

## 8.3 冷水性魚類の産卵床を考慮した自律的河道整備に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境保全チーム

研究担当者：浜本聡、矢部浩規、林田寿文、  
矢野雅昭、佐藤嘉昭、渋谷直生、安田裕一

### 【要旨】

砂州地形における分級作用、物理環境とシロサケの産卵床との関係を明らかにするため、石狩川水系の豊平川において、地形調査、水深・流速調査、河床材料調査、河床内水温調査、浸透流調査、産卵床位置調査を実施した。その結果、現地の砂州において、砂州地形の特徴的な分級状況と、流況変化に起因すると考えられる分級が確認された。また、砂州地形の前縁線では、多くの産卵床が確認され、河床内水温、浸透流調査結果から、浸透流が湧出していることが考えられた。このことから、砂州地形によって生じる物理環境が産卵環境に寄与していることが考えられた。

キーワード：産卵床、砂州、分級、浸透流

### 1. はじめに

北海道の河川には、冷水性魚類のサケ科魚類が生息している。その中で最も馴染みのあるシロサケ (*Oncorhynchus keta*) の捕獲量は、北海道が日本の 3/4 を占めている<sup>1)</sup>。シロサケの捕獲量は、自然再生産していた 1960 年では 300～500 万尾であったが、人工孵化放流技術の発達とともに 1994 年には 5 千万尾を超えた<sup>2)</sup>。このように、シロサケの資源量は、人工孵化放流量とともに増加してきたが、今後も人工孵化放流を続けていくことにより、遺伝的多様性の喪失が懸念されている<sup>3)</sup>。遺伝的多様性は一度失われると回復できない場合が多く、予防的な視点が必要であるといわれている<sup>4)</sup>。そのため、数少ない野生個体群の維持増大のため、産卵環境に配慮した河川整備の必要性が指摘されている<sup>3,5)</sup>。

シロサケは尾鰭で河床に深い窪みをつくり、そこに産卵し、直前部の砂利を掘って被覆することが知られている<sup>6)</sup>。シロサケの産卵環境として、浸透流が湧出傾向であることや<sup>7)</sup>、河川水よりも河床内水温が高い個所であることが知られている<sup>7,8)</sup>。また、瀬-淵構造、分流等がある地形や、河川の屈曲度が大きいほど産卵床数が多いという調査結果があり、河川地形と浸透流の関係が指摘されている<sup>8)</sup>。また、河床材料も重要なことが知られており<sup>9,10)</sup>、既往研究では産卵床の河床材料の粒径が 0.5～3cm を中心とした砂利<sup>6)</sup>、D50 が 1～4cm 程度<sup>9)</sup> であることが確認されている。これらの河床材料が河川内にあるの

は、中流域のセグメント 2-1 もしくは扇状地のセグメント 1 にあたる個所で、河岸浸食の程度が大きい個所である<sup>11)</sup>。このような個所では土地利用に伴い、堤防の造成による河道断面の形成や護岸工などが行なわれてきた。

本研究は、河川改修と競合しやすい河川中流域の河床地形と冷水性魚類であるシロサケの産卵環境の関係を明らかにし、産卵床を考慮した自律的河道整備手法の検討を行なうものである。

### 2. 砂州地形での河床材料分級状況

#### 2.1 目的

サケ科魚類の産卵環境として、河床材料の重要性を多くの研究者が述べており、Kondolf<sup>9)</sup> はサケ科魚類の既往研究を取り纏め、サケ科魚類が産卵床として利用できる礫径 (50% 粒径) は体長の 1/10 程度までと述べている。また、Lotspeich・Everest<sup>10)</sup> は、サケ科魚類の産卵に適した河床材料の指標として Fredle 指数を提案している。Yamada・Nakamura<sup>12)</sup> は、サクラマス<sup>12)</sup> の発眼卵を用いた人工産卵床実験により、河床材料に細粒分が多いと浸透流が減少し、生存率が低下することを述べている。このように産卵環境に重要な河床材料の粒度分布は、河床地形とこれに伴う流況による分級作用で形成される。そのため、河床材料の粒度分布を検討するには、河床地形と流況の検討が不可欠であると考えられる。

