

令和 4 年 5 月 28 日現在

機関番号：32678

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2018～2021

課題番号：18KK0089

研究課題名（和文）観測ロケット実験CIBER-2による赤外線背景放射観測で探る隠された星形成史

研究課題名（英文）Observational Study of Hidden Star-Formation History through the Near-Infrared Extragalactic Background Light by the Rocket Experiment CIBER-2

研究代表者

津村 耕司（Tsumura, Kohji）

東京都市大学・理工学部・准教授

研究者番号：60579960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：我々はNASAの観測ロケットを用いた国際共同実験CIBER-2(Cosmic Infrared Background Experiment-2)による銀河系外背景光(EBL, Extragalactic Background Light)の超過の観測により、宇宙の隠された星形成史を探ることを目指している。本研究費にて国際協力で開発を進めて来たCIBER-2は、2021年6月7日に無事に打上げ観測を実施することができた。この打上げにおいて、観測データを取得することができたことに加え、観測装置の回収にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の観測天文学研究においては、地上およびスペースに設置された大型望遠鏡を用いた観測が主流となっており、その装置開発には10年単位での時間が必要となってしまう。そのような現状において本研究においては、EBL観測という科学目的に特化し、その観測を実現するために、小型の望遠鏡を観測ロケットに搭載することで、最先端の天文観測を安価に迅速に達成させるという点が世界的にもユニークであり、それを達成できたことに大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：We aim to explore the hidden star formation history of the Universe through observation of the Extragalactic Background Light (EBL) by the sounding-rocket experiment, CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment-2). CIBER-2, which has been developed through international collaboration funded by this research grant, was successfully launched on June 7, 2021. In addition to acquiring scientific data during the launch, we also succeeded in recovering the observation equipment of CIBER-2.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：赤外線背景放射 黄道光 ロケット観測 宇宙望遠鏡

1. 研究開始当初の背景

宇宙誕生から現在に至る星形成の歴史を観測的に探るため、大型望遠鏡を用いた様々な遠方銀河の観測が進められており、赤方偏移が 10 に迫る銀河も観測されている。しかし TMT や JWST などの近い将来の大型望遠鏡をもってしても、全ての星形成を検出できるわけではない。そこで我々は、遠方銀河観測とは相補的に、銀河系外背景光 (EBL, Extragalactic Background Light) の観測を通して星形成史を探ろうとしている。大型望遠鏡では検出できない暗い天体からの光を、宇宙の歴史を通した(遠方宇宙から観測者までの)積分値である EBL として検出することで、大型望遠鏡でも検出できないような暗く隠された星形成を探ろうという試みである。

我々は今まで独自の EBL 観測を進めてきており、既存の EBL 観測値(図 1 のデータ点)のほとんどに本研究の研究代表者・分担者が関わっているなど、この分野で世界をリードしている。EBL 観測のためには、赤外線面で輝度測定を行い、そこから既知の前景光(太陽系起源の黄道光と、銀河系起源の銀河拡散光)を差し引くのだが、地球大気光を避けるために大気圏外からの観測が必要となる。そこで我々は IRTS による先駆的な EBL 分光観測に始まり、続く「あかり」では EBL の分光および空間的ゆらぎの観測を実施した。そして、EBL 観測に特化した小型の観測装置を製作し、NASA のロケットに搭載して打上げ観測を国際協力で行うロケット実験 CIBER (Cosmic Infrared Background ExpeRiment) も実施した。これらの観測結果から、既知の銀河光の積算(図 1 黒線)では説明できない EBL 超過を検出した。この観測結果は、通常の銀河モデルでは説明できない何らかの未知の光源が宇宙に存在することを示唆しており、銀河の合体成長に伴い剥ぎ取られた星が銀河ダークハローに浮遊しているとする説や、LIGO により重力波として検出されたようなブラックホールが初期宇宙で降着により光っていると説などが唱えられている。

以上から、新たな観測により、CIBER などによって明らかになった EBL 超過の担い手たる未知の光源の性質を探ることは、宇宙における星形成史を理解する上で重要である。そこで、EBL をより詳細に観測することを目指し、CIBER で培った技術的蓄積と国際共同研究体制を発展させたロケット実験 CIBER-2 を進める。

