

課題名 B-0911 ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の開発

課題代表者名 木持 謙（埼玉県環境科学国際センター 水環境担当）

研究実施期間 平成21～23年度

累計予算額 27,100千円（うち23年度 8,100千円）
予算額は、間接経費を含む。

研究体制

- (1) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の開発と浄化特性の解析評価
 - 1) 水質改善特性を中心とした解析評価（埼玉県環境科学国際センター）
 - 2) 微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価（早稲田大学）
- (2) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の維持管理手法の開発
 - 1) 植栽・ろ床による汚泥の蓄積機構の解析評価（早稲田大学）
 - 2) 植栽および蓄積汚泥の適正維持管理手法の開発（真下建設(株)）
- (3) 水生生物生息場所の創造と導入効果の解析評価
 - 1) 魚類等の生息場所創造のための資材等とその導入手法の開発（埼玉県環境科学国際センター）
 - 2) 魚類を中心とした水生生物の生息環境の改善効果の解析評価（早稲田大学）

研究概要

1. はじめに（研究背景等）

健全な水循環の再生は国内外を問わず重要かつ緊急の課題であり、湖沼・内湾等の閉鎖性水域の富栄養化防止には、流入河川・水路等の水質改善が必要不可欠である。そして、低炭素社会実現のためには、生態工学等を活用した省エネルギー型の技術の導入が重要である。自然環境の視点からは、「第三次生物多様性国家戦略」では、“人と自然の共生”“森・里・川・海のつながりの確保”といった項目が強調され、国と地方公共団体・企業・NGO・住民が一体となって施策の具体化を図っていきとされている。

我々の研究グループでは、これまでに、生態工学を活用した水質改善技術と住民参加を見据えた維持管理手法や、水生生物の生息環境の創造と解析評価等について、研究開発を実施してきていることから、これらの要素技術・手法等を整理・統合化して、人と自然が共生する低炭素社会に資する里川再生技術の研究開発を進めることとした。特に、我々が研究開発を進めてきたゼオライト成形体・植栽活用型水質改善技術は、従来法より窒素除去機能を強化してあることを大きな特徴とする。これに、ビオトープをイメージした、生物多様性の保全・回復の効果を組み込んだ技術について研究開発を行った（**図1**）。

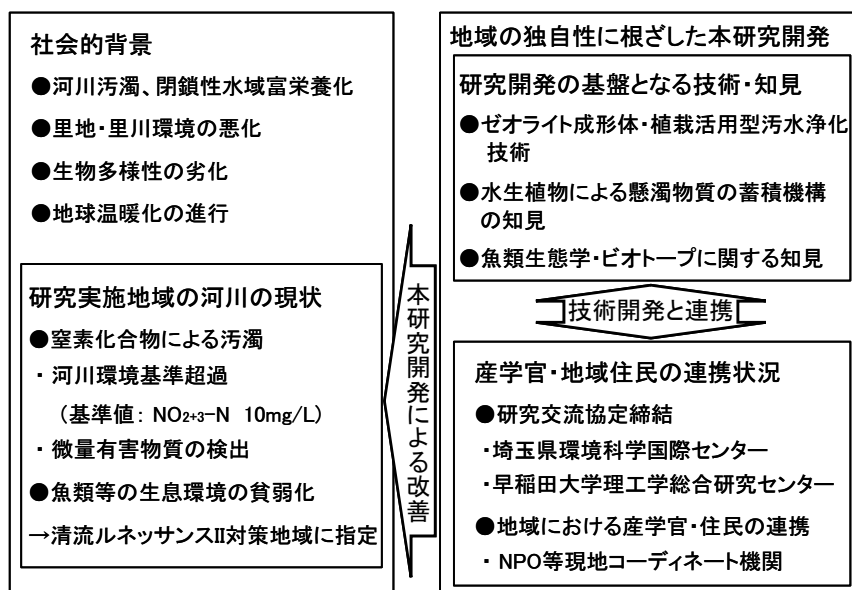


図1 本研究の背景

2. 研究開発目的

本研究では、ゼオライト成形体と植物を活用し水質浄化施設とビオトープの長所を組み合わせ強化した、里川の再生技術の研究開発を行った。具体的には、低コスト・低エネルギー消費を前提とし、

- ①窒素を中心とした水質浄化特性・浄化機構の解析と浄化性能向上、
 - ②地域住民等での対応を視野に入れた浄化施設の維持管理技術の構築と検証、
 - ③魚類を中心とした水生生物の生息・産卵場所の創造と導入効果の解析、
- の3点を主目的として研究開発を行った。

これらの目的を達成するための各サブテーマ(サブサブテーマ)相互の関係について図2に示す。

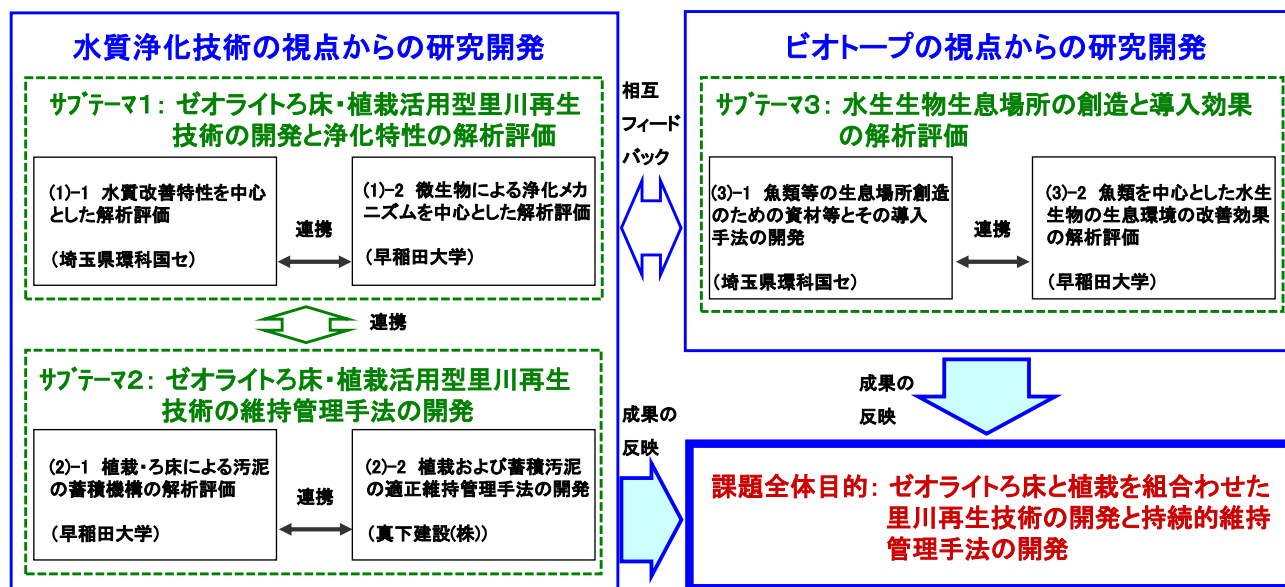


図2 本研究目的達成のための各サブテーマ間の関係

3. 研究開発の方法

本研究の総括的な流れは、以下のとおりである。

平成21年度

- ・里川再生基礎実験装置を用いた検討
(水質改善・維持管理特性の解析評価、生物調査等)

平成22年度

- ・スケールアップ里川再生実験装置を用いた技術改善のための検討
(引き続き、水質改善・維持管理特性の解析評価、生物調査等)

平成23年度

- ・里川再生技術基本仕様案を用いた検討と成果とりまとめ
(全期間で得られた知見を元に、維持管理等も含めた里川再生技術の基本仕様の提案)

サブテーマ毎の研究開発内容は、以下のとおりである。

(1) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の開発と浄化特性の解析評価

サブテーマ(1)では、水質浄化技術の視点から、全期間を通じては、水質改善特性を中心とした解析評価および微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価を行い、最終的には里川再生技術の基本仕様を提案することとした。

1) 水質改善特性を中心とした解析評価

平成21年度は、実河川サイトの詳細な事前水質調査を行った。また、当該サイトに“里川再生基礎実験装置”を設置して、ゼオライト成形体の形状や導入方法を含めた基礎的検討を行った。平成22年度は、“スケールアップした里川再生実験装置”を用いた水質浄化性能の改善の検討を行った。平成23年度は、過去2年間の水質データの解析結果に基づく“里川再生技術基本仕様”の構築(水質浄化目標値としてはBODおよびT-N除去率がそれぞれ50および30%)を行った。

2) 微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価

平成21年度は、T-RFLP法を用いた、里川再生技術のゼオライト成形体表面の付着微生物等の解析手法の

基礎的検討を行った。平成22年度は、平成21年度の成果に基づき、PCR法を用いた、里川再生技術のゼオライト成形体表面の付着微生物等の定量化手法を検討した。さらに、平成23年度は、過去2年間の検討結果を元に、硝化細菌等の優占化のための条件の抽出と里川再生技術基本仕様への反映を検討した。

(2)ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の維持管理手法の開発

サブテーマ(2)では、全体としてはゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の適正維持管理手法と回収された底泥や植物体の有効利用法の開発等を行った。

1)植栽・ろ床による汚泥の蓄積機構の解析評価

平成21年度は、実河川サイトの流況計算式を導出するとともに、“里川再生基礎実験装置”を用いて、植栽・ろ床による底泥の蓄積特性の基礎的検討を行った。平成22年度は、“スケールアップ里川再生実験装置”において、水質浄化モジュールの設置と河川流況の関係を検討するとともに、装置内の底泥蓄積特性の改善について検討した。平成23年度は、過去2年間の蓄積データの解析結果に基づき、里川再生技術の維持管理手法の基本仕様を検討した。

2)植栽および蓄積底泥の適性維持管理手法の開発

一貫して、地域住民等で対応可能な維持管理手法の視点から研究開発を行った。平成21年度は、“里川再生基礎実験装置”において、植物体および底泥の簡易・効率的な回収・処理方法およびそれらの堆肥化等の資源化手法について基礎的検討を行った。平成22年度は、“スケールアップ里川再生実験装置”を用いて、水質に基づく維持管理タイミングと維持管理手法の改善について検討した。平成23年度は、“里川再生技術基本仕様”を用いて、特にSNS(ソーシャルネットワーキングサービス)を活用した維持管理システムについて検討した。

(3)水生生物生息場所の創造と導入効果の解析評価

サブテーマ(3)では、ビオトープ技術としての視点から、全体としては水生生物の生息・産卵場所となり得る水質浄化モジュールの製作と実河川サイトにおけるその導入に加え、ライフサイクルリスクアセスメント(LCRA)を用いた導入効果の解析評価を実施した。

1)魚類等の生息場所創造のための資材等とその導入手法の開発

平成21年度は、研究実施サイト周辺の事前生物調査と、魚類によるゼオライト成形体の産卵床としての利用可能性の検討を中心に進めた。平成22年度は、“スケールアップ里川再生実験装置”と対照系における生息生物の種類、数、大きさ等についての調査・解析評価を実施した。平成23年度は、過去2年間で得られたデータをふまえ、生物相(特に魚類)の特性に基づく、里川再生技術の基本仕様について検討した。

2)魚類生息環境の改善効果の解析評価

本研究を水質浄化技術としてのサブテーマ(1)および(2)に特化することから、平成21年度は実施しなかった。平成22年度は、LCRAを“里川再生実験装置”に適用した際の妥当性の検証と、装置設置による生息環境の改善効果等について検討した。平成23年度は、蓄積データの解析結果に基づく、里川再生技術における魚類生息環境の改善効果の数値化等を検討した。

4. 結果及び考察

(1)ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の開発と浄化特性の解析評価

1)水質改善特性を中心とした解析評価

里川再生技術基本仕様により検討した最終年度における水質浄化性能について表1にまとめた。BOD除去能はほぼ達成できた一方、T-N除去能は冬季は達成できたものの年間を通じてはさらなる改善が必要であることがわかった。また、水質浄化の概念として、溶解性BOD→懸濁態BOD、NH₄-N(水生生物に有害)→NO₃-N(より無害)といった“物質変換”、“毒性低減”といったものの導入が望ましいことが示唆されるとともに、本研究サイトにおいてはこれらの視点からの目標水質(BOD:5mg/L、NH₄-N:3mg/L)が最終年度にはほぼ達成できた。

表1 里川再生装置基本仕様における通年の水質浄化性能

項目	期間	BOD	T-N	NH ₄ -N	T-P
流入 (mg/L)	全期間平均値	11.5	6.7	2.3	0.71
	≥12℃期間	9.2	6.5	2.0	0.68
	<12℃期間	14.7	7.3	2.9	0.78
流出 (mg/L)	全期間平均値	6.0	5.3	1.7	0.56
	≥12℃期間	4.4	5.3	1.5	0.55
	<12℃期間	7.1	5.3	2.2	0.59
除去率 (%)	全期間平均値	46.4	20.1	23.6	20.3
	≥12℃期間	46.9	17.6	24.1	18.2
	<12℃期間	50.3	25.9	22.5	24.9

2) 微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価

微生物学的な視点からは、ゼオライト成形体表面には、非常に多様性に富んだ生態系が創出されており、ゼオライト成形体は、河川の直接浄化対策における接触材としての十分な機能を有することがわかった。また、里川再生技術基本仕様の各エリアにおけるアンモニア酸化細菌を定量した結果、木杭や植物(コカナダモ、ミクリ、ヨシ)に付着したバイオマスには多くのアンモニア酸化細菌が検出された(図3)。このように、ゼオライト成形体に対して、水生植物の硝化細菌群保持能力が特に大きかったことから、里川再生技術を設計・施工していく上では、水生植物の活用が重要であり、植栽基盤材としてのゼオライト成形体の組合せが効果的と考えられた。

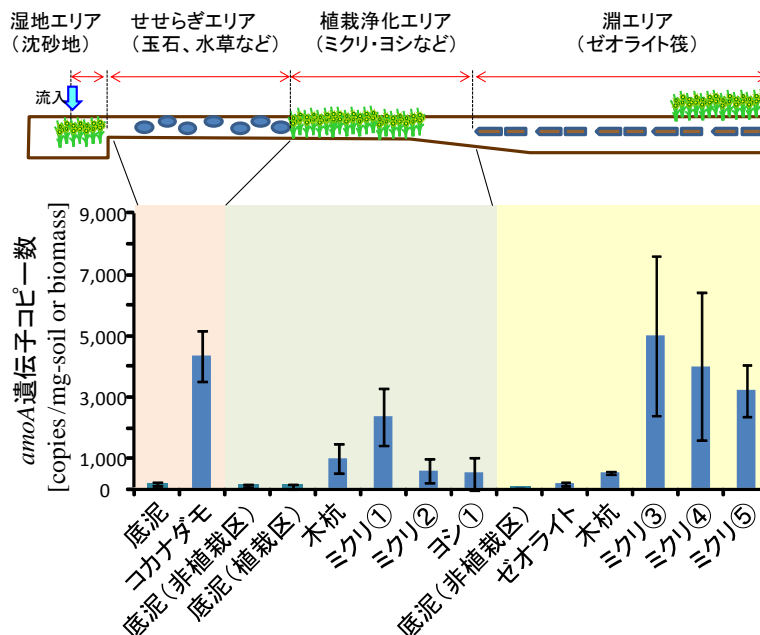
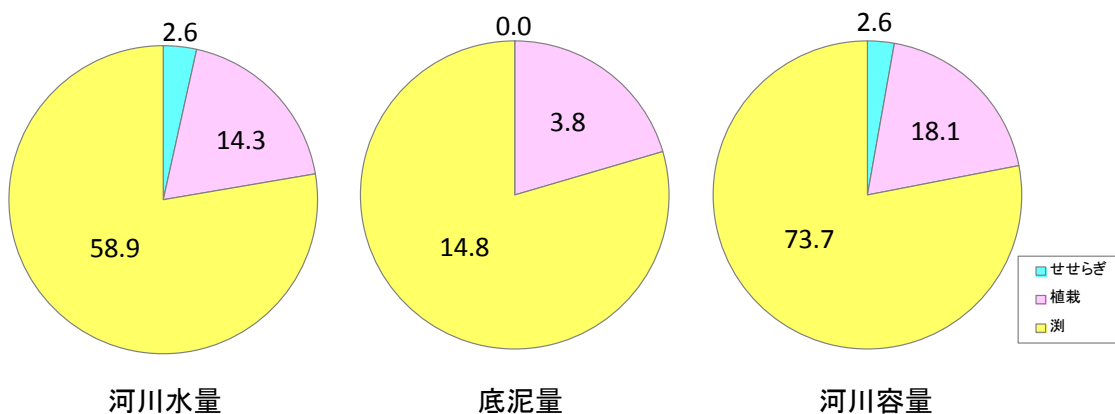


図3 Real-time PCR法によるアンモニア酸化細菌群の定量解析結果

(2) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の維持管理手法の開発

1) 植栽・ろ床による汚泥の蓄積機構の解析評価

出水といったイベント時等の流況把握のための水位連続計測が効果的であることがわかった。設計・施工面からは、モジュールを河床に設置する場合、片岸設置、流路方向の空隙確保等により、底泥が蓄積しにくい装置構造にすることが可能であることがわかった。里川再生技術基本仕様におけるエリア毎の量的割合について図4に示す。エリアコンセプト(例えば、せせらぎ、植栽、淵)を明確にし、その環境を維持することを維持管理作業内容の主眼に置くのが効果的であること、底泥の溜まる(溜める)エリアを積極的に設定することも現実的であること等がわかった。一方、実際の維持管理作業面からは、河川流量の確保が特に重要であること、底泥厚の観測は住民が、清掃(浚渫)は重機等で河川管理者が実行するのが現実的と考えられること等がわかった。



※図中の数値は、実際の量(単位:m³)を示す。

図4 里川再生技術基本仕様における河川水量、底泥量、河川容量のエリア毎の割合

2) 植栽および蓄積底泥の適性維持管理手法の開発

作業の効率化においては、SNSを活用した里川再生装置の維持管理システムの構築と効果的な運用の検討を行った結果、関係者がほぼリアルタイムに情報共有・対応可能であった。実際の運用状況について図5に示す。本システムについては今後さらに改善を進める予定である。また、一定の河川流量が確保されていれば、底泥の蓄積／流出についての”バランス”が保たれるため、あえて底泥は回収する必要はない、という可能性も考えられた。さらに、回収した底泥や植物体は、底泥については芝の目土や花卉栽培の土壌改良資材として、植物体は堆肥等としての活用が期待された。



図5 SNSを活用した維持管理連携システムの構築

(3) 水生生物生息場所の創造と導入効果の解析評価

1) 魚類等の生息場所創造のための資材等とその導入手法の開発

水槽実験および実装置の双方で、水質浄化モジュールの魚類(モツゴ)の産卵床としての利用が確認された。また、水質浄化モジュールの水生生物生息空間としての利用が確認され、特にミクリ植栽のモジュールで、魚類が集中して生息していた。さらに、里川再生技術基本仕様における生息生物調査結果について表2に示す。エリア毎に特徴的な魚種が観察されたこと、事前調査に比較して生息魚種・数の大幅な増加がみられたことから、環境改善が進んでいると考えられた。

表2 里川再生技術基本仕様における生息生物調査結果

	メダカ	タモロコ	モツゴ	ドジョウ	コイ	ギンブナ	オイカワ	ナマズ
エリア1: 沈砂池	3.00 (30)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.60 (6)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
エリア2: せせらぎ	4.75 (285)	0.10 (6)	0.12 (7)	0.00 (0)	0.02 (1)	0.00 (0)	0.07 (4)	0.00 (0)
エリア3: ミクリ植栽	3.72 (223)	0.10 (6)	0.45 (27)	0.02 (1)	1.12 (67)	0.03 (2)	0.20 (12)	0.00 (0)
エリア4: ゼオライト筏	1.00 (80)	0.05 (4)	0.04 (3)	0.04 (3)	0.20 (16)	0.04 (3)	0.14 (11)	0.04 (3)

数値：生息密度[匹/水路m]、()内数値：確認尾数

2) 魚類生息環境の改善効果の解析評価

スケールアップ里川再生実験装置および里川再生技術基本仕様それぞれにおける、全15魚種のLCRA結果とフィールド調査結果を表3に比較して示す。両者は120ケース中103ケースで一致し、LCRAの予測精度は約86%と、魚類の生息状況が良好に評価できることを確認したとともに、研究サイトでの主要なストレス因子はDOの枯渇および産卵場所の消失と導出することができた。また、里川再生施設導入による魚類の生息環境の改善効果の評価した結果、ストレス因子の削減による生息ポテンシャルの上昇が考えられた。今後の課題としては、ストレス応答・リスク評価における不確実性や、河川毎に異なる特徴を反映させた再生が必要であると考えられた。

表3 里川再生施設でのLCRA適用結果

魚種	2011年							
	エリア1		エリア2		エリア3		エリア4	
	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA
アブラハヤ	×	×	×	×	×	×	×	×
イワナ	×	×	×	×	×	×	×	×
ウグイ	×	×	×	×	×	×	×	×
オイカワ	×	×	○	×	○	×	○	×
カジカ	×	×	×	×	×	×	×	×
カマツカ	×	×	×	×	×	×	×	×
コイ	×	○	○	×	○	○	○	○
シマドジョウ	×	×	×	×	×	×	×	×
タナゴ類	×	×	×	×	×	×	×	×
タモロコ	×	○	○	×	○	○	○	○
ドジョウ	○	○	×	×	○	○	○	○
フナ類	×	×	○	×	○	○	○	○
ムサシトミヨ	×	×	×	×	×	×	×	×
モツゴ	○	○	○	×	○	○	○	○
ヨシノボリ類	×	×	×	×	×	×	×	×
魚種	2010年							
	円形モジュール		板状モジュール		施設内対照系		下流対照系	
	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA
アブラハヤ	×	×	×	×	×	×	×	×
イワナ	×	×	×	×	×	×	×	×
ウグイ	×	×	×	×	×	×	×	×
オイカワ	×	×	×	×	×	×	○	×
カジカ	×	×	×	×	×	×	×	×
カマツカ	×	×	×	×	×	×	×	×
コイ	×	○	×	×	×	×	○	○
シマドジョウ	×	×	×	×	×	×	×	×
タナゴ類	×	×	×	×	×	×	×	×
タモロコ	○	○	○	×	○	×	○	○
ドジョウ	○	○	○	×	○	×	○	○
フナ類	×	○	×	×	×	×	○	○
ムサシトミヨ	×	×	×	×	×	×	×	×
モツゴ	○	○	○	○	○	×	○	○
ヨシノボリ類	×	×	×	×	×	×	×	×

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

- ・水質浄化技術としての研究開発の結果、浄化時間1時間でBOD除去能50%、窒素除去能20%、水質の毒性低減の達成と、里川再生システムの基本仕様案の構築ができた。
- ・維持管理面からの研究開発の結果、設定したエリア環境の維持を中心とした維持管理作業の目安の提案と、SNS活用型維持管理連携システムの構築と効果的な運用ができた。また、回収底泥・植物体の土壌改良材としての活用可能性が得られた。

・ビオトープ技術としての研究開発の結果、魚類の生息場所および産卵床としての水質浄化モジュールの製作と、里川再生技術導入時の魚類生息環境の改善効果のライフサイクルリスクアセスメント(LCRA)を用いた評価ができた。

(2) 環境政策への貢献

本研究への行政、小中高校、地域住民(NPO含む)の参加を通じて、里川再生への実質的な取り組みとして既に推進されている上、平成24年度以降も当該河川で引き続き研究開発を行う予定であり、得られた成果・知見の他河川の環境等改善等への活用が大きく期待されている。また、各種イベント・講演会・学習会等でも研究内容を紹介しており、地域住民らの注目を浴びていることも、今後河川環境改善において大きな貢献が期待されている。

6. 研究成果の主な発表状況(別添作成要領参照)

(1) 主な誌上発表

＜査読付き論文＞

- 1) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：用水と廃水、Vol. 53、No. 2、58-65 (2011).
“ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の実河川への適用と維持管理”
- 2) Y. Bando, N. Kikuchi and Y. Sakakibara: Water Practice & Technology, 5 (3) (2010).
“Application of Life Cycle Risk Assessment (LCRA) of Fish to Different Suburban Streams”

＜査読付論文に準ずる成果発表＞（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可）
「本研究は該当せず」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 真下敏明、大塚岳史：第12回千葉県環境教育研究会発表会、千葉大学、2010.1.9.
“人と川との関係性の再構築～“川”のユーザー作りの視点から～”
- 2) 木持謙、金澤光、正田武則、真下敏明、常田聡、関根正人、榊原豊：第44回日本水環境学会年会、福岡大学、2010.3.15.
“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川における検討”
- 3) 木持謙、金澤光、正田武則、真下敏明、常田聡、関根正人、榊原豊：シンポジウム2010「小山川・元小山川と教育/科学/生活について」、本庄市中央公民館、2010.3.27.
“里川再生プロジェクト”
- 4) N. Kosaka, N. Koizumi, and Y. Sakakibara: The Fifth International Conference on Environmental Science and Technology 2010, 2010.6.12-16.
“Assessment of Habitat Scale of Zacco platypus by Using Microsatellite DNA Markers”
- 5) 小坂尚史、小出水規行、榊原豊：土木学会第65回年次学術講演会、2010.9.3.
“マイクロサテライトマーカーによるオイカワの生息域の解析”
- 6) 坂東佑亮、工藤一彦、榊原豊：第45回日本水環境学会年会、2011.3.18.
“里川再生施設における魚類生息環境改善効果の解析評価”
- 7) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：第45回日本水環境学会年会、2011.3.20.
“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川における検討”
- 8) 木持謙、常田聡、金澤光、真下敏明、正田武則、関根正人、榊原豊：日本陸水学会第76回大会(ポスター掲示、口頭説明)、2011.9.23.
“ゼオライト成形体と水生植物を活用した生態工学技術による小河川の再生”
- 9) 金澤光、榊原豊、木持謙、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人：日本陸水学会第76回大会(ポスター掲示、口頭説明)、2011.9.23.
“水質浄化ゼオライト成形体の導入による魚類の生息・産卵場所の創造”
- 10) Y. Kimochi, H. Kanazawa, T. Mashimo, T. Masada, S. Tsuneda, M. Sekine and Y. Sakakibara: The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, 2011.10.4.
“Nitrogen Treatment by Direct Purification Technology using Molded Zeolite and Aquatic Plants in an Actual Stream”
- 11) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：第46回日本水環境学会年会、2012.3.16.

“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川への適用”

12) 坂東佑亮、工藤一彦、榊原豊：第46回日本水環境学会年会、2012.3.16.

“河川再生事業における魚類生息ポテンシャルに関する研究”

13) 小坂尚史、磯龍、小出水規行、榊原豊：第46回日本水環境学会年会、2012.3.16.

“オイカワの行動圏の推定”

14) 長谷川降英、小坂尚史、坂東佑亮、榊原豊：シンポジウム2012「清ルネⅡから第二ステージへ」、2012.3.17.

“河川再生事業における魚類生息ポテンシャル”

15) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：シンポジウム2012「清ルネⅡから第二ステージへ」、2012.3.17.

“元小山川での里川再生研究”

7. 研究者略歴

課題代表者：木持 謙

1969年生まれ、東京理科大学理学部卒業、博士(学術)、

現在、埼玉県環境科学国際センター専門研究員

研究参画者

(1)1)：木持謙 (同上)

2)：常田聡

1965年生まれ、東京大学工学部卒業、理化学研究所基礎科学特別研究員、

現在、早稲田大学理工学術院教授

(2)1)：関根正人

1959年生まれ、早稲田大学理工学部卒業、建設省土木研究所特別研究員、

現在、早稲田大学理工学術院教授

2)：真下敏明

1970年生まれ、青山学院大学経営学部卒業、

現在、真下建設株式会社代表取締役

(3)1)：金澤光

1953年生まれ、北里大学水産学部卒業、埼玉県農林総合研究センター水産研究所主任研究員、

現在、埼玉県環境科学国際センター担当部長

2)：榊原豊

1957年生まれ、群馬大学工学部卒業、群馬大学助教授、

現在、早稲田大学理工学術院教授

B-0911 ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の開発**(1) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の開発と浄化特性の解析評価**

埼玉県環境科学国際センター 木持 謙
早稲田大学理工学術院 常田 聡
〈研究協力者〉 (株)AZMEC 正田 武則

平成21～23年度累計予算額：14,302千円

(うち、平成23年度予算額：3,700千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] ゼオライト成形体と水生植物を活用し、水質浄化技術とビオトープの長所を組み合わせ強化した里川再生技術について、水質改善特性と微生物による浄化メカニズムの2つの視点から、実河川において研究開発を行った。前者については、各種形状のゼオライト成形体を、水質改善のための接触材や水生植物の植栽基盤材として導入し、窒素、有機物、懸濁物質等の除去率・速度、物質収支等を解析評価した。研究開発目標は、BOD除去能50%、窒素除去能30%等とした。また、後者については、成形体表面に形成される生物膜の遺伝子解析等を行うとともに、細菌叢と浄化メカニズム等を解析評価した。研究開発目標は、硝化細菌の分布状況の検出やその優先化条件の抽出等とした。その結果、水質改善特性の視点からは、最終年度には、BOD除去能はほぼ達成できた一方、T-N除去能は冬季は達成できたものの年間を通じてはさらなる改善が必要であることがわかった。また、水質浄化の概念として、溶解性BOD→懸濁態BOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ (水生生物に有害) → $\text{NO}_3\text{-N}$ (より無害) といった“物質変換”、“毒性低減”といったものの導入が望ましいことが示唆されるとともに、本研究サイトにおいてはこれらの視点からの目標水質 (BOD: 5mg/L、 $\text{NH}_4\text{-N}$: 3mg/L) が最終年度にはほぼ達成できた。微生物学的な視点からは、ゼオライト成形体表面には、非常に多様性に富んだ生態系が創出されており、ゼオライト成形体は、河川の直接浄化対策における接触材としての十分な機能を有することがわかった。また、ゼオライト成形体に対して、水生植物の硝化細菌群保持能力が特に大きかったことから、里川再生技術を設計・施工していく上では、水生植物の活用が重要であり、植栽基盤材としてのゼオライト成形体の組み合わせが効果的であると考えられた。

[キーワード] 河川浄化、ゼオライト成形体、窒素除去、細菌群集構造解析、T-RFLP法

1. はじめに

汚濁河川・湖沼の浄化にあたっては、低エネルギー消費、簡易メンテナンス等を特長とする生態工学を活用した技術の適用が効果的と考えられる。また、生活排水の流入する河川等では、 NH_4^+ イオン濃度が高い傾向にあり、この NH_4^+ イオンは水生生物への生態毒性が強いことから、浄化が

重要な位置づけにある。そこで本研究では、 NH_4^+ イオンに対して高いイオン交換能をもつゼオライト成形体と水生植物を活用し、水質浄化技術とビオトープの長所を組み合わせ強化した里川再生技術について、実河川において、水質浄化性能と微生物を中心とした浄化メカニズムの視点から実験的検討を行った。

2. 研究開発目的

サブテーマ（1）では、水質浄化技術の視点から、全期間を通じては、水質改善特性を中心とした解析評価および微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価を行い、最終的には里川再生技術の基本仕様を提案することを目的とした。

2009年度は、サブテーマ（1）－1）では、実河川サイトの水質調査と、ゼオライト成形体の形状や導入方法を含めた里川再生技術の実河川での基礎的検討を目的とした。また、サブテーマ（1）－2）では、里川再生技術のゼオライト成形体表面の付着微生物等の解析手法の検討を目的とした。

2010年度は、サブテーマ（1）－1）では、スケールアップした里川再生実験装置を用いた水質浄化性能の改善の検討を目的とした。また、サブテーマ（1）－2）では、里川再生技術のゼオライト成形体表面の付着微生物等の解析手法の発展を目的とした。

2011年度は、サブテーマ（1）－1）では、水質データの解析結果に基づく里川再生技術基本仕様の構築（水質浄化目標値としてはBODおよびT-N除去率がそれぞれ50および30%）を目的とした。また、サブテーマ（1）－2）では、硝化細菌等の優占化のための条件の抽出と里川再生技術基本仕様への反映を目的とした。

3. 研究開発方法

（1）水質改善特性を中心とした解析評価

1）里川再生技術の実河川における基礎的検討

a 対象河川の概況と河川水質の事前調査

本研究の対象河川である元小山川（もとかやまがわ）は、埼玉県北部の上里町（かみさとまち）を起点に、主に同・本庄市内を流下して小山川（こやまがわ）に合流する長さ約7.8kmの一級河川である。山間部から生じる河川ではなく、元々は湧水などが水源であったが、その枯渇などに伴い水量が減少してしまった上に、市街地を流れているために生活排水等の流入量も多く、汚濁が進行している。こうしたことから、国土交通省により、小山川とともに「清流ルネッサンスII」の対象河川に選定され、水量確保・水質改善、多種多様な生物の生息・生育環境の創造、親しみやすい水辺空間の創造などを目標とした様々な取り組みが実施されてきた。河川水質として魚類等が生息可能だがやや汚濁が進行していること（BODが5～10mg/L程度）、また本技術の適用により実際に効果が得られるような規模の小河川ということで本河川を研究開発対象サイトとした。そして、研究開発に先立ち、BOD、窒素、リンといった河川水質の事前調査を実施した。

b 水質浄化モジュールの製作

天然クリノプチロライトを75%含有するゼオライト成形体を用いて、2種類の水質浄化モジュールを製作した。1つは、60mm(外径)×30mm(内径)×90mm(長さ)の円筒型成形体を、350mm×550mm×350mm(高さ)のステンレス製かごに70個充填し、抽水植物のミクリを3株植栽したものである(以下、

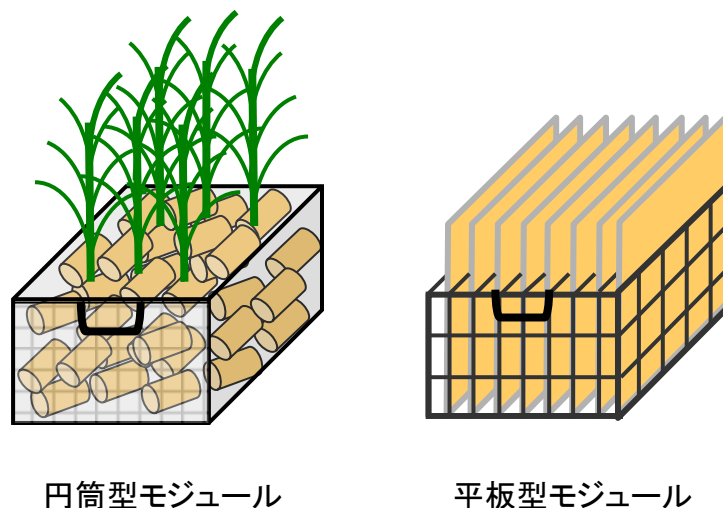
円筒型モジュールと称する)。ここでミクリは、湿地や池沼・水路等に生育する多年生の抽水植物で、地下茎により増殖し株立ちに成長する。レッドデータとしては、全国カテゴリーでは準絶滅危惧、埼玉カテゴリーでは絶滅危惧IB類に属する希少植物であるが、元小山川においてはごく普通に観察される、即ち土着の植物であること、また硬い茎を持たないために伐採・回収等の管理が容易であることから用いることとした(図(1)-1(a)および(b))。図(1)-1(b)には、ミクリの名前の由来となったともいわれる、“栗”の実に似たミクリの実が写っている。また、もう1つの水質浄化モジュールは、300mm×300mm×10mmの平板型成形体を、300mm×350mm×200mm(高さ)のステンレス製かご内に8枚立てて設置したものである(以下、平板型モジュールと称する)。それぞれの水質浄化モジュールについて図(1)-2に示す。



