

X 線結像光学ニューズレター

No.13 2001 年 1 月発行

どちらが優れもの、

イメージングプレート？ それとも X 線 CCD 検出器？

東京大学大学院新領域創成科学研究科 雨宮慶幸

放射光を用いた X 線回折実験では現在イメージングプレートと X 線 CCD 検出器が最も広く使われている。少し時間を遡って考えると、1985 年以前は、最も一般的に使われている検出器は X 線フィルムであった。1985 年にイメージングプレート（以後、IP）が放射光科学にデビューして大きなインパクトを与えた。露光時間が X 線フィルムに比べて 60 分の 1 から 100 分の 1 に短縮され、しかも、ダイナミックレンジは 4 桁もあり、強い反射と弱い反射が 1 枚の IP ですべて取れてしまう。しかも、直線性も良いので定量性がある。その当時欧米では X 線 CCD 検出器の R & D が行われていて、開発者らは IP の出現にだいぶショックを受けたようである。世界中の放射光施設で IP が導入され、X 線回折実験の標準的な 2 次元 X 線検出器になった感があった。しかしながら、1990 年代中頃から、X 線 CCD 検出器が開発段階から本格的な実用段階に入った。1990 年代後半に入り、X 線 CCD 検出器は破竹に勢いで各放射光施設に導入されるようになった。CCD の売りは、読みとり時間が短い（4 秒程度）、自動測定に適していると言う点である。そのセールスポイントが広く宣伝され、「IP より CCD が良い」と言う雰囲気が強くなってきている。それでは、この先、X 線 CCD 検出器は IP を完全に駆逐してしまうのであろうか？

イメージングプレートと X 線 CCD 検出器を性能の面で比較してみたいと思う。まず、その前に一口に X 線 CCD 検出器と言った場合、異なる種類のタイプがあるので分類して述べる必要がある。まず、X 線回折実験用か X 線マイクロイメージング用かである。ここでは IP と競合する前者に付いてのみ話を限ることにする。X 線回折実験用にはさらに大きく分けて 2 種類のタイプがある。一つは、蛍光体と縮小光ファイバーと CCD を組み合わせたタイプ（以後、ファイバー CCD）、もう一つは、X 線イメージンシファイヤーと CCD を組み合わせたタイプ（以後、II-CCD）である。ファイバー CCD はモジュール化することにより、それを複数個縦横に並べて大きな有効面積を得られるので、拡張性に優れている。また、読みとり時間が IP より短いと言う特徴を生かして露光時間が短い試料を用いた実験では、実験効率を飛躍的に高めることができる。蛋白質結晶構造解析の自動化に適している。一方、II-CCD は感度が IP より高いので、散乱能が低い試料の X 線回折像の測定や、回折像の時間変化を測定する実験に適している。有効面積に制限があるので、特に時間分割小角散乱実験に適している。しかし、これらの X 線 CCD 検出器は、画像歪み、感度の不均一性の問題があり、ソフトウェアによる補正が必要である。また、ダイナミックレンジも 4 桁を切るのも、潜在的に 6 桁のダイナミックレンジを有する IP には及ばない。感度については、II-CCD は IP より高

いが、ファイバー CCD は I P より低い。1 個の X 線が作る信号量をノイズで規格化して比較すると、II-CCD では 5~10, I P では 1~3, ファイバー CCD では 0.3~1 である。

従って、どちらかの検出器が一方的に優れているということではない。結論から言うと、精密な構造解析をプロフェッショナルに行いたいなら I P が優れている。ルーチン的な構造解析をイージーに行いたいならファイバー CCD が優れている。X 線小角散乱など比較的小さい領域の時間分割実験を行いたいなら II-CCD が優れている。これらの特徴を知って、目的に応じて検出器を選択することが重要である。

CCD が一方的に優れていると言う風潮があるが、それは現時点では間違いである。しかし、I P はほぼ成熟した技術であり、それに対して CCD はまだ向上の余地がある技術であることを考慮すると、将来はどうかは断言できない。

