

サケ親魚の回帰時期による稚魚の体色の銀白化の違い

下田和孝^{*1}, 渡辺智治², 安藤大成³

¹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,

²北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

³北海道立総合研究機構水産研究本部

Variation in body silvering of chum salmon juveniles in seasonally spawning stocks

KAZUTAKA SHIMODA^{*1}, TOMOHARU WATANABE² and DAISEI ANDO³

¹ Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yakumo, Hokkaido, 043-0402,

² Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido, 061-1433,

³ Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

In this study, body silvering in chum salmon juveniles (*Oncorhynchus keta*) was analyzed using a chromameter. For this, we observed *O. keta* juveniles in early- and late-run stocks (fertilized from late Sep to early Oct and from mid Nov to early Dec, respectively) in six rivers (Abashiri R., Shibetsu R., Tokachi R., Chitose R., Shizunai R. and Torisaki R.) in Hokkaido, Japan. L-value was used as body silvering index for comparison on a weekly basis between two seasonal stocks following spawn emergence. Higher L-values were noted for the late-run stocks than for the early-run stocks. Thus, our results suggest that the developmental level of physiological traits of late-run stocks was faster than that of early-run stocks in chum salmon.

キーワード：L値, サケ稚魚, 回帰時期, 色彩色差計

降海型のサケ科魚類は、河川生活から海洋生活への移行に際して、鰓や腎臓などの機能変化や各種ホルモンの働きによって浸透圧調節機能を淡水型から海水型へと切り替えて海水適応能を獲得する（伴ら, 2009）。外観的には幼魚期に体側にみられる楕円型の暗褐色のパターンが消失し、体表にグアニンやヒポキサンチンが沈着して体色が銀白色に変化しスモルトへと変態する（Nakano *et al.*, 1988；上田, 2016）。通常この体色変化はスモルト化の進行度合いを示す相（phase）として段階的に表現されるが（例えば, 久保, 1974）、体色を定量的に表現する方法として色彩色差計を用いた測定手法が考案され、アマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae*、サクラマス *O. masou masou* およびサケ *O. keta* の幼稚魚の体色を表す際に用いられている（桑田ら, 2000；Ando *et al.*, 2005；Ando *et al.*, 2009）。色彩色差計では赤色や緑色の色度を

表すa値や、黄色や青色の色度を表すb値、白色度を表すL値を測定できるが、サケ稚魚の体色の銀白化を定量的に表現するにはL値が適しているとされている（Ando *et al.*, 2009）。この報告によるとサケ稚魚のL値は成長に伴って上昇し、浮上から4週間後、尾叉長で50mmに達した時点で最大値に達する（Ando *et al.*, 2009）。

北海道の河川にサケが回帰する期間は長く、同一河川でも8月下旬に回帰する個体がいる一方で11月以降に回帰する個体も見られる（例えば, 小山ら, 2017）。北海道の2河川を対象にした研究では、9月に回帰した群と12月に回帰した群について定期的に稚魚のL値を測定したところ、回帰時期や河川によってL値の変化の様相が異なることが示唆されている（<http://www.hro.or.jp//list/fisheries/marine/o7u1kr0000006sk0.html>, 2018年5月16日）。このうち回帰時期に関しては、Ando *et al.* (2009) も1

河川について同様の可能性を示唆している。

本研究では、北海道内の6河川を対象に9月下旬から10月上旬に採卵された受精卵と11月中旬から12月上旬に採卵された受精卵を用いて飼育実験を行い、色彩色差計で定期的に稚魚の体色を測定し、親魚の回帰時期による稚魚の体色の銀白化の進行程度の違いを明らかにすることを目的とした。

材料および方法

実験に用いたサケ稚魚 北海道の網走川, 標津川, 十勝川, 千歳川(石狩川支流), 静内川および鳥崎川で資源増殖用に9月下旬または10月上旬に採卵された群(以下, 前期群)と11月中旬から12月上旬に採卵された群(以下, 後期群)から, それぞれ約2000粒の受精卵の供与を受け実験に用いた(Fig. 1)。実験に使用した卵の平均サイズ

