づき設定した。図 3-6 は、今回の調査の中で、併せて実施した水生植物に関する分布調査の結果を示したものである。

結果、図 3-7 の A～H の 8 測線を設定した。

方形枠は、1.0×1.0m として、河床の表面および泥中の二枚貝を採取し、その殻長、殻高、湿重量を測定した。採取した二枚貝は、魚類 (在来魚) 同様、大阪府水生生物センターで保管し、水位回復後、採取地点近傍で放流した。

表 3-2 各ラインにおける場の特徴

ライン	場の特徴
Aライン	抽水植物が少ない。底は砂泥。
Bライン	ナガエツルノゲイトウ群落直下。
Cライン	ポタンウキクサ群落直下。
Dライン	チクゴスズメノヒエ、ナガエツルノゲイトウ群落直下。
Eライン	砂分の多い砂泥底。
Fライン	砂泥底でナガエツルノゲイトウ群落直下。
Gライン	泥底で沈水植物が少ない。
Hライン	泥底で沈水植物が多い。

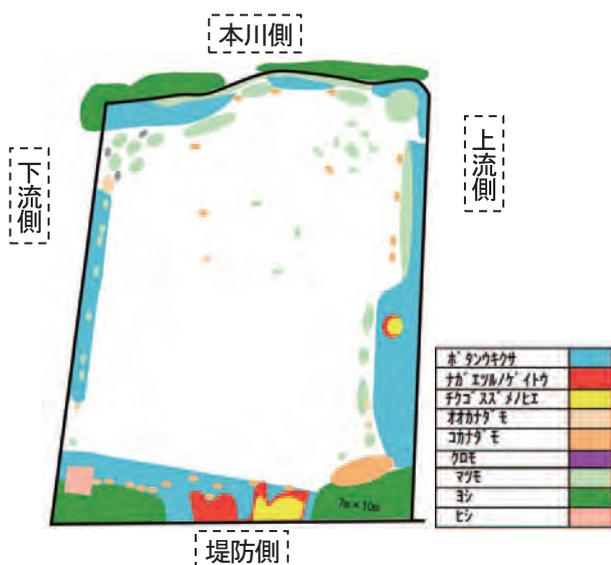


図 3-6 水生植物の分布

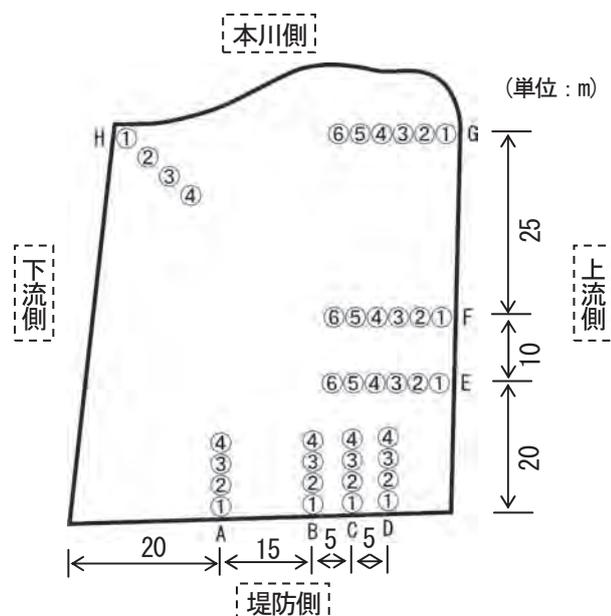


図 3-7 貝類のコドラート調査地点

## (2) 全量調査、水制工部調査

コドラート調査実施後、ワンドの排水作業の進捗に応じて、ワンド内全域の二枚貝を対象として、魚類調査と同様に、全量採集を目標にした調査を行った。さらに、水制工部でも、石の空隙に生息する二枚貝および巻貝を採集した。

そのうち、イシガイ 240 個体、ドブガイ 100 個体、トンガリササノハガイ 50 個体を無作為に選び殻長を測定するとともに、年齢を推定した。

## 2) 出現種

採取により、二枚貝 9 種、巻貝 5 種（総捕獲個体数 10,269）が確認された。二枚貝では、イシガイ科イシガイが圧倒的に優占していた（イシガイ科総個体数の約 88%がイシガイ）。その他、貴重な二枚貝などについても採集された（図 3-8）。

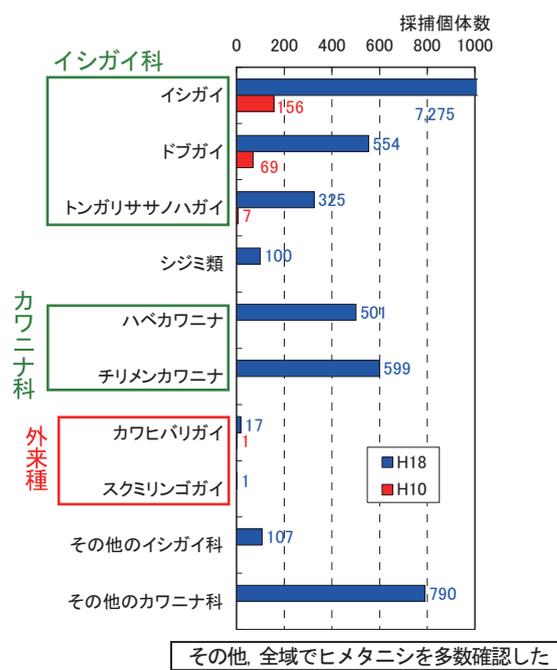


図 3-8 貝類採捕個体数

外来種は貝類総個体数（シジミ類は不明のため除外）の僅か 0.2%であり、貝類については在来種が大部分を占めているといえる。魚類のほとんどが外来種であるのに対し、貝類は全く異なる状況にある。

H10 の調査と比較すると、二枚貝のうち、ドブガイの占める割合が 30% (H10) から 7% (H18) に減少している。しかしながら、H10 の調査のように水面下の泥中の貝を採集することは、今回の調査のような水位を低下させ底床を露出させた状況での採取に比べ、明らかに著しく困難であることを考えに入れなければならない。今回の全量調査とは個体数による直接的な比較はできない。

カワニナ科については、3 種とも相当数が確認された。いずれも大阪府のレッドデータに記載されている種であり、今後ワンド群の環境を評価するにあたって貴重な存在である。

### 3) 殻長組成

採集した主なイシガイ科の殻長組成を図3・9に示す。イシガイは4~6cmに分布が集中しており、最大8cmまででしだいに少なくなり、それ以上は確認されなかった。これに対して、ドブガイ、トンガリササノハガイでは、平均殻長である10cmを中央値として、6~13cmまででほぼ対称的な分布を示している。イシガイでは3cm以下、ドブガイ、トンガリササノハガイでは、6cm以下の小型個体はほとんど確認されていない。

これは、小型個体を対象としたフルイによる調査が実施されなかったことが一因である。しかしながら、イシガイでは、殻長4cmが最大の76個体であるのに対し、殻長3cmはわずか3個体と激減していることや、イシガイでは殻長4~6cmが多数確認されているのに、ドブガイ、トンガリササノハガイでは、殻長が4~6cmの個体がほとんど確認されていないことを考えると、小型個体の数が少ないという分布の偏りがあることは、近年の環境変化が起因していると推測される。

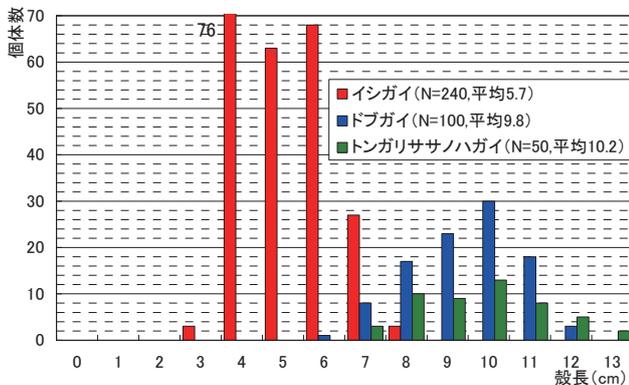


図3・9 貝類殻長組成

一方で、学識者の指導のもと、成長脈より貝の年齢を推定した。年齢組成を図3・10に示す。イシガイでは3歳、ドブガイ、トンガリササノハガイでは、5歳が中央値となっている。確認された年齢幅は種によって様々であるが、イシガイは比較的幅広い分布を示している。問題なのはイシガイでは2歳、ドブガイ、トンガリササノハガイでは4歳以下で個体数が減少しており、いずれも2歳以下の幼齢個体はほ

とんど確認されていないことである。

殻長組成と年齢組成で見られる傾向は、必ずしも一致するものではないが、イシガイの年齢組成において3歳が最大81個体を示す一方で、2歳がわずか2個体しか見られないことは、殻長組成と同じ非常に偏った分布といえ、従来どおりの再生産が行われなくなったことを示唆するものである。

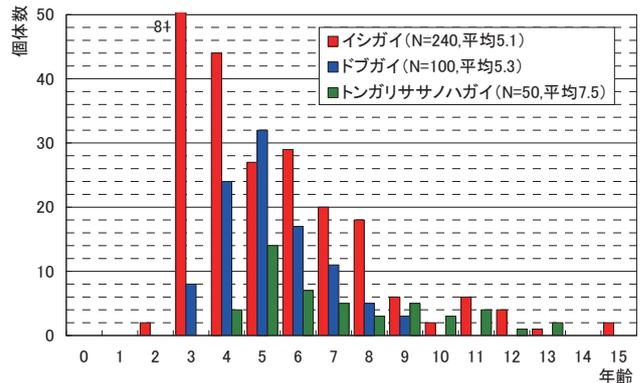


図3・10 貝類年齢組成

図3・11は、これら三種に関する死貝の殻長組成を示している。ここでも生貝での確認状況と同様に、殻長の小さな若齢時個体の死貝はほとんど確認されていない。

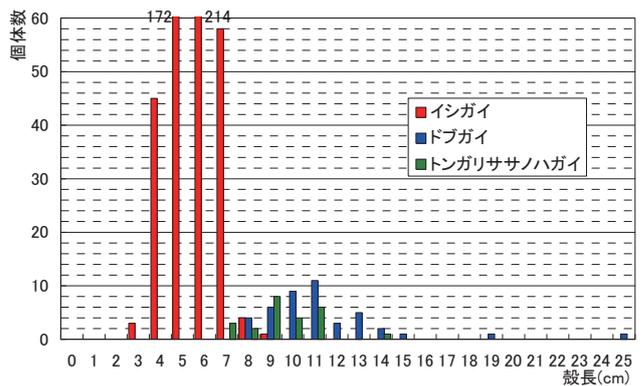


図3・11 貝類殻長組成 (死貝)

今回の調査では、イシガイを中心に多くの二枚貝の生息が確認されたが、再生産が不十分な状況にあり、今後、貝類の個体数は減少していくことが予想される。こうした現状から、再生産が可能となる貝類の生息環境を改善していくことが課題として挙げ

られる。

#### 4) コドラート調査結果

##### (1) コドラート設置位置との関係

コドラート調査で採集した貝類の各測点ごとの分布は図3・12に示すとおりである。この調査においてもイシガイが圧倒的な優占種であった（イシガイ科総個体数の95%がイシガイ）。

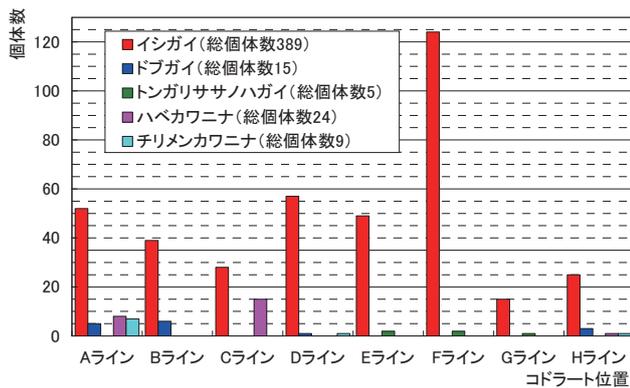


図3・12 貝類採捕個体数 (コドラート調査)

イシガイは、Fラインで最も多く採取されたが、その近傍のEライン、Gライン（確認数は最少）では、明らかに少なくなっている。また、ハベカワニナでは、GラインとHラインで多く確認されているが、その他のラインではほとんど確認されていない。

各ラインごとに個体数が大きく変化することは、それぞれの種にとって好適な生息環境は異なっており、それぞれの好適な場所に比較的集中した結果と考えられる。

図3・13は、優占種であるイシガイについて、各測線に沿って水際からのコドラート設置位置別の個体数分布を示すが、コドラート設置位置と個体数との関係については、明確な関係は見られなかった。

それぞれの種について、水深別の個体数分布を図3・14に示す。いずれの種も水深60～150cmの範囲に分布しており、水深との関係は明瞭でない。

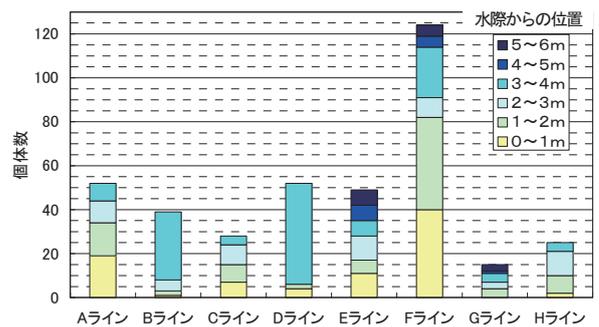


図3・13 コドラート調査結果 (イシガイ)

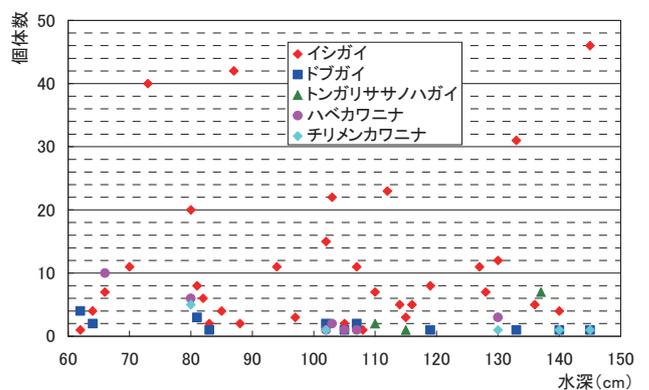


図3・14 確認個体と水深との関係 (貝類)

図3・15に示すように、No.31ワンドの周縁部は、切り立った水際となっており、60cm以上の急激な深みが形成されている。一般的に、幼貝や稚貝は浅場を主な生息環境として利用することが知られているが、現在のNo.31ワンドには、このような場所が非常に乏しい状況であるといえる。これは、『3)殻長組成』において示した、近年の幼齢個体が減少している要因の一つとして考えることができる。

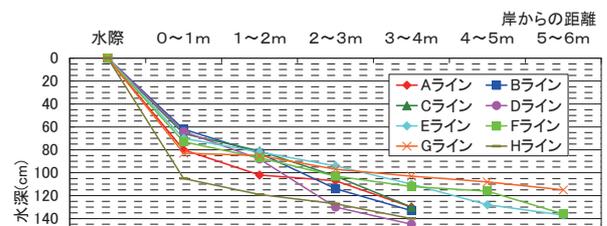


図3・15 コドラートの設置位置と水深

表 3-3 コドラート地点の概況

コドラート位置 (m)	水深 (cm)	底質		ゴミ	
		表層	-10cm	主な内容	被度*
Aライン	0~1	80	泥 砂	空き缶, ビニール, 釣り具	++++
	1~2	102	泥 砂	ビニール, 釣り具	+
	2~3	107	泥 砂	ビニール, 釣り具	++
	3~4	130	泥 泥	空き缶, ビニール, 釣り具	++
Bライン	0~1	62	泥 砂	空き缶, ビニール, 釣り具	+
	1~2	83	泥 砂	ビニール, 釣り具	+
	2~3	114	泥 砂	ビニール, 釣り具	+
	3~4	133	泥 泥	ビニール, 釣り具	+
Cライン	0~1	66	泥 砂	釣り具	+
	1~2	81	泥 砂	釣り具	+
	2~3	103	泥 砂	ほとんど無い	-
	3~4	130	-	ほとんど無い	-
Dライン	0~1	64	泥 砂	ほとんど無い	-
	1~2	88	泥 砂	ほとんど無い	-
	2~3	130	泥 砂	ほとんど無い	-
	3~4	145	泥 砂	ほとんど無い	-
Eライン	0~1	70	泥 砂	ビニール	+
	1~2	82	泥 砂	空き缶, ビニール	++
	2~3	94	泥 砂	ビニール	+
	3~4	110	泥 砂	ほとんど無い	-
	4~5	128	泥 砂	ほとんど無い	-
	5~6	137	泥 砂	ほとんど無い	-
Fライン	0~1	73	泥 砂	ビニール	++
	1~2	87	泥 砂	ビニール	++
	2~3	103	泥 泥	ほとんど無い	-
	3~4	112	泥 泥	ほとんど無い	-
	4~5	116	泥 泥	ほとんど無い	-
	5~6	136	泥 泥	ほとんど無い	-
Gライン	0~1	83	泥 泥	ほとんど無い	-
	1~2	85	泥 泥	ほとんど無い	-
	2~3	97	泥 泥	ほとんど無い	-
	3~4	103	泥 泥	ビニール	+
	4~5	108	泥 泥	ビニール	+
	5~6	115	泥 泥	ビニール	+
Hライン	0~1	105	泥 泥	ビニール	++
	1~2	119	泥 泥	ビニール	+
	2~3	127	泥 泥	ほとんど無い	-
	3~4	140	泥 泥	ほとんど無い	-

※被度の表記について、+ : 50g 未満, ++ : 50~100g, +++ : 100~500g, ++++ : 500~1000g, +++++ : 1000g 以上

(2) ゴミとの関係

ゴミによる底床の被度と貝類の分布との関係を図 3-16 に示す。二枚貝については、死貝の個体数についても併記している。

生貝については、いずれの種も明瞭な関係は現れておらず、ゴミの有無にかかわらず分布が認められる。一方、死貝については、イシガイとドブガイが、被度の大きい状況で多く確認されている。とくに、ゴミの被度が最も大きいAライン(0~1m)における、イシガイの死貝は最大の 40 個体となっている。

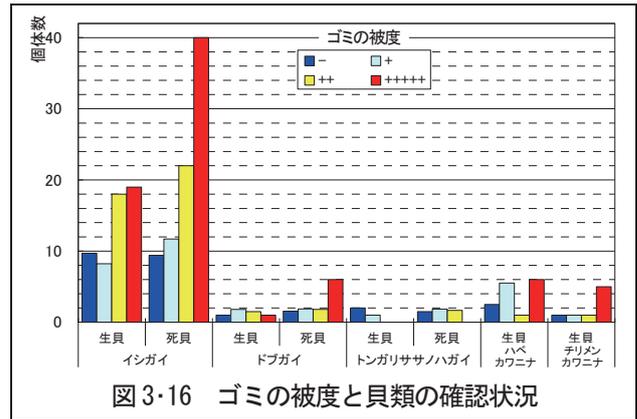


図 3-16 ゴミの被度と貝類の確認状況

(3) 水生植物との関係

コドラート地点における水生植物の繁茂による被度と二枚貝との関係を考える。

まず、各コドラート地点における浮遊・抽水植物の被度を示すと、図 3-17 のようである。No. 31 ワンドでは、コドラート設置位置である水際付近を中心に、浮遊・抽水植物が繁茂した状況にあることがこの図からも確認される(図 3-6 参照)が、これらの大部分は外来植物である。その中でも、ボタンウキクサとナガエツルノゲイトウは特定外来生物に指定されている。

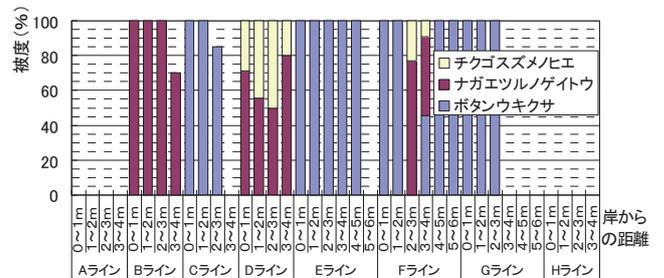


図 3-17 コドラート地点における浮遊・抽水植物の被度

図 3-18 は、ボタンウキクサの被度に応じた二枚貝の分布を示したものである。イシガイの個体数は、コドラートの位置(ラインおよび岸からの距離)によって大きなばらつきを示している。ドブガイは、ボタンウキクサが確認された場所では 1 個体も確認されなかった。

一般に、ボタンウキクサが水面を覆うことで、日光が遮断され、水中の植物プランクトンなどは光合成ができなくなる。これによって、水中の溶存酸素

量が低下し、貧酸素化をまねくことになる。

本調査結果では、ボタンウキクサとドブガイの生息状況に明瞭な相反関係が見られたが、ボタンウキクサは浮遊植物であるため、とくに密生した状況を除くと、ワンド内の流れや風などにより移動する可能性がある。

今後のデータの蓄積により、これらの関係について考察を深めていく必要がある。

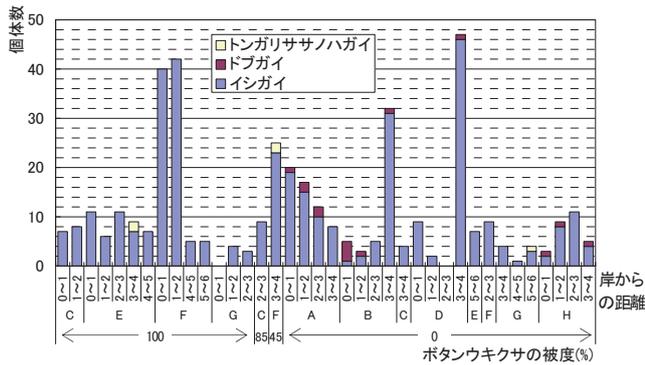


図3-18 ボタンウキクサの被度と二枚貝の状況

図3-19は、抽水植物の被度に応じたイシガイの分布を、生息が確認されたB、D、Fラインのみにについて示している。

ナガエツルノゲイトウの被度が100%であるBラインの0~1m、1~2m、2~3m、およびチクゴズメノヒエの被度が比較的高いDラインの0~1m、1~2m、2~3mとFラインの2~3mでは、イシガイの個体数は少ない。しかしながら、これらに隣接するBラインの3~4m、および、Dラインの3~4mとFラインの1~2m、3~4mでは、多くのイシガイが確認されている。

図3-19は、抽水植生が繁茂し被度が高くなると、イシガイの生息環境としてあまり好ましいとはいえず、とくに、チクゴズメノヒエが河床に密に定着する状況は、ナガエツルノゲイトウよりもさらに悪条件になることを示しているようである。イシガイは、これらの植物の生育域拡大から逃れるように少しでも条件の良い周辺に移動したと推測される。

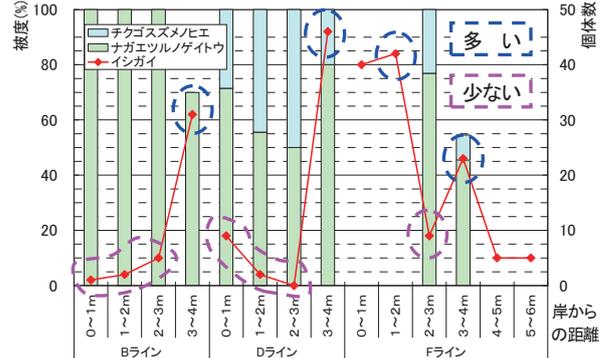


図3-19 抽水植物の被度とイシガイの状況

図3-20は、沈水植物について、各コードラート地点の被度を示したものである。No. 31 ワンドでは、本川側の岸からやや離れた位置に多く分布している。

在来種であるマツモが優占種となっており、その他、外来種のオオカナダモやコカナダモも一部で確認された。

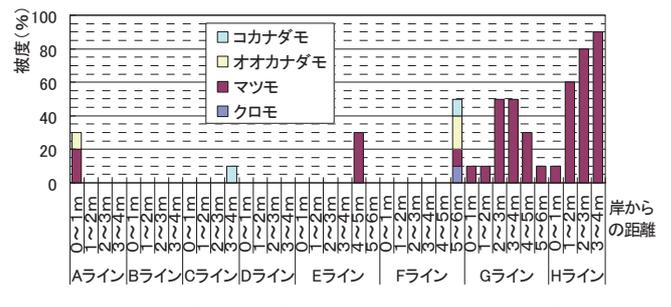


図3-20 コードラート地点における沈水植物の被度

図3-21は、沈水植物の被度に応じたイシガイの確認状況を示したものである。B、Dラインでは、沈水植物が確認されていないため除外した。

周辺に比べて沈水植物の被度が高いCラインの3~4m、および、Eラインの4~5m、Fラインの5~6m、G、Hラインでは、イシガイの個体数は少なくなる傾向が現れている（ただし、Aラインの0~1mでは反例的に個体数が多い）。

沈水植物の被度は、抽水植物ほど高くはないが、現れている傾向はより顕著である。これは、チクゴズメノヒエと同様、底床に根が密実に定着していて、底床の固形化の度が強くなることで影響していると考えられる。

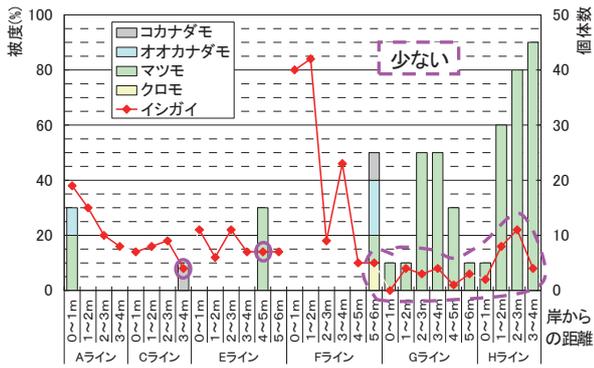


図 3-21 沈水植物の被度とイシガイの状況

### 3.3 物理環境調査

#### 3.3.1 水位

本実験は、ポンプ排水によって人為的水位を下げるようとするものであり、城北ワンドでは初の試みであったため、浸透水（漏水）の影響も十分考えられる中で実際にどの程度の水位低下ができるかが鍵であった。実験は約 24 日間水位を下げる計画で最初のおよそ 1 週間は魚類・貝類等生物調査を実施するために 1.0~1.5m 程度下げることとし、O.P.+1.5~

1.6m まで下げる目標とし、その後はワンド底部の干し上げを目標にさらに 50cm 程度下げ O.P.+0.9m を維持するものとした。実験期間における当該ワンド (No. 31) 及び周辺ワンド (No. 29, 30, 32, 33) の水位を自記記録計により観測した。

実験期間中の No. 31 ワンドおよびその周辺のワンドの水位を図 3-22 に示す。ポンプ稼働は、11 月 16 日午前 10 時に始められ、開始直後は O.P.+2.8m 程度であったが水位は、すぐに下がり始め、5 時間後には O.P.+2.2m まで下がった。下がり速度が予想以上に速かったため、17:00 以降はポンプを小型のみに切り替えて、翌午前 1 時頃まで稼働させおよそ O.P.+1.6m まで下げることができた。

ポンプ排水により水位が他のワンドより低下し、ほぼ期待どおりの水位状況が実現されている。実験期間中に水位が一時的に上昇している日 (11 月 20 日, 12 月 8 日) があるが、これは本川が増水して水制を越えて水が入ってきたためである。

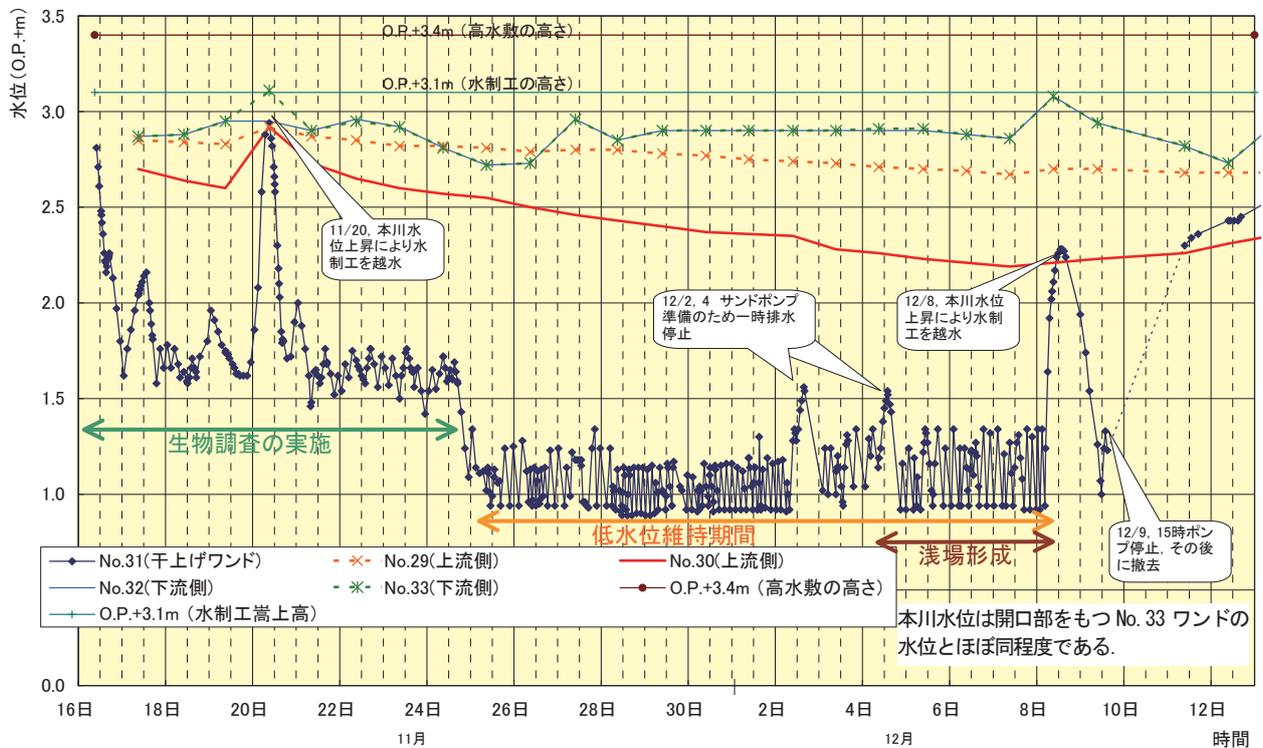


図 3-22 干し上げ実験実施期間中の各ワンド水位変化状況

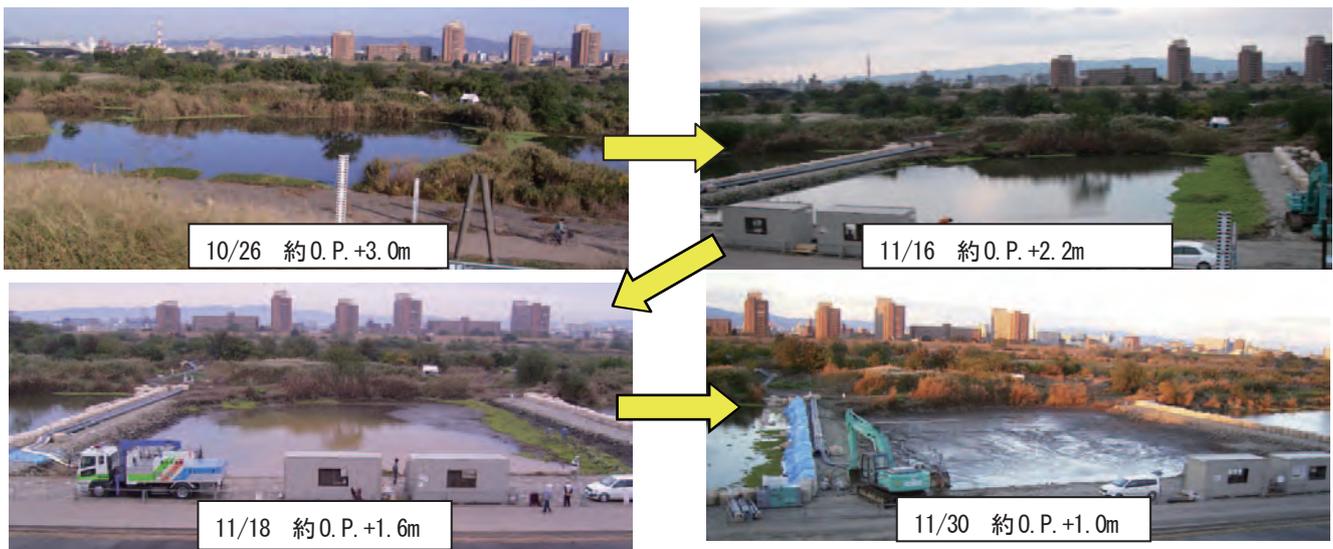


図 3-23 No. 31 号ワンド水位変化の状況

また、図 3-23 は No. 31 ワンドの水位低下の状況を示す写真である。ワンドの干出については 0. P. +1.6m から 0. P. +0.9m の約 70cm の低下で干出面積が大きく増えたことが分かる。

排水管端部には水槽と越流堰を設置し流量を測定することにより、ポンプの実際の排水量および浸透量を求めようとした。『2.2.2 排水工』で述べたように、ポンプは大型（公称能力 0.5m<sup>3</sup>/s）2 基と小型（同 0.033m<sup>3</sup>/s）2 基が設置されている。越流堰で測定された排水流量は、表 3-4 のとおり、大型 2 基により水位が 0. P. +2.58m から 2.41m まで低下したときは 0.27m<sup>3</sup>/s であり、小型 2 基により 0. P. +1.76m から 1.62m 低下時 0.095m<sup>3</sup>/s、小型 1 基により 0. P. +1.43m から 1.24m 低下時は 0.050m<sup>3</sup>/s であった。

表 3-4 ポンプの能力と実際の排水流量

	公称能力	測定流量	備考:水位 (0. P. +m)
ポンプ大型 (2 基)	1.0m <sup>3</sup> /s	0.27m <sup>3</sup> /s	2.58m→2.41m
ポンプ小型 (2 基)	0.066m <sup>3</sup> /s	0.095m <sup>3</sup> /s	1.76m→1.62m
ポンプ小型 (1 基)	0.033m <sup>3</sup> /s	0.050m <sup>3</sup> /s	1.43m→1.24m

隣接ワンドに対する排水の影響をみると、ひとつ上流側にある No. 30 のワンドの水位（図 3-22 中の赤実線で示される）は、No. 31 ワンドの水位低下に伴って徐々に下がり、およそ 17 日間経過した 12 月 8 日には

0. P. +2.2m 程度まで低下している（図 3-24）。また、No. 29 ワンドも約 20cm ではあるが、低下傾向となった。下流側のワンド No. 32, No. 33 はほぼ同じ水位で推移しており、本川水位にはほぼ影響を受ける場所と考えられる。

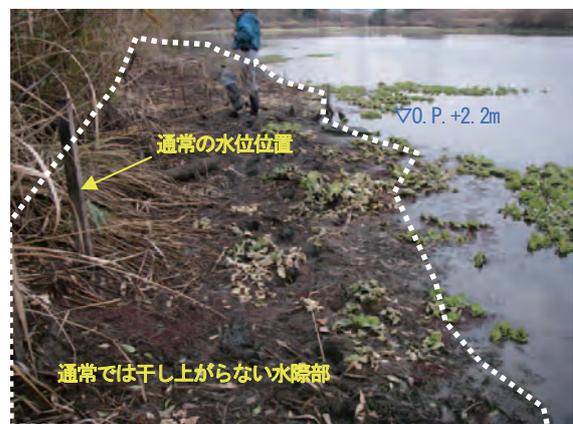


図 3-24 隣接した No. 30 ワンドの水位低下状況 (12/9)

排水流量とワンドの水位低下速度から浸透流量を逆算すると、上記のそれぞれの場合について、大型 2 基稼動時は 0.10m<sup>3</sup>/s、小型 2 基稼動時は 0.054m<sup>3</sup>/s、小型 1 基稼動時は 0.020m<sup>3</sup>/s となった。また、ポンプの停止時の水位上昇量から逆算した浸透量は 1.72m から 2.00m に上昇時 0.045m<sup>3</sup>/s、1.58m から 1.76m 上昇時は 0.034m<sup>3</sup>/s、0.89m から 1.14m 上昇時は 0.032m<sup>3</sup>/s であ

った。

No. 31 ワンドの水位を上記の水位変化幅の平均値とし No. 30 ワンドとの水位差を求め、この水位差と先に算定した浸透流量との関係を示すと図3・25のようになる。No. 31 ワンドの水位が低下して No. 30 ワンドとの水位差が大きくなるほど浸透流量が小さくなる傾向がある。浸透現象として予想される傾向とは逆の結果であるが、これは No. 30-31, No. 31-32 のワンドを仕切る水制の粗石による石積みの間隙より進入する流れが卓越しており、普通の浸透現象ではないからである。

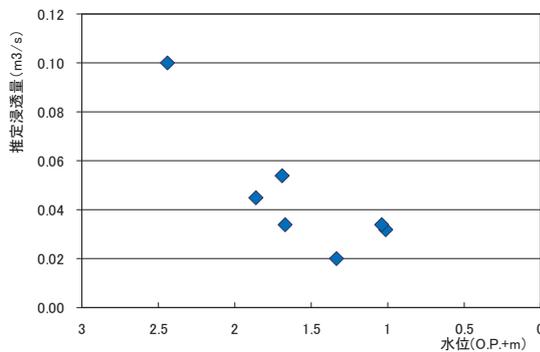


図3・25 ワンド水位と浸透流量

結果的に、今回実施したような遮水シートを施すことによって比較的簡単にワンド水位を低下させることができることがわかった。また、今後このような対策をするための貴重な基礎データが得られた。

### 3.3.2 水質

ワンドの水環境の実態と実験中の変化を把握するために、No. 31 ワンドおよび隣接ワンド (No. 30 と No. 32, 一部 No. 33 を含む) の水質調査を実施した。干し上げ前には図3・26に示すように各ワンド周囲4地点 (左右岸, 上下流岸) と最深部1地点の計5地点、水深方向に、表層と底層の2層 (ただし、浅い箇所は表層1層のみ) 地点で、水温、電気伝導度、濁度、DO、pHを測定し、同図①の表層および⑤地点の表層、底層で採水しSS、COD、全窒素、全リン、クロロフィルaを測定した。なお、実験中には最深部⑤地点で水温、電気伝導度、濁度、DO、pHの変化を追跡した。

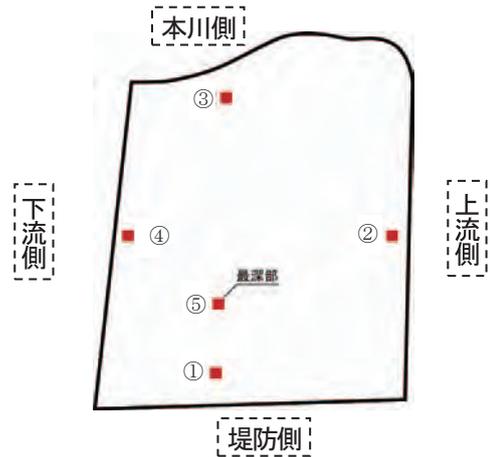


図3・26 No. 31 ワンドの水質・底質調査地点

図3・27に示される実験期間中 (水位低下中) の水質には、事前調査と比べ変化が現れた項目がいくつかあった。すなわち、DOは隣接ワンドでは6mg/l以上を値を観測しているにもかかわらず、No. 31 ワンドでは水位低下直後から低い値を示し、1.0~4.0mg/lとなっている。12月8日に増水で一時的に水位が上昇した際や、干し上げ終了後に水位を回復させた際には回復しており、水位を下げたこととの関連が深いことを示唆している。電気伝導度については隣接ワンドより高い傾向を示している。濁度は隣接ワンドと比べ、期間を通して高い傾向にあり、これは、隣接ワンドからの浸入水が元河床を攪乱していることや、魚貝類調査のための人為的な河床攪乱が影響していると考えられる。水温は隣接ワンドよりもやや高くなる傾向にあった。

干し上げ実施中に残留した水はDO、pHが下がり (↓)、電気伝導度が上がる (↑) 傾向にあるという興味深い現象が得られた。DOがかなり低い値 (2.0以下) まで下がる現象については、今後の水抜きなどによる生物生息環境の改善をするにあたっては要注意点である。

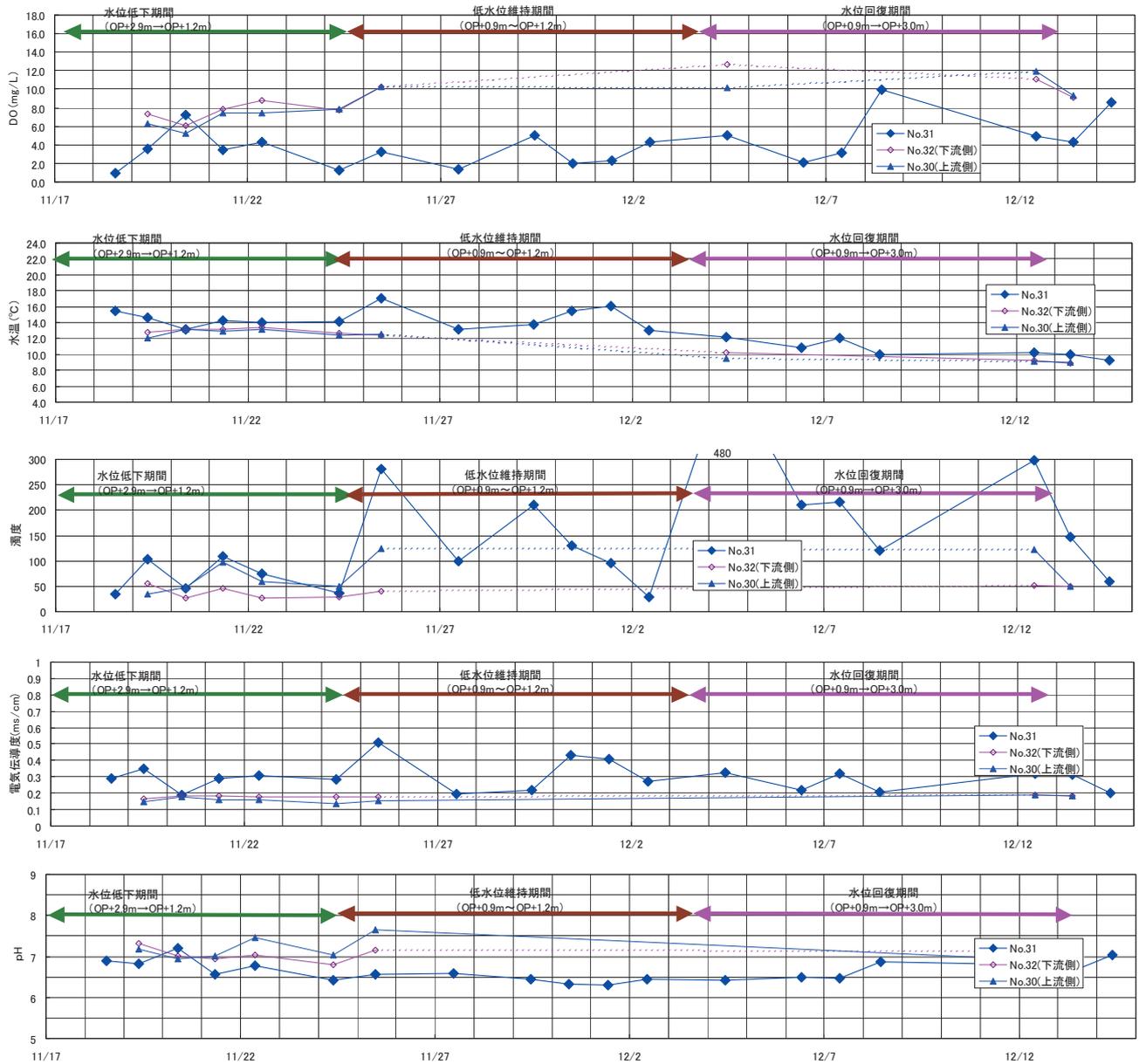


図3-27 各ワンドの実験中の水質変化

図3-28に示されるように、事前調査の現地測定項目のうち濁度は隣接ワンドでは10~26であるのに対して、No. 31ワンドでは51~99と高い数値を示した。また、電気伝導度は0.135~0.139ms/cmで隣接ワンドの0.145~0.154ms/cmに比べやや低い値を示した。また、これら以外の項目でDOは6.55~10.3mg/l、pHは7.19~7.85であり、隣接ワンドと大差のない値となっている。濁度が他ワンドに比べ目立って高い結果について

は、ポンプ排水の準備工等で実施でワンド内への人為的な影響があったと考えられる。

採水分析を行った項目については、図3-29に示すが、隣接ワンドと大差のない状況は変わらない。CODは6.6~7.6mg/l、全窒素1.2~2.9mg/l、全リン0.036~0.12mg/lであった。これらの値は水産用水基準と比較するといずれも高く、いずれのワンドも富栄養化した水といえるが、平成10年に実施された同ワンドの最深

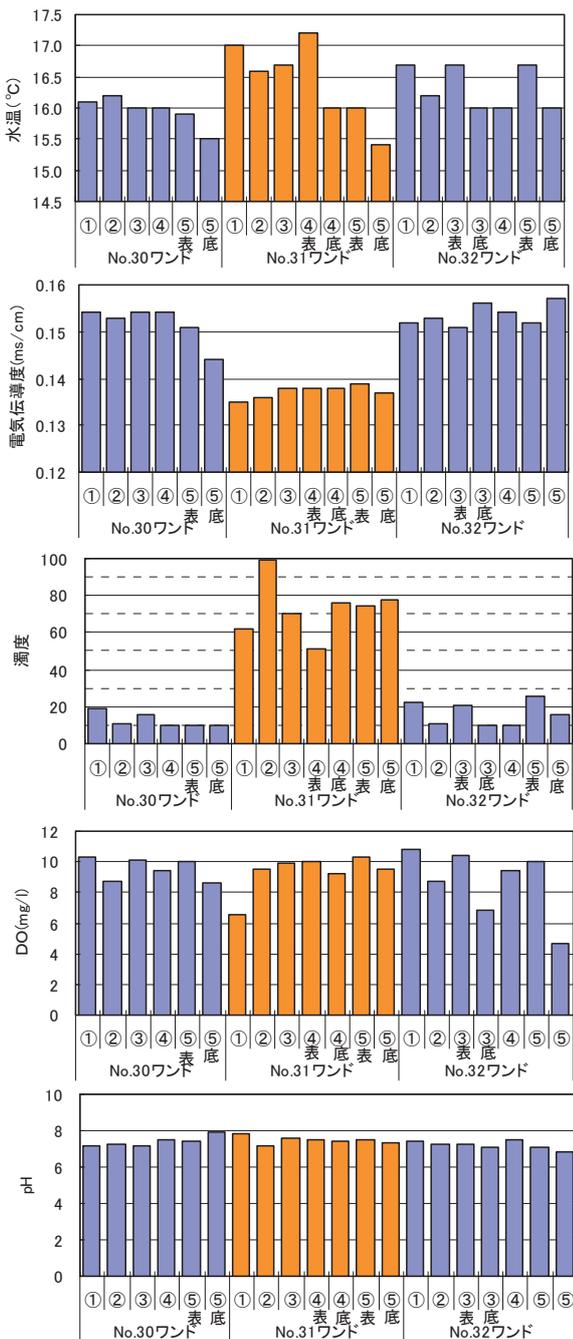


図3-28 各ワンドの現地測定水質 (事前)

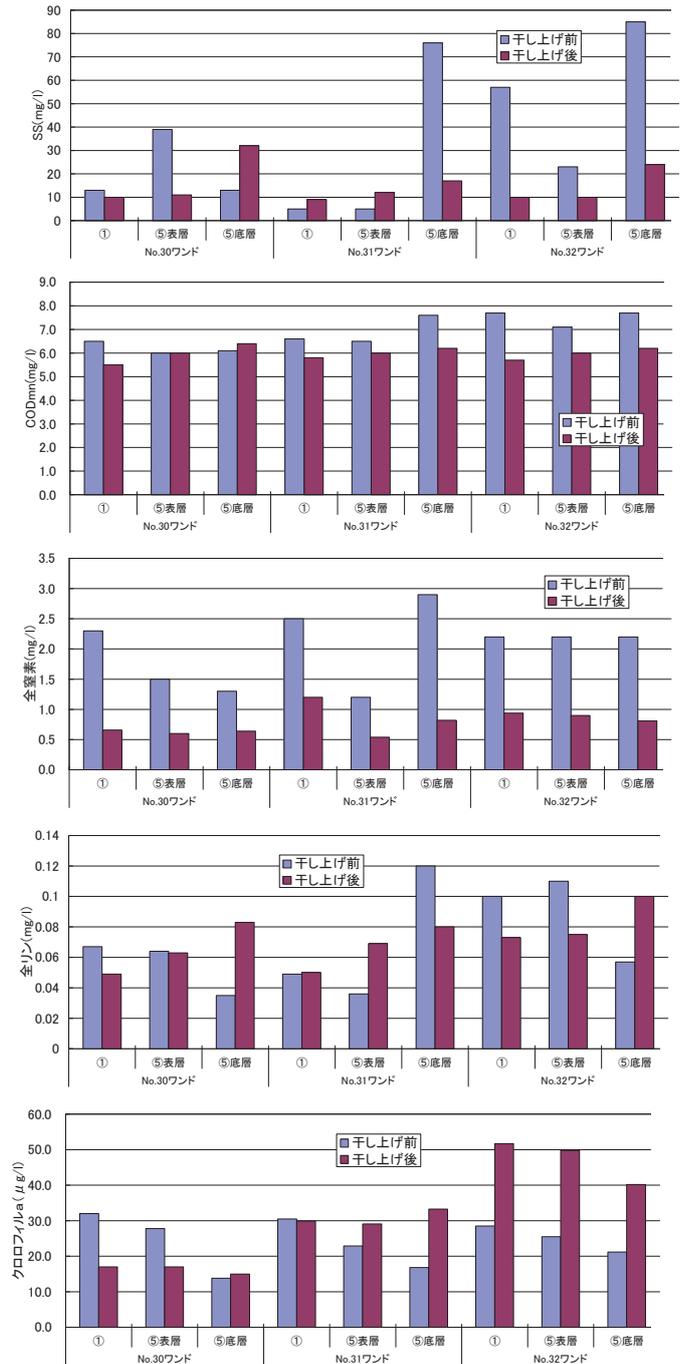


図3-29 各ワンドの採水分析水質 (事前・事後)

部水質はCODが6.6mg/l(表層),全窒素が1.01mg/l,全リンが0.067mg/lであり,ほぼ同様の傾向といえる.干し上げ前後の水質の比較については,事後調査を水位の回復後ほぼ安定した時期として2月に測定した.

SSについてはNo.31ワンド中央底層において事前調査で高い値を示していたが,事後は減少していた.ただし,同じ現象はNo.32でもみられる.CODについては事後調査ではどの地点も事前調査を下回ったが, No.32も同傾向を示した.全窒素についても各ワンドとも全体的に減少傾向であった.全リンについてはNo.31ワンドの中央底層が下がる傾向を示しているのに対して他のワンドは上昇傾向であった.

クロロフィルaについては,各ワンド,各地点で増減が違い,ばらつきがあるようであった.

干し上げた効果が顕著に水質に効くかどうかについては,今回1回の調査では判断することは難しいが,全リンの結果など隣接ワンドとは違う傾向を示す項目もあり,今後注意深くデータをとる必要がある.

### 3.3.3 底質

底質は,干し上げ実験の前後において同一ワンド内の5か所の代表地点(水質と同地点;図3-26参照)の表層でNo.31ワンドと隣接ワンドについて測定した.採泥にあたっては堆積泥厚を記録するとともに,強熱減量,粒度分布,酸化還元電位,泥温,泥色,泥厚,臭気,性状,混入物,ORP,pHを調べた.水位の低下で明らかになったワンドの地形について図3-30に示す.

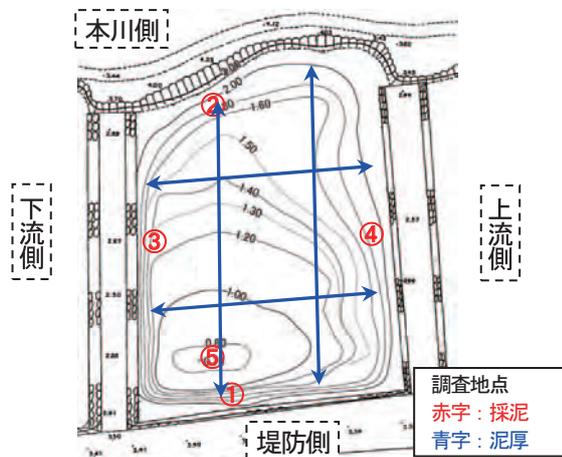


図3-30 No.31ワンドの等高線図

堆積泥厚さの分布は図3-31で示すとおりとなっており,本川側の下流側に1m以上の軟泥が堆積している傾向がみられた.

