

salmon情報 No.12

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産研究・教育機構 公開日: 2024-07-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2009560

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



SALMON 情報

第12号

2018年3月

- 斜里川におけるサクラマス其自然再生産
 - 「食べられない魚」づくり
 - サケの発眼卵放流に適した河川環境の検討
 - サケ仔魚の発育と飼育開始時期の地域差について
 - 環境DNAを用いた水圏生物研究
 - 北海道沿岸域におけるサケ幼稚魚の移動経路に関する新知見
 - 早期放流したサケ稚魚の資源への貢献について
 - 北太平洋におけるサケマス類の資源状況と国際サーモン年
 - サケ科魚類のプロファイル-16 カワマス
- ほか



編集 北海道区水産研究所



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

目次

特別寄稿

- 斜里川におけるサクラマス其自然再生産…………… 大熊一正 3

研究成果情報

- 「食べられない魚」づくり…………… 宮本幸太 9
 サケの発眼卵放流に適した河川環境の検討…………… 飯田真也 12

技術情報

- サケ仔魚の発育と飼育開始時期の地域差について…………… 大本謙一 16

会議報告

- さけます関係研究開発等推進会議 研究部会…………… 福若雅章・鈴木健吾 20
 さけます報告会…………… 平間美信 22
 第25回北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) 年次会議の概要…………… 佐藤俊平 24

トピックス

- 環境 DNA を用いた水圏生物研究…………… 荒木仁志・水本寛基 27
 北海道沿岸域におけるサケ幼稚魚の移動経路に関する新知見…………… 宮内康行 29
 早期放流したサケ稚魚の資源への貢献について…………… 宮内康行 32
 北太平洋におけるサケマス類の資源状況と国際サーモン年…………… 浦和茂彦 34

さけます情報

- サケ科魚類のプロファイル-16 カワマス…………… 北野 聡 37
 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖…………… 高橋昌也 41
 さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介 (4)
 千歳川に関連する明治期の文書…………… 野川秀樹 43
 コラム：明治期の千歳川における写真…………… 野川秀樹 47

mini column

表紙の写真は、北海道における本格的なさけます人工孵化放流事業の幕開けとなった官営千歳中央孵化場の創立時、明治21年に建築された最初の孵化室、「甲号孵化室」です。その姿は、これまで初代場長の藤村信吉が残したスケッチが唯一の手がかりでしたが、市立函館博物館にその写真が所蔵されていることがわかりました。詳しくは本誌裏見返しのコラムをご覧ください。



表 1. 産卵床確認を行った各支流の概況 (a) と設定した調査区間毎の距離 (b). 距離はいずれも流路の長さ. ただし, ペーメン川の区間 C と D, およびオニセップ川の区間 A と C は 2005 年の調査開始時から変更なし.

a. 調査区間(全体)最上端と最下端の海拔高度および距離(流路)

	ペーメン川	オニセップ川
最上端高度 m	225	230
最下端高度 m	95	145
標高差 m	130	85
距離 m	5,390	6,330
平均勾配 (%)	2.41	1.34

b. 各調査区間の距離

ペーメン川			オニセップ川		
区間	距離 m		区間	距離 m	
	2010年	2011~		2010年	2011~
A	70	90	A	320	320
B	200	220	B	120	110
C	400	400	C	160	160
D	670	670	D	200	240
E	110	190			
F	170	220			
G	110	130			
合計	1,730	1,920	合計	800	830

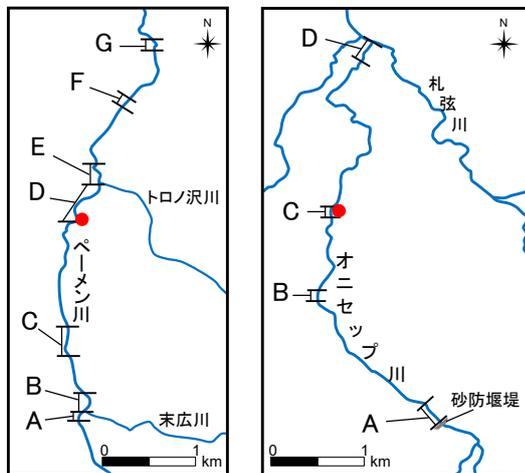


図 2. 調査区間の概要 (図 1 の点線枠内の拡大図. 左: ペーメン川, 右: オニセップ川, 赤点は水位 (ペーメン川) および水温 (ペーメン川, オニセップ川) の観測点).

これらの区間に加え, ペーメン川では 5 区間 (区間 A, B, E-G) 計約 800m, オニセップ川では 2 区間 (区間 B, D) 350m を加えて産卵床数を計数しました. いずれの場合も産卵床は基本的に下流側から上流に向かって歩いて確認しました. オニセップ川の A は遡上限界となっている砂防堰堤直下の区間でしたが, 2014 年夏にこの堰堤に魚道が設置されたため, その年の産卵群から堰堤の上流への遡上が可能となりました.

まず, はじめに調査区間を拡大した 2010 年以降の流路長 100m あたりの産卵床数 (産卵床形成密度) を図 3 に示しました. ペーメン川では調査区間の全域で産卵が確認されましたが, 場所によって産卵床の密度が異なり, 最上端の区間 A や F, G では産卵の行われない年も見られたのに対し, B-D の調査区間では毎年産卵が見られ, 産卵床密度も高く, これらの区間を中心に産卵が行われていることが伺われました. 最上流の区間 A は源流

部付近のため水量が少ないこと, 区間下端には林道を渡すためにコルゲート管が設置されていて管を越えての遡上が難しいことに加え, 河床には砂や泥などが多くなり産卵に適した砂利の場所が限られていたため, 産卵床が少なかったものと考えられます. また, 最下流の区間 G を含むその付近は流路が牧草地や畑地に沿って改修された形跡が見られ, 川幅が狭く直線的で流れの速い区間となっていたため, 産卵に不向きであったものと考えられます. 6 年間の平均はそれぞれ 4.1 床/100m (C および D), 3.3 床/100m (A-G) でした.

一方, オニセップ川では札弦川との合流点付近 (オニセップ D) から遡上境界の堰堤 (オニセップ A) まで比較的高い密度で産卵が行われていて, 6 年間の平均は 6.8 床/100m (A-D), 8.2 床/100m (A および C) と, ペーメン川と比較して 2 倍の密度で産卵が行われていることが明らかとなりました. 調査を行った 6 年間で最低はペーメン川, オニセップ川とも 2014 年で, それぞれ 1.2 床/100m (ペーメン A-G), 2.7 床/100m (オニセップ A-D) でした.

2005 年から継続して調査していたペーメン C, D とオニセップ A, C の産卵床形成密度を比較しました (図 4). ペーメン川では上流側の区間 C が区間 D に比べ観察を行った 11 年間で一貫して高く, ペーメン C で平均 5.5 床/100m, ペーメン D で平均 3.5 床/100m を示しました. オニセップ川では区間 A の上流端には魚止めとなる砂防堰堤が設置されているため直下での産卵床密度が高くなると考えられますが, 比較したところ区間 A の平均は 8.5 床/100m, 区間 C で 8.6 床/100m とほぼ

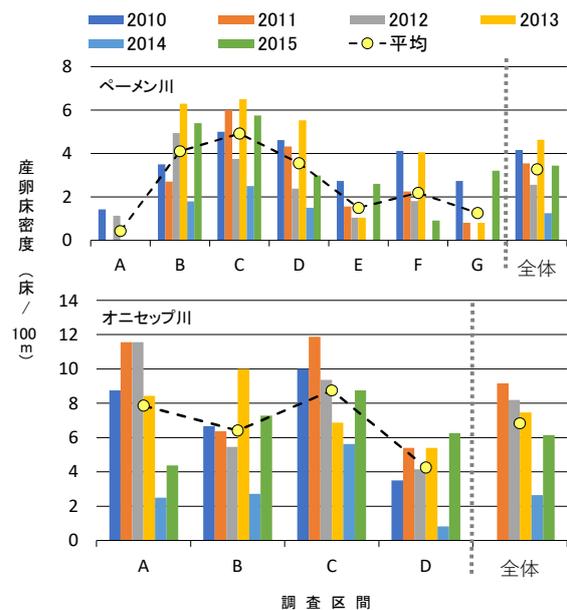


図 3. ペーメン川とオニセップ川での区間毎の産卵床形成密度 (流路 100m あたりの産卵床数) の経年変化 (2010-2015 年).

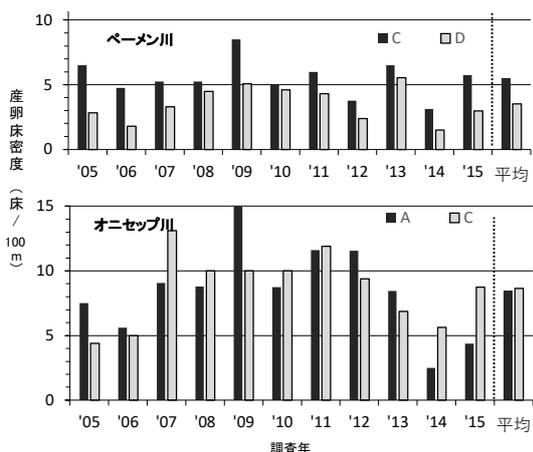


図4. ペーメン川(区間C, D)及びオニセップ川(区間A, C)での産卵床密度(流路100mあたりの産卵床数)の経年変化(2005-2015)。

同程度の産卵床が形成されていました。ただ、2014年に魚道が完成し、その年の産卵親魚から上流で産卵が観察されていましたので、区間Aでの産卵は魚道ができる前に比べて少なくなったものと思われる。また、魚道が完成すればすぐに親魚が遡上することが確かめられ、産卵場および稚魚の生息空間の拡大にすぐに効果が現れることがわかりました。また、①ペーメンのCとD、②オニセップのAとC、および③ペーメン(C+D)とオニセップ(A+C)の産卵床密度の経年変化について相関を調べたところ、いずれも正の相関を示したことから(① $r=0.684, p=0.020$, ② $r=0.5718, p=0.066$, ③ $r=0.6376, p=0.0348$, n はいずれも11)、これらの変化は河川(今回は斜里川)全体の産卵動向を大まかながら示しているものと考えられ、河川全体の資源変動の指標になり得ると考えます。オニセップ川でやや相関が低かったのは区間Aにある堰堤の影響も考えられます。

今回観察されたサクラマス産卵床密度は他の道内河川での調査結果と比較しても高い値でしたが(青山・畑山1994; 杉若ら1999)、産卵床は特定の場所、特定の区間に集中して形成される場合もありますので(杉若ら1999)、調査に際しては観察する区間をなるべく広くとることや事前に産卵の状況を把握することも必要になります。今回の観察でも産卵場所の変動が見られましたが、河川において再生産を行うサケ科魚類は産卵可能な場所、稚魚の餌や生息場所によって制限されるため、河川毎に最適な個体群サイズが規定され、このため遡上し産卵する親魚も河川ごとに一定のレベルに維持されるといわれています(Krueger and May 1991)。今のところこれらの値が最適レベルに近いのか、あるいは既に減少しつつあるサクラマス資源量に起因する低い値なのか不明ですが、この

ような産卵床の計数や浮上した稚魚の生息密度や生残率などのモニタリングはサクラマス個体群保全や資源回復に向けた取り組みのためにも重要であり、続けていく必要があります。

産卵床の物理的特徴

つづいて、産卵床の物理的な特徴について調べた結果を示します。2007年と2008年にペーメン川の区間C及びDで観察された産卵床について、川岸からの位置、ピット(堀)の水深、幅、長さ、マウンド(塚)の幅、長さおよび頂部の水深、流速を測定するとともに(図5)、隆起部を形成する礫について、最も大きな割合を占める礫径をInoue et al. (1997)に従って、目視で5段階に区分しました。

産卵床の大きさについては平均で、マウンドは幅54.5cm、長さ76.0cm、ピットは幅49.5cm、長さ64.3cm、水深は11.1cmでした(表2)。また、産卵床上の平均流速は約41.8cm/sで、大部分が20cm/sを超え、70cm/sまでの流速範囲に形成されていました。産卵床の砂利サイズについては、64-256mmのサイズで1床確認されたものの、80%以上が16-64mmの砂利区分を示し、残りは2-16mmでした(図6)。さらに、産卵床が川幅方向のどの位置にあるか調べたところ、岸寄りの1/2区間に70%以上の産卵床が形成されており、中央部より岸寄りを選んで産卵していました(図7)。産卵床の幅(Wm)を考慮すると、実際はほとんど川岸

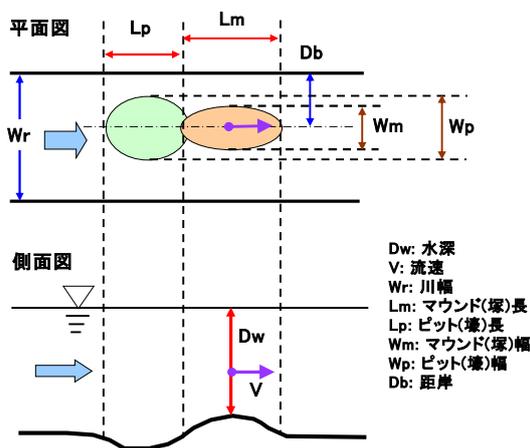


図5. 産卵床(模式図)の測定項目。

表2. 産卵床の物理的特徴(2007年ペーメン川, N=40)。

	ピット		マウンド			
	幅(Wp)	長さ(Lp)	幅(Wm)	長さ(Lm)	水深(Dw)	流速(V)
	cm	cm	cm	cm	cm	cm/s
平均	49.5	64.3	54.5	76.0	11.1	41.8
偏差	16.11	29.90	22.60	27.53	5.11	17.04
平均2*(FL)	1.17	1.53	1.29	1.80	0.26	0.99

*: 平均2: 親魚の平均尾叉長(FL)で除した値。ここでは2007年に斜里事業所に回帰した親魚の測定値42.1cmを用いた。

に接して形成されており、川幅 3-5m 程度の小支流においてもこのように岸際に多く産卵することが確かめられました。

産卵床の形状に関して、一般にさけます類では

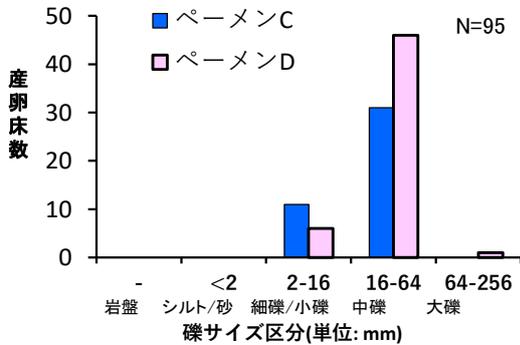


図 6. 産卵床の礫サイズ分布 (ペーメン川, 2007 および 2008 年).

親魚が流れを利用して尾で穴を掘り、被覆するため、流れの強弱が大きく影響し、場所によって産卵床の長さ、幅、高さには差異が生じるとされています (小林 1968). このことは、産卵床を掘るメス親魚の体サイズによっても産卵床の形状や産卵場所の礫径が異なってくる可能性を示しています. 今回観察された産卵床の形状はこれまでの報告 (長内・大塚 1967; 杉若ら 1999) よりやや小さい値でしたが、彼らが調査した日本海側の雌親魚の平均尾叉長が 50-60cm とやや大型であることを考慮すると (大熊 1988; 眞山 2005), 斜里川のサクラマスの産卵床が小型になることは十分予想されます. そこで、親魚体サイズが異なる地域の産卵床の形状を比較する上で基準となる指標も必要と考え、表 2 には斜里川で人工ふ化に供した親魚の平均尾叉長 (FL=42.1cm) で除した値も記載しました.

水位と水温環境

ペーメン川区間 D 上端付近での水位変化を図 8 に、水温変化を図 9 に示しました. 図 9 にはオニセツ川 (区間 C 下端付近) の水温も示しました. 基本的に斜里川の支流の多くは源流近くでの地下水の浸み出しを始まりとして流れ出し、豊かな溪畔林に囲まれて流下するため、水温変化はあまり大きくなく水位も安定しているように感じられました. また、流路内には溪畔林の倒木による段差や淵が多く形成されていますが、流路中の倒木の位置や苔の繁茂状況から、増水による倒木ではなく、風による倒木であることがうかがわれました. そこで実際に水位計でその変化を観察したところ、年により降雨に伴う一時的な水位の変動が見られるものの、その幅は 15cm 程度であまり大きくはなく、予想通り安定した水位となっていました (図 8). また、融雪増水は 4 月の半ばから始まり、それ以降は秋の産卵期まで水位を維持する傾向が見られ、融雪増水による水位の上昇は 10cm 程度にとどまっていた. このことは産卵床内の卵や仔魚、浮上後の幼稚魚の生残にとつ

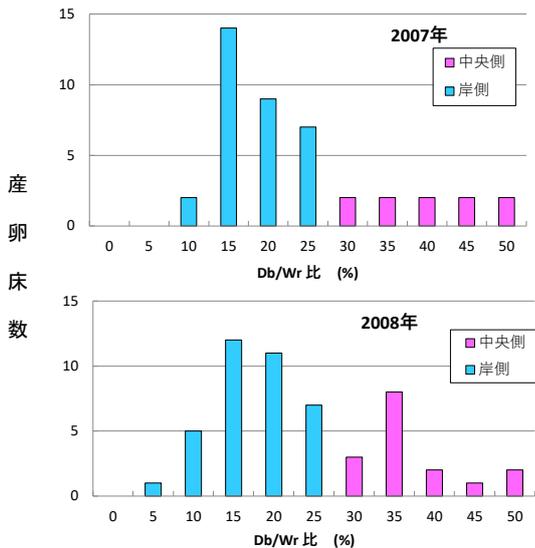


図 7. 産卵床の川幅方向の形成位置 (ペーメン川). 0%は岸, 50%は流路中央を示す. Db: マウンド頂部から近いほうの岸までの距離, Wr: 川幅 (図 5 参照). 便宜上 0-25%を岸側, 25-50%を中央側とした.

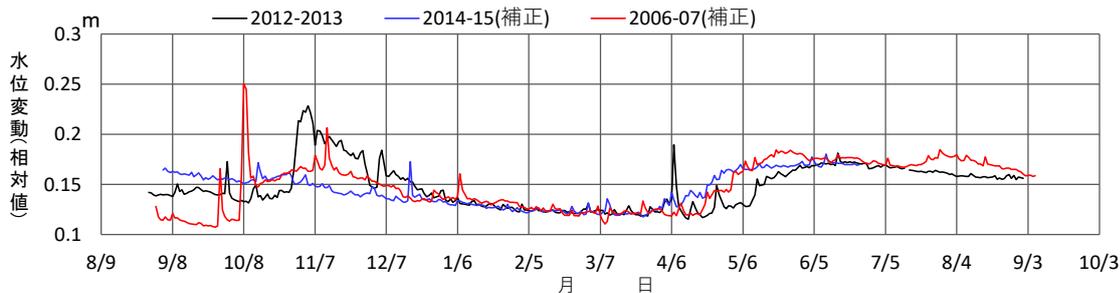


図 8. ペーメン川の水位変動. 2014-15 年および 2006-07 年のデータは 2012-13 年の 2-3 月の平均値 (最低水位) を用いて補正.

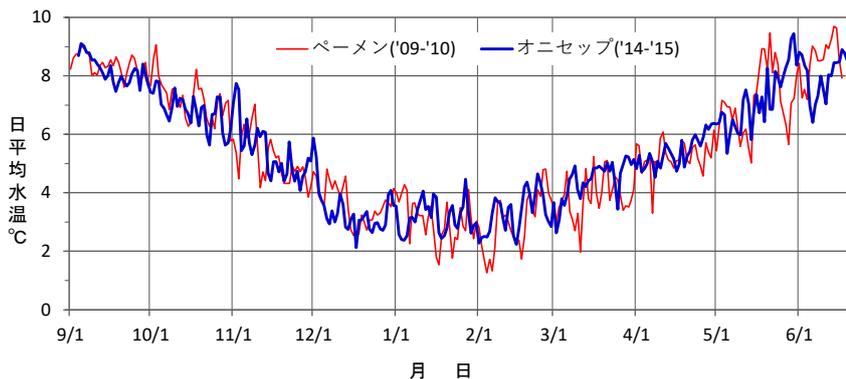


図9. ペーメン川 (2009-2010 年) とオニセップ川 (2014-2015 年) の日平均水温の変化. ペーメン川は産卵床脇の砂利中で、オニセップ川は河床上で水温を計測.

て好条件と考えられました (青山・畑山 1994).

水温についてもやはり湧水を主な起源として溪畔林の中を流下するため、変動は少なく日平均水温は真冬でも 2°C 前後、夏でも 10°C 程度でした. そのため、冬場の環境は比較的好条件と考えられましたが、逆に夏場は水温が低いため、あまり成長が望めないような環境でした.

さてこのような環境で産み付けられた卵がどのようにふ化し、稚魚となっていくのか、図9に示したペーメン川での日平均水温を用い、その積算水温から推定してみました (図10). ここでは8月末から9月末までと想定される産卵期間内のふ化 (440°C・日) および浮上 (880°C・日) までに要する日数の変化を産卵日別に示しました. これをみるとペーメン川では9月1日に産みつけられた卵は2月21日頃に、9月30日に産みつけられた卵は4月19日頃にそれぞれ浮上することが予想されました. すなわち、産卵日が1ヶ月弱変わるだけで冬場の水温低下により浮上が約2ヶ月も

変わることを示しています. 今回観察したペーメン川での産卵は8月下旬に始まり9月半ばにはほとんど終わっていますので、浮上時は融雪増水が始まる前と考えられますが、このように産卵時期の違いにより浮上時期が大きく異なってくることが予想され、稚魚の生き残りや成長にも影響を与えることも考えられます (青山・畑山 1994). しかし、逆にこのように産卵時期が分散することで環境変化に対するリスクの緩和に役立っているのかも知れません. これらについてもサクラマス資源の保全と回復のためさらに研究を進めていく必要があるでしょう.

おわりに

斜里川は道東オホーツク海側のサクラマス資源を支える河川の一つで、現在でも北水研がサクラマスの人工ふ化放流事業を実施している重要な河川ですが、将来に渡って斜里川のサクラマスを維

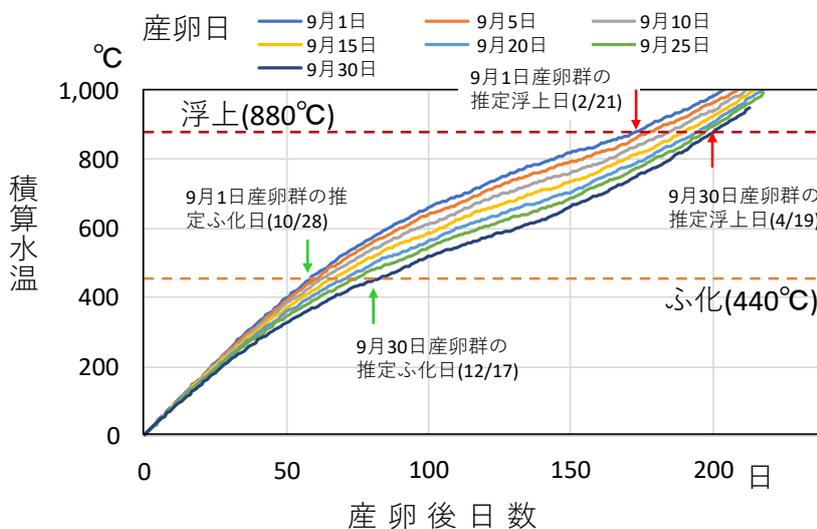


図10. 図9の水温変化に基づいて産卵日別に推定した産卵からふ化 (440°C) および浮上 (880°C) までに要する日数の変化 (ペーメン川 2009-2010 年).

