

後志管内におけるサクラマス自然再生産個体群の現状について (資料)

卜部浩一*, 藤原 真, 宮腰靖之, 神力義仁, 下田和孝, 川村洋司, 佐々木義隆, 隼野寛史

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Current status of naturally-spawning masu salmon (*Oncorhynchus masou*) populations in Shiribeshi region, Hokkaido, northern Japan (Note)

HIROKAZU URABE*, MAKOTO FUJIWARA, YASUYUKI MIYAKOSHI, YOSHIHITO SHINRIKI,
KAZUTAKA SHIMODA, HILOSHI KAWAMULA, YOSHITAKA SASAKI AND HIROFUMI HAYANO

Hokkaido Research Organization, Salmon and Freshwater Fisheries Institute, *Eniwa, Hokkaido, 061-1433, Japan*

キーワード：工作物，サクラマス，自然再生産，遡上障害，放流魚

サクラマス (*Oncorhynchus masou*) 資源の増殖は、北海道水産業の重要施策の一つであり、日本海の漁業振興を担うものとして期待されてきた。当場では、池産サクラマス回帰率向上試験 (平成2~8年度)、サクラマス回帰率安定化試験 (平成9~12年度) で種苗養成技術の開発と並行して、放流手法と放流効果の検証を行った。その結果、人工種苗放流が漁業資源に一定程度、貢献していることが明らかとなるとともに、一定サイズに達したスマルト幼魚の放流が高い回帰率を期待できる手法であることが明らかにされた (Miyakoshi *et al.*, 2001 ; Miyakoshi *et al.*, 2002)。また、サクラマス資源の復元と安定化に関する研究 (平成15~19年度) においては、放流効果の高いスマルト種苗養成技術の向上を図るとともに、放流効果と海洋環境との関係、さらには河川の生息環境復元による資源回復に関する研究を進めてきた。これらの結果、放流魚の回帰率は回遊経路の海洋環境に影響される可能性があるものの (飯嶋・宮腰, 2012)、増殖効果を高めるにはスマルト種苗養成・放流技術の向上が肝要であることが明らかにされた (Miyakoshi *et al.*, 2001 ; Miyakoshi *et al.*, 2002)。ただし、スマルト幼魚放流は春稚魚、秋幼魚放流に比べ飼育期間が長く、種苗生産コストが高いという課題も残された (宮腰, 2006)。

これら、放流効果に関する研究を進めていく中で、サクラマス資源の大半が天然魚に由来することも明らかにされたことにより (宮腰, 2008)、サクラマス資源の増殖を進める上で、補完的な役割と位置づけられてきた天然資源の保全・回復の重要性に対する認識が急速に高まった。本

道における天然サクラマス資源の減少には、河川工作物の設置による産卵遡上の阻害が強く影響していると考えられていることから (福島・亀山, 2006 ; Fukushima *et al.*, 2007; 玉手・早尻, 2008)、今後はその回復が急がれる。そのような中、工作物上流域の生息環境の復元による天然資源の回復効果が、種苗放流による増殖努力に匹敵する場合があることが示されるとともに (Urabe *et al.*, 2010)、河川改修により劣化した生息環境の修復が天然サクラマス個体群の回復に有効であることも明らかにされた (下田・川村, 2012 ; 下田ら, 2012)。このように、河川環境の修復によるサクラマス資源の増殖効果は高いと考えられることから、近年、漁業関係者の間でも天然資源の繁殖促進への関心が高まっている (卜部・宮腰, 2010)。

以上のことから、今後のサクラマス資源の増殖には種苗放流による資源造成技術の向上や低コスト化に向けた取り組みに加え、河川環境の修復・復元により天然資源の再生産を促進する取り組みが非常に重要と考えられている。しかしながら、これまでの研究の多くが放流効果に着目したものであり、天然資源の現状については殆ど明らかにされておらず、その回復策の検討を進めるには情報が不足している。このため、本研究では、サクラマス資源の増殖に取り組んでいる後志管内の主要河川において、サクラマスの自然再生産状況に関する情報を蓄積するとともに、天然資源を活用したサクラマス資源の増殖手法開発に必要な諸条件について検討を行った。

