

四万十川における大規模樹木伐採が その後のアユの産卵場形成に及ぼす影響

EFFECT OF LARGE-SCALE LOGGING OF VEGETATION IN THE SHIMANTO RIVER
ON THE SUBSEQUENT FORMATION OF THE SWEETFISH SPAWNING GROUNDS

岡田将治¹・松岡直明²・張 浩³
Shoji OKADA, Naoaki MATSUOKA and Hao ZHANG

¹正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校 准教授 ソーシャルデザイン工学科
(〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)

²正会員 学士(工学) 高知県土木部幡多土木事務所 (〒787-0010 高知県四万十市古津賀4-61)

³正会員 博士(工学) 高知大学防災推進センター 准教授 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has been promoting a natural rehabilitation project including the cutting down of vegetation with the purpose of restoring the gravel and improving the flood control capacity of the Shimanto River. In this research, we extracted the topographic and hydraulic conditions of the river by conducting detailed river topography measurements before and after a flood using the UAV photogrammetry technique, a riverbed penetration survey around the sweetfish spawning grounds, and a two-dimensional analysis of the flow. Moreover, the effects of large - scale logging of vegetation conducted from 2003 to 2009 on the creation of spawning grounds of sweetfish was clarified.

Key Words: spawning ground of sweetfish, Topography measurement, logging of vegetation

1. 序論

四万十川では、昭和50年代から始まった樹林化の進行により河道内が二極化し、アユの産卵場となる瀬が減少したこと等の影響により、漁獲量が減少している。

管理者である国土交通省中村河川国道事務所は、直轄区間の河口から10km～13km区間において、自然再生事業の一環としてアユの瀬づくり事業を実施している。

そのモニタリング調査結果として、四万十川下流における主産卵場の面積(各年の最盛期に実施)の経年変化を図-1に示す。一般に、産卵場面積はその年の親魚の数と産卵に適した環境条件の分布状況により変動することが知られている。そのため、四万十川では産卵最盛期に調査された産卵場の面積に加えて、そのシーズンを通じた産卵量を把握するために、親魚の数と図-2に示す孵化した流下仔魚数の調査も実施しており、両者の間に高い正の相関があることがわかっている。

各年の親魚量の予測は難しいことから、アユの漁獲量を増やすためには、産卵に適した環境条件を満たす範囲を拡大・維持していくことが重要である。そのため、中村河川国道事務所では、樹木の間伐・伐採、砂州の掘

削・置き土等を実施し、その後のアユの瀬の形成状況のモニタリングを継続的に行っているが、それらの実施効果については十分な検証がなされていなかった。

著者ら²⁾は、より効果的な産卵場環境の形成のために、アユが産卵する“浮き石河床の瀬”を河床貫入度、産卵期の水深と流速を指標として、当該区間の現地調査および流況解析から条件の抽出を試みた。その結果、産卵場は河床貫入度が0.2m程度の地点に集中し、かつ流速と水深が冬期の平水時流量(30m³/s)時において、それぞれ0.5～1.7m/s, 0.1～0.5mの範囲であった。さらに、河道内への置き土により、出水後の河床変動によってその産卵場形成条件を満たす範囲が拡大できる可能性があることを確認した。

本研究では、はじめに平成29年度の現地調査データを追加して、前報²⁾の産卵場が形成される河床・水理条件について再整理を行った。つぎに、図-1において平成23年度以降に主要な産卵場が形成されている大墜箇所に着目し、新たな産卵場が形成した要因とその直上流において平成19年～21年度に広範囲に実施された樹木の伐採・間伐事業との関係について考察した。

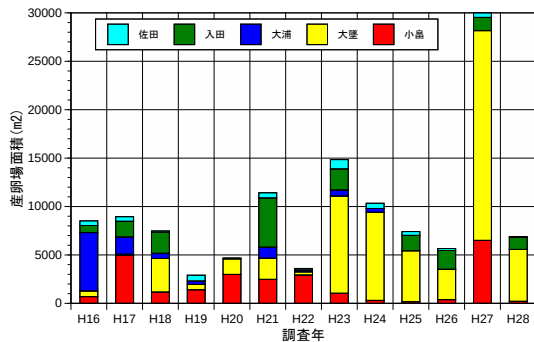


図-1 四万十川下流域におけるアユ産卵場面積の経年変化
(資料提供：国土交通省中村河川国道事務所)

