

蛋白質の分子モーターと線毛（鞭毛と繊毛）

— ダイニンとキネシン —

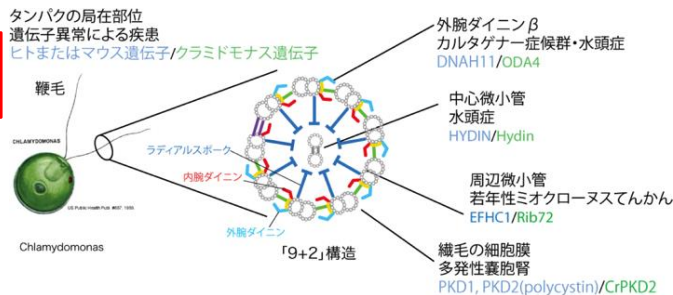
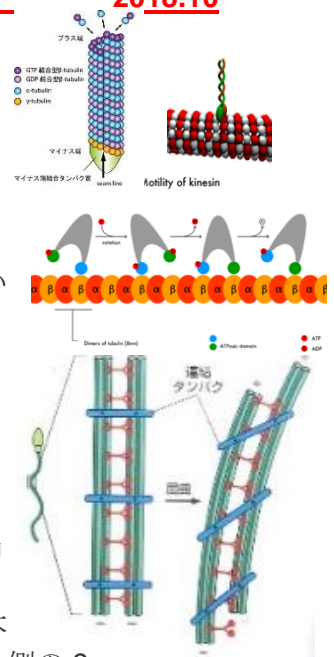
<https://l-hospitalier.github.io>

2018.10

感染対策の基礎知識

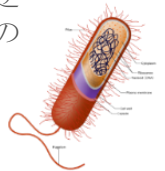
#160

現代の生物史観は 1990 年のカール・ウーズの 3 ドメイン説に従い ①原核生物（細菌）②真核生物 ③古細菌に分ける。これら生物の運動は蛋白質分子モーターによる。哺乳類のような真核生物はマクロな運動は骨格に付着する筋肉組織が行うが、細胞内のミクロな動きは分子モーターのキネシンとダイニンが主要構造で、細胞内の微小管の外側を歩くように移動する（右図）。【真核生物の微小管 microtubule】は 1962 年に動物と植物で発見された細胞小器官で長い紐状の α と β チューブリン（蛋白質）を交互に 13 本はりあわせた直径 24 nm の管状構造を持つ（螺旋ではない）。両端はプラスとマイナスの区別があり蛋白分子は $-\alpha\beta\alpha\beta\cdots\alpha\beta\alpha\beta+$ と配列する。この微小管をレールにして ATP 分解で+に向かって移動するのがキネシン、-に向かうのがダイニンで酔っぱらいの歩行のように蛋白の本体をゆすりながら移動する。ダイニンには【真核生物の鞭毛や繊毛】を動かす軸糸ダイニンとミトコンドリアなど細胞内小器官を移動させる細胞質ダイニンがある。鞭毛の中核は軸糸と呼ばれ、左図の



ように中心に 2 本の微小管の対と外側の 9 本の管の 9+2 構造^{*1}と呼ばれる円筒構造を持つ。2 本の微小管に両端で付着するダイニンは ATP を消費する移動で軸糸（鞭毛）を屈曲させることができる（右上図）。微小管は真核生物のみ。1990 年代に繊

毛や微小管の異常と多発性嚢胞腎、カルタゲネル症候群、内臓転位症などの関係が明らかになり**繊毛病**と命名された。カルタゲネル症候群 Kartagener Syndrome は内臓逆位・慢性副鼻腔炎・気管支拡張症が 3 主徴。胎生初期に繊毛運動による水流（渦）の形成が内臓配置の左右決定に関与し、繊毛不動症では内臓転位（鏡像）、内臓錯位（左右対称、多脾）が起きると考えられる。【細菌の線毛】原核生物ではチューブリンの代わりにフラジエリン蛋白が重合したもので線毛が構成されダイニンではなく鞭毛の付け根に分子回転モーター（下図）があり、1 本の鞭毛が回転運動する。細菌の代表的長さは 3 μm 、速度も遅く流体の力学的性質を表すレイノルズ数 Re は極小。直

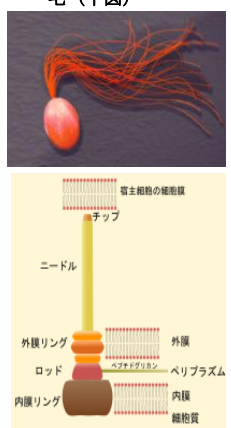
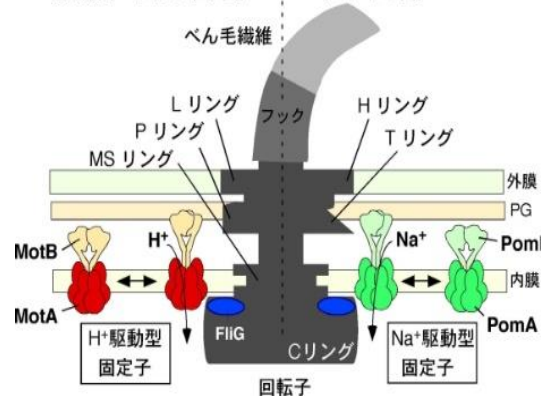


原核生物（細菌）の繊毛と鞭毛（上）と古細菌の鞭毛（下図）

にとって周辺の水は水飴の様でコイル状の針金を回転させて推進力を得る（完全粘性支配で慣性は 0 に近い）。回転に必要なエネルギーは細胞内外のイオン透過に共役した電気化学的ポテンシャル（イオン濃度勾配）を運動エネルギーに変換する。そのため ATP 不要。H⁺や Na⁺の濃度差が消費される。腸管出血性大腸炎を起こす O157:H7 は鞭毛を回転させる分子モーター（右）と相同のⅢ型分泌装置 T3SS Type 3 Secretion System（右端）を持ち、鞭毛の表面抗原 H7 が O157 の毒性と関係がある原因ではと思わせる。

【古細菌の線毛】は細菌に似るが通常多数の鞭毛をもつ（右図）。外観は細菌に似るが相同性はなく、回転駆動は ATP 分解依存でメカニズムは真核細胞に似る。

H⁺駆動型モーター（大腸菌・サルモネラ菌） Na⁺駆動型モーター（ビブリオ菌）



*1 2+18 構造? *2 結核菌のⅦ型分泌装置は菌の毒性に関与。カルメとグラン (G) により継代培養された牛型結核菌パチルス (B) カルメ (C) グラン (G) BCG はミコール酸お細胞壁を貫いて毒素を分泌するⅦ型分泌装置の欠損型?。