河床地形と産卵床の既往研究として、鈴木<sup>8)</sup> は、瀬-

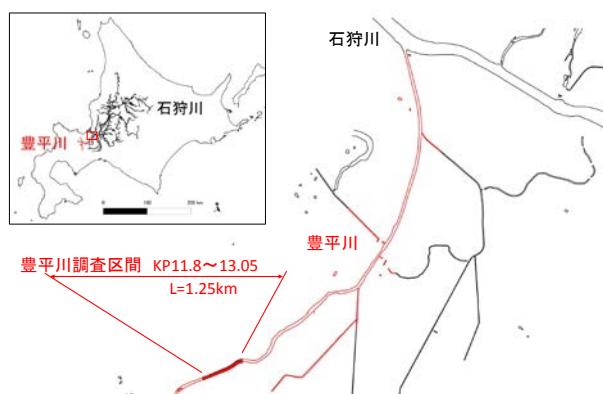


図-1 現地調査箇所

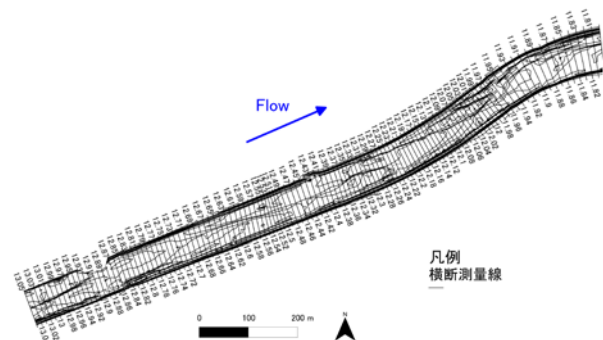


図-2 地形調査 横断測線 (豊平川 KP11.80~13.05)

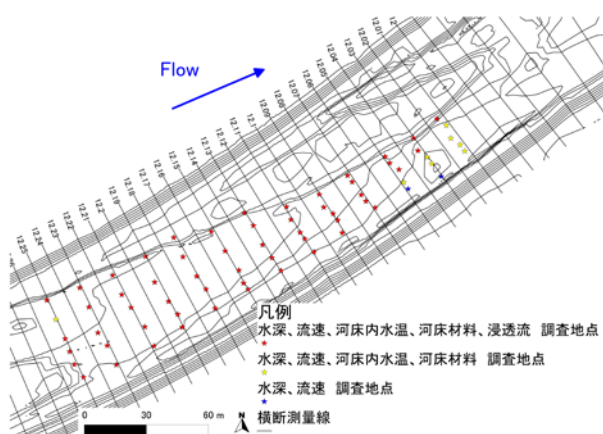


図-3 砂州Bでの物理環境調査地点

(Dp : 水深、V : 流速、TRB : 河床内水温・河川水温、GSD : 河床材料調査、SFRB : 浸透流)

淵や川の屈曲度とシロサケの産卵床数との関係を指摘している。この瀬-淵は、河川の蛇行、砂州地形、溪流域のステップ&プールに起因する様々な形態がある。現状のシロサケの産卵床が確認される個所は、中流域の河道改修が及んだ個所だと考えられ、砂州地形が主な瀬-淵の成因と考えられる。そのため、本研究の第一段階として、砂州を対象に検討を行なうこととする。砂州地形における河床材料の分級については、竹林・江頭<sup>3)</sup>が水理模型

実験と数値計算により、河床高の高い瀬で細粒化し、淵から水衝部にかけて粗粒化することを確認している。このような砂州地形における分級の知見はあるが、水理実験や数値計算によるもので、定性的なものに留まっている。そのため、河道設計に役立てるためには、現地の分級状況などを踏まえた、より定量的な知見が必要と考えられる。本章は、平成23年度に、このような知見を得ることを目的に行なった、現地調査の結果を報告するものである。

## 2.2 方法

調査河川は、北海道の札幌市内を流れる豊平川とした(図-1)。豊平川は道央を流れる石狩川の一次支川で、流路延長 72.5km、流域面積 902km<sup>2</sup>の河川であり、シロサケの産卵が毎年確認される河川である。調査区間は石狩川との合流点をKP0.0(上流方向を正、単位km)として、KP11.8~13.05の区間とした。なお、調査区間の平均河床勾配は約 1/420 である。