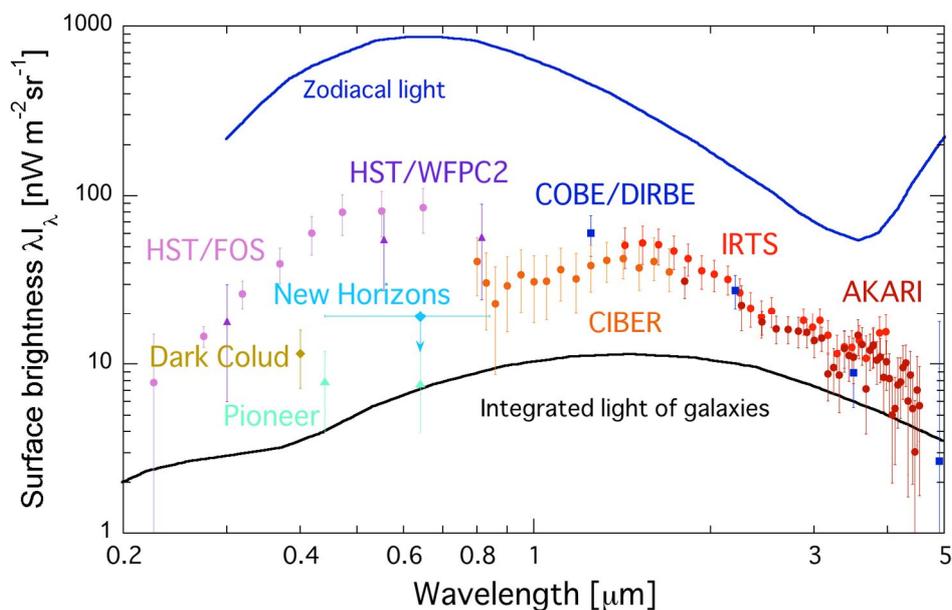


図 1 EBL スペクトル。観測された EBL(データ点)は、銀河積算(黒線)から超過している。

2. 研究の目的

CIBER-2 は日米韓台の国際共同研究ミッションであり、日本チームは搭載する光学系(望遠鏡+後置レンズ光学系)を担当している。本研究の目的は、製作した光学系を NASA のロケットに搭載して打上げ観測を実施し、観測データを取得し、得られたデータを国際共同研究の枠組みで解析を進めることである。

EBL のような面輝度観測における感度は、望遠鏡の集光面積 S ではなく、それに視野 θ をかけた $S\theta^2$ とよばれる値で決まるため、口径は大きいが見視野が狭いハッブル宇宙望遠鏡(口径

2.5m、視野 2.7 分角)よりも、CIBER-2(口径 28.5cm、視野 1.7 度)の方が面輝度に対する感度が 18 倍以上良い。これが小型だが広視野の宇宙望遠鏡により世界最高感度の EBL 観測を迅速に実現させるという CIBER-2 の最大の学術的独自性である。

CIBER-2 では、CIBER より集光面積が 10 倍大きい口径 28.5cm の冷却反射望遠鏡に加え、後置レンズ光学系内のビームスプリッタにより光路を 3 チャンネルに分割し、さらに各チャンネル内に 2 種類のバンドパスフィルターとリニアパリアブルフィルター(LVF)を搭載する事で、可視光から近赤外線に渡る 6 バンド同時撮像と低分散分光を同時に実現させる点も大きな特徴である。このような独自の特性を持つ CIBER-2 の観測により、EBL の起源たる未知の光源の性質に迫る。

3. 研究の方法

(1)可視光波長域を含む EBL の広帯域低分散分光

EBL 超過の正体を探るためには、まずはその放射スペクトルを調べることが重要である。CIBER では 0.8–1.8 μm における EBL を導出したが(図 1)、CIBER-2 ではこの波長帯を可視光波長帯まで広げ、0.5–2.5 μm 帯における EBL の放射スペクトルを過去最高精度で求める。

図 1 から明らかなように、可視光波長帯($<0.8\mu\text{m}$)での EBL 観測値はバラツキが大きい。これは最大的前景光である黄道光(図 1 青線)が極大値となるため観測が困難なことに加え、地上観測が可能な波長帯であるため、宇宙からの観測が必須な EBL 観測が実現できる宇宙望遠鏡の選択肢がほとんどないことも一因である。唯一の観測装置がハッブル宇宙望遠鏡であるが、上述の理由により EBL 観測には向かない。そこで CIBER-2 による観測で、可視光波長帯を含む EBL 超過のスペクトル構造の全体像を世界で初めて詳細に観測することで、EBL 超過の起源とその性質を探る。