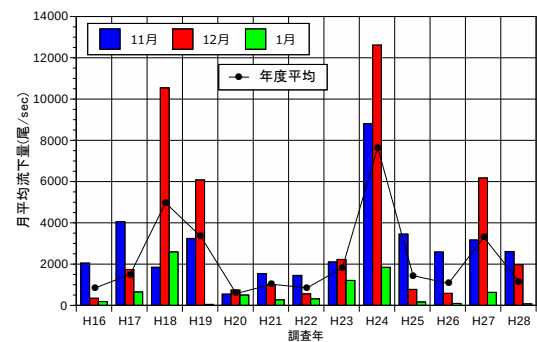


図-2 四万十川におけるアユの流下仔魚量の経年変化
(資料提供：国土交通省中村河川国道事務所)

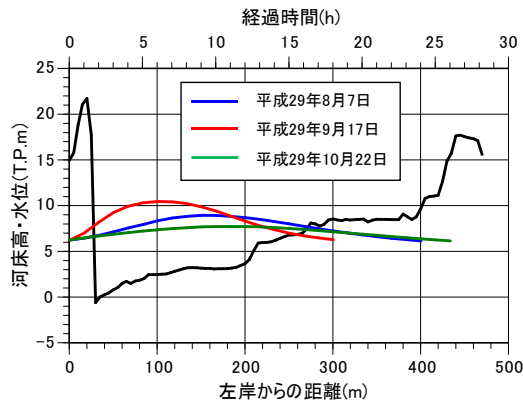


図-3 平成29年度の具同第二(12.4km)における洪水時の
水位ハイドログラフと横断面形状

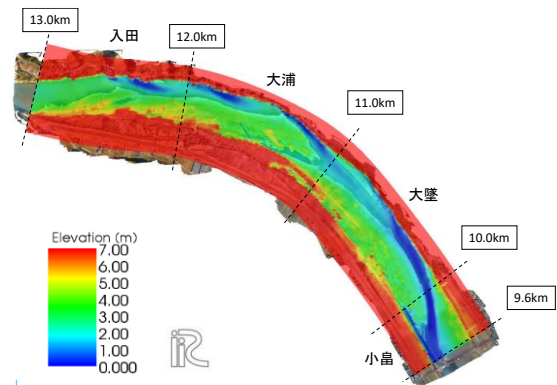
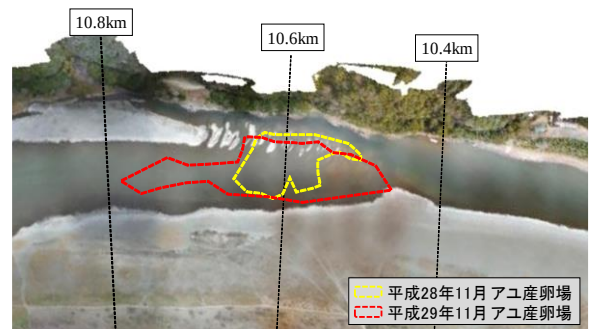


図-4 平成29年度の出水期後に計測した河床高コンター



(a) 入田箇所



(b) 大塙箇所

図-5 入田および大塙箇所における平成28年度・29年度のアユ産卵場の平面分布
(背景画像は2017年12月にUAVで撮影)

2. アユ産卵場における河床・水理条件の検証

(1) 現地調査

四万十川9km-13km区間を対象に出水期後の12月にUAVを用いた空中写真測量、VRS-GNSSおよびGPS測深機を用いて水上および水中の詳細な地形データを取得した。また、平成29年11月に産卵場の現地調査を行っている。

