

研究成果情報

サケ稚魚の降海行動が活発になるとき

～時間別・日別データからの考察～

はせがわこう もりたけんたろう おおくまかずまさ すずきけんご ほんだけんたろう なかしまあゆみ よしのくにまさ
 長谷川功*1・森田健太郎*1・大熊一正*1・鈴木健吾*1・本多健太郎*1・中島歩*2・吉野州正*3・
 にほんかい ぞうしよくじぎょうきょうかい おしまかんない ぞうしよくじぎょうきょうかい
 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

はじめに

「サケ稚魚は川を下って海へ行く」というのは当たり前のことかも知れません。しかし、サケ稚魚が海へ向かう行動（降海行動）は、思いのほか複雑で、これまで多くの研究者が魅了されてきました（表1）。川に放流した稚魚がいつ海にたどり着くのか？ということは海況を見計らって稚魚を放流する適期放流の実践にも不可欠な知見です。さけますの野生魚と放流魚間で生物的特性の違いが次々と見出されている今日、両者の降海行動に

についても検討する必要があるようです。これらのことから、サケをはじめとしたさけますの降海行動を調べることは北海道区水産研究所さけます資源研究部が取り組むべき主要課題の一つといえます。本稿では、2016、2017年度の2カ年にわたって「サケ資源回帰率向上調査事業（水産庁委託事業）」の一環として実施したサケの降海行動に関する調査で得られた知見を紹介します。なお、本稿は同事業報告書の該当箇所を抜粋して再構成したものです。

表1. 北海道内で実施されたさけますの降海行動が活性化する時間帯を調べた主な研究事例

魚種	河川	時間帯 ¹	距離 ²	対象	放流方法 ³	出典
サケ	千歳川	夜間	0.7km	野生魚 放流魚	飼育池から逸出	小林 1958
サケ	千歳川	夜間	1km	放流魚	自然放流	小林 1964
サケ	千歳川	夜間	52km	放流魚	自然放流	真山ら 1982
サケ	千歳川 (ママチ川)	夜間	1-3.5km	放流魚	輸送放流	Hasegawa & Takahashi 2013
サケ	千歳川	夜間	11km	野生魚 放流魚	自然放流	本研究
サケ	増幌川	夜間 朝方	10km	区別せず	自然放流	隼野ら 1997
サクラマス	増幌川	夜間	10km	区別せず	自然放流 (秋/春)	隼野ら 1997
カラフトマス	増幌川	夜間	10km	区別せず	輸送放流	隼野ら 1997
サケ	西別川	夜間	5, 70km	放流魚	自然放流	小林ら 1965
カラフトマス	西別川	夜間	70km	放流魚	自然放流	小林・原田 1966
カラフトマス	当幌川 (サクラ川)	夜間	<1km	野生魚	—	虎尾 2016
カラフトマス	仁雁別川	夜間	不明	野生魚	—	佐々木ら 1993
サケ	十勝 (メム川)	夜間	<1km	野生魚	—	長沢・佐野 1961
サケ	網走川・湖	日の出	10-30km	放流魚	輸送放流	小林・黒萩 1968
サケ	遊楽部川	夜間	18km	放流魚	自然放流	小林・阿部 1977
サケ	歌別川	夜間	3.7km	放流魚	自然放流	永田・宮本 1986
サケ	及部川	夜間 日中	0.2km	放流魚	輸送放流	本研究
サクラマス	突符川	夜間 日中	3.5km	放流魚 (池産系)	自然放流	太田ら 1986

1: 降海行動が観察された主な時間帯

2: 放流場所（野生魚のみ調査対象の場合は主たる産卵場所）から採集地点までの距離

3: 輸送放流と自然放流の区別

*1 北海道区水産研究所 さけます資源研究部, *2 北海道区水産研究所 さけます生産技術部 千歳さけます事業所, *3 北海道区水産研究所 さけます生産技術部 八雲さけます事業所