現地調査として、地形調査、水深・流速調査、河床材料調査を行った。地形調査は2011年11月3~14日に、KP11.8~13.05の延長1.25kmを縦断間隔10mで、合計126測線の横断測量を行なった(図-2)。水深・流速調査、河床材料調査は、地形調査により確認されたKP12.0~12.25の砂州(以降、砂州B)において行い(図-3, 4, 5)、縦断間隔20mで、横断測量線上の主流路を当分するように1測線あたり4~5地点調査した(図-3)。なお、水深が1m以上の深い個所や、流速が1m/sを超えるような個所は、調査が困難なことから実施していない。水深調査は12月7日に行なった。流速調査は12月12,13日に行ない、各地点の6割水深で計測を行なった。河床材料調査は、12月20,21日に行い、河床下30cm程度までの河床材料を、ネット付ジョレンとスコップを用いて採取した。河床材料の粒度分析は、径10cm未満はふるい分け分析、径10cm以上は現地で礫径を計測し、これらを粒径加積曲線に取りまとめ、検討した。また、ふるい分け分析の最小ふるい目は0.25mmとした。

これらの現地調査により計測された値は、QGIS<sup>4)</sup>を用いて、三角形分割補間法により、調査点間の値を補間して図化した。

## 2.3 結果及び考察

地形調査の結果、調査区間に砂州地形が確認された(図-4, 5)。KP12.0~12.25に確認された砂州Bにおける水深調査結果を図-6に示す。なお、白塗りの個所は、現地の水深・流速の条件により、調査が困難で実施できな

