

## サケOncorhynchus keta稚魚の群れ行動の発達

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
巻/号	804
掲載ページ	p. 613-615
発行年月	2014年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 短 報

サケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の  
群れ行動の発達虎尾 充,\* 宮本真人,  
實吉隼人, 小林美樹(2013年12月15日受付, 2014年3月3日受理)  
(地独)北海道立総合研究機構さけます・内水面  
水産試験場道東支場Development of schooling behavior in the juveniles  
of chum salmon *Oncorhynchus keta*MITSURU TORAO,\* MAHITO MIYAMOTO,  
HAYATO SANEYOSHI AND MIKI KOBAYASHIDoto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries  
Research Institute, Hokkaido Research Organization,  
Nakashibetsu, Hokkaido 086-1164, Japanキーワード : キーワード : *Oncorhynchus keta*, 個体間  
距離, サケ稚魚, 頭位交角, 群れ行動

20世紀後半から日本のサケ *Oncorhynchus keta* の沿岸漁獲量は大幅に増大した。これは、北太平洋の海洋環境がサケにとって好適であった<sup>1)</sup> ことに加えて、種苗生産技術の向上・給餌飼育による種苗性の向上・適期放流による生残率の向上などに支えられた人工孵化放流事業の成果であると考えられている。<sup>2-4)</sup> しかし最近、歴史的には高い水準にあるものの、北海道におけるサケ総漁獲量は減少し、特に地区間の漁獲量格差が拡大している。このため、地区ごとの放流適期の検証や放流種苗の質の再評価が求められている。

これまでサケ稚魚では、生化学的指標や遊泳速度、海水適応能など様々な指標によって種苗性が評価されてきた(例えば、中野・白旗<sup>5)</sup>; Mizuno *et al.*<sup>6)</sup>)。しかし、遊泳力など個体の能力から種苗性を評価した試みはあるが、<sup>7,8)</sup> 群れ形成などより高次の行動を基準としてサケ稚魚の種苗性を評価した例は見当たらない。

群れ行動は魚類の普遍的な行動の1つであり、捕食者の回避・索餌の最適化・学習の場・繁殖相手の確保・回遊精度の向上に利点があると考えられている。<sup>9,10)</sup> サケ稚魚は群れを形成して河川を降下するため、<sup>11)</sup> この間の捕食者回避に群れ行動が関わる可能性は高い。サケ稚魚の人工孵化放流事業では、人工授精後の卵・孵化管理を経て、浮上した稚魚を飼育池において一定期間、給餌飼育した後、河川に放流する。この間、自然状態に比べて高密度で飼育されるため、このことがサケ稚魚の群れ

行動の発達過程に影響を及ぼす可能性が考えられる。近年、海産魚類を中心に個体間距離と頭位交角を指標とした群れ行動の解析が行われ、魚種によって群れ行動の発現様式が異なることが明らかとなってきた。<sup>12)</sup> そこで本研究では、個体間距離と頭位交角を指標として、サケ稚魚飼育魚の群れ行動の発達過程を検討するとともに、河川で採集された野生魚との比較を試みた。

実験に用いたサケ稚魚飼育魚は、(株)根室管内さけ・ます増殖事業協会の標津川ふ化場で2012年9月12日に人工授精した標津川由来の卵から得た。授精卵は2012年11月19日に発眼卵でさけます・内水面水産試験場道東支場の立体式孵化器に収容し、浮上まで管理した。稚魚は2013年1月20日に浮上し、アトキンス式孵化水槽(長さ3.26m×幅0.33m×水深0.21m)に収容し給餌飼育を開始した。収容時の飼育密度は5.6 kg/m<sup>2</sup>とした。

2013年1月30日, 2月4日, 2月14日, 2月25日, 3月7日, 3月19日の計6回, 個体間距離と頭位交角を測定した。一方, 野生の供試魚を, 2013年4月25日に標津川水系の支流武佐川と7月4日に古多糠川で投網を用いて採集した。実験に用いた稚魚は, アトキンス式孵化水槽(馴致水槽)に30-50尾を収容し12時間以上馴致した後, 実験に用いた。実験では, 馴致水槽から直径約48cmのポリエチレン製タライ(実験水槽)に無作為にサケ稚魚10個体を移動し, 10分間静置後に実験水槽上方に設置したデジタルカメラ(PENTAX Optio WG-1 GPS, HOYA株式会社製)で5分間, 動画撮影した。それぞれの実験群について供試魚を入れ替えて3組の撮影を行った。動画の記録サイズは640×480 dpi, フレームレートは30 fpsとした。本研究では解析対象とする稚魚の行動を二次元的に限定するため, 実験水槽の水深を3cmとした。実験は10:00から14:00の間に行い, 実験時の水温は9.5-11.0°Cであった。実験水槽直上における照度は, 2014年2月5日から9日にかけて同条件で測定したところ, 370-450 lxの範囲にあった。実験に用いた稚魚は撮影終了後に取り上げ, 尾叉長を測定した。

