

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

Habitat Characteristics of Temporal Pools Created Around Japanese Traditional River Works “Seigyū” in the Kizu River

玉川一晃⁽¹⁾・竹門康弘・小林草平⁽²⁾・角 哲也

Kazuaki TAMAGAWA⁽¹⁾, Yasuhiro TAKEMON, Sohei KOBAYASHI⁽²⁾ and Tetsuya SUMI

(1) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(2) 温州大学 生命環境科学学院

Synopsis

In order to maintain habitat heterogeneity in the Kizu River, we focused on one of the Japanese traditional river works "Seigyū" as a technique to control riverbed erosion and deposition. We made a series of field monitoring of geomorphological and habitat changes after the installation of groups of Seigyū at a bankside of a sand bar. The upstream and offshore side of the Seigyū were highly eroded while the downstream side was highly deposited after each of several floods in these 2 years. As a consequence, temporary ponds were formed at the side and in front of the Seigyū although there were few ponds before the Seigyū installation. Results of biological monitoring showed that the ponds functioned as habitats for aquatic animals of still water inhabitants and rarely for those of running water inhabitants. These results indicate that Seigyū has a high potential as a device of riverbed management for facilitating local erosion and deposition to keep habitat and biological diversity in rivers.

キーワード: 伝統的河川工法, 聖牛, 河床地形管理, 生息場日齢, 侵食, 堆積

Keywords: Japanese traditional river works, crib spur, riverbed management, habitat age, erosion, deposition

1. はじめに

1.1 木津川下流域の概要

木津川は流域面積 1,596km²・幹川流路延長 99km の淀川水系の一級河川である。三重県の鈴鹿山脈・布引山脈を源流とし、笠置で布目川と合流した後下流区間となり京都府の山城盆地を北西に向かって流れ、京都府八幡市で宇治川・桂川と合流し、淀川となる¹⁾。下流区間の流路延長は 37.2km であり、その勾配はおおよそ 1/1,000~1/2,000、約 30km 地点の加茂観測所における平水流量は約 22m³/s である（国土交通省、<http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/d>

osha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf9）。その流域には風化花崗岩が広く分布し、生産された土砂が下流区間で堆積する典型的な砂河川である。下流域の山城盆地流程では、土砂供給量の多い支川において、天井川の地形を呈する場所が多く存在する。

しかし、1960~1971 年に実施された砂利採取によって木津川の河床は大きく低下した。さらに、上流部に 1969 年の高山ダムに始まり、青蓮寺ダム・室生ダム・布目ダム・比奈知ダムが建設され、木津川下流域に供

給される土砂量が減少したことなどによって河床低下はより顕著となっている(竹林ほか, 2005)。

河床低下は河道の高低差の拡大や流路と砂州の固定化につながる。実際に最深河床高は低下傾向を示しているほか(国土交通省, http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf), 調査地点(15.2km 地点)付近においても Fig1 のような河道の二極化が見られる(田住ほか, 2019)。

また、河床低下は固定化した砂州の陸域への移行も促している。河道の高低差の拡大や出水の少ない期間があったことにより植生域が発達していったと考えられ、現在では多くの砂州で樹林化が確認できる(辻本ほか, 2002)。そして植物の堆積促進効果により、砂州の樹林化がますます河道の二極化を促進している可能性がある(鷺見ほか, 2000)。また、ダム建設後の流送土砂量の減少が推測されており(竹門ほか, 2013)、河床の低下・河道の二極化はこれからも進行していくことが予想される。実際に、橋脚の根入れの露出などの問題に対し、御幸橋の付け替えなどの対策がなされている。

上記のような物理環境の変化はその生物相にも影響を与えている。タナゴ類やイシガイ科二枚貝などの減少傾向にある生物もいる(上野ほか, 2016)一方で、砂河川の木津川においては河床低下による河床の安定化が、礫底の瀬の底生動物相を豊かにしつつあること

が明らかになっている(小林ほか, 2013)。また、上流のダム群の堆砂が進んでいることもふまえると、将来的に河床低下問題を解決する為に、土砂還元を行う計画が策定されつつある。その際に、ただ土砂還元を行うだけではタナゴ類などを増加させるようなたまりを創出することはできても、現在のような生物相の豊かな礫底の瀬を保存していくことは難しいと考えられる。

1.2 土砂還元時の課題解決手法としての聖牛

前項で述べたように、木津川の土砂供給量が増加した状況においても局所的な浸食・堆積作用を働かせることで、現在の礫底の瀬などの豊かな生息環境を保存することを目的として、聖牛の設置が木津川 15.2km 右岸砂州で実験的に行われている。2017 年 12 月に 3 基、2018 年 12 月にはその 50m ほど上流の場所に 3 基、聖牛の一種である中聖牛の設置を行った。聖牛をこの 2 回では砂州の浸食堆積拮抗場に設置したが、2019 年には浸食卓越場の砂州頭に 3 基、2020 年には堆積卓越場の砂州尻に 3 基設置予定である。聖牛は Fig2 のような形状をしており、水はね・流速低減・堆積促進などの機能があるとされる伝統的河川工法であり、従来は護岸や水制などで用いられてきた(田住ほか, 2019)。木津川プロジェクトでは特にその局所的な浸食・堆積促進作用に着目している。設置した聖牛に期待される効果は Fig.3 でまとめている(田住ほか, 2019)。



Fig.1 The landscape of the Kizu River

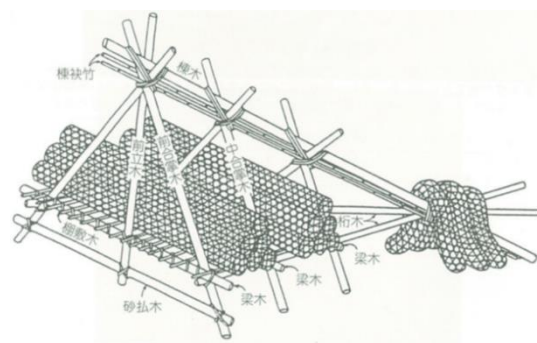


Fig.2 Seigyū



Fig.3 Expected effects of Seigyu

1.3 既往研究

2018 年に行われた調査の結果、聖牛の周辺で局所的な浸食・堆積が促進され、聖牛の背後に土砂が堆積し、前面には一時的なたまりが出現することが確認されている。さらに、この聖牛周辺に形成されたたまりと砂州尻の天然のたまりの生物相の比較を行うことで、聖牛周辺のたまりが天然のたまりとは異なる生物相を持つことが確認された(田住ほか, 2019)。また、堰上げによる右岸堤防際の高水敷たまりの冠水頻度の上昇は起きたものの、対岸砂州の浸食や洗掘個所の流速低減は確認されなかった(田住ほか, 2019)。本研究は、この 2018 年の調査と 2019 年以降に新たに調査した結果をもとに分析を行った。

1.4 本研究の目的

これまでに述べたように、聖牛が局所的な浸食・堆積を促進する効果を持ち、聖牛周辺に一時的なたまりができる。しかし、この一時的なたまりが木津川の生態環境にどのような貢献をしているのかは明らかになっていない。

本研究では、生物相に基づいたたまりの分類を行い、砂州上にどのようなたまりがある状態が生物相には望ましいのか検討するとともに、聖牛によって増加した

たまりを分析することで、聖牛が木津川の河川環境に与える効果について評価することを目的としている。

2. 研究手法

2.1 研究手法の概要

出水による河床地形の変化、すなわち生息場構造の変化に伴い、そこに成り立つ生物群集にも変化が起こっていると考えられる(井上ほか, 2019)。そこで出水前後を中心に、UAV を用いた上空からの写真撮影・聖牛回りの水準測量を行うことで砂州地形や砂州上のたまりの物理的環境の変化を追跡すると同時に、砂州周辺で水生動物の採集を行うことで生物群集の変化を追跡した。

2.2 地形の分析手法

出水前後の河床地形の変化を把握するために、UAV (ドローン) を用いた上空からの写真撮影を行い、その写真から DEM (DSM) を作成し、河床地形を定量的に把握した。具体的には、UAV で撮影した写真を写真計測ソフトウェアで合成し、オルソモザイク画像と DEM (DSM) を出力した。

一般的に、オルソ画像や DEM を作成する際には地

上に標定点を複数設け、対空標識を設置して画像上で検出できるようにし、標定点の水平位置と標高を実測したうえで、値の補正を行う。しかし、調査地点は距離標からの距離が遠く、毎回その作業を行うことは困難と判断した。そのため、本研究ではオルソ画像・DEMは撮影写真に記録されている位置情報(UAVに搭載されたGPSで記録した位置情報)だけを用いて作成した。その後、水平位置と標高の補正を行った。上記の補正を施したオルソ画像とDEMを用いて、聖牛周辺に砂州を横断する線を3本引き、そのそれぞれで出水による砂州の3次元的な変化をとらえた。

また、聖牛の設置前後で河道にどのような変化が起きているのかを分析した。

また、砂州頭の水際・聖牛周辺・砂州尻の河床材料の粒度分析を行った。市販のお好み焼きカップを用い、カップを河床に押し当て、180度回転させることで、毎回一定量を採取し、採取した試料を持ち帰って粒度試験を行った。

