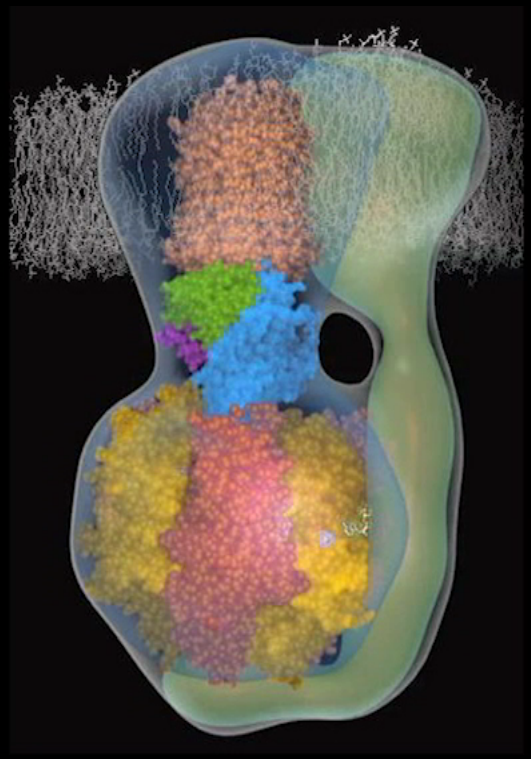
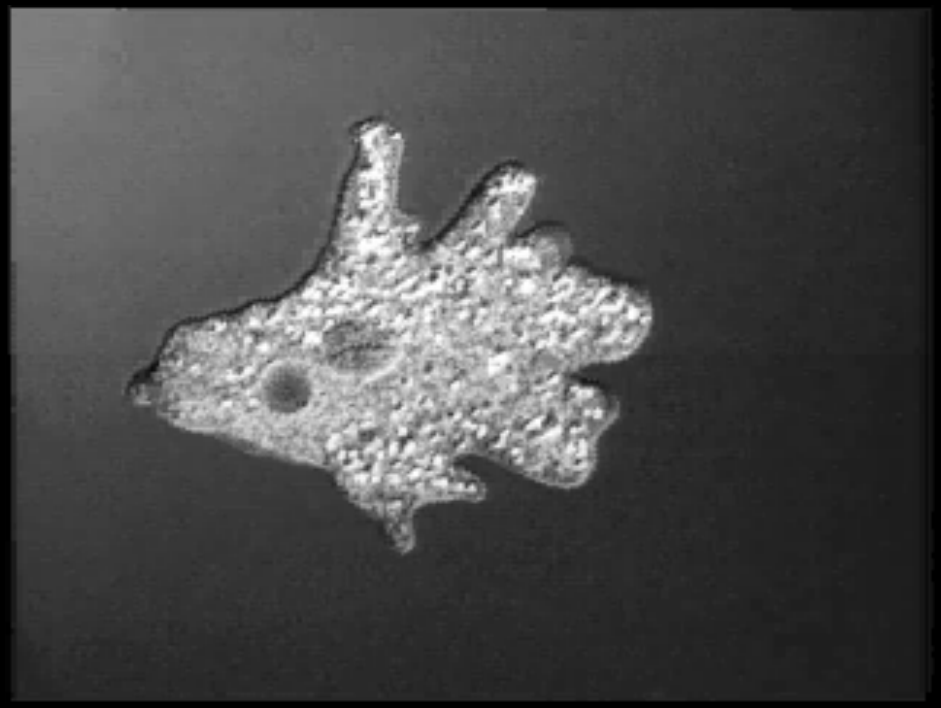
分子モーターATP 合成酵素

