

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

An Application of Traditional River Works "Seigyū" to River Bed Management in the Kizu River

田住真史⁽¹⁾・竹門康弘・小林草平・角 哲也

Masafumi TAZUMI⁽¹⁾, Yasuhiro TAKEMON, Sohei KOBAYASHI and Tetsuya SUMI

(1) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

Synopsis

In order to maintain habitat heterogeneity in the Kizu River, we focused on Japanese traditional river works "Seigyū (or Hijiri-ushi)" as a technique to control riverbed erosion and deposition at local scales. We made a series of field monitoring of geomorphological and habitat changes after the installation of three Seigyūs at a bankside of a bar in December 2017. The upstream and one side of the Seigyūs were highly eroded while the downstream side was highly deposited after each of several floods in 2018. As a consequence, temporary ponds were formed at the side of the Seigyūs and functioned as a habitat for aquatic animals that prefer still water and rarely occur in running water habitats. These results indicate that Seigyū is effective in controlling erosion and deposition processes and can play important roles in an integrated riverbed management including both flood control and environmental aspects.

キーワード: 伝統的河川工法, 聖牛, 河床地形管理, 自然再生, 侵食, 堆積

Keywords: Japanese traditional river works, crib spur, riverbed management, habitat restoration, 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1,596 km²、幹川流路延長99 kmの淀川水系の一級河川である。上流部は三重県の鈴鹿山脈、布引山脈を源流として、上野盆地の各支川を集め西進し、狭窄部の岩倉峡へと入る。そして大河原の手前で最大の支流名張川（流域面積615 km²）と、笠置で布目川と合流した後、下流区間となり、京都府の山城盆地に流れる。南山城地域のほぼ全ての市町村を経由して北上し、京都府八幡市で宇治川、桂川と合流し、淀川となる。三川合流点～笠置の下流区間の流路延長は37.2kmである。（国土交通省、http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf, 最終閲覧日：2019年2月5日）。上流域の年平均雨量は約1800 mmであり、加茂観測所（約30km地点）における平水流量は約22 m³/s、平均年最大流量は約1800m³/s、戦

後の最大流量は昭和34年の伊勢湾台風時における6100 m³/s、計画高水流量は6100 m³/sとなっている（国土交通省、http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf, 最終閲覧日：2019年2月5日）。

下流部の勾配はおよそ1/1000～1/1200である。また、流域には風化花崗岩が広く分布し、生産された土砂がマサ土となって、川幅が広く勾配の緩やかな下流区間で堆積するため、典型的な砂河川となっている。セグメント区分では2-1に該当する。

風化花崗岩地帯であり、古くから森林の荒廃によって土砂生産が盛んであったため、下流域には多くの天井川が存在する（Photo 1）。明治8年にはヨハネス・デ・レーケの考案した砂防工法が支流の不動川にて施工され、明治11年から上流域で直轄砂防事業が始まるなど、流域各地で砂防事業が実施されている。昭和28年（1953年）8月には、天井川を中心に

土砂災害が多発し、相楽・綴喜で死者行方不明者336名を数える南山城水害が発生している（京都府、<https://www.pref.kyoto.jp/yamashiro/no-nourin/saigai01.html>、最終閲覧日：2019年2月5日）。その後、上流の名張川流域には、水資源開発公団（現水資源機構）によって多くのダムが建設された。1969年の高山ダムを初めとして、1970年に青蓮寺ダム、1973年に室生ダム、1991年に布目ダム、1998年に比奈知ダムが建設され、現在は川上ダムが建設中である。

木津川下流は砂河川であるため、砂浜のように裸地砂州が広がる特徴的な景観を有し、かつては水泳場も設置されていたほどである。そのような裸地砂州の砂礫河原は、チドリ類やコアジサシ等に利用され、カワラヨモギ-カワラハハコ群落等の自生地でもあった（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：2019年2月5日）。さらに、砂河川であるため、木津川の堤防は砂質の貧栄養な場所が多く、京都府レッドデータブック2015で絶滅寸前種に記載されているレンリソウも生育している（小林・北野、2018）。そして、河道内に点在するたまり・ワンドなどの一時水域には、タナゴ類とイシガイ科二枚貝が生息し、国の天然記念物イタセンパラも確認されていた。また、河川敷には水害防備林として整備された、マダケをはじめとする竹林が今でも数多く存在する。中には徳川幕府によって整備されたものもあり、木津の御立藪（Photo 2）や加茂の御藪は、明治以降国有林となり、現在も林野庁によって管理されている。

1.2 木津川下流の土砂環境

木津川は土砂供給の多い典型的な砂河川として知られていたが、現在は土砂が減少し様々な問題が発生している。その最も顕著なものが河床低下である。昭和46年（1971年）に禁止されるまで行なわれた砂

利採取の影響によって、木津川の河床は大幅に低下したと考えられている（竹林ほか、2005）。また、三川合流点に近い最下流部では、淀川本川で行なわれた河床掘削も大きく影響し河床が低下している（吉村ほか、2010）。そして、河床低下は、河道内の高低差の拡大や、砂州位置と流路の固定化につながり、最深河床高は全川で低下傾向を示している（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：2019年2月5日）。

また、河床低下がきっかけとなって固定化した砂州の陸域化も進行している。河道内の高低差が拡大したことや、大出水や中小出水の少ない期間があったことによって植生域が発達し遷移していったと考えられており（辻本ほか、2002）、現在では多くの砂州が樹林化している。植生の定着によって堆積が促進され砂州比高が上昇することも確認されており（鷲見ほか、2000）、砂州の樹林化がますます流路の固定化、最深河床高の低下に寄与し、それによって砂州への植生定着がさらに促されるといった悪循環が起きている可能性がある。高山ダム建設によって流況も変化しており、5000m³/sを超える大規模出水は建設後一度も発生しておらず（国土交通省、http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf、最終閲覧日：2019年2月5日）、樹林化した砂州は攪乱されにくい状況にある。このように、流路については低下の一途をたどり、砂州については固定化して樹林化が進行するなど、河道内地形は二極化していく傾向にある（Fig. 1）。

そして、供給土砂量も、森林の回復や砂防事業の進展による土砂生産量の減少、ダム群の建設による流下土砂の捕捉等が原因で減少していると考えられている。砂利採取禁止後の下流区間の土砂収支は、流出土砂量が供給土砂量を上回っていることが推算



Photo 1 Amatsukami River (Raised bed river)



Photo 2 Oateyabu (Bamboo forest)

され、今後も河床低下と河床材料の粗粒化が進行すると予想されている（江頭ほか，2000）．また，高山ダム建設前に100,000m³/年以上あった流送土砂量が現在では20,000m³/年弱まで減少していると推測されている（竹門ほか，2013）．そのため，河床が低下し，河道が二極化していく傾向はこれからも続いていくと考えられる．

このような物理環境の変化は，生物環境にも大きく影響を与えている．砂州の植生発達と樹林化によって，自然裸地が減少しており，砂礫河原に生息する動植物への影響が懸念されている（国土交通省，http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf，最終閲覧日：2019年2月5日）．そして，最深河床高の低下と砂州比高の増大が，たまりやワンドの冠水頻度の低下をもたらしたことで，タナゴ類とイシガイ科二枚貝は減少傾向にあり，イタセンバラも2007年を最後に確認されていない（上野・岡崎，2016）．

木津川下流部において，タナゴ類やイシガイ類の生息場適性が高いたまりは，冠水頻度が年8日～22日程度の砂州頭及び砂州尻のたまりであることがわかっている（Choi et al., 2014）．そのようなたまりは比高が高すぎず低すぎない位置にあり，比高分布が一様にならかで緩やかな斜面を持つ砂州に形成されと考えられ，その比高域は1960年代以前には少なく，1970年代後半から90年初頭にかけて最も

存在し，現在はまた少なくなっていることが示唆されている（竹門ほか，2013）．一方で，河床の粗粒化によって安定度が増し，礫底の瀬の底生動物の種数や現存量が増加した一面もある（小林・竹門，2013）．そのため，土砂環境改善の目標として，「平成初期のワンド・たまり（砂河床）や礫河原の再生・保全」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の保全・創出」の双方が設定されている（国土交通省，http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p02.pdf，最終閲覧日：2019年2月5日）．

以上のような木津川の土砂環境に関する諸問題を解決するためには，流域スケールの対策として，土砂還元を行なうことで，河床低下を抑制し，河床地形を好適化することが考えられる．また，高山ダムを始めとする上流のダム群の堆砂も進んでおり，ダム管理の側面でも将来的に本格的な土砂還元が行なわれる可能性がある．その際の流送土砂量の設定についても既に研究が行なわれており，タナゴ類やイシガイ類にとっては，上述のたまりの比高条件を満たしていた1970年代後半から1990年代の40,000～80,000m³/年が妥当だと推定されている（竹門ほか，2013）．また，コウライニゴイ，ヨドゼザラ，カワヨシノボリにとっては，稚魚期の生息場である砂州頭ワンドが多かった1980年前後の50,000～60,000 m³/年が，アユにとっては，餌となる藻類生育に適

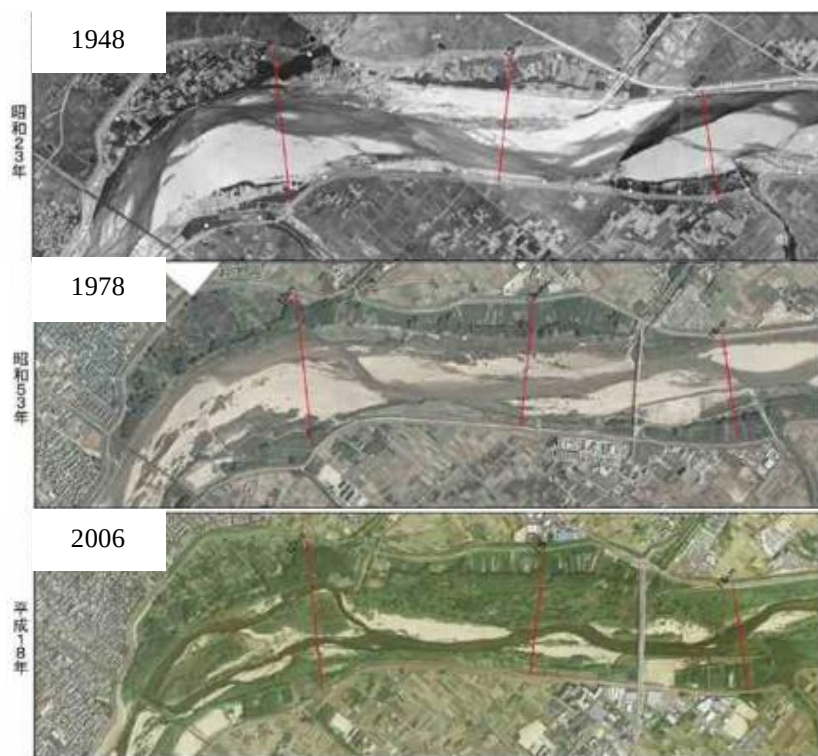


Fig.1 The landscape of the Kizu River

した集中型の瀬が増加する。2000年以降と、好適な産卵床条件を提供する横断型の瀬が増加する1990年以降を目標として、20,000～30,000 m³/年が、瀬に生息する水生昆虫の種多様性維持の上では集中型の瀬が存在する20,000～30,000 m³/年が適しているとされ、これらの要請をできるだけ満足する30,000～50,000 m³/年が妥当だと考えられている（竹門ほか、2013）。

一方で、同じ木津川下流域でも、三川合流点に近く二極化の進行が激しい下流区間、好適なたまりやワンド環境が比較的残されていた中流区間、ダムの影響を受けやすく勾配が急な上流区間とそれぞれ事情が異なっており、流域スケールの対策だけでなく、流程スケールの対策も必要である。流程スケールの対策として考えられるものが、川幅の拡張であり、7kmより下流部や18kmより上流部において、川幅を1.8～2.0倍にすれば、川幅水深比と比流水力の関係性から、生息場の多様性が高まるような中規模河床形態に変化すると推定されている（Choi et al., 2015）。

また、土砂還元による応答もそれぞれの流程に応じて違ってくると考えられる。上述の土砂量に設定された場合、タナゴ類やイシガイ類のために必要なたまり・ワンド地形を創出することにつながる可能性はあるが、効果が最下流区間まで波及するには時間を要すると考えられる。一方で、河床の不安定化や生息場の均一化を招き、水産資源であるアユや、水生昆虫の種多様性維持のために必要な礫床の瀬の地形を保全できない可能性もある。

したがって、たまりの再生・保全と、瀬の保全・創出を両立させるためには、短期的に土砂供給量が不足した条件下と、長期的に土砂還元によって土砂供給量が過剰になった条件下のいずれにおいても、局所的に土砂の侵食堆積を制御[k1]し、生息場の多を高めるような対策を講じる必要がある。



Photo 3 Shore protection using bamboo gabion in the Shimada city (courtesy of Hara Kogumi Co., Ltd.)

1.3 伝統的河川工法「竹蛇籠」を用いた河床地形管理

前節で述べたような、土砂の侵食堆積を制御し、生息場の多様性を高める対策として、伝統的河川工法を用いた河床地形管理が試行されている。

まず、2015年には、竹蛇籠水制を用いて、礫床の瀬の創出が試みられた。竹蛇籠とは、竹を材料として編んだ籠に石を詰めたもので、かつて河川工事の様々な場面で活用され、戦国時代には甲斐国で使用されていたことが確認されている（畑、2018）。堤防の側面に並べることで護岸工としたり（Photo 3）、橋脚の根元に敷き詰めることで沈床工となるなど

（富野、2002）、用途に応じて使い方は多岐にわたっていたと考えられる。

そして、この竹蛇籠を逆向きのバープ工のように水制として設置することで、流れを集めて掃流力を高め、礫床の瀬を創出することができると期待され、その試験施工が2015年10月に木津川玉水橋下流（15km～16km地点）で行なわれた。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）、漁協関係者や研究者からなる「京の川の恵みを活かす会」が中心となり、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所、淀川管内グループ河川レンジャー、京都府等と連携して、静岡県（棚原小組の指導の下、Photo 4のように、計5基の竹蛇籠水制が設置された（北野・小林、2016）。

現在でも竹を鉄線に替えた鉄線蛇籠が利用されているが、竹蛇籠の方がほぼ全て自然素材であるため、破損後も回収する必要がなく、また、全て手作りであるために、河川事業への住民参加が可能というメリットがある。

また、竹蛇籠を使う最大の利点ともいえるのが、放置竹林の利用促進につながるという点である。1.1節でも述べたように、木津川下流には江戸時代以降多くの竹林が水害防備林として整備されており、今でも河道内に多くの竹林が見られる。しかしながら、



Photo 4 Groins using bamboo gabion in the Kizu River (2015/11/22)

現在では管理放棄されて荒れ果てており (Photo 5), その面積は拡大し, 河積阻害の懸念や景観上の観点からも問題になっている. 河道内の放置竹林の繁茂を防ぎ, 水害防備林としての機能を発揮させるためにも, こうした利活用法の模索が必要である (小林ほか, 2018) .

竹蛇籠水制設置によって, 河床地形は大きく変化した (Fig. 2) . 最上流の左右の蛇籠間の流心部では流速が増加した一方で, 上下の蛇籠間は緩流域となったことが確認され, 瀬だけでなくワンドのような環境を創出したことがわかっている (永谷ほか, 2017) . また, 水制背部で剥離した流れが次の水制に衝突して逆流し, 反転流が形成されていたほか, 河床材料については, 右岸最上流の水制の上流部で粗粒化, 他の多くでは細粒化し, それに応じて河床軟度に変化していた (狩野ほか, 2015) .

それに応じて直後から生物相も変化しており, 水制背後にできた止水域ではタモロコ, ドジョウ, ミナメダカといった止水性の魚類が確認されたほか, 蛇籠自体が生息場と考えられるテナガエビも確認され, 確認種数は19種から32種に増加した (狩野ほか,

2015) . また, 反転流のある環境を必要とするようなコオナガミズスマシ (京都府レッドデータブック 2015絶滅寸前種) も確認された (北野・小林, 2016) .

このように, 竹蛇籠水制の設置によって, 平坦な砂河床に, 礫底の瀬と止水環境が形成され, 種数の増加につながった. 物理環境を多様化させ, 生物相も多様化させることができ, 土砂供給量が増加した条件下でも, 有効に使える工法だと考えられる.