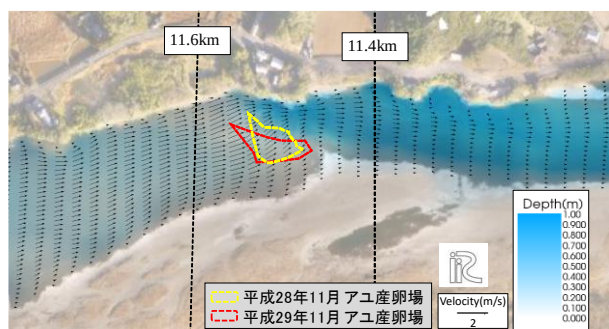
図-3に平成29年度に発生した主な出水の水位ハイドログラフと12.4km断面の横断面形状を示す。平成29年度の主な出水は3度(台風5号、台風18号、台風21号)あり、その中でも9月の台風18号による出水の規模が大きく、ピー

ク流量は年平均最大流量規模の約6,000m³/sであった。

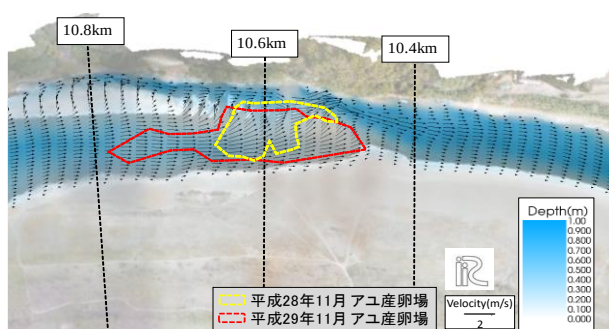
図-4には、出水期の後の平成29年12月に計測した河床高コンター図を示す。台風接近による出水が3度生じたものの、ピーク流量も中小規模で、継続時間も長くはなかったため、出水前の河床形状と比べて顕著な河床変動は生じていない。

図-5に平成28年度と29年度のアユの産卵場の平面分布を示す。両年とも11月に調査が実施され、各箇所の瀬全体を踏査して河床中の礫に付着したアユ卵を目視により確認して産卵場の位置と面積を算出している。

平成29年度の大塙箇所の産卵場面積は、17,211m²で4箇所の主な産卵場の中で最も広く、総面積の70.5%を占め、平成23年以降7年連続で四万十川最大のアユの産卵

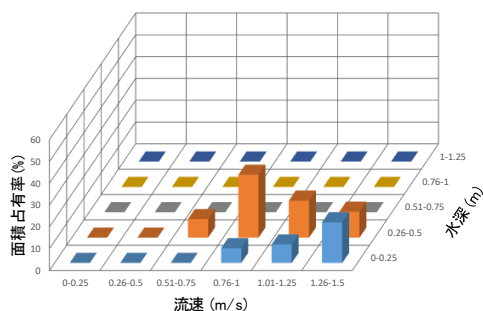


(a) 入田箇所

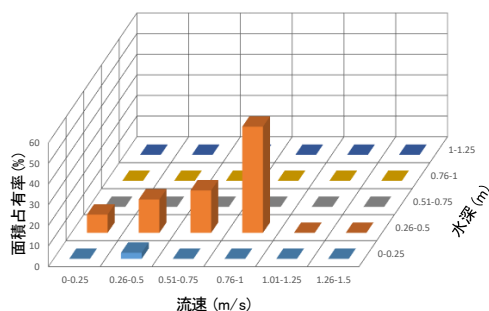


(b) 大壁箇所

図-6 入田・大壁箇所における平成28年、29年度の産卵場付近の流速、水深の平面分布（流況解析結果 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$ ）

