

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

INFLUENCE OF THE DIFFERENCE IN RIVER CHANNEL GEOMORPHOLOGY ON SPAWNING HABITAT OF MASU SALMON (*ONCORHYNCHUS MASOU*) IN MOUNTAIN STREAMS

森田 茂雄¹・桑原 誠¹・山下 彰司¹・永山滋也²

Shigeo MORITA, Makoto KUWAHARA, Shoji YAMASHITA and Shigeya NAGAYAMA

¹正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所水環境保全チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)

²非会員 (独) 土木研究所 自然共生研究センター (〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

To clarify the relation between spawning habitat of masu salmon and the river channel geomorphology, the number of spawning-bed and the riverbed topography were investigated on areas of bar and non-bar morphology in the Shiribeshi-Toshibetsu River.

Riverbed undulations in bar morphology were significantly larger than those in non-bar morphology, and the spawning-beds were concentrated in bar morphology. In addition, the riverbed undulations worked effectively for the microhabitat that the masu salmon uses as a spawning-bed.

These results indicate that the bar morphology is important for spawning habitat of masu salmon.

Key Words : masu salmon, spawning habitat, river channel geomorphology, bar morphology

1. はじめに

近年、河川環境への関心の高まりから魚がすみやすい川づくりが進められている。このような状況で、平成17年には、「魚がのぼりやすい川づくりの手引き：国土交通省」が公表された。これによると、魚がすみやすい川づくりを進める上で、魚の生活史(例えば産卵期、生育期)においてどのような環境が必要なのかを把握することが重要であると示されている。

サクラマスは、積雪寒冷地域の北海道を代表する希少な魚種で、産卵のために河川流域に遡上し、ふ化後下流域に広く分散する生活史をもつ¹⁾。このため、河川流域における河川環境を考える際、サクラマスの生活史においてどのような環境が必要なのかを把握し、この環境を保全・創出することは重要である。特に、サクラマスの産卵環境に関する研究は、サクラマスの個体群を健全に保つために必要不可欠であり、産卵にとっての制限要因を検出し河川事業に応用していくことが望まれる²⁾。また、この場合においては可能な限り自然の特性やメカニズム(例えば、河川の自律作用によって形成される砂州地形など)を活用することが求められる³⁾。

河川生態学において、河床地形と底生生物や魚類との

関係は古くから調査されており、生物の生活史において、河床地形は大きな影響を及ぼすことが知られている⁴⁾。

このことより、サクラマスの生活史に関わる既往研究についても河床地形と関連し多くの研究が行われてきた。例えば、生育期に関しては、蛇行区と直線区を比較した場合、蛇行区においては縦横断的に地形が変化することにより魚の餌となる水生昆虫やサクラマスの生息量が増加することが知られている⁵⁾。一方、産卵期に関しては、粒径2mm通過質量百分率が20%以下の場所を、サクラマスが産卵場所として選択的に利用することや^{6) 7)}、視覚的に見た淵尻地形の部分に産卵床が多く分布することが知られている⁸⁾。また、このような地形は川幅程度で区分した河道区間長を用いることで把握できることが報告されている^{9) 10)}。しかしながら、河道内において、異なる河川地形に対応した河床の形状や河床材料がサクラマスの産卵床形成にどのような影響を与えるのかについては知見が不足している。

本研究においては、このような実情を踏まえ、良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法に関する知見を得ることを目的に、河川の自律作用によって形成される砂州地形を対象とし、異なる河川地形におけるサクラマスの産卵床形成について整理したうえで、産卵環境に影響を及ぼす地形的制限要因について検討した。さ

表-1 調査地点概要

調査河川	左股川				利別目名川			
調査区間累計延長 (m)	350				350			
調査区間の河床勾配	1/91				1/128			
河床の状態	浮き石状態				沈み石状態			
平均河床勾配 i_a	1/83		1/105		1/100		1/182	
砂州の区分	固定砂州	非砂州地形	交互砂州	非砂州地形	固定砂州	非砂州地形	交互砂州	非砂州地形
調査地点	H1	H3	H2	H4	T1	T3	T2	T4
調査区間 (起点からの距離:m)	287.5-362.5	200-275	462.5-562.5	362.5-462.5	200-287.5	287.5-362.5	362.5-450	450-550
調査地点延長	75	75	100	100	87.5	75	87.5	100
川幅 (m)	7	5	15	7	7	8	18	8

