

令和5年度 河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(河川生態) 研究開発テーマ
＜一般研究:事後評価結果＞

テーマおよび概要		研究代表者名	評価	審議結果
テーマ	伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究	大阪公立大学 竹門 康弘	B	研究目的は概ね達成され、 研究成果があった。
概要	木津川で市民参加により竹蛇籠・聖牛等の伝統的河川工法を製作設置し、河床地形や生物環境をモニタリング調査するとともに、既存の牛柵類について立地条件を分析し、河床地形管理に有効な伝統的河川工法を提案する。			

評価の凡例

- A: 研究目的は達成され、十分な研究成果があった。
- B: 研究目的は概ね達成され、研究成果があった。
- C: 一定の研究成果があった。
- D: 研究成果があったと言い難い。

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

氏 名（ふりがな）		所 属		役 職				
① 研究代表者		竹門康弘（たけもんやすひろ）		京都大学防災研究所水資源環境研究センター（現在：大阪公立大学国際基幹教育機構）				
② 技術研究 開発テーマ		名称		伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究				
③ 研究経費（単位：万円）		R1年度	R2年度	R3年度	R4年度	年度	年度	総 合 計
※端数切り捨て。		9,828 万円	9,828 万円	9,828 万円	8,424 万円	万円	万円	37,908 万円
④ 研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）								
氏 名			所属機関・役職（※令和5年3月31日現在）					
角 哲也			京都大学防災研究所・教授					
竹林洋史			京都大学防災研究所・准教授					
石田裕子			摂南大学理工学部・准教授					
片野 泉			奈良女子大学研究院・准教授					
田中亜季			大阪公立大学・研究員					
⑤ 研究の目的・目標（様式地生-1、地生-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）								
目的 本研究は、伝統的河川工法の実績がある木津川下流域において、設置地点の河床地形・水理環境・水生動物群集などのモニタリング調査を行い、竹蛇籠水制や聖牛の効果を侵食堆積傾向の異なる地点で比較調査することにより、「伝統的河川工法が河床地形や滯筋を変える効果」と「河床の生息場や生物群集に及ぼす影響」を体系的に評価することを目的とする。また、現場のモニタリングに加えて数値計算やモデル実験を用いて、「河川環境改善や河床の土砂管理に有効な聖牛の設置場所条件」などを検討することによって、「伝統的河川工法を河床地形管理に活用する手法の提案し伝統的河川工法の地域継承の事例示すこと」を目的とする。 目標 伝統的河川工法のレビュー、市民団体による竹蛇籠・聖牛の製作設置、中聖牛群の地形改変効果の計測、二次元河床変動計算による地形変化予測、形成された生息場の底生動物群集の時空間分布様式の分析、侵食堆積傾向の異なる場における聖牛変化の水路実験・検証、今後の木津川下流における伝統的河川工法の活用方針を提案することを目指す。将来予想される上流のダム群からの土砂還元下において、土砂供給量の過剰や過少の状況に応じた局所的河床地形管理の対策が求められており、本研究では河川環境の改善効果の高い伝統河川工法の設置場所ならびに設置方法を検討し、「伝統的河川工法による河床地形管理ハンドブック」として取り纏めることを目標とする。								

⑥研究成果（10頁程度）

本報告書は、河川砂防技術研究開発事業 地域課題分野（河川生態）の一般研究「伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究」（2018-2022 年度）の成果をまとめたものである。本事業では、2017-2020 年度に木津川玉水橋下流の砂州上で侵食堆積傾向の異なる 4 地点に各 3 基（計 12 基）、2021 年度に木津川開橋下上流の砂州頭に計 4 基の中聖牛群を設置し、「伝統的河川工法が河床地形や滯筋を変える効果」や「河床の生息場や生物群集に及ぼす影響」を調査してきた（図 1-1）。本研究事業の目的は、1) 中聖牛自体の変形、寿命、周辺地形の改変効果などを示すこと、2) 中聖牛群の地形改変効果によって形成される生息場の生態機能を明らかにすること、3) 伝統的河川工法を河床地形管理に活用するための指針をとりまとめることの 3 点にある。

第 1 章 中聖牛群設置による地形改変効果と中聖牛の変形に関する研究成果

要約：中聖牛を設置した砂州において出水前後における地形のモニタリング調査と聖牛模型を用いた室内水路実験とによって、平均河床位が低下傾向の場合（一般に土砂動態が平衡状態のときの砂州頭）では聖牛直上と側方が深掘れし、聖牛は前のめりに沈降すること、平均河床位が平衡状態の場合（一般に土砂動態が平衡状態のときの砂州中）では聖牛直上と側方の侵食と後方の堆積や聖牛の前傾が起こることが示された。また、平均河床位が上昇傾向の場合（一般に土砂動態が平衡状態のときの砂州尻）では聖牛の変形は起こらず、聖牛の前後方の堆積が卓越し、聖牛直上と側方の侵食は起きにくいと予測された。また、2017 年に設置された 3 基の中聖牛は、5 年後の 2022 年末においても上記のような変形をしているものの、全体の骨格は破壊されずに存続しており、今後も数年は保たれると予測された。木津川玉水橋下流の砂州上の砂州頭・砂州中上、砂州中下、砂州尻に中聖牛を設置し追跡調査をした結果、砂州尻でも聖牛群の側方で明確な侵食を生じた。調査期間における同砂州の年間を通じた土砂収支を算出した結果、聖牛設置砂州全体が河床低下傾向にあることがわかった。この条件が、砂州尻においても聖牛周辺の侵食が起きる現象に結びついたと考えられた。また、現地調査と二次元河床変動計算のいずれにおいても、聖牛の設置位置にかかわらず上下流に土砂の堆積を促進する効果が明らかとなった。その結果、4 聖牛群の設置によって、砂州の幅を狭め、砂洲を上下流方向に伸長する地形改変効果が期待できることがわかった。

1-1 中聖牛の出水による変形と地形改変効果

角哲也・竹門康弘（京都大学防災研究所）

1-1-1 木津川における聖牛設置の背景

日本の河川では上流からの土砂供給の減少による河床低下が河川の二極化などの問題を誘発している。これを解決すべくダムからの下流への土砂還元が計画されている。還元された土砂が流下することで形成される地形を制御する手段の一つとして伝統的河川工法の聖牛が挙げられる。聖牛は木造の三角錐の構造と石詰め竹蛇籠からなる構造物で（図 1-1-1(a)）水刎ね、流速低減とそれによる浸食、堆積の促進といった効果が知られている。その効果を実地検証すべく、木津川（淀川の合流点から 15.2 km の地点）に 2017 年末から 2020 年末にかけて 12 基が施工された（図 1-1-1(b)）。

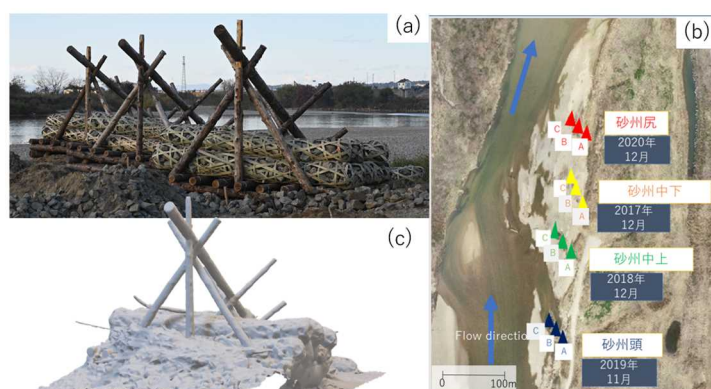


図 1-1-1 (a) 設置された 3 基の聖牛 (b) 聖牛の設置地点と設置時期 (c) 聖牛の 3 次元モデル

1-1-2 聖牛の変形と研究の目的

設置された聖牛が出水を経験するごとにその姿を変える様子が観察された。木の枝などの漂流物が捕捉される、上流側に傾斜する、堆積した土砂に埋没する、聖牛の上に植物が生育する等の変形が観察された。(図 1-1-2) 設置後の前傾、流下物の捕捉による聖牛の変形は以前から報告されていたが、それらは聖牛の安定性や機能を劣化させる現象と解され、時に防止策も検討された。変形後の聖牛の機能評価に関する知見が不足していたこと、変形後も聖牛が河床地形の改変に寄与する可能性を鑑み、聖牛の変形の評価とそれに伴う機能の変化の評価を行った。



図 1-1-2 設置後の聖牛の変形

1-1-3 研究手法

ドローンで撮影した画像から生成した高密度点群データを用いて観察対象の砂州の数値標高モデルと各聖牛の三次元モデル(図 1-1-2(c))を作成した。二時点の数値標高モデルを 5 つの地上参照点を使用して重ね合わせ、標高の差として地形改変量を計測した。また、三次元モデルから聖牛の上流側への前傾(前傾角度)と空隙率を計測した。出水時には粒子画像流速測定法により聖牛周辺の表面流速を計測した。

1-1-4 聖牛は変形によってその機能が劣化するのか？

砂州頭、砂州中上、砂州中下に設置された聖牛は設置後最初に経験する出水では大きく前傾するが、以後は前傾角度の変化が小さくなり、一定の前傾角度(砂州上流端では 20 度程度、砂州中間では 15 度程度)へ収束するような挙動を示していた(図 1-1-3)。

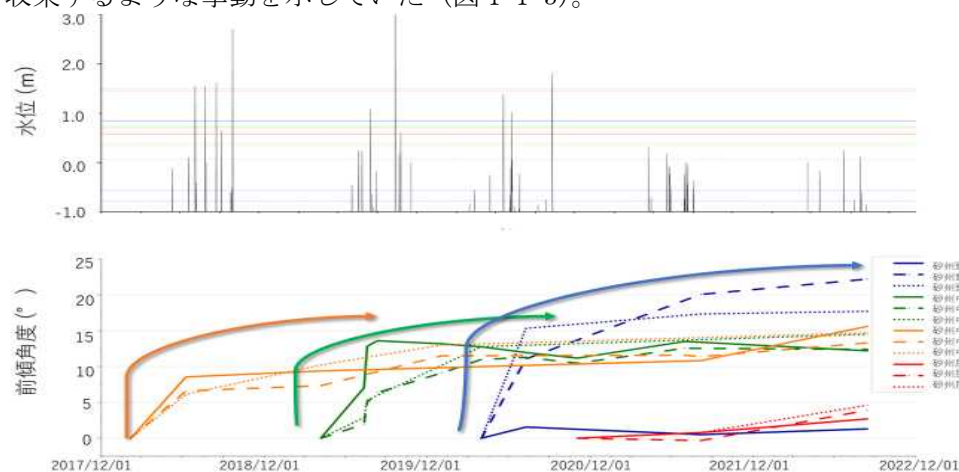


図 1-1-3 前傾角度と出水の履歴

聖牛による地形改変効果を以下の式(1)で定義される堆積・侵食傾向を用いて評価した。

$$\text{堆積・侵食傾向} = \frac{(\text{堆積量}) - (\text{侵食量}) (\text{m}^3)}{(\text{堆積量}) + (\text{侵食量}) (\text{m}^3)} \quad (1)$$

これを前傾角度の変化と比較すると、聖牛は前傾、漂流物の捕捉に代表される変形を経験しても尚周辺では地形改変が生じていることが確認された。(図 1-1-4(a))

捕捉された漂流物は聖牛の透過性を低下させ、下流側での流速低減効果を増大させていた。また、隣接する聖牛の間に捕捉された漂流物の影響で、聖牛同士の間が生じていた流速の大きい流れが殆ど消失している個所も確認された。(図 1-1-4 (b))

