

海洋生物資源科学科  
〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野 1866  
TEL・FAX：0466-84-3687  
E-mail:makiguchi.yuya@nihon-u.ac.jp  
URL: <http://hp.brs.nihon-u.ac.jp/~kaiyo/wp>

## 半天然魚の幼魚は養殖魚に比べて代謝率が高い

### 研究成果のポイント

- ・サクラマス幼魚の代謝と遊泳能力を半天然魚と養殖魚で比較した。
- ・安静時代謝、最大遊泳能力代謝および遊泳効率が最大になる速度が半天然魚で高かった。
- ・半天然魚の代謝が養殖魚のそれよりも高いという結果は、放流事業において放流後に養殖魚よりも半天然魚の生存率が高いことに対する説明の一つになるかもしれない。

### 研究成果の詳細

#### **【背景】**

多くの魚種は何世代にもわたって家畜化され、種の保存や漁業資源の増強に使用するために人工孵化場で維持されてきた (Fraser, 2008; Lorenzen et al., 2012)。サケ科魚類は、大規模な人工孵化放流プログラムの代表例である (Fraser, 2008)。日本では、孵化場で何世代にもわたって人工繁殖が行われたサクラマス (*Oncorhynchus masou*) が、溪流の個体群を強化するために各地で積極的に放流されている (Morita et al., 2006)。

放流事業に用いられる孵化場飼育・家畜化されたサケ科魚類は、自然環境への適応能力が低いため、野生魚よりも生存率が低いことが報告されている (Araki et al., 2007, 2008; Berejikian and Ford, 2004; McLean 他, 2003)。家畜化されたサケ科魚類の適応能力が低いのは、孵化場での成長と生存には重要だが、自然環境では重要でない形質が選択された結果であると考えられる (Einum and Fleming, 2001; Solberg et al., 2015)。例えば、孵化場飼育のスチールヘッドトラウト幼魚は、野生魚と比較して捕食者回避能力が低下している (Berejikian, 1995 年)。メタアナリシスを用いた研究では、飼育されたサケ科魚類はより攻撃的で捕食者に対する反応が鈍く、その結果、自然環境での生存率が低くなると報告されている (Einum and Fleming, 2001)。また、サケにおいては、スモルト化の時期

(Koyama et al., 2007) や捕食者回避能力 (Yamamoto and Reinhardt, 2003) が飼育魚と野生個体で異なることが報告されている。孵化場魚と野生魚の行動的・生理的差異により、生息地、餌資源、繁殖相手をめぐって競合が発生する可能性がある。その結果、養殖魚の放流によって個体数が増加することはなく、むしろ孵化場由来の魚が野生の同属魚に取って代わる可能性がある (Sahashi et al., 2015)。家畜化の影響を軽減するために、飼育下で 1 世代以上経験していない飼育下繁殖株を使用するなどの対策がとられているが、この問題は解決していない。孵化場由来個体と野生個体との競争の根本的な原因は不明である。この問題の根底を解明するためには、自然環境における初期ライフステージでの稚魚の生存に影響を与えるメカニズムを包括的に理解することが必要である。

日本では、このような天然魚と養殖魚の特性の違いによって生じる放流効果を補正するために、天然魚を父親、養殖魚を母親とする半野生魚の作出が提案されている(水産庁、2018 年)。半野生魚は、孵化場育ちの魚に比べて、稚魚の成長期に餌を与えるのが難しく、生産に手間がかかる。養殖魚は野生魚の特性と相まって高い繁殖力を持つため、放流後のフィールドでバランスを取ることができると考えられている。この考え方の基本は、家畜魚の高い繁殖力を、野生魚の持つ自然環境への適応力で補完することである。半野生魚は、孵化場魚や野生魚と比較して、環境ストレスに対する生理的反応が中間的であることが報告されている (Solberg ら、2013 年)。アトランティックサーモン (*Salmo salar*) の自然環境における卵から脱皮までの生存率に関する研究では、半野生魚は野生魚より生存率が低いが、養殖魚より生存率が高いと報告されている (Skaala et al.) オショロコマ (*Salvelinus leucomaenis*) では、放流した半野生魚の生存率は養殖魚の 2.5 倍であった (Yamashita et al.) 濁水環境では、半野生魚は養殖魚に比べて 3.2 倍の遡上性能を持つことが報告されている (山下、鈴木、2019)。サケやシロザケ (*O. keta*) の野生魚に由来する遺伝子の割合を増やすと、飼育魚の野生生存率が高まることが示された (Sahashi and Morita, 2022)。しかし、なぜ半野生魚が養殖魚より高い生存率を示すのかについては、まだ多くの未解決の問題が残されている。

