

## 北海道南西部知内川におけるサケ稚魚の放流後の降海移動

越野陽介<sup>\*1</sup>, 神力義仁<sup>2</sup>, 青山智哉<sup>3</sup>, 竹内勝巳<sup>3</sup>, 實吉隼人<sup>2</sup>, 宮腰靖之<sup>4</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東センター,

<sup>2</sup>北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場,

<sup>3</sup>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,

<sup>4</sup>元北海道立総合研究機構水産研究本部

Residence time of stocked chum salmon fry in the Shiriuchi River, in southwestern Hokkaido

YOSUKE KOSHINO<sup>\*1</sup>, YOSHIHITO SHINRIKI<sup>2</sup>, TOMOYA AOYAMA<sup>3</sup>, KATSUMI TAKEUCHI<sup>3</sup>, HAYATO SANEYOSHI<sup>2</sup> and YASUYUKI MIYAKOSHI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Nakashibetsu, Hokkaido, 086-1164,

<sup>2</sup> Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido, 061-1433,

<sup>3</sup> Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yakumo, Hokkaido 043-0402,

<sup>4</sup> Formerly: Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

We collected the otolith-marked chum salmon fry that were released at different periods to determine the residence time of stocked fry in the Shiriuchi River of southwestern Hokkaido. The number of chum salmon fry collected with a fyke net trap decreased notably within approximately 2 days after release. While salmon fry were not collected during the day, many were collected at night. These results suggest that the salmon fry stocked at the Shiriuchi River, where the distance from the release site to the estuary is short, migrate to sea quickly and mainly at night.

キーワード：降海移動, サケ, 耳石温度標識, 水中音響カメラ

サケ *Oncorhynchus keta* は年によっては漁獲金額が500億円を超えることもある(北海道水産現勢: <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/03kanrig/sui-toukei/suitoukei.html>), 北海道における重要な漁業対象種の一つである。その放流数は1970年代後半から1990年代以降, ほぼ一定で推移しているが, 来遊数は増減を繰り返し, 3,000万~6,000万尾の間で推移してきた。しかし, 2016年以降に来遊数の減少が顕著となり, 特に2017年および2019年には来遊数が2,000万尾を割り込むような不漁に見舞われており, その対策が喫緊の課題となっている。

サケは降海直後において, 海水温や餌生物量など海洋環境の影響を受けて減耗すると考えられている(宮腰ら,

2007; Saito *et al.*, 2009)。したがって, 北海道においては, 放流適期(沿岸の表面水温が5~10℃となり生物生産が高まる時期)に稚魚を河川に放流し, 沿岸域の環境が稚魚にとって好適となるタイミングで降海できるようにすることが望ましいとされている(野川, 2010)。そのため, 放流後のサケ稚魚がどのくらい河川に滞在した後に降海するのかを明らかにするための研究が, これまで行われてきた。

一般的に放流されたサケ稚魚は, 河川に長期間留まらず放流されてからおよそ10日後までにはその多くが降海すると考えられている(小林ら, 1965; 宮腰ら, 2012)。野生のサケ稚魚においても浮上時期が早かった稚魚の一

部を除き, 多くの個体は河川内ではほぼ成長せずに海に下るため(帰山・佐藤, 1979), サケ稚魚が河川に滞在する期間は基本的に短いと考えられる。その一方で, 放流する時期により稚魚が河川に滞在する期間に差があることも知られており, 放流時期が早い稚魚は放流時期が遅い稚魚に比べて降河に要する時間が一ヶ月以上長くなることも報告されている(たとえば小林ら, 1965; 真山ら, 1983; Kasugai *et al.*, 2013)。そのような場合, サケ稚魚の密度が高くなることによる餌量の減少(小林・原田, 1968)や他の魚種による捕食(永田・宮本, 1986)が河川内における稚魚の減耗に繋がることも予想される。