これらの結果から、聖牛は変形しても尚その機能を発揮していることが明らかになった。

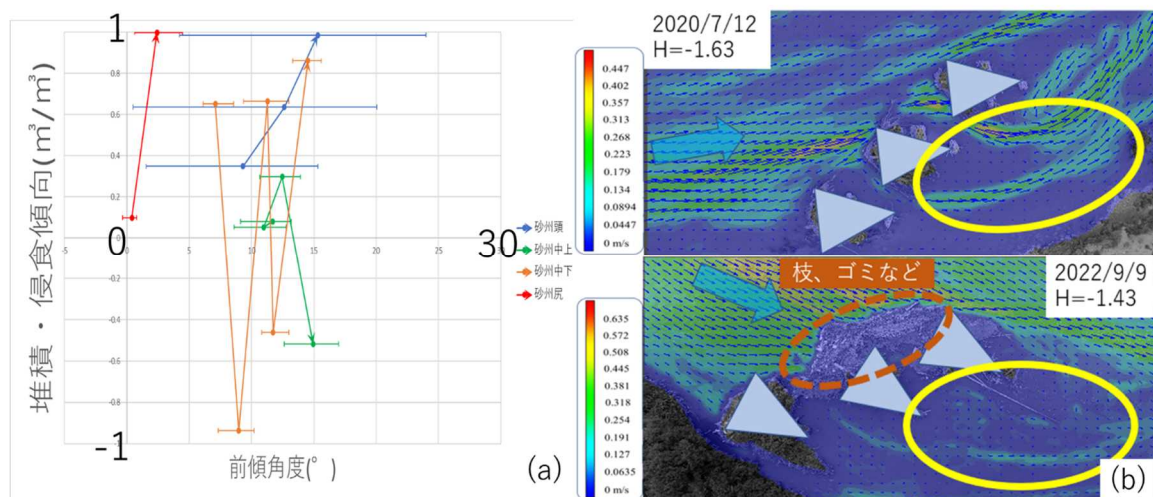


図 1-1-4(a) 前傾角度と堆積、侵食傾向の変化

(b) 砂州頭における捕捉漂流物による聖牛下流側の流速低減効果の変化

1-1-5 今後の展望

今回の調査期間中、2021 年から 2022 年にかけてはそれ以前と比較して経験した出水の規模が小さいため今後の流況次第では聖牛の変形とその効果が更に変化する可能性がある。今後聖牛の木造部分の腐食、植物の生育等によるさらなる変形も予想されるため、引き続きの観察が必要である。

1-2 中聖牛による河床地形の改変機構

竹林洋史（京都大学防災研究所）

1-2-1 背景

聖牛は、伝統的に使用されている透過型水制の一つであり、流水に対して抵抗として働く。そのため、流水中に設置すると、流向を変化させるとともに、聖牛下流域の流速を低減させる。また、流れが聖牛に直接衝突する点において淀み点を形成し、鉛直下方への流れによって河床に局所洗掘を形成するとともに、流速が低減された聖牛下流域に土砂の堆積域を形成する。これらの特徴は平均河床位が変化しない場で見られる透過型水制の一般的な特徴である。一方、実河川では聖牛スケールの空間では平均河床位が変化しない場は少なく、特に砂州の上流端・下流端付近は平均河床位が変化しやすい。しかし、平均河床位が低下もしくは上昇傾向の場で聖牛（透過型水制）周辺の河床変動特性がどのように変化するかについては十分な知見が得られていない。

1-2-2. 目的

そこで、本研究では、平均河床位が低下もしくは上昇傾向の場において聖牛が流れ及び河床形状の変化に与える影響を検討する。また、聖牛が流れ及び河床変動に影響を与える空間スケールを把握することも目的とした。

1-2-3. 聖牛周辺の河床変動特性に関する水路実験

(1) 実験方法と実験条件

長さ 20m, 幅 0.5m, 勾配 1/300 の直線矩形水路に平均粒径 1.56mm のほぼ一様な粒径の珪砂を 7cm の深さに敷き詰め、移動床の状態で行った (図 1-2-1)。実験は給砂条件の異なる 3 つの条件で行った。Case 1 は平衡給砂, Case 2 は給砂無し, Case 3 は平衡給砂の 3 倍である。なお、給砂条件を変化させた場所は、聖牛設置位置の 1m 上流であり、給砂の影響は速やかに聖牛周辺の河床変動

に反映される。給水は $0.0125\text{m}^3/\text{s}$ で定常的に与えた。無次元掃流力は 0.075 であり、河床の全ての場所で流砂が確認された。通水時間は平衡給砂条件で河床形状がほぼ平衡状態に到達する 5 分とした。



図 1-2-1. 実験水路

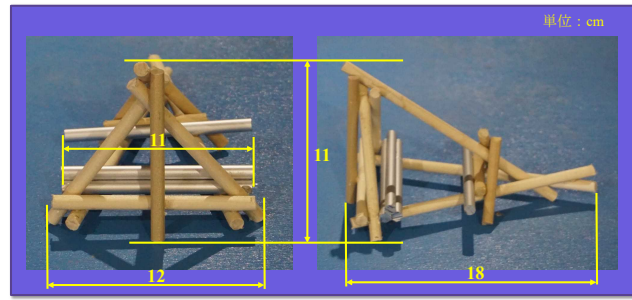


図 1-2-2. 聖牛模型

聖牛の模型は、高さ 11cm 、幅 12cm （アルミニウム棒： 11cm ）、長さ 18cm であり、直径 8mm の木とアルミニウムの円柱を用いて作成した（図 1-2-2）。アルミニウムの比重は 2.7 であり、土砂の平均的な比重（ 2.65 ）とほぼ同じである。図に示す模型の重さ 89g であるが、本実験水理条件では軽すぎて聖牛が滑動したため、 74g のクリップを付加して実験を行った。

(2) 結果と考察

平均河床位が変化しない条件（Case 1）及び平均河床位が低下傾向の条件（Case 2）では、聖牛上流端付近が大きく洗掘された（図 3, 4）。一方、聖牛下流端付近には土砂が堆積する。そのため、聖牛は前方に傾いた状態となりやすい。平均河床位が低下傾向の条件（Case 2）では、平均河床位が変化しない場に比べて、局所洗掘孔と洗掘孔外側の河床位との差が小さく、聖牛が河床変動に与える影響は小さいと考えられる。平均河床位が上昇傾向の条件（Case 3）では、聖牛上流端付近の洗掘孔が形成されなかった（図 1-2-3）。そのため、聖牛はほぼ水平状態を維持していた。平均河床位が上昇傾向の場合（Case 3）では、聖牛下端付近は土砂で埋没した。また、洗掘孔も形成されず聖牛周辺が平坦床に近い状態であったため、聖牛の存在によって発生する河床変動は小さいと考えられる。

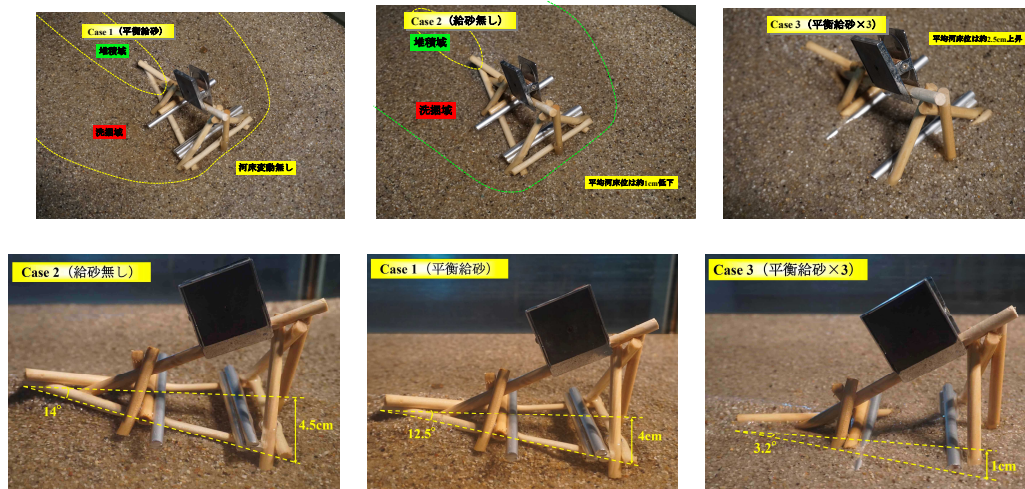
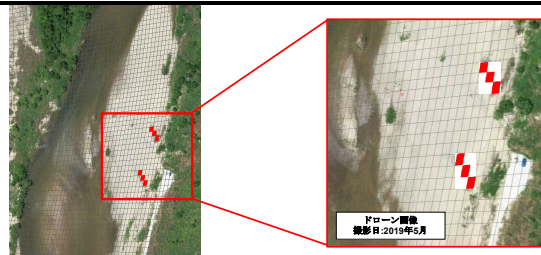


図 1-2-3 給砂条件による聖牛の洗掘域と堆積域の違い（上）と局所洗掘と傾きの違い（下）

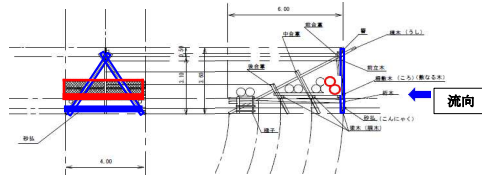
1-2-4. 木津川に設置された聖牛周辺の河床変動特性に関する平面二次元河床変動解析

(1) 解析方法と解析条件

流れの基礎式は、平面二次元の浅水流方程式を用いた。流砂形態は、掃流砂と浮遊砂を考慮した。聖牛は植生と同様に、運動方程式の中で抗力として評価した（図 1-2-4）。解析対象領域は、木津川の $14.8\text{k} \sim 15.2\text{k}$ の右岸に形成された砂州であり、砂州上には、2017 年に 3 基、2018 年にさらに 3 基の聖牛が設置されている。上流からの供給流量は 2019 年に発生したピーク流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 以上（飯岡地点の測定値）の出水を対象とした（図 1-2-5）。



聖牛のメッシュ設定



左の赤枠・青枠の部分の面積を用いて
計算における抵抗として考慮した

$$\text{投影面積(赤枠+青枠面積)} = 3.6 + 2.0 = 5.6 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{聖牛底面面積} \times \text{聖牛高} = 24 \times 3.6 = 86.4 \text{ (m}^3\text{)}$$

聖牛の抵抗Fの計算式

$$F = 1/2 \cdot \rho \cdot C_d \cdot a \cdot h \cdot u^2$$

C_d : 抵抗力係数=1.0
 a : 養生度 (上の式により0.06)
 h : 水深
 u : 流速

作: (株) 原小組

※抵抗の係数は洪水巾変化しないものとしている

図 1-2-4. 解析対象領域と聖牛の抗力としての評価手法

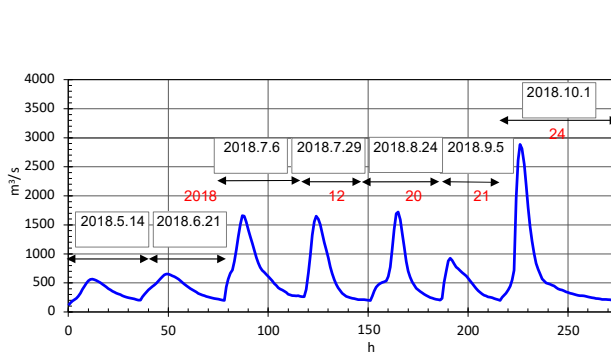


図 1-2-5. 解析に用いた流量

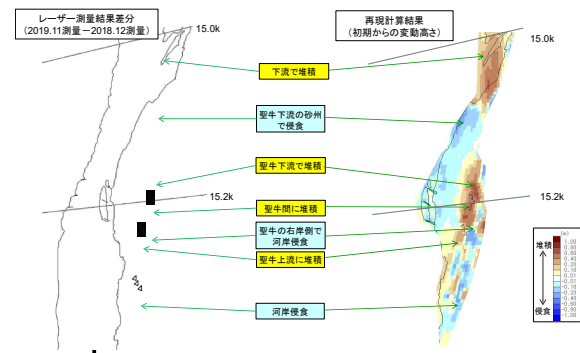


図 1-2-6. 実測値と解析値の河床変動量の比較

(2) 結果と考察

図 1-2-6 に実測値と解析値の河床変動量を示す。15.0km～15.1km の土砂の堆積，その上流域の砂州の侵食，下流側二列の聖牛周辺の土砂の堆積，聖牛右岸側の侵食，砂州上流域の侵食など数値解析の結果は，実測値を良く表現できていると判断できる。また，15.1km より上流域では砂州の河床位は平均的に低下傾向であり，堆積傾向は聖牛周辺に限定されていることが分かる。