持し利用していく上で、自然再生産に由来する野生資源の保全と培養は避けて通れないと考えます。今回は紙面の都合で産卵実態についてのみ述べましたが、産卵後の生存率や野生魚の比率などについても別の機会にお伝えしたいと思っています。

本研究を進めるにあたり、旧さけますセンターを含む北海道区水産研究所の職員、並びに北見管内さけ・ます増殖事業協会の方々から格段のご配慮を頂きました。記してお礼申し上げます。

引用文献

- 青山智哉・畑山 誠. 1994. 見市川におけるサクラマス天然産卵床について. 魚と水, 31:71-82.
- 広瀬健一郎・丸谷知己. 1993. 山地河川における階段状河床地形とヤマメ (*Oncorhynchus masou masou*) 産卵床の形成位置に関する研究. 九大演報, 68:73-84.
- 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会. 1988. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史統計編, 北海道農文協, 札幌. 432pp.
- Inoue, M., S. Nakano, and F. Nakamura. 1997. Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 54:1331-1341.
- 石黒武彦・小野郁夫・吉光昇二. 2000. サクラマス増殖技術の開発について - 新資源造成事業 (1984-96) の経過と結果 -. さけ・ます資源管理センター技術情報, 167: 21-36.
- Kitanishi, S., K. Edo, T. Yamamoto, N. Azuma, O. Hasegawa, and S. Higashi. 2007. Genetic structure of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) populations in Hokkaido, northernmost Japan, inferred from mitochondrial DNA variation. Journal of Fish Biology, 71(sc): 437-452.
- 小林哲夫. 1968. サケとカラフトマスの産卵環境. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 22:7-13.
- Krueger, C.C. and B. May. 1991. Ecological and genetic effects of salmonid introductions in North America. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48(Suppl. 1): 66-77.
- 丸山 隆. 1981. ヤマメ *Salmo (Oncorhynchus) masou masou* (BREVOORT) とイワナ *Salvelinus leucomaenis* (PALLAS) の比較生態学的研究. I. 由良川上谷における産卵床の形状と立地条件. 日本生態学会誌, 31: 269-284.
- 眞山 紘. 2005. サクラマス生態ノート パート 2. さけ・ます資源管理センター技術情報, 171: 1-13.
- 宮腰靖之. 2008. 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・埴山雅秀・浜崎活幸・谷口順彦編), 成山堂書店, 東京. pp.48-65.
- Morita, K., T. Tamate, Y. Sugimoto, Y. Tago, T. Watanabe, H. Konaka, M. Sato, Y. Miyauchi, K. Ohkuma, and T. Nagasawa. 2009. Latitudinal variation in egg size and number in anadromous masu salmon *Oncorhynchus masou*. Journal of Fish Biology, 74: 699-705
- 中村智幸. 1999. 鬼怒川上流におけるイワナ, ヤマメの産卵床の立地条件の比較. 日水誌, 65(3): 427-433.
- 大熊一正. 1988. 尻別川のサクラマスの性比, 年齢及び体長. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 42:37-47.
- Okazaki, T. 1986. Genetic variation and population structure in masu salmon *Oncorhynchus masou* of Japan. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52(8): 1365-1376.
- 長内 稔・大塚三津男. 1967. サクラマスの生態に関する研究. 1. 溯河サクラマスの形態と産卵生態について. 北海道立水産孵化場研究報告, 22: 17-32.
- 坂野栄市. 1986. 北見地方の鮭鱒ふ化事業史. 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会. 136pp.
- 杉若圭一・竹内勝巳・鈴木研一・永田光博・宮本真人・川村洋司. 1999. 厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造. 北海道立水産孵化場研究報告, 53:11-28.
- 鈴木研一・小林敬典・松石 隆・沼知健一. 2000. ミトコンドリア DNA の制限酵素切断型多型解析から見た北海道内におけるサクラマスの遺伝的変異性. 日水誌, 66(4): 639-646.
- 鈴木俊哉. 1999. 遊楽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, 4:1-4.
- Takahashi, G. 1989. Status of charr and masu salmon management in Japan; A call for conservation guidelines. Physiol. Ecol. Japan, Spec., Vol.1: 683-690.
- 玉手 剛・早尻正宏. 2008. 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, 52(2): 72-84.
- 卜部浩一・村上泰啓・中津川 誠. 2004. 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, 613:32-44.

研究成果情報

「食べられない魚」づくり

みやもと こうた
宮本 幸太（中央水産研究所 内水面研究センター）

はじめに

食べられない魚と聞くと、美味しくない魚、あるいは毒のある魚を想像しますが、ここでは人ではなく“野生動物に”食べられない魚づくりについての研究を紹介します。海や川の魚を増やす方法の1つに稚魚放流があります。稚魚放流は、私の研究対象であるイワナやヤマメを含む様々な魚を対象に、日本各地で盛んに行われています。しかし、これまでの研究から、放流した稚魚の多くが放流直後に野生動物によって食べられてしまうことが報告されています(Symons 1974; Roby et al. 2003)。このため、野生動物に食べられにくい魚のつくり方や放流方法を開発できれば、今よりも多くのイワナやヤマメを川に残すことができるのではないかと考え、この研究を始めました。

視覚・聴覚・嗅覚刺激に対する反応

まず始めに、魚が捕食者である野生動物をどのように感知し、食べられないよう反応するのかを水槽実験で調べました。この実験では、野生動物による捕食行動を再現するため、糸で吊るした鳥型の模型[(模型が勢いよく着水した際の)視覚や聴覚への刺激]と仲間が食べられた際に生じる匂い物質(嗅覚への刺激)をそれぞれ水槽内へ投入し、各刺激に対するヤマメの反応を調べました。なお、匂い物質には、ヤマメの皮をすりつぶした液体を使用しました。その結果、両刺激の後には、多くの魚が餌を食べたり泳いだりする行動を止め、水槽の底に設置したシェルターに隠れたり、砂利に身を寄せるなどの警戒行動を示すことが確認されました(Miyamoto 2016a)。この結果から、ヤマメには視覚や聴覚による刺激以外にも、仲間の魚が食べられたり傷つけられた際に生じる匂い物質により、捕食者の存在や攻撃を感知する能力を持っていると考えられます。一方で、人に飼育された魚は、捕食者に襲われる経験をしていないため、自然環境下で生きる魚と比べて危険を素早く感知したり、捕食者の攻撃に適切に対応する能力が低いと報告されています(Jackson and Brown 2011)。そのため、嗅覚への刺激を使って魚に危険を学習させたり(Mirza and Chivers 2000)、刺激に敏感に反応する魚を選ぶことで、将来、野生動物に食べられない魚をつくることもできるかもしれません。

食べられにくい魚の大きさ

次に野生動物に食べられにくい魚の大きさについて調べました。この実験では、放流魚(被食魚)としてヤマメ(尾叉長 55-150mm)を、捕食魚としてイワナ(尾叉長 160-330mm)を実験池へ入れ、両者の体の大きさと生き残った魚の数との関係を調べました。その結果、大型の捕食魚ほど小型の放流魚を数多く捕食すること(図1)、放流魚の体の長さが、捕食魚の体の長さの40%程度まで成長すれば極めて食べられにくくなることがわかりました(Miyamoto and Araki 2017)。この結果から、大型の捕食魚が数多く生息する場所では、大きな魚を放流したほうが良いと考えられます。その一方で、野外にある人工河川(図2)で行った実験では、捕食動物が鳥類(アオサギ)である場合、小型の放流魚の方が食べられにくいことが確認されています(図3)(Miyamoto et al. 2017)。これらの結果から、野生動物による捕食の被害を少なくするには、放流を予定している川や湖に生息する捕食動物の種類や大きさをよく理解した上で、放流魚の体サイズや数を検討することが重要と考えられます。

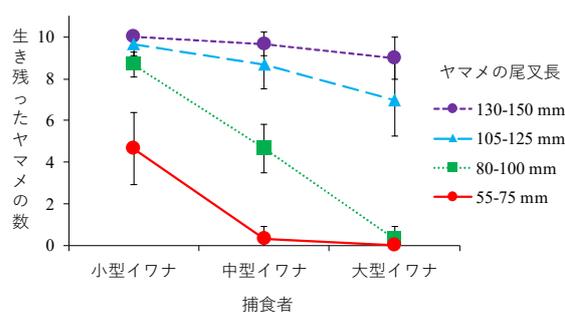


図1. 捕食魚(イワナ)のいる水槽に尾叉長の異なる被食魚(ヤマメ)を入れた時の生き残りの状況。

食べられにくい魚の体色や性格

最後に、前述した人工河川で行った実験をもう1つ紹介します。この実験では、イワナ、ヤマメ、ニジマス、アルビノニジマス、無斑ニジマス(※アルビノニジマスと無斑ニジマスはニジマスの突然変異個体, 図4)の背中での体色と行動を測定し、河川へ放流した後にそれぞれ生き残った魚の数を調べました。その結果、他の魚とくらべて体色の明るいアルビノニジマスと、不活発で隠れ場所を



図2. 人工河川.

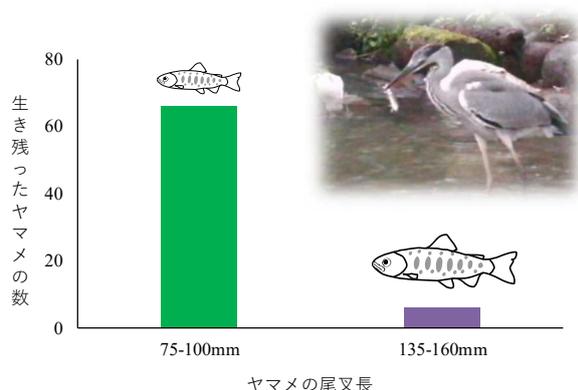


図3. 人工河川に放流したヤマメの体サイズと生き残りとの関係. 写真は人工河川でヤマメを捕食するアオサギ.

利用しない無斑ニジマスの生き残りがとても悪いことがわかりました(図5)(Miyamoto 2016b). これらの結果は放流魚の体色と行動が、放流後の生き残りと深く関係していることを示しています. アルビノニジマスや川や湖に放流することはあまりありませんが、体色に変異のない魚でも明るい色の水槽や照明の強い場所で魚を飼育すると体色が明るくなることが知られています(Donnelly and Whoriskey 1991). このため、野生動物に食べられない魚をつくるには、放流前に暗い場所や川底に似た色の水槽で飼育して、捕食者に見つかりにくい体色にしておくことが重要と考えられます. さらに同じ種類の魚の中でも、人間と同じように大胆や臆病といった性格を持つ魚が存在するため(Sneddon 2003)、隠れ場所をよく利用するような臆病な魚を増やすことができれば、野生動物に捕食されにくい魚をつくることのできるのではないかと考えています.

おわりに

以上のように、野生動物に“食べられない魚”をつくるため、様々な研究を行っています. しか

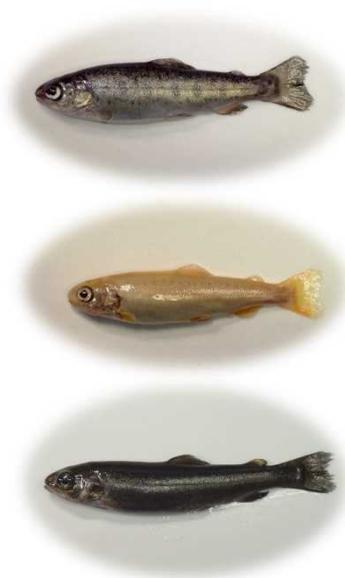


図4. ニジマス(上), アルビノニジマス(中央)および無斑ニジマス(下).

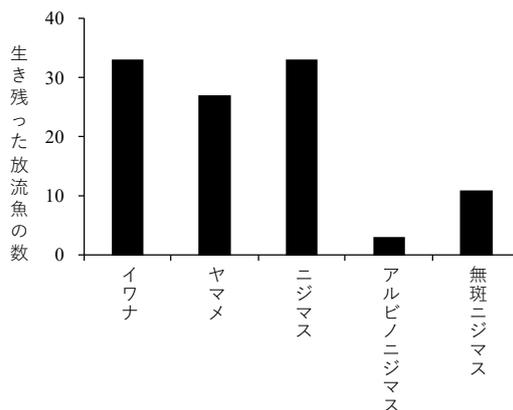


図5. 人工河川に放流した魚の種類と生き残りとの関係.

し、捕食者となる野生動物の種類や放流場所の環境の違いによっても“魚の食べられにくさ”は大きく変わると予想され、まだまだ不明な点が多く残されています. また、魚を食べられにくくするには、魚そのものに注目するだけでなく、自然に近い環境で飼育すること(Roberts et al. 2014)や放流する時間帯(Roberts et al. 2009)なども重要であることが明らかになってきています. 今後、これらについても研究を進めていき、沢山の魚が川や湖で生き残れる技術を開発したいと考えています.

引用文献

Donnely, W.A., and Whoriskey Jr, F.G. 1991. Background-color acclimation of brook trout for

- crypsis reduces risk of predation by hooded mergansers *Lophodytes cucullatus*. *N. Am. J. Fish. Manage.* 11: 206-211.
- Jackson, C.D., and Brown, G.E. 2011. Differences in antipredator behaviour between wild and hatchery-reared juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) under seminatural conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 2157-2166.
- Mirza, R.S., and Chivers, D.P. 2000. Predator-recognition training enhances survival of brook trout: evidence from laboratory and field-enclosure studies. *Can. J. Zool.* 78: 2198-2208.
- Miyamoto, K. 2016a. Effect of visual and chemical stimuli on predator avoidance behavior in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Aquacult. Sci.* 64: 43-51.
- Miyamoto, K. 2016b. Effects of body color luminance and behavioral characteristics on predation risk in salmonid fishes. *Hydrobiologia* 783: 249-256.
- Miyamoto, K. and Araki, H. 2017. Differentiated predation risk on hatchery-reared juvenile masu salmon by white-spotted charr with different body sizes. *Fish. Sci.* 83: 245-250.
- Miyamoto, K., Squires, T. E., and Araki, H. 2017. Experimental evaluation for predation of stocked salmon by riparian wildlife: the effects of prey size and predator behaviors. *Mar. Freshwater Res.* <https://doi.org/10.1071/MF17215>
- Roberts, L.J., Taylor, J., Gough, P.J., Forman, D.W., and de Garcia de Leaniz, C. 2009. Night stocking facilitates nocturnal migration of hatchery-reared Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolts. *Fish. Manag. Ecol.* 16: 10-13.
- Roberts, L.J., Taylor, J., Gough, P.J., Forman, D.W., and Garcia de Leaniz, C. 2014. Silver spoons in the rough: can environmental enrichment improve survival of hatchery Atlantic salmon *Salmo salar* in the wild? *J. Fish Biol.* 85: 1972-1991.
- Roby, D.D., Lyons, D.E., Craig, D.P., Collis, K., and Visser, G.H. 2003. Quantifying the effect of predators on endangered species using a bioenergetics approach: Caspian terns and juvenile salmonids in the Columbia River estuary. *Can. J. Zool.* 81: 250-265.
- Sneddon, L.U. 2003. The bold and the shy: individual differences in rainbow trout. *J. Fish Biol.* 62: 971-975.
- Symons, P.E.K. 1974. Territorial behavior of juvenile Atlantic salmon reduces predation by brook trout. *Can. J. Zool.* 52: 677-679.

研究成果情報

サケの発眼卵放流に適した河川環境の検討

～省コストな増殖手法の導入を目指して～

いいだ まさや
飯田 真也 (日本海区水産研究所 資源管理部)

はじめに

日本ではふ化放流事業を主体としたサケ *Oncorhynchus keta* の資源管理が行われてきました。しかし、サケの漁獲量がそれほど多くない本州日本海側(富山県以北)では、増殖事業経費の縮減や電気・餌代の高騰、さらには技術者の高齢化などの経営課題によって、ふ化放流事業を継続することが困難な地域が増えてきました。今後、本州日本海側のサケ資源を持続的に利用していくためには、従来のふ化放流事業の継続を図りつつ、より省コスト・軽労な増殖手法にも着手する必要があります。

省コストな増殖手法の1つとして、ヤマメやイワナなど内水面漁業対象種に広く普及する発眼卵放流が知られています。発眼卵放流とは、発眼卵を河床に埋設する増殖手法です。発眼期までは従来のふ化放流事業と同様に飼育しますが、仔魚期以降は自然界に委ねることで増殖コストを削減出来ます。ただし、河川は早い流れの瀬、深く穏やかな淵など地形的な変化に富んでいるものの、どのような環境にサケの発眼卵放流を行えば高い生残率で稚魚を生産することが出来るのかは十分明らかにされていませんでした。そこで、環境観測を行った河床へサケの発眼卵を埋設し、それらが稚魚に育つまでの生残率を調べ、発眼卵放流に適した河川環境を検討しました (Iida et al. 2017)。本稿ではその概要を紹介します。

パイパートボックスを用いた発眼卵放流の実施

新潟県荒川水系赤坂川で調査を行いました。同水系では毎年約120万尾のサケ稚魚が荒川ふ化場から放流され、秋には約1.1万尾のサケ親魚が遡上します。赤坂川では例年サケの自然産卵が行われています (飯田 未発表)。荒川ふ化場で飼育する発眼卵を250粒ずつ収容したパイパートボックス (Wesche et al. 1989, 図1) を2013年に19個、2014年に23個用意しました。後述する環境要素を観測した後、パイパートボックスを埋設しました (図1)。赤坂川の積算水温から卵が稚魚まで育つと予想された日に全てのパイパートボックスを回収しました。回収後、パイパートボックス内

で斃死した卵と仔魚を計数しました。生きた稚魚は外部へ移動もしくは内部に留まっているものと仮定し、発眼卵が稚魚に育つまでの生残率(%) $\{100 \times (250 - \text{斃死個体数}) / 250\}$ を求めました。

埋設地点の環境評価

埋設地点では水深と流速を計測しました。河床底質を評価するため、パイパートボックスを埋設する前に河床の砂礫を採集しました。それら砂礫サンプルを自然乾燥させた後、10段階の篩(目合い: 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32 および 64 mm) で粒径ごとに分け、それぞれを計量しました。サケ科魚類の卵・仔魚の生残は河床に含まれる粒径2 mm以下の細かな土砂の量に影響を受けると考えられています (Chapman 1988; Yamada and Nakamura 2009)。そこで、埋設地点の河床底質の指標として砂礫サンプルに占める粒径2 mm以下の土砂の割合を求めました。埋設地点の動水

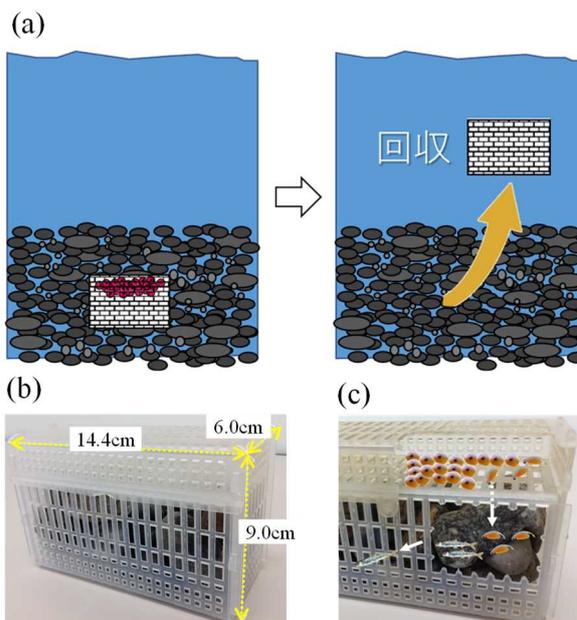


図1. (a) 容器を用いた発眼卵放流の一般的な作業手順。通水性の高い虫かご状の容器に発眼卵を収容し、その容器を深さ約20 cmに埋設する。浮上後、容器を回収する。(b) パイパートボックスの構造。上段に発眼卵、下段に直径3-5 cmの小石を収容する。(c) 仔稚魚はスリットを通じて下段およびボックス外へ移動する。

勾配を計測しました。動水勾配とは表層と河床内の水交換に関する指標です。河床から表層に向かって水が湧き上がる場所ではプラスの値、表層から河床へ水が浸透する場所ではマイナスの値を示します (Baxter et al. 2003, 図 2)。一般的に、サケは産卵場所として水が湧き上がる場所を好むとされ (Salo 1991), 動水勾配が卵の生残に影響を及ぼす可能性があると考えました。以上 4 つの環境要素 (粒径 2 mm 以下の土砂の割合, 動水勾配, 水深, 流速) と生残率の関係について統計モデルで検討しました。

河川環境と発眼卵放流群の生残率の関係

生残率の平均値は, 2013 年級では 92.7% (範囲 57.2-100%), 2014 年級では 71.5% (同 6.4-100%) でした。生残率は粒径 2 mm 以下の土砂の割合が高いほど低下する傾向が認められました (図 3a)。この要因として, 細かな土砂が多いと河床の隙間が埋められて新鮮な水が供給されづらくなり, 卵・仔魚が低酸素状態に陥って減耗 (Greig et al. 2005) したことが考えられました。

一般的に, サケは川底から表層に向かって水が湧き上がる環境 (すなわち, 動水勾配がプラス) に産卵すると認識されており (Salo 1991), 当初, 動水勾配が大きいほど生残率は高まること予想されました。しかし, 本研究では動水勾配と生残率の間に確かな関係は認められませんでした (図 3b)。近年, サケの産卵場所は産卵時期によって異なることが明らかとなり, 北海道の豊平川では前期 (9-10 月) に産卵する個体は表層水が浸透する場所 (動水勾配がマイナス), 後期 (11-1 月) に産卵する個体は湧水のある場所 (動水勾配がプラス) へ産卵することが確かめられています (鈴木 2008)。これらを踏まえると, 表層水が河床へ浸透する環境自体が発眼卵放流群の生残に影響を及ぼしてはいないと考えられました。

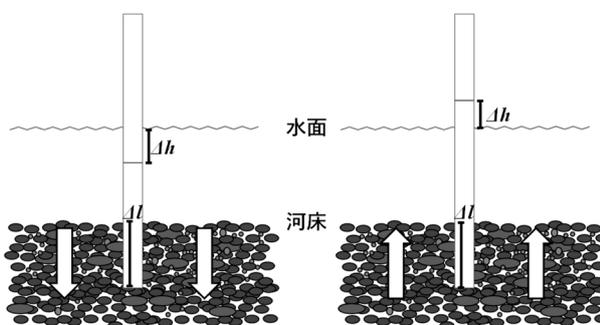


図 2. 動水勾配の概念図。動水勾配 ($\Delta h/\Delta l$) はパイプを河床に挿し, パイプ内と河川水面の水位差 (Δh) および挿した深さ (Δl) から求める。浸透する場所では負の値 (左図), 反対に水が湧き上がる場所では正の値 (右図) を示す (Baxter et al. 2003 を改変)。