らに、上記の検討結果を踏まえ、良好な産卵環境を保全創出するための河川整備手法について考察を加えた。

2. 研究手法

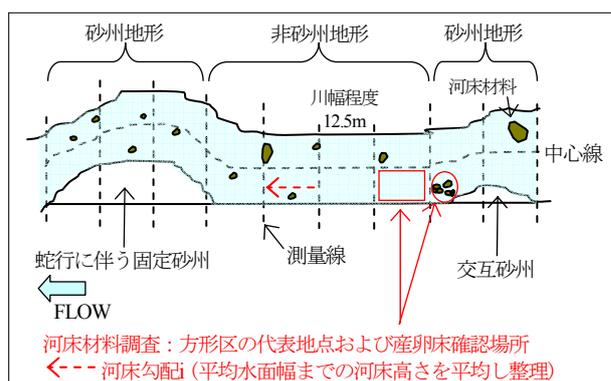
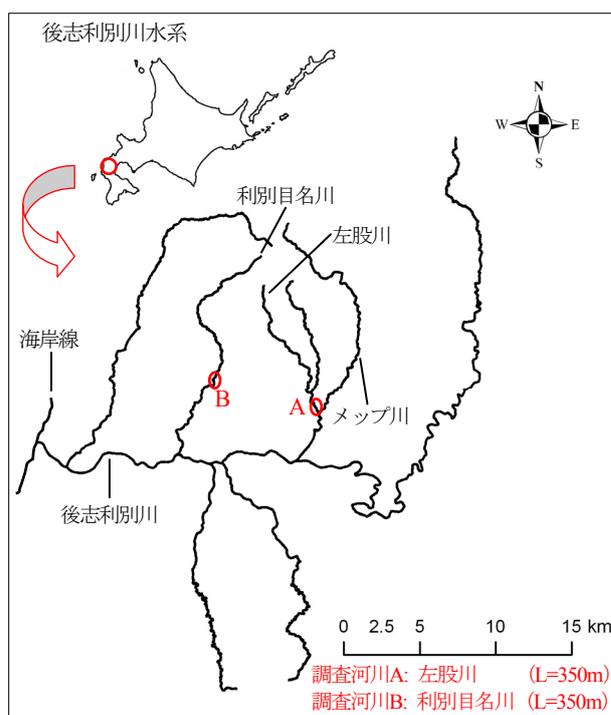
(1) 調査河川

本研究の目的は良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法に関する知見を得ることである。そこで、河川整備とサクラマス産卵床が重複しやすい溪流河川の下流域を調査対象とした。

調査は、道南の後志利別川水系の2つの支川で行った(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上流200mを起点とし、区間延長350m、河床勾配1/91であり、河床の状態は浮き石の出現頻度が高い(表-1)。利別目名川は、後志利別川水系の1次支川であり、後志利別川との合流点より上流約7kmに頭首工が建設されているが魚道が整備されているためサクラマスの遡上は毎年確認されている。調査区間は、この頭首工の上流200mを起点とし、区間延長350m、河床勾配1/128であり、河床の状態は沈み石の出現頻度が高い(表-1)。

(2) 調査手法

良好なサクラマスの産卵環境を保全・創出するにあたっては、河川における空間スケールの区分が重要となる。河川の生物生息場を把握する調査技術としては、瀬や淵などの流路単位スケールおよび流路単位スケールが複数含まれるリーチスケールにおいて物理環境を調査する手法が試みられている^{11) 12)}。また、急流の礫河川における瀬淵構造などの地形的特長は川幅程度の縦断間隔データを用いることで概ね区分できることが知られている^{13) 14)}。本研究では、急流の礫河川において瀬や淵などの流路単位スケールを川幅程度、流路単位スケールが複数含まれるリーチスケールを砂州地形および非砂州地形と捉えて調査する(図-2, 写真-1)。