図(1)-1(a) ミクリ



図(1)-1(b) ミクリの実

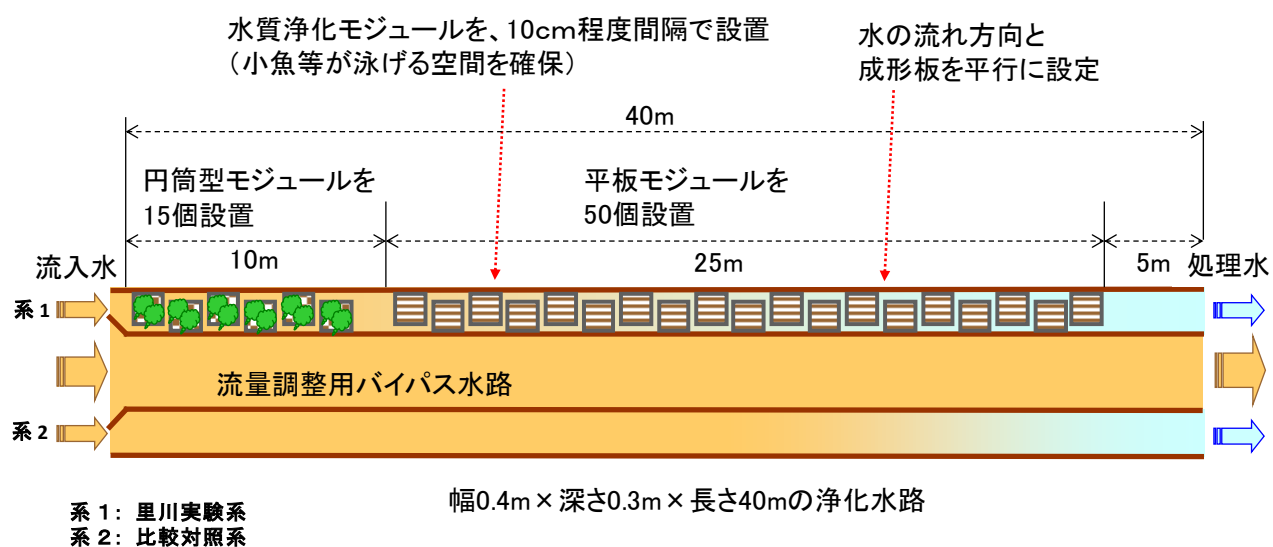


図(1)-2 水質浄化モジュールの概略

c 実河川における里川再生実験装置の設置

元小山川の最上流部の河川内を流下方向に板で3本に仕切り、幅0.4m、水深0.3m、長さ40mの実験水路2系（左岸側：里川系、右岸側：対照系）と、流量調整用のバイパス水路（中央）を製作した。里川系には、0～10m区間に円筒型モジュールを15個、10～35m区間に平板型モジュールを50個設置した。対照系には何も設置しないものとした。これら2系の実験水路に、水理学的滞留時間（Hydraulic Retention Time; HRT）が1hourとなるように河川水を自然流入させ、余分な河川水はバイパス水路経由で排水した。実験装置の概略を図(1)-3に示す。

実験は2009年9月末より開始し、月2回の頻度で、現地にて装置内の環境計測を実施するとともに、流入水および処理水について採水・分析を行った。



図(1)-3 実験装置の概略

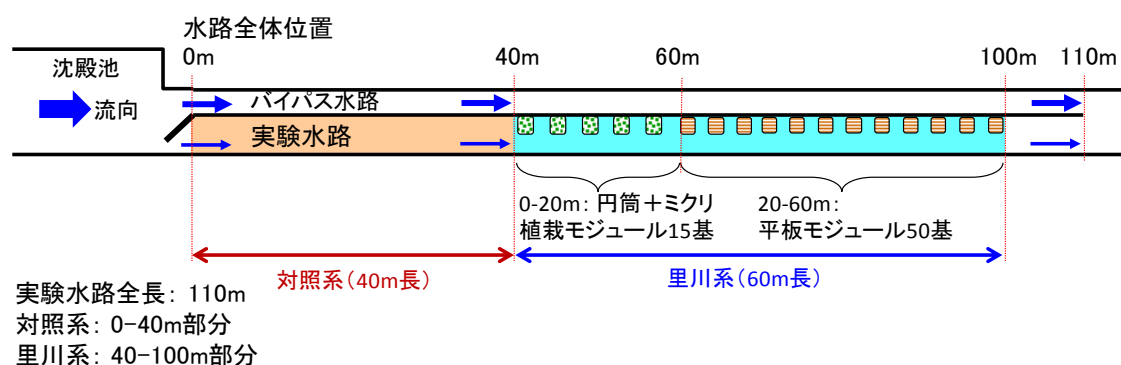
2) 里川再生技術の実河川におけるスケールアップ検討

a 水質浄化モジュール

1) aで製作した2種類の水質浄化モジュールすなわち円筒型および平板型の各モジュールを用いた。

b 実河川内へのスケールアップ里川再生実験装置の設置

元小山川の最上流部の河川内を流下方向に板で仕切り、幅0.8m、水深0.3m、長さ110mの水路を製作し、対照系（上流側、全長40m）および里川系（下流側、全長60m）の2系を直列に設定した（各系の流量を同一にするため）。従って、対照系の処理水が里川系の流入水となる。里川系には、0～20m区間に円筒型モジュールを15個、20～60m区間に平板型モジュールを50個設置した。各モジュールは、流下方向にモジュール長さ分の間隔を空け、水路の左岸に寄せる形で設置した。対照系には何も設置しなかった。実験水路には、流速が1cm/sec程度となるように河川水を自然流入させた。実験装置の概略について図(1)-4に示す。実験は2010年8月中旬より開始し、月2回の頻度で調査採水・分析を行った。

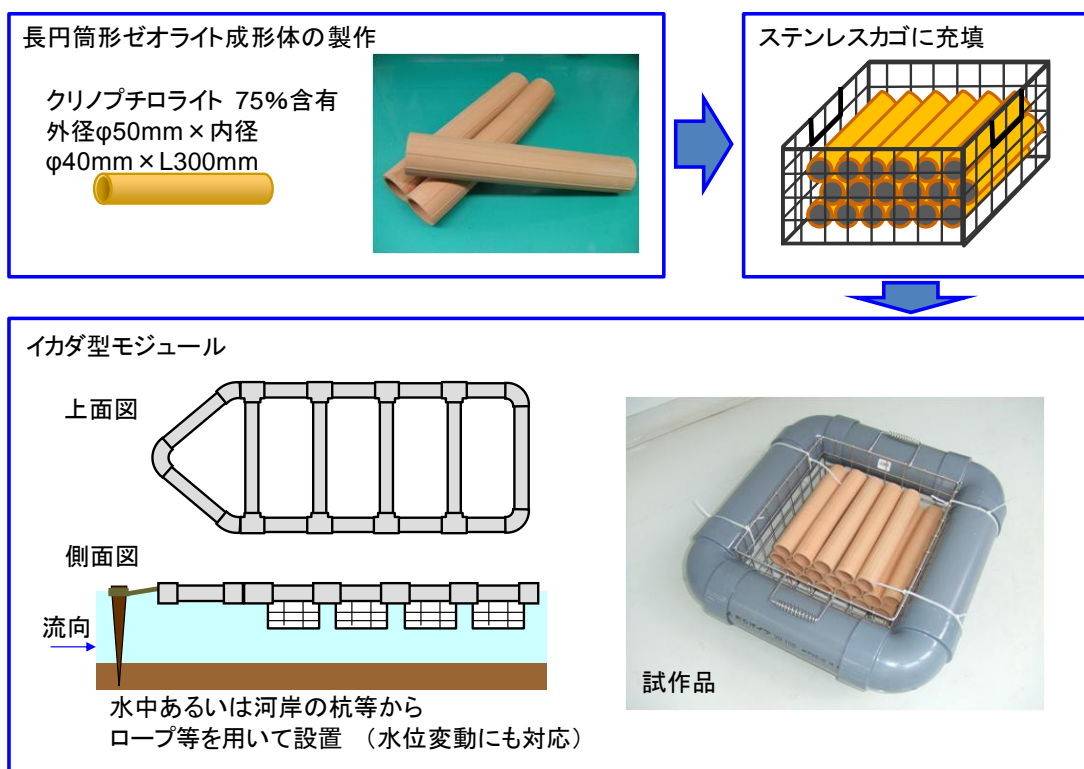


図(1)-4 スケールアップ里川再生実験装置の概略

3) 里川再生技術基本仕様の実河川における検討

a 改良型水質浄化モジュールの製作

天然クリノプロクロライトを75%含有するゼオライト成形体を用いて、筏型水質浄化モジュール（以下、筏モジュール）を製作した。50mm(外径)×40mm(内径)×300mm(長さ)の長円筒型成形体20本を300mm×350mm×200mm(高さ)のステンレス製かご内に設置したものを、直径100mmの塩ビ管で製作した600mm(幅)×2,500mm(長さ)の筏に4かご取り付け付けたものを1モジュールとした。筏モジュールについて図(1)-5に示す。

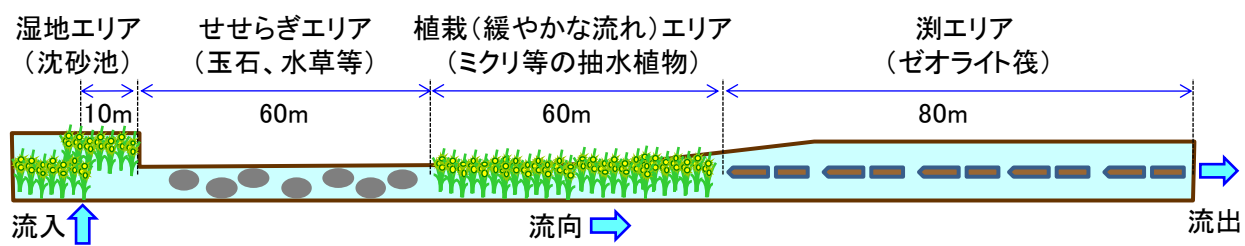


図(1)-5 筏型水質浄化モジュールの製作

b 実河川内への里川再生装置基本仕様の設置

元小山川の最上流部の、長さ210mの区間（川幅：1.2～1.8m、水深：5～50cm程度、河川流量：数10L/秒）を用いて実験を行った。上流端から下流方向に、①湿地エリア（0～10m：抽水植物のミクリ等を植栽）、②せせらぎエリア（10～70m：浅い砂底で水がさらさらと流れる）、③植栽エリア（70～130m：水深20～40cm程度の緩やかな流れを想定し、約1m間隔でミクリを植栽）、④淵エリア（130～210m：底泥が溜まりやすい環境を想定し、筏モジュールを10基設置）の4エリアを設定した。筏モジュールは河川水位変動時には水面に合わせて上昇・下降し、水質浄化資材の底泥への埋没を防止する仕組みになっている。現地に設置した里川再生装置基本仕様の概略を図(1)-6(a)～図(1)-6(e)に示す。なお、各エリアについては、湿地エリアでは植栽浄化およびろ過浄化、せせらぎエリアではD0供給、植栽エリアでは植栽浄化および水生生物の生息・産卵場所、淵エリアではゼオライト浄化・底泥蓄積および水生生物の生息・産卵場所を主な目的機能とした。

実験は2011年5月より開始し月2回の頻度で調査を実施し、流入、各エリア終端および流出の各地点で採水・分析を行った。



図(1)-6(a) 里川再生技術基本仕様の概略



図(1)-6(b) 湿地エリア (2011年5月)



図(1)-6(c) せせらぎエリア (2011年5月)



図(1)-6(d) 植栽エリア (2011年6月)



図(1)-6(e) 淵エリア (2011年5月)

(2) 微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価

1) T-RFLP 法による細菌叢解析

成形体表面に形成された生物膜内の細菌群集構造を T-RFLP (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism: 末端断片長多型) 法¹⁾により解析し、河川水に浮遊する細菌群と比較することによって浄化メカニズムの考察を行った。設置されたゼオライト成形体表面の生物膜および流入河川水中の浮遊物質から ISOPLANT(ニッポンジーン)を用いて DNA を抽出した。得られた抽出 DNA から、全真正細菌を標的とするプライマーセット (27F, 1492R) を用いて PCR を行った。この

とき、フォワードプライマー(27F)の5'末端を蛍光標識(6-FAM)したものをを用いることで、増幅されるPCR産物の5'末端側は蛍光標識される。得られたPCR産物を制限酵素(*MspI*および*HhaI*)により消化処理したのち、エタノール沈殿による精製を行った。さらに、サイズスタンダード(GeneScan 1200-LIZ, アプライドバイオシステムズ社)を溶解した脱イオンホルムアミドに溶解し、キャピラリー電気泳動装置(ABI Prism 3100-Avant Genetic Analyzer、アプライドバイオシステムズ社)にて電気泳動を行った。

2) アンモニア酸化細菌の定量評価の基礎的検討

河岸および流心に設置した木杭(表層および底層)、円筒型成形体(内側表面・外側表面)、板状成形体(水上露出部・水中表層・水中底層・底泥埋没部)に付着したバイオマスを回収した。ISOPLANT(ニッポンジーン)を用いてDNAを抽出した。アンモニア酸化細菌を検出するために、PCR用プライマーとして*amoA-1F*と*amoA-2R*(Rotthauwe *et al.*, 1997)を用いた²⁾。PCRは、Bio-Rad iCycler iQ (Bio-Rad)を用いて行った。

3) アンモニア酸化細菌の優占化条件の検討

a 試料のサンプリング

生物学的窒素除去の律速ステップであるアンモニア酸化を担う細菌の定量評価を行い、ゼオライト成形体および植栽を組み合わせた里川再生技術の効果を検証した。2011年9月に、里川実験サイト：里川再生装置基本仕様における「せせらぎエリア」、「植栽浄化エリア」、「淵エリア」から、底泥、および水に浸漬している木杭・植物(コカナダモ、ミクリ、ヨシ)・筏モジュール内のゼオライトに付着したバイオマスをそれぞれサンプリングした。植物に付着したバイオマスは、ブラシを用いて回収した。

b アンモニア酸化細菌の定量評価と優占化条件の検討

アンモニアから亜硝酸への酸化を触媒する酵素をコードするammonium monooxygenaseのサブユニットをコードする遺伝子(*amoA*遺伝子)を定量することで、アンモニア酸化細菌群を定量した。本研究では、*amoA*遺伝子を検出するプライマーは、*amoA-1F*(5'-GGGGTTTCTACTGGTGGT-3')と*amoA-2R*(5'-CCCCTCKGSAAAGCCTTCTTC-3')を用いた¹⁾。PCRは、Bio-Rad iCycler iQ (Bio-Rad)を用いて行った。PCRは、供試DNA量を1ngとして、初期熱変性反応95°C (30 sec)、40サイクル{熱変性反応95°C (15 sec)、アニーリング反応55°C (15 sec)、伸長反応72°C (30 sec)}で行った。アンモニア酸化細菌の定量に用いる標準試料としては、*Nitrosomonas europaea* (NBRC14298)の*amoA*遺伝子を用いた。なお、サンプリングした底泥およびバイオマス試料からのDNA抽出は、ISOPLANT(ニッポンジーン)を用いた。

4. 結果及び考察

(1) 水質改善特性を中心とした解析評価

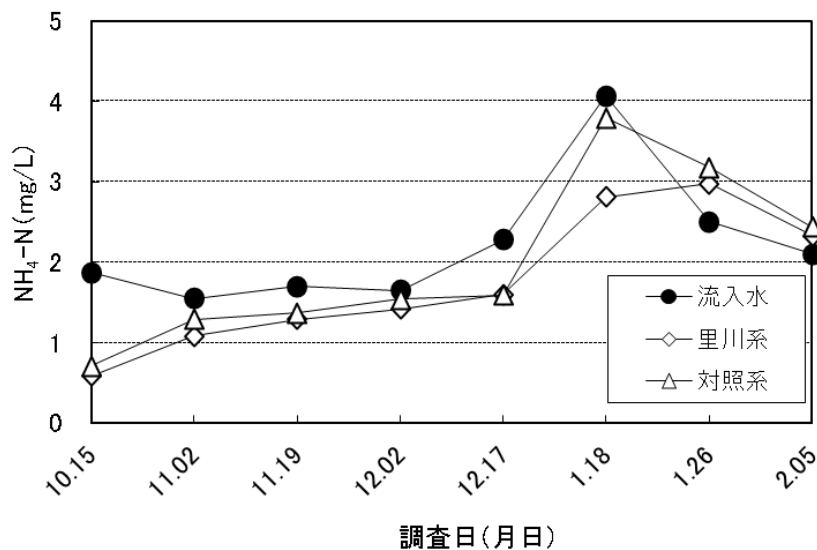
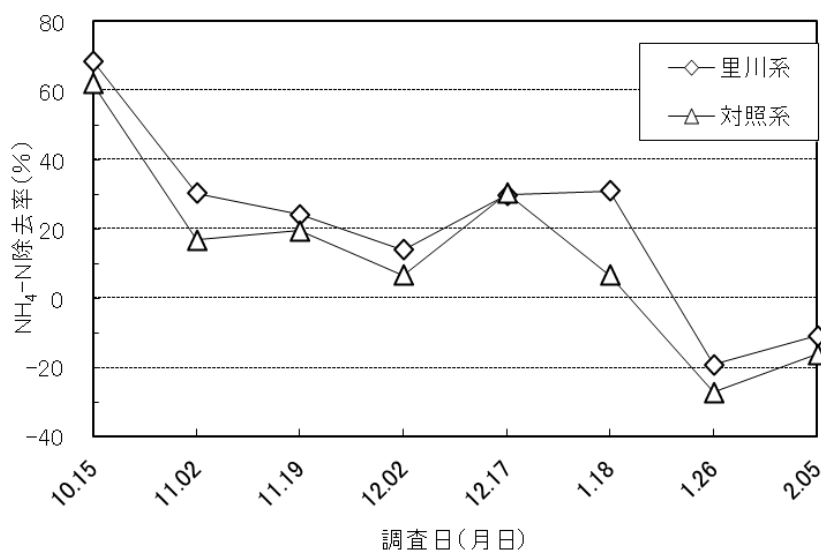
1) 里川再生技術の実河川における基礎的検討

a 対象河川の水質の事前調査

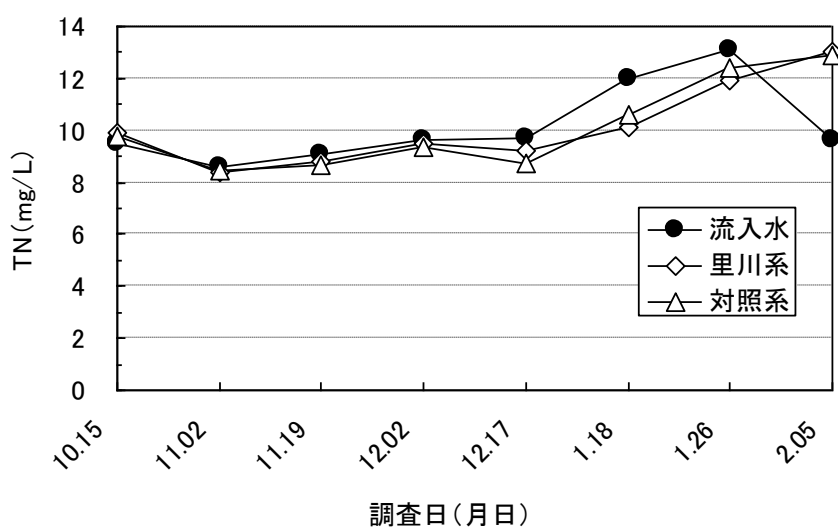
本河川は、生活雑排水の流入とともに、水量確保のための取水先河川を通じての農繁期を中心とした農業排水の流入が観察され、平均流入水質はNH₄-N: 2.2 mg/L、T-N: 10 mg/L、T-P: 0.85 mg/L、BOD: 6.8 mg/L、SS: 5.4 mg/Lであった。

b 水質浄化特性

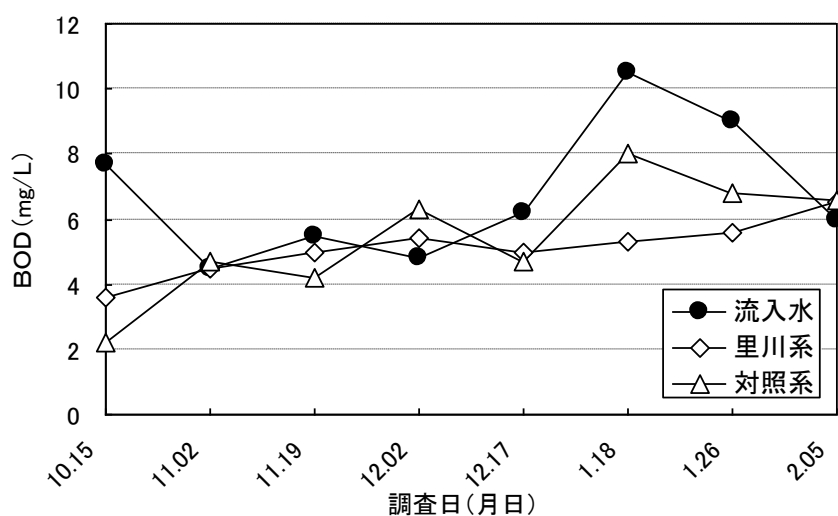
各系の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および流入水に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率の経日変化について、それぞれ図(1)-7および図(1)-8に示す。横軸は、季節性を考慮して、経過日数ではなく調査日で表記した。処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はほぼ一貫して里川系の方が低く推移し、その平均値は里川系：1.8mg/L、対照系：2.0mg/Lであり、除去率は里川系：21%、対照系：12%と、里川系で約10%向上した。これは、ゼオライト導入による効果と考えられた。

図(1)-7 基礎実験系の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経日変化図(1)-8 基礎実験系の $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率の経日変化

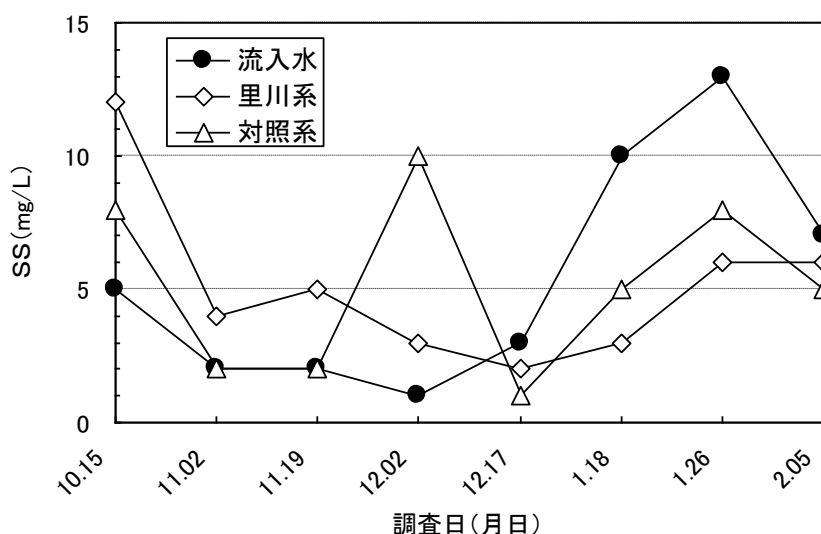
各系のT-N濃度の経日変化について図(1)-9に示す。処理水の平均値としては、里川系、対照系ともに10mg/Lとほとんど除去されなかったが、物質収支的には里川系でNO₃-Nの割合が高く、先述のように、ゼオライト導入によるNH₄-N酸化の促進効果と考えられた。BODについては、処理水の平均値で、里川系：5.1mg/L、対照系：5.4mg/Lで、除去率はそれぞれ19%および15%と、里川系の方がやや良好であった(図(1)-10)。また、SSについては、両系ともに値が大きく変動したが、処理水の平均値としては、里川系、対照系ともに5.1mg/Lであり、除去率は5%程度であった(図(1)-11)。T-Pは両系ともにほとんど除去されなかった。今後、これらを含めた浄化性能の向上が必要と考えられた。



図(1)-9 基礎実験系のT-N濃度の経日変化



図(1)-10 基礎実験系のBOD値の経日変化



図(1)-11 基礎実験系のSS濃度の経日変化

また、実河川での直接浄化における、装置内への土砂・底泥の蓄積特性をふまえると（サブテーマ（2）関連）、底泥等の蓄積はゼオライトの河川水との接触面積を低下させるため、それらを蓄積させない技術が浄化能の維持に有効と考えられる。すなわち底泥等が処理水中に流出することで、各浄化対象物質の除去率が低くなると考えられることから、水質浄化の概念として、除去率だけでなく「質の変換、有害物質の不活性化(例：アンモニア→硝酸)」の検討の必要性が明らかとなった。

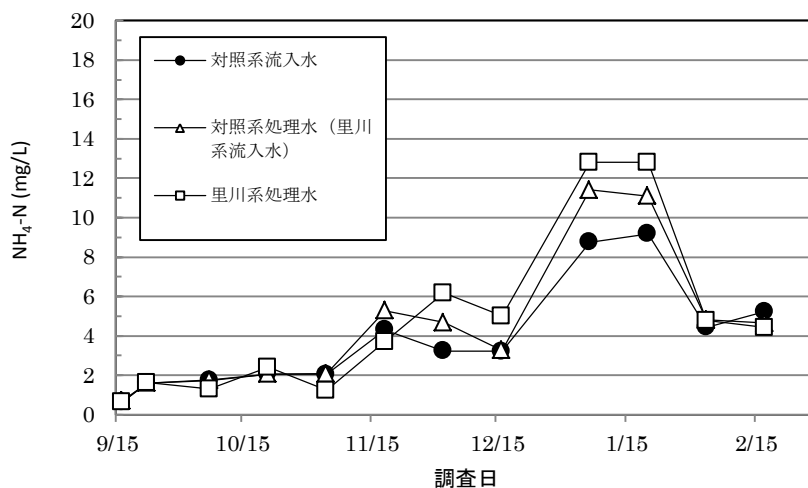
2) 里川再生技術の実河川におけるスケールアップ検討

a スケールアップ里川再生実験装置における窒素除去特性

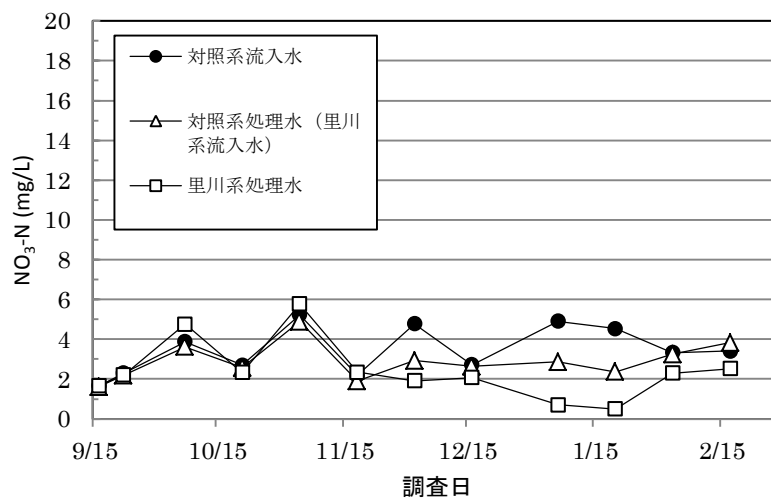
各系の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および T-N の各濃度の経日変化について図(1)-12～図(1)-14に示す。水路流入部分の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は実験初期には 1mg/L 程度であったが、徐々に上昇し1月には 9mg/L 程度に達した。これに伴い流入部分の T-N 濃度も 3mg/L から最高 18mg/L 程度まで上昇した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度については、里川系で低めの傾向があった。各系の $\text{NH}_4\text{-N}$ および T-N の各除去率の経日変化を水温データとともに図(1)-15および図(1)-16に示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去がなされていた里川系でも、水温の低下に伴い除去率が低下する傾向がみられた。これは、流入水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇や硝化細菌等の活性の低下（根拠： T-N に対する $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合の低下）に加え、枯死した植物体や剥離した生物膜からの窒素の溶出等が原因と考えられた。しかしながら、2月に入り流入水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低下するに伴って、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率も改善傾向がみられた。とはいうものの、これまでの研究でも、水温が 12 度前後まで低下すると $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率がマイナスとなる現象が観察されており、除去能維持の対応が必要と考えられた。

本水質浄化技術では、窒素の除去は主に微生物による代謝（硝化→脱窒）、植物による吸収等によりなされると考えられる。微生物の活性は温度（水温）に依存することから、夏季を中心に活性が高まることが予想される。一方、植栽浄化法の視点からは、植物の成長期である春から夏

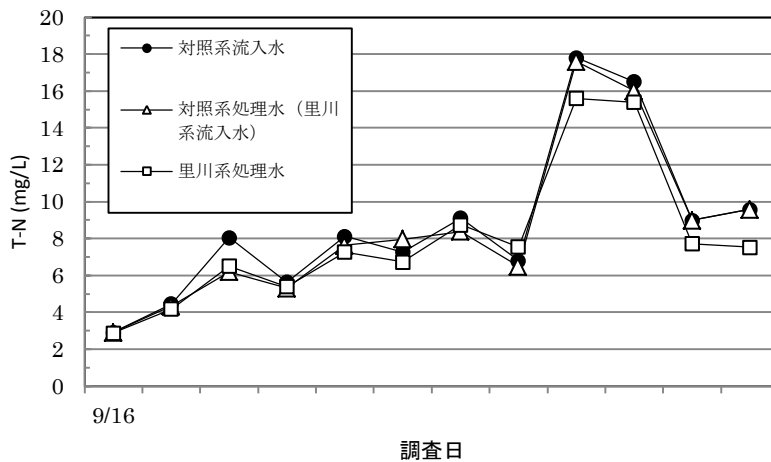
にかけての除去特性の解析評価が必要と考えられるが、基礎およびスケールアップ実験では実験開始が夏～晩夏であったため、成長期の植物による水質浄化効果が評価できていない。従って、里川再生装置の改善に加えて、春頃から実験を開始することが望ましいと考えられた。



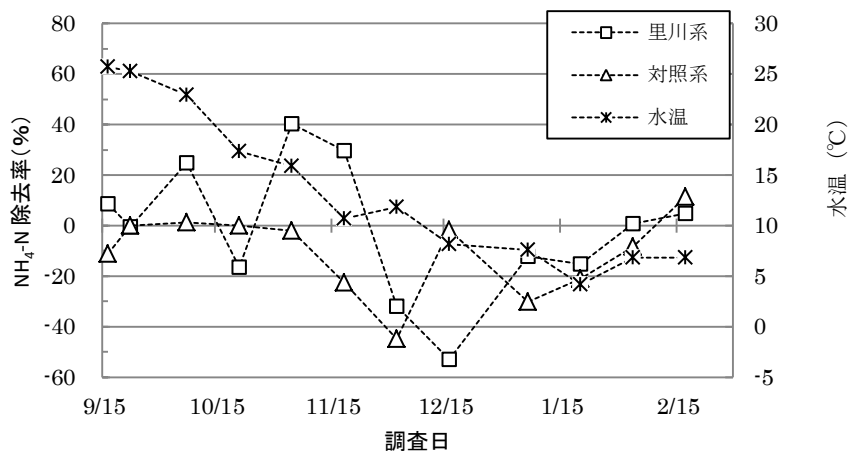
図(1)-12 スケールアップ実験系のNH₄-N濃度の経日変化



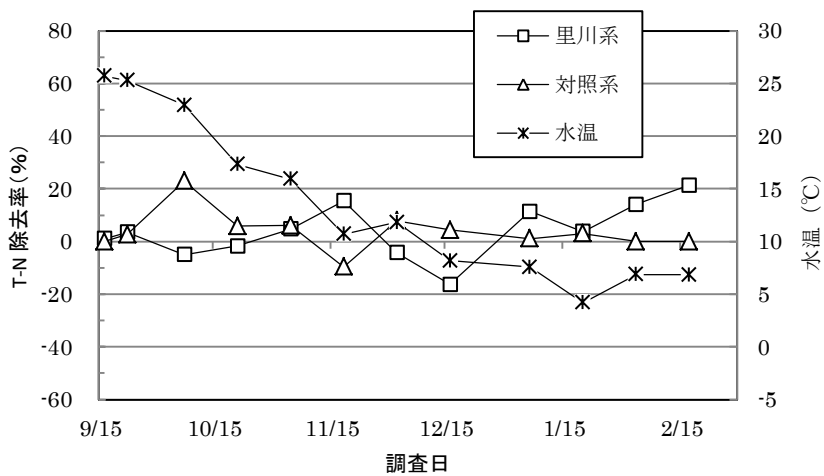
図(1)-13 スケールアップ実験系のNO₃-N濃度の経日変化



図(1)-14 スケールアップ実験系のT-N濃度の経日変化



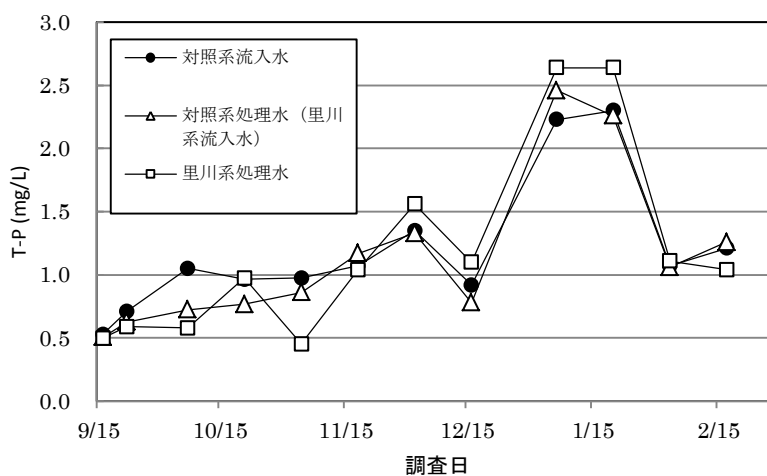
図(1)-15 水温と各実験系のNH₄-N除去率の経日変化



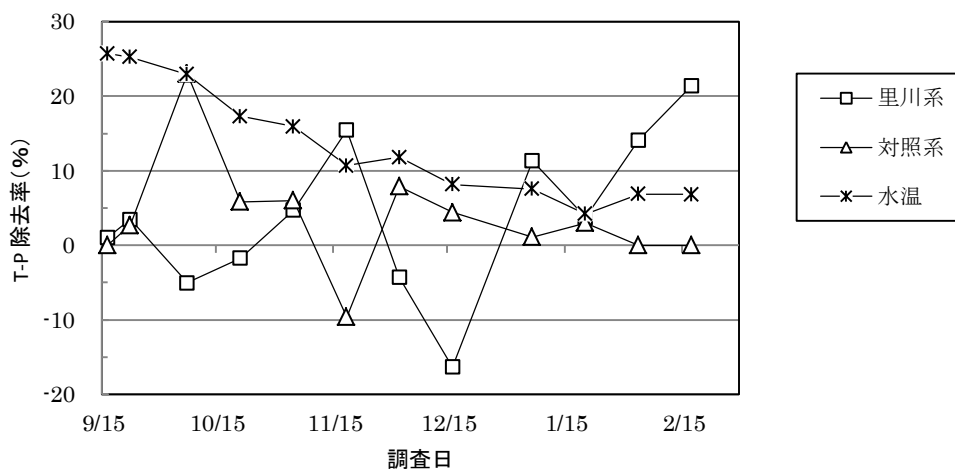
図(1)-16 水温と各実験系のT-N除去率の経日変化

b スケールアップ里川再生実験装置におけるリン除去特性

各系のT-P濃度の経日変化について図(1)-17に示す。水路流入部分のT-P濃度は実験初期には1mg/L程度であったが、徐々に上昇し1月には2.3mg/L程度の最高濃度に達した後、低下傾向にある。各系のT-P除去率の経日変化を水温データとともに図(1)-18に示す。水温とリン除去率との間に特に明確な関係は認められなかった。リンの除去は主に植物による吸収や微生物による同化、土壌粒子等への吸着等によりなされると考えられることから、窒素除去での考察と同様に、成長期の植物によるリン除去特性についての解析評価が必要と考えられた。また、リンの処理系外への除去は植物体や底泥の回収によりなされることから、サブテーマ(2)-2の項目であるが、回収底泥等の資源化・活用についての検討が必要と考えられた。