(2)可視光から近赤外線 6 バンド同時 EBL ゆらぎ観測

EBL 観測の難しさは最大的前景光である黄道光(図 1)であり、特に CIBER-2 の特徴である可視光波長帯ではそれが顕著である。一方で、黄道光は度スケール以下では空間的に一様であることが知られているため、広視野観測により EBL の空間的なゆらぎを観測すれば、EBL と黄道光を分離することができる。この手法により検出された各バンドの EBL ゆらぎ強度と、上述の EBL の放射スペクトルとを合わせることで、EBL 検出の信頼性をより高めることができる。

また、検出された EBL の空間的ゆらぎをフーリエ解析し、EBL ゆらぎの特徴的な角度スケールを探ることで、その起源に迫ることも可能である。上述の通り EBL 超過の起源として、ハロー星モデルや初期宇宙ブラックホールモデルなどが提唱されているが、これらの宇宙における空間分布は異なるため、これらによって作られる EBL の空間的ゆらぎ構造は異なる。それらモデルが予想する EBL ゆらぎの空間構造と、観測された EBL の空間構造を比較することで、EBL の起源に迫ることができる。

さらにこの手法を用いると、宇宙初期に最初に誕生した初代天体の兆候も探ることができるかもしれない。水素とヘリウムより重い元素は恒星の中で作られるため、初代天体はそれら重元素を含まない天体であるはずであり、そのため大質量で紫外線で明るく輝くと考えられている。そのような初代天体は宇宙初期(遠方宇宙)に存在するためとても暗く、将来の TMT や JWST をもってしても単独の初代星の検出は難しい。しかしその積算を EBL としてなら観測できる可能性が

