

MAKING THE PAPER

David Leigh

Nature Vol.445(xi)/1 February 2007

新しい分子マシンへの扉を開ける



生物モーターは多くの細胞内過程を駆動している。すでに、これに似せた合成モーターがいくつも開発されており、ナノマシンとして機能している。しかしながら、天然の分子マシンと人工の分子マシンの間には大きな違いがある。例えば、筋肉の収縮に関与する生物学的モーターなどは化学系を平衡から遠ざけるように作用するのに対して、化学者が合成するマシンは平衡に近づけるように作用するものばかりだったのである。

英国エジンバラ大学のDavid Leighの研究室が新しい一歩を踏み出したのは、彼らが分子マシンの製作に取り組むようになってから10年が経過した頃のことだった。2003年のミーティングで、Leighは博士課程の学生だったEuan Kayに、生体分子モーターの仕組みについて理論物理学者がどのような提案をしているかを調べて発表するように依頼した。「彼は、理論物理学者が提案していたさまざまな機構を有機化学者にも理解できる言葉で説明するという離れ業をやったのだ」とLeighは回想する。「彼の発表が終わる頃には、目からウロコが落ちたような気分になっていた」。自然に分布している粒子の位置を変えられる分子マシンを合成しようと彼らが思い立ったのはそのときだった。

彼らの分子マシンのデザインは、物理学者James Clerk Maxwellが140年前に提案した思考実験をヒントにしている。Maxwellは、気体が充満した2つの容器の仕切りに開いた小さなドアを開けたり閉めたりする小さな魔物を考え出した。魔物は、右の容器から特に高速の気体分子がやってきた場合にのみ、ドアを開けてこれを左の容器に通すということをしている。ただそれだけで、左の容器には高速の気体分子が集まって温度が徐々に上がっていき、右の容器の温度は下がってくる。このように、外部からエネルギーを加えることなく自然に加熱と冷却が起こるなら、それは熱力学の

第二法則に反している。熱力学の第二法則にはいろいろな表現のしかたがあるが、その1つに、「外部からエネルギーを加えることなく系の秩序が増すことはない」というものがあるからである。

Leighのチームは、Maxwellの魔物のような動作により、粒子の相対的な位置に応じてこれを選別する分子マシンを設計した。この分子はロタキサンとよばれ、両端に大きなストッパーがついた直鎖状のパーツに環状のパーツが引っかかった構造をしている。直鎖状のパーツの左寄りの位置には「ゲート」があって、環状のパーツが左右に動き回るのを阻止している。

環がゲートの左側にあるときに光が当たると、環が受け取った光エネルギーがゲートに伝わり、ゲートが開く。そこで環が右側に移動すると、再びゲートが閉じる。逆に、環がゲートの右側にあるときには、ゲートからの距離が遠すぎるため、受け取った光エネルギーを伝えてゲートを開くことができない。その結果、粒子は右側に蓄積して、系の秩序が増すことになる。なお、この系には光エネルギーが加えられているので、熱力学の第二法則には反していない。

同研究室の博士候補のViviana SerreliとポスドクのChin-Fa Leeは、この作業を遂行できるロタキサンを3年以上かけて構築した。チームはその間、小さなパーツをいくつも合成し、テストしては、そのデザインを洗練させていった。そしてついに、すべてのパーツを組み合わせた分子マシンが完成したのである。「最初に光を照射して、平衡状態にあった環の分布が変わっていくのを目にしたときには、畏敬の念に満たされた」とLeighはいう。

彼は今、生体膜に組み込まれているポンプのような機能をもつ分子モーターを合成しようと計画している。「私たちは、今日の分子マシンよりもはるかに進んだものを作り出したいのだ」と彼はいう。 ■