このように, サケ稚魚の放流後の降海移動に関する調査研究は, 多くの河川で行われてきたが, 北海道南西部の津軽海峡側でサケ稚魚の降海移動に関する研究が行われた事例はわずかである。当該地域は, 津軽暖流の影響により冬季でも海水温が比較的高いため, サケ稚魚の放流適水温の下限値とされる5℃を下回ることが少なく(気象庁: <https://www.data.jma.go.jp>), サケ稚魚の放流時期を判断するのが難しい地域である。河川に放流されたサケ稚魚がどの程度河川に滞在してから海に降りるのかを明らかにすることは, その河川滞在期間を考慮したサケの放流タイミングを検討する上で重要であると考えられる。そこで本報では, 津軽海峡に面する北海道南西部知内川で放流されたサケ稚魚の河川滞在期間を明らかにするために, 稚魚の採集や水中音響カメラにより降海移動の特徴を調べた。

## 試料と方法

**調査河川** 北海道渡島管内を流れる知内川は, 津軽海峡に流入する流路長約34.7kmの二級河川であり, 河口から5km上流には渡島管内さけ・ます増殖事業協会の知内ふ化場がある(Fig. 1)。知内ふ化場では, 2014年に1,179万尾, 2015年に1,087万尾の稚魚を3月から5月にかけてふ化場から約2km下流の地点までトラックで輸送して放流している。野外調査における放流群の特定のために,

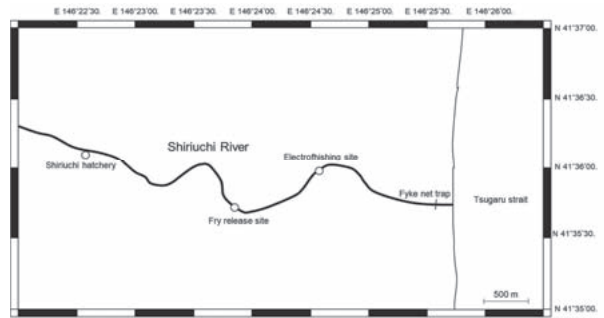


Fig.1 Location of the survey area and sampling sites.

サケ稚魚の耳石にはバーコード様の標識(耳石温度標識)を施標した。施標した放流群の放流日, 放流数, 体サイズおよび放流時の河川・沿岸の水温を表に示した(Table 1)。2014年には2群, 2015年には3群の標識魚をそれぞれ時期を変えて放流した。2ヶ年で放流した6つの標識群の放流時における平均体サイズは54~57mmの比較的狭い範囲に収まっていたことから(Table 1), 本報では放流群間の体サイズの差による降海行動の違いは生じていないと仮定した。3月の放流時には, 河川水温は兩年ともに5℃以下, 沿岸水温は2015年が8.3℃であったのに対して2014年は2.6℃と低かった。4月以降の放流では河川・沿岸ともに放流適水温の下限値とされる5℃を超えていた。

**サケ標識魚の採集** 標識したサケ稚魚の降海時期を明らかにするために稚魚トラップ(長さ4.7m, 口径0.6×0.6m, 目合5mm, 以下トラップ)による採集調査を, 2014年には3月11日から5月7日までに計9回, 2015年には3月11日から6月2日までに計24回行った。トラップは河口から500m上流にある知内大橋下の河川中央部(川幅が約40m, 水深が約0.4m, 流速約0.6mの地点)に設置した。過去の降海行動の研究では, サケ稚魚は夕方から夜間にかけて降海することが明らかとなっているため(小林1964), 本調査におけるトラップの設置時間帯は夕方18時から翌朝9時までとした。トラップで稚魚が採集できない場合を考慮し, 放流地点から1km下流の右岸側に約100

Table 1 Release informaton for each otolith-marked group.

Release year	Otolith hatch code	Release date	Number released	Folk length (mm)	Body mass (g)	River temperture (°C)	Sea surface temperature (°C)
2014	2,3-2H	11-Mar	1,342,000	55	1.33	3.5	2.6
2014	2-2,3H	11-Apr	1,828,000	54	1.21	7.0	6.7
2015	2,3-2H	11-Mar	1,005,000	54	1.16	0.6	8.3
2015	2-2,3H	11-Apr	957,000	54	1.17	9.1	10.2
2015	2-2,1,2H/2-3,2H	1-May	915,000	57	1.26	12.1	11.8

