

高塩分海水を用いた移行試験による海水適応能の判定

伴 真俊

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

キーワード：海水移行試験，海水適応能，高塩分海水，サケ，ベニザケ

はじめに

多くのサケ属魚類は、ふ化後一定期間を淡水域で過ごした後、海水適応能を獲得して海洋生活へ移行する。一般に、サケ (*Oncorhynchus keta*; Hasegawa et al. 1987) やカラフトマス (*O. gorbuscha*; 本間1982) は浮上時に全個体が高い海水適応能を示す。また、サクラマス (*O. masou*; 伴ら1987) やベニザケ (*O. nerka*; Ban and Yamauchi 1991) は、通常1年魚の春にスマルト化する過程のなかで海水適応能を獲得する。しかし、高密度飼育を余儀なくされる増殖事業の場合、飼育中のストレス (Schreck 1985) や魚病 (Elliott et al. 1995) が海水適応能に悪影響を与えることがある。

放流魚の海水適応能を把握することは、これらの魚が資源にどの程度結びつくかを判断するための参考資料になるし、サクラマスやベニザケでは放流時期を決定する指標にもなるので重要である。海水適応能を調べる一手法として、Clarke and Blackburn (1977) は魚を塩分30の海水に24時間浸漬し、その時の血中ナトリウム濃度を移行前の魚と比較する海水移行試験を提唱した。この方法は海水適応能を厳密に調べるうえで優れているが、専用の分析機器や技術の熟練を要する等、簡便性が欠けている。一方 Saunders and Henderson (1978) は、海水移行の効果を明瞭にするため、塩分濃度40の海水を用いた強度の負荷試験を行った。本研究では、放流魚の海水適応能を増殖現場で手軽に、なるべく高い精度で判定するための指標を得ることを目的として、高塩分海水を用いた海水移行試験を行い、その前後における血中ナトリウム濃度、肥満度および死亡率を調べた。

材料と方法

実験魚と海水移行試験方法 実験に用いた魚は、静内事業所産サケ1996年級群 (サケ-A) と千歳事業所産サケ1997年級群 (サケ-B)、および千歳事業所産ベニザケ1年魚1996年級群 (ベニ-A, ベニ-B) の4群である。海水移行試験

に際して無作為抽出した30尾のサケと20尾のベニザケを、水温10℃、塩分33, 36, 39, 42, 45の人工海水に各々24時間移行した。移行試験は60 L水槽を用い、止水条件で、エアレーションを施しながら行った。海水移行試験の日程と、移行した魚の平均尾叉長 (cm) および平均体重 (g) を表1に示した。サケ-A, -B は2群とも通常の放流時期の魚、ベニ-A は明瞭なつま黒を発現しているスモルト期の魚、ベニ-B はつま黒の褪めかけた脱スモルト期の魚であった。

血中ナトリウム濃度、肥満度、死亡率 血中のナトリウム濃度 (mEq/L) を測定するために、海水移行前の魚10尾と海水移行24時間後まで生き残った全ての魚から血液を採集した。得られた血液から血清を遠心分離し、原子吸光度計 (Shimadzu, AA-640-13) でナトリウム濃度を分析した。また、採血した個体の尾叉長 (cm) と体重 (g) を測定し、 $\text{肥満度} = \text{体重} \times 1000 / \text{尾叉長}^3$ を計算した。さらに、海水移行後24時間以内に死亡した個体を計数し、 $\text{死亡率} (\%) = \text{死亡個体数} \times 100 / \text{移行個体数}$ を計算した。

統計処理 同一実験群内の海水移行前と移行24時間後の魚における肥満度および血中ナトリウム濃度について、t-検定を用いた有意差検定 ($p < 0.01$) を行った。

表1. 海水移行試験に用いたサケ (サケ-A, サケ-B) とベニザケ (ベニ-A, ベニ-B) の年級と海水移行試験日および尾叉長 (cm) と体重 (g)。尾叉長と体重の値は平均値 \pm 標準誤差。