図(1)-17 スケールアップ実験系のT-P濃度の経日変化



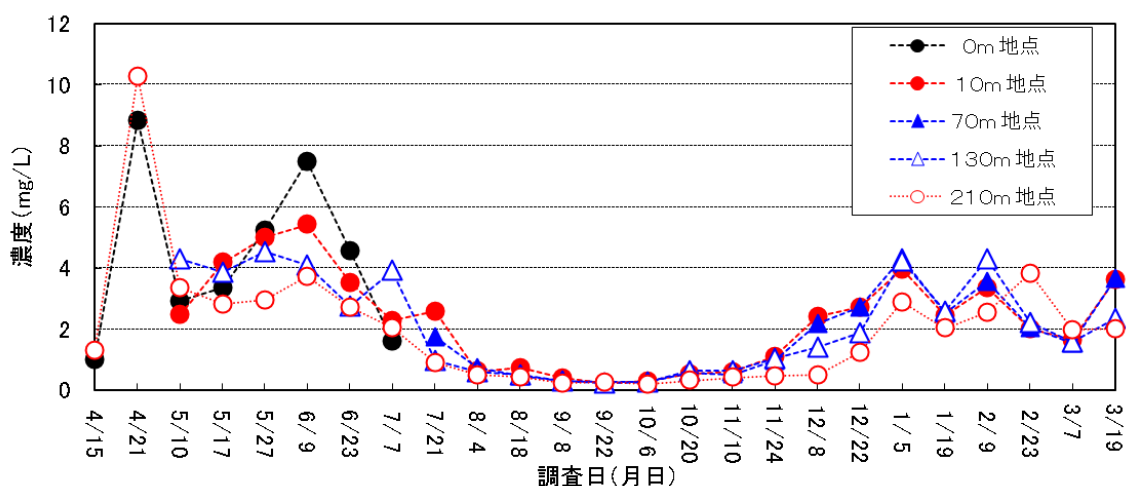
図(1)-18 水温と各系のT-P除去率の経日変化

3) 里川再生技術基本仕様の実河川における検討

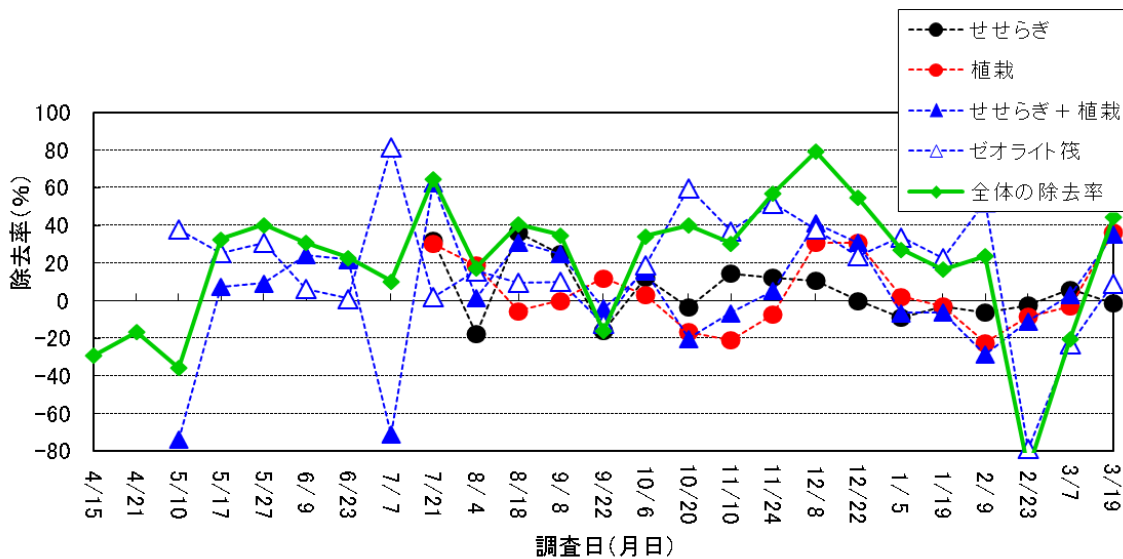
a 里川再生技術基本仕様における窒素除去特性

各エリア終端における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経日変化を図(1)-19に示す。湿地エリアでは流れの短絡が生じ、エリア通過の前後でほとんど水質に変化はなかった。すなわち、0m地点と10m地点の水質はほとんど変わらない。流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、5～7月に最高5mg/L程度まで上昇したが、8～10月には1mg/L以下となり、11月以降4mg/L程度に再び上昇した。これは、農繁期の農業排水の流入による生活雑排水の希釈の可能性が考えられた。装置内の水質は、8～10月は流入から放流に至るまでほとんど変化は見られなかったが、これ以外の期間では装置内の流下に伴う $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の低下が観察された。濃度が上昇した期間を含めて、最終放流水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は概ね3mg/L以下（小山川・元小山川清流ルネッサンスIIで魚類に影響がないとして設定した目安値）に維持されており、過去2年間で検討してきた $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$ の物質変換、毒性低減はほぼ達成することができた。また、装置全体およびエリア毎の $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率を図(1)-20に示す。季節を問わず、本装置での $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去は主に湧エリアでなされていることがわかった。

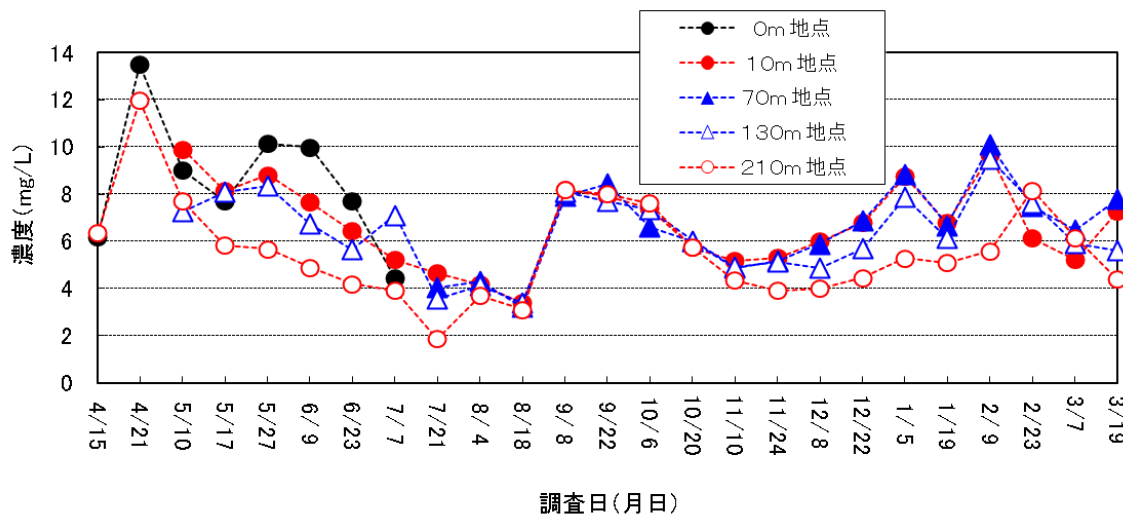
次に、各エリア終端におけるT-N濃度の経日変化を図(1)-21に、また装置全体およびエリア毎のT-N除去率の経日変化を図(1)-22に示す。変動はあるが流入は4～8mg/L程度で推移した。5月中旬～7月下旬にかけて除去能を発揮したが、盛夏～秋にかけてはほとんど除去能が得られなかった。また、T-N除去は主に湧エリアで進行しており、エリア毎に特長が見られた。



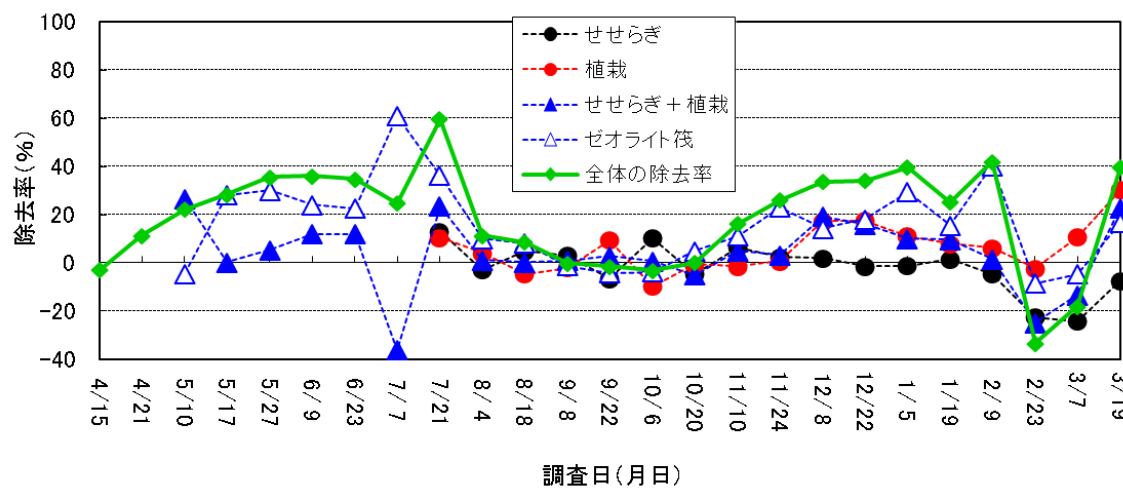
図(1)-19 各エリア終端における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経日変化



図(1)-20 装置全体およびエリア毎の $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率



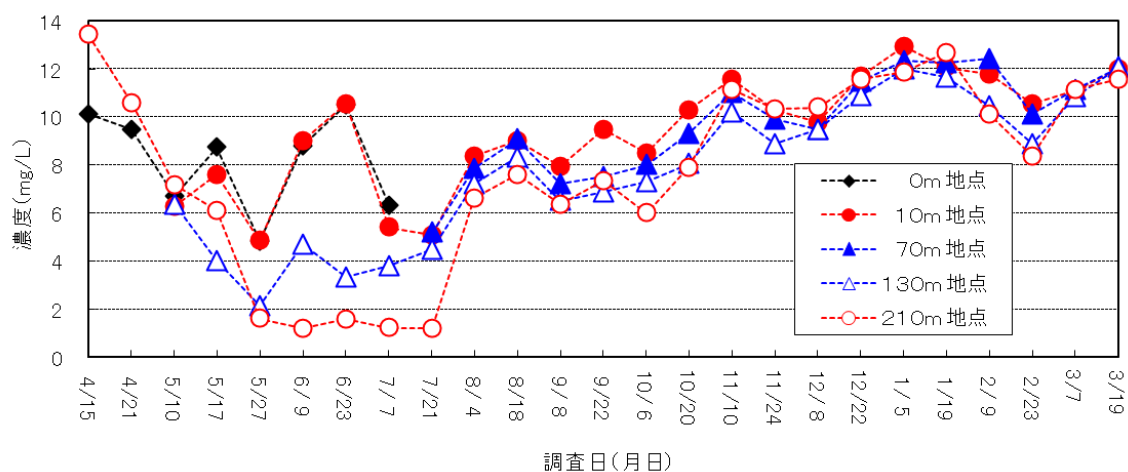
図(1)-21 各エリア終端におけるT-N濃度の経日変化



図(1)-22 装置全体およびエリア毎のT-N除去率

b DOと窒素除去特性との関係

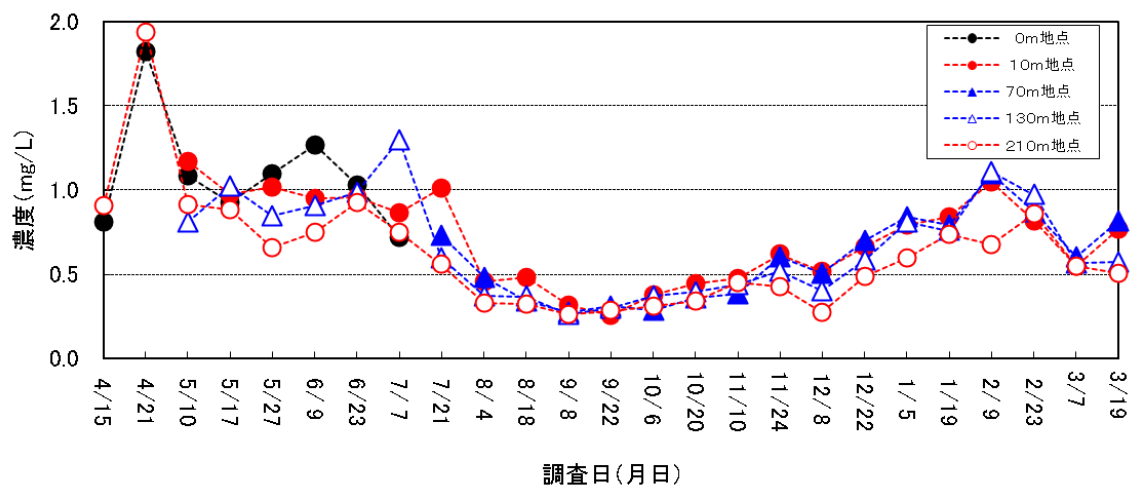
各エリア終端におけるDO濃度の経日変化について図(1)-23に示す。窒素除去が効果的に進行していた5月中旬～7月下旬にかけては、装置下流部でDOが不足気味であることがわかった。DOの低下は、窒素除去（脱窒反応： $\text{NO}_3\text{-N} \rightarrow \text{N}_2\text{ガス} \rightarrow \text{大気中に放散}$ ）効果をもたらすが、魚類等の生息環境としては悪化することが懸念される。従って、窒素除去能は低下したとしても、魚類生息環境のためにはDO確保は重要であり、ここでも水質浄化の概念として「質の変換、有害物質の無害化・不活性化」の検討の必要性が示唆された。しかしながら、 $\text{NO}_3\text{-N}$ にせよ、そのまま流下することは望ましいことではないため、魚類等の生息生物に影響を及ぼさずに除去する方法の構築が必要であり、これについては今後の検討課題である。



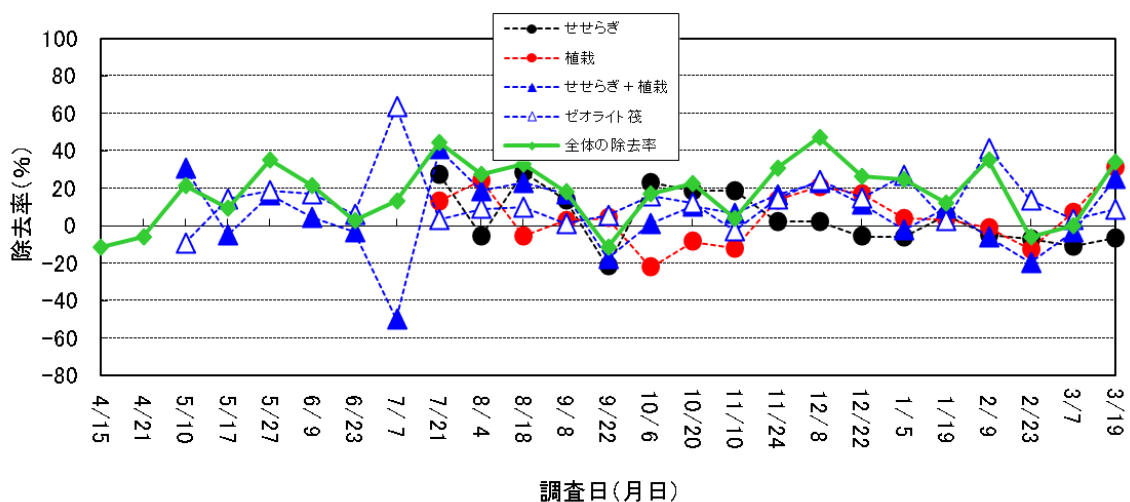
図(1)-23 各エリア終端におけるDO濃度の経日変化

c 里川再生技術基本仕様におけるリン除去特性

各エリア終端におけるT-P濃度の経日変化を図(1)-24に示す。流入水質については、窒素等の水質項目と同様に、夏季に濃度が低下し、秋季～春季にかけて濃度が上昇する傾向がみられた。また、ほぼ期間全体を通じて流入水よりも放流水のT-P濃度が低くなっていることから、装置内でリンの除去がなされていたと考えられる。装置全体およびエリア毎のT-P除去率の経日変化を図(1)-25に示す。流入濃度の変動に関係なく、ほぼ一定の除去率が得られたことに加え、やはり窒素と同様に、除去は主に淵エリアでなされていると考えられた。



図(1)-24 各エリア終端におけるT-P濃度の経日変化



図(1)-25 各エリア終端におけるT-P除去率の経日変化

d 里川再生技術基本仕様の水質浄化性能総合評価

里川再生技術基本仕様の通年の水質浄化性能について表(1)-1にまとめた。表(1)-1は、硝化細菌の活性が著しく低下するとされる水温12℃を境界とした値についても表示している。BOD、T-N、NH₄-Nいずれも流入濃度は冬季に上昇する傾向があった。BODの詳細についてはサブテーマ(2)で記述するが、除去率に関しては期間全体を通じて目標の50%をほぼ達成できた。また、BODは清流ルネッサンスIIで目標値を5mg/Lとしていたが、これについても春～秋にかけてはほぼ達成できた。しかしながら、流入濃度が上昇することに加えて微生物活性も低下する冬季においては、濃度値

の面ではさらなる技術改善の必要性が示唆された。T-Nについては除去率の目標値を30%に設定していたが、冬季は達成できたが期間全体としては20%程度であった。しかしながら、前述のように、DO濃度と窒素除去率はトレードオフの関係にあり、水生生物が快適に生息可能な環境ではどうしても処理水中の窒素がNO₃-Nで残存することから、今後さらに窒素除去に関する技術の組み込みが望まれる。NH₄-Nについては、やはり清流ルネッサンスIIで魚類生息に影響が出ないための目安値として3mg/Lを設定していたが、初夏と冬季を中心に流入濃度が3mg/Lを超えた時も含めてほぼ安定してこの値を達成することができた。

加えて、里川再生技術基本仕様では、湿地エリアでは植栽浄化およびろ過浄化、せせらぎエリアではDO供給、植栽エリアでは植栽浄化および水生生物の生息・産卵場所、淵エリアではゼオライト浄化・底泥蓄積および水生生物の生息・産卵場所を主な目的機能としたが、想定どおり、エリアにより水質浄化特性に特長がみられたことから、目的や浄化対象に応じたエリア設定が効果的であることが示された。

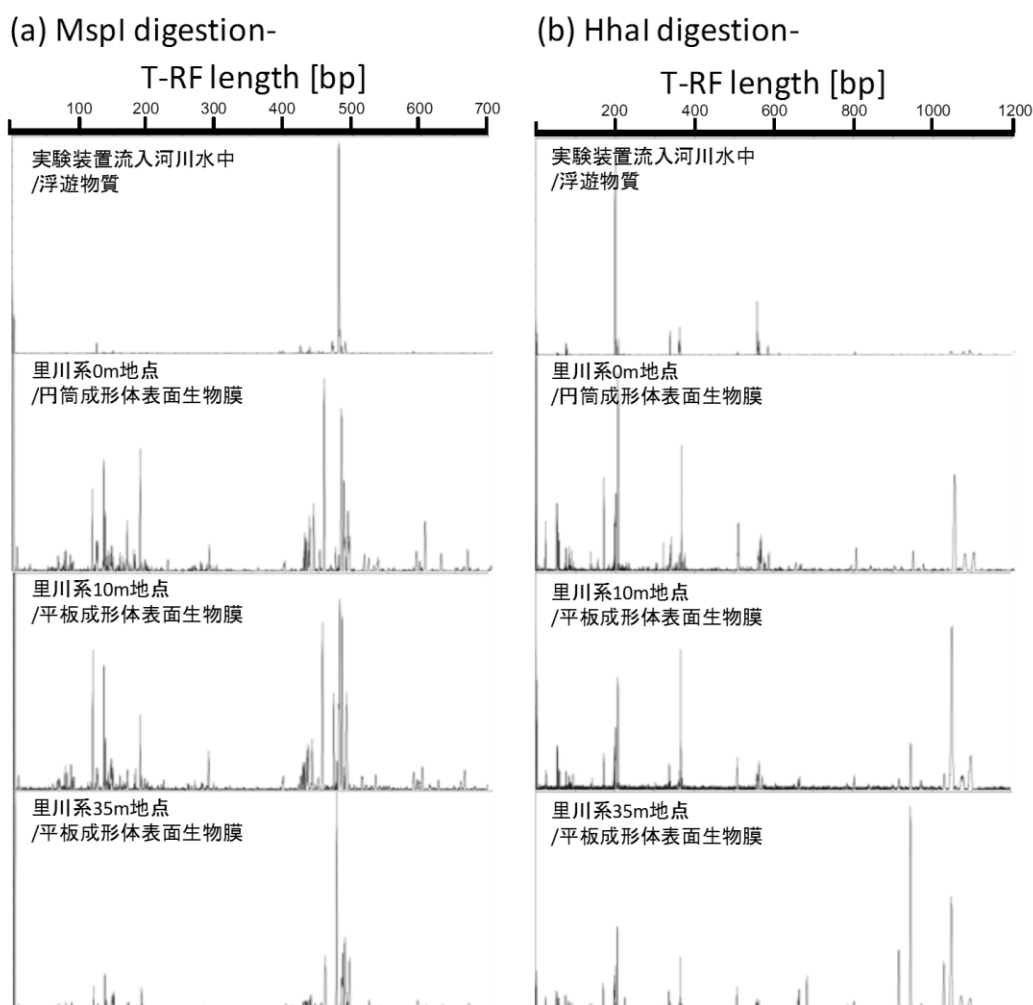
表(1)-1 里川再生技術基本仕様の通年の水質浄化性能

項目	期間	BOD	T-N	NH ₄ -N	T-P
流入 (mg/L)	全期間平均値	11.5	6.7	2.3	0.71
	≥12℃期間	9.2	6.5	2.0	0.68
	<12℃期間	14.7	7.3	2.9	0.78
流出 (mg/L)	全期間平均値	6.0	5.3	1.7	0.56
	≥12℃期間	4.4	5.3	1.5	0.55
	<12℃期間	7.1	5.3	2.2	0.59
除去率 (%)	全期間平均値	46.4	20.1	23.6	20.3
	≥12℃期間	46.9	17.6	24.1	18.2
	<12℃期間	50.3	25.9	22.5	24.9

(2) 微生物による浄化メカニズムを中心とした解析評価

1) T-RFLP解析結果

T-RFLP解析の結果、里川再生系における設置されたゼオライト成形体表面には、非常に多様に富んだ生態系が創出されていることが明らかとなった(図(1)-26)。このことから、ゼオライト成形体は、河川の直接浄化対策における接触材としての機能を十分に発揮しているものと考えられた。ゼオライト成形体が、アンモニア酸化細菌のような増殖速度の遅い細菌の棲息場になっていると考えられるが、本解析だけでは不十分であり、更なる解析を行う必要がある。すなわち、窒素除去の根幹を担う硝化細菌群、脱窒細菌群の定量的な評価を行う必要がある。そこで、これらの定量評価を行う上で、定量PCRを用いて解析していくこととした。



図(1)-26 T-RFLP解析結果

2) アンモニア酸化細菌の定量評価に向けた検討

まず、表(1)-2に示した各試料からアンモニア酸化細菌を検出するPCR条件の最適化を図った。供試DNA量を1ngとして、PCRの条件検討を行った。その結果、初期熱変性反応95℃ (30 sec)、35サイクル {熱変性反応95℃ (15 sec)、アニーリング反応55℃ (15 sec)、伸長反応72℃ (30 sec)} というPCR条件下において、多くの試料DNAからamoA遺伝子が検出された。すなわち、投入したゼオライト成形体や木杭の表面バイオマスにおけるアンモニア酸化細菌の存在を確認することができた。そこで、リアルタイムPCRを用いてamoA遺伝子を指標としたアンモニア酸化細菌の定量を試み、ゼオライト成形体投入に伴う水質浄化効果を検証していくこととした。アンモニア酸化細菌の定量に用いる標準試料としては、*Nitrosomonas europaea* (NBRC14298)のamoA遺伝子を用いて、標準曲線の作成を試みることにした。

表(1)-2 試験対象とした試料

サンプル番号	接触材	位置	部位	
1	木杭	河岸	表層部	
2			0 m	底層部
3			20 m	表層部
4				底層部
5			40 m	表層部
6				底層部
7			60 m	表層部
8				底層部
9			100 m	表層部
10				底層部
サンプル番号	接触材	位置	部位	
11	円筒成形体	河岸	内側表面	
12			40 m	外側表面
13	60 m		水上露出部	
14			水中表層部	
15			水中底層部	
16			底泥埋没部	
17	100 m		水上露出部	
18			水中表層部	
19			水中底層部	
20			底泥埋没部	
21	円筒成形体	河川流心	内側表面	
22			40 m	外側表面
23	60 m		水上露出部	
24			水中表層部	
25			水中底層部	
26			底泥埋没部	
27	100 m		水上露出部	
28			水中表層部	
29			水中底層部	
30			底泥埋没部	

3) アンモニア酸化細菌の優占化条件の検討

里川再生技術基本仕様（2011年度）において検討を行った。試料採取とほぼ同時期の植栽エリアおよび淵エリアの状況について図(1)-27および図(1)-28に示す。植栽エリアではミクリが旺盛に成長している様子が見える。また、淵エリアの画像には、右下の水中には、バイオマスが付着している木杭が見える。



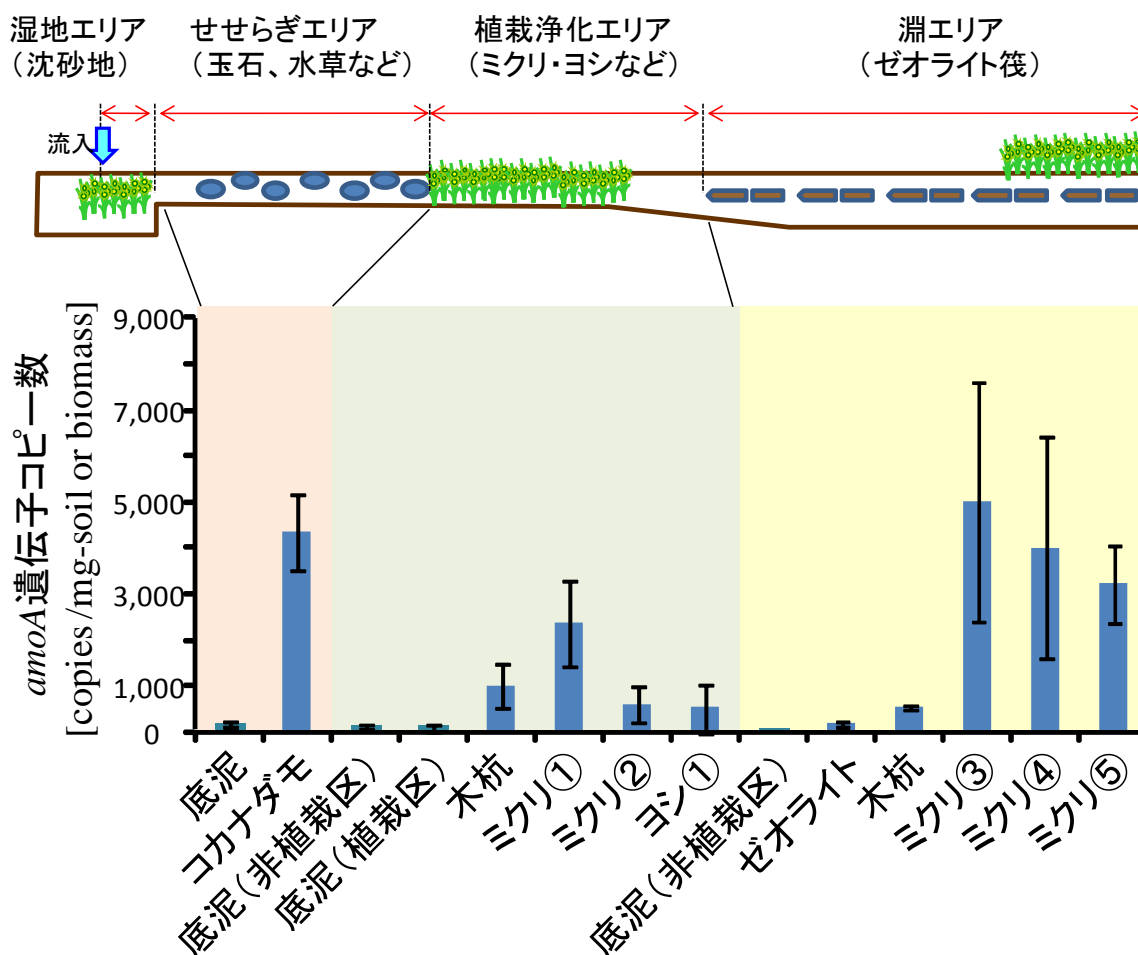
図(1)-27 植栽エリアの状況



図(1)-28 淵エリアの状況

里川実験サイトの各エリアにおけるアンモニア酸化細菌を定量した結果、木杭や植物（コカナダモ、ミクリ、ヨシ）に付着したバイオマスには多くのアンモニア酸化細菌が検出された（**図(1)-29**）。これは、木杭や抽水植物の浸水部は、アンモニア酸化細菌のような増殖速度の遅い細菌の棲息場として機能していることが示唆される。「湿地エリア」から「せせらぎエリア」において、河川水の滞留時間は短いにも関わらず、硝化反応の進行（アンモニア性窒素の減少と硝酸

性窒素の生成)が確認されている。「せせらぎエリア」で繁茂している水草(コカナダモ)は、バイオマス保持量に優れ、排水処理用接触材としても利用されている揺動床バイオフィルムに似た特性によって、河川浄化に大きく貢献している可能性がある。一方、里川実験サイトの各エリア底泥のアンモニア酸化細菌の存在量は非常に少なく、とくに水深の深い「淵エリア」の底泥では少なかった。また、抽水植物の通気機能により底泥の好気化が期待される植栽浄化エリアにおいては、硝化機能に富んだ微生物生態系の創出を見込んでいたが、植栽区と非植栽区における底泥中のアンモニア酸化細菌の存在量に違いは見られなかった。また、ゼオライトに沈積していた底泥中のアンモニア酸化細菌量は、河川底泥と同程度であった。しかしながら、2010年度の検討結果から、里川再生系に設置されたゼオライト成形体表面には、非常に多様性に富んだ生態系が創出されていることが明らかとなっていることから、ゼオライト成形体は、河川の直接浄化対策における接触材としての機能は十分有しており、里川再生技術を設計・施工する上では、硝化細菌群保持能力の大きな水生植物と植栽基盤材としてのゼオライト成形体の組合せが効果的であると考えられた。



図(1)-29 Real-time PCR法によるアンモニア酸化細菌群の定量解析結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・水質浄化技術としての研究開発の結果、浄化時間1時間でBOD除去能50%、窒素除去能20%、水質の毒性低減 ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$) の達成と、里川再生システムの基本仕様案の構築ができた。
- ・里川再生技術を設計・施工する上では、目的や浄化対象に応じたエリア設定が効果的であることを提言できた。
- ・T-RFLP解析およびPCR条件の最適化を図った結果、ゼオライト成形体や木杭の表面バイオマスにおけるアンモニア酸化細菌の検出および定量化手法を確立できた。
- ・里川再生技術を設計・施工する上では、硝化細菌群保持能力の大きな水生植物と植栽基盤材としてのゼオライト成形体の組合せが効果的であることが示された。

(2) 環境政策への貢献

本研究への行政、小中高校、地域住民（NPO含む）の参加を通じて、里川再生への実質的な取り組みとして既に推進されている上、平成24年度以降も当該河川で引き続き研究開発を行う予定であり、得られた成果・知見の他河川の環境等改善等への活用が大きく期待されている。また、各種イベント・講演会・学習会等でも研究内容を紹介しており、地域住民らの注目を浴びていることも、今後河川環境改善において大きな貢献が期待されている。

6. 国際共同研究等の状況

省エネルギー・低コスト型の河川浄化・生態系修復技術は、住民の関与による維持管理が特に重要な位置づけにあることを踏まえ、本研究で開発された技術を近い将来、中国等のアジア地域を中心に共同研究展開する予定である。

7. 研究成果の発表状況照

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：用水と廃水、Vol. 53、No. 2、58-65（2011）。

“ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の実河川への適用と維持管理”

<査読付論文に準ずる成果発表>（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

「本研究は該当せず」

<その他誌上発表（査読なし）>

「特になし」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 木持謙、金澤光、正田武則、真下敏明、常田聡、関根正人、榊原豊：第44回日本水環境学会

年会、福岡大学、2010. 3. 15.

“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川における検討”

- 2) 木持謙、金澤光、正田武則、真下敏明、常田聡、関根正人、榊原豊：シンポジウム2010「小
山川・元小山川と教育/科学/生活について」、本庄市中央公民館、2010. 3. 27.

“里川再生プロジェクト”

- 3) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：第45回日本水環境学会
年会、2011. 3. 20.

“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川における検討”

- 4) 木持謙、常田聡、金澤光、真下敏明、正田武則、関根正人、榊原豊：日本陸水学会第76回
大会（ポスター掲示、口頭説明）、2011. 9. 23.

“ゼオライト成形体と水生植物を活用した生態工学技術による小河川の再生”

- 5) Y. Kimochi, H. Kanazawa, T. Mashimo, T. Masada, S. Tsuneda, M. Sekine and Y.
Sakakibara: The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, 2011.10. 4.

“Nitrogen Treatment by Direct Purification Technology using Molded Zeolite and
Aquatic Plants in an Actual Stream”

- 6) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：第46回日本水環境学
会年会、2012. 3. 16.