調査区間において、横断測量を川幅程度の12.5m毎に実施した。さらに、調査区間に中心線を設定し、横断測量線を左右岸均等に区分し方形区を設定した。また、12.5m毎の横断測量線と中心線によって区分された方形区の代表1地点および産卵床確認地点において河床材料調査を実施した(図-2)。サクラマスの産卵床の深さは最大で約15cm程度であり、これを構成する河床材料は大部分が粒径75mm以下である^{6) 7)}。また、粒径2mm以下

の河床材料の割合が低いことが産卵にとって重要である^{6) 7)}。このことより、河床材料の採取は目合い345 μm 、口径25cm \times 25cmのサーバーサンプラーを用い、深さ15cmまでで実施し、採取に際しては粒径75mm以上のものは除外した。

現地測量および河床材料採取は、サクラマス産卵後にあたる2008年10月2日～10月30日に実施した。また、産卵床調査は、サクラマス産卵時期にあたる2008年9月24日～25日に実施した。

(3) 研究手順

はじめに、河川地形の変化がサクラマスの産卵環境に与える影響を把握するにあたり、砂州地形と非砂州地形を抽出し、それぞれの地形において河床勾配と産卵床の関係を整理する(図-3)。

次に、上記の結果において産卵床が集中した砂州地形を対象とし、産卵床とその周辺の河床材料について整理する(図-3)。

以上の結果を踏まえ、地形の違いに対する産卵床の応答や産卵床形成に関する地形的制限要因について検討し、良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法について考察する。

(4) 分析手法

サクラマスが産卵場所として選択的に利用する場所の河床勾配は、その周辺の河床勾配と対比することにより概ね把握でき、その場所は平均河床勾配より緩い場所であることが知られている¹⁰⁾。このため、12.5m毎の各方形区における河床勾配を算出し、各調査河川における平均河床勾配 i_a (表-1参照)と対比した相対河床勾配 i_{i_a} を用い、確認された産卵床を砂州地形と非砂州地形に区分して分析した。なお、各方形区における河床勾配については、調査区間の平均水面幅を各測量線(図-2)から求め、方形区の上流の測量線における平均水面幅までの河床高さを左右岸ごとに平均し整理することにより算出した(図-2)。

分析は、サクラマスが選択的にその環境を利用し産卵しているかどうかを調べるためManlyの選択性指数を用いた。この指数は、生息場所の頻度分布や動物の餌資源に対する選択性などの分析に一般的に用いられ、利用可能な環境の頻度の割合に対して実際に利用した環境の比率からその環境に対する選択性を算出するものであり(1)式で示される。

$$\alpha_n = (S_n / R_n) / \sum_{n=1}^m (S_n / R_n) \quad n=1, 2 \dots m \quad (1)$$

ここで、 α_n は階級n(ここでは i_{i_a})に対する選択性指数、 R_n は階級nに属する産卵床数が全ての地点で確認された産卵床数に占める割合、 S_n は階級nに属する調査箇所数が全調査箇所数に占める割合、mは産卵床が確認さ



写真-1 調査地点の様子
固定砂州が形成されている調査地点 (H1地点)

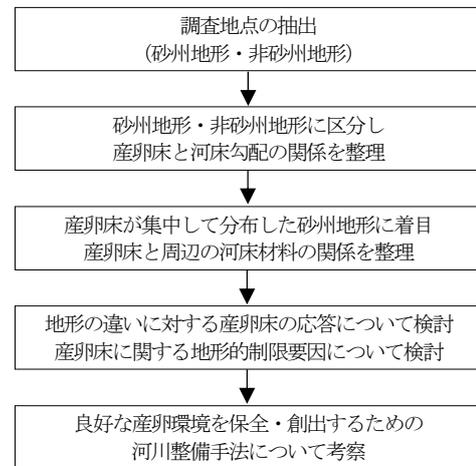


図-3 研究手順



写真-2 確認された産卵床の様子
(周辺でサクラマス親魚も確認)

れた階級数(ここでは $m=4$, 図-4参照)を示している。一般的に、 $\alpha > 1/m$ のとき選択性があり、 $\alpha < 1/m$ のとき回避性があると判断される。

次に、産卵床地点の河床材料は、礫分(礫径2.0mm以上)の占める割合が高いことで知られることから^{6) 7)}、上記の分析においてサクラマスの産卵床が集中して分布した砂州地形を対象に、礫分の質量百分率を算出しこれ

