

流況解析からのサクラマス産卵環境の考察

Consideration of masu salmon spawning environment by flow condition analysis

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正員 矢野 雅昭 (Masaaki Yano)
北海道開発局 札幌開発建設部 非会員 森田 茂雄(Shigeo Morita)
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 正員 矢部 浩規(Hiroki Yabe)

1. はじめに

北海道などの寒冷地域の渓流域には、冷水性魚類のサクラマスが生息している。サクラマスは、その生活史において、河川の上流域から海までを利用し、また通常3年間の生涯のうち、約2年間で淡水域で過ごすため、河川環境との関わりがきわめて強い¹⁾。そのため、河川環境の指標となることもある。サクラマスの産卵環境として、淵尻付近に多いこと^{2,3)}や、河床材料に細粒分が少ないこと^{4,5)}、さらに、発眼卵の生存に浸透流が影響することが指摘されている⁶⁾。また、 i (川幅程度の縦断延長の河床勾配) ÷ ia (縦断延長数百mの河床勾配) で表される相対河床勾配が、1.0より小さい個所や、砂州地形が産卵場所として選択的に利用されていることが報告されている⁶⁾。一方で、河床地形や河床材料は、平水時と出水時の流況が影響していると考えられるが、出水時も含め平面的な流況から産卵環境を評価した知見はない。本稿は、数値解析により平水時、出水時の流況を把握し、サクラマスの産卵環境との関係について考察するものである。

2. 研究手法

2.1. 調査河川

調査河川は、道南の後志利別川水系の支川、左股川で行った(図-1)。左股川は、後志利別川水系の2次支川であり、保護水面に指定されすべての水産動植物の採捕が禁止されている。このため、サクラマスの産卵床が高密度に分布する河川である。調査区間は、後志利別川水系の1次支川であるメップ川との合流点をSP0とし、その200m上流のSP200～SP1700の1500mの区間とした(図-1)。なお、調査区間の河床勾配は約1/50である。

2.1. 調査手法

本研究の手法として、①地形調査、②河床材料調査、③産卵床調査、④流量観測、⑤自記水位計による水位観測、⑥流況の数値解析、を行った。①地形調査は、2008年10月2～30日に、SP212.5～SP1687.5の区間(図-1)において、縦断方向25m間隔で横断測量を行い、各測点間を左右岸で方形区分けした(図-2)。また、径1m以上の巨礫の位置についても記録した。②河床材料調査は、産卵環境に影響する細粒分の量を把握するため、地形調査と同時期に方形区中心において、最大粒径100mmまでの河床材料を採取し(図-2)、0～75mmの

ふるい分析を行った。③産卵床調査は、2008年9月24～25日に、SP200～SP1700の1500mの区間において行った(図-1)。④流量観測はSP287.5、SP312.5、SP337.5において(図-1)、2008年6月17、18日に横断測量を実施し、2008年6月19日に各横断測線上5点において6割水深の流速を計測した。⑤自記水位計観測は、SP2925に自記水位計を設置し(図-1)、2007年～2009年の期間において、毎正時観測した。⑥流況の数値解析は、RIC-NAYS⁷⁾により、地形調査結果(SP212.5～SP1687.5)から計算格子を作成して行った。計算条件は表-1に示すとおりで、解析流量は、後述する産卵時期の平水時程度の流量1.0m³/s、年最大流量程度の10.0m³/sとした。

