

短 報

仔魚床の有無・飼育密度の違いが サクラマス仔魚の成長・生残に及ぼす影響

飯田真也*^{1,3}・戸叶 恒*²・片山知史*³

Effects of incubation substrate and rearing density on the growth and survival of masu salmon *Oncorhynchus masou* alevins

Masaya IIDA, Kou TOKANO and Satoshi KATAYAMA

We investigated the impacts of incubation substrate and rearing density on the growth and survival of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) alevins. Eyed eggs of masu salmon were stocked in incubation tanks at different egg densities with or without gravel substrate. The survival rate from eggs to emergent fry did not differ depending on the presence of gravel substrate, nor on the rearing density. The mean body weight of emergent fry reared with the gravel substrate was significantly heavier than that of fry at the same rearing density without gravel substrate. In the absence of gravel substrate, the mean body weight of emergent fry reared at a high density was significantly heavier than that of fry reared at a low density. These results indicate that the growth of masu salmon alevins is affected by the presence of incubation substrate as well as rearing density. The incubation substrate may restrain alevins from actively moving, promoting their efficient absorption of yolk nutrient for growth.

キーワード：サクラマス, 仔魚管理, 仔魚床, 飼育密度
2016年1月22日受付 2016年12月16日受理

日本では、サケ属魚類の資源を増大させるため、広くふ化放流事業が行われている(野川 2010)。その工程は、捕獲・採卵, 卵管理, 仔魚管理, 稚魚管理の4つに大別され, それぞれの段階について生産性を高めるための技術開発がなされてきた(小林 2009)。仔魚管理とは, 発眼卵を水槽へ収容し, ふ化した仔魚が浮上稚魚に至るまで飼育する期間を指す(野川 2010)。サケ科魚類の仔魚は, 卵黄エネルギーだけを使って, 骨格系, 消化器系および運動機能系の発達を図る(帰山 1986)。このため, 仔魚管理に関する技術開発は, 卵黄エネルギーを運動に消費させることなく, 体組織の形成に転換させること, すなわち, 仔魚を安静に保つための管理に焦点があてられて

きた(野川 2010)。一連の技術開発によって, 適正な注水量や発眼卵の飼育密度, 仔魚が身を寄せる基質(以下, 仔魚床)の設置など, 仔魚の安静化を促すための飼育基準が提唱された(北海道さけ・ます増殖事業協会 2007)。サケ科魚類の仔魚は, 魚種によって異なる発育特性を示すことが知られているが(Beacham and Murray 1990), 我国における仔魚管理に関する技術開発は, サケ *Oncorhynchus keta* を主体に行われ, サクラマス *O. masou* の仔魚管理に関する知見は極めて限定的である。

近年, 導水ポンプを主体とする電気代や餌代の高騰, さらに技術者の高齢化が主に本州のふ化場で大きな課題となっている(小堀 2013)。事業期間の短縮や運営費を

*¹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所
〒951-8121 新潟市中央区水道町1丁目5939-22

Japan Sea National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 1-5939-22, Suido-cho, Chuou-ku, Niigata, Niigata, 951-8121, JAPAN
miida@affrc.go.jp

*² 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

*³ 東北大学大学院農学研究科

削減するため、今後、浮上した稚魚を無給餌で放流するふ化場が増えることが予想される。無給餌放流を導入する場合、その放流効果を高めるため、生残率が高い浮上稚魚を生産する飼育技術を探索する必要がある。本研究では、仔魚床および飼育密度の異なる環境でサクラマス仔魚を飼育し、浮上稚魚に至るまでの生残および成長を比較した。

材料と方法

飼育試験は、新潟県中魚沼ふ化場の堅型式ふ化槽を用いて行った。堅型式ふ化槽とは、一般的なアトキンス式ふ化盆（北海道さけ・ます増殖事業協会 2007）に類似する、本州に特有のふ化器具である。堅型式ふ化槽（以下、ふ化槽）の構造は、金網の底を持つふ化盆（収容内寸、28×28 cm）が7段に重なり、仕切りによって均一な湧昇流が各ふ化盆へ通水される（図 1A）。発眼卵は、最上・下段を除く 5 段のふ化盆へ収容され、ふ化槽内で浮上稚魚に至る。

