

# メダカの耐塩性 ～好適環境水の不思議に迫る～

研究者 山田 直季 木下 萌 澤口 卓也  
花戸 駿 水野 裕太  
指導教諭 高山 直之

## I 研究の動機

昨年冬、「素敵な宇宙船地球号」という番組で「好適環境水」について放映していた。「好適環境水」とは淡水魚、海水魚がともに暮らせるという不思議な水である。私たちはこの番組の内容にとっても興味を持ったが、「好適環境水」を開発された岡山理科大学の山本俊政先生の関連HPには、その成分などについて「ナトリウム・カリウム+α」としか記載されておらず、詳しい組成は明らかにされていなかった。そこで「好適環境水」とはどのようなものかを知るため、私たちは魚類の体液濃度調節のしくみとメダカの耐塩性を調べる実験を行った。

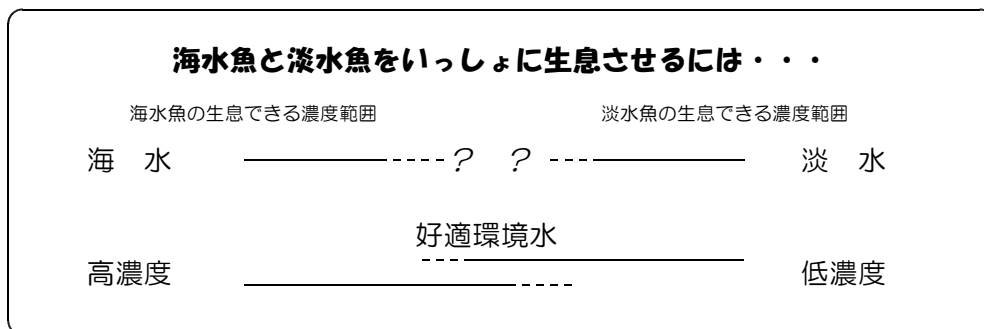


## II 研究の概要

硬骨魚類には、外液濃度が変化しても体液濃度を一定に保つしくみがある。海水魚は、海水という体液より濃い環境の中で体液濃度を一定に保つため、えらから体内の余分な塩類を排出し、腎臓は必要な水分が失われないよう尿の濃度を調節する。その一方、淡水魚はえらで積極的に塩類を吸収し、体内の余分な水分は尿として体外へ排出される。サケやマスのように海へ下る魚は、淡水から海水、海水から淡水へ行くときに、えら及び腎臓のはたらきが切り替わる。

海水魚と淡水魚をいっしょに生息させるには、まず、海水魚・淡水魚のそれぞれが生息できる、即ち、体液濃度を一定に調節できる外液の塩分濃度の範囲を調べなければならない。また、塩分の組成を変えることによって、それぞれの耐塩性が広がれば、それは「好適環境水」に迫ることになる。

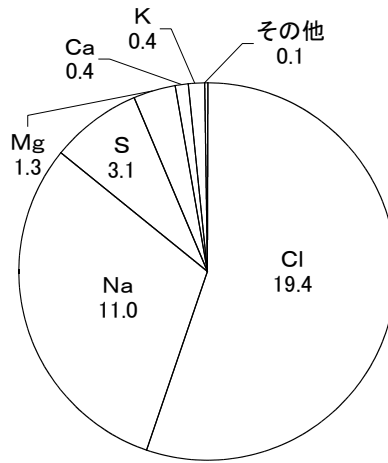
私たちは安価で入手できるメダカを用い、塩化ナトリウム、および、いろいろな成分が含まれている市販の「海水のもと」をそれぞれの水槽に徐々に加えていくことにより、その耐塩性の違いを調べながら、淡水魚から「好適環境水」にアプローチすることを試みた。



### Ⅲ 研究を始めるにあたって

#### 1. 海水の濃度と成分

海水の濃度はおよそ3.5%である。熱帯など降水量の多いところや大きな河川の河口近くなどでは濃度が低く、中緯度乾燥帯や内海など、蒸発量の大きいところでは濃度が高くなる傾向がある。ところが左図に示すとおり、海水の成分組成は、濃度の高低によらずほぼ一定である。



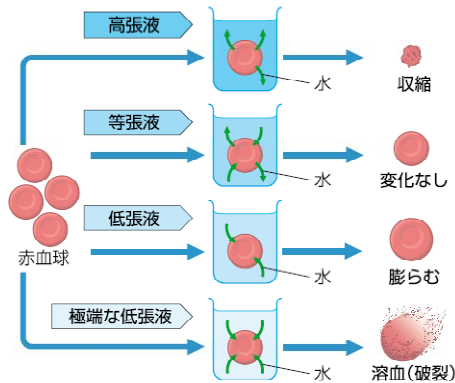
その他の成分  
 C・Br・B・Sr・Li  
 Rb・Sb・Cs・Mo・U  
 As・Sc・Al・Zr・Ti  
 V・Zn・I・Se・Cr  
 Cu・Cd・Mn・・・