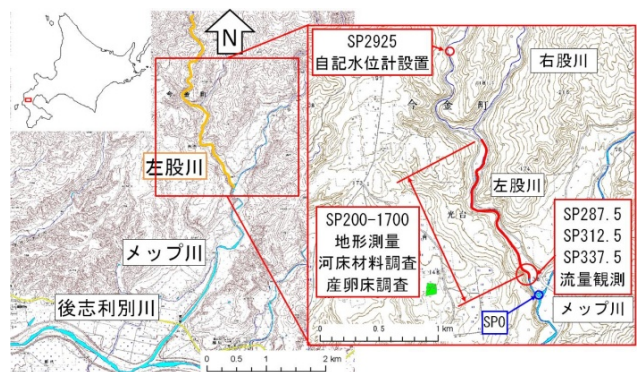


図-1 調査河川

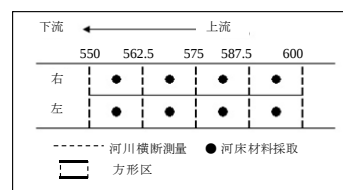


図-2 地形調査、河床材料調査のイメージ

表-1 RIC-NAYSによる計算条件

項目	設定条件
格子間隔	縦590×横20
粗度	0.05
計算時間間隔	10m ³ /s:0.05秒 1m ³ /s:0.01秒
乱流モデル	渦動粘性係数一定
移流項の差分法	風上差分
河床変動	なし
植生	なし

3. 結果と考察

3.1. 平水時流量と年最大流量の検討

平水時の流況を検討するため、平水時の平成 20 年 6 月 19 日に、SP287.5、SP312.5、SP337.5 において、地形測量を及び流量観測を行った。その結果、流量は概ね $1\text{m}^3/\text{s}$ であった。また、このときの SP2925 における水位は概ね EL112 であり（図-3）、9～10 月の産卵時期の平水位に概ね一致する。よって、調査区間における産卵時期の平水時流量も、概ね $1\text{m}^3/\text{s}$ と想定した。

出水時の流況を把握するため、SP2925 の自記水位観測結果（図-3）から、調査区間における年最大流量（EL112.45 程度）を検討した。始めに自記水位計が設置してある、左股川上流部の流量を、溪流全体の平均流速式の Hey 式をべき関数近似した式（1）⁸⁾により検討した。次に、上流部で左股川に支川の右股川が合流するが（図-1）、左股川上流部と右股川の流域面積が同程度であるため（図-4）、右股川の流量は、上記により算出される左股川上流部の流量と同等とした。その結果、調査区間の年最大流量を、 $10.0\text{m}^3/\text{s}$ と想定した（以降、平水時、年最大流量時）。

$$\frac{v}{\sqrt{gRl}} = 6.5 \left(\frac{R}{3.5d_{84}} \right)^{1/4} \quad (1)$$

U : 平均流速、 g : 重力加速度、 R : 径深（本検討では水深とした）、 l : 河床勾配、 d_{84} : 84%粒径（本検討では 10cm とした）

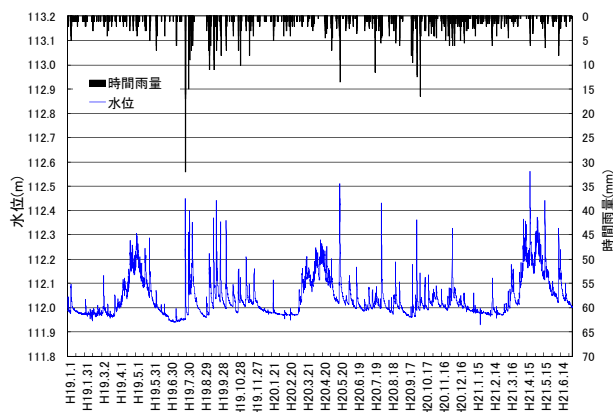


図-3 自記水位計による観測結果 (SP2925)

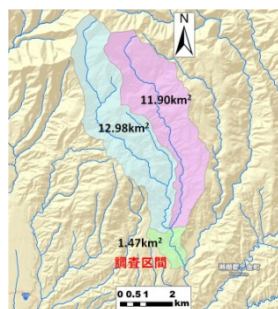


図-4 左股川流域面積

3.2. 河床材料調査と産卵環境

河床材料調査の結果から、産卵環境に影響を及ぼす粒径 2mm 以下の含有率（以降、砂分）を算定し、地形調査により設定した各方形区に、巨礫の位置とともにプロットした（図-5）。また、産卵床調査の結果、調査区間内において 30 個所の産卵床が確認され、これを河床材料同様にプロットした（図-5）。