試験には、新潟県三面川ふ化場にて継代育成された池産系サクラマスの発眼卵（2011 年 10 月 13 日採卵、総卵数 58.2 千粒、平均卵重 0.095 g、発眼率 69%）を用いた。本研究では、使用できる発眼卵数に制限があったため、従来の飼育方法（1 区）に対してサケで推奨される飼育（2 区）、2 区に対して飼育密度を緩和した飼育（3 区）、飼育密度はサケの基準値だが仔魚床のない飼育（4 区）をそれぞれ比較した（表 1）。1 区のふ化槽では、中魚沼ふ化場における従来の飼育条件に従い、ふ化盆に仔魚床は敷設せず（図 1B）、発眼卵を密度 4.1 kg/m²/段で収容した。2 区は、ふ化盆に仔魚床として粒径 3~5 cm の砂利を一層に敷き（図 1C）、発眼卵をサケのふ化放流事業において基準となる密度 3.5 kg/m²/段（松島 1993）で収容した。3 区は、ふ化盆に仔魚床として粒径 3~5 cm の砂利を一層に敷き（図 1C）、発眼卵をサケの基準値より低い密度 3.0 kg/m²/段で収容した。4 区は、ふ化盆に仔魚床は敷設せず（図 1B）、発眼卵を密度 3.5 kg/m²/段で収容した。

試験は 2011 年 11 月 8 日より浮上時期まで行い、この間の飼育用水（地下水）の水温はデータロガー（Tidbit v2, Onset 社）で 1 時間ごとに記録し、溶存酸素量（以下、DO）は DO メーター（HQ30d, HACH 社）で試験開始時に測定した。平均水温（±SD）は 13.7 ± 0.3 °C でほぼ一定だった。試験開始時、注水部の DO は 10.3 mL/L だった。通常、ふ化槽への注水量は次式で求められる（北海道さけ・ます増殖事業協会 2007）。

注水量（L/分） =

$$\frac{\text{飼育重量（kg）} \times \text{酸素消費量（mL/kg/分）}}{\text{注水部 DO（mL/L）} - \text{排水部 DO（mL/L）}}$$

サケ科魚類にとって、DO の少ない環境はストレスとなり、成長に悪影響を及ぼすことから、排水部の DO を常時 6 mL/L 以上に保つことが推奨されている（野川・八木沢 2011）。サケ科魚類の仔稚魚の酸素消費量は、成長とともに増加する（北海道さけ・ます増殖事業協会 2007）。後述する浮上時期に（飼育重量；1.8~2.4 kg/ふ化槽）、サクラマスの酸素消費量がサケと同様の 3 mL/kg/分（北海道さけ・ます増殖事業協会 2007）と仮定すれば、排水部の DO を常時 6 mL/分以上に保つための注水量は 1.4~1.7L/分となる。ただし、注水量 1.4~1.7L/分ではふ化槽内で偏流が生じ、局所的な低酸素状態になることが懸念された。そのため、各ふ化槽の注水量は基準のおよそ 10 倍となる約 16 L/分とし、これにより均一な湧昇流を生み出すことが確認された。

大部分のサクラマスが卵黄を吸収し、浮上稚魚に達した 2011 年 12 月 16 日に、各ふ化槽で斃死した卵と仔魚を計数し、それを収容卵数で除すことで、発眼卵が浮上稚魚に至るまでの生残率を算出した。各区のふ化槽 5 段のふ化盆から浮上稚魚を集め、そこから無作為に 60 尾ずつ抽出し、麻酔後（FA100, ニチドウ）、魚体に付着した水気を十分拭き取り、電子天秤（EJ-610, AND 社）により各個体の体重を 0.01 g 単位で計測した。

各区のふ化槽で飼育した浮上稚魚の平均体重に違いがあるかを検討するため、Tukey 法による多重比較を行った。全ての解析は、SPSS（Windows Ver. 23, IBM）を用いて行い、有意水準は 0.05 とした。

結果

発眼卵が浮上稚魚に至るまでの生残率は、1 区が 96.5%、2 区が 96.7%、3 区が 97.0%、4 区が 95.0% であり、ふ化槽間で大きな違いは認められなかった（表 1）。

