

平成24年度

複数河川でのセグメントスケールからみた シロザケの産卵環境の特徴

(独) 寒地土木研究所 水環境保全チーム ○矢野 雅昭
水環境保全チーム 矢部 浩規
道東支所 佐藤 好茂

石狩川水系豊平川、漁川、十勝川水系札内川、音更川、釧路川水系釧路川において、既存の河川定期横断測量、河床材料、産卵床位置の調査結果を利用し、セグメントスケールでの産卵床分布を検討した。また、河床勾配、50%粒径、Fredle指数により、産卵適地を評価した。その結果、多くの産卵床はセグメント1に分布し、河床勾配0.000~0.006、50%粒径10~80mm、Fredle指数2.5~22.5mmの範囲に概ね産卵床が分布していることを確認した。また、これらの調査結果と既往文献の知見から、概略的な産卵床の縦断分布の推定手法として、Fredle指数が5.0mm以上で、50%粒径が80mm以下の範囲を抽出する手法を提案した。

キーワード：シロザケ、セグメント、河床勾配、河床材料

1. はじめに

北海道の河川には、冷水性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ザケ(*Oncorhynchus keta*)の漁獲量は、北海道が全国の8割以上を占め¹⁾、地域にとって重要な水産資源となっている。シロザケの産卵場の物理環境の特徴として、浸透流が湧出する場所であり²⁾、河川水よりも河床内水温が高いことが知られている^{3,4)}。河床材料については、粒径が0.5~3cmを中心とした砂利であることが確認され⁵⁾、さらにKondolf & Wolman⁶⁾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 & Everest⁷⁾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。河床材料が産卵環境に及ぼす影響について、Yamada & Nakamura⁸⁾は、サクラムス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。このように河床材料は、産卵環境の重要な要素の一つである。その河床材料は、河川の縦断的な勾配の変化により異なる粒径分布となっている⁹⁾。山本⁹⁾は、河床勾配がほぼ同一である区間は、河床材料や河道の特性が似ており、これをセグメントと呼んで区分している。シロザケの産卵床の位置の河床材料は特徴的であり、特定のセグメントが適地であることが予想されるが、実際にこれらの関係を調査した事例はない。また、同一のセグメントの範囲においても、特に産卵床に適している範囲が存在する可能性がある。本研究では、河床勾配や河床材料から区分されるセグメントの、どの位置に産卵床が分布しているか把握し、定量的に縦断的なシロザケの産卵

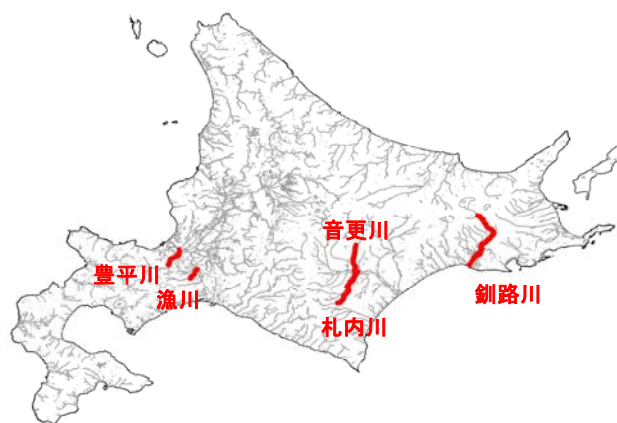


図-1 調査対照河川

床の分布範囲を把握することに資することを目的に行うものである。

2. 方法

(1) 調査河川

調査河川は、シロザケの産卵床位置調査、河川定期横断測量、河床材料調査が過去になされ、現時点で調査結果を入手した一級河川石狩川水系豊平川、漁川、一級河川十勝川水系札内川、音更川、一級河川釧路川水系釧路川とした(図-1)。