を用いて産卵床との関係について分析した。

3. 調査結果

(1) 河床勾配とサクラマスの産卵床との関係

産卵床調査の結果、左股川および利別目名川でそれぞれ7床と6床の産卵床が確認された（写真-2）。

全体の産卵床を砂州地形と非砂州地形に区分し i/i_a で整理した。砂州地形において確認された産卵床（12床）のうち、 $i/i_a < 1.0$ の階級に産卵床の約83%（10床）が集中した（図-4）。選択性指数で整理すると、 $i/i_a < 1.0$ の階級で選択性が示された（図-5）。一方、非砂州地形においては、確認された産卵床数も少なく全ての階級において選択性は示されなかった。

次に、砂州地形と非砂州地形における i/i_a の分布状況について整理した。砂州地形と非砂州地形の i/i_a の分布状況は大きく異なり、砂州地形における i/i_a の分布範囲は、非砂州地形より広範囲であった（図-6）。この結果は砂州地形が非砂州地形に比べ河床の凹凸が大きいことを示している。

(2) 河床材料とサクラマスの産卵床との関係

本節では、産卵床が集中的に分布した砂州地形に着目し、産卵床が確認された方形区（図-2参照）において、産卵床地点の河床材料組成と産卵床確認方形区における河床材料組成について比較した。

砂州地形で確認された産卵床（12床）における産卵床地点の礫分の質量百分率の値は、産卵床確認方形区における礫分の質量百分率の値に比べ有意に大きく（Mann-Whitney U-test, $p < 0.05$; 図-7）、既往の研究¹⁰⁾と同様の結果が確認された。

次に、産卵床確認方形区の i/i_a と産卵床が確認された方形区の下流方形区の i/i_a について検討した。産卵床が確認された方形区の大部分は $i/i_a < 1.0$ であった。一方、その下

