

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

STUDY ON EXTRACTION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS SUITABLE FOR SPAWNING EGGS OF SWEET FISH AND PREDICTION OF ITS CHANGE AFTER FLOOD IN THE SHIMANTO RIVER

岡田将治¹・松岡直明²・張浩³
Shoji Okada, Naoaki Matsuoka and Hao Zhang

²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学生会員 准学士(工学) 高知工業高等専門学校専攻科 建設工学専攻
(〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)
³正会員 博士(工学) 高知大学准教授 教育研究部自然科学系農学部
(〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

In the Shimanto River, the catch of sweet fish has been decreasing in recent years, main causes of the decrease are reduction of rapids for the spawning grounds.

In this paper, we conducted detailed riverbed shape measurement before and after the flood using the UAV photogrammetry technique and survey of riverbed penetration near the spawning ground of sweet fish. Environmental conditions were extracted from the results of flow analysis during flood and the results of the search on the spawning ground, and the possibility of prediction of the formation condition of the spawning ground after the flooding was examined from the two-dimensional bed formation analysis.

Key Words: sweet fish, spawning ground, rapid and pool, penetration test of riverbed, two-dimensional bed formation analysis

1. 序論

四万十川におけるアユの漁獲量は、全国一位の高い水準にあったが、近年は減少傾向にあり、平成21年度には、昭和50年当時の3%程度となっている¹⁾。その減少の要因として、昭和50年代からの河道内の樹林化により河道の二極化が進行し、産卵場となる瀬が減少したこと、河床の固定化によりアユの好む浮き石河床の面積の減少が挙げられている。

管理者である国土交通省中村河川国道事務所では、昭和40年代の広い礫河原の回復を目標として、治水能力の向上も目的とした自然再生事業(アユの瀬づくり事業)を進めている。その一環として、当該区間において平成19年から21年度にかけて樹木伐採を行ったところ、その直後の平成23年の出水後に産卵場の面積が前年度の3.7倍に増大した²⁾。しかし、その後は図-1に示すように再び減少傾向にある。

平成27年度には、滞筋の固定化の緩和や洪水時の土砂移動の活発化を目的として、対象区間の砂州の切り下げを行い、その掘削土砂を上流に置き土をする等の対策は

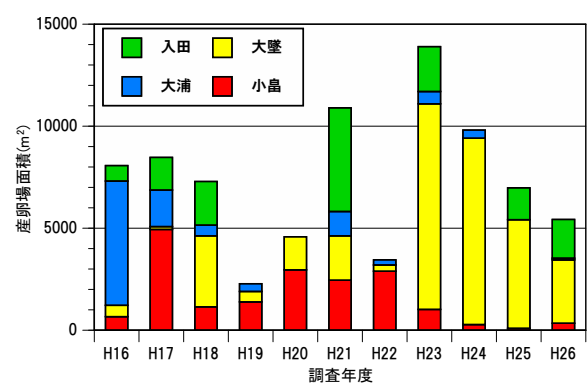


図-1 四万十川下流の産卵場面積の経年変化³⁾

実施されてきてはいるものの、効果的な樹木伐採、砂州の掘削および置き土の施工箇所や施工方法が確立しておらず、施工後のモニタリングによって産卵場形成への効果を検証しているのが現状である。

アユの産卵場の形成条件に関しては、既往の研究により瀬であること⁴⁾、河床環境が浮き石状態であること⁵⁾が好ましいとされている。四万十川では平成23年度に産卵場面積が増大した要因を検証するため、その前後に主要

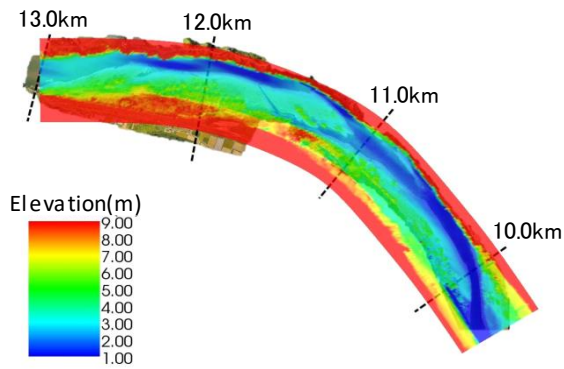


図-2 出水前(平成28年9月)の河床形状(実測値)

