

## 研究成果情報

## サケ稚魚の成長速度とエネルギー配分量に及ぼす海水温と餌量の影響

飯野 佑樹<sup>※1</sup>・北川 貴士<sup>※2</sup>・阿部 貴晃<sup>※3</sup>・ながさか つよし<sup>※4</sup>・しみず ゆういち<sup>※5</sup>・おた かつひこ<sup>※6</sup>・  
川島 拓也<sup>※5</sup>・河村 知彦<sup>※7</sup>

## はじめに

日本のサケ *Oncorhynchus keta* は、春に河川から海に降り、数年間の海洋生活を経て、再び日本沿岸に回帰します (Urawa et al. 2018)。回帰するサケの漁獲量は近年、減少傾向にあり、その要因の一つとして、海洋環境が変わったことで、海に降りた後に成長の遅い稚魚が大量に死亡していることが挙げられています (Honda et al. 2020)。魚類の成長速度は一般に、水温の影響を強く受けると考えられてきました (Malcolm 1994)。水温が高いと、食べた餌を消化する能力が高く、短時間でより多くのエネルギーを摂取することができます (図 1A)。一方、魚類はじっとしていても、生命維持活動 (例えば浸透圧調節など) にエネルギー

を消費します。そのエネルギーを産生するために、魚類は鰓から酸素を取り込み、体内で代謝するのです。この、安静時のエネルギー消費速度 (以降、安静時代謝速度) は、水温が高いほど速くなります (図 1A)。摂取と消費の差、つまり余剰エネルギーを成長に配分する場合、成長速度と水温の関係はドーム形になることが知られています (図 1B)。

サケは冷たい水を好むことから、昨今の海水温上昇に耐えられず、成長速度が遅くなっているのでは?と何となく想像されます。では、海水温だけでなく、餌の量も変わる場合、成長速度はどうなるでしょうか。これまで、海水温と餌量の両方がサケ稚魚の成長速度に及ぼす影響、さらに、稚魚が成長へどれくらいのエネルギーを配分しているのかはくわしく分かっていませんでした。本稿では、飼育実験と呼吸代謝実験を組み合わせ、海水温と餌量が稚魚のエネルギー配分に及ぼす影響を検討した研究 (Iino et al. 2022) を紹介します。

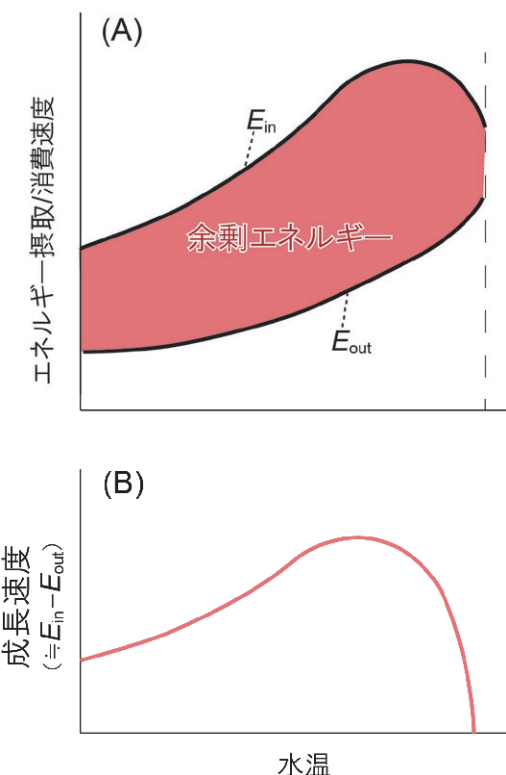


図 1. (A) 水温とエネルギー摂取/消費の関係  
エネルギー摂取速度 ( $E_{in}$ ) と消費速度 ( $E_{out}$ ) の差が余剰エネルギー (赤色) となる。縦の破線は、その魚が耐えることのできる最高水温を表す。  
(B) 余剰エネルギーが成長に配分された場合の、成長速度と水温の関係 (Malcolm 1994 をもとに作図)。

## 海水温と餌量条件別のサケ稚魚の成長速度

稚魚を円型水槽に 100 個体ずつ収容し、4つの水温条件 (6.0-8.1, 10, 12, 14°C)、2つの給餌率条件 (体重の 1% 量または 4% 量を毎日給餌) の計 8 通りの条件で、およそ 2 週間海水飼育しました。実験開始時と終了時に測定した体重から、1日あたりの成長速度を算出しました。その結果、餌の多い 4% 給餌率区では、水温が高いほど成長速度が速くなりました (図 2)。一方、餌の少な