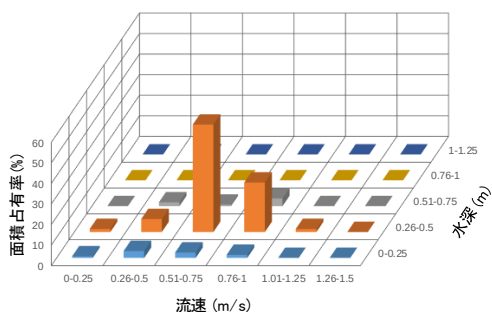


(a) 平成28年11月

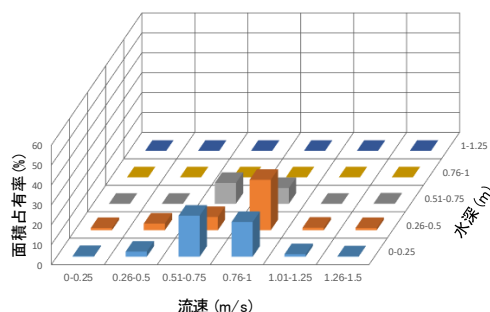


(b) 平成29年11月

図-7 入田箇所における平成28年および29年度の産卵場の流速－水深関係（流況解析結果）



(a) 平成28年11月



(b) 平成29年11月

図-8 大壁箇所における平成28年および29年度の産卵場の流速－水深関係（流況解析結果）

場となっている。入田箇所では、ほぼ同じ位置に形成され、面積も同程度となっている。一方、大壁箇所では、平成28年度に比べ、平成29年度の方が瀬尻から上流の広い範囲で確認されている。なお、平成29年は翌12月にも産卵場調査が行われており、その際には平成28年11月とほぼ同じ位置に産卵場が確認された。

また、前年と同様に産卵場周辺において貫入度試験を実施しており、産卵場が形成されている範囲では、前報²⁾と同様に、貫入度が0.1mを超えており、浮き石河床の状態となっていた。

(2) 産卵場の河床・流況条件の検証

図-4に示した最新の河床形状を用いて、平成28年度の検討²⁾と同様に、四万十川の産卵期の流量 $30\text{m}^3/\text{s}$ 条件下における産卵場付近の流況をiRIC-Nays2DHを用いて推定した。図-4に示す範囲を解析対象区間とし、下流端の境界条件を具同水位観測所の実測データとし、低水路の

粗度係数を $0.03[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ として、11.4kmの具同第二地点の実測水位が再現できることを確認している。

図-6に入田および大壁箇所における産卵場周辺の流況解析結果を示す。どちらの箇所も産卵場が瀬頭の水深が小さく、流速が大きい範囲に形成されていることがわかる。平成28年度の調査結果のみを用いた条件抽出²⁾では、流速 $0.5\sim 1.7\text{m/s}$ の範囲、水深は $0.1\sim 0.5\text{m}$ の範囲としたが、平成29年度の結果を追加したことにより、調査年度や時期によってバラツキが見られたことから、各産卵箇所において図-7および図-8に示すように、流速の範囲($0\sim 1.5\text{m/s}$)を6分割、水深の範囲($0\sim 1.25\text{m}$)を5分割して、産卵場内の各条件の面積占有率を算出し、産卵場の形成に適した水理条件の再評価を行った。

その結果、産卵場内の面積占有率は流速が $0.51\sim 1.00\text{m/s}$ 、かつ水深が $0.25\sim 0.50\text{m}$ の範囲において高く、この条件を満たす範囲を中心にアユの産卵場が形成されることがわかった。

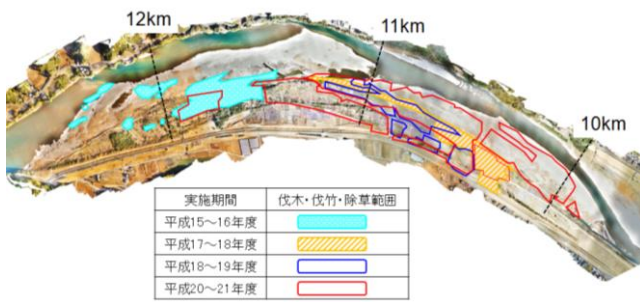


図-9 平成15～21年度に実施された樹木伐採箇所の平面分布³⁾

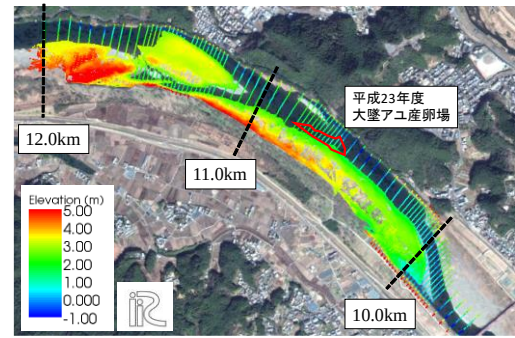


図-10 平成22年度に実施された河床形状測量結果



図-11 大壁箇所における平成22年・23年度の産卵場の分布
(背景は平成22年に撮影されたGoogle画像)