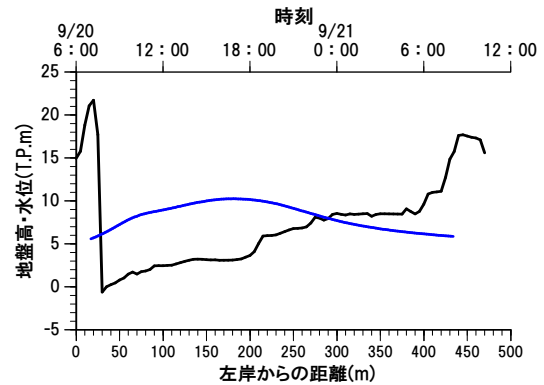


図-3 具同第二(12.4km)における横断河床形状と平成28年9月洪水時の水位ハイドログラフ

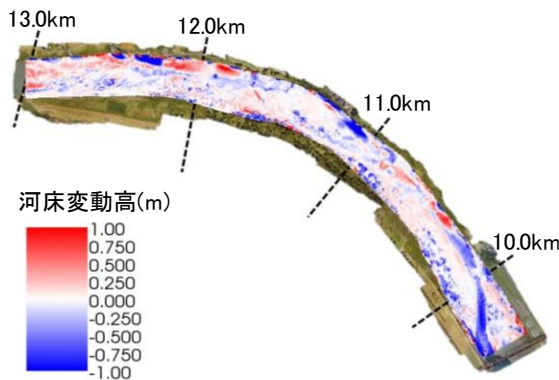


図-4 平成28年9月洪水前後の河床変動高(実測値)

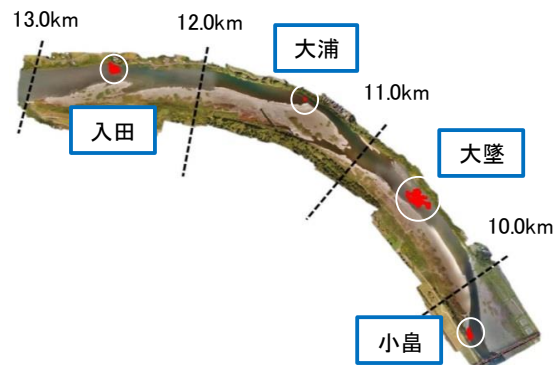


図-5 アユ産卵場箇所の平面図(平成28年11月下旬)

な5箇所の産卵場・非産卵場の主要地点で実施した貫入度試験の結果から、平成23年度の貫入度が前年度に比べて高いこと、産卵場に形成される浮き石状態の目安として少なくとも0.1m以上であることを示している²⁾。

鈴木ら⁹⁾は、天竜川において佐久間ダムからの土砂供給がアユの産卵環境に及ぼす影響を予測することを目的として、アユの好む河床軟度の高い場所(浮き石河床)が土砂の堆積により作られることに着目し、レーザープロファイラ計測により得られた詳細な河床形状を用いた河床変動解析を行い、河床変動量、粒径、流速からアユの産卵適地の抽出方法を提案している。

本研究においても、同様の観点から出水による河床変動と瀬の形成状況、それらとアユの産卵場との関係に着目し、四万十川において近年一般的に活用されるようになったUAVによる写真測量技術を用いた洪水前後の詳細な河床形状計測とアユの産卵場周辺において河床の貫入度調査を実施した。アユの産卵場・非産卵場における洪水前後の実測河床変動高と貫入度の関係、平水時の流況解析結果から産卵場が形成される環境場の条件を抽出し、二次元河床変動解析から洪水後の産卵場の形成状況の予測可能性を検討した。さらに、その手法を用いて平成27年度に実施された砂州の切り下げおよび置き土の実施が平成28年度に発生した6000m³/s規模の出水によって産卵場の形成に与えた効果について考察した。