1 時間毎に降海行動を調べてみる

さけますの降海行動は、急激な増水によって流される等の受動的な行動(例えば McCormick et al. 1998)と体サイズや生理学的な条件等、体の状態がある条件を満たしたときに自発的に海へ向かう能動的な行動(例えば岩田・小島 2008)に大別されています。能動的な降海行動は潮の満ち引き(小林・黒萩 1968; Moore et al. 1995)や水の透明度(Melnichuk and Welch 2018)といった物理的環境要因の影響で昼間に起こることもありますが、北海道内では主に夜間に活発になることが知られていました(表1)。ただ、一日のなかで夜間と言える時間帯は数時間あります。そこで、夜間のいつ川を下るのかを調べるために1時間毎のサンプルリングを千歳川と及部川の2河川で行いました(図1)。



図1. 千歳川と及部川の位置

【千歳川】

千歳川では、放流地点(千歳さけます事業所)から約11km下流にある日本海さけ・ます増殖事業協会の敷地にロータリー式スクリュートラップ(EG Solution社製, Oregon, USA)を仕掛け、それで捕獲した稚魚を降海行動中とみなし、1時間毎の捕獲数を記録しました(図2)。捕獲した稚魚は冷凍して実験室に持ち帰り、解凍して尾叉長を計測した後、耳石温度標識の有無をチェックして、野生魚(標識無し)と放流魚(標識有り)に区別しました。放流魚は、放流日によって異なるハッチコード(各標識の呼び方のこと)が施されている場合もあり、放流日を特定できる群もあります。

2016年は5月16日13時から5月19日12時にかけて捕獲を行いました。この頃の日の入りと日の出はおよそ19時と4時です。また、5月16日の夜間は雨風が強く、川の水位も10cm程上昇しました。結果は、野生魚と放流魚ともに先行研究通り夜間、特に日の入り2時間後の21時頃から翌日1~2時頃に多くの稚魚が捕獲され、この頃に降海行動が活発になることがうかがわれました(図3)。また、水位上昇に同調した捕獲数の増加はみられませんでした。千歳川ぐらい規模の大きな河川(スクリュートラップ設置場所の川幅約50m)では10cm程度の水位上昇は降海行動に影響しないようです。

2016年の調査は、その年の最後の稚魚放流を終えた31日後に実施し、結果として野生魚と放流魚の降海行動には大した違いは認められませんでした(図3)。では、放流直後で自然河川の環境に馴染めていない(かもしれない)稚魚は、放流後日数が経過した稚魚と違った降海行動をみせるのでしょうか。そのことを確かめるために2017年は放流実施日に合わせて2016年と同様の調査を



図2. 千歳川に設置したスクリュートラップ(左上)、蓋を開け、イケース内の魚をすくい取る(右上)、トラップで捕獲した約1000尾のサケ稚魚(下)

