

細胞のエネルギー通貨、ATP は回転モーターで作られる

京都産業大学 シニアリサーチフェロー 吉田 賢右

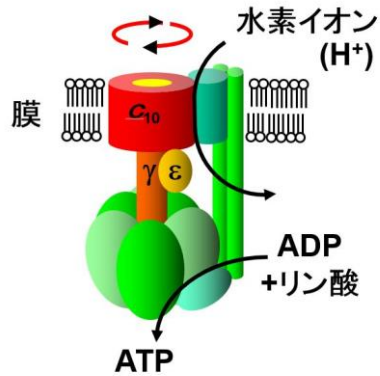
【私の研究】

ATP という小さな分子があります。筋肉の運動、身体の中のいろいろな分子の合成、物質の輸送や吸収など、あらゆる生き物で、ほとんどの仕事は ATP の加水分解のエネルギーでまかなわれています。ATP はお金で言えば 100 円玉で、そのエネルギーはあまり大きくありません。細胞は、エネルギーを使った時にお釣りをくれないので（お釣りは熱になってしまう）、1 万円札のように大きなエネルギー通貨ではムダが多いのです。それで、生物は非常にたくさんの ATP を合成しなければなりません。例えば、ヒトは一日に、のべ自分の体重と同じくらい重さの ATP を合成し、消費しています。

その大量の ATP を作っているのが ATP 合成酵素です。ATP 合成酵素は、細胞のエネルギープラントであるミトコンドリアの膜にあります。ちなみに、ATP 合成酵素は生物界共通仕様で、植物の葉緑体や細菌で ATP を作っているのもこの酵素です。糖やアミノ酸から抽出された水素は、ミトコンドリアで燃やされて水を生じるのですが、その際、燃焼のエネルギーで水素イオンが膜の内側から外側に汲み出されるので、ミトコンドリア内外に水素イオンの濃度差（ダム）ができます。ATP 合成酵素は、水素イオンが勾配にそってミトコンドリア内部に流れ落ちるエネルギーを使って ATP を合成します。

では ATP 合成酵素はどうやって水素イオンの流れで ATP を作ることができるのか。私が研究してきたのはこのことです。

ATP 合成酵素の構造を大ざっぱに言いますと、膜の中に埋もれた丸いリング状の構造物に細長いシャフトが付いていて、その先にシャフトを中心にしてみかんの房のような頭がついています（図）。これらすべてがタンパク質でできています。



基部を水素イオンが流れると
シャフト(c₁₀γε)が回転して
頭部でATPができる

水素イオンは膜のリングの部分を通して流れ、そのエネルギーはなんらかの形で細いシャフトを伝わって、みかんの房のあたりでATPが合成されます。なんらかの形って？これがわかりませんでした。その解答は、実に驚くべきものでした。

膜のリングと細いシャフトは、回転していたのです。

エネルギーは回転によって膜の中のリングから膜の外の頭の部分へ伝えられていたのです。ATP合成酵素はモーターでした。ATP合成酵素は小さい(10万分の1mm)ので、シャフトに、その100倍の長さの棒を接着して顕微鏡でみたら、ぐるぐると回っていたのです。

ダムを流れ落ちる水素イオンがATP合成酵素というタービンを回す、ほんとに水力発電のようです。生物は回転は苦手です。車輪で走る動物、スクリューで泳ぐ魚、プロペラで飛ぶ鳥、いてもよさそうですが、いません。史上最初の回転する酵素の発見でした。私たちの体の中では、1億のそのまた1億倍以上のモーターが昼夜を問わず1秒間に300回の高速度で回っているのです。