

# 生命にとって塩とは何か

— 塩と生物との関係史 — 3

京都大学名誉教授  
近畿大学農学部教授

高橋 英 一

## 4 動物にとって塩とは

ここでいう塩とは「しお」即ち塩化ナトリウムのことである。塩化ナトリウムは動物の体液の主要な無機成分になっているが、その濃度は動物の種類や棲息環境によって異なっている。

### 動物の体液の塩分濃度

表4に見られるように、海に住んでいる無脊椎動物の体液の塩分濃度は海水とほとんど変わらない。しかし海棲の最初の脊椎動物である魚類になると変化が起こっている。すなわちその中で最も原始的な円口類に属する海棲のメクラウナギは、無脊椎動物と同様海水に近いが、軟骨魚類になると海水の4分の3ないし2分の1に低下し、足りない分を尿素やトリメチルアミノキシドのよう

表4 海水と動物の体液\*のナトリウム(Na)、カリウム(K)、塩素(Cl)濃度の比較(ミリモル)

		Na	K	Cl	
海 水		470	10	550	
海棲無脊椎動物	腔腸動物(イソギンチャク)	468	14	552	
	軟体動物(イカ、タコ)	541	13	583	
	棘皮動物(ウニ、ナマコ)	523	13	592	
	節足動物甲殻類(エビ・カニ)	545	18	566	
脊椎動物	海水魚	メクラウナギ(円口類)	558	10	576
		ギンザメ(軟骨魚)**	360	10	380
		ホシザメ(軟骨魚)***	228	8	270
		アンコウ(硬骨魚)	198	7	186
	淡水魚	ヤツメウナギ(円口類)	120	3	96
		コイ(硬骨魚)	130	3	125
哺乳類		143	4	111	

\* \* 無脊椎動物は血液を、脊椎動物は血漿を指す  
 \*\* ほかに尿素264ミリモル、トリメチルアミノキシド6ミリモルを含む  
 \*\*\* ほかに尿素342ミリモル、トリメチルアミノキシド97ミリモルを含む

な有機窒素化合物で補っている。

さらに硬骨魚類になると体液の塩類濃度は海水の3分の1近くまで低下し、その濃度はもっとも進化した脊椎動物である哺乳類においても保たれている。硬骨魚類は体内浸透圧が海水より低いので、脱水がおこる。そのため海水を飲み、腸は海水中の1価イオンとともに水を吸収する。2価イオンの方は大部分が肛門から出るが、一部吸収されたものは腎臓によって尿中に排泄される。腸が吸収したイオンはエラから濃度勾配に逆らって排出される。このように硬骨魚類では腸、腎臓、エラが海水適応に重要な役割を果たしている。硬骨魚類の海水適応のしくみが軟骨魚類と異なっているのは、軟骨魚類が古くから海水中に栄えたのに対し、硬骨魚類は淡水起源の祖先が海洋で多様な分化を遂げたことが関係していると考えられている。

このように動物の進化の程度が高くなるにつれて、内部環境である体液の塩分濃度は外部環境から独立した一定の値をもつようになった。体液と細胞内部とは等張(浸透圧が等しいこと)で推移するので、体液の濃度が一定に保たれるようになったことは、高等動物の特徴であるホメオスタシス(生理的恒常性)の確立への第一歩であった。これは海棲動物の中で最も進化した硬骨魚類ではじめて獲得された機構であり、それは上陸後進化した脊椎動物にも受け継がれた。

### 体液の浸透圧調節の役割

体液に溶けている塩化ナトリウムは、その濃度すなわち浸透圧に相当する分量の水を体内に保持する働きをする。つまり塩化ナトリウムの濃度は体液量を支配する。体液量は血管の中を流れる血液量すなわち血圧を支配する。われわれの体は血圧が一定に保たれることが必要である。血圧が下がると体中の組織に十分な血流を確保できなくな

る。脳や腎臓へ行く血流が少なくなると、脳細胞の活動が低下したり、尿をつくれなくなったりする。塩化ナトリウムのもつ浸透圧は体液量の保持、血圧の維持という重要な役割をもっている。そしてこれに塩化カリウムは使えない。