1.4 伝統的河川工法「中聖牛」を用いた河床地形管理

さらに, 竹蛇籠水制よりも広範囲に土砂の侵食堆積を制御し, 二極化した砂州地形を改善することを狙って, 同じく伝統的河川工法の聖牛 (せいぎゅう, ひじりうし, せいうし) を用いた河床地形管理も試行されている. 聖牛とは, Photo 6のように, 丸太を三角錐型に組み合わせ, 重籠として蛇籠を搭載した透過型の水制工であり, 伝統的な水制工法「牛」の一種に位置づけられる. 甲州富士川筋が起源とされ (和田ほか, 2005) , 少なくとも江戸時代中頃の18世紀代には存在しており (畑, 2018) , その後昭和初期まで各地の河川で用いられていた. 木津川でも1953年の南山城水害の災害復旧時に施工されたこと



Photo 5 Abandoned bamboo forest in the Kizu River (2018/3/31)



Photo 6 Seigy (crib spur) set up in the Kizu River



Fig. 2 River bed topography after installation of groins using bamboogabions

が確認されている（Photo 7）．水刳ね，流速低減，堆積促進等の機能があるとされ，従来は護岸や水制，締切り等に用いられてきた．

今回は，この聖牛を用いることで，侵食堆積過程を制御し，砂州地形を局所的に改善することを目指して，中型の聖牛である「中聖牛」が3基試験施工された（Photo 6）．2017年8月～12月にかけて，竹蛇籠製作と同様の体制で活動が行われ，延べ7日間188人の参加によって，2017年12月2日に玉水橋下流の右岸15.2km砂州上に完成した（小林・北野，2018）．今回製作された中聖牛は，Fig. 3のように，棟木に前立木を突き刺し，前合掌の上に置いて，全体を立ち上げ，梁木（胴木），中合掌，後合掌，砂払（こんにやく），棚敷木（敷成木）（ころ）を取り付けた枠の上には，長さ4mの竹蛇籠9本を重籠として搭載したものである（なお，今回は簀と梯子は設置していないほか，2基目は前立木が棟木を貫通していない）．

今回の中聖牛設置では，具体的にはFig. 4のように3つの目標への効果が期待されている．一つ目は左岸側の樹林化が進行している砂州である．聖牛を置くことで，左岸方向へ流向を変化させ，陸域化砂州の攪乱増加を狙っている．二つ目が，かつてイタセンパラも生息していた右岸堤防横のたまりである．

近年冠水頻度が低下し，底質の悪化が懸念されていた．そこで，聖牛を高水敷上のたまり方面への洪水時流路入口に沿う形で設置し，聖牛による堰上げで洪水時水位を上昇させ導水することで，冠水頻度の増加を狙っている．そして，三つ目が下流右岸の河岸侵食箇所である．水衝部で河床が低下しているため，侵食防止のためにブロックが投入されている．



Photo 7 Seigyū in the Kizu River in 1950s (Photo taken by Horii. Courtesy of Nakatsugawa and Fukui)

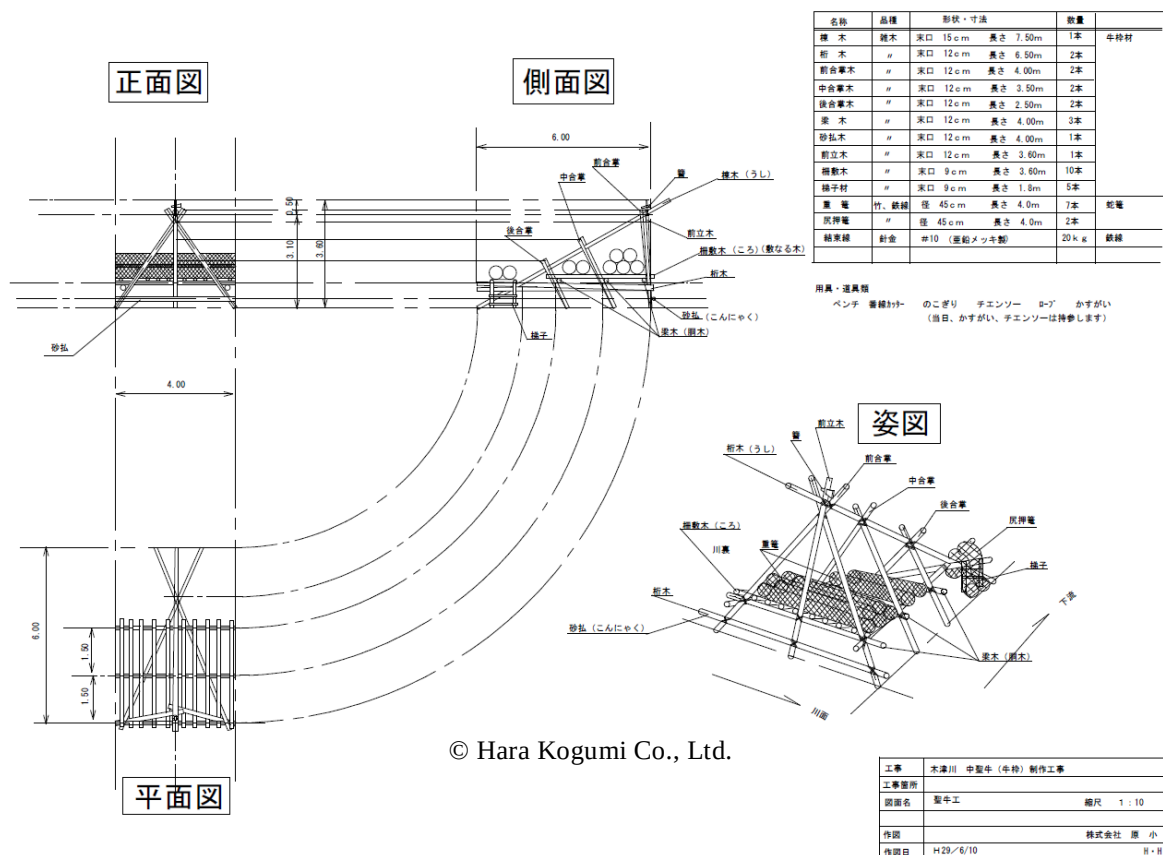


Fig. 3 The design of Chu-seigyū

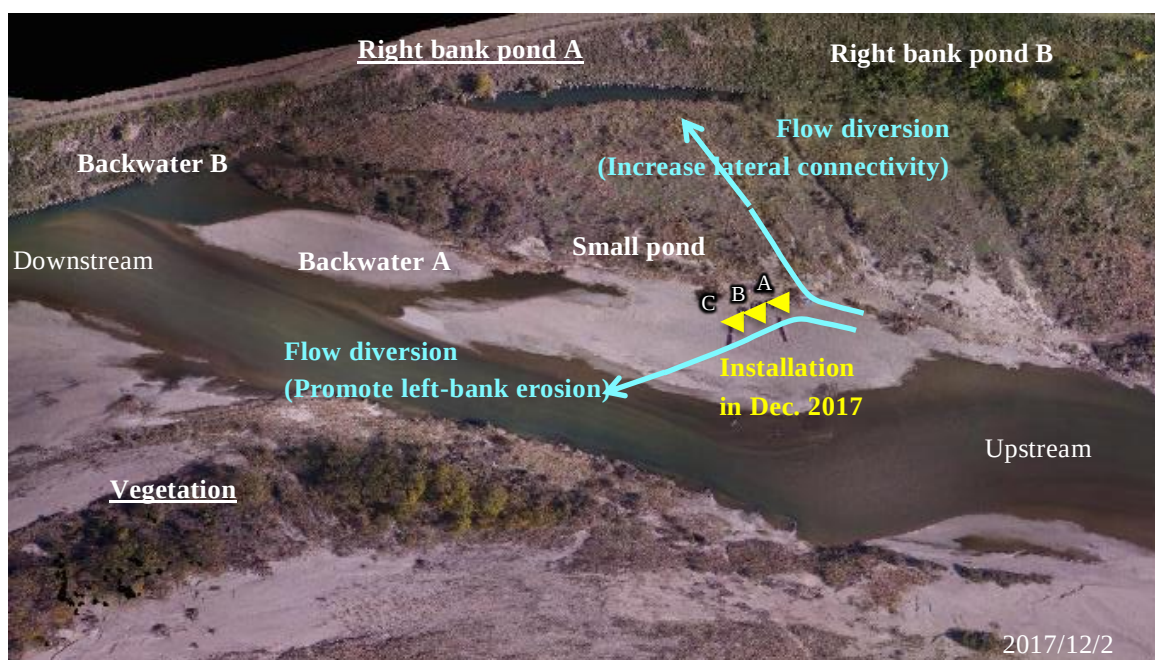


Figure 4 Expected effects of Seigyu

聖牛を設置することで、聖牛下流の流速が低減され、侵食が緩和されることが期待されている。

このように今回の中聖牛設置では、様々な効果が期待されている。「①水刎ねによる対岸砂州侵食」は以前から知られる効果の応用であり、「②堰上げによる導水」といった副次的なものも効果として想定している。「③下流の堆積促進」は従来から知られる効果である。以上のように、今回の中聖牛設置は従来の用途だけではなく応用的な利用に挑戦したものだといえる。

1.5 伝統的河川工法「聖牛」や「牛類」に関する先行研究

水制は、水の通過の有無によって、透過水制と不透過水制に分けられ、聖牛を含む牛類は、透過水制に位置付けられる。水制の基本的な機能は、水刎ねと流速減少であるとされており（秋草ほか、1960）、透過水制では、水制が粗度となることで、流速を減少させ、不透過水制では、水制が障害物となって流れの向きを変える、いわゆる水刎ねが期待される。牛類は、透過水制には分類されているが、部分的に透過性の低い蛇籠を搭載しており、構造的に不透過水制の杵類に近く、代表的な透過水制である杭打ち水制とは大きく異なる姿をしている。そのため、透過水制としての流速減少効果に加え、不透過水制のような水刎ね効果も兼ね備えた、両者の中間に位置付けられる水制工だと考えられる。一方で、複数基並べて一つの水制として設置する場合は、各基の間

に大きな隙間が生じるため、透過性が部分的に高まることとなる。

そのような牛類については、その代表である聖牛を中心にいくつかの報告事例や研究事例がある。各地の牛類の事例調査に関しては、近世の山梨県と静岡県各河川における使用状況の経年変化が比較されているほか（畑、2018）、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、群馬県、栃木県、茨城県、長野県、愛知県、静岡県各河川における近世の分布状況も調査されている（西川、2014）。また、水深と河床勾配を指標として用い、河の荒さと各種伝統工法の関係性を分析した事例や（中澤、1995）、河床勾配と河床材粒径を指標として調べた事例もある（田住ほか、2018）。そして、秋草ら（1960）は、昭和30年代当時に施工されていた牛類を含む水制工法の事例を幅広く集め、その傾向を考察している。

水理学的な研究としては、諸田・土屋（2002）が、聖牛の小型版である川倉のような構造の模型を使って水理実験を行い、抵抗特性を評価している。また、富永ら（2005）は、大井川の大聖牛をモデルに水理実験を行い、配置方法を変えた場合や、杭水制の場合と、洗掘防止効果の比較を行なっている。それから、木製の聖牛と鉄筋の聖牛を模型上で比較実験した事例もある（山崎・松尾、2011）。

現場事例の調査研究としては、大井川の旧本川根町千頭、旧川根町家山、旧中川根町田野口、平谷で施工された聖牛の移動量や河床変動等が、原ら（「ビオトープ大井川」研究グループ）や、戸塚・鈴木（静

岡県島田土木事務所川根支所)によって調査され、検証されている(富野, 2002)。そして、同じく大井川で、富永ら(2005)も、旧川根町家山、旧中川根町平谷、長尾、田野口に施工された大聖牛について、河床変動に及ぼす効果を調べている。さらに、平谷の聖牛について、LSPIVを用いた流況解析も行なわれている(小林, 2007)。また、和田ら(2004)が、笛吹川で施工された聖牛について、洪水時の流出過程を分析し、安定性の評価と向上のための検討を行なっているほか、安定性を向上させた聖牛ブロックも開発されている(和田ほか, 2004)。このように、いくつかの現地調査事例があるが、環境改善の効果を調べた事例は少なく、生息場構造や生物相に与える影響は研究されていない。

1.6 研究目的

以上のように、竹蛇籠や聖牛といった伝統的河川工法は、木津川の河床地形管理において、利用が期待されており、竹蛇籠水制については既に様々な効果が確認されている。また、このような河川の伝統技術について、国土交通省河川審議会答申でも、「積極的に保全を推進し、長期的観点から将来に向けて活用を図っていくことが重要である」とされている(国土交通省, 2000; 能登, 2000)。そして、1990年代から2000年代にかけて、各地で伝統的河川工法の復元等も行われている。

しかしながら、その事後評価が行なわれた研究事例は少なく、近年は新たな施工事例も少なくなっている。また、これらの各種工法が有する機能や効果に関する基礎的知見も大きく不足している。特に聖牛を含む牛類に関しては、多くの類似工法が存在しているが、その機能特性はあまり明らかにされておらず、さらなる知見の積み重ねが不可欠である。

そこで、本研究では、伝統的河川工法を活用した河床地形管理に向けて、牛類の中でも最も代表的な聖牛について、木津川で試験施工された中聖牛を対象に、現地調査を行なうことで、その機能特性を明らかにし、生息場構造や生物相への影響を分析する。そして、今後の木津川での河床地形管理における伝統的河川工法「聖牛」の活用可能性を検討し、木津

川の土砂環境問題を解決するための一助とすることを目的とする。

2. 調査方法

2.1 調査概要

調査対象とした中聖牛は、2017年12月に、木津川15.2km右岸砂州上に、河岸から流心に向かって斜めに3基設置されている(Fig. 4)。木津川下流の他の地点と同様に、流路の固定化、砂州の陸域化等の河道の二極化が進行している地点である。本聖牛も、左岸の樹林化砂州の攪乱増加、右岸の高水敷の先にあるたまりへの導水、下流右岸河岸侵食緩和等の二極化によって生じた問題の改善を目的として設置されている。1基あたりのサイズは、横4m縦6m高さ3.6mであり、ここでは上流からA聖牛、B聖牛、C聖牛とする。なお、主流路内には、2015年に竹蛇籠水制が設置されている。

この3基の中聖牛が周辺地形に与える効果を調べるため、2017年12月から翌年12月にかけて、出水前後を中心に、約1年間にわたって現地でモニタリング調査を実施した。まず、聖牛設置場所の元々の河床地形の変動特性を把握するために、過去の空中写真から、地形の変遷を調べた。そして、洪水時の聖牛周囲の流れ場を調べ、聖牛による水刳ねの状況を把握した。また、UAVを用いた上空からの写真撮影、横断断測量を複数回行い、調査対象地点全体の地形変化と、聖牛周辺の地形変化を調べた。聖牛周囲については、河床材料、河床軟度、比高、聖牛本体の沈下度合い等を計測し、聖牛周囲の河床地形に与える影響を詳しく観測した。また、聖牛周辺各地点で水生生物を採集し、聖牛による河床地形の改変が、生息場構造と水生生物相に及ぼす効果を調べた。これらの調査項目から、今回の聖牛設置で期待された効果の有無、聖牛近傍での侵食堆積機構、水生生物相への影響などを考察した。

約1年間の調査日と、調査地点最寄りの飯岡観測所における流況をFig. 5に示す。1年間で、500~1000 m^3/s の洪水が3回、1000~1500 m^3/s の洪水が2回、1500~2000 m^3/s の洪水が1回、2000 m^3/s を超える洪水が1回発生していた。2018年の最大流量2147 m^3/s はおよ

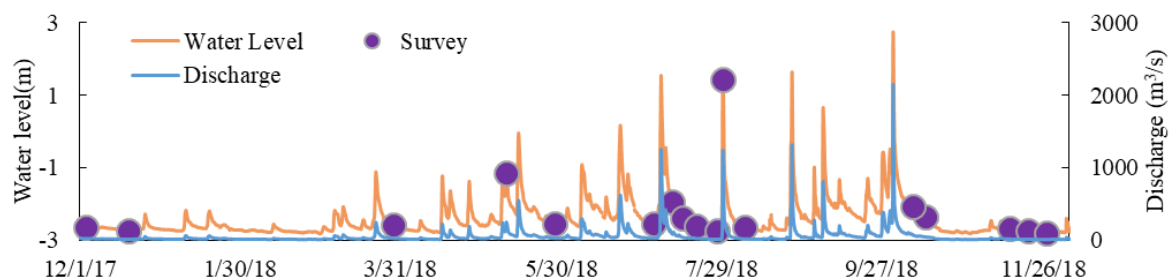


Fig. 5 Hydrograph of 2018

そ3年確率であった。各洪水の前後で、概ねモニタリング調査を実施できたが、8月下旬から10月下旬の3つの洪水の間に関しては、調査できていない。

2.2 過去の地形変遷の分析

調査地点における聖牛設置後の地形変化については、現地調査によって把握できるが、現在の河道内地形がどういう経緯で形成されたものなのかはわからない。今後の地形変化を予測するうえでも、長期的な地形変動の傾向を知る必要がある。

そこで、国土地理院の地理院地図（電子国土Web）上で公開されている、空中写真・衛星写真を用いて、木津川14～16km付近の流路位置の変遷を追跡した。ESRI社のGISソフトウェアであるArc GISを用いて、GIS上で地理院地図を表示し、各写真上での流路位置を記録した。流路位置の記録は、流路の左岸水際線、右岸水際線をポリラインとして描画することで行なった。そして、各年代の写真で記録した兩岸の水際線を比較し、流路の変動傾向を調査した。また、それと同時に写真上で河道内景観を定性的に把握し、流路の変動傾向と合わせて、地形の変遷過程を推定した。なお、今回の推定に用いた地理院地図上の写真の年代は以下の6種類である。

- ・1945年～1950年頃
- ・1974年～1978年頃
- ・1979年～1983年頃
- ・1984年～1987年頃
- ・2004年～2006年頃
- ・2007年以降

また、これらに加え、UAVによる調査（次々項参照）で得られた次の2枚のオルソ写真も用いて、聖牛設置時までの地形変遷を追跡した。

- ・2017年8月5日
- ・2017年12月2日

2.3 洪水時流れ場調査

聖牛には水刎効果があるとされ、周囲の流速や流向に影響を与えると考えられるが、基本的に聖牛が水を刎ねるのは洪水時であり、その様子を捉えることは難しい。

そこで、洪水の日時と流量が比較的予測可能な、高山ダムのフラッシュ放流時に（2018年5月9日：約220m³/s）、聖牛周囲の流速と流向を実測した。聖牛の一段目の蛇籠が水没する程度の水位であったため、聖牛上から手を伸ばし、水平方向におよそ1mの位置で計測した。最初に標尺を用いて水深を計測し、その6割の水深に、プロペラ式流速計を入れた。流速は3回の計測の平均値とし、流向は目視で記録した。これを聖牛1基あたり周囲8か所、計3基24か所で実施し