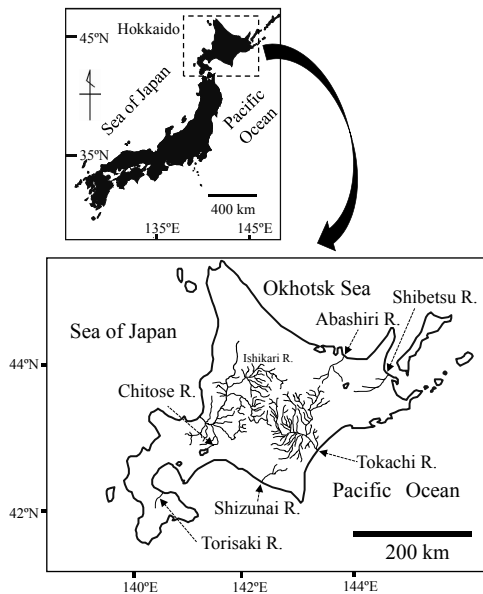


Fig. 1 Map of the study area.

は, 最も小さい千歳川の前期群で0.215g, 最も大きい十勝川の後期群で0.319gであった(Table 1)。平均卵サイズは, 網走川と十勝川では後期群の方が有意に大きかったが, その他の河川では群間で違いは認められなかった(Table 1)。

これらの受精卵を北海道立総合研究機構さげます・内水面水産試験場に輸送し, 縦600mm横300mm深さ350mmの亚克力製水槽中で一定の水温条件下(平均水温10.2~10.4°C, 標準偏差0.2~0.4°C)で飼育した。浮上後は, 100個体を無作為に抽出して前述の亚克力製水槽中で一定の水温条件(平均水温10.2~10.5°C, 標準偏差0.1~0.3°C)および光周期条件(飼育室の蛍光灯を毎日8:00~17:30に自動点灯)で飼育した。最も早期に浮上した千歳川の前期群の稚魚では魚体重の5%に相当する量の乾燥餌料(日清丸紅飼料社, ニューアルテック K-2, K-3, K-4)を毎日給餌した。この給餌量を全ての群に適用することで, 群間での給餌量に違いが生じないようにした。

体色の測定 浮上当日(0日目とする)とその7日後, 14日後, 21日後, 28日後, 35日後, 42日後および49日後に100個体の供試魚のうち50個体を無作為に抽出して尾叉長を測定し, 同時に色彩色差計(コニカミノルタ社, CR-400)を用いて体色を測定した。色彩色差計の測定部は直径11mmの円形となっているが, サケ稚魚の体高はこれよりも低いため, 通常の状態で行うと背景の色彩や明るさの違いが測定結果に影響を及ぼす。そこで, 安藤(2007)の方法に従い色彩色差計の測定部の中央に相当する位置に穴を開けた亚克力製の黒色板で測定部を覆い, 測定範囲を縮小して測定を行った。黒色板に設けた穴の直径は測定するサケ稚魚の体高の80%に相当する大きさとし, サケ稚魚の成長に合わせて穴の直径の大きな黒色板を順次使用した。穴の直径は, 浮上当日は3mm, 浮上の7日後は4mmとし, 14日目以降も測定回

Table 1 Fertilization date and size of chum salmon eggs used in this study from six rivers in Hokkaido, Japan

River	Stock	Fertilization date	Egg weight (g)			t-test	
			Mean	SD	N	t	p
Abashiri R.	Early	3 Oct. 2014	0.252	0.026	60	-5.979	<0.001
	Late	3 Dec. 2014	0.284	0.032	60		
Shibetsu R.	Early	30 Sep. 2014	0.268	0.037	60	0.038	0.969
	Late	14 Nov. 2014	0.267	0.034	60		
Tokachi R.	Early	22 Sep. 2014	0.284	0.033	60	-5.363	<0.001
	Late	21 Nov. 2014	0.319	0.039	60		
Chitose R.	Early	24 Sep. 2014	0.215	0.033	60	-1.870	0.064
	Late	26 Nov. 2014	0.226	0.034	60		
Shizunai R.	Early	5 Oct. 2015	0.255	0.029	60	1.166	0.246
	Late	24 Nov. 2015	0.249	0.033	60		
Torisaki R.	Early	6 Oct. 2015	0.245	0.032	60	-1.943	0.054
	Late	27 Nov. 2015	0.257	0.034	60		