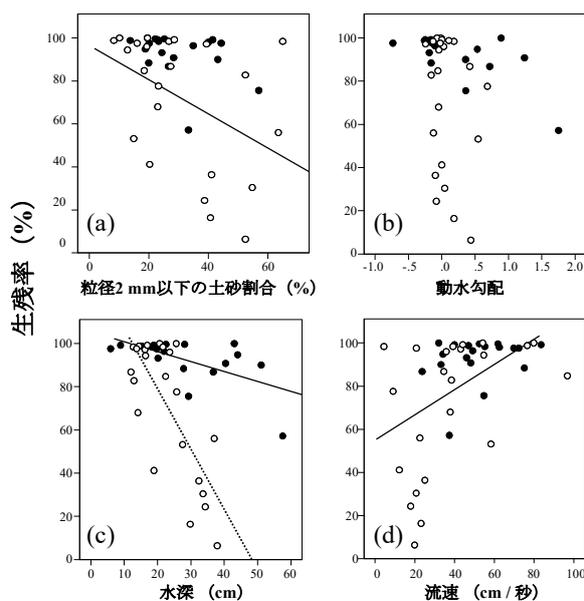


図 3. 発眼卵放流群の生残率と放流環境の関係。黒丸が 2013 年級群 (N=19), 白丸が 2014 年級群 (N=23) を示す。確かな影響が認められた場合, その環境要素と生残率の関係性を直線で表した。水深 (c) と生残率の関係性は調査年によって異なったため, 2013 年級分を点線, 2014 年級分を実線で示した。

生残率は水深が浅いほど (図 3c), また, 流速が速まるほど (図 3d) 高まる傾向が認められました。表層水に含まれる土砂が河床内へ時間の経過とともに侵入する量は水深が深いほど, また, 流速が遅いほど多くなることが実験的に確かめられています (Beschta and Jackson 1979)。経時的に侵入する土砂によって河床の隙間は徐々に塞がれて, 通水性は低下してしまいます。本研究ではバイバートボックス回収時の砂礫底質を直接評価していませんが, 水深が浅い, また, 流速が速い環境では経時的な土砂の侵入が抑制されて通水性が低下しづらく, その結果, 生残率が高かったと推察されました。

以上から, 稚魚に育つまでの生残率が高い発眼卵放流を行うには, 細かな土砂が少なく (高い通水性の確保), 流速が速くて浅い場所 (経時的に侵入する土砂の抑制) を選択することが重要であり, 動水勾配に配慮する必要性は低いと考えられました。

おわりに

発眼卵放流は 2 つの手法, ①容器放流 (図 1), ②直まき (Gustafson-Marjanen and Moring 1984, 図 4) に大別されます。今回は生残率を埋設地点ごとに把握する必要があったため, 容器放流を採用しました。ただし, 容器放流では容器の回収作業が必要です。また, 容器自体が土砂の堆積を助長して生残に悪影響を与えると指摘されています

(Harshbarger and Porter 1979). これらを踏まえると、大規模な発眼卵放流を行う場合には直まきを採用することが推奨されます。

発眼卵放流は発眼期で飼育を終えるため、仔魚から稚魚に至る2-3ヶ月の飼育コストを削減出来ます。また、稚魚放流に比べて魚病の拡散リスクが少ないことでも注目されています (Barlaup and Moen 2001)。ただし、日本では流域開発事業等の影響によって河床に細かな土砂が堆積 (山田 2007) するなど、河川環境が荒廃している状況が散見されます (真山 1993; Yoshimura et al. 2005)。その場合、発眼卵放流を行う前に河床材を適当なサイズの礫と入れ替える (Merz and Setka 2004) など、河川環境を回復させるための新たなコストが発生するかもしれません。従来の稚魚放流をどれだけ発眼卵放流に代替していくか、その配分は放流河川環境 (良好な河床環境が存在するか) やふ化場 (掘削作業労力の確保など) の実情に合わせて慎重に検討しなければなりません。また、本州日本海域において稚魚放流群の回帰率は約 0.3% (Saito and Nagasawa 2009) とされる一方、発眼卵放流群の回帰率は不明です。現在、日本海区水産研究所では耳石標識を施した発眼卵を直まきで放流し、それらの回帰率を検証する調査を進行しています。粗放的に生産した種苗の方が自然界への適応力が高いとの指摘 (Hesthagen and Johnsen 1989; 津村・山本 1993) もあり、稚魚放流に比べて粗放的な環境で育った発眼卵放流群の回帰率を丁寧に検討していきたいと考えます。

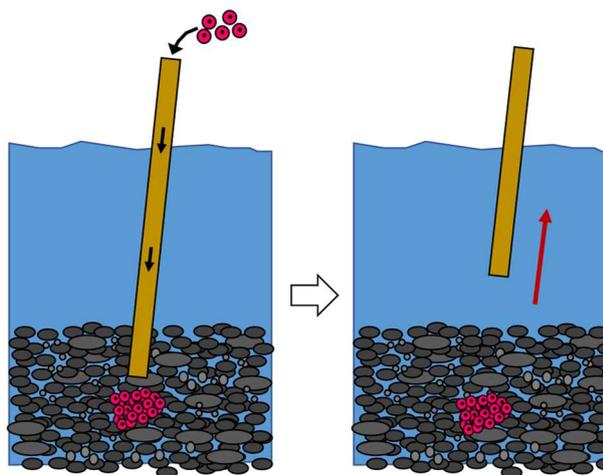


図4. 直まき (発眼卵放流) の一般的な作業手順。河床へ挿入したパイプを通じて発眼卵を流し込み (左図)、パイプを抜くことで放流は完了する (右図)。

引用文献

- Barlaup, B. and V. Moen. 2001. Planting of salmonid eggs for stock enhancement – a review of the most commonly used methods. *Nord. J. Freshwat. Res.* 75: 7-19.
- Baxter, C., F. R. Hauer and W. W. Woessner. 2003. Measuring groundwater-stream water exchange: new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity. *Trans. Am. Fish. Soc.* 132: 493-502.
- Beschta, R. L. and W. L. Jackson. 1979. The intrusion of fine sediments into a stable gravel bed. *J. Fish. Board of Canada.* 36: 204-210.
- Chapman, D. 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 117: 1-21.
- Greig, S., D. Sear and P. Carling. 2005. The impact of fine sediment accumulation on the survival of incubating salmon progeny: implications for sediment management. *Sci. Total Environ.* 344: 241-258.
- Gustafson-Marjanen, K. I. and J. R. Moring. 1984. Construction of artificial redds for evaluating survival of Atlantic salmon eggs and alevins. *N. Am. J. Fish. Manage.* 4: 455-456.
- Harshbarger, T. J. and P. E. Porter. 1979. Survival of brown trout eggs: two planting techniques compared. *Prog. Fish-Cult.* 41: 206-209.
- Hesthagen, T. and B. Johnsen. 1989. Lake survival of hatchery and pre-stocked pond brown trout, *Salmo trutta* L. *Aquacult. Res.* 20: 91-95.
- Iida, M., S. Imai and S. Katayama. 2017. Effect of riverbed conditions on survival of planted eyed eggs in chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fish. Sci.* 83: 291-300.
- 真山 紘 1993. サケ・マスの生態特性と河川. 河川生態環境工学 (玉井信行・水野信彦・中村俊六編), 東京大学出版会, 東京, pp. 111-121.
- Merz, J. E. and J. D. Setka. 2004. Evaluation of a spawning habitat enhancement site for Chinook salmon in a regulated California river. *N. Am. J. Fish. Manage.* 24: 397-407.
- Saito, T. and K. Nagasawa. 2009. Regional synchrony in return rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japan in relation to coastal temperature and size at release. *Fish. Res.* 95: 14-27.
- Salo, E. O. 1991. Life history of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). In "Pacific salmon life histories" (ed. by C. Groot and L. Margolis), UBC Press, British Columbia, Canada, pp. 231-309.
- 鈴木俊哉. 2008. 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, 2: 3-5.
- 津村誠一・山本義久. 1993. 飼育方法と健苗性. 放流魚の健苗性と育成技術 (北島力編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 84-93.
- Wesche, T. A., D. W. Reiser, V. R. Hasfurth, W. A. Hubert and Q. D. Skinner. 1989. New technique for measuring fine sediment in streams. N. Am. J. Fish. Manage. 9: 234-238.
- 山田浩之. 2007. 細粒土砂汚染とは何か? 河川管理に求められることは? 河川, 63: 81-83.
- Yamada, H. and F. Nakamura. 2009. Effects of fine sediment accumulation on the redd environment and the survival rate of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) embryos. Landsc. Ecol. Eng. 5: 169-181.
- Yoshimura, C., T. Omura, H. Furumai and K. Tockner. 2005. Present state of rivers and streams in Japan. River Res. Appl. 21: 93-112.

技術情報

サケ仔魚の発育と飼育開始時期の地域差について

おおもと けんいち
 大本 謙一（北海道区水産研究所 さけます生産技術部 虹別さけます事業所）

はじめに

筆者はこれまで北日本各地のふ化場を巡回し技術普及を行ってきました。また、多くの現場で飼育管理を行い、サケの孵化や浮上のタイミングは地域の違いやふ化場の立地条件、採卵時期によって異なることを実感しました。帰山（1990）によると、浮上とは生理的には卵黄由来の内部栄養から外部栄養への移行時期、生態的には産卵床から脱出し始めて遊泳し餌を取り出す時期、形態的には鰭の条数が幼稚魚の定数にほぼ達する時期とされています。そして摂餌機能と遊泳機能の基本形が出来上がった時期から稚魚と呼ぶようになります。この浮上のタイミングに合わせて適切に飼育開始（餌付け開始）することは、健康な稚魚の育成に重要であると考えられます。

本報告では、サケの仔魚期（孵化から浮上）における形態変化と、5河川のふ化場（図1）で収集した、河川群と採卵時期により異なる浮上時期、立地条件（特にふ化場から河口までの流程）による発育の違い（魚体重のピーク）に関するデータから、それぞれのふ化場に適した飼育開始時期の考え方を紹介します。

サケ仔魚の特徴的な形態変化

生物の発育を表現する方法に積算温度という用語が用いられます。積算温度とは1日の日平均温度を毎日足し上げた数値を表します。サケの卵は水温が8.0℃の場合、受精後30日（8.0℃×30日＝積算温度240℃・日）で眼が確認できるようになり、480℃・日で孵化が始まります。ここではサケが仔魚期において、どのような形態変化を示すのか、その発育過程のイメージを外部形態（図2）・消化器官（図3）・鰾（うきぶくろ）（図4）に注目して紹介します。

孵化直後（500℃・日）のサケ仔魚の外観は背鰭から尾鰭にかけて仔魚膜という膜に覆われています（図2a）。消化管は単層上皮細胞からなる1本の単純な管状の管です（図3a）。600℃・日になると外観は背側に黒色素胞が濃く現れます（図2b）。消化管は胃となる部分が湾曲してきます（図3b）。700℃・日になると外観は仔魚膜の80%ほどが消失し尾鰭の割れが明瞭になります（図2c）。また、仔魚膜が消失することで鰭を自由に動かせるようになることから養魚水槽（養魚池・浮上槽）内の動きが活発になってきます。消化器官は胃と腸の

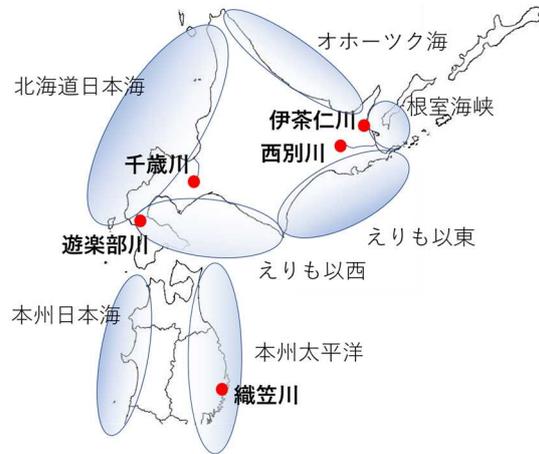


図1. 日本におけるサケ地域個体群（青楕円）と織笠川（織笠川ふ化場）、遊楽部川（八雲さけます事業所）、千歳川（千歳さけます事業所）、西別川（虹別さけます事業所）、伊茶仁川（伊茶仁さけます事業所）の位置（赤丸）。

区別がつくようになり（図3c）、鰾の基本構造も既に観察されます（伴 未発表, 図4a）。800℃・日になると外観は光反射性色素と呼ばれる銀白色の色素の沈着が明瞭となり、パーマークもはっきりと確認できるようになります（図2d）。消化器官は形態的に胃と腸への分化を遂げ、筋層と上皮細胞からなる基本構造が発達します（図3d）。胃には胃腺が確認され消化管として機能し始めることを示しています。また、この時期に鰾が機能

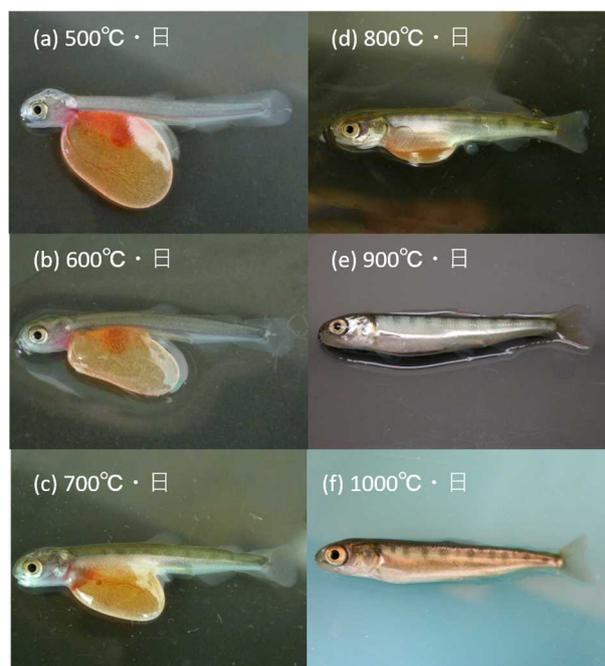


図2. サケ仔魚の積算温度毎の外部形態に見られる変化。

しはじめ (図 4b), さらに活発に動くようになります。さらに, 右側に位置していた肝臓は左側に移動をはじめ, 肝臓の実質細胞内にグリコーゲン液胞が出現し, この時期に蓄積された栄養は浮上した稚魚が摂餌を開始する際のエネルギー源として使われると考えられています (伴ら 1995)。900°C・日になると鰭の条数が幼稚魚の定数に達し, 腹部の縫合以外は外観的に幼稚魚との区別はなくなります (図 2e)。肝臓は下腹部中央に位置し (図 3e), 鰾を構成する膜は幼稚魚の構造に達します (図 4c)。1,000°C・日には腹部が完全に縫合し (図 2f), 肝臓が左側へ移動し (図 3f), 鰾を構成する膜は結合組織, 筋層, 薄板上皮の3層構造が明瞭となり (図 4d), 内臓は幼稚魚とほぼ同じ基本構造に達します。このことから, 生理的お

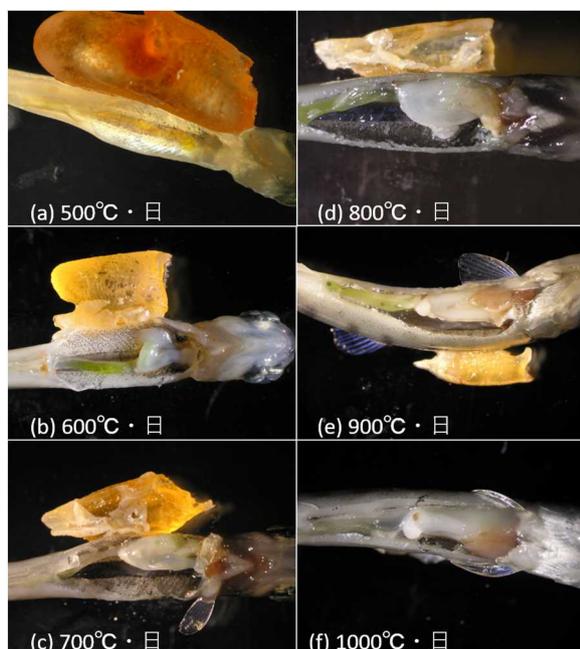


図 3. サケ仔魚の積算温度毎の消化器官に見られる変化。

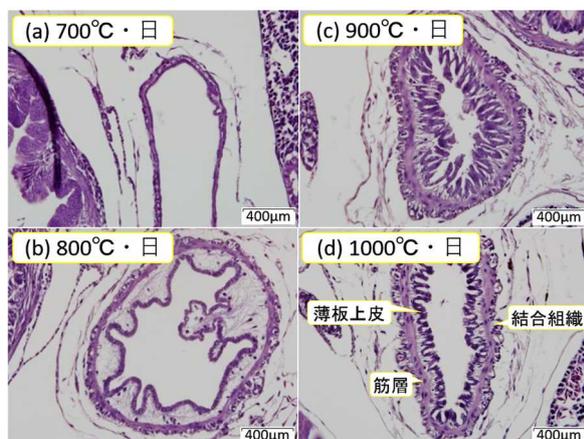


図 4. サケ仔魚の積算温度毎の鰾の組織切片像 (写真提供: 伴 真俊)。

よび形態的な浮上は 900~1,000°C・日が目安になるのではと考えられています。

浮上判定を外部形態で行った場合の河川群ごとの浮上積算温度の違い

各河川群における採卵時期別の浮上積算温度を図 5 に示しました。浮上の判定は腹部の外部形態で行いました。この図から, 河川群や採卵時期別によって浮上積算温度に違いがあるのがわかると思います。遊楽部川の浮上時期は前・中・後期群のすべてにおいて差が認められました。また, 千歳川では前期と後期, 中期と後期群に, 西別川では前期と中期, 前期と後期群に差が見られました。伊茶仁川は前期と後期群で浮上積算温度に差が見られました。このように, 河川群の違いにより浮上積算温度が異なるだけでなく, 採卵時期 (受精時期) が遅くなると浮上までの積算温度が短くなる傾向が認められます。浮上積算温度が一定でないのは河川群や採卵時期の違いにより発育速度に違いがあるためだと考えています。

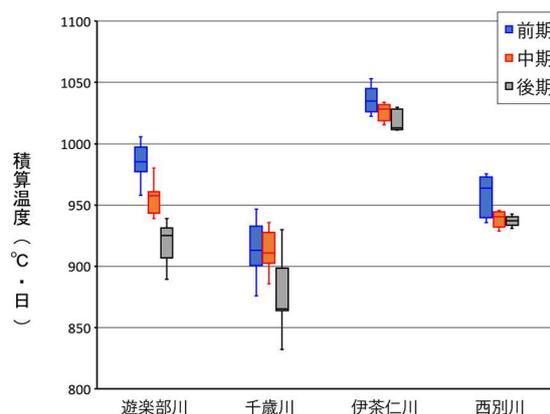


図 5. 河川群における採卵時期別 (前期: 開始~10/20, 中期: 10/21~11/10, 後期: 11/11~終了) の浮上積算温度 (遊楽部川 2001~2004 年, 千歳川 2007~2008 年, 伊茶仁川 2010~2011 年, 西別川 2016 年のデータを示す)。ひげは 10 尾のデータ範囲, 箱上部は 75% 値, 箱中央線は中央値, 箱下部は 25% 値を示す。

浮上判定を魚体重ピークで行った場合の河川群ごとの浮上積算温度の違い

同じ採卵時期における河川群ごとのサケ仔魚の発育の違いを図 6 に示しました。千歳川, 伊茶仁川, 西別川は 11 月下旬, 織笠川は同じ時期の採卵群が無かったため一旬遅い 12 月上旬群のデータです。生理的な浮上, つまり内部栄養から外部栄養への転換時期の目安をより明確に判断するため, ここでは魚体重がピークとなる時期に着目しました。魚体重のピークは, 千歳川と西別川のサ

ケは900°C・日, 伊茶仁川と織笠川のサケは950°C・日と異なりました. このように同時期の採卵群でも河川群の違いにより魚体重のピークに違いが見られ, 浮上時期が異なっています. 違いが生じた理由については, ピークが遅い伊茶仁川と織笠川のふ化場は河口からの距離が約 2km ほどなのに対し, ピークが早い千歳川と西別川のふ化場は河口より 80km 以上上流に位置するため, 降河距離の長さから発育が速くなる特性があるのではと考えています.

同じ地域個体群における, 採卵時期別のサケ仔魚の発育の違いを図7に示しました. 同じ根室海

峡にある伊茶仁川と西別川の河口は直線距離で 40km ほどしか離れていません (図1). 両河川とも前・中期群と後期群で卵重に差が見られますが, 伊茶仁川のサケでは魚体重のピーク (950°C・日) に期別の変化は見られませんでした. 一方, 西別川のサケでは卵重に関係なく発育が変化し, 魚体重のピークに前期群 (950°C・日) と中・後期群 (900°C・日) で差が見られました. Beacham et al. (2008) が示した日本における地域個体群の系統樹では, 標津川 (伊茶仁川は標津川の約 2km 北に位置する) と西別川のサケは同じ根室海峡系群で一括りにされていますが, 立地条件 (ふ化場が

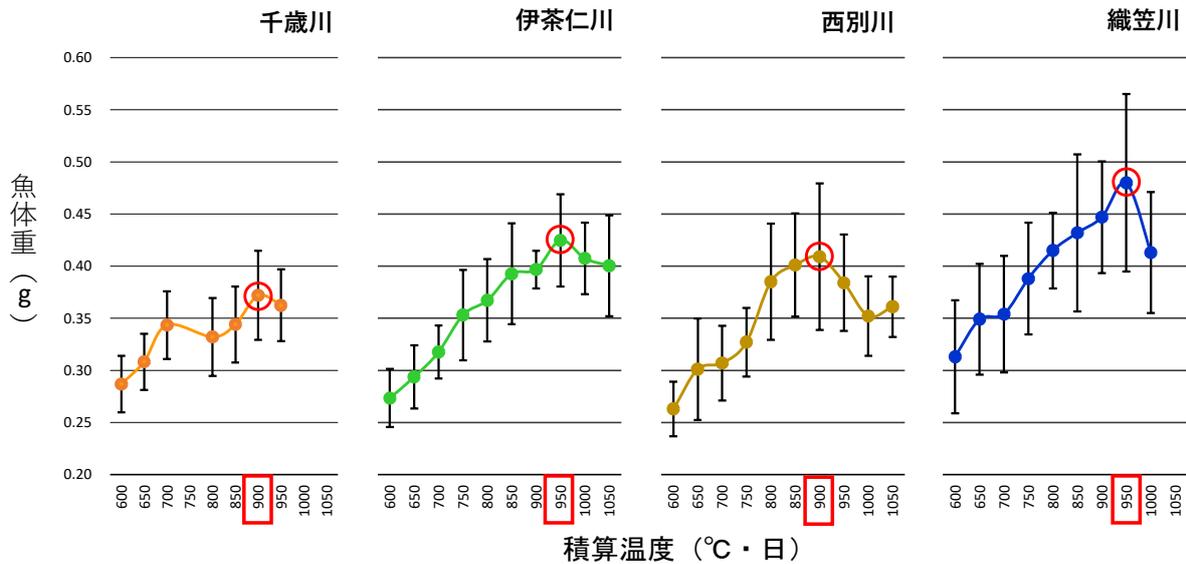


図6. 同じ採卵時期における河川群ごとのサケ仔魚の発育の違い (千歳川, 伊茶仁川, 西別川は 11 月下旬, 織笠川は 12 月上旬群のデータ). 丸印は 10 尾の平均値, バーは±標準偏差を示す.