材料および方法

調査地 2007年から2009年の3カ年にわたって、合計12水系の24河川(97地点)でサクラマス当歳魚の生息数調査を実施した(表1)。なお、本調査の対象河川には放流河川も含まれており、それらの河川では例年5月下旬から6月上旬頃にサクラマスの当歳魚(春稚魚)が放流されている。このため、放流河川における調査は春稚魚の放流が実施される直前である5月中旬から6月上旬頃の間に実施した(表1)。放流が行われていない河川でも放流河川と概ね同時期に調査を行った。

生息数調査に際して、各調査河川の主な産卵域付近に長さ30mの調査区間を最低1箇所設けた。但し、河川によっては調査時期が融雪出水時期に当たり、調査の安全性確保の観点から調査区間を短くせざるを得ない場合もあった。逆に、河道形状の都合から長くなる場合もあった。なお、主な産卵場所が事前に把握できていない河川や産卵場所が比較的広範囲にわたると考えられる河川については複数の調査地点を設定した(表1)。また、現地踏査により遡上障害となる河川工作物が設置されていることが確認された河川においては、可能な限り河川工作物の上下流にそれぞれ1箇所ずつ調査地点を設定した。なお、河川横断工作物は国土地理院発行の2万5000分の1地形図に記載されている情報に基づき、現地確認を行ったが、必ずしも全ての工作物を把握できていない可能性があることは否定できない。確認された全ての工作物について、落差や工作物直下の水深とサクラマスの遡上率との関係を検討した調査結果(卜部ら, 2008)に基づき以下の基準で遡上障害の有無を判定した。(1) 魚道が設置されていない施設については、水面間落差が2m以上ある場合は遡上障害が生じていると判定した。(2) 水面間落差が2m未満で全落差(水面間落差+工作物直下の水深)が1.3m以上の施設については、工作物直下の水深と全落差の比が1未満の場合に遡上障害が生じていると判定した。(3) 全落差が1.2m以下の施設については、工作物直下が床固めされているなど、増水時でも遡上するために必要な水深が確保されない場合は遡上障害が生じていると判定し、(4) 上記の基準に該当しない場合は遡上障害が生じていないと判定した。魚道が設置されている施設については、魚道内に適正な通水量が確保されており、魚道の入口に到達するまでの水深が20cm以上ある場合は遡上障害が生じていないと判定し、それ以外は遡上障害が生じていると判定した。

調査方法 サクラマス当歳魚は浮上から融雪出水がおさまる6月までの間、流速の緩い川岸付近にのみ分布することが知られている(永田ら, 1998)。このため、生息数の

評価に当たっては、調査区間の両岸に幅1mの採捕区間を設定し、その区間内に生息するサクラマス当歳魚を電気漁具により採捕した。なお、2007年に行った調査では、サクラマス稚魚の生息が確認された全ての調査地点において3回除去法(Carle and Strub, 1978)により生息数の評価を行ったが、当該手法では採捕に多くの時間が必要とされたため、調査地点数は6箇所にとどまった。そこで、2007年の堀株川、積丹川および2008年の千走川水系で行った3回除去による生息数調査データ(表1)をもとに1回採捕で得られた採捕数と3回除去法により推定された生息数との関係について回帰分析を行い、1回採捕法で得られる採捕数が生息数の指標として有効であるか検討を行った。その結果、1回採捕法が生息数の指標として有効であることが確認されたことから(結果を参照のこと)、2008年以降は1回採捕による採捕数を生息数の指標とした。

自然再生産に由来する稚魚の生息数が遡上障害の有無、河川区分(保護水面または一般河川)および放流の有無によって異なるかどうかについて一元配置分散分析を用いて比較した。

結果

1回採捕による推定法 1回目の採捕で捕獲されたサクラマス稚魚の尾数とCarle and Strub (1978)により推定した3回除去法による生息数との間には密接な関係が認められ(図1)、電気漁具を用いた1回採捕による捕獲数がサクラマス稚魚の生息数の指標として有効であることが明らかになった。なお、両者の関係は以下の式で表される。

