

人工産卵床に埋設放流したサクラマス卵の稚魚期までの生残率

宮腰靖之¹, 竹内勝巳², 青山智哉², 永田光博³

¹北海道立総合研究機構水産研究本部

²北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道南支場

³元北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Egg-to-fry survival of masu salmon planted in artificial spawning redds

YASUYUKI MIYAKOSHI^{*1}, KATSUMI TAKEUCHI², TOMOYA AOYAMA² and MITSUHIRO NAGATA³

¹ Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555,

² Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yakumo, Hokkaido, 043-0402.

³ Formerly : Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

Embryo planting in artificial spawning redds has been examined as a cost-effective means for enhancement of salmon. To evaluate effectiveness, eyed masu salmon *Oncorhynchus masou masou* eggs were experimentally planted in artificial redds, and egg-to-fry survival was surveyed in six tributaries of the Ishikari River in 1999 and 2000. The egg-to-fry survival rates were 0–11.9 % in the five of the study rivers, while it was 49.4 % in the final river. Clear relationships were not observed between stream conditions, e.g. gravel composition, stream width, and egg-to-fry survivals.

キーワード：サクラマス, 産卵床, 生残率, 卵放流

サケ科魚類の卵放流は、放流手法の一つとして以前から実施されてきた (Harshbarger and Porter, 1982; Kennedy, 1988; Cowx, 1994; 小池ら, 2000)。卵での放流は、稚魚あるいは幼魚の段階まで飼育する放流方法と比べて経費がかからないことが長所とされてきた (Barlaup and Moen, 2001; Coghlan and Ringler, 2004)。特に発眼卵は受精直後卵と比べて衝撃に強く取り扱いが容易であり、卵を湿らせた布などで包めば上流部など遠方へ運んで放流することも可能であり (中村・土居, 2009)、溪流でのイワナ *Salvelinus leucomaenis*、ヤマメ (サクラマス *Oncorhynchus masou masou* の河川型)、アマゴ *O. m. ishikawae* の発眼卵放流が研究されている (中村・土居, 2009; 水産総合研究センター, 2013)。北海道ではサクラマスの資源増殖を目的とした放流方法の研究が長く行われ、発眼卵の埋設放流も放流方法の一つとして研究されてきた (永田・坂本, 1989)。しかしながら、サクラマス

発眼卵の埋設放流の効果、すなわち放流から稚魚期までの生き残りを定量的に調べた結果が論文や研究報告として発表された事例は多くはない。そこで本報では、著者らが1999～2000年にサクラマスの発眼卵を数河川に埋設放流し、稚魚期までの生き残りを調べた結果について報告する。

材料と方法

卵埋設放流 本研究での試験放流には、北海道立水産孵化場森支場あるいは熊石支場で継代飼育したサクラマスから1999年および2000年の9月に採取した卵を使用した。採卵および受精した卵をふ化室で管理し、発眼した後、積算水温300℃前後の時点で死卵を取り除いて、その後、11月に人工産卵床に埋設放流した。調査河川は石狩川水系の当別川支流村田の沢、雨竜川支流幌似太刀別川、千

Table 1 Number and survival of eyed masu salmon eggs planted in the tributaries of the Ishikari River in 1999 - 2000

