

卓上型の 放射光装置を開発

がんの診断に威力、がん治療にも使える

立命館大学放射光生命科学センター センター長 教授 **山田廣成**

放射光装置は 全波長域の光を出せる

先端科学に放射光が重要な役割を果たす理由は明らかである。それは、放射光装置がサブミリ波からガンマ線までのあらゆる波長領域の高輝度光を発生するからである。研究者

が必要とする波長を直ちに提供できるのである。

それはまた、光が全て（素粒子から宇宙まで）の研究領域において観測手段であり、放射光が高輝度であるにも関わらず対象の系を破壊することが最も少ない観測手段だからと言えよう。したがって放射光の利用者が年々増加するのは必然の現象である。都会の街中に住む研究者が、わざわざ兵庫の山奥まで出かけて行く理由はここにあるが、大方の研究者は手元で放射光を利用できたらどんなにか研究が加速するであろうと夢見ている。

放射光装置のネックプロブレムは、装置が巨大であることよりは利用できる装置の数が限られていることにあると思われる。利用できる研究者の数が限定され、利用のために順番を待ったり、審査を通過しなければならぬという不便もある。

そして、そのことが、新しい研究の芽をもぎ取っているとも言える。審査員が予期しないほどの新しくて不思議な研究は、選に漏れることが多い。だれかに予測できる程度の研究は、最先端の研究とは言えないに違いない。ノーベル賞クラスの研究は、多くの場合偶然の発見から始まる。偶然の発見に気づき、確信するゆとりが不可欠である。

新しいX線発生機構を採用

本当にやりたい研究は、こつそりと密かに行うのがよい。自宅のガレージにあって、いつでも自分のアイデアを試すことの出来るような小型放射光装置を開発することが筆者の夢であった。

卓上型シンクロトロン（円形加速器を開発することになったのは、筆者が「光蓄積リング(Photon Storage Ring)」と言う名の新型レーザーを発明したのがきっかけである。完全円形シンクロトロンは完全円形電子軌道を同心の完全環状ミラーで囲み、発生した放射光を閉じこめて電子ビームと相互作用させると電子ビームから光の強制誘導放電が起きると言う理論である。

この新型レーザーを実証するために始めた卓上型シンクロトロンは開発でしたが、それはなかなか困難な仕事であった。レーザー発振にはかなりデリケートな精度で作らなければならない環状ミラーが必要であり、大電流電子ビームの蓄積が必要であった。

光蓄積リングの開発が長期戦になると見込み、一時中断して新しいX線発生機構に取り組んだのが効を奏した。新しいX線発生機構とは、シンクロトロン電子軌道中に微少ターゲットを挿入するという方法である。ターゲット原子核の有する強いクーロン力で電

子に制動をかけるので、低エネルギーの電子で容易に硬X線を発生できる。

電子ビームの一回の衝突で発生するX線量は非常に僅かであるが、透過した電子が周回して繰り返しターゲットに当たることにより高輝度となる。結果として積算数アンペアの電子が衝突するが、ターゲットが微少であるために、一次、二次電子が吸収されて熱になることが無い。電子ビームを高繰り返しで入射するのにも大きな特徴である。

発生X線をモニターすることにより入射を最適化して卓上型シンクロトロンに完成に漕ぎ着け、これを「みらくる」と名付けた。卓上型シンクロトロン開発そのものも世界で初めてのことであった。

周長1mのシンクロトロンでは、通常の放射光装置で使われているビーム入射法を使用することができなかった。新しいビーム入射法を共鳴入射法と呼ぶが、この技術を保有しているのは、現在我々のみであり、本技術は他の追随をゆるさない国産技術でできあがっている。



図1 「みらくる6X」

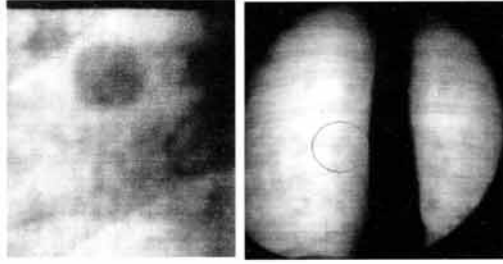


図2 拡大撮像で、肋骨の後ろに隠れた1mm大の腫瘍を鮮明にとらえることができた

大型施設並みの放射光強度を実現

一号機である卓上型シンクロトロン「みらくる20」（科研費基盤研究Aで開発）で、X線の高輝度が実証された後に科研費基盤研究Sで実現したのが「みらくる6X」である（図1参照）。6Xは、電子エネルギー六メガ（一メガは百万）電子ボルトのX線専用機という意味である。「みらくる6X」完成後一年間利用運転して様々な発見があった。