た。

そして、2018年7月29日には、台風12号のピーク流量時（約1200m³/s）に、UAVを用いて上空から撮影し、聖牛が水没した状態での流れ場の様子を把握した。

2.4 河床地形調査

2.4.1 空中写真撮影

洪水前後での河床地形の変化を面的に把握するために、UAV（ドローン）を用いて、上空から写真を撮影し、河道内の地形を面的に調べた。

今回用いたUAVは、DJI社のPhantom 3 Professionalである。中聖牛設置地点上空から、対象範囲を縦断方向に折り返ししながら、各写真同士が5割以上重なるよう意識して飛ばした。写真の撮影間隔は5秒おきに設定し、カメラの向きは鉛直下向きとした。上空150mのフライトと、低空のフライト（撮影回によって高度は違うが、およそ50m～100mの範囲内）を行い、前者では河道全体を、後者では聖牛周辺を撮影することで、河道全体の変化は大まかに、聖牛周辺の変化を細かく捉えられるようにした。

撮影した写真は、Agisoft社の写真計測ソフトウェアPhotoScan Professionalを用いて合成し、一枚のオルソモザイク画像として出力した。完成したオルソ画像も、河道全体のものとして聖牛周辺のもの2種類である。

上空150mからの河道全体の撮影は、Fig. 5に示す10回と、事前調査の1回行われ、合計すると下記の計11回となる。

- ・事前調査（2017年8月5日）
- ・聖牛設置直後（2017年12月2日）
- ・小規模出水後（2018年3月28日）
- ・高山ダムフラッシュ放流時（2018年5月9日）
- ・梅雨入り前（2018年5月27日）
- ・梅雨明け前（2018年7月3日）
- ・西日本豪雨直後（2018年7月10日）
- ・台風12号ピーク流量時（2018年7月29日）
- ・台風12号後（2018年8月6日）
- ・台風24号後（2018年10月13日）
- ・洪水期終了後（2018年11月13日）

また、やや低空からの聖牛周辺の撮影も、Fig. 5に示すように、下記の計10回行なわれた。

- ・聖牛設置直後（2017年12月19日）
- ・小規模出水後（2018年3月28日）
- ・梅雨入り前（2018年5月27日）
- ・梅雨明け前（2018年7月3日）
- ・西日本豪雨後（2018年7月27日）
- ・台風12号後（2018年8月6日）
- ・台風24号直後（2018年10月8日）

- ・台風24号後（2018年10月13日）
- ・洪水期終了後（2018年11月13日）
- ・洪水期終了後2回目（2018年11月20日）

なお、オルソ画像を作成するにあたって、一般的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、その値を用いて誤差を補正する。しかし、現場は兩岸の距離標からの距離が遠いことや、調査時間の制約からも、毎回それらの作業を行なうことは困難と判断し、今回は撮影画像に記録される位置情報（UAVに搭載されたGPSで記録した位置情報）のみを用いて作成した。そのため、水平誤差が最大数mとなった。

そこで、Arc GIS上で水平位置の補正を行なった。まず、地理院地図で公開されている最新写真（2007年以降）と、最初の撮影である2017年12月2日の河道全体オルソ写真の双方に写る点を探した。その結果、右岸堤防上の道路の交差点位置は変動していないと考えられたため、その点を基準に、2017年12月2日のオルソ写真全体のXY座標を平行移動させた。次に、聖牛周辺に特化して撮影した2017年12月19日のオルソ写真について、座標を補正済みの12月2日河道全体オルソ写真を重ね合わせ、聖牛の位置を基準にXY座

標を補正した

その後撮影した全てのオルソは、この12月の写真を基準に、聖牛の位置でXY座標を補正している。これは、本研究における調査対象は3基の中聖牛周辺の地形変化であり、それを最も精度よく見るためには、聖牛を中心に補正するのが最適と考えた結果である。正確には聖牛も水平方向に少し移動していると考えられるが、今回の聖牛設置地点周辺に、聖牛以上に不変の点が見つからなかったため、今回聖牛はZ方向にしか移動しないと仮定して補正した。

2.4.2 横断測量調査

UAVで撮影した写真からは、流心部の地形の様子はわからない。そこで、低水路を横断するように2断面設定してレベル測量を行い、河床地形の変化を調査した。今回設定した横断測線はFig. 6に示すように、中聖牛上流5m測線、中聖牛下流5m測線の2本である。調査時期は、Fig. 5に示す、聖牛設置直後、西日本豪雨後、洪水期終了後の3回である。

15.2km右岸砂州高水敷上に基準杭を設置し、そこから各測線両端に設置した杭を介して、各測線上の地点の基準杭からの比高を測量した。なお、聖牛設置直後の12月の測量時には、杭の頂点高さを測定し



Fig. 6 Cross-section survey

忘れ、杭の根元の高さのみしか測定できていなかった。そのため、聖牛設置直後の調査結果を他の時期の調査結果と比較する際には、聖牛設置直後の測量時に写した杭位置の現場写真を用いて、地表面から杭頂点までの高さを写真上で推定し、他の測量時のデータに合わせられるようにした。

2.4.3 河床変動高分析

2.4.1項で述べた、UAVで撮影した写真から、Agisoft社の写真計測ソフトウェアPhotoScan Professionalを用いてDEM (DSM) を出力し、聖牛周辺の河床地形を定量的に把握した。

なお、DEM (DSM) の水平誤差はオルソ写真と同じく数mあったため、オルソ写真と同様の方法で補正した。鉛直誤差は数十mとなったが、水平誤差の補正と同じく、右岸堤防上の道路の交差点位置で、2017年12月2日撮影の河道全体DEM (DSM) の標高値を補正して、全体の標高値を同じだけ移動させた。次に、聖牛周辺に特化して撮影した2017年12月19日撮影の、聖牛周辺DEM (DSM) についても、聖牛近くの砂州上の点で、補正済みの12月2日河道全体DEMの値に合わせて、標高値を補正した。

その後のDEM (DSM) の標高値に関しては、原則として聖牛近傍の砂州上のレベル測量値の変化量に

応じて補正した（レベル測量の詳細は他項参照）。しかしながら、測量が実施されていない小規模出水後（2018年3月28日）、梅雨明け前（2018年7月3日）のDEM (DSM) に関しては、河道内で標高が変化していない点を仮定して補正したため、精度は低い可能性がある。

そして、Fig. 7のように、聖牛周囲の各区画と、聖牛上流の砂州上の区画を設定し、各区画内のDEM (DSM) における期間内の平均河床変動高の違いを分析した。それによって、ここの砂州の侵食堆積傾向に対して、聖牛周囲の侵食堆積傾向はどういう関係にあるのか把握した。聖牛上流の区画は、砂州の侵食堆積特性を代表する地点として設定したもので、聖牛の影響をあまり受けていないこと、DEM (DSM) の鉛直誤差が縦断方向だと小さいこと等を考慮して選んだ。聖牛周囲の区画は、A聖牛前方、A聖牛左岸側方、A聖牛右岸側方、A聖牛後方、B聖牛前方、B聖牛左岸側方、B聖牛後方、C聖牛前方、C聖牛左岸側方、C聖牛後方の10区画である。

2.5 聖牛たまりの物理環境調査

2.5.1 聖牛たまりの出現

聖牛設置後、Photo 8のように、聖牛周囲にたまりが出現した。聖牛が周囲の生息場に与える影響を評

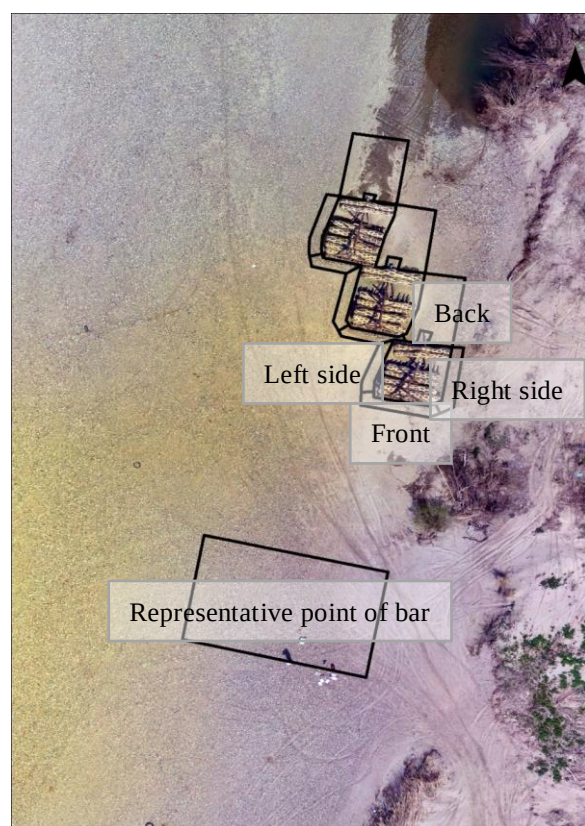


Fig. 7 Sections of riverbed height analysis



Photo 8 Seigy pond



Photo 9 Shino

価するうえで、重要な調査対象であると考えられる。そこで、この「聖牛たまり」の環境を詳しく調査することとした。

2.5.2 たまり比高測量

たまり環境を評価するうえで、たまりの比高は重要な情報である。そこで、出現した各たまりの最深部の比高を測定した。なお、ここでの比高とは、右岸高水敷上に設置した基準杭からの比高である。

Fig. 5に示した、梅雨入り前（2018年5月26日）、西日本豪雨後（2018年7月27日）、台風12号後（2018年8月6日）、台風24号後（2018年10月13日）の計4回測定した。

2.5.3 聖牛本体の比高測量

聖牛は、洪水時に侵食を受けて、本体は沈下することが知られている。聖牛が沈下するほどの侵食を受ける際は、たまりも形成されやすいと考えられる。そこで、出水前後でレベル測量を行い、1年間でどの程度沈下するのか調べた。聖牛前面の各頂点3点、A～Cの計9点の高さを測量し、その変化を追った。それと同時に、聖牛前面の左端、中心、右端の根元の河床高も測量した。

Fig. 5に示した、西日本豪雨直後（2018年7月10日）、台風12号後（2018年8月6日）、台風24号後（2018年10月13日）の計3回測量した。

2.5.4 河床材料調査

聖牛によって河床地形の侵食堆積過程が制御されるため、聖牛たまりの河床材料もそれに応じて変化していくと考えられる。そこで、聖牛たまり内の河床材料を採取して調べた。調査日は、西日本豪雨後（2018年7月27日）、台風12号後（2018年8月6日）、洪水期終了後（2018年10月13日）である。また、たまりが形成される前にも、聖牛設置直後（2017年12月19日）に、たまり形成位置で調査していたため、このデータも使用して考察した。

河床材料採取には、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た。採取した試料は、持ち帰って粒度試験を行い分析した。

2.5.5 河床軟度調査

聖牛によって河床地形の侵食堆積過程が制御され、聖牛たまりの河床材料が変化するが、同じ粒径でも、過程によって河床軟度は変化する。河床軟度は空隙量とも関係し、河床の酸素条件や生物生息に重要な条件である。そこで、聖牛たまりの河床軟度も調べた。調査日は、西日本豪雨後（2018年7月27日）、台

風12号後（2018年8月6日）、洪水期終了後（2018年10月13日）である。また、たまりが形成される前にも、聖牛設置直後（2017年12月19日）に、たまり形成位置で調査していたため、このデータも使用して考察した。

河床軟度の計測には、番線の締め付け等に使う工具であるシノ（Photo 9）を用い、河床に一定の荷重で突き刺し、その貫入深を読み取った。これを同地点で5回行い、その平均値をその地点の河床軟度とした。シノを用いた計測値は、既往の長谷川式土壌貫入計による計測値とも高い相関があることが確認されている（兵藤ほか、2014）。

2.6 聖牛たまりの水生生物調査

2.6.1 聖牛たまりの水生生物採集

聖牛の設置によって形成された聖牛たまりの生物相を調査した。また、Fig. 4に示した、聖牛直下流たまり、聖牛下流ワンドA、砂州最下流ワンドBも調査したほか、国土交通省淀川河川事務所から、右岸堤防沿いのたまりAとBの調査データの提供も受け、既存の天然の止水域と、聖牛たまりの群集構成等を比較した。

調査日は、梅雨入り前（2018年5月26日）、西日本豪雨後（2018年7月27日）、洪水期終了後（2018年10月13日）の計3回である。また、右岸堤防沿いたまりA、Bのデータは、梅雨入り前（2018年5月22日）、台風24号前（2018年9月25日）の計2回調査されたものである。

水生生物の採集にはDフレームネットを用いた。まず、調査地点内の微生物場を網羅するよう意識して1人5分～15分程度採集し、採集物をバット上に出して土砂を分級させ、有機物のみとした。そして、現場で簡易同定を行なった後、不明個体についてはエタノール標本にし、持ち帰って詳しく同定した。

なお、台風24号後（2018年10月13日）の調査は、一般参加イベントとして実施されている。採集方法や時間等には個人差があるものの大人数で調査されており、また採集された生物の組成に明らかな不足があった場合は、補充の採集を行なっている。また、下流ワンドの魚類の調査でもんどりが使用されている。

2.6.2 聖牛たまりの水生生物相の分析

水生生物調査で確認された分類群について、竹門（2005）を参考に、生活型（固着型：Attachers, 匍匐型：Crawlers, 滑行型：Gliders, 携巢型：Case-bearers, 遊泳型：Swimmers, 掘潜型：Burrowers）と、摂食機能群（刈採食者：Grazer, 採集食者：Collector-gatherer, 捕食者：Predator, 濾過食者：Filter-feeder, 破碎食者：

Shredder) の類型を用いて分析し、地点ごとの違いを比較した。

また、各調査地点の生息場が、形成されてからの日数を生息場齢 : Habitat age と定義し、分類群数との関係を調べた。なお、各生息場の形成日については、本研究で撮影した空中写真と、飯岡観測所水位データから推定した。ただし、数年間にわたって写真がない期間に形成されたと思われる生息場については、形成後最初に存在を確認できる空中写真・衛星写真の撮影日から推定した。

これらの指標を用いて、聖牛たまりと他の天然のたまり・ワンドとの水生生物相の違いを考察した。

3. 結果と考察

3.1 過去の地形変遷

調査地点である木津川15.2km付近の約60年間の地形と流路位置の変遷を下記のFig. 8からFig. 15に示す。

まず1945年～1950年頃の地形と流路を示したものがFig. 8である。河道幅に対して、流路幅が半分近くあり、左岸側は一面の裸地砂州となっている。また、部分的に複数の流路が形成されており、単列砂州と複列砂州の間のような河道形態をとっている。

次に、1974年～1978年頃の様子を示したものがFig. 9である。川幅が大きく縮小し、右岸側に流れが蛇行

している。また、複数あった中州の大半が消滅したほか、左岸砂州の植生域も拡大している。

1979年～1983年頃 (Fig. 10) には、蛇行角が大きくなり、蛇行部もやや下流に移動している。また、74年～78年頃に定着した左岸砂州上の植生も成長している。

1984年～1987年頃 (Fig. 11) には、右岸砂州がさらに下流に広がり、蛇行部もさらに下流に移動して、流路は右岸堤防にぶつかりほぼ直角に曲がっている。また、河道内の植生域の数が増え、順調に成長している。

2004年～2006年頃 (Fig. 12) になると、右岸砂州がさらに下流まで広がり、左岸砂州の砂州頭もかなり下流に移動したほか、砂州自体が裸地部分と樹林部分に分かれてきている。流路近傍にある一部の裸地砂州を除く大半の部分で植生が繁茂している。また、右岸堤防脇の旧流路位置がたまりになっている。そして、写真中程に新たな蛇行点が出現している。それから、川幅もかなり縮小が進んでいる。