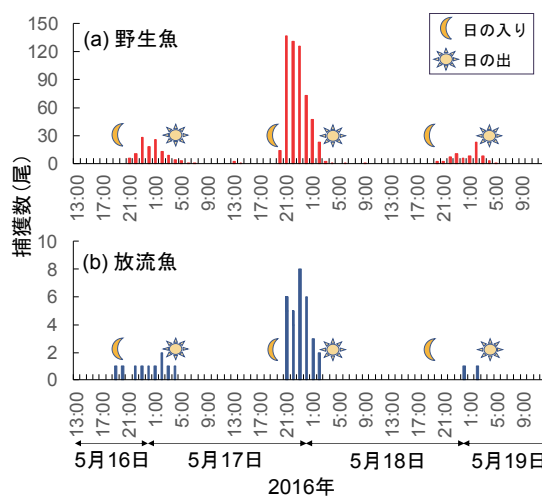


図3. 2016年5月16日から19日にかけて1時間毎にスクリュートラップで捕獲した野生魚と放流魚の尾数

行いました。調査を実施したのは4月3日11時から4月5日12時で日の入りと日の出はそれぞれ18時、5時頃でした。なお、放流は4月3日10時に行われ、稚魚に施標されていた2,4n,3Hと2,6n,3Hというハッチコードはこの日の放流以外には用いられていないので、この2群は放流日を特定することができます。また、放流は飼育池と千歳川本流を結ぶ水路の間にある仕切りを開放する方法で行われました。つまり、稚魚は強制的ではなく、自発的に川へ出て行って降海を始めます（自然放流）。結果は、2016年と同様に野生魚と放流魚（4月3日放流群と4月3日以前に放流された群どちらも）ともに日の入り2時間後から捕獲数が増え始めました。すなわち、放流直後でも稚魚の降海行動は日の入り2時間後から活発になりました（図4）。後述する及部川での放流と違って、稚魚が自発的に川へ入るような放流手法で、しかも降海行動を調べる場所が放流地点から10km以上も離れていれば、そこで観察される放流魚の降海行動は野生魚と同様になるようです。ただし、4月3日の日の入りから4月4日の日の出に関してみれば、2,4n,3Hと2,6n,3Hというコードを持つ放流魚の捕獲数は21時をピークに減少したあと、3時に向けてもう一度増加しました。これが放流直後に起こる特異的な現象なのかにつ

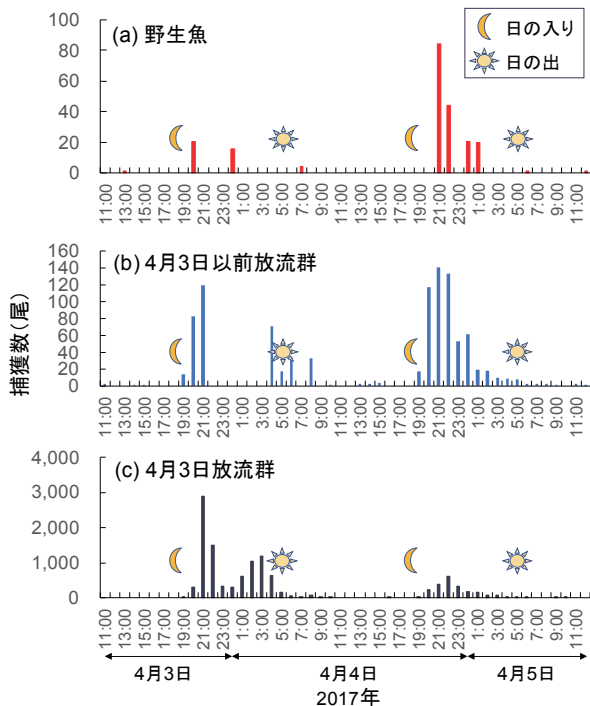


図4. 2017年4月3日から5日にかけて1時間毎にスクリーントラップで捕獲した野生魚と放流魚の尾数
1時間毎に50尾を上限に稚魚を持ち帰り、耳石温度標識（b:2,3-3H, c:2,4n,3Hと2,6n,3H）を確認し、捕獲数が多い場合は、全体の捕獲数に各群の割合を乗じた

いてはもう少し精査する必要があります。ちなみに、10時に放流された稚魚が約11km下流のスクリーントラップで最初に捕獲されたのは9時間後の同日19時で、その間の詳細な行動は不明ですが、平均秒速34cmで川を下ってきたこととなります。

また、捕獲される稚魚の体サイズについても検討してみました（図5）。基本的に放流魚は野生魚よりも大きく、2016年の放流魚を除けば、真夜中に捕れる稚魚は全体的に小型でグラフが全体的に「U字」になっているようにも思えます。このことを生物学的に解釈するにはもう少しデータ収集が必要です。

