

河川構造物が設置された非放流河川におけるサケ産卵床の分布

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-01-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 飯田, 真也 メールアドレス: 所属: 水産研究・教育機構
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/121

河川構造物が設置された非放流河川におけるサケ産卵床の分布

飯田真也

Spatial distribution of chum salmon spawning redds in a non-stocked river with an artificial structure

Masaya IIDA

Abstract: To understand effects of artificial barriers on the natural recruitment of chum salmon, spatial distribution of spawning redds was investigated for five years in a non-stocked river with a small dam. Spawning redds were observed from October to December every year, but not in January. Redd density in the section just below the dam was more than five times higher than that in downstream sections. Some redds in the high-density section were superimposed by later spawners. These results suggest that spawning ground expansion by artificial structure modification (e.g., installation of fish ways) is important for enhancing chum salmon reproductive success.

Key words: Chum salmon; Natural spawning; Wild fish; Habitat fragmentation

サケ *Oncorhynchus keta* は北日本において重要な沿岸漁業対象種であり、その資源管理のためふ化放流事業が主体的に行われてきた (高橋 2015)。しかし、サケの漁獲尾数が北海道の21%にとどまる本州 (2016 ~ 2020年平均, 本州: 432万尾, 北海道: 2043万尾, 水産研究・教育機構 2021) では、増殖事業経費の縮減や技術者の高齢化などの問題によってふ化放流事業の継続が困難な地域が増えてきた (Iida et al. 2017)。現に、本州日本海側 (青森 ~ 石川県) におけるサケ稚魚の放流数は1990年代では2.3億尾, 2010年代では1.4億尾と4割も減少した (NPAFC 2020)。近年、本州日本海側の河川ではふ化放流実績 (ふ化放流事業が行われてきたか否か, 以下、それぞれ放流河川, 非放流河川) に関わらず、サケの自然産卵が広域的に行われていることが明らかになった (Iida et al. 2018)。放流数が減少傾向にある今、放流河川はもちろんのこと、非放流河川の野生魚を保全す

ることは、加入の維持、ひいてはサケ資源を持続的に利用していく上で重要である。ここで、野生魚とは一世代以上にわたり自然再生産し、その両親が野生魚か放流魚かは問わない個体 (森田・大熊 2015) を示す。また、サケ科魚類を含む様々な水産増養殖種に関して、ふ化放流事業によって個体群の遺伝的多様性や適応度 (次世代に残す子孫の期待値) が低下することが明らかとなり (Araki and Schmid 2010)、そのリスクを軽減させるため、自然産卵で生まれた野生魚も種親とする融和方策が提唱されるようになった (森田 2020)。野生魚の保全はサケ個体群を遺伝的に健全に保つためにも必要である。

野生魚を保全するには産卵河川の環境を良好に保つことが重要である。日本では、ダムや砂防堰堤など河川を横断する構造物 (以下、河川構造物) が多く設置され (Yoshimura et al. 2005)、河川構造物より上流に親魚が遡上出来ずに産卵空間が制限されることも多い (卜部ら 2013)。魚道を設置することで産卵環境を拡大する取り組みが進められているが (Nakamura and Komiyama 2010; 下田ら 2019)、十分対応されているとは言い難い。このような取り組みを広く普及させるためには、サケの産卵実態を詳細に把握し、地域社会や河川管理機関と問題意識を共有して野生魚を保全する機運を高める必要がある。しかし、日本ではサケの産卵実態を調べた事例は少なく、特に、非放流河川における産卵実態を長期間調べた研究は見当たらない。本研究では、河川構造物が設置された非放流河川におけるサケ産卵床の分布を経時的に確かめ、河川構造物がサケ自然産卵に与える影響を検討した。