図 1-2-7 に聖牛が流速に与える影響を示す。2019 年に発生した出水を対象とした解析によると，聖牛が流速に与える影響は聖牛の左右側方で最大 10cm/s の増加と上下流方向に最大 30cm/s 低減を起こした。流速の低減範囲は上下流合わせて 340m に及ぶことがわかった。一方，聖牛を考慮した場合としていない場合の河床位との差の最大値は約 50cm であった (図 1-2-8)。聖牛が河床変動に与える影響の空間スケールは，1cm 以上の河床変動を対象にすると，横断方向に約 200m，流下方向に約 500m であった (図 1-2-9)。また，5cm 以上の河床変動を対象にすると，縦横断方向に約 100m であることがわかった。

聖牛が流速に与える影響

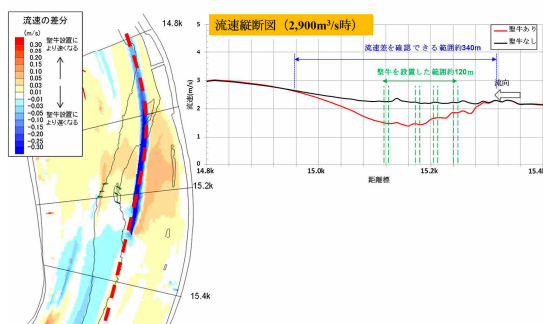


図 1-2-7. 聖牛が流速に与える影響

聖牛が河床変動に与える影響

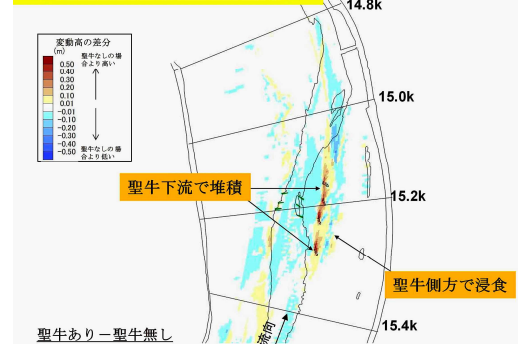


図 1-2-8. 聖牛が河床変動に与える影響

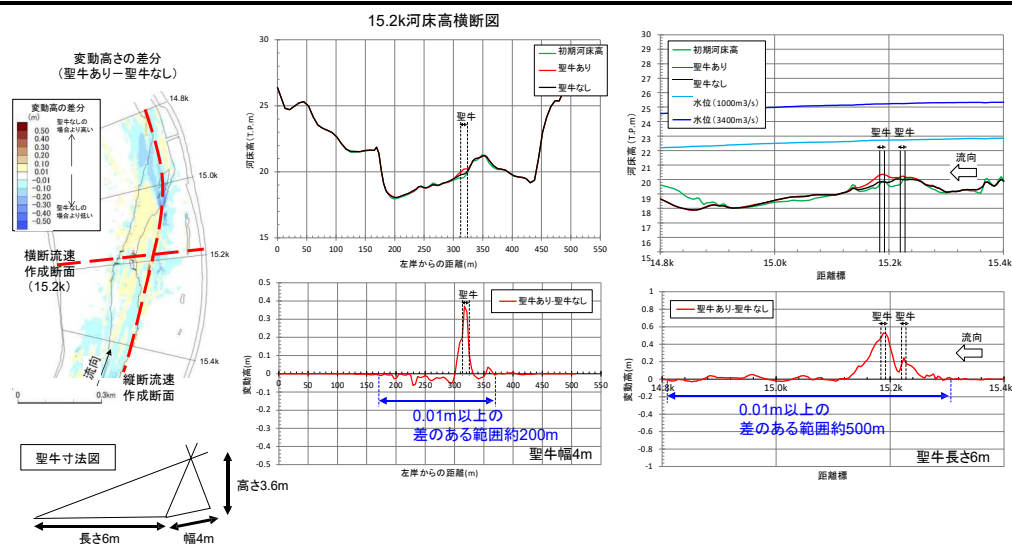


図 1-2-9. 聖牛が河床変動に与える範囲

1-2-5. 中聖牛による河床地形の改変機構のまとめ

- 1) 平均河床位が変化しない場及び平均河床位が低下傾向の場では、聖牛上流端付近が大きく洗掘される。一方、聖牛下流端付近には土砂が堆積するため、聖牛は前方に傾いた状態となりやすい。
- 2) 平均河床位が低下傾向の場では、平均河床位が変化しない場に比べて、局所洗掘孔と洗掘孔外側の河床位との差が小さく、聖牛が河床変動に与える影響は小さいと考えられる。
- 3) 平均河床位が上昇傾向の場では、聖牛上流端付近の洗掘孔が形成されなかった。そのため、聖牛はほぼ水平状態を維持していた。
- 4) 平均河床位が上昇傾向の場では、聖牛下端付近は土砂で埋没した。また、洗掘孔も形成されず聖牛周辺が平坦床に近い状態だったため、聖牛の存在によって発生する河床変動は小さいと考えられる。
- 5) 平面二次元河床変動解析によって木津川の砂州に設置した聖牛が河床変動に与える影響を検討した。聖牛下流域の土砂の堆積及び聖牛と植生の間の河床低下は表現できることが確認された。
- 6) 2019 年度に発生した出水を対象とした河床変動解析によると、聖牛を考慮した場合としていない場合の河床位の差の最大値は約 50cm であった。
- 7) 2019 年度に発生した出水を対象とした河床変動解析によると、聖牛が河床変動に与える影響の空間スケールは、1cm 以上の河床変動を対象にすると、横断方向に約 200m、流下方向に約 500m であった。また、5cm 以上の河床変動を対象にすると、縦横断方向に約 100m であった。
- 8) 2018 年度に発生した出水を対象とした河床変動解析によると、聖牛を考慮した場合としていない場合の河床位の差の最大値は約 50cm であり、聖牛周辺および下流で堆積が多く、聖牛側方で浸食が卓越した。
- 9) 2018 年度の最大流量である 2900m³/s を対象とした解析によると、聖牛設置の縦断区間長が約 120m にも関わらず、聖牛設置縦断に沿って約 340m で流速の低減が見られた。また、聖牛側方の広い範囲で流速の増加が見られた。

第2章 中聖牛群の地形改変効果によって形成される生息場の生態機能

要約：中聖牛の近傍には、砂州頭では深いワンドやたまりが、砂州中では中小規模のワンドやたまりが、砂州尻においても比較的大きな規模のワンドやたまりが形成された。低水路砂州に存在する止水性生息場の数の増加と同時に砂州上の位置・面積・水深などの環境の多様性を創出した結果、区間全体の生物多様性が高まったと予測される。とくに中聖牛周辺の局所洗掘によって形成されるたまりでは甲虫目や半翅目の種多様性が高い傾向が認められた。環境要因の分析の結果、甲虫目や半翅目はたまりの面積-水深比が小さい（大きさの割に深い）たまりに多いことが示された。

2021 年度と 2022 年度には、底生動物群集に加えて河床間隙動物群集も調査対象に加え、砂州頭・砂州中・砂州尻の位置や、出水からの時間経過などの影響を水温・水質要因も考慮して分析できるデータを収集した。ワンドやたまりの水質環境と水生動物群集組成を比較結果、局所洗掘で形成されたたまりは水深が大きく、水温環境の日変動が小さく安定していることが生息場としての質に貢献している可能性が示唆された。いっぽう、高水敷たまりについては、中聖牛群の設置後にも底泥の堆積が進行しており、水生動物の多様性も低下傾向にあることがわかった。ただし、15km 砂州の 4 聖牛群

や 20km 砂州の聖牛群が設置されて以降に平均年最大流量を超える大きな出水が起きなかったことから、今後の出水で高水敷たまりの攪乱頻度や規模が増加する可能性は残されている。

2-1 聖牛により創出された一時的水域の環境と底生動物群集

片野 泉（奈良女子大学研究院自然科学系）

2-1-1 はじめに

今日、多くの河川では、流量調節や様々な人為的影響により一様で単調な環境となっていることが多い。木津川中流域（京都府南部、淀川水系）では、砂州環境の回復を目的として伝統的河川工法である聖牛を用いた河床地形管理が行われている。本来の聖牛は水制・護岸目的で設置される伝統的河川工法であるが、本来の目的以外にも、堆積・浸食作用により河道内（低水敷、Exposed Riverine Sediments）に多様な一時的水域環境を創出することができ（田住ら 2018）、さらに丸太・竹・石から成るためやがて自然に返り、環境負荷が小さいものといえる（畑 2018）。実際に、木津川では単調な河道内に多様な環境が生まれ、例えば、季節的な水位変動の結果、聖牛周辺の砂州（低水敷）にワンドやタマリといった一時的水域の創出が確認されている（図 2-1-1）。



図 2-1-1 聖牛周辺のタマリ

これら一時的水域の多くは、小規模な増水でもすぐに本川と接続してしまう寿命の短い水域である。しかし、止水環境を好む生物の生息場やレフュジアとして機能することが予想され、河川中流域の生物多様性を担保する可能性がある。このように一時的水域の価値は高いと考えられるが、高水敷に位置する一時的水域とは異なり、低水敷に位置する一時的水域の環境や生物の知見はほとんどない。

そこで本研究では、聖牛により創出されたワンドや低水敷タマリなど一時的水域の環境と生物群集の特性を季節的に明らかにすることによって、低水敷一時的水域の生態的特性を明らかにする（季節変化・攪乱履歴による変化）ことを目的とした。

2-1-2 調査地と方法

聖牛が設置されている木津川右岸砂州(15kp)に存在する全ワンド・タマリを調査地点とし、2020年6月3日から2021年6月1日までの約1年間、計4回の野外調査を行った。各調査日の調査地点を図2に、調査期間中の水位変動（国土交通省 DB より作成）を図3に示す。2020年は7月に大きな攪乱イベントが数回にわたって存在し、上流側ワンドの拡大や、砂州の延伸が起きていることがわかる。各地点で環境変数（最大水深、水温、pH、EC など）の測定に加え、表層水の採水、プランクトンネット(100 μ m メッシュ)を用いた有機物採集、タモ網を用いた底生動物の時間単位定量採集を行った。実験室では、水質（NO₃、PO₄）、クロロフィル a 量、微細有機物量を測定した。底生動物は実体顕微鏡下で可能な限り下位分類群まで同定・計数し、群集解析を行った。

