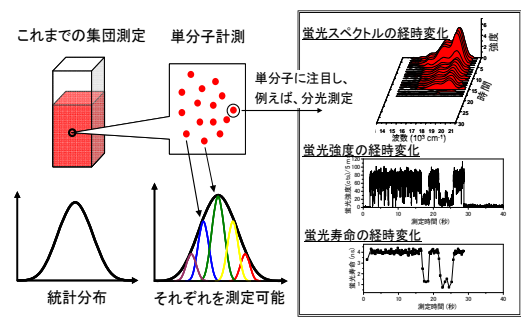


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-1. 計測
小項目	3-1-1. 単分子計測

概要（200字以内）

近年、単分子計測は飛躍的な発展を遂げ、様々な計測法が確立されつつある。この計測法は、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、これまで独立して発展してきた光検出による計測とプローブ顕微鏡による単分子の形状を見る計測を組み合わせることで、ナノテク・材料化学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、科学者の長年の夢であった“単一分子を見る”ことが実現して以来、様々な単分子測定技術が確立されつつある。単分子計測は、これまで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の解明を可能としている。また、単分子のコンフォメーション変化、動き、または単分子の周りのナノ環境の変化をほぼリアルタイムでモニターすることなどが可能となっている。単分子計測はナノサイエンス・ナノテクノロジーを支える究極の計測方法として捉えられ、化学、物理、バイオなど幅広い研究分野で用いられている。現在、単分子計測が可能な測定方法は、光学顕微鏡下において光（単一分子からの蛍光や散乱）を検出する方法と、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別され、研究目的により使い分けられているが、ここでは光検出による単分子計測についてレポートする。

光検出による単分子計測法では、光を用いるため空間分解能は光の回折限界、すなわち数百ナノメートルとなるため、単分子を計測するには分子同士が十分に離れた希薄な試料が必要となるが、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分子も測定することが可能である。光検出においては蛍光測定が最も感度が高いため、従来は蛍光検出による単分子計測に限られていたが、近年、銀や金などの金属ナノ粒子に吸着した分子の表面増強ラマン散乱測定によっても単分子計測が可能になってきた。ラマ

ン散乱は無蛍光物質であっても検出可能であり、分子構造に関する情報が得られることから最近盛んに研究が行われている。とはいえ、現状では、蛍光検出による計測が最も多く行われている。計測方法としては、1つの分子にレーザー光を照射し続け、単分子の蛍光スペクトル、蛍光寿命の経時変化などの測定を行う分光測定と、全反射照明などを用い広範囲を照明し、照射範囲内にある単分子を同時に計測する蛍光イメージングに大きく分けられる。

前者の分光測定においては、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)。この計測法を用い、初期の頃は、様々な蛍光性色素を研究対象とした単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

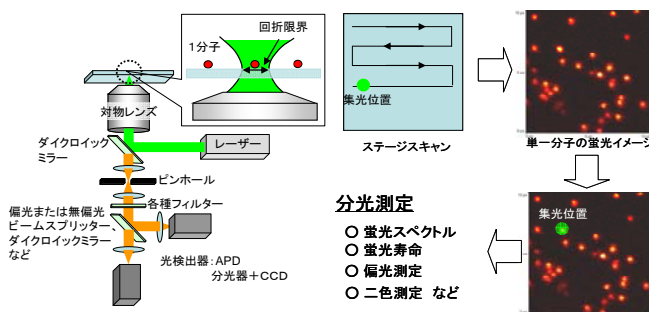


図. 走査型共焦点顕微鏡を用いた単分子計測装置

系に適用されてきている。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、単分子からの蛍光をプローブとして測定し、単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、蛍光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。この計測方法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。

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
 - ・ プローブ顕微鏡と光検出を組み合わせることで、単分子の形状と電子状態(発光特性など)を同時測定可能な装置の開発
 - ・ 表面増強ラマン散乱検出による単分子計測法の確立
- ・ 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、単分子の構造を操作または単分子の任意の部位で反応を誘起させ、その構造・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、表面増強ラマン、蛍光イメージング、単一光子

(執筆者：増尾貞弘、板谷明)