

海に生きる^{なかま}動物たち（全 12 回）

第 4 回 魚は水を飲む

浦野明央（北海道大学名誉教授）

今回の相手は、魚という言葉で私たちがすぐに思い浮かべるキンギョやメダカ、あるいは魚屋に並ぶアジ、サバ、カツオなどの仲間である。いわゆる「魚類」は、分類学的にはいくつかの「綱」¹⁾に分けられるが、今回の相手は分類群でいう硬骨魚類の中の条鰭綱・新鰭亜綱・真骨類（teleosts）ということになる（図 1）。なお、現存の真骨魚は、淡水に進出した原始的な硬骨魚類から分岐したもので、その一部が海に戻って多様化したと考えられている。

淡水中、海水中を問わず、真骨魚の体液の塩濃度は、他の多くの脊椎動物と同様、海水の約 1/4 に維持されている。おそらく、汽水もしくは淡水に進出した原始的な硬骨魚が、真骨魚と四肢動物の共通の祖先であったのであろう。

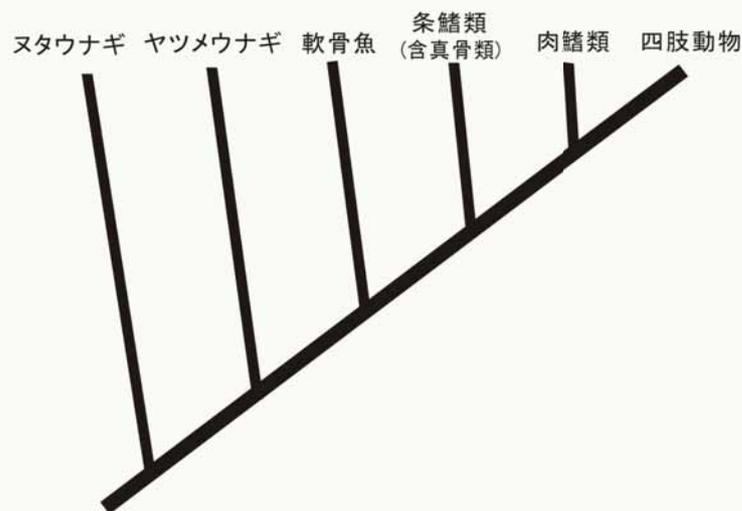


図 1 真骨類の系統進化学的な位置づけ。いわゆる魚類のそれぞれの分類群は「綱」に相当する。

淡水魚と海水魚²⁾

言うまでもないことであるが、わずかな例を除いて、魚（以下、真骨魚をこう記す）は水の中に住んでいる。しかし、水に溶けている酸素は 5～10 ml/L しかない。そのため、魚は、効率よく酸素を取り込むための呼吸器官として、表面積の大きい鰓をもつ。しかも、鰓の表面と中を走る毛細血管の間の細胞層がごく薄いので、周囲の水から血液中への酸素の取り込みが容易である。

このような鰓の構造が、淡水中であれ、海水中であれ、体液の恒常性を維持する上で深刻な問題を生ずることになる。ごく薄い細胞層が水に接しているため、水やそれに溶けている塩類の体外から血液中への、あるいは血液中から体外への移動が容易なのである。しかも体外の淡水あるいは海水、すなわち環境水と接している面積が広いので、移動量も多い。

魚には、海水に適応できない淡水魚や淡水には住めない海水魚など、狭い塩濃度の範囲でしか生きていけない狭塩性魚もいれば、淡水と海水の両方で生きていける広塩性魚もある。いずれにしても、ごく低濃度の塩しか含まれていない淡水中では、体内に水が侵入し、塩が体外に流出する。一方、海水中では、体外に水が流出し、体内に塩が侵入する。では、こういった生存に関わる深刻な問題に、魚はどう対処しているのだろうか。