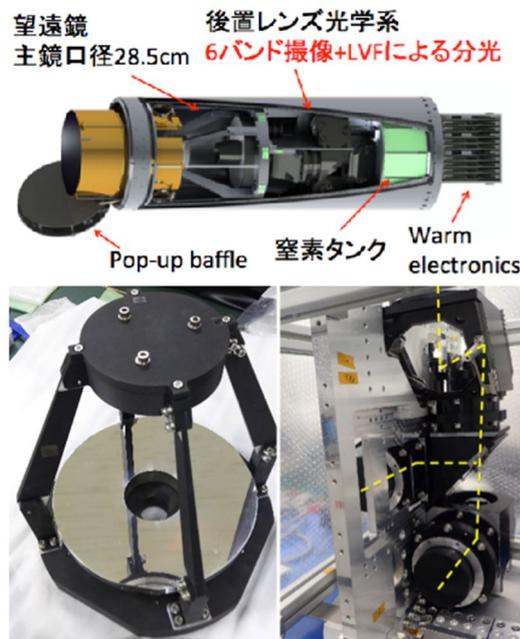


図 2 ロケット実験 CIBER-2。
上：装置の全体像、左下：搭載望遠鏡、
右下：後置レンズ光学系。

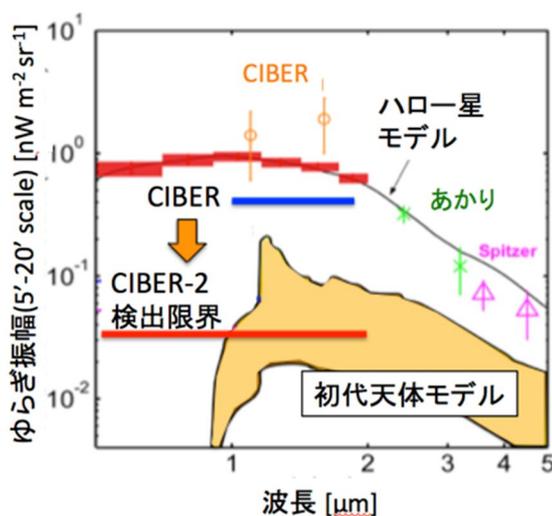


図 3 EBL の空間的ゆらぎ観測

ある。予想される初代星からの放射の EBL に対する寄与は小さいので、黄道光の寄与が大きい放射スペクトルから初代星の兆候を検出することは難しいが、黄道光の寄与を分離できる EBL ゆらぎ観測なら、初代天体の兆候を検出できる可能性がある。特に初代星からの放射は強いライマンアルファ放射によって特徴付けられ、それが高赤方偏移により波長 $1\ \mu\text{m}$ 付近に特徴的な構造を示すことが予想されている(図 3)。これを捉えるためには先代の CIBER の観測から 10 倍高い感度を有し、さらに可視光から近赤外線の波長帯で多くのバンド帯による観測が必要である。CIBER-2 はこの条件を満たすように設計されており、EBL の空間的ゆらぎの観測から、初代天体形成の様子を初めて観測的に検出することを目指している。

4. 研究成果

CIBER-2 に搭載する宇宙望遠鏡は日本国内で製造した。本研究計画の初年度に当たる 2018 年度は国内での望遠鏡の最終調整を行なった後、その望遠鏡をアメリカ合衆国・カリフォルニア工科大学(Caltech)に輸送した。また、津村・佐野ら、本研究計画の若手研究者が Caltech に交互に長期滞在して現地での性能評価実験に参加した。それにより、Caltech で光学系を検出器などと組み合わせ、装置全体を実際に打ち上げ条件と同じ温度にまで冷却した上で、光を望遠鏡に入れての光学試験を実施し、望遠鏡の光学性能評価を進める環境を整えることができた。

2019 年度よりアメリカ合衆国・ロチェスター工科大学(RIT) に開発の拠点を移し、引き続き打ち上げ観測に向けた最終的な光学試験、振動試験、キャリブレーションなどを実施した。その後、射場であるアメリカ合衆国・NASA ワロップス基地に観測装置を輸送した。そこで打ち上げに向けてのキャリブレーションや振動試験など、打ち上げに必要な各種最終試験を実施した。これらの実験は、本研究計画の研究分担者である佐野や、同じく研究分担者である松浦の研究室に所属する学生ら数名が数カ月々にわたり渡米して、現地の共同研究者らと協力して進められた。

従来の予定では、2020 年度に NASA ワロップス基地からロケットを打ち上げての観測を実施する計画であった。しかし当時の米国での Covid-19 の感染状況は日本よりも厳しかったこともあり、米国内の共同研究先の大学や NASA の打上げ施設等が閉鎖したことなどの影響で、2020 年度の打ち上げ観測を延期せざるを得ない状況となってしまった。そこで観測装置の一部を日本に郵送し、国内の研究室において、観測装置のさらなる性能評価実験やキャリブレーションを進め、2021 年度の打ち上げ観測に向けて観測精度をより高める活動を進めた。また、本研究計画も、当初計画では 2021 年度までであったが、研究期間を 1 年延長した。

2021 年度に入っても Covid-19 の影響は改善しない状況が続き、日本の研究者達が渡米できない状況が続いたが、米国の研究者とオンライン会議にて議論を重ね、装置の調整を進めていった。その結果、国内の研究者は渡米して打ち上げ活動に現地で参加することはできなかったものの、2021 年 6 月 7 日に CIBER-2 の打ち上げ観測を無事に実施することができた。この打ち上げにおいて、観測データを取得することができたことに加え、観測装置の回収にも成功した(図 4)。観測データには想定外の熱放射の混入などが確認されたが、そこから科学的な情報を引き出すために解析を続けている。また、回収した装置には大きな破損はなく、今回明らかになった問題点に対する改修などを行い、装置のセットアップを行うことで、2 回目以降の打ち上げ観測を実現させたいと考えている。



図 4 CIBER-2 の打ち上げ。左から順に、打ち上げ前の搭載望遠鏡の最終調整、打ち上げ直前の集合写真、ロケット打ち上げの瞬間、打ち上げ後の装置の回収の様子。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 18件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Morota T., Tsumura K. et al.	4. 巻 368
2. 論文標題 Sample collection from asteroid (162173) Ryugu by Hayabusa2: Implications for surface evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 654 ~ 659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aaz6306	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Tsumura Kohji	4. 巻 10
2. 論文標題 Estimating survival probability using the terrestrial extinction history for the search for extraterrestrial life	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-69724-2	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 Tsumura Kohji, Yonetoku Daisuke, Kawabata Koji, Matsuura Shuji, Noda Hirofumi, Urata Yuji, Niino Yuu, Sano Kei, Ohashi Akisato, Doi Akihiro, Akitaya Hiroshi, Miyasaka Akihiro, Kurimata Miku, Kawata Yoshikatsu, Arimoto Makoto, Hirofumi Okita Hirofumi	4. 巻 11443
2. 論文標題 Development of an optical and near-infrared telescope onboard the HiZ-GUNDAM mission	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave	6. 最初と最後の頁 114430R
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560654	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 -
1. 著者名 Takimoto Koji, Tsumura K. et al.	4. 巻 11443
2. 論文標題 Pre-flight optical test and calibration for the Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER-2)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave	6. 最初と最後の頁 114435A
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561917	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 該当する