(2) 調査方法

河川内のセグメント区分を把握し、産卵床分布との関係を検討するため、河床勾配、河床材料、産卵床の分布

表-1 使用データおよび調査機関

水系	河川名	横断測量	河床材料調査	産卵床調査
石狩川水系	豊平川	H23 国土交通省 北海道開発局	H23 国土交通省 北海道開発局	H20~H23 札幌市 豊平川さけ科学館
石狩川水系	漁川	H17 国土交通省 北海道開発局	H17 国土交通省 北海道開発局	H23~24 国土交通省 北海道開発局
十勝川水系	札内川	H23 国土交通省 北海道開発局	H23 国土交通省 北海道開発局	H6,H17 国土交通省 北海道開発局
十勝川水系	音更川	H23 国土交通省 北海道開発局	H23 国土交通省 北海道開発局	H6,H17 国土交通省 北海道開発局
釧路川水系	釧路川	H22.23 国土交通省 北海道開発局	H21 国土交通省 北海道開発局	H17 国土交通省 北海道開発局

を各河川における既往の調査資料により把握した。なお、釧路川の調査対象区間については湿原区間のKP38.2より上流とした。各河川における既往調査資料の年度を表-1に示す。

a) 河床勾配の把握

河床勾配は、各調査対象河川で最近年に実施された河川定期横断測量結果による平均河床高から算出した。河床勾配の算出間隔は、河川定期横断測量の縦断間隔と同様に200mである。

b) 河床材料の把握

河床材料は、縦断間隔1km毎に、左右岸と流心の3点もしくは左右岸の2点で実施されている。本検討においては、縦断間隔1km毎の各点において平均粒径、50%粒径、60%粒径を算出し、それらの平均値を縦断位置を代表する粒径として用いた。

なお、豊平川においては、平成23年9月に1000m³/sを超える出水が有り、その前後で河床材料調査を行っている。平成23年9月出水前ではKP13.0,14.0における調査が行われていないことから、平成23年9月出水前と平成23年9月出水後の調査結果をそれぞれ検討することとした。

c) 産卵床分布の把握

産卵床分布の把握は、漁川、札内川、音更川、釧路川については、各河川で北海道開発局により実施された産卵床位置調査結果や河川環境情報図を用いて行った。豊平川については、札幌市豊平川さけ科学館が実施した、産卵床位置調査結果を用いた。確認された産卵床は、縦断間隔200m毎にどの区間に位置するか検討し、縦断的な河床勾配、河床材料との関係を把握した。

(3) 解析方法

a) セグメントの判定

セグメントの判定は、河床勾配、代表粒径により行うこととなっているが⁹⁾、本検討では簡易に代表粒径の代わりとして60%粒径を使用した。セグメント1は河床勾配が1/400 (0.0025) 以上で、60%粒径が2cm以上の区間とし⁹⁾、セグメント2-1は河床勾配が1/400 (0.0025) 以下で、60%粒径が1~2cm⁹⁾の区間とし、セグメント2-2は河床勾配が1/400 (0.0025) 以下で、60%粒径が1cm以下⁹⁾の区間とし

た。

b) Fredle指数

サケ科魚類の産卵環境の指標として提案されているFredle指数⁷⁾を算出し、産卵床の分布との関係を検討した。

Fredle 指数は、式(1)に示すとおり河床材料の粒径分布から算出され、平均粒径に比例し、ふるい分け係数に反比例する。ふるい分け係数は粒径加積曲線の粒径分布の広さに影響することから、河床材料内の空隙、透水性の指標である。

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

$$s_o = \sqrt{d75/d25} \quad (2)$$

f: Fredle 指数(mm)、 d_g : 平均粒径 (相乗平均)、 s_o : ふるい分け係数、 $d75$: 75%粒径、 $d25$: 25%粒径

3. 結果

(1) 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布

各河川毎に、河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布を取りまとめた(図-2~7)。また、縦断的なセグメントの区分についても検討した。

a) 豊平川

河床勾配、河床材料からセグメント区分を検討した結果、セグメント1とセグメント2-1の境界がKP9.5付近、セグメント2-1とセグメント2-2の境界がKP9.0付近と判断された(図-2,3)。