mの調査区間を設定し、電気ショッカー（Smith-Root社製、LR-24型）による標識魚の採集も併せて行った。トラップおよび電気ショッカーで採集したサケ稚魚はその場で計数を行い、採集個体の一部（最大30尾程度を上限）を5%ホルマリン溶液で3時間固定した後で保存用の70%エタノール溶液に移し替え、標識の確認のために持ち帰った。実験室で尾長と体重の測定を行った後、サケ稚魚から耳石を採取し、耳石標識の確認および放流群の特定を行った。耳石はスライドグラスに熱可塑性樹脂を用いて接着し、耐水研磨紙およびラッピングフィルムを用いて耳石の核が露出するまで研磨した。研磨した耳石を光学顕微鏡下で観察し、標識の有無の確認および標識魚については標識群の特定を行った。稚魚の採集結果と標識率をTable 2に示した。トラップで実際に採集されたサケ稚魚の数に、耳石標識魚の割合を乗じて、採集魚中の標識魚の数を推定した。

Table 2 Summary of chum fry collection and identification of otolith marking

Year	Method	Number of collected chum fry	Number of sampled fry for otolith identification	Number of otolith-marked fry	otolith marking rate (%)
2014	Fyke net trap	842	221	88	40
	Electrofishing	359	359	51	14
2015	Fyke net trap	2017	572	282	49
	Electrofishing	504	504	146	29

**降河行動の日周変化** 知内川におけるサケ稚魚の降海移動の日周変化を詳しく調べるために、トラップによる採集と併せて水中音響カメラ（DIDSON, Sound Metric社製）を利用したサケ稚魚の行動観察を行った。サケ稚魚の降海移動は、特に夜間に活発になることが知られてきたが（小林, 1958）、近年にはそのような目視による観察が難しい環境下における水生生物の行動を調べるための新しい手法として水中音響カメラが普及し始めている。これまでサケ稚魚の降海移動についてはトラップによる採集調査によって明らかにされてきたが、水中音響カメラを利用すれば、日中における稚魚のトラップの回避など、直接的な採集では調べることができなかった降海移動の特性を明らかにできる可能性がある。そこで、2015年4月11日15時から4月13日12時まではサケ稚魚をトラップにより3時間毎に採集し、計数した。水中音響カメラは、4月11日9時から12日9時までの24時間、トラップの約5m上流側に流れに対して直角になるように河床を掘り下げて水中に設置し、周波数を1.8MHz、表示距離を3mに設定して、毎秒10フレームで河川の流心部を撮影した。

## 結果

トラップによる標識魚の採集数は、放流日（3月11日、

4月11日および5月1日）とその翌日が特に多く、それ以外では少なかった（Fig. 2）。電気ショッカーで採集したサケ稚魚についてもほぼ同様の傾向がみられ、標識魚の放流日あるいはその翌日には標識魚の数が多かったものの、それらの日以外の調査では標識魚は少なかった（Fig. 3）。2015年5月に放流した標識群は放流2日後以降には採集されず、3月および4月に放流された標識群と比べて河川滞在の期間が短い傾向がみられた。

2015年4月11日から13日に3時間毎にサケ稚魚を採集した結果、11日の21時から24時に採集数が最も多く、12日の9時まで採集された（Fig. 4）。採集数は大きく減少したものの、12日21時から13日9時までも前日同様の時間帯にサケ稚魚の採集数がピークとなった。一方で、昼間から夕方当たる9時から18時までの間にはサケ稚魚は採集することができなかった。

水中音響カメラによる観察では降海移動するサケ稚魚の群れは観察できたものの（Fig. 5）、個体ごとに計数することは困難であった。そのため、その稚魚の群れを一単位として計数した。その結果、放流直後である9時から12時の間に最も多い48の群れが降海したのを確認し、その後も15時から21時、翌12日の3時から6時にもわずかではあるが群れでの降海がみられた（Fig. 6）。11日21時から12日3時までの夜間にはサケ稚魚の群れは観察できなかった。

