

海に生きる^{なかま}動物たち (全 12 回)

第 7 回 浸透圧に順応する無脊椎動物たち

浦野明央 (北海道大学名誉教授)

前回、最も原始的な脊椎動物であるヌタウナギの体液の浸透圧と塩分組成は海水によく似ており、しかもそれが環境水である海水の浸透圧と塩濃度の変動に一致して変化すると書いた。浸透圧の変化に対するこのような反応パターンは、**浸透順応型**とよばれるが、ヌタウナギ以外のほとんどの脊椎動物は、環境水の浸透圧にかかわらず体液の浸透圧を一定の範囲に保つ**浸透調節型**である。しかし、脊椎動物は、海から淡水へ、さらに淡水から陸へと進出した。したがって、海に生きる動物が海水にどのように適応しているのか、その本質を理解するためには、**海産無脊椎動物の適応戦略**を知っておく必要があるだろう。

海に生きる無脊椎動物の多くは浸透順応型

海には、すべての門にまたがる多様な無脊椎動物が生息しているが、これまでに調べられている例では、表 1 に示すように、体液浸透圧は環境の海水とほぼ同じ、すなわち海水に等張であり、体液の組成も海水によく似ている¹⁾という (Kamemoto, 1973; 内田, 1981; シュミット=ニールセン, 1997; 阿部, 2005)。しかも、海は、沿岸の汽水域や潮間帯を除いては、塩の組成やそれぞれの成分の濃度にしても pH にしても、変動の少ない安定した環境を動物たちに与えている。そのためか、海産の無脊椎動物の多くは、80% 海水より薄い塩濃度では生きていけない狭塩性²⁾の順応型である。

クラゲやイソギンチャクなどの刺胞類、ホシムシ類、イカやタコなどの頭足類、ウニやヒトデなどの棘皮類、ホヤ類のほとんど、およびゴカイなどの多毛類、軟体動物、甲殻類の多くがこの順応型であるという。順応型の動物を、通常の海水より低張あるいは高張の環境に移すと、濃度勾配にしたがい、水および電解質が、体表を通して体の内あるいは外に速やかに移動する。

動物を希釈した海水に移した時は、水が体表から体内に移動し、6～12 時間後には、体液の浸透圧が希釈海水と等張になる。また、水の流入にともなって体が膨れ、体重も増加するが、体液量を調節する機構が働き、余分な水と電解質は体外に排出される。ホシムシなどでは、この排出に腎管が関わっている

と考えられている。希釈海水に移してから1日も経つと、体液浸透圧は環境水と等張のままで、体積と体重がもとに戻る。

前のページで、海産無脊椎動物の多くは狭塩性の順応型であると述べたが、汽水域に生息する順応型のものには、かなりの希釈海水に耐える広塩性の動物がいる。例えば、タマシキゴカイは30%海水まで、ムラサキイガイは15%海水まで、またカンザシゴカイは10%海水から150%海水までの広範囲に耐えるという。なお、カキやムラサキイガイなどは、干潮時あるいは降雨によって海水が薄められた時には殻を閉じ、殻の内部の海水の濃度の変化を防いでいる。潮間帯でよく見るイソギンチャクも広塩性の順応型で、干潮時には小さく収縮するとともに体を粘液で覆って、水や塩の出入りを抑えている（図1）。



図1 満潮時（左）と干潮時（右）のイソギンチャク。干潮時には収縮して体液浸透圧の変動を抑えている。

汽水域の無脊椎動物の多くは広塩性の浸透調節型

汽水域の塩濃度は0.05～3%の間で大きく変動する。そのためか、汽水に生息するほとんどの無脊椎動物は広塩性で、通常の海水より低張の環境では体液浸透圧を環境よりも高く保つ浸透調節（高張調節）を行っているが、塩濃度が海水に近づくと順応型として対応するようになる（図2）。したがって、体