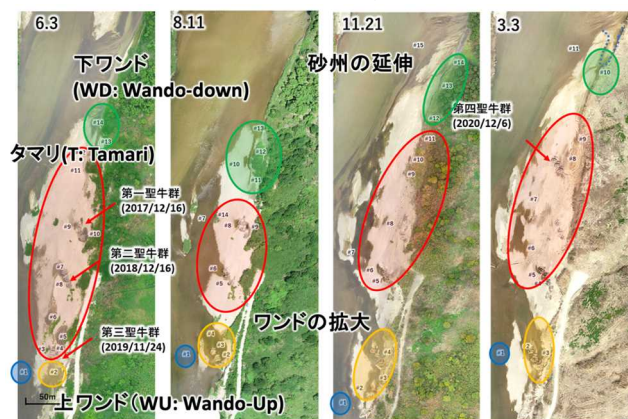


図 2-1-1 調査期間の水位変動

図 2-1-2 各季節におけるワンド・タマリの状況と調査地点

2-1-3 結果

各調査日・調査地点の環境変数について、砂州の上流から下流に向けた縦断方向勾配での比較を図 2-1-4 に、水際から陸域に向けた横断方向勾配での比較を図 2-1-5 に示す。縦断方向勾配では、水温・EC・硝酸イオンで有意な回帰が得られたことがわかる。水温では、春・夏では下流に向かうにつれ低下するものの、冬には逆に上昇しており、間隙域との水交換によることが予想された。また、横断方向では植物プランクトン量・FPOM 量が陸域に向かうにつれ上昇し、攪乱頻度が低いほど水域内での生産が高まることが予想された。これら環境変数を用いて RDA を行ったところ、1 軸に沿って水温・栄養塩が、2 軸に沿って水際からの距離（横断方向距離）や FPOM のベクトルが長く、一時的水域の環境は季節や横断方向距離によって大きく異なることが示唆された。調査日ごとに作成した RDA マトリクスでも水温は常に長いベクトルとなっており、特に下流側のタマリ・ワンドが、夏に冷たく冬に温かい、他地点とは異なる環境であることが示唆された。

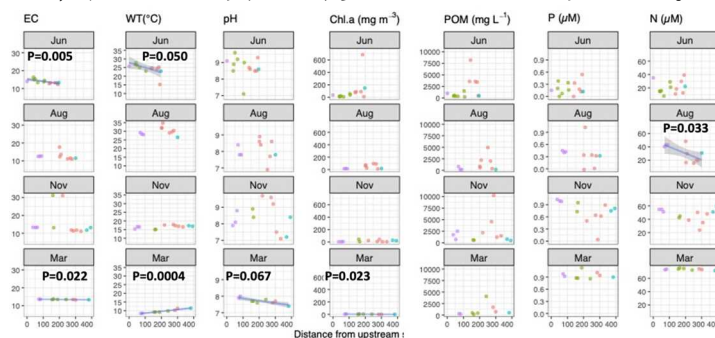


図 2-1-4 砂州縦断方向における各環境変数の勾配

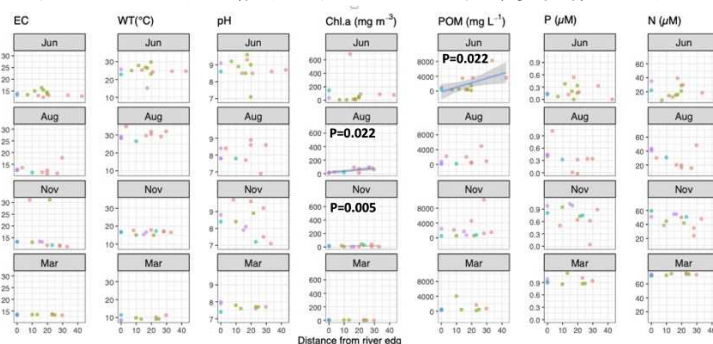


図 2-1-5 砂州横断方向における各環境変数の勾配

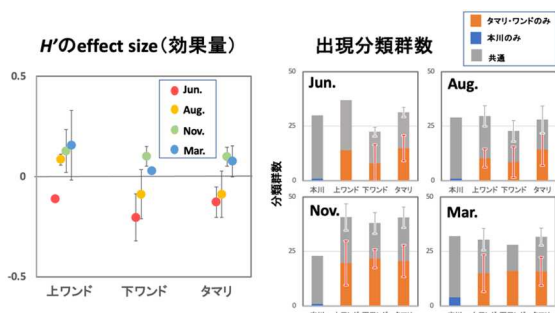


図 2-1-6 底生動物の H' および出現分類群内訳

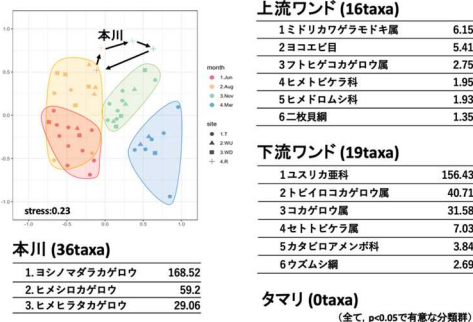


図 2-1-7 NMDS, SIMPER 結果

一時的水域に生息する底生動物群集の Shannon-Wiener 多様性指数 H' と、出現分類群の内訳を図 2-1-6 に示す。 H' は、概ね本川と同等レベルの値を示し、本川よりもタマリやワンドで高い値を示す季節や地点も確認された。また、タマリやワンドに生息する分類群の約半数は本川では確認されなかった分類群で構成されており、止水・半止水環境に生息する分類群が多く確認された。底生動物群集の類似度を NMDS でプロットし、SIMPER で各地点の群集を特徴付ける分類群を調べた結果を図 2-1-7 に示す。全季節における傾向では、ワンドは上流側と下流側で特徴付ける分類群が異なっていた。また、タマリを特徴付ける分類群は存在しなかった。これはすなわち、全季節を通して共通するタマリ種が不在であること、タマリ群集は季節性が非常に高いことが考えられた。そこで、タマリにおいてのみ季節別に SIMPER で解析した結果、各季節でタマリを特徴付ける分類群は全く重

複していなかった（図 2-1-8）。またそれらの分類群に想定される移入源は様々であり、陸域・水際域との行き来が予想される分類群（図中で赤で示す）、近隣の水田などの別水域から休眠卵で分散してきたと予想される分類群（緑）、本川との行き来によると予想される分類群（青）が認められた。特に 3 月のみに見られるフタオカゲロウは本川ではほとんどみられない分類群であり、この時期のみタマリを有効活用していると考えられる。図 2-1-9 に、全タマリ群集内の種の飽和度を示す。季節によっては水位が高く全タマリ数が少ない季節もあるが、全季節で種の飽和曲線はほぼ同じ正の傾きを示しており、現状のタマリ数の範囲では、タマリが増えても出現分類群は飽和していないことが示唆された。

6月タマリ (11 taxa)

ヌマエビ科, キブネタニガワカゲロウ, アメンボ科, オカメミジンコ属, カイムシ綱

8月タマリ (21 taxa)

コイ科稚魚, ネコゼミジンコ属, ヒメシロカゲロウ属, ハイロゲンゴロウ, フタバカゲロウ

11月タマリ (20 taxa)

チビミズムシ属, ミズミズミズ亜科, シジミガムシ属, キクロブス目, ヒメミズミズ科

3月タマリ (15 taxa)

フタオカゲロウ, エリユスリカ亜科, ユスリカ亜科, ミドリカワゲラモドキ属, ホソバマダラカゲロウ

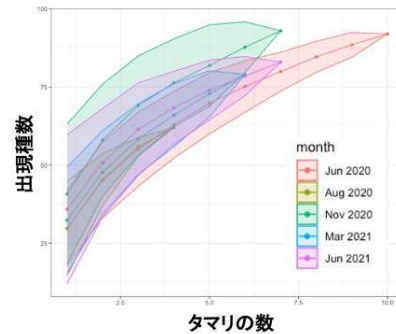


図 2-1-8 タマリのみの SIMPER 結果

図 2-1-9 タマリにおける分類群の飽和度

2-1-4 考察

聖牛により創出された一時水域は、河川・周辺の生物群集に、本川とは異なる生息場を提供していることが確認された。また、タマリやワンドは少なくとも底生動物にとって少なくとも本川と同等レベルの生息地であり、本川とは異なる群集構成を持つこと、その内訳として本川ではほとんどみられない止水性の分類群が一時的水域の群集を特徴づけていると考えられた。一部の生物において、一時的水域の利用は生活史の一部として重要であるとも考えられる。以上より、聖牛の設置により創出されたワンドや低水敷タマリは、河川内・河川周辺の生物に対して、流水域とは異なる新たな生息地を提供しており、河川中流域における生物多様性の向上に寄与している可能性が示された。現状のタマリ数では、タマリを利用する分類群が飽和しているとは言えず、さらに多くのタマリを創出することで河道内の生物多様性を高めることも可能と考えられる。

2-2 聖牛砂州下の河床間隙生物の分布変化

田中亜季（大阪公立大学国際基幹教育機構）

木津川下流では、土砂供給の減少による河床低下や河道の二極化を改善する局所対策として竹蛇龍や聖牛といった伝統的河川工法が試験施工されている。本研究は、これらの伝統的河川工法によって形成された河床地形の生息場評価のために、「聖牛群」が設置された砂州において河床間隙生物群集の空間分布と出水後の時間的変化を調査した。

砂州下に広がる河床間隙域には、主に 1 mm 以下の生物が生息しており、後生動物、細菌、菌類など、多岐にわたる分類群が存在する (Stanford et al., 2005; Dahm et al., 2006)。これらの生物は、有機物、植物由来物質の分解、河川内の生産や生物量にも大きく貢献しており (Hakenkamp & Morin, 2000; Fauvet et al., 2001; Hakenkamp et al., 2002)、河川生態系の全容を明らかにするうえで、間隙動物群集は重要な存在と捉えられている (Brunke & Gonser, 1997; Boulton et al., 2008; Tanaka et al., 2014)。

伝統的河川工法「聖牛群」が砂州上に存在すると、砂州頭で河床の浸食が砂州尻で堆積が卓越することが分かってきたが、各聖牛群周辺においても浸食と堆積を生じている。その結果、各所にタマリが出現する結果、この砂州内の河床間隙水域では、水温、透水係数、溶存酸素といった環境条件の異質性が高まり、河床間隙域生物の群集構造にも影響を及ぼすと考えられる。また、砂州上のタマリは冠水と干上がりを繰り返すので、それらの過程で河床間隙域の生物群集がどのような挙動を示すかについても興味深い課題である（図 2-2-1）。

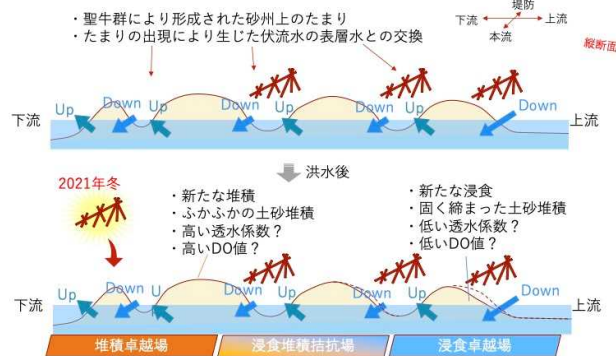


図 2-2-1 木津川の聖牛設置砂州における河床間隙水域の縦断面図

そこで、本研究では、①聖牛群が設置された砂州全体の河床間隙生物の空間分布を明らかにすること、ならびに②タマリ形成から消失までの河床間隙生物の短期間の動態を明らかにすることを目的とし、併せて聖牛群が存在することによる間隙動物群集構成が生態系にどのような影響を及ぼしているのかについて検討することとした。

