

## 連載シリーズ 「化学の未来を考える」

化学の未来を考える 1

## シンクロトロン放射の化学への応用

太田 俊明 (化学専攻)

シンクロトロン放射(略して、放射光)は高速の電子を曲げることによって発生する強力なX線であり、20世紀にレーザーと並んで物質科学に大きな変革をもたらした。そもそも、この放射光は、電子を加速してターゲットに衝突させ、物質の究極の粒子を探ろうとする高エネルギー加速器科学の副産物として生まれたものである。電子加速器のひとつ、電子シンクロトロンは偏向磁石で電子を曲げて周回させ、高周波で電子を加速する装置であるが、電子が曲げられると電磁波を発生し、電子のエネルギーが高くなるにつれてX線領域にまで及ぶことが分った。これはとりもなおさずエネルギーを放出することになるから、加速器にとっては障害でしかないが、物質科学の光源としては暗黒の波長領域(真空紫外線からX線)の夢の光なのである。

最初は、高エネルギー物理研究のための加速器に寄生して実験していたが(第一世代、1960年~1975年)、その物質科学への有用性が認識されると、放射光源とし

て専用の電子蓄積リングが作られるようになった(第二世代、1970年~1990年)。つくばのフォトン・ファクトリーが代表的なものである。さらに放射光の光源としての性能向上(高輝度化)が図られ、アンジュレーター(数十個の永久磁石の組合わせで電子を何回も蛇行させ、放射光の干渉によって疑似的な単色X線を作り出す装置)を主要光源とした大型の電子蓄積リングが建設されるようになった(第三世代、1985年~)。西播磨のSpring-8が代表的な施設である。この放射光はいくつかの大きな特徴を持っている。

- (1) 赤外から硬X線までにおよぶ強力な光源である。偏向磁石からは連続光、アンジュレーターからは限られたエネルギー領域の疑似的な単色光が出せる。
- (2) レーザーのような高い指向性をもっており、ビームを小さく絞ることができる。
- (3) 電子軌道面に放射される光は直線偏光、軌道面の上下に放射する光は楕円偏光を示す。アンジュレーターからは磁石の配列

で直線偏光、円偏光を任意に取り出せる。

- (4) 数十ピコ秒の幅と数ナノ秒~数百秒間隔のパルスである。

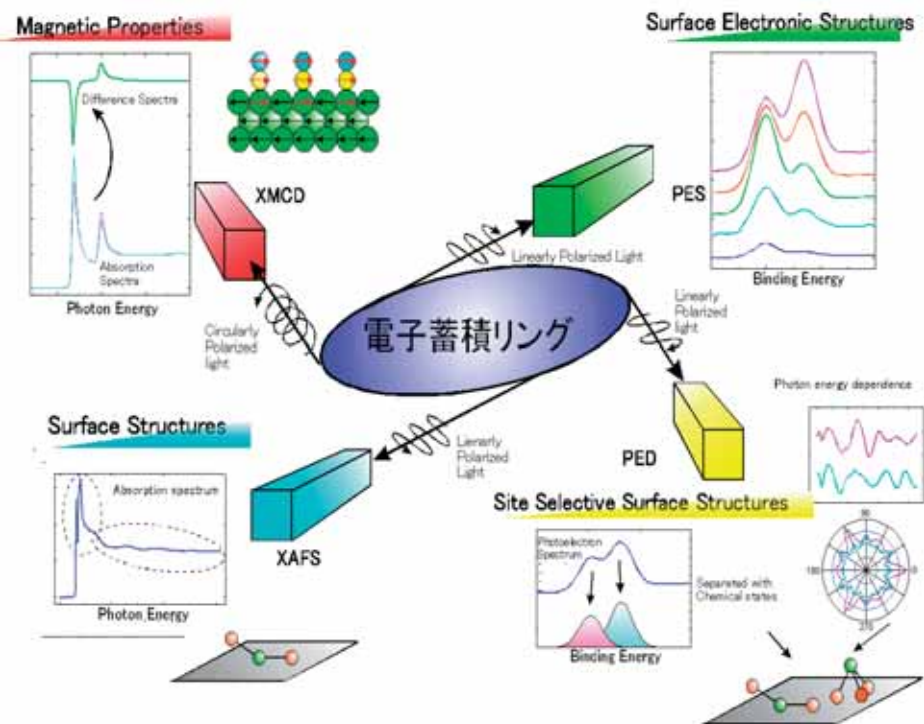
X線が物質にあたると相互作用によって様々な現象が起こる。散乱X線、物質の規則配列による干渉効果で起こる回折X線、一部吸収された後透過するX線、エネルギーの異なる蛍光X線などが出てくる。またX線を照射すると、光電効果によって電子を発生したり、光刺激脱離によりイオンも発生する。これらX線、電子、イオンのエネルギー、強度、方向、偏光性は物質の構造やその揺らぎ、電子状態、スピンの状態を様々な反映している。

上記のような従来のX線源にないユニークな特性を持った放射光を光源に用いると、方法論としては大幅な性能向上と飛躍が期待できる。実際、従来のX線源では数日かかっていた測定が数分で可能になり、はるかに質の高いデータが得られるようになった。また、放射光源の出現によって初めて可能になった方法も数多い。このよ

うに放射光の出現は物質科学の研究に革命をもたらし、「放射光科学」と呼ばれる分野が誕生した。

回折 X 線の解析は規則な配列を持った結晶の構造決定に利用されるが、特に放射光の高い指向性はミクロンサイズの微結晶にも適用を可能にし、大きな結晶のできにくい蛋白質の構造解析に活発に利用されている。一方、X 線吸収分光は波長可変で強力な放射光の特長を活かした代表的な方法である。その微細構造 (XAFS) は X 線照射で飛び出す電子と周囲の原子によって散乱された電子の干渉効果によって起こるものであり、この解析から X 線を吸収した原子のまわりの局所構造がわかる。この方法は物質の状態によらず適用できるので、非晶質材料、生体物質、反応条件下での触媒などの構造解析に活発に利用されている。我々はこの放射光軟 X 線を光源にしたいろいろな方法、表面 XAFS、

## 放射光を用いた固体表面研究



光電子分光 (PES)、光電子回折 (PED)、X 線磁気円二色性 (XMCD) などを用いて固体表

面の分子吸着構造、電子状態、磁性の研究を行っている。

## 化学の未来を考える

化学科では駒場の教養学部 1、2 年生を対象に、全学自由研究ゼミナール「化学の未来を考える」をこの冬学期に開講しました。5 週にわたり土曜日の午前中、各回 2 人ずつの化学科、地殻化学実験施設、スペクトル化学研究センターの教官が、未来を見据えた最先端の化学について講義を行い、また実際に化学が生み出される現場である研究室の見学会を行いました。本郷キャンパスでの講義であるというにもかかわらず、多数の学生が受講し好評を得ましたので、広報誌上で講義内容を数回に分けて連載いたします。