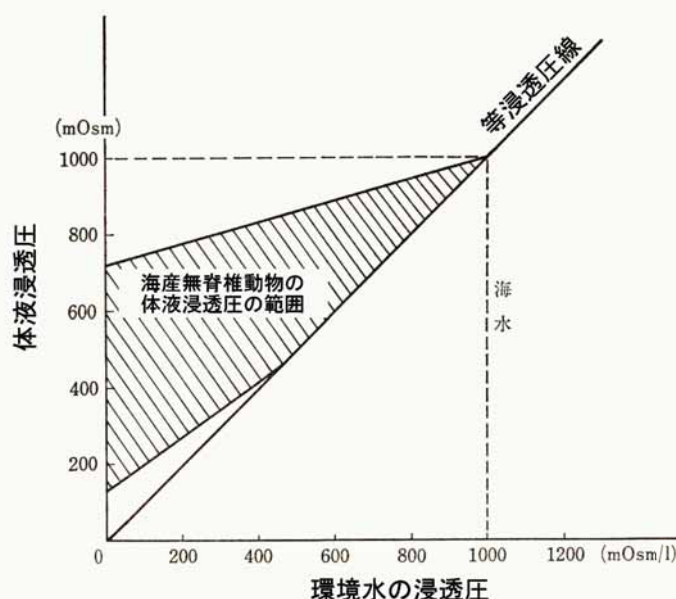


図2 汽水域の無脊椎動物の多くが見せる広塩性の浸透調節。通常の海水より低張の環境では体液浸透圧を等浸透圧線より上、すなわち環境よりも高く保つ浸透調節（高張調節）を行っているが、塩濃度が海水に近づくと順応型として対応する。

液浸透圧を一定に保てる塩濃度の範囲は限られている。この点は、調節型とは言っても、広い範囲で体液の恒常性を維持している多くの脊椎動物とは異なる。

浸透調節をする動物としてよく調べられているのはゴカイなどの多毛類と甲殻類である。何種かの汽水性のゴカイは、ヨーロッパ産、北米産、日本産にかかわらず、35～65%の低張環境で等張になるが、環境の塩濃度が高くなるとそれに順応する。一方、甲殻類の浸透圧調節機構は、それぞれの動物の自然界における分布を反映するかのように、順応型、環境の塩濃度より体液浸透圧を高く保とうとする高張調節、低く保とうとする低張調節、あるいは高張調節と低張調節の両方を用いる完全な調節など、さまざまな型がみられる（具体的な例は、文末の参考文献を見て欲しい）。なお、優れた運動能力をもつためか、甲殻類には、行動による適所への移動という型の浸透圧調節もみられるという。

甲殻類では、体液の浸透圧も含めて、水・電解質代謝の調節に、鰓、腎臓、消化管などが関わっているという。鰓の上皮細胞中には、魚類の鰓と同じように塩類細胞があり、体液の浸透圧を決めるのに重要なナトリウムイオンなどの体内あるいは体外への輸送を調節している可能性がある。

浸透調節の機構

上に述べてきたことから、安定した海洋環境に生息していた海産の無脊椎動物は、もし環境水の塩濃度や組成に変動があっても、それに順応するだけで十分だったはずであるが、汽水域や潮間帯、さらには淡水や陸への進出とともに浸透調節を行う能力を発達させてきたのではないかと考えたくなる。では、浸透調節の機構はどうなっているのでしょうか。

高張調節 汽水域や淡水中など、塩濃度が低い低張な環境水中では、動物は水の浸入と塩の喪失に直面している。それに対応するための機構は、1) 体表における水と塩の透過性の減少、2) 腎管あるいは腎臓による多量の低張尿の排出、3) 体外からの塩の摂取、の3つから成り立っている。

低張調節 高張な環境水中では、動物は脱水と塩の浸入に直面する。このような環境下では、動物は尿量を大きく減少させるとともに、1) 海水を飲み、腸から1価のイオンとともに水を吸収する、2) 過剰な1価イオンを鰓から能動的に排出する、という2つのことを行っている。