2007年以降 (Fig. 13) では、あまり大きな地形の変化は見られないが、植生域が拡大しているように見える。

そして、2017年8月5日 (Fig. 14) になると、右岸の低水路砂州が拡大し、流路が左岸に寄っている。右岸砂州上にあった旧流路跡は完全に植生に覆われ



Fig. 8 1945-1950

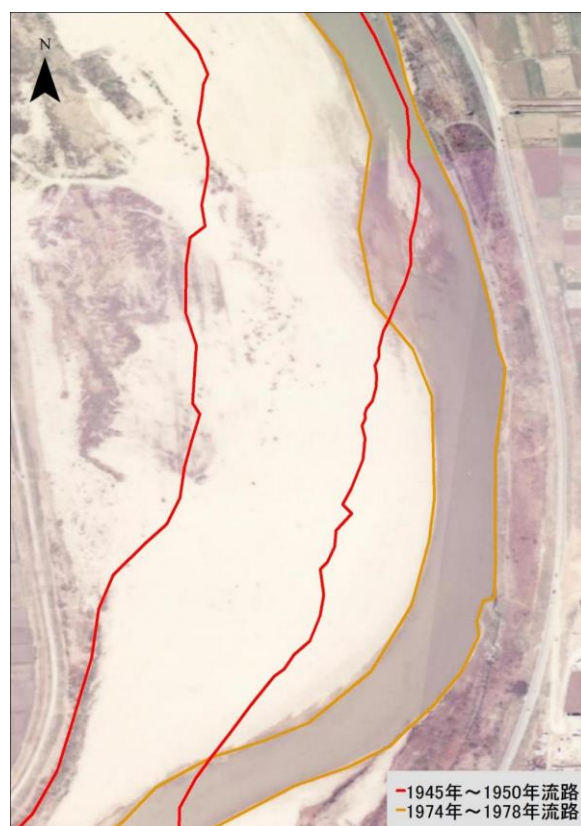


Fig. 9 1974~1978



Fig. 10 1979年～1983

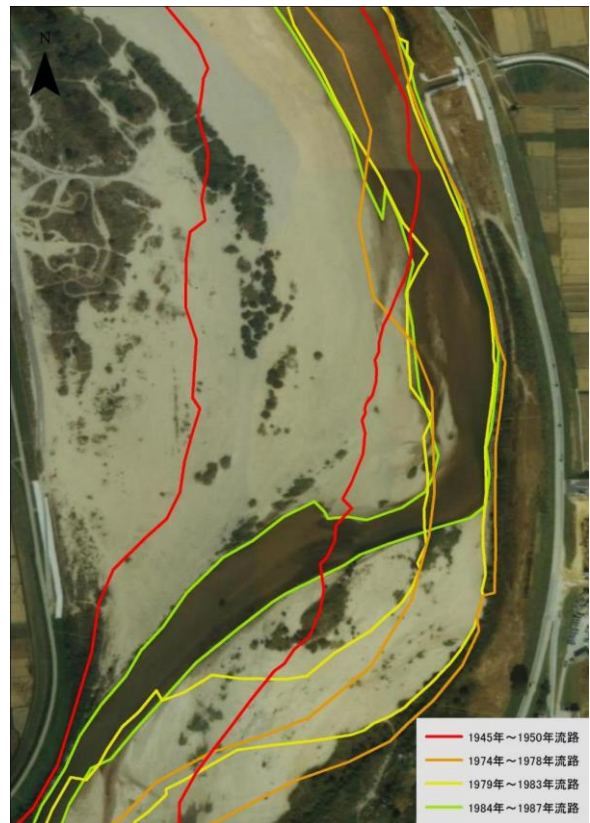


Fig. 11 1984～1987

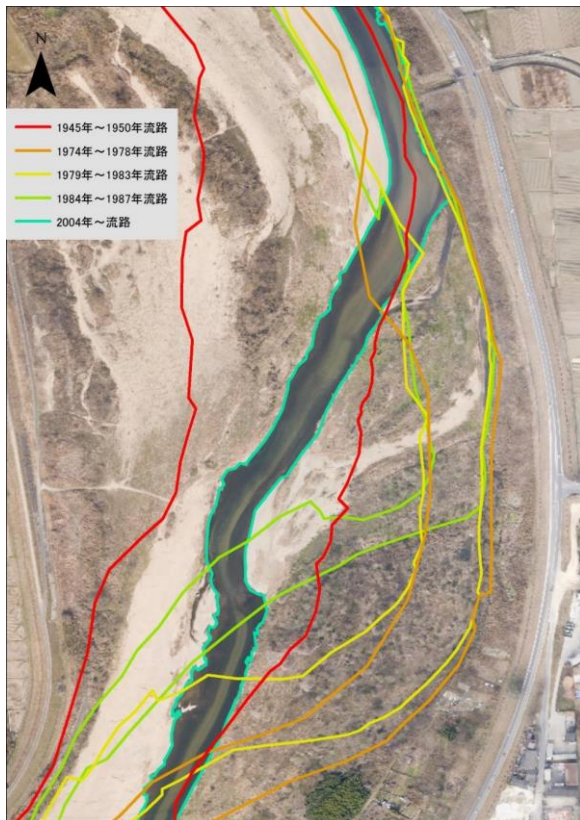


Fig. 12 2004～2006

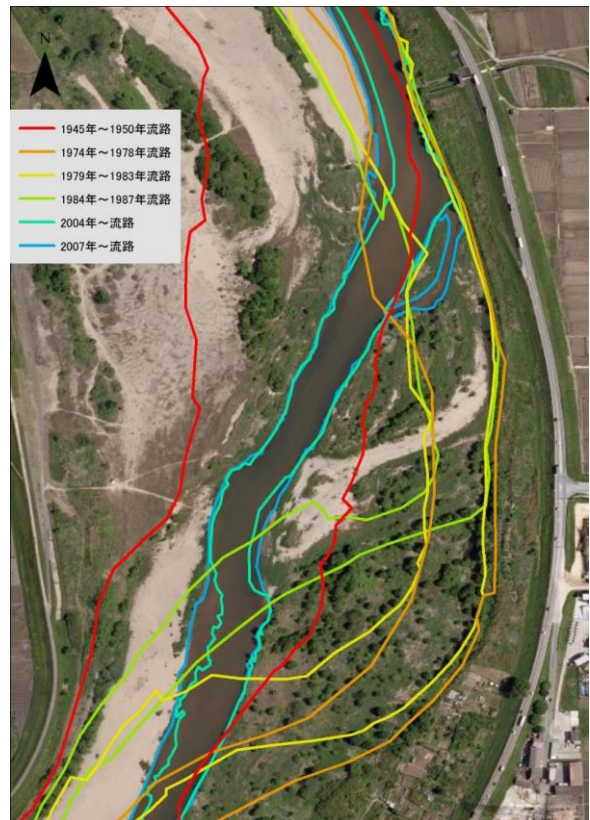


Fig. 13 2007～

ている。

最後は、2017年12月2日 (Fig. 15) である。この年の10月に、高山ダム建設後既往最大クラスの洪水が

発生している。右岸砂州の砂州尻が少し長くなったほか、低水路内の砂州上の植生が一掃されている。しかし、河道内の地形そのものを変えるだけの影響

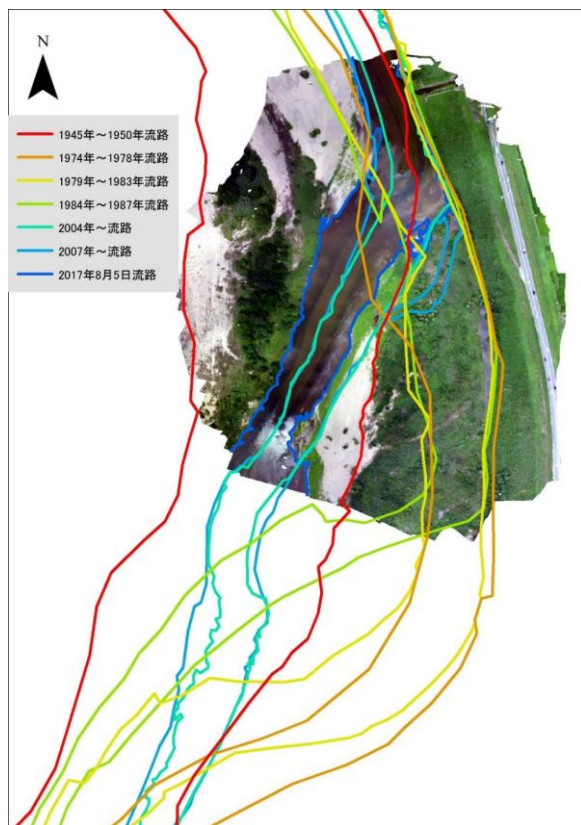


Fig. 14 2017/8/5

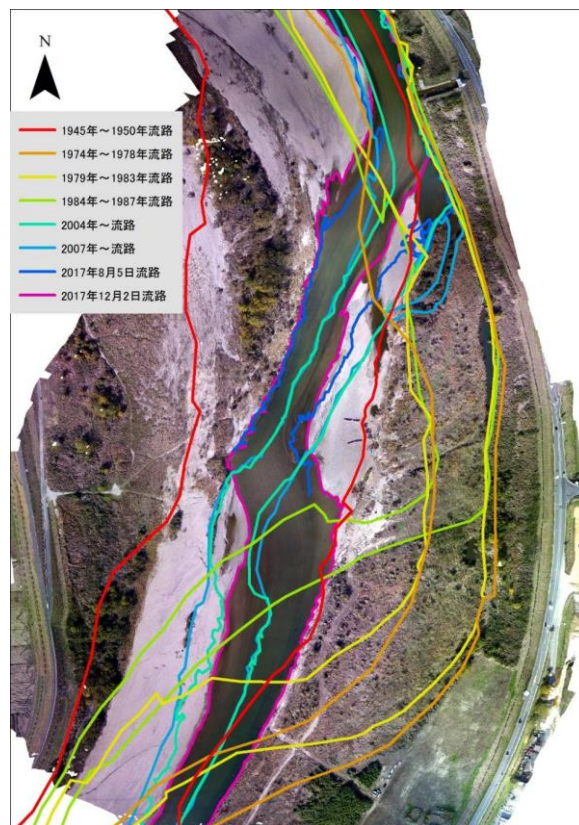


Fig. 15 2017/12/2

は見られなかった。また、2017年の地形に関しては、その2年前に設置された竹蛇籠水制による流路の誘導が起きている可能性がある。そして、この右岸側の砂州上に中聖牛が設置された。

これらの変遷を見ると、最も地形が変わったのは1940年代から1970年代にかけてであり、これは既往の研究（竹林ほか、2005）でも述べられているとおりである。その後は比較的安定傾向にあるが、流路は70年代以降も変化し続けており、砂州も低水路の裸地部分と高水敷の陸域化部分に二分されてきている。木津川下流で見られる二極化の現象が15.2km地点でも同様に起きていることがわかる。

また、この地点では、新たな蛇行が生じかけており、従来に比べて波長の短い砂州が低水路内に広がりつつある。その下流は左岸へ、その上流は右岸へ流路が移動する傾向にあり、今後もこの傾向が続けば、長期的に樹林化している部分が侵食され、川幅が広がり、聖牛設置砂州が大きくなる可能性がある。

3.2 洪水時流れ場

高山ダムフラッシュ放流時（2018年5月9日、約220m³/s）の聖牛周囲の流速・流向の計測結果をFig. 16に示す。聖牛の上流左岸側で最も流速が速く、C聖牛では1.6m/sを超えていた。透過型の水制ではあるが、流れは左岸側へ刎ねられていた。一方、各聖牛



Fig. 16 Flow patterns (220 m³/s)

の下流右岸側では、基本的に流速が遅く、流向が上流方向になっている場所もあり、聖牛による流速低減効果が確認された。この日の聖牛周囲の流れ場について、LSPIVを用いた観測でも同様の傾向が確認されている（Al Mamari et al., 2019）

ただし、A聖牛と低水路右岸の間の隙間が、流木等で一部閉塞しており、これが右岸側への流れを阻害したことも影響している。また、聖牛の真後ろでは、確かに流速が低減していたが、聖牛下流でも、聖牛間の隙間から入り込んだ流れは速かった。聖牛間からの流れは、AB聖牛間で最大1.1m/sであり、B聖牛～C聖牛横の低水路右岸付近では、その流れが岸に当たり、未計測だが、局所的に歩けないほどのかなり強い流れが発生していた。一方で、BC聖牛間で

は最大0.4m/s弱であった。これは、聖牛設置時に、AB聖牛間の隙間とBC聖牛間の隙間で数十cmの差が生じたことが影響していると考えられる。また、B聖牛にも竹が引っかかり、C聖牛に正面からぶつかる流れを左岸側へ誘導していた。BC間の流速が小さい原因として、この竹の存在も影響している可能性がある。

以上のことから、聖牛は200m³/s程度の小規模出水でも、周囲の流れ場を改変することが確認された。また、聖牛間の少しの隙間の差や、流下物の漂着の有無によって、出水時の聖牛周囲の局所的な流れは大きく変わることが示唆された。聖牛を設置する際には、これらを考慮しておく必要があると考えられる。

次に、台風12号ピーク流量時（2018年7月29日、約1200m³/s）の聖牛付近の様子をFig. 17に示す。5月の調査時に比べ、水位は2m以上上昇し、聖牛はほぼ完全に水没した。画像上の水面の様子から、匆ねられた水の流れは、下流方向に約100m～200m、横断方向には低水路幅（約100～120m）の中程まで達していたことが確認された。しかし、当初の目標であった左岸砂州までは到達していなかった。聖牛は既に水没しており、これ以上の規模の出水でも、さらなる水匆ね効果は見込めないと考えられる。

3.3 河床地形変化

3.3.1 空中写真の比較

上空150mから河道全体を撮影して作成したオルソ画像について、聖牛設置後の2017年12月2日（Fig. 18）と台風24号後の2018年10月13日（Fig. 19）を比較する。15.2km右岸砂州の上流では、本年だけでも大きく河岸侵食が進行していることがわかる。また、左岸側も蛇籠上流で侵食が進んでいる。3.1で示唆された蛇行傾向が、この1年の間にも進行していることがわかった。

一方で、聖牛設置時に目標として設定された、左岸樹林化砂州について、2017年12月と2018年10月で、

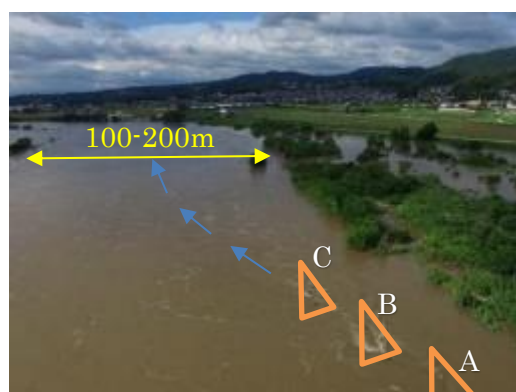


Fig. 17 Flow patterns (1200 m³/s)



Fig. 18 2017/12/2

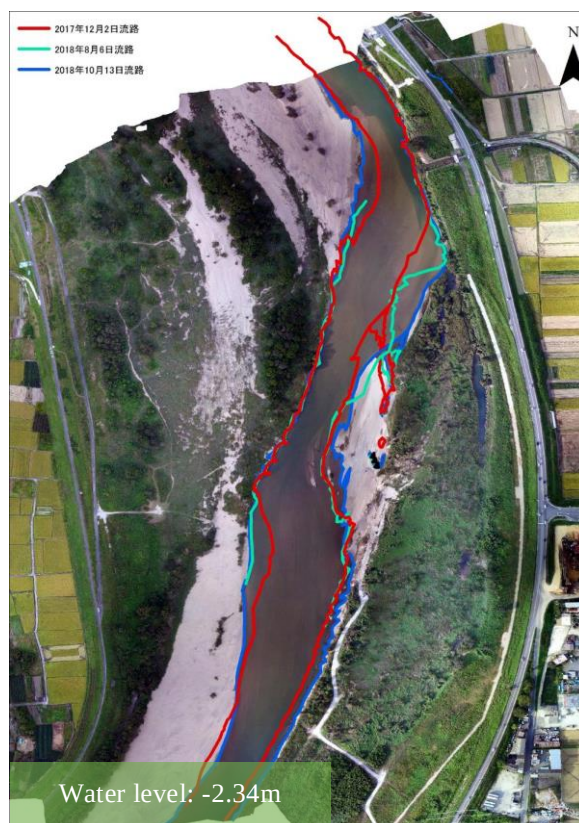


Fig. 19 2018/10/13

水際線の変化は見られなかった。3.2で述べたように、洪水時の水刃の影響が左岸まで到達しておらず、侵食を促進させることはできなかったと考えられる。

また、聖牛設置砂州の最下流部分が消失し、幅広い瀬が形成されるとともに、最下流にあったワンドに多くの土砂が堆積した。2018年7月14日の時点で既に砂州尻部分が少し侵食されていることが確認され、その後も出水後の現地踏査のたびに、縮小していることを確認していた。ゆえに、2018年7月6日の西日本豪雨時の出水がきっかけで、砂州の侵食が始まり、その後の各出水でも縮小を重ね、消失したと考えられる。この原因については、さらなる調査が必要だが、対象地より下流河道の河床が低下し、砂州の土砂が移動した可能性が考えられる。その場合、今後、聖牛設置砂州の構造に与える影響も検討する必要がある。

そして、やや低空からの聖牛周辺を撮影して作成したオルソ画像について、聖牛設置直後の2017年12月19日 (Fig. 20)、小規模出水後の2018年3月28日 (Fig. 21)、梅雨入り前の2018年5月27日 (Fig. 22)、梅雨明け前の2018年7月3日 (Fig. 23)、西日本豪雨後の2018年7月27日 (Fig. 24)、台風12号後の2018年8月6日 (Fig. 25)、台風24号後の2018年10月13日 (Fig. 26)、洪水期終了後の2018年11月13日 (Fig. 27) を比較す

る。

まず、聖牛設置直後の12月19日と200 m³/s程度の小規模出水後の3月28日の画像を比較すると、流路やたまり等の位置に大きな変化はないが、聖牛周囲に水の流れた痕跡がある。特に一番上流のA聖牛と二番目のB聖牛の間の痕跡が大きく、二番目のB聖牛と三番目のC聖牛の間の痕跡は少ない。これは、3.2でも述べたように、聖牛同士の設置間隔が微妙にずれていたことが原因だと考えられる。

次が、梅雨入り前の5月27日である。この間には、200 m³/s程度の出水が4回、500 m³/s超えの出水が1回発生している。明らかに聖牛周辺の地形が変化しており、C聖牛左岸側にたまりが出現した。また他の聖牛も含め、前方と側方が侵食されているように見える一方で、前方には洪水時の流下物が付着しているように見える。また、C聖牛左岸側後方から帯状に土砂が堆積している。聖牛による堆積促進効果が表れた可能性がある。

その次が、梅雨明け前の7月3日である。この間に、300 m³/s程度の出水が1回、600 m³/s程度の出水が1回発生している。聖牛周辺では、C聖牛左岸側のたまりの拡大が顕著である。また、C聖牛下流の堆積帯がよりくっきりと出現し、下流の植生域まで到達している。さらに、その脇にあったワンドが縮小して孤立