毎に1mmずつ拡大して浮上日の49日後にあたる8回目の測定の際には直径10mmとした。

色彩色差計に付属する校正用の白色板を用いて予備的な測定を行ったところ、穴の直径の大きな黒色板ほどL値が高くなることがわかった (Table 2)。このため、サケ稚魚のL値も黒色板の穴の大きさによる影響を受けることが予想され、成長に伴ってL値が上昇したとしても、銀白化の進行によるものか穴の大きさによる影響か判別できない。そこでサケ稚魚のL値の実測値から校正用白色板を測定した際のL値 (Table 2) を差し引いた値を体色の指標として用いることとし、この値を「補正L値」

Table 2 Relationship between the L-value used for chromameter calibration (a whiteboard) and the hole size of the blackboard for reduce diameter of measurement head of chromameter

Diameter of hole	L - value		
	Mean	SD	N
3 mm	30.46	0.019	5
4 mm	41.22	0.035	5
5 mm	51.75	0.077	5
6 mm	62.78	0.097	5
7 mm	68.45	0.061	5
8 mm	72.78	0.127	5
9 mm	77.80	0.140	5
10 mm	80.40	0.114	5

と定義した。色彩色差計は光源から発せられたフラッシュ光の反射をセンサー部で検知する構造となっていることから、補正L値は、校正用白色板よりも光の反射が弱い場合には負の値となり、逆に校正用白色板よりも光を強く反射する場合には正の値を示すこととなる。

データ解析 サケ稚魚のL値は体サイズによって変化する可能性があることから (Ando *et al.*, 2009), 前期群と後期群との間で補正L値を比較する際には、尾叉長を共変量とした共分散分析を適用した。ただし、補正L値と尾叉長との回帰関係が有意ではない場合や、前期群と後期群との間で回帰関係に交互作用が認められる場合については共分散分析を適用できないため、t検定を用いて前期群と後期群との間で補正L値の平均値について差の有無を判定した。

結果

体サイズの変化 各測定日における平均尾叉長の推移を Fig.2に示した。浮上時の平均尾叉長は36.0~39.6mmの範囲であったが、浮上の49日後には68.8~75.4mmの範囲となった。河川毎に各測定日の平均尾叉長を前期群と後期群の間で検定により比較したところ、網走川では浮上から35日後まで常に後期群が大きかったが、浮上から42日後以降は有意差が認められなくなった。標津川では浮上から14日後、21日後および28日後については群間で有意差は認められなかったが、その他の測定日では後期

