

## 放射光科学におけるナノテクノロジー研究

壽榮松 宏仁



2000年1月、米国大統領 W. J. クリントンが「次の最も有望な科学技術はナノテクノロジーである」と大統領教書で宣言した。これが、米国の国家戦略「ナノテクノロジー」となって、わが国は勿論、全世界を駆け巡り、各国の戦略となった。この経緯からも分かるように、「ナノテクノロジーとは何か？」に対する端的な答えは、政治戦略・政策であるといっても良い。物質科学、物理学、化学やエレクトロニクスの世界では、はるか昔から、オングストローム Å (0.1 nm) がスケールの基準であり、「ナノメーター」に特別な意味があった訳ではない。また、わが国の科学技術政策の一端でも、通産省工業技術院は、1992年に既に「アトムテクノロジー」の大型プロジェクトが開始し、「ナノテク」の先駆けとなっていたが、わが国の国家戦略には組み入れられることはなかった。わが国の、そして我々の「科学戦略」構築の負しさを深く反省すべき問題であろう。

我々 SPring-8 で、文部科学省の「ナノテクノロジー総合支援プロジェクト」放射光分野を始めたとき、ユーザーの方々から、XAFS、結晶構造解析、光化学や電子分光は、電子・原子の科学であり、ナノテクそのものであると主張され、定義に困惑したことがあった。ナイーブな議論であった訳である。

さて、放射光科学におけるナノテクノロジーは、上述した政策的、経済的議論からは一歩離れて、放射光科学・工学での利用研究の観点から、ナノテクノロジーおよびナノサイエンスにおける新規な役割を議論し発展させることが最も重要と考えられる。特に、従来、やや未開発であったテクノロジー分野での放射光利用の発展である。

一つの重要な発展は、第3世代放射光によって、物質の機能評価が種々の分野で可能になったことであろう。従来の X 線源が、物質科学では、結晶構造解析を中心とする原子配列に関する研究に向けられていたのに対し、電子的、化学的、磁氣的性質、さらに格子振動やその分散関係まで、高いスループットで評価できることが可能となったことである。例えば、最近の粉末結晶構造解析では、精密電子分布解析が可能となり、構成イオンの価数や原子間位置での電子密度から化学結合様式や波動関数の空間分布まで決定できるようになってきた。

電子構造および化学状態研究では、従来の軟 X 線光電子分光法に加え、最近では、10 keV 領域での高エネルギー

電子分光法 (HEPES) が開発され、試料内部での電子構造や化学シフトが測定でき、例えば、シリコンデバイスの多様な界面での結合状態を非破壊で決定できるようになってきた。高エネルギー光電子を観測するため、試料表面の電子・化学状態に影響を受けず、深さ方向の電子・化学状態プロファイルが決定できる手法であり、いわば、厚いプローブ深さを持つ ESCA である。

磁気構造に関しては、磁気円二色性効果によって、特定の微量磁性元素の磁化過程が決定でき、垂直磁気メモリーの 0.2 nm 厚の Pt キャップ層の磁気特性の測定が可能となっている。さらに、X 線磁気散乱によるスピン構造の決定、磁気コンプトン効果による強磁性フェルミ面が高い精度で決定できるようになってきている。非弾性 X 線散乱では、mm サイズの試料で、フォノン分散関係が高エネルギー分解能 (1 meV) で決定でき、新規の超伝導体におけるコーン異常も明瞭に観測されている。

もう一つの重要な発展の要素は、集光 X 線ビームが実際の測定で使えるようになったことである。アンジュレーターの平行ビームの特徴を生かし、Fresnel Zone Plate や Kirkpatrick-Baez 鏡により、数 10 nm のナノビームが実用されるに至ったことである。これらナノビームを用いた種々の顕微イメージング、たとえば X 線蛍光分析による元素分布、MCD による磁区観察、HEPES による 2 次元 ESCA などが可能となっている。さらに、3 次元トモグラフィ (CT) がミクロンの空間分解能で、X 線吸収画像ばかりでなく元素分布 3D 画像が得られており、今後の発展が期待される。顕微の物性評価については、光電子顕微鏡 (PEEM) による電子・化学状態の 2 次元画像が、高輝度放射光によって可能となってきており、機能評価 X 線顕微鏡として今後の大きな発展が期待できる。

この他、LIGA を中心とする微細加工や、光化学反応などの物質・分子操作、特に内殻電子準位の励起による化学反応への応用が重要となるであろう。

以上、放射光科学・工学の発展を概観したが、わが国のナノテク政策の発展を考えると、彼此の長期科学政策に思いを致さざるを得ない。APS を初めとするアメリカの主要な放射光施設は、2001年にナノテクノロジーの研究センター設立の計画を立て、最近施設を完成させ、「これから」放射光ナノテクプロジェクトを開始しようとしている。わが国では、ナノテク政策の成果評価を待たず、次の戦略テーマが議論され始めている。長期的な戦略をもって重点投資する政策が本質的に必要であろう。