生物と物理と化学はつながっている

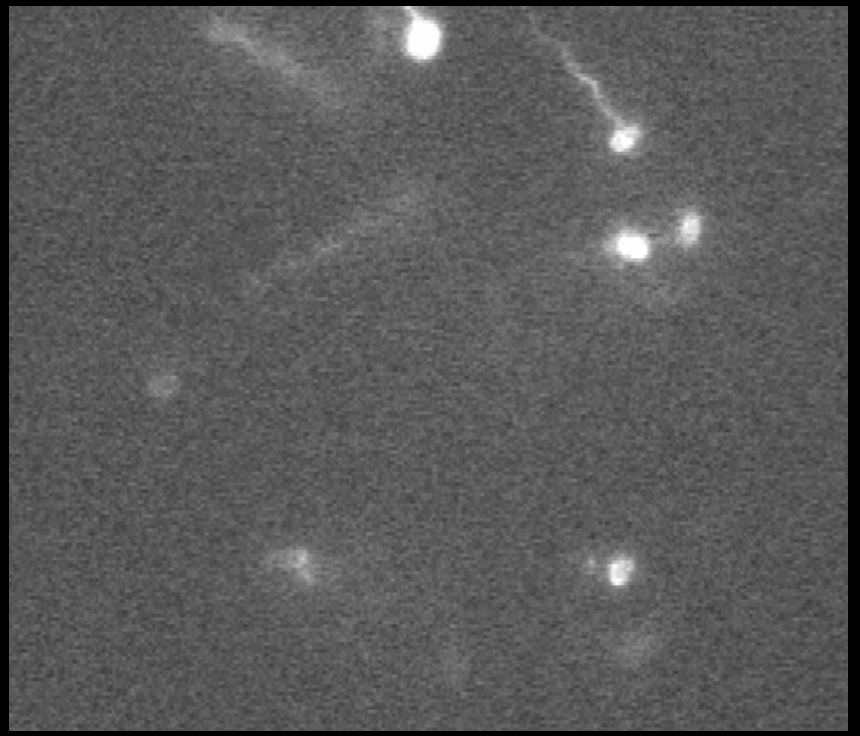


野地博行
東京大学 工学部 応用化学科

細胞は動く



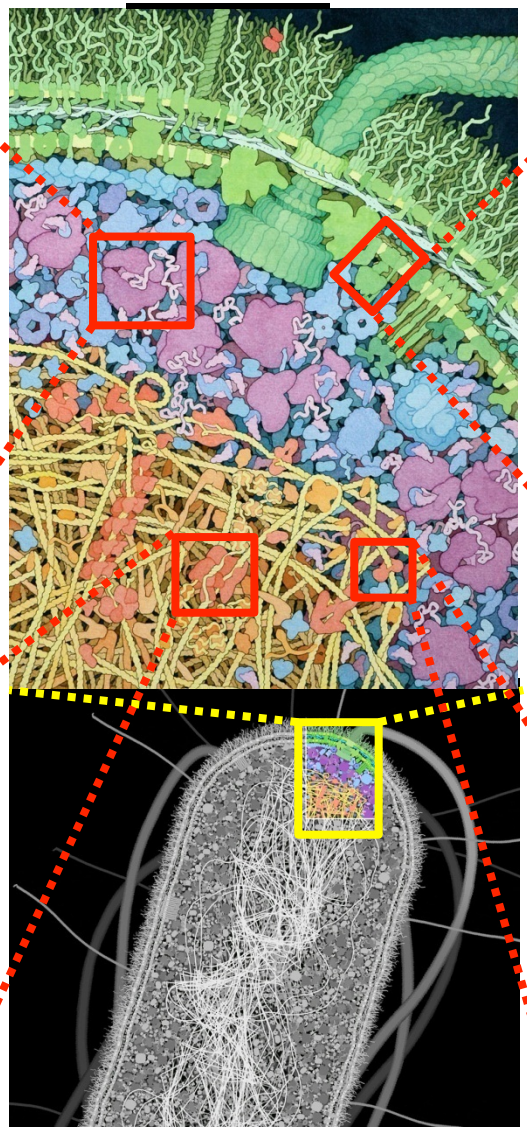
アメーバ（細胞性粘菌）



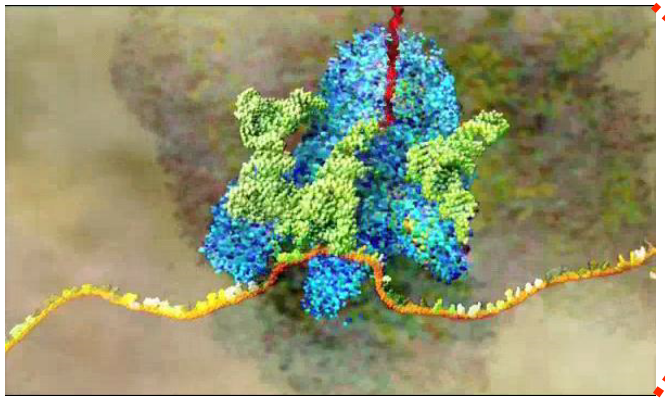
バクテリア（大腸菌）

細胞は分子マシンでぎっしり

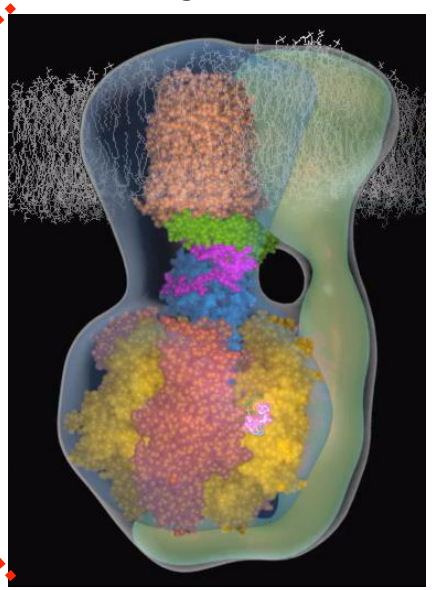