また,図3-32に粒度分布を示す.最深部底の⑤については,シルト分が58%を占めその他粘土・細砂で構成され,地点間では最も小さな粒径で構成されている.一方で軟泥が堆積している②については⑤と比べ構成材料はほぼ同じであるが細砂分が卓越している.その他の岸部の①,③,④は中砂分,粗砂分が多い底質環境となっている.

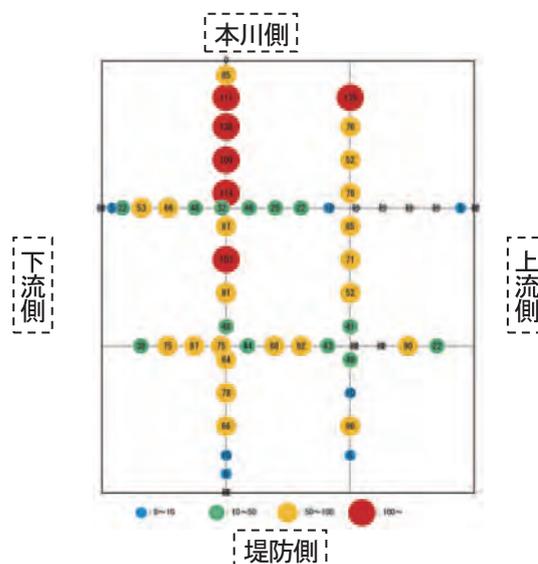


図3-31 No.31ワンドの堆積泥厚さの分布

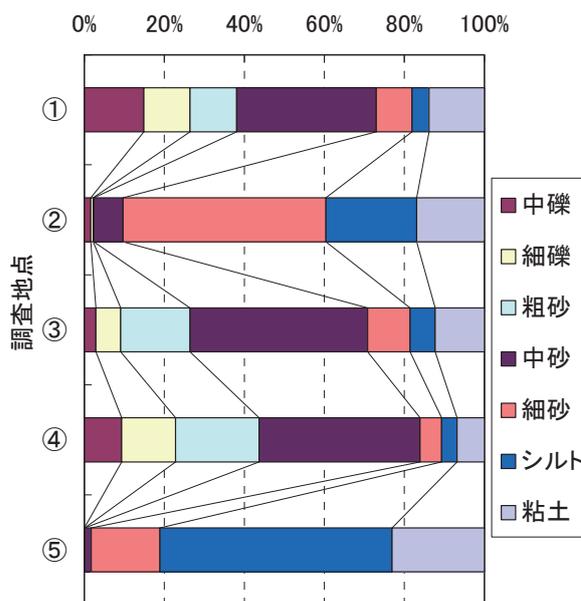


図3-32 No.31ワンドの河床材料

図3-32に干し上げ前後の底質結果について示す。強熱減量は事前調査では最深部が最も高い値を示し、9.7%であったが、事後では3.0%と減少した。この傾向は干し上げを実施していない隣接ワンドも同じであった。酸化還元電位は事前において30~344mVでいずれもプラスであり還元状態までは至っていなかった。事後についても45~438mVでプラスの値を示しており、底質は嫌気化した状態ではなかった。しかしながら、地点によって増減にはばらつきがみられ、干し上げの前後においては明確な傾向を見いだせなかった。

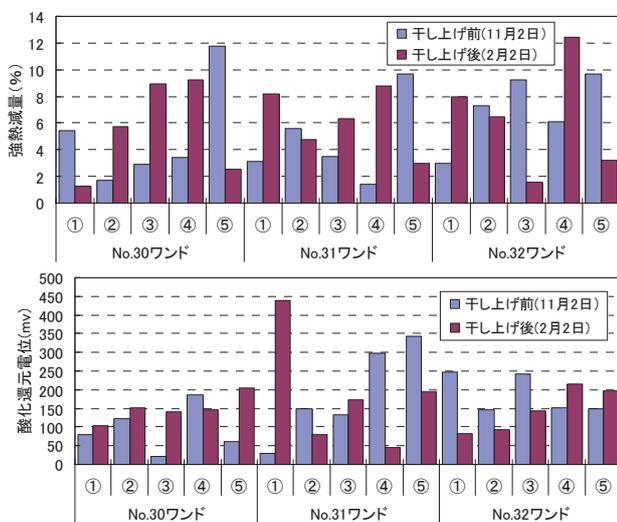


図3-33 各ワンドの干し上げ前後の底質

#### 4. ワンド環境改善実験

ワンドの干し上げ実験は、ワンドの底質そのものを天日に晒し嫌気化した状態を改善することをひとつの目標としている。それと同時に、堆積したゴミの除去、繁茂が著しい水生植物の除去、外来魚の駆除、浅場の創出など複数の対策を行い、在来魚貝類が再生産できるような環境を再現することも目指している。これらの対策の結果は、今後の調査を待つことになるのでここでは対策の概要を述べるにとどめる。

##### 4.1 干し上げによる底質改善

城北ワンド群は淀川大堰の約1.5~3.0km上流に位置しており、その水位は若干の時間差はあるものの、淀

川大堰で管理調節されている水位とほぼ同じである。淀川大堰の最低管理水位はO.P.+2.5mであるため、平成12年に実施された淀川大堰のゲート操作によって城北ワンドの水位を変化させる実験においても、O.P.+2.5m以下には水位は下げられず、したがってワンドにおいても水位はこれ以下にはなっていなかった。今回のワンド干し上げ実験では、特定のワンドに限られるものの、この管理水位を大きく下回る水位が実現されており、この点に今回の実験の意義がある。

排水による水位低下は、11月16日に始まり12月14日に通常に復するまで、およそ1ヶ月継続した。その間、水位がO.P.+2.5m以下になった日数はおよそ26日、O.P.+2.0m以下は24日、O.P.+1.5m以下は14日であった。O.P.+1.5m以下の水位が維持されている日の昼間にはO.P.+1.0mを下回る回数が1日数回生じる程度にポンプが運転されている。

事前の底質調査で電気伝導度は目立って悪い状態ではなかったものの、それでも干し上げによって何らかの変化が出てくることが期待されたが、大きな改善効果は見られなかった。なお、干し上げてから全域の貝類調査や地曳網による魚類調査を実施したことで、人が踏み歩くことによる耕耘作用が働いており、これらがなんらかの改善効果に繋がったのではないかと考えられる。



図4-1 干し上がったNo. 31ワンドの河床

##### 4.2 ゴミの除去

ワンドを干し上げた際にワンドの周縁部に堆積した

ゴミを除去した。とくにゴミが貝類の生息環境に大きく影響しているのではないかと考え、貝類のコドラート調査地点周辺の状況を分析した。空き缶、空き瓶、ビニール類、釣り具がゴミの大部分を占め、場所的には堤防側の河川敷道路沿いの水際部に多くのゴミがみられた。散歩や釣りなどで利用する人が多くその分ゴミの投棄が増えた考える。大型ゴミとしてはバイクなどが投棄されていた。

### 4.3 外来生物の駆除と外来魚侵入防止対策

調査で捕獲した魚類のうち、外来魚については、駆除を行った。駆除した外来魚の一覧を表 4-1 に示す。ブルーギル、ブラックバス等の外来魚は捕獲魚類個体数の 9 割を占め、その中で特にブルーギルが 3,512 個体で外来魚個体数の約 97%を占めた。

表 4-1 駆除した外来魚一覧

種類	個体数	重量(g)	備考
ブルーギル	3,512	44,400	特定外来生物
オオクチバス	44	1,170	特定外来生物
カムルチー	2	1,321	
タウナギ	11	653	
カダヤシ	56	7	特定外来生物

なお、水位を回復させた後においては、増水時に隣接ワンドの浸入水とともに考えられる外来魚の侵入を抑制するために、仕切り部に設置していた大型土のうを存置し、さらに、堤防側の高水敷からの侵入に対しても同様に、大型土のうによる仕切りを増設した。

また、ワンドの周縁部の植生について、水面および水中部を密に占有する植物が激増しており、それらはナガエツルノゲイトウやポタンウキクサ、チクゴズメノヒエなどの外来水生植物が面積のほとんどを占める。特にポタンウキクサについては、成長がピークを迎える 10 月頃においては、一部のワンドの全水面を覆い尽くすほどに繁茂している (図 4-2)。これらはワンドの水生動物の重要な浅場環境を奪うなど悪影響が考えられるため干し上げ作業時に外来植物を駆除した。概略の除去量は表 4-2 に示す。

なお、周辺部においては、特定外来生物であるミズ

ヒマワリやアズラ・クリスタータの繁茂が顕著となっており、今後これらの分布拡大を防止するための対策が求められている。

表 4-2 外来種の除去量概算表

種名	面積	単位重量	総重量
ポタンウキクサ	340m <sup>2</sup>	7kg/m <sup>2</sup>	2,380kg
ナガエツルノゲイトウ	115m <sup>2</sup>	15kg/m <sup>2</sup>	1,725kg



図 4-2 ポタンウキクサの繁茂状況  
(No. 38 ワンド, H18. 10. 15 撮影)

### 4.4 浅場形成

幼魚や稚魚の生息場を創出するため、ワンド内に浅場となるマウンドを形成した。その要点は以下のとおりである (図 4-3, 4-4)。

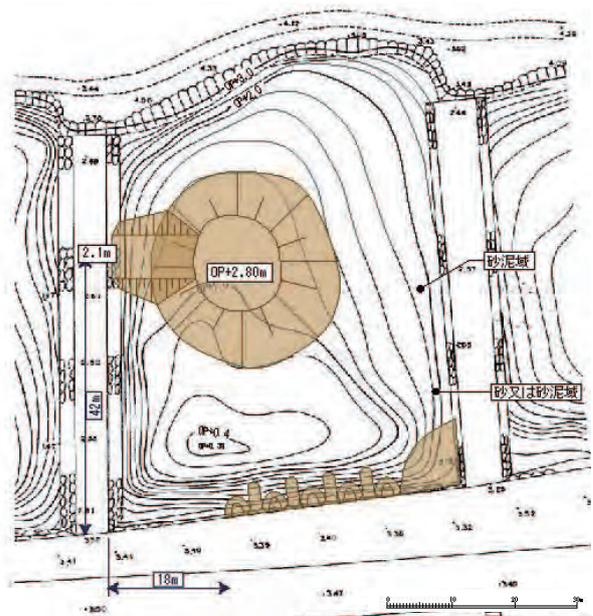


図 4-3 浅場形状



図 4-4 浅場形状

- ・ワンド最深部および希少種貝類の生息確認箇所を避ける。
- ・30cm 程度の水深が常に広く保てるように、マウンドの天端は高さが O.P. +2.70m で直径が約 15m とする。ただし、仕上げの天端高は沈下を考慮し O.P. +2.80m とする。
- ・マウンドの周囲の法面は概ね 1:8 程度の勾配とし、現地盤へすり付ける。
- ・堤防側法面には稚貝の生育場となるように緩い凹凸を設ける。堤防際は植生の進入を防止するため、一部を 60cm 程度の水深とする。

#### 4.5 在来魚貝類の再放流

捕獲した在来魚は、一時的に大阪府水生生物センター内の水槽施設に保護し、浅場を創出し水位を回復させた後に、再放流した。再放流魚類の内訳は表 4-3 に示す。実験対象ワンドは実験終了後にはほとんどが在

来種で構成されたワンドとなったはずである。

表 4-3 再放流した魚類一覧

種類	個体数	種類	個体数
コイ	2	タモロコ	4
フナ類	177	ニゴイ	19
シロヒレタビラ	1	コウライモロコ	31
ヒガイ	2	ギギ	2
ハス	51	ヌマチチブ	25
オイカワ	2	トウヨシノボリ	31
モツゴ	5		

また、二枚貝類、巻き貝類についても、一時的に大阪府水生生物センター施設に保護し、水位の回復後に放流した。放流場所は、採捕調査時の分布を基本に、浅場造成箇所にも分散させて放流すると共に、一部個体についてモニタリングを実施した際の成長経過や生存状況等をみるために、貝殻に電動ヤスリを用いたマーキング処理をした。放流個体は『3.2.2 貝類 図 3-8』で示した採捕個体全数で、うちマーキング数はイシガイ 240 個体、ドブガイ 100 個体、トンガリササノハガイ 50 個体である。

#### 5. 今後の課題

今回の実験では、隣接ワンドとの境界部に遮水シートを施した上でポンプ排水するという簡易な方法でワンドの干し上げが可能であることが分かった。さらには、干し上げによって、ワンドの現状環境がほぼ把握できたことが大きな成果であった。

魚類では特定外来生物のブルーギルが全体の 9 割近くを占め、タナゴ類を含む在来魚が極めて危機的な状況にあることが分かった。また、イシガイ科二枚貝では、イシガイ、ドブガイの生息が多く確認されたが、幼齢個体が極めて少ない状況であった。一方でそれらの生息環境である水際の浅場が抽水植物の繁茂やゴミの堆積が顕著であることも確認され、再生産の場としての環境が悪化していることが示唆された。

また、干し上げによるワンド水量の減少によってワンド内の DO が 2 以下に減少するなど、生物生息に注意すべき値が生じた。今後の同様の対策をする上で注意が必要である。

さらに、今回干し上げを含めて、浅場造成や外来魚駆除など様々な環境改善対策が行われており、今後に展開していく上ではモニタリング調査が不可欠で、その結果を検証していく必要がある。

なお、城北ワンド群は、全体が危機的な状態であることにはかわりはないので、当該ワンドの追跡だけでなく、その他あらゆる環境改善対策を検討することが急がれる。

最後に本稿では、淀川下流のワンドの現状把握と環境対策事例を紹介したが、今後は今回実施した改善対策の結果も含めて紹介し、ワンドやタマリの維持管理手法についての提案ができればと考えている。

## 謝辞

本実験のとりまとめにおいては国土交通省淀川河川事務所河川環境課に貴重なデータを提供をして頂きました。また、実験を進める上では、大阪工業大学教授綾史郎氏、大阪府立西野田工業高校教諭小川力也氏、大阪市立大桐中学校教諭河合典彦氏、中間法人水生生物保全研究会理事紀平肇氏、同志社大学講師村上興正氏に貴重な指導や助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)財団法人河川環境管理財団：流水・土砂の管理と河川環境の保全・復元に関する研究（改訂版），河川整備基金事業,2005. 11.
- 2)綾 史郎：淀川ワンドの形成と変遷，ワンドの機能と保全・創造-豊かな河川環境を目指して，（財）河川環境管理財団大阪研究所，pp.41-78, 1999.
- 3)河合典彦：景観にみる城北ワンド群の変貌,水位の安定化がもたらしたもの-，ボテジャコ，魚類自然史研究会，5，pp.11-19,2001.
- 4)河合典彦：大規模河川改修が淀川の水環境にもたらした功罪，淀川下流の城北ワンド群を中心に，海洋と生物，149（vol.25 no.6），pp. 467-475.2003.
- 5)紀平 肇：淀川に生息する淡水貝類の昔と今，日本産淡水貝類図鑑，□琵琶湖・淀川産の淡水貝類，ピーシーズ，pp.136-137,2003.
- 6)建設省近畿地方建設局：淀川百年史，（近畿建設協会，1822pp,1974.
- 7)日本生態学会：外来種ハンドブック，2002. 9
- 8)淀川環境委員会：自然豊かな淀川をめざして，-資料編-，国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所，2002.

# 1) 溪流のステップ・プール構造と そのハビタット特性

長谷川 和義\*・鈴木 俊行\*\*・張 裕平\*\*\*

## 1. はじめに

溪流の定義は必ずしも明確ではない。ここでは、平均河床勾配が 1/50 程度以上の急勾配をもつ山地域の流れと考える。このような場では、谷壁が両河岸の比較的近くにまで迫っていることが多く、谷幅が流路形態規定要因の一つになっている。平地河川ではこのような制約が存在しない。Grant ら(1990)や著者ら(1997, 2005)によるこれまでの研究によれば、溪流すなわち山地河川の流路形態は、谷幅スケールの大規模形態、流路幅スケールの中規模形態(交互砂州)、および水深スケールの小規模形態(ステップ・プール)の三者の複合によって構成されている。平地河川では大規模に相当する形態がなく、また、小規模河床波は流れに対する粗度として影響するのみで流路形態あるいは流れ形態にはほとんど関係しない。中規模形態である交互砂州が流路形態として際だつことになる。

これらの形態は、生物生息空間としてのハビタットを考える際に重要である。平地河川でとりさたされる早瀬、平瀬、淵などの区分は、交互砂州に伴う河床地形および流れに対応して用いられており、上述の理由から水理学的にも合理性があるものといえる。一方、溪流では小規模形態であるステップ・プールが最も目立つ流路形態を構成しており、階段状の起伏が様々な水面形状を生み出している。溪流のハビタットとしては、これらの波長の短いステップ・プールを単位として区分するのが妥当だと考えられる。しかし、現在ま

でのところ、このような認識は必ずしも一般に広まっていない。本稿では、前半においていまだ十分な認識の得られていない溪流流路形態の特徴を概括的に示し、後半でそれらに対応した生物生息区間(ハビタット)の特性を、これまでの調査をもとに述べることにする。

## 2. 溪流形態の特性

### 2.1 小規模流路(河床)形態

溪流において最も目につく形態は、ステップ・プールと通称される礫の並びとそれに続く深みの連続形態である。写真 2-1 は、後に詳しく取り上げる北海道石狩地方の溪流・群別川における一例を示すものである。白波部分がステップ部であり、その間に挟まれた部分



写真 2-1 群別川のステップ・プール(礫列)形態  
(下流から上流をのぞむ)

\* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所 研究顧問

\*\* (財) 河川環境管理財団 北海道事務所 所長

\*\*\* (株) 野生生物総合研究所

がプール部で、この形態が溪流景観を特徴づける大きな要素となっている。本稿の主対象は同形態であり、後にハビタットとしての特性を取り上げることにする。

ところで、なぜこのような波状の形態が発生するのであろうか。また、溪流においてだけ認められるのは何故であろうか。ステップ・プールの成因に関する研究は、1960年代にアメリカやカナダの地形学、河川工学、地質学の研究者達によって始められたようである。地形学者 (Peterson ら 1960, Leopold ら 1964 など) は、急流河川の観測や実験からステップ・プールの存在を指摘し、その成因について河床材料の不均一や、上流部で発生する跳水による可能性を指摘した。一方、地質学者 (Power 1961, Middleton 1965, Shaw ら 1977 など) は、堆積岩中に波状の縞模様がレンズ状に重なっている斜交層理を見だし、これがかつての河川に発達した反砂堆によるものではないかと考え、理論波長との比較をおこなっておおむね一致することを示した。ここで反砂堆というのは、流れと流砂の相互作用で自動形成される河床波の一種で、射流時に現れ水面波と強い関係をもつものを指している。土砂水理学の立場から本格的な成因研究をおこなったのは Whittaker・Jaeggi (1982) であった。彼らは、均一砂実験と混合粒径砂礫実験の比較により、ステップ・プールの成因が射流流れによる反砂堆の発生と、混合粒径砂礫の分級作用によるものであることを明らかにした。分級作用というのは、混合粒径砂礫河床が流れにさらされた時に、細かい砂分が早く運び出され粗い礫分が残される現象を指している。本邦の研究では、芦田・高橋・澤田 (1976) がヒル谷における階段状河床形状の発達を指摘しており、その後、芦田・江頭・安東 (1984)、江頭ら (1985, 1986) が多数の実験をおこなって Whittaker・Jaeggi (1982) の指摘を裏付けるとともに、以下のようなより明確な発生条件を示した。

- ① 河床材料が混合砂礫であること。
- ② 流れが射流であること。
- ③ 分級活動が活発に起こること。
- ④ 最大径の礫が移動しないこと。

一方、長谷川 (1988) は、豊平川 2 次支川の冷水沢、小川、白水川などにおいて詳細な形態測量を実施し、ステップ・プールと一括して呼ばれる河床形態に二種

類のものがあることを指摘した。その一つは**写真 2・1**に見られるようなタイプで、大礫が溪流横断方向に一直列に並ぶ形態であり、そのすぐ下流に浅いプールが広がっている。この形態に関して McDonald・Banerjee (1971) は「トランスバースリブ transverse rib」という呼称をあたえており、日本でも「リブ」と呼ぶことがある。長谷川らは、次に述べる形態と区別して「礫列」の呼称を提案している。もう一つのタイプは、**写真 2・2**に見られるようなステップ礫が円弧状に連なり比較的深いプールを形づくっている形態である。河床勾配が 1/20 を超えるような急勾配溪流に多く認められ、ステップ構成礫も大きく 1m 前後の値を示す。このため、ステップを越えた流れが小滝状に下流プールへ落ち込む。長谷川ら (1996) はこの形態の成因を調べ、射流流れにおいて発生する斜め交錯水面波の波長が「礫列」の波長に一致した時に共振現象が生じ、「礫列」を大きく変形させる結果生じることを明らかにした。この条件は、芦田・江頭・安東の「礫列」発生条件に、「⑤川幅・水深比がほぼ 5 (ないしその整数倍) になる。」を付け加えたものとなる。ぴったりこの条件を満たすのはまれなように思われるが、山地河川の出水は時間変動が激しくある短時間中に条件の満たされることが多くあること、共振条件からやや離れた波長域でも「うなり」現象のように部分発生が起こることから、それほどまれな現象ではない。長谷川らはこれに「礫段」の呼称をあたえている。しかし、国外では両者の区分が知られておらず、流れ状態に着目した「カスケード」という用語があるものの、河床形態としての呼称はなく、「ステップ・プール」が礫列 (リブ) 形態をも含めて用いられているようである。



写真 2・2 冷水沢のステップ・プール (礫段) 形態

礫列、礫段ともに反砂堆を起源とするものであり、その平均波長は反砂堆の理論波長によく一致する。林 (1970) の理論式を近似化した次式は、観測値にも実験値にもよく合う (竜澤ら 2000)。

$$\lambda = 3.36 \sqrt{6.48\sqrt{I} - \frac{1}{3}} I^{-1/6} h_c$$

ただし、 $\lambda$  = ステップ・プール平均波長、 $I$  = 平均河床勾配、 $h_c = (q^2/g)^{1/3}$  = 限界水深、 $q, g$  = それぞれ単位幅流量、重力加速度である。ステップは 1 層の大礫からなる場合が多く、形成時に限界掃流力状態にあるものと考えられる。したがってステップ波高は、構成礫の無次元限界層流力がほぼ 0.05 であると仮定することにより次式のように求められる。

$$\Delta = 6.43 I^{5/6} h_c$$

ただし、 $\Delta$  = ステップ構成平均礫径 = 平均波高。平均値で見るとこの式の一致度も高いようである (竜澤ら 2000)。注意すべきは、実際のステップ・プールは波長、波高ともに広い頻度分布を示すことである。いずれも対数正規分布にしたがうばらつきをもち、平均値の 1/3 倍～3 倍程度の変化を示す。これらの推定式は、自然溪流型魚道的设计に有用である (林・竜澤 2001)。

## 2.2 中規模流路 (河床) 形態

溪流には、多くの場合中規模形態である交互砂州 (砂礫堆) が発達している。しかし、それらは礫列・礫段などと共存しているため気づかれないことが多い。図 2・1 は、両形態が共存する場合の実験例を、河床高のコンター図によって示したものである。主流部の蛇行が明瞭に認められ、これに沿って交互砂州 (砂

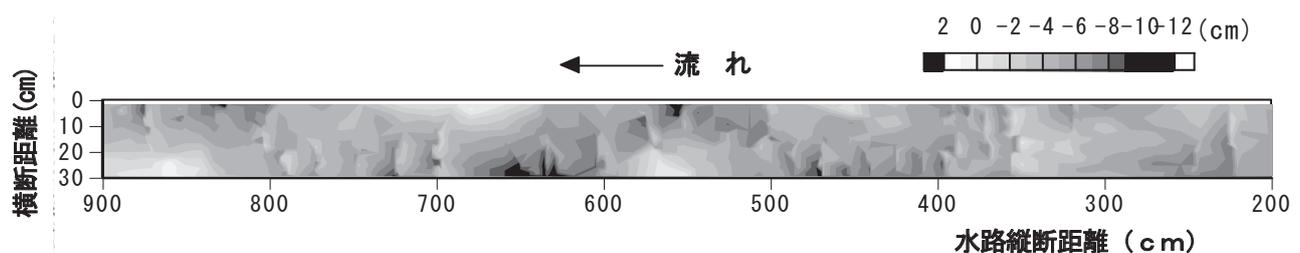


図 2・1 中規模形態・小規模形態の共存を示す実験例 (河床高コンター平面図, 流量 2.0 l/s, 平均流路勾配 0.10, 平均砂礫径 0.74cm)

礫堆) の発達している様子が分かる。この実験は礫列の発生を意図したもので、当初平坦な河床状態から通水をおこなったが交互砂州が自然発生し、水流が蛇行するとともに礫列が形成されたものである。同図から、中規模形態と小規模形態のスケールの比率が分かる。前者の波長は後者のその約 6 倍である。

中規模形態は流路の平面形状 (蛇行) に密接に関わり、淵瀬を形成して平地河川ではハビタットとしての基本単位を構成する。しかし、溪流では小規模形態がハビタットの基本単位を担っていると見るのが自然であり、中規模形態は先端における大きな落ち込み (段落ち) とその直下の深い淵の形成によって付加的な役割を果たしている。Grant ら (1990) のスケッチ図を参考に、これらの関係をまとめて示すと図 2・2 のようになる。

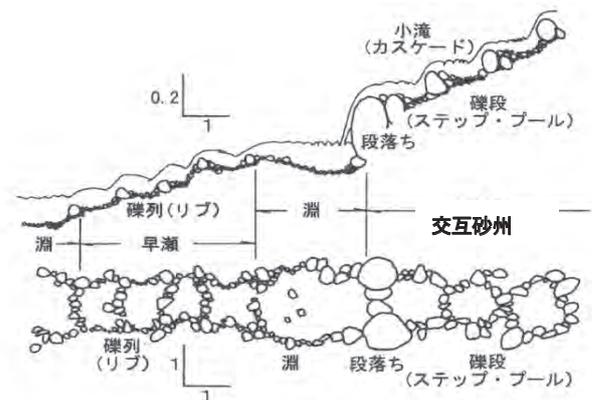


図 2・2 中規模・小規模形態からなる溪流形態概要図

## 2.3 大規模流路 (河床) 形態

溪流にはさらに、谷幅によって規定された大規模流路形態が存在する。これは、大出水時に谷内一杯に広がった流れが巨大な中州 (複列砂州) を形成するとと

もに谷壁を浸食し、瓢箪連続様の谷地形を形成することにより生じたものと考えられる。概念図を示すと図2・3のようになる。谷の広がり部は巨大中州の腹部にあたり、平均的な河床高が高く通常時に流路が網状化していることが一般である。一方、谷の狭窄部は中州の先端部にあたり、平均的な河床高が低く流路が一つにまとまっている場合が多い。ただし、通常流路に沿って縦断的な河床起伏を調べると、谷の狭窄部で高く広がり部で低い逆の傾向が現れる。これは、流路が中州に沿って蛇行状に湾曲しているため深掘れが生じ、また、中州先端が流路の変曲点になるためである。このような大規模起伏の波長は、中規模形態波長の10倍

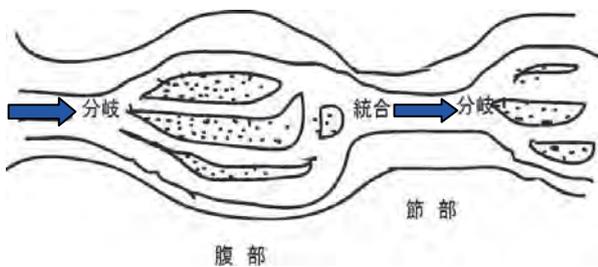


図2・3 大規模流路（河床）形態の概念図

前後になっている。これまでのところ、大規模形態がハビタットとして果たしている役割はほとんど分かっていない。

## 2.4 大・中・小規模形態の重なり

実際の溪流は、どのような形状をしているであろうか。図2・4は、豊平川支々川・白水川（流域面積13.63km<sup>2</sup>、流路長8.2km、平均河床勾配1/20）の1.3kmから2.3kmまで区間を示すものである。上図が主流部によって測った河床起伏であり、下図が平面形状の概要である。流路が複雑に網状化している一方、節部C、B、Aで一本にまとまっている様子が分かる。同箇所は幅20～30mの谷狭窄部に位置しており、これを過ぎた網状化部分では谷幅が100m以上に広がっている。C、B、A点の比高は相対的に大きく、河床起伏を包絡線状に結ぶ（図中の破線）と、波長350m～450mの波面が認められる。これが大規模形態である。ただし、谷の狭窄部で河床が高く、広がり部で低くなるという図2・3とは逆の傾向が現れている。前節で触れた理由によるものと考えられる。中規模形態は、波長30m～50mの波であり、上流側が緩く、下流側で急勾配の形状を呈している。

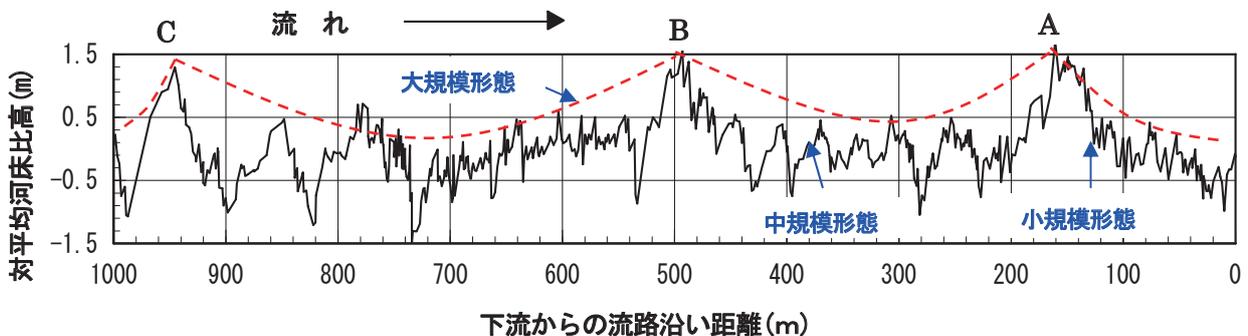


図2・4 大・中・小規模形態の重なり（白水川一部区間）。（上）主流部河床起伏。（下）流路平面形概要。

交互砂州（砂礫堆）の特徴である。これらに重畳している波長5m~8mほどの波形勾配の大きな波が、ステップ・プール河床に対応したものである。実溪流では、それぞれ成因が異なるものの各形態が共存していることが分かる。

### 3. ステップ・プールの水理特性

#### 3.1 各種の流れ形態と水面形

大きな単位幅流量によって形成された礫列や礫段は、その後の小さい流量のもとでは容易に破壊されない。こうして固定された階段状河床の上で、さまざまな流量に対応して異なる水面形の流れが生じる。図3・1(a)~(e)は、竜澤ら(2000)による模型礫列上の流況実験の結果を示すものである。小流量状態から流量を増やしていくと、①ステップによる落差エネルギーがプール内ですべて消散し、プール水面がほぼ水平となる「落下流」(図3・1(a))、②ステップを越えた射流がプールにおける常流背水に潜り込む「潜り流」(図3・1(b))、③ステップを越えた射流がプール内で跳水を起こす「跳水流」(図3・1(c), (d))、および④ステップ部、プール部のすべてで射流となる「射流流れ」(図3・1(e))の各流れが生ずる。このうち、④射流流れは礫列形成時の流れに近く、水面は激しく波立って斜め交錯水面波が現れる。この波の波長が礫列波長に近づくと、共振作用による3次元の碎波が発生する。礫段はこの状態で形成されるものと考えられる。

これらの水面形は、ステップの相対高さと同流量のフルード数によって主に支配される。その理論区分が池内・山田ら(1986)によって試みられており、竜澤ら(2000)が流量と勾配をもちいて使いやすい形にまとめている。

#### 3.2 局所的流れ場

溪流は、年間の大部分の期間が図3・1(a), (b), (c)の状態で行われているものと考えられる。ハビタット特性を考慮する上では、これらの流れにおける微視的な水理形態が重要であろう。図3・2はその概要を示すも

のである。ステップ部では、礫間の相対的に低い場所に流れが集中し越流とともに射流に変わる。これが直下流のプール部に入り込むところで跳水を引き起こす。このとき多量の空気を連行するため、溪流景観を特徴づける白波の連なりができ、また水中溶存酸素を飽和させる。ステップ部の水面から突きでた礫の上流では、流れが堰上がりよどむため、枯れ葉などの流下物が貯

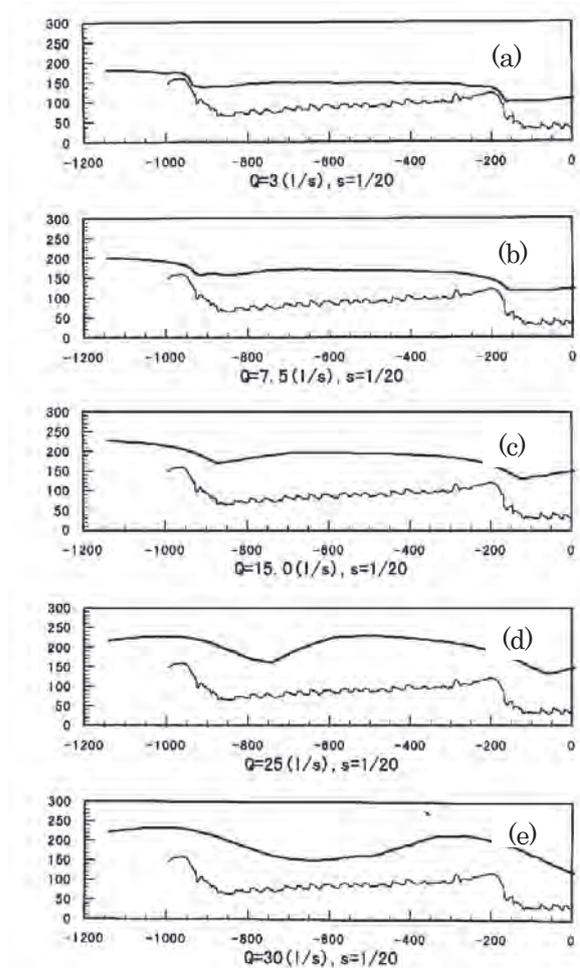


図3・1 (a)~(e) 模擬ステップ・プール上の流れ形態

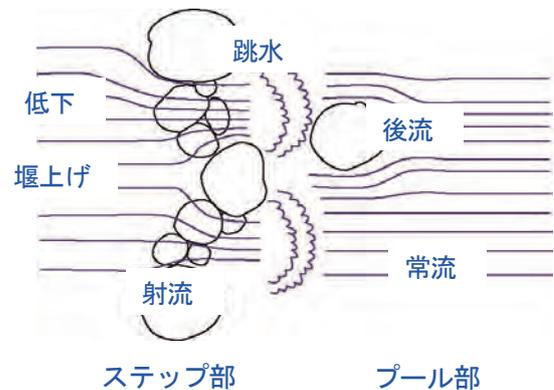


図3・2 ステップ・プールにおける微視的水理形態

まっていることが多い。プール部は水深が大きく流速が小さいため、局所フルード数が0~0.3前後となる。プール中には、しばしば大礫の散らばりが認められる。このような礫は、ステップ構成礫とともに沈み石であることが多く、下流に後流（剥離渦流れ）を伴って微視的環境を形成している。

#### 4. 群別川溪流における形態とハビタット

群別川は図4-1に示すように北海道石狩市に位置し、流域面積33.9km<sup>2</sup>（山地流域面積31.5km<sup>2</sup>，平地流域面積2.4km<sup>2</sup>），幹線流路長15.7kmを有する。平均河床勾配は1/44であり、スリット式の砂防ダムが設置されているが流れは自然状態に近く、河床には明瞭に発達した礫列が多数形成されている。ここでとりあげる観測区間は2カ所ある。その1は河口から上流2km付近の約400m区間であり、大きな分岐流路の片方側にあたる。観測地の河床280m付近に分岐部がある。この観測区間では、01年8月、02年5月および8月に、河床形状、河床構成材料粒径を1mメッシュにて調べるとともに、典型的に発達した礫列と礫段を選んで、それぞれ形状、流速分布を計測し、同時に水生昆虫の住みつき状態を調査した。

その2は、河口から約5km、延長約100mの写真2-1に示した礫列区間であり、ここでは06年10月と07年7月の2回にわたって、1mメッシュの局所水深と流速、ならびにステップ区画ごとの生息魚類に関する調査をおこなった。

##### 4.1 形態と流れの特徴

図4-2は、その1の区間の河道中心に沿う縦断河床起伏を示したものである。ただし、平均勾配の傾斜を差し引いて描いている。この図は、3章までに述べてきた溪流河床形態の特徴を明瞭に示している。すなわち、400m区間中に認められる波長80mほどの5個の波は中規模波の交互砂州であり、その上に40個ほどの小規模波が確認できる。平均波長7.55m、平均波高0.23mの礫列である。このうち、発達状態の良好な4箇所を詳細観測サイトを選び、ST-1、ST-2、ST-3、ST-4とし

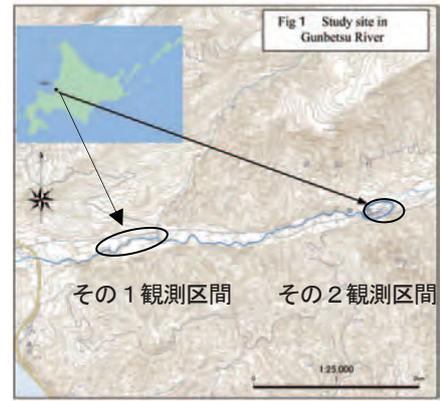


図4-1 群別川の位置，および観測区間

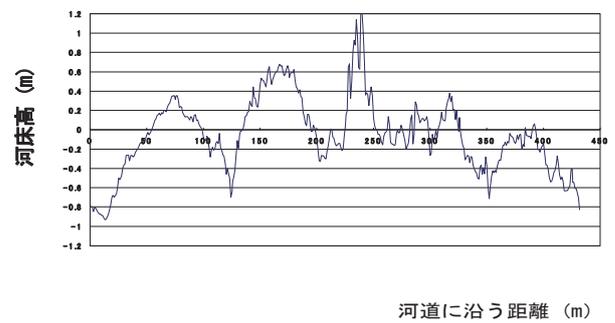


図4-2 群別川観測区間における河床縦断起伏

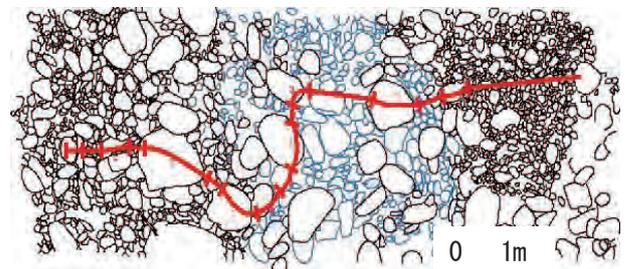


図4-3 ST-3 ステップ・プールにおける礫段形態スケッチ図（青色部水流，曲線はステップ頂部を連ねた線）

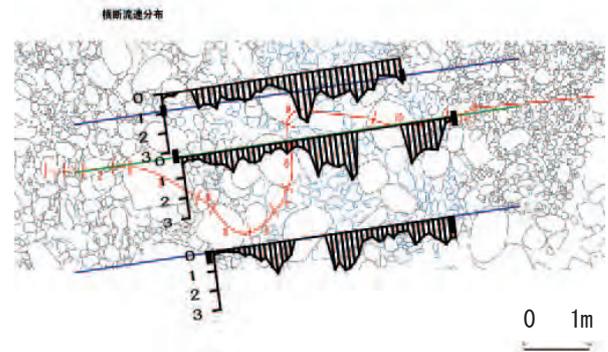


図4-4 ST-3における流速分布（流速目盛り単位m/s）

た。ここでは、ST-3（礫段）とST-4（礫列）を例にとりあげて詳しい状態を見ることにする。なお、観測時の流れは平水であり、最大水深 40cm 程度、最小 5cm 程度であった。

図 4-3 は、礫段形態とみなされる ST-3 ステップ・プールにおける平面形状をスケッチ図により示すものである。図中の曲線は、ステップ礫の頂部を連ねたものであり、3 個ほどの円弧状の囲みが連なっている。ステップ構成礫の径は 1m 前後であり、水脈の集中する礫間隙の深さも最大 1m ほどになっている。

図 4-4 は同箇所の流速分布を見たものである。ステップ頂部、ステップ上流部、およびステップ下流部（プール部）の 3 測線に沿った横断流速分布が示されている。ST-3 では、プール部をも含めて流速変化が大きい。これは、大部分の流れが礫間隙を通過する水脈となってカスケード状に流下するため、礫段形態における流れの特徴といえるものである。

一方、礫列形態と見られる ST-4 は、図 4-5 に示す平面形状を示している。ステップ構成礫がほぼ直線状に並び、礫径は 1m 以下のものが多い。このため礫間隙深も小さめで、水流はステップ礫を越えるものもある。図 4-6 に示す流速分布から、ST-4 における流速変化は ST-3 におけるものに比して小さめで、特にプール部の流れが弱く一様化していることが分かる。プール部で明瞭な常流が生じているため、礫列形態における流れの特徴である。

## 4.2 水質的特徴

この調査では、溶存酸素量と濁度の計測もなされている。結果は表 4-1 に示すとおりであった。

これらによると、

- ① 溶存酸素は、礫段、礫列のいずれの形態のどの場所においても飽和状態にあり、跳水による空気混入が十分なされている。
- ② 濁度は全体的に低く、問題にならない程度であるが、礫段形態の方が礫列形態よりも高めの値を示す。特にステップ下流部の落下水脈が落ち込む場所において相対的に高い。これは、落下水脈が河床砂を巻き上げはき出すためと考えられる。

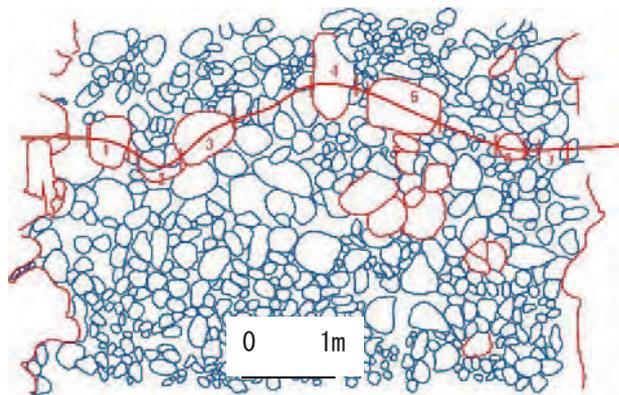


図 4-5 ST-4 ステップ・プールにおける砂礫列形態スケッチ図(青色部流れ、曲線はステップ頂部を連ねた線)

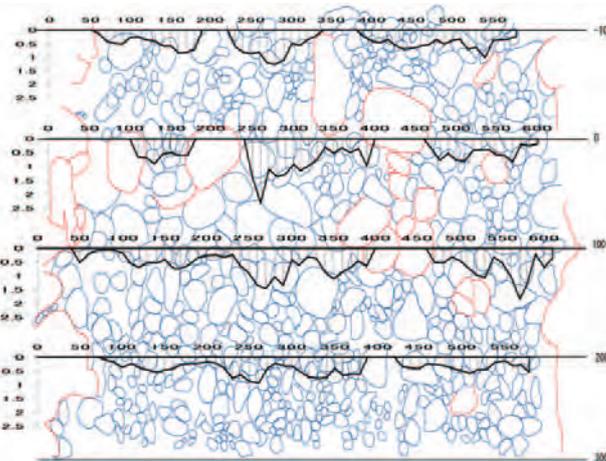


図 4-6 ST-4 における流速分布（流速目盛り単位 m/s）

表 4-1 水質調査結果

溶存酸素(%)		最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	上流部	37	175	112.0	16.9
	ステップ部	15	181	111.8	14.8
	下流部	46	189	113.2	14.6
ST4	上流部	23	155	101.8	16.6
	ステップ部	46	127	101.7	8.3
	下流部	45	120	101.4	5.8

濁度(mg/l)		最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	上流部	0	970	117.0	248.9
	ステップ部	0	850	102.8	172.5
	下流部	0	750	159.4	212.2
ST4	上流部	2	940	64.1	163.7
	ステップ部	1	820	38.3	143.8
	下流部	0	790	18.7	76.1

### 4.3 水生昆虫の生息状態

著者ら(2003)は、ハビタット特性を明らかにする一環として、ST-3における50個の礫、およびST-4における64個の礫に関して水生昆虫の生息状況を調べた。礫の選定には図3・2の微視的環境を考慮し、さまざまな状態の礫が含まれるようにした。昆虫の採集にはサーパーネットを用い、各礫ごとに表面をなぞって採捕した。全採捕数は57種7960匹であり、ST-3(礫段)、ST-4(礫列)による内訳は表4・2の通りである。生息種は、カゲロウ属、トビケラ属が多く、全体の個数優勢種としてウエノヒラタカゲロウ(第1優勢種)、フタバコカゲロウ(第2)、シロハラコカゲロウ(第3)、エルモンヒラタカゲロウ(第4)が認められた。ただし、これらの順位は微視環境によって異なっており、表4・2に示すような実態を示した。

次に、これらの昆虫がどのような場をより好んで棲みつくかを見る。比較のためには、微視的環境別に礫の単位表面積あたりの生息数を見なければならない。礫表面積を求めるために、各礫の長軸・中軸・短軸径の幾何平均を直径とする球を想定し、その表面積を用いることにした。図4・7は、横軸に当該礫の表面流速を取り、縦軸に単位表面積当たり生息数(生息密度)をとって両者の対応を見たものである。サンプル全体とST-3、ST-4それぞれについて見ている。これらによれば、平均的には生息密度は流速の増加とともに増加傾向を示すが、顕著な変化は見られない。また、礫段のST-3における方が礫列のST-4におけるよりも幾分高い生息密度を示していることが分かる。

図4・8は、同様な流速による変化を、単位表面積当たり種数に関して見たものである(この場合、 $m^2$ を単位に測った礫表面積の数値が小さいため、種数を除いた値が非常に大きな数値になるが、実際にこれだけ多数の種が存在するわけではない)。単位表面積当たり種数は、

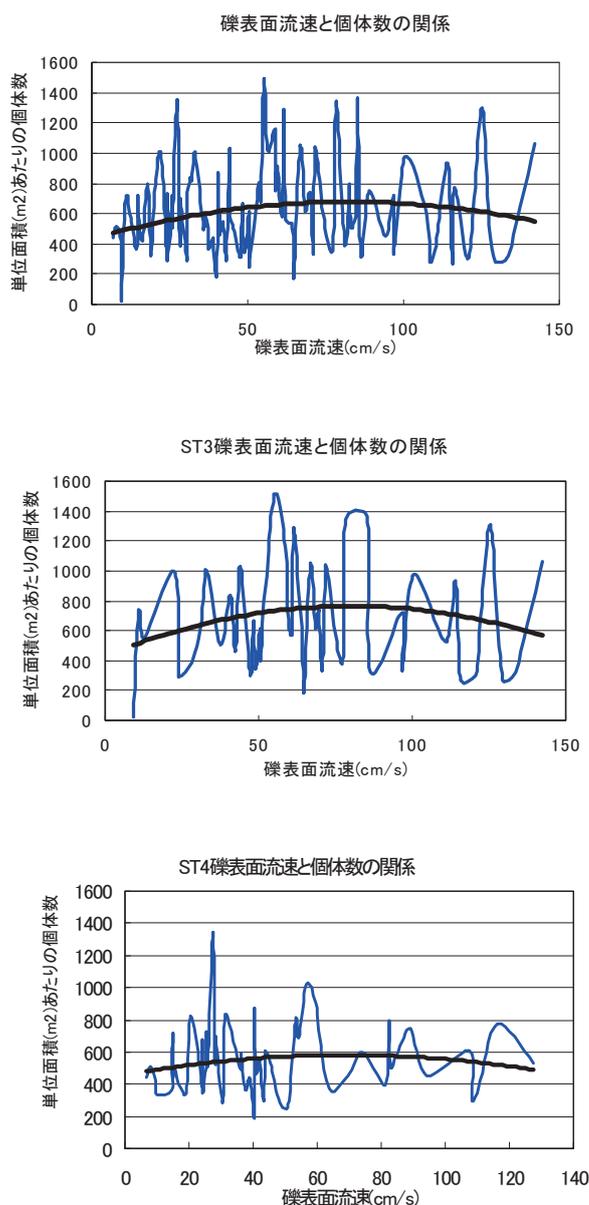


図4・7 礫表面流速と単位表面積あたり生息個体数(生息密度)の関係

平均的に見た場合に、流速の増加とともに減少する傾向が明瞭である。また、ST-4における方がST-3におけるよりも多くの種の棲みつきが認められる。これらによれば、

表4・2 微視的環境別に見た個数優勢種

	第一優勢種(%)		第二優勢種(%)		第三優勢種(%)		第四優勢種(%)	
ステップ上流域	エルモンヒラタカゲロウ	27.8	シロハラコカゲロウ	26.9	ウエノヒラタカゲロウ	13.7		
ステップ部(段落ち)	フタバコカゲロウ	26.4	ウエノヒラタカゲロウ	23.8	シロハラコカゲロウ	12.9		
ステップ下流側(プール部)	エルモンヒラタカゲロウ	29.8	シロハラコカゲロウ	17.0	ウルマーシマトビケラ	11.8		
後流域	ウエノヒラタカゲロウ	20.7	エルモンヒラタカゲロウ	19.2	シロハラコカゲロウ	15.9	フタバコカゲロウ	12.8
跳水	ウエノヒラタカゲロウ	31.0	フタバコカゲロウ	23.9	シロハラコカゲロウ	16.7		

- ① 多数の水生昆虫が棲みついている。これは、餌となる流下デトリタス（有機残渣）などがステップ部でトラップされるためと考えられる。
- ② しかし、生息可能な種は、体型が背腹偏平な形状をなしていたり流線形をなしている特定種に限られており、単位面積当たりの種数は流速の増加とともに減少する。

次に、微視的環境の違いが生息状態にどのような影響をもたらしているかを見る。ステップ上流域、ステップ頂部、跳水域、後流域、ステップ下流域（プール部）の各微視的環境において、生息密度が 400 匹/m<sup>2</sup> 以下の低密度の礫と 800 匹/m<sup>2</sup> 以上の高密度の礫を選び出し、全体の礫数に占める割合を調べる。図 4-9 に結果を示す。ステップ上流域、およびステップ頂部においては低密度礫が 20 数%に留まっているが、高密度礫は 30~40%を占めている。しかし、後流域やステップ下流域（プール部）では、低密度礫が 20~30%を占め、高密度礫は 10%以下に留まっている。跳水域はちょうどこれらの中間的な値を示している。

図 4-10 は同様の解析を単位面積当たり種数について試みたものである。すなわち、単位面積当たり種数が 60 種/m<sup>2</sup> 以下の少種礫と、140 種/m<sup>2</sup> 以上の多種礫を選び出し、それらの礫数の比率を微視的環境ごとに調べた。結果は、ステップ頂部並びに後流域においては少種礫が 20~40%ほどを占め、多種礫が 10 数%どまりであった。これに対し、ステップ下流域（プール部）では少種礫が数%ほどに留まり、多種礫が 30%ほどを占めた。ステップ上流域・跳水域はこれらの中間の値を

