短

報

北海道千歳川におけるサケの自然再生産効率

森田健太郎,* 平間美信, 宮内康行,
高橋 悟, 大貫 努, 大熊一正

(2012年12月10日受付, 2013年3月7日受理)

鮭水産総合研究センター北海道区水産研究所

Efficiency of natural reproduction of chum salmon
in the Chitose River, Hokkaido, Japan

KENTARO MORITA,* YOSHINOBU HIRAMA,
YASUYUKI MIYAUCHI, SATORU TAKAHASHI,
TSUTOMU OHNUKI AND KAZUMASA OHKUMA

Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries
Research Agency, Sapporo, Hokkaido 062-0922, Japan

キーワード：自然繁殖, シロザケ, 天然魚, ふ化放流,
野生魚

近年, サケ *Oncorhynchus keta* の野生魚に対する意識が高まり, 北海道では広範囲で自然産卵するサケが確認されるようになったほか,¹⁾ ふ化放流事業のためにウライ(上りやな)で河川捕獲されるサケにも自然産卵由来の野生魚がある程度の割合で含まれることも明らかとなった。²⁾ 自然再生産効果を組み入れたサケの資源管理方策は, 水産資源増殖と生物多様性保全の双方に利すると期待されるが,²⁾ それを実行するには, 自然再生産の効率に関する知見を蓄積する必要がある。しかし, 我が国において, サケの自然再生産効率に関する知見は, 半世紀以上前に実施された研究例が数例あるにすぎない。³⁻⁵⁾

本研究では, 人工ふ化放流が行われている石狩川支流千歳川のウライ上流域において, 自然産卵するサケの親魚数を推定するとともに, 降下する自然産卵由来の稚魚数を推定し, 自然産卵に基づくサケ親魚1尾あたりの再生産効率を推定することを目的とした。

まず, 自然産卵するサケ親魚数を推定するため, 2011年8月から2012年2月にかけて, 魚類の遡上限界である王子製紙第四発電所ダム付近から千歳市街地に位置するウライまでの約11 kmの区間を,⁶⁾ 調査員1名が月一回の頻度でシュノーケリングにより流れ下り, 目視によるサケ親魚の計数を行った。また, 目視率を推定するため, ウライで捕獲されたサケについて, 2011年9月から12月にかけて計4回計241尾に外部標識(ダートタグ及び脂鱗切除)を施しウライ上流へ再放流した。標識放流の後1週間以内に目視調査を行い, 標識魚を別途計数することで目視率を推定した。自然産卵

するサケ親魚の総数の推定は, サケ属魚類の遡上数推定に汎用されている台形近似に基づく Area-Under-the-Curve (AUC) 法を用いた。⁷⁾ AUC 法を用いて遡上数を推定するためには, サケ親魚の河川滞在日数 (s) を仮定する必要があるが, 本研究では過去の文献値⁸⁻¹⁰⁾ から想定される範囲として, $s=10$ 日, 15 日及び 20 日の3つの値を仮定した。目視調査時における標識魚の個体数は, 標識放流数から目視調査時まで回収された個体数を減じた値に, $(s-\Delta t)/s$ を乗じたものとした。ここで Δt は標識放流日から目視調査日までの日数である。また, 標識魚目視率の推定比率を用いて二項乱数を発生させることによって, 前報²⁾ と同様の手法で 95% 信頼区間を求めた。

サケ親魚調査の結果, ウライ上流域において延べ 220 尾のサケ親魚(繁殖後死体を除く)が目視され, その内 12 尾が標識魚であった。全ての調査月においてサケ親魚が目視されたが, サケ親魚はウライが撤去された 12 月以降に増加し, そのピークは厳冬期の 1 月であった (Fig. 1)。AUC 法を用いて遡上数を推定した結果, 約 3,700~4,400 尾のサケがウライ上流において自然産卵したと推定された (Table 1)。なお, 2011 年度の千歳川における河川捕獲数は 203,515 尾であったことから, ウライによって約 98% のサケ親魚が捕獲されたと推定された。ただし, 本研究では AUC 法を用いる上で月一回の頻度という不十分なデータを用いており, 推定誤差は相当程度過小評価されていると考えられるが, こ

Fig. 1 Seasonal change in the estimated number of chum salmon adults above the Chitose River hatchery weir from summer 2011 to winter 2012. Assumed stream life is 15 days for this illustration. Tagged and released fish were not included in this estimation. Error bars indicate 95% confidence intervals.

Table 1 Summary statistics of the observer efficiency, total number of adults and fry, efficiency of natural reproduction, and survival rate from eggs to fry of brood year 2011 chum salmon collected above the hatchery weir of the Chitose River for three scenarios of assumed stream life used in the area-under-the-curve (AUC) method

Assumed stream life for AUC	Observer efficiency	Total number of adults (2S)	Total number of fry (R) (thousands of fish)	Efficiency of natural reproduction (R/S)	Survival rate from eggs to fry
10 days	14.1%	4,411 (2,777–8,338)		548	19.2%
15 days	9.8%	4,272 (2,642–8,280)	1,209 (1,025–1,425)	566	19.9%
20 days	8.5%	3,745 (2,330–7,122)		646	22.6%

The 95% confidence intervals are given in parentheses.