平成20~22, 23年ともに、産卵床はセグメント1であるKP11.0~22.0の区間に確認され、その中でもKP12.0~16.0で多く、KP12.0~14.0では特に多く確認された(図-2,3)。

b) 漁川

河床勾配、河床材料からセグメント区分を検討した結果、セグメント1とセグメント2-1の境界がKP8.0付近、セグメント2-1とセグメント2-2の境界がKP1.5付近と判断された(図-4)。

平成23~24年の産卵床は、セグメント1~セグメント2-2であるKP1.0~13.6の区間に確認され、その中でもセグメント1であるKP8.0~13.6で多く、KP9.0~11.0では特に多く確認された(図-4)。

c) 札内川

河床勾配、河床材料からセグメント区分を検討した結果、KP2.8~48.0の調査対象区間全線がセグメント1と判断された(図-5)。

平成6,17年の産卵床は、セグメント1であるKP2.0~7.0と、KP21.0~22.0の区間で確認された(図-5)。

d) 音更川

河床勾配、河床材料からセグメント区分を検討した結果、KP0.0~32.0の調査対象区間全線がセグメント1と判

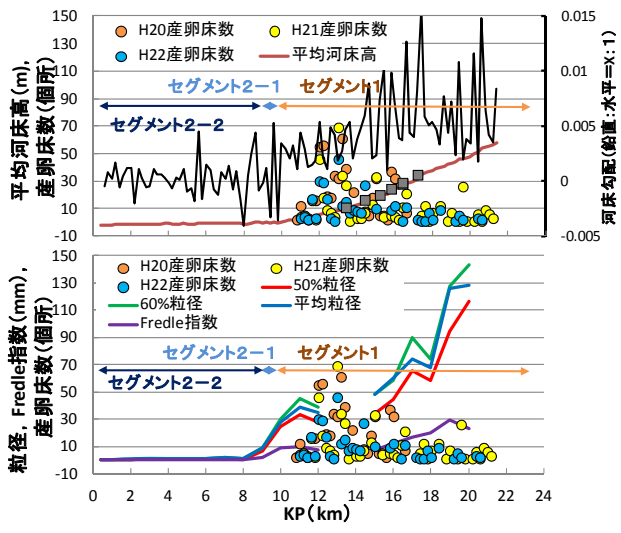


図-2 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (豊平川 H23.9出水前)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

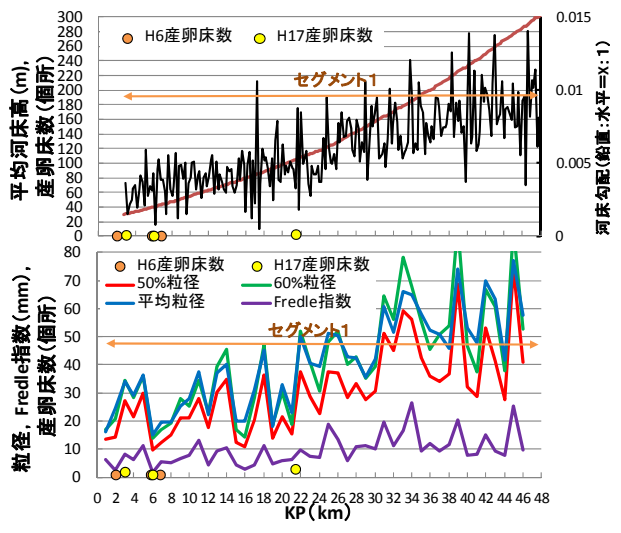


図-5 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (札内川)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