実験群	年級	海水移行試験日	尾叉長 (cm)	体重 (g)
サケ-A	1996	1997/5/26	6.5 \pm 0.1	1.9 \pm 0.1
サケ-B	1997	1998/4/20	5.0 \pm 0.1	1.0 \pm 0.0
ベニ-A	1996	1998/3/11	13.1 \pm 0.2	18.4 \pm 0.9
ベニ-B	1996	1998/5/26	15.5 \pm 0.3	35.7 \pm 1.0

結果と考察

塩分別の海水移行試験にともなう血中ナトリウム濃度の平均値を図1に示した。塩分33の海水に移行されたサケ-A とベニ-A の血中ナトリウム濃度は、各々160.1 mEq/L および160.2 mEq/L の低値を示し、淡水群との間に有意差はなかった。一方、同塩分の海水に移行されたサケ-B とベニ-B は、各々淡水群に比べて有意に高い172.1 mEq/L と176.2 mEq/L を示した。Wedemeyer et al. (1980) は、海水移行24時間後の血中ナトリウム濃度が170 mEq/L 未満である

ことを、高い海水適応能の基準にしている。今回の結果は、実験時における海水適応能が、サケ-A とベニ-A では高く、サケ-B とベニ-B では低かったことを示している。また、塩分36以上の範囲では全ての群に共通して、海水移行後の血中ナトリウム濃度が淡水群より有意に高く、海水の濃度勾配に並行して上昇する傾向が認められた。このことは、魚の海水中における塩分排泄能力には限界があり、体内へ流入する塩分が多いほど、体内に残留する塩分も多くなることを示している。体内の塩分が高まって恒常性を保てなくなると、生理機能が正常に働かなくなったり、成長阻害が起きて魚はいずれ死んでしまう (Formar et al. 1982; Sheridan et al. 1998)。事実、今回の実験でも塩分42以上の海水に移行されたベニ-B と塩分45の海水に移行されたサケ-B は、移行後24時間以内に全個体が死亡した。これらの結果から、血中ナトリウム濃度は魚の海水適応能を正確かつ客観的に反映する指標といえる。

次に、海水適応能をより簡便に判定する指標として、尾叉長と体重から計算できる肥満度の有用性を検討した。海水中の魚は、大量の海水を飲みながら能動的に体内のナトリウム濃度を調節することで、脱水現象から身を守っている (小笠原1987)。海水適応能が低い魚では、体内へ出入りする水分量のバランスが崩れて脱水症状が起き、脱水された分の体重が減るために肥満度

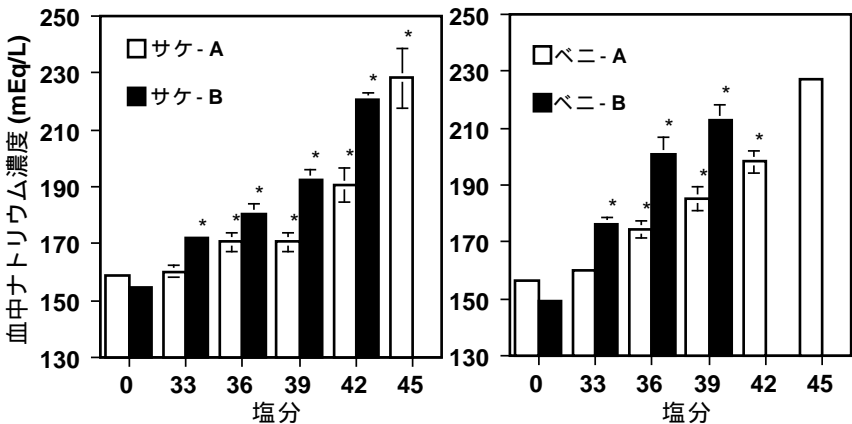


図1. サケ (左図) とベニザケ (右図) の海水移行24時間後における血中ナトリウム濃度。塩分0は淡水群を示す。*は淡水群と比較した際の有意差 ($p < 0.01$) を示す。塩分45のサケ-B、および塩分42と45のベニ-B は、海水移行24時間以内に全個体が死亡したため、値を得られなかった。図中の縦線は標準誤差を示す。