の点については今後の課題としたい。

次に、自然産卵によって発生した野生のサケ稚魚数を推定するため、2012年3月8日から6月26日にかけて、ウライの設置場所にロータリー式スクリュートラップ (E. G. Solution 社製, Oregon, USA) を設置し、サケ降下稚魚の捕獲をおこなった。スクリュートラップの稼働時間は24時間連続を基本とし、週二回の頻度で計32回おこなった。採集された稚魚は全重量が計量され、1尾当たりの平均体重から採集尾数を求めた。千歳川では、スクリュートラップ設置場所の約10 km 上流に位置する北海道水産研究所千歳さけます事業所から、2012年3月5日から4月19日にかけて、人工ふ化したサケ稚魚が放流されたが、放流魚の全数に耳石温度標識が施されており、無標識魚は野生魚と見なすことができる。野生のサケ稚魚数を推定するにあたり、放流魚と野生魚で河川内の死亡率が等しく、捕獲効率は調査期間を通して一定であると仮定した。スクリュートラップの捕獲効率は流量、すなわちトラップの回転数に影響を受けると考えられるが、¹¹⁾ 千歳川は湧水が豊富で流量の変動幅が小さい特徴を持つため、調査期間を通してスクリュートラップ回転数および水位の変動幅は小さくかつ経時的な変化も見られなかった (回転数 1.9 ± 0.35 回/分, 西越の水位 5.2 ± 0.07 m)。前報²⁾の方法に従い、降下稚魚に占める野生魚の割合 ($\hat{P}_w$) を推定し、2012年の放流数 3,047 万尾に $\hat{P}_w / (1 - \hat{P}_w)$ を乗じることで、自然産卵によって発生した野生サケ稚魚数を推定した。

サケ稚魚調査の結果、ウライ上流域から降下する稚魚の約4%が無標識の野生サケ稚魚と推定され、約121万尾の野生サケ稚魚が自然産卵によって発生したと推定された (Table 1)。野生サケ稚魚の降下数は、調査日によって大きく変動したが、調査時期の後半になるに従い野生魚の割合が高まる傾向が認められた (Fig. 2)。これは、自然産卵するサケ親魚が、ウライの撤去後に増加することと対応すると考えられた。しかし、北海道東部の当幌川では、ふ化場から稚魚が放流される以前に相当数の野生のサケ稚魚が降下していると報告されており、¹²⁾ 千歳川で見られたパターンは必ずしも一般的な傾

Fig. 2 Seasonal change in the number of naturally-spawned (wild) chum salmon fry (filled circles) and the proportion of wild chum salmon fry (dashed line) that were captured by a rotary screw trap located at the same place as the Chitose River hatchery weir in 2012. Error bars indicate 95% confidence intervals.

向ではない。

また、いずれの時期においても、野生のサケ稚魚は尾叉長 30 mm 台が大半を占め、放流されたサケ稚魚と比べて顕著に小さかった (Fig. 3)。野生のサケ稚魚は体サイズが小さいため、放流魚よりも回帰率が低い可能性も考えられるが、千歳川の2006年級群は降下稚魚に占める野生魚の割合 (9%) と同程度の野生親魚 (11%) が確認されていることから、野生魚と放流魚で回帰率に大きな差はないと考えられている。²⁾

以上のサケ親魚数及び稚魚数の推定結果を基に、性比を1:1と仮定して、自然産卵に基づくサケ雌親魚1尾あたりの稚魚生産数を計算すると、548~646尾と推定された (Table 1)。また、千歳川のサケ雌親魚における2011年度の平均孕卵数は2,851粒であったことから (北水研・未発表)、卵から稚魚までの生存率に換算すると、19.2~22.6%と推定された (Table 1)。

本研究で得られた卵から稚魚までの生存率は、過去の研究における推定値の範囲内であった (十勝川支流メム川⁵⁾: 平均 27.6%, 範囲 16.2~34.4%, 北米フレーザー川¹³⁾: 平均 14.2%, 範囲 5.7~35.4%)。また、種苗放

Fig. 3 Fork length distribution of naturally-spawned (wild) and hatchery chum salmon fry captured by a rotary screw trap operating in the Chitose River in March, April, May and June 2012. Wild and hatchery fish were identified by the presence of otolith thermal marks.

