

基礎研究会

「一分子システムの統計物理学：生体分子機械の物理的理解に向けて」

2005 年 12 月 15～16 日

理論物理の対象としての 1 分子モーター

東京大学大学院総合文化研究科

佐々 真一

あるタンパクが別のタンパク上を一方向的に動いているらしい。そして、この方向的運動は非平衡条件下で持続する化学反応を駆動力としているらしい。与えられた環境の化学成分の条件とたんぱくの構造から、化学反応の過程、タンパク内部の変形過程、並進運動への変換過程が「なるほど」という感じでわかりたい。

一般に、「なるほど」というのはくせ者である。たとえば、ゴムに働く弾性の起源を理解したいとする。各セグメント間に働く力は非常に弱いので、ひきもどそうとする力を、セグメントを局所的にみていたのでは、定量的にまったくあわない。熱力学／統計力学から周知のように、このひきもどす力の大半（理想ゴムではほとんど全て）が、エントロピー由来である。つまり、ミクロレベルの典型的な力を考えても理解できず、あっちにいたりこっちにいたりランダムな力の和が状態数の大きい方向に偏ることを理解しなければならない。このような力はエントロピー力とよばれ、統計力学の醍醐味のひとつであるが、理解するのは簡単ではない。「なるほど」と思うには、統計力学の修行が必要である。

もし、たんぱくの運動が、局所的で素朴な直感だけで理解できるなら、たんぱくの構造解析と化学反応経路を徹底的に調べるだけで十分かもしれない。その一方、統計的重率が大きく影響する場合、構造解析の結果だけみていたのでは理解するのは困難である。しかし、それでも、統計力学が確立しているのだから、たんぱくの構造解析の知見にもとづいて、統計的重率をあてはめれば、エントロピー力も含めて議論できるかもしれない。もし、そうなら、たんぱくの運動は、新しい物理理論を切り開く題材ではない。

ここで注意したいのは、確立している統計力学は、あくまで、平衡統計力学である。化学反応を介してたんぱくが変形して並進運動に転換されるとき、平衡統計力学の知見が第一近似として働かない状況はありえる。そのようなときこそ、そこにあたらしい考えが見いだされる可能性がある。もちろん、理論的に有用なものは何もない可能性もある。つまり、理論物理学者が、生物分子モーターの運動を考察するなら、平衡系近くの考えでつきののだろうか

が最初の論点であり、尽きない場合に新しい考えが用意されているかどうかを検討するのが第2の論点である。

これらの論点を実験、数値実験、理論の立場から議論しつくのは重要であるが、私の手に余る。そこで、モデルを用いた理論的考察に限定しよう。その場合、着目する時間空間スケールの大きさに応じて、3種類のモデル化がありえる。ひとつめは、原子レベルの自由度を考慮したモデルである。ふたつめは、アミノ酸残基(の重心)の自由度に対するモデルである。3番目は、たんぱく(の重心)に対するモデルである。これらのモデル相互の関係を考察することによって、平衡近くの考えでいいのかどうか、新しい考えとしてどのようなものが提案されているかを具体的に論じることができるかもしれない。この議論は、論文 S. Sasa, "effective description of small non-equilibrium systems"で試みられている。近年中に Prog. Theor. Phys. Suppl. から出版される予定なので、参照されたい。