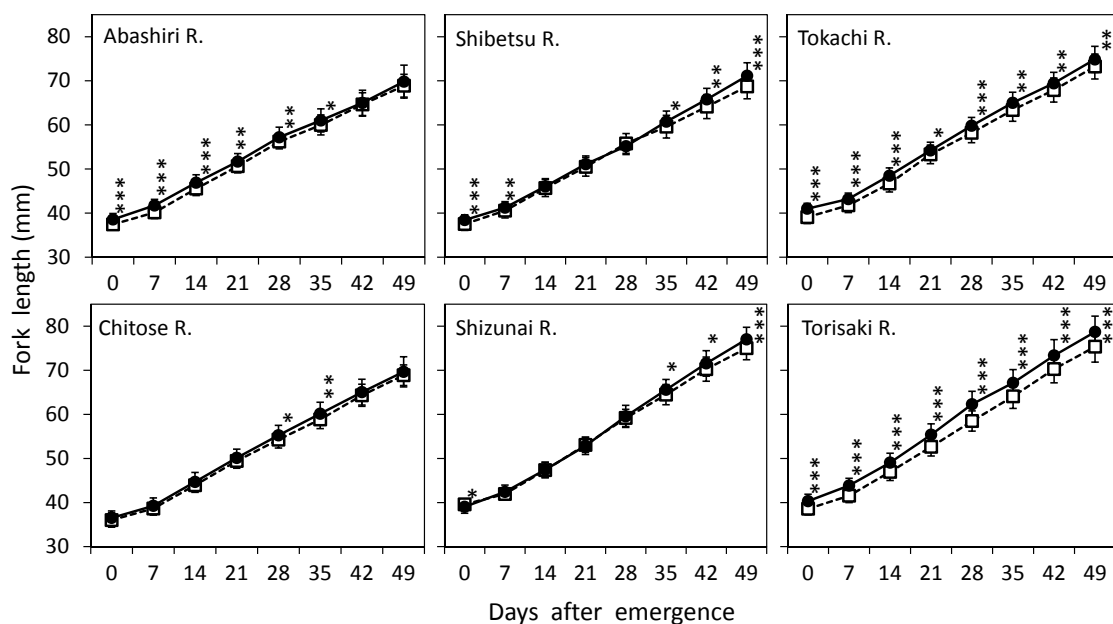


Fig.2 Mean fork lengths (\pm SD) of chum salmon juveniles. Open squares and closed circles indicate early- and late-run stocks, respectively. Asterisks indicate significant differences between early- and late-run stocks by t-test (* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001).

群が大きかった。十勝川では飼育期間を通じて常に後期群で大きかった。千歳川では浮上の28日後と35日後については後期群で大きかったが、その他の測定日では群間に有意差は認められなかった。静内川では、浮上日には前期群で大きかったが、浮上の7日後から28日後にかけて群間で有意差が認められなくなり、浮上の35日以降は後期群で大きくなった。鳥崎川では飼育期間を通じて常に後期群の方が大きかった。

L値の変化 L値の実測値は23.36～86.04の範囲にあり、補正L値は-3.60～3.87の範囲にあった。Fig.3に各測定日における前期群と後期群の平均補正L値の推移と群間での補正L値の検定結果を示した。また、Fig.3では全河川の前期、後期両群による平均値（以下、全群平均値）を破線で示した。群間での補正L値の検定は原則として尾叉長を共変量とした共分散分析を適用したが、網走川の浮上当日と浮上49日後、標津川の浮上当日、十勝川の浮上当日と浮上の21日後および28日後、静内川の浮上当日、鳥崎川の浮上当日、浮上の7日後、21日後、28日後、35日後および49日後については共分散分析を適用できないと判定されたことからt検定を適用した。

網走川では浮上日に後期群の方が高い補正L値を示したが、浮上の7日後には群間で差は認められなくなった。浮上の14日後には再び後期群で高い補正L値を示し、その状態が浮上から35日後まで継続した後、浮上の42日後以降は群間で差は認められなくなった。前期群は常に全

群平均値以下の値で推移したのに対し、後期群は浮上35日後までは全群平均値以上の値で推移した。

標津川では浮上日には後期群で高い補正L値を示したが、その後、後期群の補正L値は低下する傾向を示し、浮上の14日後には群間での差は認められなくなった。浮上の21日後に後期群の補正L値は上昇に転じた。これに対し、前期群の補正L値は浮上の35日後に上昇し、浮上の42日後と49日後には後期群の値に近づいた。前期群は常に全群平均値以下で推移したのに対し、後期群は浮上7日後と14日後を除き全群平均値以上の値で推移した。

十勝川では浮上日には後期群の方が高い補正L値を示したが、浮上の7日後には後期群で補正L値が低下する一方、前期群では上昇したことにより、前期群の方が有意に高くなった。浮上の14日後と21日後には群間で差が認められなくなったが、浮上の28日後になると再び後期群で高い補正L値を示すようになり、その状態が浮上42日後まで継続した後、浮上49日後に群間での差が認められなくなった。前期群は浮上7日後、21日後および49日後を除き全群平均値以下で推移したのに対し、後期群は浮上14日後を除き全群平均値以上の値で推移した。

千歳川では浮上日から浮上の21日後にかけて常に後期群の方が高い補正L値を示した。浮上の28日後に群間での差は有意ではなくなったが、浮上35日後と42日後に再び後期群で高い補正L値を示し、浮上49日後に群間での差は認められなくなった。前期群は浮上42日後まで常に