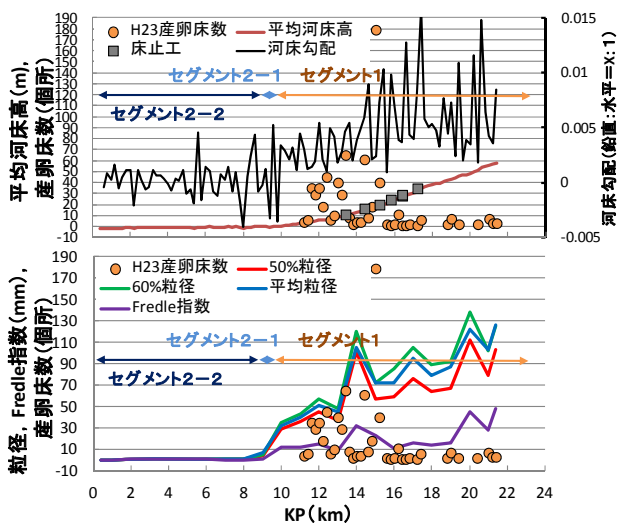


図-3 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (豊平川 H23.9出水後)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

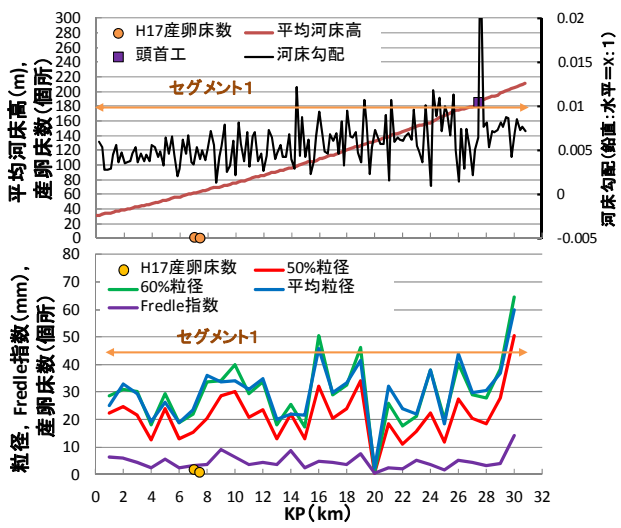


図-6 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (音更川)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

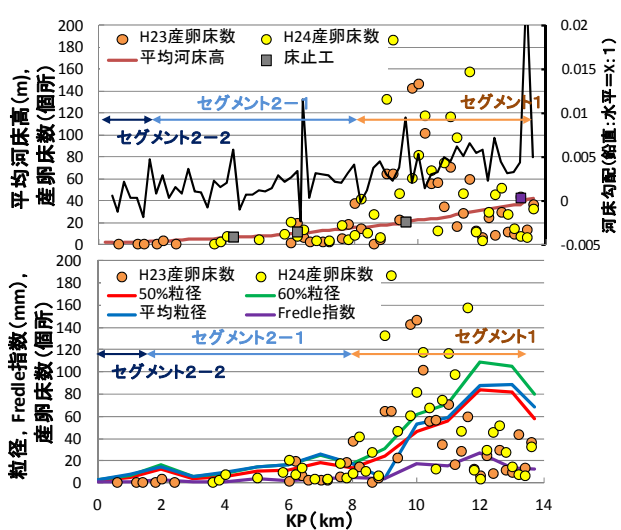


図-4 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (漁川)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

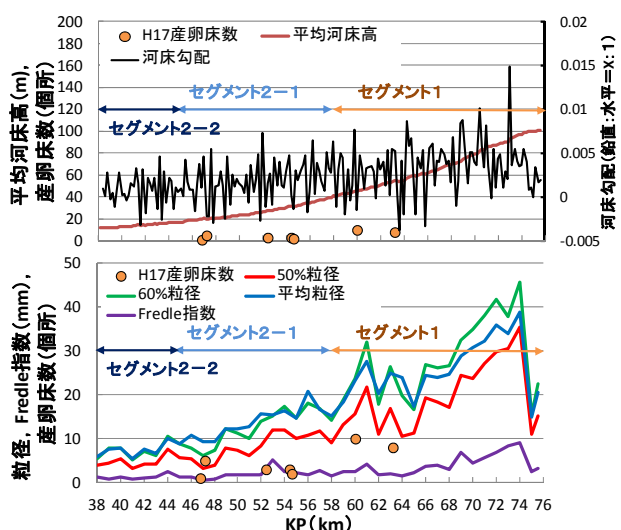


図-7 河床勾配、河床材料、産卵床の縦断分布 (釧路川)
 上図：平均河床高、河床勾配 下図：河床材料

断された（図-6）。

平成17年の産卵床は、セグメント1の区間であるKP6.0～8.0で確認された（図-6）。

e) 釧路川

河床勾配、河床材料からセグメント区分を検討した結果、セグメント1とセグメント2-1の境界がKP58.0付近、セグメント2-1とセグメント2-2の境界がKP44.0付近と判断された（図-7）。