新潟県落堀川水系舟戸川で調査を行った。舟戸川は流域面積86 km²、流路延長13 km、新発田市の水田地帯を横断して日本海へ注ぐ非放流河川である (Fig. 1)。河口から10.3 kmの地点に魚道のない高さ約2 mの堰堤がある (Fig. 1)。堰堤直下の水深は10 cm未満と浅く、サケがそこを超えて遡上することは極めて困難である。調査区間として、堰堤から下流方向へ2.0 kmの地点を起点とし、距離212 mの4区間 (a-d)、dの終点から866 m上流を起点として堰堤まで続く200 mの1区間 (e) を設定した (Fig. 1)。dとeの間隔が空いたのは、dの上流に深い淵があり川通しの遡行が困難だったためである。a-eの川幅および水深の範囲はそれぞれ3–10 m、10–100 cmだった。2019年を除く2015–2020年10–1月 (2021年1月を含む)、毎月1–3回の頻度で産卵床を対象に目視調査を行った。表層水温は例年10月 (13–15°C) から1月 (3–6°C) にかけて直線的に低下し、a-eの表層水温の差は概ね1°C未満だった。偏光レンズを装着した調査員が河床を注意深く観察しながら遡行し、産卵床を計数した。サケ科魚類は産卵環境が適正であるかを図るため、河床の

2021年9月10日受付; 2021年11月4日受理.

水産研究・教育機構 水産資源研究センター (Fisheries Stock Assessment Center, Japan Fisheries Research and Education Agency, 1-5939-22, Suido-cho, Chuou-ku, Niigata, Niigata, 951-8121, Japan).

連絡先 (Corresponding author): E-mail, miida@affrc.go.jp (M. Iida).

試し堀りを行うことが知られている (Gallagher et al. 2007)。産卵床の構造として特徴的な堀 (Pit) と塚 (Tailspill) が認められない場合、疑似産卵床 (False redd) と判断し、計数

しなかった。確認した産卵床の位置を携帯型 GPS (GPSMAP 62SCJ, Garmin, Kansas City, KS, USA) に登録し、それら位置情報を地理情報システム QGIS (<http://www.qgis.org>,

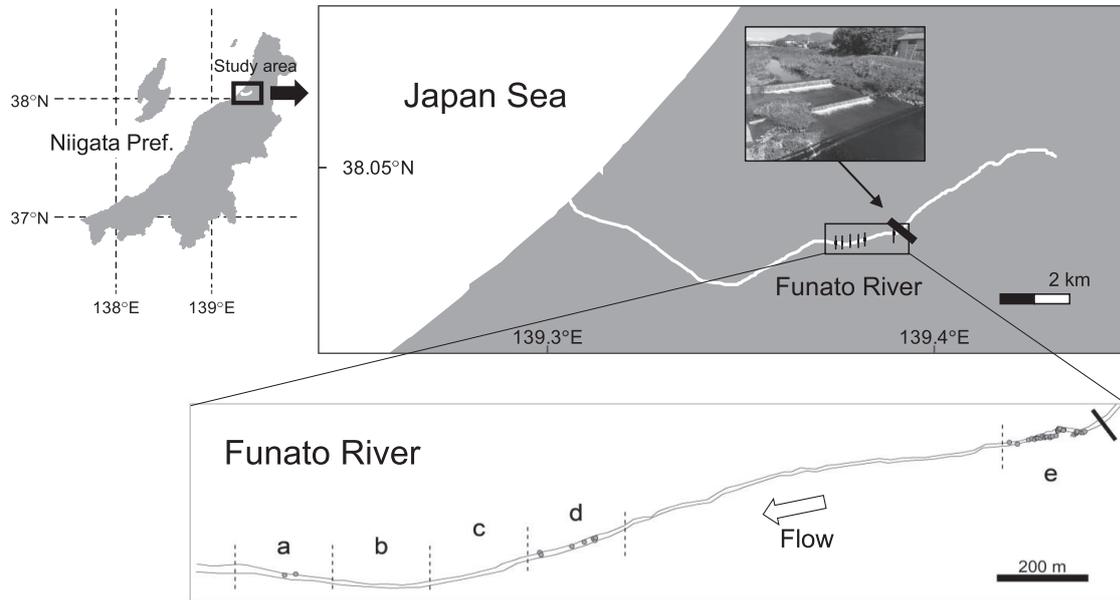


Fig. 1. (a-e) Locations of the study reaches where the chum salmon spawning redds were observed in the Funato River, Niigata Prefecture, Japan. The black rectangle indicates a concrete weir that blocked the passage of adult chum salmon. Filled circles in the lower panel indicate the positions of spawning redds observed in early December 2015.