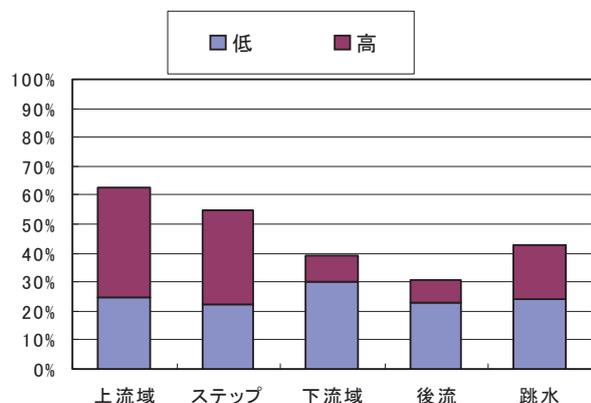


図 4-9 各微視的環境における低密度・高密度礫数の比率

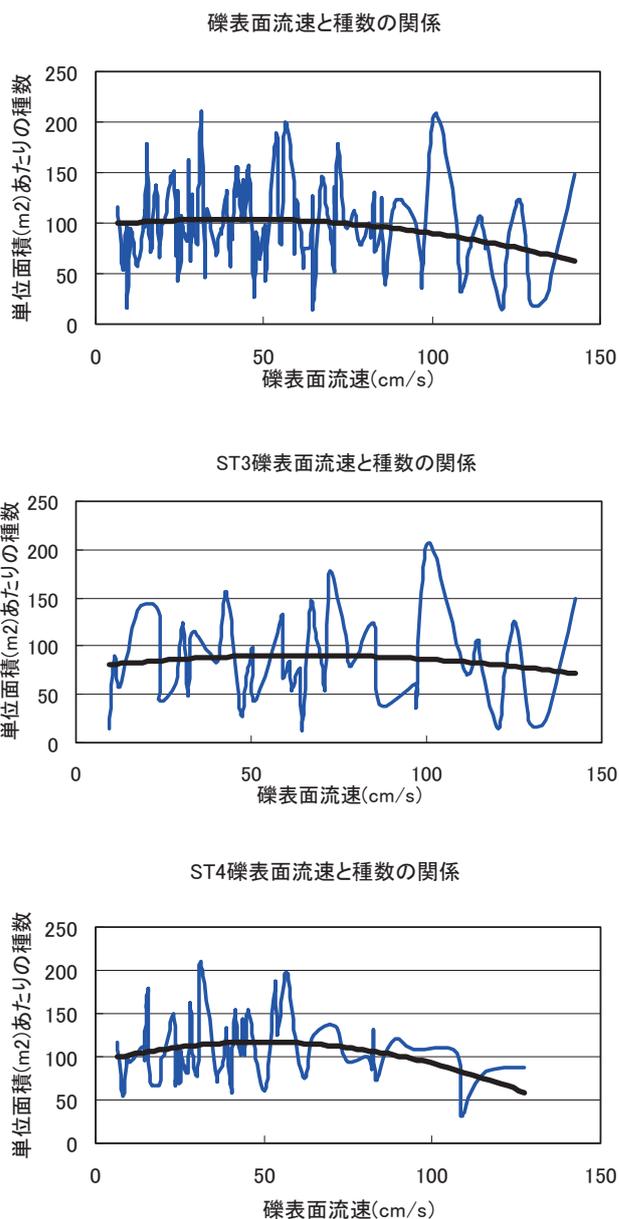


図 4-8 礫表面流速と単位面積当たり種数の関係

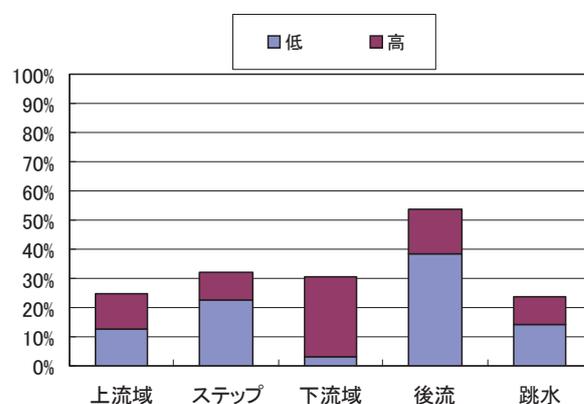


図 4-10 各微視的環境における少種・多種礫数の比率

示し、少種礫、多種礫がそれぞれ10数%, 10%以下である。これらの結果によれば、

- ③ ステップ上流域、並びにステップ頂部は生息密度が高いものの、生息種数が少ない。
- ④ 逆に、ステップ下流域（プール部）は生息密度が低いものの、生息種数が多い。
- ⑤ 跳水域は、上二者の中間的な性質を示す。
- ⑥ 後流域は生息密度、生息種数ともに低めの値を示し、昆虫の生息環境としては優れていない。これらの場所の礫はほとんどが沈み石であり、生息空間が乏しい状態にある。

#### 4.4 魚類の生息状態

##### 4.4.1 魚類調査区間の形態

既述のように、魚類調査はその2調査区間（河口から約5km, 延長約100m）において06年10月と07年7月の2回にわたり実施された。形態と流れに関する調査は、区間を1m×1mの格子網で覆い、(1)30cm以上の礫を全てスケッチ、(2)各格子点にて水深、流速を計測し4角値の平均から格子中央の水理量を算定、(3)礫列ステップ部を境界として区間を12セクションに分割し、セクション単位で比較する方法でおこなった。魚類生息調査は、(4)セクションごとに電気ショッカー（Model 12, Smith-Root INC）3回パスによりおこない、捕獲魚体の全長、尾叉長、体長、体重を計測した。

図4-11は同調査区間の平面図であり、区間中に13の礫列が認められる。図中、明色の石は浮き石、暗色の石は沈み石をそれぞれ示す。図4-12に浮き石並びのみを取り上げ、その分布を描いた。図4-13はステップ礫の頂部を結んで各礫列の区分を明示したものであり、これらに挟まれるプール部を下流から上流に向かって順にセクションS1, S2, S3・・・と呼ぶ。S13はS12の80mほど上流におけるプール部であるが、この部分のさらに上流で分岐した派川が再度合流しているため、M型の淵区間になっている。また、S1およびS11は比較的広い淵状区間であり、S2, S5, S6なども長めの波長を有する。しかし、これらのセクションには沈み石が多く認められ、その連なりをも礫列と認識すると波長は他のセクションと似た値になる。また、流路を2分

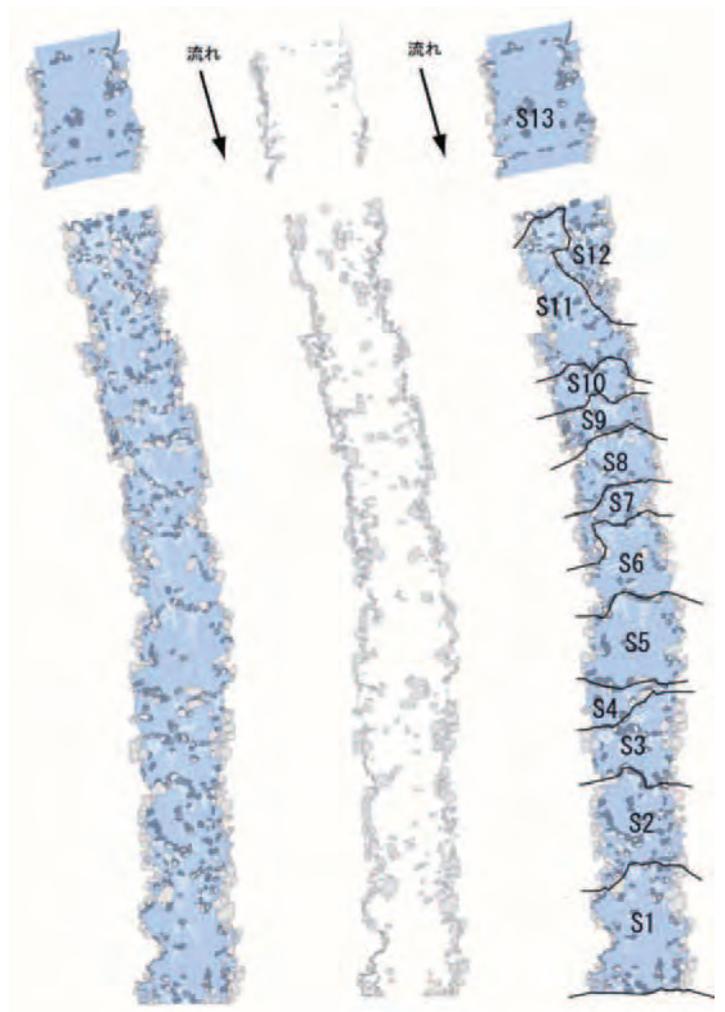


図4-11 平面図 図4-12 浮き石分布 図4-13 礫列区分

するような縦向き礫の並びも見られ、2モードの礫段とも判断できる箇所がある(S2, S4, S8など)。

##### 4.4.2 第1回魚類生息調査

1回目調査は10月28日29日の日中であり、水温5.5~5.9℃, pH6.55~6.61, 電気伝導度34.9~38.5μS/cmで、サクラマスが越冬体勢に入り始める時期であった。この時の流量は、各横断測線における水深、流速、幅の計測値の平均から1.26m<sup>3</sup>/sと推定された。区間平均水深は0.34m, 区間平均流速は0.50m/s, 平均フルード数は0.30であった。2.1節に掲げた礫列の波高推定式に対し、実測波高Δ=0.35m, 河床勾配I=1/40, 幅B=11mをあたえ形成流量を逆算するとQ=44m<sup>3</sup>/s程度になる。逆に、これらの値を用いて理論波長を計算す

表 4-3 第 1 回調査でセクション別に確認された種の個体数

セクション番号	ステップ・プール区間												淵区間
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
サクラマス	7	0	3	2	1	3	0	2	2	1	3	1	5
ハナカジカ			1					1			3	1	
各セクションの面積(m <sup>2</sup> )	82.6	58.75	44.37	18.27	65.37	45.99	20.21	35.68	24.05	23.55	71.64	32.39	103.19
サクラマス密度(個体/100 m <sup>2</sup> )	8.47	0.00	6.76	10.95	1.53	6.52	0.00	5.61	8.32	4.25	4.19	3.09	4.85

るとλ=6.1m となって実測値平均の 6.5m に近づく。これらのことから、調査区間の礫列形成単位幅流量は 4m<sup>2</sup>/s 程度であり、調査時の流況は落下流であったものと判断される。

確認魚種はサクラマス、およびハナカジカの 2 種で、表 4-3 にセクションごと個体数、セクション面積および生息数密度を示した。図 4-14 に示すサクラマスの体長分布から判断すると、採捕されたサクラマスは、大きめの当歳魚と 1 歳魚が大部分を占めているものと考えられる。なお、本調査地点の下流にサクラマスの遡上に影響をあたえる砂防堰堤が 2 箇所存在するが、そのうちの 1 箇所はスリット式で落差のない開口部を有しており、もう 1 箇所には魚道が設けられていて魚類の遡上が確認されている。また、この溪流ではサクラマスの増殖事業はおこなわれていない。したがって、本調査で確認されたサクラマスは自然産卵個体とみなしてよいであろう。

生息数調査では魚類の行動形態を知ることはできないが、セクションごとの水理特性と生息数の関連を見ることが可能である。図 4-15 は、各セクションにおける平均流速、平均水深、平均 Fr 数、ならびにサクラマス生息密度を示すものである。セクションごとに流速の違いが顕著であるが、水深はあまり変わらない。このため、Fr 数が流速変化と似た変動を示している。これらの場の性質が、サクラマス生息数ないしは生息密度と何らかの関連があるものと考え両者の対応を見たが、必ずしも明瞭な関係を見いだせなかった。最もまとまりを示したのは、図 4-16 のセクション内局所 Fr 数の最大最小比とサクラマス生息数の関係である。資料数が少なく、またサクラマスが越冬に入る時期で必ずし

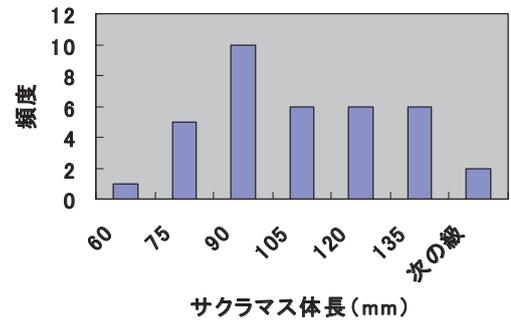


図 4-14 第 1 回調査時のサクラマス体長頻度分布

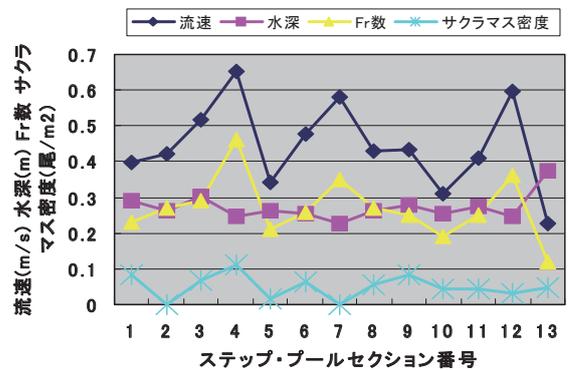


図 4-15 第 1 回調査におけるセクション内水理量とサクラマス生息密度

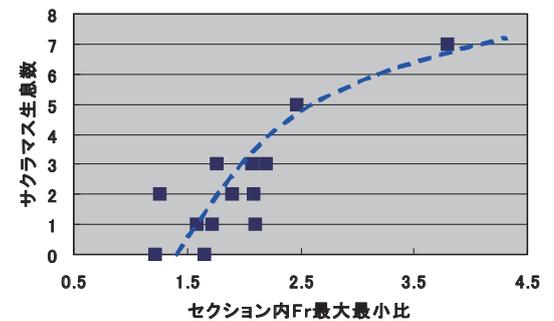


図 4-16 セクション内局所 Fr 数の最大最小比とサクラマス生息数の関係

表 4-4 第 2 回調査でセクション別に確認された種の個体数

セクション番号	ステップ・プール区間												淵区間
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
サクラマス	10	10	8	2	10	12	7	5	12	10	21	5	7
ハナカジカ		1			1					1	1		
エゾウグイ	1												
各セクションの面積(m <sup>2</sup> )	82.6	58.75	44.37	18.27	65.37	45.99	20.21	35.68	24.05	23.55	71.64	32.39	103.19
サクラマス密度(個/100 m <sup>2</sup> )	12.11	17.02	18.03	10.95	15.30	26.09	34.64	14.01	49.90	42.46	29.31	15.44	6.78

も通常の選好行動を取るとは限らないが、比が大きい場所ほど生息個体数の多い傾向が読み取れる。ただし、生息密度との関係は生息数との関係よりまとまりが悪かった。

#### 4.4.3 第 2 回魚類生息調査

図 4-16 の関係の一般性を調べる目的で、07 年 7 月 10 日同一調査区間において 2 回目調査をおこなった。調査時流量は 0.72m<sup>3</sup>/s で、1 回目調査時の 6 割程度であった。このため、平均流速、平均水深とも低めの値を示し、水面形態は落下流であった。捕獲魚体は、サクラマス 119 尾(内、親魚 6 尾)、ハナカジカ 4 尾、エゾウグイ 1 尾の 3 科 3 種合計 124 尾である。表 4-4 にセクションごと個体数、生息密度などを掲げた。また、図 4-17 にサクラマスの体長頻度分布を示した。これら捕獲魚の生息場や体長組成から判断して、

- ① サクラマスの 10cm 以内のものは当歳魚、10cm～20cm は 1 歳魚、その他は親魚(海から戻ったもの)に相当するものと考えられる。
- ② 当歳魚、1 歳魚、親魚の各年齢個体は、ステップ・プール河床を利用して共存している。
- ③ 各セクションにおいて、生息魚類のサイズに違いが認められない。
- ④ サクラマス親魚が夏季にステップ・プール河床で生活していることは、彼らが本流や大きな支流の深みで餌をとらずに成熟の進むのを待つという従来の通説と異なる行動形態を示すものである。
- ⑤ ステップ・プール河床は河川上流域に形成される

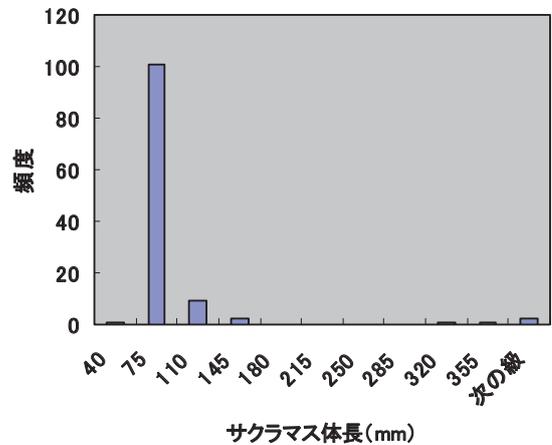


図 4-17 第 2 回調査時のサクラマス体長頻度分布

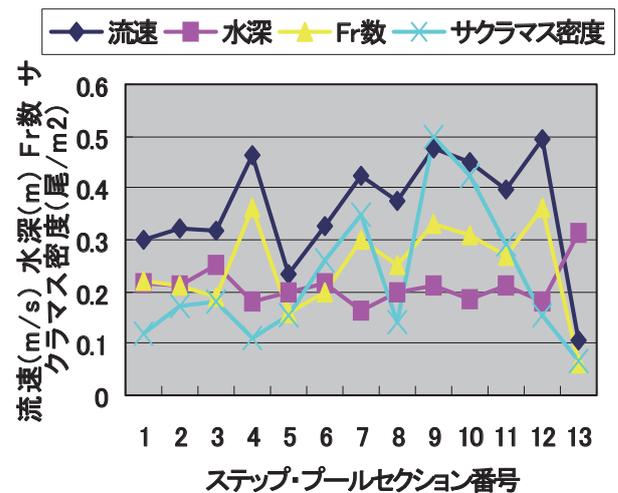


図 4-18 第 2 回調査におけるセクション内水理量とサクラマス生息密度

ものであり、この結果からサクラマス親魚は夏季に既に産卵場の近くに生息しているものと推察される。その際、ステップ部下流の射流から跳水にいたる間帯が親魚にとって重要と考えられる。

図4-18に、各セクションにおける平均流速、平均水深、平均Fr数、サクラマス生息密度を示した。この図では、サクラマス生息密度が流速やFr数に対応して変化しているように見える。実際、両者の関係を調べると相関性が認められる。しかし、ばらつきが大きい。第1回調査との比較をおこなうために、サクラマス生息数とセクション内局所Fr数最大最小比との関係を見ると図4-19となる。驚いたことに、比が大きくなるほど生息数が減る逆の傾向が現れているように見える。図4-20に見られるように、この傾向は、生息密度をとった場合により顕著になる。

#### 4.4.4 考察

井上・中野(1994)は、天北川調査地における詳細な微環境構造と魚類生息の調査をもとに、瀬一淵の連続構造に規定された流路内微環境構造の重要性を指摘し、「サクラマスをはじめとする河川性サケ科魚類の採餌様式として、流水中の一地点に留まるように泳ぎながら、流下してくる餌を待ち受ける定位行動が知られて」おり、「微生息場所には、流下動物の供給量および定位行動のためのエネルギー消費を規定する流速が重要であること」を明らかにしている。これからすると、餌の豊富な流速が大きく水深の小さい(局所フルード数が大きい)場所と、定位行動に有利な流速が小さく水深が大きい(局所フルード数が小さい)場所を併せ持つセクションが生息環境として優れているものと考えられる。図4-16の関係は、この立場からは十分首肯できることになる。しかし、図4-19、図4-20の関係を説明するには、新たに追補すべき要因を見いだす必要があるようである。最も可能性の高いことは、図4-17に示されるように2回目調査時のサクラマスの大部分が当歳魚であり、魚体が7cmほどと小さいことである。このため、流速の大きな場には近づくことができないものと考えられる。将来図4-16のように分布することを期しながら、低流速場で群れることに甘んじているということになるのか。

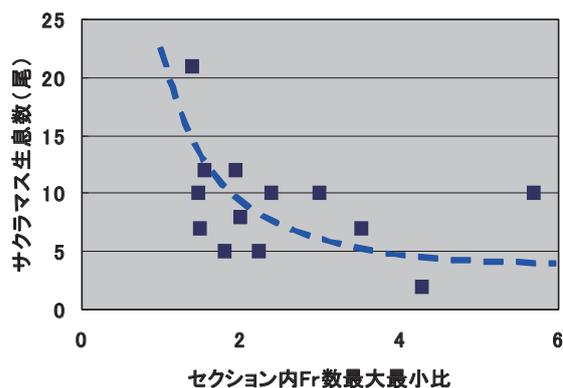


図4-19 セクション内局所Fr数の最大最小比とサクラマス生息数の関係

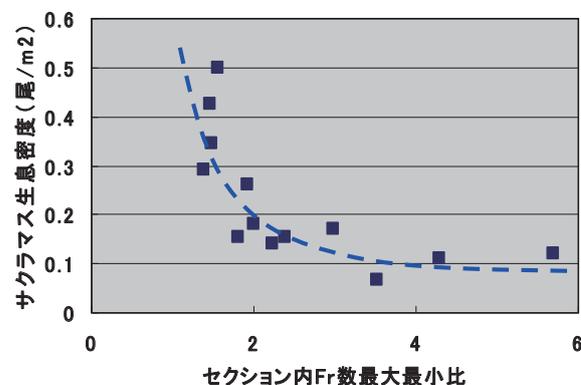


図4-20 セクション内局所Fr数の最大最小比とサクラマス生息密度の関係

## 5. まとめ

本論2章、3章において、溪流の形態と流れの特徴を概括的に述べた。それらは以下のようにまとめられる。

- (1) 溪流の流路形態は、谷幅スケールの大規模形態、流路幅スケールの中規模形態(交互砂州)、および水深スケールの小規模形態(ステップ・プール)の三者によって構成されている。このうち、大規模と小規模に相当する形態は平地河川では見あたらない。
- (2) とりわけ溪流を特徴づける形態は、一般にステップ・プールと呼ばれる小規模形態であり、礫列(リ

ブ)と礫段の2種が認められる。これらは、反砂堆形成作用と分級作用によって形成される。

- (3) ステップ・プールにおいては、流量規模に応じて、落下流、潜り流、跳水流、射流流れなどの水面形態が現れる。
- (4) ステップ部では、礫間の相対的に低い場所に流れが集中し越流とともに射流に変わる。これが直下流のプール部に入り込むところで跳水を引き起こす。また、プール内には沈み石が散在しており、後流をとまう。これらは溪流の微視的環境を構成している。
- (5) 水脈がプール内に入り込む跳水部分では空気連行が生じ、水面を白濁化させるとともに溶存酸素を飽和させる。
- (6) ステップ礫が円弧状に連なる礫段では、大部分の流れが礫間隙を通過する水脈となってカスケード状に流下する。このため、プール部でも横断方向流速分布が起伏に富む。一方、ステップ礫がほぼ直線状に並ぶ礫列は、礫間隙深が小さめで、水流がステップ礫を越えることが多い。プール部の流れが弱く一様化している。

第4章では群別川の水生昆虫調査、ならびに魚類生息調査をもとに、ステップ・プールのハビタット特性について述べた。整理すると以下のものである。

- (7) ステップ部の射流流れのもとにある礫に、比較的多数の水生昆虫が棲みついている。これは、餌となる流下デトリタス(有機残渣)などがステップ部でトラップされるためと考えられる。しかし、生息可能な種は背腹が扁平であったり流線形の体形をなしているエルモンヒラタカゲロウ、フタバコカゲロウなどの特定種に限られており、単位面積当たり種数は流速の増加とともに減少する。
- (8) ステップ上流域、並びにステップ頂部は生息密度が高いものの、生息種数が少ない。逆に、ステップ下流域(プール部)は生息密度が低いものの、生息種数が多い。跳水域は、上二者の中間的な性質を示す。後流域は生息密度、生息種数ともに低めの値を示し、昆虫の生息環境としては優れていない。
- (9) 魚類生息調査において、生息数(または生息密度)

がステップ・プール形態と密接に関連していることが明らかになった。サクラマスに関し、越冬体勢に近い時期で、生息数とステップ・プール内局所Fr数の最大最小比が正の相関を示した。しかし、夏季調査では、生息数・生息密度がステップ・プール内局所Fr数の最大最小比に対して負の相関を示した。

以上のように、溪流における生態特性(ハビタット特性)は、小規模形態のステップ・プールを単位として区分し理解するのが妥当だと考えられる。

#### 参考文献

- 芦田和男・江頭進治・安東尚美(1984): 階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究, 第28回水理講演会論文集, pp. 743-749.
- 池内正幸・山田正・村上良宏(1986): 溪流を模擬した開水路流れの水面形遷移と抵抗則に関する研究, 第30回水理講演会論文集, pp. 73-78.
- 井上幹生・中野 繁(1994): 小河川の物理的環境構造と魚類の微生息場所, 日本生態学会誌(Jpn.J.Ecol.), 44, pp.151-160.
- 江頭進治・芦田和男・沢田豊明・西本直史(1985): 山地河道における階段状河床形の形状特性, 第29回水理講演会論文集, pp. 537-542.
- 江頭進治・芦田和男・西本直史(1986): 階段状河床波と流砂の挙動, 第30回水理講演会論文集, pp.223-228.
- 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義(2000): 溪流の小規模河床形態に関する研究—魚類等の生息環境保全対策への応用を目指して—, 土木学会論文集, No.656/II-52, pp.83-101.
- 長谷川和義(1988): 山地河川の形態と流れ, 水工学シリーズ 88-A-8, 土木学会水理委員会, pp. 1-22.
- 長谷川和義・上林悟(1996): 溪流における淵・瀬(ステップ・プール)の形成機構とその設計指針, 水工学論文集, 第40巻, pp. 893-900.
- 長谷川和義(1997): 溪流の淵・瀬の水理とその応用, 水工学シリーズ 97-A-9, 土木学会水理委員会, pp.1-20.

長谷川和義・川村信也・張 裕平(2003)：群別川におけるステップ・プールの水理特性と底生動物の関係，*水工学論文集*，第47巻，pp. 1111-1116.

長谷川和義(2005)：河川上流域の河道地形，*日本流体力学会誌「ながれ」*，第24巻第1号別冊，pp15-26.

林日出喜・竜澤宏昌(2001)：溪流魚類等を対象とする棲み場所保全型の魚道設計，*水の技術* No. 8，水資源開発公団，pp.52-63.

interpretation of antidune bedforms with applications to antidunes in gravel, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 47, No. 1, pp. 257-266.

Whittaker, J. G. and M. N. R. Jaeggi(1982): Origin of step-pool systems in mountain streams, *Journal of Hydraulics Division*, Proc. of ASCE, pp. 758-773.

Ashida, K., T. Takahashi and T. Sawada(1976): Sediment yield and transport on a mountain small watershed, *Bull. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.*, Vol. 26, Part 3, No. 240, pp. 119-144

Grant, G. E., F. J. Swanson and M. G. Wolman (1990): Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon, *Geological Society of America*, Vol. 102, pp. 340-352.

Hayashi, T.(1970): Formation of dunes and antidunes in open channels, *Journal of Hydraulic Division, Proc. of ASCE*, Vol. 96, No. HY2, pp. 357-366.

Leopold, L., G. Wolman and J. Miller(1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*, W. H. Freeman and Co. pp.520.

McDonald, B. C. and I. Banerjee(1971): Sediments and bed forms on a braided outwash plain, *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol.8, pp. 1282-1301.

Middleton, G.V.(1965): Antidune cross-bedding in a large flume, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.35, No.4, pp. 922-927.

Peterson, D. F. and P. K. Mohanty(1960): Flume studies of flow in steep rough channels, *Journal of Hydraulic Division, Proc. of ASCE*, Vol. 86, No. HY9, pp.55-76.

Power, W.R.(1961): Backset beds in the coso formation Inyo county, California, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.31, No.4, pp.603-607.

Shaw, J. and R. Kellerhals(1977): Paleohydraulic

## 2) ミティゲーションに向けたオニバスの生態特性に関する研究

戸谷 英雄\*・玉川 勝巳\*\*・吉田 恭弘\*\*\*

### 1. はじめに

矢作川の洪水流を排水する目的で設置されている矢作樋管（茨城県坂東市）は、老朽化に加え、矢作川の流下能力に対する排水能力が不足しているため改築が計画されているが、樋管改築予定地の湿性池（以下、矢作湿地とする）には、絶滅危惧種であるオニバスの生育が確認されており、樋管改築にあたっては、オニバスに配慮しつつ保全措置を実施する必要がある（戸谷ほか、2006）。

オニバスのミティゲーションに向けた生育環境条件の把握と保全手法について検討を行うため、平成17年5月から10月に移植試験を実施したが、ミュージアムパーク茨城県自然博物館内に設置した「とんぼの池」試験区で発芽・生育が確認されず、要因も明確に把握できなかったことから、本種の生態特性の把握に課題が残った。

本研究は、平成17年度に引き続き、「とんぼの池」試験区で発芽・生育が確認できなかった要因およびオニバスの生態特性の更なる把握を目的とし、また、試験移植が成功した坂東市「創造の池」試験区では、移植手法である「底泥を移植する客土法」の実効性の確認および移植後の本種の生育維持管理を目的として、オニバスのミティゲーションに向けた検討を行った内容と分析結果を報告するものである。

### 2. 研究内容

本研究では、平成17年度の移植試験において発芽・生育が確認できなかった要因を探るため、「とん

ぼの池」試験区では、推察された発芽・生育阻害要因の除去を行い、また、より良好な環境条件の新たな試験区（以下、「ばったの原」試験区とする）を隣接箇所に設置し、再度移植試験を行った。

また、平成17年度に移植試験が成功した坂東市「創造の池」試験区では、移植手法である「底泥を移植する客土法」の実効性の確認のため、規模を拡大して再度移植試験を行った。

以上の試験結果を基に、オニバスの生態特性および生育環境条件の分析を行い、本種の今後の適切な保全に向け、生育環境条件、移植手法および移植後の生育維持管理方法について体系的にとりまとめた。

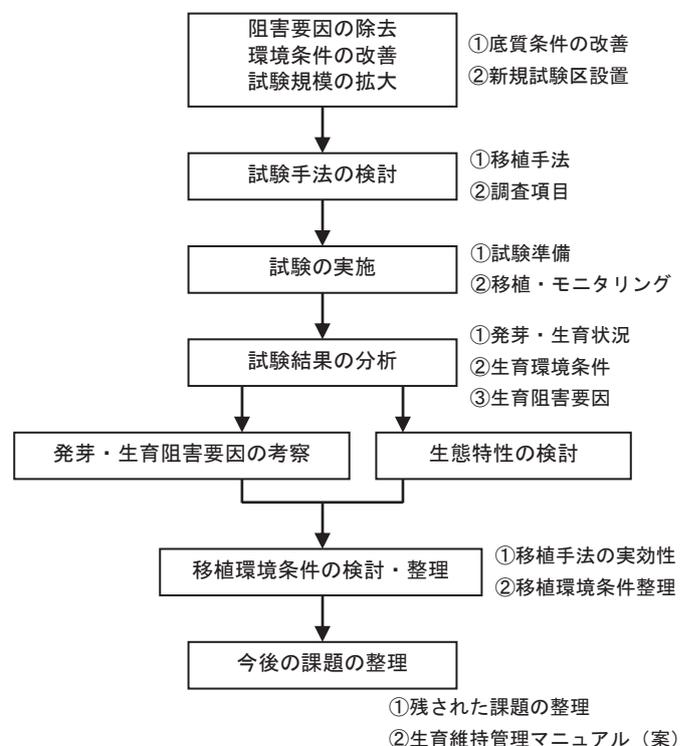


図2・1 検討フロー

\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部長  
 \*\* (株) アイ・エヌ・エー 環境第一部 (前 河川環境総合研究所 研究第四部研究員)  
 \*\*\* 前 パシフィックコンサルタンツ (株) 環境部

### 3. 平成 17 年度の移植試験の結果概要

平成 17 年度、「矢作湿地」から近接するミュージアムパーク茨城県自然博物館内の「とんぼの池」および坂東市つくばハイテクパーク内の防災調整池「創造の池」の 2 地区へ、オニバス種子を含有する底泥を移植し、オニバスの発芽・生育状況の確認と生息環境条件の把握を行った。その結果、写真 3・1～3 および表 3・1 の試験結果の概要に示すとおり、「矢作湿地」および「創造の池」では発芽・生育が確認され、「とんぼの池」においては発芽・生育が確認されなかった。生育環境条件については、観測および測定により、概ね把握できたものの、生育阻害要因を特定するまでには至らず、課題が残った。



写真 3・2 「とんぼの池」試験区の状況 (H17 年 8 月)



写真 3・1 「矢作湿地」対照区の状況 (H17 年 8 月)



写真 3・3 「創造の池」試験区の状況 (H17 年 8 月)

表 3・1 平成 17 年度試験結果の概要

試験区等	設定条件	発芽・生育状況	生育環境条件
矢作湿地	—	良好な発芽・生育と種子生産を確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・やや富栄養化した水質状況</li> <li>・やや富栄養化した底質状況</li> <li>・アメリカザリガニや競合植物が確認されたが、オニバスの生育絶対量に対する生育阻害の影響が小さい</li> </ul>
とんぼの池	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区画面積：5m×5m</li> <li>・播き出し量：1m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	発芽・生育は確認されなかった	<ul style="list-style-type: none"> <li>・矢作湿地と同等の水質状況</li> <li>・リン分が過剰で富栄養化の顕著な底質状況</li> <li>・アメリカザリガニによる生育阻害を確認</li> </ul>
創造の池	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区画面積：5m×5m</li> <li>・播き出し量：1m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	良好な発芽・生育と種子生産を確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・矢作湿地より富栄養化の顕著な水質状況</li> <li>・矢作湿地より富栄養化の傾向が小さい底質状況</li> <li>・競合植物が確認されたが、生育阻害の影響は小さい</li> </ul>

## 4. 平成 18 年度の試験手法

平成 17 年度の移植試験結果を踏まえて、以下のような試験区等や移植手法、調査項目を設定し、さらにコンテナによる埋土種子発芽試験（以下、「コンテナ」試験区とする）を行った。

### 4.1 試験区等の設定

平成 18 年度の試験区等整備直後の状況を写真 4・1～5、試験区等の設定概要を表 4・1 に示す。



写真 4・3 「ばったの原」試験区 (H18 年 4 月 19 日)



写真 4・1 「矢作湿地」対照区 (H18 年 4 月 19 日)

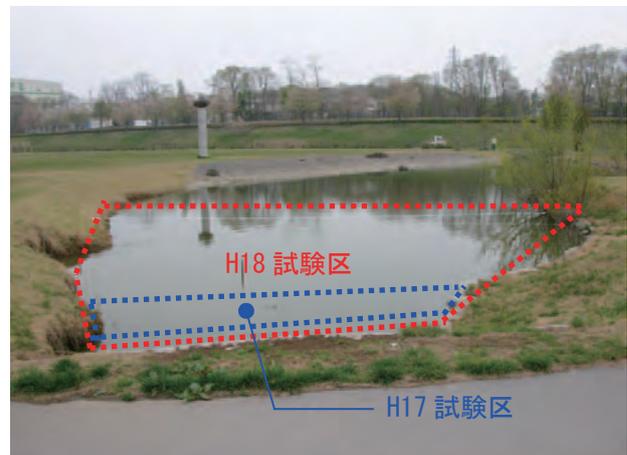


写真 4・4 「創造の池」試験区 (H18 年 4 月 19 日)



写真 4・2 「とんぼの池」試験区 (H18 年 4 月 19 日)



写真 4・5 「コンテナ」試験区 (H18 年 4 月 19 日)

表 4-1 試験区等の設定概要

試験区等	設定条件	移植手法	準備作業	備考
「矢作湿地」 対照区	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養水：雨水</li> <li>・地形地質：沖積低地</li> <li>・面積：約 25m<sup>2</sup></li> <li>・水深：約 50cm</li> <li>・日照：良好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：－</li> <li>・採泥量：約 5.0m<sup>3</sup></li> </ul>	－	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2m 四方の方形区を設置</li> <li>・本移植まで残存させておく必要性や運搬等の条件から採泥量は 5.0 m<sup>3</sup>程度とした</li> </ul>
「とんぼの池」 試験区	既存移植基盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：底泥播き出し</li> <li>・播き出し量：約 0.5m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	－	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存生育基盤は腐植質を含むシルト</li> <li>・底泥は土嚢袋に小分けして搬入</li> </ul>
	改良移植基盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養水：地下水</li> <li>・地形地質：洪積台地</li> <li>・面積：約 12m<sup>2</sup></li> <li>・水深：約 25cm</li> <li>・日照：やや不良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：底泥播き出し</li> <li>・播き出し量：約 0.5m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	H17 試験で生育阻害要因と考えられた富栄養化した既存生育基盤を除去・改良 (写真 4-6～7)
「ばったの原」 試験区	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養水：地下水</li> <li>・地形地質：洪積台地</li> <li>・面積：約 20m<sup>2</sup></li> <li>・水深：約 25cm</li> <li>・日照：良好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：底泥播き出し</li> <li>・播き出し量：約 1.0m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	「とんぼの池」試験区の生育基盤改良土壌を採土した跡地を試験区として利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底泥は土嚢袋に小分けして搬入</li> </ul>
「創造の池」 試験区	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養水：雨水・防災調整池流入水</li> <li>・地形地質：洪積台地</li> <li>・面積：約 100m<sup>2</sup></li> <li>・水深：約 50cm</li> <li>・日照：良好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：底泥播き出し</li> <li>・播き出し量：約 3.0m<sup>3</sup></li> <li>・播き出し厚：約 5cm</li> </ul>	播き出した底泥の流出防止策として境界にコンクリート・ブロックを一段設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・池底は造成基盤（成田層）が剥き出しの状態</li> <li>・底泥は 2 t トラックで直接搬投入</li> </ul>
「コンテナ」 試験区	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養水：雨水</li> <li>・水深：約 10cm</li> <li>・日照：良好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手法：底泥播き出し</li> <li>・播き出し厚：約 10cm</li> </ul>	－	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内寸：W45cm×D30cm×H25cm/1 コンテナ</li> <li>・設置数：9 個</li> </ul>



写真 4-6 既存移植基盤の除去 (H18 年 4 月 13 日)



写真 4-7 移植基盤改良後 (H18 年 4 月 14 日)

## 4.2 調査項目

調査項目は、平成17年度同様、発芽・生育状況、生育環境条件、生育阻害要因の3項目とした。

調査内容は、表4-2に詳細を示すように、発芽・生育状況の把握では、生育状況の相観観察、浮葉数・浮葉サイズの計則等、生育環境条件の把握では、気

象概況の確認、水質および底質状況の現地測定と室内分析、生育阻害要因の把握では、生育阻害動物および競合植物の生息・生育状況や種類の確認、オニバスへの影響の確認を行った。また、モニタリングは、播き出し直後の4月下旬からオニバスの枯死期である10月までの7ヶ月間とし、調査は、毎月1回の頻度で定期的に計7回行った。

表4-2 調査項目および内容

調査項目		調査内容	モニタリング	
発芽・生育状況		◆現地での定期観察 発芽有無、発芽時期、生育段階、浮葉数、浮葉サイズ、種子生産を確認	・期間：4月～10月 ・頻度：1回/月	
生育環境条件	気象概況	◆気象庁観測データ <sup>※11</sup> 気温、降水量、日照を確認	・期間：4月～10月 ・頻度：1回/月	
	水質	現地測定 1. 水温 <sup>※1</sup> 2. 水深 3. 透視度 <sup>※2</sup> 4. pH <sup>※3</sup> 5. DO <sup>※3</sup> 6. EC <sup>※3</sup>	◆現地での定期測定 水温は自記温度計での連続測定	・測定時刻および試料採取時刻： 「とんぼの池」 (10:30～11:00) 「ばったの原」 (11:00～11:30) 「矢作湿地」 (13:00～13:30) 「創造の池」 (14:00～14:30)
		室内分析 7. COD <sup>※4</sup> 8. T-P <sup>※5</sup> 9. T-N <sup>※6</sup>		
	底質	現地測定 1. 泥温 <sup>※1</sup>	◆現地での定期測定 泥温は自記温度計での連続測定	
		室内分析 2. ORP <sup>※7</sup> 3. IL <sup>※8</sup> 4. T-P <sup>※9</sup> 5. T-N <sup>※10</sup>	◆現地での試料採取と室内分析 各試験区等の池底面から-25～30cmに位置する底泥を試料として採泥・分析	
生育阻害要因	生育阻害要因	◆現地での定期観察 阻害動物の種類や影響を確認	・期間：4月～10月 ・頻度：1回/月	
	競合植物	◆現地での定期観察 競合植物の種類や影響を確認		

注) □ は、H18年度新規設定項目を示す

※1：自記温度計

(ESPEC MIC社製 THERMO RECORDER MINI RT-305)

※2：透視度 分析方法：JIS K 0102 9

※3：測定機器

(株式会社堀場製作所製 水質チェッカーU-10)

・pH(水素イオン濃度) 測定方法：ガラス電極法

・DO(溶存酸素) 測定方法：隔膜式ガルバニ電池法

・EC(電気伝導度) 測定方法：四電極法

※4：COD(化学的酸素要求量) 分析方法：JIS K0102 17

※5：T-P(全リン) 分析方法：JIS K 0102 45.3.1

※6：T-N(全窒素) 分析方法：JIS K0102 45.2

※7：ORP(酸化還元電位) 分析方法：衛生試験法 4.3.3.9)

※8：IL(強熱減量) 分析方法：昭和63年 環水管第127号 II-4

※9：T-P(全リン) 分析方法：昭和63年 環水管第127号 II-19

※10：T-N(全窒素) 分析方法：昭和63年 環水管第127号 II-18

※11：千葉県我孫子市アメダスを参考

#### 4.3 コンテナでの移植種子発芽試験

地域的個体差のある発芽率を確認する他、移植基盤条件の違いによる発芽後の生育状況を観察するため、プラスチック製コンテナ容器（内寸 W45cm×D30cm×H25cm）での発芽試験を行った。ここでは表 4・3 に示す生育状況の相関観察、浮葉数・浮葉サイズ、水温・泥温の測定を行った。発芽率の確認は 4 月から 6 月の 3 ヶ月間、生育状況の確認は 4 月から 8 月の 5 ヶ月間実施し、各調査については、毎月 1 回の頻度で定期的に行った。

表 4・3 コンテナ試験内容

手法	調査内容	モニタリング
播種	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆発芽率の確認</li> <li>◆発芽後の生育状況の相関観察</li> <li>◆浮葉数・浮葉サイズの計数</li> <li>◆水温・泥温の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆発芽率                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・期間：4 月～6 月</li> <li>・頻度：1 回/月</li> </ul> </li> <li>◆生育状況                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・期間：4 月～8 月</li> <li>・頻度：1 回/月</li> </ul> </li> </ul>

試験ケースは表 4・4 に示すように、ふるいにかけてオニバスの種子を除去した各試験区等のオニバス移植基盤を、3 コンテナずつ約 10cm の厚さで敷き詰め、雨水を水深 10cm となるように湛水させ、採泥時に採取したオニバスの種子を試験ケースに従い、1 コンテナにつき 20 個ずつ播種した。播種後、水温・泥温を測定するための自記温度計をケース 2 のコンテナに設置した。

表 4・4 試験ケースおよび試験条件

試験ケース	試験条件		
	涵養水	底質条件	種子条件
ケース 1	雨水	矢作湿地 底泥 (10cm 厚)	サイズ(大) 20 個
ケース 2			サイズ(中) 20 個
ケース 3			サイズ(小) 20 個
ケース 4		とんぼの池 既存移植基盤 (10cm 厚)	サイズ(大) 20 個
ケース 5			サイズ(中) 20 個
ケース 6			サイズ(小) 20 個
ケース 7		とんぼの池 改良移植基盤 (10cm 厚)	サイズ(大) 20 個
ケース 8			サイズ(中) 20 個
ケース 9			サイズ(小) 20 個

注) サイズ(大)：直径 15mm 以上のオニバス種子  
 サイズ(中)：直径 10～15mm のオニバス種子  
 サイズ(小)：直径 10mm 以下のオニバス種子

#### 5. 発芽・生育状況

移植試験の結果、平成 17 年度同様「矢作湿地」対照区および「創造の池」試験区でオニバスの良好な発芽・生育と種子生産が確認され、「とんぼの池」および「ばったの原」両試験区では、発芽・生育は確認されなかった。

各試験区等におけるオニバスの発芽・生育状況の概要および推移を表 5・1～2 に示す。

表 5・1 発芽・生育状況の概要

試験区等		発芽・生育状況
「矢作湿地」 対照区		◎ 平成 17 年度より約 1 ヶ月遅れた 6 月下旬にスイレン葉が展開、その後も良好な生育を続け、8 月下旬から 9 月には種子生産が確認された
「とんぼの池」 試験区	既存移植基盤	× 平成 17 年度同様、試験期間を通じ、オニバスをはじめ水生植物の発芽・生育は確認されなかった
	改良移植基盤	× 試験期間を通じ、オニバスのをはじめ水生植物の発芽・生育は確認されなかった
「ばったの原」 試験区		× オニバスの発芽・生育は確認されなかった 移植時に移入したと考えられる根茎からマコモが発芽・生育した他、緑藻類やアカウキクサの仲間の生育が確認された
「創造の池」 試験区		◎ 平成 17 年度より約 1 ヶ月早い 5 月下旬にスイレン葉が展開、その後も良好な生育を続け 8 月下旬から 9 月には種子生産が確認された。

表 5-2 発芽・生育状況の推移

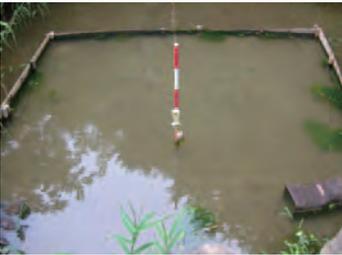
試験区等	生育推移		
	6月21日	8月25日	10月31日
「矢作湿地」 対照区	 <p>スイレン葉：152枚/方形区 浮葉サイズ最大：12.5×8.0cm 浮葉サイズ平均：10.1×5.6cm</p>	 <p>楕状葉：41枚/方形区 浮葉サイズ最大：84.0×82.0cm 浮葉サイズ平均：68.2×67.0cm</p>	 <p>最も良好な生育株で16個の果実を確認</p>
「とんぼの池」 試験区	<p>既存移植基盤</p>  <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育は確認されなかった</p>
	<p>改良移植基盤</p>  <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育は確認されなかった</p>
「ばったの原」 試験区	 <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育の兆候はみられない</p>	 <p>発芽・生育は確認されなかった</p>
「創造の池」 試験区	 <p>スイレン葉：6枚/試験区 浮葉サイズ最大：13.5×8.0cm 浮葉サイズ平均：8.4×4.7cm</p>	 <p>楕状葉：37枚/試験区 浮葉サイズ最大：105.0×102.0cm 浮葉サイズ平均：95.4×94.4cm</p>	 <p>最も良好な生育株で29個の果実を確認</p>

表 5-3 移出個体の生育状況の推移

試験区等	生育推移		
	9月28日	9月28日	9月28日
「創造の池」 (中池)	 浮葉サイズ 最大：116.0×108.0cm 浮葉サイズ 平均：113.0×109.5cm	 浮葉サイズ 最大：92.0×92.0cm 浮葉サイズ 平均：88.3×86.7cm	 開放花を一輪確認

また、「創造の池」試験区では、試験区から逸出した個体が池の中央部で2株、試験区と反対に位置する端部で1株の合計3株が確認され、表 5-3 に示すように、試験区内の株よりも良好な生育と種子生産を行うとともに、8月には開放花も確認された。

「コンテナ」試験区では、平成 17 年度より約 1 ヶ月早い5月下旬に、全てコンテナでオニバスの発芽・生育が確認された。

生育状況は表 5-5 に示すように、矢作湿地の移植基盤で良好な生育がみられたものの、「とんぼの池」試験区の既存移植基盤（以下、既存基盤という）および改良移植基盤（以下、改良基盤という）の条件では生育不良がみられ、移植基盤条件の違いで生育状態に差がみられた。

発芽率は表 5-4 に示すように、全体平均は約 32% で、基盤条件の違いでは、「とんぼの池」試験区の既存移植基盤で約 42% と最も高い発芽率を示した。

また、種子条件の違いでは、種子サイズ（小）で約 38% と最も高い発芽率を示し、種子サイズが小さくなるほど発芽率が高くなる傾向を示した。

表 5-4 埋土種子の発芽率（6月上旬）

底質条件	種子サイズ			平均
	(大)	(中)	(小)	
矢作湿地底泥	15%	30%	50%	31.7%
とんぼ既存基盤	25%	55%	45%	41.7%
とんぼ改良基盤	25%	25%	20%	23.3%
平均	21.7%	36.7%	38.3%	32.2%

表 5-5 発芽・生育状況の推移

試験区等	生育推移		
	8月4日（矢作湿地底泥）	8月4日（とんぼ既存基盤）	8月4日（とんぼ改良基盤）
「コンテナ」試験区	 浮葉サイズ 最大：22.0cm 浮葉サイズ 平均：16.0cm	 浮葉サイズ 最大：17.0cm 浮葉サイズ 平均：12.0cm	 浮葉サイズ 最大：11.0cm 浮葉サイズ 平均：8.0cm

## 6. 生育環境調査結果

### 6.1 気象の概況

気象概況は気象庁観測の千葉県我孫子市アメダス・データを参考とした。図6・1に示すように、平均気温および降水量では、降水量が7月と10月に平均よりやや多かったものの、概ね平均並みであった。また、日照時間は、4月～7月に平均よりも少ない状態が続き、オニバスの発芽時期である5月～6月は、平成17年度の7～8割程度であった。

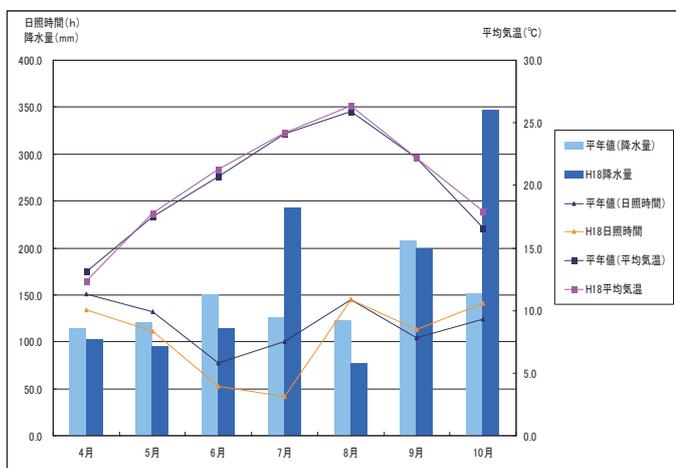


図6・1 平成18年度の気象概況（平年値との比較）

### 6.2 水域環境の概況

試験区等の水域環境状況の概況は表6・1に示すとおりである。

オニバスの発芽生育がみられた「矢作湿地」対照区および「創造の池」・「コンテナ」両試験区では、日照が良好で涵養水が主に雨水である共通の特徴がみられ、「創造の池」試験区は防災調節池であり、夏季に水位変動がみられた。

また、オニバスの発芽・生育のみられなかった「とんぼの池」試験区は平地林脇に位置しているため、日照がやや不良であり、同じく「ぼったの原」試験区では透視度が他の試験区等より低い特徴がみられた。また、両試験区とも涵養水が地下水であり、試験区の池底から直接湧出している状況であった。

表6・1 試験区等の水域環境の概況

項目	矢作湿地	とんぼの池	ぼったの原	創造の池	コンテナ
日照	良好	やや不良	良好	良好	良好
涵養水	雨水	地下水	地下水※2	雨水・防災調節池流入水※3	雨水※4
透視度	8.3cm	26.7cm	6.7cm	12.3cm	—
水深	約50cm	約25cm	約25cm	約50cm	10cm

注) 透視度の出典:「平成18年度利根川中流域環境等調査業務報告書」(建設技術研究所); 4～6月の数値

※1: 網掛けはオニバスの発芽・生育がみられた試験区等を示す

※2: ポンプで汲み上げ(学習水田経由で流入させた)

※3: 工業団地からの雨水排水と飯沼川からの洪水調整水

※4: 博物館内に貯水してある雨水

### 6.3 水質状況

#### 6.3.1 底層水温および表層泥温

平成17年度の「とんぼの池」試験区で、発芽がみられなかった要因の一つとして、地下水の低水温の影響が考えられたことから、写真6.1に示す自記温度計(ESPEC MIC社製 THERMO RECORDER MINI RT-305)を設置し、発芽期(4～6月)における試験区等の底層水温および表層泥温の測定を行った。測定センサーは、底層水温は底泥表面から+10cm、表層泥温は同じく-5cmの位置に設置した。



写真6・1 自記温度計の設置状況(H18年10月31日)

発芽期における底層水温および表層泥温の測定結果は表 6・2 および図 6・2～3 に示すとおりである。

発芽期の底層水温は、「ばったの原」試験区を除いた試験区等で同様な推移を示し、表層泥温では全試験区等とも概ね同様な推移を示した。試験区等の中で最も低い温度状況を示したのは「とんぼの池」試験区の既存生育基盤区、逆に最も高い温度状況を示したのは「ばったの原」試験区であり、ともにオニバスの発芽・生育はみられなかった。