“ゼオライト成形体と水生植物を活用した里川再生技術の実河川への適用”

(3) 出願特許

「特になし」

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

「特になし」

(5) マスコミ等への公表・報道等

「特になし」

(6) その他

「特になし」

8. 引用文献

- 1) Liu et al., *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 4516-4522 (1997).
2) Rotthauwe et al., *Appl. Environ. Microbiol.*, 63, 4704-4712 (1997).

(2) ゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の維持管理手法の開発

早稲田大学理工学術院 関根 正人
真下建設株式会社 真下 敏明

21(開始年度)～23年度累計予算額：9,798千円

(うち、平成23年度予算額：3,300千円)

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】 生態工学活用技術等を河川浄化に、特に直接浄化法として適用する場合、河川で生ずる自然現象にも対応可能な技術が要求されることから、植栽・ろ床による底泥の蓄積機構および植栽・蓄積底泥の適正維持管理の2つの視点から、里川再生技術の維持管理手法について研究開発を行った。前者については、里川再生装置への水質浄化モジュールの設置方法や河川流況のモニタリングを通じて、河川工学的見地からの維持管理手法の提案を行うことを研究開発目標とした。後者については、特に実際の維持管理作業を通じて、住民主体の維持管理手法、回収底泥等資源循環手法の構築等を研究開発目標とした。その結果、出水といったイベント時等の流況把握のための水位連続計測が効果的であることがわかった。設計・施工面からは、モジュールを河床に設置する場合、片岸設置、流路方向の空隙確保等により、底泥が蓄積しにくい装置構造にすることが可能であること、エリアコンセプト（例えば、せせらぎ、植栽、湧）を明確にし、その環境を維持することを維持管理作業内容とすることを主眼に行うのが効果的であること、底泥の溜まる（溜める）エリアを積極的に設定することも現実的であること等がわかった。一方、実際の維持管理作業面からは、河川流量の確保が特に重要であること、底泥厚の観測は住民が、清掃（浚渫）は重機等で河川管理者が実行するのが現実的と考えられること等がわかった。作業の効率化においては、SNS（ソーシャルネットワーキングサービス）を活用した里川再生装置の維持管理システムの構築と効果的な運用の検討を行った結果、関係者がほぼリアルタイムに情報共有・対応可能であった。本システムについては今後さらに改善を進める予定である。さらに、回収した底泥や植物体は、底泥については芝の目土や花卉栽培の土壌改良資材として、植物体は堆肥等としての活用が期待された。

【キーワード】 河川浄化、底泥、植物、維持管理、住民参加

1. はじめに

生態工学活用技術等を河川浄化に、特に直接浄化法として適用する場合、河川で生ずる自然現象にも対応可能な技術が要求される。ここで、生活排水等の污水处理技術と大きく異なる点は、実河川では、土砂等の流入があること、そして降雨による増水等を含めた、水位・流量（流速）等の急激な変動があることである。そこで本研究では、研究実施河川の流況を把握するとともに、実河川に設置した里川再生装置を用いて、土砂・底泥等の蓄積特性とその回収・資源化等を含め

た維持管理特性について検討を行った。

2. 研究開発目的

サブテーマ（2）では、全体としてはゼオライトろ床・植栽活用型里川再生技術の維持管理手法の開発を目的とした。

2009年度は、サブテーマ（2）－1）では、研究実施河川の流況計算式の導出および植栽・ろ床による底泥の蓄積特性の検討を目的とした。またサブテーマ（2）－2）では、植物体および底泥の簡易・効率的な回収・処理方法およびそれらの堆肥化等の資源化手法の基礎的検討を目的とした。

2010年度は、サブテーマ（2）－1）では、里川再生装置への水質浄化モジュールの設置と河川流況の関係の検討と、装置内の底泥蓄積特性の改善を目的とした。またサブテーマ（2）－2）では、水質に基づく維持管理タイミングと維持管理手法の改善の検討を目的とした。

2011年度は、サブテーマ（2）－1）では、蓄積データの解析結果に基づき、里川再生技術の維持管理手法の基本仕様を検討した。サブテーマ（2）－2）では、実際の維持管理作業を通じて、特にソーシャルネットワーキングサービスを活用した維持管理システムについて検討した。

3. 研究開発方法

（1）植栽・ろ床による汚泥の蓄積機構の解析評価

1）研究実施河川における流量算出式の導出

里川再生を図る上では、当該河川の流況を把握することは非常に重要である。本研究サイトでは、里川再生実験予定地の下流に、堰幅0.75mのコンクリート製の魚道が設置されている。この魚道の断面は長方形をしており、水深は場所によらずほぼ一定で、流速も安定していた。そこで、水深と河川流量の関係が精度良く得られると考えられることから、この両者を実測し、水深から河川流量を求める計算式を導出することとした。その際、堰の左岸から右岸までの5等分地点において水深と流速を計測し、河川流量算出式は、建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編¹⁾に掲載されている堰測法に基づいて導出した。

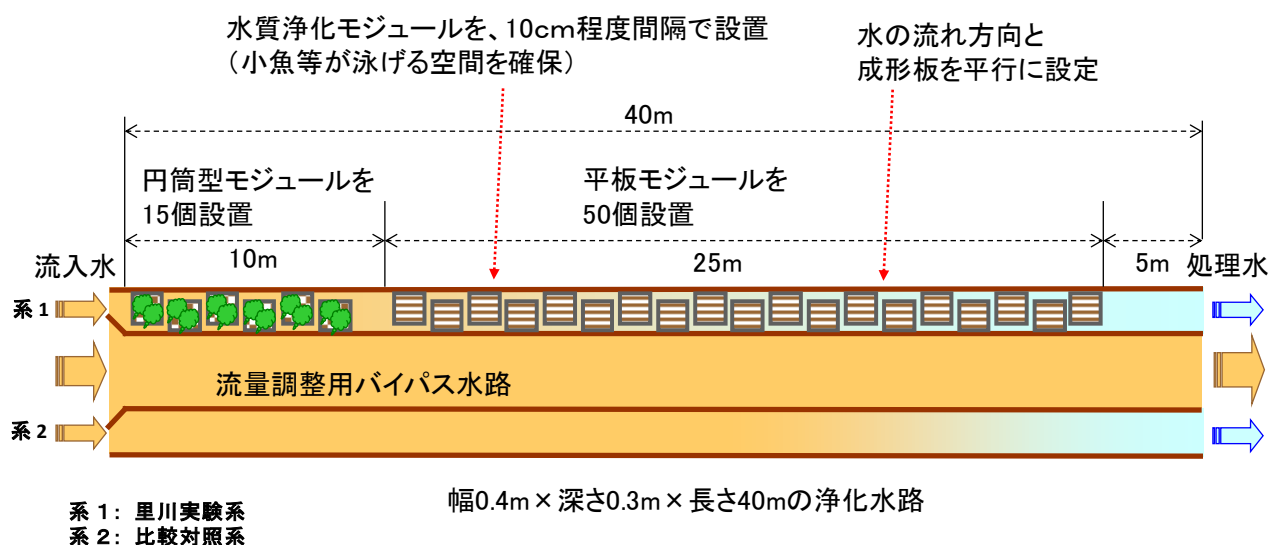
2）里川再生基礎実験装置における底泥蓄積特性の検討

a 里川再生基礎実験装置における底泥厚の計測

図(2)-1に示す里川再生の基礎的検討用の実験装置（装置の構造等についてはサブテーマ（1）報告書で詳述）において、水質等調査時に合わせて、里川系および対照系の0、5、10、20、30、35m地点で、水深および底泥厚を計測し、各系における底泥蓄積特性を検討した。

b 里川再生装置構造の改善の検討

里川再生基礎実験装置（2009年度検討）は、幅0.4m、水深0.3m、長さ40mの水路をベースとしている。設置した水質浄化モジュールは2種類であるが、これらのモジュールの幅はともに0.3mである。また、対照系には何も設置しないものとし、これらの装置の稼働および底泥蓄積の状況から、本技術の特性、改善点等について検討した。



図(2)-1 実験装置の概要

3) スケールアップ里川再生実験装置における底泥蓄積特性の検討

a スケールアップ里川再生実験装置への水質浄化モジュールの設置と河川流況の関係の検討

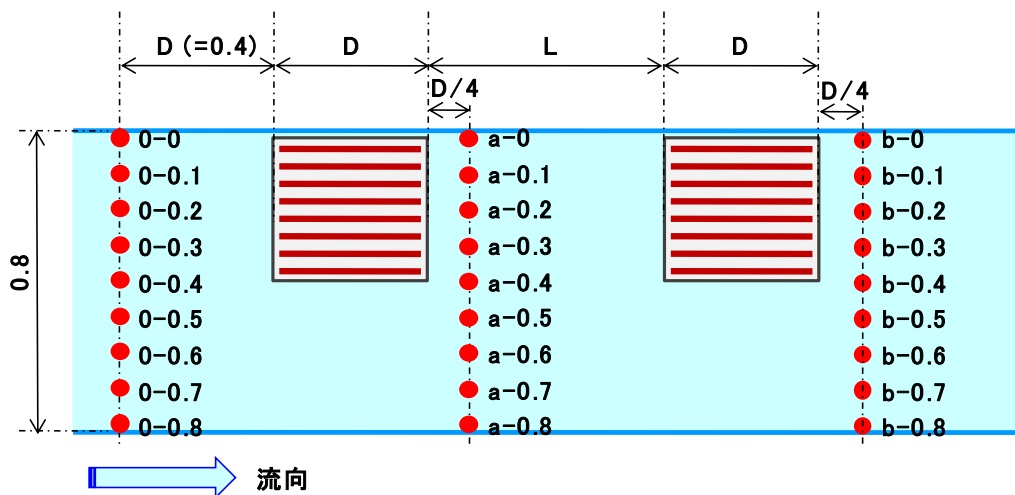
基礎的検討の結果から、実験水路幅を0.8m、長さを100m程度にスケールアップして、研究することとした。水質浄化モジュールは片岸のみに設置し、底泥が蓄積した場合、清掃作業の度に左岸→右岸→左岸といったように、交互に設置し直すことを想定した。

まず、里川再生装置内に水質浄化モジュールを設置した場合の河川流況について、詳細に計測・検討することとした。図(2)-2に示すように、里川再生装置(幅0.8m、水深0.2m)内に基準点(St. 0)を設定した。次いで、板状モジュール(設置カゴとしては縦横ほぼ0.4m)1個分の距離をおいて左岸に板状モジュールを1基設置するとともに、モジュール下流端からモジュール長の1/4(0.1m)下流側の位置をSt. aとした。さらに、1基目のモジュールの下流端からL(m)だけ距離をおいて2基目の板状モジュールを設置し、やはりモジュール下流端からモジュール長の1/4(0.1m)下流側の位置をSt. bとした。各地点(St.)では、左岸側から0.1mおきに、かつ水深0.05m、0.10m、0.15mの3段階について、流速計で河川流速を計測し、モジュールの設置による流況の変化について考察した。

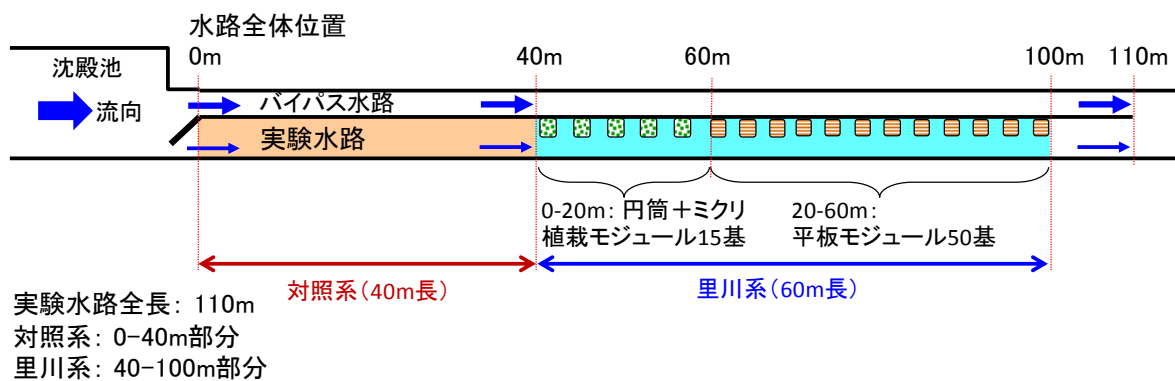
b スケールアップ里川再生実験装置における底泥蓄積特性の検討

スケールアップした里川再生実験装置の現地河川への設置方法としては、河川内を流下方向に板で仕切り、幅0.8m、水深0.3m、長さ110mの水路を製作し、対照系(上流側、全長40m)および里川系(下流側、全長60m)の2系を直列に設定した(各系の流量を同一にするため)。里川系には、0~20m区間に円筒型モジュールを15個、20~60m区間に平板型モジュールを50個設置した。各モジュールは、流下方向にモジュール長さ分の間隔を空け、水路の左岸に寄せる形で設置した。対照系には何も設置しなかった。実験水路には、流速が1cm/sec程度となるように河川水を自然流入させた。スケールアップ里川再生実験装置の概略について図(2)-3に示す。そして、これらの装置の

稼働および水路内への底泥の蓄積特性等から、水質浄化資材の設置方法等の維持管理作業性の改善についても検討した。



図(2)-2 水質浄化モジュールの設置による河川流況の変化の検討



図(2)-3 スケールアップ里川再生実験装置の概略

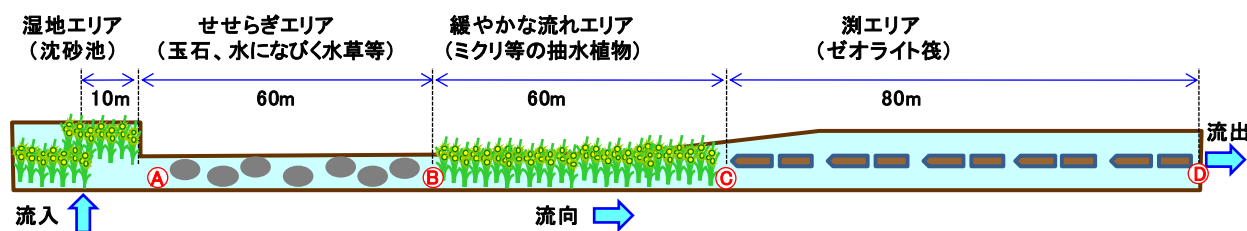
4) 里川再生技術基本仕様における底泥蓄積特性と維持管理手法の検討

a 里川再生技術基本仕様の設置

2011年度に検討した里川再生装置基本仕様では、元小山川の最上流部の長さ210mの区間(川幅: 1.2~1.8m、水深: 5~50cm程度、河川流量: 数10L/秒)において、上流端から下流方向に①湿地

エリア（0～10m：抽水植物のミクリ等を植栽）、②せせらぎエリア（10～70m：浅い砂底で水がさらさらと流れる）、③植栽エリア（70～130m：水深20～40cm程度の緩やかな流れを想定し、約1m間隔でミクリを植栽）、④淵エリア（130～210m：底泥が溜まりやすい環境を想定し、筏モジュールを10基設置）の4エリアを設定した（図(2)-4）。ここで、筏モジュールとは、天然クリノプチロライト75%含有の長円筒型ゼオライト成形体をステンレス製かご内に設置したものを、塩ビ管で製作した長さ約2.5mの筏に取り付けたものである。筏モジュールは河川水位変動時には水面に合わせて上昇・下降し、水質浄化資材の底泥への埋没を防止する仕組みになっている。なお、装置は2011年5月より稼働した。

この里川再生装置の流況の連続モニタリングを目的として、図(2)-4に示す装置内の4ヶ所に水位ロガーを設置した。水位ロガーの設置地点は、A：15m地点、B：70m地点（せせらぎ・植栽各エリアの境界）、C：130m地点（植栽・淵各エリアの境界）、D：210m地点（実験サイト終端）とした。またこの他に、大気圧補正用のロガーを1基、別途設置した。



図(2)-4 里川再生技術基本仕様と水位ロガー設置地点の概略

b 里川再生技術基本仕様における底泥蓄積特性と維持管理の検討

i 里川再生装置内の底泥蓄積特性の検討

里川再生装置（里川再生技術基本仕様：2011年度検討）内の底泥蓄積状況の把握を目的として、装置が稼働して約半年後の2011年11月に、装置の形状等の計測を実施した。具体的には、装置の10m地点～210m地点の区間の流心の水深と底泥厚を5m毎に計測し、その結果を元にエリア毎の底泥蓄積状況等の解析を行った。

ii 設定エリアと蓄積底泥の性状の検討

里川再生装置は、せせらぎ、淵といった設定エリアにより流速が異なり、結果として蓄積底泥の性状も異なると考えられる。そこで、前項の調査結果に基づき、十分な底泥の蓄積が観察された120m地点（植栽エリア終端近く）および200m地点（淵エリア終端、すなわち装置終端近く）の2地点について、蓄積底泥とその下層の河床にかけてコアサンプリングを行い、これら2層それぞれに対して粒度分布や鉱物種等を分析し、設定エリアとの関係等について解析し、維持管理の方向性等について検討した。なお、試料は、各地点近傍において5回採取し、それらを均等混合したものを分析に用いた。

(2) 植栽および蓄積底泥の適性維持管理手法の開発

1) 里川再生基礎実験装置における維持管理手法の検討

本研究においては、住民等に対応可能な維持管理手法の構築を重要な開発要素としている。そこで、本検討項目は、作業等の一部をNPO法人 川・まち・ひとプロデューサーズに業務委託する形で実施し、課題点・改善点等について検討を行った。

a 維持管理作業に関する検討

i 日常作業

まず、日常巡回・維持管理作業として、以下の手順で作業を実施した。

- ・構成：1チーム2名
- ・頻度：週一回を目処（但し、NPOメンバーの都合により変更あり）
- ・作業手順
 - ①2名がそれぞれ、右岸と左岸に分かれる。
 - ②上流ないし下流の土手から実験水路及び周辺部の異常・ゴミ等を観察・確認。
 - ③水路に降りて、ゴミの除去作業・異常確認作業、草刈り等の実施。
 - ④水路取り入れ口網のゴミ・藻の除去
 - （⑤研究実施河川が取水している御陣場川取水口のゴミ除去）
- ・使用用具等
 - ・ゴミ袋
 - ・軍手・ゴム手袋
 - ・長靴・ないし胴長
 - ・ブラシ
 - ・鎌（場合によっては刈り払い機）

ii 大規模清掃

次に、大規模清掃作業を、構成チーム6名で2009年11月6日に、以下の手順で実施した。

- ①メンバー全員が胴長を装着。
- ②メンバーが半分ずつに別れ、実験水路内と左岸岸辺から浄化モジュールを搬出。
- ③モジュールは左岸側岸辺に仮置き。
- ④実験水路からスコップにて底泥を排出。

なお、作業には、軍手、ゴム手袋、長靴ないし胴長、スコップ、バケツ等を使用した。

b 回収植物・底泥の資源化に関する基礎的検討

2009年11月6日に実施した大規模清掃作業において回収した植物（ミクリ）および底泥の組成について分析し、資源化可能性についての基礎的検討を行った。分析項目は、底泥については窒素、リン、銅、亜鉛、炭素、カリウム、カルシウムの各含有率と、含水率、炭素／窒素比とし、ミクリについては全窒素、全リンの各含有率と、強熱減量とした。

2) スケールアップ里川再生実験装置における維持管理手法の検討

a 維持管理作業に関する検討

前年度に引き続き、住民等に対応可能な維持管理手法の構築の視点から、作業等の一部をNPO法人 川・まち・ひとプロデューサーズに業務委託する形で実施し、課題点・改善点等について検討を行った。作業内容・手順等は基本的に同様とした。

b 水質の視点からの里川再生装置の維持管理の検討

図(2)-3に示したスケールアップ里川再生実験装置において、月2回の頻度で水路流量、浮遊懸濁物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)、溶解性BOD、透視度等について調査採水・測定し、水質の視点からの里川再生装置の維持管理タイミング等について検討を行った。

3) 里川再生技術基本仕様における維持管理手法の検討

a 維持管理作業に関する検討

引き続き、住民等に対応可能な維持管理手法の構築の視点から、作業等の一部をNPO法人 川・まち・ひとプロデューサーズに業務委託する形で実施し、課題点・改善点等について検討を行った。作業内容・手順等は基本的に同様とした。

b 水質の視点からの里川再生技術基本仕様の維持管理の検討

図(2)-4に示した装置において、月2回の頻度で水路流量、浮遊懸濁物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)、溶解性BOD、透視度等について調査採水・測定し、水質の視点からの里川再生装置の維持管理タイミング等について検討を行った。

c 蓄積底泥の回収と維持管理に関する検討

実験開始約半年後の2011年12月始めに、10m地点(湿地エリア出口)および210m地点(淵エリア終端)において底泥を採取し、その組成等を解析し、有効利用等について検討した。また、底泥の回収を含めた維持管理作業について、過去3年間の知見もふまえて総合的に検証した。

d 里川再生装置の維持管理作業のシステム化・効率化の検討

里川再生装置の維持管理作業に関するこれまでの検討の結果、特に作業メンバー間のスピーディーな情報交換が必須であることが明らかとなってきた。このことをふまえ、メンバー間の密接な連携による作業等の迅速化・効率化を目的として、SNS(ソーシャルネットワーキングサービス)を活用した、里川再生装置の維持管理システムの構築と効果的な運用について検討した。

4. 結果及び考察

(1) 植栽・ろ床による汚泥の蓄積機構の解析評価

1) 研究実施河川における流量算出式の導出

河川流量の算出には、次の式を用いた¹⁾。

$$Q=CBH^{3/2} \quad \dots (a)$$

ここで、Q：流量 (m³/sec)

C：堰の越流係数 (—)

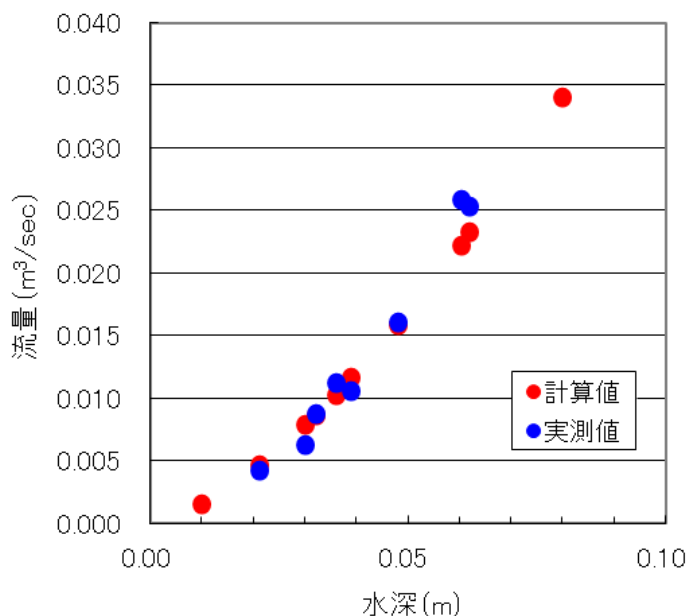
B：堰幅 (m)

H：越流水深 (m)

である。

B=0.75m(一定)であり、越流水深(H)と流速の測定値から流量(Q)を算出し、最終的にCを算出したところ、その平均値は2.00となった。これを(a)式に適用し(Q=2.00×0.75×H^{3/2})、水深/流量について再計算し、実測値と計算値を比較した結果について図(2)-5に示す。なお、実測値では、水深の変動範囲は0.02~0.06m(2~6cm)程度であったが、水深0.01mおよび0.08mについては、計算値(予測値)という形でプロットした。

図(2)-5から、計算値は実測値によく近似されており、魚道の水深を測定することで河川流量をほぼ推定でき、里川再生技術の仕様設計を検討する上での重要な基礎データとなる、河川流況の把握が効率的にできるものと考えられる。

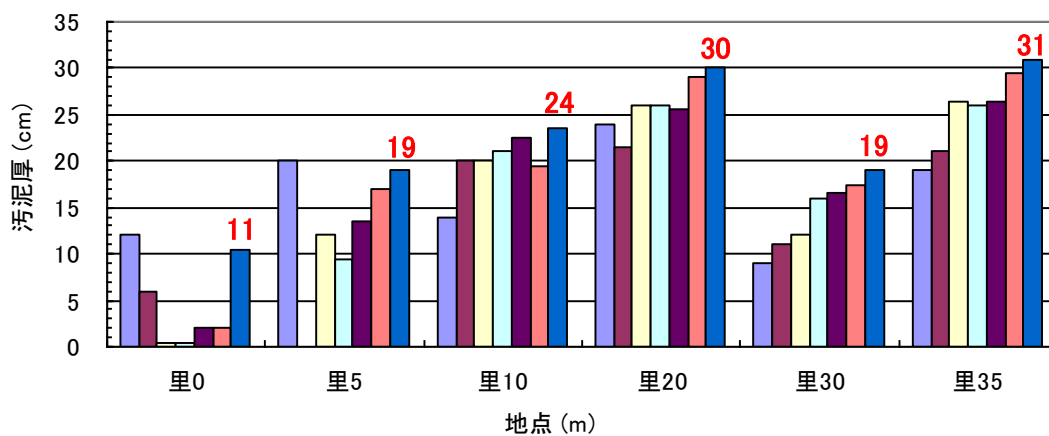


図(2)-5 研究対象河川の水深／流量の関係

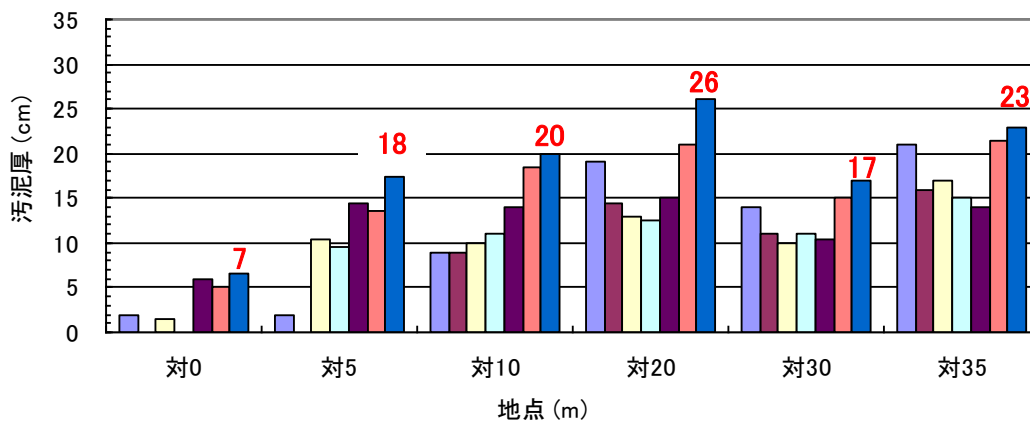
2) 里川再生基礎実験装置における底泥蓄積特性の検討

a 里川再生基礎実験装置における底泥蓄積特性

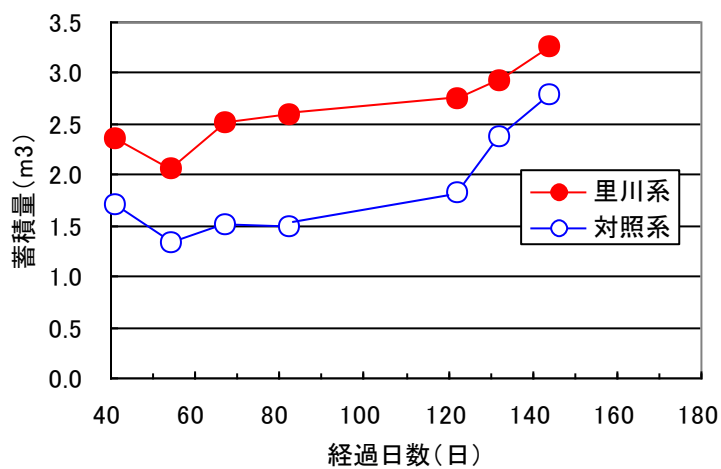
各実験系の測定地点における底泥厚の変遷について、図(2)-6に示す。それぞれのカラムは、左から順に、実験開始後41, 54, 67, 82, 122, 132, 144日目のデータを表す。また、カラム上の数値は、144日目の底泥厚を表している。これらのデータを元に算出した、各実験系の底泥蓄積量の変遷について、図(2)-7に示す。これらのグラフから、時間の経過とともに装置内に底泥が蓄積していく様子が観察されるが、里川系においては、対照系の約1.5倍の底泥蓄積が認められた。換言すれば、里川系は底泥蓄積能にも優れる結果となったが、蓄積底泥の効率的な回収手法と、回収底泥の有効活用手法についての検討が必要であると考えられる。



図(2)-6(a) 里川系における底泥厚の変遷



図(2)-6(b) 対照系における底泥厚の変遷



図(2)-7 各実験系における底泥蓄積量の変遷

b 里川再生装置構造の改善の検討

本里川再生装置においては、実河川河道内に直接設置するため、土砂・底泥等の蓄積の可能性が当初から想定されていた。また、研究実施河川は、農耕地の中を流れていることから、土壌粒子を含む懸濁物質が流入・蓄積しやすいと考えられた。加えて、2009年9月下旬の実験開始直後、10月上旬に台風が通過し、水質浄化モジュールは半分以上が土砂・底泥に埋没した（図(2)-8）。また、里川再生装置では、水質浄化モジュールの設置に伴い、装置内の流速も低下するとともに、水質浄化の結果、底泥が装置内に蓄積することから、浄化性能を維持可能な装置構造や効率的な維持管理性についての検討は必要不可欠である。里川再生基礎実験装置では、装置（水路）幅（0.4m）に対して、0.3m幅の水質浄化モジュールを左・右岸に交互に接触させる形で設置したが（図(2)-1）、この場合、土砂・底泥の蓄積速度が大きいため、設置あるいは清掃後、短時間で土砂・底泥に埋没してしまい、十分な浄化性能が維持できないことが危惧された。



図(2)-8(a) 円筒型水質浄化モジュールの底泥蓄積状況



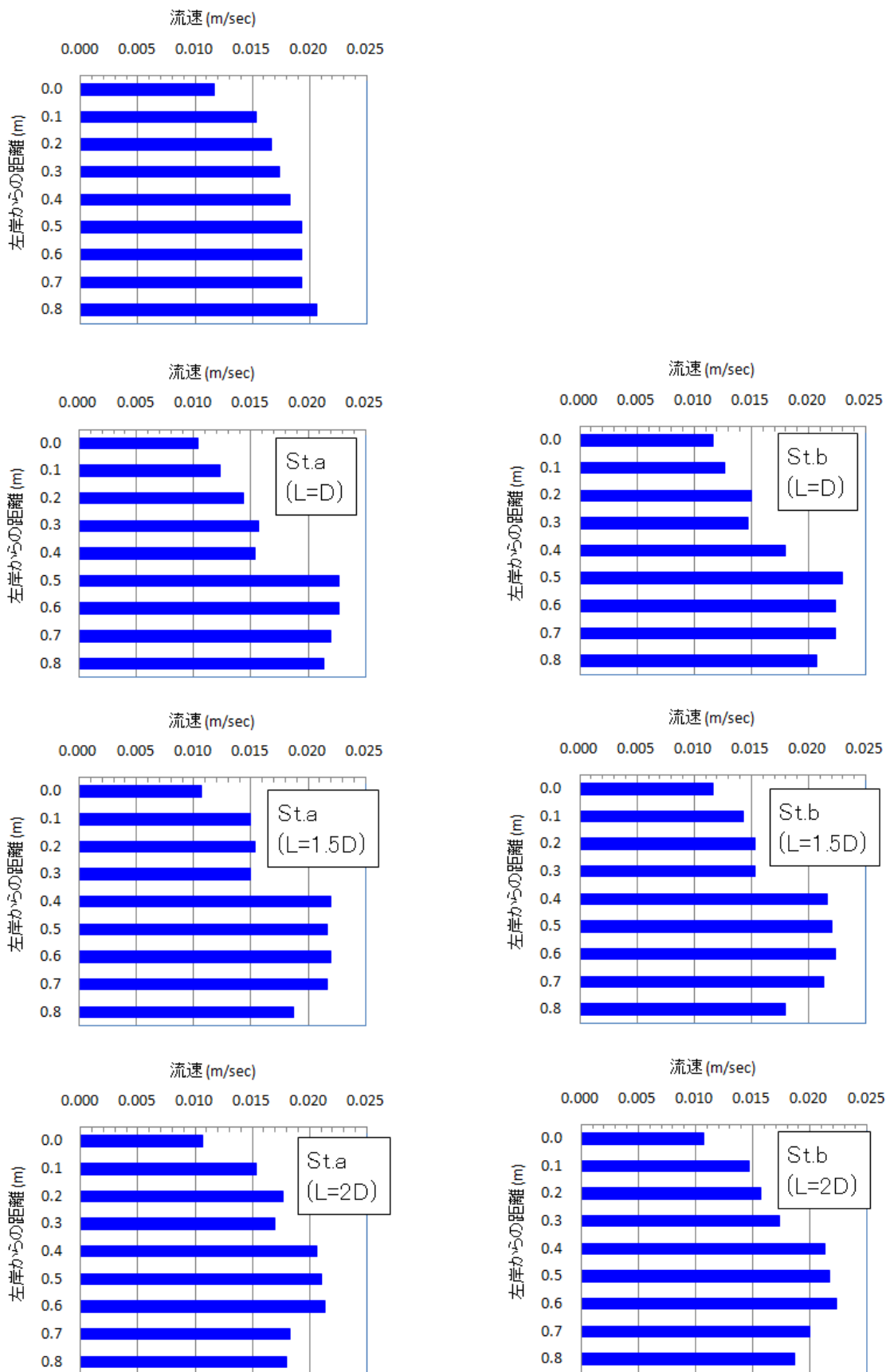
図(2)-8(b) 平板型水質浄化モジュールの底泥蓄積状況

3) スケールアップ里川再生実験装置における底泥蓄積特性

a スケールアップ里川再生実験装置への水質浄化モジュールの設置と河川流況の関係

モジュール設置間隔を D (=1モジュール長)、 $1.5D$ 、 $2D$ としたときの、各St. における河川横断方向の流速の値について図(2)-9に示す。なお、各カラムの値は、水深方向の3つの値の平均値としてある。St. 0においても、左岸下流側にモジュールが設置してあるため、左岸側の流速が小さくなっている。また、St. aおよびSt. bでのグラフから、モジュール間隔を大きく確保するほどモジュール下流側に河川水が巻き込まれる様子が観察された。今回の検討結果からは、モジュール設置間隔が1モジュール長程度でも、モジュール直下の左岸側であっても、ある程度の流速が確保されること、すなわちモジュールと河川水が接触できると期待された。水質浄化モジュールの設置方法としては、片岸に設置し、清掃作業の度に、左岸→右岸→左岸といったように、交互に設置し直すといった維持管理手法が考えられた。片岸のみに水質浄化モジュールを設置する方法であっても、河川水中の浄化対象物質等は、水理的には十分にモジュール内に拡散接触し、十分な浄化性能が得られると考えられる上、モジュールを設置していない岸は流速が確保されることから、土砂等の蓄積量は小さく、一方のモジュールを設置した岸を中心に蓄積が進むと考えられる。すなわち、土砂等の蓄積する部分が、片岸ずつとなるため、清掃等の作業性が向上することが期待される。