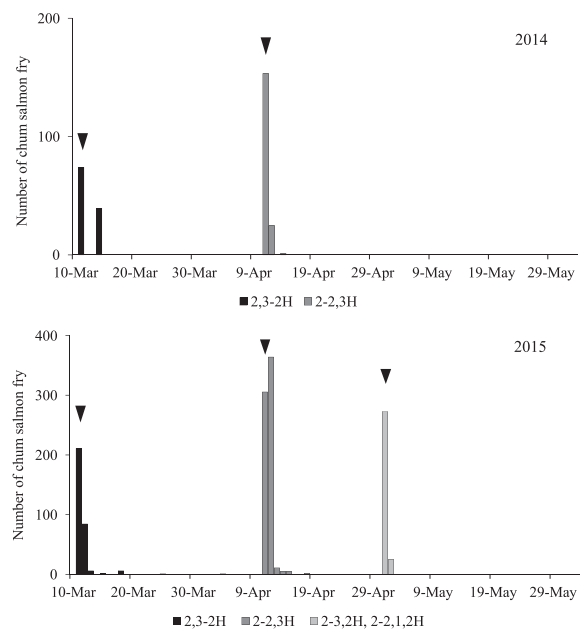
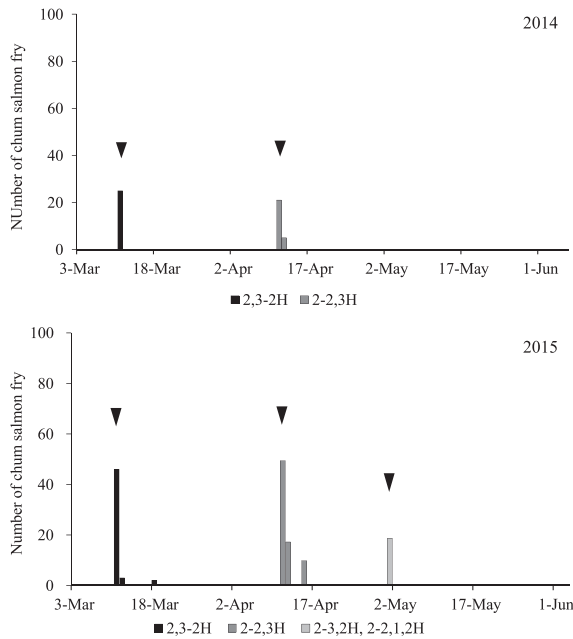
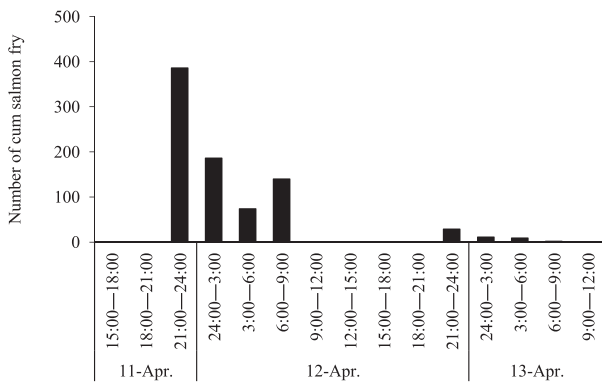


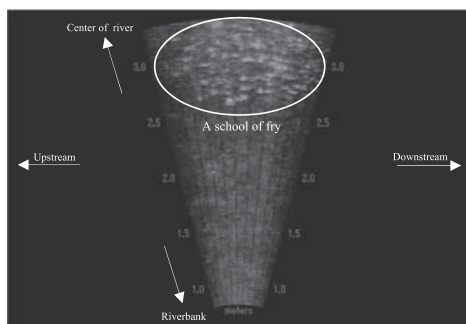
Fig.2 Number of marked chum salmon fry collected by fyke net trap in 2014 (upper) and 2015 (lower). The color patterns correspond to each otolith marking and arrowheads indicate the day of release of each marked salmon.



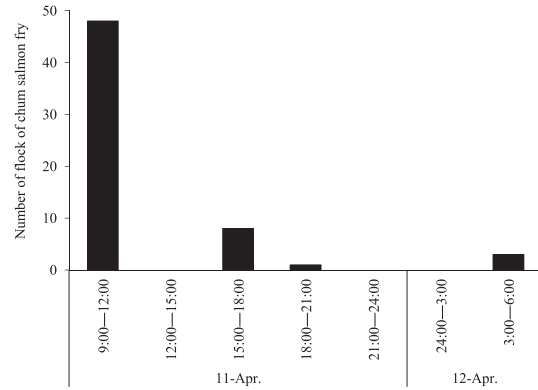
**Fig.3** Number of marked chum salmon fry collected by electrofishing in 2014 (upper) and 2015 (lower). The color patterns correspond to each otolith marking and arrowheads indicate the day of release of each marked salmon.



