

像再構成型 X 線光学系に用いる

前置スリットの開発

宇宙物理実験研究室

鈴木瞳

X線天文学においてX線望遠鏡の角度分解能の向上は不可欠である。X線望遠鏡は、X線の性質上、反射型とせざるを得ないため、角度分解能を向上させるためには反射鏡の形状精度を改善する必要がある。しかしこれは技術的に困難で、かつ非常にコストがかかる。そこで我々は代替手段として像再構成型X線光学系[1]の開発を行っている。これは、角度分解能向上の役割を担う前置マスク2枚と、信号対ノイズ比向上を担う望遠鏡、二次元検出器からなり、取得したイメージから像の再構成をすることで高角度分解能を得る我々独自の手法である。前置マスクのパターンが微細なほど、マスク間距離が大きいほど角度分解能が良くなる。今回は新たに製作した2枚の前置マスクと二次元検出器を用いて、3種類の、スポットサイズの異なるX線光源の像再構成を試みた。まずX線光源の像をピンホール ($\phi = 0.1 \text{ mm}$) を用いて事前に取得したところ、その表面輝度の広がり半値全幅はそれぞれ 11.1、6.7、1.8 秒角であった。これらのイメージを像再構成によって求める前置マスクとしては、一次元での再構成を目標に 40 μm から 1280 μm までの2倍刻みのスリット幅で50%の透過率をもつ6種類のスリットを製作した。試行錯誤の結果、それにはフォトリソグラフィと電鍍を組み合わせた手法を用いることにした。素材は加工可能である中でX線遮蔽能力が高い18金とした。製作したスリットのうち一枚を図1に示す。X線光源の撮像はスリット間距離 4.66 m として宇宙科学研究所X線ビームラインで行った。また、像の再構成には天球の任意の方向に光源がある場合のスリットを通したイメージ（応答関数）が必要である。その製作には Geant4 によるモンテカルロシミュレーションを用いた。最後にX線エネルギー 8 keV で得られた実験データと応答関数を用いて、Morii et al. (2019) [2] のアルゴリズムによって像の再構成を行った。その結果、6種類の各スリットで3種類の光源の大きさの違いを確認することができた。また、6種類のスリットのデータを同時並行処理することでより精度の高い像が得られることがわか

った。各光源の一次元像再構成の結果を図2に示す。このうち一番小さい光源(c)の結果を用いて、再構成した像の広がりから角度分解能を求めたところ、半値全幅で 2.3 秒角であることがわかった。この光学系の理想的なセットアップの場合の角度分解能は、40 μm スリットの基本周期と光源までの距離からは 3.5 秒角であり、実験結果はこの角度分解能を超えている。しかし、実験と同じ設定のシミュレーションで求めると 0.3 秒角である。シミュレーションよりも実験結果の方が角度分解能の悪い原因としてはアライメントのずれやスリットの製作精度、応答関数の刻みなどが考えられる。より角度分解能を向上させる場合、これらを改善する必要があることがわかった。本修士論文では、これらの結果の詳細と、今後の展望について詳述する。

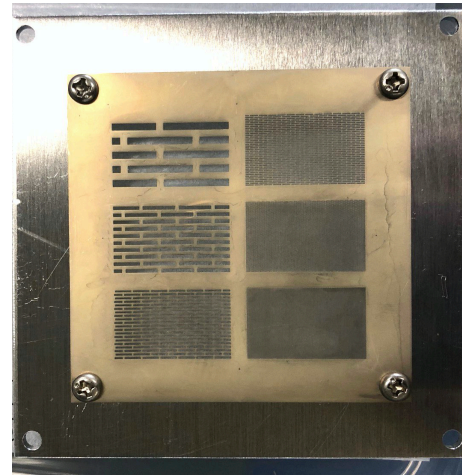


図1 製作したスリット

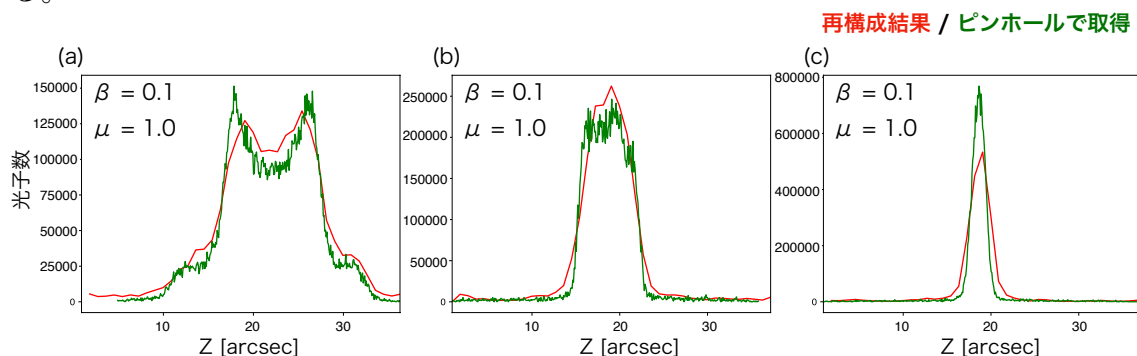


図2 6種類のスリットデータを同時に使ってX線光源を一次元像再構成した結果とピンホールカメラの原理で取得した各X線光源のイメージの射影

参考文献

- [1] Maeda et al. (2019) “Concept for an X-ray telescope system with an angular resolution booster.” Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 71, No. 5, p. 97.
- [2] Morii et al. (2019) “An image reconstruction method for an X-ray telescope system with an angular resolution booster.” Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 71, No. 1, p. 24.