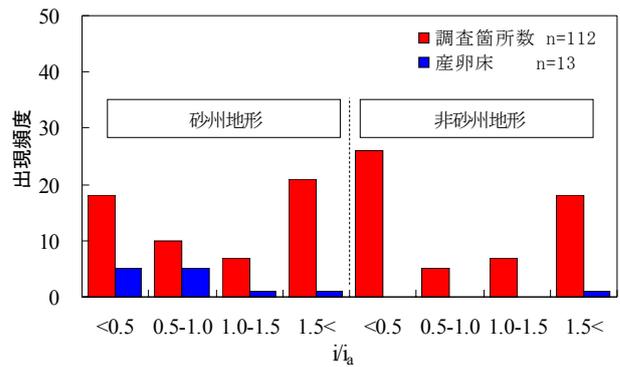


図-4 階級別産卵床出現頻度

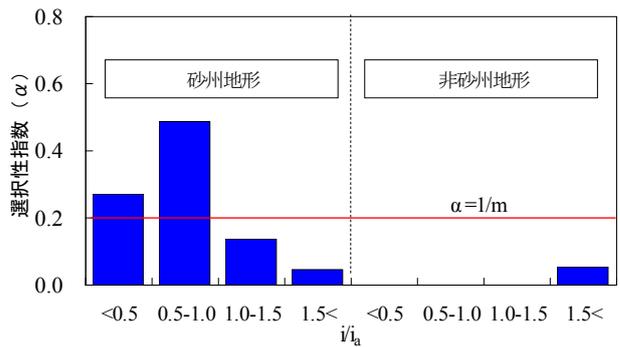


図-5 産卵床の選択性指数

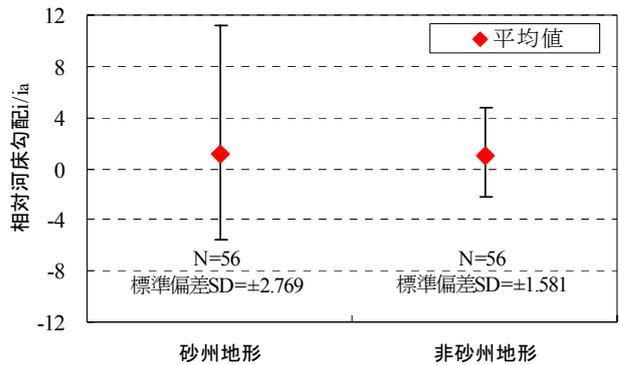


図-6 砂州地形および非砂州地形における i/i_a 散布図

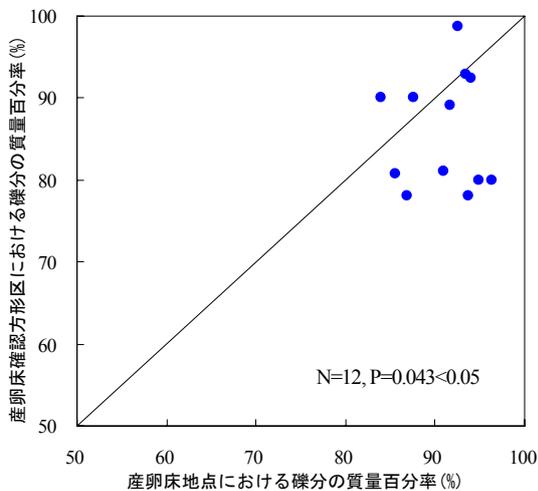


図-7 産卵床地点と産卵床確認方形区における河床材料組成

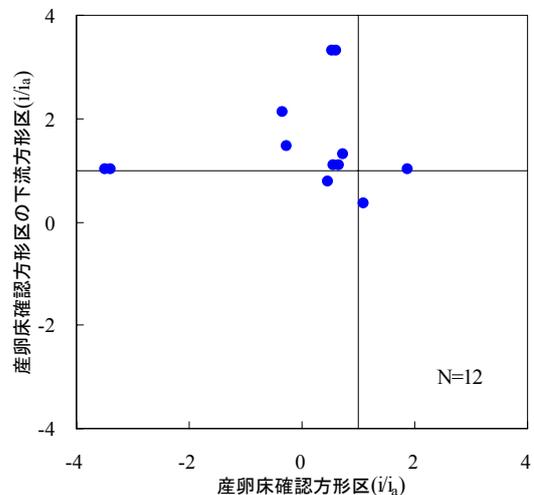


図-8 産卵床確認方形区とその下流方形区の i/i_a

流の方形区については大部分が $i/a > 1.0$ であった (図-8) .

4. 考察

(1) 河床勾配とサクラマスの産卵床との関係

産卵床を砂州地形と非砂州地形に区分し i/a で整理した結果、産卵床の大部分は砂州地形に集中し、砂州地形の $i/a < 1.0$ の階級において選択性が示された。一方、非砂州地形においては、確認された産卵床数は少なく全ての階級において選択性は示されなかった (図-5) .

$i/a < 1.0$ の場合、その方形区の河床勾配は平均河床勾配よりも緩く、こうした場所に産卵床が多く分布する^{9) 10)} . また、産卵床は淵尻地形に多く見られ、淵地形の代表的なタイプとしては①砂州型、②蛇行型、③岩型、④基底変化型がある¹⁵⁾ . この内、①砂州型、②蛇行型については交互砂州や固定砂州が形成され¹⁶⁾、この砂州地形により河床の凹凸も形成される。本研究の調査地点 (砂州地形) においてもこのような状況が見うけられ、この砂州地形は非砂州地形に比べ河床の凹凸が大きいことが確認された (図-6) . このことより、砂州地形が形成されると、その河床地形は起伏に富み、これに伴い形成される局所的に緩勾配のエリア (ここでは $i/a < 1.0$) に産卵床が集中して分布したものと考えられる。また、非砂州地形については砂州地形に比べ河床の凹凸が少なく (図-6) , それがサクラマスの産卵にとって制限要因になっていると考えられる。

(2) 河床材料とサクラマスの産卵床との関係

砂州地形で確認された産卵床地点の礫分の質量百分率の値は、産卵床確認方形区の代表地点における礫分の質量百分率の値に比べ有意に大きかった (図-7) . また、産卵床が確認された方形区の大部分は $i/a < 1.0$ であり、その下流の方形区については大部分が $i/a > 1.0$ であった (図-8) . 淵地形を淵頭 (上流側) と淵尻 (下流側) に区分した場合、淵頭は河床勾配が相対的に急で洪水時や平水時に上流部から砂分が供給されるのに対し¹⁵⁾、淵尻は河床勾配が相対的に緩やかで下流部に河床勾配が相対的に急な瀬が隣接するため⁴⁾、淵尻では洪水時や平水時に下流の瀬に砂分が流出すると考えられる。本研究の調査地点 (砂州地形) における産卵床が確認された方形区周辺においてもこのような河床勾配の状況が確認された (図-8) .

