

修士論文

惑星・衛星近傍の微弱な発光源の観測のためのデジタル
マイクロミラーデバイスを用いたコロナグラフの開発

Development of coronagraph using a digital
micromirror device for the measurement
of faint emission near planet and satellite

東北大学大学院理学研究科
地球物理学専攻

小泉 祥人

論文審査委員

坂野井 健 准教授（指導教員・主査）
鍵谷 将人 助教
小原 隆博 教授
笠羽 康正 教授
三澤 浩昭 准教授
熊本 篤志 准教授

平成 29 年

要旨

太陽コロナや木星近傍のプラズマトーラスなどのように、相対的に明るい母星の近傍にある微弱な光源をターゲットとして観測する場合、微弱な光源の信号は装置内の散乱光に埋もれてしまうため、微弱な発光源を観測しやすくするための工夫が観測装置に必要な。このような場合、これまでの天体観測においては、光学系にコロナグラフという装置を導入することで、母星からの光の装置内散乱に起因するバックグラウンドと微弱な観測対象のコントラスト比を抑える手法がとられてきた。従来のリオ型コロナグラフでは、母星の明るい光を遮るために焦点面の視野中央部に円形の遮光板を用いてきたが、惑星周辺の中性大気・プラズマ発光の連続観測には、視直径の変化や移動する複数の衛星に対応する遮光マスクが不可欠である。本研究は、この遮光マスクの機能を果たす装置としてデジタルマイクロミラーデバイス(digital micromirror device : DMD)に着目し、DMDを使用したコロナグラフの開発・評価と、木星周辺のプラズマトーラスを対象とした試験観測ならびに S/N の評価を行なうことを目的とする。

用いた DMD は $13.68\mu\text{m}$ 角の微小鏡面をアレイ上に多数配列($1024\times 768\text{pixel}$)させた Micro Electro Mechanical System (MEMS)デバイスであり、1ピクセルごとに鏡面の角度を ON と OFF の二方向に変化させることで、入射光を選択的に反射させることができる。DMD を焦点面に置き遮光マスクに用いることで、前述した惑星周辺微弱発光の観測に必要な機能を実現する様々なマスクパターンを容易に変換することができる。この焦点面遮光マスクを瞳マスクと組み合わせることで、母星の回折に起因するバックグラウンドを効果的に低減するリオ型コロナグラフを開発した。そして開発したコロナグラフをハワイ・ハレアカラ山頂(北緯 20 度 42.5 分、西経 156 度 15.5 分、標高 3020m)の東北大学 60cm 望遠鏡に取り付け、2017 年 8 月 3 日にコロナグラフの性能検証を行うための木星試験観測を実施した。この観測データを用いて、木星明るさに対するバックグラウンドの減光率を見積もった。

加えて、この観測データに基づくコロナグラフの性能検証の為に必要な、実際の観測と同じ条件下でのモデル計算を行った。木星を母星としてコロナグラフを用いた場合の回折光分布のモデル計算は、点像分布を遮光マスクの位置を変えながら逐次計算し、面光源の強度分布と畳み込むことで行った。ここで、面光源の強度分布は Minnaert 則に従うと仮定した。その結果、光源中心から $60''$ の位置でおよそ 10^{-7} の減光率(母星の明るさに対する観測領域のバックグラウンドの明るさの割合)を得た。一方で、試験観測結果からは $60''$ の位置でおよそ 10^{-5} の減光率が得られた。この観測結果から見積もられた減光率に基づくと、500R のプラズマトーラス(硫黄イオン 673nm)発光の観測について積分時間 600 秒で S/N=10 を達成できることが確認された。

一方、開発したコロナグラフの減光率 10^{-5} は、モデル計算の結果と比べると二桁ほど明るかった。観測結果とモデル計算の減光率に差がある要因として、DMD2 次元アレイの周期的パターンのために発生してしまう回折による複数の瞳像が重なり合う影響について考

察した。この解決策として、今後ピクセルサイズ $7.6\mu\text{m}$ の DMD を用いることで、複数の瞳像の重なりを排除しモデル計算条件に近い理想的な光学配置が実現できることを提示した。また、そもそも装置内部で発生した散乱光によりバックグラウンドの増大が引き起こされる可能性も考えられるため、今後のより精密な試験が必要である

本研究により DMD を用いた可変遮蔽マスク型コロナグラフ装置を用いて、木星と時々刻々移動する衛星の光をマスクすることでこれまでより効果的にプラズマトール観測が可能であることを定量的に示した。この DMD マスクを用いた可変遮蔽マスク型コロナグラフは、他の惑星や衛星近傍の中性大気・プラズマ発光の連続観測にも有効であると考えられる。