

画素の小さい X 線検出用 CCD の開発

常深 博（大阪大学大学院理学研究科 教授）

1) 撮像

CCD はデジカメやビデオで広く使われ、すっかりお馴染みの撮像素子となりました。何百万もの画素が小さな素子に埋め込まれて、詳細な画像が得られるようになりました。画素の大きさは $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 程度にまでなっています。さらに可視光で使用する素子には、画素毎にカラーフィルターが付いており、美しいカラー画像が得られます。このように、可視光で使われる撮像素子は近年大いに進歩しました。可視光で撮像する以外に、X 線でもいろいろな撮像が行われています。目に見えない波長の短い X 線（レントゲン線）での撮像は、可視光では得られない情報が得られます。私達は、CCD を使って X 線を高精度で検出する技術を開発しています。

X 線と可視光との一番大きな差は、その波長（エネルギー）です。X 線光は可視光の光子よりも波長が短く、透過力の高いことが特長です。可視光用の素子に比べると、検出感度を向上するために空乏層を厚くするなど、X 線検出のためだけに特別の性能向上が必要で、可視光用の素子をそのまま使うわけにはいきません。可視光にせよ、X 線にせよ、光子が CCD で吸収されると電子が作られます。電子に変換されてしまうと、その後の信号処理は可視光でも X 線でも本質的に変わりはありません。ところが、一個の可視光の光子はせいぜい一個か二個の電子しか作りませんが、一個の X 線は（波長にもよりますが）千個以上の電子を一度に作ります。これを CCD で検出すると、数 μm に広がった範囲に電子が広がります。また、可視光では、その色を調べるには、色フィルターを通して決めることとなりますが、X 線の場合には、生まれた電子の数を正確に数えればその色が決まります。

X 線光子一つで千個もの電子が出来てしまい、それが広がってしまっていますが、それがどのように広がっているかを詳細に測定する技術を開発しました。その結果、電子の広がり数は数 μm に広がっており、その中心が確かに X 線光子の入った場所になっていることが判りました。つまり、作られた電子がどのように広がっているかを調べれば、X 線の入った場所を大変正確に測定できることが判ります。もちろんそのためには、作られた電子の個数を大変正確に測定する技術も必要です。この技術は、X 線の波長、つまり色を精度良く測定する技術でもあります。こうして、私達の研究によって、X 線の色を正確に測定するばかりか、その入射位置を $1 \mu\text{m}$ よりも正確に測定することが可能になってきました。どうすれば $0.1 \mu\text{m}$ 或いはそれ以下の精度で測定できているかどうかを調べられるかを模索しています。

X 線は可視光に比べて、透過力が強く、波長の短いのが特長です。望遠鏡など光学系の解像力は、望遠鏡などの口径と波長で決まります。つまり、X 線を使うと、可視光よりも遥かに高い分解能を発揮できるようになります。X 線の

色は原子の種類やその状態で決まります。つまり、X線の色を識別できる高精度撮像装置は、どこにどのような原子がどのような状態でどのくらいあるかを精密に測定できる装置になります。私達は、有効な画像面積が25 mm四角の素子で、びっしりと並べてさらに大面積が可能な素子を開発しました。

2) 分光

中心部のスペクトル画像能力と同様に重要なのが分光、すなわちX線のカラー写真を撮る能力です。X線天体の色からX線放射メカニズムを調べることができます。「あすか」衛星に搭載されたX線 CCD カメラで撮影した超新星残骸 SN1006 には、各部からの分光データ(X線スペクトル)を得ることができました。分光データから、超新星残骸の中心部には電離した酸素、ネオン、マグネシウム、シリコンの輝線が観測され、多くの元素が存在していることが判りました。一方、周囲は冪関数型のスペクトルをしており、シンクロトロンによってX線が放射されていることが判ります。

3) 偏光

X線は冷たい物質で反射(トムソン散乱)させると偏光が生じます。この性質を用いることで、元々のX線源の方向を求めることができます。「あすか」衛星で得られた我々の銀河中心領域のX線写真を得ました。その中で、我々は銀河中心(SgrA)から300光年離れたSgrBと呼ばれる領域がX線で明るく輝いていることを発見しました。SgrBには自らX線を放射する星は無く、冷たい分子雲が存在していることから、300年前に銀河中心が放射したX線を反射しているのであろう、という仮説を立てています。これはX線反射により生じる偏光とその方向を測定することで証明できます。我々は CCD 内でX線が光電吸収されて生じる電荷が偏光方向に拡がる性質を使って、偏光を測定する方法を開発しています。CCD ピクセルサイズを小さくすることで測定効率を上げる事ができるので、ピクセルサイズ6 μ mを目標に開発を進めています。