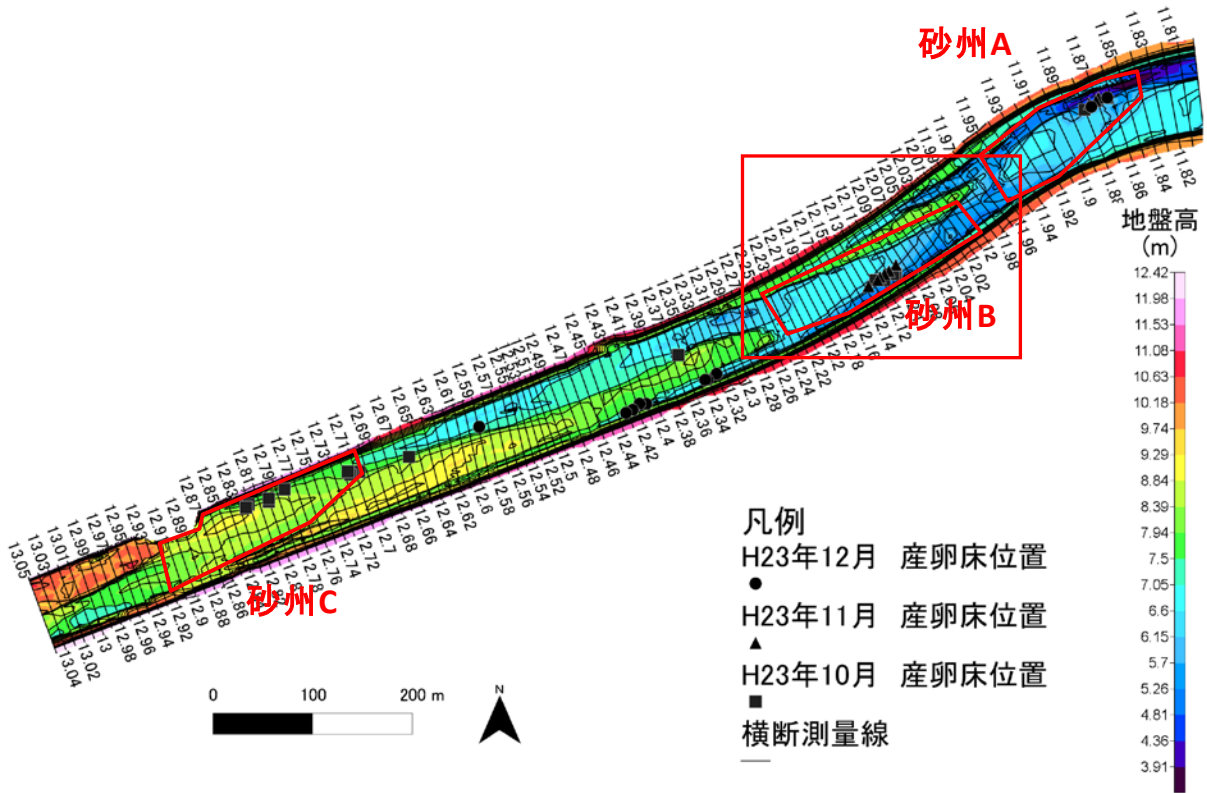


図-4 地形調査結果および産卵床位置

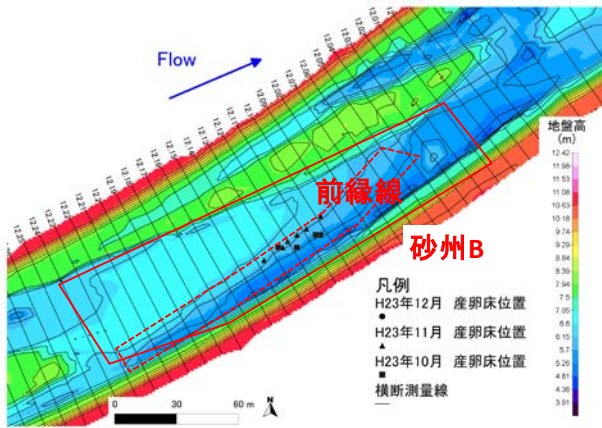


図-5 砂州Bと産卵床位置

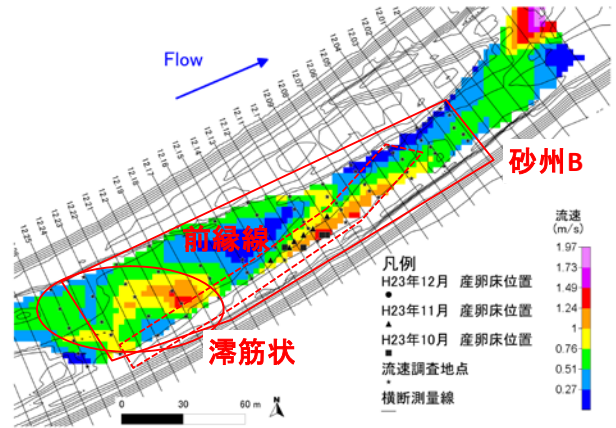


図-7 砂州Bでの流速分布と産卵床位置

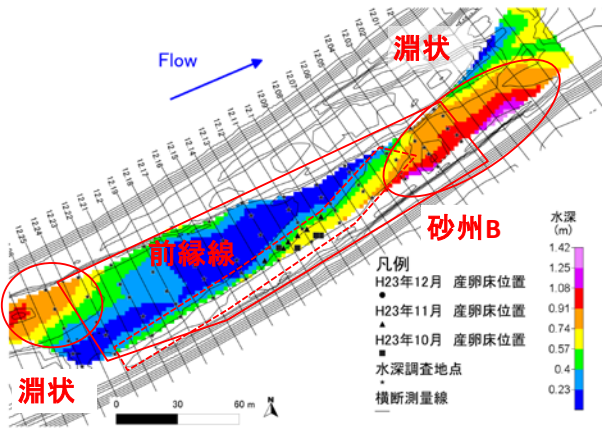


図-6 砂州Bでの水深分布と産卵床位置

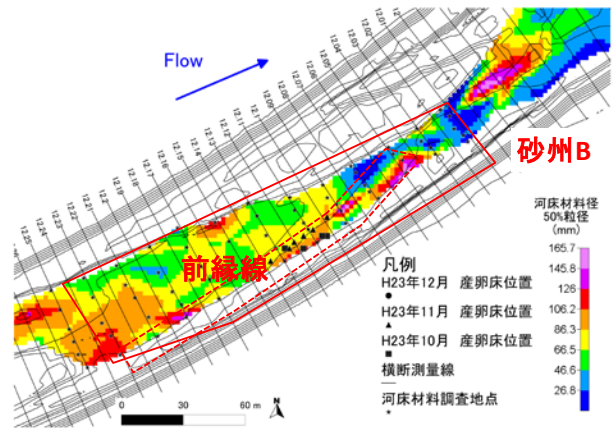


図-8 砂州Bでの50%粒径分布と産卵床位置



かった個所である。図-6より、砂州頂部で水深が浅く、前縁線の下流と砂州の直上流が水深の深い淵状になっていることが確認される。流速調査の結果を図-7に示す。図-7より、砂州頂部で流速が遅く、前縁線で流速が速い。また、左岸の砂州直上流の淵状の個所から右岸下流に向かって、流れの速い湍筋状の個所が確認される。河床材料調査結果から算出した50%粒径の分布を図-8に示す。図-8より、砂州頂部において粒径が小さく、前縁線、淵状、湍筋状の個所において粒径が大きいことが確認される。竹林・江頭<sup>13)</sup>は水理模型実験と数値計算より、砂州頂部に細かい粒径が堆積し、前縁線には粒径の大きい土砂が堆積することを述べている。本調査においても、同様の傾向であり(図-8)、砂州地形での特徴的な分級作用が確認されたものと考えられる。また、竹林ら<sup>15)</sup>は、網状河川を対象とした河床変動計算により、出水時には淵は洗掘され粗粒化し、小流量時には細粒化することを述べている。本調査区間は単列交互砂州が確認された区間であるが、上流の淵状の個所に、粒径の大きな河床材料が確認され(図-8)、竹林ら<sup>15)</sup>が指摘するように出水時に洗掘され粗粒化したものと考えられる。湍筋部に確認された粒径の大きな河床材料は(図-8)、平水時もしくは中小出水時の速い流れが影響している可能性がある。寺本・辻本<sup>16)</sup>は、過去の出水による砂州の形成履歴が、低水路の位置に影響しているという指摘をしている。また、渡邊ら<sup>17)</sup>は、出水時に形成された単列砂州が、小規模流量時に複列砂州状の地形を経て、蛇行流路状に移行していくことを述べている。これらの既往研究では、砂州地形の湍筋形成には、過去の様々な規模の出水や、出水時の流量変化が影響するとされており、分級状況にも影響していると考えられる。今後、流況変化や現地の砂州履歴を考慮して、分級作用を詳細に検討する必要がある。

