

サクラマスが生息密度と産卵床数に基づいた 魚道整備による流域連続性の改善効果評価

WATERSHED CONTINUITY IMPROVEMENT BY FISHWAY DEVELOPMENT USING FISH HABITAT DENSITY AND NUMBER OF SPAWNING BEDS

柳屋圭吾¹・渡邊和好¹・林田寿文²・矢部浩規³

Keigo YANAGIYA, Kazuyoshi WATANABE, Kazufumi HAYASHIDA and Hiroki YABE

¹正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

²正会員 博士(環境科学) (独) 土木研究所寒地土木研究所 (同上)

³正会員 博士(工) (独) 土木研究所寒地土木研究所 (同上)

Analysis was conducted using data from previous monitoring surveys on fry habitat density and number of spawning beds in the Teshio River basin. The analysis clearly showed that installing and improving fishways in the main stream are effective at increasing the density of fry habitats. It was also clear that installing and improving fishways in the tributaries are effective at increasing the density of fry habitats and the number of spawning beds.

The installation and improvement of fishway in the main stream increased the number of adult masu salmon swimming upstream, helping adult masu salmon to swim upstream where they used to be blocked from going upstream and were forced to spawn at the middle reach-II. The installation and improvement of fishways in the tributaries did not shift the spawning bed and fry habitat areas from the downstream side to the upstream side of the fishway, but it did expand the entire areas.

Key Words: Watershed continuity, fry habitat density, number of spawning beds

1. はじめに

河川を遡上・降下する魚類にとって、河口から上流の産卵場までの移動の連続性を確保することは種の保存の上からも重要である¹⁾。そのため、連続性を断絶する恐れのある河川横断施設が新規に建設される際には、魚道が設置されるようになったが、一方で既存施設には魚道が設置されていないものも多数存在する。また、平成初期より魚ののぼりやすい川づくり²⁾が全国で行われているが、遡上障害となっている河川横断工作物に対して魚道を新設または既設魚道の改良(改築)を行うのみで、河川流域全体を対象とした連続性確保に向けた取り組みはほとんど行われていないのが現状であった。さらに、個々の魚道における遡上・降下機能に関する調査及び研究^{3) 4)}が数多く行われているが、魚道新設または改良がどのように流域全体における魚類の移動の連続性を改善したのかという、効果及びその評価に関する研究は少ない。

サクラマス (*Oncorhynchus masou*) は、北海道から北

陸にかけて広く生息している。サクラマス幼魚はふ化後1年半程度河川内で生息し、春にスモルト化し海へ降下し、その翌年の春に親魚として河川を遡上し、秋に上流で産卵する⁵⁾。サクラマスは約3年の生存期間のうち、上流域で産卵し降下するまでの約2年間に河川内で生息することから、河口から上流域までの移動性が確保されていることが必要な魚類である⁵⁾。そのため、河川横断工作物により移動が阻害されると遡上や降下が妨げられ、個体群や生息数に大きなダメージを受ける。

サクラマスが数多く生息する天塩川水系には、河川延長が3.5km以上の支川が415河川あり、それら河川には、1,247箇所の横断工作物が存在し、その内、魚類などの遡上の障害となる施設が417箇所存在する。また、天塩川の支川415河川の総延長は3,126kmであり、「遡上困難な施設より上流」の河川延長は1,004km(平成19年度末)に達し、支川の約1/3では横断工作物が魚類の生息に影響を及ぼしていると考えられた。そこで、流域内の関係機関が連携し、各機関が管理する施設において魚道の設置や施設改善(以後、魚道整備)を実施している⁶⁾。

本研究では、サクラマスを対象に、平成18~24年の複

数年にわたり天塩川流域（本川・支川）で実施された幼魚生息密度及び産卵床数の現地調査結果から、魚道整備による流域全体の連続性改善効果を評価することとした。ここで、サクラマス幼魚とは、ヤマメを対象とする。