サケ稚魚の群れ行動を定量化するため, 魚群行動の指標として一般的に用いられる頭位交角(SA, separation angle)と隣接個体間距離(NND, nearest neighbor distance)を算出した。<sup>13)</sup> SAは個体の体軸同士のなす角度であり, 魚の向きがランダムであれば平均値が90°になり, 群れ行動が発現し魚体の向きがそろおうほど0°に近

い値となる。<sup>13)</sup> NND は最も近くにいる個体同士の距離で、個体同士の接近性の指標となる。<sup>13)</sup> 撮影した動画から1分ごとに静止画像を切り出し、1回の撮影につき5枚の静止画像を得た。SA は静止画像ごとに全個体間の角度を求め、これらの5枚の画像の平均をその群れのSAとした。また、5枚の各画像において各個体の最も近接する個体との距離を求め、その平均値をNNDとした。NNDは画像上で計測し換算した値(mm)と、これを画像上で測定した実験個体の体長で除して標準化した値( $\times$ BL)で示した。異なる測定日間のSAとNNDはTukeyの多重比較で検定した。また、SAはランダムな配置の場合に期待される $90^\circ$ と異なるかをt検定を用いて検定した。

実験に用いたサケ稚魚の尾又長は、浮上後10日目の $35.63 \pm 0.80$  mmから浮上後58日目の $53.56 \pm 2.32$  mmまで成長した(Fig. 1)。また、2013年4月25日に武佐川で採集した野生魚の平均尾又長は $39.60 \pm 1.95$  mmであり、7月4日に古多糠川で採集した野生魚の平均尾又長は $51.75 \pm 9.58$  mmであった。

算出されたサケ稚魚の平均SAは、 $48.5\text{--}59.2^\circ$ の範囲にあった(Fig. 2a)。SAは飼育魚・野生魚ともに、群れ形成がない場合に期待される $90^\circ$ と有意に異なった(t検定,  $p < 0.05$ )。飼育魚では、成長に伴うSAの変化は認められなかったが、4月25日の武佐川で採集された野生魚のみ、有意に低いSA値を示した(Tukeyの検定,  $p < 0.05$ )。NNDは、体長37–47 mmでは21–28 mmであったが、体長50 mmを超えると $48.47 \pm 21.90$  mmに拡大した(Fig. 2b)。NNDの体長比は体長37–47 mmでは0.5–0.7で、体長50 mmを超えると0.9に拡大した(Fig. 2c)。NNDの実測値・体長比ともに、体長50 mm以上で有意に大きくなった(Tukeyの検定,  $p < 0.05$ )。これは、飼育魚、野生魚ともに同様の傾向であった。

SAとNNDを指標としてサケ稚魚の群れ行動の発達を検証したところ、サケ稚魚は浮上後10日目の段階ですでに群れ行動を示すことが定量的に示された。魚類の群れ行動には、時刻や照度、水温が影響を与えることが知られている。<sup>12)</sup> 本研究では実験時のこれらの条件はほぼ一定であり、これらが群れ形成の差異に影響を与えた可能性は小さい。また、実験水槽のサイズが群れ行動に影響することも考えられる。しかし、本研究では体サイズ50 mm以上でNNDが拡大しており、実験水槽のサイズが群れ行動に影響した可能性は小さいと考えられる。SAは一貫して $50^\circ$ 前後を示し、群れを形成せずランダムに分布した場合のSAの期待値 $90^\circ$ と有意に異なることから、サケ稚魚は群れとして高い斉一性を初期から示すことが明らかとなった。本研究のサケ稚魚で測定されたNNDの体長比は0.5–0.9を示した。魚類のNNDの

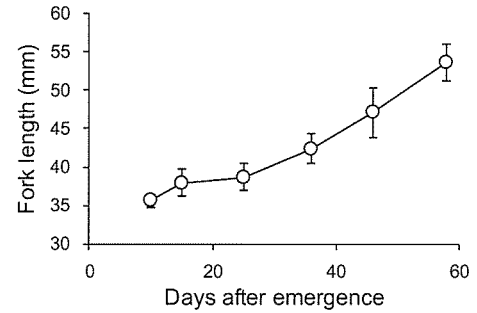


Fig. 1 Growth of reared chum salmon juvenile (average fork length  $\pm$  SD in 10 specimens) during the period of the experiment.