Fig. 20 2017/12/19



Fig. 21 2018/3/28



Fig. 22 2018/5/27

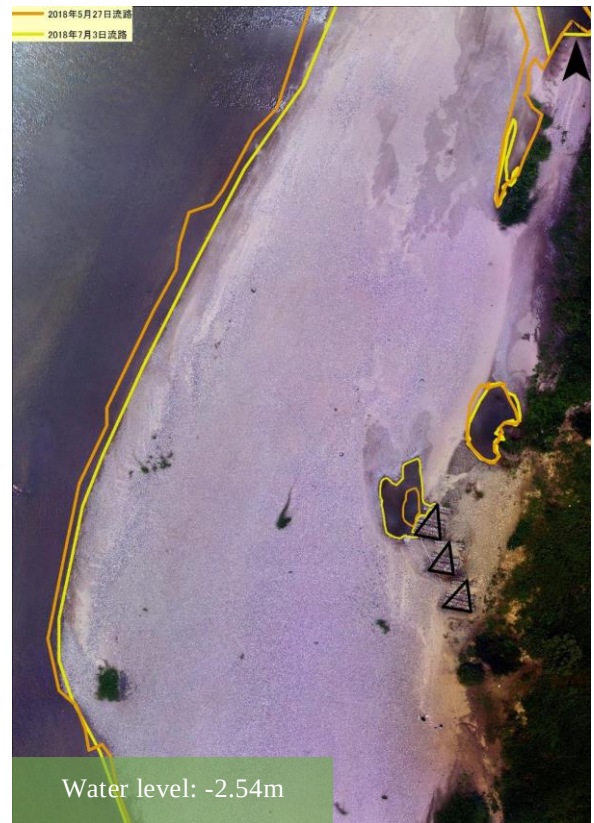


Fig. 23 2018/7/3



Fig. 24 2018/7/27

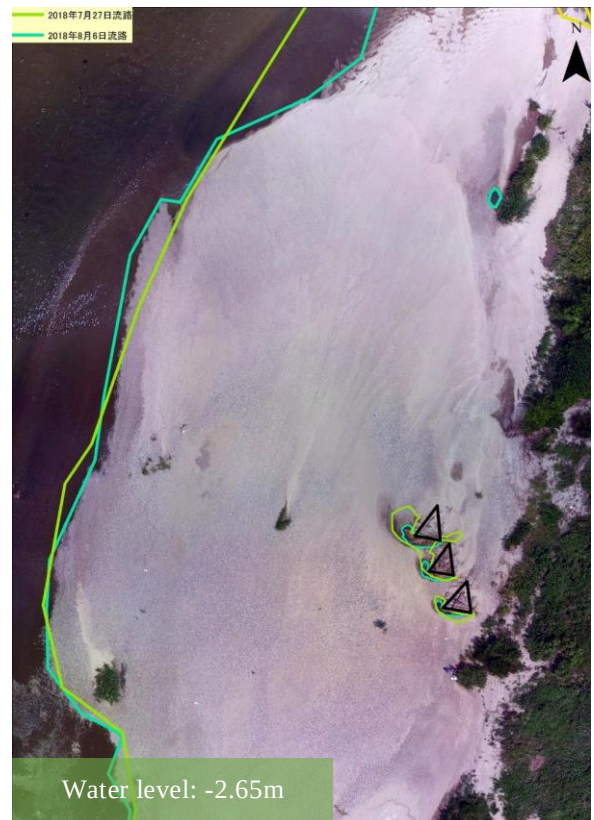


Fig. 25 2018/8/6

し、たまりとなった。C聖牛下流の堆積帯位置も梅雨前比べると、右岸側に少し傾いており、聖牛直下のたまりに入り込みかけている。洪水時に聖牛の左

岸側から来る流れと右岸側から来る流れのバランスが変化し、堆積帯の位置も変動した可能性等が考えられる。また、聖牛の上流側にも粒径の細かい土砂



Fig. 26 2018/10/13

が堆積しており、聖牛による堰上げが起きていたと考えられる。

その次は、西日本豪雨後の2018年7月27日である。西日本豪雨の際にあった1200m³/s程度の出水の影響を受けている。7月3日に比べ、聖牛前面は大きく侵食され、A聖牛、B聖牛の前面に、たまりが出現したほか、B聖牛とC聖牛の間までその水域が続いている。また、水位低下時の砂州上の滞筋の痕跡がくっきりと確認できる。さらに砂州が幅広く侵食を受けたように見える。一方で、各聖牛の後方部には細粒分が堆積している。また、7月3日まであった聖牛直下流のたまりも、土砂が堆積しほぼ消失した。しかしながら、C聖牛後方の堆積帯は西日本豪雨前の7月3日に比べ、それほど顕著ではない。洪水後期の波形の違いや土砂供給量の違いなど様々な要因が考えられる。

その次が、台風12号後の2018年8月6日である。この間の7月29日に台風12号が襲来し、西日本豪雨の時と同じく1200m³/s程度の出水があった。同じ規模の出水でありながら、砂州全体に土砂が堆積しており、砂州の下部にその段差ができています。それに伴い、3つの聖牛たまりも縮小した。ただし、A聖牛の右岸側は、侵食が進んでいるように見える。また、5月、7月、8月と洪水を経験するたびに、聖牛への流下物の付着が増えてきている。

その次が、台風24号後の2018年10月13日である。



Fig. 27 2018/11/13

この間に、1300 m³/s程度、800 m³/s程度の出水を経ており、最後に台風24号で本年最大の2100 m³/s程度の出水があった。8月6日に比べ、砂州全体は侵食されたように見えるが、聖牛周辺は大きく堆積している。特に聖牛の上流部の細粒の堆積が著しい。付着物の増加によって、透水性が低下し、堰上げ効果が増大している可能性がある。それから、流下物の付着量の増加によって、C聖牛下流の流速低減域が拡大した結果なのか、細長かった堆積帯が確認できなくなっている。一方で、聖牛の上流部への堆積が著しいが、これも流下物の付着量増大に伴い、聖牛前面の透水性が低下し、堰上げ効果が増大して堆積を促した可能性がある。また、A聖牛の右岸側の河岸が大きく侵食され、水位の高い日にはあるが、10m以上のたまりが出現している。

最後が、洪水期終了後の2018年11月13日である。10月13日時点では高かった水位が、平水位まで下がっている。聖牛周辺のたまりは干上がっている。5月～8月にかけては平水位でも水域を維持していたことから、洪水時に侵食されてきたたまりも、最終的には堆積して消失したと考えられる。流下物の付着による流速低減域の拡大等、様々な要因が考えられる。

約1年間の聖牛周辺の地形変化の様子をまとめると、河床地形改変当初の3月～7月頃にかけては、聖

牛の前方から側方にかけてが侵食され、後方には堆積するといった傾向であった。3.2の流速調査で、流れが速かった範囲が侵食され、遅かった範囲に堆積していったといえる。その結果、聖牛周囲にたまりも出現した。しかし、8月以降は必ずしもそのような傾向とはならず、本年最大規模の出水を経て水位が低下した後の11月には、出現したたまりが堆積により消失した。流下物の付着量増大により、聖牛周辺の流れ場が変化し、侵食堆積場も変動していった可能性がある。

3.3.2 横断測量結果

中聖牛上流5m測線、中聖牛下流5m測線の基準杭からの比高変化をFig. 28, Fig. 29に示す。両測線とも、最深部は深く流速が速いため、調査を断念した。

中聖牛上流5m測線を見ると、12月に比べ7月・11月では、A聖牛の上流側で比高が上昇しており、聖牛による堰上げ効果で堆積が進んだことが窺える。7月から11月にかけて、少し低下しているが、これは、右岸の河岸侵食が進行したことにより、A聖牛の右岸側への水の流れが生じた結果である可能性がある。また、12月の段階では、本流の側に微高地があったが、7月、10月になると低下し、周囲との比高差がほぼなくなっている。そして、本流の岸際に竹蛇籠水

制背後の堆積地が存在しているが、その比高は回を重ねるごとに高くなっていることがわかった。

中聖牛下流5m測線を見ると、C聖牛後方は大幅に河床が上昇し、特にC聖牛のやや左岸側で大きく上昇している。これは聖牛によって流速が低減し、堆積が促進された結果だと考えられる。よく見ると、7月には、その堆積域の中にも凹みがあり、C聖牛の真後ろ付近がえぐれている。これは聖牛同士の隙間から右岸側に入り込んだ流れが、聖牛後方の堆積域を横切るように、出ていったためだと考えられる。しかし、11月になると、7月の凹み部分から河岸直下の領域が消滅している。これは8月から10月にかけての出水で、右岸の河岸侵食が進んだ結果を表していると思われる。さらにC聖牛の流路側を見てみると、こちらは河床が低下していることがわかる。これは、A聖牛、B聖牛、C聖牛にぶつかった流れと本流の流れが集中したことによって、掘れた結果だと考えられる。また、上流測線と同様に、本流の側にあった微高地が7月・10月になると低下し、竹蛇籠水制背後の堆積地が高くなっていた。

どちらの測線においても、砂州上の聖牛周囲の地形変化が捉えられていた。一方で、流路部や対岸については、聖牛の影響は確認できなかった。

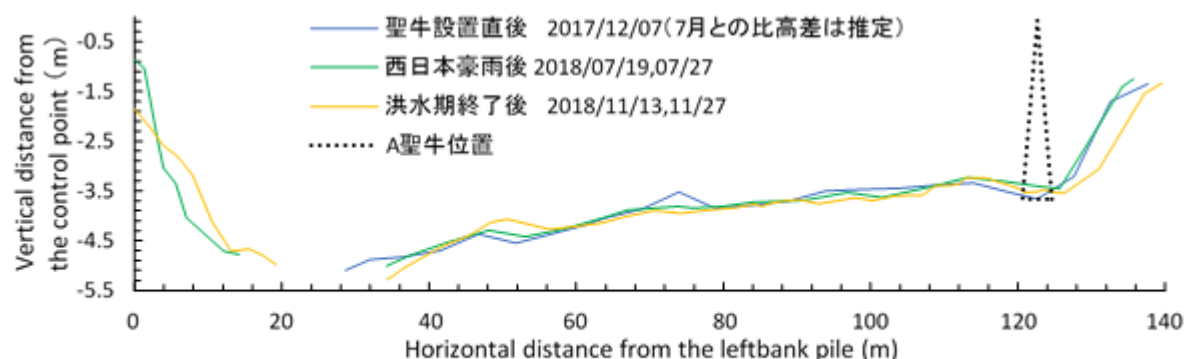


Fig. 28 5m upstream from Seigyū A

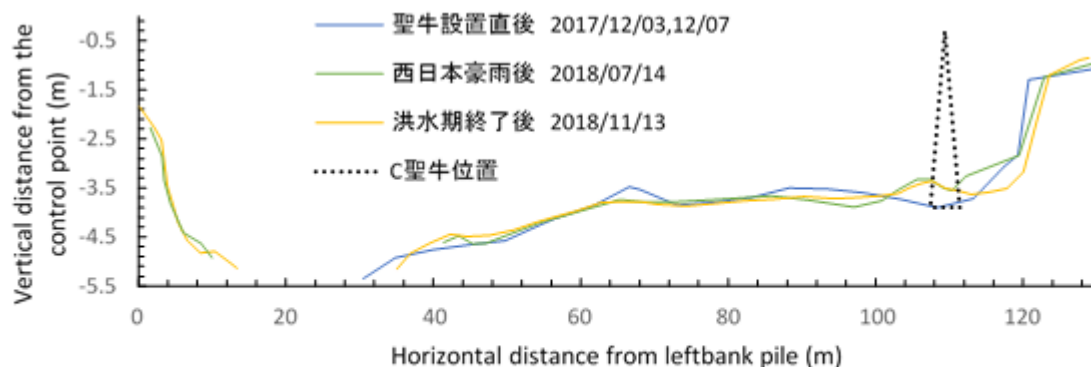


Fig. 29 5m downstream from Seigyū C

3.3.3 河床変動高

出力したDEM (DSM) について、聖牛周辺部を拡大したものがFig. 30からFig. 37である。聖牛設置直後の2017年12月19日 (Fig. 30)，小規模出水後の2018年3月28日 (Fig. 31)，梅雨入り前の2018年5月27日 (Fig. 32)，梅雨明け前の2018年7月3日 (Fig. 33)，西日本豪雨後の2018年7月27日 (Fig. 34)，台風12号後の2018年8月6日 (Fig. 35)，台風24号後の2018年10月13日 (Fig. 36) となっている。

そして、それぞれのDEM (DSM) の標高値同士の差分を取ったものが、Fig. 37からFig. 42である。聖牛設置直後の2017年12月19日と小規模出水後の2018年3月28日との差分 (Fig. 37)，小規模出水後の2018年3月28日と梅雨入り前の2018年5月27日との差分 (Fig. 38)，梅雨入り前の2018年5月27日と梅雨明け前の2018年7月3日との差分 (Fig. 39)，梅雨明け前の2018年7月3日と西日本豪雨後の2018年7月27日との差分 (Fig. 40)，西日本豪雨後の2018年7月27日と台風12号後の2018年8月6日との差分 (Fig. 41)，台風12号後の2018年8月6日と台風24号後の2018年10月13日との差分 (Fig. 42) となっている。