単位は‰(パーミル)

#### 2. 細胞膜のはたらき

##### (1) 半透性と浸透現象(受動輸送)

生物の細胞をおおっている細胞膜は半透性という性質をもつ。このため、細胞内外で濃度が異なるとき、水分子は細胞膜を透過して、濃度の低い方から高い方へ移動する。この現象を浸透という。動物細胞を細胞内より濃度の高い溶液(高張液)、細胞と等しい濃度の溶液(等張液)、細胞より濃度の低い溶液(低張液)に浸したとき、下図のような現象が見られる。



##### 【高張液】

細胞内から水が出てしまい、細胞は収縮してしまう。

##### 【等張液】

見かけ上、水の出入りがなく細胞は変化しない。ヒトの体液濃度は0.9%であり、これと等張な食塩水を生理食塩水という。

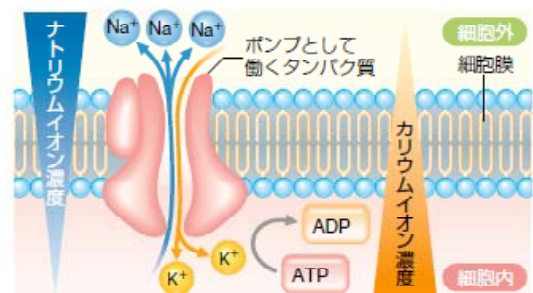
##### 【低張液】

細胞内に水が入り細胞は膨らむ。極端な低張液の場合、細胞は破裂してしまう。

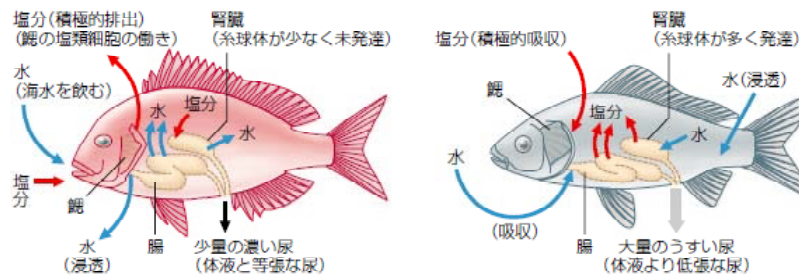
以上の現象は受動輸送であり、エネルギーを必要としない。

##### (2) 選択透過性とナトリウムポンプ(能動輸送)

細胞膜はイオン濃度勾配に逆らってナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )を細胞外に放出し、カリウムイオン( $\text{K}^+$ )を細胞内に取り込んでいる。このはたらきをナトリウムポンプ(能動輸送)といい、エネルギーを消費する。



### 3. 硬骨魚類の体液濃度(浸透圧)調節のしくみ



#### それぞれの濃度

海水	>	海水魚	>	淡水魚	>	淡水
3.5		1.0		0.9		0 %

#### 【海水魚】

海水魚の体液は海水より低張で、体内の水分は体外へ奪われてしまう。その水分を補うために海水を飲む。ナトリウム、塩素などのイオンは腸から吸収されるが、余分なものはこれらの塩類細胞から排出される。

塩類細胞は大きく、塩分を排出する能力が非常に高い。また、Na-K ATPaseという酵素の活性が高く、エネルギーを生み出すためのミトコンドリアも発達している。

#### 【淡水魚】

淡水魚の体液は淡水より高張なので、浸透により体表から水が入り込んでくる。このため積極的に水を飲み込むことはない。えらは積極的に塩分を吸収し、腎臓は薄い尿をたくさん排出して体内の余分な水を体の外に出すようにしている。

塩類細胞は海水魚のものに対して小型だが、塩分を吸収する能力が高い。

#### 好適環境水とは・・・

岡山理科大学専門学校アクアリウム学科の山本俊政学科長が開発した、淡水にわずかなカリウムとナトリウム、それに+αすることで、海水魚も淡水魚も生育できる水の名称。水と体内の塩分濃度の違いから、淡水魚は体内に過剰に水分を取り込まないように、海水魚は逆に水分が出すぎないように浸透圧を調節している。山本学科長らは海水に含まれる約60種の元素の中から、魚の浸透圧調節に深くかかわるカリウム、ナトリウムなど数種類の成分と濃度を特定し、それにわずかな濃度の電解質を淡水に加えることで、「好適環境水」を生み出した。塩分濃度は魚種によって変えるが、海水の約3.5%に比べ4分の1から10分の1程度で、浸透圧(体液濃度)調節のために使っていたエネルギーの負担が軽減されることから魚の成長は海水より早く、また淡水や海水の雑菌も死滅することから病気にかかりにくく、病気の魚も元気になることまで判ってきている。排泄物を畑の肥料にすることまで考えられている。