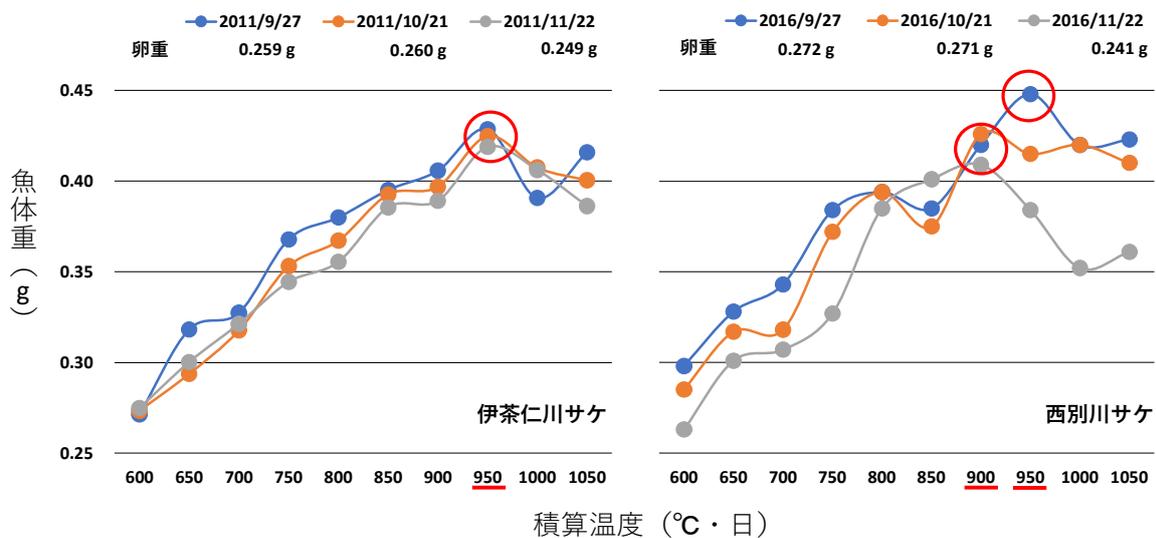


図7. 同じ地域個体群における採卵時期の異なるサケ仔魚の発育の違い (伊茶仁川: 2011 年級, 西別川: 2016 年級). 丸印は 10 尾の平均値. 卵重は吸水後の収容時 (積算水温 0°C・日) の重量を示す.

上流部にあるか下流部にあるか、その土地の標高など)の違いにより発育特性が変わっている可能性が考えられます。また、西別川のサケ前期群は流程が長くても早い時期に卵が産み落とされることから発育速度が遅くても降海時期に間に合いますが、中・後期群は急ぐ必要があるため前期群より発育速度が速くなる特性を持ったと考えられました。

飼育開始時期について

帰山(1986)は、仔魚を安静な状態で管理し、高いエネルギーを持った状態で浮上させることが、その後の外部栄養の獲得に有利であると述べており、北海道での飼育開始時期は外部栄養の獲得に有利な900~1,000°C・日を目安に飼育開始されています(野川・八木沢 2011)。一方、岩手県内水面水産技術センター(2009)では、飼育開始時期は積算温度900~960°C・日で、稚魚の状態は腹部の膨らみがほとんど認められず、腹部が縫合直前の状態にあり、群れ全体の半分以上が泳ぎだしたところとされています。また、北海道立水産孵化場増毛支場(1978)では、飼育を開始する適期は浮上した仔魚の体重が減少しはじめる前としています(この時代は800°C・日くらいを浮上としていたようです)。

孵化した仔魚は卵黄をエネルギー源として体を発育させます。そして卵黄を利用して発育できる魚体重が最大になるときが飼育開始に適したタイミングと考えられます。今回、魚体重のピークは河川群や採卵時期、河川流程の違いにより大きく異なることが示唆されたことから、今後は各ふ化場のピークを把握することが重要です。佐々木(1989)は、飼育開始が遅い試験群(967~1,063°C・日)は、早い群(860~928°C・日)に比べ成長が遅れが生じ、ピンヘッド状態で死亡する個体が多かったと報告しています。このことから魚体重を減少させることなくスムーズに飼育開始することが健苗育成の重要な第一歩と言えます。水温の高いふ化場(特に本州のふ化場)では、仔稚魚のエネルギー要求量が高くなるため特に飼育開始の遅れには注意が必要です。

おわりに

本稿ではサケの仔魚期の発育特性について紹介しました。孵化後、浮上のタイミングは鰾を構成する膜が幼稚魚の構造に達する時期と考えられ、魚体重のピークが飼育開始の目安と考えられました。河川群ごと、採卵時期の違いで孵化した仔魚の発育特性が変わることから、浮上、飼育開始のタイミングも異なると考えられます。また、河川流程の長さによる発育特性の違いも見られました。適切な管理手法を確立するためには各ふ化場の発育特性を細かく把握することが重要と考えます。今後、調べていない河川群や鰾の採卵時期の違いによる発育特性など、新たな知見が得られましたら改めて報告したいと思います。

引用文献

- 伴真俊・長谷川裕康・阿部邦夫. 1995. サケの発育にともなう消化器官系の組織学的変化. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 49:21-26.
- Beacham T. D., Sato S., Urawa S., Le K. D., and Wetklo M., 2008: Population structure and stock identification of chum salmon *Oncorhynchus keta* from Japan determined by microsatellite DNA variation. *Fish. Sci.*, 74: 983-994.
- 北海道立水産孵化場増毛支場. 1978. サケ仔魚の初期成長と餌付け時期に関する研究. 魚と水, 16:15-16.
- 岩手県内水面水産技術センター. 2009. サケふ化飼育管理の手引(平成20年度改訂版). <http://www.pref.iwate.jp/suisan/kikan/oshirase/2007/007656.html>
- 帰山雅秀. 1986. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活史に関する生態学的研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 40:31-92.
- 帰山雅秀. 1990. サケ属魚類の発育と成長. 魚と卵, 159:45-49.
- 野川秀樹・八木沢功. 2011. さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(飼育管理編). 水産技術, 3(2):67-89.
- 佐々木正吾. 1989. サケの餌付け時期に関する検討. 魚と卵, 158:17-22.

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議 研究部会

ふくわか まさあき すずき けんご
福若 雅章・鈴木 健吾（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

はじめに

平成 29 年 8 月に「平成 29 年度さけます関係研究開発等推進会議 研究部会」を札幌市で開催しました。本部会は、さけます類に関する研究開発等を効率的かつ効果的に推進するために設置され、関係道県の試験研究機関等との情報交換を密にし、相互の連携強化を図ることを目的としております。

研究部会

本会議は 8 月 1 日 9 時 30 分から 12 時 30 分に 9 道県の試験研究機関、水産研究・教育機構（以下、当機構）、およびオブザーバーとして 2 大学、4 道県の水産行政部局から合計 22 機関 68 名の参加の下で開催されました。主催者である北海道区水産研究所中津所長の挨拶の後、議事に入りました。

各機関の研究開発の実施状況

各道県試験研究機関および当機構の平成 29 年度のさけます関連研究開発課題の一覧表に沿って、各試験研究機関から主な課題の調査研究計画と結果概要が紹介されました。オブザーバーである各大学からも研究結果の概要が紹介され、さけます研究が水産研究分野において非常に大きなウェイトを占めていることが伺われました。

また、各試験研究機関が行った平成 28 年度のさけます標識放流結果と平成 29 年度の標識放流計画の報告、および資源・増殖に関するモニタリングデータを記録した CD を配布し、試験研究機関間での情報の共有を図りました。さらに、試験研究機関のみならず大学などでのさけます研究をより一層促進するために、今後これらのモニタリングデータをウェブサイトへ公表する準備を始めることで意見の一致を見ました。

平成 28 年漁期におけるサケ資源状況

平成 28 年漁期のサケ来遊資源は平成に入ってから最低の水準にまで落ち込みました。その要因を探るための検討を行いました。

まず、北水研さけます資源研究部 斎藤グループ長から東北水研・日水研と検討した平成 28 年度漁期のサケ資源状況とその減少要因についての



写真 1. 「研究部会」会議全景。



写真 2. 主催者挨拶：北海道区水産研究所 中津所長。

分析結果を以下のように報告しました。

平成 28 (2016) 年漁期の回帰主年齢である 4 年魚 (2012 年級群) の来遊量が全国的に大きく減少したことが、全体の来遊量を減少させました。2012 年級群の降海時期である 2013 年の冬から春の北日本沿岸の水温は平年並みか低く、初夏はかなり高かったため、サケ幼魚の分布・回遊に適した水温環境が形成された期間が短かったと推測されました。このことが、2012 年級群豊度の減少に影響を与えた可能性が示唆されました。

次いで、この報告に対する質疑応答と討議が行われ、太平洋沖合域での環境変化や回帰時の高水温の影響、野生魚とふ化場魚の資源変動の違い、ロシアでの資源状況、沿岸での幼魚調査結果など、さまざまな検討を行いました。結論としては当機構から報告した分析結果に同意が得られました。

今回得られた検討結果の多くは間接的な証拠に基づいています。このことから、今後も引き続き

放流後の幼魚を追跡調査するなど、減耗機構に関する研究を進める必要が指摘されました。そのようにして得られた科学的知見により、人工ふ化放流や野生魚生息環境の修復などを含む増殖技術の向上とサケ資源の持続的管理方策の開発を進める必要があります。

サクラマス分科会

この分科会は、研究部会の下で、より詳細にサクラマスに関する議論を進めるために設置された専門の会議です。研究部会では、本分科会への付託事項を「サクラマス資源の保全や増養殖による持続的かつ安定的な生産を実現するための、関連する試験研究および技術についての情報交換や構成者間の連携強化ならびに新たな試験研究の企画・立案」とすることが了承されました。本分科会は研究部会に先立つ7月31日13時30分から17時00分に道県の試験研究機関・行政部局、当機構、および水産庁（オブザーバー）の合計14機関39名の参加の下で開催されました。

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 ト部主査より、北海道におけるサクラマス資源の増殖と管理の現状についてご報告いただきました。また、一昨年度から各機関が実施しているサクラマス資源再生産実態モニタリングの実施状況と結果について、各機関から報告が行われ、実施上の問題点について意見交換を行いました。

各機関独自の取り組みや研究結果の報告を行い、内容について意見交換するとともに、今後の共同プロジェクト研究の提案内容についても議論し、とくに今回の会議ではモニタリング調査を充実させるための外部資金獲得に関して検討を行いました。さらに、サクラマス資源状況に関する情報交換を行い、引き続きデータ収集に取り組むことも確認しました。

合わせて、内水面関係研究推進会議に提案されたサクラマス関係の共同研究ニーズについても検討を行い、対応案を内水面関係研究推進会議に提案することとなりました。

日本全体ではサクラマス資源は長期間低迷が続いていますが、ごく一部の地域では回復しつつあるという情報も聞こえてきております。回復傾



写真3. 平成28年漁期におけるサケ資源状況に関する報告：北海道区水産研究所 斎藤グループ長。



写真4. 「サクラマス分科会」会議全景。

向がすべての地域に広がるように、今後も各地域の試験研究機関が力を合わせてサクラマスの資源回復に取り組む必要があります。

おわりに

さけます資源は、日本の漁業資源の中でも最重要資源の一つです。とくに昨年度漁期のように大きな資源変動が起きると、北日本各地域の漁業、加工業や流通業など水産業全体への影響が非常に大きくなってしまいます。私たち、試験研究機関でさけます資源を担当する者は、このような会議を通じて研究情報の交換を進め、すべての地域でさけます資源を安定的に供給するための資源管理方法の策定にさらに努力する必要があると考えております。

会議報告

さけます報告会

ひらま よしのぶ

平間 美信（北海道区水産研究所 さけます生産技術部 技術課）

はじめに

今年で2年目となる「さけます報告会」は、さけます類のふ化放流を科学的かつ効果的に推進し、ふ化放流技術等の普及や改善を促すことなどを目的に開催しています。

さけます報告会

平成29年8月1日に札幌市で、さけ・ますふ化放流事業に関する行政機関、試験研究機関、増殖団体、漁業者、さけ・ますに興味のある一般の方、当機構内関係部署等249名の参加の下、さけます報告会を開催しました。

主催者を代表して北海道区水産研究所（以下、北水研）中津所長の挨拶に続き、来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培養殖課の伊佐課長から挨拶をいただき、7課題について報告を行いました。

1. 平成28年度漁期におけるサケ資源状況について

北水研さけます資源研究部の福若部長から、同日午前開催された「さけます関係開発等推進会議研究部会」での検討結果について、概要が報告されました（詳細については「さけます関係研究開発等推進会議 研究部会」の項を参照下さい）。

2. 北太平洋のサケ資源の状況とベーリング海調査結果について

北水研資源保全グループの鈴木グループ長から、北太平洋のさけます類の商業漁獲量は高水準を維持している一方で、隔年変動が大きくなっていること、北太平洋全域のさけます類放流数は昭和63年頃から一定の水準にあり、サケの放流数は日本



写真1. 「さけます報告会」全景。



写真2. 来賓挨拶：水産庁栽培養殖課 伊佐課長。

写真3. (左) 北海道区水産研究所 福若部長。
(右) 北海道区水産研究所 鈴木グループ長。

が最も多いが、近年ロシアからの放流数が増加傾向にあること等の説明がありました。また、平成28年のベーリング海調査では、平均漁獲尾数が平成26～27年に比べ増加したこと、ベーリング海の表面水温は高水温傾向にあるが、小型の動物プランクトンの現存量は増加したこと、漁獲されたサケの系群組成では日本系の減少と北米系の増加が顕著であることなどが報告されました。

3. 平成29年度サケ来遊予測

①. 北海道のサケ来遊予測

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の藤原研究主幹から、昨年（平成28年度）のサケ来遊状況結果は平成以降最も少ない来遊数であり、主群となる4年魚の来遊不振が要因と考えられること、平成29年のサケ来遊予測は、5年魚が前年より下回ることが予測されるため、3,000万尾を下回る厳しい予測となっていることが報告されました。

②. 山形県のサケ来遊予測

山形県水産試験場浅海増殖部の高澤主任専門研究員からは、近年の来遊状況は平均15万尾で、平成27年は過去2番目となる32万尾の好漁であ

ったが、平成28年は15万尾で、平成29年度のサケ来遊予測は、平成28年度を大きく下回る8万尾となっていることが、山形県のふ化事業の紹介と合わせて報告されました。

4. 三陸沿岸域の海洋環境とサケ回帰率の関係

日本海区水産研究所資源環境部海洋動態グループの和川研究員から、岩手県のサケ回帰率は平成22年付近を境に低下しており、低下前後（平成21年と平成23年）のサケ回帰率とそれぞれの3年前（平成18年と平成20年）の海洋環境について、岩手県水産技術センターの観測資料を用いて調べたところ、低下前の平成18年は低温・低塩分な親潮水や表層水が、低下後の平成20年は高温・高塩分な津軽暖流水や黒潮水等が分布しており、サケ稚魚の沿岸滞留期の海洋環境が高温・高塩分化することが、3年後のサケの回帰率低下に影響すると示唆されることが報告されました。

5. 地域個体群による仔稚魚の発育と飼育開始時期について

北水研虹別さけます事業所の大本主任技術員から、異なる地域個体群のサケ仔稚魚の発育や飼育開始時期について調べた結果が報告されました（詳細については「サケ仔魚の発育と飼育開始時期の地域差について」の項を参照下さい）。

6. 耳石温度標識を用いて・・・

北水研技術課の戸嶋主任技術員からは、斜里川に回帰したサケの耳石温度標識結果から、10月に生まれたサケは、ほぼ同じ旬かその前旬に多く遡上しているが、11月中旬に生まれたサケはより幅広く、2旬前から遡上していることや、1年目のサケ幼魚のオホーツク海の回遊経路がロシアの調査で明らかになったことが報告されました。また、野生魚とふ化場魚を明確に区別することを目的に、今年度からカラフトマス的人工ふ化放流魚全てに耳石温度標識を付けて調査を行うことが報告されました。

7. 宗谷岬周辺を通過するサケ幼稚魚を採集する試み

北水研天塩さけます事業所の宮内主任技術員からは、日本海を北上し宗谷海峡を通過するサケ稚魚の成長や移動状況を把握することを目的として行っている、宗谷岬周辺におけるサケ幼稚魚の採集調査について、調査の実施状況と、採集した稚魚の耳石温度標識を調べた結果、石狩川や天塩川、頓別・幌内川の他、ロシアのサハリンから放流された魚が確認されたことが報告されました。



写真4. (左) さけます・内水面水産試験場 藤原研究主幹.
(中央) 山形県水産試験場 高澤主任専門研究員.
(右) 日本海区水産研究所 和川研究員.



写真5. (左) 北海道区水産研究所 大本主任技術員.
(中央) 北海道区水産研究所 戸嶋主任技術員.
(右) 北海道区水産研究所 宮内主任技術員.

アンケート結果

今後のさけます報告会を充実させるため、報告会の参加者にアンケート調査を実施しました。設問1の「役立つ内容であったか」については、「はい」(72%)と「まあまあ」(28%)で100%となり、皆様から好評価をいただきました。設問2の「資料は役に立つ内容であったか」については、「はい」(75%)と「まあまあ」(24%)で99%となりましたが、「あまり」とした回答も1%あり、「全ての発表資料の配付」の要望がありました。また「取り組むべき研究開発課題やさけます報告会への意見・要望について」は、サケの不漁要因の解明を求める声や耳石温度標識の分析結果を用いたふ化放流事業の技術開発についての要望など、多くの意見をいただきました。

おわりに

今年度で2回目となる「さけます報告会」ですが、さけますに関係する機関や団体、さけますに興味のある一般の方々にも参加いただき、情報交換を行う貴重な場として今後も開催していく予定です。

また、参加された皆様に協力を頂いたアンケート調査の意見などを踏まえ、より充実した報告会になるよう努めて参ります。

会議報告

第25回北太平洋溯河性魚類委員会(NPAFC)年次会議の概要

さとう しゅんぺい
佐藤 俊平 (北海道区水産研究所 さけます資源研究部)

北太平洋溯河性魚類委員会 (North Pacific Anadromous Fish Commission, NPAFC) は、「北太平洋における溯河性魚類の系群の保全のための条約」に基づき設置されている国際機関で、現在日本・アメリカ・カナダ・ロシア・韓国の5カ国が加盟しています。その目的は「条約水域(北緯33度以北の公海)における溯河性魚類(さけ・ます類: サケ・ベニザケ・カラフトマス・ギンザケ・マスノスケ・サクラマス・スチールヘッドトラウト)の系群の保全を推進すること」であり、その達成のため加盟各国が協力して科学調査や違法操業の取り締まりなどの活動を行っています。NPAFCは毎年5月中旬に各国持ち回りで年次会議を開催することになっており、本年(2017年)は5月15日~19日にカナダ・ブリティッシュコロンビア州の州都ビクトリア市で行われました。今年がNPAFCが設立されて25周年という節目の年であることから記念式典も催され、例年よりも華やかな雰囲気の中での年次会議となりました。

科学統計小委員会(CSRs)

NPAFCには本委員会の下に3つの小委員会(科学統計小委員会(Committee on Scientific Research and Statistics, CSRS)・取締小委員会(Committee on Enforcement, ENFO)・財政運営小委員会(Committee on Finance and Administration, F&A))が設置されています。このうちCSRSは①加盟各国が実施している調査研究活動(調査船調査や耳石温度標識パターンなど)の調整, ②系群識別など調査・研究手法の開発と標準化, ③加盟各国間のデータ・生物標本などの交換および人的交流の調整, ④ワークショップ・シンポジウムの企画・開催や研究報告などの出版物を通じた科学情報の公表, ⑤本委員会に対する科学的勧告を主な任務としています(浦和2017)。CSRSのメンバーは加盟各国でさけ・ます類を研究している科学者で構成され(写真1), 自身の専門分野をベースに毎年活発な議論が行われます。以下, 今回CSRSにおいて議論された内容について, その概略を紹介します。



写真1. 今回の年次会議に参加したCSRSメンバーの集合写真。写真提供: NPAFC。

2016年の北太平洋におけるさけ・ます類の漁獲量と放流量

2016年の北太平洋におけるさけ・ます類の総漁獲量は85.3万トン(4.4億尾)で、2008年以降の偶数年としては4年連続で80万トンを超えましたが、2010年以降見られる緩やかな減少傾向が続いています(図1)。国別ではロシアが43.9万トン(全体の51.5%、以下同じ)で最も多く、次いで米国28.0万トン(32.9%)、日本11.1万トン(13.0%)、カナダ2.2万トン(2.5%)、韓国256トン(1%以下)でした。魚種別に見るとカラフトマスが35.3万トン(41.4%)と最も多く、次いでサケが28.5万トン(33.4%)で、この2魚種で全体の74.8%を占めています。その他の魚種はベニザケが18.3万トン(21.5%)、ギンザケ2.2万トン(2.6%)、マスノスケ7,517トン(0.9%)、サクラマス1,196トン(1%以下)、スチールヘッド182トン(1%以下)となりました。また、2016年はカラフトマスの不漁年の年回りでしたが、ロシアと日本におけるカラフトマスの漁獲量が2015年(豊漁年)と比較し増加するという現象が見られました。カラフトマスの豊凶サイクルは時折入れ替わることから、今後アジア側のカラフトマスの豊凶サイクルがどのように推移するのか、注目されます。

2016年のさけ・ます類のふ化場からの総放流数は全魚種合わせて51.3億尾で、1993年以降ほぼ一定です。国別の放流内訳は米国19.6億尾(全体の38.2%、以下同じ)、日本19.0億尾(37.0%)、ロシア9.7億尾(18.9%)、カナダ2.8億尾(5.5%)、韓国2,195万尾(1%以下)でした。また魚種別の放流数はサケが33.4億尾(65.1%)と最も多く、次いでカラフトマス12.3億尾(23.9%)、マスノスケ2.4億尾(4.6%)、ベニザケ2.2億尾(4.3%)、ギンザケ7,574万尾(1.5%)、スチールヘッド1,985万尾(1%以下)、サクラマス798万尾(1%以下)でした。

