

## 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

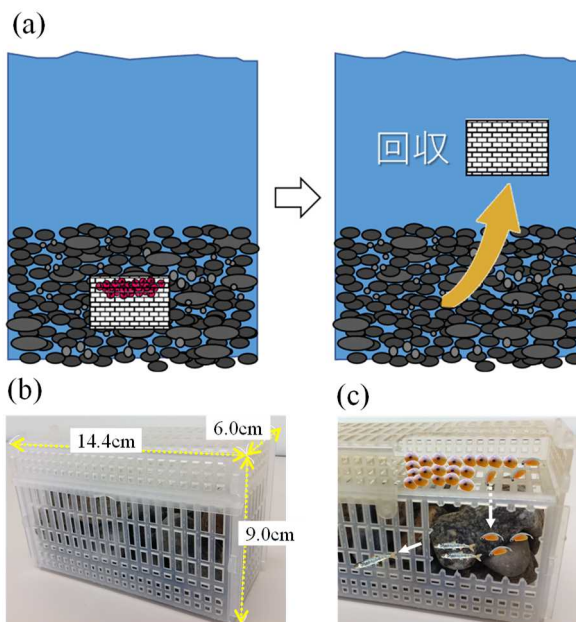


図1. (a) 容器を用いた発眼卵放流の一般的な作業手順。通水性の高い虫かご状の容器に発眼卵を収容し、その容器を深さ約20 cmに埋設する。浮上後、容器を回収する。(b) パイパートボックスの構造。上段に発眼卵、下段に直径3-5 cmの小石を収容する。(c) 仔稚魚はスリットを通じて下段およびボックス外へ移動する。

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。

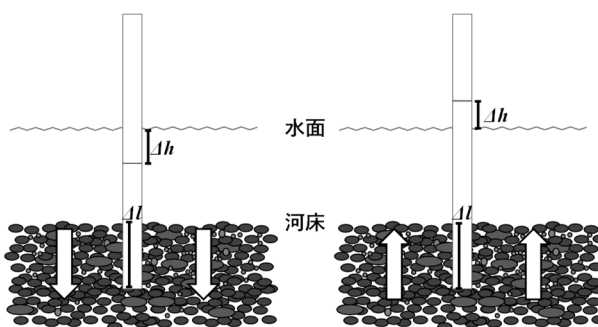


図 2. 動水勾配の概念図。動水勾配 ( $\Delta h/\Delta l$ ) はパイプを河床に挿し, パイプ内と河川水面の水位差 ( $\Delta h$ ) および挿した深さ ( $\Delta l$ ) から求める。浸透する場所では負の値 (左図), 反対に水が湧き上がる場所では正の値 (右図) を示す (Baxter et al. 2003 を改変)。

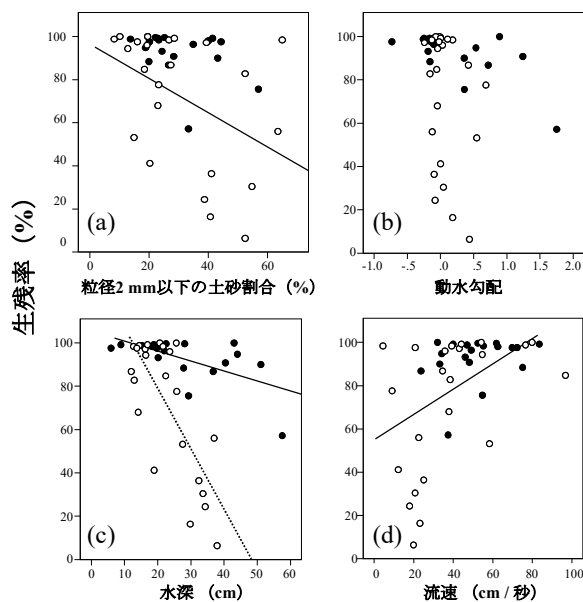


図 3. 発眼卵放流群の生残率と放流環境の関係。黒丸が 2013 年級群 (N=19), 白丸が 2014 年級群 (N=23) を示す。確かな影響が認められた場合, その環境要素と生残率の関係性を直線で表した。水深 (c) と生残率の関係性は調査年によって異なったため, 2013 年級分を点線, 2014 年級分を実線で示した。

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。

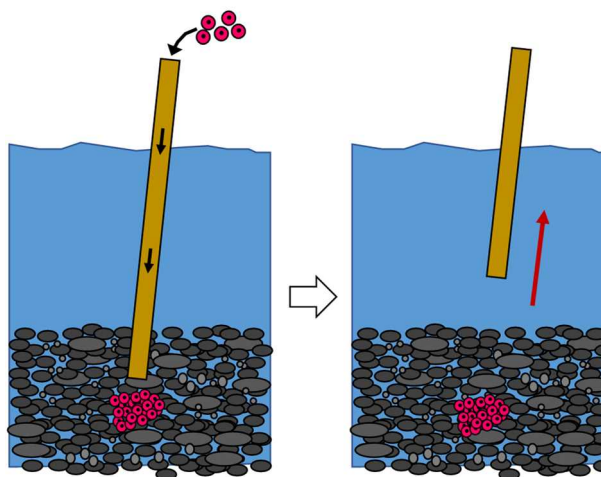


図4. 直まき (発眼卵放流) の一般的な作業手順。河床へ挿入したパイプを通じて発眼卵を流し込み (左図)、パイプを抜くことで放流は完了する (右図)。

## 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), UBE 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), 株式会社恒星社厚生閣, 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.