### 3. 物理環境と産卵床位置

#### 3.1 目的

サケ科魚類の産卵環境に重要な物理要素として、前章で挙げた河床材料の他に、水温、浸透流があることが知られている。シロサケの卵の孵化には、積算温度で480°C、浮上には900~1,000°C必要とされ<sup>18)</sup>、浸透流については、Yamada・Nakamura<sup>12)</sup>らがその重要性を述べている。浸透流を発生させる要因の一つとして、砂州地形がある。溝口ら<sup>19)</sup>は、河床面と河床内の圧力差や河床内水温を調査し、交互砂州の入れ替わり部の上流で、河川水が浸透し、下流で湧出することを述べている。また、河川水が河床内を浸透することにより、地温の影響を受

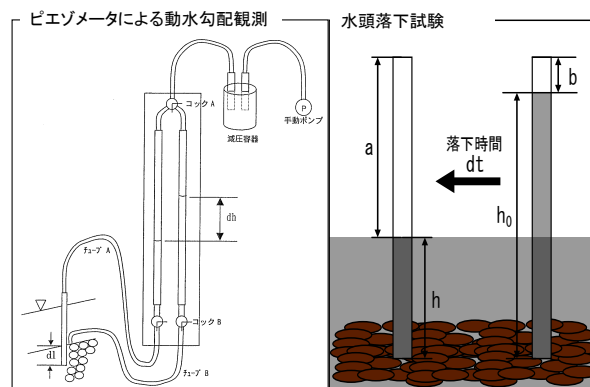


図-9 浸透流調査模式図

け、湧水の温度が秋や冬でも河川水より高いことを述べている<sup>19)</sup>。このように砂州地形は、前章で述べた分級作用の他にも、河床内水温の安定や、浸透流の発生に影響し、シロサケの産卵環境に寄与していることが考えられる。本章は、砂州地形の物理環境(地形、河床材料、河床内水温、浸透流)と、シロサケ産卵床分布との関係について調査した結果を報告するものである。

#### 3.2 方法

調査河川、調査区間については前章と同様である。現地調査は、河床内水温調査、河川水温調査、浸透流調査を行い、砂州Bにおいて縦断間隔20mで、1測線あたり4~5地点調査した(図-3)。なお、水深が1m以上の深い個所や流速が1m/sを超えるような個所は調査が困難であり実施していない。河床内水温調査、河川水温調査は、2011年12月7日に行い、河床内水温は水温計を河床内に20cm程度貫入して計測し、河川水温は同地点で計測した。浸透流調査は、2011年12月7,8日に行い、Baxterら<sup>20)</sup>が考案したピエゾメータと透水落下試験(図-9)により調査した。産卵床位置調査は10月20日、11月16日、12月13日の3回行い、現地で確認された産卵床の位置をGPSで記録した。