サクラマスの産卵床は微環境 (例えば数m程度の範囲) の物理量に影響を受け¹⁰⁾、河床材料の粒径2mm通過質量百分率が20%以下の場所を、産卵場所として選択的に利用する^{6) 7)} . また、本研究ではこのような微環境の河床材料組成は、砂州地形によって形成される河床勾配 (ここでは i/a) の変化等、より大きなスケールの環境に影響を受けていることが示唆され、これに伴い砂州地

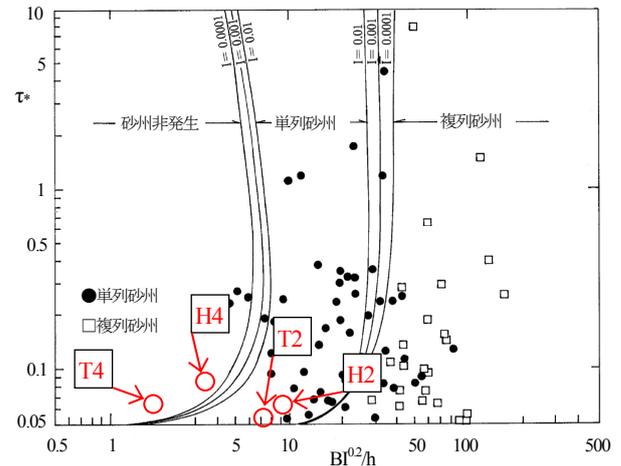


図-9 調査区間の河床形態区分 (文献18に加筆)



写真-3 河床形態の状態 (単列砂州の河床形態, H2地点)

形における産卵床地点の礫分の質量百分率の値は、産卵床確認方形区の代表地点における礫分の質量百分率の値に比べ有意に大きくなったと考えられる。

5. 良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法に向けて

現地調査の結果から、砂州地形を創出することにより河床地形は起伏に富み、これがサクラマスの産卵場所の微環境に影響を及ぼすことで産卵環境が大きく改善される可能性が示された。本章では、これらの知見を河川整備に反映させるべく調査地点で形成されていた交互砂州地形 (H2, T2; 表-1参照) と対照用としての非砂州地形 (H4, T4; 表-1参照) において、川幅、水深、河床材料粒径等の物理量から調査地点の地形を交互砂州の形成領域区分^{17) 18)} に示して比較した。

その結果、調査地点のH4, T4は砂州非発生領域に区分された (図-9) . 一方、調査地点のH2, T2は単列砂州領域に区分された (図-9, 写真-3) .

なお、各調査地点 (H2, T2, H4, T4) の無次元掃流力 τ^* は(2)式で示される。

$$\tau^* = \frac{hI}{sd} \quad (2)$$

ここで、 d は河床材料の代表粒径（60%粒径）、 h は出水時の断面平均水深（ここでは、調査地点上流に設置した水位計が2009年5月に記録した過去2カ年の最高水位時の痕跡や周辺地形より推定した水位より算出）、 I は調査地点の平均河床勾配（表-1参照）、 s は河床材料の水比重1.65である。

以上の結果より、河川の蛇行を保全することや川幅を広く確保し、河川整備箇所を交互砂州の形成領域区分図において砂州領域とする手法は、サクラマスの産卵環境を保全・創出する上で有効であると考えられる。

6. 結論

本研究では、良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法に関する知見を得ることを目的とし、異なる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について検討した。

本研究の特徴は、河川の自律作用によって形成される砂州地形に着目し産卵環境を評価したこと。良好な産卵環境を保全・創出するための河川整備手法について考察を加えたことである。