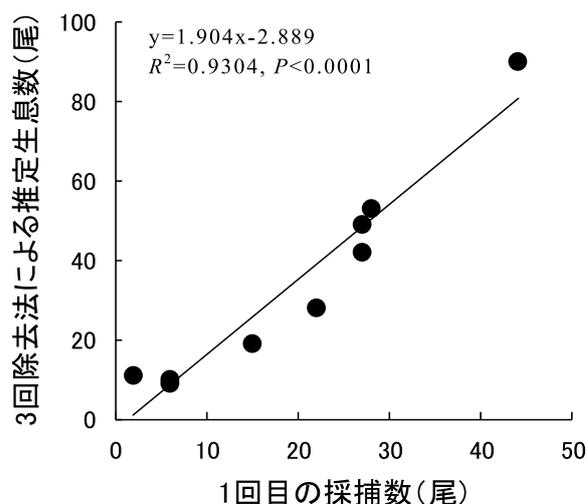


図1 3回除去法による推定生息数と1回目の採捕数との関係

3回除去法を用いた推定個体数=1.904×1回目の採捕数-2.889 ($R^2=0.9304, p<0.0001$) (式1)

サクラマスの自然再生産状況 2007年に実施した調査では、1回採捕により、自然再生産に由来するサクラマス当歳魚が0～27尾採捕され、その数を調査区間1m当たりに換

算した値は(以後、この数値を生息数指標値と呼ぶ)0～0.90尾/mであった(表1)。2008年の生息数指標値は0～7.89尾/mで、2009年の調査では0～12.47尾/mであった。調査河川のうち、積丹川水系と尻別川水系で高い生息数指標値が確認されたが、同時に同一水系であっても調査地点や調査年によってその値は大きく変動することも