浮上稚魚の平均体重（±SD）は、1 区で 0.145 ± 0.025 g、2 区で 0.165 ± 0.019 g、3 区で 0.158 ± 0.026 g、4 区で 0.123 ± 0.023 g であった（図 2）。多重比較の結果、サクラマス浮上魚は、従来の飼育方法（1 区）に比べてサケで推奨される条件で飼育した方（2 区）が平均体重は有意に重くなった（ $p < 0.01$ ）。仔魚床がある場合、サケの基準値（2 区；3.5 kg/m²）に比べて低い密度（3 区；3.0 kg/m²）で飼育しても、平均体重に差は認められなかった（ $p > 0.05$ ）。また、サケの基準密度で収容した場合、仔魚床のある環境で成長した浮上稚魚（2 区）は、仔魚床のない環境の浮上稚魚（4 区）に比べ、平均体重が有意に重くなった（ $p < 0.01$ ）。さらに、仔魚床がない場合、サケの基準値に比べて高い密度（1 区；4.1 kg/m²）で成長した浮上稚魚は、基準密度の浮上稚魚（4 区；3.5 kg/

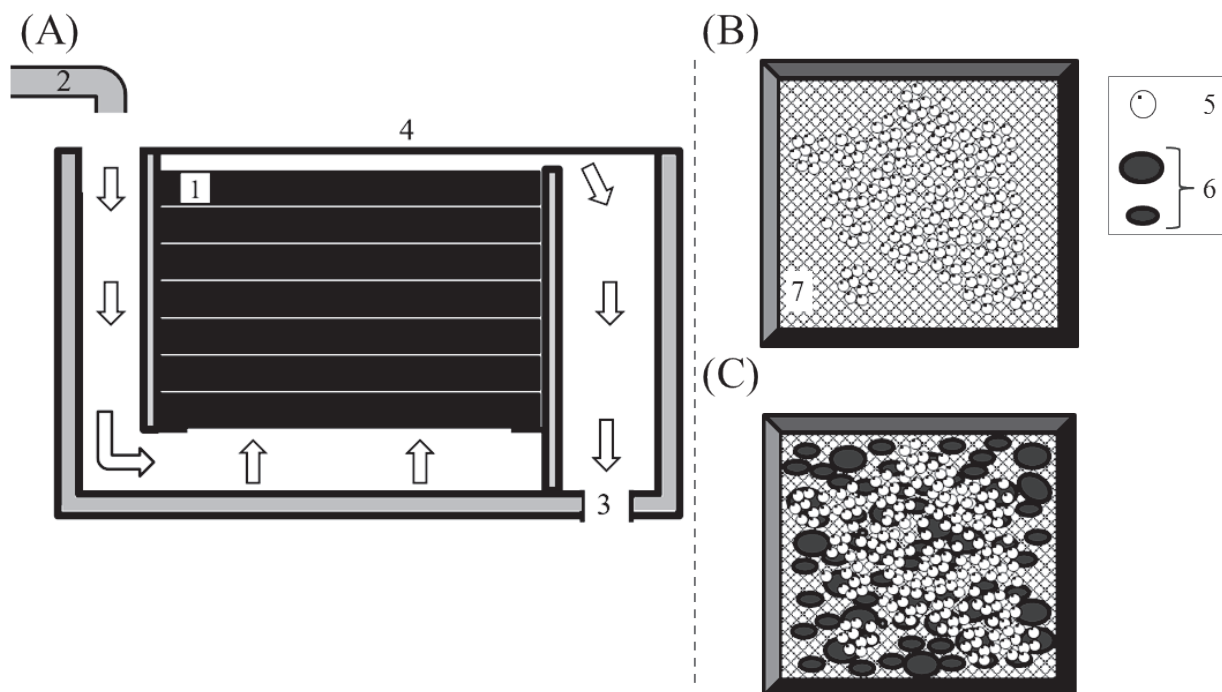


図1. (A) 堅型式ふ化槽の模式図, (B) 仔魚床を敷設しないふ化盆, (C) 仔魚床として砂利を一層に敷いたふ化盆
 白矢印は水の流れを示す
 1: ふ化盆 (7段), 2: 注水管, 3: 排水口, 4: 遮光板, 5: 発眼卵, 6: 仔魚床 (砂利), 7: 金網

表1. 堅型式ふ化槽を用いた試験区の飼育条件と発眼卵が浮上稚魚に至るまでの生残率

区分	収容					浮上	
	卵重 (g/段)	密度 (kg/m ² /段)	仔魚床	ふ化盆 (段)	卵数 (千粒)	減耗 (尾)	生残率
1区	320	4.1	なし	5	16.8	596	96.5%
2区	275	3.5	砂利一層	5	14.5	484	96.7%
3区	235	3	砂利一層	5	12.4	369	97.0%
4区	275	3.5	なし	5	14.5	728	95.0%

m²) に比べ、平均体重が有意に重くなった ($p < 0.01$)。

考 察

サクラマス仔魚に十分な DO が与えられた環境において、仔魚床の有無および飼育密度の違いは、生残に影響を与えないものの、仔魚の成長差を生じさせることが観察された。このことは、減耗の少ない仔魚管理が行われているふ化場であっても、従来の飼育方法を改善することで、生産する浮上稚魚を大型化しうることを示唆する。