表 6・2 底層水温および表層泥温の測定結果

試験区等	底層水温℃	平均値℃	矢作湿地との平均値差
	表層泥温℃		
矢作湿地	14.8～24.2	20.0	—
	14.1～22.7	19.0	—
とんぼの池 既存生育基盤	14.1～22.7	18.6	-1.4
	13.7～21.9	18.1	-0.9
とんぼの池 改良生育基盤	14.6～23.7	19.4	-0.6
	14.1～22.1	18.4	-0.6
ばったの原	20.7～26.4	23.6	+3.6
	15.7～23.6	20.2	+1.2
創造の池	16.7～24.6	20.7	+0.7
	16.4～24.1	20.4	+1.4
コンテナ	15.7～24.0	20.1	+0.1
	17.4～24.3	21.3	+2.3

### 6.3.2 pH（水素イオン濃度）

pH の測定結果は表 6・3 および図 6・4 に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区では概ね中性、「とんぼの池」・「ばったの原」試験区では弱アルカリ性、「創造の池」試験区では顕著なアルカリ性を示す結果であった。

「とんぼの池」・「ばったの原」試験区の涵養水は地下水であることから、地質因子によりアルカリ性を示したものと推察された。また、「創造の池」試験区では、生活雑排水の流入や水質の富栄養化が顕著であることから、流入物質に含まれる窒素分や植物プランクトンによる炭酸同化作用により、顕著なアルカリ性を示したものと推察された。

表 6・3 pH の測定結果

試験区等	pH 推移	平均値	備考
矢作湿地	6.63～7.45	7.01	ほぼ中性
とんぼの池	6.30～7.45	7.06	弱アルカリ性
ばったの原	6.31～7.76	7.30	弱アルカリ性
創造の池	6.82～10.67	8.72	アルカリ性

参考：農業用水基準 pH=6.0～7.5

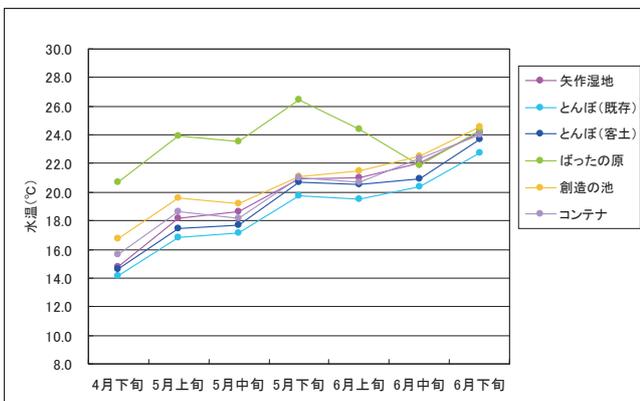


図 6・2 発芽期の底層水温の推移

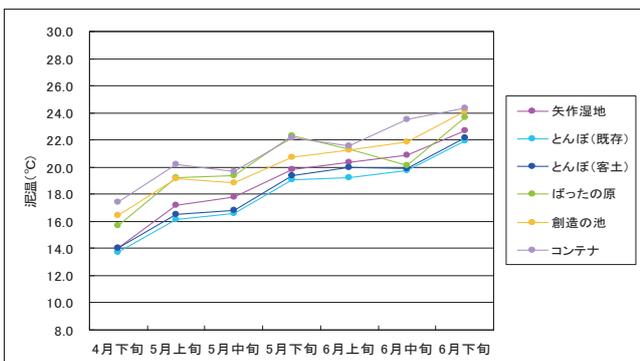


図 6・3 発芽期の表層泥温の推移

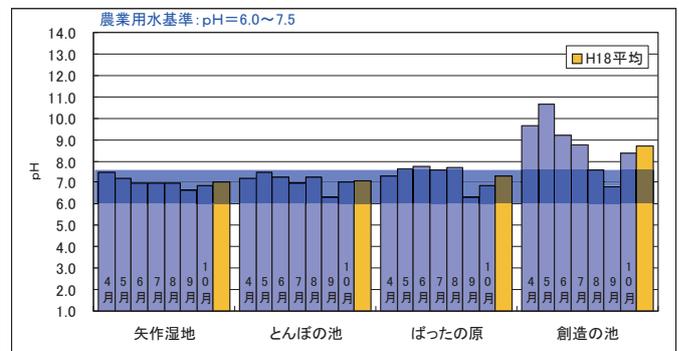


図 6・4 pH（水素イオン濃度）の推移

### 6.3.3 DO（溶存酸素）

DOの測定結果は表6-4および図6-5に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区では試験期間を通して3mg/L前後の低い値を示し、平成17年度同様、夏季にDO値が低下する傾向がみられた。「とんぼの池」・「ばったの原」両試験区では概ね6mg/L前後の値を示し、「創造の池」試験区では7mg/L前後と試験区等の中で最も高い値を示した。

「矢作湿地」対照区で夏季に低い値を示したのは、オニバスの急速な生長により溶存酸素が消費されたこと、また、浮葉による開放水面の被覆で日照が遮られ、植物プランクトンや藻類、沈水植物の炭酸同化作用が抑制されたことが要因であると推察された。また、「創造の池」試験区で高い値を示したのは、十分な開放水面があることで、植物プランクトン等への日照が確保され、炭酸同化作用が阻害されなかったこと、また、繁茂したヒシの光合成で生産された酸素が水中に溶出したことが主な要因であると推察された。

表6-4 DOの測定結果 (mg/L)

試験区等	DO 推移	平均値	備考
矢作湿地	2.21～6.83	3.76	オニバスの消費
とんぼの池	3.64～8.60	6.33	—
ばったの原	4.55～7.35	5.94	—
創造の池	4.28～11.49	7.37	光合成で供給

参考：農業用水基準 DO=5mg/L 以上

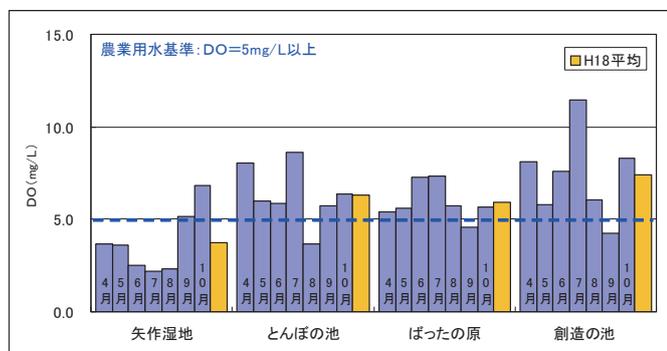


図6-5 DO（溶存酸素）の推移

### 6.3.4 EC（電気伝導度）

ECの測定結果は表6-5および図6-6に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区では試験期間を通して安定した値を示し、「とんぼの池」・「創造の池」両試験区では比較的高い値を示した。また、「ばったの原」試験区は試験区等の中で最も低い値を示した。

「とんぼの池」・「創造の池」両試験区で比較的高い値を示したのは、「とんぼの池」試験区では、既存生育基盤内に腐植体が多量に混入しており、これらの分解に伴う窒素分の溶出が主な要因であると推察され、「創造の池」試験区では、流入水に含まれる栄養塩が主な要因と考えられ、特にpH値が高い値を示していることから、窒素分が流入しているものと推察された。また、「ばったの原」試験区で低い値を示したのは、「とんぼの池」試験区の生育基盤の改良土を採土した跡地に設置したため、腐植体等の有機分がほとんどみられず、栄養塩の溶出が少ないことが主な要因であると推察された。

表6-5 ECの測定結果 (ms/m)

試験区等	EC 推移	平均値	備考
矢作湿地	14.50～18.10	15.63	—
とんぼの池	19.40～24.80	22.29	底質から溶出
ばったの原	6.70～18.30	13.69	—
創造の池	14.00～26.80	18.24	栄養塩流入

参考：農業用水基準 EC=30ms/m 以下

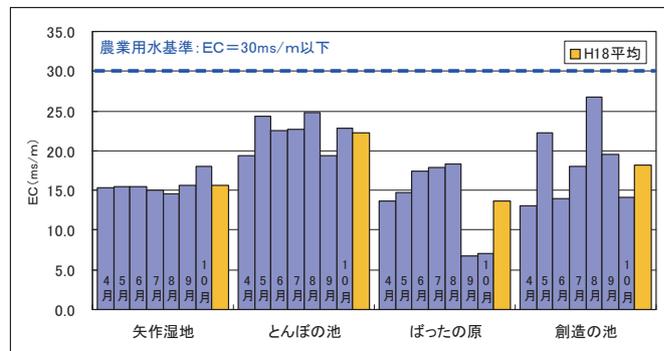


図6-6 EC（電気伝導度）の推移

### 6.3.6 COD (化学的酸素要求量)

CODの測定結果は表6.6および図6.7に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「創造の池」試験区ではやや富栄養化の傾向を示し、「創造の池」試験区では夏季に、比較的高い値を示した。「とんぼの池」・「ばったの原」両試験区では比較的低い値を示し、「とんぼの池」試験区では貧栄養に近い状態であった。

「創造の池」試験区では、生活雑排水の流入がみられることから、顕著な富栄養化の傾向を示したものと推察された。また、「とんぼの池」試験区では、池底から地下水が直接湧出していることから、貧栄養の傾向を示したものと推察された。

表 6.6 CODの測定結果 (mg/L)

試験区等	COD 推移	平均値	備考
矢作湿地	12.00~17.00	13.50	閉鎖水域
とんぼの池	2.20~5.90	4.20	地下水湧出
ばったの原	6.40~13.00	9.50	有機分の流入
創造の池	9.40~23.00	15.57	有機分の流入

参考：オニバス生育適値（香川県）COD=15mg/L以下

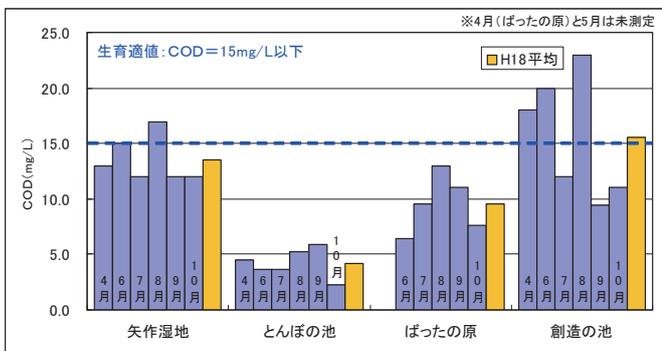


図 6.7 COD (化学的酸素要求量) の推移

### 6.3.7 T-P (全リン)

水質中の T-P の測定結果は表 6.7 および図 6.8 に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」・「創造の池」両試験区では 0.15~0.18mg/L の値を示し、春季から夏季にかけて高くなる傾向を示した。また、「とんぼの池」試験区では、0.04 mg/L 前後の低い値を示した。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」・「創造の池」両試験区で比較的高い値を示したのは、「矢作湿地」対照区は閉鎖水域であり、底質に含まれるリン分が底質の還元化に伴い溶出したものと考えられ、「ばったの原」試験区では隣接する学習水田から、「創造の池」試験区では生活雑排水等の流入水に含まれるリン分が外部から流入したものと推察された。また、「とんぼの池」試験区で低い値を示したのは、当該試験区の涵養水は池底から湧出する地下水であり、地質因子により弱アルカリ性を示したものと考えられ、水中のリン酸が地質因子である無機イオンと反応し、リン酸塩に固定されたものと推察された。

表 6.7 水質中の TP の測定結果 (mg/L)

試験区等	TP 推移	平均値	備考
矢作湿地	0.10~0.31	0.18	底質から溶出
とんぼの池	0.02~0.07	0.04	リン酸固定
ばったの原	0.10~0.26	0.18	リン分の流入
創造の池	0.08~0.23	0.15	リン分の流入

参考：環境基準（類型V）：0.1mg/L以下

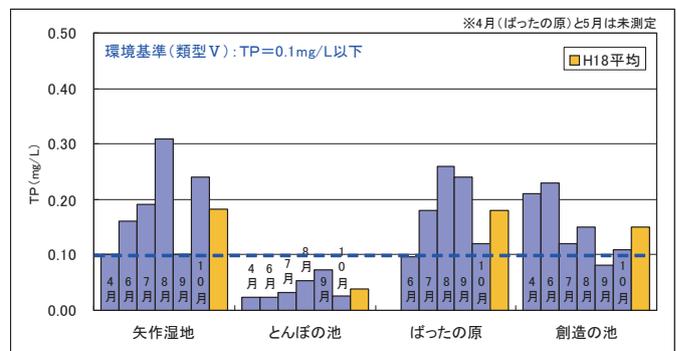


図 6.8 水質中の TP (全リン) の推移

### 6.3.8 T-N (全窒素)

水質中のT-Nの測定結果は表6・8および図6・9に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」試験区では、0.1mg/L程度の低い値を示し、「とんぼの池」・「創造の池」両試験区では2.5～3.5mg/L程度の比較的高い値を示した。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」試験区で低い値を示したのは、「矢作湿地」ではオニバスをはじめとする水生植物の生長によって、水質中の窒素分が消費されたものと推察され、「ばったの原」試験区では、「とんぼの池」試験区の改良移植基盤の採土跡に設置した試験区であるため、移植基盤に腐植体等の有機分がみられず、窒素分の溶出がほとんどないことが要因であると推察された。また、「とんぼの池」・「創造の池」両試験区で比較的高い値を示したのは、「とんぼの池」試験区では既存底泥中にみられる多量の腐植体の分解に伴い、水質中に窒素分が溶出しているものと推察され、「創造の池」試験区では生活雑排水等の流入水に含まれる窒素分が外部から流入したものと推察された。

表6・8 水質中のTNの測定結果 (mg/L)

試験区等	TN 推移	平均値	備考
矢作湿地	0.85～2.60	1.37	水生植物の消費
とんぼの池	1.50～5.20	3.62	腐植体が供給源
ばったの原	0.24～2.10	1.04	供給源が少ない
創造の池	1.20～4.50	2.53	窒素分の流入

参考：農業用水基準 TN=1.0mg/L

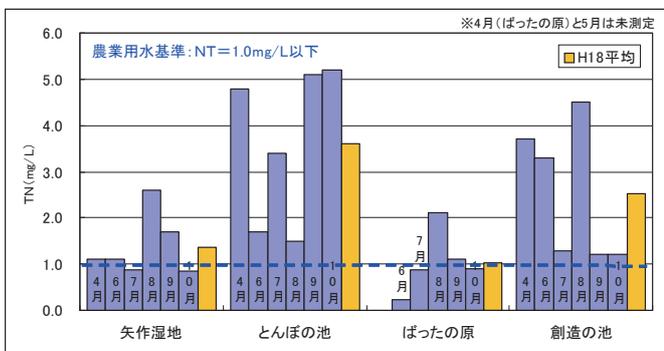


図6・9 T-N (全窒素) の推移

### 6.4 底質状況

#### 6.4.1 ORP (酸化還元電位)

ORPの分析結果は表6・9および図6・10に示すとおりである。

すべての試験区等とも-100mV以下の低いマイナスの値を示し、底質の還元状態が顕著な状態であった。特に、底質の温度が高くなる夏季に還元状態が顕著になる傾向がみられ、「とんぼの池」既存移植基盤区以外の試験区等では、-200mV以下の非常に低いマイナスの値を示し、過度な還元状態がみられた。

表6・9 ORPの分析結果 (mV)

試験区等	ORP 推移	平均値	備考
矢作湿地	-24～-214	-127	—
とんぼの池 既存基盤	-32～-164	-118	—
とんぼの池 改良基盤	-29～-207	-133	—
ばったの原	-34～-235	-120	—
創造の池	-40～-216	-134	—

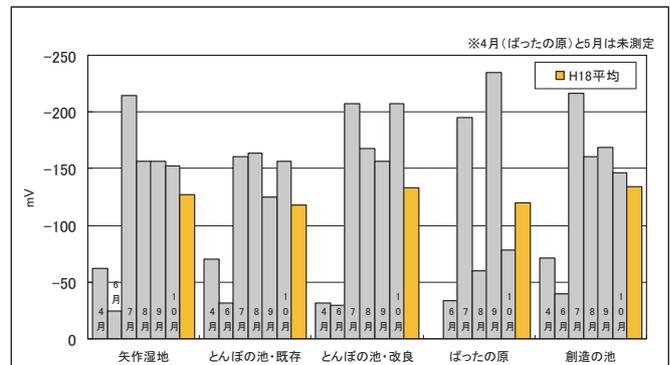


図6・10 ORP (酸化還元電位) の推移

### 6.4.2 IL (強熱減量)

ILの分析結果は表6-10および図6-11に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「とんぼの池」改良基盤区、「ばったの原」・「創造の池」両試験区では概ね5%前後の値を示し、やや有機分が多い底質状態を示した。「とんぼの池」既存基盤区では試験期間平均14%と試験区等で最も高い値を示し、有機分が非常に多い底質状態であった。

「とんぼの池」既存基盤区で高い値を示したのは、既存底泥中に腐植体等が多量に混入していることによると推察された。また、「ばったの原」・「創造の池」両試験区で比較的低い値を示したのは、両試験区とも移植基盤中に腐植体等の有機分がほとんどみられないことが主な要因であると推察された。

表6-10 ILの分析結果 (%)

試験区等	ORP 推移	平均値	備考
矢作湿地	5.5~10.1	7.3	水生植物が供給源
とんぼの池 既存基盤	9.4~21.0	14.0	腐植体が供給源
とんぼの池 改良基盤	5.1~17.7	8.2	—
ばったの原	3.5~8.0	5.4	有機分が少ない
創造の池	2.5~9.0	4.6	有機分が少ない

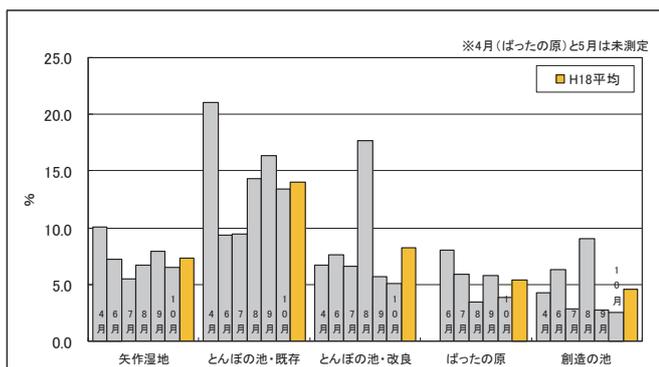


図6-11 IL (強熱減量) の推移

### 6.4.3 T-P (全リン)

底泥中のT-Pの分析結果は表6-11および図6-12に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」試験区では50mg/100g程度の値を示し、「とんぼの池」の両移植基盤区では70~80mg/100gと比較的高い値を示した。また、「創造の池」試験区では31mg/100gと試験区等の中で最も低い値を示した。

「とんぼの池」既存基盤区で高い値を示したのは、底質中に腐植体等のリン分供給源が多量に混入しているためと推察され、「とんぼの池」改良基盤区および「ばったの原」試験区では、一般にリン分を多く含む底質を好むアオミドロの仲間が夏季に、大量に発生したことから、移植基盤中に元々多くのリン分が含まれていたものと推察された。

表6-11 底質中のTPの分析結果 (mg/100g)

試験区等	TP 推移	平均値	備考
矢作湿地	35~60	50	水生植物が供給源
とんぼの池 既存基盤	61~100	80	腐植体が供給源
とんぼの池 改良基盤	48~110	72	元々移植基盤中にリン分を多く含有
ばったの原	34~81	52	
創造の池	13~50	31	供給源が少ない

参考：水田土壌におけるTP適正值 10mg/100g

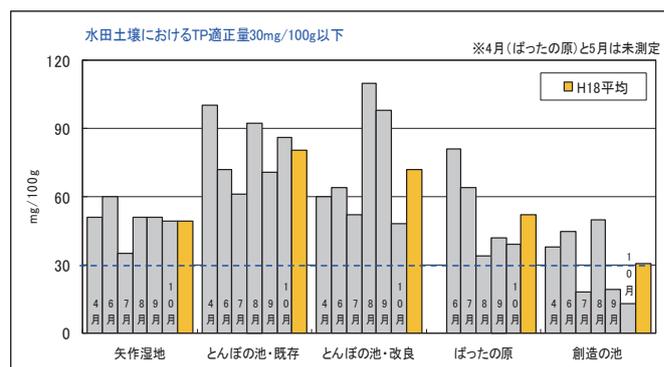


図6-12 T-P (全リン) の推移

#### 6.4.4 T-N (全窒素)

底泥中の T-N の分析結果は表 6・12 および図 6・13 に示すとおりである。

「矢作湿地」対照区および「ばったの原」試験区では 100mg/100g 程度の値を示し、「とんぼの池」の既存基盤区では 150mg/100g 程度、改良基盤区では 250mg/100g 程度と比較的高い値を示した。また、「創造の池」試験区では 61mg/100g と試験区等の中で最も低い値を示した。

「とんぼの池」既存基盤区で高い値を示したのは、底質中に腐植体等の窒素分供給源が多量に混入しているためと推察され、「創造の池」試験区で比較的低い値を示したのは、移植基盤中に腐植体等の有機分がほとんどみられないことが主な要因であると推察された。また、「とんぼの池」改良基盤区および「ばったの原」試験区では、夏季に実施した定植試験で矢作湿地の底泥を持ち込んだため、夏季以降にやや高い値を示したものと推察された。

表 6・12 底質中の TN の分析結果 (mg/100g)

試験区等	TN 推移	平均値	備考
矢作湿地	110～150	134	水生植物が供給源
とんぼの池 既存基盤	160～320	252	腐植体が供給源
とんぼの池 改良基盤	70～310	168	定植試験での底泥 持込による
ばったの原	80～160	116	
創造の池	30～74	61	供給源が少ない

参考：水田土壌における TP 適正值 20mg/100g

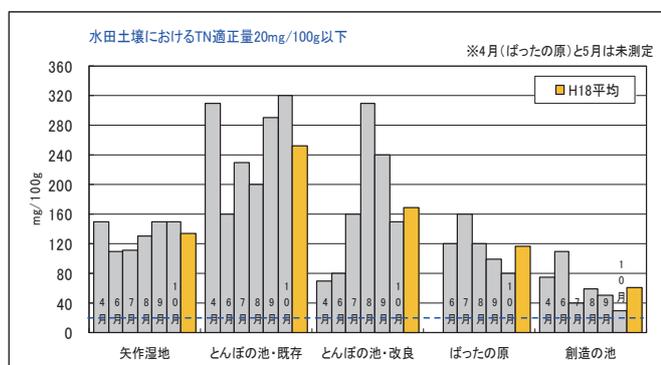


図 6・13 T-N (全窒素) の推移

#### 6.5 生物による生育阻害要因

##### 6.5.1 生育阻害動物による影響

試験区等で確認された生育阻害動物と影響内容は表 6・13 に示すとおりである。

生育阻害動物としてアメリカザリガニ、ジュンサイハムシ、ミズメイガの仲間 (幼虫)、アイガモの 4 種が確認された。

「矢作湿地」対照区や「創造の池」試験区では、ジュンサイハムシやアイガモによる浮葉の食害が確認された。また、「とんぼの池」および「創造の池」両試験区では 6.5.3 で述べる夏季の定植試験時に、ミズメイガの仲間の幼虫による浮葉の食害と発芽株の葉柄切断が確認された。また、「矢作湿地」対照区ではアメリカザリガニが確認されたが、スイレン葉期の葉柄切断はみられず、オニバスの生育絶対量に対する生育阻害の影響が小さいためと推察された。

表 6・13 生育阻害動物と影響内容

試験区等	生育阻害動物	影響内容
矢作湿地	アメリカザリガニ	特に影響はみられなかった
	ジュンサイハムシ	食害
とんぼの池	アメリカザリガニ	発芽株の葉柄切断
ばったの原	アメリカザリガニ	発芽株の葉柄切断
	ミズメイガの仲間	幼虫による食害
創造の池	アイガモ	食害
	ジュンサイハムシ	食害

##### 6.5.2 競合植物による影響

試験区等で確認された生育阻害動物と影響内容は表 6・14 に示すとおりである。

競合植物としてマコモ等の高茎抽水植物およびヒシが確認された。

「矢作湿地」対照区では、主にマコモの繁茂による開放水面の狭小化やオニバスの浮葉の被覆が確認された。「創造の池」試験区では、スイレン葉がヒシに絡んで流される“株流れ”が確認されたが、楕状葉に生長して以降は、特に生育阻害はみられなかった。

表 6-14 競合植物と影響内容

試験区等	生育阻害動物	影響内容
矢作湿地	マコモ等の 高茎抽水植物	開放水面の狭小化 浮葉の被覆
とんぼの池	—	—
ばったの原	マコモ	—
創造の池	マコモ	特に影響はみられな かった
	ヒシ	スイレン葉の株流れ

### 6.5.3 生育株の定植試験

発芽期を過ぎた7月になっても、「とんぼの池」および「ばったの原」試験区ではオニバスの発芽・生育がみられなかったことから、発芽・生育の阻害要因の確認を補完する目的で、矢作湿地に生育するオニバス発芽株の定植を実施した。

#### 1) 試験方法

試験方法は、発芽株の試験区への直植えおよび鉢植えとし、それぞれ3株ずつ定植した(写真6-2)。

直植えは、アメリカザリガニによる生育阻害の再確認とし、鉢植えは、鉢全体をネットで囲うことによってアメリカザリガニの影響を排除し、底質およびアメリカザリガニ以外の生育阻害要因の有無の確認を目的とした。



写真 6-2 定植作業状況 (H18年8月4日)

#### 2) 定植試験結果

定植試験の結果は表6-15に示すとおりである。

定植試験の結果、全試験区の直植え株は定植翌日に、発芽株の全ての葉柄がアメリカザリガニによっ

て切断される結果であった。また、鉢植えでは「とんぼの池」既存基盤区で8月下旬まで3株、改良基盤区で10月下旬まで1株、「ばったの原」試験区では9月下旬まで1株が、生育不良の状態であるが生育し続けるのが確認され、「とんぼの池」改良基盤区では未成熟の閉鎖花も確認された。

よって、「とんぼの池」改良基盤区で定植株が結実期まで生育し続けたことから、移植基盤が同様の「ばったの原」試験区とともに、オニバスが生育可能な環境であると推察された。

表 6-15 鉢植え株の生存数推移

確認日 試験区	8/4	8/25	9/28	10/30
とんぼの池 既存基盤	3株	3株	—	—
とんぼの池 改良基盤	3株	3株	2株	1株
ばったの原 試験区	3株	2株	1株	—

### 6.6 播き出し種子の発芽状況

平成18年度のコンテナ試験および定植試験の結果から、「とんぼの池」および「ばったの原」試験区ともオニバスの生育が可能であると推察され、播き出した種子が発芽していた可能性が高いと考えられた。よって、定期観察の最終日(H18年10月31日)に、両試験区に播き出した種子のふるい出しを実施した。種子のふるい出しは、直径35cmの篩を用い、30分/1試験区で実施した。

種子のふるい出しの結果は表6-16および写真6-3に示すとおりであり、「とんぼの池」試験区では総数16個(生存種子数は3個)、「ばったの原」試験区では総数13個(生存種子数は1個)が確認された。

表 6-16 種子のふるい出しの結果

	「とんぼの池」 試験区		「ばったの原」 試験区	
	種子数	割合	種子数	割合
生存種子	3個	18.7%	1個	7.7%
発芽済み	13個	81.3%	12個	92.3%
計	16個	100%	13個	100%



写真 6・3 生存種子の確認状況

前述の平成 18 年度の発芽率約 32%を考慮すると、「とんぼの池」試験区ではふるい出された総数 16 個の種子のうち 5 個程度が、「ばったの原」試験区では総数 13 個のうち 4 個程度が発芽済みであると考えられる。しかし、「とんぼの池」試験区で 13 個、「ばったの原」試験区で 12 個が発芽済みの状態であり、コンテナ試験で確認された発芽率を上回る結果であった。

よって、播き出し時に発芽済みの種子が含まれていた可能性を考慮しても、播き出した生存種子が、両試験区で発芽していた可能性が高いと推察された。

## 7. 発芽・生育阻害要因の考察

平成 17 年度に「とんぼの池」試験区で、オニバスの発芽・生育がみられなかった要因として、①涵養水である地下水の低水温、②リン分が過剰な富栄養化した底質、③アメリカザリガニの生育阻害の 3 つの要因が考えられた。

平成 18 年度の移植試験では、平成 17 年度に引き続き「とんぼの池」試験区の既存移植基盤区、要因②を除去した改良移植基盤区、要因①を改善した「ばったの原」試験区でオニバスの発芽・生育がみられなかったことから、試験結果をもとに発芽・生育阻害要因について考察を行った。

### 1) 定植試験・種子のふるい出し結果からの考察

定植試験の結果、定植株が生育不良ながらも 10

月まで生育し続けるとともに未成熟の閉鎖花が確認されたこと、また、種子のふるい出しの結果から「コンテナ」試験で確認された当該地域のオニバス種子の発芽率を上回る結果が得られたことから、「とんぼの池」試験区では、播き出したオニバスの種子が発芽していた可能性があると推察された。

### 2) コンテナ試験結果からの考察

「コンテナ」試験の結果、「とんぼの池」既存移植基盤区および改良移植基盤区において、生育不良がみられたものの全てのコンテナで発芽・生育が確認されたことから、「とんぼの池」試験区でオニバスの種子が発芽していた可能性が高く、生育も可能であると推察された。また、「とんぼの池」試験区と「コンテナ」試験区との環境条件の違いは涵養水であることから、当該試験区で発芽・生育がみられなかった主な要因の一つは水質にあると推察された。

### 3) 水質・底質分析結果からの考察

「とんぼの池」試験区の涵養水は地下水であり、水質分析の結果から、水質中の T-P 値が他の試験区等よりも非常に低い値を示し、底質中の T-P 値は他の試験区等よりも非常に高い値を示した。また、底質の還元状態が顕著であるが、底質からのリン分溶出はみられないことから、涵養水である地下水に含まれる無機イオンの影響で、水中のリン酸が常に固定され、リン酸塩となって底質中に沈殿しているものと考えられた。

よって、「とんぼの池」試験区では、涵養水である地下水水質の影響で水中のリン酸が常時欠乏している状態となっていると推察された。

なお、リンは植物体の生育に必須な要素で、特に植物体の生育初期に必要であり、根の伸長や葉の生長、種子生産等に重要である。

### 4) 発芽・生育阻害要因の考察結果

平成 17～18 年度のオニバス移植試験で、「とんぼの池」試験区で発芽・生育がみられなかった主な要因は、当該試験区でオニバスは発芽したものの、アメリカザリガニによる沈水葉の切断とともに涵養水

の影響に起因するリン酸不足によって、発芽初期のオニバスの伸根や沈水葉の生長阻害が発生し、スイレン葉を展開させる前に枯死してしまったものと推察された。

なお、「ばったの原」試験区も「とんぼの池」試験区と同様の理由と推察された。

## 8. オニバスの生態特性

### 8.1 発芽・生育状況から判明した生態特性

#### 1) 生活史

既往情報では、日本におけるオニバスの分布は、太平洋側では宮城県、日本海側では新潟県であった（岡田要之助, 1935）が、宮城県では戦後絶滅が確認されており（角野康郎, 1983）、現在の分布北限は太平洋側では茨城県、日本海側では新潟県となっている。

坂東市矢作地区に生育するオニバスの生活史は図8・1に示すように、西日本の生育分布状況を含む既往情報（戸谷ほか, 2006）と比較して発芽期や生長段階が1ヶ月程度遅れているのが確認され、現在、坂東市矢作地区に生育するオニバスは北限に位置している（小幡和男, 2006）ことが遅れる原因であると考えられた。

#### 2) 発芽時期

既往情報では、オニバスの発芽は、水温が15℃前後で始まり、室内では3月頃、野外環境下では4～5月にかけて発芽する（香川県環境局, 2000）との報告がある。

矢作湿地では、発芽期を過ぎた7月以降の盾状葉期に入っても発芽が確認された（写真8・1）。

オニバスは、農業活動等と共存し、激しい環境変化に適応してきた結果、種子休眠によって発芽を抑制させると同時に、数十年に渡り分散発芽をさせる方法で種の保存を図っている（戸谷ほか, 2006）。

よって、発芽・生育にとって良好な環境条件が整ってさえすれば、発芽期を過ぎた夏季でも種の系統保存を図るために発芽を続けるものと考えられた。



写真8・1 矢作湿地の夏季発芽株（H17年8月3日）

オニバス生活史	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
既往情報※	種子期							
	発芽期							
			スイレン葉期					
				楕状葉期				
					種子生産期			
							衰退期	
茨城県坂東市 矢作地区	種子期							
			発芽期					
			スイレン葉期					
				盾状葉期				
					種子生産期			
							衰退期	

図8・1 矢作湿地に生育するオニバスの生活史

※「香川県オニバス保護マニュアル」（香川県環境局, 2000）

### 3) 発芽と日照

既往情報では、日照は発芽遅延と無関係(中山包, 1966)との報告がある。

「矢作湿地」対照区では、オニバスの発芽が、平成17年度より約1ヶ月遅れて確認された。平成18年度の5～7月の日照時間は、平年の8割程度で、平成17年6月の表層水温との比較の結果-5.8℃低い結果であった(図8・2)。よって、日照不足に起因する低水温が発芽に影響するものと考えられた。

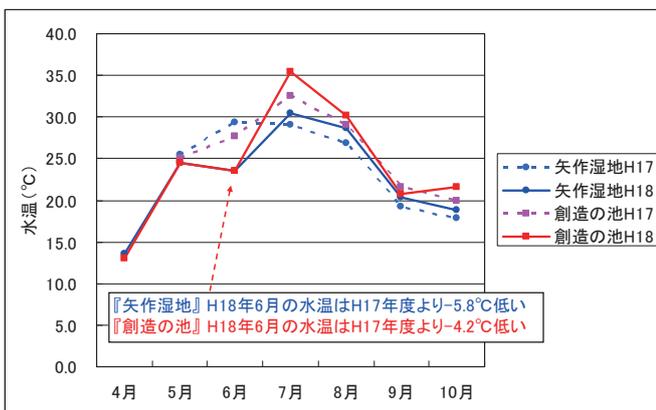


図8・2 平成17・18年度の日照時間の比較

### 4) 浮葉数と開放水面

「矢作湿地」対照区では、生育段階が進むにつれ浮葉数の減少がみられ、「創造の池」試験区では浮葉数が増加する傾向がみられた(図8・3)。

「矢作湿地」対照区では、夏季にマコモ等の繁茂による開放水面の狭小化がみられ、また、「創造の池」試験区では初夏に、ヒシによる開放水面の被覆がみられたが、7月にヒシの除去を実施し、楕状葉の展開に必要な開放水面を確保した。

「矢作湿地」対照区では開放水面の狭小化で生育密度が高くなり、隣接株との競争によって浮葉数が減少したと考えられた。また、「創造の池」試験区ではヒシの除去で開放水面を確保したことから、各生育株が十分に浮葉を展開できたと考えられた。

よって、オニバスの生育は、一株あたりの開放水面が十分に確保されているほど、良好な生育・生長を行うことができると言える。

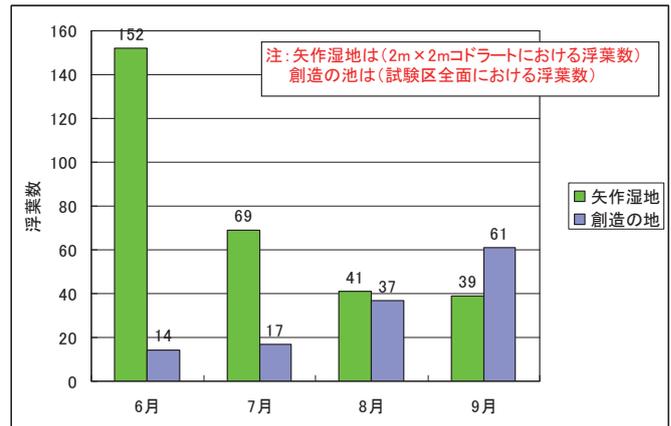


図8・3 浮葉数の推移

### 5) 浮葉サイズと日照

オニバスの浮葉は夏季において、1日に25cmもの速度で急速に生長し、最盛期には直径1mを超える。

「矢作湿地」対照区および「創造の池」試験区とも、浮葉サイズと水温には相関がみられないが、図8・4に示すように、当月に展開する浮葉のサイズと日照時間の間には相関がみられ、日照時間が最大となる8月に展開する浮葉サイズが最大となり、また、日照時間の減少する9月に展開する浮葉サイズは、8月のものに比べやや小さくなっている。

よって、オニバスの生育は、発芽期では温度要因が大きく影響するが、スイレン葉期以降の浮葉が展開した後の生長では、水温よりも日照時間が大きく影響していると考えられた。

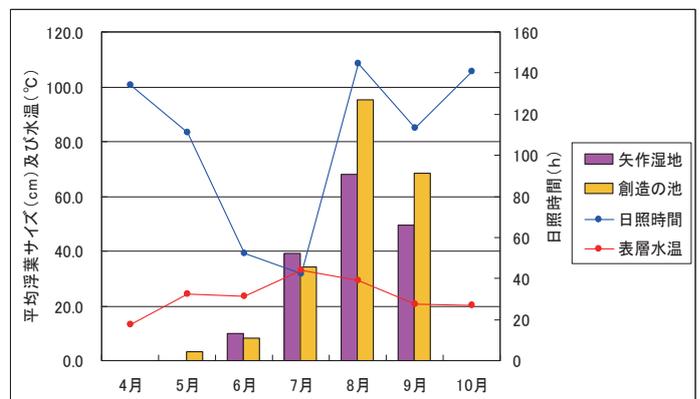


図8・4 浮葉サイズと日照時間・水温との関係

## 8.2 生育環境条件から判明した生態特性

### 8.2.1 水域環境条件

#### 1) 涵養水

「矢作湿地」対照区は雨水,「創造の池」試験区は雨水・防災調整池流入水であり,両試験区とも良好な発芽・生育と種子生産が確認された。また,発芽・生育のみられなかった「とんぼの池」・「ばったの原」両試験区は地下水であり,地下水水質の影響に起因するリン酸不足が主な要因と考えられ,発芽・生育がみられなかったものと推察された。

よって,オニバスの生育池の涵養水は,鉄等の無機イオンを多く含む地下水ではなく,リン酸等の栄養塩が溶出できる雨水等の軟水が好ましいと言える。

#### 2) 水深および透明度

既往情報では,オニバスの生育に適した水深は1~2mであり,沈水葉期の生長にある程度の日照が必要である(香川県環境局,2000)が,発芽遅延とは無関係である(中山包,1966)との報告がある。

「矢作湿地」対照区および「創造の池」試験区の

水深はともに平均50cmで,透明度は10cm前後の低い状態であった。

よって,オニバスの生育は,水深50cm以深かつ知見にある2m以浅程度あれば問題はないと考えられ,また,透視度比が約50cmの湛水深で最低10cm程度あれば発芽に問題はないと考えられた。

### 8.2.2 水質条件

平成17~18年度の移植試験から判明した水質条件は,表8・1および図8・5に示すとおりである。

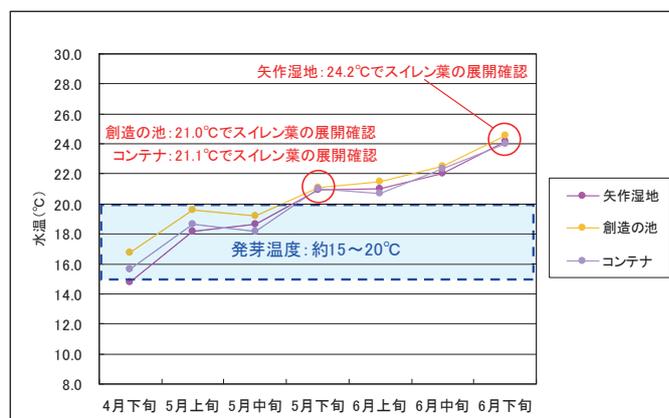


図8・5 発芽期の底層水温の推移

表8・1 判明した水質条件

項目	既往情報	調査結果	判明した水質条件
発芽期の底層水温 (°C)	15°C前後で発芽を開始 (香川県環境局, 2000)	矢作: 14.8~24.2 (20.0) 創造: 16.7~24.6 (20.7)	・概ね15~20°Cの間で発芽
pH	—	矢作: 6.63~7.45 (7.01) 創造: 6.82~10.67 (8.72)	・農業用水基準 (pH=6.5~7.0) 程度の水質状況が適していると考えられる ・アルカリ耐性も比較的高く, 顕著なアルカリ性を示す水質状況でも生育が可能
DO (mg/L)	浮葉での光合成で生産した酸素を葉柄の通気道を通して根部まで送り込み, 個体の呼吸や根部の酸素不足を補う生態的特徴を持っている (香川県環境局, 2000)	矢作: 2.21~6.83 (3.76) 創造: 4.28~11.49 (7.37)	・知見にある生態特性により, DO値が農業用水基準 (DO=5mg/L以上) より低い値を示す水質状況でも生育に問題はないと考えられる
EC (ms/m)	—	矢作: 14.50~18.10 (15.63) 創造: 14.00~26.80 (18.24)	・農業用水基準 (EC=30ms/m以下) を満たす水質状況であれば生育に問題はないと考えられる
COD (mg/L)	生育適値: 15mg/L以下 (香川県環境局, 2000)	矢作: 12.0~17.0 (13.5) 創造: 9.4~23.0 (15.57)	・知見にある生育適正値程度の水質状況が適していると考えられる ・生育適正値を超える富栄養化が顕著な水質状況でも生育が可能
T-P (mg/L)	—	矢作: 0.10~0.31 (0.15) 創造: 0.08~0.23 (0.18)	・環境基準 (類型V: 0.1mg/L以下) を超過した水質状況でも生育に問題はないと考えられる ・リン酸が水質中に十分に存在していることが必要
T-N (mg/L)	—	矢作: 0.85~2.60 (1.37) 創造: 1.20~4.50 (2.53)	・農業用水基準 (TN=1.0mg/L以下) を超過した水質状況でも生育に問題はないと考えられる ・窒素分が水質中に十分に存在していることが必要

※調査結果の(値)は試験期間の平均値を示す

### 8.2.3 底質条件

平成 17～18 年度の移植試験から判明した底質条件は、表 8・2 に示すとおりである。

表 8・2 判明した底質条件

項目	既往情報	調査結果	判明した底質条件
ORP (mV)	浮葉での光合成で生産した酸素を葉柄の通気道を通して根部まで送り込み、個体の呼吸や根部の酸素不足を補う生態的特徴を持っている (香川県環境局, 2000)	矢作: -214~-24 (-127) 創造: -216~-40 (-134)	・知見にある生態特性により、還元性の非常に顕著な底質状態でも生育に問題はないと言える
IL (%)	オニバスは底泥から栄養分を吸収して生長するため、ある程度栄養分の多い底泥の堆積した水域で旺盛に生育するが、リン分が過剰な富栄養化した底質では、オニバスの発芽生育に影響を及ぼす可能性がある (香川県環境局, 2000)	矢作: 5.5~10.1 (7.3) 創造: 2.5~9.0 (4.6)	・矢作湿地程度の 7%前後の有機分を含む底質状態が望ましい ・有機分が 10%を越える過度に富栄養な底質状態では、生育阻害を引き起こす可能性があると考えられる
T-P (mg/100g)	—	矢作: 35~60 (50) 創造: 13~50 (31)	・水田土壌におけるリン分適正值 (30mg/100g) 程度の底質状態であれば生育に問題はないと考えられる
T-N (mg/100g)	—	矢作: 110~150 (134) 創造: 30~74 (61)	・水田土壌における窒素分適正值 (20mg/100g) を超える程度の底質状態であれば生育に問題はないと考えられる

※調査結果の( 値 ) は試験期間の平均値を示す

### 8.2.4 種子サイズと発芽率について

「コンテナ」試験の結果、矢作湿地に生育するオニバスの発芽率は約 30%で、種子サイズが大きいものほど発芽率が低く、小さいものほど高くなる傾向が確認された。

大きな種子は、発芽生育に必要な栄養分を十分に蓄積しており、安定した発芽生育が可能であるが、小さい種子は、栄養分の蓄積が少ないことから、安定した発芽生育の期待は小さいものと考えられる。

よって、オニバスの休眠種子の特徴は、大きな種子では、生育環境が最適な状態になるまで種子休眠を優先させる「種子休眠による種の保存」のシステムをとっていると考えられ、また、小さな種子では、適していない生育環境であっても、とりあえず発芽を優先させる「発芽生育による種の保存」のシステムをとっているものと考えられる。

## 9. まとめ

平成 17～18 年度の移植試験によってオニバスの生態特性が概ね把握できた。これにより、ミティゲーションとしてのオニバスの移植方法についての注意点は以下に示すとおりである。

### 9.1 移植の前提条件

既往情報では、オニバスは一年生の水生植物であることから種子移植を基本とし、また、地域による遺伝的変異を持っている可能性があることから、県内産種子の県外移動や県外産種子の県内移動は行わない(香川県環境局, 2000)との報告がある。

オニバスの移植は種子で行うものとし、また、遺伝的変異を有していることや矢作湿地のオニバスが国内分布の北限に位置していることから、種子移動は茨城県内に限定するとともに、移植池は矢作川流域内や坂東市矢作地域内で確保するのが望ましい。

## 9.2 移植手法

平成 17～18 年度に実施したオニバス移植試験は埋土種子を含んだ底泥を移植する客土法（底泥の播き出し）で行われ、「創造の池」試験区では、両年年度とも良好な発芽生育と種子生産が確認された。

オニバスは一年生の水生植物であることから種子移植を基本とするが、底泥から埋土種子のみを篩い出すとなると多大な労力が必要で非効率である。また、矢作湿地は樋管改築計画用地であり、改築時に全面改変が行われる計画であることから、工事に合わせ埋土種子を含んだ底泥ごと移植する客土法（底泥の播き出し）が最も実効性の高い手法であると言える。

## 9.3 移植環境

### 9.3.1 水域環境条件

オニバスの生長には十分な日照が必要であり、夏季に直径 1m以上の巨大な浮葉を多数展開させることから、広い開放水面が必要である。また、涵養水は軟水の雨水や河川水であることが適しており、水域の水深は、50cm 以深かつ 2m 以浅であること、また、沈水葉の生長にある程度の日照が必要であることから、水深 50cm の水域で 10cm 以上の透明度が確保されていることが望ましい（図 9-1）。

### 9.3.2 水質環境条件

水質環境条件は表 9-1 に示すように、野外環境下での発芽期（4～6 月）の平均水温が 15～20℃となる必要がある。また、水質状況は、農業用水の基準値程度の水質であることが望ましいが、生態から生長に必要な要素を多量に要求する植物であることから、生育に不可欠な無機要素（リン分や窒素分）が有効態の形で十分に存在していることが重要である（図 9-1）。

表 9-1 移植環境の水質条件

涵養水	雨水または河川水
水温	発芽期（4 月～6 月）の平均水温が <sup>※</sup> 15～20℃
pH	農業用水基準（pH=6.0～7.5）程度
DO	農業用水基準（DO=5mg/l 以上）程度
EC	農業用水基準（EC=30ms/m以下）程度
COD	生育適正值（COD=15mg/l 以下）程度
T-P	環境基準（類型 V：TP=0.1mg/l 以下）を超える程度
T-N	農業用水基準（TN=1.0mg/l 以下）を超える程度

### 9.3.3 底質環境条件

底質環境条件は表 9-2 に示すように、水田土壌よりもやや有機分が多い状態が望ましいが、生態から多くのエネルギーを必要とする植物であることから、生育に不可欠な無機要素（リン分や窒素分）が有効態の形で水質中に供給できる可溶性の塩の形で存在していることが重要である（図 9-1）。

表 9-2 移植環境の底質条件

ORP	100～150mV 程度の底質状態
IL	6%程度の底質状態
T-P	水田土壌のリン分適正值（30mg/100g）程度
T-N	水田土壌の窒素分適正值（20mg/100g）を超える程度

### 9.3.4 生育阻害要因

オニバスの発芽生育で最も憂慮される生育阻害は表 9-3 に示すように、アメリカザリガニによる浮葉の切断と抽水植物による生育競合がある。

水質等の生育環境条件が整っていても、アメリカザリガニが生息している水域はできるだけ避ける必要がある。しかし、オニバスの生育環境は本種が好む生息環境であり、また大量に発生すると除去が困難であることから、移植池の確保では本種の生息が卓越していない水域を探すことが重要である。

さらに、マコモやヨシ等の高茎抽水植物の繁茂は、開放水面の狭小化や被覆による日照不足等の生育阻害を引き起こす。特にマコモは 1.5m 以浅の水域で

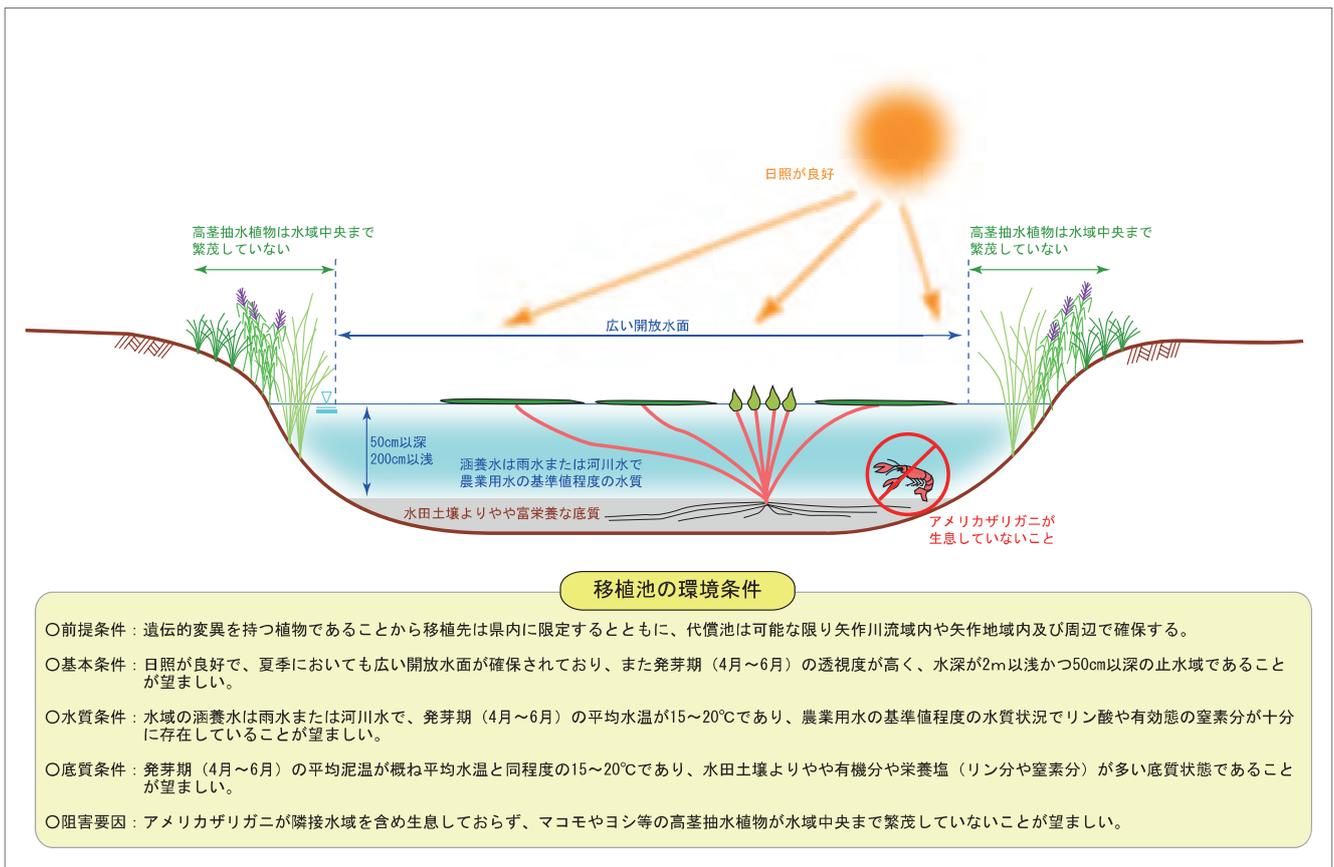


図 9-1 オニバスの生育環境条件の模式図

生育が可能であり、オニバスとの生育競合を引き起こす可能性が高い。従って、移植池の確保では、これら高茎抽水植物の生育が少ない水域を選定するか、除去等の管理によって生育阻害を抑制する必要がある。なお、これら高茎抽水植物は、水質や底質の富栄養化を低減する機能を有しており、オニバスの生育環境を維持する役割もあることから、水際など水深の浅い箇所に生育しているものについては、極力残しておくことが望ましい（図 9-1）。