E. coli



Ribosome



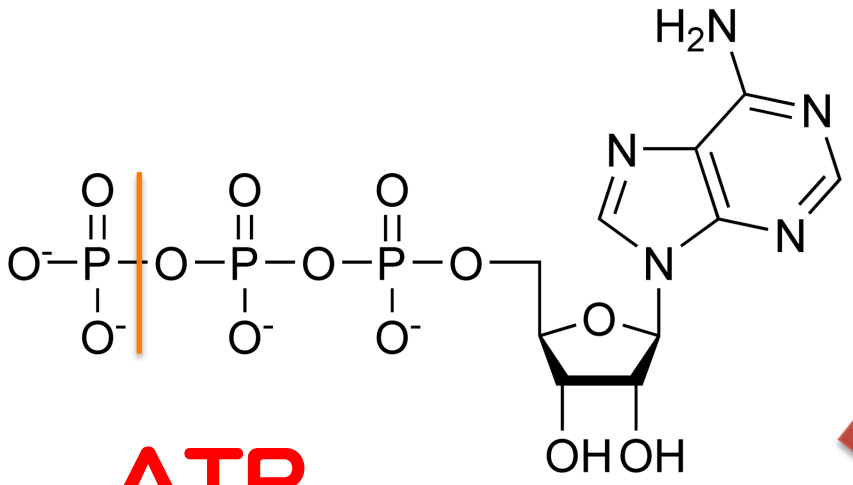
ATP synthase



DNA polymerase

Restriction Enzyme

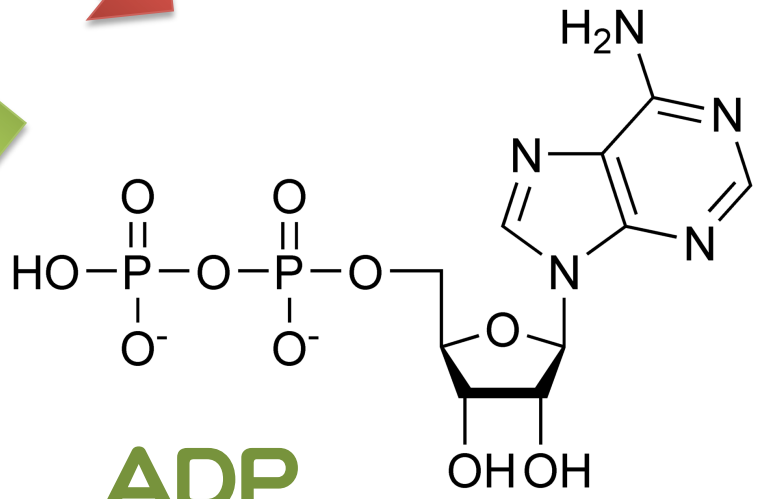
分子機械の燃料ATP



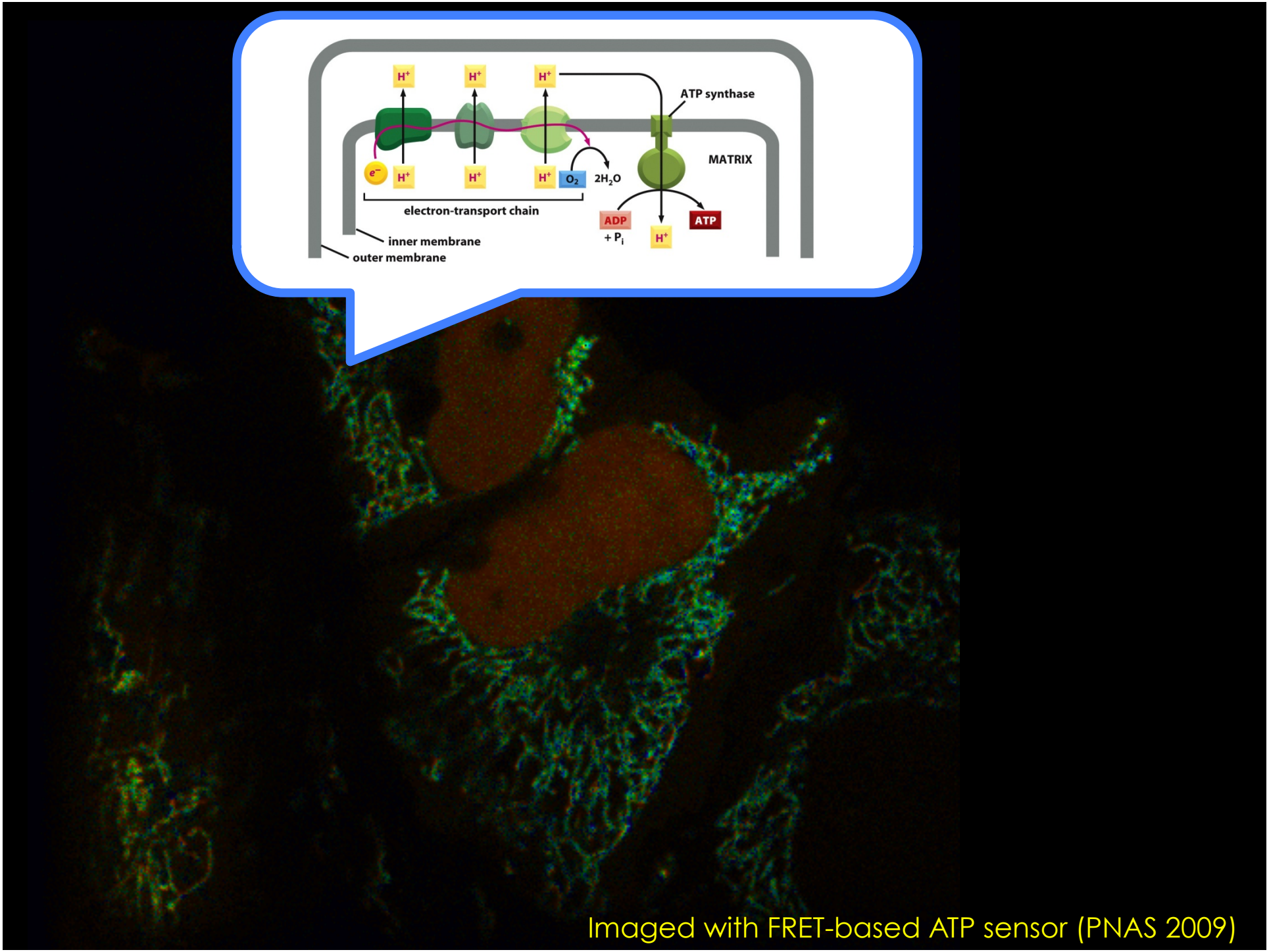
ATP

エネルギー放出 (48kJ/mole)