2.3 たまりの分析手法

2.2で得られた補正後のオルソ画像・DEMを用いて砂州上にあるたまりの面積・本流との水位差・定点からの砂州縦断方向の距離・本流までの距離の4項目の数値を取得した。本流との水位差というのは、たまりの中心を通る砂州の横断線と本流右岸の交差点付近の水際と、たまりの水際の標高差のことである。それぞれの水際5,6点の標高値を取り、そのばらつきが小さい時にそれらの値の中央値をそれぞれの水際の標高値とした。定点からの砂州縦断方向の距離というのは、2018年12月に設置した聖牛の竹蛇竈上を原点として砂州を縦断するように引いた線をx軸とした際の、たまりの中心部のx座標の値である。本流との距離とはたまりの中心部から本流で一番近いところまでの距離のことである。

また、たまりの1日の水温変化の特徴を知るために、2019年8月12日に2018年に設置した聖牛の脇に存在した小さなたまり2か所、砂州尻で確認された湧水のあった場所、本川の計4か所に水温計を設置した(詳しい設置場所は結果の項を参照)。

2.4 たまり日齢の決定手法

たまりやワンドの生物群集は増水や減水によって攪乱を受ける。これは、増水時の強い水流や河床の移動によって底生動物の移出・移入や死亡が引き起こされるためである。もちろん、出水の規模によっては生物群集に攪乱が引き起こされない場合もあるが、中規模(年に3から5回程度)以上の増水直後は増水前と比較すると生物の個体数や種数が大きく低下する傾向がある。特に、砂河川で河床変動が激しい木津川においては、さらに小規模の出水でもその生物群集の種構成に影響が出る可能性がある(井上ほか, 2019)。

上記の通り、たまりの生物群集にとっては最後に攪乱を受けた時から経過している時間が重要なファクターとなる。そこで、たまりが最後に攪乱を受けた日から経過した日数のことを“たまり日齢”と定義した。大規模な出水では砂州上のすべてのたまりの生物相が攪乱を受けると考えられる。そのため、生物群集は調査地点のやや上流の飯岡の水位が一定値を超えると砂州上のすべてのたまりが攪乱を受けたとみなした。また、実際に河床変動がその規模の出水で起こっているのかの確認も行った。河床が大きく変動していればそれとともに生物の移出が起こっている可能性が高いので(井上ほか, 2019)、その出水で生物群集が攪乱されたと考えること、つまり、たまり日齢を更新することにある程度の正当性を持たせられると考えた。

2.5 生物群集変化の調査手法

底生動物の採集では各調査地点における採集の努力量を揃えつつも、その調査地点(生息場)における特徴的な場所での採取を行う必要がある(井上ほか, 2019)。そこで、調査地点の水際及び植生付近は逃さずに採取を行うことでその生息場としての特徴を押さえると同時に、小さなたまりではより丁寧に生物採取を行うことで採集努力量の差を縮められるように心がけた。

水生動物の採集にはDフレームネットを用い、足で河床を掃くようにしてネットに生物を流し込んだ。採集物は一度バット上に出し、Dフレームネットも用いて有機物を少なくしてからエタノールを入れた容器に

移した。この容器を持ち帰り、顕微鏡を用いて種の同定を行った。

さらに、判明した生物群集とそのたまりの生息場特性（2.3 であげた 4 つの特性とたまり日齢）の関係について分析を行った。

2.6 たまりの分類

存在しているたまりを構造的特徴に基づいて分類を行うのと同時に、生物群集に基づいた分類も行った。その結果に基づき、木津川の生態系の多様性のためにはどのようなたまりが必要であるのか、また、聖牛設置後にどのようなたまりが増えているのかの分析を行う事で、聖牛が生態系に与える影響について考察した。

3. 結果

3.1 生息場の変化

3.1.1 砂州地形・河道の変化

調査地点である木津川 15.2km 付近の聖牛設置前後の流路の変化を Fig.4 で示す。聖牛設置前後で比較すると、出水によって砂州よりやや上流部の河道が右岸側に移動した。また、砂州下流部は浸食されて砂州下流端が上流側に移動していた。樹林化した対岸の水際線はほとんど変化がなかったが、その上部の陸地で樹木がなくなった場所が見られた。結果として、調査地点周辺で河道の蛇行が進み、砂州面積は縮小していた。また、対岸で樹木が部分的になくなったのは増水時の聖牛の影響によるものなのかもしれない。

砂州の粒度分布については、上流側の水際は 5mm 以上の礫が多い場合が多く、下流側では 1~5mm の比較的

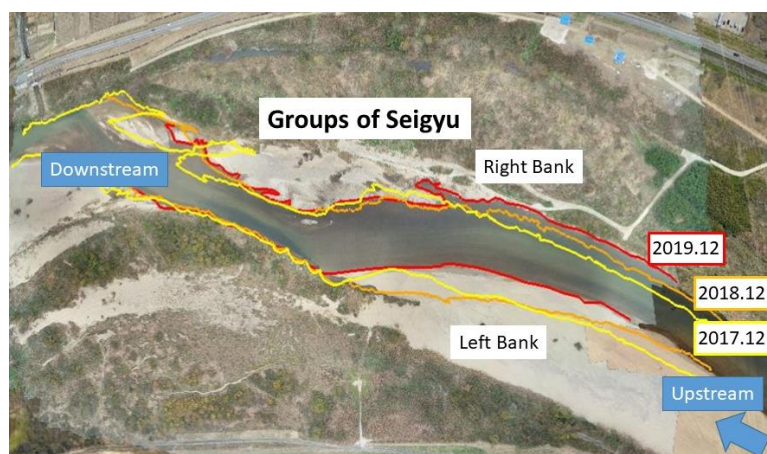


Fig.4 Change of river channel

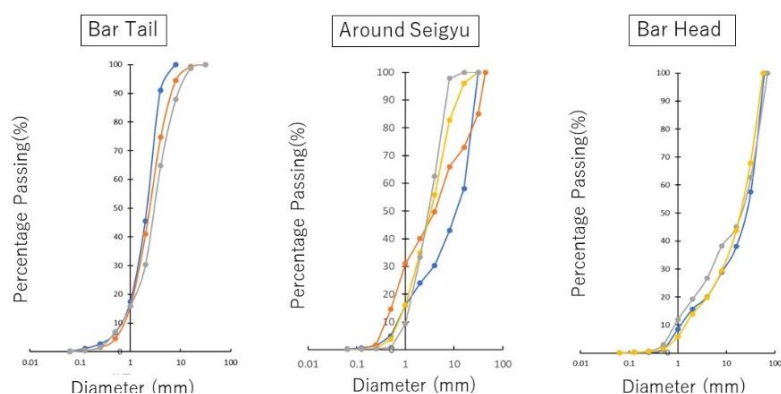


Fig.5 Sand diameter



Fig.6 Deposition around Seigyu

細かい砂が多かった。聖牛設置周辺は細かい時も粗い時もあった (Fig.5)。出水の規模などによって、粗粒化や細流化をしたが、聖牛周辺に細粒土がまとまって存在していることが分かった(Fig6)。

3.1.2 聖牛周辺の変化

聖牛周辺の砂州の横断面の比高変化を Fig.7 に示す。概ね、聖牛の前面・側面が浸食され、後方に土砂が堆

積する傾向が見られた。しかし、聖牛周辺でも出水によって浸食したり堆積したりする場所もあった。また、その浸食・堆積の規模は上流側の聖牛の方が大きかった (Fig.7 の a と b の比較)。これは上流側の方が大きく浸食される傾向があることと関連していると思われる。

