

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01125

研究課題名（和文）惑星探査機搭載望遠鏡を用いた深宇宙における光赤外線天文学の創成

研究課題名（英文）Creation of visible-infrared astronomy in deep space by a telescope onboard a space probe

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） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：可視光から近赤外線における宇宙背景放射の観測は、宇宙初期から現在に至る天体形成の歴史を解明するために重要である。本研究では、深宇宙の低雑音環境において宇宙背景放射観測を実施するための望遠鏡観測装置の開発と、小惑星探査機はやぶさ2に搭載されたカメラによって深宇宙からの天文観測を中心に実施した。観測装置の開発においては、広視野望遠鏡と低雑音検出器の設計、製作、性能評価を実施するとともに、はやぶさ2搭載カメラを用いて黄道光輝度の日心距離に対する変化を精密に測定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙誕生以来、星や銀河がいつ誕生し、現在までどのように進化してきたかを解明することは、現代天文学の主要な目的の一つである。そのために、宇宙初期から現在までの天体放射の積算である宇宙背景放射の明るさを精密に測定することは重要である。本研究では、低雑音環境である深宇宙空間からの精密な宇宙背景放射の観測に向けた観測機器の開発および小惑星探査機はやぶさ2を利用した深宇宙からの天文観測を中心に実施した。本研究で得られた成果は、深宇宙からの天文学という新たな研究領域の基礎となる点で学術的意義が高い。

研究成果の概要（英文）：Observations of extragalactic background light in the visible to near-infrared regions are important for elucidating the history of star formation from the early universe to the present epoch. In this study, we developed a telescope instrument to observe the extragalactic background light in the low-noise environment of deep space, and focused on astronomical observations from deep space using a camera mounted on the asteroid probe Hayabusa 2. In developing the telescope instrument, we designed, manufactured, and evaluated the performance of the wide-field telescope and low-noise detector, and also succeeded in precisely measuring the change in zodiacal light brightness relative to the heliocentric distance using the camera mounted on Hayabusa 2.

研究分野：光赤外線天文学

キーワード：光赤外線天文学 深宇宙 観測的宇宙論 宇宙背景放射 黄道光 望遠鏡

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球近傍における従来の光赤外線天文観測では、惑星間空間に漂う塵による太陽光の散乱および熱放射成分である黄道光の影響で天体検出感度が制限される。特に、可視光から赤外線波長における宇宙背景放射を観測することは、宇宙初期から現在に至る天体形成史を包括的に解明するために重要であるが、地球近傍からの観測ではその前景光である黄道光によって、宇宙背景放射を正確に測定することは困難である。そこで本研究では、地球を離れた深宇宙空間における光赤外線観測の有用性を検証するため、将来の深宇宙探査機への搭載を想定した天文観測用望遠鏡を開発するとともに、小惑星探査機はやぶさ2に搭載された観測装置による黄道光観測を実施する。

2. 研究の目的

(1) 将来の深宇宙探査機への搭載を想定した宇宙背景放射観測用望遠鏡の開発においては、広視野の望遠鏡および低雑音の検出器を開発し、それぞれ光学性能およびノイズ性能を実証する。

(2) 探査機による黄道光観測においては、小惑星探査機はやぶさ2搭載の望遠鏡によって異なる日心距離から可視光観測を行う。観測データを解析し、惑星間塵のモデルと比較することによって、惑星間塵の性質を制約する。

3. 研究の方法

(1) 望遠鏡の開発においては、本研究以前に、3枚の自由曲面ミラーから成る反射光学系を設計し、アルミニウム合金の切削加工により光学系を製作した。その光学系に対して種々の光学試験を実施したところ、ミラー表面の切削痕によって反射率の非一様性が生じている可能性があることが分かった。そこで、その問題を解決するために研磨による追加工を行ったのち、再度光学試験を実施し、結像性能が改善するかどうかを検証する。さらに、小型の検出器装置を開発し、検出器のノイズ性能を検証する。

