

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14765

研究課題名(和文) 深宇宙からの可視光近赤外線観測でねらう宇宙背景放射の直接検出

研究課題名(英文) Direct detection of extragalactic background light by optical and near-infrared observations from deep space

研究代表者

佐野 圭 (SANO, Kei)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：70802908

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙背景放射は銀河系外から飛来する天体放射の積算であり、宇宙創成以来の天体形成史を解明するために重要な観測量である。地球近傍での可視光から近赤外線の波長域においては、惑星間塵による太陽光散乱である黄道光が明るいため、宇宙背景放射測定の大不確かさという問題がある。そこで本研究では、将来的に外惑星探査機に搭載し、黄道光が微弱になる深宇宙空間から宇宙背景放射を観測するための望遠鏡光学系の開発を行った。3枚の自由曲面鏡から成る広視野光学系を設計し、アルミニウム合金を切削加工することによって光学系全体を製作した。望遠鏡に平行光を入射することにより、結像性能を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

赤外線による天文観測では、観測装置からの熱放射を低減するために望遠鏡を冷却する必要がある。レンズ光学系の場合、冷却時の熱収縮により光学的なアライメントが崩れ、結像性能が悪化する可能性がある。本研究で開発したミラーのみを用いた反射光学系は、相似収縮によって冷却時にも光学的なアライメントが保たれるという利点がある。今後、宇宙背景放射の観測に限らず、他の赤外線天文観測でも同様の光学系の使用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Extragalactic background light (EBL) is integrated radiation out of Milky Way and is crucial observable quantity to reveal the cosmic star formation history. From visible to near-infrared wavelengths, zodiacal light, sunlight scattered by interplanetary dust, exists as the brightest foreground emission in the near-earth orbit and this situation causes large uncertainty in the EBL measurement. In the present study, we developed a telescope for the EBL observation from deep space where the zodiacal light is fainter. We designed wide-field optics composed of three aspherical mirrors and made them by machining aluminum alloy. We evaluated the optical performance of the optics by inserting parallel light.

研究分野：天文学

キーワード：光赤外線天文学 反射望遠鏡 宇宙背景放射 黄道光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

可視光から赤外線において観測される宇宙背景放射は、宇宙初期から現在までに形成されたあらゆる天体からの放射を含むため、宇宙の天体形成史を解明するために重要な観測量である。地球近傍からの宇宙背景放射の観測では、惑星間塵による太陽光散乱である黄道光が宇宙背景放射に比べて数倍明るいいため、その差し引きにおける不定性が大きいことが問題である。木星以遠の深宇宙空間では、地球軌道に比べて黄道光の輝度が数パーセント程度まで低下することが予測されるため、より高確度で宇宙背景放射を観測するためには、将来的に深宇宙空間からの観測が必要である。

表 1：宇宙背景放射観測装置の仕様

光学系	口径: 150 mm × 75 mm 視野: 16 deg × 8 deg
観測波長	0.4 - 1.6 μm
分光性能	Linear Variable Filterにより 比波長分解能 ~ 20
検出器	HAWAII-2RG (18 $\mu\text{m}/\text{pixel}$)
検出器温度	140 K(放射冷却)
検出感度(点光源)	10 ABmag (SNR = 5, 10 s, $\lambda = 1.25 \mu\text{m}$)
検出感度(拡散光)	1 $\text{nWm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ (SNR = 3, 10 s, 100 scan, $\lambda = 1.25 \mu\text{m}$)

2. 研究の目的

本研究では、深宇宙からの宇宙背景放射の精密測定を実施するため、将来の外惑星探査機に搭載し、深宇宙で稼働する望遠鏡試作機の設計および製作を行う。観測装置の仕様を表 1 に示す。