また、出水直後には聖牛の周囲にたまりやワンドができた。浸食された場所にできたたまりはその水深の

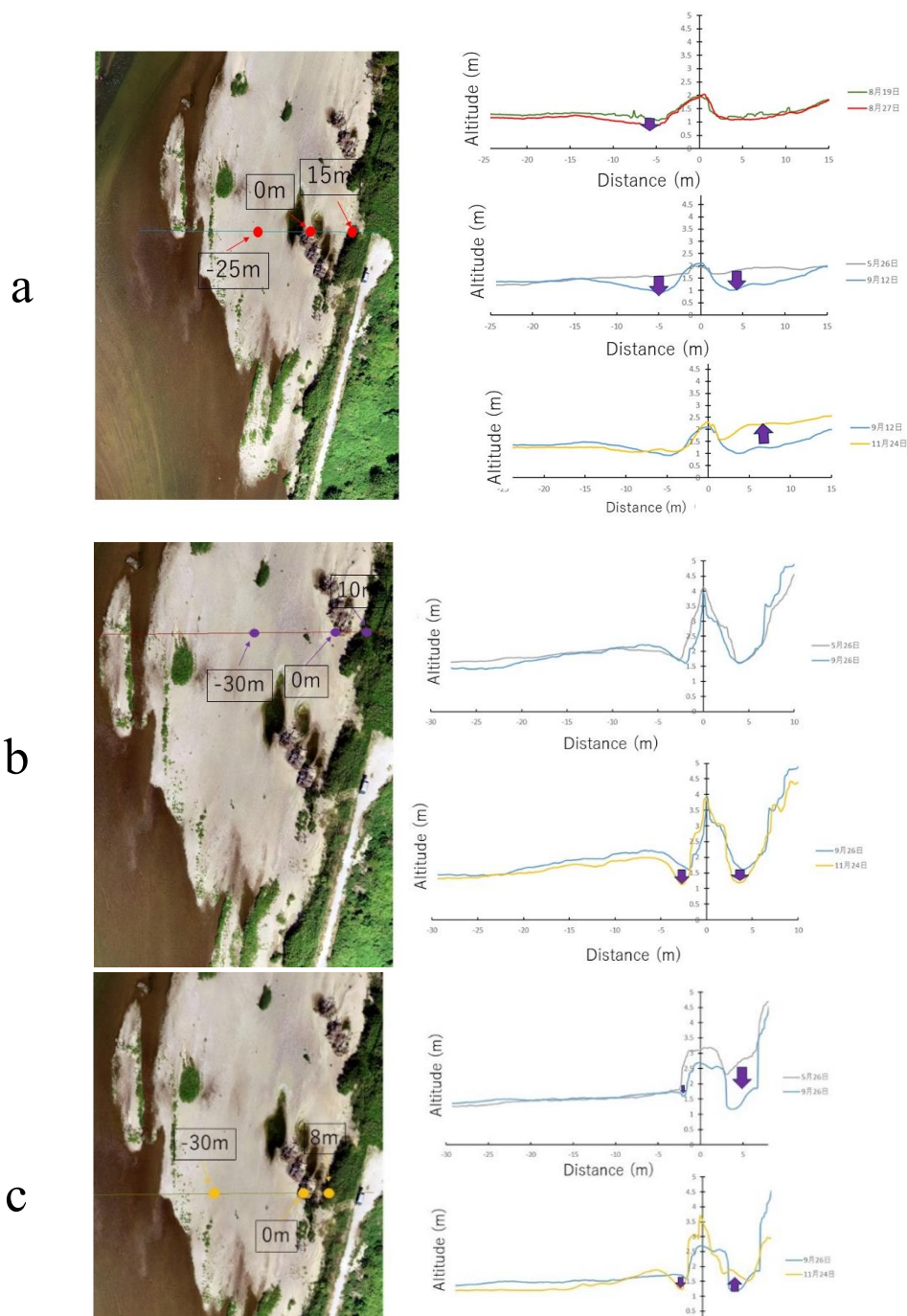


Fig.7 Altitude changes after floods

深さのため、存続時間が他のたまりよりも長かった。

そして、出水により聖牛の前面の土砂が浸食されることによって、聖牛そのものも前方へ傾いてしまった。また、出水の度に聖牛の前面は木の枝などの浮遊物を受け止め、その不透水性が高まっている可能性が高いと考えられた。

3.1.3 たまりの環境

2章に記述した方法で作成したオルソ画像・DEMを用い、砂州上に存在するたまりの物理的要素（面積など）の数値を取得した。この結果を3.2の生物相の変化についての分析で用いている。

また飯岡水位がかなり下がっていた2019年8月13日において、たまりの水深が砂州頭では浅く、聖牛周辺ではそれよりも深く、下流側ではさらに深くなっていた（Fig.8）。他の調査日においても同様の傾向が見られたため、たまりの水深は砂州頭側であるほど浅くなる傾向があることが考えられる。

一時的たまりの1日の水温変化は、その面積の小さ

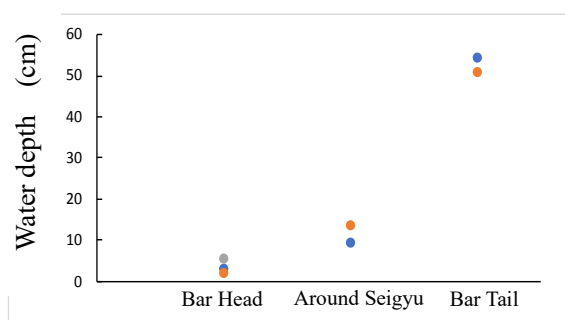


Fig.8 Water depth

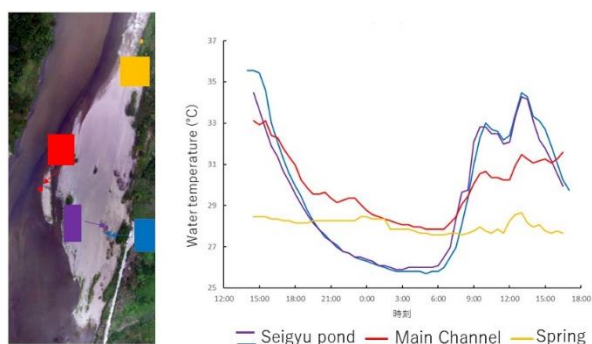


Fig.9 Difference of water temperature

さや水の滞留時間の長さの影響で本川よりも顕著な変

化（一時的たまりでは9度程度・本川は5度程度の変化）が見られた（Fig.9）。また、湧水のあった場所の水温は1日中あまり変化していなかった（1度程度）。以上の結果から夏季においては、目に見えるような湧水が存在しないほとんどの一時的たまりの水温は本川よりも1日の変化が大きく、生息場の環境としてはより過酷なものであることが分かった。

また、2018年12月に新たに設置した聖牛3基が砂州のたまり構成に及ぼした影響について考察するために、2018年と2019年で砂州上のたまりの出現状態の比較を行った。2019年は2018年12月に設置した聖牛の周囲にたまりが存在したが、2018年のこの場所にはたまりがなかった（Fig.10）。このたまりの出現は2018年に設置した聖牛の影響であると考えられる。

また、たまりの面積は上流側の聖牛付近のたまりの方が下流側の聖牛付近のたまりよりも広くなる傾向があった（Fig.10）。これは上流側の聖牛の方がより浸食・堆積促進効果が大きく、浸食された面積が大きくなったためと考えられる。

3.1.4 たまり日齢の決定

3.1.2の横断面の変化のうち、2019年の8月19日から8月27日の変化（Fig.7-cの一番上）を参照する。2019年8月19日から8月27日の間に起った程度の出水でも砂州地形にはある程度の変化が見られた。このことから、本研究では2019年8月19日から8月27日の間に起った規模以上の出水があれば、砂州上のすべてのたまりの生物相が攪乱されているとみなした。そ



Fig.10 Appearance of ponds

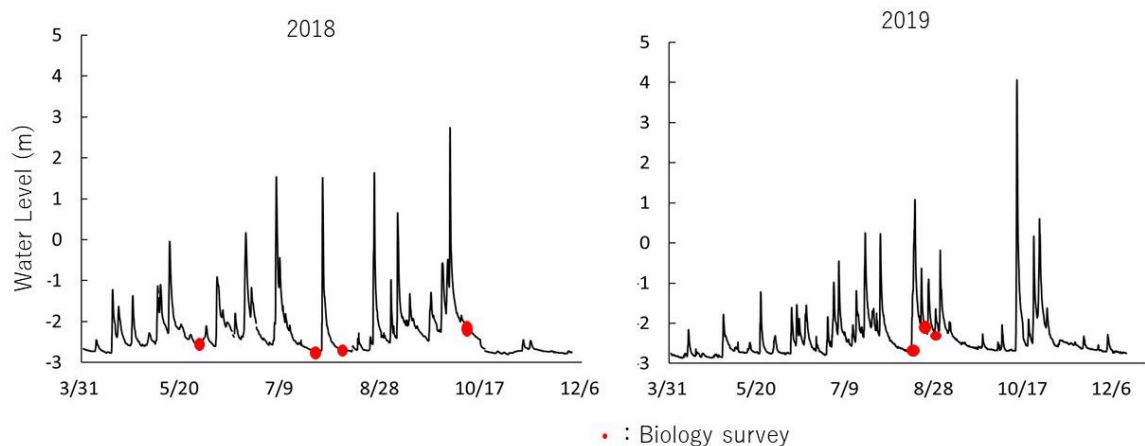


Fig.11 Water level of Inooka

して、その間の飯岡水位 (Fig.11) の最大値は-0.63m であった。したがって、飯岡の水位が-0.63m を最後に越えた日から経過した日数をたまり日齢と定義することにした。

また、2019 年 8 月 20 日のオルソ画像を参照すると砂州の大部分が冠水している。この時の飯岡水位が-1.47m であることも考慮すると飯岡水位が-0.63m まで上昇すると砂州上のたまりで攪乱が起きているとみなしても問題ないと考えた。

上記のたまり日齢の定義に従って 2018 年・2019 年の飯岡水位 (Fig.11) を参照し、2018 年 5 月 26 日・日・2019 年 8 月 13 日・2019 年 8 月 19 日・2019 年 8 月 27 日のたまり日齢をそれぞれ 12 日・19 日・8 日・12 日・17 日・2 日・7 日とした。多くの生物調査を大規模な出水後に行ったため、結果的に比較的たまり日齢の若いたまりが多くなった。

3.2 生物群集の変化

生物採集は 2 章の調査内容一覧で示した通り、計 7 日間実施した。このデータのほかに 2018 年 5 月 22 日・2018 年 9 月 25 日の右岸堤防際の高水敷たまりの水生動物のデータを国土交通省淀川河川事務所からいただいた。したがって計 9 日分のデータが存在するわけであるが、季節差の影響を考慮に入れて基本的には 7 月 27 日から 8 月 27 日の約 1 か月間の生物データ (5 日分) を中心に分析することにした。

2 章で述べた通り、たまりの生物群集をたまりの日

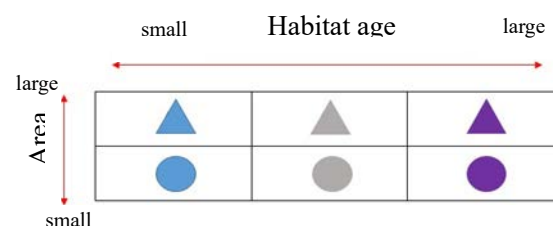


Fig.12 Labels

齢・面積・定点からの砂州縦断方向の距離・本川との水位差・水深・本川との距離といった項目で分析を行った。特に、たまり面積と日齢が生物群集の変化と強く関係していた。したがって、たまりの面積とその日齢段階においてたまりのグループ分けをしてから、生物群集の分析する必要があることが分かった。これ以降では、便宜的に面積が 40m² より大きいかどうか、また日齢が 3 日前後・10 日前後・20 日前後でグループ分けを行っている。なおグラフにおけるラベルとして夏のものは (夏・たまり日齢・面積)、春・秋のものは (季節・面積または高水敷) で示してある (Fig.12)。