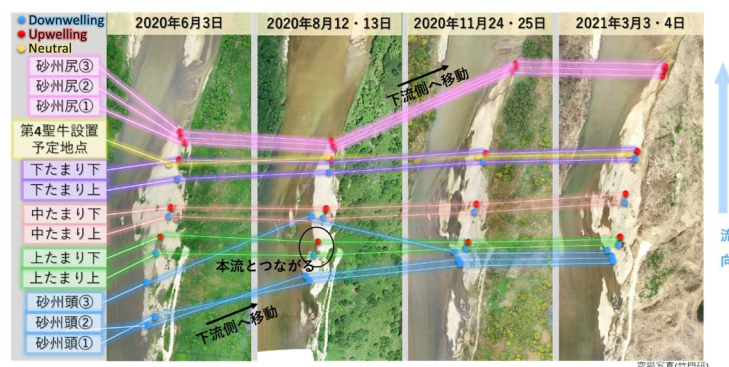


図 2-2-2 木津川の聖牛設置砂州における河床間隙水域の調査地点図

目的①では、聖牛群が設置されている木津川砂州において、砂州頭砂州間隙 3 地点、砂州尻砂州間隙 3 地点、砂州下流側の聖牛新設予定の 1 地点、砂州上に点在するタマリから 3 つのタマリを選択し、その上流側間隙と下流側間隙に各 1 地点、計 13 調査地点を設定した (図 2-2-2)。調査は、2020 年 6 月・8 月・11 月、2021 年 3 月に行われた。各調査地点において、深型スコップにより半定量的の河床間隙サンプル (5,000 cm³) と粒度分析用サンプルを採集し、溶存酸素・水温・pH・電気伝導度をその場で計測した。採集場所付近では土壌貫入計による河床強度計測 (8 月以降) と、採集場所の穴の中でピエゾメーター (深さ伏流水面下 25 cm) による変水位透水試験を行った。ピエゾメーター内では、透水試験前に溶存酸素・水温を予め計測した (図 2-2-3)。河床間隙サンプルは、エタノールで固定し持ち帰ったのち、0.031 mm 以上の生物を含む有機固形物を浮遊選別した。さらに検鏡しやすいように篩でサイズ分けを行ったのち、現時点では 0.5 mm 以上のサンプル内に含まれる間隙生物の同定・係数を行った (図 2-2-4)。環境要因と間隙生物の関係は、NMDS (火軽量多次元尺度法) で解析した (図 2-2-5)。その結果、下たまり下の例外を除いて、間隙中の溶存酸素は砂州頭で高く、たまりや砂州尻では溶存酸素が低い傾向が見られた。間隙水温は砂州中央で高い傾向があった。間隙生物との関連性では、間隙中の溶存酸素も水温も間隙生物に強く影響を与えているとは言えなかったが、間隙中溶存酸素が高いところに、ヒメドロムシ亜科、ミズダニ類、トビケラ目、貝形虫といった河川生の生物がいる傾向があり、間隙水温の高いところでミギワバエ科が多い傾向があった。間隙生物の分布に影響の強かった環境要因は、土砂の中央粒径や粒度均等係数であり、混じっている土砂の粒径が大きく、様々な粒径を含む場所としては、砂州頭や上たまり下があてはまり、貝形虫、ミズダニ類、トビケラ類、ヒル、クモ、オサムシ科、ヒラタドロムシ科と関連があった。一方で、土砂粒径が小さく、粒径が揃っている場所としては、聖牛により創出されたたまり (中たまり、下たまり) が挙げられ、ガムシ科と関連があった。聖牛により、砂州内に環境の異なる場所が出現し、生物相に影響を与えていることが分かった。今後、他の季節・小さいサイズの生物についても解析予定である。

の調査月の飯岡地点の水位である。2021 年は高水敷たまりが冠水するほどの水位上昇は見られなかった。環境条件として、水温、水質（pH、溶存酸素濃度、電気伝導度、COD）、底質を測定した。生物調査として、タモ網による半定量調査およびもんどりによる採集を実施した。特に、二枚貝類については、複数人による採集を実施した。2021 年のみ、魚類について環境 DNA 調査を実施した。

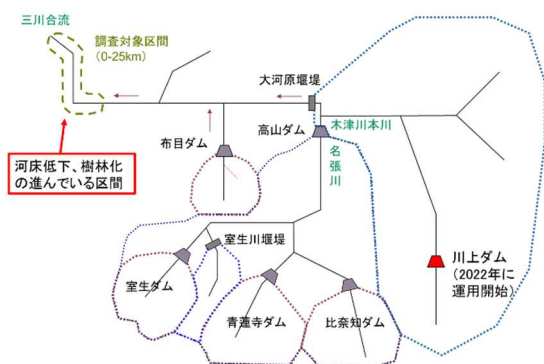


図 2-3-1 木津川流域の模式図

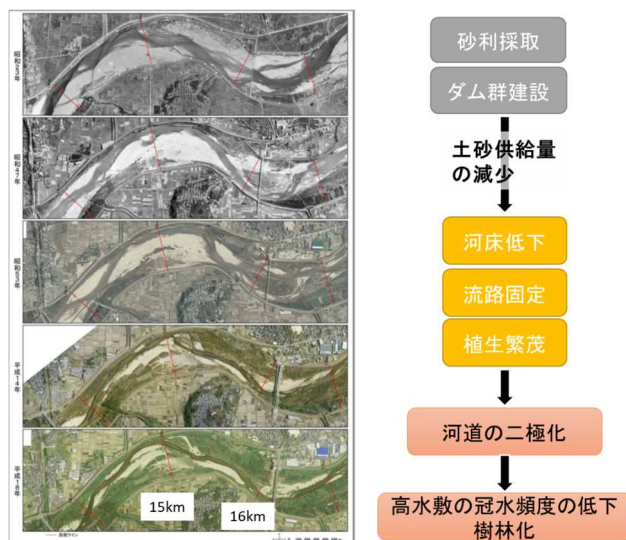


図 2-3-2 三川合流から 15-16km 区間における砂州の変遷と河道の二極化のしくみ



図 2-3-3 中聖牛の設置場所と期待される効果



図 2-3-4 調査地図

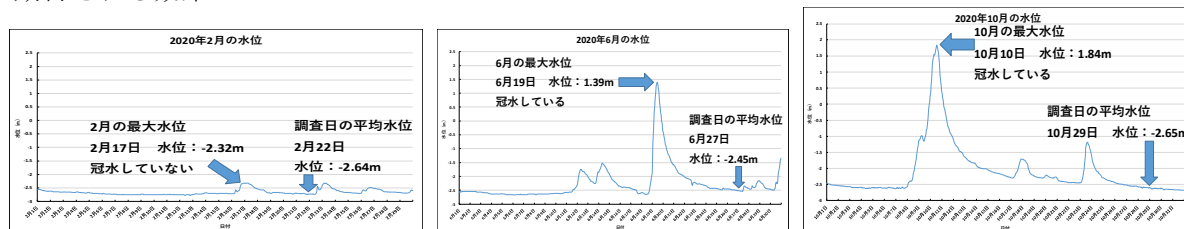


図 2-3-5 2020 年の調査月における飯岡地点の水位

2-3-3 結果および考察

図 2-3-6 に環境調査項目の結果を示す。顕著な変化が見られたのは、下流たまりの水温と上流たまりの COD であった。下流たまりでは、上流側から伏流水が出ていることが知られている。このことから、水温が年間を通じてあまり変化がなかったと考えられる。上流たまりの COD は高い傾向が見られ

た。上流たまりはヘドロの堆積が多く、面積が小さくたまり内の水量が少なかったため、CODが高くなったと考えられる。

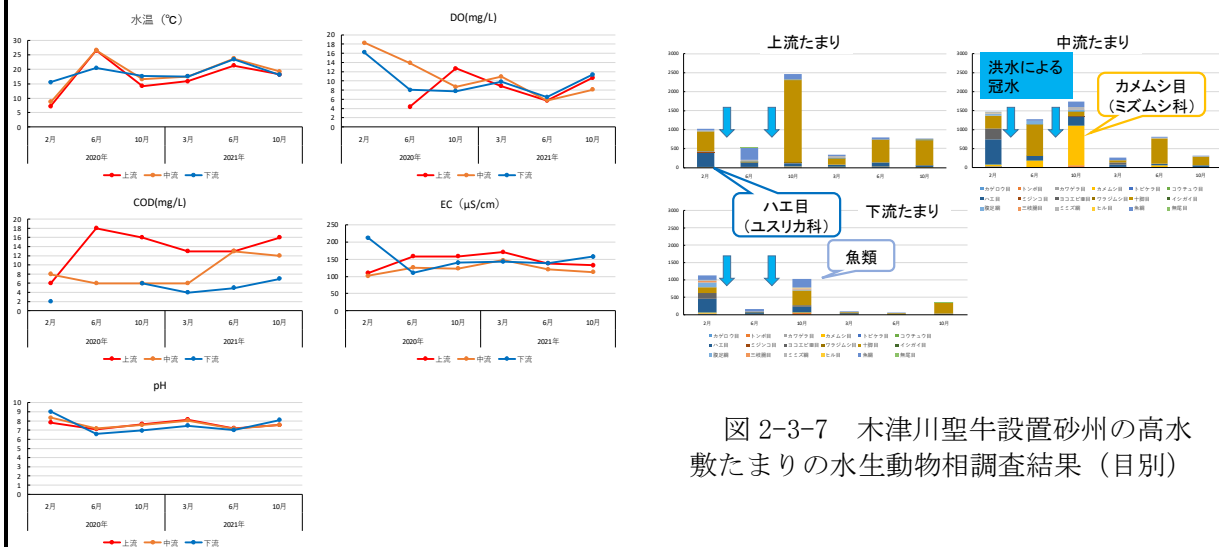


図 2-3-6 各環境調査項目の結果

図 2-3-7 木津川聖牛設置砂州の高水敷たまりの水生動物相調査結果（目別）

図 2-3-7 に採集された水生動物を目別に分けた結果を示す。2020 年と 2021 年を比べると、冠水のあった 2020 年に個体数が多かった。全体を通じて多かった生物は十脚目（ミナミヌマエビ）だった。2020 年 2 月の冬期にはいずれのたまりでもハエ目（ユスリカ科）が多く見られた。下流たまりは個体数は少ないものの、目数が多く見られた。下流たまりでは、他のたまりに比べて魚類の割合が高く見られた。

2020 年と 2021 年を比べると、全体的に個体数、目数ともに 2020 年のほうが多い傾向が見られた。2020 年と 2021 年の多様性指数 H' は、それぞれ 2.02 ± 0.60 , 1.60 ± 0.68 （平均値 $\pm$ 標準偏差）であり、2021 年のほうが低かった（図 2-3-8）。2021 年の高水敷たまりは、冠水による攪乱がなく、水の交換がなかったため、生息している水生動物が固定化されたと考えられる。場所間では、上流たまりが多様性が低く、下流たまりが高かった（上流 1.48 ± 0.61 , 中流 1.80 ± 0.56 , 下流 2.11 ± 0.73 ）。これには水質や底質の違いが関係している可能性が考えられる。NMDS（非計量多次元尺度法）による解析結果を図 9 に示す。場所間の違いよりも、季節間での違いが見られた。ただし、6 月の下流たまりだけは他のたまりと違う傾向が見られた。

