



X線カラー撮像装置 (CCDの応用)

常 深 博*

研究ノート

X-ray Color Detector (the Application of CCD)

Key Words : X-ray, CCD, Position resolution, Energy resolution

可視光と異なり X 線領域では、反射や屈折をしないので、結像させるのが大変難しい。最近では、波長範囲によっては斜入射反射鏡や人工格子を使った直入射鏡が出来てきたが、まだまだピンホールや点光源を利用した撮像が多い。撮像に使う X 線検出器となるとフィルム、イメージングプレート、MCP など、位置分解能の優れたものが使われる。しかし、これらはどれも波長分解能を持っておらず、単に入射強度 (X 線光子の数) を測るだけである。このあたりの状況は、何時もお世話になる胸のレントゲン撮影を思い出していただければよい。つまり、入射強度を測るだけの検出器は、まさに白黒写真そのものと言えよう。これに時間分解能が加わると、白黒 TV となる。一方、X 線検出器には半導体検出器を始めとして波長分解能を持つものがあり、蛍光分析等に使われている。しかし、残念ながら良い位置分解能を持ったものがないので、X 線領域のカラー TV とまではいかなかった。

近年、各種の天体を X 線領域で観測する天文学の分野が成長してきた。可視光では見えないようなブラックホール近傍などを調べるためである。ただし、大気が X 線を完全に吸収してしまうので、観測は人工衛星を使う。しかも、天文学の宿命として、極めて弱い X 線を観測しなければいけない。可視光等と違ってするのは、分光するのが難しいため、ある程度の波長

分解能を持った検出器、例えばガス比例計数管等を使う点である。何れにせよ、集めた X 線光子を一個一個効率よく検出する努力がなされていることには変わりはない。この分野に関連して、最近 CCD を使って直接 X 線を検出する技術が開発されて来た。CCD が電磁波を検出する原理は、半導体検出器のそれと同じだから、波長 (エネルギー) 分解能は半導体検出器のそれと同じにまでなり得る。しかも、位置分解能は素子のピクセルの大きさで決まるから、フィルムや MCP に匹敵する。まさに X 線領域でのカラー TV と言うわけである。

CCD は民生用機器、特にビデオカメラで大量に使用されているが、日本の電気メーカーが完全に世界を制覇し、欧米のメーカーは民生市場から撤退してしまった。こうなると、CCD を X 線に応用する分野でも日本の独壇場であって欲しいのだが、残念ながらそうはなっていない。その理由は可視光での使用法と X 線での使用法との違いに起因する難しさ、並びに需要の大きさによっている。特に CCD を使って X 線の入射位置もエネルギーも検出しようと言うことになると、まだまだ研究開発しなければならないことが多い。

X 線エネルギーを測るためには、CCD 素子そのものに直接 X 線を入射させて信号を取り出さねばならない。X 線は可視光に比べて透過力が大変強いので、可視光で使われているインターライン転送型素子より、フレーム転送型素子がよい。また、可視光に比べて厚い空乏層が必要になる。空乏層化する領域は可視光では $1 \mu\text{m}$ もあれば良いが、例えば 10keV (波長 1 \AA 程度) の X 線なら $100 \mu\text{m}$ くらい欲しい。

*Hiroshi TSUNEMI

1951年 8月31日生

1973年東京大学大学院理学系研究科物理修士、

現在、大阪大学理学部宇宙地球科学科基礎宇宙学講座、助教授、理学博士、X線天文学、

TEL 06-844-1151

そのためにははるかに純度の高い珪素基板を使う必要が出てくる。ところで、可視光が珪素で吸収されても、そのとき生ずる一次電子数は光子1個あたりせいぜい1~2個であるが、10 keVのX線なら光子1個あたり3,000個ほどの電子が出来る。この電子数を正確に測ればX線光子のエネルギーが判る。精度を上げるには読みだし雑音レベルの低い素子を作り、冷却することになるが、そうすると読みだし部分の飽和電荷量が各画素の飽和電荷量よりもずっと低くなってしまふ。そのうえ、放射線損傷についての対策にも工夫が要る。こんなわけで、X線のエネルギーを測るための素子と、可視光で使用する素子とはずいぶん仕様が異なる。

欧米では、X線のエネルギーを大変正確に測定できるようなCCD素子を研究開発している。残念ながら、この分野はわが国ではほとんど手が付いていないし、そのような高性能の素子を手に入れるのも難しい。しかし、わが国でも簡単に手に入る可視光用の素子を使ってもかなり面白い結果が得られるので、それについて紹介する。ここで示す結果を得るのに使用したCCD素子は、画素の大きさが12 μ m四角、全画素数が百万個のフレーム転送型素子（日本テ