以降ではこのたまりのグループ分けの根拠を示すとともに、面積や日齢段階による生物群集の細かな違いについて 3.2.1 と 3.2.2 で述べる。面積と日齢以外では、たまりが砂州頭にあるのか砂州尻にあるのかでも生物群集に違いが見られた。このことについては 3.2.3 で述べる。本研究においては上記のたまりの特徴で生物群集の違いが見られたが、追加の調査を行うと、他の要素 (底質など) によっても生物群集に違いが出てくると考えられる。

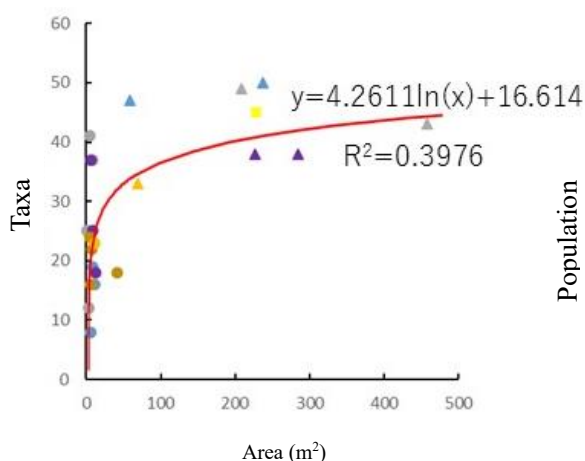


Fig.13 All taxas

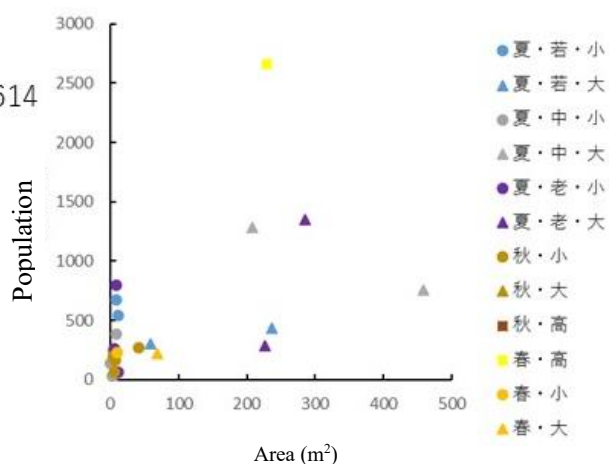


Fig.14 All population

3.2.1 たまり面積と生物群集の関係

たまりから採集された生物の全タクサ数及び全個体数とたまり面積の関係を分析した。

全タクサ数はたまりの面積の増加とともに急速に増加するが、面積が 100~200m² で頭打ちになることが分かる (Fig.13)。

全個体数に関しては、全個体数の少ないたまりは面積が 10m² 以下のごく小さなたまりに集中しているが、全個体数は面積の増加とともに個体数も増加する傾向が見られた (Fig.14)。

一般に知られている種の多様性と調査面積の関係として種数面積関係というものがある。これは生物種の数が調査面積に依存することを示す式である。今回の調査でも同様の関係が認められた。たまり面積が大

きいたまりの方が出水によって流されてきた生物をより多く受け止めるであろうことや、たまり面積が大きい方が環境の多様度が大きい場合が多いことなどが原因と考えられる。この結果から、他のたまり環境の要素を取り出して生物相の変化を見る際にも、たまり面積の大小を念頭に置き、たまり面積の大きなもの同士・小さなもの同士で分析を行うことにした。

3.2.2 たまり日齢と生物群集の関係

A) たまり日齢による生物群集の分類毎の応答

たまりの日齢による目ごとのタクサ数の変化としては大まかに 3 つの傾向が存在したので、その変化の傾向の違いで後述の 3 つのグループにそれぞれの目を振り分けた。

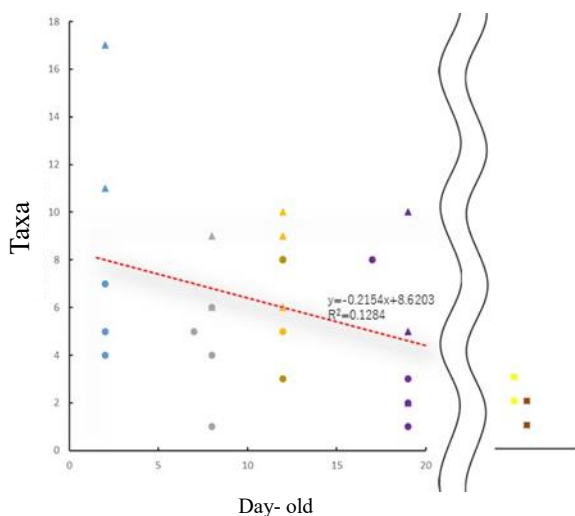


Fig.15 Ephemeroptera

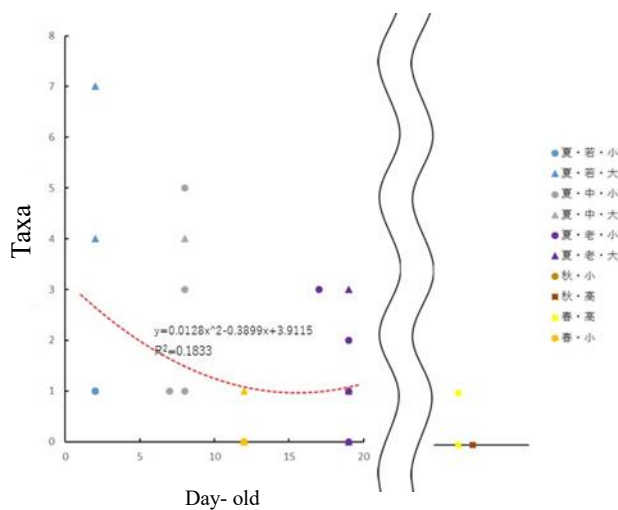


Fig.16 Caddisfly

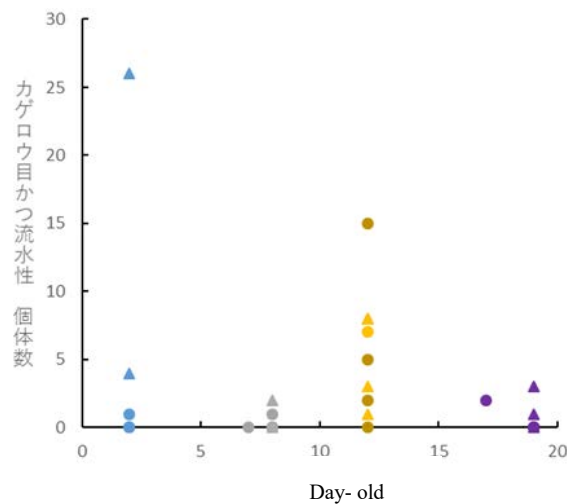


Fig.17 Ephemeroptera

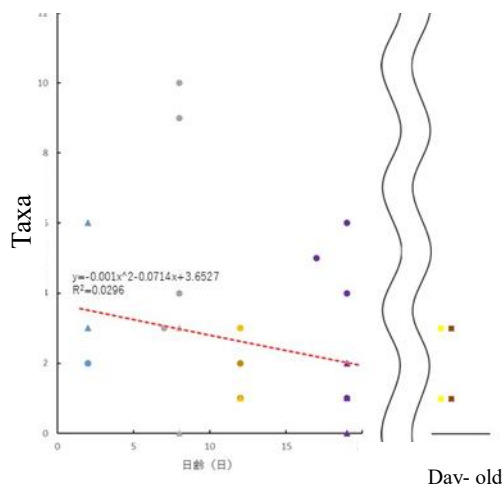


Fig.18 Coleoptera

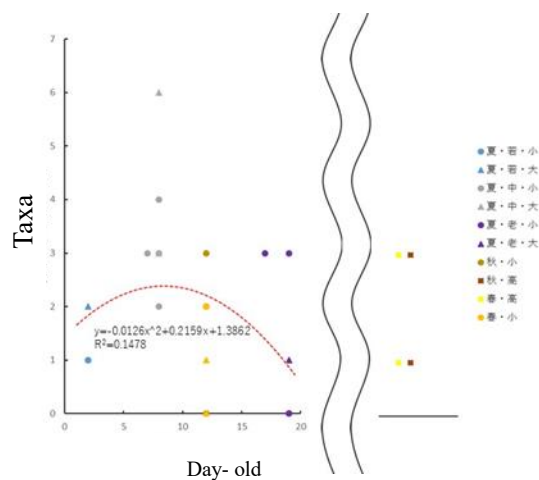


Fig.19 Hemiptera

1 つ目のグループ“日齢減少型”に、たまり日齢が増加するとそのタクサ数が減少する目を振り分けた。カゲロウ目・トビケラ目がこのグループに属する (Fig.15, Fig.16)。両方とも、面積の大きいたまりの方がそのタクサ数は多くなっている。また、たまり日齢の若いものにも存在した種のほとんどが本流の生物調査でも存在が確認されている。つまり、このグループの生物は大きな出水によってたまりまで流されてくるものの (Fig.17)、たまりのような止水的環境を好まず、本川などの流水的環境まで規模の小さな出水時などに移動したものや、止水的環境に耐えきれず死亡したものや、捕食されてしまったものが多いと考えられる。また、大規模な出水直後の調査 (2019 年 8 月 19 日) において木津川下流域でもミツトゲヒメシロカゲロウの存在が確認された。この種は川の上流のワンドなどに生息