表 9-3 生育阻害要因

阻害動物	アメリカザリガニが生息していないこと
競合植物	高茎抽水植物が繁茂していないこと

## 10. 今後の課題

今回の研究は、オニバス移植の実効性を念頭に置いた野外環境下での移植実験であり、オニバスの生態特性については概ね把握することが出来たが、生

育阻害要因については、生育阻害動物であるアメリカザリガニが、生育初期の葉柄切断という壊滅的な打撃を与えることは把握されたが、涵養水である地下水水質の影響に起因するリン酸不足による発芽後の生長・生育阻害については、「可能性がある」程度の把握にとどまり、水質や底質条件に起因する生育阻害については、必ずしも十分な把握ができたとは言えず、生育阻害要因の特定に課題が残ったと言える。

残された課題は以下のようなものである。

◆ 水質や底質条件に起因する生育阻害要因の把握  
容器栽培等の定量的な環境条件設定による水質・底質条件に起因する生育阻害要因の検証と特定を目指す。

また、樋管改築に伴う矢作湿地のオニバスのミテイゲーションを実践した後についても、移植の実効性や生態特性の検証のため、モニタリングと更なる検討が必要である。

#### ◆ 生育維持管理の仕組み作り

地元行政機関（坂東市，茨城県）や地域住民と協働した維持管理の仕組み作りも重要な検討事項であるといえ，ミティゲーション実施後にモニタリングを協働で実施し，結果の評価を繰り返しながら，矢作地区に生育するオニバスの適切な保全と恒久的な生育維持管理を図っていく必要がある。

なお，地元関係機関との協働によるオニバスの生育維持管理を効率的かつ効果的に実施していくための指針として，本研究結果を基に「矢作湿地に生育するオニバスの移植後の生育維持管理マニュアル（案）」を作成した。さらに，具体的な生育維持管理作業を行うにあたっての問題点等については，「生育維持管理方法Q&A」として整理した。

### 謝 辞

本研究は，国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所委託業務の一環として実施されたものである。なお，本研究を実施するにあたり，「矢作樋管周辺環境調査検討懇談会」委員の方々，利根川上流河川事務所およびミュージアムパーク茨城自然博物館学芸員の方々には，貴重なご意見，ご指導を頂いた。ここに記して深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 戸谷英雄，玉川勝巳（2006）：樋管工事に伴うオニバスのミティゲーション。河川環境総合研究所報告，第12号，pp.90-108.
- 2) 岡田要之助（1935）：本邦に於けるオニバス分布に就いて生態学会研究，1
- 3) 角野康郎（1983）：オニバスの自然誌，Nature Study，29（6）
- 4) 小幡和男（2006）：茨城県坂東市のオニバス群落における一考察，日本生態学会発表資料
- 5) 香川県環境局（2000）：オニバス保護管理マニュアル
- 6) 中山包（1966）：発芽生理学－訂正版－，内田老鶴園新社
- 7) 角野康郎（1994）：日本水草図鑑，文一総合出版
- 8) 茨城県（1997）：茨城県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－
- 9) 小幡和男（2004）：矢作樋管脇のオニバスの池について
- 10) 国土交通省利根川上流河川事務所（2004）：平成16年度利根川環境調査検討業務報告書－矢作樋管周辺水域調査－
- 11) 環境省（2007）：レッドリスト（植物Ⅰ）維管束植物

# 1) 外来種の取扱いを考慮した 堤防の植生管理に関する研究 — 首都圏氾濫区域堤防強化対策事業への適用 —

戸谷 英雄\*・瀬川 淳一\*\*

## 1. 研究の目的

河川の堤防は材料の入手が容易であり、構造物としての劣化が起きにくく、基礎地盤と一体としてなじみ、かつ嵩上げ等の修復が容易であることから「土堤を原則」としているが、流水・雨水等による法面侵食が生じやすく、従来からシバなどの根毛量の多い植生により被覆してきた。

しかしながら、利根川を初めとした関東地域における堤防では、現在行われている年2～3回の除草では、シバを維持することが困難であり、10年程度で他の植生へ遷移することが分かっている<sup>1)</sup>。

今後、利根川及び江戸川における首都圏氾濫区域堤防強化対策事業によって施工される堤防の断面形状は、図1・2に示すような川表側1:5.0、川裏側1:7.0とする1枚法の緩傾斜堤である。



図 1・1 従来の標準的な堤防断面形状



図 1・2 首都圏氾濫区域堤防強化対策事業の堤防断面形状

このような河川堤防の緩傾斜化により法面積が

増大し、今までと同様な管理を行った場合、堤防除草費用の増加が見込まれている。

よって、堤防植生としての機能を果たす「シバ」に代わる植生により、除草等の維持管理費の軽減を図ることが必要となってくる。

本研究は、利根川の堤防において、堤防植生としての機能を満足し、地域特性に適し、さらには外来種の取扱いに配慮した堤防植生について検討を行い、今後の堤防植生の管理について検討を行ったものである。

## 2. 堤防植生の現状整理・分析

### 2.1 堤防植生タイプ区分

河川堤防はその形状が比較的単調であること、水分に乏しいこと、遮蔽物が無いこと、年1～5回程度の刈り取りがあるという環境条件に特徴づけられ、一般的にはイネ科の比較的均質的な植生が成立している。

堤防上に成立する植生の種類は、主にその優占種と被度により、種類を分けることが可能であるが、堤防上の植物の優占種は多種多様であり、それらを全て把握することは容易ではない。また、河川管理の観点から堤防植生の種類を把握しようとする場合は、純粋な植物学的な観点からの分類ではなく、植生管理の視点から、植物をとらえる必要がある。

\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部長

\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部研究員

これらの堤防上に出現する様々な植生を調査した結果、植生の安定した形はあるまとまりのある数タイプに分類できることが分かってきた。この植生のまとまりを「植生タイプ」と呼称し、堤防植生管理の基礎情報とすることとする<sup>2)</sup>。(なお、この植生タイプは組成調査に基づく植物社会学的な植生単位である「群集」の概念とは異なるものである)

また、この植生タイプは人為の干渉度合い(すなわち草刈り回数)と関連があることが分かっている。

表 2・1 堤防上に出現する植生タイプの分類

人為の干渉度	植生タイプ	
人の干渉度大	シバタイプ	外来牧草タイプ
人の干渉度中	チガヤタイプ	
人の干渉度小	オギ・ススキタイプ	広葉タイプ

※上記以外の植生タイプも存在するが出現頻度は小さい

植生の状態(種組成及びそれぞれの被度)は、季節、その年の気候、除草日からの経過日数、局所的な場所の違い等でばらつきがあり、一連区間の堤防

法面を評価しようとした場合に、いつ、どこを調査するかについての基準を定めるのは難しいものがある。しかし、植生の「タイプ」レベルの大まかな区分であれば、季節による変化も少なく、かつ面的に表現できる指標なので、区間別の植生の現状を把握する手法としても優れている。

以上の理由から、植生管理上のための堤防植生の分類は、特定植物の被度ではなく「植生タイプ」を用いることが適当と考えられる。

堤防上に出現する植生のタイプの分類方法は、主に図2・1のフローに従って区分することが出来る。

## 2.2 堤防植生タイプの特徴と利根川における分布

### 2.2.1 堤防植生タイプの特徴

関東地方整備局管内における主要河川の堤防植生調査結果から、主要な植生タイプ(5タイプ)の特徴を表2・2に整理した。

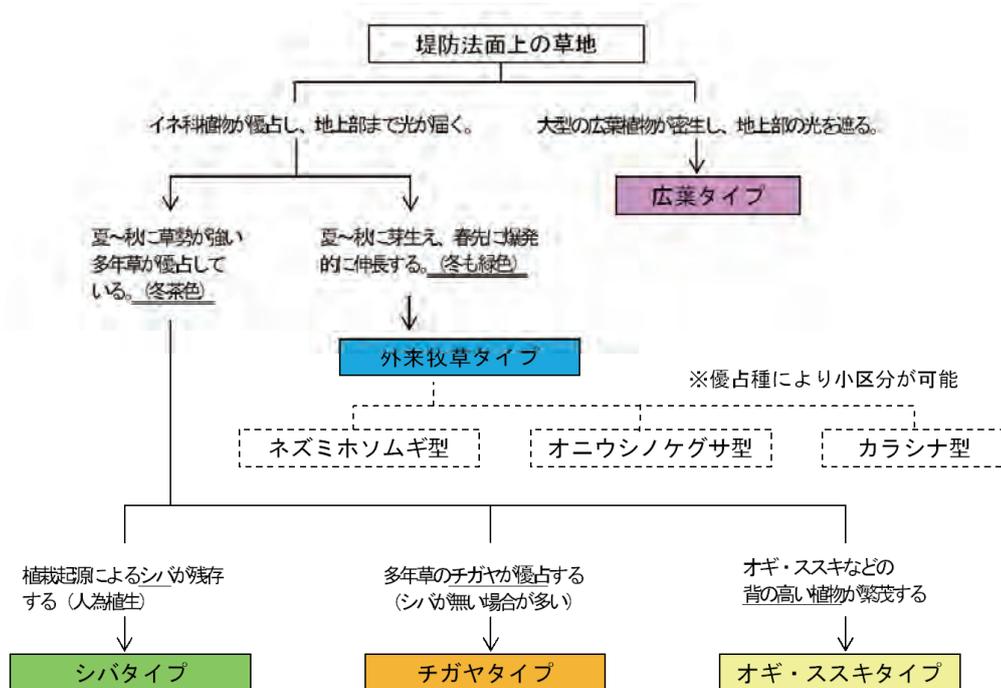
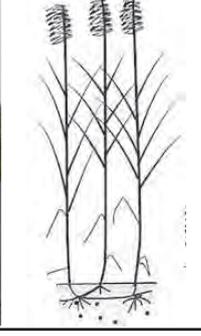


図 2・1 堤防植生タイプの分類フロー図

表 2-2 堤防植生タイプの特徴

堤防植生タイプ	シバタイプ			
	優占種	シバ		
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植栽された多年草のシバが優占する群落。</li> <li>・ 草丈が低く、ほふく茎で地表面を覆い、マット状に成長する草地。</li> <li>・ 根毛量が多いが、根が浅い。</li> <li>・ 成長点が地表面に近く、踏圧等の条件がない場所では、他の植物に負けやすい。</li> </ul>				
堤防植生タイプ	チガヤタイプ			
	優占種	チガヤ		
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 在来中型イネ科多年草（暖地型）が優占する群落。</li> <li>・ 4～5月に芽生え、秋まで生育を続ける。</li> <li>・ 根系で繁殖するため、刈取りに強い。</li> <li>・ 年2～4回刈り程度に適應するが、回数が多いと衰退する。</li> </ul>				
堤防植生タイプ	外来牧草タイプ			
	優占種	ネミホリギ、オウソノゲサ		
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 寒地型の外来牧草が優占種となり、特に春季の成長が早く、草丈も高い。</li> <li>・ 越年生種が優占する場合は、夏季以降一年草に優占種が交代する。</li> <li>・ 優占種は種子で繁殖し、地下茎は小さい。</li> </ul>				
堤防植生タイプ	広葉タイプ			
	優占種	イタドリ、クサマオ		
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 優占種が葉を広げ、地表面への光を遮蔽する。</li> <li>・ 地表面は裸地化傾向にある。</li> <li>・ 根茎で増加し、一度定着すると根絶は難しい。</li> <li>・ 除草回数を増やすと被度は減少する。</li> </ul>				
堤防植生タイプ	オギ・ススキタイプ			
	優占種	オギ、ススキ		
<p>特徴：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 草丈が1～2mの在来大型イネ科多年草が優占する群落。</li> <li>・ 道路法面などではススキが優占種となるが、河川堤防ではオギが優占種となっている。</li> <li>・ 年1回刈り程度に適應するが、回数が多いと衰退する。</li> </ul>				

## 2.2.2 利根川における堤防植生分布

利根川上流河川事務所管内における堤防植生タイプの分布を把握するため、堤防植生調査を行った。概況を整理したものを図2・2に示す。

利根川上流河川事務所管内の堤防植生タイプ区分図を基に現況の植生タイプを把握すると、全川を通じてチガヤタイプが全体の7割程度を占めており、次いで外来牧草タイプが2割程度分布している。シバタイプについては、築堤後間もない場所を主に分布しており、全体の1割程度である。

オギ・ススキ及び広葉タイプについては、局地的に分布している。

## 2.3 植生の遷移過程

### 2.3.1 植生管理の実態

養生後に実施される通常の植生管理として除草及び集草が実施されている。植生管理（除草、集草等）の水準については、法律の改正や予算の制限等の影響により、その年により変化してきている。

利根川上流河川事務所管内における植生管理水準の変遷について、表2・3に示す。

表2・3 植生管理水準の変遷

時期	植生管理水準
～平成元年	2回刈り 2回集草（除草剤使用）
平成2～4年	2回刈り 2回集草（除草剤使用中止）
平成5～9年	4回刈り 1回集草
平成10～15年	3回刈り 1回集草
平成16年～	表法：2回刈り 1回集草 裏法：3回刈り 1回集草

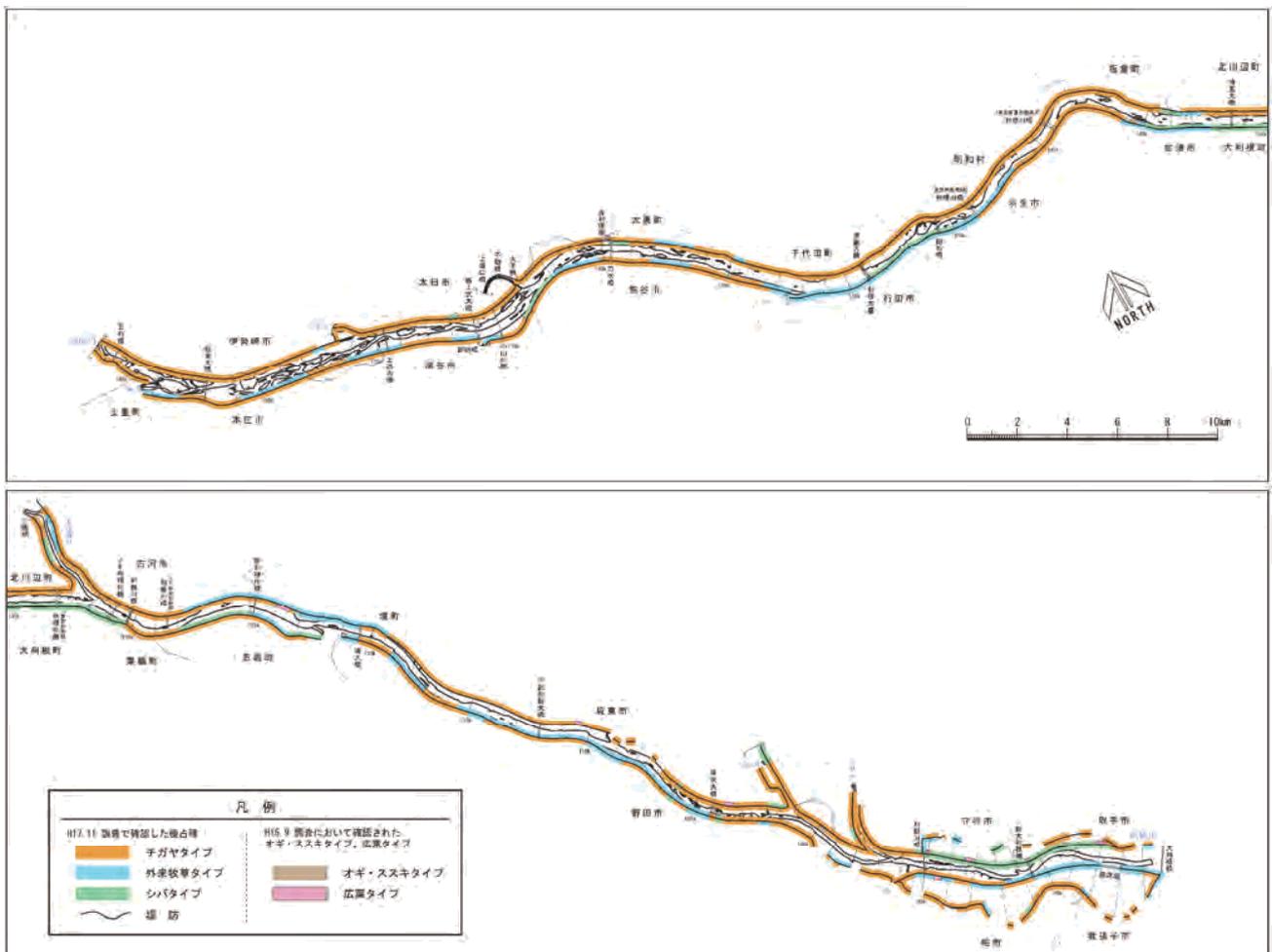


図2・2 堤防植生タイプ区分図（利根川上流：H17）

### 2.3.2 植生の遷移

平成2年までは除草に加えて、除草剤散布を年2回使用してきており、比較的シバが維持されやすい状況下であった。

しかし、平成2年3月19日付け「農薬の使用に関する河川の維持管理について」より、堤防における除草剤散布が原則禁止され、さらに除草回数が少なくなったことで、シバが維持されにくい状況となった。

図2-3は利根川上流河川事務所管内における堤防の施工年度と現在(H17年時点)における堤防植生タイプの関係を示したものである。

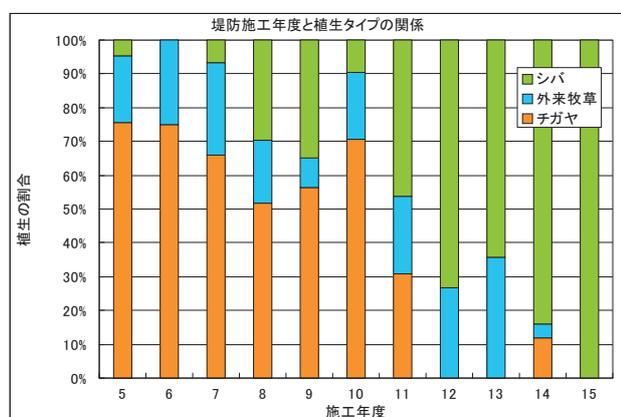


図2-3 堤防施工年度と植生タイプの関係

築堤された堤防の法面はシバにより施工される。施工後3年間は養生を行うため、概ねシバで維持されているが、その後、表2-3で示した植生管理水準に移行すると、シバより草丈の高いチガヤタイプや外来牧草タイプに遷移することが分かる。

したがって、養生等シバ以外の種を除去する作業下においては、シバタイプで維持可能であるが、その後の年2~3回の除草回数では、シバタイプでは維持出来ず、他の植生タイプ（チガヤタイプもしくは外来牧草タイプ）に遷移していくことが分かる。

## 3. 堤防植生に求められる機能

堤防植生に求められる機能は、降雨や洪水等の侵食外力に対して法面を保護する治水機能と、沿川に緑地空間を創出する環境機能の2つがあげられる。

## 3.1 治水機能

堤防植生の治水機能は、①雨水や流水による法面等の侵食を保護する耐侵食機能を有していること。②堤防点検時に支障のない草丈であることの主に2つがあげられる。

### 3.1.1 耐侵食機能

堤防植生は、雨水や洪水が与える法面への衝撃(侵食外力)を、地上部の葉や茎が和らげているということもあるが、主に根系が地表面の根の間にある土粒子を保持し、雨水や流水から土粒子の流出を防止または流出量を減少させることにある。

堤防植生の法面保護機能の評価指標については、建設省土木研究所河川研究室の研究により表層の平均根毛量と相関があることが明らかになっている<sup>3)</sup>。



写真3-1 根毛量調査

各植生タイプ別の平均根毛量については、図3-1に示すデータが得られており、シバタイプ>チガヤタイプ>外来牧草タイプの順に根毛が表層付近に集中していることが分かった。また、シバタイプの根毛が表層付近に集中しているのに対し、チガヤタイプは比較的地表面から深い場所に根毛が発達してい

る。これは、チガヤの地下茎が地表よりやや深い場所にあるためであり、局所的な侵食箇所があっても、堤防全体が破壊されにくいというチガヤタイプの特性を表している。

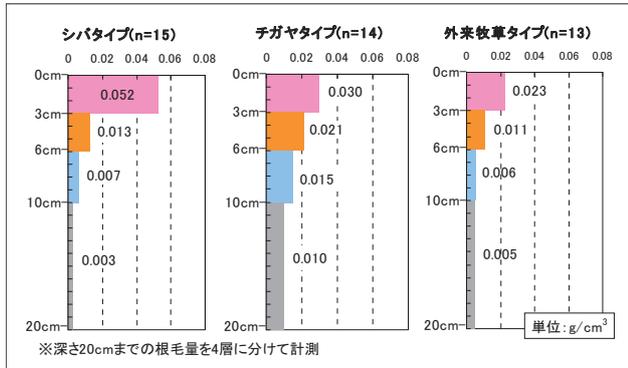


図 3-1 表層から 20cm までの植生タイプ別根毛量

### 3.1.2 堤防点検上支障のない草丈

堤防植生は草丈が高くなると堤防表面の様子が分からなくなるほか、法面を自由に歩くことが出来なくなり、出水時の点検や水防活動に支障が出るのが想定される。特に、出水時には裏法尻等における漏水等に特に注意する必要がある、ある程度草丈を抑えて堤防の状況が把握できるようにすることが望まれる。

出水期前の堤防点検時に、堤防の状況を目視確認できる草丈などについて、科学的に必要な草丈が検証された事例はないが、「河川砂防技術基準(案) 維持管理編(河川)(試行案)」(平成 10 年 3 月)では経験的に 40~50cm 以下で管理することが適正であるとされている。

## 3.2 環境機能

堤防植生の環境機能は、植生の創出する緑の空間が人々の憩いの場になるとともに、生物の育成、生息の場になっている。これは、沿川の市街地化に伴い自然環境が失われている現状の中で、緑の堤防が人々にとって貴重なオープンスペースとなっており、レクリエーションや野外教育活動あるいはリラクゼーションの場となっていることにある。また、堤防が人為的に草原の状態で維持されているため、特に草原に依存する昆虫等の生物の生育、生息空間とな

っていることにある。

## 4. 望ましい堤防植生タイプの選定

堤防植生としての機能を満足し、地域特性に適し、さらには外来種の取扱いに配慮した、シバに代わる植生タイプの選定を行った。

選定にあたっては、下記に示す治水機能として堤防植生に求められる必要条件、維持管理コスト、外来種の取扱いの 3 点を選定基準とした。

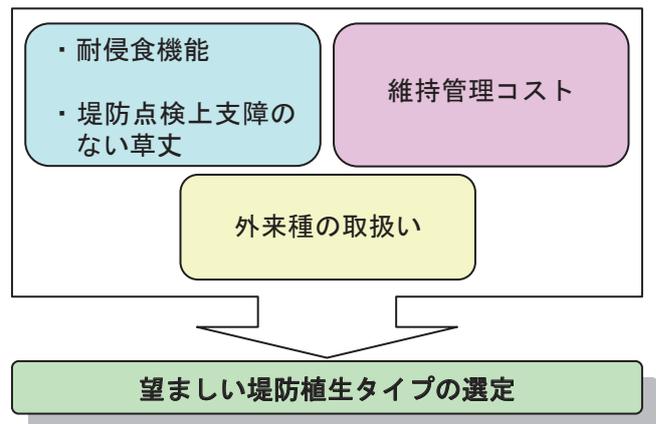


図 4-1 望ましい堤防植生タイプの選定基準

### 4.1 治水機能として堤防植生に求められる必要条件

#### 4.1.1 耐侵食機能の評価

堤防植生は前述の通り、治水上必要な耐侵食機能を有している必要がある。耐侵食機能の評価については、今後新たに施工する堤防は、表法 5 割、裏法 7 割の緩傾斜堤防となり、堤防法面上の摩擦速度は現状よりも小さくなるものと想定されるため、耐侵食力は現状の堤防植生と同程度でよいと考えられる。そのため、根毛量についても現状と同程度であればよいものとして評価した。

#### 4.1.2 堤防点検上支障のない草丈の評価

堤防植生の草丈の評価については、管理された状況下において、堤防点検上支障のない草丈である 40~50cm 以下であることとした。

## 4.2 維持管理コストの評価

堤防法面積の増大に伴い、その後の維持管理費の増大が見込まれる。ここでは、各植生タイプを維持していく際に、現状の管理水準と同程度、もしくは低いコストで維持管理が可能であるか否かで評価した。

## 4.3 外来種の取扱い

「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」(平成17年10月)(略称：外来生物法)により、特定外来生物に指定された種は防除等の対象となる。

また、それ以外の外来種(特に「要注意外来生物」に指定されている種)については、法規制はないが、今後、特定外来生物に選定され、駆除の対象となる

可能性は十分に考えられる。

したがって、望ましい堤防植生タイプの選定にあたっては、外来生物法の規制対象種である「特定外来生物」及び「未判定外来生物」、ならびに「要注意外来生物」は避けるものとした。

## 4.4 望ましい堤防植生タイプの選定

治水機能として堤防植生に求められる必要条件、コスト面、外来種の取扱いの3つの選定基準を基に、代表される堤防植生タイプ毎に評価を行った。その評価結果を表4-1に示す。

なお、3つの選定基準を1つでも満たさないものがある堤防植生タイプについては、選定から除外した。その結果、利根川上流河川事務所管内において最も多く分布しているチガヤタイプが選定された。

表4-1 望ましい堤防植生タイプの選定

植生タイプ	代表種	必要条件		維持管理コスト※ <sup>2</sup>	外来種の取扱い	施工方法	施工実績	施工コスト※ <sup>1</sup>	維持管理手法	草刈機の種類	選定結果	選定根拠
		①耐浸食機能	②草丈									
シバタイプ	シバ	◎	◎	×	○	・河川堤防の従来工法として張芝が実施されている。 ・施工費の低減を目的として試験施工を実施している。	◎	△	・草刈回数は4~5回/年以上で維持される。 ・草丈：20~30cm(管理された状態での草丈) ・1回の草刈で発生する刈草量は少ないと考えられる。	全川を通じてハンドガイド式および人力で除草を実施している。	×	・現状の管理で維持することが不可能(コスト面で不適)であるため、選定より除外した。
チガヤタイプ	チガヤ	○	○	○	○	・吹付では近畿地方整備局で試験施工が実施されているが、種子の採取など実用性が困難である。苗の植栽について実績があり、表土まき出しについて、他河川で試験事例がある。	△	△	・草刈回数は2~4回/年で維持されるが、傾度が高いと衰退する。 ・草丈：40~80cm(管理された状態での草丈) ・刈草量はシバタイプよりも多いが、外来牧草タイプより少ない。		◎	○必要条件のすべてを満たすため望ましい堤防植生タイプとして選定した。
外来牧草タイプ	ヒメオドリ、カシ、カシ、カシ	○	×	○	×	・道路等の緑化で吹付の実績はある。また、北海道の緩傾斜堤防では、植栽工法としての実績がある。(オウゴン等)	○	◎(吹付)	・草刈回数は2~4回/年で維持される。 ・生産量が高いため、刈草量は多いと考えられる。 ・草丈：20~100cm(管理された状態での草丈)		×	・外来種であり、今後、種によっては、特定外来種(駆除対象)となる可能性があるため選定より除外した。
オギ・ススキタイプ	オギ、ススキ	-	×	○	○	・ススキについては道路法面において吹付の実績があるが、河川堤防での実績はない。	○	◎(吹付)	・草刈回数は1回/年で維持され、それ以上では衰退する。 ・草丈：100cm(管理された状態での草丈) ・1回の草刈で発生する刈草量は多い。		×	・耐浸食性について評価手法が確立されていないほか、草丈が高く点検上支障のない状態で管理することが困難となる可能性があるため選定より除外した。
広葉タイプ	クサギ、クサギ	-	×	○	○	・イタドリについては道路法面において吹付の実績があるが河川堤防での実績はない。	○	◎(吹付)	・少ない草刈回数でも維持される。 ・また、2~3回/年の草刈回数にも耐える。 ・草丈：60~80cm(管理された状態での草丈)		×	

※<sup>1</sup>：当該植生を維持するために必要な管理コスト(表法：2回、裏法：3回)を現状と比較した評価である。

※<sup>2</sup>：施工コストについては張芝と比較した評価である。

※<sup>3</sup>：種類によっては、現在の除草回数で管理された状態での草丈が50cm以下のものも存在する。

注)評価基準

項目	必要条件			外来種ではない	検討要素		現状管理で維持できる	一次選定(案)試験施工で検証
	①耐浸食	②草丈	③管理コスト		施工実績	施工コスト		
◎	期待できる	10~30cm	現状の管理コストより安い	-	河川内での実績有	張芝と比べて安い	できる	試験施工で検証
○	ある程度期待できる	30~50cm	現状の管理コストと同	在来種	河川外での実績有	張芝と比べて同等	-	-
△	-	-	-	-	試験レベルで有	張芝と比べて高い	できない	-
×	期待できない	50cm以上	現状の管理コストより高い	外来種	-	-	-	試験施工では検証しない
-	不明	-	-	-	-	不明	-	-

## 5. 試験施工

### 5.1 試験施工の目的

望ましい堤防植生タイプとしてチガヤタイプが選定されたが、チガヤを施工するとした時に以下に示す課題があげられる。

<課題>

- ① チガヤを使用した植栽実績が少なく、チガヤタイプの堤防を創出可能か不確定である。
- ② チガヤ種子からの法面緑化に期間を要し、流水・雨水による初期の耐侵食機能が低い。

以上のことから、最終的にチガヤタイプの堤防が創出可能であるかについて検証し、また、目標とするチガヤが播種後、法面を緑で覆うまでの期間が、他の植物よりも時間を要するため、初期段階において、堤防法面を雨水・洪水等の侵食作用から守るために早期緑化が可能なシバやギョウギシバ等の植物と一緒に播種した場合に、それが早期緑化の機能を十分に果たし、かつ他の植生に悪影響を及ぼさないものであるか、以上2点に視点を置いて試験施工を経て明らかにすることにした。

### 5.2 試験施工フロー

試験施工に至るまでの手順として、図5-1にフローを示す。

### 5.3 各植生・植栽工法の既往知見の整理

#### 5.3.1 各植生の特性の整理

一般的に法面緑化で使用されている各植生の種子特性について、緑化種苗の取扱いがある大手4社のカタログを基に整理、把握した。なお、現時点で市場流通していない種については、各図鑑等を基に整理した。

表5-1に各植生の種子特性について整理したものを示す。

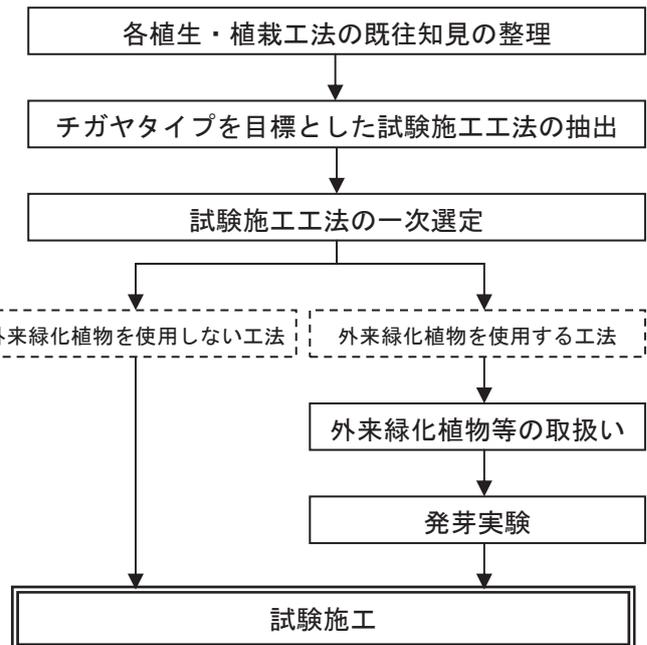


図5-1 試験施工フロー

表5-1 各植生の種子特性

種名	草丈 (cm)	種子特性				
		純度 (%)	発芽率 (%)	粒数 (/g)	発芽 日数	播種量 (g/m <sup>2</sup> )
シバ	7-30	97~	60-90	1500- 2000	7-15	10-15
ギョウギ シバ	7-40	98	80	3800- 4000	7-12	8-30
チガヤ	40-80	—	70	3000	3-14	3.5
ヨモギ	50-150	50	60	3000	—	3
メヒ シバ	40-70	—	—	2200	—	0.25- 1.0
アキノ エノコロ グサ	20-80	—	—	1800	—	0.25- 1.0

【出典】イネ科植物図鑑、日本植物種子図鑑、種苗メーカーカタログ

#### 5.3.2 植栽工法の整理

既往文献より堤防法面を初めとした法面緑化工法について整理した。その結果、大きく3つの植栽方法に分類でき、さらにそれぞれの植栽方法の中でいくつかの植栽工法の実績が把握された。

表5-2に整理結果を示す。

表 5.2 植栽工法一覧

植栽方法	植栽工法	植栽工法の概要	初期導入植生種 (利用名・別名)	施工実績	施工時期
播種工	種子散布工	種子、ファイバー類、侵食防止材、肥料などの材料を水と混合して、ハイドロシーダーにより斜面に散布する工法。良質な生育基盤（盛土等）が確保できる場所に適用する。	シバ (ノシバ、洋シバ)	■	5月
			チガヤ	▲	6月
			ヨモギ、アキノエノコ ログサ	■	3月
播種工	植生シート工	種子、肥料などを装着したシート状の被覆材（植生シート）を目串などで地表に密着させながら張付ける工法。被覆材にはわら、むしろ、不織布、薄綿付ネットなどがある。	シバ（ノシバ）	■	5月
	植生マット工	種子、肥料、土壌改良材、有機質資材を装着したマット状の被覆材（植生マット）をアンカーや釘などで固定しながら張付ける工法。植生マットは植生シートより材質が厚く、また、樹脂ネットや袋状の繊維で補強されているので、強度が高く侵食防止機能も高い。	チガヤ	▲	6月
植栽工	張芝工	整地した斜面に牧草やノシバなどの切芝を斜面全体あるいは筋状、格子状などに貼り付ける工法。切芝の標準的な寸法は14×35cmまたは28×36cm程度であるが、幅20cm程度のロール芝を使用することもある。	シバ	●	通年
	チガヤ株植栽工	チガヤの根株を植付ける工法。	チガヤ（株） チガヤ（苗） チガヤ（根茎）	■ ▲ ▲	6月 6月 不明
表土利用工	表土利用工	埋土種子を含む表土を斜面に散布する工法。	在来種 (埋土種子)	■ ●	3月 3月
	表土マット移植工	現存する表土を乱さずマット状に採取し、法面に移植する工法。	ミヤコザサ	▼	5~6月 9月

●：河川での実績あり ■：試験施工 ▲：研究レベル ▼：河川以外での実績あり



写真 5.1 種子散布工



写真 5.2 植生シート工



写真 5.3 張芝工



写真 5.4 チガヤ株植栽工

## 5.4 チガヤタイプを目標とした試験施工工法の抽出

既存の法面緑化工法の整理結果を基に、試験施工の目的であるチガヤタイプ堤防の創出を目標とした際に考えられる試験施工工法の抽出を行った。なお、抽出を行う際に、チガヤ種子特性を考慮し、初期侵食防止対策が必要と想定されるものについては、補助工法併せて実施するものとした。表5-3に抽出結果を示す。

られ、これらの条件を満たすことを前提とする。

### <必要条件>

- ① 施工初期のエロージョン防止のため法面の早期緑化が可能であること
- ② 治水上必要な耐侵食機能を有していること（現状の根毛量と同等程度であれば可）
- ③ 堤防点検上支障のない草丈（40～50cm 以下）であること
- ④ トータルコストとして低いコストで施工・維持管理が可能であること

## 5.5 試験施工工法の一次選定

### 5.5.1 工法の選定における基本的な考え方

試験施工工法の一次選定を行うに際し、以下に示す4つの点を評価軸とした。

- 堤防植生に求められる必要条件
- 外来種の取扱い
- 種子の市場性
- 長大法面に対する実現性

### 2) 外来種の取扱い

外来生物法において「特定外来生物」及び「未判定外来生物」に指定されている種については使用せず、また、外来生物法の規制対象とはならないが「要注意外来生物リスト」に選定されている緑化種についても使用しないこととした。

### <外来種の取扱い>

外来生物法の規制対象種（「特定外来種」、「未判定外来生物」）及び「要注意外来生物」でないこと

### 1) 堤防植生に求められる必要条件

堤防植生に求められる必要条件について、治水面、河川管理面および維持管理のコスト面から整理する。

具体的には下記に示す4つの必要条件が挙げ

### 3) 種子の市場性

施工に使用する植生種について、種子、苗、根茎等の材料調達の可否により施工に制限が生じる。ここでは、現在の市場性（材料の調達

表5-3 チガヤタイプを目標とした試験施工工法一覧

植栽方法	植栽工法	初期導入植生種 (利用名・別名)
播種工	種子散布工	シバ(ノシバ)【種子】 チガヤ【苗】 チガヤ【種子】
	種子散布工 +補助工法 (初期侵食防止植物吹付+被覆シート)	シバ(ノシバ)、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】 チガヤ【種子】、ギョウギシバ(バミューダグラス)【種子】 チガヤ【種子】、シバ(ノシバ)【種子】 チガヤ【苗】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】 チガヤ【根茎】、ギョウギシバ(バミューダグラス)【種子】
	種子散布工 +補助工法(被覆シート)	シバ(ノシバ)【種子】
	植生シート工	シバ(ノシバ)【種子】 チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】
	植生マット工	シバ(ノシバ)【種子】 チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】
	刈草伏工+補助工法(被覆シート)	刈草(秋季除草時の刈草)
	植栽工	株植付工
株植付工 +補助工法(初期侵食防止植物吹付)		チガヤ【株】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】
張芝工+チガヤ種子散布工		シバ【張シバ】、チガヤ【種子】
表土利用工	表土吹付工	チガヤ【埋土種子】
	表土マット移植工	チガヤ【表土マット】

の程度)及び今後の需要拡大に伴う市場性の拡大が見込まれるものについて評価した。

現可能な)工法かどうか評価した。

<種子、苗の市場性>

現時点において市場性があり、または今後の市場性が拡大する見込みがあり、材料の調達が容易である(見込みがある)こと

<長大法面に対する実現性>

現状の技術や設備及び今後の開発による技術や設備において大量施工が可能であること(可能性が見込めること)

4) 長大法面に対する実現性

緩傾斜堤防については、法面積が増大するため、大量施工に適した工法が望ましい。ここでは、現状の技術や設備及び今後の開発による技術や設備において、大量施工に適している(実

5.5.2 試験施工工法の一次選定

前項の一次選定の評価軸を基に、チガヤを目標とした試験施工工法の一次選定を行った。その結果、表5.4の一次選定の欄に“◎”もしくは“○”印のついた9つの工法が抽出された。

選定された9つの工法の概要を表5.5に整理した。

表5.4 試験施工工法の一次選定

植栽方法	植栽工法	初期導入植生種 (利用名・別名)	必要条件				外来種の取扱い	種子・苗の市場性	長大法面に対する実現性	一次選定	
			初期侵食防止	耐侵食機能	点検上支障のない草丈	コスト					
播種工	種子散布工	シバ(ノシバ)【種子】	×	◎	◎	◎400	◎	◎	◎	×	
		チガヤ【苗】	△	○	○	◎400	◎	△	◎	×	
		チガヤ【種子】	×	○	○	◎400	◎	△	◎	×	
	種子散布工 +補助工法 (初期侵食防止植物吹付+被覆シート)		シバ(ノシバ)、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	○	◎	○	◎400	◎	◎シバ △メヒバ	◎	×
			チガヤ【種子】、ギョウギシバ(パミュダグラス)【種子】	○	○	○	◎400	◎	△ <sup>※iv</sup>	◎	◎
			チガヤ【種子】、シバ(ノシバ)【種子】	○	○	○	◎400	◎	△チガヤ ◎シバ	◎	◎
			チガヤ【苗】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	○	○	○	◎400	◎	△ <sup>※v</sup>	◎	◎
種子散布工 +補助工法(被覆シート)		チガヤ【根茎】、ギョウギシバ(パミュダグラス)【種子】	○	○	○	×2,845 <sup>※iii</sup>	◎	△ <sup>※iv</sup>	◎	×	
		シバ(ノシバ)【種子】	○	◎	◎	◎1,100	◎	◎	◎	◎	
		シバ(ノシバ)【種子】	○	◎	◎	◎1,010	◎	◎	○	×	
		チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	○	○	○	◎1,010	◎	△ <sup>※v</sup>	○	◎	
植生シート工		シバ(ノシバ)【種子】	◎	◎	◎	×5,128	◎	◎	○	×	
		チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	◎	○	○	×5,128	◎	△ <sup>※v</sup>	○	×	
植生マット工		シバ(ノシバ)【種子】	◎	◎	◎	×5,128	◎	◎	○	×	
		チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	◎	○	○	×5,128	◎	△ <sup>※v</sup>	○	×	
刈草伏工+補助工法(被覆シート) <sup>※ii</sup>		刈草(秋季除草時の刈草)	○	○	○	◎1,000	◎	-	◎	◎	
		シバ(ノシバ)【種子】	○	◎	◎	◎1,010	◎	◎	○	×	
植栽工	株植付工	チガヤ【株】	△	○	○	◎1,350 <sup>※vi</sup>	◎	△	○	○	
	株植付工 +補助工法(初期侵食防止植物吹付)	チガヤ【株】、メヒシバ、アキノエノコログサ【種子】	○	○	○	◎1,750 <sup>※vi</sup>	◎	△	○	○	
表土 利用工	張芝工+チガヤ種子散布工	シバ【張シバ】、チガヤ【種子】	◎	◎	○	◎1,700	◎	△	○	○	
	表土吹付工	チガヤ【埋土種子】	△	○	○	×4,043	◎	×	○	×	
	表土マット移植工	チガヤ【表土マット】	◎	○	○	×25,000	◎	×	×	×	

注) 評価基準【凡例】

項目	必要条件				外来種の取扱い	市場性	実現性	一次選定
	1初期侵食防止	2耐侵食機能	3草丈	4導入コスト				
◎	期待できる	期待できる	10~30cm	強さより安い	在来種	一般的に流通	機械施工である	必要条件を十分に満たすので、試験施工実施工法として選定する。
○	ある程度期待できる	ある程度期待できる	30~50cm	強さより高いが、張芝施工時の2種以下	-	-	一部手作業である	必要条件を満たすが、一次選定で◎の工法と比較するとコスト面等において劣る。試験施工実施工法としては選定するが、試験施工を実施する優先順位は低い。
△	補助工法が必要	-	-	-	外来種	需要拡大に伴う市場性の拡大が期待できる	-	-
×	期待できない	期待できない	50cm以上	張芝施工時の2種以上	侵略的外来種	現時点で未流通	手作業である	必要条件を一つでも満たさない条件があるので、試験施工実施工法から除外する。
-	不明	-	-	-	-	-	-	-

※市場性については現時点で流通しているか否かで判断した。ただし、種子の生産については在来種の種子を採取し、圃場で栽培することにより1年で流通が可能との報告がある。

※ii 外來種繁殖少ない秋の刈草を利用し、コスト面で優れた伏工(刈草上に被覆シートを敷き、アンカーピン等で固定する)を採用した。

※iii 刈草を切断して吹付ける工法としてはPPE緑化工法等があるが、高価(2,845円/㎡)であるため、付工を採用した。

※iv パミュダグラスを使用した場合:◎、ギョウギシバの場合:△(現時点でギョウギシバの流通は確認できていないが、需要拡大による市場性の拡大が見込める)。

※v 種子の市場性については、生産が容易と考えられ、今後の需要拡大に伴う市場性の拡大が期待できる。

※vi 播数は8本/㎡で算出。

※vii 播数は8本/㎡で算出し、メヒシバ、アキノエノコログサ種子吹付代(400円/㎡)を加算。

表 5・5 一次選定された試験施工工法の概要

植栽方法	植栽工法	初期導入植生種 (利用名・別名)	工法の概要
播種工	種子散布工 +補助工法 (初期侵食防止植物吹付+被覆シート)	チガヤ【種子】、ギョウギシバ(バ ミューダグラス)【種子】	チガヤの種子とギョウギシバの種子等 を客土等と混合攪拌し吹付ける。 その後、エロージョン防止等の点か ら、被覆シート(長繊維不織布)を敷 設する。
		チガヤ【種子】、シバ(ノシバ)【種 子】	チガヤの種子とノシバの種子等を客土 等と混合攪拌し吹付ける。 その後、エロージョン防止等の点か ら、被覆シート(長繊維不織布)を敷 設する。
		チガヤ【苗】、メヒシバ、アキノエ ノコログサ【種子】	栽培したチガヤセル苗および在来種 (メヒシバ、アキノエノコログサ)の 種子を客土等と混合攪拌し吹付ける。 その後、エロージョン防止等の点か ら、被覆シート(長繊維不織布)を敷 設する。
	種子散布工 +補助工法(被覆シート)	シバ(ノシバ)【種子】	安価なノシバ吹付けにより施工し、草 刈の頻度の変化、養生の有無によりチ ガヤ草原に早期遷移を促せる管理方法 を模索する。
	植生シート工	チガヤ【種子】、メヒシバ、アキノエ ノコログサ【種子】	チガヤの種子と在来種(メヒシバ、ア キノエノコログサ)の種子を混合した ものを貼着した植生シート(2次製品) を法面にアンカーで打設する。
刈草伏工+補助工法(被覆シート)※ii	刈草(秋季除草時の刈草)	刈草に残った在来種(メヒシバ、アキ ノエノコログサ等)の種子を利用する ため、被覆シート(長繊維不織布)に よる伏工を行う。	
植栽工	株植付工	チガヤ【株】	法面にドリル等で穴を開け、株を植付 ける。
	株植付工 +補助工法(初期侵食防止植物吹付)	チガヤ【株】、メヒシバ、アキノエ ノコログサ【種子】	法面にドリルで穴を開け、株を植付け る。 その後、株植付では株間が裸地となる ため、在来種(メヒシバ、アキノエ ノコログサ)の種子を客土等と混合攪 拌し吹付ける。
	張芝工+チガヤ種子散布工	シバ【張シバ】、チガヤ【種子】	張シバ(総シバ)にて施工後、目土掛 けの要領でチガヤ種子を客土等と混合 攪拌し吹付ける。 張芝からの遷移を目的としているが、 チガヤの供給源として種子吹付を行 う。

## 5.6 外来緑化植物等の取扱い

一次選定された試験施工工法の中には、堤防の初期侵食防止の観点から、成長の早い植生種(初期侵食防止植物)を導入する工法があげられている。これは、目標とするチガヤが播種後、法面を緑で覆うまでの期間が、他の植物よりも時間を要するためである。そのため、初期段階において、堤防法面を雨水・洪水等の侵食作用から守るために早期緑化が可能なシバやギョウギシバ等の植物と一緒に播種し、初期侵食防止を図ることを目的としている。

### 5.6.1 初期導入植生の実態

試験施工において使用する初期導入植生につい

ては、一般的に既存の法面緑化として使用されているものを使用する。但し、チガヤ、メヒシバ、アキノエノコログサの3種については、一般の市場には流通していないため、既存の堤防に生育している植物から種を採取し、使用することとした。

一方、シバ、ギョウギシバについては、一般流通しているものを使用するが、「平成17年度外来生物による被害の防止等に配慮した緑化植物取扱い方針検討調査結果(環境省 自然環境局、農林水産省 農村振興局、林野庁、国土交通省 都市・地域整備局、河川局、道路局、港湾局)」(平成18年12月)によると、外国産の在来緑化植物の生産・流通等に係わる問題があげられている<sup>4)</sup>。これは、種自体は在来のものであっても、生産地が外国産であり、在

来植物との交配による遺伝的な攪乱が懸念される。

このような状況を受け、緑化種苗の取扱いがある大手4社に対し、一般に堤防等法面緑化に使用されている品種の原産地、生産地について聞き取り調査を行った。その結果を表5-6に示す。

表5-6 一般に流通しているシバ、ギョウギシバの実態

種名 (利用名)	種苗 会社	学名	原産地	生産地
シバ (ノシバ)	A社	<i>Zoysia Japonica</i>	中国, 韓国	アメリカ
	B社		アメリカ	
	C社		日本, 中国, 韓国	中国, 韓国
	D社		中国, 韓国	アメリカ
ギョウギシバ (バミューダグラス)	A社	<i>Cynodon dactylon</i>	アフリカ	アメリカ
	B社		アメリカ	
	C社		アフリカ	
	D社		アメリカ	

一般に流通しているシバ、ギョウギシバ種子の実態を把握した結果、シバの生産地は全て国外であった。原産地においても、ほぼ全て国外であり、種を使用した主に播種工において使用されているものは、(外国産) 在来緑化植物であることが裏付けられた。

### 5.6.2 初期導入植生の区分

「平成17年度外来生物による被害の防止等に配慮した緑化植物取扱方針検討調査結果」において、外来緑化植物の定義等に関する概念整理を行い、本調査において対象とする調査対象種を選定している。

当調査に基づく、外来緑化植物の位置付け及び区分と定義については、表5-7、表5-8とされている。

表5-7 外来緑化植物の位置付け

自然分布	国内		国外	人為的に作出
	国内由来	国外由来		交配等による育種
区分	在来緑化植物	外来緑化植物 (外国産) 在来緑化植物		栽培植物

表5-8 緑化植物の区分と定義

区分	定義
在来緑化植物	国内に自然分布域を有しており、国内由来の遺伝子型を有する緑化植物
外来緑化植物	国外由来の遺伝子型を有する緑化植物
(外国産) 在来緑化植物	国外由来の遺伝子型を有しており、国内にも自然分布域を有する緑化植物

この緑化植物の区分と定義を基に、本研究の試験施工における初期導入植生を区分分けすると、表5-9の通りとなる。

表5-9 試験施工初期導入植生の区分

試験施工における 初期導入植生		緑化植物の区分
種名(和名)	利用名・別名	
チガヤ	—	在来緑化植物
シバ	ノシバ	(外国産) 在来緑化植物
ギョウギシバ	バミューダグラス	外来緑化植物
メヒシバ	—	在来緑化植物
アキノコグサ	—	

### 5.6.3 外来緑化植物等の取扱方向

「平成17年度外来生物による被害の防止等に配慮した緑化植物取扱方針検討調査結果」において、外来緑化植物等の取扱いに係わる暫定的な考え方(案)が出されている。

これによると、外来緑化植物による生態系等への影響を回避・低減させるためには、外来緑化植物の使用を控えることが望ましいとされているが、現状においては調査対象種に替わる在来緑化植物の供給体制が整っていないことや、機能的に補完でき生態系等への影響がない代替種が明らかになっていないことなどから、現状においてこれらの使用を取りやめることは困難であり、当面は、緑化地周辺の地域

の生物多様性を損なわないことを前提として、外来緑化植物等の個々の特性に十分留意して適正な利用を図っていくものとされている。

本研究の試験施工において使用する、シバ、ギョウギシバにおいては、それぞれ「(外国産) 在来緑化植物」、「外来緑化植物」と区分されており、それらの取扱方向(案)としては下記の通りとされている。

表 5・10 望ましい取扱方向 (案)

(外国産) 在来緑化植物
①緑化材料としてイネ科植物の選定に際しては、緑化目的を達成し得る範囲内において、可能な限り草丈の低い種・品種、種子による繁殖力の小さい種・品種を使用する。
②施工を行う際には、上記の特性を持つ種の播種量や配合率を小さくすることにより、使用量を抑えるなどの工夫を行う。
外来緑化植物
法面緑化等にあたっては、緑化目的を達成し得る範囲内において、生物多様性保全上において重要な地域 <sup>注)</sup> では可能な限り、(外国産) 在来緑化植物の使用を避け、周辺の植生の状況等に応じて、国内産の在来緑化植物や地域性系統に配慮した緑化植物材料等の活用、森林表土を用いる工法や自然植生の侵入を促進する工法等の生物多様性に配慮した緑化工法を導入する。

一方、今回の試験施工において使用する、シバ(ノシバ)、ギョウギシバ(バミューダグラス)については、チガヤが優先するまでの間の初期侵食防止植物として、目標植生であるチガヤタイプが優占した後は、その役目を終え、施工後1~2年で衰退することという位置付けとしている。