も低下する．今回の実験においても，海水移行試験にともなう肥満度が塩分勾配に沿って低下する傾向が，全ての群に共通して認められた（図2）．しかし，淡水群と海水移行群の肥満度に有意差が生じる塩分は，サケ-A が42以上，サケ-B が39以上，ベニ-A が39以上，ベニ-B が36以上となり，実験群間に差が生じた．この違いには，前述した各群の海水適応能の差が反映していた．このように高塩分海水を用いた海水移行試験を行い，その前後における肥満度を比較することで，魚の海水適応能を判定できることが分かった．そのために必要な塩分は，今回の場合サケが39，ベニザケが36であった．しかし，この値は魚の大きさやスマルトの状態，あるいは個体差等，さまざまな要因によって変わる可能性がある．肥満度の変化を調べる際には，今回比較したような平均値の差だけでなく，同一個体が海水移行前後に示す違いを調べることも必要であろう．今後は実験例を増やし，海水移行試験にともなう肥満度の変化から海水適応能を判定するための，適切な塩分を検討する必要がある．

これまで述べてきたように，海水適応能が低い魚は，海水中で体内のナトリウム濃度をうまく調節できないために死んでしまう．その傾向は，塩分

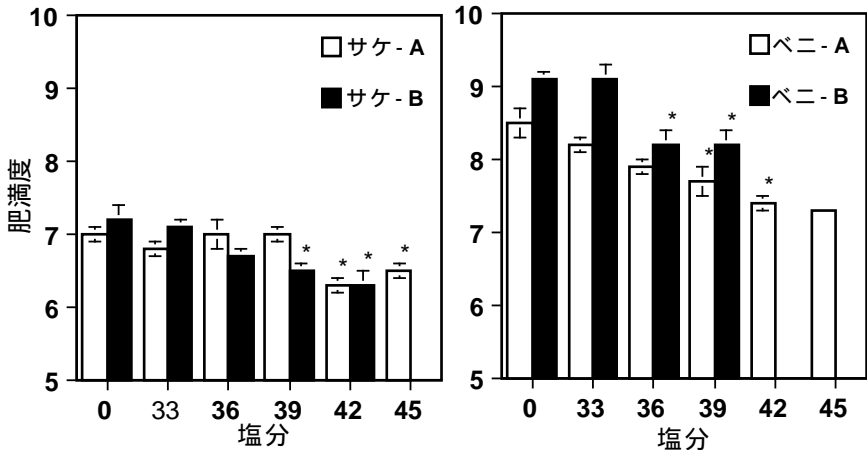


図2. サケ（左図）とベニザケ（右図）の海水移行24時間後における肥満度．塩分0は淡水群を示す．*は淡水群と比較した際の有意差（ $p < 0.01$ ）を示す．塩分45のサケ-B，および塩分42と45のベニ-Bは，海水移行24時間以内に全個体が死亡したため，値を得られなかった．図中の縦線は標準誤差を示す．

が高いほど顕著に現われると予想される．そこで，塩分別の海水移行試験にともなう死亡率を図3に示した．サケ-B は塩分33の海水中で既に死亡個体が認められたが，塩分39以上になると値が急増し，塩分45では全個体が死亡した．サケ-A は塩分45の海水中でのみ死亡が認められたが，死亡率は約65%に達した．ベニ-A は塩分42から死亡が認められ，塩分45では90%に達した．ベニ-B は塩分39から死亡が認められ，塩分42以上では全個体が死亡した．このことから，塩分45の海水は魚の海水適応能の程度に関わらず，その生存に致命的な障害を与えることが考えられる．また，ベニザケ1年魚のように大型の魚は，たとえ海水適応能が低くても塩分36未満の海水であれば，24時間程度は生き残る場合があることを今回の結果は示している．しかし，塩分39の海水では，海水適応能が低いサケ-B とベニ-B に死亡が認められたのに対して，海水適応能が高いサケ-A とベニ-A には死亡個体が現われなかった．このことから，塩分39の海水を用いた移行試験は，魚の海水適応能を移行24時間後の死亡率から判定する際に有効であるといえそうである．今後は実験例を増やすことで，この値の妥当性を検討する必要がある．