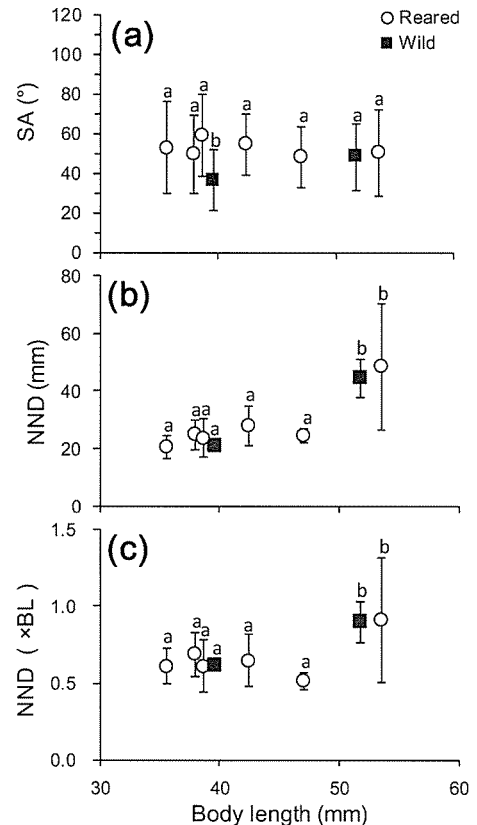


Fig. 2 Changes of separation angle (SA) and nearest neighbor distance (NND) in chum salmon juveniles. Plots sharing letters are not significantly different ( $p < 0.05$ ; Tukey's test,  $n = 10$ ). (a) separation angle (SA). All the samples show that the value is significantly smaller than the value expected when fish were located randomly ( $p < 0.05$ ;  $t$ -test,  $n = 10$ ), (b) nearest neighbor distance (NND) in millimeters, (c) nearest neighbor distance (NND) divided by body length.

ごく一般的な値は体長の1倍程度であるが,<sup>10)</sup> サケ稚魚では体長35–50 mmまでのNNDは0.5–0.7であり、比較的近い個体間距離を保って群れを形成することが示された。NNDは魚の習性によっても異なり、マイワシや

カタクチイワシ、ニシンなどプランクトン食の魚は体長の0.5倍程度の狭い距離であるのに対し、サワラやクロマグロなどの魚食性の魚では共食いを避けるため1.5倍程度の個体間距離を保つという。<sup>13)</sup> サケ稚魚では体長50 mmを越えると、NNDが0.9とそれまでに比べて有意に増大した。SAに変化はなかったことから、群れとしての斉一性を維持しつつ個体間の距離を拡大したと考えられる。サケにおいて尾叉長50 mmは稚魚期 (fry period) から幼魚期 (fingerling period) への移行期にあたり、形態的に遊泳・摂餌機能の基本型が完成する時期とされる。<sup>14)</sup> 個体間距離が広がる傾向は、飼育魚と野生魚で同様であったことから、サケ稚魚の発育特性を反映したものと推察される。アユでは、天然稚魚に比べて人工ふ化稚魚で個体間距離が近い<sup>15)</sup>などの違いが見られるが、本研究ではサケ稚魚の群れ行動への飼育による顕著な影響は認められなかった。群れ行動の発現のタイミングは魚種によって異なり、アジ科のマアジやシマアジ、サバ科のマサバやクロマグロなどではいずれも仔魚から稚魚への移行直後に群れ行動が認められるのに対し、ニシン亜目の大西洋ニシンやカタクチイワシでは仔魚期から群れを形成する。<sup>16)</sup> サケ稚魚では浮上後すぐに群れ行動が認められたが、サケのように他の魚種に比べて発育の進んだ状態で遊泳を開始する場合、群れ形成が生得的性質であり飼育密度など成育環境の影響をそれほど大きく受けない可能性もある。しかしながら、体長40 mm程度において飼育魚よりも野生魚でより強い斉一性を示した。この理由については不明であるが、野生魚の方が早い段階でより強い群れ行動をとる可能性もあり、今後は野生魚のサンプルを増やすなどして成長に伴う変化と飼育魚との違いを詳細に検討する必要がある。また、飼育密度が群れ行動の発達に及ぼす影響についても今後の検討課題である。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり、サケ種卵を提供していただいた(株)根室管内さけ・ます増殖事業協会に厚くお礼申し上げます。また、原稿を校閲していただいた京都大学フィールド科学教育研究センター益田玲爾准教授、北海道立総合研究機構さけ・ます・内水面水産試験場永田光博場