以上のような、外来種をめぐる最近の動向を踏まえ、今回の試験施工における外来緑化植物等の取扱いと今後の方針(案)について表 5・11 の通りとした。

表 5・11 試験施工における外来緑化植物等の取扱いと今後の方針(案)について

堤防植生として、外来種を使用することについては、外来生物法の規制対象種(特定外来生物、未判定外来生物)及び要注意外来生物の使用は避け、それ以外の種については、発芽実験及び試験施工を経て、どこまでを許容するのかを整理した上で使用(運用)する。

その後、発芽実験及び試験施工を通してモニタリングを実施し、初期侵食防止の機能を果たしつつ、衰退し、かつ周辺の生態系等へ悪影響を及ぼさないことが確認された上で、初期導入植生として運用していくものとする。

#### 5.6.4 発芽実験

初期導入植生として使用予定であるシバ(ノシバ)及びギョウギシバ(バミューダグラス)については多数の品種が存在し、純度、発芽率等が一定でない。

また、生産地が国内でない外国産のため、種子の収穫時等に生産地(国外)の植物が混入している可能性が考えられる。

さらに、これら2種については、初期侵食防止植物として使用するものであることから、その機能が発揮されなければ全く意味をなさない。

以上のような実態を踏まえ、これら2種を対象とし、屋外における発芽実験を行い、試験施工における初期導入植生としての可否を検証する。



写真 5・5 発芽実験

### 5.6.5 試験施工

一次選定された試験施工工法を対象に、発芽実験において初期侵食防止植物の可否を検証した後に、今後、試験施工を実施する。

本研究では、試験施工を実施していく上で、試験施工及びその後のモニタリングが的確に実施されるよう、「堤防植生試験施工計画（案）」を作成した。

#### 1) 堤防植生試験施工計画（案）の構成

堤防植生試験施工計画（案）については、試験施工の目的である、最終的にチガヤタイプの堤防をどのようにして創出するかを検証するために必要な項目について記述した。

また、本研究の目的である維持管理費の縮減を念頭に、試験地の設定の際、養生の有り・無し区間を設け、養生の必要性を検証することとした。

さらに、試験施工は実施しただけでは全く意味を持たず、その後のモニタリングが非常に重要であるため、モニタリングについても、調査項目、時期、頻度等を明記し、今後の解析・評価に役立つように設定した。

目次	
1. 試験施工の基本的な考え方	3
1.1 本書作成の背景	3
1.2 試験施工の基本的な考え方	4
1.3 試験施工の目的	6
2. 前提条件の整理	7
2.1 気象条件	7
3. 試験施工計画	9
3.1 実施工法	9
3.2 初期導入植生ごとの特性	12
3.3 気象条件、植生の特性から判断した施工適期	13
3.4 試験施工区の設定	14
3.5 チガヤの採種	15
3.6 堤防植生試験施工計画（案）	17
4. 管理	43
4.1 養生管理	43
4.2 維持管理	44
5. モニタリング	45
5.1 初期土質・土壌条件の把握	45
5.2 モニタリング項目	46
6. 今後の課題	50
6.1 チガヤの採種	50
6.2 試験施工後の維持管理	50

### 2) 堤防植生試験施工計画（案）

試験施工工法毎に、下記項目についてそれぞれ明記した。なお、図5-2に例を示す。

- (1) 試験施工確認事項
- (2) 実施工法の概要
- (3) 養生の有・無
- (4) 施工手順
- (5) 施工適期
- (6) 工区の設定
- 【使用材料】
- 【施工手順（写真付）】

**種子散布工 [チガヤ（種子）] + 補助工法（初期侵食防止植物吹付 + 被覆シート） [ギョウギシバ（種子）]**

(1) 試験施工確認事項

- 1) 混播するギョウギシバによる初期侵食防止機能を確認。
- 2) ギョウギシバ草原が成立した場合、ギョウギシバ草原からチガヤへの遷移を確認。

(2) 実施工法の概要

- 1) ハイドロシーダー（種子吹付け機）のタンク内にチガヤ種子、ギョウギシバ種子、土壌安定剤、肥料を水と共に混合攪拌し、法面に均一に吹付ける。①②、③④、⑤⑥ではチガヤの種子量を変え（ギョウギシバ種子量は一定）、発芽生育状況を比較する。（標準を3.5g/m<sup>2</sup>とし1.75g/m<sup>2</sup>、7.0g/m<sup>2</sup>の3段階とする。）
- 2) いずれの工区でも、エロージョン防止、発芽の増進、乾燥対策の観点から、被覆シート（長繊維不織布）を敷設し養生する。また、風による飛散防止対策として、止めピンを1本/2 m<sup>2</sup>程度で設置する。

(3) 養生の有無

養生柵の設置、シート管理は全区間にて実施する。  
養生を行う工区（②、④、⑥工区）では雑草管理（チガヤ、ギョウギシバ以外の植物を除草する）を実施する。

(4) 施工手順

- 1) 試験施工区をロープ等にて設定する。
- 2) 施工区が乾燥している場合は、吹付け前に散水車にて十分に灌水を行う。
- 3) タンク内及びノズルをよく洗浄したハイドロシーダーのタンク内でチガヤ種子、ギョウギシバ種子、土壌安定剤、肥料を水と共に混合攪拌する。
- 4) できる限り均一に種子を散布する。また、工区境ではコンパネ等を使用し、はみ出さないように注意する。
- 5) 散布完了後に被覆シート（長繊維不織布）にて全体を被覆する。この時、止めピンは不織布が破れないようおさえの付いた物を1本/2 m<sup>2</sup>程度使用する。
- 6) 被覆シート（長繊維不織布）がチガヤの種子と共に土壌表面に密着するように、敷設後は散水を行う。
- 7) 草丈が3~5cm程度になった頃を目安に被覆シート（長繊維不織布）をピンと共に撤去する。

(5) 施工適期

チガヤ、ギョウギシバの播種期から勘案し、施工適期は3~6月、9~11月とする。なお、3月には最低気温が0℃を下回る日がある可能性があるため、被覆シート（長繊維不織布）で必ず被覆するか3月の施工よりも4月の施工が望ましい。

図5-2(1) 堤防植生試験施工計画（案）

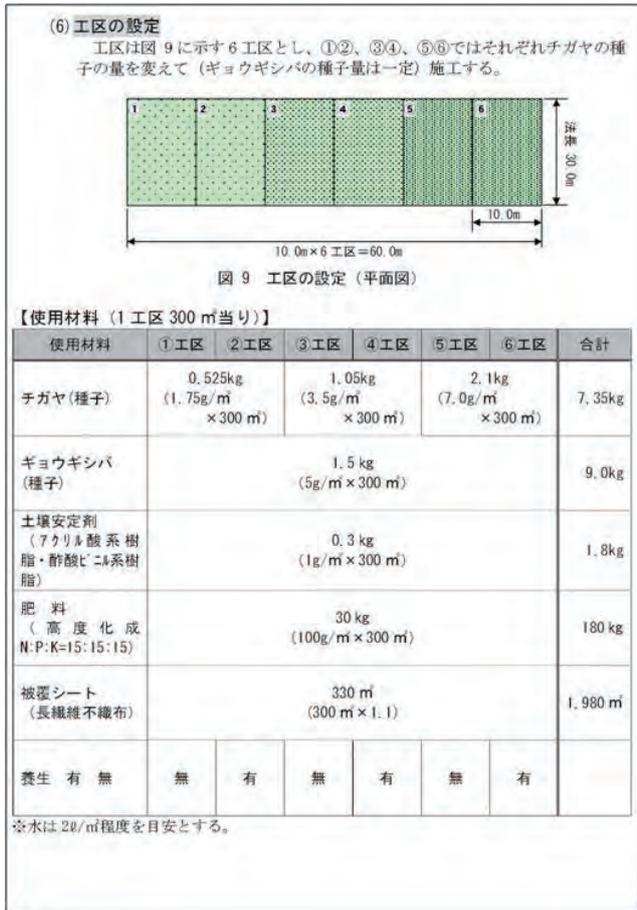


図 5・2(2) 堤防植生試験施工計画（案）

3) モニタリング調査

試験施工の目的に対しての評価を行うため、モニタリング調査を実施する。モニタリング調査項目については、試験施工において確認すべき内容を踏まえ、設定した。調査項目は下記の通りである。

- (1) 植生調査
- (2) 侵食状況調査
- (3) 土壌水分調査
- (4) 土壌硬度調査
- (5) 根毛量調査  
(or 根系強度調査)
- (6) 土壌試験 (pH, 全窒素, 全炭素等)

なお、調査項目毎に、調査目的、調査方法、実施時期、実施回数、調査箇所を明記した。

表 5・12 調査方法の記載例（侵食状況調査）

侵食状況のランク		
◎	△	×
地表面が植生に覆われ、土砂の流出が見られない。	若干の土砂の流出が見られ、表面の砂粒が流出している。	土砂の流出がみられ、地表面が溝状に削られている。

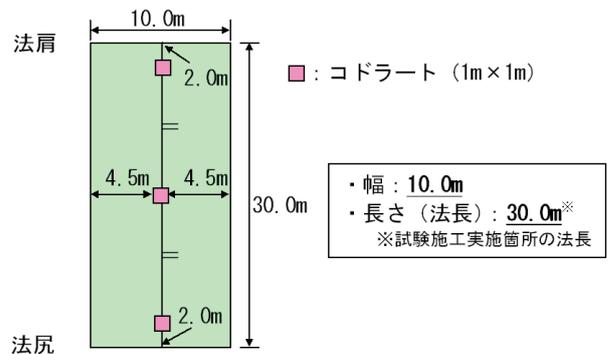


図 5・3 調査箇所の記載例（植生調査）

## 6. まとめ

本研究は、現在の限られた堤防植生の管理水準の中で、今後新たに発生する堤防を、どのような植生タイプを目標に維持管理してゆけばよいかについて検討を行った。今回はまだ、利根川の堤防上で実施する試験施工に至るまでの考え方、計画を立てたに過ぎず、今後、外来種の取扱いを考慮した発芽実験、試験施工を経て、的確なモニタリング調査を実施し、出てきた結果の分析・評価を行い、実堤防への運用へ結び付ける必要がある。

また、その間にも別途検討が進められている、外来生物に係わる様々な委員会、研究会、専門家会合等の結果を踏まえ、河川堤防における外来緑化植物の取扱い方針に反映していく必要がある。

一方、今回は新たに施工される堤防に対し、望ましい堤防植生タイプとしてチガヤタイプが選定されたが、目標とする植生タイプが全川一律であることは本来適さない。場所毎によって、治水面、環境面、さらには地元からの要望が異なり、その場所毎で目標とする植生タイプが異なってくるのが十分想定される。したがって、各河川における区間毎の必要とする治水機能、環境機能、地元からの要望等を踏まえ、目標とする植生タイプを設定し、その植生タイプを維持するための管理水準（除草・集草回数、時期等）を設定していくといった、体系的な堤防植生管理計画を実施していくことが望まれる。

## 7. 今後の課題

### 7.1 チガヤ種子供給の仕組みづくり

現状では、国内産のチガヤの種子の市場性は低く、今回の試験施工において使用するチガヤの種子は、既設堤防法面から手作業で採種する方法となっており、十分に種子を供給できる体制の整備という点では、採種の機械化等の検討が必要である。

また、高水敷の未占用箇所を活用し、チガヤの圃場を整備し、民間と委託契約を結ぶことで、安定的にチガヤを供給できる仕組みづくりについても併せ

て検討する必要がある。

### 7.2 堤防植生管理費の縮減

今後の堤防植生の維持管理において、緩傾斜堤防が連続的に整備された場合、法面積が増大するため維持管理費の増加が想定される。当課題については、草刈・集草機械の大型化により、作業の効率化、コスト縮減が期待できる。また、草刈・集草回数等も再検討することで更なる効果が期待できるため、大型草刈機の導入による維持管理について、今後検討する必要がある。

## 謝 辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所委託業務の一環として実施されたものである。なお、本研究を実施するにあたり、「利根川上流堤防植生管理検討会」委員の方々、利根川上流河川事務所管理課の方々には、貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに記して深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 北川明・宇多高明・竹本典道・栗田信博・服部敦(1995)：植生の遷移と堤防の管理，水工学論文集第39巻。
- 2) 佐々木寧・戸谷英雄・石橋祥宏・伊坂充・平田真二(2000)：堤防植生の特性と堤防植生管理計画，河川環境総合研究所報告第6号。
- 3) 土木研究所資料第3489号第3編(1997)：堤防のり面に繁茂する植生の耐侵食性の評価方法に関する研究
- 4) 環境省自然環境局・農林水産省農林振興局・林野庁・国土交通省都市・地域整備局，河川局，道路局，港湾局(2006)：平成17年度外来生物による被害の防止等に配慮した緑化植物取扱方針検討調査報告書

## 2) 中条堤を活用した 利根川の洪水氾濫被害拡大防止の可能性検討

戸谷 英雄\*・阿左美 敏和\*\*・清水 義彦\*\*\*・松尾 宏\*\*\*\*

### 1. はじめに

利根川の河口から約 155km 付近の利根川中流部に右支川福川が合流している。その福川右岸の農地・集落の中を利根川から離れるように堤防が続いている（写真 1・1, 1・2）。これが「中条堤」と呼ばれてきた利根川の古い堤防で、江戸時代から明治時代末期にかけて、利根川の治水が連続堤防方式ではなかった時代に治水の要であった堤防である（宮村 1981）。

一方、近年わが国の河川をとりまく状況を見ると、これまでの記録を超えるような豪雨の発生による破堤、氾濫原への人口・資産の集積、高齢化社会の到来による災害時要援護者の増加、災害経験の減少・水防団員の減少・危機意識の低下による地域防災力の低下等、自然的・社会的条件変化により深刻な河川災害が頻発している。破堤災害は多くの人命・財産を失うばかりか、事後対応も被災者の大きな負担となることから、破堤のような急激に災害現象が拡大することに対する対策は重要である。

このような状況を踏まえると、今後も施設能力の向上を図る必要がある。しかしながら、限られた投資余力の中で破堤災害を発生させない施設整備には時間がかかること等を踏まえると、これまでの対策に加え、破堤災害が発生した場合でも被害を最小化する「減災」を図ることが、今後の治水対策の基本的命題であり、氾濫等が発生している状況においても、できるかぎり人命を守ること、社会機能の継続・

早期回復を図ることを主眼におき、以下のような地域形成、危機管理が求められている。

- ①氾濫時も被害にあいにくい住まい方等への転換
- ②氾濫流制御施設による洪水氾濫エリア拡大防止
- ③確実かつ円滑な避難
- ④救援・復旧・復興の効果的な実施

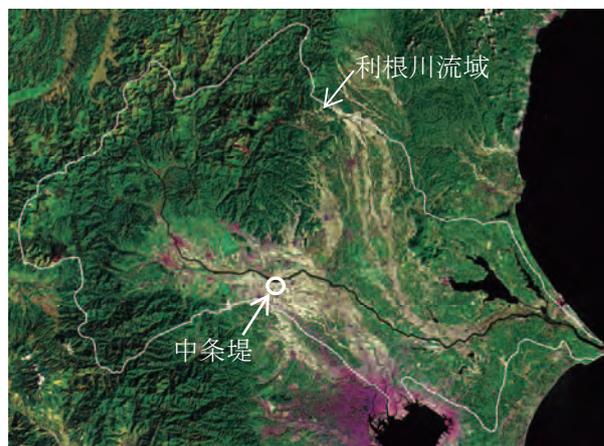


写真 1・1 空から見た中条堤



写真 1・2 利根川合流部付近の中条堤・福川

\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 4 部長  
\*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第 4 部研究員  
\*\*\* 群馬大学 大学院工学研究科 准教授  
\*\*\*\* (株) 日水コン河川事業部 技術第一部調査役

本研究は、このような社会的背景を踏まえ、江戸時代から明治時代末期まで治水機能を有していた中条堤に関わる文献・資料を収集し、中条堤の経緯や役割など歴史的意義について考察するとともに、現在における中条堤と周辺地域との関わりや氾濫解析による氾濫流制御効果などを踏まえ、利根川の洪水氾濫による被害拡大防止を目的とした危機管理施設としての活用の可能性について検討を行ったものである。

この歴史的治水施設である中条堤は、利根川、福川および荒川の洪水を中条堤の上流側へ一時的に湛水させ、中条堤下流側の地域を洪水から守ることを目的としたものであったが、明治43年洪水をきっかけに、利根川の治水計画が連続堤防による治水方式に変わったため、治水計画上その役割を終えた。

このように中条堤は一部は縮小、撤去されたものの、ほぼ原形のまま保存されている。

## 2. 中条堤の歴史

### 2.1 中条堤の概要

図2・1に示すように、中条堤は埼玉県熊谷市と行田市にまたがって位置し、過去長い年月の間に改変されながらも一部は残されてきた。

中条堤は、福川が利根川に合流する手前の右岸堤から次第に離れ、熊谷市上中条菱沼地先辺りまでは昔の面影をとどめている。その上流は消滅しているが、旧福川を直線化した用水路（北河原用水・奈良川）の右岸堤防にすりつけられている（表2・1）。

管理主体は、現在埼玉県および見沼代用水土地改良区の管理施設となっている。

表2・1 中条堤の状況

旧堤名	現況
中条堤 (四方寺堤) ※790.9m	道路として残る部分もあるが、大部分は農地となり形跡がない。
中条堤 (上中条堤) ※2732.7m	下流部の900m区間が現存している。その上流部は道路として残る部分もあるが、農地となり形跡がないところもある。
中条堤 (北河原堤) ※3000m	昔の面影をとどめて現存している。

※「新編武蔵国風土記稿」記載の長さをm換算  
 (彩の川研究会(2002)「埼玉県内に残る旧堤の調査研究報告書」に一部追加)

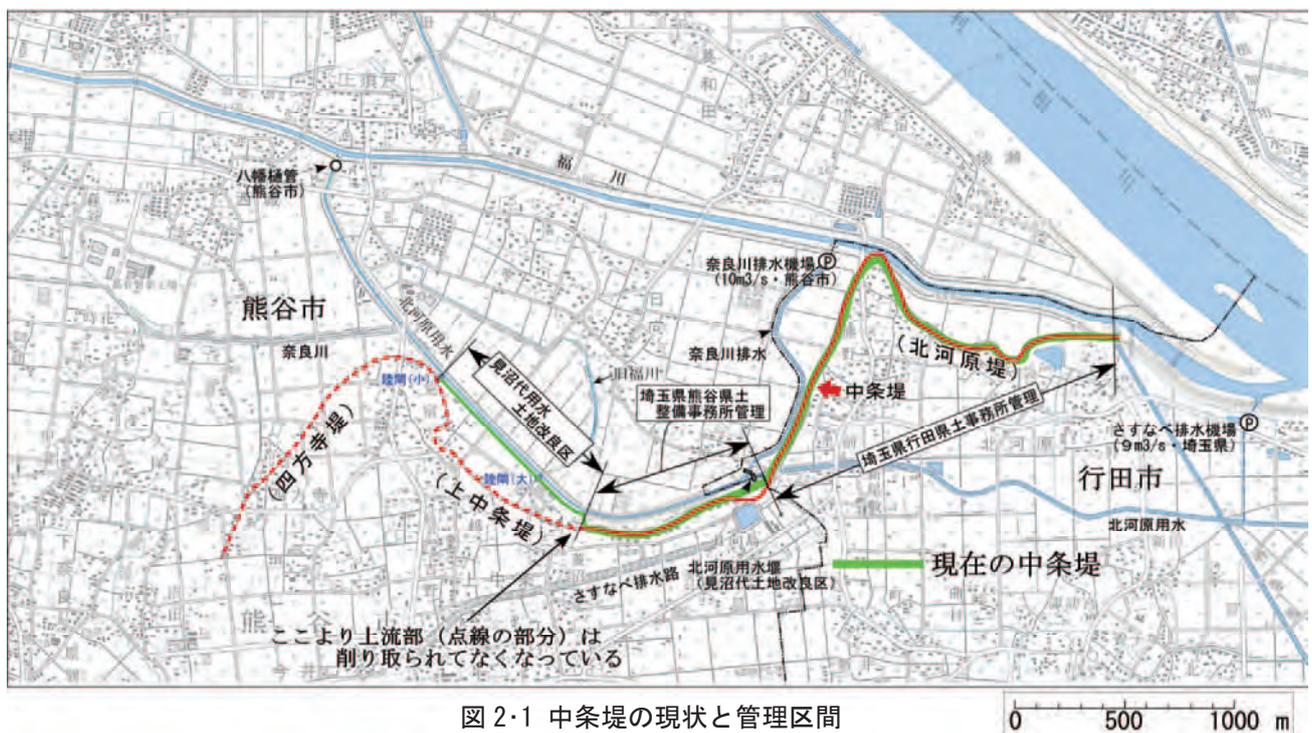


図2・1 中条堤の現状と管理区間

## 2.2 中条堤の歴史と役割

### 2.2.1 中条堤の成立

中条堤の成立については定かではないが、天正20年(1592)の忍藩の松平家忠による築堤および慶長年間(1596~1615)における伊奈忠次による築堤の記録が中条堤成立として支持されている。さらに、貞享年間(1684~1688)の強化および享保年間(1729)に上中条堤に繋げて四方寺堤を構築した記録などがあり、江戸時代を通じて次第に変化し、強固な治水施設となっていったことがうかがえる(宮村1981)。また、古代からの地域特性や支配関係による地域開発などから、近世以前からその前身があったという研究報告もある(坂田1978, 宮村1978・1985, 松浦1991)。

中条堤を挟んで南側(下流側)には、徳川氏が関東入府以来、北関東、東北に対する拠点として重要視し忍領(現在の行田を中心とした支配領域)を配しており、忍領の開発のため利水および治水対策を推し進めていったところでもある。

一方、中条堤の北側(上流側)は妻沼低地と呼ばれる利根川・荒川の氾濫で形成された平坦に近い緩やかな傾斜の沖積平野であり、荒川が利根川へ注いでいたころの荒川扇状地の末端に位置するところである(籠瀬1981)。

### 2.2.2 中条堤の機能

利根川中流部の瀬戸井(左岸)・酒巻(右岸)の川幅はその上下流に比べ極端に狭い狭窄部となっていた。その上流の左岸側には元亀年間(1570~73)築堤, 天正年間(1573~92)改築, そして文禄年間(1592~1596)に修築された文禄堤があり, この左岸の文禄堤と右岸の中条堤とを合わせ, 狭窄部の上流側に遊水地を生み出すという明確な形で示された治水対策が施されていた。中条堤の上流には, 対岸の文禄堤より脆弱で低い善ヶ島堤や江原と葛和田の2カ所の無堤地があった。洪水時にはこれらの箇所から氾濫水が流れ込み, 中条堤はその氾濫水を一旦溜め, あるいは越流し, 利根川の水位が下がると中条堤で溜まった湛水が葛和田の無堤箇所から利根川に戻っていく, いわゆる霞堤として葛和田村地先の無堤区間で洪水を逆流氾濫させる遊水地の役割を持っていた(宮村1981, 1985)(図2・2, 図2・3)。

なお, 文禄堤は長大な堤防であるが, 中条堤より破堤しやすい堤防で, 洪水時に中条堤の破堤を回避させていたとされる(宮村1985)。中条堤が洪水によっては破堤した際には, 下流の忍領はじめ江戸市中までも被害を及ぼすものであった。中条堤はこのように近世以降明治時代まで下流部の埼玉の平野及び江戸を守るため, 利根川の中流部で洪水を貯留・調節し, 下流への河道流量を低減させる機能, 性格を持つ近世の利根川治水の要として位置づけられていた堤防であった。



図 2-2 中条堤上流部における利根川洪水時のメカニズム  
 (「利根川百年史」を参考に一部加筆)

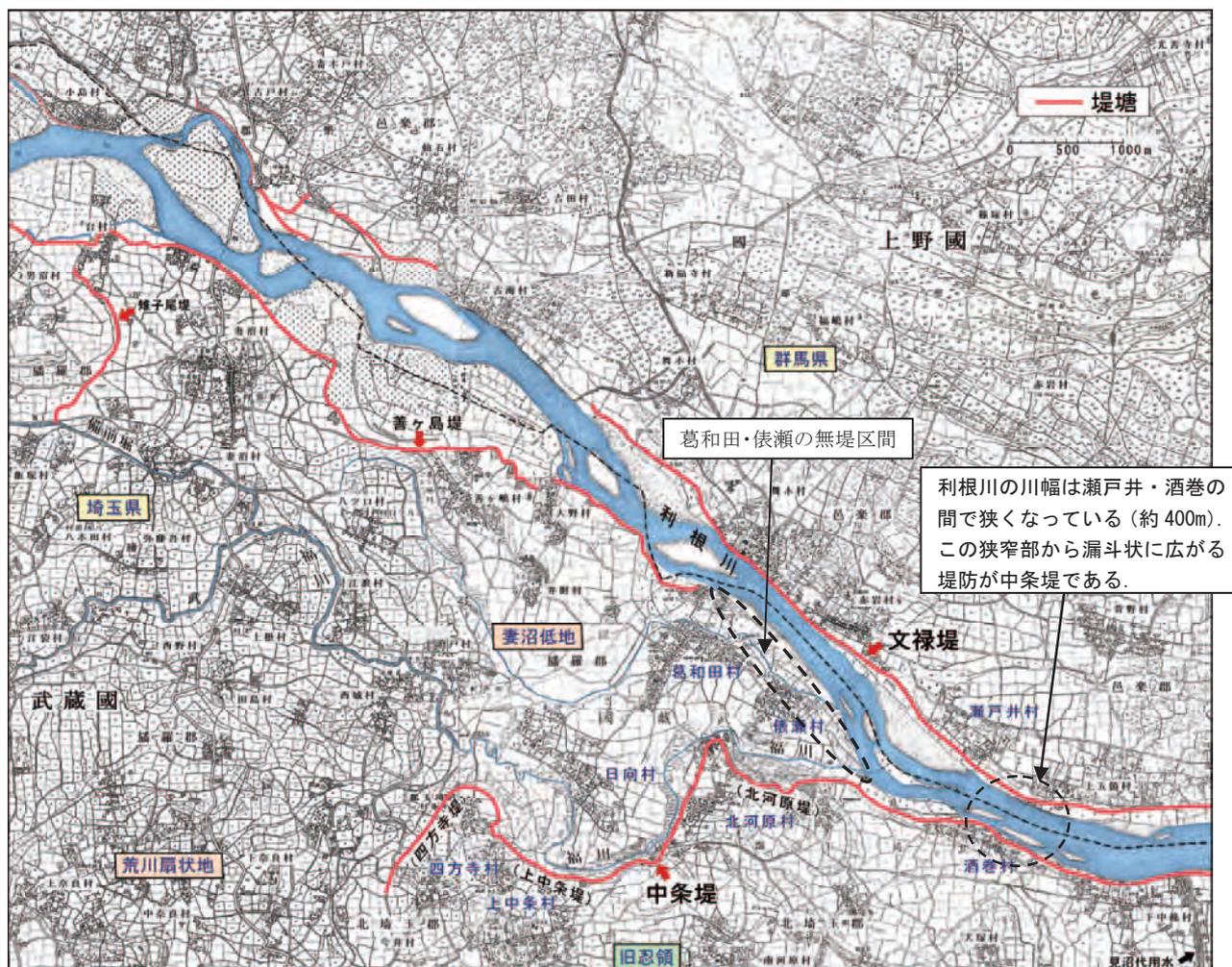


図 2-3 明治 17 年頃の中条堤付近の状況  
 (明治 17 年測量「迅速図」の堤塘部分を赤い線で示したもの。国名，群名，村名追記)

### 2.2.3 明治時代利根川治水計画と中条堤

江戸時代～明治時代の利根川の治水史上、中条堤を挟んでの上下流間で起こった論争や普請、地域開発に関する記録などから坂田(1978)、宮村(1979)、松浦(1995)などによる中条堤の役割についての考察がなされている。

明治時代以降利根川の計画高水流量の変化は、他河川にみられない流量増加の変化をみせてきたが、明治期の低水工事から高水工事への転換や流量変化などの説明が中心で(宮村 1974)、利根川の治水計画の上の中条堤貯水効果を示した資料は乏しい。

ここでは明治時代の低水工事から高水工事に移行する時期である明治 43 年洪水後の改修計画の変更における、中条堤の位置づけと効果の変遷について、小阪・松浦(1995)、宮村(1974, 1981, 1985)、大熊(1981)、利根川百年史編集委員会(1987)を参考に整理した。

#### 1) 低水工事～高水工事へ(明治 19 年～明治 33 年)

- ・明治 19 年(1886) 4 月、ムルデル(アントニー・トーマス・ルベルタス・ローウェンホルスト・ムルデル)により「利根川(自妻沼至海)改修計画書」が策定され、明治 20 年(1887)以降低水工事を主体とした工事が行われる。
- ・明治 23 年, 27 年, 29 年と相次ぎ大きな洪水に見舞われ、利根川高水工事を主体とした改修工事計画が近藤仙太郎らにより進められ、明治 26 年より調査が開始される。
- ・明治 23 年根岸門蔵らによる「利根川水利改良ニ付請願」ほか治水に関する請願が第 1 回帝国議会に提出されて、治水に関する建議が行われた。
- ・明治 29 年(1896) 河川法が成立し、明治 30 年に利根川がその対象河川となって、翌年明治 31 年(1900)に近藤仙太郎による「利根川高水工事計画意見書」が出される。

#### 2) 明治 33 年改修計画に於ける中条堤付近の工事

- ・明治 33 年(1902)に利根川改修計画が策定され、群馬県芝根村(現佐波郡玉山村五料)から銚子河口までの利根川本川約 51 里(204km)の区間で、

第一期～第三期に分けて下流から漸次上流に向けて着工されることとなった。

- ・明治 33 年改修計画において、瀬戸井・酒巻付近は第三期改修工事の対象区間とされる。
- ・第三期改修工事では、中条堤上流部での湛水被害から逃れるためとして瀬戸井・酒巻の狭窄部の拡幅が計画され、その対象とされた洪水流量(計画対象流量)は 13 万 5 千立方尺/秒(3,750 $m^3/s$ )とした(図 2・4)。なお、この洪水量は、明治 18, 23, 27, 29 年の 4 洪水の平均で決められ、配分量は 1885(明治 18)年 7 月出水にほぼ等しい。
- ・近藤仙太郎による「利根川高水工事計画意見書」では、瀬戸井・酒巻狭窄部の直上流に位置する妻沼から上流の計画対象流量について、15 万立方尺/秒(4,170 $m^3/s$ )とし狭窄部の下流より大きくしている。中条堤上流での遊水によって 1 万 5 千立方尺/秒(約 417 $m^3/s$ )のピーク流量低減を見ている(小坂・松浦 1995)。
- ・この計画では、瀬戸井・酒巻の狭窄部の部分的な拡幅を図りながらも中条堤上流の遊水効果を期待するものであった。
- ・中条堤上流では乱流状態の河状の整理、拡幅等が中心であって、築堤は計画されていない。俵瀬～葛和田間の新堤や、善ヶ島堤の嵩上げも計画されていない。
- ・利根川改修計画第一期改修工事明治 42 年度竣工、第二期改修工事が明治 40 年度着工、第三期改修工事が明治 43 年度より着工された。
- ・上流部(第三期改修工事)酒巻～妻沼付近は未着工のまま明治 43 年洪水が起こる。
- ・出水後、中条堤の復旧をめぐり、上郷・下郷が激しく対立し騒動が起こる。

#### 3) 明治 43 年洪水後の改修計画

- ・芝根村下流の上利根川は、20 万立方尺/秒(5,570 $m^3/s$ )が計画対象流量となり、この流量に基づいて整備が行われる(図 2・5)。
- ・1900(明治 33)年の計画に比べて渡良瀬川合流点上流の川俣において 6 万 5 千立方尺/秒(約 1,820 $m^3/s$ )増大した。

- 江戸川を改修計画に組み入れ、配分量 8 万立方尺/秒 ( $2,230\text{m}^3/\text{s}$ ) の流量河道に整備し、下利根川配分量を 12 万立方尺/秒 ( $3,340\text{m}^3/\text{s}$ ) とした。

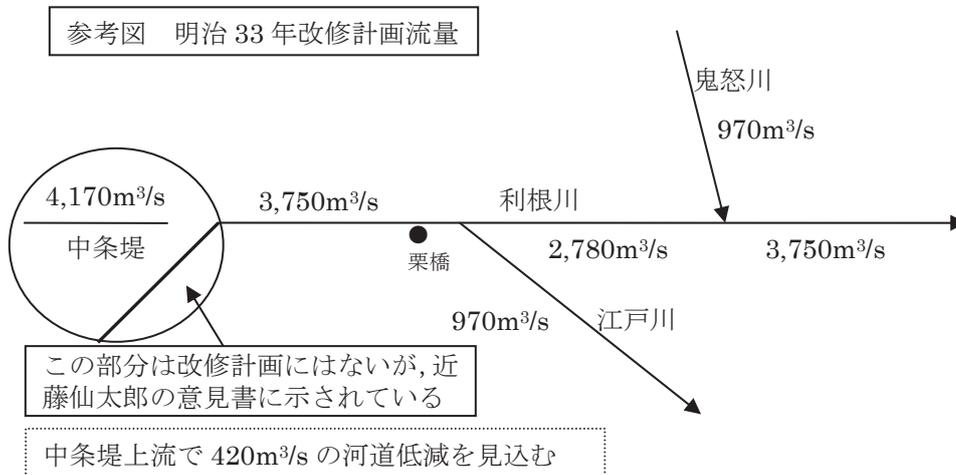


図 2・4 明治 33 年改修計画流量配分図  
(小坂・松浦 (1995), 宮村 (1974, 1981) を参考に作成)

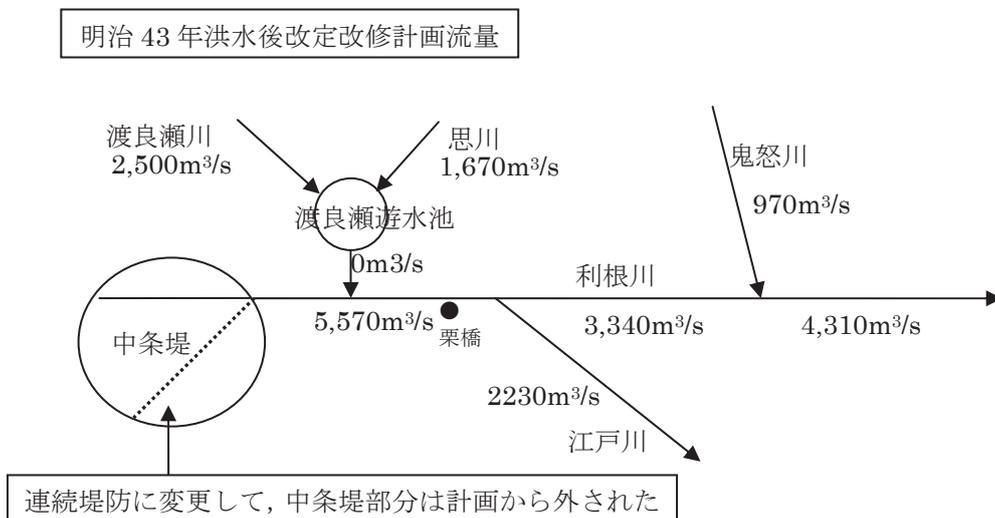


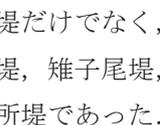
図 2・5 明治 43 年後改修計画改定流量配分図  
(小坂・松浦 (1995), 宮村 (1974, 1981) を参考に作成)

#### 2.2.4 中条堤を挟んでの上下流間の争い

中条堤は「論所堤」である。論所堤というのは、堤防を挟んで上下流地域で利害関係が異なっていることで論議が起こる堤防という意味である。

中条堤の下流側の村落（下郷）にとって中条堤は洪水被害から地域を守る堤防であるが、上流側の村落（上郷）にとっては堪水して遊水池となる脅威の堤防で邪魔な存在である。洪水により中条堤が破堤し被害が下郷側に及ぶと下郷側は陳情し、堤防を強化して水害から逃れようとした。これに対して上郷は堤防機能を弱めるか、強化を阻む行動をとるため、両者間で争議が起きた。両者は争いを避けるため、一定の取り決めを行い、堤防の幅や高さや維持・管理の方法に至るまで、上郷と下郷との間で厳重な規定を交わしていた（宮村 1985）。

船田家（埼玉県熊谷市）に残る文書には中条堤を挟んだ上郷と下郷の争いについて記した文書が残っている。貞享年間（1684～1688）の中条堤争議では、取り決めを不満とした上郷五ヶ村が堤防管理・維持の労役を拒否したことから訴訟となり、破れた五ヶ村の庄屋は投獄されている（1977 妻沼町誌）など、幾度となく論争が起こっている。

中条堤だけでなく、 2.2 に示されているような善ヶ島堤、雉子尾堤、江原堤など中条堤上流側の旧堤も論所堤であった。

明治期に入ると地域の統制力が弱り、頻発する洪水被害と土地利用開発も進んでいく中で、中条堤を介して上郷・下郷の対立がさらに高まっていった。

明治4年には、中条堤はそのまま、善ヶ島堤を大規模に強化するとともにその上流の無堤部にも新堤を築こうとする「大囲堤建造案」が上郷の村々から提出された。これに対し、下郷の村々では大囲堤築造を強硬に反対し中条堤を強固にするべきとの意見を示す論争が起きた。

明治23年には埼玉県議員より、利根川治水の改良案として中条堤の強化方針を示し、中条堤上流の利根川連続堤方式案に反対した「治水建議案」が帝国議会に提出されている。

明治29年に起こった洪水でも、中条堤の破損箇所

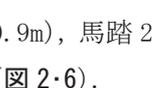
が起こっている（1981 宮村）。

このような中で明治43年に、利根川および荒川において寛保2年、天保6年洪水以来ともいわれる大洪水が発生し中条堤が決壊した。中条堤を破って流れた洪水は、埼玉平野を下って東京府下まで押し寄せた。この中条堤の修復工事をめぐって、堤防強化復旧を主張する北葛飾・南埼玉などの下郷・下流側地区と、中条堤の慣行的維持ならびに上利根川の新規築堤を要求する上郷・上流側地区との間で論争が起きた（宮村 1985）。上郷側意見でもある慣行維持の知事調停案を不満とした下郷側町村長をはじめとする住民一万人以上が大挙して県庁に押しかけ警察と激しく衝突する場面もみられた（2006 行田市史）。両者間の話し合いと仲介者による調停がなされ、従前の契約に準拠し、修築工事は県に一任するという形で明治44年4月5日覚書が作成され、中条堤の復旧工事が行われた。

#### 2.2.5 中条堤の形状・大きさ

江戸時代の中条堤の形状・大きさについては、古文書等から推測することができる。

寛保2年（1742）8月、利根川をはじめ関東諸河川で大洪水が起き各所で破堤し、史上有数の水害が発生した。幕府は、各河川の災害復旧と被災民を救済するため、諸国大名に「御手伝普請」を命じ、同年から翌年にかけて災害復旧工事を請け負わせた。

中条堤付近の利根川南側（利根川右岸）も各所で破堤しており、長州萩藩（毛利家）が横瀬村（現深谷町）から間口村（現大利根町）までの普請にあっている。そのうち、間々田村（現熊谷市）から依瀬（現行田市）まで及びその内郷は、萩藩岩国の吉川家に対して御手伝普請の担当が命ぜられた。中条堤の工事は北河原堤の一部（下流部）は萩本藩が担当、北河原堤の上流部から上中条堤・四方寺堤にかけては吉川家が担当している。なお、同家が残した文書に、中条堤の普請概要が絵図面とともに残されている。その中の一つ北河原照願寺前で破堤した堤防の普請については、高さ1丈9尺（5.76m）、敷11間半（20.9m）、馬踏2間（3.64m）、堤長82間の記録がある（ 2.6）。

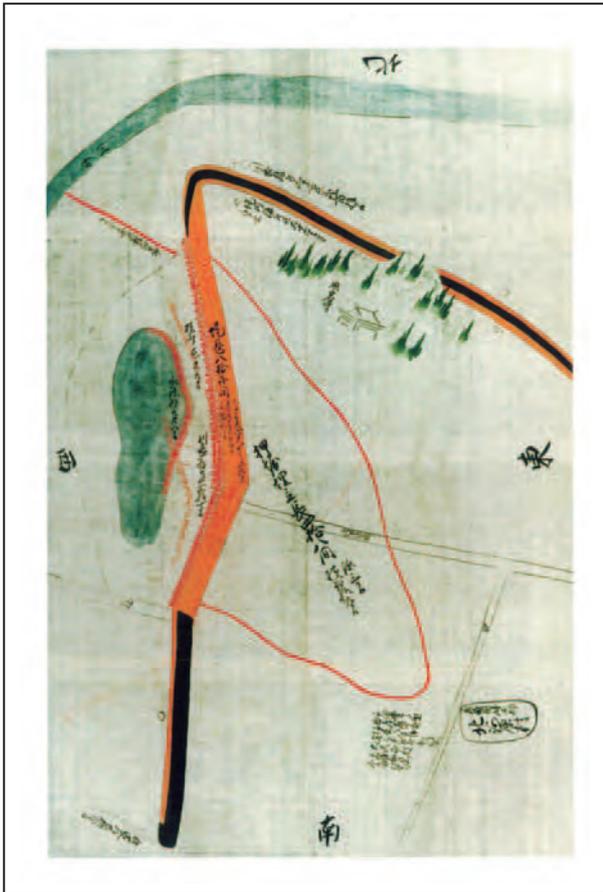


図 2・6 上利根川御普請御手伝絵図 北河原御普請所図 (岩国徴古館所蔵)

北河原村堤防の復旧記録：(図 2・6)

- ・ 照岩寺 (現存) の西上流の破堤によって深さ 3 間 (5.43m), 幅 29 間 (52.73m), 長さ 48 間 (87.27m) の落堀ができる.
- ・ 破堤箇所普請規模は以下の通り  
高さ 1 丈 9 尺 (5.76m), 敷 11 間半 (20.9m), 馬踏 2 間 (3.64m), 堤長 82 間 (149.1m)

中条堤 (北河原堤) の高さについては, 寛保洪水お手伝普請記録の他で, 2 丈 5・6 尺 (約 7.2~7.5m) の記録もあり (埼玉県史資料編 13, 1983), 俵瀬清水家の古文書記載の貞享 4 年 (1687) の記録では北河原と上中条の境界で高さ 1 丈 8 尺 (5.45m), 敷 7 間 (12.73m), 馬踏 1 間 (1.82m) とある (妻沼町誌 1977, 坂田 1978).

なお, 中条堤の高さは概ね標高 29m ほどであった (坂田 1978, 宮村 1979). 下流の北河原堤部分については, 貞享 4 年 (1687) の川除普請争論裁許絵図

に酒巻と北河原の境で 9m を越えている記録がある (妻沼町誌 1977, 坂田 1978).

また, 四方寺堤については, 船田家 (熊谷市) に残る文書を利根川歴史研究会で研究し, 「四方寺堤定杭書類」「四方寺堤略絵図」(「四方寺堤関係史料集」: 利根川歴史研究会 2005) として報告されている (図 2・7). 類似の内容は坂田 (1978), 妻沼町誌 (1977) 年などでも報告されている.

※船田家文書は現在熊谷市日向の船田祥一氏所有の文書.

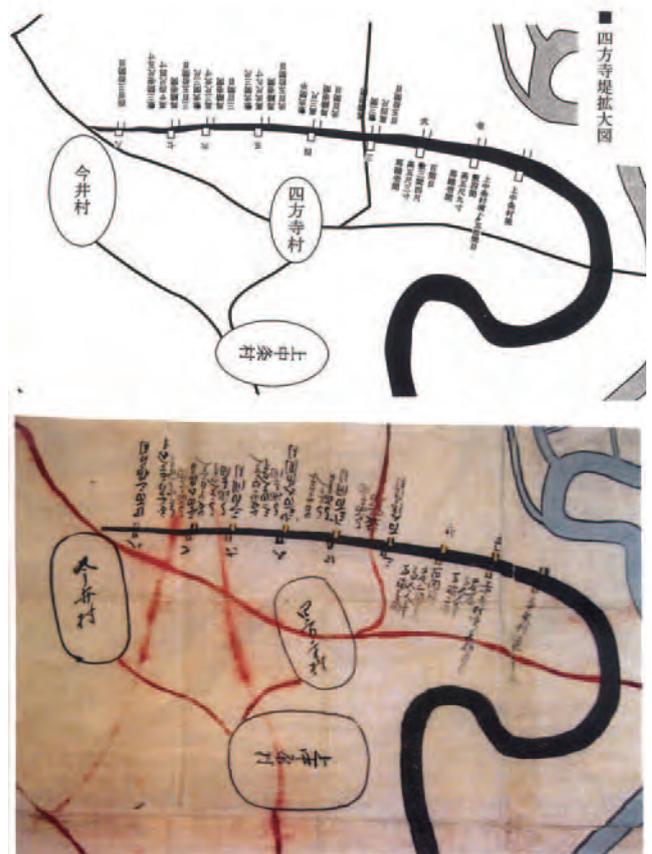


図 2・7 四方寺堤略絵図の拡大図 (下: 原図, 上: 原図を元に解釈トレースしたもの, 利根川歴史研究会 2005 より)

前掲の船田家文書 (「四方寺堤定杭書類」「四方寺堤略絵図」) によると, 四方寺堤は, 享保 14 年 (1729) に利根川から福川右岸に連なる上中条堤を継いで築造され, 明治 29 年 (1896) の定杭建替えまで 150 年以上定杭が維持され, その形態が保持されてきたことが示されており, 堤防管理においては厳しい掟で村々間の調整を図っていたことが伺える.