北太平洋における耳石温度標識魚の放流状況

耳石温度標識は、発眼卵以降の卵期に飼育水温を一定間隔で変動させることにより、飼育しているさけ・ます類の耳石に任意のバーコード状の標識を大量に施標する技術です(浦和2001)。1995年以降、耳石温度標識魚の放流尾数は増加を続け、ここ数年は全放流魚の40%程度に温度標識が施されています。2016年に各国から放流された耳石温度標識魚は全魚種合わせて22.1億尾で、その内訳はサケ12.3億尾(全体の55.6%、以下同じ)、カラフトマス8.2億尾(37.2%)、ベニザケ7,425万

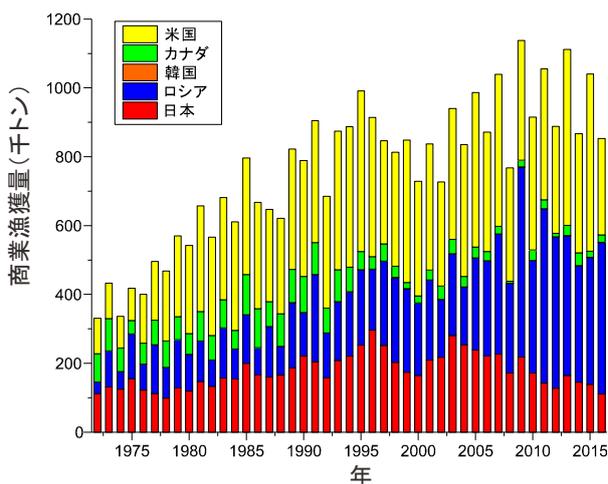


図1. 北太平洋におけるさけ・ます類の地域別漁獲量(1972-2016年)。データ出典：NPAFC。

尾(3.4%)、マスノスケ6,505万尾(2.9%)、ギンザケ1,653万尾(1%以下)、サクラマス256万尾(1%以下)で、サケとカラフトマスで総数の92.8%を占めています。また、国別の耳石温度標識魚の放流尾数は米国15.6億尾(70.6%)、ロシア3.0億尾(13.7%)、日本2.9億尾(13.1%)、カナダ5068万尾(2.3%)、韓国760万尾(1%以下)でした。なお、日本から2016年に放流された耳石温度標識魚の88.6%(2.6億尾)はサケで、その標識パターン数は99種類に上ります。

各国で確認されたさけ・ます資源や海洋環境に関する特異的事象

ここ数年、日本ではサケやカラフトマス漁獲量の急激な減少や秋サケ漁期における沿岸域の高水温など、これまでは見られなかった事象が確認されていますが、他の地域からもこのような特異的事象に関する報告がされました。例えば北米西海岸では2014年以降、水温が極端に高い状態が1年半ほど継続し、その結果毒性のある植物プランクトンの発生や通常この海域には生息しない動物プランクトンの存在が確認されました。これらの結果はこの地域のさけ・ます類の生残や回帰にも影響しているものと考えられます。このような太平洋沿岸の各地域で生じた特異的事象について、その情報を収集・共有することは、今後のさけ・ます資源の変動要因を明らかにする上で有益であると考えられます。

国際サーモン年の始動

昨年の年次会議において、国際サーモン年(International Year of Salmon, IYS)を北大西洋サケ保全機構(North Atlantic Salmon Conservation Organization, NASCO)と共同して実施すること

が決まりました。「変わりゆく世界におけるさけます類と人類 (Salmon and People in a Changing World)」という基本理念のもと、2018 年～2022 年の間にさけ・ます類に関する国際共同調査、ワークショップ・シンポジウムの開催、メディアや SNS、インターネット等を通じた一般市民への啓蒙活動など、IYS に関する様々な取り組みが実施されます (IYS に関する詳しい内容は本誌内の記事を参照ください)。

25 周年記念式典

冒頭でも触れましたが、NPAFC は今年で 25 周年を迎えました。その記念式典が 5 月 15 日の午後、年次会議と同じ会場である Victoria Conference Centre で華やかに举行されました。開会に先立ち、民族衣装をまとったカナダ先住民族による歓迎の踊りが披露され、その後、ブリティッシュ・コロ

ンビア州政府、NPAFC 各国代表、そして NPAFC における調査研究活動や取り締まり活動に大きな貢献をした研究者や沿岸警備隊員によるスピーチが行われました。式典を通じ、四半世紀にわたり活動を続けた NPAFC の歴史や功績を改めて認識するとともに、次の 25 年の活動を成功に導くための新たな一歩を踏み出すことができたのではないかと思います。

引用文献

- 浦和茂彦. 2001. さけ・ます類の耳石標識：技術と応用. さけ・ます資源管理センターニュース, 7: 3-11.
- 浦和茂彦. 2017. 2016 年 NPAFC 年次会議 科学調査統計小委員会 (CSRS) の概要. Salmon 情報, 11: 20-22.

トピックス

環境 DNA を用いた水圏生物研究

あらき ひとし (北海道大学大学院 農学研究院)
みずもと ひろき (北海道大学大学院 農学院)

はじめに

「環境 DNA」という言葉をご存知でしょうか。生物から剥がれ落ちて環境中を漂っている DNA を「環境 DNA」、これを集めて解析する技術を「環境 DNA 技術」と呼びます。私が環境 DNA の研究を始めたのは今から 4,5 年前になりますが、当時この技術の知名度はまだゼロで、「水を汲めば、周囲にどんな魚がいるのか分かる(かもしれない)」と言っても、真に受けてくれる人は大変少なかったように思います。最近では研究者はもとより、マスメディアや行政の方々にまでこの言葉が浸透してきていて、変化の早さに驚かされます。そこで今回は環境 DNA 技術の生い立ちと、これまでの研究を簡単に振り返りつつ、幾つかの未来展望を試みたいと思います。

環境 DNA 技術の生い立ちと発展

土や水などの環境媒体から生物(そのもの)を採集し、そこに含まれる DNA を解析するメタゲノムと呼ばれる技術は、次世代シーケンサーと呼ばれる大量 DNA 解析技術の誕生と時を同じくして微生物学分野では盛んに研究されていました。一方、脊椎動物のような大型生物において、環境水から DNA を検出することでその存在を論じたのはフランスのグループが初めてでした(Ficetola et al. 2008)。彼らはアメリカから来た外来ウシガエルの分布を調査していて、溜池の水からウシガエルの DNA が高い確率で検出されることを見出したのです。これが、環境 DNA がこの世に産声を上げた瞬間でした。

今から思えば大変画期的で発展性の高い研究報告ですが、実はその後数年間はあまり脚光を浴びることがありませんでした。ただ、その間にも日本をはじめとする幾つかのグループが同様のアイデアにたどり着き、魚類や両生類について環境水から DNA 検出が出来ないかとの模索が始まっていました。そして、最初のフランス・ウシガエル論文が第一世代の DNA 増幅技術(PCR)を用いていたのに対し、リアルタイム PCR と呼ばれる第二世代の増幅技術を用いて定量的な DNA 検出を行う手法へと改良が進んでいきました(Takahara et al. 2012, 2013)。高原らは水槽や池にコイを飼育

し、生物量と検出環境 DNA 量に強い相関があることを示したのです。このことが、捕獲や目視に頼らない外来種や希少生物の存在判別はもちろん、非侵襲的な(生体に触れない)資源生物の資源量推定への可能性を開き、現在の環境 DNA 技術の礎となったといつてよいでしょう。

もう一つのブレイクスルーは対象生物の拡大です。上記の手法が対象生物を絞った、云わば狙い撃ち型の研究手法なのに対し、今度は「何がいるかは分からないが、何かがいたらそれを検出する」、云わば散弾銃型・発見型の研究手法です。この手法も 2012 年にそのプロトタイプ論文が発表されていましたが、当時はまだ数種の魚を同時に検出する程度の技術でした(Thomsen et al. 2012)。しかし、その僅か3年後には魚類全体を網羅しつつ、高い精度で種判別まで出来てしまう、魔法の道具が開発されたのです。これも日本の環境 DNA 研究グループからでした(Miya et al. 2015)。私自身も微力ながらこの魔法の道具開発に関わりましたが、今でもこの研究は Nature, Science に掲載されてもおかしくない、革新的な研究成果だったと考えています。

環境 DNA の現在地と未来展望

とはいえ、環境 DNA 技術は生まれてからまだ 10 年に満たない、ヨチヨチ歩きの若い技術です。水さえ汲めば何でも分かるのか、と言われれば、もちろん答えは NO です。では、どこまで分かるのか、それこそが現状、環境 DNA 研究の最大の関心事といつても過言ではありません。

環境 DNA 技術の目下の問題点は、その限界がはっきり見えていないという事にあります。私が環境 DNA の話をして、真っ先にうける質問は「どれくらい離れた生き物が検出されるのか?」です。より深く洞察をされる方からは、「どれくらい前にいた生き物が見つかるのか?」「解析する水の量を増やせばもっと多く見つかるのか?」「死んだ生物の DNA も検出するのか?」といった質問も受けます。これらの質問はどれも尤もで、毎回明確な答えを返せずに辛い思いをしますが、DNA の由来である生物の状況(生死、成長段階等)、そして環境水採集地点までの時空間的な距離はほぼ確実に検出する DNA 量に影響します。

特に野外では水流や水温等、様々な環境要因が絡むため、これらを一つ一つ紐解かねばなりません。我々を含め世界中でこのような研究が進められているので、次に本誌に原稿を寄せる頃には、より具体的な答えを持っているものと期待しています。

そのような研究の一例として、最近我々が行った研究を紹介します。現在、絶滅危惧種であるイトウについて、著者らが中心となって環境 DNA を用いた研究を行っています。北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の協力の下で行った実験では、大変興味深い結果が得られていて、0+から20歳以上にもなるイトウ稚魚・成魚を用いた飼育実験を通じ、生物量と検出される環境 DNA との関係が広い範囲で明らかになってきました(図1)。その結果、魚が増えると環境 DNA 量が増えるのはもちろん、総重量を指標にすると、魚体サイズや年齢による影響をあまり受けずに一定の環境 DNA 量が検出されることが分かってきました(Mizumoto et al. 2017)。

またこの技術の野外への適用においては、厳密な生物量推定へのハードルはまだまだ高いものの、健全な野外集団を有するサケやイトウの河川では年間を通して長い期間環境 DNA が検出されると同時に、季節ごとに主な生息場所がシフトする、といったことも DNA 解析を通じて見えてきています。さらに、上記散弾銃型研究手法を組み合わせることで、サケやイトウがどのような餌資源に依存的に河川内移動をするのかも解明できるのではないかと期待しています。

加えて環境 DNA 検出手法そのものにも改良が

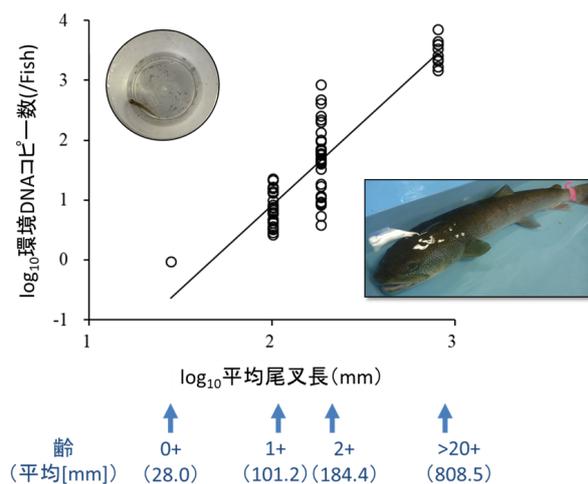


図1. イトウの環境 DNA 量・体サイズ相関 (Mizumoto et al. 2017 より改変)。

重ねられており、以前の手法では見えなかったものが徐々に見えるようになりつつあります。それによって、生物量の比較的少ない環境(例えば深海)においても、この手法が使えるようになってくるわけです。また魚や両生類に限らず、陸生哺乳類や鳥類にもその応用範囲を広げつつあります(Ushio et al. 2017)。我々もこれらの技術的な発展に引き続き貢献しつつ、ローカルな外来生物・希少生物の抱える諸問題、サケマス資源をはじめとするグローバルな資源動態変化や温暖化の影響、といった問題の解決に寄与出来ないか。環境 DNA の可能性探求の旅はまだまだ続きます。

引用文献

- Ficetola, G.F., Miaud, C., Pompanon, F., Taberlet, P. 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. *Biology Letters*, 4: 423-425.
- Miya, M., Sato, Y., Fukunaga, T., Sado, T., Poulsen, J.Y., Sato, K., Minamoto, T., Yamamoto, S., Yamanaka, H., Araki, H., Kondoh, M., Iwasaki, W. 2015. MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science*, 2: 150088.
- Mizumoto, H., Urabe, H., Kanbe, T., Fukushima, M., Araki, H. 2017. Establishing an environmental DNA method to detect and estimate the biomass of Sakhalin taimen a critically endangered Asian salmonid. *Limnology*, <https://doi.org/10.1007/s10201-017-0535-x>
- Takahara, T., Miyamoto, T., Yamanaka, H., Doi, H., Kawabata, Z. 2012. Estimation of fish biomass using environmental DNA. *PLoS One*, 7: e35868.
- Takahara, T., Minamoto, T., Doi, H. 2013. Using environmental DNA to estimate the distribution of an invasive fish species in ponds. *PLoS One*, 8: e56584.
- Thomsen, P.F., Kielgast, J., Iversen, L.L., Møller, P.R., Rasmussen, M., Willerslev, E. 2012. Detection of a diverse marine fish fauna using environmental DNA from seawater samples. *PLoS ONE*, 7: e41732.
- Ushio, M. et al. 2017. Environmental DNA enables detection of terrestrial mammals from forest pond water. *Molecular Ecology Resources*, <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12690>

トピックス

北海道沿岸域におけるサケ幼稚魚の移動経路に関する新発見

みやうち やすゆき
宮内 康行 (北海道区水産研究所 さけます生産技術部 天塩さけます事業所)

はじめに

日本各地のふ化場から放流されたサケ幼稚魚は最初の夏を過ごすオホーツク海へ向け、沿岸域を岸沿いに北上すると想定されています(入江 1990; 浦和 2000, 図 1)。日本では 1998 年に耳石温度標識を用いた調査手法が導入され(川名 1999), その標識がついた魚の放流尾数は年々増えています。過去に行われた, この耳石温度標識がつけられた魚(以下, 耳石標識魚)を沿岸域で採集する調査の結果からは, 十勝・釧路方面から放流されたサケ幼稚魚の中にはこれまでの想定とは逆方向である胆振・日高方面に移動する魚が確認されました(高橋 2010)。その後も北海道沿岸でサケ幼稚魚の採集調査を継続的に行っており, 近年新しい知見が得られましたので紹介します。

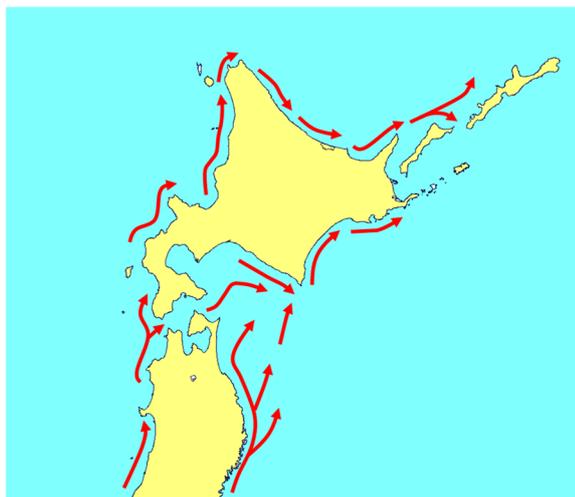


図 1. サケ幼稚魚の回遊経路の想定図(入江 1990 を改変)。

石狩沿岸で採集された耳石標識魚

2012 年に石狩(厚田)沖で実施した曳き網を用いた幼稚魚採集調査において, 採集地点の北に位置する天塩川と暑寒別川から放流された耳石標識魚が合計 6 尾採集されました(表 1)。これまで, この海域の調査で採集された耳石標識魚はすぐ近くの石狩川(支流の千歳川)由来のみでしたが, この年に初めて他河川由来の耳石

表 1. 標識魚の放流・採集履歴(石狩沖)。

河川	放流		採集			
	年月日	体重(g)	場所	月日	尾数	体重(g)
天塩川	2012/3/12~4/27	1.1~1.5	→ 石狩沖	5/18	1	1.6
暑寒別川	2012/4/18, 5/1	1.0~1.3		5/8, 18	5	1.0~2.5

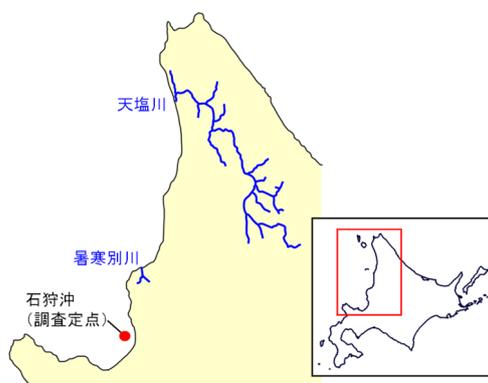


図 2. 天塩川, 暑寒別川と石狩沖の位置関係。

標識魚が確認されました。天塩川から石狩沖までは南へ約 180km, 暑寒別川からは約 60km 離れており(図 2), これら 2 河川から放流されたサケ幼稚魚の中にはこれまで考えられていた北方向だけでなく, 南方向へ移動する魚がいることがわかりました。これ以降の石狩沖の同調査でも, 尾数は少ないながら暑寒別川由来の耳石標識魚が採集されています(北水研 未発表)。

宗谷岬沿岸で採集された耳石標識魚

2017 年に宗谷岬のすぐ東側に位置する宗谷港で実施した集魚灯を用いた幼稚魚採集調査において, 南東に位置する頓別川もしくは幌内川(※両河川で同一の標識がつけられているため区別できない)から放流された耳石標識魚が 1 尾採集されました(表 2)。宗谷岬から頓別川までは約 55km, 幌内川までは約 120km 離れており(図 3), これらオホーツク海にある 2 河川から放流されたサケ幼稚魚の中にはこれまで想定されていた, 東方へ移動後沖に向かって北上する魚だけではなく, 宗谷岬方面(西向き)に向かって移動する魚がいることがわかりました。

表 2. 標識魚の放流・採集履歴(宗谷港).

河川	放流		採集			
	年月日	体重(g)	場所	月日	尾数	体重(g)
頓別川	2017/5/11	1.2	→ 宗谷港	6/5	1	1.0
幌内川	2017/5/10	1.0				

2河川で同一の標識を施標

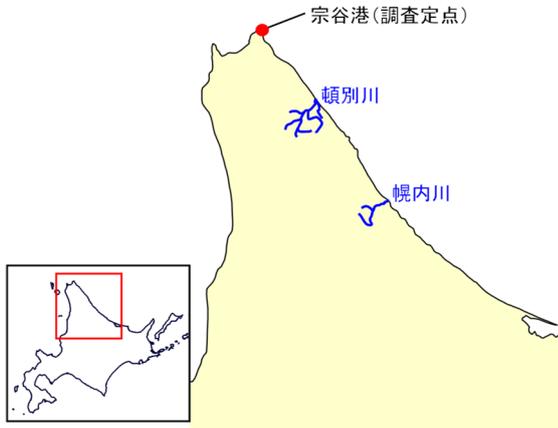


図 3. 頓別川, 幌内川と宗谷港の位置関係.

日高沿岸で採集された耳石標識魚

2017 年の日高沿岸の春立の定置網に混入した幼稚魚採集調査^{※1}において、北海道日本海側河川から放流された耳石標識魚が 1 尾採集されました(表 3). この魚には前述した頓別川と幌内川と同様に、複数河川で共通する標識がつけられており、考えられる由来河川は道北の天塩川、道央の尻別川、道南の相沼内川の 3 河川です(図 4). この日高沿岸の調査では、過去に岩手県や本州日本海側由来の魚が採集されましたが(太平洋サケ資源回復調査委託事業共同研究機関 2016)、北海道日本海側由来の魚が採集された報告はありませんでした. 今回の耳石標識魚が最も春立に近い道南の相沼内川から放流されたものとした場合、松前町の白神岬まで約 90km を南下し、その後、津軽海峡を抜けて太平洋側の日高沿岸へ移動したことになります.

表 3. 標識魚の放流・採集履歴(春立).

河川	放流		採集			
	年月日	体重(g)	場所	月日	尾数	体重(g)
天塩川	2017/3/21, 4/21	1.1	→ 春立	6/13	1	10.5
尻別川	2017/4/9	1.0				
相沼内川	2017/4/19	1.1				

3河川で同一の標識を施標



図 4. 天塩川, 尻別川および相沼内川と春立の位置関係.

沿岸を広範囲に移動するサケ幼稚魚

今回紹介したサケ幼稚魚は、入江(1990)の想定(図 1)にあるように沿岸をオホーツク海に向かって北上もしくはオホーツク沿岸を西から東へ向かう移動とは真逆の動きを示しています(図 5 の青・赤・黄矢印). これらの移動には受動的もしくは能動的な理由が考えられます. まず、受動的な理由として潮の流れに乗ってきたことが考えられます. 潮の流れを示す各種サイト^{※2}では、日によっては南下もしくは東から西への潮の流れを確認することがあります. 次に、能動的な理由として、放流されたサケ幼稚魚の体サイズはおおむね 1g であり、遊泳力は十分と仮定すると、放流河川から沿岸域に到達したサケ幼稚魚は低水温域を嫌い、より南もしくは西方面の高水温域を求めたことが挙げられます. また、餌の豊富な場所を

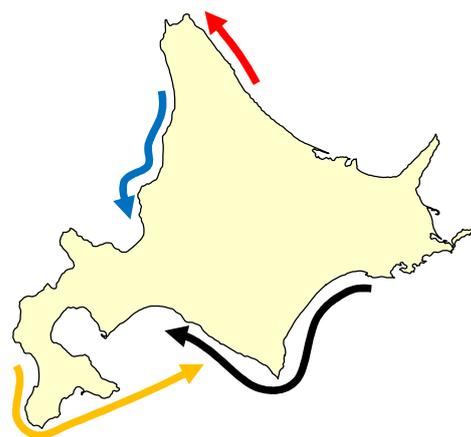


図 5. 今回確認された、従来の想定と異なるサケ稚魚の動き(赤矢印は幌内川から宗谷岬, 青矢印は天塩川から石狩沖, 黄矢印は相沼内川から春立方面を示す). 黒矢印は高橋(2010)で明らかになった移動経路.

※1 平成 29 年度サケ資源回復率向上調査事業(水産庁委託事業)にて実施.