3. 研究の方法

等方的な放射である宇宙背景放射を観測するためには、10度×10度程度の広視野を観測可能な光学系が必要である。また、望遠鏡冷却時の熱歪みを軽減するために、レンズを使用せず、ミラーのみの反射型望遠鏡とする必要がある。これらの点に注意して、光学系の設計を行う。その後、金属の切削加工により望遠鏡光学系を製作する。製作した望遠鏡の結像性能を評価するために、平行光を望遠鏡に入射する光学試験を行い、取得画像の解析を行う。

4. 研究成果

まず、広視野光学系の設計を行った。有効口径が50mm×90mmで、3枚の自由曲面ミラーから成る反射光学系を設計した(図1)。等方的な放射である宇宙背景放射の検出に特化するため、この光学系は約16度×8度の広い視野を持ち、宇宙空間での放射冷却時にも光学的アラインメントを保つため、レンズを使用しない反射光学系を採用した。次に、設計した光学系をもとに、アルミニウム合金を切削加工することによって、3枚の自由曲面ミラーを製作した(図2)。これらのミラーは背面をハニカム状

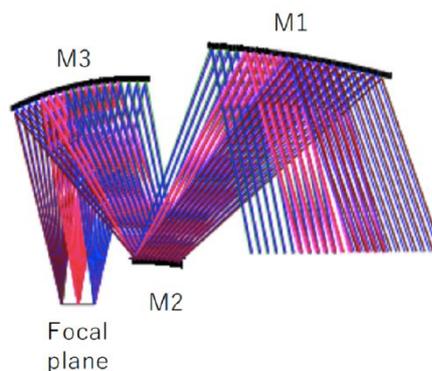


図 1：設計した反射光学系



図 2：製作した自由曲面ミラー

にくり抜くことで、剛性を保持しつつ軽量の構造とした。ミラーの諸元を表2に示す。また、3枚のミラーを組み立てるためのベースプレートとL字支持具を製作し、アライメントをとって全体を組み立てた（図3）。

望遠鏡の結像性能を評価するためには、平行光入射時の結像状態を確認する必要がある。望遠鏡に様々な角度から光を入射するため、ベースプレートに回転ステージおよびゴニオステージを装着した（図4）。コリメータを用いて平行光線を望遠鏡に入射し、焦点位置付近に設置した可視光カメラで像を取得した。検出面の各位置での結像状態を評価するために9つの異なる角度から平行光を入射し、各角度における結像状態を撮影した（図5）。取得した画像を解析し、像の大きさの指標となるエンサークルドエナジーを光学シミュレーションによる予測値と比較した。その結果、大部分の視野では予測される結像性能が得られたが、一部の視野では像サイズ大きいことが判明した。ミラーの表面を観察すると、線状の切削痕が複数存在しており、それによって結像性能が悪化した可能性がある。今後、結像性能を改善するために、研磨による追加工を実施する計画である。

表 2：ミラー諸元

	M1	M2	M3
有効口径 (mm)	50 × 90 (楕円開口)		
F値	F/2.8		
像サイズ	3 pix × 3 pix (90%径)		
面形状	10次非球面		
材質	A6061 (アルミニウム合金)		
質量 (g)	543	51	631
面精度 (μm)	1.73(左側)	0.33	1.24(左側)
PV値	1.29(右側)		1.45(右側)
面粗さ Sa (nm)	6.78	6.97	6.93