マルチメディア・インターネット図鑑 <http://www.jiten.com/dicmi/docs/k10/27364s.htm>

## IV 予備実験

### 1. メダカを飼育する水について

メダカを飼育するのに、まず、学校の池の水を試してみた。しかし、池の水は酸欠状態になっていて、しばらくするとメダカは死んでしまった。そこで、私たちは実験を行うのに、汲み置きした水道水を用いることにした。

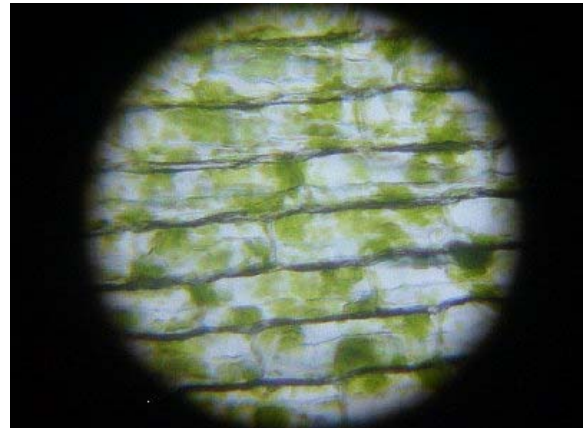
### 2. 酸素の供給について

1. により、メダカを安定的に飼育するには、十分な酸素を供給することが不可欠であることがわかった。私たちはまず、水草の光合成によって酸素を供給することを考え、オオカナダモを0.6、1.2、2.4%の食塩水に一週間入れ、その耐塩性を調べた。オオカナダモは食塩水の濃度が増すにつれて色が抜け、組織がもろくなっていった。2.4%食塩水中では組織は完全に破壊され、顕微鏡では葉緑体から色素がまったく抜けてるようすが観察された。そのため、オオカナダモによる酸素の供給は不可能であると判断し、私たちはエアポンプを用いることにした。



淡水中

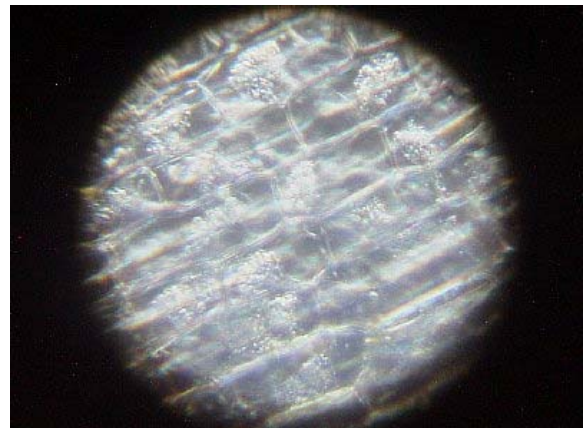
左：全容



右：細胞



2.4%食塩水に1週間入れた場合



左：全容

右：細胞

## V 実験の方法

### 1. 準備

水槽 30ℓのもの 7ヶ エアポンプ 2台 ヒメダカ 35～50匹  
 メスシリンダー(1000ml) 精密ばかり メダカのエサ(市販)  
 塩化ナトリウム・塩化カリウム 「海水のもと」(SEALIFE：マリン・テック株)  
 気温・水温データロガー(エコログ：中村理科)



「海水のもと」(SEALIFE)の主な成分(%)

Cl	(塩素)	16.89	K	(カリウム)	0.35
Na	(ナトリウム)	9.21	Ca	(カルシウム)	0.34
SO <sub>4</sub>	(硫黄)	2.39	Sr	(ストロンチウム)	0.01
Mg	(マグネシウム)	1.20	Br	(臭素)	0.06

※ 1ℓの水に3.5gを溶かしたとき

### 2. 操作

水槽を7ヶ用意し、それぞれに汲み置きしておいた水道水をメスシリンダーで3000ml計りとり、5匹ずつメダカを放してしばらく飼育する。水槽をA～C群に分け、次の操作を行う。