本研究で得られた新たな知見を以下に示す。

- (1) 産卵床を砂州地形と非砂州地形に区分し i_a で整理した結果、産卵床の大部分は砂州地形に集中し、特に砂州地形の $i_a < 1.0$ の階級に対する選択性があることが明らかとなった。一方、非砂州地形においては、確認された産卵床数は少なく全ての階級において選択性は示されなかった。また、非砂州地形は砂州地形に比べ河床の凹凸が少なく、このことがサクラマスの産卵に対して制限要因の一つになっていることが示唆された。
- (2) 産卵床が確認された方形区の大部分は $i_a < 1.0$ 、その下流の方形区については大部分が $i_a > 1.0$ であり、産卵床が確認された微生物場所の河床材料組成は、砂州地形によって形成される河床勾配（ここでは i_a ）の変化等、より大きなスケールの環境に影響を受けていることが示唆された。
- (3) 砂州区分が交互砂州である調査地点（H2, T2）は、交互砂州の形成領域区分図において単列砂州領域に区分された。一方、砂州区分が非砂州地形である調査地点（H4, T4）は、交互砂州の形成領域区分図において砂州非発生領域に区分された。

以上のことより、河川の自律作用によって形成される砂州地形に着目し、河川の蛇行を保全することや川幅を広く確保し、河川整備箇所を交互砂州の形成領域区分図において砂州領域とする手法は、河床の凹凸を発達させ、これがサクラマスの産卵場所の微環境に影響を及ぼし、産卵環境を保全・創出する上で有効であると考えられる。それゆえ、本研究はサクラマスの産卵環境を考慮した河川

整備事業を推し進める上で、有効な知見を提供するものと考えられる。

参考文献

- 1) 真山 紘：サクラマスの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) 中村太士：河川・湿原における自然復元の考え方と調査・研究論、応用生態工学5(2)、pp.217-232、2003
- 3) 多自然型川づくりレビュー委員会：多自然川づくりへの展開、10p.、2006
- 4) 水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学補訂・新装版、247p.、築地書館、1993
- 5) 釧路開発建設部標津川技術検討委員会事務局：第6回標津川技術検討委員会資料、14p.、2003
- 6) 卜部浩一、村上泰啓、中津川誠：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No613、pp.32-44、2004
- 7) 矢部浩規、卜部浩一、村上泰啓：サクラマスの産卵環境特性の評価に関する研究、北海道開発局技術研究発表会発表論文集、48、CD-ROM環-43、2005
- 8) 杉若圭一、竹内勝巳、鈴木研一、永田光博、宮本真人、川村洋司：厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造、北海道水産孵化場研報53、pp.11-28、1999
- 9) 森田茂雄、桑原誠、山下彰司：河床地形とサクラマスの産卵環境に関する研究、年次技術研究発表会論文報告集、65、CD-ROMb-16、2009
- 10) 森田茂雄、桑原誠、山下彰司、永山滋也：河川渓流域におけるサクラマスの産卵場所に関する研究、河川技術論文集、Vol.15、pp.85-90、2009
- 11) 河川生態学術研究会：川の自然環境の解明に向けて、14p.、(財)リバーフロント整備センター、1997
- 12) 島谷幸宏：自然環境に関する技術、河川2004-1、pp.72-74、2004
- 13) 野上毅、渡辺康玄、長谷川和義：急流河川における生息場としての河床地形区分、水工学論文集、第46巻、pp.1127-1132、2002
- 14) 野上毅、渡辺康玄：急流河川におけるハビタットの定量区分、北海道開発局技術研究発表会発表概要集第46回、pp.59-66、2003
- 15) 知花武佳：瀬一淵の地形とその低質構造、水工学に関する夏期研修会講義集(A)、第44回、pp.3.1-3.23、2008
- 16) 渡辺康玄：中規模河床形態の特徴と河川地形、水工学に関する夏期研修会講義集(A)、第44回、pp.2.1-2.17、2008
- 17) 山口甲、黒木幹男：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、第18回自然災害科学総合シンポジウム講演要旨集、pp.185-66、1999
- 18) 財団法人北海道河川防災研究センター：河道設計論（案）、221p.、1981

(2009. 9. 30受付)