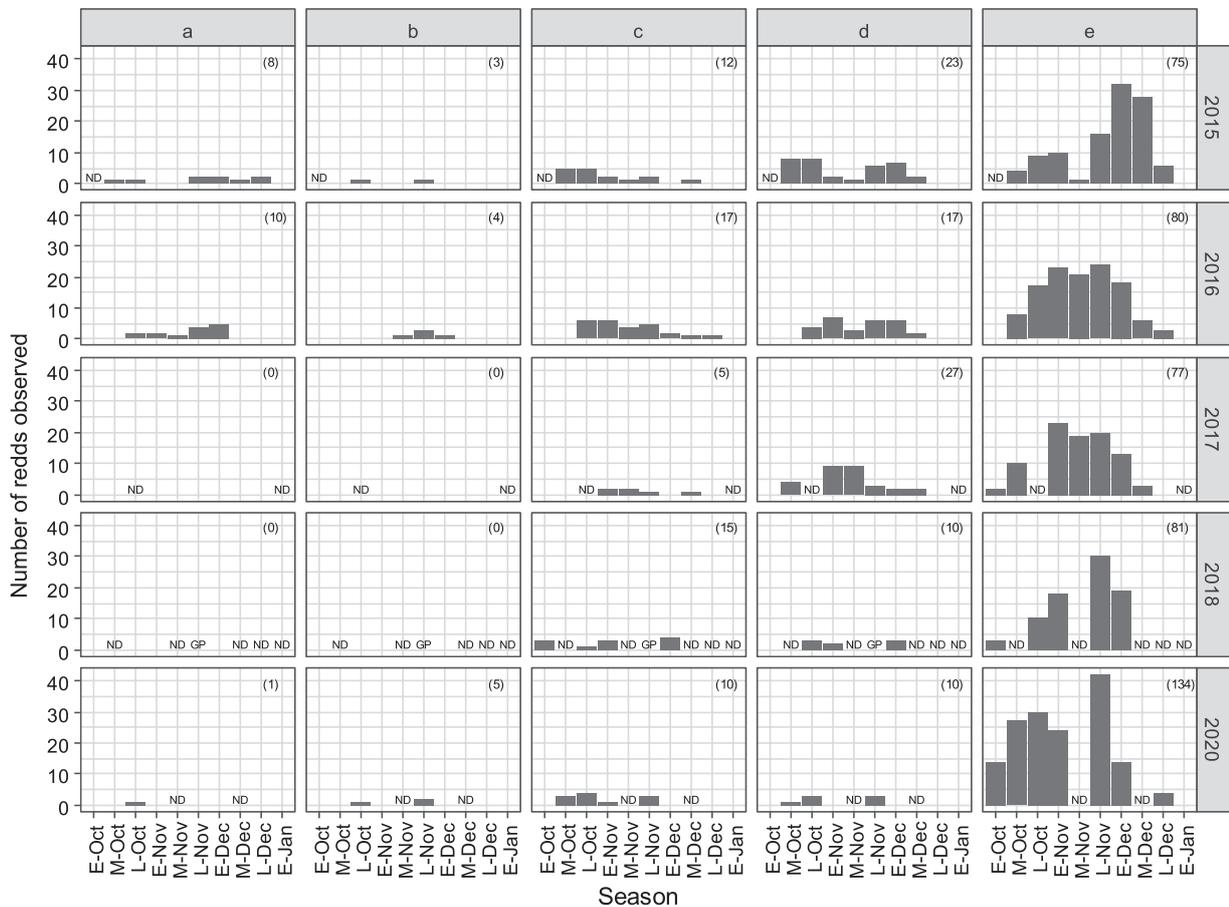


Fig. 2. Number of spawning redds observed in the study reaches (a-e, see Fig. 1) in 2015–2018 and 2020. Numbers in parentheses indicate the total number of spawning redds estimated by area under the curve method. The letters “ND” indicate that the field survey was not conducted, and the letters “GP” indicate that the position of spawning redds was not recorded due to problems with mobile GPS. For each month, E, M, and L represent early, mid-, and late part, respectively.