※2 FRA-ROMS (<http://fm.dc.affrc.go.jp/fra-roms/index.html>), 気象庁 HP (http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_curr.html) 等

もともと移動したことも考えられますが、今回の結果では採集尾数が少なく、移動方向の違いによる成長の良し悪し等を考察するには材料不足です。いずれの理由にしても、北海道の沿岸域においてサケ幼稚魚は、我々のこれまでの想定よりもかなり広範囲に移動・分布していることが明らかとなりました。

おわりに

今回、各調査で採集された耳石標識魚の尾数はわずかであり、各河川放流群の移動経路の一部を示したに過ぎません。しかし、サケ資源を安定的に利用していくためには放流後から 1 年目までに生じる、いわゆる「初期減耗」の把握が重要であり、サケ幼稚魚の移動経路の特定は喫緊の課題と言えます。今回の結果は、その移動経路の解明に向けた基礎資料の一つであり、今後も調査を継続し、データを積み重ねることが求められます。

最後に、北水研の実施する本調査を推進するにあたり御協力頂きました、さけます増殖団体、漁協関係者の皆様に改めてお礼申し上げます。

引用文献

- 入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西海区水産研究所研究報告, 68: 1-142.
- 川名守彦. 1999. 耳石大量標識に関する先進地調査. さけ・ます資源管理センターニュース, 3: 13.
- 太平洋サケ資源回復調査委託事業共同研究機関. 2016. 春定置に混入するサケ稚魚モニタリング調査. 平成 27 年度太平洋サケ資源回復調査委託事業調査報告書, 35-43.
- 高橋史久. 2010. 耳石温度標識放流魚から得られた知見 その 2 (放流時期とサイズの検討). SALMON 情報, 4: 12-14.
- 浦和茂彦. 2000. 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, 5: 3-9.

トピックス

早期放流したサケ稚魚の資源への貢献について

～天塩川の場合～

みやうち やすゆき
宮内 康行（北海道区水産研究所 さけます生産技術部 天塩さけます事業所）

はじめに

現在、サケのふ化放流事業では沿岸の表面水温が5～10℃となる時期を目安としてふ化場から放流する「適期放流」を目標とした管理が行われています（野川 2010）。この適期放流は、高い回帰率をもたらすものとして広く支持されて普及していますが、ふ化場に收容した全ての受精卵を適期まで飼育し、稚魚を放流に適した体サイズまで成長させるにはそれなりの飼育用水量と飼育池の面積が必要です。筆者の勤務する天塩さけます事業所も例外ではありません。天塩川が流れ込む留萌北部地区の沿岸水温が5℃を超えるのはおおよそ4月に入ってからです（札幌管区气象台、<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/kaiyou/engan/engan.html>, 2017年11月9日参照）、それ以前に放流しないと飼育用水および池面積の不足に陥り、適度な收容密度を超えることにより池の環境悪化を招くため、稚魚の健康状態を損なってしまいます。同様の問題を抱えるふ化場は各地に数多くあることから、適期前に放流する魚が資源にどれくらい貢献するかは大変気になるところです。今回はこれについて天塩川のサケで調べてみましたので、その結果について紹介します。

方法と結果

2007～2010年の秋に、北海道北部に位置する天塩さけます事業所（図1）において時期の異なる2つの採卵群にそれぞれ耳石温度標識（浦和2001）をつけ、翌春に早期（適期前）放流群および適期放流群として同事業所から放流しました。早期放流群は、10月上旬に採卵し、2月21日～3月1日の間に体重約1gで放流しました。一方、適期放流群は、10月下旬に採卵し、4月20日～21日に同じく体重約1gで放流しました（表1）。

その後、親魚となって3～6年魚で回帰した各年級（2007～2010年級）の河川回帰率を計算しました。天塩川に回帰したサケは河口に位置する捕獲場（図1）で大半が捕獲され、一部が天塩さけます事業所まで遡上します。河川回帰率は、旬1回、河口の捕獲場で捕獲された親魚を対象に雌雄各50尾の耳石標識の有無と標識の識別コードを確認し、各コードがついた魚の尾数の割合を捕獲数に引き伸



図1. 天塩さけます事業所・河口捕獲場の位置図。

表1. 早期放流群と適期放流群の採卵および放流履歴。

年級	放流群	採卵月日	放流月日	放流尾数(千尾)	放流体重(g)
2007	早期	10/2	3/1	734	1.16
	適期	10/29	4/20	727	1.03
2008	早期	10/2	2/21	693	1.13
	適期	10/28-29	4/20	730	1.10
2009	早期	10/2	3/1	703	1.17
	適期	10/29	4/21	704	1.05
2010	早期	10/2	2/24	1,414	1.13
	適期	10/28-29	4/20	504	1.00

ばして放流尾数に対する割合として求めました。結果、4年級群のうち、2007年級と2010年級では適期放流群の方が早期放流群よりも回帰率が高かったものの、2009年級では両者の回帰率が同等であり、2008年級では早期放流群の方がやや高い回帰率となりました（図2）。

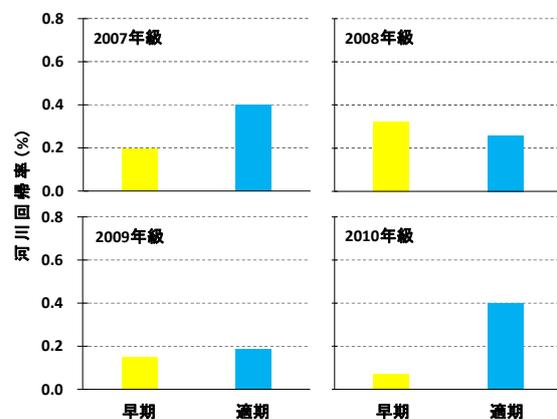


図2. 早期放流群と適期放流群の河川回帰率の比較。

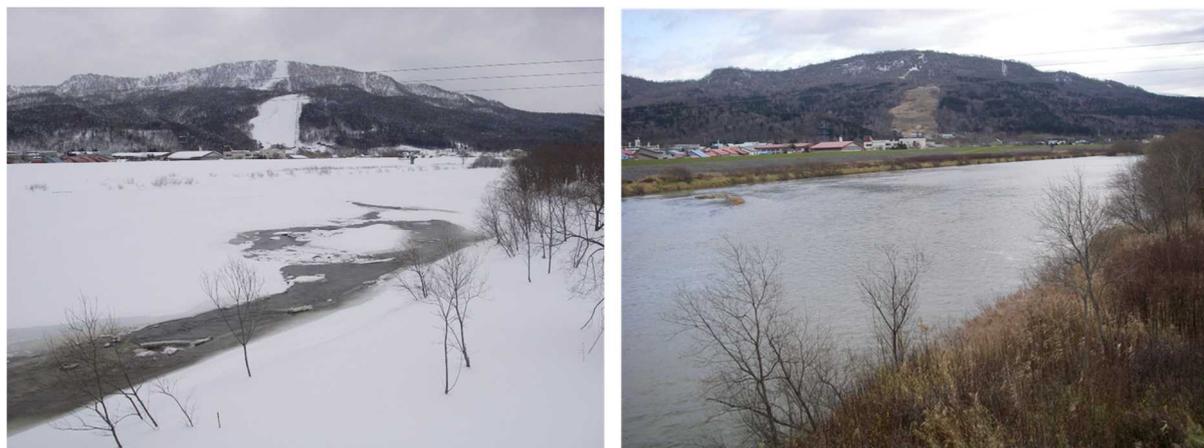


図 3. 天塩川中流部の様子, 左は 2015 年 2 月(結氷時), 右は 2017 年 11 月の音威子府町付近.

早期放流群の放流時期には、河川は場所によって結氷しており(図 3)、水温もほぼ 0°C であることから、放流したサケ稚魚にとっては好ましい環境ではないと推察されます。しかし、年級によっては早期放流群でも適期放流群と同程度の回帰率が認められました。その要因を明らかにするため、放流時の河川水温や沿岸水温等を年間で比較しましたが、明瞭な相関関係は見出せませんでした。今後は、サンプルの抽出率の問題による推定誤差の影響についても検討していく必要がありますが、いずれにしても、早期放流でも回帰率を高められる技術が確立できれば、飼育コストの削減や全体的な飼育密度が緩和されることにより健苗性の向上が期待できるなど、得られるメリットが大きいことは確かです。したがって、その可能性についてはさらなる検証が求められます。

今回ご紹介した結果はわずか 4 年級の結果ですので、天塩さけます事業所では 2015 年級から同様の放流試験を新たに実施し、早期放流群の回帰効果について再検証を始めています。また、今回ご紹介した天塩川は流程が長く、放流地点から河口までの距離が約 120km あるため、早期に放流されたサケ稚魚は河川内の居心地のいい場所に長期間滞在した後に降海した可能性も考えられます。今後は河口までの距離が短いふ化場でも同様の試験を行えば違った結果が得られるかもしれません。

おわりに

今回の結果から、早期放流群は資源として少なからず利用されていると考えられました。適期前であってもある程度の大きさにまで成長した稚魚を放流(調整放流)することにより、池の収容密度緩和だけでなく、海況の異変に対応した「リスク分散型放流」(石黒 2010)にもつながります。近年、サケの来遊不振が続いており、今後も各ふ化場では水量や池面積に見合った総合的にベストと判断される放流方法を模索していかなければなりません。

最後に、本調査にご協力頂きました、留萌管内さけ・ます増殖事業協会の皆さまに改めてお礼申し上げます。

引用文献

- 石黒武彦. 2010. さけます関係研究開発等推進特別部会. SALMON 情報. 4: 17-19.
- 野川秀樹. 2010. さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(序説). 水産技術. 3(1): 1-8.
- 浦和茂彦. 2001. さけ・ます類の耳石標識: 技術と応用. さけ・ます資源管理センターニュース, 7: 3-11.

トピックス

北太平洋におけるサケマス類の資源状況と国際サーモン年

うらわ しげひこ
浦和 茂彦 (北海道区水産研究所 さけマス資源研究部)

太平洋サケマス類の漁獲状況

北太平洋地域のサケマス漁獲量は1970年代より増加し、最近の奇数年はカラフトマスの豊漁により100万トンを超えています(図1)。特にカラフトマスとサケが増加し、ベニザケを加えた3魚種で全漁獲量の96%以上を占めています。地域別にみると、ロシアや北米のアラスカ州では、最近の漁獲量がそれぞれ25万トンを越え、両地域で全体の漁獲量の80%以上を占めています。一方、分布の南限に近い日本や北米ワシントン州以南では、漁獲量が減少傾向にあります。

アラスカ州では、カラフトマスとベニザケが漁獲の主体です(図2)。カラフトマスの漁獲量は、2013年と15年に約30万トンを記録しましたが、2016年は7万トンに減少し、1977年以来の低水準となりました。ベニザケの漁獲量は2003年以後8~13万トンと比較的安定しています。サケの漁獲量は、2000年に9万8千トンを記録し、最近は4~8万トンで推移しています。一方、マスノスケの漁獲量は、2千~3千トンと低位で、その原因を探る調査が重点的に行われていますが、資源の回復には至っていません。

北米のワシントン州以南では、ギンザケとマスノスケが主要な資源です。かつて両魚種の漁獲量は合わせて2万トン近くに及びましたが、1990年代に著しく減少し、1999年には僅か4千トン、2016年も4千3百トンと低位で推移し、特にギンザケの減少が顕著です(図3)。カラフトマスは、概ね奇数年級のみが漁獲対象となりますが、漁獲量は2013年に1万2千トンと記録的であったのに対し、2015年は僅か千2百トンに減少し、激しい変動を示しています。サケの漁獲量も千トンから9千トンの間で大きく変動しています。

ロシアでは、カラフトマスが最も重要な漁業対象魚種で、その漁獲量は2009年と2011年に約40万トンを記録しました(図4)。マスノスケを除く他の魚種(サケ、ベニザケ、ギンザケ)も2006年以後は増加傾向にあります。サケの漁獲量は3万トン以下でしたが、2006年より増加し、2015年は14万3千トンを記録し、2016年は11万7千トンでした。特にアムール川系サケの漁獲量が著しく増加し、2016年は4万トンを越えま

した。

対照的に、日本におけるサケの沿岸漁獲量は、1996年をピークに減少傾向を示し、2016年は9万6千トンで1980年代初期の水準にまで減少しています(図5)。また、カラフトマスの沿岸漁獲量は、2016年に1万4千トンを記録しましたが、長期的には減少傾向です。

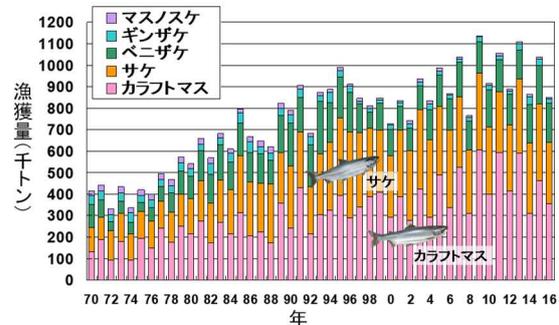


図1. 太平洋サケマス類の魚種別漁獲量 1970-2016年。データ出典：NPAFC (2017)。

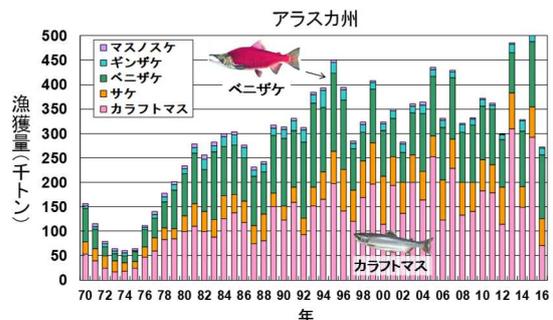


図2. アラスカにおけるサケマス漁獲量 1970-2016年。データ出典：NPAFC (2017)。

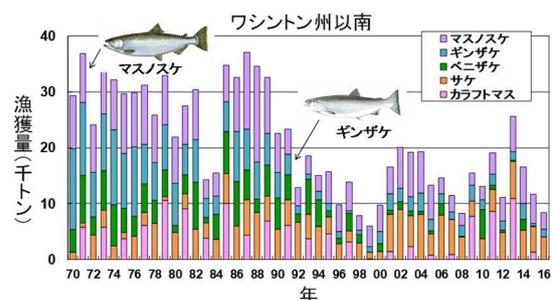


図3. 北米ワシントン州以南におけるサケマス漁獲量 1970-2016年。データ出典：NPAFC (2017)。

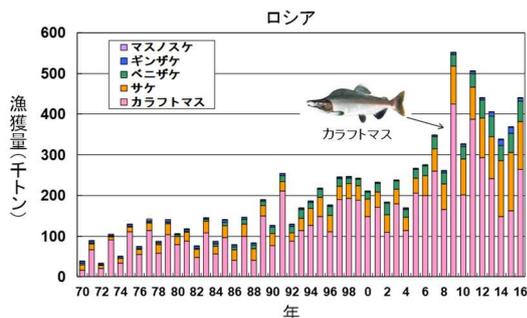


図 4. ロシアにおけるサケマス漁獲量 1970-2016 年。データ出典：NPAFC (2017)。

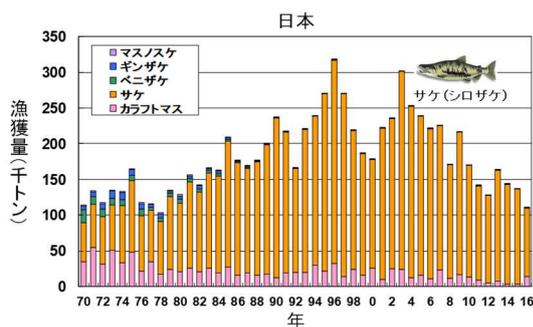


図 5. 日本のサケマス漁獲量 1970-2016 年。データ出典：NPAFC (2017)。

国際サーモン年

背景と目的

ロシアやアラスカなど北方域では、サケマス類は全体的に高い資源水準にありますが、カラフトマスのように大きく変動したり、マスノスケのように回復しない資源も存在します。日本など分布の南限に近い地域のサケマス資源は更に不安定で、大きく変動しながら減少傾向を示す個体群が多くみられます。一方、北大西洋に分布するアトランティック・サーモン（タイセイヨウサケ）の養殖生産量は 200 万トンを超えていますが、野生資源の状態は深刻で、2015 年の漁獲量は 1,260 トンと 1970 年代の 10%程度に減少しています（図 6）。太平洋サケマス類やアトランティック・サーモン（以下、あわせてサーモンと呼ぶ）は、生物学的

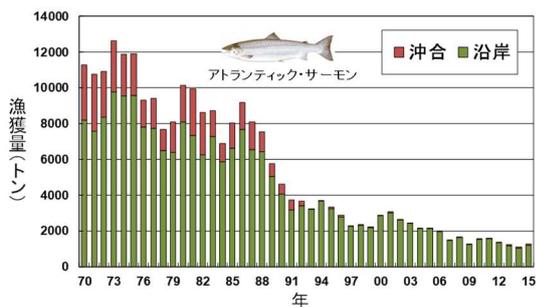


図 6. アトランティック・サーモンの漁獲量 1970-2015 年。データ出典：NASCO。



INTERNATIONAL
YEAR OF THE SALMON

図 7. 国際サーモン年のシンボルマーク。

にも経済的にも重要な資源ですが、気候変動などに伴う様々な不確実性に直面しています。

そこで、北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) と北大西洋サケ保全機構 (NASCO) は、サーモンとその未来に関する科学的知識のギャップを埋める国際共同研究を推進するため、「国際サーモン年 (International Year of the Salmon, 以下 IYS と呼称)」プロジェクトを計画しています(図 7)。IYS の基本テーマは、「変わりゆく世界におけるサーモンと人類 (Salmon and People in a Changing World)」で、資源の回復、持続可能な管理と利用を目指します。

IYS の成果として、(1) 資源量や生息環境の変動を起こす要因などに関する科学的理解の深化、(2) 資源を回復させ適切に保安全管理する戦略のサポート、(3) 組織や研究者間の国際的協力関係の構築、(4) 次世代の研究者や管理者に対する鼓舞と支援、(5) 生態、社会、文化、経済など多面的な価値の見直し、(6) 研究や保全活動への支援などが期待されています。

研究テーマ

IYS のテーマとして、以下の 5 つが設定されています。

- (1) Status of Salmon : サーモンと生息環境の現状を把握
- (2) Salmon in a Changing Salmosphere*: 環境変動がサーモンに与える影響を理解し、将来の変動を予測 (*Salmosphere: サーモンの生息場所)
- (3) New Frontiers : サーモンの科学を推進する新技術の開発
- (4) Human Dimension : 資源管理手法の開発、資源の保全を助長する文化的、社会的および生態的プロセスの研究
- (5) Information System : 得られた情報をアクセス可能なデータベース化し、将来の研究に必要なツールを開発

組織・運営

北太平洋, 北大西洋および両地域に跨がる北極海が IYS の対象地域となります (図 8)。対象魚種は, 北太平洋ではスチールヘッドを含むサケ属 7 魚種, 北大西洋ではタイセイヨウサケです。太平洋と大西洋では, 資源状態や管理体制などに違いがあるため, 北太平洋運営委員会と北大西洋運営委員会を設けて, それぞれの元で活動が行われます (図 8)。そして, 全体の活動を調整する IYS 組織委員会とシンポジウム運営委員会が設置されています。

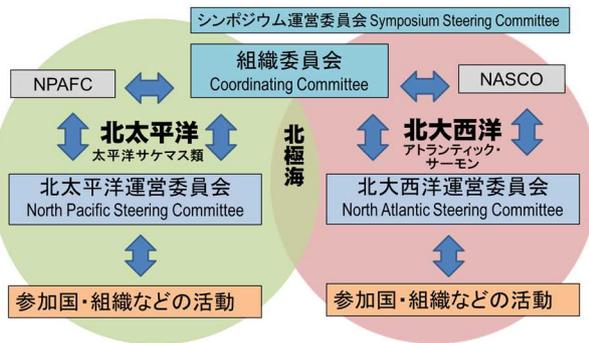


図 8. 国際サーモン年の運営・組織図。

今後の予定

2016~2018 年は IYS の準備・周知期間で, IYS Local Symposium (2018 年 3 月 26 日, 平成 30 年度日本水産学会春季大会シンポジウム「環境変動下におけるサケの持続可能な資源管理」(図 9), 東京海洋大学), NPAFC-IYS Workshop (2018 年 5 月 26-27 日, ロシア, ハバロフスク, www.npafc.org 参照) などの行事が予定されています。

2019 年を国際サーモン年に定め, 北太平洋沖合域における各国調査船による一斉調査などの研究活動や各種行事が計画中です。また, 2020~2022 年は補足研究と取りまとめに当てられ, その間にワークショップやシンポジウムなどが開催され, 最終の活動報告書が作成される予定です。

近年来遊数の減少している日本系サケは, 離岸後, オホーツク海, 北太平洋およびベーリング海を広く範囲に回遊します。そのため, 資源変動メカニズムの解明には国際協力が不可欠です。国際サーモン年を機会に, 海洋における国際共同研究が進展し, 持続可能なサケ資源の維持と利用が図られることを祈念いたします。

参考資料

International Year of the Salmon Working Group. 2016. Outline proposal for an International Year of the Salmon (IYS) ‘Salmon and People in a Changing World’. NPAFC Doc. 1663. 9 pp. International Year of the Salmon Working Group, Committee on Scientific Research and Statistics (Available at <http://www.npafc.org>).

North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC). 2017. NPAFC Pacific salmonid catch statistics (updated 31 July 2017). North Pacific Anadromous Fish Commission, Vancouver. (Available at www.npafc.org).



図 9. IYS Local Symposium (2018 年 3 月 26 日, 東京海洋大学品川キャンパス) の案内ポスター。

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-16 カワマス

きたの 北野 さとし 聡 (長野県環境保全研究所)

カワマス *Salvelinus fontinalis* (Mitchill)は、北米東部原産のイワナ属魚類で、カナダ東部とアメリカ合衆国の北東部および五大湖流域に生息する (Power 1980). 種小名 *fontinalis* が湧泉に生息することを意味するように湧水の豊富な砂礫底の流れを好む. 生息適温は 10~15℃の範囲でニジマスやブラウントラウトよりも低い. 原産地では、河川で生涯を過ごす「河川型」のほか、湖や海に降りて産卵時期に河川を遡上する「回遊型」が出現する. 幼魚の背びれには黒暗色の斑点があり、成長に従い背びれから尾びれにかけて虫食い状の黒い模様が発達する (小宮山 2002). 胸びれ、腹びれ、臀びれは赤味が強く、前端が白い. 体側には淡黄色の斑点と青白く縁どられた鮮やかな赤色斑点がある (図 1). 雄は成熟すると背部が盛り上がり、下あごの先端が上方に曲がる.



図 1. カワマス(北米モンタナ州の河川で撮影されたもの).

分布

本種は遊漁や養殖を目的として 1800 年代より北米西部、ヨーロッパ、アジア、ニュージーランドなど世界各地に導入されている (Fuller et al. 1999). 日本には明治 34 年 (1901 年) に非在来水域のアメリカ合衆国コロラド州レッドビルから発眼卵 2 万 5 千粒が輸入され、栃木県の日光養魚場でふ化させたのち日光・戦場ヶ原湿原の湯川に放流された (丸山ら 1987). この個体群は引き続き行われた放流の成果もあって自然再生産に成功し、今日まで釣り対象種として広く愛好されている. 明治 45 年 (1912 年) には政府の斡旋により滋賀県がアメリカ合衆国より発眼卵 2 万粒を、大正 15 年 (1926 年) には、秋田県、長野県、富山県がそれぞれ数十万~数百万の発眼卵を導入、各県の養魚場等で養殖されるようになった. これらのうち河川等に放流されたものが一部水域で自然繁殖している (Kitano 2004). 定着水域としては、日光湯川 (栃木県)、上高地梓川 (長野県)、竜ヶ窪湧水池 (新潟県) のほか、北海道の空知川や西別川の上流域が知られる (図 2).