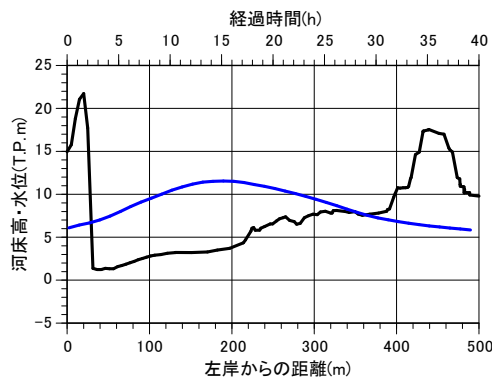


図-13 平成23年台風6号出水時の具同第二地点(12.4km)の
水位ハイドログラフと横断河床形状

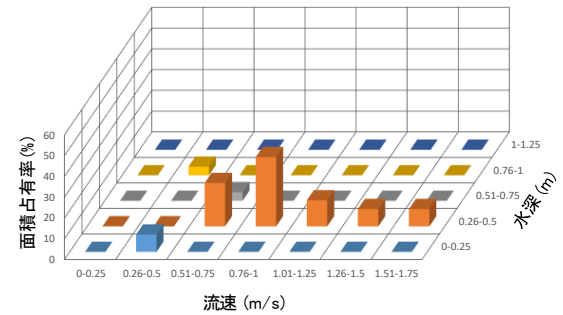


図-12 大壁箇所における平成22年度の産卵場の流速－水深
関係(流況解析結果)

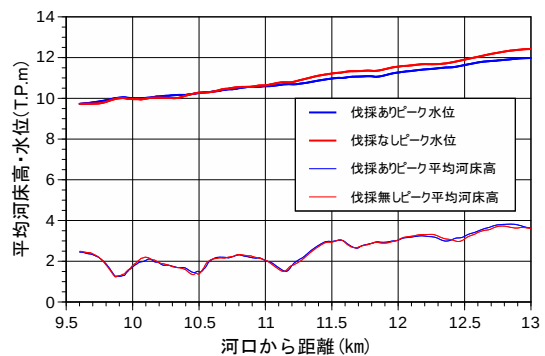


図-14 樹木伐採等の有無によるピーク流量(8600m³/s)時の
水位および断面平均河床高の縦断分布

3. 大規模樹木伐採・間伐が大壁箇所の産卵場拡大に及ぼした効果の考察

(1) 平成19年から21年に実施された樹木伐採事業と事後調査結果

平成21年までの樹木の伐採・間伐に関する情報および当該区間の出水データ、定期横断測量や3Dレーザースキャナ測量等から得られた河床形状を用いて河床変動解析を行い、出水後にアユの産卵場が拡大した主要因について考察した。

図-9に平成15年以降に中村河川国道事務所が樹木伐採等を実施した箇所を示す。背景画像は平成29年12月に撮影したものである。水辺に近い砂州部では主に除草根を、堤防に近い高水敷部では伐木および伐除根、伐竹除根を実施している。特に平成21年度には広範囲に実施されて

おり、伐木46,600m²、伐木除根17,800m²、伐竹1,400m²、伐竹除根50,120m²、除草160,000m²であった。その後の平成22年に実施された詳細な河床形状測量結果を図-10に示す。なお、この年は当該区間で河床変動が生じ始めるとされる5000m³/s規模以上の出水は発生していない。

大壁箇所における平成22年と翌年の23年の産卵場分布を図-11に示す。平成22年には左岸側の砂州付近に小規模に形成された産卵場がみお筋全体に拡大している。なお、平成22年の河床形状を用いた流況解析の結果、図-12に示す大壁箇所の産卵場の流速－水深関係は、図-7および図-8と同様に流速が0.51～1.00m/s、かつ水深が0.25～0.50mの範囲の面積占有率が高いことを確認した。

