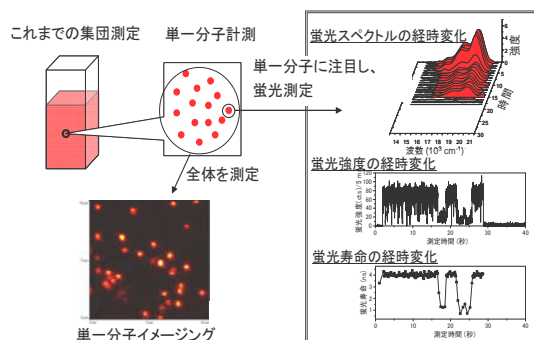


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-3. 空間分解分光
小項目	1-3-2. 単一分子蛍光分光・イメージング

概要（200字以内）

「1つの分子を見る」測定法は飛躍的な発展を遂げ、現代科学において必要不可欠な測定法となっている。中でも単一分子蛍光分光・イメージングは、化学、物理、バイオなど非常に幅広い研究分野に応用され、これまで測定不可能であった個々の分子の特性や科学現象を解明してきている。今後は、プローブ顕微鏡による単一分子の形状を見る計測と組み合わせることで、ナノサイエンス・ナノテクを支える究極の計測手法になると期待される。



現状と最前線

1980年代の終わりに、たった1つの分子を見ることが実現して以来、様々な単一分子計測の技術が確立されつつあり、ナノサイエンス・ナノテクを支える重要な計測法となっている。現在、単一分子を見ることのできる計測方法は、光学顕微鏡下において光（単一分子からの蛍光や散乱）を検出する分光法と、原子間力顕微鏡 (AFM) や走査型トンネル顕微鏡 (STM) などの走査型プローブ顕微鏡により分子の形状を検出する方法に大きく分けられる。

一般に蛍光測定は分子の電子状態を解析し、分子の緩和過程や反応ダイナミクスを測定できる測定法として、物理化学を始め、多くの研究分野で必要不可欠な測定法である。単一分子蛍光分光・イメージングでは、この蛍光測定を単一分子レベルで行うことにより、単一分子のコンフォメーション変化、動き、または単一分子の周りのナノ環境の変化などを測定することができ、従来の多数の分子を対象とした蛍光測定では集団平均の中に隠されていた個々の分子の特性や科学現象を解明することが可能となっている。測定対象物として、固体基板上に固定化した分子のみならず、溶液中や高分子薄膜中、または細胞中における単一分子も測定できる点もこの測定法の強みである。そのため、今日では化学、物理、バイオなど、非常に幅広い研究分野において必要不可欠な測定法となりつつある。単一分子蛍光分光では、1つの分子にレーザー光を照射し続け、単一分子の蛍光スペクトル、寿命の経時変化などの測定を行うのに対し、イメージングは、全反射照明などを用い広範囲を照明し、照射範囲にある単一分子を同時に計測する測定法である。

単一分子蛍光分光においては、装置として走査型共焦点顕微鏡が主に用いられている(図 1)。この計測法を用い、初期の頃は、様々な蛍光性色素を対象とした単一分子レベルでの光物理過程の解明が行われてきた。その後、 dendrimer などの超分子や共役ポリマー、量子ドット、または光捕集アンテナなど、より複雑な系に適用されてきている。

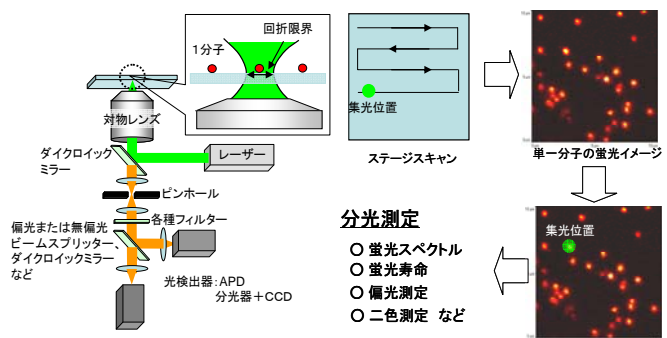


図 1. 走査型共焦点顕微鏡による単一分子蛍光分光装置

現在ではこれらに加え、FRET 測定によりタンパク質などの生体分子のコンフォメーション変化を観察する研究や、単一分子からの蛍光をプローブとして、単一分子周りのナノ環境の変化をモニターする研究も行われている。また、次世代量子情報技術に必要な「単一光子発生源」に関する研究も盛んに行われている。しかしながら、この分光測定は我が国ではあまり行われておらず、欧米に遅れをとっているのが現状である。

一方、イメージング測定は、励起光の照射範囲が広範囲であるため、この範囲内における単一分子の動きを計測可能なことが利点である。この手法は、バイオの研究分野では非常に盛んに用いられており、細胞中における蛍光ラベルした特定のタンパク質の動きや、遺伝子発現のリアルタイム観察なども試みられている。また、蛍光性の基質を用いることで無機触媒結晶上の触媒活性スポットの空間分布を観測した例もある。最近では、顕微鏡の焦点をずらして測定するデフォーカシング測定(図 2)により、そのイメージパターンから単一分子の遷移双極子の向きを測定することも可能となっている。これにより、単一分子の回転をリアルタイムで観測することが可能である。イメージングを用いたバイオ研究は、我が国において非常に多く行われており、世界をリードしていると思われる。

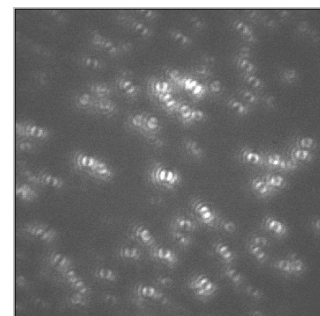


図2. デフォーカシング測定

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
 - ・ プローブ顕微鏡と蛍光検出を組み合わせることで、単一分子の形状と電子状態(蛍光特性など)を同時測定可能な装置の開発
 - ・ 蛍光以外の光検出(表面増強ラマン散乱検出)による単一分子分光法の確立
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
 - ・ プローブ顕微鏡と光検出を組み合わせ、単一分子の構造を操作または単一分子の任意の部位で反応を誘起させ、その電子状態の変化をリアルタイムで測定可能なシステムの構築

キーワード

単分子計測、単一分子分光、蛍光イメージング、単一光子

(執筆者: 増尾 貞弘、板谷 明)