2. 魚類移動連続性確保取り組み概要

天塩川は、流路延長256km(全国4位)、流域面積5,590 km² (全国10位) の一級河川であり(図-1)、サケマス類の再生産河川となっている。平成18年には、国、北海道の機関が連携して魚類などの移動の連続性確保に向けた効果的な対策を推進することを目的に「天塩川流域における魚類等の移動の連続性確保に向けた関係機関連携会議」(以下、関係機関連携会議)が開催された。平成24年度11月時点で12機関が参加している⁶⁾。

天塩川流域における魚類遡上環境改善計画を図-2に示す。横断施設がなく遡上可能な河川延長、横断施設があるが遡上可能な河川延長、遡上困難な施設より上流の河川延長について、平成20年を基準として、平成24年度末までの取り組みと将来の状況を示している。平成20～24年度末までの5年間に遡上困難施設の整備・改善により122kmが遡上可能となったほか、より遡上しやすい施設への整備・改善(魚道下流の落差を小さくするなど魚類などが遡上しやすいよう既設魚道の改善を行うこと)により38kmが遡上しやすい状況となっている(表-1)。将来は、それぞれ591km、147kmまで改善することを目指している。魚道整備を行う施設は、遡上が可能となる河川延長が大きく、施設の遡上環境が魚類の生息環境に適している、自然環境が残されているなどを総合的に判断し設定されている⁶⁾。

3. 調査方法

天塩川流域では北海道開発局が、サクラマスの幼魚生息密度および産卵床に関するモニタリング調査を実施している。本研究では平成18～24年までの調査データを貸与してもらい、解析することとした。なお、幼魚生息密度調査地点は産卵床調査地点の近傍である。

(1) サクラマス幼魚生息密度調査

平成18年から毎年6月にサクラマス幼魚生息密度調査が実施されている。魚道設置に伴い調査河川数は増加傾向にあり、平成24年度は59河川192箇所で開催されている。

調査方法としては、各調査箇所に任意の『瀬1+淵1』を最小単位とした採捕区間(20～2,735m²)を設定し、そこに生息するサクラマス幼魚を投網と電気ショッカーにタモ網を併用し、採捕している。採捕区間は、その河川の代表的と思われる区間を現地状況から判断し、そ