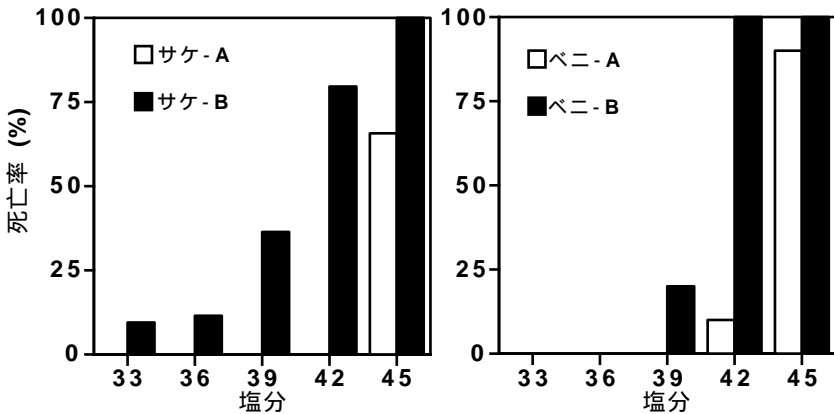


図3．サケ (左図) とベニザケ (右図) の海水移行24時間後における死亡率．

まとめ

サケとベニザケの海水適応能を調べる簡便な指標を得るために、塩分33, 36, 39, 42, 45の各条件下で海水移行試験を行い、海水移行前と移行24時間後の血中ナトリウム濃度、肥満度、および死亡率の違いを比較した。血中ナトリウム濃度は、最も低い塩分33の海水へ移行した場合でも、海水適応能の高い群と低い群を明瞭に区別することができた。肥満度は、何れの群も移行した海水の濃度勾配に沿って低下する傾向を示したが、その低下傾向に海水適応能の高い群と低い群の間に有意差が生じる塩分は、サケが39、ベニザケが36だった。死亡率には、塩分39を境として海水適応能の高い群と低い群の間に明瞭な違いが現われた。これらの結果から、海水適応能を判定する指標として、海水移行後の血中ナトリウム濃度が最も明瞭であるが、塩分の高い海水を用いることで、肥満度や死亡率に基づく判定も可能であることが分かった。特に死亡率を指標にする場合、海水移行試験に用いる塩分は39が目安になると思われる。

引用文献

- 伴 真俊・笠原 昇・山内皓平．1987．池産サクラマス1年魚の銀化にともなう生理的变化．水産研報，42: 27-35．
- 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.
- Clarke, W. C., and J. Blackburn. 1977. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 705: p11.
- Elliott, D. G., R. J. Pascho, and A. N. Palmisano. 1995. Brood stock segregation for the control of bacterial kidney disease can affect mortality of progeny chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater. Aquaculture, 132: 133-144.
- Folmar, L. C., W. W. Dickhoff, C. V. W. Mahnken, and F. W. Waknitz. 1982. Stunting and parr-reversion during smoltification of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture, 28: 91-104.
- Hasegawa, S., T. Hirano, T. Ogasawara, M. Iwata, T. Akiyama, and S. Arai. 1987. Osmoregulatory ability of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, reared in fresh water for prolonged periods. Fish Physiol. Biochem., 4: 101-110.
- 本間正男．1982．カラフトマス稚魚の海水適応に関する研究．水産研報，37: 23-32．
- 小笠原強．1987．ホルモンと浸透圧調節．回遊魚の生物学（森沢正昭・会田

勝美・平野哲也編), 学術出版センター, 東京, pp. 12-25.

- Saunders, R. L., and E. B. Henderson. 1978. Changes in gill ATPase activity and smolt status of Atlantic salmon (*Salmo salar*). J. Fish. Res. Board Can. 35: 1542-1546.
- Schreck, C. B., R. Patino, C. K. Pring, J. R. Winton, and J. E. Holway. 1985. Effects of rearing density on indices of smoltification and performance of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Aquaculture, 45: 345-358.
- Sheridan, M. A., C. D. Eilertson, and T. H. Kerstetter. 1998. Changes in plasma somatostatin associated with seawater adaptation and stunting of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Aquaculture, 168: 195-203.
- 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.