第一に光子密度（Brilliance）という放射光の強度が、三〇^{*}電子ボルトというX線エネルギーで一〇の一六乗光子密度と大型放射光施設「SPRING-8」の偏向磁石からの放射光と同程度の値であったことである。この値は、ほぼ理論値に一致した。そして、理論によれば、電子エネルギーを六メガ電子ボルトから一〇メガ電子ボルトにするだけで、一〇の一八乗という光子密度が得られる。高々一〇〇メガ電子ボルトと

いう電子エネルギーで、大型放射光施設の強度を享受できることになる。

次に明らかにしたのは、微小光源点が最高品質のX線を生成するという点である。光源点サイズはそのまま空間分解能につながる。集光素子を用いたときの最小スポットサイズは光源点サイズとなる。「みらくる」の一ミクロン（一ミクロンは百万分の一）という光源点サイズは、「SPRING-8」の二〇ミクロンを下回るきわめて高品質のX線を提供する。

もちろん、光源点を微小にしたことによつて、X線強度が減少するのでは困るが、「みらくる」では、理論的に減少することがない。むしろ強度は上がる傾向にある。その結果、縦横三〇^{*}の医療診断ができるX線画像を〇・五秒で撮像できた。さらに、光学素子を用いることなく十倍に拡大したX線像の撮像にも成功した。結果として、一ミクロン大のがん腫瘍模様の形状まで鮮明に捉えることができた（図2参照）。

「みらくる」の光は、六メガ電子ボルトという高エネルギーまで到達するので、がん治療にも利用できる。腫瘍をモニターしながら追尾して、スポットで正確に放射線治療ができるという、新しい医療診断・治療装置を提供することになるであろう。

「みらくる」のX線ビームは、医

療診断画像を取るのに適した広い視野をもつことと、併せてその光子密度が高いのが特徴である。広い視野の各点の光子密度が高いのである。通常の放射光は、指向性が高いので、そのビーム中心のみの光子密度の高さを述べている。

小型放射光装置がインベーションもたらず

結論として、「みらくる」の光は、放射光同様に、原子・分子・バルク（塊）・表面の構造解析やタンパク質の構造解析に使うことができるが、光源点が小さいことを最大限に利用して、従来の放射光装置ではできないようなハードX線顕微鏡を実現できるとや、医療診断において新しい研究分野を牽引できると考えている。

ハードX線顕微鏡は、まだ世の中に存在していない。電子顕微鏡ではできない、厚い試料や大気中試料、水中試料の立体構造を見せられると期待している。X線ホログラフィを適用すれば、高分子の三次元構造を直接見られるようになるだろう。当放射光生命科学研究所センターでは、生命を明らかにするツールとして、それらの開発を進めるのが次の夢である。

最近、テラ（一テラは一兆）ヘル

ツが話題を呼んでいるが、「みらくる」は、テラヘルツ、即ちサブミリ波の領域でも大きな一歩を踏み出した。先に述べた光蓄積リングがレーザー発振を始めたのである。「SPRING-8」の一千倍を超える強度のサブミリ波を発生したのでその利用研究も始まろうとしている。

さらなる高輝度化という面では、X線の発生機構に制動放射を使わず、遷移放射という方式を使うことにより、一^{*}電子ボルトから一〇^{*}電子ボルトの領域で、コヒーレント（干渉性を持った）なX線を出そうと考えている。X線強度は、さらに三桁ほど上がる予定である。即ち「第四世代光源」を実現する予定である。「みらくる」は、様々な可能性を秘めた、二十一世紀の装置であると確信している。



なりまひろな
生理工学
工学博士
1946年愛知
県立大学
工学部卒
りまひろな
生理工学
工学博士
1946年愛知
県立大学
工学部卒

子技術研究室長、立命館大学光工学教授を経て現職。さきがけ研究21研究員、科研費基盤研究S代表。2002年より21世紀COE拠点リーダー。1996年に株式会社光技術研究所を設立。