21 世紀の X 線望遠鏡

宇宙科学研究所 國枝秀世

30 年間お世話になった名古屋大学から宇宙科学研究所へ移ったのが 99 年の 9 月のことで、1 年半が過ぎようとしています。7 年以上もかけて準備した Astro-E 衛星の打上／運用に参加すべく勇躍宇宙研に来たものの、昨年 2 月に思いもよらぬロケットの事故ですべてを失ってしまいました。それからの半年間はその再挑戦に駆け回ることとなりました。幸い、多くの方々の暖かい御支援とご理解のおかげで、来年度から 4 年間の Astro-E-II の予算が 12 月の大蔵原案にのることになりました。これで 2005 年 1~2 月期に打上げられます。

本来ですと Astro-E は、99 年 7 月に打ち上がった米国の Chandra 衛星と同年 12 月に打ち上がった欧州の Newton 衛星と共に、21 世紀の初頭を飾る X 線天文台となるはずでした。Chandra は 0.5 秒角を切る超高分解能、Newton は大有効面積、Astro-E は高分解能分光という大きな特徴を持ち、お互いが強めあって新たな天文学を展開することになっていました。この 1 年間は、Chandra と Newton の華々しい成果を見せつけられ、その一方虎の子のあすか衛星が巨大太陽フレアの影響で姿勢制御を失い、新たなデータの無い時期でもありました。しかしここでも、Newton 衛星からは観測時間が無償で提供され、世界の X 線天文学者が協力しあって来たことを実感しました。

この状況の中で、我々には二つの選択肢がありました。一つは Astro-E を殆どそのままとにかく早く打ち直すと言う方向と、少し遅れても良いから次の世代の観測システムを開発して新しい衛星計画を考える方向でした。結果的に最初の選択肢を選んだ理由の第一は、Chandra にせよ Newton にせよ、我々が目指した鉄輝線の高分解能分光による運動学、プラズマ物理には踏み込めていない現状を考えたからです。言い換えれば、例え 4~5 年先でも Astro-E の能力と目指す物理は、ユニークで新しいものであるからです。同時に、「データの切れ目は縁の切れ目」と言われるごとく、新しいデータを一刻も早く得ることも極めて重要です。外国の衛星を使わせて貰うことでしのぐことも可能ですが、新しいシステムで新しい物理を切り開く、第一級の仕事は望むべくもありません。

この我々の希望を聞いて、Astro-E の復活を M-V ロケットの回復と並んで宇宙研の最重要課題として頂いた宇宙研首脳部の英断は、涙が出る程有り難く感じられました。他の衛星を遅

らせても、と言う宇宙研の姿勢が宇宙開発委員会、文部省を動かし、今日の予算化実現につながったと思います。我々としては、与えられた時間と予算の中で、最も信頼性高く、高性能の衛星とするためこれから4年間総力をあげたいと思っています。

さて、もう一つの選択肢、次世代X線望遠鏡の方はどうするか。私たちはこのAstro-E-IIの準備に平行して21世紀のX線望遠鏡を開発して行こうと思っています。

第一に進めているのは、高エネルギーへの波長域の拡大です。より高いエネルギーで宇宙を見ると、熱的な平衡状態、Equi-partitionの世界ではなく、高エネルギーまで分布を持っている粒子が見え始めています。宇宙における加速機構を探ることが大きな目標です。また10keVを越える硬X線になって透過力が高まると、隠れたX線源が見つかって来ます。こうした硬X線を集光結像させる望遠鏡の開発が21世紀の望遠鏡の一番の課題です。この方向は既に山下先生が開発して来られた多層膜硬X線によって切り開かれようとしています。2001年6月には、20-40 keVの硬X線用に設計された多層膜を2000枚の鏡面基板に成膜したものを気球に搭載して、世界で最初の硬X線撮像観測を行うことにしています。現在、名大では大学院生、ポスドク、スタッフが丸一となって、一日2交代制、正月返上で、成膜の量産を続けています。

次のステップは衛星搭載で、2009-10年頃を目指すNeXT計画（元のAstro-G）に向けての概念設計を進めているところです。この技術は世界的にも、設計方法、到達反射率、量産技術、観測計画のどれをとっても名大が一步前を行っています。このため、米国のConstellation計画、欧州のXEUS計画でも、これを採用する可能性が検討されています。表題の21世紀のX線望遠鏡の中心はこの多層膜硬X線望遠鏡です。

第二は結像性能です。我々がこれまで手掛けて来た多重薄板望遠鏡は超軽量ですが、集光精度は1~2分角程度でした。我々は結像性能は我慢しても、限られた重量で最大の集光力を追求して来ました。しかし感度の向上と共に、天空に高い密度で存在する暗い点源を正確に区別して行く必要性が増して来ました。多重薄板望遠鏡の長所を活かしたまま、結像性能をせめて30秒角まで改良を進めることを目指しています。