平成17年の産卵床は、セグメント2-1であるKP46.0～48.0、KP52.0～56.0の区間、セグメント1であるKP58.0～64.0の区間で確認された（図-7）。

(2) セグメントによる産卵床の分布

各河川で、どのセグメントに産卵床が分布しているか、割合を把握した。その結果、釧路川以外の河川では、大部分の産卵床がセグメント1に分布していた（図-8）。

(3) 河床勾配、河床材料による産卵床の分布

各河川で、産卵床が河床勾配、50%粒径、Fredle指数がどのような値の個所に分布しているか把握するため、これらの値を一定の数値帯で区分し、確認される産卵床を集計した。検討では、数値帯に確認される産卵床数の全体割合についても各河川毎に算出した。

a) 河床勾配

河床勾配を0.002間隔の数値帯で区分した。その結果、各河川毎の産卵床確認割合から全体的な傾向を判断すると0.000～0.006の範囲に多くの産卵床が確認された（図-9）。釧路川については他の河川と傾向が異なり、0.004～0.000に位置する産卵床の割合が大き（図-9）。

b) 50%粒径

50%粒径を10mm間隔の数値帯で区分した。その結果、各河川毎の産卵床確認割合から全体的な傾向を判断すると、10～80mmの範囲に多くの産卵床が確認された（図-10）。河川別では、豊平川、漁川は20～80mmの範囲に多くが分布し、札内川、音更川、釧路川では10～20mmの範囲に多くが分布していた（図-10）。

