

X 線光学へのいざない

青 木 貞 雄

(筑波大学大学院数理物質科学研究科)

無理だ、無理だと言われていた X 線レーザーが現実のものとなってきました。今年 4 月、米国スタンフォードの線形加速器を使って波長 0.15 nm の X 線自由電子レーザーが初めて発振しました。数十年にわたる長い年月をかけて得られた大きな成果です。国内でも同様な計画が進行中で、数年後には実現すると思われます。

X 線光学の 3 要素として、光源、光学素子、検出器があげられますが、それぞれが波長（エネルギー）に対する可視域並みの輝度、分解能、感度を有することが理想です。光源に関しては、大規模な装置ですが、一歩その理想に近づいたようです。残る 2 つの要素も着実な進歩がみられます。

X 線光学素子、特に、結像素子の開発では、ナノテクノロジーの手法で分解能の向上を図っています。よく知られているように、X 線領域ではすべての物質の屈折率がほぼ 1 に近く、可視域で使われる普通のレンズやミラーが存在しません。例えば、石英の場合、波長 0.1 nm の X 線に対する屈折率はおよそ 0.999997 です。曲率半径 1 mm の両凹屈折レンズ（可視光の凸レンズに相当）の焦点距離は 100 m を超えてしまいます。この難点を解決するために、超微細加工と超精密加工を駆使してゾーンプレート、X 線斜入射ミラー、多層膜ミラーなどが次々と開発され、軟 X 線（波長 3 nm）では 20 nm、硬 X 線（波長 0.1 nm）では 30 nm の分解能を達成しています。10 nm の分解能が実現できるのも時間の問題でしょう。

一方で、検出器、特に二次元検出器の開発はやや遅れ気味です。汎用の X 線 CT 装置の普及とともに二次元検出器の開発意欲は高まってきていますが、ピクセルサイズの縮小化の動きはあまりみられません。固体素子の検出器感度は以前に比べ上昇していますが、ピクセルサイズが 10 μm 前後に留まり、高倍率化のために光学系が長くなる傾向があります。本特集号に取り上げられている位相イメージングのアドバンテージを生かすためにも、ピクセルサイズ 100 nm 以下の二次元検出器の開発が望まれます。

筆者が初めて X 線ホログラムの像再生や X 線ミラーによる拡大結像に成功した 30 数年前に比べると、光源輝度が 6 桁以上、光学素子の分解能はおよそ 3 桁向上しています。原子核乾板も CCD カメラに変わりました。ほとんどの光学部品が手作りだった当時から比べれば、夢のように恵まれた研究環境になっています。

X 線光学は現在も進化中です。特に、X 線位相イメージングは三次元 CT との組み合わせによって広範な分野への展開が予想されます。光学研究者が活躍できる機会がまだまだたくさんあります。ぜひ、X 線光学の世界を覗いてみませんか。