
2014 年度夏学期 第 2 回 駒場物性セミナー

回転分子モーター F_1 -ATPase による化学力学エネルギー変換について

講師 宗行 英朗 氏 (中央大学理工学部 物理学科)

日時 2014 年 5 月 14 日 (水) 午後 4 時 30 分より **通常と曜日が異なります!**

場所 16 号館 827

ATP 合成酵素 (F_0F_1 -ATP synthase) の一部である F_1 部分 (F_1 モーター) は, ATP を ADP と P_i に加水分解することによって, $\alpha_3\beta_3$ の 6 つのサブユニットからなる円筒形の複合体の中で中心軸となる g サブユニットに 120° のステップ回転を起こす. この回転運動は力学的仕事をすることが出来るので, F_1 -ATPase は化学反応による自由エネルギー変化を力学的なエネルギーに変換するエンジンとして働くことが出来る. このステップ回転は $\alpha_3\beta_3$ の部分をスライドガラスの上に固定して, g サブユニットに大きな目印を付けることで, 顕微鏡により一分子観察することができる. 我々は, このステップ回転の挙動やエネルギー変換の効率が, 回転を駆動する ATP 加水分解の自由エネルギー差や, 外部トルクによりどのような影響を受けるかに疑問をもって一連の研究を行ってきた. まず外部トルクがない条件では, このステップ回転をする時の角速度が ATP 加水分解の自由エネルギーにほとんど依存しないことを見出した (1). このことは一見して, 出力の大きさが入力に依存しないように見える結果であった. 次に外部トルクを回転電場法によって印可して F_1 モーターの回転が平均して止まっている状態 (ストール状態) をつくった. ストール状態でも F_1 は前向き of ステップを示し, その頻度が後ろ向きのステップの頻度と釣り合うことで平均して停止した状態となっていることがわかった. ストールトルクから最大仕事を算出すると, それは ATP 加水分解の自由エネルギーによく一致して, 広い範囲で自由エネルギーの変換効率はほぼ 100 % となった (2). これは F_1 モーターにおいて, ATP の加水分解とステップ回転がほぼタイトにカップルしていることを意味する. 外部トルクがストールトルクより小さい非平衡状態では, ATP 加水分解の自由エネルギーは散逸する. その散逸は Harada-Sasa 等式を用いることによって, 実験で調べた範囲で回転自由度での非平衡揺らぎと平均速度で回転するときの摩擦熱の和にほぼ一致していた (3). このような性質は回転のトラジェクトリから推定したポテンシャルとその切り替わりの性質 (4) と符合するもので, 川口らにより理論的な説明がされている (5). 最後に非平衡揺らぎを相関させることでふたつのラチェット系が共役する分子機械のモデル (6) などについても触れてみたい.

(1) Single Molecule Energetics of F_1 -ATPase Motor. Muneyuki, E., Watanabe-Nakayama, T., Suzuki, T., Yoshida, M., Nishizaka, T., Noji, H. Biophys. J., 92(5), 1806-1812, (2007)

(2) Thermodynamic efficiency and mechanochemical coupling of F_1 -ATPase. Toyabe, S., Watanabe-Nakayama, T., Okamoto, T., Kudo S., and Muneyuki, E. PNAS 108(44), 17951-17956 (2011)

(3) Nonequilibrium Energetics of a Single F_1 -ATPase Molecule. Toyabe, S., Okamoto, T., Watanabe-Nakayama, T., Taketani, H., Kudo, S., and Muneyuki, E. Phys. Rev. Lett. 104, 198103 (2010)

(4) Recovery of state-specific potential of molecular motor from single-molecule trajectory. Toyabe, S., Ueno, H., Muneyuki, E. EPL 97, 40004 (2012)

(5) Nonequilibrium dissipation-free transport in F_1 -ATPase and the thermodynamic role of asymmetric allostereism. Kawaguchi, K., Sasa, S., Sagawa, T. arXiv:1307.39

(6) Allosteric model of an ion pump. Muneyuki E, Sekimoto K. Phys. Rev. E 81, 011137 (2010)

物性セミナー世話人: 加藤雄介 堺 和光 福島孝治 前田京剛 簀口友紀

5月23日	斎藤 弘樹氏 (電子通信大学情報理工学部)
5月30日	楠瀬博明氏 (愛媛大学大学院理工学研究科)
	トロイダル秩序と反転対称性の自発的な破れ
6月11日	望月維人氏 (青山学院大学理工学部)
	(仮) カイラル磁性体中のスキルミオンが示す動的現象
6月20日	Prof. Sung G Chung(Western Michigan University)
7月4日	戸川欣彦氏 (大阪府立大学)
7月18日	遠山貴巳氏 (東京理科大学理学部)
7月25日	香取真理 氏 (中央大学理工学部)
8月1日	多辺由佳氏 (早稲田大学先進理工学部)

○ 物性セミナーのページ 「駒場物性セミナー」で検索！

○ 駒場セミナーカレンダー (駒場内のみアクセス可)

<http://huku.c.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/webcal/webcal.cgi>

物性セミナー世話人： 加藤雄介 堺 和光 福島孝治 前田京剛 簀口友紀