River	Murata-no-sawa River	Horoni Tachibetsu River	Izari River	Moizari River	Ichankoppe River	Moichan River
<i>Egg planting in artificial redds</i>						
Date of egg deposition	2 Nov. 1999	16 Nov. 1999	13 Nov. 2000	14 Nov. 2000	13 Nov. 2000	14 Nov. 2000
Number of eggs planted per redd	1,029	1,000	1,200	1,200	1,200	1,200
Number of redds constructed	7	9	20	10	10	10
Total number of eggs planted	7,200	9,000	24,000	12,000	12,000	12,000
Hatchery	Kumaishi	Kumaishi	Mori	Mori	Mori	Mori
River strain	Shokanbetsu R.	Shokanbetsu R.	Shiribetsu R.	Shiribetsu R.	Shiribetsu R.	Shiribetsu R.
Accumulated water temperature (°C)	360	358	367	376	367	376
Water temperature (°C)	6.4	2.3	5.1	8.7	5.1	5.4
Discharge (m ³ s ⁻¹)	No Data	No Data	1.36	1.05	0.31	0.09
Stream width (m)	2.5	3.5	10.4	4.9	4.8	2.3
Depth (m)	No Data	No Data	0.24	0.35	0.17	0.16
Mean particle size (D_g)*	11.7	5.2	8.8	6.4	10.8	8.6
Percent of fine sand (<1mm)	12.1	22.7	12.3	27.0	18.7	17.8
<i>Survey of emerged fry</i>						
Date of sampling for emerged fry	6 Jun. 2000	7 Jun. 2000	5 Jun. 2001	10 Apr. 2001	5 Jun. 2001	14 May 2001
Water temperature (°C)	No Data	No Data	13.9	8.9	10.7	13.3
Number of fry emerged	Estimate 120	0	2,849	700	74	5,933
Standard error	58	0	844	411	49	2,430
Furthest downstream distance (m)	500	-	3,000	200	300	1,300
Mean fork length (cm)	3.7	-	4.8	4.5	5.0	4.1
Range of fork length (cm)	2.8-4.7	-	3.1-6.0	3.1-5.9	4.1-6.0	3.0-5.7
Mean body weight (g)	-	-	1.3	1.0	1.4	0.9
Range of body weight (g)	-	-	0.3-2.5	0.3-2.7	0.6-2.6	0.2-2.5

* Mean particle size is represented by geometric mean diameter (D_g ; McMahon *et al.*, 1996)

歳川支流の漁川, 茂漁川, モイチャン川, イチャンコッペ川である (Table 1)。放流日の時点での積算水温は 358~376°C であった。なお, これらの河川には放流地点よりも下流側にサクラマスが遡上不可能なダムがあるため, 自然産卵するサクラマスは生息せず, 発生した稚魚はすべて本研究での埋設放流に由来するものとみなすことができる。唯一, 石狩川水系の茂漁川にはサクラマスが遡上可能であるので, 茂漁川に埋設放流する卵は, 積算水温 330°C の時点でアリザリン・コンプレクソン (ALC) 溶液 (濃度 200 mg/L) に 24 時間浸漬して耳石に標識を施しておき, 稚魚を採捕した際に放流起源であることを識別できるようにした。

発眼卵を埋設するための人工産卵床は天然魚の産卵床を模倣した構造とした (Gustafson-Marjanen and Moring, 1984; 杉若ら, 1999)。まず, 水深 20~40 cm の箇所を選んで, ショベルと鍬を使って河床に直径 50~60 cm, 深さ 20 cm 程度のくぼみを掘った。次に, その最深部に粒径 10 cm 程度の石を数個並べ, その中央に直径 50 mm, 長さ 1 m の塩化ビニル管を立てた。その後, 周辺の河床から砂利を集め, 目合 1 cm の篩を通して粒径の細かい砂利, 砂などを除いた後, 河床に掘ったくぼみを埋め戻した。くぼみの 3分の2 程度を埋め戻した時点で, 塩化ビニル管を通してサクラマスの発眼卵を人工産卵床内に流し入れた。卵を流し入れた後, 河床から 10 cm 程度盛り上がる程度まで砂利をかぶせ, 人工産卵床を完成させた。人工産卵床 1 箇所あたりに埋設したサクラマス発眼卵は 1,000~1,200 粒とした (Table 1)。

各河川の河床の粒度組成を調べるため, 凍結試料採集器 (frozen core sampler) を用いて土砂を採集した (McMahon *et al.*, 1996; Crisp, 2000)。凍結試料採集器は長さ 120 cm, 直径 10 cm の鋼鉄製の筒型の形状をしており, 河床に深くまで打ち込めるよう先端が尖った形状となっている。これを河床に 30 cm 程度打ち込んだ後, 筒内に液体窒素を流し込み, 15~20 分間放置して先端周辺の土砂を凍結させた。凍結した土砂を凍結試料採集器ごと河床から引き抜き, ポリ袋に入れて実験室に持ち帰った。実験室では試料を解凍および乾燥させた後, Wentworth の粒径基準に合わせた篩を使用して河床の粒度ごとに分割し, それぞれの区分の重量を測定した (McMahon *et al.*, 1996)。得られた結果から, 平均粒径 (幾何平均; McMahon *et al.*, 1996) と細砂 (< 1 mm) の割合を算出した。