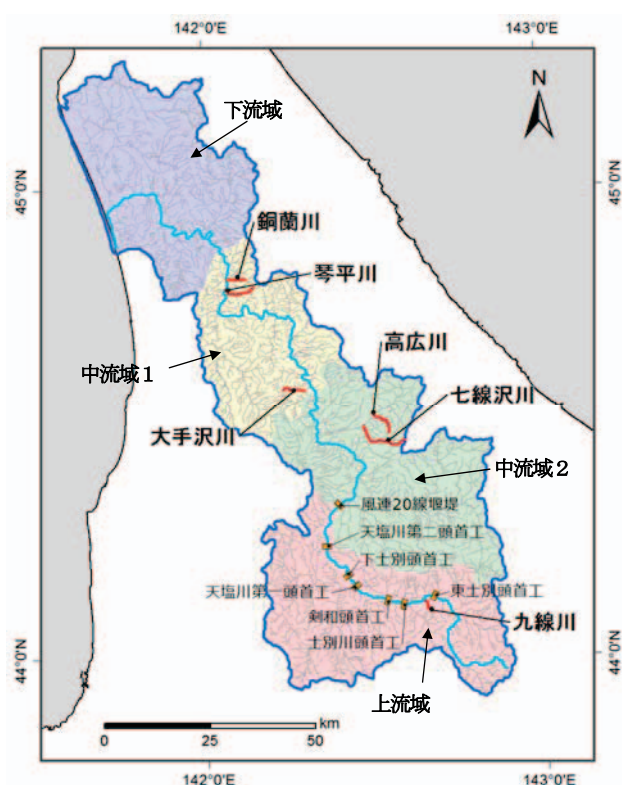


図-1 天塩川流域区分及び調査河川

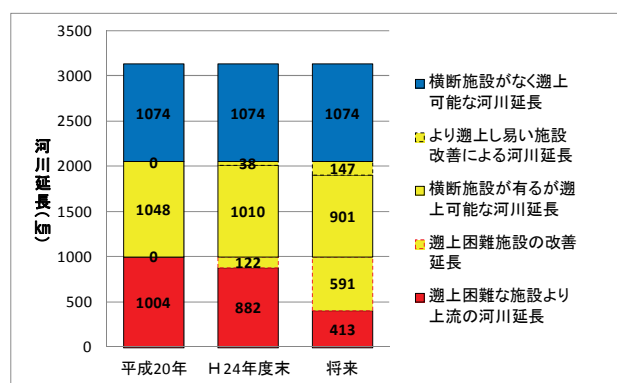


図-2 天塩川流域における魚類遡上環境改善計画

れぞれ設定している。採捕終了後に、採捕区間の水面幅を測定し、水面積の総和で採捕数を除し生息密度としている。

生息密度=採捕数(尾)÷採捕水面積(m²)

(2) サクラマス産卵床調査

平成18年から毎年9月にサクラマス産卵床調査が実施されている。平成21年からは、魚道整備を実施した河川を中心に調査が行われている。平成24年度は28河川で実施され、大部分の26河川で産卵床が確認されている。調査方法としては、地上部からの目視を基本とし必要に応じて箱メガネを用いて産卵床を確認している。

(3) とりまとめ方法

魚道を設置する前後で、サクラマス幼魚の生息密度および産卵床数にどのような変化があったかを把握した。天塩川流域を、面積がほぼ等しくなるように、下流域

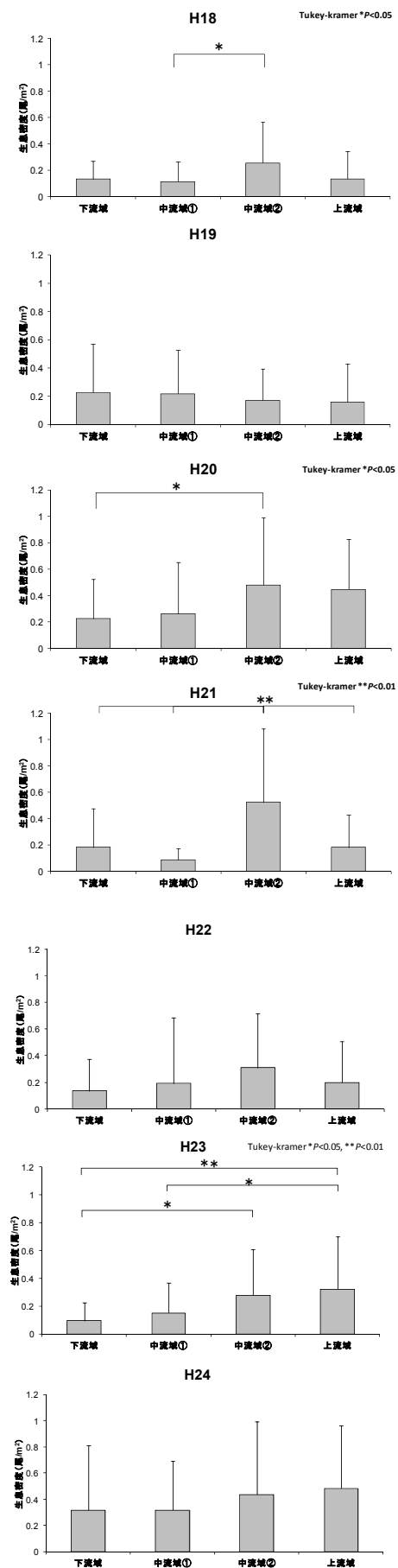


図-3 流域別生息密度

(天塩・幌延)，中流域1(中川・音威子府)，中流域2(美深から風連20線堰堤)，上流域(風連20線堰堤上流)(図-1)の4分割した流域単位で評価を行うこととした。生息密度データの取りまとめ方法としては、各流域における調査年度毎の平均値及び標準偏差を算出した。

天塩川本川上流域に設置されている7箇所の頭首工(図-1)は平成18～22年に魚道整備が実施された。そこで、平成18～22年度(以下、整備中)及び平成23～24年度(以下、整備後)の2期に分けて、流域別生息密度の平均値の比較を行った。

