

紹介 クローズアップ研究者①

単一分子計測と 光・分子デバイスへの展開

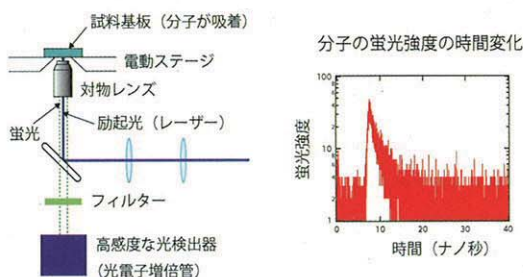
神戸研究所 未来 ICT 研究センター ナノ ICT グループ 専攻研究員 分子フォトリックプロジェクト
梶 貴博 博士 (工学)

一つの分子を見る

分子は、世の中にある機械や生き物で使われる部品の最小単位のひとつといえます。一方、光は、高速かつ低消費エネルギーで情報処理を行う媒体として注目されています。そのような、分子と光を用いることで、今ある生物でも機械でもない、超低エネルギーで動作する全く新しい情報処理デバイスを実現できるかもしれません。そのための第一歩として、分子の一つ一つを「見る」ことの意義があります。それでは、分子のような小さいものを見るにはどうすればよいでしょうか。単に顕微鏡をのぞくだけでは、分子の一つ一つを「見る」ことはできません。そこで、私たちは2つの特殊な顕微鏡技術を使って、分子を見ることに取り組んでいます(図1)。まず、一つ目は、蛍光ペンなどに使われる蛍光色素から出て

くる光を観測することで一つの分子を見る、単一分子蛍光顕微鏡と呼ばれる方法です。そして、二つ目は、微小な針をスキャンしながら、針に流れる電流や針の振動の変化を読み取ることで一つの分子を見る、走査プローブ顕微鏡と呼ばれる方法です。一つ目の方法の特徴は、非常に短い時間に関する情報が得られることです。特に、分子から出てくる光(光子)のタイミングを一つ一つ数える、単一光子計数という方法を用いることで、ピコ秒(10⁻¹²秒)からナノ秒(10⁻⁹秒)の時間分解能で分子一つ一つの「動き」の情報を得ることができます。一方、二つ目の方法は、非常に小さい空間に関する情報が得られます。こちらは光を用いませんが、分子一つ一つの形を、原子レベルの空間分解能で、文字通り、画像として「見る」ことができるのです。このような、顕微鏡技術が生まれたのは、ちょうど今から20~30年前のことです。そして、急速に発展したのはここ10年くらいのことでしょうか。しかし、現時点ではこれら技術はそれぞれ単独で進化している過程にあるにすぎません。今後、色々な分野と融合しながら、新たな発展を遂げていく段階にあると感じています。

単一分子蛍光顕微鏡



走査プローブ顕微鏡

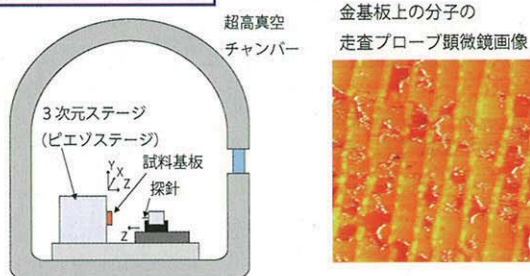


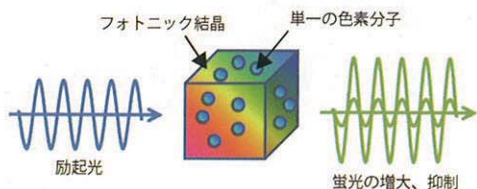
図1 単一分子蛍光顕微鏡と走査プローブ顕微鏡

見えなかった単一分子を見る方法の開発

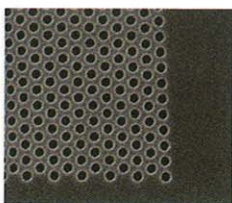
そのような中、私たちが現在進めている研究のひとつは、これまで見えなかったような単一分子からの蛍光を観測する手法の開発です。蛍光色素には、よく光るものとあまり光らないものがありますが、これまで単一分子の観測に用いられていた分子は、最もよく光る一握りの分子に限られていました。そこで、このようなあまり光らない分子についても単一分子観測を可能にするために、フォトリック結晶と呼ばれる特殊な構造に着目しました(図2)。フォトリック結晶とは、2種類の異なる屈折率をもつ物質が光の波長程度のサイズで周期的に並んだ構

