

X線結像光学ニューズレター

No. 15 2002年1月発行

硬X線望遠鏡の開発と気球観測実験報告

名古屋大学大学院理学研究科 小賀坂康志

名古屋大学では、10keVを越える硬X線領域での天体観測研究を目指し、多層膜スーパーミラーを用いた硬X線望遠鏡の開発を行なっている。この研究は、科研費重点領域研究「X線結像光学」、特別推進研究「X線観測による銀河団の構造と進化の研究」をはじめとする研究体制・予算の元、山下広順先生のイニシアチブの下で長年にわたり進められてきた。現在は名古屋大学宇宙物理学研究室でフライト・モデルの製作を行なっており、また昨年夏にはアメリカで気球による初の天体観測試験を行なった。

現在のX線望遠鏡は、いずれも10keVが観測エネルギーの上限である。その原理は全反射を利用したWolter I型光学系で、エネルギー領域の上限は入射角で決定される。開口効率もある程度入射角に依存し、入射角が小さい設計ほど効率が悪い。定量的に評価すると、全反射鏡で効率的な光学系を構築するにはおよそ10keVがエネルギー領域の上限であることがわかる。硬X線望遠鏡開発の鍵は、10keV以上で全反射の臨界角よりも大角度で有効な反射率を持つ反射鏡を開発することである。多層膜スーパーミラーは、ブラッグ反射によりこれを実現すると共に、深さ方向に周期長を変化させることで天体観測に必要な広帯域化を図っている。その設計にあたっては、(1)全反射領域(軟X線-20keV)、(2)光電吸収が効くブラッグ反射領域(10-50keV)、(3)光電吸収が概ね無視できるブラッグ反射領域(>50keV)、の異なる原理が支配する領域に渡って滑らかな反射率特性を実現することが重要である。現段階で、入射角0.10-0.35度に対して、積層数200以下、周期長2-10nmのPt/C多層膜スーパーミラーを用いて60keVまで有効な反射率が得られる設計及び実験結果を得ている。

遡って1995年ごろ、この技術を利用した日米共同の気球観測実験計画InFOC μ Sが、NASA/GSFCの高エネルギー天体物理学部門との間でスタートした。この実験は、スーパーミラー-硬X線望遠鏡と撮像型CdZnTe半導体検出器を組合せ、気球による飛翔観測を行なうもので、近い将来に世界のX線天文学コミュニティが必要とするであろう硬X線撮像観測装置の可能性を占う重要な実験と位置づけられた。InFOC μ S硬X線望遠鏡は、基本的には日本のASTRO-E衛星搭載用の多重薄板軟X線望遠鏡と同じ構造であるが、反射鏡面に多層膜スーパーミラーを使い、また焦点距離を4.75mから8mへ変更している。口径は40cmで、使用する反射鏡の枚数は実に2040枚である。名古屋大学ではそのうち半数の反射鏡の製作を担当した。2000年夏から研究室総動員で日夜製作を行ない、2001年4月初旬にようやく完成することができた。

気球観測実験は、2001年7月5日、アメリカ・テキサス州のNational Scientific Balloon Facility (NSBF)で行なわれた。観測天体は装置の性能実証のために、良く研究され比較的明るい銀河系内のブラックホール候補天体である白鳥座X-1が選ばれた。残念ながら飛行初期の姿勢の擾乱を抑制するのに時間を要し、白鳥座X-1は2時間の可視時間帯の終了間際に数分間、ようやく望遠鏡視野内に捉えられた。当初は銀河団A2142の観測も併せて行なう予定であった

が、白鳥座 X-1 の観測に時間をとられたため叶わなかった。観測後のデータ解析により、数分間ではあったが白鳥座 X-1 は確実に観測されていることがわかり、姿勢補正を行なって白鳥座 X-1 の硬 X 線像を得ることができた。数分間のデータから像を取得できたのは、まさに結像光学系による高い S/N 比のなせる技である。