エネルギー入力

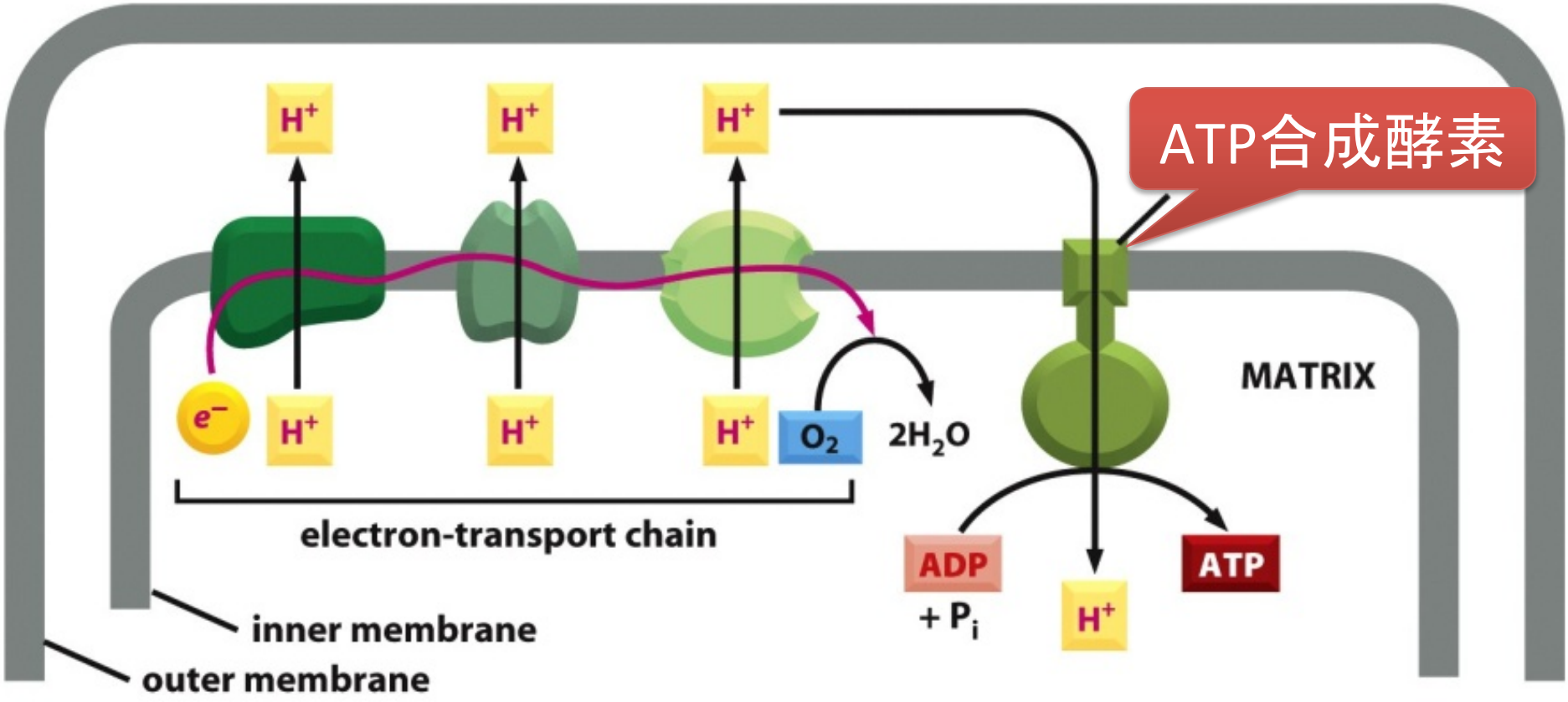


ADP

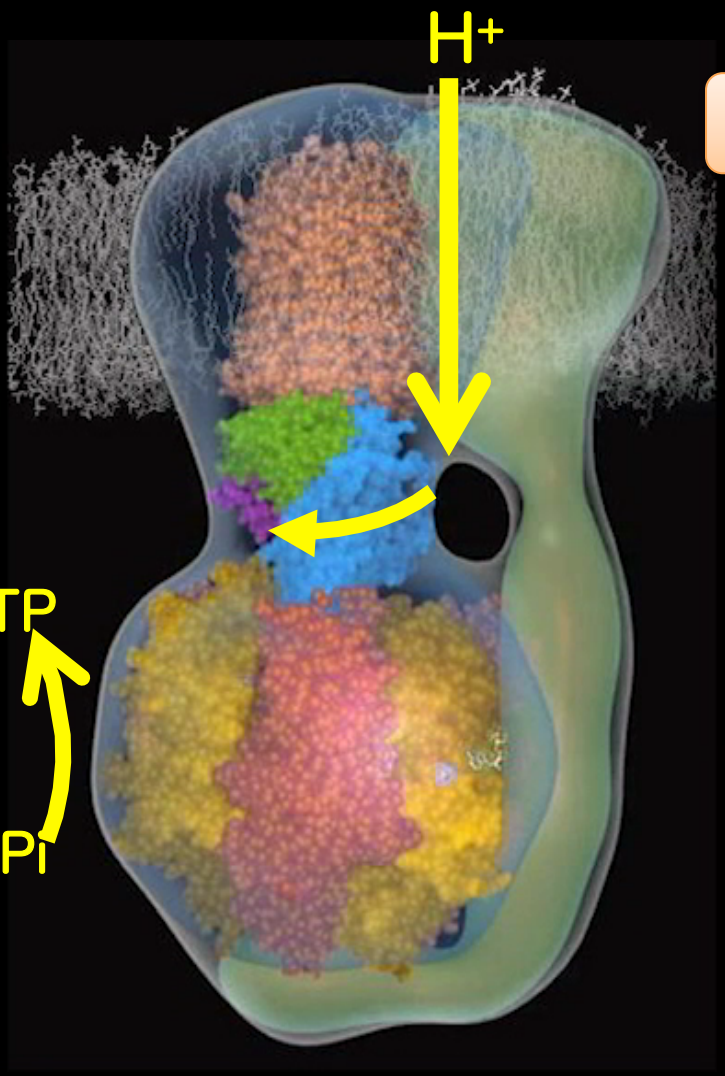

H+
H+
H+
ATP synthase
MATRIX
e−
H+
H+
H+
O2
2H2O
electron-transport chain
ADP
+ Pi
ATP
H+
inner membrane
outer membrane
Imaged with FRET-based ATP sensor (PNAS 2009)