3.3. 数値解析による摩擦速度と河床材料

RIC-NAYS により数値解析から得られた、各格子点における流速、水深の値から、摩擦速度を式（2）⁹⁾により算出し、コンター図に表した（図-6, 7）。また、流況との関係を検討するため、岩垣公式⁹⁾（3）により、粒径 2mm の単一粒径の限界摩擦速度を算出した。限界摩擦速度は 0.037m/s となった。なお、調査個所の河床材料は幅広い粒度分布を持つ混合粒径であり、本来であれば遮蔽効果を考慮した式⁹⁾を使用する必要がある。しかし、大粒径が多い河床材料の粒度組成を調査することは容易ではないため、本稿では概略検討として、単一粒径での限界摩擦速度を算出した。

$$\tau = \rho u_*^2 = \rho C_f v^2, \quad C_f = \frac{n^2 g}{R^{1/3}} \rightarrow u_* = v n \sqrt{\frac{g}{R^{1/3}}} \quad (2)$$

$$u_{*c}^2 = 134.6 d^{31/22} \quad (3)$$

τ : 掃流力、 ρ : 水の密度、 u_* : 摩擦速度 (cm/s)、 C_f : 摩擦抵抗係数、 g : 重力加速度、 v : 平均流速、 R : 径深（本検討では水深とした）、 u_{*c} : 限界摩擦速度 (cm/s)、 d : 粒径