これらの現地調査により計測された値は、QGIS<sup>14)</sup>を用いて、三角形分割補間法により、調査点間の値を補間して図化した。

#### 3.3 結果及び考察

##### 3.3.1 砂州地形による河床内水温、浸透流と産卵環境

砂州Bにおける河床内水温と河川水温の差および浸透流の調査結果を図-10, 11に示す。なお、白塗りの個所は、現地の水深・流速の条件により、調査が困難で実施できなかった個所である。産卵床位置調査結果は、地形調査

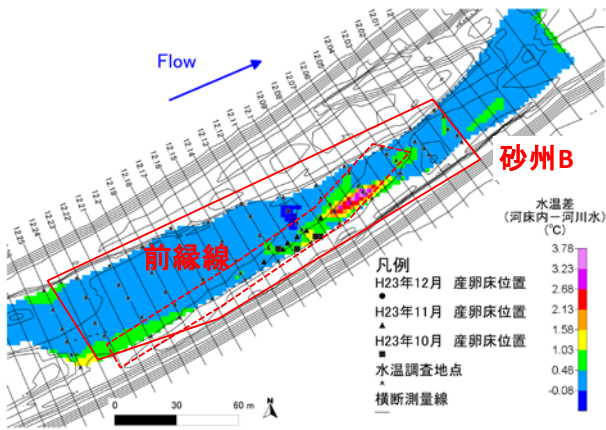


図-10 砂州Bでの水温差（河床内—河川水）と産卵床位置

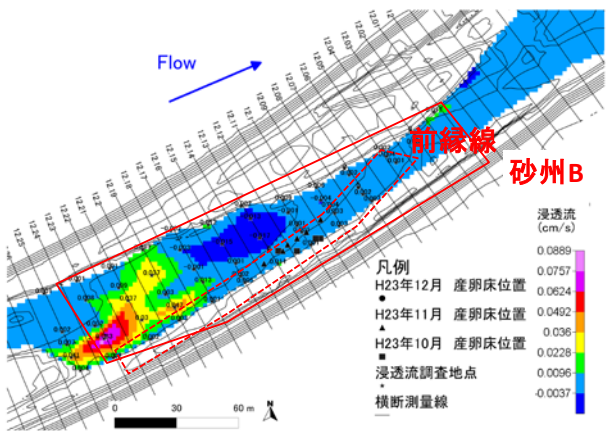


図-11 砂州Bでの浸透流分布と産卵床位置

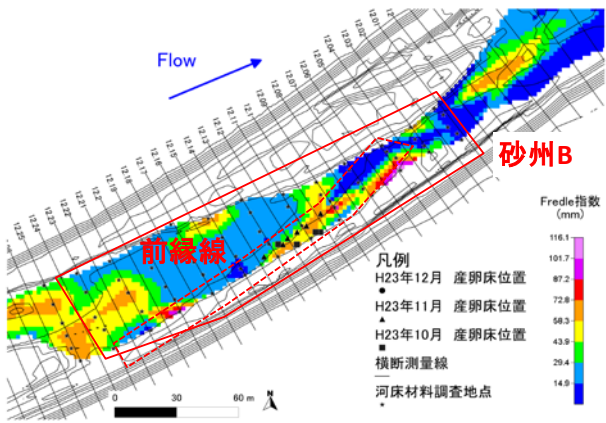


図-12 砂州BでのFredle指数分布と産卵床位置

結果（図-4, 5）、河床材料調査結果（D50：図-8、後述するFredle指数：図-12）、河床内水温と河川水温の差（図-10）および浸透流調査結果（図-11）に記している。図-5より、10、11月の産卵床が砂州の前縁線に位置していることが確認される。河床内水温と河川水温の差をみると（図-10）、前縁線では河川水よりも0.5～3.7℃程度の水温が高くなっている。なお、調査時の河川水温は概ね4.0℃