長に深く感謝いたします。また、実験および原稿作成に協力いただいた職員の方々にお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 帰山雅秀. サケの個体群生態学. 「サケ・マスの生態と進化」(前川光司編) 文一総合出版, 東京. 2004; 137-161.
- 2) 北田修一. シロザケ. 「栽培漁業と統計モデル分析」 共立出版, 東京. 2001; 19-25.
- 3) 小林哲夫. 「日本サケ・マス増殖史」 北海道大学出版, 札幌. 2009.
- 4) 永田光博. サケ類増殖事業の歴史と将来展望. 「サケ学入門 (阿部周一編)」 北海道大学出版会, 札幌. 2009; 19-34.
- 5) 中野広, 白旗総一郎. サケの健苗性評価について. 日本水産学会誌 1988; 54: 1263-1269.
- 6) Mizuno S, Hatakeyama M, Nakajima M, Naito K, Koyama T, Saneyoshi H, Kobayashi M, Koide N, Misaka N and Ueda H. Relationship between rearing conditions and health in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry. *Aquaculture Sci.* 2010; 58: 529-531.
- 7) 小林哲夫, 大熊一正. サケマス稚魚の体力測定装置について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1983; 37: 41-44.
- 8) 大熊一正, 佐々木正吾, 和田有正, 戸嶋忠良. スタミナトンネルを用いて測定したサケ稚魚の瞬発遊泳速度. さけ・ます資源管理センター研究報告 1998; 1: 45-48.
- 9) Pitcher TJ, Parrish JK. Functions of shoaling behavior in teleosts. In: Pitcher TJ (ed). *Behaviour of teleost fishes*, 2nd edition, Chapman & Hall, New York. 1993; 363-439.
- 10) 益田玲爾. 「魚の心をさぐる」 成山堂書房, 東京. 2006.
- 11) Salo EO. Life History of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*). In Groot C, Margolis L (eds). *Pacific Salmon Life Histories*. UBC Press, Vancouver, Canada. 1991; 231-309.
- 12) 益田玲爾. 群れ行動. 「魚類生態学の基礎 (塚本勝巳編)」 恒星社厚生閣, 東京. 2010; 264-274.
- 13) Masuda R, Shoji J, Nakayama S, Tanaka M. Development of schooling behavior in Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* during early ontogeny. *Fish. Sci.* 2003; 69: 772-776.
- 14) 帰山雅秀. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活に関する生態学的研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1986; 40: 31-92.
- 15) 塚本勝巳. アユの回遊メカニズムと行動特性. 「現代の魚類学 (上野輝福, 沖山宗雄編)」 朝倉書店, 東京. 1988; 100-133.
- 16) Masuda R. Behavioral ontogeny of marine pelagic fishes with the implications for the sustainable management of fisheries resources. *Aqua-BioSci. Monogr.* 2009; 2: 1-56.

サケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の群れ行動の発達 (短報)

虎尾 充, 宮本真人, 實吉隼人,

小林美樹 (道さけます内水試)

浮上後 10 日目 (尾叉長 35 mm) から 58 日目 (54 mm) までの飼育条件下のサケ稚魚の群れ行動を頭位交角 (SA) と個体間距離 (NND) を指標として検討し, 野生魚 (40 mm, 52 mm) とも比較した。SA は 48.5-59.2° の範囲にあり浮上後から高い斉一性を示し, 成長に伴う変化はみられなかった。NND は体長 50 mm まで体長比 0.5-0.7 であったが, 体長 50 mm 以上になると 0.9 へと有意に拡大した。これは飼育魚・野生魚とも同様であった。サケ稚魚の群れ行動への飼育による顕著な影響は認められなかった。

日水誌, 80(4), 613-615 (2014)