**Fig.4** Number of chum salmon collected by fyke net trap at 3 hour intervals between 15:00 on April 11, 2015 and 12:00 on April 13, 2015.



**Fig.5** An acoustic image of chum salmon fry observed by dual frequency identification sonar (DIDSON). The elliptical white images in the circle are the school of salmon fry.



**Fig.6** Number of chum salmon fry schools observed by DIDSON between 9:00 on April 11, 2015 and 6:00 on April 12, 2015.

考 察

これまでのサケ稚魚の降海移動に関する研究では、サケ稚魚の降海に要する期間は時期によって異なっていることが報告されてきた(小林ら, 1965; 真山ら, 1983)。特に、後期(4月中旬以降)に放流された群ではそれ以降に放流された群と比べて河川滞在期間が短く(およそ10日程度)、放流が遅い群ほど降河の速度が速いことが明らかとなっている(Kasugai *et al.*, 2013)。このことは、サケ稚魚は沿岸環境が好適な時期に降海できるように降河の速度を調節しているためだと考えられている。知内川における結果では、稚魚の河川滞在期間にそこまで明瞭な違いは見られず、どの放流時期においてもおよそ放流後のわずかな期間に降河移動のピークがみられたものの、2015年5月に放流された標識群のみ放流2日後以降には全く採集されなかった。この結果は上述したような放流時期による降河速度の違いを反映していたのかもしれない。特に本河川は放流場所から河口までの距離が約3 kmと短いことから、降河速度が河川滞在期間の違いに反映されづらかった可能性も考えられる。

サケ稚魚の降海行動の日周性を確認したところ、夜間から明け方のみトラップで採集され日中にはほとんど採集されなかった。この結果は、降海は基本的に夜間に行われるという過去の知見(McDonald, 1960; 小林, 1964)と一致した。このような移動の傾向は魚類(鷹見・長沢, 1996)や鳥類による捕食(河村ら, 2000)を避けるためと考えられる。しかし、水中音響カメラでは日中の放流直後に降海するサケ稚魚の群れを確認することができた。小林・阿部(1977)は遊楽部川でサケ稚魚が放流直後に降海行動を開始して放流当日に18km下流の河口で採集されたことを報告しており、それは人為的な放流

の刺激に伴う異常な行動であると述べている。また、及部川でも、輸送放流の刺激によると思われる日中の降海行動が報告されている（長谷川ら，2019）。したがって、本調査で日中に降海した群れが多く確認されたのは、輸送放流による刺激やストレスが影響した可能性が高いと思われる。さらに、4月11日の15時から18時の時間帯にはトラップでは採集されなかったが、水中音響カメラでは降海移動する稚魚の群れが確認できたことから、日中にはサケ稚魚がトラップを避けていることを示している可能性が示唆された。このことは、今後日中におけるサケ稚魚の採集調査を行う上での懸念事項になると思われる。一方、今回トラップで数多く稚魚が採集された夜間に、水中音響カメラでサケ稚魚の群れを確認できなかった。このことについて詳細な議論はできないが、サケ稚魚は夜間に岸際を移動することが報告されていることから（小林，1964）、サケ稚魚が水中音響カメラの撮影範囲外である岸側を移動していたのかもしれない。したがって、水中音響カメラでサケ稚魚の降河行動を調べる場合には、降河するサケ稚魚が全て撮影範囲に入るような川幅が比較的狭い場所で観察できれば、サケ稚魚の降河位置など詳細な降河行動を明らかにできるとと思われる。