2. UAVによる地形測量とアユの産卵箇所・貫入度の現地調査

本研究では、既往の調査²⁾よりアユの主産卵場であることが確認されている四万十川9.6km-13km区間を対象とした。はじめに、アユの産卵場環境を河床変動と流況の観点から考察するために、平成28年の出水前(9月)と出水後(11月)にこの区間の詳細な河床形状計測を実施した。水面上の地点はUAVを用いて空撮写真測量を行い、水面下はGPS測深機ボート(深場)とVRS-GPS(浅場)を用いて計測した。図-2に示す出水前の河床形状計測では、水面下の計測が十分に行えていなかったため、前年度(平成27年度)に実施した定期横断測量データと砂州の切り下げ事業に伴う横断測量データ(11.5～11.75kmおよび12.6～12.9km区間を50m間隔で計測)を中村河川国道事務所から提供いただき、水中部の河床形状を作成した。

図-3にその河床変動が発生した平成28年9月出水時の具同第二地点(12.4km)における水位ハイドログラフを、図-4に実測した出水前後の河床変動高を示す。

この出水のピーク流量は四万十川の年平均最大流量である6000m³/s程度であったが、洪水継続時間が短く、河床変動高は弯曲部左岸側の水衝部を中心に1m程度であった。ただし、10kmより下流側は出水前の河床形状が200m間隔の横断データのみであり、精度は低いと考

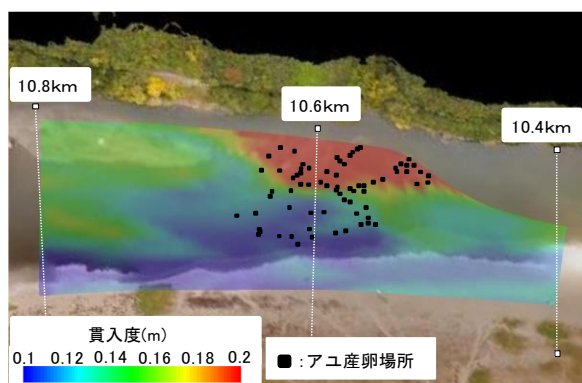


図-6 大墜箇所の貫入度とアユ産卵箇所の関係

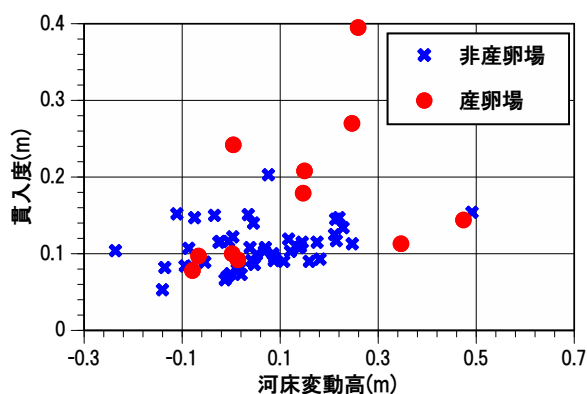


図-8 大墜箇所の貫入度と実測河床変動高の関係

えられるため、ここでは検討対象外とする。

図-5に平成28年11月21日から22日にかけて実施されたアユの産卵場箇所の平面図を示す。アユの産卵場調査は、瀬全体を踏査し、河床中の礫に付着したアユ卵を目視により確認している。卵が確認された範囲に目印(支柱)を立てて、産卵場の位置をGPSで記録して平面分布を把握した後に面積を算出している。平成28年度の調査では、図-5に示す入田(にゅうた)、大浦(おおうら)、大墜(おおずい)および小畠(こばたけ)の4箇所の瀬頭付近を中心に産卵場の形成が確認されている。産卵場面積は大墜箇所が最大で、入田、小畠の順で大きく、大浦箇所が最も小さい。図-1の産卵場面積の経年変化からも、四万十川における近年のアユの産卵場面積は、大墜と入田の2地点で9割以上を占めていることがわかる。