生活史と生態

産卵期は 10 月下旬から翌年 1 月の範囲で、梓川上流域の上高地では 11~12 月が盛期となる. 産卵は他の河川性サケ科魚類と同様に、雌が流れの緩い砂礫底を尾びれで掘り、くぼみに卵を産み



図 2. 日本におけるカワマスの定着河川.

付ける. 卵色は黄色、卵径は 3.5~5.0mm である. 水温 5℃で約 100 日、水温 10℃では約 50 日でふ化がはじまる. 産卵床中でふ化した仔魚は、卵黄を吸収しながら成長し、春に流水中に姿を現す. 浮上した稚魚は、岸よりの緩流部で小型の無脊椎動物を餌として成長し、夏には数センチに達する. ふ化後満 1 年で体長 10~12 cm、満 2 年では体長 20~30cm に達し、雌雄ともに早いものでは 1 歳

で性成熟する。寿命や体サイズは、生育環境によって大きく異なるが、小規模な河川での寿命は5歳程度（多くは2～3歳魚）で体長35cm未満である。食性は肉食性で、甲殻類、軟体動物、ヨコエビ類、水生昆虫（カワゲラ類、カゲロウ類、トビケラ類、双翅目幼虫など）、周辺環境から水面に落下する陸生昆虫類などを主食とする。また大型個体は、サケマス類の稚魚、カエルやヘビ、小型哺乳類まで捕食することもある（図3）。

移入にともなう在来種との交雑

本種が日本の渓流域に移植された場合、イワナ *S. leucomaenis* やヤマメ・アマゴ *Oncorhynchus masou* と生息空間や餌をめぐる競争すると考えられるが、カワマスが関わる種間相互作用のなかでも特に目を引くのは交雑現象である。カワマスは様々なサケ科魚類と交雑することができ、人工および自然下での雑種が知られている。カワマスとブラントラウト *Salmo trutta*（タイセイヨウサケ属）の交配種がタイガートラウト、カワマスとレイクトラウト *S. namaycush* の交配種がスプレクトラウトの名で知られ、管理釣り場などで利用されている（井田・奥山 2000）。

野外においても同属のイワナ類が生息する水域にカワマスが移植されると容易に種間交雑が起こる。例えば、北米西岸の絶滅危惧種ブルトラウト *S. confluentus* の生息域では、移入されたカワマスがブルトラウトと交配し、その結果として魚種置換が進行することが報告されている（Leary et al. 1993）。この種間交雑の特徴は、カワマス雄とブルトラウト雌での組み合わせが多数を占める非対称的な交雑であること、また雑種第一代は繁殖力が低いために雑種遺伝子は集団のなかで持続しないことである（Kanda et al. 2002）。このような交雑では、ブルトラウト雌の繁殖投資が無駄になることで、次世代ではブルトラウトが数を減らしカワマスが増加する結果となる。

日本でのカワマス移植水域でも在来のイワナ類との交雑事例が観察されている（図4）。本州では日光湯川水系の地獄沢（Suzuki 1966）および上高地梓川上流域（環境庁 1982）においてカワマスとイワナの交雑個体の出現が報告されている。上高地では大正時代末期にあたる1925年からカワマスが継続的に放流されたが、1970年代頃になるとイワナとカワマスの中間的な斑紋をもつ雑種が頻繁に捕獲されることが問題視されるようになった。1981年に環境庁（当時）が大正池から横尾にかけての梓川上流域で実施した漁獲調査では計107尾のうち12尾（11%）の交雑個体が確認された。その後、1990年代から最近まで数回にわたって行われた長野県のモニタリング調査でも、雑種個体



図3. 上高地で観察されたヘビを捕食するカワマス。



図4. 北海道の空知川上流域で確認されたカワマス（上）、雑種（中）、アメマス（下）。

が一定頻度で確認される一方で全体としてはイワナからカワマスへの置き換わりが進行している（北野、未発表）。この背景には、前述した北米ブルトラウトの事例と同様、カワマスとイワナの非対称的な種間交雑が関係していると推察される。また稀な事例と思われるが上高地ではブラントラウトとカワマスとの交雑種（タイガートラウト）も報告されており（上原 1996）、秋季産卵のサケ科3種が限られた繁殖空間で相互に干渉しあっていると考えられる。

北海道の空知川上流部では1950～1980年代に養魚場で飼育されていたカワマスが河川に逃げ出し、それらがアメマスと交雑している。2003年に同水域で捕獲された雑種疑惑個体のDNA分析により、これらの多くがカワマス雄とアメマス雌の組み合わせによる雑種第一代であることが判明し

た (Kitano et al. 2014). この結果を素直に読み解けば、稔性の低い種間交雑を通じて外来カワマスが在来アメマスに置き換わるシナリオが描かれる。ところが、その後 10 年を経て実施されたモニタリング調査では、予想に反し、雑種が戻し交配などを通じて集団中に維持される一方で、アメマスは減っておらず、むしろカワマスの減少が観察された (Fukui et al. 2016). この要因についてはいまだ研究中ではあるが、交雑のメカニズムとその帰結は、魚種の組み合わせで画一的に決まるわけではなく、水域の環境や受容個体群の特性などによっても様々に変化する可能性が示唆される。

北海道東部の西別川上流域では、在来のアメマスとオショロコマ *S. malma* に加え、1935 年頃に放流されたカワマスが同所的に生息する (疋田ら 1959). この水域では 9~11 月にかけてこれら 3 種のイワナ類が繁殖可能な状態になるが、これまでのところ明確な交雑個体は確認されていない (春日井 2016).

資源と利用、個体群管理

カワマスは毛針釣りの対象としてとくに人気がある。日光の戦場ヶ原湿原を流れる湯川では定期的な資源調査によりカワマスの生息密度をモニタリングして釣獲資源として適正な利用を図っている (北村ら 2005). 湯川では 1902 年にカワマスが放流されて以来、資源維持のために種苗放流が行われていたが、2002 年に全域でのキャッチ&リリース制度が導入されたことから 2004 年以降の放流は休止されている。2005~2007 年度の標識再捕法による資源調査では 100 平米あたり約 10~20 尾と推定された。

日本国内においてカワマスは河川の上流域や湧水域にきわめて限定的に定着しており、ニジマスやブラントラウトのように急速に分布拡大する兆候はいまのところ認められない。しかしながら、放流・定着水域では在来のサケ科魚類と餌や生息空間をめぐる競合が起こり、イワナ属魚類とは容易に交雑してしまうことが国内外の研究から明らかである。このような理由から、環境省 (2015) は生態系被害防止外来種リストにおいて総合的に対策が必要な外来種 (総合対策外来種) に、北海道 (2010) は北海道ブルーリストにおいて「本道の生態系等へ大きな影響を及ぼしており防除対策の必要性について検討する外来種」に指定している。また北海道は内水面漁業調整規則で、滋賀県はふるさと滋賀の野生動植物との共生に関する条例で放流を禁止するなど実効性のある外来種管理の体制を整えている都道府県もある。

北米におけるカワマスは東部原産地の多くの水域で個体数が減少し手厚い保全策がとられる一方、

移植先の西部では、競争排除や交雑により内陸のカットスロートトラウト *O. clarki* やブルトラウトに置き換わる強力な侵入生物とみなされる (Fuller et al. 1999). 在来種への影響が深刻な河川や湖沼では、選択的捕獲漁具や電気ショッカー、ときには魚毒を使用したカワマスの駆除、さらに侵入防止のための堰堤の設置などハードな事業が組み合わせられ実行されている (Dunham et al. 2002). これらの手法には、日本の水域では直ちに適用することが困難なものも含まれるが、広く外来魚類を管理する方法として参考にできるだろう。

引用文献

- Dunham, J. B., Adams, S. B., Schroeter, R. E., Novinger, D. C. 2002. Alien invasions in aquatic ecosystems: Toward an understanding of brook trout invasions and potential impacts on inland cutthroat trout in western North America. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 373-391.
- Fukui, S., May-McNally, S., Katahira, H., Kitano, S., Koizumi, I. 2016. Temporal change in the distribution and composition of native, introduced, and hybrid charrs in northern Japan. *Hydrobiologia*, 783: 309-316.
- Fuller, P.L., Nico, L.G., Williams, J. D. 1999. Nonindigenous fishes introduced into inland waters of the United States. *American Fisheries Society, Special Publication 27*, Bethesda, Maryland. 613pp.
- 疋田豊彦・龜山四郎・小林明弘・佐藤行孝. 1959. 西別川に於けるニジマスの生物学的調査 特に害魚の食性に就いて. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 14: 91-121.
- 北海道. 2010. 北海道の外来種リスト-北海道ブルーリスト 2010-. 札幌. 35 pp.
- 井田 齋・奥山文弥. 2000. サケ・マス魚類のわかる本. 山と溪谷社, 東京. 247pp.
- Kanda, N., Leary, R.F., Allendorf, F.W. 2002. Evidence of introgressive hybridization between bull trout and brook trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 131:772-782.
- 環境庁. 1982. 上高地・梓川上流域におけるイワナに関する検討会報告書. 東京. 92pp.
- 環境省. 2015. 我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある 外来種リスト (生態系被害防止外来種リスト). 環境省自然環境局野生生物課 : <https://www.env.go.jp/nature/intro/1outline/list.html>.
- 春日井 潔. 2016. 北海道東部における外来魚カワマスの現状. *魚類学雑誌*, 63: 50-52.
- 北村章二・生田和正・鹿間俊夫・中村英史・鈴木幸成・棟方有宗. 2005. 奥日光湯川におけるキ

- ヤッチアンドリリース(C & R)制の導入効果.
水研センター研報, 15, 1-10.
- Kitano, S. 2004. Ecological impacts of rainbow, brown and brook trout in Japanese inland waters. *Global Environmental Research*, 8: 41-50.
- Kitano, S., Ohdachi, S., Koizumi, I., Hasegawa, K. 2014. Hybridization between native white-spotted charr and nonnative brook trout in the upper Sorachi River, Hokkaido, Japan. *Ichthyological Research*, 61: 1-8.
- 小宮山英重. 2002. カワマス. 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海(編), 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚3版. 山と溪谷社. 東京. pp.132-137.
- Leary, R.F., Allendorf, F.W., Forbes, S.H. 1993. Conservation Genetics of Bull Trout in the Columbia and Klamath River Drainages. *Conservation Biology*, 7: 856-865.
- 丸山為蔵・藤井一則・木島利通・前田弘也. 1987. 外国産新魚種の導入経過. 水産庁研究部資源課・水産庁養殖研究所, 東京. 157pp.
- Power, G. 1980. The brook charr, *Salvelinus fontinalis*. In: Charrs, Salmonid fishes of the genus *Salvelinus* (Ed. by Balon, E.K.). Dr. W. Junk bv Publishers, Hague, Netherlands. pp. 141-203.
- Suzuki, R. 1966. Hybridization in nature between salmonid fishes, *Salvelinus pluvius* x *Salvelinus fontinalis*. *Bulletins of Freshwater Fisheries Research Laboratory*, 16: 83-90.
- 上原武則. 1996. サケ科魚類における異属間(ブラウントラウト×カワマス)の天然交雑. 長野女子短期大学研究紀要, 4: 8-19.

さけます情報

北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖

たかはし まさや
高橋 昌也 (北海道区水産研究所 さけます生産技術部)

2016年の北太平洋

漁獲数

2017年に公表されたNPAFC統計データによると、2016年1-12月の北太平洋におけるさけます類の漁獲数は4億3,686万尾で、前年5億931万尾の86%でした(図1A)。

魚種別に見ると、カラフトマスが2億6,448万尾で最も多く、全体の61%(前年比84%)を占めています。次いでサケが8,838万尾(構成比20%,前年比81%)、ベニザケが7,519万尾(構成比17%,前年比101%)と続き、これら3魚種で全体の約98%を占めています。ギンザケとマスノスケは、それぞれ730万尾(前年比81%)、145万尾(前年比71%)となりました(図1A)。地域別では、ロシアが2億7,698万尾と最も多く、以下、アラ

スカ1億1,296万尾、日本3,843万尾、カナダ627万尾、アラスカ以外の米国(ワシントン、オレゴン、カリフォルニア、アイダホ州)215万尾、韓国9万尾と続いています(図1B)。

人工ふ化放流数

2016年1-12月に各国から人工ふ化放流された幼稚魚数は51億2,813万尾で、前年51億9,591万尾の99%でした(図1C)。

魚種別ではサケが33億3,968万尾で6割以上を占め、これに次ぐカラフトマス12億2,689万尾と合わせると全体の9割近くを占めます(図1C)。地域別では日本が18億9,792万尾、アラスカ16億6,239万尾、ロシア9億6,728万尾、カナダ2億8,172万尾、アラスカ以外の米国2億9,687万尾、韓国2,195万尾となっています(図1D)。

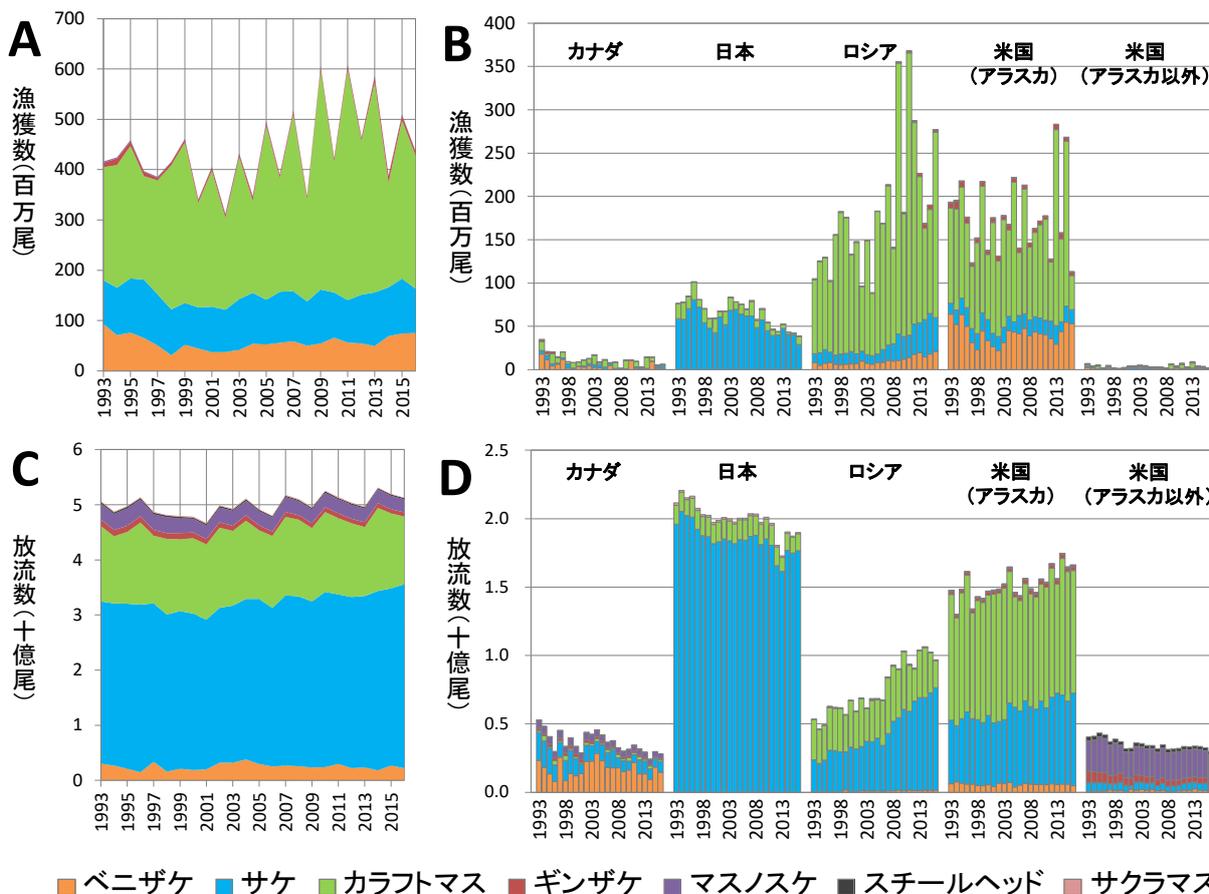


図1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数(A)、地域別魚種別の漁獲数(B)、魚種別人工ふ化放流数(C)及び地域別魚種別の人工ふ化放流数(D)。

A及びBは「NPAFC Pacific salmonid catch statistics (updated 31 July 2017)」, C及びDは「NPAFC Pacific salmonid hatchery release statistics (updated 31 July 2017)」より作成(参照 2017-10-25)。アラスカ以外の米国はワシントン、オレゴン、カリフォルニア、アイダホ州の合計。韓国は他国に比べ漁獲数・放流数ともわずかなため図中では省略。

2017 年漁期の日本

サケ

2017 年漁期（2017 年 8 月～2018 年 2 月）の来遊数（沿岸漁獲と河川捕獲の合計）は 12 月 31 日現在で 2,244 万尾、前年同期比 71% となっています。このうち北海道では 1,737 万尾（前年同期比 67%）、本州太平洋側では 440 万尾（前年同期比 88%）と、ともに近年では最も低い水準であった前年度を更に下回りました。一方で本州日本海側では 67 万尾（前年同期比 104%）と、前年をやや上回っています（図 2）。採卵数は、12 月 31 日現在で 17 億 6,742 万粒と、前年同期の 96% となっています。このうち北海道は 10 億 5,949 万粒であり、採卵計画数の 87% にとどまっています。本州では、12 月 31 日現在で 7 億 793 万粒（前年同期比 109%）が確保されています。全国の放流数は計画（17 億 6,443 万尾）を下回る見込みです。

カラフトマス

主産地の北海道における 2017 年漁期の来遊数は 124 万尾（前年比 14%）と、1983 年漁期以降で最も少ない結果となりました。カラフトマスは 2 年で回帰するため、偶数年級と奇数年級で異なる繁殖集団を形成していると考えられます。偶数年級の来遊数は昨年度急激に増加しましたが、奇数年級は 2007 年漁期以降今年漁期に至るまで、急激な減少傾向を示しています（図 3）。採卵数は 1 億 3,289 万粒で、計画数の 77% となりました。放流数も計画（1 億 3,840 万尾）を下回る 1 億 600 万尾ほどになると見込まれます。

サクラマス

2017 年漁期の北海道における河川捕獲数は 3,414 尾（前年度比 49%）と、1975 年以降で最も少ない結果となりました。地域別には日本海区では前年比 24% と大きく落ち込み、オホーツク海区も前年比 76% に留まりました。採卵数は 303 万粒で、計画数の 60% となりました。なお、2017 年漁期の本州河川捕獲数については現在確認中です（図 4）。

ベニザケ

2017 年漁期の北海道 3 河川（安平川・静内川・釧路川）における河川捕獲数は 381 尾で前年比 142% となりました。

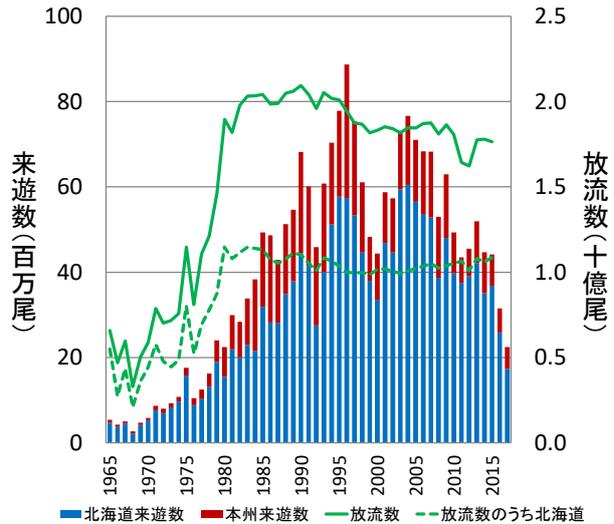


図 2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数. 2017 年漁期来遊数は 12 月 31 日現在.

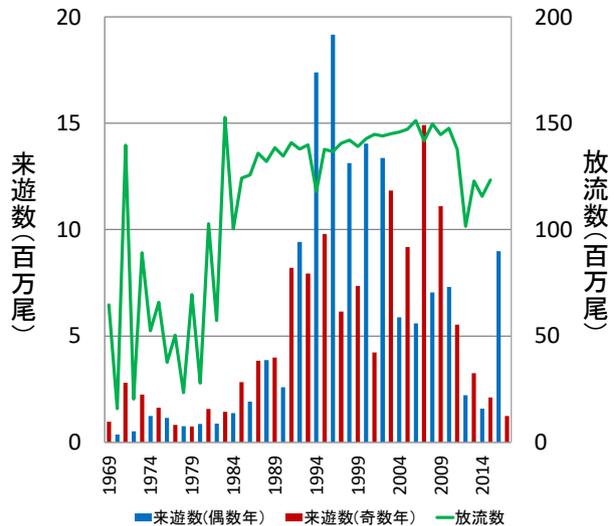


図 3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数.

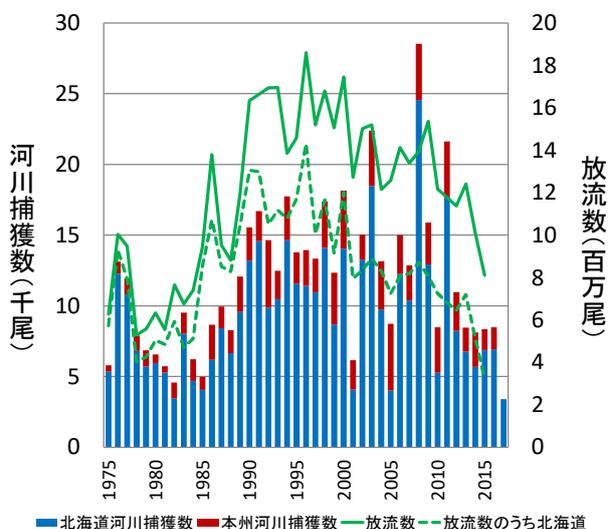


図 4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数. 2017 年漁期の本州河川捕獲数は確認中.

さけます情報

さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介 (4)

千歳川に関連する明治期の文書

のがわ ひでき
野川 秀樹 (北海道区水産研究所)

はじめに

「千歳川」, 支笏湖に源を發し, やがて石狩川に注ぐこの川は, 北海道におけるさけます人工孵化放流の歴史を語る上で欠かすことのできない河川です. 今回はこの千歳川に関連する明治期の三つの文書を紹介します.

まず最初に, 紹介する文書への理解の一助とするため, 開拓使によって行われた偕楽園での最初の孵化試験から, 明治 21 年の千歳中央孵化場の創立による本格的な実施まで簡潔に辿ってみたいと思います.

開拓使が置かれた明治 2 年から明治 15 年までの間は, 近代北海道の創成期で, 開拓使は産業の振興を積極的に推進します (札幌市 1991). さけます人工孵化放流についても, サケ漁業は北海道における重要な産業であるとの認識から, 乱獲により減少した資源の回復を図るため, 偕楽園に設置した孚化所などで人工孵化に関する試験に取り組みます (秋葉 1980).