A群：塩化ナトリウムをそれぞれ日に3g、2g、1gずつ投与する。

B群：「海水のもと」をそれぞれ日に3g、2g、1gずつ投与する。

C群：対照区

その他、それぞれ市販のエサを与えながら毎日メダカの様子を観察し、記録する。



### 3. 非生存率

浮かび上がってきて、生存が厳しくなった個体を引き上げ、淡水に戻す。  
この時点で非生存率に20ポイント(1/5×100)を加算する。

### 4. 濃度の計算

非生存率が50%を越えた時点で塩化ナトリウム、「海水のもと」の投与を止め、メスシリンダーで溶液の体積を計量する。水に塩化ナトリウム、「海水のもと」を溶かしても体積はほとんど変わらないので、計量した値はそのまま水の質量と考えることができる。この時点での塩化ナトリウム、「海水のもと」の濃度は、それぞれ

$$\frac{\text{投与量(g)}}{\text{投与量(g)} + \text{水の質量(g)}} \times 100 (\%)$$

で計算される。また、終了時の体積から日々の蒸発量を計算し、もともとの水の質量3000(g)から減じることによって水の質量(g)を求め、それまでの投与量(g)から日々の濃度を求め、推移グラフを描く。



## VI 結果

実験期間は11月5日から12月29日までの54日間である。実験開始時の水温は平均18℃、日格差3～4℃の範囲で推移していた。また、実験終了時の水温は平均14℃、日格差は3～4℃であり、期間を通じ、水温の変化は比較的小さく、安定していた。

### A群：塩化ナトリウムのみ

#### 【3g/日】

実験開始から21日目に最初の1匹が浮かび上がってきた。このときの濃度を計算すると、2.23%であった。また、数日すると残りのメダカも浮かび上がり、水面を漂うようになった。



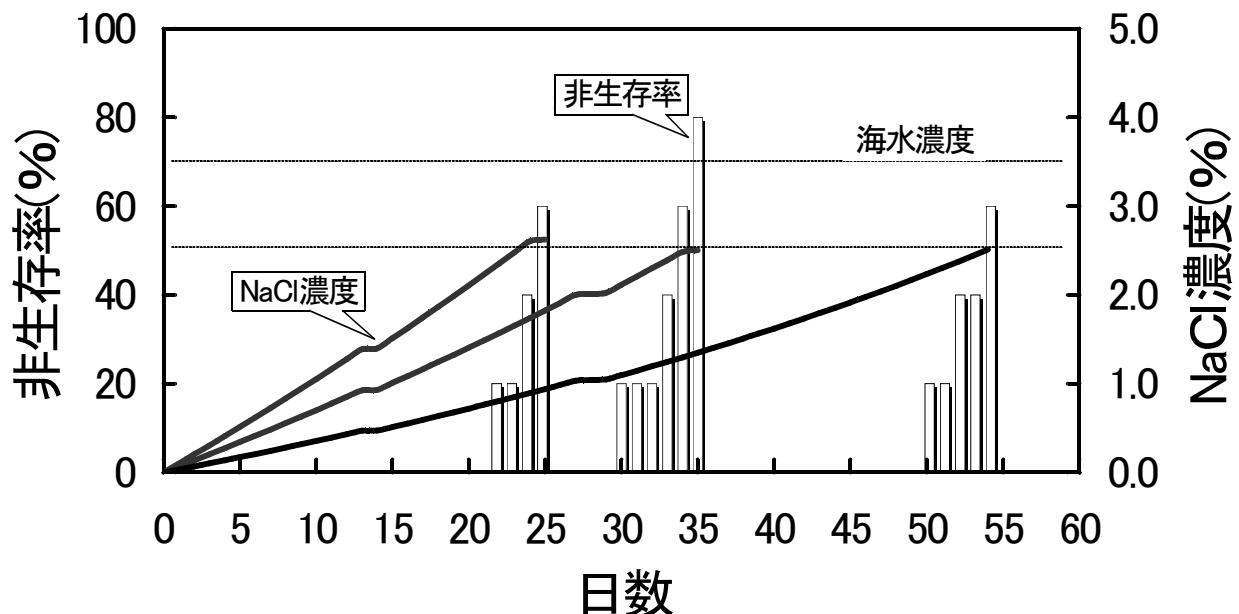
26日目に水面に浮いて横たわってしまった3匹目を引き上げた。この時点で非生存率が50%を超えたので、実験を終了した。このときの水の体積は2560ml、それまでの塩化ナトリウム投与量が72gであったので、濃度を計算すると2.62%になった。また、実験終了時に引き上げたメダカを淡水に戻し、2・3日様子を見ると徐々に回復してきた。