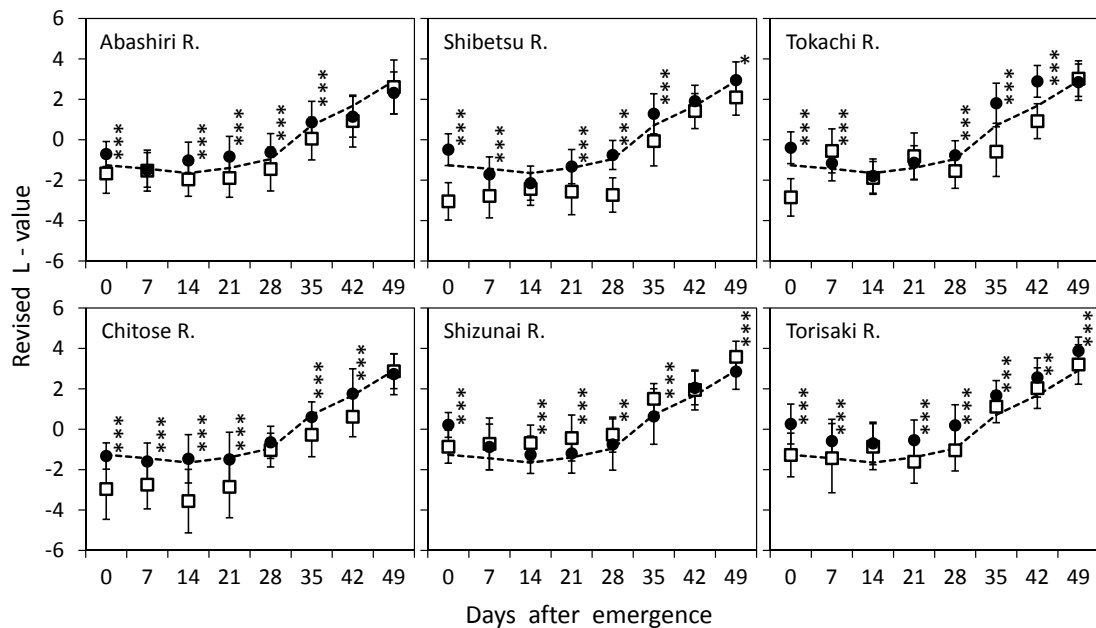


Fig.3 Revised L-values (means \pm SD) of chum salmon juveniles. Open squares and closed circles indicate early- and late-run stocks, respectively. Dotted lines indicate the mean L-value of populations from six rivers including two seasonal stocks. Asterisks show significant differences between early- and late-run stocks by ANCOVA (covariate: fork length) or t-test (* p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001).

全群平均値以下で推移したのに対し、後期群は全群平均値と同程度の値で推移した。

静内川では浮上日には後期群の方が高い補正L値を示したが、浮上の7日後には群間の差は認められなくなった。浮上から14日後以降は、浮上の42日後を除き前期群の方が高い補正L値を示した。補正L値は前期群、後期群ともに常に全群平均値以上の値で推移した。

鳥崎川では浮上の14日後については群間で有意差は認められなかったが、この日を除くと後期群の補正L値が高かった。補正L値は前期群の浮上21日後と28日後を除き、両群ともに全群平均値以上の値で推移した。

考 察

北海道の6河川を対象に前期群と後期群のサケ稚魚の体色を浮上から1週間おきに色彩色差計で計測したところ、静内川を除く5河川では白色度を示す補正L値が前期群と比べて後期群で高い値を示すことが多かった。後期群の尾叉長は前期群よりも大きい場合があったため、体サイズの違いが補正L値に影響した可能性が考えられるが、本研究では補正L値と尾叉長との回帰関係が有意な場合には、尾叉長を共変量とした共分散分析で前期群と後期群の補正L値の差の検定を行い、有意でない場合には検定を適用している。したがって、体サイズの違いを考慮した上で両者の補正L値には違いがあったと判断され、これら5河川では体色の銀白化が前期群と比べて後期群で早く進行し海洋生活へ向けた生理的変化も早いものと考えられる。

北海道におけるサケの孵化放流事業では、放流時期の違いが海洋での生残に影響することが知られ（例えば、関・清水, 1996）、沿岸水温が5℃から13℃となる時期は、高い生残が期待できることから放流適期とされている（社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会, 2007）。北海道全体でみると3月から6月の4ヶ月間が放流適期に相当するが、地域毎にみると概ね1ヶ月～2ヶ月間程度の期間であり（社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会, 2007）、親魚が河川回帰する期間が3ヶ月以上（9月上旬～11月以降）に及ぶのと比べて短い。一方、サケの回帰率には放流種苗のサイズも影響を及ぼすとされ、概ね体重1g程度までは放流サイズが大きくなるほど回帰率は直線的に高くなるが（永田・山本, 2004）、それ以上のサイズになると両者の関係が不明瞭になるとされている（社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会, 2007）。したがって、前期群の種苗では浮上から放流適期までの期間が長くなりやすく、長期飼育による種苗サイズの過度な大型化に注意する必要がある一方で、後期群では浮上時