造であり、自然界に存在するオパールなどが代表的なものです。フォトニック結晶の内部では、構造に共鳴する光の強度が増大することが知られています。そのため、単一の蛍光色素の蛍光強度も増大すると期待できます。私たちは、ノイズとなるバックグラウンドの光がほとんどない非常に「透明」なフォトニック結晶の作製を進めています。このようなフォトニック結晶が作製できれば、単一分子の蛍光観測だけにとどまらず、超高感度なバイオセンシングや、さらには新しい光と分子をつなぐデバイスへの展開も期待できます。また、一方では、走査プローブ顕微鏡の空間分解能と、単一分子蛍光顕微鏡の時間分解能を併せ持った単一分子の観測装置の開発も進めています。この装置が実現すると、これまで明らかになっていなかった、分子のナノスケールの周囲の環境と分子自身の「動き」や「個性」に関する情報を直接得ることができるようになります。これにより、どのように分子を一つ一つ配置すれば最も効率的に動作するかなどの、光・分子デバイスの設計に向けて重要な知見が得られることが期待できます。

フォトニック結晶による色素分子の発光制御の模式図



合成石英ガラスの上に作製したフォトニック結晶



蛍光色素 (左: ペリレンビスイミド、右: ポルフィリン)

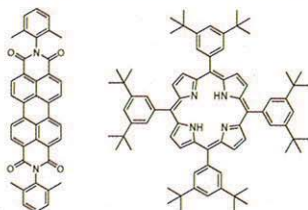


図2 フォトニック結晶による色素分子の発光制御

光・分子デバイスの今後の展開について

現在のエレクトロニクスのデバイスは、分子のサイズからすると非常に大きな物質の中の電子を利用するデバイスです。一方、私たちが目指すデバイスは、分子サイズで制御された分子と光を利用するデバイスです。素子の大きさが最小単位なので、最も低エネルギーかつ最小の空間内で



学歴
2006年 大阪大学大学院生命機能研究科生命機能専攻博士課程修了(修士号取得)
2009年 大阪大学大学院基礎工学研究科物質創成専攻博士後期課程修了

職歴
2009年 グローバルCOE (物質の量子機能解明と未来型機能材料創出) 特任助教 (大阪大学)
2009年 12月より現職

近況
「尺八の師範をもつ祖父にすめられて」という堀さん。今年からその尺八を本格的に習いだしたとのこと。西洋的な音階にはない独特の音色を楽しんでいるようです。「集中力が高まるし、肺活量も増えたような気がします」

高効率に動作することが期待できます。分子は光と相性が良く、また、再生可能でクリーンな材料です。例えば、自然界の光合成における反応中心では、ナノサイズで精巧に配置された色素分子の間を高速で光エネルギーが移動しており、また電子も移動しています。これにより、光エネルギーから化学的なエネルギーへの変換が行われています。このようなスケールでは、光エネルギーや電子の移動(情報通信)と化学的なエネルギー変換(物質変換)は同じレベルで行われているといえます。すなわち、光・分子デバイスの将来の形のひとつとして、光を介した情報通信にとどまらず、光や電子と関わって何らかの物質の変換が伴うものが考えられます。例えば、通信機能をもった超小型の太陽電池や燃料電池のようなものに応用されるかもしれませんし、超小型の医薬品の製造装置などになるかもしれません。そのような、既存のデバイスとは全く異なる機能をもつデバイスの実現のため、基盤となる技術の開発を進めていきたいと考えています。