(2) 樹木伐採の有無によるアユ産卵場環境形成への影響

平成21年までに実施された大規模な樹木伐採と大壁箇所の産卵場形成との関係を考察するために、図-13に示

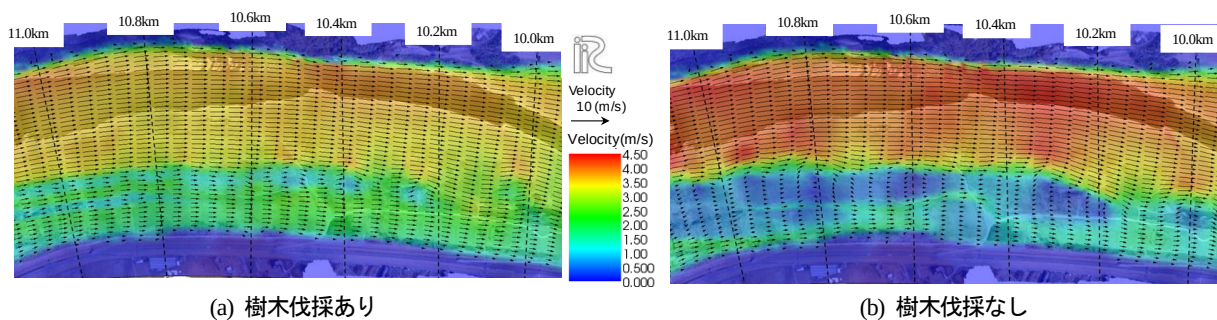


図-15 大壁箇所における樹木伐採等の有無によるピーク流量(8600m³/s)時の流速分布の違い(河床変動解析結果)

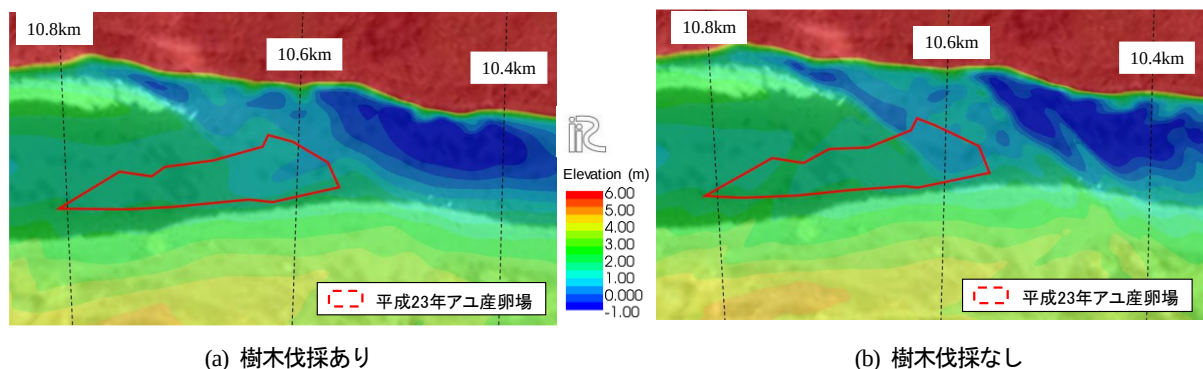


図-16 大壁箇所における樹木伐採の有無による平成23年出水後の河床形状の違い(河床変動解析結果)