本研究の結果から、輸送放流に伴う例外的な行動は確認されたものの、知内川ではサケの河川滞在期間は極めて短く、放流後わずかな期間で降海することが明らかとなった。この知内川のようにサケ稚魚が即座に降海するような河川では、河川環境はもとより沿岸の海水温や餌環境などがサケ稚魚にとって好適かどうかを把握したうえで放流を行うことが重要だと考えられる。他のサケ属魚類における研究では、河川内における死亡も無視できない程度に高いと考えられている（Chittenden *et al.*, 2010）。したがって、知内川のような河川滞在期間の短さは、魚類などによる河川内での被食（永田・宮本，1986）や長期間の降河移動による栄養状態の低下（kasugai *et al.*, 2013）に伴う減耗の抑制に繋がるというメリットがある可能性がある。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、知内川でのサケ稚魚の採集調査に多大なる協力を頂いた柳元孝二専務および鈴木慎主任をはじめとする一般社団法人渡島管内さけ・ます増殖協会の皆様には厚くお礼申し上げます。本研究は、水産庁太平洋サケ資源回復調査委託事業および北海道資源生態調査総合事業により行われました。

## 引用文献

- Chittenden CM, Melnychuk MC, Welch DW, McKinley RS. An investigation into the poor survival of an endangered coho salmon population. *PLoS ONE* 2010; 5: 3–12.
- 長谷川功，森田健太郎，大熊一正，鈴木健吾，本多健太郎，中島歩，吉野州正，日本海さけ・ます増殖事業協会，渡島管内さけ・ます増殖事業協会．サケ稚魚の降海行動が活発になるとき．*SALMON情報* 2019; 13: 14–19.
- 帰山雅秀，佐藤愁一．十勝川におけるサケ稚魚の成長と食性に関する調査－Ⅲ．1977年，稚魚の降海移動期と成長および摂餌活動との関係．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1979; 33: 47–73.
- Kasugai K, Torao M, Nagata M, Irvine JR. The relationship between migration speed and release date for chum salmon *Oncorhynchus keta* fry exiting a 110-km northern Japanese river. *Fish. Sci.* 2013; 79: 569–577.
- 河村博，工藤智，宮本真人，永田光博．サケ幼魚の沿岸生態．*日本海区さけます回帰率向上対策調査報告書* 2000; pp: 68–99.
- 小林哲夫．サケ稚魚の生態調査(5)．降海期に於けるサケ稚魚の行動について．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1958; 12: 21–30.
- 小林哲夫．サケ稚魚の生態調査－Ⅶ．サケ稚魚の行動についての一知見．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1964; 18: 1–6.
- 小林哲夫，原田滋，阿部進一．西別川におけるサケ・マスの生態調査I．サケ稚魚の降海移動並びに成長について．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1965; 19: 1–10.
- 小林哲夫，原田滋．西別川におけるサケ・マスの生態調査Ⅲ．サケ稚魚の食性と餌料生物相について．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1968; 22: 15–35.
- 小林哲夫，阿部進一．遊楽部川におけるサケ・マス生態調査2．サケ稚魚の降海移動，成長と標識親魚の回帰．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1977; 31: 1–11.
- 真山紘，関二郎，清水幾太郎．石狩川産サケの生態調査－Ⅱ．1980年及び1981年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊．*北海道さけ・ますふ化場研究報告* 1983; 37: 1–22.
- McDonald J. The behavior of Pacific salmon fry during their downstream migration to fresh water and saltwater nursery areas. *J. Fish. Res. Board Can.* 1960; 17: 655–676.
- 宮腰靖之，安藤大成，藤原真，隼野寛史，永田光博．網

- 走川におけるサケ稚魚の降河移動. 北海道水産試験場研究報告 2012; 82: 19-26.
- 宮腰靖之, 永田光博, 齊藤誠一. 衛星リモートセンシングにより観測したオホーツク海東部地区の春季の沿岸水温とサケの回帰率との関係. 北海道水産孵化場研究報告 2007; 61: 1-10.
- 永田光博, 宮本真人. 歌別川におけるサケ稚魚の降下移動とハナカジカによるサケ稚魚捕食量の推定. 北海道立水産孵化場研究報告 1986; 41: 13-922.
- 野川秀樹. 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 2010; 3: 1-8.
- Saito T, Shimizu I, Seki J. Relationship between zooplankton abundance and the early marine life history of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* in eastern Hokkaido, Japan. *Fish Sci.* 2009; 75: 303-316.
- 鷹見達也, 長沢和也. 河川におけるアメマスによるサケ稚魚およびサクラマス幼魚の捕食. 北海道立水産孵化場研究報告 1996; 50: 45-47.