version 2.18.23) で管理した。産卵床の目視効率は河川流量が多いほど低下する (Gallagher et al. 2007)。目視効率の均一化のため、河床が鮮明に観察出来る平水および減水時に調査を行った。2018年11月下旬の a-d における調査は、GPS の不具合が生じたため解析に含めなかった。なお、2015-2017年のデータは野生サケ稚魚の降海時期に関する調査に用いられた (Iida et al. 2021)。

サケ科魚類の産卵床はその形状を一定期間保持するため、ある調査間で同じ産卵床を重複計数した可能性がある。そこで、各調査区間における産卵床の総数 (E) を Area-under-the-curve (AUC) method (Hilborn et al. 1999) で推定した。

$$AUC = \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \times \frac{(x_i - x_{i-1})}{2}$$

$$E = \frac{AUC}{s \times v}$$

ここで、 n はある年の調査回数、 t_i は i 番目の調査月日、 x_i はある調査区間 (a-e) における i 番目の調査で確認した産卵床の数、 s と v はそれぞれ産卵床寿命と目視効率を示す。産卵床寿命とは、産卵床形成後に藻類が繁茂するなどして目視判別が困難になるまでの日数であり、その推定には産卵床をマーキングして定期的に観察する必要がある (Gallagher et al. 2007)。しかし、舟戸川は都市型河川のため人々の往来が多く、マーキングによって景観が損なわれることが懸念された。そこで、先行研究を参照して s を 15日 (高山ら 1997; 有賀ら 2014)、また、全ての調査日で河床を鮮明に視認することが可能だったため、 v を 1 と仮定した。調査の初日あるいは最終日の目視数がゼロでなかった場合、Hilborn et al. (1999) に従って初日から s を引いた日あるいは最終日に s を足した日に目視数がゼロの調査が行われたものとして解析した。調査区間の川幅に大きな違いはなかったため、産卵床密度 (D) を 100 m あたりの産卵床数として定義した。

$$D = 100 \times E / L \quad (L: \text{調査区間長})$$

産卵床密度の平均値が調査区間によって異なるかを調べるため、応答変数に産卵床密度 (連続変数)、説明変数に調査区間 (カテゴリカル変数) を定めた Tukey test を行った。 $P < 0.05$ を統計的に有意とし、統計ソフト R (version 4.0.5) を用いて解析した。

全体として産卵床は10月から12月にかけて毎年観察され、1月に確認されることはなかった (Fig. 2)。調査区間別に見ると、産卵床が c-e では毎年確認された一方、a・b では一つも出現しない年もあった (Fig. 2)。AUC 法で推定した産卵床数はいずれの年も堰堤直下にある e (範囲: 75-134) が最も多く、また、a-e における産卵床総数の範囲は106-160だった。産卵床密度 (Fig. 3A) は e が a-d に比べて有意に高く (Tukey test, 4 比較の全て $P < 0.001$)、a-d の間に有意差は認められなかった (6 比較の全て $P > 0.05$)。産卵床密度が最も高かった e では、産卵床の出現ピーク付近におい

て白濁化したサケ死卵が河床に露出する状況が散見された (Fig. 3B)。

サケは水温があまり変動しない湧水のある場所を好んで産卵する (Salo 1991)。しかし、舟戸川では大半の産卵床が水温変動の大きい河川表層水が浸透する場所に作られている (Iida et al. 2021)。よって、湧水の存在が産卵場所の選択性に与える影響は少ないと考えられた。

舟戸川におけるサケ産卵床密度には有意差が認められ、河川構造物の直下に位置する区間 e が下流区間 a-d に対して 5 倍以上高い値を示した (Fig. 3A)。同属魚類ビワマス *O. masou* subsp. の産卵床は遡上障害物の直下部に集中することが指摘されており (尾田 2010; 尾田・淀 2016)、本研究でも同様の傾向を示した。産卵床密度が高まると重複産卵が生じる。重複産卵による掘り返しによって物理的な衝撃を受けた卵は減耗し、再生産成功率が著しく低下する (Bjornn and Reiser 1991)。本研究においても掘り返しによる衝撃によって減耗したと推察される死卵が河床に露出し

