

北海道におけるサケ初期減耗過程の解明と資源回復に向けて ～ 降海後のサケ稚魚に何が起きているのか？ ～

キーワード：サケ、減耗要因、水温、栄養状態、回遊

はじめに

北海道の沿岸で主に定置網で漁獲されるサケは、これまで毎年500億円を超える水揚げ高を誇り、ホタテ、コンブと並んで長年本道の水産業の主力魚種となってきました。サケ資源は1970年代半ばから飛躍的に増加し、2004年には6,000万尾を超える来遊数を記録しました(図1)。その後2000年代までは高い資源水準を維持していました。このようなサケ資源の増大は、サケの回遊先である北太平洋の生息環境がサケにとって好適であったことに加え、給餌飼育や適期放流の実践などふ化放流技術の向上が大きな要因であると考えられています。しかし近年、放流数に大きな変化がないにもかかわらず来遊資源は減少傾向にあり、2019年の北海道における来遊数は1,756万尾まで減少しました。このため、資源変動要因の解

明と早急な対策が求められています。

しかし、北海道から放流されたサケ稚魚が、いつ・どこで・どのように死んでしまうのか(減耗過程と呼びます)、分かっていることの方が少ないのが現状です。本稿では特に減耗が大きいと想定される「海洋生活初期」に注目し、サケ稚魚の死亡・生き残りの仕組みについて、大胆に仮説を立ててみました。そして、この仮説の中でサケ稚魚の生き残りにとって重要な要因と考えられる「栄養状態」と「沿岸水温」が、サケ稚魚の「成長」や「遊泳力」に与える影響について調べた結果をご紹介します。

サケの回遊経路と二段階減耗仮説

人工ふ化・飼育で育てられたサケ稚魚は3～5月頃に河川に放流され、数日～数週間を河川内で過ごしてから降海します。海に出たサケ稚魚は、4～6月頃まで岸に近い沿岸域で成長します。網走湾や根室湾での調査結果では7月頃までには沿岸域を離脱し、8月頃にはオホーツク海に到達すると考えられています(図2)。海に出てから数ヶ月のこの時期を「海洋生活初期」と呼んでいます。オホーツク海で成長したサケ稚魚は、北太平洋の西部に移動して海洋生活1年目の冬を越します。その後暖かくなってくると、ベーリング海に移動し6～11月の間に餌を食べて大きく成長します。そして、水温が下がってくると今度はアラスカ湾

