

生命にとって塩とは何か

— 生物と塩との関係史 — 2

京都大学名誉教授

近畿大学農学部教授

高 橋 英 一

3 ナトリウムとカリウムの使い分け

ナトリウムとカリウムの特異性

ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リンといえばミネラルの代表であるが、これらの中ナトリウムとカリウムの二つは、不溶性の塩をつくらないという特徴がある。そのため生物の体の中では他のミネラルのように、骨をつくったり、細胞壁と結びついたり、生体成分の中に組み込まれたりせず、水分に溶けて自由なイオンの形で存在している。そして浸透圧や pH を一定に保ち、体の中の環境を整える役割をしている。これは地味ではあるが、多細胞生物にとっては特に重要である。

多細胞生物と単細胞生物

われわれの体は多数の細胞からできているが、最初は受精した一個の卵細胞から出発している。体重一キログラムは約一兆個の細胞に相当するので、三キログラムの新生児の体には三兆個の細胞がある。細胞は二分裂で増加するので、この数は約42回の分裂に相当し、それが生まれるまでの十か月の間に行われる。

一方一個だけの細胞からなる生物もいる。クロレラやケイ藻などの単細胞藻類、アメーバやゾウリムシなどの原生動物である。この単細胞生物と多細胞生物の大きな違いの一つは、単細胞生物は水の中にしか住めないことである。もっとも微小な単細胞生物の場合は、血液の中や葉の上の水滴なども水環境になりうる。水環境は細胞が酸素と養分を取り込み、老廃物を捨てるのになくはならぬ媒体（環境）である。同様に多細胞生物も内部の多数の細胞を養うために、体内に水環境をつくる必要がある。

われわれの体の60パーセントは水であるが、その4分の3は細胞内にあり、残りの4分の1は体

液（細胞外液）として存在し、その中に細胞が浸かっている。これはいわばわれらの内なる海である。この海は体重60キログラムの大人で約9リットルあり、その3分の2は細胞間隙に存在し、3分の1は血管の中に入り体内を循環している。そしてその中のアンモニアなどの老廃物は、腎臓で濾過されて尿として体外に捨てられ、残りは再循環する。

この血管を流れる体液（血液）には赤血球があり、肺で酸素を受け取って組織細胞に運び、かわりに炭酸ガスを受け取って肺に運んで呼気の中に捨てている。この呼気、尿それから汗として一日に失う水分量は約2.5リットルで、これに相当する水分を食物や飲料水から補っている。また一日当たりの血液の循環量は約180リットルで、これは血液量の60倍、体内水分総量（36リットル）の5倍にのぼる。この血液循環のため心臓は一生休み無く働くが、それに費やされるエネルギーは莫大な量にのぼる。われわれは体の中の水分を何度も腎臓で浄化して使い、水分の消費を極力節約している。

一方植物はどうしているだろうか。分げつ最盛期のイネを例にとるとつぎのようである。10平方メートル当たりのイネの生体重45キログラム、水分80パーセントとすると、体内水分量は36リットルとなる（さきのヒトの場合と同じ）。根が吸収した水は導管を通過して蒸散流となって地上部に運ばれ葉面から失われるが、その量は一日当たり約67.5リットルにのぼる。イネは一日に体内水分の二倍近い水を消費している計算になる。同じ生体重で比べると、イネの水消費量はヒトの36倍にのぼる。イネはヒトにくらべて水の浪費家であるが、このようなことが可能なのは土壌という大きな貯水槽もっているからである。

血管が閉鎖系をなしているのに対して、導管は開放系である。血液と異なり導管液は循環せず、末端（葉脈端）から水蒸気あるいは水滴のかたちで体外にでる。根が吸収した養水分である導管液を葉まで送り届ける力は根圧と蒸散圧である。根圧は糖を消費して植物自らが作り出すが、蒸散圧は太陽の熱エネルギーを利用している。しかも蒸散圧は根圧よりはるかに大きい。植物は徹底的に太陽エネルギーを利用し、動物にくらべて随分と省エネルギー的であることがわかる。

植物が循環系をもたない理由としては二つ挙げることができる。一つは形態である。動物の体が三次元的であるのに対し、植物の主要部分（葉）は二次元的（シート状）である。したがって比表面積（外部環境との接触面積）が大きく、養水分の輸送やガス交換の距離は非常に短いので、拡散だけですむ。今一つは排泄の仕方である。無機栄養を営む植物は動物にくらべて排泄の必要性はもとも少ないが、細胞内部に動物にはない液胞をもっており、ここに代謝廃物を一時的に排泄する。これは液胞液の浸透圧を高め、吸水を促進して細胞壁に膨圧をおよぼし、細胞に張りをもたせる役割をしている。植物は細胞内排泄を行なうとともに、その排泄物を吸水に役立てている。そして最終的には落葉によって、葉とともに捨て去る。これは植物体が葉と根と両者をつなぐ維管束（導管と師管）の三つからなるユニットの集合体であるため可能なのである。

植物は動物のように内なる海をたたえていない。植物にあるのは内なる川の流れである。このような違いがナトリウムに対する要求性に反映している。

細胞の内と外で異なるナトリウムとカリウムの分布

生物体内の水分は細胞内液と細胞外液に分けられる。細胞内液は細胞内に存在する水分で、ヒトの場合体重の約45パーセントを、細胞外液は細胞間隙を満たす液、血管内の血液で約15パーセントを占めている（合計で60パーセント）。植物では細胞壁や細胞間隙をみたす液、導管液の他に液胞液が細胞外液にあたる。体内水分にはナトリウムとカリウムが溶けているが、その濃度は内液と外

液で著しく異なり、また互いに反対の分布をしている。

例えば、体重60 kilogramsのヒトの体には約80 gramsのナトリウムと約120 gramsのカリウムが含まれているが、ナトリウムは98パーセントが細胞外液に、カリウムは逆に98パーセントが細胞内液に存在している。表3に赤血球細胞と血液の液体部分である血漿のナトリウムとカリウム濃度を示した。赤血球細胞中のナトリウム濃度（細胞内液に相当）は血漿（細胞外液に相当）の13分の1に過ぎないのに対して、カリウムでは20倍以上になっている。

表3 血液中のナトリウムとカリウムの分布

	血 液		血漿 / 赤血球
	血 漿 mg/l	赤血球 mg/l	
ナトリウム	3,280	260	12.6
カリウム	170	3,690	0.05

細胞膜を介して、細胞の内外でこのような対照的な勾配を生じる原因は、細胞膜上にナトリウムを外へ汲みだし、カリウムを内へ汲み入れるポンプがあるためである。このポンプの働きによって、生物の細胞内部は低ナトリウム高カリウムに保たれている。塩生植物の中にはカリウムの数倍にのぼる多量のナトリウムを含むものがあるが、その細胞内の液胞膜上にはこのポンプがあり、ナトリウムを液胞内に汲みだして隔離し、細胞質を低ナトリウムに保っている。

生物はナトリウムとカリウムを細胞の内と外で使い分けているが、そのはじまりは海水中の単細胞生物にある。かれらは高ナトリウム低カリウムという外部環境（海水）に対して、低ナトリウム高カリウムという内部環境を細胞の中につくったが、それは多細胞生物にも受け継がれ、この細胞の内外に生じた濃度勾配を、養分の取り込みや刺激の伝達に利用するようになった。