

(2) 先端的基盤研究装置

この地球上に存在する安定元素は水素からウランまで 84 種しかなく、長寿命の放射性核種として存在する元素を含めても 92 種に満たない。ところがこの少数の元素からつくられた物質の種類は無数にあり、新しい原子構造（原子配列）や性質、機能を持つ物質の発見が続いてきた。とくに、20 世紀後半になって物質の熱的、電気的、磁気的特性と物質の原子配列あるいは電子状態との関係を解明する実験技術、解析手法や理論が進歩すると、新しい特性をもつ物質の探索/研究が急速に進み、また、人工的に原子配列を変えて新しい性質や機能をもつ物質の開発も行なわれるようになった。このような物質・材料科学の進歩が情報・通信技術・ナノテクノロジーの進歩を加速し、社会生活を一変させる大きな影響を現代社会にもたらしている。また、遺伝子の発見を端緒とする生命科学の発展も目覚しく、生体内で作り出される多様な物質の研究が行なわれて、生命現象の解明や病気の原因究明、治療法の開発に貢献している。なかでも生体機能をもつ蛋白質が次々に発見されており、その 3 次元原子配列（立体構造）を解析して新しい医薬品を創製する動きが活発になっている。

新しい機能をもつ物質の開発においては、物質中の原子配列と電子状態、微量成分元素の量と化学状態を精度よく決め、場合によってはその温度/圧力/磁場依存性や時間の経過に伴う変化を測定する必要がある。一般に、物質の特性や機能は表面、界面（二つの物質の接合面）、バルク（物質内部）で異なっているので、測定は表面/界面でも行なうことになる。なお、表面に吸着している不純物原子（分子）の量や表面の平面度/平滑度、界面における原子配列変化などは、ナノデバイス材料の良さを決める最も重要な指標である。

今日では、物質の研究には電子顕微鏡やトンネル顕微鏡によるイメージング法とともに、光（X 線）や中性子による回折、散乱、吸収（発光）分光、偏光計測などが最もよく使われている。なお、高温高圧など極端条件下の計測や時系列計測など光や中性子のみで可能な計測も多い。

X 線や中性子を得るのに加速器を用いると、実験室 X 線源や原子炉中性子の場合に比べて 3 桁以上の輝度が得られるので、際立って高い精度の測定が可能になる。加速器が現代科学技術の研究開発において、最も重要な先端的基盤研究施設と言われる所以である。

生体高分子とくに酵素など蛋白質の立体構造を決めるのに、X 線回折と核磁気

共鳴 (NMR) が主に使われている。これまで立体構造が決められた蛋白質の総数 (蛋白質データベース登録数) は、2003 年 10 月現在で約 22000 であり、そのうちほぼ 19000 が放射光 X 線回折で決められている。なお、中性子回折による蛋白質の構造解析は水素原子の位置を決めることができるという特徴があるが、これまでに解析された蛋白質の数は少ない。

我が国の放射光施設では、X 線領域で SPring-8 と KEK の放射光実験施設 KEK-PF が優れた成果を挙げている。SPring-8 の特長は X 線波長範囲が広く輝度が世界で最も高いことである。一方、KEK-PF はビームラインの使い易さなど実験環境に優れている。なお、KEK にはこの他に 6GeV の AR リング放射光源があり、波長の短い X 線を半ば占有的に使って、蛋白質構造解析や医学利用で優れた成果を得ている。この他、姫路工業大学、分子科学研究所、広島大学、立命館大学の小型放射光施設では、主に真空紫外・軟 X 線領域の放射光を用いた分光学や微細加工の研究が進められている。

放射光の特長は同時に多数のユーザーが実験できることで、スモールサイエンスの最先端研究施設である。SPring-8 に例をとると、2002 年の統計では、1 年間のユーザーは延べ 8843 人、実験課題数は 1434 件で、学術雑誌に発表した論文数は 347 編であった。なお、共同利用ビームラインの産業界による利用が増えていて、産業界の実験責任者が提案した課題が全体の 12%を超えている。

数 MeV に加速されたイオンによる分析も良く使われている。物質中の微量元素に衝突して出す X 線を測定して行なう定量や化学状態分析は PIXE 法と呼ばれていて、ppm (100 万分の 1) から ppb (10 億分の 1) の定量分析が可能である。このほか、入射イオンの後方散乱など原子核核反応やチャネリングを用いた欠陥の研究も行なわれているが、これらは主に大学、国公立研究所の小型加速器を用いて研究である。

1950 年代から多様な化学物質が大気或いは河川に流出して環境が悪化する問題が表面化してきた。とくに化学物質には極微量でも生体に悪影響を与えるものがある。このような化学物質の分析には PIXE と放射光による分光が重要な役割を果たしている。

更に 1960 年に発明されたレーザーは、特に 1990 年頃より CPA 法と呼ばれるパルス圧縮技術やレーザー媒質の開発により高強度・短パルスレーザーの分野で長足の進歩をした。その結果これらのレーザーの応用により、X 線や電子（更には陽子など）といった放射線を最近ではコンパクトで高輝度、短パルスで発生出来るようになった。例えば、レーザー駆動によるコンパクト X 線源やプラズマ X 線レーザーが開発されて来ている。今までの X 線の時間分解能を遥かに凌駕するピコ秒以下の時分割でかつ高縮重度（コヒーレント体積中の光子数 10^8 以上）のフォトンにより物性や生体の瞬間観測に利用されるようになって来ている。こうした高縮重、短パルス X 線フォトンを利用すれば、高輝度性の利用による X 線顕微鏡などに使える他に、X 線領域の物質の非線形性の研究という新しい領域も開拓できる。これらは X 線光学の重要な新分野である。さらに、レーザー加速による極短パルス、高質（低エミッタンス）の電子源が出来ている。これらは、他の加速器への入射器あるいは加速器要素、PET 源、高輝度短パルス X 線源、 γ 線源として使われようとしている。上記したレーザー駆動の短パルス放射源は、フェムト秒（ 10^{-15} 秒）（更にはアト秒（ 10^{-18} 秒））といった物質（原子など）の基本的時間単位までも解像できるので、（レーザー化学、レーザー生物学などの分野で）「フェムト秒科学」や「フェムト秒技術」を新たに生んでいる。このようにして高強度短パルスレーザーは、21 世紀の重要な科学・技術のツールであり、光科学技術の革命的進展をもたらすであろう。