名古屋大学は次回の InFOC μ S 飛行観測実験のため、また名古屋大学独自の気球観測装置の開発のため、間断なく研究を続けている。性能実証はなされたので、今後は本格的に科学観測を行なっていかなければならない。新規の開発課題は数多く前途洋々とは決して言い難いが、ASTRO-E 衛星打ち上げの失敗と「あすか」衛星の運用終了により日本が X 線観測衛星をもたない時代が到来した。切れ目なく装置開発を行ない観測データを出し続けることは、日本の X 線天文コミュニティのポテンシャルを維持するために必要なことであり、我々はそういった責任を担っていると考えている。

「第 6 回 X 線結像光学シンポジウム」報告

筑波大学物理工学系 青木貞雄

X 線結像光学研究会（代表：山下広順）主催の「第 6 回 X 線結像光学シンポジウム」が昨年 12 月 20 日（木）、21 日（金）の 2 日間、つくば市の「つくば国際会議場（通称：エポカル）」で開催されました。参加者は大学、研究機関、民間の研究者、129 名にのぼり、予定していた人数をかなり上回りました。発表は、世話人の方々からの推薦による招待講演 26 件と一般のポスター発表 37 件でした。招待講演を以下の 10 のテーマに分け、ポスターも概ねこれらに対応させて配置しました。発表内容を簡単に紹介します。

1. ミラーナノテクノロジー

中部大の難波義治氏は、超精密ダイヤモンド切削によって表面粗さ 0.3nm rms が可能なことを示した。理研の大森整氏は、ELID 研削法による大型 X 線ミラー（1m）試作状況を紹介した。

2. 新型分光素子

東北大の柳原美広氏は、ボロン K 発光分光用の多層膜回折格子を開発し、s 偏光分光を可能にした。東北大の江島丈雄氏は、多層膜による He-I, He-II の共鳴線用偏光素子の開発に成功した。原研光量子センターの小池雅人氏は、1nm 近辺でも分光効率の良い Monk-Gillieson 型円錐回折分光器を開発した。

3. コヒーレント X 線源

原研光量子センターの大道博行氏は、同センターにおけるレーザー励起軟 X 線レーザーの最新の研究成果を、理研の緑川克美氏は、高次高調波による 30nm の軟 X 線レーザーの生成を紹介した。

4. 新技術開発

東北大の山本正樹氏は、利用波長による軟 X 線干渉計の構築について、同羽多野忠氏は開発中のレーザープラズマのデブリストッパーについて紹介した。

5. CCD カメラの高度利用

国立天文台の宮崎聡氏は、最近の大型 CCD やモザイク CCD の紹介および完全空乏型 CCD について紹介した。大阪大学の宮田恵美氏は、CCD 内の電荷雲分布の測定により、位置決定精度を 1 ミクロン以下にできる可能性を示した。

6. 次世代 X 線リソグラフィー

姫路工大の木下博雄氏は、13.5nm の極端紫外線露光で 60nm L&S が実現できることを示した。NTT の芳賀恒之氏は、シュバルツシルト光学系を利用した 13nm 干涉顕微鏡を構築し、多層膜欠陥を評価した。ASET の杉崎克己氏は、位相シフト点回折法を利用波長を用いて、EUV 光学系評価を行った。

7. X 線望遠鏡

名大の小賀坂康志氏は、多層膜スーパーミラーを用いた硬 X 線望遠鏡による気球観測実験の結果を、同じく田原譲氏は、NeXT 衛星搭載用多層膜反射鏡の開発状況を紹介した。宇宙研の国枝秀世氏は、X 線天文衛星将来計画について展望した。