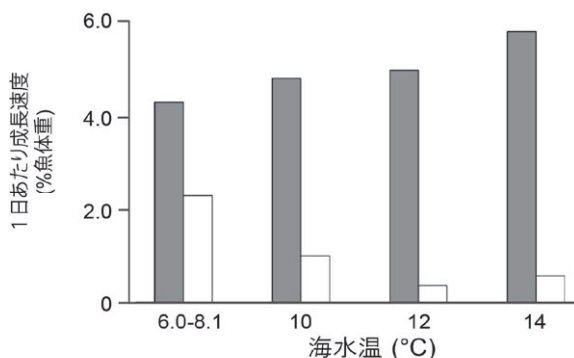


図 2. 水温、給餌率別に飼育したサケ稚魚の 1 日あたりの成長速度 (灰色: 4% 給餌率区、白色: 1% 給餌率区) Iino et al. (2022) から一部改変。

※1 水産資源研究所さけます部門 資源生態部 ※2 東京大学大学院新領域創成科学研究科 ※3 日本大学生物資源科学部  
※4 岩手県沿岸広域振興局宮古水産振興センター ※5 岩手県水産技術センター ※6 岩手県農林水産部水産振興課  
※7 東京大学大気海洋研究所

い1%給餌率区では、水温が高いほど成長速度が遅くなり(図2)、水温10℃という、サケ稚魚の分布水温範囲内(5~13℃:入江 1990)であっても、範囲外(14℃)と同程度に成長速度が遅くなりました。ではなぜ、餌量によって水温と成長速度の関係が異なったのでしょうか?この要因を探るため、水温10~14℃でのエネルギー配分量を推定しました。

## 海水温と餌量がエネルギー配分に及ぼす影響

各条件で飼育した稚魚をスタミナトンネル(図3)という装置に1個体ずつ収容しました。この装置にはプロペラと溶存酸素計が付いていて、稚魚が任意の速度で遊泳しているときの水槽内溶存酸素量を測定することができます。溶存酸素量の変化速度から、安静時および運動時代謝速度を算出しました。稚魚が疲労困憊するまで測定を続けるため、1個体あたり最短でも3時間はかかります。稚魚はもちろん、実験を行う人にとっても、根気のいる実験です。算出した安静時代謝速度と、飼育実験で得た成長速度をエネルギー収支モデルとよばれる数理モデルに代入し、安静時代謝、成長への各エネルギー配分量を推定しました。

安静時代謝速度は、給餌率の違いに関わらず高水温ほど高くなり、安静時代謝へのエネルギー配分量比(エネルギー摂取量を100%とした時の比率)は、4%給餌率区において13-15%、1%給餌率区では47-59%でした(図4)。成長への配分量比は、4%給餌率区において32-41%、1%給餌率区では8-20%でした(図4)。以上の結果から、餌の多い4%給餌率区では、安静時代謝による消費を上回る量のエネルギーが体内に余り、成長へと配分されたために、稚魚の成長速度が速くなったと考えられました(図2)。一方、1%給餌率区では、摂取エネルギーの半分近くが安静時代謝により失われ、さらに水温が高くなると成長へのエネルギー配分量が圧迫されたために、高水温ほど成長速度が遅くなったと考えられました(図2)。

## おわりに

今回の研究で、海水温の上昇だけでなく、餌量条件も稚魚の成長に大きく影響を及ぼすことが示唆されました(図5)。近年、サケの分布南限に近い三陸沿岸域では、暖流勢力が強まるとともに、稚魚の好む栄養価の高い餌生物が減少しているのではないかと考えられています(Wagawa et al. 2016; Yamada et al. 2019)。この環境下でエネルギー不足に陥った稚魚が成長へエネルギーを十分に配分できずに大量に死亡することで、サケの回帰率が低下するものと推察されました。今回の研究では、

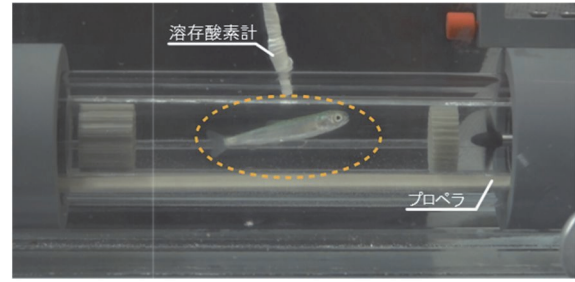


図3. スタミナトンネル(Loligo systems社; デンマーク製)に封入されたサケ稚魚(黄色枠)プロペラの回転速度を調節することで、さまざまな速度の水流を発生させることが可能。

