

## ベニザケ早熟雄の体成長と海水適応能

伴 真俊

062-0922 北海道札幌市豊平区中の島2-2 独立行政法人さけ・ます資源管理センター調査研究課

キーワード：ベニザケ，早熟雄，体成長，浸透圧調節機能，Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup>-ATPase

### はじめに

ベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) はサケ科魚類の中でも変化に富んだ生活史を示す (Burgner 1991)。例えば，幼稚魚期の生息場所は河川と湖に分かれる。また，それらのなかから海へ下って索餌回遊する降海型と，一生を淡水中で過ごす陸封型が現れる。多様な生活史は成熟年齢にも反映され，降海型の魚では淡水生活期間が0～3年，海洋生活期間が1～4年程度の範囲で個体差を生じる。さけ・ます資源管理センターで増殖している本邦系ベニザケの場合，最も若い成熟魚は浮上した翌年の秋に現れる。このような早熟個体は主として大型の雄に認められるとともに，その出現率は体成長の影響を受ける (北海道さけ・ますふ化場 1991)。早熟な雄個体の多くは放流された後，淡水域に残留すると考えられるが (さけ・ます資源管理センター 2002)，なかには降海する個体も現れる (Urawa and Kaeriyama 1999)。通常，降海する幼魚は未熟なまま淡水中でスモルト化し，海水適応能を獲得した後に海へ降りることから (帰山1987；Ban and Yamauchi 1991)，早熟雄個体も降海する際はスモルトと同様に海水適応能を高めていると予想されるが詳細は不明である。本稿では，本邦系ベニザケに現れる早熟雄の特性を，体成長と海水適応能の観点から調べた結果について紹介する。

### 早熟雄の体成長と性成熟

初めに早熟雄と未熟な雄の尾叉長と肥満度を比較した。比較したサンプルは，1999年から2003年の4月に得た早熟雄および未熟雄1年魚各15個体である。本稿では生殖腺体指数 (%) = 生殖腺重量 (g) × 100 / 体重 (g) が0.2%以上の個体を早熟雄として扱った。その結果，早熟雄と未熟雄の平均尾叉長 ± 標準誤差は各々13.2 ± 0.4 cm および11.7 ± 0.4 cm，平均肥満度 ± 標準誤差は各々10.1 ± 0.2 および9.6 ± 0.2 となった (図1)。何れも平均値は早熟雄の方が高く，尾叉長には有意差が認められたことから，早熟雄は未熟雄に比べ相対的に大型であるといえる。しかし，両群の最大と最小個体を比較すると，早熟雄の尾叉長は9.7 cm～16.2 cm なのに対し，未熟雄は10.8 cm～13.2 cm，肥満度は早熟雄が8.7～11.4なのに対し，未熟雄は8.8～10.4を示した。このように，個体毎の値を比較してみると，早熟雄は必ずしも未熟な雄より大きいとは