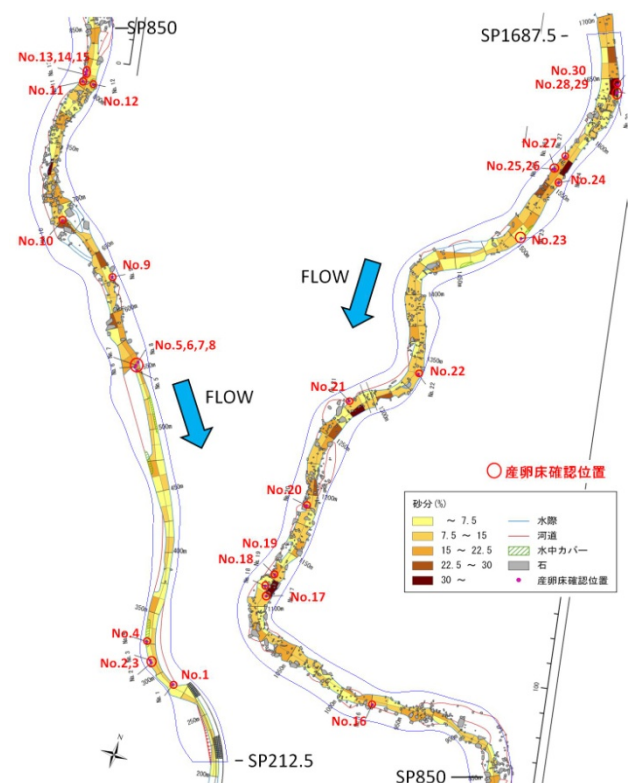


図-5 河床材料調査結果と産卵床調査結果

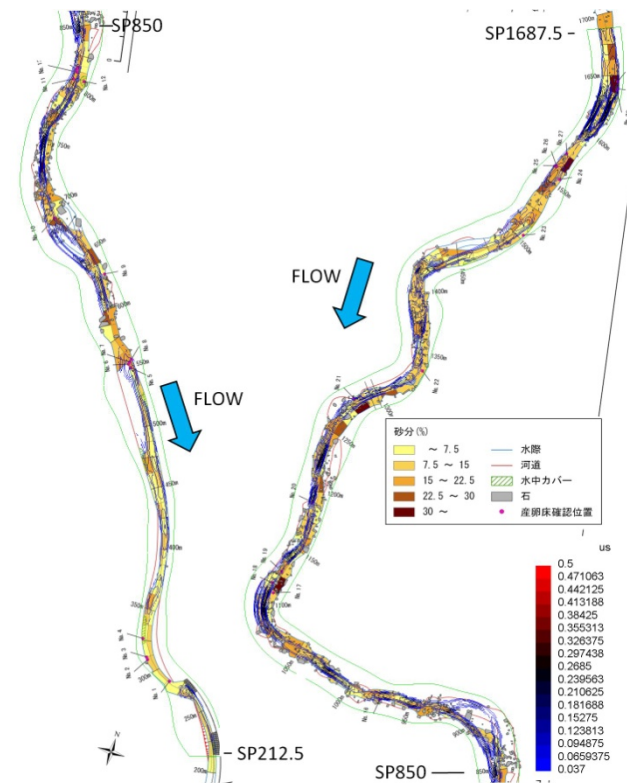


図-6 摩擦速度コンター (Q=1.0m³/s) と砂分 (2mm 以下)

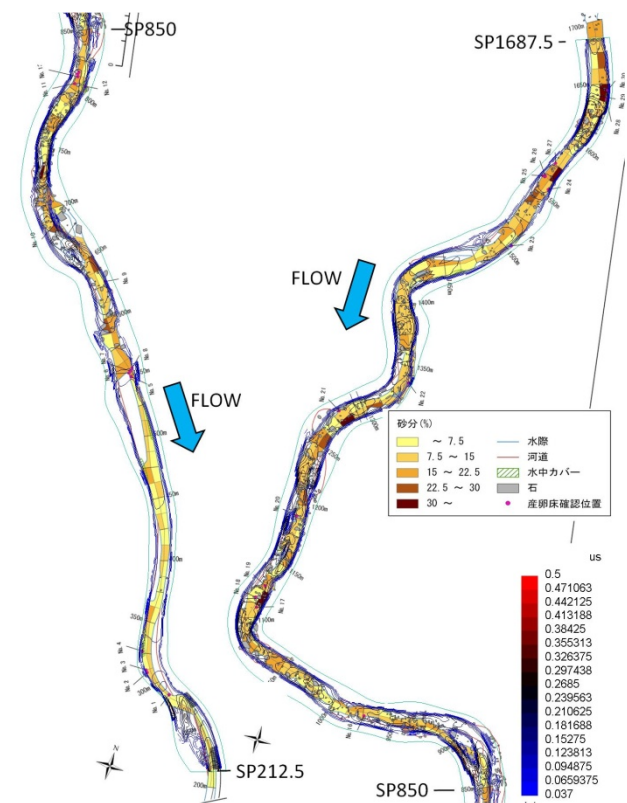


図-7 摩擦速度コンター (Q=10.0m³/s) と砂分 (2mm 以下)

検討の結果、平水時と年最大出水時には、摩擦速度の分布が異なった (図-6, 7)。平水時においては、粒径 2mm の限界摩擦速度 0.037m/s を超える個所は、低水路内の一部であり、それらの個所では、砂分の含有量が

22.5%以下が多い (図-6)。一方、年最大出水時には河道内のほぼ全ての個所で、摩擦速度が 0.037m/s を超えている (図-7)。このことから、平水時に確認された粒径 2mm 以下の粒度分布は、平水時の滞筋の流れが影響していることが考えられる。つまり、出水時に大きな河床変動が起き、その後の平水時の滞筋の流れにより、滞筋の粗粒化が進むことが考えられる。よって、産卵環境を構成する河床材料の成因として、出水時の河床変動だけではなく、平水時の流況による粗粒化が影響していると考えられる。