表 1. 調査地点情報と生息数指標値の一覧

調査年	調査月日	河川区分*1	放流/非放流*2	水系名	河川名	支流名	調査区間距離 (m)	採捕方法	緯度(°)	経度(°)	遡上障害*3	工作物との位置関係	生息数指標値 (尾/m)	
2007	5月17日	一般河川	放流	余市	白井		13	1回	43.01069	140.88432	無し		0.00	
	5月17日						30	1回	43.00988	140.88656	無し		0.00	
	5月17日					堀株	上ピラ	30	3回	42.95387	140.68810	無し		0.07
	5月17日							30	3回	42.95561	140.69036	無し		0.50
	5月17日							30	3回	42.95772	140.69222	無し		0.90
	5月18日	保護水面	非放流	積丹	鳥居の沢		30	3回	43.33119	140.47298	無し		0.90	
2008	5月21日	一般河川	放流	沖村	沖村		14	1回	43.24352	140.68008	有り	下	0.14	
	5月21日						21	1回	43.24208	140.67821	有り	上	0.00	
	5月21日			古平	下二股川		19	1回	43.18417	140.58892	無し		1.63	
	5月21日				泥の木沢		35	1回	43.22930	140.59111	有り	上	0.00	
	5月21日			美国	無名沢		31	1回	43.27179	140.57691	無し		0.32	
	5月22日			珊瑚内	珊瑚内		19	1回	43.20598	140.35981	有り	上	3.58	
	5月22日			堀株	堀株		32	1回	42.94972	140.71786	無し		1.78	
	5月29日			折	折		31	1回	42.71743	140.15022	有り	下	0.16	
	5月29日	資源保護水面		大平	大平		22	1回	42.70400	140.10843	有り	下	1.27	
	5月29日	保護水面		泊	カモイ		28	1回	42.66668	140.08766	無し		0.07	
	5月28日			千走	九助		25	3回	42.66403	140.02272	有り	下	0.24	
	5月28日						30	1回	42.65102	140.00757	有り	上	0.00	
	5月29日				千走		36	3回	42.64685	140.04064	無し		1.22	
	5月28日				湯ノ沢		38	3回	42.64414	140.04181	有り	下	0.16	
	5月29日				賀老		15	3回	42.64937	140.03343	無し		1.47	
	5月28日						26	1回	42.63063	140.02043	無し		0.00	
	6月13日	資源保護水面		尻別	目名	クスリの沢	20	1回	42.80103	140.43904	無し		0.35	
	6月13日					ツバメの沢	28	1回	42.81011	140.43810	有り	上	0.64	
	6月12日					貝殻沢	21	1回	42.74631	140.43007	有り	下	1.19	
	6月12日						37	1回	42.74647	140.39965	有り	上	0.30	
	6月12日						21	1回	42.74781	140.39321	有り	上	0.71	
	6月12日					下賀老	34	1回	42.74636	140.47383	有り	下	0.06	
	6月12日						19	1回	42.73815	140.48699	有り	上	0.00	
	6月12日					上賀老	22	1回	42.73750	140.45276	有り	下	0.14	
	6月12日						16	1回	42.72824	140.46534	有り	上	0.00	
	6月13日					三之助	20	1回	42.76783	140.43556	無し		0.30	
	5月21日	保護水面	非放流	積丹	鳥居の沢		25	1回	43.33119	140.47298	無し		1.68	
	6月10日	一般河川		尻別	オサンナイ		30	1回	42.84312	140.41730	有り	下	1.70	
	6月10日						25	1回	42.84592	140.42013	有り	上	0.00	
	6月5日					バンケ目国内	40	1回	42.82708	140.44921	有り	下	4.80	
	6月5日						31	1回	42.82857	140.45480	有り	上	0.84	
	6月5日					バンケ目国内	31	1回	42.83468	140.49707	有り	上	5.26	
	6月5日						40	1回	42.84410	140.51580	有り	上	1.45	
6月4日					白井	55	1回	42.82611	140.48375	有り	下	3.91		
6月4日						45	1回	42.83028	140.48805	有り	上	1.13		
6月5日						46	1回	42.83507	140.49405	有り	上	0.00		
6月4日						37	1回	42.83960	140.49783	有り	上	0.00		
6月6日					逆	32	1回	42.77750	140.49254	有り	下	3.34		
6月6日					名無沢	13	1回	42.77741	140.49266	有り	下	3.54		
6月6日					五十戸	32	1回	42.77901	140.49296	有り	下	2.56		
6月12日					蘭越第一川	18	1回	42.79630	140.53380	有り	上	0.00		
6月12日					南部	26	1回	42.81801	140.53427	有り	下	0.50		
6月11日					昆布	16	1回	42.78591	140.59973	有り	上	2.38		
6月10日					イヌフレバツ	32	1回	42.77448	140.60152	有り	下	1.63		
6月10日					桂の沢	33	1回	42.76277	140.59645	有り	下	4.73		