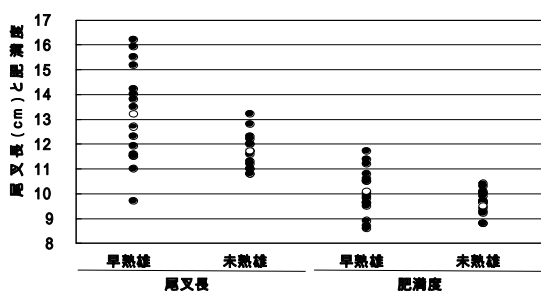


図1．1999年から2003年の4月に得た早熟雄と未熟雄1年魚各15個体における尾叉長(cm)と肥満度．黒丸は各個体の値，白丸は平均値を示す．

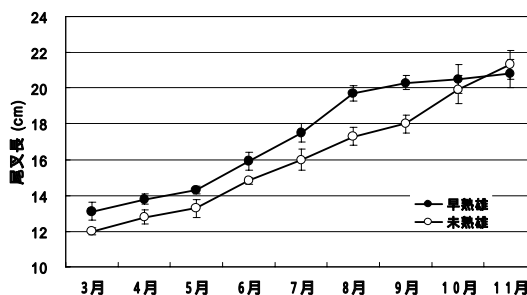


図2．1991年3月から11月まで淡水飼育した早熟雄と未熟雄の尾叉長(cm)の変化．図中の縦棒は標準誤差を示す．



図3．2005年に安平川へ回帰した2003年級群の早熟雄．青丸は左腹鰭切除痕．写真提供は戸叶千歳事業所長．

限らないことが分かる．また，同じ給餌条件であっても，早熟雄は未熟雄に比べて体サイズの変異が大きい点が特徴として挙げられる．

それでは長期的にみた場合，早熟雄はどのような体成長を示すだろうか．ここでは1991年の3月から11月まで，体重当り2%の給餌条件で淡水飼育した1年魚の早熟雄および未熟雄について，毎月1回尾叉長と生殖腺体指数を比較した．各採集時に測定した魚の数は，早熟雄が3～4個体，未熟雄が6～7個体である．生殖腺体指数による早熟雄の区別は，既に3月の時点で可能だった．早熟雄の平均尾叉長は，4月から9月まで一貫して未熟雄より有意に大きかった(図2)．しかし，10月は両者の尾叉長に有意差がなくなり，11月になると未熟雄の平均値が早熟雄を上回った．早熟雄の成長は5月から8月の間で高く，それ以降は鈍化した．

今回の飼育実験では，早熟雄の成熟時の尾叉長が約21 cm だった．この値は，降海した早熟雄が母川回帰した際の尾叉長 (19～22 cm) と一致する (Urawa and Kaeriyama 1999) ．また，2005年の回帰親魚のなかに鰭切り標識から明らかな2尾の早熟雄(2003年級群)を確認したが，

その尾叉長も23 cmと24 cm だった(図3)。これらの結果から、本邦系ベニザケ早熟雄が成熟する尾叉長は、野生環境下と飼育環境下の違いに関わらず20 ~ 25 cm 前後であると思われる。

一方、早熟雄の生殖腺体指数は3月の0.2%から8月の7.0%まで上昇してピークを迎えた後、11月には2.9%へ低下した(図4)。10月から11月にかけての低下は、排精ともなうものである。これに対して、未熟雄の値は実験期間を通じて0.2%未満を示した。

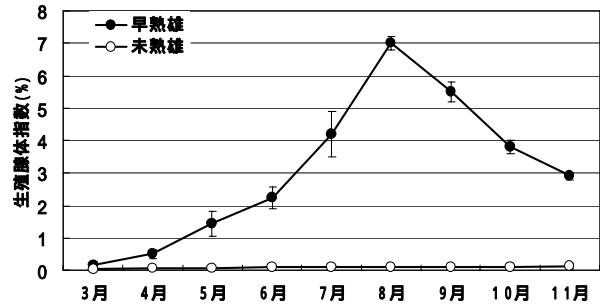


図4. 1991年3月から11月まで淡水飼育した早熟雄と未熟雄の生殖腺体指数の変化。図中の縦棒は標準誤差を示す。

このことから、早熟雄の精子形成は8月に集結することが予想される。また、8月は前述したように早熟雄の成長が停滞し始める時期と一致する。さらに、この時期は降海した早熟雄の回帰時期とも一致する (Urawa and Kaeriyama 1999)。以上の結果から、ベニザケの早熟雄にとって8月は体成長と精子形成を終え、産卵準備(降海した早熟雄は河川溯上を開始する)へと生理状態が切り換わる重要な時期と考えられる。

#### 早熟雄の海水適応能

海洋生活への移行に先立って海水適応能を獲得した魚では、海水中で浸透圧調節の役割を果たす鰓の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase 活性 (ATPase 活性) が高まる (Langdon and Thorpe 1985; Ban and Yamauch 1991)。そのため、海水適応能を獲得した魚は直接海水へ投入された場合でも、24時間以内に血中ナトリウム濃度(血中 Na)を淡水魚のレベルまで下げることができる (Clarke and Blackburn 1977)。本項では ATPase 活性と血中 Na を指標として、早熟雄の海水適応能を調べた。分析に用いた魚は前項で紹介した1991年の1年魚である。早熟雄の対照群として未熟な雄を用い、3月から6月の間で毎月1回の比較を行った。4月から6月の未熟な雄では、背鰭と尾鰭の末端につま黒が認められたことからスモルト化していたと判断される。