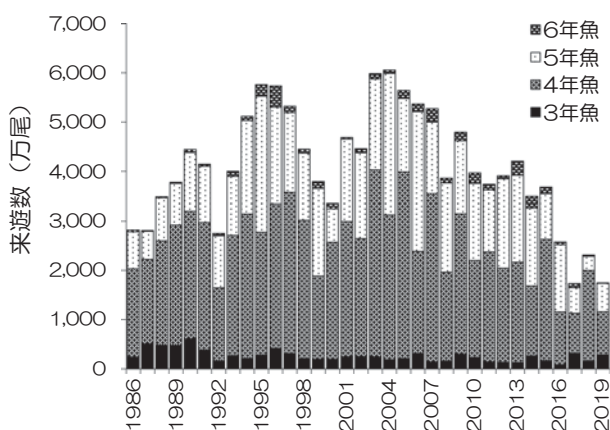


図1 北海道におけるサケ来遊数の推移
来遊数：沿岸での定置網などによる漁獲数と、人工ふ化放流のための河川での捕獲数の合計

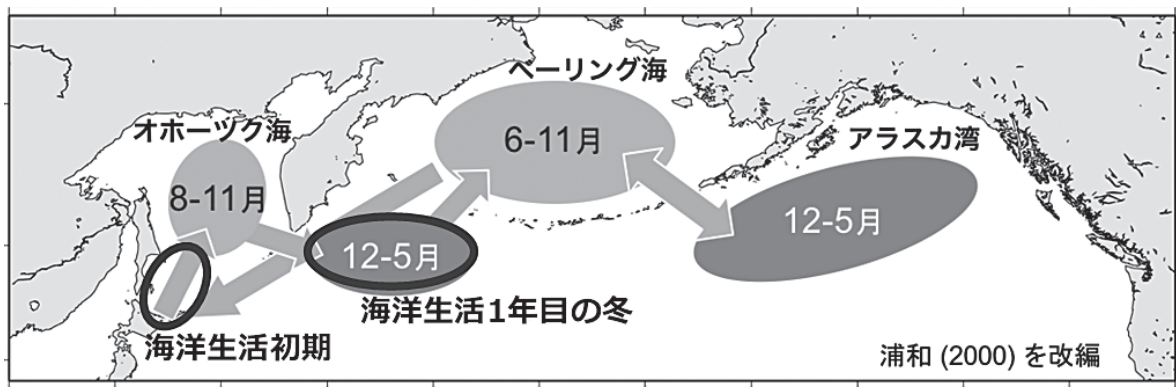


図2 北海道から放流されたサケの推定回遊経路 (浦和¹⁾を改変)

に移動します。ベーリング海で摂餌し、アラスカ湾で越冬するという生活を数年繰り返し、成熟のスイッチが入ったものは順次、生まれた川に向けて回帰します。このような壮大な回遊を経て北海道に帰ってくるサケですが、その減耗過程はほとんど分かっていません。

一方、北米では1960年代からの調査研究によって、様々な情報が集まってきています。それによると、サケマス類の海洋生活期には主要な減耗時期が2つあると考えられており、1つ目が降海直後の海洋生活初期、2つ目が海洋生活1年目の越冬時で、二段階減耗仮説と呼ばれています。このうち、前者の海洋生活初期の死亡率は特に高く、80%近いとする報告もあります。また、この時期の減耗の特徴として、体の小さい個体や成長率の低い個体が死亡しやすいことが指摘されています。

北海道のサケ稚魚減耗仮説

これまでの北海道における調査から、海洋生活初期のサケは8～13℃の水温帯を好んで分布することが分かっています。一方、5℃以下の低水温ではサケ稚魚はごく岸寄りに閉じ込められるように分布し、沖合への移動が制限されることが分かってきました。また、回帰親魚の年齢組成分析から、回帰率の低かった2016年と2017年のサケは稚魚期に低水温を経験していたことも示唆されています。

さらに、ロシアの調査によるとオホーツク海でこれらの年級の日本系サケが少なかったとの情報もあり、北海道生まれの稚魚はオホーツク海にたどり着く前に死亡したものが少なくなかったとみられます。このようないくつかの状況証拠から、北海道から放流されたサケ稚魚でも海洋生活初期の減耗が大きいと想像され、その要因のひとつとして沿岸域での低水温がサケ稚魚の生き残りに悪影響を与えている可能性があると考えています。

沿岸域での低水温の影響の一方で、長期的には地球温暖化も影響している可能性があります。北太平洋全体でみると、現在もサケ資源量は歴史的に高い水準にあり、特に北方に位置するロシアやアラスカでは高水準を維持しています。一方で、サケ分布域の南限に近い北海道のサケは減少しています。2010～2014年にかけては、サケ稚魚の放流時期には海水温が低くその後急上昇する現象が見られました。1996年以降、放流時期とその後の水温差が大きくなると日本系のサケの漁獲量が低下する傾向があることが報告されました²⁾。水温が高くなるとサケ稚魚の基礎代謝が高くなる分、十分に餌が無い環境では逆に飢餓に陥ってしまう可能性が指摘されています。低水温から高水温への急激な水温上昇はサケ稚魚にとっての適水温期間が短縮され、生き残りにとってマイナスに働くのかも知れません。