四方寺堤の規模は、長さ 435 間余（村境から 8 番杭までの距離は 430 間）とあり、高さは一番杭のところで 5 尺 9 寸（1.57m）、8 番杭では次第に低くなって 1 尺 5 寸（45cm）となっている。途中 7 番杭では 4 尺 4 寸（1.33m）と高くなっている。四方寺堤の長さ「435 間余」は 790.9m 余となる。

なお、平面的には享保年間（1729）に四方寺堤防が上中条堤と連続して強化された頃から明治時代まで変化はないものと思われる。

### 3. 中条堤と地域との関わり

#### 3.1 過去の主な水害と中条堤

中条堤付近は過去幾度となく洪水による被害に悩まされてきたところである。甚大な被害を及ぼした洪水で知られる江戸時代の寛保2年（1742）、天明6年（1786）および明治43年（1910）洪水について、「熊谷市史」、「妻沼町史」、「埼玉県災害誌」等の記録より、中条堤に関わる洪水とその被害状況を整理した。

##### 3.1.1 寛保洪水

寛保2年（1742）洪水について、「熊谷市史」には、「荒川で4箇所破堤、利根川も出水水丈4メートルから17メートルあった。荒川と合流して水勢を増し、忍城および屋敷町までを襲った」とある。また、志多見村（現加須市）「松村家日記」には、「寛保二年壬戌八月大雨風、忍領北河原村利根川堤同二日卯ノ刻ニ弍百間余押切、寺一ヶ所押流レ北河原村千八百石ノ村ニテ人馬夥舗損ス、トムライ候人七十五人ノ由、人馬形ノ不見ハ多シ・・・」とあり、北河原堤防の破堤で人や馬の被害が大きかったことが記されている（新編埼玉県史資料編13、1983）。

##### 3.1.2 天明洪水

天明3年（1783）浅間山が大噴火を起こし、関東諸地域に降灰、田畑の被害をもたらした。また、降雨に伴う河川への土砂の供給が進み、中条堤のある妻沼付近では利根川の河床が2m以上高くなっている

（「妻沼町誌」）。浅間山噴火後の天明6年（1786）の洪水は、江戸時代でも大きな洪水として知られており、四方寺・上中条堤の破堤、忍領水害、北河原・酒巻破堤などの記録がある（「利根川百年史」）。この天明3年浅間山の噴火は、利根川の河床上昇をもたらした。それ以降の利根川上中流部における水害激化をもたらすこととなったといわれる（大熊1981）。

#### 3.1.3 明治43年の洪水

「埼玉県水害誌」には明治43年の洪水で中条堤の4箇所計204.5間（約372m）の決壊について以下のような記述がある。

「8月10日に中条村大字上中条水越の堤防高の水位となり、同10日午後0時に8尺6寸（2.61m）に増水して越水し始める。同11日午前3時に中条村大字上中条水越の堤防長さ8間（14.55m）1箇所、16間5分（30m）1箇所が破堤する。次いで字八幡で午前3時30分に80間（145.45m）1箇所、100間（181.82m）1箇所が破堤する」（表3・1）。

なお、中条堤の特色について以下のような記述がある。「元来破堤箇所は福川の下流にて利根川の合流点上約30丁（3.27km）距離にあつて土質堅固であり、利根川の逆流のみでは容易に破堤する箇所ではない」。とあるように、中条堤は本来頑丈に構築されているものであった。また、洪水、破堤の状況については次のような記録がある。「妻沼村破堤の結果利根川の本流となって激突してきたことで、ほとんど防御する時間もなく破堤にいたつた」。「荒川大麻生村の破堤箇所より熊谷町を浸し来りたる水と合して・・・北埼玉郡の全部を浸して南埼玉郡、北葛飾郡の大部分及び北足立郡の一部を浸し、なお東京府下に及ぼし人命財産の多数を失ひ大惨害となつた」。

以上のような記録から、利根川の洪水は、葛和田の開口部（霞堤）部分から入ってきて、破堤氾濫したというものだけではなく中条堤北側の妻沼即ち善ヶ島堤、雉子尾堤、江原堤方向から越流してきた洪水と荒川の洪水が合わさって中条堤に当って、越水し破堤したものであり、本川からの逆流のみでは破堤しないほどに頑丈であるというものであったとい

うことが想像できる。

表 3・1 明治 43 年洪水記録

洪水概要
「十日 中條村大字上中條水越堤馬踏と平準せり、十日午後零時八尺六寸に増水し、越水甚だしき為十一日午前三時中條村大字上中條水越堤長八間一箇所十六間五分一箇所破堤 次で字八幡午前三時三十分長八十間一箇所百間一箇所破堤」 （「埼玉県水害誌」より）
「利根川は 10 日 20 時頃旭・仁手両村（現本庄市）で溢水を始め、次いで八基・新会・男沼・妻沼各町村（現深谷市及び妻沼町）で破堤し、大麻生方面からの荒川の濁流と合流し、中条村（現熊谷市）の水越堤防を破壊して北埼玉郡地方へ流れ込んだ。かくて児玉・大里両郡の大部分から、北埼玉・北足立・南埼玉・北葛飾各郡の大部分を泥海とし、北足立南部で荒川の濁流と合流し、東京方面へ流れ込んだ。」 （「新編埼玉県史 別編 3」より）
利根川筋では、（中条，星宮方面）夜明ころ、福川方面の堤防決壊。南河原，行田市方面は濁流押流し、星宮地区床上50～120センチ以上の深さで午後4時ころまで残水があった。通過水であったので、一時浸水の被害であった。それでも家屋流失，損壊田畑被害は相当であった。
県下全域にわたり（利根川，荒川流域）被害も多く、有史以来の大洪水と称され、利水から治水への対策を強く要望された。この後，利根川，荒川は，国の直轄管理となり治水対策に力をいれることとなった。 （「熊谷市史」より）

### 3.2 中条堤地域の水害と生活

利根川中下流部低地帯におけるかつての水害常襲地域では、住居が自然堤防の微高地に集まる傾向が一般的に見られるとともに、水防活動とともに生命や財産を守るために水害地域特有の建物がみられる。住居を構築するにあたって、宅地全体（敷地）を周りの土地より一段高く土盛りして住家（母家）を建て、さらに母屋より一段高く土盛りした上に蔵を建てた。この敷地全体を土盛りした屋敷を水屋と呼び、水屋

上の土盛りや蔵は水塚と呼んでいる。水塚は水害時の避難や一時的な生活場所として、食料・衣類など生活に必要な物資を備蓄していた。

こうした水防建築形態は、木曾三川下流域の輪中地帯によく見られるが、関東地方でも利根川や荒川中下流域で見られ、近年数は減ってきているが現存しているものも多い。利根川では特に渡良瀬川合流付近とその周辺地域に多く見られ、研究者や自治体教育委員会などによってその分布や特徴などについて調査が行われている。

中条堤周辺地域でも水塚の分布が確認されており、中条堤と利根川に挟まれた熊谷市日向の船田宅は、敷地全体を高くした地盤上に母家や納屋、味噌蔵などを建て、さらにその一部を土盛りして水塚を築造している（写真 3・1）。水塚の位置は西側及び北西側に位置していた。屋敷の周囲には、赤城おろしと呼ばれる冬の北風を防ぐ屋敷林（防風林）が植えられており、これは氾濫流の水勢や流下物に対して家屋を防備する水害防備林としての機能も有する。敷地の周囲には構え堀とよばれるコの字型の堀が廻らしてあり、この堀の掘削土は敷地や水塚の盛り土として利用された（写真 3・2）。構え堀は屋敷林とともに氾濫水の水勢を弱めたり、食料となるコイなどの飼育池としての役割もあった。また、水害時の輸送手段として船（揚げ舟）も常備されている（写真 3・3）。船田家の南にある島田宅の水塚（写真 3・4）は、1間ほどの土盛りの上に建てたもので、両家とも水塚の盛り土の高さは中条堤の高さに合わせて築造しているという。

なお、明治 43 年洪水では中条堤を越える洪水があり、日向（旧秦村の一部）はほぼ全域が冠水し、両家でも水塚の上、膝上ほどの高さまで水位があったとのことであり、水塚と中条堤の高さの関係を確かめることができる。



写真 3・1 船田宅の水塚（母屋の西側）



写真 3・2 船田宅の構え堀（南側）



写真 3・3 船田宅に残る揚げ舟



写真 3・4 島田家の水塚（西側）

## 4. 中条堤の形状と管理

### 4.1 現在の中条堤の形状

2.2.5 で江戸時代の中条堤の形状と大きさについて述べたが、ここでは、現在の状況について考察する。ここでは国土交通省利根川河川事務所による測量結果（昭和 62 年 5 月実施）を利用する。縦断測量は、図 4・1 の赤実線、赤点線、および青線の区間、横断測量は No. 1～No. 13 の 13 断面について行われている。青線は当時の中条堤ではなく、昭和 12 年～16 年頃に旧福川の改修に伴って築造された北河原用水の右岸堤防の線形である。図 4・2 に横断面図、図 4・3 に縦断面図を示す。

#### 4.1.1 中条堤の平面形状

江戸時代～明治・大正～昭和初期まで、中条堤（北河原堤，上中条堤，四方寺堤）は高さを変えつつも平面的には図 4・1 の赤実線～赤点線へと続いていた堤防であった。現在は、赤実線（利根川右岸～No. 1～No. 8 と No. 9 の途中まで）の区間は当時の姿をほぼ残しており、堤防の機能を有していると考えられる。

No. 8 と No. 9 の途中から No. 11 の部分（赤点線部分）は現在削りとられてなくなっている。一部はわずかな盛土を持つ道路として残り線形を確認できる部分もあるが、一部は農地や宅地に転用され、まったく面影が見られなくなっている。

No. 8 と No. 9 の途中からは、北河原用水の右岸堤防（青実線部分）にすり付けられ繋がっている（写真 4・1）。北河原用水右岸堤防工事は、昭和 10 年代の旧福川の改修（ショートカット）に伴う北河原用水路・奈良川開削工事の際に実施され、赤点線の中条堤部分を取り壊しその機能を北河原用水右岸堤防に持たせたと推測される。

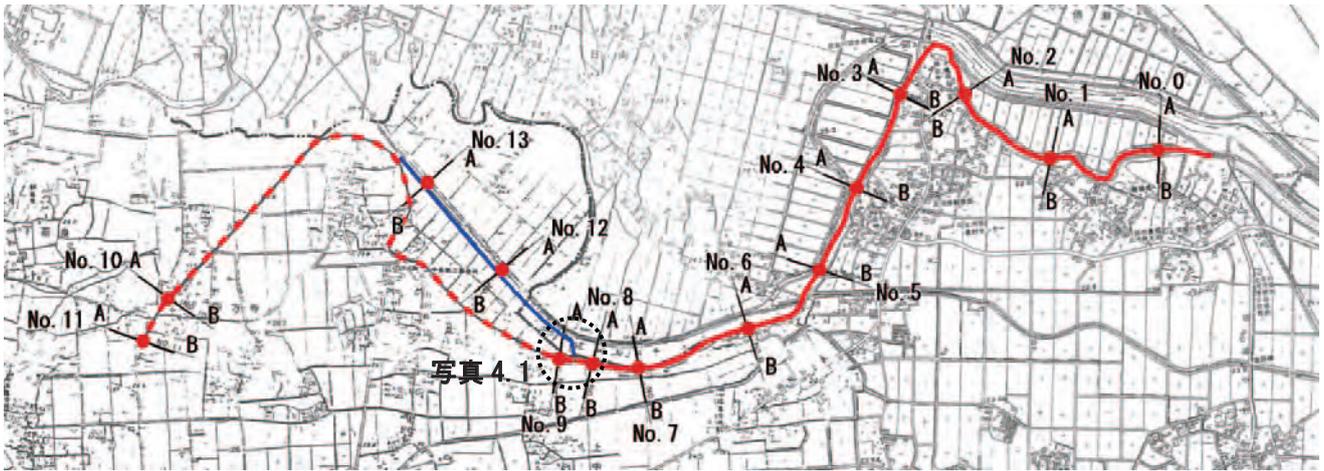


図 4.1 中条堤測量平面図

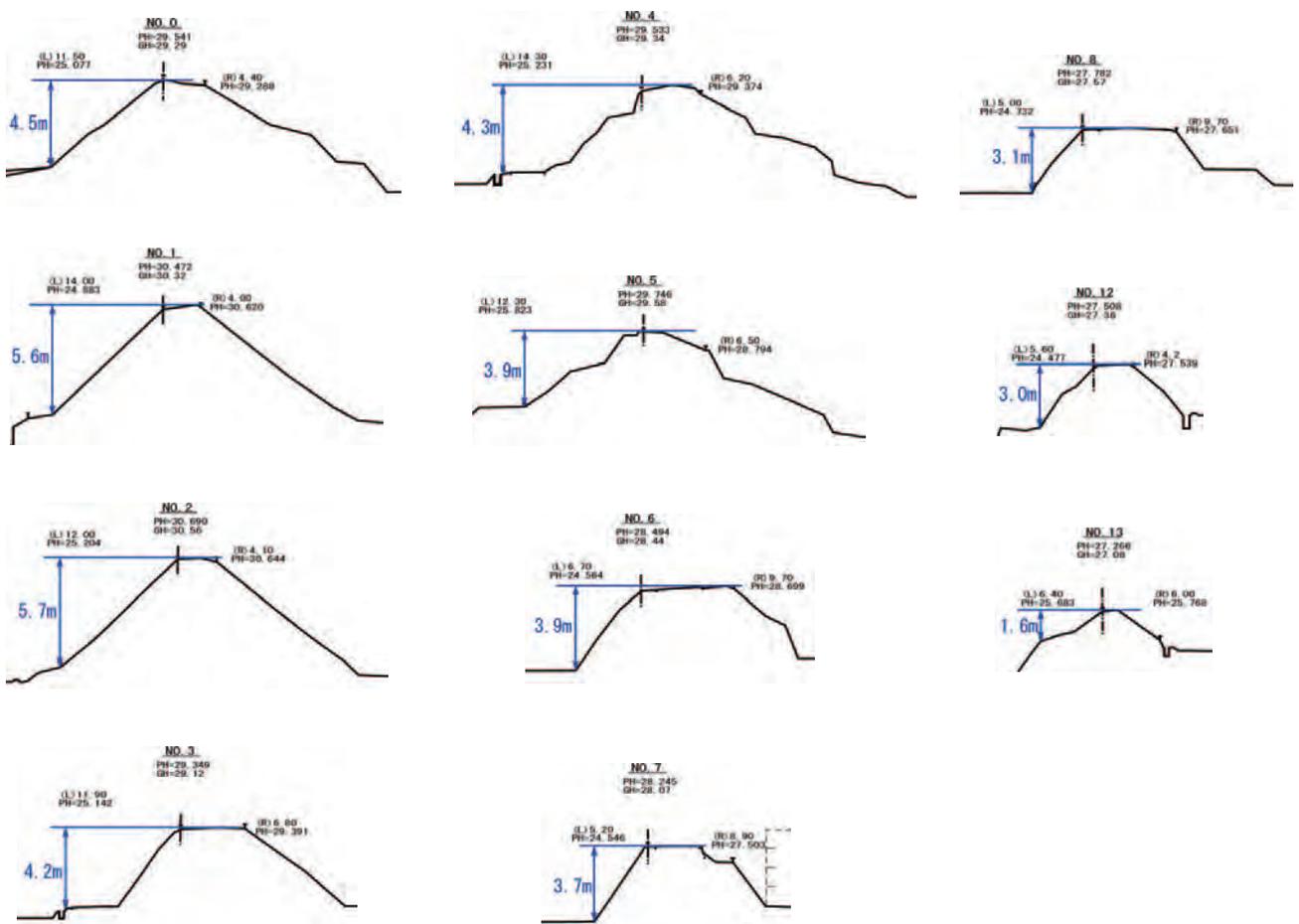


図 4.2 現在の中条堤断面図



写真 4.1 上中条堤から北河原用水へのすり付け区間の堤防状況

#### 4.1.2 中条堤の縦断形状

現在の中条堤の高さは、図 4-2 より No. 0～No. 2 あたりでは 5m を越え、No. 2 地点で最も高く 5.7m、標高で 30m を超える。No. 4, No. 5 付近では、次第に低くなって、4m、標高 30m 弱の高さである。No. 8 で 3.1m、No. 9 以降は撤去され、地盤高となっている。

No. 8 と No. 9 の途中から北側の北河原用水沿いの堤防に繋がって、No. 12 手前の陸間部分で 3m、標高 28m 弱で、No. 13 では約 1m の高さとなっている。その北側には低い陸間部分が残るがそこから上流は撤去されている。

#### 4.1.3 江戸期と現在の中条堤の高さの比較

江戸時代の中条堤の高さについては、2.2.5 で述べた寛保 2 年洪水後の御手伝い普請の記録（吉川家文書）および地元に残る四方寺堤関係文書から知ることができる。

現在の地盤高を基準とし、それら文書に示されている当時の中条堤の高さを図 2-6 および図 2-7 より解読し標高に換算して、現在の中条堤高と比較した（図 4-3）。当時の高さを示す断面数が少ないこともあり、厳密なものとは言えないが、現在と当時を比較すると、No. 8 より下流部は現在と同程度で、No. 8 より上流部については現在より高かったものと推測される。

#### 4.2 現在の中条堤の管理状況

現況の中条堤（北川原用水右岸堤防部分含む）の管理状況について把握するため、以下の 3 つの機関で聞き取り調査を行った。中条堤の管理は、図 2.1 の平面図に示すように、①埼玉県行田県土整備事務所、②埼玉県熊谷県土整備事務所および③見沼代用水土地改良区によって行われている。各機関の管理区間は以下のとおりである。

##### ①埼玉県行田県土整備事務所管理区間

北河原堤～行田市（旧北河原村）域区間。福川堤防右岸および中条堤（北河原堤）の行田市域部分（行田市北河原立野地先～行田市北河原町向日地先）。

##### ②埼玉県熊谷県土整備事務所管理区間

上中条堤～熊谷市上中条（旧上中条村）区間。①の中条堤（北河原堤）に続く熊谷市域部分で北河原用水右岸堤防への取り付け部分まで（熊谷市上中条向日地先～熊谷市上中条菱沼地先）。

##### ③見沼代用水土地改良区管理区間

②の上流側（北河原用水沿いに移動された堤防部分）～熊谷市上中条区間。②に続く奈良川・北河原用水沿いの堤防部分上流端まで（熊谷市向日地先～熊谷市向日地先）。

なお、①、②区間の管理については、日常の監視と除草作業を行っているのみである。③区間の北河原用水沿いの堤防部分については特に管理は行われていない。

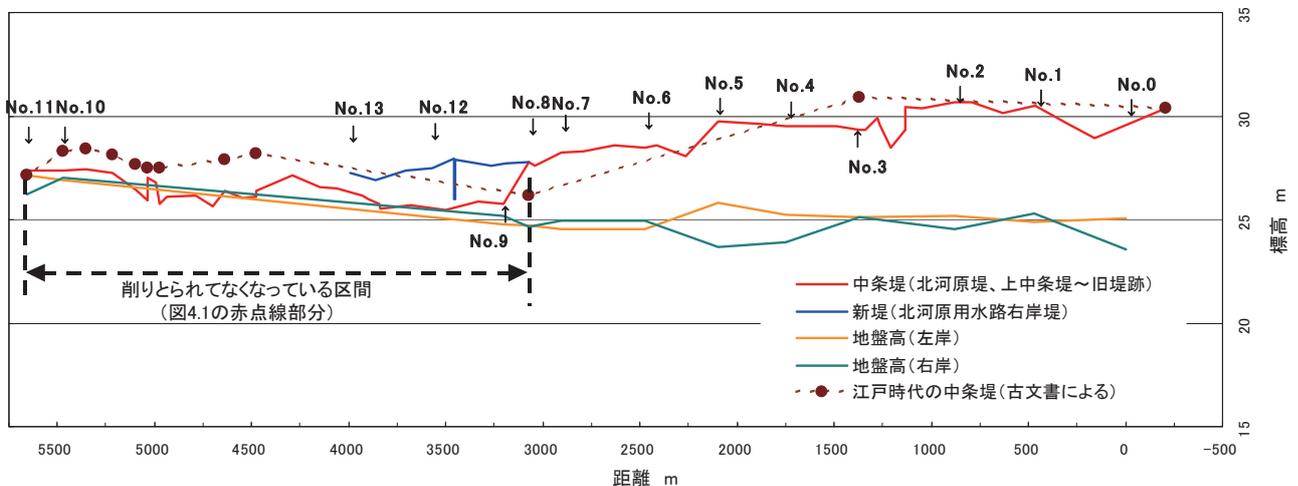


図 4-3 江戸期と現在の中条堤高縦断図



①福川堤防との分岐地点



②北河原堤, 5m 以上の高さがある



③福川堤防との合流部



④照巖寺付近の中条堤



⑤北河原堤を越す道路が数箇所ある



⑥北河原用水樋管上の中条堤



⑦上中条堤, 天端が削られ道路になっている。



⑧北河原用水沿堤防切り通し(陸間). 幅 3.5m, 高さ 2m.



⑨北河原用水沿堤防切り通し(陸間), 現在残る最端部. 高さ約 1m.

写真 4・2 中条堤の現在の状況

## 5. 他河川における旧堤活用事例

### 5.1 木曾三川輪中地帯の水防方式の活用

木曾三川の中・下流では、水防共同体としての「輪中」地域という地域特有の伝統的水防方式が備わってきた歴史がある。「輪中」という名称は木曾三川中・下流域での慣用（伊藤 1994）であるが、わが国の沖積平野には堤防を築いて洪水を防ぐ輪中地域と同様の形態は淀川，利根川，荒川，信濃川などにも見られる。木曾三川下流に見られる輪中堤は，中条堤とはその成立過程や地形条件，期待される機能など異なる点も多いが，二線堤として河川堤防以外で地域を守る施設としては共通する部分もある。特に，洪水氾濫時における減災目的の危機管理施設として，その位置づけは共通しており，発災時の水

防活動や水害経験などから学ぶべき点は数多い。ここでは，中条堤を活用した利根川の洪水氾濫被害拡大防止の可能性検討の参考とするため，輪中で地域を守ってきた歴史を有しつつも，近年甚大な被害に見舞われた長良川の輪中堤防での経験を整理した。

### 5.2 長良川・安八水害の概要

昭和51年9月，木曾三川・長良川流域では台風17号の接近に伴い，9月8日からの集中豪雨による洪水で，9月12日午前10時28分頃，岐阜県安八郡安八町大森地先の長良川右岸堤防が約70mにわたって決壊し，その濁流は安八町および隣接する墨俣町（現大垣市墨俣町）のほぼ全域を襲った（写真5・1，図5・1）。地元では安八水害と呼ばれている。

この豪雨による洪水被害は，岐阜県下で死者・行

方不明者9名，流出・浸水等の住家被害75,689戸，被害総額1,044億円で，県の災害史上最も甚大な被害となった。

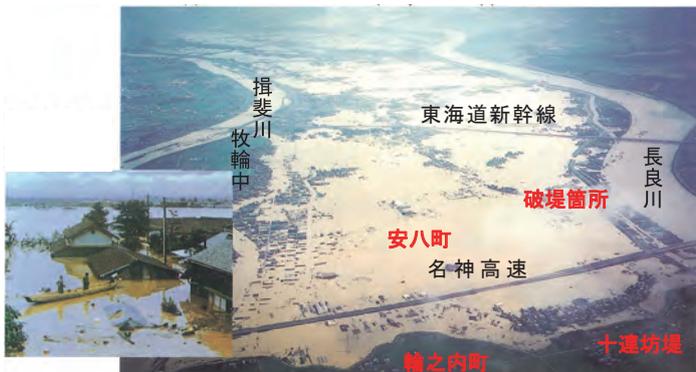


写真 5・1 安八水害の浸水状況



図 5・1 安八水害状況図

### 5.3 輪中堤の効果

水害地となった安八町と水害から免れた輪之内町の境には，十連坊堤と呼ばれる輪中の堤防が残っている（写真5・2）．この十連坊堤が安八洪水での長良川堤防決壊時には輪之内町への浸水を食い止めた．十連坊堤の途中の交差する道路部分には，日常生活の通行利便のために堤防を一部削り取った切り通し（陸間）があり（写真5・3），安八水害の時には角材と土嚢やブロック等でそこを締切る水防活動を行い，下流側の輪之内町への氾濫流の侵入を防いだ．

写真5.1にみられるように，冠水して甚大な被害のあった安八町とは対照的に，十連坊輪中で浸水を食い止めることができた輪之内町は浸水を免れており，この地域特有の水防対策の方法でもある輪中堤の効果が如実に現れた例であった．

このように，輪中堤のような河川堤防以外の地域を守る堤防には，危機管理施設として大きな効果が

あることがわかる．



写真 5・2 十連坊堤



写真 5・3 十連坊堤の陸間

### 5.4 輪中地帯の水屋

輪中地域では，高く盛土し石積した上に「水屋」と呼ばれる倉庫が建てられた（写真 5・4）．水屋には，食料や家具，道具類などが収納してあり，河川が氾濫した際には水屋に避難し，水が引くまで生活ができるようになっている．また，浸水に備えて，軒下に「あげ舟」と呼ばれる小舟を吊していた水屋も多かった．



写真 5・4 海津市今尾地区の水屋

水屋は主に裕福な地主層が所有しており、貧しい農民などは「助命壇」と呼ばれる高台を作り、共同の避難場所として利用した。寺や神社を高く盛土し、助命壇としての機能を持たせたものもあった（写真5・5、図5・2）。なお、利根川、荒川沿岸地域では、「水屋」に類する建築物を3.2で示したように「水塚」と呼んでいる。



写真 5・5 海津市本阿弥新田地区の助命壇

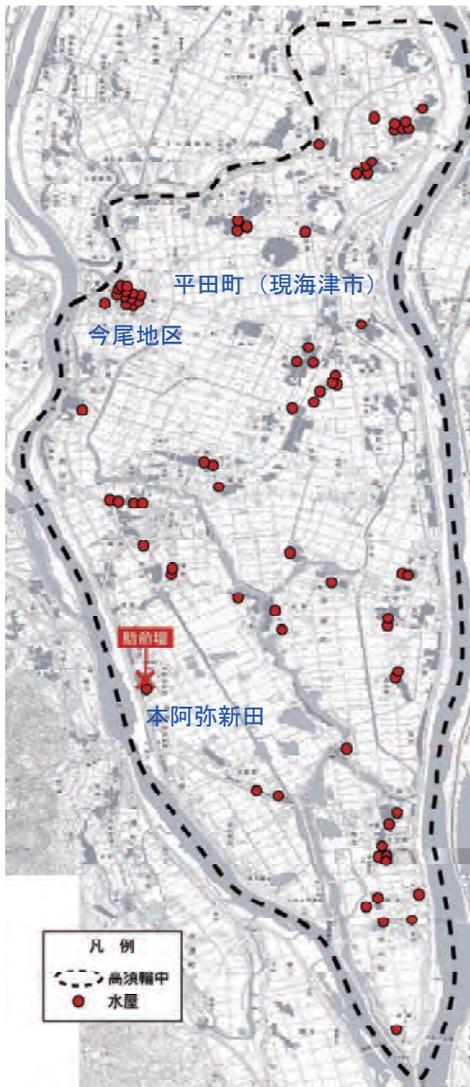


図 5・2 海津市高須輪中の水屋分布 (H4 年現在)

## 5.5 水防活動の効果

木曾三川中下流域は、洪水に対する備えとして輪中堤と水屋の二重の施設で対策を行ってきた地域であるが、それだけでは水害は防げない。

昭和 51 年洪水時、安八町長良川の破堤後、輪之内輪中南側の高須輪中の北端にある平田町でも、輪之内町への洪水流入を想定して、水防団による水防活動で輪之内と平田町の間の大樽川輪中堤防の切り通しを塞ぐ作業が迅速な対応で行われた（図 5・3）。

また、破堤を防ぐため各所において、洪水情報の収集・伝達、水防資機材・人員の調達・運搬配備、適切な水防活動の実施等が継続的に行われ、破堤地域では排水対策や緊急復旧等の対応が行われた。

洪水時にこうした関係者・住民による懸命の水防活動が各所で行われたことが減災に役立ったと評価されている。

現代においても、水害から地域を守るためには施設による対応に加え、普段から地域住民が水防意識を持つことや、洪水時の確実かつ迅速な水防活動が必要不可欠であると言える。

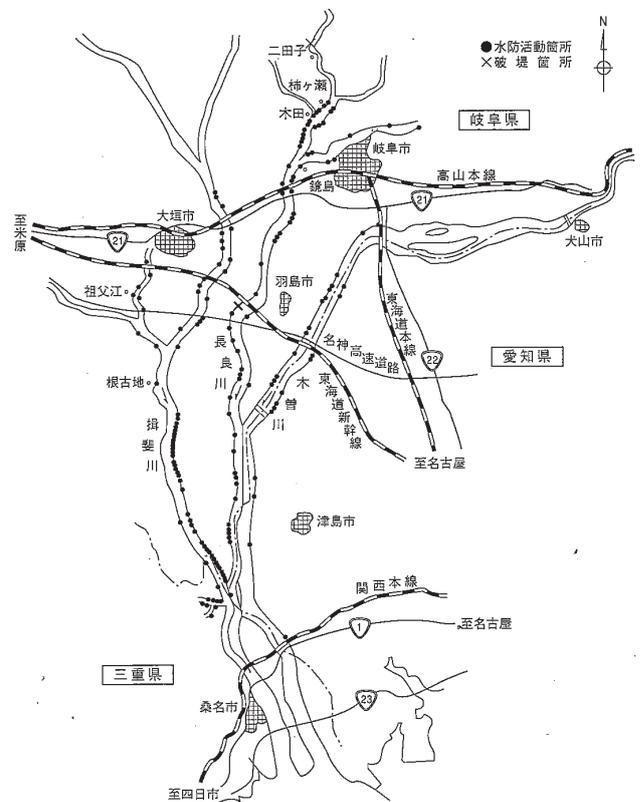


図 5・3 安八水害時の水防活動箇所

## 5.6 防災意識の重要性

当時の安八水害の発生と防災意識との関わりについて次のような考え方もある（伊藤 2006）。

・「30年前の安八町は隣の輪之内町などと比べると、工場進出などで変化が激しかった。景観が変わったことで低湿地という概念が失われた。輪中地域以外の人々が増えたこともあり、防災意識は低下していたし、実際に輪中堤を取り払ってしまった場所もあった。防災意識の低下が水害につながったと言える。」

・「当時、浸水被害を免れた輪之内町は、安八町との境に輪中堤「十連坊堤」を残していたために水の進入を防ぐことができたとして注目された。安八水害以前は、輪中特有の建物である水屋は過去の遺物という意識が広まっていた。しかし、水害を境に輪中不用論、水屋不用論はぬぐい去られたのではないか。」

古くから水害との闘いであったこの地域においても、近代治水がもたらした安全な生活が長く続くことにより、日常の防災意識は希薄化するものである。

防災意識の希薄化した現代社会では、いつ役立つのかわからない、危機管理のための施設として位置づけられる輪中堤や水屋といった施設の必要性を理解し維持していくことは難しい。

しかしながら、今後安全な社会を築いていくためには、各地域の過去の水論を通じた治水秩序の記憶や財産を生かしていかなければならない現実があることを認識しなければならないだろう。

## 6. 中条堤の氾濫流制御効果

危機管理施設として中条堤の活用の可能性を検討するためには、支川福川の堤防も考慮して、中条堤の氾濫流制御効果を定量的に把握する必要がある。

本検討目的に直接的に合致した解析は行われていないが、群馬大学修士論文（高梨 2006）において利根川が氾濫した場合の中条堤の効果について氾濫シミュレーションが行われているため、これに考察を加えて中条堤と支川福川の効果を評価する。

## 6.1 氾濫シミュレーション条件

### (1) 氾濫解析モデルの概要

氾濫解析モデルは、平面 2 次元浅水流の非構造格子モデル（川池 2001）である。その他モデルの概要は以下のとおりである。

- ・メッシュの大きさ：概ね 50m×50m
- ・地盤高：数値地図 50m メッシュ標高データ（1m 分解能）を補間して各メッシュ重心に割り当て
- ・モデル化の範囲：地盤高と中条堤高から想定される堪水区域（図 6・1 での表示範囲）
- ・利根川の堤防高：現況堤防高をエレメントの地盤高として設定
- ・福川、中条堤の堤防：線盛土として設定
- ・福川流量：なし
- ・陸開：考慮しない（無いものとする）

### (2) 解析条件

外力・破堤条件は、利根川 162km 右岸堤防が瞬時に 100m 幅で破堤し、利根川計画高水位（162km 地点で HWL=32.0m）の一定水位が計算時間中継続するものとし、利根川水位と堤内地側水位の差に応じて流入するものとしている。

中条堤の高さは、当時と現況の 2 ケースである（表 6・1）。当時の中条堤の高さは、図 4・3 に示す寛保 2 年（1742 年）洪水後のお手伝い普請等から推測した高さを図 6・1 に示すように 5m, 1m, 0.5m, 0m の高さに簡略化している。また、当時と現況の中条堤高は同様としている。その理由は以下のとおりである。

当時と現況の中条堤高を比較した図 4・2 の縦断面図より、当時と現況では四方寺堤および上中条堤に 1～2m の差があると推測されるが、地盤勾配から氾濫流制御の効果は小さい。また、氾濫流制御の効果の大きい北河原堤は当時も現在も概ね同じ高さであることから、全体としては当時と現況を同じ高さとしても氾濫流制御の効果に大差はないと判断した。

なお、福川（福川水門から上流 7.8km 区間）はセミバック堤となっており、下流部の堤防高は 5m 程度で、北河原堤と同程度の高さを有している。

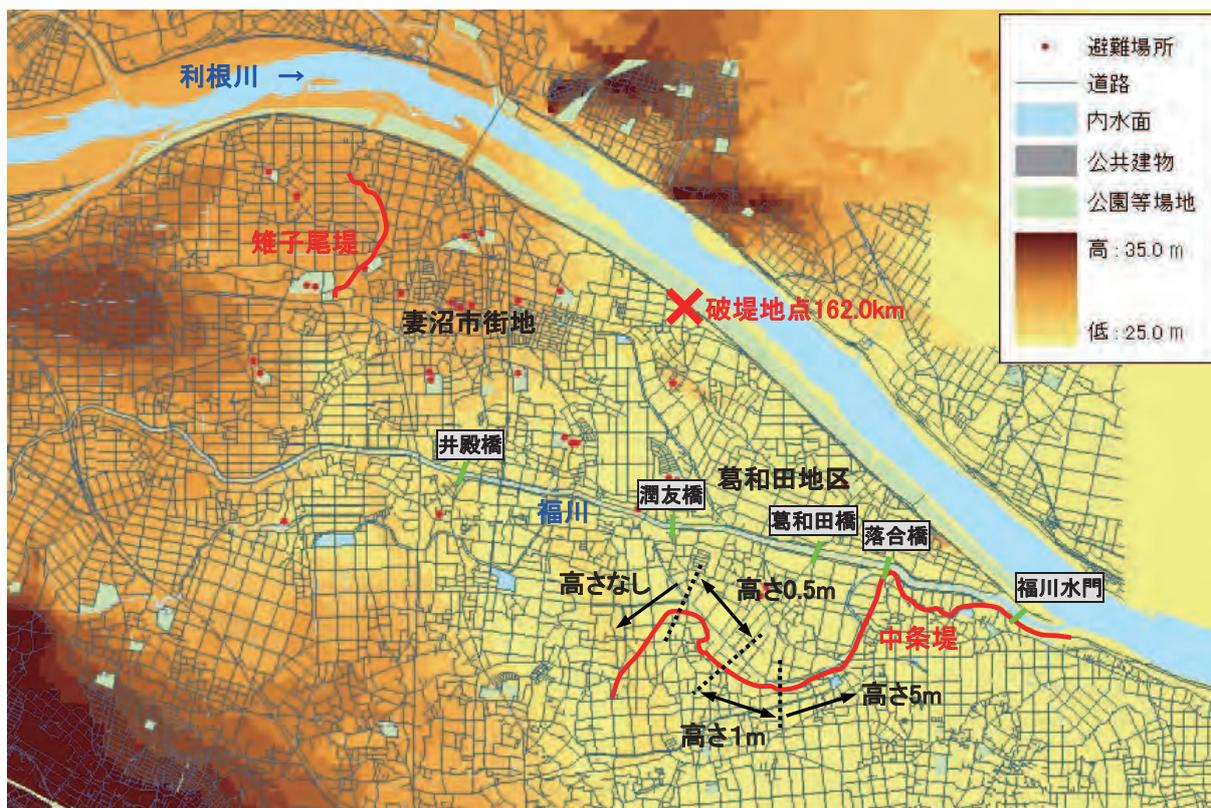


図 6・1 氾濫解析条件

## 6.2 氾濫シミュレーション結果

表 6・1 氾濫解析ケース

ケース	中条堤の高さ	福川の有無
ケース① (当時:寛保 2年頃)	5m, 1m, 0.5m, 0m (図 6.1)	なし
ケース② (現況)	同上	現況 (図 6.2)

### (1) ケース① (当時:寛保2年頃を想定)

ケース①の氾濫解析結果として、破堤45分後の浸水深図を図6・3に示す。

破堤45分後では、高さ5mの北河原堤では氾濫流を貯留・制御しているが、高さ0.5m, 0mとした上中条堤の一部や四方寺堤では越流が生じ、ほとんど氾濫流制御の効果は見られない。これ以上経過すると中条堤の効果は見られなくなる。

浸水深は、破堤地点を除けば、葛和田地区では1m～3m程度である。

中条堤の氾濫貯留ボリュームは約2400万 $m^3$ であり、渡良瀬遊水池の谷中湖(面積4.5 $km^2$ , 貯水容量2640万 $m^3$ )の規模に相当する。

以上より、中条堤が機能していた江戸時代の大洪水における中条堤のメリット・デメリットは、以下のものであったと推測される。

- ・中条堤上流地区では水深が3m近くになり、生活に相当な影響を及ぼす。

- ・中条堤下流地区では、氾濫水が到達するまでに1

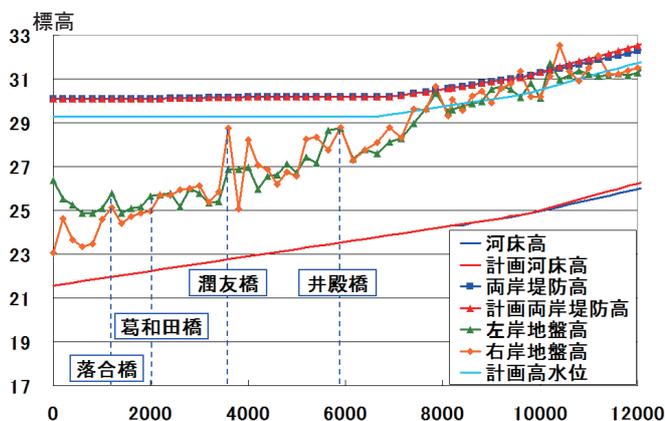


図 6・2 福川堤防高縦断図

時間程度かかることから、避難行動の時間を十分確保できた（ケース②の解析結果を踏まえると中条堤がない場合に比べて 30 分程度の遅れ効果があると推測される）。

・下流河道に対して谷中湖程度の洪水調節効果があった（具体的なピーク流量低減効果については詳細な検討が必要）。



図 6-3 氾濫解析結果（ケース①）

## (2) ケース②（現況を想定）

ケース②の氾濫解析結果として、破堤 10 分後～250 分後までの浸水深図を図 6-4 に示す。

破堤 20 分後には、氾濫流は現代版の中条堤である福川に達するが、破堤後 130 分までは、福川に貯留・制御される。

その氾濫貯留ボリュームは約 2600 万  $m^3$  となり、谷中湖の貯留量と同程度である。

150 分を超えると福川からの越流が始まり、180 分を超えると中条堤の下流部から越流が始まる。

250 分を超えると中条堤全面で越流する。

浸水深は、250 分後を見ると、福川堤上流では 5m を超え、福川堤～中条堤間でも 2m～4m 程度となる。一方中条堤下流側では、1m 程度と浅い。

以上より、大洪水における現況の中条堤と福川のメリット・デメリットは以下のようなものである。

（福川上流地区）

・福川上流では水深が 5m を超えるため家屋等に壊滅的な被害が生じる。

（福川堤～中条堤間地区）

・福川～中条堤間では水深が 2～4m 程度となるため家屋等に壊滅的な被害が生じるが、福川の氾濫流制

御効果により、氾濫水が到達するまでに 2 時間半程度かかることから、避難行動の時間を十分確保できる。

（中条堤下流地区）

・下流地区では浸水深が 1m 程度と浅いため大きな被害は生じない。

・福川と中条堤の氾濫流制御効果により、氾濫水が到達するまでに 3 時間程度かかることから、避難行動の時間を十分確保できる（中条堤と福川がない場合の中条堤への氾濫流の到達時間は約 30 分、中条堤の越流が始まるのは 180 分後であるから、福川堤と中条堤は下流に対しては氾濫流を 2 時間半程度遅らせる効果がある）。

（下流河道）

・下流河道に対して谷中湖程度の洪水調節効果がある（具体的なピーク流量低減効果については詳細な検討が必要）。

## 7. 中条堤を活用した氾濫被害拡大防止（危機管理）の可能性

### (1) 中条堤の必要性和活用について

以上、第 1 章で危機管理に関わる社会的要請、第 2 章で中条堤の歴史的経緯、第 3 章で中条堤の洪水と地域との関わり、第 4 章で中条堤の形状と管理、第 5 章で他河川の旧堤活用事例、第 6 章で中条堤の氾濫流制御効果について把握した。これらを踏まえて中条堤を活用した危機管理の可能性について考察する。

明治 43 年洪水での破堤を最後に、中条堤に関わるような洪水氾濫は生じておらず、中条堤の存在と意義、過去の水論を通じた治水秩序の記憶が忘れ去られようとしている。しかし、水害は突如として襲いかかってくる。昨今の全国での水害の頻発に鑑みれば利根川も例外ではないだろう。防災意識の希薄化した現代社会ほど脆弱なものはない。利根川が氾濫した場合の被害の凄まじさを考えれば、木曾川安八水害でも見られるように、今後利根川水系で安全な社会を築いていくためには、各地域の過去の水論を通じた治水秩序の記憶や財産を生かしていかなければ

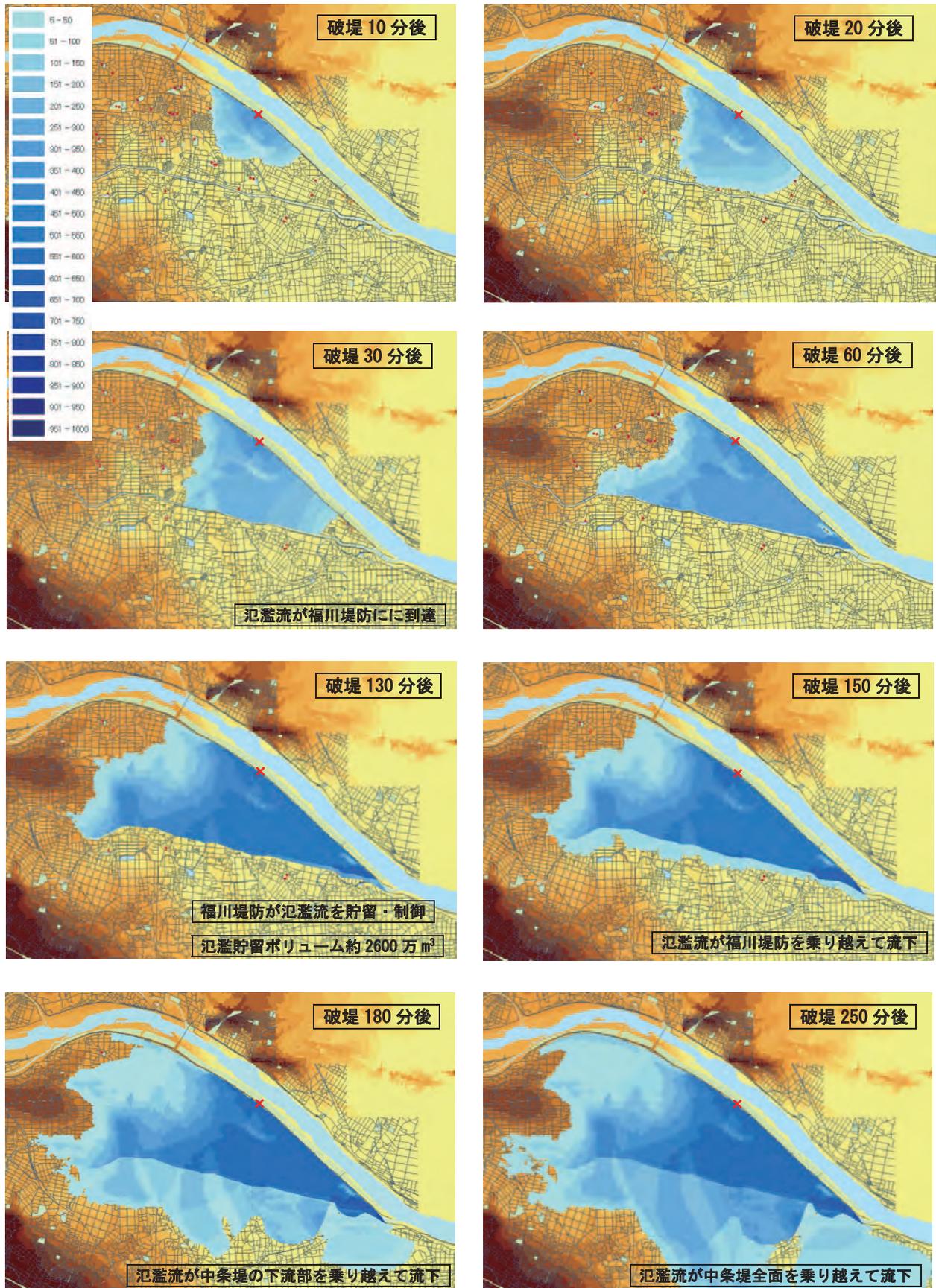


図 6-4 氾濫解析結果 (ケース②)

ばならない現実があることを我々は認識しなければならないだろう。

中条堤は歴史上の位置づけが下流地域を守ることであったように、現代においても相当な洪水調節効果と氾濫流制御効果があることが第5章で判明した。中条堤は、利根川の治水能力の向上のための危機管理施設として極めて有効であると考えられる。

一方で、中条堤の存在は上流と下流の対立を生じさせる。当時は江戸全体の経済、民生安定のため、江戸幕府の圧力、政策により治水秩序が保たれてきた。現代においては、たとえ危機管理施設としてであっても中条堤の復活・強化は、上流側としては容易には受け入れられない提案であろう。

よって、中条堤を活用した危機管理を展開するためには、上流側は湛水被害の増大（デメリット）、下流側は洪水被害の減少、洪水の遅れといった安全度の向上（メリット）があり、それぞれの特性を踏まえたハード、ソフトの施策が必要である。特に、上流に対しては、中条堤強化のメリットと被害救済システムの提示が必要不可欠である。

これらを踏まえ、利根川の氾濫時の減災に向けた中条堤を活用した危機管理に必要な施策等について以下に提案する。

## (2) 中条堤の改修・管理

- ・現状の中条堤（上中条堤～北河原用水水路）は、削られたりして高低差があり、高さや幅の連続性に欠けるため、必要断面を確保する。
- ・堤防の質的機能である浸透に対する安全性を確保する。
- ・北河原用水沿いにある陸閘は一部は破壊されるなどしており機能しないため改築する。
- ・中条堤の管理は3つの機関が行っており、共通の認識、共通の管理がなされていないため、陸閘も含め洪水時の運用ルールを定める。
- ・中条堤計画は地域計画そのものである。地域住民と連携・協働した計画づくり、維持管理が重要である。

## (3) 住民への情報提供

- ・連続堤防方式による利根川の治水計画の変更、利根川・福川の堤防整備等の進捗による昭和30年代以降の水害の減少などにより、洪水に対する意識が低下してきている。
- ・氾濫流の到達前に避難することで安全を確保することが基本であり、速やかな情報伝達体制を構築する。
- ・浸水する可能性のある危険箇所、浸水までの時間を示した危険情報と、避難施設の場所、安全箇所といった安全情報を示したハザードマップを作成し、その普及活動を積極的に展開する。
- ・安全な施設に逃げることで安全を確保することが基本であり、氾濫浸水深・流速に対し安全な施設を配置する。

## (4) 土地利用・建築規制

### （福川・中条堤上流側）

- ・水塚等にみられる伝統的な住まい方、災害体験から生まれた地域特有の知恵、方法を活用した地域づくりを進める。
- ・利根川が破堤した場合、中条堤、福川堤防の上流側は冠水深が深くなるため、洪水に対する安全性を確保するために、土地利用や建物規制（ピロティ、地盤嵩上げ、耐水化などの安全な構造・構築化）を行っていくことが有効である。
- ・規制によるデメリットに対して、安全な住宅の建築費、水害保険の費用などの補助金や税金対策（優遇措置）を実施する。
- ・病院や行政施設等の中枢施設は浸水しても機能停止しないよう機器・施設等を配置する。

### （中条堤下流側）

- ・中条堤、福川堤防の下流側は、堤防が無い場合に比べて水深が小さく、洪水到達時間も遅れるため、避難時間の余裕を踏まえた対策を行う。
- ・ただし、中条堤破堤時の破堤地点付近のダメージポテンシャルは高くなり、家屋が倒壊する可能性が高いことから、洪水特性に見合った土地利用規制、建築規制を行う。

## (5) 洪水時の対応・対策

- ・迅速な洪水情報収集，処理，伝達およびその対応と指示体制を確立する。
- ・資機材，人材確保および集めた資機材，人材の効果的な活用指揮系統を確立する。
- ・マスコミへの情報伝達，対応は重要であり，正しい情報を的確に伝えるための方策を検討する。
- ・日常の組織内の意思疎通，連絡協調体制の構築，緊急時の動員体制を確立する。

## 8. おわりに

中条堤は，江戸時代から明治時代の利根川治水の要として，洪水調節を担っていた堤防であった。明治43年洪水後，利根川の治水計画から姿を消したが，一部は現存し，現在も機能している堤防と見間違える程の大きさである。

本研究は，歴史的な経緯があるなかで，現在もそのような存在感を保ちながら残されてきたこの中条堤を将来的に流域住民のために生かしていくべきであると考え，その一つの手段として，中条堤を活用した氾濫被害拡大防止（危機管理）のあり方について検討した。

中条堤は実質的な氾濫流拡大防止機能の他に，地域の洪水の歴史を知り，今後の危機管理を考えるためのシンボリックな存在としても意義が大きく，先人の苦労を後世に伝え，水防意識を風化させない重要な施設となるものと考えられ，その方面での効果も大きいと考える。

## 謝 辞

本研究にあたって，貴重な意見をいただいた群馬大学の片田先生，利根川上流河川事務所の佐藤所長，藤沢所長，八木副所長，調査課職員の方々，中条堤関連の歴史資料を提供していただいた利根川歴史研究会，現地聞き取り調査に同行していただいた小林寿朗氏，地元熊谷市の船田祥一氏，樋口武兵衛氏ほか聞き取り調査に協力していただきました熊谷市および行田市の方々，また地域や施設の情報・資料を

提供していただきました埼玉県熊谷・行田市土整備事務所，見沼代用水土地改良事務所，熊谷市図書館，行田市歴史博物館等多くの方々にお世話になりました。以上ここに記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 宮村忠 (1981) : 利根川治水の成立過程とその特徴，アーバンクボタ 19
- 2) 彩の川研究会 (2002) : 埼玉県内に残る旧堤の調査研究報告書
- 3) 坂田純一 (1978) : 利根川中流部に関する考察，東京大学工学部卒業論文
- 4) 宮村忠 (1978) : 利根川治水の成立 (5)，にほんのかわ第 13 号
- 5) 宮村忠 (1985) : 水害 治水と水防の知恵，中公新書 768，中央公論社
- 6) 松浦茂樹 (1991) : 河川からみた埼玉平野の開発，土木史研究第 11 号
- 7) 籠瀬良明 (1981) : 谷地田・台地・自然堤防，アーバンクボタ 19
- 8) 宮村忠 (1979) : 利根川治水の成立 (7)，にほんのかわ第 16 号
- 9) 小阪忠・松浦茂樹 (1995) : 利根川近代治水計画における中条堤上流部の位置付け，土木史研究第 15 号
- 10) 宮村忠 (1974) : 利根川治水の成立 (1)，にほんのかわ第 3 号
- 11) 大熊孝 (1981) : 「利根川治水の変貌と水害」，東京大学出版会
- 12) 利根川百年史編集委員会 (1987) : 利根川百年史，建設省関東地方建設局
- 13) 妻沼町 (1977) : 妻沼町誌
- 14) 行田市史 (2006) : 資料編 近代 1，行田市
- 15) 埼玉県史編纂室 (1983) : 新編埼玉県史 資料編 13 近世 4・治水，埼玉県
- 16) 利根川歴史研究会 (2003) : 利根川歴史研究報告 (第 1 集) 四方寺堤関係史料集
- 17) 埼玉県立浦和図書館 (1987) : 埼玉県水害誌 大正元年 12 月 (同復刻版 明治 43 年埼玉県水害誌)

埼玉県

- 18) 埼玉県史編纂室(1988):新編埼玉県史 通史編 3  
近世 1, 埼玉県
- 19) 伊藤安男(1994):治水思想の風土(近世から現代へ), 古今書院
- 20) 伊藤安男(2006):岐阜新聞 2006年9月15日  
付朝刊, 岐阜新聞 HP
- 21) 高梨智子(2006):河川区域外施設を利用した氾  
濫流の制御に関する研究, 群馬大学大学院修士論  
文
- 22) 川池健司(2001):都市における氾濫解析手法と  
その耐水性評価への応用に関する研究, 京都大学  
学位論文

# 3) ミシシッピ川の維持管理に関する 実態調査報告

戸谷 英雄\*・山内 豊\*\*・瀬川 淳一\*\*\*

## 1. はじめに

近年、我が国においては、これまで経験したことのない規模の集中豪雨や大規模な自然災害が相次いでいる。河川堤防においては、築堤が段階的に拡大、強化されてきたという歴史的経緯により、堤体材料の品質が不均一な性格を有し、それを踏まえた維持管理手法の確立が求められている。また、堤防法面の植生管理のあり方や、河道内の樹木管理についても維持管理上の大きな課題となっている。さらに、今後は多くの河川管理施設も老朽化に伴う修繕・更新の時期を迎えており、治水機能の維持、河川環境保全等総合的な視点からの河川維持管理の重要性が高まっている。

本報告では、今後、我が国の河川の維持管理等に活かすことを目的に、米国の主要な大河川であるミシシッピ川の中・下流部を対象として、河川環境も含めた総合的な視点から堤防維持管理について行った実態調査の結果を報告する。



図 2-1 訪問箇所位置図

## 2. 行程および視察メンバー

### 2.1 行程

調査は、昨年 2006 年 12 月 1 日（金）～8 日（金）の 8 日間の行程で行った（移動日を含む）。最初にビックスバーグを中心としたミシシッピ川下流部の現地および陸上から視察後、ERDC（Engineer Research and Development Center）および管区事務所・ルイジアナ州第五堤防組合を訪問し、堤防の維持管理の実態について、ヒアリング調査および資料の収集を行った。

続いて場所をセントルイスに移し、同管区事務所を訪問し、低水路河道（航路）の管理に関するヒアリング調査および資料の収集後、管区事務所が所持している“河床形状超音波測量船（SMART）”に乗船し、舟運のための航路維持管理の実態について調査を行った（図 2-1）。行程表を（表 2-1）に示す。

表 2-1 視察行程表

訪問日	時間	調査先	調査・ヒアリング内容
12月2日	09:00 16:00	■現地視察 ミシシッピ川上空から現地視察	元ERDC職員に同行して頂き、川の維持管理についてヒアリング
12月3日	09:00 17:00	■現地視察 ミシシッピ川中下流部堤防現地視察	元ERDC職員に同行して頂き、川の維持管理についてヒアリング
12月4日	09:00 15:00	■防関 ERDC (WES) (事務所にて、打合せ)	・維持管理に関するマニュアル、ガイドライン ・現在行っている、維持管理に関する調査研究 ・ミシシッピ川における維持管理の実態
12月5日	08:00 10:00 10:00 12:00	■防関 ルイジアナ州第五堤防組合 (事務所にて、打合せ) * ビックスバーグ管区事務所から2名同行  ■現地視察 ルイジアナ州第五堤防組合 (ミシシッピ川沿い堤防視察) * ビックスバーグ管区事務所から2名同行	・組織の運営実態 ・維持管理実態 ・維持管理の実態に関する課題
12月6日	09:00 12:00 13:30 16:00	■防関 セントルイス管区事務所 (事務所にて、打合せ)  ■現地視察 セントルイス管区事務所 (超音波探査船に乗船視察)	・ミシシッピ川における維持管理の実態 ・工兵隊と州、堤防組合の役割分担 ・工兵隊が管理している区間の維持管理に関する課題  ・河床形状超音波測量船による河川管理の実態 ・ミシシッピ川中流域における航路維持（開門） Melvin Price Locks & Dam

\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部長  
 \*\* (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部研究員  
 \*\*\* (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

## 2.2 視察メンバー

視察メンバーは、中央大学山田 正教授を団長とする以下のメンバーで構成されている（表 2・2）。

表 2・2 視察団一覧

氏名	所 属
山田 正	中央大学 理工学部土木工学科 : 教授
石原 研而	中央大学 研究開発機構 : 教授
戸谷 英雄	河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第四部 : 部長
山内 豊	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
瀬川 淳一	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

## 3. 調査概要

実態調査に出発する前に、日本の河川の維持管理の現況と課題を念頭に置き、ミシシッピ川の維持管理に関し、今回の調査で知りたいこと、提供して欲しい資料等について、予め訪問する機関に質問書を送り、回答及び資料等の準備をお願いした。

これによって、極めて短時間の調査だったが、効率的に米国におけるミシシッピ川の堤防等の維持管理に関する調査を進めることができたと思っている。

なお、本調査により得た資料を表 3・1 に示す。

表 3・1 現地収集資料

訪問先	マニュアル類	書籍・報告書・図書類	その他
1. ERDC	-	-	-US Army Centrifuge Research Center Overview(ppt) -New Orleans VS Hurricane Katrina (ppt) -Piping and Seepage Portfolio Risk Assessment (ppt)
2. ルイジアナ州第五堤防組合	-Emergency Procedure Manual (緊急時行動マニュアル) -Operational Rules And Permit Requirements (操作規則)		-Fifth Louisiana Levee District Overview
3. ビックスバーク管区事務所	-	-設計図(ミシシッピ川現地視察区間) -1986Flood Control and Navigation Maps (地図) -Hydrographic Survey, 1995-1996 (地図)	-Mississippi River Levees Overview -Vicksburg District Overview -Mississippi River Levees (ppt) -Vicksburg District Overview (ppt)
4. セントルイス管区事務所	-Operation And Maintenance Flood Protection Works, St.Louis, Missouri, Reach 9 (維持管理マニュアル 連邦堤防区間版) -Levee Owner's Manual For Non-Federal Flood Control Works The Rehabilitation And Inspection Program public Law 84-99 March 2006 (維持管理マニュアル 非連邦版)	-Environmental River Engineering On The Mississippi	-Motor Vessel Boyer (ppt) -Hurricane Katrina Regional Waves and Water Levels (ppt) -M/V Boyer Hydrographic Survey Boat (ppt)
5. 元ERDC職員より	-	-	-Preliminary Draft (Comprehensive Coastal Protection Master Plan for Louisiana) -Mississippi River Map