サクラマス仔魚を同一密度 (3.5 kg/m²) で飼育した場合、仔魚床のある環境 (2区) に比べて仔魚床のない環境 (4区) の方が浮上稚魚の平均体重が有意に軽かった。この結果は、他のサケ科魚類で行われた先行研究 (Bams 1974, Hansen 1985, Hansen and Møller 1985, Murray and

Beacham 1986, Fuss and Johnson 1988, Peterson and Martin-Robichaud 1995) と一致した。サケ科魚類の仔魚は、負の走光性を有する。このため、陰となる仔魚床がない場合、仔魚は頭を下に向けた状態で蟄集し、活発に運動する (Murray and Beacham 1986)。その結果、卵黄エネルギーを体組織の形成に転換する割合は低下し、魚体は小型化する。一方、仔魚床がある場合、仔魚は仔魚床の陰に身を寄せて安静を保ち、運動が抑制されるため、卵黄の体組織への吸収率が高まり、魚体は大型化することが報告されている (Bams 1974, Hansen 1985, Hansen and Møller 1985, Murray and Beacham 1986, Fuss and Johnson 1988, Peterson and Martin-Robichaud 1995)。本研究では、ふ化槽の構造上、仔魚の行動観察を行うことが困難だった。また、ふ化槽内の照度を測定しておらず走光性に関連した検討は難しいが、サクラマスに関して

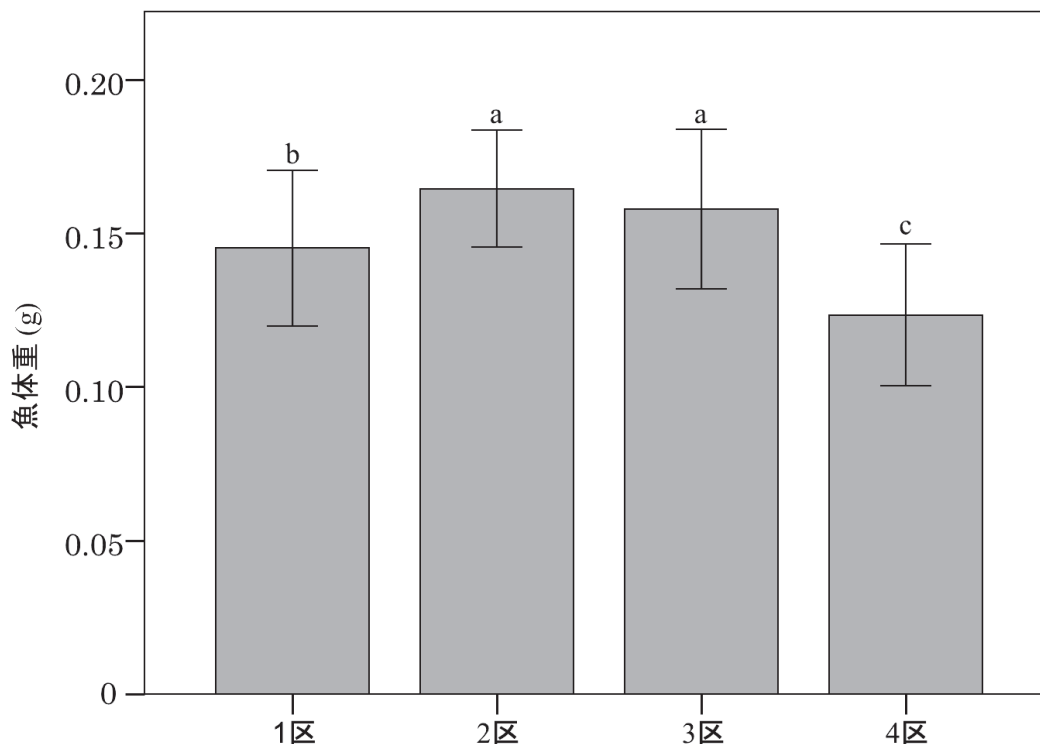


図2. 堅型式ふ化槽で飼育したサクラマス浮上稚魚の平均体重 (± SD)
 各区の飼育条件は表1を参照のこと
 アルファベット (a,b,c) は平均の降順に対応し、平均間に有意差が認められない場合に同じアルファベットを付与