しているため、大規模な出水によって上流から流下してきたものが採集されたと思われる。

2 つ目のグループ“日齢増減型”に、一定の間は日齢の増加に伴ってそのタクサ数が増加するものの、さらにたまり日齢が増えるとそのタクサ数が減少する生物群を振り分けた。カメムシ目・コウチュウ目がこのグループに属する (Fig.18, Fig.19)。

まずはコウチュウ目について分析をした。コウチュウ目は面積が大きいたまりでは、日齢の増加に従ってそのタクサ数を減少させていく。その一方で面積の小さいたまりでは、最初のうちは日齢の増加に従ってそのタクサ数を増加させるものの、一定の日齢を過ぎると日齢の増加に従ってそのタクサ数を減少させていく。ゲンゴロウ類やヒメガムシは面積の小さなたまりでのみ確認され、前者は“日齢増加型”後者は“日齢増減

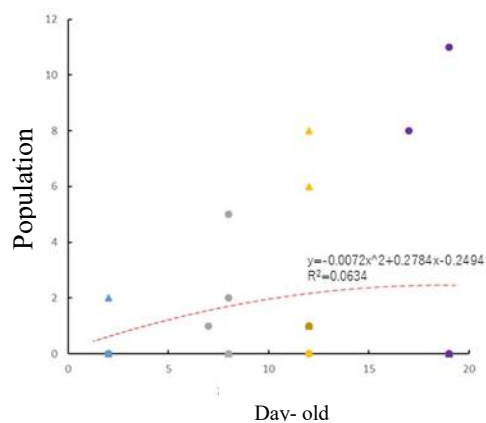


Fig.20 *Cybister japonicus*

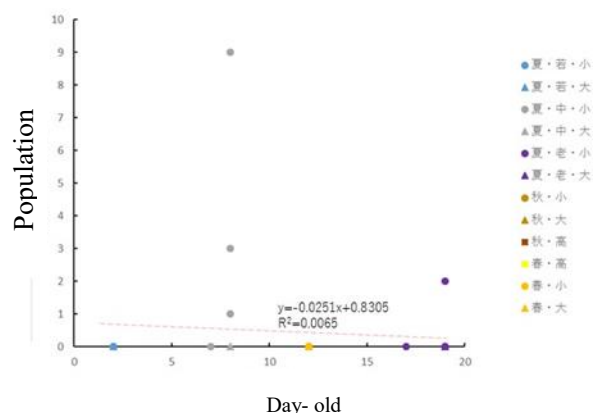


Fig.21 *Sternolophus rufipes*

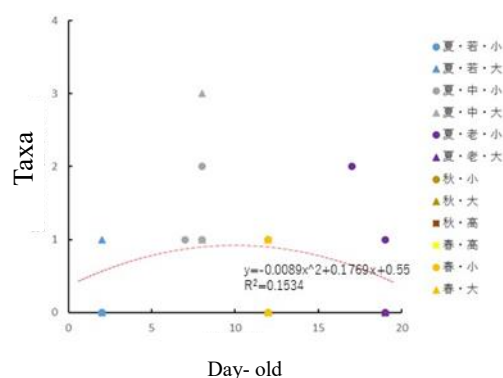


Fig.22 *Aquarius paludum*

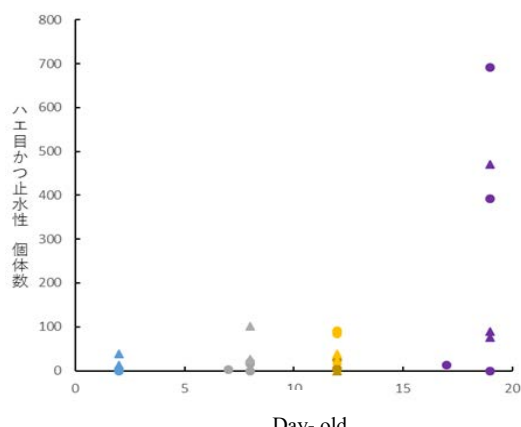


Fig.26 Diptera

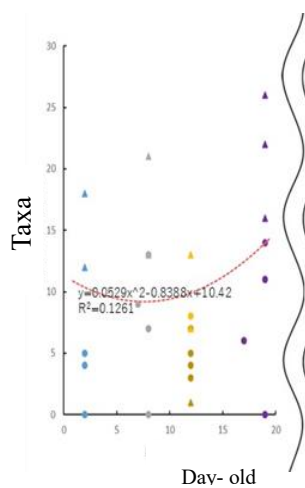


Fig.23 Diptera

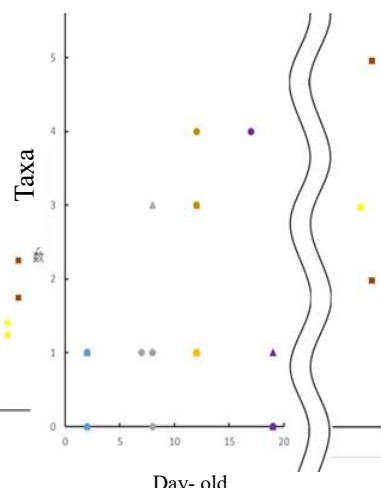


Fig.24 Odonata

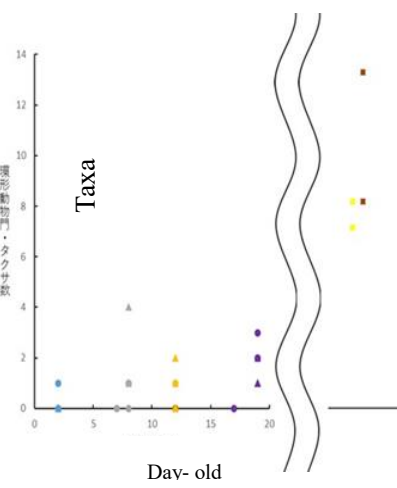


Fig.25 Annelida

型”と同様の増減を見せた (Fig.20, Fig.21). 一方でシジミガムシは面積の大小にかかわらず確認され, “日齢減少型”と同様の日齢への応答をした. ゲンゴロウ類は攪乱後ある程度時間がたったために飛来してきて, そこに定着している可能性がある. 日齢の大きなたまりでのみ, その幼虫が確認されたことがその根拠である.

ヒメガムシは植物などの破片を食べているようなのだが, ある程度のたまり日齢を過ぎるとヒメガムシが好むような植物破片がなくなってしまうために, ある程度日齢がたつとその個体数を減らしてしまう可能性がある.

次にカメムシ目であるがこちらは面積の大きいたま

りで特に“日齢増減型”特有の特徴が見られた。その代表としてアメンボ類があげられる (Fig.22)。アメンボ類は肉食性であり水面に落ちてきた昆虫などを食べるが、ある程度の日齢がたつと餌となる昆虫が減少し、飛行して本川の岸際などに移動してしまった可能性がある。

3 つ目のグループ“日齢増加型”に、たまり日齢の増加に伴いそのタクサ数が増加する生物目を振り分けた。ハエ目・トンボ目・環形動物門がこのグループに属する (Fig.23, Fig.24, Fig.25)。また、十脚目もこのグループに属する可能性がある。日齢の増加により出現した種はホソミユスリカなど止水域を好む生物が多かった (Fig.26)。これらの生物が攪乱を受けない状態が続いた場合には優占種となる可能性が高い。

もちろん、存在したタクサ数が少なかったため、上記の3つのグループに分類できない生物群も存在した。具体的には二枚貝・カワゲラ目・ダニ目などである。二枚貝は河床安定度の比較的高い場所に多いと言われていること (田住ほか, 2019) を考慮すると、さらなる生物採集を行うと“日齢増加型”に属する可能性がある。

B) たまり日齢による優占種の変化

その個体数がそのたまりの生物の全個体数に占める割合が最も高いものをそのたまりの優占種という。また、優占種の個体数が全個体数に占める割合を優占率と呼ぶ。優占種・優占率を見ると、そのたまりがどのような環境にあるのか想像できる場合がある。本研究においても、生物採集を行った全てのたまりの優占種・優占率を調べたところ、Fig.27 の通りになった。

たまり日齢が2日のたまりはコチビズムシかヒメシロカゲロウなどのカゲロウ目が優占種となった。たまり日齢が10日前後のものはカワリヌマエビが優占種となるものが多かった。日齢が20日前後のものはウスイロユスリカ等のユスリカ亜科が優占種となるものが多かった。比較的攪乱を受けにくいと考えられる高水敷たまりにおいてはアシマダラユスリカやヒゲユスリカ等のユスリカ亜科が優占種となることが多かった。これらから木津川において日齢が増えるとユスリカが優占種となることが想定される。また、ユスリカ亜科は水中の溶存酸素濃度の低下に対する耐性が強く、そのような環境において他の生物よりも優位である。そのため、ユスリカ亜科が優占種となっているたまりは

日齢	優占種	優占率
2	コチビズムシ	0.3
2	ヒメシロカゲロウ属の数種	0.2
2	コチビズムシ	0.59
2	ヒメシロカゲロウ属の数種	0.25
2	コチビズムシ	0.72
7	ヒメウスバコカゲロウ属の1種	0.35
8	カワリヌマエビ属の数種	0.15
8	カワリヌマエビ属の数種	0.34
8	オイカワ	0.64
8	カワリヌマエビ属の数種	0.72
8	エダヒゲユスリカ属の一種	0.54
17	カワリヌマエビ属の数種	0.47
19	ウスイロユスリカ	0.82
19	オイカワ	0.39
19	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.44
19	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.21
19	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.33
19	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.39
高水敷	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.79
高水敷	アシマダラユスリカ属の一種	0.47
高水敷	ヒゲユスリカ属の数種(目少し斜め離れ・体が長い)	0.55
高水敷	チビズムシ属の1種(幼虫)	0.24