全く別のアプローチでChandraをしのぐ高空間分解能のX線望遠鏡を作るには直入射望遠鏡が考えられます。X線リソグラフィでは10nm台のEUVで回折限界に近い直入射の光学系が実用化されています。天文学的には1nmくらいの軟X線である酸素の高階電離イオンからの輝線でマッピングができると大変重要な観測となります。しかし、現在4.4 nmのC-Kの直入射望遠鏡（Nikon製）を実験室で調べていますが、反射率が基板・界面の粗さのために1%台と悪く、その分強い散乱が出て困っています。これまで極端な斜入射で助けてくれていた $\sin q$ の項がほぼ1であるためです。目標とする短波長の為には、現在の粗さ0.2-3 nmを数分の1に押さえ込まねばなりません。これまた新たな挑戦です。この直入射望遠鏡の先にはX線での干渉計があります。電波天文学の大陸間干渉計も、波長が7~8桁短いX線では1mの大きさになります。ですからX線で干渉計ができればミリ秒角の角分解能を大きく超えることが期待できます。

ここで例を示した21世紀のX線望遠鏡の開発で、現在、最も気掛かりなのは極めて滑らかな鏡面、もしくは母型の研磨です。現在、世界でもZeiss社が唯一実績のあるところですが、最近は新規開発に腰が引けているとの情報もあります。何とか日本国内でブレイクスルーがで

きたらと思います。このニュースをごらんになった方々で、御協力頂けるかたは是非お知らせ下さい。私はこの超平滑な鏡面の創製と多層膜の成膜技術の確立こそ、21 世紀の日本の X 線天文学、X 線光学が生き延びる上で、最重要課題であると思います。新たな重点領域研究など大きなグループでの研究の柱としたいと考えていますが如何でしょうか。

宇宙研へ移っての感想など書いて下さいと言う渡辺先生のご依頼を頂き、書いているうちに 21 世紀の X 線望遠鏡に話が変わって行ってしまいました。本年最初の X 線ニュースに相応しい内容とお許し下さい。これからも、よろしくお願い致します。宇宙研の國枝でした。

次々回 X 線顕微鏡国際会議（2005 年）の誘致相談会（II）について

筑波大学物理工学研究系 青木貞雄
東北大学科学計測研究所 渡辺 誠

去る 2001 年 1 月 14 日（日）、広島大学における放射光学会の折に、標記の相談会を持ちました。出席者は 14 名でした。

まず、昨年 7 月に開かれた XAFS の国際会議（400 人、～3200 万円）および 1995 年に開かれた VUV（520 人、～4500 万円）についての情報提供がありました（数字は不正確です）。次いで意見交換をしました。主な内容は下記の通りです。放射光学会主催をお願いすると、研究成果発表の科研費を学会として申請してもらえとのこと、そして、この科研費が SRI-97 と XAFS-99 に対して採択され、非常に有効であったとのこと。また、この分野の研究活動が放射光施設で精力的に行なわれていることを考え、SP-8 に共同主催をお願いしてはどうかという案が出されました。今後、この方向で、渡辺と青木がそれぞれ放射光学会および SP-8 に非公式に打診することとしました。また、そのために、標記国際会議の経緯、内容等についての概要を青木が作成することとしました。なお 7 月又は 8 月に「放射光利用 X 線イメージング技術の動向－現状と将来－」という播磨国際フォーラムが開かれる予定とのこと（連絡先：松井純爾、鈴木芳生、竜島 靖）。

第 13 回真空紫外線物理学国際会議（VUV-13）のお知らせ

編集部

標記の国際会議が 2001 年 7 月 23 － 27 日に、イタリアのトリエステで開催されます。申し込みの締切（アブストラクトの締切）は 2 月 28 日です。詳しくは

<http://vuv13.elettra.trieste.it/vuv13/> を御覧下さい。

発行 X 線結像光学研究会（代表 名古屋大学理学研究科物理学教室 U 研 山下 広順）

編集部 東北大学科学計測研究所 軟 X 線光学計測研究分野 渡辺 誠

〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1 TEL: 022-217-5376, FAX: 022-217-5379,

E-mail: watamako@rism.tohoku.ac.jp