「ご飯のエネルギーは、一旦電圧に変換される。」

Peter D. Mitchell
ノーベル化学賞1978年



ATP 合成



F_Oモーター

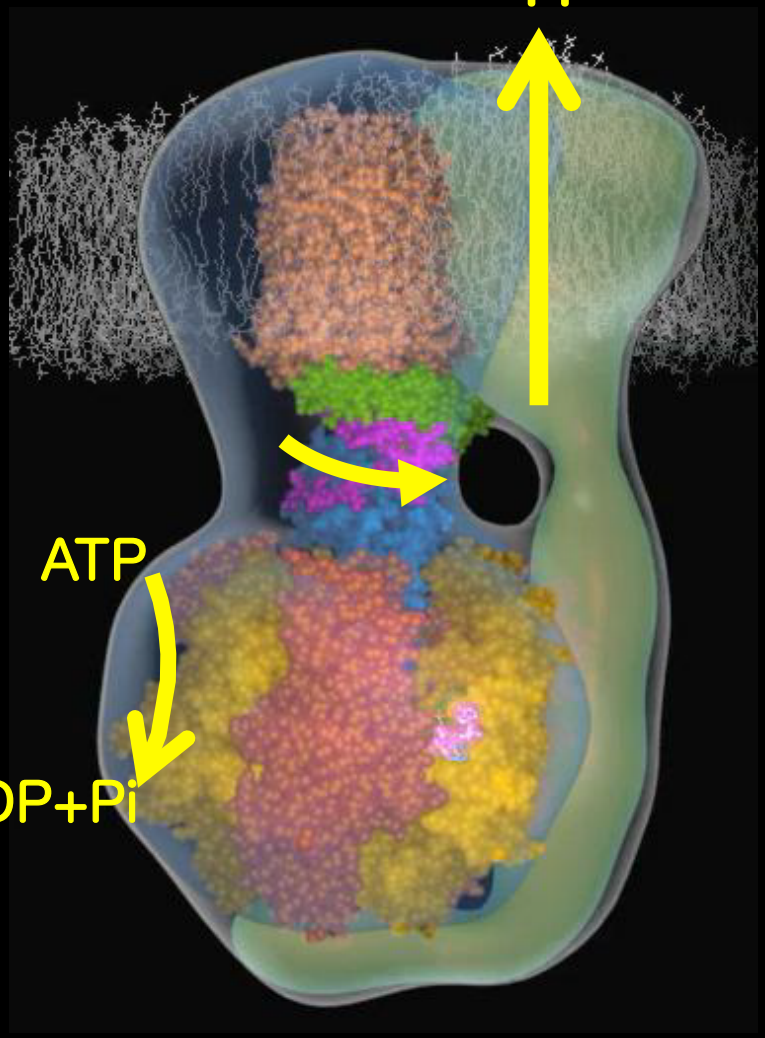
F_1モーター

膜電位

分子内回転

ATP 合成

逆反応; H^+ポンプ



F_Oモーター

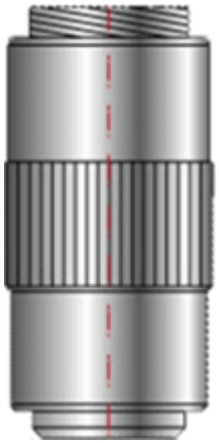
F_1モーター

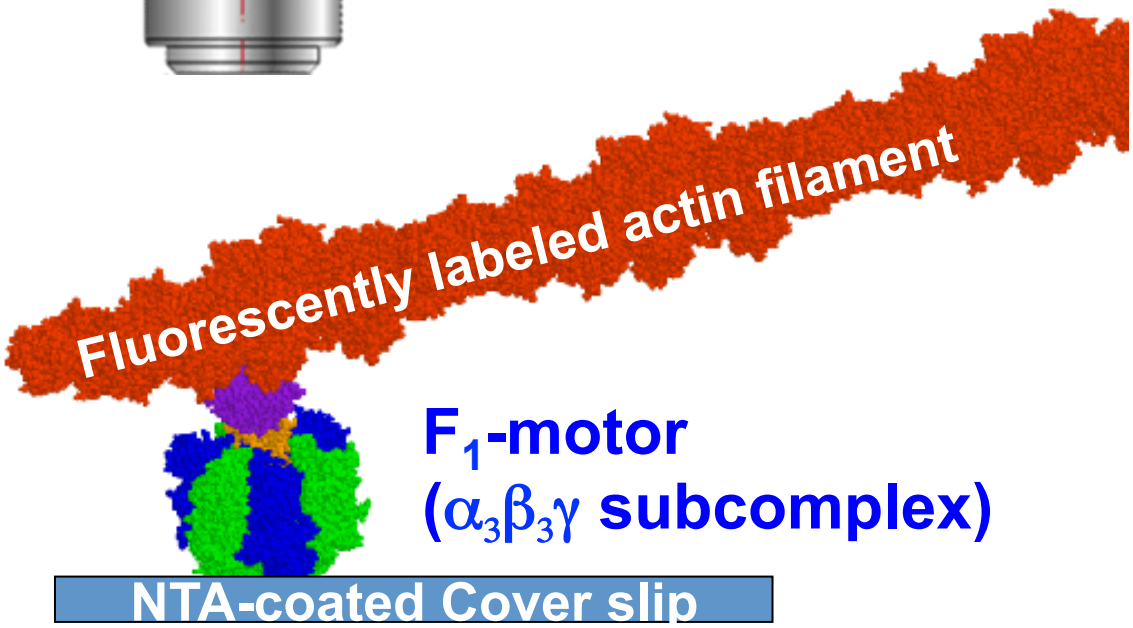
膜電位

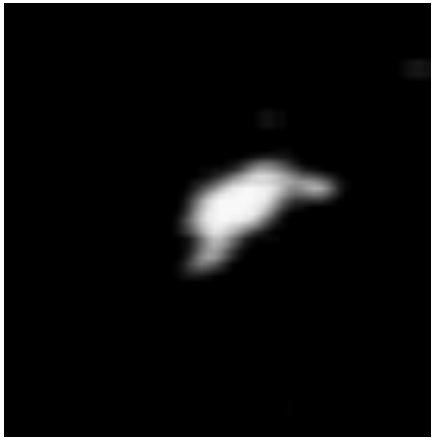
回転

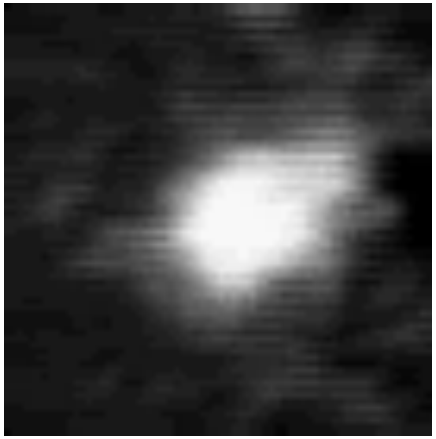
ATP加水分解

F_1モーターはATPを分解して回転する









Noji & Yasuda *Nature* 1997, Yasuda & Noji *Cell* 1998

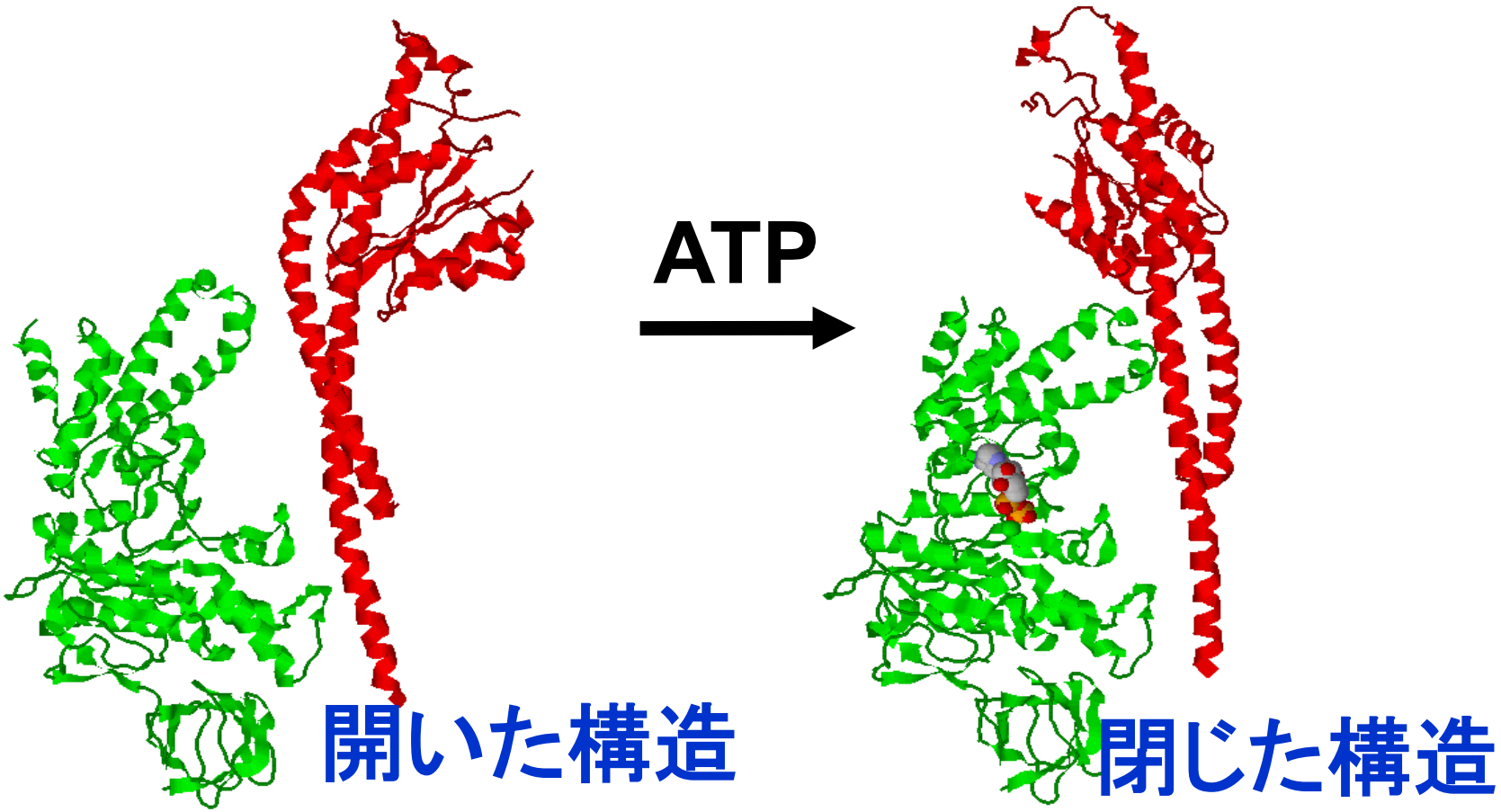
1997 ノーベル化学賞

”ATP合成酵素のメカニズム解明に大きく寄与"