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 of the SPIE, 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 -

1. 著者名 Wada Takehiko, Tsumura K. et al.	4. 巻 11443
2. 論文標題 SPICA Mid-infrared Instrument (SMI): The latest design and specifications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave	6. 最初と最後の頁 114436G
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561157	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 該当する

1. 著者名 Yonetoku Daisuke, Tsumura K. et al.	4. 巻 11444
2. 論文標題 High-z gamma-ray bursts unraveling the dark ages and extreme space-time mission: HiZ-GUNDAM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray	6. 最初と最後の頁 114442Z
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560603	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 該当する

1. 著者名 Kitazato K., Tsumura K. et al.	4. 巻 5
2. 論文標題 Thermally altered subsurface material of asteroid (162173) Ryugu	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 246 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-020-01271-2	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Arimatsu Ko, Tsumura Kohji, Usui Fumihiko, Ootsubo Takafumi, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 161
2. 論文標題 Detectability of Optical Transients with Timescales of Subseconds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 135 ~ 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abd94d	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Hayakawa Hisashi, Fujii Yuri I., Murata Koji, Mitsuma Yasuyuki, Cheng Yongchao, Nogami Nagatoshi, Ichikawa Kohei, Sano Hidetoshi, Tsumura Kohji, Kawamoto Yukiko, Nishino Masaki N.	4. 巻 11
2. 論文標題 Three case reports on the cometary plasma tail in the historical documents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Space Weather and Space Climate	6. 最初と最後の頁 21 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/swsc/2020045	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 Kitazato K., Tsumura K., et al.	4. 巻 364
2. 論文標題 The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 272 - 275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aav7432	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Kim Min Gyu, Matsumoto Toshio, Lee Hyung Mok, Jeong Woong-Seob, Tsumura Kohji, Seo Hyunjong, Tanaka Masahiro	4. 巻 71
2. 論文標題 Large angular scale fluctuations of near-infrared extragalactic background light based on the IRTS observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz063	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Matsumoto Toshio, Tsumura Kohji	4. 巻 71
2. 論文標題 Fluctuation of the background sky in the Hubble Extremely Deep Field (XDF) and its origin	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz070	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Onishi Yosuke, Sano Kei, Matsuura Shuji, Jeong Woong-Seob, Pyo Jeonghyun, Kim Il-Jong, Seo Hyun Jong, Han Wonyong, Lee DaeHee, Moon Bongkon, Park Wonkee, Park Younsik, Kim MinGyu, Matsumoto Toshio, Matsuhara Hideo, Nakagawa Takao, Tsumura Kohji, Shirahata Mai, Arai Toshiaki, Ienaka Nobuyuki	4. 巻 70
2. 論文標題 MIRIS observation of near-infrared diffuse Galactic light	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy070	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 H. Kaneda, D. Ishihara, S. Oyabu, M. Fukagawa, T. Kokusho, T. Suzuki, T. Furuta, T. Tsuchikawa, T. Wada, N. Isobe, M. Kawada, J. Kwon, H. Matsuhara, K. Nagase, T. Nakagawa, T. Ootsubo, M. Yamagishi, I. Sakon, K. Tsumura, H. Shibai	4. 巻 10698
2. 論文標題 SPICA mid-infrared instrument (SMI): conceptual design and feasibility studies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 106980C
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2313093	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 該当する

1. 著者名 Won-Kee Park, Kohji Tsumura, et al.	4. 巻 10698
2. 論文標題 Development of data storage system and GSE for cosmic infrared background experiment 2 (CIBER-2)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 1069849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2313184	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 該当する