つぎに、貫入度調査は平成28年12月13日から翌年1月12日にかけて、産卵場が確認された瀬の付近を横断方向・流下方向に約15m間隔で計205地点において実施した。調査はこれまで当該区間で実施してきた方法と同様に、長谷川式土壌貫入計を用いて重さ2kgのおもりを高さ0.5mから10回落下させ、貫入棒が埋没する深さを貫入度として定義している。

3. 産卵場周辺の河床・流況条件の抽出

アユの産卵場を形成する河床および流況の環境条件を

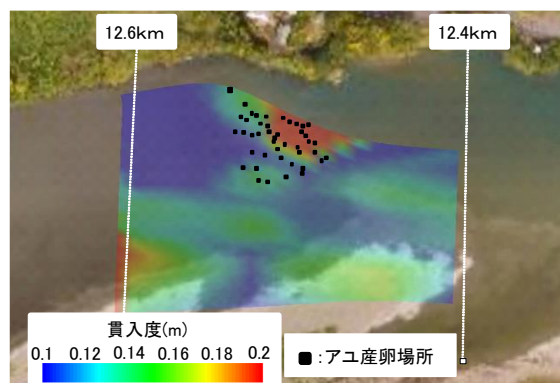


図-7 入田箇所の貫入度とアユ産卵箇所の関係

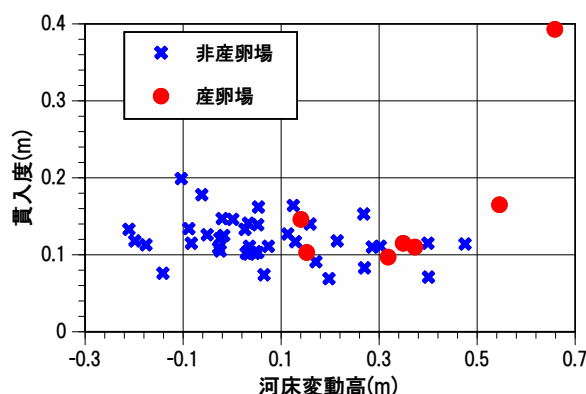


図-9 入田箇所の貫入度と実測河床変動高の関係

抽出するにあたり、近年産卵場面積が全体の9割以上を占める大墜箇所と入田箇所に着目して考察を進めていく。

(1) 河床の貫入度とアユの産卵場の関係

図-6および図-7に大墜箇所と入田箇所における貫入度コンター図にアユの産卵場の位置を重ねた図を示す。

図より、大墜、入田箇所ともアユの産卵場は平成23年度の調査結果²⁾と同様に、貫入度0.1m以上の地点で形成されており、特に、0.2m程度の貫入度が大きい地点を中心に分布していることが確認できた。

(2) 河床変動高と貫入度の関係

アユの産卵場に適した浮き石状態の河床は、洪水に伴う土砂の移動と河床の更新によって広がるのが過去の調査結果²⁾からも報告されている。そこで、洪水前後にUAV、VRS-GPS等で実測した河床高から求めた河床変動高と貫入度の関係について整理したものを図-8および図-9に示す。

大墜箇所、入田箇所の産卵場において、出水による河床変動により洪水後に土砂が堆積(河床変動高がプラス)している地点では、計測した貫入度も大きく、河床変動高が0.1m以上の地点では貫入度が0.1m以上となっている。中村河川国道事務所では、平成26年度³⁾、27年度⁷⁾にも貫入度調査を実施しており、産卵場では非産卵場に比べて貫入度が2倍程度であったことから、洪水前後の河床変