このように、高張調節の機構は淡水魚の、低張調節のそれは海水魚の浸透圧調節機構とよく似ている。無脊椎動物であれ、脊椎動物であれ、水生動物は体液の浸透圧を調節して環境水に適応するのに、同じ戦略を用いているのである。

細胞内の浸透圧調節 動物細胞の細胞内浸透圧は体液（正確には細胞外液）の浸透圧と同じでなければならない。今まで述べてきたように、海産無脊椎動物の体液は海水とほぼ同じ組成なので、浸透圧も海水と等張である。しかし、細胞内のナトリウムイオンの濃度が高いと、タンパク質の立体構造が変わり、細胞の機能に深刻な影響が生じる。そのため、細胞内のナトリウムイオン濃度は低く保たなければならない（表1）。そこで、水生無脊椎動物は、前回のヌタウナギと同じように、高濃度の非蛋白窒素、すなわちトリメチルアミノオキシドや遊離アミノ酸を用いて、細胞内の浸透圧を高めている。

ここで問題になるのは、多くの海産無脊椎動物では、体液浸透圧は環境水の浸透圧の変動に対応して変化することである。この体液浸透圧の変化にあわせて、細胞もその細胞内浸透圧を体液と等張になるように調節しなければならない。「等張性細胞浸透圧調節」とよばれるこの機構で、注目されているのは、

表 1 ノルウェーロブスターの血漿および筋細胞のイオン組成と浸透濃度 (mM) *)

イオン	海 水	血 漿	筋細胞
Na	457	517	25
K	10	9	188
Ca	10	16	4
Mg	52	10	20
Cl	535	527	53
SO ₄	28	19	1
全イオン	1092	1104	436
浸透濃度 (mOsm/l)	966	977	386
非蛋白窒素		4	602
全浸透濃度 (mOsm/l)	966	981	988

*) 内田(1981)表2-3より抜粋・改変

D型アミノ酸である。アミノ酸には立体異性体のL型とD型があるが、生物がタンパク質を構成するのに用いているのはL型である。しかし、分析技術の進歩により、水生の無脊椎動物には多量のD-アラニンを含む種が多いことが分かってきた。このD-アラニンが、細胞内浸透圧を体液と等張にする浸透圧調節機構において重要な役割をもつことが、アメリカザリガニ、クルマエビおよびハマグリを用いた実験から確かめられている (阿部, 2008)。

動物が体液浸透圧を調節するのは、その体を構成する細胞が正常に働ける環境を維持するためである、と言ってもよい。多くの浸透順応型の海産無脊椎動物では、環境水である海水の塩濃度の変動が少ないため、細胞自身もつ細胞内浸透圧の調節能力だけで、十分に細胞機能を保てていたのであろう。ところが、汽水、さらには淡水へと進出するのにともない、細胞自身の調節能力だけでは塩濃度の変動に対処しきれなくなったため、個体としても体液浸透圧を調節し、恒常性を維持する能力を高めていったのかもしれない。

註

- 1) 個々のイオン、とくに K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の濃度は海水と異なっている。これらのイオンは、動物細胞の生理機能の調節に重要なので、細胞内の濃度とあわせて、体液中の濃度を調節する機構があるのであろう。
- 2) 狭塩性 淡水中だけ、あるいは海水中だけといった狭い塩濃度の範囲にしか生きていけない動物の性質を狭塩性、淡水中とか海水中とかにかかわらず広い塩濃度の範囲で生きていける動物の性質を広塩性という (第4回 「魚は水を飲む?」参照)。

参考文献

阿部宏喜：第4章 細胞レベルの浸透圧調節。(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)

阿部宏喜：水生動物における遊離 D- アミノ酸の存在、生合成および生理的意義。生化学 80 : 308-315 (2008)

内田清一郎：第2章 無脊椎動物における水・電解質代謝。(日本比較内分泌学会編：ホルモンの生物科学7) 学会出版センター (1981)

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)

Kamemoto, E.I. : 浸透圧調節—無脊椎動物。(内田清一郎編：海洋学講座第8巻 海洋生物生理) 東京大学出版会 (1973)

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。