

B1-08

発動分子のエネルギー戦略: 1分子実験でエナジेटイクスを測る

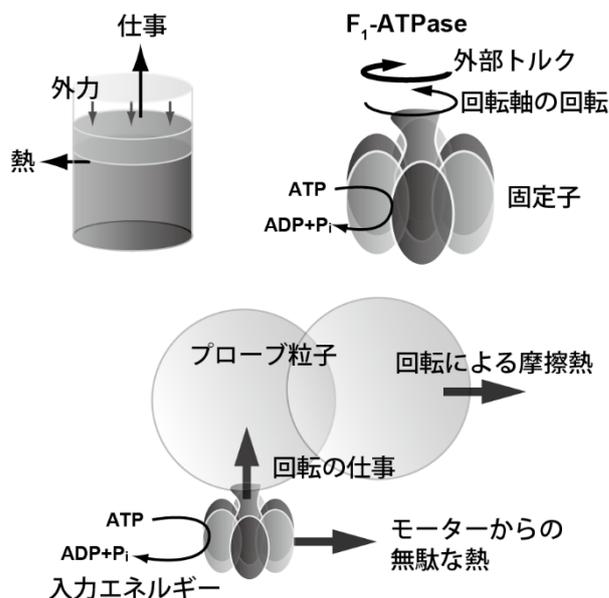
○鳥谷部祥一(東北大学工学研究科)

生体分子モーターは、化学自由エネルギーを力学運動に変換するナノサイズの化学エンジンである。エンジンであるので、その動作メカニズムや速度論だけでなく、どのようなエネルギー変換効率で動いているのかなど、エネルギー論に関する議論が本質的である。分子モーターは「効率がいい」と呼ばれるが、どの程度効率が良いのか、効率が良いとしたら、なぜナノサイズだと効率を高くできるのか。ナノエンジンのエネルギー論は、未解明なことが多い。また、マクロな機械は数個のマクロなアクチュエーターを用いて動く。一方、たとえば筋肉は、ナノサイズの分子モーターが大量に並列化および直列化されてマクロな機能を実現する。人工分子モーターが実現すれば、上手く並列・直列化することで、ナノエンジン特有の高効率性をマクロなスケールで発揮する画期的な機械を造れるかもしれない。このような応用的側面を考えても、まずは生体分子モーターのエネルギー論の理解が重要となる。

分子モーターはたった 10 nm 程度の大きさしかない。しかし、技術の発展により、適当な目印をつけることで、高速・高精度で1分子の運動を観察できるようになってきた。我々は、さらに進めて、たった1分子の仕事や熱といったエネルギー量を測定する技術を開発してきた。

マクロなエンジンでは、ピストンを使って力(圧力)をかけ、その応答(体積変化)を測ることで、仕事や、場合によっては流れる熱を測ることができる。我々は、これと同じことを1分子の分子モーターで行った。

回転電場法を用いると微小な物体にトルクをかけることができる。この方法を用い、F₁-ATPase と呼ばれる回転分子モーターの回転軸にトルクをかけ、回転速度の応答を測定した。この結果を詳細に解析することで、たった1分子の仕事や熱といった熱力学量を測定することに成功した。その結果、この F₁-ATPase がほとんど無駄なく極めて効率的に動いていることが分かった [1, 2]。本講演では、なぜこのような高効率な運動が可能なのかを議論したい。



- 1) S. Toyabe, T. Watanabe-Nakayama, T. Okamoto, S. Kudo, and E. Muneyuki, Thermodynamic efficiency and mechanochemical coupling of F₁-ATPase, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **108**, 17951 (2011)
- 2) S. Toyabe, T. Okamoto, T. Watanabe-Nakayama, H. Taketani, S. Kudo, and E. Muneyuki, Nonequilibrium energetics of a single F₁-ATPase molecule, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 198103 (2010)
- 3) S. Toyabe, E. Muneyuki, Single molecule thermodynamics of ATP synthesis by F₁-ATPase, *New J. of Phys.* **17**, 015008 (2015)

PROFILE

鳥谷部祥一(東北大学工学研究科)

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻を経て、2007年 中央大学理工学部物理学科助教、2011年フンボルト財団リサーチフェロー(ドイツ・ミュンヘン大学所属)、2014年より現所属 准教授。博士(理学)。専門は、非平衡物理、生物物理。主に、分子モーターや、情報複製の物理などを中心に研究を進めている。