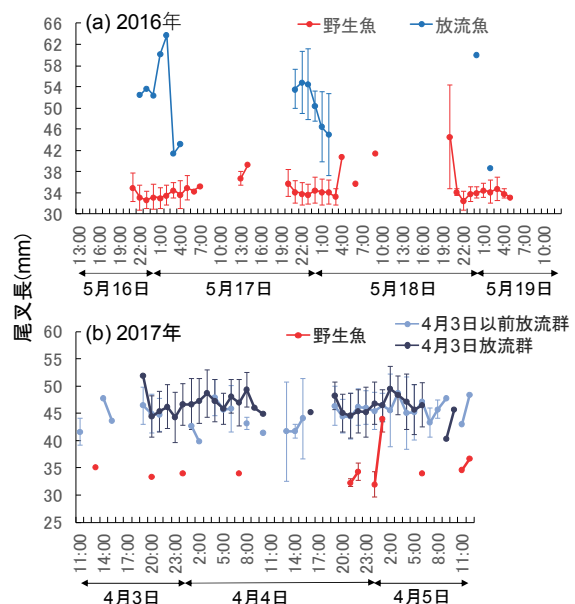


図5. 1時間毎の調査で捕れた稚魚の体サイズ推移（a:2016年, b:2017年）

【及部川】

及部川では、2017年3月27日と2018年3月19日の放流実施に合わせて調査を行いました（日の入り、日の出はだいたい18時、5時）。及部川では両年とも河口から200m程上流から放流が行われ、筆者らは河口付近で稚魚の捕獲を行いました。千歳川と異なり、及部川ではトラックに載せた水槽からホースを用いて川に直接稚魚を注ぎ込む方法で放流されました（輸送放流）。

放流数は2017年が182万尾（平均尾叉長：44.6mm）、2018年が197万尾（同45.8mm）で、それぞれ日中に2～3回に分けて放流されました。そして、筆者らは正時から次の正時になる1時間の間に、たも網1本1分を最小単位として上流からやってくる稚魚を捕獲するためにのべ10分以

上たも網を沈めました(図6)。千歳川で用いたスクリーントラップと比べてずいぶん簡素な方法ですが、これでも降海行動を調べることができます。さらに、たも網1本につき1分で捕獲した稚魚の平均値を60倍(1時間あたりに換算)し、調査地点の河川流量で引き伸ばした値を1時間あたりの稚魚の推定降下数としました。その結果、これまで北海道内での先行研究の大半が示してきたパターンとは異なり、日中から多くの稚魚が降海していたことが分かりました(表1:図7)。

さけますが日中に降海行動をする条件として、先行研究では水の濁りや引き潮等が挙げられていましたが(小林・黒萩 1968; Moore et al. 1995; Melnychuk and Welch 2018)、今回の及部川の結果にこれらは当てはまりそうにありません。むしろ、放流直後で河川環境に馴致できずに流された稚魚(ホースを使った放流の場合、ショックで気絶する稚魚もいるくらいです)、あるいは、先行研究や千歳川での調査と比べて(表1)、放流地点と調査地点が近すぎたために超高密度になる放流地点から他の空いた場所へ分散している稚魚が捕れたのかもかもしれません。ちなみに、及部川で捕獲した稚魚はほとんどが放流魚で野生魚はごくわずかでした(2017年:2,139尾中18尾;2018年1,018尾中22尾)。野生魚は2017年では18尾中8尾、2018年では22尾中1尾が日中に捕れました。野生魚については日中に降海する稚魚の割合が年によって違ったのですが、その原因についてはよく分かりません。

今回の及部川調査では両年とも放流直後からサケ稚魚を狙って河口部にカモメが集まってくる様子が観察されました(図8)。海鳥による捕食は古くから稚魚の減耗要因として懸念されていますが(長澤・帰山 1995; Scheel and Hough 1997)、放流を夜間に行う、あるいは今回よりももっと上流で放流する等、稚魚が河川環境に馴致できる時間を与えて降海は本来の通り夜間行うように操作することができれば捕食の影響は軽減できるのでしょうか。試してみる価値はありそうです。

毎日降海行動を調べてみる

1時間毎に降海行動を調べた次は、冬から初夏にかけて降海する稚魚の経日変化も気になるところです。季節の移ろいに伴う河川環境の変化と稚魚の降海行動の間に何か関係性はあるのでしょうか。とはいえ、このことを調べるには調査の人員と設備の両方を毎日確保しなければならず容易ではないのですが、千歳川はその調査を実施できる国内では数少ない河川です。そこで、2016年と2017年の3月から6月にかけて毎日、スクリーントラップで稚魚を捕獲しました。ちなみに、稚



図6. 及部川で実施された輸送放流(2018年3月19日撮影) 放流種苗を積んだトラックを橋に横付けする(上)、トラックからホースを伸ばし、稚魚を放流する(左下)、放流場所から約200m下流の河口部で稚魚を採集した(右下)