(2) はやぶさ2の観測装置を利用した黄道光観測においては、科学成果を得るために必要な観測頻度等を検討し、観測計画を決定する。また、試験観測で得られたデータを用いて、測光校正、迷光評価、点源除去などの解析手法を確立し、本観測で得られるデータを速やかに解析可能な体制を整える。はやぶさ2搭載の望遠鏡によって、日心距離が0.8-1.1天文単位となる様々な位置から可視光波長での観測を行う。取得した画像データを解析し、黄道光輝度を導出する。それによって得られる黄道光輝度の日心距離依存性を種々の惑星間塵モデルと比較し、惑星間塵の密度分布に制約を与える。さらに、黄道光の輝度分布を包括的に理解するために、深宇宙空間からの観測に加えて、黄道光の偏光観測や分光観測も並行して行う。COBE衛星によって得られた近赤外線における全天の偏光観測データを解析し、偏光度の空間分布から、惑星間塵の光学特性に制約を与える。

4. 研究成果

(1) 望遠鏡の開発においては、鏡面を研磨することによって、どの程度結像性能が改善するか

を調査するために、2種類の材料A6061とRSA6061を用いて平面ミラー基板を製作し、様々な研磨時間で研磨を行い、その表面状態および結像性能を測定した。その結果、A6061製基板は研磨によって表面粗さが改善したが、RSA6061製基板の表面粗さよりも改善することはなかった。したがって、将来的に望遠鏡の実機製作においては、RSA6061を使用することが望ましいと考えられる。また、有限要素法によるシミュレーションを実施したところ、現状の光学系は重力によって歪みが生じることが予想されるため、光学試験における光学系の支持構造を工夫する必要があることが分かった。そこで、歪みを低減する望遠鏡の支持構造を新たに設計製作して光学試験を実施した。その結果、製作した望遠鏡は要求される結像性能を満たすことを実証した。並行して、観測装置の熱構造を検討した。観測時に宇宙機からの熱流入を低減し、堅牢な構造の支持脚および検出器の支持構造を設計した。検出器部分については、センサー基板を製作するとともに、それらを支持する構造を設計、製作した。センサーの性能評価を実施し、宇宙背景放射を検出するために要求されるノイズ性能であることを確認した。本研究で開発した検出器は、現在開発中の超小型衛星に搭載し、宇宙空間で性能を実証する計画である。

(2) はやぶさ2の観測装置を利用した黄道光観測においては、科学成果を得るために必要な観測頻度等を検討し、観測計画を決定した。また、昨年試験観測で得られたデータを用いて、測光校正、迷光評価、点源除去などの解析手法を確立するとともに、様々な日心距離で得られた観測データの解析を開始した。日心距離が約0.8-1.1天文単位となる様々な位置から観測を行った。それによって黄道光輝度および惑星間塵密度の日心距離依存性を導出することに成功した。また、望遠鏡が広視野であることを利用し、宇宙背景放射の前景光のひとつである銀河拡散光の測定を銀河中心方向の領域について実施した。