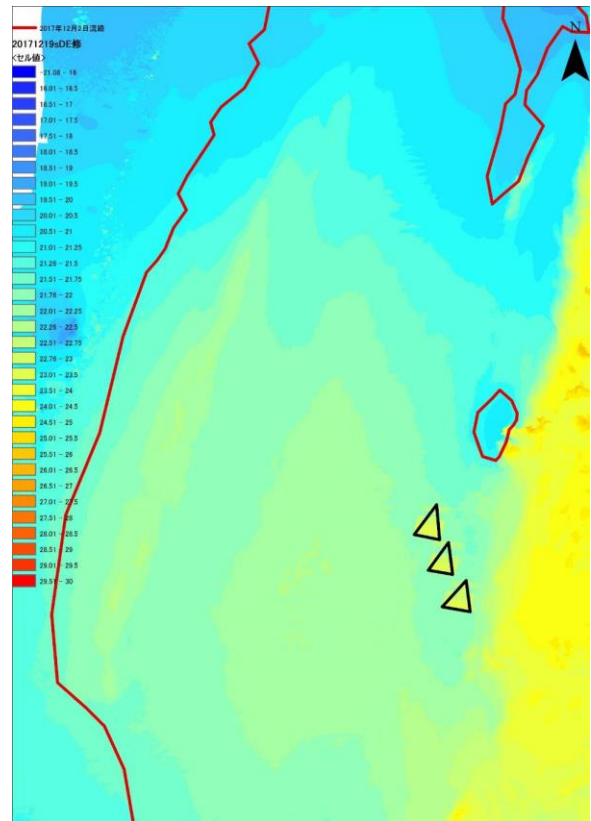


Fig. 30 2017/12/19

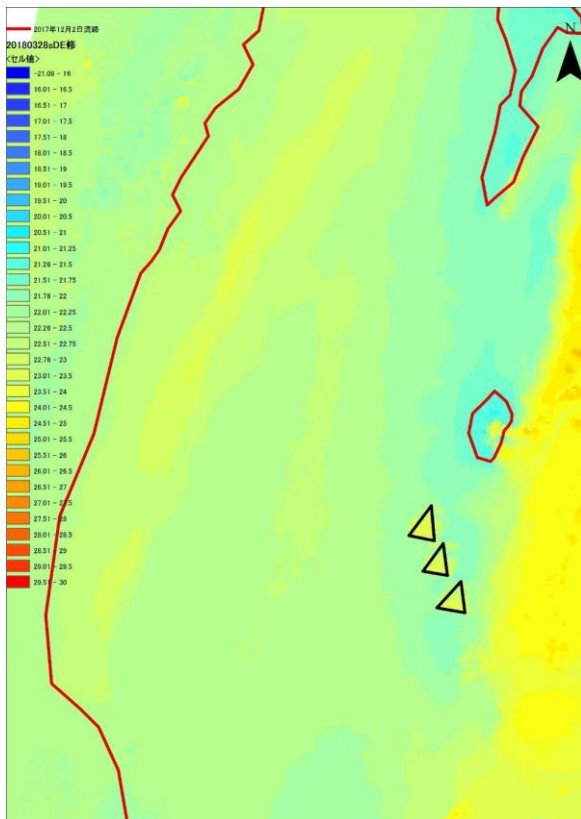


Fig. 31 2018/3/28

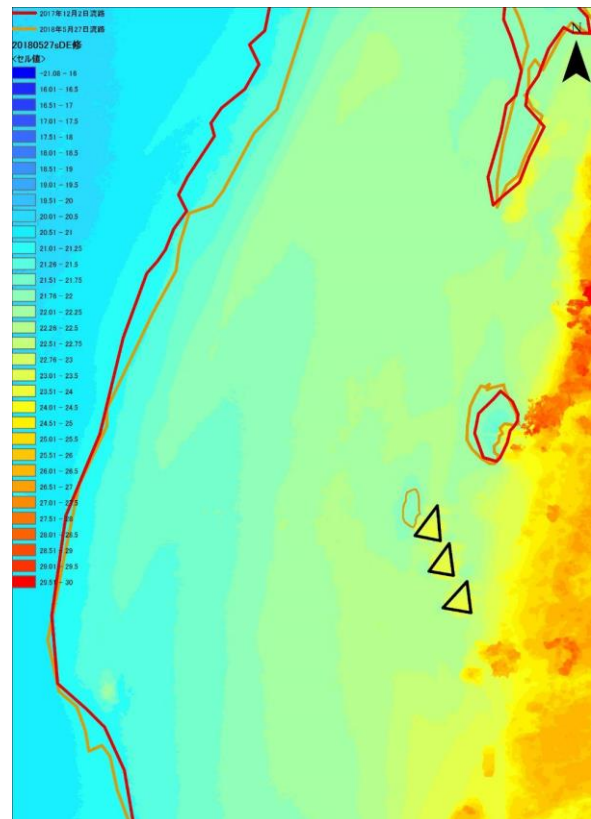


Fig. 32 2018/5/27

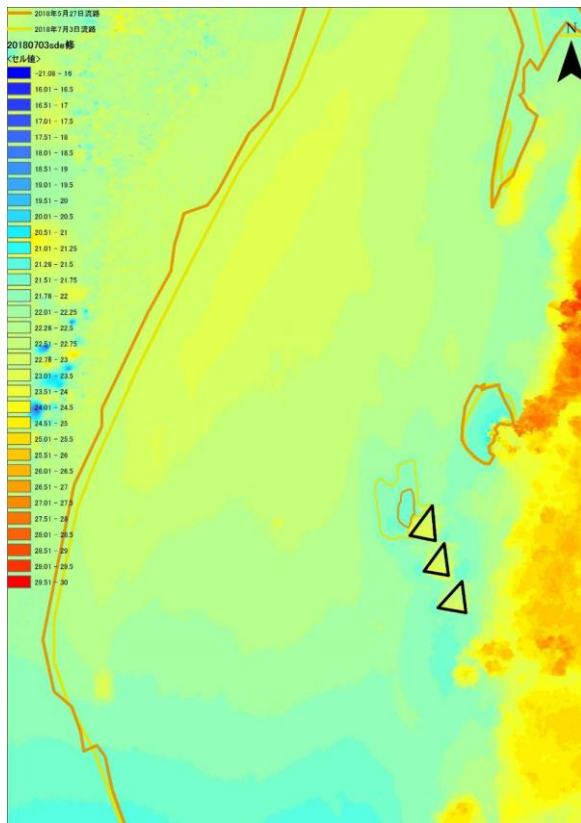


Fig. 33 2018/7/3

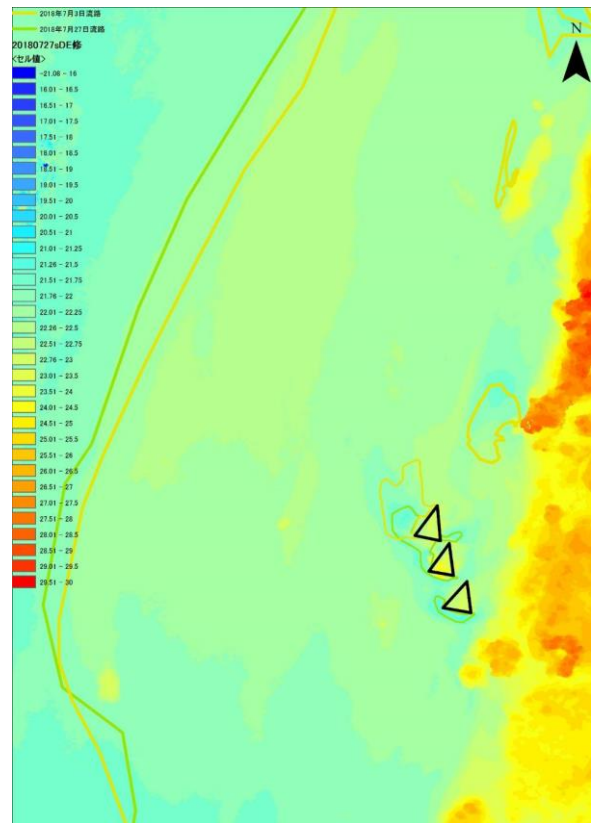


Fig. 34 2018/7/27

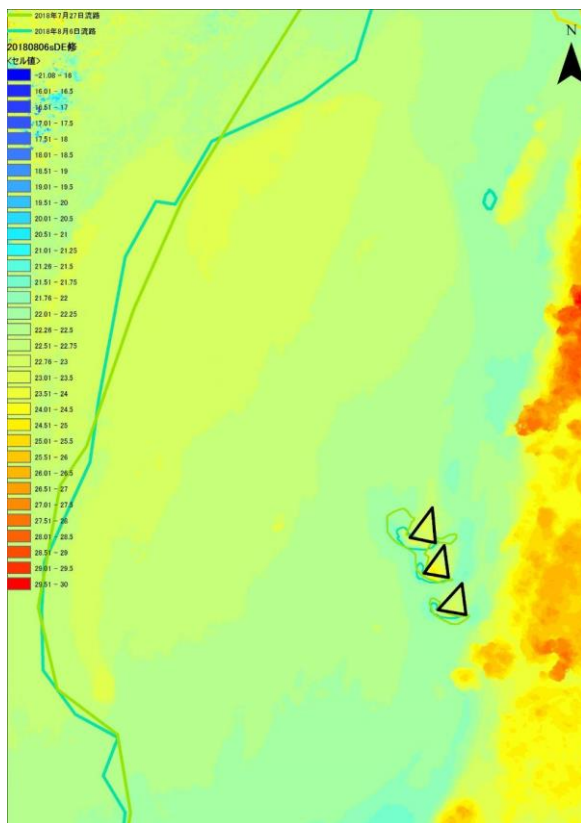


Fig. 35 2018/8/6

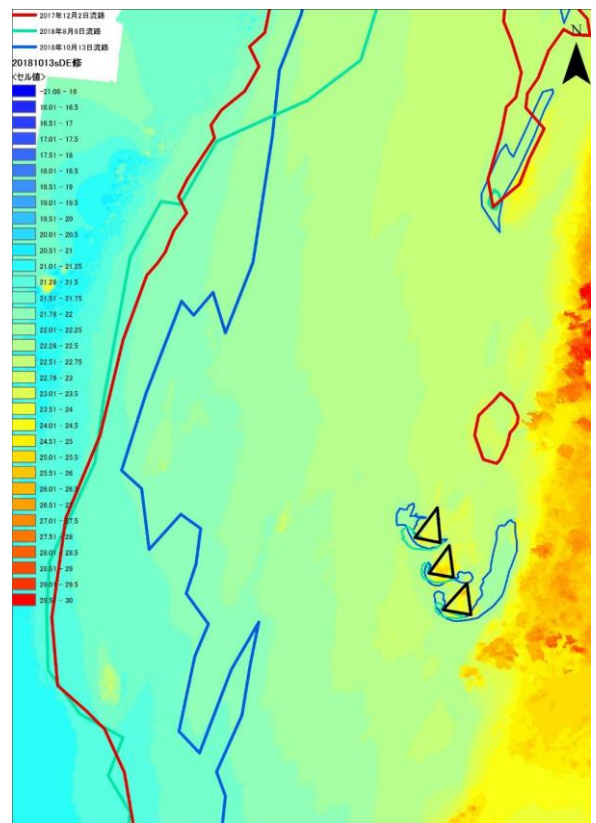
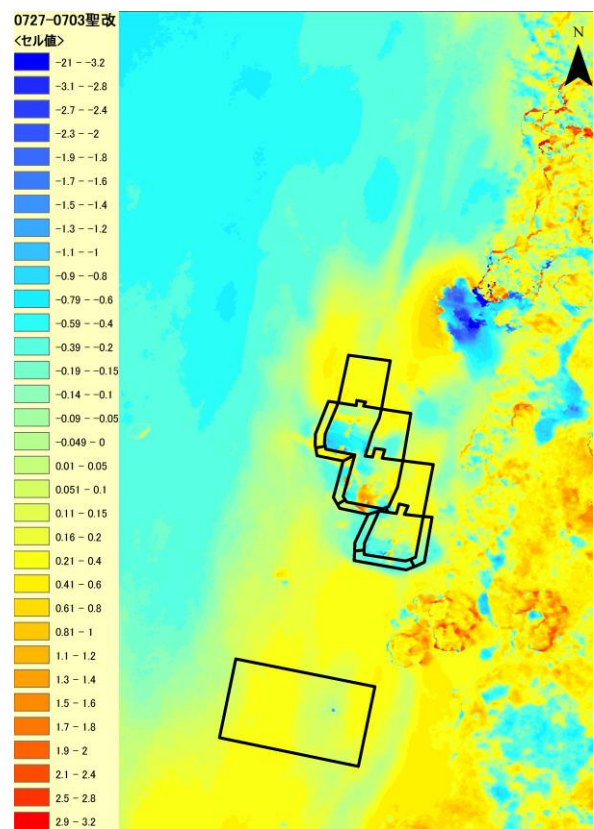
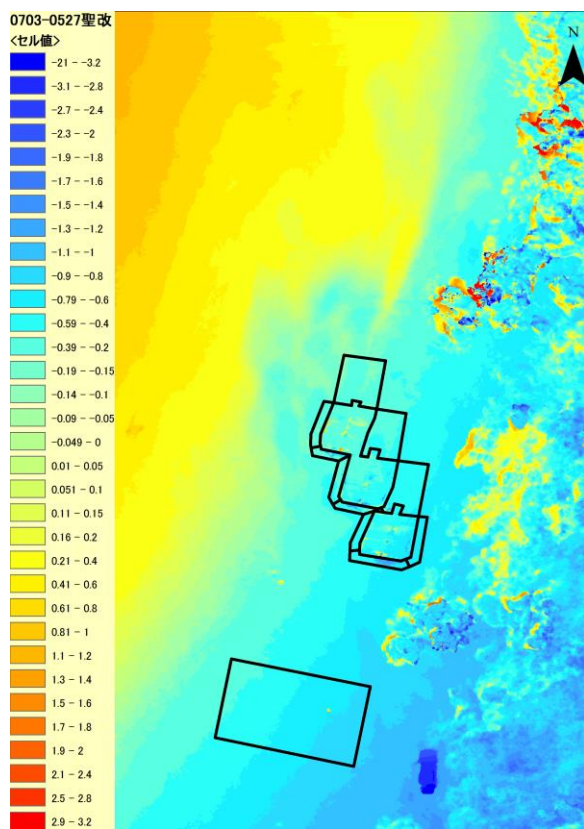
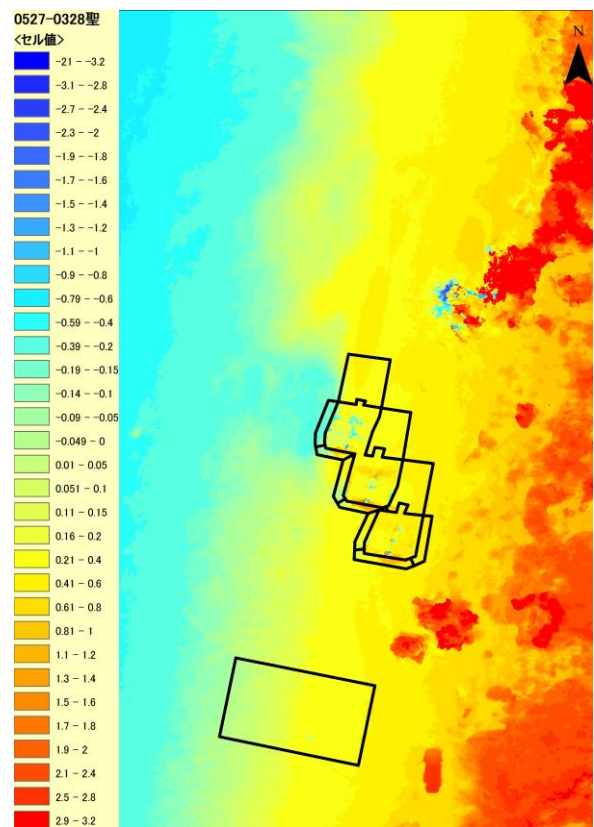
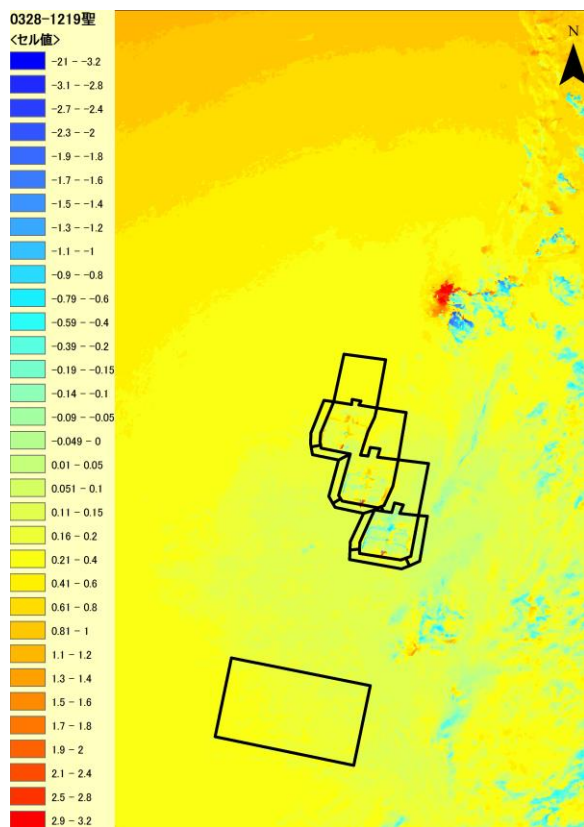


Fig. 36 2018/10/13



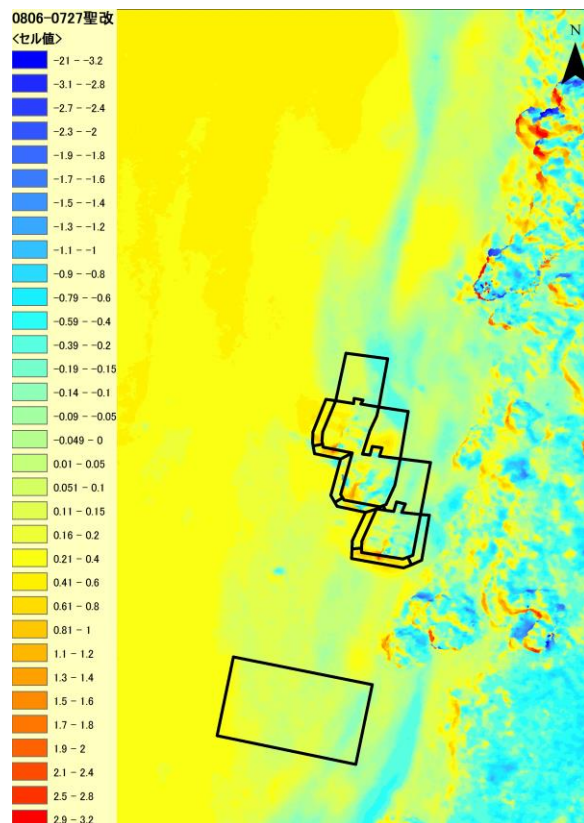


Fig. 41 2018/7/27～2018/8/6

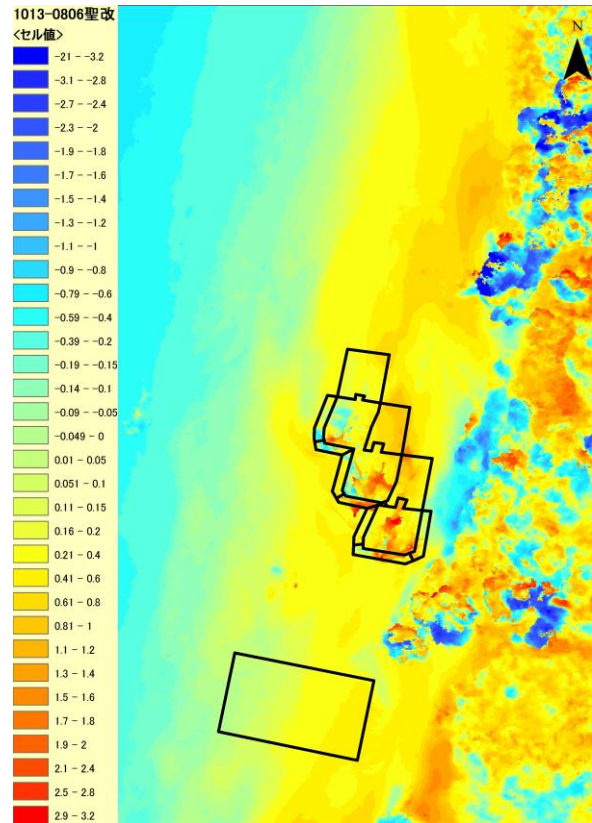


Fig. 42 2018/8/6～2018/10/13

これらの差分の図の全体的な傾向として、縦断方向に比べて、横断方向の変化が激しい。12月と7月の横断測量データとDEMの標高データを照らし合わせてみたところ、50mで50cmほどの誤差があることがわかった。この原因として、UAVのフライトコースが考えられる。今回UAVで空撮するにあたって、対象範囲を縦断方向に折り返しながら撮影した。縦横ともに5割程度重なるよう意識して飛ばしたが、やはり縦方向に集中しがちで、横方向の写真の連続性が弱かったと考えられる。

しかしながら、横断方向でも河床地形の凹凸の傾向は捉えられており、部分的に河床地形を定性的に捉えることは可能なデータである。また、縦断方向の精度は横断方向に比べると高いと考えられ、近傍区間であれば、定量的に判断できる可能性を有したデータである。

まずは、これらのデータを順番に見ていくこととする。聖牛設置直後の2017年12月19日と3月の200 m³/s程度の小規模出水後の3月28日のDEM画像を比較すると、砂州地形に大きな変化はないが、聖牛周囲の水の流れた痕跡のような、周囲より河床の低い部分ができおり、3.3.1で見られた傾向と一致する。

梅雨入り前の5月27日のDEM画像を見ると、C聖牛左岸側のたまり位置が凹んでいることや、C聖牛下流に帯状の堆積域があることは明らかであり、3月28日と

の差分でもそれは確認できる。また、A聖牛とB聖牛前面も少し盛り上がり、洪水時の流下物が付着した結果だと考えられる。

梅雨明け前の7月3日になると、聖牛周辺では、C聖牛左岸側のたまりの拡大が見て取れる。聖牛近辺自体が侵食傾向にあったように見えるが、写真で見られた細かな変化は明らかではない。

西日本豪雨の後の7月27日には、聖牛前面の侵食範囲はほぼ変わらないが、同じ地点がより侵食されている。また、各聖牛の後方部は堆積していることがわかる。オルソ画像で見られた結果と対応している。

台風12号後の8月6日、聖牛周辺の地形の形状は大きくは変わっていないように見えるが、左岸側や聖牛上流側を中心に広く堆積している。聖牛の後方はやや侵食もされている。

そして、台風24号後の10月13日になると、聖牛周辺は堆積が激しい。B聖牛C聖牛上流部の堆積はオルソ画像でも見られた傾向である。そして、A聖牛の右岸側の河岸が大きく侵食されている。また、C聖牛下流ではなく、A聖牛、B聖牛下流に長く延びる堆積域のようなものが確認できる。