表 1. つづき

調査年	調査月日	河川区分*1	放流/非放流*2	水系名	河川名	支流名	調査区間 距離 (m)	採捕方法	緯度(°)	経度(°)	遡上障害*3	工作物との 位置関係	生息数指標 値 (尾/m)
	6月10日						33	1回	42.75548	140.59693	有り	上	3.00
	6月11日					矢筈の沢	10	1回	42.75637	140.57585	無し		5.90
	6月11日						22	1回	42.75637	140.57564	無し		1.86
	6月10日					丸山の沢	34	1回	42.74713	140.58016	無し		2.15
	6月11日					柳の沢	22	1回	42.71500	140.56797	無し		5.91
	6月11日						17	1回	42.71571	140.57440	無し		3.76
	6月11日						19	1回	42.71067	140.56416	無し		7.89
	6月11日						17	1回	42.68205	140.57183	無し		8.12
	6月11日						33	1回	42.66127	140.59263	無し		2.09
	6月11日					幌別	23	1回	42.67142	140.55806	無し		2.04
	6月11日					幌別支流	12	1回	42.67153	140.55794	無し		2.00
	6月11日					新富	22	1回	42.67055	140.58086	有り	下	3.27
	6月6日				泥		35	1回	42.79631	140.60527	有り	下	3.66
	6月6日						28	1回	42.79576	140.60919	有り	上	3.32
	6月13日				名無		28	1回	42.77405	140.64288	有り	上	0.39
	6月6日				真狩	南別	26	1回	42.75939	140.83134	有り	上	0.00
	6月6日					カシュンベツ	15	1回	42.79741	140.72435	有り	上	0.00
	6月6日				ルベシベ		30	1回	42.76300	140.68322	有り	下	1.10
2009	6月1日	保護水面	放流	千走	九助		28	1回	42.66403	140.02272	有り	下	0.00
	6月1日				千走		40	1回	42.64685	140.04064	無し		2.47
	6月1日				湯ノ沢		38	1回	42.64414	140.04181	有り	下	0.00
	6月9日	資源保護水面		尻別	目名	貝裁沢	35	1回	42.74647	140.39965	有り	上	0.63
	6月9日						40	1回	42.74781	140.39321	有り	上	0.05
	6月2日	保護水面	非放流	積丹	積丹		32	1回	43.32509	140.51158	無し		9.75
	6月2日				鳥居の沢		24	1回	43.33119	140.47298	無し		1.33
	6月2日				積丹		39	1回	43.31648	140.54771	無し		4.00
	6月2日				焼野		27	1回	43.29969	140.54786	無し		0.00
	6月9日	一般河川		尻別	オサンナイ		22	1回	42.84312	140.41730	有り	下	0.00
	6月9日				バンケ目国内		21	1回	42.82708	140.44921	有り	下	1.95
	6月9日						28	1回	42.82857	140.45480	有り	上	0.07
	6月9日				逆		22	1回	42.77750	140.49254	有り	下	2.09
	6月9日				南部		33	1回	42.81801	140.53427	有り	下	0.70
	6月10日				昆布	イヌフレベツ	25	1回	42.77333	140.60501	有り	上	0.60
	6月10日					桂の沢	24	1回	42.76277	140.59645	有り	上	5.04
	6月10日					矢筈の沢	21	1回	42.75565	140.58160	無し		2.67
	6月10日					丸山の沢	25	1回	42.74713	140.58016	無し		1.48
	6月10日					柳の沢	22	1回	42.71500	140.56797	無し		3.09
	6月10日						15	1回	42.68205	140.57183	無し		12.47
	6月10日						39	1回	42.66127	140.59263	無し		1.23
	6月10日					幌別	32	1回	42.67142	140.55806	無し		1.41
	6月10日					新富	26	1回	42.67055	140.58086	有り	下	1.73
	6月10日				尻別		15	1回	42.79997	140.60069	無し		7.60
	6月10日				泥		32	1回	42.79631	140.60527	有り	下	3.25
	6月11日				名無		22	1回	42.79371	140.64963	有り	下	1.73
	6月11日						25	1回	42.77405	140.64288	有り	上	0.00
	6月11日						27	1回	42.78788	140.64982	有り	上	0.00

* 1 保護水面では周年にわたって全ての水産動物の採捕が禁じられている。資源保護水面のうち、尻別川水系目名川では周年、大平川では4~12月の期間やまべの採捕が禁止されている。

* 2 放流は日本海さけ・ます増殖事業協会、北海道、北海道区水産研究所が実施しているものを対象としている。

* 3 魚類の遡上に必要な措置が講じられていない河川横断工作物、または、講じられていてもその機能が十分に発揮されていない工作物を遡上障害があると判定した。判定基準は本文を参照のこと。

明らかになった。

全ての調査年のデータをプールした分析では、全調査地点の平均生息数指標値は1.85尾/mとなった。遡上障害の有る調査地点 (1.34尾/m) では、遡上障害が無い地点

(2.64尾/m)に比べて生息数指標値が有意に低かった(図2, $F_{1,95} = 7.8088, p = 0.0063$)。遡上障害の無い河川について、一般河川 (3.07尾/m) と保護水面 (1.81尾/m) で生息数指標値を比較したところ両者には有意な差は認められな