## 4. ミシシッピ川の概要

### 4.1 流域概要<sup>1)</sup>

ミシシッピ川流域は、カナダ南部と米国の 31 州の全部もしくは一部を含み、さらにアパラチア山脈までを含んで漏斗状の形を形成し、ニューオーリンズ (New Orleans) でメキシコ湾に達する米国最大の流域である。世界的にみてもアマゾン川、コンゴ川に次ぐ第 3 位の流域面積を有している。

総流域面積は利根川の流域面積 16,840km<sup>2</sup> の約 190 倍にあたる 322 万 km<sup>2</sup> であり、米国本土の約 40% を占めている。これは日本の国土面積の 8.7 倍に相当する面積である。流域にはニューオーリンズ、セントルイス、メンフィス (Memphis) 等の大都市があり、流域内人口は 6,020 万人で米国人口の 28% に当たる。

ミシシッピ川流域 (図 4・1) は、オハイオ川合流点のケイロ (Cairo) を境に、上流がミシシッピ川上流域 (Upper Mississippi Basin)、下流がミシシッピ川下流域 (Lower Mississippi Basin) に分けられる。

ミシシッピ川上流域の主な河川は上流ミシシッピ川 (Upper Mississippi R.)、ミズーリ川 (Missouri R.)、イリノイ川 (Illinois R.) 等であり、ミシシッピ川下流域の主な河川はミシシッピ川本川とオハイオ川 (Ohio R.)、テネシー川 (Tennessee R.)、ホワイト川 (White R.)、アーカンソー川 (Arkansas R.)、レッド川 (Red R.)、ヤズー川 (Yazoo R.) 等の支川である。

ミシシッピ川自体の最上流はミネソタ州の北部であり、10 の州を通過してルイジアナ州のニューオーリンズ付近でメキシコ湾に注ぎ、全長は約 3,800 km である。

長さの面ではミシシッピ川の支川となっているミズーリ川が米国最長で、モンタナ州からセントルイスでは約 4,300 km に達する。一般に米国最大と呼ばれる場合のミシシッピ川とは、ミズーリ川とセントルイスより下流のミシシッピ川本川を合わせたもの

を指し、全長 6,210 kmと表現されている。この長さは、日本列島の北海道から沖縄までの全体が入るほどの長さである。

オハイオ川、ミシシッピ川上流、ミズーリ川、アーカンソー川、レッド川は幅広い谷を流下する河川であり、各支川の氾濫原はいずれもその谷状の地形内に限定され、氾濫した洪水は拡散する形態とはならない。ただし、流域の規模が大きいため、各支川の氾濫原は広い谷状地形に限られているとはいえ、それぞれ日本国土の全氾濫面積と同じかそれ以上の大きさである。



図 4-1 ミシシッピ川流域図

ミシシッピ川の下流部の地形は上流から流送された土砂によって形成されたものであり、日本の平野と同様な堆積物の氾濫原が形成されている。

そしてこの氾濫原には全川にわたり自然堤防が発達し、氾濫原に位置する都市はこの自然堤防上に形成されている。この氾濫原はオハイオ川がミシシッピ本川に合流するケイロあたりから河口まで約 960 kmの長さを有しており、ミシシッピ川の沖積谷は幅が約 50 km~200 kmで、その両側は台地が連なっている。この氾濫原面積は 14.4 万 km<sup>2</sup>に及び、ミシシッピ川下流域の 50%以上を占めている。

ミシシッピ川管轄の工兵隊管区事務所は、図 4-2 の通り 6 箇所あり、本調査では、その中のビックスバーグおよびセントルイス管区事務所の 2 箇所によりヒアリング調査を行った (図 4-2)。



図 4-2 ミシシッピ川工兵隊管区割図

#### 4.2 ミシシッピ川 洪水の歴史と堤防<sup>1)</sup>

ミシシッピ川の堤防は、元々土地所有者（個人）あるいは堤防組合が自衛的に築堤・管理してきたため、堤防断面形状が均一でなく、土質も不均質であり、維持管理の考え方も統一されていなかった。

1802 年に陸軍工兵隊 (U.S. Army Corps of Engineers, 以下、工兵隊と略す) は、恒久的な組織として設立され、1824 年以降、河川や港湾の整備に継続的に介入していったが、当初は治水を目的としたものではなく、舟運の確保を目的としたものであった。

1916 年にミシシッピ川で起こった大洪水を受けて翌 1917 年に、最初の洪水防御法 (Flood Control Act of 1917) が施行され、工兵隊が舟運のみでなく治水事業にも関与することが位置づけられた。

さらに、1927 年 (図 4-3)、ミシシッピ川では未曾有の大洪水が発生し、翌 1928 年に洪水防御法が改訂された。この中で初めて連邦政府レベルの治水計画となる MR&T プロジェクト (Mississippi

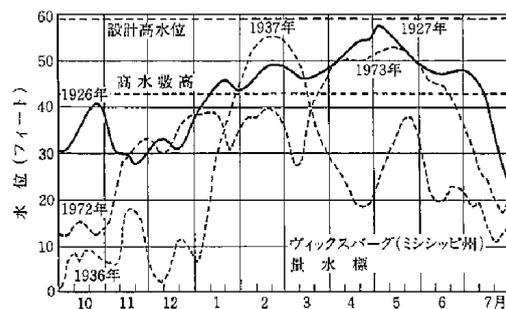


図 4-3 1927 年洪水のビックスバーグの洪水水位

River & Tributaries Project) が位置づけられた。約 12,000km の河道改修であった。

一方、1960 年代になると、何十億ドルという連邦政府予算を投入したにもかかわらず、洪水被害が増加し続けたことを受けて、従来の治水対策としての構造物対策のみならず、氾濫原での開発や土地利用の規制、全国洪水保険など非構造物による治水対策の考え方が芽生えた。こうした背景があつて、1960 年に制定された洪水防衛法では、工兵隊に氾濫原管理に関与する権限が与えられた。

1973 年洪水はアーカンソー川とホワイト川合流点下流の本川で発生したもので、氾濫面積は 67,500km<sup>2</sup> に達し、そのうち 140km<sup>2</sup> が市街地であった。洪水は、ウィスコンシン州からメキシコ湾の間を流下した。連邦政府による治水施設がなかったら氾濫面積は、136,000km<sup>2</sup> にまで達し、浸水する市街地面積は 1,730km<sup>2</sup> になっていたという。

この洪水を対象として堤防の改修が行われてきており、現在下流部の堤防はほぼ完成しており、そのほとんどは堤防組合に引き渡され、日常的な維持管理が行われている。

従来は、堤防の天端が計画高水位より高いかどうかと言うことにだけ着目してきたが、ハリケーンカトリーナの災害を契機に堤防への流水の浸透、パイピング、斜面安定、耐震性といった質的な側面からの安全性照査が行われつつある。

## 5. 河川の維持管理に関する仕組み

河川の維持管理に関する仕組みを考える前に、米国の行政組織の基礎知識を示した上で、米国の維持管理の仕組みの説明を行う。

### 5.1 米国の行政組織に関する基礎知識

#### 1) 連邦政府と州の関係

日常行政では、州が国家に近いという考え方が妥当である。“連邦”という意味は文字通り“邦=国である州”が集まって作った“政府”であり、連邦政府は各州をまたいだ案件、外交その他のみを州から

権限を限定して付託されている。日本の県、市との関係とは違い、州レベルで州法が存在し、三権分立が確立されている。

#### 2) コミュニティにおける自治意識

非都市部では依然として建国以来のコミュニティの自治・自衛意識が残っており、これが現在の「堤防組合」「堤防・排水組合」「排水組合」等の組織のバックグラウンドでもある。

地先堤防などでも一カ所の破堤が他のコミュニティ、郡、州まで影響を及ぼすような特定のコミュニティの判断を超える場合は、州政府や連邦政府が関与することとなる（図 5・1）。

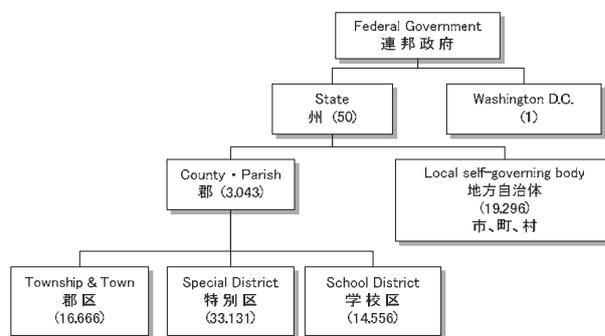


図 5・1 米国の行政組織<sup>2)</sup>  
(数字は 1992 年時点の設立数)

### 5.2 維持管理における全体の仕組み

(連邦政府—州政府—工兵隊—堤防組合、市、他の組合)

ここでは、まず連邦政府とミシシッピ川の関わり の総論を述べ、その後、維持管理に関わる各機関の仕組み・役割について述べる。

#### 1) 「ミシシッピ川では、日本式の“治水の水系一貫”の河川管理者は存在しない。」

コミュニティによる自衛策としての堤防建設は建国以来のコンセプトでもある自治権と密接に関連しており、もともと治水は沿岸住民による自衛が原則であった。

2) 「河川航路に関しては工兵隊が水系一貫の管理を行っている。」

舟運は沿岸コミュニティへの直接便益が少ないため、かつ州を跨いだ運行となるため連邦政府の関与に妥当性が発生する。

重要な舟運対象の（指定された）河川では、航路部分=低水路部分を河口から航行可能な上流地点まで一貫して工兵隊が航路管理を行っている。現在でもミシシッピ川、コロンビア川等多数の大河川では、小麦、トウモロコシ等の穀物や、単価が安く輸送時間にこだわらない重量物の運搬は河川舟運が大きな比率を占めている（写真 5・1）。



写真 5・1 ミシシッピ川の舟運風景

3) 「連続堤の地域と、山付けで堤防が分断される地域では堤防管理の考え方が異なる。」

ミシシッピ川下流部のように氾濫原が広大で、1カ所の破堤が地域に壊滅的被害を与えるような部分は、連邦政府による治水が法律により命じられている。

具体的には、ミシシッピ川下流域において MR&T プロジェクトとして水系一貫の計画が立てられており、貯水池、堤防、放水路の建設と河道改修等が実施されている。

5.2.1 全体の仕組みおよび役割

ミシシッピ川の河川維持管理は、図 5・2 に示すような体制で行われている。

1) 工兵隊管区事務所

管区事務所の主要な役割は、本川の堤防改修工事を実施し、改修後堤防組合に堤防の管理を引き渡すとともに堤防等の維持管理の規範（維持管理マニュアル）を作成し、それに基づいた管理を堤防組合に指示する。堤防組合の維持管理が適切か検査をする

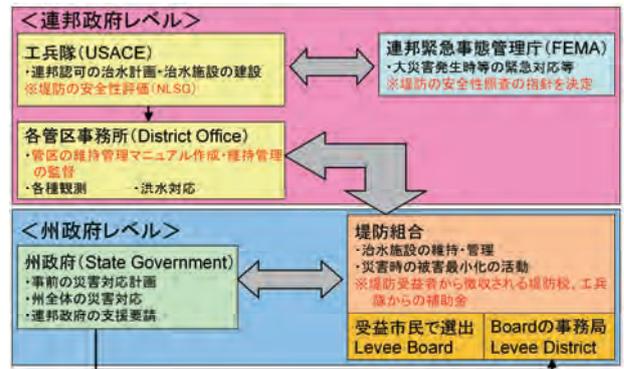


図 5・2 河川の維持管理上の仕組み

権限を有し、不適であれば改善を命じることができる。改善されない場合は補助金停止措置も実施することができる。

また、その他の役割としては、低水路満杯水位より高い水位の場合（洪水時）の堤防点検、洪水情報の収集伝達等の洪水対策を行うことである。

2) 堤防組合

(1) 堤防組合の役割とそれを行う費用内訳

堤防組合の役割は、建設完了後の堤防の管理を工兵隊から引き継ぎ、通常時を中心とした堤防の維持管理を行うことである。また、洪水時の被害を少なくする活動等も行う。

堤防組合は、コミュニティによる自衛思想を背景にした組織であり、受益者負担による日常の堤防管理を行う“半行政組織”である。

堤防の維持管理に係る費用については、堤防の受益者負担としての堤防税、固定資産税の一部の交付金、工兵隊からの補助金の他、堤防を放牧地として使用する占用料等によってまかなわれている。

(2) 堤防の維持管理の責任

堤防の維持管理についての責任は、地域の管理機

関にある。地域の管理機関は、連邦政府の費用負担なしで工兵隊によって規定された規則に従って堤防の維持管理を行う必要がある。このことは、洪水防御法第3条（1936年6月22日付）に定められている。

ここで地域の管理機関とは、州や地方自治体および堤防組合や下水道組合といったその他の管理機関のことをいう。

ミシシッピ川下流部（ルイジアナ州）の堤防は、主として21の堤防組合によって維持管理されている。

今回訪問したビックスバーグ管区事務所における一部の堤防は、ルイジアナ州第五堤防組合が維持管理を行っており、上流部に属すセントルイス管区事務所における堤防の場合は、セントルイス市、セントルイス広域都市圏下水道組合等が維持管理を行っていた。

### (3) 維持管理のチェック機能

堤防組合等は、工兵隊が規定した規則に従い定期点検を実施する。定期点検結果は所定の点検チェックリストに記載し、維持管理活動の詳細報告と併せて半期毎に報告書として工兵隊へ提出する。一方、連邦政府の点検としては管区事務所指揮官またはその承認代理人が、半年に1回を基本とし、必要に応じ適宜、堤防等の詳細な点検を行う。

## 5.3 堤防管理に関する維持管理の仕組み

堤防管理に関する維持管理の仕組みと実際に訪問したルイジアナ州第五堤防組合の概要を述べる。

### 5.3.1 Levee Board（理事会）と Levee District（事務局）

堤防組合の意志決定機関“Board”のメンバーは、受益住民によって選挙で選ばれる。このメンバーで構成するいわば堤防組合理事会を Levee Board と呼ぶのが一般的である。一方、実際の堤防組合の日常活動は堤防組合の職員によって行われており、この実働組織を（ルイジアナ州やミシシッピ州では）

Levee District と呼んでおり事務局に当たる。事務局は州の出先的な性格を持っている。

米国では、日本のように堤防計画（治水計画）、建設、維持管理を一元管理していない点や受益者からの堤防税等により運営されている点が大きく異なっている特徴である。

### 5.3.2 堤防組合の職務

堤防組合職員は一般的に、堤防の安全性を監視するものと、河川で行われる様々な違法行為を取り締まる逮捕権を有する警察権を持った巡視員（レビーポリス）により構成されている。本調査で訪問したルイジアナ州第五堤防組合は、その規模が小さいこともあり警察権を持つ職員はいないので、違法行為等の取り締まりについては、一般の警察に出動を要請することになる。



写真 5・2 ポンチャントレーン堤防組合の堤防警察



写真 5・3 堤防巡視する堤防警察の例

### 5.3.3 ルイジアナ州第五堤防組合の概要<sup>3)</sup>

イーストキャロル郡、マディソン郡、テンサス郡、コンコーディア郡から構成されるルイジアナ州第五

堤防組合（写真 5・4）は、1886 年の第 44 号法律（Act 44）によって設立された。この地区の堤防管理の総延長は 355 マイルである。その詳細は、ミシシッピ川の堤防延長の 214 マイル（下流端はウェストフェリシア郡まで延びる）と、コンコーディア郡のレッド川の背水堤防延長の 93 マイル、残りの 48 マイル余りは、この堤防地区を貫く Front line 堤防と Back line 堤防で構成されている。

1929 年に交わしたルイジアナ州第五堤防組合と米国の合意条項と、1973 年に堤防組合が発行した補足的な保証の下、連邦政府は堤防地区内の堤防建設費用を負担し、堤防理事会は通行権を提供し、堤防・バームの継続的な維持管理を行う責任を持つ。

現在、ルイジアナ州第五堤防組合は、全部で 15 名の維持管理要員と 2 名の事務員により運営されている。

355 マイルの堤防に加えて、洪水防御システムに関係する計 20 基の治水構造物の維持管理を行っている。

ルイジアナ州第五堤防組合は、維持管理すべき堤防とバーム（小段）の表面積が、州内最大であるにもかかわらず、この地域の大部分の住民の収入は、極めて低水準であり、税基盤は最低となっている。その結果、税収で維持管理費用を賄えない状況となっている。

このような大規模な堤防の補修は、連邦政府の資金を用いて工兵隊が修理を行っている。

その一例として年間 20～30 万ドルを工兵隊から交付してもらい、堤防天端道路の砂利を補修している。

堤防等治水対策に関する諸問題について、第五堤防組合は、その理事会を通じて、工兵隊とルイジアナ州との連絡係を務めている。堤防に関するすべての利用等の活動は、ルイジアナ州第五堤防組合の管轄下であり、堤防上および堤防沿いにおける家畜の放牧、干し草の収穫、交差フェンスに関する基準を制定する認可制度を有している。電気・ガス・水道設備の交差、道路の交差、および高速・幹線道路のランプについては、工兵隊とルイジアナ州交通開発局との調整の下、理事会が管理・認可を行っている。



写真 5・4 ルイジアナ州第五堤防組合

## 6. 堤防管理の実態

### 6.1 全体概要

現在、堤防の設計、施工は工兵隊で行い、完成堤防の管理は堤防組合に引き渡すこととなっている。日常の管理は堤防組合が行い、洪水時の堤防の安全性の監視は工兵隊が主導して堤防組合と共同する。

なお、堤防管理の手法、及びマニュアル等は工兵隊が作成し、堤防組合に指示し実行する。

日常管理の総括は、工兵隊が年一回各堤防組合の維持管理の品質をチェックする。

管理品質の悪い堤防組合には、補助金の一時凍結など制裁措置も発動するという事となっている。

### 6.2 ミシシッピ川の堤防

#### 6.2.1 現堤防の成立過程

図 6・1 に示すとおり、築堤は、1840 年代から部分的に開始され、段階的に堤防を拡築してきており、下流部では現在 1/100 洪水対応の堤防の再改修を進めている。

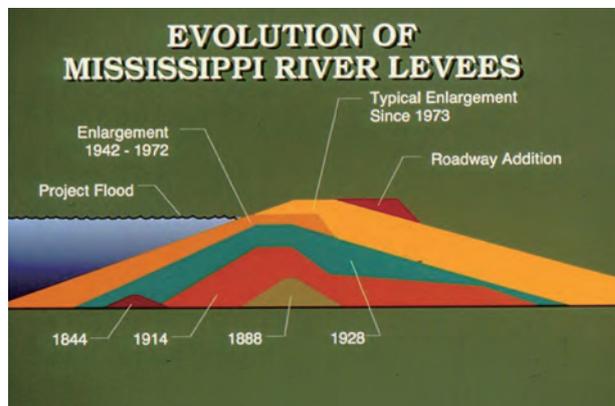


図 6・1 ミシシッピ川堤防標準断面図<sup>4)</sup>

## 6.2.2 堤防用語の定義

図 6・2 にミシシッピ川の堤防用語を定義する。

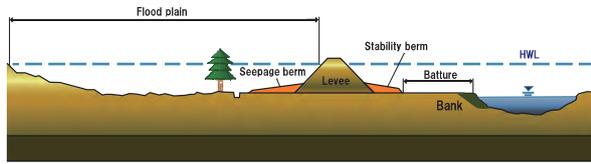


図 6・2 堤防用語説明図

- Levee : 堤防
- Bank : 低水護岸
- Flood plain : 洪水氾濫区域
- Batture (ミシシッピ川下流部で使用されている用語) : 高水敷
- Seepage berm : 浸透対策小段
- Stability berm : 堤脚補強小段

## 6.3 堤防の維持管理等に関する基準等

堤防の維持管理については、各管区事務所毎に維持管理マニュアルが定められ、実際に堤防を管理する堤防組合等の規範となっている。

セントルイス管区事務所では堤防を維持管理するものの規範として

- ①「維持管理マニュアル第 A-100 号 (1970 年 3 月)」<sup>5)</sup>
- ②「非連邦洪水防御構造物のための堤防管理マニュアル 復旧および検査計画 公法 84-99 (2006 年 3 月)」<sup>6)</sup>

を定めている。

前者はセントルイス管区事務所管内の堤防等の洪水防御構造物に関する個別の維持管理および操作マニュアルであり、後者は、非連邦政府によって建設された堤防（連邦政府によって築堤された堤防または連邦政府で認可された堤防を除く堤防）等の洪水防御構造物に対する一般的な維持管理マニュアルである。

### 6.3.1 堤防の安全性等のチェック

マニュアルの情報とヒアリング結果を踏まえ、ミシシッピ川の堤防の維持管理の点検項目、点検頻度等についてとりまとめを行った。

なお、本項の事項は基本的に前者のマニュアルを基に記載している。

## 1) 定期点検項目

定期点検は、次の事項について行う。

- (i) 法面勾配または堤防断面に、異常な沈下、崩壊、または堤体材料の損失が生じていない。
- (ii) 堤外地または堤内地に、堤防断面の安定性に影響を与える可能性のある崩落が生じていない。
- (iii) 浸透、飽和部分、またはボイリングが生じていない。
- (iv) 法先の排水設備およびリリーフウェルが良好な作動状態にあり、目詰まりが生じていない。
- (v) 堤防を貫通する排水管およびその上部のゲートが良好な作動状態にある（連邦洪水防護構造物には存在しない）。
- (vi) 護岸工または捨石工が移動、流失、または撤去されていない。
- (vii) 芝の生育を遅らせたり損なったりする、不適切な季節の野焼きのような行為がなされていない。
- (viii) 堤防のアクセス道路が適切に維持管理されている。
- (ix) 畜牛ガードおよびゲートが良好な状態にある（写真 6・1）。



写真 6・1 畜牛ガード、ゲート状況

- (x) 天端が容易に排水できるように形成されており、該当する場合、その上の車道が適切に形成、維持管理されている。
- (xi) 堤防において不許可の放牧および車両交通が行われていない。

- (xii) 緊急時に構造物を危険にさらすか、あるいは効率的な機能を妨げる可能性のある、堤防用地の不法拡張が行われていない。

## 2) 点検の頻度

定期点検は、できる限り堤防の最善の管理を保証するために下記の時点で行う。

- (i) 出水期の直前
- (ii) 大規模な各出水期の直後
- (iii) (i), (ii) とは別に最低 90 日に 1 回
- (iv) 必要に応じて中間時点

また出水期には、裏法のボーリングまたは異常な湿潤の可能性を特定し、下記の事項を確認するために堤防を継続的に巡回する。

- (i) すべりまたは崩壊の兆候がない。
- (ii) 波浪侵食または洗掘が生じていない。
- (iii) 堤防に越流をもたらす可能性のある高さの低い区間が存在しない。
- (iv) 堤防を危険にさらす可能性のあるそのほかの条件が存在しない。

適切な要員と資材を使用してあらゆる緊急事態に対処できるように、適切な予防策が講じられる。緊急の措置は、堤防を危険にさらす条件を制御し、損傷した区間を補修するために講じられる。

## 3) 半期報告書の提出

地域の管理機関は、堤防等の点検および維持管理に関する半期報告書を作成し、管区事務所指揮官に提出する。

## 4) 連邦政府の点検

連邦政府の点検は、管区事務所指揮官またはその承認代理人が、半年に 1 回および適宜行う。地域の管理機関は、管区事務所指揮官より指摘があった場合には、直ちに必要な維持管理対策又は補修を行う。地域の管理機関が保有する維持管理の記録は、必要な補修工事を行うための情報の源といえる。

## 6.3.2 「復旧および検査計画 (Rehabilitation and Inspection Program<RIP>)」で規定された維持管理<sup>6)</sup>

堤防等の洪水防御構造物が洪水の被害を受けた場合に、工兵隊による復旧支援を受けるための施策として「復旧および検査計画 (RIP)」がある。

「復旧および検査計画 (RIP)」に参画した洪水防御事業で、洪水被害を被った場合に工兵隊による復旧支援を受けるためには、工兵隊の定めた運用および維持管理上の最低基準を満たす必要がある。このことは、公法 (PL) 第 84-99 号に定められている。

### 1) 「復旧および検査計画 (RIP)」の対象となる構造物

「復旧および検査計画 (RIP)」に参画するためには、次の条件を満たす必要がある。

- ①非連邦政府によって建設された堤防等の洪水防御構造物であること。具体的には一定の堤防、水路、洪水防御壁、滞留池、排水機場等。ここで一定の堤防とは、農業用堤防（主に農地または農業関連産業を保護する堤防）の場合は少なくとも 1/5 確率規模以上、都市堤防（住宅、公共又は商業用の建物、工業施設等を伴う土地を保護する堤防）の場合は、少なくとも 1/10 確率規模以上の堤防であること。
- ②工兵隊の検査に合格した堤防等の洪水防御構造物であること。

### 2) 陸軍工兵隊による検査

「復旧および検査計画 (RIP)」に参画した事業は、適正に維持管理が行われているかについて少なくとも 2 年に 1 回の頻度で工兵隊の検査を受ける。

一連の堤防等の洪水防御構造物で複数の公的事業主体が管轄している場合は、それらすべての事業主体が一括して検査に合格しなければならないことが特徴である。

検査結果は、「合格」「最低限の合格」「不合格」の 3 段階に分類される。

「合格」「最低限の合格」の場合は、「復旧および検査計画 (RIP)」が有効と判断される。ただし「最低限の合格」の場合は、指摘された欠陥を指定され

た期限内に是正する必要がある。

## 6.4 河川巡視

訪問したルイジアナ州第五堤防組合では、毎日河川巡視を行っている（写真 6・2）。ルイジアナ州第五堤防組合は警察権を持たないため、巡視員は違法行為を発見すると、警察へ取り締まりを要請している。

一方、警察権を持つ近隣の堤防組合は、警察権を保有する 2 人の巡視員（レビーポリス）と 30 人の一般巡視員が毎日巡視を行っている。警察権を保有する巡視員は、違法行為の取り締まりを直接行っている。

違法行為には、ゴミ等の不法投棄、堤防法面への車両の乗り入れ（写真 6・3）および土砂の採取等がある。

ビックスバーグ周辺では、出水期に工兵隊と堤防組合で週 2 回、ヘリコプターから目視点検を行っている。



写真 6・2 河川巡視車



写真 6・3 堤防法面への車両の乗り入れ跡<sup>7)</sup>

## 6.5 堤防植生管理

### 1) 堤防植生管理の目的

植生による被覆は、洪水・雨水・波浪等によって生じた侵食作用から、堤防を保護する最も効果的、かつ経済的な手段の一つである。洪水時の流水による侵食を防ぐため、米国においても日本と同様に、植生により被覆を行うことが設計上義務付けられている。

したがって、これら植生が堤防植生としての機能を十分に発揮できるように適切な維持管理を行うことが堤防植生管理の目的となっている。

### 2) 堤防植生管理主体

築堤工事は、工兵隊により実施されるが、その後の堤防植生の維持管理に関する様々な行為については、各地区の堤防組合が実施している。

### 3) 堤防植生の種類

築堤後、植生にて被覆を行うが、その際に標準的に使用する植生種は各地区毎に決められている。今回訪問したビックスバーグ管区事務所管内の堤防組合では、バミューダグラスを播種している。当該植生は、耐侵食機能を十分に発揮する地被植物であり、これをいかに維持していくかが堤防植生管理上重要となっている。

### 4) 堤防植生管理の具体的な行為

堤防植生の管理を行う堤防組合は、植生の被覆を継続的に維持する必要がある。そのために、堤防組合は定期的の下記に示す行為を実施している。

・除草      ・集草      ・樹木等の伐採

また、工兵隊が築造した堤防を工兵隊の管理から堤防組合へ引き継ぐ際に、竣工図と維持管理マニュアルを配布している。当該マニュアルには、堤防植生管理項目が記載されており、その項目で工兵隊の年間の検査をしている。

なお、堤防植生管理は工兵隊が厳しく監視し、検査基準を満たさない場合、工兵隊からの補助金を停止する措置がとられる。

### (1) 除草

堤防を被覆した植生を適正に維持（雑草の進入、樹木等の生育）するためには、定期的な除草が不可欠である（写真 6・4）。



写真 6・4 除草状況<sup>7)</sup>

また、草丈の長い植生は、目視点検をほぼ不可能にし、堤防点検上大きな問題となる。そのため、目視点検が可能な草丈で維持管理を行う必要がある。

表 6・1 に堤防除草の維持管理水準を示す。

表 6・1 堤防除草の維持管理水準例  
(ビックスバーグ管区事務所管内)

除草回数	2～3回/年
除草時期	春季、夏季の終わり
除草時草丈	約10cm (4inch)
その他	除草時に成長抑制剤を使用

表 6・1 に示すように、2～3 回/年の除草水準となっており、これは日本と同程度の水準である。

今回訪問したルイジアナ州第五堤防組合では、これまで多雨時期に 5～6 回/年の除草を実施していたが、現在は成長抑制剤を散布することで除草頻度を最大で 2 回/年程度に抑えコスト縮減を図っている状況であった。成長抑制剤には、ジョンソンのような堤防管理上望ましくない植生の繁茂を防ぐ一方、バミューダグラスのように有用な地被植物が生育するための条件を整える効果がある。なお、成長抑制剤については、各州および地方の法規制に従って使用しなければならない。

また、米国においても、日本と同様に、堤防植生の維持管理費が問題となっているため、成長抑制剤の使用を行っているとのことであった。日本でもかつて、除草と併用して除草剤を使用し、シバを維持してきた経緯があるが、平成 2 年 3 月 19 日付け「農薬の使用に関する河川の維持管理について」により、堤防における除草剤散布が原則禁止となり、シバで維持することが困難な状況となっている。この成長抑制剤の使用については、米国と日本における堤防植生管理上の大きな違いといえる。

なお、除草草丈を 4inch (10cm) にカットする理由としては、洪水時に工兵隊と堤防組合で週 2 回程度行う浸透対策の目視点検で、漏水等が確認できる草丈として管理している。

### (2) 集草

堤防除草により発生した刈草は、ロール化（写真 6・5）して家畜飼料用として使用されている。日本においても堤内地側に牧草地が存在する地区において、同様な家畜飼料用としてのロール化は行われているが、ほとんどの刈草処理は地元自治体の焼却施設にて処理されており、当該処分費が維持管理費の増大の問題の大半を占めている状況である。

一方、一部の地区では、堤防法面を放牧用（写真 6・6）にリースし、除草費の削減に努めている。なお、その際に発生するリース費用は、堤防組合の収入となる。



写真 6・5 刈草のロール化

### (3) 樹木等の伐採

堤防法面上に樹木および低木林が生育した場合、堤防の安定性を阻害し、洪水時において水防活動の妨害となる可能性がある。このため、すべての樹木および低木林は伐採し、堤防から離れた場所に破棄しなければならないとされている。

なお、堤防法面上だけではなく、堤防法尻から約15feet (4.6m) 以内の範囲に生育する樹木等についても同様に伐採するよう義務付けられている(樹木等の伐採する範囲については、地区によって異なる)。



写真 6・6 放牧の様子

- ② 低水路満杯 (43feet) 以上の水位 : 工兵隊と堤防組合の両方の管理責任

## 2) 河川水位ごとの堤防管理の内容

洪水時の河川水位の上昇に伴い、堤防管理内容が刻々と変化する(図 6・4)。ビックスバーグ水位観測所の水位が低水路満杯の 43feet (写真 6・7) に到達した時点で、堤防の全部の管理用ゲートをあけて、12 時間の巡視体制に入る。この時、工兵隊の職員と堤防組合職員と一緒に堤防点検等の河川パトロールを行う。

46feet に到達した時点で、24 時間の巡視体制に切り替わり、土地所有者および堤防上で牛の放牧をしている人々へ通知する。49feet に到達した時点で、堤防への立ち入りが禁止となり、堤防へ入れるのは堤防組合と工兵隊のみとなる。

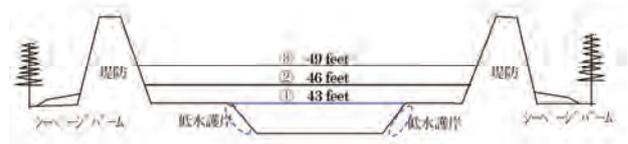


図 6・4 河川水位と堤防管理の内容

## 6.6 洪水時における堤防管理

### 6.6.1 ビックスバーグ管区事務所管内の洪水時における堤防管理

#### 1) 水位による役割分担 (図 6・3)

ビックスバーグ管区事務所管内では、低水路満杯水位を境として管理責任を分担している。低水路満杯 (43feet) 以下の水位の時には、堤防組合が管理責任を負う。また、低水路満杯 (43feet) 以上の水位になると、工兵隊と堤防組合の両方が管理責任を負う。

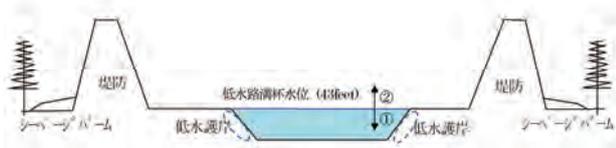


図 6・3 水位による役割分担

- ① 低水路満杯 (43feet) 以下の水位 : 堤防組合の管理責任



写真 6・7 ビックスバーグ 量水標

### 6.6.2 セントルイス管区事務所管内の洪水時における堤防管理

セントルイス管区事務所管内の洪水時の管理の詳細はヒアリングできなかったが、提供して頂いた維持管理マニュアル(工兵隊が築造した堤防のある区間を対象とした維持管理)内に河川水位の取り扱いにおける記載がある。それによると以下のものである。

る。

セントルイス市は、洪水時における河川水位および降雨の動向を把握する責任がある。市の監督員は、ミズーリ州セントルイスの連邦測候所が毎日発表するミシシッピ川の水位予測および局地的降雨の予報を利用して、必要な行動を行う。

### 1) 河川水位ごとの堤防管理の内容

セントルイス水位観測所の水位が 20feet に達した場合、脆弱な箇所またはそのほかの損傷を発見するために、堤防および洪水防御壁沿いを点検する。

水位が 20～35feet の時は、堤防と洪水防御壁沿いに適切な要員を展開し、水位の上昇に伴う堤体、コンクリート壁、および河岸の状態を観測し、適宜人員を強化する。調査中に発見した損傷は、補修する。

水位が 35feet 以上になった場合、点検と報告のために継続的な巡回をすることが推奨されている。巡回は、陸閘や地下排水管の点検など、他のさまざまな職務に加えて実施する。要員の实時間は、水位の上昇速度、「実施すべき」さまざまな職務、および洪水防御システムの状態によって決まる。

### 2) 洪水時の堤防管理

洪水時に一般的に行われる主要な作業(操作)は、次のとおりである。

- ① 陸閘のための排水管の点検
- ② スルースゲートの操作
- ③ 変電所と排水機場への通電
- ④ 排水機場の運転
- ⑤ 漏水、ボイリング、またはそのほかの異常を見いだすための堤防と防御壁の巡回
- ⑥ 堤内地における是正措置の実施
- ⑦ 出水期の終了時における洪水防御構造物の運用停止

内水排除にとって不可欠な排水機場とそれに関連するすべての施設の操作のために必要な要員を確保する。ポンプ装置の操作には、熟練作業員のみが当たる。出水期間においては、ポンプの操作が予定される時点から当該操作の必要性がなくなり、排水機場が停止されるまで、各排水機場に最低1名の作業

員が常勤する。平水時においては、1名の作業員で多数の排水機場を操作することができるとしている。暴風雨の際には、頻繁に防塵スクリーンの塵芥を除去するために追加の作業員を派遣し、ポンプ操作を支援することも定めている。

### 6.6.3 その他の洪水時の堤防管理

#### 1) パイピング・サンドボイル時の対応

パイピング、サンドボイルを発見した場合には土のう積み、月の輪工法等を実施しているが、作業員を探すのに大変苦勞している。97年洪水では、400～450人の囚人により120万袋を施工した事例もある(図6・5、図6・6)。

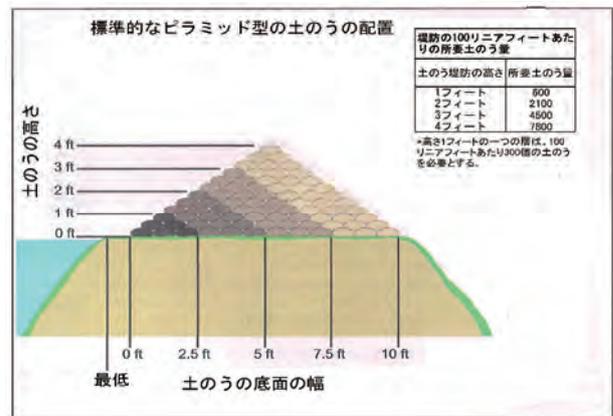


図6・5 標準的な土のう積みの配置<sup>6)</sup>

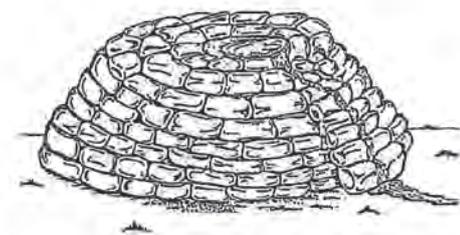


図6・6 月の輪工法<sup>6)</sup>

## 7. 航路維持管理

### 7.1 護岸・捨石工

護岸の形態は、管区事務所毎に特徴があるようである。

ビックスバーグ管内で用いている護岸工種として

は、低水路法面（平水位程度）にコンクリートマットレス（岡崎式護岸）を設置し、その上部法面に捨石工（リップラップ）を設置していた（写真 7・1，図 7・1）。

ビッグスバーク管内で用いる捨石は、大小様々なものからなっており、石切場からダイナマイトで爆破したものをそのまま用いている。石のかみ合わせが良く、経済的であるとのことである。



写真 7・1 ビッグスバーク管内の護岸  
（岡崎式護岸＋捨石工）

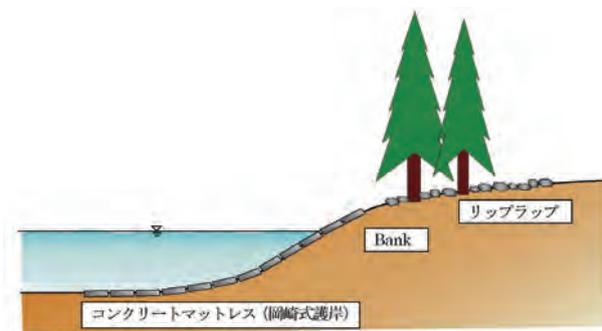


図 7・1 河岸のイメージ（ビッグスバーク管内）

セントルイス管内では、コンクリートマットレス（岡崎式護岸）は一切なく、捨石工のみとなっており、ビッグスバーク管内と違い維持管理マニュアルの中で、石の大きさを規定している<sup>6)</sup>。

表 7・1 の仕様に従って、適切に粒度調整された「石」としている。

また、1800 年代には、柳を組み合わせたものを護岸として使用してきた。潜水夫により確認を行ったところ、水面下では現在も機能しているとのことである。

表 7・1 石の仕様

総重量の概算 比率 (%)	石材重量 (ポンド)
50	100～300
40	5～100
10	1/2～5

セントルイス管区事務所管内の捨石工と護岸の維持管理としては、高水位が低下したら、護岸の移動や消失が生じているか否かを特定するために、すべての区域を対象に綿密に点検をおこなうものとしている。

影響を受けた区間については、表 7・1 の仕様に従って、石を追加することによって、当初の断面にできるだけ近い状態に修復するものとしている。また、石の移動を防止するために、樹木の伐採および認可された化学薬品の吹き付けの両方あるいはいずれか一方を実施することによって、護岸区間全体に低木や木本が生育しないようにしている。

捨石の石の大きさでも規定が違うように、各管区事務所毎に維持管理の手法も異なっているようである。

## 7.2 水制（Dike）

Dike（写真 7・2，写真 7・3）とは洪水を閉じこめる施設を表す一般的な用語で、広い意味では Levee, Floodwall（洪水防護壁）も Dike の一種と見なされているが、通常は水制の意味で使われている。水制が設置される目的には、次の3つが挙げられる。

- ①洪水疎通，舟運のために適切な河道幅，水深の維持
- ②水流を適切な方向へ導く
- ③河道の安定（流路の固定）

また、航路維持のための浚渫の頻度を下げするため、低水路内にベンドウェイウエア（Bendway Weirs）を設置している（図 7・2）。



写真 7・2 ダイク (1)



写真 7・3 ダイク (2)



図 7・2 Bendway Weirs のイメージ<sup>8)</sup>

これらにより、みお筋を外岸側へ集中させず、堆積傾向にならないように、セルフクリーニングさせている。ビックスバーグ付近では、以前は年 1 回、多い時は年数回の航路浚渫を行っていたが、近年はバンドウェイウィア等の効果でほとんど浚渫を実施

していないとのことである。

## 8. 河川管理としての諸調査・諸観測等

河川管理としての諸調査、観測には様々なものが挙げられるが、本調査のヒアリングの中で議題となった主要な項目を示す。

### 8.1 河川のモニタリングシステム

#### 8.1.1 縦横断等の測量

##### 1) 河道の縦横断測量

横断測量は 1000feet (約 300m) 間隔で、堤防の最高地点から堤防の最高地点まで、全ての堤防の詳細な測量を行っている。

河床の変化等を見ることで、護岸の位置決定等に活用している。

##### 2) 航路維持等を目的とした横断測量

セントルイス管区事務所では、航路維持、野生動物の生息状況等の確認を目的として河床形状超音波測量船 (SMART) を 2 隻保有している (写真 8・1)。



写真 8・1 河床形状超音波測量船<sup>9)</sup>

この船を用いた調査の目的は、航路維持のための低水路水深の確保及び魚や野生動物の分布状況を把握し、保全につなげるためのものである。測量船には、D-GPS、マルチビーム測深器、シングルビーム測深器、超音波ドップラー流速計 (ADCP)、魚群探知機、水温計、塩分濃度計が搭載されている (図

## 8.1, 写真8.2).

### Single Beam vs. Multibeam

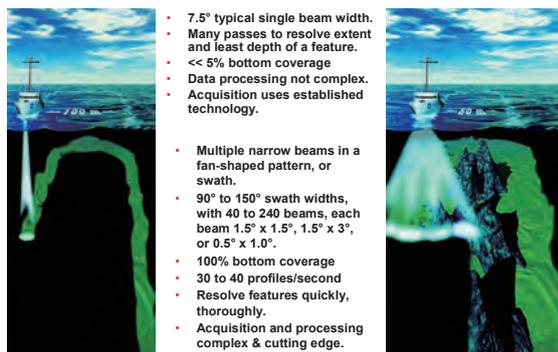


図 8.1 測深器のシングルビームとマルチビームの比較<sup>9)</sup>



写真 8.2 測量船内の計器類

### 8.1.2 流量観測

流量観測は、工兵隊および米国地質調査所(U.S.Geological Survey<USGS>)がドップラー流速分布計(ADCP)をD-GPS測位と組み合わせて実施している。

ミシシッピ川(Mississippi River), レッド川(Red River)およびウアシタ川(Ouachita River)では、流量観測を定期的(毎週あるいは隔週)に行い、その他の河川については洪水期間中に観測を行っている。

ビックスバーグ管区事務所では、流量観測を民間コンサルタントに委託して行っている。

ビックスバーグでは毎週観測を行い、管内北部地区のアーカンソー市(Arkansas City)および管内南部地区のナッチェス(Natchez)では、二週間に一度、観測を行っている。

### 8.1.3 計測器を用いた堤防モニタリング

都市部における堤防の川表・川裏側の基礎地盤に設置したピエゾメーターを用いて、間隙水圧を測定している。農地部の堤防には、計測器は設置していない。

また、洪水中にはリリーフウェルに流量計を入れて計測している。

測定の自動化、すなわち遠隔地からの計測についても取り組んでいるが、コストがかかりなかなか進んでいない現状である。

### 8.1.4 高水観測, 低水観測

水位データは定期的に観測している。

ヒアリングによると、セントルイス付近の水位の計測データは1945年からあり、それ以前のは信頼度、連続性に欠ける。洪水時には河川情報が一般情報として提供されているが、それ以外の場合には、情報の提供を行っていないとのことである。

### 8.1.5 航空写真等

ヒアリングによると、堤防の陥没等重大な事象があるかを航空写真により定期的に観測しているとのことである。

## 9. 堤防の安全性照査

### 1) 堤防の安全性照査

1973年の洪水以降、堤防が洪水時の水位(100年に1度程度発生する洪水)より高いかということに着目してきた。

しかしながら、2005年のハリケーン・カトリーナによるニューオリンズで起きた現象を踏まえ、浸透、パイピング、斜面の安定、耐震性および新しい堤防高、堤防の維持管理水準といった他の側面からの照査の必要性を認識し、現在、堤防安全性照査の考え方を修正しつつある。これら堤防の安全性照査指針は、連邦緊急事態管理庁(Federal Emergency Management Agency<FEMA>)が決定している。

これらの照査指針を基に、工兵隊の管区事務所は、それぞれ管轄する区域の堤防において安全性を照査

している。

## 2) 安全性照査の仕組み

堤防の安全性照査は、資格を持った連邦機関（工兵隊）、または免許を持った職業技術者が行う必要がある。National levee safety group として組織される。

スタッフは、工兵隊と第三者（外部のコンサルタント）で構成しており、第三者（外部）が評価している。構成メンバーは、リスクを基本とした技術者の経験を踏まえ、工兵隊が選定する内部資格である。

通常は、工兵隊（USACE）が全米の堤防照査を実施している。

## 3) 堤防強化対策の取り組み

ミシシッピ川では、堤防強化対策の浸透に対する安全性や法面の安定性を確保する方法として、リリーフウェル（減圧井戸）、シーページバームおよびスタビリティバーム等が行われている。以下に浸透対策として用いられている主要な工法の説明と、維持管理上の運用について説明する。

### (1) リリーフウェル（減圧井戸）

透水層を基盤としている堤防や洪水防御壁の場合には、出水時に地中でパイピングが発生しやすい。

リリーフウェルは、堤内地においてボーリングまたは浸透の生じる可能性のある水を排水し水圧を下げるために設置され、計画洪水位を上回る異常水位時に計画洪水位における安全な水圧の値まで低減することを目的として設置される（図 9・1）。

また、リリーフウェルの機能が維持されているかを確認するため、堤防および洪水防御壁に隣接して、透水層の浸透圧測定のためのピエゾメーターを設置している。その詳細な目的は、洪水時の地盤内の水圧に起因する危険性を評価するとともに、設置されたリリーフウェルのシステム設計と妥当性を照査することである。

維持管理の運用としては、出水期に、堤体基礎部への浸透状況に対し、連続的な監視を開始するものとする。これらは工兵隊の要員によって、測定し、データを蓄積し、評価している。

その他に、リリーフウェルの先端に立ち上がり管を設置する。出水期に井戸の水が立ち上がり管を越流し始めたら、立ち上がり管が破損しないように、すべての立ち上がり管は撤去しなければならない。洪水後、清掃作業等が終了したら、立ち上がり管は元に戻すこととなっている。

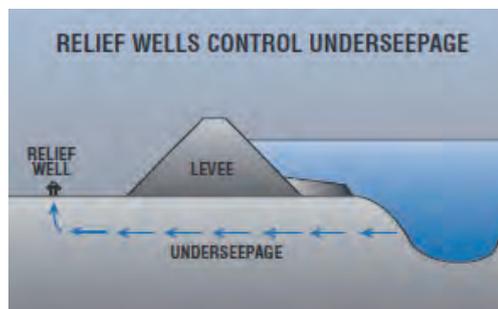


図 9・1 リリーフウェルイメージ図

### (2) シーページバーム（浸透対策小段、図 9・2）

堤防川裏側の最上不透水層より下層にある透水層の中の浸透圧が、上層の重量より上まわった場合には、上層の噴出を引き起こし、結果的にボーリングを引き起こす。

川裏側にバームを設置する目的としては、浸透圧を消散するために必要な重量を追加すること、および法先での浸透圧に耐え得る値まで減じるのに必要な幅を確保することによって安全性を保つことができる。

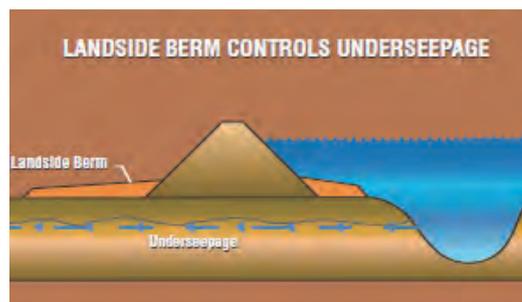


図 9・2 シーページバームのイメージ図

バームは、堤防川裏側斜面の崩壊に対する保護としての用途もあるし、堤防を補修するための備蓄土としても使用できる。

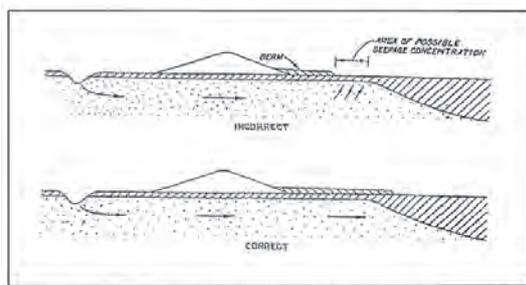


Figure 9-3: Example of incorrect and correct berm length according to existing foundation conditions

図 9-3 シーページバームの形状設定<sup>10)</sup>

バーム長の設定では、バーム設置より下層の地質の形状等が研究されている。例えば、堤防が図 9-3 に示すように、バーム長が短く、薄層の粘土堆積物等を基盤としている場合（図 9-3 上図）には、バームは、計算された必要長に関係なく、地層の形状に合わせてバーム長を延長する（図 9-3 下図）。もしそうでなければ、浸透圧による噴出がバームの先の薄層粘土堆積物の間で起こる。

ビックスバーグ周辺で現場視察したシーページバームの形状は、バーム高 1.2m～1.8m、幅は 70m～80m 程度（一部 120m 程度の所あり）であった。

なお、シーページバームを実施しても、パイピングが発生する箇所にはリリーフウェルを設置して対応している。リリーフウェルを設置して浸透圧を解放している箇所ではパイピングは起きていないということである。

## 10. おわりに

本調査では、ミシシッピ川中・下流部を対象に、維持管理の実態把握を行うことができた。日本と比べて川の規模、気象条件等はかなり異なるが、マニュアル等によるしっかりとした維持管理体制がとられていることが確認できた。堤防の維持管理では、日本と異なり堤防組合等が組織され、堤防受益者から徴収する堤防税を主な財源として管理を行っている。堤防植生管理では日本と同様に、2～3 回/年の除草水準となっているが、維持管理の水準を守らなければ、工兵隊による罰則も規定されているという厳しいものである。

また、大きな洪水毎に、堤防高等も見直されてお

り、近年ではハリケーン・カトリーナ等の災害の発生が頻発していることから、安全性照査の随時改訂が進められており、浸透、耐震等の堤防強化対策も行われているとのことである。

## 謝辞

最後に、本調査を進めるにあたり国土交通省河川局河川計画課においては、渡航手続き等でお世話になり、貴重な資料も提供して頂きました。また、中央大学山田 正教授、石原 研而教授には本調査に同行して頂き、大変お世話になり、報告をまとめるにあたり貴重なご意見、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) 米国河川研究会(1994) : 洪水とアメリカ～ミシシッピ川の氾濫原管理,山海堂
- 2) 欧米諸国における治水事業実施システム(2001) : (財) 国土技術研究センター
- 3) ルイジアナ州第五堤防組合提供資料(2006)
- 4) 陸軍工兵隊ビックスバーグ管区事務所提供資料(2006)
- 5) Operation And Maintenance Flood Protection Works Reach3 ,St. Louis, Missouri  
陸軍工兵隊セントルイス管区事務所提供資料
- 6) Levee Owner's Manual For Non-Federal Flood Control Works(2006),USACE
- 7) Mississippi Levee Board ホームページ (<http://www.msleveeboard.com/>)
- 8) 陸軍工兵隊セントルイス管区事務所ホームページ (<http://www.mvs.usace.army.mil/>)
- 9) 陸軍工兵隊セントルイス管区事務所提供資料(2006),M/V Boyer Hydrographic Survey Boat PPT 他
- 10) Design and Construction of Levees,2000, EM1110-2-1913,USACE