天塩川流域の支川では、魚道整備を表-1に示す15河川で行っており、魚道を設置した施設は床固工、砂防堰堤など多岐に渡っている。15河川での整備内容は、魚道の新設が17施設、遡上しやすい施設へ改善が10施設である。その結果、魚類が遡上可能または遡上し易くなった河川延長は159.7kmに拡大した。各流域での魚道整備状況を見ると、中流域1が6河川、効果延長計が22.7km(全体の14.2%)、中流域2が7河川、効果延長135.4km(同84.8%)、上流域が2河川、効果延長1.6km(同1.0%)となっている。下流域で魚道改良は行っていない。

これらのデータを比較するため、一元配置もしくは二元配置の分散分析(ANOVA)を用いた。ANOVAで有意だった場合、Tukey-Kramer法による多重比較検定を行った。有意水準は、 $P<0.05$, 0.01 を基準として、統計的に有意とした。

4. 調査結果

(1) 天塩川本川における魚道整備がサクラマス幼魚生息密度に与えた影響

各年度における流域別のサクラマス幼魚の生息密度を図-3に示す。

平成18年度の生息密度は、中流域2>上流域>下流域>中流域1の順であった。中流域1と中流域2の間に有意な差を示していた($P<0.05$)。

平成19年度の生息密度は、下流域>中流域1>中流域2>上流域の順であった。各流域間に有意な差は無かった($P>0.05$)。なお、下流域の生息密度が最も高くなってしたのは、平成19年度のみであった。

平成20年度の生息密度は、中流域2>上流域>中流域2>下流域の順であった。中流域2、上流域が高い値を示し、下流域、中流域1はこれらの半分程度値となっている。下流域と中流域2は有意な差を示していた($P<0.05$)。

平成21年度の生息密度は、中流域2>上流域>下流域>中流域1の順であった。中流域2の生息密度は他の流域の4～5倍となっており、中流域2と他の流域は極めて有意な差があった($P<0.01$)。

平成22年度の生息密度は、中流域2>上流域>中流域1

＞下流域の順であった。流域間で有意な差は無い ($P>0.05$)。

平成23年の生息密度は、上流域＞中流域2＞中流域1＞下流域の順であった。上流域の生息密度が最も高くなったのは、平成23年が初めてである。上流域は下流域と極めて有意な差 ($P<0.01$) があり、中流域1と有意な差があった ($P<0.05$)。下流域は中流域2と有意な差があった ($P<0.05$)。

平成24年の生息密度は、上流域＞中流域2＞中流域1＞下流域の順となっている。各流域で有意な差は無い。

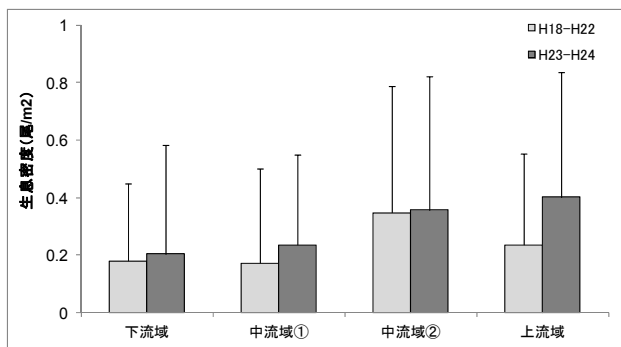


図-4 魚道整備中と整備後における流域別生息密度の違い

整備中（平成18～22年度）及び整備後（平成23～24年度）の流域別平均生息密度の平均値を図-4に示す。整備中は中流域2の生息密度が他流域より高く、整備後は上流に向かって生息密度が高くなっており、下流域と中流域1、中流域2と上流域はそれぞれ同程度の値を示していた。上流に向かうほど生息密度が上昇する傾向は整備中、整備後ともみられ、整備後の方が整備中よりも全流域において、有意に生息密度が高かった。 ($P<0.05$)

