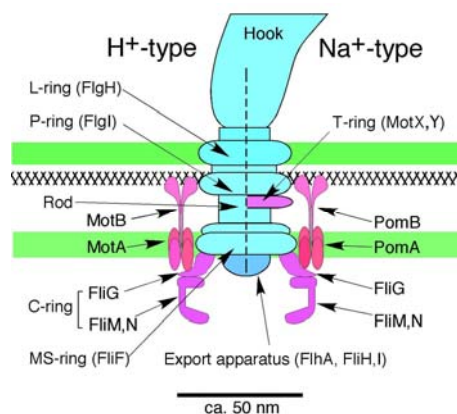


ディビジョン番号	8
ディビジョン名	生体機能関連化学・バイオテクノロジー

大項目	1. 生体機能関連化学
中項目	1-1. グリーンバイオ
小項目	1-1-7. べん毛モーター

概要（200字以内）

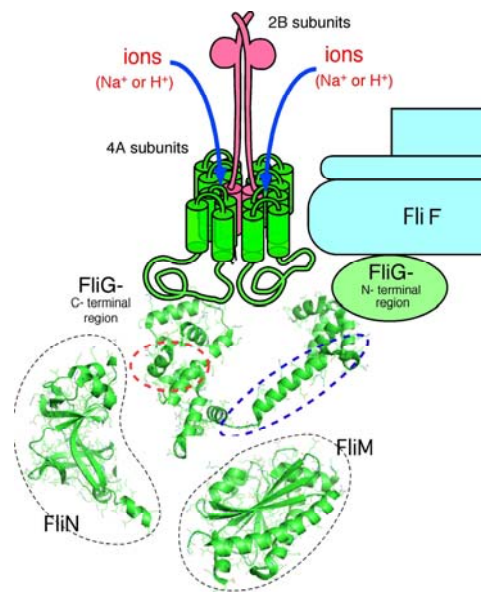
べん毛モーターは、直径約 50 nm の複数のリング構造から構成され、外膜、ペプチドグリカン層、細胞膜を貫通して存在する。回転トルクは、回転子とその周りを取り囲むように存在するとされる複数の固定子との間で、細胞膜を介した電気化学的勾配にしたがって流れ込むイオン（H⁺またはNa⁺）をエネルギー源として発生する。まさに、タンパク質で作られた精密機械といえる。究極の生物回転ナノモーターとして、原理の解明とその利用が望まれる。



現状と最前線

バクテリアは、べん毛とよばれる運動器官を回転させることにより液体中を自由に泳ぎ回ることができる。そして、外部環境を細胞膜上のレセプターにより感知・情報処理した後、べん毛の回転方向を制御して、より好ましい環境へ移動する高度な応答システムを持つ。べん毛はプロペラに相当するらせん状のべん毛繊維、モーターに相当し細胞膜に埋まっている基本体（回転子）とエネルギー変換ユニット（固定子）、プロペラとモーターをつなぎユニバーサルジョイントとして機能するフックから構成される。べん毛運動に関与する遺伝子は 50 以上あり、べん毛構造の構築に関与するもの、べん毛の回転に関与するもの、回転方向の制御に関与するものという 3 種類に大きく分けられる。どの遺伝子に欠損があっても運動に影響がでる。これら遺伝子の中には、欠損すると完全なべん毛構造が構築されるが動くことができない運動性欠損の表現型を示すものがあり、H⁺共役の大腸菌べん毛では、*motA*, *motB*, *fliG*, *fliM*, *fliN* の 5 つの遺伝子の変異によってこの表現型を示す。また、海洋性ビブリオ菌 (*Vibrio alginolyticus*) の Na⁺共役のモーターではこれら 5 つの遺伝子(ただし、*motA*, *motB*の代わりに *pomA*, *pomB*とよばれる)の他に、*motX*と*motY*遺伝子が同定されている。FliG, FliM, FliN は回転子の一部を構成し、その変異株は走化性欠損の表現型（モーター回転の方向制御が不能となる）も示すことからスイッチ複合体とよばれる。FliG は回転子の中でべん毛回転に最も直接的な役割を持つタンパク質である。これまでに明らかになった構造と推定されるモータータンパク質の配置についての模式図を示す。

べん毛モーターは、細胞膜を介した電気化学ポテンシャル勾配にしたがって細胞内に流れ込むイオンがもつ自由エネルギーを回転に変換する。1個のイオンが流れ込む際に放出されるエネルギーをイオン駆動力とよび、膜電位とイオン濃度差の2つの項から構成される。膜電位とイオンの濃度差は、同等にべん毛モーター回転を引き起こすことができる。イオン駆動力から回転運動を作り出す仕組みについては、現在のところ決定的なモデルはないが、パワーstrokeモデルが有力視されている。固定子チャンネル内のBサブユニット膜貫通領域のAsp残基へのH⁺の結合解離により、モーターAB複合体の細胞質側に構造変化を引き起こすことで、固定子複合体と回転子側のFliGが相互作用してトルクを発生させるというモデルである。



このモデルで注目したいことは、べん毛モーターの回転力が細胞質ドメインで発生することである。これに対して、もう一つの生物回転モーターとして知られているF型ATPaseモーターは、ATP合成時に回転子cサブユニットリングと固定子aサブユニットの膜貫通領域間で回転力が発生すると考えられている。バクテリアのべん毛モーターとF型ATPaseのモーターでは、同じエネルギー源を用いているにもかかわらず、その回転トルクの発生部位が異なる。イオン流を回転エネルギーに変換する分子ナノマシンのべん毛モーター回転機構解明は、これまで知られていたタンパク質相互作用の概念を崩し、新しい科学パラダイムに結びつく可能性のあるアドベンチャーな研究であると言える。

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

- 1) 回転子と固定子タンパク質の中で、トルク発生に直接関与するものを特定する。
- 2) イオン結合とモータータンパク質の構造変化を検出できる系を構築する。
- 3) モーター膜タンパク質の三次元構造を決定する。

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

- 1) モーター膜タンパク質複合体全体のエネルギー変換ユニットの三次元構造を決定する。
- 2) モーター回転時におけるイオン流入とトルク発生との定量的な関係を計測する。

キーワード

エネルギー変換・イオン駆動力・原核生物・膜タンパク質・運動

(執筆者： 本間道夫)