



# 原子間力顕微鏡技術の発展と拡がり

東海国立大学機構 名古屋大学理学研究科  
内橋貴之

## 1. はじめに

Binnig と Rohrer による走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy: STM) の発明に始まる走査型プローブ顕微鏡技術の発展は、20 世紀末に勃興したナノサイエンス/テクノロジーを支える計測ツールとして、材料科学から生命科学にわたる広範な分野に波及してきた。STM は 1986 年のノーベル物理学賞の受賞対象となったが、奇しくも同年に STM の欠点を克服する技術として開発されたのが原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy: AFM) である。STM はプローブと試料表面の間に流れるトンネル電流を検出していることから導電性試料に限られているが、AFM ではプローブと試料の力学相互作用を利用するために、絶縁材料へも適用できる。さらに、AFM は測定環境を選ばないことから生細胞やタンパク質などの生体材料の溶液環境観察も可能であり、最近の高速化技術の進展により生体分子の動きをリアルタイムで可視化できるようになった。また、探針と試料との様々な種類の相互作用“力”を検出することで、表面構造以外の様々な表面物性 (力学・電気・磁気・化学組成) のナノメートルスケール分布を可視化できるようになった。AFM は走査型プローブ顕微鏡ファミリーの基盤となる技術として、元祖プローブ顕微鏡である STM を凌駕する拡がりを見せている。

本稿では AFM の動作原理と高解像観察技術の進展について概説し、特に筆者が専門とすると高速 AFM 技術の概要と、高速 AFM を生体・人工高分子のダイナミクス観察に応用した研究例を紹介する。また、最後に AFM による物性計測についても簡単に説明し、ノーベル賞を受賞した STM 技術が走査型プローブ顕微鏡ファミリーとしてどのように発展しているのかを概観する。

## 2. 原子間力顕微鏡(AFM)の動作原理

AFM<sup>1)</sup>では、先鋭な針 (プローブ) がカンチレバーと呼ばれる小さな板バネの先端に取り付けられており、探針と試料の間に働く力をカンチレバーのたわみ (変位) を通じて検出する。つまり、図 1 に示すように探針が試料から斥力を受けるとカンチレバーは試料反対側に変位し、引力を受けると試料側に変位するので、この変位を何らかの方法で検出する。変位検出には様々な方法が提案されてきたが、現在では光を利用する光てこ法<sup>2)</sup>や光干渉法<sup>3)</sup>が主に使われている。他にも後述するように、カンチレバーを使わない STM と同様に針のみを用いて、水晶振動子の自励周波数の変化から力を検出する手法もある<sup>4)</sup>。ここでは、最も簡便でよく使われている光てこ法について説明する。光てこ法では、カンチレバー背面にレーザー光を斜めから照射し、その反射光を 2 分割したフォトダイオードに入射する。カンチレバーの変位に応じて反射レーザー光の角度が変化し、フォトダイオードに入射する位置が移動するので、2 分割されたフォトダイオードの光量差からカンチレバーの変位を計測できる。このような単純な方法でも意外に高感度なカンチレバーの変位検出が可能で、0.1 nm 程度の変位を容易に検出することができる。さて、探針を試料に接触させた状態、つまりカンチレバーが反った状態で、試料と探針の位置を 2 次元で相対的に動かすと、試料の表面構造に応じてカンチレバーの変位も