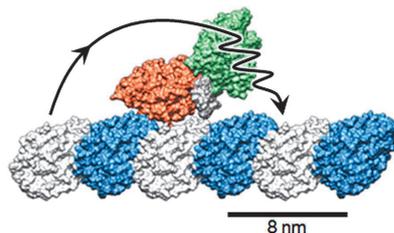


生命活動の素過程は、大きさが数～数十 nm の「タンパク質分子機械」が担っている。分子機械は、方向性のある動きによって機能を発現する。現在では、顕微解析・操作技術などの開発にともない、1分子レベルでその機能を見て操作することができる。直線運動を起こす分子モーターとして働くアクチン・ミオシンや微小管・キネシン（ダイニン）、それに回転分子モーターである大腸菌のべん毛モーターや  $F_1F_0$  ATP 合成酵素など、さまざまな分子機械のしかけがナノレベルで解明されつつある。

タンパク質は、直鎖状につながった多数のアミノ酸が3次元的に折りたたまれた構造体であり、多数の内部自由度をもつ。分子機械が機能を発現するとき、この多数自由度が複雑にからみ合う。運動性分子機械において、化学エネルギーが力学的の仕事に変換される物理機構を解明するためには、立体原子構造の解明に加えて、分子動力学による動態解析や多自由度非平衡統計力学の開発も必要だろう。

このように1分子生理学を突きつめたうえで、「生命とはなにか」という問いに対する物理学的な答えを得ることが将来的な課題である。そのためには、生物の基本単位である細胞が、複製も含め自律的システムとして働く仕組み



微小管上を前進するキネシン分子モーター。2量体の一方(橙)が微小管に結合し、他方(緑)が前方に再結合(矢印)する。動力源はATP加水分解反応(自由エネルギー差)。(早大物理高野研提供)

を、物質レベルで説明しなければならない。わずか数 $\mu\text{m}^3$ ほどの単細胞生物である大腸菌でさえ、千種類もの分子機械を数百万個内包する。高等生物の細胞はさらに複雑で、タンパク質合成を担うリボソームや、環境情報を受け取る膜受容体、細胞骨格を歩きかう分子モーター、「エネルギー通貨」ATPを生み出すミトコンドリア、変性や老廃物を修理し処分する分子装置や小器官、そして細胞核や遺伝子群が存在し、物質代謝が時々刻々と行われている。細胞機能の動的秩序や自律性は、どのように設計されているのか。各分子機械の動作原理を解明した先に待ち受けるのは、極度な混み合い状態のなかで分子機械が集団協調的に働く「場」としての細胞、その設計原理の解明である。

石渡信一(早大理工)、会誌編集委員会