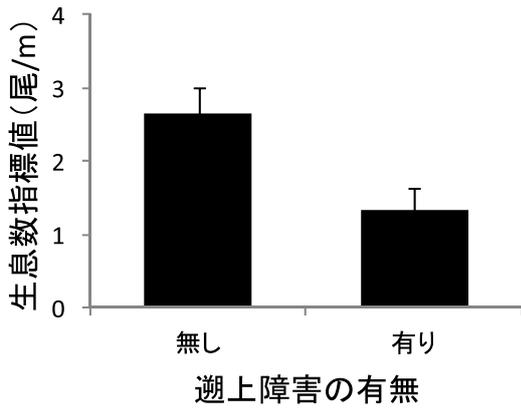


図2 遡上障害の有無と生息数指標値の関係

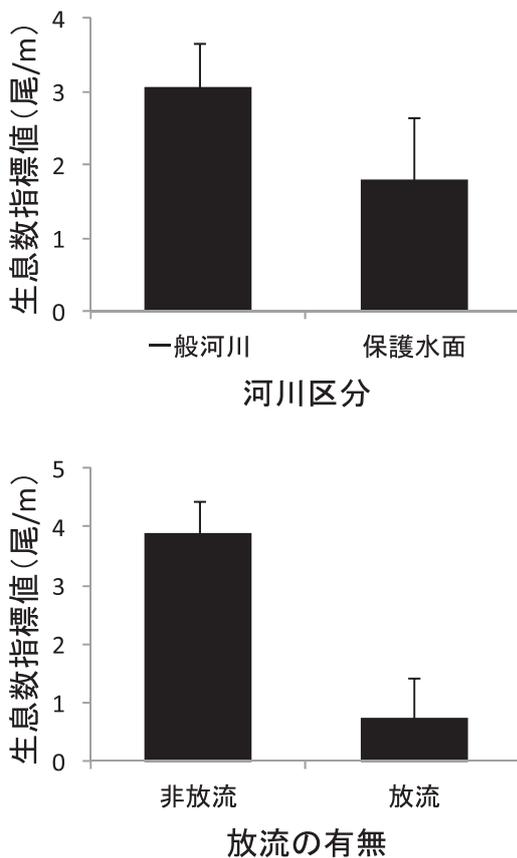


図3 遡上障害の無い河川において、河川区分および放流の有無により生息数指標値を比較した結果 上の図は保護水面と一般河川で生息数指標値を比較している。下の図は遡上障害の無い河川において、放流河川と非放流河川で生息数指標値を比較している。なお、資源保護水面は保護水面の区分に含まれる。

かった (図3, $F_{1,36} = 1.5234, p = 0.2251$)。同様に遡上障害の無い河川で、放流河川 (0.74尾/m) と非放流河川 (3.88尾/m) で生息数指標値を比較したところ、非放流河川で有意に高かった (図3, $F_{1,36} = 13.1123, p = 0.0009$)。

遡上障害は97の調査地点のうち59地点で確認され、その割合は60.8%であった (表1)。河川区分ごとに遡上障害の有無を調べたところ、保護水面では29の調査地点のうち16地点で遡上障害が確認され、その割合は55.2%であった。一般河川では68地点のうち43地点で遡上障害が確認され、その割合は63.2%であった。同様に放流の有無で区分した場合、放流河川では36地点のうち21地点で遡上障害が確認され、その割合は58.3%であった。非放流河川では61地点のうち38地点で遡上障害が確認され、その割合は62.3%であった (表1)。

考 察

本調査により、後志管内の主要河川におけるサクラマスの自然再生産状況が明らかになった。生息数指標値は調査年や河川および地点によって大きく異なり、0~12.47尾/mの範囲でばらついた。本調査と同様の時期に自然再生産由来のサクラマス稚魚を定量採集した事例は、著者らが知る限り永田ら (1998) が積丹川本流上流 (本調査とは異なる調査地点) で行った調査しかないため (81尾/40m = 2.0尾/m)、過去の報告と比較しての議論は困難である。