その一方で, 開拓使はサケの保全を目的に河川でのサケ漁禁止などの規制も設けます. 代表的なものとしては, 明治 9 年 8 月に「テス網」漁 (川を横断するように木杭を打ち, これに沿って網を張ることで魚の遡上を遮断し捕獲する漁法) と夜漁を禁止する「開拓使乙第 9 号」を, 明治 11 年 10 月には河川での曳網以外の漁法の禁止, 支川でのさけます魚の全面禁止等を内容とする「開拓使乙第 30 号」を布達します (北海道庁 1891). 後者の布達により, 千歳川ではさけます魚が全面禁止となります. 更に, 札幌県 (開拓使廃止後の行政機関として札幌県, 函館県, 根室県が設置され, 千歳方面を管轄したのが札幌県) は, 前述の規制に加えて, 千歳川では明治 16 年から監守人を配置して, 密漁取締の徹底を図ります. そして, 明治 21 年に至り北海道庁 (以下「道庁」) は, 千歳川上流に千歳中央孵化場を創立し, 官を中心に民間と一体となった人工孵化放流を本格的に実施することになります.

このような明治期の状況をご理解いただいた上で, 北海道立文書館に保存されている資料から偕楽園で行われた最初の孵化試験に関する文書及び内村鑑三の自筆復命書を, そして, 国立公文書館から千歳中央孵化場の創立に係る予算要求資料を紹介します.

偕楽園に造られた最初の孵化施設

偕楽園は, 明治 4 年に開拓使が札幌市街の北部に設

置した公園です. その機能は公園という言葉から連想される「憩いの場」というよりも, 産業振興に重きが置かれ, 工業試験場とも言うべき製造所, 西洋の農業技術を実地に研究する博物館や温室などが設けられます (札幌市 1991). サケの孵化試験を行う「孚化所」と称される施設も建築されます. この孚化所の竣工は明治 12 年 11 月で, 水車によって水を汲み上げ, 落差をもたせて 6 段の孵化槽が配置されました (開拓使 1879a, 図 1).

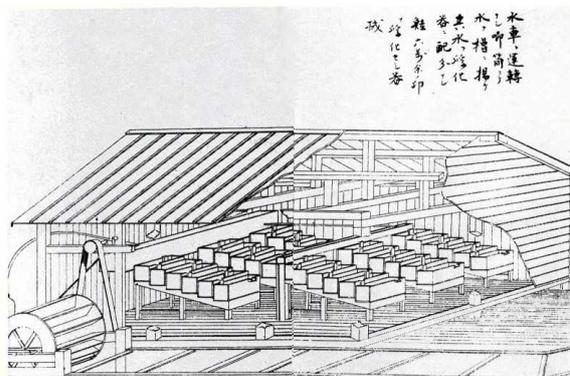


図 1. 偕楽園に設置された孚化所 (明治 12 年竣工). 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史史料編 (1988) から転載.

ところで, 最初の孵化試験ですが, これが行われたのは明治 11 年 1 月のことで, 孚化所が作られる前年のことです. つまり, 最初の孵化試験は上述の孚化所ではなく, 別の施設で行われたこととなります. それは一体どのような施設で, どのような方法で試験は行われたのでしょうか.

開拓使の記録によれば, 最初の孵化試験は千歳川のサケから採卵した受精卵を用いて行われ, 「偕楽園ノ側ラニー宇ノ試験場ヲ設ケ, 孵化法ヲ施コセリ」とあることから (開拓使 1879a), 試験場と称される施設で行われたこととなります. その略図 (図 2) が「偕楽園ニ試験場設ケ鮭卵孚化試験ノ件」という文書 (開拓使 1879b) に, 綴られていました.

略図から試験が行われた施設は, 広さ 24.3 m² (三間 (5.4 m) × 二間半 (4.5 m)) 程の小屋風の簡便な建物であったことが知られます. 試験方法については, 「底に微細な銅線の網を張った箱に受精卵を入れ, それを試験場の中の一線の流水に浸し, 受精卵が振動しないように水量を調整して管理した」と記述されています (開拓使 1879a). この文章だけでは, どのよう

に試験が行われたのかをイメージするのは難しいのですが、略図から施設の真ん中に一本の水路を設け、注水部と排水部には網戸を設置し、そして、受精卵は 2本の杭で水路内に固定した 2つの箱（長 50 cm×巾 26 cm×深 20 cm）に収容して行われたことが分かります。

受精卵は雌 15 尾から採卵されていますが、その卵数については記述がありません。そのため、生残率などの試験成績を知ることはできませんが、水虫（「俗ニ横田海老ト唱フ、別紙図面ヲ参覧スベシ」との注書きがあり、図面の絵からヨコエビの一種と推察されます）及び鼠の害、孵化時における強水流による物理的な損傷により多くのものが死亡し、最終的に稚魚まで成育したのはわずか 2 千尾あまりに過ぎずと記述されています（開拓使 1879a）。初めての試験で思うような成績を残すことができなかったことを窺わせるような書き振りになっています。

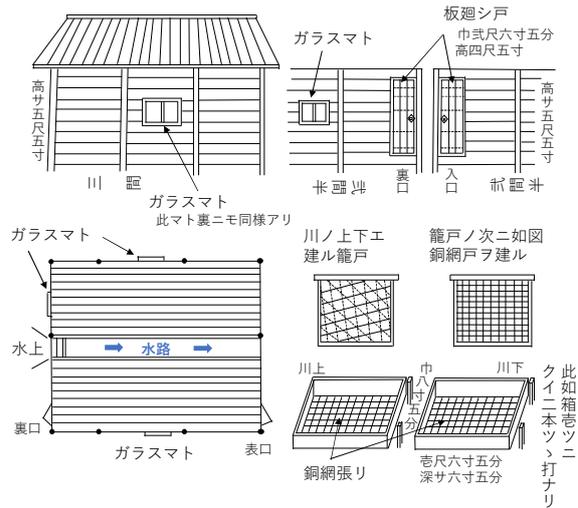


図 2. 最初の孵化試験が行われた施設の略図。原図は劣化が進んでいるため、原図に基づき作図して表示しました。青字は筆者が追加。その他の文言は原文のまま。

内村鑑三自筆の復命書

後に著名な思想家として知られることとなる内村鑑三は、明治 14 年 7 月に札幌農学校を卒業後開拓使に勤務します。その後、明治 16 年 4 月に札幌県に辞表を提出して上京するまでの間、開拓使及び札幌県において水産行政に携わります（北海道 1971）。

このわずか 2 年弱の在職期間に、内村はサケに関して「千歳川鮭魚減少の源因」（内村 1882）、「石狩川鮭魚減少の源因」（内村 1884）などの論文を発表しています。この他に、開拓使や札幌県の文書の中に、内村の自筆と判断されるもの、あるいは自筆ではないものの内村の作成した文章と考えられるものが残されており、「内村鑑三全集第 1 巻」（岩波書店 1981）には、それら 20 点余りが収録されています。

今回紹介する自筆の復命書（図 3）は、比較的最近になって伊藤氏によって発見されたもので（伊藤 2003, 山田 2004）、明治 15 年 11 月に札幌県勸業課雇の十河定道と共に、千歳川のサケの遡上や産卵状況を巡視した際の復命書です（開拓使 1882, 図 3）。明治 15 年 12 月 7 日という日付の後に御用係内村鑑三という名前と押印が見られます。復命書の提出先は、札幌県令調所廣丈となっています。

この頃の千歳川の本支流は、前述した「開拓使乙第 30 号」布達によりさげます漁は全面禁漁となっていました。当時内村が所属する札幌県勸業課ではサケ漁解禁の検討が行われており、この件に関しては、復命書の中で更に十分な調査が必要であると述べています。一方、密漁者の取締については、「尤モ産卵地ニ於テ、別紙復命ノ通り、密漁者有之様相聞候へ共、若シ之ヲ厳禁セハ、該地旧土人ヲシテ饑餓ニ落陥スルハ憐然ノ至リニ存候間、本年ハ例年ノ通りニ見認置キ、別ニ看守等ヲ要セスシテ可然義ト存候。此段復命仕候也」（図 3 の点線枠内の部分）と述べ、厳しい取締は「旧土人をして饑餓」に陥らせることから、監守人を

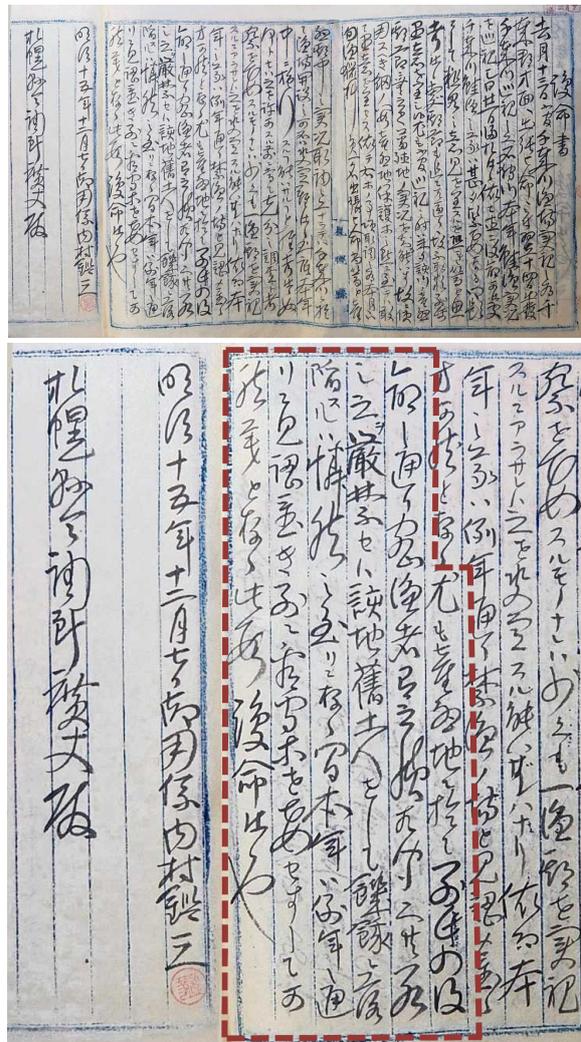


図 3. 内村鑑三の自筆復命書。上図：実物は 3 頁にわたって書かれていますが、それを合わせて表示しています。下図：2 頁目の 5 行目以降を拡大表示しています。点線枠内の解読文は本文中にあります。

らかの公文書が存在するのではないかと考えられます。しかしながら、道庁設置後の明治19年から明治40年頃までの文書のほとんどは、明治42年の道庁本庁舎の火災で焼失していることから（北海道立文書館2014）、道立文書館で目にすることはできませんでした。そんな折、そのことが書かれた文書を偶然に国立公文書館の資料の中に発見します。道庁が千歳中央孵化場の建設等に必要予算を大蔵省に要求し、閣議に供せられた文書で、件名が「北海道庁二十年度予算外収入金ヲ二十一年度新起事業費ニ増額ス」という資料（国立公文書館1888）です。

この資料は、明治21年6月16日付けで道庁長官永山武四郎が大蔵大臣宛に増額を求めて発出した文書、時の大蔵大臣伯爵松方正義が内閣総理大臣黒田清隆に閣議の開催を要請した文書及び閣議に供された文書の3点から成っています。永山武四郎が大蔵大臣宛に発出した文書には、要求理由が書かれた鑑文に、明治20年度の歳入予算増減一覧表及び新起事業の仕様書が添付されています。

図5には、閣議に供された文書と新起事業の仕様書の一部を載せました。道路開墾費などと一緒に、「水産改良費」として13,000円が要求されています。

水産改良費の要求理由に、「蕃殖ノ方法二種アリ。一種ヲ保護蕃殖トシ、一ヲ人為蕃殖トス。而シテ、本道天賦特有ノ産タル淡水魚（鮭鱒）ノ如キハ、人為蕃殖即チ人工孵化ニアラサレハ著シキ好結果ヲ得ル能ハサルハ、已各国経験上争フヘカラサルモノナリ。故ニ之ヲ蕃殖ヲ謀ラント欲セハ、須ラク適当ノ地ヲトシ中央孵化場ヲ設ケ、卵子ノ成熟セルモノヲ各種川ノ軽便孵化場ニ分輸シ、以テ孵出放流ヲ要ス。（以下略）」

（図5）と書かれており、前述の演説の趣旨と合致した内容で予算要求が行われています。

閣議は明治21年6月26日に開かれ、「請議案ノ通」に決定しています。かつて開拓使長官を務めたこともある内閣総理大臣黒田清隆の押印も見られます。明治21年12月に千歳中央孵化場は孵化室等の完成を見ていることから、予算決定後わずか半年足らずで出来上がったこととなります。

因みに、「明治二十年度予算外収入金」ですが、道庁は明治20年度に官営施設や土地等の民間への払い下げを行っており、その収入金であったことが要求書に添付の明治20年度の予算増減一覧表から分かります。

おわりに

千歳川に関連する明治期の三つの文書を紹介しました。いずれも北海道におけるさけます人工孵化放流の歴史に深く関わるものです。初めての孵化試験が行われ施設の略図や千歳中央孵化場の創立に係る予算要求資料は、筆者の知る限りでは恐らくこれまでに紹介さ

れたことのないものと思われます。特に、国立公文書館の資料の中に発見した予算要求に係る公文書は、千歳中央孵化場の創立目的が記述されている重要な資料と言えます。

最後に、資料の閲覧等にご協力をいただいた道立文書館に記して感謝申し上げます。

引用文献

- 秋葉鉄之. 1980. 千歳 さけ・ますふ化事業創設の記録. 北海道さけ・ます友の会, 札幌, pp.24-32.
- 千歳市. 1983. 増補千歳市史. 千歳市史編さん委員会, 千歳. p.46.
- 北海道. 1971. 北海道開拓功労者関係資料集録（上巻）. 北海道, 札幌. p.53.
- 北海道さけ・ますふ化放流百年史編さん委員会. 1988. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史史料編. 百年記念事業協賛会, 札幌. p.13.
- 北海道庁第一部記録課. 1891. 沿革類聚布令目録. 北海道庁, 札幌. pp.723-738.
- 北海道立文書館. 2014. 開拓使文書のさがし方. 文書館利用講座資料, p.1.
- 伊藤一隆. 1888. 本道に鮭魚人工孵化場の設立を望む. 北水協会報告, 35:2-5.
- 伊藤 繁. 2003. ほっかいどう漁業史再発見. 私家版, 札幌. pp.168-169.
- 岩波書店. 1981. 内村鑑三全集第1巻. 岩波書店. 東京. 539 pp.
- 開拓使. 1879a. 魚卵孵化方法ノ件. 魚卵孵化関係書類自明治十一年至同十四年（簿書4559）, 件番号:20.
- 開拓使. 1879b. 偕樂園ニ試験場設ケ鮭卵孵化試験ノ件. 魚獣皮類集 明治十二年（簿書3752）, 件番号:1.
- 開拓使. 1882. 千歳川鮭監守ニ関スル件. 札幌県治類典 水産 第一 明治十七年自一月至三月（簿書8738）, 件番号:2.
- 小林哲夫. 2009. 日本サケ・マス増殖史. 北大出版会, 札幌. pp.83-88.
- 国立公文書館. 1888. 北海道庁二十年度予算外収入金ヲ二十一年度新起事業費ニ増額ス. 公文類聚・第12編・明治22年,（請求記号:類00363100）.
- 札幌市. 1991. 新札幌市史第二巻. 札幌市教育委員会, 札幌. 1047 pp.
- 内村鑑三. 1882. 千歳川鮭魚減少の原因. 大日本水産回報告, 1:83-85.
- 内村鑑三. 1884. 石狩川鮭魚減少の原因. 大日本水産回報告, 26:10-20.
- 山田伸一. 2004. 千歳川のサケ漁規制とアイヌ民族. 北海道開拓記念館研究紀要, 32:119-141.

コラム

明治期の千歳川における写真

の が わ ひ で き
野川 秀樹（北海道区水産研究所）

北海道における官民一体の本格的なさけます人工孵化放流は、石狩川水系千歳川上流に官営の千歳中央孵化場が創立されたことに始まります。それは明治21（1888）年のことで、平成30（2018）年は創立130周年に当たります。そのようなことから、明治期の千歳川におけるさけます人工孵化放流に関連する写真を表紙などに掲載しました（以下、表紙の写真を①、裏表紙の写真を②、本文中の写真を③と表示）。

①と②は市立函館博物館が所蔵している写真で、明治24年に北海道庁が函館に開館した「函館水産陳列場」に陳列された写真です（北水協会 2009）。写真は台紙に貼られ、台紙にはタイトルと説明文、そして、写真の提供者である「北海道庁水産課」の名前が記述されています。タイトルと説明文ですが、①には「孵化室」、「孵化室ニアリ。正面ニアルモノヲ甲号トシ、左側ニアルモノヲ乙号トス。卵ヲ茲ニ移シテ孵化セシム」と、②には「親魚捕獲ノ装置」、「千歳川ヲ横断シテ杭ヲ建テ、網ヲ下シ溯上ノ鮭魚ヲ捕獲ス」と書かれています。

①の甲号孵化室は明治21年に建築された最初の孵化室で、乙号孵化室はその翌年に建てられています（北水協会 1904）。甲号孵化室の写真はこれまで目にしたことがなく、初代場長の藤村信吉が残したスケッチ（北水協会 1889）が、その建物の姿を知り得る唯一のものでした。それだけに、この写真の存在を冊子（北水協会 2009）で知ったときは大変驚きました。写真とスケッチの比較では、建物右側の小さな階段の掛かっている事務室下の1階部分のところに多少の違いは見られますが、全体的に大きな違いは見られません。②は網ウライ（サケ親魚の遡上を遮断するため、川中に杭を打ちその杭に網を括りつけて河川を横断して設置した装置）で、サケを捕獲しているところを写したものです。写真の捕獲方法は、明治21年から明治24年の間に行われた「上りウライ」と称される方法です（北海道鮭鱒保護協会 1938）。構内橋の上流に杭を打つなどして、大掛かりな装置で捕獲が行われていたことが分かります。雪の日にウライの修理でしょうか、カケヤを担いで佇む人物が写っています。

両写真は、恐らく展示用として降雪の同じ日に撮影されたものと推察されます。「上りウライ」で捕獲が行われた年、乙号孵化室の建築年及び当該写真が陳列物として北海道庁から函館水産陳列場に持ち込まれたのが明治24年であること（市立函館博物館 1979）を勘案すると、撮影されたのは千歳中央孵化場創立後間もない明治22～23年頃ではないかと思われまます。

③と④は北海道大学付属図書館北方資料室が所蔵している写真です。北方資料室のデータベースでの資料名及び撮影年は、③が「北海道水産試験場千歳分場」、「明治末(?)」、④が「千歳孵化場内部の景」、「明治末(?)」となっています。明治期のいつ頃の写真なのか、大凡の撮影時期を推定してみました。③の写真ですが、建物の様相が千歳鮭鱒人工孵化事業報告（北海道庁 1900）に綴られている全景写真に酷似していること、北海道水産試験場の所属となって「千歳分場」と称したのは明治34年からであることなどから、明治30年代中頃に撮影された写真ではないかと思われまます。写真には明治31年に整備された庁舎や養魚池が写っています。④は甲号孵化室の内部を撮影したものと考えられます。建築当初、孵化槽はアトキンス式2間槽でしたが、明治28年に写真に見られるようにアトキンス式1間槽の1列4段に改修されています（半田 1959）。このことから、明治28年から明治末にかけて撮影された写真と思われる。写真には、受精卵の管理に使用するアトキンス式孵化盆など当時の道具類も写っています。

今回紹介しました写真は、いずれも明治期の千歳川における人工孵化放流に関して多くのことを教えてくれる貴重で興味深い写真です。

最後に、写真の掲載許可や画像の提供などにつきまして種々ご協力いただきました市立函館博物館及び北海道大学附属図書館北方資料室に記して感謝申し上げます。また、古い文献の閲覧などにご協力いただきました北水協会の村井常務に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 半田芳男. 1959. 七十年前創立当時の千歳孵化場 —その孵化能力に関して—. 鮭鱒彙報, 57: 10-13.
 北海道鮭鱒保護協会. 1938. 沿革史. 鮭鱒彙報 (千歳孵化場50周年記念号), 38: 18-30.
 北海道庁水産課. 1900. 千歳鮭鱒人工孵化事業報告, 北海道庁水産課, 札幌. 千歳鮭鱒人工孵化場之景.
 北水協会. 1889. 千歳孵化場地画図. 北水協会報告, 42: 口絵.
 北水協会. 1904. 北海道水産試験場千歳分場 (一). 北海道水産雑誌, 4(2): 19-22.
 北水協会. 2009. 千歳孵化場額. 北水協会125年誌, 財団法人北水協会, 札幌. p. 141.
 市立函館博物館. 1979. 函館博物館100年のあゆみ. 市立函館博物館, 函館. 46 pp.

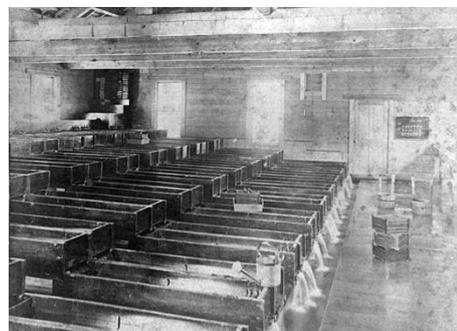
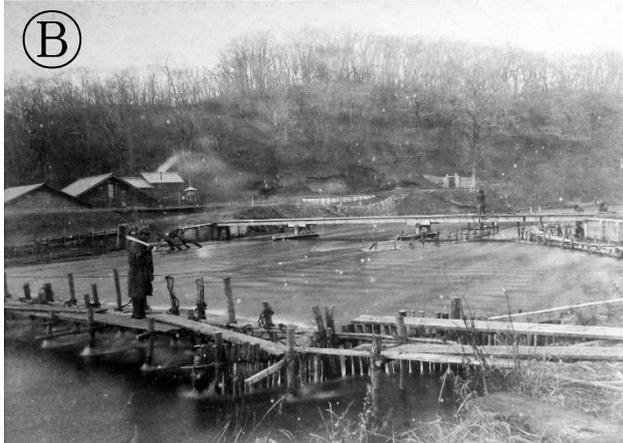


図. 甲号孵化室の内部. このコラムの④.



明治期の官営千歳中央孵化場（左）と、ほぼ同一の場所から撮影した現在の千歳さけます事業所（右）。
©の中央に写っている建物は事務所で、現在も変わらぬ位置にあります。②、③については、裏ページのコラムで解説しています。

発行：国立研究開発法人水産研究・教育機構

編集：国立研究開発法人水産研究・教育機構 北海道区水産研究所

〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島2条2丁目4-1

TEL 代表 011-822-2131 さけます生産技術部 技術課 011-822-2161

FAX 代表 011-822-3342

URL <http://hnf.fra.affrc.go.jp/>

E-mail www-hnf-info@ml.affrc.go.jp

執筆：水産研究・教育機構 北海道区水産研究所，中央水産研究所，日本海区水産研究所，
北海道大学大学院農学研究院，北海道大学大学院農学院，長野県環境保全研究所

SALMON 情報 編集委員会

伊藤二美男(委員長)，佐藤恵久雄，高橋昌也，川名守彦，森田健太郎，本多健太郎

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます。