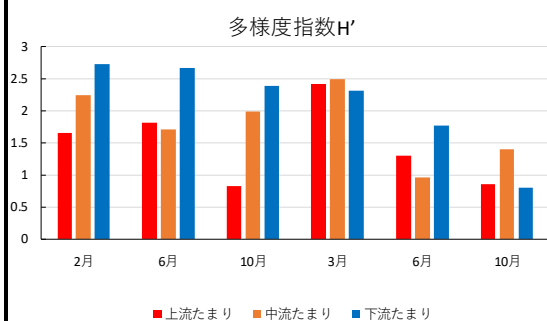


図 2-3-8 木津川聖牛設置砂州の高水敷たまりにおける水生動物多様性指数

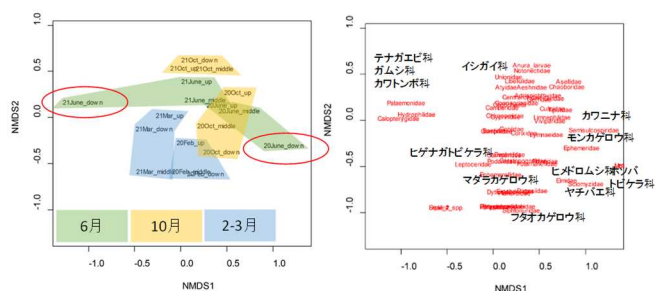


図 2-3-9 タクサ（科）別の NMDS による解析結果

採集された魚類を表 1 と表 2 に示す。魚類についても、2021 年よりも 2020 年のほうが全体的に個体数が多かった。しかし、多様性指数は、2020 年と 2021 年で大きく異なることはなかった。2020 年に最も多く確認されたのは、木津川本流にも多いオイカワやコイ科稚魚であった。これらは冠水した際に入ってきたものが多いと考えられる。冠水のなかった 2021 年には、オイカワは少なかったがコイ科稚魚は確認された。これらはたまり内で産卵した種の稚魚と考えられる。上流たまりは、底泥が厚く堆積し、COD も高かったが、調査期を通じてタイリクバラタナゴが確認された。下流たまりの底

質は砂が多く、ニゴイ類やヨドゼゼラ、シマドジョウ属が確認された。

表 2-3-1 2020 年に確認された魚類

	2月22, 23日			6月27日			10月28日		
	上流たまり	中流たまり	下流たまり	上流たまり	中流たまり	下流たまり	上流たまり	中流たまり	下流たまり
オイカワ	27	8	129	337	42	3	78	120	241
コイ科稚魚									
ヌマムツ		12						3	
タモロコ				1	1	10			
モツゴ	1					4	2	1	
ヨドゼゼラ						8			
ニゴイ類				6		1			
コイ						1			
フナ類					3	21		1	
タイリクバラタナゴ	13			3			23	11	1
ミナミメダカ	3			1	2	2	26	2	1
カワヨシノボリ								1	1
ヌマチチブ		3					3	5	1
オオクチバス								1	
コクチバス						3			
ブルーギル			1					6	17
合計	44	23	130	348	48	53	132	151	262
多様性指数H'	1.340	1.403	0.065	0.254	0.728	2.540	1.585	1.273	0.480

表 2-3-2 2020 年に確認された魚類

	3月			6月			10月		
	上流たまり	中流たまり	下流たまり	上流たまり	中流たまり	下流たまり	上流たまり	中流たまり	下流たまり
オイカワ	2						1		
コイ科稚魚	17	60	28	15	2	3	2	4	4
モツゴ				2	6				1
ニゴイ類				1	1				
ゲンゴロウフナ							1		
フナ類							1		
タイリクバラタナゴ	8			10	18	6	2	1	
ドジョウ	1			1			1	8	1
シマドジョウ属									1
ミナミメダカ				22					
ウキヨリ					2				
ヨシノボリ属(稚魚)								1	
ヌマチチブ		2							
オオクチバス							1	1	
ブルーギル	1	1					4		1
合計	29	63	28	50	30	10	12	15	8
多様性指数H'	1.585	0.320	0.000	1.805	1.755	1.285	2.585	1.774	2.000

表 2-3-3 に 2021 年に環境 DNA 調査でのみ確認された魚種を示す。ヌマムツ、ヨドゼゼラは 2020 年に採集されている。他の魚種は採集による調査では確認できていない。環境 DNA を調べることで、採集できていなくても生息している魚種が明らかになった。

表 2-3-3 2021 年に環境 DNA のみで確認された魚種

	上流たまり			中流たまり			下流たまり		
	3月	6月	10月	3月	6月	10月	3月	6月	10月
ウナギ属							○		
アユ		○							
カワムツ属	○	○	○	○	○	○	○	○	
アブラハヤ						○			
タモロコ属				○	○	○	○		
ムギツク		○							
カマツカ		○							
カマツカ属		○							
ゼゼラ属							○		
スゴモロコ属		○					○		
カジカ属		○							
ドンコ	○	○	○	○	○		○		
タイワンドジョウ属	○		○	○	○	○	○	○	
カダヤシ属				○					
ボラ		○							

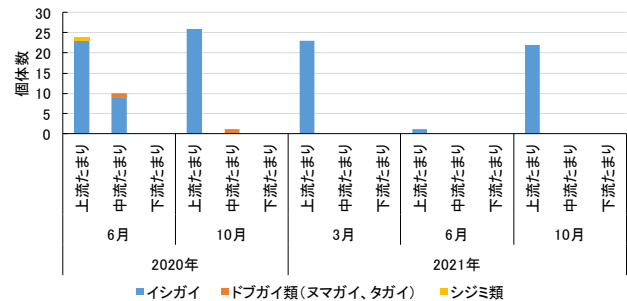


図 2-3-10 生息が確認された二枚貝

図 2-3-10 に採集された二枚貝を示す。上流たまりでは、調査期を通じてイシガイが多く確認された。上流たまりでは、タイリクバラタナゴの稚魚も継続して確認されている。下流たまりでは、二枚貝は採集されなかったが、タナゴ類の生息が確認されている。生息数は多くないものの、水深の大きいところに生息していると思われる。中流たまりでは、生きている二枚貝はほとんど確認されず、死殻が多く確認された。

2-3-4 まとめ

上流たまりは、3つのたまりのうち最も小さく、底泥の堆積が確認されたが、タイリクバラタナゴや二枚貝が多く確認された。中流たまりでもタイリクバラタナゴやコイ科稚魚が見られたが、二枚貝の死殻が多く、底泥が堆積していた。これら2つのたまりで、水生生物の生息環境をよくするためには、底質環境の改善が必要と考えられる。

下流たまりは、伏流水が湧出しており砂質の底質が広がっていた。採集された水生生物は他の2つのたまりより少なかったが、魚類では希少種の種類が他のたまりより多く確認された。このたまりについては、継続的な保全が必要と考えられる。

本調査地の高水敷たまりは、木津川本川の水位が4m上昇しないと冠水しない。2021年はこれらのたまりが冠水するほどの大きな増水がなく、4列の中聖牛が設置された後、一度も冠水が確認できていない。今後は、モニタリングを続け、中聖牛の設置により高水敷たまりへの導水の影響について調査する予定である。

第3章 河床地形管理における伝統的河川工法の効果的活用手法の検討

要約: 本研究の最終目標は、河床地形管理のために伝統的河川工法を活用するための技術を開発することにある。まず「中聖牛自体の基本性能」として、出水に対する耐久性や経年劣化による機能の寿命など判定するために出水前後のモニタリング調査を行った。とくに、4-3年目の第1-2中聖牛群

は、2019 年 10 月 12 日の台風 19 号では木津川飯岡観測所の歴代 3 位にあたる 4.06m の水位上昇も経験した。こうした出水の結果、棟木の先端が折れた中聖牛が 1 体（2 年目）、前のめりや斜めに傾いた中聖牛が 9 体（4-2 年目）、前のめりになって浮き上がった尻押籠の竹や石が一部抜け落ちた中聖牛が 4 体（3-2 年目）、後合掌の高さまで土砂に埋没したもの 3 体（4 年目）があるものの、5 年目においてもすべて崩壊や流失することなく存続している。

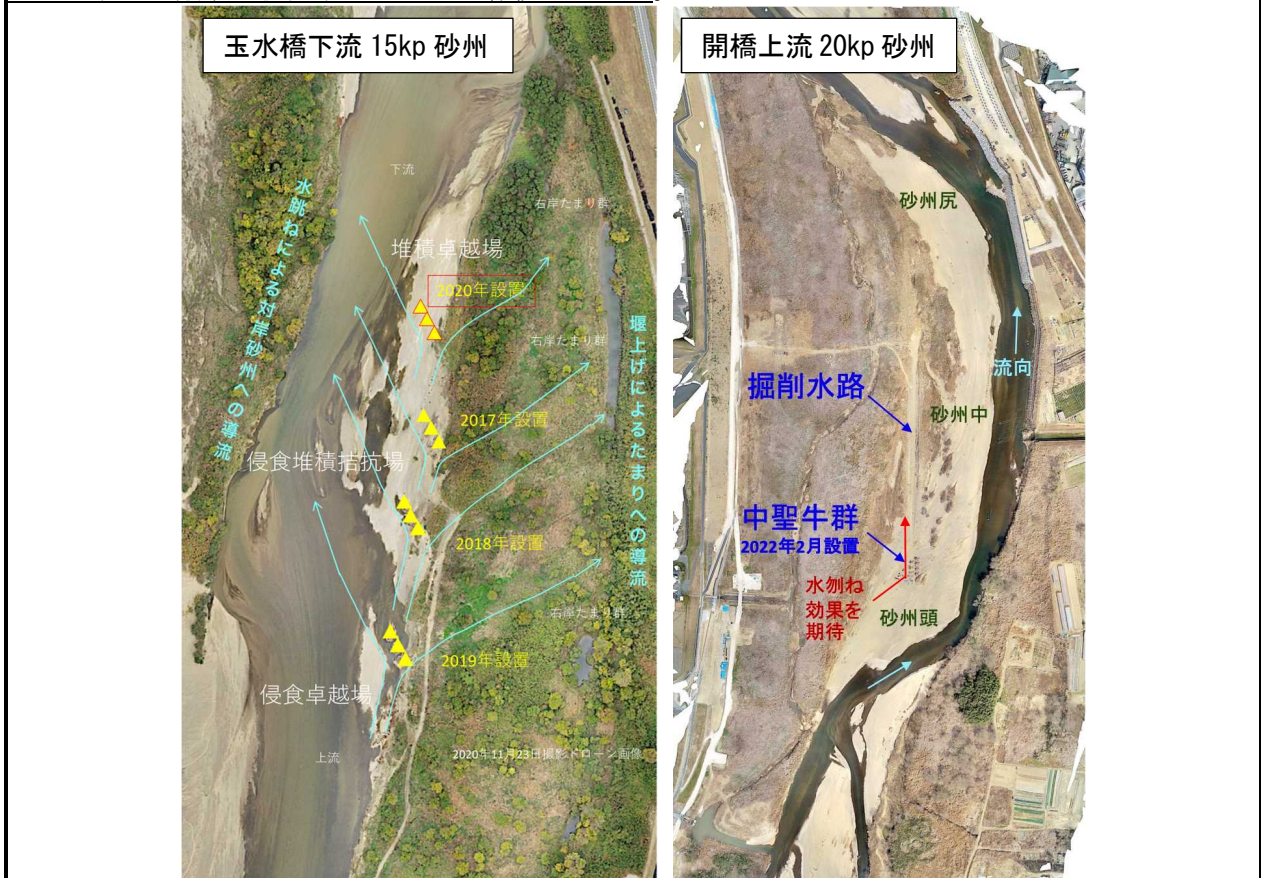


図 3-1-1 木津川の中聖牛群を設置した 15kp 玉水橋下流右岸砂州（左）と 20kp 開橋上流左岸砂州（右）。

一方、中聖牛が果たす立体的な構造を持つ「透過型水制としての機能評価」については、水刳ねによる流向・流速の改変効果、側方の河床侵食と前後方への土砂堆積効果、堰上げによる水位変化効果が挙げられる。これまで、聖牛周辺の地形変化について出水前後にドローンによる空撮と現地測量してきた結果、砂州上の位置や出水規模による侵食堆積様式の違いを図式化できるに至った。また、水刳ねによる流向・流速の改変効果については、ドローン空撮のビデオ画像を用いて LSPIV (Large scale particle image velocimetry) による出水時の流れを分析した。その結果、表面流から乱流を計算し、出水時の河床せんだん力、侵食ポテンシャルを写真測量による地形変化と対応させることができた。この対応関係から、聖牛が完全に冠水するよりも部分的に冠水しているときの方が、聖牛側方の侵食効果が大きくたまり形成に働くことが示唆された。このように出水時の水位と聖牛の水没割合の関係が地形改変効果に影響するという事実は、立体的な構造の透過型水制に特有の現象であり、今後に伝統的河川工法を河床地形管理に活用する際に、河川の流量規模に応じた適切な聖牛サイズを判断するための視軸になることが期待される。