生息数指標値は遡上障害の有る河川では、無い河川より有意に低く、採捕数が0尾だった調査地点に着目すると、そのほぼ全てにおいて、工作物による顕著な遡上障害が生じていた。但し、千走川支流の賀老川と余市川については顕著な遡上障害となる要因が認められなかったにもかかわらず、稚魚は採捕されなかった。賀老川については、その名称のとおり、峡谷状の河川であることから、上流の調査地点までの間にサクラマスが遡上不可能な自然滝が存在していると思われる。一方、余市川については、本流の中下流部に2基の頭首工が設置されているものの、魚道が安定的に機能しており、さらに調査地点の上流域では自然産卵も確認されているにもかかわらず (ト部, 未発表)、サクラマス稚魚は採捕されなかった。理由は明らかでないが、余市川は他の河川に比べて融雪増水の程度が大きく、調査時には激流の様相を呈しており、他河川と比較して採捕効率が非常に低かったであろうことは容易に想像される。このような調査条件が影響し、本来は生息している稚魚を採捕できなかったのではないと思われる。

遡上障害が生じていない調査地点を対象に行った分析では、保護水面 (資源保護水面を含む) と一般河川の間で生息数指標値は有意に異ならなかった。但し、保護水面で

の平均値は1.81尾/mと一般河川の3.07尾/mに比較して40%以上も低く, 2009年に積丹川本流で得られた9.75尾/mという, 突出した値を外れ値として除外すると保護水面の方が有意に低いという結果が得られた ($F_{1,35} = 4.1337, p = 0.0497$)。また, 放流の有無により生息数指標値を比較すると, 非放流河川の平均値は放流河川で得られた値の5倍以上であった。これらの結果から, 本調査を行った地域では, 保護水面および放流河川で生息数指標値が低いことが確認された。保護水面の調査地点で遡上障害が発生している割合は一般河川より低かったことから, 遡上障害が保護水面での低い生息数指標値の原因となっていないとは考えられない。一方, 放流の有無に着目すると, 保護水面では55.2%の地点で放流が行われていたのに対し, 一般河川の調査地点で放流が行われていたのは7.4%に過ぎなかった。このことから, 放流が自然再生産に何らかの影響を与えている可能性も否定できない。これ以外に, 資源保護水面に区分されている尻別川水系目名川では, 種卵生産のため遡上親魚が捕獲されていることから, 捕獲を行っていない河川に比べて自然再生産由来の稚魚生息数が低くなるのは当然であり, これが保護水面で低い値が得られた要因の一つであろう。過去の研究では, 継代飼育した池産系放流魚の降下行動が天然魚と異なること (Koyama *et al.*, 2007) や池産系放流魚の回帰率が遡上系由来の放流魚に比べて低い (青山ら, 2010) など, 池産系放流魚の種苗特性が天然魚に比べて劣っている可能性が示唆されている。また, 環境収容力を超える過密な稚魚放流が放流魚だけでなく, 天然魚の生き残りをとも低下させる可能性が示唆されている (杉若ら, 1994)。水系全体で良好な環境が維持されており, 親魚捕獲も行われていない泊川で非常に低い値が確認されていることから, 何らかの理由により放流が自然再生産資源の低下を招く要因となっているのかもしれない。

今回の調査から, 後志管内の主要水系のうち, 余市川を除く全ての水系において自然再生産個体群が存在することが明らかとなり, 今後の資源増殖における天然資源の活用方法を検討する上で重要な情報が得られた。一方, 遡上障害により自然再生産資源が枯渇している河川区間も多数存在することが明らかとなり, サクラマス資源増殖を進めていく上で, 遡上障害の解消が重要であることが改めて確認された。今後は遡上障害の解消に向けた取り組みが急がれるが, 魚道の設置・改修や工作物本体の改修 (例えばスリット化) には多くの時間が必要となる場合が多く, 自然再生産個体群の回復・再生による資源増殖には長期的な視点で取り組まざるを得ない。短期的な資源回復策としては自然再生産資源が消失した河川工作物上流域 (潜在的な環境収容力) を稚魚放流場所として活用する方法が有

効であろう。また, 本調査において遡上障害が生じている河川では個体群が極めて低い水準にまで低下している事例も多く見受けられ, そのような河川では遡上障害を解消しても自然再生産個体群の回復は期待できないと考えられる。この場合, 遡上環境の修復と合わせて種苗を添加することで, 個体群の回復促進が期待される。