1. 著者名 Chi H. Nguyen, K. Tsumura, et al.	4. 巻 10698
2. 論文標題 Integration and instrument characterization of the cosmic infrared background experiment 2 (CIBER-2)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 106984J
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2311595	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 該当する

1. 著者名 Kohji TSUMURA, Makoto HATTORI, Yoshifusa ITA, Mikito TANAKA, Shogo NISHIYAMA, Hirofumi NODA, Masato MATSUSHITA, Sahori MIZOGUCHI, Hitomi IWASAKI, Chiharu NAKA	4. 巻 -
2. 論文標題 A Report of an Astronomical Outreach Event for High School Students "What If You Could Become an Astronomer in a Week? (MoshiTen)"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Communicating Astronomy with the Public 2018	6. 最初と最後の頁 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Matsumoto T., Tsumura K., Matsuoka Y., Pyo J.	4. 巻 156
2. 論文標題 Zodiacal Light Beyond Earth Orbit Observed with Pioneer 10	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aad0f0	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Tsumura Kohji	4. 巻 70
2. 論文標題 Is the infrared background excess explained by the isotropic zodiacal light from the outer solar system?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy100	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Arimatsu K., Tsumura K., Usui F., Shinnaka Y., Ichikawa K., Ootsubo T., Kotani T., Wada T., Nagase K., Watanabe J.	4. 巻 3
2. 論文標題 A kilometre-sized Kuiper belt object discovered by stellar occultation using amateur telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 301 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-018-0685-8	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 K. Kitazato, K. Tsumura, et al.	4. 巻 364
2. 論文標題 The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 272 ~ 275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aav7432	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Korngut P. M., Kim M. G., Arai T., Bangale P., Bock J., Cooray A., Cheng Y. T., Feder R., Hristov V., Lanz A., Lee D. H., Levenson L., Matsumoto T., Matsuura S., Nguyen C., Sano K., Tsumura K., Zemcov M.	4. 巻 926
2. 論文標題 Inferred Measurements of the Zodiacal Light Absolute Intensity through Fraunhofer Absorption Line Spectroscopy with CIBER	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 133 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac44ff	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 Takimoto Kohji, Arai Toshiaki, Matsuura Shuji, Bock James J., Cooray Asantha, Feder Richard M., Korngut Phillip M., Lanz Alicia, Lee Dae Hee, Matsumoto Toshio, Nguyen Chi H., Onishi Yosuke, Sano Kei, Shirahata Mai, Takahashi Aoi, Tsumura Kohji, Zemcov Michael	4. 巻 926
2. 論文標題 Polarization Spectrum of Near-Infrared Zodiacal Light Observed with CIBER	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 6 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac416f	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 Cheng Yun-Ting, Arai Toshiaki, Bangale Priyadarshini, Bock James J., Chang Tzu-Ching, Cooray Asantha, Feder Richard M., Korngut Phillip M., Lee Dae Hee, Liu Lunjun, Matsumoto Toshio, Matsuura Shuji, Nguyen Chi H., Sano Kei, Tsumura Kohji, Zemcov Michael	4. 巻 919
2. 論文標題 Probing Intra-Halo Light with Galaxy Stacking in CIBER Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 69 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0f5b	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 Hirabayashi M., Tsumura K., et al.	4. 巻 68
2. 論文標題 Hayabusa2 extended mission: New voyage to rendezvous with a small asteroid rotating with a short period	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 1533 ~ 1555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2021.03.030	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kohji Tsumura
2. 発表標題 Estimation of the fraction of life-bearing planets that evolve intelligence f_i in the Drake equation by the terrestrial extinction history