Fig.27 Dominant species

	10月13日	8月6日
本川	9.07	6.58
一時的たまり	5.11	5.68
	9.25	1.08
	4.13	2.51
	10.26	2.84

Fig.28 DO

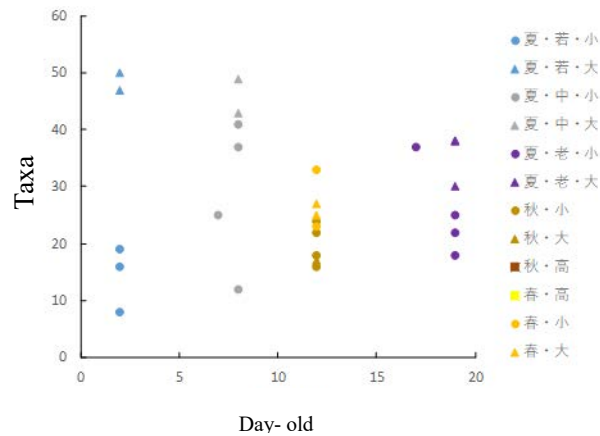


Fig.29 All taxa

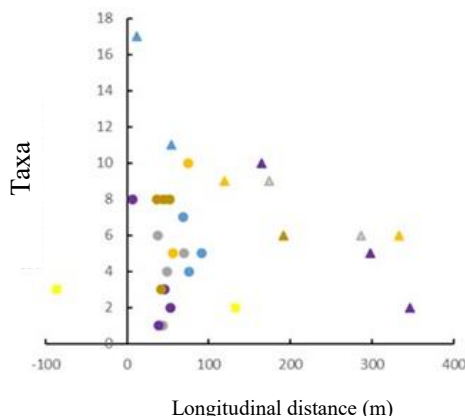


Fig.30 Ephemeroptera

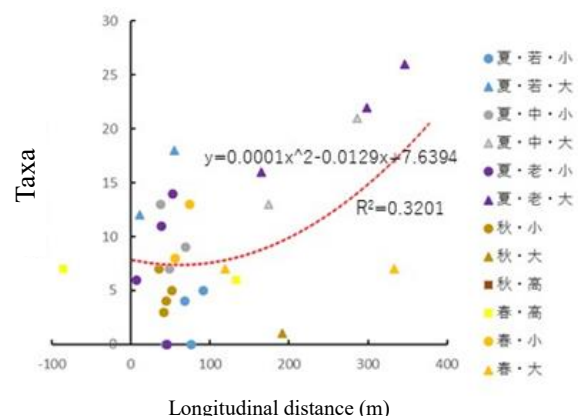


Fig.31 Diptera

溶存酸素濃度が低い状態であった可能性が高い。したがって、日齢の増加とともに、一時的たまりは水温の変化の大きさだけでなく、水中の溶存酸素濃度が低下するという点でも過酷な環境に変化していくと考えられ、本流と比べると一般の水生昆虫には生きづらい環境にあるといえる。実際に攪乱から日数の経過した低水敷たまりでは本川よりも DO が低い場合が多かった (Fig.28)。砂州上の本流とは全く異なる“たまり環境”の生物相も豊かにすることが、川全体の生物相の多様化につながると考えられる。

C) たまり日齢による全タクサ数の変化

3.2.1 で述べたように、全タクサ数はたまり面積が 100~200m² で頭打ちになる (Fig.13)。そこで、タクサ数が収束していると思われる面積の大きなたまり (△のたまり) について各日齢段階で全タクサ数の比較を行ったところ、日齢の若いものと中くらいのものではほとんど変わらないが、日齢の大きいたまりではその数

が少なくなった (Fig.29)。これは、日齢が若い段階から中くらいの段階においては、たまりからいなくなるタクサの数とたまりに新たに現れるタクサの数が拮抗するが、日齢が中くらいから老齢の段階にかけては新たに出現するタクサの数がたまりから姿を消すタクサ数よりも少ないからだと考えられる。このことから、ある程度の間隔で攪乱が起きないと“たまりにおける種の多様性”が減少してしまうことが考えられる。

3.2.3 砂州頭と砂州尻による生物相の違い

カゲロウ目は上流側の方がそのタクサ数が多かった (Fig.30)。カゲロウ目で砂州頭側では確認されたものの、砂州尻側では確認されなかった種としてはアカマダラカゲロウなど流水域を好むような種が多かった (Fig.32)。ハエ目はカゲロウ目とは逆に下流側の方がそのタクサ数が多かった (Fig.31)。ハエ目で砂州尻側では確認されたものの、砂州頭側で確認されなかった

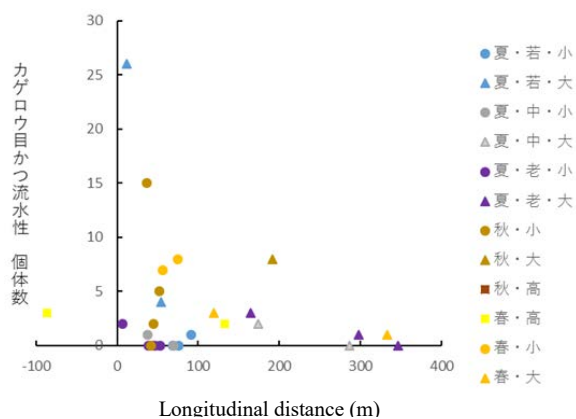


Fig.32 Ephemeroptera

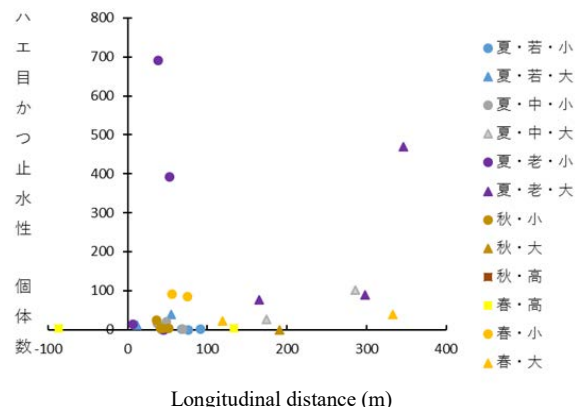


Fig.33 Diptera

		たまり日齢：長いものが多い ワンド			たまり						
					たまり日齢：短め 低水敷			たまり日齢：長い 高水敷			
		砂州頭 砂州中部 砂州尻			砂州頭 砂州中部 砂州尻			砂州頭 砂州中部 砂州尻			
面積	大	深	●	●	◎	●	◎	◎	-	◎	◎
		浅	●	-	-	●	-	-	-	-	-
	小	深	-	-	●	-	◎	-	-	-	-
		浅	-	●	-	◎	◎	◎	-	-	-

◎：生物採集を行った ●：オルソ画像から存在を確認 -：存在が確認されていない

Fig.34 Habitat classification

種としてはホソミユスリカなどの止水域を好む種が多かった (Fig.33). ハエ目は攪乱・流れに対して脆弱であることが考えられる. このことから, 砂州頭は流水種を好む種にとって, 砂州尻は止水域を好む種にとって好適な環境である可能性が示唆されている. 他の生物群で砂州頭と砂州尻におけるタクサ数の明確な違いを示す種はなかった. この結果, たまりの分類を行う際には, たまりが砂州頭にあるのか砂州尻にあるのかでの分類をすることが有効であると推測された.

4. 考察

4.1 たまりの構造的類型化

本節ではたまり・ワンドといった水生動物の生息場

をその構造的な特徴から分類を試みた. 具体的には, 1)たまりかワンドか, 2)低水敷か高水敷か, 3)砂州を縦断的に見た時にはどのあたりにあるのか, 4)面積の大小, 5)水深の深浅という項目をそれぞれの生息場でチェックしていき, たまりを振り分けていった.

オルソ画像を用い, 2018 年と 2019 年に調査した砂州で確認された生息場それぞれを分類群に振り分けていったところ, Fig.34 のようになった. その生息場の存在が確認されたものに●と入力し, そのなかで生物採集を行ったものにさらに○をつけた. たまり日齢については, 高水敷たまりは長いもの, 低水敷たまりは他の分類群よりも比較的短めのものが多く, ワンドは長いものが多かった.