謝 辞

本調査のうち, 尻別川水系における野外調査および河川横断工作物の情報収集に当たっては, 後志支庁木村 篤産業振興部長, 斉藤幸男水産課長, 金崎伸幸水産課長, 松枝直一漁業管理係長, 竹内秋義主事, 田中慶子主事, 木谷 淳主任, 菅原敬展主事, 畠山保弘主事 (いずれも当時の所属, 職名, 氏名) らにご協力いただいた。ここに記してお礼し上げる。

引用文献

- 青山智哉, 大森 始, 飯嶋亜内, 村上 豊, 伊澤敏穂, 卜部浩一, 宮腰靖之. 池産系および遡上系サクラマスから生産されたスマルトの河川回帰率の比較. 北海道立水産孵化場研究報告 2010; 64: 1-6.
- Carle FL, Strub MR. A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics* 1978; 34: 621-630.
- 飯島路生, 亀山 哲. サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価. 応用生態工学 2006; 8: 233-244.
- Fukushima M, Kameyama S, Kaneko M, Nakao K, Steel ED. Modelling the effects of dams on freshwater fish distribution in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biol.* 2007; 52: 1511- 1524.
- 飯嶋亜内, 宮腰靖之. サクラマスのスマルト放流魚の生き残りについて. 北水試だより 2012; 85: 7-11.
- Koyama T, Nagata M, Miyakoshi M, Hayano H, Irvine JR. Altered smolt timing for masu salmon *Oncorhynchus masou* resulting from domestication. *Aquaculture* 2007; 273: 246- 249.
- 宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; 60: 1-64.
- Miyakoshi Y, Nagata M, Kitada S. Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fish. Sci.* 2001; 67: 134-137.

- Miyakoshi Y, Nagata M, Shimoda K, Sugiwaka K, Kitada S. Assessment of stocking effectiveness of hatchery-reared age-0 and age-1 masu salmon smolts through a fish market survey in Hokkaido. *Fish. Sci.* 2002; 69: 908-911.
- 宮腰靖之. 種苗放流効果と資源増殖 - 北海道のサクラマスを事例として -. 「水産資源の増殖と保全 (北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編)」成山堂書店, 東京. 2008; 48-65.
- 永田光博, 柳井清治, 宮本真人, 大久保進一, 青山智哉, 鷹見達也, 川村洋司, 長坂 有, 佐藤弘和. サクラマス稚魚の分布と生息環境. *魚と水* 1998; 35: 67-83.
- 下田和孝, 川村洋司. 網走川支流ドードロマップ川における魚道設置前後の魚類生息密度. *北海道水産試験場研究報告* 2012; 82: 41-50.
- 下田和孝, 神力義仁, 川村洋司, 佐藤弘和, 長坂晶子, 長坂 有. 魚類の生息環境の改善を目的とした河川修復事業の長期的効果. *応用生態工学* 2012; 14: 123-137.
- 杉若圭一, 鈴木研一, 竹内勝巳, 大久保進一, 河村 博, 永田光博. 余別川0+稚魚放流における生息密度と成長, 生残率の関係. *魚と水* 1994; 31: 171-178.
- 玉手 剛, 早尻正宏. 北海道における河川横断工作物基数とサクラマス沿岸漁獲量の関係 - 河川横断工作物とサクラマスの関係から河川生態系保全を考える -. *水利科学* 2008; 52: 72-84.
- ト部浩一, 下田和孝, 川村洋司, 宮腰靖之, 高田雅之, 三島啓雄. 北海道尻別川水系における魚類および水生生物の分布に関する研究 - 小規模工作物群がサクラマスの産卵遡上に与える影響 -. *ELR2008福岡講演要旨集* 2008; 16.
- ト部浩一, 宮腰靖之. サクラマスフォーラム2009 in 島牧 - サクラマス資源の持続的利用を考える -. *魚と水* 2010; 46: 6-8.
- Urabe H, Nakajima M, Torao M, Aoyama T. Evaluation of habitat quality for stream salmonids based on a bioenergetics model. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2010; 139: 1665- 1676.