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohji Tsumura, Daisuke Yonetoku, Koji Kawabata, Shuji Matsuura, Hirofumi Noda, Yuji Urata, Yuu Niino, Kei Sano, Akisato Ohashi, Akihiro Doi, Hiroshi Akitaya, Akihiro Miyasaka, Miku Kurimata, Yoshikatsu Kawata, Makoto Arimoto, Hirofumi Okita, HiZ-GUNDAM collaboration
2. 発表標題 Development of an optical and near-infrared telescope onboard the HiZ-GUNDAM mission
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津村 耕司, 米徳 大輔, 土居 明広, 川端 弘治, 松浦 周二, 野田 博文, 宮坂 明宏, 秋田谷 洋, 佐野 圭, 大橋 秋聡, 栗又美紅, 川田 祥克
2. 発表標題 HiZ-GUNDAM搭載の可視・近赤外線望遠鏡の開発
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 Kohji Tsumura
2. 発表標題 Development of an optical and near-infrared telescope onboard the HiZ-GUNDAM mission for observing gamma-ray bursts from gravitational wave sources
3. 学会等名 The Fourth Annual Area Symposium Online: Gravitational wave physics and astronomy: Genesis
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 若い世代がアウトリーチ活動に取り組むメリットとデメリット
3. 学会等名 第33回天文教育研究会（2019年日本天文教育普及研究会年会）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 研究者として生きる：個人的経験談から
3. 学会等名 第18回 博士のキャリアパスシンポジウム2019（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 意見表明：赤外線観測天文学の立場から
3. 学会等名 ワークショップ 航空宇宙分野と軍事研究（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 TSUMURA Kohji, ICHIKAWA Takashi, ITA Yoshifusa
2. 発表標題 Developing a Spectrograph for Observing the Atmospheric Emission in K-dark band
3. 学会等名 Polar 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司、松浦周二、松本敏雄、和田武彦、Bock James
2. 発表標題 宇宙赤外線背景放射観測実験CIBER：4回の打上げ観測の科学成果
3. 学会等名 第1回 観測ロケット シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 可視・近赤外線背景放射の観測の現状
3. 学会等名 輝線 Intensity Mapping 研究会 2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 「もしも君が杜の都で天文学者になったら(もし天)2017」実施報告
3. 学会等名 第32回天文教育研究会(2018年天文教育普及研究会年会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 「宇宙×音楽～サクソカルテットで紡ぐ『惑星』のお話～」実施報告
3. 学会等名 2018年天文教育普及研究会 東北支部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 宇宙の明るさを測る：木星からの天文観測を目指して
3. 学会等名 JSAP Multidisciplinary Young Researcher Chapter 1st Interdisciplinary Forum(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村 耕司、松浦 周二、佐野 圭
2. 発表標題 究極の天文観測の実現を目指す惑星間空間望遠鏡
3. 学会等名 第19回 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TSUMURA Kohji
2. 発表標題 Observation of the Cosmic Infrared Background from the outside of the Solar system
3. 学会等名 FAPESP-JSPS Workshop on dark energy, dark matter, and galaxies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津村耕司、松浦周二、佐野圭、橋本遼、前川群、高橋葵、臼井文彦、大坪貴文、岩田隆浩、岡田達明、森治、中条俊大、ほか EXZIT/OKEANOS チーム
2. 発表標題 ソーラー電力セイル探査機OKEANOS搭載の小型赤外線望遠鏡EXZIT：概念設計の現状
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津村耕司
2. 発表標題 天文教育：大学と高校をつなぐ
3. 学会等名 天文教育フォーラム：「IAU100 年と天文教育 ~Strategic Plan 2020-2030 に向けて」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohji Tsumura
2. 発表標題 Development of an optical and near-infrared telescope onboard the HiZ-GUNDAM mission for observing gamma-ray bursts from gravitational wave sources
3. 学会等名 The Fourth Annual Area Symposium Online: Gravitational wave physics and astronomy: Genesis (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 須藤誠一, 飯島正徳, 長田剛, 門多顕司, 菅谷幹治, 津村耕司, 中村正人, 西村太樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京教学社	5. 総ページ数 128
3. 書名 物理学実験指針<第2版>	

1. 著者名 東北大学学際科学フロンティア研究所「百科総覧」編集委員会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東北大学出版会	5. 総ページ数 160
3. 書名 百科総覧 ~若手研究者が挑む学際フロンティア~ VOL.2	

1. 著者名 津村 耕司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 大和書房	5. 総ページ数 220
3. 書名 天文学者に素朴な疑問をぶつけたら宇宙科学の最先端までわかったはなし	

1. 著者名 東北大学学際科学フロンティア研究所「百科総覧」編集委員会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 東北大学出版会	5. 総ページ数 182
3. 書名 百科総覧 ~若手研究者が挑む学際フロンティア~ VOL.1	

〔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
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	佐野 圭 (Sano Kei) (70802908)	九州工業大学・大学院工学研究院・助教 (17104)	

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