も、仔魚床のない環境は仔魚の安静化の妨げとなり、このことが浮上稚魚の小型化を引き起こしたと推察された。

仔魚床がある場合、サケに関する基準値 (2区) とそれ以下の密度 (3区) で収容したふ化槽では、浮上稚魚の平均体重に違いは認められなかった。本研究では、適切な飼育密度を明確にするに至らないが、仔魚床を用いる場合、サクラマス発眼卵の飼育密度がある閾値以下であれば、飼育密度が浮上稚魚の体重に与える影響は少ないと考えられた。

仔魚床がない場合、基準値 (4区) に比べて高い密度 (1区) で管理した方が浮上稚魚の平均体重は有意に重くなった。このことは、浮上魚の体重が仔魚床の有無だけでなく、飼育密度の影響を受けることを示唆する。サケに関しては、飼育密度が高い場合、仔魚床を設置すると浮上稚魚の小型化を引き起こすことが指摘されている (Murray and Beacham 1986)。サクラマスに関しても高密度で飼育した場合の仔魚床の影響を確かめる必要がある。

本研究によって、仔魚床の有無や飼育密度の違いがサクラマス浮上稚魚の体重に影響を与えることが示された。本州のふ化場では、仔魚床を用いない仔魚管理が散見されており (清水ら 2008)、そのような場合、仔魚床を設置することが浮上稚魚の体重増加に寄与する可能性がある。仔魚期に関しては、卵黄エネルギーを効率良く諸器

官の形成に転換し、活動代謝を最小限にとどめ、高い残余エネルギーをもって浮上することが、その後の外部栄養の獲得に極めて有利な条件となることが示唆されている (帰山 1986)。今後、仔魚を安静化させ、健苗性に優れた浮上稚魚を育成するため、仔魚床を活用したサクラマス仔魚管理の適正な飼育密度の範囲を明らかにする必要がある。

謝 辞

新潟県中魚沼漁業協同組合の長谷川克一組合長を初め、職員の皆様には本研究の実施に際して多大なる配慮を賜った。国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所の水澤亮馬氏には、現地作業に協力いただいた。ここに記して、深く感謝申し上げます。

文 献

- Bams R A (1974) Gravel incubators: a second evaluation on pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, including adult returns. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, **31**, 1379-1385.
- Beacham T D, Murray C B (1990) Temperature, egg size, and development of embryos and alevins of five species of Pacific

- salmon: a comparative analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **119**, 927-945.
- Fuss H J, Johnson C (1988) Effects of artificial substrate and covering on growth and survival of hatchery-reared coho salmon. *Prog. Fish-Cult.*, **50**, 232-237.
- Hansen T (1985) Artificial hatching substrate: effect on yolk absorption, mortality and growth during first feeding of sea trout (*Salmo trutta*). *Aquaculture*, **46**, 275-285.
- Hansen T, Møller D (1985) Yolk absorption, yolk sac constrictions, mortality, and growth during first feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar*) incubated on astro-turf. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, 1073-1078.
- 北海道さけ・ます増殖事業協会 (2007) さけ・ますふ化放流事業実施マニュアル. 北海道さけ・ます増殖事業協会, 札幌, 102p.
- 婦山雅秀 (1986) サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活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.
- 小林哲夫 (2009) 日本サケ・マス増殖史. 北海道大学出版, 札幌. 310p.
- 小堀彰彦 (2013) 「全国内水面養殖振興協会」発足への意気込み. 養殖ビジネス, **50**, 56-58.
- 松島 豊 (1993) 溶存酸素量の異なる水環境におけるサケ仔魚の発育比較. 魚と卵, **162**, 69-75.
- Murray C B, Beacham T D (1986) Effect of incubation density and substrate on the development of chum salmon eggs and alevins. *Prog. Fish-Cult.*, **48**, 242-249.
- 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**, 1-8.
- 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**, 67-89.
- Peterson R, Martin-Robichaud D (1995) Yolk utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) alevins in response to temperature and substrate. *Aquac. Eng.*, **14**, 85-99.
- 清水 勝・吉田利昭・平間美信・宮内康行 (2008) ふ化管理の改善によりサケの種苗生産性が向上—ふ化・放流技術の普及活動—. 日本海区水産研究所主要研究成果集, **3**, 2-5.