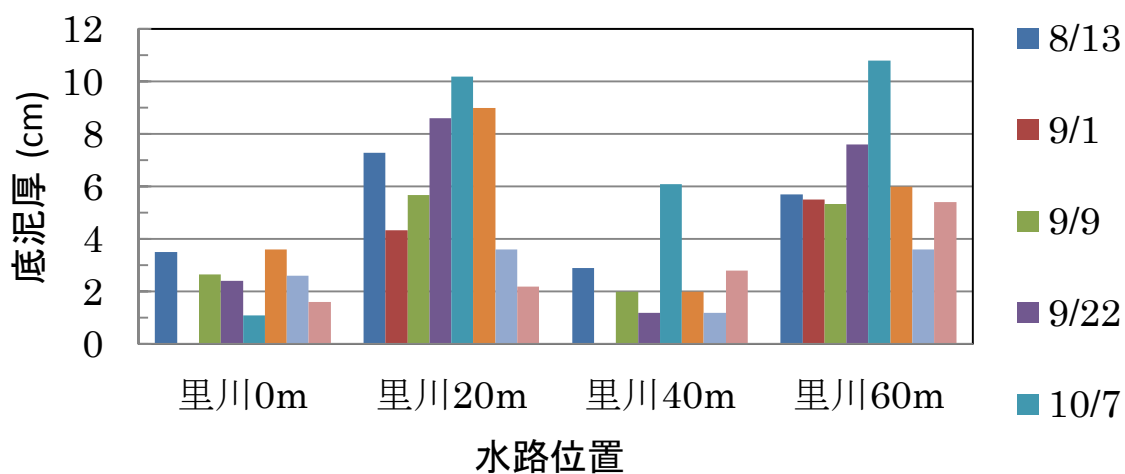
しかしながら、モジュールと河川水の接触の状況は、河川幅に対する設置モジュール幅、流速、水深、モジュール形状等により異なってくると考えられ、適宜検討が必要であると考えられる。



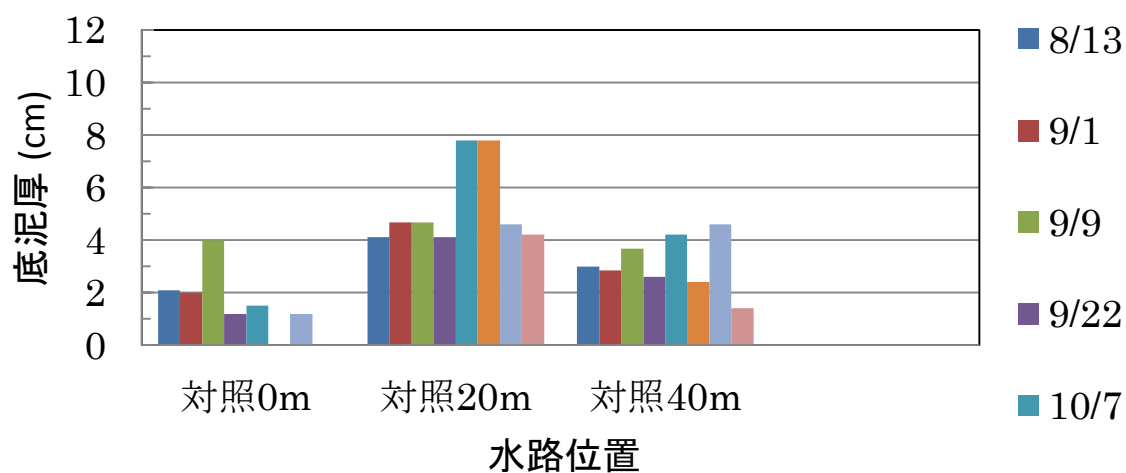
図(2)-9 モジュール設置間隔と各St.における河川横断方向の流速との関係

b スケールアップ里川再生実験装置における底泥蓄積特性

各系の20mおきの地点の底泥厚の変遷を図(2)-10(a)および図(2)-10(b)に示す。モジュール周囲に水流確保のための空間を設けたことで、対照系と比較しても底泥が蓄積しにくくなり、その結果、河川水とゼオライト成形体の良好な接触が維持されていることが期待された。また実際、スケールアップ里川再生実験装置では、底泥回収作業は不要であった。今後さらに、底泥の適切な回収・資源化手法の検討が必要と考えられた。



図(2)-10(a) 里川系における底泥の蓄積特性



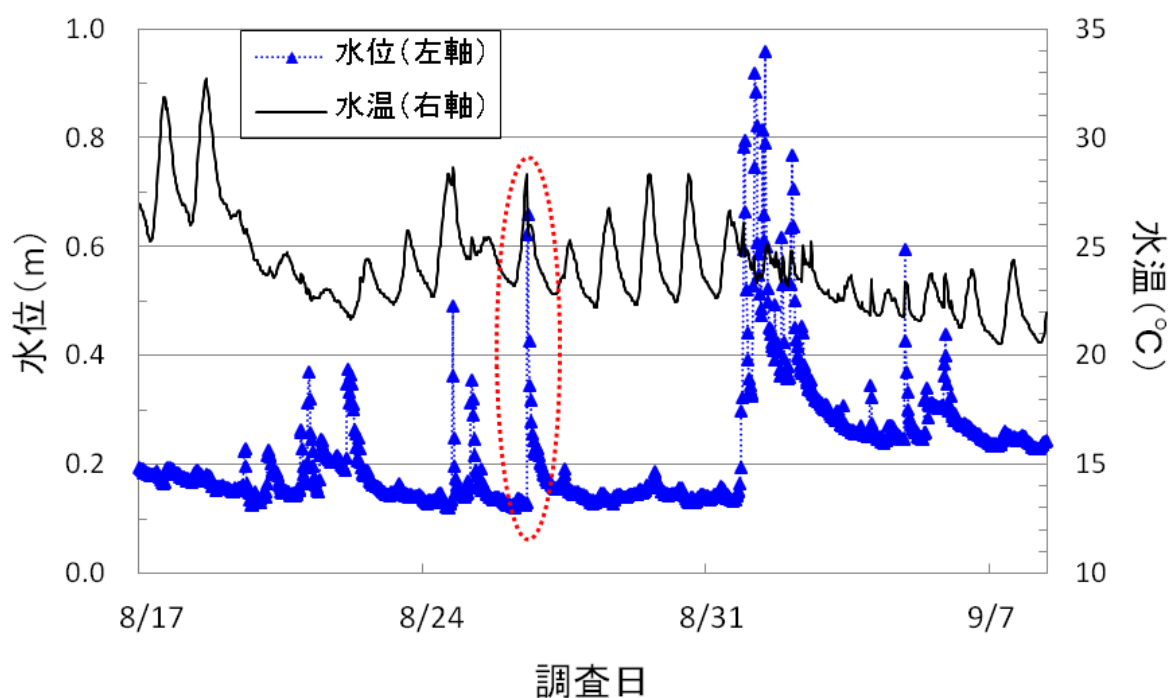
図(2)-10(b) 対照系における底泥の蓄積特性

4) 里川再生技術基本仕様における底泥蓄積特性と維持管理手法の検討

a 里川再生技術基本仕様における水質浄化モジュールの設置に伴う河川流況

里川再生技術基本仕様に設置した4基の水位ロガーのうち、D地点（210m地点）に設置したロガーによる水位計測結果について図(2)-11に示す。平水時は0.1～0.2m程度の水位であるものの、一時的には1m程度まで水位が上昇することが確認された。一例として、水位が0.8m程度まで上昇した2011年8月26日（図中、楕円で示した部分）の現地の状況を図(2)-12に示す。ここで図(2)-12は、里川再生装置終端直下にある橋上から装置を上流方向に向かって撮影したものであり（流向：写真の奥→手前）、河川水位が大きく上昇し、濁水が流下するとともに、筏モジュールを水面に見ることができる。このように、1回のお出水イベントでも底泥が大量に蓄積し得るので、臨機応変に清掃等の対応が必要である可能性が示唆された。

なお、筏モジュールは、想定どおり出水時に水位に合わせて上昇するために、底泥に埋没しにくいことから、治水上の観点から河川管理者の許可が得られれば、水質浄化機材として強力なツールとなることが期待された。



図(2)-11 里川再生装置の210m地点における水位計測結果



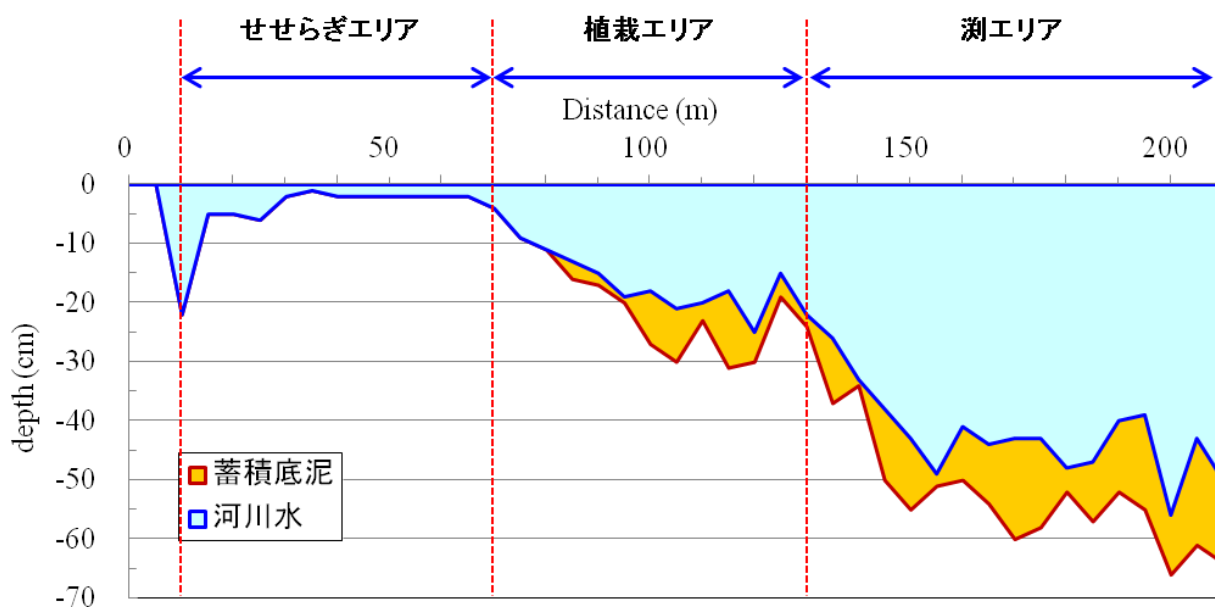
図(2)-12 2011年8月26日の里川再生装置の状況

b 里川再生技術基本仕様における底泥蓄積特性と維持管理

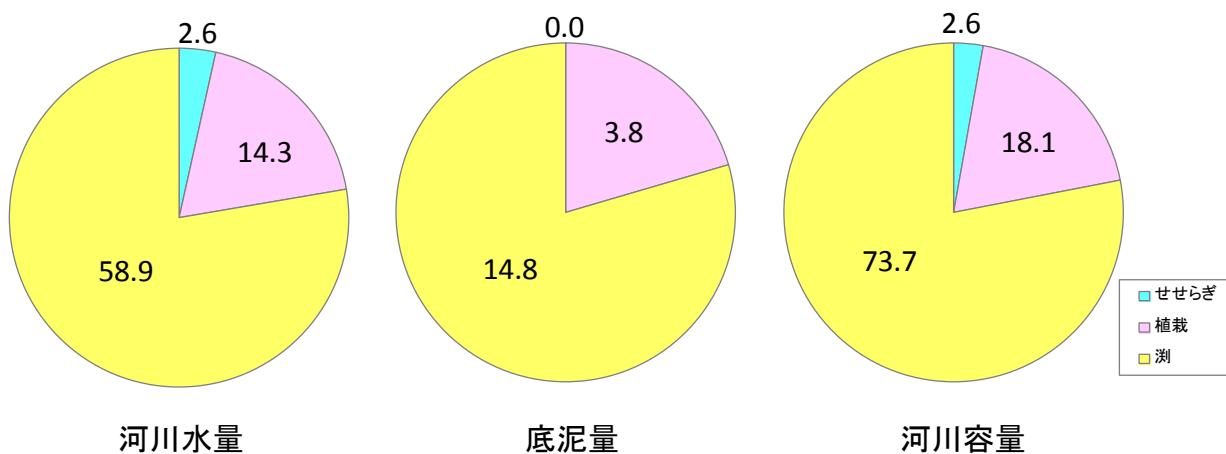
i 里川再生技術基本仕様における底泥蓄積特性

2011年11月29日の里川再生技術基本仕様の流下方向における流心の河川形状および底泥蓄積状況を図(2)-13に示す。図(2)-13は、基準高さからの高低変化という形で描画し、青い実線が河川水と底泥の境界面、茶色い実線が底泥と河床との境界面をそれぞれ示す。また、水色の網掛け面積は河川水、薄茶色の網掛け面積は底泥がそれぞれ占めていることを示す。なお、湿地エリアは河川水の滞留時間が非常に短いため、考察から除外することとした。ほぼ全ての底泥が、淵エリアと植栽エリアに蓄積していることがわかった。底泥厚計測に基づき算出した、11月末時点でのせせらぎエリア～淵エリアの、河川水量、底泥量、河川容量（すなわち河川水量と底泥量の和）におけるエリア毎の割合を図(2)-14に示す。上述のとおりせせらぎエリアではほぼゼロである一方、植栽エリアでは 3.8m^3 、淵エリアは 14.8m^3 となり、淵エリアの底泥量が全体の約8割を占めた。実測に基づく河川流量は約 $75\text{m}^3/\text{h}$ なので、この3エリアにおける河川水滞留時間（＝水質浄化時間）は、全体：60分、せせらぎエリア：2分、植栽エリア：11分、淵エリア：47分となると算出された。淵エリアは、例えばせせらぎエリアに比較して河川増水時等でも流速が小さいため、筏モジュールにかかる流水による物理的な負荷も小さいが、反面底泥は蓄積しやすいと考えられる。その一方、既述のとおり筏モジュールは常に水面付近に位置するため、土砂等の蓄積はほとんど見られず、結果的に河床に直接設置する方法に比較してモジュール自体の清掃作業はほぼ不要であることが期待された。

なお、住民主体での維持管理作業を考えた場合、例えば本装置の淵エリアで約 15m^3 の底泥が蓄積し、除去作業は人力では困難と考えられた。従って、作業は日常巡回による装置の性能維持や植物回収・堆肥化等を中心とし、底泥厚の観測に基づき、清掃（浚渫）は重機等を用いて河川管理者が実行するといった方法が考えられた。



図(2)-13 里川再生技術基本仕様の流心の河川形状および底泥蓄積状況

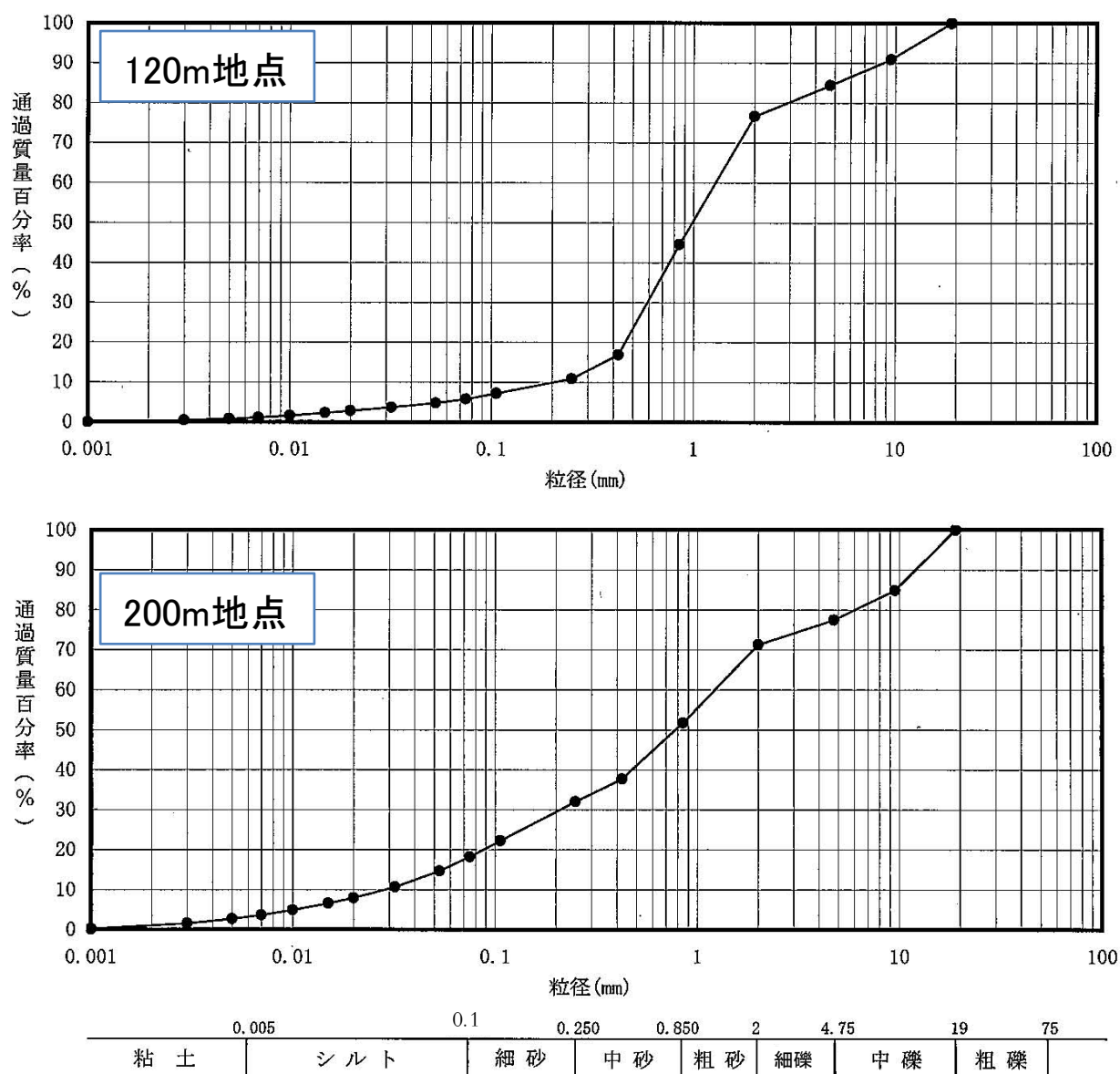


※図中の数値は、実際の量(単位:m³)を示す。

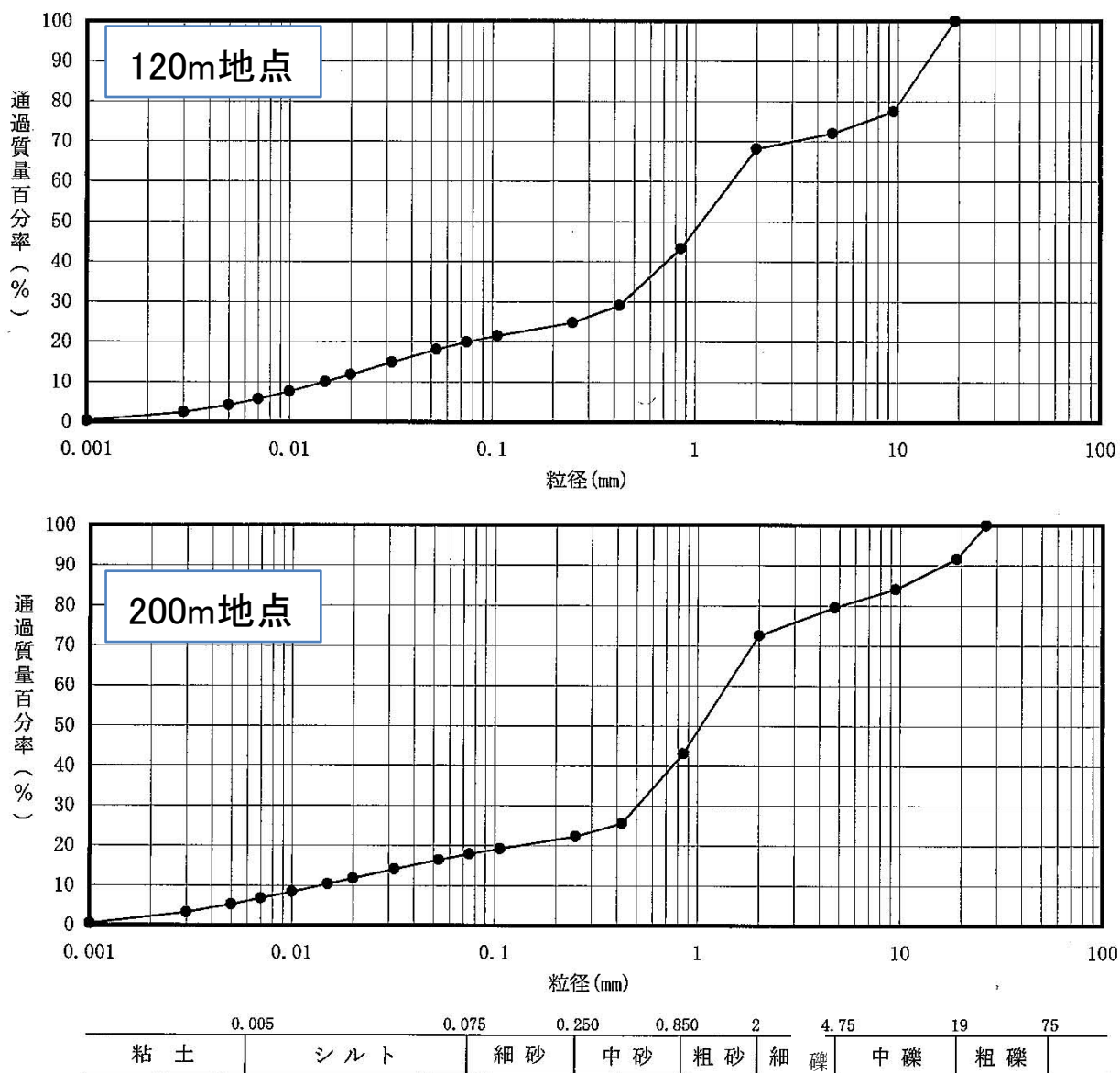
図(2)-14 河川水量、底泥量、河川容量におけるエリア毎の割合

ii 設定エリアと蓄積底泥の性状の検討

120m地点（植栽エリア終端近く）および200m地点（淵エリア終端、すなわち装置終端近く）の2地点における蓄積底泥とその下層の河床の粒度分布について図(2)-15および図(2)-16に示す。図(2)-15から、蓄積底泥の粒度分布は各地点で違いが見られた。120m地点では礫および砂の割合がそれぞれ23.4%および70.9%であり、これらで全体の94.3%を占めた。これに対し、200m地点では礫および砂の割合はそれぞれ28.7%および53.0%であり、これらの全体に占める割合は81.7%と、210m地点の方がより小さな粒子も堆積していることがわかった。一方、図(2)-16から、河床の粒度分布は、底泥の場合と異なりほぼ同様であり、河床構造は類似していることが確認された。



図(2)-15 各地点の底泥の粒度分布



図(2)-16 各地点の河床の粒度分布

c 里川再生装置の維持管理の方向性

これまでの検討を通して、里川再生装置の維持管理は、エリアコンセプト（例えば、せせらぎ、植栽、淵）を明確にし、その環境を維持することを作業内容とすることを主眼に行うのが望ましいと考えられた。例えば、1回の出水でも底泥が大量に蓄積し得るので、臨機応変に清掃等の対応が必要となるが、作業内容は具体的にはエリアコンセプトの復旧といったものになる。植栽エリアのリセット時には、例えば浚渫後に、再植栽を施すといったこともエリアコンセプトの復旧にあたる。

また、例えば淵エリアといったように、底泥の溜まる（溜める）エリアを積極的に設定することも効果的であるが、その除去作業等は現実的には人力では困難と考えられることから、住民による底泥厚の定期観測に基づき、清掃（浚渫）は重機等を用いて河川管理者が実行するといった方法が考えられた。例えば、装置のリセット時と、底泥が蓄積して作業が必要と判断する蓄積量（例えば底泥厚）を設定して対応といったことが挙げられる。これらはいずれもやや大がかりな作業内容となるが、地域住民等による日常的な作業としては、ゴミ等回収、草刈り等が中心になるものと考えられる。

（2）植栽および蓄積底泥の適性維持管理手法の開発

1）里川再生基礎実験装置における維持管理手法

a 維持管理作業に関する検討

i 日常作業

里川再生基礎実験装置における作業実績については、表(2)-1に示すとおりである。日常巡回・維持管理作業の検討結果として、実験水路内で様々なゴミが確認できた。ゴミの種類は、紙くず、スーパーや食べ物のビニル袋、生鮮食料品の発泡スチロール、ペットボトル等の家庭に由来するものや枯葉・枯れ草などが多い。研究対象河川である元小山川に環境用水を供給する御陣場川（ごじんばがわ）が、下水道が未整備の上里町の市街地を貫流してくるため、御陣場川の取水堰で取り切れないゴミが流入したり、また、周辺が農業用地であるために強風で吹き飛ばされたゴミが溜まったものと考えられる。特に、ビニル袋などが実験水路の取水口に張り付き取水の妨げになっていることもあった。また、実験水路の取水口にはゴミとともに、アオミドロ様の藻類の付着も認められた。

水質浄化等とは直接の関連性は低いと考えられるが、常巡回・維持管理作業時の最大の課題は、周辺部に繁茂する草対策であることが確認できた。埼玉県・本庄県土整備事務所による草刈りが年2回（夏・秋）実施されているが、夏期の草の成長は早く作業の妨げとなった。秋の本庄県土整備事務所による除草作業が行われるまでの期間は都度メンバーが必要箇所を除草し、作業にあたった。尚、秋の除草（10月）後はこれらの草の新たな芽吹きが無くなるため問題はなくなった。

浄化モジュール（ゼオライト）の状況としては、委託業務期間中、モジュールが故意に破壊されるような事はなかった。一方、本庄地域の最低気温が0度を下回り始めた12月下旬から、平板型浄化モジュールの上部（水面から出ている部分）の破損（ひび、割れ）が目立つようになった（図(2)-17）。これは、水面上部（空気中）に露出しているゼオライト中の水分が明け方の冷え込みで凍結・膨張し、ゼオライトが破損したと推察される。この点については、ゼオライト成形体そのものの強度等を改善するか、常時水中で使用できるよう工夫する必要があると考えられる。

表(2)-1 里川再生基礎実験装置における日常維持管理作業実績

里川再生装置維持管理業務				NPO法人 川・まち・人プロデューサーズ		
	日付	曜日	作業内容	作業		特記事項
				時間	人員	
1	6月1日	月	実験サイト下見	2	6	関係するNPOメンバーへの説明会の実施
2	6月12日	金	実験サイト下見	2	2	
3	7月14日	火	実験サイト構築打ち合わせ参加	4	2	環境科学国際センター、真下建設(株)、工事を実施する(株)チョーコーさんとともに。
4	7月23日	木	水路設置工事前現地確認	2	2	次週より開始される水路設置工事に備え現地確認
5	8月3日	月	水路設置工事視察	2	2	水路設置工事進捗確認
6	8月7日	金	水路設置工事	4	2	水路設置工事進捗確認、NPO作業方法検討
7	8月13日	木	水路点検	4	2	NPO浄化モジュール設置方法検討、取り入れ口清掃、草刈り。
8	8月24日	月	実験サイト構築工事(第一回)	5	7	元小山中流部でミクリ採取後実験サイトにて浄化モジュール設置
9	9月2日	水	日常巡回・維持管理	4	2	台風に伴う雨が心配されたが大過なし。取り入れ口清掃、草刈り。
10	9月12日	土	実験サイト構築工事(第二回)	5	6	雨天であったが、浄化モジュールの設置無事完了
11	9月15日	火	日常巡回・維持管理	4	2	取り入れ口清掃
12	9月23日	水	日常巡回・維持管理	4	2	サイト構築後約10日経過。実験水路内に放水路から水が浸入している。
13	9月26日	土	実験サイト修繕・構築工事(第三回)	4	6	水漏れ補修・モジュール追加設置工事の実施。
14	9月29日	火	日常巡回・維持管理	4	2	
15	10月10日	土	日常巡回・維持管理	4	2	台風に伴う雨が心配されたが大過なし。取り入れ口清掃
16	10月24日	土	日常巡回・維持管理	4	2	ゼオライトサイト内の土砂の堆積が目立つ。
17	10月31日	土	日常巡回・維持管理	4	2	
18	11月6日	金	大規模清掃	8	6	ゼオライトサイト内の土砂は比較的軽いものであった。
19	11月12日	木	日常巡回・維持管理、御陣場川取り入れ口清掃	3	5	実験水路内の流量安定化のため御陣場川取り入れ口清掃
20	11月18日	水	日常巡回・維持管理	4	2	
21	11月26日	木	日常巡回・維持管理	4	2	明らかに水量が減少してきた。
22	12月9日	水	日常巡回・維持管理	4	2	
23	12月16日	水	日常巡回・維持管理	4	2	
24	12月21日	月	日常巡回・維持管理	4	2	御陣場川取り入れ口清掃
25	12月29日	火	日常巡回・維持管理	4	2	
26	1月3日	日	日常巡回・維持管理	4	2	
27	1月9日	土	日常巡回・維持管理	4	2	次年度対応地打ち合わせ。
28	1月18日	月	日常巡回・維持管理	4	2	底泥採取。早野花園に底泥持ち込み。環境科学国際センター次年度計画現場打ち合わせ。
29	1月23日	土	日常巡回・維持管理	4	2	
30	1月30日	土	日常巡回・維持管理	4	2	
31	2月2日	火	日常巡回・維持管理	4	2	2/1降雪。特段問題なし。
32	2月10日	水	日常巡回・維持管理	4	2	
33	2月20日	土	日常巡回・維持管理	4	2	御陣場川取り入れ口清掃



図(2)-17 水上部分が破損したゼオライト平板

ii 大規模清掃

大規模清掃の主目的は「浄化モジュールの搬出のし易さ」と浄化能維持のための「底泥の排出」であった。まず、「浄化モジュールの搬出のし易さ」に関しては全く問題はなかった。“かご”という発想は有効であると考えられる。水分を含んだゼオライトは重くなっていると思われたが、大人の男性であれば一人で持ち上げる事も可能であったし、また、水路に入っている人間と岸辺の人間で協力すれば簡単に搬出ができるものであった。

一方、「底泥の排出」作業も困難は伴わなかった。蓄積した底泥は土壌に近く、スコップで容易に搬出ができた。これは、御陣場川の上流部が農業地帯であるため元々土が流れ込みやすく、加えて、実験水路の脇や、御陣場川から元小山川への導水水路脇の田畑から直接泥が流れ込んでいるものと推測され、水分を含んだ“泥”と言える状態であったからであろう。スコップですくい上げてバケツに入れて排出する作業自体は順調に行えた。

b 回収植物・底泥の資源化に関する基礎的検討

2009年11月6日に、水質浄化モジュールを引き上げて蓄積底泥の除去と植栽したミクリの回収作業を行った。各実験系からの底泥回収量は里川系：0.62m³、対照系：0.34m³であり、里川系の方が底泥蓄積効果が高い結果となった。また、回収した底泥の性状は土壌粒子が主体と考えられた。

回収した底泥とミクリの組成等の分析結果について、表(2)-2に示す。底泥中の窒素、リンをはじめとする各成分の含有率は里川系の方が高く、肥料として資源化した場合に有効であることが示唆された。また、含水率も里川系の方が10%ほど高かったが、水質浄化モジュールの設置による流速低減効果のため、より軽い粒子も沈積したものと考えられた。ミクリについては、硬い茎を持たないために、堆肥化等を進める上で分解反応等が迅速に進むことが期待されることから、植栽に採用したが、窒素含有量が高いことも有効であると考えられた。

表(2)-2 回収した底泥およびミクリの分析結果

分析項目		底 質		ミクリ
		実験水路	対照水路	
全窒素	(mg/kg)	—	—	23,300
全窒素	(%)	0.51	0.42	—
全リン	(%)	0.37	0.29	0.40
銅	(mg/kg)	133	98	—
亜鉛	(mg/kg)	368	292	—
炭素	(%)	5.56	4.16	—
カリウム	(%)	0.24	0.17	—
カルシウム	(mg/kg)	14,000	11,400	—
含水率	(%)	70.4	60.3	—
炭素窒素比(C/N比)		10.9	9.9	—
強熱減量	(%)	—	—	87.3

2) スケールアップ里川再生実験装置における維持管理手法

a スケールアップ里川再生装置の維持管理手法

NPOのメンバーを中心に、週1回程度を目安に里川再生装置の巡回・適宜清掃等の維持管理作業を行った。

i 河川水取水口の目詰まりについて

初年度もある程度観察されたことであるが、元小山川に環境用水を供給する御陣場川が、下水道が未整備の上里町の市街地を貫流してくるため、御陣場川の取水口で取り切れないゴミが流れ込んだりする上に、取水口にはゴミとともに藻の付着も認められた。ゴミの影響で十分に取水量が確保できていないことがあるため、少なからず実験データへの影響も考えられる。こまめな清掃を実施することはもちろんであるが、取水口そのものをゴミ等が引っかかりにくい形状に改良することも必要と考えられる。