P. Boyer (UCLA, US)
Binding-Change Mechanism
=Rotary Catalytic Model

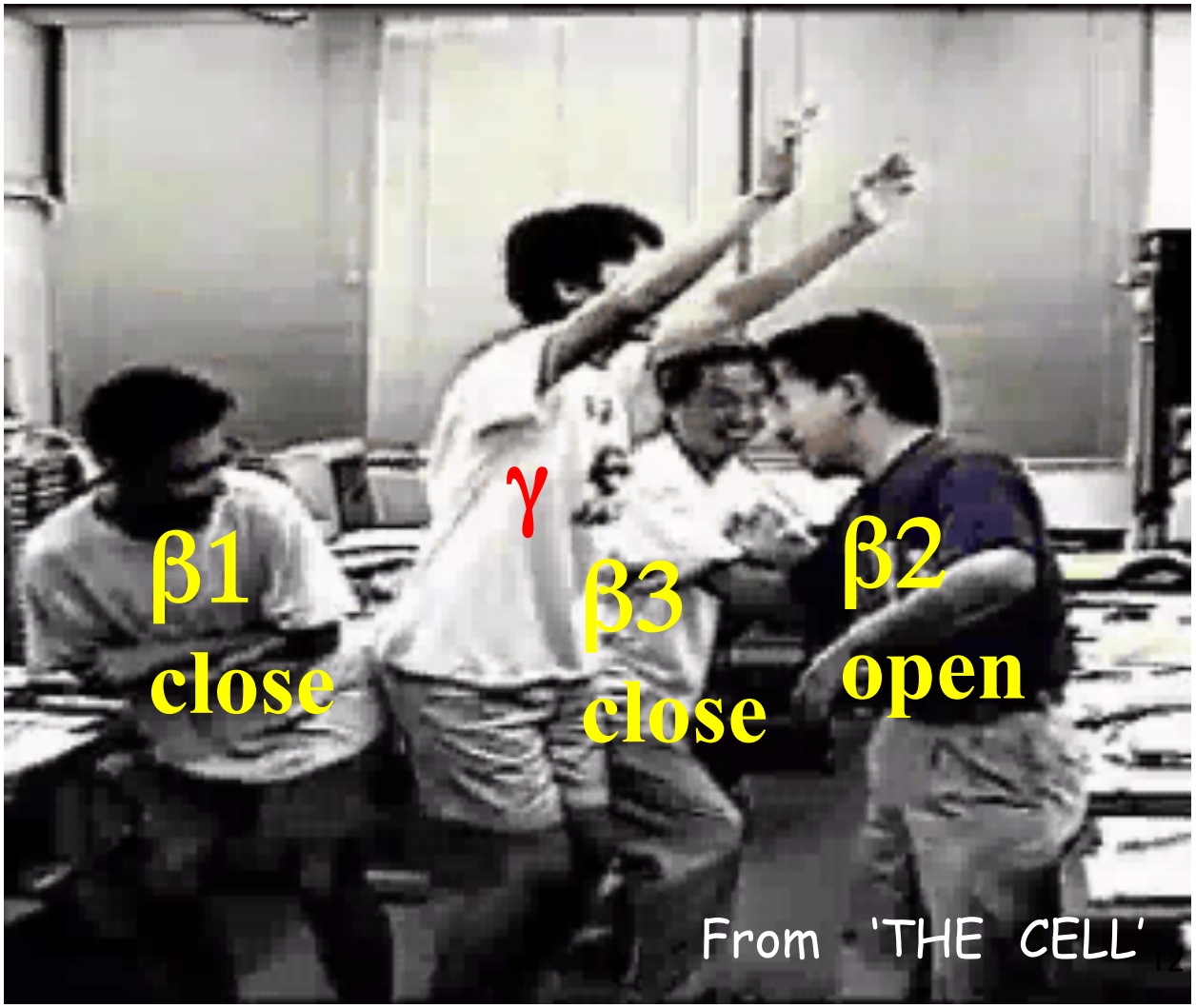
J. Walker (MRC, UK)
Structural Studies
=DNA seq.., Crystal structure

