

軟 X 線顕微鏡に期待するもの

木原 裕
立命館大学 SR センター

可視光より波長の短い X 線を用いれば、より分解能の高い顕微鏡ができる。これが X 線顕微鏡の開発を始めた動機である。新しいフェイズで X 線顕微鏡の開発が始まったのは、1970 年代の後半であるが、これは放射光の誕生と密接に関係している。爾来、分解能に関しては、電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡、あるいは超解像光学顕微鏡との競合、あるいは、X 線回折・散乱との競合、放射線損傷の問題など多くの克服すべき課題との戦い、などを経て、それでもその手法の有用性は、徐々に浸透してきた。近年特に高輝度放射光源の発展に伴い、硬 X 線顕微鏡、就中コヒーレント散乱を用いたイメージング法が大きな成果を挙げてきている。以上のような環境の中で、本講演では、軟 X 線顕微鏡にどのような期待をするかを中心にレビューする。

① 水の窓

軟 X 線の特徴として、まず期待されたのは、炭素と酸素の K 吸収端の間のエネルギーで観測することであった。このエネルギー領域では、水の存在の有無にかかわらず、炭素化合物のコントラストを得ることができる。特に炭素の吸収係数を考えると、1~10 μm の厚さの試料を良いコントラストでみることができる、として、大気中の細胞内器官をウェットな状態で見ることができる、ことを期待して、世界的にも Schmahl (BESSY), Attwood (ALS) などが、結像型の X 線顕微鏡ステーションを建設した。我々も立命館大学 SR センターに専用ステーションを持っている。この方法の特徴は、古典的光学顕微鏡と同じで、視野の中に見たいものを入れ、そのまま観察するものである。フルフィールド型ともいう。

② 走査型

一方、炭素の K 吸収端の近傍を高いエネルギー分解能で走査すると、その XAFS 情報が得られる。Kirz らは、蛋白質、核酸の吸収スペクトルが異なることを利用して、それらを別々に画像化する方法を開発した。この走査型の方法は、その後 Ade や Hitchcock らにより、有機高分子の作るマイクロ画像を比べることによって、高分子物質の材料評価に用いることができることが明らかになった。現在では特に ALS を中心に多くのビームラインが設置され、放射光の産業利用の一つの柱ともなりつつある。日本でも、岡崎の UVSOR に新しいビームラインが建設されつつあり、多くの期待が集まるが、これについては、大東博士が別に紹介される予定であるので、詳しくは話さない。

③ CT

結像型の発展の一つとして、試料を回転させながら、イメージを取り、CT 画像を作り出すことができる。これは既に実現している。中でも ALS では、CT 像をいくつかの波長で撮り、得られた細胞内諸器官の同定を行って、3次元画像として表示することに成功

している。ある固定波長での観測では、蛋白質も核酸も脂質も炭素、窒素、酸素の化合物として明瞭な区別をすることが難しい。これを多波長で観測することで克服しているわけである。

CTで、生物あるいは高分子物質を観測する場合の最も重要な問題は、放射線損傷である。これを避けるためには、試料の低温凍結がほぼ必須である。

④ 時間分解測定

私の X 線顕微鏡にかける期待は、「生きている生体の機能している様子を直接観測したい」である。このためには、同時に視野の範囲を観測できる結像型が望ましい。しかし、期待する分解能が高くなるにつれて、生物は放射線損傷を受けて死んでしまう。私は、例えば次のような諸課題を組み合わせるべく、構想を練っている。

- 1) 見たい組織を、コントラストの高い物質（例えば金コロイド）でラベルする。
- 2) 観測エネルギー領域を水の窓ではなく、炭素の K 吸収端より少しエネルギーの低い領域に移す。
- 3) 低温化する。そのためには、試料溶液に不凍液を入れて凍結するのを防止する。不凍液は同時にラディカルスカベンジャーにもなる。また運動が減速されることも期待される。

日本に少なくとも 2 本の軟 X 線顕微鏡のステーションがほしい。一本は走査型を主体とするもの、もう一本は、結像型で、CT、時間分解を行うもの。これが私のまとめである。