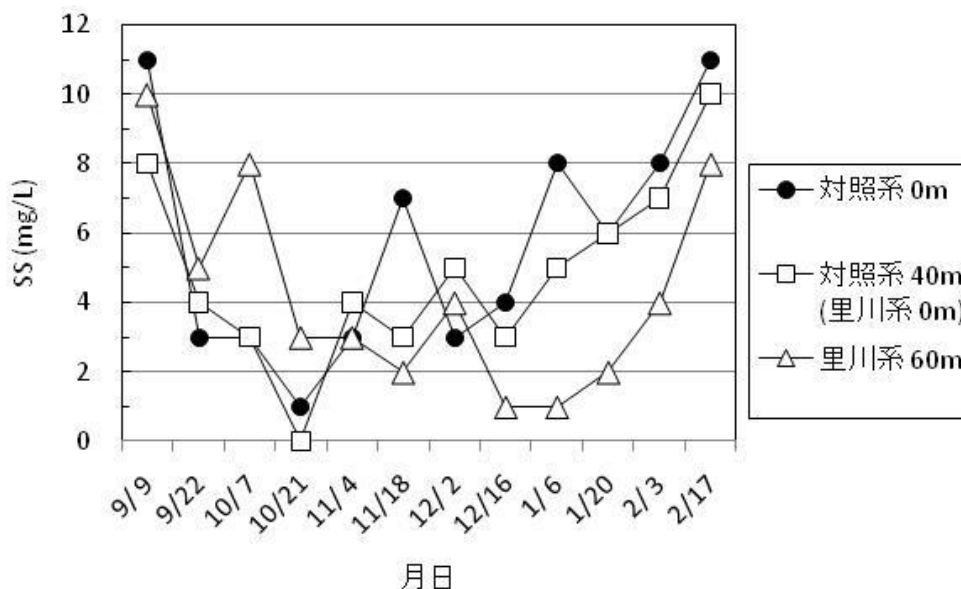
ii 里川再生実験装置内への底泥の蓄積について

水質浄化モジュールの周囲に空間を確保する設置方法にしたことで、里川再生装置への底泥の蓄積量が大幅に削減され、実験期間を通じて底泥除去等の清掃作業の労力は昨年よりかなり軽減された。これは、昨年度の里川再生装置では、それほど規模の大きくない1回の台風による降雨で水質浄化モジュールの7~8割が底泥に埋没してしまい、直ちに清掃作業をしなければならなかったことを考慮すると、底泥を蓄積しにくい構造をコンセプトとしているスケールアップ実験装置では、ほぼ思惑どおりの成果が得られていると考えられる。

b 水質の視点からの里川再生実験装置の維持管理の検討

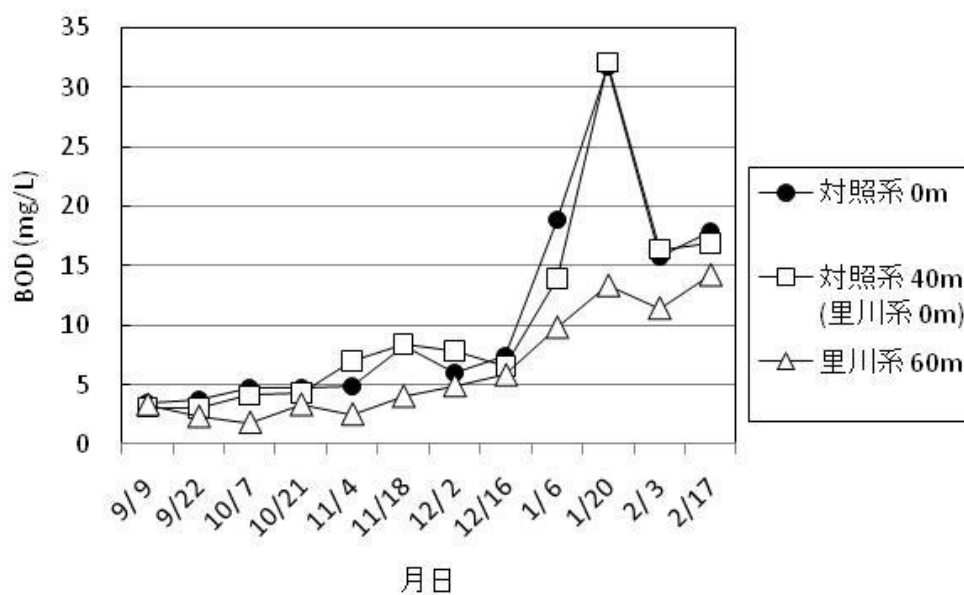
各系のSS濃度の経日変化について図(2)-18に示す。里川系では、実験初期に処理水中のSS濃度

が流入水中のそれよりも高い値、すなわち除去率がマイナスとなる状況が続いたが、次第に安定した。里川系と対照系では水路長が異なるため、簡単に比較することはできないが、実験期間全体の除去率の平均値としては、里川系で13%、対照系で11%であった。

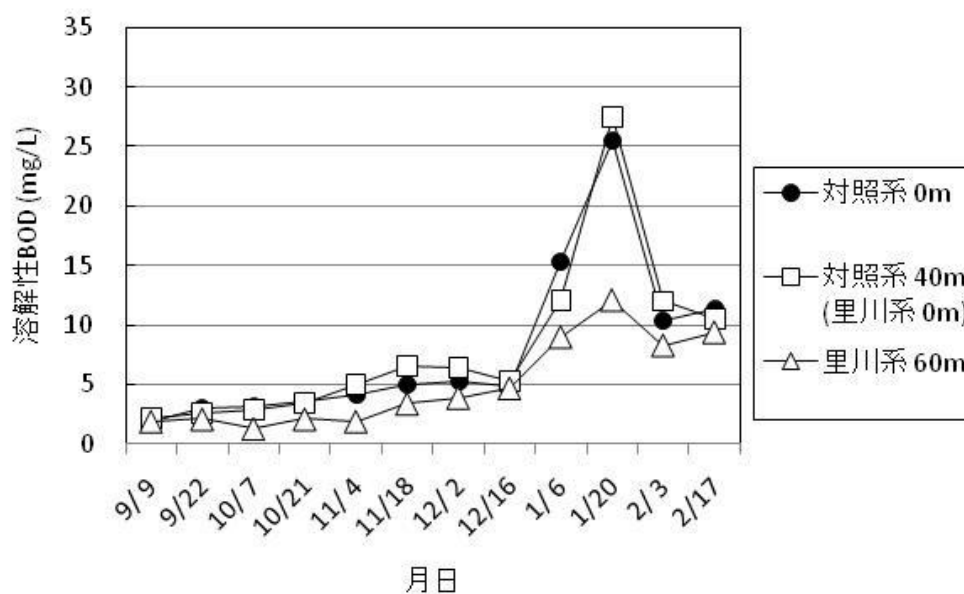


図(2)-18 各系のSS濃度の経日変化

各系のBODおよび溶解性BODの経日変化について図(2)-19および図(2)-20に示す。流入水のBOD値は冬季に上昇する傾向があった。この原因としては、冬季に河川水に占める生活排水等の割合が増大する等が考えられた。BOD除去率としては、季節による差はほとんど見られず、実験期間全体の平均値では、里川系で33%、対照系で1.1%と、里川系の方が優位であった。このことは、溶解性BODで顕著であり、溶解性BODの除去率では、里川系で34%、対照系で-6%と、里川系ではるかに優れていた。しかしながら、全BODに対する溶解性BODの割合は、里川系、対照系でほとんど差は見られず、実験期間全体の平均値でともに77%であった。これらのことから、里川系では特に溶解性BOD成分の除去能に優れていると考えられた。



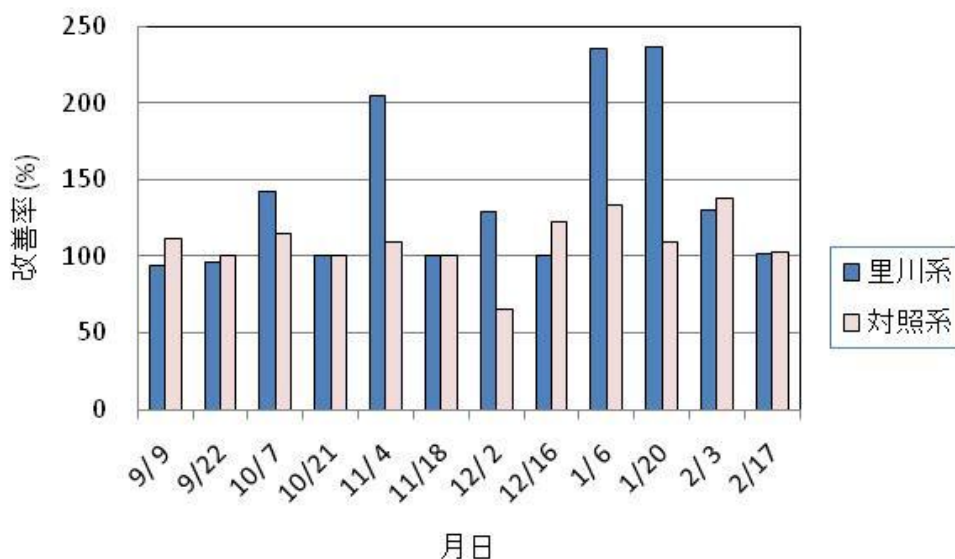
図(2)-19 各系のBOD濃度の経日変化



図(2)-20 各系の溶解性BOD濃度の経日変化

各系の透視度について、流入水の値に対する処理水の値の相対値を%で表示した結果について図(2)-21に示す。グラフの見方としては、100%のままであれば透視度は変わらず。100%超であれば改善、100%未満であれば悪化という形になる。概ね里川系の方が良好であり、実験期間全体の改善率の平均値は、里川系で139%、対照系で109%であった。

以上の結果をふまえ、里川系の方が水質浄化性能に優れることが明らかとなったが、別途サブテーマ(2)-1で検討しているように、里川再生装置内に底泥が蓄積しにくかったこともあり、維持管理の目安になるような情報は特に得られなかった。



図(2)-21 各系の透視度改善率の経日変化

3) 里川再生技術基本仕様における維持管理手法の検討

a 維持管理作業

i 作業内容

里川再生技術基本仕様の検討における主要な維持管理作業について、表(2)-3に示す。なお、巡回監視および軽微な清掃作業等は随時実施しているため、ここには記載しない。

表(2)-3 里川再生技術基本仕様の検討における維持管理作業内容

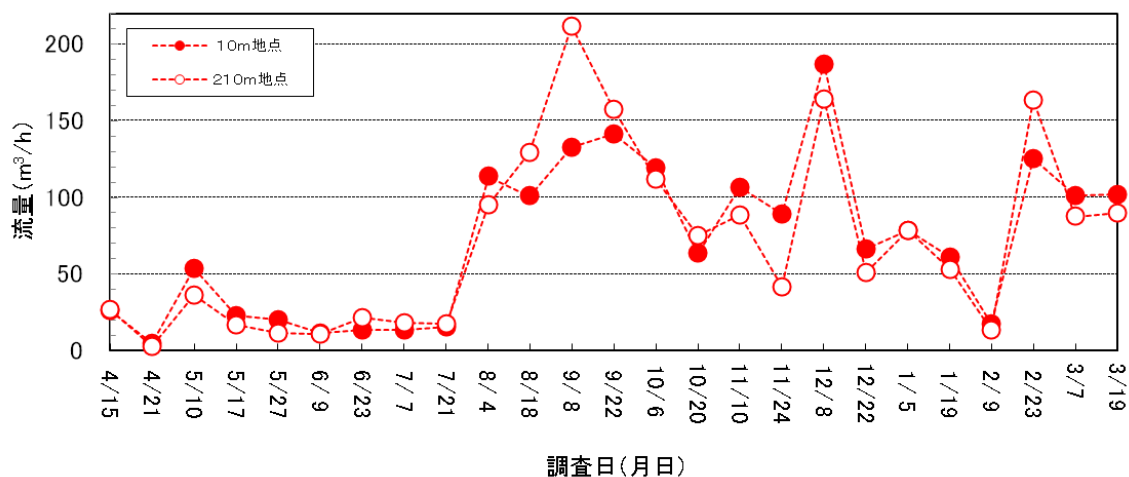
2011年

4月 8日 (金)	平成23年度作業内容等についての打合せ
4月23日 (土)	導水部清掃 筏型モジュール設置、ミクリ・花菖蒲植栽、河川内清掃
4月27日 (水)	植栽の手入れ
4月29日 (土)	導水部清掃 (フラッシュ) 筏型モジュール修繕・再設置、ミクリ植栽、河川内清掃、魚類調査 一年を通じた維持管理についてのスケジュール、プログラムの検討
5月 8日 (日)	導水部清掃
5月11日 (水)	導水部清掃
5月14日 (土)	里川再生装置左岸の管理用通路の除草等
5月20日 (土)	ミクリ植栽作業
6月20日 (月)	サイト清掃

6月23日(木)	サイト清掃、現場にて打ち合わせ
7月6日(水)	サイト清掃
8月1日(月)	サイト導水部(以下、“導水部”と表記)清掃
8月6日(土)	導水部清掃
8月13日(土)	サイト周辺への防草シート設置作業
8月21日(日)	サイト周辺への防草シート設置、導水部清掃
8月22日(月)	導水部清掃
8月26日(金)	導水部清掃
8月31日(水)	導水部清掃
9月1日(木)	サイトおよび導水部清掃
9月3日(土)	導水部維持管理作業(含:清掃)
9月5日(月)	導水部維持管理作業(含:清掃)
9月11日(日)	サイト維持管理作業 (看板設置、沈水船回収、防草シート設置・修復、ゴミ回収、除草等)
9月21日(水)	導水部維持管理作業(大量降雨前の取水口閉門)
9月22日(木)	導水部維持管理作業(大量降雨後の取水口開門、導水部清掃)
10月6日(木)	導水部点検および清掃
10月27日(木)	導水部清掃
10月28日(金)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃および導水部流量調査
11月5日(土)	導水部清掃および導水部流量調査
11月18日(金)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
11月22日(火)	導水部清掃
11月25日(金)	導水部清掃
12月1日(木)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
12月6日(火)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
12月8日(木)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
12月10日(土)	導水部清掃、取水口へのゴミよけ設置実験
12月12日(月)	導水部清掃
12月12日(月)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
12月19日(月)	導水部清掃
2012年	
1月4日(水)	サイト(特に最上流部)清掃、導水部清掃
1月14日(土)	導水部清掃
1月30日(土)	導水部清掃
2月11日(土)	導水部清掃

ii 河川水取水口（導水部）の目詰まりとその対応について

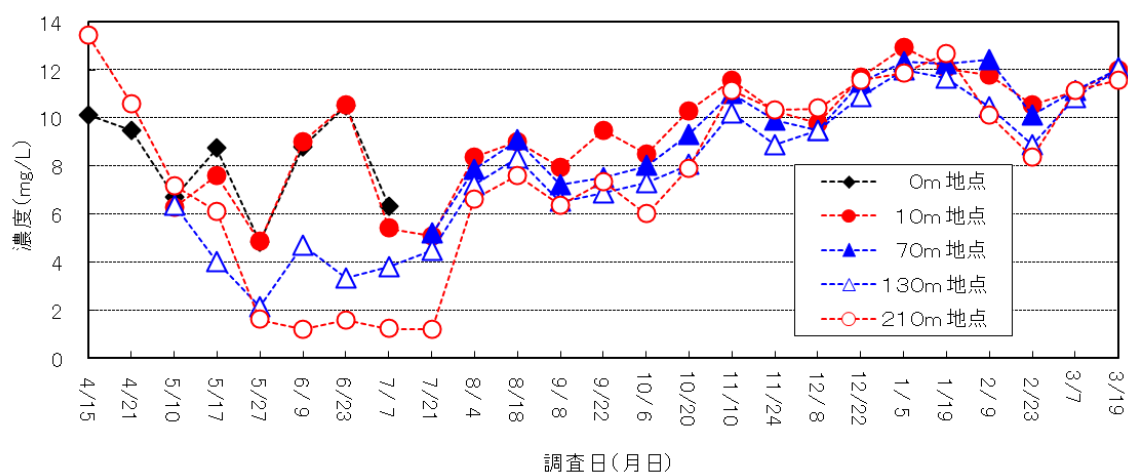
過去2年間を通じて観察されてきたことでもあるが、実験サイトすなわち元小山川の流量確保のための導水元の御陣場川は、上流部の市街地を貫流してくるためにゴミ等の様々なものが、また季節によっては河川敷の刈草や落葉等が流れてくる。これらのものが導水部の取水口に溜まり、目詰まりを起こすことによる導水量の低下への対策と、9月～11月が中心となるが取水口に繁茂する藻への対策が必要とされていた。もちろんこれは、本河川・本サイト特有の事情による部分も大きいですが、今年度は、河川水量確保の観点から、導水部の清掃作業を重点的に行い、その効果等について検討することとした。加えて、開通後一度も実施されていなかった御陣場川取水口から元小山入水路に通じるトンネル及び沈砂池（全長約10m）の清掃を行い大量の底泥を排出した。トンネル内の底泥排出作業も1～2ヶ月に一度の割合で実施した。なお、導水部での取水量の設計値は約40L/sec（約140m³/h）である。里川再生装置の10mおよび210mの各地点における流量の経日変化について図(2)-22に示す。実験開始から7月までは河川流量が設計値を大きく下回っていたが、トンネル内の底泥排出を含めた清掃等の導水部の維持管理を重点的に実施するようになってからは概ね良好な流量が確保された。なお、導水元の御陣場川は、夏季を中心に農業排水の流入が認められるが、冬季はこの流入がほとんどなくなるために、河川流量も減少する。これに伴い、元小山川への導水量も減少する傾向がみられた。



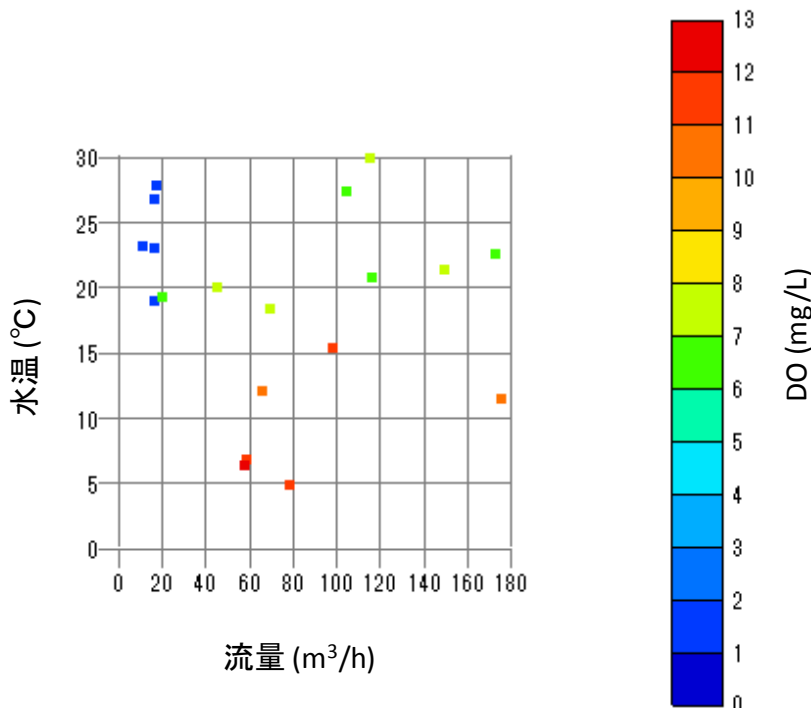
図(2)-22 里川再生装置の河川流量の経日変化

里川再生装置の流下方向各地点のDO濃度の経日変化について図(2)-23に示す。図(2)-22も合わせて考察すると、河川流量が十分に確保されなかった5～7月にかけて、流下するほどDOが低下し、特に装置終端付近（210m地点）では1～2mg/L程度まで低下したが、流量の確保に伴い、装置全区間に渡ってDOも改善された。なお、酸素の水への溶解度は温度上昇に伴い低下する、すなわちDOは水温によっても影響を受ける。そこで、河川流量、水温、DOの関係について図(2)-24に示す。

ここで、各プロットは、流量および水温は10mおよび210m地点の平均値、D0は210m地点の値をそれぞれ用いて関係を求めた。青色のプロットを見ると、水温が高く（夏季）、流量が小さい場合に特にD0が低下していたことがわかった。一方、流量がある程度確保されれば、水温に関係なくD0も確保可能であると考えられた。言うまでもなく、魚類等の水生生物の生息にはD0の確保は必須であり、実験サイトの元小山川は、B類型でD0環境基準が5mg/Lに設定されていることも考慮すると、本サイトに関しては40m³/h程度の河川流量確保が必要であり、そのためには導水部のこまめな清掃を実施することはもちろん、取水口そのものをゴミ等が引っかかりにくい形状に改良することも必要と考えられた。



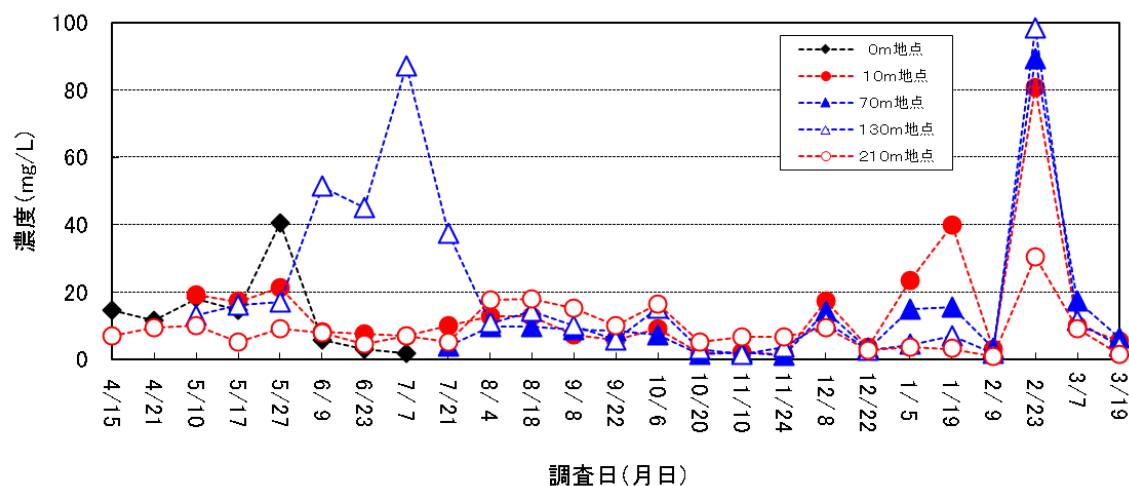
図(2)-23 里川再生装置内の各地点のD0濃度の経日変化



図(2)-24 里川再生装置の流量・水温・D0の関係

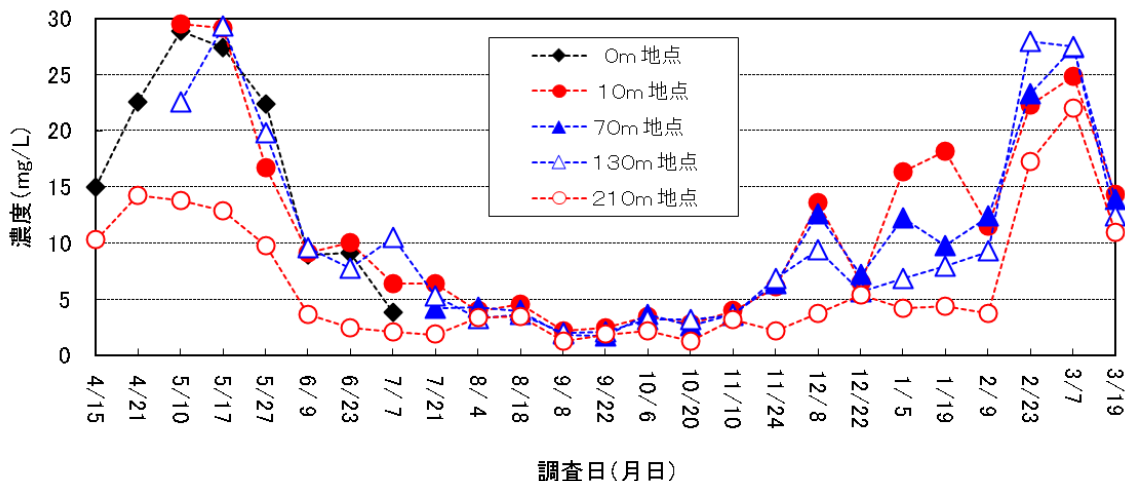
b 水質の視点からの里川再生装置の維持管理の検討

里川再生装置内の各地点におけるSS濃度の経日変化について図(2)-25に示す。6～7月にかけて、植栽エリア終端である130m地点のSS濃度が高い値を示したが、最終放流水(210m地点)では、ほぼ安定した値で推移した。期間全体でのSS濃度の平均値は、10mおよび210m地点でそれぞれ12および8.7mg/Lであった。

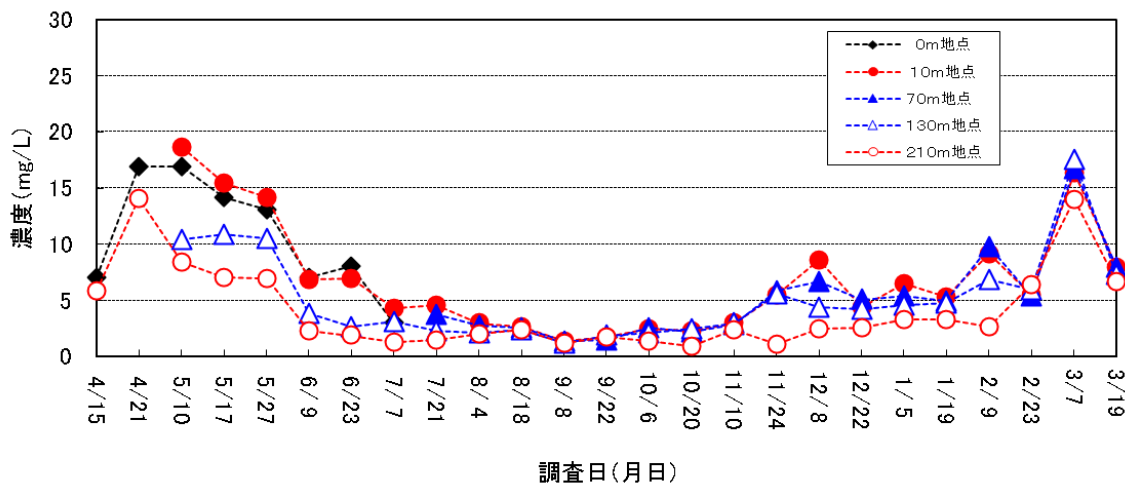


図(2)-25 里川再生装置内の各地点のSS濃度の経日変化

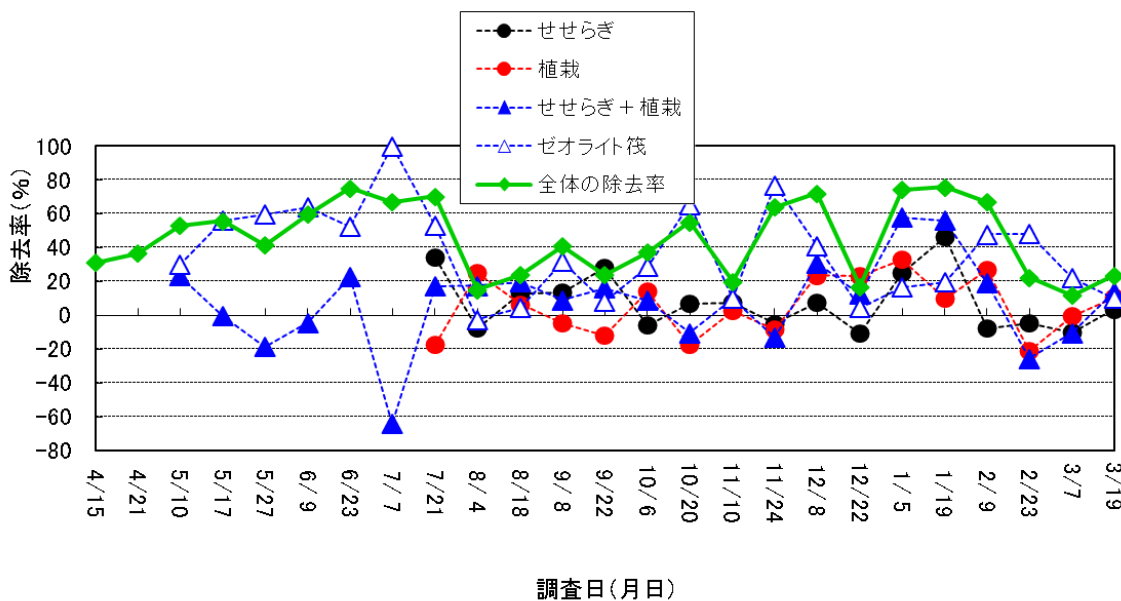
里川再生装置内の各地点におけるBODおよび溶解性BODの経日変化について図(2)-26および図(2)-27に示す。流入水のBOD値は冬季を中心に大きく上昇する傾向があり、この原因はこれまでの検討結果もふまえると、冬季に河川水に占める生活排水等の割合が増大する等が考えられた。しかしながら、それらの期間においても除去率は50%以上が得られるとともに、それなりに安定した最終放流水質が得られた。また、図(2)-22と合わせて考察すると、河川流量が増大するという事は河川水の装置内の滞留時間すなわち浄化時間が短くなるということであるが、河川流量の特に多い夏季には流入水中のBODも2～4mg/Lと低いため、これに対応して最終放流水質も良好な値であった。なお、10mおよび210m地点における期間全体のBOD平均値はそれぞれ10および4.4mg/Lであった。次に、里川再生装置全体、せせらぎ+植栽エリア、湧エリア(ゼオライト筏エリア)それぞれのBOD除去率の経日変化について図(2)-28に示す。除去率の期間全体の平均値は、上記の順にそれぞれ50、10、40%であった。なお、全BODに対する溶解性BODの割合は、10m地点と210m地点でほとんど差は見られず、実験期間全体の平均値でそれぞれ50%および47%であった。



図(2)-26 里川再生装置内の各地点におけるBOD値の経日変化



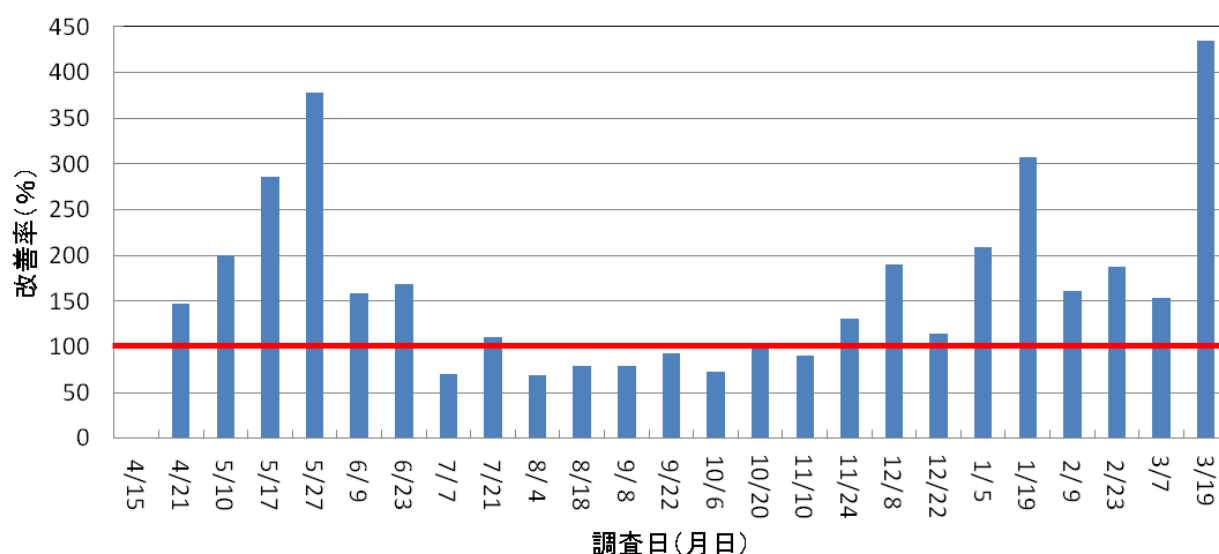
図(2)-27 里川再生装置内の各地点における溶解性BOD値の経日変化



図(2)-28 里川再生装置のエリア毎のBOD除去率の経日変化

各系の透視度について、10m地点に対する210m地点の値の相対値を%で表示した結果、すなわち透視度の改善率について図(2)-29に示す。グラフの見方としては、100%のままであれば透視度は変わらず、100%超であれば改善、100%未満であれば悪化という形になる。夏季を中心に若干の悪化が見られたが、実験期間全体の改善率の平均値は153%と、概ね良好な改善率が得られた。

サブテーマ(2)-1の結果もふまえると、植栽、刈等のコンセプトを明確にエリア設定・施工するとともに、各エリアの環境維持を管理作業とすることが重要であり、これは本河川特有の事情ではあるが、ここでは導水部の綿密な維持管理による河川流量の確保が特に重要であると考えられた。



図(2)-29 里川再生装置における透視度改善率の経日変化

c. 蓄積底泥の回収と維持管理に関する検討

2011年12月始めの10m地点(湿地エリア出口)および210m地点(淵エリア終端)における蓄積底泥の含有試験結果について表(2)-4に示す。土壌改良資材としての用途を考えた場合、10m地点の底泥の方が優れているという結果となった。窒素、リン酸、カリウムいずれにおいても、210m地点の底泥の約2倍の含有率であった。しかしながら、210m地点は実験サイトの最終端でもあり、里川再生施設の形状に起因して水流による巻き上げ等により底泥が蓄積しにくかった可能性が考えられた。やや上流川の200m地点(淵エリア終端近く)において別途計測した結果では、窒素・リン酸・カリウムそれぞれの含有量は4,640、2,480、1,760(単位:mg/kg)の値が得られていることもふまえると、里川再生施設のエリア毎に、また同一エリアでも場所により蓄積底泥の組成が異なることがわかった。

表(2)-4 底泥含有試験結果(乾重量当たり)

採取場所		210m地点 実験サイト最終端	10m地点 沈砂池出口
全窒素	(mg/kg)	600	1,340
全亜鉛	(mg/kg)	103	148
リン酸(P ₂ O ₅)	(mg/kg)	1,280	2,430
カリウム(K ₂ O)	(mg/kg)	687	1,090
水分含有量	(%)	24.3	34.3

これまでの検討を通じて、回収した底泥は芝の目土や花卉栽培の土壌改良資材としての活用が期待できることがわかっているが、根源的な課題として、積極的に底泥蓄積しにくい施設の設計、あるいは底泥回収の必要性もふまえた維持管理の概念について検討した結果、以下の知見が得られた。

水質浄化モジュールの形状・設置方法については、2009年度は河道内に沈めて設置したため、底泥の堆積が顕著にみられるとともにモジュールの底泥への埋没等の問題が生じたが、2010年度は沈積設置ではあるが設置方法を工夫したことでモジュールの埋没問題に関しては大きく改善された。さらに、2011年度は筏モジュールによる水面設置方式にすることで、底泥蓄積がモジュールの浄化性能に及ぼす影響はほぼ解消されたと考えられる。また、台風を始めとした大雨による出水は自然のフラッシュ効果をもたらしたため、最も底泥が蓄積しやすいと想定される淵エリアにおいても、一定量以上には底泥は蓄積しなかったと考えられる。

一方、これまでも考察したとおり、淵エリアはその構造上、場合によっては流速も低下しDOの極度の低下といった問題も生じたが、取水口の清掃作業による流量の確保によりDOの大幅な改善がみられたことから、結果的に堆積した底泥を問題視する必要はない可能性が示唆された。すなわち、一定の河川流量が確保されていれば、底泥の蓄積/流出についての”バランス”が保たれるため、あえて底泥は回収する必要はない、という可能性も考えられた。底泥が土壌改良材・肥料として特別に優れた性能を有しているのであれば積極的な回収を試みる必要もあるが今日までの分析結果からはそのような知見は導きだされていない。また、協力農家からも「放射能の問題があるから」と心配の声も上がり、引き上げた底泥の処理に関しては注意を要するという状況も生まれている。本研究の終了後も引き続き底泥の蓄積に関して観察する必要があると考えている。

d 里川再生装置の維持管理作業のシステム化・効率化の検討

里川再生装置の維持管理作業に関しては、地域住民による対応可能性の視点からNPO法人 川・まち・人プロデューサーズが遂行し、課題点等の抽出、作業への反映、作業性の改善という手順で検討を進めてきた。これまでの検討を通じて、定期的な巡回監視・清掃や、河岸の散策・作業空間確保のための夏季の草刈り等の作業も必要であることがわかってきた。加えて、安全確保が

なされる範囲内ではあるが、台風や雷雨に伴う出水等の突発的な事態への対応も、場合によっては必要と考えられる。しかしながら、誰もが頻繁に川に携われるわけではないため、NPO法人“川・まち・人プロデューサーズ”では、スピーディーな情報交換、作業等の迅速化・効率化、河川イベント等の実施、参加者の連帯感・満足感の向上、インターネットを通じての情報発信等を目的として、SNS (Facebook) を活用した維持管理連携システムを構築し、運用を試みた (図(2)-30)。

具体的には、現地の状況や作業内容等をサイト上にアップし、それを閲覧した人がコメントする、あるいは可能な人が次の作業等に対応する、といった感じで、ほぼリアルタイムに情報共有・対応できるため、里川再生における強力なツールとなることが明らかとなった。特に、昨年は本庄地域で観測史上最大雨量を記録する集中豪雨が発生したり台風の接近・通過による大雨が頻発したため、写真情報を伴うほぼリアルタイムの情報共有は、河道内に設置した筏モジュールの管理や大雨後の実験エリアの補修・清掃作業などに特に威力を発揮した。本システムについては今後さらに改善を進める予定であり、参加者ネットワークの拡大→川に関心をもち、出かける人の増加→里川環境の改善といった好循環が期待できると考えられた。



図(2)-30 SNSを活用した維持管理連携システムの構築

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

維持管理面からの研究開発の結果、設定したエリア環境の維持を中心とした維持管理作業の目安の提案と、SNS活用型維持管理連携システムの構築と効果的な運用ができた。また、回収底泥・植物体の土壌改良材としての活用可能性が得られた。

(2) 環境政策への貢献

本研究開発への行政、小中高校、地域住民（NPO含む）の参加を通じて、里川再生への実質的な取り組みとして推進されている。具体的には、里川再生装置の設置、採水調査作業等への参加である。引き続き、住民参加の視点から、環境政策への貢献を発展させる予定である。

6. 国際共同研究等の状況

本研究で開発された技術を、近い将来には中国等のアジア地域を中心に、低炭素・地域共生・持続型の水環境・自然環境問題の解決技術として、住民参加の視点から共同研究展開する予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

「特になし」

<査読付論文に準ずる成果発表>

「本研究は該当せず」

<その他誌上発表（査読なし）>

「特になし」

(2) 口頭発表（学会等）

1) 真下敏明、大塚岳史：第12回千葉県環境教育研究会発表会、千葉大学、2010. 1. 9.

