

金沢浩教授 「生物が生きるための情報とエネルギー」 講義・後半

生物細胞は「ナノマシン」、工作機械、自動車、カメラ、コンピュータと同じ仕組みを持つ

生物を構成する物質はたんぱく質などの有機材料だ。たんぱく質は熱に弱いため環境耐性が無い。通常の機械は鉄などの無機材料で出来ているので環境変化には強い。しかし、バイオナノマシンはその欠点を乗り越える利点がある。それはエネルギー効率の点である。化学工場では高温高压環境でなくては起こせない反応を生物は常温常圧で行っているのだ。

ナノマシンは細胞内装置を真似ること

～人の筋肉はどのように力を出すか～

ナノマシンが最近の先生の研究テーマ。ナノマシンで物質を運ぶ駆動装置は、細胞内で行われている物質運搬の原理を探ればよい。

筋肉細胞には筋原繊維（分子の集合体）が入っている。この筋原繊維のミオシンとアクチン滑りあうメカニズムで筋肉が収縮する仕組みなのだ（このメカニズムの研究はノーベル賞受賞につながった）。この滑りあうメカニズムを起こすためのエネルギーはどのようにして得ているのだろうか。これにもATP（アデノシン3リン酸）が関与する。たんぱく質とATPが結合することでたんぱく質が変形する。このとき、化学エネルギーから力学的エネルギーを生み出す仕組みなのだ。なお、これを利用すれば、分子サイズ、細胞サイズのナノマシンが作れるのだ。これがナノテクノロジーでの駆動装置につながる研究だ。

ナノマシンのヒントは細胞の中にある ～ モーター、高分子合成装置 ... などなど ～

バイオマシンの候補は、全て生物細胞の中にあるといっても良い。細胞で行われている機能は全てナノマシンであるので、これを人間が望む機械加工、化学反応などを行う工場として利用できないか？これを目指すのが「ナノマシン」研究なのだ。

細胞の中にある機能として、原料、製品を運搬する「輸送装置」として、筋原繊維の仕組みと同様のもの（ATPとたんぱく質のシステム）は「ナノモーター」に使えること、細胞膜には物質の選別分離する「フィルター装置」に使えること、リボソームなどはたんぱく質や核酸高分子の合成をおこなうので「高分子合成リアクター」に使えること、神経線維などは「情報伝達装置」として使えることなど、多くのヒントが細胞の中に埋まっているのだ。

細胞に侵入してきたウイルスを分解する映像を見せてもらった。細胞内にあるリソゾームが侵入ウイルスへと移動するメカニズムに「細胞内輸送システム」が利用されている。キネシンとダイニンがATPの結合分離によって、たんぱく質が変形を繰り返し移動するメカニズムが使われているようで、目で見える映像として見せていただいた。筋肉繊維内でのメカニズムと同じものだそうだ。



細胞膜での能動輸送のメカニズム ～チャンネルとトランスポーターの2種類～

細胞外部から細胞内部に必要な物質が取りこみ、不要な物質を排泄するシステムにはどのようなものがあるか？

これが講師の金澤先生の研究室のテーマなのだ。自然の拡散現象（濃度の高い方から低い方へ物質が移動すること）に逆らって必要な物質を取り込むことを「能動輸送システム」という。細胞膜の表面には物質輸送する出入りに相当する



ものが備えられている。「チャンネル」と「トランスポーター」の2種類だ。「チャンネル」は濃度比により物質を運搬する単なる穴と考えてよい。すなわち「受動輸送」の機能を持つものだ。一方「トランスポーター」は濃度比に逆らって物質運搬する選別輸送が可能な「能動輸送」の機能をもつものだ。濃度比に逆らって物質を輸送するには「物理学の理論（熱力学第二法則¹）」によりエネルギーが必要である。ATPを使ってこのエネルギーを使っているのだ。金澤先生の研究室の現在研究中のテーマでは、細胞の脂質2重膜を通して外部に水素イオンを放出し、内部、外部の間に電界を作り、外部の過剰水素イオンを取り入れる一方、ナトリウムイオンを入れ替え放出する、 Na^+/H^+ の交換輸送たんぱく質（アンチポータ）にあるそうです。

鞭毛（べんもう）モーターの駆動システムとは ～ナノマシン運動系のメカニズムの主体～

また、水素イオンを放出することで得た細胞膜を介した水素イオン濃度差で鞭毛を動かすメカニズムが機能することも紹介された。鞭毛システムはナノマシンの駆動メカニズムとしての分子モーターとして働いてくれるのだ。分子サイズで細胞を眺めると、人間が使っている自動車などと同じように見えるのには驚いた。これらの分子機械の中でのATPの働き、これが生物活動の基本的エネルギーとして活躍していることが今回の講義で良く分かった。

次回 2学期実施分 第3回は 11月13日（土）10：30－12：00です。

次回の「高大連携講義」2学期実施分 第3回の担当は、大阪大学 理学部 物理学科（大阪大学大学院理学研究科）赤井 久純教授です。日程は、11月13日（土）10:30-12:00の前回通りの時間帯で行われます。

夏休み中に発行した「高大連携通信」第6号～第8号は印刷物として発行しませんでした。これらを含めて「高大連携通信」全既刊分（2002年から2004年）は、筆者のWebサイト「物理の小道」（<http://tachiro.hp.infoseek.co.jp/>）において、見るができます。また、連携講義に関する日程、内容などの情報も「お知らせ」のページにて随時掲載しています。

1 「熱力学第二法則」 氷とお湯を混ぜると放置していても水になるが、水を氷とお湯に分けるにはエネルギーを外部から与えられないと不可能。（熱は高い温度から低い温度へと動くが、逆方向に熱を移動させるにはエネルギーが必要）
「熱力学第一法則」 エネルギーの種類は変わっても、合計は常に一定である（エネルギー保存の法則）ことを言う。