サケ科魚類の稚魚は、生息する河川内で支配的な階層を形成する (Yamamoto et al.) この階層における順位は、採餌行動、生息地の利用、成長、移動と密接に関係している (Nakano, 1995)。優占する個体は、プールの中層と表層を採餌場として独占的に利用する。このため、より下位の個体よりも、漂流する餌に優先的にアクセスでき、より著しい成長と高い定住性が得られる (Nakano, 1995)。アトランティックサーモン幼魚の階層における社会的地位と生理的反応に関する研究では、標準代謝量 (SMR) と階層における地位の間に強い相関があり、SMR が高いほど地位が高いことを示した (Metcalf et al., 1995 年)。この相関は生息域の個体密度に影響され、密度が低いほど攻撃性や競争は少なく、平均摂餌量や成長率は高くなり、SMR と成長率には関係がない (Reid et al., 2011)。つまり、適切な餌場に限られる高密度では、SMR が高い個体は階層の上位に位置することを維持するためのコストがかかるため、成長率が低くなるのである。一方、SMR が低い個体は

十分な餌を確保できず、生存競争において不利になる。このように、個体の代謝率は、食料資源をめぐる競争力を決定する本質的な要因である。

摂食、捕食者や競争相手からの逃避、消化、成長、繁殖などの行動はすべて酸素を必要とするため、代謝率は野外での生存を左右する必須の生理指標となる (Eliason and Farrell, 2016)。さらに、ドリフトフィーダーの生息地選択と階層形成において、流速と摂食成功の関係は重要である (Bozeman & Grossman, 2019)。つまり、河川における魚類の競争力を評価する上で、定位泳力は重要な指標となる。そこで、放流によって生息地の魚類密度が高まった場合、放流された養殖魚よりも半野生魚の代謝が高いため、半野生魚の階層順位が高くなり、その結果、養殖魚よりも半野生魚が自然環境に定着しやすくなると仮定した。仮説によれば、半野生魚は養殖魚よりも自然環境に定着する可能性が高い。本研究では、野生魚と養殖魚の父母を同じにした半野生魚と養殖魚を作製した。この 2 群の稚魚の代謝と遊泳能力を遊泳呼吸法により比較した。

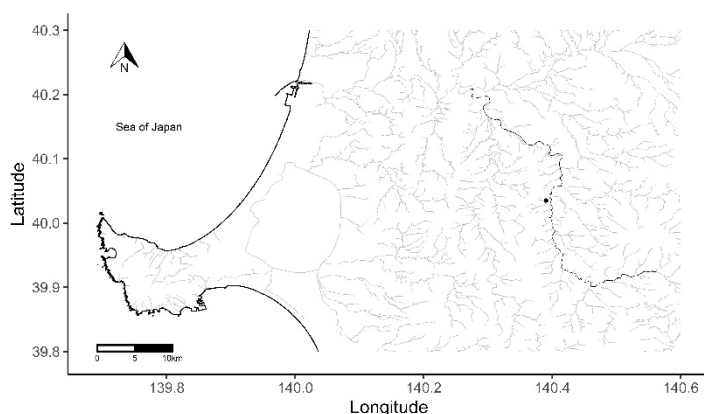


図 1 : 天然魚を捕獲した場所 (黒丸) と周辺の地図。



図 2 : 代謝測定で使用したサクラマス幼魚

### 【結果・考察】

解析の結果、安静時代謝量 (RMR)、最大代謝量 (MMR)、移動のエネルギーコストを最小

にする遊泳速度（最適遊泳速度）は、養殖魚よりも半野生魚の方が高いことがわかった。遊泳能力の指標である臨界遊泳速度は、2つの魚群間で有意な差は見られなかった。基礎代謝に最も近い値である標準時代謝量（SMR）が摂食意欲に大きく影響することが以前の研究で報告されていることから、RMRの高い半野生魚は養殖魚に対して社会的地位が高い可能性がある。つまり、社会的地位の高い個体ほど摂食意欲が高い可能性がある。RMRは餌の必要量に比例するため、放流先での餌資源を考慮した放流プログラムを計画する必要がある。