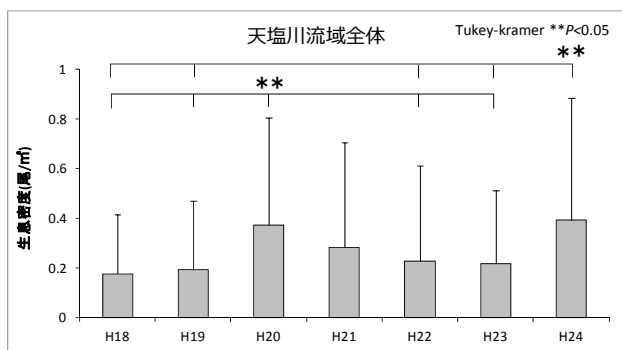


図-5 年度別幼魚生息密度

天塩川流域全体の調査年度別の平均生息密度を図-5に示す。生息密度は0.18から0.39と年度毎に異なった値を示しており、平成24年度＞平成20年度＞平成21年度＞平成22年度＞平成23年度＞平成19年度＞平成18年度の順となっており、平成24年度の密度は平成18年度の2倍以上となっている。平成20年度は平成18、19、22、23年度と極めて有意な差を示しており ($P<0.01$)、平成24年度は平成18、19、22、23年度と極めて有意な差を示してい

表-1 魚道整備を行った河川及び施設一覧

番号	河川名	流域区分	魚道完成年	魚道整備効果延長(km)	構造物の改良内容	改善施設名称
1	銅蘭川	中流1	H20.2	0.8	A	第一号床固工
			H22.3	2.5	A	砂防堰堤
			H24.3	0.1	B	第四号床固工
2	トヨマナイ川	中流1	H24.3	0.1	B	第三号床固工
			H25.3	0.1	B	護床工
			H25.3	0.1	B	第二号床固工
			H21.3	0.4	A	第一号床固工
			H20	5.7	B	落差工
3	琴平川	中流1	H21.12	0.8	A	治山えん提
			H22.11	0.4	A	治山えん提
			H24.3	10.7	B	床固工
4	物満内川	中流1	H24.3	0.5	A	護岸ブロック工
5	アラキの川	中流1	H23.3	0.2	A	No.1谷止工
6	大手沢川	中流1	H23.3	0.3	A	No.2谷止工
7	右の沢川	中流2	H23	8	A	床固工
8	ペンケニウブ川	中流2	H22.3	87.8	A	取水堰
9	七線沢川	中流2	H23.3	12.8	A	No.1床固工
10	十一線の沢川	中流2	H25.5	0*	A	No.1床固工
11	高広川	中流2	H23	1.6	A	No.1床固工
			H24.末	4.6	A	No.1谷止工
12	新生川	中流2	H20	0*	A	落差工
13	下川ペンケ川	中流2	H25.3	20.6	B	下川ペンケ頭首工
			H23.3	0.2	B	9号落差工
			H23.3	0.1	B	8号落差工
14	九線川	上流	H24.3	0.3	A	7号落差工
			H24.3	0.2	B	6号落差工
			H20	0.8	A	落差工
15	銀川	上流	H20	0.8	A	落差工

A: 遡上困難施設（魚道設置などの改善）ΣL=121.8km

B: 遡上しやすい施設へ改善 ΣL=37.9km

※施設直上流に遡上困難施設があるもの

た。 ($P<0.01$)。また、整備後は整備中の約1.15倍となっていた。

（2）天塩川支川の魚道整備におけるサクラマス幼魚生息密度及び産卵床の影響

平成20～24年の5年間で天塩川支川において魚道整備を実施した15河川（表-1）の内、魚道整備前後でサクラマス幼魚生息密度、産卵床調査を行っている銅蘭川、琴平川、大手沢川、七線沢川、高広川、九線川の6河川の調査結果を図-6に示す。魚道が設置されておらずサクラマスが遡上できない施設は魚道無、遡上できない区間は薄い灰色で示している。なお、6河川の魚道設置効果延長は、30.5kmで全159.7kmの19%にあたる。