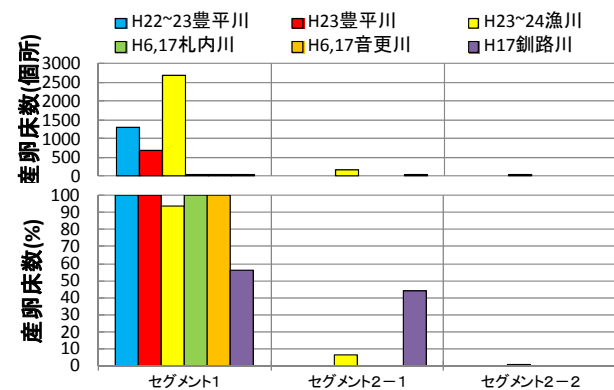


図-8 各河川の河床勾配による産卵床の分布

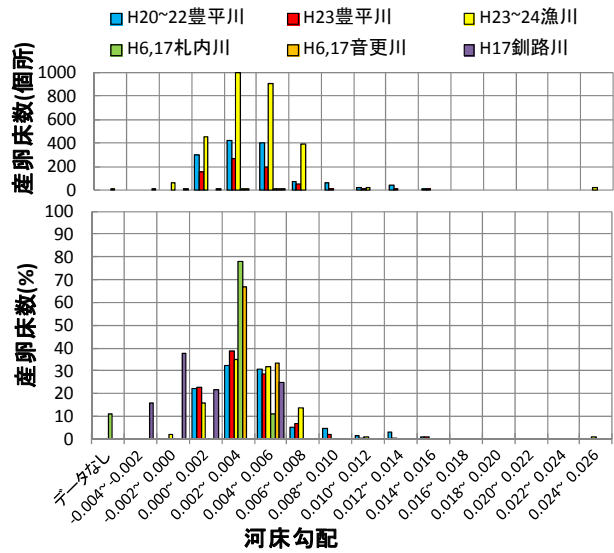


図-9 各河川の河床勾配による産卵床の分布

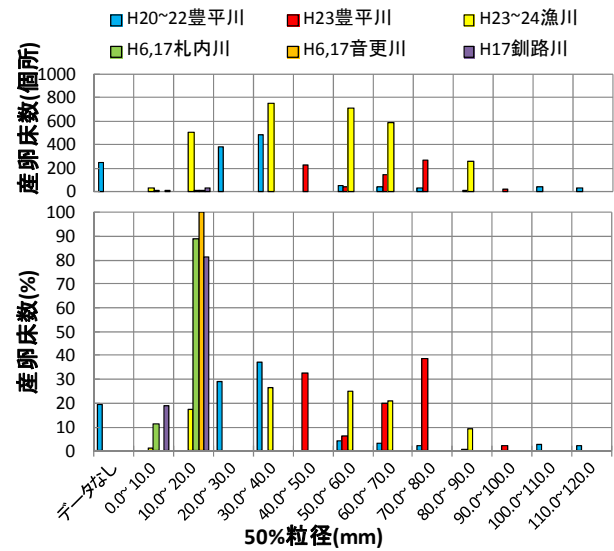


図-10 各河川の50%粒径による産卵床の分布

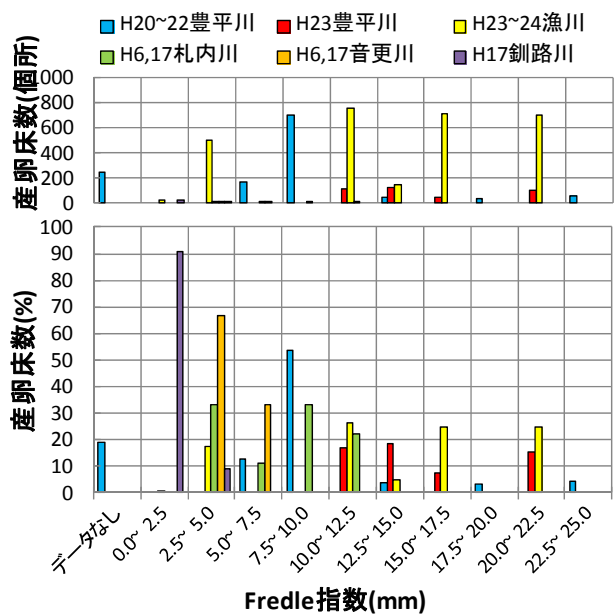


図-11 各河川のFredle指数による産卵床の分布

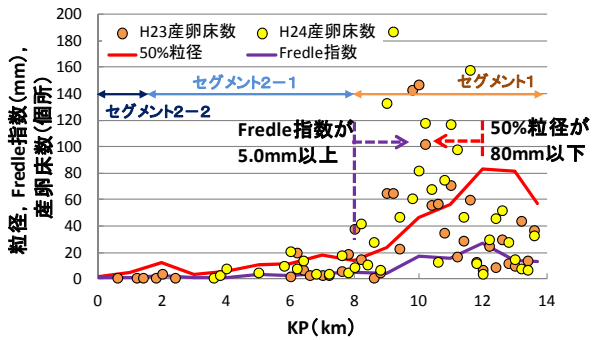


図-12 図-4下図（漁川の河床材料、産卵床分布）に追記

c) Fredle指数

Fredle指数は2.5mm間隔の数値帯で区分した。その結果、各河川毎の産卵床確認割合から全体的な傾向を判断すると、0.0~22.5mmの範囲に多くの産卵床が確認された（図-11）。河川別では、豊平川、漁川、札内川は7.5~22.5mmの範囲に多くが分布し、音更川は2.5~7.5mm、釧路川は0.0~2.5mmの範囲に多くが分布していた（図-11）。