稚魚の生息尾数推定 2000 年および 2001 年の 4~6 月, 人工産卵床から浮上したサクラマス稚魚の個体数を推定するため, 各放流河川において電気漁具を用いて稚魚を採捕した。河川ごとに水温に違いがみられ, 稚魚の浮上時期にも違いがあるものと推測されたため, 4 月から埋設箇所付近において稚魚の採捕を試み, 河川内に稚魚が多く分布するようになった時期に下流側での採捕を行い, 卵から稚魚期までの生き残りを評価することとした。

サクラマスの卵を埋設放流した場合, 稚魚の時点で埋設地点より上流側へ移動する稚魚は少ないので (Nagata, 2002), 稚魚の生息尾数の調査および推定の対象範囲は, 埋設地点より下流側とした。稚魚の採捕場所は長さ 50

mの区間とし、埋設地点から下流に向かって200~300 m 間隔で稚魚が採集されなくなる地点まで調査区間を設置した。

各調査区間では電気漁具 (Smith-Root社製) を用いてサクラマス稚魚の採捕を行った。調査区間内の稚魚の生息尾数はSeber and Le Cren (1967) の1回あるいは2回採捕の除去法により推定した。埋設地点から離れた調査区間では稚魚の採捕尾数が少なく、2回除去法により採捕率を推定することが困難であったので、埋設地点付近の調査区間で推定された採捕率を用い、1回除去法により稚魚の生息尾数および分散を推定した (Seber and Le Cren, 1967)。前述のとおり、茂漁川では自然産卵由来のサクラマス稚魚が生息するため、採集した稚魚の耳石を摘出して蛍光顕微鏡下でALC標識の有無を確認し、自然産卵起源か放流起源かを識別した。それ以外の調査河川では、稚魚の尾又長と体重を測定した後、採捕地点に放流した。

各河川での稚魚の生息尾数の推定にあたっては、稚魚の分布した範囲を長さ50 mの単位に分割した上で数単位をランダムに抽出したものとみなし、サクラマス稚魚の生息尾数の推定値と分散を推定した (Hankin, 1984)。埋設放流した卵の生残率は、推定された稚魚の尾数を埋設した発眼卵数で除すことにより推定した。

結 果

各調査河川における発眼卵の埋設時点から稚魚期までの生残率は0~49.4%と推定された (Fig.1)。採集した時点での各調査河川での稚魚の平均尾又長は3.7~5.0 cmであった。いずれの河川でも埋設地点に近い調査区間での稚魚の生息密度が高く、下流側に距離が離れるにつれて

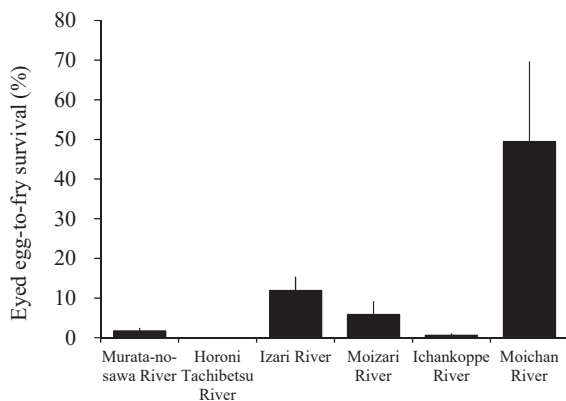


Fig.1 Estimated egg-to-fry survival of masu salmon experimentally planted in artificial spawning redds. Bars indicate standard errors.