① 銅蘭川

銅蘭川では、魚道がH20.2とH22.3に整備され、H21とH24に生息密度調査と産卵床数の調査が行われている。各魚道の上流の幼魚生息密度は、H21は魚道①上流で0.09、魚道②上流で0.00と低い値であったが、H24は魚道①上流で0.79、魚道②上流で0.73と大幅に増加した。また、魚道①下流の区間でも、0.05が1.05になっており、いずれの区間も増加傾向にあった。産卵床数は魚道②の上流で0床であったものが10床になり大きく増加した。一方で、魚道①上流では、14床から8床とその数を減らしていた。

② 琴平川

琴平川では、魚道がH21.12とH22.11に整備され、H21、H24に調査が行われている。各魚道の上流の幼魚生息密度は、H21は魚道①上流で0.00であったが、H24は魚道①上流で0.66、魚道②上流で0.68と大幅に増加した。また、魚道①より下流の区間でも、0.16、0.13が0.60、0.60

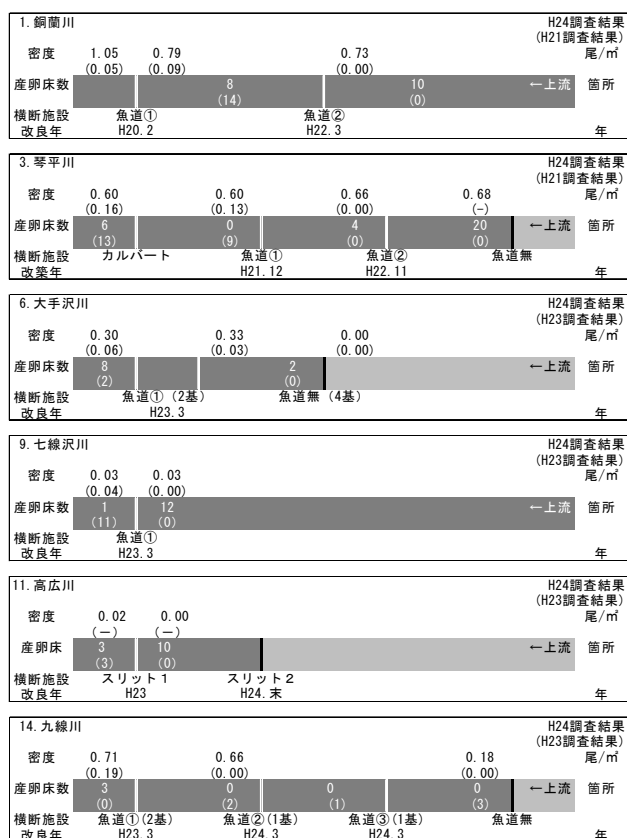


図-6 生息密度、産卵床調査結果

になっており、いずれの区間も増加傾向にあった。産卵床数は魚道①の上流で0床が4床、魚道②の上流で0床が20床と増加した。一方で、魚道①下流では、13床が6床、9床が0床とその数を減らしていた。

③ 大手沢川

大手沢川では、魚道がH23.3に整備され、H23、H24に調査が行われている。魚道の上流の幼魚生息密度は、H23は0.03であったが、H24は0.33と大幅に増加した。また、魚道下流でも、0.06が0.30になっており、いずれの区間も増加傾向にあった。産卵床数は、魚道上流で0床が2床、魚道下流で2床が8床といずれも増加していた。

④ 七線沢川

七線沢川では、魚道がH23.3に整備され、H23、H24に調査が行われている。魚道の上流の幼魚生息密度は、H23は0.00であったが、H24は0.03と増加した。魚道下流は0.04が0.03とわずかながら減少した。産卵床数は魚道の上流で0床が12床と増加した。一方で魚道下流では、12床が1床とその数を減らしていた。

⑤ 高広川

高広川では、スリット切り下げがH23に行われ、H23、H24に調査が行われている。ただし、H23に幼魚生息密度調査は行われていない。スリット上流の幼魚生息密度は、H24は0.00であった。スリット下流は0.02であった。産卵床数は、スリット上流で0床から10床と増加した。スリット下流はH23、H24とも3床で同じ値であった。