期の遅延により飼育期間を十分に確保できずに小さなサイズで放流に至るか、あるいは放流サイズを重視すると適期内放流が難しくなることが懸念される。

本研究の結果は稚魚期の体色変化からみると、後期群の稚魚は海洋生活に向けた生理的発達が早く、前期群よりも小さなサイズで海洋生活へ移行できることを示唆している。したがって、後期群では卵発生や稚魚の成長の遅れにより放流適期の終盤が差し迫っている場合には、放流サイズを大きくするために放流時期を遅延させるよりはむしろ、小型サイズでの適期内の放流を選択することが次善の策であると考えられる。また、前期群では飼育期間の長期化により種苗サイズが過度に大型化したとしても、海洋生活への適応という観点からは何らかの利点を有しているのかもしれない。

ただし、本研究の補正L値には河川による違いが見られ、また静内川では他の河川とは異なり前期群の方が体色の銀白化が早く進む傾向が見られたことから、本研究の結果をサケの増殖事業一般に適用することは慎重に判断すべきであろう。今後、前期群と後期群の間での生理的発達の違いや、実際の放流サイズや放流時期と回帰率との関係性について研究を進め、本研究の結果との関連性を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究の実施にあたり、一般社団法人十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会、一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会、一般社団法人根室管内さけ・ます増殖事業協会、一般社団法人日高管内さけ・ます増殖事業協会、一般社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会および一般社団法人渡島管内さけ・ます増殖事業協会の職員の皆様に多大なご協力を頂きました。卵や仔稚魚の飼育管理にあたっては、さけます・内水面水産試験場の櫻井陽介氏にご尽力頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Ando D, Kitamura T, Mizuno S. Quantitative analysis of body silvering during smoltification in masu salmon using chromameter. *North Am. J. Aquacult.* 2005 ; 67 : 160-166.
- Ando D, Shinriki Y, Shimoda K, Nakajima M. Quantification of body silvering in chum salmon *Oncorhynchus keta* juveniles using a chromameter. *Fish Genet. Breed. Sci.* 2009 ; 39 : 17-24.

- 安藤大成. 測定部を改良した色彩色差計による魚類の体色評価方法の検討. 北海道立水産孵化場研究報告 2007 ; 61 : 53-56.
- 伴 真俊, 安東宏徳, 浦野明央. サケ類の回遊と浸透圧調節. 「サケ学入門 (阿部周一編)」北海道大学出版会, 札幌. 2009 ; 83-98.
- 小山達也, 下田和孝, 青山智哉, 飯嶋亜内, 卜部浩一, 藤原 真, 宮腰靖之. 北海道日本海側河川に遡上したサケの最近の年級別回帰尾数. 北海道水産試験場研究報告 2017 ; 92 : 47-58.
- 久保達郎. サクラマス幼魚の相分化と変態の様相. 北海道さけ・ますふ化場研究報告1974 ; 28 : 9-26.
- 桑田知宣, 松田宏典, 都竹仁一. 色彩色差計によるアマゴのスモルト化の定量測定について. 岐阜県水産試験場研究報告2000 ; 45 : 23-31.
- 永田光博, 山本俊昭. サケ属魚類における「人工孵化」の展望. 「サケ・マスの生態と進化 (前川光司編)」文一総合出版, 東京. 2004 ; 213-241.
- Nakano H, Shirahata S, Yabe K, Ogawa Y. Changes in guanine and hypoxanthine contents of skin during early development of chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1988 ; 54 : 1253.
- 関 二郎, 清水幾太郎. 広尾川におけるサケ幼稚魚の放流時期の違いによる回帰率について. 水産海洋研究 1996 ; 60 : 339-347.
- 社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会. 「さけ・ますふ化放流事業実施マニュアル」社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会, 札幌. 2007.
- 上田 宏. 「サケの記憶-生まれた川に帰る不思議」東海大学出版会, 神奈川. 2016.