さらに、惑星間塵の性質を詳細に調べるために、COBE衛星によって得られた全天の近赤外線偏光観測データを解析した。その結果、偏光度の黄緯、太陽離角依存性を導出し、惑星間塵の特性に制約を与えた。本研究による多角的な黄道光の調査は、惑星間塵の知見獲得にとどまらず将来の深宇宙からの天文観測においても有益な情報となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hanzawa Masaki, Matsuura Shuji, Takahashi Aoi, Chary Ranga-Ram, Sano Kei, Takimoto Kohji, Tome Yuto	4. 巻 76
2. 論文標題 Measurement of the zodiacal light absolute intensity through Fraunhofer line spectroscopy of the night sky with the Hale telescope	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 353, 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psae016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsumura, K., Matsuura, S., Sano, K., Iwata, T., Yano, H., Kitazato, K., Takimoto, K., Yamada, M., Morota, T., Kouyama, T., Hayakawa, M., Yokota, Y., Tatsumi, E., Matsuoka, M., Sakatani, N., Honda, R., Kameda, S., Suzuki, H., Cho, Y., Yoshioka, K., Ogawa, K., Shirai, K., Sawada, H., Sugita, S.	4. 巻 75
2. 論文標題 Heliocentric distance dependence of zodiacal light observed by Hayabusa2#	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 121-1, 121-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-023-01856-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kohji Takimoto, Shuji Matsuura, Kei Sano, Richard M. Feder	4. 巻 944
2. 論文標題 Near-infrared Polarization Characteristics of the Zodiacal Light Observed with DIRBE/COBE	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 229-1, 229-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acb937	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 3件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kei Sano
2. 発表標題 Mission overview of Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat (VERTECS)
3. 学会等名 5th COSPAR Symposium, Space Science with Small Satellites (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kei Sano
2. 発表標題 Astronomical 6U CubeSat Mission VERTECS
3. 学会等名 Small Satellite Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kei Sano
2. 発表標題 VERTECS: 6U satellite for astrophysical science
3. 学会等名 6th International Workshop on Lean Satellite (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 宇宙可視光背景放射観測6U衛星VERTECS: 全体進捗状況
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧本幸司, 佐野圭, 當銘優斗, 川崎悠貴, 中川俊輔, Eyoas Ergetu Areda, Ezra Fielding, Keenan Alexsei Aamir Chatar(九州工業大), 松浦周二, 廣瀬優樹, 小鹿哲雅, 津本明音 (関西学院大), 津村耕司 (東京都市大), 中川貴雄, 松原英雄, 磯部直樹, 榎木谷海, 田中颯 (ISAS/JAXA), 高橋葵 (ABC)
2. 発表標題 超小型衛星VERTECS搭載の可視光望遠鏡の開発進捗状況
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 宇宙可視光背景放射観測6U衛星VERTECS：全体状況
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2024（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hisataka Kawasaki, Ryo Hashimoto, Kai Ishida, Chika Matsumi, Shuji Matsuura, Kei Sano, Kohji Takimoto, Kohji Tsumura, Hayato Yamashita
2. 発表標題 Optical Tests of Space Telescope EXZIT for Observation of Extragalactic Background Light
3. 学会等名 10th International Symposium on Applied Engineering and Sciences SAES2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 超小型衛星による天文学：宇宙可視光背景放射観測
3. 学会等名 2040年代のスペース天文学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 CubeSatによる宇宙可視光背景放射ミッション：VERTECS
3. 学会等名 第23回 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 超小型衛星による宇宙可視光背景放射ミッションVERTECS
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 高精度姿勢制御6U衛星による宇宙可視光背景放射観測で探る天体形成史
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2023（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧本幸司
2. 発表標題 宇宙可視光背景放射観測6U衛星VERTECS：ミッション概要
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松浦周二
2. 発表標題 惑星間宇宙望遠鏡IPST - Interplanetary Space Telescopeによるダストフリー天文学
3. 学会等名 2040年代のスペース天文学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦周二
2. 発表標題 VERTECSから始める新時代の光赤外天文学は惑星間宇宙望遠鏡へ続く
3. 学会等名 超小型衛星利用シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野圭
2. 発表標題 光赤外線波長における天文観測と宇宙天気
3. 学会等名 第150回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会・講演会および一般公開イベント（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州工業大学 研究者情報 https://hyokadb02.jimu.kyutech.ac.jp/html/100001400_ja.html

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
研究分担者	松浦 周二 (Matsuura Shuji) (10321572)	関西学院大学・理学部・教授 (34504)	
研究分担者	岩田 隆浩 (Iwata Takahiro) (20201949)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授 (82645)	
研究分担者	和田 武彦 (Wada Takehiko) (50312202)	国立天文台・JASMINEプロジェクト・准教授 (62616)	
研究分担者	津村 耕司 (Tsumura Kohji) (60579960)	東京都市大学・理工学部・准教授 (32678)	
研究分担者	高橋 葵 (Takahashi Aoi) (70851848)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教 (82675)	

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