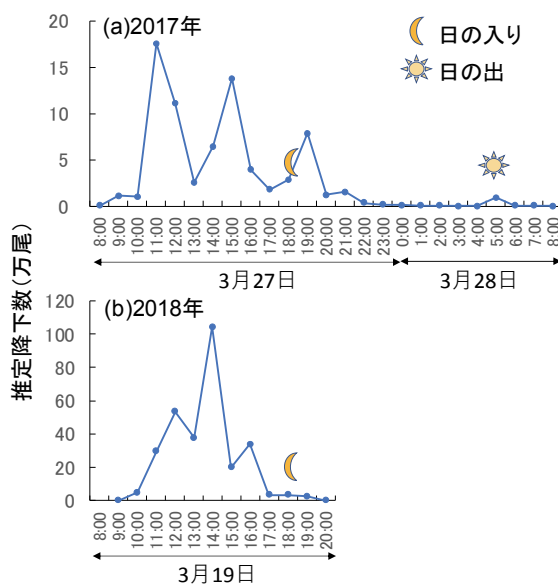


図7. 及部川での輸送放流実施当日における時間毎の推定降下数(a:2017年;b:2018年)



図8. 放流後の及部川河口の光景 サケ稚魚を捕食しようとカモメが多数集まってきた

魚の計数は毎日 10 時頃に行ったのですが、1 時間毎の調査結果 (図 3, 4) を踏まえれば、これらのほとんどは夜間に捕れたとみなしてよさそうです。

放流魚の捕獲は兩年ともに放流が実施される 3 月と 4 月に集中しました (図 9)。また、1 時間毎の調査結果から察するに、時折現れるピークは放流実施直後ゆえの捕獲数増加でしょう (図 9a, b)。つまり、放流魚の降海行動の開始は、河川環境よりも「飼育池の仕切りを外す」という行為に依存していると考えられます。これは当たり前と思いがちですが、実は稚魚の体が降海行動を始める条件を満たしているからこそ起こることではないでしょうか。仮に条件が整っていない場合に仕切りを外すとどのような反応を示すのか興味あるところです。また、捕獲される稚魚の平均体サイズは次第に大きくなりました (図 10)。調査終盤では千歳さけます事業所での飼育中にはみられなかったような大型の稚魚が捕獲されたことから、元々放流時から大きかった稚魚が遅れて降海行動を始めたのではなく、河川内で成長した稚魚が降海行動を始めたと考えるべきかも知れません。

一方、野生魚の捕獲は細かいピークを繰り返しながら調査開始から 2016 年は 6 月中旬、翌年は 5 月下旬まで続きました (図 9c, d)。また、放流魚とは対照的に稚魚の平均体サイズ (尾叉長 35mm) は調査期間中を通じてほぼ一定でした (図 10)。浮上後にサケの稚魚は河川で日中は餌を食べて成長することが知られていますが (長谷川ら 2011; 高橋ら 2016)、一定の体サイズに達することは稚魚が降海行動を始める一つの条件のようです。また、体サイズが一定というのは産卵期の違いが原因かも知れません。千歳川の自然産卵は主にスクリュートラップと同じ場所に設置されるウライ (やな) が撤去された 12 月中旬以降から翌