海水魚は海水を飲んで

魚は、体液浸透圧を調節するのに、鰓、腎臓および腸を用いている。上に述べた問題に対処するために、淡水魚は、腎臓で塩類を回収しつつ多量の薄い尿を作って体内に侵入した過剰な水を排出する。一方、海水魚は、水を補給するために、海水を飲んで腸から吸収し、余分な塩分を鰓から排出して体液の浸透圧を一定の範囲に保つ、とされている（図2）。魚の腎臓は、体液より塩濃度の高い高張尿が作れないので、塩分を排出するという鰓の働きは、海水中で生

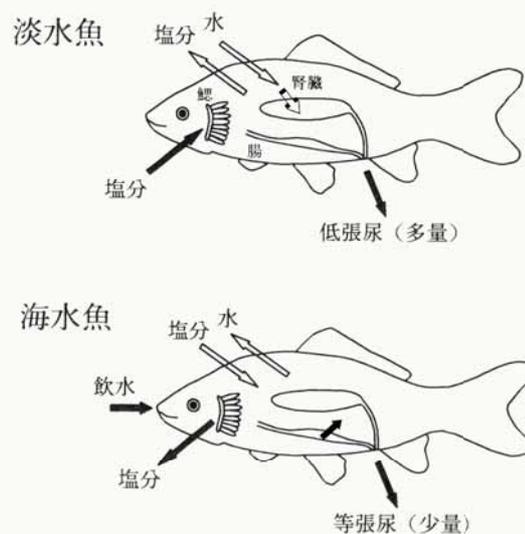


図2 海水魚の体液浸透圧調節機構。淡水魚のそれと比較して示してある。

きていくためにたいへん重要である。

このような魚の体液浸透圧の調節に関する定説、とくに「海水魚が海水を飲んでいる」という仮説が、ウナギとカジカを用いて実験的に証明されたのは今から 80 年ほど前のことであった (Smith, 1930)。その後、この仮説は多くの海水魚でも確認されたが、どれだけの海水を飲んでいるのかは、実験条件の違いもあり、必ずしも明確になっていない。しかし、淡水魚と海水魚の水を飲む量には明らかに大きな差がある (表 1)。淡水適応している状態と海水適応し

表 1 淡水魚および海水魚の飲水量 (Perrott 他, 1992より抜粋)

魚 種	体液浸透圧 (mOsm/kg)	飲水量 (ml/kg/h)
淡水魚		
コイ	239.5	0.03
ナマズ	257.7	0.21
ウナギ	300.0	0.09
ヌマガレイ	288.7	0.04
ニジマス	307.7	0.07
海水魚		
ウナギ	321.5	1.00
ヌマガレイ	312.1	1.15
ニジマス	349.4	1.42
ツノガレイ	334.5	2.52
マコガレイ	367.7	3.60
カサゴ	433.7	7.76

数値は平均値だけ示した (原著には標準誤差も示されている)。

ている状態のウナギ、ヌマガレイおよびニジマスでも、飲水量には 10 ~ 20 倍の違いがある。ヒトの飲水量は 1 日に 2 L、すなわち 1.4 ml/kg/h とされているので、海水に適応している魚は、ヒトが飲む水と同じかそれ以上の量の海水を飲んでいることになる。

「海水魚が海水を飲む」という行動は、川と海の間を回遊する大西洋サケの稚魚でも知られている (Usher 他, 1988)。淡水中で孵化したばかりのサケの稚魚は、海水適応能をもたないが、成長とともに体色が銀色になり、海水に適応できるようになる。このような段階の稚魚を海水に移すと、6 時間後には飲水量が 6 倍ほどに増加していたという。