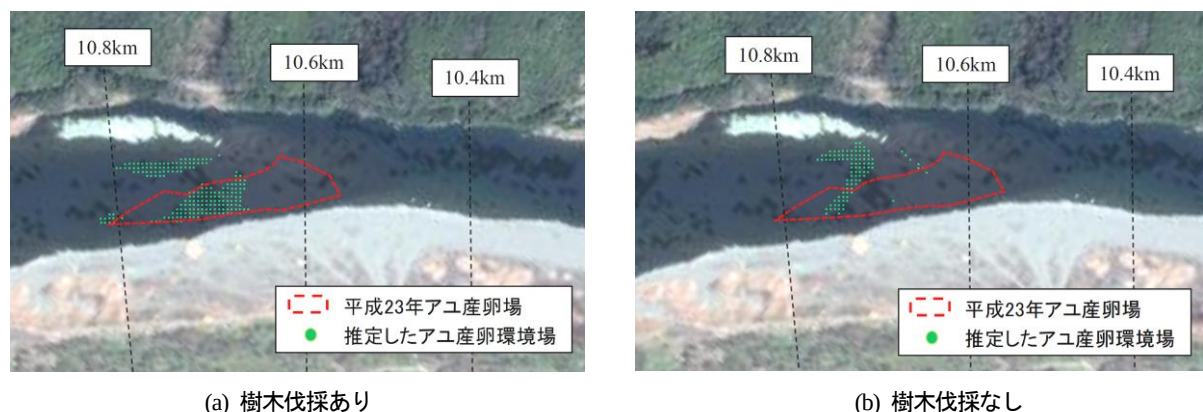


図-17 大壁箇所における平成23年のアユ産卵場と推定したアユの産卵環境(流速：0.5～1.0m/s、水深：0.25～0.50m)

す平成23年に発生した中規模出水(ピーク流量8600m³/s)を対象とした河床変動解析を行った。樹木範囲(図-9)および樹木高さについては中村河川国道事務所資料³⁾を参考に設定し、樹木密度については、中村河川国道事務所が平成23年に実施した樹木および植生調査の結果⁴⁾から、清水ら⁵⁾が提案する手法を用いて設定した。樹木伐採なしの場合の樹木高さは、平成17年度に実施された調査結果⁶⁾を参考に与え、樹木密度は詳細な調査結果がなかったため、全域で粗いと仮定して0.05[本/m²]とし、樹木の抵抗係数は伐採ありの場合と同様に設定した。

また、河床粒径はこの区間の代表粒径である36mmを一樣粒径として与えた。なお、使用した解析モデルの河床変動の再現性の確認は、平成28年度の河床形状を初期河床として平成29年の出水を与えた解析結果と実測結果の比較²⁾により行っている。

図-14、図-15にそれぞれピーク流量時における樹木伐採の有無による縦断面水面形と大壁箇所上下流区間の流速

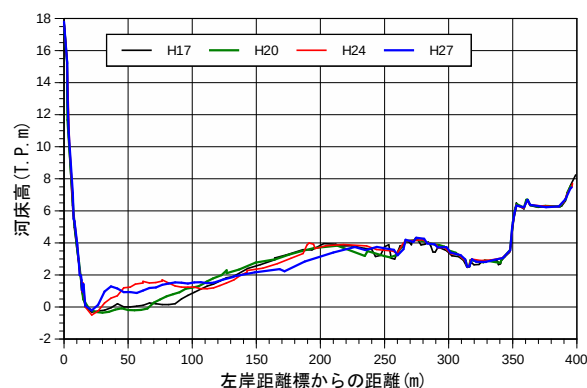


図-16 大壁箇所(10.6km)における横断形状の経年変化

分布の違いを示す。縦断面水位は11.2kmより上流で50cm程度の水位低下が確認でき、11～12km区間の右岸堤防側に多く繁茂していた樹木伐採による流下能力向上も確認できる。流速分布は、(b)伐採なしの場合には、右岸の樹木繁茂域がほぼ死水域となり、低水路の流速が4m/sを

超えるのに対し、現況の(a)伐採ありの場合には河道全体で流れるようになり、低水路の流速も3.5m/s程度まで低下している。

図-16に出水後の河床形状の違いを示す。大墜箇所10.6km断面付近の河床高に着目すると、伐採しなかった場合に比べ、現況の伐採ありでは砂州の前縁が下流に延伸し、10.6km断面では堆積傾向が見られる。出水後の河床形状が詳細に計測されていないため、河床変動解析モデルの再現性を確認することはできないが、後述する図-18の10.6km断面の定期横断測量結果からもこの付近で堆積傾向が確認できる。