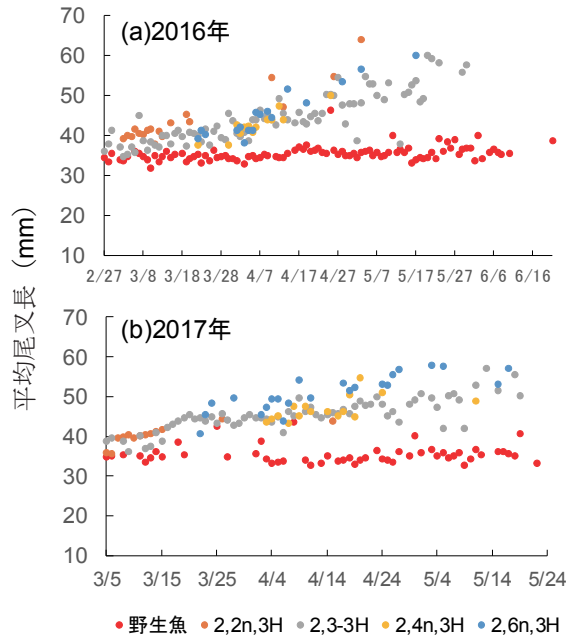


図 10. (a)2016 年と(b)2017 年にスクリュートラップで捕獲した稚魚の平均尾叉長の経日変化

年 2 月下旬まで 2 ヶ月以上にわたってその上流域で行われます (長谷川ら 2014)。あるいは親魚数は多くはありませんが、ウライが設置される前の 8 月下旬にも産卵は行われています。つまり、調査序盤に捕獲された野生魚は早い時期に産まれた卵、終盤に捕獲された野生魚は遅い時期に産まれた卵に由来するのかもしれない。

おわりに

本稿では、1 時間毎の調査では放流方法が降海行動、特に降海する時間帯に影響する可能性、毎日の調査では降海する稚魚の体サイズの経日変化

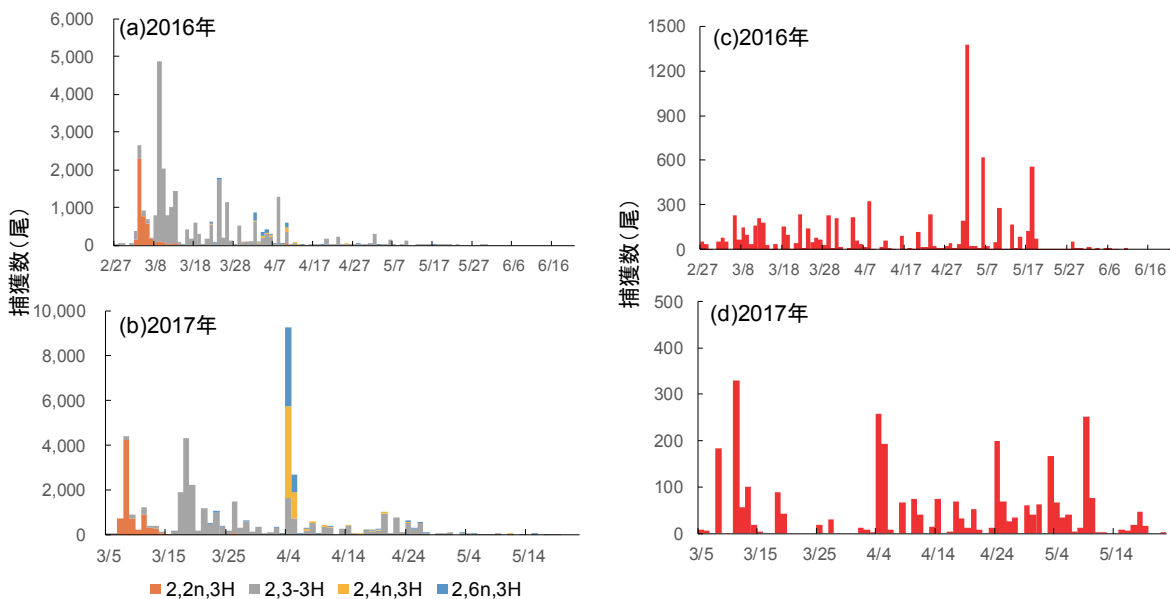


図 9. スクリュートラップでの(a)2016 年と(b)2017 年の放流魚、(c)2016 年と(d)2017 年の野生魚の日別捕獲数

について放流魚と野生魚間で差異があったことについて紹介しました。一連の調査を行うきっかけとなった「サケ資源回帰率向上調査事業」の目的は「稚魚放流の地域や時期等の違いによる生き残り状況等を調査し、“放流手法の改良に活かす”」です。放流手法改良のためには、降海する稚魚について人為的に操作できる点、そうでない点の見極めが求められるでしょう。本稿で示した結果でいえば、降海する放流魚の体サイズの経日変化は何ともし難いかもしれませんが（野生魚とは異なる体サイズ変化がその後の生残率等にどう影響しているかは不明ですが）、放流方法によって降海を始めるあるいは海に達する時間帯が異なるならば、その点については操作ができそうです。本稿では具体案の提示には至りませんでした。今後、放流手法を改良していくヒントになれば幸いです。