2021 年度には、顕著な河岸侵食が課題となっている開橋上流砂州（20kp）において、砂州上に側流路を維持する目的で中聖牛 4 基を一行に並べる形で砂州頭の側流分岐点に設置した（2022 年 2 月 27 日竣工）（図 3-1-1）。開橋上流砂州の事業は、玉水橋下流砂州（15kp）で試験施工してきた伝統的河川工法を実事業へ適用する最初の例に位置付けられる。さらに、2022 年度には、桂川の嵐山地区の河床環境改善のために 3 基の竹蛇籠漁礁を設置した。さらに、2022 年度には、普及教育を目的として京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーで竹蛇籠・中聖牛製作設置講習会を開催し、中聖牛 1 基を設置した（2023 年 2 月 5 日竣工）。この中聖牛は、今後防災研究所で実施される各種イベントにおいて、伝統的河川工法の普及啓発に活用される予定である。

引用文献

- Boulton, A. J., G. D. Fenwick, P. J. Hancock & M. S. Harvey, 2008. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invertebrate Systematics* 22: 103-116.
- Brunke, M. & T. Gonser, 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37: 1-33.
- Dahm, C. N., M. Valett, C. V. Baxter & W. W. Woessner, 2006. Chapter 6 Hyporheic Zones. In Hauer, F. R. & G. A. Lamberti *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, Burlington: 119-142.
- Fauvet, G., C. Claret & P. Marmonier, 2001. Influence of benthic and interstitial processes on nutrient changes along a regulated reach of a large river (Rhône River, France). *Hydrobiologia* 445: 121-131.
- Hakenkamp, C. C. & A. Morin, 2000. The importance of meiofauna to lotic ecosystem functioning. *Freshwater Biology* 44: 165-175.
- Hakenkamp, C., A. Morin & D. Strayer, 2002. Chapter 13 The functional importance of freshwater meiofauna. In Rundle, S. D., A. L. Robertson & J. M. Schmid-Araya (eds.) *Freshwater Meiofauna: Biology and Ecology*. Backhuys, Leiden, The Netherlands: 321-335.
- Stanford, J. A., M. S. Lorang & F. R. Hauer, 2005. The shifting habitat mosaic of river ecosystems. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29: 123-136.
- Tanaka, A., T. Namba, K. Tanida & Y. Takemon, 2014. Evaluation of a pump method for unbiased sampling of stream hyporheos. *Hydrobiologia* 730: 29-43.
- 田住真史, 竹門康弘, 小林草平, & 角哲也. (2018). 木津川の河床地形管理における伝統的河川工法「聖牛」の活用. 京都大学防災研究所年報= DPRI annuals, (62), 734-765.
- 畑大介. (2018). 『治水技術の歴史 中世と近世の遺跡と文書』, 高志書院
- 国土交通省: https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p04.pdf, 最終閲覧日: 2023年3月27日
- 田住真史, 竹門康弘, 小林草平 (2019): 木津川の河床地形管理における伝統的河川工法「聖牛」の活用, 京都大学防災研究所年報第62号B, pp. 734-765.
- 辻本哲郎, 寺井達也, 寺本敦子 (2002): 木津川下流部砂州の植生繁茂と裸地維持の仕組み, 河川技術論文集, 第8巻, pp. 307-312.

伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理 手法に関する研究

A STUDY ON RIVERBED MANAGEMENT METHOD USING JAPANESE
TRADITIONAL RIVER WORKS

研究代表者 竹門康弘（京都大学防災研究所水資源環境研究センター 准教授）

Most of Japanese rivers lost sediment dynamism by excessive sand mining and dam construction in the last Century, causing riverbed degradation and vegetation expansion. The bed-load in the Kizu River in the Yodo River System reduced from 160,000 m³/yr in 1960s to 25,000 m³/yr in 2010s, resulted in changes in habitat diversity from the lowest in 1960-70 to the highest in 1990s and decreasing again after 2010. Previous studies indicated that target amount of bed-load would be between 40,000-8,000 m³/yr for the river management. Although the Government plans to increase sediment supply from dam reservoirs by various methods, it will take a long period to realize the replenishment, and thus, we need to develop another method for creating habitat heterogeneity under decreased bed-load.

We focused on Japanese traditional river works the "Seigyū or Hijiri-Ushi", a kind of crib spur like "Macha" used in Dujiangyan Sichuan Province in China, as a technique to control the riverbed erosion and deposition. The Seigyū works had been used on active service in the Kizu River in 1950s for bank protection against floods. Thereafter, they disappeared because the river bureau shifted the river work directions from the movable riverbed management to the fixed riverbed management using the modern techniques such as the concrete revetment for bank protection. However, the traditional river works are worth reconsideration as devices for enhancing erosion and deposition of the riverbed.

A series of experimental installation of Seigyū works were conducted in the Kizu River for improvement of the local riverbed geomorphology in 2017-2021. We proposed a new arrangement of Seigyū works for habitat restoration under a condition of sediment load reduction in the Kizu River. Three Seigyū works as a unit were installed at four different locations on a bar in order to test their function under different hydraulic conditions. We made monitoring surveys for five years on the habitat structure and the benthic communities of temporary ponds created around the Seigyū works.

The results showed that Seigyū works showed general functions of sediment deposition at upper- and lower-stream sides and erosion at lateral sides of the works. However, the former and latter function were comparatively more distinctive in the bar tail and bar head, respectively. Lentic habitats created beside the Seigyū were varied in benthic fauna according to ages after the creation. These results indicate that the Seigyū is effective for increasing habitat heterogeneity by accelerating the riverbed erosion and deposition. This function would be beneficial in river management under both excessive and short bed load conditions.

Key Words : riverbed management, traditional river works, "Seigyū" crib spur, erosion and deposition, habitat heterogeneity, aquatic animals

1. 研究の背景・目的

淀川水系の木津川下流では、1960年代に集中的に行われた砂利採取やその後のダム建設による土砂供給量の減少などによって、河床低下、河道の二極化、高水敷の樹林化などの弊害を招いている（図1左）。淀川河川事務所では、その結果劣化した河川環境を改善することを目的として、2014年に木津川土砂環境検討会を設置し、

「平成初期の砂河床に発達したワンド・たまりや裸地河原を再生・保全すること」と「現状の生物多様性や水産資源を支えている礫河床の瀬を保全・創出すること」とを目指して、さまざまな対策を検討・実施してきた。その中の一つとして、伝統的河川工法の河床地形管理への応用が提案され、2015年から地元の市民団体であるNPO法人「やましろ里山の会」（2017年より河

川協力団体に指定)が主体となって、漁協関係者や研究者からなる「京の川の恵みを活かす会」、国土交通省淀川河川事務所、淀川管内グループ河川レンジャー、京都府等が連携して竹蛇籠や聖牛(せいぎゅう、ひじりうし、せいうし)の製作や設置活動を実施している(図1右)。ただし、そのような伝統的河川工法が河床地形や生息場構造、生物群集へ与える影響に関する知見は乏しく、その具体的な活用方針は未だ確立されていないのが現状である。このため、2018年度に国土交通省河川砂防技術研究開発事業の地域課題分野(河川生態)FS研究として、また2019-2022年度には、同地域課題分野(河川生態)の一般研究(河川生態学術研究会木津川グループ)として「伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究」が実施された。本研究事業の目的は、図2に示したように、1) 中聖牛自体の変形、寿命、周辺地形の改変効果などを示し、土砂動態を局所的に制御するため工法としての機能を評価すること、2) 中聖牛群の地形改変効果によって形成される生息場の生態機能を砂州上の位置の違いも含めて明らかにすること、3) 伝統的河川工法を河床地形管理に活用するための指針を取りまとめるとともに、伝統的河川工法を通じて市民参加の河川管理の事例を呈示することを目的としている。

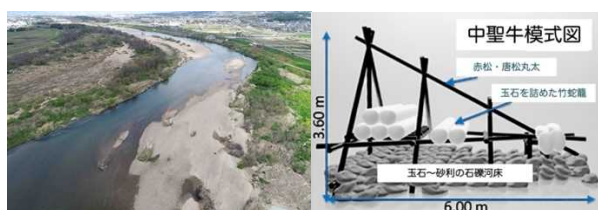


図-1 木津川玉水橋下流砂州(左)と中聖牛模式図(右)

【研究の目的】

土木工学的目的: 木津川砂州における聖牛の浸食・堆積の抑制・促進機作用を追究し、土砂動態を局所的に制御するための待受工法としての可能性を示す。

生態学的目的: 木津川砂州における聖牛の設置位置による生息場形成効果の違いを明らかにすることによって、水域生息場の浸食堆積傾向に応じた動的構造を示す。

市民参加的目的: 伝統河川工法の製作・設置業務をやましる里山の会、京の川の恵みを活かす会・大学クラブ、淀川河川レンジャーなどの市民団体が継続的に実施できる体制を構築し、河川工事の計画設計施工の全過程に市民が参加する川書語型河川管理の事例とする。

伝統的河川工法による河床地形管理手法の確立

図-2 本研究の3つの目的と最終的にめざす目標

2. 4力年の研究内容

本事業は、いわゆる大学研究室の研究業務という形にはとどまらず、木津川の流域住民が主体となったNPO法人やましる里山の会や複数の漁業協同組合員が主体となったNGO京の川の恵みを活かす会ならびに淀川河川レンジャーとが京都大学防災研究所水資源環境研究センター社会生態環境研究領域・京都大学防災研究所流域災害研究センター流砂災害

研究領域・摂南大学理工学部都市環境工学科と連携することで実現する事業である(図3)。

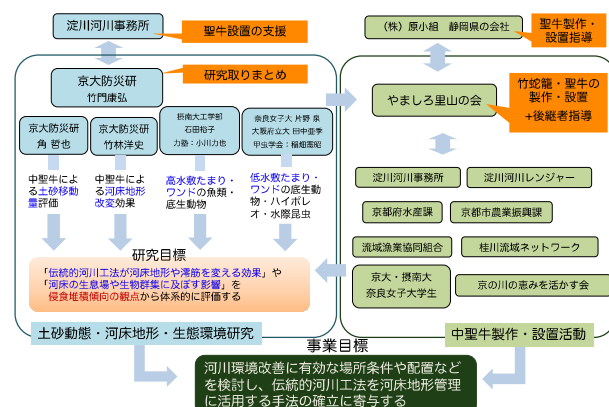


図-3 2022年度の研究実施体制と各組織・メンバーの活動内容の模式図

本事業では、竹の伐採、竹蛇籠製作、聖牛の組立て、設置、竹蛇籠への石詰め作業などを、全てやましる里山の会が主体となって市民参加型のイベントとして実施した(図4)。



図-4 竹蛇籠作りと中聖牛の設置組み立て作業は、市民参加型のイベントとして実施された

木津川砂州の中聖牛設置状況



図-5 木津川調査地における中聖牛群の設置状況

木津川15-6kpの玉水橋下流の右岸砂州上において、侵食堆積傾向の異なる砂州頭1地点、砂州中2地点、砂州尻2地点の4箇所に、毎年11-12月に3基ずつ計12基の聖牛群を設置した(図5)。攪乱規模の異なる増水前後において、各地点の侵食堆積傾向と対応