前後あった。浸透流調査結果では（図-11）、砂州頂部で浸透傾向、前縁線で若干の湧出傾向となっている。溝口ら<sup>19)</sup>は、交互砂州の入れ替わり部の上流で河川水が浸透し、地熱の影響を受けて、交互砂州の入れ替わり部の下流で湧出するため、秋や冬において河川水よりも高い温度であることを述べている<sup>19)</sup>。このことから、本調査箇所においても、河川水が砂州頂部から浸透し、地熱の影響を受けた比較的水温の高い湧水が、砂州の前縁線から生じていることが考えられる。浸透流は透水係数と動水勾配の積で表されるが、砂州の前縁線上下流には標高差があり、前縁線近傍で動水勾配が大きくなると考えられる。また、前縁線近傍では粒径が大きい（図-8）、例えばTerzaghiの式<sup>21)</sup>によれば、透水係数は有効径D10に比例することから、透水係数も大きいと考えられる。これらのことから、前縁線では浸透流が発生しやすいことが考えられる。鈴木<sup>22)</sup>は、9月下旬～11月中旬に産卵するシロサケを前期群、11月下旬～1月上旬に産卵するものを後期群と分類している。そして、前期群の個体は、河川水由来の伏流水が湧出する個所を利用し、後期群は、地下水が湧出する個所を利用することを述べている<sup>22)</sup>。本調査で前期群の産卵床が、砂州の前縁線近傍に確認された原因として、砂州地形により河川水より水温の高い湧水の発生が寄与していると考えられる。

### 3.3.2 砂州地形による河床材料分布と産卵環境

河床材料調査結果から、式(1)によりFredle指数<sup>10)</sup>を算出したものを図-12に示す。

$$f_i = d_g / s_o \quad (1)$$

$$s_o = \sqrt{d_{75} / d_{25}} \quad (2)$$

$f_i$  : Fredle 指数(mm)、 $d_g$  : 平均粒径（相乗平均）、 $s_o$  : ふるい分け係数、 $d_{75}$  : 75%粒径、 $d_{25}$  : 25%粒径

式(1)、(2)から分るとおり、Fredle指数は平均粒径に比例し、また、粒度分布が広いほど小さくなり、Fredle指数は透水性の指標であると考えられる。図-12より砂州B周辺では、Fredle指数が10～116mm程度であることが確認される。鈴木<sup>21)</sup>はFredle指数の異なる河床材料内で、シロサケの卵・仔魚の孵化、生存実験を行なっている。その結果、生存率が急激に低下する閾値として、Fredle指数が2.5-4.8であることを述べている。今回の調査箇所では、ほとんどがこれを上回り、Fredle指数（透水性）が、産卵床の制限要因になっていないと考えられる。一方で、D50

の分布をみると(図-8)、産卵床として利用されている前縁線は、60~80mmが多い(図-8)。Kondolfら<sup>9)</sup>は、既往研究を取りまとめ、サケ科魚類が産卵床として利用できる河床材料のD50は、体長の1/10程度までであるとし、体長の大きな個体は、より大きな河床材料を利用できると述べている。豊平川におけるシロサケの3才魚の体長は、平均で66cm程度といわれており<sup>23)</sup>、本調査で産卵床が多数確認された砂州の前縁線では、体長の1/10よりも若干大きな粒径となっている。また、既往文献でのシロサケの産卵床の河床材料<sup>8,10)</sup>と比較しても大きい粒径である。しかし、現状においては産卵床が確認されており、産卵が不可能な状態ではないと考えられる。この状況が産卵環境に望ましい状態であるかは、今後検討が必要である。

#### 4. まとめ

①調査区間に確認された砂州の河床材料の分布状況を調査した結果、砂州頂部で粒径が細かく、前縁線で河床粒径が粗いことが確認され、水理模型実験、数値解析による既往研究<sup>13)</sup>と一致した。また、淵部、濤筋部などにおいても粒径が粗い箇所が確認され、過去の様々な規模の出水と流量変化が影響していることが考えられた。

②河床内水温調査と浸透流調査から、砂州頂部で河川水が浸透し、地温の影響を受け、前縁線から河川水よりも高い温度の湧水が発生していることが考えられた。この砂州の前縁線では、多くの産卵床が確認され、砂州地形は産卵環境に寄与していることが考えられた。

③河床材料調査により、Fredle 指数、D50 を算出し、産卵環境との関係を検討した結果、Fredle 指数(透水性)は産卵環境の制限要因になっていないが、D50 が既往研究よりも大きいことが確認された。

今後、本調査で確認された事項について、さらに検討し、冷水性魚類の産卵環境に配慮した河道整備に資する知見を得ていきたい。

#### 参考文献

- 1) (独) 水産総合研究センター北海道区水産研究所 HP : <http://salmon.fra.affrc.go.jp/index.html>
- 2) 野川秀樹：さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(序説), *Journal of Fisheries Technology*, 3(1), pp1-8, 2010.
- 3) 帰山雅秀・眞山紘：野生産サケの復活をめざして, *Tech.Rep.Hokkaido salmon Hatchery(165)* : 41-52, 1996
- 4) 谷口順彦：魚類集団の遺伝的多様性の保全と利用に関する研