生息密度は低下した。稚魚の分散範囲には河川間で大きな違いがみられ、漁川本流では埋設地点から3,000 m下流まで稚魚が確認されたのに対し、イチャンコッペ川では300 m、茂漁川では200 m下流までしか稚魚は確認されなかった (Table 1)。

各調査河川では河床の粒度組成も調べたが、平均粒径あるいは細砂の頻度とサクラマス卵の生残率には明瞭な関係はみられなかった (Spearmanの順位相関 $P > 0.05$)。最も生残率が高かったモイチャン川は川幅が狭く、調査河川の中でも河川規模が小さい河川であったが、川幅と生残率の間にも有意な相関はみられなかった (Spearmanの順位相関 $P > 0.05$)。

考 察

サケ科魚類の卵の生残率と河床の粒度組成には相関がみられることが知られている (Witzel and MacCrimmon, 1983; Olsson and Persson, 1986; Chapman, 1988; Olsson and Persson, 1988; Jensen *et al.*, 2009)。細かな粒径の河床材料が多い場所では卵の生残率が低いことが多く、これは産卵床内の通水が悪く、卵あるいは仔魚の生残に影響するためと考えられている (Crisp, 2000; Kondou *et al.*, 2001)。一方で、河床の粒度組成以外の要因が卵の生残率に影響することも報告されている (Crisp, 2000; Peterson and Quinn, 1996; Malcolm *et al.*, 2004; Quinn, 2005)。本研究の調査河川では、河川規模の小さいモイチャン川で最も高い生残率が得られたが、河川規模は小さくても生残率の低い河川もみられた。稚魚が1尾も採捕されなかった幌似太刀別川では、融雪増水期に河川水位が相当高くなった跡が川岸に観察され、河川の流量変化が大きく産卵床が破壊されるなどの影響も大きかったものと推測された。これらのことから河川の流量の変動の大きさなども卵の生残率に影響することが推測される。

サケ科魚類では産卵から稚魚が浮上するまでの間の死亡率が高いことが知られており、サケ科魚類の生残率についての研究事例をとりまとめた総説では (Bradford, 1994)、卵から稚魚期までの生残率はカラフトマス *O. gorbuscha*、サケ *O. keta*、ベニザケ *O. nerka* では平均で7%、ギンザケ *O. kisutch* は19%と報告されている。サクラマスでは同様の調査結果は得られておらず天然産卵のサクラマスの生残率と比較はできないが、本研究での発眼卵から稚魚期までの生残率は1河川のみ50%近い値であったものの、その他の5河川では0~11.9%であった。この結果から放流方法としての有効性を考えると、他の放流方法と比べて経費はかからないものの、放流効果は高いとは言えないだろう。本研究のフィールド調査は20年前

に実施されたものであるが, 河川の環境条件とサケ科魚類の卵の生残の関係, 卵放流の技術向上に関連する研究は現在も続けられている(水産総合研究センター, 2013; 高橋ら, 2013; Iida *et al.*, 2017)。サクラマスを含むサケ科魚類の増殖と保全に向けた産卵床や産卵場所の条件に関する知見のさらなる蓄積が望まれる。

謝 辞

野外での調査では北海道立水産孵化場の小島 博氏, 船岡輝幸氏, 大森 始氏, 北海道立林業試験場の佐藤弘和氏にご協力いただいた。北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の卜部浩一博士には本報告の原稿に助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