4. 考察

(1) セグメント1と産卵適地

各河川の縦断区間をセグメント分けし、産卵床の分布を把握した。その結果、釧路川以外の河川では、ほとんどがセグメント1に分布していた（図-8）。シロザケの産卵場としては、浸透流が湧出傾向で²³⁾、湧水の水温が河川水よりも高い場所³⁴⁾であることが指摘されている。浸透流は、透水係数と動水勾配の積により算出され^{例えば、¹⁰⁾}、透水係数は、Terzaghiの式では有効径である10%粒径に比例する^{例えば、¹¹⁾}。そのため粒径が大きいセグメント1の区間⁹⁾では透水係数が大きく、砂州地形などによる水面勾配の変化と合わさり、河川水が伏流し湧出するなど、浸透流が発生しやすいことが考えられる¹²⁾。また、セグメント1は扇状地の地形区分とされているが⁹⁾、扇状地河川においては、扇状地上流部で河川水が伏流し、地下水として流下し、扇状地下流部のある地点で湧出することが指摘されている^{13,14)}。鈴木¹⁵⁾は、産卵の前期群（9~11月中旬）は、伏流した河川水が湧出する個所を、後期群（11月下旬~1月上旬）は地下水が湧出する個所を産卵場所として利用することを指摘している。これらのことから、セグメント1の扇状地では、伏流した河川水が湧出する個所を利用する前期群、地下水が湧出する個所を利用する後期群の産卵適地が混在していることが考えられる。

(2) 産卵環境に適した河床勾配、河床材料の数値帯

河床勾配、50%粒径、Fredle指数がどのような数値帯の個所に産卵床が位置しているか検討を行った。

その結果、河床勾配は、釧路川を除くと0.000~0.006の範囲に主に産卵床が分布していた。セグメント1に産卵床の多くが位置していたため、0.0025（1/400）以上の個所に分布していることに違和感はないが、釧路川以外で0.000~0.002の個所や、釧路川で-0.004~0.000の個所にも分布している。これらの個所は、中規模河床形態の形成などにより、縦断勾配が一部小さくなっている個所であることなどが考えられる。

50%粒径は10~80mmの範囲に主に産卵床が分布していた。Kondolf & Wolman⁹⁾は、様々なサケ科魚類が産卵床に利用している河床材料を50%粒径で評価し、体長の1/10倍程度までの50%粒径が利用可能であることを述べている。例えば豊平川におけるシロザケの3歳魚の体長は、平均660mm、範囲560~760mm程度であり¹⁶⁾、大きい個体でも使用できる50%粒径の最大値は76mmとなる。本調査においても、80mm以上の範囲に産卵床の分布が少なく、Kondolf & Wolman⁹⁾の知見と一致する。

Fredle指数は2.5~22.5mmの範囲に主に産卵床が分布していた。Fredle指数は、式(1)に示すとおり、平均粒径に比例し、ふるい分け係数に反比例する。そのため、同じ平均粒径でも、ふるい分け係数が大きくなると（Fredle指数が小さくなると）、粒度分布が広くなり、河床材料中の空隙が充填され透水性が低下する⁷⁾。鈴木¹⁵⁾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、生存実験を行ない、生存率が急激に低下する閾値として、Fredle指数が2.5~4.8mmであることを述べている。本調査においては、札内川、音更川、釧路川など一部Fredle指数が5.0mm以下の範囲にも産卵床が確認されるが、大部分は5.0mm以上に分布しており、鈴木¹⁵⁾の知見と一致する。

(3) 概略的なシロザケ産卵床の縦断分布推定手法の提案

前述までの検討により、シロザケの産卵床を河床材料から評価した場合、Fredle指数が5.0mm以上、50%粒径が80mm以下となる区間が、産卵適地となることが予想される。漁川の図-4の下図にFredle指数が5.0以上で、50%粒径が80mm以下である範囲を追記したものを図-12に示す。これより、概ね産卵床の分布範囲の大部分が網羅できていると考えられる。このことから、Fredle指数と50%粒径を把握することにより、概略的ではあるが、縦断的にシロザケの産卵適地を把握することが可能であると考えられる。ただし、図-12をみて分るとおり、全ての産卵床を網羅しているわけではない。この原因として、他の産卵環境に重要な要素である浸透流や水温、横断方向の粒径のバラツキが考慮されていないことが考えられる。