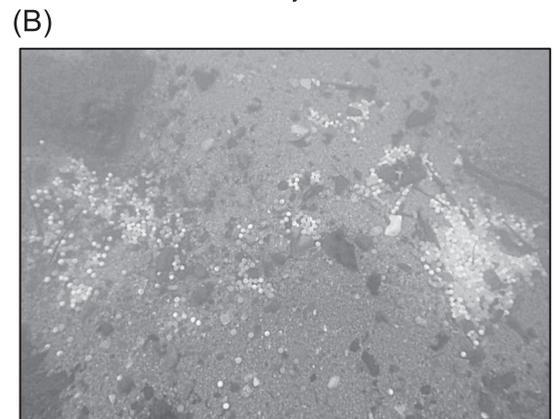
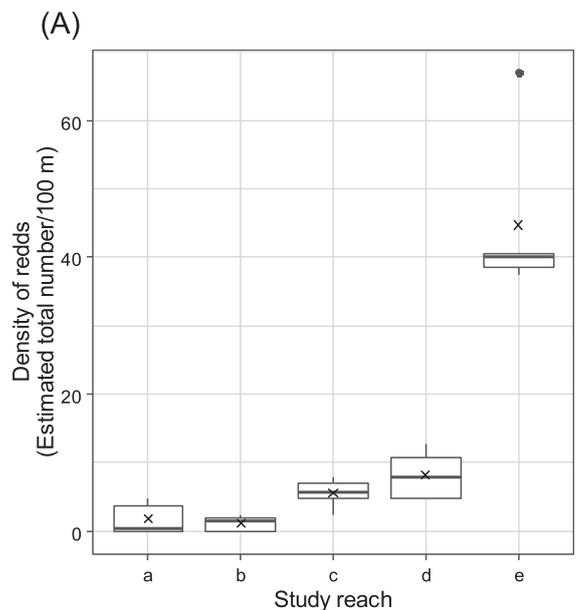


Fig. 3. A: Box plot showing the density of chum salmon spawning redds in the study reaches (see Fig. 1) in 2015-2018 and 2020. Horizontal lines, crosses and boxes indicate median, mean and interquartile range, respectively. Whiskers indicate the highest value within 1.5 times the interquartile range beyond the 25th and 75th percentile, and a filled circle indicates any value beyond the whiskers. B: Dead eggs dislodged from redds by later spawners at the study reach "e" (see Fig. 1) on November 27, 2020.

ている状況が散見された (Fig. 3B)。死卵が河床内に残存した場合、それらが分解される過程で溶存酸素を消費するため、周囲に生息する生卵を低酸素状態に晒すことも懸念されている (Hunter 1959)。このように、産卵空間が制限され、産卵親魚の密度が過剰になった状況では、産卵親魚量と卵の生残率に負の相関関係が生じる (Fukushima et al. 1998)。河川構造物を改修して産卵親魚の通過を可能にすれば、産卵範囲が今まで未利用だった構造物の上流域へ拡大する可能性が高い (Nakamura and Komiyama 2010; 下田ら 2019)。その結果、産卵密度は緩和され、重複産卵による掘り返しのリスクが軽減されるだろう。なお、本研究の調査手法にはいくつか検討すべき課題もある。サケが産卵する河床材の粒径中央値は0.1-62 mm であり、同属種の中でも特に多様だが (Kondolf and Wolman 1993)、サケ産卵床は適したサイズの礫 (粒径30 mm 前後) がある区間に集中する傾向にあることが指摘されている (宮腰ら 2012)。舟戸川では、粒径 2 mm 以下の細かな礫が堆積してサケの産卵にあまり適さないと推察される場所が全ての調査区間に存在した。a-e までの距離は約 2 km と大きく離れておらず、そのような産卵に不適な場所が占める割合は a-e の間で大差ないと目視判断されたものの、各区間の河床材組成を定量化しておらず、その違いが産卵密度に与える影響を排除した検討に至らなかった。また、AUC 法は重複産卵による産卵床の破壊を考慮しておらず、再生産に寄与する実質的な産卵床総数は過大に評価されていると考えられる。実質的な産卵床総数に関する推定精度の改善についても今後の課題としたい。