以上のように、概ね実際の写真上での変化と一致することがわかったほか、場所によっては写真ではわからなかった細かな情報も得ることができた。

そして、Fig. 7のように設定した、各区画内のDEM (DSM) における期間内の平均河床変動高の違いを分析した。まず、各期間内の平均河床変動高さを区画ごとに示したものがFig. 43である。正であれば堆積、負であれば侵食を示す。全体的に、聖牛周辺各区画は聖牛上流砂州上区画と同様の変動高さの傾向を示しているが、回を重ねるごとに変動幅が増大している。また、C聖牛の左岸側方や後方などは5月や7月の段階で既に変動高さが他とは違っている。Fig. 5

に示した流量と照らし合わせてみても、明瞭な傾向は見られないが、期間内最大流量が大きいほど変動幅が大きくなっている可能性はある。

次に、聖牛上流砂州上区画と聖牛周辺各区画の変動高さの差分を求めた。聖牛前方区画と砂州上区画の差分がFig. 44、聖牛側方区画と砂州上区画の差分がFig. 45、聖牛後方区画と砂州上区画の差分がFig. 46である。

まず、聖牛前方は基本的に堆積促進傾向であった。

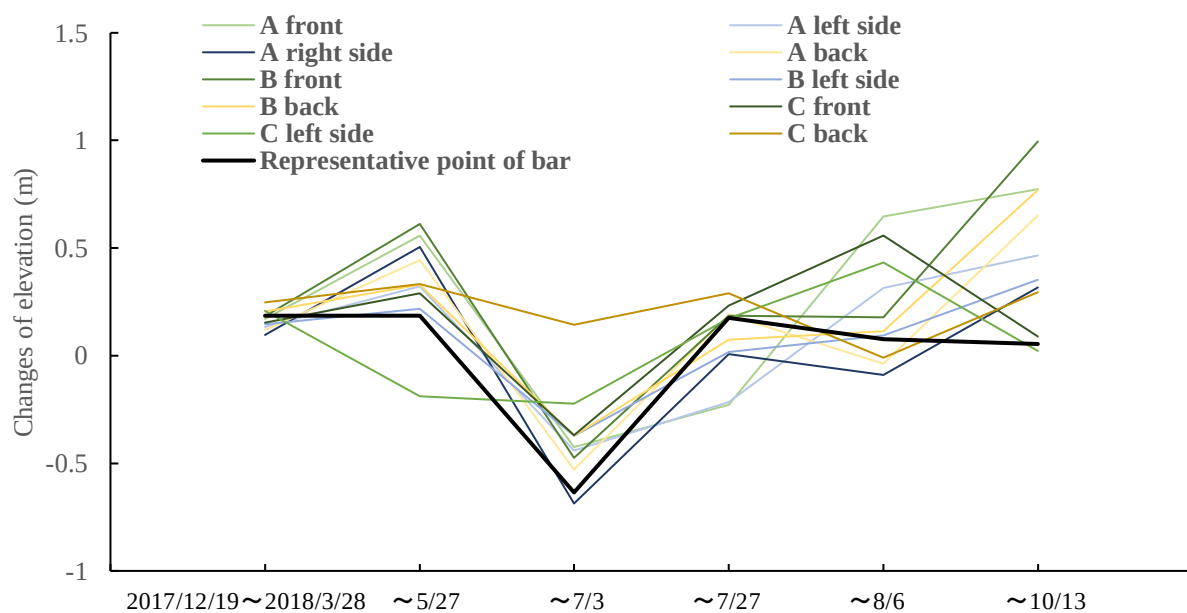


Fig. 43 Changes of elevation during each period

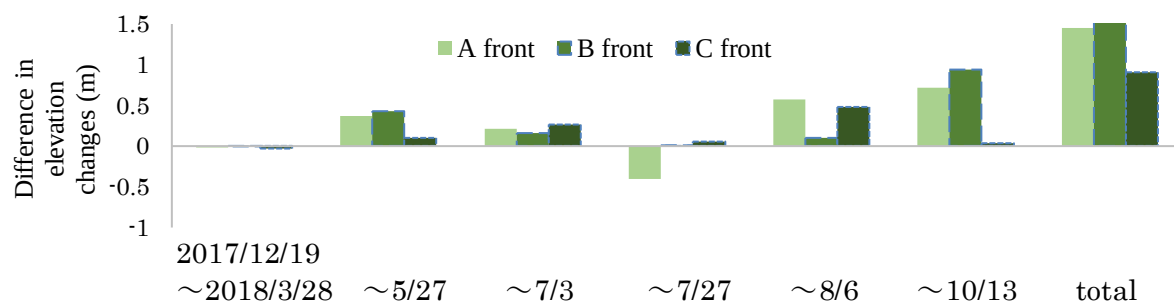


Fig. 44 Difference in elevation changes between bar section and front of Seigy section

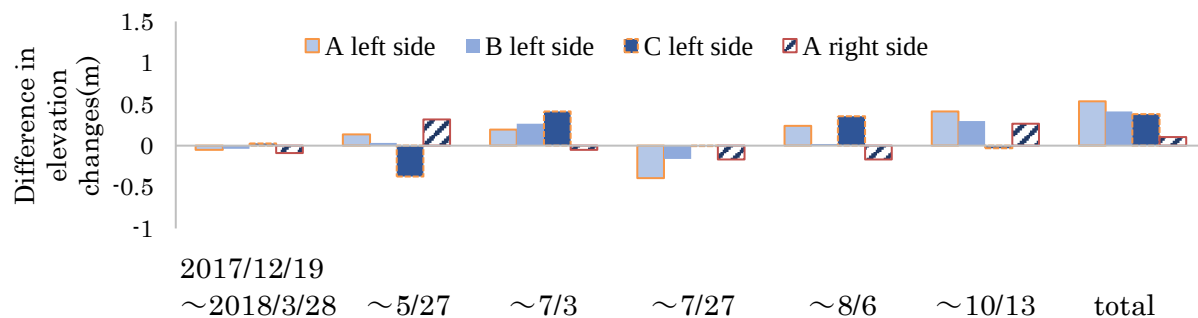


Fig. 45 Difference in elevation changes between bar section and side of Seigy section

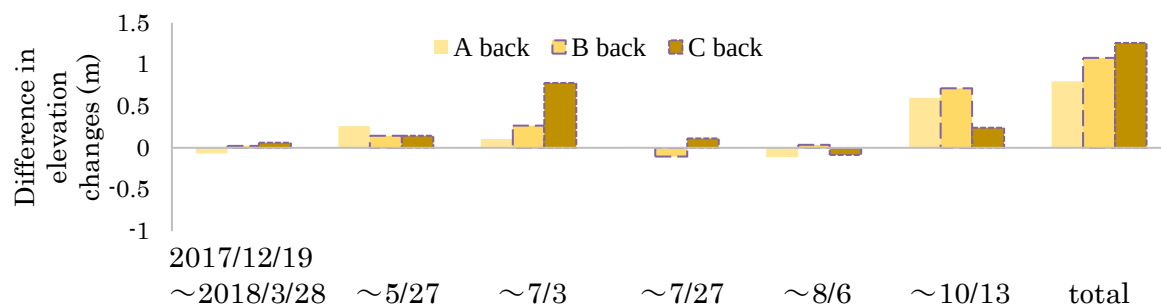


Fig. 46 Difference in elevation changes between bar section and back of Seigy section



Photo 10 Trapped driftwoods

前方は水衝部で、側方にかけてたまりが形成されることもあるが、流木等が捕捉されやすい。そのため、捕捉された流下物そのものや、それにさらに捕捉された土砂等が河床を上昇させ、区画全体として堆積が浸食を上回ったと考えられる。特に、流下物の捕捉量が増えた7月29日以降はその影響が顕著である。

聖牛側方は、他の区画に比べ侵食促進傾向であることが多かった。ただし、一度大きく侵食されると、その後それを上回るような侵食促進効果はほぼ見られなかった。堆積を促進している場合もあるが、8月と10月に関しては、前方での流下物捕捉量が増大し（Photo 10）、側方にも影響してきた結果だと考えられる。

聖牛後方は、安定的に堆積促進傾向であることが多く、他の区域で侵食傾向であった5/27~7/3においても、C聖牛後方は堆積傾向であった。A聖牛とB聖牛の後方については、8/6~10/13に堆積傾向が特に強く、流下物捕捉による聖牛の透過度の低下が大きく影響した可能性がある。

以上の結果から、聖牛には、側方では侵食、後方では堆積を促進させる効果があり、さらに前方では流下物を捕捉することで堆積を促進させ、それは側方や後方にも波及することが示唆された。

3.4 聖牛たまりの物理環境

3.4.1 聖牛たまりの比高

各聖牛の左岸側方から前方に形成されたたまりの

最深部の比高変化をFig.47に示す。Fig.22, Fig.24, Fig.25, Fig.26でも確認できるように、聖牛A, B, Cの前方から左側方にたまりが形成されたため、梅雨入り前（5月26日）、西日本豪雨後（7月27日）、台風12号後（8月6日）、台風24号後（10月13日）の計4回測量した結果である。なお、5月26日の調査時は、C聖牛側方にしかたまりが形成されていないが、A・B聖牛付近でも、前方～側方に窪みができていたため、その最深部比高を測量している。

結果としては、どのたまりも河床の変動傾向は概ね同じであった。5月26日の時点で既に周辺より侵食傾向にあったが、7月初めの西日本豪雨時にどの地点もさらに40cmほど侵食され、全聖牛脇にたまりが形成された。しかし、7月末の台風12号後は上昇し、10月の台風24号後にはたまり形成前に近い比高となり、たまり間の比高差もほぼ消失した。前節で言及した流下物の捕捉量増大がたまりでの堆積を促進させた可能性がある。

ただし、3.4.2で後述するように、堆積が促進された7月末以降でも、たまりはそれまで以上に侵食されたと考えられ、結果的に侵食量を上回る堆積量だったために、上昇したと推察される。このように、聖牛たまりは、大きな出水のたびに、攪乱を受ける場だったと考えられる。

最終的に、どのたまりも11月頃には干上がっていたため、C聖牛たまりは約6ヶ月、A聖牛とB聖牛たまりは約4ヵ月半にわたり存在したと推定される。

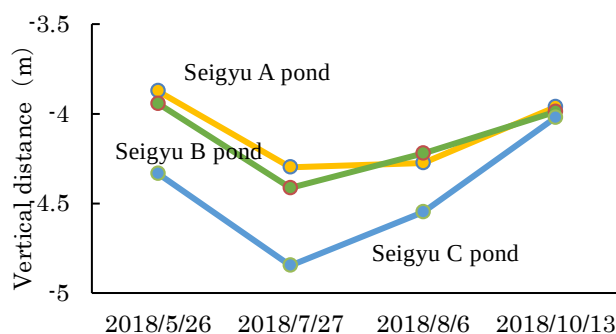


Fig. 47 Elevation of bed in Seigyu ponds

3.4.2 聖牛本体の比高変化

聖牛本体の前面の比高変化をFig.48に示す. 右からA聖牛, B聖牛, C聖牛で, それぞれの左右が左岸側と右岸側を示す. 西日本豪雨直後(2018年7月10日), 台風12号後(2018年8月6日), 台風24号後(2018年10月13日)の計3回測量を行なった結果, どの聖牛も沈下傾向にある一方で, 聖牛根元の河床は上昇していることがわかった.

例えば, C聖牛の左岸側の角の点は7月10日から8月6日の間に30cmほど沈下したが, 河床は40cmほど上昇したことから, 30cmの侵食後に70cm堆積したと推察される. このことから, 聖牛前方から側方の水衝部における侵食促進効果は, 流下物捕捉後も失われておらず, それを上回る堆積によって結果的に堆積傾向となったと考えられる.

また, A聖牛の右岸側の角の点は, 7月から8月にかけてほぼ変化しなかったものの, 8月から10月の間で40cmほど沈下している. これは, UAV写真でも見られ

たように, 聖牛群右岸側の河岸侵食が進み, A聖牛の右岸側が水の通り道になった結果, 洗堀されたためだと考えられる.

3.4.3 聖牛たまりの河床材料

聖牛たまり形成位置及び, 聖牛たまり内の河床材料の粒径加積曲線をFig.49 (A聖牛たまり), Fig.50 (B聖牛たまり), Fig.51 (C聖牛たまり)に示す.

まず, A聖牛たまりを見ると, 12月9日から7月27日にかけて, 細粒分がやや減少した一方で, 粗粒分もやや減少し, 河床材料が均一に近づいている. 聖牛の設置によって, 流れが集中してたまりが形成され, そこで分級された堆積物を採取した結果を反映した可能性がある. しかし, 8月6日には粗粒化し, 10月13日には元の粒度分布とあまり変わらなくなっており, 結果的に他のたまりほど大きな変化は生じていない.

次に, B聖牛たまりを見ると, 12月9日から7月27日にかけて粗粒化したものの, 8月6日, 10月13日にかけて細粒化が進行し, 最終的に, 当初より大幅に細粒化した. 3.3.3で, 7月初めまでは侵食が進み, それ以降は付着した流下物等の影響で, 堆積が進んだことが示唆されたが, その傾向とも一致する.

最後に, C聖牛たまりを見ると, 12月9日から7月27日にかけて大きく細粒化している. 5月26日の段階でC聖牛付近だけ既にたまりが出現していたことから, 早くから侵食が進行し, 7月の段階では形成されたたまりに多くの細粒分が堆積した可能性がある. その後の, 8月6日, 10月13日では, 7月27日より細粒分も粗粒分も減少し, 河床材が均一化している. たまりでの分級がより顕著になった可能性がある.

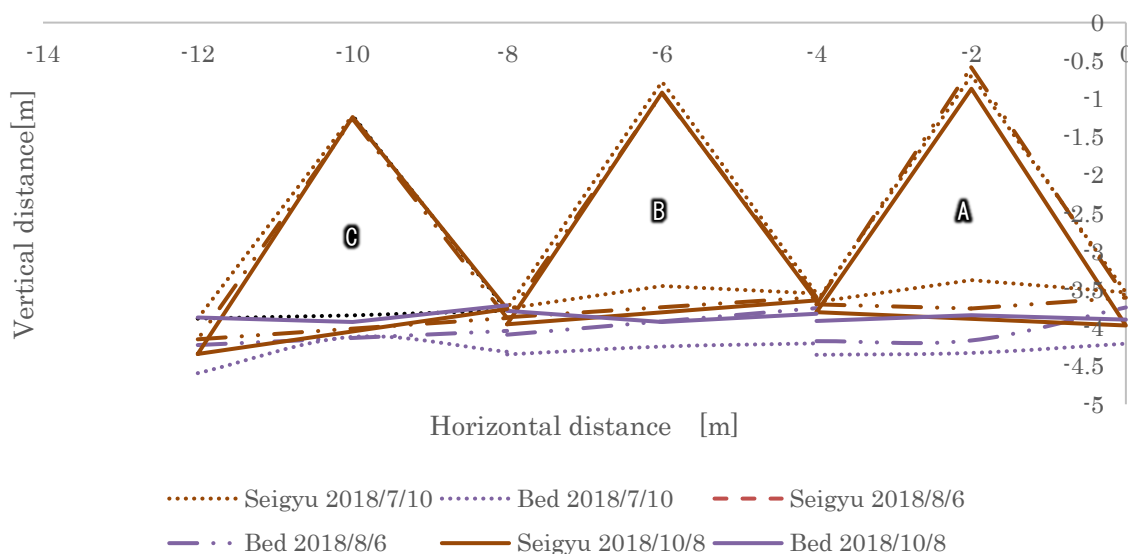


Fig. 48 Height of Seigyu

このように、B聖牛、C聖牛のたまりは細粒化した一方で、A聖牛のたまりは大きく変化しなかった。A聖牛は3基の中で最も岸に近く、Fig.47で見られたようにたまりの比高もやや高い。また、3基の中で最も上流に位置し、直上流に土砂の供給源も存在しない。そのため、B聖牛、C聖牛ほどの土砂堆積が生じなかった可能性がある。また、流下物の付着がそれを助長した可能性もある。今回は水衝部のたまり位置のデータのみだが、聖牛周囲の河床材料は場所によって大きく違っており、他の地点の河床材料も分析する必要がある。

3.4.4 聖牛たまりの河床軟度

聖牛たまり形成位置及び、聖牛たまり内の河床軟度をFig.52に示す。どのたまりも河床軟度は大幅に上昇した。聖牛たまりは侵食によって形成される場ではあるが、洪水後期には土砂堆積が促される場であると考えられる。12月9日と7月27日の段階での河床軟度は、洪水時の掃流力が大きいと考えられる本流側のC聖牛たまりで低く、河岸側のA聖牛たまりで高かったが、8月6日と10月13日には逆転した。3.4.1の比高測量結果から、8月6日と10月13日は全体的に堆積傾向にあり、C聖牛たまりでは7月27日までに深く掘れた分だけ堆積厚が大きく軟度も高くなった可能性がある。前項の河床材料の変化からも、A聖牛たまりより、B聖牛たまり、C聖牛たまりの方が細粒化しており、その結果軟度も高まったと考えられる。

3.5 聖牛たまりの水生物

3.5.1 聖牛たまりの水生物相

聖牛設置砂州周辺の採集地点を、聖牛によって形成されたたまり、砂州下流の天然ワンド、右岸高水敷の先にある天然たまりの3つの生息場に分け、生物群集を比較した結果をFig.53に示す。3地点の生物相は異なっており、聖牛たまりは、下流天然ワンドや、右岸天然たまりよりも、底生動物や魚類の分類群の総数が少なかったが、一部の分類群は聖牛たまりのみに出現した。