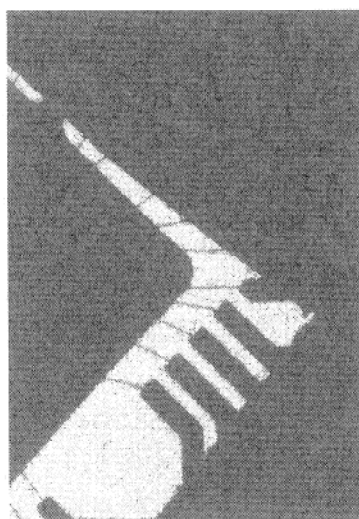


図1 疑似平行X線を使いICの透過像をCCDで撮像したもの

キサス社製 TC213) である。図1に示したのは、疑似平行X線源を使い、CCD素子の直前にICを置き、その透過像を取ったものである。

この撮像に使ったX線強度はフィルムを使った場合のそれに比べてずっと低い。白く見えているのはプラスチック部分、黒い部分が金属である。白い部分は、各画素に数個のX線光子が入っているため、それぞれのX線光子のエネルギーは判らない。一方、金属部分にも一部の画素が白く見えている。これは雑音ではなく、金属部分を透過したX線がCCDで検出されたもので、せいぜい各画素に一個しかX線光子が入っていない。この様な場合には画素の出力がX線光子のエネルギーを表すことになる。

次に、現在のところX線の結像系が簡単には利用できないので、ピンホールを使ってX線でのカラー撮像を試みた。まず、ステンレス（鉄とクロムの合金）製のランダムホールマスクをチタンの板の上に置き、これをその特性X線で光らせる。ランダムホールマスクは、1.5ミリ四角の小さな正方形多数からなり、その約半分はステンレスで埋まっているが、後の半分は穴が開いているため、チタンが見える。これを直径0.2ミリのピンホールを通してCCDで撮像した。CCDで得たエネルギースペクトルを図2に示すが、明瞭に鉄（6.4keV）、クロ

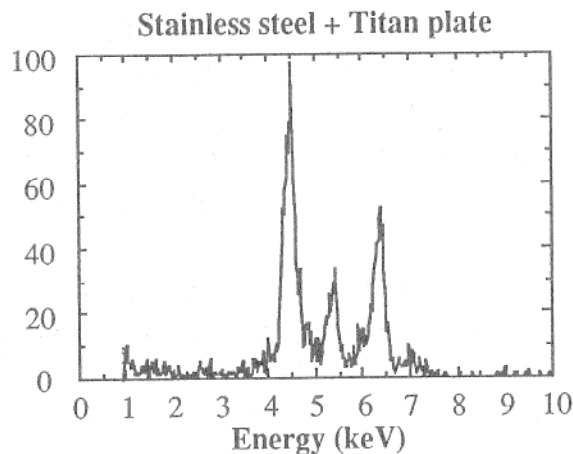


図2 ステンレスとチタンをそれぞれの特性X線で光らせ、CCDを使って得たエネルギースペクトル

ム（5.4keV）、チタン（4.5keV）のピークが見えている。このうち、鉄の輝線だけを取り出して画像表示したものが図3である。これを見れば、どのようなランダムホールを使ったかが理解できよう。ちなみに、ここでの像分解能は、

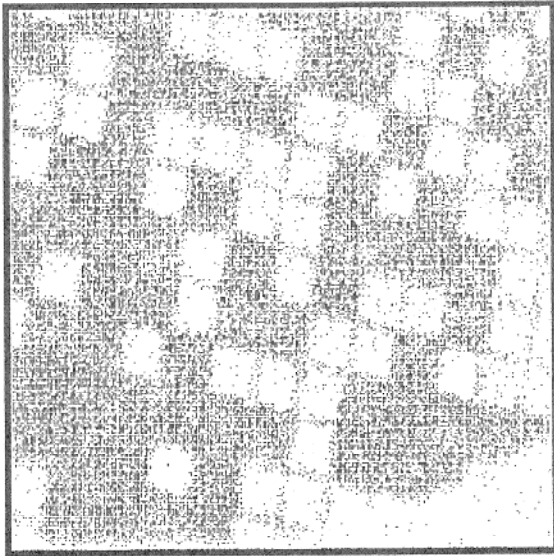


図3 図2のうちの鉄の輝線だけを使って得たランダムホールマスクの像，位置分解能はピンホールの大きさで決まる

CCDの画素の大きさではなく，光学系つまりピンホールで決る。

エネルギー分解可能なX線検出器は，X線の結像系と結び付けば，X線カラーTVとなることが理解できよう。その値打ちは，白黒TVとカラーTVとの違いにあるので，一目瞭然と言える。例えば，X線顕微鏡が出来れば，細胞内の元素分布やその運動も判るに違いない。CCDを使ってX線を直接撮像するには，いろいろ難しい点はある。しかしX線専用のCCD素子を開発すれば，更に良いエネルギー分解能を得ることや，撮像に必要な被曝量を下げることが可能になる。この様な素子が日本でも自由に使えるようになれば良いと夢見ている。