近年、河川構造物にスリット構造や魚道を設置し、水域の縦断的な連結性を改善する取り組みが行われるようになってきた (石山ら 2017)。コスト等が問題となって魚道の建設が困難なのであれば、サケの遡上時期のみ設置・撤去が簡便な簡易魚道 (佐藤ら 2021) を導入することも有効だろう。本州日本海側では、放流河川の94% (44/47)、非放流河川の75% (35/47) でサケの自然産卵が行われていたことが確かめられているが (Iida et al. 2018)、それら河川に遡上障害となる構造物が存在するかは不明である。農業用頭首口や落差工など小規模な河川構造物の位置情報はデータベースとして纏められていないことも多い (ト部ら 2013)。野生魚の保全に向けた第一作業として、自然産卵が行われる各河川において遡上障害となる河川構造物の存在を踏査し、その対応を個別に検討する必要がある。

文 献

Araki, H. and C. Schmid (2010) Is hatchery stocking a help or harm?: evidence, limitations and future directions in ecological and genetic surveys. *Aquaculture*, **308**, S2-S11.

有賀望・森田健太郎・鈴木俊哉・佐藤信洋・岡本康寿・大熊一正 (2014) 大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価. 日本水産学会誌, **80**, 946-955. [Aruga, N., K. Morita, T. Suzuki, N. Sato, M. Okamoto and K. Ohkuma (2014) Evaluation of population viability of wild chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Toyohira River, Sapporo metropolitan watershed, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **80**, 946-955 (in Japanese with English abstract).]

Bjornn, T. and D. Reiser (1991) Habitat requirements of

salmonids in streams. In "Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats" (ed. by W. R. Meehan). Am. Fish. Soc. Special Publ., **19**, Maryland, USA, pp. 83-138.

Fukushima, M., T. Quinn and W. Smoker (1998) Estimation of eggs lost from superimposed pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) redds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **55**, 618-625.

Gallagher, S. P., P. K. Hahn and D. H. Johnson (2007) Redd counts. In "Salmonid field protocols handbook: techniques for assessing status and trends in salmon and trout populations" (ed. by D. H. Johnson, B. M. Shrier, J. S. O'Neil, J. A. Knutzen, X. Augerot, T. A. O'Neil and T. N. Pearsons). Am. Fish. Soc., Bethesda, Maryland, pp. 197-234.

Hilborn, R., B. G. Bue and S. Sharr (1999) Estimating spawning escapements from periodic counts: a comparison of methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **56**, 888-896.

Hunter, J. G. (1959) Survival and production of pink and chum salmon in a coastal stream. *J. Fish. Board Can.*, **16**, 835-886.

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.

Iida, M., K. Yoshino and S. Katayama (2018) Current status of natural spawning of chum salmon *Oncorhynchus keta* in rivers with or without hatchery stocking on the Japan Sea side of northern Honshu, Japan. *Fish. Sci.*, **84**, 453-459.

Iida, M., Y. Yagi and T. Iseki (2021) Occurrence of wild chum salmon fry in the surf zone, and spawning and emergence timing in the adjacent nonstocked river in Niigata Prefecture, Japan. *Fish. Sci.*, **87**, 549-557.

石山信雄・永山滋也・岩瀬晴夫・赤坂卓美・中村太士 (2017) 河川生態系における水域ネットワーク再生手法の整理: 日本における現状と課題. 応用生態工学, **19**, 143-164. [Ishiyama, N., S. Nagayama, H. Iwase, T. Akasaka and F. Nakamura (2017) Restoration techniques for riverine aquatic connectivity: current trends and future challenges in Japan. *Ecol. Civil Eng.*, **19**, 143-164 (in Japanese with English abstract).]

Kondolf, G. M. and M. G. Wolman (1993) The sizes of salmonid spawning gravels. *Water Resour. Res.*, **29**, 2275-2285.

宮腰靖之・ト部浩一・安藤大成 (2012) 都市近郊河川で観察されたサケとサクラマス産卵床密度 (短報). 北水試研報, **81**, 141-143. [Miyakoshi, Y., K. Urabe and D. Ando (2012) Densities of spawning redds of chum and masu salmon observed in an urban river (Short paper). *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Res. Inst.*, **81**, 141-143 (in Japanese with English abstract).]