5. まとめ

石狩川水系豊平川、漁川、十勝川水系札内川、音更川、釧路川水系釧路川にて過去に実施されたシロザケ産卵床の縦断分布を、河床材料、河床勾配からセグメントスケールで検討した。その結果以下のことが明らかとなった。

- ①シロザケの産卵床は多くの河川でセグメント1に分布し、扇状地地形の特徴が産卵環境に適していることが考えられた。
- ②縦断的に実施された河床勾配、河床材料調査の結果から、大部分のシロザケの産卵床が分布する河床勾配の範囲は概ね0.000～0.006、50%粒径の範囲は概ね10～80mm、Fredle指数の範囲は概ね2.5～22.5mmであった。
- ③シロザケ産卵床の概略的な縦断分布推定手法として、本調査結果と既往研究の知見により、Fredle指数が5.0mm以上で、50%粒径が80mm以下を基準に判定する手法を提案した。

6. おわりに

本研究により、複数の河川において、産卵床の縦断分布を河床勾配、河床材料、これらから判定されるセグメントにより評価した。しかしながら、札内川、音更川、釧路川では確認された産卵床数が少なく、また、産卵床調査年と横断測量、河床材料調査年が異なることなど、使用したデータに課題が残る。今後データを充実させるとともに、対象とする河川を増やし、より良い研究成果となるよう尽力していきたい。

謝辞：資料の提供を戴いた、札幌市豊平川さけ科学館、札幌開発建設部、帯広開発建設部、釧路開発建設部に記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 水産総合研究センター北海道区水産研究所：さけます来遊速報（平成23年度）。URL <http://http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/H23salmon/h23salmon.htm>.
- 2) Butil S.E., Zimmerman C.E. & Finn J.E. : Characteristics of fall chum salmon spawning habitat on a mainstem river in Interior Alaska: U.S.

Geological Survey Open-File Report 2010-1164, 20 p, 2010.

- 3) Geist D.R., Hanrahan T.P., Amtzen E.V., McMichael G. A., Murray C.J. & Chien Yi-Ju. : Physicochemical characteristics of the hyporheic zone affect redd siteselection of chum and fall chinook salmon, Columbia River. Report to Bonneville Power Administration: Contract No. 00000652, Project No. 199900304, 26 electronic pages (BPA Report DOE/BP-00000652-5), 2001.
- 4) 鈴木俊哉：遊樂部川におけるサケの自然産卵環境調査，さけ・ます資源管理センターニュース，No.4，pp1-4，（独）水産総合研究センター，1999.9.
- 5) 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.
- 6) Kondolf M.G. & Wolman G.M. : The sizes of Salmonid Spawning Gravels. Water Resource Research vol.29 (7), pp2275-2285, 1993.1
- 7) Lotspeich B.F. and Evers H. Fred. : 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, 1981.
- 8) Yamada H. & Nakamura F. : Effects of fine sediment accumulation on the redd environment and the survival rate of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) embryos, Landscape and Ecological Engineering 5(2), pp169-181, 2009.
- 9) 山本晃一：構造沖積河川学-その構造と動態-, 山海道, 2004, 12
- 10) 佐野邦明・岩佐義朗：地下水理学，丸善株式会社，2002.
- 11) 水理公式集，社団法人土木学会，1999.
- 12) 矢野雅昭ら：砂州地形とシロサケの産卵環境について，寒地土木研究所月報，No.710，pp23-27, 2012.7.
- 13) 中尾欣四郎ほか：札内川の伏没・復水機構，北海道大学地球物理学研究報告，No.49，pp139-150，1987.3.
- 14) 阪田義隆，池田隆司：可搬式ADVを用いた同時流量観測による扇状地河川の流量変化と伏没量の定量化，水文・水資源学会誌，Vol.25，No.2，pp89-102，2012.3.
- 15) 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，pp3-5，（独）水産総合研究センター，2008.1.
- 16) 札幌市豊平川さけ科学館：サケ実物大模型 展示解説 URL <http://www.sapporo-park.or.jp/sake2/data/smleaf14.pdf>