

[概要]

私たちは日頃、あたり前のように食べ物を食べ、空気を吸って生活しています。その時、体の中では何が起きているのでしょうか？私たちの体の中では、食べた食物は分解され、酸素の力を利用してATPという沢山エネルギーを持っている化学物質が合成されます。そしてこのATPを体中の至る所で使って、心臓を動かしたり、物事を考えたり、歩いたりしています。この酸素を使ってATPを作り出す仕組みはとても重要で、50年以上前にPeter D. Mitchell博士により提唱されましたが、彼はその功績で1978年にノーベル化学賞を受賞しました。彼が提唱した理論は「化学浸透圧説」と呼ばれ、現在の生命のエネルギーを作り出す仕組みを考える上で、最も重要な理論の一つとされています。

この理論ではまず、食物の分解により得られたエネルギーが酸素の助けを受けながら、ミトコンドリアの内膜を介した水素イオンの濃度差に変換されます(図1右の上側)。そしてその水素イオン濃度差のエネルギーを使って、FoF1-ATP合成酵素という酵素がATPを産生します(同図右の下側)。しかし、この水素イオンの濃度差のエネルギーから、ATPの化学エネルギーにエネルギー変換される段階が、熱力学的なエネルギー変換の理論式と一致せず、50年以上、その不一致の理由は謎だったのです。

今回、京都産業大学と早稲田大学の共同研究により、このエネルギー変換が熱力学の理論式と完全に一致し、100%のエネルギー変換効率で達成される事が明らかになりました(図2)。その為にこの研究では、高温環境にいる微生物(好熱菌)から入手した構造が強固で安定なFoF1-ATP合成酵素を用い、分析システムや解析法も一から再検討し改良していく事により、この成果を得る事に成功しました。この結果により、50年以上議論が続いていたPeter D. Mitchell博士が提唱した理論が正しい事が、ついに実験的に証明されました。

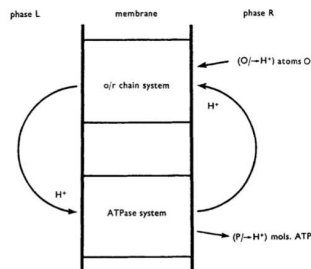


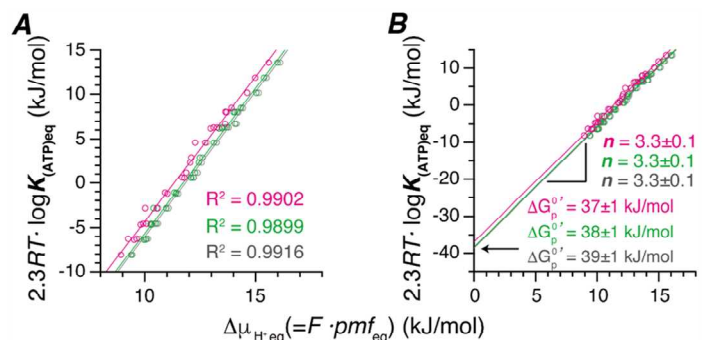
Fig. 3. Stoichiometry of chemiosmotic coupling. The circulation of one proton is caused by the utilization of a certain number ($O \rightarrow H^+$) of oxygen atoms, and causes the synthesis of a certain number ($P_i \rightarrow H^+$) of ATP molecules. The P/O quotient is the product $(P_i \rightarrow H^+) \times (-\rightarrow H^+/O)$.

図1 Peter Michel 博士と化学浸透圧説

写真は Peter D. Mitchell 博士。右図は、化学浸透圧説の論文中の図を示す。この図を使って、食物のエネルギーが酸素の助けにより、膜を介した水素イオンの濃度差に変更される事(上部)、そしてその濃度差のエネルギーから ATP が産生される事(下部)、さらにそれらの間で水素イオンが循環している事を提唱している。(Mitchell P (1966) Chemiosmotic coupling in oxidative and photosynthetic phosphorylation. *Biol Rev Camb Philos Soc* 41:445-502.)。

図2 FoF1-ATP 合成酵素における、膜を介した H⁺ イオンの濃度差のエネルギー(横軸)と、ATP 合成の化学ポテンシャルのエネルギー(縦軸)の関係。

これら2つのエネルギーは、高度に相関している。このグラフの傾き n が、使われる H⁺ イオンの数と、産生される ATP の数の比に対応する。今までは理論値からずれていたが、本研究では理論値 10/3、つまり 3.3333... と一致する n 値がグラフから得られた。左は拡大図。算出に用いる数式中の変数の種類や、さまざまなイオンの流れなどを考慮しても(灰、緑、赤)、得られる n 値は変動しない事も明らかになった。



以上