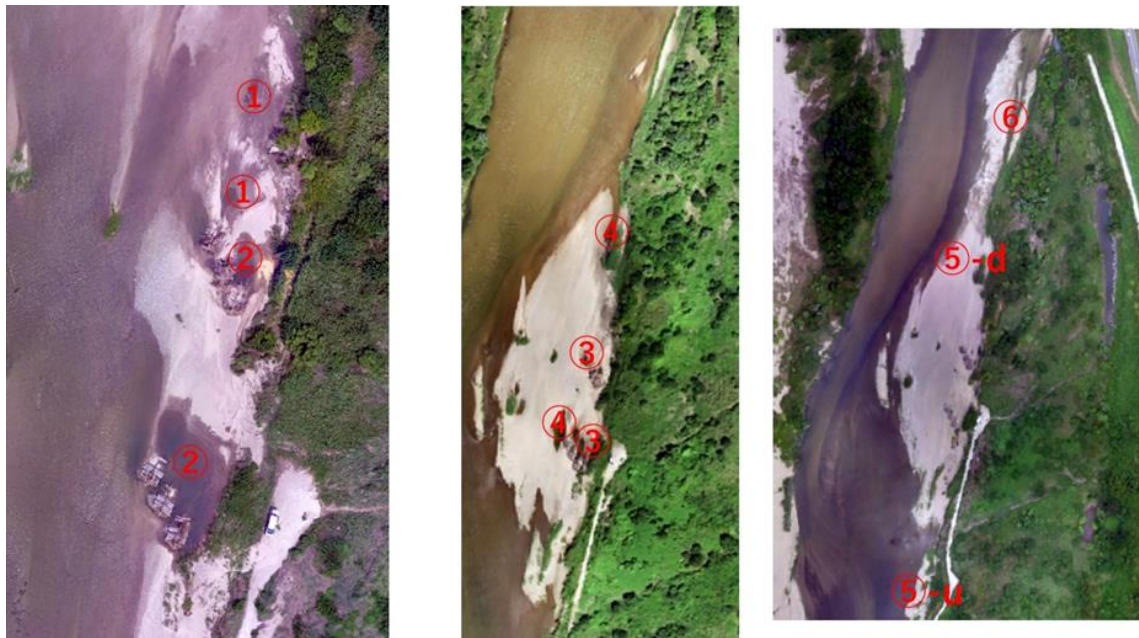
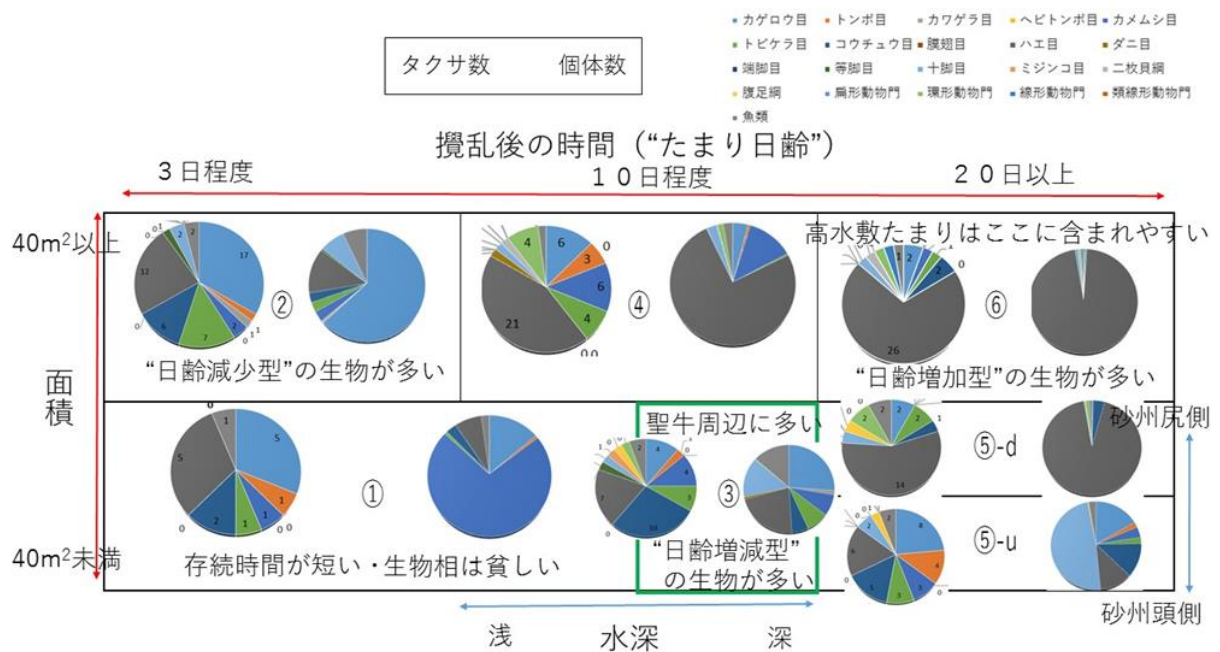


Fig.34 Biocenose classification

4.2 たまり生物群集の類型化

4.2.1 生物群集に基づいたたまりの分類

3章で述べたように、一時的たまりの生物相においてはたまり日齢・面積の2つが特に決定的な要素となることが分かった。この項ではそのことを念頭に置きながら、それぞれの生物相がきちんと分かれるようにたまりの分類を行っている。便宜的に、その面積が40m²より大きいかどうかの2つに分けた後に、たまり日齢が2

日程度・10日前後・20日程度の3段階に分けることで、たまりを6つのグループに分けた。さらにその生物相の違いから、③をその水深が10cm以上かどうかで、⑤を砂州頭側か砂州尻側かでも分類した (Fig.34)。

グループ①のたまりは水深が浅いものが多く、存続時間が非常に短いたまりである。存在する生物の多様性は8つのグループの中で最も低く、優占種はコチビミズムシであった。このグループは他のグループより

多く存在する生物群はおろか、このグループ特有の生物も存在しなかった。したがって、この類のたまりは砂州の生物多様性への貢献度は低いと言える。

グループ②のたまりは水深が大きく、存続時間が長いたまりが多い。優占種はヒメシロカゲロウなどのカゲロウ目であった。他のグループと比較すると、カゲロウ目・トビケラ目のタクサ数が最も多かった。また、ハエ目のタクサ数はグループ⑥と④に次いで多かった。グループ②は“日齢減少型”の生物に好まれるたまりである。

グループ③のたまりは、今回はグループ②のたまりが攪乱を受けないうちに縮小したものが多かったが、攪乱後ある程度の時間がたって本川水位が下がってきた際に本川から切り離されてできるものも考えられる。ここでは、その存続時間の長さ及び生物相の違いから、グループ③を水深15cm未満の③-Aと15cm以上の③-Bに分けた。グループ③-Aには先ほどの後者のたまりなどが含まれ、その優占種はヒメウスバコカゲロウなどのカゲロウ目であり、ハエ目以外の生物群のタクサ数はグループ①と非常に近かった。そのため、グループ③-Aはグループ①と統合した。グループ③-Bは先ほどの前者のたまりである。優占種がカワリヌマエビのものが多かった。他のグループと比較すると、コウチュウ目・カメムシ目のタクサ数が多く、トビケラ目のタクサ数がグループ②程ではないものの多かった。トビケラ目の多さに関しては、かつてグループ②であったたまりが時間の経過により③-Bに属するようになったことが原因と考えられる。グループ③-Bは“日齢増減型”の生物群に好まれるたまりである。

グループ④のたまりは、今回は本川の水位低下により出現したワンド・たまりが属したが聖牛周囲の存続時間の長いたまりでもここに属する場合がある。優占種はカワリヌマエビであった。他のグループと比較すると、グループ③-B同様カメムシ目が多く存在し、グループ⑥に次いでハエ目のタクサ数が多かった。

グループ⑤のたまりは、今回は聖牛周囲のたまりのみであった。その水深の深さのせいで存続時間が長い聖牛周囲のたまりの方が、しばらく出水のない時でもその他のたまりよりも存続しやすいことが原因と考え

られる。グループ⑤は生物相の傾向の違いから、砂州頭側にあるか砂州尻側にあるかで2つに分類した。砂州頭側のグループ⑤-uの優占種はカワリヌマエビであった。砂州尻側のグループ⑤-dの優占種はヒゲユスリカなどのユスリカであった。他のグループと比較すると、グループ⑤はトンボ目のタクサ数が多く、コウチュウ目のタクサ数がグループ③-B程ではないもの多かった。⑤-uと⑤-dの違いはその優占種、カゲロウ目のタクサ数は前者の方が多かったこと、ハエ目のタクサ数は後者の方が多かったことである。

グループ⑥のたまりは、今回は本川水位の低下によりできた砂州尻のたまりやワンドが属した。その優占種はユスリカの一種であった。他のグループと比較すると、ハエ目と二枚貝のタクサ数が最も多かった。グループ⑥は“日齢増加型”の生物群に好まれたたまりである。

なお、今回は以上の7つのグループにたまりを分類していったが、今後の調査によりさらに細かく分類できる可能性がある。

4.2.2 たまり生物群集の時間による変化

たまりが攪乱を受けなければそのたまり日齢は増えていき、面積が縮小したりする。たまりは攪乱を受けなければ、時間の経過とともにその生物群集はFig.35のような変化をすると考えられる。

4.2.3 木津川の生物相を豊かにする”たまり日齢構成“

3.2.2で見たように、たまり日齢が大きく生物群集に

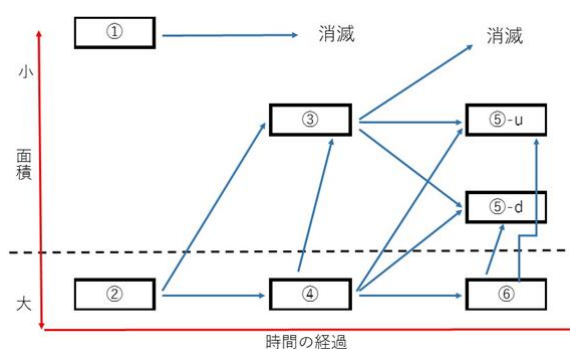


Fig.35 Biocenose change



Fig.36 Change of number of biocenose

影響していたので、生物多様性のためには砂州上のたまりのたまり日齢が幅広く分布する必要があるといえる。また、“日齢減少型”の生物群に好まれたグループ②と“日齢増減型”の生物群に好まれたグループ③-Bと“日齢増加型”の生物群に好まれたグループ⑥があれば少なくとも、その砂州はその時点においては生物相的に理想的な状態にあると考えられる。