両ケースの出水後の河床形状の違いと2. (2)において検証したアユの産卵場を形成する河床・流況条件を満たす範囲を表したのが図-17である。ここでは、低水路全体で河床変動が生じていることから、当該区間では浮き石河床が形成されていると考え、産卵期の流量30m³/sが流れた場合に流速が0.51~1.00m/sで、かつ水深が0.25~0.50mの範囲となる地点を示している。その結果、(a)伐採ありの方が、(b)伐採なしに比べて流況条件を満たす地点が実際の産卵場形成範囲に多く推定されたことから、平成23年出水による河床変動と大墜箇所のアユ産卵場面積の拡大の間に関係性が示唆された。

しかしながら、平成23年以降、大墜箇所7年連続して安定的に産卵場が維持されていることを考えると、平成23年出水後に生じた河床高がある程度維持されていない。そこで、図-18に平成17年度、20年度、24年度および27年度に実施された10.6km断面の定期横断測量結果を示す。上下流断面の10.4kmおよび10.8kmでは、ほとんど変化は見られていないのに対し、10.6km断面では、平成20年までに比べて平成24年には左岸側のみお筋区間で顕著な堆積が確認でき、その後の平成27年においても維持されている。また、航空画像の経年変化からも平成23年度以降、大墜区間において砂州の前縁が形成され、維持されているが確認された。

一方で、当該区間の河道内樹木が河川管理者によって伐採後の状態を維持管理されていることから、樹木伐採等により洪水流況が変化し、洪水後に土砂堆積が生じやすくなった結果、従前よりも早瀬が形成されやすくなり、アユの産卵場が拡大して現在まで維持されていると考えられることができる。

4. 結論

四万十川において、自然再生事業(アユの瀬づくり)の一環として平成21年度までに実施された大規模な樹木等の伐採・間伐とその後の出水により形成された大墜箇所のアユの産卵場との関係について検討した。本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 四万十川におけるアユの産卵場の河床・流況条件について、平成29年の出水期後にUAV等による詳細な河床形状測量を実施し、産卵期の流況を再現する解析を行い、流速と水深の範囲を前報²⁾の結果と合わせて再検証した結果、貫入度が0.1m以上となる瀬尻付近で、かつ流速が0.5~1.0m/s、水深が0.5m以下の条件を満たす範囲を中心して形成される。
- 2) 平成21年度までに実施された樹木伐採の有無による流況と出水後の河床変動の違いを明らかにするため、平成22年に実施された詳細な河床形状測量結果、樹木調査結果に基づいて二次元流況・河床変動解析を行った。その結果、平成23年に産卵場が拡大した大墜箇所付近では、樹木伐採等を行った場合にみお筋部の河床が堆積傾向となり、それが前項1)で明らかとなった産卵場を形成する流況条件を満たす範囲を拡大させ、産卵場面積増大の主要因となったことを示した。さらに、大墜箇所の産卵場が平成23年以降維持されていることも、その後の適切な樹木管理と関係していることを示唆した。

謝辞：本研究の実施にあたり、国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所には、四万十川アユの瀬づくりに関する多くの資料を提供いただいた。特に、平成22年度に実施された河床地形測量や樹木調査結果のような詳細な情報が無ければ、本検討を行うことはできなかった。記して謝意を表する。なお、本研究は公益財団法人河川財団の河川基金の助成(2017-5211-054 砂州の掘削・置き土によるアユの産卵場形成への効果に関する検証、代表：岡田将治)を受けて実施した。

参考文献

- 1) 中村河川国道事務所：平成23年自然再生事業モニタリング調査業務報告書、2012。
- 2) 岡田将治、松岡直明、張 浩：四万十川におけるアユの産卵に適した環境場の抽出と出水後の予測に関する研究、土木学会河川技術論文集、第23巻、pp.687-692、2017。
- 3) 中村河川国道事務所：平成25年度四万十川河川整備計画検討業務報告書、2014。
- 4) 中村河川国道事務所：平成23年度四万十川河川整備計画検討業務報告書、2012。
- 5) 清水義彦、小葉竹重機、新船隆行：樹林化河道の洪水流況と浮遊砂輸送に関する数値実験、土木学会水工学論文集、第44巻、pp.819-824、2000。
- 6) 中村河川国道事務所：平成17年度四万十川自然再生事業効果検討業務報告書、2006。

(2018. 4. 3受付)