“人と川との関係性の再構築～“川”のユーザー作りの視点から～“

2) 木持謙、金澤光、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人、榊原豊：シンポジウム2012「清流ネⅡから第二ステージへ」、2012. 3. 17.

“元小山川での里川再生研究“

(3) 出願特許

「特になし」

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

「特になし」

(5) マスコミ等への公表・報道等

「特になし」

8. 引用文献

- 1) 建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編

(3) 水生生物生息場所の創造と導入効果の解析評価

埼玉県環境科学国際センター 金澤 光
早稲田大学理工学術院 榊原 豊

21(開始年度)～23年度累計予算額：3,000千円

(うち、平成23年度予算額：1,100千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 里川再生技術は、ビオトープ技術としての位置づけが大きいことから、水生生物、特に魚類の生息場所として適切な資材・機材とその導入手法について研究開発を行った。また、これらの導入に伴う魚類を中心とした水生生物の生息環境の改善効果の解析評価を実施した。前者については、ゼオライト成形体の形状や植物との組み合わせも含めた水質浄化モジュールの設計・製作、導入試験を行い、設定魚類の産卵、発生の確認、魚類相の改善等を研究開発目標とした。後者については、淡水魚15種類に対するライフサイクルリスクアセスメント(LCRA)を里川再生施設に適用し、その妥当性を検証すると共に、生息に及ぼす主要なストレス因子および施設設置による生息環境の改善効果について検討し、里川改善へのLCRA適用・評価とLCRA自体の改善を研究開発目標とした。その結果、水槽実験および実装置の双方で、水質浄化モジュールの魚類(モツゴ)の産卵床としての利用が確認された。また、水質浄化モジュールの水生生物生息空間としての利用が確認され、特にミクリ植栽のモジュールで、魚類が集中して生息していた。さらに、エリア毎に特徴的な魚種が観察されたこと、事前調査に比較して生息魚種・数の大幅な増加がみられたことから、環境改善が進んでいると考えられた。導入効果の解析評価の視点からは、元小山川(研究サイト)に対してフィールド調査とLCRAの適用を試みた結果、LCRAにより魚類の生息状況が良好に評価できることを確認し、研究サイトでの主要なストレス因子はDOの枯渇および産卵場所の消失と導出した。また、里川再生施設導入による魚類の生息環境の改善効果を評価した結果、ストレス因子の削減による生息ポテンシャルの上昇が考えられた。一方、今後の課題としては、ストレス応答・リスク評価における不確実性や、河川毎に異なる特徴を反映させた再生が必要であると考えられた。

[キーワード] ビオトープ、魚類、水生生物、生息環境、ライフサイクルリスクアセスメント(LCRA)

1. はじめに

河川とは、本来様々な生物の生息を伴うものであり、「里川」とは、「人との関わりを通じて水や生き物の豊かさの育まれる川」のことである。すなわち本里川再生技術は、水質浄化機能を有することはもちろんであるが、魚類を中心とする水生生物の棲息・繁殖環境を創造することを極めて重要な位置づけとしている。そこで本研究では、魚類等の隠れ場所や産卵場所としても機能する水質浄化モジュールの研究開発・実河川への適用を行うと同時に、その導入効果について

も、ライフサイクルリスクアセスメント等を活用して客観的に解析評価することとした。

2. 研究開発目的

サブテーマ（3）では、ビオトープ技術としての視点から、全体としては水生生物生息場所の創造と導入効果の解析評価を目的としている。

2009年度は、研究を水質浄化技術としてのサブテーマ（1）および（2）に特化することから、サブテーマ（3）－1のみ検討することとし、研究実施サイト周辺の事前生物調査と、魚類によるゼオライト成形体の産卵床としての利用可能性の検討を中心に進めた。

2010年度は、サブテーマ（3）－1）では、実験水路内の里川系と対照系における生息生物の種類、数、大きさ等についての調査・解析評価を目的とした。またサブテーマ（3）－2）では、LCRAを里川再生施設に適用した際の妥当性の検証と、施設設置による生息環境の改善効果等についての検討を目的とした。

2011年度は、サブテーマ（3）－1）では、生物相（特に魚類）の特性に基づく、里川再生技術の基本仕様について検討した。またサブテーマ（3）－2）では、蓄積データの解析結果に基づく、里川再生技術における魚類生息環境の改善効果の数値化等を検討した。

3. 研究開発方法

（1）魚類等の生息場所創造のための資材等とその導入手法の開発

1）研究対象河川における生息生物事前調査

本研究の対象河川である元小山川は、埼玉県北部の上里町を起点に、主に同県本庄市内を流下して小山川に合流する長さ約7.8kmの一級河川である。距離としては比較的短いものの、下流部（写真(3)-1）ではある程度川幅も広くなり、最上流部である本研究実施サイト（写真(3)-2）とは流量等を含めて様相が異なってくる。そこで、研究実施サイト周辺の生息魚類等について、研究の事前調査を実施した。



図(3)-1 元小山川下流域



図(3)-2 元小山川最上流部の本研究実施サイト

2) 魚類によるゼオライト成形体の産卵床としての利用可能性の検討

サブテーマ(1)-1で用いた、60mm(外径)×30mm(内径)×90mm(長さ)の円筒型成形体を用いて、魚類による産卵床としての利用可能性について水槽内で実験を行った(図(3)-3)。水槽は45cm×30cm×30cm(水深)のものとし、底質には砂を用い、各水槽に円筒型成形体を3個ずつ導入した。供試魚類は生物調査の結果を元に、モツゴおよびタモロコとした。実験水温は約20℃に設定した。また、他のサブテーマと関連するが、実河川サイトの里川再生装置においても、ゼオライト成形体を含む水質浄化モジュールの魚類等による利用可能性の検討を開始した。

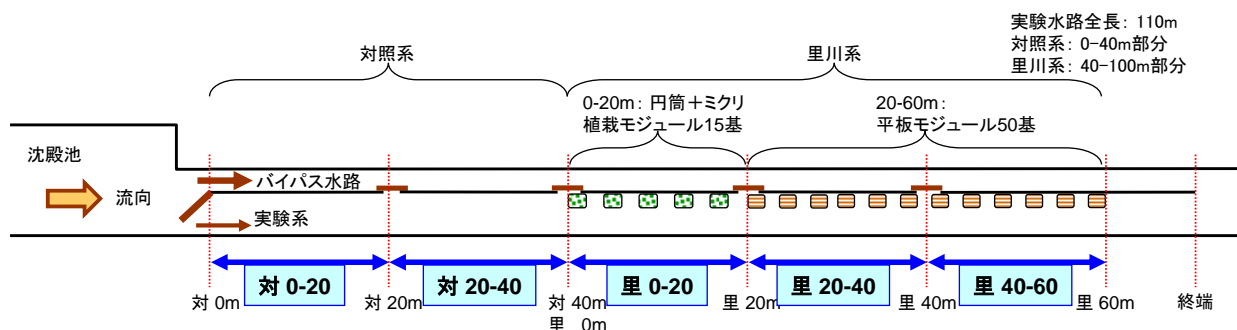


図(3)-3 水槽を用いた産卵実験装置

3) 里川再生装置における水質浄化モジュール導入効果の検討

a スケールアップ里川再生実験装置における検討

2010年8月下旬（水質浄化モジュール設置約半月後）、実験水路を20mごとのエリアに分け、各エリアの生息生物を調査した。調査作業エリアの概略について図(3)-4に示す。調査手順は、まず各エリアを一斉にサデ網で仕切った。サデ網はモジュールあるいはブロックで固定することとした。次に、モジュールを陸揚げし、下流エリア（里40-60）から順にエリア内の生物を採捕、記録した。生物調査班は捕獲班と計測班から構成され、計測班が生物の計数・計測等を実施中に捕獲班は次のエリアの捕獲作業を行うという手順をとった。採捕した生物は、種類、数について、魚類はこれに加えて全長および被鱗体長について記録した。計測をする際、採捕尾数が多い場合には、上限を30個体として、ランダムに抽出することとした。また、甲殻類は個体数のみ記録した。

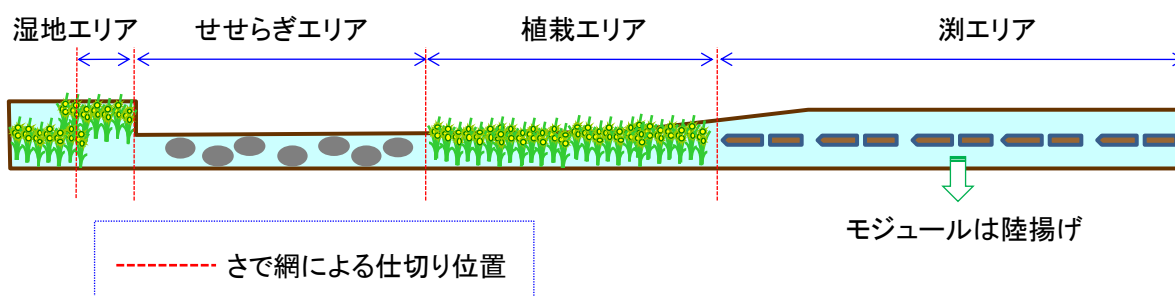


図(3)-4 スケールアップ里川再生実験装置における生物調査作業の概略

b 里川再生技術基本仕様における検討

2011年度は、里川再生技術基本仕様におけるせせらぎ、植栽、湧等の特徴的なエリアの設定と生息生物種・数の関係等について解析評価することとした。また、湧エリアへの筏型水質浄化モジュールの設置と導入効果について検証した。

2011年8月下旬（水質浄化モジュール設置約4ヵ月後）に、各エリアの生息生物調査を実施した（図(3)-5）。調査手順は、まず各エリアを一斉にサデ網で仕切った。サデ網はモジュールあるいはブロックで固定することとした。次に、モジュールを陸揚げし、下流エリア（湧エリア）から順にエリア内の生物を採捕、記録した。生物調査班は捕獲班と計測班から構成され、計測班が生物の計数・計測等を実施中に捕獲班は次のエリアの捕獲作業を行うという手順をとった。採捕した生物は、種類、数について、魚類はこれに加えて全長および被鱗体長について記録した。計測をする際、採捕尾数が多い場合には、上限を30個体として、ランダムに抽出することとした。また、甲殻類は個体数のみ記録した。



図(3)-5 里川再生技術基本仕様における生物調査作業の概略

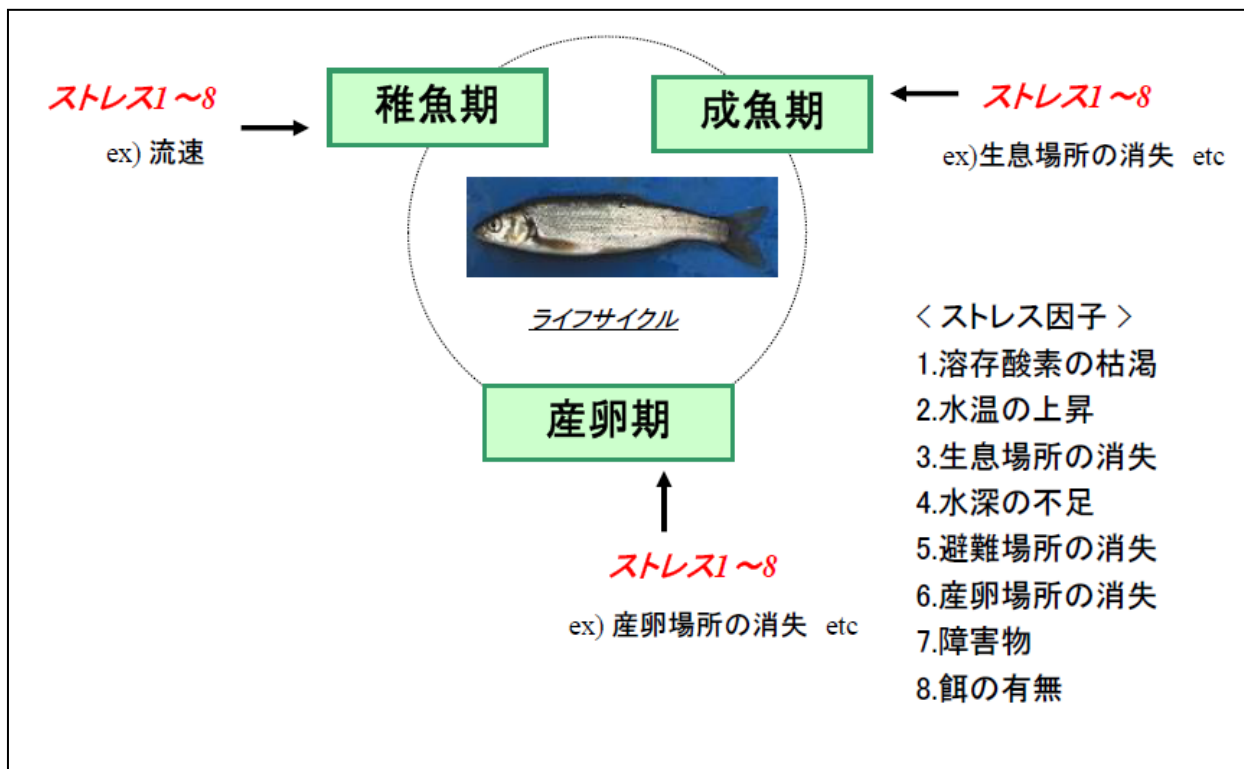
(2) 魚類生息環境の改善効果の解析評価

1) LCRAの概要^{1,2)}

生物が生息し、ポピュレーションを維持するためには、ライフサイクルの連続的な循環（再生産）が必要である。ライフサイクルリスクアセスメント（以下、LCRA）では、生物が生息できない場合はライフサイクルが何かしらのストレス因子により破壊、寸断されていると仮定する。本研究では、[図\(3\)-6](#)に示すようにライフサイクルを分割し、魚類の視点から生息可能性を評価した。さらに、得られて結果から、生息可能な魚種数が多い河川は生息ポテンシャルが高いとした。ここで、ストレス因子として、1)溶存酸素の枯渇、2)水温の上昇（冷水魚）、3)生息場所の消失、4)水深の不足、5)避難場所の消失、6)産卵場所の消失、7)障害物の有無、8)餌の有無（肉食魚）を仮定した。そして、ストレス因子がある限界値以上になると、該当するステージは破壊され、その魚種は生息できないと判断した。

2) 対象魚およびリスク評価法

本研究では以下の15種を対象とした。1)アブラハヤ、2)イワナ、3)ウグイ、4)オイカワ、5)カジカ、6)カマツカ、7)コイ、8)シマドジョウ、9)タナゴ類、10)タモロコ、11)ドジョウ、12)フナ類、13)ムサシトミヨ、14)モツゴ、15)ヨシノボリ類。これらの15種は他の魚種に比べて比較的多くの調査研究例があり、ストレス因子およびその限界値に関する知見が得られている。リスクの大小は生息環境がある、ない、あるいは限界値よりストレスが大きいか否かで決定する。本研究で使用した限界値を[表\(3\)-1](#)に示す^{2-5, 7-15)}。ここで、餌の有無に関するストレス因子は肉食魚を対象とし、また障害物は1m以上の落差工の有無で評価した。避難場所の喪失に関しては、洪水時や捕食からの避難場所として、植生や淀みの有無を評価した。



図(3)-6 LCRAの概略図

表(3)-1 ストレス因子の限界値

適用魚種	寿命*1 [年]	全長 mm	ライフステージ*1*2*3			溶存酸素濃度の枯渇*5			水温(冷水魚)*6			生息場所の消失*7			水深の不足*8*11		
			産卵期 [月]	稚魚期 [月]	成魚期	産卵期 [%]	稚魚期	成魚期	産卵期 [°C]	稚魚期	成魚期	産卵期・成魚期		稚魚期 流速 [cm/s]	産卵期	稚魚期	成魚期
アブラハヤ	4	130	3~8	9~	通年	80	80	80	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	10	5	10
イワナ	2~3	180~350	9~11	10~12	通年	80	80	80	10	15	15	Fr>0.2	Fr<0.2	5	15	5	15
ウグイ	4	300~500	3~6	7~	通年	17.3	17.3	17.3	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	30	5	15
オイカワ	7~8	150	5~8	6~9	通年	19.1	19.1	19.1	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	10	5	10
カジカ (大卵型)	4	150	2~6	7~	通年	80	80	80	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	20	5	10
カマツカ	4	200	3~6	6~3	通年	19.5	19.5	19.5	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	15	5	15
コイ	20	600	3~7	7~4	通年	11.6	11.6	11.6	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
シマドジョウ	17	60~150	5~7	6~11	通年	50	50	50	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	15	5	15
タナゴ類	2	100	5~8	7~4	通年	50	50	50	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
タモロコ	2	100	3~7	5~5	通年	17.3	17.3	17.3	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
ドジョウ	17	120~180	4~7	5~11	通年	20	20	20	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
フナ類	3	250	4~6	7~4	通年	7.3	7.3	7.3	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
ムサントミヨ					通年	80	80	80	18	18	18	Fr>0.2	Fr<0.2	5	15	5	15
モツゴ	4	80	4~7	7~4	通年	20	20	20	-	-	-	-	Fr<0.2	5	15	5	15
ヨシノボリ類	2	60	5~9	5~3	通年	50	50	50	-	-	-	Fr>0.2	Fr<0.2	5	20	5	10

適用魚種	避難場所の消失*9	産卵場所*1*2	餌の有無*10	餌		回遊形態*4
	産卵期・稚魚期・成魚期 ※移動を考慮 (稚魚期以外)	産卵期 ※移動を考慮	産卵・稚魚・成魚期 植生	産卵・稚魚期	成魚期	
アブラハヤ	植生や淀み	砂礫底			雑食性	一次的淡水魚
イワナ	植生や淀み	砂礫底	貧腐水性	水生昆虫(ユスリカ類、カワゲラ類、トビゲラ類)	ミズ類、ウグイ、ヨシノボリ等魚類	一次的淡水魚
ウグイ	植生や淀み	砂礫底		藻類	ユスリカ類、カゲロウ類幼虫、昆虫成虫等	遊河性回遊魚
オイカワ	植生や淀み	砂礫底		橈脚類、付着藻類、水生昆虫、ワムシ	付着藻類、水生昆虫、ワムシ、雑食性	一次的淡水魚
カジカ (大卵型)	植生や淀み	砂礫底	貧腐水性	ユスリカ幼虫	水生昆虫、エビ・カニ類、小魚	陸封性淡水魚
カマツカ	植生や淀み	砂礫底		底生の藻類、小型の水生昆虫	底生動物	一次的淡水魚
コイ	植生や淀み	水草		ワムシ、ゾウリムシ	雑食性	一次的淡水魚
シマドジョウ	植生や淀み	水生植物		底生藻類、原生動物	藻類や底生小動物	一次的淡水魚
タナゴ類	植生や淀み	二枚貝*2		動・植物プランクトン	付着藻類や底生動物	一次的淡水魚
タモロコ	植生や淀み	水草			雑食性	一次的淡水魚
ドジョウ	植生や淀み	水生植物		小甲殻類、イトミミズ、付着藻類	底泥中の有機物や小動物、付着藻類	一次的淡水魚
フナ類	植生や淀み	水草、ゴミ		植物プランクトン、ミジンコ、ワムシ、付着藻類	雑食性	一次的淡水魚
ムサントミヨ	植生や淀み	巢(水草)			浮遊動物、小甲殻類	陸封性淡水魚
モツゴ	植生や淀み	石、水草			雑食性	一次的淡水魚
ヨシノボリ類	植生や淀み	砂礫底		水生昆虫、付着藻類	水生昆虫、ユスリカ、付着藻類	両側性回遊魚

*1; (リバーフロント整備センター、1996¹⁵⁾)、*2; (川那部、水野、1989³⁾)、*3(川那部、水野、1990⁴⁾)、*4; (玉井ら、1993⁸⁾)、

*5; (山元ら、1988¹²⁾; 1987a¹⁴⁾; 1987b¹³⁾) (土木学会、2004⁹⁾)、*6; (川那部、水野、1989³⁾) (埼玉県環境科学国際センター、2005⁵⁾)、

*7; (Fr数) (野上ら、2002¹¹⁾; 2003¹⁰⁾) (流速) (鈴木、1998⁷⁾)、*8; (森下、2000¹⁶⁾)、*9; (玉井ら、1993⁸⁾; 妹尾ら、2007²⁾)、

*10; (土木学会、2004⁹⁾)、*11; (河川における魚類生態検討会、1999¹⁷⁾)

4. 結果及び考察

(1) 魚類等の生息場所創造のための資材等とその導入手法の開発

1) 研究対象河川における生息生物事前調査

研究対象河川（研究実施サイト周辺）の生息生物の事前調査結果について表(3)-2に示す。魚類については、研究対象河川をはじめとする、関東地方の中小河川に広く生息する種類が観察された。いずれも全国的に広く分布している魚種であるが、特にモツゴおよびタモロコはともに全長7～8cm程度の小魚で、研究対象河川でも最も普遍的に見られる魚である。

表(3)-2 研究対象河川（研究実施サイト周辺）の生息生物事前調査結果

水生生物		陸生生物	
魚類	メダカ モツゴ タモロコ コイ ギンブナ ドジョウ	鳥類	コサギ アオサギ カルガモ カワセミ
	甲殻類		アメリカザリガニ

2) 魚類によるゼオライト成形体の産卵床としての利用可能性の検討

a 水槽実験による検討結果

生物調査の結果を元に、研究対象河川の主生息魚類であるモツゴ（図(3)-3）およびタモロコ（図(3)-4）に対して、円筒型ゼオライト成形体を用いて、産卵床としての利用可能性についての水槽内での実験を行った結果、このゼオライト成形体をモツゴ、タモロコが産卵に利用した。モツゴの例を図(3)-5、図(3)-6に示す。このように、ゼオライト成形体も魚類の産卵床として十分に利用され得ることがわかった。



図(3)-3 モツゴ



図(3)-4 タモロコ



図(3)-5 円筒型ゼオライト成形体に産み付けられたモツゴの卵（円内）



図(3)-6 ふ化して25mm程度まで成長したモツゴ

b 里川再生装置における検討結果

里川再生技術基本仕様（2011年度検討）において、水質浄化モジュールの魚類の産卵床としての利用も確認された。筏型水質浄化モジュールを設置直後にモジュールの枠部分にモツゴが産卵したため（図(3)-7）、それらの卵を採取・飼育したところ、ふ化・成長が確認された（図(3)-8）。なお、モツゴはコンクリートブロック等の硬いものに好んで産卵する性質があり、水槽実験でもゼオライト成形体への産卵・孵化・成長が確認されていることから、モジュールが魚類の産卵床として有効に機能することが確認された。加えて、これらの魚類の産卵時期が春～初夏であり、実験開始がこの時期と一致したことも効果的であったと考えられる。



図(3)-7 筏モジュールへのモツゴの産卵状況(2011/04/23)



図(3)-8 ふ化・成長したモツゴの稚魚（円内、2011/06/17）

3) 里川再生装置における水質浄化モジュール導入効果の検討

a スケールアップ里川再生実験装置における検討結果

スケールアップ里川再生研究装置（2010年度検討）における生息生物調査結果について表(3)-2に示す。ここで、平均全長とは、採捕・記録した当該生物の全長の平均値を指す。魚類については、里川系ではメダカ（21匹）、タモロコ（49匹）、モツゴ（50匹）、オイカワ（1匹）、ドジョウ（5匹）が、対照系ではメダカ（17匹）、タモロコ（5匹）、モツゴ（2匹）ドジョウ（4匹）が観察されたが、水路の単位長さあたりの生息数は里川系の方がはるかに大きい結果となった。これは、水質浄化モジュールが、魚類の生息空間として利用された結果と考えられた。特に、ミクリ植栽のモジュールで、魚類が蟄集している状況が確認された。また、今回の生物調査では、事前調査では生息が確認されなかったオイカワが1匹、平板モジュール設置エリアで確認された。この他の採捕生物としては、甲殻類としてアメリカザリガニ、昆虫類としてトンボ幼生、両生類としてウシガエル幼生が確認された。

現地周辺は農耕地が広がっており、小型魚類を捕食するサギ類が、事前調査を含めて多く見られることから、水質浄化モジュールを設置していない即ち隠れる場所のない対照系においては、小型魚類にとってはこれらの天敵による捕食の脅威が増大すると考えられる。これは、一般の小河川や三面張の水路等でも想定されることであり、こうしたことも含めて、水質浄化モジュールの設置により、魚類等の生息場所の創造効果が得られることが確認された。

表(3)-2 スケールアップ里川再生実験装置における生息生物調査結果

エリア名	項目	メダカ	タモロコ	モツゴ	オイカワ	ドジョウ	アメリカザリガニ	トンボ幼生
円筒型+	m当たりの生息数(尾/m)	1.1	1.6	1.5	-	0.05	0.7	-
ミクリ	平均全長(cm)	2.8	5.6	4.7	-	6	-	-
0-20m	標準偏差	0.5	0.7	0.8	-	-	-	-
	個体数	21	31	29	-	1	14	2
平板	m当たりの生息数(尾/m)	0.3	0.5	0.5	0.03	0.1	2.3	-
20-60m	平均全長(cm)	2.8	5.4	4.5	5	9.2	-	-
	標準偏差	0.4	0.9	0.7	-	2	-	-
	個体数	11	18	21	1	4	90	6
対照	m当たりの生息数(尾1/m)	0.4	0.1	0.1	-	0.1	1.0	-
0-40m	平均全長(cm)	2.8	4.6	4.8	-	6.2	-	-
	標準偏差	0.3	0.6	0.4	-	0.9	-	-
	個体数	17	5	2	-	4	38	2

b 里川再生技術基本仕様における検討

里川再生技術基本仕様における生息生物調査結果（2011年8月25日実施）について表(3)-3に示す。区間毎に特徴的な優占魚種が観察された。まず、沈砂池、せせらぎの小流量で水深が浅いエリアで観察されたのは、ほとんどがメダカであった。続く植栽エリアでは、メダカに加え、モツゴ、タモロコ、コイ、オイカワ等と魚種が多様化し、淵エリアでは、水深が増大、流速が低下し、泥底の様相となるが、ここでは大型肉食魚のナマズが複数観察された（図(3)-9）。ナマズは食物連鎖の頂点に位置する魚類であり、これらが生息するためには、食物連鎖の下位に属する魚類等のバイオマスが豊かでなければならないことから、良好な生態系が構築されていると考えられた。一方、淵エリアにおいてはメダカの生息密度がむしろ減少したが、これは、河川規模が大きくなるにつれ、生息する魚種とそのサイズも大型化したものと考えられた。

これらのように、全体的に魚種および生息数が大幅に増大したことに加え、酸素欠乏に弱いオイカワが多数観察された（図(3)-10）ことも、環境改善の現れと考えられた。過去2年の検討においても、水質浄化モジュールの水生生物生息空間としての利用が確認されており、特にミクリ植栽のモジュールで魚類が蟄集していたこと等もふまえると、筏モジュールの下部空間等が大型魚類の生息空間として利用されたと期待される。

表(3)-3 里川再生技術基本仕様における生息生物調査結果

	メダカ	タモロコ	モツゴ	ドジョウ	コイ	ギンブナ	オイカワ	ナマズ
エリア1: 沈砂池	3.00 (30)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.60 (6)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
エリア2: せせらぎ	4.75 (285)	0.10 (6)	0.12 (7)	0.00 (0)	0.02 (1)	0.00 (0)	0.07 (4)	0.00 (0)
エリア3: ミクリ植栽	3.72 (223)	0.10 (6)	0.45 (27)	0.02 (1)	1.12 (67)	0.03 (2)	0.20 (12)	0.00 (0)
エリア4: セオライト筏	1.00 (80)	0.05 (4)	0.04 (3)	0.04 (3)	0.20 (16)	0.04 (3)	0.14 (11)	0.04 (3)

数値： 生息密度[匹/水路m]、（ ）内数値： 確認尾数



図(3)-9 淵エリアで採捕されたナマズ



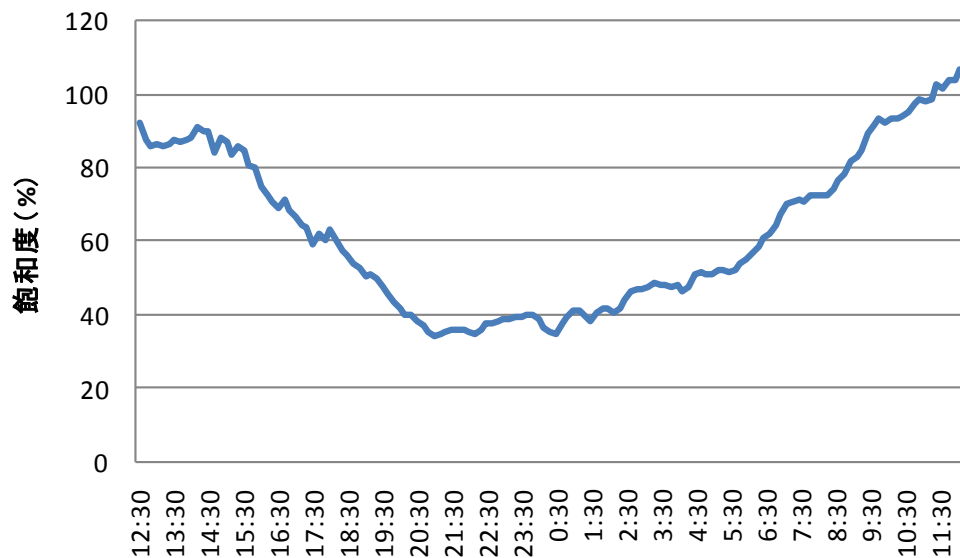
図(3)-10 植栽エリアで採捕されたオイカワ

(2) 魚類生息環境の改善効果の解析評価

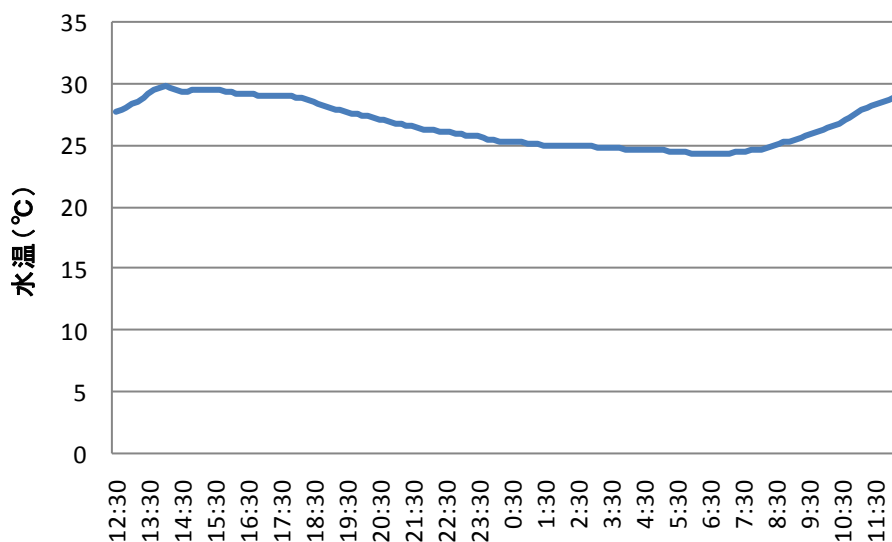
1) フィールド調査結果

里川再生技術基本仕様（2011年検討）におけるD0および水温の測定結果の一例を図(3)-11および図(3)-12にそれぞれ示す。装置内のD0および水温はともに夜間に著しく低下した。2010年のスケールアップ里川再生実験装置では、装置内の流速が低く、河床には泥が厚く堆積していた。2011年の里川再生施設も同様に流速が低く、泥が堆積していたが、一部は砂が堆積していた。施設内

のストレス因子の状況を表(3)-4に示す。表(3)-4で、エリア1～4は、湿地・せせらぎ・植栽・淵の各エリアに対応する。また、スケールアップ里川再生実験装置および里川再生技術基本仕様それぞれにおける魚類調査結果を図(3)-13および図(3)-14に示す。スケールアップ里川再生実験装置では2つの対照系に比べモジュール設置部に多くの魚が生息していたが、魚種数は下流対照系が最も多かった。一方、里川再生技術基本仕様ではエリア3（植栽エリア）に多くの魚類が生息しており、エリア4（淵エリア）では今まで生息が確認できなかった肉食魚のナマズを採捕した。