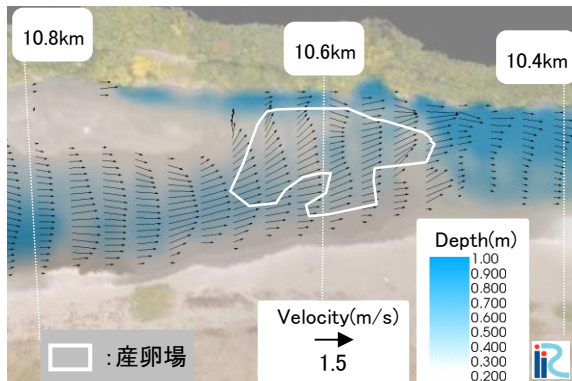


図-10 大墜箇所の水時水深と流速コンター
(解析結果：冬場の平水時流量 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$)

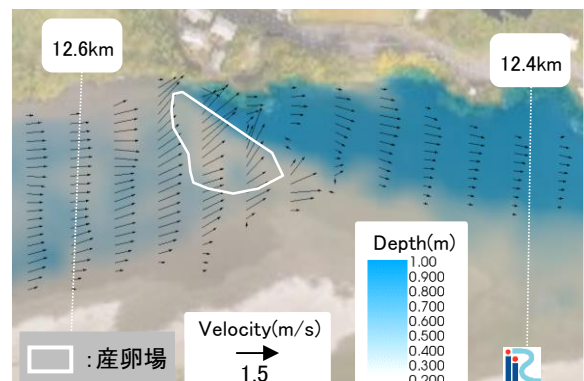


図-11 入田箇所の水時水深と流速コンター
(解析結果：冬場の平水時流量 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$)

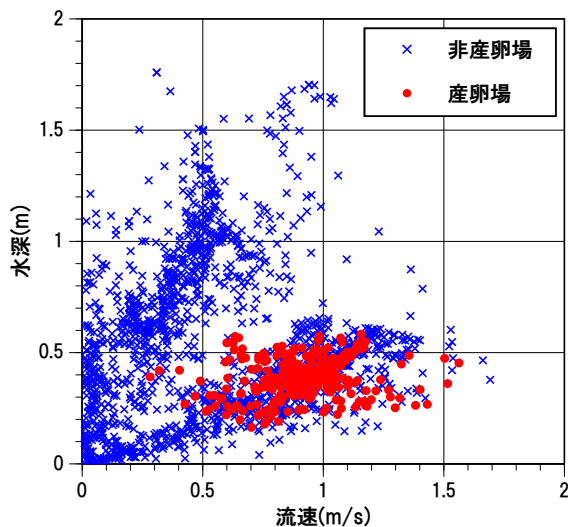


図-12 大墜箇所産卵場付近の流速と水深
(解析結果：冬場の平水時流量 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$)

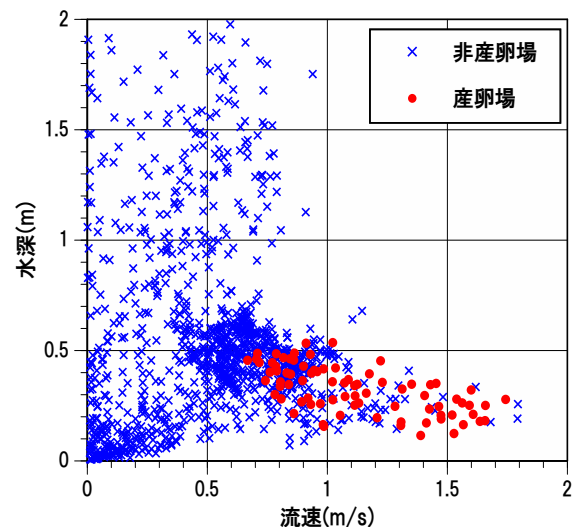


図-13 入田箇所産卵場付近の流速と水深
(解析結果：冬場の平水時流量 $Q=30\text{m}^3/\text{s}$)