森田健太郎・大熊一正 (2015) サケ: ふ化事業の陰で生き長らえてきた野生魚の存在とその保全. 魚類学雑誌, **62**, 189-195. [Morita, K. and K. Ohkuma (2015) Chum salmon: existence and conservation of wild fish that have persisted under hatchery programs. *Japanese Journal of Ichthyology*, **62**, 189-195 (in Japanese).]

森田健太郎 (2020) サケを食べながら守り続けるために. 日本水産学会誌, **86**, 180-183. [Morita, K. (2020) Toward sustainable salmon fisheries under environmental stewardship. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **86**, 180-183 (in Japanese).]

Nakamura, F. and E. Komiyama (2010) A challenge to dam improvement for the protection of both salmon and human livelihood in Shiretoko, Japan's third Natural Heritage Site. *Landscape Ecol. Eng.*, **6**, 143-152.

NPAFC (2020) NPAFC Statistics: Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data. <https://npafc.org/statistics/>, accessed on 27 May 2021.

尾田昌紀 (2010) 琵琶湖流入河川におけるビワマスの産卵床分布. 日本水産学会誌, **76**, 213-215. [Oda, M. (2010) Spawning redds distribution of Biwa salmon *Oncorhynchus masou* subsp. in some inlet streams of Lake Biwa, central Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **76**, 213-215 (in Japanese).]

尾田昌紀・淀 太我 (2016) 2015年の琵琶湖流入河川におけるビワマス産卵床の流程分布. 水産増殖, **64**, 339-345. [Oda, M. and T. Yodo (2016) Spawning redds distribution of Biwa salmon in ten inlet streams of Lake Biwa, central Japan in 2015. *Suisanzoshoku*, **64**, 339-345 (in Japanese with English

- abstract).]
- Salo, E. O. (1991) Life history of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). In "Pacific salmon life histories" (ed. by Groot C. and L. Margolis), UBC Press, Vancouver, pp 233-309.
- 佐藤正人・湊屋啓二・坪井潤一 (2021) サクラマスの遡上範囲拡大を目的とした簡易魚道の開発. 日本水産学会誌, **87**, 160-162. [Sato, M., K. Minatoya and J. Tsuboi (2021) Development of portable fishways for extending the upstream migration area of masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **87**, 160-162 (in Japanese).]
- 下田和孝・卜部浩一・川村洋司 (2019) 魚道設置後のサクラマス資源の増加過程. 日本水産学会誌, **85**, 305-313. [Shimoda, K., H. Urabe and H. Kawamura (2019) Recovery process of masu salmon stock after the construction of fish ways. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **85**, 305-313 (in Japanese with English abstract).]
- 水産研究・教育機構 (2021) サケの放流数と来遊数及び回帰率の推移. http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/ok_relret.html, accessed on 23 October 2021.
- 高橋昌也 (2015) 日本系サケ地域個体群におけるふ化放流の現状. 水産総合研究センター研究報告, **39**, 49-84. [Takahashi, M. (2015) Status of hatchery production of chum salmon populations in Japan. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **39**, 49-84 (in Japanese with English abstract).]
- 高山 肇・岡本康寿・小原 聡・佐藤信洋・金田壽夫 (1997) 豊平川産シロザケの河川回帰数の推定方法についての試案. 札幌市豊平川さけ科学館館報, **9**, 49-57.
- 卜部浩一・三島啓雄・宮腰靖之 (2013) 十勝川水系におけるサケ・サクラマスの産卵環境評価 (資料). 北海道水産試験場研究報告, **84**, 47-56. [Urabe, H., Y. Mishima and Y. Miyakoshi (2013) Evaluation of spawning habitat for chum and masu salmon in Tokachi River basin (Note). *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Res. Ins.*, **84**, 47-56 (in Japanese).]
- Yoshimura, C., T. Omura, H. Furumai and K. Tockner (2005) Present state of rivers and streams in Japan. *River res. applic.*, **21**, 93-112.