流が実施されていない河川においても、野生サケ個体群が存在しているという事実から、¹⁾ 自然再生産で平衡状態にあるサケ個体群の再生産効率 (R/S , 1 雌あたりの稚魚生産数を逆算すると, $R/S = 2 / \{ \text{回帰率} \times (1 - \text{漁獲率}) \}$ となる。ここで、漁獲率 90%, 回帰率 2~5%, 孕卵数 3,000 粒と仮定すると, $R/S = 400 \sim 1,000$ 尾、卵から稚魚までの生存率は 13~33% と見積もられ、上述の推定値と概ね一致する。

人工ふ化種苗の採卵から放流までの生存率は 80% 以上に達しており、自然再生産の効率は人工ふ化放流の約四分の一に過ぎず、人工ふ化放流の方が自然再生産よりも生産効率が非常に高いことが再確認された。さらに、自然再生産による生存率は気象条件や産卵親魚密度などに影響を受け、年変動が非常に大きいと指摘されており、¹³⁾ さらにデータの蓄積が必要である。一方で、人工ふ化放流も病気や事故（停電等）による減耗、損失のリスクを抱えている。

現在、サケ資源管理は人工ふ化放流事業が中心となっており、北海道におけるサケのふ化放流数は約 10 億尾と安定している。人工ふ化放流事業のための河川捕獲数は 160 万~500 万尾と大きく年変動しており、ふ化放流に用いない余剰な親魚は採卵後の親魚とともに売却され増殖経費に補填されている。余剰親魚を再放流し、ウライの上流域に存在する自然産卵場を活用すれば、比較的労力をかけずに資源増殖を図ることができるかもしれない。例えば、雌親魚 1 尾を再放流することは、回帰率を 2% と仮定しても、約 4 年後には約 10 尾が沿岸漁業の対象になると見積もられる。一方、サケ親魚をウライ上流へ再放流することは、密漁対策のコスト増加及び繁

殖後死体の腐敗臭などが懸念されている。これらの諸問題に対して流域全体の合意形成が諮られるならば、一部の余剰親魚を再放流することによって、生物多様性の保全のみならず、増殖効果も高めることができる可能性がある。

謝 辞

千歳川に於ける調査に惜しめないご協力を頂いた日本海さけ・ます増殖事業協会（濱野勝男会長）の安藤孝雄専務理事はじめ職員の皆様に深く感謝致します。また、千歳川の貴重な情報を提供して下さった伊藤富子博士、中島美由紀氏、菊池基弘氏、英文校閲をして頂いた Nancy Davis 博士、原稿の作成及び調査に協力頂いた北水研職員の方々にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 宮腰靖之, ト部浩一, 安藤大成, 實吉隼人, 青山智哉, 坂本博幸, 春日井潔, 永田光博. 北海道におけるサケ自然産卵個体群の分布 (資料). 北水試研報 2011; **80**: 51-64.
- 2) 森田健太郎, 高橋 悟, 大熊一正, 永沢 亨. 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定. 日水誌 2013; **79**: 206-213.
- 3) 半田芳男, 菊地覺助. 鮭天然産卵及孵化試験, 鮭鱒人工蕃殖及試験報告, 北海道水産試験場. 1917; 78-82.
- 4) 佐野誠三. 鮭の天然蕃殖に関する研究 豫報. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1952; **7**: 61-68.
- 5) 長沢有晃, 佐野誠三. メム川の天然産卵場で算定したサケの降下稚魚について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1961; **16**: 107-125.
- 6) 今井 智, 大本謙一, 高橋昌也, 宮本幸太, 小野郁夫, 大熊一正. 北海道千歳川に遡上するサクラマス産卵親魚の由来と移動様式. 日水誌 2010; **76**: 652-657.
- 7) Hilborn R, Bue BG, Sharr S. Estimating spawning escapements from periodic counts: a comparison of methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999; **56**: 888-896.
- 8) 斎藤寿彦. 幌内川におけるサケの自然繁殖: 他のサケ科魚類との産卵床形成の空間的隔離. さけ・ます資源管理センター研究報告 2000; **3**: 15-24.
- 9) 有賀 誠, 津田裕一, 藤岡 紘, 本多健太郎, 光永靖, 三原孝二, 宮下和士. 石狩川におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* の遡上行動—テレメトリーシステムの利用—. 応用生態工学 2009; **12**: 119-130.
- 10) サケ自然再生産効果に関する研究/野生サケの資源動態に関する研究. 平成 22 年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書, 恵庭. 2012; 36-39.
- 11) 宮腰靖之, 隼野寛史, 永田光博, Irvine JR. 層別 Petersen 法を用いたサクラマススモルトの個体数推定. 日水誌 2001; **67**: 231-237.
- 12) 虎尾 充, 竹内勝巳, 佐々木義隆, 春日井潔, 村上豊, 永田光博. 当幌川におけるカラフトマス放流魚と野生魚の降河生態. 北海道水産孵化場研報 2010; **64**: 7-15.
- 13) Beacham TD, Starr P. Population biology of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, from the Fraser River, British Columbia. *Fish. Bull.* 1982; **80**: 813-825.