文 献

- Barlaup BT, Moen V. Planting of salmonid eggs for stock enhancement - a review of the most commonly used methods. *Nord. J. Freshwat. Res.* 2001 ; 75 : 1-9.
- Bradford MJ. Comparative review of Pacific salmon survival rates. *Can J Fish Aquat Sci* 1994 ; 52 : 1327-1338.
- Chapman DW. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1988 ; 117 : 1-21.
- Coghlan SM Jr, Ringler NH. A comparison of Atlantic Salmon embryo and fry stocking in the Salmon River, New York. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2004 ; 24 : 1385-1397.
- Cowx IG. Stocking strategies. *Fish. Manag. Ecol.* 1994 ; 1 : 15-30.
- Crisp DT. Trout and Salmon, Ecology, Conservation and Rehabilitation. Blackwell Science, Oxford, 2000, 212p.
- Gustafson-Marjanen LI, Moring JR. Construction of artificial redds for evaluating survival of Atlantic salmon eggs and alevins. *N. Am. J. Fish. Manag.* 1984 ; 4 : 455-456.
- Hankin DG. Multistage sampling designs in fisheries research; applications in small streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1984 ; 41 : 1575-1591.
- Harshbarger TJ, Porter PE. Embryo survival and fry emergence from two methods of planting brown trout eggs. *N. Am. J. Fish. Manag.* 1982 ; 2 : 84-89.
- Iida M, Imai S, Katayama S. Effect of riverbed conditions on survival of planted eyed eggs in chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fish. Sci.* 2017 ; 83 : 291-300.
- Jensen DW, Steel EA, Fullerton AH, Pess GP. Impact of fine sediment on egg-to-fry survival of Pacific salmon; a meta-analysis of published studies. *Rev. Fish. Sci.* 2009 ; 17 : 348-359.
- Kennedy GJA. Stock enhancement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In Mills D, Piggins D (eds). *Atlantic Salmon: Planning for the Future*. Timber Press, Portland, 1988 ; 345-371.
- 小池利通, 大矢真知子, 塚本勝巳. 加治川におけるサクラマス発育段階と放流場所が回帰に及ぼす影響. 新潟県内水面水産試験場調査研究報告 2000 ; 24 : 1-9.
- Kondou T, Takeshita N, Nakazono A, Kimura S. Egg survival in a fluvial population of masu salmon in relation to intragravel conditions in spawning redds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2001 ; 130 : 969-974.
- Malcolm IA, Soulsby C, Youngson AF, Hannah DM, McLaren IS, Thorne A. Hydrological influences on hyporheic water quality: implications for salmon egg survival. *Hydrological Processes* 2004 ; 18 : 1543-1560.
- McMahon TE, Zale AV, Orth DJ. Aquatic habitat measurements. In: Murphy BR, D. W. Wills DW (eds). *Fisheries Techniques, second edition*. American Fisheries Society, Bethesda. 1996 ; 83-120.
- 永田光博, 坂本博幸. サクラマスの卵放流について. 魚と水 1989 ; 26 : 12-21.
- Nagata M. Ecological studies on the dispersal of newly emerged masu salmon fry. *Oncorhynchus masou. Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* 2002 ; 56 : 1-87.
- 中村智幸, 土居隆秀. 溪流におけるイワナ発眼卵放流由来群の生残, 成長, 密度および現存量. 日本水産学会誌 2009 ; 75 : 198-203.
- 中村智幸, 徳田幸憲, 高橋剛一郎. 人工産卵河川におけるイワナの産卵と当歳魚の動態. 応用生態学会誌 2009 ; 12 : 1-12.
- Olsson TI, Persson B-G. Effects of gravel size and peat material concentrations on embryo survival and alevin emergence of brown trout, *Salmo trutta* L. *Hydrobiologia* 1986 ; 135 : 9-14.
- Olsson TI, Persson B-G. Effects of deposited sand on ova survival and alevin emergence in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Archiv für Hydrobiologie* 1988 ; 113 : 621-627.
- Peterson NP, Quinn TP. Spatial and temporal variation in dissolved oxygen in natural egg pockets of chum salmon, in Kennedy Creek, Washington. *J. Fish Biol.* 1996 ; 48 : 131-143.

- Quinn TP. The Behavior and Ecology of Pacific Salmon and Trout. American Fisheries Society, Bethesda. 2005, 378p.
- Seber GAF, Le Cren ED. Estimating population parameters from catches large relative to the population. *J. Anim. Ecol.* 1967 ; 36 : 631-643.
- 杉若圭一, 竹内勝巳, 鈴木研一, 永田光博, 宮本真人, 川村洋司. 厚田川におけるサクラマスの産卵床の分布と構造. 北海道立水産孵化場研究報告 1999 ; 53 : 11-28.
- 水産総合研究センター. マス類の効果的な増殖手法の開発. 地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業報告書. 水産庁, 2013.
- 高橋剛一郎, 徳田幸憲, 中村智幸. 人工産卵場における粒径組成とイワナの産着卵の生残について. 砂防学会誌 2013 ; 66 : 40-44.
- Witzel LD, MacCrimmon HR. Embryo survival and Alvin emergence of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and brown trout, *Salmon trutta*, relative to red gravel composition. *Can. J. Zool.* 1983 ; 61 : 1783-1792.