

論文内容の要旨

氏名 (朝倉 一統)

論文題名

High-Resolution X-ray Imaging with Multi-Image X-ray Interferometer Module
(多重像X線干渉計 MIXIM による高分解能X線撮像)

論文内容の要旨

X線天文学において、撮像系の角度分解能はX線天体の空間構造を調査する上で最も重要な性能の一つである。1999年に打ち上げられたChandra衛星が超高精度のX線望遠鏡を搭載することで角度分解能0.5秒角という優れた性能を達成したが、技術・費用等の観点から同様の手法で角度分解能を大幅に向上させることは困難であり、Chandraを超える角度分解能を有したX線天文衛星は未だに実現していない。近年ではX線望遠鏡に代わる撮像手段としてX線干渉計が提案されているが、高角度分解能の実現には宇宙空間で非常に長い光路を確保する必要があり、それに伴う技術的な課題が多く残されている。そこで我々は、コンパクトな撮像系でChandraの角度分解能を凌駕すべく、従来の撮像系とは全く異なる新原理の撮像系「多重像X線干渉計 (MIXIM)」を提案し、開発を進めてきた。MIXIMは周期的な開口部を有するマスクと微小ピクセル撮像素子から構成され、基本的にはピンホールカメラと同様の原理で撮像を行う。角度分解能を向上させるべく開口径を小さくすると回折が結像を阻害してしまうが、MIXIMでは周期的な開口によるTalbot干渉効果を利用して回折の影響を抑制することで、高角度分解能の実現が可能である。理想的には50 cmの撮像系でもChandraの角度分解能を超えるほか、マスク・撮像素子間の距離を伸展させれば、更に角度分解能を向上させることもできる。

MIXIMの提案以後、試作品による二次元撮像の原理実証実験が続いていたが、撮像素子の位置分解能の不足が原因で期待される性能には届かなかった。そこで、従来の撮像素子よりも高い位置分解能を有する可視光用素子がX線分光撮像素子としてMIXIMに応用できることを自ら実験で実証し、その素子と周期的なピンホールマスクを用いた二次元撮像系を新たに構築した。放射光施設SPring-8の単色平行X線ビームをその撮像系に照射してビーム光源を撮像し、独自に開発したデータ解析パイプラインで解析を行った結果、1 mに満たない撮像系でも0.5秒角の角度分解能が実現可能であることを実証した。更に、マスク・素子間の距離を約9 mに伸ばすことで、0.1秒角を切る角度分解能も達成した。この段階ではマスクの開口率が著しく低いことが問題点として残存していたが、我々はその対処法として周期的な符号化開口マスクを新たに採用し、符号化開口でもTalbot干渉効果を用いた結像が可能であることを初めて実験的に実証することで、角度分解能を維持したまま撮像系の開口率を大幅に向上させることにも成功した。また、MIXIMで採用した撮像素子は高位置分解能を活用した光電子追跡法により、X線天文学において未開拓領域である10-20 keVのX線偏光検出が可能であることも新たに発見し、MIXIMは超高角度分解能の実現だけでなく、X線偏光撮像能力も有していることを実証した。