#### 血液、消化液の pH 調節の役割

血液の中でナトリウムイオンと塩素イオンは別々の行動をとるが、ナトリウムイオンは血液が酸性になるのを防ぐ役割をもっている。われわれの血液の pH は約 7.4 であるが、これがわずかに変化しても危険である。たとえば、pH が 6.95 とわずかに酸性になっただけで昏睡状態におちいり、甚だしい場合は死亡したりする。しかし細胞は呼吸によってたえず炭酸ガスを発生し、血液に溶解すると炭酸をつくる。また激しい運動をした場合のように、呼吸がはげしくなり酸素が不足勝ちのときは乳酸を生じるが、これらはそのままでは血液を酸性にしてしまう。しかしそうならないのは、血液中のナトリウムイオンがこれとむすびついて重炭酸ナトリウムや乳酸ナトリウムにかえて中和するからである。乳酸ナトリウムはあとでゆっくり酸化されて重炭酸ナトリウムにかえられ、血液によって肺に運ばれ、炭酸ガスとして吐き出される。

ナトリウムイオンと塩素イオンはまた消化液の pH を調節する役目をもっている。胃液の pH は 1~3 と強酸性であるが、それは胃壁細胞が塩酸を分泌するからである。この塩酸はタンパク質を分解する酵素を活性化するとともに、口から飲み込んだ酸に弱い細菌を殺し、胃の中で食物が異常発酵するのを防ぐ働きをする。このように塩素イオンの一部は、胃壁細胞で塩酸を作り出すのに使われている。一方、胃で消化をうけた食べ物が十二指腸へ送られてくると、その刺激によって膵臓から重炭酸イオンを含んだ膵液が分泌されて胃酸を中和し、膵液中の消化酵素が働きやすい環境をつくる。

#### 刺激伝達における役割

前に述べたように、ナトリウムイオンとカリウムイオンは細胞外液と細胞内液との間で対照的な分布をしている。これは動物の細胞膜にはナトリウム・カリウムポンプがあり、エネルギーを使っ

てナトリウムを細胞外へ汲み出し、カリウムを細胞内へ汲み入れる仕事をしているからであるが、その結果細胞の内側と外側の間に電位差を生じる。これを膜電位といい、正常時には内側が陰性になっており、マイナス40ミリボルトほどの電位差がある。

ところが神経細胞では、刺激をうけるとナトリウムを通すチャンネルが開いて細胞内にナトリウムが流入し、電位差は逆転してプラス40ミリボルトほどの電位差を生じる。この80ミリボルトほどの電位の変化によって、興奮の伝達が行われる。神経が興奮を伝えるしくみは化学的变化と電気的变化によっているが、このところにカリウムとともにナトリウムが使われている。

#### 小腸のアミノ酸、ブドウ糖の吸収における役割

ナトリウムはアミノ酸の吸収にも一役かっている。食物中のタンパク質は胃の中でペプトンに分解されて小腸に運ばれ、膵液の酵素によってアミノ酸まで分解される。アミノ酸は小腸内腔に面した上皮細胞から能動輸送によって吸収されるが、その駆動力は小腸上皮細胞の内外に形成されたナトリウムの濃度勾配である。すなわちアミノ酸は、上皮細胞の細胞膜にあるアミノ酸輸送系によってナトリウムとともに細胞内にとり込まれる。ついでアミノ酸は濃度勾配に従った形で、細胞内を通過して細胞外液へ、さらに血液中へと輸送される。一方アミノ酸とともに細胞内へ入ったナトリウムは、ナトリウム・カリウムポンプによって細胞外へ汲み出され、細胞内外のナトリウムの濃度勾配は維持される。ブドウ糖もまた同様なしくみで吸収される。ここでも刺激伝達の場合と同じようにナトリウムの濃度勾配が利用されている。

以上が動物が塩、とくにナトリウムを必要とする主な理由であるが、その役割は、植物にはない動物独特の生理機能にかかわっている。したがって植物は動物のようにナトリウムを必要としないであろうことも理解できる。