#### 【2g/日】

実験開始から35日目に3匹目を引き上げ、実験を終了した。このときの水の体積が2415ml、それまでの塩化ナトリウム投与量が64gだったので、濃度を計算すると2.50%になった。

#### 【1g/日】

実験開始から54日目に3匹目を引き上げ、実験を終了した。このときの水の体積が1980ml、それまでの塩化ナトリウム投与量が51gであったので、濃度を計算すると2.56%になった。



### B群：海水のもと

実験開始から33日目に3g/日のものが海水の濃度3.5%を超えたが、5匹とも問題なく生存した。

### C群：対照区

全て生存した。

## VII 追実験

細胞の浸透圧(体液濃度)調節を行うナトリウムポンプには、ナトリウムイオンの他にカリウムイオンが大きく関わっているため、私たちは塩化ナトリウムに塩化カリウムを加えたものの投与実験も行ってみました。

投与する塩化ナトリウムと塩化カリウムの割合は海水および「海水のもと」の組成と同じく 11 : 0.4 に調整し、塩化ナトリウムのみ(D群)、塩化ナトリウム+塩化カリウム(E群)、対照区として「海水のもと」(F群)をそれぞれ日に10gずつ投与した。

1月5日から実験を始め、7日後の1月12日にD群で3匹の死亡を確認した。このときの濃度は2.31%であった。また、E群は濃度2.35%で1匹死亡、1匹を引き上げて淡水に戻した。残ったD群のメダカは弱っていたが、E群は比較的元気だった。F群は問題なく生存していた。

## VIII 考察

30ℓの水槽に塩化ナトリウムを日に3g、2g、1gずつ加えていったとき、メダカは体液濃度の2倍を超える濃度に耐えたが、いずれの場合も2.5%を超えると非生存率は50%を超えてしまった。これに対し「海水のもと」を加えていった場合、メダカは海水の濃度3.5%を超えても生存することができた。この結果、**塩化ナトリウム以外で「海水のもと」に含まれている成分がメダカの耐塩性を広げた**ことがわかる。また、メダカは広塩性魚であるが、いきなり3.5%および2.5%の「海水のもと」に放した場合、数日で死亡してしまっただけでなく、このことから、メダカの耐塩性にはある程度の「慣らし」が必要であるが、**徐々に慣らしていても耐塩性が広がるというわけではない。**

追実験で塩化カリウムを加えていった場合、メダカは塩化ナトリウムだけのものと比べて同じ濃度での非生存率が若干低かった。これによりメダカの耐塩性が広がったと考えられるので、**カリウムはメダカの耐塩性に寄与している**といえる。

以上のことから、**好適環境水の「+α」とは、魚類の塩類細胞におけるナトリウムポンプをより効率的に働かせる成分であり、その結果、耐塩性を広げるもの、と私たちは考える。**したがって、「好適環境水で魚を飼育すると、ナトリウムポンプの負担が軽減され、余分なエネルギーを使わない分、魚の成長が早まり大きくなる」との記述は十分納得できる。

## IX 今後の課題

今回実験に用いたメダカは広塩性魚であるが、金魚などのほかの淡水魚を使って実験してみたい。本来好適環境水は、将来起こりうる食糧危機に備え、内陸で海水魚の養殖を可能にすることを目的に開発されたものである。私たちは淡水魚のメダカを用いて好適環境水へのアプローチを試みたが、次は海水魚を用いた実験を行ってみたい。また、「海水のもと」にはナトリウムポンプの効率をあげる物質が含まれている、と私たちは考えたが、「海水のもと」=「好適環境水」とはいえないのは、同時に「海水のもと」にはナトリウムポンプを阻害する物質も含まれていると思われるからである。促進させる物質、阻害する物質を突き止め、pHなどの他の条件も探り、私たちなりの「好適環境水」を開発してみたい。



## X 参考文献

素敵な宇宙船地球号 第461回 (’07.1.21放送：テレビ朝日)

「台所から地球が見える タイ、フグ、ヒラメは山の幸!?!」～不思議な水がつくる未来～

<http://www.tv-asahi.co.jp/earth/>

岡山理科大専門学校アクアリウム学科

<http://www.risen.ac.jp/aquarium/index.html>

マルチメディア・インターネット図鑑

<http://www.jiten.com/dicmi/docs/k10/27364s.htm>

生きもの地球紀行 北海道の自然①

渡島半島の四季「海へ下る清流の魚たち」

(’98.11.9放送：NHK)

サイエンスビュー生物総合資料(増補新訂版)

実教出版