8. 医学診断

高エネ機構の安藤正海氏は、新型結晶干涉計による位相コントラスト増強法の研究成果を、川崎医大の小笠原康夫氏は、腎糸球体毛細血管のマイクロ CT 像を紹介した。

9. 分光結像

高エネ機構の野村昌治氏は、XAFS 実験用集光光学系の開発状況を、東大の雨宮健太氏は、エネルギー分散型 XAFS 分光装置の試作状況を、東大の木下豊彦氏は、PEEM による最近の研究成果を紹介した。

10. X 線顕微鏡

JASRI の鈴木芳生氏は、SPring-8 における $0.1\mu\text{m}$ 硬 X 線マイクロビームの開発状況を、広島大の早川慎二郎氏は、蛍光 X 線顕微微量分析の現状を、姫工大の籠島靖氏は、ゼルニケ型位相差顕微鏡の研究成果を、筑波大の渡辺紀生氏は硬 X 線ホログラフィの研究状況を紹介した。

ポスター発表では、多層膜の高性能化、X 線 CCD の高度利用化、光電子顕微鏡の開発、レーザープラズマ X 線の利用、硬 X 線顕微鏡、蛍光 X 線ホログラフィー等、前回に比べ、研究分野の広がりが見られました。本シンポジウムは、研究分野の異なる研究者が共通の基盤技術の開発や苦労話を披露するユニークな研究成果発表の場です。技術開発にとっては、2 年間は極めて短い期間ですが、それぞれの研究者が着実に成果を上げている様子がかげえ印象的でした。前回にも感じたことですが、研究全般に X 線のエネルギーが比較的高い領域に移ってきています。特に、光学素子の開発ではゾーンプレートが 10keV 前後でも自由に使い、 $0.1\mu\text{m}$ の解像力を持つようになって来ています。多層膜ミラーや斜入射ミラーの性能向上も見られ、研究用としてはほぼ実用化の域に達しているようです。

シンポジウムの開催準備が遅れてスタートしたにもかかわらず、予想外の発表件数と参加者が得られました。これも X 線結像光学研究会世話人の方々のご協力の賜物と感謝しております。次回のシンポジウムは 2 年後に東北大学が幹事校になって開催する予定です。

次々回 X 線顕微鏡国際会議 (2005 年) 誘致相談会 (Ⅲ) 報告

筑波大学物理工学系 青木貞雄
東北大学多元物質科学研究所 渡辺 誠

つくば国際会議場で開催した「X 線結像光学シンポジウム」の 2 日目の 12 月 21 日 (金) の 12:00~13:00 に、標記の会を持った。出席者は 17 名であった。まず、渡辺が放射光学会に主催をお願いすることを打診したところ、学会から成果公開の科研費を要求するには 500 人規模の国際会議でなければならないので、主催を依頼することを断念した旨の報告を行った。次いで青木が、SP-8 に主催を依頼している現状の報告を行った。前向きな感触を得ていることと 3 月中には結論が出るであろうことが報告された。引き続き交渉を続けることとし、青木を準備委員長に選出し、鈴木、籠島両氏に手助けをお願いすることとした。そしてもし、承諾が得られた場合は応用物理学会の折に関係者が集まって、8 月に開催されるグルノーブルでの国際会議で立候補することの相談をすることとした。

第 7 回 X 線顕微鏡国際会議 (XRM02) のお知らせ (再掲)

姫路工業大学理学部 籠島 靖

標記の国際会議が、今年の 7 月 28 日から 8 月 2 日にフランスのグルノーブルで開かれます。連絡先は下記の通りです。

Conference Secretariat

Ute Ramseger

Tel.: +33 (0) 4 76 88 24 38

Fax: +33 (0) 4 76 88 25 42

E-mail: xrm@esrf.fr

ホームページは未開設のようですので、開設され次第あらためてお知らせいたします。

発行 X 線結像光学研究会 (代表 名古屋大学大学院理学研究科物理学教室 山下広順)
編集部 東北大学多元物質科学研究所 多元解析研究部門表面プロセス解析研究分野 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@tagen.tohoku.ac.jp