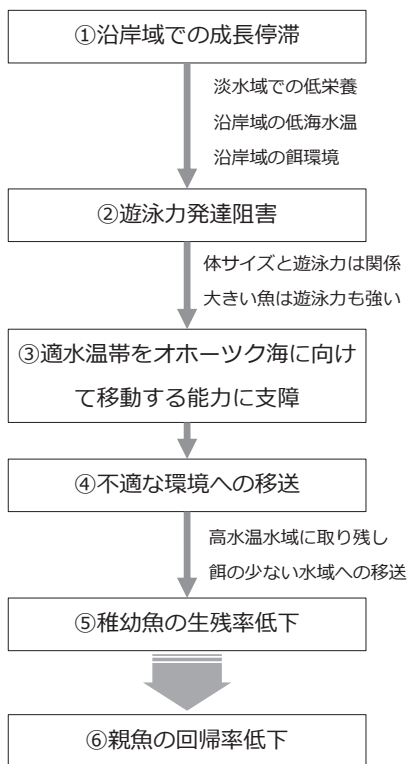


図3 北海道系サケ稚魚の減耗過程（仮説）

さらに、河川でのサケ稚魚のコンディションも沿岸域での生き残りに影響する可能性があります。放流場所が河口から遠い河川では、海にたどり着く前に栄養状態が低下しているサケ稚魚がいることや、汽水域でサケ稚魚の栄養状態や成長率が低下している現象が報告されています。

これらの知見から、私たちは次の様な「北海道系サケ稚魚の減耗過程」を想定しています(図3)。

- ①淡水域での栄養状態悪化や沿岸域での低水温などの影響で、降海後のサケ稚魚に成長停滞が生じる。
- ②低成長のため、体サイズと関連する遊泳力の発達が阻害される。
- ③サケ稚魚の成長が悪く遊泳力が向上しないと、オホーツク海への移動能力に支障が生じる。
- ④サケ稚魚にとっては高すぎる水温帯や、餌の少ない水域など不適な環境へ移送される。
- ⑤稚魚、幼魚段階での生残率が低下する。
- ⑥結果的に、親魚としての回帰率が低下する。

北海道から放流されたサケ稚魚がこのような減耗過程をたどるとすると、どのような条件下で成長停滞と遊泳力の低下が生じるかが重要になります。

栄養状態と海水温がサケ稚魚に与える影響

そこで、私たちは北海道大学との共同研究で、栄養状態と水温が海水移行後のサケ稚魚の成長率や遊泳能力にどのような影響を与えるのか、飼育実験を行いました。まず、サケ稚魚を3群に分け、淡水で配合飼料を与えて5日間飼育しました。餌の量（給餌率）はそれぞれ1日当たり、サケの体重の0%（絶食）、1%（少ない）、3%（充分）としました。次に、絶食群・給餌率1%群・給餌率3%群それぞれを3群に分け、4、7、10℃の人工海水に移行し10日間、飽食量の餌を与えて飼育しました。これらの水温は、網走や根室における野外調査での結果から、4℃の海水温はサケ稚魚にとっては低すぎ、7℃は適度な海水温、10℃は適水温範囲ではありますが降海直後の水温としては少し高いことを想定し設定しました。これによって、淡水飼育時の餌条件（絶食・少ない・充分）×海水飼育時水温（低い・ちょうど良い・高い）の9試験群を作りました。それから、海水飼育終了後に血液中のインスリン様成長因子（insulin-like growth factor、IGF-I）という物質の量を調べました。IGF-Iは、主に肝臓で合成されて血液によって運ばれ、受容体と結合して骨や筋肉等の成長を促します。サケ稚魚でも成長率が高いと血中IGF-I量が多く、成長の指標として用いられます。また、遊泳力の指標の1つである臨界遊泳速度（Ucrit）を測定しました。Ucritは一定時間ごとに流速を上げてサケ稚魚がどの流速まで遊泳できるかを調べるものです。これらの指標が、淡水飼育中の栄養状態と海水移行後の水温の影響をどのように受けるのかを調べてみました。

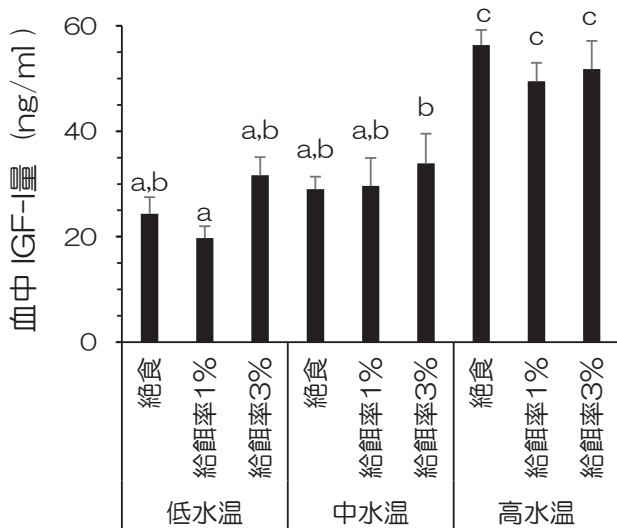


図4 淡水での給餌条件と異なる海水温で飼育したサケ稚魚の血中IGF-I量。血中IGF-I量は要因間の交互作用が認められたため、全群間で多重比較検定を行った。バー上の異なるアルファベット間には有意差があることを示す (Tukey-Kramer法、 $P < 0.05$)。