⑥ 九線川

九線川では、魚道がH23.3、H24.4に整備され、H23、H24に調査が行われている。魚道上流の幼魚生息密度は、H23は魚道①および魚道③上流は0.00であったが、H24は魚道①上流で0.66、魚道②上流で0.16と大幅に増加した。魚道①下流も0.19が0.71になっており、いずれの区間も増加傾向にあった。産卵床数は魚道①上流で2床が0床、魚道②上流で1床が0床、魚道③上流で3床が0床と減少した。一方で、魚道①下流では0床が3床と増加していた。

5. 考察

本研究により、天塩川本川での魚道整備による上流域のサクラマス幼魚の生息密度の向上と、天塩川支川での魚道整備によるサクラマス幼魚の生息域と産卵床の拡大が明らかになった。サクラマスは天塩川本川を遡上し、本川から支川に入り支川上流部で産卵する。ふ化後の幼魚は産卵床近傍で生息していたことから、各産卵床の孵化率、幼魚生存率が同一だと仮定すれば、魚道整備前に比べて幼魚生息密度が高いと言うことはより多くの親魚が遡上、産卵したと考えられる。

(1) 天塩川本川の魚道整備と流域別サクラマス幼魚生息密度

天塩川のサクラマス幼魚生息密度は図-3に示すように0.05から0.56とサクラマスの生息密度が高い暑寒別川(保護水面)の調査結果(0.01から0.65)⁷⁾に近い値を示している。流域別の幼魚生息密度は、年度ごとに生息密度が高い流域が異なっているが、中流域2は調査期間を通して高い値を示し、上流域は平成21、23、24年度に高い値を示している。天塩川本川上流域に設置されている7箇所の頭首工の魚道の整備中と整備後の流域別生息密度は図-4に示すように、上流域は整備後に整備中の約1.7倍の値を示している。中流域2は同程度、中流域1は約1.4倍、下流域は約1.2倍となっている。また、整備後は整備中より上流に向かって生息密度が高くなる傾向が有意により高くなっていった。一方、整備中と整備後の流域全体の幼魚生息密度は図-5から、整備後は整備中の約1.2倍となっていた。各流域における魚道整備中と整備後の幼魚生息密度変化は流域全体と比較して、上流域、中流域2は流域全体より大きな値を、中流域2は小さな値を、下流域は同程度の値を示していた。以上のことから、中流域2から上流域へサクラマス幼魚が一部シフト、つまりサクラマス親魚が魚道を通ってより多く遡上したものと考えられる。ここで、平成20～24年の5年間で魚道整備を実施し、魚類が遡上可能または遡上しやすくなった河川延長は表-1に示したとおり上流域は全体のわずか1%であることから、上流域の幼魚生息密度上昇に魚道整備は寄与していないと考えられる。

(2) 天塩川支川の魚道整備とサクラマス幼魚生息密度及び産卵床

魚道整備前後のサクラマス幼魚生息密度及び産卵床調査が平成21, 23, 24年度に実施されている。

銅蘭川, 琴平川, 大手沢川において平成24年の調査では, 幼魚の生息密度はいずれの河川も調査地点間で差がなかった。一方, 魚道整備前後の生息密度を比較すると整備後は整備前の4.6~21倍と高い値を示しており, 流域平均密度(図-5)の1.4~1.8倍より大きな値となっている。また, 産卵床総数も整備後に増えている。これらのことから, 魚道の整備によって, サクラマスの産卵床及び幼魚の生息域が拡大し, 生息密度も高くなるなど, 一定の効果が得られたと考えられる。

七線川では魚道整備当年度と1年後で幼魚の生息密度, 産卵床総数に差が見られなかった。平成23年度は平成24年度より流域平均生息密度が低かったことから, サクラマス産卵床及び幼魚の生息域は拡大し, 生息密度は相対的に低下しており, 下流から上流へ分散したことが原因であると考えられる。