した河床地形・水理環境・水生動物群集の変化を調査することによって、中聖牛設置が河床の生息場や生物群集の多様性保全に効果を体系的に評価することを目指した。具体的には、1) 増水時における聖牛群の水刎ね効果によって対岸砂州河岸の侵食を促す効果、2) 聖牛群の堰上げによって右岸植生内に存在する高水敷たまりの冠水頻度を高める効果、3) 聖牛群の下流で流速を低下させることによって、本流河道の右岸堤防の水衝部の流速を低下させる効果、そして4) 聖牛近傍の局所洗掘によって、たまりを形成する効果が期待された（図5右）。

聖牛設置前

2017/12/02



第4中聖牛群設置後 2022年2月の河床地形



図-6 中聖牛群設置前後における河床地形の変化

3. 研究成果

中聖牛群設置によって期待された地形変化のうち、対岸の侵食や高水敷の掃流については、明確な地形変化に至らなかったが、図6に示したように、砂州が上下流方向に伸長するとともに滯筋が対岸へ偏向や蛇行などの変化を生じた。中聖牛の設置によって砂州が伸長する現象については、現場の地形と聖牛の抗力を組み込んだ二次元河床変動計算によって明解に再現できた（図7）。

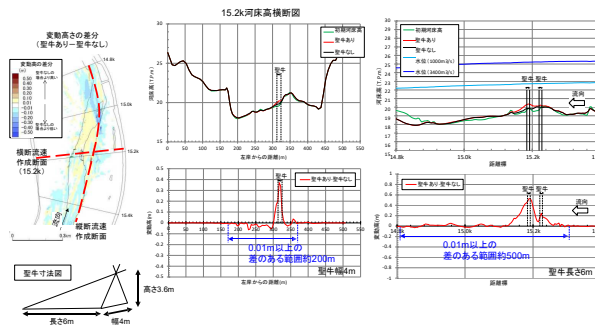


図-7 二次元河床変動計算による聖牛が河床変動に与える範囲の判定結果

聖牛近傍の局所洗掘によって、形成されるたまりについては、砂州頭～砂州尻の間に多数の一時的たまりが連続的に、しかも様々な存続時間で存在する場が形成された。これらのたまりは、砂州頭で大きく、ときに本河道と接続してワンドとなるのに対して、砂州中では、中くらいのサイズのたまりとなり、砂州中の下流側では小さなたまりないしは湿地が形成された。これらの対応関係は、図8のような模式図にまとめることができた。すなわち、侵食卓越する砂州頭においては、中聖牛近傍への土砂堆積より侵食効果が大きいために大きく深いたまりやワンドが形成された（図8）。

たまりやワンドの形成や存続時間は、図8に示した増水時の砂の動きに依存している。本研究期間中には、水位上昇規模で4m超えが1回、3m超えが1回、2m超えが8回生じた（図9）。これらの出水時の地形変化を低水路砂州上の土砂の侵食・堆積量と対応させて分析した結果、中聖牛の設置に起因する地形変化量は中規模の出水時に顕著になる現象が観察された。そこで中聖牛の高さ（3.6m）に対する中聖牛の水没深の割合を水没水深比と定義して、二次元河床変動計算によって低水路砂州全体の河床変動量に対する聖牛の寄与率を分析した結果、侵食量は水没水深比0.5で、堆積量は水没水深比0.8で最大化することがわかった（図9）。木津川では水没水深比1が年平均最大洪水流量時の水深なので、砂州の土砂動態を活性化するためには中聖牛のサイズが妥当であることが裏付けられたことになる。

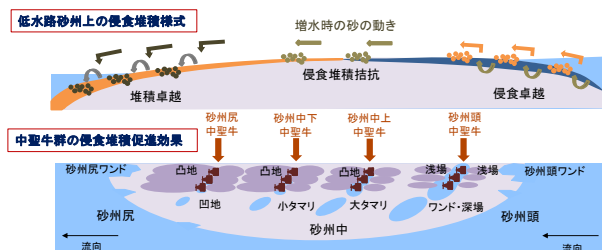


図-8 中聖牛の砂州地形改変と生息場形成機能まとめ

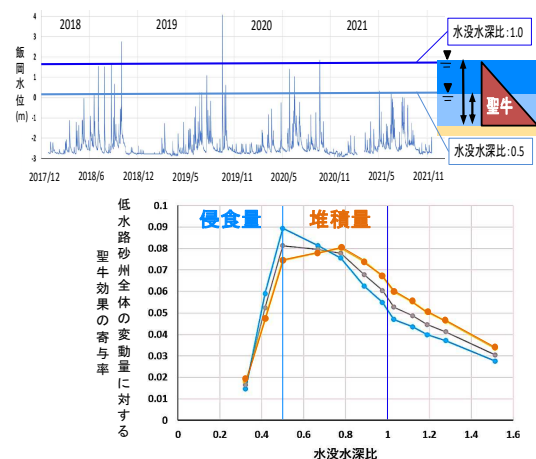


図-9 出水規模に応じた中聖牛の地形改変効果。聖牛の水没水深比は聖牛の高さに対する水深の割合を示す

次いで聖牛による地形改変効果を以下の式(1)で定義される堆積・侵食傾向を用いて評価した。

$$\text{堆積・侵食傾向} = \frac{(\text{堆積量}) - (\text{侵食量}) (\text{m}^3)}{(\text{堆積量}) + (\text{侵食量}) (\text{m}^3)} \quad (1)$$

これを前傾角度の変化と比較すると、聖牛は前傾、漂流物の捕捉に代表される変形を経験しても尚周辺では地形改変が生じていることが確認された(図8)。

捕捉された漂流物は聖牛の透過性を低下させ、下流側での流速低減効果を増大させていた。また、隣接する聖牛の間に捕捉された漂流物の影響で、聖牛同士の間が生じていた流速の大きい流れが殆ど消失している個所も確認された。これらの結果から、聖牛は変形しても尚その機能を発揮すること示された。

聖牛により創出されたタマリやワンドと本川の底生動物群集を比較した結果、タマリやワンドの底生動物は、本川ではほとんどみられない止水性の分類群によって特徴づけられた(図-10)。これらの種群にとって、一時的水域の利用は生活史の一部として重要であるとも考えられた。以上より、聖牛の設置により創出されたワンドや低水敷タマリは、河川内・河川周辺の生物に対して、流水域とは異なる新たな生息地を提供しており、河川中流域における生物多様性の向上に寄与している可能性が示された。

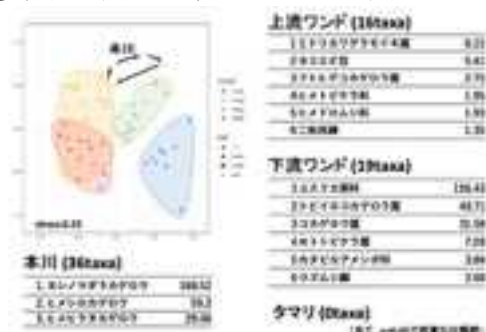


図-10 底生動物群集の類似度をNMDSでプロットし、SIMPERで各地点の群集を特徴付ける分類群を挙げた

伝統的河川工法制作技術については、竹木の加工から竹蛇籠・聖牛の制作設置技術をやましろ里山の会が習得した。竹蛇籠の制作技術(https://www.youtube.com/watch?v=jJ58FYIAfd8)と中聖牛の製作設置方法がYouTubeに纏められた(https://www.youtube.com/watch?v=2iEnreHyUag)。本研究では、河川利用や河川管理への市民参加として、「川普請に相当する参加型河川管理」(図2)が実現された。

4. 今後の展望

聖牛などの伝統的河川工法が河床に多様な生息場を形成する機能について、本研究で追究しきれなかった様々な条件設定で実験することによって、各

地河川の個性に応じた河床地形管理手法に繋がる事が期待できる

5. 河川等政策への質の向上への寄与

伝統的河川工法が、河床の侵食堆積動態を活性化することを活用すれば、各地の劣化した河川環境の改善に寄与できることが期待される。本研究を通じてやましろ里山の会、京の川の恵みを活かす会、河川レンジャーらが習得した伝統的河川工法の製作・設置技術については、今後各地への河川管理の現場へ伝承することによって、市民参加型河川管理が普及することが期待される。

6. 主な発表論文及びホームページ等

- 小林草平・角 哲也・竹門康弘(2018) ドローン熱画像撮影による砂州における伏流水湧出場の検出. 京都大学防災研究所年報 61B: 711-721.
- 小林草平・角 哲也・竹門康弘(2018) 河川環境調査におけるドローンを用いた流速・流量の評価. 河川技術論文集 24: 29-34.
- Kobayashi S, Kantoush SA, Al-mamari MM, Tazumi M, Takemon Y & Sumi T (2022) Local flow convergence, bed scour, and aquatic habitat formation during floods around wooden training structures placed on sand-gravel bars. Science of The Total Environment, 817: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152992>
- 中村萌・田中亜季・竹門康弘・片野泉(2022) 木津川中流域における伝統的河川工法・聖牛により創出されたワンド・低水敷タマリの環境と生物群集. 陸水研究 8: 66-67.
- 竹門康弘(分担)(2019) 木津川の自然と利用. 京都学研究会(編) 京都を学ぶ【南山城編】-文化資源を発掘する-, ナカニシヤ出版, pp24-41.
- 竹門康弘(分担)(2019) 木津川の生き物たち. 京都学研究会(編) 京都を学ぶ【南山城編】-文化資源を発掘する-, ナカニシヤ出版, pp42-55.
- 竹門康弘(2021) 伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究. RIVERFRONT 92: 16-19.
- 玉川一晃・竹門康弘・小林草平・角 哲也(2020) 木津川の聖牛周辺に形成される一時的たまりの生息場特性. 京都大学防災研究所年報 63B: 344-355.
- Tazumi M., Kobayashi S., Takemon Y., Sumi T., Takebayashi H., Inagaki S., Kawauchi Y., Kayo Y., Nagatani N., Yonekura S. & Yamaguchi K. (2019) An application of Japanese traditional river works "Seigyū" for habitat restoration in the Kizu River. 14th International Symposium on River Sedimentation, September 16-19, 2019, Chengdu, China.
- 田住真史・竹門康弘・小林草平・角 哲也(2019) 木津川の河床地形管理における伝統的河川工法「聖牛」の活用. 京都大学防災研究所年報 62B: 734-765.
- 田住真史・角 哲也・竹門康弘(2018) 伝統的河川工法「聖牛」に関する知見の整理と木津川における試験施工. 京都大学防災研究所年報 61B: 748-755.
- 若林康平・石田裕子・山口翔吾・今川愛佑美・鬼迫良隆・丸山勇気・山本義彦(2021) 淀川点野地区における新設ワンド群と既存ワンドの魚類群集の生息状況の把握. 陸水研究 8: 69-71.