引用文献

- 長谷川功・大熊一正・大貫努. 2011. 河川におけるサケとサクラマスの稚魚の定位点選択. 日本水誌, 77: 1095-1097.
- 長谷川功・宮内康行・清水智仁. 2014. 北海道千歳川で冬季に自然産卵する野生サケの現状. 魚雑, 61: 125-127.
- Hasegawa, K., and Takahashi, S. 2013. Micro-scale environments along the seaward migration route of stocked chum salmon fry. Trans. Am. Fish. Soc., 142: 1232-1237.
- 隼野寛史・藤原真・杉若圭一・Irvine, J.R. 1997. 増幌川に設置したスクリーントラップにおける魚類採捕個体数の日周変化. 北海道立水産孵化場研報, 51: 17-22.
- 北海道立総合研究機構・岩手県水産技術センター・十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会・渡島管内さけ・ます増殖事業協会・日高管内さけ・ます増殖事業協会・日本海さけ・ます増殖事業協会・水産研究・教育機構. 2018. 平成29年度サケ資源回帰率向上調査事業調査報告書.
- 岩田宗彦・小島大輔. 2008. サケ科魚類の降河行動の触発まで. 比較内分泌学, 34: 82-85.
- 小林哲夫. 1958. 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, 12: 21-30.
- 小林哲夫. 1964. 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, 18: 1-6.
- 小林哲夫・阿部進一. 1977. 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, 31: 1-11.
- 小林哲夫・原田滋. 1966. 西別川におけるサケ・マスの生態調査II. カラフトマス稚魚の降海移動, 成長, 食性. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 20: 1-10.
- 小林哲夫・原田滋・阿部進一. 1965. 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, 19: 1-10.
- 小林哲夫・黒萩尚. 1968. 網走湖, 網走川におけるサケ稚魚の生態とその保護について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 22: 37-71.
- 真山紘・加藤守・関二郎・清水幾太郎. 1982. 石狩川産サケの生態調査—I 1979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, 36: 1-17.
- McCormick, S.D., Hansen, L.P., Quinn, T.P., and Saunders, R.L. 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 55: 77-92.
- Melnychuk, M.C., and Welch, D.W. 2018. Habitat-mediated effects of diurnal and seasonal migration strategies on juvenile salmon survival. Behav. Ecol., Doi: 10.1093/beheco/ary119.
- Moore, A., Potter, E.C.E., Milner, N.J., and Bamber, S. 1995. The migratory behaviour of wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in the estuary of the River Conwy, North Wales. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52: 1923-1935.
- 長澤和也・帰山雅秀. 1995. 日本沿岸水域における魚類と海鳥類によるサケ幼稚魚の捕食. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 49: 41-53.
- 長沢有晃・佐野誠三. 1961. メム川の天然産卵場で算定したサケ (*Oncorhynchus keta*) の降下稚魚について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 16: 107-125.
- 永田光博・宮本真人. 1986. 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報, 41: 13-22.
- 太田博巳・神力義仁・西村明・本間正男・松原敏幸・佐藤長蔵. 1986. 突符川に放流された池産1+スモルトサクラマスの降海行動. 北海道立水産孵化場研報, 41: 47-54.
- 佐々木義隆・山下幸悦・中島幹二. 1993. 仁雁別川におけるカラフトマス稚魚の降海行動. 北海道立水産孵化場研報, 47: 15-20.
- Scheel, D., and Hough, K.R. 1997. Salmon fry predation by seabirds near an Alaskan hatchery. Mar. Ecol. Prog. Ser., 150: 35-48.
- 高橋悟・長谷川功・伊藤洋満・伴真俊・宮内康行. 2016. 温度・餌環境が異なる河川に放流されたサケ稚魚の成長比較. 日本水誌, 82: 559-568.
- 虎尾充. 2016. カラフトマス稚魚の産卵場からの降河移動. 北水試研報, 90: 47-52.