3.3 数値解析によるフルード数と産卵床

各格子点における流速、水深の値から、フルード数を式 (4) により算出した (図-8, 9)。

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (4)$$

Fr : フルード数、 g : 重力加速度、 v : 平均流速、 h : 水深

その結果、平常時、年最大流量時ともに、顕著にフルード数が 1.0 近くまで達する個所がある (図-8, 9)。

フルード数と産卵床の位置を検討すると、フルード数が 1.0 近くに達する個所には、産卵床は確認されない (図-8, 9)。また、流下方向にフルード数が上昇する個所の直上流に産卵床が多く確認される。平水時と年最大流量時で、フルード数の分布は若干異なるが、この傾向は、どちらの流況においても同様である (図-8, 9)。この個所は、河床勾配が緩から急に变化する個所と考えられ、サクラマスの産卵床が淵尻付近にあるという知見^{2,3)}や、相対河床勾配が 1.0 以下の個所に産卵床の選択性がある⁶⁾という知見と一致する。また、現地調査時にスケッチした巨礫の分布 (図-5) とフルード数が 1.0 近くに達する位置 (図-8, 9) を比べると、出水時にフルード数が大きくなる個所に、巨礫が多数確認される。フルード数が 1.0 以上の条件では、小規模河床形態の礫列、礫段などが発生する可能性がある⁸⁾。礫列の形成条件は、混合粒径であること、射流条件で形成されること、初期河床で平均粒径以上の砂礫が移動し、分級活動が活発に起こること、といわれている¹⁰⁾。また、礫列の形成が進むと河床材料の粗粒化も進行することが、確認されている¹⁰⁾。サケ科魚類が産卵床として利用できる河床材料の平均粒径は、体長の 1/10 との知見もあり¹¹⁾、フルード数が高い個所に、産卵床が確認されなかった原因の一つとして、粒径が大き過ぎることが考えられる。