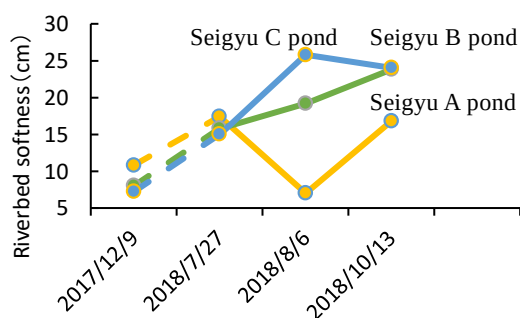


Fig. 52 Riverbed softness

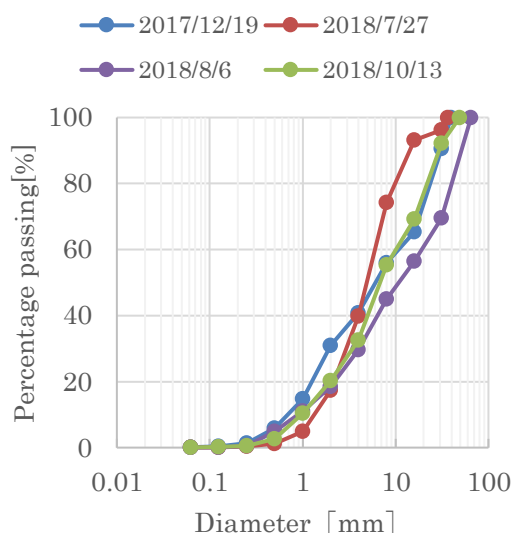


Fig. 49 Seigy A pond

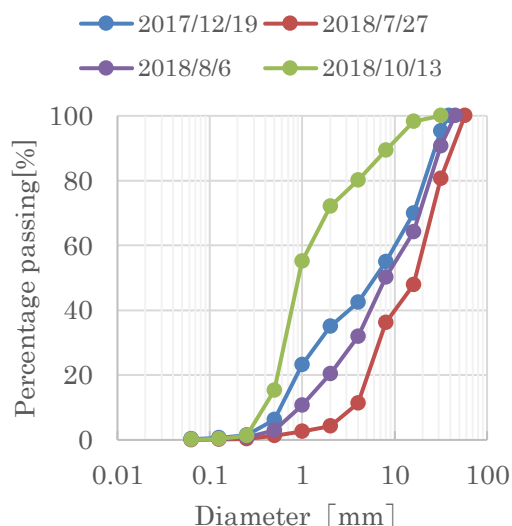


Fig. 50 Seigy B pond

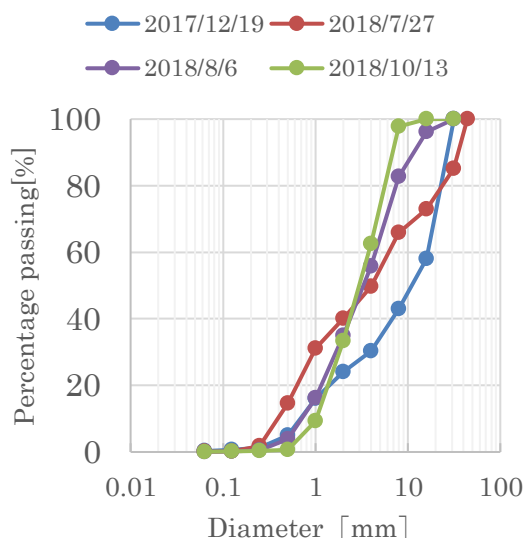


Fig. 51 Seigy C pond

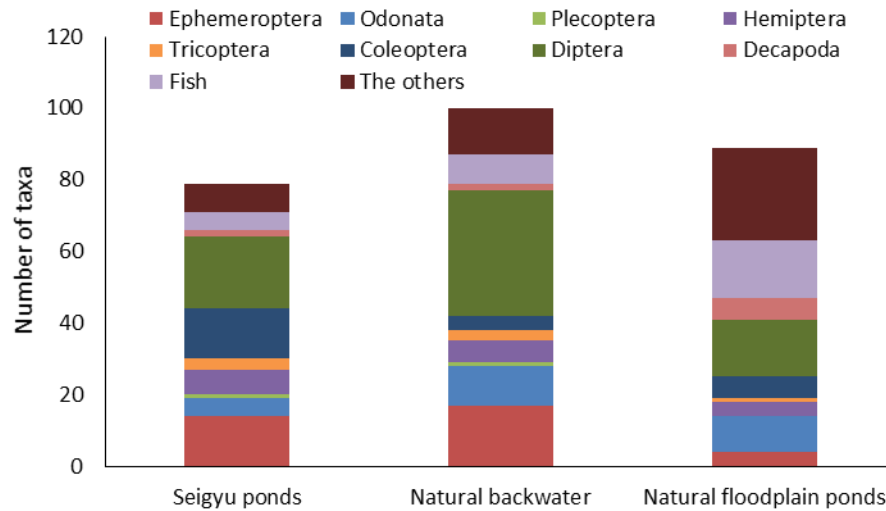


Fig. 53 Total number of taxa occurred in each habitat

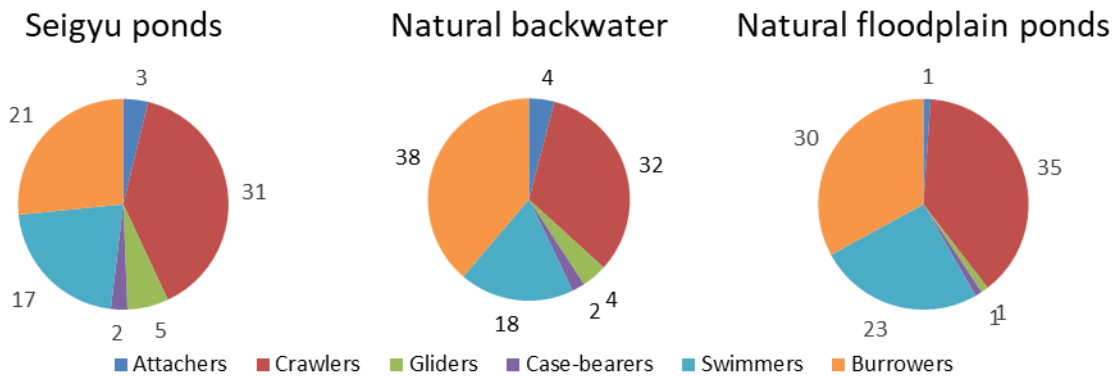


Fig. 54 Life type composition in each habitat

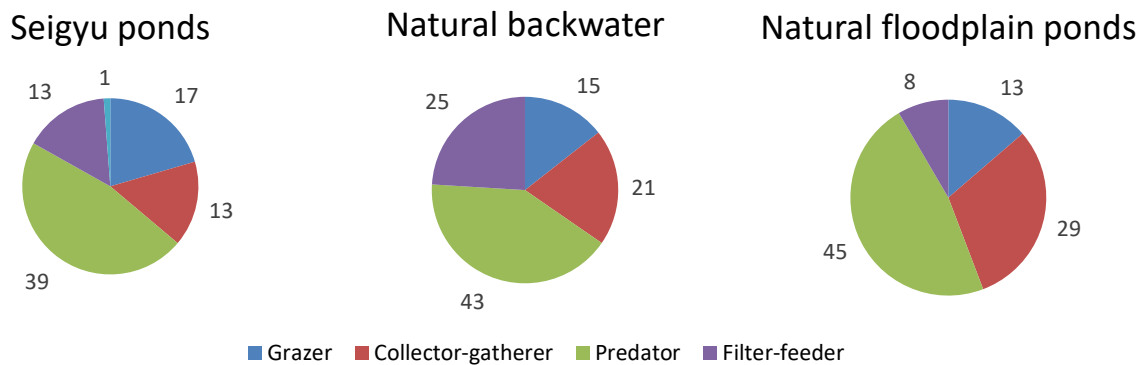


Fig. 55 Functional feeding group composition in each habitat

特に、カメムシ目やコウチュウ目の分類群数は聖牛たまりで最も多く、次に右岸天然たまりと天然ワンドが続いた。コマツモムシやハイイロゲンゴロウなどは聖牛たまりでのみ確認されたほか、コオイムシ、ヒメガムシ、ヨコミゾドロムシなども採集されている。洪水の度に侵食と堆積によって変動する、聖牛たまりの不安定な環境特性が、今回確認された

コウチュウ目やカメムシ目の昆虫に選好されている可能性がある。このように、聖牛は一時的な止水環境としての役割を提供していると考えられた。

次に、同地点ごとに、生活型、摂食機能群で分類して比較した結果を Fig.54, Fig.55 に示す。生活型に関しては、3地点とも匍匐型もしくは掘潜型、次いで遊泳型の順で共通していた。摂食機能群では、捕

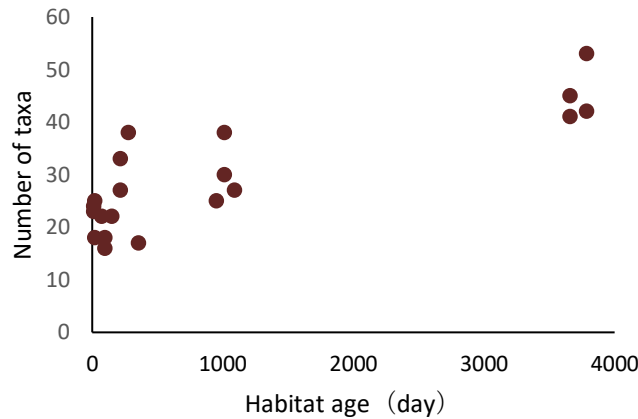


Fig. 56 Habitat age and the number of taxa

食者が優占し、刈採食者が少ない点も、3つの生息場の間で共通であった。これらの結果は、木津川の止水域を利用する群集の共通の特徴であると考えられる。

3.5.2 分類群数と生息場齢

今回の各調査地点における、生息場が形成されてからの日数（生息場齢）と、その地点で確認された分類群数の関係をFig.56に示す。その結果、生息場齢の増加とともに分類群数が増加する傾向が見られた（ $r = 0.83$ ）。平均生息場齢は、聖牛たまりで61日、天然ワンドで650日、右岸天然たまりで3722日の順であり、これはFig.53で示した各生息場の分類群総数の順番と同様であった。

聖牛たまりは洪水時の侵食と堆積によって頻繁に攪乱されて出現し消滅するような場所であるため、生息場齢は他の止水域よりも若い。そして、そのような聖牛たまりは、水温や溶存酸素濃度等が激しく変動する厳しい環境であると考えられ、結果的に多くの種の生息が制限されている可能性がある。聖牛たまりに多く見られたカメムシ目やコウチュウ目の分類群は、そのような厳しい環境条件でも耐えられる可能性がある。このように、聖牛は生息場齢の観点からも、生息場の多様性を高めたといえる。

4. 結論

聖牛が一定の水刎ね効果や流速低減効果、侵食と堆積の促進による河床地形改変効果をもたらすことを確認した。ただし、当初期待されたほどの効果は確認できず、河道の二極化の改善には、規模をより大きくする必要があると考えられる。どの程度の規模で、どのように設置するのが最適なのか、今後のさらなる検討が必要である。

また、聖牛に流下物が捕捉され、透水性を低下させ、その機能に影響を与える可能性も示唆された。

また、聖牛自体が徐々に沈下していくことから、河床地形に及ぼす効果が徐々に変化していく構造物だといえる。水制としての聖牛の機能を評価する際に、これらの点も考慮しておくことが重要である。

そして、前方から側方に一時的にたまりを形成し、他の止水環境とは違った生物相も確認され、生息場を多様化する効果もあることが示された。

また、結果的に2000m³/s以上の出水でも、沈下はしたものの、損壊せずに機能を発揮しており、屈撓性のある工法であることもわかった。

したがって、その特性を正しく把握したうえであれば、木津川の河床地形管理においても、一定の範囲内で地形を好適化する際に活用できると考えられる。河道内の管理放棄竹林の有効活用につながるほか、製作から設置まで市民参加が可能という点で、有用な工法である。

今回は、様々な項目について横断的にモニタリング調査を行なったが、今後は個々の項目をより定量的に分析して、聖牛の基礎的な機能を詳しく評価する必要がある。また、聖牛の効果を高める配置や、効果の持続年数等の、現場利用に関する知見の蓄積も期待される。

謝 辞

本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発・地域課題分野（河川生態）FS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」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、榊原小組等多くの関係者の方々の協力によって、進めることができた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 秋草勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦(1960)：水制に関する研究，土木研究所報告，第107号，pp. 61-153.
- 江頭進治・金海生・竹林洋史・池田晶・永田徹(2000)：木津川下流域の河床変動と土砂収支，水工学論文集，44巻，pp. 777-782.
- 上野和也，岡崎慎一(2016)：天然記念物イタセンパ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.
- 狩野幹太・竹門康弘・小林草平・角哲也(2016)：木津川における竹蛇籠水制の生息場形成効果，京都大学防災研究所年報，59B，pp. 484-496.
- 北野大輔・小林慧人(2016)：木津川 竹蛇籠製作プロジェクト 市民の力で河川の生き物は増えるか，平成28年度近畿地方整備局研究発表会，施工・安全管理部門，No. 9.
- 京都府：山城の災害記録(昭和28年)
<https://www.pref.kyoto.jp/yamashiro/no-nourin/aigai01.html> (最終閲覧日：2019年2月5日)
- 国土交通省 河川審議会(2000)：「川における伝統技術の活用はいかにあるべきか」－生活・文化を含めた河川伝統の継承と発展－，河川審議会答申.
- 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
http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p01.pdf (最終閲覧日：2019年2月5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
http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p02.pdf (最終閲覧日：2019年2月5日)
- 国土交通省 近畿地方整備局 淀川河川事務所：今後の検討方針
http://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p03.pdf (最終閲覧日：2019年2月5日)
- 国土交通省 近畿地方整備局 淀川河川事務所：木津川下流の概要
https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/environment/dosha/nb3uba0000000b4r-att/dosha_p04.pdf (最終閲覧日：2019年2月5日)
- 小林慧人・北野大輔(2018)：木津川 地域住民による「伝統工法 中聖牛」の復活，平成30年度近畿地方整備局研究発表会論文集，アカウンタビリティ・行政サービス部門，No. 21.
- 小林慧人・北野大輔・橋口峻也・山村武正・竹門康弘(2018)：淀川水系木津川における河岸の竹林を利用した竹蛇籠水制の製作と河川環境改善の取り組み，竹文化振興協会会誌「竹」，pp. 7-10.
- 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.
- 小林範之(2007)：LSPIVを用いた聖牛周辺の流況解析，測量，57巻，3号，pp. 10-12.
- 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(2005)：底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価(〈特集3〉流域生態系の保全・修復戦略-生態学的ツールとその適用)，日本生態学会誌，55 巻，1号，pp. 189-197.
- 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・角哲也・藤田正治・武藤裕則・竹林洋史・堤大三・石田裕子・小林草平・玉基英，(2013)：河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発，京都大学防災研究所年報，56B，pp. 719-730.
- 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，pp. 748-755.
- 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.
- 富永晃宏・庄建治朗・内藤健・松本大三(2005)：伝統的河川工法「聖牛」の水理機能と河床洗掘防止効果に関する実験的研究，水工学論文集，第49巻，pp. 1009-1014.
- 富野章(2002)：『日本の伝統的河川工法 [I]』，信山社サイテック.

- 富野章(2002):『日本の伝統的河川工法[Ⅱ]』, 信山社サイテック.
- 中澤弍仁(1995):河の荒さと伝統工法, 河川伝統工法研究会著『河川伝統工法』, 地域開発研究所, pp. 157-164.
- 永谷直昌・上野和也・竹林洋史・角哲也・竹門康弘・加藤陽平・岡崎慎一(2017):伝統的河川工法・竹蛇籠による河道内物理環境の多様性の再生, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 73, No. 4, pp. 1195-1200.
- 西川広平 編(2014):甲斐の治水・利水技術と環境の変化, 山梨県立博物館 調査・研究報告.
- 能登靖(2000):川における伝統技術の活用はいかにあるべきか, 建設マネジメント技術, 2000年4月号, pp. 26-30.
- 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.
- 兵藤誠・泉公祐・竹門康弘・角哲也(2014):天竜川におけるアユ産卵に適した河床地形特性と置き土の効果の把握, 京都大学防災研究所年報, 第57号B, pp. 537-549.
- 諸田恵士・土屋十囀(2003):牛杵工の抵抗特性と乱流に関する実験的研究, 河川技術論文集, 第9巻, pp. 193-196.
- 山崎廉予・松尾幸二郎(2011):昔の技術でやってみました! 第4回 日本の河岸を守った「牛」の正体とは!? 水制技術体験(伝統的河川工法「聖牛」(後編)), 土木学会誌, vol. 96, no. 5, pp. 28-29.
- 吉村真・丸岡昇・内藤正彦(2010):木津川の樹林化メカニズムに関する研究, リバーフロント研究所報告, 第21号, pp. 49-56.
- 和田一範・有田茂・後藤知子(2004):笛吹川の聖牛試験施工と被災にかかる考察, 河川技術論文集, 第10巻, pp. 155-160.
- 和田一範・有田茂・後藤知子(2005):わが国の聖牛の発祥に関する考察—近世地方書にみる記述を中心として—, 土木史研究論文集, Vol. 24, pp. 151-160.
- 和田一範・湊章・有田茂・後藤知子(2004):富士川の聖牛にかかる3つの考察, 水利科学, 48, pp. 1-37.
- Al Mamari, M. M., Kantoush, S. A., Kobayashi, S., Tazumi, M., Takemon, Y., and Sumi, T. (2019): Monitoring of Flash Floods Using Image-Based Techniques, DPRI Annual Meeting 2019 Abstract, C37.
- Choi, M.・Takemon, Y.・Kobayashi, S.・Sumi, T.・Ikeda, K.・Nishii, K. (2014): Relations of Lentic Habitat Conditions and Abundance of Bitterling and Mussels to Reach Scale Channel Configuration in the Kizu River, 京都大学防災研究所年報, 57B, pp. 570-579.
- Choi, M.・Takemon, Y.・Kobayashi, S.・Sumi, T. (2015): Riverbed Management by Changing Reach Scale Channel Configuration, 京都大学防災研究所年報, 58B, pp. 497-503.

(論文受理日:2019年6月17日)