早熟雄の ATPase 活性 ( $\mu\text{mols Pi/mg pro/h}$ ) は3月から4月にかけて高まり、7.7のピークを迎えると6月には4.0まで低下した(図5左)。未熟雄の ATPase 活性も同様の傾向を示したが、4月の値は早熟雄に比べて約2倍の高値だった。一方、早熟雄の血中 Na (mM) は4月に最も低い165を示した(図5右)。未熟雄も4月に最低値を示したが、その値は152に達していた。これらの結果から、ベニザケの早熟雄はスモルトには劣るものの4月に海水適応能を高めることが分かった。

ベニザケに対してサクラマス (*O. masou*) の早熟雄は降海しないと考えられている。その原因として、雄の性成熟がスモルト化を阻害することが挙げられる (Aida et al. 1984)。この点は、合成雄ホルモンであるメチルテストステロン投与が海水適応能の発達を阻害することか

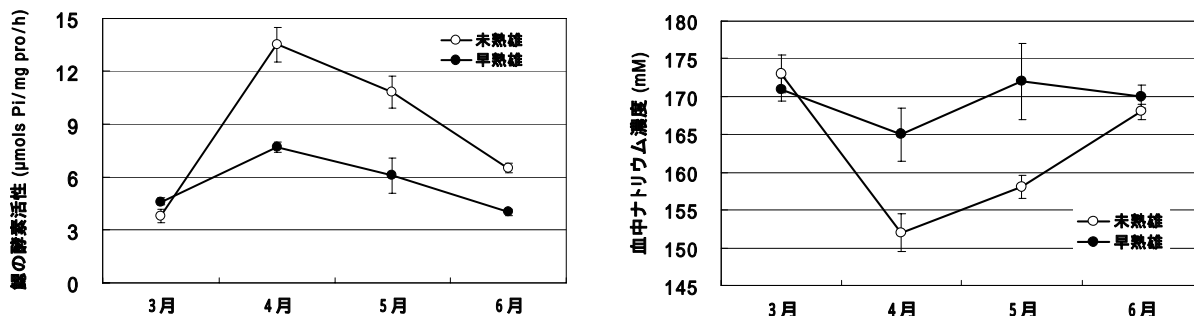


図5. 1991年3月から6月における早熟雄と未熟雄の鰓のNa<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase 活性 (左図) と, 各月に行った海水移行試験の24時間後における血中ナトリウム濃度 (右図). 図中の縦棒は標準誤差を示す.

ら実験的にも確かめられている (山崎ら 1973). 今回はベニザケ早熟雄の性ステロイドホルモン濃度を測定していないが, 生殖腺が発達する過程でその血中濃度も高まっていたと推察される. これらの結果は, スモルト化時期における性ステロイドホルモンに対する感受性が, ベニザケとサクラマスで異なる可能性を示唆している.

では, ベニザケの早熟雄は全て海水適応能を高めるのだろうか. この点を確かめるため, 1999年から2003年の5年間に海水移行した早熟雄と未熟雄, 各30尾の血中Naを比較した. 比較に用いた測定値は, 海水適応能が最も高まる4月に行った海水移行試験の結果である. 未熟雄は全てつま黒を発現し, 外見的にスモルトの特徴を示していた. 5年間の平均値 ± 標準誤差は, 早熟雄が167.7 ± 2.2 mM, 未熟雄が154.9 ± 0.9 mM となり, 有意差が認められた. これら30個体が示す血中Naを5 mM 毎の頻度分布に表したのが図6である. 図から明らかなように, 未熟雄は145 ~ 160 mM の範囲に集中したのに対し, 早熟雄は150 ~ 190 mM の広範囲に分散していた. 血中Naの平均値から判断すると早熟雄も海水適応能をある程度高めているといえるが, 個体別にみると海水適応能の高い個体と低い個体が混在していることが分かった. そこで, 早熟雄の海水適応能がばらつく要因を探るため, 前述した30個体の血中Naと尾叉長 (図7左) および肥満度 (図7右) との相関を調べたが, 何れの場合も両者の間に相関関係は認められなかった. 早熟雄に生じる海水適応能の差は, 体サイズと無関係のようである.

