

海に生きる動物たち（全 12 回）

第 3 回 水を飲まないクジラ

浦野明央（北海道大学名誉教授）

ほとんどの脊椎動物は、海に生きていようが陸に生きていようが、体液の浸透圧をほぼ一定の範囲¹⁾に保ち、体液のホメオスタシスを維持している。しかし、海に生きる動物たちのまわりを囲んでいる海水は、3.5%（約 600 mM）の塩化ナトリウムの溶液で、その浸透圧は 1000 mOsm/kg 以上にもなる。これまで見てきた動物たちのうち、海鳥やウミガメは、水の補給を主に餌や代謝水に頼り、体内に取り込まれた余分な塩分を塩類腺から排出していた。一方、カニクイガエルなどの両生類は、尿素を使って体液の浸透圧をまわりの海水よりいくらか高め、水を皮膚から吸収していた。同じ脊椎動物でも、ホメオスタシスを維持するのに、2つの異なった方法があるらしい。

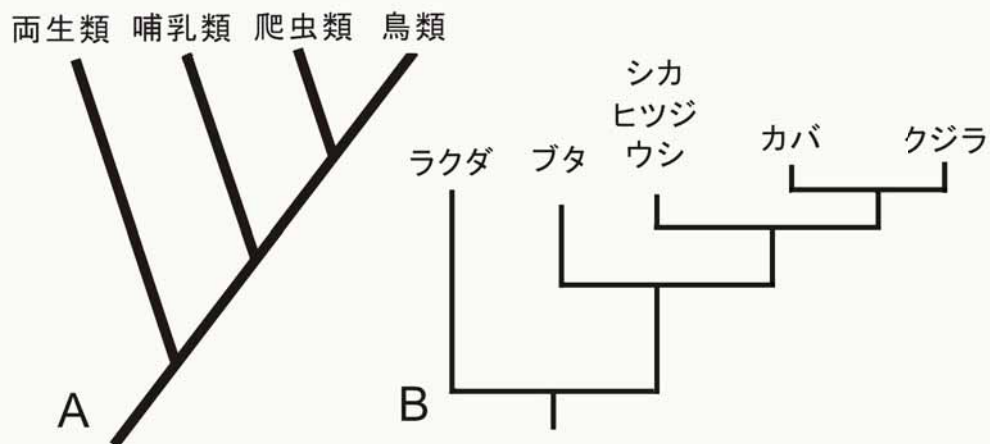


図 1 哺乳類の系統進化的な位置づけ：A 脊椎動物の中での哺乳類と他の動物綱との関係、および B 鯨偶蹄目の中のクジラの位置

それでは海に生きるクジラなどの海産哺乳類はどのような方法をとっているのだろうか？ 脊椎動物の進化（図 1A）を考えると、爬虫類・鳥類型ではなく、尿素を利用する両生類型だと思われるのだが、本当にそうなのだろうか？

海に生きる哺乳類

海に生きる哺乳類には、食肉目ひれ足類（アザラシ、アシカ、セイウチ）、食肉目裂脚類（ラッコ）、鯨偶蹄類（イルカ、クジラ）および海牛類（カイギュウ、ジュゴン）の4つのグループがある。これらの海に生きる動物だけでな

表1 哺乳類の尿の浸透圧 (mOsm/liter) (Ortiz 2001より抜粋)

動物種	尿の浸透圧	動物種	尿の浸透圧
ヒト	1400	イヌ	1800
ネコ	3100	カンガルーラット	5500
カワウソ	1480	ラッコ	2130
バンドウイルカ	1815	ウェッデルアザラシ	1760

く、哺乳類は、爬虫類や鳥類よりずっと浸透圧の高い尿、すなわち高張尿を作ることができる腎臓を持っている。そのため、哺乳類は高濃度の塩を含む尿を排出することで、余分な塩分を体外に排出し、ホメオスタシスを維持している。

それなら、海産哺乳類は、陸生の哺乳類よりも高張の尿を作れるか、ということも必ずしもそうではない。表1に示したように、ネコや砂漠性のカンガルーラットの方がずっと高張な尿を作っている。しかし、ヒトの尿よりは高張な尿が作れるので、海水を飲んでも、少量のかなり高張な尿を作って余分な塩分を捨て、水を入手することが可能である。例えば、ヒトの腎臓では、1000 ml の海水中の塩分を排出するのに、海水中的の水だけでなく体内からの水 350 ml も必要になるのに対して、クジラは 650 ml の水で余分な塩分を排出し、350 ml の水を体内に残すことができるという。

海産哺乳類は海水を飲んでいるのか？

上に述べたように、海に生きている哺乳類は、濃縮効率のよい腎臓を持っているので、海水を飲んで真水を入手することができるのである。飼育下の動物を用いた実験ではあるが、バンドウイルカは1日当たりに摂取する水の約70%を、ガラパゴスオットセイは約80%を、またラッコは約25%を海水に依存していたという。このような報告の一方で、45日間も魚だけを餌として飼育されていたカリフォルニアアシカがまったく正常であったという報告もある。

ひれ足類や小型のクジラ類が海水を飲んでいるのか、という問いについてのこのような相反する報告は、動物の状態や実験方法の違いが原因であろうと言われている。イルカなどの小型クジラ類は体が大きく、実験に用いるのが容易ではないことも大きな制約になっている。このような矛盾はあるが、多くの海産哺乳類は、水を餌および代謝水から入手しているとされている。

海産哺乳類が餌としているのは、主に魚、イカ、オキアミなどである。海鳥の話のところで述べたように、海産魚の体液の塩濃度は、哺乳類の体液とそれほどの違いはない。一方、オキアミの体液の塩濃度は、純海水の半分の225 mMほどと報告されている。これらの事からみても、海に生きる哺乳類は、餌から水を得る方が、海水を飲んで真水を取り込むより、負荷が少ないと言えよう。