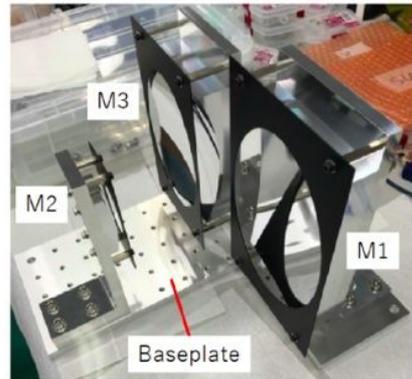


図 3：望遠鏡全体図

図 4：望遠鏡結像性能評価試験のセットアップ

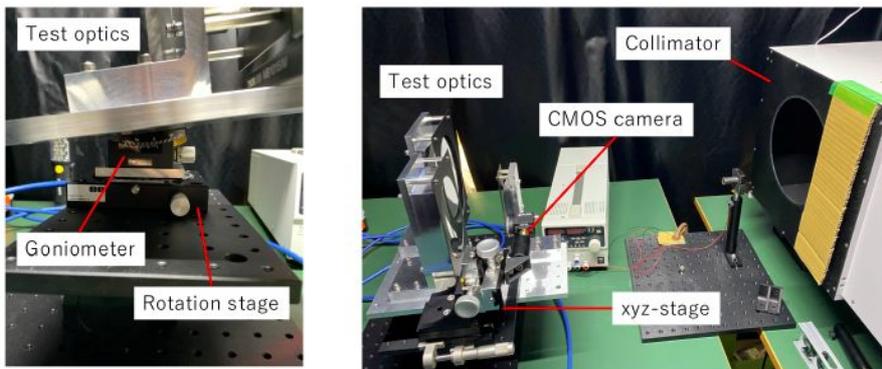


図 4：望遠鏡結像性能評価試験のセットアップ

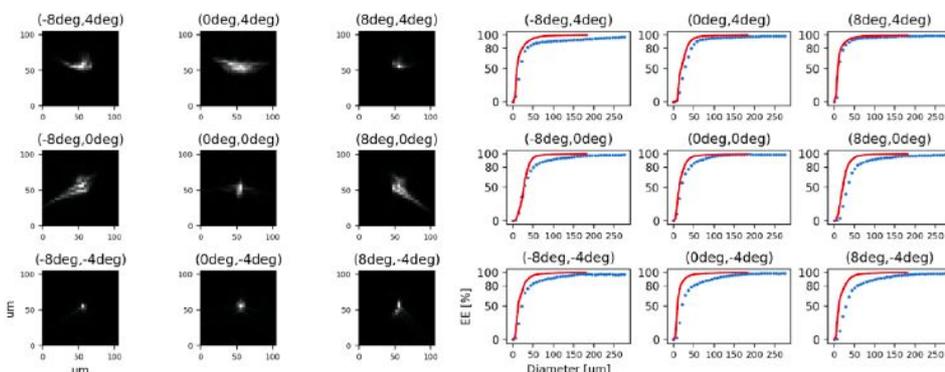


図 5：各視野での結像状態（左）とエンサークルドエナジーの比較（右）

青点：測定値、赤線：光学シミュレーションによる予測値

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sano Kei, Matsuura Shuji, Tsumura Kohji, Takahashi Aoi, Hashimoto Ryo, Ogura Sota, Yomo Kazuma, Yasutake Hikoma, Ino Yuta, Tanaka Reina	4. 巻 11443
2. 論文標題 Development of EXo-Zodiacal Infrared Telescope (EXZIT) for observation of visible and near-infrared extragalactic background light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings Volume 11443, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave	6. 最初と最後の頁 114436B
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2559169	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Sano Kei, Matsuura Shuji, Tsumura Kohji, Takahashi Aoi, Hashimoto Ryo, Ogura Sota, Yomo Kazuma, Yasutake Hikoma, Ino Yuta, Tanaka Reina
2. 発表標題 Development of EXo-Zodiacal Infrared Telescope (EXZIT) for observation of visible and near-infrared extragalactic background light
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation Digital Forum（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐野圭、松浦周二、津村耕司、高橋葵、橋本遼、小倉颯太、安竹彦馬、猪裕太、田中怜奈
2. 発表標題 深宇宙における光赤外線天文観測に向けた望遠鏡光学系の開発
3. 学会等名 第21回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野圭、松浦周二、津村耕司、高橋葵、橋本遼、小倉颯太、安竹彦馬、猪裕太、田中怜奈
2. 発表標題 深宇宙における宇宙背景放射観測に向けた可視光近赤外線望遠鏡の開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------