4. まとめ

本稿では、数値解析により、平水時、年最大出水時の流況を把握し、河床材料、サクラマス産卵床との関係について検討した。その結果、以下の結果を得た。

①産卵床に影響を及ぼす、平水時において、滞筋となっている (掃流力が高い) 個所は、粒径 2mm 以下の含有量がその他の個所と比べて少ない。これは、平水時の流況

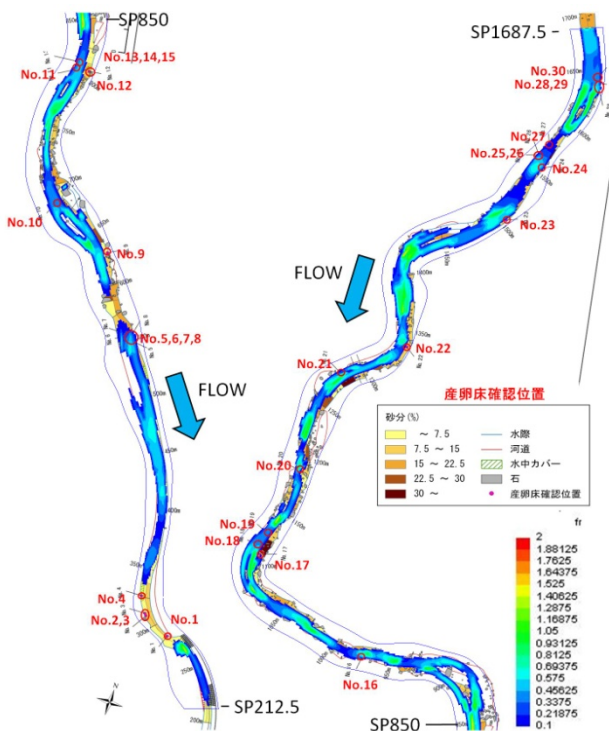


図-8 フLOOD数 (Q=1.0m³/s) と産卵床

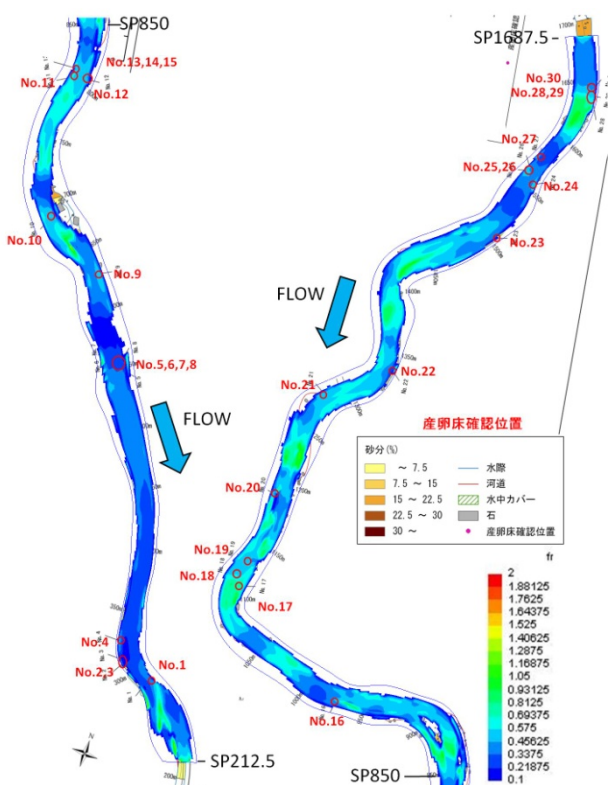


図-9 フLOOD数 (Q=10.0m³/s) と産卵床

が、滞筋の河床材料の粗粒化に寄与している可能性がある。そのため、産卵床の構成要素の一つである河床材料は、出水時だけでなく、平水時の流況にも影響を受けていることが考えられる。

②産卵床の多くは、平水時、年最大流量時に、フLOOD数が1.0付近まで満たない個所に分布する。特に流下方

向にフLOOD数が増加し、1.0付近まで達する個所の、直上流に多くの産卵床が確認される。

本検討は数値解析により求めた平常時、出水時の流況と河床材料調査結果、産卵床調査結果との検討をおこなったものである。しかし、本検討は定性的なものに留まっており、今後定量的な検討を行う必要がある。

本稿での、流下方向にフLOOD数が1.0付近に変化する個所の直上流に産卵床が多く確認された知見を利用し、現地の産卵床適地を判断する方法の一つとして、縦断的にフLOOD数を測定することが考えられる。

参考文献

- 1) 真山紘：サクラマス淡水域の生活および資源培養に関する研究，北海道さけ・ますふ化場研究報告，46，pp.1-156，1992
- 2) 長内稔，大塚三津男：サクラマスの生態に関する研究 1，北海道立水産孵化場研究報告，第22号，pp.17-32，1967
- 3) 杉内圭一：厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造，北海道立水産孵化場研究報告，第53号，pp.11-28，1999
- 4) ト部浩一：サクラマスの産卵環境特性の評価，北海道開発土木研究所月報，No.613号，2004.6
- 5) Yamada, Hiroyuki, Nakamura, Futoshi: Effects of fine sediment accumulation on the redd environment and the survival rate of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) embryos, Landscape and Ecological Engineering, 5, 2009.7
- 6) 森田茂雄：溪流河川での河道内地形の違いがサクラマスの産卵環境に与える影響，水工学論文集，第54巻，2010.2
- 7) RIC-NAYS HP: <http://i-ric.org/nays/ja/index.html>
- 8) 長谷川和義：河川上流域の河道地形，ながれ 24，pp.15-26，2005
- 9) 水理公式集，土木学会，1999
- 10) 芦田和男ら：階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究，第28回水理講演会論文集，pp.743-749，1984.2
- 11) 滝沢宏昌ら：溪流の小規模河床形態に関する研究，土木学会論文集 No.656，II-52，pp.83-101，2000.8
- 12) Kondolf G. Mathias, M. Gordpn Wolman: The Size of Salmonid Spawning Gravel, Water Resources Research, Vol.29, No.7, pp.2275-2285, 1993.7