外洋性の大型クジラ類であるナガスクジラとイワシクジラについて、代謝産物を指標に摂食と飲水についての推算がなされている。それによれば、ナガスクジラは1日当たり1300 Lのオキアミを摂る一方で974 Lの尿を作り、イワシクジラは835 Lのオキアミを摂り627 Lの尿を生成している。また海水を飲み込んでいるとしても、沖アミの量の1~2%ほどにしかないという。

クジラはウシやラクダと近縁

最近の哺乳類の系統分類は、クジラがカバとごく近縁であるとしている。またウシなどの反芻類、さらにラクダとも近縁であるとして、グループ全体を鯨偶蹄目と呼んでいる(図1B)。前回、海に生きる両生類と砂漠に生きる両生類が、尿素を用いて体液浸透圧を高めるといった戦略を共有していると述べた。では、クジラとラクダの体液浸透圧の調節にも共通点はあるのだろうか。それを明らかにすることによって、クジラがどのように海洋環境に適応しているのかをよりよく理解できるのではないだろうか。

このような考えで研究を進めたのは、私の北大時代の研究室にいた尾留川直子博士だった。研究の第一歩として、クジラの血液および尿の組成と浸透圧を知るために、日本鯨類研究所の調査捕鯨に参加し、ヒゲクジラとハクジラの試料が集められた。ヒゲクジラは主にプランクトンを餌とし、ハクジラは魚を餌としている。海産のプランクトンは体液が海水に近いが、魚の体液はクジラとほぼ同じなので、それが体液の組成に反映している可能性があるからである。

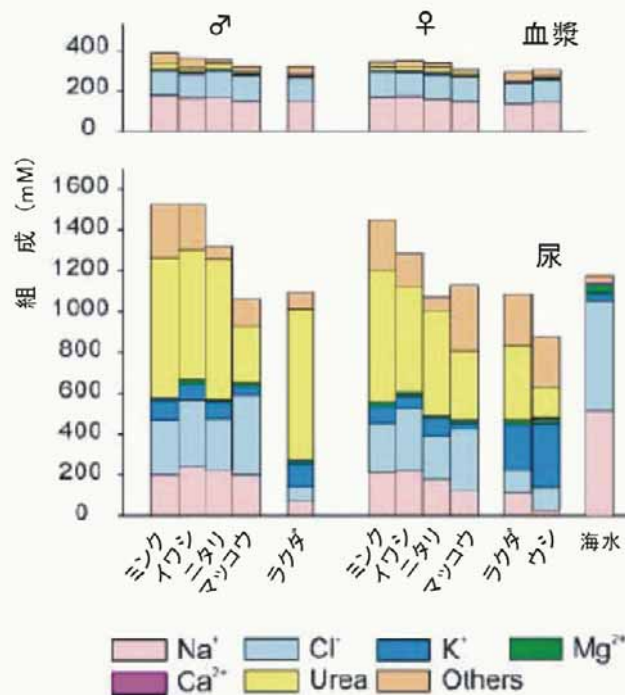


図2 鯨偶蹄目の動物の血漿中および尿中の主要なイオンと尿素の濃度。ミンク、イワシおよびニタリクジラはヒゲクジラに、マッコウクジラはハクジラに属する。ウシとあるのは雌の乳牛。

クジラ、ラクダおよびウシ（乳牛）の血液（血漿）と尿の組成の解析結果を図2に棒グラフとして示す。それぞれの棒全体の高さは浸透圧を表す。まず血液について見てみよう。動物種や雌雄によらず、浸透圧とナトリウムイオン（Na⁺）の濃度は同じような値になっている。海にいるクジラの体液が、陸生のウシやラクダと同じような組成および浸透圧をもっているのである。一方、尿の浸透圧は、雄でも雌でも、ヒゲクジラが高い値を示している。尿中の尿素濃度は、クジラとラクダの方がウシより高い。これらの結果は、クジラとラクダで、尿素が高張な尿を作ることに関わっていることを反映したものである。

尿素の役割

前の回に紹介したシーラカンスやカニクイガエルは、尿素を用いて血液（正確には血漿）の浸透圧を海水より高め、真水を体内に取り込んでいた。しかし、今回のクジラやラクダの場合、血中ではなく、尿中の尿素の濃度が高かった。

クジラやラクダの腎臓には高濃度に尿素が蓄積されており、それを利用して排出されつつある水を取り戻す、すなわち水を再吸収しているためである。両生類が体全体でやっていることを、哺乳類は腎臓一つでやっていることになる。しかし、進化して高機能になった哺乳類の腎臓でも、体内に水を保持するためには、尿素を用いて高浸透圧環境を作る必要があるため、哺乳類は両生類型のホメオスタシス維持機構を残していると言ってもよいのだろう。

1) 哺乳類の場合、その体液は0.9%の食塩水すなわち約150 mMの塩化ナトリウム溶液と言ってもよい。塩化ナトリウムが水に溶けると、等量のナトリウムイオンと塩素イオンに分かれるので、溶液中の化学物質の濃度は300 mMに相当する。浸透圧は水に溶けている個々の化学物質の濃度の総和で決まる値なので、哺乳類の体液の浸透圧は300 mOsm/kgということになる。

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)

クヌート・シュミット＝ニールセン著 沼田英治・中嶋康裕監訳 動物生理学—環境への適応
東京大学出版会 (原著 1997)

竹井祥郎編 海洋生物の機能—生命は海にどう適応しているか 東海大学出版会 (2005)

Ortiz, R.M.: Osmoregulation in Marine Mammals. *Journal of Experimental Biology* 204: 1831-1844 (2001)

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