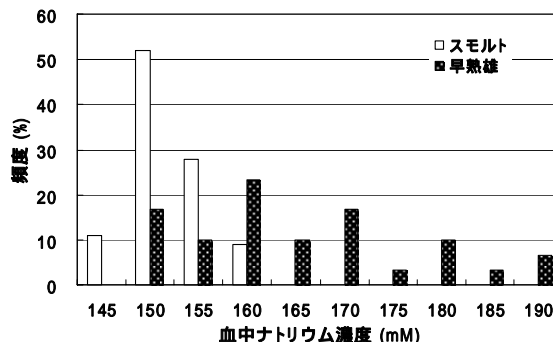


図6. 1999年から2003年の4月に得た早熟雄と未熟雄 (スモルト) 各30個体における海水移行24時間後の血中ナトリウム濃度の頻度分布. 網掛けの棒は早熟雄, 白抜きの棒はスモルトを示す.

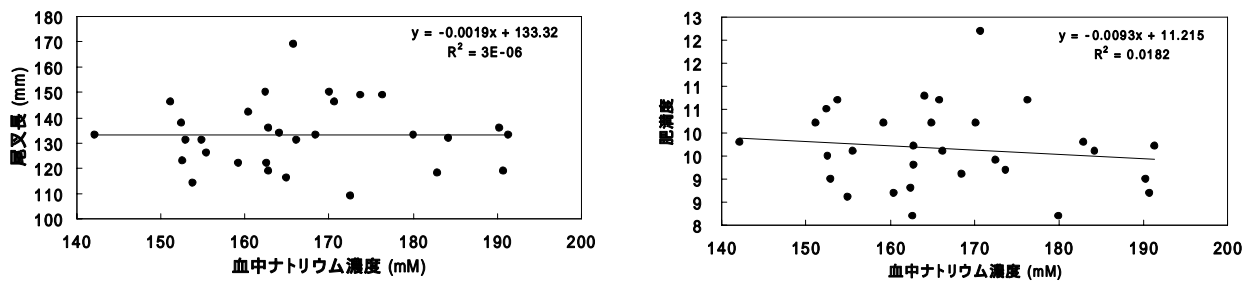


図7 . 1999年から2003年の4月に得た早熟雄30個体における海水移行24時間後の血中ナトリウム濃度と尾叉長(上図)および肥満度(下図)の関係 .

### まとめ

ベニザケ早熟雄の特性を体成長と海水適応能の観点から調べた結果 , 1)早熟雄は未熟雄(スモルトを含む)に比べて相対的に大型であるが , 体サイズの変異幅が大きいこと , 2)早熟雄には海水適応能の高い個体と低い個体が混在すること , 3)早熟雄は8月までに体成長と精子形成を終了して産卵準備へ移行すること , 4)成熟時の体サイズは20 ~ 25 cm 前後であること等が明らかとなった . 早熟雄のうち , 海へ降りる個体は海水適応能を高めた群から現れると予想されるが , この点の確認と海水適応能に差が生じる原因の解明は今後に残された課題である .

### 引用文献

- Aida, K., T. Kato, and M. Awaji. 1984. Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon *Oncorhynchus masou*. 50, 565-571.
- Ban, M., and K. Yamauchi 1991. Seasonal changes in seawater adaptability of the hatchery reared juvenile sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery, 45, 25-33.
- Burgner, R. L. 1991. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). In Pacific salmon (edited by C. Groot and L. Margolis). UBC Press, Vancouver. pp. 1-118.
- Clarke, W. C., and J. Blackburn. 1977. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 705, 11 p.
- 帰山雅秀・清水幾太郎・蠣崎 宏. 1987. 飼育ベニザケにおける海水適応能力の季節変化. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 41, 129-135.
- Langdon, J. S., and J. E. Thorpe. 1985. The ontogeny of smoltification: developmental patterns of gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase, SDH, and chloride cells in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 45, 83-95.
- 北海道さけ・ますふ化場. 1991. 平成3年度水産庁北海道さけ・ますふ化場業務報告書, ベニザ

ケの効率的スモルト幼魚生産に関する開発試験.

さけ・ます資源管理センター. 2002. 平成14年度 さけ・ます資源管理センター業務報告書, ペニザケ増殖技術の開発.

Urawa, S., and M. Kaeriyama 1999. Temporary residence of precocious sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the ocean. Bull. Natl. Salmon Resources Center, 2, 9-13.

Wedemeyer, G. A., R. L. Saunders, and W. C. Clarke. 1980. Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. Mar. Fish. Rev., 42, 1-14.

山崎文雄・粟倉輝彦・阿刀田光紹・柵田昭二. メチルテストステロンによるヤマベの銀化防止と皮膚抵抗について. 1973. 水産孵化場研究報告, 28, 1-10.