



Title	Na ⁺ 駆動型細菌べん毛モーターの力学特性
Author(s)	曾和, 義幸
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44353
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	曾 和 義 幸
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 7 9 4 5 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム人間系専攻
学位論文名	Na⁺ 駆動型細菌べん毛モーターの力学特性
論文審査委員	(主査) 教授 柳田 敏雄 (副査) 教授 佐藤 俊輔 教授 若林 克三

論文内容の要旨

細菌のべん毛モーターは、イオンの流入を回転運動に変換する分子機械であり、共役するイオンによって H⁺ 駆動型と Na⁺ 駆動型に区別される。これまで、大腸菌やサルモネラ菌の H⁺ 駆動型べん毛モーターを中心に研究は行われてきたが、H⁺ イオンの取り扱いの難しさからイオンとモーターの相互作用はほとんど明らかにされていない。Na⁺ 駆動型モーターは、Na⁺ 濃度によって回転速度を容易に変化させることができる、特異的阻害剤が存在しトルク発生ユニットの数を変化させることができるなど、機能解析に適した特徴を持っている。

本研究では、海洋性ビブリオ菌の Na⁺ 駆動型べん毛モーターの回転運動を計測し、出力特性であるトルクとスピードの関係を評価した。べん毛繊維は 30 nm と非常に細いため、通常の光学顕微鏡では観察することができない。そこで、回転はべん毛繊維に付着させたポリスチレンのビーズをプローブとして検出した。また、様々なサイズのビーズ (0.5~1.5 μm) を用いることでモーターへの負荷を変化させ、モーターの発生トルクを見積もることも可能になった。

外液の Na⁺ 濃度が 50 mM の条件において、低速度領域 (300 Hz 以下) ではほぼ一定のトルク (約 3800 pNm) を発生し、高速度領域では急激にトルクが減少する傾向を示した。また、外液の Na⁺ 濃度を変化させたとき、トルクスピード関係が低速度で一定、高速度で減少という傾向は変わらなかったものの、濃度の影響は低速度よりも高速度領域の方が大きかった。

以上の結果は、イオンの結合解離の過程を含めたサイクルモデルで再現することができた。これは、Na⁺ 濃度をナトリウム駆動力の一部 (細胞内外のイオン濃度の比) としてトルク発生に利用していると考えられるのではなく、絶対的な濃度を考慮にいれてメカニズムを提案する必要があることを強く示唆している。

論文審査の結果の要旨

細菌べん毛モーターは、イオンの流れと共役して回転するナノスケールの分子モーターである。このモーターは大きな熱揺らぎの中でも安定に回転する特徴を有するため、その動作原理は注目を集めており、ナノテクノロジーへの応用も期待される。本論文では、外液のイオン濃度や阻害剤により入力に摂動を加えることが可能な Na⁺ 駆動型モ

ーターに着目して、力学特性を詳細に計測し、回転モデルと比較することでメカニズム解明に取り組んでいる。

まず、べん毛繊維に動きの指標となるビーズを結合させ、高時空間分解能で回転運動を光計測する系を確立している。様々な径のビーズを用いることでモーターへの負荷を自由に設定することができ、回転モーターの基本的な力学特性であるトルクとスピードの関係を明らかにしている。モーターの回転には、複数個の分子の関与が示唆されているが、阻害剤と紫外線照射によるモーターの不活性化により、その数を特定している。これらのデータは H^+ 駆動型モーターと一致し、基本的なメカニズムは共通であると結論づけている。

次に、トルクスピード関係のイオン濃度依存性と回転モデルを元にした計算結果と比較検討し、回転運動の入力としては、イオン駆動力だけでなくイオンの結合解離の過程が重要であることを明らかにしている。また、実験値と計算結果の違いから、回転メカニズムを考察するうえで、1個のイオンが通過する際に起こると予想される単位ステップの検出とその負荷依存性を知ることが不可欠であると示唆している。この計測のためには、従来よりも高感度な計測が必要となるが、その基礎技術の1つとしてナノ計測に最適な位相差顕微鏡の開発にも成功している。

以上のように、本論文にて得られた知見はべん毛モーターの回転メカニズムを理解するうえで重要な情報であり、開発された系も応用範囲は広いと考えられる。したがって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。