動高を指標として浮き石河床状態の把握が可能と考えられる。

一方、図-8の大墜箇所において、貫入度が大きいものの、河床変動高がほぼゼロ、あるいはマイナスの値をとる地点がある。これは洪水中に河床が低下して後に再堆積が生じた場合や平成28年の出水では河床変動が生じていないが近年の出水時の河床変動により貫入度が高くなった地点であると推察される。そのため、これらの判別には、直近数年間の河床形状を本研究の手法等で定期的に計測して土砂移動状況を把握することで貫入度推定の精度は向上するものと考えられる。

以上により、調査対象区間においてアユの産卵場が多く形成される範囲の河床の条件として、貫入度が0.1m以上であることが確認された。しかし、同じ条件でも産卵場になっていない場合もあるため、次節では平水時の流況からさらに条件を絞っていく。

(3) アユの産卵場と水深・流速の関係

産卵場形成と平水時の水深・流速の関係を考察するために、iRICソフトウェアのNays-2DHを用いて四万十川

の冬場の平水時の流況($30\text{m}^3/\text{s}$)を再現する平面二次元水理解析を行った。解析対象区間を9.6-13.0kmの3.4km区間とし、 $5\text{m}\times 5\text{m}$ の計算メッシュを作成した。下流端の境界条件には9.6km地点の具同の観測水位を用い、粗度係数はこの区間の河道計画に用いられている低水路0.03、高水敷0.04とし、樹木の影響を考慮するため、過去の調査¹⁾より得られた樹木高さ、抵抗係数を与えた。

図-10、図-11に大墜および入田箇所における水深コンターと流速ベクトルを重ね合わせた図を示す。両図の中央部に瀬頭があり、下流側の淵との境界部で水深と流速が大きく変化しているのがわかる。また、詳細な地形を用いた解析により、現場の瀬淵の流況を再現できている。

図-12、図-13に大墜および入田箇所の図-10、図-11に示した範囲の流速と水深の関係を示す。産卵場が形成されている地点と非産卵場地点に分けてプロットすると、大墜箇所と入田箇所では値は若干異なるものの、低い流速で大きい水深の淵と高い流速と小さい水深の瀬に二極化しているのがわかる。前述のとおり、産卵場は後者の瀬の範囲に集中しており、その範囲は水深が0.1～0.5m、流速は0.5～1.7m/sであった。

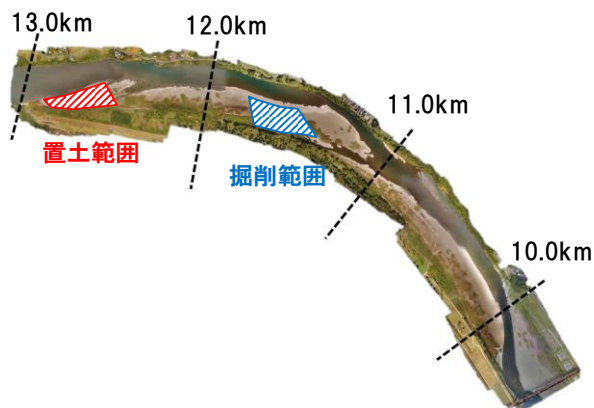


図-14 平成27年度に実施した土砂掘削・置き土の範囲

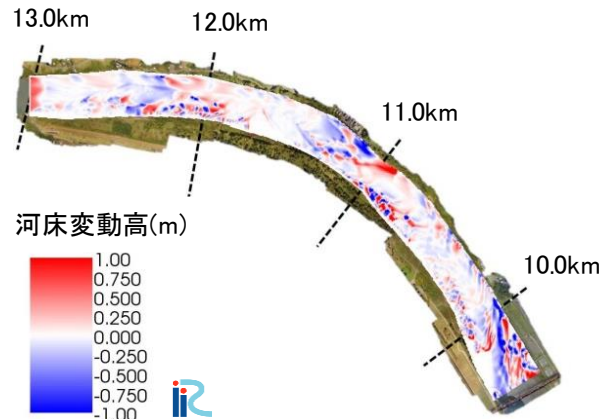


図-15 平成28年9月出水後の河床変動高(解析結果)