4.3 聖牛の生息場形成機能

ここでは聖牛が木津川に実際に与えた影響について検討を行った。

4.3.1 聖牛によるたまり分類群の変化

2018年と2019年のそれぞれで4.1の“構造的特徴によるたまり分類”に基づいて、それぞれのたまり分類群について調査時の平均出現回数を求めた。そして、その数の比較を行うことで、2018年12月に砂州中部に設置した聖牛が実際にどのような生息場を増やしたのかを検証した (Fig.36)。3章前半でみたように、聖牛はその周囲の浸食・堆積作用を増幅させるため、その周囲に水深の深いたまりを作りやすい。したがって、低水敷の中部（聖牛設置周辺）で水深の深いたまりが増加したのは聖牛を設置したことに起因していると考えられる。また、この結果から砂州頭や砂州尻に聖牛を置くとそのそれぞれに水深の深い低水敷たまりが増加

することが予測される。また、そのようなたまりは水深が深いために伏流水を受け取りやすく、水深の浅いたまりよりも存続時間が長くなりやすい。

このように、聖牛は砂州の生息場構造を多様化させる能力を持つといえる。

また、4.2で行った“生物群集に基づいたたまりの分類”において、特に面積の小さいたまりではその水深やたまりの位置が砂州頭か砂州尻かによって生物相に違いがあることが示唆された。この水深による生物群集の違いと上記の聖牛の深いたまりの形成を促す能力を総合して考えると、聖牛の設置は砂州上のたまりの生物多様性を高める効果があると考えられる。

今後は実際に砂州頭・砂州尻に聖牛を設置した後に生物調査を行うことで、聖牛が砂州に生物多様性をどの程度もたらすのかをより正確に論じられるようになることが期待される。

4.3.2 聖牛周辺に形成されるたまりに特有の種の存在

本節では低水敷たまりを聖牛の周辺のたまりを“聖牛たまり”，その他の低水敷たまりを“天然たまり”と呼ぶことにした。

本節では“聖牛たまり”と“天然たまり”で比較を行うことで“聖牛たまり”の生物多様性への貢献を調べた (Fig.37, Fig.38, Fig.39)。3章で述べたようにたま

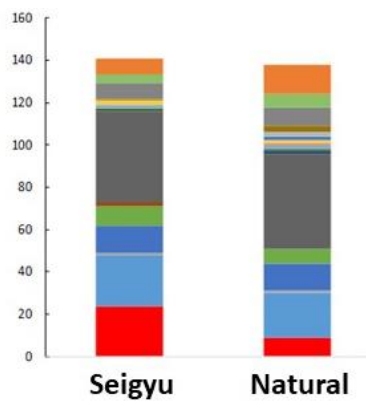


Fig.37 All taxa

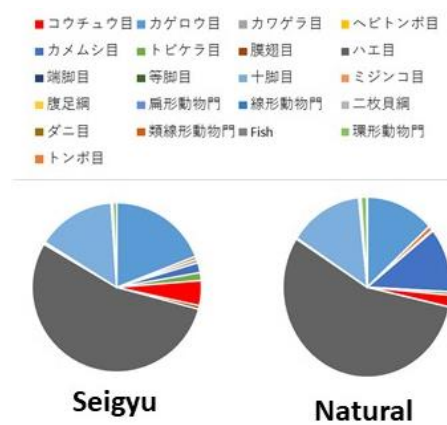


Fig.38 All population

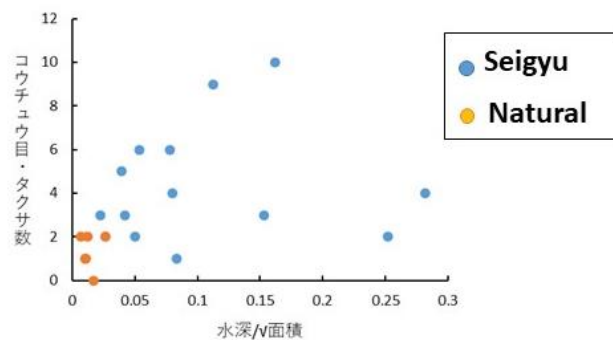


Fig.39 Coleoptera

りの生物相がその日齢・面積に大いに依存することを考慮し、“聖牛たまり”全てを合算したものと、“天然たまり”全てを合算したもので生物群集の比較を行った。

目ごとのタクサ数の比較をすると、コウチュウ目は“聖牛たまり”の方が多かった (Fig.37)。例えばゲンゴロウ類などは“聖牛たまり”でのみ確認された。ゲンゴロウ類の生活型はDiverであり、ある程度の水深のあるたまりを好むと考えられている。また、水深の深いたまりの方が、ゲンゴロウのような体の大きな水生昆虫には捕食者から見つかりにくくなる点で好都合である。3章で述べたように聖牛周辺の浸食・堆積作用の強さゆえにそこにできるたまりはその面積の割に水深が深くなりやすい。こういったことから“聖牛たまり”にコウチュウ目のタクサ数が多くなったと考えられる (Fig.39)。またFig.39において、たまりごとの時間経過による変化を追っていくと、出水が起きるとプロットが右上に移動し、時間経過とともに左下側へ移動するものが多かった。これは、コウチュウ目のタクサ数

は“日齢増減型”であることを示している。そして、聖牛周辺のたまりの（水深/ルート面積）は出水によって大きくなるが、時間経過とともに小さくなることも示している。

また、その他の生物ではトンボ目のタクサ数、カメムシ目の個体数の占める割合は“天然たまり”の方が多かった。この他には特に顕著な差は見られなかった (Fig.37, Fig.38)。

“聖牛たまり”に特有の種が確認されたということから、聖牛はその砂州の生物相、ひいては河川全体の生物相に多様性をもたらしているといえる。

5. 結論と今後の課題

本研究ではたまりごとの生物相と聖牛設置による砂州地形変化の両者を追跡し、聖牛が生物相に与える影響についての考察を行った。

4章でみたように、聖牛はその浸食・堆積作用によって水深の深いたまりを作り出すことで、砂州上にお

ける生息場の構造的多様性を作り出す。また、水深の深いたまりと水深の浅いたまりではその生物相に違いがある（深い方にのみゲンゴロウ類が確認されたなどの）場合が存在した。それ故に、聖牛を置いて水深の深いたまりを増やすことが生物相の多様性につながる可能性が示された。少なくとも、聖牛周辺でのみゲンゴロウ類が確認されたことを考えると、聖牛の設置が生物相の多様化に多少なりとも貢献していると推測される。今後は、聖牛周辺のたまりでコウチュウ目が多い理由をより厳密に追及していくことが求められる。

また、水深の深いたまりが存在しにくい砂州頭に聖牛を設置すれば、砂州頭に水深の深いたまりを作り出すであろうと考えられ、その生物群集の変化が大きくなる可能性が高い。

今後は砂州尻や砂州頭に聖牛を設置した時のたまりの構造的特徴と生物相の調査を行ったときにどのような差異が生じるのかを見ることで、聖牛による止水異性生息場の形成効果をより正確に評価できると考えられる。また、本研究で分類したたまり環境の違いの原因を明らかにするうえで伏流水の水面の高さや透水係数を調べることで有効であると考えられる。その他、聖牛そのものが沈下するため、聖牛による浸食・堆積の増幅がどの程度の期間持続するのかについても検討を行う必要がある。

謝辞

本研究は「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」の一環として実施され、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所、NPO法人やましろ里山の会、淀川管内河川レンジャー、京の川の恵みを活かす会、榎原小組等数多くの関係者の方々の協力によって、進められた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 池淵周一（2009）：ダムと環境の科学Ⅰ ダム下流生態系，京都大学学術出版会，pp. 117-176.
- 井上幹生・中村太士（2019）：河川生態系の調査・分析方法，講談社，pp. 95-259.
- 上野和也・岡崎慎一（2016）：天然記念物イタセンバラの野生復帰を目指して ～木津川における竹ジャカゴを使った環境改善の取り組み～，平成 28 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集 調査・計画・設計部門，No. 17.
- 国土交通省 近畿地方整備局 淀川河川事務所：木津川下流における土砂動態の現状
https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf （最終閲覧日：2020年6月30日）
- 国土交通省 近畿地方整備局 淀川河川事務所：土砂環境改善に向けた課題と方向性
https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p02.pdf （最終閲覧日：2020年6月30日）
- 小林草平・竹門康弘（2013）：木津川における底生動物生息場としての瀬の形態の歴史的変遷，京都大学防災研究所年報，56B，pp. 681-689.
- 鷲見哲也・荻島晃・片貝武史・辻本哲郎（2000）：砂洲植生域の発達過程と植生の物理環境に関する研究，河川技術論文集，第 6 巻，pp. 65-70.
- 竹林洋史・江頭進治・永田徹・桑島信・加藤陽平・伊藤太祐（2005）：植生を有する河道における 流砂の空間分布特性，水工学論文集，49 巻，pp. 925-930.
- 竹門康弘・小林草平・崔美景・寺田匡徳・竹林洋史・角哲也（2013）：河川の横断測量データに基づく水面比高分布を用いた生息場評価法，河川技術論文集，第 19 巻，pp. 519-524.
- 竹門康弘・谷田一三・玉木昭夫・向井宏・川端善一郎（1995）：棲み場所の生態学，平凡社.
- 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，京都大学防災研年報，62B，pp. 734-765.
- 辻本哲郎・寺井達也・寺本敦子（1881）：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 卷，pp.307-312，2002.

内務省：『土木工要録』.

(論文受理日：2020年8月31日)