βの構造変化がトルクを発生する

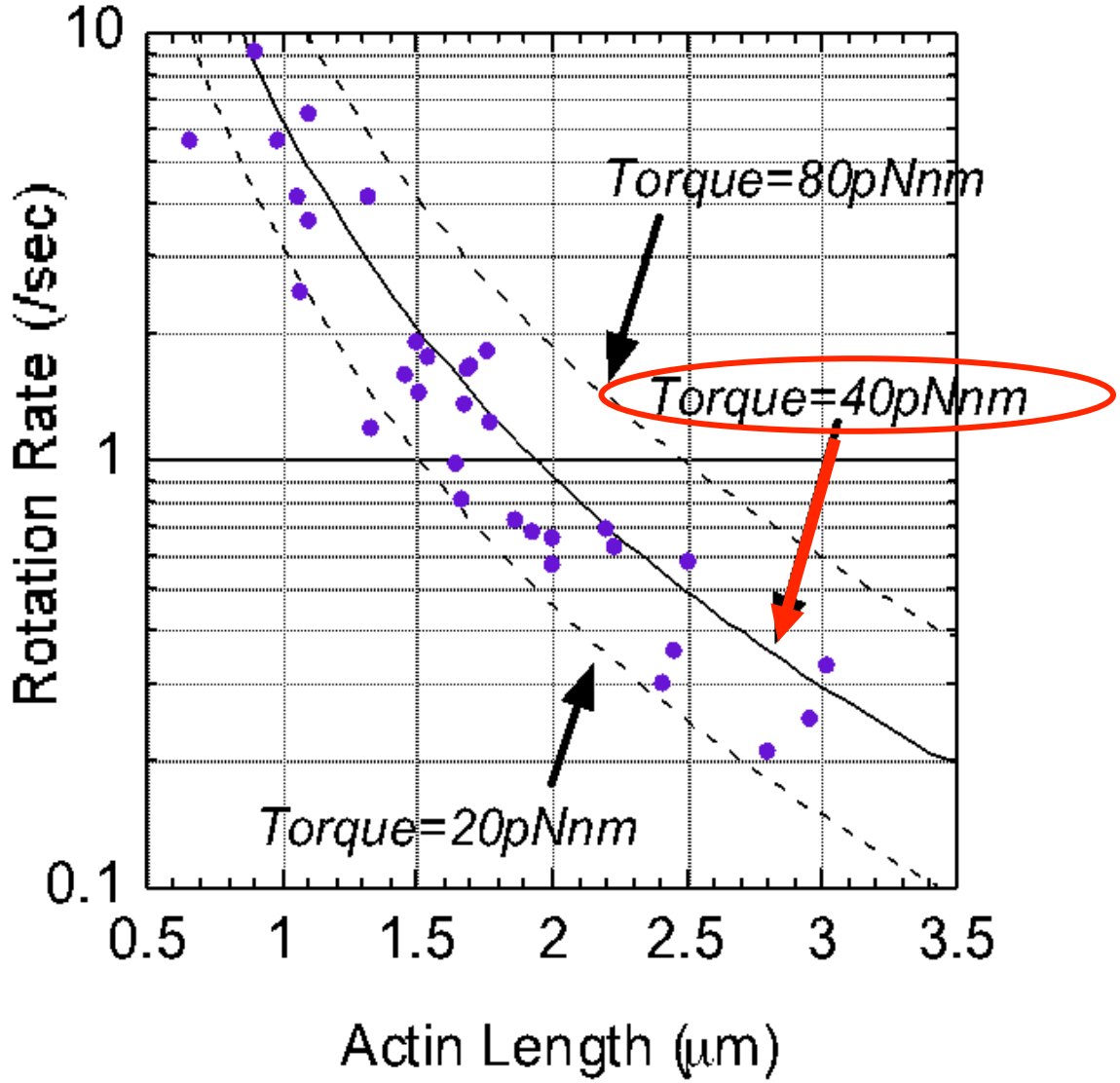


シミュレーション

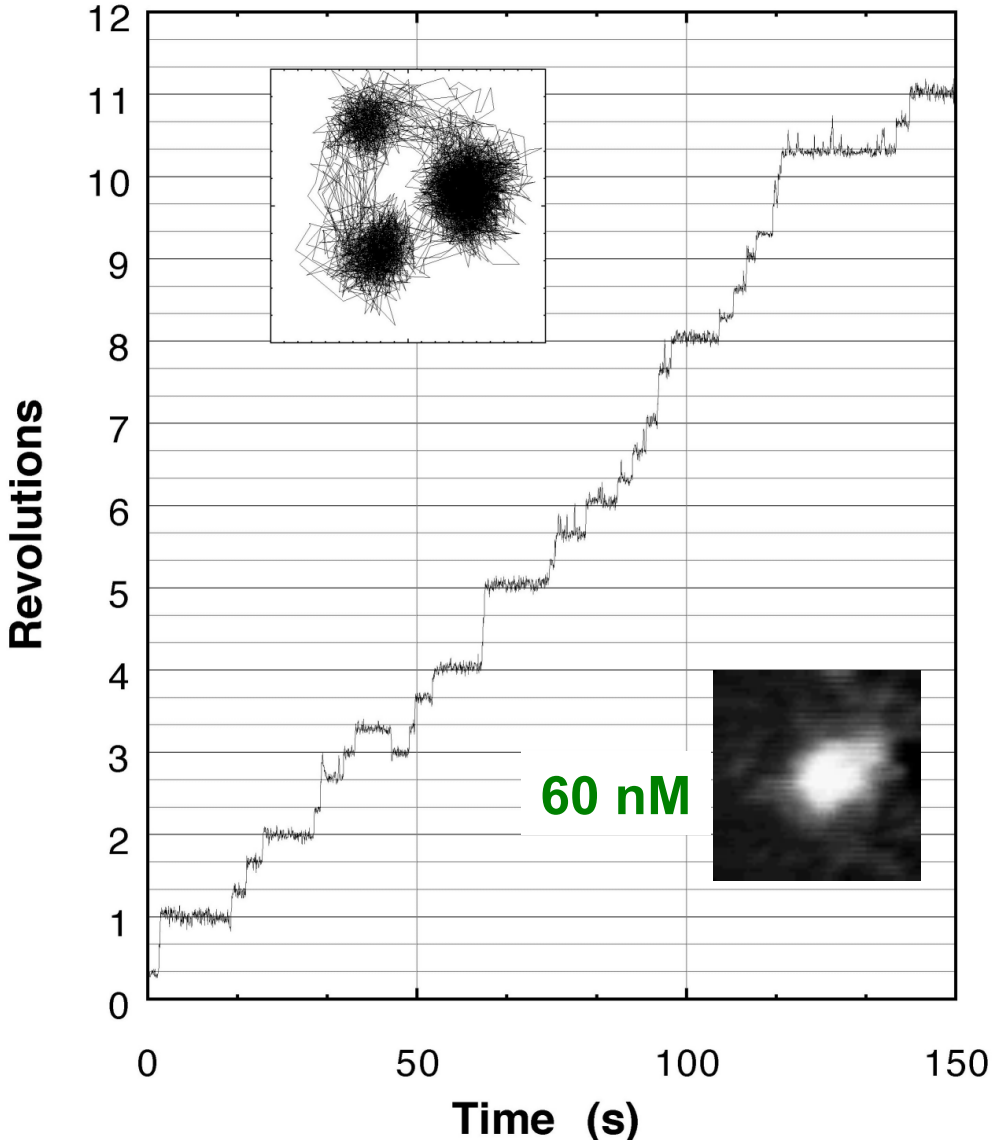
「間違い」も再現した正しいシミュレーション

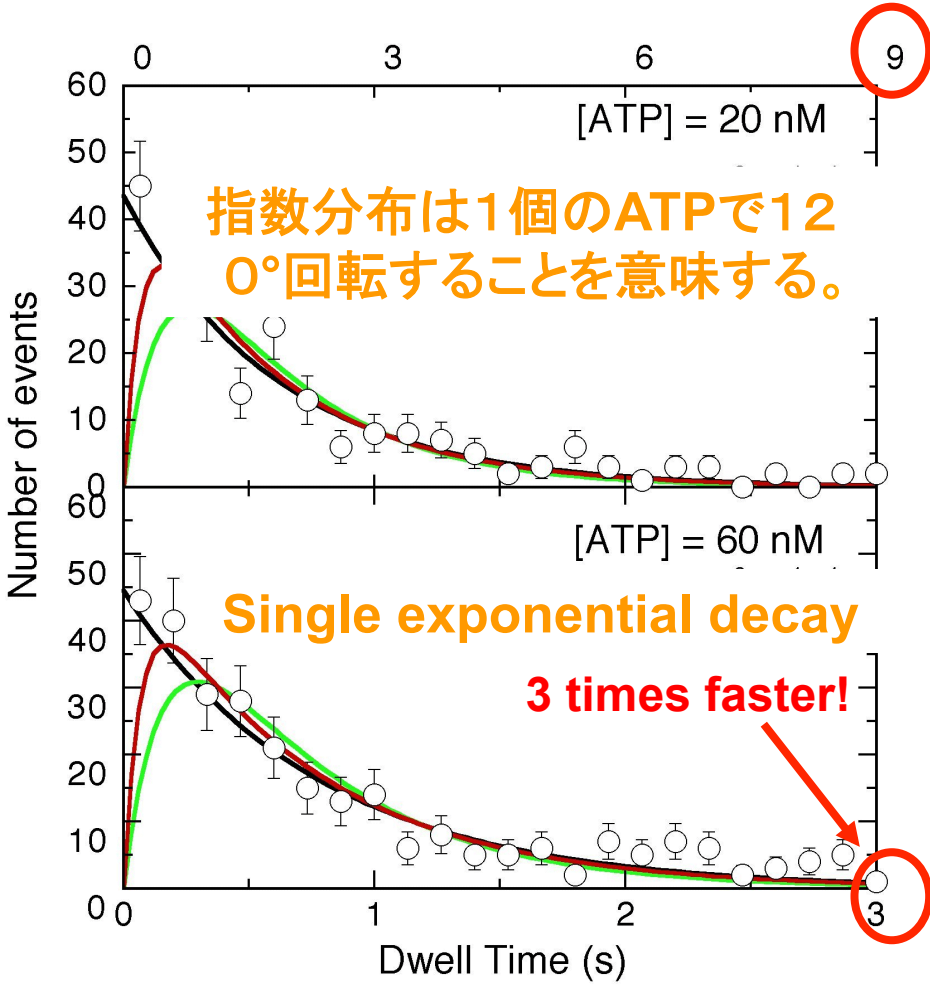


$$Torque = \omega \times \xi \cong 40 \ (10^{-21} N \cdot m = pN \cdot nm)$$



一回のATP加水分解で120回転





$$F1 + ATP \xrightarrow{k_{on}[ATP]} F1 \cdot ATP$$

Torque × 角度 =仕事量

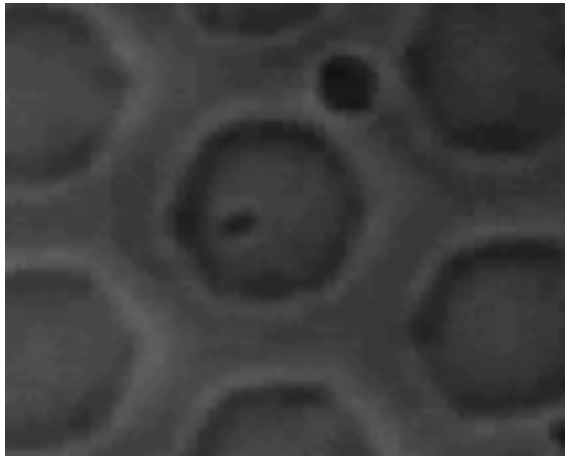
40pNnm × 2π/3 =80 pNnm