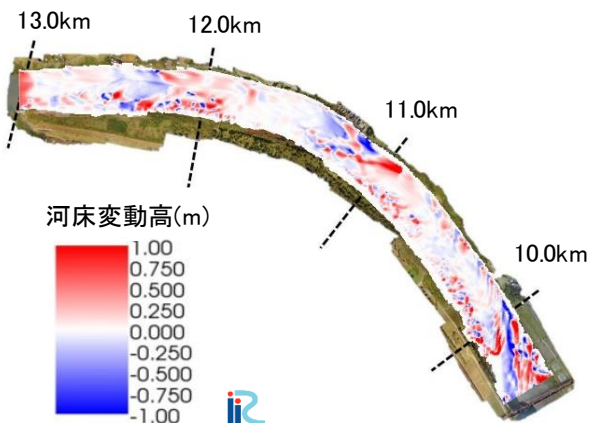


図-16 平成28年9月出水後の河床変動高(解析結果)
(掘削・置き土を行わなかった場合)

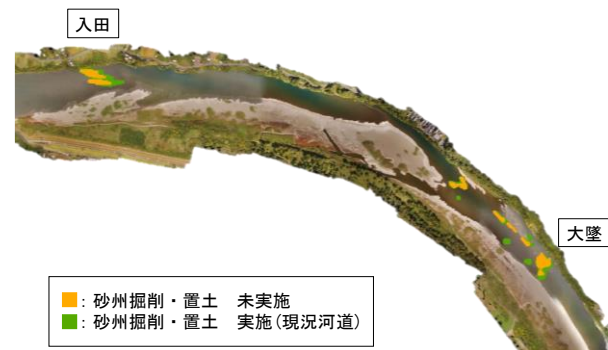


図-17 河床変動解析から推定された入田箇所および大壁箇所の
アユ産卵場の位置と範囲(砂州掘削・置き土の効果)

以上より、四万十川の主要なアユの産卵場における河床・流況条件を抽出することができた。出水前後の詳細な河床高計測および出水後の河床地形を用いた平水時水理解析を行うことにより、アユの産卵場となる範囲の予測が可能となる。

4. 砂州の掘削・置き土による産卵場の形成への影響の考察

国土交通省中村河川国道事務所では、滞筋の固定化の緩和、洪水時の土砂移動の活発化を目的として、平成27年度に図-14に示す11.5～11.75kmの区間で砂州の切り下げ、その掘削土量(13,900m³)を上流側の12.6～12.9km区間に置き土している。平成28年9月の出水によって、これらが産卵場の形成に与えた効果を考察するために、3章(3)の平水時流況解析で用いた河道モデルを用いて河床変動解析を行った。初期河床には出水前に計測した河床形状を使用し、上流端流量にはH-Q式を用いて算出したものを与え、粒径にはこの区間の代表粒径である37mmを与えた。

はじめに、洪水後に実測した河床形状との比較により、

解析の再現性を確認した後、砂州の掘削および置き土を実施しなかった場合の解析を行う。両ケースの河床変動状況、平水時の流況から3章で抽出したアユ産卵場環境の形成状況を比較する。

まず、具同第二(12.4km)に設置された水位計の実測水位と解析結果の同地点の水位を比較したところ、両者の差はすべての時間帯で10cm以内であった。また、出水前の水中の河床形状が十分に計測できていないという課題は残るものの、図-4に示す実測した河床変動高と図-15に示す解析終了後の河床変動高を比較すると、土砂の洗掘・堆積位置が概ね一致していることから、平成28年9月出水の状況を再現できていることを確認した。

つぎに、現況河道と砂州の切り下げおよび置き土を実施しなかった場合の河床形状を用いた解析結果を比較し、出水後のアユの産卵場の形成への効果を検討した。

図-16に砂州の切り下げおよび置き土を実施した区間の施工前後の横断データから工事実施前の河床形状を作成し、平成28年9月出水再現解析と同様の条件で解析を行った場合の河床変動高を示す。図-15との比較により、砂州の切り下げおよび置き土の有無による違いを考察すると、砂州の切り下げおよび置き土を行った直下流にお