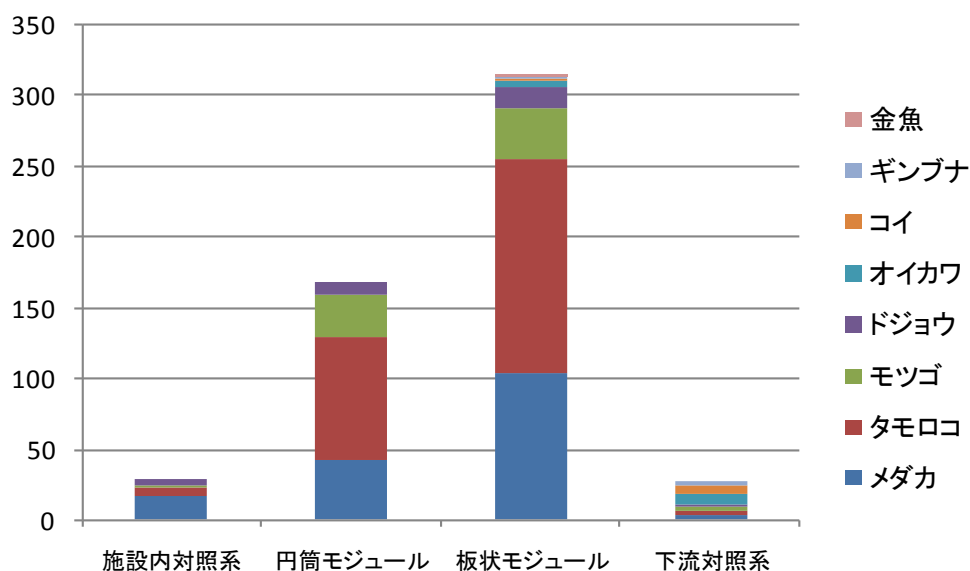
図(3)-11 里川再生施設内の酸素飽和度の経時変化（2011年8月5日）



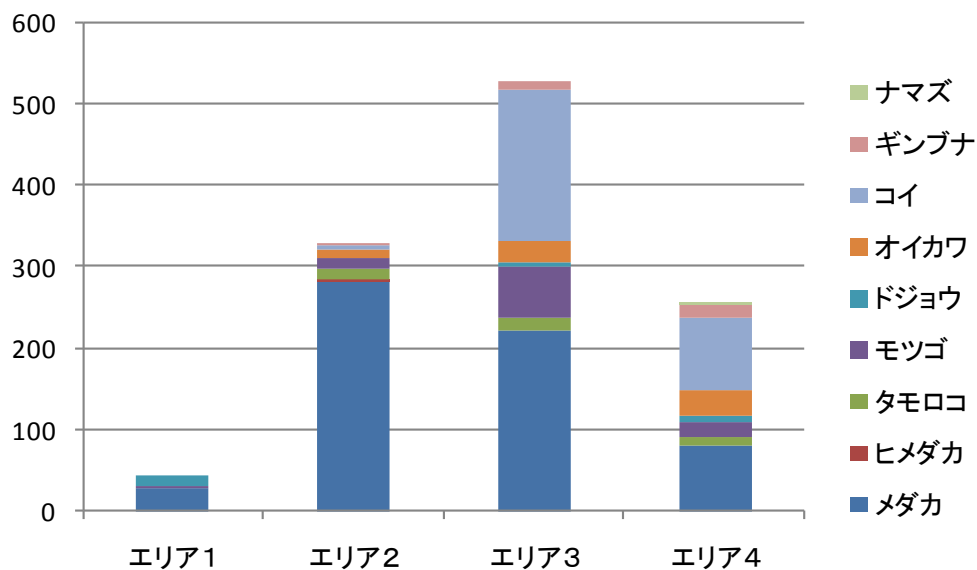
図(3)-12 里川再生施設内の水温の経時変化（2011年8月5日）

表(3)-4 里川再生装置内ストレス

2010年				
調査箇所	円形モジュール	板状モジュール	施設内対照系	下流対照系
溶存酸素(%)	39.7 - 123.9			
水温(°C)	5.9 - 32.4			
水深(cm)	12.5 - 30	17 - 32	4 - 19	35 - 50
流速(cm/s)	0.7 - 9.6	1.1 - 5.7	0.6 - 10.4	0 - 2.2
フルード数	0 - 0.082	0 - 0.035	0 - 0.104	0
産卵場所	モジュール、ミクリ	モジュール	無	植生
避難場所	モジュール、ミクリ	モジュール	無	植生
2011年				
調査箇所	エリア1	エリア2	エリア3	エリア4
溶存酸素(%)	34.4 - 106.6			
水温(°C)	10.1 - 31.4			
水深(cm)	5 - 58	6 - 31.4	16 - 62	40 - 69
流速(cm/s)	0 - 51	17.5 - 36.5	0.57 - 20	1.2 - 7
フルード数	0 - 0.32	0.15 - 0.35	0 - 0.1	0 - 0.023
産卵場所	植生	無	植生	モジュール、植生
避難場所	植生	無	植生	モジュール、植生



図(3)-13 スケールアップ里川再生実験装置における魚類調査結果 (2010年)



図(3)-14 里川再生技術基本仕様における魚類調査結果（2011年）

2) LCRAの適用と魚類生息ポテンシャル

スケールアップ里川再生実験装置および里川再生技術基本仕様それぞれにおける、全15魚種のLCRA結果とフィールド調査結果を表(3)-5に比較して示す。両者は120ケース中103ケースで一致し、LCRAの予測精度は約86%であった。また、ライフサイクルを寸断するストレス因子は溶存酸素の枯渇および産卵場所の消失であった。

実験サイトにおいては、里川再生装置が設置される前は魚類の生息が殆ど確認されなかったが、2010年の円筒型あるいは平板型モジュールの設置後、3種類（タモロコ、ドジョウ、モツゴ）の生息が確認された。また、2011年の里川再生施設では、これに加えてオイカワ、コイ、フナ類の生息が確認された。本LCRAはモジュール形状あるいはエリアの違いによる生息魚種の差異を評価できていないが、再生施設により生息魚種数が増加していることは明らかである。また、施設内の魚の移動を考慮すると、LCRAによる生息可能魚種とフィールド調査による生息魚種が良く一致する。生息可能魚種数により生息ポテンシャルを評価すると、2010年および2011年共に、魚類生息ポテンシャルあるいは生息環境が再生施設の設置により向上しているといえる。

このように、里川再生施設導入による魚類の生息環境の改善効果を評価した結果、ストレス因子の削減による生息ポテンシャルの上昇が考えられたが、今後の課題としては、ストレス応答・リスク評価における不確実性についてのさらなる検討や、環境や生息生物は河川毎に異なることから、その特徴を反映させた再生が必要であると考えられた。

表(3)-5 里川再生施設でのLCRA適用結果

魚種	2011年							
	エリア1		エリア2		エリア3		エリア4	
	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA
アブラハヤ	×	×	×	×	×	×	×	×
イワナ	×	×	×	×	×	×	×	×
ウグイ	×	×	×	×	×	×	×	×
オイカワ	×	×	○	×	○	×	○	×
カジカ	×	×	×	×	×	×	×	×
カマツカ	×	×	×	×	×	×	×	×
コイ	×	○	○	×	○	○	○	○
シマドジョウ	×	×	×	×	×	×	×	×
タナゴ類	×	×	×	×	×	×	×	×
タモロコ	×	○	○	×	○	○	○	○
ドジョウ	○	○	×	×	○	○	○	○
フナ類	×	×	○	×	○	○	○	○
ムサシトミヨ	×	×	×	×	×	×	×	×
モツゴ	○	○	○	×	○	○	○	○
ヨシノボリ類	×	×	×	×	×	×	×	×
魚種	2010年							
	円形モジュール		板状モジュール		施設内対照系		下流対照系	
	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA	生息	LCRA
アブラハヤ	×	×	×	×	×	×	×	×
イワナ	×	×	×	×	×	×	×	×
ウグイ	×	×	×	×	×	×	×	×
オイカワ	×	×	×	×	×	×	○	×
カジカ	×	×	×	×	×	×	×	×
カマツカ	×	×	×	×	×	×	×	×
コイ	×	○	×	×	×	×	○	○
シマドジョウ	×	×	×	×	×	×	×	×
タナゴ類	×	×	×	×	×	×	×	×
タモロコ	○	○	○	×	○	×	○	○
ドジョウ	○	○	○	×	○	×	○	○
フナ類	×	○	×	×	×	×	○	○
ムサシトミヨ	×	×	×	×	×	×	×	×
モツゴ	○	○	○	○	○	×	○	○
ヨシノボリ類	×	×	×	×	×	×	×	×

上段：2011年（里川再生技術基本仕様）

下段：2010年（スケールアップ里川再生実験装置）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

魚類生息環境を再生、保全することは、生物多様性の向上と同時に生活環境を保全するうえで重要である。しかしながら、魚類生息環境といってもその評価方法は十分に確立されておらず、また、再生方法についても不明な点が多い。本研究のLCRAは種々のストレス因子および魚類の再生産に基づいて魚類の生息可能性あるいは生息ポテンシャルを求めている。ストレス応答・リスク評価における不確実性については今後更に検討が必要であるが、本研究から従来の

水質保全に加えて、産卵場所や避難場所などのストレス因子に対する考慮も重要である。また、河川環境や生息生物は河川ごとに異なるから、その特徴を反映させた再生方法が必要であり、本研究の生息環境評価法の適用が望まれる。一方、我が国で顕在化している外来種問題に対しても、本法の適用により効率的な駆除法に関する基礎資料が得られる可能性がある。

(2) 環境政策への貢献

上に述べたよう、生物多様性の向上や生活環境の保全は地域住民の参加も含めて環境政策の主要課題の一つである。その際には生物生息環境の状態を分かりやすく説明すると共に、河川再生や復元の必要性および手段を不確実性も含めて、政策者と住民が理解することが重要である。その際には従来の環境基準項目等の説明ではなく、生物の視点に立った本研究の魚類生息ポテンシャルや生息可能性の評価に基づいた説明が有効であると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

本研究で開発された技術を、近い将来には中国等のアジア地域を中心に、水圏生態系の保全・修復技術として、共同研究を展開する予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Y. Bando, N. Kikuchi and Y. Sakakibara: Application of life cycle risk assessment (LCRA) of fish to different suburban streams, *Water Practice & Technology*, **5** (3) (2010).

<査読付論文に準ずる成果発表>

「本研究は該当せず」

<その他誌上発表（査読なし）>

「特になし」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) N. Kosaka, N. Koizumi, and Y. Sakakibara: The Fifth International Conference on Environmental Science and Technology 2010, 2010. 6. 12-16.
“Assessment of Habitat Scale of *Zacco platypus* by Using Microsatellite DNA Markers”
- 2) 小坂尚史、小出水規行、榊原豊：土木学会第65回年次学術講演会、2010. 9. 3.
“マイクロサテライトマーカーによるオイカワの生息域の解析”
- 3) 坂東佑亮、工藤一彦、榊原豊：第45回日本水環境学会年会、2011. 3. 18.
“里川再生施設における魚類生息環境改善効果の解析評価”
- 4) 金澤光、榊原豊、木持謙、真下敏明、正田武則、常田聡、関根正人：日本陸水学会第76回大会（ポスター掲示、口頭説明）、2011. 9. 23.

“水質浄化ゼオライト成形体の導入による魚類の生息・産卵場所の創造”

- 5) 坂東佑亮、工藤一彦、榊原豊：第46回日本水環境学会年会、2012. 3. 16.
“河川再生事業における魚類生息ポテンシャルに関する研究 “
- 6) 小坂尚史、磯龍、小出水規行、榊原豊：第46回日本水環境学会年会、2012. 3. 16.
“オイカワの行動圏の推定”
- 7) 長谷川降英、小坂尚史、坂東佑亮、榊原豊：シンポジウム2012「清ルネⅡから第二ステージへ」、2012. 3. 17.
“河川再生事業における魚類生息ポテンシャル”

(3) 出願特許

「特になし」

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) シンポジウム2010「小山川・元小山川と教育/科学/生活について」
本庄市中央公民館、2010. 3. 27.
- 2) シンポジウム2011「小山川・元小山川と教育/科学/生活について」
本庄市中央公民館、2011. 3. 12.

※開催準備は行ったが、開催前日に東日本大震災が発生したため中止となってしまった

- 3) シンポジウム2012「清ルネⅡから第二ステージへ」
本庄市中央公民館、2012. 3. 17.

(5) マスコミ等への公表・報道等

「特になし」

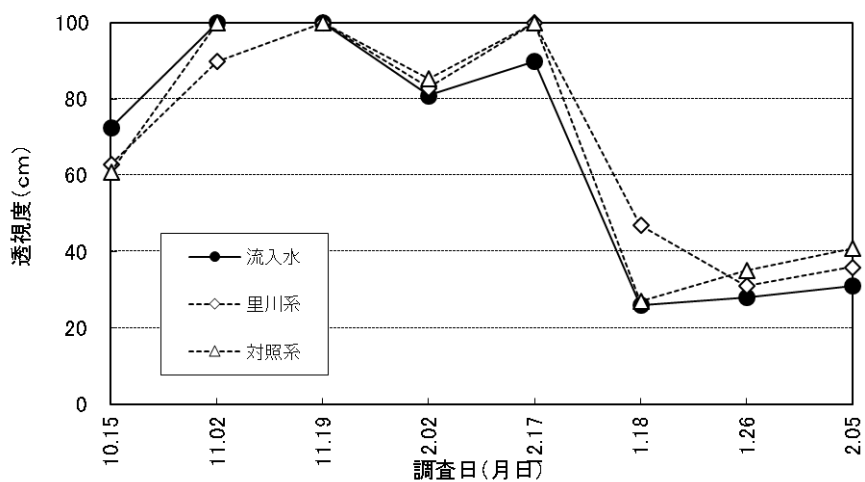
8. 引用文献

- 1) Aoki T. and Sakakibara Y. : A life-cycle assessment for fishes in streams in suburban areas, Proc. of 10th International Specialist Conference on Watershed and River Basin Management, Calgary, Alberta, Canada (2005).
- 2) 妹尾優二、吉村伸一（著）、吉川勝秀編：多自然型川づくりを越えて、学芸出版社（2007）.
- 3) 川那部浩哉、水野信彦編：日本の淡水魚、山と溪谷社、1-719（1989）.
- 4) 川那部浩哉、水野信彦：川と湖の魚①、②、（株）保育所（1990）.
- 5) 埼玉県環境科学国際センター、埼玉県環境防災部みどり自然課：ムサシトミヨ保護事業報告書（平成16年度）、（2005）.
- 6) Sakakibara Y. and Nakada A. : Assessing crucial stress on life cycle of fish in suburban streams. Wat. Sci. & Technol., 58 (3), 705-711 (2008).
- 7) 鈴木興道：魚の住みやすい川づくりに資する魚類の生息分布とその場の流速、土木学会論

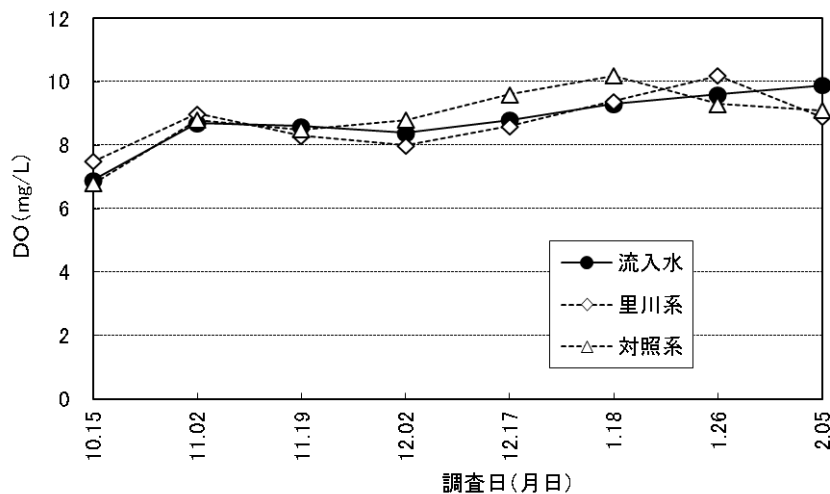
- 文集、No. 593/Ⅱ-43, 21-29 (1998).
- 8) 玉井信行、水野晴彦、中村俊六：河川生態環境工学、東京大学出版 (1993).
 - 9) 土木学会・環境工学委員会編：環境工学公式・モデル・数値集、丸善(株), 357-361 (2004).
 - 10) 野上毅、渡邊康玄、中津川誠：急流河川における河床地形の定量的区分、水工学論文集、1087-1092 (2003).
 - 11) 野上毅、中津川誠、小林美樹：豊平川と札内川における魚類生息環境の比較、河川技術論文集、8、179-184 (2002).
 - 12) 山元憲一、平野修、原洋一、三代建造：淡水産魚類11種の低酸素下における鼻上げおよび窒息死、水産増殖、36(1)、49-52 (1988).
 - 13) 山元憲一、平野修、原洋一、吉川浩史：カマツカの低酸素下における呼吸および逃避反応、魚類学雑誌、33(4)、399-404 (1987b).
 - 14) 山元憲一、平野修：ウグイとイトモロコの低酸素下における鼻上げ、窒息死および逃避反応、日本水産学会誌、53(10)、1741-1744 (1987a).
 - 15) リバーフロント整備センター：川の生物図典、山海堂、1-674 (1996).
 - 16) 森下郁子、森下依理子：川のHの条件—陸水生態学からの提言、山海堂 (2000)
 - 17) 河川における魚類生態検討会：正常流量検討における魚類からみた必要流量について (1999).

【資料集】

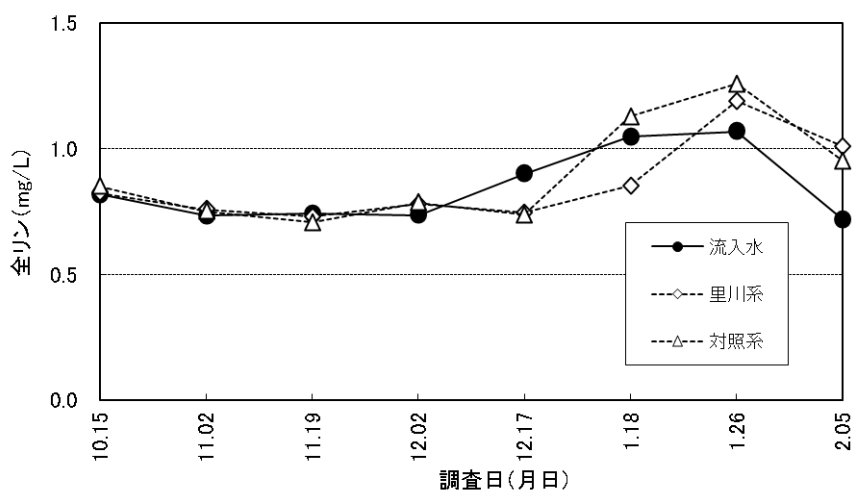
A 里川再生基礎実験装置における主な本文中の未掲載グラフ



別図A-1 各系における透視度の経日変化

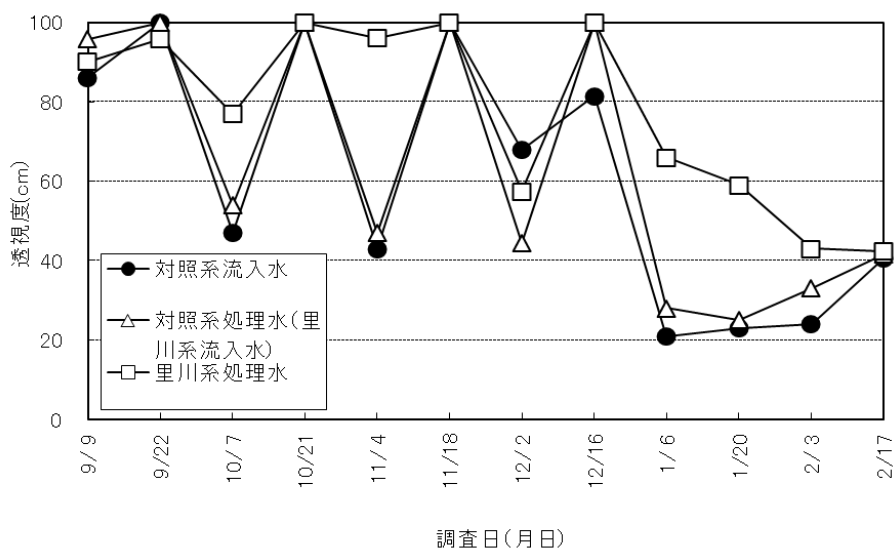


別図A-2 各系におけるDOの経日変化

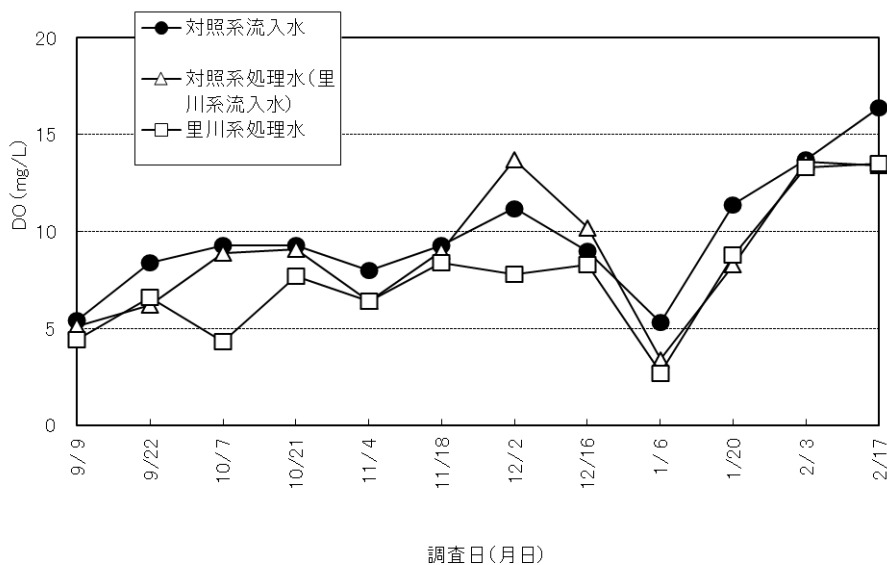


別図A-3 各系におけるT-P濃度の経日変化

B スケールアップ里川再生実験装置における主な本文中の未掲載グラフ

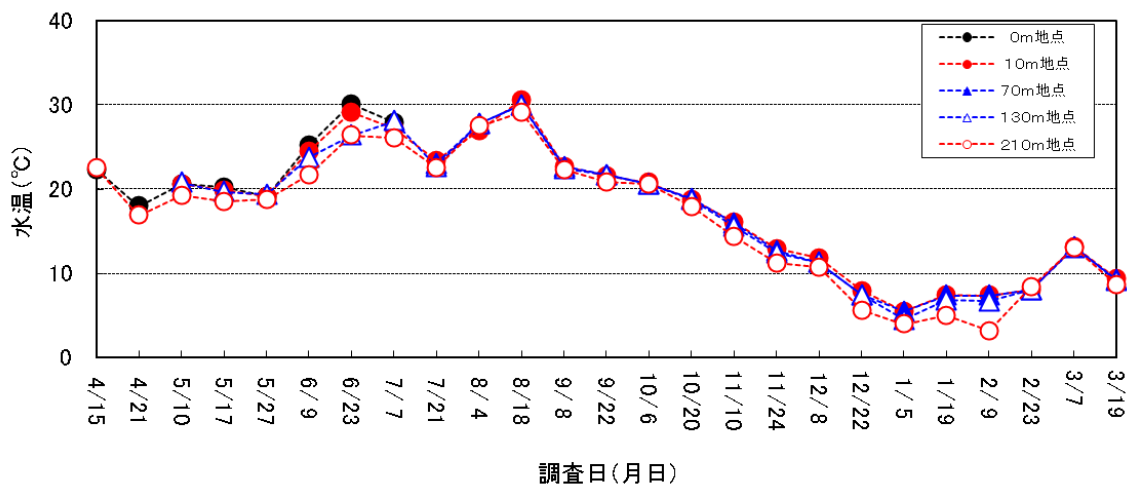


別図B-1 各系における透視度の経日変化

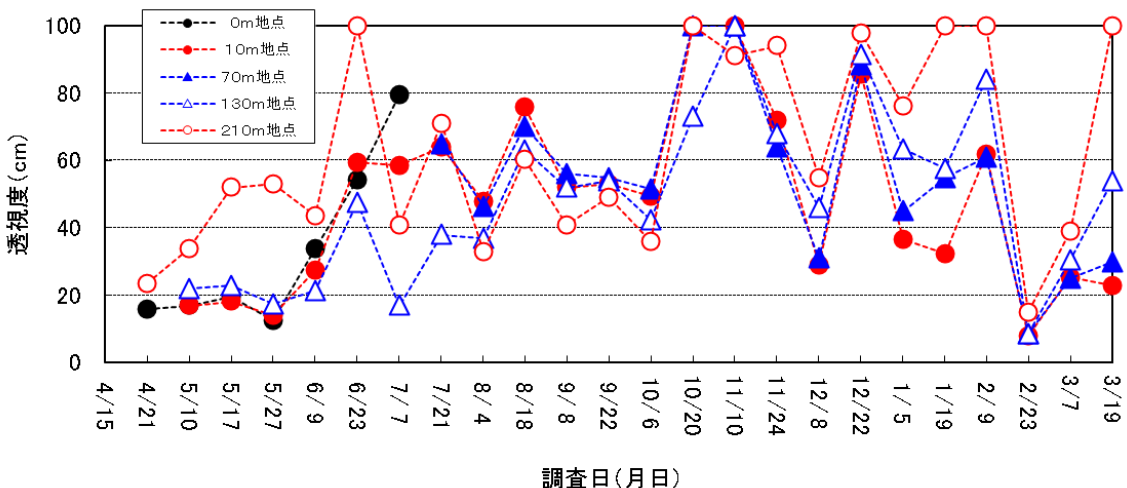


別図B-2 各系におけるDOの経日変化

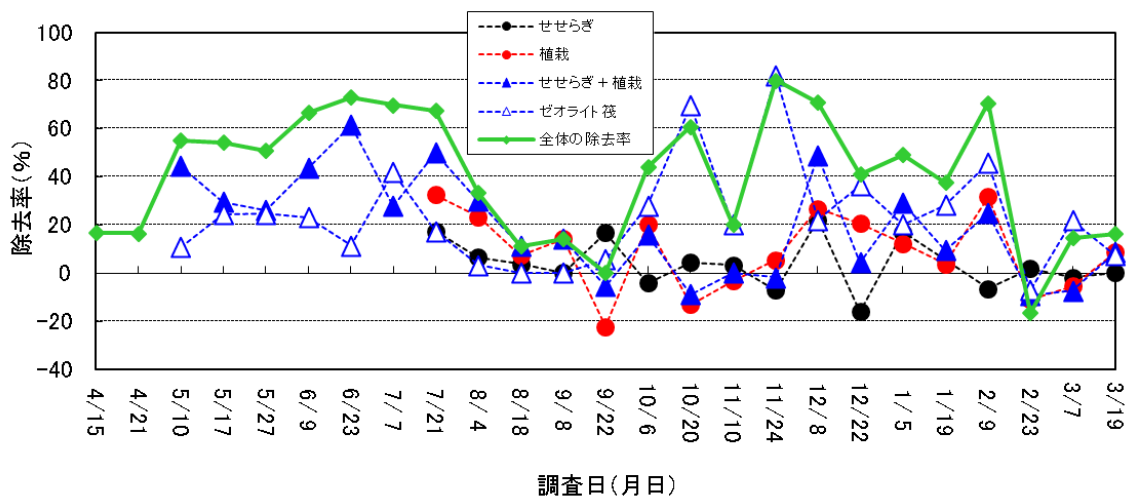
C 里川再生技術基本仕様における主な本文中の未掲載グラフ



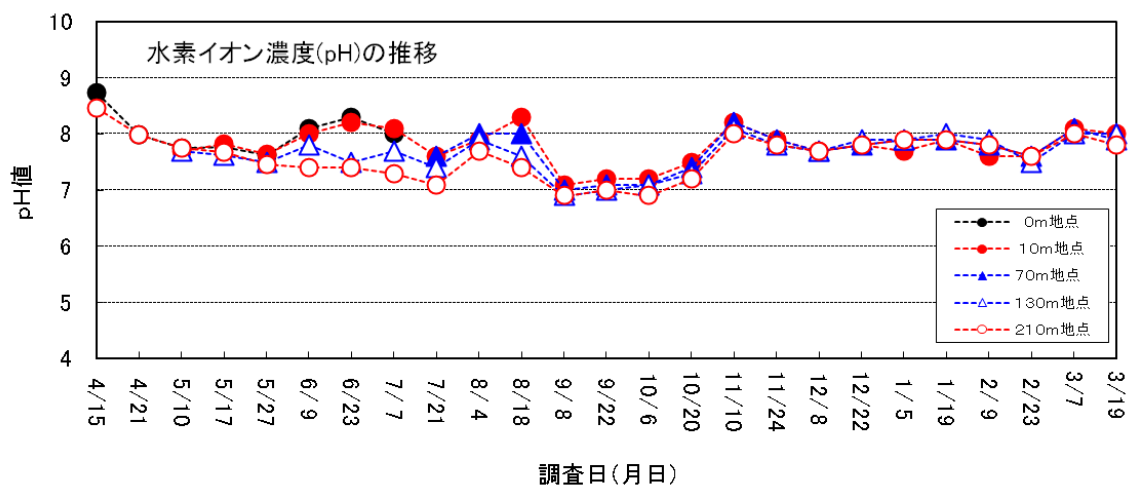
別図C-1 各地点（各エリア終端）における水温の経日変化



別図C-2 各地点（各エリア終端）における透視度の経日変化



別図C-3 各エリアにおける溶解性BOD除去率の経日変化



別図C-4 各地点（各エリア終端）におけるpH値の経日変化

Development of Brook Renovation Technology using Molded Zeolite and Aquatic Plants

Principal Investigator: KIMOCHI Yuzuru

Institution: Center for Environmental Science in Saitama (CESS)
Kamitanadare 914, Kazo, Saitama, 347-0115, JAPAN
Tel: +81-480-73-8353 / Fax: +81-480-70-2031
E-mail: kimochi.yuzuru@pref.saitama.lg.jp

Cooperated by: Waseda Univ., Mashimo Kensetsu Co.

Key Words: Molded Zeolite, Brook Renovation, Biotope, Sludge Recycling, Life Cycle Risk Assessment

[Abstract]

Zeolite is well known with its excellent NH_4^+ absorption capacity. In this study, brook renovation technology using molded zeolite and aquatic plants was developed at an actual brook site with the purpose of water purification and aquatic life propagation. The study was carried out with a basic small-scale test system and a scale-up one, and finally the standard brook renovation system was examined and suggested.

First of all, the study was made from the viewpoints of water purification performance and purification mechanism by microorganisms. As the water purification of the standard brook renovation system, removal efficiency of 50% of BOD and 20% of T-N was obtained respectively. For preservation of aquatic life, development of water purification concept, based on such as “material transformation” and “reduction of ecological toxicity” should also be made, like “ NH_4^+ (toxic for aquatic lives) to NO_3^- (lower toxicity)”. As molecular biological examination, aquatic ecosystem with wide diversity was observed in the biofilm on the molded zeolite. However, there observed ammonia oxidizer more on the plants than on the molded zeolite; it would be very important to use aquatic plants and to apply with molded zeolite for planting base.

Secondly, the study was made from the viewpoints of sludge accumulation mechanism and maintenance method of such as daily operation and utilization of removed sludge and collected plants. As the results, when designing and building the brook renovation system, it would be important to make clear concept of each “area” in the brook, such as the stream, the depth; and maintenance should be made to keep the condition and the characteristics of each area. Sludge and plants removed from the system would be expected for use of some kind of fertilizer. As actual maintenance operation, SNS was tried to introduce; speedy communication among the working staff and efficient operation could be made.

Last of all, the study was made from the viewpoints of creating the water purification modules as habitat of aquatic life and making estimation of introduction of the modules by the Life Cycle Risk Assessment (LCRA). From both the laboratory and the actual site examination, usefulness of the molded zeolite as a bank for laying eggs by fish was expected. As the LCRA analysis, both the estimated value and the investigated data agreed well each other; improvement of the environmental condition of the brook with introduction of the standard brook renovation system was also derived.

(1) 水質浄化技術としての研究開発

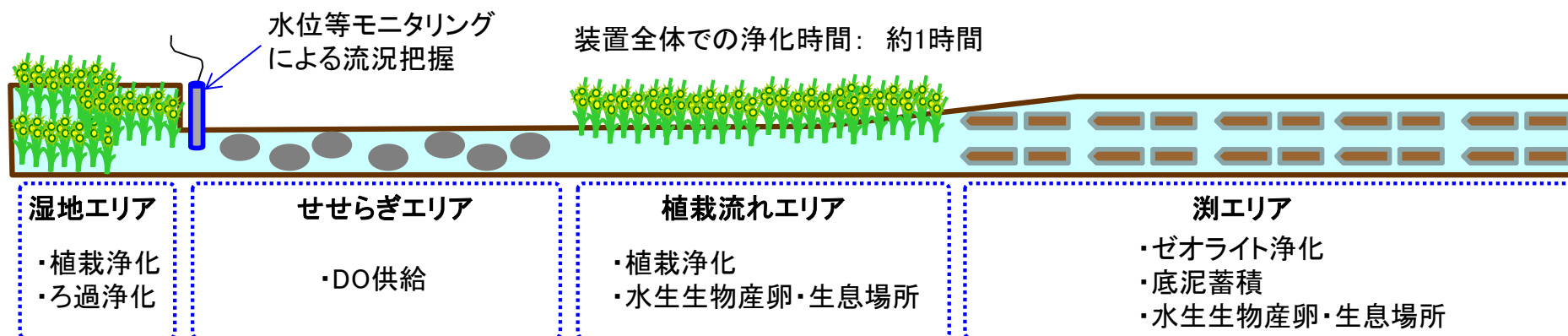
- 目的や浄化対象に応じたエリア設定の必要性の提言
- BOD除去能50%、窒素除去能20%の達成
- 物質変換、毒性低減(NH₄→NO₃)達成
- 多様性に富む生態系創出によるゼオライト成形体の接触材としての機能確認
- 硝化細菌群保持能力の大きな水生植物と植栽基盤材としてのゼオライト成形体の組合せ効果

(2) 維持管理面からの研究開発

- エリア環境維持を維持管理作業内容とするのが効果的
- 底泥蓄積エリアの積極的な設定
- 底泥厚の観測は住民が、清掃(浚渫)は重機等で河川管理者が実行
- 一定の河川流量の確保による底泥回収不要の可能性
- 回収底泥等の土壌改良材の活用可能性
- SNS活用里川再生装置の維持管理システムの構築と効果的な運用

(3) ビオトープ技術としての研究開発

- 魚類の産卵床としての水質浄化モジュールの製作と産卵を確認
- 水生生物生息空間としての水質浄化モジュールの製作と導入効果を確認
- 確認魚種・数の大幅な増加
- LCRAにより魚類の生息状況が良好に評価できることを確認
- 里川再生施設導入に伴う魚類の生息環境の改善効果のLCRAによる導出



里川再生システムの基本仕様案

今後の展開

- エリア毎の仕様の精緻化： 浄化性能等の精緻化・向上と他河川への展開を見据えた仕様の検討
- 回収植物体・底泥等の有効利用： 土壌改良材等としての実使用の検討
- 河川管理へのNPOの活用： SNS活用維持管理連携システムのさらなる改善

ゼオライトろ床と植栽を組み合わせた里川再生技術の研究成果と今後の展開