なお、飲み込んだ海水中の高濃度の塩類は、食道から腸に行く間に消化管で吸収され半分ほどになるので、腸による水の吸収が容易になるとされている。

鰓の働き

体液の恒常性の維持には、飲水または排尿による体内の水分量の調節とあわせて、塩類の摂取あるいは排出量の調節が重要である。魚の腎臓は、体液と同じ塩濃度の尿、すなわち等張尿を作るのが精一杯なので、海水魚が飲んだ海水中の余分な塩類の排出には、鰓の働きがきわめて重要である。この鰓の働きを担っているのが海水適応型の塩類細胞で、塩類細胞の基部は体内側に、頂端は環境水と接する外部に面している。それぞれの側には、何種類かの細胞膜に埋まったイオン輸送タンパク質が豊富に分布し、体液中の余分な塩類の排出に関わる（塩類はイオンとして溶けている）。イオンは、濃度勾配に逆らい、エネルギーを消費して輸送される³⁾ので、塩類細胞にはミトコンドリアが多く、それが塩類細胞の特徴にもなっている。

淡水魚は、腸から食物中の塩を吸収するのとあわせて、鰓からも塩類を取り込む。この時に働くのは、海水型の塩類細胞とは分布が異なる淡水型の塩類細胞で、イオンは淡水から体液に向けて輸送される。しかし、体液中の塩類は淡水より高濃度なので、この輸送にもエネルギーが必要である。

海産魚の卵と稚魚

海中で生まれ成長する海産魚の場合、鰓、腎臓、腸といった浸透圧調節器官が未発達な卵や稚魚にも海水適応能がある。この海水適応には、卵黄を包んでいる卵黄囊の上皮や胚の表皮に分布する塩類細胞が大きな役割を果たしているという（金子豊二, 2002）。

例えば、広塩性魚のティラピアは淡水中でも海水中でも産卵し、卵はいずれの環境でも正常に発生するが、胚期および仔魚期の卵黄囊上皮には多くの塩類細胞が分布するという。しかも海水中では卵黄囊上皮の塩類細胞が2～3倍に肥大するので、これらの細胞が海水適応に重要であると考えられる。ウミメダカ、ヒラメおよびウナギでも同様の塩類細胞が認められるので、鰓が未発達な発育初期の海産魚では、卵黄囊や体の表面に分布する塩類細胞が体液の恒常性維持に関わっていることは間違いなさだろう。

海水を飲み、塩類細胞を用いて余分な塩分を排出するという海水魚の体液浸透圧調節機構は、真骨魚の系統で独自に発達したものであろうか。それにも関

わらず体液浸透圧が、ほぼすべての脊椎動物で同じなのはなぜだろう。

註

- 1) 脊椎動物の分類では、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類が「綱」とされている。
- 2) 淡水魚と海水魚 本稿では淡水産、海産という意味ではなく、淡水に適応している魚なのか、海水に適応している魚なのか、を意識してこれらの言葉を使った。
- 3) 隣接した空間の間に化学物質の濃度差がある時、それを濃度勾配という。この時、濃度の高い方がエネルギーレベルが高いので、化学物質は濃度勾配にしたがい移動する。濃度勾配に逆らって移動させるためには、エネルギーを供給する必要がある。

参考文献

レーヴン他著 R/J Biology 翻訳委員会監訳：レーヴン／ジョンソン生物学 [下]

培風館 (2007)

金子豊二：第 11 章 浸透圧調節・回遊 魚類生理学の基礎 (会田勝美編)、恒星社厚生閣 (2002)

Perrott, M.N., Grierson, C.E., Hazon, N., Balment, R.J.: Drinking behavior in sea water and fresh water teleosts, the role of the renin-angiotensin system. *Fish Physiology and Biochemistry* 10: 161-168 (1992)

Smith, H.W.: The absorption and excretion of water and salts by marine teleosts. *American Journal of Physiology* 93: 480-505 (1930)

Usher, M.L., Talbot, C., Eddy, F.B.: Drinking in Atlantic salmon smolts transferred to seawater and the relationship between drinking and feeding. *Aquaculture* 73: 237-246 (1988)

本稿へのコメント・質問は aurano@sci.hokudai.ac.jp でお待ちしております。