いて河床形状の若干の違いがみられるものの、平成28年9月出水が6000m³/s規模で河床変動が生じる継続時間も短かったこともあり、全体として明確な違いはみられなかった。

そこで、本研究でアユの産卵場の形成条件として挙げた、洪水前後の河床変動高が0.1m以上、平水時の流速が0.5-1.7m/s、水深が0.1～0.5mを満たす箇所をプロットし、その違いを比較したのが図-17である。下流側の大墜箇所では、現況河道の方が若干下流側に形成されているものの、面積に顕著な差は見られなかった。一方、上流側の置き土を行った近傍にある入田箇所では、置き土を実施した現況河道の方が産卵場環境の条件を満たす範囲が下流側にも広がるとともに面積の増大も確認することができた。

5. 結論

四万十川のアユの瀬づくり事業区間において、UAV等を用いた詳細な河床形状計測、アユの産卵場調査とその周辺における河床の貫入度調査から、産卵場となる得る河床および平水時の流況条件の抽出を試みた。さらにその条件を用いて、砂州の掘削および置き土が産卵場形成に及ぼす効果について考察した。本論文で明らかとなったのは以下のとおりである。

- 1) アユの産卵場は瀬頭に集中して形成され、産卵場は貫入量約0.2m程度の地点に産卵場が密集し、ほぼ全域で0.1m以上であった。主要な産卵場である大墜箇所、入田箇所では、出水による河床変動により洪水後に河床変動高が0.1m以上の地点で貫入度が0.1m以上であった。
- 2) 冬期の平水時流量(Q=30m³/s)を与えた流況解析から、アユの産卵場は流速0.5～1.7m/sの範囲、水深は0.1～0.5mの範囲で形成されていた。
- 3) 1)および2)を産卵場環境の形成条件として、平成27年に滞筋の固定化の緩和、洪水時の土砂移動の活発化を目的として実施された砂州の切り下げおよび置き土の効果について考察した。その結果、置き土を実施した箇所の近傍にある入田箇所では、実施しな

かった場合と比べ、形成条件を満たす範囲が拡大していることが明らかとなった。

以上より、本研究で得られた成果が効果的なアユの瀬づくりに活用できる可能性が確認できた。今後は上流からの土砂供給の影響を考慮するために、検討対象区間を上流側に3km延長して引き続き河床形状計測、洪水時の観測や産卵時期のモニタリングを実施し、砂州の掘削・置き土および樹木伐採等が瀬の形成に及ぼす影響の予測精度を高めるとともに、アユの産卵場を拡大させる効果的な対策の検討を進めていく予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、国土交通省中村河川国道事務所には四万十川自然再生事業に関連する多くのデータを提供いただき、現地調査に際してもご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省中村河川国道事務所：平成25年度四万十川河床変動検討業務報告書，2014。
- 2) 国土交通省中村河川国道事務所：平成23年度自然再生事業モニタリング調査業務報告書，2012。
- 3) 国土交通省中村河川国道事務所：平成26年度自然再生事業モニタリング調査業務報告書，2015。
- 4) 石田力三：アユの産卵生態-II，産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ，日本水産学会誌，Vol.27，No.12，pp.1052-1057，1961。
- 5) 石田力三：アユの産卵生態-IV，産卵水域と産卵場の地形，日本水産学会誌，Vol.30，No.6，pp.478-485，1964。
- 6) 鈴木崇正，角哲也，竹門康弘，中島佳奈：土砂供給に伴うアユ産卵場環境の変化予測，京都大学防災研究所年報，第54号B，pp.711-718，2011。
- 7) 国土交通省中村河川国道事務所：平成27年度自然再生事業モニタリング調査業務報告書，2016。

(2017.4.3受付)