高広川では施設上流で魚道整備後に幼魚の生息は確認されていないが, 産卵床は確認されており, サクラマスの産卵床は拡大したと言える。なお, 調査が整備当年度に実施されており, 親魚は遡上, 産卵したが孵化する前であり, 下流の幼魚が上流へ移動しなかったことにより幼魚の生息が確認できなかったと考えられる。

九線川では, 魚道整備後に魚道上流で今まで生息していなかった幼魚が確認されたが, 産卵床は確認できなかった。魚道上流で産卵床が確認されなかった理由は産卵適地が消失した可能性もあるが, 調査後に産卵していた可能性もある。生息密度は整備当年度の魚道②上流は低く, 1年後の魚道①上下流は高い値を示し, その差は流域平均密度の調査年度間の差よりも大きくなっている。このことから, 幼魚の生息範囲は拡大し, 生息密度も高くなったと考えられる。

銅蘭川, 琴平川, 大手沢川, 七線川, 九線川の5河川で幼魚の生息域が拡大し, 銅蘭川, 琴平川, 大手沢川, 九線川の4河川における幼魚生息密度は, 流域全体の変動を超えて高くなっていること, 九線川以外の5河川で産卵床が魚道上流に拡大していたことから, 天塩川支川の魚道整備によりサクラマス親魚の遡上を可能又はしやすくし, 産卵床及び幼魚生息域は魚道上流へ範囲を拡大したと考えられる。

(3) 魚類生息密度と産卵床数調査結果に基づく魚道整備による流域の連続性改善評価

今回の検討結果から, 本川, 支川魚道整備によりサクラマス親魚は遡上可能となり流域の連続性は次第に改善されていることが明らかになった。また, 本川と支川では魚道整備の効果, 及び範囲が異なっていた。本川魚道

整備は遡上できずに魚道下流で産卵していた親魚を上流へ遡上させ, 上流に向かって遡上数を増やす効果, 支川魚道整備は魚道下流の産卵床及び幼魚生息域を上流へシフトさせるのではなく魚道上流へ, その範囲を拡大する効果を発揮していた。

6. おわりに

天塩川流域では, 流域スケールでの魚道整備による連続性改善が, 多様な機関が連携して行われている。本研究では, 継続的に行われているサクラマス幼魚生息密度及び産卵床数を評価指標として, 連続性改善の効果及び範囲を明らかにした。今まで, 魚道整備による連続性の改善効果に関する研究は少なく, 本研究は流域スケールでそれを明らかにした点で意義があると考えられる。魚道整備及び調査は今後も継続して行われると考えられることから, より長期的な改善効果の解明を行っていきたいと考えている。また, 支川魚道整備による産卵及び幼魚生息域拡大がどのように資源の増加に結びつくのかという点についての検討も必要と考えている。

さらに, サクラマスの生息環境改善としては, 範囲の拡大に加えて, 質的な改善も必要である。そのためには, 生息環境の数値化と改善方法の確立が必要である。

謝辞: 本研究を行うに当たり, 貴重な調査データを提供して頂いた北海道開発局の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 川那部弘哉, 水野信彦, 中村太: 河川生態学, 講談社, pp248-249, 2013
- 2) 魚がのぼりやすい川づくりの手引き, 国土交通省河川局, pp5, 平成17年3月。
- 3) 森田茂雄, 安田陽一, 浜本聡: 溪流河川における魚道直上流部に設置される水制工の効果, 河川技術論文集, 第16巻, pp18, 2010。
- 4) Miyoshi K, Hayashida K, Sakashita T, Fujii M, Nii H, Nakao K, et al. Comparison of the swimming ability and upstream-migration behavior between chum salmon and masu salmon. Can J Fish Aquat Sci. 2013;70:1-9.
- 5) 魚のすみやすい川づくりガイド, 北海道河川環境研究会, pp18, 2010。
- 6) 天塩川魚類生息環境保全に関する専門家会議: 天塩川における魚類等の生息環境保全に関する平成24年度年次報告書
- 7) 北海道水産孵化場: 平成16及び17年度 事業成績書 (2014. 4. 3受付)