成長率の指標である血中IGF-I量を見ると、給餌率と海水温には相互作用が認められ、淡水で絶食を経験し、さらに低水温の海水に移行すると成長率が低下する可能性があると考えられました (図4)。

また、遊泳力の指標である臨界遊泳速度は、絶食群と給餌率3%群のUcritに有意差が認められ (図5上)、淡水時の絶食が海水移行後の遊泳力低下を引き起こすことがわかりました。また、水温の影響を見ると、低水温群と高水温群、中水温群と高水温群で有意差が認められ (図5下)、今回の試験設定の範囲では水温が低いほど遊泳速度が小さくなることがわかりました。これらの結果から、サケ稚魚減耗仮説の中で重要な要因と考えられるサケ稚魚の成長率と遊泳力は、沿岸域での低水温下では低下する傾向があり、加えて、淡水生活期の絶食でさらに悪化する可能性が示されました。

さいごに

現在、北海道のサケ資源はその大部分をふ化放流によって造成しています。最も重要なことは、

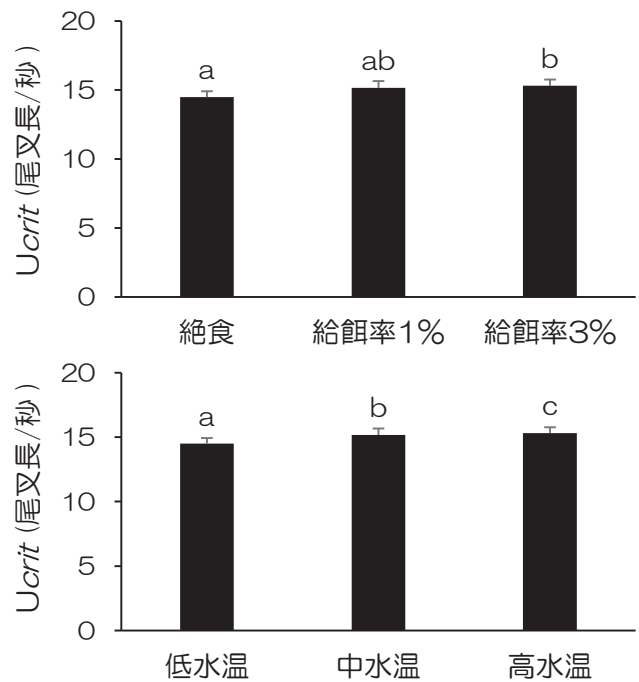


図5 淡水での給餌条件と異なる海水温で飼育したサケ稚魚の遊泳速度。臨界遊泳速度 (Ucrit) は栄養状態と水温の交互作用が認められなかったため (二元配置分散分析、 $P > 0.05$)、要因ごとに多重比較検定を行った。バー上の異なるアルファベット間には有意差があることを示す (Tukey-Kramer法、 $P < 0.05$)。

質の良い卵を確保し健康な稚魚を育てて放流することです。加えて、今回得られた知見から今後、海洋生活初期の高成長率を確保できるような飼育・放流方法の研究開発が必要と考えています。具体的には、放流魚の生残率を向上させるために、放流に適した時期の探索や稚魚の栄養強化等、飼育技術に関する研究開発に取り組みます。

本研究はJSPS科研費 18K058018の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 浦和茂彦 (2000) 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題, さけ・ます資源管理センターニュース, 5, 3-9.
- 2) Kitada S, Kishino H (2019) Fitness decline in hatchery-enhanced salmon populations is manifested by global warming, bioRxiv, 828780.

(虎尾充 さけます内水試さけます資源部

報文番号B2446)