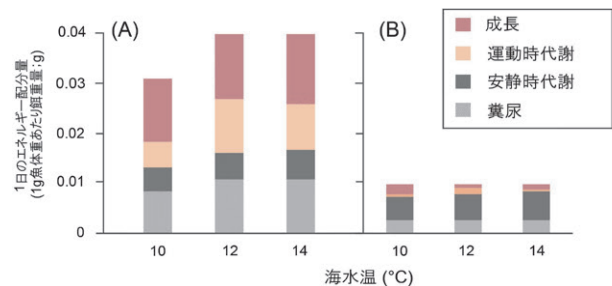


図4. 水温、給餌率別に飼育したサケ稚魚のエネルギー配分量(A: 4%給餌率区, B: 1%給餌率区)各色が、各項目へのエネルギー配分量を表す。lino et al. (2022) から一部改変。

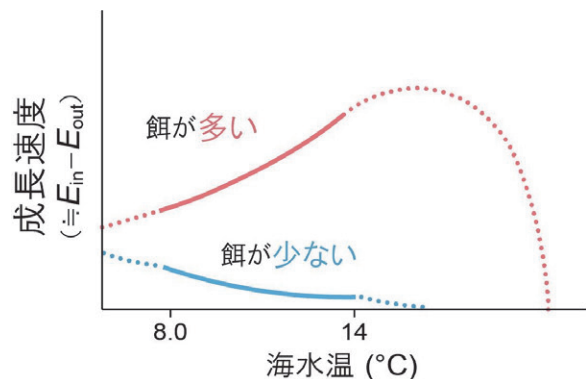


図5. lino et al. (2022)及び図2から示唆された、降海したサケ稚魚の成長速度と海水温の関係(赤色: 餌が多い環境, 青色: 餌が少ない環境)実線は本研究で扱った水温範囲を表し、点線はその水温範囲外を表す。

三陸沿岸河川に回帰した親魚に由来する稚魚を用いました。今後は、本州日本海側や北海道など、他の河川由来の稚魚がどのようなエネルギー代謝、成長速度を示すのかを明らかにすることで、由来河川ごとの特性が見えてくるかもしれません。

これまで、たくさんの方々の支えが、研究に取り組むための“エネルギー”へと変わったことで、サケ研究を続けることができました。この経験を活かしつつ、新たに得た知識・経験をエネルギーに変え、サケ研究を成長・発展させていきたいと思ひます。

## 引用文献

- Honda, K., Shirai, K., Komatsu, S. and Saito, T. 2020. Sea-entry conditions of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* that improve post- sea-entry survival: A case study of the 2012 brood-year stock released from the Kushiro River, eastern Hokkaido, Japan. *Fish. Sci.*, 86: 783-792.
- Iino, Y., Kitagawa, T., Abe, T.K., Nagasaka, T., Shimizu, Y., Ota, K., Kawashima, T. and Kawamura, T. 2022. Effect of food amount and temperature on growth rate and aerobic scope of juvenile chum salmon. *Fish. Sci.*, 88: 397-409.
- 入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西海区水産研究所研究報告. 68: 1-142.
- Malcolm, J. 1994. Environmental factors and growth. In *Fish bioenergetics*. (edited by J. Malcolm), Chapman & Hall, London. pp.155-168.
- Urawa, S., Beacham, T.D., Fukuwaka, M., and Kaeriyama, M. 2018. Ocean ecology of chum salmon. In *The ocean ecology of pacific salmon and trout*. (edited by R.J. Beamish). American Fisheries Society, Bethesda, Md. pp. 161-317.
- Wagawa, T., Tamate, T., Kuroda, H., Ito S.I., Kakehi, S., Yamanome, T., and Kodama, T. 2016. Relationship between coastal water properties and adult return of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) along the Sanriku coast, Japan. *Fish. Oceanogr.*, 25: 598-609.
- Yamada, Y., Sasaki, K., Yamane, K., Yatsuya, M., Shimizu, Y., Nagakura, Y., Kurokawa, T., and Nikaido, H. 2019. The utilization of cold-water zooplankton as prey for chum salmon fry (*Oncorhynchus keta*) in Yamada Bay, Iwate, Pacific coast of northern Japan. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 29: 1-9.