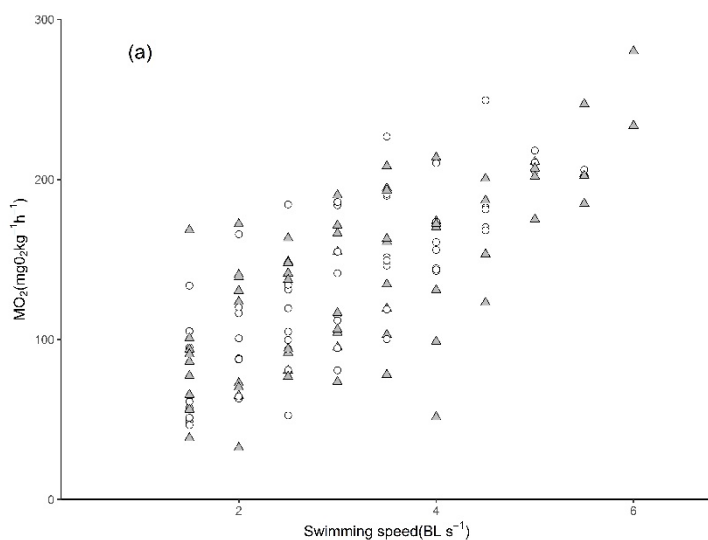


図3：溶存酸素量と遊泳速度の関係

表1：半天然魚と養殖魚の各パラメータの比較

Ucrit, RMR, MMR, Uopt and COTmin of fish from semi-wild and farmed fish cross in 2019 and 2020. Sample sizes were 7 each for semi-natural and farmed fish in 2019; 14 each for semi-natural and farmed fish in 2020. In total, sample sizes were 21 each for semi-natural and farmed fish. For RMR and MMR comparisons were made using a linear model between the two groups with body mass as a covariate.

	Semi-wild fish	Farmed fish	df between models	df of null model	df of treatment model	Sum of squares	F value	p value
Ucrit (TL/s)	5.12 ± 0.88	4.64 ± 1.22	1	40	39	2.43	2.27	0.14
Ucrit (cm/s)	48.9 ± 12.1	39.1 ± 10.4	1	40	39	234.42	2.54	0.12
RMR (mgO <sub>2</sub> /h)	0.60 ± 0.53	0.43 ± 0.35	3	40	37	1.64	25.66	<0.01
MMR (mgO <sub>2</sub> /h)	1.67 ± 1.30	1.44 ± 1.00	3	40	37	6.14	20.62	<0.01
Uopt (TL/s)	3.74 ± 1.09	2.82 ± 1.00	1	40	39	8.94	8.62	<0.01
COTmin (mgO <sub>2</sub> /kg/km)	34.0 ± 10.6	33.1 ± 11.6	1	40	39	9.54	0.1	0.75

Ucrit: critical swimming speed, RMR: resting metabolic rate, MMR: maximum metabolic rate, Uopt: optimal swimming speed, COTmin: minum cost of transport

## 発表論文の概要

### 研究論文名

Juvenile semi-wild fish have a higher metabolic rate than farmed fish

### 著者

牧口 祐也（日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科、准教授）

河内 潤（日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科、4年 2019年卒業）

石井 優希（日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科、4年 2020年卒業）

八木澤 優（秋田県水産振興センター）

佐藤 正人（秋田県水産振興センター）

公表雑誌：Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative  
Physiology (in press)

### お問い合わせ先

日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科 魚群行動計測学研究室

准教授 牧口 祐也（まきぐち ゆうや）

TEL/FAX 0466(84) 3687 E-mail: makiguchi.yuya@nihon-u.ac.jp

文責：魚群行動計測学研究室 准教授 牧口 祐也