80 pNnm × N_A = 48 kJ/mole

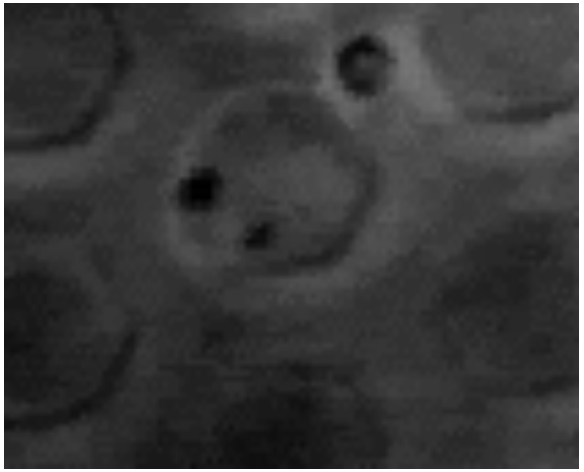
= ATPの加水分解エネルギー

入力と出力が一致？

F_1 モーターをメチャクチャ小さな試験管にとじこめる



5 分後



ATPが減ってだんだん遅くなる、、、

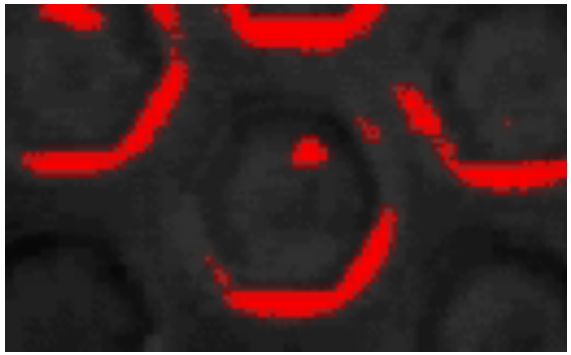
ってことは、速度からATP量がわかる！

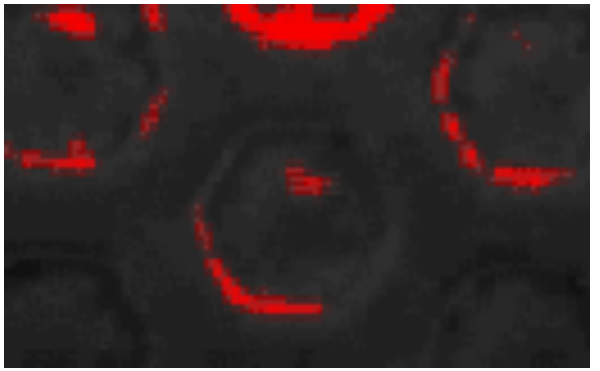
分子チョロQ

F1を逆回転して手を離す。

回転が速くなったらATP合成！

１回転で３個合成。高効率！





今日のメッセージ

- 大学では生物・物理・化学はつながる。
- 「ものづくり」で新しくて楽しい実験！
- 「おもろい」ことを突き詰めれば役に立つ（こともある）。