- 究, 日本水産学会, 73(3), pp408-420, 2007
- 5) 帰山雅秀：日本系サケ資源の現状と今後の資源管理のあり方, さけ・ます資源管理センターニュース, No.1, pp4-7, 1998.3
- 6) 佐野誠三：北日本産サケ属の生態と蕃殖について, 北海道さけ・ます・ふ化場研究業績, 第152号, 1955
- 7) Geist.R.D., Hanrahan.P., Arntzen.V.E., McMichael.A., Murray.J.C., Chien.Y., "Physicochemical characteristics of the hyporheic zone affect red site selection of chum and fall Chinook salmon Columbia River", Report to Bonneville Power Administration, No.00000652,(2001).
- 8) 鈴木俊哉：遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査, SALMON 情報, No.4, (独) 水産総合研究センター, 1999.9
- 9) G.Mathias Kondolf, Michael J Sale, M.Gordon Wolman : the sizes of Salmonid spawning gravels, water resource research, vol.29, no.7 pp2275-2285, July 1993
- 10) Fredrich B.lotspeich and Fred H.Everst: A New Method for Reporting and Interpreting textural Composition of Spawning Gravel, united states departure of agriculture forest service pacific northwest forest and range experiment station ,research
- 11) 山本晃一：構造沖積河川工学, 山海堂, 2004
- 12) 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
- 13) 竹林洋史・江頭進治：混合砂河床における砂州の動態, 水工学論文集, 第45巻, pp727-732, 2001.2
- 14) QGIS HP, <http://www.qgis.org/>
- 15) 竹林洋史ら：混合砂河床における網状流路の数値解析, 水工学論文集, 第47巻, pp631-636, 2003.2
- 16) 寺本敦子・辻本哲朗：砂州形状の特性と平水時の流路構造, 水工学論文集, 第50巻, pp961-966, 2006.2
- 17) 渡邊康玄ら：中規模河床波の低流量時における形状変化過程に関する水理実験, 水工学論文集, 第51巻, pp1039-1044, 2007.2
- 18) 野川秀樹：さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(序説), *Journal of Fisheries Technology*, 3(1), pp1-8, 2010.
- 19) 溝口敦子・谷口義則・鷺見哲也・音田慎一郎・青木一展・飯田涼介：複断面河道における低水路幅の違いが砂州物理環境および魚類生息環境へ及ぼす影響, 河川技術論文集, 第17巻, 2011.7
- 20) Baxter,C., F.R.Hauer and W.W.Woessner :

### 8.3 河川生態系の保全・再生のための効率的な河道設計・河道管理技術の開発

Measuring Groundwater-Stream Water  
Exchange: new Techniques for Installing  
Minipiezometers and Estimating Hydraulic  
Conductivity, Transactions of the American  
Fisheries Society,132,pp493-502.2003

21) 水理公式集, 土木学会, 1999.

22) 鈴木俊哉: 自然再生産を利用したサケ資源保全への取り組み, SALMON 情報, No.2, (独) 水産総合研究センター, 2008.1

23) 札幌市豊平川さけ科学館 HP :  
<http://www.sapporo-park.or.jp/>

## A study on autonomous river channelization considering spawning environment of cold-water fish

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Watershed Environmental  
Engineering Research Team

**Author** : HAMAMOTO Satoshi

YABE Hiroki

HAYASHIDA Kazuhumi

YANO Masaaki

SATOU Yoshiaki

SHIBUYA Sunao

YASUDA Yuuiti

**Abstract** : To elucidate the sorting function of river bed gravel and the relationship between physical environments and spawning points of chum salmon on sand bars, a survey was conducted to determine cross section profiles, water depth, velocity, grain size distribution, river bed temperature, river bed seepage flow and spawning points on the Toyohira River. The results show the characteristics of sorting conditions for sand bar and sorting conditions caused by various flood magnitude. Surveying of seepage flow and river bed temperature also indicated the presence of such flow welling up from the front of sand bars, where many spawning points were found. Accordingly, sand bars were presumed to contribute to the provision of spawning environments.

**Key words** : spawning bad, sand bar, sorting, seepage flow